

AI白書

通商産業省機械情報産業局電子政策課..... ◆ 監修

◆ ICOT-JIPDEC AIセンター..... ◆ 編

財団法人日本情報処理開発協会..... ◆ 発行

人工知能の技術と利用

1991



AI白書

通商産業省機械情報産業局電子政策課.....❖ 監修

❖ ICOT-JIPDEC AIセンター.....❖ 編

財団法人日本情報処理開発協会.....❖ 発行

人工知能の技術と利用



1991

序

近年、新しい情報技術の1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。

特に最近では、ファジィ推論やニューラルネットワーク技術など新しい理論・技術が登場して研究・応用も進んでおり、エキスパートシステムや各種AIシステムとの融合も始まるなど、AI研究はますますその範囲を拡大させております。

さらに、米国において誕生したAI産業の影響を受けて、わが国でもAI関連のビジネスを行なう企業もその活動を活発化させており、自社向けに開発したAIシステムを外販する動きも始まるなど、AIの応用・ビジネス面でも堅実な発展を見せております。

これら近年におけるAIの発展の端緒となりましたのは、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」であり、その後このプロジェクトの刺激を受けて、欧米諸国ではそれぞれAI関連のプロジェクトを発足させております。

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。同センターは、AI技術の普及振興事業を行なうことを目的とし、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）」が取りまとめた10年後（1985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、「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）」を設置して毎年継続調査を実施しております。1989年12月には、同調査の成果を編集し「人工知能の技術と利用」として発刊し、広くご利用いただいております。

今回発行いたします「AI白書1991－人工知能の技術と利用－」は、前回の継続調査として、ユーザーのAI導入利用状況、AI技術動向を包括的に捉えられるAI技術マップ、進展著しい知的CAD（Computer Asisted Design）、さらにAI関連施策や標準化、海外動向などを取り上げており、AIに関心をお持ちの研究者・管理者・調査企画担当者など広い読者の方々にご利用いただける白書であると考えております。

最後に、本書を取りまとめるにあ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、原稿執筆などご協力者各位に、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

(敬称略、順不同)

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
〃	高橋 三雄	筑波大学大学院経営システム科学専攻教授
〃	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先端アプリケーションシステム担当部長
〃	美濃 順亮	花王(株)文理科学研究所所長
〃	山本 欣子	(財)日本情報処理開発協会常務理事
オブザーバ	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 浩規	前通商産業省機械情報産業局電子政策課技術係長
〃	宇治 浩明	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

(敬称略、順不同)

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
〃	木村 文彦	東京大学先端科学技術研究センター教授
〃	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	(株)富士通研究所国際情報社会科学研究所第2研究部第2研究室長
〃	寺野 隆雄	筑波大学大学院経営システム科学専攻講師
〃	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 利用専門委員会

(敬称略、順不同)

委員長	高橋 三雄	筑波大学大学院経営システム科学専攻教授
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先端アプリケーションシステム担当部長
〃	藤田 昌弘	(財)関西情報センターシステム部長
〃	美濃 順亮	花王(株)文理科学研究所所長
〃	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
〃	江原 淳	専修大学商学部助教授
〃	木戸 義博	前(財)金融情報システムセンター調査企画部次長
〃	風田川 禎男	(株)西武情報センター取締役企画室長
〃	郷 明弘	日本航空(株)情報システム本部企画部教育グループ調査役
オブザーバ	日高 俊明	コンピュータジャーナリスト

AI 利用アンケート・ワーキンググループ

(敬称略、順不同)

主 査	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先端アプリケーションシステム担当部長
委 員	江原 淳	専修大学商学部助教授
ク	日高 俊明	コンピュータジャーナリスト

執筆協力

(敬称略、順不同)

上野 晴樹	東京電機大学理工学部経営工学科教授
中村 克彦	東京電機大学理工学部経営工学科教授
小山 照夫	学術情報センター 研究開発部助教授
井田 昌之	青山学院大学情報科学研究センター助教授
鈴木 宏正	東京大学教養学部情報・図形科学教室助教授
山口 泰	東京電機大学工学部機械工学科講師
田中 秀雄	東京電力(株)技術開発本部システム研究所AI研究室
茂垣 真人	(株)日立製作所 中央研究所第10部研究員
田中 克己	日揮(株)システムエンジニアリング本部 システムインテグレーション事業部 応用システム部AI技術チームマネージャ
加瀬 信次	日揮(株)システムエンジニアリング本部 システムインテグレーション事業部 情報システム部ニューメディア技術チームマネージャ
谷端 岬	第一勧業銀行事務本部事務企画部調査役
三沢 和男	大正海上火災保険(株)情報システム開発部課長代理

事務局

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

第Ⅰ編 総論

第1部 人工知能（AI）のトレンド

第1章 はじめに	2
第2章 AIに何が要求されているか？	2
第3章 AIシステムは汎用システムであり得るか？	3
第4章 科学的問題解決法と問題の細分化技法	7
4.1 科学的方法論の機械的実現	7
4.2 大規模問題の細分化	9
第5章 AIの諸問題	9

第2部 AIの現状と展望

第1章 AI利用の現状と展望	11
1.1 AI神話から実践へ	11
1.2 専用機から汎用機へ	12
1.3 エキスパートシステムの開発事例は診断から設計・計画が主流	12
1.4 汎用ツールから専用ツール、自社ツールの開発へ	12
1.5 数値処理と記号処理の融合が要	13
第2章 AI技術の現状と展望	14
2.1 はじめに	14
2.2 人工知能の新しいパラダイム	14
2.3 AIシステム化技術	15
2.4 知的CAD	16
2.5 今後の展望	17

第Ⅱ編 わが国AI利用の動向

第1部 AIシステムの利用状況

第1章 AI利用の現状	21
1.1 AI導入の状況	21
1.2 就業者規模別AI導入状況	21
1.3 産業別AI利用状況	21
1.4 AIシステムの利用状況	22
1.5 AI利用企業経営層の意識	23
第2章 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 開発目的と期待効果	27
2.1.3 システムの開発・利用段階	27
2.1.4 システムの規模	28

2.1.5	使用ツール	30
2.1.6	使用マシン	31
2.1.7	実用システムの評価	32
2.1.8	知識獲得の方法	32
2.1.9	外部機関の利用	33
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	35
2.1.12	その他の自由コメント	35
2.2	機械翻訳システム	37
2.2.1	利用概況	37
2.2.2	利用分野	38
2.2.3	問題点と今後の見通し	38
2.3	知能ロボット	38
2.3.1	利用概況	38
2.3.2	利用分野	39
2.3.3	問題点と今後の見通し	39
2.4	画像理解システム	39
2.4.1	利用概況	39
2.4.2	利用分野	39
2.4.3	利用マシンおよび利用状況	40
2.4.4	問題点および今後の見通し	40
2.5	音声理解システム	40
2.5.1	利用概況	40
2.5.2	利用分野	40
2.5.3	利用マシン	41
2.5.4	問題点と今後の見通し	41
2.6	自然言語理解システム	41
2.6.1	利用概況	41
2.6.2	利用分野	41
2.6.3	利用マシンおよび利用状況	41
2.6.4	問題点と今後の見通し	42
第3章	将来のAIシステム普及の予測	42
3.1	エキスパートシステム	43
3.2	機械翻訳システム	43
3.3	知能ロボット	44
3.4	自動プログラミングシステム	44
3.5	画像理解システム	44

3.6	音声理解システム	45
3.7	自然言語理解システム	45
3.8	ファジイシステム	45
3.9	ニューロシステム	45
第4章	未導入事業所の導入意向	45
4.1	今後のAIシステム導入意向	45
4.2	導入しない理由	46
第2部	AIシステムの市場規模予測	
第1章	AIシステムの市場規模推定	48
1.1	現状のAI市場規模推定	48
1.2	AIシステムの市場規模予測	48
1.3	開発要員の伸び	50
1.4	今後のAIの広がり	52
第3部	産業界のAI利用	
第1章	概観	53
第2章	プラントエンジニアリング業界におけるAI利用	53
2.1	プラントエンジニアリング業界の特徴	53
2.2	適用分野	54
2.3	将来の展望と課題	55
2.4	AIシステム事例	56
2.4.1	プロセスプラントにおけるオンラインリアルタイムエキスパートシステム	56
2.4.2	手書き図面自動入力システム (ARES)	59
第3章	金融業界におけるAI利用	63
3.1	金融業界の特徴	63
3.2	適用分野	63
3.3	将来の展望と課題	65
3.4	AIシステム事例	66
3.4.1	AIによる個人向け総合相談サービス	66
3.4.2	工場防災診断エキスパートシステム	71
第4章	電力業界におけるAI利用	74
4.1	電力業務の特色とAIの必要性	74
4.1.1	電力業務の特色	74
4.1.2	電力におけるAIの必要性	74
4.2	適用分野	75
4.3	AIシステム事例	76
4.3.1	変電所レイアウト設計支援システム	76
4.3.2	最大需要予測支援システム	76

4.3.3 火力発電プラント起動時運転支援システム	77
4.3.4 送電線故障区間標定エキスパートシステム	77
4.3.5 基幹系統事故復旧支援システム	78
4.3.6 機器保守教育支援システム	78
4.3.7 お客様相談システム	79
4.4 将来の展望と課題	79
第5章 宇宙開発におけるAI利用	81
5.1 はじめに	81
5.2 宇宙ステーション計画におけるAI利用	81
5.2.1 AIに対する要求	81
5.2.2 AI適用検討ステータス	82
5.2.3 今後の技術的課題	82
5.3 宇宙開発におけるAIの要素技術	83

第III編 AI技術の動向

第1部 AI技術全体の動き

第1章 AI技術の全体象	88
1.1 知能	88
1.2 基礎科学	90
1.3 AI基礎分野	90
1.4 AI工学分野	91
1.5 対象分野	91
1.6 AI応用	92
第2章 学習	92
2.1 学習研究のパラダイム	92
2.2 シンボリズムとコネクショニズム	93
2.3 演繹・帰納・発想	94
2.4 将来動向	95
第3章 協調型活動支援機能 (CSCW)	100
3.1 はじめに	100
3.2 CSCW/グループウェア	101
3.3 CSCW技術の概要	103
3.3.1 システム・モデル	103
3.3.2 実現化技術	103
3.4 グループウェアの現状	105
3.4.1 概況	105
3.4.2 具体例	105

3.5 補足	106
第4章 AIシステム化技術	108
4.1 はじめに	108
4.2 AIシステム化技術の全体像	109
4.3 AIツールの発展	110
4.4 開発方法論の発展	113
4.5 システム統合化・高機能化の動向	115
4.6 おわりに	116
第2部 ハイライト技術—知的CAD—	
第1章 設計活動の理論化と自動化への道	120
1.1 設計活動の特徴	121
1.2 実用的CADの開発	121
1.3 設計活動の理論化	122
1.4 CAD実装手段としてのAI	123
1.5 知的CADの要素技術	124
第2章 設計システムとAI技術	125
2.1 設計活動の形態	125
2.2 問題解決（探索・推論）	127
2.3 知識表現I-設計知識	128
2.4 知識表現II-設計対象データベース	129
2.5 知識獲得	130
2.6 システム開発	131
2.7 ユーザ・インタフェース	131
第3章 設計エキスパートシステムの事例分析	132
3.1 定型設計エキスパート	133
3.2 設計計算の自動化	134
3.3 設計対象モデル	135
3.4 幾何推論	137
3.5 定性推論	139
第4章 アナログLSI自動レイアウトシステムLADIES	141
4.1 概要	141
4.2 システム構成	143
4.3 レイアウト制約	143
4.4 レイアウト制約導出	143
4.5 制約考慮配置方式	144
4.6 配線	146
4.7 改善処理方式	146

4.8 評価結果	148
第5章 設計対象物の表現と処理	150
5.1 モデリングに対する要求	150
5.2 問題点とその解決の方策	151
5.3 形状モデリングの問題点	152
5.4 幾何推論と形状モデリング	154
5.5 形状特徴	156
5.6 設計生産問題への適用例	158
第6章 今後の発展の方向	160

第Ⅳ編 環境・基盤整備状況

第1部 標準化

第1章 AI言語	164
1.1 Common Lispの動向とLispの標準化	164
1.2 Prologの標準化	172
第2章 AI用語の標準化に向けて	177
2.1 はじめに	177
2.2 委員会の性格	178
2.3 背景	178
2.4 調査概要	179
2.5 アンケート結果の概要と考察	180
2.6 AI用語に関するアンケートの結果	182
2.7 おわりに	184

第2部 人材育成（カリキュラム試案）

第1章 知識技術者(KE)の育成指針	186
第2章 KEの役割	186
2.1 ESの構築作業	186
2.2 KEの業務と資格	188
第3章 KEの専門知識	189

第3部 通商産業省のAI関連施策の概要

第1章 AI関連施策の推進	197
第2章 第五世代コンピュータ・プロジェクト	197
2.1 第五世代コンピュータ	197
2.2 プロジェクトの概要	198
2.3 プロトタイプ・システムの概要	198
2.4 国際研究交流	199
第3章 電子化辞書プロジェクト	200

3.1	電子化辞書	200
3.2	プロジェクトの概要と現状	200
第4章	高機能AIシステム記述用言語プロジェクト	202
4.1	高機能AIシステム記述用言語Common ESP	202
4.2	プロジェクト概要	202
4.3	試験研究の現状	204
第5章	ファジィ理論の工学的応用プロジェクト	204
第6章	新情報処理技術に関する総合的な調査研究	205
第7章	AIの普及啓蒙活動	205
7.1	ICOT-JIPDEC AIセンター	205
7.2	AIセンター事業の概要	205

第V編 海外の動向

第1部 米国

第1章	概要	208
第2章	AI関連プロジェクト	209
2.1	NSF	209
2.2	MCC	211
2.3	NASA	215
2.4	DARPA	223

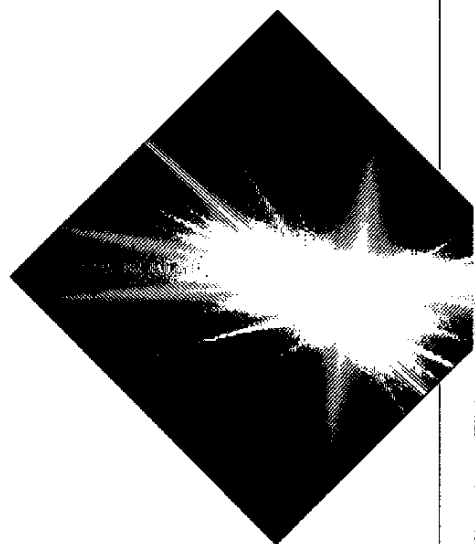
第2部 欧州

第1章	概要	228
第2章	イギリス	228
第3章	フランス	229
第4章	西ドイツ	230
第5章	欧州共同体(EC)	232

資料編

1.	1989年のAI関連活動	236
2.	わが国の主要AI関連機関	240
3.	AI利用動向調査集計表	249

第 I 編 総 論



第1部 人工知能(AI)のトレンド

第1章 はじめに

人間の文化は表面的には多彩な彩りを持つが、その本質は情報現象であり、情報が非後退的であること、すなわち新しい発見は以後失われることなく引き継がれ、後戻りすることはないという大きな特徴により常に前進してきた。人間にとって文化の発展は至上の行為であり、そのために新しい情報の発見や理解への不断の指向があり、これが社会の発展の推進力となってきた。技術文明の発展経過にそれが顕著に表れている。新しい発見が技術の革新を生み出すが、以後はその技術が標準レベルとなり、もはやその前のレベルには戻ることはない。技術は多かれ少なかれ人間社会に影響を及ぼすが、影響の程度はそれぞれの技術が持つ潜在力による。いかなる新技術もある時期にそれが社会に吸収され、いつかは新しさを失っていく。その潜在力がどの程度であるかを知ること、すなわちその技術がいつまでも新技術であり得るかを知ることでもある。われわれはこのような観点から人工知能について議論してみる必要がある。

人工知能(AI)は、時代により起伏はあっても、全体として着実に進展してきたし、この傾向は今後も続くことは確実といえる。われわれはAIの技術が近代技術全体の中での1つの必然性をもって誕生し、発展していることを示すことによって、これからの社会の基盤として位置づけられること、すなわち、技術によって影響される産業、経済、流通、社会、政治などをも巻き込んで流れる歴史の大きな流れの中で、次の文化を生み出す情報を

扱う中枢に位置づけられ、必要とされていることを示すことができる。

まず人工知能の発展を刺激している具体的な要因をあげてみよう。大きなもののみに限定してみても、

- (1) ハードウェアの進歩、特に(メモリ容量×処理速度/価格)の向上
- (2) 現行情報処理技術の頭打ちとそのブレークスルーへの期待
- (3) 応用分野の高度化、複雑化と合理化のための新技術への期待
- (4) 推論機能の実現に代表される新技術の可能性の証明とエキスパート・システムによるその実用性の証明

などをあげることができる。

ハードウェアの進歩についてここでは改めて言うまでもない。メモリ価格についてみると、この20年ほどの間に10のマイナス4乗程度に下落し、処理速度については特殊コンピュータを別にしても10の3乗程度に増大している。一方、人件費はおそらく数倍、大卒者の初任給で比較すると4～6倍程度に上昇している。このことは2つのことを意味する。第1は、従来、ハードウェア資源が高価であったため実現できなかった技術が実現可能になったこと、第2はソフトウェア開発のための高価な人件費をハードウェアを駆使することによって減少させることのできる新しいソフトウェア技術への期待が大きくなってきたことである。一方、情報処理の分野では、これまでの技術が頭打ちとなり、従来のソフトウェア技術のみではこのような要求に対する解決策が見いだせないという認識が広まってきた。すでにこのブレークスルー

への努力は続けられ、そのためのさまざまな試みがハードウェア、ソフトウェア両面でなされてきた。その中で、今日、最も大きな可能性を持つものとしてAIをあげる研究者、実務家が最も多いことは、最近の世界の情勢を見ても明らかである。

しかしこのような要求に応えるためには、AIが新しい汎用システムであることが必要である。現実には生じる問題は多様であり、目的が固定されているだけでは要求に応えられないからである。従来でも、CADや統計処理パッケージなど、高機能のソフトウェアは数多く開発されてきたが、それらはいずれも専用目的のソフトウェアシステムである。今日、望まれているのは、現行の汎用コンピュータシステムに代る高機能の新しい汎用システムである。

応用分野からの期待がこの傾向に一層拍車をかけている。現代においてはさまざまな分野の技術が高度化し、その相乗効果によって極めて高度の技術社会が形成されている。これを支えているのが情報であることは言うまでもない。このようにシステム化された社会においては、個々の分野で新技術が開発されても、情報技術が伴わない限り大きな効果を発揮できないことになる。そして、これら関連技術が高度化するほど、より高度な情報技術が要求されるようになる。今日、診断、計画、設計等の諸技術分野でAIへの期待が高いのも、もはや従来の情報処理技術ではこれらの分野からの要請に応えられなくなっていることを示している。もちろんこのような要請は技術分野からのみではなく、法律、経済、社会などにも広がってきている。今や、新しい情報処理の方式が必要とされている。

そして最後にAIの分野を見てみると、推論機能の実現によって新しい情報処理方式が少なくとも実験的には可能であることが示され、事実、小規模とはいえ、エキスパート・システムによってその実用性までも証明された事実は大きい。少な

くとも、周囲からの要請に応えられる可能性だけは得られているといつてよい。もちろん現在の姿が最終的な人工知能である保証はないが、従来の情報処理方式が唯一ではないことを示したことによって、そのブレイクスルーが可能であるという見通しが立った。今日われわれがなさねばならないのは、この技術を一人前にすること、すなわち周囲からの期待に十分応えられるだけの高度な技術を確立することである。

このように、AIは単なる流行の技術ではない。AIは次の時代の基盤となって社会を支えるだけの潜在力を持つ技術である。これを顕在化することは社会的使命ともいえる。AIが社会的基盤としての広がりを持つため、AIの研究が多岐にわたるのは当然といえる。AI固有のキーワードの中から、研究テーマになり得るものを洗い出したら、容易に数十を越すであろう。これらはAIの一部を形成するものとして、いずれも重要な研究テーマである。1つ1つの研究を木に例えるなら、AIという分野は森に相当する。しかし、この森は深く、広いため、ともすると木を見て森を見ないことになりかねない。今日、この森が如何なる形と広がりを持つかを見通すことが困難なために、この傾向が一層助長されているようにも見える。しかしそれぞれの研究成果がより大きくAIという新しい分野に貢献するためにも、各研究者が技術分野としてのAIが果たすべき役割を意識していることは重要なことである。

第2章 AIに何が要求されているか？

このようにAI（と考えられている範囲）の内部から見のではなく、人間のさまざまな活動の場としての社会全体からAIを見た場合、その存在意義は人の社会的活動を最も効果的に支援することにあることは明らかである。いかなる技術で

も、他に同様な支援をなしうる代替技術がない場合、あるいはあってもそれらより人間にとって高い効率で支援できたなら、その技術は確実に意義ある技術になりうる。AIはどうであろうか？ AIが対象とするのはあくまで情報の世界であるから、これは人間の情報活動をいかに支援するかの問題として考察する必要がある。

人間が問題に直面してその処理のためになんらかの助けを必要とするのは、処理が人の手に余る場合であるが、問題自体は容易に解決できるものであれば支援する側の問題解決能力はさほど高いものである必要はなく、機械による支援が容易になる。従来、情報処理機械はこのような問題解決の中で生じる情報処理の量的側面を肩代りするものとして効果を上げてきた。この際、問題解決の知的な部分の処理は人間に、大量情報処理の部分は機械にという切り分けができることが前提とされていた。しかし今日、このような単純な役割分担が成り立たなくなってきた。問題が複雑になるにつれ、問題解決の中で知的な処理を要する部分が増えてきたからである。このような問題の一例として設計問題をあげよう。例えば機械系の設計では、技術革新が進み、設計対象が複雑になるにつれ、概念設計段階の効率化が強く望まれるようになってきた。その理由は、間接的な影響まで入れたとき、設計・生産の全コストに対する概念設計の比率が極めて大きいことがはっきりしてきた

からである。しかし概念設計は設計対象の概念構想を作る最も知的な部分であり、これまでのコンピュータ技術のもとではその支援は困難である。情報処理機械の価値は人間の問題解決活動の支援率が高いものほど大きいといえるが、この例からも明らかなように、支援率を高めるためにも知的な機能を備えた機械の実現が必要になってきている。

一方、問題自体は人間の側から発生するので、問題の提起から解の生成までのどこかの点で、人から機械への問題の伝達が行なわれねばならない。問題解決過程のどの段階で、どのようにこの伝達を行なうかの問題はマンマシンコミュニケーションの方式とともに、情報処理機械の仕組みにまで関わる大問題である。問題解決過程に適切な切れ目があれば、そこを人と機械の分担の境とすればよい。この境界の選定が適切でないと両者間の情報のやりとりが錯綜し、円滑な協力が保証されない。このような境界としては、それを境に問題解決の過程が異質な部分に転換するような箇所、情報の表現あるいは操作が変化するようなところがあれば望ましい。従来のコンピュータの方式はその成功した1つといえる。それは問題解決過程の中で、解を求める段階が終了し、その数値を求める段階に入る箇所である。これによってコンピュータへの入力形式が定義され、それに合わせてコンピュータの仕組み自体が構成された。し

かし、この段階は問題解決のかなり下流に位置するため、コンピュータのカバーできる範囲は余り大きなものになりえなかった。それではこれに代る適切な境界はあるだろうか？ この間に答えるには問題解決という動作そのものについての理解が

図表1-1-1 問題解決における人と機械の分担

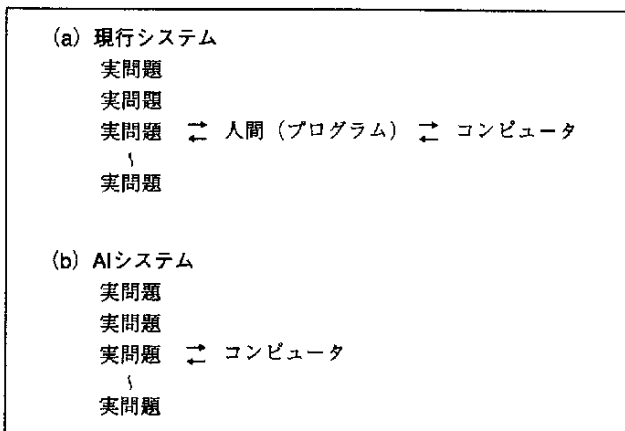
問題解決の動機-問題の表現-問題の理解-問題の解決-回答の作成-解の提示		
(A)	(プログラミング)	現行コンピュータ
(B)	(ヒューマンインタフェース)	新しい可能性 (人間-機械系)
(C)	(問題の検知)	新しい可能性 (無人システム)

必要である。問題解決の過程を示すと例外なく図表I-1-1に示すように表される。

人が問題解決を必要とする動機はさまざまであり、この部分は例外を除き定型化が困難である。人はこの動機を整理したうえで問題を適当な言語によって表現する。表現された問題は理解されねばならないが、表現の主体と問題の受け手が同一の主体である場合には問題はない。次いで問題が解かれる、あるいは、問題に対する回答の導き方が求められる。この手順を機械的に処理のできる形式に表現すれば、最終回答が機械的に生成される。図はこの全体の手順の中で、機械がどの段階から関与できるかを示したものである。(A)は従来のコンピュータである。回答生成の段階で問題の伝達が行なわれるが、そのためにプログラミングという新たな操作が必要になる。

これより上流で人と機械の境界を見い出すとしたら、その可能性は(B)で示した問題表現の後である。問題の表現とその解決は異なった操作であり、一般にはこの両操作のインターアクションは少ないからである。いうまでもなくAIに要求されるのはこれを可能にすることである。ただしこの際は、問題を表現する主体と解決する主体が異なるため、表現が正しく理解される

図表I-1-2 実問題とコンピュータの関係



ことが重要で、このためにマンマシンインタフェースが重要になる。

特殊な場合として、(C)のように、問題の範囲が限定されていて、問題の検知ならびに表現自体を機械が行なうことが要求される。例えば、宇宙空間で作動するロボットには、この機能が要求される。そこに人間がいないからである。しかし以下では主として(B)を中心に考える。

(B)のような汎用的なAIシステムを開発するにはさまざまな問題があることは言うまでもないが、最も本質的と考えられるのは現実の問題とコンピュータとの関わり方である。(A)の方式の場合、コンピュータに与えられるのは実問題ではなく、それから回答を生成する機械的手順としてのプログラムである。そしてこの手順は人間によって与えられることを前提としている。一般に実問題は複雑な現実社会を反映して多様であり、その表現も多岐にわたる。これに対しコンピュータの構成は固定的である。したがってこの間のマッチングを図る必要があるが、たまたまこの間にプログラムが介在するので、一定の構文規則を持つプログラミング言語によって実問題(実はその回答手順)を書き表すことができれば、すなわちプログラミング言語によって実問題の多様性を表現できれば、コンピュータとしてはプログラミ

ング言語の構文規則を忠実に実行する機構となっていればよい。視点を変えて、コンピュータシステムの設計の立場に立った場合、プログラムの存在を前提とすることにより、機構の設計に際し実問題の多様性を気にかけずに論理構成を考えればよく、それによって汎用性も実現できたことになる。ここで汎用性とは如何なる問題にも同一のコンピュータで対応できることであるが、この方式では実際には問題の多様性に対応しているのはプログラマ

すなわち人間である(図表I-1-2(a)参照)。

これが従来のコンピュータのあり方であり、実問題から独立であったことがコンピュータ設計を容易にしていた。しかしもはやこの方式では済まされず、コンピュータが実問題に直面する必要があるのは上述した通りである(図表I-1-2(b)参照)。

AIシステムの目的は問題を直接受け入れること、言葉を換えれば問題解決に際して人によるプログラミングの段階を省略することである。このとき、AIシステムは実問題の多様性と直面することになるが、それでもなお汎用性を保つことができるであろうか？

これが容易でないことはエキスパートシステムが汎用ツールから出発したにもかかわらず、性能が十分でないためにドメインシェル^{*}として専用化の方向に向かう傾向があることを見ても明らかである。現在、実用化のために応用面でこのようなアプローチを取らねばならない理由はわかるが、AIシステムが専用システムであるという結論があるわけではなく、またそうだとしたら、人工知能は特殊な技術としては存続しても、新しい社会の基盤技術とはなり得ないと言ってよい。少なくとも研究の立場からは、もう少し長期の見通しに立って、AIを考える必要があろう。

第3章 AIシステムは汎用システムであり得るか？

このように、われわれが確立しなければならないのは、問題解決に際して、より深いレベルで人を支援することのできる新しい高機能かつ汎用シ

^{*} エキスパートシステム(ES)の構成から知識ベースの内容だけを除いたものは、ESを開発するためのツールとみなされ、エキスパートシェルと呼ばれる。汎用ではなく、特定のドメイン(分野)やタスクに固有の概念・機能を備えたエキスパートシェルをドメインシェルという。

ステムの概念である。これは現行コンピュータソフトウェアの概念のもとでは十分に達成されなかった。それではこのような高機能・汎用システムの満たすべき条件は何であろうか？

まず、汎用性に関しては2つの問題がある。1つは記述性、もう1つは性能である。現在のエキスパートシステムが専用化しようとしている原因はこの両方に関わるが、システムの方式が前節で述べた高機能性が要求する状況を十分考慮して設計されていないために、それが性能面に現れている可能性もある。すなわち基本問題は記述性に関わる。汎用性の条件はいかなる種類の問題であれ、問題の記述ができることであり、この保証がない限り性能を論じて意味ない。したがって、ここでは記述性の問題を考察しておこう。

記述性に言語に関わることはいうまでもない。汎用性の高いAIシステム開発の第1の条件はそのような言語を持つシステムにあるといえる。当然、その言語を処理する処理系が必要である。問題の特殊性を用いないで定義された言語で書かれた問題を、問題の特殊性に関わらない一般的な処理系で処理することが保証されねばならない。この点は従来の方式でもAIシステムの方式でも変わりはない。従来のコンピュータ言語は数値的処理の手順に関してこの汎用性を保証することができるが、この条件では高機能性は満たされなかった。必要なことは問題解決の手法に関してこれを保証することである。言葉を換えれば、広い範囲の実問題に共通の問題解決手法を見出すことが必要であり、これに基づいて言語設計の指針を与えることが不可欠であることを意味している。

問題解決の一般的な方法論は存在するのだろうか？ たとえAIシステムといえども人間に比べればずっと単純な機構を持ったコンピュータで、実問題の多様性に対応できるであろうか？ 図表I-1-2(a)の場合でも、問題とコンピュータの間に介在するのは問題分野ごとに異なった人であ

り、1人の人間が幅広い問題に対応しているわけではない。したがってこの問題は一見して難しそうに見える。

しかしわれわれは直感的な判断に頼らず、問題解決についてもっと多くのことを知る必要がある。問題解決には、問題に直接関わる知識を必要とすることはいうまでもないが、同時に、問題領域に直接関わらない問題解決手法、いわば上記の問題分野の知識をいかに利用すれば効率的に問題を解くことができるかに関する知識がある。人間の場合、後者は明示的に表現される機会が少なく、知識というと、前者を指すのが普通になっている。しかしながら、多くの場合、後者の知識が問題解決が成功するか否かに大きく関与する。

これまで、人間はさまざまな分野で問題解決のための前者の知識を発見し、開発し、蓄積してきた。これらの知識を利用することができるのは人間のみであったから、この知識を持った人間が実問題とコンピュータの間に介在してきた。この人たちはそれぞれの分野の専門家であった。この人達は実際には専門知識を使うのみでなく、これらの知識の使い方の知識も実際には駆使しているはずである。そして、この人々を比較したとき、各専門分野の知識はすべて異なるが、これを利用する基本メカニズムとしての人間そのものはすべて同じである。そしてさらに、専門知識を利用する方式に関する知識は共通といってよい。専門が分化してしまった今日、このことを多くの人々は気が付いていない。

AIが実現してきたのは問題領域に関わる問題解決知識を形式的に表現し問題解決に利用する技術であった。したがってもし知識の使い方に関する知識を適切に(明示的に)表現し、機械的に実現することができたなら、問題の多様性に対応するAIシステムを実現することが期待される。

第4章 科学的問題解決法と問題の細分化技法

このような問題解決法に関する共通の知識として、科学的問題解決法と大規模問題の細分化技法をあげておこう。

4.1 科学的方法論の機械的実現

これまで多くの学問分野において、未知の現象を解明するための普遍的な方法として科学的方法論が確立されてきた。これは西洋の伝統的な合理主義の根底をなす原則的な考え方であり、その原則に基づく科学的問題解決の方法が広く用いられるようになった。科学的方法論とは、

- (1) 状況を明示的に記述する
- (2) 状況に適用される一般的あるいは個別的なルールを準備する
- (3) 状況にルールを適用して結果を導く

というものである。ここで状況を表すものがモデルである。これは一般的な問題解決手順であり、これに基づいて、例えば物理学等において、未知現象が観察されたとき、この原因解明の普遍的な手順が以下のように定式化された。

- (1) 現象を観察する
- (2) 説明仮説として観察されたものと等価な現象を生成する決定論的システム(モデル)を生成する
- (3) モデルを用いて状態や特性等を計算する
- (4) その結果として予想される現象を観察し、仮説の正当性をチェックする、もし仮説が正しくなかったら修正する

これは人間による問題解決の基本的手順を一般的に表している。人間は自己の知識・経験に基づいて個々の問題ごとにモデルを作るが、それには現象の理解が必要である。このようにして人間の問題解決機能のモデルが図表I-1-3のように

作られる。仮にこれを問題解決のモデルとするなら、これをすべて明示的に表現し、かつその表現形式に基づいて処理機能を機械的に実現すれば、自律的に問題解決を行なうコンピュータが実現されることになる。

現行コンピュータが扱えるのは数理的に表現される範囲に限定されていた。現実に見れる問題は多様であり、純粋に数理的に表現される問題はその一部にすぎない。このため、これまでは科学的方法論に従って問題を解く主体は人間であり、コンピュータはその中に組み込まれることが前提であった。AIは数理的表現のみでなく記号的表現の論理的処理を可能にし、これによって問題および科学的方法論の過程そのものを表現することができる。結果的に自律的問題解決システムの実現を可能にする。これが現行コンピュータとAIコンピュータの本質的な相違である。

上図のモデルではモデル構築や修正に仮説生成の機能が要求され、これが今日、一般的な形で定式

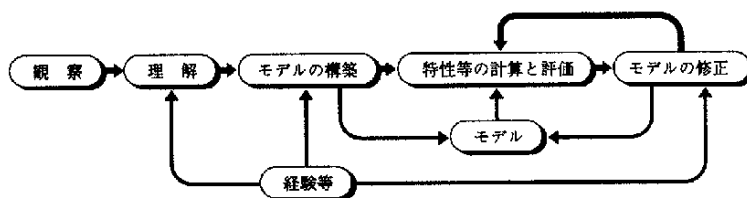
化されていないという問題がある。人間の場合、発想、創造、直感等と呼ばれる機能があり、これらの高度の推論能力によって仮説を生成している。

このようなシステムにおいて、必要な情報を明示的に表現できるか否かは基本的な問題である。以下、記述の便宜上、‘明示的に表現する’ことを単に‘明示化する’と言う。これは、情報を形式の定まった言語によって記述すること、その記述は言語の形式に基づいて形式的変換が可能なのであることを意味する。明示的に表現された情報が知識である。このように、知識処理システムの有用性は明示化される領域の大きさとその中で機械化できる範囲に依存する。明示化領域を決めるのに言語が関わってくるので、用いる言語が極めて重要なものとなる。これが知識表現言語の問題であり、言語設計は問題解決におけるこのような状況を考慮して行なうべきである。

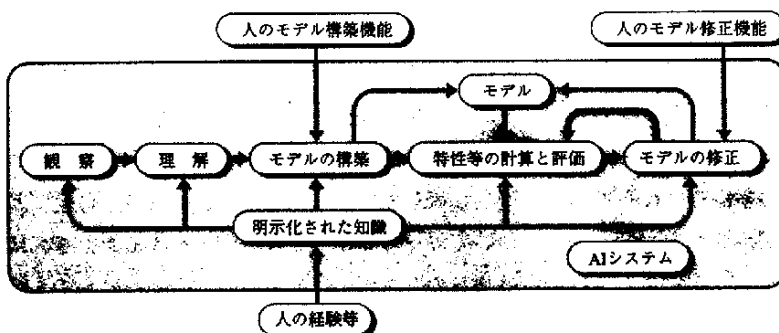
意味の定義が一意に定められる領域を‘(科学的方法論を可能にするための) 明示化可能領域’

と呼ぶことにする。これは人間の知的活動全体の中ではごく小さな一部であるが、対象ごとに異なった明示化可能領域をいくつも定義することができる。今日の問題はこれら別個に定義されてきた領域が相互に関連し合う、いわゆる学際的問題が生じて来たことにある。適切な知識表現言語を用いれば、これら異種領域間の意味的関連を明示的に記述することができ、コンピュータ処理の範囲が拡大する。学際化は多くの人々にとって対

図表1-1-3 人間の問題解決モデル



図表1-1-4 AIシステム—人間の関係



第5章 AIの諸問題

AIは未だ若い分野であり、新しい社会の基盤技術の可能性があるといっても、未だ解決されていない多くの課題を持っている。これは知識表現の問題、推論の問題、システムの管理の問題、ヒューマンインタフェースの問題、自動問題解決の問題、システム機能統合の問題、知識獲得の問題、など基本問題の他、この応用として設計、計画、診断、制御、管理、予測、ソフトウェア開発などの課題である。これらはすでに早くから指摘されていたし、事実いずれも重要課題であるが、これらに対処しておけば十分なわけではない。ここでは従来は余り指摘されてこなかったが、高機能・汎用技術としてのAI技術の有用性を高めるうえで極めて重要ないくつかの課題をあげた。事実最近のAIの研究は設計支援や分散協調型システムの検討を通して、ここであげた課題に対し関心が高まってきたことは事実である。

現代の社会はすでに高度に技術化しており、この基盤にコンピュータが重要な役割を果たしていることを疑うものは誰もいない。しかし、既存の技術はすでに限界に達し、ソフトウェア開発問題を始めとしてさまざまな歪を生じている。今後発生すると予想されるさまざまな要求は、これまでの方式のもとでの量的な拡大、例えばソフトウェア開発要員を増やすといった単純な発想で対処できるものではない。これからの社会は高度技術社会から高度情報化社会へと歴史的な転換を必然としており、そのための新しい基盤技術を必要としている。何がそのような新しい基盤技術となりうるかが決まっているわけではない。基盤技術としては、多様な技術・文化・社会を支えるだけの強固な体系を持たねばならない。それ自体の独立した理論、実現の技術、多分野への応用能力を持ち、とりわけ、発展する社会の基本構造との

