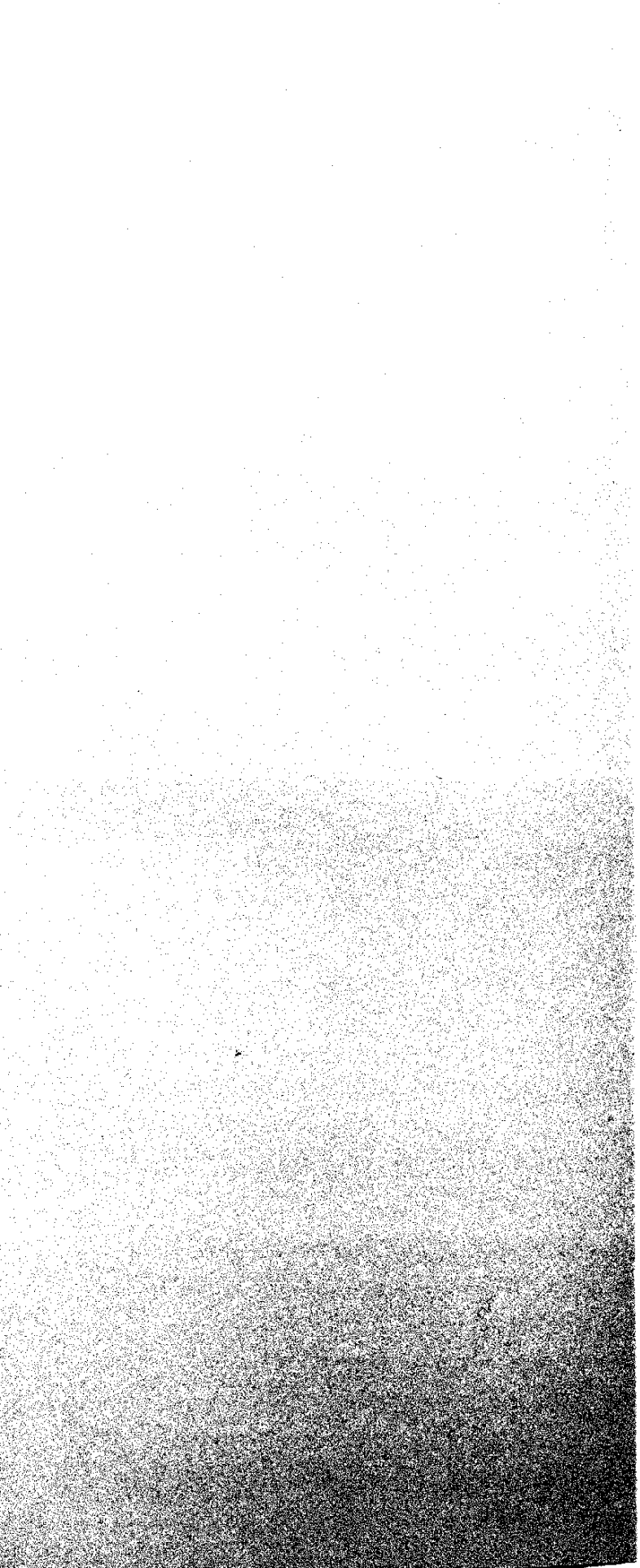
AI

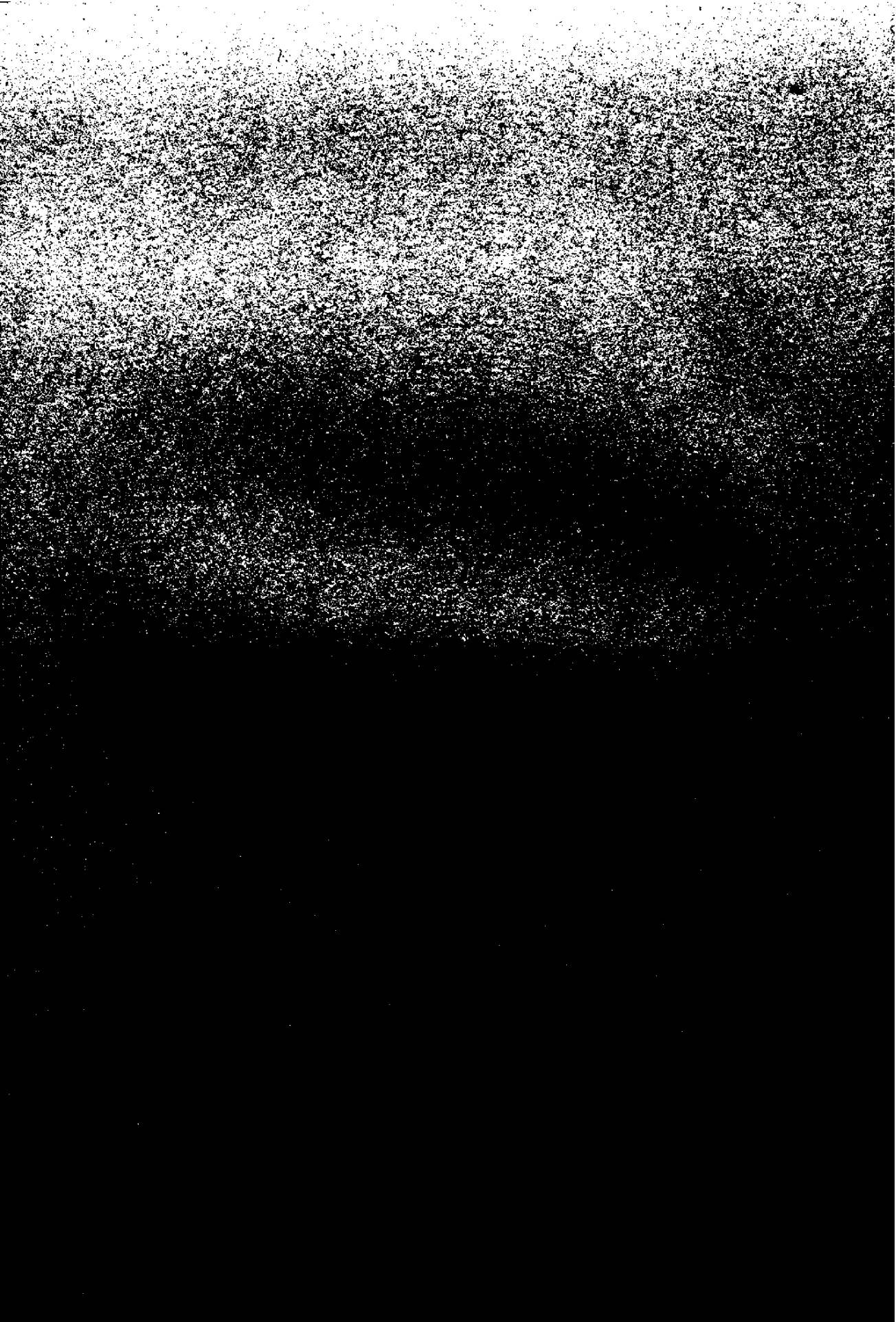
人工知能の技術と利用

AI白書

ICOT-JIPDEC AIセンター 編

財団法人 日本情報処理開発協会 発行





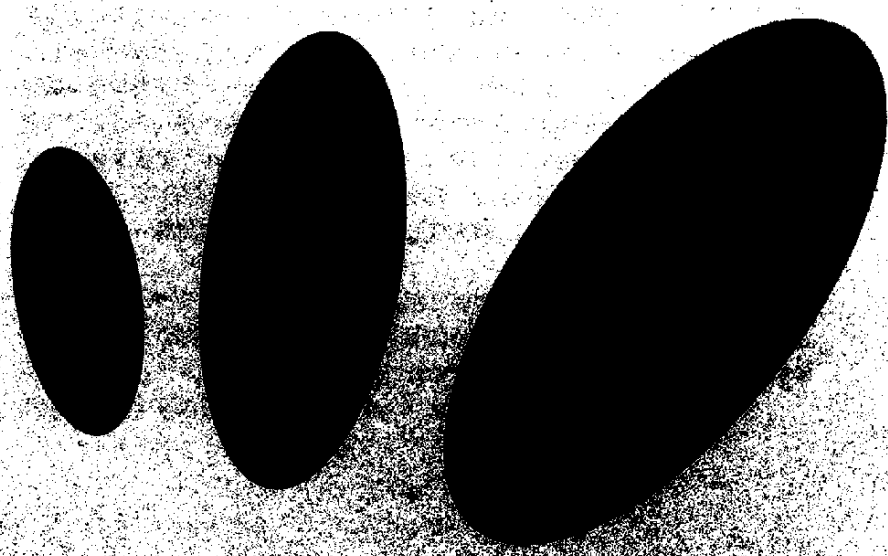
AI

人工知能の技術と利用

AI白書

ICOT-JIPDEC AIセンター 編

財団法人 日本情報処理開発協会 発行



序

近年，新しい情報技術の一つとして人工知能（Artificial Intelligence: AI）技術に対する期待が高まっております。

特に，1982年度から10年計画で通商産業省が世界に先駆けて開始した「第五世代コンピュータ開発プロジェクト」は，AIへの適用を目指した新しいコンセプトに基づく並列推論コンピュータを開発するものです。その後欧米諸国の政府は，わが国における同プロジェクトの刺激を受けて，それぞれAI関連のプロジェクトを発足させております。

一方，米国においては，永年のAI技術の研究成果を製品化し販売するAI産業が誕生し，この影響を受けて，わが国でもAI関連のビジネスを行う企業が約100社に達しております。また現在，多様な産業分野において，AI技術を応用した知識情報システムやエキスパートシステムの導入が進められており，AIユーザは今回の調査対象の20%を占めるまでになっております。

このような動向の中で，当協会は，第五世代コンピュータの研究開発を実施している財団法人新世代コンピュータ技術開発機構（通称ICOT）と共同で，昭和61年4月に通商産業省のご指導のもとに，「ICOT-JIPDEC　AIセンター」を発足させました。同AIセンターはAI技術の普及振興事業を行うことを目的とし，その一環として，昭和62年3月に「AIビジョン総合委員会（委員長 渡辺茂 東京都立科学技術大学学長）」がとりまとめた10年後（1995年）のAI需要予測を発表しました。その後，このAIビジョンに対する実情の動向を追跡調査することは極めて重要であるとの認識のもとに，財団法人機械システム振興協会の委託事業として「AI動向調査委員会（委員長 大須賀節雄 東京大学先端科学技術研究センター教授）」を設置して継続調査を実施し，調査研究報告書をまとめ報告しました。

今回発行いたします「人工知能の技術と利用」は，広く情報システム部門の管理者層を主な読者対象と想定し，上記調査研究報告書を主体に，原稿の追加，再編集を行ったものであり，わが国におけるAIの実情を報告するAI白書的な役割を果たすものと考えております。

■

本書は，本文６編と資料編から構成されております。

第Ｉ編の総論は，AIの概念について解説するとともにAIのもたらすインパクト(影響)とAI産業の現状について述べ，AI利用およびAI技術について各論の要約をまとめました。

第II編は，わが国のAI利用の動向についてのアンケート調査結果の報告です。ここではAI利用事業体の実情に加えて，未導入事業体のAIに対する意識調査結果を掲載しています。

第III編のAI技術の動向は，AI技術の枠組みを解説するとともにAIの基本技術および応用技術についての研究動向をまとめました。特に，「学習」については，今回のハイライト技術として詳細に解説しております。

第IV編は先進的AIシステムの14事例を紹介し，第Ｖ編は通商産業省のAI関連政策について，また第VI編は海外の動向についてまとめました。

資料編ではAI年表，AI関連機関，および第II編と第VI編の詳細資料等を収録しました。

本書は，現在のわが国のAIについての実情を網羅的に収録し，かつ，変化するAI技術の動向を的確にとらえており，AI利用，AIビジネス，AI技術の研究開発などに従事する多くの方々に広くご利用いただくために十分に応えることができるものと確信し，お薦めする次第です。

最後に，本書をとりまとめるに当たりご尽力いただきました大須賀節雄委員長ならびに委員各位，原稿執筆ご協力者各位，調査報告書の利用にご快諾いただきました財団法人機械システム振興協会に深甚な感謝の意を表する次第であります。

財団法人　日本情報処理開発協会

会長　影山衛司

■ 委員会名簿

AI動向調査委員会名簿

委員長	大須賀節雄	東京大学先端科学技術研究センター教授
委員	栗田昭平	評論家・中央大学経済学部講師
〃	古川康一	(財)新世代コンピュータ技術開発機構・研究所研究担当次長
〃	木村文彦	東京大学先端科学技術研究センター教授
〃	武井欣二	(株)東芝総合研究所情報システム研究所主任研究員
〃	岩下安男	エヌ・ティ・ティ・データ通信(株)開発本部 社会システム開発センター応用システム担当部長
〃	美濃順亮	花王(株)知識・情報科学研究所所長
〃	山本欣子	(財)日本情報処理開発協会常務理事
オブザーバー	西川泰蔵	前通商産業省機械情報産業局電子政策課課長補佐 (現通商産業省機械情報産業局電子機器課課長補佐)
〃	古谷毅	通商産業省機械情報産業局電子政策課課長補佐
〃	正木浩視	通商産業省機械情報産業局電子政策課技術係長
〃	原弘	(財)新世代コンピュータ技術開発機構・調査国際部長

AI技術専門委員会名簿

委員長	古川康一	(財)新世代コンピュータ技術開発機構・研究所研究担当次長
委員	武井欣二	(株)東芝総合研究所情報システム研究所主任研究員
〃	玉井哲雄	筑波大学大学院経営システム科学専攻助教授
〃	中川裕志	横浜国立大学工学部電子情報工学科助教授
〃	国藤進	富士通(株)国際情報社会科学研究所第2研究部第2研究室室長
〃	寺野隆雄	(財)電力中央研究所・経済研究所知識処理研究室主査研究員
〃	吉岡毅泰	宇宙開発事業団宇宙ステーショングループ副主任開発部員

AI市場専門委員会名簿

委員長	栗田昭平	評論家・中央大学経済学部講師
委員	岩下安男	エヌ・ティ・ティ・データ通信(株)開発本部 社会システム開発センター応用システム担当部長
〃	藤田昌弘	(財)関西情報センターシステム部長
〃	中林三平	(株)野村総合研究所戦略情報コンサルティング部 AIコンサルティング室室長
〃	那須宗也	日揮(株)システムエンジニアリング本部副本部長
〃	岸則政	日産自動車(株)中央研究所基礎研究室シニアリサーチャー
〃	柏原邦彦	三井銀行事務部企画グループ主査

■

執筆協力　　(50音順)

浅川和雄	㈱富士通研究所人工知能研究部第二研究室室長
市川　熹	㈱日立製作所中央研究所第6部主任研究員
上村石男	関西電力㈱総合技術研究所主任研究員
太田　淳	三菱電機㈱中央研究所量子エレクトロニクス研究部第1グループ
小笠原　司	工業技術院電子技術総合研究所知能システム部 対話システム研究室研究員
唐津　一	東海大学開発技術研究所教授
小林慎一	㈱三菱総合研究所情報技術開発部情報技術第二室室長
小西達也	㈱シー・エス・ケー技術開発本部MT開発部主任技師
鈴木　努	エヌ・ティ・ティ・データ通信㈱開発本部社会システム開発センター
滝　寛和	㈶新世代コンピュータ技術開発機構・研究所第5研究室主任研究員
中島裕生	カヤバ工業㈱技術研究所開発チーム・リーダー
永田淳次	沖電気工業㈱研究開発本部総合システム研究所 オフィスシステム研究部AI応用システム第一研究室
原田　実	青山学院大学理工学部経営工学科助教授
藤田　博	㈶新世代コンピュータ技術開発機構・研究所第一研究室主任研究員
松田元男	鹿島建設㈱情報システム部開発課課長代理
松本俊二	富士通㈱システム本部SEテクニカルシステム技術部
溝口理一郎	大阪大学産業科学研究所助教授
森田幸伯	㈶新世代コンピュータ技術開発機構・研究所第3研究室研究員
渡辺　睦	㈱東芝総合研究所情報システム研究所研究主務

事務局

市川　隆	㈶日本情報処理開発協会AI振興センター所長
平井吉光	㈶日本情報処理開発協会AI振興センター調査課課長
茂呂知明	㈶日本情報処理開発協会AI振興センター調査課主任部員

目次 ……CONTENTS

第Ⅰ編■総論

第1部　AIとは何か?

1．はじめに …… 2
2．AIへのアプローチ …… 3
3．AIの発展経過 …… 3
4．AIの研究状況 …… 4
5．AIの本質 …… 4
6．AIシステムの特徴 …… 5
7．AIの応用 …… 6
8．AIと人間 …… 6

第2部　AIのインパクト

1．はじめに …… 7
2．製造業の知的生産性 …… 7
3．教育へのAI利用 …… 8
4．行政事務のAI利用 …… 8
5．発展途上国への支援 …… 9
6．個人と文化 …… 9

第3部　AI産業の現状

1．はじめに …… 11
2．米国の現状 …… 11
3．日本の現状 …… 13

第4部　AI利用の現状と展望

1．AI利用の現状 …… 15
2．AI未導入事業体の意識 …… 17
3．AI利用の展望 …… 17

第5部　AI技術の現状と展望

1．はじめに …… 19
2．知識獲得問題 …… 19
3．ロジックプログラミング …… 20
4．AI応用技術の問題 …… 21

第Ⅱ編■わが国におけるAI利用の動向

第1部　AIシステムの利用状況

1．AI利用事業体の現状 …… 25
2．個別AIシステム利用の現状 …… 26
2.1 エキスパートシステム …… 26
2.1.1 適用業務と対象領域 …… 26
2.1.2 開発目的 …… 26
2.1.3 開発・導入の目的 …… 28
2.1.4 システムの利用状況 …… 28
2.1.5 システムの規模 …… 28
2.1.6 使用ツール …… 31
2.1.7 使用マシン …… 33
2.1.8 知識獲得の方法 …… 34

2.1.9 外部機関の利用 ……35
2.1.10 導入・実用化の問題点 ……35
2.1.11 開発・導入のための累積投資額 ……36
2.1.12 エキスパートシステムに対するユーザの評価 ……37
2.1.13 その他の意見 ……37
2.2 機械翻訳システム ……40
2.3 知能ロボット ……42
2.4 自動プログラミングシステム ……42
2.5 画像理解システム ……44
2.6 音声理解システム ……44
2.7 自然言語理解システム ……44
3. 将来のAIシステム普及の予測 ……45
3.1 AIシステム別普及の見通し ……45
3.1.1 エキスパートシステム ……45
3.1.2 機械翻訳システム ……45
3.1.3 知能ロボット ……46
3.1.4 自動プログラミングシステム ……47
3.1.5 画像理解システム ……47
3.1.6 音声理解システム ……48
3.1.7 自然言語理解システム ……48
第2部 AIシステム未導入事業体の意識
1. 未導入率の高い産業、低い産業 ……50
2. AIの導入の話題の有無 ……51
3. 導入希望AIシステム ……51
4. AIシステム導入を話題にしたことがない事業体の意識 ……51

第III編 ■ AI技術の動向

はじめに ……54

第1部 AIの枠組
1. AIの輪郭 ……56
2. AI研究の3分野 ……57
3. AIの基本モデル ……58
第2部 AI基本技術のトレンド
1. 問題解決 ……62
1.1 問題解決の定式化 ……63
1.2 探索 ……64
1.3 完全な知識における推論 ……65
1.4 不完全な知識による推論 ……66
1.5 不確実な知識による推論 ……67
1.6 制約充足 ……67
2. 知識表現 ……68
2.1 命題論理 ……69
2.2 述語論理 ……70
2.3 ルールによる表現 ……70

2.4 モジュール構造による表現 ……71
2.5 様相論理 ……73
2.6 時間論理 ……73
3. 知識獲得と学習 ……74
4. AI言語とアーキテクチャ ……75
4.1 AI言語 ……75
4.2 AI向きコンピュータ・アーキテクチャ ……76
第3部 AI応用技術のトレンド
1. エキスパートシステム ……79
1.1 エキスパートシステムとは何か ……79
1.2 エキスパートシステムの特徴 ……81
1.3 エキスパートシステムのタイプ ……82
1.4 エキスパートシステム開発ツール ……85
1.5 知識獲得支援 ……95
2. 自然言語理解 ……105
2.1 概要 ……105
2.2 電子化辞書 ……106
2.3 構文解析 ……107
2.4 意味解析 ……107
2.5 語用論的解析 ……108
2.6 自然言語理解の応用 ……108
3. 機械翻訳 ……110
3.1 概要 ……110
3.2 機械翻訳の方式 ……111
3.3 機械翻訳用辞書 ……112
3.4 機械翻訳用文法 ……113
3.5 機械翻訳用ソフトウェア ……113
4. 音声理解 ……114
4.1 概要 ……114
4.2 音声認識技術 ……115
4.3 音声理解技術 ……116
5. 画像理解 ……118
5.1 概要 ……118
5.2 文字認識・文書画像 ……119
5.3 線図形理解 ……120
5.4 濃淡画像理解 ……121
5.5 テクスチャ理解 ……121
5.6 三次元形状（シーン）理解 ……121
6. 知能ロボット ……124
6.1 知能ロボットの要素技術 ……124
6.2 知識の表現 ……124
6.3 知識の利用 ……125
6.4 センサの利用 ……126
6.5 ロボットのシステム化技術 ……126
7. 自動プログラミング ……127

7.1 自動プログラミングの種類……127
7.2 形式的アプローチ……128
7.3 知識的アプローチ……128
7.4 実践的アプローチ……129
7.5 今後の動向……130
第4部 ハイライト技術・学習
1. はじめに……132
2. 帰納推論……133
2.1 帰納推論のスキーマ……134
2.2 高次推論と計算量……135
2.3 融合原理の逆操作……137
3. 仮説推論……139
4. 類推……141
5. 雑音のある例からの学習……143
6. 説明に基づく学習……144
7. 発見的知識の学習……144
8. CYCプロジェクト……145
9. コネクショニズムによる学習……146
10. 学習研究のその他のアプローチ……148
11. まとめ……150

第IV編 ■ AIシステム事例

第1部 エキスパートシステム
1. 排煙脱硫装置運転支援システム……156
2. 土木構造物耐震設計コンサルテーションシステム……159
3. 油圧回路設計支援エキスパートシステム……162
4. 機械材料選定システム……165
第2部 自然言語理解
1. 契約書作成を対象とした対話理解実験システム……169
2. スケジュウリング支援実験システム……175
第3部 機械翻訳
1. 日本経済新聞社における株式記事翻訳システム……183
2. 英日機械翻訳システム「PENSEE」……186
第4部 画像理解
1. 極限作業ロボットの視覚システム……188
2. ニューラルネットワークを応用した文字認識システム……194
第5部 音声理解
1. 音声理解システムSPURT-1……198
2. ニューラルネットワークとファジィ論理を用いた子音認識方式……201
第6部 知能ロボット
1. ニューラルネットワークによるロボット制御……204
第7部 自動プログラミング
1. プログラム自動生成システム……208

第Ⅴ編■通産省のAI関連政策の概要

第1部　基礎技術開発

1. 第五世代コンピュータプロジェクト……216
2. ニューロコンピュータ等情報処理技術の総合的調査研究……217
3. ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム(HFSP)……217
4. 国際ファジィ工学研究所(LIFE)……218

第2部　基盤整備

1. 電子化辞書プロジェクト(EDR)……220
2. 高機能AIシステム記述用言語の研究開発(AIR)……220

第3部　AIの普及促進

1. ICOT-JIPDEC AIセンター事業……222
2. 国際AI財団……223
3. AIによる鉄鋼生産プロセスのFMS化に関する研究会……224
4. 石油産業活性化センターAI研究室における技術開発……225

第Ⅵ編■海外の動向

第1部　世界のAI活動

1. 米国……228
2. カナダ……230
3. 欧州共同体(EC)……230
4. イギリス……230
5. 西ドイツ……231
6. フランス……231
7. その他の欧州諸国……232
8. 中近東、アジア、オセアニア……232

第2部　米国

1. 米国におけるAIの動向……233
2. SCIプロジェクト……234
3. MCC……236
4. 最近のAI研究開発動向……239

第3部　イギリス

1. AIの全般的動向……243
2. アルベイ計画……244

第4部　欧州共同体(EC)

1. ESPRITの概要……248

資料編

1. 1988年のAI関連活動……253
2. わが国の主要AI関連機関……257
3. AI利用動向調査集計表……265
4. ESPRITの個別プロジェクトの概要……307

第Ⅰ編　総　論

第1部　AIとは何か？

1．はじめに

現代社会における1つの大きな特徴は大量情報の処理にあり，その手段としてコンピュータの果たす役割はきわめて大きい。コンピュータなしにもはや現代社会は成立しえないまでになっている。しかしコンピュータの原理は機械的計算技術が完成されたおよそ40年前のものと比較して本質的な変化がなく，しかもその原理には基本的に今日のような大量情報処理に適合しがたい幾つかの問題を内包していた。それは処理手順をコンピュータの動作として前もって完全に記述しておかなければならないという，今日のコンピュータの基本原理に起因するものである。

コンピュータが未だ珍しかった初期においては，この欠点は表面に現れるほどのものではなかったが，その後，半導体技術，コンピュータアーキテクチャ技術，精密機械加工技術等の発達，通信技術との結合，ソフトウェア技術の開発などに支えられてコンピュータ技術が飛躍的な発展を遂げ，それに応じて処理情報量，処理内容の複雑さも急速に増大したことに伴って，この問題も表面化し，もはや放置できないレベルにまで達しようとしている。

具体的には，第1に，必要な情報処理要求に対しソフトウェア開発が追いつかなくなるという，いわゆるソフトウェア危機の問題として，第2に，処理要求の高度化に耐えられないという質的な機能不足の問題として指摘されている。すなわち高度化した科学技術に支えられた社会を維持しさらに発展させる上で，今後コンピュータによる意思決定支援や開発支援などを前提としてさまざまな計画や決定が進められているが，実際には現行コンピュータには能力に限界があるためこの間のギャップが拡大しているのである。これらはいずれも放置できないものであるにもかかわらず現行コンピュータのもとでは解決不可能であるため，深刻な問題になろうとしている。

このため従来のものと原理的に異なる新しい情報処理の方法論が模索されてきたが，その中で最も可能性の高いものとして，知識を情報の一形態として体系的に扱うことにより，人間により近い情報の処理を可能にする人工知能(Artificial Intelligence以下AIという)に大きな期待が寄せられるようになった。今日，科学技術先進国のみならず開発途上国においても，このための研究体制を急速に整えようとしているのが現状である。

AIは基礎から応用まで広い分野にまたがるだけに，視点によってさまざまな面を示し，その実態はとらえにくい。AIの分野でよく現れるキーワードを思いつくままにあげてみても，推論，知識，知能，演繹，帰納，学習，論理，自然言語理解，パターン理解，音声認識，会話理解，定理証明，認知，機械翻訳，意思決定支援，設計支援，診断，エキスパートシステムなど，たちまち数10にも及ぶ。これらはAIのそれぞれ異なった面ないしは現れ方を示しており，AI自体はこれらの中心にあるもの，というよりはこれらをすべて包含する体系として理解すべき概念である。その多面性ゆえにAIの正しい理解が困難になり，ともすると理解しやすい面のみが肥大化してとらえられ，一人歩きし始める危険性がある。しかし，これら具体的な形で現れている諸面はAIの目的というよりもAIの概念を忠実に

実現したときに必然的に生ずる結果であると理解することが必要である。ここにAIの真の重要性があり，これによって，将来の産業へのインパクト一つをとっても計り知れない大きさを持っている。ここではこのようなAI像を明らかにすることを心がける。

2．AIへのアプローチ

AIはその名のとおり人工的に知能を実現すること，より具体的には知能を持った機械を実現することである。これには，

①知能を正しく理解し機能を解明すること，

②機械でこれを実現すること，

が必要である。第1の段階は知能とはいかなるものか，その機能とメカニズムはどのようなものか，を明らかにすることである。一口に知能と言ってもその意味は必ずしも明確ではない。まずこの意味を定義し，次いでこれがいかに実現されるか，そのアルゴリズムはどのようなものかを見いだすことが必要である。これには知能を持ったものを観察するほかないが，その対象としては人間以外にはない。したがって，まず人間の思考過程を観察し，そこから知見を得るというアプローチがとられる。すなわち，AIの研究には人間の知能の働きを知る，認知科学と呼ばれる一側面がある。またこれとは別に，人間の脳や神経を細胞あるいはさらに微細なレベルで分析し，知能を機構的な面から解明しようとするニューラルネットワークのアプローチがある。

第2の段階はこのようにして得られる知能を実際に機械で実現することである。機械としては当然コンピュータを用いることになるが，これは情報処理技術の一部として研究がなされる。これはAIの情報工学的側面である。

しかし今日のAI分野において，認知科学やニューラルネットワークと情報工学がこのように密接に関連し合って発展しているわけではない。両者の間にはまだ大きなギャップがあるのが実状である。これは認知科学やニューラルネットワークにおいても思考のメカニズムが体系的に理解されるまでに至っておらず，情報工学的アプローチでは知能の機械化のレベルが低いため，両者の接点が見いだされるまでに至っていないからである。この両者が密接に関連し合えるようなレベルに至るまで両分野の研究を進めることがAIの高度化に不可欠である。特に認知科学の成果を利用できるようになるまでに情報処理技術面でのAIの研究を高めることが重要であり，このために基礎から応用に至る広い範囲で研究が必要である。

3．AIの発展経過

AIの研究はコンピュータが実用化してまもなく始まっているが，最初はパズルやゲームなど知的遊技を対象に，与えられた問題の解の自動探索技術に関心が向けられた。今日では数多くの探索技法が開発されているが，探索はAIの基本技術の1つとして重要である。しかし知能を形成するのは探索技法のみではない。その後，問題解決には知識が重要な役割を果たしていることが認識されるようになり，コンピュータにいかに知識を与え，それを問題解決に役立てるかに関心が集まった。知識といってもこの定義は簡単ではない。人間は多様な知識を無意識に利用している。この中にはコンピュータで扱うための形式化が容易でないものも多い。したがってコンピュータ技術との関連で処理可能な範囲の知識を定義し，コンピュータ化のための形式化を行う必要がある。これは知識表現問題と呼ばれ，これに基づいてその処理系としての推論機構やシステム構成等が定義されるという意味でAIの最も基礎的な問題である。今日，多くのAIシステムが開発されているが，知識表現の決定版は未だ見いだされていない。した

がって，AIシステム自体もまだ決定版といえるものはないといえる。

これと同時に自然言語理解やパターン理解など人間に近い情報処理を実現すること，自律的な問題解決の方法を確立し，設計や診断などに役立て，あるいはロボットとして高度の機能を備えた機械を実現することなど，AIのカバーする範囲はきわめて広範なものになっている。

4．AIの研究状況

その重要性に鑑み，AIの研究は国内外できわめて活発化している。わが国では通商産業省の第五世代コンピュータプロジェクトはあまりに有名であるが，この他にも文部省，郵政省，科学技術庁等で，AIが実質的な主題となっている各種計画が進行中であり，それにも増して民間において広い層にわたってAI研究や開発が進められている。

一方，海外でもこの分野の研究は積極的に行われている。AI研究は米国（アメリカ合衆国）が圧倒的な研究実績を誇っている。近年のAI研究競争の火付け役は日本の第五世代コンピュータプロジェクトであるといわれているが，その後の米国および欧州各国の追い上げは急で，もはや先行の効果はないといってもよい。米国では国防総省DARPA（Defence Advanced Research & Project Agency: 高等研究計画局）を中心に多くの研究費が支出されていたが，近年はNSF（National ScienceFoundation: 国立科学財団）が積極的に研究を推進しようとしている。また民間でも，マイクロエレクトロニクスや日本の第五世代コンピュータプロジェクトに相当する研究を共同出資による組織MCC（Microelectronics and Computer Technology Corp.）を作り進めている。これらの研究費の総額は日本の予算を大幅に上回っている。

欧州においても，まずECが逸早く第五世代コンピュータプロジェクトに対応して，研究に重点をおいたESPRIT（European Strategic Programme for Research and Development on Information Technology: 情報技術に関する欧州戦略計画）を発足させた。一方，イギリスのアルベイ計画（A Programme for Advanced Information Technology: 高度情報技術計画，通称アルベイ計画と呼ばれている）のように，各国が独自の研究計画を進めている。

研究状況を把握する上で，このように各国の研究組織を調べることも重要であるが，さらに重要なのは研究内容である。各国とも，大学を中心とした基礎研究とともに官，民での応用研究が進められている。特に米国ではDARPAやNASA（National Aeronautics and Space Administration: 航空宇宙局）等でニーズに基づく研究が進められ，これが基礎研究と密接に関連しあっている。AI研究にあってはこのような基礎と応用の密接な関係が重要である。

5．AIの本質

情報技術としてみた場合，AIと従来の技術との最も本質的な相違はコンピュータが理解することのできる言語にあるといえる。知識を利用するには知識という形態で表された情報を扱うことに他ならない。すなわち，情報を利用する際に，情報がどのように表現されているかという形態的な特徴が機能にどのように影響するかを理解することが必要である。情報の表現形態はすなわち言語である。言語が異なると表現方法も異なる。人間の使う言語，いわゆる自然言語でも，ある言語では表現できることが，他の言語では表現できないということもありうる。それにも増して従来の技術のもとでコンピュータが理解することのできる言語，すなわちプログラム言語と，

自然言語との相違は大きい。プログラム言語との相違に比べると日本語や英語等，自然言語同士の相違は相対的にはわずかなものといってよいので，ここではこれらを一まとめにして宣言型言語と呼んでおく。プログラム言語にもさまざまあるが，これも宣言型言語に比べるとこの間の相違はわずかである。この両言語体系の相違は事物の表し方にある。知識とは宣言型言語で表現された情報ということができる。

言語が異なると表現能力も表現法も異なるのはもちろんであるが，同時に言語で表現された情報の処理方法も大幅に異なってくる。今日のコンピュータ，いわゆるvon Neumann型と呼ばれるものはプログラム言語のみを処理する機構をもったものとして開発され，したがって知識の処理には向いていなかった。知識の処理には新しい機構が必要である。これを推論機構と呼ぶ。AIの核部分の問題は知識の表現の問題であると同時に，これを処理する推論機構の問題でもある。

宣言型言語で表された情報を知識と呼んだが，自然言語での表現方法は単純なものではなく，さまざまな抽象化が行われる。自然言語は人間社会を維持し，文化を発展させる上で必要な概念を表現するだけの記述能力を持っている。この言語で表現される情報も多様であり，したがってその処理も多様でなければならない。しかしこれは機械化を困難にしている。今日の技術で実現の可能なのはその一部にすぎない。したがってAIシステムの開発は現行技術で実現可能な範囲の言語仕様を定めること，いうなれば機械が理解できる易しい言葉を制定しなければならない。これがあまりに単純すぎると役に立たないものになるが，近年のAIへの関心はこれがようやく実用レベルに近づいてきたこと，正確にいえばコンピュータが理解できる範囲がようやく実問題の一部をカバーする程度にまで広がってきたことを示している。

例えば現在最も普及したAIの応用としてエキスパートシステムがあるが，現在のレベルで十分なわけではない。むしろこのような言語で開発されてきたエキスパートシステムの利用範囲が狭く，実用上，これをさらに広げる必要があることが認識されてきている。これには言語の記述能力を一層高めることが必要であり，知識表現の問題が相変わらず重要な問題として残されている。容易にわかるように，知識表現の問題はそれを処理する推論機構の能力によって制約されるから，結局，言語仕様とその処理機構の問題は不可分であり，これを定めることはいわばvon Neumann型コンピュータに代わる新しいコンピュータを開発することに等しい。ここで言語はAIシステムとして従来のコンピュータが到達できなかったレベルに達するだけの十分な記述力を，実現可能な技術の範囲内で，持つべきであり，これにはAIの特徴を生かすことのできる応用はどのようなものかを知ること，そのためにまず応用を分析し，要求される機能がいかなるものであるかを知ることが重要である。

6．AIシステムの特徴

AIシステムには利用上，現行のコンピュータシステムにない多くの特徴がある。現行のシステムでは処理手順を前もって細部に至るまでわずかの曖昧性も含まずに記述しておくことが必要である。しかも原則として一連の手順を最初から最後まで書き下ろしておくことが必要であって，モジュール性に欠けること，そのため，処理手順が前もってすべて定められる種類の問題の処理には高速性や無誤謬性等の特徴が役立つが，それ以外の問題には適用しがたい。それに対し，AIシステムは知識として与えられる情報の単位が小さく，モジュール性が高いこと，これを探索機構と推論機構が問題に合わせて選択し連結しなが

ら解を見いだすという柔軟な方式がとれるため，従来の方式では扱いがたかった開発型の問題を処理することができる。近年技術開発競争が激しくなり，また高度の判断に基づく意思決定などが要求されていることを考えると，この特徴はきわめて重要な意味をもっている。またAIシステムはこのような特徴を最大限に発揮するように設計される必要がある。

7．AIの応用

AIの応用は以上のような特徴が最も効果的に生かされる範囲の問題である，予測システム，監視システム，設計支援システム，研究開発支援システム，教育システム，診断システム，制御システム，意思決定支援システム，などが挙げられる。ただし，これらの応用も個々にみると比較的容易で，現在流通している単純な構成のエキスパートシステムでも扱える程度のものから，知識の処理機能を現行のコンピュータ機能と一体化してはじめて実現可能なものまである。例えば，現行エキスパートシステムでは適合性がよいという理由で故障診断システムが多く開発されているが，これらのシステムでは故障パターンの既知のものしか扱えない。一方，宇宙開発などでAIに大きな期待がかけられているが，宇宙環境で生じる故障は前もってすべて洗い上げておくことは困難であり，その場で観察されたデータから故障診断をすることが重要である。このような機能を持つAIシステムの開発こそが今後望まれる。

8．AIと人間

AIは従来より高度の機能を備えたコンピュータシステムであるが，人の能力を超えるものではない。一般論として，システムが高機能になるほど人間による管理がしにくくなる。それは人間が機械の動作を完全に掌握しがたくなることと，人が機械に依存する気持ちを持ち始めるためである。一方では，機械の果たす役割が増大しているので，これは正常な動作をはずれたときの危険が増大することを意味している。例えAIといえど，問題の枠組みを設定した上で動作することになるが，これは機械の動作に直接かかわる情報以外に，前提条件を定めている情報があり，この特定環境下でのみ正常な動作が保証される。もし，外囲条件がこれから外れたとき，もはや動作の正常性は保証されない。この種の問題は人が問題解決に当たっているときでも生じることで，人でも戸惑うが，人はいつか気が付いてそれを修正する能力をもっている。ここに，中途半端に高度化した機械の恐ろしさがある。これを防ぐのは1つには人間自身であり，もう1つは機械をさらに高度化してこのような前提条件の変化をも検知する能力を持たせることである。しかしそのように動作する機械にも新しい前提条件が発生しよう。またこのような機械を作るのも人間である。機械の高度化は時代の要請するところであってこれを避けることはできないが，これを使いこなすのは人間であり，これにふさわしい，自己啓発力を持ち，広い視野を備えた人間の教育をどうするかが今後重要な課題となってくる。

第2部　AIのインパクト

1．はじめに

AIが新しい情報技術の1つとして，産業・社会の多くの分野から大きな期待を寄せられている。特に，専門家が豊富な知識と経験を活用して問題解決を行っているのと同様な手法を，コンピュータを使用して実現するエキスパートシステムや知識情報システムの開発導入を図ろうとするものである。見方によっては，AI導入の狙いは知的生産性の向上にあるということができる。現代社会の1つの特徴は，機械と動力との利用であるが，これまでの機械の多くは，人間の筋肉労働の代替として利用され，労働生産の向上により多くの経済産出をもたらし，豊かな文明社会を実現させることに成功した。経済効果を生産性という尺度でみた場合，わが国では，1979年以来の10年間に労働賃金は56%上昇したが，工業製品の価格はほとんど横ばいか，中にはテレビや冷蔵庫のように値下がりしているのもある。これらは生産性の向上によって人件費の上昇によるコストアップを吸収することができたからである。特にコンピュータは，生産管理，販売管理などのシステムの中核的道具として人間の機械的作業をコンピュータが代替することによる効果である。

これに対してAIは人間の知的作業の生産性改善のためのツールとして登場した。人間の思考活動を支援し，その結果として判断の誤りを減少させるというものである。つまり考える機械の実現である。現在のAIは，その利用が始まった段階で企業活動や社会に対して，目に見えるほどのインパクトを与えるというところまでは至っていない。しかしながら，予想される可能性が次々に実現することによって幅広い分野に質的・量的な構造変革をもたらすことになることが考えられる。

ロボットが出現した頃，これは単に在来型の自動機械の延長として受け止める人が多かった。ところが現在，世界中のロボット台数の70%が日本で稼動しているというデータがある。そして，このロボットは日本の製造現場の姿をすっかり変えた。いま海外の工業と比べて，生産性の高さ，高品質，労働災害の減少において判然とした差がある理由の1つがロボットの普及とされるようになった。

この理由には，労使関係，品質管理をはじめとする管理技術の普及があったことも指摘しておかなくてはならない。

AIについても同様であって，AI技術の普及のための受け皿が日本において，どのように整備されているかについての考察も必要である。

2．製造業の知的生産性

わが国の製造業は，研究，設計，生産，販売，事務処理などの分野においてコンピュータの積極的な利用を図り，生産性の向上を果たしてきた。この経験から，AIの導入について，実用効果が期待できるとの意識で，鉄鋼メーカーでは，工場の現場においてAI利用の可能性を研究しており，また，高層ビル建築企業では，設計，研究開発，工程計画，保守，資材管理などの分野から技術者が集まって，エキスパートシステムの導入について検討を行っている。多品種少量生産からさらに完全な受注生産を可能にするためのFMS（フレキシブルマニファクチャリングシステム）の導

人にはAIが不可欠なものとなってきた。もともと今日の製造業の原点は，繰り返し生産である。まったく一品料理のように見えるものでも，既設の設備，使いなれた材料を組み合わせて設計生産されている。まるで新規に見えるものでも，それだけのために加工機械や材料まですべてを新しく開発することはほとんどない。ただ要求仕様に基づいて，新たに設計をし材料手配をするものだから，繰り返しがないように見えるだけである。しかしこの場合，担当の技術者がすべて熟知して行うことは個人の能力の限界を越す。そこで医師が多様な患者に対し既存の医薬品や治療手段を適切に組み合わせて病気を診断，治療してしかも治療している場合と同様に，製造業の場合にも多様化する需要家の要求を満足する製品を適切に用意された知識ベースと推論機能によって，作り出すことになるはずである。それが可能なためには，製造現場で使われる材料や製造設備が，AIシステムから出される解答と一致して稼動することが必要である。つまり管理状態(controled state) にあることが前提条件であって，これは品質管理が成功しているかどうかの問題である。それがうまくいっていなければ，AIの出す解答を現場に持ち込んでも成功しない。幸い日本の品質管理は世界のトップレベルにあり，製造現場におけるAIの導入についても，多くの効果をもたらすであろうことは確かである。

今後の日本固有の課題は，急速な高齢化に対する手だてを，どのように求めるかである。熟練労働者の不足，過酷な作業環境からの若者離れ，女子就業人口の急増といった条件のもとで，高い生産性を維持することが，その解決のための唯一の道である。工場の自動化はこれからも積極的に進められるし，特に知的作業の生産向上のためにAIが急速に普及すると予想できるのである。幸い半導体技術の進歩がコンピュータのコストを大幅に下げることに成功しつつあることは，この予想を確実にするものといえよう。

3．教育へのAI利用

教育におけるコンピュータの利用は，教育管理，教育研究とあわせてコンピュータ利用教育(CAI)に関心が集まっている。CAIについてはすでに，米国では一部実用化のレベルにあるが，わが国では，現場教師に受け入れ可能な適切なコースウェアが不足していること，教育現場における導入意欲の欠如，ハードウェア購入予算不足などの要因から実用化が進んでいない状況にある。

わが国における教育には，マスプロ教育，受験重視教育などさまざまな問題を抱えており，この解決には，社会，家庭との関連を考慮する必要がある。

AIは，新しい情報技術の１つではあるが，問題解決方法が，人間の知的活動に類似した方法によるものである。この点から，教育分野へのAI利用によって新しい対応が創出されうるものと考えられる。その１つには個人の才能の開拓がある。

特に生徒の能力を分析し，その進度に応じて教育を進めるというやり方が実現するなら，次の世代の人材を最も効率的に育成できるという意味で，日本の社会の活力をさらに前進させるために，大きな期待がもたれることになろう。

4．行政事務のAI利用

社会のインフラストラクチャとしての行政事務の効率化は，どこの国でも永年いわれ続けている。小さな政府ということで，仕事の内容を問わず枠組みで押さえつける試みもある。だがしかし，社会はどんどん変化していくが，特に日本の場合，その変化も対応の速さも世界でも珍しいほどのスピードである。

そこで行政事務のシステムをよりソフトな

システムに転換するために，AIの導入は多くの可能性を持っている。役所は，法の番人としての性格から，公平の原則を守ることのための画一化された規則で例外をできるだけ認めないといったルールに基づいて仕事を行ってきた。特に，国民を対象とした税務，年金，社会保険，登録事務などでは，大量データの審査および処理には，法令，規則に基づいて的確な判断を有する多くの人材が投入されるとともに，コンピュータの利用が行われている。これらの大量の事務処理を要する行政事務にAI技術を導入することによるインパクトが大きい。

AI先進国のアメリカでは，すでに行政内でのAIの利用についての報告が散見されるようになった。例えば，税務の査察対象を税務申告書の中から選び出す税務支援エキスパートシステム，各種年金支給相談システム，土地や家屋登記事務支援システムなどである。

日本においても，幾つかの行政機関において検討が始まっている。建築確認審査，高圧ガス施設保安検査支援システムなどの自治体レベルの業務に一部導入が試みられている。これらの行政事務では，それぞれの分野の専門的な知識が高度化・複雑化する中で専門分野の役人がAI技術を駆使して，速やかに効率的に処理するように期待される。

このほか，空港管制システム，上下水道監視システム，環境監視システムなど，国や自治体が実施している現業部門におけるAI技術の導入も進み，よりいっそうの安全性の確保や異常な状況への的確な対処が可能性となろう。このように現在のところ，行政の中での許認可業務や現業部門におけるAIの利用は，直接的なメリットが明らかである。また，計画業務については，当面は計画立案資料作成やデータベース検索にAI利用が進むであろう。

5．発展途上国への支援

わが国が，世界第2位の経済大国の地位を占めるようになって以来，発展途上国に対する積極的な支援が求められている。

AI技術の活用による援助という観点から，援助対象国においても最も効果が認められる分野として，その国の情報化に寄与することが考えられる。ここで使う情報化は，わが国の場合のようにコンピュータの利用や通信手段が発達した状況での情報化とはまったく異なったもので，相手国の教育レベルの向上，母国語ワードプロセッサによる文書作成技術の向上に寄与する情報化を念頭におく必要がある。

発展途上国においては，経済，社会の発展が求められているが，その基本には国民全体の教育レベルを向上させることが重要である。教師を支援するAI技術を応用した教育システムを導入し生徒の理解を高めようとするものである。同時に生徒たちが付随的にコンピュータ利用技術を習得することによって，情報化への道程が確保されることも期待される。

社会の情報化は，母国語ワードプロセッサの開発と普及を図り，文書作成技術を定着させることにより進展していくことが考えられる。

今後の発展途上国支援は，先進国型の経験や技術を輸出する従来型の方法から，現地に根付く方法を導入する必要がある。人間的な問題解決を図る，AI技術を駆使した技術援助に期待されるところである。

6．個人と文化

現在ワードプロセッサは，すでに300万台普及し，一部には簡単な学習機能を持っているものも登場している。そこから新しくワープロ文化ともいえる新しい文章スタイルが生ま

れつつある。まず漢字を使用した文章が多くなってきた。記憶がおぼろげな漢字でも出力してくれるからである。そして再び漢字の微妙な表現力に気付き，これをもとに文体を作る作家が登場している。

さらにパソコン通信の普及は，日常の話題について誰とでも容易に対話する，あるいは，ふるさと案内情報サービスなど身近な情報交換などから，新しいコミュニティが生まれつつある。フランスではビデオテックスを利用したミニテルの普及が，新しいライフスタイルを生みつつあるという話題と共通するものである。

ワープロがさらにAI技術を導入し，高級な機能を備えるようになるのは，時間の問題である。

ここでかねてからいわれていたように通信技術が地理的距離をゼロにし，誰とでも身構えることなく裸の個人としての付き合いを実現することになるだろう。さらに光ファイバーの普及は，動画の伝達も容易にする。すでにBTRONによる教育用端末機では，静止画の中にテレビ画像をはめ込むことが可能になっている。

それにAIが新しいメディアとかかわりあうことにより，個人生活や社会活動の分野に新しい文化が創出されることが予想できる。

例えば，機械翻訳システムは，外国人とのコミュニケーションを容易にし国際化を促進し，相互の文化交流に寄与するインパクトは大きい。

今日においても，衛星通信とビデオの普及は，日本を含む東南アジア圏を一体化しつつある。日本のファッションはその日のうちに伝えられ，1つの国で生まれた歌が，他の国でも歌われる。これにAIが加わったとき，今度は知識が共有され，思考方法までが共通性を持つことになるはずである。

このようにAIの持つインパクトは，世界的な広がりを持ってくることは容易に予想されるところである。

かつて日本は，世界の文物を最も巧みに自己のものとして取り入れ，それに日本的な味付けをすることによって大きな成功を納めた。これが可能になったのは，旺盛な知識欲と好奇心，さらには発想の柔軟性にあったが，このAIという新しい技術的可能性を取り入れることについても，実用的で日本的でユニークな使い方を考え，新たな国際競争力に対応する産業経済の発展と新しい日本文化の創造に向かうことであろう。

第3部　AI産業の現状

1．はじめに

1982年春から10年計画で始まった第五世代コンピュータ開発プロジェクトはすでに7年が経過し，89年度からいよいよ総仕上げの後期計画に入っている。プロジェクトの完了時には，1台1台が推論機能を持つ強力な要素プロセッサを約1,000台つないだ並列推論コンピュータシステムが，おそらくこの時点では世界で初めて完成，人間の論理的思考をベースに置いて稼動する知識情報処理コンピュータの先駆けになるとみられる。

日本の第五世代プロジェクト発表を契機に，米欧諸国は，同様あるいはAI関連のナショナルプロジェクトや民間自主プロジェクトを発進させるなど，世界のAI研究は大学，政府の研究所，コンピュータメーカー，大手ユーザ企業で活発に行われるようになった。こうした研究活動の中から1990年代の前半には，知識ベース，知識ベース管理システム，新アーキテクチャの並列処理コンピュータを連動したプロトタイプあるいは実験システムが，幾つも登場することが予想される。もちろん，並列推論マシンも現われよう。

第五世代プロジェクトの発進後，現在までに起こった新展開としては，あいまい処理を採り入れた「ファジィ」技術の基礎研究と実用化への動きと，ここ2年来盛んになってきた自己学習機能を持つ「ニューロコンピュータ」の基礎研究と実用化，特に既存コンピュータ技術との融合や応用開発の動きがあげられ，1990年代のコンピュータ利用は，より柔軟なわかりやすく使いやすいシステムへという様相に移っていきつつある。

日本の第五世代コンピュータ開発プロジェクトは，世界的な国家プロジェクトレースを刺戟し，さらに民間のAI研究熱を誘発した。

その結果，純粋研究学派からみればまだ未熟な技術であっても，それが人間の知的な営みを支援したり，既存コンピュータシステムと融合して生産性を向上したり，新たな可能性を生みだすものであれば，企業はそれを採用したシステムを構築して企業活動に実用化し，マーケット創造を意図するときは，それを製品化するという行動を取ってきた。

わが国でも1985年頃からこのような現象が起き，その後年々着実なAIシステムの研究－導入－試用－実用化が進行し出した。88年には，電子化辞書や知識ベースまわりの研究の進歩が刺激し，意味解析にまで踏み込んだ機械翻訳システムの商業化の一部として，企業における書簡，メモなどの小規模な文書作成推敲システムなどが登場してきた。米国や欧州と同様に，エキスパートシステムの開発が各方面に広がり，それを容易に構築するツールとしてのシェルやAI向き言語がかなり普及してきた。このような動きは，AIツールの開発販売，AIシステム開発支援サービスなどのAIビジネスを産出し，AI産業化の萌芽となっている。

2．米国の現状

AIビジネスの先進国である米国の現状は，概ね次のとおりである。AI言語のLISPを直接実行する回路を持つ専用マシンであるLISPマシンを開発，製造，販売するベンチャービジネスが1980年代初頭に数社登場した。しかし，その後パーソナルコンピュータとワ

ークステーションの技術革新と経済性達成により，ユーザの多くはC言語などの馴れた在来言語を使用してエキスパートシステムを構築するケースが多く，AI専用マシンの市場は予期どおりの拡大を示さなかった。このため現在，残っているAI専用マシンのメーカーはシンボリックス社と半導体メーカーから進出したテキサス・インスツルメンツの2社程度となった。

一方，本格的なAI用マシンとして並列処理マシンが登場した。現在の商業化並列処理マシンは，ほとんどが科学技術計算の超高速処理の要求を満たすところから登場したのであるが，現在，20社前後のメーカーが並列処理マシンを生産，販売している。これらの中にはDARPAのSCP (Strategic Computing Programme：戦略的コンピュータ計画) プロジェクトの一環として補助金を得て試作機を完成したのち，商業化マシンとして売り出されたマシンがある。それらは Thinking Machines社のコネクションマシン，BBN社のバターフライマシン，テキサスインスツルメンツ社のコンパクトLISPマシン（商品名EXPLORER) である。これらのマシンは現実に販売実績を上げてきている。20種前後の商業化マシンはそれぞれアーキテクチャが異なるが，中には信号処理，画像認識，音声認識，ニューラルネットワーク，自然言語処理など，AI分野の処理をも意図したマシンもある。

このような動きの中でAIビジネスに投資をしている企業が増加してきている。現在，フォーチュン誌売上番付表にランクされるトップ500社の全部に加えて，501位から1,000位までの企業の50%以上が，なんらかのAIシステム構築（社内開発，ベンチャービジネスへの投資を含む）に投資している。

AI産業化が確立しつつある領域は現在のところエキスパートシステム分野で，社内専用を含めるとエキスパートシステム開発プロジェクト数は1万から2万の間と推定される。米国の専門調査会社ハーモンアソシエーツ社によれば，商業化ツールは1988年3月現在，100システム以上あり，商業化され外販されているエキスパートシステムは約140と推定された。また，アーティフィシャルインテリジェンス社は，データベースと連動し，経営者や管理者の自然言語による問い合わせに対話的に応答し，要求の情報を出力する知的なマンマシンインタフェースINTELLECTを販売，これはIBMメインフレーム，DECのスーパーミニコンピュータ上で稼動するが，同社はこれにより1985年以後，黒字経営に転じたといわれている。

機械翻訳システムは，ソ連のスプートニク打上げ後，軍の要請により開発が盛んに試みられたが，1964年に連邦政府のレポートが機械翻訳システム開発の現状は失敗と結論して以来，研究は下火になった。その後80年代に入って電子化辞書や知識ベースまわりの基礎研究に進んだ研究があるものの，ビジネス化の点では機械翻訳システムのベンダーは，Smart社(キャタピラ言語という非常に単純化された英語を翻訳)，Logos社（独→英翻訳システム)，Weidner社(日本のブラビス・インターナショナル社に買収された)，Alps社(会話型辞書検索システム)，Systran社（ジョージタウン大学の機械翻訳システムをもとにした商用化された最も長い歴史を持つシステムで，大規模なシステムとして使われている例が多い）の4社程度である。

ニューラルネットワークシステムについては，自己学習機能を持つニューラルネットワークシステムのビジネス化を目的に発足した最初のベンチャービジネスはノーベル物理学賞の受賞者レオンクーパーが共同創設者となって1975年に発足したNester, Inc.である。特別なプログラムなしに，人間の発声や物体が何であるかのデータを学習し認識するようになること，超高速並列処理能力に着目し，将来は既存エキスパートシステムの改良や知的

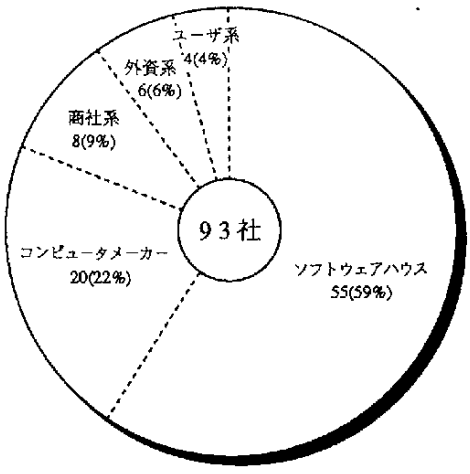
マンマシンインタフェース，知的コンピュータ支援教育，知的リアルタイムシステム，知能ロボットなど，多様な統合的応用機器が期待されている。

そこで自動車メーカー，石油探索会社，化学メーカー，金融機関などがニューラルネットの実用化開発に着手し，フォーチュン誌(1989年2月27日号)によれば過去3年間に数百社に及ぶ小規模なニューラルネットを開発する企業が名のりをあげた。

3．日本の現状

現在，わが国でAI用ハードウェアおよびソフトウェアに参入している企業は，図表Ⅰ-3-1に示すように93社となっている。この内訳は，ソフトウェアハウス系が55社と全体の59%を占めており，AIビジネスの主体は，ソフトウェアの開発・販売ということができる。ハードウェア系は，コンピュータのメインフレームとワークステーションを製造販売するもので，20社となっている。現在のところ，ワークステーションをベースとする企業の進出が著しい。特に，米国企業によるインパクトが強いが，米国企業の日本進出やわが国商社のAIビジネスへの参入があり，外資系企業が6社，商社系企業が8社となっている。その他としては，ユーザ系が4社となっているが，これらの企業は，既存商品の知的化，あるいは，新商品として機械翻訳システム，知的教育システム(CAI)の開発などを行っている。

図表Ⅰ-3-1　わが国のAIビジネス参入状況



ICOT-JIPDEC AIセンター調査
(1986年12月現在)

＊AI専用マシン…現在のところ，日本電信電話㈱が開発したマルチパラダイム言語TAOを処理するマシンELISを販売するエヌティティインテリジェントテクノロジ㈱，第五世代プロジェクトの成果の逐次型推論マシンPSIを商品化した三菱電機㈱の国産機のほかにSymbolics社のSymbolics，テキサスインスツルメンツ社のExplorerが輸入販売されている。

＊並列処理マシン…日本でも70以上の並列処理マシンの開発プロジェクトが民間企業，大学，政府研究機関で進められているが，商業化システムとして販売されたマシンはまだない。しかし，富士通㈱，㈱日立製作所，日本電気㈱，㈱東芝などのメーカーは電子回路の設計シミュレーションやコンピュータグラフィックスなどに自社開発の並列処理マシンを実用しており，商業化マシンの発売は近いと推測される。

70のプロジェクトのアーキテクチャは多様で，データフローマシンや並列推論マシン，光並列処理マシンなども含まれている。

＊エキスパートシステム…1983年頃からのエキスパートシステム開発用ツールの輸入販売からビジネスが始まり，次いで日本企業が国産のツールを発売するようになった。不特定多数のユーザを対象に開発されたエキスパートシステム漢方薬処方助言システム「張仲景」が登場したのは1985年秋であった。その後，ユーザの社内使用に開発・試用されたあと外販に応じるシステムも現われ，現在，販売されている日本製エキスパートシステムは10システム以上に達している。

エーアイソフト㈱製のパーソナルコンピュータ上で稼動するツール「創玄」および「大創玄」の販売数がそれぞれ3，000コピー，400コピー（1989年6月現在）に達しているといわれる。これから，わが国においてはエキスパートシステム開発プロジェクト数はユーザの社内専用を含めると，相当の数にのぼるものと推定される。

＊機械翻訳システム…わが国で機械翻訳システムのビジネスの先端を切ったのは，ベンチャービジネスのブラビスインターナショナル㈱で1985年5月にパーソナルコンピュータおよびスーパーミニコンピュータで稼動するシステムを発売した。これに続いて富士通，日本電気，日立，東芝が参入，現在，沖電気工業㈱，シャープ㈱，CSK㈱，リコー㈱，松下電器産業㈱，日本システラン㈱などを入れて10社以上に達している。機械翻訳システムの取り扱う言語は英→日，日→英が大部分である。

＊ニューラルネットワークシステム…日本のコンピュータメーカーがニューラルネットワークシステムの組織的基礎研究に着手したのは1984年からであるが，1988年1月の富士通による「10万個のニューロンを200万本の結線軸索で結ぶニューラルネットワークのシミュレータをワークステーション上のソフトウェアとして開発することに成功し，世界に先駆けてニューロコンピュータの実用化のメドをつけた」との発表を契機に，ニューラルネットワークシステムの実用化開発競争が始まり，富士通，日本電気，日立，三菱電機が相次いで実験システムの開発に成功した。その後，パーソナルコンピュータの上で稼動するニューラルエンジンボードとニューラルネットソフトウェアの商品を発表した。

1989年6月には富士通がニューラルエンジンボードとシミュレーションソフトウェアを搭載するパーソナルニューロコンピュータを販売した。

日本電気は1988年に，プリンターの文字を99.8%以上の精度で認識するニューラルネットワークの開発に成功，1988年11月には日本電気がニューロエンジンボードとニューラルネットワークソフトウェアを搭載したパーソナルコンピュータを発売し，現在まで200システムを販売した。

さらに同社は1989年に入り，ニューラルネット学習による自動和音生成システム（童謡，クラシック，ジャズ，演歌など，ジャンルの違う音楽に最も合った伴奏音の生成）を開発したと発表，証券会社と共同でポートフォリオ最適資産運用支援システムも開発中である。

日立はまだ商業化品を発売していないが，「ニューロポートフォリオ」（証券会社と共同）やひっくり返されたヒトデが本能的に自然の姿勢に戻る「運動系列自己学習モデル」の開発に成功したと発表，また完全ディジタル型ニューロチップの開発（筑波大学平井有三教授と共同開発）の成功を発表している。

三菱電機は1988年に，ニューラルネットワークを応用して英語のA，J，Eの3文字を認識することができる連想光コンピュータの基礎モデルを発表した。同年11月には，世界で初めて光ニューロチップ化に成功したと発表した。

以上のようにコンピュータメーカーはニューロコンピュータの実用化に動きだしたが，その応用分野としては，音声，文字，図形，ラベルやキズなどの視覚検査などのパターン認識，プラントやロボットなどの機械制御，格づけ，信用調査，保険加入調査，故障診断などの知識処理，画像圧縮／復元，ノイズ除去，アニメーションなどの信号処理などがある。

第4部　AI利用の現状と展望

1．AI利用の現状

1982年春から10年計画で始まった第五世代コンピュータ開発プロジェクトはすでに7年が経過し，89年度からいよいよ総仕上げの3年間に入っている。プロジェクトの完了時には，1台1台が推論機能を持つ強力な要素プロセッサを約1,000台つないだ並列推論コンピュータシステムが，おそらくこの時点では世界で初めて完成，人間の論理的思考をベースにおいて稼動する知識情報処理コンピュータの先駆けになるとみられる。

日本の第五世代プロジェクト発表を契機に米欧諸国は同様あるいはAI関連のナショナルプロジェクトや民間自主プロジェクトを発進させるなど世界のAI研究は大学，国や民間の研究所，コンピュータメーカー，大手ユーザ企業で活発に行われるようになった。こうした研究活動の中から1990年代の前半には，知識ベース，知識ベース管理システム，新アーキテクチャの並列処理コンピュータを連動したプロトタイプあるいは実験システムが，幾つも登場することが予想される。もちろん，並列推論マシンも現れよう。

第五世代プロジェクトの発進後，現在までに起こった新展開としては，あいまい処理を取り入れた「ファジイ」技術の基礎研究と実用化への動きと，ここ2年来盛んになってきた自己学習機能を持つ「ニューロコンピュータ」の基礎研究と実用化，特に既存コンピュータ技術との融合や応用開発の動きがあげられ，1990年代のコンピュータ利用は，より柔軟な分かりやすいシステムへという様相に移って行きつつある。

このようなAI技術の研究開発とともにAIビジネスが台頭する中で，わが国の産業界におけるAIの利用は，エキスパートシステムを主体にして実用システムの導入開発が進んできている。

わが国におけるAI利用の実情を伝えるものとして，ICOT-JIPDEC AIセンターが，1986年度から実施している「人工知能利用動向調査」がある。この調査の詳細は，第II編に報告されている。以下にその概要を紹介する。

1.1 AI導入事業体におけるアンケート調査

AIを導入している事業体は，調査対象1,480社のうち305社である。これは，全体の30%を占めることになる。調査対象がコンピュータ利用部門ということから，比較的高い割合の導入率となって現れている。従業者規模別には，1,000～4,999人クラスが全体の30.6%を占めており，次いで，10,000人以上が19.1%となっている。現在のところ，規模の大きい事業体においてAIの導入が進んでいる。AI導入を主導している部門は，研究開発部門（43.9%）と情報システム部門（33.0%）が多く，次いで管理企画部門（9.6%）となっている。これは，現在のところAIの利用は，研究開発的な要素があることと，AI技術能力やソフトウェア開発能力が情報システム部門に確保されていることなどが要因となっているものと考えられる。これを産業別にみると，加工組立産業，公共サービス産業，教育・公務関連部門，情報処理産業においては研究開発部門の回答が多い。これに対して非技術系の商業金融関連と，基礎資材産業，生活関連産業では，情報産業部門の回答が多い。

AIシステムで最も多く導入されているのは，AI向き言語ツールで，回答者の98.4%が導入し，エキスパートシステムはそれに次ぎ75.1%が導入している。機械翻訳システムは，ビジネス化がやや先行していることもあって導入利用が増加している。

したがって，AI利用は技術的に実用化が進んでいるエキスパートシステムから始まっている姿が明瞭に出ている。1社当たりシステム導入数は，AI向き言語ツールが2.09システム，エキスパートシステムが1.97システムである。エキスパートシステムは1986年度調査の0.6，1987年度調査の1.0システムという数字からみて，事業体は着実にその構築とともに適用範囲を広げつつあると推定できる。

これに対して，AI導入の先進的企業10社（エキスパートシステムのベンダー1社を含む）に対する深層調査では，1社当たり平均保有数は8.37システムとなっている。

AIシステム開発のための累積投資額は，1,000万～3,000万円級が最も多く30%を占めており，投資のほとんどはエキスパートシステムに集中している。しかし，500万円以下級が19%あり，プロトタイプシステムやデモシステムの開発など小規模な投資の割合も高い。

機械翻訳システムは累積投資額500万円未満が最も多く45%の割合である。

現在，AI導入事業体におけるAIシステム開発要員は，ソフトウェア開発要員のうちの5.6%を占めているが，5年後には13.9%に増大することが見込まれている。また，知識エンジニア(KE)については，専任者が1.7%で，システムエンジニア(SE)との兼任者が4.3%となっている。これが5年後には，KE専任者が4.3%，兼任者が10.7%とソフトウェア開発要員に占める割合が大きく増加する傾向となっている。

前年度調査と比較すると，AIシステム開発要員とKEの比率はさして変化がないが，KEとSEの兼任者の比率は前年度調査の2倍となっている。また5年後の予想はKEの専任・兼任者とも前年度調査と大きく変化はしていない。

今後のAIシステム導入の展望について，エキスパートシステムは回答者の約30%が3年以内に本格使用開始と答えている。しかし，自動プログラミングシステム，画像理解システムは本格使用の時期が5年以内にあり，1987年度調査と同じパターンが示された。音声理解システムについては，本格使用の時期は5年以内と10年以内の2つに分かれている。知能ロボットについての見通しが不明とする回答が多い。

1.2 先進企業に対する訪問調査

エキスパートシステムについて10社に対する訪問調査の結果次のことが指摘される。

① 数年前の導入動機はとりあえず学習してみるとか，企業イメージの向上など，漠然としたケースが多かったが，今は導入目的がはっきりしているケースが多い。

② エキスパートシステムは「専門家を代行するシステム」，つまり量的効果を期待するものと，「専門家を支援するシステム」，つまり質的効果を期待するものに大別される。これまでは故障診断システムなど専門家代行システムが多かったが，専門家支援としての計画問題や設計システム，あるいは意思決定支援，プランニングのためのシステムなどが登場してきた。

③ 応用範囲に二極化現象が現れてきた。すなわち，ボトルネックとなっている問題の解決を期待する方向と，一般的な業務に対して広く活用しようとする方向の2つである。前者は今までのコンピュータ技術では実現が難しい分野への応用，例えば鉄鋼のプラント管理，製造業における設計業務，生産ラインでのプランニングなどがあり，その場合ボトルネックとなる問題は大規模システムになる傾向が強く，システム開発方法論の確立や既

存システムとの結合などの問題解決が望まれている。後者はパソコンを前提とした報告書作成や小規模な知的検索システムだが，今後これは1つの潮流となると思われる。これらは1つ1つは目立たないが，多くの部門で共用でき全体的効果を生み出すと考えられる。

④ 導入経緯を見ると，トップのゴーサイン依存のケースが多かった状況から，システム開発部門からのアプローチとユーザ部署のニーズがかみ合ったユーザ主導型のケースが増えてきた。

⑤ 製造業におけるエキスパートシステム導入は，主として生産部門のニーズから自然発生的に行われ，導入部署，情報システム部門の双方がシステムの細部に精通している場合が多く，シェルの利用などでコンピュータメーカーの知識は借りるものの必要最小限度にとどまり，後は自力開発している。開発を着想した時期は，1980年代初めに米国でAI研究のルネッサンスが訪れたときから間もない時期にさかのぼる。製造業のエキスパートシステムはこのような経緯から適用知識が専門的に細分化してきている。非製造業の場合は取り組み始めた時期が製造業より遅くコンピュータメーカーの知識を大いに利用しようという姿勢がうかがえる。

⑥ エンジニアリング系の企業の場合，日本の企業の特色にあげられるローテーションの結果としてシステム開発部門の社員が現場の知識を持っており，一方，現場の専門家もプログラミングに関与しうる能力を持っていることから，知識獲得などを含めてシステム開発がスムーズに進んでいる。

⑦ エキスパートシステム導入の評価については，コストの削減，利益の上昇，知識の継承があげられている。

2．AI未導入事業体の意識

AI未導入と回答したコンピュータユーザ1,175社は，AIに対してどういう意識を持っているかについて，30.5%が，「AIシステムの導入の必要性について，社内会議で話題になったことがある」と答えた。産業別には石油・石炭製品，ソフトウェア，輸送機械，一般機械，一次金属，教育，建設，窯業・土石製品，情報処理，その他サービス，化学，電気機械が高い回答を示している。

導入希望AIシステムは84.3%がエキスパートシステムをあげている。自動プログラミングシステムの導入希望も高く39.9%に達し，機械翻訳システムは15.7%である。画像理解システムは14.9%，音声理解システムは12.9%，自然言語理解システムは7.0%，知能ロボットは11.0%，その他のAIシステムは8.4%であった。

このように未導入企業もそれが汎用コンピュータのユーザである場合は，AIに対する意識は高く，潜在需要はあるということがいえる。

3．AI利用の展望

今後のわが国におけるAI利用は，前述のAIシステム本格使用開始時期の見通しに報告されているように，3～5年のスパンでみた場合，エキスパートシステムの本格使用が先行する。次いでやや商業化が先行している機械翻訳システムの本格使用（5年以内）が到来すると予想される。同時にユーザニーズの強い自動プログラミングシステムや知的マンマシンインタフェースの分野にも現在より進んだシステムが現れると思われる。この背景には，1988年以来，相次いで発表されているMIPS値を従来より1桁上げたパソコンボックスに入る低価格マシン（例：インテル386，486，モトローラ68030，88000，サンマイクロシステムズのSPARCチップなどを搭載した各種のパソコンやエンジニアリングワークステーション，その他メーカーのRISCチップを

搭載したマシン）は，エキスパートシステムの全産業にわたる応用の拡大を刺激する1つの要因となろう。もちろん，メインフレーム上で稼動するシステムも増加するであろう。応用面も診断から設計，計画，意思決定支援などに広がってきていることが今回の調査からも示されている。

ちなみに最近のデータメーション誌(1989年1月15日号"Hot Technologies for 1989")の予測記事によれば，米国においては金融，保険，運輸，公益事業，食品・飲料水，ヘルス・ケア，小売，エレクトロニクス，化学，石油の各産業が今日と明日に投資行動をとるとしている技術は，ローカルエリアネットワーク，ワークステーション，画像処理システム，OLTP(On-Line Transaction Processing)，CASE(Computer Assisted Software Engineering)，CAE(Computer Aided Engineering)，CIM(Computer Integrated Manufacturing)，衛星通信ネットワーク，AI(主としてエキスパートシステム)で，AIをあげている産業は，保険，運輸，公益事業，ヘルス・ケア，エレクトロニクス，化学，石油である。

6～10年以内のスパンでみたAI市場は，多くのインパクトのもとに一層の発展が予見される。

1992年春には，第五世代コンピュータの最終プロトタイプの並列推論マシンが完成する予定である。

米国のDARPAによるSCPプロジェクトや，ECのESPRITもそれからまもなく完了する。そこから新アーキテクチャの推論コンピュータが登場することになろう。

1992年にEC統合を迎え加盟国12カ国，3億人以上の単一市場を生み出し，産業は文化，言語，習慣の違いを乗り越えて欧州単位の経営を行うことになり，情報技術はそれを支えるインフラストラクチャになる。日米企業も欧米市場を重視し，ますます国際化が進むことが予想される。これとともにAIや開放型情報システムは重要なツールになろう。

上記プロジェクトの研究開発成果の民間への技術移転として，商業化論理型コンピュータは，その後数年後に発売され，それらは1990年代と比べて人間にとってより知的な支援ツールとして用いられるようになり，例えばビジネス分野においても単なるデータベースの利用ではなく知識ベースをかませた創造的な企画や，教育においては知的CAIとして使われるような市場が創造されるであろう。例えば教育，病院などへの応用に限定した文脈解析をも取り込んだ状況理解システムも可能になろう。こうしたAI利用は，社会産業にとって従来よりは，一層レベルが向上した知識情報処理の方向に進展していくことが予想される。

また，現在，進行中のファジィコンピュータやニューロネットワークの研究の補完的応用もある場面では用いられるようになると思われる。

第5部　AI技術の現状と展望

1．はじめに

AI技術の研究開発は，1950年代にコンピュータの出現と同時に始まった。初期のゲームを解く問題を例にした一般問題解決メカニズム追及の時代，知識ベースシステムの時代を経て，実用化の時代へと移行してきた。その結果，AIブームが到来し，多くのエキスパートシステムが開発された。現在，過度のAIブームは鎮静化しているが，逆にAI技術は着実に各応用分野へと浸透している。これは，言い換えれば，現在のAI技術でできることとできないことが明確になってきて，それなりに有用な場面への応用が進んだということであろう。

AI技術と一言でいっても，多種多様であるが，われわれはそれらをAI基本技術とAI応用技術の2種類に分けてとらえている。AI基本技術は，AIシステムの原理である問題解決・推論，知識表現および知識獲得・学習の3テーマに細分される。

AI基本技術の分野で，探索手法，演繹的推論等は技術的に確立されているが，常識に基づく推論のための形式化として知られている非単調推論や，学習の基礎となる仮説生成，機帰納推論などはこれからの発展が期待されるテーマである。

問題解決推論の1つとして，制約充足による形式化が進められてきているが，現在，論理プログラミングとの組合せによって，いっそう注目を浴びている。これらの研究は，プログラミング言語の高水準化にもつながるものとして期待されている。

2．知識獲得問題

AI応用技術の中心課題はエキスパートシステムである。

現在のエキスパートシステムが抱えている最も大きな技術的問題点は，知識獲得の困難性である。この問題は，知識獲得ボトルネックをと呼ばれている。このボトルネックを解消するための方策として，2つの方向からのアプローチがなされている。その1つは，インタビューによって専門家から知識を引き出す過程をサポートするもので，質問応答を繰り返す過程で知識を獲得することを目指している。診断，設計，計画，制御などの各タイプのエキスパートシステムごとに，それぞれに適した知識獲得支援システムの開発が進められてきている。知識獲得支援の目的は，短期間に質の高い初期知識ベースを構築すること，および増大する知識ベースを保守管理することである。また，それは一種のプログラム開発支援システムということもできる。その見方からすれば，知識獲得支援は，プログラムの仕様獲得支援に相当し，あるいは，仕様からのプログラムの合成にもなっている。知識獲得支援は，究極的には，専門家が知識を整理するための支援を目指している。

もう1つのアプローチは，知識獲得の自動化である。分類問題に関する知識獲得の自動化は，パターン認識問題などの例にみられるように，主として，統計的手法によっている。最近，診断問題に関して，深い知識に基づく知識獲得の自動化の研究が，各所でなされている。深い知識として，装置の構造や，各部品の役割，属性などの情報からなる対象モデ

ル，物理学の知識，可制御性や可観測性などの診断特有の知識などを用意し，それらの知識から，事象間の因果関係をたどって症状に対する可能性のある原因を列挙し，そこから診断ルールを抽出する方法である。大阪大学の山口等のグループは，この考えに基づく知識の自動獲得システムを開発している。この研究の延長上に，定性推論を用いてシステムの挙動を推測し，動的な現象を考慮した診断ルールを抽出する研究が行われている。

知識獲得の困難性と並ぶ，あるいはより本質的な問題点は，現在のエキスパートシステムは，一言でいえば，専門家が知識を与えるときに想定した状況にしか対処できない，ということである。これは言い換えれば現在の技術レベルでは，質的によく整理された比較的単純な問題しかエキスパートシステムとして実現できないことを物語っている。この制限を取り払う技術の1つは，前に述べた知識獲得の支援・自動化機能である。それらの機能は，少なくとも専門家が知識を与えるときの思考の欠落を未然に防ぐことが可能になるであろう。しかしながら，実際にあらゆる事態を想定して知識を与えることは不可能である。それは，起こり得る事態が完全には予測できないからである。このため，実際に不測の事態に遭遇したときの問題解決能力が必要となる。これはAI研究の中心的課題である。より具体的には，常識的判断，経験からの学習，物事の原理的な理解，状況の理解などの機能が必要とされる。IRL(Insitute for Research on Learning)の副所長のJohn Seely Brown博士は，このようなより高度な能力はJPF (Just Plain Folks)と呼ばれる世間一般の人々の行動を観察することによってその本質を解明することができる，と主張している。科学者やエンジニアの問題解決時の思考行動と大変よく似ている，というわけである。思考活動の観察方法が明らかでないが，JPFが不測の事態に出くわしたときにとる行動は，観察が可能である。そのような間接的な方法によって，高度な能力の本質を探れることになる。これが，これからのIRLの研究の指針となる哲学である。IRLの今後の研究の進展に注目するとともに，このアプローチ自身大いに参考にすべきものである。

彼らの狙いの1つは，状況へのアクセス問題を解決することである。彼らの理論によれば，状況へのアクセスは，問題解決過程の重要な部分を占めている。そして，そこに状況の認識および理解の問題が現れてくる。また，状況の認識とともに，行動の問題が発生する。それは，1つには認識を行うために，体を動かしたり目を動かしたりなどの行動が必要になるからであり，また状況を積極的に変化させたいからである。これら認識および行動の問題は，記号レベルの処理よりもむしろ信号レベルの処理にかかわっており，その意味でコネクショニズムによるアプローチがより適しているであろう。さらに，問題解決過程の全体を考えれば，信号レベルの認識・行動と信号レベルの知識表現・推論の統合が必要である。

3．ロジックプログラミング

AI技術を支えているのは，コンピュータ技術であるが，ソフトウェア，ハードウェアの両者ともが，今後のAI技術発展の重要な鍵である。ここでは，その両者にかかわる技術としてロジックプログラミング技術を取り上げ，そのAIにおける重要性を指摘したい。ロジックプログラミングは，第五世代コンピュータの中核技術として取り上げられ，そのプログラムを通して技術が飛躍的に発展した。その成果は，要約すると次のとおりである。

① 談話理解実験システムDUALS1，2，3などの開発を通して，知識情報処理応用システムの開発言語として大変優れている。

② メタプログラミング，プログラム変換，部分計算などの，高度なプログラミング技術が開発された。

③ 制約指向との組み合わせによって，制約論理プログラミング言語というさらに表現力の豊かな応用指向の言語が生まれた。

④ より並列実行に適した並列論理プログラミング言語GHCが開発された。

⑤ GHCで書かれたプログラムを並列実行する並列コンピュータが開発された。

これらの成果は，今後のAIシステムの研究開発を加速するであろう。

ロジックプログラミングのソフトウェアおよびハードウェアは，演繹的推論を高速実行するための推論エンジンを提供するが，帰納的推論のための推論エンジンとして，融合原理の逆操作が注目を浴びている。チューリング研究所では，この原理に基づく帰納推論システムCIGOLを開発している。CIGOLは，事例からの概念学習を行うシステムである。CIGOLの特徴は，学習すべき概念にとって必要となるより基本的な概念を自動的に発見することである。例えば，与えられた数の並びの中から最小なものを取り出すプログラムを学習中に，CIGOLは不等号関係"≦"を発見する。この機能は，帰納推論システムにとって，非常に大切なものである。CIGOLのアプローチでは，与えられた例の中に基本概念が埋め込まれているのを，巧妙に発見している。

また，仮説推論の枠組みに同じく融合原理を応用する研究も行われている。仮説推論は，診断問題，設計・計画問題，自然言語理解などの分野で，研究が進められている。診断問題では，症状が与えられたとき，考えられる原因を仮説として設定して，それがその症状をうまく説明できるかを調べる。設計・計画問題では，多くの選択枝から適当な候補を仮説として設定して，それが要求仕様を満たすか，他の部分との整合性がとれているか，などを調べる。自然言語理解では，会話において相手の言ったことが正しく理解できるためにはどのような知識を補わなければならないかを仮説として考え，推論を進める。これらの各応用に適した仮説推論システムの開発が融合原理に基づく演繹的証明手続きに多少の手を加える形でなされている。

さらに，最近学習研究の分野で話題になっている説明に基づく学習についても，演繹的な証明手続きを元にしてそのシステムを容易に構築できることが示されている。それは，Prologで書かれた4行のPrologインタープリタをわずかに手直ししたものである。またそれは，Prologプログラムの部分計算と同じであることも示されている。

4．AI応用技術の問題

AIの応用技術の中では，自然言語処理技術の発展が目につく。自然言語処理の研究は，構文レベルの研究から，意味レベル，分脈レベルへと発展しつつある。文脈レベルでは，特に談話理解の研究が注目を集めている。この流れは，技術の発展の流れとして，必然的であり，文脈レベルにまで研究テーマが及んだことにより，いよいよ本格的な研究の進展が期待される。自然言語理解のアプローチとしては，語彙解析，構文解析，意味解析，文脈解析と，下位レベルから解析を進めるのが，これまでの一般的な方法として知られているが，その逆のアプローチもありうるし，むしろ発展の可能性は，逆アプローチの方が大きいかも知れない。それは，人間が言葉を理解する状況を考えれば十分ありうることである。人間は，ある与えられた状況で，会話を理解することが可能である。もし何について話しているのかが分からないとき，途中から会話に加わるのは容易ではない。しばらくは，会話の主題を理解し，その場の状況を把握するのに時間を要するであろう。そうなってはじ

めて，会話に加わることができるわけである。談話理解は，このように状況に深くかかわっており，状況の扱いが本質的に重要である。スタンフォード大学のCLSI (Center for the Study of Language and Information)で進められている状況理論・状況意味論の研究は，状況を扱うための基礎的な枠組みを与えるものであり，その研究成果が注目されている。この研究の流れは，前に述べた John Seely Brown博士の見解とも一致している。

その他のAI応用技術としては，自然言語処理に関連して機械翻訳および音声理解が，近年大きな発展を見ている。特に機械翻訳は，不完全ながら実用となるシステムも出現しており，市販もされている。機械翻訳に関連して，辞書の電子化が進められているのも注目に値する。

今後発展の期待できるAI応用技術に，知能ロボットおよび自動プログラミングがある。知能ロボットは，AIのあらゆる側面の技術を必要とし，その意味で，AIの統合技術と位置づけることができる。また，外界の入力の問題が大変重要になり，AIの本質的問題である不完全情報処理問題を扱うことにもなるので，新たな研究テーマの発掘の点からも興味深い。

一方，自動プログラミングについては，これまでも，数多くの試みがなされてきたが，問題自身の困難さの故に，大きな進展がみられなかったのが現状である。今後のソフトウェア危機の問題を考えると，生産性の向上は大きな課題であり，知識工学的アプローチが期待されている。

これまで述べてきたように，AI技術は，知識獲得，機械学習，自然言語理解などの研究を中心に，現在新たな発展を遂げつつある。そして，ロジックプログラミング，あるいは述語論理の演繹的証明手続きに関連する新たな技術的成果が，それらの発展に大きく貢献している。これらの研究成果は，数年後に，次世代エキスパートシステムなどのより具体的な応用に反映されるであろう。一方，より困難な課題ではあるが，状況理論，コネクショニズムなどの研究もこれから加速されるであろう。それらは，実用的な問題に応用されるには，さらに長い年月を必要とするであろう。

第II編　わが国におけるAI利用の

［調査目的］

財団法人 新世代コンピュータ技術開発機構（ICOTという）と財団法人日本情報処理開発協会（JIPDECという）が共同で組織している「ICOT-JIPDEC AIセンター」は，わが国におけるAIの普及振興を図り高度情報化社会の形成に資するため，産業界のAI利用の現状と将来動向を調査することとした。

［調査対象］

コンピュータ利用事業体4,891社。

「コンピュータ・ユーザー調査年報（日本経営科学研究所発行）」所載の事業体から産業別に等比で無作為に選択した。

［調査方法］

「人工知能（AI）に関する調査票」を郵送して回答を記入していただく方法で行った。

［調査時期］

1988年12月。

［有効回答数］

集計分析の対象とした回答票数は1,480事業体（回答率30.2%）。内訳は図表II-1-1産業別AI導入・未導入事業体数を参照。

［産業分類について］

この調査では次の産業分類で集計分析を行った。

基礎資材産業——鉱業，化学，石油石炭，窯業土石，鉄鋼，金属
加工組立産業——一般機械，電気機械，精密機械，輸送機械
生活関連産業——農林水産，食料品，繊維，パルプ・紙，その他製造
公共サービス関連——建設，電力・ガス・水道，運輸・通信
商業金融産業——卸・小売，銀行，保険，証券，不動産
教育公務関連——教育，医療，公務，法律・会計，その他サービス
情報処理産業——情報処理，ソフトウェア，出版，報道
その他———上記産業に入らない産業

［'86年調査，'87年調査について］

調査分析の中で1986年調査および1987年調査と比較して説明しているところがある。この両年の調査はAIセンターの会員等を対象にした結果であることにあらかじめご留意いただきたい。

図表II-1-1 産業別AI導入・未導入事業体数

業種別	有効回答数	AI導入済(%)	AI未導入(%)
全産業（合計）	1,480	305(20.6)	1,175(79.4)
基礎資材産業	176	36(20.6)	140(79.5)
加工組立産業	229	62(27.1)	167(72.9)
生活関連産業	169	15(8.9)	154(91.1)
公共サービス関連	144	33(22.9)	111(77.1)
商業金融関連	319	32(10.0)	287(90.0)
教育公務関連	222	40(18.0)	182(82.0)
情報処理産業	189	85(45.0)	104(55.0)
その他	32	2(6.3)	30(93.7)

第1部 AIシステムの利用状況

1．AI利用事業体の現状

AIシステムを導入している事業体は，305社で回答全事業体1,480社に対する導入割合は20.6%である。この内訳は図表II-1-1に示すとおりで，加工組立産業27.1%，公共サービス関連産業が22.9%と全産業の導入率を越えている。AIシステムの開発を外部から受託している情報処理産業は45.0%と高い。これに対して生活関連産業は8.9%，商業金融関連が10.0%，教育公務関連が18.0%と低い。さらに，資料編3−3から主要個別産業をみると，ソフトウエアが48.5%，情報処理が44.0%，建設が35.3%，電気機械35.2%，精密機械26.7%，輸送機械24.1%である。電気・ガス・水道は回答数が少ないものの58.3%と導入率が高い。

次に，既導入事業体305社が導入しているAIシステムは552システムとなっている。この内訳は図表II-1-2産業別AIシステム保有数に示すとおり，情報処理産業が85事業体で153システム，加工組立産業が62事業体で134システム，基礎資材産業が36事業体で74システムと導入数の多い産業となっている。1事業体当りの導入システム数では加工組立産業が2.16システムと最も高い。個別システム別

図表II-1-2 産業別AIシステム保有数(1988年)

AIシステム	エキスパートシステム	AI及びツール向き言語	機械翻訳システム	自動プログラミングシステム	画像理解システム	音声理解システム	自然言語理解システム	知能ロボット	その他のAIシステム
[注記]	上段：AIシステムを導入している事業体 中段：全事業体が保有しているAIシステム数 下段：1事業体当たりのAIシステム保有数								
全産業	229 415 1.97	300 628 2.09	39 44 1.13	6 8 1.33	19 23 1.21	5 5 1.00	5 6 1.20	5 5 1.00	13 15 1.15
基礎資材産業	33 63 1.96	36 76 2.11	4 4 1.00	0 0 0	3 4 1.33	1 1 1.00	0 0 0	2 2 1.00	2 2 1.00
加工組立産業	50 105 2.10	61 135 2.21	8 10 1.25	2 2 1.00	5 7 1.40	0 0 0	3 4 1.33	2 2 1.00	4 6 1.50
生活関連産業	11 17 1.55	15 27 1.80	1 1 1.00	1 1 1.00	1 1 1.00	1 1 1.00	0 0 0	0 0 0	2 2 1.00
公共サービス関連	27 55 2.04	33 69 2.09	3 3 1.00	0 0 0	2 2 1.00	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
商業金融関連	20 43 2.15	32 53 1.66	0 0 0	0 0 0	1 2 2.00	1 1 1.00	0 0 0	0 0 0	0 0 0
教育公務関連	24 39 1.63	38 80 2.11	11 12 1.09	0 0 0	5 5 1.00	1 1 1.00	0 0 0	1 1 1.00	1 1 1.00
情報処理産業	53 127 2.40	83 182 2.19	11 12 1.09	3 5 1.67	2 2 1.00	1 1 1.00	2 2 1.00	0 0 0	4 4 1.00
その他	2 2 1.00	2 6 3.00	1 1 2.00	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0

にはエキスパートシステムを導入している事業体が229社で全体の75%を占めており，この結果からわが国の産業界では現在のところエキスパートシステムに対する関心が高いといえる。AIシステム向きプログラミング言語やエキスパートシステム開発用ツールの導入は300社（98.4%）とほとんどの事業体が導入している。

機械翻訳システムを導入しているところは39社（12.8%）にとどまっている。

個別システムについて1事業体当たりの平均導入システムは，図表II-1-1およびII-1-2からAI用プログラミング言語が2.09と最も多く，エキスパートシステムは1.97システムである。エキスパートシステムの場合1987年は2.76システムであったので0.79減少したことになる。

なお，AIシステム導入事業体の就業者数規模別分布は資料編3-1に，回答者の所属部門別分布は資料編3-2に示すとおりである。

2．個別AIシステム利用の現状

2.1 エキスパートシステム

この調査では，「エキスパートシステムとは知識ベースと推論機構および知識ベース管理機構とから構成されており，ある特定の分野の専門家の知識に基づいて構築された知識ベースを推論機構が解釈し推論することによって，ユーザの問題解決を行うためのシステム」と定義した。

エキスパートシステムを導入している事業体は229社で，合計システム数は415にのぼり，1社平均1.97システムになっている。

2.1.1 適用業務と対象領域

エキスパートシステムの適用業務について，回答を得た449システムの内訳は図表II-1-3(a)に示すとおりである。故障診断90件20.0%，操業・工程管理84件18.7%，その他77件17.1%，この3件で全体の約60%を占める。次に，相談41件9.1%，自動設計39件8.7%，窓口相談25件5.6%，と続いている。

エキスパートシステムの用途について対象領域別内訳は，図表II-1-3(b)に示すとおりである。

回答数515件のうち，最も多いものは診断型であり174件33.8%，次いで計画型が102件19.8%，設計型が45件8.7%，意志決定支援型44件8.5%，指示型34件6.6%と続いている。この傾向を，実用化レベルに達している112システムについて考察すると，順位の傾向は同じであるが，診断型が44件39.3%と実用化の割合が高くなっており，さらに，設計型（プランニング）が25件22.3%，設計型（デザイン）では21件18.8%となっている。

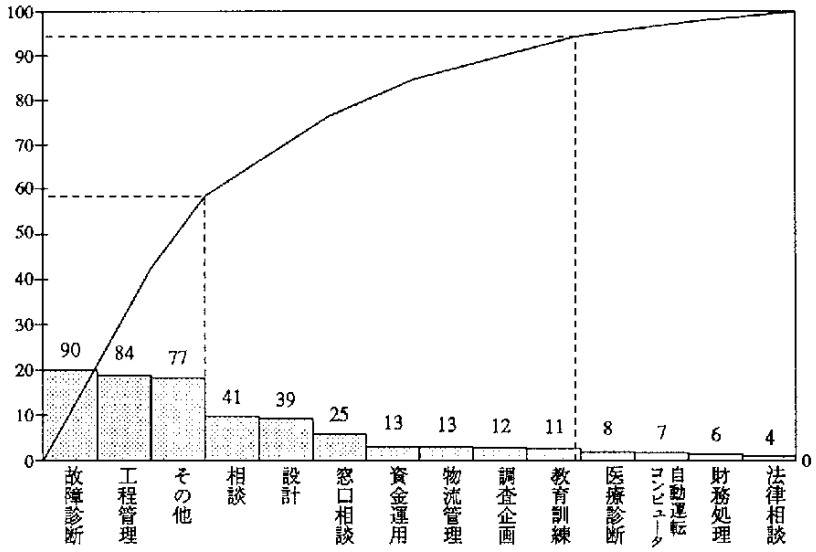
1987年調査と比較すると，診断型や設計型（スケジューリング）が比率が伸びているのに対し，設計型（デザイン）や指示型を含む他の対象領域の比率が低下している。

適用業務と対象領域の関連について分析すると，操業・工程管理では，設計型（スケジューリング）が40件，診断型12件，制御型10件。故障診断では90件のうち，診断型が77件である。修理11件，指示型9件。自動設計では設計型（デザイン）が27件，設計型（スケジューリング）12件。窓口相談では，診断型が11件，設計型（プランニング）5件，意志決定支援型4件。コンサルティングでは，診断型7件，設計型（デザイン，プランニング）8件，指示型5件という分布になっている。

2.1.2 開発目的

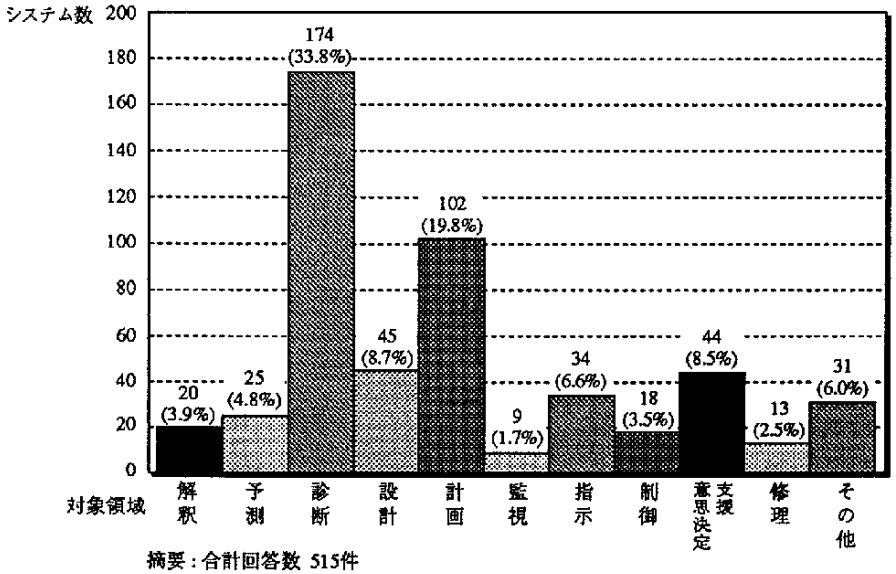
エキスパートシステムの開発目的について，回答を得た433システムのうち，産業全体でみると，「社内使用専用のシステム」が254件58.7%，「社内使用であるが外販の用意もある」が74件17.1%，「外部から受託して開発している」が105件24.2%となっている。個別産業別にみると，基礎資材産業や公共サービス関連産業などユーザ系の事業体が多い産業では，

図表II-1-3(a) エキスパートシステムの適用業務(1988年)



摘要：合計回答数 449件

図表II-1-3(b) エキスパートシステム対象領域別内訳(1988年)



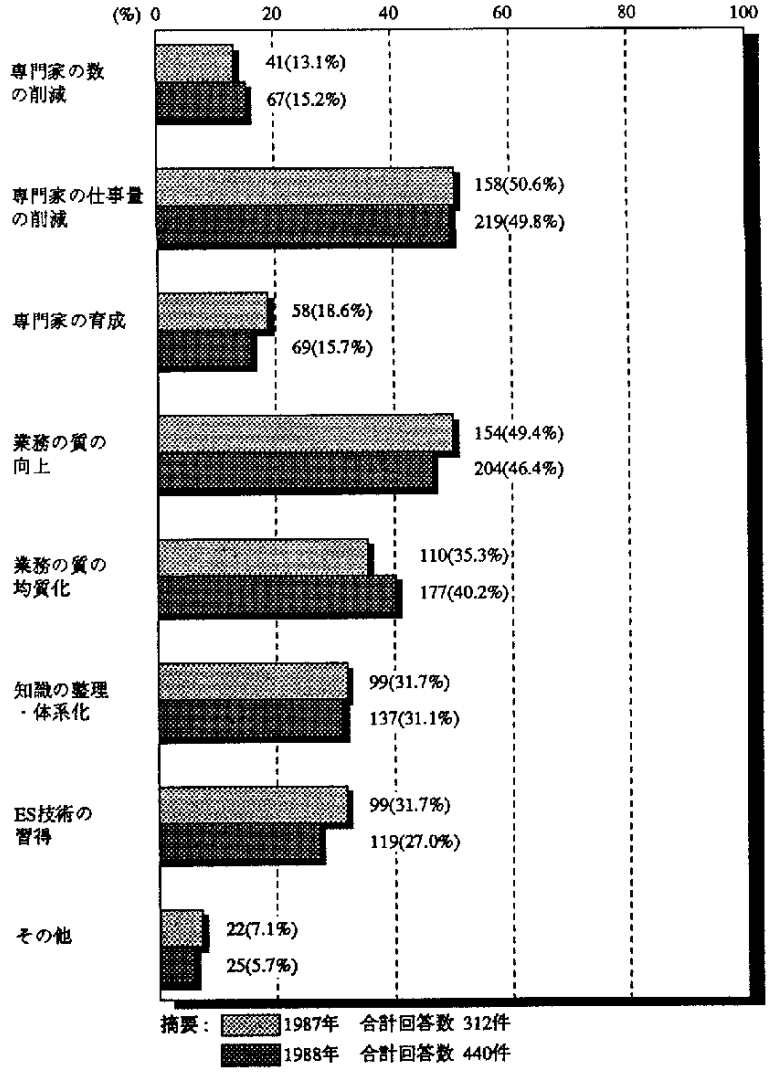
摘要：合計回答数 515件

社内使用が高くなっている。また，加工組立産業のように，コンピュータメーカが含まれているものでは，「社内使用であるが外販の用意もある」，「外部から受託して開発している」がかなり高率である。情報産業では，当然のことながら「外部から受託して開発している」が過半数を占めている。「社内使用であるが外販の用意もある」としている例が，ユーザ系が多く含まれている産業でも8～18%とかなりの率で存在しているが，社内ノウハウを生かしてソフトウェアの商品化を意識している事業体がかなりあるということがいえよう。

2.1.3 開発・導入の目的

エキスパートシステムの開発・導入の目的は図表II-1-4に示すとおりである。昨年(1987年)と対比して分かるとおり，期待効果の順位は昨年と全く同じで，専門家の仕事量の削減が最も多く219件49.8%，次に，業務の質の向上204件46.4%，業務の質の均質化177件40.2%と続いている。産業界では専門家の業務の改善・合理化に重点をおいており，エキスパートシステムがその有力なツールと考えられているといえよう。

図表II-1-4　エキスパートシステムの導入目的



2.1.4 システムの利用状況

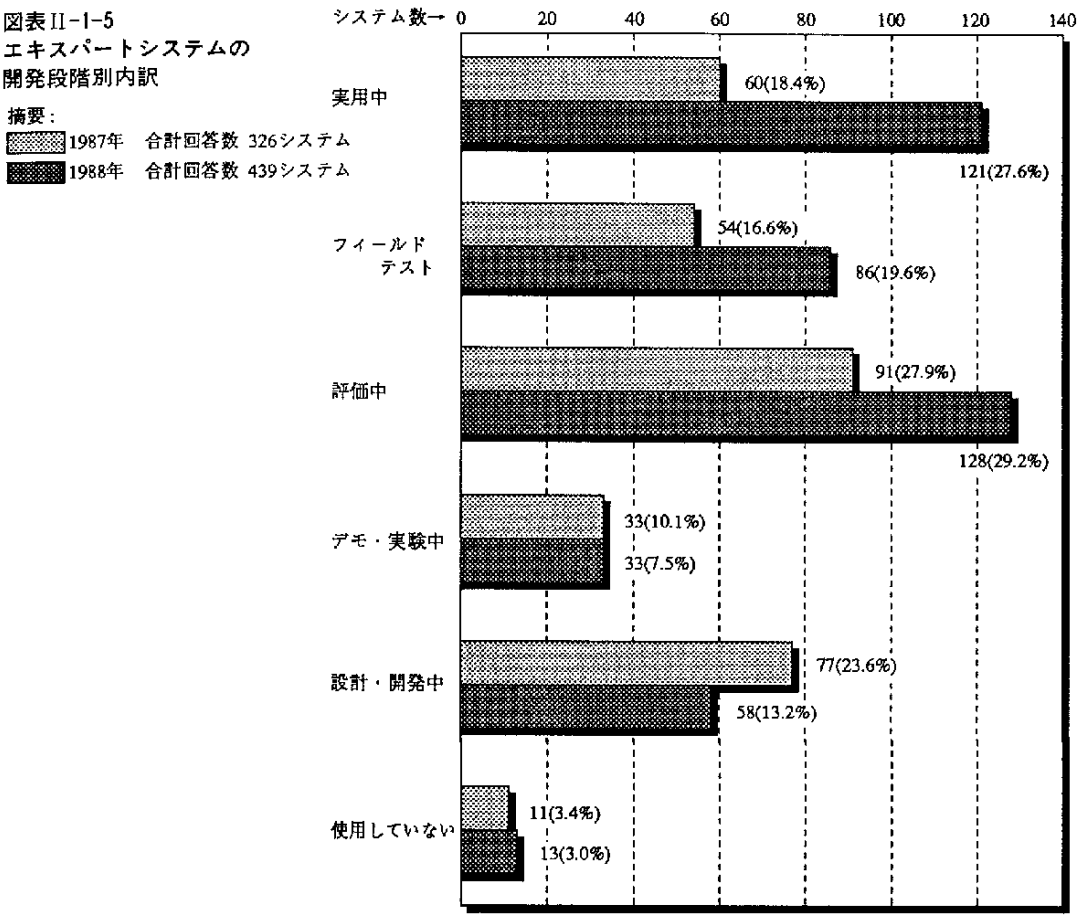
エキスパートシステムの利用状況を開発段階別に示したのが図表II-1-5である。1988年はプロトタイプとしての評価・改良中が128件29.2%，実用システムとして稼働中のものが121件27.6%，フィールドテスト中86件19.6%，設計・開発段階58件13.2%，デモ・実験のみに利用33件7.5%，あまり使っていない13件3.0%となっている。1987年と比較して，実用化の割合が18.4%から1988年は27.6%に急増しており，この傾向は，フィールドテストにおいても16.6%から19.6%へと，また，評価中が27.9%から29.2%にと増加している。これらの動向から，産業界のエキスパートシステムは，実用化が進んでいることと合わせて現場における試行テストや評価が行われるに至っているシステムが増加してきているということができる。設計開発中のシステム数と割合が1987年の77システム（23.6%）から1988年は58（13.2%）と減少している。

2.1.5 システムの規模

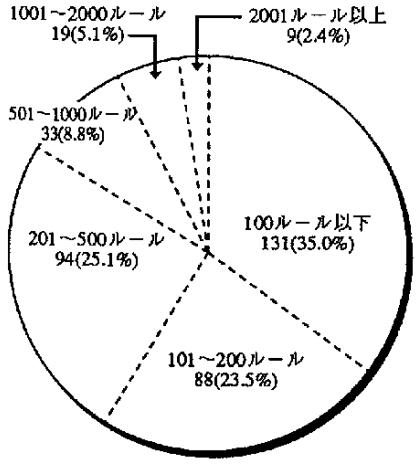
(1)ルール数

エキスパートシステムの規模を表現する方法の一つに知識ベースのルールおよびフレームの大きさをもって表すことがある。図表II-1-6(a)に示すように，回答を得た374システムのうち，100ルール未

図表II-1-5
エキスパートシステムの
開発段階別内訳

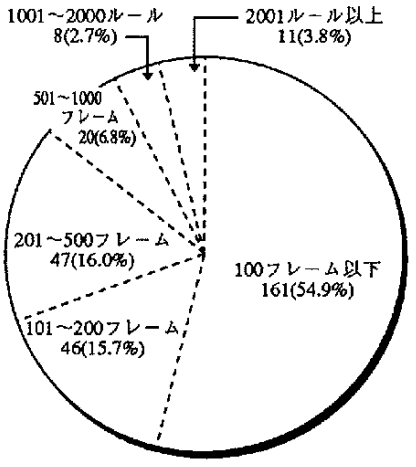


図表II-1-6(a)
エキスパートシステムのルール数(1988年)



摘要:合計回答数 374システム

図表II-1-6(b)
エキスパートシステムのフレーム数(1988年)



摘要:合計回答数 293システム

満のシステムが131件35.0%，101～200ルールのものが88件23.5%，201～500ルールが94件25.1%と，500ルール以下のシステムで83.6%を占め，大半がこの範囲に収まっている。昨年（1987年）は500ルール以下のものが82%であったが，今回は，101～200ルールと201～500ルールのシステムの割合が増えているので，小規模のシステムが増えたということではなく，着実に実用化に向けて進んでいることの証であるとも思われる。

さらに1000ルール以上の例に目を向けると，2000ルールまでのシステムが19件5.1%。2001ルール以上のものが9件2.4%と大規模なものが開発されている。これを対象領域別に主な内訳を調べると2000ルールまでのシステムでは，診断型が9件，計画型5件，指示型4件，意志決定支援型3件，設計型，制御型各2件であった。また，2001ルール以上のものでは，診断型が5件，解釈型，予測型，計画型，修理型，意志決定支援型，各1件であった。

実用化レベルに達している95システムのルール数については，500ルール以下のものは72.6%となっており，実用化に至ったエキスパートシステムの方が規模が大きくなっている。

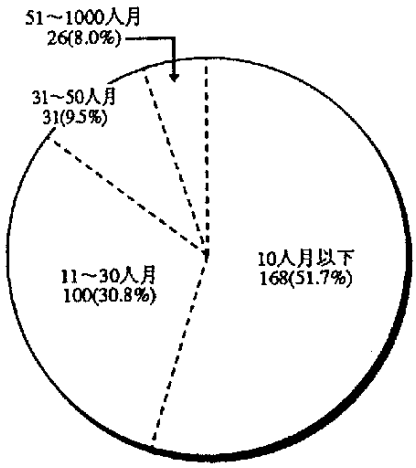
(2)フレーム数

図表II-1-6(b)に示すように，回答を得た293システムのうち，100フレーム未満のシステムが161件54.9%，101～200フレームのものが46件15.7%，201～500フレームが47件16.0%と，500フレーム以下のシステムで86.6%を占め，大半がこの範囲に収まっている。昨年（1987年）は500フレーム以下のものが85%であったが，今回は，200フレーム以下のシステムの割合が増えているので，フレームについては小規模のシステムが増えたという結果になっている。フレームの場合はルールの場合とは違い，実用化レベルに達したシステム73件の回答と全体の傾向を比較しても，差異はない。

(3)開発工数

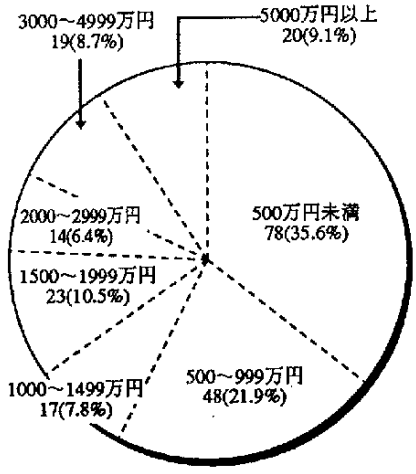
エキスパートシステムの開発工数は，システム開発経費の額を左右する大きな要素である。図表II-1-7に示すように，回答を得た325システムのうち，開発工数10人月未満のシステムが168件51.7%と最も多く，11～30人月が100件30.8%，31～50人月31件9.5%，51～100人月26件8%，101人月以上のものはなしという結果である。30人月以下の開発工数によるシステムが約82%と大半を占めている。この傾向を，実用化レベルに達している79システ

図表II-1-7
エキスパートシステムの開発工数(1988年)



摘要：合計回答数　325システム

図表II-1-8(a)
エキスパートシステムの1システム当たりの開発費用(1988年)



摘要：合計回答数　219システム

ムの回答と比較してみると，31人月以上のものが29.1%あり，実用化レベルのシステムの方が開発工数が大きいという結果になっている。

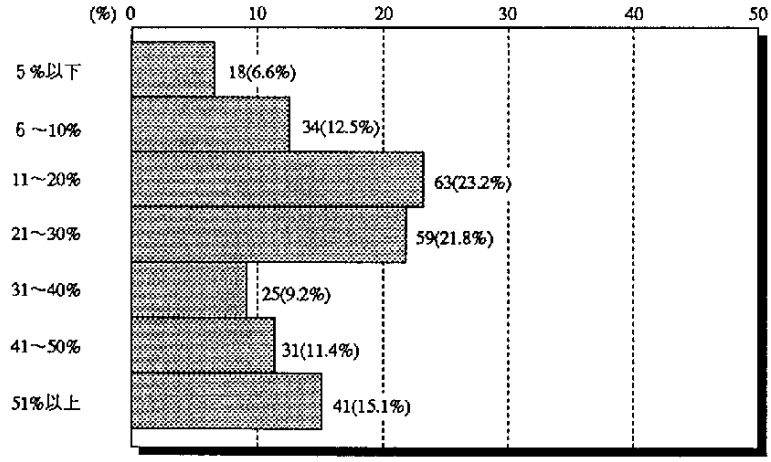
(4)開発費用

エキスパートシステムの開発において要した費用は，システムの効果を評価する重要な要素である。図表II-1-8(a)に示すように，回答を得た219システムのうち，500万円未満のシステムが78件35.6%，500万円以上999万円のものが48件21.9%と，両者で57.4%と過半数を占めているこれは，前項の開発工数において約半数が10人月未満であることと整合がとれている。実用化に至ったシステムについての回答が51件と少ないが，1,000万円未満のものが51.0%と減少し，3,000万円以上4,999万円のものが17.6%となっている。

開発費の中でエキスパートシステムのマンマシンインタフェースの開発に要した割合について，図表II-1-8(b)に示すように，回答を得た271システムのうち，30%未満のもので174件64.1%と過半数を占めている。費用の20%前後がマンマシンインタフェース開発に投下されるのが平均的なところといえよう。50%以上の費用を要しているとの回答が約41件15%もある。マンマシンインタフェースは，手数のかかっている部分であることも事実である。

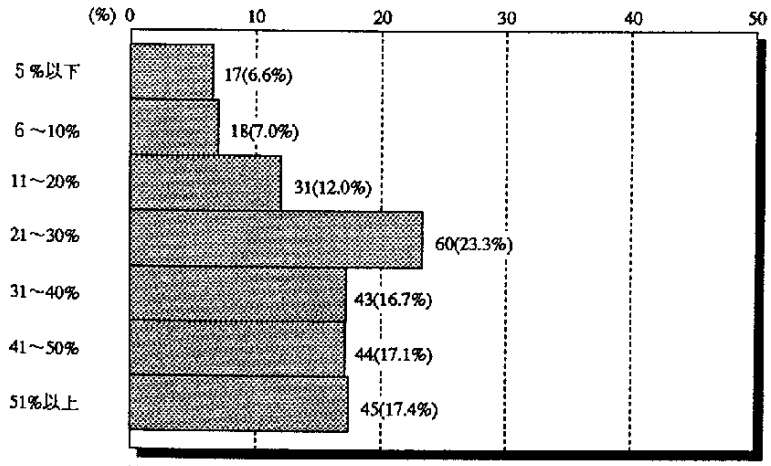
次に知識の整理およびメンテナンスに要した費用の割合については，図表II-1-8(c)に示すとおり，回答を得た258システムのうち，30%未満のものが126件48.9%と約半数を占めている。50%以上の費用を要しているとするものが45件約17%である。マンマシンインタフェースの場合と同様工数のかかっている部分である。

図表II-1-8(b) マンマシンインタフェースに要した開発費用割合(1988年)



摘要：合計回答数 271システム

図表II-1-8(c) 知識の整理・メンテナンスに要した開発費用割合(1988年)



摘要：合計回答数 258システム

2.1.6 使用ツール

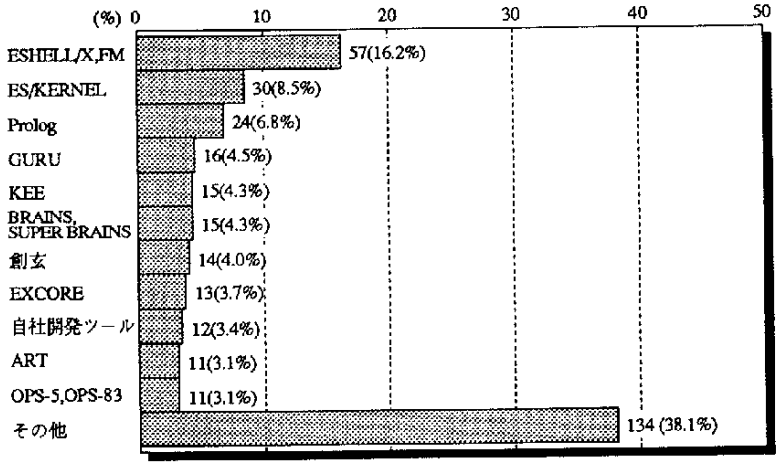
エキスパートシステムの開発が進んでいる

背景には，ソフトウェア開発を支援するソフトウェア（以下ツールという）が，ユーザの適用目的に応じ商品として販売されるようになったことがあげられる。ユーザは，エキスパートシステムの開発に当たっては，商品のツールを購入使用するか，あるいはAI用プログラミング言語を使ってプログラムを作成することになる。

使用ツールの集計に当たっては，ESHELL等のようにメインフレーム，ワークステーション，パソコンなど機種対応にシリーズ製品を持つもの，BRAINS等のように機能アップされたSUPER-BRAINSのような製品を持つものや，OPS-5等のように他の言語でインプリメントされたOPS-83のような製品があるものは，一種類の製品として扱った。

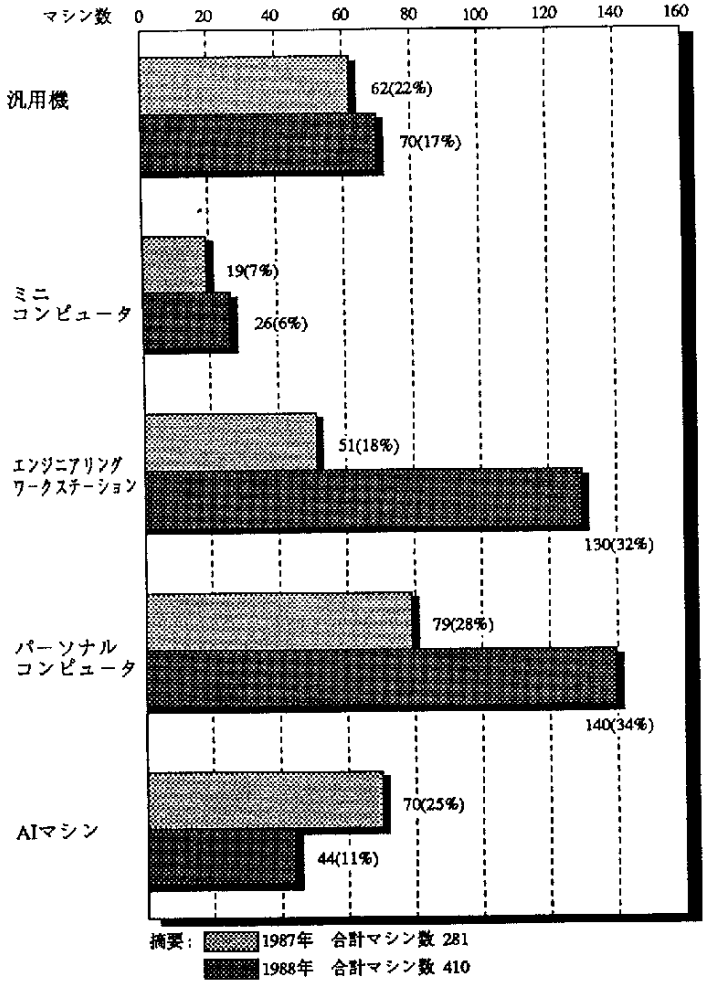
図表II-1-9に示すように，回答のあった352システムの中で，一番多いツールは，富士通のESHELLシリーズであり57件16.2%を占める。次ぎに，日立製作所のES/KERNELが続き30件8.5

図表II-1-9 エキスパートシステム構築ツール利用状況（1988年）



摘要：合計回答数 352システム

図表II-1-10(a) エキスパートシステム開発用マシン（'87対'88）



%を占めており，国産メインフレーマのツールがよく使われる傾向にある。この他は，GURU16件4.5%，KEE，BRAINSおよびSUPER-BRAINS，創玄等と続くが，AIブームの中でもてはやされた，KEE，ART，OPS-5等の高性能ツールの利用割合が減少しつつあるようだ。プログラミング言語では，Prologが24件6.8%となっている。

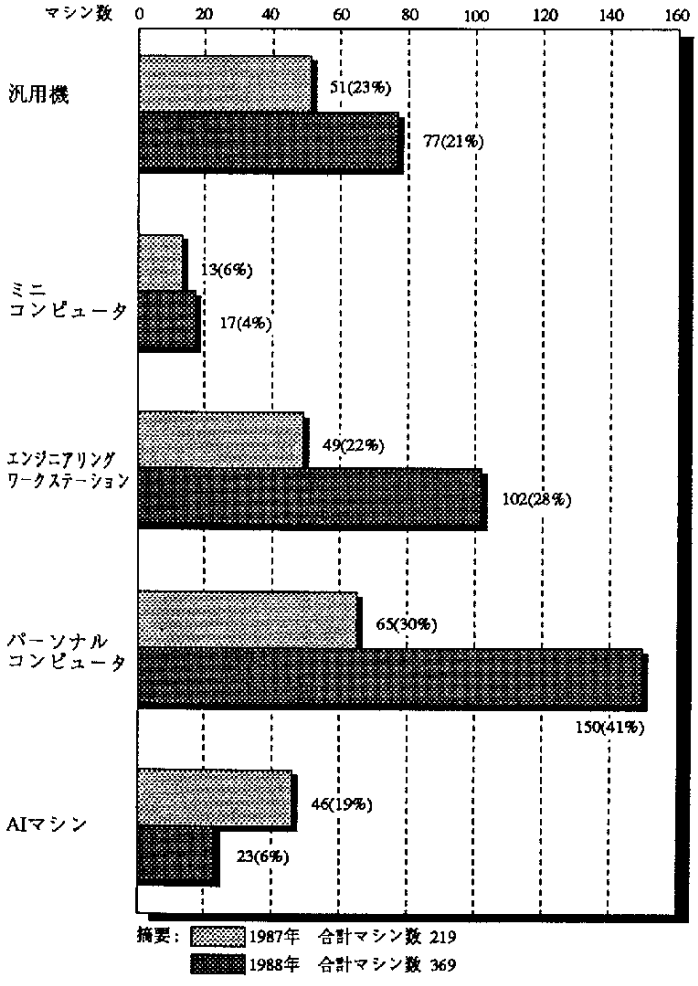
2.1.7 使用マシン

エキスパートシステムの開発および運用における使用マシンについて，汎用機，ミニコンピュータ（オフィスコンピュータを含む），エンジニアリングワークステーション，パーソナルコンピュータ，AI専用マシンの5機種に分けて集計した。その結果は，図表II-1-10(a)開発用マシンを図表II-1-10(b)に運用用マシンを1987年との対比で図示した。