応の困難なものであり、これを支援する機能は今後重要性を増すであろう。

以上を図示したのが図表I-1-4である。この図でAIシステムは明示的に表現される情報の範囲を扱い、人は個人としての情報でそれを補う。

科学的問題解決法はモデルの概念を中心に行っている。このような方式をAIシステムの中に取り込むことが必要であるが、そのためにはシステム内で、

- (1) モデルの表現
- (2) モデル変換則の表現
- (3) モデルの処理を中心とした問題解決プロセスの表現

が可能でなければならず、このための知識表現言語やシステムアーキテクチャを定めねばならない。

4.2 大規模問題の細分化

問題の規模は技術の発達とともに増大しており、多くの分野においてすでに個人としての人間の能力を超えてしまっている。しかるにこれら大規模問題が解決されてきたのは、この問題を小問題に分割し分散的に処理しているからである。この分割自体が問題解決の方法論に関わる重要な技術である。これは原問題をできる限り相互干渉の少ない独立の小問題に分割ないし展開すること、これら小問題を別の人間に分散すること、その結果を統合することなどからなる。例えば設計問題では、設計過程を分割する方式がすでに早くから行なわれていた。この分割技術自体は特定の問題に依存しない一般的な原理が用いられ、したがって共通技術である。分割の具体的手法等にはここでは立ち入らないが、分割技術は大規模問題に対して不可欠の技術であり、AIシステムに取り込まねばならないものである。

第1編 総論

マッチングが取れるものでなければならない。そのような目で見るとき、次の時代の新しい基盤技術となりうるものはAIにおいて他にないといってよいであろう。逆に、AIにはそれだけの責任があるともいえる。

第2部 AIの現状と展望

第1章 AI利用の現状と展望

日本の第五世代コンピュータプロジェクトを起点として、米国、欧州など世界中でブームを巻き起こしたAIも、ようやく地に足が付いた動きを見せてきたようである。1985年前後からAIブームという言葉がマスコミにもはやされ、種々のAI関連の雑誌やレポートの創刊が相次いだ。その後、数年間の実践、特にエキスパートシステム（ES）分野での実践を経て、企業内でもAIとはこのようなものなのだという実感を持ったところが増えてきた。そのような体験の中で、以前米国で見られたようなAI「冬の時代」を迎えなかったのは、AIを利用すればそれなりに効果の上がる適用分野を、ユーザ自身が体得したからかも知れない。

今回実施したAI利用動向調査は、これまでのようにアンケート調査をその主な手段としたが、需要の広がりや広く日本全体の動きとして把握するため、従来とは異なり2回の調査を行なった。1回目は、AIという言葉を広義にとらえ、AIの導入状況とニーズ調査にその主眼を絞った。2回目は、1回目の調査ですでに導入済みであると回答した事業体に対し、ほぼ従来通りの調査を実施した。

今回行なったAI動向調査の結果浮かび上がってきたのは、次のような特徴である。

- ①神話から脱却し実践の段階を迎えたAI
- ②確実に増えつつある実用化事例
- ③開発の事例は大半がエキスパートシステムである
- ④今後のニーズの多いものとして画像理解が期待されている

⑤エキスパートシステムの開発事例は診断および計画・設計が主流

⑥汎用ツールから専用指向、自社開発ツールへ

⑦利用マシンはAI専用機ではなく汎用機、特にパソコンが中心である

以下代表的な特徴についてアンケート結果を踏まえ整理すると、次のように結論づけがされるであろう。

1.1 AI神話から実践へ

米国では、以前から大学の情報学部学科において、LISP等の言語やAIの基礎的な教育が実施されていたこと、AI「冬の時代」をすでに体験済みであることもあって、AIに対する認識がそれなりにできていた。したがって、AIに対する過度な期待は日本ほどでもなく、簡単なものからある程度高度なものまで、AIの適性に対応した使い方がなされてきたようである。

一方、日本では、第五世代コンピュータプロジェクトや、その海外への反響が逆輸入された形で発生したAIブームの影響で、AIの存在が企業のトップ層にクローズアップされ、AIに取り組みれば何でもできるという神話の発想から、トップダウンの形で、AIの開発が実行部隊に下ろされてきた感がある。そのため、当初は、高価なAI専用マシンやES構築ツールに対して惜しげもなく金がつぎ込まれたが、現場サイドにおけるエキスパートシステムの開発実践を経て、AIの実態が理解されるようになり、AIに対する取り組みにもようやく地に足が付いた動きを見せてきたようである。

1.2 専用機から汎用機へ

AIブームの波に乗って、日本に導入されたAI開発環境は、ハードウェアとしてシンボリクス社のSymbolics3000や、リスプマシン社のLAMDAマシン、ES構築支援ツールとしてインテリコプ社のKEEや、インファレンス社のARTなど、AI専用マシンにターゲットを絞ったものであった。その後、富士通からメインフレームであるMシリーズのバックエンドとして動くLISPマシン α やESHELL、東洋情報のBRAINS、三菱総研のZEUSなど、国産勢の開発したAI開発環境も出回るようになった。

しかし、これらの環境は、LISPをベースとする言語体系であり、かつ研究室的発想で作られたものがそのまま商品として発売されたものが多く、単独としての機能は優れていても、他のソフトウェア資源とのインタフェースを配慮しておらず、実用システムとして他のシステムの中に組み込むことには制約があった。さらに、一般の業務プログラムはメインフレーム上に実現することも多いが、LISPベースのアプリケーションをメインフレームで実行させることは、CPUパワーやメモリの大きさの問題、他のアプリケーションに与える攪乱等の点で好ましくなく、いわゆるオンラインリアルタイム処理には向かないという欠点も持っている。

AIの実用システムを開発しようとした場合、AI開発時の環境がそのまま実行環境として使えれば比較的問題は少ないであろうが、現実には、既存のコンピュータ上で実現したいなどの要望があるはずである。従来は、専用マシンやワークステーションを除き、AI環境を満足のいく形で提供できるまでには、マシン性能が向上していきなされてきた。しかし、現実には、C言語をベースとするツールが確実に増えてきたこと、さらに、メインフレームによりPL/IやCOBOLをベースとするツールも開発が進んだことから、AI開発環境と実行環境が同一マシンで実現できるよう

になっている。

1.3 エキスパートシステムの開発事例は診断

および設計・計画が主流

エキスパートシステムの対象は、一般的に、解析型問題と合成型問題に分けられる。解析型では、システムの構造および構成要素の機能は所与であり、外部から入力を与えられた場合、システムがどのような挙動を示すかを明らかにすることが主たるタスクとされる。診断、解釈、制御などは解析型問題の典型である。一方、合成型問題では、システムに対する入力および出力の要求仕様が与えられた場合、これを実現するための、構造および構成要素の機能を決定することが主たるタスクとなる。計画や設計は合成問題の典型である。

合成型ESの開発がプロトタイプレベルにとどまっているのに対し、解析型ESの実用化例は比較的多い。しかし、製造業の分野では、開発の焦点は合成型ESへシフトしつつある。

合成型問題の代表例は、計画あるいは設計の問題であり、両者は、制約条件下で所与の問題を解決するという点、一般的に探索空間が非常に大きいなど共通点が多い。

1.4 汎用ツールから専用ツール、自社ツールの開発へ

数年前までは、ARTや、KEEのような外国製ツールが幅を利かせたが、最近では、国産メインフレームがESHELL、ES/KERNELなどの独自ツールを比較的安価に提供し、GOLD WORKS、NEXPERTのようなパソコン、ワークステーションをターゲットとした100万円台の外国製ツールが発売されたこともあって、肩の凝らないAIが可能になりはじめている。

現在市販されているES構築用ツールでは、ルール、フレームなどの知識表現や前向き推論、後向

き推論、黑板モデルなどの推論メカニズムがよく使われている。ちょっと高級なパラダイムとしては、ARTのビューポイント、KEEのワールドとATMSの組み合わせなどがある。

しかし、これらのツールはあくまでも汎用目的に開発されたツールであり、そこに盛られている機能は程度の差こそあれ、ルール、フレームなどありきたりのパラダイムである。したがって専門とするドメインに適したパラダイムを実現しようとすれば、LISP、Cなどの言語を用いて書くしかなく、ある程度のスキルを持った人でないと利用できないし、また、汎用ツールが提供しているパラダイムの中で、不要なものがあつたとしても、それを除いた形で使うこともできないため、処理負荷を軽くすることもできないといった欠点がある。

このような、ESが持つ問題点を解決するため、最近の動向としては、3つの専門ツール化の流れが今後のツール開発の大きな流れであるといわれている。その1つは、過去の事例から、ES開発に必要な基本的枠組みを抜きだし、これを基本タスクとして用意し、これらのタスクを組合せて、自分たちが開発しようとする専門領域にあつたESツールを提供しようとするタスク指向の試みであり、オハイオ州立大学のチャンドラセカラン教授を中心とするグループで研究されている。すでにその一部の成果は、診断型の問題に使われるCRSLや定型的な設計問題に使われるDSPLとして実用化され発売されている。

また、特定の専門分野に関する基本的な知識ベースを組み込んでおき、これを少しモディファイすれば簡単にESとして使える、ドメイン指向のツールも見受けられ、パッケージ型の商品として今後大きく成長していく分野であり、ユーザ企業の新たなビジネスになりうる可能性を持っている。

第3に、専門家がテーブル型のデータとして知識を保存している例も多く見受けられるが、このような場合、ルール形式で知識を記述するのは、

面倒なわけで、表からルールが自動的に生成されれば、よくいわれるESの開発過程の中でも面倒な知識獲得の過程が省略できるわけで、専門家が自分で容易にESを作成することが可能となる。

現状のツール技術は、人間の知識を模倣するには、まだまだ不十分であり、なおかつ、人間の持つ直感的な判断などは記号化しづらい部分であり、なお一層のAI技術の進展を待たねばならない。したがって、出来上がったESを評価して、このどこがAIなんだという声や、従来のプログラミングテクニックで十分作れるという声が聞かれるのも無理はない話である。

そのため、仕事にあつた仕組みを、エキスパートシステムに取り入れるため、専門家や技術者の知識の保有の仕方に近いあるいは適した、知識の表現形態を知識の入力インタフェースすなわち、知識ベースエディタで実現する。また、彼らの推論アルゴリズムに適した推論メカニズムを構築するなどのことも重要である。そのような動きとして、先進的企業ではいわゆるKE的な人材の確保・育成を行ない、KEがそのようなツールを自主開発している例も多く見られる。

1.5 数値処理と記号処理の融合が要

ESの古典ともいえる、スタンフォード大学で開発されたMYCINという感染症のシステムが診断型であつたこともあり、これまで数多くの診断型のESが開発されてきた。しかし、診断される対象の装置や、人体は構造が本来複雑で、その構造を記述すること自体が困難な作業であり、すべての事象に対応できないと本格的に役立つものにはならないという弱味もあつて、構造の比較的簡単な装置に実用化例が絞られているように思われる。

その一方で、製造業を中心として、スケジューリングタイプの設計問題や、電子回路の設計問題などでは、実用化の報告例が増えている。この理

由は、従来の計画手法や、設計手法の適用に当たって、理論だけでは解決できない点を人間が経験と状況判断で解決していた部分があり、そこにES手法を適用する必然性が存在したからだと考えられる。したがって、ORあるいはシステム工学、さらには、金融理論、経済モデルのような数学モデルと、AIにおける記号モデルの融合が、ES開発成功への要となってきたようである。

第2章 AI技術の現状と展望

2.1 はじめに

AI技術は、その解法がアルゴリズムによって明確に定まっていなかったような問題を解くための有力な方法としては、これまで各種の分野に応用されてきた。その1つの特徴は、その方法として、人間の専門家の推論方法をそのままの形で取り入れていることである。そのようなことができるように、システムの作り方が工夫されている。ルールによる知識の表現や、それを用いた推論による問題解決が、その典型的な方法である。AI技術の第2の特徴は、それが常に、新しいソフトウェア技術の開発に貢献してきた点である。そのため、AI技術は、高度なソフトウェア開発技術と見ることもできる。このような性質によって、AI技術は、単にある特定の、例えば診断問題のための技術にとどまらず、人間の専門家が活躍する最も広い分野で、さまざまな形で応用されている。

しかしながら、その技術は万能薬ではない。そのため、できることには自ら限界があり、応用はその範囲内でしかなされていない。技術体系は階層性があり、より基本的で簡単なものから、より高度で複雑なものまで層をなしている。そのうち実際に応用されるのは、技術として固まった、あるいは、枯れた部分に限られる。新たな技術の確立は、研究開発の役割である。AI技術は、そ

の先進性により研究開発の重要性が特に大きい。また、それが問題解決の方法論に深く関わっているため、新たな技術は一般性のある新たなパラダイムとしての可能性を秘めている。

2.2 人工知能の新しいパラダイム

近年特に注目を集めているパラダイムに、コネクショニストモデル、機械学習、制約充足、および協調型活動支援、などがある。これらのパラダイムは、従来の人工知能システムの限界を打ち破る画期的な技術として、期待を集めている。

①コネクショニストモデル

コネクショニストモデルの1つの側面としては、従来の記号処理に基づく人工知能に対して、より自然界の生の情報形態である信号レベルでの学習が、ノイズに対して強いことが知られている。コネクショニストモデルのもう1つの側面は、超並列計算の機能である。その特徴は、アナログ的であり、精度は十分ではないが、大変高速である。また、平面、あるいは空間の距離に応じた、例えば引力のような関係を局所的な制約の積み重ねとして扱い、アナログ的に計算することができる。このような機能を、自然言語理解のような論理的な制約充足問題に役立たせることができる。論理的な制約自身は、最終的には記号処理の力を借りて充足させることが必要であるが、数多くの制約をどの順番で充足させるかを決めるのに、すなわち制約充足計算の制御にこの機能が使えらるわけである。制約充足にとって、その計算制御は、計算の組合せの爆発を防ぐ意味でも大変重要である。実際には、この種のアプローチはまだ一般的ではないが、研究はすでに開始されている。特に、制約論理プログラミングの枠組みの中で、この種のアナログ的な制御を導入することがすでに試みられている。

②機械学習

機械学習の研究は、人工知能研究の初期から

活発に行なわれてきた。始めは、パターンを識別する並列マシンの研究がなされた。それはパーセプトロンと呼ばれ、例に応じて結線間の重みを変えて自動的にパターンが分類できるようになるものであった。次に、概念の記号表現を例から学習する機械の研究がなされた。それは、帰納推論に基づく方法で、文法学習や、プログラムの合成などが、この方法により試みられた。これら2つの方法は、共に一般的で、その応用範囲は広いが、問題が少しでも複雑になると歯が立たなくなるという欠陥があった。これに対して、応用領域を制限して、そこで成り立つ個別的な関係を利用して学習を行なわせる研究がなされ、その結果、物理学の諸法則の発見や素数の概念の発見などを行なうシステムの構築に成功した。

これら3つの方法論は、それぞれ独自のパラダイムをなしていると考えられ、これらの変遷は、パラダイム・シフトと考えられる。そして、最近になって、多少形を変えて、再び第1のパラダイムへ戻って来つつある。それは、一種の脳のモデルと考えられ、コネクショニスト・モデルと呼ばれている。また、論理プログラミングの研究の発展にともない、第2のパラダイムに基づく研究も最近活発に行なわれている。述語論理における推論の形態には、演繹、帰納、発想の3種類があることが知られているが、各種の概念学習は、この3つの推論形態のなす3角形の適当な場所に位置づけることができる。例えば、説明に基づく学習は、演繹と帰納の中間に位置づけられ、仮説推論は、演繹と発想の中間に位置づけられる。このような図式は、十分吟味することが必要であるが、本書の「第Ⅲ編第1部第2章学習」の項で、あえてその試案を紹介した。

機械学習は、困難な課題であり、より高度な機能を持ったシステムを実現するには、異なるパラダイムの統合が不可欠である。前に述べたパラダイムのうち、第2、第3のパラダイムは、共に記

号を扱っているので、コネクショニズムに対してシンボリズムと呼ばれるが、これからの課題は、いかにして、シンボリズムとコネクショニズムを統合するかである。このようなハイブリッド・アーキテクチャについても、同じ学習の項でその展望を述べる。

③協調型活動支援パラダイム

協調型活動支援パラダイムは、CSCW (Computer Supported Cooperative Works) と呼ばれている。従来の人工知能が「個人」の問題解決能力を追及してきたのと比べて、CSCWは「集団」による問題解決の支援を目指している。その応用は、もちろん一般的なオフィスである。オフィスオートメーションがオフィスへの情報機器の浸透によって進められてきたが、CSCWはそれを一歩押し進めて、集団による意志決定をも支援することを目指している。技術的に見れば、これは、コンピュータと通信技術の融合に負うところが大きい。また、集団による問題解決を支える技術として、ブレンストーミングや、KJ法などの知識の整理手法も、重要である。さらに複数の専門家が協力して1つの問題を解決する分散協調問題解決法も、不可欠な技術である。CSCWを実現する実際のソフトウェア（場合によってはハードウェアも含める）が、グループウェアである。グループウェアは、集団による問題解決を支援するための上に述べた機能の他に、メッセージのやり取りや、コンピュータへの入出力を容易にするための工夫が必要である。それらに関連する技術は、データベース共有化技術、ハイパーテキスト技術、高速マルチメディア技術などである。CSCWの詳細については、「第Ⅲ編第1部第3章協調型活動支援機能(CSCW)」の項を参照されたい。

2.3 AIシステム化技術

AI技術の動向に関連して、新しいパラダイムについて述べたが、それと共に重要な課題は、AIシ

システム自身をいかに効率よく実現するか、という問題である。これは、AIシステム化技術と呼ばれている。AIシステム化技術は、システム化への要請とAI理論の発展を原動力として、その開発が進められている。すなわち、一方でAIシステムがより広範囲の応用が期待され、その結果、機能の拡充、既存システムへの組込み、あるいは、専門の情報処理技術者なしに利用できるようなツールの簡易化、などが要請されており、他方でAI理論の進展がそれらの要請を反映させたAIシステム化技術の進展を促している。制約充足の手法は、対象分野を分析型問題から、合成型問題へと広げた。また、定性推論の理論は、if then型の浅い知識にとどまらず、対象とするシステムの動作原理をも考慮した深い知識の扱いも可能にした。これらの理論の発展は、それぞれのアプリケーションに適したタスク指向ツール、あるいは領域特化型ツールを生み出した。そして、最終的には、高度な問題解決機能を備え、かつ広い範囲の応用をカバーする複合的なシステムの構築を目指したAIシステム化技術の確立が期待されている。

AIシステムにとって、ツールと並んで、あるいはそれ以上に重要な構成要素は、知識ベースであり、その構築は、知識獲得ボトルネックと呼ばれる困難な問題である。専門家から、知識を引き出すためのツールとしては、心理学の成果を利用した各種のインタビュー法による知識獲得支援システムが知られている。しかしながら、それらはいずれも用途が限られており、商用のツールまでは成長していない。これからの研究開発が望まれる。インタビューによる専門家からの知識の抽出の他に、例を分析することによって自動的にルールを抽出する試みもなされている。例えば、プロセス制御のエキスパートシステムの例では、プロセス稼働時のパラメータと収率の関係から、自動的に最適なパラメータ設定ルールを抽出することが試みられている。このルールの抽出には、帰納

推論の方法が用いられている。すなわち、そこではAI理論の発展によって促された演繹から帰納、発想への推論能力の拡大の成果が生かされているわけである。

AIシステム化技術についての詳細は、「第Ⅲ編第1部第4章AIシステム化技術」の項で述べられている。また帰納、発想推論については、「第Ⅲ編第1部第2章学習」の項で説明されている。

2.4 知的CAD

AI技術は、その進展に伴い、分析型問題から合成型問題へとその応用領域を広げてきたのは、すでに述べたとおりである。合成型問題は、分析型問題と異なり、創造的な作業を伴うので、専門家を完全に置き換えるようなエキスパートシステムの構築は困難であり、多くの場合、支援システムの形をとる。その1つの例として、設計問題を取り上げて、その知的な支援システムを考える。それが、知的CADと呼ばれるものである。設計の対象は、機械、電子回路、材料など、多岐にわたる。これまでは、設計作業自身の解明がなされていなかったことと、AI技術が成熟していなかったことによって、知的CADの実現は、AI応用での困難な課題の1つであった。最近になって、この両者の研究が進み、知的CADの実現の見通しが得られるようになってきた。設計作業については、設計過程の同定と設計対象のモデリングの2つに分けて、その解明が進められた。

設計過程は、ソフトウェアの開発過程とよく似ており、要求仕様が与えられたとき、これを満たす解を求める行為である。このとき、設計は問題を詳細化しながら、試行錯誤を繰り返しつつ、逐次的に進められていく。問題の詳細化のレベルに応じて、概念設計、基本設計、詳細設計、生産設計と進められていく。概念設計では、設計コンセプトの明確化がなされ、基本設計では、システムの基本構造・概略レイアウトが決められる。次

の詳細設計では、実際の部品を当てはめて、基本構造をさらに詳細に決めていく。生産設計では、詳細設計の結果具体化された設計対象を実際に生産するための手順などが決められる。これらの設計活動には、問題解決、知識表現、知識獲得、システム開発、ユーザ・インタフェースなどの広範囲に及ぶAI技術が役立つと考えられている。

設計対象のモデリングは、構成要素の記述とそれらの間の論理的制約として、簡潔に整理できることが分かってきた。そして、それぞれ、対象指向および制約指向のパラダイムが利用できることは、容易に想像できる。これらは、AI技術の発展の結果である。

知的CADについては、「第Ⅲ編第2部ハイライト技術—知的CAD—」の項で、詳しく述べる。そこでは、設計支援一般の解説と、機械、電子回路、材料などの分野における事例の紹介とを行なう。

2.5 今後の展望

これまで述べてきたように、AI技術は新たなパラダイムを獲得するたびに大きな発展を遂げてきた。それでは、今後期待されるパラダイムはなんだろうか、すでに述べたように、コネクショニスト・モデル、機械学習、制約充足、協調型活動（作業）支援などが、これから新たな発展を促す有力な候補であるが、ここではこれらと異なる視点から、並列推論マシンによる大規模記号計算について述べてみたい。

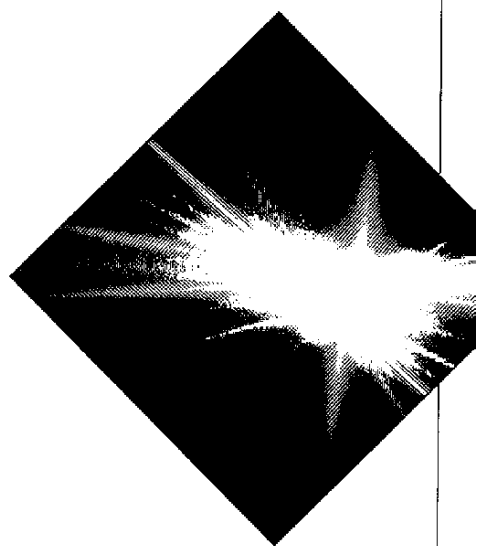
第五世代コンピュータ・プロジェクトは、1982年から10年間の計画で並列論理プログラムのための並列推論マシンを開発してきたが、現在64台並列の実験機が稼働しており、さらに規模の大きい本格的なマシンの開発も進められている。この種のツールは、その完成と共に新たな応用を喚起する。現在は計算能力の壁でとても処理しきれないような問題でも、新たなツールの出現により解決可能になるかも知れない。例えば、概念学習では、学

習対象が多少複雑になると手に負えないのが現状であるが、処理能力が並列化によって一挙に100倍から1000倍程度向上すると、学習可能な概念が大きく広がるであろうと予想される。また、故障診断の有力な方法として知られているが、計算量の壁で現実的な応用がなかなか困難であった仮説に基づく推論なども、その可能性が大きく広がるであろう。あるいは、仕様を定理と見なし、その定理の証明過程からプログラムを抽出するといった方法も見直されるであろう。

さらに、大規模なデータベース、あるいは知識ベースとの組み合わせによって、新たな応用分野が開拓されるであろう。中でも、事例ベース推論が有力である。事例ベース推論では、多くの事例の中から現在与えられた問題を解くのに適した事例を見つけ出さなければならない。そして、各事例ごとの処理は、事例の類推適用が可能かどうかの検査が必要になり、その計算量はかなり大きくなるであろう。しかしながら、各事例は独立に調べることができるので、並列処理が可能である。事例ベース推論は、設計問題や、法的推論などの応用分野で特に注目されている。

このように、記号処理用並列マシンの実現は、今後のAI技術の発展にとって、莫大な貢献をするものと期待される。

第Ⅱ編 わが国AI利用の動向



AI利用動向アンケート調査の概要

【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】 調査対象は、コンピュータ利用事業所6,238およびAIセンター登録会員846の合計7,084事業所とした。コンピュータ利用事業所は、「電子計算機ユーザー調査年報（日本経営科学研究所発行）」所載の事業所から産業別にサンプル数を定め等比で無作為に抽出した。

【調査方法】 調査は2段階方式を採用した。まず、全調査対象に「コンピュータ高度利用に関する調査票」（以下第1次調査という。）を郵送した。次いで第1次調査回答者を対象に「人工知能(AI)の利用に関する調査票」（以下第2次調査という。）を郵送した。これらの回答結果に基づき集計分析を行なった。

【調査時期】 第1次調査1989年12月。

第2次調査1990年1月。

【有効回答数】 集計分析の対象とした回答票数は、1,844事業所(回答率26.0%)。内訳は図表Ⅱ-1-1 AI導入・未導入事業所数に示すとおりである。

【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なった。

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
 商業金融関連 …………… 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 …………… 電子計算機メーカ、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留意頂きたい。

図表Ⅱ-1-1 AI導入・未導入事業所数

調査年	項目	発送数	有効回答数	AIシステム導入事業所数	未導入企業
1989年	合 計	7084	1844	697 (37.8%)	1147 (62.2%)
	コンピュータ ユーザー	6238	1449	379 (26.2%)	1070 (73.8%)
	AI会員	846	395	318 (80.5%)	77 (19.5%)
1988年	合 計	4891	1480	305 (20.6%)	1175 (79.4%)
1987年	合 計	1025	323	301 (93%)	22 (7%)
1986年	合 計	732	307	46 (15%)	261 (85%)

第1部 AIシステムの利用状況

第1章 AI利用の現状

1.1 AI導入の状況

わが国におけるAIシステムの導入状況は、今回の調査（以下1989年調査という）によれば、コンピュータユーザー26.2%、AIセンター登録会員（以下AIC会員）80.5%で、合計すると37.8%の導入率となっている。1988年調査では、20.6%であったので、17.2%ポイントの増加となっている。

コンピュータユーザーの事業所の年商別導入状況は、図表Ⅱ-1-2に示すとおりである。導入済事業所は、年商100～1000億円が26.9%、1000億円以上が11.9%、50～100億円が10.8%となっている。

これを事業所合計の構成と比べると、年商1000億円以上の事業所の導入率が特に高いことがわかる。なお、年商について無回答の事業所が20.6%であった。

1.2 就業者規模別

AI導入状況

コンピュータユーザーにおける事業所の就業者規模別によるAIシステム

導入状況は、図表Ⅱ-1-3に示すとおりである。

導入事業所は、就業者300～1000人が26.1%、100～300人が24.5%、30～100人の事業所が17.7%となっている。これを事業所合計の構成と比べると、就業者1000人以上の事業所の導入率が高いことがわかる。

1.3 産業別AI利用状況

コンピュータユーザーの産業別AIシステムの導

図表Ⅱ-1-2 コンピュータユーザー事業所年商別AI導入状況(1989年)

導入状況	件数	1億円未満	5億円未満	10億円未満	20億円未満	50億円未満	100億円未満	1千億円未満	1千億円以上	無回答
合計	1449	5.8	8.1	5.0	5.9	12.2	13.0	26.7	5.9	17.6
導入済	379	4.4	6.6	5.0	6.3	7.1	10.8	26.9	11.9	20.6
未導入	1070	6.3	8.7	5.0	5.3	14.0	13.7	26.6	4.0	16.5

図表Ⅱ-1-3 コンピュータユーザー事業所就業者数別AI導入状況(1989年)

導入状況	件数	30人未満	100人未満	300人未満	1千人未満	5千人未満	1万人未満	1万人以上	無回答
合計	1449	11.6	23.3	28.6	23.6	8.0	3		
導入済	379	7.4	17.7	24.5	26.1	17.2	3	3	
未導入	1070	13.1	25.3	30.0	22.7	5.0	3		

入状況は、図表Ⅱ-1-4に示すとおりである。これによれば、公共サービス関連が導入率では47.7%で第1位で、次いで情報処理産業が34.4%である。以下、基礎資材産業、加工組立産業、教育公務関連が30%前後ではほぼ横一線である。

次に、各産業における導入パターン、つまり、AI向き言語やAIツールだけの導入か、AI向き言語+AIシステム、AIツール+AIシステム、AI向き言語+ツール+AIシステム、その他というパターン分けによる導入状況は、図表Ⅱ-1-5に示すとおりである。言語、ツール、システムすべてを導入しているパターンをみると、AI導入率の高かった公共サービス関連が57.1%と最も多い。これに比べて、AI導入率の最も低い生活関連産業は、言語、ツールのみの導入率が高く、これからAIシステムを構築していく段階であると考えられる。

1.4 AIシステムの利用状況

(1) AIシステム別利用レベル

コンピュータユーザーのAIシステム別利用状況は、図表Ⅱ-1-6に示すとおりである。

これによると379事業所のうち、AI向き言語を導入利用しているのは53.6%（203事業所）、エキスパートシステム用ツールは57.5%（218事業所）、エキスパートシステムは46.2%（175事業所）、機械翻訳システムは20.6%（78事業所）、知能ロボット9.8%（37事業所）、自動プログラミングシステム21.1%（80事業所）、画像理解システムは15.3%（58事業所）、音声理解システムは5.8%（22事業所）、自然言語理解システムは2.4%（9事業所）、その他AIシステムは4.2%（16事業所）である。

次に利用レベル別にみると、本格的利用の割合が高いシステムは、画像理解システムが63.8%、知能ロボットが62.2%、音声理解システムが54.4%の順である。なおエキスパートシステムの本格

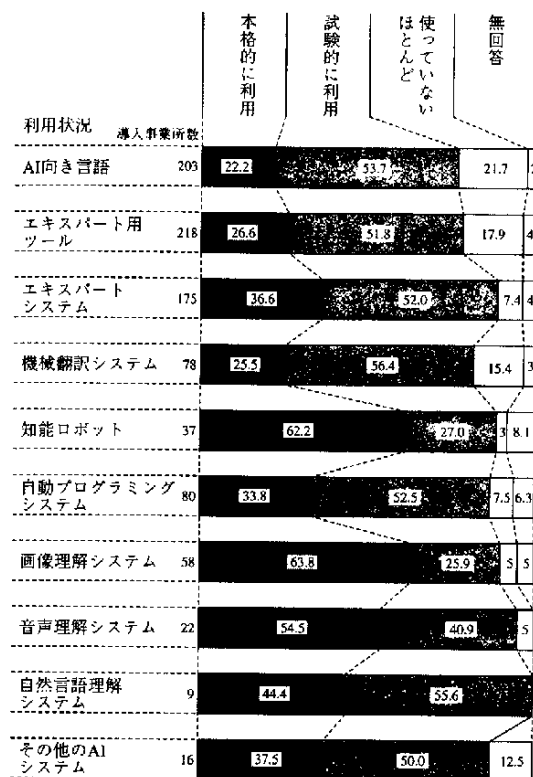
図表Ⅱ-1-4 コンピュータユーザー産業別
AI導入状況（1989年）

	件数	導入済	未導入
合 計	1449	26.2	73.8
基礎資材産業	276	30.4	69.6
加工組立産業	243	29.2	70.3
生活関連産業	192	10.4	89.6
公共サービス関連	88	47.7	52.3
商業金融関連	153	22.9	77.1
教育公務関連	239	29.3	70.7
情報処理産業	128	34.4	65.6
その他	61	13.1	86.9

図表Ⅱ-1-5 コンピュータユーザー産業別
AI導入パターン（1989年）

	件数	言語 + ツール	言語 + システム	ツール + システム	言語 + システム + ツール	その他
合 計	379	19.5	4	9.2	35.4	31.9
基礎資材産業	84	21.4	2	7.1	42.9	26.2
加工組立産業	71	15.5	3	14.1	31.0	36.6
生活関連産業	20	35.0		5	20.0	40.0
公共サービス関連	42	14.3	2	9.5	57.1	16.7
商業金融関連	35	11.4		17.1	31.4	40.0
教育公務関連	70	22.9	12.9	4	28.6	31.4
情報処理産業	44	18.2	9.1		36.4	36.4
その他	8	37.5		12.5		50.0

図表II-1-6 コンピュータユーザー
AIシステム別利用状況（1989年）



的利用は、36.6%となっており、試験的利用は52.0%である。ほとんど使用していないとの回答が多いのは、AI向け言語で21.7%、エキスパートシステム用ツールが17.9%となっている。また、機械翻訳システムについても15.4%がほとんど使用していないとの回答である。

1.5 AI利用企業経営層の意識

一般に、アンケート調査では経営の観点からの考え方をとらえることは難しい。そこで、経営におけるAIの活用について、百貨店系信販、食品、電線の各業種の3社に対しヒアリングを行った。ヒアリングの結果は、概要以下のとおりである。

(1) A社：百貨店系信販会社

A社は、百貨店やスーパーなどをグループに持つ企業グループのカードビジネス部門でショッピ

ングクレジット、キャッシュローンクレジット、リース、保険、信用保証、投資などを主な事業にしている。

A社は当初クレジットカードの取扱い会社としてスタートしたが、1988年7月から国際カードの発行を開始した。これはカードの加盟店を拡大するための戦略で、この数年の間に発行カードは700万枚、7%のシェアを持つまでになった。

カードビジネスは、同社のような小売り業系のハウスカードと、銀行系の国際カード、国際カードとの間で熾烈な競争が繰り広げられている。こうした競争に勝ち残るためには与信判定をこれまで以上に効率化し、サービスを向上させる必要があるが、そうした処理にAIを使えないかと5年程前から調査を開始し、現在プロトタイプを開発、試用中である。

A社がAI利用対象にしているのは、初期与信設定、途上与信設定、ファイナンシャルプランニングの3つの分野。現在こうした与信設定は汎用コンピュータを利用し、統計的スコアリング手法で行なっており、かなりのレベルまで来ているので満足度は高いが、例外的なもの、人間の経験が必要とするものはさらに細かな判断をしている。この部分にAIを応用できないか模索中である。特に途上与信（ビヘイビア・スコアリング：クレジットを利用していく途上で再度スコアリングを行うこと）は人的判断が多いので、AI利用の対象となりうる。またファイナンシャル・プランニングは、銀行が狙っているパーソナル・バンキングへの対抗策としてA社が打ち出している「総合生活情報提案」のメイン・メニューであり、2000年を目指したカード戦争の“切り札”でもある。

こうした事業戦略のためにA社が3年前から利用しているのは、米国アプライドエキスパートシステム社の「プランパワー」というエキスパートシステム構築ツール。日本では富士ゼロックス社

がこの権利をもっているため（プランパワーは米ゼロックス社のAIワークステーション上で開発されている）、富士ゼロックス社が日本語化したプランパワーを利用、ハードウェアもAIワークステーション「Xerox1121」を導入している。

これらのツールを使って40才代、50才代の生活コンサルティング・システムなどを開発している。このシステムは、個人の資産価値を算出し、これを基にローコストのローンを組むことにより、ゆとりのある生活設計の提案をするシステムである。現在はグループの社員を対象にしているが、これをユーザー対象にすることによって、ライフスタイルに関する情報サービスを提供したいとの考えだ。このサービス自体は無料であり、同社の扱う保険や年金その他を利用してもらうことが狙いである。

同社は全国160カ所でカウンターを持っているが、将来的には他社にはないこのカウンターを活用した情報サービスを提供、他社との差別化を計画している。

同社がAIの利用対象にしている分野は、不確定要素が多い分野、ルールの書き替えが必要な分野などである。こうした分野をCOBOLで記述することは相当に困難であり、分野によっては格段にシステム構築が容易であるという。

将来的には、汎用機での利用を考えており、そのためにはインタフェースの改善を望んでいる。AIの発展について同社はAIマシンという枠を設けると需要の拡大にも制約がつくが、汎用機上での利用なら需要は飛躍的に拡大すると予想している。

（2）B社：酒類製造販売

この企業のAI利用は3～4年前からスタートしている。AIのビジネスへの応用がマスコミで盛んに取り沙汰されていた時期で、こうした時代的要因を基に、AI技術を習得しておく必要に迫られたことがキッカケである。AI技術の習得には情報シ

ステム部を中心に取り組んだ。

最初に取り組んだのは社内の通信ネットワークの故障診断システム。しかしこのシステム開発はプロトタイプで終わった。その原因は、初めて取り組むには対象が大きすぎ、かつ複雑だったためで、その後1年ほど手付かずの状態が続いた。当初の故障診断システムへの反省を含め、その後に開発したのがワイン選定のためのエキスパートシステムと、リーチインクーラー（店頭に設置される冷蔵庫）の棚割りシステムである。いずれも営業支援システムであり、パソコンを利用した点に特徴がある。

ワイン選定エキスパートシステム（ES）は1988年秋から稼働を開始、現在までに約30ユーザーになった。大阪にある第1号ユーザーの百貨店では、地下1階にワイン1700種を含め3200～3300種の和洋酒を販売しており、ワインコーナーの入り口に、ワイン選定ESを設置。同百貨店によると、1日のワインの売り上げは約400本で、このうち1割がこのESによるという。同百貨店では売り上げに貢献していると評価している。このESには600種のワイン情報がデータベース化されているが、いずれもこの食品会社のワインに限られている。この点、酒販店にとっては制約条件になるが、食品会社にとっては、酒販店支援ツールとして効果を上げていることは確かである。

棚割りシステムは酒販店からリーチインクーラーのデータをフロッピーで貰い、これを同社側でシステムにかけて分析し、データを酒販店にフィードバックするシステムで、1990年から稼働を開始した。

食品業、なかでもB社のようなアルコールメーカー各社は販売チャネルの開拓、活性化が一大テーマである。したがって、ワイン選定ESにしてもリーチインクーラーにしても重要なシステムといえる。ワイン選定ESは、同社入社3年の女子社員が中心になり、ソムリエにインタビューし

ながら開発したという。これだけでも話題性があるが、そのシステムの発表会ではホテルのソムリエに好評だった。酒販店からも面白いといった反応が多く、AI効果は充分に出ている。

B社では“AIの普及によって、中間管理職はなくなる”と冗談半分にいう場合もあるというが、いずれにしても経営診断（例えば生産計画や需給調整）には適用可能と判断しており、需給調整については現在一部利用が始まっている。またセールス支援活動にも適用可能と捉えている。一人前のセールスマンになるには相当の年月を必要とするが、どういう状況のときにどう対応するのがよいかといったベテランセールスマンのノウハウをシステム化したい意向。

また現在、工場の工程管理システムのAI化を進めている。ただし、プロトタイプから本番に移行するまでには時間がかかるため、この2～3年で生産管理調整システムのようなものの全面稼動が可能とは考えにくい。むしろこの数年は、知識がコンパクトにまとまり、マーケットにプラスになるような部分で、AIを使うことになろうと考えている。また、同社は、全社的に情報網の見直しを行っている。これからはAI、画像による情報処理時代が来ることは確実で、AIに対する期待は大きい。将来的にはオーダーエントリーシステムの構築も検討している。

（3）C社：電気工業企業

C社では10年程前から「生産から販売までの一貫システム」の構築に着手してきた。20事業部ごとの縦のライン（営業、設計、生産、出荷など）の統合化が目的である。しかし、一貫システムはデータのリアルタイム性に欠けるため、数年前からCIMの構築に着手し、プログラムコントローラ系と事務処理系のドッキングを図った。

C社がAIに本格的に取り組み始めたのは約5年前。B社同様、時代的要求を背景に、どの分野でAIが利用可能かを探ること、および同社のワーク

ステーションの拡張策としてAI対応を図る、というのが主な狙いであった。

どの分野でAIが利用可能かを探る第1ステップとしてC社では、ボイラーの故障診断システムのプロトタイプを開発した。本番で使えるかどうかは、特に意識しなかったという。これによってAIのシステム化についての感触を掴んだC社は、その後、いくつかのAIアプリケーションを開発している。その利用ジャンルは、製品製造工程の設計・診断系および生産計画（部分的）である。

C社のAI利用は、これまで手をつけていなかった分野での利用と、従来の手法では行き詰まりを感じておりそれを打開するため、という2つのアプローチに分けることができる。例えば後者の例として、粉末合金事業部での金型の選択への応用がある。これは約300のルールベースを用いているが、これにより、形状、強度能力などを拡張した選択肢が得られるようになった。

AIでなければ開発不可能という対象はなく、システム開発のそれぞれの局面で必要に応じてAIを利用すべきであると判断するようになった。要は、その局面（システムの部分）がAIを使ったほうが馴染みやすいかどうかにかかっているということだ。

こうした一連のAIへの取組を通して、C社ではAIの期待効果について、以下のように結論づけている。

システム開発のどの部分がAIに馴染みやすいかということでは、例えばすでにシステムとして固まっているものを拡張したい場合などがあげられる。また、知識ベース、ルールベースなどがスムーズに積み上げられるような仕組みになっていれば、AIは馴染みやすい。逆にいえば、それらのメンテナンスをどのように行なうかが重要になる。

現在のAI技術では、AIが人間の判断に取って替わるということではなく、あくまでシステム開発

を早くするための技術の1つである。その意味ではAIツールに対する世間の期待は大き過ぎると言える。当面は、自分たちが使える必要充分なツールを選んでいくことが重要。もちろん、いまのAIツールは従来のツールに比較すれば革新的であると判断している。

C社はAIベンダーでもある。同社のワークステーションは、エンジニアリングワークステーションという性格上、FA（工場自動化）、LA（研究開発自動化）を目的としたユーザーが圧倒的に多く、AIユーザーは数パーセントに過ぎない。しかし、EXPERT-UのようなAI構築支援ツールがあることは、ワークステーションの拡販策としては重要になっている。AIベンダーとしてのC社は、関連会社を通じ、パソコン用エキスパートシステムなども販売し、AIの受け皿づくりを進めている。

AIの今後の展開についてC社は、2～3年先までは状況は現在とそれほど変化はないと判断している。しかし、たとえば20年先といった長期的な展望に立った場合は、それまで積み上げてきた機能（推論機能）が高まり、かなりのレベルまで行くだろうと期待している。

C社としては、AIは主として診断系に使えると判断。センサーなどと繋ぎ、自動リアルタイム制御まで発展し、AIらしさを発揮すると予測。ただし、同社としては、ファジイ技術の方が、AI以上に明確な形で使えるのではないかと期待している。さらにC社は、並列コンピュータへも期待しているということである。

第2章 個別AIシステム利用の現状

本章では、第2次調査の回答に基づいた分析結果の概要について述べる。なお、第2次調査の対象は、第1次調査のAIシステム導入利用済697事

業所としたが、回答数は328事業所（回答率は47.1%）である。

2.1 エキスパートシステム

エキスパートシステムの定義を前回（1988年）同様「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、ユーザーの問題解決を行なうためのシステム」とした。

エキスパートシステムの利用状況は、163事業所が合計668システムを保有し、1事業所当たり平均4.1システムとなっている。1988年調査の1.97システムに対して約2倍である。産業別にみると、加工組立産業が6.2システム、教育・公務関連5.2システム、情報処理産業が4.1システム、基礎資材産業が3.3システム、公共サービス関連が2.8システム、生活関連産業が1.9システム、商業・金融関連が1.8システムとなっている。

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は、資料編3-11に示すとおりである。

エキスパートシステムの実用化が進み、その適用業務も広がりを見せていることから、今回は前回（1988年）調査より適用業務の選択肢を大幅に増やしたので、この調査結果を前回と単純には比較できない。

今回、エキスパートシステムの適用業務として多く挙げられたのは故障診断49件（11.6%）と計画・シミュレーションの47件（11.1%）であり、次にプラント操業管理21件（5.0%）、自動設計20件（4.7%）、窓口相談14件（3.3%）、生産ライン操業管理11件（2.6%）、そして電力系統事故判定とCAIが各10件（2.4%）と続いている。また、法律判例や企業診断、資金運用さらには経営戦略も適用業務として挙げられており、エキスパートシステムの適用が生産系業務から事務・

サービス系さらには経営分野にまでが確実に浸透していることが示されている。

次にエキスパートシステムの技術的観点からの型分類についての回答は、図表Ⅱ-1-7に示すとおりである。これによると診断型37.8%、計画型22.9%、設計型12.3%、解釈型12.1%、制御型7.8%、その他4.0%の順である。なお、無回答が22.7%であった。

2.1.2 開発目的と期待効果

エキスパートシステムを開発する目的は図表Ⅱ-1-8に示すとおりである。

社内使用専用が全体の62.5%を占めている。社内使用だが外販の用意もあるが15.4%、外部から受注して開発が22.1%である。

産業別に見ると、社内使用専用で最も多いのが生活関連産業の84.6%。次いで商業金融関連の68.0%、公共サービス関連の63.8%と続く。

これに対し、エキスパートシステムをビジネスの対象にしているとみられる「外販の用意もある」と「受注開発」を加えた場合、当然ながら1位は

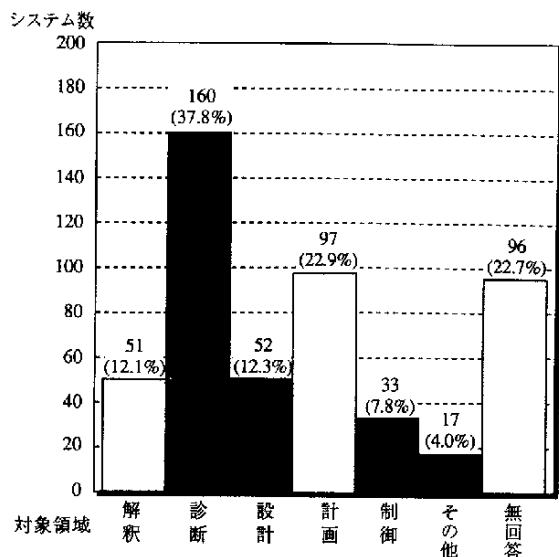
情報処理産業で57.7%、2位は加工組立産業の21.8%、3位は公共サービス関連の21.3%である。

次にエキスパートシステムの導入による期待効果については図表Ⅱ-1-9にみるとおり、1987年、1988年、1989年（今回）の3年間、「専門家の仕事量の削減」、「業務の質の向上」、「業務の質の均質化」とその順位は変わっていない。

2.1.3 システムの開発・利用段階

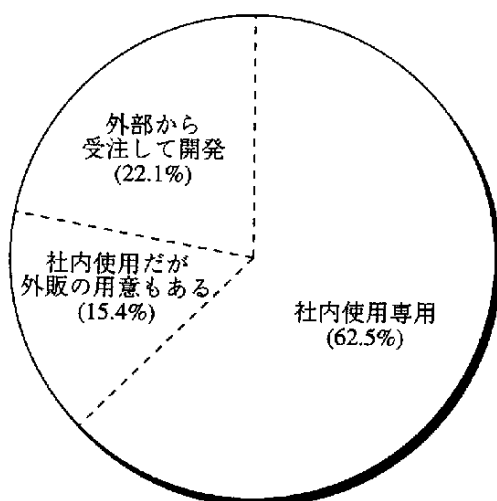
エキスパートシステムの開発・利用段階別状況を示したのが図表Ⅱ-1-10である。1989年は実用システムとして稼働中のものが196件29.3%、フィールドテスト中87件13.0%、プロトタイプとしての評価・改良中が137件20.5%、デモ・実験のみに利用72件10.8%、設計・開発段階140件21.0%、あまり使っていない36件5.4%となっている。1988年と比較して、実用化の割合が27.6%から1989年は29.3%に、また設計・開発中のシステムも13.2%から21.0%へと増加している。これらの動向から、産業界におけるエキスパートシステムの実用化が進んでいるということが出来る。これ

図表Ⅱ-1-7 エキスパートシステム対象領域別内訳 (1989年)



摘要：合計回答数 423システム

図表Ⅱ-1-8 エキスパートシステム開発の目的 (1989年)



摘要：合計回答数 312システム

に対して、あまり利用していない、との回答も1988年は3.0%なのに、1989年は5.4%と増加しているのが目立っている。

2.1.4 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1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-1-11 (a)に示すように、回答を得た304システムのうち、100ルール以下のシステムが96件31.6%、101~200ルールのものが72件23.7%、201~500ルールが80

件26.3%と、500ルール以下のシステムで計81.6%を占め、大半がこの範囲に収まっている。1988年は500ルール以下のものが計83.6%であったので今回は、1.2%ポイントの減となっている。

また、1000ルール以上2000ルールまでのシステムが12件3.9%。2001ルール以上のものが5件1.7%である。

(2) フレーム数

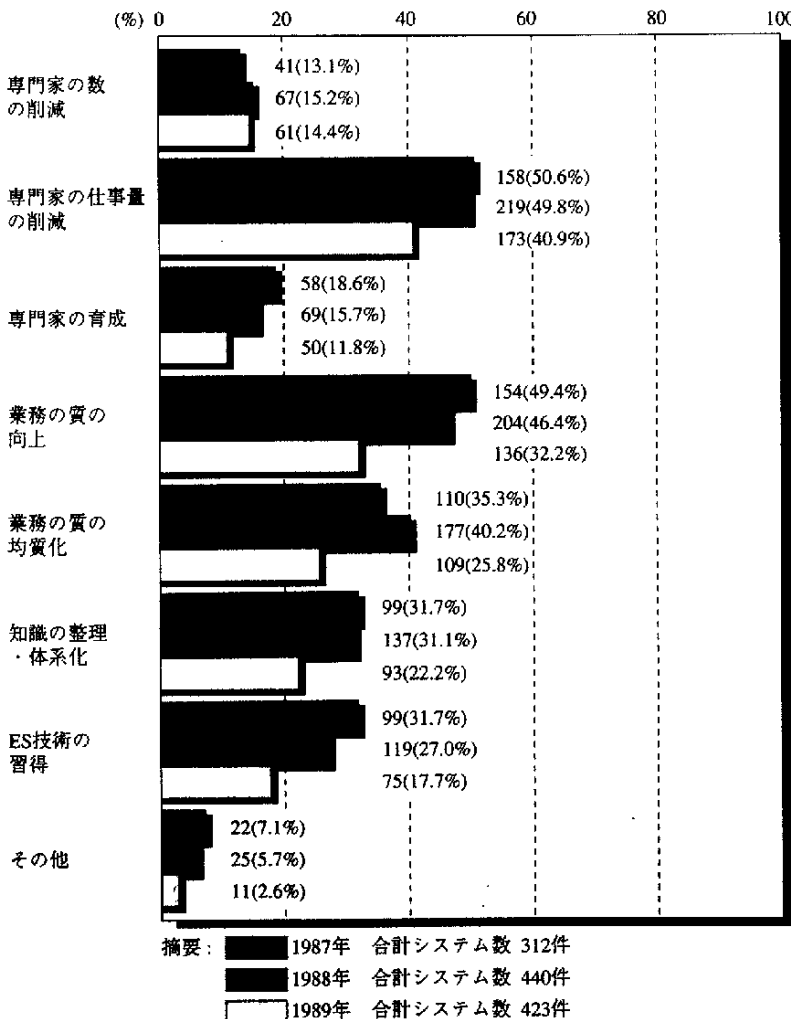
図表Ⅱ-1-11 (b)に示すように、回答を得た216システムのうち、100フレーム以下のシステムが125件57.9%、101~200フレームのものが38件

17.6%、201~500フレームが27件12.5%と、500フレーム以下のシステムで計88%を占め、大半がこの範囲に収まっている。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。

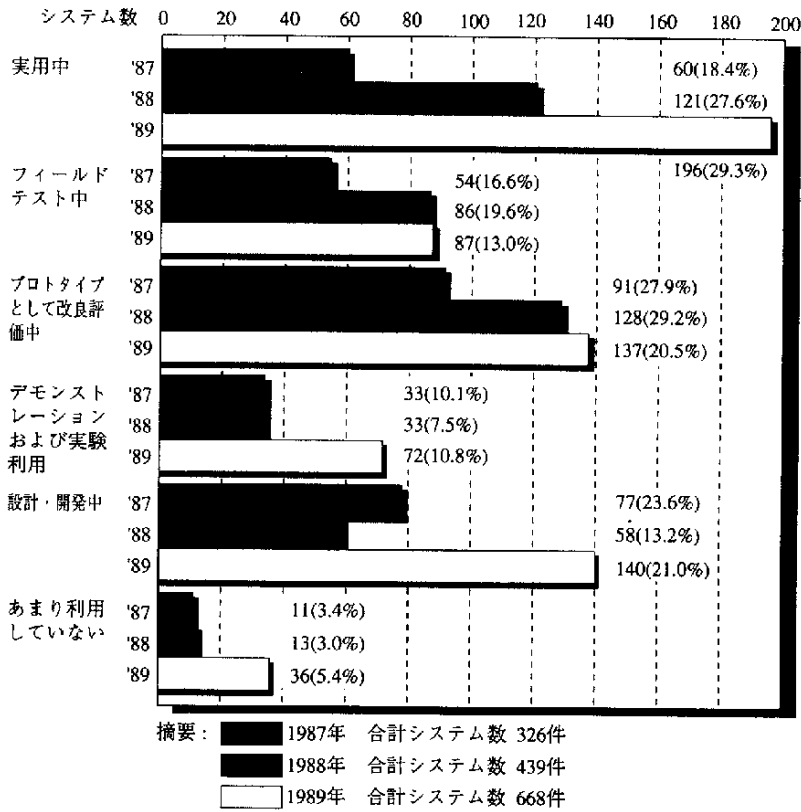
(3) 開発費用

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-1-12に示す。回答を得た221システムのうち、21~30%のものが54件24.4%と最も多い。次いで31~40%が37件16.7%、41~50%が36件16.3%、11~20%が36件16.3%の順である。また、51%以上の費用を要しているとの回答が約

図表Ⅱ-1-9 エキスパートシステムの期待効果



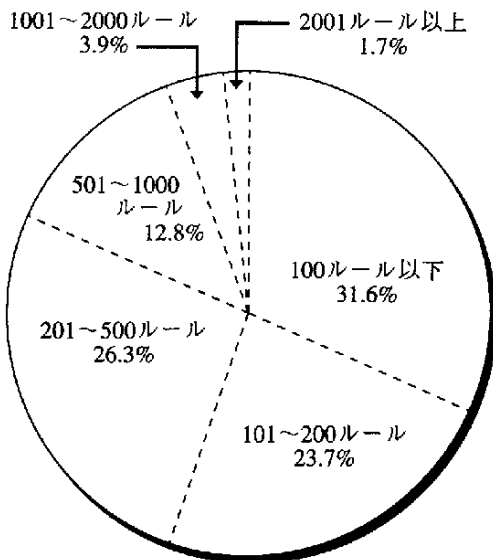
図表II-1-10 エキスパートシステムの開発・利用段階別内訳



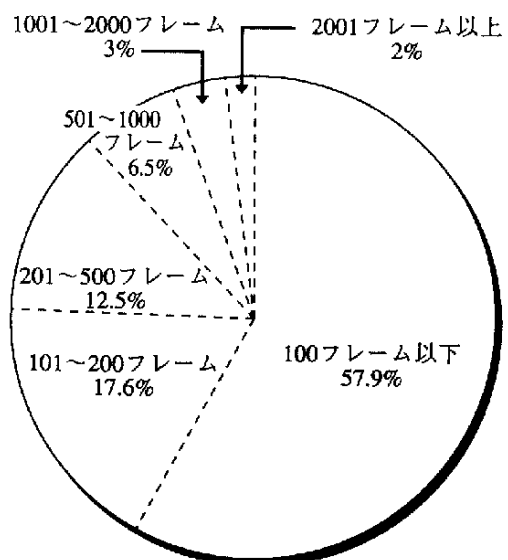
図表II-1-11 エキスパートシステムの規模 (1989年)

(a) ルール数

(b) フレーム数



摘要: 合計回答数 304システム



摘要: 合計回答数 216システム

30件13.5%である。マンマシンインタフェースは、手数がかかっていることが表れている。

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-1-13に示すとおり、回答を得た168システムのうち、21~30%のクラスが47件28.0%と最も高い割合を示し、次が、50%以上の費用を要しているとするものが33件約19.6%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。

2.1.5 使用ツール

エキスパートシステムの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）について、AI向き言語とシェル等のツールの使用状況を開発用と実稼働用とに分けて回答を得た。

(1) AI向き言語

AI向き言語の使用状況は、図表Ⅱ-1-14に示すとおりである。開発用、実稼働用ともLisp系とC言語系の使用割合が高くなっている。開発用では、308システムのうちLisp系が128システム41.6%、C言語系が92システム29.9%となっており、これが実稼働用では、Lisp系が108システム39.4%、C言語系は97システム35.4%と開発用に比較して5.

4%ポイント増加している。

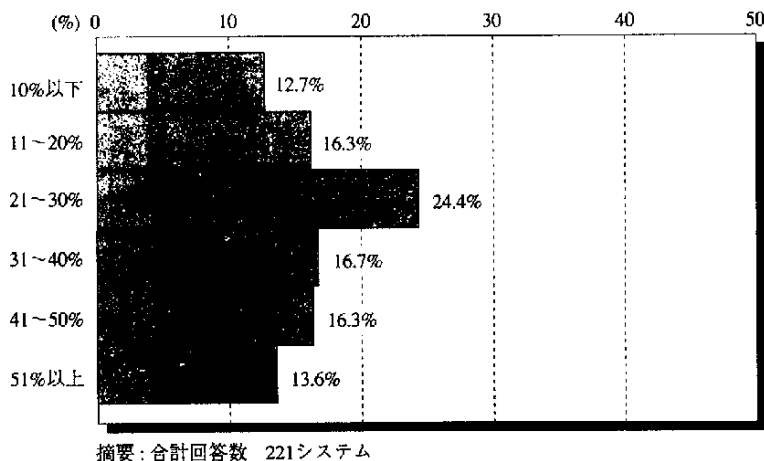
これは、実稼働の場合には汎用性および処理速度の点で有利なC言語系を採用しているとみることができる。なお、prolog系の開発用は11.7%、実稼働用は8%である。

(2) シェル等のツール

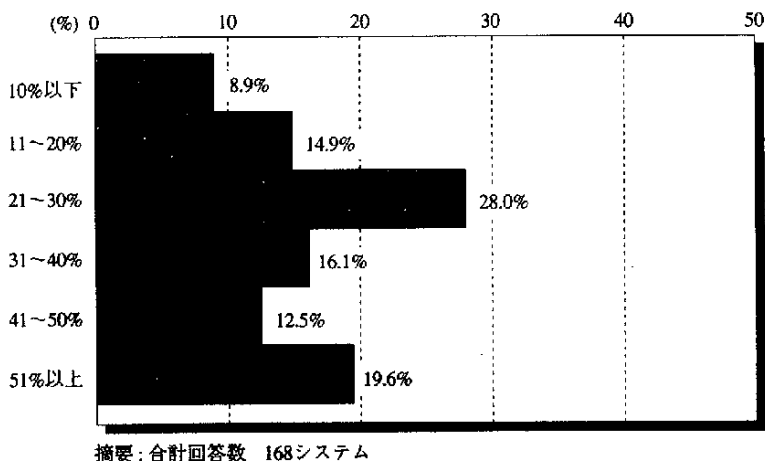
エキスパートシステム用シェル等のツールの使用状況は図表Ⅱ-1-15に示すとおりである。

この結果から開発用は324システムのうち219システム67.6%が、また実稼働用は286システムのうち194システム67.8%が市販のツールを使用している。これに対してツールを自社開発しているとの回答は、開発用の場合80システム24.7%、稼働用68システム23.9%である。また、ツールを使用しないで、プログラムを作成していると思われる

図表Ⅱ-1-12 マンマシンインタフェースに要した開発費用割合(1989年)



図表Ⅱ-1-13 知識の獲得・整理・変更に要した開発費用割合(1989年)



回答が21システム6.5%である。

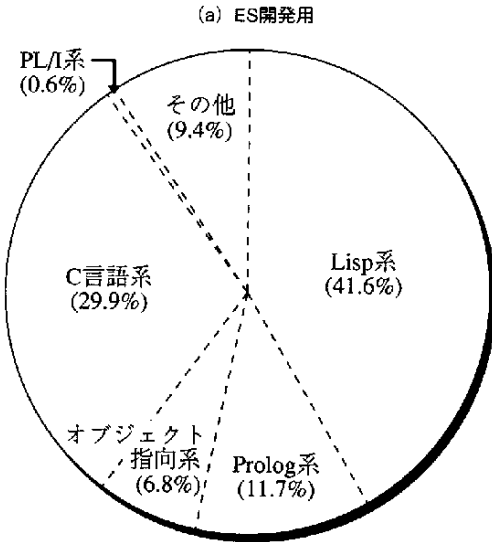
2.1.6 使用マシン

エキスパートシステムの開発用および実稼働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）、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-1-16、図表Ⅱ-1-17に示した。

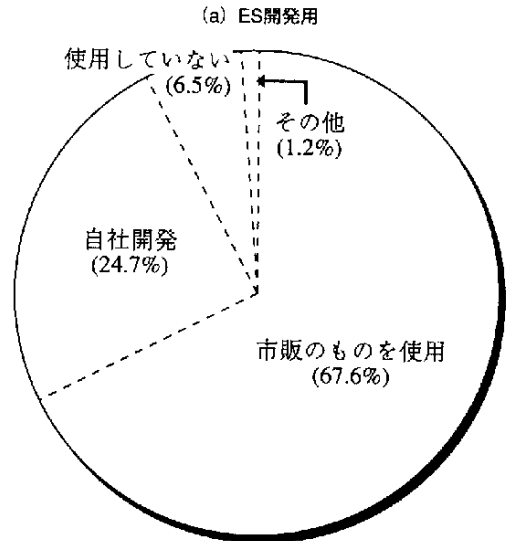
開発用マシンについて、1988年から調査対象にコンピュータユーザーを加えたのが要因となってワークステーションやパーソナルコンピュータの使用割合が急増している。1989年の場合は、ワー

図表Ⅱ-1-14 エキスパートシステムの使用言語
(1989年)

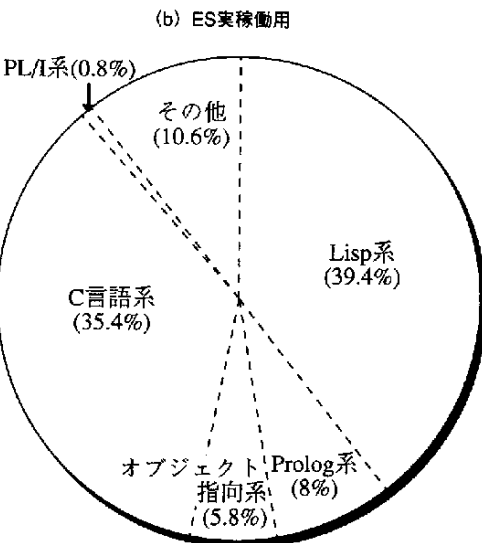


摘要：合計回答数 308システム

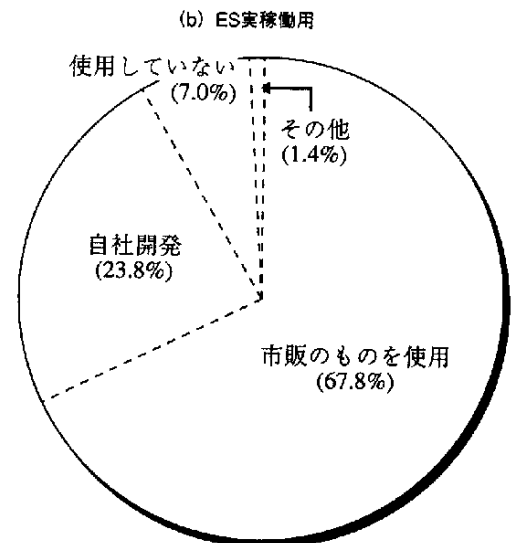
図表Ⅱ-1-15 エキスパートシステムの使用ツール
(1989年)



摘要：合計回答数 324システム



摘要：合計回答数 274システム



摘要：合計回答数 286システム

クステーションが329システムのうち122システム37.1%、パーソナルコンピュータが126システム38.3%となっており、いずれも前年対比で増加している。これに対し、AI専用マシンは8.2%と対前年比2.8ポイントの減となっている。

実稼働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はほぼ同様にパーソナルコンピュータおよびワークステーションの利用を指向している。1989年の場合、306システム中パーソナルコンピュータ利用が122システム39.9%、ワークステーションが96システム31.4%となっている。

2.1.7 実用システムの評価

実用中のエキスパートシステムに対する評価は、図表Ⅱ-1-18に示すとおりである。実用中のシステム123のうち、非常に効果があったと評価するものが70システム56.9%、まあ効果があったが42システム34.1%で両者合計すると91%に達する。効果がなかったとの回答は1システムのみである。

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いか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

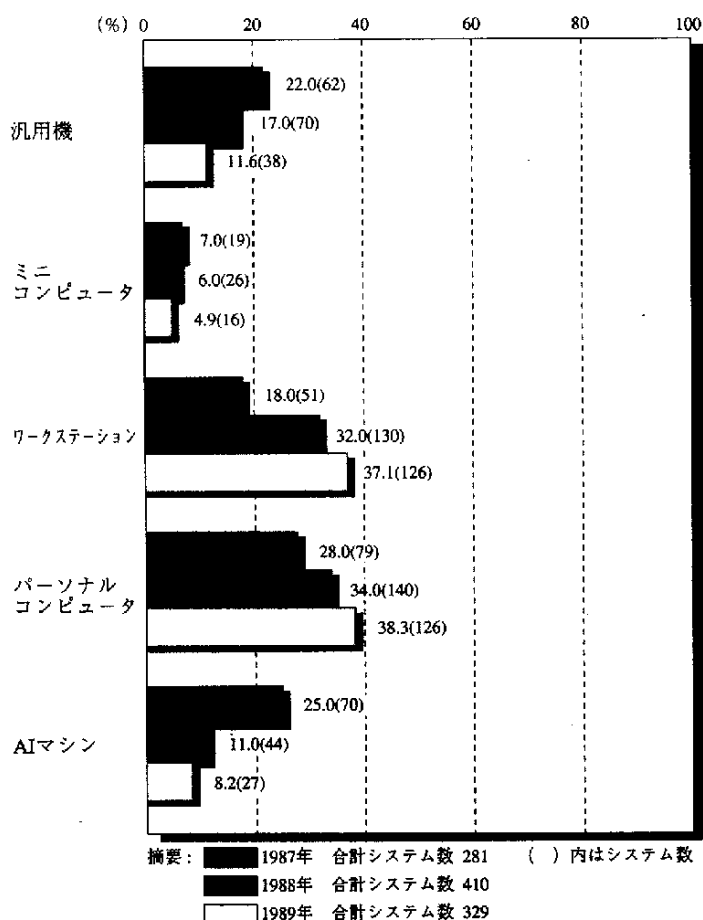
知識獲得の方法については、図表Ⅱ-1-19に示すとおりである。回答の中で、専門家に対するインタビュー方式が最も多く、1989年は130件82.3%あった。続いて、整理されたドキュメントから知識を獲得する方法が83件52.5%で、この2つの方法の比率が高

い。次に専門家の現場に弟子入りする方法22件13.9%、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11件7.0%とある。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。

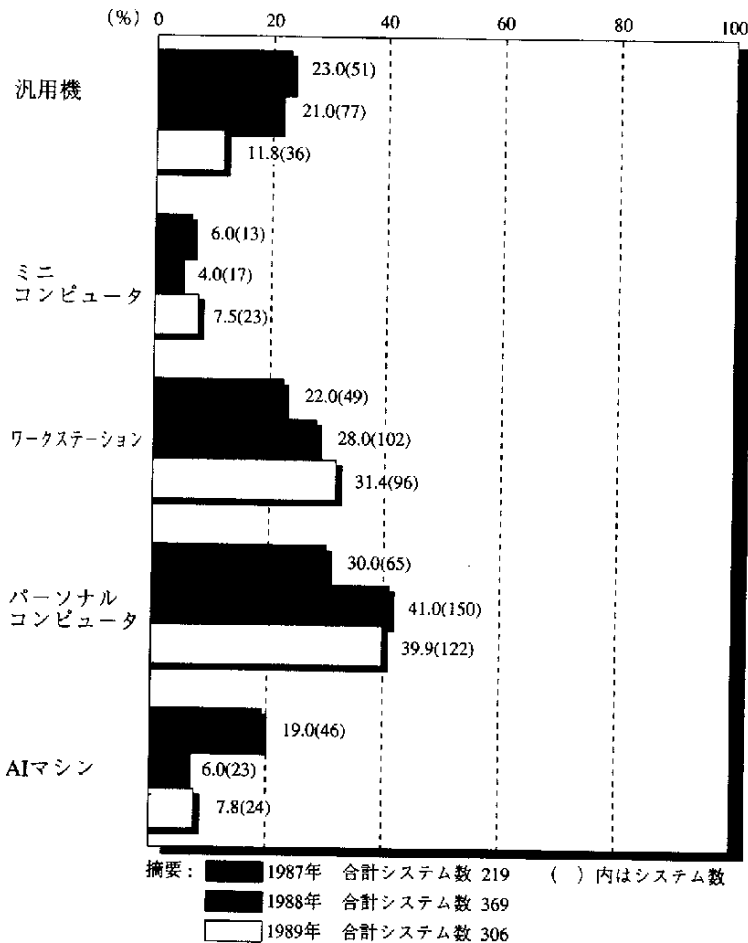
(2) 知識獲得方法の今後の課題

知識獲得の今後の課題については、図表Ⅱ-1-20に示すように、52件37.4%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」および「インタフェース等の開発環境全体の整備」が各々33件23.7%、「ツール、ドメインシェル等の整備」は16件11.5%となっている。

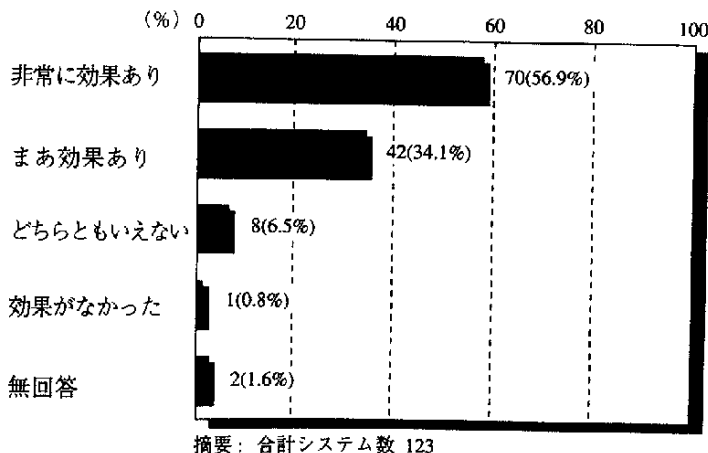
図表Ⅱ-1-16 エキスパートシステム開発用マシン



図表II-1-17 エキスパートシステム実稼働用マシン



図表II-1-18 実用エキスパートシステムの評価 (1989年)



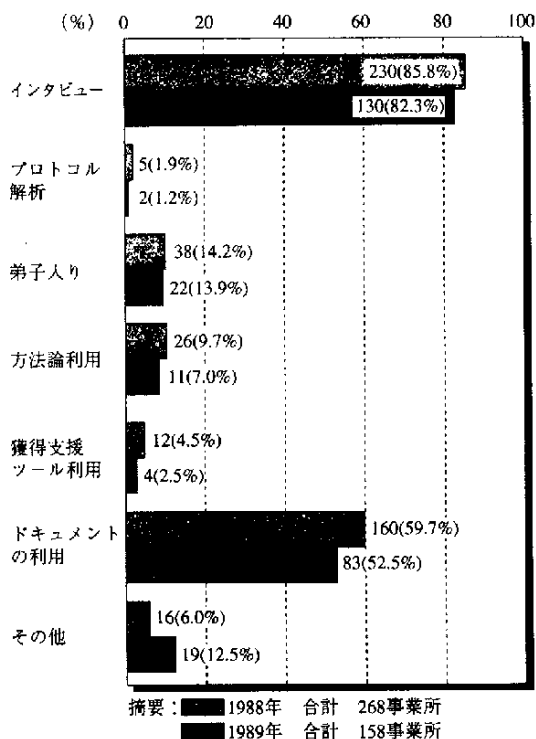
(3) 開発体制

エキスパートシステム開発体制については、図表II-1-21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56件36.8%、専門家と知識エンジニアが協力するケースが35件22.9%、専門家と情報処理部門が協力するケースが21件13.8%、情報処理部門が主体となっているケースは18件11.8%、専門家自身が主体となっているケースも17件11.2%ある。

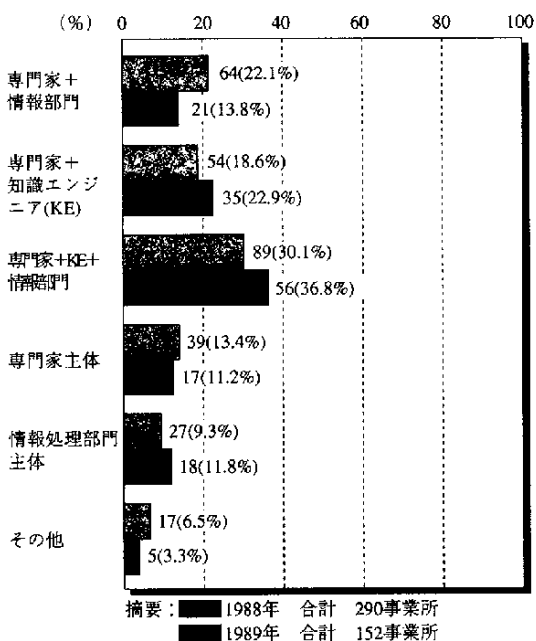
2.1.9 外部機関の利用

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-1-22に示すように、回答事業所155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、ソフトウェアハウスで66件42.6%である。次に、コンピュータメーカー59件38.0%、大学その他公的研究機関が54件34.8%、民間研究機関／専門家24件15.5%となっており、22件14.2%が利用は考えていないと回答している。

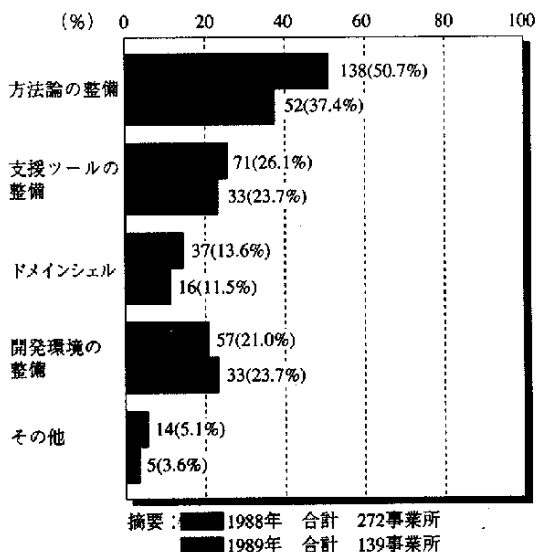
図表II-1-19 エキスパートシステムの知識獲得方法



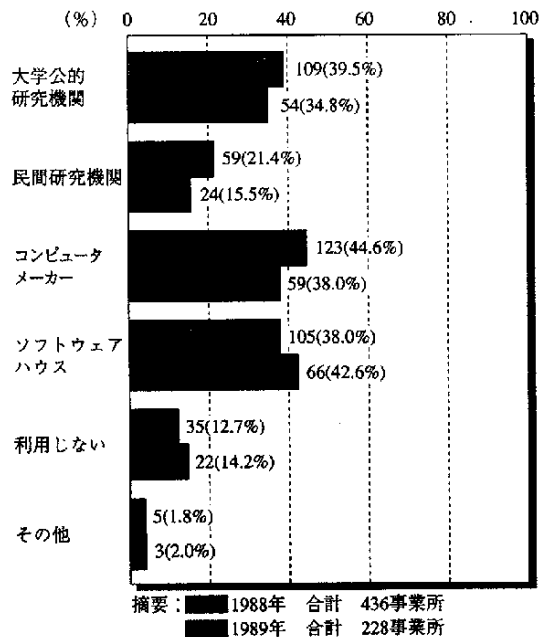
図表II-1-21 エキスパートシステムの開発体制



図表II-1-20 知識獲得の今後の課題



図表II-1-22 エキスパートシステム開発に
利用したい外部機関



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、事業所が抱えている問題について163事業所の回答結果は資料編3-24に示すとおりである。