開発用マシンについて，1988年は，前年に比較して，エンジニアリングワークステーションが18%から32%にと，またパーソナルコンピュータが28%から34%にと使用割合が急増している。これに対し，汎用機，AI専用マシンの割合が減少したが，特にAI専用マシンの場合，使用台数が減っており使用割合は14%低下となっている。

運用用マシンについて全体的な傾向は，開発用マシンの場合とほぼ同様にパーソナルコンピュータおよびエンジニアリングワークステーションを指向している。この背景には，これらのマシンは，スタンドアローンとして現場において開発者や利用者が使用できる環境にあること，AI専用マシンは高性能なエキスパートシステム開発支援ツールを利用できることに特徴を持っているが，ハードウェアおよびソフトウェアの価格が高いこともあって，導入利用が中堅事業体に限られている。特に，開発環境が整備されたエンジニアリングワークステーションが登場してきたこともAI専用マシンの使用割合低下に結び付いているものとみることが

図表II-1-10(b) エキスパートシステム運用用マシン('87対'88)



できる。汎用機が運用時の利用割合を増やしているが，一般には不向きと言われた汎用機上での利用が進んでいることが分かる。

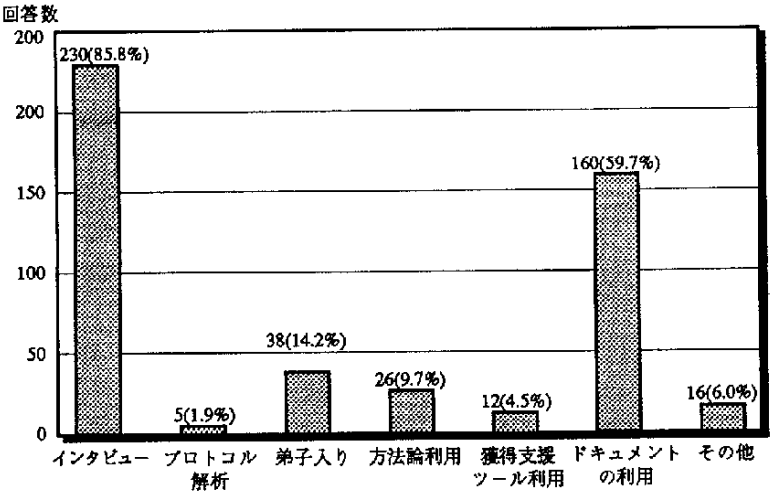
2.1.8 知識獲得の方法

エキスパートシステムの開発において知識ベースの構築が，そのシステムの有用性を左右する。特に専門家が持っている知識を如何にしてシステムに移植するかが重要な課題である。

(1)知識獲得の方法

知識獲得の方法については，図表II-1-11に示すとおりである。回答の中で，専門家に対するインタビュー方式が最も多く230件85.5%あった。続いて，「整理されたドキュメントから知識を獲得する」が160件59.7%あり，これら2つの方法の比率が高い。次に，専門家の現場に弟子入りする方式38件14.2%が続いており，「知識獲得方法論が整理されていてそれを利用している」が26件9.7%とあり，実用化事例が多いシステムや小規模システムにおいて知識獲得が定型化されているものとみられる。

図表II-1-11　エキスパートシステムの知識獲得方法

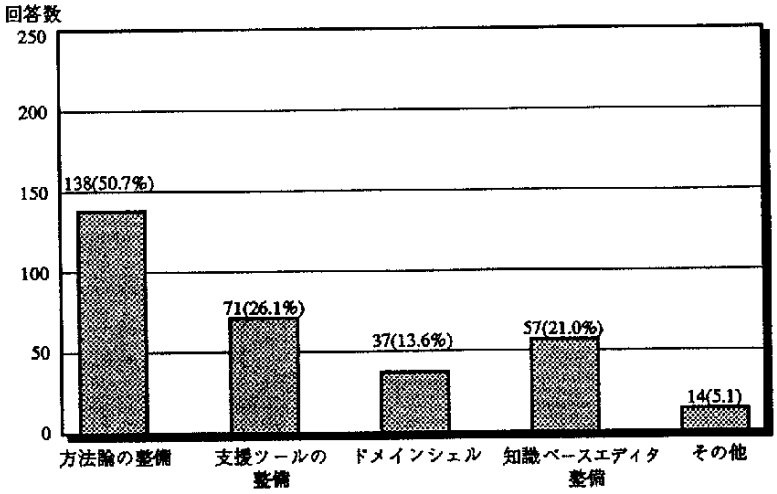


摘要: 合計回答数　268事業体

(2)知識獲得方法の今後の課題

知識獲得の今後の課題については，図表II-1-12に示すように，138件50.7%が「知識獲得方法論の整備」をあげている。続いて，「知識獲得支援ツールの整備」が71件26.1%，「インタフェース等の開発環境全体の整備」が57件21.0%，「ツール，ドメインシェル等の整備」は37件13.6%となっている。

図表II-1-12　知識獲得の今後の課題



摘要: 合計回答数　272事業体

(3)開発体制

エキスパートシステムの開発において，知識ベースの構築が重要な課題であるが，そのために知識獲得を専門に行う知識エンジニアが必要と言われている。エキスパートシステム開発体制については，図表II-1-13に示すよ

うに，専門家，知識エンジニア，情報処理部門の3者が協力するケースが一番多く89件30.7%，専門家と情報処理部門が協力するケースが64件22.1%，専門家と知識エンジニアが協力するケースが54件18.6%，専門家自身が主体となっているケースも39件13.4%ある。また，情報処理部門が主体となっているケースは27件9.3%ある。知識エンジニアが絶対に必要だという結論はこの調査からは出ていない。

2.1.9外部機関の利用

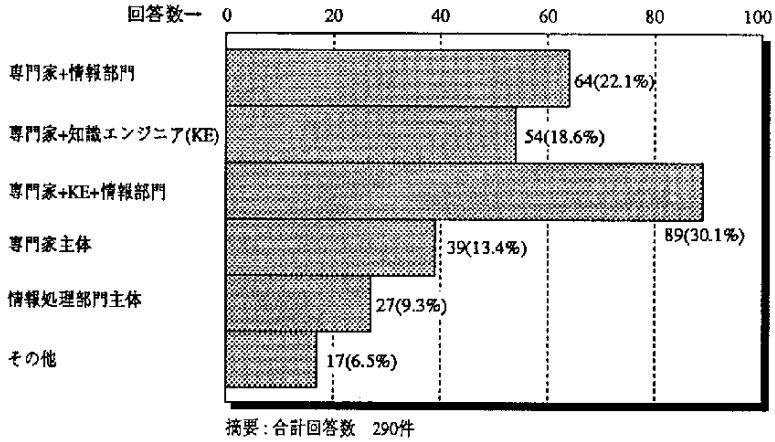
エキスパートシステムを効率的に開発するために外部機関を利用する方法が採用される。

図表II-1-14に示すように，回答事業体276件のうち，利用したい外部機関のトップとしてあがっているのは，コンピュータメーカで123件44.6%である。次に，大学その他公的研究機関が109件39.5%，ソフトウェアハウス105件38.0%，民間研究機関／専門家59件21.4%となっており，利用は考えていないが35件12.7%と回答している。

2.1.10 導入・実用化の問題点

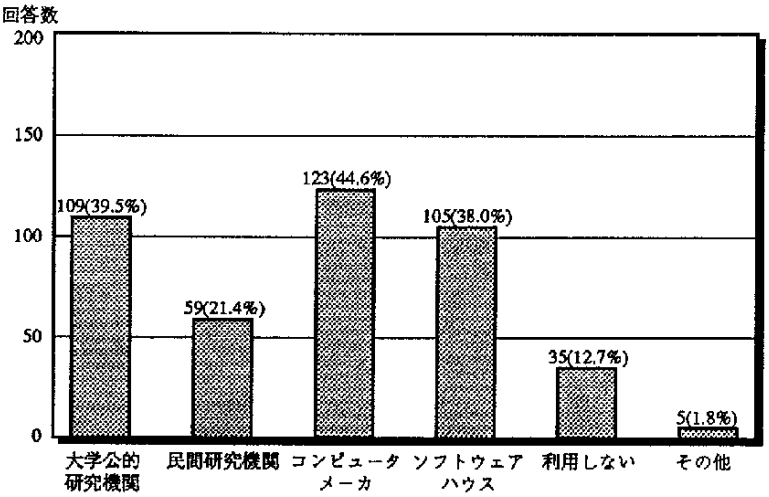
エキスパートシステムの導入・実用化において，事業体が抱えている問題について277事業体の回答結果は図表II-1-15に示すとおりである。「知識獲得に障害がある」が165件59.6%，「知識エンジニアが不足である」が114件41.2%，続いて，「現在の技術では能力が不足」81件29.2%，「開発にコストがかかりすぎ，効果と引き合わない」72件26.0%，「適切なソフトウェアがない」47件17.0%，「ニーズのある適切な分野がない」39件14.1%，「適切なハードウェアがない」20件7.2%，「技術を提供してくれる企業がない」5件1.8%などとなっている。この順序は，1987年の調査結果と同じ傾向である。

図表II-1-13 エキスパートシステムの開発体制(1988年)



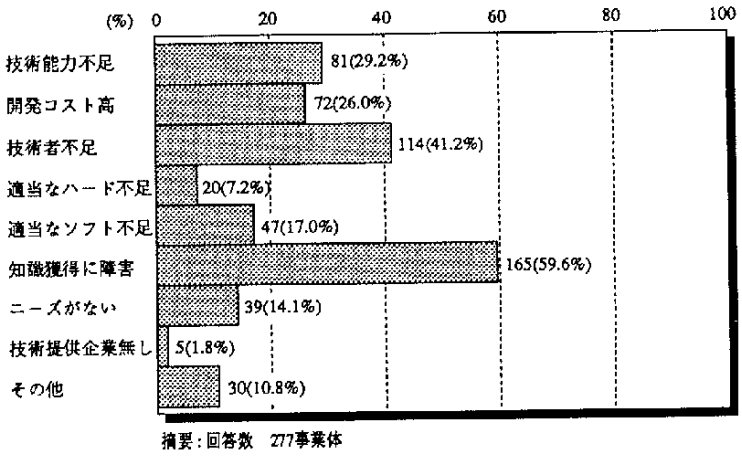
摘要：合計回答数 290件

図表II-1-14 エキスパートシステム開発に利用希望の外部機関



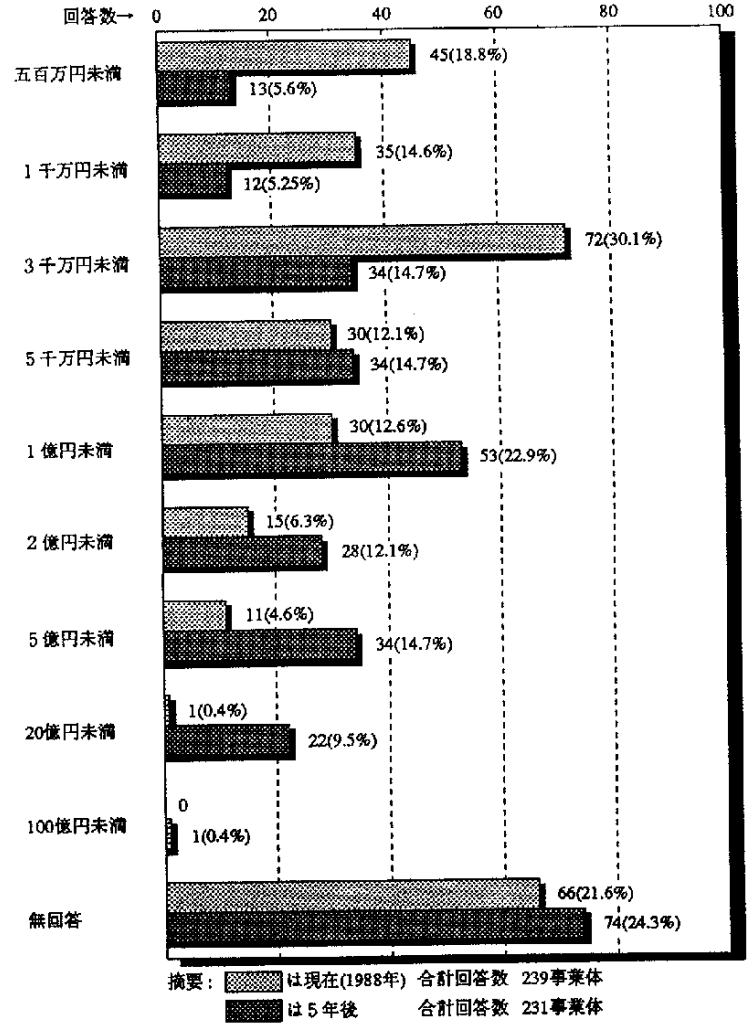
摘要：合計回答数 436件

図表II-1-15　エキスパートシステム導入・実用化の問題点(1988年)



摘要：回答数　277事業体

図表II-1-16　エキスパートシステム開発の累積投資額



摘要：　は現在(1988年)　合計回答数　239事業体
　　　　は5年後　　合計回答数　231事業体

2.1.11 開発・導入のための累積投資額

エキスパートシステム開発・導入のために投資された費用の累積額について，現在と5年後予測についての回答結果は図表II-1-16に示すとおりである。

現在の投資額については，回答数239件のうち，3,000万円未満が152件63.3%と過半数を占めている。3,000万円以上1億円未満が60件25.2%，1億円以上が27件11.3%という結果である。20億円未満との回答を出している1社は情報処理産業の事業体である。

将来（5年後）については，回答数231件のうち，1億円未満とするものが146件63.1%と過半数を占めている。また，1億円以上5億円未満は62件26.8%であり，5億円未満の回答が約90%あることになり，5年間でこの程度であるとすると市場規模は案外小さいものであるという感は否めない。次に，20億円未満とするものは22件9.5%，100億円未満とするものが1社あった。しかしこの事業体は商業金融分野で，現時点

で，1,000万円以下と回答している。

2.1.12 その他の自由コメント

将来のエキスパートシステムの利用について自由記述形式で回答した176件について，その内容を適用分野・対象業務に関するもの，エキスパートシステム開発戦略的なもの，エキスパートシステムのシステム化方針に関するもの，将来の見通しに関するものに分けて整理をすると，次のとおりである。

(1)適用分野・対象業務に関連するもの

期待の多いものの順に主なものを6テーマあげれば以下のようである。

- ソフトウェア開発関連　24件
  (ソフトウェアそれ自体の開発，プログラム再利用，保守，システム開発を含む)
- 計画関連　23件
  (一般的な計画，工程スケジューリング，生産計画，出荷計画等)
- 設計支援（CADを含む）　19件
- 故障診断　18件
- 教育関連（CAI，カリキュラム開発）　14件
- 意志決定支援　9件

(2)開発戦略に関連するもの

- 自社製品（例えば民生機器）への組み込みによる付加価値の増大　7件
- 社内開発エキスパートシステムの外販　3件

(3)システム化方針に関連するもの

コメントの多くはエキスパートシステムを特別なものと見なさず，既存のシステムや従来システムの1つのモジュールとして考えていこうとの姿勢が現れている。

- 既存システムに知識処理を付加，一連の処理（事務処理など）の高率化・標準化　10件
- DB，CAD，ワープロ，プロセス制御など既存システムとの統合　7件
- エキスパートシステムを1つのプログラミング言語としてとらえている。従来言語では馴染まないような領域での機械化を進めたい。
- AIも情報処理の1分野である。
  パーソナルコンピュータでの利用からホストコンピュータでの利用へとシステム化を進める。
- 安易なエキスパートシステムの導入はAI技術への不信を招くので慎重にしかし前向きに取り組む。
- あまり高度なものでなく，効果のあるものからエキスパートシステムを開発導入する。

(4)将来の見通し

- エキスパートシステムの利用者層がさらに拡大する。
- 研究開発，製造，企画の3部門で多く利用される。
- エキスパートシステムの開発をホストコンピュータやパーソナルコンピュータでは開発しにくいと感じている人々が自分で作れる環境を目指しているので全方位的な活動が盛んになる。
- AI技術とツールに熟練した知識エンジニアの養成が成功すればエキスパートシステムの開発・利用ともに活発化する。・知識ベースシステムと高度のマンマシンインタフェースを持つ本格的知識処理への脱皮が図られる。
- エキスパートシステムは縮小方向である
- 研究開発分野のエキスパートシステムの実現には限界がある。
- 知識獲得，知識表現の技術的向上が必須である。

2.1.13 エキスパートシステムに対するユーザの評価

エキスパートシステムについて，ユーザ10社による自己評価を実施した。調査の対象となったエキスパートシステムは，実用化段階のものが8社，フィールドテスト段階が1社，プロトタイプが1社である。その対象分野は，

診断型が1社，設計型が3社，ガイダンスが2社，計画型2社，知的CAI，制御型各1社である。調査項目に対する評価結果は図表II-1-17に示すとおりである。

(1)評点の高い項目と低い項目

高い評点を付けている項目は，エキスパートシステム開発導入による効果，経営上の効果，エキスパートシステムの到達レベル，専門家と比較したエキスパートシステムの評価，エキスパートシステムの機能・性能評価などで，また，一般的に問題が多いとされている，知識獲得や既存ソフトウェア資源との接続についても高い点をつけている。

評点の低い項目としては，エキスパートシステムの開発手順の標準化がある。先進ユーザも目立った取り組みは実施していない。また，エキスパートシステムの開発環境すなわち，知識ベースエディタやユーザインタフェースについては，まだまだ不十分であるとの意見である。ただし，実用化段階でのユーザインタフェースについては，比較的高い点をつけているので，実用化段階では手の込んだものはそれほど必要ではないということであろうか。

(2)人材育成

社内のAI技術普及のためのAI勉強会について7社が実施しており，主として研究開発部門が支援しているケースが多く，講師に大学教授の応援を求めている例もある。

知識エンジニアの必要性について日本ではよく不要と言われるが，その必要性については，不要とするもの2社，システムエンジニアの技術向上で対処可能とするもの2社，知識工学の有識者がコンサルティングすれば十分とするもの1社と，いわゆる知識エンジニアは必要ないとするものが5社あった。必要だとするもの4社（ただし，初期知識エンジニア活動で十分とするもの1社，専門領域知識エンジニアはとりあえず専門家が知識エンジニアになるべきとするもの

図表II-1-17　エキスパートシステムの実用化に関する評点結果(1988年)

評点対象質問 ＼ 調査対象企業（業種）		医療研究所	プラント	自動車	機械	精密機械	銀行	化学	電力	商社	鉄鋼	評点合計	回答件数	平均点
AI社内研修会の開催		6	7	8		7	9	7	7	2	10	63	9	7
知識エンジニアの育成			3			6		8			10	27	4	6.7
AI開発手順の標準化			8	4		5	7	5			2	31	6	5.2
AI開発体制の編成			7			7	8	8	8		9	47	6	7.8
エキスパートシステム（ES）	開発・導入による効価	7		10	9	6	8	9		8	10	67	8	8.4
	ESの到達レベル	8	8	8	10	8		10		8	10	70	8	8.7
	ES開発ツール使用による生産性向上		7				6			10		23	3	7.7
	他部門の協力					8		9			10	27	3	9
	市販ツールの満足度		7				9	8	9	8	10	51	6	8.5
	独自開発ツールの満足度					10		3				13	2	6.5
	知識獲得		10		10	5	8	7			10	50	6	8.3
	既存ソフトウェア資源との接続					8		8			10	26	3	8.6
	デバッグ環境		7		10	7	7	7			3	41	6	6.8
	知識ベースエディタ		7			7		3			1	18	4	4.5
	開発上のユーザインタフェース					6		3			1	10	3	3.3
	運用上のユーザインタフェース		5		10	7	9	8				39	5	7.8
	機能評価	10		9	8	7	9	10			10	63	7	9
	性能評価	10		6	8		9	10			10	53	6	8.8
	メンテナンス体制				10	6		3			10	29	4	7.2
	経営上の効果					8	7	8	10		10	53	6	8.8
	専門家と比較しての効果						7		10			27	3	9

摘要：10点満点によるユーザの自己採点方式

1社),知識エンジニア教育では認知科学の教育を施すべきであるとするものが1社ある。

金融関連ユーザでは自らエキスパートシステムを作るという立場ではなく，ベンダーに作らせるという立場であり，エキスパートシステムそのものの開発が目的ではなく，あくまで全体のシステムの中の一部を構成する新技術のフレームワークとして考えている。しかし，エキスパートシステムの利用が，非製造業やノンエンジニアリング企業に広がった場合，やはり正規の教育を受けた知識エンジニアが必要となるのではなかろうか。

(3)開発したエキスパートシステムの評価

① 開発の動機など

システム開発の目的として，社内使用だが外販の用意もあるとする企業が5社あった。

開発導入により目指す効果としては，アンケート調査とほぼ同じで，専門家の仕事量の軽減，業務の質の向上・均質化が多い。エキスパートシステム開発がもたらした経営上の効果としては，コストダウンが8社，利益の増加1社，知識の継承すなわち「ノウハウの保存」および企業としての知名度の向上が7社となっている。特に，知識の継承については，従来のシステムではみられない効用であり興味深いものがある。

② ツールの利用

市販のツールを利用しているユーザが7社ありその評価はかなり高い。一方，対象とする問題のタイプが市販のツールでは適当でないため，自社で独自にツールを開発している企業が3社あった。また，ツールを利用した企業の1社は，実行効率の観点から，独自ツールの開発利用に切り替えたところもあった。

③ 既存システムやソフトウェアとの接続

エキスパートシステムと既存システムとの接続を取って利用しているユーザが5社あったが，その内容は，CADシステム2社，データベース，統計処理プログラム各1社，他のシステムとの間はファイルインタフェース1社であった。

④ 知識獲得の方法

知識獲得の方法について，インタビュー方式で行ったものが6社，整理されたドキュメントから知識を獲得したもの4社，開発者が専門家に弟子入りして業務内容を修得するとしたものが3社あった。

⑤ エキスパートシステムの推論結果の検証

エキスパートシステムの推論結果がどの程度専門家の回答に合致しているか，これを検証する方法について調査した。主な回答は次のとおりであった。

a．特に難しい事例を20件程度選定し，結果が正しいかどうかを確認する。

b．過去のオペレーション事例と推論結果を比較する。

c．あくまで支援システムと考えており，その有効性の最終判断は専門家が行っている。

d．設計問題では，推論結果をもとに，図作成のCADシステムで性能が評価されるため問題はない。

e．熟練者による判断時間の比較および質問調査

⑥ エキスパートシステム開発終了後のアフターケア

エキスパートシステム開発終了後のメンテナンス作業についても，開発者サイドが実施するケースが多く，エキスパートシステムは手離れの悪いシステムであるとの意見が多い。実際にはどの部門が実施しているのか調査した。主な回答は次のとおりであった。

a．専門家自身でメンテナンスできるように，簡易なインタフェースを提供した。

b．系列のソフトウェア会社にメンテナンス作業を依頼している。

c．専門家の中からメンテナンス担当者を選定した。
d．専門家によるフィールドテストの段階で，開発チームがつきっきりで不具合を検出したので，メンテナンスの必要性はほとんどない。
e．現場の専門家に実施してほしいがここ5～6年は無理である。
f．現場部門で実施している。

(4)全体的な印象

エキスパートシステムの利用についての全体的な印象としては，製造業が先行しており，システム開発の取り組み方も研究開発部門から工場現場まで全社的な体制を編成しているところもあり，ボトムアップのニーズによりシステムを構築している。このため，ツール利用や知識ベースの技術水準が高い。これに対して，非製造業ではエキスパートシステムに取り組んでいるという企業の知名度が優先されているようである。言い換えれば，製造業と非製造業とでは，エキスパートシステム開発の技術水準に格差があるように見受けられる。ただし，これは多分にアプリケーションの違いに関係しているものと思われる。すなわち，製造業では，専用システムに力点がおかれるため，知識のレベルが深くなり，非製造業では，汎用システムに重点がおかれるため，知識のレベルが浅くならざるを得ないのであろう。

2.2 機械翻訳システム

機械翻訳システムは，コンピュータの出現と共に研究開発が行われ，1960年代中頃から1970年代以降に欧米，日本で研究開発がさかんに進められた。近年では，国際化と情報化が進む社会の要請とビジネスチャンスの両面から，システム開発がかなり進んでいるAI応用の分野である。

機械翻訳システムの理想的な姿としては，日常会話を音声で入力し，自動的に翻訳して，対象とする言語を音声出力する音声通訳装置なども考えられるが，現状ではまだまだ研究の域である。

本調査では機械翻訳システムを「コンピュータという機械を使ってある自然言語（たとえば日本語）で書かれた文書を他の自然言語（たとえば英語）に翻訳するシステム」とした。

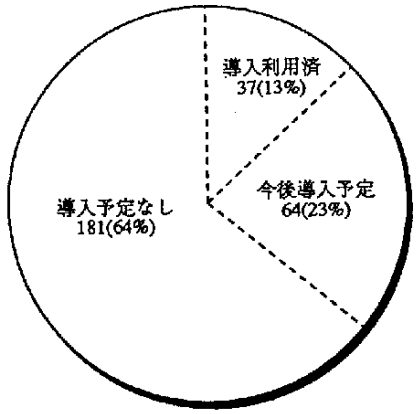
今回の調査で回答282社のうち，機械翻訳システムを導入しているところは，図表II-1-18(a)に示すとおり37社(13%)，44システムとなっている。これは，昨年（1987年）調査の導入事業体29社（10%）31システムと比較しても8社16システムの増加となっており，AIシステム全般の中でもエキスパートシステムに次いで，導入数が多くなっている。

機械翻訳システムを今後導入利用予定している事業体は，昨年調査では46社（16%）であったが，今回の調査では64社（23%）と増えている。

機械翻訳システム導入事業体を産業分野別に見ると，情報処理，教育・公務，加工組立といった産業が多く，特に教育・公務が昨年調査の1社から11社へと大幅に増加している。

図表II-1-18(b)は，既導入の機械翻訳システムを示したものである。導入システムの対象

図表II-1-18(a)
機械翻訳システムの利用状況(1988年)

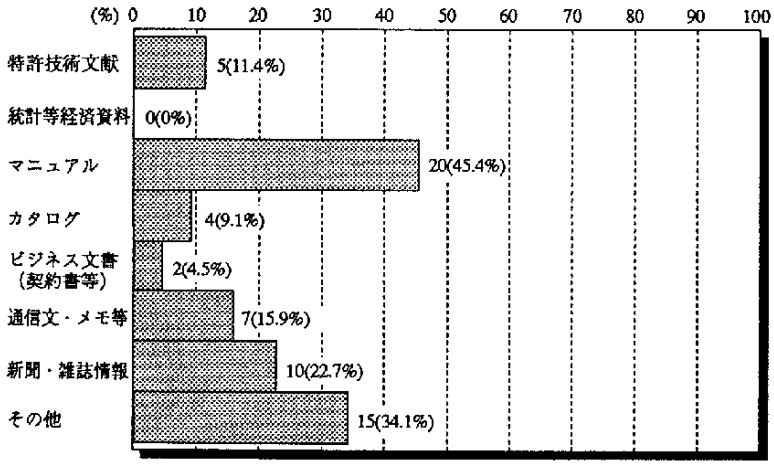


摘要：合計回答数　282事業体

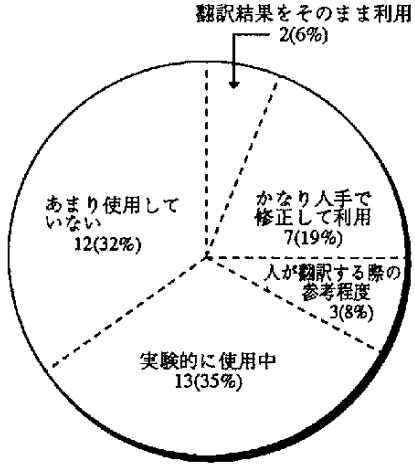
図表II-1-18(b) 既導入の機械翻訳システム例(1988年)

システム名	開発社	対象言語	対応機
AS-TRNSAC	東芝	英→日	ワークステーション
ATLAS I	富士通	英→日	汎用機/ワークステーション
ATLAS II	同上	日→英	同上
DUET-E/J	シャープ	英→日	ワークステーション
HICATS/EJ	日立	英→日	汎用機/ワークステーション
HICATS/JE	同上	日→英	同上
MELTRAN J/E	三菱電機	日→英	推論マシン
MICRO—PAC	ブラビス	英→日	ミニコン・パソコン
PANSEE	沖電気	日→英	パソコン
PIVOT/EJ	日本電気	英→日	汎用機/ワークステーション
PIVOT/JE	同上	日→英	同上

図表II-1-18(c) 機械翻訳システムの利用分野(1988年)



図表II-1-18(d)
機械翻訳システムの利用実態(1988年)



摘要：合計回答数　37システム

言語は，日本語から英語，もしくは英語から日本語への翻訳システムであり，その割合は英→日と日→英で3：2である。また，稼働しているコンピュータは，パーソナルコンピュータクラスのものから汎用機までにわたっている。

機械翻訳システムの利用分野は図表II-1-18(c)に示すようにマニュアルが45%，新聞・雑誌情報23%，特許等技術文献11%となっている。図表II-1-18(d)に利用の実態を示した。実験中が35%，人が翻訳する際の参考程度8%という結果をみると，現在のところ，試験的な使用にとどまっている。実用化している場合でも，システムによる翻訳結果をそのまま利用が6%で，翻訳結果にかなり人手で修正して利用が19%とあり，また，あまり使用していないが32%となっていることから，未だ本格的な実用にはシステムの性能向上が課題となっている。

人間が翻訳するような完全な機械翻訳システムは当分先になるものと考えられるが，原文に少し手を加える等の作業を行うことにより，翻訳者の支援システムとしての実用化が進むものと考えられる。

現在AIシステムを導入していない事業体の機械翻訳システムに対する導入意識は，自動プログラミングシステムに次いで，導入したいという意向を持っているが，その導入時

期を5年程度後と考えている。

2.3 知能ロボット

自動車，電機，機械をはじめとする加工組立産業等では，産業用ロボットが数多く実用化されている。このようにロボットの実用化が進む中で，感覚，推論機能と運動機能を備えた「知能ロボット」の普及状況を調査した。ここで，知能ロボットを「感覚・推論・運動機能を有し，外界からの情報収集および外界への積極的な働きかけなど自立的な行動能力を有するシステム」と定義した。

調査の結果は，AIシステムを導入している回答284社のうち，知能ロボットを導入しているものは5社（1.8%）と極めて低い，昨年（1987年）の調査結果4社からほとんど増えていない。今後導入・利用予定希望についての調査では，72社(25.4%)で昨年の54社(17.6%）に比べて8%程度増えている。

件数は少ないものの産業別の導入状況を見ると，基礎資材産業と加工組立産業で5社中4社となっており，今後導入・利用を希望している事業体の場合も基礎資材産業と加工組立産業で72社のうち30社となっている。このことは，知能ロボットの利用が生産系の産業といった特定の分野に多いことを示している。

国内における産業用ロボットの生産出荷台数は，他の調査によると1986年で48,500台に達し，生産金額では3,000億円を越えており，産業用ロボットの分野ではわが国は世界的にもトップレベルにあるのが現状である。また，同調査では，知能ロボットの定義を「人工知能によって行動決定できるもの」と本調査に比べ広義なものとしてはいるが，知能ロボットの生産出荷台数は，1986年では1,989台(4.7%）に達していると報告されている。

このように，現在各種のロボットが製造業等ですでに数多く利用されているが，こうしたロボットに対して若干の感覚・推論機構を付加することによって，製造業の現場から銀行，流通業などの分野にも知能ロボット的なシステムが普及していくものと考えられる。例えば，銀行の自動預金・支払機にみられるように，すでに紙幣の認識，金種別勘定等の人間代替機能を保有しており，広義の運動機能＝指の代替機能を保有している。これに「音声理解」すなわち，暗証番号，預金・支払金額等の音声入力，また，「画像理解」，住所・署名等手書き文字の自動読み取り等の機能を付加した知能ロボットの開発が試みられている。また，自律的な行動能力を持つ知能ロボットとしては深海，地底や宇宙空間等で活躍できる極限ロボットの研究開発が進んでいるが実用化はかなり先になるであろう。

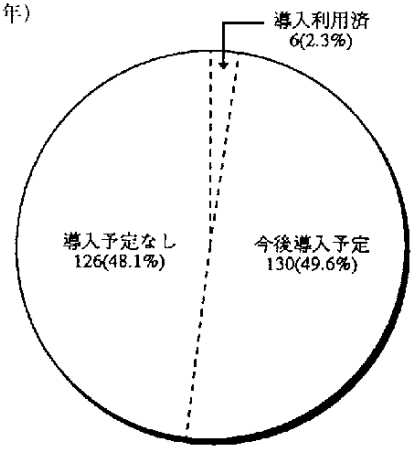
2.4 自動プログラミングシステム

自動プログラミングは，高品質，高信頼性のあるプログラム（ソフトウェア）をコンピュータを使用して作成しようとする試みである。すなわち，プログラムの部品を人手によらずコンピュータ（機械）が自動的に生成あるいは組み合わせて，ユーザニーズに合ったプログラムを作成するシステムである。

1960年代の終わりからソフトウェア工学が提唱され，ソフトウェアの開発・保守に関連する研究の結果，現在多くのソフトウェア開発支援ツールが提供されている。そこで，ソフトウェア開発技術とAI技術の関係，ないし知識処理をベースにしたプログラムの自動生成を対象としたシステムの調査を行った。

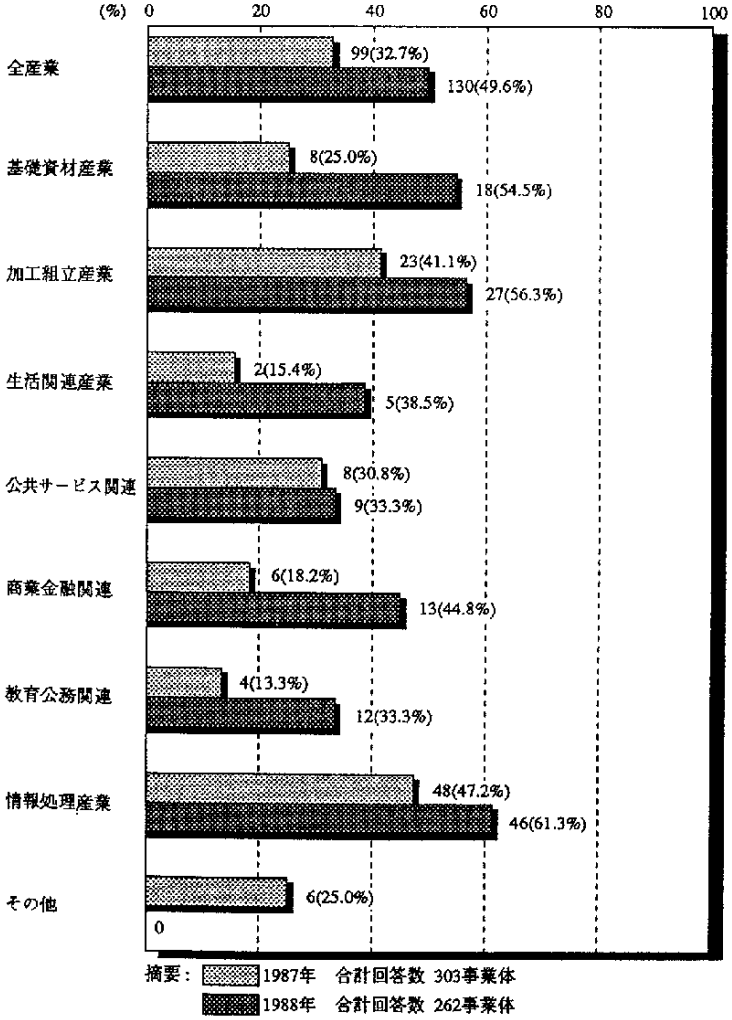
現在，自動プログラミングシステムを導入・利用しているものは図表II-1-19(a)に示すとおり昨年と同じく6社である。利用分野は事務処理分野を対象としたシステムが8システム中7システムを占めている。その中には一般的なソフトウェア部品の合成による開発支援ツールに近いものや第4世代言語等が含まれており，いわゆる従来の支援パッケージレベルと，調査で期待した演繹，推論，帰納等，知識処理によるプログラムの自動生成と

図表II-1-19(a)
自動プログラミングシステム利用状況
(1988年)



摘要：合計回答数　262事業体

図表II-1-19(b) 産業別自動プログラミングシステムの導入予定



を混同しているのが現状であると考えられる。

ただし，回答262社のうち今後導入・利用を予定している事業体は，昨年度が99社（32.7%）であったのに対して，今回の調査では130社（49.6%）とかなりの利用が予定されている。

また，導入予定回答者の割合を図表II-1-19(b)から産業別にみると，すべての産業分野で30%を越えており，中でも情報処理産業では46社（61.3%）と突出している。

AIシステムを導入していない事業体においても，自動プログラミングシステムは，導入の議論の対象になったシステムとしてエキスパートシステムに次いであげられており，ソフトウェアの自動生成に対する期待の高さがうかがえる。

しかし，現時点で導入している事業体が非常に少ないことと，今後導入を予定している事業体がかなりの数にのぼることは，ニーズとシーズの間に大きなギャップがあることを示している。次のAIシステム導入のテーマとして自動プログラミングが大いに注目されていることは，ソフトウェアクライシスが叫ばれている現状から当然のこととはいえ，今後のAI技術の具体的な適用分野として大いに注目される分野である。

2.5 画像理解システム

画像処理に関する研究開発は，文字認識や印鑑照合等のパターンマッチングや，衛星画像，医療画像等の解析，生産工程での製品管理等の分野で進められてきた。こうした分野における従来の画像処理システムは，画像ノイズの除去，形状パータンの抽出・マッチング，濃度・色などの特徴量の計測等の処理を主体としている。近年ではこうした画像処理の過程にAI技術を利用する方向にある。

画像理解システムは，ランドサットやノア等の衛星画像や航空写真の解析等で実用化が進みつつあるほか，生産系の産業分野では製品検査や金属材料の特性解析，医療分野では医療写真の解析による治療支援等で研究が進められている。また，自動走行ロボットの視覚部分としての高度利用を目指した研究等が進められており，今後の成果が期待されている。

本調査では画像理解システムを「入力された画像情報から，対象物の形状を抽出し，その形状をもとに対象物が何であるかを理解できるシステム」と定義している。

調査結果は，回答281社のうち画像理解システムを導入利用しているものは21社（7.5%）である。昨年の22社と比較すると変化はないがエキスパートシステム，機械翻訳システムに次いで導入が多くなっている。これに対して，今後導入利用を予定しているものは，105社（37.4%）と昨年の85社（28.5%）より増えており，画像理解システムに対して期待が高まりつつあることを示している。

産業別にみると，「基礎資材産業」「加工組立産業」の生産系産業において導入済みが11社，導入利用予定が42社と過半数近くを占めており，知能ロボットと同様に画像理解システムも生産系産業での利用が多い。ただ，導入済みシステムの内容を見ると，製造工程での部品の計測や検査を目的とする，いわゆる画像処理の域を出ていないものも含まれているようであった。一方，教育・公務の分野で5社が導入していると答えており，導入予定でも15社の回答があったことは社会的なシステムとしても利用ニーズがあるものとして注目される。

2.6 音声理解システム

音声理解システムはハードウェアの進歩と共に近年急速に発達しつつあるシステムであり，具体的には，電話を利用した簡単な自動応答システム，機械操作命令システム，音声ワードプロセッサとして実現されつつある。システムの機能としては，人間の日常会話のような連続した音声を認識し，音声で表現された文章内容を理解する高度なシステムから，音声ワードプロセッサのように単に音声で表現された文章をコンピュータ上で文章化するシステムなどである。今回の調査では音声理解システムを「発声内容により，文字表記に変換するとともに，その発声内容を理解できるシステム」としている。

調査結果は，回答281社のうち音声理解システムを導入利用していると答えたものは5社（1.8%）と昨年の「音声認識システム」の導入企業（13社）に比べると減少している。これは，昨年度の「音声認識システム」に対して，「音声理解システム」と“理解する”点を強調したことが原因と考えられる。しかし，今後，音声理解システムを導入利用を予定しているものは112社（39.9%）と昨年の76社（24.8%）に比べて大幅に増えている。音声理解システムは，音声入力ワードプロセッサ，音声照会，音声予約，音声操作等，システムの応用イメージが割合明確にとらえられていることから，各産業においての導入利用希望が高く現れたものと言える。

2.7 自然言語理解システム

本調査で対象とした自然言語理解システム

は，ただ自然言語の文章を文脈処理し文章を作成するというレベルから一歩進めて，自然言語文章の意味理解を行うほか知識処理機能を持ち，目的に対し適切な結果を得る（理解し，応答する）知的なシステムを意識した。

自然言語理解システムの要素技術である自然言語処理は，わが国の場合，日本語文章の作成が汎用機の上で実用化された。その後，日本語ワードプロセッサの登場やワードプロセッシングソフトウェアの開発によって，日本語処理が急速に普及するに至った。その後は，自然言語理解システムにはワードプロセッサの文章添削，専門文書等のテキストからのキーワードの抽出，文書作成，文献検索システムでの対話等のシステムが開発されているが，現在のところ，自然言語による知的インターフェースとして応用システムが開発されている。

調査結果によれば，回答270社のうち，自然言語理解システムを導入利用しているのはわずか5社（1.9%）である。

すでに導入利用されているシステムの適用分野は，新聞記事のキーワードづけ，英会話教育用テキスト文書の自動要約，データベースの検索，研究論文の作成などとなっている。これらの利用内容はすべてが評価テスト中であり，実用として稼働していると答えたものはなかった。

以上のように自然言語理解システムは，機械翻訳システム，文字認識システム，音声理解システムと結び付くことが不可欠なシステムであり，産業界の期待が高いが，実用化という面では，技術的に製品化面においてまだその時期に至っていないと考えられている。

3. 将来のAIシステム普及の予測

3.1 AIシステム別普及の見通し

わが国におけるAI技術の利用は，エキスパートシステムを主体にしてここ数年の間に産業社会のさまざまの分野で進んきた。特にエキスパートシステムは，社内における身近な問題で実現可能な分野にターゲットを絞って開発されている。

今後のAIシステム普及の見通しについて，AIシステム導入事業体305社を対象に社内業務への利用に対する「試験使用開始時期」，「本格使用開始時期」，「5年後の普及度」を調査した。

3.1.1 エキスパートシステム

エキスパートシステムは，すでに多くの事業体で導入利用されており本格的な普及時期を迎えようとしている。図表II-1-20(a)はエキスパートシステムの試験および本格的使用開始時期予測を示したものである。エキスパートシステムについては，既に現時点が本格的な使用開始時期にあるとみているものが56社（18.4%）あり，1年以内とみるものが52社（17.0%）となっている。一方で現時点はまだ試験的な段階であるとみているものが174社（57.0%）と大半を占めていることも事実である。このように普及見通しについての評価が分かれているのがエキスパートシステムの現状であるが，3年以内に本格的な普及時期が訪れる（64.6%）と予測されている。5年後の普及度合については，かなり普及するが150社（49.2%），やや普及するが108社（35.4%）と予測している。産業別にみてもほとんどの業種が普及するものとみているが，特に，商業金融関連(96.9%)，基礎資材産業(91.7%)が90%以上の回答で普及するとしている。しかし普及しないとみているものが18社（5.9%）となっている。

3.1.2 機械翻訳システム

機械翻訳システムは，国際化する産業社会の中で，技術，経済，ビジネスにおける文書の翻訳作業に有用な道具として期待するところが大きい。機械翻訳システムの場合，ユーザは，翻訳システム（ソフトウェア）および電子化辞書を開発者・販売者から購入しそのまま使用することになる。このため，システ

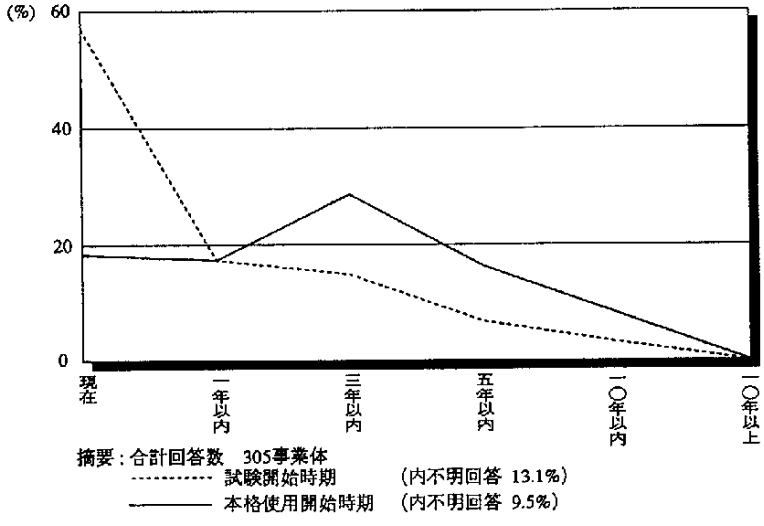
ムがユーザのニーズに応じた性能（翻訳結果の満足度），辞書に含まれる専門用語の分野や語彙数，機械処理の前後の人手負担量などが普及の進展を左右する。

機械翻訳システムの普及予測は，図表II-1-20(b)に示すとおり，試験使用が3年以内に開始されるとみているものが64社（21.0%）あり，本格的使用は，それから2年遅れの5年以内とみているものが66社(21.6%)である。5年後の普及度合となるとかなり普及する42社（13.8%）およびやや普及する96社（31.5%）で両者合わせて138社(45.3%)が普及の見通しを持っている。特に，商業金融関連(53.1%)，教育公務関連（52.5%），加工組立産業（50.0%）が普及するとの回答が多い。反対に普及しないとするものが64社（20.9%）である。

3.1.3 知能ロボット

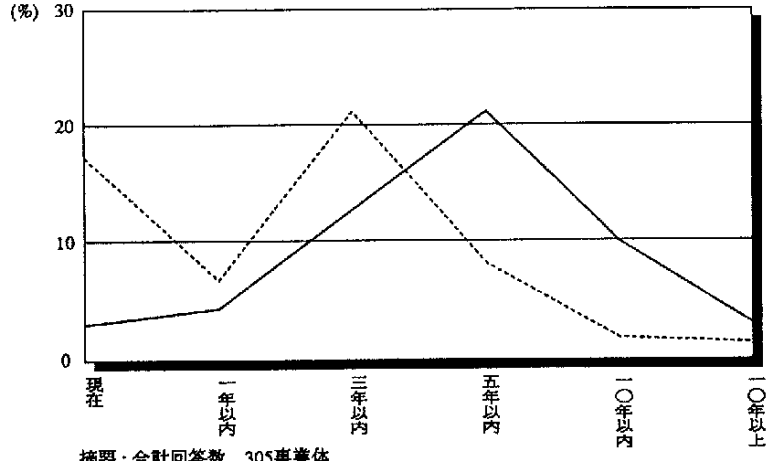
知能ロボットの普及予測は，図表II-1-20(c)に示すとおりである。知能ロボットの普及見通しでは，試験的な使用が3年から5年以内に始まり（76社24.9%），5年から10年以内に本格的な使用が進む（77社25.3%）ものとなっている。試用期から実用期まで5年以上の時間遅れが生じるものと予想されている。知能ロボットは，AI技術を始めとする各種要素技術を統合化したものである。したがって，AI技術とともに，ロボットの応用，環境モデルの情報処理機能，実時間処理機能，高度な行動機器，センサー技術など，ロボット特有の技術と併せて総合的に研究開発される必要があることから，実用までにはまだ相当の時日を要するという認識である。5年後の普及見通しについては，88社（28.8%）が普及するとみており，産業別では，生活関連産業

図表II-1-20(a) エキスパートシステム使用開始時期予測(1988年)



摘要：合計回答数　305事業体
---------- 試験開始時期　(内不明回答 13.1%)
———— 本格使用開始時期　(内不明回答 9.5%)

図表II-1-20(b) 機械翻訳システム使用開始時期予測(1988年)



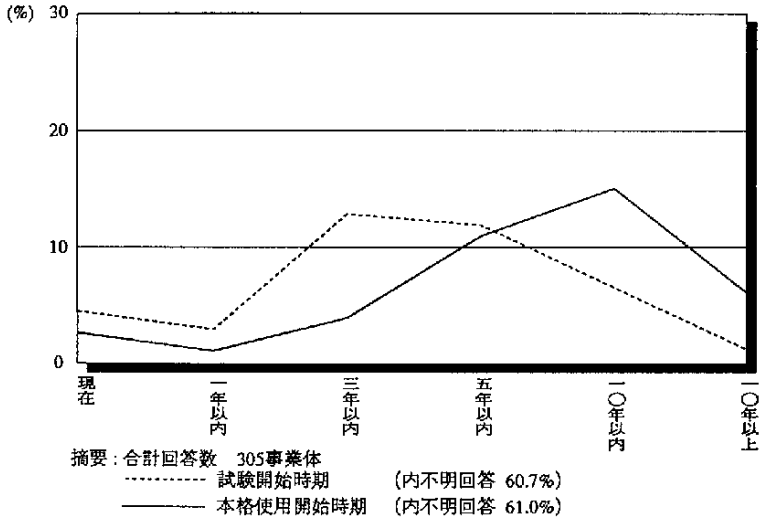
摘要：合計回答数　305事業体
---------- 試験開始時期　(内不明回答 42.6%)
———— 本格使用開始時期　(内不明回答 44.3%)

(40.0%)，商業金融関連 (34.4%) が普及するとの回答が多い。しかし，基礎資材産業は，普及しないとの回答 (36.1%) が普及する (22.2%) を上回っている。

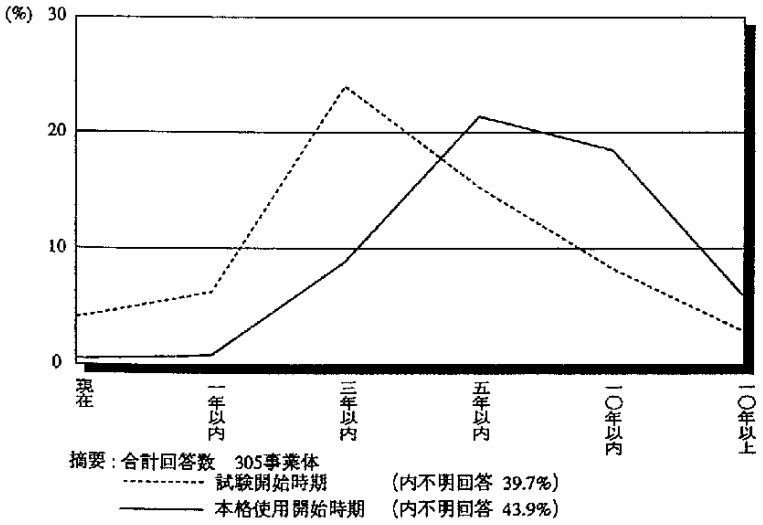
3.1.4 自動プログラミングシステム

自動プログラミングシステムの普及見通しについては，図表II-1-20(d)に示すとおり，試験開始時期が3年以内とみているものが72社 (23.6%) で，本格的使用は，5年以内とするものが67社 (22.0%) と最も多いが，10年以内とするものが57社 (18.7%) あり，予測が分かれている。これには，自動プログラミングシステム技術に対し，現状のシステムに見られるように限定した問題領域のプログラム自動生成を意識しているものと，ソフトウェア設計や開発の知識ベースにもとづくソフトウェア開発用エキスパートシステムを想定するものとに分かれているものと考えられる。特に，汎用性をもったソフトウェア開発用エキスパートシステムの登場となると研究途上でもあることから相当の時日を要するという見通しである。5年後の普及の見通しについて，112社 (36.7%) が普及すると回答しており，商業金融関連 (50.1%)，情報処理産業 (41.2%) が高い割合となっている。普及しないとの回答は85社 (28.7%) である。

図表II-1-20(c) 知能ロボット使用開始時期予測(1988年)



図表II-1-20(d) 自動プログラミングシステム使用開始時期予測(1988年)



3.1.5 画像理解システム

画像理解システムの普及予測は，図表II-1-20(e)に示すとおり，試験使用が，3年以内とするもの59社(19.3%)および5年以内とするもの44社 (14.4%) となっている。本格的使用時期についても5年以内とするものが，55社(18.0%)，10年以内が46社 (15.1%) と見方が分かれている。5年後の普及見通しは，普及するとするもの110社 (36.1%)，普及

しないが77社（25.3%）と回答している。普及回答の高いのは加工組立産業(43.6%)，生活関連産業（40.0%）である。画像情報の処理については，画像情報を認識する技術レベルと，画像情報を認識し理解する技術レベルとの見方がある。前者はすでに実用化されているが，後者については，米国国防総省の画像理解プロジェクトや，わが国の大型プロジェクトで進めている極限作業ロボットなどに見られるような研究レベルにあることから，普及が遅れるという見通しとなっている。

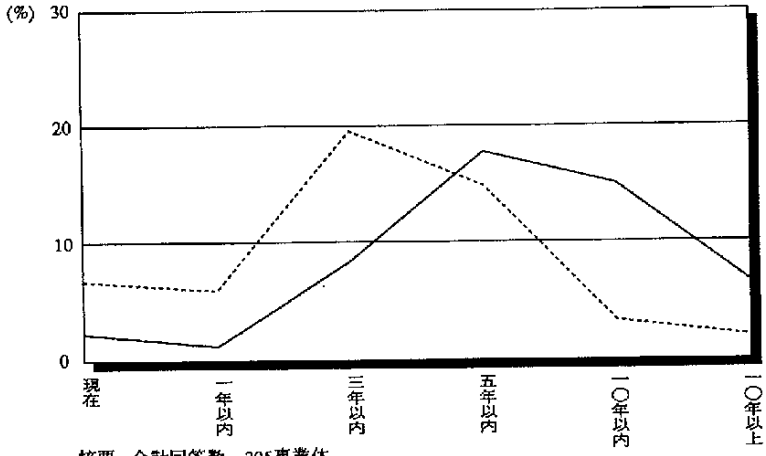
3.1.6 音声理解システム

音声理解システムについての普及予測は図表II-1-20(f)に示すとおりである。試験的使用が3年以内とするものが，64社（21.0%）と最も多く本格的使用については，5年以内が52社(17.0%)，10年以内が51社(16.7%)と見方が分かれている。5年後の普及見通しについて，普及するとみるものが101社(33.1%)，普及しないが78社(25.6%)である。普及すると見ている産業で回答の高いものは，商業金融関連(36.9%)，情報処理産業(36.5%)，加工組立産業（35.5%）などである。一方で，普及見通しが不明と回答しているものが半数に達している。音声理解システムは，人間の音声によって表現されたメッセージの内容をコンピュータに理解させる，というものである。現在のところ，不特定話者の連続音声の認識技術についての研究を始め，米国，イギリス，ECなどのAI関係ナショナルプロジェクトの中での音声理解に関する研究，わが国の自動翻訳電話プロジェクトなどの成果が今後の実用化にあたって期待されるところである。

3.1.7 自然言語理解システム

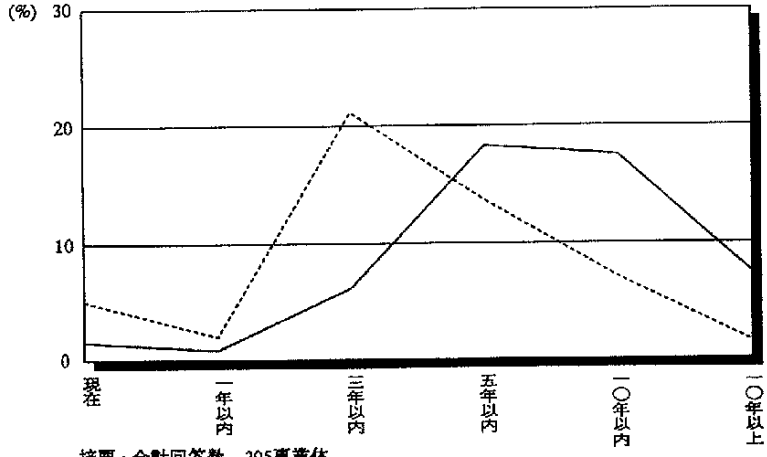
自然言語理解システ

図表II-1-20(e) 画像理解システム使用開始時期予測(1988年)



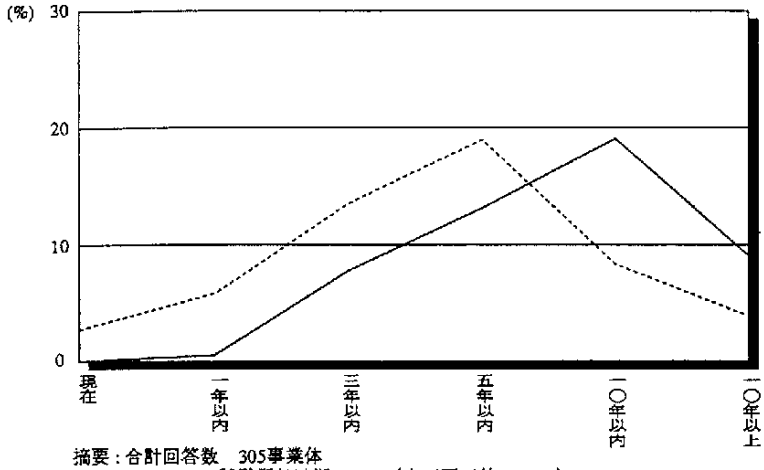
摘要：合計回答数　305事業体
---------- 試験開始時期　(内不明回答 47.5%)
———— 本格使用開始時期　(内不明回答 49.8%)

図表II-1-20(f) 音声理解システム使用開始時期予測(1988年)



摘要：合計回答数　305事業体
---------- 試験開始時期　(内不明回答 48.9%)
———— 本格使用開始時期　(内不明回答 51.1%)

図表II-1-20(g) 自然言語理解システム使用開始時期予測(1988年)



摘要：合計回答数　305事業体
---------- 試験開始時期　(内不明回答 46.9%)
———— 本格使用開始時期　(内不明回答 50.8%)

ムは，コンピュータとの知的インターフェースとして各種AIシステムの基本となるものである。このシステムの普及見通しについて図表II-1-20(g)に示すとおり，試験使用は5年以内とみるものが57社(18.7%)，また本格的使用は10年以内とするものが58社(19.0%)と回答が最も多い。また，5年後の普及見通しについて，普及するとみるものが86社(28.2%)と他のAIシステムに比較しても最も低い。普及しないの回答が97社(31.8%)で，普及するを上回っている。普及するとみている産業で情報処理産業が43.6%と最も高い見通しとなっている。日本語の自然言語処理システムは，すでに汎用機を始め日本語ワードプロセッサに見られるように，情報処理や文書作成に使用されているが，人間との意思伝達のための知的インターフェースとしての自然言語理解システムとなると，実用化までに相当の時日を要するものと見られている。5年後の普及見直しでも普及するとみるものが86社(28.2%)であるのに対し，97社(31.8%)が普及しないとし，また不明とする回答が122社(40.0%)に達している。自然言語理解技術の研究課題は，現在のところ，意味解析，特に人間の使う文章の「あいまいさ」を理解するために，文脈処理を行う語用論的解析に焦点がおかれている。また，コンピュータ処理のための電子化辞書の開発が，わが国では㈱日本電子化辞書研究所，米国ではMCCのCYCプロジェクトで進められている。今後の自然言語理解システムの普及にあたってはこれらの成果が期待されるところである。

第2部 AIシステム未導入事業体の意識

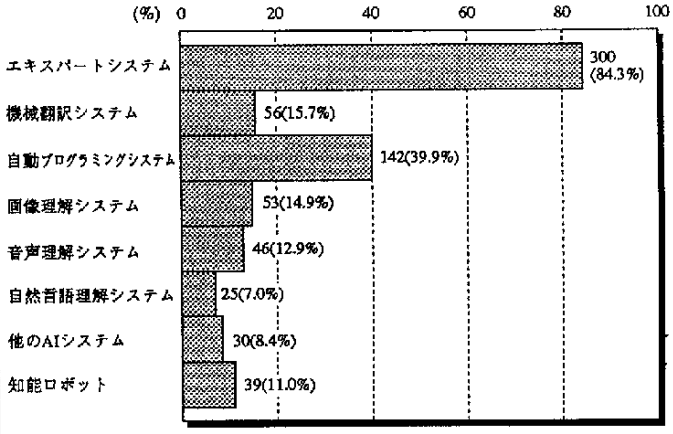
1．未導入率の高い産業，低い産業

1988年の人工知能に関する調査では，図表II-1-1（24頁）に示すように，有効回答1,480社のうちAIシステムをすでに導入しているものは305社（20.6%）で，残り1,175社（79.4%）が未導入事業体となる。未導入と回答した事業体の産業別分布（図表II-1-1参照）から，未導入率の高い（導入率の低い）産業は，食料品，繊維，紙・パルプ，その他の製造業を含む生活関連産業の91.1%，卸・小売，金融・保険，不動産，運輸・通信を含む商業金融関連産業が90.0%である。中でも成熟産業である紙・パルプ（100.0%），繊維（97.1%）は，未導入率が高い。中小企業の

図表II-2-1 産業別未導入事業体のAI導入の話題の有無

	回答数	ことがある話題になった	ことがない話題になった
全産業	1175	358	817
農林水産業	9	3	6
鉱業	29	10	19
食料品	33	9	24
繊維	9	4	5
パルプ・紙	57	18	39
化学	4	3	1
石油・石炭製品	15	4	11
窯業・土石製品	9	4	5
一次金属	53	14	39
金属製品	44	20	24
一般機械	22	7	15
電気機械	74	20	54
輸送機械	44	17	27
精密機械	22	7	15
その他の製造業	74	20	54
建築	44	17	27
電気・ガス・水道	5	1	4
卸・小売	140	26	114
金融・保険	137	37	100
不動産業	10	2	8
運輸・通信	62	17	45
出版・報道	7	2	5
教育	56	23	33
医療	17	3	14
情報処理	47	17	30
ソフトウェア	50	29	21
法律・会計	-	-	-
その他のサービス	43	14	29
公務	66	12	54
その他	30	4	26

図表II-2-2 未導入事業体の導入希望AIシステム（1988年）



摘要：合計回答数 356事業体

図表II-2-3 未導入事業体のエキスパートシステム導入希望時期

	回答数	1年以内	2－3年以内	5年以内	5年以上先	いない決まって
全産業	300 100.0	23 7.7	44 14.7	12 4.0	8 2.7	213 71.0
基礎資材産業	35 100.0	3 8.6	7 20.0	1 2.9	3 8.6	21 60.0
加工組立産業	53 100.0	– –	12 22.6	4 7.5	1 1.9	36 67.9
生活関連産業	41 100.0	6 14.6	7 17.1	– –	– –	28 68.3
公共サービス関連	32 100.0	4 12.5	4 12.5	2 6.3	1 3.1	21 65.6
商業金融関連	58 100.0	2 3.4	3 5.2	2 3.4	1 1.7	50 86.2
教育公務関連	37 100.0	4 10.8	3 8.1	2 5.4	2 5.4	26 70.3
情報処理産業	41 100.0	4 9.8	8 19.5	1 2.4	– –	28 68.3
その他	3 100.0	– –	– –	– –	– –	3 100.0

適用：上段 回答事業体数
下段 %

多い小売業が含まれる卸・小売も95.9%，同じく運輸・通信，不動産，も同様の理由からそれぞれ96.9%，90.9%が未導入である。教育，公務，その他サービス業を含む教育・公務関連は，医療が100%未導入のため全体は82.0%になっている。逆に未導入率の低い産業は一般機械，電気機械，輸送機械，精密機械等を含む加工組立産業の72.9%と，情報処理サービス，ソフトウェアを含む情報処理の55.0%で，前者は成長分野であり，かつ技術競争の激しいエレクトロニクス，メカトロニクスがAIという先端技術の導入の牽引的な役割を果たしつつあることの現れといえよう。未導入事業体の就業者規模別分布は，資料編3-3を，同じく回答者所属部門別分布は，資料編3-4を参照。

2．AIの導入の話題の有無

未導入事業体1，175社のAIに対する意識について，社内におけるAI導入の話題の有無では，358社（30.5%）が，AIシステム導入の必要性について，社内会議で話題になったことがある，と答えている。図表II-2-1に産業別内訳を示したが，加工組立産業が38.9%，情報処理産業が46.2%と高率である。個別産業で見ると，産業順に石油・石炭製品，ソフトウェア，輸送機械，一般機械，一次金属，教育，建設，窯業・土石製品，情報処理，その他サービス，化学，電気機械となっている。規模の大きい事業体ほど話題にしている率が高い。一方，所属部門別には，研究開発部門が最も高く，64.5%に達し，製造部門の50.0%，営業部門の41%，人事・人事開発部門の35.3%，情報サービス部門の31.4%となっている（資料編3-5）。

3．導入希望AIシステム

未導入事業体のうち，今後導入を希望するAIシステムについては，図表II-2-2に示すとおり，回答356社のうち84.3%に当たる300社がエキスパートシステムと答えている。産業別にみて，特にエキスパートシステムの導入希望が高いのは，公共サービス関連の91.4%，商業金融関連の90.6%である。しかし，サンプル数が少ないものの，個別産業をみると，農林・水産，石油・石炭製品，出版・報道の3産業が100.0%，電気機械，建設，情報処理が94.0%，金融・保険が91.9%，卸・小売が91.2%と90%を越えている。導入希望時期について3年以内を予定しているもので比率の高いのは基礎資材産業（28.6%）生活関連産業（31.7%）公共サービス関連（25.0%）である（図表II-2-3）。

次いで，自動プログラミングシステムが39.9%と高い。ソフトウェア開発の生産性向上の希望を反映して，自動プログラミングシステム導入希望はどの産業においても高率であり，特にソフトウェア業と情報処理サービスは高く，それぞれ71.4%，64.7%である。機械翻訳システムが，15.7%，画像理解システムが14.9%，音声理解システムが12.9%，知能ロボットが，11.0%，その他のAIシステムが8.4%，自然言語理解システムが7.0%と続いている。資料編3-6AI未導入事業体就業者規模別導入希望システムに示したとおり，規模の大きいところが導入希望率が高く，特にエキスパートシステムではそれが顕著である。

4．AIシステム導入を話題にしたことがない事業体の意識

AIシステム導入の必要性について社内で話題にしたことがないと答えた事業体においても，ほぼ半数（51.0%）が「近い将来AIシステムの導入が話題になる」と考えており，化学，電気機械，輸送機械，精密機械，運輸通信，教育，情報サービス，ソフトウェア，公務などが60%以上となっている。

第III編　AI技術の動向

はじめに

本編は，AI技術に関して，基本技術から応用技術に至るまで，網羅的にまとめたものである。本書の目的は，企業において現在AI化を進めている，あるいはこれからAI化を図っていこうとするときに計画立案に携わるマネージャ・クラスのビジネスマンにとって，有効な指針を与えることである。そのため，本編の記述に当たっては，AIの専門家でなくてもAI技術が何であるかを容易に理解できることを目指し，技術解説もできるだけ平易になるように努めた。

本編は，AIシステムの一般的な枠組みについて解説している「AIの枠組み」，AI技術の全般的な動向について述べている「AI技術トレンド」，特に注目すべき技術分野について，より詳しい技術解説を行う「ハイライト技術」の各部からできている。

第1部「AIの枠組み」では，第2部以下で展開される個別技術の相互の位置づけを行っている。

第2部と第3部「AI技術のトレンド」では，AI基本技術とAI応用技術に分けて，その要素技術全般の解説を行っている。AI技術は，一言でいえば「知識」を扱う技術である，といえるが，技術的にはどのように知識を使って問題を解決するのか，推論をどのように進めていくのか，の問題が一方にあり，他方には，それらの知識をコンピュータの中でどのように表現すればよいのか，の問題がある。これらの問題は，第2部「AI基本技術のトレンド」の中の「問題解決」および「知識表現」のそれぞれの項で述べられている。AI技術のもう一つの軸は，AIシステムを実現するためのコンピュータ技術の側面である。それについては，同じ部の4.「AI言語とアーキテクチャ」の項で解説している。AI基本技術には，この他に，知識獲得と学習に関する話題があるが，それについては，第4部の「ハイライト技術」の中でより詳しく解説する。

第3部「AI応用技術のトレンド」では，AIが中心的な役割を果たす応用システムを7つ取り上げて，それらのシステムの現状と今後の動向について解説する。それらの応用システムは，「エキスパートシステム」，「自然言語理解」，「機械翻訳」，「音声理解」，「画像理解」，「知能ロボット」，および「自動プログラミング」である。エキスパートシステムは，AI応用システムの代表的なシステムであるので，それについては，エキスパートシステム開発ツールを中心として，できるだけ詳しい解説を行った。自然言語理解，機械翻訳，音声理解，画像理解，の各テーマについては，それらの処理に本来AI的な要素を含んでいるが，本書では，それらの処理をさらに細分化して，システム構成を明らかにし，各サブシステムにおけるAI技術についての解説を行った。知能ロボットおよび自動プログラミングは，ともに現在のところAI化はそれほど進んでいないが，今後重要なAI応用システムに成長することが見込まれているので，今後の動向を中心にして，解説を行った。

第4部は，「ハイライト技術」として，知識獲得と学習を取り上げた。エキスパートシステムの構築にとって，専門家の知識を効率よく記号化し，知識ベース化することは，大変困難な問題であることが知られている。この問題は，知識獲得ボトルネックと呼ばれている。さらに，学習機能は，AIシステムが本当に知的な振る舞いをするのになくてはならない機能である。もし学習機能を備えていなければ，結局のところ，〝AI〟システムは，それを構築するときにあらかじめ予測できた事態にしか対処できないシステムとなってしまう。このように，これからのAIシステムを考えるとき，知識獲得および学習機能の充実がその高度化にとって不可欠である。知識獲得と学習は，いうまでもなく大変関連の深い技術で

ある。知識獲得は特にエキスパートシステムを構築する際に，インタビュー形式で専門家から知識を抽出することを指す場合が多いが，それをデータ解析技術などを用いて自動化するような場合は，学習機能そのものである。学習機能を実現するには，演繹的推論だけではだめで，帰納的推論の機能が必要になることはよく知られている。従来，帰納的推論は，コンピュータの上で実現することが困難な技術と見なされてきた。本書では，この点に関して，最新の研究成果を披露し，その技術が徐々にではあるが使いものになる技術に育ってきつつあることを明らかにしたい。

第1部 AIの枠組

1．AIの輪郭

人工知能（AI）という言葉は，もともと，コンピュータ科学における新しい研究分野を方向づけるためのキャッチフレーズとして生まれたものであり，現状では，「これがAIです。」といえるような実体のあるものではなく，実見できるものとしては，AIの実現を目指したさまざまな研究活動と，それらからの中間成果だけがある，というのが本当のところである。

現在ビジネスの世界でAIとよばれているものは，この中間成果を活用したものである。また，知識工学とよばれる研究分野は，中間成果の一部である知識利用技術の可能性に着目して，実用の場でその展開と応用を進めようとするものである。エキスパートシステムは，そのもっとも大きな成果である。

AIという言葉の意味は，いうまでもなく，人工的な手段で実現された，人間の知能に相当する機能ということである。したがって，AIにアプローチするためにまず考えなければならないのは，次のような問題である。

①（人間の）知能をどう捉えるか

②実現手段として何を考えるか

人間の知能の本質が解明済みであれば，①の問題は大したものではないかもしれない。しかし，現状では人間の具体的な活動についてすら，何を知能の働きとみるかで見解が分れることが多いのである。例えば，かつてのAI研究の主要課題であったチェスを打つプログラムをとってみると，並の人間相手であれば決して負けないプログラムが実現されているが，それをもって知能の実現とみる人は専門家にはいない。チェスしかできないものでは，知能的とはみなされないのである。知能的であるためには，もっと一般性が高く，内容的にも，もっと複雑で変化に富んだものであることが必要とされている。現在関心が高いのは，自然言語を使いこなす能力，図面画像の内容を理解する能力，音声で表現されたものを理解する能力などである。こうした能力を人工的に実現することを通じて知能の本質を理解したい，というのが多くのAI研究者の立場なのである。

次に，②の実現手段として何を考えるかの問題であるが，この問題には2つのアプローチがとられている。その1つは，いわゆるコンピュータを利用したシミュレーションによって実現を図るものである。このアプローチの基礎には，知能の働きは記号で表現されたものに対する形式的な操作として実現できる，という記号主義あるいはシンボリズムの考え方がある。これに対して，もう1つのアプローチは，知能は脳によって発現される機能であり，その本当の実現のためには脳の神経回路網の結合とその重みづけのメカニズムに学ぶべきである，というコネクショニズムの考え方に立つものである。これは，ニューラルネットワークのアプローチとして最近その研究が活発となっている。ニューラルネットワークの特徴は，神経細胞のように，広い範囲の多数の要素に重みづけのある結合で接続された単純な機能要素の相互作用によって，情報の処理が実現されること，したがって，多数の単純な情報要素を密接に連動させる操作が必要な処理（たとえばパターン処理，アナログ的処理など）に適していることである。

以上から明らかなように，AIの研究によっ

て，一方では人間の知能に対する理解が深められるとともに，もう一方では，コンピュータの応用範囲がより高度な知的処理に拡大されるばかりではなく，ニューラルコンピューティングのような新しい情報技術の開拓がもたらされつつある。これらは結果としてそうなったというのではなく，最初から目的として追求されてきたことが実際に具体化されつつあるものである。

2．AI研究の3分野

現在，AI研究の目的には3つの側面がある。それらは互いに関連し合いながら発展すると同時に，それぞれの使命に沿って独自の展開を目指すようになっており，下に示すように固有の名称をもっている。

①人間の知能をモデル化する意図で行う研究の分野

認知科学

②知能をシミュレートし得る可能性をもった計算技法（ハード／ソフト）を開発する意図で行う研究の分野

基本AI

③ビジネス用，教育用，軍事用などをはじめ，有効な応用システムを開発する意図で行う研究の分野

応用AI

これらのAI技術を物理工学技術に対比して示すと図表III-1-1のようになる。

物理工学にとっての物理学は，その扱うべき対象世界の性質を明らかにしてくれるものであり，数学はそこでの問題を分析したり，設計を具体化したりするための手法を提供してくれるものである。

AIにおいてそれらと対応する役割を果たしてくれるのは，それぞれ心理学と計算機科学である。

また応用AIは応用工学に対応するものであることからもわかるように，AI技術の実験場としての役割がある。この役割は極めて重要であり，例えば知識工学の父ともいえるE．A．ファイゲンバイムは「AIは実験科学である」とさえ言っている。

図表III-1-2は図表III-1-1のAIの体系をニューラルコンピューティングに対応させたものである。

ニューラルコンピューティングはニューラルネットワーク（神経回路網）の動作原理に基づく情報処理の考え方で，原理的な研究は1940年代から行われてきたものであるが，最近になって具体的なコンピュータ化の可能性が高まってきた。

これは従来，記号主義一点張りで進んできた計算機科学に，コネクショニズムという新しい次元を導入するとともに，心の働きを神経生理学の立場から解明するアプローチに大きな活力をもたらすものである。そして，ニューラルコンピューティングの研究の成果は，AIの幅や奥行きを広げるとともに，記号主義

図表III-1-1　人工知能と物理工学の対比

計算機科学	数学
心理学	物理学
認知科学	理論物理
基本AI	応用数学／基礎工学
応用AI	応用工学

図表III-1-2　ニューラルコンピューティングの体系

計算機科学	コネクショニズム
心理学	神経生理学
認知科学	パターン認識
基本AI	ニューラル コンピューティング
応用AI	視覚、聴覚、学習、 最適化、連想記憶　等

的な技術とコネクショニズムに基づく技術の融合によって，さらに高度な情報処理の実現が可能となろう。

3．AIの基本モデル

人間の知的活動は無限の変化を含んでいるので，それらの外形だけを捉えて1つずつコンピュータで真似をするだけというのでは，本格的なAIの実現はおぼつかない。知能を内部構造や動作原理のレベルでシミュレートするというアプローチが必要である。このレベルでみた知能のモデル化の出発点が，ここでいう基本モデルである。この基本モデルをAIに取組む三つの立場である認知科学，応用AI，基本AIのそれぞれでとらえたものが，以下にみる理論モデル，実用モデル，計算モデルである。

3.1 理論モデル

人間の知能のように複雑な機能をもったブラックボックス的な系の仕組みを解明するためには，単に外部にみられる現象の観察を積重ねるだけでは不十分で，ブラックボックス内部の構造について仮説を立て，それにもとづいて観察からえられた知見を相互に関連づけて説明する試みを並行させることが必要である。以下に説明するモデルは，このような試みの出発点としてもっとも基本的なものである。

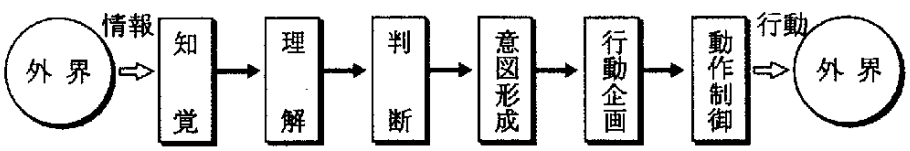
一般に，ある系が知能をもっているかどうかは，その系が外界の状況変化に応じて十分有効な対応行動がとれるかどうかによって判定される。したがって，知能活動の本質は，状況変化の情報をある行動パターンに変換する過程の中にあることになる。この過程をモデル化したものが，図表III-1-3の認知プロセスである。

図表III-1-3にみられるように，認知プロセスは外界からその状況変化を伝える生の情報を受取るところから始まる。この情報に対しては特徴抽出が行われ，その特徴のパターンにもとづいて記号化がなされる。これが知覚のプロセスである。記号化された情報は，系がすでに持っている経験や知識と組み合わされて，その意味内容が解釈される。すなわち，理解のプロセスである。この解釈の結果は系の目的・必要・欲求などの観点から価値判断がなされ(判断プロセス)，それにもとづいて状況変化にどう対応するかの方向づけ（意図形成プロセス）が行われる。つぎに，この意図に従ってとるべき行動の内容が組立てられ（行動企画プロセス)，そのプログラムに沿って動作指令が出される（動作制御プロセス）ことになる。

以上のような認知プロセスが実現するためには，それを支える知能的なメカニズムが存在しなければならない。このようなメカニズムの基本モデルの一例を示すと図表III-1-4のようになる。(米国の有力なAI研究機関であるSRIで用いられているものに手を加えた。)

認知プロセスのうちで大きな比重をもつのは理解プロセスである。そこで，このプロセスを例にとって，認知プロセスの実現におけ

図表III-1-3　認知プロセス・モデル

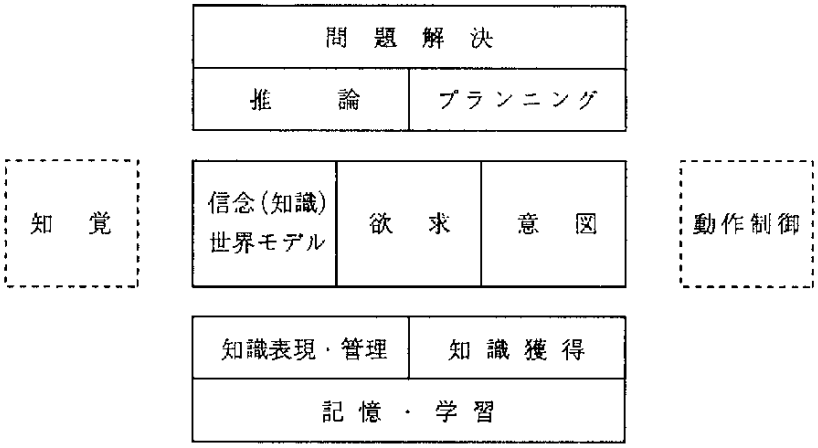


る知能メカニズムの各要素の役割を簡単に説明することにする。

ある事象を理解するというのは，その事象の性質や構造を自分のもっている信念あるいは知識の体系の中で推定し，説明可能とする（あるいは解釈する）ことである。このような信念（知識）の体系が図表III-1-4に示した世界モデルというものである。ここで行われる推定や解釈においては，いくつかの情報や知識を変形したり，組合せたりして新しい情報を導く操作が必要になる。この操作を正確に行うものが推論である。推論にはいろいろな形式のものがあり状況に応じて使い分ける必要がある。また，高度な課題を含む状況においては，それらの推論を組合せたり，何段階も積重ねて行う必要がある。このために，正しい組合せや積重ねを発見して解に至るプロセスが，いわゆる問題解決である。したがって，問題解決には，推論操作の手順を発見するという意味でプランニングの仕組みが含まれることになる。そして，このプランニングのメカニズムがその本領を発揮するのは，行動企画プロセス(図表III-1-3)においてである。例えば〝what〟(目標仕様)を〝how〟（プログラム）に変える自動プログラミングの実現は行動企画プロセスの1例である。

問題解決・推論が認知プロセスを動かすエンジンであるとすると，そこで燃やすガソリンに当るのが知識である。この知識をなんらかの形で記録し，保存し，利用する機能が記憶である。ただし，この機能とその内容である知識とを一体にしたものを記憶とよぶことも多い。図表III-1-4の中では信念（知識）という書き方がしてあるが，われわれが一人ずつ持っている知識は，個人の判断が加味されたもので誤りを含むこともあるので，それを指す場合には信念という言葉を当てるという意味である。

図表III-1-4　知能メカニズムの基本モデル



知識に関して重要な問題は，その性質と，新しい知識をどのように獲得するかということである。知識の性質に関しては，常識と専門知識，宣言的知識と手続き的知識，浅い知識と深い知識などの区別がある。こうした性質の違いにもとづいて，それぞれに適した表現形式や記憶内での構造やアクセスの仕方が検討されなければならない。知識獲得に関しては，人間の行っている知識獲得のやり方をモデル化する問題と，すでに人間がもっている知識をAIシステムに移す場合の問題とがあるが，いずれも今後の課題といったところである。学習は特別な配慮の下に行われる知識獲得の一種と考えられるが，これについては第4部に詳しい説明がある。

知覚のプロセスについては，詳しくは，感覚，知覚，認知の三過程を区別して考えることが多い。感覚過程はシグナル（信号）レベルの処理を行うものであって，〝外界の変化を何ら意味付けせず生のまま伝えるもの〟であ

る信号情報（音声の場合であれば音響情報に相当）を検知し，特徴抽出（音声の場合であれば音響波形の分析）までの処理に当たる。知覚過程はサイン（記号）レベルの処理を行うものであり，抽出された特徴にもとづいて〝外界の変化の内容を分類して名前を与えたもの〟である記号情報（音声の場合であれば音韻ないし単語情報）に変えるまでの処理に当たる。最後の認知過程はシンボル（概念表現）レベルの処理を行うものであり，与えられた記号情報の意味内容を理解するまでの処理に当たる。

これら3つのレベルの区別は，単に知覚系だけに適用できるものではなく，情報処理システムや人間の活動内容の知的水準を計るためにも活用できる。それを具体的に示したものが図表III-1-5である。これはRasmussenの問題解決モデルとよばれているものである。

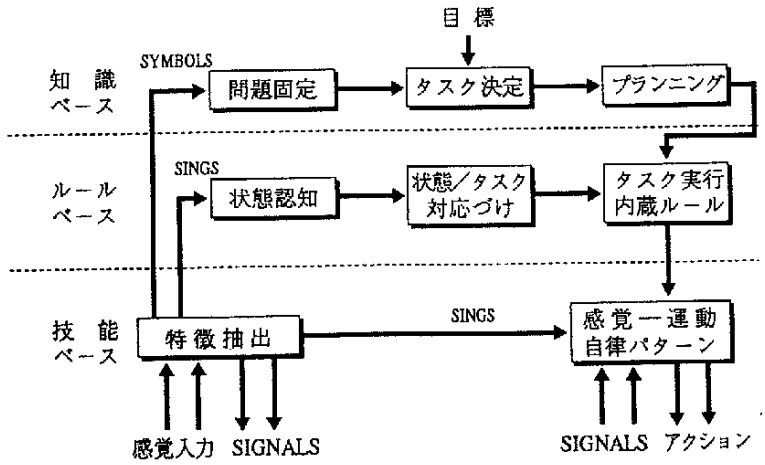
技能ベースレベルは，ある信号を検知すると，事前に定められている応答パターンに忠実に従った行動を実行するだけの水準である。次のルールベースのレベルは，複雑な思考，判断を経ずに，現在の状況の同定結果に基づき直接的にタスクや操作手順を選択して実行する水準である。タスクはマニュアルや経験などにより作成されたルールに従って行われる。現在実用化されているエキスパートシステムの多くは，ほぼこの水準に属するものとみることができる。最後に，知識ベースのレベルは，まだ経験したことのない初めての問題に対する行動プロセスで，大局的戦略の決定など内面モデルを駆使した高度な知的活動が必要とされるものである。いうまでもなく，これが本格的なAIの目標とするところである。

3.2 実用モデル

本格的なAIシステムを実現するためには，理論モデルに示した各要素をそれぞれ十分な形で展開する必要がある。しかし，現状の技術ではそれは無理であり，また，特定の応用を目的にしたシステムでは，その必要もない。したがって，実際に開発されるシステムでは，理論モデルの一部分を適当に切り出して実現することになる。

そうした実用モデルの一例として，エキスパートシステムの議論に用いられるモデルを引用すると，図表III-1-6に示すようなものがある。このモデルでは認知プロセスは，ほとんど世界モデル(知識ベースとデータベース)

図表III-1-5　情報処理系の知能水準〔井原 85〕



と推論機能だけで実現されることになる。

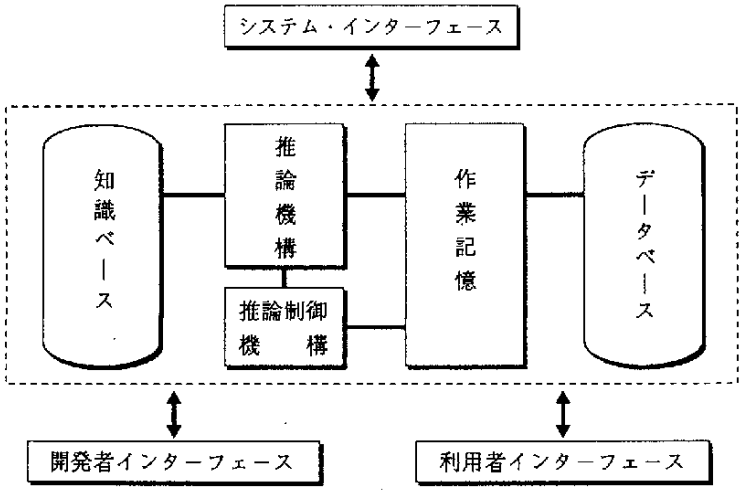
＊井原廣一：知識工学の現状と動向，日立評論，Vol.67, No.12 pp.1～6(1985)

3.3 計算モデル

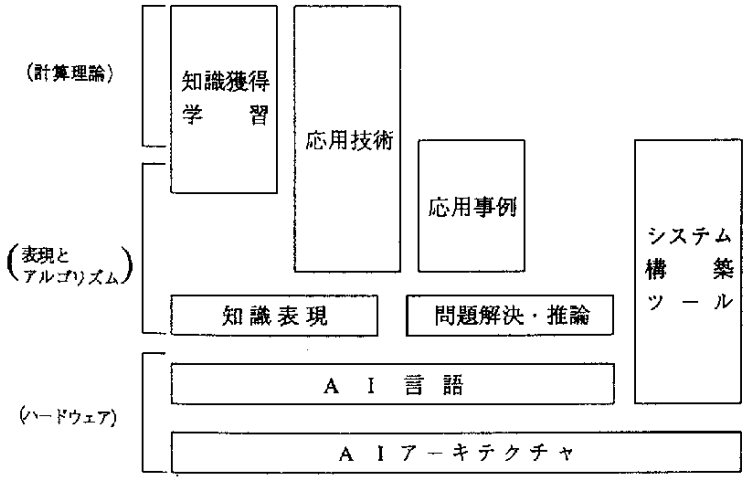
現在AIへのアプローチのための指導理念となっているD.マーの考え方によると，AIのための情報処理システムは3つのレベル，すなわち，「計算理論」のレベル，「表現とアルゴリズム」のレベル，「ハードウェア」のレベルを区別して考える必要がある。「計算理論」レベルは，システムでの処理の目標を明確にし，その目標設定の妥当性と目標を実現するための方策の考え方を問題にするレベルである。このレベルは，前項の理論モデルを扱うところである。次の「表現とアルゴリズム」のレベルは，理論モデルの実現方式を問題にするレベルで，知識や情報の表現形式とそれらを処理するためのアルゴリズムを具体化するところである。最後に，「ハードウェア」のレベルは，それらの表現形式とアルゴリズムをコンピュータ上にどう実現するかを問題にするところである。

このレベル区分に従って，技術編で扱う各項目の内容の主なものを分類すると図表III-1-7のようになる。

図表III-1-6　エキスパートシステムの基本モデル



図表III-1-7　技術編　技術マップ



第2部 AI基本技術のトレンド

AI技術を基本技術と応用技術に分けて考える視点を取ると，基本技術は，応用分野によらない技術であり，探索，問題解決・推論，知識表現，知識獲得・学習，およびAI言語とアーキテクチャなどに細分される。本項では，これらの各技術テーマについてのトレンドを紹介する。ここで，探索および推論は，まとめて問題解決の枠組みの中で論じることにした。というのは，それらはいずれも問題解決の一部に現れてくるからである。知識表現は，推論と深く関連しているが，その重要性から節を改めて別の角度から説明を行う。知識獲得と学習については，別の章で詳細に論じられるので，ここでの記述は最小限に止める。

AI言語とアーキテクチャは，他のテーマと異なり，AI技術のためのツールと考えられるものである。情報処理におけるツールの重要性は，今さら指摘するまでもない。研究の発展は，コンピュータというツールの発展に支えられてきたと言っても過言ではない。このような観点から，本テーマも取り上げた。

1．問題解決

問題解決(Problem solving)とはひどく一般的な言葉であり，イメージがかえって摑みにくいので，例をあげることにしよう。

例：「ハンガリーへ行く。」

これは目標である。今の状態から始めて，この目標を達成することが，問題を解決することである。もう少し詳しくみると，目標とは，自分がハンガリーの入国を果たした状態である。その途中に，大使館へ行ってビザをとる，飛行機を選ぶ，そういうプロセスがある。例えば，ビザを大使館で申請すると，約1週間の間は「ビザ待ち」という状態になる。飛行機に乗れば，「搭乗中」という状態になる。つまり，今の状態すなわち初期状態から始めて，いくつかの状態を経ることによって目標状態へ到達することになる。状態の変化は操作によって起こる。例えば，ビザを申請するという操作には「ビザ待ち」という状態への変化を引き起こす。もちろん，ビザを申請するには，それなりの準備（つまり「ビザ申請」という操作を可能にする条件）は必要である。大使館の位置を知っている，ビザ申請用の写真を入手するなど。このように，ある操作の実行に必要な条件を達成することが，また問題解決なのである。そしてこのような操作の系列を求めることが問題解決の目的である。

ここで，注意すべきことは，ある状態において可能な操作が複数存在するときに，どれを選択するべきかという問題である。例えば，「飛行機を選ぶ」などは，航空会社，アンカレッジ経由か，ロンドンへの直行便か，モスクワ経由か，などなど。例えば，隔日運行のロンドンへの直行便を選ぶとしよう。すると，接続が悪く，所定の日までにハンガリーへ行けない。つまり，この選択は失敗したわけである。次の選択として，道中が長くて大変だが，アンカレッジ経由を選ぶ，すると，なんとか所定の日までにハンガリーに入れる。このような，選択枝が多い場合の選択と，その選択がうまくいくかどうかの推論が探索(Search)と呼ばれる。

この例のように問題が与えられ，それを解決するために必要な処理を考えてみると，種々の概念や操作が重要であることが理解できる。もちろん，問題解決においては，その一般的処理方法のほかにその問題領域に固有

の知識も重要である。特に，このような現実的な問題の場合は，広範囲の知識が必要になる。一方，従来のAI技術は，一般的処理方法を研究してきたといえる。例えば，AIにおける問題解決の例題としてよく引き合いに出される次の例を考えてみよう。

例：宣教師と人食い土人の問題
missionaries and cannibals problem
(以後「土人と宣教師の問題」と略記する)

「3人の宣教師と3人の人食い土人が川岸にいて，2人乗りの船がある。全員無事に反対岸へ船で渡るにはどのような順番で船に乗ったらよいか？ただし，岸，船のいずれにおいても，土人の数が宣教師の数より多くなると宣教師は食べられてしまう。」この問題は，初期状態からいくつかの状態を経て目標状態へ到達する，というものである。ただし，宣教師が土人より少なくなってはいけないという制約を途中の状態で守らなければならない。

この例は「ハンガリーへ行く」という例と違って，問題解決の各ステップで考慮すべきことは，すべて問題の定義の中に与えられている。さらにこの例は完全な解答も存在する。AIでは，このようなタイプの問題を解く優れた技術を持っている。しかし，一方「ハンガリーに行く」のような大量の知識や常識を必要とする問題をこなす技術はあまり進んでいない。その理由は，大量の知識や常識を計算機へ与えるという努力が少なかったからである。従来の路線は，大量の知識や常識を計算機へ与えることよりは，大量の知識や常識を計算機へ与えずに解決できる問題ないしは問題領域を選んできた。このような方法は隔離された知識体系の中で処理が可能な応用問題にとっては効果的である。そして，そのような例としては，多く工学的な分野が存在する。所定の機能や性能を満足する製品を設計する問題，プラントを所定の状態に保つ制御，種々のシステムの故障診断，などの有力な分野が含まれる。

AIの応用について考えるとき，以上のような技術の現況に留意することが，AIに関する過度の期待や幻滅を避けるために必要である。AIが有効に機能している応用問題は，問題解決に必要な知識が土人と宣教師の問題のようにすべて記述されている問題である。記述されている以外の知識を真に必要とするような問題は，大量の知識や常識を計算機が保有しない現在においては，AIによって解決することには困難がある。もちろん，このような問題にも対処できるような技術の研究が進められてはいる。しかし、実用性の観点からこれらの技術に過大な期待を抱くことは，現状では危険であることを認識すべきである。

以上述べたことからすれば，AIの研究では，今こそ「知識は力なり」という諺を噛みしめる時期かもしれない。しかし，知識を力にするからくりの理論的基礎や技術を軽視することもまた危険である。知識さえ集めればよいシステムができる，という硬直した考えは捨てなければならない。知識の拡大と，知識を利用する技術の強化のバランスの上においてのみ強力なシステムが可能となることを忘れてはならない。

以下に述べることは，問題領域によらず有効な一般的技術である。はじめに，問題解決の形式化を行う。次に問題解決一般において中心的な役割を担う探索について述べる。次に「土人と宣教師」の例のように必要な知識が完全に与えられた場合の推論法（これは述語論理における推論を中心とする），「ハンガリーへ行く」の例のように問題解決に必要な知識が不完全ないし不確実な場合の推論法，について説明する。最後に問題が制約として表現されていると見なす立場について言及する。これらはいずれもAI技術の現状の把握に役立つ知識である。

1.1 問題解決の定式化〔Anzai 88〕

まず，問題を次のような4個の要素によって定式化する。

1)状態の集合
2)状態を変化させる操作(オペレータと呼ぶ)
3)初期状態
4)最終状態

問題解決とは，初期状態にオペレータを次々と作用させることによって幾つかの状態を推移して最終状態へ到達することである。この意味で最終状態とは最終的な目標状態である。さて，各状態において適用可能なオペレータは一般に複数個存在する。例えば，土人と宣教師の例では，２人乗りの船に，土人と宣教師を何人ずつ乗せるかという点でいくつもの選択枝がある。一般に問題解決においては，探索すべき選択枝が多く，ある選択を行えば，次の段階で再び選択枝からの選択をしなければならない。このような構造からして，土人と宣教師程度の問題でも，目標状態に達するために膨大な量の探索が必要になる。したがって，どのオペレータを選択するかが，最終状態へ首尾よく到達できるか否か，あるいは効率よく到達できるかどうかに影響する。つまり，問題解決とは，状態空間中での探索という側面が強く，探索手法が重要になる。

次に問題をより具体的な部分問題に還元することについて述べる。「ハンガリーへ行く」の例では，その目標を達成するために「ビザを入手する」などの幾つかの副目標を立てる。「ビザを入手する」という副目標を実行することは，さらに「大使館へ行く」などの副目標を立てさせる。このようにして目標をより具体的な副目標に還元していくことが，複雑な問題解決では必要になる。

大きな問題では，各状態におけるオペレータの選択枝が大きすぎるので，まともに探索したのではたまらない。このような問題の還元によって，問題解決の各段階における探索の規模を適当なサイズに抑えることが重要である。もちろん，副目標の設定の仕方も一種の探索といえる。

つまり，探索方法は，問題解決のあらゆる局面において重要な一般的技術である。なおAIにおけるテクニカルタームの１つである「推論」とは，問題解決の各段階を構成する正当化された手段であり，その実行は結局探索に帰着されるものである。

1.2 探索〔Shirai 82〕

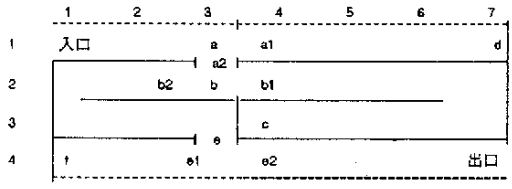
図表III-2-1を参照しつつ，「迷路を抜ける」問題を例にして探索手法について説明する。

1.2.1 縦型探索

分岐点において常に一定の規則で進む道を決めて行く方法である。(例えば，いままで進んできた方向からはじめて時計回りに選ぶ)。もし行き止まりになったら，ひとつ前の分岐点に戻って，まだ試していない道を（やはり時計回りの順に）１つ選ぶ。この迷路だと，次のようになる。

入口 a a1 d 行き止まり
a a2 b b2 e e1 f 行き止まり
e e2 出口

図表III-2-1　迷路のイメージ



1.2.2 横型探索

分岐点においてすべての選択枝を生成して記憶しておく。次の分岐点（これはもちろん複数個）においてもすべての選択枝を生成する。このような操作を目標に達するまで繰り返す。迷路の例では，各段階において生成された選択枝の集合は次のようになる。

段階１　a
段階２　a1 a2
段階３　d （行き止まりなので消去）　b
段階４　b1 b2
段階５　c （行き止まりなので消去）　e

段階6　e1 e2

段階7　f 出口

迷路の各分岐点で通行料金をとられるような場合は，もう少し考えなければならない。例えば，横型探索において通行料金の安い方を選ぶ方法がある。例えば，a点で，a1は1,000円，a2は500円なのでa2を選ぶ。次のb点で，b1が10,000円，b2が20,000円だったとしよう。するとこれではたまらないので，a点に戻ってa1を選ぶ。もし，a1が出口へ通じているなら，このほうが安くつく。

少しでも早く出口に行きたい場合は，現在位置と出口との直線距離が最短になるような道を分岐点で選ぶという方法もある。ほかにも，いろいろな方法があるが難解なので省略する。

ところで，問題解決においては，ある段階では幾つかの副目標をすべて成功させなければならないことがある。例えば，「ハンガリーへ行く」の例では，ビザを入手するには，写真と手数料の両方を用意しなければならない。一方，ハイシーズンで混雑している場合の航空券の予約は，幾つかのフライトをかけもちして申し込んでも，どれか1つだけ予約が取れればよい。問題解決においてはこのような2種類の場合があり，これに加えて料金や時間などの評価関数を最適化するためには相当込み入った探索手法が必要である。このような手法には確立された幾つかの方法があるが，詳細は文献〔Shirai 82〕を参照されたい。

1.3 完全な知識における推論

先に述べたように，探索手法は問題解決を計算機で実現するための具体的な手法である。これをより抽象的レベルで記述したときに中心となる概念が推論である。これから述べる種々の推論方法は結局，探索手法によって実現されることになる。

さて，ここで推論の対象となる知識の性質について一言触れておこう。推論に必要な知識がすべて揃っている場合を完全な知識という。例えば，「主人と宣教師」の例では，必要な情報はすべて問題の定義の中に記述されていた。また，別の例では，データベースの探索がある。データベースの検索は，データベース中に記述されていることが知っていることのすべてであるという立場なので，この意味で，知識は完全といえる（あるいは見なす）。そうでない場合を不完全な知識という。例えば「ハンガリーに行く」の例では，必要な知識があらかじめすべて分かってはいない。フライトの遅れやパスポートの紛失など例外的な事件はいつも可能性がある。このようなケースを考えると，われわれの知識がいかに不完全かを認識せざるをえない。人間は，このような場合をどのようにして乗り切るのであろうか？1つの方法は知識（経験も一種の知識）を増やすことである。もう1つの方法は，うまくいきそうな一般的な戦略を利用することである。（例えば，できるだけグループで行動する，とか余分に動き回らないなど）AIの技術としては，特に後者に近い方法を数学的に基礎付けた推論法がよく研究されている。

知識が完全であることを前提としているのが述語論理の公理系である。そこで，ここでは，主に一階述語論理における推論について説明する。述語論理における推論は，3段論法などによる演繹推論（Deductive Reasoning）が中心である。

1.3.1 自然演繹〔Iida 88〕

自然演繹（natural deduction）は，1930年代にG.Gentzenによって提案された一階述語論理の公理系において定理証明を行う形式的方法である。そこで用いられる推論規則は，仮定からある結論を導く形をしている。例えばaとbが両方とも仮定から導かれていれば，a∧bが導かれる。例えば，「車を持つという」仮定からは，「自動車税を払う」と「車検を通す」の両方が導かれるので，「自動車税を払

い，かつ車検も通す」と考えてよい。自然演繹とはこのようなごく当たり前の推論を精密に形式化したものである。また，aとa→bがすでに証明されていれば→が消去されてbのみが残る。最初に導入された仮定がすべて消去されて残った論理式が，一階述語論理の定理として証明されたと考える。

1.3.2 融合原理〔Chang 73〕

融合原理(resolution principle)とは，一階述語論理に対する機械的な定理証明法のひとつである。J.A.Robinsonが1964年に提案して以来，多くのAIシステムがこの方法にのっとって開発された。簡単にいえば，A→B(「AならばB」と読む。以下同様)とB→CからA→Cを導く3段論法の一般化である。なお，一階述語論理の場合は変数のほかにf(x)のような関数が現れることがある。例えば，

a(x)→b(x)とb(f(y))→c(y)

のように変数ないし関数が現れる場合，変数の値を適当に決めて，bを消去する。この場合は，xとf(y)を同一のものと見なす操作(同一化)により

a(f(y))→c(y)

となる。

1.4 不完全な知識による推論

前節の完全な知識による推論では，知識(あるいは述語論理であれば公理)は世界についての完全な知識である，あるいはそのように仮定するとしていた。しかし，「ハンガリーへ行く」の例でもわかるように，このような完全性は実際のところ達成は困難である。この困難さは，われわれの努力不足のせいではなく，原理的なものであるという主張もある。ただし，知識の不完全さを認めた上で，推論によって分かることを最大化する。あるいはその限界を探るという研究も盛んである。例えば，「ハンガリーへ行く」の例でも，クレイムタグ（手荷物引換証）をなくしてしまうと，到着地で荷物が着かなかったときに著しく困る，ということは最低覚悟しなければならない。一方，通常はクレイムタグをなくすなどというばかなことは起きないと仮定して，問題解決を行うという考え方もある。このような考え方は，述語論理に比べれば，人間の普段行っている推論に近い。その意味で，このような考え方を形式化し計算機で実現することは意義がある。以下では，そのような試みについて説明する。

1.4.1 非単調論理・デフォールト論理〔Aida 87〕

ある論理式Pの否定¬Pが現在知られている知識からは導けない場合にはPが正しいとする，という推論方法を，様相演算子Mを用いてMpと書く。論理に様相演算子Mを付加したものを非単調論理(Nonmonotonic Logic)という。いま，Mを含む論理式を，a∧Mb→cの形に制限し，さらにこの式は条件部分a∧Mbから結論cを導くという方向にしか使わないという制限も付けた論理をデフォールト論理（Default Logic）という。デフォールト推論は非単調論理を制限した論理体系だが，それだけに実用性が増しているといえよう。ただし，現状では，非単調論理やデフォールト論理を直接実現するというよりは，あくまでも理論的装置で，各種の実用的な推論の基礎を与えるために役だっているといえよう。

1.4.2 その他

不完全な知識による推論はAIの中心的テーマの1つであり，上記のもの以外にも多くの研究がある。自分の公理系の知識だけでは，演繹推論に行き詰まったとき，別の公理系での類似した知識を探して，自分の公理系に当てはめて推論する類推（Analogical Reasoning)，観測事実を説明できるように既存の知識を一般化した拡大解釈を探す帰納推論（InductiveReasoning)，述語論理の論理式に例外事象を表す特別な述語を付加しておく方法，物理系において量に関する推論を，+，

0，－の3値(これらは，例えば各々，増加，不変，減少に対応する）のみで推論する定性推論〔dekleer 86〕などが有力な手法として盛んに研究されている。なお，有力な方法の1つである仮説推論については，「第4部ハイライト技術」の第3項を参照されたい。

1.5 不確実な知識による推論〔Ishizuka 85〕

ある命題の真偽値が真か偽かのいずれかでは表せない場合でも，その命題の真偽値が全く分からないというわけではない場合もある。例えば，明日晴れであることはかなり確からしい，とかあまり確からしくはないという表現が有効である場合がある。このような場合は，不確かさの度合を数値化して扱う方法が有力である。以下では，この方法の幾つかについて紹介する。

1.5.1 確信度

ある推論結果，あるいは観測事実の確からしさを表すために，感染症診断エキスパートシステムMYCINでは確信度(Certainty Factor:CF）を利用した。確信度は0と1の間の値をとり，1に近いほど確からしさが高いことを示す数値である。ただし，MYCINの確信度は数学的基礎付けを持ったものではなかった。また推論に際しては，推論に用いる観測事実の確信度と推論規則の確信度を利用して推論結果の確信度を計算することができる。この計算法には種々の方法が提案されている。

1.5.2 Dempster-Shaffer理論〔Ishizuka 88〕

幾つかの事象の集合を考える。このとき，この集合の下界確率は，集合を構成する事象のすべての部分集合のおのおのに対する生起確率の和である。一方，集合の各要素のうち1つ以上が生起しないすべての場合の確率の総和を，1から引いたものを上界確率という。すなわち，少しでも集合の要素が生起しうる確率である。このように定義した上界，下界確率の計算結果を，推論結果の確からしさとする方法をDempster-Shaffer理論という。もし，事象の集合ではなく，単独の事象なら，この理論はBayes確率と一致する。この理論に基づいた推論方法として，evidential-reasoningが有名である。

1.5.3 ファジィ推論

命題の真偽値を0と1の間の実数で表現することを基礎にした論理である。例えば，「若い」とか「美しい」などのあいまいな概念を数値化する手法として古くから研究されている。最近，ファジィ・コンピュータによる高速処理，地下鉄の運転制御など制御分野やロボット分野へ応用され始めている。厳密な論理が適用しにくい分野を工学的に解決する技術として有用と考えられている。

1.5.4 確率論理

与えられた公理系の各命題（述語）および論理式に真(=1)，偽(=0)を割り当てることによって，その公理系を満たすすべてのモデルを作れる。このモデルは可能な世界の1つ1つに対応している。そこで，この世界の各々にその世界の確からしさを表す確率を割り当てる。もちろん，すべての世界の確率を合計すると1である。すると，世界の確率から命題や論理式が真である確率を求めることができる。特徴はモデル，すなわち論理的に可能な世界の状態についてのみ確率が付与される点である。

1.6 制約充足

「圧力・体積＝定数・温度」という式をどのように解釈するかによって，この式の使い方は異なる。例えば，圧力と体積を入力として，その乗算結果として温度を求めるというようにも解釈できるし（この場合は乗算プログラムを実行することになる)，圧力と温度が与えれたときこの式を満たす体積を求めたいと解釈するなら除算のプログラムとなるべきである。そこで，より一般的にこの式を解釈するなら，この式は圧力，体積，温度の間に成り立つべき制約条件と見なせる。すると，

この式を解釈しての種々の計算は，この式で表された制約条件を充足する解を探すという一般的なプロセスの一例であると考えられる。AIの問題の多くは，複数の制約条件を同時に（あるいは少なくとも1つを）充足する解を求めるという制約充足の問題と考えられるため，制約充足を直接プログラムと見なせるようなプログラミング・パラダイムは非常に有用であると考えられる。

制約充足の考え方が問題にぴったり当てはまる応用例は，定性推論であろう。定性推論では，物理系を定性的な状態方程式で表現し，その制約を満足する状態推移を求めるので，問題自体，制約充足的である。しかし，計算量が大きく，これを克服するためにいろいろな計算手法が開発された。例えば，ATMS (Assumption-based Truth Maintenance System)〔dekleer 86〕などもその1つと考えることもできる。

制約充足の考え方は論理プログラミングと相性がよい。すなわち論理プログラミングは，もともと関係すなわち制約を記述しているものだと見なせるからである。そこで，両者の組み合わせが注目されるようになり，幾つかの制約論理プログラミングシステムも開発されている。応用としては，線形計画法，回路の故障診断，などがあり，有望視されている。

〈参考文献〉

〔Aida 87〕相田仁，デフォルトを用いた推論と非単調論理，人工知能学会誌，Vol.2 No.1，6-13(1987)

〔Anzai 88〕安西祐一郎，問題解決，AI事典(UPU, Tokyo, 1988)，308

〔Arima 88〕有馬淳，極小限定，AI事典(UPU, Tokyo, 1988). 238

〔Chang 73〕C.Chang, R.Lee, Symbolic Logic and Mechanical Theorem Proving, (Academic Press, New York San Francisco London, 1973),45

〔dekleer 86〕J.dekleer. An assumption-based truth maintenance system, Artfi. Intell. Vol.28 No.2, 127-162(1986)

〔Iida 88〕飯田隆，自然演繹，AI事典(UPU, Tokyo, 1988)，222

〔Ishizuka 85〕石塚満，あいまいな知識の表現と利用，情報処理，Vol.26 No.12,1481-1486(1985)

〔Ishizuka 88〕石塚満，Dempster-Shafferの確率理論，AI事典(UPU. Tokyo, 1988)，435

〔Kunifuji 87〕国藤進，仮説推論，人工知能学会誌，Vol.2 No.1.22-29(1987)

〔Lloyd 84〕J. W. Lloyd, Foundation of Logic Programming, (Springer-Verlag, 1984)，邦訳「論理プログラミングの基礎」(産業図書)，73

〔Shirai 82〕白井良明，辻井潤一，人工知能，(岩波書店，1982)，25

〔Yokoi 89〕横井俊夫，相場均，制約ロジック・プログラミング，情報処理，Vol.30, No.1, 29-38(1989)

2．知識表現

知識表現 (Knowledge Representation) は，われわれが持っている知識および現実の世界の状況や状態を抽象化し計算機の中で表現することである。一般に知識表現は，表現される対象とは独立な汎用の表現と，表現されるものの性質に依存した分野固有の表現とに分けて考えることができる。分野固有の表現は，物理法則のような一般的なものから，回路設計に関する知識などの限られた専門分野に対するものまで広がっているので，すべてを説明することはできない。そこでここでは，主に汎用の表現について説明する。

まず，現在知識表現の方法としてAIの世界で有力と考えられているものは，

1)論理を基礎とするもの，

2)ルール表現，

3)モジュール化された表現

に大別される。

論理を基礎とする場合，その基本となる論理は，命題論理と述語論理である。命題論理あるいは述語論理を具体的な問題領域向けに拡張したものとして様相論理，時間論理，などがある。最近注目されている状況理論は一種の論理であるが，状況という実世界の部分に直接言及する点で，あくまでも表現された知識を相手にする命題論理，述語論理などとは一線を画する。状況理論を言語の意味論として利用する状況意味論は，述語論理を利用した従来の言語理解では不可能であった疑問文，信念文，命令文などの意味を記述するという画期的成果をあげている。

ルール表現はプロダクションシステムにおける知識表現であり，ルール内に手続き的処理を含ませることができ，論理より柔軟だが，数学的意味付けは難しくなっている。

モジュール表現は，知識をモジュール化するという点ではオーソドックスな手法であるが，各モジュール間の関係を論じることができるなどの強力さがある。モジュール表現は，論理やルールと対立するものではなく，組み合わせて用いることも可能で，その場合は両者の長所を合わせもつ強力な知識表現システムが期待できる。以下で，各々について説明する。

2.1 命題論理 〔Nagao 83-1〕

命題論理においては，これ以上分解できない最小の単位を原子論理式という。原子論理式は，真(true:t)か偽(false:f)のいずれかの値をとる。

原子論理式を以下のような結合子で結合して論理式をつくる。なお原子論理式自身も論理式である。

〔結合子〕

¬：（否定）

∧：（連言あるいは論理積）

∨：（選言あるいは論理和）

→（⊃とも書く）：（含意あるいは「ならば」の意）

次にこれらの結合子の結果得られる論理式

図表III-2-2 命題論理の真偽値表

p	¬p
t	f
f	f

p	q	p∨q	p∧q	p→q
t	t	t	t	t
t	f	t	f	f
f	t	t	f	t
f	f	f	f	t

の真偽値を示す（図表III-2-2）。

論理式と論理式を結合子で結合したものも論理式であり，その真偽値は各論理式の真偽値と上記の結合子の真偽値表に従って決まる。

論理式の例：「ワークステーションは正常」を意味する原子論理式をWと書く。「イーサーネットは正常」を意味する原子論理式をEと書く。論理式W∧Eは「ワークステーションもイーサーネットも正常」を意味する。「計算機ネットワークは正常」を意味する原子論理式をNと書く。このとき論理式W∧E→Nは「ワークステーションもイーサーネットも正常ならば，計算機ネットワークは正常」を意味する。

ところで，上の例で，計算機ネットワークを構成しているワークステーションが何台もあると，そのすべてが正常であることを表すには，「ワークステーションNo.1が正常」を表す原子論理式W1，「ワークステーションNo.2が正常」を表す原子論理式W2... のすべてを陽に記述してW1∧W2∧... と表されなければならない。このように命題論理では，1つの原子論理式は1つの意味しか持てないので，表現する知識の規模が大きくなるとそれを表現する論理式も複雑になる。しかし，1つの原子論理式が1つの意味しか持たないので，知識表現システムとしての数学的性質は扱いやすく，計算機での実現にも原理的な支障はないのが非常に有利である。

2.2 述語論理〔Nagao 83-2〕

再び，上のワークステーションの例について考えてみる。ワークステーションの台数がわからない，ないしは頻繁な購入や廃棄により確定できない場合，「全てのワークステーションは正常」ということをもはや命題論理式では表せない。抽象的に「全ての」を表現するような方法が必要である。述語論理は非常に大雑把にいえば，命題論理にこのような拡張を行ったものである。

「全てのｘ」を∀ｘ，「あるｘが存在する」を∃ｘと書く。「全てのワークステーションが正常」は，∀ｘワークステーション(x)→正常(x)と書く。このような表現は述語論理の論理式である。ここで，ｘは変数と呼ばれ，なんらかの「もの」に対応すると直観的には考えられる。ワークステーション(x)や正常(x)はこの場合は，「ｘがワークステーションである」，「ｘが正常である」を表す述語（主語，述語の述語）と考える。述語論理の名前もここに由来する。

例：述語論理における否定：「全てのワークステーションが正常」の否定は，「正常でない（¬正常）ワークステーションが存在する」ということである。これを述語論理の論理式で書くと，∃Xワークステーション(x)∧¬正常(x)となる。つまり，

¬（∀ｘワークステーション(x)→正常(x)）は

∃ｘ　ワークステーション(x)∧¬正常(x)

と同じである。

例：すべての男子には好きな女子（その男子に対応するガールフレンドのこと）がいる，という関係は，述語'好き''男子''女子'を使えば次のように表せる。

∀ｘ∃ｙ男子(x)→女子(y)∧好き(x, y) ｙはｘによって決まるガールフレンドという意味でｘの関数と考えられるので，この関数をgirl-friend(x)と表せば，上の式は，

∀ｘ男子(x)→女子(girl-friend(x))∧好き(x, girl-friend(x))

と書け，∃記号を消去することができる。ここで導入されたgirl-friendというｘの関数をスコーレム関数と呼び，論理プログラミングで重要な概念である。

なお，∃記号や∀記号のような表現ができるかわりに，数学的構造は命題論理より格段に複雑になり，計算機による処理の点でも問題点が生じており，それを解決するための研究が盛んである。

2.3 ルールによる表現〔Kobayashi 85〕

知識を「if前提then結論」の形で書くことは，論理による知識表現でも，結合子→（ならば）を用いて，前提→結論の形でも書ける。しかし，論理によるこのような表現は，まったく宣言的である。つまり，

1)前提も結論も，真か偽のいずれかをとり，中間的な値がない，

2)公理系は書き換えられることがない，

というような制限がある。そのため，手続き的処理を組み込む余地がないし，推論の制御は利用者にはできず，あいまいな結果は許されない。現実世界への適用を試みようとすると，これでは堅苦しすぎる，という点を考慮して，いろいろな拡張が試みられている。第2部の1.5で述べた「不確実な知識による推論」でみられる種々の手法は，主として真偽以外の中間的な前提や結論を許そうという方向での拡張であり，中間的な値を推論の制御に役立てる，という考え方も可能である。

一般にルールによる表現は，上記の拡張されたif-then型の知識であるが，別の見方によれば，より手続き的側面を強調して，次のように考えることが多い。

条件　→　行動

ルールを利用して推論を行うプロダクションシステムは推論の進行に従って変化する内部状態（ワーキングメモリと呼ばれる）を持つ。

ルールは内部状態がルールの「条件」を満たすと選択され，その「行動」が実行される。この実行の過程で内部状態が書き換えられる。「行動」は推論システムの内部状態の書換えの他に，他の手続き的処理を呼びだして種々の計算をさせること，などが許される。推論のために準備されているルールの集合をルールベースとも呼ぶ。例えば学習もできるような，より柔軟なシステムを目指すなら，公理系（すなわちルールベース）の書換えを許す方法も考えられる。ただし，このような拡張をしたルールによる推論は，論理の場合のような数学的な明確さは，もはやなく，その挙動を解析することは場合場合に応じて工夫するしかない。

ところで，条件→行動のルールとif-then型の知識との関連については次の対応関係に注意しておく必要がある。

①事象駆動型：ifの前提をルールの条件とみなし，thenの結論をルールの行動と見なす方法。if-thenの解釈としては，与えられた事象，事実から結論を結果として導く，という考え方である。

②目標駆動型：thenの結論をルールの条件と見なし，ifの前提をルールの行動と見なす方法。与えられた目標を達成するために必要な条件を探す，という考え方である。

2.4 モジュール構造による表現 〔Ogawa 85〕〔Okamoto 85〕

知識の量が増えてくると，ルールにせよ論理にせよ，これを一様に扱うことは得策ではない。なぜなら，多様な知識が分類されずに存在すると，この中から必要な知識を選び出す手間が大きくなってしまうこと，人間にとって（同時に計算機にとっても）これを眺めたり，修正したりすることが困難であること，などの問題があるからである。そのため，なんらかの分類あるいはモジュール化が必要である。この路線の知識表現のうち現在利用されているのは，モジュールを単位として，これらが階層化された構造である。階層化された構造は，あるモジュールが唯一の親モジュールしかもたない木構造と，複数の親モジュールを持ちうる構造とに分類される。その扱いの容易さから木構造が多く用いられているようである。以下では木構造を中心に話を進めよう。

2.4.1 isa関係と属性の継承

モジュールAがモジュールBの親（すなわち直接の上位モジュール）であるとき，BはAに対してisaの関係にあるという。しばしば使われるakoもほとんどisaと同じ関係を表す。一般にisa関係の上位にあるモジュールのほうがより一般的あるいは抽象的概念を表す。例えば'4角形'は'多角形'に対してisaの関係（すなわち下位の関係）にある。

さて，isa関係において重要なのは，属性の継承である。例えば，多角形は'3角形を集めて作れる'という属性を持っているが，この属性は多角形に対してisaの関係にある4角形でも成り立つ。しかし，多角形に対してisa関係にあるもの全て（すなわち，3角形，4角形，5角形....）にこの属性を記述しておくのは記憶を浪費することになる。そこで'3角形を集めて作れる'という属性は多角形の属性としてだけ記述しておき，多角形に対してisa関係にあるモジュールでは，この属性を多角形から継承してくることにすればよい。つまり，あるモジュールには，そのモジュールよりisa関係で下位のモジュールでのみ成り立つ属性を記述することになる。これは，isa階層における属性の継承と呼ばれ，階層的表現の基本的特徴である。なお，isa関係で親が複数ある場合（木構造でない場合）は，属性の継承をどの親から行ったらよいかという問題がある。

ところで，階層関係にはisa以外にも，モジュールAがモジュールBを持っていることを表すhas-a関係，モジュールBがモジュールA

の一部分である場合を表すpart-of関係などがある。part-of関係で注意しなければならないのは，一般に属性の継承が起こらないことである。例えば，足は人間に対してpart-of関係であるが，'知性がある'という人間の属性は足には継承されないと考えられる。

2.4.2 フレーム型表現

フレーム型表現は階層構造による知識表現の代表格である。フレーム型表現では，上記のモジュールはフレームと呼ばれ，1つのフレーム内にはスロットと呼ばれる属性を格納する場所が多数あり，次のような形式をしている。

```
(フレーム名
    (スロット名 (スロットの値))
    (・・・
                        )))
```

例えば，3角形と多角形を表現すると次のようになる。

```
(多角形
    (isa (線図形))
    (要素 (3角形)))
(3角形
    (isa (多角形))
    (辺 (3こ))
    (角 (3こ)))
    (面積 (if-needed (面積計算))))
```

3角形フレームの場合，そのisaスロットを見れば，親フレームが多角形フレームであることが分かるので，必要とあれば，多角形フレームの属性を継承して利用できる。さて，面積を知りたい場合は面積スロットを見る。するとそのスロット値としてif-needed (面積計算) と書いてある。これは，必要になったら面積計算という手続きを呼び出して計算せよ，ということを意味する。実際は面積計算という手続きには，必要なら底辺と高さを入力させ，底辺×高さ×(1/2)を計算するとか，3辺の長さしかわからなければヘロンの公式にしたがって計算するというような手続き的処理が記述されている。一方，外部からデータが与えられるとその値を利用して計算して値をしかるべきところに書き込むような操作がなされるスロットもある。このスロットの機能をif-addedと呼ぶことが多い。例えば，本を表すフレームでは，

```
(売上高(if-added(売上高計算)))
```

というスロットがあると，発行部数が更新して入力されたときに，売上高計算という手続き（たぶん単価×発行部数を計算するのであろう。）が呼び出されて，売上高の値が更新される。

フレームはこのように階層構造と手続き的処理を組み合わせた知識表現と考えられるが，最近はスロットの手続きを論理プログラムで表す方法や，論理プログラムに階層構造と属性継承を付加する方法などで，両者の特徴を兼ね備えた知識証言を目指す試みが盛んになっている。このような方法は複合パラダイムの一種と位置づけられる。

2.4.3 セマンティックネットワーク

フレームでは，フレームの内部に複数のスロットを置くなどして，階層の構成要素となるモジュールの構造を複雑化することによって，知識表現力を強化した。これに対して，セマンティック（意味）ネットワークでは，モジュールの構造は，その名前程度の簡単なものにし，モジュール間のリンクをisa以外に多数定義することによって知識表現能力を強化する方向に進んだ表現である。isa，has-a，part-ofなどの一般的なリンクの他に個別の関係を表すagent，object，ownerなどが随意に導入される。実際，述語論理との対応でいえば，モジュールは定数，モジュール間のリンクは述語に対応すると考えられる。したがって，推論はネットワーク同士のマッチングによって実現される。これゆえ，セマンティックネットワークはコネクショニストモデル（簡単な処理ユニットを大規模かつ並列につなぎ，そのつながり方が情報を担うモデル）

との相性が良いと考えられる。

2.4.4 黒板モデル

フレームにせよセマンティックネットにせよ，大規模な知識をどのように構造化するかに焦点が当たっていた。しかし，大規模な知識システムになると，知識処理まで含めてモジュール化されることがある。例えば，航空管制では，管制エリアに進入した航空機をレーダーサイトからの情報で認識する処理と，滑走路の状態を把握し制御する処理と，上空で待機中の航空機の衝突防止のための高度割当，などの処理は，入力されるデータもその処理も異なる。ただし，管制エリアにいるという点で結び付いている。そこで，個別の処理を行うモジュールと，そのモジュールの処理結果を他の処理モジュールへ通信する共通のデータ構造という，二重の構造が考えられる。この共通のデータ構造を黒板と呼び，ここで説明したような知識処理システムを一般に黒板モデルと呼ぶ。その構造から推測されるように，黒板モデルは並列ないし分散処理と相性がよい。

2.5 様相論理(Model Logic) [Hughs 68] [Nagao 83-2]

述語論理では事物の関係を断定的に言明するが，可能性，必然性などのいわゆる様相的な表現ができない。様相論理においては，公理系を一様とせずに，幾つかの'世界'と呼ばれる部分に分割したモデルを導入することにより，様相的表現を可能にし，その基礎を与えている。つまり，世界と世界の間に「見える」という関係を定義する。世界Aから世界Bが「見える」とは，Bの中の命題あるいは述語がAから見える（あるいは見えてしまう）のでAにおける推論において，それらを考慮しなければならないことを意味する。ここでは，命題論理に様相演算子を導入した様相論理について簡単に説明する。

まず，必然，可能を意味するふたつの演算子を定義する。Pを論理式とする。

このとき，

□P　はPが必然的に真であることを意味する。世界を使って説明するなら，今いる世界から見えるすべての世界でPが真であることを意味する。

◇P　はPが真であることが可能であることを意味する。世界を作って説明するなら，今いる世界から見えるいずれかの世界でPは真であることを意味する。

なお，「'Pが偽'がすべての世界で成り立たない」とは，「少なくともどこかの世界でPは真」と一致するで，◇P＝ ¬□ ¬Pという関係が成り立つ。

様相論理は，分割された世界をフレームに，世界間の見えるという関係をisa関係と見なすと，フレームと似た側面がある。ただし，元々は言語学における「必然」「可能」などの様相表現を扱う論理的工夫として導入されたものであるので，直接に知識表現と考えるには無理がある。種々のモジュール構造型の知識表現の数学的基礎として役立つ，というのが無難な見方であろう。

2.6 時間論理

様相論理における複数の世界を，各時刻における世界の状態と見なすと，いわゆる時間論理となる。現在の状態は現在見えるが，時間の流れは現在から未来へという方向性があるため，到達可能関係は，反射性と推移性は満たすが，対称性は満たさない。したがって，時間論理は様相論理に近い構造を持つ。ただし，連続時間を考えると，時間のきざみをいくらでも細かくとれることに対応して，2つの世界の間に何個でも世界を挿入できなければならない点には注意しなければならない。

時間論理においては，◇P　は'いつかはPが真になる'を意味し，□P　は'今後いつでもPは真である'を意味する。またこの他に，時間論理特有の演算子が定義されている。

○Pはnext-time演算子と呼ばれ，'次の時刻でPが真となる'という意味である。

これを用いると　□P↔P∧○□P　や　◇P↔P∧○◇P　などの便利な関係が導ける(↔は同等を意味する)。このような時間論理は，元来プログラム(特に平行プログラム)の実行過程の記述や推論を意図して研究されていた部分も多い。したがって，平行プログラムの検証，通信制御プログラムやプラント制御プログラムのような実時間プログラムの検証などに応用されている。

もっとAI理論サイドの時間を表現する論理としては，密に時点が並んだ時間軸が未来方向へ向かって分岐しているようなMcDermottのモデルや〔McDermott 82〕，有限の幅を持つ時区間を基礎にして，時区間同士の前後関係や重なりを推論するAllenのモデル〔Allen84〕などがある。これらのモデルは，上記のような応用の他に言語の意味理解などに役立つと期待されている。

〈参考文献〉

〔Allen 84〕J.F.Allen, Towards a GeneralTheory of Action and Time, Artif. Intell. Vol. 23 No.2, 123-154(1984)

〔McDermott 82〕D. McDermott, A Temporal Logic for Reasoning about Process and Plans. Cognitive Science Vol.6, 101-155(1982)

〔Hughs 68〕G.Hughs, M. J. Cresswell. Introduction to Modal Logic, (Methuen, 1968)，1邦訳「様相論理入門」恒星社厚生閣，1981

〔Kobayashi 85〕小林重信，プロダクションシステム，情報処理　Vol.26　No.12, 1487-1496(1985)

〔Ogawa 85〕小川均，フレーム理論に基づく知識表現言語，情報処理　Vol.26　No.12, 1497-1503(1985)

〔Okamoto 85〕岡本敏雄，セマンティック・ネットワーク・システム，情報処理　Vol. 26No.12, 1504-1511(1985)

〔Nagao 83-1〕長尾真，淵一博，論理と意味(岩波書店，1983)，19

〔Nagao 83-2〕長尾真，淵一博，論理と意味(岩波書店，1983)，51

〔Nagao 83-3〕長尾真，淵一博，論理と意味(岩波書店，1983)，143

3．知識獲得と学習

演繹的推論の種となるのは知識であり，それは決められた表現方法（知識表現）によってコード化されている。知識獲得あるいは学習は，このコード化された知識を作り出すための技術である。

演繹的推論が既存の知識からはみ出た結論を導くことがないのに比べ，知識獲得は既存の知識体系を拡張させることが目的となる。学習は知識獲得のための強力な手段である。システムが学習能力を持てば，データをインプットしてやりさえすれば，新たな知識を自動的に獲得するであろう。知識獲得の完全な自動化は未だ実現までの道のりが遠いが，知識獲得を円滑にするための支援システムは，すでにいくつか作られている。

知識獲得支援システムは，エキスパートシステムとの関連で特に目覚しい発展を遂げている。これらのシステムの詳細については，第3部を参照されたい。

また，知識獲得の自動化を目指す学習研究については，近年幾つかの画期的な成果が上がっているので，ハイライト技術としてまとめて，第4部で論じる。興味のある読者は，そちらを参照されたい。

4．AI言語とアーキテクチャ

4.1 AI言語

AI言語という決まった言語があるわけではないが，AIの研究の歴史のなかではAIに向いたプログラミング言語が開発され育てられてきたし，またその処理も工夫されてきた。その代表は，J. McCarthyにより1960年頃創られたLispである。

AI言語に求められる特徴を一言でいえば「記号処理に向いている」，ということに尽きる。PascalやCのような手続き型の言語でも記号処理を行うことは可能であるが，Lispのように自然には扱えない。

現在，AI向きとされるプログラミング言語は，次の3種類に大別される。これらはそれぞれ，記号処理という基本条件に加え，さらにAI的なソフトウェアの記述に向く幾つかの特徴を有する。

・関数型言語（Lispなど）
・論理型言語（Prologなど）
・オブジェクト指向型言語（Smalltalkなど）

4.1.1 関数型言語

処理の単位を数学的な関数の概念に対応させる言語である。この中で，特にLispはAI研究の道具として中心的な役割を果たしてきた。Lispの基本的な特徴として，次の点があげられる。

①ラムダ計算法という明確な理論的基盤に基づいていること。
②プログラムとデータがいずれもS式という統一化された表現で記述でき，まったく同等に扱えること。

そのほかに，記憶域を動的に割り当てること，解釈型(interpretive)で実行できること（インタプリタよりも実行効率のよいコンパイラも作られている），などの性質もあげることができる。

LispにはMIT（マサチューセッツ工科大学）で発展したMacLisp系とBBN（ボルト・ベラネック・ニューマン社）からXerox社に引き継がれて発展したInterLisp系という2つの主流があったが，現在Common Lisp（基本的な仕様は1984年に固まった）に統合化されつつある。

現在，わが国で販売されているLispの処理系は，パソコンから大型機用まで，20種類以上あるが（[AIセンター87]），Common Lisp仕様が増えている。

Lispには通常手続き的な構文要素が付加されているので(prog文など)，純粋な関数型言語ではない。厳密な意味での関数型言語の例には，J. Backusが基本的なプランを示したFP，エジンバラ大学で作られ米国や日本の一部の研究者にも使われている項書き換え型のHOPE，コンビネータ理論に基づくD. TurnerのSASL（現在は言語仕様が発展してMirandaと呼ばれる）などがある。

4.1.2 論理型言語

プログラムの表現として論理式をベースとしたものを用い，計算(プログラムの実行)を論理系の証明過程に対応させるような言語である。代表は一階述語論理に基礎をおくPrologであり，この場合，処理の単位は述語に対応づけられる。Prologの基本的な特徴は次のとおり。

①ホーン節集合という一階述語論理の部分系を理論的な基盤とし，そこでの導出法に基づいた証明過程として計算が進む。
②パターン照合によって処理が起動されるというように解釈することができる。
③プログラム単位のパラメータ（変数）がおのおの入力であるか出力であるか固定的でない。

また実行にある種の非決定性（同じ入力状態から実行しても，常に同じ計算結果が導かれるとは限らないという性質）

を持つ。

Prologの処理系として流通性を持った最初のものはエジンバラ大学で作られたエジンバラPrologである。そのため現状では，エジンバラPrologの仕様がある種の標準になっている。日本で市販されているPrologの処理系は，Lispと同様20種類以上あるが([AIセンター 87])，多くがエジンバラ仕様に従う。

Prologをベースとする新しい言語の研究には，次のようなものがある。

・並列処理を指向するもの

ICOTのGHC，ロンドン・インペリアル大学のPARLOGなど。ただし，並列性を導入することにより純粋の“論理性”からは離れる。

・制約指向のもの

プログラムの記述に解を得るような手順を含まない制約条件のものを許し，それらの制約を満たすものを評価する機構を備えるのが制約プログラミング・システムである。論理型言語にこの制約指向の概念を導入したものに，J. Jaffer，C. LassezらのCLP，ICOTのCIL（向井）とCAL（坂井ら），ECRC（ヨーロッパコンピュータ産業研究センター）のCHIPなどがある。

・オブジェクト指向のもの

オブジェクト指向については次に述べるが，論理型言語に組み入れた例として，ICOTのESPがある。

4.1.3 オブジェクト指向言語

プログラムとして実現する問題領域をなるべく自然にモデル化し，その上での動的な動作を記述することにより目的に沿った機能を持つシステムを構築するというのが，オブジェクト指向の基本的な考え方である。その基本要素はオブジェクトと呼ばれ，問題領域に現れる「もの」や概念を抽象化して表すことのできる概念的実体である。その動的な振る舞いは，オブジェクト間でメッセージをやりとりし，それにより各オブジェクト特有の動作（メソッド）を起動することによって実現される。

オブジェクトとして，例えば銀行の預金係（テラー）をとったとする。メソッド，すなわち預金係の動作としては，口座の開設，金の預け入れ，金の引き出し，口座の解約，などが考えられる。別に顧客というオブジェクトを想定すると，顧客が預金係にメッセージを送ることによって，各メソッドが起動されることになる。なお，預金係や顧客の属性と動作は，一般化されたオブジェクトとして定義されるが(クラス定義)，預金係A，Bや顧客X，Yという個々の実体は，クラスに属する個体（インスタンス）として定義される。

計算モデルとしては，C. HewittによるACTOR理論があるが，Lispに対するラムダ計算法ほど確定的な関係ではない。

代表的な言語は，1981年に全容が明確にされたSmalltalkである。Xerox社で開発されたSmalltalkは，その後ライセンスが公開され，多くの処理系が作られてきている。

既存の言語にオブジェクト指向の概念を取り入れた言語も多くの提案があり，一部は普及し始めている。例えば，Cの上のC＋＋，Common Lispの上のCLOS，Prologの上のESP，などである。

〈参考文献〉

〔後藤 88〕後藤滋樹，「記号処理プログラミング」，岩波講座ソフトウェア科学，8，岩波書店，1988.