「知識獲得に障害がある」が75件46.0%、「知識エンジニアが不足である」が57件35.0%、続いて「開発者がメンテナンスまで関わらざるを得ない」53件32.5%、「知識ベースのメンテナンスが困難」40件24.5%、「専門家の業務の一部しか移植できない」38件23.3%、「開発にコストがかかりすぎ、効果と引き合わない」30件18.4%、「現在の技術では能力が不足」81件29.2%などとなっている。

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-1-23に示すとおりである。

現在の投資額については、回答数163のうち、3000万円未満の合計が65件40%で、これは1988年の63%を下回っている。これに対し、3000万円以上1億円未満が52件32%、1億円以上が31件19%といずれも1988年を上回っており、投資額が大きくなる傾向がある。

将来（5年後）については、1億円未満とするものが72件44.2%で、前年（1988年）の63%を下回っており逆に1億円以上5億円未満は53件32.6%と前年の27%から5%増加となっている。次に、5億円～20億円未満とするものは10件6.1%、20億円～100億円未満とするものが3件1.8%であった。

2.1.12 その他の自由コメント

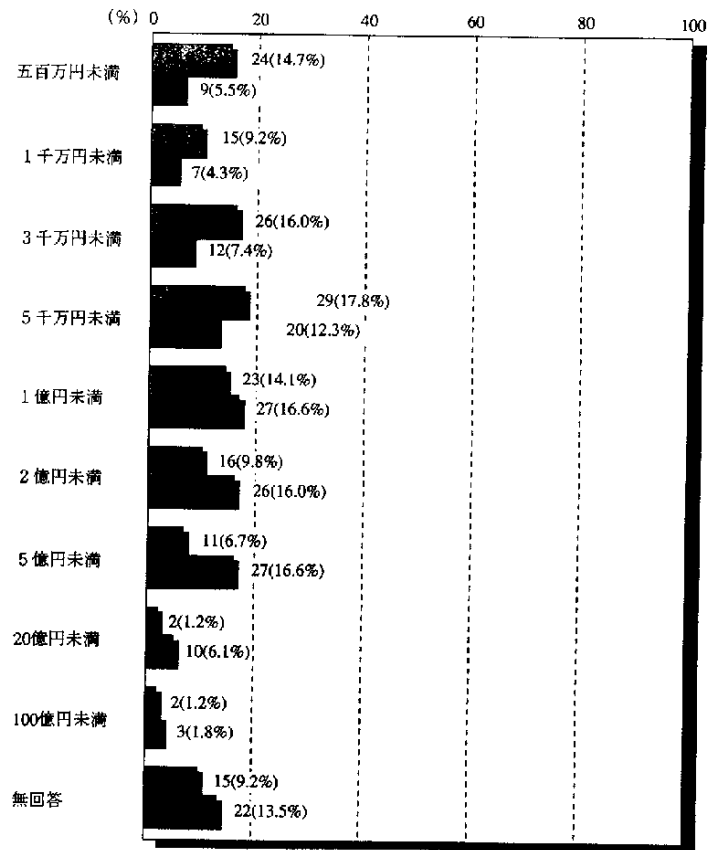
将来のエキスパートシステムの

利用について自由記述形式で回答した87事業所からの戦略、計画、意見等を適用分野・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・対象業務に関するもの

・設計業務支援	16件
・生産計画、生産管理支援	16件
・オンライン操業支援	10件
・データベース検索支援	6件
・ソフトウェア開発支援	5件
・故障診断、保守支援	5件

図表Ⅱ-1-23 エキスパートシステム開発の累積投資（1989年）



摘要： ■ は現在(1989年) 合計 163事業所
 ■ は5年後 合計 163事業所

- ・見積業務支援 3件
- ・物流計画支援 2件

今後のエキスパートシステムの適用計画では設計業務と生産計画・生産管理業務の支援を予定している事業所が目立っている。設計業務への適用を計画しているところは、重工業、造船、エンジニアリング、鉄鋼、電機、自動車部品、ガス、ソフトウェア、研究所等である。重工業の場合、プラント設計において、現在のさまざまな設計マニュアルをAI化し、見積から設計、建設、試運転まで十分に耐えるツールとする。また、土木建設のケースでは、土木建設支援システムとして、計画、設計、施工段階の判断を支援する。造船業のケースでは設計・計画用コンサルティングシステムとして開発し、便覧や各種ノウハウ集の代替をする、などが考えられている。

生産計画・生産管理業務への適用を計画している事業所は、石油化学、鉄鋼、化学、石油、ゴム、自動車部品、電子工業等である。鉄鋼のケースでは、生産管理システムの中で人間判断に依存している機能のシステム化を、自動車部品の場合では、生産、製造計画の最適化が考えられている。石油プラントのケースでは、異常診断を含む装置運転支援を連携した生産計画、生産管理システムへの適用をあげている。特に、オンライン操業支援、自動運転システム、無人化システム等への適用を計画しているものも多い。その他クレジット与信業務の審査支援、物流の配車計画支援、自治体業務の効率化のための適用などがある。

(2) 開発戦略に関連するもの

- ・既存情報システムとの接続・知識化 (3件) (ガス)
- ・エキスパートシステムのみのビジネスは成り立たない。既存システムの知的化を含めたトータル化 (情報処理)

- ・知識の整理を支援するビジネス化 (情報処理)
- ・エキスパートシステム化が可能な業務を拡大していく (銀行)
- ・現在のAI技術に問題があるが使える技術があったら部分的でも使っていく (事務機)
- ・AI化の促進は情報システム部門が主体になって進める必要がある (商社)

(3) システム化促進に関するもの

- ・毎年AIの利用について社内PR会を行っている (事務機)
- ・パソコンやワークステーションが普及して、時間と場所の制約なくデータベース、知識ベースへのアクセスが可能となる。また、個人やグループ間の相互対話が推進される (銀行)

(4) 将来の見通しに関するもの

- ・エキスパートシステムとロボティックス、ヒューマンインタフェース、画像理解等のAIの他分野とが併用されると需要が伸びる (建築)
- ・プロトタイプ手法によるエキスパートシステム開発用ツールを利用したシステムの適用が広がる (ソフトウェア)
- ・現行技術では診断型が中心 (精機)。
- ・将来は計画型が増大する (回答3件)。
- ・ロバスト制御などの制御理論、ファジィ、ニューロなどを組み合わせたエキスパートシステムが増加する (鉄鋼)。
- ・パソコン用システムの普及により、利用者自らが開発保守できるツールが主流になる (電力)。
- ・総合行政窓口相談業務のエキスパートシステムの構築を目的として、その一部の宿日直者の窓口業務支援システムをプロトタイプとして開発したが、現

行高級言語（COBOL等）で作成したシステムと比較して、AIの特性を活かしたシステムとならなかった。しかしながら、住民ニーズの多様化に向けてエキスパートシステムに対する期待は大きい。扱いやすい開発ツールの出現を望む。また、教育行政（学校教育の現場）においては時間割作成、CAIなどへの利用効果が大いと考えられる。また、保健医療行政においても医療診断支援システムへの利用効果が大いと考えられる（地方自治体）。

1987年の29事業所（10%）31システム、1988年の37事業所（13%）44システムと比較してみると、導入数が着実に伸びていることを示している。

機械翻訳システムを今後導入利用予定している事業所は46事業所（15.9%）で、1987年46事業所（16%）、1988年64事業所（23%）に比べてやや減少している。

機械翻訳システム導入事業所を産業分野別に見ると、教育・公務、基礎資材、情報処理といった産業が多く、特に教育・公務が1987年から1989年にかけて、1事業所→11事業所→12事業所へと増

2.2 機械翻訳システム

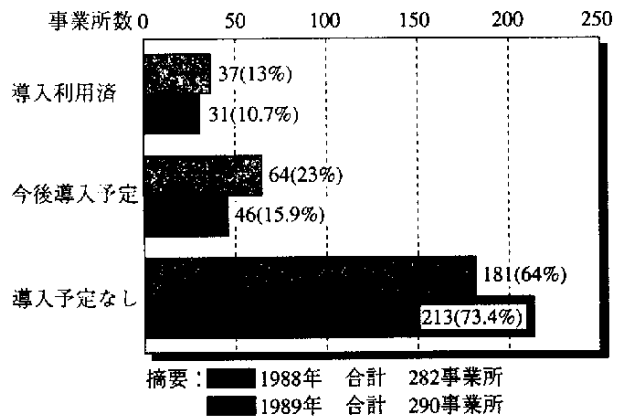
2.2.1 利用概況

機械翻訳システムは、コンピュータの出現とともに研究開発が行なわれ、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おり、製品の発表も活発化しているAI応用の分野である。

本調査では機械翻訳システムを「コンピュータを用いて、ある自然言語（例えば日本語）で書かれた文書を他の自然言語（例えば英語）に翻訳するシステム」とした。

今回の調査で回答290事業所のうち、機械翻訳システムを導入しているところは、図表Ⅱ-1-24に示すとおり31事業所（10.7%）52システムとなっている。これは、

図表Ⅱ-1-24 機械翻訳システムの導入状況



図表Ⅱ-1-25 既導入の機械翻訳システム例（1989年）

システム名	販売元	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	富士通	日→英	汎用機/ワークステーション
BRAVIS	ブラビス	日→英	パソコン
BRAVIS	ブラビス	仏→英	パソコン
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	日立	日→英	汎用機/ワークステーション
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	日本電気	日→英	汎用機/ワークステーション
STAR	カテナリソース	英→日	パソコン/ワークステーション
X-EJ	スピリット	英→日	パソコン
(自社開発)	JICST	日→英	汎用機

加している。

図表Ⅱ-1-25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が大部分であるが、今回初めてフランス語から英語への翻訳システムが1システム登場した。英→日と日→英の割合は7:3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。

2.2.2 利用分野

機械翻訳システムの利用分野は図表Ⅱ-1-26に示すようにマニュアルが36.4%、ビジネス文書24.2%、特許等技術文献21.2%となっている。図表Ⅱ-1-27に利用の実態を示した。実験中が35.3%である。人が翻訳する際の参考程度の使用は、1988年の6%から今回の17.6%に急増した。翻訳結果をかなり人手で修正して利用が20.6%とあり、また、あまり使用していないが26.5%となっている。

2.2.3 問題点と今後の見通し

機械翻訳システムの問題点として、全体の55%が翻訳精度の低さを、36%が辞書の開発・維持・

メンテナンスが大変であると指摘しており、原文入力に手間がかかる、担当要員不足と続いている。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ことに変わりはない。

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なうことにより、翻訳者の支援システムとしての実用化が進みつつある。

機械翻訳システムに対するこれまでの累積投資額は資料編3-28に示すとおり、500万円未満というのが回答事業所の45.5%を占めるが、多いところだと5億円～20億円にものぼる。

2.3 知能ロボット

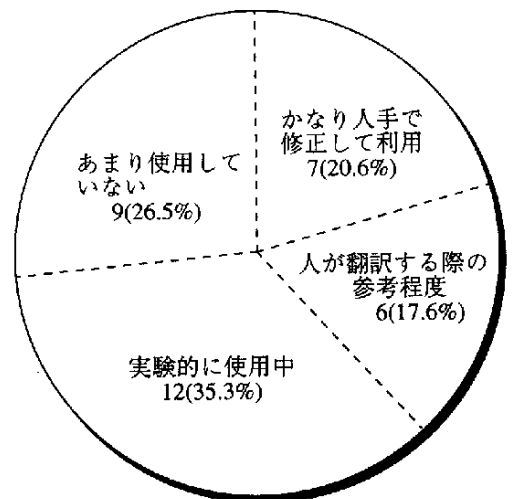
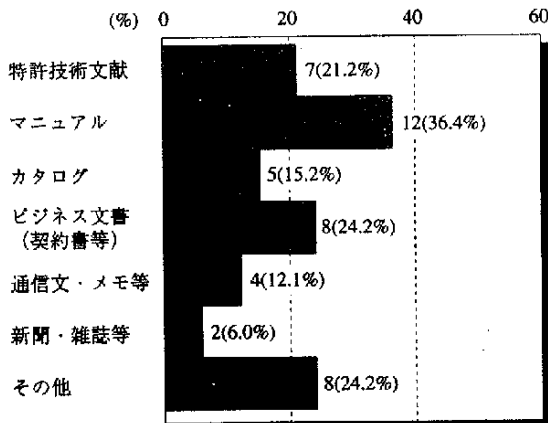
2.3.1 利用概況

知能ロボットは「ロボットの中で、特に、高度のセンサー機能、推論機能、自律的な行動能力を持つもの」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328事業所のうち、知能ロボットを導入しているものは7事業所（2.1%）と極めて低い。これは、

図表Ⅱ-1-27 機械翻訳システムの利用実態（1989年）

図表Ⅱ-1-26 機械翻訳システムの利用分野（1989年）



摘要：合計回答数 34システム

コンピュータユーザーのシステム部門が調査対象となっているのが要因と思われる。今後導入・利用予定希望については、61事業所（18.6%）で、基礎資材産業と加工組立産業の合計で37事業所を占めている。

2.3.2 利用分野

知能ロボットの利用分野の内訳は、導入7事業所のうち、高度組立加工が4件、自動知能機械が1件、その他が3件であった。その他の利用は現場作業、運搬、自動化である。これらの事業所の知能ロボット平均保有台数は16台であるが、これは1事業所が100台と回答しているためで、それ以外の6社の保有台数は1～5台である。

2.3.3 問題点と今後の見通し

知能ロボットを導入する上での問題点について、最も多かったのは能力・機能不足が5件、続いて安全性と信頼性が各2件、価格が1件であった。

知能ロボットの本格的な使用開始時期を10年以上先とする回答が3割ある。

2.4 画像理解システム

2.4.1 利用概況

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。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、対象物が何であるかを理解できるシステム」と定義している。

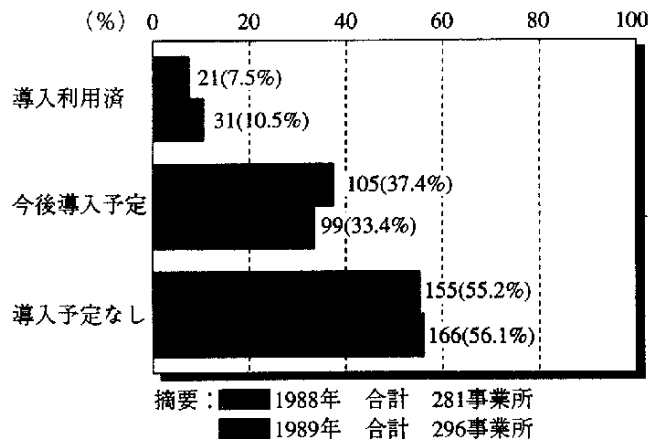
画像理解システムの導入状況は、図表Ⅱ-1-28に示すとおり、回答296事業所のうち画像理解システムを導入利用しているものは、31事業所（10.5%）である。1988年の21事業所（7.5%）と比較して増加している。今後導入利用を予定しているものは、99事業所（33.4%）である。これは1988年の105事業所（37.4%）に比べて減少している。

産業別にみると、基礎資材産業、加工組立産業の導入済が11事業所、導入利用予定が39事業所と4割近くを占めている。一方、教育・公務関連では1988年の5事業所から今回は8事業所が導入していると答えており、導入予定でも15事業所の回答があった。

2.4.2 利用分野

画像理解システムの31導入事業所から、36システムの利用があげられている。最も多いのは部品・製品の不良（キズなど）の検出システムで、10件（27.8%）、次いで、印鑑の照合・検索および手書き図面の入力の各3件（8.3%）、会議報告書等のビジュアル化、自然環境の認識、商品の

図表Ⅱ-1-28 画像理解システムの導入状況



ラベル検査がそれぞれ2件(5.6%)であった。これら以外の利用分野は、活字文字読取装置、分子設計、構造解析、ハンドロボットの制御、セラミック基盤パターンの検証、トンネル切羽状態把握、似顔絵生成、ビデオ画像認識、プラントエンジニアリング支援、自動車運転支援、3次元物体座標認識、プラントや機械の補修・点検などであった。

2.4.3 利用マシンおよび利用状況

画像理解システムに利用されているコンピュータの種類は、回答数42件(複数回答)のうち、最も多いのはワークステーションの18件42.9%。次いでパソコンで8件19.0%。以下、AI専用マシン5件11.9%、ミニコン4件9.5%、並列処理マシン2件4.8%である。

導入済の36システムの利用段階別状況は、稼働中が16システム44.4%、テスト中が20システム55.6%である。導入はしているが、まだ評価テスト中のシステムが過半数を占めている。

2.4.4 問題点および今後の見通し

現在利用中の画像理解システムの問題点として指摘された主なものは、

- ・処理速度、操作性に問題がある
- ・ネットワークへの接続ができない

等であった。ネットワーク利用を考えると、マルチメディア通信の進展が、画像理解システム普及上での課題の1つであるといえる。

2.5 音声理解システム

2.5.1 利用概況

音声理解システムはハードウェアの進歩ととも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や、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「音声情報を分析しその内容を理解できるシステム」と定義している。

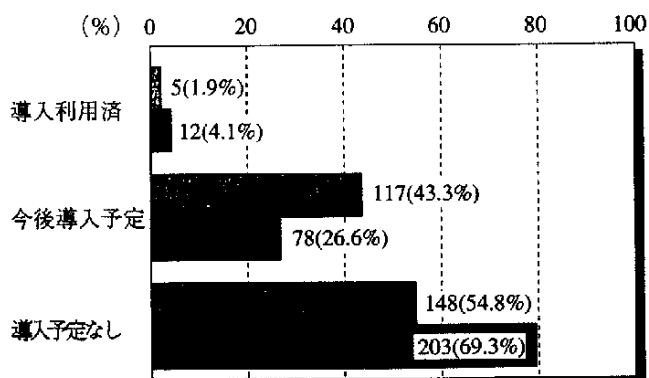
音声理解システムの導入状況は、図表II-1-29に示すとおり、回答291事業所のうち、導入利用していると答えたものは9事業所(3.1%)である。また今後導入予定は79事業所(27.1%)で、基礎資材産業17事業所、加工組立産業18事業所合わせて35事業所で4割以上を占め、製造業に導入意欲が高い。

2.5.2 利用分野

音声理解システムを導入している9事業所の利用分野を列举すると以下のようである。

- ・キズ情報音声入力
- ・検索結果の読み上げ(言語習得システム)
- ・音声応答システム
- ・音声入力ワープロ(2件)
- ・音声入力によるクレーン操作作業
- ・電話によるスケジュール管理

図表II-1-29 音声理解システムの導入状況



摘要: 1988年 回答数合計 270事業所
 摘要: 1989年 回答数合計 293事業所

- ・離着岸警告システム
- ・機器操作

の中で実用システムとして稼働中なのはキズ情報音声入力、音声応答システム、音声入力による入力作業、離着岸警告システムの4システムであり、他は評価テスト中である。

2.5.3 利用マシン

導入利用されている9事業所の音声理解システムに利用されているコンピュータは、ワークステーションとパソコンが各4、その他2である(複数回答あり)。

2.5.4 問題点と今後の見通し

音声理解システムの導入事業所が指摘する問題点は以下のようなものである。

- ・人間の発話に比べて自然でない
- ・事前に登録されていない言葉の未知語処理機能が必要
- ・音声の完全な理解が難しい
- ・事前に発話者の音声を入力しておく必要がある、わずらわしい

2.6 自然言語理解システム

2.6.1 利用概況

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コンピュータ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ており、その技術基盤の上に言語「理解」システムが研究開発されている。

本調査では、自然言語理解システムを「日常使用されている自然言語を構文的・意味的に理解するシステム」と定義した。

自然言語理解システムの導入状況

は、図表Ⅱ-1-30に示すとおり、回答293事業所のうち導入利用しているのは12事業所(4.1%)である。1988年の5事業所(1.9%)より微増している。

2.6.2 利用分野

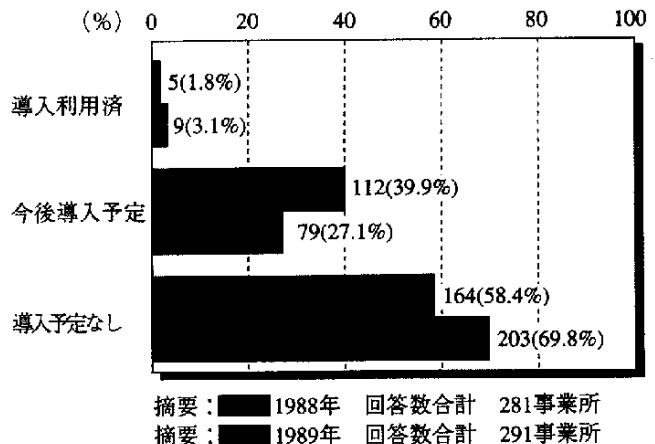
導入利用されている10事業所(2事業所がシステム数未回答)における自然言語理解システムは、合計66システムであるが、1事業所で50システムを導入しているところがある。

それらの適用分野は、文書校正、データベース検索、キーワード抽出、OCRデータの読取、自然言語インタフェース、談話理解、文書自動要約などであり、このうち文書校正とデータベース検索にはワークステーション上での実用システムとして利用されているものがあるが、他のものはすべて評価テスト中のものである。

2.6.3 利用マシンおよび利用状況

導入利用されている自然言語理解システムに使用されているコンピュータは、ワークステーションが9件(重複回答あり、他も同様)、メインフレームとミニコンそれにAI専用マシンが各々2件、パソコンが1件である。上に述べたように、現在実用システムにはワークステーションが使用されている。

図表Ⅱ-1-30 自然言語理解システムの導入状況



2.6.4 問題点と今後の見通し

導入利用されている自然言語理解システムにおける問題点として、次のような点が指摘された。

- ・ 処理速度、グラフィックス面の不備
- ・ 日本語入力に手間がかかる、ユーザインタフェースの弱さ、など
- ・ 開発用ツールキットの不備
- ・ フルテキストデータベースや汎用大規模辞書の不在

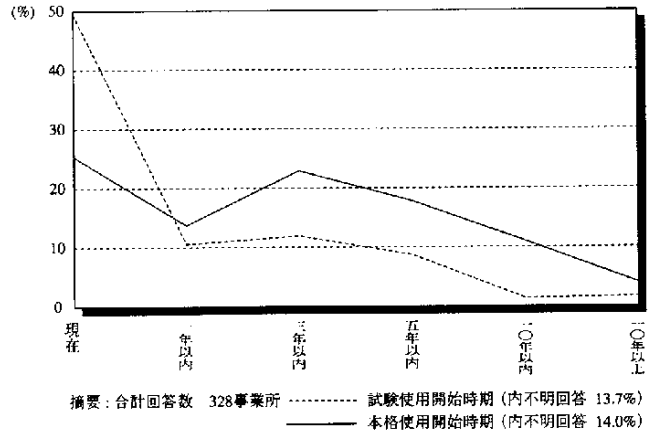
自然言語理解システムには、機械翻訳システム、文字認識システム、音声理解システムと結びつくことが不可欠なシステムであり、ユーザーの期待は高いが、実用化の途についたばかりの段階であるといえよう。

第3章 将来のAIシステム普及の予測

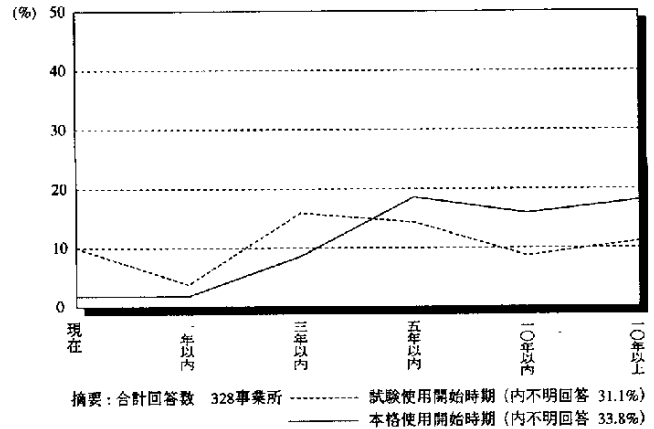
わが国におけるAI技術の利用は、エキスパートシステムを主体にしてここ数年の間に産業社会のさまざまな分野で進んできた。特にエキスパートシステムは、社内における身近な問題で実現可能な分野にターゲットを絞って開発されている。

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328事業所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。その結果は図表II-1-31～39に示すとおりである。

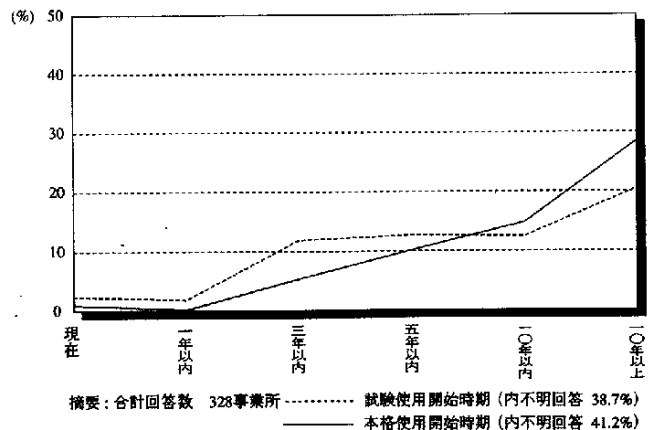
図表II-1-31 エキスパートシステム使用開始時期予測 (1989年)



図表II-1-32 機械翻訳システム使用開始時期予測 (1989年)



図表II-1-33 知能ロボット使用開始時期予測 (1989年)

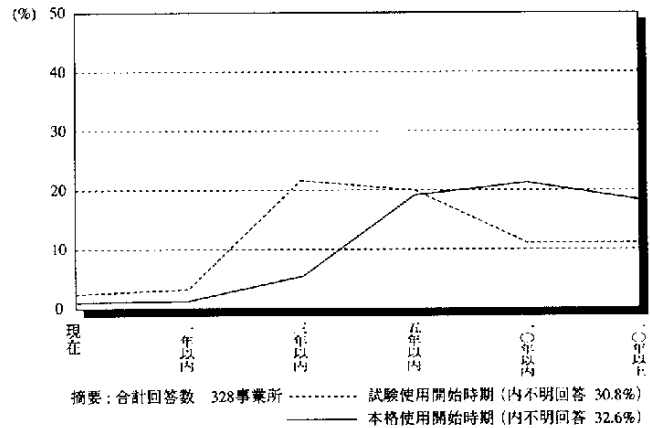
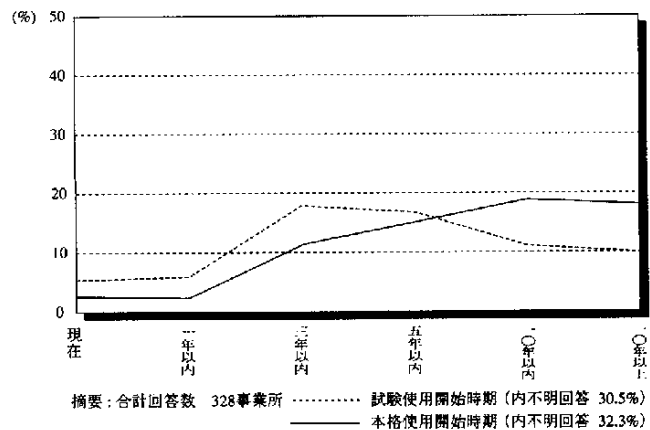
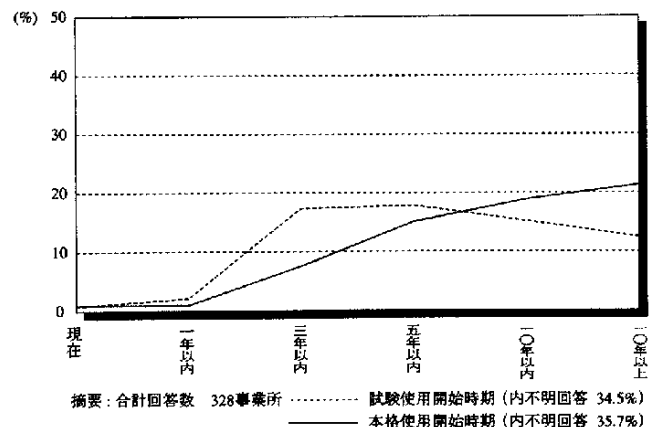


3.1 エキスパートシステム

エキスパートシステムについては図表Ⅱ-1-31に示すとおり、すで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82事業所（25.0%）あり1988年より7%増加し、1年以内とみるものが39事業所（11.9%）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163事業所（49.7%）と約半分を占めており、3年以内に本格的な普及時期が訪れる（57.9%）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153事業所（46.6%）、やや普及するが94事業所（28.7%）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、加工組立産業（80.7%）に生活関連産業（78.6%）が続いていることが注目される。普及しないとみているものは15事業所（4.6%）であり、1988年の18事業所（5.9%）より減少している。

3.2 機械翻訳システム

機械翻訳システムの普及予測は、図表Ⅱ-1-32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54事業所（16.5%）あり、本格的な使用は、それから2年遅れの5年以内とみているものが62事業所（18.9%）である。5年後の普及度合となるとかなり普及する52事業所（15.9%）およびやや普及する91事業所（27.7%）で両者合わせて143事業所（43.6%）が普及の見通しを持っている。特に、情報処理産業（51.3%）、加工組立産業（48.3%）、商業金融関連（42.9%）が

図表Ⅱ-1-34 自動プログラミングシステム
使用開始時期予測（1989年）図表Ⅱ-1-35 画像理解システム使用開始時期予測
(1989年)図表Ⅱ-1-36 音声理解システム使用開始時期予測
(1989年)

普及するとの回答が多い。普及しないとするものが49事業所（14.9%）である。

3.3 知能ロボット

知能ロボットの普及予測は、図表Ⅱ-1-33に示すとおりである。試験的な使用が3年から5年以内に始まり（81事業所24.7%）、5年から10年以内に本格的な使用が進む（76事業所23.2%）となっているものの、実用期までに10年以上かかる（95事業所29.0%）との見方も多い。5年後の普及見通しについては、92事業所（28.1%）が普及するとみている。

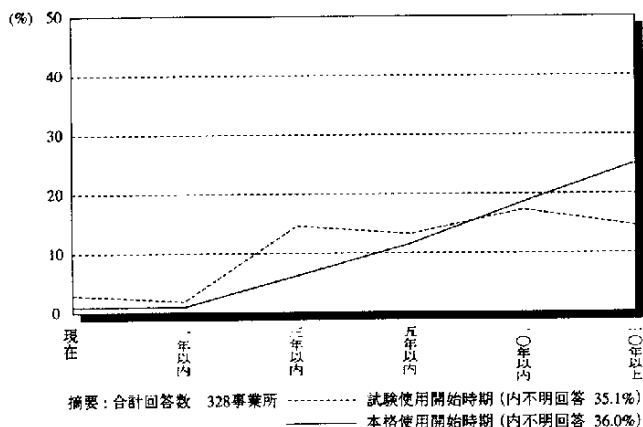
3.4 自動プログラミングシステム

自動プログラミングの普及見通しについては、図表Ⅱ-1-34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68事業所（20.7%）で、本格的な使用は、10年以内とするものが69事業所（21.0%）、5年以内とするものが64事業所（19.5%）、さらに10年以上かかるとするものが58事業所（17.7%）であり、全く予測が分かれていない。5年後の普及見通しについて118事業所（35.9%）が普及すると回答している。

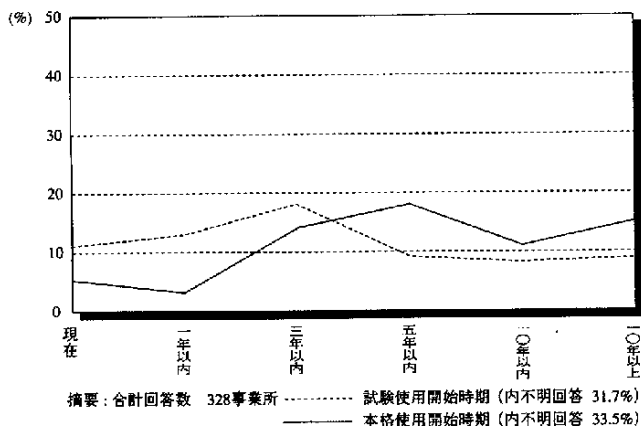
3.5 画像理解システム

画像理解システムの普及予測は、図表Ⅱ-1-35に示すとおり、試験使用が、3年以内とするもの58事業所（17.7%）および5年以内とするもの57事業所（17.4%）となっている。本格的な使用時期についても5年以内とす

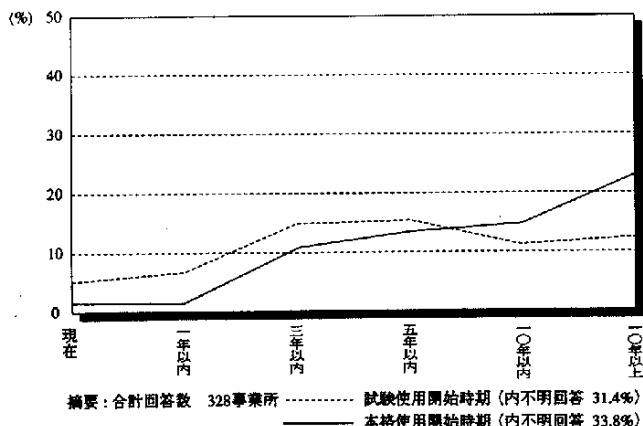
図表Ⅱ-1-37 自然言語理解システム使用開始時期予測（1989年）



図表Ⅱ-1-38 ファジィシステム使用開始時期予測（1989年）



図表Ⅱ-1-39 ニューロシステム使用開始時期予測（1989年）



るものが、49事業所（14.9%）、10年以内が59事業所（18.0%）、さらに10年以上かかるとするものが58事業所（17.7%）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143事業所（43.6%）である。

3.6 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-1-36に示すとおりである。試験的使用については、5年以内とするものが56事業所（17.1%）、3年以内が55事業所（16.8%）とほぼ同率である。本格的な使用については、5年以内が49事業所（14.9%）、10年以内が65事業所（19.8%）、10年以上かかるとするものが70事業所（21.3%）とだんだん高率を占め、実用には長い期間を要するとの見方が示されている。5年後の普及見通しについて、普及するとみるもの106事業所（32.6%）である。

3.7 自然言語理解システム

自然言語理解システムの普及見通しについては、図表Ⅱ-1-37に示すとおりである。試験使用については、10年以内とするものが55事業所（16.8%）と最も多いが、3年以内、5年以内、10年以上が各々14.0%～15.0%とほぼ同率であり見方が分かれている。また本格的な使用については、1年以内の2事業所（0.6%）から10年以上の89事業所（27.1%）まで直線的に割合が伸びており、実用化の困難さを認識していることを示している。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事業所（26.2%）と他のAIシステムに比較しても最も低い。

3.8 ファジィシステム

今回の調査から、ファジィシステムとニューロシステムを対象に加えた。

ファジィシステムの普及見通しについては、図

表Ⅱ-1-38に示すとおり、試験的使用を現在しているとの回答が35事業所（10.7%）あり、3年以内とするものが62事業所（18.9%）と一番多い。本格的な使用については5年以内との回答が59事業所（18.0%）で一番多く、次いで3年以内とするものが49事業所（14.9%）である。

産業別にみると生活関連産業（57.1%）、公共サービス関連（55.9%）、情報処理産業（55.3%）、加工組立産業（54.8%）などとなっている。普及しないとするものは29事業所（8.9%）であった。

3.9 ニューロシステム

ニューロシステムの普及見通しについては、図表Ⅱ-1-39に示すとおり、5年以内に試験的に使用すると回答が53事業所（16.2%）で最も多く、次いで3年以内が49事業所（14.9%）となっている。現在試験的に使用中との回答も18事業所（5.5%）あった。本格的な使用については、3年以内（10.4%）、5年以内（14.3%）、10年以内（15.5%）、10年以上（22.9%）と実用に時間を要するとの見方が段々高い割合を占めている。また、5年後の普及見通しについては、普及するとするものが115事業所（35.1%）であり、これを産業別にみると、商業金融関連（46.4%）、情報処理産業（42.1%）、加工組立産業（41.9%）などである。普及しないとするものは49事業所（15.0%）であった。

第4章 未導入事業所の導入意向

4.1 今後のAIシステム導入意向

コンピュータユーザーに対する第1次調査の結果、図表Ⅱ-1-1に示すようにAIを導入している事業所の割合は、26.2%（379事業所）で、残り73.8%（1070事業所）が未導入である。

この未導入事業所に対し、今後のAIシステム導

入意向について調査した。図表Ⅱ-1-40に示すように、導入時期が異なるもののAIシステムの導入意向を有する事業所の割合が30%~51%とかなり高い。最も導入意向の高いのは、自動プログラミングシステムで51.0%と導入しないとの回答を上回っている。次にエキスパートシステムが46.9%であり、このためエキスパートツールの導入意向を持っているものが42.0%となっており、関心の高さを示している。以下、音声理解システムが39.6%、画像理解システムが38.4%、AI向き言語が38.2%、自然言語理解システムが35.3%、

機械翻訳システムが31.2%、その他AIシステムが30.0%、知能ロボットが29.9%の割合で導入意向を持っている。

4.2 導入しない理由

現在まったく導入する気はないとの回答をした事業所が自動プログラミングシステムを除いて半数を越えている。

これらの事業所の導入しない理由は、以下のとおりである。

・公的機関なので、特にAIシステムを利用した業務などはない

・真のAIという点では、既存のエキスパートシステムは、コストパフォーマンス的に有効なものがない（電線メーカー）

・まだAIシステムの導入を検討する段階に至っておらず、認識度も浅い（薬品業）

・開発コストおよび応用がどこまで可能かをあらかじめ理解し得ていない部分が多々あり、目下、情報収集中（繊維）

・業務形態が客先にシステムを納品する業務のため、自社内システムは考えていない（電気工事業）

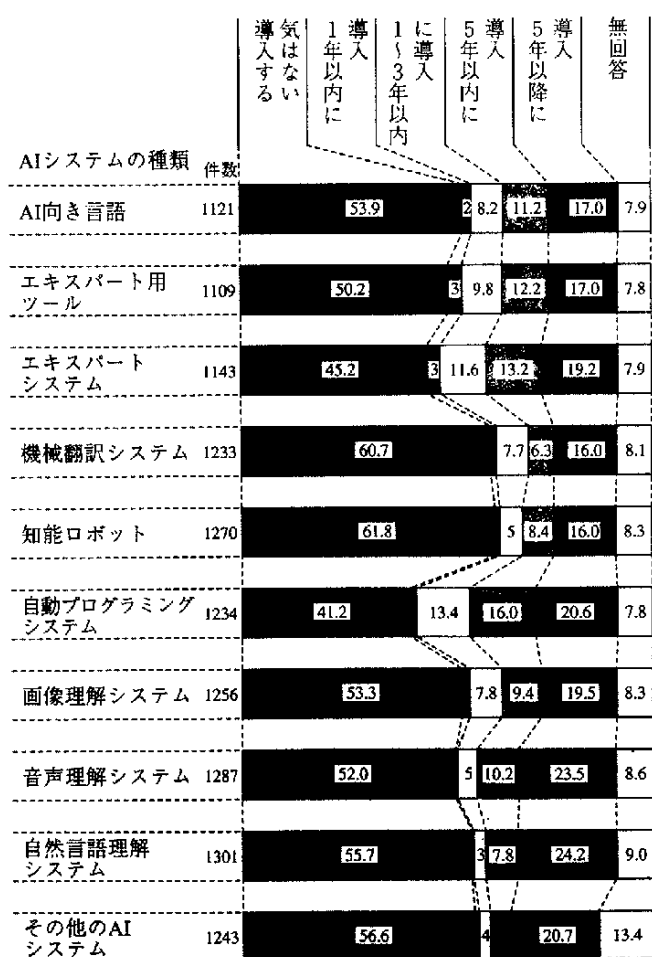
・全般的にAIシステムは話題にはなるが、具体的内容については、今後の検討課題（部品製造業）

・パソコンの導入台数も少なく、（調査票の設問と比較すると）レベルが随分と違う（工業高校）

・販売会社であるため、コンピュータは事務処理の能力アップのみに使用しており、AIシステムまで考えたことはない

・プログラム開発は外注しており、AI

図表Ⅱ-1-40 AIシステムに対する今後の導入意向
(1989年)



システムのような高度なことは考えていない

これらを総合して考えると、AIシステム未導入の背景として、まずAIシステム利用の必要性が低い。次に、必要性は認めているが、効果が見込み得る分野を発見し得ていない。AIシステム導入体制が不備である、などが主たる要因といえよう。

第2部 AIシステムの市場規模予測

第1章 AIシステムの市場規模推定

1.1 現状のAI市場規模

AI市場規模を把握するため、第1部で説明したアンケート調査におけるAI関連投資額の集計結果に基づいてAIシステムの市場規模を推定した。

（推計方法については、49ページの解説を参照）

アンケート調査では、これまでのAI関連の投資額と、今後の投資意向を尋ねている。そこで、回収標本を基礎に、コンピュータ（ワークステーションレベル以上）導入事業所すべてから回答が得られたと仮定した場合の投資額を以下に試算してみた。試算結果は、図表II-2-1および図表II-2-2に示すとおりである。

これによれば、現在まで（1989年末）のわが国のAI市場全体への投資額は6837億円と推定される。現在の年間市場規模を2000億

円弱と見込むと、これまで年率平均46%程度の高い成長を示してきた。

これまでの投資の30%にあたる2116億円がハードウェアへの投資であり、次いで内部人件費1933億円、外注費1193億円、AI要員人材育成費885億円、ツール・言語714億円となっている。人材教育の市場に支出される人材育成費の比率が小さくないこと、外注費が内部人件費の62%の割合に達していることが注目される（図表II-2-1）。

システム別には、これまでの投資額の63%がエキスパートシステムに当てられている。他のシス

テムは揺籃期にあるが、画像理解システムの投資額が1424億円と比較的多くなっている。

1.2 AIシステムの市場規模予測

次に、5年間のAI投資額意向に対する回答をもとに、今後のAI市場規模を試算した。その結果は、図表II-2-3に示すとおりである。

今後のAI市場は、1990～1994年の5年間で3兆4000億円程度と見込まれる。これは年率42%程度の成長に相当し、5年後の年間市場規模は1兆2375億円と予想される。（図表II-2-3のケースA）

投資額の内訳別に最も伸びるのはツール、言語などソフトウェアの購入費で7.8倍、次いでハー

図表II-2-1 AI全体の投資額（1989年）

		現在まで（億円）	今後の5年間合計	5年間の伸び（倍）
1. ハードウェア		2,116	11,421	5.4
2. ソフトウェア	a. ツール・言語などの購入費	714	5,590	7.8
	b. 内部人件費	1,933	6,607	3.4
	c. 外注費	1,193	6,277	5.3
3. 人材育成	AIシステム開発要員	885	3,990	4.5
	うち知識エンジニア	722	3,266	4.5
合 計		6,837億円	33,885億円	4.9倍

図表II-2-2 現在までのシステム別投資額

（単位：億円）

	金額	%
エキスパートシステム	4277	63%
機械翻訳システム	305	4%
画像理解システム	1424	21%
音声理解システム	83	1%
知能ロボット	178	3%
自然言語理解システム	42	1%
その他のAIシステム	527	8%
合 計	6837	100%

解説 AI市場の推計方法

(目的)

1989年度の試みとして、AI関連市場規模について、コンピュータユーザの支出をもとにして推計することとした。

調査は1989年現在でホストコンピュータを設置している事業所を母集団とした。

(調査の概要)

第1次調査

(母集団)	1989年現在でホストコンピュータを設置している事業所 (全国で18076事業所)
(抽出台帳)	コンピュータユーザ調査年報1989年版
(抽出方法)	層化無作為抽出法(業種別に層化)
(標本数)	6238
(調査方法)	郵送法
(回収標本数)	1458(うち有効回収1449回収率23.2%)
(調査時期)	1989年12月

第2次調査 上記調査で何らかのAIシステムを導入している事業所に対し、詳細な内容調査を行った。

(調査対象)	第1次調査の回収標本の中で、何らかのAIシステムを導入している事業所(379事業所)
(調査方法)	郵送法
(調査時期)	1990年1月
(回収標本数)	回収数168(うち有効回収146、回収率38.5%)

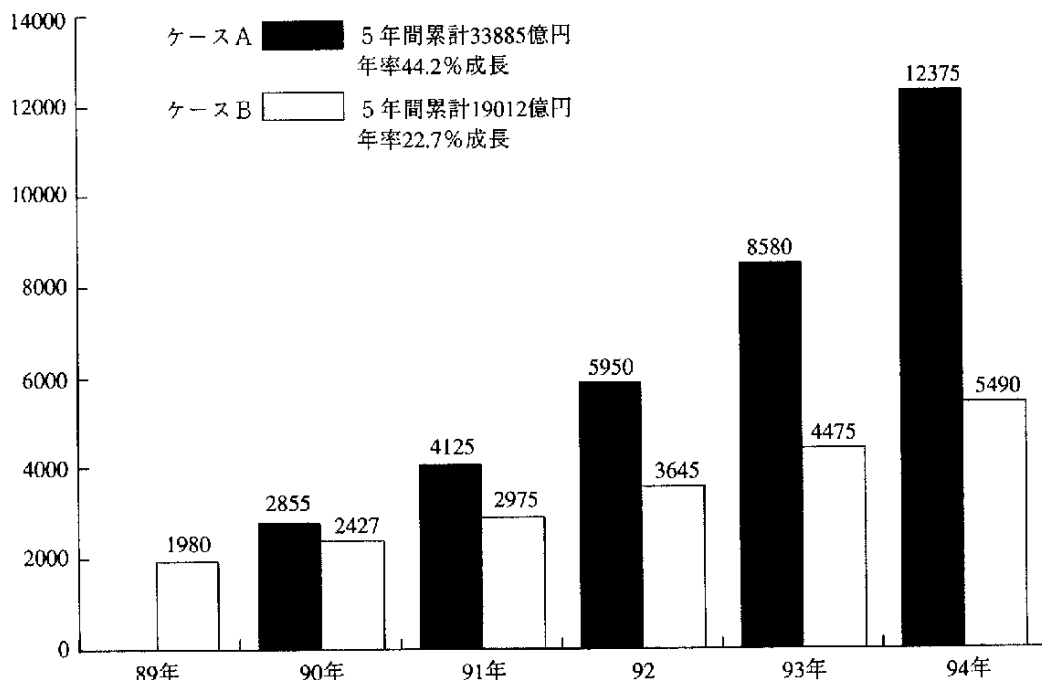
(集計)

18076事業所を業種別に区分し、各業種別に回収標本数と母集団の比を求め、その値を回収標本に乗じてウェイトバック集計を行った。

この処理により、特定の産業分野におけるAI投資の偏りが全体の推計値に影響することは回避できる。

投資額の大きいところ、投資意欲の高いところが(あるいは、その逆が)回答率が高いというような標本誤差の問題は、通常の郵送法と同じく回避できていない。

図表II-2-3 今後のAI市場の伸び(1989年)



ドウェア購入費5.4倍、外注費5.3倍の順になっている。今後、人材育成に力を入れつつも外注を増し内部人件費の伸びは低めにしたいという意向がうかがえる。

図表II-2-3のケースAは、AIシステム別の投資額を集計したもので、これまでの数年間の需要の伸び(年率46%)とほぼ同程度の成長率が、今後数年間は持続するという数字に相当する。

これに対し、図表II-2-3のケースBは、AI投資額の総額を尋ねた回答額から業種ごとに日本全体へ敷衍化して、それを積算して日本の産業界全体として集計すると、5年間で1兆9000億円程度と見込まれる。総額では内部人件費等が含まれにくいという問題以外にも、総額ではなるべく投資を抑えたいという意向があると考えられる。この場合、年率22.7%成長に相当し、エキスパートシステム以外で実用システム化の展望が不透明な現段階においては、これまでと同様の急成長は難し

図表II-2-4 ソフトウェア開発要員の伸び(1989年)

(単位: 100人)

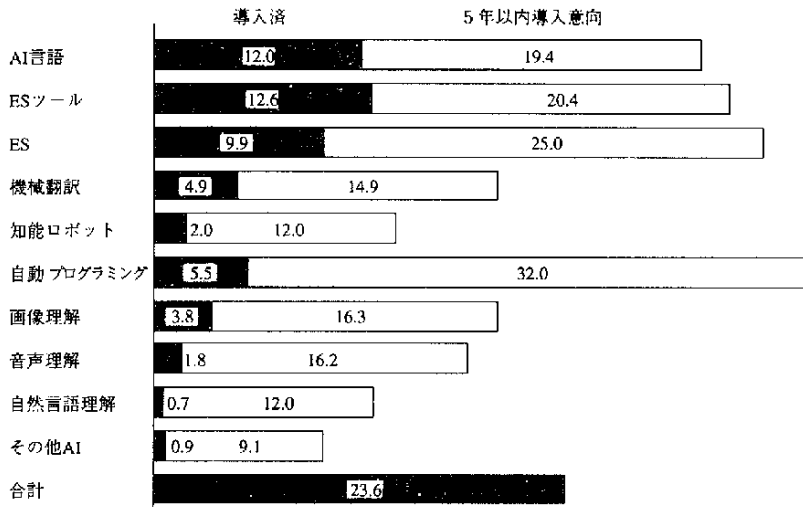
	現 在	2-3年後
ソフトウェア開発要員計	8,009	10,231
うちAIシステム開発要員計	424	1,053
うち知識エンジニア(専任)	57	204
知識エンジニア(SEと兼任)	294	586
その他(プログラマ等)	66	261

いという見通しである。

1.3 開発要員の伸び

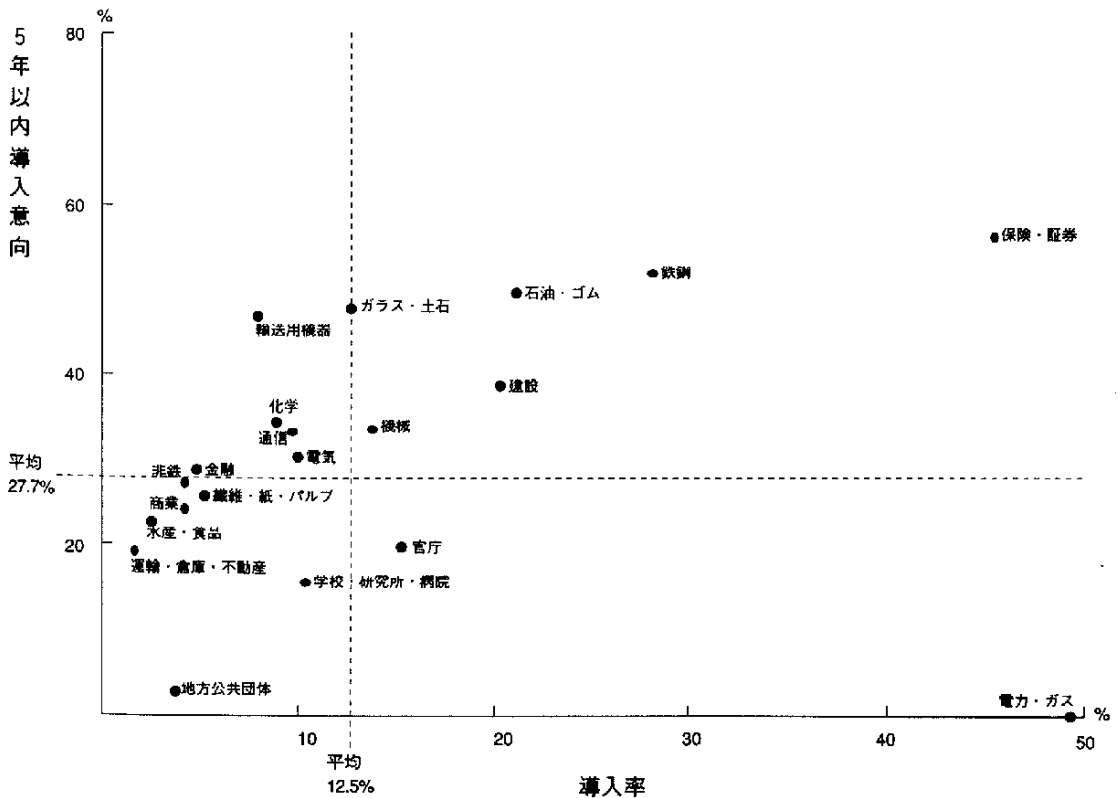
現在、コンピュータ導入事業所のソフトウェア開発要員は図表II-2-4に示すとおり、80万人と推定され、その5%がAIシステム開発に携わっている。エキスパートシステム開発で必要な知識エンジニアについては専任と兼任の比率が16:84である。AIシステム開発は兼任者を中心に進められている。

図表 II-2-5 AIシステム別導入・導入意向事業所割合（1989年）



(注) コンピュータユーザー18,076事業所にウェイバック集計した後の割合(%)を示す。

図表 II-2-6 エキスパートシステム現在導入率と5年以内導入意向（1989年）



今後2～3年後には、AIシステム開発要員は倍増し約105,300人となり、ソフトウェア開発要員の1割を上回る見込みである。特に専任知識エンジニアは20,391人と増え、専任・兼任比率は26：74まで上昇する。今後2～3年以内に知識エンジニアだけで4.4万人増加することになり、人材育成、教育面で大きな課題となろう。

1.4 今後のAIの広がり

AIシステムの導入状況の回答をもとにウェイトバックした。その結果は図表図表II-2-5および図表II-2-6に示すとおりである。

現在、コンピュータ利用の18,076事業所の23.6%が何らかのAIシステムを導入している。エキスパートシステムを導入しているところは9.9%である。

業種別エキスパートシステムの導入状況を図表II-2-6に示す。業種によってバラつきが大きい。導入率に比して、5年以内導入意向割合が高いのは、輸送用機器、ガラス・土石、石油・ゴム、化学など、アセンブリ産業とプロセス産業である。

未導入事業所でも5年後には4分の1の事業所がエキスパートシステムを導入するものと考えられる。特に注目されるのは自動プログラミングで、5年以内に3分の1の事業所が導入したいと考えている。

第3部 産業界のAI利用

第1章 概観

産業界のAI技術は、企業のグローバル化や社会的な環境問題、労働人口の高齢化、消費者動向の変化など社会構造の複雑化によって起こる問題を解決する新しい情報技術の1つとして期待されている。このためAIについて各業界では、社内業務への活用、顧客サービスへの活用、商品にAI技術の組み込み、などの努力が行なわれている。

ここでは、産業界が「どのようにAI技術の利用を行っている化」を紹介するにあたり、プラントエンジニアリング業、金融業、電力業、宇宙産業の4つの業界を取りあげた。

第2章 プラントエンジニアリング業界におけるAI利用

2.1 プラントエンジニアリング業界の特徴

石油精製・石油化学を中心としたプラント設備を世界各国に建設しているプラントエンジニアリング業界にとって、その活動範囲は非常に広く、そのサービス体制が重要になっている。設備投資が巨大で、リスクの多い石油精製・石油化学のプラント建設プロジェクトでは、統一したコンセプトのもとにプロジェクトを遂行するために各種の専門技術を有機的に結集しなければならない。特に、発展途上国の深刻な資金不足や石油価格、為替問題などの厳しい経済環境の中で、時代に応じたプロジェクト遂行方法

を学んできた。発展途上国のエンジニアの育成、技術移転、環境保全への対応などの技術面、機材の国際調達、建設工事への現地要員の活用などグローバルなオペレーションの実施である。このことが、プラントエンジニアリング業界にとって、情報化への投資を推し進める大きな要因になっている。

一方、プラントエンジニアリング企業にとっての合理化、能率向上が不可欠となっている。

(1) 業務の特徴

プラントエンジニアリング企業の役割は、エンジニアリングコントラクターとして「顧客の立場に立って」の事業化計画のフェーズビリティ・スタディからプロジェクトの基本計画、設計、機材の調達、工場の建設、オペレーションに至る一連のプラントエンジニアリング業務とこれを管理するプロジェクト管理、更にトレーニングサービス、保守・アフターケアまでにわたっている。

コンピュータはエンジニアリング業務のあらゆる分野で活用されている。エンジニアリング企業にとってコンピュータが、貴重な設備であり、企業のインフラストラクチャとしてなくてはならないものになっている。

(2) AI技術の利用と必要性

プラントエンジニアリング企業におけるAI技術の利用について見ると、

- ・設計、機材の調達、工場の建設、トレーニングサービス、保守の業務遂行とプロジェクト管理などの業務の合理化への活用
- ・プラント設備等の設備に組み込むプラント制御、故障診断とスペアパーツ管理などへの活用

などがある。

労働集約型で、かつ知識集約型のエンジニアリング企業にとって、業務遂行時に多くの実績に基づく経験・ノウハウが必要であるにもかかわらず、すべてのエンジニアが実務を経験するチャンスはない。このため、エンジニアリング業務において論理的に解析できない部分での判断にAI技術の活用を期待している。また、顧客からは、プラントの建設やオペレーションの経験に基づいたプラントの運転にかかわる知識ベースの適用が求められてきている。

そのポイントは、

- ・エンジニアの多機能化（エンジニアの質の平準化）
- ・他の専門エンジニアの助力なしでも、ある程度まで1人のエンジニアが品質の高いプロダクトを作れる。
- ・短期間でのフィービリティ・スタディ、基本計画の作成、など技術的に非常に手間のかかるものを容易にする。
- ・工数の節減とコスト削減
- ・技術の高度化

などがあげられる。

2.2 適用分野

プラントエンジニアリング業界において、AI技術の適用が考えられる主な適用業務は、以下のとおりである。

（1）業務の合理化への活用

AI技術を業務の合理化へ活用する分野は、プロジェクト管理と設計段階、機材の調達段階、現場の建設工事段階であるが、多くは設計段階への活用が盛んである。構造解析や設計計算の支援、CADシステムへの利用と材料選定、建設法規、建設工法などのコンサルテーションに使われている。その内容は、プロジェクトを遂行するために必要な技術情報であり、専門エンジニア支援と共に他の専門エンジニアへのコンサルテーションツ

ルとしても使用されつつある。

①プロジェクト管理業務

- ・プロジェクト計画・管理への支援
プロジェクトのスケジューリング、予算、要員・建機などの資源計画、また、管理段階でのプロジェクトリスクに対するノウハウや経験を事例として活用できるようにする。
- ・プロジェクトマネジャー、プロジェクトエンジニアの教育
- ・プロジェクトリスクに対する教育シミュレーション、意志決定支援ゲーム

②設計業務

- ・設計・積算支援
設計計算、コストや資材の積算などの計算やシミュレーションにおけるモデリングや解析の支援
- ・知的CADシステム
エキスパートシステムの分野だけでなく図面自動入力のような画像理解システムが必要
- ・材料・機器の選定支援
- ・建築法規・法令のコンサルテーション
建築工事に伴う各種の法規・法令の適用事例、官庁申請書類の作成

③調達業務

- ・材料・機器メーカーの選定支援
技術的、コスト面の実績だけでなくプロジェクトの環境に合った効果的な国内外の材料機器メーカーの選定
- ・建設工事業者の選定支援
技術的、コスト面の実績だけでなくプロジェクトの環境に合った効果的な国内外の建設工事業者の選定
- ・コスト積算とその解析への支援
実績データを基に現状に合った見積りのためのコスト積算とその解析、予測も行なう
- ・材料・機器の納期管理支援
材料・機器の製作期間をそのメーカーの環境

に基づいてリスク解析・予測

- ・材料・機器の検査業務支援

④建設業務

- ・建設工法の選定

山留、杭工法などの建設工法の選定

- ・建設工事計画の作成支援

建設機械や現場要員の動員計画の作成支援

- ・知能ロボット

建設の作業機械として壁面ロボット、極限ロボットなどが具体化しているが、この工事分野と検査のためのロボット

- ・運転要員の教育

プラント設備の運転シミュレータによる教育

⑤保守業務

- ・プラントの故障診断

プロセスシミュレータと組み合わせた故障診断、設備診断

- ・材料・機器の保守・検査記録解析支援

材料・機器の劣化による故障の履歴、オイルなどの交換タイミングなどの知識ベース

(2) プラント設備等の設備に組み込む

AI技術の利用

プラント設備は、従来から大型コンピュータによる集中制御、プロセスコンピュータなどによる分散制御という形態で自動化が進められてきた。大規模なプラント設備の運転制御を的確に状況判断して行なうためには、制御方式を組み込んだコンピュータだけでは解決できない問題があり、運転に関係する人達の経験から得られた判断力や専門知識に依存するところが大きい。

これは、従来の運用方法や制御方法が限界になってきつつあることを示している。また、運用の中核を担う熟練技術者が高齢化しリタイアする傾向にある。さらには、新しい技術を採用し高度化した設備により運用するプラントシステムでは、事故に会う機会も少なく十分な経験を積むチャンスがない。このため、事故や故障が起こっ

たときに即応できる熟練の要員を確保することが非常に難しくなっている。

このような背景のもとに、プラント設備の運転支援、故障診断・異常診断、スベアパーツの寿命管理業務支援、などでAI技術をプラントに組み込んで活用することが考えられている。

2.3 将来の展望と課題

プラントエンジニアリング業界では、エキスパートシステムを中心にAI技術を広く、開発・試用を行なっているが、今後は、さらに対象業務の範囲の拡大と内容の充実に図られることであろう。

知的な活動であるエンジニアリング業務がますます高度化する方向に向い、その活動の支援・強化にAI技術が大きな役割を果たすものと思われる。エキスパートシステムだけでなく画像認識、音声理解、知能ロボット、知的CADなどへの期待は大きい。

また、顧客からは、事故や故障のない高性能化したプラント設備の設計・建設を求められ、業界の技術的な対応はますます厳しくなり、AI技術はこの解決手段の1つとして有効であると思われる。

プラントエンジニアリング業界におけるAI利用上の課題は以下のとおりである。

(1) AI技術の蓄積

多くのエンジニアがエキスパートシステムに触れて、自分自身の業務に活用していくことがAI技術の蓄積になる。このためには、AI技術を活用する熟練エンジニア(ドメインエキスパート)が容易に利用できるツールを用意して、開発経験を蓄積する必要がある。

(2) マン・マシン・インタフェースの開発

マン・マシン・インタフェースとして、図形表示など絵で表示するとともに、プラント設備の運転支援システムのように、プラントの制御機器からダイレクトにデータを入力して人手を介さな

いような方法を考える必要がある。

(3) リアルタイム処理型エキスパートシステムの開発

プラント設備の運転支援のように、制御系の機器からダイレクトにデータを入力して処理するシステムにおいては、リアルタイム処理が不可欠である。このバックグラウンドにはダイナミックなプロセスシミュレーション機能が介在しており、同時に多くの異なった処理を実行することが要求される。

(4) システムの検証問題

AI技術によって作られたシステムの検証、保証についての公的な判断基準が必要である。自社開発したシステムで、単なる社内業務への利用であれば、企業の責任範囲で処理することができるが、提供されたシステムによって社会的な損害を与えられた場合どうなるか。開発者の責任か、販売者か、購入者かの判断が必要になる。

このため、エキスパートシステムの評価基準や方法について公的な立場からのガイドラインを確立しておく必要がある。

2.4 AIシステム事例

2.4.1 プロセスプラントにおけるオンライン

リアルタイムエキスパートシステム

(1) 概要

N社は、石油精製プラントをはじめとする多くのプロセスプラントを設計し、建設してきており、その運転監視のため、革新的、先進的な技術を取り込み実装置に適用するよう努力してきた。特に近年では、製品ニーズの多様化等により、より柔軟で変動の多い運転方式が求められている。一方、コンピュータ技術の進歩に対応して、従来の計装システムに比べ一層合理的でヒューマンインタフェースのよいシステムが求められている。このようなニーズに対応するために、N社でもAI技術、特にエキスパートシステム技術の導入に努

力しており、すでにいくつかの導入実績がある。ここではその中のいくつかについて紹介する。

プラントのエキスパートシステムの適用においては、主として対象となるプロセスの異常診断や運転状況に応じたオペレーションガイド等の運転支援等が対象となる。これらは、オフラインの対話システムとして利用されることもあるが、多くは、温度、圧力、流量、等のプロセスデータをオンラインで取り込み即時処理により診断して作業指示を出力する。これは、オンラインリアルタイムエキスパートシステムと呼ばれ、比較的、実用化が進んでいる分野である。

このエキスパートシステムの効果は、次のとおりである。

①常時監視

コンピュータによる監視であるから24時間フルタイムの監視ができる。しかも単なる監視システムと異なり異常の原因まで求め、提示することができる。

②客観的監視

プラントの異常には、大事故とならないまでも多数のアラームが発生し、どのような対策をとるべきか分からないということも少なくない。このようなとき、エキスパートシステムによる異常診断は、人間による判断に比べて、常に客観的に行なわれる。

③知識の共有と伝承

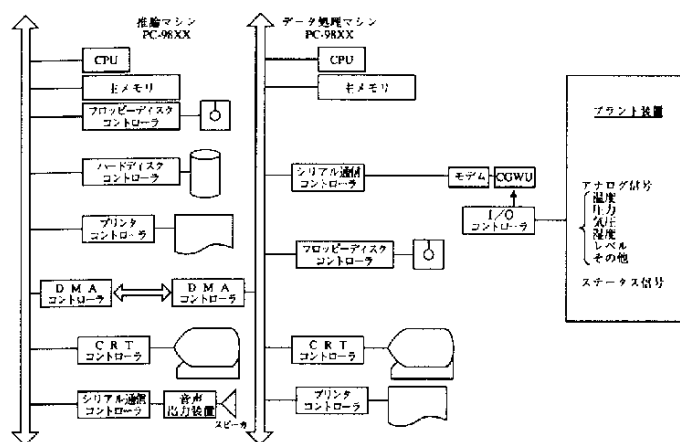
プラントの運転においては、オペレータ個人やグループによる経験や技能にバラツキがあるが、経験豊富なオペレータの知識を知識ベース化することにより、均質なオペレーションが行なわれる。さらに次世代に対する知識の伝承が行なわれることが期待される。

(2) 開発事例

①石油精製プロセス向けエキスパートシステム

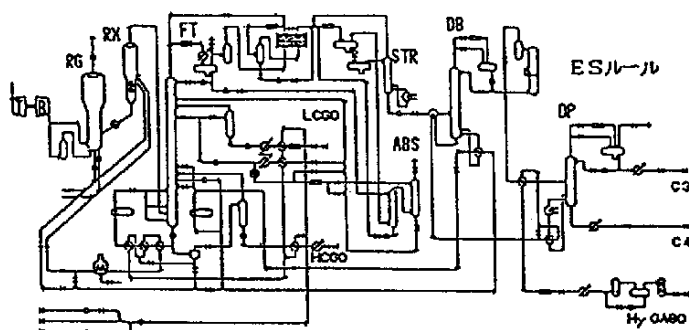
石油精製プラントは、原油を加熱し軽質分と重質分に分離する常圧蒸留装置をはじめ各種の蒸留

図表II-3-1 ハードウェア構成

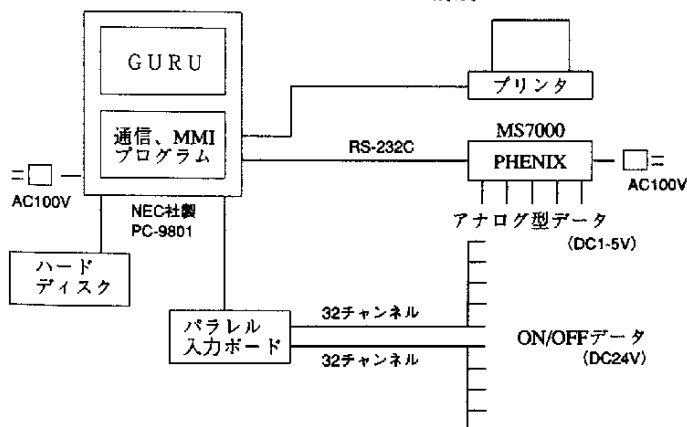


図表II-3-2 診断結果の例

0.70 コンプレッサーに油を吸引する恐れがある。
0.50 SP SV差圧異常 (7P1002)。



図表II-3-3 システム構成



装置や重質油を分解する各種分解装置、および各種タンク群、ポンプ、バルブ、計装システム等からなる。

本事例は、その中の重質油を触媒を用いて分解するFCCプロセスの異常検知とその原因を求めるためのルールとその推論システムに関するものである。エキスパートシステムシェルとしては、BRAINSを使用し、トランスレータによりC言語に変換し、PC9801上で稼働するようにしたものである。本システムでは、推論と各種数値計算を同時処理するため図表II-3-1のようにPC9801を2台、DMAにより接続した。

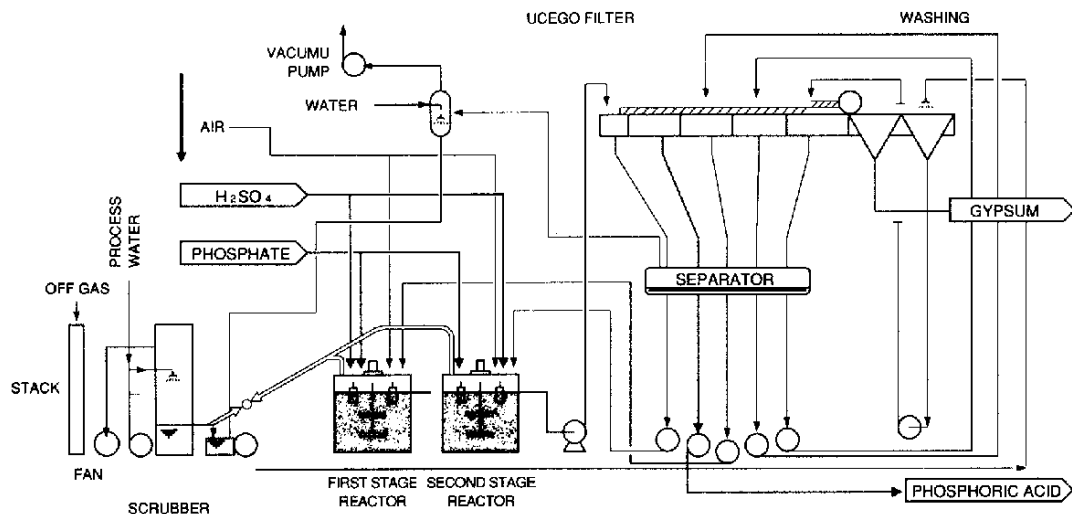
本システムでは、主として計器や制御機器の異常にかかわる監視と診断を行なおうとするものである。診断のベースとしては、各種の計測値のみならず、物質収支、熱収支、温度関係を計算評価した結果等に基づいている。

診断結果の例を図表II-3-2に示す。

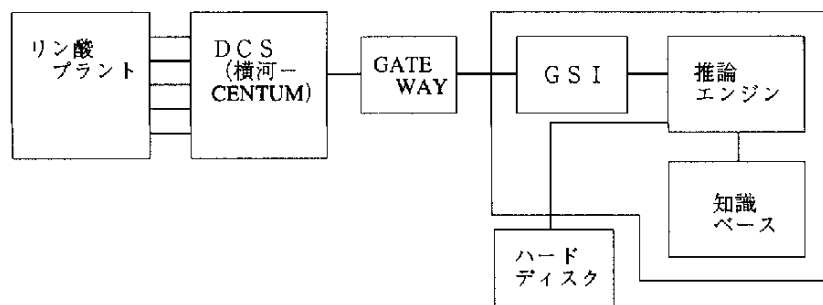
②ユーティリティ管理システム

本システムは、食品プラントにおいて主として冷却水供給系における冷水塔や冷凍器等の運転/停止をオペレータに指示するものである。プラントの運転状態やその状態変化、各機器の運転台数および電力の消費状況等に応じて適

図表II-3-4 リン酸製造プロセス



図表II-3-5 リン酸プラント向けのシステム構成



切な運転機器の組み合わせを求めるものである。エキスパートシステムシェルとしては、GURUを用いている。

プラントの運転状況については、常時CRT画面上にプロセスフローおよび各種計測値が表示される。計測値は、冷却水の温度、圧力、流量やバルブ、ポンプ等のステータス等で、一定周期で計測し画面表示を更新する。この部分は、手続き型言語で作られているが、この状態で何等かの状況変化があれば、GURUに制御が渡される。状況判断とそれに対応する対策表示については、GURUのルール記述により知識ベースが構築されておりそれに基づいて操作指示が出力される。また、各機器の運転状況が、データベースに記録され随時運転記録として表示される。

本システムでは、ハードウェアとしてPC9801を使用しており、図表II-3-3のようなシステム構成となっている。

③リン酸プラント運転支援システム

本プラントは、図表II-3-4に示すようにリン鉱石と硫酸を反応させてリン酸を製造するものである。反応によりリン酸とともに石膏を副生する。石膏は、固形分なのでフィルターにより分離する。石膏と分離されたリン酸は、さらに不純物の分離と濃度の調整の後、製品として貯蓄される。

本システムでは、反応状態の管理、監視のためにリン酸、硫酸の濃度、反応の温度、圧力等を測定し異常の有無を判定する。また、フィルター部でのリン酸濃度や圧力損失等を監視し、フィルターの洗浄や交換に関する作業指示を出力する。こ

これらの知識ベースは、エキスパートシステムシェルG2で構築されている。プラントの計測値は、G2インタフェースであるGSI（G2 Standard Interface）により、計装システムを通してG2に取り込まれる。なお、本プラントの計装システムにはCENTUM（横河電機製）が使用されている。

本事例でのシステム構成を図表Ⅱ-3-5に示す。

2.4.2 手書き図面自動入力システム（ARES）

画像理解に関する研究開発は、取り扱う対象により2次元画像か3次元画像なのか、あるいは静止画像か動画画像なのか、またカラーや濃淡画像か2値画像なのかを明確にしておく必要がある。ここでは、2次元の静止画の画像理解の応用例として設計図面であるP&ID（プラント装置系統図）の自動入力システムを開発し、業務に活用しているので、以下にその概要を紹介する。

P&IDは、A0サイズの大きな図面で非常に複雑な論理図面である。このような図面の自動入力システムの実用化は難しいとされていた。本システムは、7年の歳月を経て実用化されたものである。

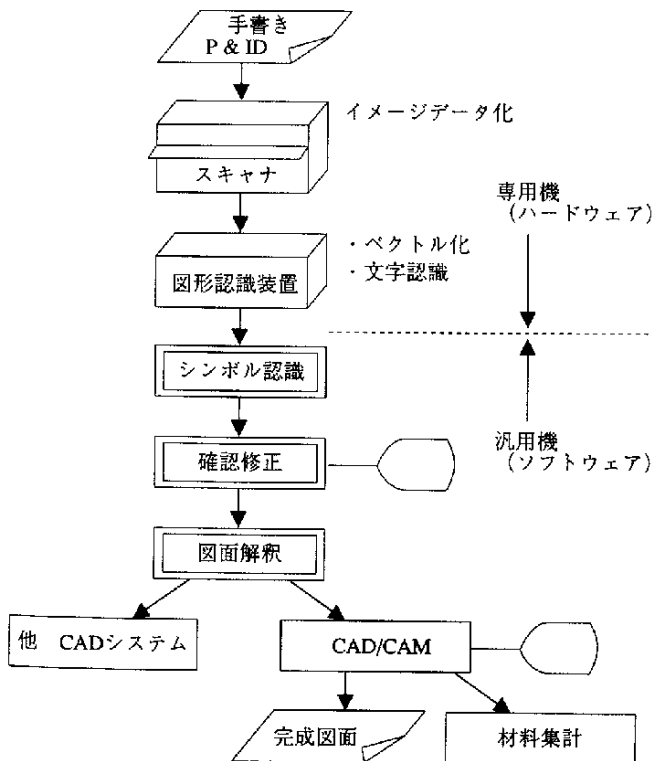
（1）図面自動入力システムへの期待

CAD利用の普及に伴いマン・マシンインタフェース（MMI）の改善が大きな課題になっている。CADのハード／ソフトの著しい進歩にも係わらず、相変わらずCADへの初期入力に多くの時間がかかり、かつCADオペレーション習得に時間がかかり、MMIがあまり改善されていない。このため設計者が先ず設計図面を手書きし、その図面を専任のオペレータがCADへ入力するといった作業パターンは変わっていない。本来、設計者自らCADに向って直接設計図面を作成することが望まれているが前述の理由により現状では難しい。