〔AIセンター87〕ICOT-JIPDEC AIセンター，
「昭和61年度AIビジョンに関する調査研究報告書 付属資料（AI製品群)」，1987.

〔情処誌 88〕情報処理，Vol.29 No.8 1988「特集：関数型プログラミングとその応用」.

4.2 AI向きコンピュータ・アーキテクチャ

AI向きの言語の代表としてLispとProlog

をあげたが，同じ意味でAI向きコンピュータの代表としてLispマシンとPrologマシンをあげることができる。しかし，AI向きコンピュータ・アーキテクチャには，Lispマシンや Prologマシンですでに採用されているもの以外にも多様な形態があり，試験的なものから実用ベースのものまで多くの例がある。特に2つの傾向が指摘できよう。

・並列化

新たに提案されるアーキテクチャは，ほとんどすべて並列化による高性能化を図っている。並列化のレベルは，粒度（granularity）と呼ばれる並列処理単位の機能の大きさによって特徴づけられる。粒度が細かいほど並列性は高いが相互通信のオーバーヘッドが大きく，粒度が粗いほど並列性は低いがオーバーヘッドは小さい。粒度の細かい例にはConnection Machine やNON-VON3などがあり，粗い例にはマルチPSIなどのマルチプロセッサ・タイプのものがある。

・専用化と汎用化

さまざまな分野で使われるコンピュータは，専用化と汎用化のプロセスを交互に繰り返す傾向にある。産業界でAIを実用化するために使われてきたコンピュータも，当初のLispマシンというある意味での専用機から，パソコン，ワークステーション，メインフレームなどの汎用的なものに移行してきた。以下にあげる新しいマシンは多くが専用マシンの性格をもつものであるが，汎用的な並列コンピュータも幾つか商品化され始め，その重要な利用分野の1つにAIが想定されている。

以下ではAI向きのコンピュータ・アーキテクチャの研究例あるいは実用化例を，言語指向／知識表現指向／応用指向／汎用並列指向の4つに分類して示す。

4.2.1 言語指向

あるプログラミング言語用に特化したもの

・Lisp用

商用ベースではSymbolics3600シリーズ（シンボリクス社），Explorer（テキサス・インスツルメント社），ELIS（NTTと沖電気，Lispだけでなく Prolog，Small-talkも走る）など。また新しい動きとしてチップ化があり，TIで作られたLispマシンのチップをもとにmicro Explorerなどが市販されている。

研究ベースのものは日本で多くの開発例があり，特に並列化を目指したEVLIS（大阪大学），EM-3（電子技術総合研究所，方式はデータフロー。現在すでに次のEM-4の開発が始まっている。）などが，代表的。

・Prolog用

Prologマシンの開発の中心はICOTである。逐次型のPSIが1983年に開発され，現在はPSI-IIが市販されている。

ICOTでは引き続き並列型のPIMを開発中である。他に東京大学のPIEなどの開発例がある。

・関数型言語用

関数型言語を効率的に実行するマシンの実現方法には，データフロー方式やリダクション方式がある。前者の例には，NTT基礎研究所のDFM（言語はValid）など，後者の例には，インペリアル大学のALICE（言語はHope，Parlogなど。現在は後継機のFLAG SHIPを開発中），ノースカロライナ大学のFFPマシン（言語はBackusのFP）などがある。

4.2.2 知識表現指向

意味ネットワーク，ルール表現など，プログラミング言語レベルより抽象度の高い表現を対象とするもの。

・意味ネットワーク

CMU（カーネギーメロン大学）のNETL，Thinking Machines社のコネクションマシンCM-1，電子技術総合研究所のIXなどが代表的な意味ネットワークマシ

ンである。

・プロダクション・ルール

コロンビア大学のDADO2やNON-VON3，CMUのPSMなどが代表的。

・オブジェクト指向

インテル社のiAPX432，カリフォルニア大学バークレーのSOAR，フェアチャイルド社のFAIM-1などが代表的。

・ニューラルネットワーク

ネットワーク結合という点では意味ネットワークマシンと類似するが，脳のニューロンモデルを模した，より分散性の高いネットワーク・モデルに基づくもの。Hintonマシン，Hopfieldマシン，ボルツマンマシンなどが提案されているが，多くはまだ製作段階に至っていない。

・ファジィ

ファジィ(Fuzzy)推論を可能とするもの。熊本工業大学で作られたファジィ・チップ，法政大学とマイコム社で作られたファジィ推論コンピュータ，などの例がある。

4.2.3 応用指向

特定の応用分野向きのもの。現在のところ，画像処理が主な例となる。

・画像処理用

特に画像処理向きに並列処理を利用した例として，カーネギーメロン大学のWarp，NBS(National Bureau of Standards)のPIPE，東芝のTOSPIX，富士通の韋駄天などがある。

4.2.4 汎用並列指向

特に分野を特定せず，並列性を高めることにより従来のコンピュータの性能を大きく越えることを目指すもの。商品化されている例には，BBN社のButterfly，Sequent社のBalance8000，Alliant社のFX/8，NCUBE社のNCBE-ten，などがある。研究レベルでは，電子技術総合研究所のSIGMA-1などがあげられる。

〈参考文献〉

〔情処誌 87〕情報処理，Vol. 28 No.1 1987，「特集：並列マシン」

〔人知誌 87〕人工知能学会誌，Vol. 2 No.4 1987，「特集：AIマシン」

〔情処誌 88〕情報処理，Vol. 29 No.8 1988，「特集：関数型プログラミングとその応用」

第3部 AI応用技術のトレンド

1．エキスパートシステム

エキスパートシステム，あるいは，知識システムとは，通常人間の知性を用いなければ解けないような特定分野の問題を解決するのに，専門家の知識をコンピュータに組み込んで，人間に代ってあるいは人間を援けて問題解決を行うことを目的とした計算機システムである〔Hayes-Roth 1987〕。エキスパートシステムというと一般に専門家の作業を代替できるシステムという印象を受けるが，現在のところ実用になっているシステムを見ると，特に専門家が使う問題解決支援システムとしての性格が強い。本節では，まず，エキスパートシステムの概要を簡単に述べ，ついで，エキスパートシステムの特徴とタイプについて論ずる。そして，エキスパートシステム構築ツールならびに知識獲得支援ツールの現状について述べる。

1.1 エキスパートシステムとは何か〔Hayes-Roth 1987〕

従来型プログラムはアルゴリズムとデータという2つの部分に分けることができる。アルゴリズムは特定の種類の問題を解く方法を定め，データはその問題に含まれるパラメタを定める。ところが，専門家の問題解決の方法は，このモデルにはうまく当てはまらないことが明らかになってきた。そこで，エキスパートシステムでは，通常，特定分野の専門知識を知識ベースとして蓄積しておき，これを対象問題には依存しない共通に使える推論機構を用いて処理するという方法がとられる（図表III-3-1参照）。

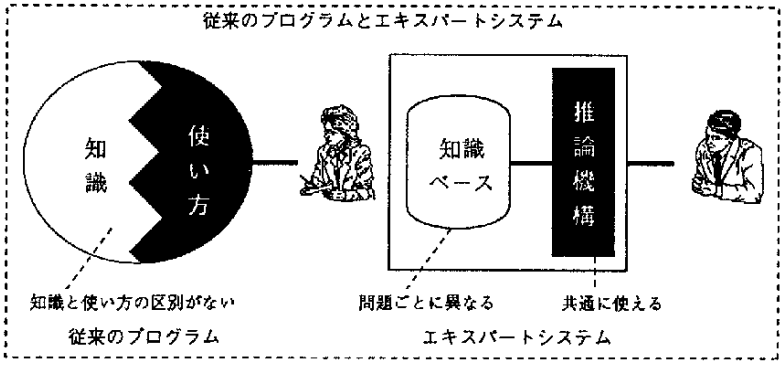
初期のエキスパートシステムは米国の大学・研究機関で開発された。DENDRALとMACSYMAはその最初の例といわれている。DENDRALは化学試験体の分子構造を質量スペクトル分析データと核磁気（NMR）共鳴データの情報とから同定する。MACSYMAは複雑な数学式を操作してそれを簡約化する数式処理システムである。

1970年代の終わりには次のようなプロジェクトが著しい成果を上げた：

MYCINは，血液感染症の診断と処方に関する発見的知識を400個程度備えていた。それらは，英語に近いif-then形式で記述されていた。それ以前のシステムに比較すると，MYCINの特徴は，システムが導いた結論や質問について説明できる機能を持つことである。

HEARSAY-IIは，ブラックボード（黒板）

図表III-3-1 従来型プログラムとエキスパートシステム



という共通のデータベースを通じて互いに通信し合う複数の独立したサブシステムを用いて，協調的な問題解決機能を実現したシステムである。1,000語の語彙の範囲で連続音声の認識に成功した。

R1，あるいは，XCONは，Digital Equipment社(DEC社)のVAXコンピュータの機器構成を注文に従って作るシステムで，1,000個あまりのif-then形式のルールを持っていた。機器構成というタスクは，本質的に組み合わせ的爆発をまねく問題であり，機器構成に要する知識が絶えず変更される点において，従来のコンピュータ技術では解決が難しいものであった。しかし，DEC社は，R1，XCONを使用することで，このタスクに関する限り著しい効率を上げたといわれている。

INTERNISTは内科分野の病名と兆候との間の関係について10,000個に近い判断知識を持つエキスパートシステムである。このシステムは多くの内科専門医を越えるような，広い知識と問題解決能力の実現を求めるシステムの始まりであった。

わが国では，第五世代コンピュータプロジェクトの開始がきっかけとなってAIブームが起こったのは記憶に新しい。その結果，今日では，プロトタイプレベルのものも含めるとエキスパートシステムの数は数百・数千にものぼっており，すべてをフォローするのは不可能な状況に至っている。

エキスパートシステムを開発する意義は次の4点にある〔中村 1987〕。

① 従来，個々の担当者固有ものであった専門知識（の一部）を計算機システム全体で利用できるように共有化すること；

② 漠然とした形で保持・記述されていた専門家の知識・思考を計算機で処理できるように明文化すること；

この2つは，エキスパート・システムの本質は知識や思考の明文化にあるという考えに基づいている。専門家は普通の場合ほとんど意識せずに，素人が見たら驚くような難しい問題を扱っている。これに使う知識を紙の上に書くことさえできれば，専門家の知識を共有できるようになるという意味だけでも十分に大きな意義があることとなる。前節の言葉でいえばルールベースの知識を容易に扱いうることにエキスパートシステムの意義が存在する。

③ 新しいプログラム開発手法として，柔軟なシステムの開発に役立てること，これを別の言葉で言えば，動的な処理を行う方式とそれに必要な静的な専門知識をうまく分離し，組み合わせること；

④ 同じく新しいプログラム開発手法として，仕様の決定からインプリメントまでの開発期間を著しく短縮できること。

これは，エキスパートシステムの開発は従来型システムの開発よりも生産性が高いことに基づいている。すなわち，従来型のプログラムを作るときは，まず利用者の要求を聞いて仕様書にまとめ，それが終わってから設計・コーディング・テストと進んでいく。ところがエキスパートシステムの開発方式では，利用者の要求をうまく書き留めさえすれば，その段階でシステムを動かしてテストすることができる。すなわち，知識ベースの記述は専門家の問題解決知識の厳密な仕様に相当し，この仕様は推論機構の働きで自動的に解釈することができる。そのため，エキスパートシステムの開発においては，システムを作っては壊すという作業を続けながらだんだん機能を充実させる手法をとることができる。

現在の技術レベルで比較的容易に実現できるエキスパートシステムの特質は次の5点にまとめることができる。

① 狭い分野：

対象領域の性質が明確であり，狭く深い問題を取り扱う。同時に，専門家の持つ問題解決のための知識を知識処理技術で利用可能な形にまで整理することが可能な分野を選ぶ。

② 高度な専門知識が必要な分野：

少数の専門家でなければ解決できない分野の問題を扱う。さらに実際にその問題を比較的短時間で解ける専門家が存在しており，計算機システムによってその代替・支援を行うことに意義がある分野を選ぶ。

③ 記号処理が問題解決の中心となる分野：

従来型の数値計算プログラムに加えて，数値情報化しにくい専門家の経験則を，記号処理の原理によってプログラム化・効率化できる分野を選ぶ。

④ 緊急度が低い分野：

システム化するための要請は十分に強いが，その開発に時間・コストを掛けられる問題であり，実験システムとしての性格を持つ問題を選ぶ。また，システムの実行に当たっては，時間変化に伴って対象システムの状況が変化することを前提とする必要がない分野を選ぶ。

⑤ 対象システムについての知識が利用できる分野：

経験則に頼るだけではなく何らかの意味で対象システムについての知識を利用して問題を解決できる分野を選ぶ。本来明確であるはずのエンジニアリング・システムを対象とする場合は，特に，対象システムの設計時まで遡れる問題については，そこで得られる知識を用いる方が信頼性の高いシステムを実現することができる。

1.2 エキスパートシステムの特徴

エキスパートシステムは一般に次のような特徴を持つ〔ICOT-JIPDEC 1989〕。

1.2.1 悪構造・悪定義問題を対象とすること

機能や構造が明確であり，従来型のアプローチ，すなわち，数理的，アルゴリズム的な問題解決可能な問題は良構造（well-structured）であるといわれる。また，必要な問題解決の範囲を事前に明確に設定することができる問題は，良定義（well-defined）であるといわれる。これに対し，アルゴリズム的な問題解決が困難な問題は悪構造（ill-structured），また，問題解決の範囲を事前に明確に設定することが困難な問題は悪定義（ill-defined）であるといわれる。エキスパートシステムは，一般に悪構造・悪定義問題を対象とする。

1.2.2 プロトタイピング的接近を必要とすること

悪構造・悪定義問題では，問題解決の範囲（ユーザの要求仕様）および問題解決の方法を事前に明確化することは困難である。そこで，とりあえず，動作可能なプロトタイプシステムを作ることによって，ユーザの要求仕様を次第に明確化したり，あるいは，問題解決の手がかりを見いだしたりする場合が多い。したがって，エキスパートシステムの構築には，プロトタイピング開発を何回か繰り返す方式が有用である。

1.2.3 AIや知識工学を基盤技術とすること

エキスパートシステムにおける，問題解決の理論的基礎はAIに求めることができる。また，エキスパートシステムを構築する際の方法論的基礎は知識工学に求めることができる。AIは，探索や問題解決戦略，知識の表現と利用などの技術を提供する。一方，知識工学は構築方法論，知識獲得支援，知識プログラミングなどの技術を提供する。しかし，AIや知識工学を補完する技術として，システム工学的技術も重要である。

1.2.4 知識処理を中心的なタスクとすること

エキスパートシステムは，対象とする問題に関するデータを一時的に格納するワーキングメモリー，問題解決に必要な知識を格納する知識ベース，および，問題解決プロセスを制御する推論機能などから構成される。そのため，知識の表現，推論の制御，知識の獲得と管理などの知識処理技術が，問題解決において主要な役割を演ずる。

1.2.5 システムの透明性が要請されること

プロトタイピング的方法に基づいてエキスパートシステムを段階的に開発するには，システムがブラックボックスであってはならず，

システムの透明性（transparency）が要請される。エキスパートシステムにおいて，知識ベースと推論機構が明確に分離していることは，システムの透明性を実現する上での必要条件である。しかし，複雑な問題解決が必要なときには，メタ知識と呼ばれる推論を間接的に制御するための知識を知識ベースに置かざるを得ないこともあり，システムの透明性を確保するには，十分な配慮が必要である。

1.2.6 ユーザとの対話性を向上させること

エキスパートシステムはユーザにとってもブラックボックスであってはならない。ユーザに対し，推論結果を示すだけでなく，結果に至る推論の道筋をその根拠とともに明確に示すことにより，ユーザとシステムとの間の対話性を向上させる必要がある。

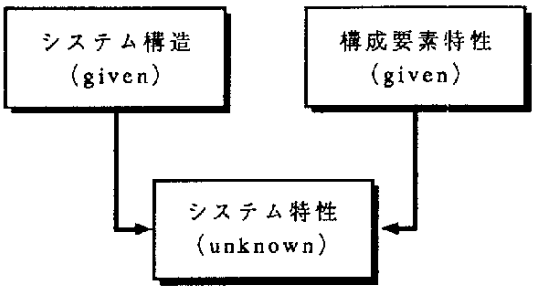
1.2.7 保守や拡張が容易に行えること

エキスパートシステムは，一般に，開いた領域を対象とするので，システムとして完成したとよばれる段階に達するのは稀であり，エキスパートシステムは永遠にプロトタイプシステムであり続けるケースも多い。この場合，エキスパートシステムの保守と拡張がシステム開発者からユーザへと円滑に委ねられることが望ましい。すなわち，エキスパートシステムは，手離れの良いシステムであることが望ましい。そのためにも，システムの透明性やユーザとの対話性の確保は重要である。

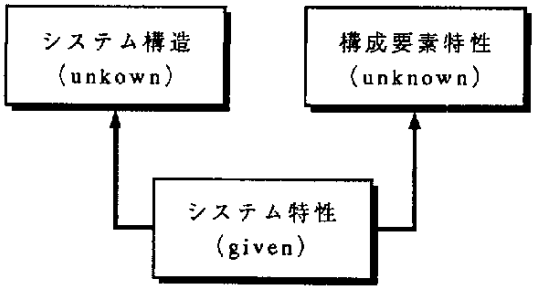
1.3 エキスパートシステムのタイプ

エキスパートシステムが対象とする問題は，大別すると，解析型問題と合成型問題に分けることができる[ICOT-JIPDEC 1987]。解析型問題とは，図表III-3-2に示すように，システムの構造とサブシステムの特性とが与えられたとき，システムの特性を導くような問題である。一方，合成型問題とは，図表III-3-3に示すように，システムの特性が与えられたときに，これを実現するようなシステムの構造とサブシステムの特性とを決定するような問題である。

図表III-3-2　解析型問題



図表III-3-3　合成型問題



一般にサブシステムの特性とシステムの構造とが与えられたときは，システムの特性が一意に定まるのに対し，システムの特性が与えられたとき，これを実現するサブシステムの特性とシステム構造は無限に存在する。ここに合成型問題の基本的な難しさが存在する。

比較的単純な解析型問題に対しては，分類問題（classification problem）のかたちに問題を定式化することが有用である。これは，少数の解候補をあらかじめ定めておき，それらを，その解候補を導く兆候や証拠と組み合わせることで問題解決を行う一般的な手法である。また，少し，複雑な解析型問題では，

図表III-3-4 個別問題領域の定義と特徴

		定義	特徴	代表的なシステム
解析型問題	解釈問題	解釈問題とは、計測機やセンサを通して観測された連続的なデータを分析して、システムの構造や状態を推定し、これに物理的な意味づけを与えることである。	1.時空間データの高次相関 2.雑音の混入 3.誤りの存在 4.必要なデータの欠落 5.信号処理技術との接続 6.対象に関するモデルの利用 7.感覚データの取り扱い	Dendral Hearsay-II Dipmeter Advisor
	診断問題	診断問題とは、システムに異常または故障が生じたとき、観測されたデータおよびシステムに関する知識を利用して、原因の箇所を同定することである。	1.設計レベルの知識の利用 2.経験的知識の利用 3.経験的知識の不確実性 4.操業データの利用 5.計測のための時間とコスト 6.知識の抽象化の必要性 7.対話的診断の推論制御	MYCIN Internist Prospector
	制御問題	制御問題とは、システムの状態を監視していて、あらかじめ予定されたとおりにシステムの状態が遷移するように操作を加えることである。	1.時間遅れによる履歴依存性 2.非線形性による局所性 3.安定化の応答性 4.制御精度の実現 5.実プロセスとの接続 6.実時間性と信頼性の確保 7.離散系における解析問題	高炉操業監視支援システム 浄水場制御エキスパートシステム
合成型問題	計画問題	計画問題とは、与えられた目標を達成するために、利用可能な資源（人・金・もの）の割り当てを時系列として決定することである。	1.探索空間が非常に広い 2.評価属性が多様である 3.環境予測が不確実である 4.部分計画間の相互作用 5.既存計画の再利用 6.費用と便益のトレードオフ 7.対話型計画作成支援の要求	Scheplan 鋼材出荷エキスパートシステム
	設計問題	設計問題とは、システムの入出力の要求仕様が与えられたとき、これを実現するために、構成要素を組み合わせ、かつ各構成要素の内部仕様を決定することである。	1.システム構造の解空間が大 2.解析による合意が基本的 3.構成要素の最適化の必要性 4.検証の完全性および効率性 5.対話形式での設計支援問題 6.設計段階に応じた支援形態 7.対話型設計支援の要求	RI/XCON 変電所機器レイアウトCAD プラント配管CAD

幾つかの制約条件を満たすことが要請され，組み合わせ的爆発の問題をどう克服するかが重要な課題となる。これについては，制約伝播 (constraint propagation) の手法が一般的なものとして知られている。

一方，合成型問題はもともと組み合わせ的な性質を持つ。合成型問題に対する最も一般的な手法として，生成検査法 (generate and test)がある。これは，システムの構造を仮に生成し，それに対してシステムの特性を解析し，その評価を行うことを繰り返して，妥当なシステム候補を探索する方法である。この方法は解析による合成 (Synthesis by analisys) とも呼ばれる。この意味で，合成型問題は解析型問題を内包しているともいえる。

エンジニアリング分野においては，解析型問題は，解釈問題，診断問題および制御問題に類別できる。また，合成型問題は，計画問題および設計問題に類別できる。ただし，これらの分類は互いに排反的なものではなく，実際のシステム開発に当たってはこれらが組み合わせることで特定のエキスパートシステムが構成される。さらに，エキスパートシステムの対象とする問題は，さらに，教育問題，相談問題，検索問題，修理問題，運転支援問題など，さまざまな分野に及ぶ〔Hayes-Roth 1985〕。しかし，これらの問題は，いずれも，原理的には上記の5種類の問題の組み合わせで表現することができる。

図表III-3-4に，解析型問題・合成型問題の定義と特徴，ならびに代表的なシステム例を，図表III-3-5に，それぞれの問題領域における基本的なタスクと問題解決機能とをとりまとめる。

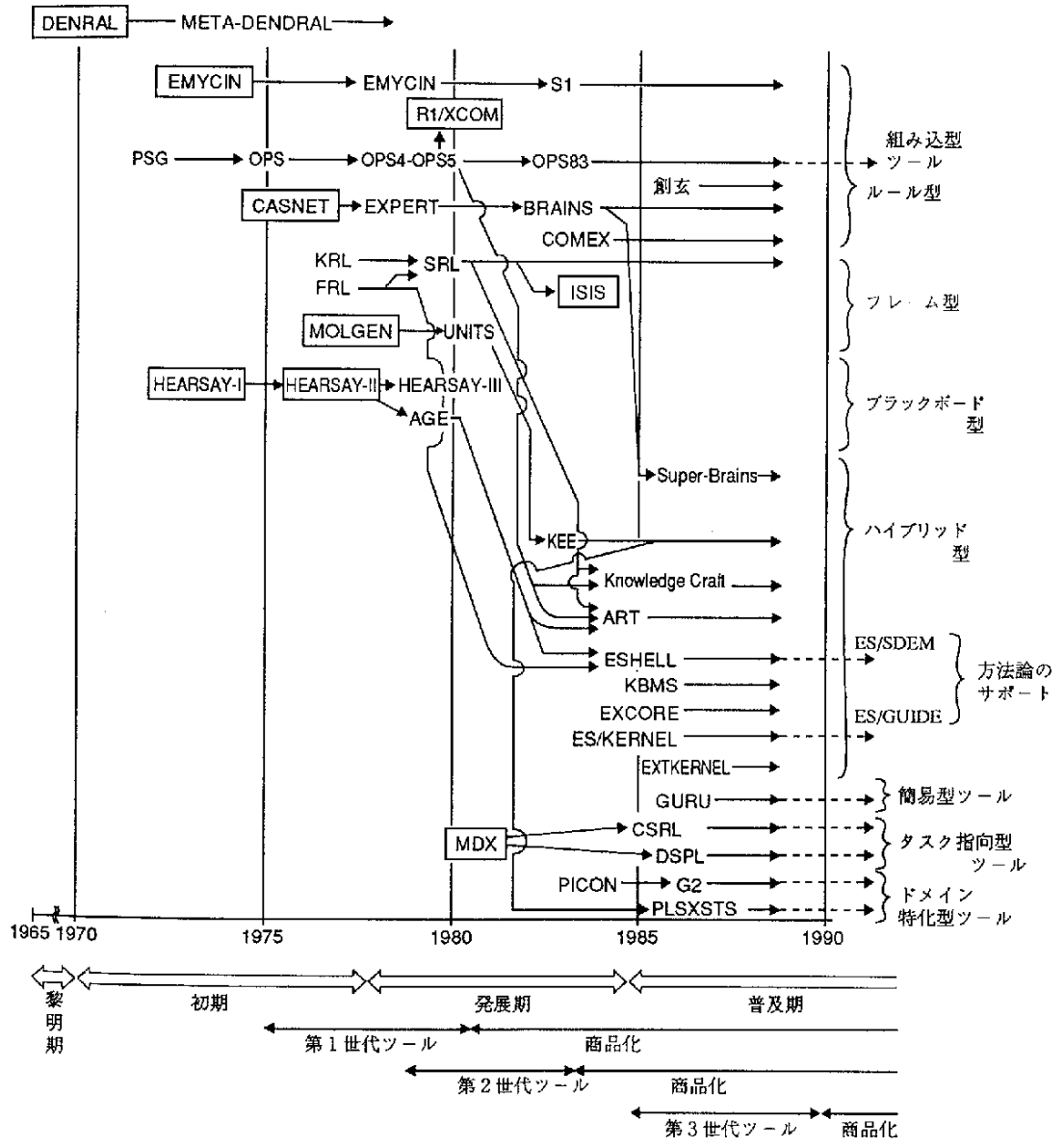
図表III-3-5　個別問題領域の基本タスクと問題解決機能

		基本タスク	問題解決機能
解析型問題	解釈問題	1.特徴の抽出 2.モデルとの不完全な照合 3.システム構造の同定 4.システム状態の推定 5.あいまいさの処理 6.不完全性の処理 7.解釈の多様性	1.分類階層によるクラス分け 2.モデル検索機能 3.部分構造の評価機能 4.階層的生成検査法 5.不確実性推論 6.仮説推論 7.協調型推論
	診断問題	1.異常事象の分類階層的表現 2.システム構造の階層的表現 3.解釈問題のタスクを内包 4.計測点の選択的決定 5.異常原因の同定 6.浅いモデルによる効率性 7.深いモデルによる効率性	1.事象駆動型推論 2.目標駆動型推論 3.不確実性推論 4.仮説推論 5.協調型推論 6.効率性と完全性の調和 7.費用／効果分析
	制御問題	1.システム構造の表現 2.システム動特性の表現 3.診断問題のタスクを内包 4.モデルによる状態の予測 5.安定化操作の優先的実行 6.安定操業下での省エネ化 7.オペレータガイダンス	1.状態の診断機能 2.シュミレータによる予測 3.定性推論による予測 4.制御則の多目的評価 5.アクションガイダンス 6.デッドロックの解析 7.インターロックの回避
合成型問題	計画問題	1.計画過程の階層化 2.組合せ的探索 3.制約条件の相互作用 4.環境の予測 5.上位レベルへの知的後戻り 6.計画事例の検索と利用 7.計画評価の多様性	1.トップダウン精密化戦略 2.拘束最小化戦略 3.網羅的探索機能 4.仮説推論による知的探索 5.類推による計画事例の利用 6.計画の多目的評価 7.リスク下での意思決定
	設計問題	1.構成要素とその関連の表現 2.設計問題の階層的表現 3.代替案の自動生成 4.部分システムの評価 5.上位レベルへの知的後戻り 6.設計事例の検索と利用 7.並列的問題解決	1.トップダウン精密化戦略 2.拘束最小化戦略 3.最適化機能 4.検証機能 5.仮説推論による知的探索 6.類推による設計事例の利用 7.協調型推論

1.4 エキスパートシステム開発ツール

エキスパートシステム開発ツールとは，知識ベースシステムを開発するためのプログラム言語，もしくは，そのプログラム言語に適した開発環境をも含む統合システムを意味する（以下では単にツールと呼ぶことがある。）。ここで，知識ベースシステムとは，知識ベースと推論機構の存在を明確に意識したソフトウェアシステムのことである。

図表III-3-6 AIツールの発展



（□はＡＩツールのもととなったエキスパートシステム、
またはそのツールを使って作られた代表的なエキスパートシステムを表す。）

以下では，まず，ツールの歴史を概観したのち，ツールを理解する上で共通の枠組みを紹介し，次いで，代表的なツールではこの枠組みがどのように実現されるかを示す。最後に，AI技術全般のブレークスルーについて考察するという立場からツールの将来の課題について述べる。

1.4.1 エキスパートシステム開発ツールの歴史

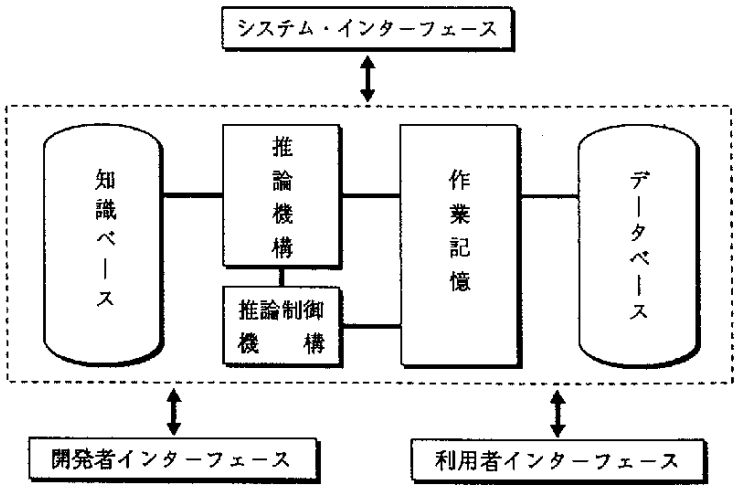
AIツールの発展の経緯は図表III-3-6のようにまとめられる。これから分かるとおり，ツールには，その前身として，特定のエキスパートシステムを持つものが多い。初期のツールは，まず，プロダクションルールによる知識表現・推論をサポートした。次いで，知識を階層的に表現するのに都合のよいフレームに基づくツールが開発されるようになった。さらに，ブラックボード（黒板）の概念に基づくツールも開発された。これらを単一の知識表現をサポートするという意味で，第1世代のツールという。それに対し，1980年代にはいると，第1世代ツールの機能で提供された個別の技術を統合化し，複数の知識表現をサポートする開発環境が作られるようになった。これらを第2世代ツールという。1985年以後は，これらのツールはさらに分化してきている。その中には，対象とする業務に対する知識をあらかじめ保持し，特定分野の問題解決の効率化をはかる領域特化型ツール，ジェネリックタスク（generic tasks）の概念をサポートするタスク指向型ツール，AIの概念について詳しくないユーザを対象とする機能の限られた簡易型ツール，従来型システムに組み込んで利用することを前提とし，推論の高速実行を特徴とする組込型ツールなどがある。また，後の節で紹介するように，知識獲得機能を含むツールも幾つか発表されている。

図表III-3-6から分かるとおり，現在ではさまざまなAIツールが入手可能である。これらは，いずれも，ルール，フレーム，ブラックボードといった従来から研究されているAI技術を実装し，プログラミング環境として統合したものが中心である。

1.4.2 エキスパートシステム開発ツールの枠組み

現在，入手可能なツールの多くは図表III-3-7のような一般構成を持つ。その基本的な構成要素は点線で囲まれた部分である。この中心は，対象分野の知識を格納する知識ベース（Knowledge Base）と，それを利用して推論処理を実行する推論機構（Inference Engine）である。また，推論の実行順序などの制御を行う制御機構（Control Mechanism），推論の途中経過など動的に変化する情報を保持する作業記憶（ワーキングメモリー; Working Memory），推論中はあまり変化しない静的な情報を保持するデータベース（Database）などから構成される。本来のAI研究の用語では，作業記憶とデータベースは，同じ概念を

図表III-3-7　エキスパートシステム開発ツールの構成



指し，データベースという言葉で使われることが多い。ここでは，推論中に動的に変化するものを作業記憶，変化しないものをデータベースと呼ぶことにする。

AIツールはさらに，外部との情報の授受を行うために，システム・インタフェースとユーザ・インタフェースとを持つ。ユーザ・インタフェースはさらに，知識ベースシステム開発者が主に使う開発者インタフェースと，開発済みのシステムを使うための利用者インタフェースに分けることができる。

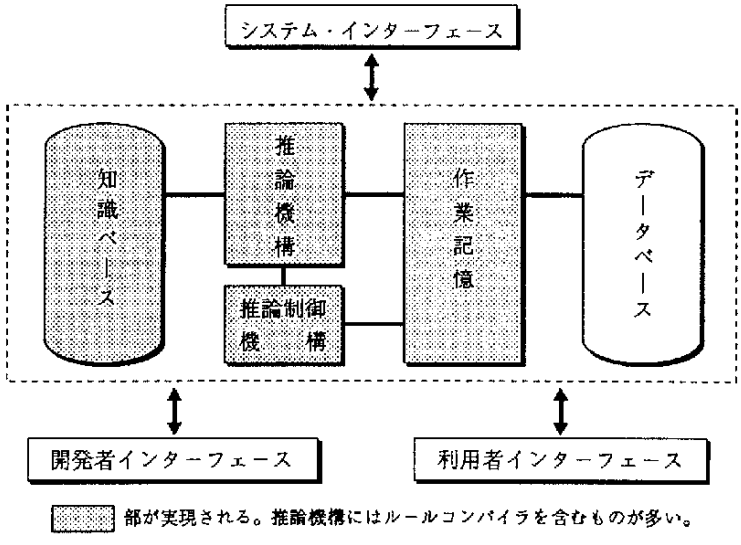
システム・インタフェースは，他のプログラム言語や他のソフトウェアシステム，他の計算機との結合方式を定める。開発者インタフェースは，開発者，すなわち知識技術者や専門家が，特定の知識ベースシステムを容易に開発しうる環境を提供する。これは，ツールのサポートするAI技術（知識表現と推論方式），ならびに，知識ベースシステムの行うタスクの内容を，開発者が理解しやすいように表現するためのインタフェースである。利用者インタフェースは，完成したシステムのエンドユーザが利用するインタフェースであり，エンドユーザにとって真に使いやすいシステムを実現する。

以下では，AI技術の代表的な概念であるプロダクションルール，フレーム／オブジェクト(Object)，ブラックボードに基づくツールにおいて，それぞれ，図表III-3-7の点線で囲まれた部分の機能がどのように実現されるかを述べる。なお，フレームとオブジェクトはともによく似た概念であり，これらの概念に基づくツールも，互いによく似た構造を持つ。そこで，以下では，フレームという用語のみを用いて解説する。

ルール型のツールでは，知識ベースにはプロダクションルールが格納される。推論機構は，通常，前向きまたは後ろ向きの推論をサポートする。さらに，推論の高速実行を目的としてルールをコンパイルする機能を備えたツールもある。推論途中の状態は，構造を持たないフラットな作業記憶に収められる。推論制御部は，ルールの競合解消の仕組みを提供する。データベース機能は純粋のルールベースシステムでは省略される場合が多い（図表III-3-8）。

フレーム型のツール（Frame Based System）では，作業記憶とデータベースの機能をともにフレームの概念で実現する。また，知識そのものもフレームに埋め込まれるので，ルールベースシステムに見られたような明示的な知識ベースを持たない。推論機構は，フレームを操作することで処理を進めていく。そして，推論制御機構は付加手続き（Attached Procedure）あるいはメソッド（Method）

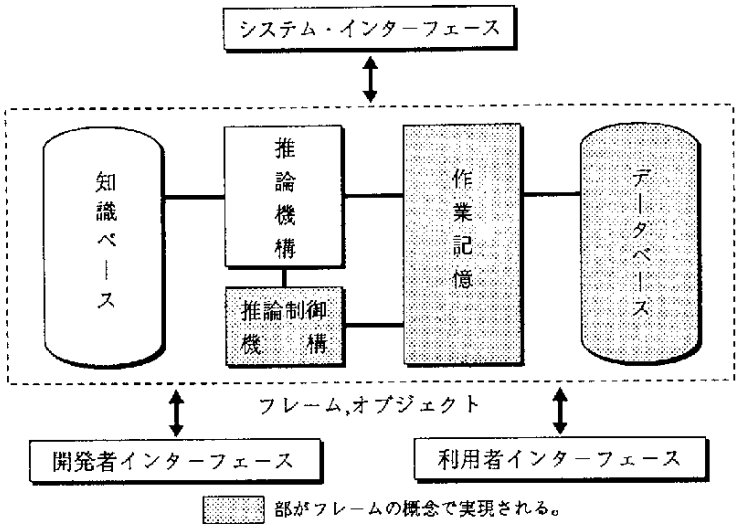
図表III-3-8 ルール型ツールの構成



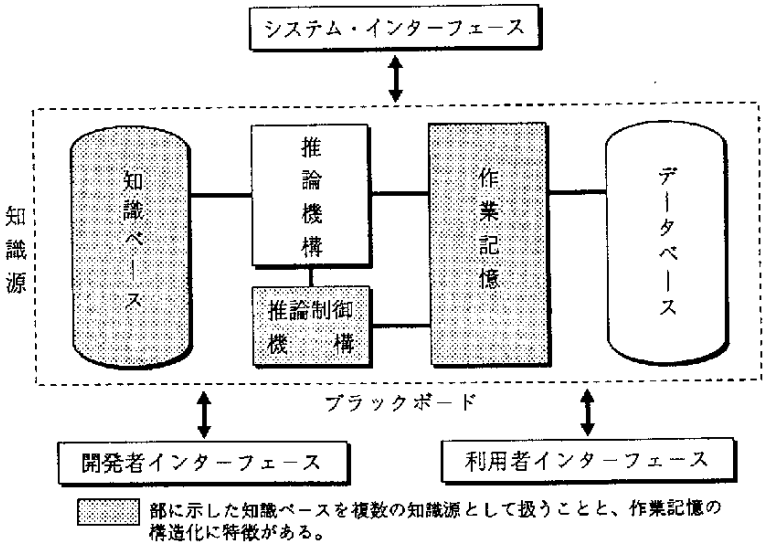
としてフレーム内に記述される（図表III-3-9）。

ブラックボード（黒板）型のツール（Blackboard Based System）では，知識ベースは，知識源（Knowledge Source）という単位で，複数に分割される。個々の知識源の知識は，通常，プロダクション・ルールの形式で記述される。作業記憶と推論制御機能の役割は黒板が果たす。黒板とは，各知識源が操作することが可能な共通の作業領域で，推論に使う事実や中間的な結論および推論を進めるための制御情報が記述される。そして，推論機構は，黒板の内容を参照し，適切な知識源を起動することで処理を進めていく。データベース機能は持たない（図表III-3-10）。

図表III-3-9　フレーム型ツールの構成



図表III-3-10　ブラックボード型ツールの構成



1.4.3 代表的なエキスパートシステム開発ツールとその特徴

図表III-3-6に示したように，1980年代後期になってAIツールの数は急激に増加しており，すべての内容を記述するのは不可能な状況になってきている。そこで，以下では，わが国で入手できる市販の代表的なAIツールのうち，ある程度知識ベースシステム開発に実績のあるものを選んで概要を説明する。

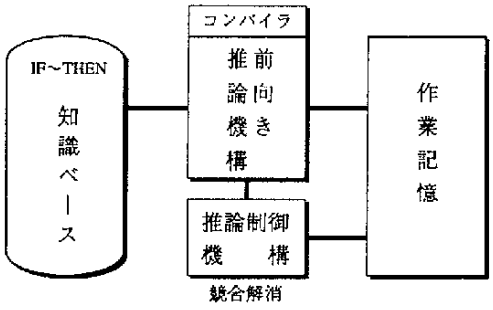
(1) OPS5，OPS83

OPS5，OPS83は，認識－行動サイクルというプロダクション・システムを駆動する基本的な概念に基づいて，カーネギーメロン大学（CMU）でForgyが開発したツールであり，エキスパートシステム開発ツールというよりはプログラム言語としての性格が強い。シス

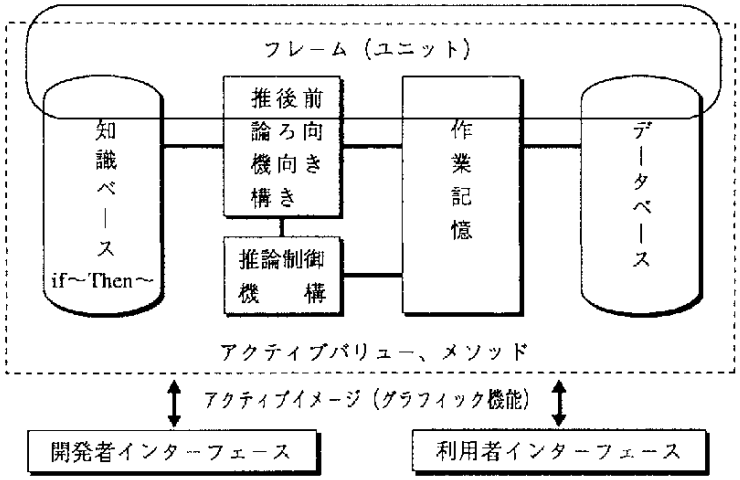
テムは，機能としては前向きの推論機構しか持たないが，推論処理を高速化するためのReteというアルゴリズムに基づくルールコンパイル機能が優れていることが特長である。OPS 83は，OPS5と比較すると，システム組み込み型の言語に徹しており，推論処理に必要な機能を基本関数として提供することで，競合解消の手段を利用者にすべて開放している。

システムの構成は図表III-3-11に示したとおりである。知識ベース，作業記憶はともに

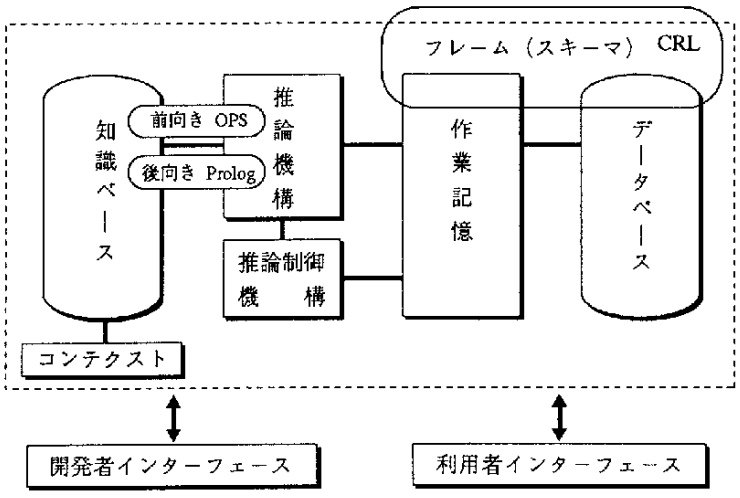
図表III-3-11 OPS5, OPS83の構造



図表III-3-12 KEEの構造



図表III-3-13 Knowledge Craftの構造



複雑な構造は支援しないので，これらのツールを用いてエキスパートシステムを開発する場合には，推論制御のための知識までを何らかの形でルール中に記述しなければならない。これは，エキスパートシステムの本来のねらい——知識の宣言的な利用——には反するものである。そのため，複雑なエキスパートシステムを開発する場合には，いかに推論制御の仕組みをうまく記述するかが課題となる。ただし，ツール全体が比較的コンパクトであるために，OPS5を利用してブラックボードなど高度なAI手法を実現した例もみられる。

このような基本機能開放型のツールは，小規模なシステム開発から実用的な大規模システムの開発まで共通に利用でき，また，パー

ソナルコンピュータ上でも稼働する。

(2) KEE

KEEは，Stanford大学で開発されたUNITSというフレームベースのツールがもととなって商品化された最初の第2世代ツールである。KEEは，フレーム(KEEではユニットという用語を使う）に基づく知識表現を中心に，ルールによる推論機能，アクティブバリューと呼ぶオブジェクトのメッセージ交換機能，Prolog風の論理的な記述，グラフィックス機能を備えている（図表III-3-12)。

KEEのフレームは，継承を伴うmember-slot (isaに相当)，継承を伴わないown-slotの2つの関係をサポートする。これら2つの関係はユニットのスロットごとに定義できる。

このツールの特徴は，システム全体をフレーム概念に基づいてインプリメントしていることと，グラッフィクス機能に優れていることにある。すなわち，図表III-3-12に示したように知識ベース（ルール）の管理はすべてフレームによって行われるし，また，推論機構もフレームシステムの中で実現されているので，オープンなツールとして利用者が改良を加えるのが容易である。

知識ベースを利用者が操作する時は専用のグラフィックスエディタが利用でき，実現したエキスパートシステムの構造の把握が容易になっている。さらに，スイッチ，メータ，グラフなどエンジニアリングシステムでしばしば利用される基本的な表示モデルをパッケージとしてあらかじめ組み込んであり，利用者インタフェース作成に用いることができる。これがアクティブ・イメージ (Active Image)の考え方である。アクティブ・イメージを使うと，グラッフィック画面に表示された情報の変更をただちにフレームのスロット値の変更に反映させることができる。また，手続き的知識はオブジェクト指向の考え方で統一・管理しており，メッセージパッシングで起動される。この方式によるとフレーム用のインタフェースで手続き的な知識も分かりやすく表示できるようになる。このようなグラフィクス機能は以下のツールでも最近はサポートされている。

KEEの最近のバージョンでは，以下に述べるARTではじめて採用されたATMS（仮説に基づく真実管理機能）とルールをLISPコードに展開するコンパイラとが付いている。

(3) Knowledge Craft

Knowledge Craftはカーネギーメロン大学で開発された，フレームベース言語CRL (Carnegie Representation Language)を中心に，これに，推論機構としてProlog (CRL Prolog) とOPS5 (CRL OPS) を付加して実現されたツールである。Prologは後ろ向きの推論機能を，OPS5は前向きの推論機能を提供する。Prolog, OPS5ともフレーム(Knowledge Craftではスキーマという）を操作できるように拡張がなされている。システムはさらにコンテクストと呼ぶ知識ベース管理機能を持つ。全体の構成は図表III-3-13のとおりである。

このツールの特長は，ツールの提供するスキーマの機能がきわめて豊富なことにある。例えば，システムが提供するスキーマ間の関係だけをとっても，分類的階層関係を作るisa, instance-of, 集合間の関係を作るprototype-of, member-of, subset-ofなど種類が多い。さらにこれらの関係自身も，(メタスキーマとして）スキーマの概念を利用してインプリメントされている。そのため，利用者が新しい関係を新しく作り出すこともきわめて容易になっており，その継承方法も自由に設計することができる。

Knowledge Craftは，各関係ごとに継承の有無などの属性を定義する。この関係はどのスキーマについても適用される。KEEのユニットでは各スロットごとに関係が管理されるが，この方式とは異なっている。どちらが使いやすいかは一概にはいえない。

最近のバージョンでは，オブジェクト指向

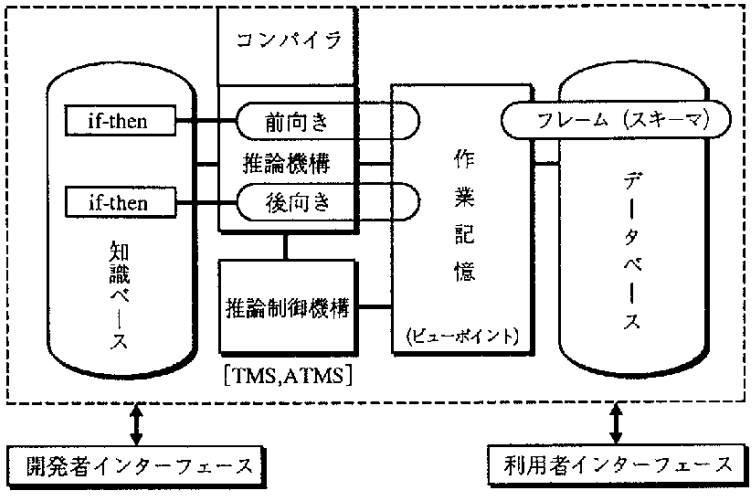
の機能が追加され，さらに，グラフィクス機能，知識ベース編集機能も充実している。また，個々の機能をLISP環境から呼び出して利用することも行われている。

(4) ART

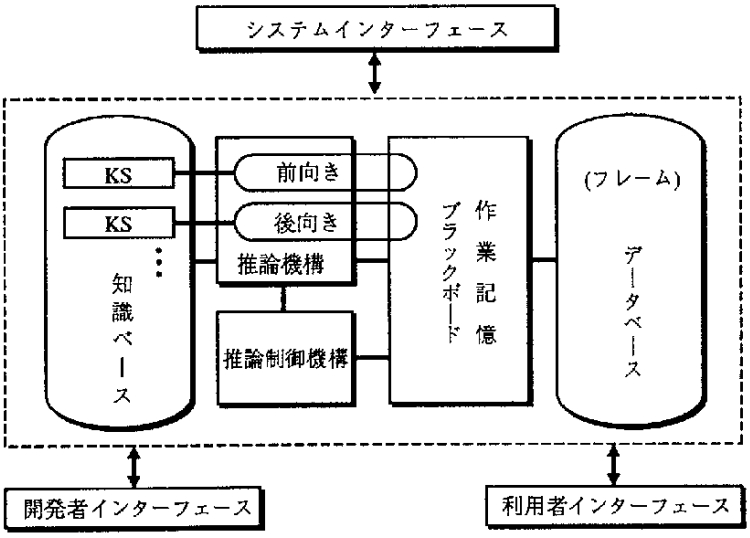
ARTは上に述べたツールと異なり，最初から商用ツールをめざして開発された。基本的な機能は，OPS5に似たコンパイラ付きの高速の前向き推論機構である。ARTでは後ろ向きの推論ルールも記述できるが，これはコンパイラによって前向きのルールに変換される。また，フレームとしてはSRLと同様の方式でスキーマの概念をサポートしている。スキーマの提供する機能はKnowledge Craftほどではないが，非常に豊富である。

スキーマの継承機能は，実行時にはコンパイラによってファクトに変換される。また，ARTは，仮説的な推論を行って，複数の解を同時に求めたときに便利なATMS (Assumption-based Truth Maintenance System) の機能をビューポイント (View Point) という名で実装したはじめてのツールである。この機能は，ワーキングメモリーを自由に構造化でき，ブラックボードモデルを拡張したものとして評価されている。

図表III-3-14 ARTの構造



図表III-3-15 ESHELLの構造



さらに，ルール中にLogicalの指定をすることで，仮説推論でしばしば用いられる通常のTMS (Truth Maintenance System) 機能も実現されている。ARTではこれらの機能をすべて密に統合した形で提供している。全体の構成は図表III-3-14のとおりである。

(5) ESHELL

ESHELLは，Hearsay-II，AGEなどで実現したブラックボードモデルにフレーム機能を

付加して作られたツールである。システムはルールによって駆動される。ルールのTHEN部は，いわゆるアクションを記述する部分とブラックボードの制御を扱う部分とから構成され，ルールは適当なグループごとに知識源の形で管理される。各知識源には知識源の使い方に関する情報（前向き／後ろ向きの指定，起動条件，など）も含まれている。システムの構成は図表III-3-15のとおりである。

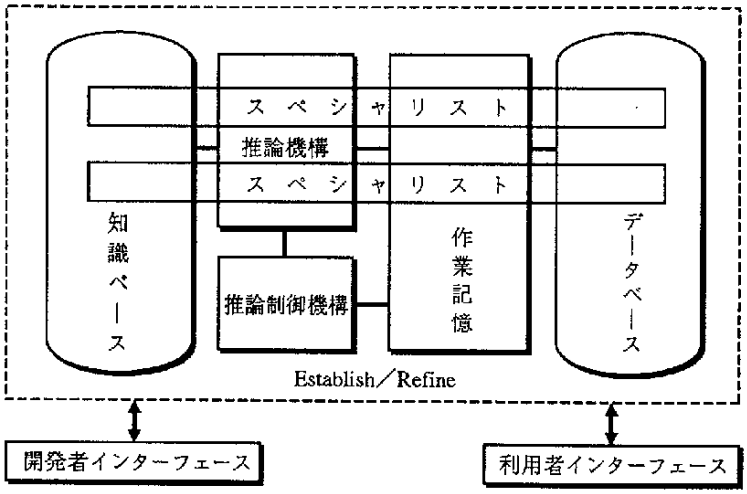
最近のバージョンESHELL/Xではツール全体をオブジェクト指向のアプローチで統合しており，KEEに近い構造となっている。また，制御用にチューニングされたESHELL/SBというバージョンでは，ブラックボードを通してプロセスからのオンラインデータの授受を行える。パソコン用のESHELL/FMはブラックボード機能が省略されている。

(6) CSRL

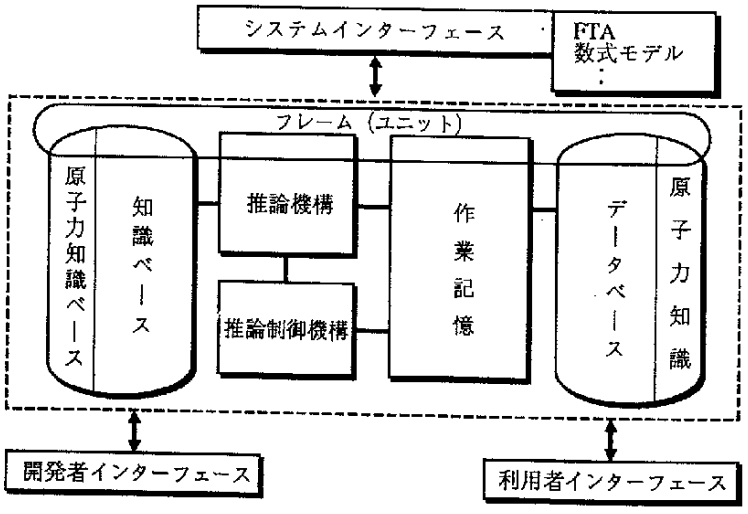
CSRLはジェネリックタスクの概念に基づいて開発された分類型問題専用のツールである。CSRLは，Chandrasekaranの提唱した6種のジェネリックタスクのうち，階層的分類と仮説照合・評価の2つのタスクを実現したものである。

CSRLを使って構築されたエキスパートシステムは，「スペシャリスト」という特定の仮説を持つ小さなサブシステムを階層的に組み合わせた形で表現される。CSRLによる問題解決は，上位から下位へ，または，下位から上位への（仮説や解答を表現した）メッセージの伝播によって行われる。各スペシャリストは，自分自身の仮説に対して，その正確度を判定し，それを−3〜+3までの整数値で表現する。そして，ある程度仮説が確からしい

図表III-3-16　CSRLの構造



図表III-3-17　PLEXSYSの構成



と判明した場合には，その仮説を確立(establish) し，さらに，詳細化 (refine) するという推論制御方式が組み込まれている。システムの構成は，図表III-3-16に示すとおりである。

(7) PLEXSYS

従来，大規模プラントは個別に設計されることが多く，設計情報をデータベースに蓄えても，それをさまざまな視点から利用することは難しかった。しかし，今後は，経済性の観点から，小規模な設備ばかりでなく，原子炉のような大規模設備に至るまで標準化の努力がなされることと考えられる。そのような場合，プラントに共通の情報と汎用のプラント・モデルとを備えた基礎的な知識ベースをあらかじめ開発しておけば，個々の業務のエキスパートシステム化に役立つものとなろう。

このような考え方に従って，現在米国電力研究所 (EPRI; Electric Power Research Institute) では，原子力分野の問題に適用しやすい専用ツールを開発している。この要求仕様をまとめるうえで，信号解釈・保守作業管理など原子力分野の主要な12種類の例題が考察され，そのうち2つはAIツールKEEを使用して実際にプロトタイプが作成された。その結果，PLEXSYSは，基本的なプラント構成要素・シミュレーション機能・数式モデル表現機能・フォールトツリー分析 (FTA) 機能を持ち，これらの要素を専用のグラフィクス・インタフェースで容易に操作して，原子力専門家が自ら知識ベースを開発できるものとなった (図表III-3-17)。

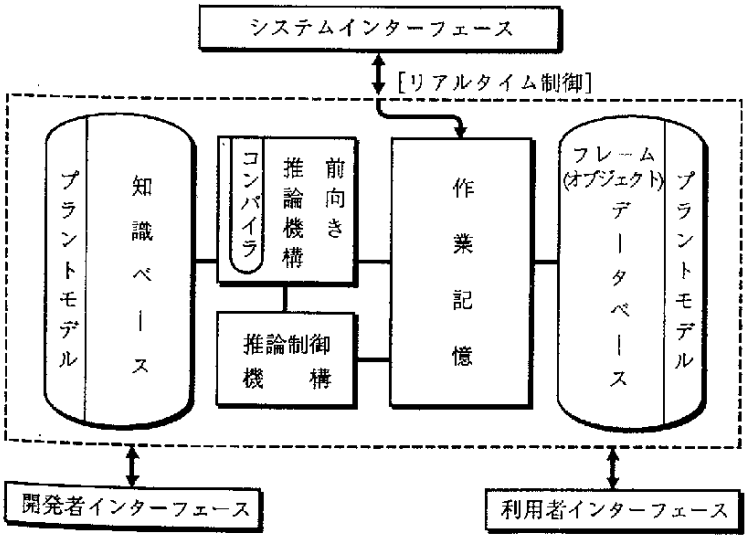
(8) G2

G2は数千点に及ぶプラントデータ情報をオンライン・リアルタイムで処理することを目的とした専用ツールである。これには，PLEXSYSのような共通知識ベースの概念はないが，①プロセス構成とその挙動に関する知識表現，②AIシステムと従来型システムとの連携容易性，の2点を重視した設計となっている。G2の構成は，図表III-3-18のとおりである。

知識表現は，オブジェクト (フレーム) とルールとを中心としている。プラントの構成要素や接続関係，ならびにそれらの図形表現は通常オブジェクトとして記述する。オブジェクトには各要素の時間的変化や適当な手続き的知識などに関する情報も埋め込まれる。経験的知識を記述したルールは，その適用範囲を適当なオブジェクト単位で指定できる。G2で使われるデータにはタイムスタンプと有効期限とが付加される。これによってデータの一貫性管理をきめ細かく行うことができる。推論処理性能を向上させるための工夫として，メタ知識を使って問題の重要な部分に焦点を移動するための焦点機構を持つ。

G2の豊富なシステムインタフェースは従来型システムとの連携を容易化する。例えば，任意の利用者プログラム，シミュレータ，データベースなどの情報

図表III-3-18 G2の構成



を取り込める。さらに，ネットワーク機能・通信機能が充実しているので，(G2で記述した)分散型システムの実現や，他の計測・制御装置との連携が可能である。

これらの機能によって，G2は，数秒～10数秒単位で変化するプロセスにはリアルタイムで追従できるだけの性能を持つとされている。

1.4.4 エキスパートシステム開発ツールの今後の課題

以上，述べてきたように，最近のエキスパートシステム開発ツールには，機能的にも性能的にもさまざまなものが存在する。これらのツールのこれまでの傾向としては，少数の機能を洗練するというよりも，むしろ，機能を増やしハイブリッド化を進める方向で発展してきたといえよう。例えば，ARTはAI技術の面から機能を充実させたツールの代表例であり，KEEは利用者インタフェースの面から機能を充実させたツールの代表例である。

今後，これらのハイブリッドツールからの発展の方向には，図表III-3-6に示したものを含めて，次の7つがある。

(1) ドメイン特化型ツール

これは，原子力分野のPLEXSYSや，実時間向けのG2に見られるように，特定分野の知識を領域モデルとして，知識ベースに組み込んでおき，これをエキスパートシステム開発時に利用することで，知識技術者，あるいは，エキスパートシステム保守者の負担を軽減し，システム開発の効率を高めるツールである。このようなツールの開発に当たっては，特に，対象分野の常識的な知識をどこまでカバーできるかが大きな問題となる。

(2) タスク指向型ツール

これは，CSRLで示したように，システムの対象分野には依存しないが，診断問題，設計問題などのシステムのタスクに応じて，共通の問題解決機能と知識表現をサポートするツールである。このようなツールは，タスク(generic task)が同定できれば非常に都合がよいが，一方では，知識処理技術に特徴的なジェネリックタスクあるいは，それをサポートする問題解決機能の特性が，明らかになっておらず，今後，一層の研究開発が必要である。

(3) 簡易型ツール

従来の（大規模）エキスパートシステム開発に当たっては，専門知識の収集・整理を行う知識技術者の役割が重要であった。しかし，今後，エキスパートシステム化の要求が高まるにつれ，初心者を利用者と想定した，単独型のエキスパートシステムについては，利用者みずからがシステムの保守・変更・管理を実施していくことが望ましい。そのためには，OAにおけるスプレッドシート・プログラムのような，機能を単純化し，コンピュータに詳しくない専門家を利用者として想定した，強力な機能を備えた，簡易型ツールの提供が重要となる。

(4) 組込型ツール

エキスパートシステムは実用的になればなるほど，システム全体におけるエキスパートシステム的な部分の相対的な役割が減少する。このようなシステムを開発する際には，プロトタイプレベルでは上に述べたようなハイブリッドツールを利用する場合がほとんどである。しかし，実運用システムの実現に当たっては，特に，推論速度の面から，高性能なツールの提供が望ましい。組込型ツールは，特に，このような実行性能を重視する問題において，プロトタイプの最終段階で利用される。エキスパートシステム開発を日常の業務とするようなメーカにおいて，これらのツールの開発例が多い。今後は，さまざまな分野において，従来型システムとエキスパートシステムとを統合できるような組込型ツールの必要性は高まるものと考えられる。

(5) 開発方法論のサポート

ツールの適用範囲は，開発方法論の整備によって明確になり，容易に利用できるものとなる．その意味では，現在のいわゆる知識シ

ステム開発ツールや知識獲得支援ツールには，開発方法論の裏付けのないものが多い．開発方法論を整備するためには，知識システムの開発プロセスをソフトウェア工学の視点から吟味し，その結果を踏まえた支援ツールを開発することが重要である．

(6) 知識獲得支援機能のサポート

エキスパートシステム開発の最大のボトルネックは，専門家の知識を収集・整理するための，知識獲得の段階にある。これらの知識獲得の支援機能を持つツールの必要性は今後ますます増加するものと考えられる。最近，AI研究の成果として，幾つかの知識獲得支援ツールが発表されている，これら，実験室レベルのごく小さな範囲の分析型問題を対象とする限りにおいて，知識技術者ぬきの知識システム開発を可能とするレベルに到達している．しかし，現実の知識システム開発に現在の知識獲得支援ツールを適用するのは非常に困難であり，今後の一層の研究開発を必要とする．

(7) ツールの評価体系

現在のように，さまざまなツールが存在する状況において，一般のエキスパートシステム開発者がみずからの問題に適したツールを選択するのは非常に困難である。ツールの評価そのものは，ツールの提供者あるいは利用者固有の問題であり，単純に解が1つに定まるものではない。しかし，ある程度客観的な基準のもとで，ツール評価の体系を確立しておくことは，エキスパートシステム開発の効率化や新しいツールの開発・評価の点で望ましい。この点において，〔ICOT-JIPDEC 1989〕におけるツール評価の報告は有用と考えられる。

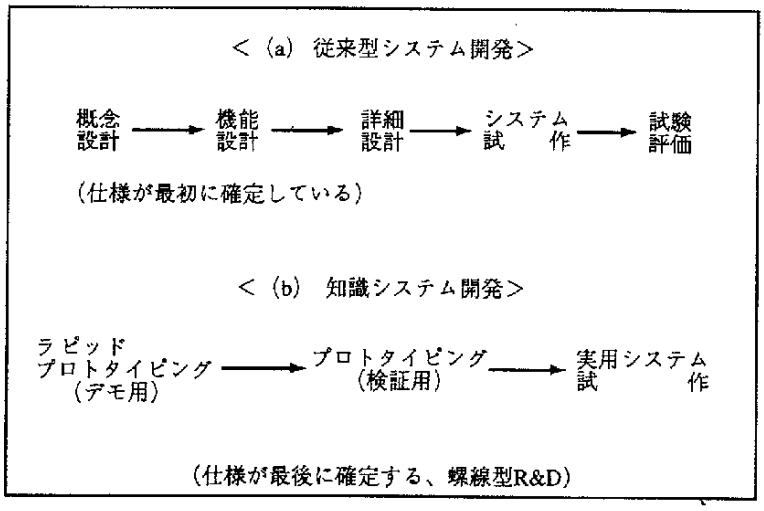
1.5 知識獲得支援

1.5.1 知識獲得支援とは何か

AIシステム研究開発の進展の中で，推論エンジン，インタフェース部分を含むAI環境の整備が急速になされた。しかし，車に譬えれば，優れたエンジンがあっても，それに見合う優れたガソリンが無ければ，不完全燃焼を起こしてしまう。そこで，優れたガソリンに相当する特定の問題を解決するのに必要な知識ベースの知識を，専門家からいかに抽出するかが最大の問題となった。専門家から専門的知識を抽出するには，AIシステム構築に即して，知識獲得に関する方法論を整備しなければならない。知識獲得方法論の整備は，当面，最も重要な研究課題である。

そこで，実際にAIシステムを開発した当事者から知識獲得の方法をヒアリングによって聞き出し，ヒアリング結果をできるだけ客観的に分析した。その結果，図表III-3-19に見られるように，従来型システムとAIシステムの開発フェーズの違いが浮き彫りになった。すなわち，従来型システムではウォータフォール型の研究開発体制をとり，仕様が最初に確

図表III-3-19 開発フェーズの違い



定しているのに，AIシステムでは螺旋型の研究開発体制をとり，仕様が最後に確定することが分かった。またAIシステム開発の3フェーズのそれぞれで，次のような知識獲得過程〔Kobayashi 86〕を経ることも分かった。もちろん，実用システム試作フェーズに近づくほど，①から⑩の後半の過程の占める比重が高くなる。

①問題の設定：現在のAI技術で実現可能なシステムを構築することができるか，開発するだけの価値があるかなどの評価を行い，問題を選択する。

②既存技術の評価：設定された問題に対し，従来のシステム技術で取り扱いが可能な範囲と限界を明らかにし，AI技術導入の必要性を明らかにする。

③知識源の同定：設定された問題の解決に必要とされる知識とその利用可能性を評価するとともに，各知識源ごとに使われる知識の質と量を分析する。

④専門家モデルの同定：主要な知識源が人間の専門家の場合，その専門家がどのような知識を，どのような問題解決戦略および推論方法に従って用いているのか，その基本的な枠組みを明らかにする。

⑤ユーザモデルの同定：構築しようとしているシステムの利用者は，システムに何を期待し，どのような使い方をするのか，その基本的な枠組みを明らかにする。

⑥知識表現の選択：③～⑤の分析結果に基づき，適切な知識表現形式の選択または組み合わせを行う。

⑦知識の抽出：⑥で選択された知識表現の枠組みのもとで，各知識源に存在する知識を抽出する。

⑧知識の変換：⑦で抽出された知識を計算機で利用可能な形式に変換し，実際に計算機に移植する。

⑨知識ベースの管理：知識ベースに追加される知識の整合性を検証したり，外から与えられる知識を説明する知識を知識ベース内に自動構築する。

⑩性能の評価：利用可能なテストデータを用いて，システムが妥当な性能を示すかどうか評価する。

以上から分かるように，広義の知識獲得は①～⑩の10の段階で構成される。①～⑤が問題の定式化を伴う知識の収集段階，⑥が知識表現の選択段階，⑦～⑧が知識の移植段階，⑨～⑩が知識の管理段階に相当する。システム工学の用語法でいえば，①～⑥の過程はシステム分析，⑦～⑩の過程はシステムのモデル構築に相当する。ここに，より本格的なAIシステムが要請される対象ほど，システムのモデル構築よりもシステム分析の方法の適用が重要なウェートを占める。したがって，与えられた問題に対して，AI技術を冷静に評価・選択し，システム分析とシステムモデル構築の方法論を有機的に結合したAIシステム構築のための新しい方法論を開拓することが，当面最も重要な検討課題である。このような方法論の整備は，知識獲得支援を中心に，現在，多様な試みが行われつつある。

また，従来からあるAIシステム構築用の汎用シェルのみならず，診断型・解釈型・制御型・計画型・設計型といった問題別のドメイン・シェルの研究開発の動きが高まっている。ここに診断型・解釈型・制御型の問題を「解析型問題」，計画型・設計型の問題を「合成型問題」と呼ぶことにする。

1.5.2 知識獲得支援のタイプ〔Nihon 89〕

解析型（診断型・解釈型・制御型）問題に対する解析型AIシステム，合成型（計画型・設計型）問題に対する合成型AIシステムのそれぞれの特徴と知識獲得のニーズを述べる。

(1) 診断システムにおける知識獲得支援

診断システムとは，システムに異常あるいは故障が生じた時，専門家から得られた経験的知識をプロダクションルール等の診断ルールで表現し，観測データを説明する原因を，

その診断ルールに基づき同定していくシステムのことである。診断システムへの知識獲得は，与えられたシステムが自然システム（医療コンサルテーションシステム，等）か人工システム（車の故障診断システム，等）かによって異なってくる。

自然システムの場合，観測データは与えられた自然現象の一部として切り出されてきた局所的なもので，各種の知識表現形態で観測される。システム知識も与えられた自然現象のモデルの一部として記述されたもので，各種の知識表現形態が考えられる。そこで，異常原因の同定を目的として，各種の知識表現形態の統合が問題となる。これに対して人工システムの場合，システム知識は設計書等に十分反映されており，それを構築する因果関係も既知の場合が多い。そこで，小規模システムの場合は因果関係知識が容易に利用可能である。しかしながら，大規模システムの場合は計算量の壁が存在するので，何らかのシステム工学的手法を用い，問題を階層的に分解する等の工夫が必要である。いずれにせよ，システムに関する知識と何らかの経験的知識の両者を，いかに効率よく知識獲得するかが問題である。

(2) 解釈システムにおける知識獲得支援

解釈システムとは，主として計測器やセンサを通じて取得した連続的データを分析し，システムの状態や構造を推定し，物理的意味付けを与えるシステムのことである。一般に完全な知識か，不完全な知識か，あるいは常識・経験的知識かによって，その知識獲得方法が異なってくる。解釈システムの知識獲得はこのうち前二者を対象とすることが多い。

解釈システムの目的は，システムの状態，構造や物理的意味付けを同定することにあるので，与えられた知識がノイズを含まない完全なもので再現性の高い場合かどうか，欠落データやノイズを含む場合かどうかで知識獲得の方法が異なる。後者の場合，一般に解釈の多義性や組み合わせ爆発の問題が起こる。そこで，優れた解釈システムの利用者は与えられた対象に対するある程度の常識・経験的知識（解釈モデル）をもって，解釈の補完を行っていることが多い。

(3) 制御システムにおける知識獲得支援

制御システムは一般に制御対象と制御者からなる。制御者は制御対象の状態を計測しつつ，制御操作系列を加え，あらかじめ予定されたとおりにその状態が遷移するように操作していく。制御システムの知識獲得は，制御対象の知識の性質に依存する。計測データのデータ処理の一環として特徴パラメータを抽出する場合には，知識獲得よりもむしろパターン認識的技法が効果を発揮する。データに不確実性が内在する場合，不確実性推論に必要な知識のみを獲得すればよい。制御対象の状態を診断する知識には，診断木を用いる方法と仮説推論による方法がある。診断木型の知識に対しては，後述のように知識獲得ツールの整備が進んでいるが，仮説推論については今後の研究に負うところが大きい。

制御対象を操作するための推論モデルのうち，状況依存型のルール集合を用いる場合には，制御者の経験知識をルールベース化することになり，これを体系立てて知識獲得する効率のよい方法が望まれる。このとき，インタビュー方式では主として原理的，概念的知識が得られるので，現実の操作環境下で得られる経験的知識をプロトコル解析の手法で収集し，一貫した知識として体系付ける方法の開発が望まれる。

(4) 計画システムにおける知識獲得支援

計画システムでは，与えられたシステムの目標を達成するために，人・金・物といったリソースを組み合わせ的に時系列化していくことに，その特徴がある。システム目標は，計画されるべき対象に関する要求仕様の記述として与えられ，これを実現するような具体的なシステム構造と構成要素特性を時間軸の

中で決定していく。

要求仕様を満足するシステム構造と構成要素特性の組み合わせは任意なので，一般にこの種の問題は組み合わせ的な探索空間の爆発が起こる。そこで計画過程を階層化し，組み合わせ爆発を防ぐ必要がある。計画を詳細化する過程で，複数の代替案が生成され，その解析，評価・検証，修正を経て，仕様を満足する代替案が決定されていく。不完全な仕様を完全な仕様へと変換していくプロセスをガイドしていくことが最も重要であり，類似の仕様を持つ計画事例データベースを再利用することが望ましい。計画システムは不確実性下での予測が伴うことが多いので，不確実性に対する態度をモデル化しておく必要がある。

(5) 設計システムにおける知識獲得支援

設計システムでは，設計対象に関する要求仕様の記述として与えられた設計目標を達成するために，これを実現するように具体的なシステム構造と構成要素特性を決定していく。設計システムの知識獲得は仕様の獲得と，それを満足するシステム構造や構成要素特性の獲得の両者からなる。システム構造と構成要素特性のどちらかが与えられた場合，決定要因は少なく，問題は単純化される。

設計問題も計画問題と同じく，組み合わせ的な探索空間の爆発が起こる。そこで組み合わせ爆発を防ぐために，探索空間を階層的に分割した階層的生成検査法を採用したり，探索空間を幾つかの抽象空間分割するトップダウン的な精密化戦略をとる必要がある。制約条件に対する要求が強く実行可能解を見い出すのが困難な場合，制約緩和といった手法が必要となる。設計問題は計画問題以上に自由度が高く，本質的に創造的なファクターが強く，専門家から知識獲得するにも弟子入り方式以外，有効な方式が見つかっていない。有用な知識獲得支援ツールもほとんど存在しないが，既存の設計事例データベースを最大限に利用し，事例に基づく推論を利用して知識獲得する方式が注目されている。

1.5.3 知識獲得支援ツールの開発動向

〔Kunifuji 88〕

知識獲得支援ツールは，主として診断分野を中心に研究開発されてきた。初期のツールとしてはTEIRESIAS，SEEKが挙げられるが，その特徴としては増大する知識ベースの保守の過程の支援を行うことに重点が置かれている。よって，獲得された新しい知識と既存の知識ベースの整合性を保つために不備な知識を洗練することを，主な目的としている。各システムは知識ベース構築に用いられるAIシステム構築用ツールの特殊化されたデータ表現と単純な推論メカニズムを利用して知識ベースの整合性維持支援のためのコンサルテーションを行う。例えば，TEIRESIASではEMYCINのプロダクションシステムと後ろ向き推論メカニズムに関する知識を用いて，知識ベース内のルールのルール間の矛盾点の発見と修正が効率良くできるコンサルテーションが行われる。

近年の知識獲得支援システムでは短期間に質の高い初期知識ベースを構築することに重点が置かれている。このために心理学的アプローチやモデル論的アプローチをとっており，インタビューを用いて，専門家が容易に専門知識の抽出とその抽出された知識の整理，および洗練の支援が行われる。知識獲得支援に関するより一般的サーベイはAIセンター報告書〔Titeki 89〕を参照することにして，ここでは最近の代表的な知識獲得支援システムであるETS，ROGET，MOREについて紹介し，次いで各システムを対象分野・方法論の点から比較を行う。

(1) ETS 〔Boose 84〕

ETSは知識獲得プロセスの短縮と獲得される問題解決知識の質の向上を目的として開発された知識獲得支援システムである。ETSはG. A. KelleyのPersonal Construct Theoryに基づくRating Gridという方法論を用い

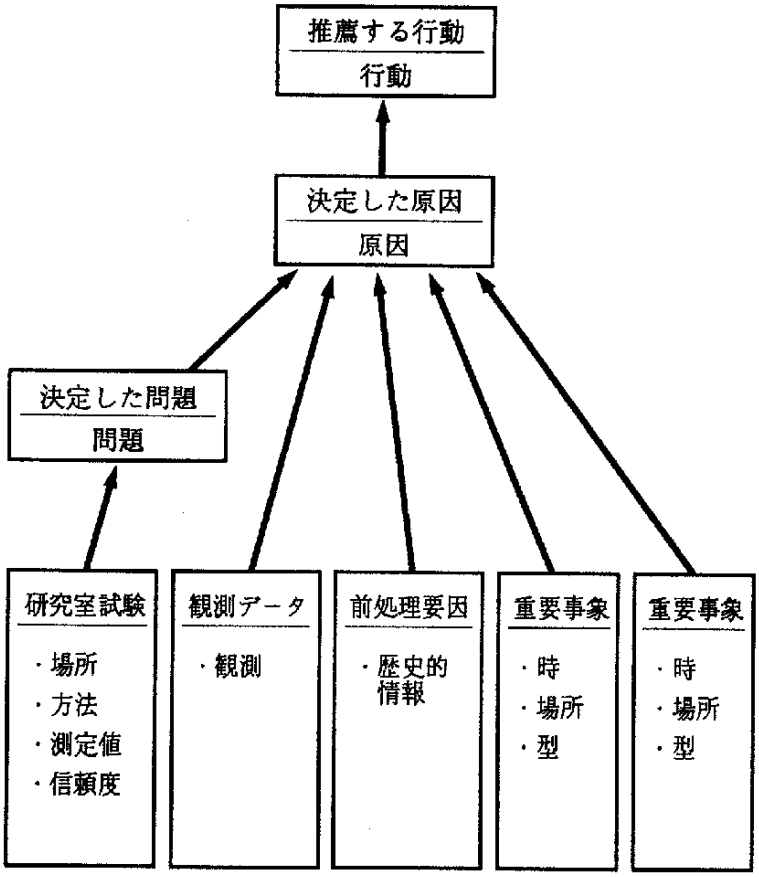
て，専門家に自動的にインタビューを行い，専門家が問題解決に用いる発見的知識とパラメータからなる初期知識ベースの抽出を知識工学者が介在することなく支援する。ETSはすでに200以上の適用事例があり，知識獲得の作業期間を少なくとも2ヵ月は短縮できるといわれている。なおETSは合成問題や解析と合成が結合された問題をうまく扱えない。ETSは余りにも不定な知識や，手続き的な知識，戦略的な知識の獲得には向かず，また項目の概念のレベルの統一，特徴の値は2つのみ，ルール群の部分的修正，確信度はルール単独では意味を持たない等の面が欠点とされている。

(2) ROGET 〔Bennett 85〕

ROGETは専門家が問題解決の構造的知識の表現に用いる様々な知識を，知識獲得の初期の段階において効率的に専門家から抽出して整理することを目的として開発された知識獲得支援システムである。ROGETでは診断型AIシステムのタスクで用いられるある種の概念が，本質的にはすべて共通であるということを利用している。過去に構築された診断システムの知識ベースをもとに，問題解決のタスクごとに共通な概念の一般的枠組みが類型的な初期概念構造として用意されており，

1) 問題解決タスクの型の決定，
2) 概念構造の獲得，
3) 概念構造の修正，
4) 概念構造のエキスパートシェルへの変換，

図表III-3-20 ROGETのもつ類型的な初期概念構造〔Benett 85〕



といった基本4ステップを通して知識獲得がなされる。専門家とのインタビューを通じて初期類型的概念構造が詳細化されていき，

a．主要概念の実体の入力，

b．主要概念に関係ある概念の決定，

c．上記概念の実体の入力，

といった「幹から枝へ」の手順で専門知識が獲得されていく。ROGETで得られる概念構造は，図表III-3-20で示されるように，タスクに含まれるゴールとサブゴール，大部分のタスクを解くのに必要なファクト，観察結果，条件，概念間因果関係を表したものである。ROGETで獲得された初期知識ベースは不完全なものであり，新たな概念の枠組みの付加とその詳細化，および新しい概念の因果関係の付加を行う必要があり，また獲得されたルールについてもタスクの基本的な推論構造しか表しておらず，ルール内容について充分な検討が必要である。

(3) MORE〔Kahn 85〕

MOREは掘削泥水診断システムMUDの開発の経験から考案された知識獲得支援システムである。MOREは診断知識を表現することと，さらに強力な診断結果を獲得するのに必要な種類の情報を抽出すること，およびルールに確信度を割り振る専門家を支援することを目的として開発された。MOREはMUDの解析と専門家との討論を考慮して得られた8つのインタビュー戦略が迅速に精度の高い知識ベースを獲得するのに有効であることを利用している。このためMOREは対象モデルを用いて，対象領域を大まかに構造化し診断ルールからなる初期知識ベースの獲得を行い，8つのインタビュー戦略をこの不完全な初期知識ベースに適用することにより掘削泥水診断用知識ベースの構築を行う。8つのインタビュー戦略とは，以下のとおりである。

1) 仮説群を区別する徴候の決定

2) 仮説の発生条件の決定

図表III-3-21　知識獲得支援ツールの比較〔Kunifuji 87〕

	ETS	ROGET	MORE
適用分野	分類作業(診断等)	診断作業（医療、故障）	診断作業
支援レベル	初期知識ベース	初期知識ベース	初期知識ベース
方法論	Personal Construct Theory	概念構造	対数モデル,インタビュー戦略
入力方式	システム主導、対話的	システム主導、対話的	システム主導、対話的
入力データ／入力内容	項目、項目分類特徴、項目特徴間の関係度、特徴間相対的重要度	概念の実態名	仮説、徴候、条件、確信度
出力データ／獲得内容	XS-3000とOPSS用プロダクションルール、確信度	EMYCIN用プロダクションツール	MUD用ルール
先行知識	無し	概念の一般可された枠組み、過去のインタビュー例、概念の関係	8インタビュー戦略
発展性適用拡張性	他の高次知識獲得システムのフロントエンド、解析分をもつ設計・計画問題	他の低次知識獲得システムにより獲された初期知識ベースの概念の整理、設計・計画	診断一般への拡張

3) 共通の徴候を持つ仮説群を区別する徴候の決定
4) 徴候の発生条件の決定
5) 仮説－徴候パス間の新徴候の決定
6) 共通徴候をもつ仮説群を区別する新徴候の決定
7) より正確な徴候発見検査法の決定
8) 検査の精度に関する条件の決定の順次適用

MOREは対象領域に関する対象モデルを利用しているので，短期間に自分自身で知識の整理，効率よく信頼性の高い知識ベース構築ができるが，対象領域が変わった場合の汎用性に難点がある。したがって，拡張可能性の高い診断一般に適用できるシステムにするための工夫が必要である。

ETS，ROGET，MOREという3種の知識獲得支援ツールについて適用分野，支援レベル，方法論，入力方式，入力データ，出力データ，対象領域の先行知識，システムの発展性・適用拡張性といった観点から比較したのが，図表III-3-21〔Kunifuji 87〕である。

最近の知識獲得支援ツールの研究開発動向は，文献〔ICOT 88〕の応用分野特別セッションに見られるように，知識獲得過程の「より上流を支援」すべく，知識獲得支援ツールは進化しつつある。それに伴い，知識表現もより柔らかい情報を取り扱い，生のデータや各種の情報を整理し，洗練するツールの必要性が高まっている。そのような知識の整理・洗練を支援するシステムの研究開発として，最も注目されるのがAQUINASである。

(4) AQUINAS 〔Boose 87〕

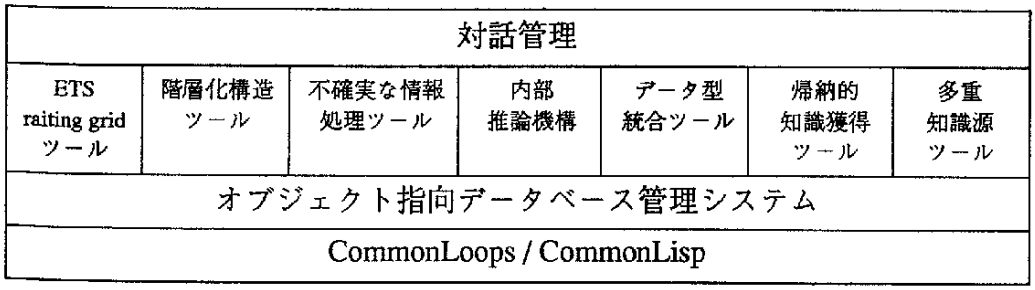
ポストETSの本命として最も注目されるのが，ETSの改良版であるAQUINASである。その特徴は，

a．知識獲得プロセス全体の効率化，
b．ラピッドな（例えば典型例では2時間以内で）知識ベース生成，
c．知識ベースの質の向上，
d．知識ベース管理やその理解可能性の向上（例えばKEE，OPS5等への自動変換機能）
e. Personal Construct Theory法の拡張，

などにあると言われている。AQUINASワークベンチは，図表III-3-22に見られるように，Common Loops/Common Lisp上で作成されたオブジェクト指向データベース管理システム上の対話管理システムによって管理されているさまざまな知識獲得タスクを支援する，統合化されたツール類の集合体である。AQUINASは次のようなタスクからなる。

タスク1) 違いを引き出す：Personal Construct Psychologyを活用し，Rating Gridを定める。
タスク2) 問題を分割する：解／特徴／例の階層からRating Gridへの問題分割を考える。
タスク3) 不確かな知識を統合する方法を特定する：選好，制約，証拠のそれぞれの不確実性に対応して適

図表III-3-22 AQUINASワークベンチ〔Boose 87〕



当な推論の方法を採用する。

タスク4) 知識ベースを検証する：複数の推論機構でコンサルテーションする。これはCSRLの確立－洗練サイクルに相当する。

タスク5) 異なるデータ型を統合する：名義尺度，順序尺度，間隔尺度，比尺度といったデータ型を統合する。

タスク6) 知識ベースの拡張と洗練：例からの学習，演繹(インヘリタンスの適用)，類推，観測（クラスター分析）といった拡張･洗練技法を用いる。

タスク7) 多重知識源を用いる：論証エンジンはユーザ指定あるいは重み付け知識源を用いて，コンセンサスあるいは異論を唱える。

タスク8) 知識獲得過程のガイダンスを提供する：知識ベース増大に対処するため，ダイアログマネージャが実効的な発見的知識をガイドする。

以上のタスク構成から分かるように，AQUINASは既存のさまざまな知識獲得技法を集大成した広義知識獲得過程の全過程を支援する知識獲得支援システムであるが，合成型問題への適用可能性や後半のタスクの開発レベルが不明である。同様に，ETSをベースにISMやAHPといったシステム分析の手法を組み込んだYUAI〔Sawai 89〕も，より上流の知識獲得を目指したものとして注目される。

知識獲得のより上流過程を支援する，これらのシステムと類似のシステムの研究開発が盛んである。そのような研究開発の流れの中で，コンピュータを個人の知的生産性向上のみならず，グループの知的生産性向上に役立つツールとして利用しようとするCSCW (Computer Supported Cooperative Work)〔Ishii 89〕の動きを忘れてはならない。このような動きは，グループウェア研究〔Tazelaar 88〕といわれているが，これから述べるColabやKJエディタはグループウェア研究のパイオニアをなすものである。実際，これらはより上流の知識表現である自然言語レベルでの知識獲得への有用性が認められている。

(5) Colab 〔Stefik 87〕

ゼロックスのParc（パロアルト研究所）は計算機科学の分野において輝かしい業績を挙げている研究所であるが，その主要メンバであるStefik，Foster，Bobrow，Kahnらが最近発表したコンピュータ黒板Colabは極めて注目に値する知識整理支援システムである。小人数の会議を生産的にガイドする方法としてブレインストーミングやKJ法〔Kawakita 87〕，NM法等が知られているが，Colabは会議における発散的思考プロセスのみならず収束的思考プロセスを，生産的・協調的にガイドするツール類から成り立っている。Colabは基本的に黒板の代わりであるBoardnoter，収束的思考をガイドするCognoter，発散的思考をガイドするArgnoterという3種のツールからなっている。その設計思想の第一原則はWYSIWIS（what you see is what I seeの略でwhizzywhizと発音する）原則で，2～6人の参加者のすべてがワークステーション上のマルチウィンドウを通して，共通のイメージを共有することから出発している。

Cognoterは，次の3つのフェーズからなる。

フェーズ1) ブレインストーミング(Brain storming)：複数の参加者がアイデアやテキストをブレインストーミングの原則にのっとり提示する。それらはキャッチワードやキャッチフレーズとして表示される。

フェーズ2) 組織化(Organizing)：表示さ

れたキャッチワードやキャッチフレーズ間の構造を，有向グラフとして順次決定していく。ここに矢印の向きはアイデアの順序を決定している。

フェーズ3) 評価 (Evaluating)：幾つかの関連のより深い項目をグループ化する。グループ化された項目は1つのウィンドウとしてマクロ表示される。

同様に，Argnoterは提案(Proposing)，討議 (Arguing)，評価 (Evaluating) の3フェーズからなる。なおKJ法の手順〔Kawakita 87〕では，Cognatorのフェーズ2) と3) は逆転している。限られた時間内にアイデアをまとめようとすると，この順番で処理することも考えられるが，この順番ではアイデア間の順序に関して，既成観念を押し付けやすい。共同作業支援ツールの研究開発のために，このようなシステムを実際に作って，ビデオ・プロトコル解析（使用時の状況をビデオに記録し分析する作業）を行っている。なおArgnoterは，最近，知的なソフトウェア生産のツールであるグループウェアの一種としても注目されている。

(6) 機械化KJ法

発想法として著名なKJ法〔Kawakita 87〕は，日本において最も使われている知的生産の技術の一つで，個人あるいはグループの与えられた問題に関連し「ふと気にかかること」をラベルに記入し，そのラベルを虚心坦懐に整理・統合する過程でアイデアを産みだす技法である。したがって，ある与えられた問題の解決を支援する知識システムを構築する際，どのような知識を知識ベースに入力すべきかを分析し，与えられたシステムのモデルを構築するのに，KJ法を利用することができるが，逆にKJ法の過程を支援するツールを作れば，与えられた問題の知識ベースのラピッドプロトタイピングができることは容易に予想される。このような問題意識は国内においては多くの賛同者を持ち，最近，KJ法の計算機による実現あるいはその知識整理過程への利用を目途とした研究は多い。このような研究には多くの流れがあるが，基本的に発想支援を最終目標とするものと知識整理支援ツールを最終目標とするものとがある。

最終目標を発想支援とするもの：

1) 発想支援ツールKJエディタの試作(豊橋技術科学大学〔Ohiwa 88〕)
2) アイデアプロセッサとしての機械化KJ法の提案（東京大学〔Nisio 87〕)

最終目標を知識整理支援とするもの：

3) 知識整理支援システムCONSISTの研究（電力中央研究所〔Shinohara 88〕)
4) 知識獲得・整理支援ツールKNOAの提唱（富士通〔Fuse 89〕)

KJ法は，実際の問題解決の状況においては単体で使用するものでなく，Colabでも検討したブレインストーミングやNM法等の知的生産の技術と組み合わせて，問題解決の全過程を支援するW型問題解決学〔Kawakita 70〕として集大成されている。したがって，上記研究は，単にKJ法の持つ1機能を実現しようとしているものであり，KJ法の機械化に向けて今後研究すべきことは多い。

〈参考文献〉

〔Bennett 85〕 Bennett, J. S.: ROGET: A Know ledge-based System for Acquiring the Conceptual Structure of a Diagnostic Expert System, J. of Automated Reasoning, Vol.1, 1985,pp. 49-74.

〔Boose 84〕 Boose, J. H.: Personal Construct Theory and the Transfer of Human Expertise, Proc. of AAAI'84, 1984, pp. 27-33.

〔Boose 87〕 Boose, J.H. and Bradshow, M.: Expertise Transfer and Complex Problems: using AQUINAS as a knowledge-

acquisition work bench for knowledge-based systems, Int.J. of Man-Machine Studies, Vol. 26, 1987, pp. 3-28.

〔Fuse 87〕布施理恵子，脇野敏浩，沢井 進：知識獲得整理支援ツールKNOAの方法，情報処理学会第35回（昭和62年）全国大会7N-1, pp. 1787-1788, 1987.

〔Hayes-Roth 1987〕 Hayes-Roth, F.: Expert Systems. in〔Shapiro 1987〕, pp. 287-298, 1987.

〔Hayes-Roth 1985〕 Hayes-Roth, F. et al. (eds.) AIUEO訳：エキスパート・システム，産業図書，1985.

〔ICOT 88〕 ICOT: Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems, Tokyo Prince Hotel, Nov. 28-Dec. 2, 1988.

〔ICOT-JIPDEC 1987〕 ICOT-JIPDEC AIセンター：知的情報処理システムに関する調査研究報告書－知識システム開発方法論，62-A001, 1987.

〔ICOT-JIPDEC 1989〕 ICOT-JIPDEC AIセンター：知的情報処理システムに関する調査研究報告書（全5分冊），63-A001～63-A005, 1989.

〔Ishii 89〕石井 裕：グループワークのコンピュータ支援に関する研究動向，Human Interface N&R, Vol.4,1989,pp.113-117.

〔Kahn 85〕 Kahn, G., Nowlan,S., McDermott, J.: MORE: An Intelligent Knowledge Acquisition Tool, Proc. of IJCAI'85, 1985, pp. 581-584.

〔Kawakita 70〕川喜田二郎，牧島信一編著：問題解決学-KJ法ワークブック，講談社，1970.

〔Kawakita 87〕川喜田二郎：KJ法，中央公論社，1987.

〔Kobayashi 86〕小林重信：知識工学，昭晃堂，1986.

〔Kunifuji 87〕國藤 進，小林重信：知識獲得支援ツールの研究開発動向，富士通㈱編SS研ニューズレター，No.41, pp. 405-432, 1988年1月.

〔Kunifuji 88〕國藤 進：知識獲得と学習研究の新しい流れ，人工知能学会誌，Vol.3,No.6, pp. 741-747, Nov. 1988.

〔中村 1987〕中村秀治，寺野隆雄：土木構造物エキスパートシステム，オーム社，1987.

〔Nihon 89〕日本ソフトウェア科学会主催：ウィンター・チュートリアル「学習と知識獲得」，世界貿易センタービル，1989年1月.

〔Nisio 87〕西尾信彦，山田尚勇：発想のモデル化とその計算機支援，Proc. of 3rd Symp. on Human Interface, Oct. 1987, pp. 127-134.

〔Ohiwa 88〕大岩 元編：発想・概念形成支援ツールKJエディタ，昭和63年4月.

〔Saaty 80〕 Saaty, T. L,: The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, 1980.

〔Shapiro 1987〕 Shapiro, C. S., Eckroth, D. (eds.) : Encyclopedia of Artificial Intelligence, Vol. 1,2. John-Wiley, 1987.

〔Sawai 89〕沢井 進，橋本恵司，泉理恵子，脇野敏浩，寺野隆雄：知識獲得ツールYUAI，情報処理学会第38回（昭和64年前期）全国大会2C-9, pp. 127-128.

〔Shinohara 87〕篠原靖志：知識整理支援システムCONSISTの開発，電力中央研究所報告Y86003，昭和62年7月.

〔Stefik 87〕 Stefik, M., Foster, G., Bobrow, D. G., Kahn, K., Lanning, S., and Suchman, L.: Beyond the Chalkboard: Computer Support for Collaboration and Problem Solving in Meetings. CACM, Vol.30 No.1, Jan. 1987, pp. 32-47.

〔Tazelaar 88〕 Tazelaar, J. M. (ed.) : Groupware, BYTE, pp. 242-282, Dec. 1988.

〔Titeki 89〕知的情報処理システム調査研究委員会(編)：知的情報処理システムに関する調査研究報告書，第3分冊 知識獲得支援，

ICOT-JIPDEC AIセンター，1989年3月．
〔UPU 1988〕AI事典，UPU，1988.
〔Warfield 86〕Warfield, J. N.: Social Systems, Planning, Policy & Complexity, Wiley, 1986.