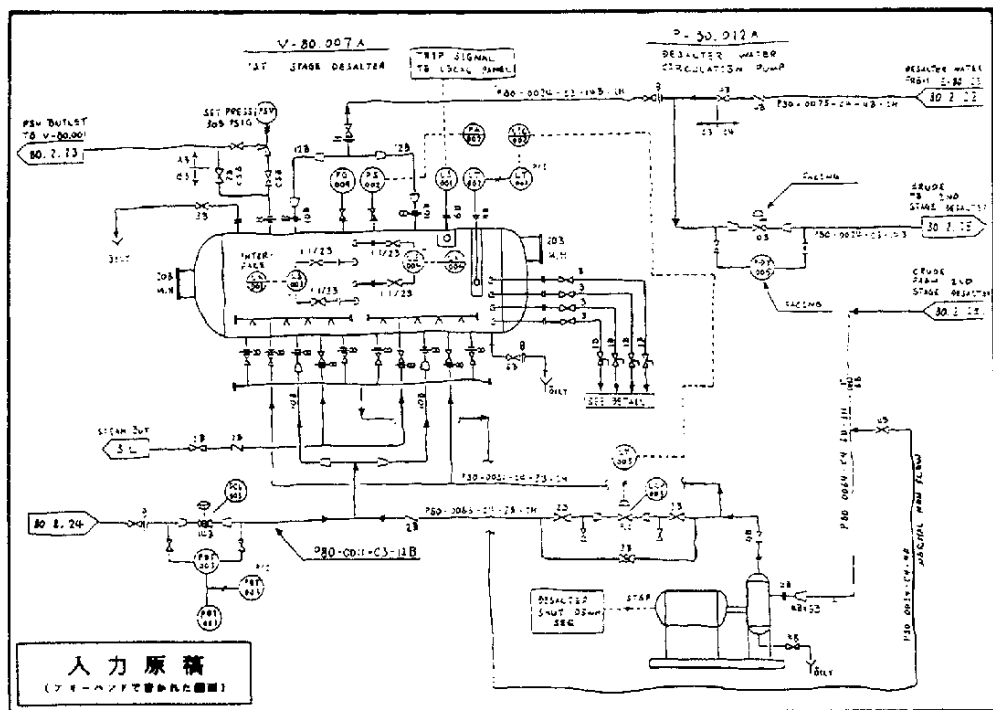
そこで、手書きの図面をOCRやFAXで読ませるように手軽にCADに入力できればどんなに楽になるだろうかと考えられてきた。また長い間画像処理の世界では文字や図形のパターン認識の研究が行なわれてきた。そしてこの分野での研究では多くの成果が報告されている。一方、これらの個々の成果を統合し設計図面の内容を解釈しようとする研究も多く行なわれてきた。その中には実用化されているものもある。しかし、P&IDのような複雑な設計図面に適用できるシステムは、これまでなかった。

エンジニアリング企業では、年間1千枚以上のP&IDを作成している。このためCADへの初期入力に多くの時間を要していることから、

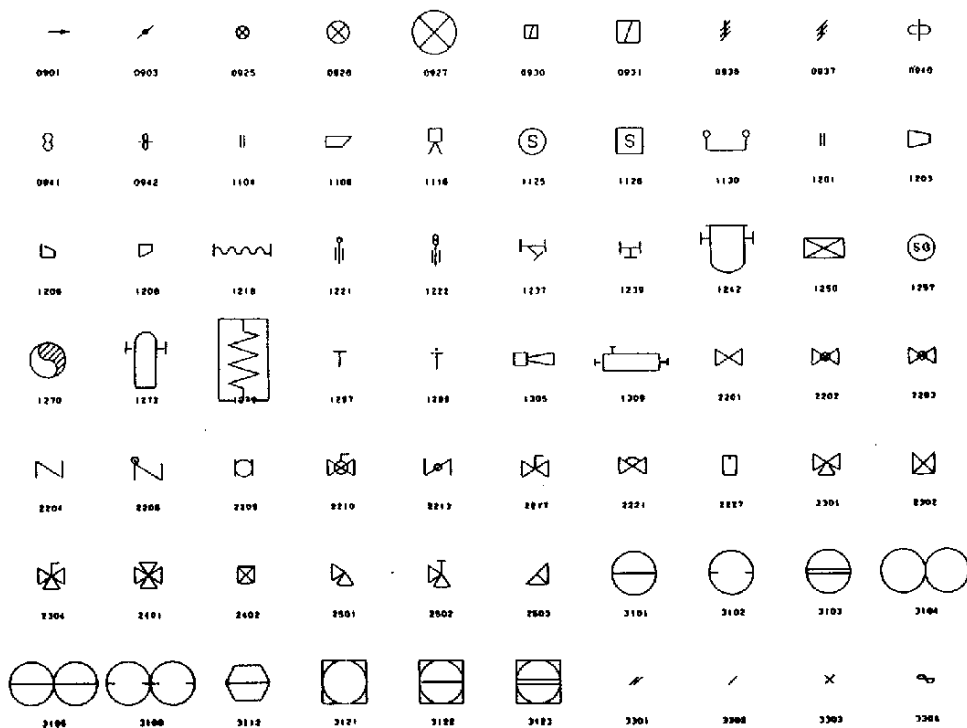
図表Ⅱ-3-6 ARESシステム構成



図表II-3-7 P&ID入力原稿



図表II-3-8 P&IDのシンボル例



何とか自動入力したいとの要望が強く望まれていた。このためエンジニアリング3社(千代田化工、東洋エンジニアリング、日揮)は、富士通と協力してIPA(情報処理振興事業協会)で「装置系統図の自動入力技術に関する開発」を1982年～1985年にわたって行なった。以下に紹介するシステムは、これらの成果をベースに日揮と富士通が協力して1986年から3年間をかけて本格的な実用化システムとして開発したものである。

(2) システムの概要

ARESのシステム構成は、図表Ⅱ-3-6に示すようにスキャナにより図面の読み取り部、図面認識装置によるベクトル化と文字認識、ソフトウェアによるシンボル認識部、図面認識確認修正部、図面解釈部、およびCADシステム部から構成される。以下にその概要を示す。

① 図面読み取り

図表Ⅱ-3-7に示すようなフリーハンドで書かれた手書きのP&IDを入力原稿として、A0サイズ対応のイメージスキャナで読み取り、イメージデータを作成する。このイメージデータは、適当なしきい値により2値データに変換される。イメージスキャナの読み取り精度は400、240、200、120DPIの4種類であるが、P&IDでは120DPIで十分である。A0図面を45秒程度で読み取れる。

② ベクトル化、文字認識

2値の画像データを基に先ず細線化処理を行ない、同時に塗りつぶし部分の検出と線幅の判定も行なう。細線化後に折れ線近似によりベクトル化される。この際、細線化と折線化の誤差や歪みが発生するため、それらの整形処理を行なっている。文字認識は、図面の中の任意の場所に書かれた英数字と特殊文字で水平、垂直方向に書かれた文字を対象としている。

③ シンボル認識

P&IDに書かれるシンボルは図表Ⅱ-3-8に示すようなものが対象である。これらのシンボルは、図表Ⅱ-3-7から判るようにラインと接続しているもの浮いているもの、シンボルとシンボルの組み合わせ、シンボルと文字の組み合わせといったもの等がある。認識は、シンボルの切り出しと特徴分類とパターンマッチングにより行なう。利用されるシンボルは、ジョブにより異なるためシンボル認識辞書が容易に登録できるようになっている。

④ 確認修正

上記の文字認識結果とシンボル認識結果の確認修正を行なうものであり、如何に効率よく行なえるかが重要である。ここでは、1つの画面上で入力イメージと認識結果を同時に表示して確認修正が行なえるようになっている。図表Ⅱ-3-9に文字とシンボルの確認修正画面の例を示す。

⑤ 図面解釈

前述した文字認識、シンボル認識はある程度汎用的な処理に限定されている。このためP&IDの中の全てのシンボルの認識はできない。一方、図面解釈では前の処理で認識できなかったシンボルの認識、線種の判定(配管ライン、計装ライン)またP&IDの知識を用いて各図面の中の要素間の論理的な対応、接続関係の解釈、文字列の意味づけも行なう。このようにして解釈された情報により文字列やシンボルの大きさや位置が決まり図面全体が清書される。この清書されたデータがCADに渡される。

⑥ CADシステム

CADシステムでは、最終的な修正作業とP&IDの論理情報を利用して機器リストやバルブリスト、計器リストが作成できる。

(3) ARES活用状況

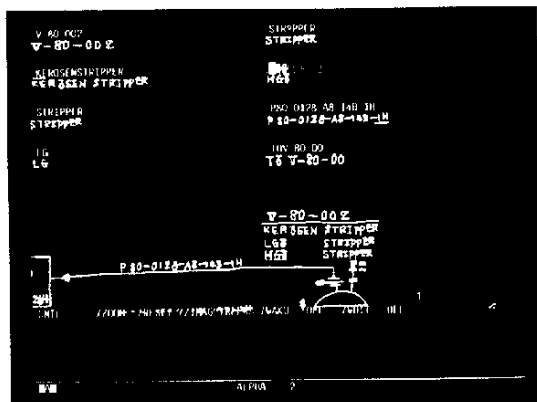
N社では、ARESをP&IDのCADへの初期入力に

全面的に活用して行く方向で作業を進めている。すでに数百枚のP&IDに適用し、コスト削減と入力時間の大幅な削減効果が出ている。図表Ⅱ-3-7に入力原稿としてのP&IDとARESによる自動処理された清書結果を図表Ⅱ-3-10に示す。図

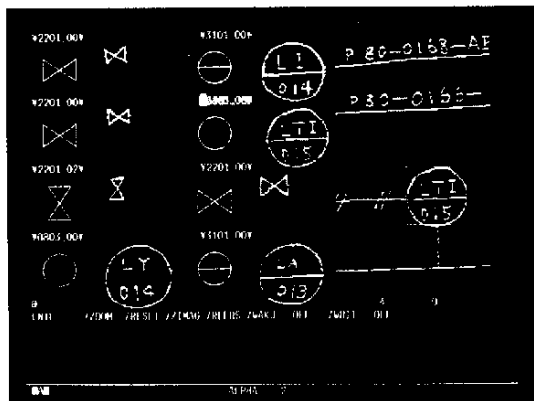
表Ⅱ-3-10のデータをCADAMに渡して最終的な仕上げを行なってCADによる清書図面が完成する。人力原稿の善し悪しにもよるが、概ね従来のCADのみでの清書作業に比べて50~70%の入力時間の削減につながる。

図表Ⅱ-3-9 図面認識確認修正画面

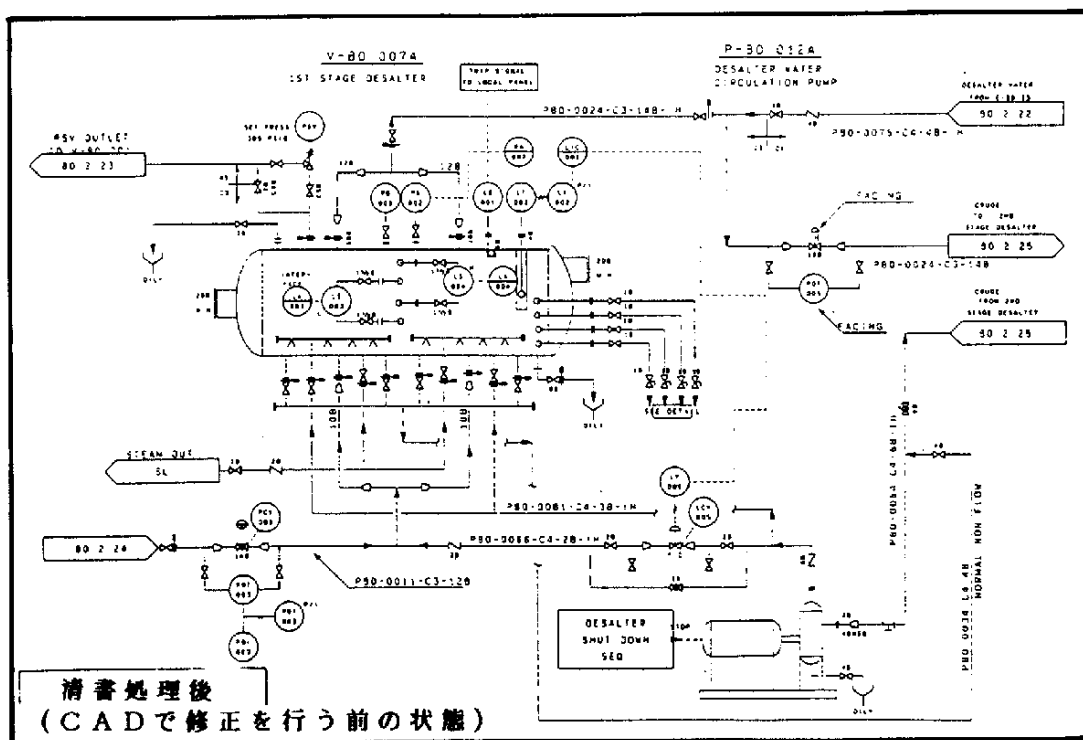
a) 文字認識専用画面



b) シンボル認識専用画面



図表Ⅱ-3-10 ARES自動処理結果



(4) 今後の展開

N社では、P&IDのCADへの初期入力に全面的に活用して行くとともに、さらに機能、性能の改善を図っていくとのことである。またオンスケール図面の清書機能や配管アイソメ図の自動入力にまで適用を拡大する予定である。

<参考文献>

- 1) 加瀬、白鳥、高橋：装置系統図の自動入力システムの実用化、FUJITSU、Vol40、No.5 (1989)
- 2) 加瀬、白鳥：プラント装置系統図における図面入力の活用、PIXEL、No.84 (1989)

第3章 金融業界におけるAI利用

3.1 金融業界の特徴

AI技術の利用は、ここ数年、工業や医療の分野において着実に進んできている。銀行、生保・損保、証券等の金融業界でもこのところシステムの大規模化、高度化が進む中でAI技術の活用の意義は大きいとの認識が高まりつつある。AIは今後の研究や技術の進歩に伴い、将来、金融機関等における多くの専門的な業務に活用される可能性があり、今後の金融機関の機械化の方向に大きな影響を及ぼすのではないかとという観点から関係者の関心も高まっている。そのため、当分の間はその開発環境・技術面等の課題を解決しながら成長を遂げていくものと期待されている。

(1) 業務の特徴

近年の金融をめぐる新たな潮流として金融の自由化、国際化、証券化、機械化等が挙げられる。金融環境の変化が急速に進展する中で、企業・個人等の金融に対するニーズは多様化・高度化し、これらに対応するため極めて広範な専門的な知識・ノウハウを駆使した金融サービスの提供が要求されるようになった。また、これと同時に、業

務分野の自由化も急速に進展しており、業態・業界間の相互乗り入れと金融機関の同質化が進み、業務内容は複雑化・高度化・多様化している。

金融機関では、このような諸情勢の変化に対応するため、一層の事務効率化の推進、新商品・新業務の提供、収益構造の変化に伴う新たな管理手法の確立、金融リスクの増大に対処するためのリスク管理技法の強化などの対応に直面しており、これらの新たなシステムニーズが高まっている。

(2) AI技術の利用と必要性

金融機関の機械化は、第1次・第2次オンラインシステムのステップを踏んで、現在、一般に“第3次オンラインシステム”といわれている新システムの構築・稼働の段階に入りつつある。このような機械化の流れの中で、日常業務の機械化やネットワーク化が進められ大量定型業務についてはオンライン化により事務処理の省力化・効率化が可能となった。しかし、一方では知識集約的な業務や非定型的な多種少量の個別対応の必要な専門的業務分野のシステム化はあまり進んでいないともいわれており、金融環境の大幅な変化へ対応するため、これらのサポートの必要性が高まりつつある。

このように、金融機関の機械化は、預金や為替などの主要勘定業務および勘定系ネットワークの構築等のシステムの整備がほぼ完了した今、これまではサポートの対象となり得なかった専門性の高い知識集約的な業務に対しても、これをコンピュータ処理の対象とすることで対処しようとの気運が高まってきており、そのための具体的なツールの1つとしてAI技術の応用に期待を寄せ始めているようである。

3.2 適用分野

(1) AI技術の応用

AIの応用分野は、エキスパートシステム(以下、

ES)、自然言語理解、画像・音声理解、知能ロボット等多種に及んでいるが、その中でも金融機関等では、現在ESを中心にAIの各種業務分野への応用についての研究・開発が進められており、一部の金融機関ではすでに試行的段階から実用化の段階に移行しつつある。ESは、ある業務分野の専門家の判断、問題解決の一部をコンピュータに支援・代行させることを目的として開発されたシステムである。

銀行では、比較的専門家の少ない証券や国際業務、あるいは相談業務といった分野における知識やノウハウをESに蓄え、システム化することにより企業で組織的に利用できるようにし、本部業務の事務省力化や営業店での相談業務や判断業務の効率化を図るとともに、若手スタッフへの専門知識等の継承の容易化、複雑化する新商品・サービス開発力の強化、システム開発の効率化等の効果を期待し、これまでの研究開発・試行の段階からさらに一歩踏み込んだアプローチを行なっているものとみられる。

(2) ESの適用分野

ESの適用分野は、本来、幅広いはずであり金融機関の専門的な判断・問題解決を必要とする業務の多くはES適用の可能性があると考えられる。

しかしながら、ESを開発するためにメーカー等が提供するES関連製品は、ES実現面で未だ機能的あるいは能力的な制約があること、また、金融機関におけるES開発経験や開発ノウハウが十分とはいえないこと等の理由から、費用対効果の点でES導入効果に優れた適用領域が見いだしにくいことが指摘されている。銀行業務分野における現状考えられるESの適用可能性のある分野を対象業務の観点から分類・整理すると以下のとおりとなる。

①相談業務

資金運用、ローン、相続、事業継承、株式売買支援、経営診断等の営業拠点における窓口相談

業務への適用

②判断業務

個人ローン、住宅ローン、各種カード発行、リスク診断、契約査定、企業融資審査等の融資や査定のための判断業務への適用

③事務・教育支援業務

商品案内、事務手続き、通達案内、テレックス電文解析等の事務・教育支援業務への適用

④管理業務

金利予測、ALM、ポートフォリオ分析、チャート分析、ディーリング支援等の資金や証券の管理業務への適用

⑤企画業務

市場・顧客分析、店舗立地判断、店舗レイアウト設計、人事計画等の営業戦略に関する企画業務への適用

⑥システム管理業務

コンピュータ自動運転、障害分析対策、オペレーションガイド、システム設計管理、プロジェクト管理、システム監査等のシステム管理業務への適用

(3) ESの開発状況

金融機関におけるESの導入は、大手金融機関を中心に調査・検討の段階から試行・実用の段階へと着実に進みつつある。現時点で公表されている範囲では実用化レベルに達しているシステムも一部あるが、本格的な業務への導入はこれからの段階であるといわれている。ESの取組み動向と開発状況について、一般に公表されている範囲内で整理すると、以下のようまとめることができる。

①取り組み状況

・適用分野は、知識やノウハウのルール化が容易で、システム構築が比較的やりやすい窓口相談等の提案・相談型業務や契約査定等の診断・判断型業務が多い。

・システムの運用形態は、既存システムとの連

携が不要な独立完結型システムとして開発を進めている機関が多い。

- ・ESに取り組んでいる金融機関は、銀行、生保・損保、証券の大手機関を中心に50社前後と見込まれる。

- ・アプリケーションの延べ本数は90前後で、システム規模はルール数500以下の中規模システムが多い。

- ・開発体制は、特定のベンダーとの共同開発体制を取っている機関が大部分で、自機関のみで開発に取り組んでいる機関は少ない。

②開発導入状況

- ・銀行では、事務処理の効率化や顧客サービスの向上を目的とした資金運用相談、融資審査等の提案・相談業務へのESの導入事例が目立っている。また、このほかでは経営管理情報の提供や営業支援機能の充実を目的としたALM支援のための金利予測や企業診断、財務分析等への導入も検討されている。

- ・証券会社では、大手を中心に顧客の投資相談ニーズの高度化等に対応するためにコンサルティング力の強化を目的としたポートフォリオ作成支援、株式売買支援システム等の窓口相談業務への導入事例が目立っている。

- ・生保・損保では、営業支援システムの充実を目的としたリスク診断等のコンサルティング業務や、契約査定業務、保険金・給付金支払の審査業務、企業貸付の融資判断業務等を中心とした診断・判断型の業務への開発が進んでいる。

- ・この他では、コンピュータ運用支援関係への応用など内部業務への利用、テレックス、電文解析などの内部事務処理への導入事例が見られる。

このように、金融機関においてこれまでに開発・公表されているESは、営業店における相談業務支援や融資・査定のための判断支援を対象とするものが多く、この分野ではESはすでに実用化ないし試行の段階にあるといわれている。今後、AI技術の進展や開発ノウハウが蓄積されるのにともない、より高度な判断業務や企画業務への応用が検討され、ES適用分野は多岐にわたることが想定される。今後のESの適用分野を展望すると以下のようにまとめられる。

対象業務の観点からは事務・教育支援業務、資金や証券の管理業務、営業に関する企画業務、システム管理業務等への取り組みが期待される。また、対象ユーザ層の観点からは、現状は営業推進要員を対象とするESが主流を占めているが、今後は事務処理要員を対象とするESも増加していくことが考えられる。さらに、ESの機能の観点からは、現状は相談支援、診断支援等の分析型のESが主流となっているが、今後は計画策定や設計を行なう合成型ESの機能もより多く組み込まれていくものと期待される。さらに、システムの形態の観点からは、独立完結型システムというよりもトータルなシステムの一部として、あるいは既存のシステムの一部として開発されるケースが増加していくものと期待される。

近年の金融の自由化、国際化、証券化、機械化等の金融革新の潮流は、高度情報化社会の進展と相まって金融機関を取り巻く環境に大きな影響を及ぼしている。

金融の自由化は、昭和59年の日米円ドル委員会を1つの契機に、預金金利の自由化と業務の自由化を中心として本格的に進展しており、金融の国際化は、昭和55年の外為法改正に伴う資本取引の自由化以降、相次ぐ各種の規制緩和措置がとられ、ユーロ円市場の拡大やオフショア市場の創設といった形で本格化してきている。また、金融の証券化は、昭和50年代からの国債発行残高の累積

3.3 将来の展望と課題

(1) ES適用分野の展望

を背景に、金融機関の窓販・ディーリング解禁等により国債流通市場が急拡大するという形で着実に進展してきている。さらに、金融の機械化もこれらの流れと軌を一にし、多様化する金融機関業務の技術的基盤として急速に発展してきている。

（2）今後の課題

以上のとおり、金融機関では、大手金融機関を中心にES開発に強い関心をもって取り組み始めており一部の金融機関では、これまでの試行的システム開発の段階から本格的実用化を目指したアプローチを行ない始めている。しかしながら、本格的にESを開発していくには、現状ではまだ解決を要する課題も多いといわれている。今後の課題として指摘されている主なものの概要は以下のとおりである。

①既存システムとの統合技術の整備

金融機関では、現在、ES化に小規模かつ独立完結型の業務から着手している機関が多いが、今後はESを既存システムと有機的に結合するシステムとして利用することによって、より効果を発揮するのではないかと期待が高い。このため、今後、ESの本格的実用化を図るため、既存システム、データベースとESをより有機的に統合し、より大規模かつ実用的なESを実現するための効率的な統合技術等の整備の必要性が指摘されている。

②知識獲得機能の強化

ESの開発フェーズで最も重要な工程が知識の獲得・整理・体系化であり、これに開発工数の大半を要しているという指摘もある。これは、専門知識が必ずしもドキュメント等の形で体系的に整理されているわけではなく、多くの機関で採用しているインタビュー方式等では必要な知識の獲得が難しいこと、また、現行のES開発支援ツールの知識表現は、知識獲得機能が必ずしも十分とはいえないこと等から知識獲得やチューニングに時間を要し、専門家の負荷が高

いことが課題となっている。このため、知識獲得支援ツールのより一層の強化の必要性が指摘されている。

③システム評価技術の向上

システムの評価手法が確立されていないため、ESが専門家の判断にどこまで近付いているのか判断が難しいという獲得知識の検証の問題も指摘されている。また、ESは、従来のシステムと異なりアルゴリズムが複雑なため、信頼性を向上させるのに多くの時間を要するともいわれている。このため、獲得知識の検証が容易にできるような知識ベース評価技術の向上が望まれている。

④適用業務選定の困難性

適用業務の選定の課題としては、投資効果・生産性の点で導入効果のありそうなテーマを見つけるのが難しいことが指摘されている。これは、ES構築に当たってユーザがやや過大な高次元の機能を期待するが、開発支援ツールの機能の制約等からユーザの要望に応えられず、規模の縮小等をせざるを得ないこと等も1つの要因と思われる。

⑤知識エンジニアの育成

専門家が直接、知識エンジニアを開発する場合を除いて、ESを開発するのに不可欠なのが知識エンジニアの存在である。現在、金融機関ではESの開発はメーカー等との共同開発体制をとっている機関が多く、知識ベースの構築等は外部の知識エンジニアに頼る傾向が強い。このため、自社の知識エンジニアが十分に育成されていない機関が多く、今後の課題として社内開発体制の整備を図る上で実践を通じての知識エンジニア育成の必要性が指摘されている。

3.4 AIシステム事例

3.4.1 AIによる個人向け総合相談サービス

（1）全体概要

①システム構築のねらい

近年金融の自由化が急速に進展している。この自由化は、業務分野と金利の両面から進んでおり、これに伴い顧客のニーズが多様化する

ると共に金利選好が高まり、銀行に対して総合的金融情報サービスが要求されている。

このような背景を踏まえ、D銀行では、AIによる「個人向け総合相談サービス」を構築する

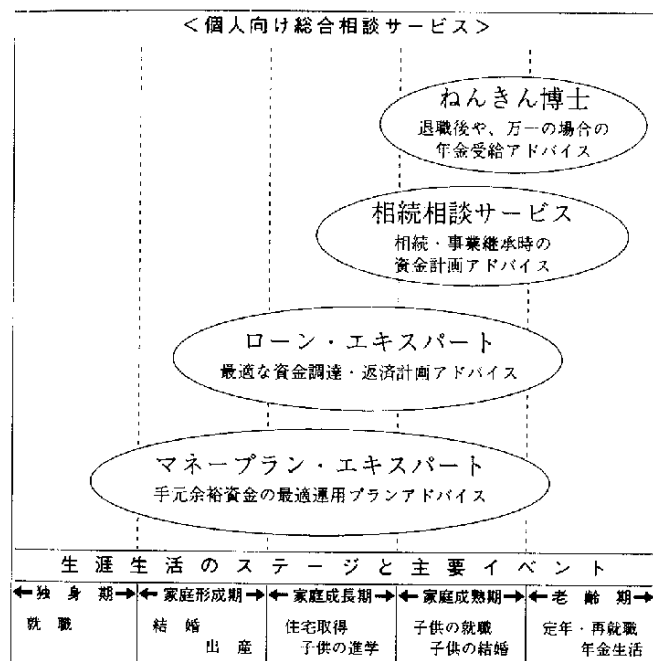
こととした。その目的は、個人顧客の多様なニーズに本システムで対応し、リテール戦略の有力な武器として活用の上、他行との差別化を図ろうとするものである。

②システムの概要

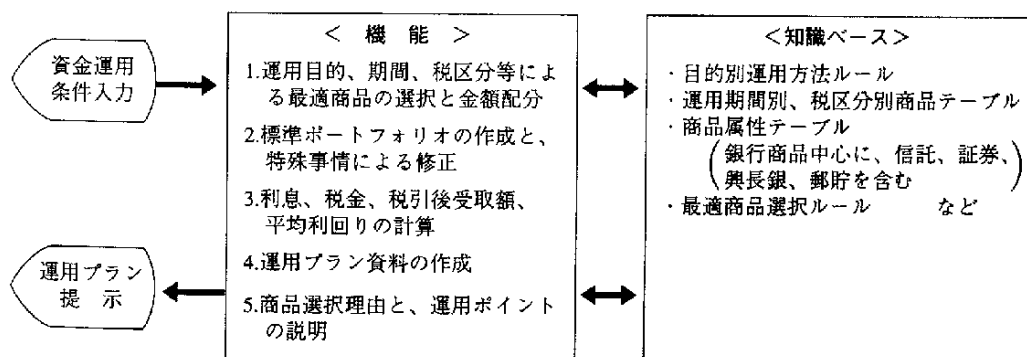
本システムは、次の4つのサブシステムから成り立つ。（図表Ⅱ-3-11参照）

資金運用相談サービスを行なう「マネープラン・エキスパートシステム」、資金調達相談サービスを行なう「ローン・エキスパートシステム」、年金相談サービスを行なう「ねんきん博士」、そして相続時対策アドバイスをを行なう「相続相談サービス」である。これらのサブシステムが、生涯生活の各ステ

図表Ⅱ-3-11 個人向け総合相談サービス

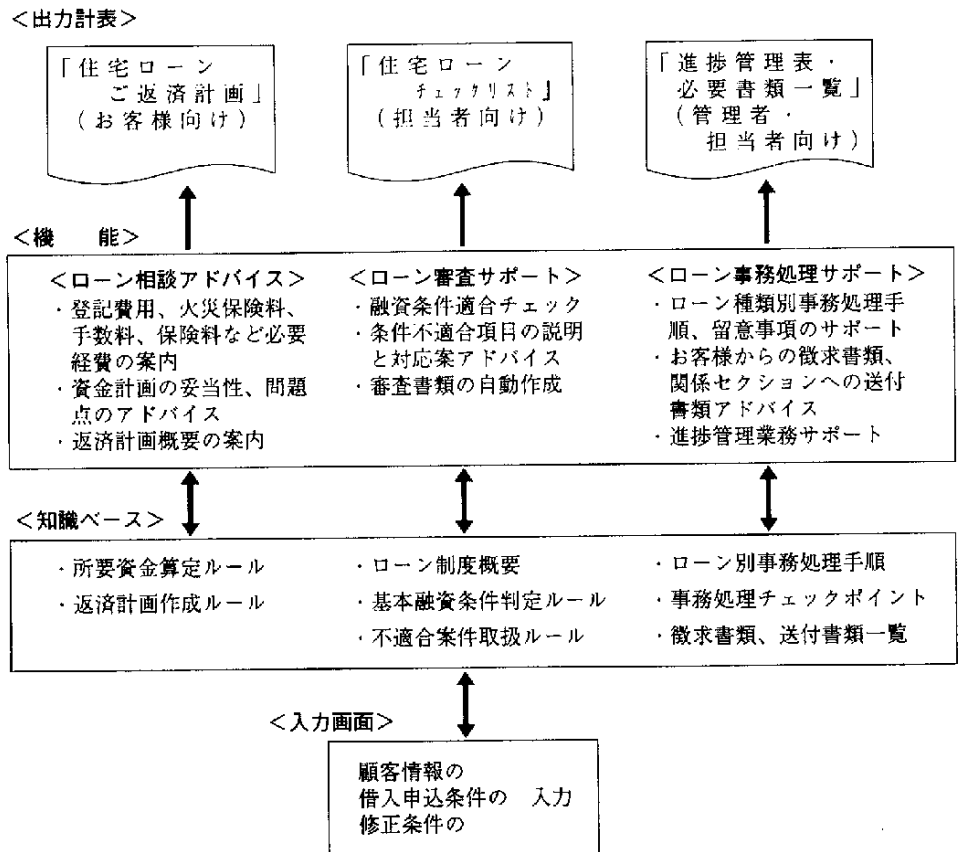


図表Ⅱ-3-12 「マネープラン・エキスパートシステム」の処理概要

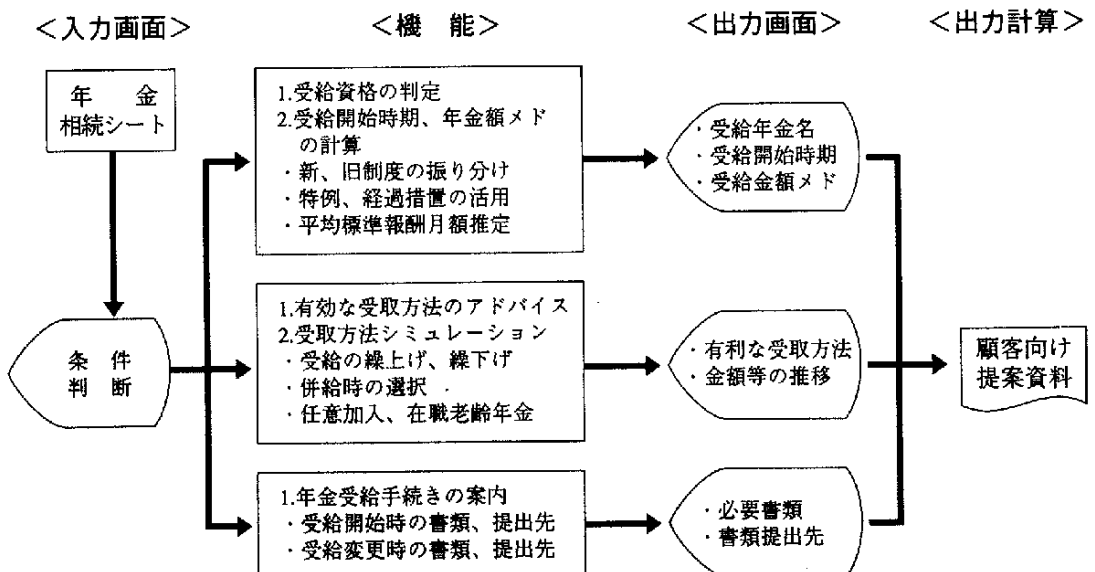


注・銀行商品： 期日指定定期、普通定期、MMC、NCD、外貨貯金、国債定期、
利付国債、割引国債、抵当証券、金投資口座、大口定期、スーパーMMC
・ 信託商品： 貸付信託、金銭信託、ビッグ
・ 証券商品： 公社債投信、中期国債ファンド
・ 興長銀： 利付金融債、割引金融債、ワイド
・ 郵 貯： 定額貯金

図表II-3-13 「ローン・エキスパートシステム」の概要



図表II-3-14 「ねんきん博士」の処理概要



ージと主要イベントに応じて、単独で、あるいは有機的に結合して、個人の相談ニーズに総合的な対応を行なう。これらは、昭和63年4月を皮切りに順次サービスを開始し、平成2年7月をもってフルメニューが完成した。

(2) サブシステムの概要

①「マネープラン・エキスパートシステム」

a このシステムの目的は、近年の税制改正後の新しい運用ノウハウ・商品知識、最新の金利情報を組み込み、顧客の多様な資金運用ニーズに、営業店でスピーディーに対応することである。これにより、本部の専門スタッフに相談することなく、営業店の誰でも簡単に最適な資金運用プランが作成でき、提案型セールスが可能となる。

b このシステムの主要機能は、次のとおりである。

- ・運用目的、金額、期間により最適な商品を組み合わせた標準運用プランの作成
- ・顧客の要望、営業店の取り引き方針を追加しシミュレーションを繰り返しながらプランを修正
- ・受取利息の年度別展開、商品選択理由、プランのポイントを説明した提案資料の作成
- ・取扱商品の金利、預入単位、取扱上の留意点、必要書類等を担当者向けに案内する金融商品ガイド

c 処理概要については、図表Ⅱ-3-12のとおりである。

②「ローン・エキスパートシステム」

a このシステムの目的は、(a)顧客の資金調達に関する相談サービスの提供と提案を行なうことは勿論、(b)営業店の行員向けに、ローン審査業務のサポートと(c)ローン事務処理の正確性向上・効率化を図ることである。

この3つの目的を満足することにより、営業店における渉外業務から事務処理まで、一貫

してサポートすることが可能となる。

b このシステムの主要機能は、以下のとおり顧客向け機能と営業店担当者向け機能とに分かれる。

(i) 顧客向け機能

・顧客が計画中の資金計画の妥当性や問題点を検討して、住宅ローンをはじめとする資金調達、返済計画づくりをアドバイス

(ii) 営業店担当者向け機能

- ・当該申込みローン取扱の判断、問題点及び対応策アドバイス、審査書類の自動作成等審査業務のサポート
- ・個別のローン申込み内容に対応した取扱処理手順及び必要書類のアドバイスと進捗管理のサポート

c 本システムの処理概要については、図Ⅱ-3-13のとおりである。

③「ねんきん博士」

a 昭和61年4月の制度改正以来、年金制度が非常に複雑化している。また高齢化社会の進展に伴いシルバーマーケット層が拡大し、老後の生活設計相談ニーズがますます高まっている。こうしたシルバーマーケット層へのサービス拡充をこのシステムは目的とする。

b このシステムは、新制度、旧制度及び国民年金、厚生年金、共済年金の全ての公的年金をカバーしており、その主要機能は以下のとおりである。

- ・年金受給資格の判定、受給開始時期と年金額の計算
- ・併給時の年金組み合わせ、任意加入等有利な受取方法のアドバイスとシミュレーションサービス
- ・受給可能な年金種類に応じた受給手続き案内

c このシステムの処理概要は、図Ⅱ-3-14のとおりである。

④「相続相談サービス」

- a 本システムの目的は、顧客の相続に関する相談に単に受け身で対応するだけではなく、顧客の財産概要により、相続時の税負担のメドを示して、相続対策の必要性を積極的にアピール、提案することにある。これにより顧客の潜在的ニーズを掘り起し、個人取引の増強を図ろうとするものである。
- b 本システムは、以下の主要機能を有する。
- ・被相続人の財産概要、予定相続人の情報から相続税評価額を推定し、相続税の概算を算定する。
 - ・財産構成から有効と判断される個別対策案の選定、例示とその中で最も効果的と思われる

対策案を組み合わせ、「おすすめプラン」として提示する。

- ・対策案実施計画のシミュレーション
- ・顧客向け提案資料の作成

c 処理概要については、図Ⅱ-3-15のとおりである。

③システム構成

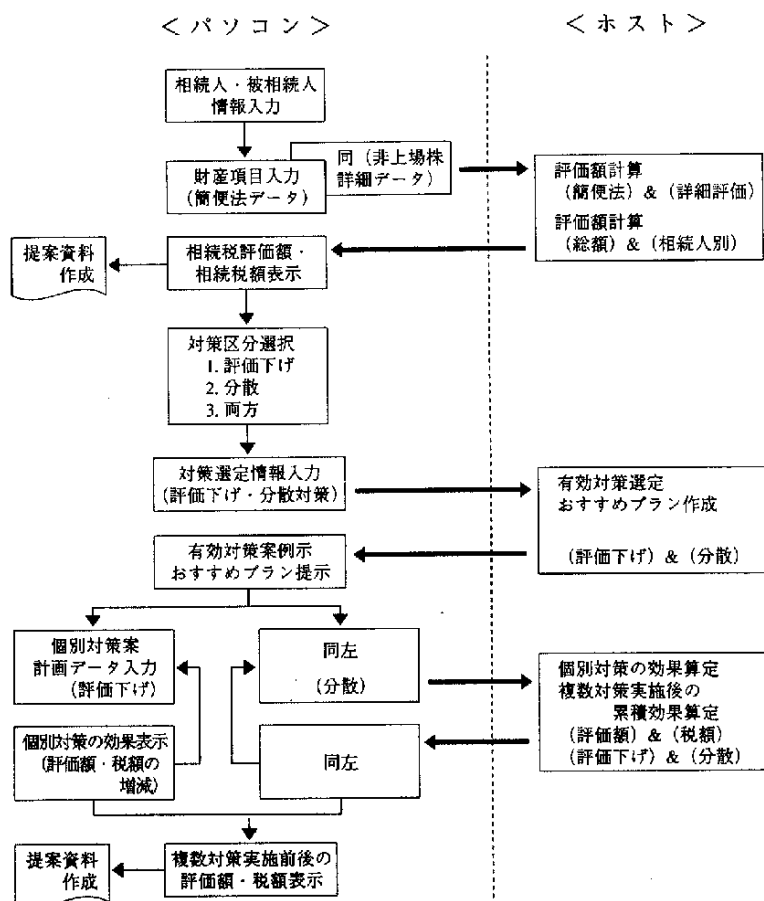
「個人向け総合相談サービス」は、営業店全店における利用と金利や制度変更に対するメンテナンスの容易性を考慮し、ホスト集中型のシステム構成をとっている。

詳細は図Ⅱ-3-16のとおりである。

④むすび

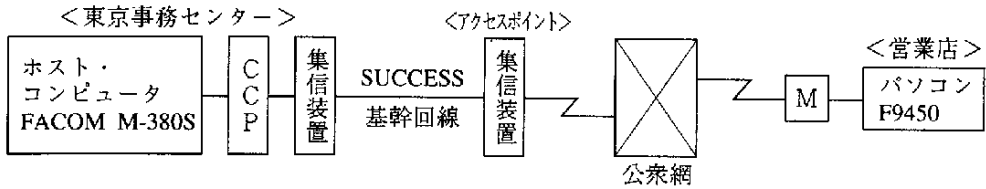
D銀行は、ポスト三次オンラインシステムにAI

図表Ⅱ-3-15 「相続相談サービス」処理概要

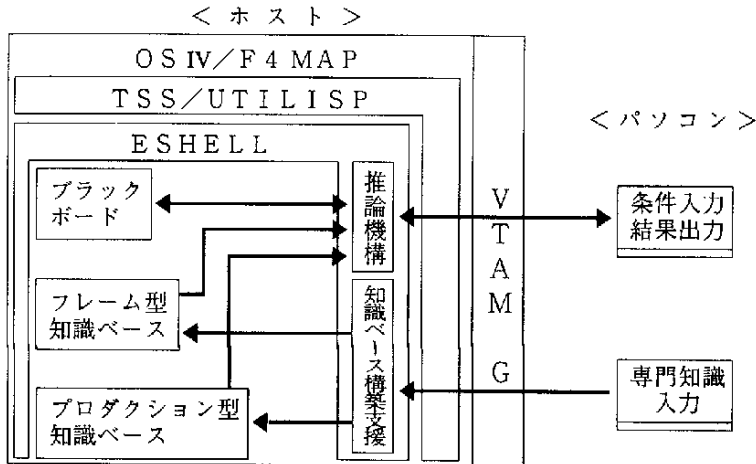


図表II-3-16 システム構成

(ハードウェアの構成)



(ソフトウェアの構成)



技術を積極的に取り込む方針とのことである。

このため、先に述べたエキスパートシステムのみならず、以下のとおりファジー推論、ニューロコンピュータ、自動翻訳といった最新技術を応用したシステムの開発、導入を図っている。

a. ファジー推論技術の応用

顧客要望に基づき、ファジー推論技術を利用し、スワップ、オプション、先物等の技法を組み合わせた新商品の開発支援を行なう「天才くん」の開発

b. ニューロコンピュータの応用

債券先物利回り予測に応用し、実用システムを開発

c. 自動翻訳技術の応用

金融専門用語辞書を開発し、日英自動翻訳システムを導入

急速な金融環境の変化にダイナミックに対応す

るため、今後ともAIに積極的に取り組む所存である。

3.4.2 工場防災診断エキスパートシステム

(1) 背景

損害保険業はあらゆる産業活動・市民活動に伴うリスクの引き受けという基本的な役割を担っている。保険の引き受け（リスクと料率の算定）、損害査定（保険金の査定と支払い）の基本業務には、極めて広範な専門性の高い業務知識が必要である。更に、近年の自由化の進展に伴い、業務分野が急速に拡大している。このような状況の下で、T損害保険ではAIに次のような期待をし、導入を図っている。

1) 準専門家の早期育成とより質の高いサービスの提供

- ①優れた専門家のノウハウ、知識の共同利用
- ②業務遂行の平準化

③質の高い業務の提供

2) 専門家業務の機械化による業務効率化の推進

①営業、査定、内部事務の効率化とコスト削減

②より高度な業務に取り組む時間の確保

③専門性の高い業務での社外要員の活用

以下では工場火災の危険性や防災状況の調査、診断業務の支援システムである「工場防災診断エキスパートシステム」の概要について紹介する。

(2) 対象業務と目的

防災診断業務は顧客企業の工場の火災等に関するリスクを診断し、防災のためのアドバイス等を行なうサービス業務であり、他の金融機関にはない損害保険独自のノウハウを利用した業務である。具体的には、対象となる施設の現場調査を実施し、災害危険度や防災状況を評価し診断結果を防災報告書の形にまとめ、顧客に提出する。現場調査で、何に注意を払い、危険度をどう診断し、どのように診断結果を顧客に分かり易い報告書にまとめるかが専門家のノウハウである。

本システムは、防災診断業務に関する専門家のリスク診断の判断基準や、診断結果のまとめ方のノウハウを蓄積した知識ベースを中心に構成したものである。システムの目的は、専門家のノウハウの蓄積と伝承、専門家の業務の効率化や均質化、および専門家の早期育成である。

(3) 主要機能

本システムは、工場での調査結果を入力することにより防災状況を得点形式で評価する機能、防災能力を高めるための改善コメントを生成する機能、および生成した文書をワープロにより編集する機能で構成されている。システムには評価診断のための各種チェックリストが蓄えられており、チェック項目には評価点が予め設定されている。リスク評価はこの評価点を用いた得点形式で行なう。リスク評価と評価点の集計、報告書作成の部分に知識処理を用いている。

図表Ⅱ-3-17はシステム構成のイメージの概

要である。図表Ⅱ-3-18は評価結果をレーダーチャートとして表示した総合評価の画面例である。また、評価報告書として総合コメントと場所別コメントが出力され、図表Ⅱ-3-19と図表Ⅱ-3-20がその見本である。各文章は評価点や入力データの値に基づく、キーワードの埋め込みなどの操作をへて生成される。担当者の判断で評価点を修正することも、総合コメントの文章を追加変更することも可能である。

(4) 使用ツール

本システムはワークステーション2050/32のスタンドアロンで稼働する。ソフトウェアは、知識処理にエキスパートシステム構築支援ツールES/KERNEL、画面入力処理にC言語、文書編集にOFIS/REPORTを用いている。

(5) 開発規模

1) 開発規模

104ルール、58フレーム、画面インタフェースのC言語によるプログラムは約19Kステップのシステム規模となっている。

2) 開発工数

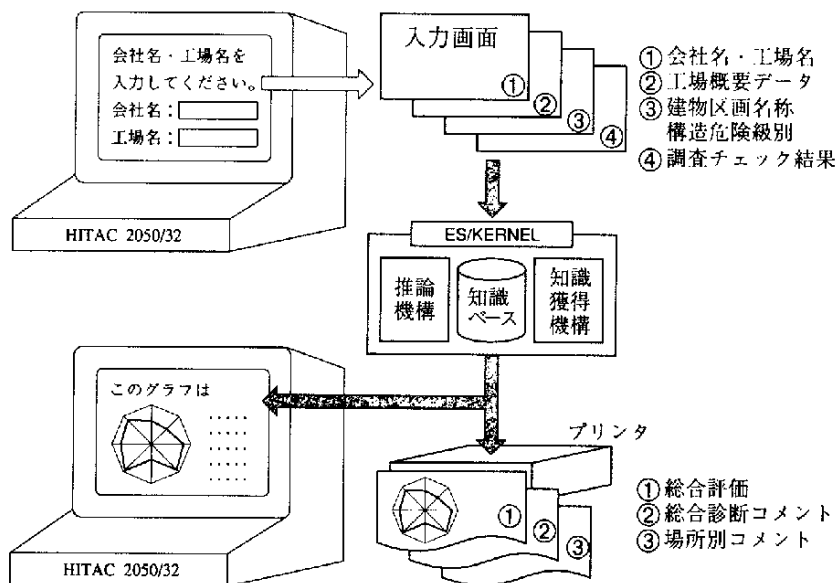
開発期間は87年8月～88年2月、開発工数は32人月（メーカー24人月、ユーザ部6人月、システム部門2人月）であった。

(6) システムの評価

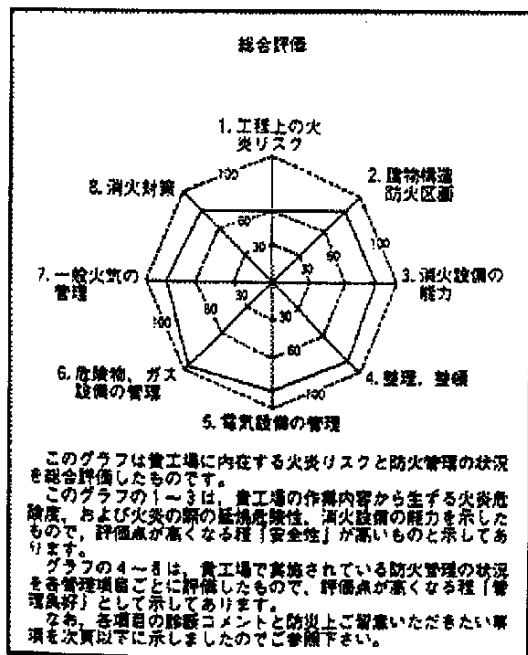
知識処理ツールで文書を作成し、ワープロで編集する方式をとった点が本システムの特徴である。このため、担当者は知識処理の結果を必要に応じて修正でき、融通性の高い実用的なシステムが完成したと評価している。

本システムの利用により、従来4～5時間かかった作業が1～2時間に短縮され、また非専門家に対する教育効果も大きく、当初の目的を達成したといえる。その後、リスク診断対象範囲の拡大と簡易診断機能の追加を行ない、活用の範囲を広げている。

図表II-3-17 システムのイメージ



図表II-3-18 総合評価の出力例



図表II-3-19 総合コメント

項目	項目	評価	所見
工場内の火災リスク	工程上の火災リスク	56	原料、製品の大部分が不燃物ですが、工場で溶融作業で危険物を取り扱っており、ここでの火災防止には十分に留意する必要があります。
	建物構造防火区画	52	建物のほとんどが不燃構造であり、建物間距離の確保は良好なものと判定されます。 各建物内の防火区画が必要な箇所は、防火壁により適切に区画されています。 消火器、屋内消火栓、及び自動火災検知設備により防犯されています。

図表II-3-20 場所別コメント

場所	所見
第一工場 製品加工工場	溶融加工工程の自動溶融設備の点検が高頻度で行われており、他の溶融設備も同様定期的に点検することが行われています。
溶融作業場	小出し溶融場の排煙管が多いように見受けられます。排煙管は1日の使用量に応じて適切に交換する必要があります。 溶融設備を防護する耐火性のメタルシートの設置が確認されています。可動防護メタルと交換されることをお望みします。

第4章 電力業界におけるAI利用

情報化社会の進展、社会構造の複雑化に伴い、エネルギーとしての電力に対する社会的要請はますます高まっており、良質で高い信頼性を持った電力への要求は今後さらに厳しいものになってくるものと思われる。一方、電力システムは、火力・原子力・水力等の発電所から送電線・変電所を通じて配電線網に至るというように電力供給設備は広域な広がりを持っており、原子力に代表されるような高機能な機器で構成されているため、その計画・運用・保守においては複雑でさまざまな問題を多く含んでいる。

このような電力システムを今後とも効率よく信頼度を持って運用していくには設備計画や運用者の支援となるシステムが必要であり、系統・設備の複雑化やそれに伴う業務の高度化に対応して多種多量の要因を考慮した判断のための支援技術としてAIは電力業務におけるさまざまな分野への適用が考えられる。

4.1 電力業務の特色とAIの必要性

4.1.1 電力業務の特色

電気事業の役割は、時々刻々変化する需要に対し、良質で低廉な電力を24時間絶え間なく供給することであり、貯蔵できない電力を必要とき必要なだけ供給するには将来性を持った設備計画や設備運用の的確化が必要である。

電力業務の主な特徴を以下に示す。

- (1) 生産部門（発電部門）→輸送部門（送変電部門）→分配営業部門（配電営業部門）と1つのシステムの中に生産、輸送、分配営業という産業界における全ての部門を含んでおり、供給範囲は面的広がりを持っている。
- (2) 生産と消費が直結しており、運転制御は一瞬たりとも休むことができず、操作はリアルタ

イム性を要求される。

- (3) 情報化社会の進展に伴い、コンピュータがあらゆる分野に導入され周波数、電圧の維持・変動に対する要求が厳しくなっている。
- (4) 電気料金の低価格維持のために、設備建設・運用の低コスト化、設備の長寿命化、業務の効率化に関する技術が要求される。
- (5) 電力系統の計画・運用など電力固有の技術蓄積がある。
- (6) 電気に関する知識だけでなく自然現象や環境に関する知識等も必要である。

4.1.2 電力におけるAIの必要性

従来から電力供給のために働く人を支援するシステムとしてコンピュータを幅広く利用してきているが、以下に、電力設備の計画・運用・保守に関しての問題点を挙げてみる。

- (1) 将来計画では、経済予測はか考慮する要因がいろいろあり需要などの推定が難しい。
- (2) 技術の進歩に伴い、設備の自動化・高機能化が進み機器の構造が複雑化・ブラックボックス化している。
- (3) 系統が大規模化し情報量が増大する中で、設備の状態を的確に把握する必要がある。特に、事故時は社会的な影響も大きく迅速・的確な行動をしなくてはならない。
- (4) 設備信頼度の向上により事故そのものが減少してきており実際に事故の操作・復旧をする機会が減ってきていると同時にそれらの経験を持つ者が退職などにより少なくなっている。

このように業務の複雑化や設備規模の増大が進む中、限られた人員で膨大な業務を処理して行くにはコンピュータは不可欠なものであるが、今後ますます大規模・複雑化していく電力システムを運用・保守していくうえで、今述べたような問題を解決する手段としてAI技術の応用が期待される。

電力においてAI技術の応用が有効と思われる理由は、次のようなものである。

- (1) 従来のコンピュータでは取り扱えない定性的な判断や曖昧さを含んだ表現等を用いなくては解決できない問題が残されている。
- (2) 機器の高機能化・ブラックボックス化に対応して保守要員等を支援するシステムが必要となっている。
- (3) 設備の運転・運用上の情報量が増大しているので、必要な情報の抽出・整理を支援するシステムが必要となっている。また、逆に不足している情報等を推測・補完できる機能が必要となっている。
- (4) 今まで蓄積してきたベテランのノウハウや知識を若い世代に引き継いだり残したりする必要がある。

4.2 適用分野

電力システムにおいてAI技術の適用が考えられる業務について分類・整理したうえ、主な適用業務の内容について概略を以下に紹介する。

(1) 設備計画・設計業務

設備計画・設計に関連する各種データや過去の経緯、理論的ルールなどを用いて業務を支援する。

- ・長期需要予測
経済予測ほかいろいろな要因をもとに将来の需要を予測する。
- ・系統計画、設備計画支援（拡充、改修計画）
予想される需給条件において、供給信頼度の高い系統・設備の計画を行なう。
- ・機器配置設計支援（発電所、変電所など）
変電所の新增設時に、機器間距離、経済性、景観など種々の要因を考慮して最適な機器配置を決定する。
- ・電力系統解析支援
電力潮流計算、過渡安定度計算など、電力系統解析において計算条件の設定および計算結果の評価を支援する。

(2) 運用計画業務

系統や設備の状況・特性などに関する知識ベースをもとに、各種制約条件を満たしながらどのようにすれば効率的に運用できるか総合判断する業務を支援する。

- ・需要予測
気候、気象状況、祭日、高校野球などイベント、その他種々の要因を考慮して電力需要の予測を行なう。
- ・出水予測
降雨、融雪状況など出水への種々の影響要因を考慮して出水予測を行なう。
- ・電力系統停止調整支援
系統の停止に関するさまざまな制約条件を考慮して流通設備の最適な停止計画を作成する。

(3) 運転・保守業務

設備の構成やその機能、保護システムの守備範囲などの知識をもとに、センサやアラーム情報などから平常時の運転監視、事故時の状況分析・様相判断、設備の診断および事故復旧操作などの業務を支援する。

- ・運転ガイダンス
運転マニュアルに基づき不具合箇所や原因に応じた運転方法のガイダンスを行なう。
- ・運転支援（発電所や発電プラントの監視）
大量の計測値、警報類を総合的に判断し、設備の運転状態を監視する。
- ・機器故障予測・診断支援
GIS（ガス絶縁開閉装置）や変圧器などの設備を予防保全の観点から故障を予測したり、故障発生時に故障原因の診断を行なう。
- ・系統事故判定
系統事故発生時に、事故の起きた区間や事故の様相、機器・リレーの誤不動作を判定する。
- ・事故復旧操作支援
系統事故発生時、事故区間を除去した停電

系統に対し、制約条件等を考慮しながら復旧操作の支援を行なう。

- ・巡視、点検支援

巡視、点検を効果的に行なうため、過去の履歴や経験的な知識を用いて運転員の支援を行なう。

- (4) 教育・訓練

学習者のレベルや進度に応じて効果的に知識を吸収させたり、熟練者のノウハウをシミュレーションにより技能継承することを支援する。

- ・訓練用シミュレータ

実際の運転環境と同じシミュレータにおいて、トレーナーが設定した想定事故に対して復旧操作や復旧手順を体験的に習得する支援を行なう。

- ・機器保守教育支援

機器の保守手順や方法を習得する支援を行なう。

- (5) その他

- ・各種相談支援

お客様等からの相談に対して迅速・的確に対応できるよう、過去の相談データやマニュアル等を知識ベース化して相談員を支援する。

4.3 AIシステム事例

前節の適用分野で述べた業務の中からT電力会社で実用化されているシステムの事例を紹介する。

4.3.1 変電所レイアウト設計支援システム

- (1) システムのねらい

変電所の設計仕様、建設予定地の状況など前提として与えられる条件の下で、母線、変圧器、開閉装置、調相設備などの各種機器・設備をレイアウトする設計業務を対話的に支援する。

- (2) システムの概要

システムの主要部は、知識ベース、作業領域、推論プログラム、およびグラフィックインタフェー

スの4つより構成されている。このシステムによる設計結果は、ファイルを介して、既存の土量計算プログラムなどに渡され利用される。

システムの基本的な機能を以下に示す。処理の流れはこの機能に沿った形で実行される。

- ・初期入力、機器領域組立

電圧構成、容量などについてシステムが出力するメッセージに従い値を入力する。初期入力に従い、知識ベースを用いて必要な機器サイズを検索し機器の構成を推論する。

- ・機器領域の配置

組み立てた機器領域を敷地内に配置する。初めに配置する基準となる領域については使用者が位置を指定し、その後は知識ベースに基づき電氣的な接続関係や作業領域の確保等を考慮して配置する。

- ・ケーブル、道路のルート決定

配置が決った後、機器間のケーブルルートと構内道路を設定する。設定ルートが機器と干渉を起こした場合は迂回ルートを自動生成する。

- ・配置の評価

レイアウト結果を入力として、騒音、コスト、緑化率の数値的評価を行なう。

このシステムの特徴として、レイアウト自動生成のための前向き推論機能のほかにレイアウト修正を支援するための推論機能を利用している点である。この機能は、一度決定した機器の位置を修正する場合に二次的な矛盾が生じないようにデータの依存関係を利用した後戻り処理(Dependency Directed Backtracking)により無効データの削除をするとともにデーモン^{*}によってデータの再構成を行なうことである。

4.3.2 最大需要予測支援システム

- (1) システムのねらい

^{*} デーモンとは、一定の条件が満たされたとき自動的に起動される手続きをいう。

毎日の需給運用では、翌日および当日の電力需要を的確に予測し、適正予備力の確保、供給力の経済配分ならびに的確な系統運用を行なう必要がある。そこで、需要変動要因の詳細な分析を行なうことにより需要予測モデルを作成し、気象予報をベースとして1日の最大需要を予測する。

(2) システムの概要

システムの主要部は、知識処理部と統計処理部がある。知識処理部は知識ベースに記述された知識に基づき入力された各気象予報値と実測データに対するさまざまな判断を行なう。知識処理の結果得られた予測モデルに従い統計処理部が実績データに対する統計処理を行なって予測値を計算する。

システムの処理の流れを以下に示す。

・データ入力

気象予報データ（最高気温、最低気温、湿度、天候）などを入力する。

・予測モデル決定

入力された気象予報データや最近の実績データから、知識処理により予測モデルを決定する。

モデルの決定では、土日祝祭日、特異期間（年末年始、ゴールデンウィーク、盆）などを考慮する。また、本システムは至近の実績データに基づく重回帰処理を基本とし、予測が困難な状況においては実績データを利用して補正や重み付けを行なう。

・予測値計算

知識処理により決定された予測モデルに従って必要な統計処理を行ない予測値を算出する。

データ解析支援環境は、さまざまな統計処理機能を持ち、その結果をグラフ表示することができる。また、重回帰解析を行なう際に、解析期間、説明変数の組み合わせ、気象条件、サンプルデータ数、データに対する重み付けを任意に設定するこ

とができる。

さらに、リアルタイム性、柔軟性および耐故障性も考慮したシステムである。

4.3.3 火力発電プラント起動時運転支援システム

(1) システムのねらい

火力発電プラントは、負荷調整用としての役割が高く起動停止が頻繁になるにつれ、電力供給の安定性・経済性の面から起動時間の短縮・起動完了時間の高精度化が望まれている。そこで、運転員の負担を軽減するため知識処理を用いて起動時の運転支援を行なう。

(2) システムの概要

システムの主要部は、スケジュール最適化機能とスケジュール部分修正機能から成る。スケジュール最適化機能は、中央給電指令所から負荷要求指令と並列時刻を指令として受け、タービン速度および出力の定値保持時間をパラメータとし、運転制約条件が許す範囲で、並列時刻を守りながら起動時間の最短化を図る機能である。スケジュール部分修正は、最適化機能で作成されたスケジュールに従ってプラントを起動中に、予期せぬ原因でタービン速度や出力保持に異常が発生し、当初のスケジュールを見直す必要が生じたとき適切な修正について運転員を支援する機能である。

このシステムの特徴は、運転ノウハウの反映を容易にするため動特性モデルを用いて調節パラメータの最適値を求めるルールを知識ベース化し、最適値探索の処理性を高めるためファジィ推論を応用している点にある。

4.3.4 送電線故障区間標定エキスパートシステム

(1) システムのねらい

送電線の故障区間の標定は、運用方法や気象条件に依存するため正確に予想することが難しく、うまく標定できない場合がある。そこで、系統が複雑に組み合わせられた場合でも故障点の早期発見ができるように知識工学を適用して故障区間を判定する。

(2) システムの概要

このシステムは、送電線の架空地線にセンサーを設置し、その出力（電流の大きさ、位相）を光ファイバ複合架空地線を用いてコンピュータに伝送し、電流分布、位相分布からファジィ集合の概念やルールを用いて知識工学的に故障区間を判定するものである。

システムの主要部は、故障時に特徴量を抽出し事実を作成する特徴抽出プログラム、事実と推論の途中経過を記録するワークエリア、知識ベース、故障区間を標定する推論プログラムで構成される。

特徴は、標定が難しい故障でも故障区間の範囲を広げる等の大ざっぱな判断ができ、また、センサー自体が故障しても数個であれば標定ができることである。さらに、経験則の定量化にファジィ集合を用いているので、標定に必要なルール数を大幅に少なくすることができパソコン上でも高速に標定できる。

4.3.5 基幹系統事故復旧支援システム

(1) システムのねらい

電力の基幹系統は、たくさんの発電機やループ状の大容量送電線網から構成されているため、その運用は複雑であり高度な運用技術が要求され、万一事故が発生した場合には多くの情報を処理しながら運用則や経験に基づいた判断で迅速に復旧手順を決定する必要がある。このシステムは、このような緊急時に運用者の適切な判断、処理の支援を行なう。

(2) システムの概要

基幹系統に万一事故が発生した場合、その復旧方針、復旧手順を自動作成し、運用者へのガイダンスを行なうことにより停電負荷を迅速かつ安全な操作で復旧させるシステムである。系統状態の変化に応じて、復旧方針・操作手順表の見直しや運用者の意志を自由に受け入れるなどの柔軟性を実現している。電力系統の要素は、階層的にフレー

ム表現されている。最上位に電力系統、次に運用則などの知識をグループ化できる変電所、送電線、電源、負荷などをひな型としたフレーム、その下に個々の変電所、送電線、電源、負荷という構成になっている。このフレーム表現によるオブジェクト指向プログラミング手法により開発している。

また、マンマシンインタフェースは、シミュレーションモードと支援モードに分かれている。シミュレーションモードは、運用者の介入なしにシステムが自動作成した復旧手順や復旧状況を運用者に通知するもの、支援モードは、運用者からの入力に基づく復旧操作の実行可能性チェックおよびそれ以降の復旧過程を提示するものである。

4.3.6 機器保守教育支援システム

(1) システムのねらい

各種設備を高信頼度で維持・運用するには、機器そのものの高信頼度化を図るとともに、運転・保守に携わる要員の教育・訓練が重要である。そこで、電力設備に携わる保守員の教育支援を題材に、メディアテクノロジー、知識工学・認知科学の成果を取り入れたシステムにより保守教育の支援を行なう。

(2) システムの概要

このシステムは、電力設備の保守作業手順を対象にネットワーク状に展開した学習空間を構築し、学習者が自由に学習空間を探索したりシステムに質問しながら、保守に関するさまざまな知識を概念的かつ具体的に習得することを支援している。

・ハードウェア

2つのシステムから構成され、ビデオディスク、タッチセンサ等の周辺機器を制御するパーソナルコンピュータ（PC）とパーソナルコンピュータを制御するワークステーション（WS）がある。

・ビジュアル・インタフェース

PC側のTV画面上では、保守作業の各ステッ

ブ内容（どこをどのように保守するかといった情報）が実感のある「実映像＋テキスト」という形で示され、さらに、TV画面上にはタッチセンサが装着され画面上のテキストとソフトキーに触れることで、テキスト内の疑問点への質問や次のステップへの移動制御が行なえる。

WS側には、学習空間を視覚化したネットワーク図を示すウィンドウ、各保守作業ステップの進行状況や残りの保守作業範囲・可能性のある故障原因の絞り込み過程を示すウィンドウ等がある。

・知的支援機能（複合故障の因果関係理解）

PCディスプレイ上で学習者が故障状況の設定（点灯アラームの設定）を行なうとシステムはWSディスプレイ上にそのアラームが点灯する理由を因果ネットワーク図（点灯アラーム間の因果関係をツリー状に表したものの）で表示する。このネットワーク図の構築手法は、すべてのツリー構造を用意しておくのではなく、各アラームに関する個々の因果モデルを知識ベースとしてシステムが自動的に生成し、根本原因を導き出すところに特徴がある。

4.3.7 お客様相談システム

（1）システムのねらい

お客様相談室などに寄せられるさまざまな相談に迅速かつ的確に答えることがサービスの向上につながるのであるが、ベテラン相談員が転勤してしまうと、共用のデータベースが存在しないためにすぐに答えられない場合がある。そこで、相談のやりとりに合わせて関連する情報を連続して検索できるシステムにより相談員の支援を行なう。

（2）システムの概要

このシステムは、相談内容に関するキーワードを入力するとそのキーワードと関連のある「関

連キーワード」、関連する話題を示す「連想キーワード」が表示され、相談内容に応じた回答を話題の発展に対応して迅速に連続して検索することができる。検索は、入力されたキーワードの同意語群とシソーラス辞書により漏れなく効率的に行なうことができ、さらに、連想ネットワークを張ることにより関連情報の連続的な検索を可能にしている。

知識ベースは、相談ノウハウをQ&Aデータの形で蓄積しており、必要に応じて追加、修正が容易にできる。

4.4 将来の展望と課題

電力技術の分野では、すでに、エキスパートシステムを中心としたAI技術は、かなり広い範囲で開発・試行されてきているが、今後はさらに範囲の拡大、内容の充実、高性能化が図られるであろう。将来の電力系統は、エネルギープロセス機器およびエネルギープロセスの計装・保護・制御のシステム化から電力系統の運用、計画、保守にかかわる人間の知的活動を支援・強化することを目的としたコンピュータ統合システム化の方向に向かうことが予想され、AI技術はこうしたシステムにおいて中心的な役割を果たすものと期待される。

このように電力系統やプラントの設計・運転・保守全般にわたって今後さらに広くAIが普及することによって、平常時・異常時にかかわりなく運転員が迅速かつ的確に判断するのを助けることができ、人間の勘違いや緊迫した状況のもとでの間違いなどいわゆるヒューマンエラーを減らすことができると考えられる。また、現在のように個別に存在している給電所や発・変電所のさまざまなシステムは、有機的な連携や統合化が行なわれ、必要に応じていくつもの発・変電所のシステムが相互に助け合って、一層高度で大局的判断が行なわれるようになると思われる。さらに、AI技術を用いた知能ロボットの普及等により、

特に危険な環境下での作業などを人間の代りにあるいは人間と協調して効率的に行なうことになることが考えられる。

現在のところ、電気事業におけるAIの応用は、そのほとんどが技術分野に限られているが、将来は広く業務面や経営そのものにも取り入れられ、これらの分野は、経験や知識をうまく集約することが大変重要であり、AI技術は、その手段の1つとして極めて有効であると考えられる。

以上のように、電気事業におけるAI利用はますます広がって行くことが予想されるが、今後解決すべきあるいは改良向上を図るべき課題は少なくない。

まず、優れたシステムを作成するには、優れた能力を持つ専門家の知識をうまく整理した知識ベースを作らなくてはならないが、専門家の持っている知識は、直感的であったり断片的でしかも曖昧にしか表現できないことが多い。このような知識をうまく引き出し、整理体系化して適切な知識ベースを作り出してくれるような知識獲得・整理支援機能の開発が望まれる。

さらに、エキスパートシステムにしても開発の初期段階から完全に近いものはなく、継続的に新しいデータや知識をシステムに付け加えると同時に、そのシステムを使って得た知識を、さらに知識ベースに蓄えて充実を図る機能すなわち学習機能の開発・導入が極めて重要である。

また、電力系統などの多量の情報をいかに有効に処理活用するかも難しい問題である。

一方、AIシステムを利用する立場からみれば、現在のシステムは使いやすいものとはいえず、電気事業でAIを普及させ真の実用化を図るには人間と機械との間の障壁をなくすことが大切である。つまり、使いやすいインタフェース、誰でもが使えるインタフェースにする必要がある。そのためには、認知科学的な視点から考察したり、神経回路網の研究や心理学、言語学などさまざまな分野

からのアプローチが必要であると思われる。

今後AIは、電気事業のさまざまな分野（電力技術はもちろん、事務から経営に至るあらゆる分野）で広く活用されるようになることが考えられる。現在の運用自動化システムや業務機械化システムが高度にかつ総合的に開発され、21世紀に向けて情報通信化が一層進むことは間違いない。高度に情報化されたコンピュータ統合の電力システムへと進化して行くことが予測されるが、AIはこのようなコンピュータ統合システムの中心的役割を果たすものと期待される。

<参考文献>

- (1) 「電力技術へのAI応用」、電気協同研究、44巻、1号（1988）
- (2) 小林：「AI技術の将来展望」、エネルギー・資源、10巻、1号（1989）、p 39
- (3) 穂本、他：「発電プラント分野におけるAI」、エネルギー・資源、10巻、1号、（1989）、p 46
- (4) 湯木、他：「電力系統分野におけるAI」、エネルギー・資源、10巻、1号、（1989）、p 57
- (5) 田中、他：「電力系統設計計画支援エキスパートシステム」、日立評論、71巻、8号（1989）、p 59
- (6) 小池：「電力分野におけるエキスパートシステム」、電気学会論文誌C、107巻、2号（1987）、p 121
- (7) 「特集エキスパートシステム」、電気評論、73巻、12号（1988）
- (8) 「小特集人工知能（AI）の電力技術分野への応用」、電気学会誌、109巻、8号（1989）、p 605
- (9) 武藤、他：「知識工学的手法を応用した変電所レイアウト設計支援システム」電気学会論文誌C、108巻、6号（1988）、p 385
- (10) 犬橋、他：「最大需要予測支援システム（I）、（II）」、平成2年電気学会全国大会、9-159
- (11) 青柳：「火力発電プラントにおけるエキス

パートシステムの開発動向」、OHM、12号(1986)、p49

(12) 藁科、他：「基幹電力系統における事故復旧操作ガイダンス方式」、電気学会論文誌B、109巻、2号(1989)、p49

(13) 藁科、他：「基幹系統事故復旧エキスパートシステム」、電気学会論文誌B、108巻、11号(1988)、p517

(14) 浦澤、他：「送電線故障区間標定エキスパートシステムの開発」、昭和63年電気学会全国大会、9-1485

(15) 江川、他：「ファジィ理論を応用したOPGW利用送電線故障区間標定手法」、電気学会論文誌B、108巻、11号(1988)、p509

(16) 吉沢、他：「教育的インタフェースを備えた保守教育支援システムADVISOR」、情報処理学会論文誌、29巻、7号(1988)、p638

(17) 竹島、他：「連想辞書を用いた知的検索システム」、電気学会情報処理研究会、IP-89-2(1989)

第5章 宇宙開発におけるAI利用

5.1 はじめに

現在、宇宙開発技術は年々その規模、質を向上しつつ、その内容も開発から宇宙環境実利用へと様相が変化しつつある。この流れに対応して、NASA(米国航空宇宙局)、ESA(ヨーロッパ宇宙機構)、宇宙開発事業団等の宇宙開発機関では、システムの自律性要求の観点からAI技術に対する期待を持つようになってきている。

特に有人による宇宙環境利用においては、宇宙飛行士のよきパートナーとしてAI技術はなくてはならないものとして位置づけられ、その検討/開発が進められている。ここでは宇宙実利用時代へのアプローチとしてAIの利用動向につ

いて、宇宙ステーション計画を中心に述べる。

5.2 宇宙ステーション計画におけるAI利用

宇宙ステーション計画とは、90年代中期に初期運用開始を目標に、米国、日本、ヨーロッパ、カナダの国際協力により、恒久的な宇宙空間の有人施設の開発を進めている計画である。この計画の中では、技術的に可能な範囲において、段階的に自動化、自律化を促進することという基本的要求が、国際間で合意され、それに基づいて各国で開発が進められている。

さらにNASAは、この宇宙ステーション計画を、将来における宇宙AI開発構想の中の一連のデモンストレーションの中に位置づけ、総合的な適用を計画している。

5.2.1 AIに対する要求

現在宇宙ステーション開発において、AIに対し以下のような要求が設定されている。

(1) エキスパートシステム標準化要求

宇宙ステーション計画は、多数の開発組織による並行開発から成り、各組織のサブシステムごとに、固有のエキスパートシステムが計画され、かつそれらは運用段階において段階的に拡張されるため、それらの統合管理および効率的な開発・運用が大きな課題となっている。

現在NASAの宇宙ステーションのレベルIIオフィス^{*}にて、エキスパートシステムの標準化が進行中である。

標準項目としては、

- ・各種呼称の標準
- ・通信の標準
- ・サービス内容の標準
- ・ユーザインタフェース標準
- ・言語標準
- ・開発ツールの標準

^{*} レベルIIオフィス：宇宙ステーション計画全体のテクニカルインテグレーションの責任を持つ。

等を提案している。

(2) 発展性要求

宇宙ステーション計画は、打ち上げ後運用期間30年を予定しており、したがってその間に新たに開発されるAI新技術に柔軟に対応するため、現システム設計に対し、以下の要求を設定している。すなわち、"宇宙ステーションの設計において、将来の段階的自律化に対応できるよう、十分な余裕（すなわち十分なセンサー、アクチュエーター、ソフトウェアモニタリング機能等）を当初から組み入れておくこと。"

5.2.2 AI適用検討ステータス

宇宙ステーションに適用が検討されているAI技術について、その検討ステータスを以下に述べる。

(1) エキスパートシステム

・スケジューリングエキスパートシステム

軌道上の作業計画は、電力等のリソース制約、クルーの活動時間等、数多くの制約を考慮しながら立案される。この作業は、いままでマンパワーで1日の計画を立てるのに1週間程度を要していたが、今後宇宙ステーションのような恒久的な設備の場合、エキスパートシステムの利用は必至である。現在NASA、ESA、宇宙開発事業団で個別にプロトタイプによる検討が進められている。

・故障診断エキスパートシステム

宇宙ステーションの構成機器は、多種多様、数万種に及び、軌道上の宇宙飛行士による故障診断は極めて困難と想定でき、エキスパートシステムの導入について検討が進められている。

・クルー支援エキスパートシステム

宇宙ステーションではライフサイエンス、材料実験等多種多様の実験が基本的に一人の宇宙飛行士（クルー）によって同時期に並行して行なわれる予定である。それら実験の操作の準備、監視、結果判断に対し、エキスパートシステムによる支援が必要である。現在検討が進められ、

プロトタイプによる評価が行なわれている。

(2) 音声理解技術の応用

宇宙ステーションにおけるクルーとコンピュータのインタフェースとして音声理解技術の応用について検討中である。基本的に、クルーのマニピュレータ操作時における両腕拘束時、システムメンテナンス時におけるワークステーションへのコマンド入力に利用を考慮中。クルーは特定されているため技術的には、現存技術で応用可能であるが、さらに機器のコンパクト化を期待する。

(3) 自然言語理解

地上運用管制、および宇宙ステーション利用者へのデータベースアクセスに対し、応用を検討中である。当面この機能の軌道上機器への搭載は、考慮されていない。

(4) 機械翻訳

地上コンピュータにおいてNASAとの文書交換等に対し、和英／英和自動翻訳システムを試使用中である。現在の出力は、完璧なものではないが、翻訳者の支援ツールとして一部活用中である。今後も地上においては辞書、性能、各種データの互換性等の機能拡張が期待される。当面この機能の軌道上機器への搭載は考慮されていない。

5.2.3 今後の技術的課題

宇宙ステーションでのAI適用検討において抽出された、今後技術的に成熟を期待されるキーテクノロジーを以下に示す。これら課題は、宇宙ステーションのみならず、今後宇宙開発全般においても、同様に成熟が期待されるものである。