2．自然言語理解

2.1 概要

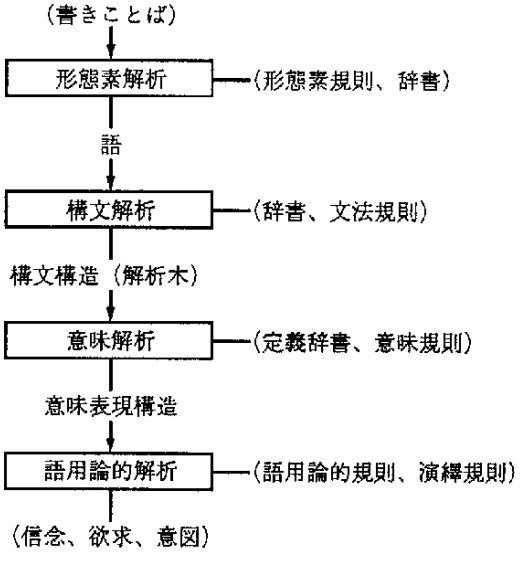
自然言語処理の究極の目標は，人間とコンピータが人間同士の場合のように普通の言葉で意思疎通ができるようにすることである。このためには，コンピュータが自然言語を理解し，生成できなくてはならない。言葉を理解・生成するのには多くの知識と推論の能力が必要である。必要な知識としては，単語の意味や文法などの言語的知識だけではなく，話の内容に関するさまざまな知識が含まれる。コンピュータがどこまで人間の言葉を理解しうるかは，こうした知識がどれだけコンピュータのものとなりうるかによって決まる。

しかし，問題は人間が持っているはずのこうした知識の正体が，まだよく突き止められていないことである。われわれが教えられたり，使ったりしている文法や辞書は，ある意味では単にヒントを与える程度のものであり，本当の理解に達するには多くの別の知識を補って弾力的に運用する必要がある。それを人間がどのようにやっているのかはまだ分かっていない。自然言語の性質に関する研究は，言語学，心理学，人類学，論理学，哲学などで古くから続けられているが，AIと視点が異なっていたため，理解や生成のメカニズムに焦点が当てられるようになったのは，やっと1950年代になってからである。

自然言語処理への取り組みにおける中心課題は，自然言語が本質的に持っている「あいまいさ」の問題である。このあいまいさは以下にみるように自然言語のいろいろの局面に現れるものであるが，その要点は同じ表現が状況に応じて異なった内容を表すのに用いられるということである。このあいまいさが許されていることによって，少ない言葉を覚えるだけで，無数の状況下での意思疎通に対応できるのであるが，逆にそれで混乱を来たさないためには，このあいまいさを解く機構が理解する側に必要になる。

自然言語の理解に必要な知識としては，まず第一に言語的な知識がある。言語表現は，言語音あるいは文字の列として与えられるが，これらは音声認識あるいは形態素解析によって，単語列にまとめられる。この段階では，少なくとも単語と単語でないものとを見分けられる知識が必要である。単語と判定されたものは，その品詞名や単／複などの属性が明らかにされる。この処理に必要なものは辞書的な知識である。ここで注意しなければならないことは，同じ文字列に対して単語列へのまとめ方が2とおり以上あることがあり，同時に各単語についても2つ以上の同音異義語がありうるという「あいまいさ」の存在であ

図表III-3-23 自然言語理解のプロセス



る（図表III-3-23参照）。

次に，この単語列に文法規則を適用して，文の構文構造をうる。これがいわゆる構文解析の段階で，文法知識が不可欠である。ここでも，複数の構文構造が有りえてどちらにすべきか判定のつかないことがある。これに続くのが意味解析で，構文構造に従って辞書の与える語義の中から適当なものを選択し，全体として一貫した意味内容が得られるようにする。各語は幾つかの意味を持つが，その選び方は近くの語との意味的つながりによって制約されるという事実を利用する。しかし，それだけではあいまいさは解消し尽くせず句と句，節と節などもっと広い意味関係を考える必要が出る。そこで，この意味内容を表現するのにどのような表現形式を用いるかが問題になる。この辺りから知識表現の問題が出てくることになる。

この段階までの処理は，一般には1つの文の中だけで行われるものであるが，各文の意味はいわゆる文脈を考慮に入れないと決められないことが多い。文脈には，前後の文や語との関係から決まる言語的な文脈と，話し手と聞き手など発話の場面・状況で決まったり話の内容に関する知識や常識などから決まったりする言語外的な文脈とがある。代名詞の指示内容を明らかにする照応の処理や省略の処理，係り受けの処理などは言語的な文脈を利用するものであり，隠喩の理解，意図の理解などは主として言語外的な文脈によるものである。さらに，言語に本質的な多義性を最終的に解決するためには，双方の文脈を総動員する必要がある。このように文脈を利用した処理を行うのが，語用論的解析の段階である。

自然言語理解技術の発展は，1960年代から70年代にかけての構文解析から，80年代前半の意味解析，そして現在の語用論的解析とその研究の焦点を段階的に移してきているが，これらの経過から明らかになってきたことは，自然言語処理のプロセスはこれらの解析段階を一段づつ逐次的にやるのでは不十分で，各段階が動的に組み合わされる必要があるということである。一文ごとの処理から文章一括処理へ，形態素解析から語用論的解析までの各段階の逐次処理から，それらを動的に組み合わせる協調型処理へ，自然言語理解のあり方はこの2つの動きによって大きく変わろうとしているのが現状である。

2.2 電子化辞書

電子化辞書は，コンピュータが自然言語を理解するために必要な単語の意味と文法的な性質に関する情報を盛り込んだもので，単にコンピュータが自分で直接に読めるというだけではなく，内容的な理解が必要な場合にはそれができるようにしたものである。この種の辞書としては，機械翻訳用の比較的大規模なものが開発され，一般にも提供されている。また，質問応答，談話理解，音声処理などのため小規模のものが開発されている。しかしこれらの多くは内容的に一般性を欠いていたり，特定の文法体系やアルゴリズムを前提にしていたり，記述方法が特殊であったりで広い利用に耐えられるようにはなっていない。また，意味解析のために必要な概念間のつながりを示したシソーラスあるいは概念辞書の整備も不十分である。

そのため，最近になって国家的な規模で一般性の高い大規模な電子化辞書を開発する動きが各国に見られるようになっている。わが国では，1985年から日本電子化辞書研究所によるプロジェクトがスタートし，日英各20万語の基本語辞書，50万概念の概念辞書，10万語の専門用語辞書の開発が10年計画で進められている。また，これらが言語的知識を記述しようとするものであるのに対し，米MCCのCYCプロジェクトでは百科事典的な世界知識の記述を目的にした知識ベースの構築が進められている。事実や経験則，モデル，表現，推論法，スクリプトなど人間共有の実在概念

を網羅し，一項目30フレームで3万項目の規模が目標となっている。

2.3 構文解析

構文解析を行うプログラムはパーザと呼ばれているが，パーザの設計には2つのポイントがある。その1つは文の構造を決めるための文法規則の体系であり，もう1つは解析を実行するためのアルゴリズムの枠組みである。文法体系に対する考え方としては，コンピュータ化のしやすさに重点をおくものと，言語学的な精密さに重点をおくものとがある。

前者の例としては，プログラミング言語向き文法であるCFG(文脈自由文法)*，融通性に富んだ状態遷移図表現によるATN(拡張遷移網文法)*，係り受けの記述に適した格文法*などが有力であり，現在の機械翻訳の多くはこれらによっている。

後者の例としては，カテゴリ文法の形式を持つモンタギュー文法*，論理型言語のユニフィケーション*の枠組みで定式化された一群の文法体系，LFG(語彙機能文法)*，GPSG(一般化句構造文法)*，HPSG(HEAD駆動型句構造文法)*，JPSG(日本語HPSG)*，CUG(範疇ユニフィケーション文法)*などがあって，わが国ではICOTを中心に具体化が進められている。

構文解析で重要な問題は，文の構造が一とおりに決まらないという「あいまいさ」をどう処理するかということである。英文の場合，10語程度の文で平均して50とおり近くの解析結果が出たという報告がある。これを解決するには，意味的情報を使う必要がある。そのためには，構文解析と意味解析を何らかの形で連動できるようにしなければならない。最も極端なやり方は，これらを完全に融合させてしまうことであるが，それは処理が非常に複雑になって高度な表現を扱うのが難しくなる。普通には，パーザにある程度の意味処理機能を組み込む方法が採用されているが，これは中途半端に終わりやすい。最近注目を集めているのは，構文解析と意味解析を並行的に進行させながら動的に連携を取るものである。

2.4 意味解析

意味解析は，1つの文の構文構造と各単語の意味に基づいて，その文の意味内容をコンピュータが扱いうる形に変えて表現するものである。ここでまず問題になることは，意味をどこまで深くとらえるかである。すなわち，文の意味を単に言葉の世界だけで明らかにできる範囲にとどめるか，あるいはその枠を超えて実在の世界との対応がつけられて，その内容の真偽が判定できるレベルにまでもっていくのか，という問題である。前者の立場は構文意味論と呼ばれるものであり，後者は論理意味論と呼ばれるものである。AIの目標からすれば最終的には後者でなければならないが，現在の技術ではすぐには手が届かないので妥協点を考える必要がある。

次に問題になるのは，意味を表すのにどのような表現形式を用いるかである。この選択には，その形式の表現能力とコンピュータによって処理する場合の効率が関係する。現状では，意味ネットワークやフレーム表現が多く使われているが，推論機能の観点や高度の意味処理を目指すものとして，述語論理をベースにするものや状況意味論*が注目されている。表現形式が確定すると，意味解析は構文解析の出力からその形式の表現を導くための変換過程とみることができるようになる。この過程は，各語が持つ複数の意味の中から互いに矛盾せず，文全体として一貫した内容を持つようなものを選択する手続きの流れとして構成される。この選択を細かい意味のおのおのについて行うのは無理なので，適当な上位概念のレベルでの共起関係*を用いて行われることが多い。このような上位概念としては，生物，動物，人間，男，若者といった類概念や，動作主格（助詞〝が〟に相当する

*109ページの用語説明参照

格），道具格（〝で〟に相当する格），与格（〝に〟に相当する格）などの格概念（熟語の意味を中心にみた文の各要素の役割内容）を用いることが多い。

意味解析には，時制（現在，過去，未来の区別）や相（完了形，進行形などの区別）の扱い，物質名詞の問題など基本的な意味現象の取り扱いが未解決のまま残っている。しかも，日本語については言語学的にみても欧米語に比して未解明の現象が多く，今後の精力的な研究が待たれるところである。

2.5 語用論的解析

文の意味がその文からだけの情報では確定せず，文外からの情報が必要になることが多い。名詞や代名詞などが指示するものを具体化する場合がその例である。この問題は文中に明示されている語の内容を明らかにするものであるが，比喩などのように間接的な表現が用いられている場合などには問題はさらに面倒になる。また，「意図」などのようにたくさんの文を積み重ねて伝えられるものもある。

語用論的解析の目標は，こうした言葉の実際の運用に関する問題を処理することであるが，現状は幾つかの現象が特例的に検討されているといった状況である。例えば，記述された動作や行動に関する約束事的な知識によって，記述から落ちている部分を補足して理解する問題，談話の中での主題の流れを制御している暗黙のルールの問題，話し手の信念・目的・意図・計画などを読み取って発話の真意を明らかにする問題などがある。これらの問題は心理学や哲学に直接的な接点を持つものであり，また，マンマシンインタフェースのあり方に関係することもあって，ここ数年来の先端的な研究テーマとなっているものである。

さらに，こうした問題を総合的に扱いうる理論的な枠組みを作る動きも活発で状況意味論とそのメタ理論である状況の理論*，談話表示（Discourse Representation）理論*，メンタルスペース理論*などが提案され，それらを基礎とする研究が数多く発表されている。状況意味論では，実世界を，ある時と場所においてある実体間に成立する関係の集まりとしてとらえ，そうした関係を「状況」と呼んでいる。この状況の概念を使うと文の意味は状況間の関係とみることができるようになり，従来のモンタギュー理論などでは扱い切れなかった意味現象が説明できることが示されている。そして，言語行為の問題は，意図や事象など実体間の相互作用についての制約の状況として説明できるようになる。

2.6 自然言語理解の応用

自然言語処理技術の主な応用分野としては，機械翻訳，知的文書処理システム，質問応答システム，自然言語対話システム，自動通訳（翻訳電話）システムなどがある。これらのどれをとっても，その本格的な実現のためには自然言語理解が不可欠であることは明らかであるが，現在の実現レベルでみると多くは構文解析までの処理にとどまっているのが実状である。このレベルにあるうちは，その応用の範囲は狭く限定される。この壁を抜くためには意味解析に深く踏み込む必要がある。そのための力を蓄えているというのが現在の状況である。

〈参考文献〉

〔人知誌 88〕人工知能学会誌－特集「次世代自然言語処理技術」，Vol.3，No.3，257-318（1988）

〔情処誌 86〕情報処理学会誌－特集「計算言語学」，Vol.27，No.8，854-954（1986）

〔田中 88〕田中穂積，辻井潤一編，自然言語理解（オーム社，東京，1988年）

〔信学誌 87〕電子情報通信学会誌―特別小特集「自然言語処理への挑戦」，Vol.70，No.9，877-908（1987）

＊109ページの用語説明参照

〔WINOGRAD 84〕T.ウィノグラード（辻井潤一訳），〝自然言語処理〟，サイエンス（84.11.28），67-81（1984）

〈用語説明〉

CFG（文脈自由文法）：1つの文法要素が，その文脈とは独立に，幾つかの下位の文法要素に分解できるという形の構文規則だけで形成される文法。

ATN（拡張遷移網文法）：文法要素としての句を状態遷移図のノードに対応させ，構文規則をノードからノードへの移行を規定するものとみる文法で，それぞれの移行に対して種々の意味的な制約条件を付けられるようになっている。

格文法：文の構造を動作主格，道具格などの格概念（後出）によって規定する文法で，文字の各語がそれぞれの格に基づいて関係付けられる。

モンタギュー文法：R. Montagueによって作られた文法で，構文構造は範疇文法によって規定され，その解析によって得られる文の構造に対する意味として，内包論理に基づく論理式表現が与えられるようになっているのが特徴。

ユニフィケーション(単一化)：ある対象がいかなる構造を持ちうるかを規定する記述をパターン（Pattern）という。すなわち，パターンは構造の集合を表現する。複数のパターンに対し，それらの表現する集合の共通集合を表現するパターンを求める演算をユニフィケーションという。

LFG（語彙機能文法）：文の構造を構文構造を示すC-構造と，格概念を関数関係で示したf-構造の2つの組み合わせとして扱うもの。f-構造によって意味解釈が与えられるところに特徴がある。

GPSG(一般化句構造文法)：文脈自由文法をベースにして，その構文規則から別の構文規則を生成する働きを持つ超規則を加えてより一般化したもの。意味はモンタギュー文法と同じ枠組みで扱うようになっている。

HPSG（HEAD駆動型句構造文法）：GPSGに新しい工夫を加えて合理化したもの。例えば超規則は用いられていない。

JPSG（日本語HPSG）：英国を対象にして開発されたHPSGを日本語向きに改良したもの。

CUG（範疇ユニフィケーション文法）：範疇文法をユニフィケーションの概念に基づいて定式化したもの。範疇文法は，構文構造を語彙ごとの文法的性質を分類したものである語彙範疇によって規定する文法である。

共起関係：文中の2つの要素について，一方が出現するときは他方も必ず出現するという関係。

状況意味論と状況の理論：'状況'（後出）の概念に基づいて，意味や情報内容を扱うための集合論的枠組みを与える理論で，それを自然言語に適用したものが状況意味論である。

談話表示理論：談話によって表示されるものの内容をとらえるための枠組みを与える理論で，名詞，代名詞，限量子，条件文などの談話内での動きに着目する。

メンタルスペース理論：人間の発する言葉は，その人の心にあるイメージの世界を反映したものであり，したがって，その意味を正しくとらえるには，イメージの世界の構造，すなわちメンタルスペースの枠組みが必要であるとする理論。

3．機械翻訳

3.1 概要

コンピュータを使って翻訳を自動化するという考え方が具体的に検討され始めたのは，1940年代の後半からである。以来40年間，言葉の壁は大きな国際問題ならびに社会問題であるだけに，過大な期待を受けながら技術の未熟さから自滅するという苦い経験を何度も繰り返しながら次第に力をつけ，ようやく「実用化元年」の声が掛かりそうな段階に達したというのが機械翻訳の歴史である。簡単な実験ではうまくいきながら，本格的にやってみるとたちまち泥沼のような難しさにぶつかるというAI研究の特徴的パターンがここにも認められるのである。

機械翻訳は2つの言語の間での変換の問題であるため，Aという表現をBという表現に置き換える字面上の操作と見なされがちである。しかし，Aの意味内容はその字面だけでは決まらず，言語内外のさまざまな知識や情報と組み合わせることによって決まるものである。もしそれらの知識や情報が等価的にBに引き継がれないとしたら，AとBは違った意味に受取られてしまうことになる。与えられた言語表現をこうした知識や情報と組み合わせて，その意味内容を明らかにすることは，言葉を理解するという操作そのものに相当する。したがって機械翻訳には完全な自然言語理解が前提になるが，逆に，Aに対応する知識・情報とBに対応するそれとの間に共通性が高い場合には，翻訳はかなり直接的な置き換え操作でも可能になることになる。説明的な文章のように，その意味内容が陽に記述されていることで完結している場合には，深いレベルでの理解がなくても翻訳は可能になる。

現在の機械翻訳システムはまだ不完全なものであるが，用途を選び，その不完全な性質をよく理解して使えば十分役に立つ能力を持っている。わが国では1980年代に入って機械翻訳システムの研究開発が活発に行われ，一種のブームともいうべき状況を呈している。そして，1984年頃からは商品化が始まり，現在までに10種以上のシステムが市場に出されている。これらのほとんどは英日あるいは日英の翻訳システムであり，実験的な導入の段階を経て一部の翻訳業者や，海外との取引の多い企業などでの本格的な実用化が始まりつつある。ただ，これらの実用化には相当な制約があり，適用対象をマニュアル類など性質のよいものに限り，その分野に即した専用辞書を作成すること，人手による事前・事後の修正を行うことなどが前提条件になっている。その他，科学技術庁による科学技術文献機械翻訳プロジェクトとして大規模なシステムの開発が行われ，この分野における世界のリーダーとしての地歩を築いている。最近の活動としては，中国語など近隣諸国の4つの言語を対象にしたODA機械翻訳プロジェクトが1986年からの6年計画で進められており，さらに実験レベルでは音声認識と組み合わせた自動通訳装置の研究開発が何カ所かで進んでいる。

海外の動きについてみると，学会発表などの状況では機械翻訳は基礎研究としての関心から取り上げられており，実用化を急ぐより意味処理などを本格的なものにするのに熱心なようである。もちろん，市販のシステムはSYSTRAN（米国で開発され，1970年から市販されて現在も実用されている，第一世代機械翻訳システム）などいくつかが存在している。現在実用化にもっとも熱心なのは，1992年の統合化を控えたEC（欧州共同体）である。ECでは1976年にSYSTRANを導入して，英語，仏語，伊語，独語などの間の10のペアについて機械翻訳の実用化を進め，ほぼその開発を終わっているが，それらを使って翻訳される文書の量は全体のごく一部ということ

である。ここでは後処理で人手を加える方式をとっているが，品質はロマンス語系と英語へのものが比較的良好で，ゲルマン語系は長い文になると語類に関係した問題が多いとのことである。さらに，ECでは多言語機械翻訳システムの実現可能性を明らかにするため，その9つの公用語を対象にしたEUROTRAプロジェクトを推進している。1982年にスタートし，7年計画の予定であったが，現在1年近くの遅れが出ている。

3.2 機械翻訳の方式

機械翻訳の理想は，機械が人間の介入なしに独力で完全な翻訳を出す全自動型FAMT（Full Automatic Machine Translation）であるが，これは現状では望みえない遠い先の夢である。現在の大部分のシステムでは，人間の援助を受けて翻訳を実行する人間援助型HAMT（Human Assisted MT）を標榜するものである。しかし，それらの中には実際には辞書引きの自動化程度の役割でしか活用されていないものもあり，その場合には機械援助型人間翻訳MAHTあるいはMAT（Machine Aided Trans-lation）ということになる。HAMTでは，原文に手を入れて翻訳システムには難しいところを事前に手直ししてしまう前編集と，翻訳システムからの出力の不完全な部分を手直しする後編集が行われることが多い。さらに，場合によっては，翻訳の過程でシステムが原文作成者に質問して疑義を質す中間編集方式が用いられることもある。最近の傾向としては，前編集や後編集の作業を支援するソフトウェアがシステムに組み込まれることが多く，半自動化のものもある。

翻訳処理には，原文の解析と訳文の生成という2つのプロセスが欠かせないが，そこで問題になることは，①解析と生成を言語表現のどの単位で区切って対応させるかということと，②解析の結果と生成の素になるものはそれぞれ何で表現され，その間の対応はどのように付けられるのかということである（図表III-3-24参照）。

①の問題は，極端な場合には単語単位でもよいが，普通には文単位で行われる。しかし，自然言語理解での論議にもあるように，深い理解を必要とする場合には，多数の文を同時に処理することも考えなければならないこともある。

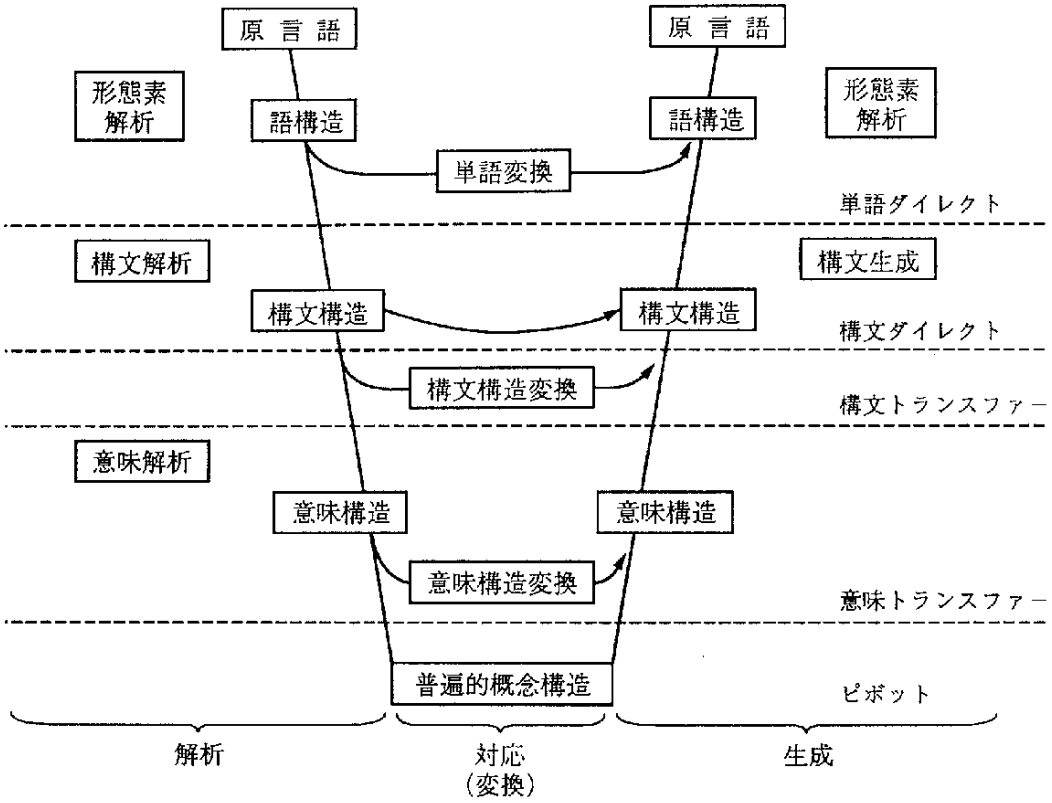
②の問題は3つの考え方がある。その1つは，ことばの意味があるレベルでは言語の種類に依存せずに，中立的に表現しうると考え，そのレベルでの表現をそれら2つの目的に共用しようとするものである。そうすれば解析結果はそのまま生成の素として使えることになる。この方式は中間言語方式あるいはピボット方式と呼ばれ，1960年代に仏グルノーブル大学で試みられて失敗に終わったものである。これの特徴は多言語間翻訳に適することで，わが国には商用システムでの実績があり，現在もわが国と近隣諸国による共同翻訳プロジェクト（ODAプロジェクト）などで試みられつつあるものである。

2番目の考え方は，解析結果は原文の言語に即した構造で，生成の素は訳文の言語に即した構造でそれぞれ表現し，両者間の対応は前者の構造を後者の構造に変換する一般的な変換機構を用意することで付けようとするものである。この方式は移行方式あるいはトランスファ方式と呼ばれ，現在多数のシステムに採用されているものである。

3番目は，原言語の文を明確な中間的表現を経ずに直接相手言語に変換するもので，解析・変換・生成が一体となって進行する。そのため，ダイレクト方式あるいは融合方式と呼ばれている。単語を単語で置き換える逐語訳もここに分類されることになる。

中間言語方式を用いた具体例としては，富士通のATLAS-IIや日本電気のPIVOTがある。これらにおける中間言語は，対象世界に

図表III-3-24　機械翻訳の方式



関する概念とそれらの間に成立する格関係・意味関係・因果関係を表示するものである。原言語の文から得られた意味構造が，システムに用意されている知識ベースと照合されて中間言語による概念構造へと変換される。ただし原言語と相手言語の言い回しが大きく異なる場合などには，移行方式も併用されている。最近米カーネギーメロン大学で開発されたDMTRANS（直接メモリアクセス翻訳）方式も，この折衷方式の一種とみることができる。

3.3 機械翻訳用辞書

機械翻訳システムは，対象分野の知識，一般的知識，そして言語的知識というように，多種類の知識をフルに活用する知識情報システムの典型例である。そうした知識の中でも，翻訳といえば誰しもすぐ辞書を連想するように，辞書の良否が翻訳の質や効率に致命的な意味をもつことはいまさら断るまでもないことである。ただ，ここで注意すべきことは，人間が翻訳に使う辞書は対訳を列挙して2言語間の橋渡しをするのが主な役割であるのに対して，機械翻訳用辞書はシステム内での処理（解析・変換・生成）の手掛かりになる情報を語彙ごとに与えるという役割も果たしていることである。そのために，処理の段階に合わせて機能別に作られた何種類もの辞書が用意されるのが普通である。

したがって，辞書の具体的な形式は，翻訳方式のあり方に応じて異なってくることになる。トランスファ方式の処理は，解析・変換・

生成の3段階が分離しているので，それぞれに対して原言語解析辞書，両言語対照辞書，相手言語生成辞書が用意される。中間言語方式の場合には変換段階がないので，解析辞書と生成辞書の2種類となる。また，ダイレクト方式は変換段階のみなので対照辞書だけが必要である。解析辞書と生成辞書はそれぞれ単一言語内での事実を扱うものであるので，単一言語辞書と呼ばれる。対照辞書は2言語を扱うものであるので2言語辞書と呼ばれる。各辞書は処理の水準によってさらに細分されることがあり，例えば解析辞書であれば，形態素レベル辞書，構文レベル辞書などとなる。

辞書の内容はシステムごとにそれぞれの工夫がなされているので簡単には説明できないが，単一言語辞書では単語ごとにその文法的あるいは意味的特徴を適当な分類概念によって規定するというものが多く，2言語辞書ではその対応関係が，可変要素を含んだ多対多関係になることから，手続き的な表現形式になることが多いようである。

3.4 機械翻訳用文法

機械翻訳に利用できる文法的な枠組みには，文脈自由文法などの古典的なものから，最新のユニフィケーション文法までかなりの選択の余地があるが，その選択は記述力対効率の問題を始めとして複雑なトレードオフが絡んでいるので，簡単には議論できない。実用的な機械翻訳システムで構文解析に重点をおくものでは，拡張文脈自由文法*，格文法，木構造変換文法*などが用いられている。文脈自由文法は語順規制の性格が強いので，語順が重視される英語などの解析に適しており，格文法は単語の意味に基づく係り受けの構造をとる日本語の解析に向いている。また，意味解析に重点をおくシステムでは，格関係・意味関係・因果関係などの論理関係構造の処理に適した概念依存文法*が用いられている。現在，機械翻訳システムの開発は実用システムの立ち上げに最大の関心があり，基礎技術面については従来のものをそのまま踏襲する傾向が強い。その意味では，新しい文法理論の採り入れなどについてはやや淋しい状況にあるといえる。

3.5 機械翻訳用ソフトウェア

機械翻訳システムを実用システムとするためには，多くの補助機能が必要である。例えば，原文を入力したり，訳文を出力したりする機能である。図表を含んだ通常の文書が直接入出力できれば理想的である。これには文書画像処理の技術がものをいう。また，前編集や後編集を支援するためのエディタなども作業効率に大きく影響する。さらに，機械翻訳システムは大量の知識を集めた大規模システムであるので，その開発や維持のための機能が極めて重要である。特に，辞書の開発と保守については，適用分野に固有の語彙を収容する仕事がユーザに委ねられることが多いので，その支援ソフトウェアには留意が必要である。

〈用語説明〉

拡張文脈自由文法：文脈自由文法の構文規則に，その規則を適用する場合の特別な制限条件を付加することによって，処理の効率化を図るようにしたもの。

木構造変換文法：2つの言語間でのトランスファを文を構文解析して得られる木構造のレベルで行うために定式化された文法。

概念依存文法：文の構文的な構造から文の意味的な構造を表現する概念依存構造を導くための文法。概念依存構造は，文の意味を文に含まれている意味要素とそれらを互いに関係付ける意味的依存関係によって表すものである。

*113ページの用語説明参照

〈参考文献〉
〔情処誌 85〕情報処理学会誌－大特集「機械翻訳」，Vol.26，No.10，1139-1236（1985）
〔辻井 88〕辻井潤一，"機械翻訳システム"，スペクトラム，Vol.01，No.11，48-57（1988）
〔田中 88〕田中穂積，野村浩郷編，"機械翻訳"，ビット別冊，（1988）
〔言語 88〕言語－特集「機械翻訳の現状と未来」，Vol.17，No.1，34-83（1988）
〔野村 88〕野村浩郷，"機械翻訳欧州ミッション報告"，電子工業月報，Vol.30，No.11，57-70（1988）

4．音声理解

4.1 概要

音声理解は，コンピュータが人間の音声によって表現された言語表現の意味内容を理解できるようにするものである。音声による言語表現は発音記号で示されるような音素（または音韻）の系列からなるものとされているが，音素は非常に抽象化された認識単位であるため，実際の音声を音素系列に変換するのには，高度な認識過程を通す必要がある。この認識過程は「音声認識」と呼ばれ，主として周波数特性など音声の音響的な特徴を手掛かりにして音素分析を行うものである。そして，得られた音素系列から言語としての意味内容を持つ表現を導出するのが「音声理解」である。

しかし，人間の音声は揺れが大きく，音声ごとに絶対的な特徴を見いだすことが難しいうえ，個人差も著しい。そのため，自然に発声された音声を実用になりうる精度で認識するのは極めて難しい。人間が相手の発話を理解する状況をみると，音響的には不完全な発話でも言語的には正しく理解されている。それは単語や文法などの言語的知識，あるいは話の内容に関する知識を動員して不完全な部分を補っているからである。コンピュータを利用した音声処理の場合にも，こうした知識を利用するアプローチが考えられる。

このアプローチをとる場合には，音声認識の結果として得られるはずの音素系列が明示的な形で確認されるかどうか保証の限りではなくなり，音声から直接に言語的な意味が抽出されることになる。「音声理解」を狭い意味にとる場合は，このアプローチを指すことがあるので注意が必要である。ここでは，これら2つの意味での音声理解をひっくるめて「音声理解」と呼ぶことにする。

音声認識の研究は1940年代に開始され，50年代から60年代を通じて音響分析で得られたデータをパターンマッチングで認識する方法が，線形予測理論*や動的計画法*を基礎にして開拓された。しかし，これで実用化できる範囲は，話者を特定の人に絞ってもやっと100種類の単語を識別できる程度であった。そのため，不特定の話者にも対応できる方法として，1970年代にHMM（隠れマルコフモデル）が開発されて主流的な手法になった。70年代後半から80年代前半にかけては，LSI技術の発展に伴い単語音声認識装置の開発が盛んになったが，その大部分は単語ごと，あるいは，音節ごとに区切って発音する必要のあるものであった。そこで，80年代の後半に入ると研究の関心は連続音声認識の基礎研究に戻り，そのまま現在に引き継がれている。

これに対して，音声と言語を一体として処理する音声理解の研究が開始されたのは，音声認識が曲り角にあった1970年代の初頭であり，米国防総省の研究計画に基づく第1次音声理解プロジェクトによるものであった。このプロジェクトでは，1,000単語の不特定話者連続音声を対象に，誤り率10%以内で，実時間の数倍程度の処理により意味理解に達することを目標にした。研究は5つの研究機関が競争する形で進められたが，目標を達成した

*118ページの用語説明参照

のはカーネギーメロン大学のHarpyシステムのみであった。これによって音声理解のアプローチが正しいことが立証されると同時に，またそれのみでも不十分であり，性能向上のためには音響・音声学的な，言いかえれば，音声固有の性質についての基礎研究も重要であることが認識された。また，このプロジェクトからはAI的な研究成果として，協調問題解決のための黒板モデルが生まれたことも注目される点である。わが国でも，1971年から1980年までの通商産業省の大型プロジェクト「パターン情報処理システム」の一環として行われた音声認識の研究で，言語的処理の組み入れが追求された。

その後，前述したように，内外とも研究の関心が実用的な離散音声認識装置の開発に集中し，音声理解研究も下火になった。しかし，80年代後半に入って再び連続音声認識の基礎研究が活発化し，1985年からの米国防総省SCPプロジェクト，英国アルベイ計画，EC諸国のエスプリ計画などAI技術に主眼をおいた国家プロジェクトの中で，音声理解が主要テーマとして取り上げられている。わが国では1986年に発足したATR研究所における自動翻訳電話プロジェクトの一環として，その基礎研究が精力的に行われている。

音声認識・理解研究の新しい動きとして特に注目されるのは，ニューロコンピューティングおよびファジイ理論の応用である。ニューロコンピューティングは，音声の特徴抽出から音素認識までの音響処理レベルで特に有効であるほか，雑音除去や規則の発見などにも役立つことが実証されている。これに対して，ファジイ理論の応用は散発的な試みがなされている段階で，本格的な検討は今後に残されている。

4.2 音声認識技術

音声を認識・理解するための技術の難しさは，対象とする音声の範囲をどのように制限するかによって大きく変わる。そのような制限条件としては，①話者が限定されているかどうか(特定話者／不特定話者)，②発話の単位（単語／文）と発音の区切り方（離散／連続)，③認識すべき語彙の規模(小＝～100語/中＝～1,000語/大＝1,000語～）などがあり，これらの組み合わせによって技術内容，したがって実現の難しさが異なってくる。現在実用化されているのは，主として，特定話者の離散／連続単語認識装置（中語彙）と少語彙（100語程度)の不特定話者単語認識装置である。その応用例としては，クレーンの制御，荷物や製品検査での仕分け，電話による銀行残高照会，自動車電話用自動ダイヤルシステム，個人認証などがある。

また，実験レベルでみると，IBMで行われている大語彙単語入力によるオフィス文書の口述筆記を自動化する試みにおいては，２万語の語彙で一般的事務文書100文（語数1,698語）を７名の口述者を対象に認識した結果，平均で94.6%の認識率が得られたことが報告されている。さらに，BBNのBYBLOSシステムにおいては，事前に口述者の声を登録してシステムを適応させる方式(話者適応モード)により，約350語の語彙からなる文書を対象にしたもので，97%の単語認識率が得られているということである。不特定話者連続音声の実用化の現状はたかだか10数字音程度である。

連続音声認識に必要な処理技術の内容をまとめると図表III-3-25のようになる。

音響分析は，与えられた音声波形を一定長の短区間に分割し，線形予測分析＊などによって特徴抽出を行い特徴パラメータの時系列に変換する。音韻認識は，特徴パラメータの時系列に対して音素など音声単位の切り出しを行うものである。ここまではいわゆる信号処理的な処理が中心であり，知識処理的な手法の出番は少ない。その例外的なものとしてMITで開発されている特徴ベースの音声認識がある。これは，訓練された専門家は音声

図表III-3-25　連続音声認識の技術項目〔坪井 88-1〕

技術項目	内容	主要な課題
音響分析	音響からの特徴パラメータ抽出	音韻不変な特徴の抽出、聴覚特性の考察
音韻認識	音韻単位への区分化とその識別	音韻の種類、動的特徴の利用、識別方式、音形規則の利用
単語認識	音韻系列中の単語の同定	同定方式とスコアリング、単語辞書の表現
話者適応・正規化処理	発声器官形状や話し方の違い	正規化処理、話者への適応化方式
雑音	騒音、伝送歪み、せき払い、紙めくり音など	音声区間の検出、認識対象語と不要語の区別

スペクトログラム上の音韻を90%以上の正確さで読み取りうることを利用して，その技量をエキスパートシステムの手法で機械上に実現するものである。この方式は，米国防総省SCPプロジェクトや大阪大学（SPREXシステム），ATRなどで開発中である。

単語認識以下の処理は言語的な要素が大きく作用するところで，知識処理が活躍すべき段階である。単語認識の基本技術となっているのは，多くの場合、DPマッチング法とHMM（Hidden Markov Model隠れマルコフモデル）である。単語を発音したときの音声パターンは，発声者の違いや前後の単語との関係（調音結合）変動する。この変動で大きいのは，パターンが時間軸上で伸縮することである。この伸縮を動的計画法の手法で吸収してパターンマッチングを行うのがDPマッチング法であり，実用になっている特定話者単語認識システムで用いられている。この方式の欠点は個人差による変動に弱いことで，その変動を確率モデルで吸収する方式がHMMである。HMMは不特定話者化，大語彙化，連続化に適しており，現在各所で盛んに研究され，実用に近づきつつある。

4.3 音声理解技術

AIの基本課題は，「あいまいさ」に対処する人間の能力に相当するものを機械に与えることである。とすれば，言語表現としての音声が持つ「あいまいさ」を克服することは，AIにとっての試金石ということになる。ただ，ここで注意しなければならないことは，言語表現にはもともと多義性というあいまいさが内在していることである。したがって，音声による言語表現から直接内容理解に達しようとする音声理解の研究は，自然言語理解の研究を含んでいることになる。

人間が音声理解を行う場合には，さまざまな知識や情報が動員され，複雑な推論や予測が積み重ねられている。知識としては言語的知識，話題の分野についての知識，話し手・聞き手に関する知識，その他常識などがある。情報としては発話の状況や話の前後関係とか文脈などがある。また，推論や予測の方法については，演繹・帰納・仮説生成などの基本的なものに始まり，多種多様なものがある。図表III-3-26は音声認識における知識源の利用の例である。音声理解を実現するのに何をどう使うかは自由であるが，現状はもっぱら言語的な知識・情報を利用するのにとどまっている。その主な技術項目としては図表III-3-27に示すようなものがある。これらのうち，音韻・単語認識については，音声認識技術でのものとほぼ共通である。

現在の研究の中心は，構文・意味・談話処理に関するものである。文を構成する単語列は，文法の規則を満足しなければならない。また，日本語の場合には自立語と付属語の接続関係，文節間の係り受け関係などの言語的拘束がある。それらを利用して正しい単語を推定することができる。

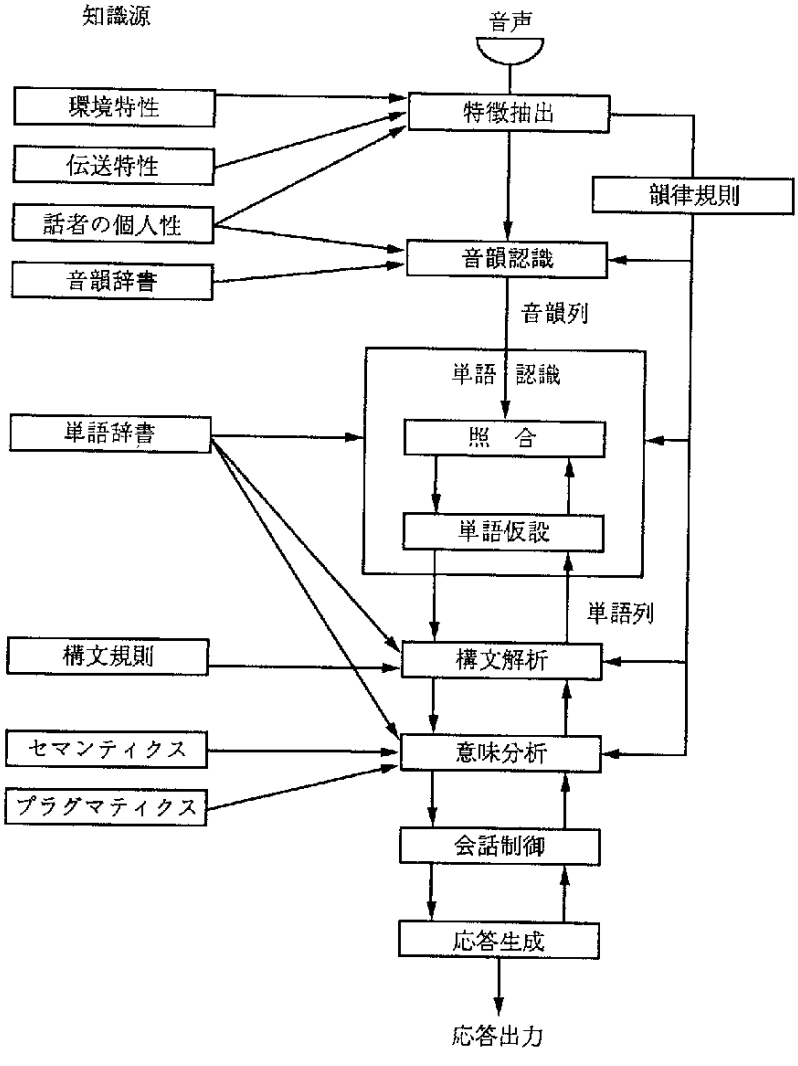
意味情報を利用する試みとしては，単語の

意味的分類を利用する山梨大学の音声認識システムがある。これは各品詞を意味的に分類し，この種類の名詞の後にはこの種類の動詞しかこないという情報を与えて，通常の構文的な制約を補足するもので，10数%の認識率向上が認められたと報告されている。

談話処理レベルの工夫としては，大阪大学の音声理解システムSPURT-1におけるものがある。人間の持つ語彙数は数万のオーダと見積もられているが，これだけの語数を常時対象として扱うことは困難である。心理実験の結果によると，人間の場合そのときの話題に関係の深い単語だけが考慮の対象になることが知られている。SPURT-1ではこの事実を利用して，処理対象の文章から主題を抽出し，それから連想される単語を優先的な候補とする方式が具体化されている。米国のSCPプロジェクトにおける音声理解システムでは，対象分野を固定してそれに固有の意味レベル概念を構文要素と一体化した意味文法を作成し，構文的に単語を予測するという方法を用いている。

韻律処理は，アクセントやイントネーションなどいわゆる韻律情報を利用するもので，音声認識における境界の検出に適用されているが，構文解析や意味理解での活用は今後の課題として残されている。会話モデルは，対話の局面における音声理解のためのもので，いわゆる語用論（2．自然言語理解参照）のレベルに属する概念である。人間の会話は一見自由気ままに行われているようにみえるが，会話が円滑に進行するためには目的に応じた類型的パターンに従う必要のあることが明らかにされている。これはいわば会話の文法とでもいうべきものであって，その核心は連結性と首尾一貫性の尊重，すなわち，飛躍したことは言わない，前後で矛盾することは言わ

図表III-3-26　音声認識における知識源の利用〔白井 88〕



図表III-3-27　音声理解の技術項目〔坪井 88-1〕

技術項目	内容	主要な課題
音韻・単語認識	連続音声の基本（図表III-3-25参照）	ワードスポッティング技術
構文・意味・談話処理	係り受け解析などの文解析、省略の処理など	話し言葉の文法定式化,意味情報の表現と利用,省略の処理
韻律処理	基本周波数輪郭パターンなどの抽出と利用	文の構成（句境界や疑問文など）との関連性明確化
会話モデル	円滑な会話を行なうためのモデル	利用者のモデル、発話の自然な確認方法
システム構成法	会各処理部（知識源）の組み合わせ方と制御	合理的なスコアづけの方法

ない，といった原則である。さらに，会話においては，書き言葉にはない言語的特徴がみられる。例えば，互いに共通する知識についてはできるだけ省略する傾向があり，また，敬語の使い方も異なってくる。こうした会話特有の事象に着目することは，翻訳電話などの実現に大切であり，ATR などで重点的に研究が行われている。

〈用語説明〉

線形予測理論(分析)：信号波形のある時点での値がそれ以前の幾つかのサンプル値の線形結合で与えられることを基礎にした信号解析理論（方法)。

動的計画法：全体の計算が多数の部分計算の組み合わせによって行われる場合，同じ部分計算を重複しないでできるようにする方法。

〈参考文献〉

〔信学誌 88〕電子情報通信学会誌－認識と理解特集，Vol.71，No.11，1111-1256

〔信学誌 87〕同上―音声処理特集，Vol.70，No.4，331-438

〔溝口 87〕溝口理一郎，角所収，〝音声認識とエキスパートシステム〟，同上

〔人知誌 88〕人工知能学会誌―特集「音声の知的処理」，Vol.3，No.4，411-460

〔白井 88〕白井克彦，〝特集「音声の知的処理」について〟，同上，15-17（同上）

〔坪井 88-1〕坪井宏之，浮田輝彦，〝音声認識・理解研究の動向〟，情報処理，Vol.29，No.1，30-41（1988）

〔坪井 88-2〕坪井宏之，竹林洋一，〝音声認識技術とその実用化の動向〟，電気学会論文誌C，Vol.108-c，No.10，755-760（1988）

5．画像理解

5.1 概要

画像理解は，与えられた視覚的な情報について，その意味内容を理解する機能をコンピュータなどの人工的手段によって実現するものである。人間の扱う情報の多くは視覚を介して得られるものであることから，画像理解は情報処理の高度化のために欠くことのできない技術であり，事実，その重要性は最近急速に高まっている。

一般に，画像をコンピュータを使って処理することを画像処理というが，その処理内容によって，(狭義の）画像処理，パターン認識，(狭義の)画像理解の３分野に区分されることが多い。この狭義の画像処理は，劣化した画質を回復する場合のように，与えられた画像をより望ましい特性を持つ他の画像に変換するものである。同じく，パターン認識はパターン分類ともよばれ，与えられた画像をあらかじめ定められたカテゴリに従って分類するものであり，その代表的な応用は文書自

動読み取りである。さらに，画像理解は，われわれが何枚かの写真から元の像を推定していろいろと考えるように，〝二次元画像から元の三次元世界を再現し，そこに含まれている物が何であるのか，物と物はどんな関係にあるか，全体が光景としてどんな意味を持つかなどを抽象概念で記述すること〟と定義されている。この定義での画像理解のことを「コンピュータビジョン」と呼ぶことも多い。

コンピュータビジョンに限らず，狭義の画像処理やパターン認識の場合でも，対象とする画像のバリエーションが多くなったり，複雑になったりすると，正確な処理を行うためには何らかの「理解」機能の介助が必要になる。例えば，手書き文字を読み取る場合などでは複数通りに読める字に出会うことがある。それを解読するためには周辺の文字との組み合わせから，語や文としての意味を理解してそのあいまいさを解消する必要がある。このような意味内容の理解を伴う視覚情報の処理を広い意味での「画像理解」(Image Understanding) という。

視覚情報をコンピュータで処理する研究は，1950年代中頃から米国で開始されたが，AIの1分野として本格化したのは1960年代の後半からである。初期の研究は，〝人の視覚情報処理機能の断片的な側面を真似ることのできる計算機プログラムを実際に作ってみるという個別事例的なものであった。〟しかし，これらの研究によって明らかになったことは，実用レベルの課題の解決には人間の真似をするより，個々の応用対象ごとにその特性に即した特殊な工夫を行う方が早道であることであった。そこで画像理解はAIを離れ，文字認識や作業ロボット用のパターン認識などの技術として独立の展開をみることになった。わが国では，1971年に通商産業省の大型プロジェクト「パターン情報処理システム」が開始され，以後10年間にわたって，図形・画像・物体の認識に関する研究開発が進められた。

こうした努力の結果，パターン認識に関しては対象や目的を限定すればある程度の実用に耐えられるレベルに到達している。しかも，この分野はニューラルコンピュータの応用に適しており，今後それによる認識率のかなりの向上が見込まれている。とはいえ，これらの技術は人間の視覚機能の持つ一般性を犠牲にしたものであり，画像理解にとっての本質である視覚情報の意味内容理解を実現するには不向きなものである。いったん独立の方向をとった視覚情報処理が再びAIに戻る契機になったのは，1975年に開始された米国防総省の「Image Understanding」プロジェクトである。このプロジェクトの目標は前述した狭い意味での画像理解そのものである。二次元画像から三次元の形状情報を復元する場合には，見えていない部分など与えられた画像からは直接得られない情報を補う必要がある。人間の場合には，自分の持っているさまざまな知識を動員しながら推論を行ってそれを補充する。コンピュータによる処理でも，これに近いことを実現しなければならない。

5.2 文字認識・文書画像

文字認識は対象を文字に限定したパターン認識である。世界的にみて文字認識および文字読取装置の研究開発が進んでいるのは，わが国と米国である。手書きの文書が少なく字種も英数字と記号だけに限られている米国では，文字認識そのものの研究は現在一段落の感がある。それに対して，数千種以上の漢字が常用され，手書き文書の比重の高いわが国の場合は，問題が極めて高度で過去20年に及ぶ研究開発にもかかわらず，実用のためには字種や字体にかなりの制約をおく必要があるのが現状である。

その状況を認識精度について示すと，図表III-3-28のようになっている。文字認識の認識手法としてはパターンマッチング的手法と構造解析的手法の2つの流れがある。手書き文

字など対象の自由度が高くなると構造解析的手法が有力になる。直接的な方法では認識の難しい文字を処理するためには，言語的な知識を利用するのが効果的で，研究の比重はその方向に移りつつある。また，ニューロコンピューティングの適用も極めて有効で，すでにかなりの成果が得られているが，本当の実用化は今後の課題である。

文書画像理解というのは，〝文字，図表，写真，画像などの混在する未知の文書を扱い各要素の存在，種別，配置を確認し，これらの論理的関係を明らかにすること〟である。これで求められる技術は，各要素を分離区分すること，図表とタイトル，本文と見出し，文字領域間のつながり(文章としての接続関係)関係を認識することである。したがって画像理解技術と同時に自然言語理解技術が重要である。文書画像理解技術の応用としては自動文書読取装置がある。ただ，現状では初歩的なものが英文用として商品化されている段階であるが，オフィス自動化や机上出版(DTP)などのツールとして期待の高い分野であるため，研究開発は急速に進むものと考えられる。

5.3 線図形理解

設計図面，地図，天気図などのように線図形と若干の文字・記号で構成される図面の，表現内容を理解するもので，三次元物体の投影図などは対象外である。一口に図面といってもその種類は極めて多く，また，同種のものでも内容的な複雑さは千差万別である。そのため，必要な認識・理解技術は各応用に即して議論しなければならない。現在の線図形理解の主な応用は，図面をデータベース化して利用するための入力手段としてである。図面をコンピュータに入力するには，図面を幾つかの要素図面とそれらの間の関係に分解し，それぞれをコード化する。手書き図面の場合を考えると，ある線が直線のつもりのものかどうかを判別するのにも相当な知識が必要である。現在，自動化が実用レベルに達しているのは，論理図面やプラント図面など比較的

図表III-3-28　精度面からみた文字認識技術の現状〔坂井 88〕

(認識精度は文字の品質によっても、大きく変化する。下表は現在、商用OCRとして実用されているものの水準を示す一つの目安である。)

印字形態＼文字種		数字	英字・記号	片仮名	漢字・平仮名
手続き	制限手書き	約99.99%	—	—	—
	常用手書き	約99.5%	約97%	約95%	約93%
	自由手書き	約99%	約93%	約93%	約90%
活　字	単一字体	約99.999%	約99.99%	約99.99%	約99%
	複数字体	約99.99%	約99.99%	約99.9%	約97%
	多種字体	約99.9%	約99%	約99%	約95%

制限手書き：ます目に沿って書くなどの強い制限を付けて書いた文字を読む場合。
常用手書き：機械が読むことを考え、見本字体を尊重して比較的ていねいに書いた文字を読む場合。
自由手書き：普段書き慣れている形で自由に書いた文字を読む場合。
単一字体：特定の字体だけを読む場合。(切換えは可能)
複数字体：限定少数の異なる字体を同時に読む場合。
多種字体：限定しない非常に多くの字体を同時に読む場合。

良質な図面を相手にするものである。

5.4 濃淡画像理解

最も一般的な単色画像は，濃淡の差を持った点の集まりでできた画像である。X線写真，顕微鏡写真，航空写真，テレビカメラ画像などのように自然に存在する対象物(対象世界)の像を記録したものが多い。こうした画像から元の像についての情報を引き出すのが濃淡画像理解である。医療診断，製品検査，ロボット視覚など極めて広い応用分野を持っているが，濃淡画像の世界は構造化，抽象化，概念化，言語的記述などから最も遠い世界であり，それだけに処理手法を一般化，定式化することは難しく，個々の応用に特定化されたアプローチが必要である。処理手法の基本は，濃淡の対照を際立たせる修正を施した後，濃淡の急変する境界線を抽出して線図形画像に持ち込んで処理するものである。

5.5 テクスチャ理解

テクスチャというのは，画像中に認められる細かい模様またはパターンのことである。濃淡画像において濃淡の差によって何らかの構造的変化が示唆されたように，テクスチャにおいては模様またはパターンの違いを手掛かりにして構造的な特徴を検出する。緑一色の平面の中に，芝生の部分と木立の部分を見分けるのがその一例である。また，繰り返される模様の大きさの変化や歪みから面の状態を推定することもできる。こうした特徴から，テクスチャ理解は三次元形状理解のための補助手段として活用されることが多い。

5.6 三次元形状（シーン）理解

三次元形状（シーン）理解は，画像として与えられる二次元の画像情報に基づいて元の三次元の形状を推定し，仮想的に復元するものである。物体を写真にとれば，近くの部分は大きく，離れた部分は小さく写る。線や面のなす角度も視覚に応じて変化する。また画像の濃淡は物体表面の位置と勾配の関数である。こうした事実を活用することによって線図形画像，濃淡画像，テクスチャなどに含まれた情報から三次元情報を導く手法が数多く開発されている。さらに，複数の画像を組み合わせて用いる手法，特に，立体視や能動光源（照明の仕方を変えて特徴的な画像を得るもの）を利用する方法が広く利用されている。このような推定は局部的に進められていくものであるが，その場合に問題になることは，あいまいさを含んだ部分的な推定を総合し，全体として矛盾や欠落のないものにする手法である。そのような手法としては，弛緩法*，動的計画法，ハフ変換*などが用いられてきているが，最近はファジィ理論の応用が試みられている。

人間の視覚機能においては，画像から得られる情報以外に，自分の直面している特定のシーンに関する予備知識や，一般のシーンに関する常識などを使って理解を行っている。コンピュータにおいてもこれに類することが実現されており，「モデルに基づく理解」と呼ばれている。処理対象を特定化する知識，例えば，シーンに含まれる物体の形や性質についての記述の集合を「具体モデル」，シーンに関する一般的な知識を与えるものを「共通モデル」として区別している。

三次元形状理解の具体化としては，ロボット視覚用と環境理解用のものがあるが，本格的なものはいずれも研究段階にとどまっている。ロボット視覚の研究としては，米国防総省のSPCプロジェクトの一環として行われているALV（自律走行車）用のもの，わが国の大型プロジェクト［極限作業用ロボット］でのものなどがある。環境理解は実在的な対象世界をみてそれについての記述を行うもので，米国防総省の画像理解プロジェクトでの研究が有名である。そのACRONYMシステムは，航空写真から空港にいる飛行機の機種

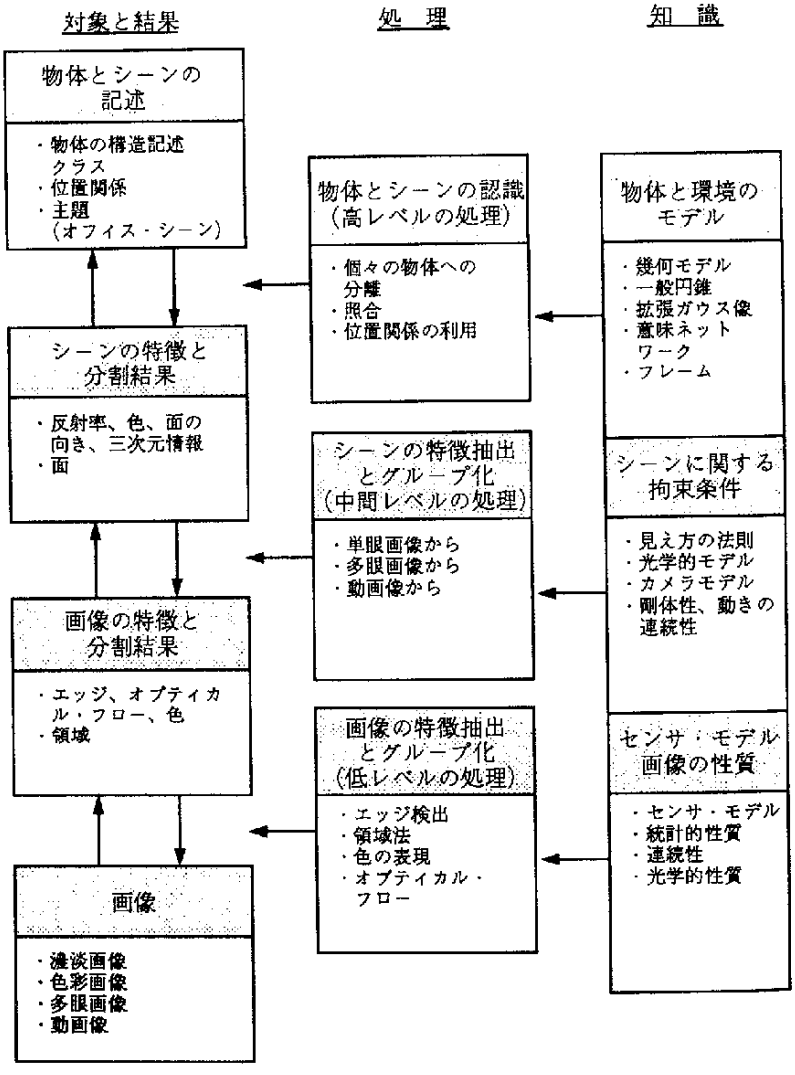
* 124ページの用語説明参照

を識別するようになっており，三次元の円筒形モデルを用いたものである。環境理解は，わが国でも大学などを中心にしてかなり活発に研究されている。

画像理解の全体的な枠組みの例を図表III-3-29に，また，その基礎技術ならびに応用との関連付けを図表III-3-30に示す。

図表III-3-29について簡単に説明すると，これは画像理解がどのような「知識」を用いて，どんな「処理」によって実現され，その処理の「対象と結果」がどのようなものであるかを示したものである。この処理は，低・中・高の3レベルが区別され，それぞれ入力信号（画像）からの特徴抽出，特徴から記号的表現への変換，記号から抽象概念への変換が行われる。ただし，処理は下から上への1方向で進むとは限らず，上のレベルで仮説を立てそれに基づいて下のレベルの情報を解釈するというように，上から下への進行が効果的である場合も多い。これを示したのが対象と結果の列の上から下への矢印である。

図表III-3-29　画像理解の枠組み〔谷内田 89〕



〈参考文献〉

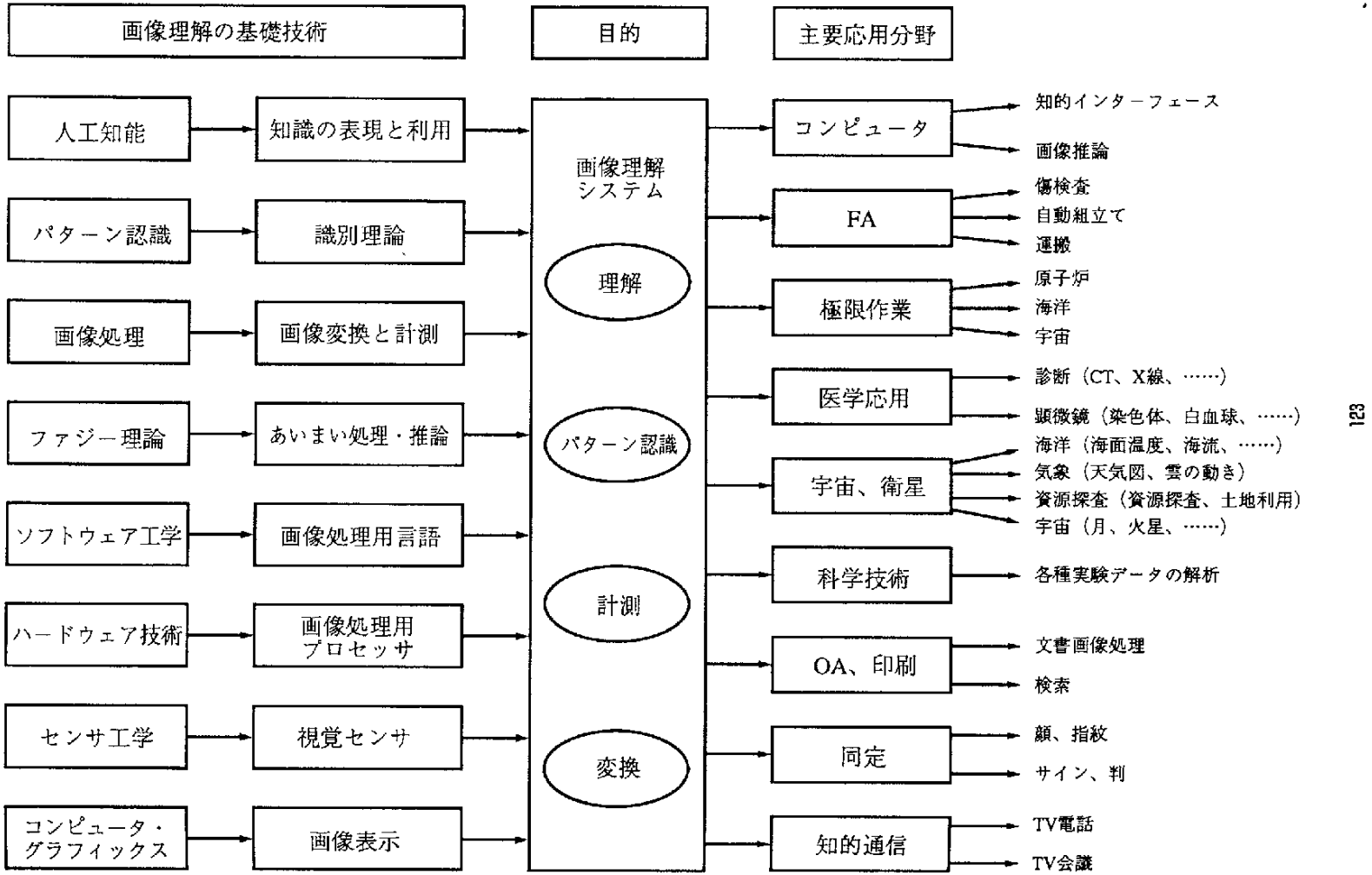
〔信学誌 88〕電子情報通信学会誌－認識と理解特集，Vol.71，No.11，1111-1256（1988）

〔坂井 88〕坂井邦夫，"文字・文書の認識と理解"，同上，1182-1191（同上）

〔テ学誌 87〕テレビジョン学会誌―小特集「AI（人工知能）と画像技術」，Vol.41，No.9，771-807（1987）

〔松原 88〕松原仁，坂上勝彦，横矢直和，山本和彦，"概念学習を題材とした画像理解と記号処理の統合の試み"，人工知能学会誌，Vol.3，No.5，572-580（1988）

図表III-3-30　画像理解の基礎と応用〔谷内田 89〕



〔人知誌 89〕人工知能学会誌—特集「画像理解」, Vol.4, No.1, 2-51 (1989)
〔谷内田 89〕谷内田正彦, "画像処理から画像理解へ", 同上, 5-12 (1989)

〈用語説明〉

弛緩法：画像の各構成要素について，それをどう解釈すべきか考えられるすべての可能性を列挙し，その可能性の中から周囲との折り合いがつかないものを消去して要素をまとめていき，最後に全体としての解釈を完成させる方法。

ハフ変換：画像をX-Y座標表現から極座標表現に変換することによって，その特徴を明らかにする方法。

6. 知能ロボット

6.1 知能ロボットの要素技術

ロボットは人間の行う動作を代行する自動機械として研究が行われてきた。そのロボットに高度の認識・判断能力を付加し，柔軟な適応性を持った実用的なロボットを開発するために知能ロボットの研究が盛んである。知能ロボットはAI技術の応用分野の１つと考えられがちであるが，実世界を相手にする点で単なるAI技術とは一線を画する。そのため，そこで用いられる要素技術には，実世界から得られる不確定性を有する情報の処理機能，実時間処理機能，実世界に対する高度な行動機能，などロボット特有の技術が要求される〔Shirai 87〕。

知能ロボットは,図表III-3-31に示すように，実世界からの情報を得るための感覚系，得られた情報をもとに行動の計画を行う計画系，計画された動作の実行を行う行動系，さらに，人間（オペレータ）とのやりとりを行う会話系を統合した知能システムである。以下ではこのような知能ロボットに不可欠な①知識の表現・管理手法，②知識を用いた行動計画，③ロボットに特有のセンサの処理，実時間処理，などについて，その研究の現状と将来について展望する。

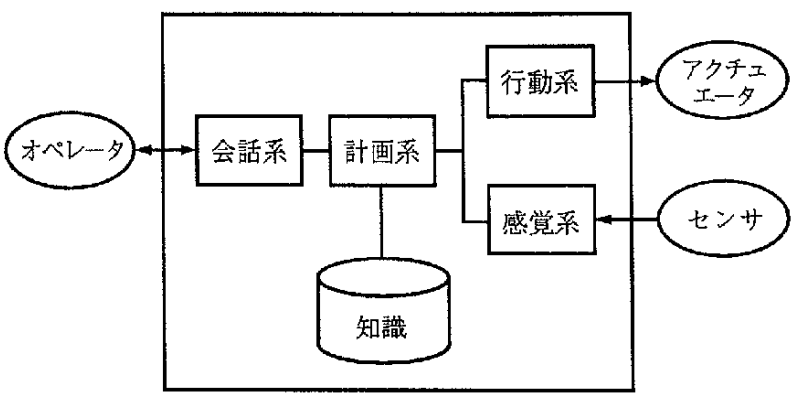
6.2 知識の表現

知能ロボットを構成するためにロボット内部に埋め込むべき知識には以下の３種類があげられる。

①ロボットの置かれている環境に関する知識
②ロボットの行うべき作業の方策に関する知識
③その他の一般常識

③に関しては，AIの分野で研究が行われているが，ロボットへの導入には今しばらく時間がかかる。現在，知能ロボットに組み込ま

図表III-3-31　知能ロボットの構成



れつつあるのは，①，②の知識である。

ロボットの環境モデルには，物体の三次元形状のみでなく，以下のような情報が格納されなければならない。

①環境の幾何学的情報
②質量，慣性力など，物体の物理情報
③ロボットや物体の構造に関する情報
④間接角の可動範囲，センサの種類などロボットの技術情報

幾何学情報のモデル化には幾何モデラと呼ばれる形状モデリングシステムが用いられる。ソリッドモデルにより立体の完全な情報を表現し，物体の形状認識，衝突検出の自動化などへの積極的利用が試みられている。B-reps (boudary representation) 方式とCSG (constructive solid geometry) 方式と呼ばれる表現方法が代表的である。B-rep方式は立体を取り囲む面，その面を構成する稜線，さらに稜線の頂点の集合により立体形状を記述するものである。これに対してCSG方式は，物体を構成する基本的形状を定義しておき，その和，差，積などの集合演算により形状を記述するものである。また，一方式では効率よい処理が実現できないため，複数の方式を併用して用いるシステムも研究されている。SRIで開発された認識システム3DPO〔Bolles 86〕では，複合化モデルにより認識処理を行っている。

環境モデルの構成法に関する研究は，ロボット言語の研究とともに行われてきた。ロボット言語の構文が高水準になるにつれ，環境モデルの構造は複雑になり，必要な情報の種類も増える。代表的な高水準ロボット言語であるAL〔Mujtaba 79〕では対象物を代表する座標系間の関係により環境を記述した。RAPT〔Popplestone 78〕ではより高度な言語体系を実現するため，物体を構成している面や軸に注目し，それらの間の関係記述により表現する方法が提唱されている。

近年になり，作業に関する知識などもモデル化し，作業計画機能も伴うロボットのプログラミングシステムの開発が試みられている。COSMOS〔Ogasawara 84〕では知識の表現に適しているフレーム型データ構造を用い，フレームの階層構造，継承メカニズムなどの特徴を利用した知識表現に基づいたシステムを構成している。また，動作対象物への動作指令と比較的素直に対応する対象指向型プログラミング方式を用いたモデル構成法〔Sato 86〕も検討されている。

環境モデルは環境を忠実に表現することが重要であるが，実世界を扱う場合には測定誤差，制御誤差，数値計算の誤差，モデルの機能不足などのためにモデルと実際の物との間に誤差が生じる場合が多い。また，情報が完全に得られず，不確定要素が残ったモデルができる場合もある。このような状況でも十分に機能するモデルの構成法の研究が今後の大きな課題である。

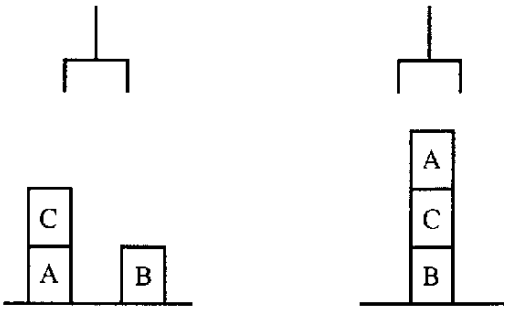
6.3 知識の利用

ロボット内部に表現された知識を用いてロボットの行動計画が行われる。この利用技術のレベルがロボットの知能のレベルに反映される。知識の利用技術としては作業の計画機能，動作の計画機能などプランニングと呼ばれる機能が代表的である。

問題解決の応用領域という立場で作業計画の自動生成の研究は行われてきた。問題解決の最初の一般的な定式化を行ったのがGPS〔Ernst 69〕である。実際に作成された最初の本格的な行動計画の自動生成システムは，STRIPS〔Fikes 71〕である。このシステムは，Shakeyと呼ばれるプロジェクトの一貫としてSRIで開発された。二次元の簡単な積木の世界で，図表III-3-32に示すような初期状態と目標状態を与えると，目標状態を実現するための次のようなロボットの行動計画を生成する。

(unstack C A)，(stack C B)，
(pickup A)，(stack A C)

図表III-3-32　STRIPSによる行動計画問題



（1）初期状態　　（2）目標状態

その後いくつかのシステムが開発されたがいずれも問題解決機能の実現に主眼が置かれ，実際にロボットに適応することはほとんど考慮されていなかった。STRIPS流の動作の表現が余りにも抽象すぎたからである。抽象的な動作の表現をロボットの動作レベルの指令に展開する技術は，組み立て動作手順の生成を目標としてRAPT. AUTOPASS〔Lieberman 77〕などのロボット言語の研究の一環として行われている。

また，一方では動作が決定されたときに実際にロボットを動かすための動作計画技術の研究が行われてきた。特に，動作開始位置と目標位置の姿勢が与えられたとき，ロボットが自ら障害物を回避しつつ最適な経路を計画する問題は，障害物回避問題として研究が盛んである〔Hasegawa 87〕。障害物回避の動作計画手法は2つに大別できる。第1に作業環境全体の空間構造を大局的にとらえて衝突のない経路を計画するものである。第2にはロボットの近傍の空間構造に基づいて衝突のない方向をたどっていくものである。いずれの手法も衝突検出が基礎となり，種々のアルゴリズムが考えられている。

6.4 センサの利用

ロボットが単なるAI手法の応用システムと異なる点として，外部環境への適応性，実時間性などがあげられる。特にセンサを用いた外部環境への適応は作業を行うロボット特有の機能であり，この機能の実現なくしては知能ロボットとは呼べない。

各種センサのうち視覚機能に関する研究が最も盛んである。視覚の役割は，物体の認識，視覚フィードバック，作業前後状態の確認，視覚による動作の監視の4つに分けられる。物体の認識に関する研究が最も多いが，ロボットの行動を制御する側面からは，残る3つの分野の研究がこれまで以上に押し進められる必要がある。特に，知識に基づいた視覚機能の研究はモデルベーストビジョン〔Shirai 84〕と呼ばれ大きなテーマとなっている。

センサフィードバック技術は，動作速度，信頼性，コストの問題をまずクリアしなければならず，実用化までの壁が厚い。さらに，ロボットが高機能化すると，用いられるセンサの種類が増してくる。異なるセンサデバイスからの情報を取扱形式を統一しておき，ソフトウェア上では仮想的な一種類のセンサを扱っているように見せかける手法が提案されている。しかし，現状ではそのような手法を用いて実際のロボットを器用に動作させるには至っていない。触覚センサのようにそのセンサの素子数が非常に多いものもあり，多種類のセンサからの情報を実時間で処理してモータ制御系へフィードバックをかけるのは現在の技術では困難である。これを可能にすべくセンサ統合化技術の研究が始まっている。

6.5 ロボットのシステム化技術

知能ロボットはAI技術を始めとする各種要素技術を統合化したものである。変化する外界に適応して行動するロボットを考えると，センサ技術と行動機能の有機的結合というロボット特異の課題が生じる。したがって，統合化すなわちシステム化技法も重要な課題としてあげられる。しかしながら，統合化の試みは多くはない。要素となる技術が未熟なた

め統合化に至っていないのが現状である。しかし，研究室レベルでは知能ロボット実験システム開発の試みがなされており，要素技術の発展に伴い，その気運は高まりつつある。米国では国防総省が中心となってALVと呼ばれる自律移動ロボットのプロジェクトが進められている〔Kanade 87〕。国内でも，通商産業省の大型プロジェクト「極限作業ロボットの開発研究」において，遠隔制御による作業を能率的に行うために，人間の手助けをロボット制御系に組み入れた知的遠隔制御システムが提案されている。

また，ロボットを生産加工システムに導入し，計算機により総合的に管理する技術，すなわち，CIM (Computer Integrated Manufacturing) 技術の研究も近年盛んになっている。そこではNC工作機械，産業用ロボット，物流機器などを分散配置し，ネットワークで結合している。そのような場への知能ロボットの導入が今後も期待される。また，宇宙での作業に用いるロボット，看護用ロボット，家庭で用いるホームロボットなど，知能ロボットの活躍すべき場所は多く，その導入が期待される。

〈参考文献〉

〔Bolles 86〕Bolles. R. C., P. Horaud, "3 DPO: A Three-Dimensional Part Orientation System", International Journal of Robotics Research. Vol.5,No.3, 3-26,1986.

〔Ernst 69〕Ernst. G. W., A. Newell, "GPS: A Case Study in Generality and Problem Solving", Academeic Press. 1969.

〔Fikes 71〕Fikes. R. E., N.J.Nilsson, "STRIPS: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving", Aritificial Intelligence. Vol.3, No.4, 251-288, 1972.

〔Hasegawa 87〕長谷川，〝マニピュレータの障害物回避動作の自動計画〟，日本ロボット学会誌，Vol.5, No.6, 475-479,1987.

〔Kanade 87〕金出，〝米国における自律移動ロボット研究の動向〟，日本ロボット学会誌，Vol.5, No.5,376-383,1987.

〔Lieberman 77〕Lieberman. L. I., M. A. Wesley, "AUTOPASS: An Automated Programming System for Computer Controlled Mechanical Assembly", IBM Journal of Research & Development, Vol. 21, No.4,321-333,1977.

〔Mujtaba 79〕Mujtaba. M. S., R. Goldman, AL User's Manual, Stanford AI Lab., 1979.

〔Ogasawara 84〕小笠原，井上，〝知能ロボット・プログラミングシステムCOSMOS〟，日本ロボット学会誌，Vol.2, No.6,507-525,1984.

〔Popplestone 78〕Popplestone. R. J., et al., "RAPT: A Language for Describing Assemblies", Industrial Robot, Vol.5, No.3, 131-137,1978.

〔Sato 86〕佐藤，平井，〝ワールドモデルを利用したテレオペレータシステムの構成法〟，日本ロボット学会誌，Vol.4, No.4,353-363, 1986.

〔Shirai 87〕白井，井上，〝知能ロボットの研究の展望〟日本ロボット学会誌，5巻6号，462-469 (1987)

〔Shirai 84〕白井，〝モデルベースト・ビジョン〟，日本ロボット学会誌，Vol.2, No.6,593-598,1984.

7．自動プログラミング

7.1 自動プログラミングの種類

ここでは，ソフトウェアの設計・開発におけるAI応用をやや広くとらえ，それを「自動プログラミング」と総称することにする。

このような意味での自動プログラミングには，多くの研究例や実践例があるが，それら

を概観するために次の3種類に分類してみよう。

① 形式的アプローチ
論理や数学的な形式性を備えた方法に基づき，自動的にプログラミングを生成しようとするもの。ある意味でAIの本流に属し，比較的歴史も長い。

② 知識的アプローチ
ソフトウェア設計や開発上の知識を知識ベース化して，ソフトウェア開発用のエキスパート・システムを作ろうとするもの。知識工学の隆盛とともに研究開発例が増えてきたもので，かなり新しい。

③ 実践的アプローチ
主として事務処理分野で，限定した問題領域におけるプログラムの自動生成や部品合成によるソフトウェア作成などの方法を取るもの。必ずしもAI的なアプローチとはいえないが，第4世代言語やプログラム生成系などの形で実際に使われているものがかなりある。

C. Rich & R. Watersによる自動プログラミングについての示唆的なサーベイ［Rich 88］では，①エンドユーザ向け，②汎用的，③完全自動，という3つの条件をすべて満たす自動プログラミングの実現はまず無理だとし，実際には3条件のうちのいずれか1つをはずした次の3つのアプローチがありうるとしている。

・ボトムアップ：エンドユーザ向けという条件をはずし，プログラム・レベルから上向きの自動化を目指すもの。
・問題領域の限定：汎用性をあきらめ，分野を限定して自動化を目指すもの。
・アシスタント：完全な自動化をあきらめ，ソフトウェアの設計や開発の助手としての役割を果たすシステムを目指すもの。

この考え方と上記の分類とは視点が異なるが，形式的アプローチはボトムアップと，知識的アプローチはアシスタントと，実践的アプローチは領域限定と，重なる部分が多い。

7.2 形式的アプローチ

形式的アプローチの特徴は，次のようである。

・形式的仕様を前提とする。仕様記述方法の研究自身も，含まれる。
・理論的に明確な基盤を持ち，小規模プログラムに対しては自動合成能力が実証されている。
・研究的な色彩が強く，実用的なレベルにはまだ達していない。

主な方法としては，論理に基づく演繹的手法，プログラム変換法，および帰納的な手法がある。代表的な事例を図表III-3-33に示す。

7.3 知識的アプローチ

知識的アプローチの特徴は，次のようである。

・他分野で成功例のある知識ベースを用いたエキスパート・システムを，ソフトウェア設計および開発のフェーズに適用するものである。
・形式的アプローチと比べると，プログラム生成よりも設計作業の支援を目指すものが多い。またそれに関連し，完全な自動化よりも人間の補助的役割をねらっている。
・ソフトウェア開発過程における生成物（仕様，プログラム，テストケース，データ，文書，など）をオブジェクト・ベースとしてしまい，それらに対するプロセスについての手順，条件，評価，などの知識を，たとえばルール・ベースとして蓄え利用するというような，「知的プログラミング環境」あるいは「ソフトウェア・エンジニアリング・データベース」ともいうべき概念を核とするのが典型的である。
・まだ概念的な段階の研究例が多く，その概念を確かめるためのプロトタイプが作られているというのが，実態である。

代表的な例を図表III-3-34に示す。

7.4 実践的アプローチ

ここにあげる実践的アプローチの特徴は，次のようである。

・第4世代言語，プログラム生成系，部品化・再利用，などのツールや方法との親和性が高い。またCASE(の特に下流工程を対象とするもの）という位置づけを与えられているものもある。

図表III-3-33 自動プログラミングの形式的アプローチ

システム名	開発者（所属）	発表年	特徴
PROW	Waldinger & Lee (SRI)	1969	定理証明に基づく演繹的アプローチの原理を示した最も初期のもの。
PSI,CHI	C. Green 他 (スタンフォード大学、ケストレル研究所)	1976	プログラム生成部分は変換法に基づいているが、ソフトウェア開発の全体的な支援を狙ったもの。知識処理的な色彩も濃い。
unfold/fold system	Burstall & Darlington (エジンバラ大学)	1977	変換法の最も重要な原理を示したもの。後に、これを機械化したシステムが種々作られた。対象は関数型プログラム。
THESYS	P. Summers (IBM ワトソン研究センター)	1977	LISPを対象に、入出力例から帰納的にプログラムを生成するもの。
DEDALUS	Manna & Waldinger (スタンフォード大学)	1979	多くの個別な変換規則の集合でプログラム変換を行なおうとするもの。
CIP	F. Bauer 他 (ミュンヘン工科大学)	1981	仕様から実行レベルまで一括して記述できる広範囲言語と、その上での変換システム。
Φ0,ΦNIX	D. Barstow (シュルンベルジェ・ドール研究所)	1982	問題分野を限定したプログラムの自動合成系。知識型に近いともいえる。
MIS	E. Shapiro (マサチューセッツ工科大学)	1983	一階言語上のモデルから、モデル推論と呼ぶ方法により論理プログラムを帰納的に生成する。
Logic Progeam Synthesis	佐藤、玉木 (電子技術総合研究所、茨城大学)	1984	論理型プログラミング言語に対する変換法の適用。
SAFE	R. Balzer (南カリフォルニア大学)	1985	GISTという仕様言語から、プログラム生成を目指すもの。
PX	林、中山 (京都大学)	1987	PX という論理システムにおける証明からプログラムを生成しようとするもの。

・問題領域としては，事務処理分野を対象にするものが多いが，なかにはシステム
・ソフトウェアを対象にするものもある。
・開発プロセスを支援するタイプのものと，プログラムの自動生成に焦点をおくものとがある。

幾つかの例を，図表III-3-35に示す。

7.5 今後の動向

形式的アプローチは，小規模のプログラムに関してはかなりの能力を持つものがさらに増えてくるであろう。それらは実践の場にシ

図表III-3-34　自動プログラミングの知識的アプローチ

システム名	開発者（所属）	発表年	特徴
Programmer's Apprentice	C. Rich 他 (マサチューセッツ工科大学)	1978	大規模プログラムの開発に役立つようなプログラマの助手を勤めるシステムの研究開発を目指すもの。基本的なプランを知的インタフェースを介して検索・利用する。
KIPS	杉山、他 (富士通)	1984	日本語によるシステム記述を意味ネットを用いて解析し、Hyper Cobolによるプログラムを生成する。
IDeA	Lubars & Harandi (イリノイ大学)	1986	データフロー図による設計に際し、抽象的なスキーマを具体化したり、詳細化したりする過程を支援する。
ICAS-REUSE	千吉良、他 (日立)	1987	設計仕様の再利用を目指し、仕様のライブラリ化と検索、冗長度のチェックや不足情報の追加などの支援を行なう。
STES	Tsai & Ridge (イリノイ大学、モトローラ)	1988	データフロー図で与えられた要求仕様から構造チャートを導出するのを支援する。
ASPIS	P. Puncello 他 (ESPRIT)	1988	SADTの記法をベースに、システム分析と設計の知識を持ったアシスタントの開発を目指す。
Kate	Fickas & Nagarajan (オレゴン大学)	1988	ソフトウェアの目標戦略と具体策の関係を表わすモデルを利用して、目標に照らし作られた仕様を評価し、問題点を指摘する。
PSDL	Luqi & Ketabchi (海軍大学院、サンタクララ大学)	1988	主としてリアルタイム用のプロトタイプ記述言語と設計の再利用の概念をシステム化することにより、プロトタイピング・アプローチによる設計を支援する。

ステムとして直接適用される可能性は少ないが，プログラミングの方法論としてインパクトを与えうる。また，このアプローチに属する技法の1つである部分計算法は，汎用的なシステムの事例はないものの，コンパイラの自動生成などの分野では実際的に使われていくことが期待される。

知識的アプローチは，実用的にも大きな可能性を秘めているが，現状ではまだ概念的な段階であり，今後の努力をまつところが大きい。

実践的アプローチは，文字どおり最も早く実際に使われていくことが予想されるが，さらに形式的方法や知識的方法の成果を取入れていけば，より実りのあるものとなりえよう。

〈参考文献〉

〔Rich 88〕Rich, C. and Waters, R. C., "Automatic Programming: Myths and Prospects" IEEE Computer, August 1988. pp.40-51

〔情処誌 87〕情報処理「大特集：自動プログラミング」，Vol.28,No.10（1987）

〔玉井 87〕玉井哲雄，〝ソフトウェア開発への知識工学の応用〟，情報処理，Vol.28, No.7（1987），pp.898-905

図表III-3-35 自動プログラミングの実践的アプローチ

システム名	開発者	発表年	特　　徴
SPACE	原田（電力中央研究所）	1987	決定表に類似した形式による仕様から、Cobolプログラムを生成。
PAPS	古宮（情報処理振興事業協会）	1987	プログラムのスケルトンや部品のライブラリを利用しCobolプログラムを生成。
PRECOBOL	大木（日本電子計算）	1987	オブジェクト指向の概念に基づき、部品利用によるプログラム作成を支援。
Marvel	G.Kaiser,他（コロンビア大学ソフトウェア工学研究所）	1988	Cプログラムを対象としてプログラム、モジュール、コンポーネント、などに関する情報を納めたデータベースと、それらを処理するプロセスに関するルールを納めたルールベースを用いて、ソフトウェア開発を支援する。
CASE/HVS	A.Symonds (IBM)	1988	大規模OSソフトウェアを対象に、そのモジュールなどの性質をオブジェクト・ベースとして蓄積し、その静的特性や動的特性を解析する、またそれからプログラムを生成することも、目指されている。

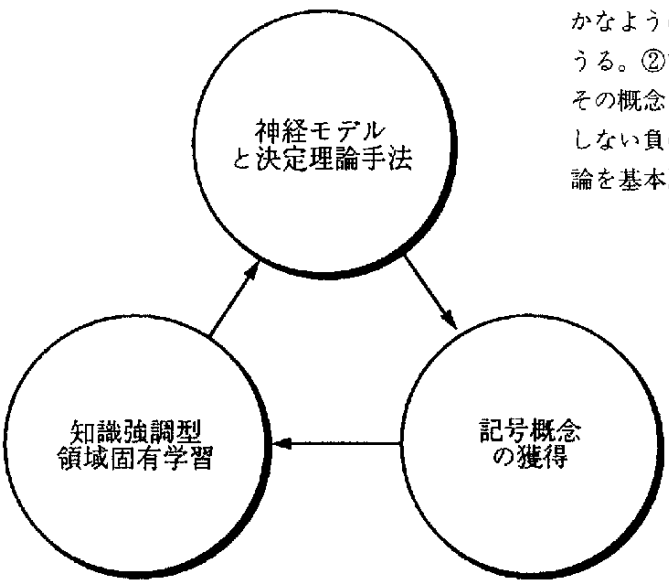
第4部 ハイライト技術：学習

1．はじめに

AI研究者にとって，〝知識の学習メカニズム（learning mechanism）の解明〟は，その当初より最終目標ともいうべき夢であった。近年，知識システムの知識ベースへの知識獲得ボトルネック（knowledge acquisition bottleneck）問題の発生や本当に知的な賢いシステムを使いたいというユーザの欲求というニーズの高まり，および後述の学習研究の3つのパラダイムという学習研究のシーズの再発見により，〝知識の学習メカニズムの解明〟〔Furukawa 86-2〕研究の潮流が再び加速されつつある。学習研究への関心は，知識工学では，知識システムの知識ベースへの知識獲得および知識獲得支援のための学習機構の導入から，認知科学では，広く人間・機械系への知識の獲得過程のモデル化およびそこでの学習メカニズムそのものの解明から起こった。

コンピュータによる学習研究は，①ニューラルモデルと決定理論手法，②記号概念の獲得（symbolic concept acquisition;SCA），③知識強調型領域固有学習（knowledge-intensive domain-specific learning; KDL）という3つのパラダイム〔Michalski 86，図表III-4-1参照〕を経て発展してきた。①はニューラルネットとも呼ばれ，初期知識を小さくして汎用の学習システムを，結合係数の学習を基に構築していく。パーセプトロンや判別関数を用いる方法等があり，近年，パターン認識における決定理論手法や適応制御システムへと発展した。進化的学習，遺伝的アルゴリズムの研究もこの分野に含める。このパラダイムは，最近，コネクショニストモデル（connectionist model）〔McClelland 87〕と呼ばれるようになり，そのアルゴリズムから明らかなように雑音のある例からも頑健に学習しうる。②では，ある概念集合の記号表現を，その概念を満足する正の例やその概念を満足しない負の例によって学習していく。帰納推論を基本原理とし，融合原理（resolution principle）の逆操作，仮説推論もこのパラダイムに属する。決定木の学習，プロダクションルールの学習，有限オートマトンの学習，意味ネットワークの学習等が代表的である。このパラダイムでは，雑音を含む例を許容するかどうかで，アルゴリズムが大幅に異なってくる。③では，事前に定義した多くの概念，知識構造，制約，発見的知識

図表III-4-1 パラダイム・シフト



等を，システムが属する領域固有の知識として保有して，その学習システムの問題解決の過程で利用していく。説明に基づく推論，類推による学習，事例に基づく推論，観測による学習，発見的学習が代表的なものである。後述のCYCプロジェクトも，このパラダイムを最大限に利用しようという立場である。

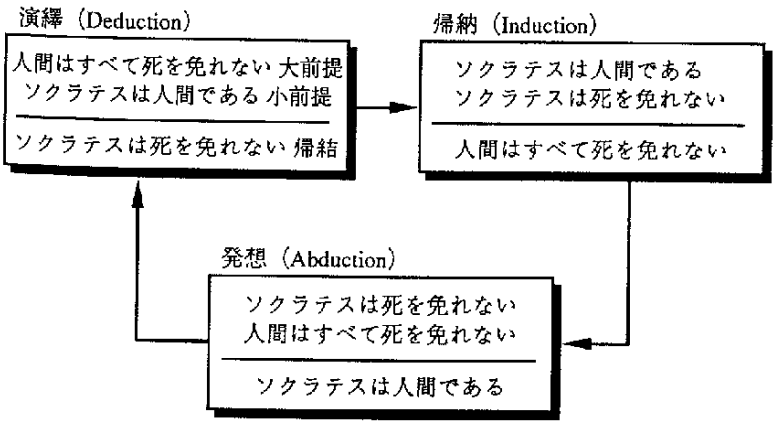
現在の研究の中心は，②と③を組み合わせてシステム統合することにあるが，コネクショニストモデルを中心とする並列分散処理モデルが米国や日本で流行の兆しを見せ，再び②や③から①へのパラダイム・シフト（paradigm shift）がみられる。すなわち，コネクションマシン上のコネクショニストモデルの実験に典型的に見られるように，新たな技術による学習研究の再構成，再構築が行われている。新たな研究シーズの発見が学習研究戦略全体の見直しを迫り，そのなかで学習研究の実り豊かな収穫が期待されている。このような学習研究の新たなる展開の中で，知識獲得ボトルネック等の既存技術のブレークスルーを突破する技術として，学習研究に対してホットな視線が注がれている。

本章では，以下に，「②記号概念の獲得」の話題として，帰納推論，仮説推論，類推および雑音のある例からの学習について述べ，「③知識強調型領域固有学習」の話題として，説明に基づく学習，発見的知識の学習およびCYCプロジェクトについて述べる。また，「①ニューラルモデルと決定理論手法」に関連して，コネクショニズムによる学習について解説する。さらに，幾つかの新しい話題を取り上げて，学習研究との関わり，今後の発展可能性などについて述べる。

2．帰納推論

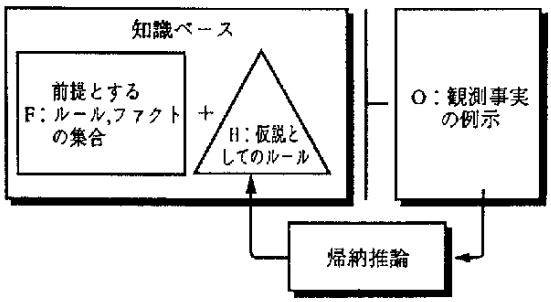
帰納推論とは何かについては諸説があるが，所与の観測された経験的事実（ファクト）の集合から，その底に横たわる一般的知識（ルール）を推論する過程のことである。たとえば，図表III-4-2に見られるように，もし〝ソクラテスは人間である〟という事実が前もって与えられており，ついで〝ソクラテスは死んだ〟という事実が与えられたとする。この際，帰納推論とは，〝Xが死ぬ〟という一般的規則の概念形成として，〝もしXが人間ならば，Xは死ぬ〟という規則を推測することである。すなわち，帰納推論とは例題として与えられた観測事実Oを説明する一般的知識Hを，仮説として推測していく過程（図表III-4-3参照）としてとらえることができる。

図表III-4-2　発想・演繹・帰納



帰納推論に関する研究には，推論可能性や計算の複雑さの理論との関連を論じたものとLispやPrologプログラムの合成といった実際問題への応用を論じたものがある。帰納推論の基礎理論を，初めて数学的厳密さをもって精密化したのはGold〔Gold 67〕である。彼はその中で学習可能性概念を「極限に

図表III-4-3　帰納推論



図表III-4-4　モデル推論アルゴリズム

Repeat
　つぎの事実を読む。
　Repeat
　　While推測Tが強すぎる　do.
　　　矛盾探査アルゴリズムを適用し、Tから
　　　反証を与える仮説を取り除く。
　　While推測Tが弱すぎる　do.
　　　先に反証を与えた仮説を、さらに精密化
　　　したものを、Tに加える。
　Until推測Tが強すぎることもなく弱すぎること
　　もない。
　　（読み込まれた事実に関する限り）
Forever推測Tを答えとして出力する。

おける同定」と「枚挙による同定」という考え方で定式化した。Goldの帰納推論研究を，帰納関数の推論に拡張したのがBlumら〔Blum 75〕である。この文献により，帰納推論可能性と計算の複雑さの関連が明らかになった。彼らの仕事はAngluin, 篠原, Shapiroら多くの研究者に引き継がれた。

帰納推論の実際問題への応用を意図した顕著な成果として，Shapiroのモデル推論アルゴリズム〔Shapiro 86〕がある。Shapiroは，哲学者Popperの〝推測と反証〟に関する方法論に基づき，事実（経験的知識）から理論（一般的知識）を帰納的に推論するモデル推論アルゴリズムを，一階述語論理という理論的枠組みの中で提案した。このモデル推論問題に対する彼の提案したモデル推論アルゴリズム〔Shapiro 82〕は，図表III-4-4に示されているように，ファクト型知識（経験的知識）からルール型知識（一般的知識）を帰納的に推論する学習アルゴリズムで，正負の例からの論理プログラムの自動合成システムともみなすことができる。その際，ユーザは誤りのないファクトを与えることが要請されるので，彼のシステムは完全教師付きの単一概念の学習システム〔Cohen 84〕といえる。この研究がきっかけとなり，知識ベースの知識獲得ボトルネックを解消することを目標に，多くの知識獲得支援ツールが研究開発中である。

2.1 帰納推論のスキーマ

記号処理レベルでの学習研究で最も重要な課題は帰納推論である。帰納推論によって形式化される問題は数多くあるが，それらを分類するのが学習スキーマ（learning scheme〔Jinkou 88〕）である。学習スキーマは，学習（帰納推論）の対象となる領域と，図表III-4-5に示されるような3つの構成要素，すなわち，(a)学習対象となる概念を表現するための表現空間（表現方法，表現言語），(b)学習アルゴリズム，および(c)学習プロトコル，とから成る。以下に，それら3要素の特徴を述べる。

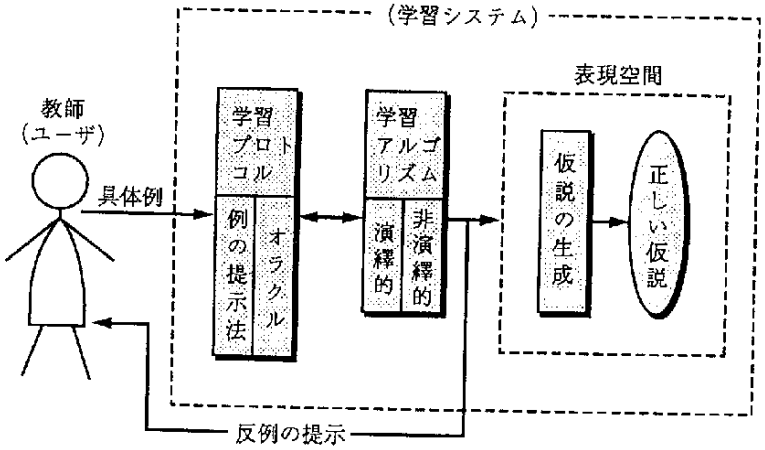
(a)対象概念の表現空間：推論対象となる概念を表現するための方法を定める。形式言語の推論を例にとると，言語を表現する方法として，〝形式文法〟，〝(抽象）機械〟等が一般的に用いられるが，もちろん，プログラミング言語あるいは一階述語論理等で表現することも可能である。

(b)学習アルゴリズム (learning algorithm)：演繹的なアルゴリズムと，例えば確率的な要素を含む非演繹的なアルゴリズムとが考えられる。

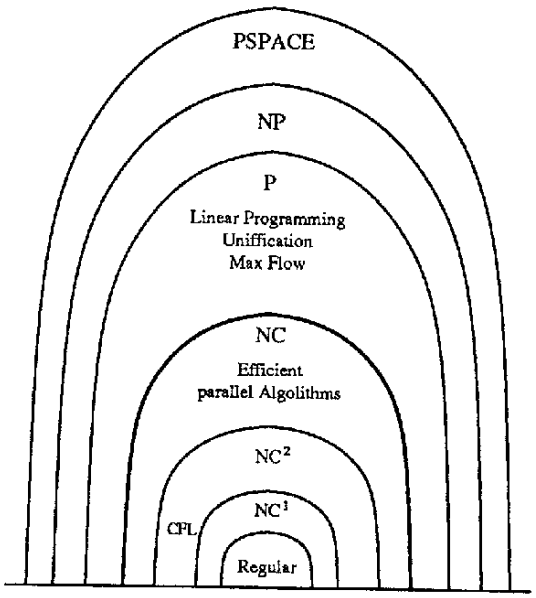
(c)学習プロトコル (learning protocol)：学習がどのような状況のもとで行われるかを定め，例の提示の仕方およびオラクル（神託とも呼ばれ，教師が学習システムに対して，常に神のお告げの立場から，正しい情報を提供できる能力のことをいう）の能力によってさまざまな学習様式が有りうる。例の提示の仕方には，正の例だけを提示する場合，正負の両方の例を示す場合の2通りがある。また，文法推論を例にとると，文字列だけを示す場合と，構造情報をも示す場合もある。これらは組合せが可能である。この他，計算過程の例を与える場合，確率分布付き文字列を与える場合などがある。オラクルの能力としては，与えられた例があるクラスに所属しているのかどうかの質問に答える能力，反例を提示する能力，等がある。

これらの要素を1つずつ具体的に決定していくことにより，さまざまな帰納推論の問題が得られる。実際，これまでに行われている研究のほとんどは，この枠組みによって説明される。帰納推論による学習システムの研究には，これらの学習システムの各構成要素を適切に選択することが重要であり，また得られたシステムが（インタフェース部分も含めて）効率的なものであることが要求される。従って，効率の良いシステムが得られるような学習スキーマの設定条件をいかにして見い出すかが重要な問題になる。

図表III-4-5 帰納推論に基づく学習スキーマ〔Kunifuji 87〕



図表III-4-6 計算の複雑さのクラス〔Miyano 88〕



2.2 高次推論と計算量

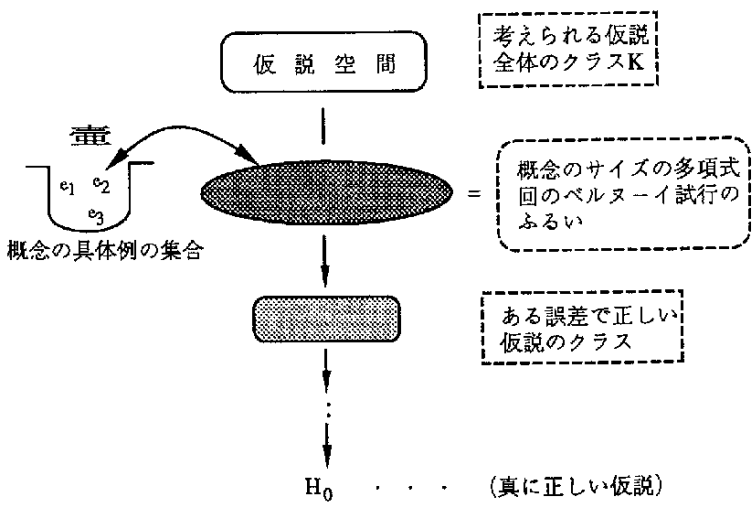
帰納，類推，仮説推論，非単調推論といった演繹以外の高次の推論を，記号としてアルゴリズム化できることが次々に実証されてきた。しかしながら，新たに作成されたアルゴ

リズムの計算スピードの遅さというバリアー，すなわち計算量の壁，に気付く結果となった。その結果，知識表現のクラスと計算量との関連が各種学習アルゴリズムを素材に調べられている。計算の複雑さのクラスには，図表III-4-6〔Miyano 88〕に示されているように，NP, P, NCといったクラスがある。ここにクラスNP, P, NCは，それぞれ直観的には指数時間的な計算量を必要とするクラス，多項式時間で推論可能なクラス，並列推論可能なクラスである。NP≠Pと信じられているのと同様に，P≠NCと強く信じられている。宮野のサーベイ等によれば，AIの多くの問題がクラスNPに属し，PやNCに属さず，かつクラスPやNCで扱える知識表現（問題）のクラスは驚くほど小さい。それ故，このような計算量の壁を破る方策がないか，特に並列推論や近似推論〔Mayr 88〕との関連で探究されている。

学習可能性（learnability）という概念を，計算量（complexity）の立場から再考してみる動きがある。従来，学習可能性概念の形式的定義としては，〝極限における同定〟〔Angulin 83〕という概念が支配的である。一般に，学習は無限の計算によって行われ，学習がある規則を極限において同定するとは，規則の例示が与えられたときに，ある時点以降に出力する推定がすべて等しく，しかもその規則を正しく表現していることをいう。実際，これまでに知られている帰納推論に関する仕事のほとんどは，この考え方に基づいている。しかしながら，Valiantによって提案された学習可能性を一種の〝確率的事象〟としてとらえる学習可能性概念〔Valiant 84〕の定義に注目したい。図表III-4-7に示されているように，考えられる可能な仮説全体のクラスKを仮説空間とする。また，推論しようとする概念の（一般には，正・負両方の）具体例が入っている壺Aを考える。この壺から具体例を一つずつ取り出して，それと矛盾する仮説をKから排除した後，この具体例を元の壺に戻す。このようないわゆるベルヌーイ試行を多数回繰り返すと，ブール関数（概念）の幾つかのクラスは，その概念のサイズの多項式回のベルヌーイ試行によって，ある誤差の範囲内で正しい仮説のクラスに絞り込むことができる。また，このようにしてベルヌーイ試行を限りなく繰り返していくと，誤差も限りなくゼロに近づいていく。したがって，この学習モデルは，従来のGoldによる〝極限同定〟〔Gold 67〕の拡張モデルであると見ることができる。このような方向での計算量の壁を破る研究についてはさまざまの方向があり，文献〔Laird 89, Mayr 88〕を参照されたい。

上述のように，学習システムは『学習システム＝学習プロトコル×学習アルゴリズム＝(例の提示法×オラクル)×(演繹的アルゴリズム＋非演繹的アルゴリズム)』で構成され

図表III-4-7　確率的学習モデル〔Kunifuji 87〕



る。そこで，上記等式における各パラメタをいかに具体化して行って，得られた学習システムの具体例が効率良く動くようにするか，ということが今後の研究課題となる。ここに，〝効率良く〟は非常に重要な要請である。この効率の問題を，理論的にはいわゆる〝多項式時間推論〟（クラスP）を意味すると解釈する。従って，多項式時間で動作するようなアルゴリズムによる学習システムを構築することが，第一の目標ということになる。そのための例の提示法，オラクル，そして最も重要なアルゴリズムをいかに見出すかが，今後の重要課題である。事実，このような方向でAngluin〔Angluin 87〕や榊原〔Sakakibara88〕は最近，優れた結果を導いた。榊原が示したように，オラクルとして正負の実例のみならず，正負の構造体といった構造情報をも与えることが計算量の逓減に大きく寄与することは，注目に値する。

以上のように，学習可能な表現のクラスが多項式時間で学習可能という性質を保持してどこまで拡張できるかという問題は理論的かつ実際的に興味深い。しかし計算機が演繹的なアルゴリズムによって実際的な時間内で学習できる概念のクラスは，ある意味で非常に限られたものであり，いかなる生物システムも計算理論的に手におえないクラスは（実際的な時間内には）学習できないであろうと予想される。例えば，2値をとる仮説が100個あったときに，そのありとあらゆる組み合わせから例を説明する仮説を見いだすには最悪2^{100}の可能性を調べなければならないが，この数は約$1000^{10}=10^{30}$であるので，1ナノ秒で1つの仮説を調べることができたとしても約3×10^{13}年かかり，これは地球が誕生してからの年月をはるかに超えている。AIにおける学習研究の陥りやすい弱点は，AIツールの急激な進展を信奉し，おもちゃの問題のみに通用する安易なアルゴリズムを設計することである。その結果，そのアルゴリズムがNP完全という既存のアーキテクチャの手に負えないクラスであることを意識せず，実用的な規模の問題に適用して，初めてアルゴリズムの遅さに気付く傾向がある。「どういう知識表現のクラスに対して，どういう学習アルゴリズムを適用したら，どういう計算量になるか」をきちんと押さえないと，実際的な時間内に答えの戻ってくる実用的なアルゴリズムは得られないであろう。このことを理論的にもインプリメンテーション的にも保証しない限り，学習アルゴリズムが既存のソフトウェア環境の優れたツールとして組み込まれることはない。

2.3 融合原理の逆操作〔Muggleton 88〕

融合原理は，演繹推論をただ一つの規則だけで行う方法として，良く知られている。その規則とは，A∨B¬❖A∨Cが共に成り立っていたら，B∨Cが成り立つという推論規則である。これが正しいことは，Aが成り立つ場合と成り立たない場合とに分けて考えればわかる。すなわち，Aが成り立てば（¬Aが成り立たないので，）Cが成り立ち，逆にAが成り立たなければBが成り立つからである。この操作を融合と呼ぶ。

さて，三段論法において，大前提「すべての人間は死ぬ」と小前提「ソクラテスは人間である」とから，帰結「ソクラテスは死ぬ」を導き出す操作は，演繹推論であり，それは上に述べた融合原理によって導かれる。ところで，小前提「ソクラテスは人間である」と帰結「ソクラテスは死ぬ」を与えて，逆に大前提「すべての人間は死ぬ」を求めるには，どうしたらよいであろうか。実際には，この大前提を求めるには，小前提と結論の例をもっとたくさん与えてやることが必要である。そして，多くの例からルールを導くこのような操作を，帰納あるいは帰納推論と呼ぶ。帰納推論は演繹推論の逆なので，融合の逆操作を行えば良いのでないか，と予想される。実

際，Muggleton等〔Muggleton 88〕は，この考えに基づく帰納推論システムCIGOLを開発した。

CIGOLは例を与えて，それを説明するようなモデルを合成するモデル推論システムの一種である。そのようなシステムは，例えば，文を入力してその文法を推論したり，加算の例から加算のプログラムを合成したりすることができる。従来のモデル推論システムでは，E. Shapiroによって作られたMIS〔Shapiro 82〕が最も良く知られている。CIGOLがMIS等のこれまでのシステムと異なる点は，それがモデルを作るのに必要となる部分概念を自分で発明できる点である。以下に，CIGOLの仕組みを概説しよう。

CIGOLは帰納推論を行うための3つの基本操作を持っている。それらは，①最小汎化，②ルールの提案，および③新述語の導入である。ここに，与えられた実例の対象を変数化して適用範囲を拡大する多数の可能な汎化の仮説の中で，最小のものを選ぶことを最小汎化と呼ぶ。今，アーチの概念学習を例にとって，これらの操作の説明をしよう。CIGOLの教師は，次のようなアーチの例を与える:「2つのブロックの上に，ビームがある」;「2つの煉瓦の上に，ビームがある」。CIGOLは，この2つの例から，最小汎化によって，それらを共に説明できる次のような概念を提案する。

提案：「2つの任意のものXの上に，ビームがある」ものがアーチである。

ところが，これはアーチの定義に反するので，教師はその提案を否定する。そして，さらに次のような例をあたえる：「2つの二段ブロックの上に，ビームがある」;「2つの二段煉瓦の上に，ビームがある」。これらの例から，CIGOLは新述語の導入規則によって，次のような新述語を含む概念を提案する。

提案：「p（X）を満足する2つのXの上に，ビームがある」ものがアーチである。

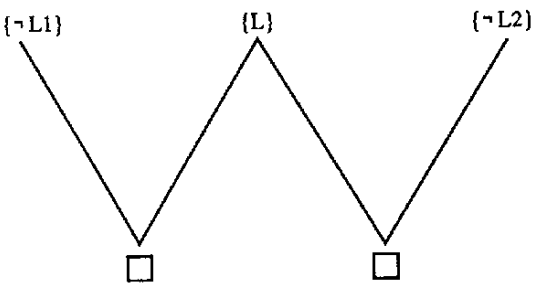
そして，システムは教師に，このpが何を表すかを聞いてくる。教師は，それが柱であることを教える。CIGOLは，ブロックや煉瓦が柱であること，あるいは，それらが二段重なったものも柱であることを知っているので，それらの現実から，ルールの提案機能を用いて，次のような柱の再帰的定義を提案する。

提案：「Xが柱であれば，Xの上にブロックを積んだものも柱である」

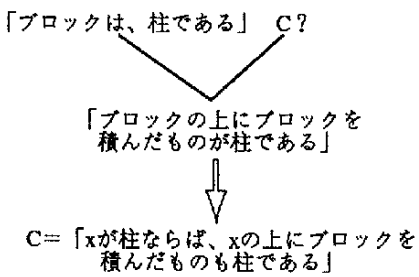
煉瓦についても，同様である。

このようにして，CIGOLは，与えられた例から，その例を説明するモデルと同時に，そのモデルの記述に必要となる部分概念（今の例では，柱）をも合成することに成功した。そして，これらはいずれも融合原理の逆操作として形式化されている。単項述語{「L1」と{「L2」の最小汎化は，図表III-4-8に示すように，それらとの融合によって，共に空節が得

図表III-4-8　融合原理の逆操作による最小汎化〔Muggleton 88〕



図表III-4-9　融合原理の逆操作によるルールの提案〔Muggleton 88〕



られるような述語｛L｝を求めていることになる。またルールの提案は，図表III-4-9に示すように，例えば「ブロックは柱である」を小前提（単項述語｛[L1]｝とし，「ブロックの上にブロックを積んだものが柱である」を演繹された結論（単項述語｛L2｝）とするような大前提「Xが柱であれば，Xの上にブロックを積んだものも柱である」（述語｛L｝）を求めていたことになる。新述語の導入も，同様に，融合原理の逆操作になっていることが知られている。その時，融合原理の適用によって消された述語を〝発明〟している。

CIGOLによって，次のような述語が発明された。

リストを反転するプログラムreverseの学習中	補助述語appendの発明
リストの最小値を取り出すプログラムminimumの学習中	補助述語less-thanの発明
順序二分木挿入プログラムの学習中	補助述語appendの発明
ソートされた部分リストを与えて，併合してソートされたリストを作るプログラムmerge-sortの学習中	splitとless-thanを与えて，補助述語appendの発明

融合原理は，これまで演繹推論において大変重要な役割を果たしてきたが，それと同様の役割を，その逆操作が，今後帰納推論において果たすことが期待されている。

3．仮説推論

発想（abduction）とはある驚くべき事実（困難な未知の問題）に遭遇した人間が，その事実を説明する（その問題を解決する）仮説(hypothesis)を直観的に得る人間の思考過程である。本当に発想推論（abductive inference）と呼ばれ得るものでは，その知識体系に関する知識が不十分かつ不完全なので，人間は種々の知的技法を用いて，何らかの意味のある仮説を生成したり，合理的な仮説の検定を行っている。仮説生成・検定の仕方により，各種の発想推論図式が分類される。ここでは，そのうち最も標準的である仮説推論（hypothetical reasoning）の考え方〔Jinkou87〕について述べる。

仮説生成は，既存の知識だけでは今問題にしている観測事実を説明（証明）できないときに，欠けていると思われる知識を推測によって補ってみることである。もしそれによって観測事実がうまく説明できればよいわけである。それは外国語の理解のときに起こる。例えば，“A traveller with a sharp eyecan still find remnants of the Indian workshop where they chipped, flaked and polished their stones, in Rock CreekPark.”（Washington D. C. City of Many Dream, by Suzi Torbより引用）――という文が与えられると，単語remnantsの意味を知らなくても，それが，遺跡ではないかと推測がつく。それは，remnantsを遺跡と考えると文の意味がよく通じ，大変自然だからである。

この仮説生成を，一階述語論理の用語を用いて説明することができる。いま，観測事実を〝O〟として，既知の公理を「HからOが証明できる」（H ⊢ Oと表す）とするとき，その2つから未知の仮説〝H〟を推測する次のような推論図式が仮説生成である。

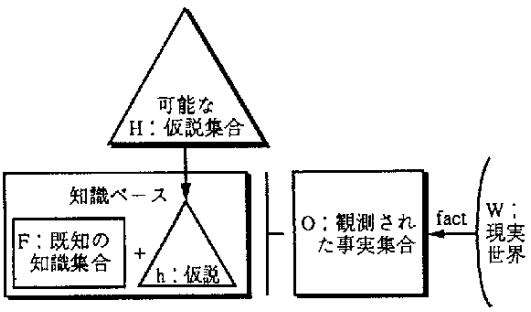
O　(1)
H ⊢ O　(2)
H　(3)

この図式は，(1)と(2)とから(3)が導かれることを意味する。

この推論図式を科学的理論の理論形成システムへ展開したのが，Theorist〔Poole 85〕である。Theoristでは図表III-4-10に見られるように，与えられた観測事実の集合〝O〟を説明する適切な仮説（理論）〝h〟を，作り付けの可能な仮説（理論）集合〝H〟の中から選択していく。すなわちTheoristでは，次のような推論図式を採用している。

O，H，Fを各々，一階述語論理の節で表現された互いに独立な観測事実集合，前もって与えられた可能な仮説集合，およびその問題を解くのに利用可能な既知の知識集合とする。このとき，「仮説hが観測事実集合Oを説明可能である」とは，次の場合，しかもその場合に限る。

図表III-4-10　仮説推論



① FからOが証明できない　(4)

② Hの部分集合hをとり，F＋hを作ると，F＋hは無矛盾でかつOが証明できる。　(5)

上述のTheoristの枠組に対して，次のような問題が提案〔Kunifuji 86〕された。

(a) FとhのAND集合からなる知識ベースKBの無矛盾性をどのようにして保持していくか。

(b) 可能な仮説集合Hから適切な仮説hを選択する仮説選択の評価基準は何なのか。

(c) 複数の仮説が選択されるとき，新たな観測事実の集合O′を用いて，単一の仮説へ絞り込むための評価基準は何なのか。

(d)(b),(c) の評価基準にもかかわらず複数の競合する仮説が生成されるとき，そのどちらを採用するかを決定するための評価基準は何なのか。

(e)そもそも観測事実集合Oから作り付けでない仮説集合Hをどのようにして生成していくか。

(f)観測事実集合Oと既知の知識集合Fとの対応付けをどのようにして発見していくか。

ここでは，(a)は無矛盾性管理問題，(b)は仮説選択問題，(c)は仮説同定問題，(d)は競合仮説解消問題，(e)は仮説生成問題，(f)を知識ベース選択問題として位置付ける。

仮説推論は解析型AIシステムのみならず，合成型AIシステムの枠組み〔Furukawa 88〕をも与える。仮説推論の合成型AIシステムへの適用事例に，FingerらのRESIDUE，石塚らの研究〔Furukawa 88,Jinkou 88〕，松山の研究〔Matsuyama 89〕がある。彼らの研究において，集合〝O〟は設計目標である仕様の集合と読み替えられ，仕様を満足する実現可能な設計〝h〟を求めることが設計タスクとなる。仮説推論を解析型／合成型のAIシステムへ適用した場合の比較を，図表III-4-11に示す。一般に解析型AIシステムに比し，設計型AIシステムの場合，その方法論の整備やそれ向きの知識獲得支援システムの構築が遅れている。したがって，当面の目標は設計型AIシステムの方法論を確立し，次いで，それ向きの知識獲得支援システムを構築することであろう。

なお松山の研究は，A. MackworthのMapseeプロジェクト〔Reiter 88〕と呼ばれる3次元のシーンをイメージとして解釈するシステムの研究開発と関連がある。そこでも議論されているのだが，仮説推論では不完全な知識の扱いや等号の導入が重要である。後者に関し，R.Goebel〔Goebel 88〕は，仮説推論のフレームワークを変えず，類推システムが実現できることを示した。可能な仮説（理論）

集合〝H〟のところを「等号に関する仮説集合」で置き換えることで，「等号に関する理論」形成を行うことが，実は類推システムの実現につながることを示した。同じような方向で，因果性，類似性，適切性といった高階の概念が仮説推論の中に埋め込めること，生成された理論に対して選好基準を設けることで，より望ましい理論が選択できることを示した。また，M. Stickelが行っている談話理解においてコンテクストに対する仮定をおいて，あるセンテンスを証明するとき，その仮定を最小化する発想エンジン〔Stickel 88〕の研究も注目される。

図表III-4-11　仮説推論の解析型／合成型AIシステムへの適用

	解析型AIシステム	合成型AIシステム
O	観測事実集合	目標（仕様）集合
F	既知の知識集合	初期世界モデル集合
H	解析可能な仮説集合	合成可能な仮定集合
特徴	・探索空間：　比較的小 ・方法論：　整理 ・獲得ツール：　MORE,ROGET,ETS	・探索空間：　大 ・方法論：　未整理 ・獲得ツール：　?
適用結果	・系統的仮説生成 ・仮説選定／同定の評価基準が比較的明らか ・制約知識利用可能	・RESIDUEの生成 ・制約の伝播

図表III-4-12　水システムと電気回路の構造写像〔Furukawa 86-1〕

水システム	電気回路
対象物の射影	
パイプ	電線
ポンプ	電池
細いパイプ	抵抗
性質の射影	
水圧	電圧
細さ	抵抗
流量	電線（電子の流量）
主要関係	
接続（パイプ、ポンプ、細いパイプ）	接続（電流、電池、抵抗）
増加（流量、水圧）	増加（電流、電圧）
減少（流量、細さ）	減少（電流、抵抗）

4．類推

人間が発想を得るために日常最も多用する推論が類推である。類推では，与えられた観測事実を説明するために導入する知識体系の知識が不十分なので，他の類似の知識体系において対応する問題を解いて，それを元の知識体系上の推論に翻訳して，その事実を説明する仮説を生成する。

具体例を挙げて説明する。図表III-4-12に見られるように，水の流れや電気回路の間には明白な類推が成り立つ。この類推は表層的な用語法上の対応関係にあるのでなく，本質的に類似の科学的根拠に基づいているので生成的類推〔Furukawa 86-1〕と呼ばれることもある。水の流れに対する定性的推測で得られる知見を基に，電気回路の直並列の性質に関する推測を立てることは，日常良く行うことである。たとえば，水は水システムのパイプ中を流れ，電気は電気回路の電線を流れる。したがって，前者の流量と水圧の関係が後者の電流と電圧の関係と対応していると考えるのは自然である。このような対応関係の発見は，たとえば，電気回路という未知の知識体系において「なぜ電圧が2倍高くなったのか？」という観測事実の説明に有用である。この観測事実に対して，既知の水システムという知識体系において類似の事実「(水システムにおいても，)水圧が2倍高くなることがあ

る」が存在することを見い出し，しかもそこでは「ポンプを2個直列にすると，水圧が2倍高くなる」が成立すると仮定する。すると類推とは，未知の知識体系である電気回路においてもポンプと類似の知識である電池が存在し，しかも「電池を2個直列にすると，電圧が2倍高くなる」が成立するという推測を立てる根拠があるとする〝公理のすりかえ〟を行う推論図式のことである。

水圧と電圧とを結びつけるには，未知の知識体系の既知の知識体系への構造写像（対象間やそれらの属性間の1対1写像）の発見が必要である。B. Falkenhainerは，Gentnerの構造写像理論に基づく構造写像エンジン〔Falkenhainer 88〕の研究を行っている。彼のシステムは，類推を行うためのツールキットからなり，彼の構造写像エンジンを用いて，すでに幾つかの類推に関する代表的例題を解いている。類推と定性推論との統合を念頭において，設計問題やプランニング問題への適用を模索しており，（仮説推論と違って）類推を使うと，前もって与えられたものでない革新的な仮説が生成できる可能性があることを強調している。

Polyaの「数学における発見はいかになされるか」〔Polya 59〕においても，類推と帰納が人間の問題解決において最も有用な推論図式であるとの指摘がある。彼はそのなかで「二つの系がそれらの対応する部分の明白に定義可能な関係において一致するとき，それらを類似している」と呼んだ。Polyaの流れを受け，Winston〔Winston 80〕は因果関係に基づく類推研究を行い，フレームの対応付けに基づく類推システムを試作した。Winstonのシステムは，因果関係を論理的含意関係にすり替えるところに，その本質がある。そこで，類推とは「類似した前提からは類似した帰結が成立する」という推論図式だとみなすこともできる。知識体系間の構造写像を見出すのに，Polyaの上述の考えを部分同一と呼び，部分同一に基づく類比による思考形式が利用されているとするのが，原口の類比の理論〔Furukawa 86-2〕である。この類比の理論を，「演繹と類比は同一の論理的枠内で体系化すべきである」という信念のもとに，ホーン節集合を対象とする論理プログラミングに適用したのが，原口の類推の理論〔Haraguchi86〕である。原口は類推理論の理論モデルを構築し，上述の〝公理のすりかえ〟をホーン節の〝ルールのすりかえ〟に帰着する論理的方法を与えた。彼の研究によりProlog（論理型プログラミング言語の一種）上に，類推システムを実現する基礎が与えられた。

Falkenhainer〔Falkenhainer 88〕によると，類推処理はアクセス，写像，評価・使用の3プロセスからなるが，ほとんどの研究者が写像および評価・使用のみの研究を行っており，より本質的なアクセスの問題の研究の重要性が示唆されている。適切性，同等性，類似性，距離といったコンテクストの問題がこれに当たる。類推システムを実際問題に適用するには，メタ知識や視点の導入によるアクセスのコントロールが必要で，それにより計算量の爆発を防ぐ必要がある。いずれにせよ実用的規模の問題を解くには，多くの困難な問題を解決しなければいけない。

なお最近，類推研究を含む新しい枠組みとして，事例に基づく推論（Case-Based Reasoning）〔Titeki 89-1〕が注目されている。すなわち，経験的知識がルールベースとして知識表現できないような対象領域において，過去の成功・失敗の事例をデータベース化しておき，それを直接利用して問題解決をするような推論のことである。事例に基づく推論は対象領域が開いており，世界モデルが不十分かつ不完全，健全性に対する解析や証明ができない場合に有効である。事例に基づく推論のアイデアは簡単で，過去の成功事例はそのまま使い，過去の失敗事例は同じ過ちは繰り返さない，ことを基本とする。その推

論の枠組みも①事例の定義，②事例の特徴付け，③事例の検索，④事例の変更，⑤事例の修復，⑥事例の記憶，⑦事例の獲得，⑧適用失敗事例に基づく特徴付けの修正，⑨事例の一般化，といったプロセスからなる。

5．雑音のある例からの学習

一般に，対象はその属性によって分類することができる。それぞれの対象は，属性と属性値の対からなるデータで特徴付けられ，そのようなデータの集合のことを属性値集合と呼ぶことにする。与えられた概念を満足するデータのことを正の例，そうでないデータのことを負の例と呼ぶ。このようなデータからの学習によって，判別木と呼ばれる概念の木構造を生成するアルゴリズムを考える。与えられた概念の正例，負例のデータベースにおいて，誤ったクラス（判別木の葉）に判別されたデータを含む場合，雑音を含むデータベースと呼ぶ。これまで述べてきた学習方式は，若干の例外を除いて，2.1で与えた学習スキーマに出現する教師が完全であることを前提としていた。しかしながら，学習システムが実際に適用される場面を考えると，教師は不完全〔Cohen 84〕であり，教師から提示される具体例には雑音が含まれる。このような前提で学習するものに，上述の属性値集合によって表現される雑音を含む大量の実例から，概念の判別木を自動合成していく概念学習システムがある。

このような判別木の生成アルゴリズムとして，ベイズの定理に基づく逐次提示に基づく学習方式が知られている。この方式を採用するには，少なくとも概念の初期表現の決定，概念と具体例のマッチング，概念の評価，概念の修正の機能が必要である。P. CheesemanのAUTOCLASSシステム〔Cheeseman 88-1, 88-2〕は，ベイズの定理に基づく逐次提示に基づく学習方式で，教師無しで雑音のある具体例から自動的に概念のクラスを発見していくシステムである。AUTOCLASS IIはすでに実際の大規模NASAデータベース下で実験され，幾つかの有用なクラスを発見した。現在は，さらに指数関数的減衰，マルコフ過程や時系列解析の機能を統合化したAUTOCLASS IIIを研究開発中である。

概念学習システムのもう1つの代表例がJ. R. QuinlanのID3〔Anzai 89〕である。ID3ではトップダウン的な分割統治のやり方によって，判別木を決定していく。

①事例の与え方を規定する訓練事例集合から任意の部分集合を選択し，それをウィンドウと呼ぶ;
②ウィンドウを分類する判別木を作る;
③訓練事例集合とウィンドウの差集合を作り，②の判別木の例外を見出す;
④ウィンドウと例外の和集合の部分集合を新ウィンドウとする;
⑤②～④を繰り返す。

ID3アルゴリズムは観察からの学習ともいわれ，分類型問題の基本タスクを解決している。実際，このアルゴリズムを組み込んだ次世代シェルの研究開発や音声認識への適用研究〔Chen 89〕が世界各国で行われている。

並列処理との相性がいいのでConnection Machine上のインプリメントも考えられている。

さらに，P. D. Lairdを含む米国の学習研究は，(CDF-Inversionアルゴリズム，ベクトル量子化と呼ぶ多項式時間アルゴリズムといった) 高並列・効率的な近似推論研究〔Laird 89〕を，具体的アプリケーションを意識しながら積極的に行っている。例えば，BACONシステムで著名なP. Langleyは，科学的な経験法則の発見に関心があり，確率付きの概念階層の自動クラスタリング・システムの研究開発を行っている。彼は現在，化学反応から経験法則を発見するシステムIntegrated Discovery System〔Nordhausen 89〕を，B.

Nord-hausenと構築中である。

6．説明に基づく学習

最近，学習問題を統一的に扱う見方として，説明に基づく学習（explanation-based learning）〔Michell 86〕が注目されている。説明に基づく学習は対象領域の知識を利用する知識主導型知識獲得手法である。説明に基づく学習では，学習すべき概念を目標概念，学習対象に関する知識を領域理論，学習結果の満たすべき基準（目標概念が実行可能な手続きとして効率的に認識されるように定めたもの）を操作性規範（operationality criterion）と呼ぶ。その上で，1つの正例を与えると，正例が目標概念の具体例であることを説明する証明木を構成し，これを一般化することにより操作性規範を満足する概念認識手続きを生成する。操作性規範は，概念認識のためのデータが例から入手可能であることを意味し，しかも得られた手続きは与えられた正例の認識手続きの一般化になっているので，この方法によって実際に学習が行われた，ということができる。

説明に基づく学習は，VLSIの回路設計見習いシステムLEAPに採用されたことからも分かるように，合成型問題における基本的接近法として注目されている。何故なら，設計とは機能的な仕様を，説明可能性概念を満足する証明木に基づき，操作可能な手続きに変換することにほかならないからである。説明に基づく学習の欠点は，計算理論の立場からの厳密な形式化が与えられてないことである。特に，帰納推論のように「負の例」の有効利用が成されていない。恐らくこの点に関しては，制約のある世界での「正の例」の解き方を最大限に有効利用する方法として，いずれ定式化されるに違いない。

説明に基づく学習は，習熟による効率化を行っていると考えることもできる。ある概念を認識するときに必要となった説明あるいは証明の実行は手間がかかるが，説明に基づく学習の結果得られた手続きは，その証明過程をスキップし，データと結論を直結させている。これは知識のチャンキングなどとも関連している。また，プログラムの効率化の技術として知られている部分計算とも関連が深い。実際，説明に基づく学習における証明過程のスキップによる効率化は，部分計算そのものである。

7．発見的知識の学習

発見（discovery）とは，発見者にとってまだ知られていないものを，初めて見いだすことである。新しい理論の発見や新しい技術の発明（invention）が科学技術の進歩を支え，人類の進歩に貢献したのは周知の事実である。AIにおいても発見・発明するシステムを作ることが，その研究の歴史の発端よりAI研究者・技術者の夢であった。発見・発明システムを標榜するシステムが実際に作られるようになったのは，ごく最近のことであり，従来はもっぱら学習システム研究の流れの中で検討され続けてきた。学習システム研究の文脈の中では，発見システムとは，そのシステムの外部環境から与えられた驚くべき事実を説明する仮説を見いだすようなシステムのことである。発想の場合と同じく，本当に発見システムと呼ばれうるAIシステムでは，その形式的な知識体系に関する知識が不十分なので，種々の発見のための評価基準を導入し，それに照らして何らかの意味のある仮説を生成したり，合理的な仮説検定を行う必要がある。仮説生成・検定の仕方により，各種の発見システムの型が分類される。そのような発見システムの研究開発の途上において，既存の計算環境のもとでは，いわゆる計算量の壁にぶつかることが強く認識された。そこで，今後最も注目される発見システム研究に，計算量

の壁を突破するためにも発見的知識（heuristics）の学習を行うシステムの研究開発がある。発見的知識とは，AIシステムにおいて発見的探索をガイドする知識の意味で用いられる。膨大な探索空間の中から解を探し求める場合，領域固有の発見的知識に基づいて探索空間を制限すれば，問題解決の効率を著しく向上させる場合が多い。発見的知識の使用は準最適解は与えうるが，必ずしも最適解を保証しない。

図表III-4-13　面白さの度合に対する発見的規則〔Furukawa 86-2〕

	発見的規則
(#1)	概念Cの特殊化を行なって、次にその新しい概念の具体例を見い出したいとき、一つの方法はCの既知の具体例について考えることである。それらは、新しい特殊化された概念の具体例であるかもしれない。
(#2)	もし概念Cの具体例が全て他の概念Dの具体例になっており、CがDの特殊化であると知られていなかったなら、CはDの特殊化であるという仮説を立て、両概念の面白さを増加させる。
(#3)	ある概念のすべての具体例が定義域の狭い関数Fの、その定義域に含まれている場合、それらのすべてについてFの像を求め、それらの像の集合を新しい概念として考える価値がある。
(#4)	もしある概念の具体例がほとんどない場合、なぜそうなのかを考える価値はあるが、その概念自身は面白いものではない。

そのような発見システムの代表例が，LenatのAM〔Davis 82〕やEURISKOである。AMやEURISKOでは，図表III-4-13に見られるように，〝面白さ(interestingness)〟の度合いというメジャー（価値観）を導入し，そのメジャーを増加させる方向に，次々に〝面白い〟概念を自己成長させていく。AMは，例えば，初等整数論や集合論の〝面白い〟概念を発見する学習システムである。〝面白い〟概念かどうかを判定するのに，例えば――部分一致を作る，珍しい述語を一般化する，極端なものの逆関数をとる，概念の重複に注目する――などといった発見的知識を利用している。なおAMのProlog版であるILという自動理論構築システムが，M. Simによって，既に開発されている。ILはいわば，ドメインを数学の定理発見に制限し，AMが発見的知識に頼り過ぎる弱点を克服している。すなわち，自然演繹法に基づく一階論理の定理証明器を用い，発見された数学的定理を検証する機能を持つ。これに対してEURISKOでは発見的知識の学習それ自体も行う。すなわち，新しい発見的知識を合成するための発見的知識をも保有し活用している。EURISKOは莫大なコンピュータ資源を消費するという弱点をもつけれど，上述の初等整数論や集合論のみならず，戦争ゲームやVLSI設計といった応用分野に適用され，多大の成功を収めた。いずれにせよ，この〝面白い〟概念の定義は，数学的審美観ともある程度一致しており，科学的発見の論理を説明しているところがあり，非常に興味深い。この種の研究は，ニューラルネットにおける知識の自己組織化研究とも密接に関連しており，今後，大いに発展することが期待される。

8．CYCプロジェクト (Lenat 86, Titeki 89-2)

実際にAIシステムを構築した経験が蓄積された結果，あるいは，上述の発見的知識の研究の結果，多くの研究者によって推論エンジンの研究開発だけでは片手落ちであり，「知識は力なり」ということが強く認識されだした。そこで，さまざまの常識を用いた推論と類推により，知識システムの〝知識獲得ボトルネック〟を解消していく野心的プロジェクト〝CYCプロジェクト〟が，MCCのLenatによって開始された。Lenatの基本アイディア

は，①明示的に述べられた事実情報をエンコードする，②その情報をより一般的フレームに移し抽象化する，③そこで含意される常識的知識を抽出しエンコードする，④得られた常識的知識の文と文の間から読み取れる知識をも抽出しエンコードする，にある。すなわち，与えられた不完全知識に対して，フレーム構造内での抽象化・知識変換・具体化という操作の過程で，人間が日常的に行う常識推論や類推の手法を駆使して，知識獲得していくものである。このように知識システムの問題解決能力を向上させるには，究極的にはシステムに類推・常識推論の能力を持たせなければならない。そのためには，まずコンピュータ上に常識的な幅広い知識を人手で投入する必要がある。CYCプロジェクトは，こうした目的で，10年間の歳月（200人・年のマンパワー）をかけて，大規模知識ベースの整備を行っている。まず，百科辞典から選択した約400種類の基本的項目を，豊富な機能をもつフレーム型言語を使って表現した。次の段階で，その情報をもとに複写・編集作業を繰り返すことで，大規模知識ベースの段階的な開発を行っている。

CYCプロジェクトで注目されるのは，(Cyclist と呼ばれる)この百科辞典知識ベースの内容に詳しい専門の知識技術者が，新しい知識をフレーム形式で効率よく投入することを目的として開発されたCYCエディターである。CYC知識ベースは多くのスロットをもつ複雑なフレームシステムなので，CYCエディターは知識ベースの局所的な整合性をチェックする機能が強化されている。CYCエディターは知識獲得作業の自動化をめざすものではないが，大規模知識ベースを複数人で開発する場合に生じる困難を避けるためのチェック機構に優れており，今後の研究に大事なツールとなるものと思われる。

9．コネクショニズムによる学習 (Kunifuji 87)

ニューロコンピュータの原点は，1960年代にはやったパーセプトロンの学習方式にある。Minskyらのパーセプトロン批判で一度は死んだパラダイムが，1980年代になって復活の

図表III-4-14　シンボリズムからコネクショニズムへのパラダイム・シフト〔Takeuchi 88〕

	伝統的人工知能	Connectioism
知　識	知識表現 {フレーム, セマンティック・ネット,....}	Interconnection Pattern
推　論	ルールに基づく推論 {論理的ルール, 手続き的ルール, ヒューリスティック・ルール, ...}	記憶事例に基づく推論
モデル	論理　　λ計算 {Prolog, ...}　　{LISP, ...}	Connectionist Model
発達／学　習	知識獲得	Learning {Boltzamann,Error Propagation, ...}
計　算	逐次的, 決定的, 手続き的 von Neumann型	興奮・抑制の伝播 神経回路網
マシン	ディジタル・コンピュータ	超並列、超密結合コンピュータ Connection Machine 等によるシミュレーション
物理的特　性	もろい 小さい、局所的故障、ノイズにも弱い	強い 故障やノイズの程度に応じた性能劣化が起きる

兆しを見せ，現世代知識システムの本質であるシンボリズムとの対比の意味で，コネクショニズムの名のもとに，世界的な関心を集めている。超並列・超分散処理モデルであるコネクショニストモデルを信奉するコネクショニストといわれる一派が，コネクショニズムこそ将来世代知識システムの本命と標榜し，図表III-4-14に見られるようなシンボリズムからコネクショニズムへのパラダイムシフト現象〔Takeuchi 88〕が起こっていると指摘している。

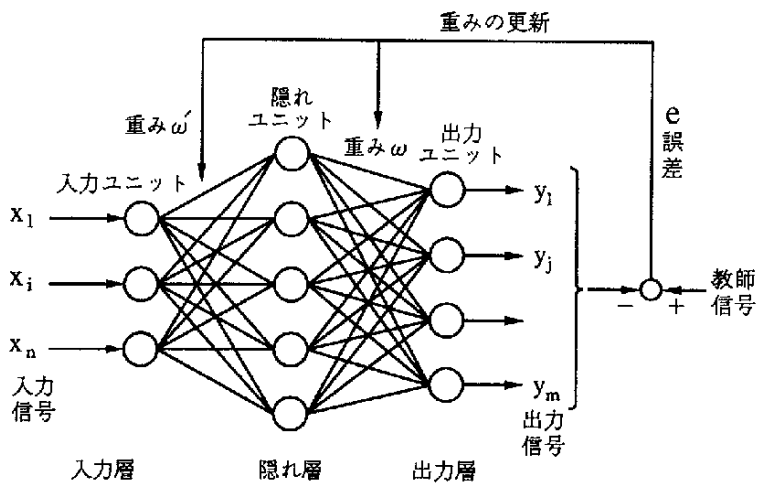
すなわち，古典的なシンボルに基づく知識表現形式からインターコネクション・パターンへの知識表現方式のシフト，ルールに基づく推論から記憶事例に基づく推論への推論方式のシフト，論理やラムダ計算といった理論モデルからコネクショニストモデルといった概念モデルへのモデルのシフト，知識ベースへの知識獲得からバックプロパゲーションやボルツマンマシンといった学習に基づく知識獲得への学習方式のシフト，等である。

コネクショニズムは，その出発点として，神経回路網にヒントを得た。コネクショニズムとは，単純な情報処理を行う多数のユニットが高密度のリンクで結線し，特定の中枢ユニットなしで，興奮性・抑制性のリンクを通して相互作用を行い，全体として複雑な知的能力を実現する情報処理機構の研究である。巡回セールスマン問題という莫大な計算量を要する問題が，コネクショニストモデルに基づく学習アルゴリズムで，多項式計算時間で準最適解を得られることが分かり，一躍コネクショニズムが注目されるようになった。さらに，コネクショニストモデルの学習方式は，現世代知識システムを構築するときの最大のボトルネックである知識ベースの〝知識獲得ボトルネック〟の自然な解決法を示している点が興味深い。

コネクショニストモデルの優れた点として，バックプロパゲーション法という学習法がある。バックプロパゲーション法は，図表III-4-15に示されるように，外界から入力ユニットに入力信号を入力し，隠れユニットを伝播し出力ユニットへの出力信号に変換され，教師信号が正解を提示し，出力信号と正解との誤差の2乗和をリンクの重みに関して極小になるように，各層間のリンクの重みを更新していく。したがって，この学習アルゴリズムは最小ではなく極小値に陥る危険性はある。

コネクショニズムのパターン情報処理への適用については，さまざまな視聴覚情報処理モデルへの応用例の開拓で実証されてきた。その工学的応用も文字や音声の認識・合成，三次元空間の認識・理解，実時間画像処理，実時間制御，自律分散制御といった分野で期待されている。例えば，前向き結線しか許容しないフィードフォワード結合だけをもつニューラルネットで，潜水艦と岩を水中のソナ

図表III-4-15 バックプロパゲーション法



一検出で見分けるニューラルネットの適用例や，音声合成システムNetTalkの成功が知られている。NetTalkの場合，人間の声道と類似の表現が生成されたという興味深い報告もある。また最近は文字認識への適用例や立体視への適用の研究発表も見られる。このようにコネクショニズムは信号レベルの低次情報処理との親和性が高く，その応用領域が急速に拡大している。コネクショニズムはカリフォルニア大学の認知情報処理モデルから始まったということから分かるように，その認知科学への適用の試みは多数ある。長期記憶や短期記憶といった認知科学でよく知られたモデルを提供するコネクショニストモデルも提案されている。コネクショニズムは元々，認知科学の新しいパラダイムとして生まれてきたが，これに対する批判・再批判も大変興味深い。人間の認知情報処理にはさまざまのレベルがあり，(記号処理を含む)高次情報処理ではシンボリズムが優位であり，(パターン処理を含む) 低次情報処理ではコネクショニズムが優位というのが素直な解釈なのではないかと思われる。

コネクショニズムのAIへの適用は，現在，その適用可能性がさまざまな試行錯誤を通じて開拓されつつある。AIへの応用を考える際，単純なフィードフォワード結合だけでは，その能力不足が指摘されており，内部状態の導入やフィードバックの導入が必要である。コネクショニズムのAIへの代表的な適用例は意味ネットワークへの応用であり，これには多くのシステムが試作されている。知識システムへの応用例では，分類型問題向けのエキスパートシステムが研究開発されている。これに対して，合成型問題へのコネクショニズムの適用は多くの困難な問題を抱えている。

今後，コネクショニストモデルは実時間制御を厳しく要求される分野，たとえばロボットの制御のような分野で，多くの応用可能性を秘めている。ニューロロボットの試作を通して，環境変化に対する適応可能性が再確認されている。パーセプトロン時代と異なり，各種のシミュレーション・ツールが（性能を含んで）急激に整備され，非線型の学習スキーマの適用が可能となった。今後，学習スキーマのさまざまな改良がなされ，コネクショニストモデルが初期ユニットや初期コネクションの設定問題といった〝芸術〟の状態から脱却したいものである。

10. 学習研究その他のアプローチ

学習研究は『知識獲得ボトルネック』解消に寄与しうると考えられるが，これについては第3部1.5知識獲得支援を参照されたい。ここでは，それ以外の応用領域に関する今後の課題を要約する。

10.1 状況意味論との接点:

J. BarwiseとJ. EtchemendyのHyperproof研究〔Barwise 88〕も興味深い。Hyperproofのアイディアは日常のすべての推論が記号でなく，情報の操作からなることに注目して生まれた。Hyperproofでは，視覚的に表示された情報と言語学的に分析された表示情報の両者を同時進行的に利用する。具体的システムがパソコンMacintoshのマルチウィンドウ上でインプリメントされている。左側上部に積木の世界の視覚的イメージが，左側下部に探索タスクの論理表現が与えられている。推論規則は右側上部に表示され，ユーザが任意にセレクトできるようになっている。質問が発せられると，質問を満足するあらゆるケースが図的に表示される。次いで，制約条件を満足するかどうかのチェックを，上記推論規則の適用で確認する。すると，幾つかのケースが振るい落とされていく。このような過程を，状況理論の状況に関するパラメータを用いて，きっちりと意味付けてあるわけである。Hyper-proofは認知工学でいう一種の直接実

行インタフェースである。

10.2 コラボレーション技術との統合:

集団でのブレインストーミングを支援する電子黒板システムColab〔Stefik 86〕は，2～6台のワークステーションがイーサネット結合された会議室で，黒板の代わりに大きなビデオプロジェクターが1台ある。収束的思考を支援するCognoterは比較的完成度が高いが，発散的思考を支援するArgnoterは今後改良の余地がある気がした。Colabのための会議室を実際に作ったということ，Colabを使うことで会議のやり方が一変したということ，現在もビデオによるプロトコル解析を続け改良中（特に，Argnoter）であることに感心した。Colabは，知識獲得の最も上流過程の知識整理支援に使えると確信した。なおColabはKJ法と類似の手法であるが，その設計思想はかなり異なる。AI技術と（ハイパーメディアを含む）コラボレーション技術の統合こそ，今後最も重要な検討課題である。なお本研究は，グループの知的生産性向上を目指したグループウェア〔Tazelaar 88〕研究の1つとしても注目されている。

10.3 ファジィ技術との統合

技能の習熟のため各種パラメータをチューニングするのに，ファジィ推論を用いることができる。プロダクションシステムの確信度は，ファジィ推論でのメンバシップ関数とみなすこともできる。ファジィ推論は，人間のもつ主観的曖昧さをうまく表現・処理できる手法である。AIシステムの高速化のための基礎技術として，地下鉄の自動運転，プロセス制御，交通制御といった制御問題に対する実用的アプローチとして大いに注目されている。国際ファジィ工学研究所（資料編を参照）の設立が決まり，専用チップ化やFuzzyLisp，Fuzzy Prologの研究開発も盛んである。ファジィ推論は並列処理向きであるとの指摘もある。

ファジィ推論に対する一つの批判は，このメンバシップ関数の与え方が恣意的であり，必然性がないことである。そこで，このメンバシップ関数の決め方として，コネクショニストモデルで，このメンバシップ関数を学習しようというファジィニューロ研究も生まれつつある。またファジィ推論だけに頼ると曖昧さの爆発という問題も起こる。この問題も各種シュミレータと併用することで，ある程度避けることができる。

10.4 ニューロ技術との統合

K.KonoligeとT.R.Daviesは，AI技術とニューロ技術を統合した超並列モデル・ベースド定理証明器の研究〔Konolige 88〕を行っている。基本的アイディアはモデル・ベースド推論図式の推論部を証明論的にシンボリズムで実行し，モデル上の計算部をコネクショニズムで実行しようとするものである。後者はドメインのモデルから計算により性質を抽出する部分である。これにより，シンボリズムのもつ記号実行の遅さと脆さを克服できるとのことであった。このシンボリズムとコネクショニズムのハイブリッド方式は極めて自然な結合方式であり，今後の発展が期待される。

ただし，この方式はあくまで1つのAI技術とニューロ技術の統合方式である。状況オートマタ・プロジェクトのREX〔Kaelbling 86〕という並列処理用シミュレーション言語を用いれば，シンボリズムとコネクショニズムが対等の立場で記述できる。シンボリズムとコネクショニズムのハイブリッド方式の本命は，対等の立場で両方向コールするものではなく，記号処理側が主導でニューロ処理に関するプロセスをコールするものと予想される。

10.5 知識表現のレベルの問題:

B.Clancyの専門は知識表現にあるが，所属する研究所が学習に関するありとあらゆる領

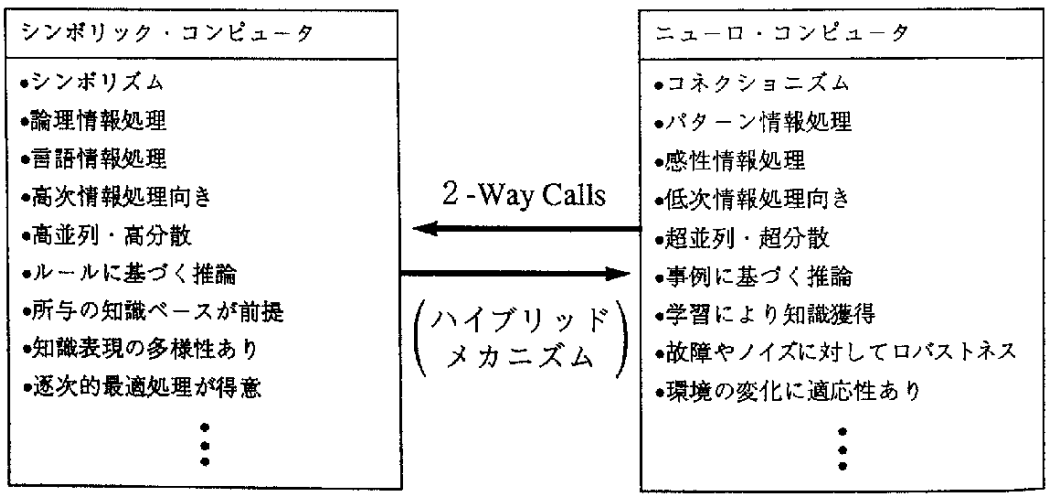
域（特に，認知科学と社会科学）の野心的統合を目指しているだけに，知識表現に関する関心も極めて一般的である。「知識表現にはさまざまなレベルがあり，認知や記憶のモデルを通して統合すべきである。AIのみが客観的真理を信じている。他の分野の人々は『知識は絶対ではない』と主張しており，客観的真理がないと信じている」という指摘は，AIベースの知識表現の権威だけに驚くべきものであった。ヨーロッパ社会学の弁証法的伝統から生まれたSociology of KnowledgeやCorrespondence-theory of Truthの話も，相互規定の相対論理といった知識の相対性を喚起しており，極めて興味深い。知性を記憶，行為，認知の連続体の中で捉えており，特に「記憶は構造ではない。記憶はプロセスの繰り返しである。」と指摘されたのが印象に残っている。

11. まとめ

コンピュータと人間の能力比較〔Sakai 86〕をすると，記憶のメカニズムは人間の方が複雑で高級であり，記憶の正確さはコンピュータの方が優れており，処理能力はコンピュータの方が単純かつ明確なものに対して高速で正確であり，判断のメカニズムは人間の方が複雑で高級であり，判断のスピードはコンピュータの方が高速といった特長がある。情報伝達，機能回復力，創造性においても，それぞれ長短がある。コンピュータの歴史は真空管，トランジスタ，IC，VLSIといった素子の進化で特徴づけられ，それぞれ第1世代，第2世代，第3世代，第4世代コンピュータといわれるが，その基本原理はすべてプログラム内蔵，線形番地記憶，逐次処理に基づくフォンノイマン方式である。電子の移動速度の限界という素子技術の壁が見え始めた現在，新たに並列分散処理アーキテクチャを基本とする非フォンノイマン方式に基づく第5世代コンピュータを研究開発することは極めて有意義なことと認識され，実際，1982年以降各種プロジェクトが推進されてきた。

コンピュータの世代の急速な進化のなかで，コンピュータが取り扱う情報処理媒体は，符号情報，手続き情報，論理情報，ファジィ情報，パターン情報，感性情報と着実に知識情報処理指向の方向に進展しつつある。すなわち，より柔らかく，より協調的，より創造的な知識情報処理ができるように，コンピュー

図表III-4-16　シンボリズムとコネクショニズムの融合



タは進化しつつある。そのような研究開発の流れのなかで，シンボリズムに基づくシンボリックコンピュータとコネクショニズムに基づくニューロコンピュータの長短が，現在，次第に分かりつつある。最初にコンピュータと人の長短と思っていた特徴の幾つかが，実はシンボリックコンピュータとニューロコンピュータの長短であった。人間の頭脳という存在証明をモデルとするバイオコンピュータの実現に向けて，人間はありとあらゆる叡知を結集し，今後ともさまざまなアーキテクチャのニューロコンピュータ，ファジィコンピュータ，シンボリックコンピュータを実現し続けるであろう。将来世代知識システムは，最終的にはヒューマンインタフェースの優れたコンピュータをフロントエンドとし，個々の専用機能は問題向きのバックエンドコンピュータが処理する最適機能分散システムとして実現されるであろう。しかしながら，当面の研究開発課題として，図表III-4-16に示されるような，コネクショニズムとシンボリズムのハイブリッドアーキテクチャを検討することは，極めて有意義なことであり，実際そのような研究戦略も，現在，あちこちから提案されつつある。

〈参考文献〉

〔Angulin 83〕 Angluin, D. and Smith, C.H.: Inductive Inference-theory and methods, Computing Surveys, Vol.15,No.3., 1983, pp. 237-269.

〔Angluin 87〕 Angluin, D.: Learning Regular Sets from Queries and Counter examples, Information and Computation, Vol. 75, 1987,pp.87-106.

〔Anzai 89〕 安西祐一郎：認識と学習，岩波講座ソフトウェア科学16，岩波書店，1989年2月.

〔Barwise 88〕 Barwise, J. and Etchemendy, J.: A situation-theoretic account of reasoning with Hyperproof, ATASS Meeting at Asilomar, Dec. 1988.

〔Blum 75〕 Blum, L. and Blum, M.: Toward a Mathematical Theory of Inductive Inference, Information and Control, Vol. 28, 1975,pp.125-155.

〔Cheeseman 88〕 Cheeseman, P., Self, M., Kelly,J., Taylor, W., Freeman, D. and Stutz, J.: Bayesian Classification, AAAI-88.

〔Cheeseman 88〕 Cheeseman, P., Kelly, J., Self, M., Stutz. J., Taylor, W. and Freeman, D.: AutoClass: A Bayesian Classification System, 1988 Machine Learning orkshop-Proceedings, Apr. 1988.

〔Chen 89〕 Chen, F.R. and Shrager, J.: Automatic Discovery of Contextual Factors Describing Phonological Variation, Proc. of DARPA Speech and Natural Language Workshop, Feb.1989.

〔Cohen 84〕 Cohen, P.R. and Feiganbaum, E.A. (eds.) ,田中幸吉，渕 一博監訳：人工知能ハンドブック第III巻，共立出版，東京，1984.

〔Davis 82〕 Davis, R., Lenat, D.B.:Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence,McGraw-Hill, Inc.,1982.

〔Falkenhainer 88〕 Falkenhainer,B., Forbus,K.D. and Gentner,D.: The Struture-Mapping Engine: Algorithm and Examples, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, Report No. UIUCDCS-R-87-1361,July 1987.

〔Furukawa 86-1〕 古川康一・溝口文雄共編：メンタルモデルと知識表現，共立出版，1986.

〔Furukawa 86-2〕 古川康一・溝口文雄共編：知識の学習メカニズム，共立出版，1986.

〔Furukawa 88〕 古川康一・溝口文雄共編：知識プログラミング，共立出版，1988.

〔Goebel 88〕 Goebel, R.: A Hypothetical

Reasoning-based Specification of Analogical Reasoning,Oct. 1988.

〔Gold 67〕 Gold,E.M.,Language Identification in the Limit, Information and Control 10, 447-474,1967.

〔Haraguchi 86〕原口 誠, 有川節夫：類推の定式化とその応用について, 人工知能学会誌, Vol. 1, No.1,1986,pp.132-139.

〔Jinkou 87〕人工知能学会編：人工知能学会誌－小特集 高次人工知能へ向けてのパラダイム, Vol.2 No.1,1987年3月.

〔Kaelbling 86〕 Kaelbling,L.P.: REX Programmer's Manual,SRI International,Technical Note 381,May 1986.

〔Kawakita 70〕川喜田 二郎, 牧島信一編, ：問題解決学－KJ法ワークブック, 講談社, 1970.

〔Keisoku 86〕計測自動制御学会編：計測と制御―ミニ特集 学習, Vol.25 No.9,1986年9月.

〔Konolige 88〕 Konolige, K. and Davies, T.: Proposal for a highly parallel,model based thorem prover,Sept. 1988.

〔Kunifuji 85〕 國藤 進,北上 始, 宮地泰造, 古川康一：知識工学の基礎と応用〔第4回〕－Prologにおける知識ベースの管理－, 計測と制御, Vol.24 No.6, 1985年6月, pp.539-548.

〔Kunifuji 86〕 國藤 進,鶴巻宏治, 古川康一：仮説選定機構の一実現法, 人工知能学会誌, Vol.1 No.2,Dec.1986,pp.228-237.

〔Kunifuji 87〕 國藤 進,横森 貴: 知識獲得と演繹・帰納・発想, 認知科学会, 学習と対話研究分科会SIGLAL87-1- (6), 1987.

〔Kunifuji 87〕 國藤 進:コネクショニズムの展望 (II) 人工知能の観点からの期待, 情報処理, Vol.29,No.9,pp.993-999,1988.

〔Laird 89〕 Laird,P.: A Survey of Computational Learning Theory, NASA Ames Research Center, Report RIA-89-01-07-0, Jan. 1989.

〔Lenat 86〕 Lenat,D.,Prakash,M.,and Shepherd,M.: CYC: Using Common Sense Knowledge to Overcome Brittleness and Knowledge Acquisition Bottlenecks, AI Magazine,Vol.6 No.4,1986,pp.65-85.

〔Matsuyama 89〕 Matsuyama,T. and S. S. V. Hwang: SIGMA,Plenum,1989 (to be published).

〔McClelland 87〕 McClelland,J.L.,Rumelhart,D.E., and The PDP Research Group: Parallel Distributed Processing, 1-2, 1987.

〔Michalski 86〕 Michalski, R.S. et al. (eds.) : Machine Learning Vol.II, Tioga Pub. Co.,1986.

〔Michell 86〕 Mitchell,T.M.,Keller,R.M. and Kedar-Cabelli,S.T.:Explanation-Based Generalization -A Unifying View, Machine Learning,Vol.1,No.1,1986.

〔Mayr 88〕 Mayr, E.W.: Parallel Approximation Algorithms,Proc. of FGCS'88,TokyoPrince Hotel,Dec. 1988.

〔Miyano 88〕 Miyano,S.: Parallel Complexity and P-Complete Problems,Proc. of FGCS'88,Tokyo Prince Hotel,Dec. 1988.

〔Muggleton 88〕 Muggleton,S.and Buntine, W.: Machine Invention of First-order Predicates by Inverting Resolution,Proc.of 5th Int. Conf. on Machine Learning,1988.

〔Nordhausen 89〕 Nordhausen, B. and Langley,P.: An Integrated Approach to Empirical Discovery,Feb.5,1989.

〔Polya 59〕 Polya,G.著, 柴垣和三雄訳：数学における発見はいかになされるか, 1, 帰納と類比, 丸善, 1959.

〔Poole 85〕 Poole, D., Aleliunas,R. and Goebel,R.:Theorist:a logical reasoning system for defaults and diagnosis, submitted as a chapter in the volume Knowledge Representation, N. J. Cercone & G.McCalla

(eds.) .IEEE Press,1985.

〔Reiter 88〕 Reiter,R. and Mackworth, A. K.:A Logical Framework for Depiction and Image Interpretation, University of British Columbia, Tech. Rep. 88-17, Aug. 1988.

〔Sakai 87〕坂井利之: 知能的情報処理, 電子情報通信学会誌, Vol.70,No.7,1987.

〔Sakakibara 88〕 Sakakibara,Y.:An Efficient Learning of Context-Free Grammars for Bottom-Up Parsers,Proc. of FGCS'88, Tokyo Prince Hotel,Dec. 1988.

〔Shapiro 82〕 Shapiro,E.Y.: Algorithmic Program Debugging,The MIT Press,1982.

〔Shapiro 86〕 Shapiro,E.Y.著, 有川節夫訳, 知識の帰納的推論, 共立出版, 東京, 1986.

〔Stefik 87〕 Stefik,M.,Foster,G.,Bobrow,D. G.,Kahn,K.,Lanning,S., and Suchman,L.: Beyond the Chalkboard: Computer Support for Collaboration and Problem Solving in Meetings, CACM,Vol.30 No.1,Jan.1987, pp. 32-47.

〔Stickel 88〕 Stickel,M.E.:A Prolog-like Inference System for Computing Minimum-Cost Abductive Explanations in Natural-Language Interpretation, SRI International Tech. Note 451, Sept. 1988.

〔Takeuchi 88〕 竹内彰一: Connectionism-Connectionism Symposium に出席して, コンピュータソフトウェア, Vol.5, No.1,pp.71-80,1988.

〔Tazelaar 88〕 Tazelaar,J.M. (ed.) :Groupware,BYTE,pp.242-282,Dec. 1988.

〔Titeki 88-1〕 知的情報処理システム調査研究委員会(編)：知的情報処理システムに関する調査研究報告書, 第1分冊 計画・設計型知識システムの構築方法論, ICOT-JIPDEC AIセンター, 1989年3月.

〔Titeki 88-2〕 知的情報処理システム調査研究委員会(編)：知的情報処理システムに関する調査研究報告書, 第3分冊 知識獲得支援, ICOT-JIPDEC AIセンター, 1989年3月.

〔Valiant 84〕 Valiant,L.G.: A Theory of the Learnable, CACM,27-11,1984.,pp.1134-1142.

〔Winston 80〕 Winston,P.H.: Learning and Reasoning by Analogy, CACM,Vol.23,No. 12, 1980,pp.689-703,.

〔Yonemori 81〕 米盛裕二,1981:パースの記号学, 勁草書房.

第IV編　AIシステム事例

第1部 エキスパートシステム

1．排煙脱硫装置運転支援システム

1.1 背景

関西電力㈱ではAI技術を将来実用化するとの基本構想のもとに，原子力発電所，火力発電所，給電・系統制御部門などの運転・故障判断の支援を中心としたエキスパートシステムを導入していく計画を持っている。

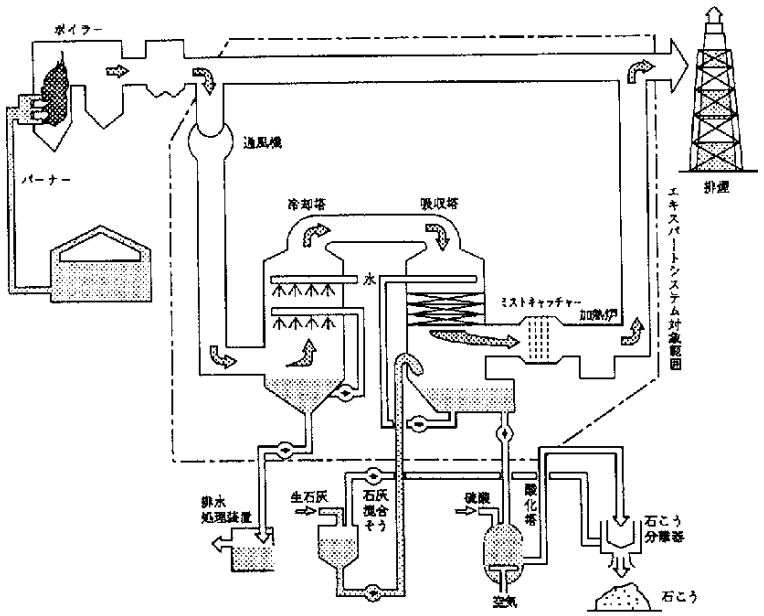
そこで，連続プロセスの運転支援に対するAIソフトツールのあり方，知識のドキュメント化の方法，次第に知識量を拡大する場合の適合化等の基本技術の獲得に重点をおき，将来の実用化に向け，その可能性を評価することを主な目的として，排煙脱硫装置の運転支援システムを試作した。このシステムでは機能検証をスムーズに進めるため，音声入出力装置やタッチパネル等をマンマシンインタフェース機器として使用し，親和性の高いシステムとなっている。

1.2 運転支援システムの概要

(1) 対象範囲

試作システムは火力発電所の排煙脱硫装置を対象として，異常時における故障原因究明と対応操作ならびに平常時における毎日の起動停止（Daily Start Stop:DSS）運転操作を支援することとした。システムの対象範囲は，排煙脱硫装置の中でもメインプロセスである冷却，吸収，再加熱工程とし，センサでは検知できない「スラリー系の詰まり」等を早期に発見するための異常予知警報と対応処理をガイドするものとした。排煙脱硫装置の概要は図表IV-1-1に示すとおりである。

図表IV-1-1 排煙脱硫装置の概要図



(2) ハードウェア構成

ハードウェアは，推論処理を専用に行う逐次型推論マシンとデータ処理やマンマシンインタフェースを専用に行うスーパーミニコンとのハイブリッド構成である。マンマシンインタフェース機器としてはグラフィックディスプレイおよび音声認識装置を使用した。

(3) ソフトウェア構成と機能

ソフトウェアのうち，

異常時の支援およびDSS運転操作支援の機能は，次のとおりである。

異常時の支援ソフトウェアは，プロセスから受け取ったデータを推論に使えるように加工する「データ処理部」，原因究明や対応操作ガイドを受け持つ「推論処理部」，推論処理に必要な知識を格納する「知識ベース」，音声認識や画面表示を扱う「マンマシンインタフェース部」等から構成している。

推論部では，状況認知に対してはプロダクションルールによる前向き推論を，原因究明に対しては機能表現モデルによる推論を使用している。このシステムでは従来の警報にはない新しい概念（異常予知）を導入し，異常が起こる以前の徴候を運転員に提示することによって，知的なプロセス監視を支援することを特徴としている。異常時支援機能構成図は，図表Ⅳ-1-2に示すとおりである。

推論処理部には状況認知，原因究明，対応操作ガイド生成，推論過程説明の4つの機能から構成されている。これらの機能は運転員の「監視」，「異常検知」，「状況判断」，「原因究明」，「対応操作の判断」という思考のパターンに沿った手順で動作するような枠組みとした。

DSS運転操作支援ソフトウェアは，発電機の並列予定時刻を入力することにより，シーケンサの起動停止操作スケジュールが管理され，操作時刻になると，自動的に音声による告知とディスプレイ表示によって運転員に注意を喚起するようにした。

1.3 マンマシンインタフェースの概要

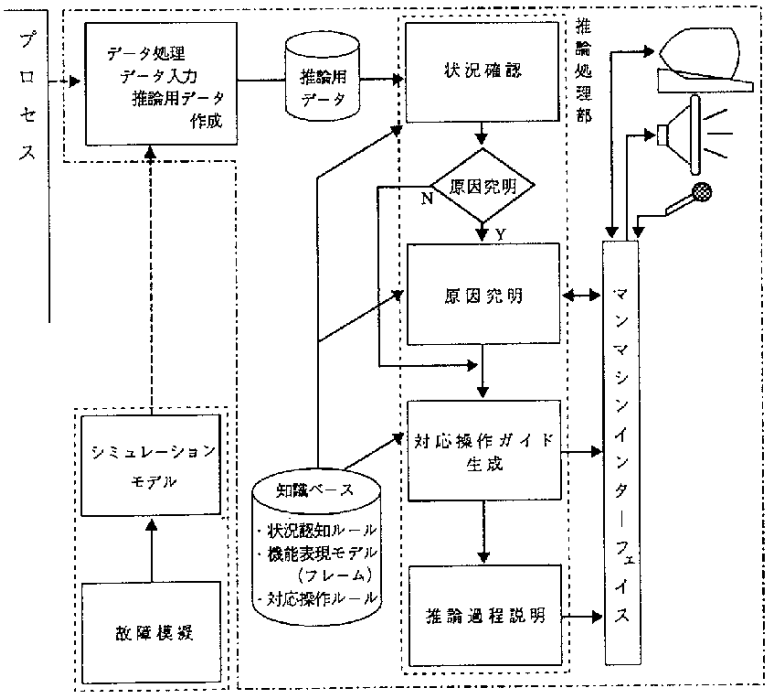
(1) 運転員へのメッセージの編集

運転支援システムの目的を果たすためには推論の基本機能により導かれた異常状態，注意報，異常箇所，異常原因，対応操作などを運転員に対して有効に表示する必要がある。このために設けたものがガイド生成機能と推論過程説明機能である。

ガイド生成機能は推論で得られた情報をディスプレイ表示メッセージと音声出力メッセージとして編集し，推論過程説明機能は異常の検出から原因の特定までの推論の過程を運転員に提示するものである。

両機能共に主な処理内容は文章の編集であり，推論によって得られた可変情報（注意報，異常箇所，異常原因等）をあらかじめ用意した説明文の中に埋め込むことによってガイド文あるいは説明文を生成する方式である。

図表Ⅳ-1-2　異常時支援機能構成図



図表Ⅳ-1-3　ガイド文生成の例

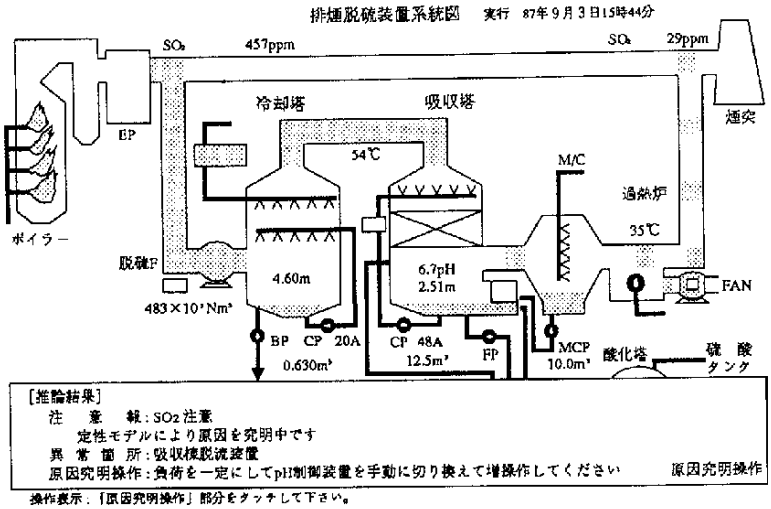
ディスプレイ表示ガイド

異常箇所　：　装置名
異常原因　：　原因1または原因2または・・・または原因N
対応操作　：　対応操作ガイドフォーム

音声出力ガイド

装置名が原因1または原因2または・・・または原因Nにより異常です。
対応操作ガイドフォーム

図表Ⅳ-1-4　注意法検出時のディスプレイ表示例



図表Ⅳ-1-5　マンマシンインタフェース機能一覧

マンマシンインターフェイス機能一覧		ディスプレイ,パネル他			音声認識装置	
		グラフィックディスプレイ	タッチパネル	キーボード	出力	認識
DSS支援	スケジュール設定	○		○		
	スケジュール警報	○			○	
	DSS確認操作支援	○	○	○		
	操作時確認事項表示	○	○			
監視情報表示	系統図表示	○		○		
	DDSスケジュール表示	○		○		
	トレンド表示	○	○	○		
	パイチャート表示	○	○	○		
	現場操作参考図表示	○	○	○		
推論結果インターフェイス	推論結果（結果）	○			○	
	推論結果（質問）	○		○	○	○
	推論結果（原因究明操作）	○	○		○	
	プラント状況入力	○	○	○		○

ガイド文生成の例は図表Ⅳ-1-3のとおりである（下線部が可変情報）。また，系統図およびディスプレイ表示のガイド文例は図表Ⅳ-1-4に示すとおりである。

(2) 音声による入出力

センサでは入力しにくい情報（音，画像）を人間の聴覚や視覚を経由して運転員の音声によって運転支援システムに入力するため，音声認識装置を使用した。

音声による入力は，マイクから入力された音声と波形が一番似かよった単語をすでに登録済みの単語群の中から探し出す方式である。入力操作の省力化という点で効果がある。音声出力は明瞭度を向上させるため，音声合成による部分を少なくし，出力したい単語を事前に登録しておき，これらの単語を任意に連結編集しながら出力する方式を採用した。音声は現場の機械音と区別しやすいように女声を使用した。

(3) グラフィックディスプレイその他

音声入出力の他にマンマシンインタフェース用の周辺装置として

タッチ入力機能付きのグラフィックディスプレイを用いた。これらの機能は図表IV-1-5のとおりである。

1.4 まとめ

今回の試作により，マンマシンインタフェースも含め，連続プロセス系における運転支援システムの基本的な枠組みを固めることができた。

推論機構や知識ベースだけでなく，実プロセスとのインタフェース等にも解決すべき問題が残されているが，運転員へのよきアドバイスができる運転支援システムとして，従来の技術ではできなかったシステムの実現が可能になってきた。

リアルタイムで動作する運転支援システムを実用化していくためにはマンマシンインタフェースの改善，データ入力方法の改善といった大きな問題を解決していかなければならないが，運転支援システムへのAI応用技術が急速に進展しており，現場サイドからの支援システムに対するニーズも高まっていることから実用化に向けてさらに研究を進める必要がある。

2．土木構造物耐震設計コンサルテーションシステム

2.1 背景

建設業では，長年の実績で得たノウハウが企業の貴重な財産となっている。したがって，蓄積した知識をコンピュータシステムとして高品位に安定化し活用することは，企業活動に大きな意義を持っている。近年，知識工学を応用してこのようなエキスパートシステムを開発することが可能となり，建設業の将来の技術力を担うものと期待が寄せられている。

鹿島建設㈱ではこのような背景のもとに，情報・設計・工務・施工・研究の各部門からなる全社的なプロジェクトチームを編成して，各種のエキスパートシステムの開発を推進している。ここでは，その中から土木構造物の耐震設計に適用している例を紹介する。

2.2 システムの概要

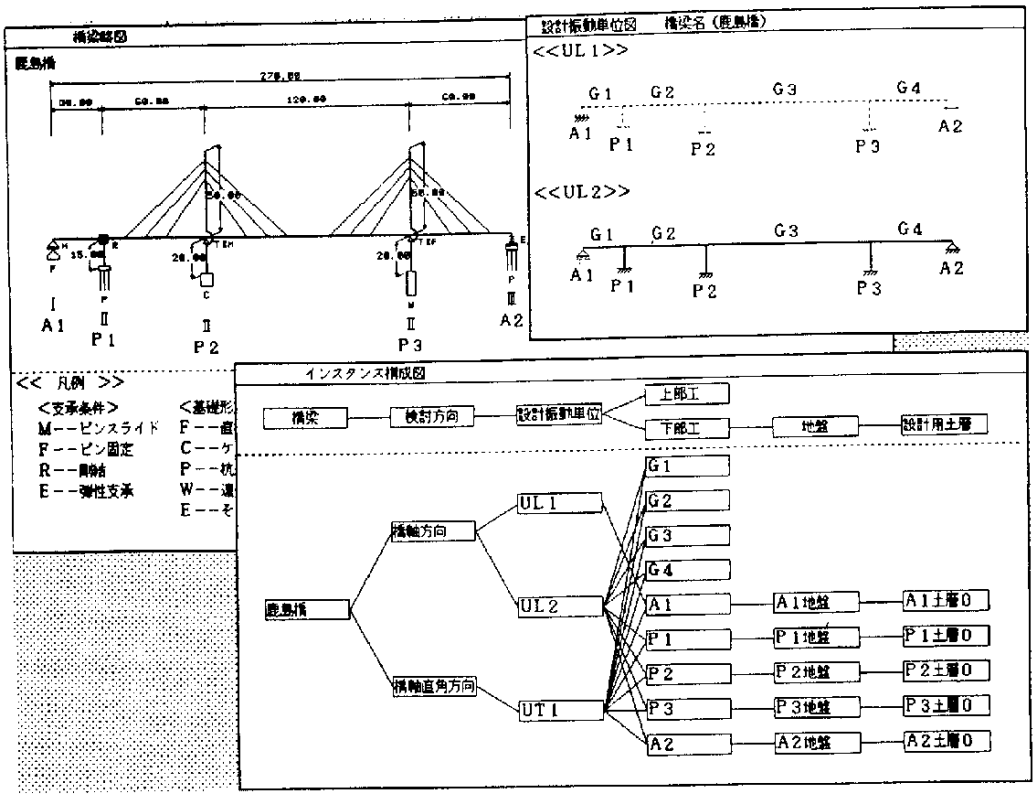
地震の多いわが国では，公共用途に供する土木構造物が地震発生時に安全であることが重要である。このため，各種の法規制や基準およびそれらを満たすための設計方法や構造解析法が数多く整備されている。しかしながら具体的な計算は解析手法とコンピュータの進歩により飛躍的に高度化しているものの，解析の前段階の設計検討に関しては経験のある専門家に頼りがちである。

このシステムは，土木構造物の設計段階での地震時安全検討において，構造物がどのような基規準に準拠すべきか，また実際にどのような設計や解析を行うべきかを判断するためのコンサルテーションシステムとして位置づけられる。すなわち基規準の解釈や過去の実績に基づいたノウハウを正しくシステム化して，経験の浅い設計者でもワークステーションと対話する形で容易かつ的確に耐震検討が行えることを目的としている。

例えば石油・液化ガス等の燃料貯蔵関連施設の設計を行う場合には，内容物，使用目的，地域，規模等により，法規上で該当する構造物の定義を導出し，適用すべき基規準の選定，設計震度の算定等を行う。また橋梁を設計する際には，計画されている橋の重要度，地域，地盤，形式，橋脚・桁の諸元等から，設計振動単位を構成し，設計震度の算定，動的解析の要否の判定，保有耐力の照査等を行う。設計者がこれらの結果をすばやく得ることで，計画の問題点を早期に解決したり，最適な部材形状を決定したりすることができる。図表IV-1-6にシステム操作画面の例を示した。

コンピュータシステムとしては以下のような特徴を持っている。

図表IV-1-6　システム操作画面の例



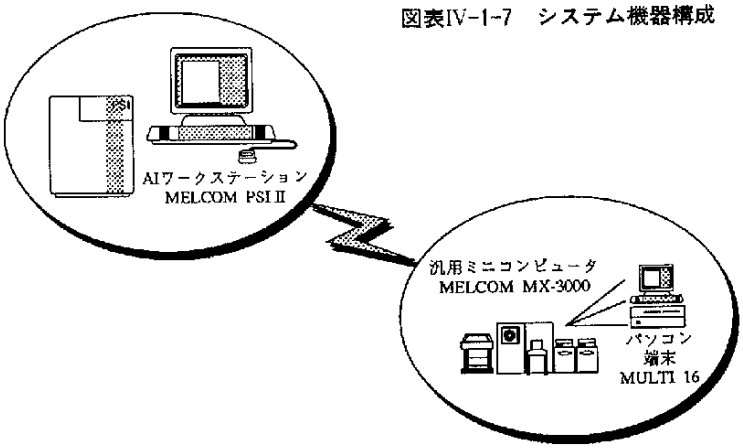
① 設計の段階に沿って，得られている条件の多少や精度に応じたコンサルティングを行う。

② コンサルティングの結果として得られる設計対象物のオブジェクト構成をデータベースとして保存し，設計が進んだ後の再検討を容易にする。

③ 検討機能の自由な選択，メニュー，表形式，概略図による柔軟な入力や改変等操作性に優れている。

このシステムはMELCOM PSI-II上にオブジェクト志向論理型プログラミング言語ESPを用いて構築されている。また，汎用コンピュータMELCOM MX-3000の端末機から通信回線を利用しデータを授受することができる。システム機器構成は図表IV-1-7のとおりである。

図表IV-1-7　システム機器構成



2.3 開発経過

開発に当たっては，エキスパートシステムの開発の全社的なプロジェクトチームにワーキンググループを編成し，設計部門のエンジニア3名，情報システム部門のエンジニア3名が担当し，これに三菱電機㈱共同研究スタッフが参加して約2年間を要している。知識ベースとなるノウハウは，何らかの形でオーソライズされたものが望ましいが，細部の解釈などについては特定のエンジニアの固有経験が反映するのはやむを得ない。開発と並行して，その知識の位置づけや活用する定義について評価が行われた。

システムの作成では，ノウハウを完全に整理し仕様をまとめてから着手するのではなく，とりあえず動く核となる部分を作成しておき，それに付け加えていくプロトタイピングの手法が採られた。これは漠然としがちなシステムの実像を早期に具体化して，専門のエンジニアによる検証，改良，拡張といったサイクルを早める効果があった。また知識の表現形式として述語（プロダクションルール）の形だけに限定することなく，表，分類木，階層図，手続き，関係ネットワークなどの多様な表現を工夫することで，ノウハウを整理しやすくかつ知識ベースを柔軟な構造にしている。知識表現形式の中では，構造物の構成をフレームの階層構造で表現しオブジェクト指向の考え方でソフトウェア化したことが，オブジェクト（物）としての設計対象に関心が強い技術領域にとって最も有効であった。

2.4 システムの評価

1回のコンサルテーションに要する時間は，人手で1～2日間であったものが諸条件の入力を含めて40～50分となり，時間的な短縮効果が大きい。また，比較的初心者にも技術水準の高い検討が見落としなく行えること，耐震設計の考え方が系統的に整理されていて理解しやすく間接的に最適設計を狙えること等が大きな効果となっている。ただしシステムが扱える問題はあくまでも通常の設計の範囲内であって，非常に特殊な場合には専門エンジニアの判断に頼らざるを得ない。その意味で人間の能力を超えるようなエキスパートシステムではない。むしろ人間と同様に，それなりの実績を積み重ね機能を付加していくことで，エキスパートとしての信頼が得られるものと考えられる。

さらにオブジェクト指向論理型プログラミング環境は，計算以外の論理的または構成的な設計行為をソフトウェア化するのに適しており，プロトタイピングと開発の効率化に大きく寄与した。これは，常に成長を余儀なくされるエキスパートシステムのメンテナンスの容易さにも通じる。

このような効果の反面，想定している適用範囲を逸脱した問題に対して無力になりやすい，根本的な原理からの説明が自動的にできない，格納知識の水準に比して知識の整理やプログラミングの労力が未だ大きい等の問題点が挙げられる。特に第五世代プロジェクトの中間成果であるコンピュータ環境は，素材としては高機能ながら，一般の技術者がシステムを作成するには知識表現形式のバラエティやヒューマンインタフェースの充実等の課題が指摘されている。

2.5 今後の取り組み

システムの今後の課題には以下の項目が挙げられる。

① 設計図の自動作成
② 解析のための計算システム全体の統合
③ CADを組み込んだ総合設計システムへの発展
④ 実績に基づく自動学習

AIやエキスパートシステムの実利用は，未だ緒についたばかりである。しかし，その状況は数値計算や事務処理システムが登場した

頃に酷似している。すなわち，将来の可能性と影響の大きさに期待して産業界は一斉に取り組むものの，結果的にそれが普遍化するにはやはり地道な長い努力を必要とするのが実状である。適応企業においても，建設に関わる知識のように幅広い工学的な知識のシステム化を，継続的に推進していくと共に，実務的な課題に先端技術手法の適用を試みて新しい基礎研究を喚起する必要がある。

〈参考文献〉

T. Wada, M. Matsuda, "A Consulting Expert System for Aseismic Design," Proceedings of Third International Conference on Computing in Civil Engineering, PP. 133-140, 1988.

和田，松本，磯岩，松田，「耐震設計コンサルテーションシステムの開発」，土木学会第43回年次学術講演会講演概要集，VI-5，38-39頁 1988.

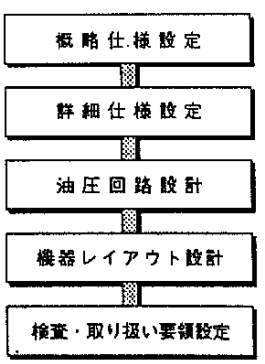
3. 油圧回路設計支援エキスパートシステム

3.1 開発動機および目的

各種油圧機器のトップメーカーであるカヤバ工業㈱は，油圧回路設計を支援するエキスパートシステムを開発した。

油圧回路設計業務は，その一連の仕事の流れからみると，図表IV-1-8に示す位置づけにある。その全体に占める工数割合は一般的に40%前後である。また油圧回路設計業務自体は，図表IV-1-9に示すように回路設計，回路の圧損を求める静解析，過渡応答を求める動解析，回路を構成する機器選定，および回路図面の検査（検図）から構成されている。これらを大別して，設計，解析，検図プロセスと呼ぶことができ，これまで各プロセスはそれぞれのエキスパート（専門家）に委ねられ，多くの時間と人的資源を必要としていた。例えば，解析専門家はさまざまな回路解析と実験との豊富な実施例をもとに，実用回路の的確なモデル化と解析結果の評価ノウハウを持っており，検図専門家は通常長年の設計経験を積んでいるために豊富な設計ノウハウ，失敗事例とその対策法を持っている。こうした各専門家が担当するプロセスが独立しているために，再設計，再解析，再機器選定，再検図と繰り返しが生ずる場合の損失が大きく，設計プロセスを集約する必要があった。一方，経営的側面からは間接部門の生産性向上という強い要請があった。

図表IV-1-8 仕事の流れからの油圧回路設計業務の位置付け

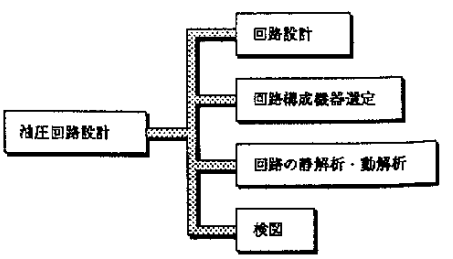


これらのニーズに基づいて，①完全な回路設計CAD機能，②回路構成機器選定支援機能，③さまざまなノウハウをもとにした検図機能，④解析ノウハウを組み込んだ解析モデルの自動生成機能，⑤自動数値シミュレーションの一連の機能を実現することで，設計者の生産性向上と，設計品質を一定水準にコントロールすることを目的とした「油圧回路設計支援エキスパートシステムOHCS（Oil Hydraulic Circuit Simulator）」を開発することとした。

3.2 開発期間および環境

本システムの開発環境とデリバリー環境は

図表IV-1-9 油圧回路設計業務の内容



同じで，ハードウェアにシンボリックス社製記号処理コンピュータを，ソフトウェアにCommon Lisp言語とFlavors(オブジェクト指向言語)，およびエキスパートシステム開発ツールARTを使用している。現在のシステムの姿からみると，7割をCommon LispとFlavorsで占め，3割をARTで占めている。また，システムは700ルールと2,000スキーマ(フレーム)を持っており，一般的な回路設計の稼動時には80M Byteを必要とする。開発期間は，約1年半を要した。

3.3 システム構成および機能

システムは，図表IV-1-10に示すとおり，①ユーザインタフェース，②推論エンジン，③知識ベース，④数式処理，⑤数値シミュレータ，⑥オブジェクト指向データベースの6つの主要なサブシステムから構成されている。これらのサブシステムを使って，次の5つの機能を実現している。

(1) 回路設計機能

この機能は，従来のCAD機能を包含して，さらに③～⑥の機能を実現するために，ユーザが描く回路図の意味情報を構築する。図表IV-1-11に示す画面のユーザインタフェースの右下部の油圧記号メニューにあるアイコンを，マウス操作によって選択して図中央部の油圧回路図面上で図面作成を行う。油圧記号は，150個のグラフィックアイコンからなり，それらは階層化メニューの形になっている。このグラフィックアイコンは，油圧機器のシンボリックな表現であると共に，回路図に対するその特徴のすべてを内部的に表現している。つまり，図表IV-1-10の知識ベースの油圧要素もリレーションによってこれらのアイコンに対応しており，回路図がかかれると同時に，各油圧要素インスタンスもアイコンと論理従属関係を持ちながら生成されていく。知識ベースの中の油圧要素には，その特徴を属性の形で記述してある。こうした完全な回路表現ができる回路記述言語をOHCSは持っている。

(2) 機器選定機能

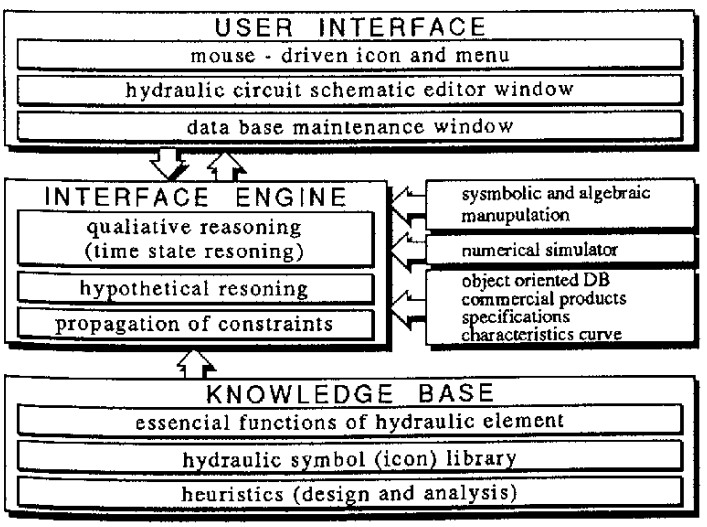
回路図が完成すると，図表IV-1-12に示す画面の右部に部品表が自動生成される。この部品表は実製品型式選定用メニューとなっており，マウス操作により，オブジェクト指向データベースを検索し，製品仕様，性能値をスキーマのスロット属性値として得ることができる。

このように，多種多様な属性からなる実製品データを知識ベースとして分離することで，推論サイクルの負荷を軽減している。

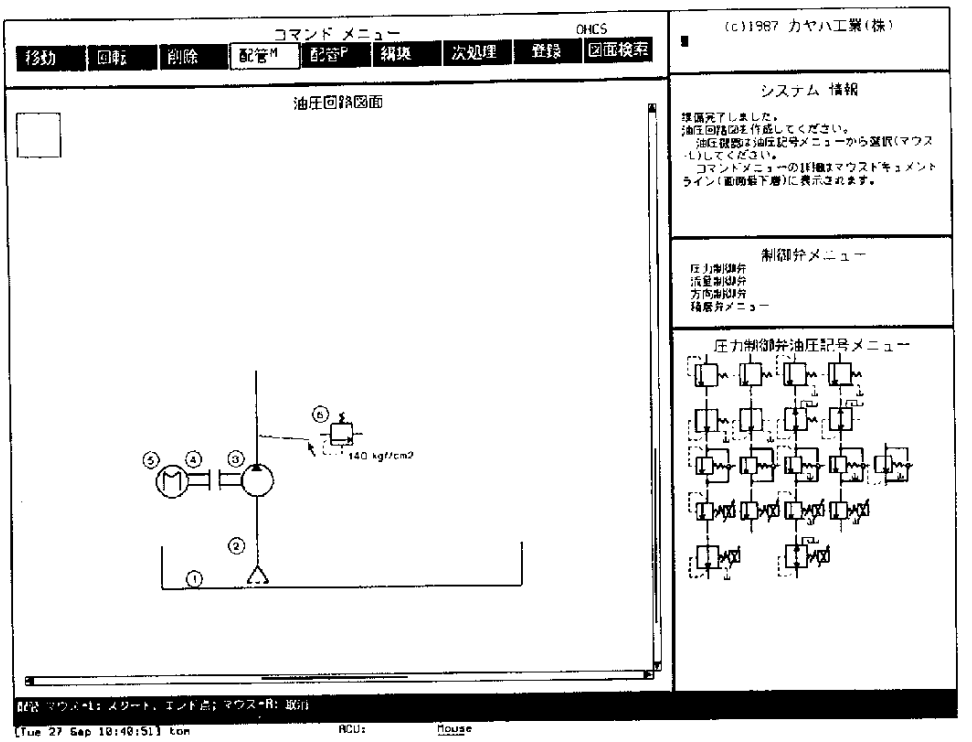
(3) 検図機能

検図専門家が図面の背後にある情報を読むという行為を，OHCSが定性推論を使ってそれを行う機能である。「ポンプから出た油が切り替えバルブを通り‥」という流れ経路探

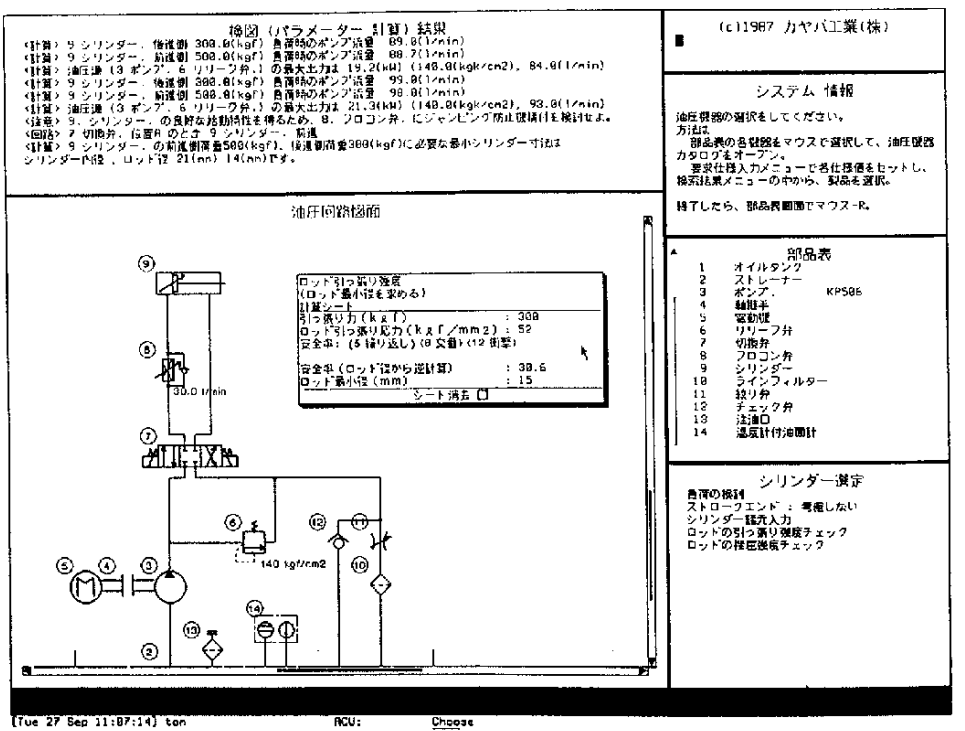
図表IV-1-10 システム構成図



図表Ⅳ-1-11　回路図作成例



図表Ⅳ-1-12　製品型式選定および検図例



索，および回路構造上のノウハウなどにより，図表IV-1-12の画面上の検図結果に示すように「ポンプとリリーフバルブから構成される油圧源の馬力を求め電動機選定上のアドバイス」をしたり，「シリンダ設計上のパラメータ推奨値」を表示する。

検図結果によって，回路図の修正が行われる場合には，回路図の編集，訂正に伴うインスタンスの管理をOHCSはTMS（Truth Maintenance System: 論理的一貫性を保持する機能）によって，効率よく管理している。

(4) 解析モデルの自動生成と数値シミュレーション機能

先のOHCS回路記述言語にインタープリットされる際に，微分方程式も生成されており，最終的には，回路全体を表現する連立微分方程式が得られる。この連立微分方程式を，定性推論で得られた回路トポロジー，制約条件伝播法，解析ノウハウ，数式処理によって処理している。非線形要素を含む場合には，区分線形化法と仮説展開型推論を用いている。こうして得られるシミュレーション結果は，先の機器選定，検図にフィードバックされる。

本システムは，定性推論レベル，仮説推論レベル，メタレベルからなる多重階層化黒板モデルである。

3.4 システムの評価と今後の計画

本システムは1988年から実用されており，システム構築での初期の目標を達成している。

OHCSは設計業務全般の一部を担うものとして位置づけているが，今後は回路設計以前の仕様獲得，品質表展開，および回路設計以降のレイアウト図作成，QA (Quality Asuarance) 表作成などの業務についてもエキスパートシステム化していく予定である。

〈参考文献〉

〔1989, NAKASHIMA〕 Y. NAKASHIMA, T. BABA. OHCS: Hydraulic Circuit Design Assistant. In Proceedings of the First Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence, American Association for Artificial Intelligence, 1989.

4．機械材料選定システム

4.1 システム開発の背景

AIシステムの研究開発を行っている㈱三菱総合研究所は，機械の材料選定を支援するシステムを開発した。

機械技術者の設計業務を支援するコンピュータシステムが持つべき基本機能は，①CAD／CAMシステム，②機械挙動のシミュレーションシステム，③データベースの3点に集約することができる。

これらのうち，①，②についてはこれまでにも多くのシステムが開発されてきており，優れた市販のソフトウェアも少なからず存在する。しかし，③に関しては，事務処理分野を対象にしたシステム技術としての進展がみられてきたが，エンジニアリングを対象にしたデータベースシステムの例はまだ数少ない。

一方，これまでの機械設計支援システムの対象分野を見ると，主に構造静特性（剛性や変型など），構造動特性（固有振動数や振幅など）を扱っており，こうした分野ではそれなりの成果を挙げてきたが，機械構造物の疲労強度設計を支援することのできるシステムは非常に少ない。一般的に疲労破壊による不具合は機械構造物の稼動開始後一定の時間が経過してから発生するので，構造物が使用不能になってから改修したり，場合によっては，再設計後代替物で操業したりすることがあり，コスト，時間共に大きな損失を被ることが多い。機械構造物の強度設計は元来高度な専門技術が必要な上，広範囲な経験的な知識も要求される。

情報処理技術の観点からすると，厳密なアルゴリズムを手続き型言語の枠内で正確に記

述し，システムを構築するという従来の方法論に代わって，アルゴリズムとして表現できない経験的な知識などをAI研究の過程で提案されたさまざまな手法を用いてシステム化するという，いわゆるエキスパートシステムの技術が従来の方法論で実現できなかった悪構造（ill-defined）の問題に有効であることが認識されてきた。

本システムはこのような背景に基づいて，機械構造物の疲労強度設計を対象に，疲労強度データベース，疲労強度設計に関する経験的な知識などを組み合わせた総合的なシステムを実現したものである。

図表Ⅳ-1-13は機械設計のプロセスと本システムの範囲とを示したものである。

4.2 システムの概要

材料の疲労特性を考慮した設計を支援するために，本システムは以下のような機能を持っている。

(1) データベース検索機能

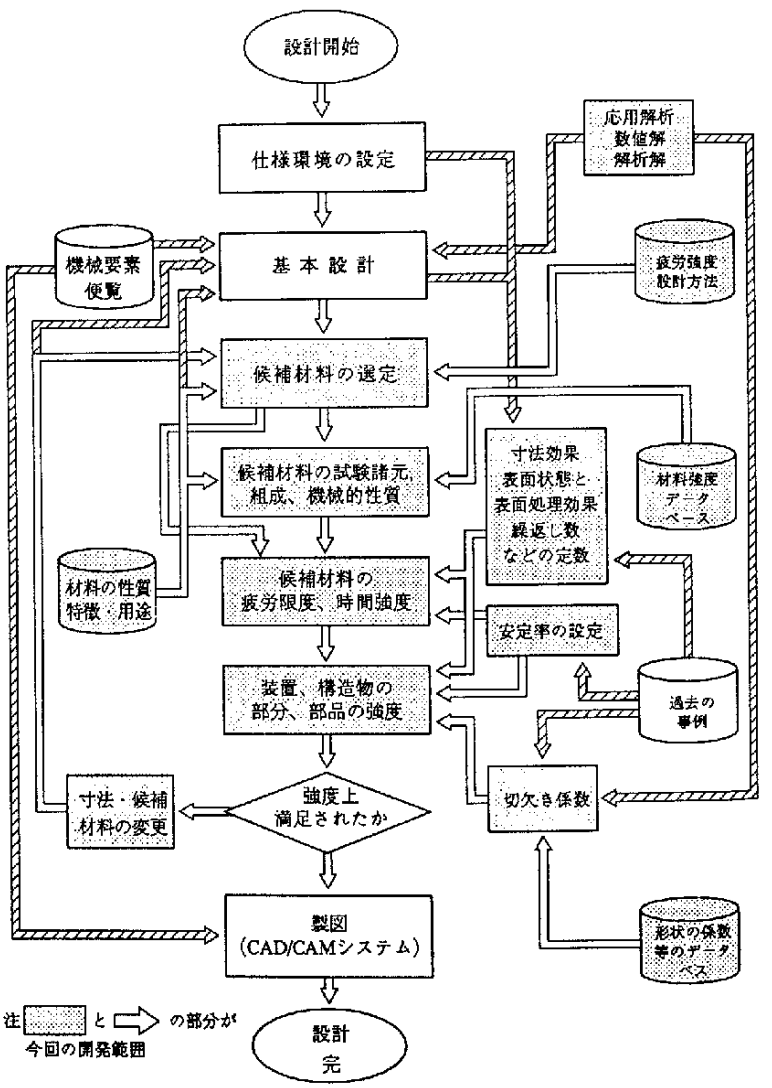
設計の基本となる各種材料の試験データを格納し，S－N曲線に基づいて当該材料の疲労限度，時間強度などの値を求めるシステムである。データベースとしては日本材料学会のデータを基にして，高サイクル疲労強度，低サイクル疲労強度，亀裂進展の3種類がある。

(2) 疲労強度設計・解析評価機能

設計・解析の対象物をその構造，使用材料，それに対して作用する外力の3要素の関連でとらえシステム化している。

すなわち，構造については応力分布パターンが明らかに単純な形状とそうでない複雑な形状，材料に関しては鉄鋼材料のように疲労限度が明確に存在するものとそうでないもの，外力は定振幅荷重と実働荷重とのそれぞれに分割し，これらの要素の組み合わせで対象物

図表Ⅳ-1-13　機械設計のプロセスと本システムの範囲



を考えて設計・解析を行うシステムである。

(3) エキスパートシステム

疲労強度設計の分野は必ずしも理論的に整理されていない部分もあり，こうした部分では専門家のノウハウや経験的知識が大きなウェイトを占めることになる。例えば，亀裂進展のプロセスを記述する方法には多くの手法が提案されており，それらを対象材料の機械的な特性や形状などに応じて適切に使い分ける必要がある。本システムではこうした知識をプロダクションルールとして表現し，対象材料やそれに対する外力の特性に対応して最適な設計・解析手法をユーザにアドバイスすることができる。本システムで用いているプロダクションルールの例は，以下に示すとおりである。

もし，応力比を考慮し，
　亀裂開閉口現象を考慮し，
　亀裂進展下限界を考慮せず，
　破壊じん性値を考慮しない
ならば，亀裂進展則はELBERの式を用いよ

本システムにはこのようなルールを格納した知識ベースが10種類ある。知識表現機構はプロダクションルール，推論制御機構は前向き推論のみ，というエキスパートシステムとしては単純な構造をしているが，既存システムとの融合によって，総合的にユーザを支援することを目指している。

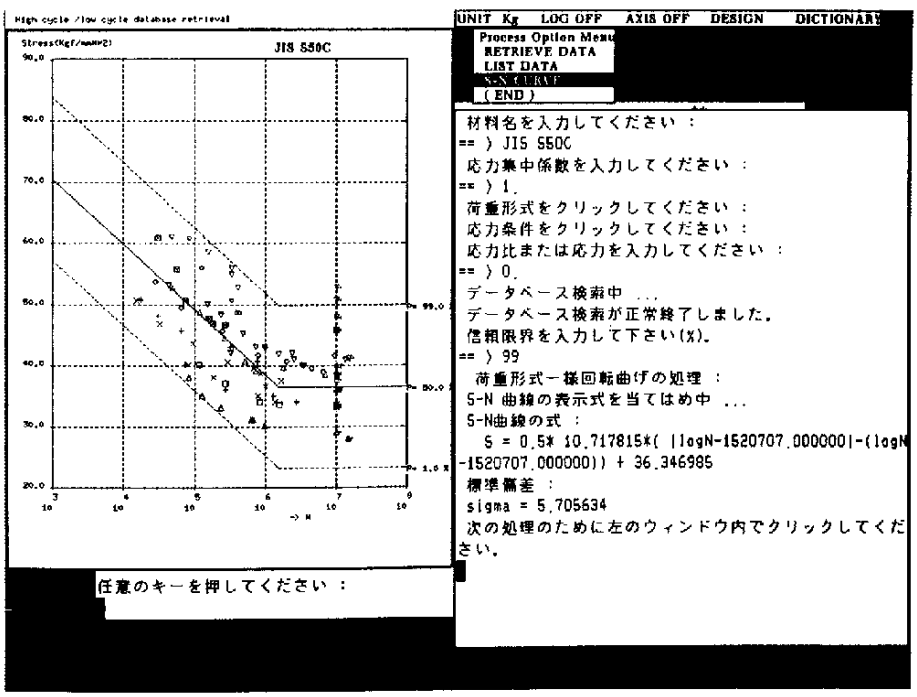
以上の機能を実現するために，本システムでは対話性の優れたエンジニアリングワークステーションを利用し，マルチウインドウなどの環境を用いながらシステムを構築している。

本システムの動作例を図表IV-1-14，図表IV-1-15に示す。

4.3 システムの開発経過

本システムは，㈱三菱総合研究所が主催したマルチクライアントプロジェクトの中で開発された。このプロジェクトは機械メーカな

図表IV-1-14　システムの動作例・その1



ど約20社の参加を得，大きく２つの部分に分けて実施された。すなわち，フェーズ１（1987年7月～1988年1月）で文献や設計事例の紹介と討議を通してシステムの仕様の検討を行い，フェーズ２（1987年12月～1988年12月）で実際のシステムを開発した。

4.4 システムの評価

本システムは完成してまだ日が浅く，本格的な使用を通しての評価には至っていないが，マルチウィンドウ，カラーグラフィックスディスプレイなどの高度な環境の中にエキスパートシステムをはじめとして，数値計算処理，データベース処理などの異なった特質を持ったシステムを組み合わせて総合的な処理を行う点が高く評価されている。

4.5 今後の取り組み

豊富な機能を持つ本システムではあるが，残された課題も多い。主なものは以下の通りである。

(1) 知識ベース，推論機能の充実

現場の技術者の知識，ノウハウを吸収して，より充実した知識ベースを構築し，推論制御の方式もさらに改良する必要がある。

(2) ユーザインタフェースの改良

対話性，応答性などを高めるため，図形やアイコンを用いた制御を活用し，ユーザインタフェースをより充実させる。

(3) データベースの充実

現在システムに組み込まれている３種類のデータベースの他にも，疲労強度に関する多くのデータベースがあり，これらもシステムの中に反映していく必要がある。

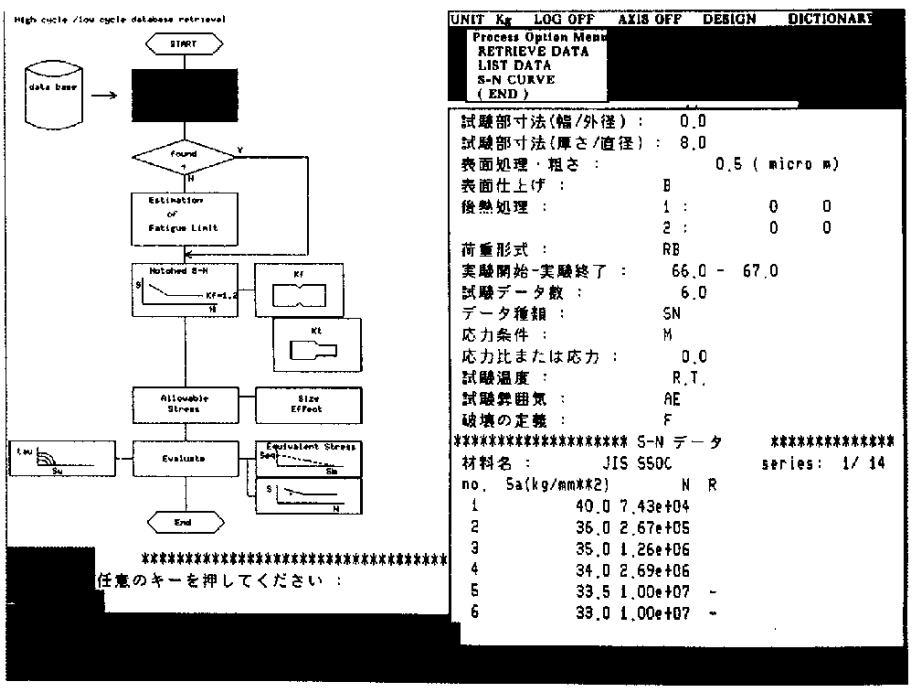
これらの点について，今後さらにシステム改良を続けていく予定である。

〈参考文献〉

〔三菱〕機械材料選定エキスパートシステムとその応用，1988，1989.

〔首藤〕機械材料選定エキスパートシステムの開発

図表IV-1-15　システムの動作例・その2



第2部 自然言語理解

1．契約書作成を対象とした対話理解実験システム

1.1 はじめに

財団法人 新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)では，第五世代コンピュータプロジェクトの一環として，対話理解実験システムの研究を行っている。本研究の目標は，コンピュータと人間との間の自然で柔軟な対話を実現することにある。すなわち，自然言語を用いて，人間がコンピュータと有効なコミュニケーションを行うために必要な対話過程や情報のモデル化に関する研究である。

また，対話過程の分析，モデル化を行ううえで，状況理論/状況意味論的なアプローチを取っている。状況理論／状況意味論(STASS)は，「状況」という部分世界を表すオブジェクトを導入し，自然言語文の意味を，状況間の情報の流れ，あるいはその流れを規定する制約であると考える。状況理論／状況意味論の最も重要なポイントは，状況を用いて，自然言語に特徴的な情報の部分性に起因する，従来の心理条件的意味論では扱うことが困難だった諸現象（言語行為，命題的態度，時制／アスペクトなど）を説明しうることである。また，同時に，文の語用論的解釈やそれに対応した文脈的な処理に対して統一的な枠組みを与えるものとして期待されている。

本システムが対象とする対話は，契約書の作成に関して行われる相談型の対話であり，システムが契約の専門家としてユーザの相談に応じ，ユーザの希望に沿った契約書を作成するために必要な情報を聞き出すものであり，システムの最終的な出力としては英文の契約書が得られる。

1.2 対象とする対話の特徴

一口に対話といっても，明かな目的を持ったもの，これといって目的のないおしゃべりなど，さまざまなものがある。ここでは，対話現象の分析を明確にするため，次のような制限を設けている。

①何らかの対象問題を解決するという目的を持った対話（目的指向型対話）

②協調的で誠実な対話

すなわち，「対話者同士は共通な目的・問題意識を持ち，互いに信頼し合っているという前提のもとで，その目的達成・問題解決のために行う対話」を対象としている。言語学者のGriceは，人間同士の協調的な対話において守られるべき規則として，次のように提案している。

協調の原則：対話の目的や方向に沿った発話を行う。

会話の公理：

a．量の公理：必要なことだけを話し，余分なことはいわない。

b．質の公理：自分の信じていることだけを発話し，嘘はいわない。

c．関連性の公理：それまでに話されたことと関連性の高いことを発話する。

d．様式の公理：あいまいな表現は避け，できるだけ明瞭な表現で発話する。

さらに，以下の条件も必要とされる。

適合性：ユーザ（の持つ知識）に合わせて，適切な発話を行う。

柔軟性：さまざまなユーザの応答に対して

適切に対応する。

1.3 状況理論／状況意味論

ここでは，状況理論／状況意味論の考え方について簡単に説明する。

状況理論の基本的なオブジェクトとしては，個体 (individuals)，パラメータ (parameters)，関係(rerations)，タイプ(types)，インフォン (infons)，状況 (siutaions)，制約 (constraints) がある。

パラメータとは，非論理定数であり，認識上のオブジェクトを表す。パラメータは，$\dot{p}$のように表現される。

タイプとは，その解釈が，何らかの状況を参照せずに定まる関係のことである。例えば，集合の要素であるという関係のように，あるオブジェクトがタイプであるかどうかは，状況にかかわらず決定できる。代表的なタイプとして，ある事実（インフォン）が成り立つ状況であるというタイプがある。

インフォンとは，《R, (l:a, ……), Pol》という形式で表され，極性 (polarity) Polの値 (1/0) に従って，a,...という個体がRという関係にある（／ない）ということを示す。インフォンは状況を表す基本単位である。

状況 (situations) とは，現実の世界のある部分（場面）を表すオブジェクトである。状況に関する重要な性質として，ある状況における事実を定義する関係⊨がある。ある状況sでインフォンσが成立することを$s \models \sigma$と表現し，sはσを支持する (supports) という。sがσを支持するとき，σはsの事実であるという。また，$s \models \sigma$であるとき，sは$s|(s \models \sigma)$というタイプであるという。

制約は状況のタイプ間の関係を示すものであり，状況的推論のための基本的な要素である。制約は，

(involves, ($\sigma_2 \wedge \ldots \wedge \sigma M$, $T_1 \wedge \ldots \wedge T_N$), l)

と表され，この制約に同調している状況sにおいては，インフォン$\sigma_1 \cdots \sigma_M$が事実であるときは必ず，$T_1 \cdots T_N$も事実である。

状況意味論においては，文（発話）の意味は，発話が行われた状況と発話により記述される状況の間の関係（制約）として定義される。

1.4 対話過程のモデル

ここでは，本システムで提案する対話過程のモデルを，言語的コミュニケーションのモデルと発話自体が持つ情報という2つの観点から説明する。

1.4.1 言語的コミュニケーションのモデル

話者と聴者の間のコミュニケーションは，単純化すると，以下のような信念状態の更新に基づく情報の伝達過程として考えられる。

a．話者は聴者の伝えるべき信念を基に発話（行為）を起こし，
b．聴者は自らの信念に基づき，話者の発話を解釈し，
c．聴者は自らの持つ話者の信念状態を更新するとともに，自らの信念状態を更新し，
d．信念状態の変化に対応する情報を受け取る。

極めて単純な場合，例えば，平叙文(declarative sentence)：

(例1)「うちがICOTの特許を使っている」が発話された場合，聴者は，『話者がICOTが所有する特許を利用している』という命題が正しいと主張されており，また，話者がそう信じていると推測する。さらに，聴者の信念と矛盾しなければ，聴者もそう信じる。したがって，この命題に含まれる情報（インフォン）が聴者の信念状態に取り込まれ，情報が伝わる。上記の命題を状況理論風に記述すると，概略，以下のようになる。

(s⊨《利用する,(主体：$\dot{a}_{話者}$，対象：$\dot{P}_{特許}$，time：$\dot{t}_{発話時刻}$)，l》∧

《所有する,(主体："ICOT",対象：$\dot{P}_{特許}$),l》)

また，同時に，名詞句に関する支持・参照関

係が設定されたり，あるいは，制約を介して，発話の命題内容に含まれるもの以外の情報が得られたりする。例えば，聴者の信念状態が，

《*involves*，（《利用する，（主体：X，対象：Y@特許），1》

《製造する，（主体：X，対象：Z），1》∧《利用可能，（もの：Y，対象：Z），1》），1》

という制約に同調していれば，上記の発話から，『話者は，ICOTが所有する特許を利用して，何らかの製品を製造している』という情報をも得ることになる。さらに，この情報に基づき，製品に関する質問を行うことが可能になり，局所的な関連性の高い対話の実現が可能となる。

以上に示した過程から，対話の当事者であるシステムの信念状態を，

a．システム自身の信念状態とその同調する制約

b．システムの信念としての相手(ユーザ)の信念状態とその同調する制約

に分類することができる。a．をシステムモデル，b．をユーザモデルと呼び，それぞれ，状況として表現する。また，実際にシステムが，契約書の作成に関してユーザと適切に対話を行い，何らかの判断を行っていくためには，システムモデル，ユーザモデルを参照するだけでなく，システムとユーザが，どういう環境におかれているか，ユーザがどういう信念（知識）を持っているかということを推測しながら，対話を進めていく必要がある。

例えば，先に示した制約に，ユーザが同調しているかいないかによって，

（例2）「製品は何ですか？」

（例3）「その特許を使って，何を製造しているか知っていますか？」

というように聞き方を変えることができる。

本システムでは，このような推測を行うための基本的な概念として，システムタイプ，ユーザタイプを導入する。システムタイプ，ユーザタイプは，それぞれシステムモデル，ユーザモデルの分類を表す状況のタイプとして表現される。対話の各時点において，システムモデルとユーザモデルが，どのようなタイプであるか，あるいは，ありうるかという推定を行いながら対話を進めることにより，(2)で示した条件を満たす対話を実現することが可能となる。

1.4.2 対話文脈情報

対話文脈情報とは，ユーザの発話のやり取りの結果，直接的に伝達される情報の履歴であり，ここの発話に関連する発話情報によって時系列的に構成されるものである。

Searleによる言語行為の理論によれば，話者が発話することによって行う行為は，次のように分類される。

a．発語行為：話者がある表現で発話を行ったという行為。実際には，話者が誰で，いつ発話が行われたかということも含む。

b．命題行為：

-指示行為：主に名詞句によって世界の中の事物を指し示す行為。

-述定行為：指示行為で指し示された事物を関係付ける行為。発話の命題内容を示す。

c．発語内行為：発語を行うことによって話者が意図した行為。語順，抑揚，命令や疑問などの動詞の法，あるいは，「主張する」，「約束する」などの遂行動詞によって示される，いかなる行為であるかを明示する表現上の特徴のレベルと，実際に意図した行為のレベルに分かれる。

d．発話媒介行為：発語行為，発語内行為の結果として生じる行為。「約束する」という発話によって，相手を安心させるといった行為。

本システムでは，発話媒介行為を除くこれらの行為を，発話情報を構成する基本的要素として設定し，これらの行為に対応して状況を構成する。例えば，先に（例1）に示した発話「うちがICOTの特許を使っている」に対

して，以下に示すような情報を含む状況が構成される。

発話行為：話者がある時点tで，「うちがICOTの特許を使っている」と発話した。

指示行為：話者が，

・「うち」という表現で話者を，

・「ICOT」という表現でICOTという財団を，

・「特許」という表現で（ICOTの所有する）何らかの特許を指し示した。

述定行為：話者と特許の間に利用するという関係がある。

発話内行為：

表現上の特徴：陳述している。

意図した行為：述定行為で示された内容を知らせる。

背景状況：発話の前提として，話者の信念状態に，

・話者が，発話の時点tにおいて特許を利用しており，

・その特許をICOTが所有している

という事実がある。

上記の背景状況とは，発話行為と話者の信念状態とを結ぶ情報を含む状況であり，発話行為にかかわる情報から，話者の信念状態に存在すると推定される情報を含む状況である。

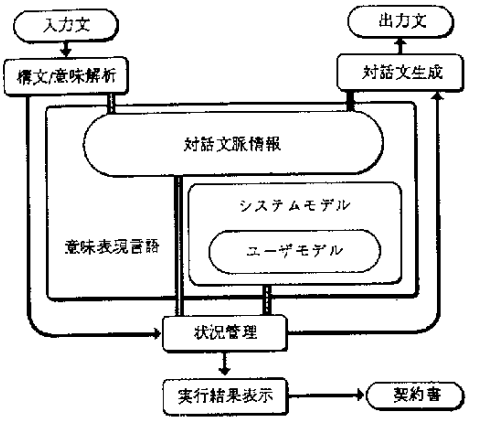
これらの状況が，発話自身が含む情報を構成し，発話情報と呼ばれる。発話情報の時系列が対話文脈情報を構成する。

1.5 システムの概要

図表IV-2-1は，対話理解実験システムの構成を示したものである。

構文／意味解析部，状況管理部，対話文生成部，実行結果表示部は，ユーザとの対話の際に，また英文契約書を作成する際に実際に処理を行う部分であり，意味表現言語部は，状況理論に基づく意味表現言語$LAST$の機能を他の各部に提供し，状況理論の基本的オブジェクトの定義，それらに対する基本操作を提供する。各サブシステムは，概略次のような処理を行う。

図表IV-2-1　対話理解実験システムの構成



1.5.1 構文／意味解析部

構文／意味解析部は，ユーザからの入力文を受け取ってそれを解析し，その文によって生起する発話行為を推定し，対応する状況に情報（インフォン）を登録し，発話情報，対話文脈情報を構成する。

状況意味論の考え方に基づき，解析過程で，発話の行われた状況と発話によって記述された状況（その文脈中での文の解釈）の間の関係を規定する関数を合成する方式を取ることにより，発話の状況に応じて，名詞句や照応表現の指示対象の同定，意味的なあいまい性の解消などを適切に行うことができる。本システムでは，対話文を対象としているため，解析過程への文脈依存性の導入が必須のものとなっている。

1.5.2 状況管理部

状況管理部では，構文／意味解析部により構成された発話情報，さらにはそれまでの対話から構成された対話文脈情報を参照し，ある発話によってユーザが伝えようとする内容を解釈し，契約に関する条件として抽出すると共に，今までの対話文脈情報と，システムモデル・ユーザモデルに対して変更／更新／生成などの管理作業を行う。さらには，次に

どのようなことをシステム側から発話するかということを決定する。これらの処理は，システムモデル，ユーザモデル，対話文脈情報間の関係を表す制約を解釈することにより行われる。

1.5.3 対話文生成部

対話文生成部は，状況管理部で決定された発話内容を基に，現時点での対話文脈情報を参照することによって，適切な日本語文へと変換する。システムモデル，ユーザモデル対話文脈情報を参照し，発話文の文体選択，参照表現の決定などを行う。

文体選択においては，発話行為の決定のための制約を適用し，ユーザモデルに含まれる情報（ユーザの信念状態）を参照して，例えば，何かを尋ねる場合でも，場面に応じて，質問文を選択したり，確認文を選択したり，あるいは，依頼・命令文を選択したりすることが可能である。

1.5.4 意味表現言語部

意味表現言語部は，*LAST*と呼ばれる状況理論に基づく意味表現言語の処理系を他の各部に提供するものであり，対話文脈情報，システムモデル，ユーザモデルなどの情報を記述する形式を与えると共に，その基本的操作を提供し，構成された状況の構造を管理する。個体，関係，タイプ，状況，命題，制約などのオブジェクトの定義とその操作のための機能を有する。

1.5.5 実行結果表示部

実行結果表示部は，ユーザとの対話が終了した後で，対話で得られた情報を整理し，契約書生成用の条件を抽出し，その条件に基づき英文の契約書を作成する。

1.6 契約書作成支援システムにおける対話

先に述べたように，本システムでは，契約書の作成のための相談を目的とする対話を題材としている。以下に，実際に実現された対話の一例を示す。

システム１：いらっしゃいませ。今回はどんな御用ですか？
ユーザ１：うちがICOTの特許を使っているらしい
システム２：その特許について教えて下さい
ユーザ２：コンピュータのメモリに関する特許です
システム３：それは何件ですか？
ユーザ３：２件です
システム４：その特許番号を教えて下さい
ユーザ４：日本特許123，日本特許234です
システム５：対応特許がどこかにありますか？
ユーザ５：アメリカとヨーロッパです
システム６：製造している製品はコンピュータのメモリですね？
ユーザ６：はい
システム７：そのメモリをどこで製造していますか？
ユーザ７：日本とアメリカです
システム８：それをどこで販売していますか？
ユーザ８：同じです
システム９：ヨーロッパで製造／販売しますか？
ユーザ９：はい

これは，ICOTの特許を使用してコンピュータのメモリを製造しているので，ICOTに対してライセンス契約を結びたいと思っているユーザとの対話を模擬したものである。この対話が，1.2で示した対話が満たすべき条件を，どのように満足しているかということを説明する。

まず対話全体を見ると，対話の流れが，システムが主導することによってなめらかに制

御されていることが分かる。システムはユーザ1においてユーザが特許に関して話し始めたので，最初に特許に関する情報収集を行うことを決め，その後の一連の質問を行っている（システム2からシステム5まで)。そして，特許に関する情報が十分に得られたところで製品に関する対話に移っている（大局的関連性の保持)。

また，システム6で製品がコンピュータのメモリであることを確認しているが，これはユーザ2の発話を受けて，使っている特許がコンピュータのメモリに関するものであるから，たぶん製造している製品もやはりコンピュータのメモリであろうという推論結果によっている。さらには，システム9の質問は，それ以前の製造地域・販売地域に関する質問応答の結果と，対応特許存在国がアメリカとヨーロッパである（ユーザ5）ことを受けて，製造／販売地域は対応特許存在国より広い範囲を取っておいた方が，ライセンシにとっては有利であるという推論結果によっている。このように，対話の結果判明したことを信念モデル中に保持して，そのモデルの一貫性を保つことで，以前の対話の結果と矛盾したことを口にすることはなく，システムの推論結果を基に単なる質問応答だけではなく，ユーザの立場を考えたアドバイスをも与えることが可能になっている（一貫性の保持と一種の適合性の実現)。

それから，システム，ユーザの発話表現に目を向けてみると，人間の対話同様に，必要最低限のことだけをお互いに口にするだけで，対話が進んでいる。ユーザはシステムの質問に対して答だけを簡潔に述べており，システムも冗長な要素を発することがない。これは，以前の対話文脈情報を参照して，省略された要素を補い，また省略すべき要素を決定するという処理を実現することによって，可能になっている(必要十分性／冗長性の排除)。例えば，ユーザ8の発話は「同じです」という表現だけであるが，これから，「販売地域は製造地域（アメリカとヨーロッパ）と同じです」という解釈を導き出している。さらに，システムの発話表現中には「それ」「その特許」などのように，代名詞，指示詞が適切に用いられている。これは，できるだけ簡潔明瞭な表現を用いるという規則に合っている。

1.7 おわりに

はじめに述べたように，コンピュータと人間との間で自然で柔軟な対話を実現すること，すなわち，自然言語を用いて，人間がコンピュータと有効なコミュニケーションを行うためには，発話によって伝えられる部分的な情報を，正確にとらえることが必要である。この「情報の部分性」の解明に関連して，言語学における意味論，語用論や，コンピュータ科学の分野で，さまざまな研究が行われてきた。談話表示理論（DRT）あるいはメンタルペース理論などは，指示と言語表現の真理条件との関係をある文脈の下で解釈するための枠組みである。また，Groszらは，文脈構造の具体例として，言語構造（linguistic structure)，意図構造 (intentional structure)，注意状態 (attentional state) というレベルを設定することにより，照応表現の解釈や，談話の中断などの言語現象の説明を試みている。本研究も，それらの研究と同様に，目的指向型の対話を題材に，言語的コミュニケーションにおける文脈，談話構造研究の対象とした。比較的簡単な対話例ではあるが，1.2に述べたような，基本的な要請を満たした枠組みが提案できたと考えている。

しかし，当然のことではあるが，人間同士の対話にみられるようなさまざまな現象のうち，本稿で扱われたものはごくわずかなものであり，また扱った対話現象に関してもまだまだ解決しなければならない問題点は多い。特に，構文的な情報・対話の構造的な情報の形式化が必要であると考えている。

また，人間の対話が効率的に行われる原因の1つに，誤解が起こったりあいまいさをなくしたいと思ったときには，いつでも，誤解を解いたりあいまいさを除去するための対話を行ったりできる，という点がある。これは人間同士の対話を可能にしている最も重要な要因である。したがって，このような機能を実現する枠組みについても考えていく必要があろう。

今後は，ここで提案した枠組みに基づき，より広範な言語現象の分析を通じ，対話過程のモデルの詳細化とその実証を行っていく必要があると考えている。

2．スケジューリング支援実験システム

2.1 システム開発の背景

本システムは，ICOT受託研究の一環として再委託メーカにより開発されたものである。自然言語を用いた知識獲得支援というテーマのもとに，エキスパートシステム構築の際の知識エンジニアの負担軽減，およびシステム構築の観点からの自然言語処理技術の確立を目的として研究が進められた。

① 文書からの知識獲得の有効性を検証すること。…専門家からの知識の抽出が期待できないような場合，専門書等に記載されているテキストが重要な知識源となりうる。知識としては比較的まとまっている書籍中の文章を知識獲得のフェーズにおいて利用したいという要求があった。

② 自然言語でデータ，知識，要求を与えること，それを解釈して望ましい問題解決を行うようなエキスパートシステムを作成すること。…専門家（使用者）と，システム

図表IV-2-2 システムへの入力および実行結果

index	sentence
off	社長と常務は月曜日の午前9時から10時まで新製品の開発につ
off	社長は火曜日の12時から1時間、k1社の11さんと会食する
off	社長は月曜日の午後3時から1時間、k2社の12さんと面会す
off	社長は月曜日の11時から1時間、k3社の13さんと面会する
off	専務は金曜日の9時から18時までAIに関するシンポジウムに
off	株主総会が水曜日にある。
off	社長は土曜日の10時から12時まで外出する。
off	定例報告の重役会議が2時間ある。
off	専務と常務は火曜日に1時間、m1社のn1さんと面会する。
off	社長と専務は月曜日にm2社のn2さんと1時間面会する。
off	社長と専務はm3社のn3さんと1時間面会する。
off	専務はm4社のn4さんと1時間面会する。
off	社長は東京へ出張する。
off	関係会社を招待した懇親会が3時間あり、重役が出席する。
off	専務と常務は会議Aに2時間出席する。
off	社長と専務は会議Bに2時間出席する。
off	別紙のスケジュールは週の中央にする。
off	重役会議は週の中頃に行われる。
off	定例のスケジュールは慣習の時間を考慮する。
off	懇親会と接待は週末の遅い時間帯にする。
off	出社直後の1時間と昼食時の1時間と帰宅前の1時間は外来客を
off	出社直後と昼食時と帰宅前は外来客を避ける。
off	休日明けと休日の前は面会を避ける。
off	土曜日は出張を避ける。

3.1 専務の週間スケジュール

時間	9	10	11	12	13	14	15	16	17
月曜日		面会 m2社			面会 m3社		面会 m4社		
火曜日		面会 m1社		会議A	会議A	会議B	会議B		
水曜日	株主総会	株主総会	株主総会	株主総会	株主総会	株主総会	株主総会	株主総会	株主総会
木曜日	重役会議 定例報告	重役会議 定例報告							
金曜日	シンポジウム AI	シンポジウム AI	シンポジウム AI	シンポジウム AI	シンポジウム AI	シンポジウム AI	シンポジウム AI	シンポジウム AI	シンポジウム AI
土曜日							懇親会 関係会社	懇親会 関係会社	懇親会 関係会社

の間に自然言語インタフェースがあれば知識獲得のボトルネックがかなり解消されるであろうという期待があった。また，現在の自然言語処理技術，エキスパートシステム構築技術でどこまでこのような応用システムが実現できるか実験したいという要求があった。

本研究の要素技術としては，以下のような項目が挙げられる。

・知識表現技術
・日本語文章の解析・変換技術
・ドメイン知識を背景とするテキスト処理技術

2.2 システムの概要

スケジューリング支援実験システムの例題として「秘書スケジューリングシステム」を選択した。このシステムは，会社役員に対する秘書の予定表作成業務の代行を目的としている。システムは，スケジューリングの際に考慮すべき制約を守りながら，1週間のスケジュール要求に対して，各人の週間スケジュール表を出力する（図表Ⅳ-2-2参照）。この際，考慮すべき制約条件，解決戦略，予定項目等の必要情報を自然言語の文章で与えることができる。本システムは，秘書スケジューリングの基本動作部分の他に，書籍から文章知識を抽出するモジュール，抽出知識を整理するモジュール，出力結果を基に対話的に不足知識を獲得するモジュール等が用意されており，開発初期からの一貫した構築支援が行えるようになっている。システム構成の概略は図表Ⅳ-2-3に示すとおりである。

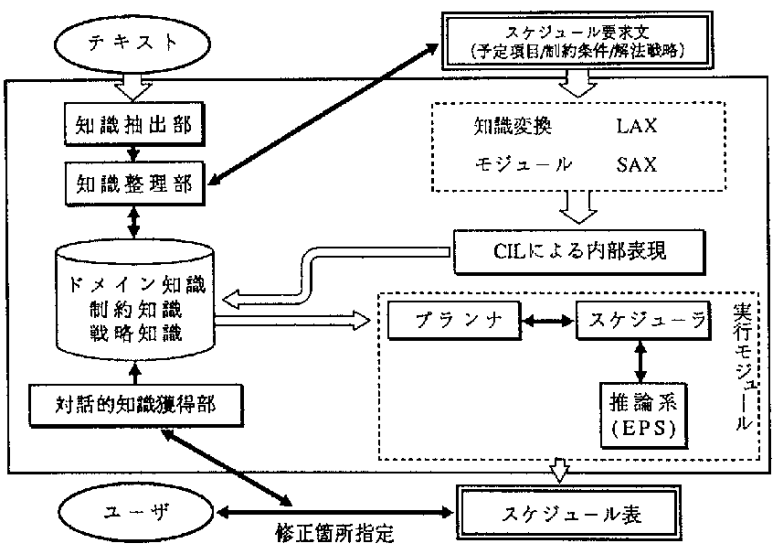
2.2.1 知識抽出部

書籍等からエキスパートシステムの動作に必要となる知識を含む文章（SKIP-Sentence-Knowledge Include Primitive）を抽出するモジュールである。

システム構築の初期の段階において利用されるモジュールであり，必要となる文章知識の自動収集を支援する。テキストからSKIPとなりうる文章集合を抽出するための材料としてインデックスを使う。インデックスは書籍の巻末の索引に相当するもので，入力テキストの内容を表す重要語句である。システムは，まず，入力テキストからインデックスを抽出し，抽出したインデックスによってSKIP候補を検索する。検索されたSKIP候補はSKIP抽出ルールにより絞り込まれ，タスクを考慮したSKIPが収集される。抽出されたSKIPの一例を図表Ⅳ-2-4に示す。

a．インデックス抽

図表Ⅳ-2-3　システム構成図



図表Ⅳ-2-4　抽出された文章知識の例

「〈アポイントメント〉（を）〈申し入れる〉場合には必ず2,3日の希望日を上げるか、不都合な日時を知らせておくかして、相手の決定を待つのがよい」

出部：出現頻度や出現位置は抽出のためのキーとなる情報であり，これらはインデックス抽出ルールとして宣言的に記述される。インデックス抽出ルールには，テキストの見出しおよび本文に対応して，見出しルールと本文ルールが用意されている。

以下に各ルールの一例を示す。

[本文ルール]Xとは＊である　Xには＊がある　ここにXとは～

[見出しルール]Xにおける　Xによる〈注釈文字の後の語〉

b．SKIP抽出部：インデックスを含む文章に対し次の観点からの絞り込みを行う。

・文型ルール　多数の秘書業務マニュアルから人手によりあらかじめ抜き出しておいた「文型パターン」に属すか否かを判定。

・タスクチェック　対象領域の知識を表現する用言と体言の組み合わせがタスクパタンである。このパタンを持つか否かを判定。

[文型ルール]Yする場合～　Yするためには～　Yが必要である～

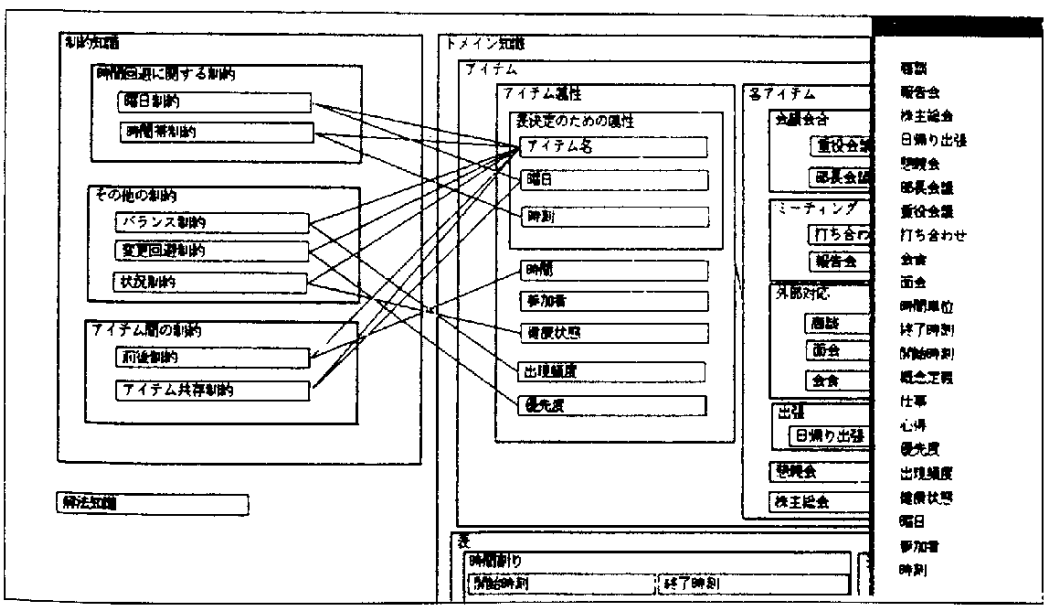
[タスクパタン]〈アポイントメント〉(を)〈申し入れる／拒絶する〉

2.2.2 知識整理部

このモジュールでは抽出した文章知識や対象領域に必要な知識を，エキスパートシステムの知識として利用できる形に整理・加工する〔森下 88〕。本モジュールはKJ法A型図解と似通った，グラフィックエディタをベースとして，ドメインの項目を分類・整理することと，抽出モジュールで抽出された文章とドメイン項目のリンク付けを支援する。

ドメイン項目の整理では，インデックス抽出や専門家によりランダムに与えられたタームを，グラフィックエディタ上でカード・入れ子・矢印を使って自由に関係付けることができる。このようにして作成した意味ネットはフレーム編集機能によって，インタビューによる補完を行いながら階層構造を持つ概念ツリーに変換される。以降，新たに入力された概念に対しては，概念ツリーの更新を含め

図表IV-2-5　知識整理例



た追加が可能であり，インスタンスに対しては，属性値制限に関する評価と概念項目への分類が可能である。

文章のリンク付けは，文章集合に対する項目割り付けにより行われる。項目割り付けにはSKIP編集エディタが用意されており，このエディタによって割り付けられた項目にはグラフィカルエディタ上のドメイン項目に直接リンクされる。逆にグラフィカルエディタによって項目に文章知識を持たせることもできる。知識整理部では専門家とKEが共同して概念のすり合わせを行いながら，システム動作に必要なドメイン知識の整理作業を進めるのが理想的である。

スケジュール表作成動作に対して関連知識を整理した一例を図表IV-2-5に示す。

秘書スケジューリングの領域では，システム動作の基本は，Generate & Testであり，この動作を前提としてわれわれは，専門家から抽出されるヒューリスティックスを2つのタイプに整理した。1つは問題解決のための戦略知識——「アイテムAを位置Xにおけばよい」等の具体的な解法を示すものや，「アイテムAはアイテムBより先に配置する」等の推論効率化を示すもの——であり，いま1つは，制約知識——「アイテムAは時刻Tにおいてはならない」，「アイテムAとアイテムBは連続してはならない」——である。

2.2.3 スケジューリング基本部

a．知識変換モジュール

システムに入力した自然言語の文章を解析・解釈し，システムの内部表現（の部分項による表現）に変換後，知識ベースや入力部へ変換データを送る。

本モジュールではICOTの開発成果であるLTBのツールを利用した。

構成は次のとおりである。

形態素解析部…LAX〔杉村　88〕によるかな漢字混じり分の分かち処理(図表IV-2-6)

構文解析部…SAX〔松本　86〕による構文解析，句構造の抽出（図表IV-2-6)

解釈・変換部…係り受け構造の抽出，同義語の代表概念による置き換え，内部スロットへ項目割り当て，文章タイプの判別を行

図表IV-2-6　文章の解析・変換例

入力文　**会議、会合の直前、直後の面会は避ける。**

(形態素解析結果)
[[会議／名詞] , [、／読点] , [会合／名詞] , [の／助詞] , [直前／名詞] , [、／読点] , [直後／名詞] , [の／助詞] , [面会／名詞] , [は／助詞] , [避け／用言語幹] , [る／用言語尾] , [。／句点]] .

(構文解析結果)

```
sent(
 prd(dcl,
      pp(np([面会],
             mod(of(の),
                 np(np([直前]),
                    con([、]),
                    np([直後])),
                    mod(of(の),
                        np(np([会議]),
                           con([、]),
                           np([会合])))))),
        p([は])),
      prd(dcl,  vh([避け]), vb([る])))),
 end([。]) )
```

(CILによる内部表現)

```
' %%% Constraint Mode %%%'
' 1.  Time Constraint Data'
' What' =面会
' Before1' =
   100:  会議／A
   102:  会合／B
' After1' =
   100:  会議／A
   102:  会合／B
```

いCIL部分項表現を生成する（図表IV-2-6）。

ユーティリティ部…SKIP解析処理用ユーティリティは，同一のスケジューリングタスクを表す用言を含む複数の文章に対して，マージした格パタンを抽出する。ドメインモデルユーティリティではグラフィック画面上でスロットごとに言い換え表現や割り当て語句の出現パタンを記述・定義できる。

b．実行モジュール

推論メカニズムを知らない専門家でも自然言語で宣言的に知識を記述すれば済むのは，このモジュールが2層構造になっている故である。スケジューラは，秘書スケジューリングエキスパートシステムの基本動作（要求されたスケジュールアイテムを表の空いている位置に置き，配置結果が制約を満たすかどうか検査する）と，作表等のインタフェースの操作を担当するモジュールである。このモジュールに対しては，KEがプログラミングすることになる。一方，スケジューリングの際に考慮すべき制約や戦略は専門家固有の知識であるととらえ，知識エンジニア用の知識ベースとは別に，プランナというモジュールでこれを処理する。プランナはユーザ用の知識ベースの内容を解釈してスケジューラに制御を渡す。使用者はユーザ用知識ベースを修正・変更することができる。

動作的には順序づけタスクと配置タスクを扱っており，順序づけタスクでは，入力スケジューリングアイテムの配置順番を決定し，配置タスクでは順序づけタスクでソートされたスケジューリングアイテムの表中の位置を決定する。

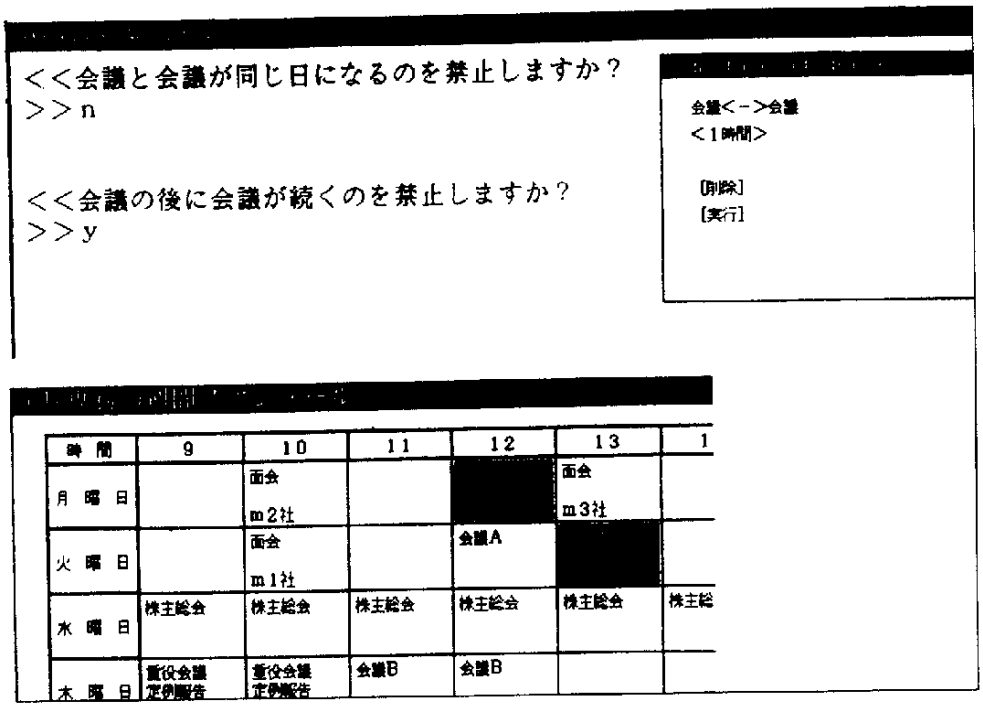
2.2.4 対話的知識獲得部

設計・計画型問題においては，実行結果を見ることによってはじめて，不都合な状況が生じていないか，現在どんな知識が不足しているかが明確になる，ということがよくある。

図表IV-2-7　制約テンプレートの例

```
%  単一アイテム制約

%  Hが参加するXがD曜日になるのを禁止する．
[item]X, [day]D, [chosen_member]H.

%  Hが参加するXが午前になるのを禁止する．
[item]X, [time]T, [chosen_member]H, gozen(T).

%  Hが参加するXが午後になるのを禁止する．
[item]X, [time]T, [chosen_member]H, gogo(T).

%  Hが参加するXがT時になるのを禁止する．
[item]X, [time]T, [chosen_member]H.

%  Hが参加するXがD曜日の午前になるのを禁止する．
[item]X, [day]D, [time]T, [chosen_member]H, gozen(T).

%  Hが参加するXがD曜日の午後になるのを禁止する．
[item]X, [day]D, [time]T, [chosen_member]H, gogo(T).

%  Hが参加するXがD曜日のT時になるのを禁止する．
[item]X, [day]D, [time]T, [chosen_member]H.

%  相互アイテム制約

%  X1がX2と同じ日になるのを禁止する．
[item]X1, [day]D1,
[item]X2, [day]D2,
sameday(D1, D2).
```

図表IV-2-8　対話的知識獲得の例



このことを考慮して，本システムでは実行結果に対するインタラクションを通して不足知識を獲得し，知識ベースの洗練化を行うモジュールを用意している。

本モジュールでは，洗練化知識の対象をスケジューリング制約とし，使用されるであろう典型的な制約のひな型を制約テンプレートという形で内部に持たせている。制約テンプレート（図表IV-2-7）は，アイテム，時刻，参加者，場所等スケジュールドメインが持つ属性のタプルである。作表結果において不満なアイテムをユーザが指摘すると，システムは属性スロットの値をユーザに質問する（図表IV-2-8)。値が入れられた制約テンプレートは，各属性値の組み合わせがスケジューリングにおいて禁止されることを意味しており，制約ベースに制約として送られる。以降の再スケジューリング時にはこの制約がチェックされるのでシステムはよりよい解を提示できるようになる。

2.3 システムの開発結果

以下にシステムのバージョンアップの経緯を示す。IS3は実験システムの愛称である。IS3-Iは，1986年度に試作され，スケジュールデータ，スケジュール項目の入力と，スケジュール作業の起動・再実行・変更等システムに対する操作指示入力を自然言語で与えることができる。システム作成に当たっては，秘書のマニュアルや教科書から人手によって知識の収集を行った。

IS3-IIは，1987年度に試作され，スケジュールデータや項目だけでなく，制約知識・戦略知識をインクリメンタルに自然言語で与えることができるようにした。システム作成の際に参考にしたのは，人手による，前年度に収集した書籍からの知識の分類・整理結果と，秘書へのインタビュー結果である。

IS3-IIIは，1988年度に試作された。前年度まで人手で行ってきた作業の自動化を目標に

して作業を進めた。自然言語の文章集合から有用な知識を抽出・整理する支援モジュールや，対話的な制約知識の獲得により知識のリファイメントを支援するモジュールを追加し構築ツールとしての拡充を図った。

2.4 システムの評価

IS3-Ⅰの評価の結果，異なるレベルの知識が同一次元において処理されていることが問題となった。これに対して，専門家の「知識」のみを切り出して自然言語で入力することを考え，プランナとスケジューラというシステム仕様を用意するに至った。これによりユーザはシステム動作の詳細を気にせずに，作表時の制約事項・解決戦略等本質的な情報のみを与えればよいようになった。

IS3-Ⅱの評価の結果，「知識」はどこからどのように持ってくるのかが問題となり，この問題に対処するために，1つは書籍からの自動抽出，いま1つはユーザとのインタラクションによる獲得というアプローチを考え，ドメイン知識の存在を前提とした範囲でそれぞれに対するある程度有効な具体的手段を得ることができた。

IS3－Ⅲの評価では，前提となるドメイン知識の範囲内でしか知識を拡充できないことが問題となっている。また，秘書スケジューリング問題の中心的タスクの1つである追加・変更問題に対して現在の方法が通用するかどうかが問題となっている。

2.5 今後の課題

研究を通して，類型タスクや知識のタイプがはっきりしている問題に対しては，「専門知識」の部分だけを切り出し，その部分に自然言語のインタフェースを用意することは，比較的容易かつ有効であることが分かった。また書籍等の文章からも有効の知識を抽出できる可能性を示すことができた。

しかし，ドメイン知識にないような制約は処理できないし，対話的な獲得もできない。現在のところ，想定した問題に対してあらかじめ多くの知識のテンプレートを洗いだしておき，ユーザを通してテンプレートを具体化し知識化するという手法をとっている。

したがって，テンプレートに用意されていない情報に対しては無力であり，テンプレートの獲得が大きな問題となる。ドメイン知識に不足している情報の獲得は，問題状況からのインタビュー，SKIP抽出機構，あるいは知識整理インタフェースの機能向上が鍵となると考えられる。

自然言語処理の課題としては，言語処理知識とドメイン知識との密なリンクの必要性があげられる。例えば，ドメインモデル構築支援システムに言語処理インタフェースが容易に構築できるような機構を埋め込んだ，ハイブリッドな知識整理環境の提供が望まれる。スケジューリングシステム自体の課題としては，スケジューリングの本質的なタスクの1つであると考えられる制約緩和知識の獲得問題がある。予定の追加・変更時，あるいは通常の制約が強すぎて解が出ない場合等において，制約緩和が必要となるが，制約緩和はメタ知識であり，その表現（特に状態表現）が難しいため，その獲得も一般に困難である。専門家と共同して制約緩和知識を解明することが重要であることはいうまでもないが，システム的には，事例ベース推論のアプローチが1つの有力な手段になると考えられる。

知識獲得の課題としては，タスクの獲得法があげられる。インタビューにより上流タスクを獲得し，エキスパートシステムコードへの変換・評価までを一貫してサポートしている知識獲得支援システムや類型タスクに基づくエキスパートシステム構築手法の発展が待たれよう。

〈参考文献〉

〔滝　87〕滝　　寛和　他，"知識獲得支援シ

ステム（EPSILON）における専門家モデル〃，情報処理学会研究報告誌　知識工学と人工知能　52-4（1987）

〔杉村　88〕杉村　領一　他，〝汎用日本語処理系LTBの構成〃，情報処理学会第37回全国大会　4C-1（1988）

〔杉村　88〕杉村　領一　他，〝論理型形態素解析LAX〃，Proceedings of Logic Programming Conference 88〃，pp223-222（1988）

〔松本　86〕松本　裕治　他，〝論理型言語に基づく構文解析システムSAX〃，ソフトウェア科学会論文誌（1986）

〔向井　86〕向井　国昭　他，〝CIL言語マニュアル〃，ICOT-TM 242（1986）

〔ICOT 88〕ICOT編，〝第五世代コンピュータ国際会議デモンストレーション説明資料〃，9B-1～9B-4（1988）

〔和田　87〕和田　正寛　他，〝文章知識プリミティブを用いた知識獲得の方法〃，情報処理学会第34回全国大会 2K-7（1987）

〔空閑　87〕空閑　茂起　他，〝文章知識プリミティブを用いた知識獲得の方法――条件節の統一化〃，情報処理学会第35回全国大会5P-10（1987）

〔森下　89〕森下　太朗　他，〝文章知識プリミティブを用いた知識獲得の方法(3)〃，情報処理学会第36回全国大会　6P-7（1988）

〔和田　89〕和田　正寛　他，〝IS3における知識獲得手法〃，情報処理学会第38回全国大会 2G-4（1989）

〔森下　89〕森下　太朗　他，〝IS3におけるドメインモデルの構築支援〃，情報処理学会第38回全国大会 2G-1（1989）

〔Kolodner 88〕Kolodner. J "CASE-BASED REASONING", Proceedings of DARPA Date-Based Reasoning Workshop (1988)

〔Chandrasekaran 86〕Chandrasekaran.B, "Generic Tasks in Knowledge-Base Reasoning : High Level Building Blocks for Expert System Design", IEEE Expert, Fall (1986)

第3部　機械翻訳

1．日本経済新聞社における株式記事翻訳システム

1.1 システム開発の背景

経済のグローバル化が急速に進展するにつれ，日本経済が国際経済において果たす役割も急拡大しつつある。こうした中，株式や為替をはじめとする東京金融市場に関する情報へのニーズの高まりはめざましいものがある。日本経済新聞社が提供する英文テレコンはこの情報ニーズに応えるべく開発された世界規模のリアルタイムネットワークサービスであり，機関投資家を中心に海外40カ国以上で活用されている。

このサービスの中の株式，債券，為替および短期金融の相場記事翻訳に使用されているCSKの日英機械翻訳システムARGOについて説明する。

株式記事の機械翻訳については当初は日本経済新聞社とCSKが機械翻訳の実用性の検討を目的として共同研究の形で開始された。開発並びに試験期間を経た後に1986年9月より株式記事の，1987年3月より債券，為替，短期金融記事の翻訳サービスをTEEシステムで開始した。しかしこの旧システムは伝統的な言語理論に基づく翻訳システムであり，基本設計思想において柔軟な拡張性を欠く面があった。そこで初期の翻訳作業からの反省も踏まえ，また将来の多言語間翻訳システムへの発展も念頭におき，1986年9月より独自の翻訳システム開発に着手した。

新システムARGOの開発は1988年3月に第一段階を終え，3カ月ほどの調整の後，同年6月よりTEEシステムに代わって英文テレコン向け翻訳に供されている。

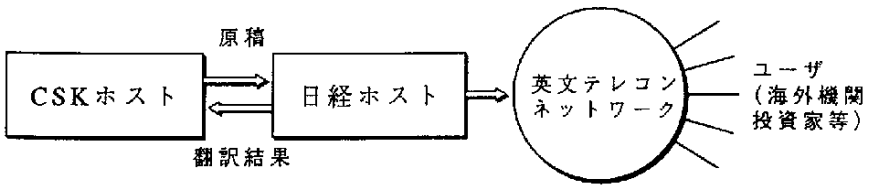
ARGOの基本設計上の最大の特徴は単語間の意味的接続によって構文構造をとらえる「係り受け構造直接検出方式」を採用した点にある。

機械翻訳に対する考え方としては，現段階ではまず人間による翻訳をどれだけ効率よく進めるための支援となりうるかが最大の課題であり，継続的に翻訳精度を向上させることにより人間に対する依存度を低減させようとするものである。

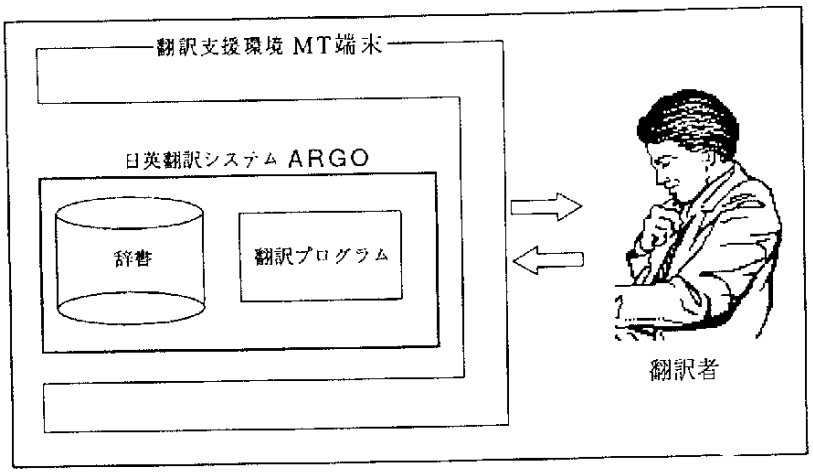
1.2 システムの概要

全体のシステム構成は概略図表Ⅳ-3-1のようになっている。日本経済新聞社のホストコンピュータとCSKのホストコンピュータとの間で原稿及び翻訳結果がオンラインで送受信され，さらに日本経済新聞社のホストコンピュータから英文テレコンのネットワークを通じて海外にサービスされている。

図表Ⅳ-3-1　全体のシステム構成



図表IV-3-2　翻訳関連システムの概要



実際の翻訳に関連するシステムの概要を図表IV-3-2に示した。MT端末とは翻訳に関するさまざまな作業を効率よく行えるようにした支援環境ソフトウェアである。これによりユーザ（翻訳者）は作業の流れに沿い自然な形で機械翻訳システムを活用することが可能となっている。

1.3 システムの開発過程

開発およびサービス開始に至るまでの過程の概略は以下のとおりである（ここで金融とは債券，為替，短期金融の総称をいう）。

1986年1月より
株式用語の収集およびデータ分析ー →
翻訳システム用証券辞書作成
株式記事の文体調査およびデータ分析→
翻訳ルール作成
同年6月より
株式記事の翻訳実験開始→
辞書および翻訳ルールの調整
同年9月より
株式記事の翻訳サービス開始
金融用語の収集およびデータ分析→
翻訳システム用金融辞書作成
金融記事の文体調査およびデータ分析→
翻訳ルール作成
新翻訳システムARGOおよびARGO用辞書開発開始
1986年12月より
金融記事の翻訳実験開始
1987年3月より
金融記事の翻訳サービス開始
1988年3月
ARGO開発完了および翻訳実験開始
同年6月より
新システム移行開始（ARGOによる翻訳サービス開始）

以上のような流れで現在に至っているが翻訳率向上のための辞書や翻訳ルールの継続的改良は引き続き行われている。また根本的な文解釈能力の向上を目的として，言語の背景にある分野知識（この場合には株式やより広い範囲の経済知識）を用いたパーザーの開発と同一方式による英日翻訳システムの開発も行っている。

1.4 システムの評価

機械翻訳システムの評価については，現時点では明確な基準が存在するとは言えない。それは扱う対象が言葉であり、判断に際して主観が入る余地が大きいからである。したがってここでの評価はマクロ的にみた翻訳率のデータを紹介するにとどめる。

図表IV-3-3はARGOによる翻訳率の推移である。ここでいう翻訳率は原文の文章数に対して，システムにより解釈され英文が出力された文章数の割合である。Aは実際の翻訳サービスに際して翻訳者が必要と思われる書き換えを施した場合でのデータであり，Bはまったく手を加えず元の原稿のまま翻訳した場合のデータである。

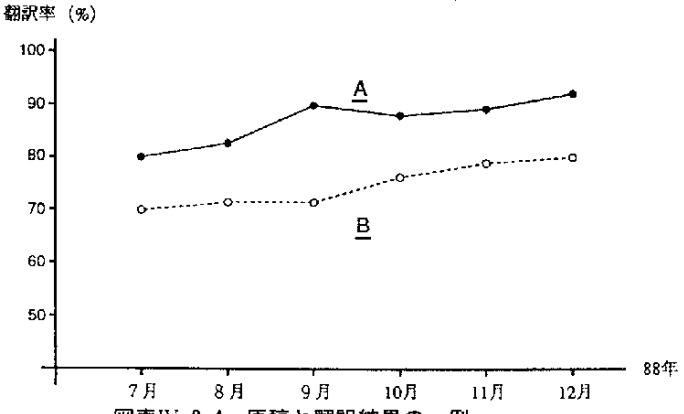
原稿と翻訳結果の例は図表Ⅳ-3-4に示すとおりである。

現時点では機械翻訳は発展途上にあり，使用しながらフィードバックすることにより改良されるものであると思われる。Bの生翻訳率の向上は毎日の翻訳結果からのフィードバックがシステムに反映されていることの証左である。Aの翻訳率は文法的に問題がある場合や人間が読んでも解釈にあいまいさが生じるような場合に改良した原稿に対する翻訳率である。Aの翻訳率が90%であることは，分野を限定しているという条件のもとではあるが実用性の高さを示すものである。2つの翻訳率のギャップはシステムの解釈力の現状を示すものであり，この部分で知識処理技術の活用に期待するところは大きい。

また翻訳速度に関して述べると現時点では1時間に約3,000字の処理能力となっている。

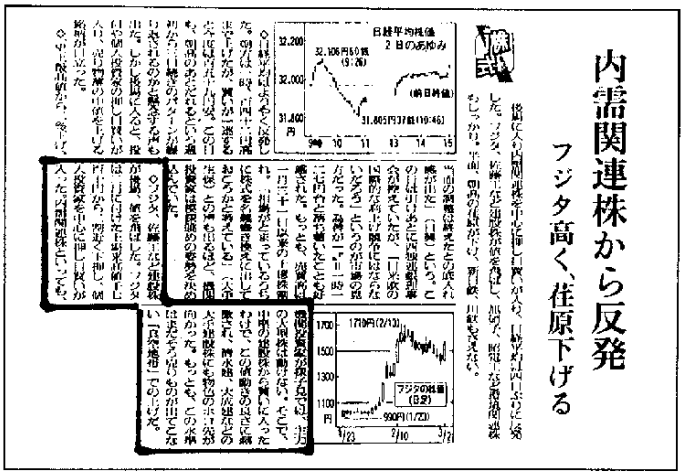
これについては翻訳プログラムのソフトウェア的改良と辞書アクセスの高速化などにより1989年中に1時間に

図表Ⅳ-3-3　翻訳率の推移



図表Ⅳ-3-4　原稿と翻訳結果の一例

日本経済新聞朝刊証券記事の一部


内需関連株から反発

フジタ高く、佐原下げる

翻訳結果

In the afternoon, constructions, such as Fujita and Sato Kogyo, surged. Fujita attracted dip buying mainly from individuals, as it has fallen about 20% from its high set in February. Since institutional investors took to the sidelines, the market is lacking in energy to activate leading large-caps. So, interest shifted to medium-sized constructions. Encouraged by their rapid price movements, selective interest expanded to major constructions, such as Shimizu and Taisei. They rose in thin selling.

約10,000字程度の処理速度を達成する見通しである。最後に辞書の現状について説明すると全上場企業を含む社名約20,000を除いて証券辞書，金融辞書それぞれ約30,000語となっている。

1.5 今後の取り組み

今後の取り組みとしては次の3点が中心となる。

① 翻訳精度の向上は当然として，翻訳作業を進める上で使いやすいシステムとしての完成度を高めること。

② 経済分野での経験を基盤に多分野での翻訳を可能にすること。

③ 日英および英日システムの開発をベースに多言語間システムを拡張すること。

2．英日機械翻訳システム「PENSEE」

2.1 はじめに

沖電気工業㈱と大阪ガスグループは，共同で日英／英日の機械翻訳システム「PENSEE」の開発に着手し，日本語から英語に翻訳する「日英PENSEE」を昭和62年春に開発した。この日英PENSEEは，その翻訳品質の高さから，高い評価を得ている。さらに，並行して英語から日本語に翻訳する「英日PENSEE」の開発を行っており，すでに実用レベルに到達している。ここでは，この英日PENSEEについて紹介する。

2.2 システムの概要

PENSEEは，沖電気製ワークステーションであるif1000（メモリ：8M bytes，磁気ディスク：80M bytes以上）上で動作する。PENSEEでは，中間形式の内部表現方法や処理アルゴリズムの効率化を図り，従来，大型コンピュータ上でないと難しいとされてきた日英／英日双方向の翻訳機能を，ワークステーション1台で実現している。

PENSEEの翻訳処理では，翻訳に必要とする知識を文法ルールと辞書という形式で表現する。英日PENSEEの文法ルールは，解析対象の英語の文法や生成対象の日本語の文法の翻訳知識をルールとして表現したものである。辞書には対応する訳語にはじまり翻訳に必要な各種の情報が保持されている。これらの文法ルールおよび辞書は，知識ベースとして磁気ディスク上に蓄えられる。

PENSEEの特徴は，文の情報を木構造で表現し，この木構造を操作することによって，原文から訳文に文を変換するところにある。原文は，形態素解析，構文解析，構文生成，形態素生成の順で処理され，訳文が生成される。　解析メカニズムは「深層格文法」方式を採用し，用語に対する格フレームや各単語の意味情報等に独自の工夫を施しているため，長文に対しても高い翻訳能力を有し，実用に耐える翻訳品質を確保している。

2.3 システムの開発経過

英日PENSEEは，1,000以上の文法ルールと約60,000語の辞書を保有しており，これらをうまく調和させることによって高品質な翻訳結果を得ることができる。機械翻訳システムの開発の難しさは，この「うまく調和させる」ところにある。多人数で多量の文法ルールと辞書を開発しなければならないため，この間の調整をとって最大限に効率をあげることが望まれる。

このためには，英語および日本語の知識を保有し，分析した翻訳プロセスを文法ルールとして実現できるような能力を持ち，かつ，コンピュータに精通している研究開発が，多人数必要となる。しかし，実際には，知識エンジニアやシステムエンジニアや翻訳専門家を集めて（しかも，少人数の）プロジェクトを構成することになる。そのため，PENSEEの開発では，開発作業をいくつかに分け各人

の能力を十分に発揮できるようにし，また分担して開発しても効率的な開発を進められるように開発環境の整備を行った。

PENSEEの開発環境では，①文法記述言語とその処理系，②文法ルールと辞書のデバッガ，にその特徴をあげることができる。

文法記述言語は，プログラマよりむしろ翻訳専門家が文法ルールを記述できることを目標として開発した。文法ルールは木構造の操作が中心であり，文法記述言語の利用により，簡単に木構造を操作することができる。また自然とモジュール化が促進されるため，部分的に独立した単位で分担して並行開発することが容易となる。

これにより，自然言語処理研究者と共に多くの翻訳専門家が文法ルールを直接コーディングできるようになり，さまざまな言語現象に対応した大規模な文法ルールを短時間に開発することができた。

デバッガは，PENSEE開発時の強力な武器となった。翻訳時に発火される文法ルールは原文ごとに異なる。よく似た原文を翻訳しても辞書の内容が異なるため発火される文法ルールが異なる。異なる文法ルールが発火されたとき翻訳結果も異なる。もし翻訳結果が期待したものでなかったとき，文法ルールそのもの，発火される順序，利用された辞書の内容等を調査し、原因を分析する。デバッガは翻訳過程の任意の時点で停止，再開することができるため，デバッガと会話しながら木構造の変化していく様子を観察することができ，原因分析作業を効率よく実施することができる。

以上のように，PENSEEの開発環境を利用することによって，開発努力の大部分を言語現象の分析，モデル化といった作業に振り向けることができ，品質の向上，開発効率の向上が図られた。

2.4 システムの評価

エキスパートシステムの評価の特徴は，一般の情報処理システムの評価と違い，専門家と常に比較されることである。機械翻訳システムの評価においても，人間が行う翻訳結果と比較されることが多い。機械翻訳システムの当面の目標は，原文に忠実に翻訳することであり，その翻訳結果は，翻訳専門家に比べると少々ぎこちない。

これに対し，人間の翻訳では「読み手のこと」や「何を目的として書かれた文であるか」等を意識しながら翻訳を行うため，当然ながら読みやすい（分かりやすい）翻訳結果が得られる。

機械翻訳システムを冷静に評価するうえではこの点が難しい点である。「理想の直訳」でもあれば，それを評価の原点にすることができよう。そこで，人間の翻訳結果と比較して，あらゆる欠陥を洗い出したうえで，その中で，機械が行う翻訳の上限（システム限界）を設定した。この上限に翻訳結果を近づけていくことを目標として開発を進めた。

特にマニュアルや技術資料のように，同一テーマで大量に翻訳が必要な分野では，専門用語辞書の整備を含めても，十分実用に耐えるとの評価も受けている。

2.5 今後の取り組み

開発目標として，またシステム評価の基準として，システム限界を設定したが，多くの人が機械翻訳に期待しているレベルとのギャップはまだ残る。現行方式の限界内の改良だけでなく，システム限界による制約を低減させ，幅広い分野で機械翻訳を実用に供すべく，方式そのものについての改良も今後の課題として研究開発を進めている。

第4部 画像理解

1．極限作業ロボットの視覚システム

1.1 システムの概要

知能ロボットは，人間の立ち入りが不可能であったり，不向きであるような場所で高度な作業を実行するための手段として不可欠のものである。東芝㈱では，原子力発電所という作業環境をモデルにとって，その中をさまざまな障害物を回避しながら移動し，配管やバルブ類の点検と取り替え作業を行うロボットに必要な視覚機能を実現する実験システムを開発している。これは通産省工業技術院大型プロジェクト「極限作業ロボット」の研究の一環として行われているものである。

ロボットが自律的に行動する場合，外部の情報を読み取りそれによって必要な動作を選択・調節していく。このための外部の情報の入手手段として，最も一般性の高いものは視覚である。特に，種々の場所を移動して作業を行う知能ロボットでは，固定の場所で使用される産業用ロボットに比べて飛躍的に高度な視覚機能が要求される。すなわち，特別に整備された背景や照明を予定しない3次元空間の中で，多種類の物体やシーンの認識を高速に行うことが必要になる。

本視覚システムはこうした要求に応えるべく開発中のものであり，大きく分けて次の2種類のサブシステムで構成されている。

1.1.1 移動用視覚システム

ロボットが，現在位置からバルブなどの作業対象物の存在位置まで，既知の環境の中を不時の障害物を回避しながら移動するのに必要な視覚機能を実現するもの。このシステムの特徴は，環境が既知であることを積極的に利用して，安定性と高速性の実現を図る新しい手法を採用していること，そして，能動センサを用いずに位置確認のできるステレオ視を利用していることである。

1.1.2 物体認識システム

あらかじめモデルの与えられた作業対象の物体について，画像中の複雑な背景の中からその姿勢や3次元的な位置などを検出する機能を実現するもの。3次元物体認識では，視線方向によって物体の見え方が大きく変化することに，どう効果的に対応するかが問題になる。このシステムでは，多方向からの物体の投影図を用意し，それらにみられる2次元的な特徴の分類体系を工夫して探索を効率化することでそれに応えている。

1.2 移動用視覚システム

ロボットが目的地まで自律的に移動できるようにするためには，ロボットが環境内に設置された座標系における自分の位置関係を認識できるようにする必要がある。また，進路上に障害物がある場合には，それを検知して回避していく機能が必要である。そのため，このシステムは環境内の自己位置を確認する位置確認システムと，移動方向に障害物があるかないかを検出する障害物検出システムとから構成されている。

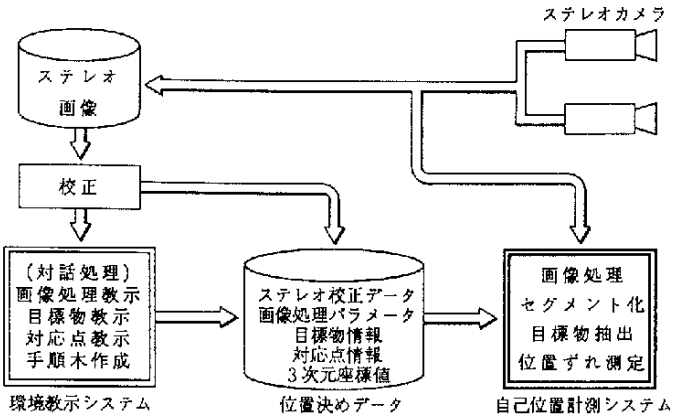
1.2.1 位置確認システム

環境内での自己位置を確認する方法には，ジャイロ等の内界センサによるものがあるが，それらは累積誤差のために信頼性に欠ける。したがって，曲がり角や段差の手前などのように高い精度の制御が必要な場所では，視覚などの外界センサによる必要がある。われわ

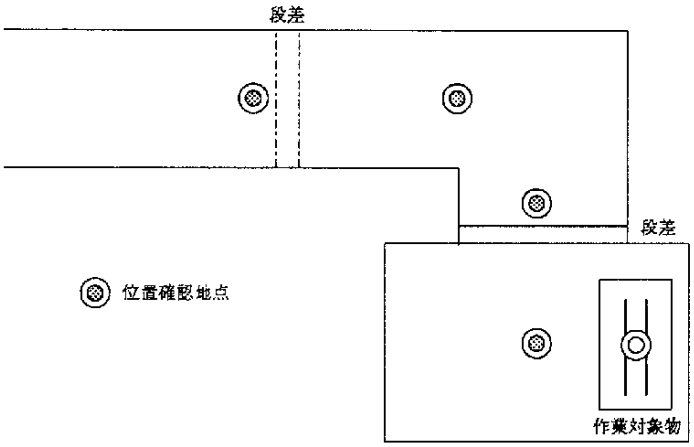
れは総合的な性能から判断して，3次元の位置が計測できるステレオ視を採用した。

ステレオ視を用いた環境認識方式としては，移動しながらシーンの変化を追って環境全体を理解するものがあるが，工場や発電所の内部のように既知の環境内を移動する場合には非常に無駄が多い。そこで，本システムでは環境データのうち自己位置確認に必要な部分の情報を事前に教示しておき，移動時にはそれを用いて高速に自己位置を検出できる方式を考案した。また，位置確認も任意の地点で行う必要はなく，図表IV-4-2に示すように曲がり角や段差のある場所のように前もって特定できる位置に限定できる。したがって，このシステムは図表IV-4-1のように，実走行前にあらかじめ設定してある位置確認地点において収集したステレオ画像を用いて，位置確認に必要な位置決めデータをオペレータの指示に基づいて作成する環境教示システムと，実走行時にこのデータを用いて環境座標系における自己の位置を計測する自己位置計測システムとで構成されている。

図表IV-4-1　システム構成

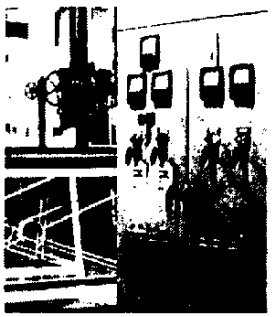


図表IV-4-2　位置確認地点

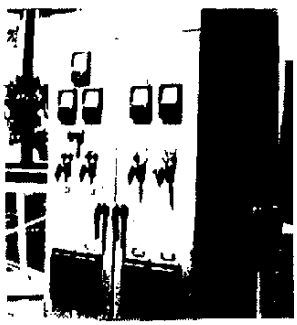


位置確認の具体的なやり方は，指定された位置確認地点の近辺にみられる特徴的な目標物（発電所内であればメータや配電盤などが多数存在しているので，それらを適当に組み合わせれば位置が一意的に区別できるようになる。）を選んで，その図形としての種類，位置および抽出手順などを位置決めデータとしてロボットに与え，ロボットは自分の視野内にその特徴を持った画像を検知することによって自分の位置を知るというものである。したがって，ここではいわゆるモデルベースドの画像認識が行われていることになる。

視野の中の目標物を検知する手法としては，教示時に目標物を構成する基本図形（楕円，四角形，平行線など）の検出手順を作成しておき，ロボットはそれを使って検知を進めるやり方をとっている。この場合，基本図形の

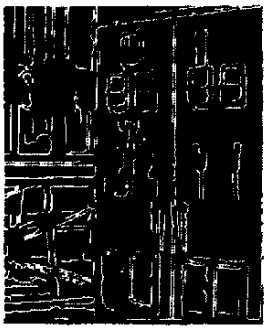


（左画像）

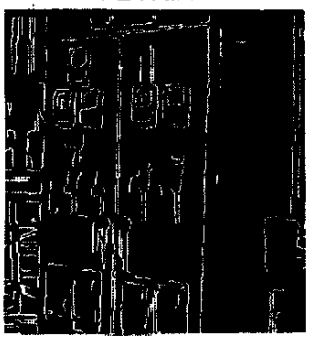


（右画像）

(a)教示画像



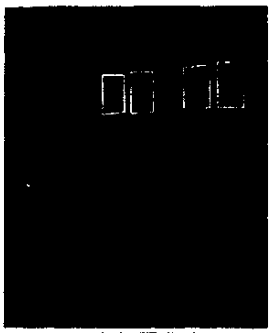
（左画像）



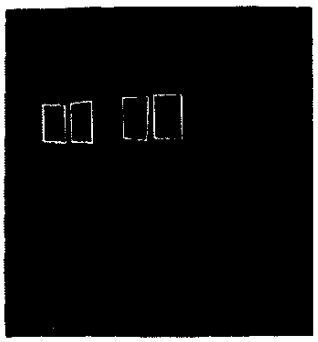
（右画像）

(b)教示画像のセグメント

写真1　教示シーン

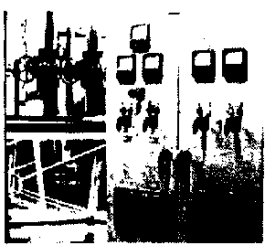


（左画像）

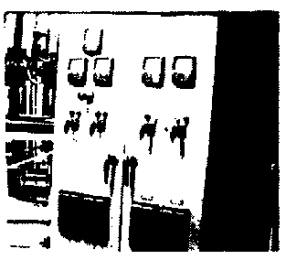


（右画像）

写真2　教示目標物

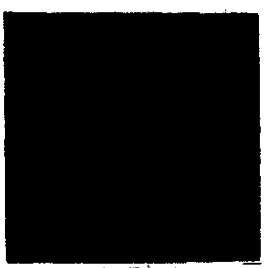


（左画像）

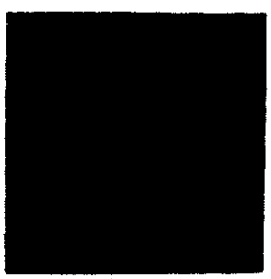


（右画像）

(a)移動時の画像



（左画像）



（右画像）

(b)移動時の画像のセグメント

写真3　移動時のシーン

（左画像）　（右画像）

写真4　左端のメータの候補

（左画像）　（右画像）

写真5　目標物の抽出処理の流れ——1

（左画像）　（右画像）

写真6　目標物の抽出処理の流れ——2

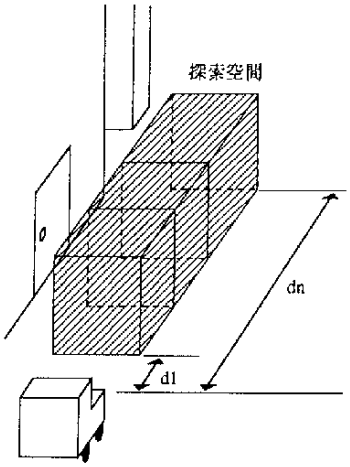
（左画像）　（右画像）

写真7　目標物の抽出処理の流れ——3

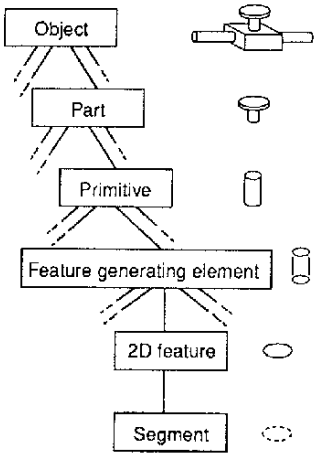
うちでシーンから紛れがなく，最も安定に検知できるもの（楕円，四角形など）を最初の手がかりとして見つけ，次にその周囲に探索領域を設定して，残りの基本図形を順次検出するようにしている。このほうが画像全体を同一の手法で記述し処理するよりも効率がよい。本システムは，ワークステーション（AS4000）に画像処理および線分追跡用ハードウェアを付加したイメージプロセッサ上に実装されている。これを用いて目標物の抽出実験を行ったときの記録が写真1～7である。

写真1(a)を教示位置のステレオ画像とし，写真(b)を走行位置でのステレオ画像としたときの結果を以下に示す。教示位置でのセグメント抽出結果が写真1(b)である。目標物として写真1(a)の4個のメータ列を4つの四角形の組として教示した。抽出の順番は，共通視野に入る可能性の高い左方の四角形を先行させるように教示した。走行位置のセグメント（写真3(b)）に対し，左端にあるメータの候

図表Ⅳ-4-3　等視差断面への分割



図表Ⅳ-4-4　三次元物体



補を画像全体の中で検出した結果を写真４に示す。検出した候補に対し探索領域（写真５～６の大きな矩形）を設定し，残りのメータを検出した結果が写真５～６である。写真７は目標物の抽出結果であり，教示した４つのメータを示す四角形が検出されている。

1.2.2 障害物検出システム

視覚情報に基づいて移動を行う場合，毎時シーン全体の記述を作成し認識を行うのでは極めて効率が悪い。一定時間内にロボットが移動できる範囲は限定されているので，障害物の検出を一定時間ごとに繰り返すものとすれば，その移動範囲内に障害物が存在しないことが確認できれば十分である。われわれは図表Ⅳ-4-3に示すように，ロボットが次に進行するはずの空間をカメラの光軸に垂直な断面によって分割し，その範囲内に相当する視差を持つ物体のエッジをステレオ照合によって検知する。そのようなエッジが見つかれば，それが障害物の可能性を教えることになる。この方法を視差予測ステレオ法と呼んでいる。

1.3 物体認識システム

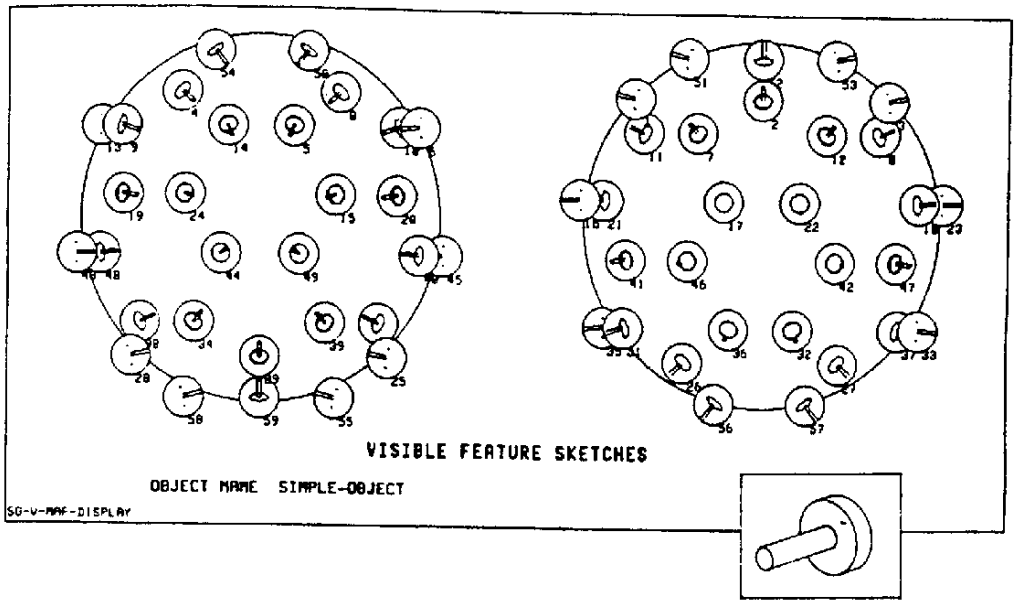
このシステムでは，一枚の濃淡画像の中から既知の形をした対象物を検出することを目的としている。この場合には，対象物の寸法が既知であるので，その情報を活用したトップダウン方式の処理が可能になる。一般に，信号処理レベルの画像処理では，連続したエッジが途切れた線図として検出されるといったことが多いが，トップダウン方式はこうした不完全な入力情報を正しく高速に処理するのに極めて有効である。

認識の対象となる物体は複雑な形状のものもあるが，図表Ⅳ-4-4のように分解していけば円柱・直方体・錘・トーラス・並行移動体などの基本形体の組み合せに還元できる。さらに，基本形体の２次元画像は楕円・平行線・四角形などの組み合わせに還元されることは前節でみたとおりである。したがって対象物の２次元画像は，これらの基本形体の２次元画像が一定の関係で組み合わせられたものとして理解できることになる。

物体を見る方向が一定している場合には，与えられたモデルからその視線方向の見え方の２次元的な特徴（基本図形の組み合わせ）を抽出し，それに合わせて認識を行えばよい。しかし，物体を見る方向が不明であったり，物体の姿勢が不定であったりする場合には，見え方のバリエーションに対処する方法が必要になる。

本システムでは，応用上の可能性から考えて視線方向を限定するのは不適当と判断し，全方位についてバリエーションを展開することにした。そのため，対象物を中心に持つ球面上で60点を等分布的にサンプリングし，そ

図表IV-4-5 Object appearances with dominant features from 60 view directions

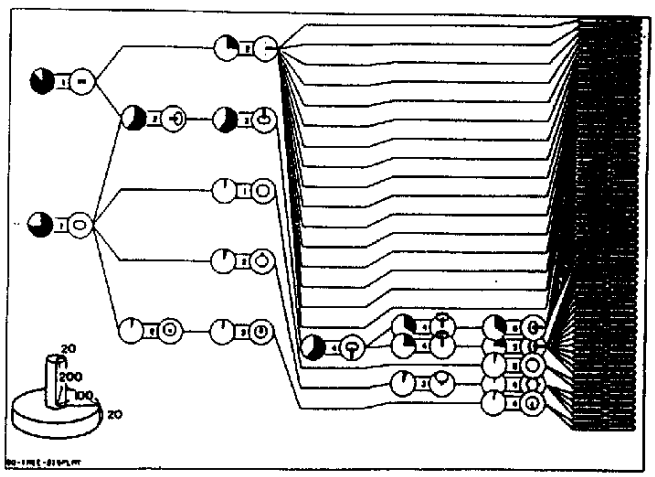


の各点からの見え方についてそれぞれ特徴記述を用意するものとした。その様子を図表IV-4-5に示す。

このように多数のバリエーションを考慮しなければならない場合に問題になることは，それらの中から所要のものをいかに効率よく見つけるかという検索方式のあり方である。

われわれは，図表IV-4-6に示すように，より多くの方向から見える特徴を優先して検索する探索グラフを用意する方式でこれに対処している。

図表IV-4-6 Appearance analysis



このグラフで右端のノードは，それぞれ1つの視線方向に対応している。それら以外のノードは2つの要素を持っており，右側の要素は特徴的な基本図形であり，左側の要素はそれがどれだけの視線方向から認められるものであるかの割合を示すものである。

1.4 おわりに

極限作業ロボットの研究開発は，通産省工業技術院が進めている大型工業技術研究開発プロジェクトの1つとして，昭和58年度から

実施されている。研究課題は，極限作業ロボットに関する基礎技術の研究開発とともに，実用原子力発電施設作業，海底石油生産作業などに応用するロボットの開発となっている。プロジェクトは平成2年度に終了する予定である。

2．ニューラルネットワークを応用した文字認識システム

2.1 はじめに

ニューラルネットワーク技術は，学習データの呈示により認識対象の分類や同定が柔軟かつ自発的になされ，文字認識における現行の方式の限界を越える技術として研究が盛んになっている。

現在，ニューラルネットワークモデルとして，多層結合モデル（代表例としてバックプロパゲーションモデル）と相互結合モデル（代表例として連想モデル）などがあるが，文字認識には前者が用いられることが多い。

ここでは，三菱電機㈱中央研究所における文字認識にニューラルネットワークモデルを応用した事例について紹介する。まず現行のコンピュータを用いたシミュレーションについて述べ，次に並列演算に適したハードウェアを構築した事例について述べる。また，将来の高性能ニューロコンピュータシステムを目指したハードウェア化（LSIニューロチップと光ニューロコンピュータ）について述べ，最後に今後の展望を述べる。

2.2 文字認識システム

2.2.1 概論

文字認識は現在，コンピュータシミュレーションによりモデルの有用性を確かめるものから，実際にハードウェアを構成して認識を行う例までさまざまである。活字に対しては後者の例があるが，既存の認識方式による認識率を越えるのはなかなか容易ではなく，モデルのみではなく，どのような特徴抽出を行うかも重要なポイントである。

2.2.2 コンピュータシミュレーションの例

森らは，バックプロパゲーションモデルを用いて，3組4字種手書き漢字｛(論，輸，輪，論)，(詰，結，紹，詔)，(渇，掲，湯，揚)｝の認識を行った［森　88］。入力層ユニット数64，出力層ユニット数4で，中間層ユニット数は1から8としている。学習データ数は各組に対して100個とし，未知入力データも各組に対して100個としている。

図表IV-4-7は認識率において本方式と従来手法とを比較した結果である。学習済みパターンに対しては，平均99.5%，未知パターンに対しては85%の認識率が得られている。いずれのパターンに対しても，従来手法より優れた結果が得られている。

また，学習中間層に「偏」と「つくり」を識別するユニット，および例外処理をするユニットが形成されていることが分かり，自己組織化におけるこのモデルの潜在的能力の高さを示しているといえよう。しかし，最良の学習方法等まだ不明な点が多く，今後の研究が必要である。

2.2.3 ハードウェアシステムの構築例

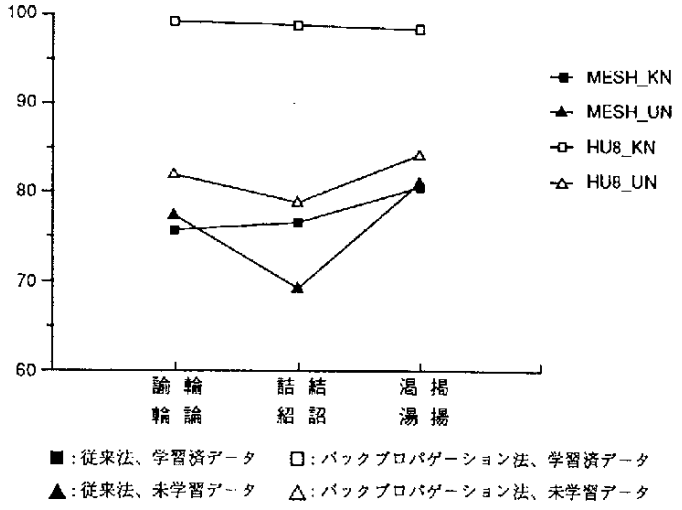
・システムの構成

本システムでは3層バックプロパゲーションモデルを用いた英数字の認識を，パーソナルコンピュータと画像処理用プロセッサの組み合せで行っている［山田　88］。図表IV-4-8にその構成を示す。モデル自体の改良は行っていないが，パイプライン処理を行う画像処理用プロセッサを用いることで，処理速度の高速化を図っている。並列モデルであるニューラルネットワークを実用化するには，このような専用の並列処理用プロセッサが必要不可欠であろう。

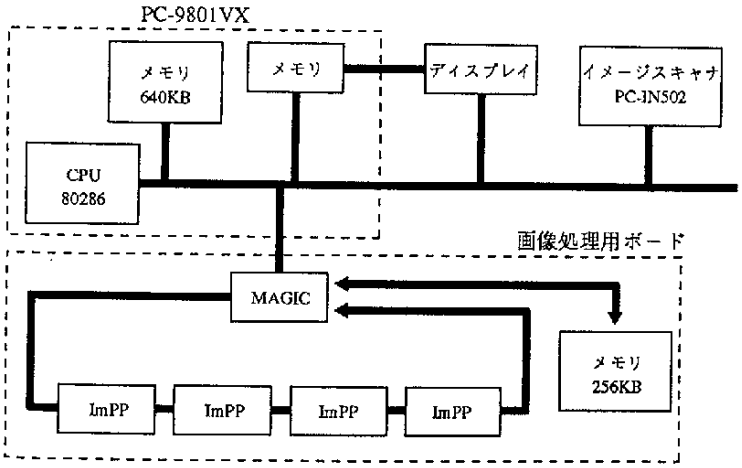
・認識結果

文字認識は，活字英数字と手書き数字とに対

図表Ⅳ-4-7 バックプロパゲーション方式と従来方式による手書き漢字の認識における比較



図表Ⅳ-4-8 文字認識システム構成図



して行っている。活字英数字認識では，1フォント当たり76文字の英数字記号16フォントを用いた実験を行っている。文字情報は特徴抽出を行い9×11画素の濃淡画像としており，これを入力情報とする。したがって，入力層は99ユニット，出力層は76ユニットとなっている。

3層構造で12フォント学習回数80回の場合，認識率は最高99.95%と従来法に比べて高い値が得られている(中間ユニット数50)。ただし，変形が比較的大きいイタリックフォントを含む16フォントを同時に学習した場合の認識率は，98.8%となり認識率が低下する。この場合4フォントを別の同一構成ネットワークで追加学習を行うことにより，認識率を99.8%にすることができた。変形の大きな文字種をも同定できるモデルが必要となろう。

次に，手書き数字認識について述べる。文字種は0～9の10種類，総データは2000，そのうち1000個を学習サンプルとして用いている。局所結合型のニューラルネットワークを導入することにより認識率の向上を図っているが，未学習データと学習データに対する認識率結果が相反する結果となっており，モデルや学習方式の改善が必要である。

2.3 文字認識システム用ハードウェア

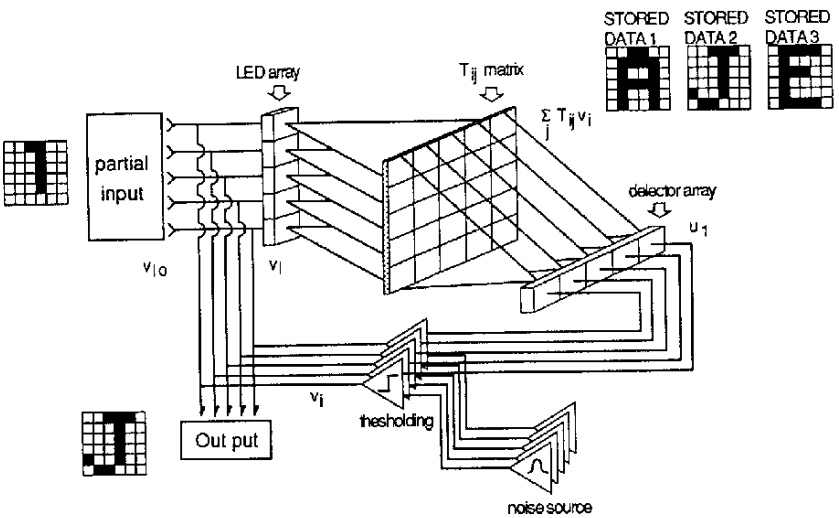
2.3.1 概論

高速で文字認識や学習等の処理を行うためには，専用のハードウェアとしてのニューロチップの開発が必要となる。ニューロチップのアプローチとしては，Si-LSIと光とがある。現状では，光素子集積化技術がまだ未熟なため前者の例がほとんどであるが，空間並列性，無誘導性，超高速性等の特徴を有する

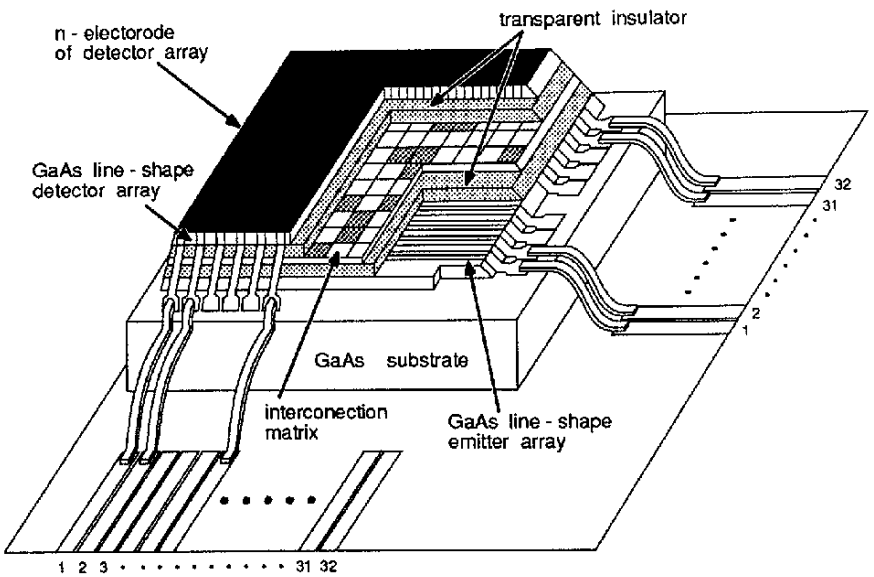
図表Ⅳ-4-9　ニューロチップ特性比較表

	研究機関	ニューロン数	機能／特徴	チップサイズ	構造	設計ルール
Si-LSI ニューロチップ	AT&T	54	連想,固定シナップス結合	6.7mm²	CMOS 7万5千個	2.5μm
	JPL	32	連想,固定シナップス結合	7×9mm²	CMOS 1万4千個	3.0μm
	筑波大/日立	6	全デジタル回路化	12mm²	CMOS 1万2千個	1.2μm
	富士通	1	階層化モデルに使用,多重化	5.3×3.8mm²	Bi-CMOS	2.0μm
光ニューロチップ	三菱電機	32	連想,固定シナップス結合	8×8mm²	LED+PD64個	10 μm

図表Ⅳ-4-10　光ニューロコンピュータ構成図



図表Ⅳ-4-11　光ニューロチップ構成図



光技術を用いた光ニューロチップは，大規模／超高速ニューロコンピュータに必要となろう。図表IV-4-9は，現状のニューロチップを比較したものである。まだニューロン数は数十程度と小規模で，可変シナプス結合を持つチップは少ない。

2.3.2 LSIニューロチップ

Jackelらは，54ニューロンのチップ（固定シナプス結合）を用いて適当な特徴抽出を行った手書き数字の認識を行った。認識率として99%を得ている［Jackel 88］。ただし，チップと制御用コンピュータとのI/Oボトルネックのため現状では処理速度の向上は図れていない。

2.3.3 光コンピュータ

図表IV-4-10は，光学的な行列－ベクトル乗算器を用いた光ニューロコンピュータ（ニューロン数32，蓄積情報数3）の基本構成図である［太田 88］。各ニューロンの興奮状態は，一列に並べられた発光ダイオード（LED）の点滅状態に対応している。光学マスクはニューロン間結合強度を光の透過量として表現している。フォトダイオード（PD）アレイで光電変換された信号は，比較器でしきい値処理される。この構成によりフィードバック型ニューラルネットワークが実現できる。さらに，ローカルミニマにトラップされることなく完全情報に収束するように，無相関な熱雑音源を比較器の参照端子に与えている。この結果，文字認識率70%から90%へと向上した。

図表IV-4-10の光ニューロコンピュータは，個別の光部品で構成されているため，装置の寸法が大きく（約50cm），しかもLSIなどの電子素子との実装上の整合性もない。この点を解決したのが，図表IV-4-11に示す光ニューロチップである［太田 89］。8mm角のGaAs基板上に発光素子アレイ，光学マスク，受光素子アレイを層状構造に集積化している。このチップを用いた連想特性は，個別部品の場合と同程度の認識機能が得られた。

2.4 展望

今後は，まず第1に，モデルに関する研究をさらに進め，より柔軟かつ高速な学習アルゴリズムを開発する必要がある。また，専用のハードウェアの開発も一層重要になろう。ニューロン数100以上で可変シナプス結合のチップが当面のターゲットであろう。

〈参考文献〉

［森 88］ 森，横沢，梅田 信学会技報 MBE87-156，(1988)．

［山田 88］山田，上，溝口，大満 信学会技報 PRU88-58，(1988)．

［Jackel 88］ L.D.Jackel, H.P.Graf, W. Hubbard, J.S.Denker,and D.Henderson IEEE Int'l Neural Networks II-107, (1988)．

［太田 88］太田，久間 光学，17，550-556 (1988)．

［太田 89］ 太田，高橋，新田，田井，光永，久間 1989年春応用物理学会，3pZA13．

第5部 音声理解

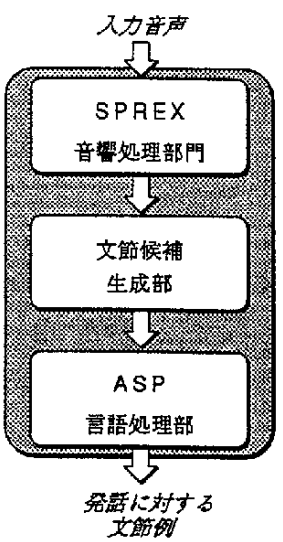
1. 音声理解システム「SPURT-1」

1.1 システム開発の背景

コンピュータによる連続音声の認識は人間とコンピュータとの対話を実現するために不可欠な技術として注目されてきた。しかし，音声が持つ音響情報だけを用いたのでは連続音声認識は不可能であることも明らかになってきている。音声理解システムの研究は，発話の意味を理解するだけでなく，音響情報に加えて，発話の構文，意味情報を用いて音声認識を行うことを目的としている。このことから，音声理解システムは発話内容の理解を通した連続音声認識システムということもできる。この分野の研究は，1970年代の前半に米国のDARPAの支援のもとに大規模な研究が行われた後しばらく途絶えていたが，音声認識技術，自然言語技術，そして知識処理技術の発達に刺激されて近年再び活性化してきている。

大阪大学産業科学研究所では，音声理解システムを音響，音声，言語，認知科学にわたる多様な知識を利用する大規模な知識処理システムと位置づけて，システムの構築に必要とされる膨大な知識の獲得とその効率的な利用に重点をおく立場から，文節単位の発声を仮定した日本語音声理解システムSPURT-1 (SPeech Understanding system with Rule - based and Topic-directed architecture) の開発を行っている。[1]

図表IV-5-1 SPURT-1の構成図



1.2 システムの概要

SPURT-1は図表IV-5-1に示したように，音響処理部 (SPREX:SPeech Recognition EXpert) [2] [3]，文節候補生成部，そして言語処理部 (ASP:ASsociation-based Parser) から構成されている [4] [5]。また，文節候補生成部と言語処理部を合わせて高次情報処理部と呼ぶ。

1.2.1 音響処理部

音響処理部は連続音声認識エキスパートシステムSPREXとして実現されている。SPREXは音声の特徴パラメータの軌跡を視察することにより，そこに含まれる音韻の位置と種類を認識することのできる音声の専門

図表IV-5-2 SPREXの認識単位

A:/a/	B:/b/,/d/,/g/,/z/,/ng/	
I:/i/,/y/	P:/p/,/t/,/k/,/c/	
U:/u/,/w/	M:/m/,/n/,/ng/	
E:/e/	S:/s/,/h/	R:/r/
O:/o/	Y:/y/,	W:/w/

家の振舞いを，知識工学の手法を用いてシミュレートし，図表IV-5-2に示されたようなグループ化された音韻単位の認識を行うシステムである。このような音韻のグループ化を行うことにより，不特定話者に対応させることが容易になる一方で，音韻情報の曖昧性が増大するが，これは高次情報を用いた後処理により対処する。

入力された音声は特徴記述部で分析されたのち，特徴パラメータの変化の様子を表す記号データに変換される。このデータは知識ベースシステムとして実現された認識処理部へ送られ，ルール表現された知識を適用することにより音韻境界と音韻の認識が行われる。その結果，図表IV-5-2に示したような記号からなる音韻列が出力される。

特徴記述部はApolloコンピュータ社のDN/4000上にC言語とFORTRANを用いて，認識処理部はSymbolics社のリスプマシン上に Symbolics Common LispとOPS5を用いて実現されている。

1.2.2 文節候補生成部

音響処理によって得られた文節単位の音韻列は，まず文節候補生成部において文節内の構文規則を考慮して単語辞書とデータ処理マッチングが行われ，該当する文節候補が生成される。このとき，各候補には音韻パターンとの類似度が0から1までの値として与えられ，類似度が0.90以上のものが候補として採用される。

1.2.3 言語処理部

言語処理部ASPは文節候補生成部において生成された文節候補列を入力とし，構文，意味，文脈知識を用いて最終的に正しい文節列を同定する。

通常人間が音声を認識する場合，特定の話題に対して考慮の対象となる語彙は十分限局されている。言語処理部では，認知科学的検討に基づいて実現された連想機構によってそのような候補単語の絞り込みが行われる。

ASPでは，主題と単語の意味記述を，意味記憶およびエピソード記憶として統合した知識構造が導入されている。意味記憶は同義・類義の関係に基づいて階層的に構成され，人間が持つ概念の階層関係を表現している。左側は具体的な概念，右側は抽象的な概念を表している。エピソード記憶は文中の話題に対応する主題を中心とした階層構造を持ち，各主題に特徴的なできごとが場面フレームとして記述されている。場面フレームには，そのできごとに典型的な動作や対象物などが，それぞれに対応する意味上の制約とともに記述されている。場面フレーム中の意味制約と意味記憶中の対応する概念は両方向性のポインタで結ばれており，どちらからでも連想することができる。

ASPでは，常に主題が未確定の状況から処理を開始することを前提としており，処理の第1段階として入力候補全体から主題の抽出が試みられる。入力候補列から連想される主題は，それぞれの主題を連想させる候補の個数によって得点づけされ，最も高い得点を与えられたものが選択される。このとき主題間の階層関係等も考慮され，より下位に定義された具体的な主題が選択される。また，選択された主題が以後の処理結果から不適切であると判断されれば，後戻りして他の主題の選択を試みる。

ASPの処理はデーモン機構に基づいており，多様な知識を利用可能なものから順次用いることによって音韻認識の不確実さに起因する曖昧さを解消する。この処理方式の中に，主題に基づくトップダウン処理と，局所的な係受けを調べるボトムアップ処理とが融合されている。ASPはSymbolics社のリスプマシン上でSymbolics Common Lispを用いてインプリメントされている。

1.3 システムの開発経過

音響処理部SPREXは1982年5月に構想が

生まれ，1984年2月に第1版が完成した。その後，実現するコンピュータが大型機からリスプマシンに変わるのを契機に全面的に再構築するとともに，知識ベースの構築支援環境を整備した第2版が1987年12月に完成した。約8人/年を要している。

また，言語処理部ASPは1983年7月に基本構想が生まれ，1984年12月に第1版のC-Prolog版が完成した。これは主題と有効語彙との連想関係の利用に重点をおいたものであり，言語処理機能としては初歩的なものであった。1985年4月よりリスプマシンの上で本格的な実現が開始され，1987年12月に500語の語彙を持つ第2版が完成した。現在は1000語のシステムが稼動しており，3000語への拡張が進行中である。

1.4 システムの評価

性能評価のための認識実験には1名の成人男性が文節単位に発声した10文章（593音韻）を用いた。対象とする文章は，小学生中・上級生向けの物語「大草原の小さな家」の中から情景描写に関する部分を採用した。74文章中に含まれる452語を基に，分類語彙表から類義語などを合計1000語抽出し辞書を作成した。音声試料は遮断周波数4.5kHzの低域濾波を行なった後，10kHzでサンプリングされ，線形予測分析法（12次，自己相関法，ハミング窓，フレーム長20ms，シフト長10ms）を用いて分析された。

その結果，音響処理部単体での音韻認識率は85%，文節認識率（すべての音韻が正しく認識された文節）は43%となった。この音韻認識結果から，文節候補生成部は平均28個（最大114個）の文節候補を生成した。正解候補は平均3.9位（最大33位）に現れていた。

言語処理部は10文中9文を第1位の解として出力した。また，第1位の解として得られた文章に含まれる文節の正解率は97%となった。処理時間に関しては，音響処理部は1秒の音声の認識に3～5分，文節候補生成部は1文節の候補生成に1～2分，言語処理部は1文章の認識に2～3分を要した。

1.5 今後の取り組み

音響処理部の課題は認識率の向上にあることはいうまでもないが，特に不特定話者への対応が重要である。そのためには知識ベースのアップデートが不可欠となり，それを支援する学習機能を開発中である。

言語処理部に関する課題は，まず3000語の語彙のシステムを稼動させることである。また，エピソード記憶の構築を支援する機構，文脈知識の利用，連続発声への対応，仮説推論の導入などがある。一部は現在進行中であるが，残された課題も多い。

〈参考文献〉

[1]辻野，堀，溝口，角所：音声理解システムSPURT-I，電子情報通信学会研究会資料，SP88-116，1989.

[2]溝口，田中，福田，辻野，角所：連続音声認識エキスパートシステム-SPREX-，電子情報通信学会論文誌(D)，J70-D,6,pp.1189-1198（1987-06）.

[3]辻野，桜井，野村，千種，溝口，角所：知識ベース構築支援環境を備えた連続音声認識エキスパートシステム：SPREXII，電子情報通信学会論文誌(D)，J71-D,3,pp.531-542（1988-03）.

[4]堀，溝口，河内，上原，豊田，角所：音声理解システムのための連想パーザASP-認知科学検討に基づくフレームワークの設計-，電子情報通信学会論文誌(D),J71-D.5,pp.774-781（1988-05）.

[5]堀，大隅，尾崎，溝口，角所：音声理解システムのための連想パーザASP-知識の詳細と性能評価-，電子情報通信学会論文誌(D)，J71-D, 5, pp.782-789（1988-05）.

[6] 辻野，竹之内，桜井，千種，野村，溝

口，角所：適応的ルールインダクションシステム：ARIS，電子情報通信学会論文誌(D),J72-D II,1 (1989-01).

[7]岡田，野村，堀，溝口，角所：連想パーザASPにおけるエピソード知識獲得支援システム，人工知能学会知識ベースシステム研究会（1989-02発表予定).

[8]大隅，尾崎，堀，溝口，角所：連想パーザASPにおける曖昧さ解消のための知識と推論，情処学知識工学と人工知能研究資料，56-1 (1988).

[9]西岡，堀，池田，溝口，角所：ATMSの拡張とその応用，人工知能学会知識ベースシステム研究会，SIG-KBS-8805-5,1989.

2．ニューラルネットワークとファジィ論理を用いた子音認識方式

2.1 音声認識の課題

使い勝手のよいインタフェースは，使用者の思考を中断しないという条件の実現が重要である。このため，思考をそのまま表現するのに向いている音声が注目され，その音声による入力技術（音声認識技術）が重要になってくるものと予測される。そこでは，使用者の思考を中断しないという条件の実現には，一般に自由で曖昧な発声と，話し言葉を許容した，対話型のものとすることが望ましいと考えられる。

話し言葉による音声は，いわゆる書き言葉の文法に従った整った文章とは，異なった世界となっている。さらに，言い直しや，言い差し，間投詞などが頻繁に現れる。書き言葉では文の意味的構造を示す重要な働きを持つ付属語は，音声では一般にきわめて曖昧に発音される。音声によるインタフェースを実現するためには，このような特性を持つ音声の文章の意味的構造を認識する音声向きの技術と，曖昧に発声された音韻を認識する技術が必要である。

また，人間同士のコミュニケーションにおいても不可欠なように，言語レベルでの高度の知的機能の実現が必要である。

これらの課題のうち，㈱日立製作所中央研究所が研究している音韻認識，特に発音が曖昧で変形も大きく認識の困難な子音認識に，ニューラルネットワークとファジィ論理を用いた方法の概要を述べる。ここでの方法は知識処理的認識手続きの枠組みの中に用いている点，および両者を有機的に組み合わせている点に大きな特徴がある。(なお，本技術はニューラルネットワークとファジィ論理は，いわゆる音声理解のための処理には，なんら用いていない)

これに対し，これまでに提案されているニューラルネットワークを用いた音声認識方法はパタンマッチング法をベースとしている。また，ファジィ論理の音声認識への利用も，パタンマッチング法や木判定法に適用している。いずれも，後述のように性能改善を弊害無しに進めることが難しい。

2.2 方式の概要

従来のパタンマッチング法等の音声認識手法は，開発者の立場からみた場合，エラーの原因が特定困難なこと，また，エラー対策のために，例えばエラーを起こした標準パタンを入れ替えると，それまで正しかった他の認識が悪影響を受けエラーを起こす，などの問題が生じ，全体としてなかなか性能改善が進まない状況になっていた。

そこで，音声現象を知識的に扱い，エラーの原因を特定できる方式とすることと，対策が弊害を起こさない構造として，対判定方式を取り上げることとした。

2.2.1 対判定認識方式の構成

対判定方式は，スポーツにおけるリーグ戦と同じであり，すべての認識候補の組み合わせに対して，入力音声がどちらの可能性が高

いかを判定処理し(対判定)，各判定結果の総合的順位で入力音声を判定するものである。各対判定ルールは各音韻対ごとに，その対を判定するのに適した処理法を知識の形で記述し用意しておく。

認識エラーが生じた場合は，勝つべき正しい候補がどの判定で負けたかを調べれば原因が分かる。勝つべき対判定で誤りが生じていた場合，その判定が正しい結果が出るように対判定知識を改良しても，その他の対判定結果には影響を与えず，弊害を起こさない構造となっている。

しかし，この方式には2つの大きな課題がある。

その1つは，通常発音はかなり曖昧であることもあり，各対判定結果は明確に出ることはむしろ希であり，双方とも可能性の低い場合や，逆に高い場合，あるいは一方の可能性がやや高い場合等さまざまなケースが必要なことである。

そこで，このような曖昧な発声に対応できる勝負の判定法として，ファジィ論理に注目する。

もう1つの課題は，音声を知識的に記述する上で必要ないろいろな特徴に対応する物理量に分かっていないものが多いという点である。

この課題に対しては，ニューラルネットワークの持つ自己学習能力に注目し，学習データとして，この音声はこういう特徴を持っているはずであるというデータをニューラルネットワークに与え，その特徴の抽出手順をニューラルネットワーク自身に作り出させる方式とした。

2.2.2 ニューラルネットワークによる特徴抽出

音声のさまざまな特徴ごとに1つのニューラルネットワークを対応させ，それぞれのニューラルネットワークは担当する特徴の曖昧さの程度を出力し，その出力を用いてファジィ論理はあらかじめ与えられた手順によって入力音韻を判定していく。

ニューラルネットワークはパーセプトロン型のものを用いている。特徴により3つのタイプを用意している。いずれも4層で最終層の出力ユニットは1個である。入力は特徴によりスペクトルやパワー等の情報を用いている。

ニューラルネットワークの学習は，各特徴ごとに単語中からその特徴の存在する部分としない部分を切り出して入力として与え，これに対する出力をそれぞれ1と0としてバックプロパゲーション学習により行った。

各ニューラルネットワーク出力は，その特徴が完全にあれば1を，まったくなければ0を示し，特徴の存在が曖昧な場合は，その曖昧さの程度に応じて中間的値を出力する。この曖昧さの程度の情報をファジィ論理におけるメンバシップ関数と見なしている。このように，ニューラルネットワークとファジィ論理の組み合せはきわめて整合性がよい技術とみられる。

2.2.3 ファジィ論理による判定

ファジィ論理による対判定は，対象としている対を判定するのに必要な特徴（何の特徴を使うかは知識としてあらかじめ与えられている）の曖昧さのファジィ論理和を用いている。どんなに曖昧な発声でも最低1つはその音韻の特徴がなければならないと考え，それぞれの子音を指示する最も有力な証拠としての特徴の値をもって，その子音のもっともらしさとしたものである。

次に，子音候補のすべての組み合せの対判定結果を用い，ファジィ論理積を用いて総合的に判定を行っている。認識結果はどの対立する子音候補よりももっともらしいことが要求される，という考え方に基づいている。これらの論理はこの他にもさまざまな考え方がありうる。

2.3 評価実験結果

ニューラルネットワークは12種の特徴に対し作成，学習が収束した。

この中で4特徴を使用した実験では，パタンマッチング法では間違っていたものの中で，人が判断して正しく認識すべきである（4特徴に対して）と思われるものの約7割が改善され(学習外)，副作用は大変少ないことが実験により確かめられている。

2.4 今後の課題

現在はニューラルネットワークの出力をそのままメンバシップ関数と見なして扱っているが，学習データの分布を反映するようにニューラルネットワークの出力を変換を施すことが望ましい。さらに，特徴の種類や，ニューラルネットワークの層数，ユニット数等の最適化も今後の課題である。

また，本方式は音声理解システムの入口部分である音響レベルの音声認識手法であり，音声理解システムとするためには，音声の文章の意味的構造を認識する音声向きの技術と，言語レベルでの高度の知的理解機能，対話制御技術，応答技術の実現が必要である。また，これらの技術を実用に耐える確実な技術とするためには，多様な音声データベースによる裏付けが必要である。

第6部 知能ロボット

1．ニューラルネットワークによるロボット制御

1.1 はじめに

多数の並列的に動作するニューロン素子を相互に結合した構造を持つニューロコンピュータは，その高速動作とニューロン素子間の結合の強さの自動調整によって学習機能を実現できる。この学習機能は，これから需要が拡大し，しかも人間とのインタラクションが頻繁に行われる新しいロボットに必須の機能である。学習機能を有するニューロコンピュータは，オフィスロボット，医療／福祉ロボット，ホームロボットのように必要機能が高度化し，現在のロボット技術ではその複雑な要求をこなしきれないという問題に1つの光明を与えるものである。

このようなロボット技術の現状を背景として，ニューラルネットワークとして実用性の高い階層ネットワークに着目し，㈱富士通研究所が移動ロボットの適応的な行動制御への応用技術について述べる。

1.2 ロボット制御の階層性

ロボット制御系の構成は，上位レベルの制御系と下位レベルの制御系からなる階層構造の形をとる。上位レベルの制御系が，認識，判断，動作計画などのいわゆる知的レベルの処理を行い，下位レベルの制御系はこれを受けてモータ制御を行う。ロボット制御の最終目標は，環境に対する働きかけ，すなわち作業の制御である。作業環境を直接計測するために，視覚，触覚，聴覚などの外界センサが用いられ，これらのセンサにより得られた情報が各レベルの制御系へフィードバックされる。この意味で，センサとその利用技術は，ロボットの制御においてきわめて重要である。

下位レベルの制御系設計の枠組みとして，一般に受け入れられている考え方は，ロボットが制御する作業空間において，位置，姿勢，力，モーメント，コンプライアンスをダイナミックに制御するという考え方である。ロボットの作業は，作業座標系を設定し，その座標系で位置，力，コンプライアンスの目標を設定することにより記述される。これらの設定は，上位レベルの制御系が行う。

このようにロボット制御系の設計問題は，システムレベルに属する問題である。しかし，この設計問題は，多変数パラメータが複雑に入り組んだ問題であり，蓄積された研究成果がほとんどない。そこで，新しいアプローチとして，人間の脳の情報処理を参考としたニューロコンピュータによる方法が現在研究されている。下位レベルの制御系の研究としては，小脳の異シナプス可塑性をモデルに3層ネットワークでマニピュレートのヤコビ行列の学習などが進められている。また，上位レベルの制御系の研究としては，移動ロボットの行動制御への応用研究がある。

1.3 移動ロボットの行動制御への応用

上位レベルの制御系への応用として，移動ロボットの行動制御がある。ここでは，写真1に示すように各々12個のセンサを装備した移動ロボットが捕り物劇を行う。これらのロボットは，3層ネットワークを複数用いた構造化ネットワークにより制御されており，毎回異なる場面に対して学習により得た知識で

図表IV-6-1 移動ロボットの主要特性

最大加速度	0.9m/S²	発光ダイオード		16個
最高速度	1.0m/s	搭載センサ	光センサ	4個
操舵加速度	90°/S²		超音波センサ 23kHz	1個
M P U	MB89702		超音波センサ 40kHz	2個
電源部	6Vバッテリ,2個直列		タッチセンサ	2個
走行操舵系	DCモータによるON-OFF制御		リミットセンサ	3個
寸法	Ø260×315mm		合計	12個
重量	5.4kg	そのほか	電圧ブザー,ランプ	

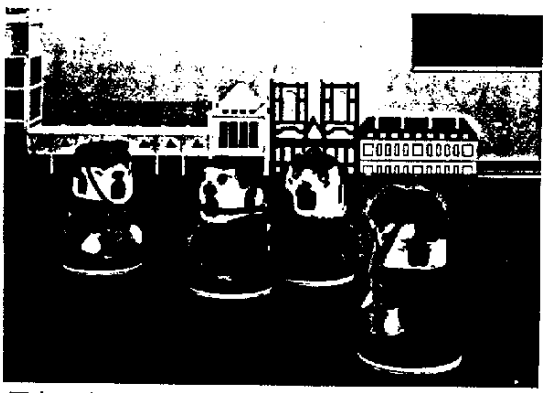


写真1 複数の移動ロボットが演ずる捕り物帖

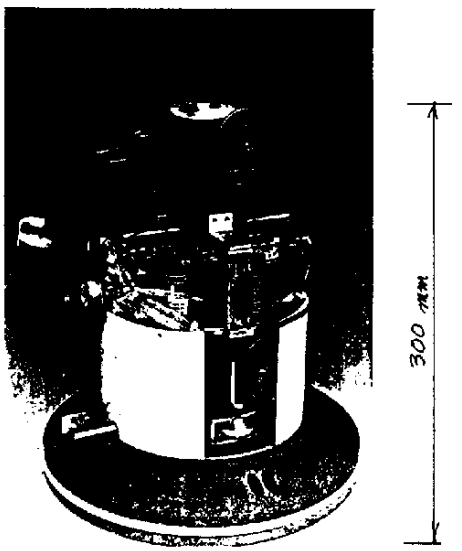


写真2 移動ロボットの外観

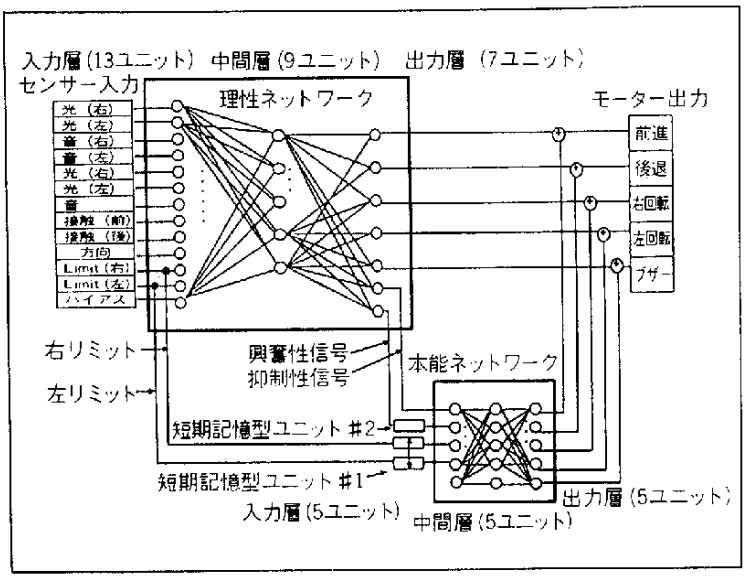
うまく対応し，犯人ロボットをみんなで捕まえるというものである。

1.3.1 小型移動ロボット

試作した小型移動ロボットを写真2に，その主要性能を図表IV-6-1に示す。ロボットは4つの車輪と2つのモータ（推進用・操舵用）を持ち，4輪を同時に操舵しながら移動できる。また，外部環境や自己の内部状態を認識するための超音波センサ，光センサなどを備えている。このロボットを素材として，複数のロボットに追跡劇を演じさせ個々のロボットの適応性，学習機能が確かめられている。

ここでは，同一の機構およびニューラルネットワークを持つ複数のロボットは，学習によって捕獲ロボットにも，逃走ロボットにもなりうる。捕獲ロボットは，超音波センサと光センサによって逃走ロボットを探索し，その方向に追いかける。一方，逃走ロボットは，腹部の光センサで捕獲ロボットの腹部にある発光ダイオードの光を検出し逃げる。このように，センサ入力情報と行動パターンとの基本的な対応関係を教えるだけで，一方は追い

図表Ⅳ-6-2　構造化したネットワーク



かけ，もう一方は逆に逃げるように訓練してある。

1.3.3 構造化ネットワーク

ロボットの制御には，目前の事象を処理する機能と過去の経験をもとに処理手順を生成する機能が必要である。しかし，単体の3層ネットワークの処理は一般に目前の事象を処理する機能のみである。そこで，3層ネットワークに処理手順を生成する機能を与えるため，複数個のネットワークを構造化する方式を採用している。これは図表Ⅳ-6-2に示すように，〝理性ネットワーク〟と〝本能ネットワーク〟と呼ぶ2種類の階層ネットワークからなり，短期記憶型ユニットを介して2つの3層ネットワークを結合した構成をとる。理性ネットワークは，ある瞬間のセンサ入力情報と行動パターンとの対応関係，すなわち，静的な入力関係を学習する。一方本能ネットワークは，ある時間幅でのセンサ入力情報と行動パターンの系列との対応関係，すなわち，動的な入出力関係を学習する。

このシステムでは，理性と本能ネットワークを，〝探索行動〟と〝回避行動〟と呼ぶ2種類の行動パターン系列を取り扱えるように構成してある。すなわち，理性ネットワークの出力層と本能ネットワークの入力層ユニットとの間を，興奮性と抑制性の2種類の信号で結合し，抑制性の信号で理性ネットワークと本能ネットワークとの切り替えを制御する。理性ネットワークからの興奮性の信号は，短期記憶型ユニット#2を介して本能ネットワークに結合し，回避行動のトリガとしている。さらに，リミットセンサと本能ネットワークの入力層ユニットとを相互に抑制性の結合を持つ短期記憶型ユニット#1を介して結合し，探索行動のトリガとしている。ここで，探索行動とは，ロボットが相手を探索するための〝キョロキョロする〟という行動パターンの系列である。一方，回避行動は，障害物に衝突したときの回転しながら後退するという行動パターンの系列である。

この理性と本能ネットワークは，比較的少数のユニットで構成でき，しかも，理性ネットワークと本能ネットワークのいずれも独立に学習させられる。これにより，高速で効率のよい学習が実現されている。この学習には，仮想インピーダンス制御法を適用し，理性ネットワークに62パターン，本能ネットワークに10パターンを与えている。学習は，約500回の学習回数で収束している。なお，理性と本能ネットワークは，シミュレータとして8ビットワンチップマイクロコントローラ上に搭載されている。ネットワークの前向きの処理には約30msと十分高速に実行でき，実時間制

御を実現している。

1.4 おわりに

マイクロコンピュータの進展により発展してきたロボット技術が壁に当たっている。この壁は，現在のAIの遭遇している壁とほぼ同じである。この壁を越えるには，複雑な実世界の認識や冗長自由度機構の運動制御の実時間処理技術，環境変化への機敏な適応技術，自律的な学習／適応のための自己組織化技術など多くの未踏技術を確立しなければならない。ニューロコンピュータでこの壁を越えられるかどうか，まだ結論は得られていない。しかし，可能性は従来のコンピュータよりはるかに高いと思われる。最近，生理学，心理学，情報科学などの成果がニューロコンピュータに応用され実用技術となりつつある。これにより，学習／適応機能やスキル獲得などの技術が確立すれば，ロボット技術がさらにまた進歩し，知能ロボットの柔軟性の向上が期待できる。

〈参考文献〉

(1)宇野，川人，鈴木：ロボットマニピュレータの最適軌道に対する繰り返し学習制御，計測自動制御学会論文集，vol.24, No.8, pp.65-71, 1988.

(2) R.E.Elsley: A learning Architecture for Control Based on Back-propagation Neural Networks, Proc.ICNN'88, Vol.2,pp.587-594,1988.

(3)木本，長田，関口，吉沢，渡部，浅川：ニューラルネットワークによる移動ロボットの制御，CPSY-20，電子情報通信学会技報，Vol. 88, No.107,pp.101-108,1988.

(4)木本，渡部，関口，吉沢，長田，浅川：ニューラルネットワークの学習方式の検討，昭和63年度人工知能学会全国大会予稿集，1988.

(5) N.Watanabe, S.Nagata, and K.Asakawa: Mobile Robot Control by Neural Networks and Their Associated Learning Algorithm, Proc. IEEE/IECON'88, pp.1054-1060, 1988.

第7部　自動プログラミング

1．プログラム自動生成システム「SPACE」

1.1 システム開発の背景

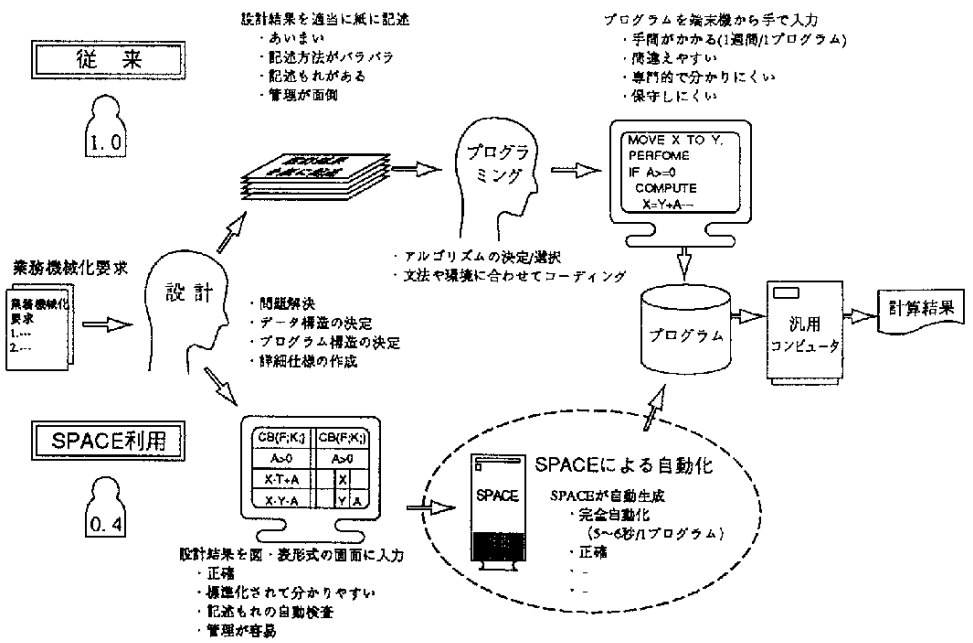
一般に自動プログラミングシステムとは，高レベルの仕様（以下，プログラム仕様と呼ぶ）を獲得する機能と，これを自動的に機械語にコンパイル可能な低レベルの仕様に自動的に変換する機能を持つシステムと考えられている。したがって，プログラム仕様の記述方法がどの程度簡潔で，理解しやすく，記述しやすいものであるかが，システムの利用性を大きく左右する。

しかし，従来からある事務処理用プログラム自動生成ツールは，プログラムと同内容のものを木構造チャートなどの図で入力することにより処理記述の視覚化をねらったチャートエディタか，集計や照合や分配などのデータ構造に依存したある目的を持つ一群のプログラムコードを使いやすい形にマクロ化した言語要素を組み合わせてプログラムの処理記述の簡素化をねらった第4世代言語(4GL)のどちらかであり，両者を統合したシステムが待望されていた。

1.2 システムの概要

従来，事務処理プログラムを開発するには，図表Ⅳ-7-1の上半分に示すように，まず設計者が業務内容を詳細に定めた設計書を作成し，これを基にプログラマがプログラムを作成し，コンパイラで機械語に変換し，これをコンピ

図表Ⅳ-7-1　SPACEによるソフトウェア開発形態の刷新



ュータ上で実行していた。

財団法人電力中央研究所が開発したプログラム自動生成システムSPACE (Specification Acqusition and Compiling Engine) は，処理技術の視覚化と抽象化の両方から処理内容の記述と入力方法を改善した設計書専用の編集機能と検査機能を持ち，作成された仕様書からCOBOLプログラムを生成する自動プログラミングシステムである。

SPACEでは，従来からある設計書に近い形式を持つ2つの図形式画面と5つの表形式画面（後出の図表IV-7-2参照）が用意されている。利用者が，図表IV-7-1に示すように，これらの設計画面に業務処理を構成するジョブ，ファイル，プロセス(=プログラム)，およびモジュールに関するさまざまな情報を，それぞれに最も適した記述方法で指定すれば，SPACEが格納されたプログラミング知識を用いて仕様を満足するCOBOLプログラムを生成する。

例えば，ジョブを構成するプログラムとファイルの関係はプロセス流れ図に，ファイルの諸属性はファイルテーブルに，ファイルごとのキー定義とデータ構造はデータ構造テーブルに，プロセスのモジュールへの分割は階層構造図に，モジュールの機能はロジックテーブルに，それぞれに適した視覚的な方法で表す。各画面への設計内容の記述は，あらかじめ表記法と意味が定められた図形や文からなる仕様要素ー設計パターンと呼ぶーから，適切なものを選んで記入するといった〝はめ込み方式〟で行う。

これらの設計画面は図／表形式であるため，これに記入される図形や文はその記入場所や接続の種類によって明確な意味の基で関係付けられる。この結果仕様が視覚化され，その内容を正確かつ簡潔に表現理解できるようになる。

1.2.1 ロジックテーブル

視覚的なプログラミングインタフェースで難しいのは，ソフトウェアの構造を表すのは容易であるが，その機能を表すのが難しい点である。実際，さきに述べたチャートエディタは，処理内容を入力するのに，プログラムを画面エディタで入力するより手間がかかり使いづらいという理由がある。

これに比べSPACEでは，モジュールの機能を表すのに，決定表に初期処理欄と前処理欄を加えたロジックテーブルを用いる。したがって，処理，条件，およびどんな条件のときどの処理を行うかの対応関係を，視覚的に分かりやすく整理して表現できる。またロジックテーブル専用のエディタが用意されており簡単に入力編集できる。

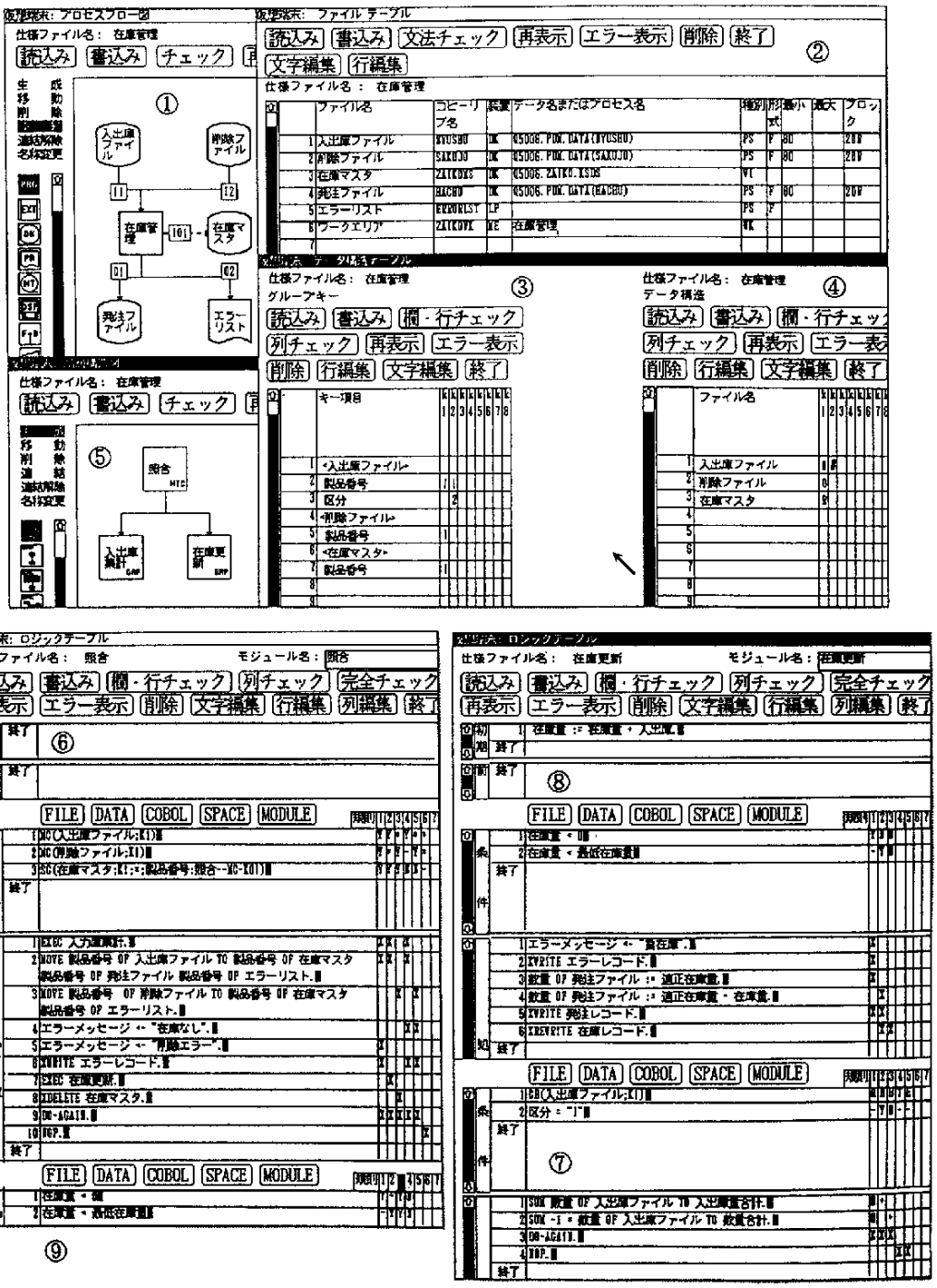
1.2.2 条件式

SPACEでは，モジュール機能を抽象化して簡潔に表現するために，条件式という関数を用いる。条件式は，モジュールの実行状態Sを簡潔に表すためにあらかじめ定義された関数 $Ci : S \rightarrow \{Vij \mid j=1,\cdots\}$ (Vij は関数Ciごとに定められた相異なる取り得る値）である。これを用いれば，モジュールの個々の実行状態 Sj は関数とその値の組み合せ｛関数 C_i =値Vij，……｝で表すことができる。

SPACEは，条件式ごとにその値を計算するロジック以外に，その付帯的意味として(マニュアルに）定められた初期処理，前処理，後処理をロジックテーブルの実行ループの適切なところに自動的に展開する。したがって利用者は，モジュールの実行状態を適切に表す条件式を選び，ロジックテーブルの条件部に併置するだけで，モジュールの機能を簡潔に記述できる。

例えば，ファイルFと他のファイルの照合処理を行うモジュールの状態は，条件式MC(F;K)を用いて表せる。すなわち，ファイルFから入力したレコードがキーKで表現される。現在照合中の対象である状態はMC(F;K)=Yで，そうでない状態は=Nで表す。また，フ

図表IV-7-2　在庫管理問題をSPACEを用いて記述したプログラム仕様



ファイルFのキーKによるグループ処理は条件式CB (F;K) を用いて表せる。すなわち，ファイルFから入力したレコードによって，キーKが一定の新しい集団に入った初期状態はCB (F;K) =H (ead) で，集団中の各レコード（先頭や最後のレコードも同様に含んで）処理状態は=B(ody)で，現在の集団を終わろうとする状態は=T (ail) で表す。

これらを用いれば，例えば複数のファイルF, ---に対する照合処理の各状態はMC (F;K) をファイルの数だけ，複数のキーK, ---による多段のグループ処理の各状態はCB (F;K)をキーの数だけ，それぞれ条件部に併記するだけで，その制御ロジックの詳細に立ちいたらずに簡潔に表現できる。

1.2.3 SPACEによるプログラム仕様の事例

在庫管理問題を事例に用いて，SPACEにおけるプログラム仕様がいかに視覚的に理解しやすく，機能記述の抽象度が高く，記述しやすいものであるかを具体的に説明する。この問題は，「各製品ごとに，入出庫レコードがあれば入出庫量合計を求め在庫レコードを更新し，さらに新在庫量が最低在庫量を下回れば発注レコードを出力し，また削除レコードがあれば在庫レコードを出力する。これらの各処理において所与の条件に反するときは，エラーメッセージを出力する。」ものである。

利用者は，次の5つの設計ステップにしたがって，各設計画面を完成していくことでプログラム仕様を作成する。これらの記述例を図表Ⅳ-7-2に示した。

a. 設計と仕様作成

[Step1:プロセス分割]　ジョブを一連のファイル処理を行うプロセス（＝ジョブステップ）に分割し，結果をプロセス流れ図①に書き表す。この例は，「ジョブが在庫管理プロセスのみからなり，これは3つのファイルを入力し2つのファイルと1つのリストを出力する。」ことを表している。

[Step2:ファイル属性定義]　このジョブで使われるファイルの諸属性を，ファイルテーブル②に記入する。この例は，「入出庫ファイルのデータは，Q5006.PDM.DATA (NYUSHU)に格納されており，そのレコードの定義はコピーライブラリのNYUSHUにある。このファイルは順編成ファイル (PS) で，1レコードは80バイト固定長 (F) で，1ブロックには20レコード入っている。」ことなどを指定している。

[Step3:データ構造定義]　事務処理プログラムでは複数のデータ項目をつなげて1つのキーとして扱うことが多い。例えば製品番号と区分をプログラムの中で一組のものとして扱いたい場合には，例えばK2という名前を与えて，③のようにグループキー定義テーブルに記入する（ただし，実際にはK2はこの例題の以後の記述では引用しない）。

一方，④のデータ構造テーブルは，各ファイルがどのようなレコードグループ（グループキーが同じ値を持つレコード群）の繰り返しから構成されているかを表す。例えば入出庫ファイルは（製品番号＝K1が一定の）製品レコード群の繰り返しからなり（これをK1列に0を記入することで指定する），各製品レコード群は同一製品の（K2が一定の）入庫レコード群と出庫レコード群からなる（なお，最下位グループが複数レコードを含むときは0の替わりに#を指定する）。

[Step4:モジュール分割]　プロセス流れ図中の各プロセスを，その機能を分担して実現する1群のモジュールに分割する。この結果を階層構造図⑤に書き表す。この例は，「在庫管理プロセスが，照合モジュールと，それから呼び出される入出庫集計モジュールと在庫更新モジュールによって構成されている。」ことを示している。

[Step5:モジュール機能定義]　モジュールの機能をロジックテーブルに記入する。照合モジュールの機能は，⑥に示したようなロジックテーブルで表せる。このモジュールは，

各製品ごとに入出庫ファイル，削除ファイル，在庫マスタに当該製品のレコードがあるかないかに応じてさまざまな処理を行う。したがって，各ファイル内に照合すべき（キーk1で識別される）製品のレコードがあるかどうかを知るために，順編成の入出庫ファイルと削除ファイルに対してはMC式を，索引編成の在庫ファイルに対してはSC式（ここで照合--MC-K01はキーK1に対応する照合キーMK1の値の格納領域名）を条件部に記入する。

次に，このモジュールで行う具体的な処理，［すなわち，入出庫集計モジュールの呼び出し(A1)，固定データの転送(A2，A3)，エラーメッセージの出力（A4～A6)，在庫レコードの更新（A7）と削除（A8)，再実行処理（A9)，無処理（A10)］，を処理部に記入する。

最後に，趣意にしたがって条件と処理の対応を取る。例えば3ファイルすべてにレコードがあるとき(C1～C3=YのR1)は，削除エラー処理をするためにA1，A2，A5，A6，A9に実行処理を示す〝X〟を記入する。削除ファイルにのみレコードがないとき(C1，C3=YでC2＝＊のR2）は，更新処理をするためにA1，A2，A7，A9に実行指示を示す〝X〟を記入する。このような処理は，最終的に入出庫ファイルと削除ファイルが共に存在しなくなる（C1=C2=＊のR6）まで，DO-AGAIN命令によって繰り返される。

一方，入出庫モジュールは，⑦に示すように，当該製品の入出庫レコードを順に読み込んでこの製品の入出庫合計を求める。このために，製品ごとのグループ処理の各状態を表すためにC1にCB式を，さらに区分の値によって処理を分けるためにC2に論理式を記入した。この結果，このモジュールが呼ばれるとまず集団ごとの初期状態になるので，このとき(CB=HのR1)，SUM命令に対して0指示を行い，入出庫合計を0に設定する。また，レコード処理状態の時（CB=BのR2，R3）には，区分が〝I〟かどうかに応じてSUM命令を用いて，数量（A1）または-1＊数量（A2）を入出庫量合計に加算する。当該製品レコードがなくなると（R4，R5)，このレコードを呼び出した照合モジュールに戻る。

最後に在庫更新モジュールは，⑧に示すように，初期処理として在庫量を更新し，これとゼロ（0）および最低在庫量との大小関係によって，エラーメッセージの出力（A1，A2）や，発注レコードの出力（A3～A5）や，在庫レコードの更新（A6）などを行う。なお，このモジュールは，内部で繰り返しを行わず，処理が終わると照合モジュールに戻る。

このようにSPACEでは，レコードの入力やキーの比較などの制御ロジックの詳細を記述せずに，条件式とその関数値という抽象度の高いレベルでモジュールの状態を指定でき，この各状態に個々の計算処理を対応づけることで機能を記述できる。

b.仕様検査，コード生成，デバッグ

仕様作成が終わったならば，各画面において欄・行チェックボタンや列チェックボタンを押して，表現方法が正しいかを検査する。誤りがあれば，その行あるいは列の番号が網掛けされ，エラー表示ボタンを押せばエラーの内容が表示される。

さらに，モジュールの機能を定義するロジックテーブルに対しては，記述した仕様が完全であるか（記述に漏れや矛盾がないか）などを完全チェックボタンを押すことで検査できる。例えば，⑨に示すように，規則R1とR2を指定した段階でこの検査を行うと，矛盾(=重複）している規則R3の列番号が反転表示され，漏れている規則R4の列番号が網掛けで表示される。

この後，コード生成画面において，コード生成に使う仕様ファイル（各設計画面の内容が格納されたファイル）群を指定しコード生成ボタンを押すと，この事例で約670行の

COBOLプログラムが生成される。同様にしてJCLも生成される。生成されたプログラムのコンパイル・実行はホストコンピュータに転送してから行う。

実行結果が，利用者の期待に反している場合は，その誤りは入力したプログラム仕様にある。この誤りの検出のためにロジックテーブルの実行時トレースを出力できる。このトレースを見れば，いつどのロジックテーブルが呼ばれ，その時のレコードの状態はどうであったか，どの規則が選ばれ，どの処理が実行されたかを一目で理解できる。

設計者は実行中の正しいモジュール間の遷移状態を認識していることが多く，実行時トレースを見れば，意図したようにプログラムが実行されなかった原因を容易に見つけることができる。

1.2.4 コード生成方式

SPACEが生成するプログラムは，データ宣言，主ルーチン，入力手続き，ロジックテーブルを解釈実行するループ群からなる基本構造（プログラムフレームという）を持つ。SPACEは与えられた仕様ファイル群を解析し，記入された設計パターンごとにその名前や型や他のパターンとの関係をシンボルテーブルに登録する。すべての仕様ファイルを解析した後，シンボルテーブルに登録された設計パターンごとにそれが表す定型処理を記述したプログラムコード群（これをプログラムパターンという）をプログラムフレームの適切なところに編集して埋め込む。

具体的には，データ宣言部は，ファイルテーブルとプロセス流れ図の情報を基にしたファイルとそのレコードの宣言，ロジックテーブルの規則列 {Ri} の配列宣言，集計や照合や索引処理用の制御変数の宣言などからなる。主ループは，各ファイルのオープンと初期読み込みの後，階層構造図上の最上位のモジュールを呼び出し，最後に各ファイルのクローズを行う手続きである。各モジュールに対する処理手続きは基本的にはロジックテーブルを解釈実行するループである。これは，まず条件式をすべて評価しその条件値を求め，次にこれらの条件値に合致する規則を求め，最後に各規則において実行指示されている処理を逐次実行するという基本構造を持つ。このとき各条件式や処理文に対応するCOBOLで書かれたプログラムパターンが生成される。

このように条件式は，プログラム生成時に暗黙の初期処理や前処理やDO-AGAIN処理に伴う後処理などのコンピュータ処理固有の制御ロジックを伴った関数に変換されるので，利用者はモジュールの機能を，その制御ロジックの詳細に立ち入ることなく簡潔に記述できる。

1.3 開発の経過

1982年-1984年	仕様記述方法とプログラミング知識の開発
1984年-1986年	プロトタイプの開発
1986年-1988年	SUNワークステーション版完成
1988年-1989年	Σワークステーション版（仕様コンパイラ）完成
1989年-1990年	Xウィンドウ版完成予定

1.4 評価

SPACEの最大の特徴は，モジュールの仕様記述にロジックテーブルを使い，この条件部や処理部に記入する設計パターンとして基本的な条件式と処理文を用意し，これを組み合わせることによって事務処理プログラムが持つ多様な処理ロジックを視覚的に分かりやすくかつロジック的に抽象化して表現できるようにしたことである。

したがってSPACEは，従来の4GLとビジュアル言語の両方を統合した，次世代のビジュアル4GLといえるものであり，ソフトウェア開発の中下流工程を一貫して支援する統合型CASE (Computer Aided Software Engi-

neering) ツールである。この結果，プログラム仕様の視覚化と抽象化の両者が統合的に達成され，処理内容の記述と入力方法を大幅に改善できると期待されている。

これによって，①従来の手書きの設計書作成に比べ，詳細設計作業の信頼性と生産性を大幅に向上できる，②プログラミング作業を自動化し，開発期間を大幅に短縮できる，③設計書のみを保守すればよいので保守作業を大幅に軽減でき，また資源管理も容易になる，などの効果を期待できる。

幾つかのプログラムに適用した結果，各工程の効率化率は，それぞれ詳細設計が約40%減，コーディング／単体テストが100%減，総合テストが約40%減であった。この効率化率をB.W.Boehmによる新規プログラム開発における工程別プログラム開発費配分表に適用すると，新規プログラムの総開発コストの約60%を削減できることが期待できる。また生成されたプログラムは手作りプログラムに比べて，CPU時間は1～2倍程度かかるものの，実行時間ではまったく同じという結果を得ている。

1.5 今後の取り組み

今後は，Xウィンドウ版の開発，オンライン／DB処理に関する条件式の追加や，意味的に等価な範囲内で最も高速なプログラムを生成する最適化機能の追加などを予定している。

〈参考文献〉

[1] R.Balzer: "A 15 Year Perspective on Automatic Programming", IEEE Trans. Soft Eng., Vol. SE-11,No.11,pp.1257-1268 (1985).

[2] 原田実：〝事務処理分野における自動プログラミング〟, 情報処理, Vol.28, No.10. pp. 1378-1398 (1987).

[3] 原田実：〝COBOLプログラム自動生成システムSPACEにおける仕様の視覚化と抽象化〟, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J71-D, No.12, pp.2555-2562 (1988).

第Ⅴ編　通産省のAI関連政策の

第1部　基礎技術開発

1．第五世代コンピュータ・プロジェクト

(1) 背景

従来のコンピュータは，使用素子によって世代分類（第1世代：真空管，第2世代：トランジスタ，第3世代：IC，第3.5世代：LSI，第4世代：VLSI）される。しかしながら，これらはいずれもノイマン型コンピュータと呼ばれるものであり，比較的単純なハードウェアの上でソフトウェアによって複雑な処理動作を行わせるようなアーキテクチャになっている。しかし，コンピータに行わせる処理の複雑さが増すにつれ，そのためのソフトウェアは複雑・膨大化してきている。

そこで，こういった従来のコンピュータの限界を打ち破る，新しい世代のコンピュータの開発が必要になってきた。人間の基本的な思考方法に近いやり方でプログラミングを行い，ソフトウェア開発にかかる負担を極力減らすことが考えられた。また，複数の推論処理を同時に実行する並列推論により，処理を高速化することもできる。

第五世代コンピュータは，推論および知識ベース機能による判断能力と，知的インタフェース機能による柔軟な対話能力を有する革新的なコンピュータである。第五世代コンピュータ・プロジェクトは，1990年代の高度情報化社会のニーズに対応するため，意思決定，設計，計画等の人間の知的活動を支援・代行するための情報処理である「知識情報処理」に最適な，革新的な第五世代コンピュータを世界に先駆けて研究開発することを目的に，1982年からスタートした。研究開発は通商産業省から（財）新世代コンピュータ技術開発機構（ICOT）（1982年4月に設立）への委託事業として実施している。

(2) 計画の概要

研究開発期間は，基礎技術開発を行う前期3年，サブシステム開発を行う中期4年，トータルシステム開発を行う後期3年の合計10年間。

前期は，逐次型論理プログラミング言語（ESP），並列型関係データベースマシン（Delta），逐次型推論マシン（PSI-1，CHI）およびそのOS（SIMPOS）等の開発を行った。

中期計画において小規模システムの試作・評価を経て，平成元年度から始まる後期計画に向け推論と知識ベースの各サブシステムのハードウェア・ソフトウェアの研究開発を順調に遂行中である。第3回第五世代コンピュータ国際会議（FGCS'88）でも，64台の要素プロセッサを接続した並列推論マシン（multi-PSI），小学6年生の国語テキストを理解する談話理解実験システム（DUALS-III）等が注目を集めていた。

後期計画では，第五世代コンピュータのプロトタイプシステムを開発するため，以下の研究テーマに基づく研究開発を遂行することとしている。

①並列推論機能および知識ベース機能を持ち1,000台規模の要素プロセッサを結合した，プロトタイプ・ハードウェア・システム

②ハードウェアの並列推論制御と知識ベース管理を行う基本ソフトウェア（OS）並びにそのユーティリティ群である知識プログラミング・ソフトウェアからなる，プロトタイプ基礎ソフトウェア・システム

③第五世代コンピュータのアプリケーショ

ンともいうべき，プロトタイプ基本応用システム

(3) 国際交流

現在，ICOTと米国NSF，仏国INRIA，英国DTIとの間で研究交流の覚書が締結されており，それぞれの機関からの派遣研究員を受け入れている。

また，世界各国とのAIシンポジウムの開催，海外研究員の招聘，各国研究機関との情報交換を通じて，幅広く国際交流を行っている。

(4) 予算額

本プロジェクトのこれまでの予算額は前期(昭和57～59年度)合計で約83億円，中期(昭和60～63年度)合計で約216億円であり，平成元年度予算額としては約65億円を計上している。

(5) 財団の概要

・名称：財団法人新世代コンピュータ技術開発機構
(Institute for New Generation Computer Technology: ICOT)
・所在地：東京都港区三田1丁目4番28号
三田国際ビルディング21階
・理事長：三田勝茂（日立製作所取締役社長）
・専務理事：廣重博一
・常務理事研究所長：淵一博

2．ニューロコンピュータ等新情報処理技術の総合的調査研究

これまでのコンピュータは数値計算等の論理的な処理機能を中心として発展してきたため，直観的・総合的な判断機能が必要となる画像認識，音声認識等の分野においては，その能力は不充分といわざるを得ない。

このため，通商産業省において，従来のコンピュータが不得意な，人間に近い感覚を持ち，複雑かつ曖昧な状況に対し迅速に解を出す，情報処理の新領域・新機能の開拓を目指すため，平成元年度よりニューロコンピュータ，バイオコンピュータ，光コンピュータ・3次元情報処理等の新情報処理技術の将来展望および今後取り組むべき課題を明らかにするとともに，その社会的なインパクトについて評価検討を行うこととなっている。

具体的には学識経験者からなる委員会を設置し，ニューロコンピュータ等新情報処理技術に関して，①新情報処理技術に対する社会的ニーズ，②新情報処理技術シーズの現状と技術的見通し，③米国，欧州等における研究開発動向，④取り組むべき課題および研究開発推進方策，⑤期待される応用分野および社会的インパクトについて調査・検討する。

この調査研究のために，平成元年度予算に約2千万円が計上されている。

3．ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム（HFSP）

(1) 概要

生体の持つ優れた機能の解明を中心とする基礎研究を国際的に共同して推進し，その成果を広く人類全体の利益に供しようとする構想。

(2) 意義

生体の有する精妙なメカニズムの解明のための基礎研究は，今後の科学技術シーズの宝庫で，多くの研究分野の発展の牽引力として大きな可能性を秘めており，21世紀の科学技術のフロンティアを切り拓くものとして期待されている。

また，近年基礎研究分野において，日本がよりいっそう貢献すべきであるとの国際的要請が高まっており，これに応えるためにも本プログラムは有効なものである。

(3) 研究対象領域

①脳機能の解明のための基礎研究
②生体機能の分子レベルにおける解明のための基礎研究

(4) 事業内容および事業開始当初の規模

①研究グラント

若手研究者を中心とする国際共同研究チームへの研究費助成(30～50件程度／年)

②フェローシップ

若手研究者が自国外で研究を行うための旅費，滞在費の助成（100～200人程度／年)

③ワークショップ

最先端の研究成果について情報交換，討論等を行う研究集会への助成（10～20件程　度／年)

(5) 経緯

①昭和62年6月，ベネチア・サミットにおいて，わが国より本構想を提唱

②昭和63年5月，フィージビリティ・スタディ委員会による検討，報告書の取りまとめ

③昭和63年4月，ボン賢人会議が開催され，サミット国政府の政策決定者に対し，本プログラムへの協力と支援を呼びかける「ボン宣言」を採択

④昭和63年6月，トロント・サミットにおいて，各国より日本政府の提案に対し期待表明

⑤国際科学者会合(第1回63.11，第2回元.3)

(6) 平成元年度予算

生体機能国際協力基礎研究拠出金（国際ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム推進機構（仮称）への拠出金は，通商産業省932百万円，科学技術庁1,452百万円の合計2,384百万円である。

4．国際ファジィ工学研究所（LIFE)

(1) 概要

鉱工業技術研究組合法に基づき平成元年3月24日に通商産業省により設立認可され，同3月28日に設立された技術研究組合国際ファジィ工学研究所（Laboratory for International Fuzzy Engineering Research:LIFE)が中心となり，ファジィ理論の工学的応用に関する試験研究を，産・官(国立試験研究所)・学（日本ファジィ学会）の連携の下に，国際研究交流に留意しつつ協同して実施する。

(2) 研究内容

ファジィ理論の工学的応用を図るために必要な技術の確立を目指して，①ファジィ理論の制御システムへの応用，②ファジィ理論の制御以外の情報処理分野への応用，③ファジィ理論の実行に最適なハードウェア，ソフトウェア，アーキテクチャを持つファジィコンピュータの研究・試作の各課題ごとに，基礎研究（理論面の研究)・基礎技術開発（開発環境の開発）を実施するとともに，合わせて実証評価的な研究（応用システムの試作・評価）を総合的に推進する。

(3) 背景

ファジィ理論は，エレベータや地下鉄の制御に試験的に応用されているが，これらの例は，いずれも，既存のマイコンチップ上でソフト的にファジィ理論を実現したものであるため，ルール数，推論速度等の点で不充分。また，ファジィ理論を制御システムに応用する際の安定性評価理論が確立されていない等，基礎分野においても課題が残されている。

ファジィ理論の持つ豊かな可能性を現実のものとするためには，産・官・学の連携の下，内外の代表的研究者・企業等を結集し，かつ国際的な研究交流に留意しつつ研究開発を推進することが不可欠。

(注) ファジィ理論とは，1965年，カリフォルニア大学のザデー教授によって創始された理論であり，人間の言葉，意味，思考，測定等に本質的に含まれている「あいまいさ」を数学的に取り扱う理論。

(4) 組合の概要

・名称：技術研究組合国際ファジィ工学研究所

・所在地：神奈川県横浜市中区山下町89-1

・所在地：神奈川県横浜市中区山下町89-1
　　日本シイベルヘグナービル4階
・理事長：三田勝茂(日立製作所取締役社長)
・専務理事：中屋敷正人
・常務理事研究所長：寺野寿郎
　　(東京工業大学名誉教授)
・組合員数：48社

第2部　基盤整備

1．電子化辞書プロジェクト（EDR）

(1) 背景

高度情報化社会の実現において，人間が日常使用する言葉をそのままコンピュータに処理させる自然言語処理技術は，知識情報処理システムの中核である。この自然言語処理技術実現のためには，質・量ともに十分な言語データが必要で，これを総合化，体系化したコンピュータ・リーダブルな辞書である電子化辞書が必要である。

しかし，自然言語の膨大な言語知識を収集・整備することはコンピュータ科学，言語学，辞書学等の幅広い分野にわたる研究が必要である。さらに，辞書の作成には，膨大な人手と時間を要するため，電子化辞書の開発にはきわめて大きなリスクを伴う。

(2) 計画の概要

自然言語処理技術実現の基盤となる汎用電子化辞書の研究開発を目的として，1986年3月に基盤センターおよびメインフレーマ等7社の共同出資により㈱日本電子化辞書研究所（EDR）が設立され，9年計画で研究開発を実施することとしている。人類共通の文化的財産である大規模な汎用電子化辞書を共同で研究開発することは投資の効率化，辞書の標準化という観点から重要であるばかりでなく，自然言語処理やその応用分野の研究開発にとって必要不可欠である。主な研究開発テーマを以下に示す。

①　電子化辞書研究開発

日本語および英語について，単語辞書を作成する。単語辞書は日常生活で一般的に使用する基本語，英日各20万語からなる基本語辞書，また専門分野として情報処理分野を選びその専門語，英日各10万語からなる専門用語辞書の2つから構成される。この単語辞書に含まれる単語の持つ概念の体系化・関係の記述を行い，40万概念規模の概念辞書を開発する。

②　データ管理システムの研究開発

効率的な電子化辞書の開発・運用を行うため，作成支援システム，運用支援システムを開発する。

③　実証評価

機械翻訳システムや音声応答・対話システムにより，電子化辞書を実証評価する。

(3) 会社の概要

・名称：株式会社日本電子化辞書研究所
　　(Japan Electronic Dictionary Research Institute, LTD: EDR)
・所在地：東京都港区三田1丁目4番28号
　　三田国際ビルディング・アネックス
・代表取締役社長：前田光治
・専務取締役：柿崎尚弘

2．高機能AIシステム記述用言語の研究開発（AIR）

(1) 背景

エキスパートシステムをはじめ機械翻訳，知能ロボット等，AI技術の応用も進んできた今日，知識情報処理全体を支える共通基盤の1つとして，システム記述性に優れ，知識の表現力の豊かな高機能AI用言語の必要性がますます高まってきた。

第五世代コンピュータ・プロジェクトの研究成果の1つであり，推論機能を有する論理型言語であるPROLOGをベースとしたESP

(Extended Self-contained PROLOG) は，大規模システムの開発を容易にするオブジェクト指向プログラミング機能を有する等，優れたAIシステム記述用言語として内外から高い評価を得ている。しかし，ESPは同じく第五世代コンピュータ・プロジェクトの成果であるPSI (逐次型推論マシン) 上でしか，動作しなかった。そこで，このESPについて一般のワークステーションやミニコン，メインフレームといった汎用機上での利用を可能とし，さらに高機能化したCommon ESP (CESP) 言語を研究開発することとなった。

(2) 計画の概要

1988年3月，基盤センターおよびメインフレーマ等外資系を含む民間企業11社の共同出資会社として，㈱AI言語研究所 (AIR) が設立され，4年1カ月にわたり，CESPの研究開発を行うこととしている。主な研究開発テーマを以下に示す。

① CESP言語仕様および処理系の研究開発

ESPの持つ機能に，汎用機上での走行環境，C，FORTRAN等既存言語との相互呼出しインタフェース，知識情報処理に適した新しい知識表現パラダイム，優れたヒューマン・インタフェース等を拡張した言語仕様を作成する。また，これに基づきコンパイラ，インタプリタ，リンカ，デバッガ，プログラム管理ツール等，開発環境を含めたCESP言語処理系を開発する。

② 実証評価

言語仕様が各種AIシステムの記述に適しているか，実際に評価用システムの構築を行い，CESPの実証性を評価する。

③ 最適処理系の研究開発

実行速度を上げるための最適化アルゴリズム，AIシステム向けのソフトウェア統合開発環境等の研究開発を行う。

第3部　AIの普及促進

1．AIセンター事業

「ICOT-JIPDEC AIセンター（以下AIセンターという）」は，わが国における人工知能（以下AIという）技術の普及啓蒙を目的として，通商産業省の支援の下に㈶新世代コンピュータ技術開発機構（以下ICOTという）と（財）日本情報処理開発協会（以下JIPDECという）の両公益法人が，昭和61年4月に共同で設置したものである。以下に最近の活動状況を概説する。

(1) AIオープンハウスの設置ツールと利用現況

ユーザがAIアプリケーションシステムを開発する場合には，AIマシンやエンジニアリングワークステーションなどのハードウェアおよびAIプログラミング言語やエキスパートシステム用シェルなどのソフトウェア（以下AIツールという）が必要となる。AIオープンハウスは，AIツールを常設展示して，ユーザにおけるAIツールの機能や利用技法の習得，適用ニーズに応じた利用評価などのために，共同利用センターとして昭和62年12月から運用している。場所は，東京都港区浜松町の世界貿易センタービル7階。現在設置しているAIツールの利用は，AIセンターの登録会員に限られており事前に所定の手続きを要する。事業団体等の研究会や一般のAIオープンハウス見学はいつでも受け付けている。

(2) AIに関する調査研究

①　知的情報処理システムに関する調査研究

知的情報処理システムの開発方法論の確立を目的として，設計型と計画型の類型タスク別適用研究および知識獲得支援ツールの事例研究について，知的情報処理システム調査研究委員会（委員長：小林重信東京工業大学大学院教授）を設けて実施した。この事業は，昭和61年度から63年度までの3年間にわたって調査研究を行い，その成果は報告書としてまとめるとともに，平成元年3月に開催の発表会において報告されている。

②　AI技術と市場の動向調査

AIセンターでは，昭和61年度にAIビジョンとして1995年のAI需要予測を発表した。本事業は，このAIビジョンに対する実態を追跡し今後のAI振興の基盤作りに反映させる目的で，技術，市場，製品化等の実情と動向について，毎年継続して調査を実施している。

昭和63年度は，AI動向調査委員会（委員長：大須賀節雄東京大学教授）およびAI技術専門委員会（委員長：古川康一ICOT研究所次長）とAI市場専門委員会（委員長：栗田昭平中央大学講師）を設置して調査を行い，特にAI利用状況については，AIセンター会員およびコンピュータユーザ約4,900事業体を対象にしたアンケート方式とエキスパートシステムについての実用化状況を面接方式により取りまとめた。

③　知的ハイパーテキストに関する調査研究

人工知能（AI）技術の産業界での応用は，主に専門的知識を必要とする業務の生産性の向上などを狙ったエキスパートシステムが研究開発されてきた。これに対し，一般のオフィスで働く人々（管理者，事務員，技術者など）を対象に，AI技術を応用し，オフィス作業の生産性を向上することを目指した知的オフィスオートメーション（知的OA）システムが期待されている。

その知的OAシステムの構築に極めて有効

な技術として，最近にわかに注目されているハイパーテキストとAI技術の融合による知的ハイパーテキストの早期の開発が要請されている。

本調査研究は，以上の視点を踏まえて，知的ハイパーテキストを中核とする知的OAシステム導入ガイドラインの作成のための調査研究を，平成元年度から2カ年にわたって実施中である。

④ 新世代コンピュータ技術のアプリケーションに関する調査研究

第五世代コンピュータ開発プロジェクトの中間成果である，遂次型推論マシン(PSI)とオペレーテングシステムSIMPOSおよびAIプログラミング言語ESP等各種ツールの改良に資するため，PSI上でのアプリケーションの研究開発を大学に委託して実施中である。また，新世代コンピュータ・アプリケーションに関する個別テーマについて次の調査研究を大学に委託して実施中である。

- PSIを用いたアプリケーションの研究開発
- 法律エキスパートシステムについての調査研究
- プロセス構造の変換と可視化に関する調査研究

(3) AI普及啓蒙活動

① AI技術講演会

管理者とビジネスマンのためのAI技術の解説シリーズとして，それぞれの分野の専門家を講師に，講演会を開催している。

② AI技術動向等調査成果発表会

AIの技術と市場の動向調査成果として，最近のAI技術動向，また，わが国のAI利用の実績について，毎年発表会を行っている。

③ 人工知能展に出展

「AI(人工知能総合展示会)：日本経済新聞社主催」に毎年展示を行っている。

④ AIネットワーク(パソコン通信ネットワーク)の運営

⑤ 「AIセンターだより」の発行

⑥ AIツール説明会等の開催

(4) 登録会員の現況

AIセンター登録会員は，平成元年9月29日現在819会員に達した。

2．国際AI財団

(1) 背景

わが国経済社会の情報化は急速に進展してきた。その背景には，コンピュータ・ハードウェア技術の急速な進歩がある一方，ソフトウェアの面においても，新しい技術が開発され，実用に供されており，ソフト，ハード両面における技術進歩が今後の高度情報化社会実現の鍵を握っている。

このような状況において，新しいソフトウェア技術として，Artificial Intelligence（以下AIと略す）が一部エキスパート・システム技術を中心として実用化階段を迎え，各種産業への応用が内外で盛んになりつつある。

AIについては，発展の初期であるがゆえに，技術の未成熟・不統一，認識の未浸透による過大な期待・過少評価，AI技術に関する良質な人材の不足等の課題が山積している。これらの課題を的確にとらえこれを解決し，それとともに産業界のニーズに沿った必要な研究開発を継続していくことが，わが国におけるAIの健全な発展およびそれを通じた高度情報化社会実現のためには必要不可欠である。

しかしながら，AIは，その応用分野が広く産業界全般にわたっており，各専門領域における知識，経験を活用するものであるので，単一企業または単一分野だけにおける努力及び活動だけでは，上記諸課題の解決および効果的な研究開発の継続は困難である。

また，これらの課題はわが国固有のものではないことから，海外の研究機関等と連携しながらその適切な解決を図ることが効果的で

あり，また，経済大国であるわが国にとって国際的貢献という観点から極めて重要である。

このような認識の下で，AIに関する国際交流，開発支援，調査研究，普及啓発を行うことにより，わが国におけるAIの健全な発展を国際的観点から図るとともに，わが国経済社会の健全な情報化および国際協調の実現に寄与するため，昭和63年6月に財団法人国際AI財団が設立された。

(2) 事業概要

具体的な事業は以下のとおりである。

①AIに関する国際交流
②AIに関する開発支援
③AIに関する調査研究
④AIに関する普及啓発
等

(3) 財団の概要

・名称：財団法人国際エーアイ財団
(International Foundation for Artificial Intelligence)
・所在地：東京都港区元赤坂1丁目7番10号
グランドメゾン元赤坂603号室
・会長：渡邊茂
・理事長：牛尾治朗
・事務理事：河端照孝
・会員：120社（平成元年4月現在）

3．AIによる鉄鋼生産プロセスのFMS化に関する研究会

通商産業省基礎産業局では，わが国鉄鋼業の中長期的な展望の策定に取り組むため，昭和62年3月以来，「基礎素材産業懇談会」（座長：円城寺次郎日本経済新聞社顧問）を開催し，昭和62年6月「新世代の鉄鋼業に向けて」と題する中間報告において，AIの利用等による生産プロセスの高度なシステム化・ネットワーク化が必要であることを提言した。このような基本認識のもと，昭和63年1月に，製鉄課に「AIによる鉄鋼生産プロセスのFMS化に関する研究会」を設置し，AIの鉄鋼生産プロセスへの適用の見通しおよび課題を明らかにし，AIによる鉄鋼生産プロセスのFMS化を促進するため，調査・研究を行っている。以下，その概要について記述する。

(1) 目的

わが国鉄鋼業は，経済の高度化・多様化，NIES（新興工業経済地域）の追い上げ，国際化等の課題に直面している。これらの課題に対応するためには，まず，製品の高度化（ファインスティール化）を追及する必要がある。このファインスティール化を図っていくためには，多品種小ロットでの効率的生産を実現することが必要とされる。また，経済情勢の変動が激しい時代に対応していくためにも，柔軟な生産体制の確立（生産プロセスのFMS化（フレキシブル・マニファクチャリング・システム化））が必要である。

そのために，製造品種，工程間の人員配置を迅速に変更でき，「最小人員で最大生産」を可能とし，また，熟練者の固有技術に依存していた技術の高度化を推進する生産プロセスをAIの導入を図ることにより確立することを目的として，本研究会において検討を行う。

(2) 調査・研究事項

①鉄鋼生産プロセスへのAI導入の現状の把握
②AI導入による2000年の鉄鋼生産プロセスの構築
③AI導入上の課題および共通研究開発課題の摘出

(3) メンバー

委員長：藤岡健彦　東京大学工学部助教授，その他　高炉　普通鋼・特殊鋼電炉メーカーの専門家

(4) 組織・スケジュール

本研究会（昭和63年1月発足）
3ワーキング・グループ：製銑WG，転炉WG，電炉WG（昭和63年4月発足）平成元年4月中に，中間報告。

(5) 中間報告の内容

①鉄鋼業においてFMS化は何故必要か

②FMS化に向けてのAI技術の役割

③製銑，転炉製鋼，電炉製鋼部門におけるAI（AI導入事例，今後導入が考えられるシステム，AI導入後のイメージ，AI導入上の諸課題）

④提言

⑤付録（AI適用事例（製銑・製鋼以外））

4．石油産業活性化センターAI研究室における技術開発

(1) 石油産業におけるAIとその必要性

近年，エレクトロニクス技術の進歩はめざましい発展を遂げてきており，石油をはじめとする各産業分野においてもエレクトロニクス化が進行しつつある。そうしたエレクトロニクス化の中において革新的コンピュータ技術としてAI利用技術が脚光を浴びており，その開発研究が加速化している。一方，製油所においても従来よりコンピュータ化は進んでいるものの，その中でも特にエキスパートシステム技術は，製品需要予測，通油計画，プラント運転技術等を格段に高度化させ，将来の製油所の一層の省力化，低コスト化，フレキシビリティの拡大，安全性の向上を可能とさせるものとして，石油精製の将来に大きなインパクトを与えるものと期待されている。このため，石油精製プラントのインテリジェント化をめざした石油新技術を業界共通の重要課題として各社協力のもとに積極的に研究開発を進めることが必要なことから，昭和62年6月，石油14社22名の研究員を石油産業活性化センターに集め4年計画で共同研究に着手した。

(2) 研究開発の内容

石油精製プラントの運転制御，生産計画の適正化・合理化などの推進のため，次のような大別して2つの問題領域での各種エキスパートシステムの開発を通じて，プロジェクトの最終目標として，石油精製エキスパートシステム構築のためのドメインシェルの開発を目標とする。

①プラント運転システム（重油間接脱硫装置，常圧蒸留装置等）

②製油所の生産計画支援システム（ディリーの生産計画およびLP支援システム等）

プラント運転支援システムの研究開発では，まず間接脱硫装置を対象として，各種の計測値群をもとにした故障診断システムを作成し，計測値群のパターンの分類を通じてプラント対象の状態推定を行い，異常状態の検知とその発生原因を探索するエキスパートシステムの設計を実施している。

生産計画支援システムについては，そのシステムがカバーすべき業務には様々なものがあり，最終的には製油所全体の生産計画を統合化して支援できるようなシステムの構築技術の開発を目指し，常圧蒸留装置通油計画あるいはタンク繰り，出荷バースのオペレーション計画等いわゆるスケジューリング問題を検討するとともに，生産計画立案のための規範解として，線形計画法による計画生成業務の周辺を支援するシステム化技術の開発を実施している。

第VI編　海外の動向

第1部　世界のAI活動

AIは，21世紀における研究開発の中心テーマになるとの確信のもとにその長い道程を各国が歩み始めている。ここでは，世界のAI研究開発の動向を中心に各国の状況を概観する。図表VI-1-1は世界のAI研究開発マップを示した。図中，黒く塗りつぶされている国は，大学・研究機関，民間企業などで活発に研究開発が行われ，かつ，政府が，中・長期の大規模AIプロジェクトを計画し，積極的なAI活動を行っている国である。色が薄くなるにつれて，産業界での研究開発，大規模なAIプロジェクトなどの活動が見られないとか，大学などの研究機関だけが実施していることを表している。白くなっているところは，AI研究開発に関して，ほとんど取り組んでいないか，不明の国である。

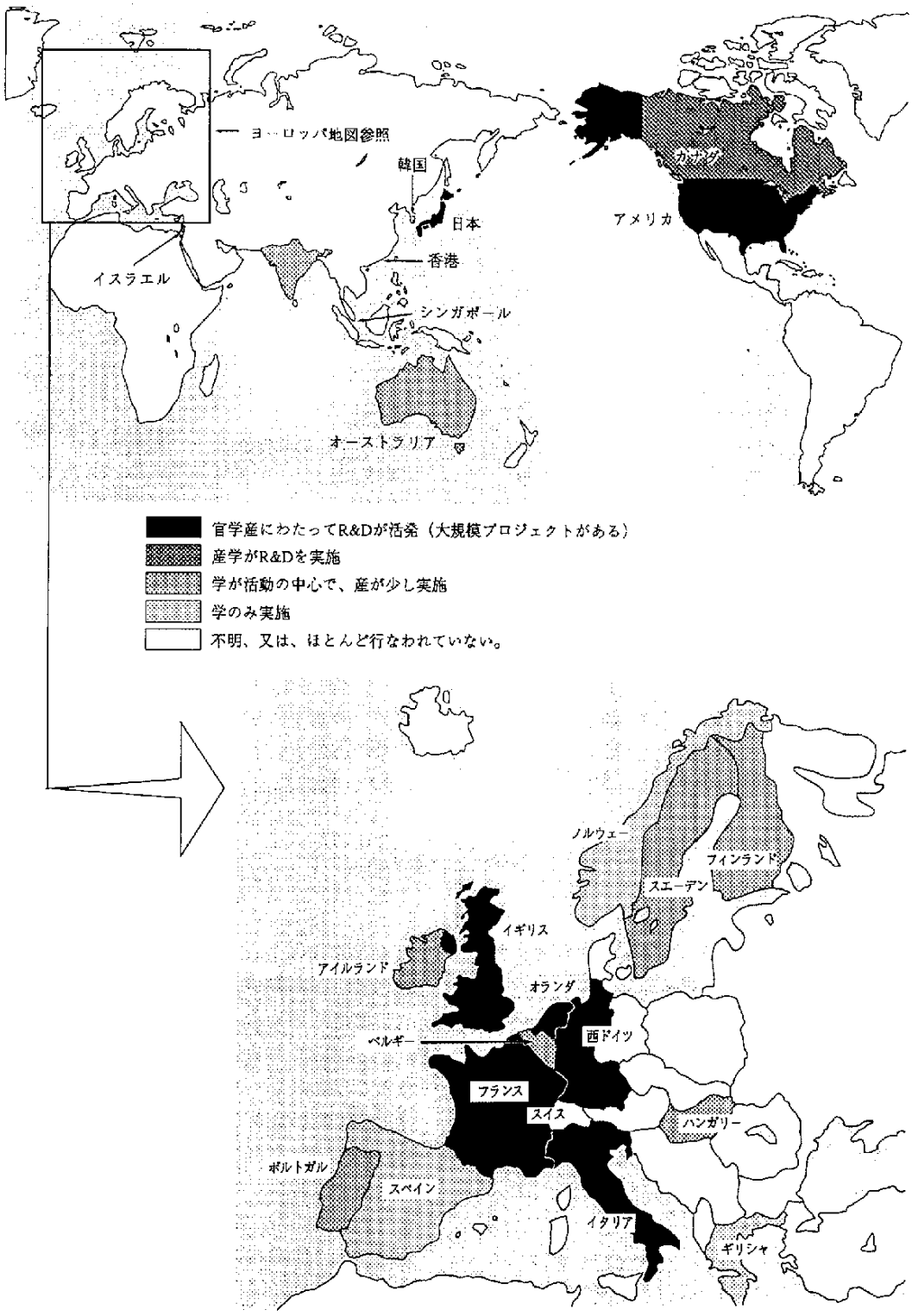
1．米国

米国（アメリカ合衆国）は，コンピュータ科学の分野で質量ともに先進国であり，AI分野においても優れており，特に基礎研究分野ではその研究者の層は大変厚いものとなっている。大学では，スタンフォード大学，マサチューセッツ工科大学，カーネギーメロン大学のいわゆる御三家を始め，西海岸，東海岸，中央，サンベルト地帯などに数多くの優秀な研究者を抱える大学が散在している。

このような大学の長期的な研究活動を支援する組織のひとつにNSF（National Science Foundation）がある。NSFは，1950年に設立され大学における研究開発に資金供与を行っている政府機関で，1987年の予算総額は14.8億ドルに達している。AI関連はIntelligent-Systems Program（AI関連の研究プログラム）に1985年に5,200万ドル（72.8億円）が支出された。大学は，このNSFの他に国防総省DARPAやNASA等の連邦政府，さらには大手企業からの援助を受けて長期的基礎的な研究活動を行っている。連邦政府のAI関連活動は，DARPAのSCI（Strategic Computing Initiative）とNASA，エネルギー省アルゴンヌ研究所などの研究開発活動が挙げられる。NASAのAI活動は，基礎研究から応用まで幅広く行われており，例えば，Ames Researeh Centerでは並列コンプピュータアーキテクチャ，学習の研究が，Johnson Space Centerではリアルタイムエキスパートシステムやシェルの開発などを行っている。SOAR(Space Operations Automation and Robotics Workshop)などでの国際会議で，研究成果の公表が行われている。エネルギー省アルゴンヌ国立研究所では並列コンピュータアーキテクチャ，並列処理アプリケーションの研究を行っている。

一方，米国の産業界をみると，基礎研究分野では，Xerox PARC（Xerox Palo Alto Research Center），SRI(Stanford Research Institute）などこれまでに数多くのすばらしい成果を生み出した民間研究機関がある。さらには，米国の技術的優位性を維持するため民間企業が共同で出資し設立したMCCがある(詳細は後述)。最近では，Xerox PARCが出資して基礎研究に力点を置いた研究所IRLも設立されている。応用分野では，Boeing，Lockheed，などの航空機業界，Martin Marietta，Rock-wellなどの防衛産業，General Electric，Westing Houseなどの電機業界，その他Dupont，American Express，North West Airlineなど数多くの企業で，AIの研究

図表VI-1-1 ワールドAI R&D マップ



開発が行われ，一部実用に供している。また，AIベンダーとしては，IBM，DEC，UNISYS，Texas Instruments，IntelなどAI製品の研究開発や社内の応用に積極的に取り組んでいる。

以上のように，米国においては，基礎研究から応用製品開発まで，いろいろな分野の機関がAIの研究開発を行っている。

2．カナダ

カナダのAIへの取り組みでよく知られているのは機械翻訳システムである。その歴史をみると，1965年にまで遡る。自動翻訳応用研究センター（CETADOL）がモントリオール大学に設立され，機械翻訳の研究がその年スタートした。この後，TAUMという名称でプロジェクトを呼ぶようになり，数年後，総理府翻訳局がこのプロジェクトを所掌し，カナダ気象センターに「TAUM-METEO」のプロトタイプが1976年納入され，現在も稼働している。この他，国防省のマニュアルを対象とした機械翻訳システム「TAUM-AVIATION」などが開発されている。

カナダの大学におけるAI研究は，ブリテッシュ・コロンビア大学（主にAIの基礎研究），トロント大学，ウォータルー大学（最近，電子化辞書に力を入れている）を中心として，各所で基礎研究，産業界と結びついての応用研究などが行われている。

カナダ政府では，通信省がAIに最も興味を示し応用システムを研究開発するための研究所を設立している。また，運輸省が幾つかエキスパートシステムを開発している。

産業界では，Northern TelecomやBell Canadaなどの通信関係企業がAIの研究開発を進めている。

3．欧州共同体

欧州共同体（EC）は，情報技術が産業の発展に与える影響がきわめて大きいとの認識があるにもかかわらず，近年，この分野での技術開発において日米と比較して遅れをとっている，という危機感をもっている。また，大学等において優れた研究実績があるものの，これが産業界に結びつかないため学・産の連帯を密にする必要があった。

このような状況のもとで，情報技術に関し，長期の研究開発計画を策定し，EC加盟各国で協力して研究資金を調達し，大規模なプロジェクトを実施することになった。その研究開発計画がESPRIT（The Europian Strategic Programme for R & D in Information Technology）で1983年よりスタートした。このプロジェクトは現在第2期に入り，順調にプロジェクト群を実施している。ECは，この他に欧州での総合的広帯域通信インストラクチャを構築し豊かな通信サービスを提供するためRACE（R & D in Advanced Communication Technologies for Europe）計画を1985年から始めた。また，欧州産業の世界市場での優位性の確保と雇用安定などを図るため，新しいコンピュータの開発などAI関連の研究開発を含む先端技術開発計画EUREKA（European Research Coordination Action）計画が同じく1985年から開始された。

4．イギリス

イギリスにおけるAIの研究は，エジンバラ大学，ロンドン大学インペリアルカレッジ，マンチェスター大学などでコンピュータの研究とともに古くから行われている。基礎理論，論理型言語，並列アーキテクチャなどの幅広い研究テーマが取り上げられている。また，最近はブリストル大学に，Mr. Prologと呼ばれるWarrenや，理論派のLoydなどの研究者が集結してAI研究が盛んに行われている。エジンバラ大学はAIに関する研究成果を産業

界に技術移転するために専門機関AIAI（AI Applications Institute）を1984年に設立し，AI技術者の養成や産業界に対するAI応用についての相談指導などを行っている。

イギリス政府は，1983年に高度情報技術計画（A Programme for Advanced Information Technology: 通称アルベイ計画という。）をスタートさせ，企業・大学・研究機関の協力研究を通じて，イギリスの情報技術の強化を図った。この計画は，1989年をもってほぼ終了する予定であり，その後はECのESPRITに重点をおいて協力していくこととした。産業界の研究機関としては，グラスゴーにあるチュウリング研究所が著名であり，学習などの基礎研究を行うとともに，アルベイ計画のもとでIKBS（Intelligence Knowlegde Based System: 知的知識ベースシステム）訓練制度により企業のAI要員の養成を行っている。AIベンダーとしては，コンピュータメーカICLやトランスピュータの開発販売で知られたINMOSなどが活発である。ユーザとしては，ブリティッシュテレコム（通信），ゼネラルエレクトリック（電機），英国原子力エネルギー公団(電力)，ブリテッシュガス，ミッドランド銀行などさまざまの産業でAI応用システムが研究開発されている。

5．西ドイツ

西ドイツ（ドイツ連邦共和国）では，ミュンヘン工科大学，ベルリン工科大学，シュツットガルト大学，ハンブルグ大学などがESPRITに参加するなど活発に研究を行っている。

政府関係では，国立研究機関GMD(Gesellschaft fur Mathematik und Datenverarbeitung MBH: 国立数理データ処理研究所）がAI関係の研究を進めるとともに，産業界と協力してプロトタイプシステムの開発を行っている。最近では，1987年11月にバーデンベルテンベルグ市とベンツ，ヒューレットパッカード，IBMドイツ，マンズマンキンツレ，ニクスドルフ，ジーメンスの共同出資で応用指向の知識処理研究所FAWを設立し，生産やオフイスオートメーション分野へのAI応用システムの研究開発を行っている。

産業界の研究機関としては，バッテル記念研究所がエキスパートシステムのシェルを開発するなどAI研究に熱心に取り組んでいる。ベンダー側は，ジーメンス，ニクスドルフをはじめ，IBMドイツ，ゼロックスなどがAIに関する研究開発およびビジネスを展開している。ユーザ側では，自動車業界13社（ベンツ，BMW，フオルクスワーゲンなど），鉄鋼（クルップなど），電機（ボッシュなど），電子工業界なども同様にエキスパートシステムを中心としたAI研究開発を行っている。また，欧州における主要なコンピュータメーカのICL（イギリス），ブル（フランス），ジーメンス（西ドイツ）の3社が共同出資したAI技術研究会社ECRC（European Computer Industry Research Center GMBH）を1983年に設立した。ECRCは，西ドイツのミュンヘン市に設置されており，AI技術を利用したコンピュータ支援意思決定システムの研究開発を行っている。

6．フランス

フランスの大学におけるAIの研究は，論理型プログラミング言語Prologが生まれたマルセーユ大学（現在，Prolog IIIを開発），自然言語処理や機械翻訳の研究で著名なグルノーブル大学などで行われている。政府関係機関では，1979年に国立研究機関INRIA(Institute Nationale de Recherche en Informatique et en Automatique: 国立情報・自動化研究所）が設立され，民間企業とも共同してAIの基礎・応用研究を実施している。この他，国立学術研究所CNRSなどでAIの基礎研

究が行われている。

産業界の動きとしては，コンピュータメーカのブル，Le-Lispを販売するILOGなどのAIビジネスを展開しており，ユーザ側は，航空機，電力関係の企業が研究開発活動を行っている。ESPRITには，通信業(ECG)，トムソンCSF（電子）などが参加している。

7．その他の欧州諸国

その他の西欧諸国においてもAI関連の活動が活発に行われている。オランダでは電子機器メーカのフィリップス，イタリアではコンピュータメーカのオリベッティがESPRITに参加するとともにエキスパートシステムを研究開発している。大学では，ポルトガルのピレイラ教授(Delta-Prologの開発者)らがいるリスボン大学，理論研究が盛んなイタリアのピサ大学などが挙げられる。民間企業では，スイスユニオン銀行がAI応用に積極的に取り組んでいる。北欧では，政府，大学がAI研究開発に熱心である。スウェーデンではSTU（Styrelson fur Teknisk Utveckling: 技術開発庁）が主に大学等におけるAI研究の資金援助を行っている。AI研究に力を入れている主な大学には，リンチョピン大学，UPMAILのあるウプサラ大学，Royal Institute of Technology などがある。また，スウェーデン政府は，大学と産業界の橋渡しを行い技術移転を円滑に進めるためにSICS（Swedish Institute of Computer Sience: スウェーデンコンピュータ科学研究所）を1985年12月に設立した。SICSは，非営利団体で，長期の目的指向型研究プロジェクトを実施している。

東欧諸国の中では，フォンノイマン博士を生み出したハンガリーが国立研究所のエスカイ，ハンガリーコンピュータ技術研究所などで基礎研究を活発に行っている。

8．中近東，アジア，オセアニア諸国

中近東では，イスラエルが，理論，基礎研究で進んでいる。国立研究所のワイツマン研究所には，数多くのAI研究者が集結し，Concurrent-Prologなどの質の高い研究成果が出てきている。大学では，ヘブライ大学があり，理論研究面で研究実績がある。

インドでは，政府研究機関として，TATA基礎研究所，民間研究機関では，TATA R & Dデザインセンターがあり，基礎研究，応用研究が行われている。同国のAIプロジェクトは，電子省（Depatment of Electronics）が統括している。

シンガポールでは，NCB（National Computer Board）が国家IT計画を積極的に進めており傘下のITI(Information Technology Institute）がAIにきわめて強い関心を持っている。現在，港湾局のコンテナ船スケジューリングシステムなどの開発を行っている。大学では，シンガポール大学システム科学研究所が中心になって，AIの研究を行っている。

アジアでは，香港，韓国などで，大学を中心として，エキスパートシステム，機械翻訳などの応用研究や基礎研究を行っている。

オーストラリアは，メルボルン大学，モナシュ大学などにAIの基礎理論に強い研究陣が点在している。

第2部 米国

1．米国におけるAIの動向

米国でのAIビジネスの予想を占う上で興味のある講演がAAAI'88 (The American Association for Artificial Intelligence) で行われた。ソフトタッチシステムズ社サセラドーティ博士 (Dr. Earl Sacerdoti) の予想である。

この講演は，米国におけるAIビジネスの現状の分析と今後の方向に対する見通しを述べたものである。講演はAIの定義に関するもので始まったが，主要部分は，ここ数年のAIブームの一段落と共に初めて可能になったAIビジネスを第三者的な立場から観察するという作業に関するものであった。またそれとともに，時々のAIビジネスの変動を乗り越えて，AIという技術は極めて長期的に成長を続ける技術であるという点も強調した。

米国AI業界の現在の１種の混乱とも呼べる状況を招いた１つの理由に，AIという用語が多様な意味で使われていることをあげている。例えば，現在ＭＩＴやスタンフォード大学等で実施されている非常に基礎的なAI研究から，過去数年にわたって多数の米国企業が導入したソフトウェア工学的な意味でのAIまで非常に幅の広い使われ方をしている。現在開発されているAI関係のツール群は，確かにエンジニアリングレベルでの現場の問題解決に役立つものも多い。しかしこれらのツール群の能力はまだ極めて低く，エンジニアリングの本流から見ると末梢的な問題に取り組む場合が多い。AIの混乱を招くという意味も含めて，もう１つの大きな変化は，AIの現場への導入が既存の技術，システム，動作環境などと融合した形をとって初めて成功したということである。これはごく当然なことであるが，数年前まではAIがすべての問題の万能薬という考え方がAIを促進する側にも，またAI技術を受け入れる側にもあったことである。このような見方は適切でなかった。

AI技術およびAIビジネスは，これからも伸びるであろうが，当分はAI技術は他の技術の中に埋蔵した形で伸びるであろう。したがって，高度な機械学習等に関するAIの基礎研究も，また数10個のルールからなる簡単なエキスパートシステムも，まとめて「AI」と呼称される結果，人々は先端的な研究テーマを聞くと，それもすでに実用に供せる技術に成長しているという錯覚を抱きがちである。

次に同博士は，米国でAIビジネスを利益あるものとして成功させる考え方を述べた。現時点では訓練。次には完成度の高いAI研究成果のシステム関連への応用。さらにその次にくるのは現在のものより高度なAIシステム開発ツールの開発である。現在AIの一番利潤の大きな分野として繰り返し性の大きい作業，また単純であまり高度な判断を必要としない作業を挙げている。これらは共に従来のコンピュータ技術の応用領域のそれと同じである。特にエキスパートシステム技術によって，この単純な繰り返し作業にコンピュータを適用する範囲がかなり広がっている。このようなシステムを組む場合にAI手法による方がこれまでのプログラミング手法による場合よりもはるかに効率よくシステムを開発できるという点を強調する。この立場は，カーネギーメロン大学のフォックス教授があげたエキスパートシステムの特徴の１つに，「エキスパートシステムは，要するによりよいプログラミ

ングの手法に過ぎない」と指摘したが，ここにもその考え方に通じるものがある。

Lisp言語の将来については，Lispマシン自体がこれまでのような伸びは期待できないにしても，Lisp言語は現在のコンピュータの上で広範に使われるようになると予想している。 Lispマシンの今後の1つの大きな応用範囲は防衛応用で組込み型コンピュータ（Embedded Computer）として使われる可能性である。小型軽量で堅固な組込み型のLispマシンが，これまでに開発された高度な軍事応用のAIソフトウエアを駆動する余地があるとシンボリックス社は考えている。しかし，ワークステーション等の急激な価格低下に伴う従来コンピュータを使ってのAIシステムの開発，特にC言語など従来言語を用いてのAI技術の開発に先を越されるとも予想される。

次にこれからの重要な応用の1つはAI型の視覚システムである。現在の製造過程での製品の検査，製品の位置の確認，製造作業の補助などのレベルからさらに高度な視覚システムが開発されつつある。例えば，高温や悪臭が漂うような作業環境の非常に悪い工場等では機械による検査システムが極めて有効である。さらに人間が顕微鏡を使って検査しなければならないような場面にも有効である。この領域では，すでに半導体の製造過程で極めて高度な視覚システムが検査のみでなく製品製造工程そのものに寄与している視覚システムの将来型としては実時間視覚システムの開発が考えられる。

AI応用の知能ロボットについては，ロボット技術が急速には前進しないと業界では見ている。この見方は，日本のようにロボットの応用の拡大，加速がいまだに続いている国や，欧州の様にEUREKA計画等を通して積極的な研究開発を続けている地域とは異なる見解となっている。

言語処理分野について意味的な文書処理では，米国ですでに同技術を扱う会社が数社出現しつつありその数は増えている。レキサスネキサス社，ダイアログ社等である。現在では，キーワードを中心とした比較的簡単な処理を行っているのみであるが，次第に意味レベルの理解を高めた処理システムを開発するようになるのは容易に予測される。この他にも，米国の多数の大学で文書の意味的な処理による意味の抜粋，主要な意味の抽出等のシステムの研究が続けられている。

2．SCIプロジェクト

2.1 SCIの始まり

SCI（Strategic Computing Initiative, SC Programと呼ぶこともある）は，1983年に米DARPAが，当時のAIを中心とした高度コンピュータ技術を結集して次世代のコンピュータシステムを開発するという名目で計画し，1984年より5年間の予定で実行に移したプロジェクトである。その背景には日本の第五世代コンピュータ計画に影響されるところが多く，米国政府内部で戦略的に極めて重要であるコンピュータ技術において少なくとも部分的に日本に先を越されるという懸念があったことは否めない。現実には米国におけるAIの研究開発は日本に比較して総合的には高い水準にあるが，一般的なコンピュータ技術において日本の躍進がきわめて目覚ましく，米国内の政府や産業界に日本の組織立った計画設定力と実行力において，米国に勝っているという認識が広まりつつあったために危機感が強く作用したといえる。

SCIは米国のこれまでの先端的コンピュータ技術開発の努力がすべて国防に結び付けられていたように，軍の国防戦略を助けるという方向で策定されている。しかしながら，基礎的なAI技術の研究開発を含んでいると同時に3つのデモンストレーションプログラム

(Proof-of-Concept Demonstrations) を計画している。

2.2 SCIのデモンストレーションプログラム

SCIデモンストレーションプログラムは，ALV (Autonomous Land Vehicle: 自立走行車)，NBMP (Navy Battle Management Program: 海軍戦闘管理プログラム)，PAP (Pilot's Associate Program: パイロット助手プログラム) の3つである。これらは軍の近未来の応用に直接結びつくものであり，また産業界に技術を転用しようとした場合にそれぞれ具体的な効果が即時期待できる性質のものである。産業界への応用の面から考えればALVは，現在世界規模で活発化している自律自走車の研究開発のアメリカ版として結びつき，NBMPは戦場の様な極めてダイナミックな領域におけるいわゆる知的プラニング (計画) のシステム作りに結びつき，またPAPはこれまで存在しなかった高度なヒューマン・インタフェースの実現に結びつくことになろう。

(1) ALV (自律走行車) プログラム

1986年頃から，ALVが米国の砂漠で完全自律走行を繰り返しているビデオなどがAI学会などで紹介されるようになった。時速10マイルから20マイル程度の走行が可能となり，研究が終わる1991年までには究極目的である時速50マイル (80Km/h) 走行の目標に達成できるという印象を与えるまでに進んだ。

現在ALVは，3年に及ぶ段階的パーフォーマンス試験を終了し，1つのテストベッド(試験システム) にまとめつつある。それに応じてまた，各基本構成技術を高度なものに置き換えるということが常時行われている。ここまでに開発した視覚システムおよび推論システムは，2つの高度地上車両技術(Advanced-Ground Vehicle Technology) の受注企業に受け渡された。

(2) NBMP (海軍戦闘管理プログラム)

SCIが開発する高度なAI機能を海軍の基地内や海上における活動に適用しようとするものである。C-SquareまたはC2と呼ばれる「命令と制御 (Command and Control)」の自動化に重きを置き，海軍で常に問題となるC2を効率よく行う機能の実用化を目指している。具体的には，海軍では通常マシンインテリジェンスと呼んでいるAIの諸技術をプロトタイプに組み込み，戦闘計画，戦闘監視，戦闘補給，攻撃企画などの戦略から戦術までの意志決定を，さまざまな状況変化，目的の変動などの中で行うというものである。

このプログラムのための艦隊戦闘管理システムの機能設計は，DARPAや宇宙および海軍の戦闘システム指令本部 (SPAWAR/SISCOM)，海軍大洋システムセンター (Naval Ocean Systems Center) などが中心になって行った。1986年の春にはこれを実際の戦闘部門に導入し，テストを行った。現在，同システムは海軍の太平洋艦隊が状況の変動で生じる戦闘準備のばらつきを整合するために日常的に使用している。このシステムは，1986年5月に日本の海上自衛隊も含んで実施されたリムパック (Rimpac) 艦隊訓練を通じて実用テストを行った。

(3) PAP (パイロット助手プログラム)

このプログラムは，戦闘機内で通常航法員，兵器操作員，緊急状態監視要員などとして搭乗している第2搭乗員を，高度な知的システムと通常エレクトロニクス機器の組み合わせで置き換えようというものである。骨子となるのは，いわゆる実時間エキスパートシステム群である。これを飛行中の航空機用機内エレクトロニクス諸システムに融合させ，総合的に充分実用になる知的動作をさせようというもので，究極的には同システムが単座戦闘機に，あたかも極めて能力のあるもう1人の搭乗員を持ち，この人工的な搭乗員が戦闘計画(ミッションの計画)，機上システム全体の監視，状況の把握などをパイロットのために

行うというものである。

このシステムの仕様決定は1984年の末に始まった。その後の試作のフェーズで，1つは，限定した戦闘シナリオである視野を超えた空中戦（視界外における空中戦）という状況で動作する多数個のエキスパートシステムの実現に取り組んだ。もう1つは「広い範囲を浅く」のアプローチを採用し，空中からの地上攻撃のシナリオに基づいたシステムを開発した。複数個のエキスパートシステムが相互に協力することによって有効な成績をあげることができるようになったといわれる。

3. MCC

3.1 MCCの始まり

コンピュータメーカCDCの会長（兼執行最高責任者，当時）ノリス氏（W. G. Norris）は，マイクロエレクトロニクスとコンピュータ分野における米国の技術的優位と国際競争力を維持し続けるために，現行の技術水準をはるかに越える基礎技術を開発するために米国企業による共同開発活動が必要であるとの考えを持った。このため，共同事業に対する民間からの財政援助とともに，商用化段階までの研究開発に関する民間の共同研究を認めるよう反トラスト法の修正を議会に働きかけた。この提案に対して，1982年に10社(AMD, CDC, DEC, Harris, Honeywell, Motorola, National Semiconductor, NCR, RCA, Sperry）が共同研究組織の設立に関してCDCとの契約に署名した。1983年末には，司法省は，将来反トラスト訴訟が生じる可能性があるものの，研究開発における共同行為として許容される法的な境界線を不明瞭にしたままこの事業に反対はしないということだけを決定した。

この共同研究組織はMicroelectronics and Computer Technology Corporation（MCC）と命名され，退官海軍将官で元CIA副長官のインマン氏（B. R. Inman）を執行取締役として1983年1月に正式に運営を開始した。MCCは，本拠地をテキサス大学等地元の協力が得られるということもあってテキサス州オースチン市に置かれた。

3.2 目的，組織

MCCの目的は，重要な技術と開発ツールを開発し，株主へその研究成果を移転することである。MCCは，政府のプロジェクトと異なり民間企業として経営政策を自主的に計画し経営を行っている。MCCの株主は，エレクトロニクス，コンピュータ，航空宇宙等の有力な企業の代表者から構成されている。全体の方針は，各株主から1名ずつ選ばれた代表者から構成される取締役会によって決められる。

定期的に行われる技術的アドバイスは，各株主から1名ずつ選ばれた代表者による技術アドバイザリ委員会によって行われる。この代表者は，多くの場合は上級技術者か研究責任者である。個々のプログラムは，参加する株主から選ばれた技術スペシャリストから構成されるアドバイザリ会議で確認される。

MCCの組織は図表VI-2-1に示すとおりである。スタッフは，全体で430人である。このうち311人が技術者である。技術者の半分は，Ph. Dの資格を持っている上級研究者である。

3.3 研究プログラム

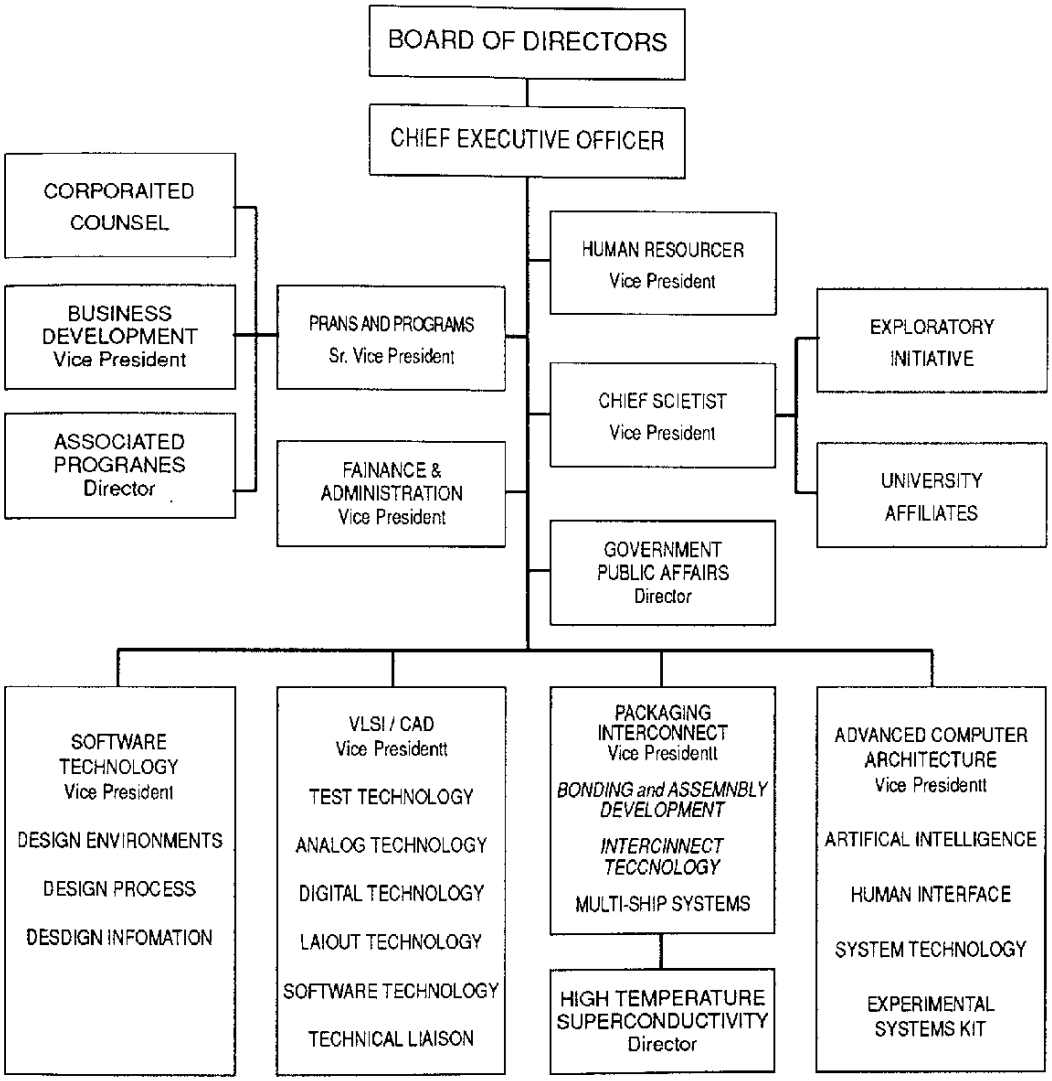
MCCの研究プログラムは，図表VI-2-2に示すとおり5分野に分かれており，7年から10年の計画で実施されている。現在3年から5年を経過した段階であるがこれまでに90件の技術移転が行われた。

このうちAIを研究するACAプログラムは，長期的な中核研究プロジェクトと4つのサテライト研究グループで構成さている。

(1) AIサテライト

知識ベースシステム機能の向上を目的とし

図表VI-2-1　MCCの組織



て，次の研究を行っている。

a．理解が容易な知識表現言語

b．時間や部分的なデータが処理可能で学習機能を有し他知識ベースと協調問題解決などが扱える知識ベースを開発できるシェル。これまでにProteusと呼ばれるシェルを開発し現在商品化されている。

c．一般的で共通な知識を含んだ大規模知識ベース(CYC)。長期的なプロジェクトですでに10万語を越すコンセプトが蓄積された。なお，このプロジェクトを効率的に進めるため，知識表現言語，エデットやブラウジングのためのツールを開発してきた。

さらに，新しいエキスパートシステム環境AntaresへのProteusとCYCの適用を試みるプロジェクトが開始された。

(2) ヒューマンインタフェースサテライト

図表VI-2-2　MCCの研究プログラム

プログラム名	プログラム名	プログラム名
Adovanced Computer Archtectures(ACA)	大規模で複雑な知識ベースシステム構築に必要な技術の研究開発	・AI ・ヒューマンインターフェイス ・システム化技術
Computer Aided Design for Complex Crcuits & Systems	VLSIと複雑なシステムの設計支援システムの開発	VLSI / CADツール開発用プラットフォームの開発（54万素子のシステム設計用）
Electronic Application of High Temperature Superconductors	高温超電動材料としての応用区研究	・応用技術のモデル化（ハイブリッド半導体／超電導システムの性能） ・超電導技術の評価 ・薄膜フィルムの超電導適用可能性の検証
Software Technology (ST)	ソフトウェア開発の生産性とソフトウェア品質を改善する方法論とツールの開発	・設計チームの調整支援用ツール ・設計者支援用ツール ・システム統合化設計支援用プラットフォーム
Packaging & Interconnect (1988年1月から開始)	チップのパッケージ技術やインテグレーション技術のコストパフォーマンスを改善する技術	・ボンディング／アセンブリ開発 ・マルチチップシステム技術 ・インターコネクト技術

複雑な知識ベースシステムの適用可能性を大幅に改良することに焦点がおかれ，長期的な目標としては，インタフェースの設計とインプリメンテーションのためのソフトウェアの統合セット（Intelligent User Interface Management System: IUIMS）を開発するものである。将来のインタフェースは，グラフィツクに重点をおいたものになると考えており，このサテライトでは，グラフィックインタフェースの設計と開発を行っている。また，入出力装置についても，先端的なパターン認識などへのニューラルネット技術の適用も検討中である。さらに，自然言語技術についても，英語によるインタフェースのみでなく外国語を扱えるシステムの開発を行っている。その他，共同作業を支援するCSCW（Computer Supported Cooperative Works）などの研究もあわせて行っている。

(3) システム化技術サテライト

システムの機能性，適用可能性を補完するパフォーマンスの改良に重点をおいて，言語，システムアーキテクチャ，オブジェクト指向分散システムの3分野の研究が進められている。

a．言語グループは，ACAのためのプログラミング言語の設計と幅広いアーキテクチャの実装技術の研究開発している。現在の開発分野は，大きく3つに分類できる。

第1には，LIFEと呼ばれる論理型，関数型，オブジェクト指向型の各パラダイムを統合した言語の研究。

第2には，LDLと呼ばれるデータと知識を統合したアプリケーションのための論

理型言語の研究。論理型プログラミングとリレーショナルデータベースの技術と強力なパワーを統合したものである。
第3には，上記のような言語で書かれたプログラムをユーザの明示的な制御の必要なしに実行できるように改良する研究。現在，マルチプロセッサ，シェアードメモリのシステムのもとでAND／ORパラレル実行モデルの評価を行っている。

b．システムアーキテクチャグループは，知的システムに要求されるロバストネス，容量，パフォーマンスを支援する大規模コンピュータアーキテクチャを研究開発している。現在，知識ベースとニューラルネットワークの両者の研究を行っており，知識ベースの研究では，大容量で高性能な大規模知識ベースアーキテクチャ（KBSA）とそれを支援するパラレルマシン（KBM）を開発している。KBSAプロジェクトでは，AIサテライトやヒューマンインタフェースサテライトなど，AIグループとの作業分担について調査を行っている。KBMは，データベースマシンの開発経験からスタートしようと考えており，現在マルチプロセッサ上に40のノードを持つデータベースマシンを実装した。
ニューラルネットワークプロジェクトでは，ニューラルネットワークの理論とアーキテクチャの研究を行っている。アーキテクチャの分野では，効率的な学習アルゴリズムとニューラルモデルのための大規模アーキテクチャの設計を行っている。

c．オブジェクト指向分散システム（OODS）グループは，ODBS（Object Oriented Data Base System）とCODE（Concurrent Object Oriented Design Environment）の2つのプロジェクトがある。ODBSは，オブジェクト指向プログラミング環境，データ指向の記号処理アプリケーション（CAD／CAM，AI，OAなど）の両方に対して豊富なデータベース機能を提供することである。ODBSプロジェクトは，すでに，ORIONというオブジェクト指向データベースシステムのプロトタイプをデリバリした。
ORIONは，現在，分散データベースシステムに拡張中であり，今後ODBSプロジェクトは，論理型とオブジェクト指向データベースとの間にブリッジをかけることになろう。
CODEプロジェクトは，2つの長期的な目標を持っている。第1には，ソフトウェアの再利用，AIシステムの設計，オブジェクト指向モデルの設計環境などを大幅に改良することである。第2には，パラレル処理の開発によって，コンカレントオブジェクトモデルをサポートする強力なシステムアーキテクチャを開発するものである。

4．最近のAI研究開発活動

4.1 リアルタイムAIシステム

今後のAI利用においてリアルタイムAIシステムが数年のうちに本格的導入が始まることが予想される。AIの軍事目的への応用が歴史的に重要な地位を占めていたことから，この分野の研究開発は国防省の強い奨励，NASAなどでの避けえない必要性等から，従来の（非AI）リアルタイムシステム技術の延長の形で早くから進められた。現在AI市場に開発ツールや完成した民間応用システムとして出始めたリアルタイムエキスパートシステムはこれら軍事応用から転用したものが多い。
リアルタイムAIシステムの一例として，最近開発された複数個のエキスパートシステムよりなる主に科学衛星を監視する自動化シス

テムに関するプロトタイプがある。これはGPOCC (Generic Payroad Operations Control System)と呼ばれ，衛星上の計器および小規模なPayroadの監視と制御を目的としたものである。4つのエキスパートシステムによりテレメトリー，命令，飛行計画，通信割り当て等の操作を自動化することを目的としている。リアルタイムAIシステムシェルでは次世代ツール群ともいえるシステムが登場している。その代表的な1つである，ロッキードAIセンターが衛星のテレメータ分析を目的に開発したL＊STARがある。ここでは知識型モジュール相互間のマルチタスキング処理という意味でのマルチプロセッシングを問題にしている。非同期プロセス間の通信の問題（例えば知的プロセス間のメッセージ交換）などが具体的にどのように解決されるかを実験的に試した。特にこれまで比較的あいまいにされていた実時間AIに関する種々の深刻な問題点，例えば出力応答時間の保証，プロセスやセンサー入力のプライオリティ処理などを数項目にわたって挙げ，これらの個々の問題を解決しようとしている。ユーザインタフェースは計器類，あるいは出力の時間変動などを全て多色グラフィックスで人間工学的に巧妙に設計してある。

本テストベッドは時間推論（Temporal Reasoning）の問題にも正面から取り組んでいてこれに関する多くの処理メカニズムを備えている。

また，ロックウェル社の社内用のSCHEMERアーキテクチャと呼ばれるリアルタイムAIシステム構築ツールは，同社がNASAとの協力のもとに特定プロジェクトのために開発したものである。特にリアルタイムAIシステムを構築する際に問題になるセンサー融合の諸問題に対して，例えばセンサー間の信号の優先順位の決め方，センサー信号間に矛盾があるような場合の処理の仕方など，従来のセンサー融合（sensor fusion）の方法より一歩突っ込んだ考案がなされている。SCHEMERの実際の形態は一種の記述言語であり，各ブロックは処理を記述したコード（ボディ）の他に，その処理が起動されるためのトリガー（起動条件）の記述が出来るようになっている。現在さらにSCHEMER 2と呼ばれる次モデル実時間AIシステム構築ツールを開発中であるが，これはSCHEMERに比べてインターラプト処理をさらに細かくしたり，ボディの実行前後の条件などをより細かく決められるようになっている。

4.2 ニューラルネットワーク

ニューラルネットワーク（Nueral Network)の学術的研究は1970年代の終わり頃からロチェスター大学，カーネギーメロン大学，カリフォルニア工科大学およびカリフォルニア大学サンディエゴ校などで行われていた。この学術的研究が1つのピークを迎えたのは，1983年から1985年にかけて米国の認知科学学会などで，コネクショニスト(Connectionist)と呼ばれる学派の研究者が，また，これとほぼ併行して，PDP (Parallel Distributed Processing) 学派と呼ばれるグループがカーネギーメロン大学などを中心にコンピュータ科学の分野でと，それぞれが研究成果を発表するようになった。80年代後半に入って，コネクショニスト派，PDP派，パターン認識研究者，さらに以前のサイバネティクス系の研究者たちの力が目立つようになり，1987年6月にカリフォルニア州サンディエゴ市で「第1回国際ニューラルネットワーク会議（ICNN 87)」が開催された。同会議は当初IEEE (The Institute of Electrical and Electoronics Engineers, Inc.) のサンディエゴ支部などの地区を中心にこの集会を少し広げるような形で企画していたところ世界各国からの反応があり国際会議にすることに変更した。1,800名程の参加者があり一気にブームの様相を呈した。国際ニューラルネットワー

ク学会（International Nucral Networks Sociaty, INNS）が設立され，1988年9月にボストンで第1回年次総会が開かれた。

これに先立って1986年にNSFは，PDP学派を中心とした研究者達にニューラルネットワークの研究を今後どのように進めるかを諮問した。この答申を受けたNSF側は研究開発資金配布の準備を進めた。

また，これと同じ頃DARPAも，ニューラルネットワークに関するプロジェクトを開始することとした。このため，MITリンカーン研究所に総合的な技術報告書の作成を依頼し，1988年6月に「DARPAニューラルネットワーク調査」というタイトルの報告書が発行された。この調査はあくまでも同国の国防戦略を支持する目的に沿ったものであり，具体的な目的として，国防に関してニューラルネットワークの潜在的応用対象を見つけること，ニューラルネットワーク技術に関する研究の現状をまとめること，ニューラルネットワーク技術について今後さらに研究を要する課題と国防総省が今後5年間にわたって実施すべき研究開発プログラムを作成することとなっている。同プログラムには5年から6年の期間に約3億9千万ドルの予算を投入することが必要あるとされた。1988年9月の発表時点での同プログラムの目標は以下のとおりである。

① 代替各手法に比較してニューラルネットワーク手法の有利性を識別する。特にすでに同じ問題を解く別の計算手法が存在する場合にはこの識別を正確に行う。

② 現在の学習アルゴリズムの研究を前進させ，次世代学習アルゴリズムの完成を目指す。

③ 柔軟性に富んだハードウェアモジュールでニューラルネットワーク機能を実現する。

現在，主に通常コンピュータ等でシミュレーションの形で実行されているニューラルネットワークモデルを，モデルの完成とともにそのまま実行できるようなハードウェアを準備する。現時点では，特定の方式や回路設計などにはとらわれない。

これをまとめると第1の目的はいわゆる競争原理によるパフォーマンスの測定（Competitive Paformance Mesurment）概念の導入。第2は理論研究とモデル作成開発技術の協調。第3はこれと併行したニューラルネットワーク向けハードウェア開発を求めている。

一方，ニューラルネットワーク関係のビジネス活動についてみると，展示会に見られるシステムでは，ニューラルネットワークシステム開発のためのシステム開発環境的なものが多い。それも汎用機上にソフトウェアを使ったもの，また汎用機の追加ハードウェアとして一部ニューラル機能を持たせたもの，さらにトランスピュータのようにニューラル系を実現する可能性の大きい素子をシステムの形にパッケージしたもの，またこれらを視覚系や音声認識に応用としてまとめたもの等が見られる。また，一部には製品の製造過程，プロセス制御，あるいは品質管理などにニューラルネットワーク技術を直接応用するシステムを紹介し始めた企業が登場してきた。

4.3 宇宙開発とAI

1988年11月にNASAが主催した「宇宙におけるAIの応用会議」において，ロックウェルインターナショナル社のハーベイフィアラ氏が最近宇宙システムおよびSDI（Strategic Defence Initiative: 戦略防衛構想）におけるAIの応用に関する調査結果を発表した。米国政府の航空宇宙関係におけるエキスパートシステムは約2,000本が開発中，または使用中であるといわれている。今回の調査によればAIシステム技術と他のコンピータ技術との融合という点から見た場合，航空宇宙およびSDI応用の32%が何らかの意味でAI的要素を持

っている。

NASAの宇宙輸送のグループでは，スペースシャトルの打ち上げの準備に関するエキスパートシステム群，または同積み込み過程の支援のためのシステム群，地上で宇宙から来たデータを分析するためのエキスパートシステム，いわゆるmission planning(打ち上げ計画）関係エキスパートシステム，宇宙空間で出会うランデブー予測のエキスパートシステム，航法決定のためのエキスパートシステムなどが開発されている。また，宇宙システム制御のグループでは，主に衛星制御の自動化を目的としたエキスパートシステム群が中心になっているが，いわゆる自律衛星制御関係のもの，日々の飛行の運行を計画実行する知的計画システムなどを挙げている。スペースステーション関係のものとしてボーイング社のスペースステーション上で予想される環境異常に際して，乗員の生命を守る目的の非常環境制御システム(ECECIS)や，スペースステーションハウスキーピング用エキスパートシステム，ADEPT電源自動管理エキスパートシステムなどを挙げている。さらに，現在NASAが，かなり重点を置いている情報整理関係のAIシステムがある。これは，宇宙より送られてくる大量の情報の高速に的確な処理するということである。

第3部 イギリス

1．AIの全般的動向

イギリスにおける本格的なAIに関するビジネス活動は，1984年に政府による高度情報技術計画（アルベイ計画）が契機となった。アルベイ計画では，イギリス国内全体に研究開発を完全に分散する方針をとったため，AI専門企業も各地に広がって根を降ろしつつある。また，多くの中小企業が同計画のプロジェクトに参画し成功をみた。さらに正規のプロジェクト以外にもIKBSコミュニティクラブに参画してシステム開発に関与し，実質的な効果を得た企業もあった。POPLOG等のようにアルベイ計画のもとでかなり総合的な開発環境としてソフトウェアを商品化したものがあるが，LispマシンやPrologマシンを商品レベルで完成するには至っていない。またユーザのAIへの投資も少額から始まったため，オフィスコンピュータやパーソナルコンピュータを使った開発実用化も企業に定着した。アルベイ計画のIKBS部門のアーキテクチャ関係の並列マシン開発の努力は，インモス社のトランスピュータの早期の開発もあって，今後まとまった製品レベルでの成果を挙げるものと予想される。

イギリスのAIのビジネス活動が過去数年，アルベイ計画から受けた恩恵は大きい。これを上手に使って伸びた研究開発機関はすでにESPRITへと移行しつつある。そして欧州大陸にはESPRITの第1期計画の終了を待たずに同計画の第2期を承認し，さらにEUREKA計画を打ち上げたECの安定したハイテクビジネスの基盤がある。ある見方によれば，イギリス政府はこのような欧州全域にわたる情報技術のビジネスへの流入の動きを巧みに利用し，国内に受け入れ体制を構築したあとバトンをECに渡したとも言えよう。DTI（Department of Trade and Industry: 通産省）の最近のアルベイ計画再編に伴う実用性強調とESPRITへの積極参加にその姿勢が見える。

2．アルベイ計画

2.1 アルベイ計画の始まり

アルベイ計画は，1980年初頭にイギリスの情報技術大臣であったケネスベーカー卿により1983年開始された。これは言うまでもなく，その直前の日本における第五世代コンピュータ開発プロジェクトの発表に触発されたものである。ケネス卿は，日本からの第五世代コンピュータ国際会議への招待に時を移さず当時の同分野における専門家数名を1981年11月東京で開かれた同国際会議に派遣した。帰国した代表団は同大臣に対してイギリスにおいても同様な新世代コンピュータ開発プロジェクトを開始すべく委員会を設定することを上申した。その委員会は，当時英国電信電話公社（British Telecommunications plc.: BT）のジョーンアルベイ（Johne Alvey）が主導することになり，ここに「アルベイ委員会」および「アルベイ計画」の名称が生まれた。

アルベイ計画は同国としてはきわめて規模の大きいものであり，当初は日本の第五世代コンピュータ開発プロジェクトにならい，構造的にも類似点が幾つかあった。しかし，その後1年程の準備期間中に同国の実状に適した新世代コンピュータ開発プロジェクトへと

形を変えた。アルベイ計画は1984年4月に正式に発足したが，その準備期間における政府，学界及び産業界の協力の強さはこれまでに類を見ないものである。特に注目すべきは，アルベイ計画で開発されるべき技術を民間に移転するために計画当初から緻密な準備が行われたことであろう。現在同計画はほぼ終末期にあり，当初期待された成果がすべて達成されたとはいえないが，アルベイ計画について賞賛できる面は，同国がかつてない計画性をもって技術移転の問題に取り組み，それをほぼ成功させたことであろう。イギリスではこれまで同国の階級社会的構造が裏付けとなって政府，産業界，学界にそれぞれ存在していた対立意識が，アルベイ計画で情報技術(IT)というテーマを中心にほぼ解消し，米国や日本に対するこの分野での技術上の遅れと，それから必然的に生じる国際市場での競争力の低下を国力を挙げて取り戻そうという結束が見られた。具体的にはこれまでほとんど実現しなかった大規模な産学共同体制がイギリス各所で成立した。また，コンピュータメーカ間あるいはコンピュータメーカとソフトウェアハウス間等もこれまでのわだかまりを捨ててかなり前進的な協力関係が見られた。

アルベイ計画の1984年当初の予算は，政府直接拠出金の2億5,000万ポンドと産業界からの1億5,000万ポンドであった。しかし計画最終年の1989年末までに産業界が投下する予算は，1億5,000万ポンドを超えるものと予想されている。

2.2 アルベイ計画の概要

(1) アルベイ計画の特色

アルベイ計画の実施にあたっては，当初ロンドン南部のミルバンクタワービルに管理本部（Alvey Directorate）を設置した。いわゆる事務総局であって研究施設は持たなかった。研究体制は分散方式として全国約200カ所の大学，国立研究所，軍研究機関，企業研究所等がそれぞれアルベイ計画のプロジェクトを分散して実行した。アルベイ計画における中央政府の指導力は大きかったが，各研究施設を有効に活用していこうという考えがあった。

また，アルベイ計画の運営に関して，アルベイ管理本部（Alvey Directorate）に極めて優れた人材が多く存在した。最も注目すべきは計画全体をまとめるディレクタのブライアンオークレイ氏である。このオークレイ氏と非常に好ましいペアを組んでいたのが，当時SERC（Science and Engineering Research Council 科学技術研究諮問委員会）よりアルベイ管理本部に派遣されたデービットトーマス博士である。同博士はアルベイ計画の5本の柱のうち，AI的性格が最も強い知的知識ベースシステム（Intelligent Knowledge Based System: IKBS）部門のディレクタに任命された。

(2) 計画の構成

アルベイ計画の最盛期には約300の企業と60余の大学が参加した。大学，研究所，企業がそれぞれの問題を持ちながらも実施されたことは同国の歴史から見て画期的なことであった。また，これらのプロジェクトの多くは十分な成果をこれまでに挙げることができた。アルベイ計画は9つの部門に分けられ，それぞれに担当ディレクタが置かれた。このうち5部門は技術関係部門で，知的知識ベースシステム部門，マンマシンインタフェース（Man Machine Interface: MMI）部門，ソフトウェア工学（Software Engineering: SE）部門，超LSI（Very Large Scale Integrated Circuit: VLSI）部門，システムアーキテクチャ（System Architecture: SA）部門である。このうちIKBSは本来AI部門と言われるべきものであるが，イギリスでは歴史的に1960年代にAIに対する大きな批判が起こり「AI」という用語を避ける必要があったことからこのような名称となった。

この他に大型デモンストレーションプロジ

ェクトが設定された。大型デモンストレータと呼ばれるプロジェクトは，米国SCIにおける「Proof-of-Concept-Demonstorator」に相当するもので5つの大規模なシステムが設定された。これらは「DHSS社会福祉プロジェクト」，「設計から製品までの支援システム」，「移動通信システム」，「音声入力ワードプロセッシングシステム」，「高度ネットワークアーキテクチャプロジェクト」である。

さらにIKBS部門内部だけの6つの大型デモンストレーションプロジェクト群が設定された。これらはどれも工業的性質が強いものであるが，名称だけをあげると，「ヘリコプターの変速器に関する診断システム」，「大型内燃機関の診断システム」，「潤滑油等の化学製品生成プロセスシステム」，「危険状態からのパイロットの回復操作訓練システム」，「大型整地機器管理システム」，それに「FLAGSHIP計画」と呼ばれる大型並列マシンならびにその周辺ソフトウェア試作プロジェクトである。

2.3 計画の現状

アルベイ計画関係の予算が，各プロジェクトに配分細分され，プロジェクトがそれぞれ進行するとともに，アルベイ管理本部は徐々に縮小していった。これは1987年と1988年の2段階に行われ，現在は政府のDTI内のInformation Engineering Directorate (IED)がIED自体の活動に加えて，アルベイ計画担当のディレクタ，ティモシーウォーカー（Timothy Walker）博士が就任した。同博士は，1988年11月に東京で開催された第五世代コンピュータ国際会議に出席してアルベイ計画を中心にイギリスの研究開発状況を説明した。それによると1986年末までにほとんどすべての予算がプロジェクトに割り当てられ，その後参加企業や大学，プロジェクトの総数にほとんど変更はない。しかし，ある部分では新しい参加者が見られたし，プロジェクトの再構成が行われた場合もある。1988年から1989年中にアルベイ計画下のかなり多数のプロジェクトが終了し，1990年4月以降継続するプロジェクトはごくわずかである。

今後のアルベイ計画について，SERC科学技術研究諮問委員会とDTIは，1987年にアルベイ計画末期の計画進行管理を行うことを合意した。これはプロジェクト実施者に大きな失望を与えた。予算も数千万ポンド程度の出資が決定した。それと同時に欧州共同体の情報技術開発プログラムであるESPRIT計画にイギリスより積極的に参加することを決め，これに対する出資が増額された。DTI担当者，特にIEDのディレクタであるウォーカー博士は，このESPRITへの拡大参加も含めてアルベイ計画は決して縮小したのではなく発展的に解消したのだという点を強調している。また，これまでの5つの部門が再編成されて4つの新しい部門に統合された。1番目は，Devise（装置）部門，ここにはVLSI・CAD，非シリコン素子および光電子工学。2番目はシステムアーキテクチャ，ここには並列処理，分散型システム，通信系，音声および視覚処理。3番目はシステム工学部門，ここにはソフトウェア工学，IKBS，人間工学およびその他情報科学一般。4番目は制御および計測部門になった。

アルベイ計画は，1987年中に全予算が割り振られ，実質的にその成長を停止した。1988年報告書からプロジェクト数，プロジェクトへの参加数は，図表VI-3-1(a)，(b)に示すとおりである。

(1) 知的財産の帰属問題

アルベイ計画において，システム開発等で生ずる知的権利財産が誰に帰属するかという問題に関して大きな論争が行われた。アルベイ管理本部は，この問題を解決するために1986年になってアルベイ同意書（Alvey Letter of Grant)という書式を用意し，当事者があらかじめこれに署名することを求め，

この方法により知的財産権の問題はおおむね片付いた。

アルベイ同意書は，参加各企業が同一クラブ内の他のメンバーに対して研究開発結果の進捗状況を報告し，技術内容を公開することを求めている。さらに，技術開発によって生じた製品・製法ライセンス等を他のメンバーに無償で提供することも定めた。クラブ活動終了後は，通常の商業ベースでこれらのライセンスの売買を行うと定めている。

(2) AI関係のクラブ活動

アルベイ計画では，プロジェクトにより開発される各種先端技術を民間，特に産業界に技術移転を行うためのアルベイクラブ群がある。このクラブ群は，大きく分けて基本技術の部門ごとに設けたアルベイカテゴリークラブ (Alvey Category Club)，アルベイ特別ユーザクラブ (Alvey Special Interest Club)，そしてIKBS部門下で構成されたアルベイコミュニティクラブ (Alvey Community Club) の3つに分かれる。

AIに関係するものは，MMI部門，IKBS部門に属するもので，これらの部門に属するクラブとして，ヒューマンインタフェースクラブ，視覚クラブ(ビジョンクラブ)，音声および自然言語クラブ，知識ベースシステムクラブ，システムズアーキテクチヤクラブ，論理プログラミングクラブ，などである。

IKBSコミュニティクラブが実施したプロジェクトは図表VI-3-2に示すとおりである。

図表VI-3-1(a) アルベイ計画プロジェクト

部門	基礎研究プロジェクト数	予算(万£)	産業応用プロジェクト数	予算(万£)
VLSI	21	190	61	7,380
ソフトウェア工学	31	510	35	3,300
IKBS	46	450	55	3,440
MMI	15	150	40	3,160
通信	0	—	2	360
大型デモンストレーション	—	—	2	2,580
合計	113	1,300	198	20,220

図表VI-3-1(b) アルベイ計画プロジェクトごとの参加数

部門	産業応用プロジェクト	企業	学界	合計
VLSI	61	180(3.0)	91(1.5)	271(4.4)
ソフトウェア工学	35	91(2.7)	36(1.1)	127(3.6)
IKBS	55	76(1.6)	56(1.0)	132(2.7)
MMI	40	72(2.1)	75(1.9)	154(4.0)
通信	2	4(2.0)	5(2.5)	9(4.5)
大型デモンストレーション	5	20(4.0)	14(2.8)	34(6.8)
合計	198	456(2.4)	277(1.5)	727(3.9)

( )内の数字はプロジェクトごとの平均参加機関数

(3) AI要員の養成活動

IKBS技術に対する理解を深め知識を高めることを目的としたプロジェクトにA wareness Projectがある。IKBS Journeyman Scheme (IKBS見習い制度) と呼ぶ企業のAI技術者養成のためのプログラムがある。AI技術習得を希望する企業要員を政府の援助のもとに著名なAI研究所等で訓練することを目的としている。

企業から派遣された訓練生にシステム記述言語，知識表現手法，知識獲得手法，応用問題に対するシステム設計等，知識ベース関係の諸機能などを細かく教える。訓練生は外部の研究員として参加企業の試作プロジェクトをサポートする方法もある。さらに参加企業に対して，知識ベースシステム開発に伴うマネジメント上の問題に関しても指導する。さ

図表VI-3-2 IKBSコミュニティクラブの実施プロジェクト

プロジェクト名	期　間	予算(£)	内　容
RESCU(Real Time Expert System Club of Users)	'84.11～'87.4	440,000	工業分野のプロセス制御等へのエキスパートシステム技術の応用
PLANIT Community Club	'85.4～'87.3	352,00	状況変化に対応する計画作成支援プロトタプシステムの開発
ALFEX Community Club	'85.4～'87.3	400,000	銀行等金融関係のエキスパートシステム技術の研究、企業の研究診断アドバイザの開発
ARIES Insurance Community Club	'85.9～'87.5	300,000	保険業界のエキスパートシステム研究、株式選択や投資アドバイザを開発
TRACE Club	'85.12～'87.5	220,000	運輸・旅行業界のエキスパートシアウテムの研究、旅行紹介エキスパートシステムを開発
Water Industry Expert Systems Club	'85.11～'87.10	296,000	水道業界のエキスパートシステムの適応研究、上水道排水網管理システムと下水道再生計画システムを開発
COMMUNITY Club (Data processing Expert System)	'86.3～'88.2	315,000	大規模データ処理用エキスパートシステムの導入可能性の研究、オペレータ支援システムとヴェットワーク故障診断システムの開発
EMEX Club	'85.12～'87.9	250,000	市場の予測や分析の数学的モデル構築支援システムの開発

らに訓練生が企業に戻ってから社内で訓練および理解を深めるための活動を奨励する。

この計画への参加を容易にするため派遣期間は3カ月から6カ月と比較的短い。計画はスコットランドのグラスゴー市にあるチューリング研究所で実施され,1985年1月から1987年12月までの3年間に，21の企業やその他機関から30人の訓練生が参加した。訓練期間中に作られたパイロットシステムは，エキスパートシステムの応用が18ケースのほかに，IKBSと視覚システムを組み合わせたもの，知的ユーザインタフェースの設計に関するもの，知的コンピュータ教育システム，市販シェルの評価，IKBS開発ツールの拡張等を行った。イギリス国籍の企業は誰でもこのプログラムに参加でき，DTIが授業料の75%を払う。この計画は現在もDTIの管轄のもとで継続して実施されているが，1989年の終わりにはこのプログラムも終了する予定である。予算は1987年から1989年までの2年間で£377,500が計上されている。

第4部　欧州共同体(EC)

1．ESPRITの概要

(1) 第1期計画（ESPRIT-Ⅰ）

EC（European Community：欧州共同体）は，加盟国の産業における総合的研究が不充分なこと産学間の連携研究の欠除なこと，科学的なニーズと技術的なニーズが一致しないこと等の原因を改善する必要性を認識した。そして，EC内の産業界が共同で長期研究計画およびEC規模の共同利益となる技術目標を定めて資金投入を行うこととした。

ESPRIT（The European Storategic Programme for R & D in Information Technology: 欧州情報技術研究開発戦略計画）は，1983年のパイロット計画（事業総額23百万ECU）を経て，1984年から開始されたプロジェクトである。その目的として「欧州の情報関連技術分野における産業ポテンシャリテイの創造と強化」にあり，今後10年以内に国際競争力の確保維持に必要な情報技術基盤を構築することにおいている。

この目的達成手段として，①情報技術の競争前段階の研究開発において加盟国の産業レベルでの協力関係の促進，②今後5～10年間に欧州の情報技術関連産業が必要とする基礎技術の提供，③国際標準化への道の開拓の3点が挙げられている。

計画は，10年間のうち前5年間を第1期（ESPRIT-Ⅰ），後5年間を第2期(ESPRIT-Ⅱ）と分けて進められた。1984年～1988年までのESPRIT-Ⅰの事業総額予算は15億ECUが計上された。ECはこの予算のうち50%を負担し，残りの50%はプロジェクト参加企業が負担することとなっている。1986年までのESPRIT-Ⅰの研究分野別EC負担金の配分状況は図表VI-4-1に示すとおりである。この時点では7.5億ECUのうちの6.7億ECUが決定したが，プロジェクト数は220，参加機関数が420，研究者と技術者数は約3,000人となっている。なおESPRITの個別プロジェクトの概要については資料編4.に掲載した。

ESPRIT-Ⅰの成果についてはまだ公式には発表されていないが，現在のところ，アルベイ計画と同様に，参加者同志の協力体制がうまく取れているということである。この参加者同志の協力は，企業と大学などの研究機関を意味すると同時にECを構成する国と国の間の潤滑な協力も含まれる。ECのESPRIT事務局は，特に後者をヨーロッパでも希有の事象として自賛している。計画以前にもハイテク事業において2カ国以上にまたがって大・中・小企業が特別な研究開発テーマのもとにまとまった例はあった。しかし，例えば，西独のシーメンス社とオランダのフィリップ

図表VI-4-1　ESPRIT-Iの予算配分状況（1986年現在）

研究開発分野	配分予算（百万ECU）	割合（%）
高度マイクロエレクトロニクス	162.0	24.0
ソフトウェア技術	129.5	19.3
高度情報処理	154.8	23.0
オフイスシステム	137.2	20.5
コンピュータ支援生産技術	86.4	13.0
合計	669.9	100.0

ス社，またイギリスのICL社と西ドイツのニクスドルフ社などのように，国境を挟んだ超一流競合企業同志が，同じ目的のために各所で手を結んだ例は過去にほとんど見られなかったという。

(2) 第2期（ESPRIT-II）

ECは，第2期計画（ESPRIT-II）について1987年の第13回理事会において詳細を決定し，同年末にEC議会はこれを承認した。事業総額予算は32億ECU（EC負担額16億ECU）が見込まれている。このうちAI技術の開発に直接向けられるのは30%程度と見られる。ESPRIT-IIのプロジェクトは，正式には1989年より開始される予定であったが，このうちの幾つかは1988年から実施に入ったものもある。

ESPRIT-IIでは，開発された技術の工業化に引き続き焦点が当てられ，成果を有効に産業界に持ち込むことによるヨーロッパ全体の工業生産力と製品の国際的競争力の強化をねらっている。ESPRIT-Iがすでにその傾向を強く持っているが，第2期では参加企業間の連携を一層強化し，研究成果を直接応用する技術移転の問題に取り組んでいる。ECの推測によれば，ESPRIT-IIにおいて実施されるデモンストレーションプロジェクトの平均的な規模は400ないし500人／年になるという。

ESPRIT-IIにおけるAI関係のテーマは，知識ベースシステム，知的インタフェース（音声認識，ビジョンシステムなど），知的データベース，並列マシンアーキテクチャ，応用デモストレーションシステムなどである。

(3) 知的財産権の問題

プロジェクトの実施によって参加機関に生じる知的財産権の帰属の問題は，ESPRITではあまり大きな問題にはならなかった。各プロジェクトの開始に先立ってECは協力合意書に関係一同がサインすることを要求した。この合意書には，研究開発計画の結果得られる成果の分配が明確に記されていて，プロジェクト進行中の争いを最小限にするように考慮されている。アルベイ計画において問題になった大学におけるプロジェクト関連の研究成果の発表に対する制約なども，ESPRITに参加している研究者に対しては，一定潜伏期間を経たのちはむしろ発表する義務があるとした。この場合でも最高2年間にわたって研究成果の発表を控えるように共同研究を組んでいる企業側が要求することができる。

(4) EUREKA計画との関係

ESPRITとともに欧州の技術革新の中心的役割を示すEUREKA計画は，最終的には150億ECU相当の資金が投入されるといわれる。同計画は，ブラッセルに本部を置くEUREKA計画実施本部がECとは独立に計画を管理しており，参加国はEC加盟国12カ国の他にスイス，オーストリア，スウエーデン，ノルウェーが参加している。

ESPRITはいわゆる市場における競争以前の研究開発（pre-competitive R & D）である。これに対しEUREKA計画は，はっきり市場駆動型の製品開発を目指しているといってよいほど技術実用化の思想が強い。プログラムの実施はことごとく市場の現実に合わせた形を取っている。EC本部は，ESPRITとEUREKA計画は相互補完の関係にあると見ている。PCTEプロジェクトのように，基本概念をESPRITで開発し，EUREKA計画で実用システムのデモンストレーションに漕ぎつけたもの等がある。PCTEは，欧州におけるワークステーションの概念の確立を目指しきわめて大規模な投資がその開発に費やされているプロジェクトである。

資料編

資料1　1988年のＡＩ関連活動

年月	ＡＩ関連イベント	ＡＩ関連ニュース
1988年 1月	19―20日 1988年情報学シンポジウム （情報処理学会、於：東京）	―富士ゼロックスがSmalltalk―80をSun, Apollo,Apple,HP各社のマシンの移植 ―日本データゼネラルが、DG/ZEUS IIを販売開始。 ―日本コンピュータ・システムは、パソコン用入門ESツール「ハローGURU Tutor」の販売開始。 ―エーエスアールインターナショナルは、米国EXSYSのパソコン用ESツールEXSYSの販売開始。
1988年 2月		―伊藤忠テクノサイエンスが、米国Gensym社のES構築ツールG2の販売開始。 ―フジテックがAIを使ったエレベータ部管理システムを販売開始。 ―東洋情報システムは、米国マクダーモットグループの知的CAD:Concept Modellerの販売発表。
1988年 3月	16―18日 情報処理学会第36回全国大会 （於：横浜）チュートリアル 「最新のAI技術」 22―23日 第７回知識工学シンポジウム （計測自動制御学会於：東京）	―富士ゼロックスがCommon Lispに準拠したXerox Lispを販売開始。 ―立石電機が、アナログ回路で並列処理を行うファジィコントローラ「FZ―100」の販売開始。 ―AIシステム記述用言語の試験研究を目的とする「AI言語研究所」を設立。 ―パーソナル・メディアは、OPS83をNEWS上に移植、販売。 ―日本DECは、米国Neuron Dataの Nexpert Objectを販売開始。
1988年 4月	12―14日 ロジックプログラミング・コンファレンス'88（於：東京）	―川崎製鉄は、AI応用の回転機用異常診断システムの販売開始。 ―アイザックは、K―Prologコンパイラの販売開始。 ―富士通は、認識単語数4,000語の音声入力装置を発表。

年月	ＡＩ関連イベント	ＡＩ関連ニュース
1988年 5月	5—27日 IEEE International Workshop Artificial Intelligence for Industrial Application（於：茨城） 31—6/1日 第五世代コンピュータに関するシンポジウム（ICOT　於：東京）	—住友エレクトロニクスは、コンサーユニバーサルが開発したAIを利用した配送管理システムAIDELSの販売開始。 —神戸製鋼所は、パソコン用の故障診断ESツールIDMONの販売開始。
1988年 6月		—国際AI財団が設立。 —ブラビス・インターナショナルは、パソコン用翻訳ソフトの機能強化版マイクロバックJ/EIIIの販売開始。 —ブレインズは、パソコン用ESツールHyper Brain/能力男の販売開始。 —カシオ計算機は、LISP学習用ポケットコンピュータの販売開始。 —CSK総研は、パソコン用CRI—PROLOGの販売開始。 —ナレッジウェルは、米国ケンブ・キャラウェイ心臓研究所で開発したシステム（ファジィ理論を使用）をFLOPSとして販売開始。 —日本電子は、AIで顕微鏡のゆがみを自動修正する走査型電子顕微鏡の販売開始。
1988年 7月	4—7日 第4回人工知能総合展示会（AI '88）（主催：日本経済新聞社　於：東京） 21—23 日昭和63年度人工知能学会全国大会（第２回）（於：東京）	—エーエスアールインターナショナルは、米国パソコン用ESツールEXSYSを機能拡張した。EXSYSプロフェッショナルの販売開始。 —通産省は、ニューロコンピュータ開発の方向を探る「超分散・超並列コンピュータ技術開発委員会」を発足させた。 —CSKは、IBM機上で稼働するESツールXPT—IIの販売開始。 —住友金属工業は、IBMメインフレーム用ESツールSMI/MARKS—II・iの販売開始。
1988年 8月	2—4日 第２７回計測自動制御学会学術講演会（SICE '88）（於：千葉） 20—24日 International Workshop on Fuzzy System Applications（於：福岡）	—NJKが、NTT開発のパソコン用ESツールKBMS/PCの販売開始。 —ヴァルソフト販売は、首都圏の電車乗り継ぎ運賃案内ES「駅すぱあと」の販売開始。

年月	ＡＩ関連イベント	ＡＩ関連ニュース
1988年 9月	7—9日　日本ソフトウェア科学会第５回大会（於：東京） 12—14日 情報処理学会第３７回全国大会（於：京都）	—日立製作所は、ES/KERNELにファジィ推論の機能取り入れ。 —日本ユニシスは、従来機KS—301の５倍の性能を持つKS303の販売開始。 —日本IBMは、パソコン用ESツール日本語ESCE/PCの販売開始。 —東京コンピュータシステムは、米国If/Then. Solutionのパソコン用ESツールIf/Then・・・の販売開始。 —CRCは、ニューロを応用したパソコン用ソフトRHINE販売開始。 —シャープは、ワークステーションにOCRをセットした英日自動翻訳システムDUET—E/Jの販売開始。
1988年 10月	4—6日　コンピュータワールド'88「ヒューマン・インタフェースの向上を目指すマルチメディア知識処理」（主催：関西情報センター　於：神戸） 18—19日 第８回知識工学シンポジウム（主催：計測自動制御学会　於：京都）	—日本シンボリックスは、Lispチップを搭載したMac Ivoryの販売開始。 —NKKと富士ゼロックスは、分段協調型推論を採用したNX—7の販売開始。 —日本オリベッティは、豪州インテリジェント・システムズ・リサーチが開発したES用言語XLの販売開始。 —三浦工業は、AIを応用したボイラ「ゼット・インテリジェント・システム・シリーズ」の販売開始。 —日本クレイは、スーパーコンピュータ用AI言語Allegro Common Lisp リリース1.0の販売開始。 —富士通とエーアイソフトは、ESHELL/FMと創玄の知識ベースに互換性を持たせることとなった。
1988年 11月	1—2日　IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems —Toward the Next Generation Robot and System（於：東京） 17—18日 第２回宇宙用人工知能/ロボット／オートメーションシンポジウム（於：東京） 24—25日 電子化辞書国際シンポジウム（ISED '88）（於：東京）	—CRCは、米国TI社ＡＩワークステーションの最上位機種Explorer 2 Plusの販売開始。 —インタフェイスコンピュータジャパンは、IF/Prologを小型ボードコンピュータSLIMに移植し、販売開始。 —ニチメンデータシステムは、ニューロを応用したシミュレーションソフトNewral Worksの日本語版の販売開始。 —日本電気は、ニューロコンピュータNeuro-07の販売開始。

年月	ＡＩ関連イベント	ＡＩ関連ニュース
1988年 11月	28 - 12/2日 International Conference on Fifth Generation Computer Systems (FGCS '88)（於：東京） 29 - 12/2日 '88人工知能総合展（主催：日刊工業新聞　於：大阪）	
1988年 12月		—ニューロンデータとオーバーシーズ・ベクテルが、Nexpert Objectを日本語化し、販売開始。 —富士ゼロックス情報システムは、ワークステーション用ESツールHumble,Spread SheetをSUN,Apolloに移植し、販売開始。 —CSK総研は、米国ネスター社開発のニューラル・ネットワーク製品ネスター・ディベロップメント・システムの販売開始。 —日立製作所は、あいまい理論で応用したエレベータシステムFI320の販売開始。 —富士通は、ワークステーションで稼働する日英翻訳システムATLAS—Gの販売開始。

資料2　わが国の主要 AI 関連機関

人工知能学会（JSAI）
Japanese Society for Artificial Intelligence
住　所　〒151 東京都渋谷区上原 1-32-19 三善コーポ201
電　話　03-485-6641

代 表 者　会長 大須賀節雄(東京大学教授)
設立時期　昭和61年7月24日
目　　的　人工知能に関する総合的な学問研究の促進を図り，会員相互間および関連学協会との，交流の場を提供しわが国のこの分野の学問および産業の進歩発展に貢献するとともに，国際的活動を通じて，世界のこの分野の進歩に貢献する。
AI関連の研究会・部署
人工知能基礎論研究会
ヒューマンインタフェースと認知モデル研究会
知識ベースシステム研究会

日本ソフトウェア科学会（J.S.T.）
JAPAN SOCIETY FOR SOFTWARE SCIENCE AND TECHNOLOGY
住　所　〒105 東京都港区浜松町2-4-1 世界貿易センタービル7階
電　話　03-436-4536

代 表 者　理事長 米田信夫（東京大学理学部教授）
設立時期　昭和58年10月
目　　的　計算機ソフトウェアにかかわる科学・技術の研究を盛んにし，またその普及を図り，関係諸部面とも協力して学術文化の向上発展に寄与すること
AI関連の研究会・部署
知識プログラミング研究会
論理と自然言語研究会
数式処理研究会
オブジェクト指向コンピューティング研究会
関数的プログラミング研究会
TeXユーザ・グループ
プログラム合成／変換研究会
ソフトウェア研究会（関西）
ヒューマンインタフェース研究会
ソフトウェアプロセス研究会(新設)

㈳情報処理学会(I.P.S.J.)

INFORMATION PROCESSING SOCIETY OF JAPAN

住　所　〒105 東京都港区麻布台2-4-1
保科ビル3階

電　話　03-505-0505

代 表 者　会長　三浦武雄（日立製作所）

設立時期　昭和35年4月22日

目　　的　電子計算機を中心とした情報処理に関する学術技術の進歩発展を図り，会員相互および関連学協会との連絡研修の場となり，もって学術文化の発達に寄与する。

AI関連の研究会・部署

知識工学と人工知能研究会
自然言語処理研究会
ヒューマンインタフェース研究会

㈳電子情報通信学会(EIC)

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

住　所　〒105 東京都港区芝公園3-5-8
機械振興会館2階

電　話　03-433-6691

代 表 者　会長　池上文夫
（拓殖大学工学部教授）

設立時期　大正6年5月1日

目　　的　電子工学および電気通信に関する学問，技術の調査，研究および知識の交換を行い，もって学問，技術および関連事業の振興に寄与する。

AI関連の研究会・部署

言語理解とコミュニケーション研究会
人工知能と知識処理研究会
パターン認識・理解研究会
ニューロコンピューティング研究会

(社)計測自動制御学会(S.I.C.E.)

THE SOCIETY OF INSTRUMENT AND CONTROL ENGINEERS

住　所　〒113 東京都文京区本郷 1-35-28-303

電　話　03-814-4121

代 表 者　会長　山崎弘郎
（東京大学工学部教授）

設立時期　昭和36年9月30日

目　的　計測自動制御に関する学術および技術の進歩発達を図り，文化の向上並びに産業の発展に寄与する。

AI関連の研究会・部署

知識工学部会

ヒューマン・インタフェース部会

パターン計測部会

工業技術院電子技術総合研究所(ETL)

Electrotechnical Laboratory

住　所　〒305 茨城県つくば市梅園 1-1-4

電　話　0298-54-5023～5028

代 表 者　所長　柏木　寛

設立時期　昭和45年

目　的　エレクトロニクスの研究を基盤として，情報技術，エネルギー技術，標準計測技術分野の研究を有機的に推進し，科学・産業技術の振興に努める。

AI関連の研究会・部署

情報科学部
- 脳機能研究室
- 認知科学研究室

情報アーキテクチャ部
- 言語システム研究室
- 情報ベース研究室

知能情報部
- 推論研究室
- 自然言語研究室
- 音声研究室
- 画像研究室

知能システム部
- 視覚情報研究室
- 行動知能研究室
- 自律システム研究室
- 対話システム研究室

㈶新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)

Institute for New Generation Computer Technology

住　所　〒108 東京都港区三田 1-4-28 三田国際ビル

電　話　03-456-2511

代 表 者　理事長　三田勝茂

設立時期　昭和57年4月

目　　的　新世代コンピュータ技術に関して，研究開発の推進，調査研究並びに普及の促進等を行うことにより，情報技術の進展および情報関連産業の振興を図り，もって情報化社会の発展に寄与する。

AI関連の研究会・部署

研究所（所長　渕一博）

研究計画部

第一研究室

第二研究室

第三研究室

第四研究室

第五研究室

㈱日本電子化辞書研究所(EDR)

JAPAN ELECTRONIC DICTIONARY RESEARCH INSTITUTE. LTD

住　所　〒108 東京都港区三田 1-4-28 三田国際ビル・アネックス

電　話　03-798-5521

代 表 者　代表取締役社長　前田光治

設立時期　昭和61年4月26日

目　　的　(1)コンピュータ・ソフトウェア（辞書的役割として利用可能なプログラムおよびデータベース）の研究並びに，これを利用したシステム研究

(2)前項にかかわる工業所有権の実施許諾およびコンピュータ・プログラムを含むノウハウ（著作権を含む）の許諾

(3)前各項に付帯関連する一切の業務

AI関連研究会・部署

研究所（所長 横井俊夫）

研究管理部

第一研究室～第八研究室

㈱AI言語研究所(AIR)

AI Language Research Institute, LTD.

住　所　〒105 東京都港区芝3-15-15
桜井ビル

電　話　03-456-0391

代 表 者　代表取締役社長　岡　久雄

設立時期　昭和63年3月29日

目　　的　通商産業省の第五世代コンピュータプロジェクトを進めている㈶新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)により開発された先進的なAI言語ESP(Extended Self-contained Prolog)をさらに発展させ，コンピュータの機種を選ばず，汎用的，共通的に使用できる「Common ESP」を研究開発する。

AI関連の研究会・部署

研究所（所長　実近憲昭）
第一研究室
第二研究室
第三研究室

日本認知科学会(JCSS)

Japanese Cognitive Science Society

住　所　〒260 千葉県千葉市弥生町1-33
千葉大学文学部行動科学科内
土屋研究室

電　話　0472-51-1111　内2305

代 表 者　会長　長尾　真（京都大学教授）

設立時期　1983年10月

目　　的　認知科学の研究に携わる者の情報交換および討議を助成する。

AI関連の研究会・部署

学習と対話研究分科会
パターン認識と知覚モデル研究分科会
リプリゼンテーション&インタフェース研究分科会

日本ファジィ学会(STFT)

Japan Society for Fuzzy Theory and Systems

住　所　〒231 神奈川県横浜市中区山下町89番地1
シイベルヘグナービル4階
国際ファジィ工学研究所内

電　話　045-212-8253

代 表 者　会長 浅居喜代治（大阪工業大学）
設立時期　1989年6月3日
目　　的　広くあいまいさを扱う概念や種々の不確かさの様相に関する研究，および主観性などにかかわるあいまいさを対象とするファジィ理論の研究，ならびに，それらの応用を目指すと共に，内外との交流を深める。
AI関連の研究会・部署
研究例会
専門部会
姉妹学協会
国際ファジィシステム学会(IFSA)本部
IFSA日本支部

技術研究組合　国際ファジィ工学研究所(LIFE)

Laboratory for International Fuzzy Engineering Research

住　所　〒231 神奈川県横浜市中区山下町89番地1
シイベルヘグナービル4階

電　話　045-212-8211

代 表 者　理事長　三田　勝茂
設立時期　平成元年3月28日
目　　的　ファジィ理論に関する基礎的な研究ならびにその有効な利用研究を産・官（国立試験研究所等）・学（日本ファジィ学会，東京工業大学等）の連携のもとに総合的に推進し，かつ諸外国の研究機関との間で積極的に国際交流を図ることにより，高度な情報化社会の実現を目指す。
AI関連の研究会・部署
研究所（所長　寺野寿郎）
研究管理部
第一研究室
第二研究室
第三研究室

㈱エイ・ティ・アール自動翻訳電話研究所

住　所　〒619-02 京都府相楽郡精華町乾谷・三平谷

電　話　07749－5－1311

代 表 者　代表取締役社長　榑松　明

設立時期　昭和61年3月

目　　的　自動翻訳電話とは，言語が異なる外国の人とのコミュニケーションを言葉の違いを感じないでスムーズに行おうとするものである。当研究所では，将来の夢の通信に向けて，自動翻訳電話のための要素技術について基礎研究を行う。

AI関連の研究会・部署

音声認識・音声合成の研究

音声と言語とのインタフェースの研究

機械翻訳の研究

㈱エイ・ティ・アール視聴覚機構研究所

住　所　〒619-02 京都府相楽郡精華町乾谷・三平谷

電　話　07749－5－1411

代 表 者　代表取締役社長　淀川英司

設立時期　昭和61年3月

目　　的　パソコン，ワープロなど最近の情報通信機器の進歩にはめざましいものがあるが，使い勝手の面ではあまり進歩していない。問題はマンマシンインタフェースが人間の認知特性，行動特性と調和がよくとれていないところにある。当研究所では，理想的なインタフェースを実現するために人間の認知や行動のメカニズムの研究を行う。

AI関連の研究会・部署

視覚機構の研究

認知・行動の研究

聴覚機構の研究

㈱エイ・ティ・アール通信システム研究所

住　所　〒619-02 京都府相楽郡精華町乾谷・三平谷

電　話　07749－5－1211

代 表 者　代表取締役社長　山下紘一

設立時期　昭和61年3月

目　　的　情報化が進み，電気通信への依存度が高まるに伴って，より人間的な高度の要求に対応でき，より人間的で使いやすい通信が必要となる。また，高度の要求を満たす通信システムを迅速・柔軟に実現できるとともに，より一層の安全性が必要となる。当研究所では，このような必要に対応できる「人間主体」の知的な通信システムを目標に，これを実現する基礎技術の確立を目指した研究を進める。

AI関連の研究会・部署

臨場感通信の研究

非言語的インタフェースの研究

通信ソフトウェアの自動作成の研究

セキュリティの研究

資料3　AI利用動向調査集計表

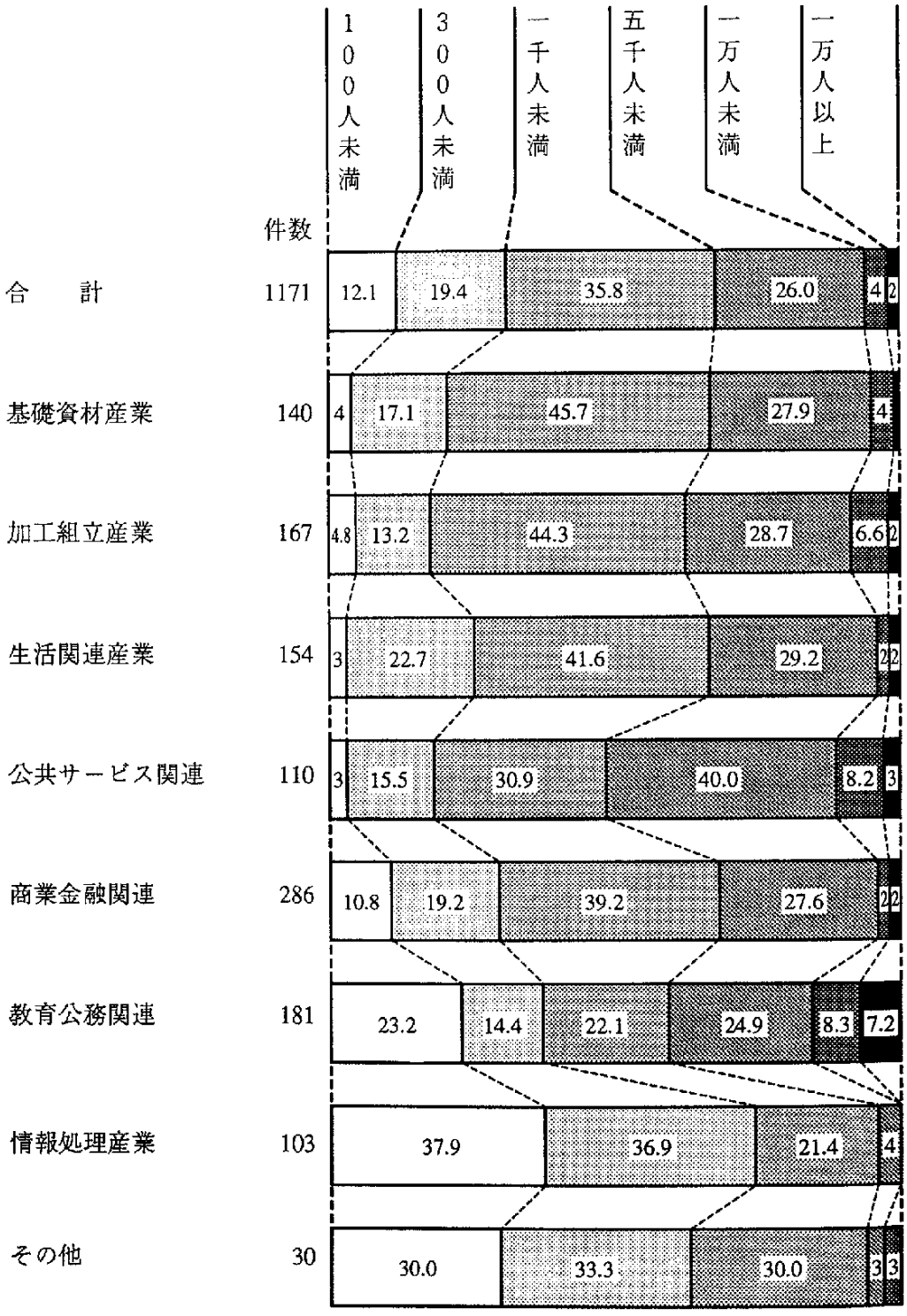
3-1 AI導入企業の就業者数規模別分布(1988年)

就業者規模	合計回答数	一〇〇人未満	三〇〇人未満	一千人未満	五千人未満	一万人未満	一万人以上	無回答
	[注記] 上段は企業数 下段は合計回答数に対する割合 (%)							
全産業	304 100.0	32 10.5	30 9.9	53 17.4	93 30.6	38 12.5	58 19.1	1 0.3
基礎資材産業	35 100.0	— —	1 2.9	2 5.7	11 31.4	14 40.0	7 20.0	1 2.8
加工組立産業	62 100.0	1 1.5	2 3.2	6 9.7	24 38.7	6 9.7	23 37.1	— —
生活関連産業	15 100.0	— —	— —	2 13.3	7 46.7	2 13.3	4 26.7	— —
公共サービス関連	33 100.0	— —	— —	4 12.1	20 60.6	2 6.1	7 21.2	— —
商業金融関連	32 100.0	2 6.3	— —	3 9.4	10 31.3	7 21.9	10 31.3	— —
教育公務関連	40 100.0	10 25.0	9 22.5	6 13.0	9 22.5	2 5.0	4 10.0	— —
情報処理産業	85 100.0	19 22.4	18 21.2	28 32.9	12 14.1	5 5.9	3 3.5	— —
その他	2 100.0	— —	— —	2 100.0	— —	— —	— —	— —

3-2 AI導入企業回答者の産業別所属部門別分布(1988年)

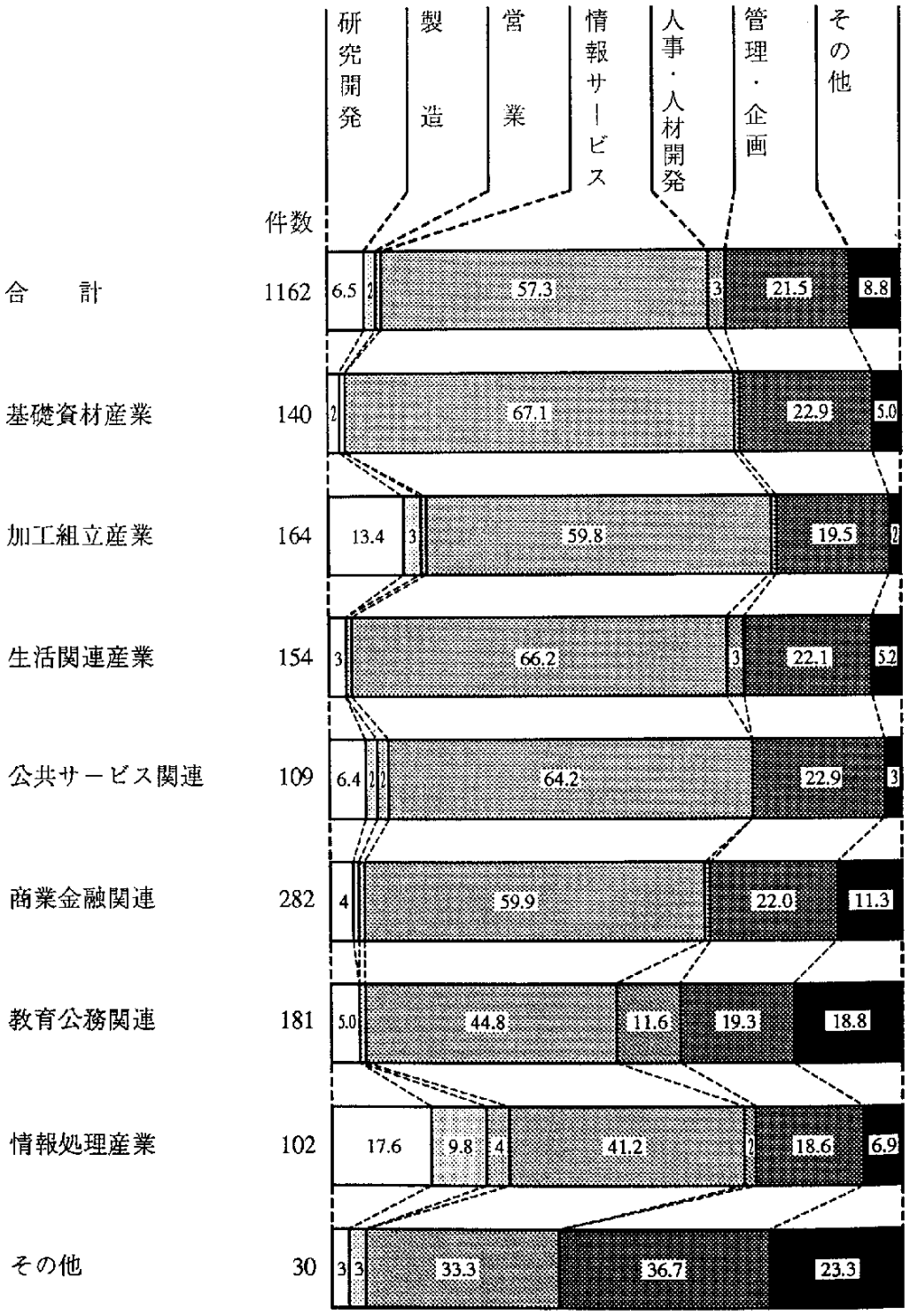
所属部門	合計回答者数	研究開発	製造	営業	情報サービス	人材開発 人事・教育	管理・企画	その他	無回答
	[注記] 上段は企業回答者数 下段は合計回答者数に対する割合								
全産業	303 100.0	133 43.9	9 3.0	9 3.0	100 33.0	3 1.0	29 9.6	20 6.6	2 0.7
基礎資材産業	35 100.0	6 17.1	2 5.7	— —	20 57.1	— —	3 8.6	4 11.4	1 2.8
加工組立産業	62 100.0	30 43.4	3 4.8	3 4.3	16 25.8	— —	8 12.9	2 3.2	— —
生活関連産業	15 100.0	4 26.7	— —	— —	10 66.7	— —	— —	1 6.7	— —
公共サービス関連	32 100.0	14 43.8	1 3.1	— —	15 46.9	— —	— —	2 6.3	— —
商業金融関連	32 100.0	3 9.4	— —	2 6.3	15 46.9	— —	8 25.0	4 12.5	— —
教育公務関連	40 100.0	24 60.0	— —	— —	12 30.0	2 5.0	— —	2 5.0	— —
情報処理産業	85 100.0	50 53.8	3 3.5	4 4.7	12 14.1	1 1.2	10 11.8	5 5.9	— —
その他産業	2 100.0	2 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

3-3 AI未導入企業の就業者数規模別産業別構成



	回答企業数	100人未満	300人未満	一千人未満	五千人未満	一万人未満	一万人以上	無回答企業数
全産業	1171 100.0	142 12.1	227 19.4	419 35.8	305 26.0	50 4.3	28 2.4	4
基礎資材産業	140 100.0	6 4.3	24 17.1	64 45.7	39 27.9	6 4.3	1 0.7	— —
加工組立産業	167 100.0	8 4.8	22 13.2	74 44.3	48 28.7	11 6.6	4 2.4	— —
生活関連産業	154 100.0	4 2.6	35 22.7	64 41.6	45 29.2	3 1.9	3 1.9	— —
公共サービス関連	110 100.0	3 2.7	17 15.5	34 30.9	44 40.0	9 8.2	3 2.7	1
商業金融関連	286 100.0	31 10.8	55 19.2	112 39.2	79 27.6	5 1.7	4 1.4	1
教育公務関連	181 100.0	42 23.2	26 14.4	40 22.1	45 24.9	15 8.3	13 7.2	1
情報処理産業	103 100.0	39 37.9	38 36.9	22 21.4	4 3.9	— —	— —	1 —
その他	30 100.0	9 30.0	10 33.3	9 30.0	1 3.3	1 3.3	— —	— —
農林水産業	9	—	4	5	—	—	—	—
鉱業	2	1	—	—	1	—	—	—
食料品	29	1	5	10	11	1	1	—
繊維	33	3	10	7	12	1	—	—
パルプ・紙	9	—	3	3	3	—	—	—
化学	57	1	8	21	23	3	1	—
石油・石炭製品	4	—	1	1	2	—	—	—
窯業・土石製品	15	3	4	5	3	—	—	—
一次金属	9	—	1	6	2	—	—	—
金属製品	53	1	10	31	8	3	—	—
一般機械	44	2	10	23	8	—	1	—
電気機械	57	3	4	25	20	3	2	—
輸送機械	44	1	6	14	16	7	—	—
精密機械	22	2	2	12	4	1	1	—
その他の製造業	74	—	13	39	19	1	2	—
建設業	44	1	5	13	22	3	—	—
電気・ガス・水道	5	1	1	2	—	1	—	—
卸・小売業	139	20	25	62	25	5	2	1
金融・保険業	137	9	27	49	50	—	2	—
不動産業	10	2	3	1	4	—	—	—
運輸・通信業	61	1	11	19	22	5	3	1
出版・報道	6	—	3	3	—	—	—	1
教育	56	22	12	16	5	—	1	—
医療	16	—	3	6	6	1	—	1
情報処理業	47	19	14	11	3	—	—	—
ソフトウェア業	50	20	21	8	1	—	—	—
法律・会計	—	—	—	—	—	—	—	—
その他のサービス	43	12	10	8	10	1	2	—
公務	66	8	1	10	24	13	10	—
その他	30	9	10	9	1	1	—	—

3-4 AI未導入企業回答者の産業別所属部門別分布



	回答企業数	研究開発	製造	営業	情報サービス	人事・人材開発	管理・企画	その他	無回答企業数
全産業	1162 100.0	76 6.5	22 1.9	12 1.0	666 57.3	34 2.9	250 21.5	102 8.8	13 —
基礎資材産業	140 100.0	3 2.1	2 1.4	— —	94 67.1	2 1.4	32 22.9	7 5.0	— —
加工組立産業	164 100.0	22 13.4	5 3.0	1 0.6	98 59.8	2 1.2	32 19.5	4 2.4	3 —
生活関連産業	154 100.0	5 3.2	— —	1 0.6	102 66.2	4 2.6	34 22.1	8 5.2	— —
公共サービス関連	109 100.0	7 6.4	2 1.8	2 1.8	70 64.2	— —	25 22.9	3 2.8	2 —
商業金融関連	282 100.0	11 3.9	2 0.7	3 1.1	169 59.9	3 1.1	62 22.0	32 11.3	5 —
教育公務関連	181 100.0	9 5.0	— —	1 0.6	81 44.8	21 11.6	35 19.3	34 18.8	1 —
情報処理産業	102 100.0	18 17.6	10 9.8	4 3.9	42 41.2	2 2.0	19 18.6	7 6.9	2 —
その他	30 100.0	1 3.3	1 3.3	— —	10 33.3	— —	11 36.7	7 23.3	— —
農林水産業	9	1	—	—	4	1	2	1	—
鉱業	2	—	—	—	1	—	1	—	—
食料品	29	—	—	—	21	1	4	3	—
繊維	33	1	—	1	21	—	9	1	—
パルプ・紙	9	—	—	—	6	—	3	—	—
化学	57	1	—	—	41	—	12	3	—
石油・石炭製品	4	—	—	—	2	—	2	—	—
窯業・土石製品	15	—	1	—	8	2	2	2	—
一次金属	9	1	—	—	7	—	1	—	—
金属製品	53	1	1	—	35	—	14	2	—
一般機械	43	3	3	1	26	1	9	—	1
電気機械	56	11	1	—	33	—	10	1	1
輸送機械	43	2	1	—	28	1	10	1	1
精密機械	22	6	—	—	11	—	3	2	—
その他の製造業	74	3	—	—	50	2	16	3	—
建設業	43	5	—	1	27	—	9	1	1
電気・ガス・水道	5	—	—	—	3	—	1	1	—
卸・小売業	138	1	2	2	93	—	34	6	2
金融・保険業	135	10	—	—	71	1	28	25	2
不動産業	9	—	—	1	5	2	—	1	1
運輸・通信業	61	2	2	1	40	—	15	1	1
出版・報道	6	1	—	—	4	—	—	1	1
教育	55	2	—	—	15	20	3	15	1
医療	17	1	—	1	8	—	4	3	—
情報処理業	47	4	2	2	25	1	10	3	—
ソフトウェア業	49	13	8	2	13	1	9	3	1
法律・会計	—	—	—	—	—	—	—	—	—
その他のサービス	43	3	—	—	26	—	5	9	—
公務	66	3	—	—	32	1	23	7	—
その他	30	1	1	—	10	—	11	7	—

3-5 AI未導入事業体の所属部門別導入希望システム

	回答数	エキスパートシステム	機械翻訳システム	知能ロボット	自動プログラミング	画像理解システム	音声理解システム	自然言語理解システム	その他のAIシステム	無回答
全産業	356 100.0	300 84.3	56 15.7	39 11.0	142 39.9	53 14.9	46 12.9	25 7.0	30 8.4	2 —
研究開発	49 100.0	40 81.6	10 20.4	6 12.2	14 28.6	15 30.6	3 6.1	4 8.2	7 14.3	—
製造	11 100.0	6 54.5	1 9.1	2 18.2	6 54.5	2 18.2	1 9.1	1 9.1	1 9.1	— —
営業	5 100.0	4 80.0	— —	— —	2 40.0	1 20.0	— —	1 20.0	— —	— —
情報サービス	207 100.0	182 87.9	29 14.0	23 11.1	90 43.5	22 10.6	31 15.0	11 5.3	9 4.3	2 —
人事・人材開発	12 100.0	9 75.0	5 41.7	2 16.7	5 41.7	3 25.0	1 8.3	3 25.0	7 58.3	— —
管理・企画	45 100.0	38 84.4	8 17.8	5 11.1	15 33.3	6 13.3	4 8.9	2 4.4	3 6.7	— —
その他	23 100.0	17 73.9	3 13.0	1 4.3	9 39.1	3 13.0	5 21.7	3 13.0	2 8.7	—

3-6 AI未導入事業体就業者規模別導入システム(全産業)

	回答数	エキスパートシステム	機械翻訳システム	知能ロボット	自動プログラミング	画像理解システム	音声理解システム	自然言語理解システム	その他のAIシステム	無回答
全産業	356 100.0	300 84.3	56 15.7	39 11.0	142 39.9	53 14.9	46 12.9	25 7.0	30 8.4	2 —
100人未満	30 100.0	19 63.3	9 30.0	— —	15 50.0	5 16.7	4 13.3	7 23.3	4 13.3	— —
300人未満	54 100.0	40 74.1	5 9.3	7 13.0	25 46.3	8 14.8	9 16.7	3 5.6	4 7.4	1 —
一千人未満	106 100.0	93 87.7	12 11.3	11 10.4	42 39.6	17 16.0	15 14.2	4 3.8	10 9.4	— —
五千人未満	121 100.0	108 89.3	19 15.7	13 10.7	42 34.7	15 12.4	13 10.7	8 6.6	7 5.8	1 —
一万人未満	25 100.0	22 88.0	6 24.0	7 28.0	14 56.0	7 28.0	3 12.0	2 8.0	2 8.0	— —
一万人以上	19 100.0	17 89.5	5 26.3	1 5.3	4 21.1	1 5.3	2 10.5	1 5.3	3 15.8	— —

3-7 産業別業種別AI導入状況

有効回集率 30.3%					導入会社数									導入率（%）							
	発送数	有効回収数	未導入	導入済	導入率（%）	システムエキスパート	AI向き言語ツール	機械翻訳システム	ミングシステム自動プログラ	画像理解システム	音声理解システム	システム自然言語理解	システムその他のAI	知能ロボット	システムエキスパート	AI向き言語ツール	機械翻訳システム	ミングシステム自動プログラ	画像理解システム	音声理解システム	システム自然言語理解	システムその他のAI	知能ロボット
全産業	4891	1480	1175	305	20.6	229	300	39	6	19	5	5	13	5	75.1	98.4	12.8	2.0	6.2	1.6	1.6	4.3	1.6
基礎資材産業		176	140	36	20.5	33	36	4	0	3	1	0	2	2	91.7	100.0	11.1	0	8.3	2.8	0	5.6	5.6
加工組立産業		229	167	62	27.1	50	61	8	2	5	0	3	4	2	80.6	98.4	12.9	3.2	8.1	0	4.8	6.5	3.2
生活関連産業		169	154	15	8.9	11	15	1	1	1	1	0	2	0	73.3	100.0	6.7	6.7	6.7	6.7	0	13.3	0
公共サービス関連		144	111	33	22.9	27	33	3	0	2	0	0	0	0	81.8	100.0	9.1	0	6.1	0	0	0	0
商業金融関連		319	287	32	10.0	29	32	0	0	1	1	0	0	0	90.6	100.0	0	0	3.1	3.1	0	0	0
教育公務関連		222	182	40	18.0	24	38	11	0	5	1	0	1	1	60.0	95.0	27.5	0	12.5	2.5	0	2.5	2.5
情報処理産業		189	104	85	45.0	53	83	11	3	2	1	2	4	0	62.4	97.6	12.9	3.5	2.4	1.2	2.4	4.7	0
農林水産業		9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	…	…	…	—	—	—	…	…	-
鉱業		4	2	2	50.0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	50.0	100.0	0	0	0	0	0	0	0
食料品		32	29	3	9.4	3	3	0	0	0	0	0	1	0	100.0	100.0	0	0	0	0	0	33.3	0
繊維		34	33	1	2.9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100.0	0	0	0	0	0	0	0
パルプ・紙		9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	-	—	—	—	…	—	—
化学		72	57	15	20.8	14	15	1	0	1	0	0	0	1	93.3	100.0	6.7	0	6.7	0	0	0	6.7
石油・石炭製品		8	4	4	50.0	4	4	0	0	1	0	0	1	0	100.0	100.0	0	0	25.0	0	0	25.0	0
窯業・土石製品		17	15	2	11.8	2	2	0	0	0	0	0	0	0	100.0	100.0	0	0	0	0	0	0	0
一次金属		17	9	8	47.1	8	8	2	0	1	1	0	0	1	100.0	100.0	25.0	0	12.5	12.5	0	0	12.5
金属製品		58	53	5	8.6	4	5	1	0	0	0	0	1	0	80.0	100.0	20.0	0	0	0	0	20.0	0
一般機械		53	44	9	17.0	9	9	0	0	1	0	0	0	0	100.0	100.0	0	0	11.1	0	0	0	0
電気機械		88	57	31	35.2	22	30	5	1	2	0	2	3	1	71.0	96.8	16.1	3.2	6.5	0	6.5	9.7	3.2
輸送機械		58	44	14	24.1	12	14	2	0	1	0	0	0	1	85.7	100.0	14.3	0	7.1	0	0	0	7.1
精密機械		30	22	8	26.7	7	8	1	1	1	0	1	1	0	87.5	100.0	12.5	12.5	12.5	0	12.5	12.5	0
その他の製造業		85	74	11	12.9	8	11	1	1	1	1	0	1	0	72.7	100.0	9.1	9.1	9.1	9.1	0	9.1	0
建設業		68	44	24	35.3	20	24	2	0	1	0	0	0	0	83.3	100.0	8.3	0	4.2	0	0	0	0
電気・ガス・水道		12	5	7	58.3	6	7	1	0	1	0	0	0	0	85.7	100.0	14.3	0	14.3	0	0	0	0
卸・小売業		146	140	6	4.1	4	6	0	0	1	0	0	0	0	66.7	100.0	0	0	16.7	0	0	0	0
金融・保険業		161	137	24	14.9	24	24	0	0	0	1	0	0	0	100.0	100.0	0	0	0	4.2	0	0	0
不動産業		11	10	1	9.1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	100.0	100.0	0	0	0	0	0	0	0
運輸・通信業		64	62	2	3.1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	50.0	100.0	0	0	0	0	0	0	0
出版・報道		8	7	1	12.5	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	100.0	100.0	0	0	0	100.0	0	0
教育		72	56	16	22.2	6	16	5	0	1	0	0	0	0	37.5	100.0	31.3	0	6.3	0	0	0	0
医療		17	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
情報処理業		84	47	37	44	28	37	7	3	2	1	0	2	0	75.7	100.0	18.9	8.1	5.4	2.7	0	5.4	0
ソフトウェア業		97	50	47	48.5	25	45	3	0	0	0	1	2	0	53.2	95.7	6.4	0	0	0	2.1	4.3	0
法律・会計		1	0	1	100.0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100.0	0	0	0	0	0	0	0
その他のサービス		53	43	10	18.9	7	9	1	0	1	1	0	0	0	70.0	90.0	10.0	0	10.0	10.0	0	0	0
公務		80	66	14	17.5	11	13	5	0	3	0	0	1	1	78.6	92.9	35.7	0	21.4	0	0	7.1	7.1
その他		32	30	2	6.3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	100.0	100.0	50.0	0	0	0	0	0	0

3-8 AI未導入企業回答者の所属部門別就業者数規模別分布（全産業）

	回答企業数	100人未満	300人未満	一千人未満	五千人未満	一万人未満	一万人以上	無回答企業数
全産業	1171 100.0	142 12.1	227 19.4	419 35.8	305 26.0	50 4.3	28 2.4	4 0.3
研究開発	76 100.0	12 15.8	15 19.7	23 30.3	15 19.7	6 7.9	5 6.6	— —
製造	22 100.0	6 27.3	7 31.8	3 13.6	4 18.2	2 9.1	— —	— —
営業	12 100.0	6 50.0	— —	4 33.3	— —	1 8.3	1 8.3	— —
情報サービス	665 100.0	36 5.4	100 15.0	264 39.7	218 32.8	30 4.5	17 2.6	1 0.2
人事・人材開発	34 100.0	13 38.2	14 41.2	4 11.8	2 5.9	— —	1 2.9	— —
管理・企画	250 100.0	36 14.4	60 24.0	97 38.8	44 17.6	10 4.0	3 1.2	— —
その他	102 100.0	32 31.4	29 28.4	20 19.6	19 18.6	1 1.0	1 1.0	— —

3-9 AI導入企業の就業者数分布

	回答企業数	100人未満	300人未満	一千人未満	五千人未満	一万人未満	一万人以上	無回答
全産業	304 100.0	32 10.5	30 9.9	53 17.4	93 30.6	38 12.5	58 19.1	1 0.3
基礎資材産業	35 100.0	— —	1 2.9	2 5.7	11 31.4	14 40.0	7 20.0	1 2.8
加工組立産業	62 100.0	1 1.6	2 3.2	6 9.7	24 38.7	6 9.7	23 37.1	— —
生活関連産業	15 100	— —	— —	2 13.3	7 46.7	2 13.3	4 26.7	— —
公共サービス関連	33 100	— —	— —	4 12.1	20 60.6	2 6.1	7 21.2	— —
商業金融関連	32 100	2 6.3	— —	3 9.4	10 31.3	7 21.9	10 31.3	— —
教育公務関連	40 100	10 25.0	9 22.5	6 15.0	9 22.5	2 5.0	4 10.0	— —
情報処理産業	85 100	19 22.4	18 21.2	28 32.9	12 14.1	5 5.9	3 3.5	— —
その他	2 100	— —	— —	2 100.0	— —	— —	— —	— —
農林水産業	—	—	—	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	1	—	1	—	—	—
食料品	3	—	—	—	2	—	1	—
繊維	1	—	—	—	1	—	—	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—	—	—	—
化学	15	—	—	2	5	7	1	—
石油・石炭製品	4	—	—	—	2	2	—	—
窯業・土石製品	2	—	—	—	1	1	—	—
一次金属	7	—	—	—	2	2	3	1
金属製品	5	—	—	—	—	2	3	—
一般機械	9	—	—	1	7	—	1	—
電気機械	31	1	2	5	8	3	12	—
輸送機械	14	—	—	—	4	3	7	—
精密機械	8	—	—	—	5	—	3	—
その他の製造業	11	—	—	2	4	2	3	—
建設業	24	—	—	3	17	1	3	—
電気・ガス・水道	7	—	—	1	1	1	4	—
卸・小売業	6	—	—	3	—	2	1	—
金融・保険業	24	1	—	—	9	5	9	—
不動産業	1	—	—	—	1	—	—	—
運輸・通信業	2	—	—	—	2	—	—	—
報道・出版業	1	—	—	—	1	—	—	—
教育	16	3	6	2	3	1	1	—
医療	—	—	—	—	—	—	—	—
情報処理業	37	5	8	10	7	4	3	—
ソフトウェア業	47	14	10	18	4	1	—	—
法律・会計	1	1	—	—	—	—	—	—
その他のサービス	10	2	1	3	3	—	1	—
公務	14	5	2	1	3	1	2	—
その他	2	—	—	2	—	—	—	—

3-10 AI導入企業の回答者所属部門別分布

	回答企業数	研究開発	製造	営業	情報サービス	人材開発・人事・教育	管理・企画	その他	無回答
全産業	303 100.0	133 43.9	9 3.0	9 3.0	100 33.0	3 1.0	29 9.6	20 6.6	2 0.7
基礎資材産業	35 100.0	6 17.1	2 5.7	— —	20 57.1	— —	3 8.6	4 11.4	1 2.8
加工組立産業	62 100.0	30 48.4	3 4.8	3 4.8	16 25.8	— —	8 12.9	2 3.2	— —
生活関連産業	15 100.0	4 26.7	— —	— —	10 66.7	— —	— —	1 6.7	— —
公共サービス関連	32 100.0	14 43.8	1 3.1	— —	15 46.9	— —	— —	2 6.3	1 3.0
商業金融関連	32 100.0	3 9.4	— —	2 6.3	15 46.9	— —	8 25.0	4 12.5	— —
教育公務関連	40 100.0	24 60.0	— —	— —	12 30.0	2 5.0	— —	2 5.0	— —
情報処理産業	85 100.0	50 58.8	3 3.5	4 4.7	12 14.1	1 1.2	10 11.8	5 5.9	— —
その他	2 100.0	2 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
農林水産業	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鉱業	2	1	—	—	1	—	—	—	—
食料品	3	1	—	—	2	—	—	—	—
繊維	1	—	—	—	1	—	—	—	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—	—	—	—	—
化学	15	2	—	—	9	—	1	3	—
石油・石炭製品	4	—	1	—	2	—	1	—	—
窯業・土石製品	2	—	—	—	2	—	—	—	—
一次金属	7	2	—	—	4	—	1	—	1
金属製品	5	1	1	—	2	—	—	1	—
一般機械	9	2	—	—	4	—	2	1	—
電気機械	31	19	1	2	4	—	5	—	—
輸送機械	14	5	1	—	6	—	1	1	—
精密機械	8	4	1	1	2	—	—	—	—
その他の製造業	11	3	—	—	7	—	—	1	—
建設業	23	10	1	—	10	—	—	2	1
電気・ガス・水道	7	4	—	—	3	—	—	—	—
卸・小売業	6	1	—	2	2	—	—	1	—
金融・保険業	24	2	—	—	12	—	8	2	—
不動産業	1	—	—	—	1	—	—	—	—
運輸・通信業	2	—	—	—	2	—	—	—	—
報道・出版業	1	—	—	—	1	—	—	—	—
教育	16	7	—	—	5	2	—	2	—
医療	—	—	—	—	—	—	—	—	—
情報処理業	37	17	2	3	7	1	4	3	—
ソフトウェア業	47	33	1	1	4	—	6	2	—
法律・会計	1	—	—	—	—	—	—	1	—
その他のサービス	10	6	—	—	4	—	—	—	—
公務	14	11	—	—	3	—	—	—	—
その他	2	2	—	—	—	—	—	—	—

3-11 AI導入企業現在のソフトウェア開発要員数

	回答企業数	開発要員ソフトウェア	回答企業数	開発要員AIシステム	回答企業数	ア専任知識エンジニ	回答企業数	ア兼任知識エンジニ
全産業	251 100.0	37539 149.56	246 100.0	2096 8.52	185 100.0	652 3.52	209 100.0	1624 7.77
基礎資材産業	30 12.0	4149 138.30	29 11.8	169 5.83	24 13.0	43 1.79	28 13.4	89 3.18
加工組立産業	50 19.9	6855 137.10	50 20.3	883 17.66	32 17.3	186 5.81	35 16.7	524 14.97
生活関連産業	14 5.6	844 60.29	13 5.3	59 4.54	10 5.4	33 3.30	13 6.2	40 3.08
公共サービス関連	26 10.4	984 37.85	29 11.8	90 3.10	20 10.8	21 1.05	22 10.5	37 1.68
商業金融関連	28 11.2	5900 210.71	28 11.4	94 3.36	24 13.0	20 0.83	28 13.4	60 2.14
教育公務関連	33 13.1	812 24.61	30 12.2	81 2.70	23 12.4	12 0.52	26 12.4	31 1.19
情報処理産業	69 27.5	17990 260.72	66 26.8	718 10.88	51 27.6	334 6.55	56 26.8	838 14.96
その他	1 0.4	5 5.00	1 0.4	2 2.00	1 0.5	3 3.00	1 0.5	5 5.00

3-12 AI導入企業5年後のソフトウェア開発要員数

	回答企業数	開発要員ソフトウェア	回答企業数	開発要員AIシステム	回答企業数	ア専任知識エンジニ	回答企業数	ア兼任知識エンジニ
全産業	221 100.0	46450 210.18	226 100.0	6448 28.53	171 100.0	2029 11.87	193 100.0	4966 25.73
基礎資材産業	26 11.8	4404 169.38	30 13.3	773 25.77	23 13.5	269 11.70	26 13.5	460 17.69
加工組立産業	45 20.4	8483 188.51	48 21.2	1978 41.21	31 18.1	413 13.32	34 17.6	1131 33.26
生活関連産業	13 5.9	1272 97.85	12 5.3	122 10.17	10 5.8	68 6.80	12 6.2	87 7.25
公共サービス関連	22 10.0	918 41.73	23 10.2	191 8.30	15 8.8	56 3.73	19 9.8	118 6.21
商業金融関連	24 10.9	6261 260.88	24 10.6	484 20.17	21 12.3	118 5.62	24 12.4	300 12.50
教育公務関連	29 13.1	1412 48.69	27 11.9	142 5.26	19 11.1	26 1.37	22 11.4	79 3.59
情報処理産業	61 27.6	23695 388.44	61 27.0	2753 45.13	51 29.8	1074 21.06	55 28.5	2786 50.65
その他	1 0.5	5 5.00	1 0.4	5 5.00	1 0.6	5 5.00	1 0.5	5 5.00

3-13 AI導入企業今後5年間のソフトウェア開発要員増加数

	回答企業数	開発要員ソフトウェア	回答企業数	開発要員AIシステム	回答企業数	ア専任知識エンジニ	回答企業数	ア兼任知識エンジニ
全産業	217 100.0	14235 65.60	217 100.0	4405 20.30	160 100.0	1398 8.74	181 100.0	3408 18.83
基礎資材産業	24 11.1	812 33.83	27 12.4	601 22.26	22 13.8	225 10.23	25 13.8	374 14.96
加工組立産業	44 20.3	3008 68.36	48 22.1	1107 23.06	30 18.8	247 8.23	31 17.1	702 22.65
生活関連産業	13 6.0	433 33.31	12 5.5	64 5.33	9 5.6	31 3.44	12 6.6	48 4.00
公共サービス関連	22 10.1	282 12.82	23 10.6	116 5.04	15 9.4	38 2.53	18 9.9	84 4.67
商業金融関連	23 10.6	1371 59.61	23 10.6	368 16.00	20 12.5	93 4.65	23 12.7	234 10.17
教育公務関連	29 13.4	624 21.52	25 11.5	73 2.92	18 11.3	12 0.67	21 11.6	47 2.24
情報処理産業	61 28.1	7705 126.31	58 26.7	2073 35.74	45 28.1	750 16.67	50 27.6	1919 38.38
その他	1 0.5	0 0.00	1 0.5	3 3.00	1 0.6	2 2.00	1 0.60	0 0.00

3-14 AI導入企業5年後までの育成投資総額

	回答企業数	開発要員ソフトウェア	回答企業数	開発要員AIシステム	回答企業数	ア専任知識エンジニ	回答企業数	ア兼任知識エンジニ
全産業	119 100.0	32808 275.70	127 100.0	17814 140.27	89 100.0	8237 92.55	112 100.0	10645 95.04
基礎資材産業	15 12.6	2482 165.47	19 15.0	1376 72.42	12 13.5	1254 104.50	18 16.1	1765 98.06
加工組立産業	26 21.8	9120 350.77	26 20.5	6159 236.88	18 20.2	1238 68.78	21 18.8	2553 121.57
生活関連産業	10 8.4	2621 262.10	9 7.1	1274 141.56	9 10.1	677 75.22	11 9.8	255 23.18
公共サービス関連	10 8.4	2493 249.30	11 8.7	1977 179.73	8 9.0	1143 142.88	9 8.0	1215 135.00
商業金融関連	8 6.7	3199 399.88	10 7.9	1166 116.60	7 7.9	255 36.43	11 9.8	626 56.91
教育公務関連	10 8.4	1279 127.90	12 9.4	310 25.83	5 5.6	101 20.20	9 8.0	212 23.56
情報処理産業	40 33.6	11614 290.35	40 31.5	5552 138.80	30 33.7	3569 118.97	33 29.5	4019 121.79
その他	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

3-15 AI向き言語の種類とAI向き言語導入の目的(全産業)

	回答企業数	勉強用AIの研修	試用のため	開発のためAIシステム	受注開発のためAIシステム	その他	無回答
全産業計	625 100.0	184 29.4	142 22.7	312 49.9	110 17.6	21 3.4	290 31.7
Lisp系	277 100.0	82 29.6	49 17.7	153 55.2	42 15.2	9 3.2	— —
Prolog系	148 100.0	53 35.8	35 23.6	61 41.2	31 20.9	4 2.7	— —
オブジェクト指向系	71 100.0	21 29.6	19 26.8	35 49.3	18 25.4	3 4.2	1 1.4
その他	126 100.0	25 19.8	37 29.4	67 53.2	20 15.9	6 4.8	2 1.6

3-16 AI向き言語・ツールの利用状況(全産業)

	回答企業数	本格的に利用	試験的に利用	使っていない余り	無回答
全産業計	624 100.0	269 43.1	252 40.4	103 16.5	291 31.8
Lisp系	274 100.0	124 45.3	106 38.7	44 16.1	3 1.1
Prolog系	148 100.0	67 45.3	59 39.8	22 14.9	— —
オブジェクト指向系	72 100.0	35 48.6	30 41.7	7 9.7	— —
その他	128 100.0	52 40.6	51 39.8	25 19.5	— —

3-17 AI用マシンの導入状況(全産業)

	回答企業数	勉強用AIの研修	試用のため	開発のためAIシステム	受注開発のためAIシステム	運用のためAIアプリケーション	その他	無回答
全産業計	499 100.0	89 17.8	66 13.2	250 50.1	102 20.4	53 10.6	94 18.8	416 45.5
AI専用	82 100.0	14 17.1	8 9.8	49 59.8	26 31.7	8 9.8	4 4.9	4 4.7
EWS	168 100.0	28 16.7	21 12.5	101 60.1	36 21.4	15 8.9	21 12.5	3 1.8
メインフレーム	63 100.0	6 9.5	4 6.3	19 30.2	11 17.5	10 15.9	31 49.2	3 4.5
パソコン	154 100.0	39 25.3	30 19.5	66 42.9	22 14.3	13 8.4	35 22.7	3 1.9
並列処理マシン	2 100.0	— —	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —
その他	25 100.0	1 4.0	— —	14 56.0	7 28.0	4 16.0	3 12.0	1 3.8

3-18 エキスパートシステムの適用業務

	回答企業数	経営意思決定支援	調査企画支援	経営計画	操業工程管理	資材管理	物流管理	顧客管理	財務処理	資金運用	工場・ビル管理	故障診断	資源探査	自動設計
全産業	449	4	12	2	84	2	13	3	6	13	3	90	2	39
	100.0	0.9	2.7	0.4	18.7	0.4	2.9	0.7	1.3	2.9	0.7	20.0	0.4	8.7
基礎資材産業	63	—	1	—	42	—	4	—	1	—	—	6	1	2
	100.0	—	1.6	—	66.7	—	6.3	—	1.6	—	—	9.5	1.6	3.2
加工組立産業	105	2	1	—	17	1	—	—	1	1	—	33	1	21
	100.0	1.9	1.0	—	16.2	1.0	—	—	1.0	1.0	—	31.4	1.0	20.0
生活関連産業	17	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	7	—	4
	100.0	—	—	—	5.9	—	—	—	—	—	—	41.2	—	23.5
公共サービス関連	54	—	3	—	2	1	1	—	—	—	—	10	—	4
	100.0	—	5.6	—	3.7	1.9	1.9	—	—	—	—	18.5	—	7.4
商業金融関連	43	—	2	—	—	—	1	—	2	6	1	3	—	1
	100.0	—	4.7	—	—	—	2.3	—	4.7	14.0	2.3	7.0	—	2.3
教育公務関連	38	—	1	—	2	—	—	—	—	—	—	10	—	3
	100.0	—	2.6	—	5.3	—	—	—	—	—	—	26.3	—	7.9
情報処理産業	127	2	4	2	20	—	7	3	2	6	2	19	—	4
	100.0	1.6	3.1	1.6	15.7	—	5.5	2.4	1.6	4.7	1.6	15.0	—	3.1
その他	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—
	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100.0	—	—

	セキュリティーセルフ	自動稼働コンピュータ	VANアドバンスト	通信管理	教育支援	医療診断	臨床支援	医薬品選定	判例・法律診断	窓口・相談	住民管理	コンサルティング	その他	無回答
全産業	—	7	—	1	11	8	1	1	4	25	—	41	77	2
	—	1.6	—	0.2	2.4	1.8	0.2	0.2	0.9	5.6	—	9.1	17.1	0.4
基礎資材産業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.5	—
加工組立産業	—	2	—	—	2	3	1	—	—	4	—	3	12	—
	—	1.9	—	—	1.9	2.9	1.0	—	—	3.8	—	2.9	11.4	—
生活関連産業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29.4	—
情報サービス関連	—	—	—	—	2	—	—	—	2	—	—	17	12	1
	—	—	—	—	3.7	—	—	—	3.7	—	—	31.5	22.2	1.8
商業金融関連	—	—	—	—	1	1	—	—	—	13	—	4	8	—
	—	—	—	—	2.3	2.3	—	—	—	30.2	—	9.3	18.6	—
教育公務関連	—	1	—	—	2	—	—	—	—	3	—	3	13	1
	—	2.6	—	—	5.3	—	—	—	—	7.9	—	7.9	34.2	2.6
情報処理産業	—	4	—	1	4	4	—	1	2	5	—	14	21	—
	—	3.1	—	0.8	3.1	3.1	—	0.8	1.6	3.9	—	11.0	16.5	—
その他	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

3-19 エキスパートシステムの対象領域

	回答企業数	解釈	予測	診断	デザイン	プランニング	モニタリング	デバッグ	修理	指示	制御	意思決定支援	その他	無回答
全産業	433	20	25	174	45	102	9	3	13	34	18	44	28	18
	100.0	4.6	5.8	40.2	10.4	23.6	2.1	0.7	3.0	7.9	4.2	10.2	6.5	4.0
基礎資材産業	51	3	2	10	2	20	1	1	—	3	5	2	5	12
	100.0	5.9	3.9	19.6	3.9	39.2	2.0	2.0	—	5.9	9.8	3.9	9.8	19.0
加工組立産業	102	6	6	49	20	19	4	—	7	10	7	6	4	3
	100.0	5.9	5.9	48.0	19.6	18.6	3.9	—	6.9	9.8	6.9	5.9	3.9	2.9
生活関連産業	17	—	—	9	4	2	—	—	1	—	2	—	1	—
	100.0	—	—	52.9	23.5	11.8	—	—	5.9	—	11.8	—	5.9	—
公共サービス関連	54	1	2	23	2	18	—	—	1	5	—	6	1	1
	100.0	1.9	3.7	42.6	3.7	33.3	—	—	1.9	9.3	—	11.1	1.9	1.8
商業金融関連	41	2	1	17	3	4	—	—	2	4	—	10	3	2
	100.0	4.9	2.4	41.5	7.3	9.8	—	—	4.9	9.8	—	24.4	7.3	4.7
教育公務関連	39	2	2	17	4	9	1	1	1	2	1	8	1	—
	100.0	5.1	5.1	43.6	10.3	23.1	2.6	2.6	2.6	5.1	2.6	20.5	2.6	—
情報処理産業	127	6	12	47	10	30	3	1	1	10	3	12	13	—
	100.0	4.7	9.4	37.0	7.9	23.6	2.4	0.8	0.8	7.9	2.4	9.4	10.2	—
その他	2	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	100.0	—	—	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

3-20 エキスパートシステムの適用業務対象領域

対象領域 / 摘要業務	回答企業数	解釈	予測	診断	デザイン	プランニング	モニタリング	デバッグ	修理	指示	制御	意思決定支援	その他	無回答
全産業	432 100.0	20 4.6	25 5.8	174 40.3	45 10.4	101 23.4	9 2.1	3 0.7	13 3.0	34 7.9	18 4.2	44 10.2	28 6.5	17 3.8
経営意思決定支援	4 100.0	1 25.0	1 25.0	1 25.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	3 75.0	— —	— —
調査企画支援	12 100.0	1 8.3	2 16.7	5 41.7	— —	1 8.3	— —	— —	— —	— —	— —	3 25.0	— —	— —
経営計画	2 100.0	— —	— —	— —	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —	1 50.0	— —	— —
操業・工程管理	78 100.0	2 2.6	4 5.1	12 15.4	4 5.1	40 51.3	3 3.8	1 1.3	1 1.3	7 9.0	10 12.8	5 6.4	6 7.7	6 7.1
資材管理	2 100.0	— —	— —	— —	— —	1 50.0	— —	— —	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —
物流管理	11 100.0	— —	1 9.1	1 9.1	1 9.1	7 63.6	— —	— —	— —	1 9.1	— —	— —	— —	2 15.4
顧客管理	3 100.0	— —	— —	1 33.3	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	2 66.7	— —
財務処理	5 100.0	2 40.0	— —	3 60.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1 20.0	— —	1 16.7
資金運用	12 100.0	— —	4 33.3	2 16.7	— —	3 25.0	— —	— —	— —	1 8.3	— —	4 33.3	— —	1 7.7
工場・ビル管理	3 100.0	— —	— —	2 66.7	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1 33.3	— —	— —
故障診断	88 100.0	1 1.1	3 3.4	77 87.5	— —	2 2.3	2 2.3	1 1.1	11 12.5	9 10.2	2 2.3	4 4.5	— —	2 2.2
資源探査	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1 50.0
自動設計	39 100.0	1 2.6	— —	1 2.6	27 69.2	12 30.8	— —	— —	— —	1 2.6	— —	— —	1 2.6	— —
セルフセキュリティー	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
コンピュータ自動稼働	7 100.0	1 14.3	1 14.3	3 42.9	1 14.3	2 28.6	— —	— —	— —	1 14.3	— —	3 42.9	— —	— —
アドバンスト VAN	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
通信管理	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
教育支援	10 100.0	2 20.0	2 20.0	4 40.0	— —	— —	3 30.0	— —	— —	2 20.0	2 20.0	— —	3 30.0	1 9.1
医療診断	8 100.0	— —	— —	8 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	1 12.5	— —	— —	— —	— —
臨床支援	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
医薬品選定	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
判例・法律診断	4 100.0	1 25.0	— —	2 50.0	— —	— —	— —	— —	— —	1 25.0	— —	—1 25.0	— —	— —
窓口・相談	24 100.0	2 8.3	— —	11 45.8	1 4.2	5 20.8	— —	— —	— —	— —	— —	4 16.7	4 16.7	1 4.0
住民管理	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
コンサルティング	40 100.0	1 2.5	3 7.5	20 50.0	4 10.0	4 10.0	— —	1 2.5	— —	5 12.5	— —	7 17.5	1 2.5	1 2.4
その他	76 100.0	5 6.6	4 5.3	17 22.4	7 9.2	23 30.3	1 1.3	— —	1 1.3	4 5.3	4 5.3	5 6.6	13 17.1	1 1.3

3-21 エキスパートシステム導入により目指す効果(1988年)

	回答企業数	専門家の数の削減	専門家の仕事量の削減	専門家の育成	業務の質の向上	業務の質の均質化	知識の整理体系化	ES技術の習得	その他	無回答
全産業	440 100.0	67 15.2	219 49.8	69 15.7	204 46.4	177 40.2	137 31.1	119 27.0	25 5.7	11 2.4
基礎資材産業	53 100.0	14 26.4	32 60.4	6 11.3	27 50.9	23 43.4	17 32.1	17 32.1	— —	10 15.9
加工組立産業	105 100.0	12 11.4	56 53.3	13 12.4	55 52.4	47 44.8	34 32.4	18 17.1	14 13.3	— —
生活関連産業	17 100.0	3 17.6	4 23.5	1 5.9	10 58.8	2 11.8	3 17.6	5 29.4	— —	— —
公共サービス関連	54 100.0	4 7.4	26 48.1	13 24.1	22 40.7	26 48.1	23 42.6	13 24.1	2 3.7	1 1.8
商業金融関連	43 100.0	6 14.0	21 48.8	7 16.3	20 46.5	17 39.5	5 11.6	18 41.9	1 2.30	— —
教育公務関連	39 100.0	10 25.6	11 28.2	9 23.1	14 35.9	8 20.5	18 46.2	19 48.7	3 7.7	— —
情報処理産業	127 100.0	18 14.2	68 53.5	20 15.7	55 43.3	54 42.5	36 28.3	29 22.8	5 3.9	— —
その他	2 100.0	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —
農林水産業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鉱業	1	—	1	—	—	—	1	—	—	—
食料品	5	1	—	1	3	1	1	1	—	—
繊維	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
化学	16	1	9	—	8	7	4	6	—	5
石油・石炭製品	9	2	6	1	4	3	3	3	—	—
窯業・土石製品	2	1	—	1	1	—	—	2	—	—
一次金属	17	8	12	4	11	9	5	4	—	5
金属製品	8	2	4	—	3	4	4	2	—	—
一般機械	15	2	4	3	6	8	9	4	1	—
電気機械	46	7	29	7	23	18	13	4	1	—
輸送機械	28	1	16	2	15	12	10	6	7	—
精密機械	16	2	7	1	11	9	2	4	5	—
その他の製造業	12	2	4	—	7	1	2	4	—	—
建設業	42	4	16	10	19	21	19	11	2	—
電気・ガス・水道	11	—	9	3	3	5	3	2	—	1
卸・小売業	4	1	3	—	2	1	—	3	—	—
金融・保険業	38	5	17	7	18	16	5	15	1	—
不動産業	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—
運輸・通信業	1	—	1	—	—	—	1	—	—	—
報道・出版業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
教育	7	2	1	—	4	—	5	3	1	—
医療	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
情報処理業	65	12	37	12	28	32	18	17	2	—
ソフトウェア業	62	6	31	8	27	22	18	12	3	—
法律・会計	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
その他のサービス	14	7	6	6	5	6	5	8	—	—
公務	18	1	4	3	5	2	8	8	2	—
その他	2	—	1	—	1	—	1	—	—	—

3-22 エキスパートシステムの利用状況

	回答企業数	として稼働中実用システム	テスト中フィールド	の評価改良中プロトタイプとして	デモ・実験のみに利用	設計・開発段階	余り使っていない	無回答
全産業	439 100.0	121 27.6	86 19.6	128 28.2	33 7.5	58 13.2	13 3.0	12 2.7
基礎資材産業	59 100.0	20 33.9	18 30.5	17 28.8	1 1.7	3 5.1	— —	4 6.3
加工組立産業	105 100.0	34 32.4	17 16.2	36 34.3	8 7.6	7 6.7	3 2.9	— —
生活関連産業	16 100.0	4 25.0	5 31.3	3 18.8	— —	2 12.5	2 12.5	1 5.9
公共サービス関連	52 100.0	12 23.1	8 15.4	17 32.7	3 5.8	8 15.4	4 7.7	3 5.5
商業金融関連	43 100.0	20 46.5	6 14.0	10 23.3	1 2.3	6 14.0	— —	— —
教育公務関連	37 100.0	4 10.8	8 21.6	10 27.0	6 16.2	9 24.3	— —	2 5.1
情報処理産業	125 100.0	27 21.6	23 18.4	35 28.0	13 10.4	23 18.4	4 3.2	2 1.6
その他	2 100.0	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —

農林水産業	—	—	—	—	—	—	—	—
鉱業	1	—	—	1	—	—	—	—
食料品	4	—	2	1	—	1	—	1
繊維	—	—	—	—	—	—	—	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—	—	—	—
化学	20	3	7	8	—	2	—	1
石油・石炭製品	7	—	3	4	—	—	—	2
窯業・土石製品	2	—	1	1	—	—	—	—
一次金属	21	14	5	1	—	1	—	1
金属製品	8	3	2	2	1	—	—	—
一般機械	15	5	3	6	1	—	—	—
電気機械	46	13	8	16	4	3	2	—
輸送機械	28	9	3	10	3	2	1	—
精密機械	16	7	3	4	—	2	—	—
その他の製造業	12	4	3	2	—	1	2	—
建設業	40	9	6	13	3	6	3	2
電気・ガス・水道	11	3	2	3	—	2	1	1
卸・小売業	4	1	—	2	—	1	—	—
金融・保険業	38	19	6	7	1	5	—	—
不動産業	1	—	—	1	—	—	—	—
運輸・通信業	1	—	—	1	—	—	—	—
報道・出版業	—	—	—	—	—	—	—	—
教育	7	1	1	4	—	1	—	—
医療	—	—	—	—	—	—	—	—
情報処理業	64	17	13	18	4	10	2	1
ソフトウェア業	61	10	10	17	9	13	2	1
法律・会計	—	—	—	—	—	—	—	—
その他のサービス	14	—	3	2	3	6	—	—
公務	16	3	4	4	3	2	—	2
その他	2	—	1	—	1	—	—	—

3-23 知識獲得の方法

	回答企業数	インタビュー方式	解析方式バーバルプロトコル	弟子入り方式	利用獲得方法論を整理された知識	ツールを利用知識獲得支援	知識を獲得ドキュメントから整理された知識	その他	無回答
全産業	268 100.0	230 85.8	5 1.9	38 14.2	26 9.7	12 4.5	160 59.7	16 6.1	37 12.1
基礎資材産業	35 100.0	34 97.1	— —	7 20.0	2 5.7	— —	13 37.1	— —	1 2.8
加工組み立て産業	57 100.0	51 89.5	1 1.8	8 14.0	8 14.0	4 7.0	36 63.2	2 3.5	5 8.1
生活関連産業	15 100.0	14 93.3	— —	3 20.0	— —	— —	5 33.3	2 13.3	— —
公共サービス関連	31 100.0	25 80.6	— —	3 9.7	1 3.2	3 9.7	18 58.1	3 9.7	2 6.1
商業金融関連	30 100.0	25 83.3	1 3.3	3 10.0	— —	— —	21 70.0	2 6.7	2 6.3
教育公務関連	31 100.0	19 61.3	— —	2 6.5	4 12.9	4 12.9	20 64.5	2 6.5	9 22.5
情報処理産業	67 100.0	60 89.6	3 4.5	12 17.9	11 16.4	1 1.5	45 67.2	5 7.5	18 21.2
その他	2 100.0	2 100.0	— —	— —	— —	— —	2 100.0	— —	— —

農林水産業	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鉱業	2	2	—	—	—	—	1	—	—
食料品	3	2	—	—	—	—	1	1	—
繊維	1	1	—	—	—	—	1	—	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—	—	—	—	—
化学	14	14	—	2	—	—	5	—	1
石油・石炭製品	4	4	—	2	—	—	—	—	—
窯業・土石製品	2	2	—	—	—	—	2	—	—
一次金属	8	8	—	3	2	—	3	—	—
金属製品	5	4	—	—	—	—	2	—	—
一般機械	8	7	—	1	1	1	6	—	1
電気機械	28	27	1	5	5	1	19	—	3
輸送機械	13	9	—	1	2	—	6	1	1
精密機械	8	8	—	1	—	2	5	1	—
その他の製造業	11	11	—	3	—	—	3	1	—
建設業	23	20	—	2	1	2	13	3	1
電気・ガス・水道	7	5	—	—	—	1	5	—	—
卸・小売業	6	5	—	—	—	—	6	1	—
金融・保険業	22	19	—	2	—	—	14	1	2
不動産業	1	1	—	—	—	—	—	—	—
運輸・通信業	1	—	—	1	—	—	—	—	1
報道・出版業	1	1	—	—	—	—	1	—	—
教育	11	7	—	—	2	3	6	1	5
医療	—	—	—	—	—	—	—	—	—
情報処理業	33	30	2	6	8	—	22	2	4
ソフトウェア業	33	29	1	6	3	1	22	3	14
法律・会計	1	—	—	1	—	—	1	—	—
その他のサービス	8	5	—	—	—	1	5	1	2
公務	12	7	—	2	2	—	9	—	2
その他	2	2	—	—	—	—	2	—	—

3-24 知識獲得の今後の課題

	回答企業数	の整備 知識獲得方法論	ツールの整備 知識獲得支援	等の整備 シェル・ドメインシェル	の整備 等開発環境全体 インターフェース	その他	無回答
全産業	272 100.0	138 50.7	71 26.1	37 13.6	57 21.0	14 5.1	33 10.8
基礎資材産業	35 100.0	13 37.1	9 25.7	9 25.7	8 22.9	2 5.7	1 2.8
加工組立産業	58 100.0	36 62.1	18 31.0	8 13.8	7 12.1	2 3.4	4 6.5
生活関連産業	14 100.0	8 57.1	3 21.4	2 14.3	3 21.4	— —	1 6.7
公共サービス関連	31 100.0	11 35.5	9 29.0	5 16.1	9 29.0	1 3.2	2 6.1
商業金融関連	31 100.0	13 41.9	11 35.5	1 3.2	8 25.8	2 6.5	1 3.1
教育公務関連	32 100.0	19 59.4	9 28.1	1 3.1	6 18.8	2 6.3	8 20.0
情報処理産業	69 100.0	37 53.6	12 17.4	10 14.5	15 21.7	5 7.2	16 18.8
その他	2 100.0	1 50.0	— —	1 50.0	1 50.0	— —	— —
農林水産業	—	—	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	—	—	2	—	—
食料品	3	2	—	1	1	—	—
繊維	—	—	—	—	—	—	1
パルプ・紙	—	—	—	—	—	—	—
化学	14	3	4	7	2	—	1
石油・石炭製品	4	2	1	—	1	1	—
窯業・土石製品	2	1	1	—	—	—	—
一次金属	8	2	3	2	3	1	—
金属製品	5	5	—	—	—	—	—
一般機械	8	5	2	—	1	1	1
電気機械	29	19	9	6	3	—	2
輸送機械	13	7	4	—	2	—	1
精密機械	8	5	3	2	1	1	—
その他の製造業	11	6	3	1	2	—	—
建設業	23	8	8	3	5	1	1
電気・ガス・水道	7	2	1	2	3	—	—
卸・小売業	6	3	2	1	3	1	—
金融・保険業	23	10	7	—	5	1	1
不動産業	1	—	1	—	—	—	—
運輸・通信業	1	1	—	—	1	—	1
報道・出版業	1	1	—	—	—	—	—
教育	10	5	3	—	3	—	6
医療	—	—	—	—	—	—	—
情報処理業	34	18	8	5	9	2	3
ソフトウェア業	34	18	4	5	6	3	13
法律・会計	1	—	1	—	—	—	—
その他のサービス	10	8	1	—	—	1	—
公務	12	6	5	1	3	1	2
その他	2	1	—	1	1	—	—

3-25 エキスパートシステム開発体制

	回答企業数	情報処理部門が実施専門家が参画して	KEが実施専門家が参画して	処理部門が協力して専門家とKE情報	となる専門家が主体	主体となる情報処理部門が	その他	無回答
全産業	275 100.0	64 23.3	54 19.6	89 32.4	39 14.2	27 9.8	17 6.2	30 9.8
基礎資材産業	35 100.0	14 40.0	7 20.0	9 25.7	2 5.7	3 8.6	2 5.7	1 2.8
加工組立産業	58 100.0	15 25.9	13 22.4	18 31.0	14 24.1	3 5.2	2 3.4	4 6.5
生活関連産業	15 100.0	3 20.0	3 20.0	7 46.7	1 6.7	1 6.7	1 6.7	— —
公共サービス関連	31 100.0	7 22.6	5 16.1	11 35.5	6 19.4	2 6.5	1 3.2	2 6.1
商業金融関連	32 100.0	10 31.3	3 9.4	15 46.9	2 6.3	1 3.1	2 6.3	— —
教育公務関連	33 100.0	5 15.2	3 9.1	10 30.3	6 18.2	6 18.2	4 12.1	7 17.5
情報処理産業	69 100.0	10 14.5	18 26.1	19 27.5	8 11.6	11 15.9	5 7.2	16 18.8
その他	2 100.0	— —	2 100.0	— —	— —	— —	— —	— —
農林水産業	—	—	—	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	—	—	1	—	1	—
食料品	3	1	—	1	1	—	1	—
繊維	1	—	—	—	—	1	—	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—	—	—	—
化学	14	6	2	3	—	2	1	1
石油・石炭製品	4	2	1	1	1	—	—	—
窯業・土石製品	2			2	—	—	—	—
一次金属	8	3	3	2	—	1	—	—
金属製品	5	3	1	1	—	—	—	—
一般機械	9	1	2	5	1	1	—	—
電気機械	28	6	8	10	5	2	—	3
輸送機械	13	5	2	2	4	—	1	1
精密機械	8	3	1	1	4	—	1	—
その他の製造業	11	2	3	6	—	—	—	—
建設業	23	4	4	9	5	1	1	1
電気・ガス・水道	7	2	1	2	1	1	—	—
卸・小売業	6	3	—	2	1	1	—	—
金融・保険業	24	6	3	13	—	—	2	—
不動産業	1	1	—	—	—	—	—	—
運輸・通信業	1	1	—	—	—	—	—	1
報道・出版業	1	1	—	—	—	—	—	—
教育	11	2	1	4	1	2	2	5
医療	—	—	—	—	—	—	—	—
情報処理業	34	3	7	13	4	6	2	3
ソフトウェア業	34	6	11	6	4	5	3	13
法律・会計	1	—	—	—	1	—	—	—
その他のサービス	10	2	2	4	—	1	1	—
公務	12	1	—	2	5	3	1	2
その他	2	—	2	—	—	—	—	—

3-26 エキスパートシステム開発のために利用したい外部機関

	回答企業数	公的研究機関 大学その他	専門家 民間研究機関	メーカー コンピュータ	ハウス ソフトウェア	その他	いない 利用は考えて	無回答
全産業	276 100.0	109 39.5	59 21.4	123 44.6	105 38.0	5 1.8	35 12.7	29 9.5
基礎資材産業	35 100.0	11 31.4	6 17.1	21 60.0	14 40.0	— —	2 5.7	1 2.8
加工組立産業	58 100.0	30 51.7	13 22.4	18 31.0	18 31.0	— —	12 20.7	4 6.5
生活関連産業	14 100.0	3 21.4	2 14.3	7 50.0	8 57.1	— —	2 14.3	1 6.7
公共サービス関連	32 100.0	13 40.6	3 9.4	17 53.1	19 59.4	— —	4 12.5	1 3.0
商業金融関連	32 100.0	4 12.5	5 15.6	21 65.6	18 56.3	1 3.1	— —	— —
教育公務関連	34 100.0	18 52.9	8 23.5	14 41.2	4 11.8	3 8.8	5 14.7	6 15.0
情報処理産業	69 100.0	30 43.5	22 31.9	25 36.2	23 33.3	1 1.4	9 13.0	16 18.8
その他	2 100.0	— —	— —	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —

3-27 エキスパートシステム導入・実用化の問題点

	回答企業数	ない 力不足で役にたた 現在の技術では能	トがかかり過ぎる システム開発にコス	不足である 知識エンジニアが	がない 適切なハードウェア	がない 適切なソフトウェア	ある 知識獲得に障害が	な分野がない ニーズのある適当	れる企業がない 技術を提供してく	その他	無回答
全産業	277 100.0	81 29.2	72 26.0	114 41.2	20 7.2	47 17.0	165 59.6	39 14.1	5 1.8	30 10.8	28 9.2
基礎資材産業	34 100.0	7 20.6	13 38.2	22 64.7	1 2.9	6 17.6	14 41.2	3 8.8	1 2.9	2 5.9	2 5.6
加工組立産業	57 100.0	17 29.8	16 28.1	23 40.4	4 7.0	8 14.0	42 73.7	7 12.3	1 1.8	7 12.3	5 8.1
生活関連産業	15 100.0	4 26.7	1 6.7	8 53.3	2 13.3	2 13.3	7 46.7	1 6.7	— —	1 6.7	— —
公共サービス関連	32 100.0	8 25.0	9 28.1	8 25.0	1 3.1	8 25.0	20 62.5	6 18.8	— —	5 15.6	1 3.0
商業金融関連	31 100.0	8 25.8	9 29.0	12 38.7	— —	6 19.4	17 54.8	5 16.1	— —	3 9.7	1 3.1
教育公務関連	34 100.0	14 41.2	9 26.5	13 38.2	3 8.8	5 14.7	18 52.9	4 11.8	2 5.9	2 5.9	6 15.0
情報処理産業	72 100.0	22 30.6	15 20.8	28 38.9	9 12.5	12 16.7	46 63.9	12 16.7	1 1.4	10 13.9	13 15.3
その他	2 100.0	1 50.0	— —	— —	— —	— —	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —

3-28 エキスパートシステム開発・導入のための累積投資額(現在)

	回答企業数	五百万円未満	一千万円未満	三千万円未満	五千万円未満	一億円未満	二億円未満	五億円未満	二十億円未満	百億円未満	五百億円未満	五百億円以上	無回答
全産業	239 100.0	45 18.8	35 14.6	72 30.1	30 12.6	30 12.6	15 6.3	11 4.6	1 0.4	— —	— —	— —	66 21.6
基礎資材産業	32 100.0	2 6.3	5 15.6	18 56.3	4 12.5	1 3.1	1 3.1	1 3.1	— —	— —	— —	— —	4 11.1
加工組立産業	50 100.0	10 20.0	3 6.0	11 22.0	6 12.0	11 22.0	6 12.0	3 6.0	— —	— —	— —	— —	12 19.4
生活関連産業	13 100.0	1 7.7	— —	6 46.2	1 7.7	1 7.7	3 23.1	1 7.7	— —	— —	— —	— —	2 13.3
公共サービス関連	31 100.0	7 22.6	5 16.1	8 25.8	5 16.1	2 6.5	2 6.5	2 6.5	— —	— —	— —	— —	2 6.1
商業金融関連	25 100.0	4 16.0	4 16.0	9 36.0	4 16.0	3 12.0	— —	1 4.0	— —	— —	— —	— —	7 21.9
教育公務関連	25 100.0	11 44.0	6 24.0	3 12.0	3 12.0	2 8.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	15 37.5
情報処理産業	61 100.0	10 16.4	12 19.7	16 26.2	7 11.5	9 14.8	3 4.9	3 4.9	1 1.6	— —	— —	— —	24 28.2
その他	2 100.0	— —	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
農林水産業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鉱業	2	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
食料品	3	—	—	1	—	1	1	—	—	—	—	—	1
繊維	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3
化学	12	—	1	9	2	—	—	—	—	—	—	—	—
石油・石炭製品	4	—	1	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—
窯業・土石製品	2	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	1
一次金属	7	—	1	3	1	1	1	—	—	—	—	—	—
金属製品	5	1	2	1	—	—	—	1	—	—	—	—	1
一般機械	8	2	1	—	2	2	1	—	—	—	—	—	7
電気機械	24	4	1	5	3	6	3	2	—	—	—	—	1
輸送機械	13	3	1	4	—	3	1	1	—	—	—	—	3
精密機械	5	1	—	2	1	—	1	—	—	—	—	—	1
その他の製造業	10	1	—	5	1	—	2	1	—	—	—	—	—
建設業	24	6	5	6	4	1	1	1	—	—	—	—	1
電気・ガス・水道	6	1	—	1	1	1	1	1	—	—	—	—	—
卸・小売業	6	1	—	4	1	—	—	—	—	—	—	—	7
金融・保険業	17	2	4	4	3	3	—	1	—	—	—	—	—
不動産業	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
運輸・通信業	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
報道・出版業	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	7
教育	9	5	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
医療	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6
情報処理業	31	6	7	7	3	4	1	2	1	—	—	—	18
ソフトウェア業	29	4	5	8	4	5	2	1	—	—	—	—	—
法律・会計	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	3
その他のサービス	7	1	2	1	2	1	—	—	—	—	—	—	5
公務	9	5	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—
その他	2	—	—	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—

3-29 エキスパートシステム開発・導入のための累積投資額(5年後)

	回答企業数	五百万円未満	一千万円未満	三千万円未満	五千万円未満	一億円未満	二億円未満	五億円未満	二十億円未満	百億円未満	五百億円未満	五百億円以上	無回答
全産業	231 100.0	13 5.6	12 5.2	34 14.7	34 14.7	53 22.9	28 12.1	34 14.7	22 9.5	1 0.4	— —	— —	74 24.3
基礎資材産業	31 100.0	— —	1 3.2	8 25.8	3 9.7	12 38.7	1 3.2	4 12.9	2 6.5	— —	— —	— —	5 13.9
加工組立産業	48 100.0	4 8.3	2 4.2	2 4.2	6 12.5	8 16.7	9 18.8	11 22.9	6 12.5	— —	— —	— —	14 22.6
生活関連産業	13 100.0	— —	2 15.4	1 7.7	2 15.4	3 23.1	1 7.7	2 15.4	2 15.4	— —	— —	— —	2 13.3
公共サービス関連	29 100.0	2 6.9	2 6.9	3 10.3	4 13.8	10 34.5	4 13.8	2 6.9	2 6.9	— —	— —	— —	4 12.1
商業金融関連	25 100.0	— —	— —	3 12.0	3 12.0	9 36.0	3 12.0	5 20.0	1 4.0	1 4	— —	— —	7 21.9
教育公務関連	24 100.0	5 20.8	1 4.2	6 25.0	3 12.5	5 20.8	2 8.3	1 4.2	1 4.2	— —	— —	— —	16 40.0
情報処理産業	59 100.0	2 3.4	4 6.8	11 18.6	13 22.0	5 8.5	8 13.6	8 13.6	8 13.6	— —	— —	— —	26 30.6
その他	2 100.0	— —	— —	— —	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —
農林水産業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
食料品	3	—	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—	—
繊維	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
パルプ・紙	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
化学	11	—	—	2	1	6	1	1	—	—	—	—	4
石油・石炭製品	4	—	—	—	1	2	—	1	—	—	—	—	—
窯業・土石製品	2	—	—	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—
一次金属	7	—	—	2	1	2	—	1	1	—	—	—	1
金属製品	5	—	—	2	—	1	—	1	1	—	—	—	—
一般機械	8	—	1	1	—	1	2	2	1	—	—	—	1
電気機械	22	2	—	1	3	1	6	5	4	—	—	—	9
輸送機械	13	2	—	—	3	3	1	4	—	—	—	—	1
精密機械	5	—	1	—	—	3	—	—	1	—	—	—	3
その他の製造業	10	—	2	1	2	2	—	1	2	—	—	—	1
建設業	22	1	2	3	4	6	4	1	1	—	—	—	2
電気・ガス・水道	6	1	—	—	—	3	—	1	1	—	—	—	1
卸・小売業	6	—	—	1	1	2	1	1	—	—	—	—	—
金融・保険業	17	—	—	1	2	6	2	4	1	1	—	—	7
不動産業	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
運輸・通信業	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	1
報道・出版業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
教育	10	4	—	1	2	2	1	—	—	—	—	—	6
医療	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
情報処理業	28	1	2	3	7	3	2	5	5	—	—	—	9
ソフトウェア業	31	1	2	8	6	2	6	3	3	—	—	—	16
法律・会計	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—
その他のサービス	5	—	—	1	1	1	1	1	—	—	—	—	5
公務	9	1	1	4	—	2	—	—	1	—	—	—	5
その他	2	—	—	—	—	1	—	1	—	—	—	—	—

3-30 機械翻訳システムの導入状況

	回答企業数	ている導入・利用し	を予定今後導入・利用	予定なし	無回答
全産業	282	37	64	181	23
農林水産業	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	—	2	—
食料品	3	—	2	1	—
繊維	1	—	—	1	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—
化学	15	1	3	11	—
石油・石炭製品	4	—	1	3	—
窯業・土石製品	2	—	—	2	—
一次金属	8	2	3	3	—
金属製品	5	1	1	3	—
一般機械	5	—	1	4	4
電気機械	28	4	9	15	3
輸送機械	12	2	3	7	2
精密機械	6	1	2	3	2
その他の製造業	11	1	3	7	—
建設業	20	1	3	16	4
電気・ガス・水道	7	1	2	4	—
卸・小売業	6	—	1	5	—
金融・保険業	24	—	5	19	—
不動産業	1	—	—	1	—
運輸・通信業	1	—	1	—	1
報道・出版業	1	1	—	—	—
教育	15	5	3	7	1
医療	—	—	—	—	—
情報処理業	36	7	9	20	1
ソフトウェア業	43	3	7	33	4
法律・会計	1	—	1	—	—
その他のサービス	10	1	3	6	—
公務	13	5	1	7	1
その他	2	1	—	1	—

3-31 機械翻訳システム導入の累積投資額(現在)

	回答企業数	五百万円未満	一千万円未満	三千万円未満	五千万円未満	一億円未満	二億円未満	五億円未満	二十億円未満	百億円未満	五百億円未満	五百億円以上	無回答
全産業	29 100.0	13 44.8	6 20.7	4 13.8	1 3.4	1 3.4	— —	3 10.3	1 3.4	— —	— —	— —	8 21.6
基礎資材産業	4 100.0	3 75.0	— —	— —	— —	1 25.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
加工組立産業	4 100.0	1 25.0	1 25.0	1 25.0	— —	— —	— —	— —	1 25.0	— —	— —	— —	3 42.9
生活関連産業	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
公共サービス関連	2 100.0	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
商業金融関連	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
教育公務関連	8 100.0	5 62.5	2 25.0	1 12.5	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	3 27.3
情報処理産業	9 100.0	3 33.3	3 33.3	— —	— —	— —	— —	3 33.3	— —	— —	— —	— —	2 18.2
その他	1 100.0	— —	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
農林水産業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
鉱業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
食料品	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
繊維	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
化学	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
石油・石炭製品	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
窯業・土石製品	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
一次金属	2	1	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—
金属製品	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
一般機械	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電気機械	2	—	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—	2
輸送機械	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
精密機械	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
その他の製造業	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
建設業	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電気・ガス・水道	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
卸・小売業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
金融・保険業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
不動産業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
運輸・通信業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
報道・出版業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
教育	3	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2
医療	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
情報処理業	6	2	2	—	—	—	—	2	—	—	—	—	1
ソフトウェア業	3	1	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
法律・会計	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
その他のサービス	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
公務	4	2	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
その他	1	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—

3-32 知能ロボットの導入状況

	回答企業数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
全産業	284 100.0	5 1.8	72 25.4	207 72.9	21 6.9
基礎資材産業	36 100.0	2 5.6	11 30.6	23 63.9	— —
加工組立産業	52 100.0	2 3.8	19 36.5	31 59.6	10 16.1
生活関連産業	15 100.0	— —	7 46.7	8 53.3	— —
公共サービス関連	29 100.0	— —	12 41.4	17 58.6	4 12.1
商業金融関連	32 100.0	— —	2 6.3	30 93.8	— —
教育公務関連	38 100.0	1 2.6	11 28.9	26 68.4	2 5.0
情報処理産業	80 100.0	— —	9 11.3	71 88.8	5 5.9
その他	2 100	— —	1 50.0	1 50.0	— —
農林水産業	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	—	2	—
食料品	3	—	3	—	—
繊維	1	—	—	1	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—
化学	15	1	4	10	—
石油・石炭製品	4	—	1	3	—
窯業・土石製品	2	—	—	2	—
一次金属	8	1	3	4	—
金属製品	5	—	3	2	—
一般機械	5	—	3	2	4
電気機械	29	1	9	19	2
輸送機械	12	1	5	6	2
精密機械	6	—	2	4	2
その他の製造業	11	—	4	7	—
建設業	21	—	9	12	3
電気・ガス・水道	7	—	3	4	—
卸・小売業	6	—	—	6	—
金融・保険業	24	—	1	23	—
不動産業	1	—	—	1	—
運輸・通信業	1	—	—	1	1
報道・出版業	1	—	—	1	—
教育	15	—	3	12	1
医療	—	—	—	—	—
情報処理業	36	—	5	31	1
ソフトウェア業	43	—	4	39	4
法律・会計	1	—	1	—	—
その他のサービス	10	—	2	8	—
公務	13	1	6	6	1
その他	2	—	1	1	—

3-33 自動プログラミングシステムの導入状況

	回答企業数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
全産業	262 100.0	6 2.3	130 49.6	126 48.1	43 14.1
基礎資材産業	33 100.0	— —	18 54.5	15 45.5	3 8.3
加工組立産業	48 100.0	2 4.2	27 56.3	19 39.6	14 22.6
生活関連産業	13 100.0	1 7.7	5 38.5	7 53.8	2 13.3
公共サービス関連	27 100.0	— —	9 33.3	18 66.7	6 18.2
商業金融関連	29 100.0	— —	13 44.8	16 55.2	3 9.4
教育公務関連	36 100.0	— —	12 33.3	24 66.7	4 10.0
情報処理産業	75 100.0	3 4.0	46 61.3	26 34.7	10 11.8
その他	1 100.0	— —	— —	1 100.0	1 50.0
農林水産業	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	1	1	—
食料品	3	—	1	2	—
繊維	1	—	—	1	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—
化学	14	—	7	7	1
石油・石炭製品	3	—	2	1	1
窯業・土石製品	2	—	—	2	—
一次金属	8	—	5	3	—
金属製品	4	—	3	1	1
一般機械	5	—	2	3	4
電気機械	24	1	17	6	7
輸送機械	12	—	4	8	2
精密機械	7	1	4	2	1
その他の製造業	9	1	4	4	2
建設業	20	—	6	14	4
電気・ガス・水道	6	—	2	4	1
卸・小売業	6	—	4	2	—
金融・保険業	21	—	9	12	3
不動産業	1	—	—	1	—
運輸・通信業	1	—	1	—	1
報道・出版業	1	—	—	1	—
教育	14	—	3	11	2
医療	—	—	—	—	—
情報処理業	34	3	20	11	3
ソフトウェア業	40	—	26	14	7
法律・会計	1	—	—	1	—
その他のサービス	10	—	4	6	—
公務	12	—	5	7	2
その他	1	—	—	1	1

3-34 自動プログラミングシステムの累積投資額(現在)

	全産業	基礎資材産業	加工組立産業	生活関連産業	公共サービス関係	商業金融関連	教育公務関連	情報処理産業	その他
回答企業数	3 100.0	— —	1 100.0	1 100.0	— —	— —	— —	1 100.0	— —
五百万円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
一千万円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
三千万円未満	1 33.3	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —
五千万未満	1 33.3	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1 100.0	— —
一億円未満	1 33.3	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —
二億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
五億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
二十億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
百億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
五百億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
五百億円以上	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
無回答	3 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —	2 66.7	— —

3-35 画像理解システムの導入状況

	回答企業数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
全産業	281 100.0	21 7.5	105 37.4	155 55.2	24 7.9
基礎資材産業	36 100.0	5 13.9	19 52.8	12 33.3	— —
加工組立産業	51 100.0	6 11.8	23 45.1	22 43.1	11 17.7
生活関連産業	14 100.0	— —	6 42.9	8 57.1	1 6.7
公共サービス関連	29 100.0	2 6.9	11 37.9	16 55.2	4 12.1
商業金融関連	32 100.0	1 3.1	9 28.1	22 68.8	— —
教育公務関連	37 100.0	5 13.5	15 40.5	17 45.9	3 7.5
情報処理産業	80 100.0	2 2.5	20 25.0	58 72.5	5 5.9
その他	2 100	— —	2 100.0	— —	— —

農林水産業	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	—	2	—
食料品	3	—	2	1	—
繊維	1	—	—	1	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—
化学	15	2	7	6	—
石油・石炭製品	4	1	2	1	—
窯業・土石製品	2	—	1	1	—
一次金属	8	2	5	1	—
金属製品	5	—	4	1	—
一般機械	5	1	2	2	4
電気機械	28	2	14	12	3
輸送機械	12	1	5	6	2
精密機械	6	2	2	2	2
その他の製造業	10	—	4	6	1
建設業	21	1	6	14	3
電気・ガス・水道	7	1	4	2	—
卸・小売業	6	1	3	2	—
金融・保険業	24	—	6	18	—
不動産業	1	—	—	1	—
運輸・通信業	1	—	1	—	1
報道・出版業	1	—	—	1	—
教育	15	1	3	11	1
医療	—	—	—	—	—
情報処理業	36	2	9	25	1
ソフトウェア業	43	—	11	32	4
法律・会計	1	—	—	1	—
その他のサービス	10	1	5	4	—
公務	12	3	7	2	2
その他	2	—	2	—	—

3-36 画像理解システムの累積投資額(現在)

	全産業	基礎資材産業	加工組立産業	生活関連産業	公共サービス関連	商業金融関連	教育公務関連	情報処理産業	その他
回答企業数	16 100.0	3 100.0	4 100.0	— —	1 100.0	1 100.0	5 100.0	2 100.0	— —
五百万円未満	1 6.3	— —	— —	— —	— —	— —	1 20.0	— —	— —
一千万円未満	2 12.5	1 33.3	— —	— —	— —	— —	1 20.0	— —	— —
三千万円未満	6 37.5	— —	3 75.0	— —	1 100.0	— —	1 20.0	1 50.0	— —
五千万未満	4 25.0	1 33.3	— —	— —	— —	1 100.0	2 40.0	— —	— —
一億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
二億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
五億円未満	3 18.8	1 33.3	1 25.0	— —	— —	— —	— —	1 50.0	— —
二十億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
百億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
五百億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
五百億円以上	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
無回答	5 23.8	2 40.0	2 33.3	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —

3-37 音声理解システムの導入状況

	回答企業数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
全産業	281 100.0	5 1.8	112 39.9	164 58.4	24 7.9
基礎資材産業	36 100.0	1 2.8	18 50.0	17 47.2	— —
加工組み立て産業	52 100.0	— —	28 53.8	24 46.2	10 16.1
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	7 46.7	7 46.7	— —
公共サービス関連	29 100.0	— —	12 41.4	17 58.6	4 12.1
商業金融関連	32 100.0	1 3.1	10 31.3	21 65.6	— —
教育公務関連	35 100.0	1 2.9	11 31.4	23 65.7	5 12.5
情報処理産業	80 100.0	1 1.3	25 31.3	54 67.5	5 5.9
その他	2 100.0	— —	1 50.0	1 50.0	— —

農林水産業	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	—	2	—
食料品	3	—	2	1	—
繊維	1	—	—	1	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—
化学	15	—	7	8	—
石油・石炭製品	4	—	2	2	—
窯業・土石製品	2	—	—	2	—
一次金属	8	1	6	1	—
金属製品	5	—	3	2	—
一般機械	5	—	3	2	4
電気機械	29	—	16	13	2
輸送機械	12	—	6	6	2
精密機械	6	—	3	3	2
その他の製造業	11	1	5	5	—
建設業	21	—	7	14	3
電気・ガス・水道	7	—	4	3	—
卸・小売業	6	—	3	3	—
金融・保険業	24	1	6	17	—
不動産業	1	—	—	1	—
運輸・通信業	1	—	1	—	1
報道・出版業	1	—	—	1	—
教育	14	—	3	11	2
医療	—	—	—	—	—
情報処理業	36	1	15	20	1
ソフトウェア業	43	—	10	33	4
法律・会計	1	—	1	—	—
その他のサービス	10	1	3	6	—
公務	11	—	5	6	3
その他	2	—	1	1	—

3-38 音声理解システムの累積投資額(現在)

	全産業	基礎資材産業	加工組立産業	生活関連産業	公共サービス関連	商業金融関連	教育公務関連	情報処理産業	その他
回答企業数	3 100.0	1 100.0	— —	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —
五百万円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
一千万円未満	1 33.3	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —
三千万円未満	2 66.7	1 100.0	— —	— —	— —	— —	1 100.0	— —	— —
五千万未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
一億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
二億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
五億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
二十億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
百億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
五百億円未満	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
五百億円以上	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
無回答	2 40.0	— —	— —	— —	— —	1 100.0	— —	1 100.0	— —

3-39 自然言語理解システムの導入状況

	回答企業数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
全産業	270 100.0	5 1.9	117 43.3	148 54.8	35 11.5
基礎資材産業	35 100.0	— —	15 42.9	20 57.1	1 2.8
加工組立産業	50 100.0	3 6.0	28 56.0	19 38.0	12 19.4
生活関連産業	14 100.0	— —	6 42.9	8 57.1	1 6.7
公共サービス関連	27 100.0	— —	7 25.9	20 74.1	6 18.2
商業金融関連	31 100.0	— —	12 38.7	19 61.3	1 3.1
教育公務関連	36 100.0	— —	17 47.2	19 52.8	4 10.0
情報処理産業	76 100.0	2 2.6	32 42.1	42 55.3	9 10.6
その他	1 100.0	— —	— —	1 100.0	1 50.0

農林水産業	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	—	2	—
食料品	3	—	2	1	—
繊維	1	—	—	1	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—
化学	15	—	6	9	—
石油・石炭製品	4	—	2	2	—
窯業・土石製品	2	—	—	2	—
一次金属	8	—	5	3	—
金属製品	4	—	2	2	1
一般機械	5	—	2	3	4
電気機械	28	2	16	10	3
輸送機械	12	—	7	5	2
精密機械	5	1	3	1	3
その他の製造業	10	—	4	6	1
建設業	20	—	4	16	4
電気・ガス・水道	7	—	3	4	—
卸・小売業	6	—	4	2	—
金融・保険業	23	—	7	16	1
不動産業	1	—	—	1	—
運輸・通信業	—	—	—	—	2
報道・出版業	1	1	—	—	—
教育	15	—	4	11	1
医療	—	—	—	—	—
情報処理業	34	—	19	15	3
ソフトウェア業	41	1	13	27	6
法律・会計	1	—	1	—	—
その他のサービス	10	—	7	3	—
公務	11	—	6	5	3
その他	1	—	—	1	1

3-40 自然言語理解システムの累積投資額(現在)

	全産業	基礎資材産業	加工組立産業	生活関連産業	公共サービス関連	商業金融関連	教育公務関連	情報処理産業	その他
回答企業数	4	—	2	—	—	—	—	2	—
	100.0	—	100.0	—	—	—	—	100.0	—
五百万円未満	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
一千万円未満	1	—	—	—	—	—	—	1	—
	25.0	—	—	—	—	—	—	50.0	—
三千万円未満	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
五千万未満	2	—	1	—	—	—	—	1	—
	50.0	—	50.0	—	—	—	—	50.0	—
一億円未満	1	—	1	—	—	—	—	—	—
	25.0	—	50.0	—	—	—	—	—	—
二億円未満	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
五億円未満	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
二十億円未満	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
百億円未満	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
五百億円未満	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
五百億円以上	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
無回答	1	—	1	—	—	—	—	—	—
	20.0	—	33.3	—	—	—	—	—	—

3-41 その他AIシステムの導入状況

	回答企業数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
全産業	280	13	154	113	25
	100.0	4.6	55.0	40.4	8.2
基礎資材産業	35	2	19	14	1
	100.0	5.7	54.3	40.0	2.8
加工組立産業	50	4	27	19	12
	100.0	8.0	54.0	38.0	19.4
生活関連産業	14	2	6	6	1
	100.0	14.3	42.9	42.9	6.7
公共サービス関連	28	—	19	9	5
	100.0	—	67.9	32.1	15.2
商業金融関連	32	—	14	18	—
	100.0	—	43.8	56.3	—
教育公務関連	38	1	21	16	2
	100.0	2.6	55.3	42.1	5.0
情報処理産業	81	4	46	31	4
	100.0	4.9	56.8	38.3	4.7
その他	2	—	2	—	—
	100	—	100.0	—	—
農林水産業	—	—	—	—	—
鉱業	2	—	1	1	—
食料品	3	1	1	1	—
繊維	1	—	—	1	—
パルプ・紙	—	—	—	—	—
化学	14	—	6	8	1
石油・石炭製品	4	1	2	1	—
窯業・土石製品	2	—	1	1	—
一次金属	8	—	6	2	—
金属製品	5	1	3	1	—
一般機械	5	—	2	3	4
電気機械	28	3	17	8	3
輸送機械	11	—	5	6	3
精密機械	6	1	3	2	2
その他の製造業	10	1	5	4	1
建設業	21	—	14	7	3
電気・ガス・水道	6	—	4	2	1
卸・小売業	6	—	4	2	—
金融・保険業	24	—	9	15	—
不動産業	1	—	—	1	—
運輸・通信業	1	—	1	—	1
報道・出版業	1	—	1	—	—
教育	15	—	6	9	1
医療	—	—	—	—	—
情報処理業	37	2	21	14	—
ソフトウェア業	43	2	24	17	4
法律・会計	1	—	1	—	—
その他のサービス	10	—	7	3	—
公務	13	1	8	4	1
その他	2	—	2	—	—

3-42 AI応用分野別産業別・試験使用開始時期と本格使用開始時期の予想

3-42(a) エキスパートシステム試験使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	174 57.0	50 16.4	37 12.1	8 2.6	3 1.0	- -	33 10.8	- -	0.91
基礎資材産業	36 100.0	25 69.4	7 19.4	2 5.6	- -	- -	- -	2 5.6	- -	0.46
加工組立産業	62 100.0	34 54.8	11 17.7	8 12.9	1 1.6	- -	- -	8 12.9	- -	0.80
生活関連産業	15 100.0	10 66.7	3 20.0	2 13.3	- -	- -	- -	- -	- -	0.67
公共サービス関連	33 100.0	23 69.7	3 9.1	2 6.1	- -	1 3.0	- -	4 12.1	- -	0.73
商業金融関連	32 100.0	25 78.1	4 12.5	2 6.3	- -	- -	- -	1 3.1	- -	0.40
教育公務関連	40 100.0	15 37.5	11 27.5	5 12.5	4 10.0	1 2.5	- -	4 10.0	- -	1.60
情報処理産業	85 100.0	40 47.1	11 12.9	16 18.8	3 3.5	1 1.2	- -	14 16.5	- -	1.24
その他	2 100.0	2 100.0	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	0.10

3-42(a') エキスパートシステム本格使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	56 18.4	52 17.0	89 29.2	50 16.4	17 5.6	1 0.3	40 13.1	- -	2.87
基礎資材産業	36 100.0	10 27.8	9 25.0	11 30.6	3 8.3	1 2.8	- -	2 5.6	- -	2.00
加工組立産業	62 100.0	13 21.0	8 12.9	19 30.6	11 17.7	2 3.2	- -	9 14.5	- -	2.67
生活関連産業	15 100.0	3 20.0	4 26.7	4 26.7	2 13.3	- -	- -	2 13.3	- -	2.02
公共サービス関連	33 100.0	- -	6 18.2	14 42.2	8 24.2	1 3.0	- -	4 12.1	- -	3.38
商業金融関連	32 100.0	11 34.4	7 21.9	10 31.3	2 6.3	1 3.1	- -	1 3.1	- -	1.87
教育公務関連	40 100.0	2 5.0	7 17.5	11 27.5	5 12.5	7 17.5	- -	8 20.0	- -	4.23
情報処理産業	85 100.0	15 17.6	11 12.9	20 23.5	19 22.4	5 5.9	1 1.2	14 16.5	- -	3.27
その他	2 100.0	2 100.0	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	0.10

3-42(b) 機械翻訳システム試験使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	53 17.4	20 6.6	64 21.0	25 8.2	7 2.3	6 2.0	130 42.6	- -	2.87
基礎資材産業	36 100.0	4 11.1	2 5.6	8 22.2	6 16.7	1 2.8	- -	15 41.7	- -	3.16
加工組立産業	62 100.0	13 21.0	6 9.7	11 17.7	6 9.7	- -	3 4.8	23 37.1	- -	2.96
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	2 13.3	4 26.7	1 6.7	- -	- -	7 46.7	- -	2.39
公共サービス関連	33 100.0	3 9.1	1 3.0	8 24.2	2 6.1	- -	1 3.0	18 54.5	- -	3.35
商業金融関連	32 100.0	4 12.5	- -	11 34.4	3 9.4	- -	- -	14 43.8	- -	2.69
教育公務関連	40 100.0	10 25.0	3 7.5	8 20.0	2 5.0	2 5.0	1 2.5	14 35.0	- -	2.81
情報処理産業	85 100.0	17 20.0	6 7.1	13 15.3	5 5.9	4 4.7	1 1.2	39 45.9	- -	2.75
その他	2 100.0	1 50.0	- -	1 50.0	- -	- -	- -	- -	- -	1.55

3-42(b') 機械翻訳システム本格使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	9 3.0	14 4.6	39 12.8	66 21.6	32 10.5	10 3.3	135 44.3	- -	5.48
基礎資材産業	36 100.0	1 2.8	1 2.8	3 8.3	9 25.0	6 16.7	- -	16 44.4	- -	5.76
加工組立産業	62 100.0	1 1.6	4 6.5	16 25.8	7 11.3	6 9.7	3 4.8	25 40.3	- -	5.19
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	1 6.7	1 6.7	3 20.0	1 6.7	- -	8 53.3	- -	4.16
公共サービス関連	33 100.0	- -	- -	3 9.1	7 21.2	3 9.1	2 6.1	18 54.5	- -	6.03
商業金融関連	32 100.0	- -	2 6.3	3 9.4	8 25.0	5 15.6	- -	14 43.8	- -	5.61
教育公務関連	40 100.0	- -	4 10.0	3 7.5	11 27.5	5 12.5	2 5.0	15 37.5	- -	5.92
情報処理産業	85 100.0	5 5.9	2 2.4	10 11.8	20 23.5	6 7.1	3 3.5	39 45.9	- -	5.16
その他	2 100.0	1 50.0	- -	- -	1 50.0	- -	- -	- -	- -	2.55

3-42(c) 知能ロボット試験使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	13 4.3	8 2.6	40 13.1	36 11.8	21 6.9	2 0.7	185 60.7	- -	4.58
基礎資材産業	36 100.0	1 2.8	3 8.3	5 13.9	3 8.3	2 5.6	- -	22 61.1	- -	3.79
加工組立産業	62 100.0	5 8.1	1 1.6	9 14.5	10 16.1	4 6.5	- -	33 53.2	- -	4.09
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	1 6.7	5 33.3	- -	- -	1 6.7	7 46.7	- -	3.89
公共サービス関連	33 100.0	3 9.1	- -	6 18.2	7 21.2	1 3.0	- -	16 48.5	- -	3.72
商業金融関連	32 100.0	- -	- -	4 12.5	1 3.1	2 6.3	- -	25 78.1	- -	5.29
教育公務関連	40 100.0	2 5.0	- -	4 10.0	5 12.5	3 7.5	- -	26 65.0	- -	4.80
情報処理産業	85 100.0	1 1.2	2 2.4	7 8.2	9 10.6	9 10.6	1 1.2	56 65.9	- -	5.97
その他	2 100.0	- -	1 50.0	- -	1 50.0	- -	- -	- -	- -	3.00

3-42(c') 知能ロボット本格使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	6 2.0	2 0.7	15 4.9	32 10.5	45 14.8	19 6.2	186 61.0	— —	7.92
基礎資材産業	36 100.0	2 5.6	— —	4 11.1	3 8.3	5 13.9	2 5.6	20 55.6	— —	6.70
加工組立産業	62 100.0	2 3.2	— —	4 6.5	8 12.9	11 17.7	2 3.2	35 56.5	— —	7.12
生活関連産業	15 100.0	— —	— —	3 20.0	4 26.7	— —	1 6.7	7 46.7	— —	5.50
公共サービス関連	33 100.0	1 3.0	1 3.0	— —	6 18.2	7 21.2	— —	18 54.5	— —	6.74
商業金融関連	32 100.0	— —	— —	1 3.1	1 3.1	5 15.6	1 3.1	24 75.0	— —	9.13
教育公務関連	40 100.0	1 2.5	— —	1 2.5	3 7.5	5 12.5	5 12.5	25 62.5	— —	9.54
情報処理産業	85 100.0	— —	1 1.2	1 1.2	7 8.2	11 12.9	8 9.4	57 67.1	— —	9.61
その他	2 100.0	— —	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —	6.50

3-42(d) 自動プログラミングシステム試験使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	13 4.3	20 6.6	72 23.6	48 15.7	25 8.2	6 2.0	121 39.7	— —	4.44
基礎資材産業	36 100.0	— —	2 5.6	6 16.7	6 16.7	5 13.9	— —	17 47.2	— —	5.26
加工組立産業	62 100.0	3 4.8	3 4.8	13 21.0	10 16.1	4 6.5	2 3.2	27 43.5	— —	4.64
生活関連産業	15 100.0	2 13.3	— —	4 26.7	2 13.3	1 6.7	— —	6 40.0	— —	3.58
公共サービス関連	33 100.0	1 3.0	2 6.1	6 18.2	5 15.2	5 15.2	1 3.0	13 39.4	— —	5.51
商業金融関連	32 100.0	1 3.1	2 6.3	7 21.9	8 25.0	1 3.1	1 3.1	12 37.5	— —	4.41
教育公務関連	40 100.0	1 2.5	2 5.0	9 22.5	8 20.0	— —	1 2.5	19 47.5	— —	4.00
情報処理産業	85 100.0	4 4.7	9 10.6	27 31.8	8 9.4	9 10.6	1 1.2	27 31.8	— —	4.06
その他	2 100.0	1 50.0	— —	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —	2.55

3-42(d') 自動プログラミングシステム本格使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	1 0.3	3 1.0	28 9.2	67 22.0	57 18.7	15 4.9	134 43.9	— —	7.12
基礎資材産業	36 100.0	— —	— —	4 11.1	5 13.9	5 13.9	3 8.3	19 52.8	— —	7.76
加工組立産業	62 100.0	— —	— —	7 11.3	11 17.7	13 21.0	3 4.8	28 45.2	— —	7.38
生活関連産業	15 100.0	— —	— —	1 6.7	5 33.3	2 13.3	— —	7 46.7	— —	6.00
公共サービス関連	33 100.0	— —	— —	1 3.0	9 27.3	7 21.2	1 3.0	15 45.5	— —	7.39
商業金融関連	32 100.0	— —	2 6.3	2 6.3	6 18.8	8 25.0	— —	14 43.8	— —	6.56
教育公務関連	40 100.0	— —	1 2.5	3 7.5	6 15.0	6 15.0	4 10.0	20 50.0	— —	8.00
情報処理産業	85 100.0	1 1.2	— —	9 10.6	25 29.4	15 17.6	4 4.7	31 36.5	— —	6.71
その他	2 100.0	— —	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —	6.50

3-42(e) 画像理解システム試験使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	22 7.2	18 5.9	59 19.3	44 14.4	11 3.6	6 2.0	145 47.5	— —	3.86
基礎資材産業	36 100.0	1 2.8	6 16.7	9 25.0	3 8.3	1 2.8	— —	16 44.4	— —	2.91
加工組立産業	62 100.0	7 11.3	3 4.8	13 21.0	8 12.9	3 4.8	2 3.2	26 41.9	— —	3.96
生活関連産業	15 100.0	2 13.3	1 6.7	2 13.3	2 13.3	— —	2 13.3	6 40.0	— —	5.24
公共サービス関連	33 100.0	3 9.1	2 6.1	10 30.3	4 12.1	— —	1 3.0	13 39.4	— —	3.37
商業金融関連	32 100.0	2 6.3	1 3.1	5 15.6	5 15.6	— —	— —	19 59.4	— —	3.17
教育公務関連	40 100.0	2 5.0	1 2.5	7 17.5	9 22.5	— —	— —	21 52.5	— —	3.54
情報処理産業	85 100.0	4 4.7	4 4.7	12 14.1	13 15.3	7 8.2	1 1.2	44 51.8	— —	4.64
その他	2 100.0	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —	1.55

3-42(e') 画像理解システム本格使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	6 2.0	3 1.0	25 8.2	55 18.0	46 15.1	18 5.9	152 49.8	— —	7.08
基礎資材産業	36 100.0	1 2.8	— —	7 19.4	9 25.0	3 8.3	1 2.8	15 41.7	— —	5.29
加工組立産業	62 100.0	2 3.2	1 1.6	5 8.1	11 17.7	11 17.7	3 4.8	29 46.8	— —	6.85
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	— —	2 13.3	3 20.0	1 6.7	1 6.7	7 46.7	— —	5.76
公共サービス関連	33 100.0	— —	— —	3 9.1	10 30.3	5 15.2	— —	15 45.5	— —	6.06
商業金融関連	32 100.0	— —	1 3.1	1 3.1	4 12.5	7 21.9	— —	19 59.4	— —	7.23
教育公務関連	40 100.0	— —	— —	2 5.0	7 17.5	5 12.5	5 12.5	21 52.5	— —	8.74
情報処理産業	85 100.0	1 1.2	1 1.2	5 5.9	11 12.9	13 15.3	8 9.4	46 54.1	— —	8.23
その他	2 100.0	1 50.0	— —	— —	— —	1 50.0	— —	— —	— —	5.05

3-42(f) 音声理解システム試験使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	16 5.2	8 2.6	64 21.0	43 14.1	21 6.9	4 1.3	149 48.9	— —	4.40
基礎資材産業	36 100.0	1 2.8	2 5.6	8 22.2	5 13.9	2 5.6	— —	18 50.0	— —	3.95
加工組立産業	62 100.0	2 3.2	1 1.6	13 21.0	6 9.7	7 11.3	— —	33 53.2	— —	4.83
生活関連産業	15 100.0	2 13.3	— —	3 20.0	3 20.0	1 6.7	— —	6 40.0	— —	3.80
公共サービス関連	33 100.0	1 3.0	— —	7 21.2	6 18.2	2 6.1	— —	17 51.5	— —	4.44
商業金融関連	32 100.0	2 6.3	1 3.1	6 18.8	7 21.9	2 6.3	— —	14 43.8	— —	4.12
教育公務関連	40 100.0	1 2.5	— —	9 22.5	7 17.5	1 2.5	1 2.5	21 52.5	— —	4.58
情報処理産業	85 100.0	7 8.2	4 4.7	17 20.0	8 9.4	6 7.1	3 3.5	40 47.1	— —	4.46
その他	2 100.0	— —	— —	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —	— —	4.00

3-42(f') 音声理解システム本格使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	4 1.3	2 0.7	19 6.2	52 17.0	51 16.7	21 6.9	156 51.1	— —	7.68
基礎資材産業	36 100.0	1 2.8	— —	4 11.1	6 16.7	5 13.9	2 5.6	18 50.0	— —	6.78
加工組立産業	62 100.0	— —	1 1.6	3 4.8	8 12.9	12 19.4	4 6.5	34 54.8	— —	8.21
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	— —	1 6.7	3 20.0	2 13.3	1 6.7	7 46.7	— —	6.64
公共サービス関連	33 100.0	— —	1 3.0	— —	5 15.2	6 18.2	2 6.1	19 57.6	— —	8.29
商業金融関連	32 100.0	1 3.1	— —	1 3.1	6 18.8	9 28.1	1 3.1	14 43.8	— —	7.67
教育公務関連	40 100.0	— —	— —	1 2.5	6 15.0	7 17.5	4 10.0	22 55.0	— —	9.06
情報処理産業	85 100.0	1 1.2	— —	9 10.6	18 21.2	8 9.4	7 8.2	42 49.4	— —	7.03
その他	2 100.0	— —	— —	— —	— —	2 100.0	— —	— —	— —	10.0

3-42(g) 自然言語理解システム試験使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	10 3.3	18 5.9	40 13.1	57 18.7	26 8.5	11 3.6	143 46.9	— —	5.24
基礎資材産業	36 100.0	— —	1 2.8	4 11.1	7 19.4	2 5.6	— —	22 61.1	— —	4.86
加工組立産業	62 100.0	3 4.8	1 1.6	7 11.3	11 17.7	8 12.9	1 1.6	31 50.0	— —	5.56
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	1 6.7	2 13.3	5 33.3	— —	1 6.7	5 33.3	— —	4.71
公共サービス関連	33 100.0	— —	1 3.0	3 9.1	6 18.2	3 9.1	2 6.1	18 54.5	— —	6.67
商業金融関連	32 100.0	1 3.1	— —	3 9.4	7 21.9	4 12.5	— —	17 53.1	— —	5.61
教育公務関連	40 100.0	— —	4 10.0	6 15.0	7 17.5	3 7.5	2 5.0	18 45.0	— —	5.32
情報処理産業	85 100.0	5 5.9	10 11.8	15 17.6	12 14.1	6 7.1	5 5.9	32 37.6	— —	4.73
その他	2 100.0	— —	— —	— —	2 100.0	— —	— —	— —	— —	5.00

3-42(g') 自然言語理解システム本格使用開始時期

	回答企業数	現時点	一年以内	三年以内	五年以内	一〇年以内	一〇年以上後	不明	無回答	平均
全産業	305 100.0	— —	2 0.7	23 7.5	39 12.8	58 19.0	28 9.2	155 50.8	— —	8.44
基礎資材産業	36 100.0	— —	1 2.8	1 2.8	2 5.6	7 19.4	1 2.8	24 66.7	— —	8.25
加工組立産業	62 100.0	— —	1 1.6	2 3.2	8 12.9	11 17.7	7 11.3	33 53.2	— —	9.03
生活関連産業	15 100.0	— —	— —	2 13.3	1 6.7	5 33.3	1 6.7	6 40.0	— —	8.44
公共サービス関連	33 100.0	— —	— —	1 3.0	3 9.1	8 24.2	3 9.1	18 54.5	— —	9.53
商業金融関連	32 100.0	— —	— —	2 6.3	2 6.3	9 28.1	2 6.3	17 53.1	— —	9.07
教育公務関連	40 100.0	— —	— —	4 10.0	7 17.5	3 7.5	5 12.5	21 52.5	— —	8.00
情報処理産業	85 100.0	— —	— —	11 12.9	16 18.8	14 16.5	8 9.4	36 42.4	— —	7.61
その他	2 100.0	— —	— —	— —	— —	1 50.0	1 50.0	— —	— —	12.50

3-43 AI応用分野別産業分野別・AIシステム普及度予想(5年後)

3-43(a) エキスパートシステム5年後の普及度

	回答企業数	普及するかなりの程度	やや普及する	普及しないあまり	普及しないほとんど	全く普及しない	不明	無回答
全産業	305 100.0	150 49.2	108 35.4	15 4.9	2 0.7	1 0.3	29 9.5	— —
基礎資材産業	36 100.0	18 50.0	15 41.7	1 2.8	— —	— —	2 5.6	— —
加工組立産業	62 100.0	32 51.6	21 33.9	3 4.8	— —	— —	6 9.7	— —
生活関連産業	15 100.0	8 53.3	5 33.3	1 6.7	— —	— —	1 6.7	— —
公共サービス関連	33 100.0	17 51.5	9 27.3	2 6.1	1 3.0	1 3.0	3 9.1	— —
商業金融関連	32 100.0	16 50.0	15 46.9	1 3.1	— —	— —	— —	— —
教育公務関連	40 100.0	14 35.0	16 40.0	4 10.0	— —	— —	6 15.0	— —
情報処理産業	85 100.0	44 51.8	26 30.6	3 3.5	1 1.2	— —	11 12.9	— —
その他	2 100.0	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —

3-43(b) 機械翻訳システム5年後の普及度

	回答企業数	普及するかなりの程度	やや普及する	普及しないあまり	普及しないほとんど	全く普及しない	不明	無回答
全産業	305 100.0	42 13.8	96 31.5	43 14.1	16 5.2	5 1.6	103 33.8	— —
基礎資材産業	36 100.0	3 8.3	9 25.0	8 22.2	2 5.6	— —	14 38.9	— —
加工組立産業	62 100.0	11 17.7	20 32.3	11 17.7	3 4.8	— —	17 27.4	— —
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	6 40.0	2 13.3	1 6.7	— —	5 33.3	— —
公共サービス関連	33 100.0	1 3.0	10 30.3	4 12.1	3 9.1	2 6.1	13 39.4	— —
商業金融関連	32 100.0	8 25.0	9 28.1	3 9.4	1 3.1	1 3.1	10 31.3	— —
教育公務関連	40 100.0	4 10.0	17 42.5	4 10.0	3 7.5	1 2.5	11 27.5	— —
情報処理産業	85 100.0	14 16.5	23 27.1	11 12.9	3 3.5	1 1.2	33 38.8	— —
その他	2 100.0	— —	2 100.0	— —	— —	— —	— —	— —

3-43(c) 知能ロボット5年後の普及度

	回答企業数	普及するかなりの程度	やや普及する	普及しないあまり	普及しないほとんど	全く普及しない	不明	無回答
全産業	305 100.0	23 7.5	65 21.3	33 10.8	25 8.2	10 3.3	149 48.9	— —
基礎資材産業	36 100.0	1 2.8	7 19.4	5 13.9	7 19.4	1 2.8	15 41.7	— —
加工組立産業	62 100.0	7 11.3	13 21.0	6 9.7	5 8.1	1 1.6	30 48.4	— —
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	5 33.3	2 13.3	— —	2 13.3	5 33.3	— —
公共サービス関連	33 100.0	2 6.1	9 27.3	5 15.2	2 6.1	1 3.0	14 42.4	— —
商業金融関連	32 100.0	3 9.4	8 25.0	1 3.1	2 6.3	1 3.1	17 53.1	— —
教育公務関連	40 100.0	1 2.5	8 20.0	6 15.0	2 5.0	1 2.5	22 55.0	— —
情報処理産業	85 100.0	7 8.2	14 16.5	8 9.4	7 8.2	3 3.5	46 54.1	— —
その他	2 100.0	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —

3-43(d) 自動プログラミングシステム5年後の普及度

	回答企業数	普及するかなりの程度	やや普及する	普及しないあまり	普及しないほとんど	全く普及しない	不明	無回答
全産業	305 100.0	37 12.1	75 24.6	52 17.0	25 8.2	8 2.6	108 35.4	— —
基礎資材産業	36 100.0	1 2.8	7 19.4	8 22.2	3 8.3	1 2.8	16 44.4	— —
加工組立産業	62 100.0	11 17.7	13 21.0	9 14.5	6 9.7	— —	23 37.1	— —
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	4 26.7	2 13.3	2 13.3	1 6.7	5 33.3	— —
公共サービス関連	33 100.0	2 6.1	9 27.3	6 18.2	3 9.1	2 6.1	11 33.3	— —
商業金融関連	32 100.0	6 18.8	10 31.3	5 15.6	1 3.1	2 6.3	8 25.0	— —
教育公務関連	40 100.0	2 5.0	10 25.0	6 15.0	3 7.5	— —	19 47.5	— —
情報処理産業	85 100.0	14 16.5	21 24.7	16 18.8	6 7.1	2 2.4	26 30.6	— —
その他	2 100.0	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —

3-43(e) 画像理解システム5年後の普及度

	回答企業数	普及するかなりの程度	やや普及する	普及しないあまり	普及しないほとんど	全く普及しない	不明	無回答
全産業	305 100.0	24 7.9	86 28.2	45 14.8	25 8.2	7 2.3	118 38.7	— —
基礎資材産業	36 100.0	— —	14 38.9	4 11.1	2 5.6	1 2.8	15 41.7	— —
加工組立産業	62 100.0	6 9.7	21 33.9	8 12.9	7 11.3	— —	20 32.3	— —
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	5 33.3	— —	2 13.3	2 13.3	5 33.3	— —
公共サービス関連	33 100.0	4 12.1	9 27.3	6 18.2	2 6.1	1 3.0	11 33.3	— —
商業金融関連	32 100.0	3 9.4	7 21.9	6 18.8	3 9.4	1 3.1	12 37.5	— —
教育公務関連	40 100.0	2 5.0	8 20.0	9 22.5	2 5.0	— —	19 47.5	— —
情報処理産業	85 100.0	7 8.2	21 24.7	12 14.1	7 8.2	2 2.4	36 42.4	— —
その他	2 100.0	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —

3-43(f) 音声理解システム5年後の普及度

	回答企業数	普及するかなりの程度	やや普及する	普及しないあまり	普及しないほとんど	全く普及しない	不明	無回答
全産業	305 100.0	24 7.9	77 25.2	42 13.8	28 9.2	8 2.6	126 41.3	— —
基礎資材産業	36 100.0	3 8.3	6 16.7	5 13.9	3 8.3	1 2.8	18 50.0	— —
加工組立産業	62 100.0	4 6.5	18 29.0	9 14.5	5 8.1	— —	26 41.9	— —
生活関連産業	15 100.0	1 6.7	2 13.3	3 20.0	2 13.3	2 13.3	5 33.3	— —
公共サービス関連	33 100.0	2 6.1	7 21.2	5 15.2	5 15.2	2 6.1	12 36.4	— —
商業金融関連	32 100.0	4 12.5	11 34.4	5 15.6	1 3.1	1 3.1	10 31.3	— —
教育公務関連	40 100.0	2 5.0	9 22.5	7 17.5	3 7.5	— —	19 47.5	— —
情報処理産業	85 100.0	8 9.4	23 27.1	8 9.4	8 9.4	2 2.4	36 42.4	— —
その他	2 100.0	— —	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —

3-43(g) 自然言語理解システム5年後の普及度

	回答企業数	普及するかなりの程度	やや普及する	普及しないあまり	普及しないほとんど	全く普及しない	不明	無回答
全産業	305 100.0	15 4.9	71 23.3	50 16.4	31 10.2	16 5.2	122 40.0	— —
基礎資材産業	36 100.0	1 2.8	1 2.8	8 22.2	4 11.1	1 2.8	21 58.3	— —
加工組立産業	62 100.0	3 4.8	15 24.2	12 19.4	6 9.7	— —	26 41.9	— —
生活関連産業	15 100.0	— —	3 20.0	3 20.0	1 6.7	2 13.3	6 40.0	— —
公共サービス関連	33 100.0	1 3.0	7 21.2	4 12.1	6 18.2	4 12.1	11 33.3	— —
商業金融関連	32 100.0	3 9.4	5 15.6	9 28.1	1 3.1	1 3.1	13 40.6	— —
教育公務関連	40 100.0	1 2.5	9 22.5	5 12.5	6 15.0	2 5.0	17 42.5	— —
情報処理産業	85 100.0	6 7.1	31 36.5	9 10.6	5 5.9	6 7.1	28 32.9	— —
その他	2 100.0	— —	— —	— —	2 100.0	— —	— —	— —

資料4　ESPRITの個別プロジェクトの概要

1．音声および画像処理のための上級アルゴリズムおよびアーキテクチャ（P0026）

参加機関：CSELT S.P.A.(イタリア)、AEG AG(西独)，Thomson(フランス)，Politecnico di Torino(イタリア)，Universita di Torino(イタリア)，Universite de Strasbourg-List(フランス)，Hitec(イギリス)

期　　間：1983.9～1988.8

音声および画像信号を認識し理解する高度なアルゴリズムおよびアーキテクチャの開発とそのデモンストレーションが目的。音声分析，画像分析，パターン認識・理解の3つの分野を並行して実施した。音声認識については，1000語の語彙と，分析過程専用のシンタックスを持ち，連続音声の理解を目指す。画像処理については画像を単なる対象データと見ずに，医療応用や工業検査過程等における画像処理システムの構造上および実現上の問題に対処する。音声，画像共により高位の処理においては共通な処理構造が見出されると想定した。現在実時間で発音した音声をイタリア語で表示する機器を開発中であるが，これは今後仏語および独語の表示にも使用する予定。画像処理において，アルゴリズムとそれを指示するアーキテクチャを同時に研究する方法が非常に有効である事が判明。さらに並列処理を充分に考慮したアーキテクチャの開発により，工業レベルで使用可能な機器を1988年末に完成予定。

2．エキスパートシステム構築環境(P0096)

参加機関：Plessey Research Ltd(イギリス)，Cimsa-Sintra(フランス)，Soren T.Lyngsoe A/S(デンマーク)，CSELT S.P.A.(イタリア)

期　　間：1983.7～1988.6

工業応用を含む実務的な現場でのエキスパートシステム開発の諸問題を検討。具体的にはAI経験を持たない現場要員によるエキスパートシステムの開発を目指す。プロジェクト実施中に3つの試験的エキスパートシステムをこの環境を用いて開発する。

3．自然なユーザーインタフェース概念に基づいた論理的手法による知識およびデータベース(ＬＯＫＩプロジェクト)(P0107)

参加機関：BIM S.A.(ベルギー)，Cranfield Inst.of Technology (イギリス)，INCA(西独)，SCS(西独)，Technical University of Munchen(西独)，SCICON Ltd(イギリス)，Fraunhofer IAO(西独)，Gretan Research Center(ギリシャ)

期　　間：1983.8～1988.7

論理プログラム手法をさまざまに駆使してシステムプログラミングや知識ベース応用に適応しようとするもの。

4．知識の統合および管理システム(P0112)

参加機関：Siemens A.G.(西独)，CII-HB(フランス)，Laboratoires de Marcoussis(フランス)，

期　　間：1983.10 ～1988.9

知識表現，推論技術，ヒューマンインタフェース等AIシステム構成上の中心的研究課題の検討が目的。LispおよびPrologで書かれた知識表現および管理用の言語を開発し，コンピュータの組立てを検討する販売担当者向けエキスパートシステムとオフィスにおける複雑な処理過程（例えばリソース計画）を支援するエキスパートシステムを製作する。

5．工業プロセス制御応用向け知識ベースシステムの設計における時間的要素の取り扱いとシステムモデルの構成(P0256)

参加機関:CISE(イタリア), Framentec(フランス)

期　　間：1984.12 ～1985.12

産業界で現実に使われる複雑なプロセス，例えば工業用診断システム，プラント診断システム，プロセス制御システム等において知識ベースシステムを構築する場合の問題点を解明した。特に時間関係が主要な意味を持った推論過程の解明，定性的なモデルを現実の物理システムに適用する方法等に努力を傾注。さらに分散型知識ベースシステム構造の解明もかなり詳細に検討。

6．情報システムユーザ向け知的助言システム(P0280)

参加機関：Computer Resources International(デンマーク), Courseware Europe(オランダ), The University of Amsterdam(オランダ), University of Leeds(イギリス), ICL(イギリス), Dansk Datamatik Center(デンマーク)

期　　間：1984.10 ～1989.9

一般的ユーザが情報システムを使用する場合，その機能を最適に利用するための助言を与えるシステムの達成を研究する。そのような機能を持つ助言（Help）システムは，具体的には，システムが使用法の概略を示す事，次に具体的な使用のステップを示す事，ユーザが希望した場合に説明を与える事の３つを目指す。デモンストレーションとしてUNIX環境向け電子メール・システムの使用法助言システムおよび知的計画システム使用法助言システムを製作する。

7．知識ベースシステムの設計および分析を補助する技術およびツールの設計(P0304)

参加機関：STC Technology Ltd(イギリス),SCS(西独), The University of Amsterdam(オランダ), Polytechnic of the South Bank(イギリス)

期　　間：1983.9～1985.2

知識ベースを設計，製作しその結果を試験するための技術およびツールを開発した。

8．高度なデータおよび知識マネジメントシステム（ＡＤＫＭＳ）(P0311)

参加機関：Nixdorf Computer A.G（西独), BULL S.A（フランス), Technische Universitat Berlin(西独), Universita di Torino(イタリア),Universita di Bologna(イタリア),ING.C.Olivetti & C.,SPA（イタリア), Hildesheim Hochschule(西独)

期　　間：1984.12～1989.11

ADKMSが目的とした知的かつ効率の良い情報管理システムは具体的なデータや事実の記憶および管理能力だけでなく，その領域特有の知識を駆使して不明確な情報をも記憶する能力を有すること。かつ貯蔵された知識のアクセスに対して自然言語処理メカニズムを持つことである。

プロジェクト全体が完了すると，現在非常に必要とされているデータベース管理システムの機能拡大（知的で演繹的なデータベースの実現),自由度の大きい自然言語インタフェースや高度なAI応用に耐え得るだけの非常に大型のデータおよび知識ベースの製作等の問題の解決が近ずく。

9．データと知識ベースの協力による会話型問題解決システムのアーキテクチャ(P0316)

参加機関：Cap Sogeti Innovation(フランス), Centre D'etudes Rech. Toulouse(フランス),Philips P.

R.L.B.(ベルギー), CSELT S. P.A.(イタリア)

期　間：1985.1～1989.12

アドバイス提供エキスパートシステムを開発する。ユーザが助言を求める場合，実際に何を求めているかは誤解されやすい。さまざまな解答が可能である。ここで言う自動助言システムは，ユーザ側の目的の表現を出来るだけしやすくして，それに適した解決法を提示する。それを受け入れるか拒否（無視）するかはユーザに任せる。つまり従来の助言提供システムに比べかなり高度な構造上理念上の配慮がされている。

10. 工業的制御問題における知識表現と推論技術に関する研究(P0387)

参加機関：Krupp Atlas Elektronik GMBH(西独), British Telecomplc (イギリス), Queen Mary College Interactive(イギリス),Framentec (フランス)

期　間：1985.1～1987.12

とくにプロセス制御環境でのデータ流の最適化および故障診断，保守を支援するエキスパートシステムの実現が目的。同種エキスパートシステムの特徴は，組織が高度に複雑，時間関係の推論が不可欠，入出力数が多い，学習および適応能力が要求される等である。

11. 自然言語文およびグラフィックスを用いた知識ベースの開発と試用（ACORDプロジェクト)(P0393)

参加機関：CGE.Lab de Marcoussis(フランス), BULL S. A. (フランス), Triumph Adler A.G.(西独), University of Edinburgh(イギリス), University of Stuttgart (西独),Fraunhofer Institut(西独)

期　間：1985.1～1989.12

仏語，独語，英語の3言語を用い知識ベースから自然言語出力を取出すこと，また，そのような手法を用いる事によりかなり経験の浅いユーザが知識ベースを平易な方法で取扱えることを目指している。知識ベース自体は文章とグラフィックスの両方を扱う。

12. 高度情報処理のための並列マシンアーキテクチャと言語(P0415)

参加機関：Ned. Philips Bedrijven B.V. (オランダ), AEG AG(西独), CSELT S.P.A.(イタリア), Esiee (フランス), Nixdorf Computer A.G.(西独),Technische Universitat Berlin(西独),Techn. Univ.Munchen(西独), Lifia(フランス), General Electric Company(イギリス), CWI-CEN. Wiskunde & Informatica (オランダ), BULL S. A.(フランス)

期　間：1984.11～1989.10

エスプリ計画の中でも中心的な並列マシン開発プロジェクトで，毎年欧州を中心に世界各国から研究者を招聘しての「P415学会」の開催でも知られる。目的指向，関数型，論理の3プログラミング形式を実行できる事が望ましい，という見地に立っている。

P415は数個のサブプロジェクトからなる。サブプロジェクトAは，オブジェクト指向型計算モデルの並列性を研究し，受動的オブジェクトや並列度の高いアーキテクチャを求める。サブプロジェクトBはLispなどの関数型のプログラミング用の並列アーキテクチャを検討。とくに1万個程のモジュールから成る並列型reductionマシンに注目している。サブプロジェクトCは論理プログラミングにおける高度な並列アーキ

テクチャを追求。サブプロジェクトDでは，論理および関数型の高度並列アーキテクチャを混合した場合の問題を研究。サブプロジェクトEでは関数型プログラミングとデータフローマシンの関係を調べる。サブプロジェクトFは関数型，並列，論理型の各分野で3つの新プログラミングスタイルを研究。これらサブプロジェクト群の共通点は，PCM間での通信手段にメッセージ交換方式を採用していること。各PCMは局所メモリを持ち，PCM間の通信はハードウェアが直接実行する。以上のサブプロジェクト群の他に応用研究グループがあり，それぞれの並列形式に適した応用問題を選択検討中である。

13. 画像および動作の理解(P0419)

参加機関：University of Genoa（イタリア),Video Display Systems Srl.(イタリア)，Katholieke Univ. Nijmegen(オランダ)，Captec-Computer Application Technics(アイルランド),Trinity College Dublin(アイルランド)

期　　間：1985.1～1989.12

画像および動作，特に場面（scene)の理解，さらには手書き文字の理解を実現するための計算的基盤の完成が目的。

14. メッセージ交換アーキテクチャーとその記述システム(P0440)

参加機関：Delphi(イタリア),CGE.Lab.de Marcoussis(フランス)，Vrije Universiteit Brussel(ベルギー)

期　　間：1984.11～1989.10

エキスパートシステム開発のための3つのレベルのツール群を開発する。ここで言うレベルとは，メッセージ交換言語，知識表現のための記述言語，推論および推論制御プログラミングである。

15. 対話システムにおける通信の失敗とその検出および修復に関する技術(P0527)

参加機関：Educational Research Centre（アイルランド),ITT Industries Ltd(イギリス),University of Leed(イギリス)，Universita di Pisa(イタリア)，Memory Computer plc(アイルランド),Linguistics Institute of Ireland(アイルランド)

期　　間：1985.2～1989.1

関係データベースのための堅牢で移植性のある自然言語インタフェースの開発を目指す。初期の調査は，例えば典型的なデータベース検索環境を想定し，これにおける実際のアクセスの失敗と回復の様子などを検討。その結果の分析を基にデータベースを介した対話の正式なモデルを開発しようとするもの。具体的には学生の記録データベースへの英語とイタリア語の自然言語フロントエンドを製作する。

16. 高度知識ベース管理システム（EPSILON計画）(P0530)

参加機関：Systems and Management SPA（イタリア),Bense KG(西独),Universitat Dortmund(西独),Universita di Pisa（イタリア)，Universite C.Bernard de Lyon(フランス)，Criss（フランス)

期　　間：1984.11～1989.10

知識ベース管理システム（KBMS）開発環境を開発。プロジェクトが設定した3つの技術的目標は，データベース技術と論理プログラミングの統合，データベースの言語学的拡張と分析および検証のためのツール群の開発，

データベース知識を持たないユーザのためのインタフェースなどである。

17. 移動場面の2.5次元スケッチの実時間発生および表示(P0532)

参加機関：University of Strathclyde (イギリス), Barr & Stroud Ltd (イギリス),Zeltron SPA(イタリア),Ing.C. Olivetti & C.,SPA (イタリア)

期　　間：1985.2～1988.1

2.5次元(2.5D)スケッチを直接出力する視覚システムのプロトタイプを開発。画像の輝度が視野の深さに関係するこのスケッチは，同時に発生する照明輝度の表現と画素レベルで1対1に対応する。深度を連続的に統計処理することによって解像度の明確な向上を目指す。

18. 電子筋収縮図記録器のための知識ベース・アシスタント(P0599)

参加機関：CRI-Computer Resources International (デンマーク), Judex Datasystemer APS (デンマーク), Nordjydsk Udviklings Center(デンマーク), National Hospital for Nervous Diseases(イギリス), Logica UK Ltd(イギリス)

期　　間：1984.12～1989.1

神経性疾患を持つ患者の電子筋収縮図(EMG)を検査する医師を支援する知識ベースシステムを開発する。

19. 実時間プロセス制御応用を目的とした知識ベースシステムアーキテクチャおよびツールキットの設計と実験

(P1220, 旧P0820)

参加機関：CISE(イタリア), Aerospatiale (フランス), Framentec(フランス), Heriot-Watt University (イギリス), Nea-Lindberg A/S (デンマーク), Cap Sogeti Innovation(フランス), Ansaldo Impianti(イタリア)

期　　間：1986.3～1990.2

プロセスの制御および監視等，一連のプロセス関係の応用に向けた知識ベースシステム構築用ツールキットを設計し開発。同ツールキットは，汎用システムアーキテクチャ，一群の特殊目的システム構築モジュール群，知識ベースの構築および試験のための補助ツール群，既存ソフトウェアパッケージやセンサー等とのインタフェースを図るモジュール群，知識ベースシステム分析および設計手法の記述，から成る。

20. 動的システムのためのグラフィックスおよび知識ベース対話システム(P0857)

参加機関：Computer Resources International(デンマーク),Brown, Boverri & CIE.(西独), Universitat Kassel(イタリア), University of Strathclyde(イギリス), Katoliek Universiteit Leuven(ベルギー)

期　　間：1985.10～1990.9

ダイナミックで大規模な工業用制御システム用の使い易いユーザインタフェースの開発を目指す。このために知的グラフィックスシステムと知識ベース型対話システム技術を適用し，相互に協力する3つの知識処理エキスパートシステムを製作する。これらが，システムの監視および制御，システム診断や故障からの回復過程における知的なサポートを行い，さらに知的なグラフィックスインタフェースによってシステムの運転を容易にする。

またプロジェクトは，いわゆるハードテクノロジと呼ばれる重工業的な環境における知識ベースシステム開発に伴う種々の考慮や方

法論をまとめることも目的とする。知識ベース開発にあたっては，実際のユーザシステムを観察し，ここに見られる問題を解決するツールの設計あるいは対話形式の組み立てなどを行う。開発したツールは，さらにそれを使って同種システムを組み立てることによりテストを繰り返す。最終的にはどれが重要なパラメータであるかを見いだすと同時に，重工業応用におけるシステムの評価方法を確立する。

21. 工業計画応用における非単調推論技術の研究(P0865)

参加機関：Battelle Institut(西独)，Aeritalia(イタリア)，Italcad(イタリア)，Elsag SPA (イタリア)

期　　間：1986.5～1990.4

新たな計画技法を開発し，これを知識ベース型の計画システム開発のための計画テクニック群にまとめる，それら計画技法をもとに柔軟なパッケージツールの基本形をつくる。ここで開発する技術は，設計および製造関係への応用を目指したデモンストレーション・システム開発の過程でさらに改良する予定。このパッケージツールは既存のエンジニアリング用ツール群，例えばCADによるソリッドモデリング，技術データベース群，数値計算パッケージとも接続可能なように開発する。

22. 深度および動作の分析(ＤＭＡ)(P0940)

参加機関：Elsag SPA(イタリア)，University of Cambridge(イギリス)，ITMI(フランス)，Matra E.P.T.(フランス)，University of Genoa(イタリア)，Noesis(フランス)，Lifia(フランス)，Inst. Rech. Inform. & Autom (INRIA)(フランス)，General Electric Company(英国)

期　　間：1985.6～1990.5

ステレオ視野の処理から得た静的な情報と光学的な流れ(optical flow)より得た動作の情報を融合処理して，工業ロボット，あるいは移動ロボットの統法(Navigation)等に適用可能な視覚システムを開発する。開発した実時間ハードウェア視覚モジュールを２つのデモンストレーションシステムに組み込んで実験する。ひとつは自走ロボットで，さまざまな環境下を障害物を避けて走行しながら通過する環境の視覚情報を基に地図を開発するもの。もう１つは工業用ロボットの腕を制御し，物体の取り扱い，検査，工具の組み立て等を実行させる。

23. 知識と情報の記録のための高密度大容量記憶装置の開発(ＡＴＯＭＯＳプロジェクト)(P0957)

参加機関：BULL S.A.(フランス)，Basf Aktiengesellschaft(西独)，Leti(フランス)，Thomson(フランス)，Simulog(フランス)，Glaverbel S.A.(ベルギー)，Bogen Electronic GMBH(西独)

期　　間：1986.2～1989.1

磁気光学的両手法を駆使して，従来の方法に比べ記憶量が飛躍的に大きいディスク記憶装置を開発する。アクセス速度の大きな改良，さらに記憶装置全体の信頼性向上や記憶容量単価の低下も目指す。

24. 並列型連想マシンによるＡＩシステム開発環境(P0967)

参加機関：Cimsa-Sintra(フランス)，CSELT S. P. A. (イタリア)，Thomson(フランス)，Non Standard Logics(フランス)，Klebergec(イギリス)

期　　間：1986.2～1990.1

実時間音声認識や画像処理等に見られるよ

うに処理速度が問題になるAI応用は多い。PADMAVATIとも呼ばれるこのプロジェクトの目的は高速AIコンピュータの開発。他の並列AI機同様，格子上に多数個の処理ノードを（節）持ち，個々のノードがそれぞれマルチプロセッサ，固有メモリ，通信インタフェースを持つという構造を考えている。

25. 高度な論理プログラミング環境（ＡＬＰＥＳ計画）(P0973)

参加機関：CRIL(フランス)，BULL S.A.(フランス)，Universite de Paris SUD/LRI(フランス)，Techn. Univ. Munchen(西独)，Universidade Nova de Lisboa(ポルトガル)，Enidata SPA(イタリア)

期　間：1986.6～1990.5

論理プログラミングのための完全なプログラム開発環境の必要条件を分析し定義する。システムに一階論理で記述した仕様からプログラムを生成する能力を持たせる。定義の正当性が検証可能なインタプリタを開発すると同時に，ユーザによって異なるプログラム間の違いを比較しそれらの最良部分を統合できる能力を持ち，プログラム生成技術によってプログラムの正確性を証明するもの。さらに同環境には理論証明，メタ推論，分散論理プログラミング，抽象データ型指定等の能力を与える。これと並行して従来技術による開発環境ツール群，例えばデバッカ，ブラウザ，エディタおよびグラフィックシステムとのインタフェースに対して新しい設計から得られた結果も並列的に応用。最後にこれらの成果をモジュール化しプログラム開発モジュール群として準備する。

26. 次世代データベース管理システム（ＭＵＳＴプロジェクト）(P1005)

参加機関：Syseca Lgiciel（フランス），Absy(ベルギー)，Universitat Kaiserslautern(西独)

期　間：1986.6～1988.2

次世代のデータベース管理システムとして以下のような特徴を検討。第1は新データ型（文書，イメージ，音，時間）の取り扱い。第2は推論技術を用いて，データの確度を保証すること，記録されているデータからの新データ演繹，さらにユーザーに対する検索操作の援助を実現。第3は，SQLインタフェースを介しての既存データベース管理システム（DBMS）群との適合性を図る。

27. ＡＩ，音声入出力と自然言語対話の統合－辞書検索サービスへの応用（ＰＡＬＡＢＲＥプロジェクト）(P1226　HP1015)

参加機関：SESA(フランス)，British Telecomplc(イギリス)，SESA(フランス)，Politecnico di Torino（イタリア)，Sarin S.A.(イタリア)，ERLI(フランス)，CENT(フランス)

期　間：1986.3～1990.2

自然言語を使った，大型知識ベースへの知識の獲得および照会を実現する。入出力は文字情報と音声の両方を使う。システムの汎用化を目指し数ヵ国語（現在まず仏，英，伊を検討）で使用可能にする。知識ベースへの照会は推論ルールを用い，意味，知識表現に基づいた知的検索プロセスが実行する。

28. 記号および数値的学習手法の統合 (P1063)

参加機関：GEC Marconi Research Labs.(イギリス)，Cognitech（フランス)，Universite de Paris Sud(フランス)

期　間：1985.1～1987.12

知識ベースシステムの知識獲得過程を機械学習によって改善する。この過程で「雑音」

を含んだデータからのルール抽出の質を高めるために，異なる知識獲得手法の中から最も適した手法を選択する。

29. 知識ベースシステムの船舶における応用（概念設計）（P1226）

参加機関：Danish Maritime Institute(デンマーク),East Asiatic Companys Data C.(デンマーク), National Technical University Athens(ギリシャ), Soren T.Lyngsoe A/S(デンマーク), Soft International B.V.(オランダ), Lloyd's Register(イギリス),Krupp Atlas Elektronik GMBH(西独)

期　間：1986.3～1989.2

複数個の協調型エキスパートシステム群を商船上に設置する。船員に運航の安全，経済性，保守等に関するアドバイスを与えるこのシステムは，やがては船上の自動制御機器内に埋め込む事も考えられる。システムの現実性を船舶の運航で得られる実際データを用いて試験し，その結果をもとに船上で使用するエキスパートシステムの種別および性能基準も決定する。

30. 低価格高性能マルチプロセッサマシンの開発（ＳＵＰＥＲＮＯＤＥ計画）（P1085）

参加機関：Royal Signals & Radar Establishment(イギリス),Apsis(フランス), Universite de Grenoble(フランス), Southampton University (イギリス),Telmat S/A(フランス), Inmos(イギリス)

期　間：1985.12～1988.11

広範囲の科学・工学的応用に向いた自由度の高いアーキテクチャを持つ高性能マルチプロセッサマシンのプロトタイプを開発する。SUPERNODEと呼ばれるノード（節）の集合よりなり，各ノードは18個の並列処理用チップを含む。ノードごとのトランスピュータの結線およびノード間の接続は変更可能とする。

31. 知識ベースシステム開発手法の研究（ＫＡＤＳ）（P1098）

参加機関：STC Technology Ltd.(イギリス), Scicon Ltd (イギリス), TNO-University of Amsterdam(オランダ), Polytechnic of South Bank (イギリス), SCS(西独)

期　間：1985.9～1990.8

知識ベースシステム開発過程にシステマチックな手法を持ち込み，知識ベースシステム技術の利用を促進する。知識ベースシステム開発はソフトウェア工学の特殊例であるとする観点から，知識ベースシステムの開発には，ソフトウェア工学で要求される諸点を課すべきであると考える。本プロジェクトの別名KADSはKnowledge Acquisition Design Dupport手法の略で次のようなツール群から成り立つ。つまりプロトル分析用のハイパーテキスト，領域内の概念のエディタ，解釈モデルライブラリシステム，認知モデルエディタである。

32. 技術応用領域における知識ベースシステムによるＰｒｏｌｏｇ言語の発展および検証（P1106）

参加機関：Prolog IA(フランス),Robert Bosch GMBH(西独), GIA (フランス), GIT.GES. fur Ingenieurtechniken(西独), Daimler-Benz AG(西独)

期　間：1986.1～1990.2

PrologⅢと呼ばれる新しいProlog言語を開発する。新言語はいくつかの特徴を持たせる予定であるが，例えば不均等性（inequa-

lities) や形式の整った任意の命題関数等を実行の制約に取り込む事を考慮。このPrologIIIを用いて技術的応用領域における知識ベースシステムを製作しその有効性を証明する。

33. 情報ベース使用のためのユーザフレンドリィな知識ベースシステム（KIWI）
(P1117)

参加機関：Crai（イタリア），Universitaire Inst.Antwerpen(ベルギー)，Enidata SPA(イタリア)，Universita di Roma(イタリア)，Ned.Philips Bedrijven B.V.(オランダ)，Dansk Datamatik Center（デンマーク)，Inst.Rech.Inform.&Autom.(フランス)

期　間：1986.2～1989.1

外部情報源をアクセスする際にユーザフレンドリーな知識ベースシステムを開発する。特徴として，a.オブジェクト指向の言語の開発と使用による知識表現法，b.高度なデータベース環境(Advanced Database Environment, ADE)，これは論理プログラミングとデータベース技術の結合，c.簡単な概念に関して知識表現とADEの両者の融合，d.エンドユーザとシステム間のインタフェースにグラフィックスを導入し知的化をはかる。

34. データベースと知識ベースを統合する高度なモデルに関する研究（ISIDE）
(P1218　旧P1133)

参加機関：Sagen(フランス)，Agusta SPA(イタリア)，CRIL(フランス)，Simulog(フランス),Inst.Rech.Inform.&Autom.(フランス)，ARS SPA（イタリア）

期　間：1986.5～1989.4

データベースと知識ベース管理システムを高度なモデルで結び付ける事を目指す。そのために以下のタスクを設定。これらは，知識表現形式の指定，論理的推論方式の指定，特殊VLSIハードウェア（データベースマシン）を用いた効率良い記憶およびアクセス層のアーキテクチャの定義である。

35. 知的文書作成デモンストレーションシステム（INDOC）(P1542)

参加機関：ARG S.P.A.(イタリア)，Inesc（ポルトガル)，Epsilon-Mnemonica(ギリシャ)

期　間：1987.4～1988.9

複雑な文書をいかにAI技術で扱うかという問題の具体的な解答を探求する。例えば契約書，ライセンスあるいは保険関係等の複雑な書類は多種の情報の融合（例えばデータとイメージ）を要し，通常のツールやワープロのような文書処理手法で処理される。INDOCはAI技術を導入して文書の概念記述および組織手続きを保守することを目指す。

36. 金融管理における知識ベースシステムの定性的および定量的使用に関する研究
(P1558)

参加機関：Citymax Integrated Information Systems Ltd.(イギリス)，Dataid(フランス),Riada & Co.(アイルランド)，University College London(イギリス)

期　間：1987.3～1990.5

金融目録(financial portfolio)の管理のための知識ベースシステムを開発。プロジェクトの期待される成果は知識ベースシステムによる投資目録管理に必要な主要作業の支援方法の確立，知識ベース製作手続きのマニュアル化，かつ必要コストおよび期待される成果の判断材料を与えることである。

37. 信号と知識の融合による多元知覚システムの制御（SKIDS）(P1560)

参加機関：Matra E.P.T.（フランス），British Aerospace(イギリス)，LAAS(フランス)，Univ. Politecnica de Catalunya(スペイン)，Univrsity of Oxford(イギリス)，Mediprint(デンマーク)，Maps Informatica Industrial(スペイン)，Krupp Atlas Elektronik GMBH(西独)

期　間：1987.6～1989.5

ハードウェア，ソフトウェアの両面で知覚情報と知識を統合する基本的かつ汎用性のあるアプローチを見出だすことが目的。プロジェクト期間中は次の2つの具体的応用を考慮。1つは原子炉等における公共の安全を目的とした移動ロボットへの応用。もう1つは空港，原子炉，海上油田等における監視システム。

38. 工業化学分析のためのエキスパートシステムの応用(P1570)

参加機関：Unicam(イギリス)，Organon Internatinal BV(オランダ)，Katholieke Univ. Nijmegen(オランダ)，Universite Libre de Bruxelles（ベルギー）

期　間：1987.3～1989.8

クロマトグラフィーによる分析処理のためのエキスパートシステムの開発。

39. 数値および記号処理を統合処理する並列コンピュータシステムの研究(P1588)

参加機関：Thorn EMI(イギリス)，Cimsa-Sintra(フランス)，Inesc(ポルトガル)，PCS GMBH（西独），University College London(イギリス)，CTI(ギリシャ)

期　間：（不明）

記号処理および数値処理に適した並列アーキテクチャとプログラミング言語の調査が目的。プロジェクトは次の層に分けて実施する。応用ソフトウェアパッケージ層，高級言語および関連ツール層，仮想マシン核システム層，並列アーキテクチャ層である。

40. 癌治療のためのアドバイザシステム (P1592)

参加機関：University of Leed(イギリス)，Citsa(スペイン)，Sanofi(フランス)，Medimatica Ltd(イギリス)

期　間：1987.1～1990.3

肺癌患者への化学療法を支援するための知識ベースシステムを開発し導入する。またその効果と影響を評価する。

41. 工業およびオフィス環境における訓練用知的チュータリングシステムシェルの評価（IT S プロジェクト） (P1613)

参加機関：ITT Industries Ltd（イギリス），Datamat SPA(イタリア)，Institute of Education Technology(イギリス)

期　間：1987.3～1989.2

知的チュータリングシステム(Intelligent Tutoring System：ITS) シェルをその商品としての価値，学術的価値，あるいは産業界で現場的思考から得られたデータ等を基に評価する。訓練実験をOA手続き，学術的技能，保守作業の3つの分野について行う。

ICOT-JIPDEC AIセンター概要

はじめに　財団法人日本情報処理開発協会（影山衛司会長、通称JIPDEC）および財団法人新世代コンピュータ技術開発機構（三田勝茂理事長、通称ICOT）は、昭和61年度から、コンピュータユーザ、関連業界等の参加をまって、「ICOT-JIPDEC AIセンター」を共同で組織し、人工知能（AI）関連技術の普及促進等の活動を行っています。

目　的　AIセンターは、人工知能技術に関して、研究開発の促進、調査研究並びに普及の促進等を行うことにより、情報関連技術の進歩および情報関連産業の振興を図り、高度情報化社会の発展に寄与することを目的としています。

事　業
1．人工知能ツール共同利用センター「AIオープンハウス」の運営
　①人工知能開発用ツールの利用研究
2．人工知能のアプリケーションに関する調査研究
　①人工知能利用動向調査
　②人工知能技術動向調査
3．人工知能技術普及促進のための事業
　①人工知能関連情報の収集・整備
　②逐次型推論マシン等のAI開発用ツールの教材作成・普及
　③逐次型推論マシン等の操作セミナーの開催
　④AIツール説明会の開催
　⑤解説シリーズ・人工知能講演会の開催
4．会員登録等
　①登録会員の相互交流の促進に必要な登録会員名簿の作成
　②登録会員の主催するAI技術の普及・啓蒙事業に対する支援・協賛

連絡先　＊入会その他のお問い合わせはAIセンターJIPDEC分室へ

AIセンターJIPDEC分室
財団法人日本情報処理開発協会
AI振興センター
105 東京都港区芝公園3丁目5番8号
機械振興会館地下1階
電　話　03-432-9390
ＦＡＸ　03-431-4324

AIセンターICOT分室
財団法人新世代コンピュータ技術開発機構
調査国際部
108 東京都港区三田1丁目4番28号
三田国際ビル21階
電　話　03-456-3195
ＦＡＸ　03-456-1618

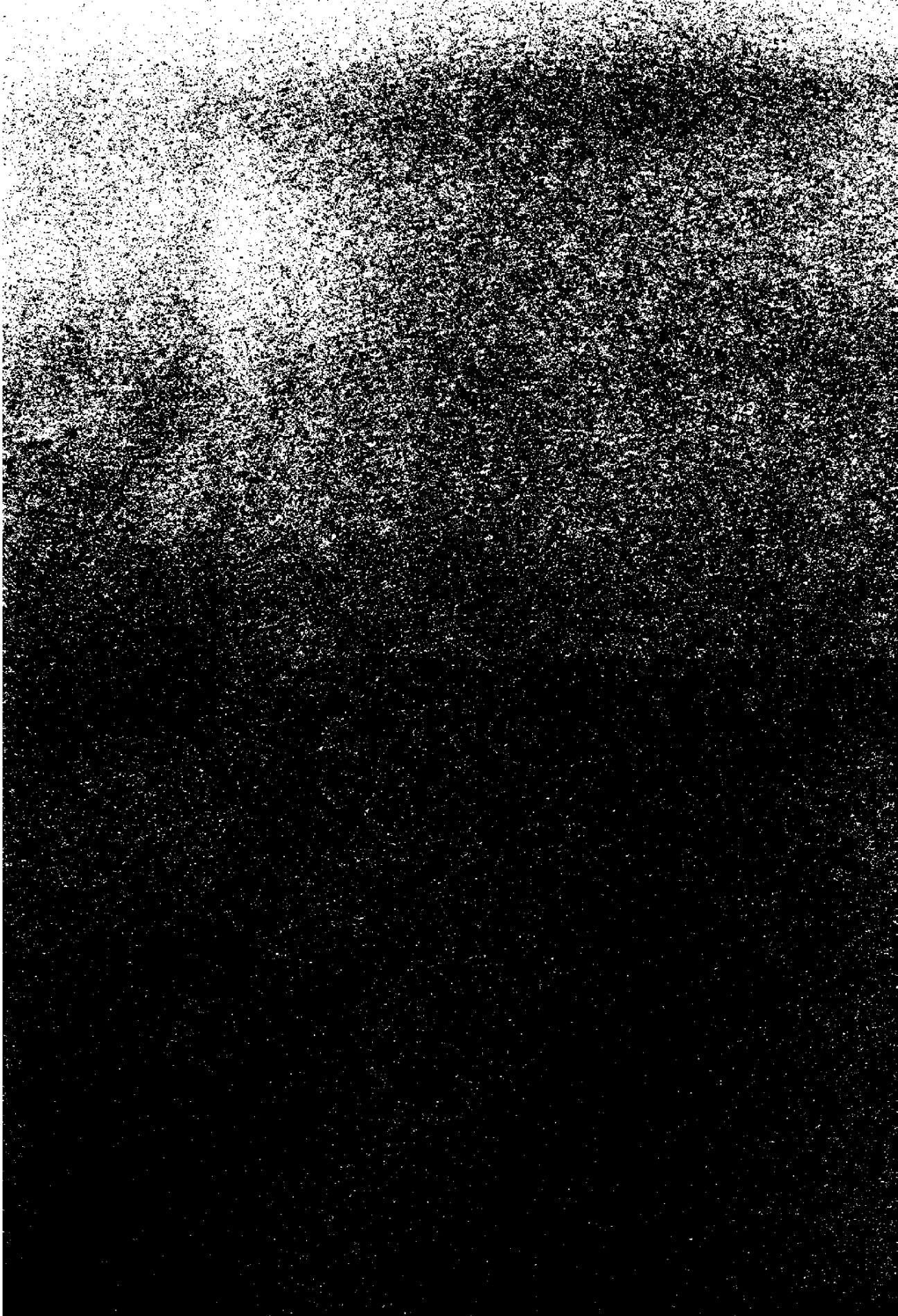
人工知能の技術と利用—AI白書—

発行日　平成元年12月20日　定価8,000円

発　行　財団法人日本情報処理開発協会

〒105
東京都港区芝公園３丁目５番８号
機械振興会館内
電話　03(432)9390

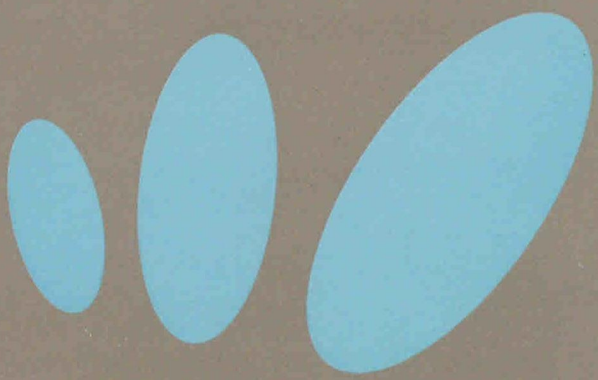
（禁無断転載）



AI

人工知能の技術と利用

……AI白書



ICOT-JIPDEC AIセンター 編　　財団法人 日本情報処理開発協会 発行