(1) 安全性／信頼性保証方法の確立

有人宇宙機器において、その安全性／信頼性はすべて保証されなければならない、エキスパートシステム等AI技術もその例外ではない。安全性については、特に人間を介さないリアルタイムエキスパートシステムについてはその推論結果が正しいかどうかの完全なる検証方法の確立が必要である。

(2) 設計段階における知識獲得方法

宇宙環境における知識、経験は、現在蓄積中であり、未知な要素が多く、したがって特に故障診断エキスパートシステムの知識獲得は、機器の設計・製作に並行して実施されることとなり、そのモデリング手法の確立、あるいは経験知識とモデリング知識との結合手法の確立が必要である。

(3) エキスパートシステムのポータビリティ

現状のエキスパートシステムは、ハードウェアに依存しているが、宇宙ステーションにおいては、コンピュータは標準化されたものが搭載され、かつ将来的には順次拡張していく予定である。したがって地上で実証されたエキスパートシステムを軌道上に置き換える際にそのポータビリティが強く要求される。

5.3 宇宙開発におけるAIの要素技術

今後宇宙開発においてAIを適用していくうえで、各分野ごとにどのような要素技術が期待されているかは図表Ⅱ-3-21に示すとおりである。

図表Ⅱ-3-21 宇宙用人工知能における要素技術開発項目 その1 (◎：重要項目、○：必要項目、△：オプション)

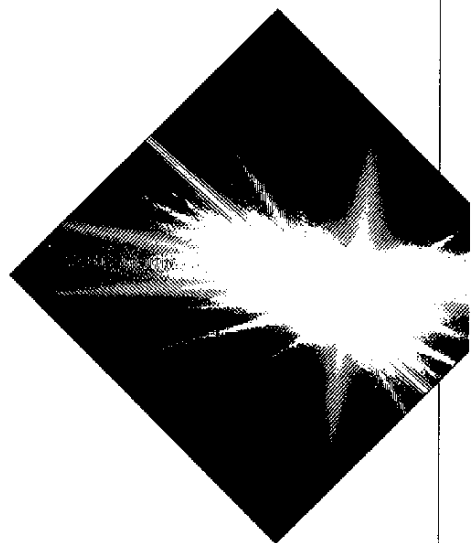
AI要素技術		開発環境		システム構築法		問題解決システム		言語情報処理		視覚情報処理		ロボティクス		状態推定用情報処理				その他									
キーテクノロジー		ハードウェア	ソフトウェア	推論機構	データベース エキスパートシステム	データベース	判断システム	自動制御	リアルタイムコントロール	最適化ルーチン	音声認識	文字・記号認識	自然言語理解	自動翻訳	画像理解	知的CAD/CAE	コンピュータグラフィックス	メカトロニクス	マシン・インタフェース	センサー情報	軌道系情報	姿勢系情報	外部環境系情報	探索システム	通信ネットワーク	ワークステーション	知的CAI
宇宙用AI利用分野																											
1 追跡・管制	1.1 追跡における応用		○		△	◎	○		◎		△		△		○						○	○				○	○
	1.2 追跡管制用エキスパートシステム				△	◎	○		○	◎		△		△		○					○	○				○	○
	1.3 衛星追跡管制への応用					◎	○		○	◎											○	○					
	1.4 ミニシャトルの航空管制への応用						○		○	◎	◎		○		○												
	1.5 衛星トランスファー・マヌーバーへの応用						○		○	◎	◎										○	○			○		
2 誘導・制御・軌道	2.1 自動軌道変換機能		○		○	◎	○		○	○	○	◎			△						○		○				
	2.2 自動軌道制御機能	△	○		○	◎	○		◎	○	○	○			△	△			△	△	○	△	○				
	2.3 自動姿勢制御		○		○	◎	○		○	◎	○	△			△	△					○	○	○				
	2.4 自動指向制御	○	○		○	○	○		○	○	○	○			△	△			△	△		◎	○				
	2.5 宇宙飛行の最適探索				◎	○	○		○	◎		○	△		△										○		○
	2.6 ランデブドッキング	○	○		◎	○	○		○	○	○	◎			△	△			△	△	○	△	○		○		○
3 運用	3.1 宇宙機の自律化	○	○		○	◎	○		◎	○	○	○	△	△	○	○		○	○	○	○	○	○			○	△
	3.2 ステーション・マネージャー	○			○	◎	○		○		○		○	○	◎		○		△	△	○	◎	○			○	○

AI要素技術		開発環境		システム構築法		問題解決システム		言語情報処理		視覚情報処理		ロボティクス		状態推定用情報処理		その他											
キーテクノロジー		ハードウェア	ソフトウェア	推論機構	データベース	エキスパートシステム	判断システム	自動制御	リアルタイムコントロール	最適化ルーチン	音声認識	自然言語理解	自動翻訳	コンピュータグラフィックス	知的CAD/CAE	画像理解	メカトロニクス	センサー情報	マシン・インタフェース	軌道系情報	姿勢系情報	外部環境系情報	探索システム	通信ネットワーク	ワークステーション	知的CAI	
宇宙用AI利用分野																											
4 通信制御	4.1 衛星通信管制への応用			○	◎	○	○	○						○							○	○	○			◎	
5 データ処理	5.1 資源探査データ分析への応用				◎	○								◎	○												
6 ロボット組立	6.1 マニピュレータ、ロボットの応用	△	△		○	○	○	○	◎		○	○	○	○	△		◎	○	○							△	
	6.2 自動製造、自動組立技術	○	○		○	○	○	○	○					○	◎	△	◎	○	○								
7 深宇宙	7.1 深宇宙における有効性	○					○	○							◎		◎	○	○	○				○			
8 信頼性・安全	8.1 飛行安全管制への応用				○	◎	○	○	○	○	○	○	◎							○	○	○		○		△	
	8.2 人工衛星の故障診断		○		○	◎	○	◎			○	○	○	○	○				○		○					△	
	8.3 故障診断・処理システム		○		○	◎	○	◎	○		○	○	○	○	○				○		○					○	

宇宙用人工知能における要素技術開発項目 その3 (◎：重要項目、○：必要項目、△：オプション)

AI要素技術		開発環境		システム構築法		問題解決システム			言語情報処理			視覚情報処理		ロボティクス		状態推定用情報処理				その他							
キーテクノロジー		ハードウェア	ソフトウェア	推論機構	データベース	判断システム	自動制御	リアルタイムコントロール	最適化ルーチン	音声認識	文字・記号認識	自然言語理解	自動翻訳	画像理解	知的CAD/CAE	コンピュータグラフィックス	メカトロニクス	マシン・インタフェース	センサー情報	軌道系情報	姿勢系情報	外部環境系情報		探索システム	通信ネットワーク	知的CAI	
宇宙用AI利用分野																											
9 設計解析	9.1 宇宙構造物の最適設計		○		○ ◎ ○											○									○		○
10 その他	10.1 ソフトウェアライブラリ	○	○		○ ◎ ◎	○																			○		○
	10.2 宇宙技術者用辞書の整備	○	○			○						○	○	○	◎	○											○
																											○
11 宇宙ステーション関連	11.1 通信制御への応用	○	◎		○ ◎ ○	○		◎	○		○	△	△		△	△					△	△			○	○	
	11.2 マニピュレータへの応用		○		○ ○ ○	○		◎	○	△	○	△	△		○	○		◎	○	○							○
	11.3 設計立案への応用	○	○		○ ◎ ◎	○																		○			
	11.4 保守・修繕作業支援	○	○		○ ◎ ◎	○		○			○	△	△		△	△			○						△		
	11.5 実験支援	○	○		○ ◎ ○	○	○	◎			○		△		○	○	△										

第Ⅲ編 AI技術の動向



第1部 AI技術全体の動き

第1章 AI技術の全体像

AIという語によって指される領域は、きわめて広くまた多様である。そもそも「人工的 (Artificial)」に扱うべき対象の「知能 (Intelligence)」ほど、多様で豊富なものは存在しないといってもいいであろう。もし、人間のあらゆる知能活動がAIの対象領域となりうるのだとすると、およそあらゆる学問分野が含まれてしまうことになる。

研究としてのAIは30年以上の歴史を持つといっても、既存の科学分野と異なりまだまだ発展途上である。その上に、この10年の間にその応用が脚光を浴びるにいたり、AIの多様さをさらに広げたが、これはある意味ではAIをさらに混沌とした状況に追いやったともいえる。

このようなAIの全体像を総括的に捉えようとすることは、あまりに野心的な試みであり、無謀とすらいえるかも知れない。しかし、混沌としているからこそ全体的な見取図が必要であることも、確かである。図表Ⅲ-1-1で示すAIの全体像のマップは、この必要に応えるためのささやかな最初の試みである。

このマップの目的は、AI全体の見取図を与えることであると共に、この後で示す学習、協調型活動支援機能、AIシステム化技術、および知的CADという個別のマップの位置づけを与えるものである。ただし、ここではAIを構成する多様な層の間の空間的な関係を図示することを目的としており、個別マップと違って時間軸方向への変化は表示していない。全体マップでは、時間の経過に対してなるべく不変な全体像の構築を試みてい

るからである。

マップでは、知能、基礎科学、AI基礎分野、AI工学分野、対象分野、AI応用、という6つの領域を、4階層に位置づけて表した。このうち、AI基礎分野、AI工学分野、AI応用の3領域がAIの核を構成する中心部であり、他の3領域（知能、基礎科学、対象分野）はAIに関連する周辺領域である。これらの間には、形式的に次のような相似の関係がある。

①「AI基礎分野」は、「知能」を対象に「基礎科学」をベースとして用いて成立している。

②「AI応用」は、「対象分野」を対象に「AI工学分野」をベースとして用いて成立している。

そして、もちろんAI工学分野はその科学的基盤をAI基礎分野に負っているという関係がある。以下でこの各領域について簡単に説明する。

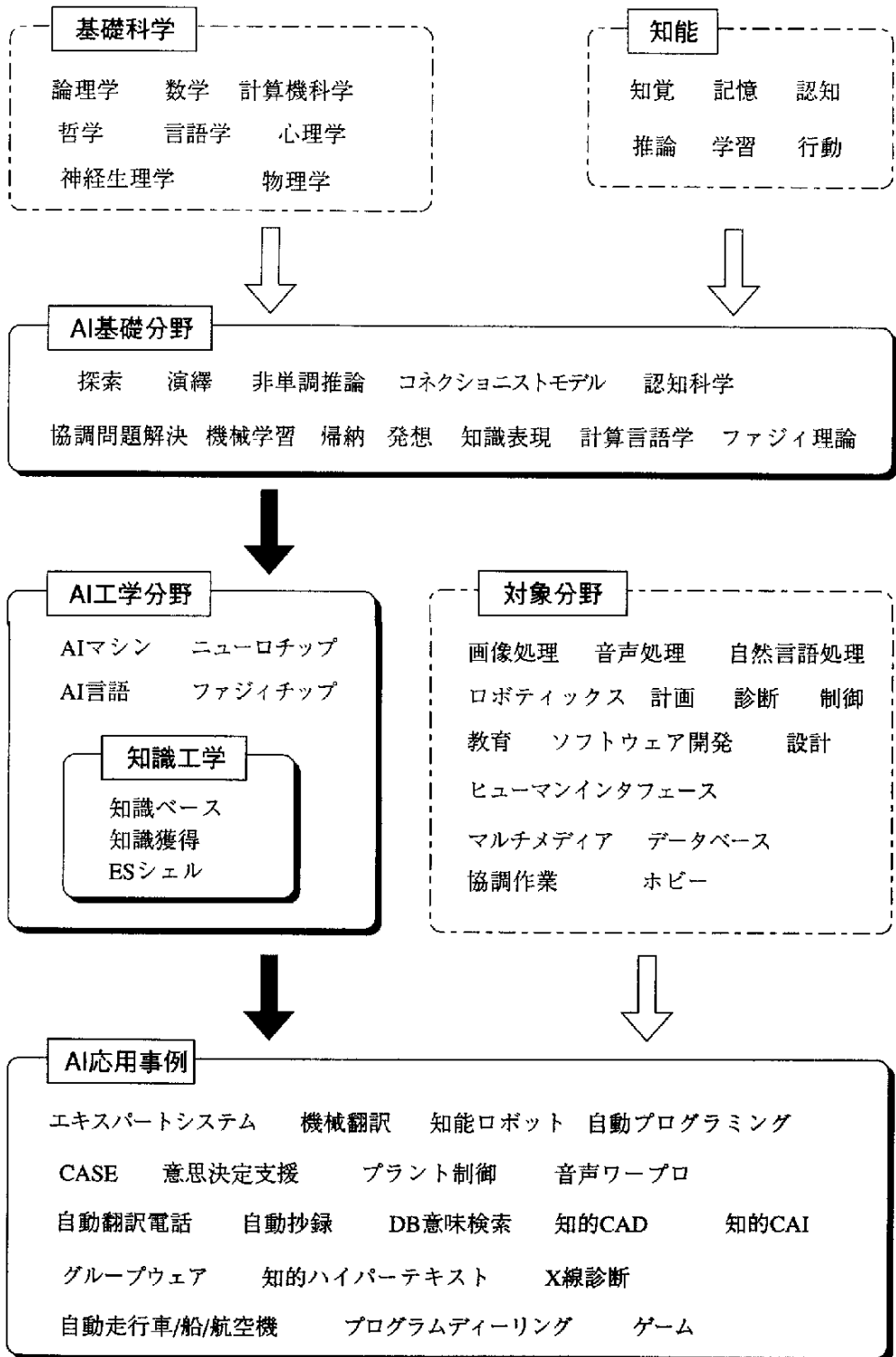
1.1 知能

人工知能の根底には、当然のことながら自然知能がある。自然知能とは主として人間の持つ知能のことであるが、動物にも知能があるか、あるとしたらそれは人間の知能とどのように類似し、また異なるか、という問題は、知能を考える上で1つの重要な課題である。

それに対し、機械による知能が可能か否か。AIはそれが可能であることを前提としているともいえようが、この問題自身大きな哲学上のテーマである。

マップでは、知能を構成する要素として、知覚、記憶、認知、推論、学習、および行動をあげている。ここでは、「人間の」とか「機械の」という修飾を取り去って、抽象化された対象として知能が議

図表Ⅲ-1-1 AI技術の全体像



論できることを、暗に仮定している。これらの項目はまた、AI基礎分野の部分領域とほぼ対応するともいえる。

1.2 基礎科学

ここでは、AIの科学的な基礎を形成する諸科学、あるいはAIに深い関連を有する諸科学をあげている。(JIPDEC-AI 1989, P.57)

論理学：推論の科学としてAIの重要な基礎を構成する。

数学：数学基礎論は論理学と同様な意味でAIの基礎となる。他の数学ジャンルも種々の場面でAIに関連してくるが、特に例えば確率統計は、不確実な知識の取扱いや機械学習との関連が深い。

計算機科学：AIはコンピュータ上に知能を実現するというアプローチをとるものであるから、計算機科学との結び付きは本来的なものである。ある場合には、AIは計算機科学の一分野と見なされることもあるが、また計算機科学をアルゴリズムが明確な計算を扱うものと狭く解釈し、AIをそれと対照させる見方がされることもある。

哲学：知能についての分析やその機械化の可能性についての考察は、歴史的に、哲学者が取り上げてきた問題である。現在でも、機械に知能が可能かどうかという議論に関して、多くの哲学者が関心を寄せた発言している。AI自身の否定につながる議論も含めて、AIは哲学の過去の遺産からなんらかの恩恵を受けているのと同時に、現在のAIが哲学に刺激を与えていることも確かである。

言語学：チョムスキー流の言語理論はコンピュータ関連ではプログラミング言語の設計や分析にも大きな影響を与えたが、AIの主要な対象分野である自然言語の理解については、当然のことながら従来の言語学と計算言語学との相互交流が不可欠である。

心理学：知能の中の項目としてあげた認知や学習などのすべてのテーマは、まさに心理学の対象でもある。心理学の持つ実験科学的な側面からも、コンピュータによるモデルで認知を研究するというアプローチとは親和性が高い。

神経生理学：特に脳の神経回路網と重みづけのメカニズムに学ぼうとするコネクショニストの立場からは、関連が深い。

物理学：AIが物理学と接点を持つ1つの局面は、AIが画像や音声認識、知能ロボットといった分野に適用される際に、光学、音響学、力学、などを始めとする物理学の諸分野に係わりをもってくるという、自明のものである。

しかし、さらに本質的な概念レベルでの関係を持つ例もいくつかある。例えば、定性推論は、物理現象を表現する数式モデルを、定性的、記号的に解釈しようとする発想である。また、コネクショニスト・モデルではスウビングラス・モデルが活用されている。

1.3 AI基礎分野

AIの基礎理論や方法を、AI基礎分野としてあげている。いわば、AIの科学といえる。しかし、前節の基礎科学の領域であげたような既成の諸科

学と比べれば、その科学としての基盤は未だ堅牢なものとはいえない。

ここにあげた諸項目は、知能の項であげたようなさまざまな知的能力の種類（例えば、推論、発想、学習など）に対応しているが、そのアプローチには大きく分けると記号主義（シンボリズム）に基づくものとコネクショニズムの系統のものとの2種類が認められる（JIPDEC-AI1989, p. 58）。探索、演繹、非単調推論、などが典型的な前者の例であり、コネクショニストモデルという名で総括的にあげたのが後者である。

また、ここにあげた認知科学は、1つの項目というよりも1つのかかなり大きな領域を指している。認知科学の目指すところは知能の理解にあるが、AIにとっては関連する諸科学の1つというよりは、やはり直接的に基礎分野を構成するものと考えられるので、あえてここにあげている。

この中での新しい動きとしては、協調問題解決（本部第3章では特にその技術面を論じているが、例えばT. Winogradの考察にみられるような理論的な論議も盛んになりつつある）、および、昨年の調査（JIPDEC-AI1989）でも特集テーマとして取り上げ、本部第2章でもマップを与えている学習、の2つのテーマの研究の活発化が注目されよう。

1.4 AI工学分野

AIの実用的側面は、コンピュータ上に人間に近い知的能力を実現することにより、コンピュータをより高度で有効なものとし、かつ人間により融和して役立つものにするものである。この目的に沿って進められている技術やツール開発を、ここではAI工学分野と規定している。

1977年にE. Feigenbaumによって提唱されその後産業界に大きなインパクトを与えた知識工学の概念が、ここでの1つの核になることは明らかである。

また、AIに基づく応用開発のベースとして不可欠なハードウェアとしてのAIマシンやソフトウェアとしてのAI言語（JIPDEC-AI1989, P.75-78）も、この領域における重要な項目である。さらに、比較的新しい話題としては、ニューロチップやファジィチップをあげることができる。

第4章で述べるAIシステム化技術は、これらの工学的な技術やツールの統合化技術であり、その重要性は高い。また、第3章の協調型活動支援機能も主としてその技術およびツールという面を取り上げている。

1.5 対象分野

AIの工学的側面の特徴の1つは、その特性が他の多くの工学（例えば、電気、機械、土木、など）のように主として扱う対象によって定められるのではなく、不特定な対象に対する手法の形態として定められる点にある（その意味で、類似の工学を探すとすれば、例えば制御工学などが近いといえよう）。したがって、AIの具体的な応用を考える際には、その対象分野があらためて重要なファクターとなる。

AIの場合、可能性のある対象分野が特に広い。典型的なものに、画像処理、音声処理、自然言語処理、ロボティクス、などがある。これらは古くからAIの基礎分野や工学分野とそれぞれ結び付いて、AIの柱を構成してきた。計画、診断、制御、教育、などという対象のあげ方は、エキスパートシステムの分類上よく使われるようになってきたが、広くAI応用の対象として同列に考えることができる。また、ソフトウェア開発という対象分野がAIと結び付いた結果としては、自動プログラミングというこれも比較的古くからあるジャンルが存在する。

設計という対象分野は、特に今回の特集テーマである知的CAD/CAMにつながるものである。

新しい傾向を示すものとして、ヒューマンイン

タフェース、マルチメディア、データベース、協調作業、などがあげられるが、これらは第3章で取り上げる協調型活動支援機能との関連が深い。

1.6 AI応用

前節の対象分野では応用のクラスをあげたのに対し、ここでは具体的な応用例をあげている。すなわち、各対象分野にAIの工学的手法を適用した結果として生まれるのが、ここにあげた個々の事例であるといえるし、また逆にこの事例を分類すると対象分野のそれぞれの領域にまとめられるともいえる。

第II編において分析されているアンケート調査においては、エキスパートシステム、機械翻訳システム、知能ロボット、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という分類のもとに、産業界に導入されているシステムが集計されているが、それらはすべてこの応用の領域に含まれるものである。

また、「JIPDEC-AI 1989」のpp.156-214には14の事例が紹介されている。

<参考文献>

[JIPDEC-AI 1989] ICOT-JIPDEC AIセンター編：人工知能の技術と利用—AI白書一、日本情報処理開発協会, 1989.

第2章 学習

2.1 学習研究のパラダイム

コンピュータによる学習研究は、図表Ⅲ-1-2に見られるように、①ニューラルネットワーク (Neural Network: NN)、②記号学習 (Symbolic Learning: SL)、③知識依存学習 (Knowledge-dependent Learning: KL) という3つのパラダイム [Michalski 86] を経て発展してきた。

①ニューラルネットワークは神経モデルとも呼ばれ、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もとに構築していく。パーセプトロン [Rosenblatt 58]、パンデモニウム [Selfridge 59]、判別関数 [Nilsson 65] を用いる方法等があり、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 [Tsypkin 72] へと発展した。進化的学習 [Fogel 66]、遺伝的アルゴリズム [Holland 75] 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、雑音のある例からもロバストに学習し得るところに特徴がある。

②記号学習では、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 [Gold 67, Blum 75] を基本原理とする。決定木の学習、プロダクションルールの学習 [Quinlan 79]、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 [Angluin 88, Laird 89] で、アルゴリズムが大幅に異なってくる。

③知識依存学習では、事前に定義した多くの概念、知識構造、制約、ヒューリスティクス等を、システムが対象と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プロセスで利用していく。説明に基づく学習 [Michell 86]、類似性に基づく学習、観測による学習、発見的学習が代表的なものである。AM, EURISKO [Lenat 82, 83] やCYCプロジェクト [Lenat 86] 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。

以上から明らかなように、図表Ⅲ-1-2の右半分 (特に、②) は推論中心の学習であり、同図の左半分 (特に、③) は知識中心の学習である。推論のコストに比べて、メモリのコストがどんどん安くなっているため、従来の推論中心の学習研究

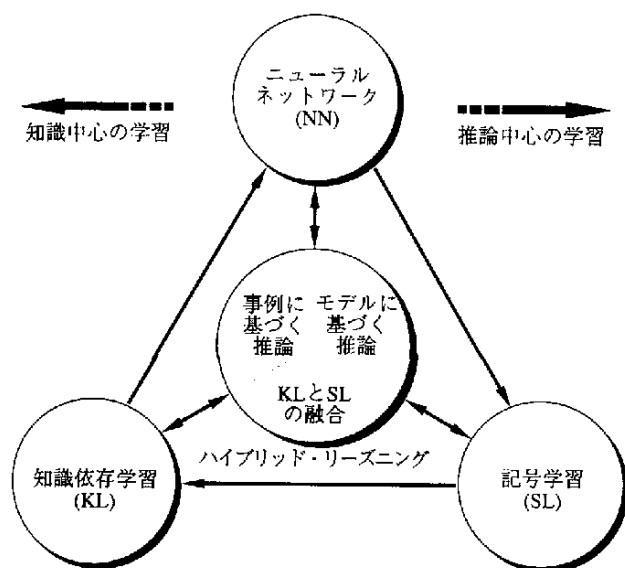
から豊富な知識を利用した学習研究へのある種のパラダイムシフトが起こりつつあるといえる。

今後の動向として、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の研究が米国や日本で流行しており、再び②や③から①へのパラダイムシフトが見られる。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

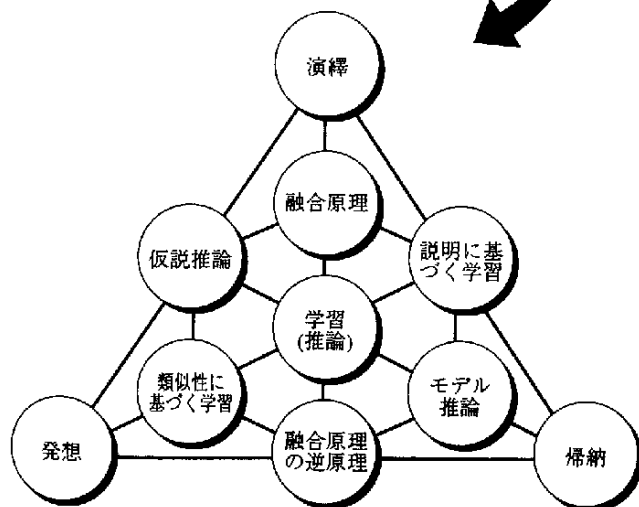
実験に典型的に見られるように、新たな技術による学習研究の再構成、再構築が行なわれている。さらに、図表Ⅲ-1-2の中心部に見られるように、①～③それぞれの長短を見極めて、それぞれの長所のみをうまく融合するハイブリッドリーゼニングの方式研究が盛んになりつつある。具体的には、②と③を組み合わせてシステム統合する研究が重点

的に行なわれているが、③と①のハイブリッド研究である事例に基づく学習 [DARPA 88] や、①と②のハイブリッド研究であるモデルに基づく学習にも多大の関心が払われている。このようなハイブリッド方式を含めて、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、その中で学習研究の実り豊かな収穫が期待されている。学習研究の新たな展開にともない、知識情報処理システムの3つのボトルネック（問題定式化ボトルネック、知識表現ボトルネック、知識獲得ボトルネック）のブレークスルー技術として、学習研究に対してホットな視線 [Cohen 84, Furukawa 86, IJAI89] が注がれている。

図表Ⅲ-1-2 学習研究のパラダイムシフト



図表Ⅲ-1-3
演繹・帰納・発想推論の機械化



2.2 シンボリズムとコネクショニズム

人工知能における学習研究を特徴づける一大論争にシンボリズム対コネクショニズム論争がある。前節のパラダイム②や③はシンボリズムに、パラダイム①はコネクショニズムに属する。そこで本節では、この論争の含意するところを考えてみよう。

シンボリズムとは、しばしばコネクショニズムとの対比において使用される。人間が心の中で行う知的な情報処理の本質はすべて形式的操作の対象たる記号概念で把握することができる、

という主義である。シンボリズムは、人工知能研究を支えるパラダイムの1つで、人間の知性の本質である問題解決・推論能力はすべて記号処理過程として表現し、かつ操作できるという主張でもある。したがって、そのような記号処理過程はコンピュータの中で実現できるとする立場とつながる。コンピュータが取り扱う情報は、符号情報、手続き情報、論理情報、パターン情報、感性情報と着実に人工知能の方向に進展しつつある。人工知能はシンボリズムの記号処理アーキテクチャへの適用であり、シンボリズムはこのような多種多様な情報もシンボルで表現、獲得、利用できるとする。実際、演繹的な推論のみならず、帰納 [Shapiro 81, 82] や類推 [Winston 80, Haraguchi 86] といった従来は人間にしかできないと思われていた高次推論 [Jinkou 87, Furu-kawa 88] が、最近では記号処理言語を用いて、種々の問題解決・推論システムにおいて実現されつつある。

しかしながら、最近では、シンボリズムの限界が明らかになりつつある。帰納、類推や仮説推論 [Poole 85] といった高次推論をシンボルとして処理できることが次々に実証されてきたが、新たに計算量の壁というバリアー [Laird 89] が派生した。現在、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が、残念ながら効率的アルゴリズムが適用可能な知識表現のクラス [Valiant 84] は驚くべきほど小さい。そこで、このような計算量の壁を破る方策が、並列推論との関連 [Miyao 88, Mayr 88] やコネクショニズムとのハイブリッドリーズニングとの関連で研究されている。

これに対して、コネクショニズム [McClelland 87] は、単純な情報処理ユニットが高密度のコネクションをなし、特定の中核情報処理ユニットなしで、興奮性・抑制性のコネクション経路の相互作用を行ない、全体として複雑な知的情報処理を実現する機構の研究である。認知科学、神経科学と

人工知能との接点から生まれつつある新しいパラダイムで、伝統的人工知能の領域に、ある種のパラダイムシフト現象を起こしつつあるといわれる。コネクショニズムのフォーマルなモデルがコネクショニストモデルで、ネットワークによる知識表現、記憶事例に基づく推論、学習による知識獲得、神経回路網のような興奮・抑制の伝播、超並列・超密結合可能性、故障やノイズに対するロバストネスで注目されている。

巡回セールスマン問題というNP完全な問題を、コネクショニストモデルに基づく学習アルゴリズムの一種であるホップフィールド・モデル [Hopfield 86] で、多項式時間で準最適解が得られることが分かり、コネクショニズムが一躍注目されるようになった。コネクショニストアーキテクチャは知識を分散表現することも可能な並列処理アーキテクチャである。その学習アルゴリズムとして最も多用されるのは誤差逆伝播学習 [Rumelhart 86] であり、ロボットの制御や文字や音声の認識・合成等の分野に、多くの応用例が続出しつつある。三次元空間の認識・理解、認知情報処理モデルへの適用のような新しい分野への適用には、競合学習の一種であるネオコグニトロン [Fukushima 75] 等の問題に応じたより適切なモデル選択が必要である。あるいは準最適解からの脱出にも、相互結合型ネットワーク学習であるボルツマンマシン [Ackley 85] 等の新しい学習アルゴリズムの利用が必要である。しかしながら、コネクショニズムも『どのような知識表現のクラスに対して、どのような学習アルゴリズムを適用したら、どのような計算量になったのか』を明らかにする姿勢を貫かないと、パーセプトロンの悲劇 [Minsky 69] の二の舞を演じる可能性がある。

2.3 演繹・帰納・発想

現在の人工知能研究はほとんどシンボリズムの立場で、かつフォンノイマンマシン上で実現され

ている。したがって、上記2.1節②の研究動向を詳述してみよう。

推論を行なう主体が、人間であれ機械であれ、「どのような前提から、どのような推論規則を適用し、どのような帰結が得られるか」により、一般に推論は演繹推論、帰納推論と発想推論のタイプに分類 [Popper 59, Yonemori 81, Furukawa 86] される。ここに演繹推論は、それにより得られた帰結は必ず正しいが、与えられた知識の枠を超えない分析的な推論の一種である。これに対して、帰納推論や発想推論は、それにより得られた帰結は必ずしも正しいとは限らないが、時に有用であり、与えられた知識の枠を超える拡張的な推論の一種である。

演繹推論では、与えられた前提に対して、前もって決められた推論規則を適用し、帰結を導きだそうとする。数学の証明等では一階述語論理という古典的演繹論理が假定され、一個以上の真と見なされる公理集合から、帰結の一種である定理が真であることが、融合手続き [Robinson 65] を経て、証明されていく。帰納推論では、与えられた真と見なせる経験的事実の集合から、その底に横たわる一般的知識である推論規則を推測していく。帰納推論は、例題として与えられた観測事実を説明する一般的知識を、仮説として推測していく過程をとらえることもできる。発想推論 [Popper 59, Yonemori 81] では、経験的知識である観測事実と一般的知識である既知の公理とから、未知の知識である仮説(理論)そのものを推測していく。そこでは、与えられた観測事実の集合を説明する適切な仮説を、どのように生成していくかが根本問題となる。

演繹推論・帰納推論・発想推論をシンボリック処理しようとするとき、図表Ⅲ-1-3に見られるように、融合原理 [Robinson 65]、モデル推論 [Shapiro 81, 82]、類似性に基づく学習 [Winston 80, Haraguchi 86] が推論エンジン実現のキー概念

である。何故なら、それらは演繹・帰納・発想に基づく推論エンジンを実現する際の基本的なアルゴリズムを、既存のコンピュータの中で実現可能な形式で明確に提示しているからである。融合原理、モデル推論、類似性に基づく学習の相対概念が、それぞれ融合原理の逆原理 [Muggleton 88]、仮説推論 [Poole 85]、説明に基づく学習 [Mitchel 86] である。これらは既存のコンピュータの中で明確に実現可能であるが、図表Ⅲ-1-3に見られるように、それぞれ帰納と発想、発想と演繹、演繹と帰納をリンクするハイブリッドな推論エンジン実現のキー概念となっていることも興味深い。なお、ここに出現する概念の説明は昨年(1990年)の報告書 [IJAI89] や参考文献 [Muggleton 88, Poole 85, Mitchel 86] に詳しいので、参照されたい。

2.4 将来動向

学習研究のパラダイムシフト、シンボリズムとコネクショニズムの論争、演繹・帰納・発想推論の機械化という学習研究を見据える3つの視点を通して、さまざまな学習研究が生まれたことを概観してきた。より専門的に原典にあたりたい人々のために、本当の意味でオリジナルといえる基礎研究を、マップ形式で出典を示したのが図表Ⅲ-1-4である。同図で引用されている原典はすべて参考文献に参照されている。図表Ⅲ-1-4の1990年代以降の展開は学習研究の潮流の1つの予測であり、新しい技術の独創にともない、全く新しいオリジナル研究が生まれるかも知れない。そこで、ここではよりマクロに将来世代コンピュータの予想を打ち立て、学習研究技術マップのまとめとしたい。

コンピュータと人間の能力比較をすると、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る。また、判断のメカニ

図表III-1-4 技術マッピング：「学習」研究

	1950年代以前	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代以降の展開	
ニューラルネットワーク(NN)	パーセプトロン (Rosenblatt 58) バンデモニウム(Selfridge 59)	ミンスキー批判(Minsky 69) 判別関数(Nilsson 65) 進化的学習(Fogel 66)	適応制御システム(Tsytkin 72) 神経回路網モデル(Amari 78) ネオコグニトロン(Fukushima 75) 遺伝的アルゴリズム(Holland 75)	PDP(McClelland 87) ホップフィールド・モデル (Hopfield 86) 誤差逆伝播学習(Rumelhart 86) ボルツマンマシン(Ackley 85)	視覚情報処理、ロボット、 制御への応用 ハイブリッドリレーニング	
知識依存学習(KL)			Meta-DENDRAL(Buchanan 78)	AM(Lenat 82) EURISKO(Lenat 83) CYC プロジェクト(Lenat 86)	ヒューリスティックスの学習 電子化知識ベース	
記号学習(SL)			AQVAL プログラム (Michalski 75) ID3(Quinlan 79)	構成的帰納法(Langley 80)	記号学習と知識依存学習の融合 自動クラスタリング	
【推論能力の拡大】の軸	演繹推論	アリストテレス形而上学 三段論法	融合原理(Robinson 65)	閉世界仮説(Reiter 78)	暗黙推論、非単調推論 常識推論(McCarthy 80, Lifschitz 85) 定性理論(Bobrow 84)	高次推論への適用 暗黙知(Polanyi 80)の機械化 常識推論の知識コンパイル 深い知識と浅い知識の融合
	帰納推論	ポパーの推測と反証 (Popper 59)	極限としての同定(Gold 67)	帰納推論の数学理論(Blum 75) 一般化(Plotkin 70)	モデル推論アルゴリズム (Shapiro 81, 82) 説明に基づく学習(Mitchell 86) 融合原理の逆原理 (Muggleton 88) 帰納推論と計算量(Valiant 84) 学習プロトコル(Laird 89) 雑音のある世界での学習 (Angluin 88)	アルゴリズムミッド・デバッガ 例からのエディタ・デバッガ 各種推論能力の形式的統合 説明に基づく学習と類似性に 基づく学習の融合 多項式時間アルゴリズム (実時間処理) オラクルの改良 雑音下での自動クラスタリング ニューラルネットとの結合
	発想推論	パースのアブダクション (Peirce 1839-1914)		ARCHプログラム(Winston 75)	仮説推論(Poole 85) アブダクションとしての解釈 (Stickel 88, Hobbs 89) 類推(Winston 80) 構造写像(Gentner 80) 類推システム(Haraguti 86) 事例に基づく学習 (DARPA 88)	発想推論への展開 発見システム 自然言語の解釈生成 類推検索 アイディアプロセッサ 構造写像エンジン 不完全情報への適用(不完全問題 の解決) 事例に基づく学習研究の応用
学習研究支援環境	Lisp		Prolog 部分計算 関係データベース	CP, PARLOG, GHC Prologの部分計算 ハイパーメディア オブジェクト指向	並列推論マシン 高速メタプログラミング コンパイラコンパイラ リフレクション 協調型エージェント指向	

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徴がある。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、LSI、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3.5世代、第4世代コンピュータといわれる。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五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であり、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、より柔軟かく、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についてそれぞれ

の長短が、現在、次第に分かりつつある。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-1-5 [Kunifuji 87] に示された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、各方面から提案されつつある。

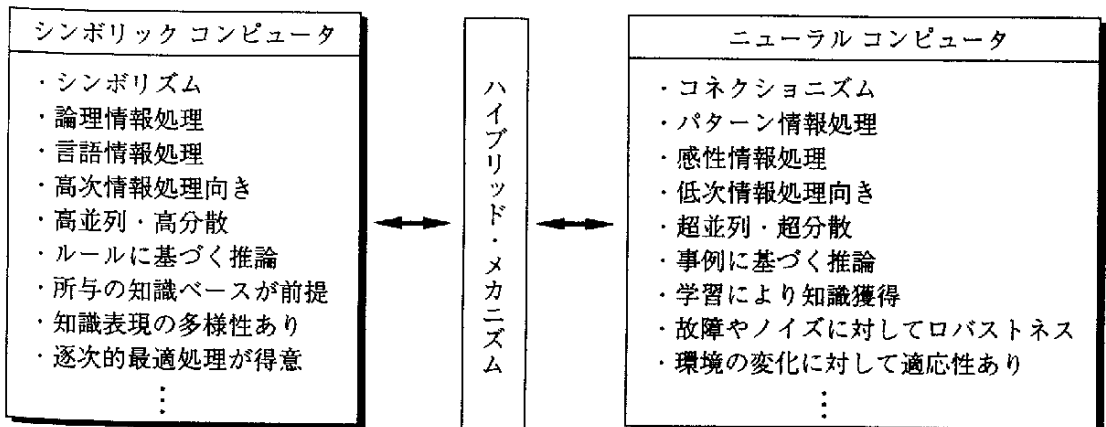
<参考文献>

[Ackley 85] Ackley, D.H., Hinton, G.E. and Sejnowski, T. J. : A Learning Algorithm for Boltzmann Machines, Cognitive Science, Vol.9, pp. 147-169, 1985.

[Amari 78] 甘利俊一：神経回路網の数理、産業図書、1978.

[Angluin 88] Angluin, D. and Laird, P. : Learning

図表Ⅲ-1-5 シンボリズムとコネクショニズムのハイブリッド・アーキテクチャ



From Noisy Examples, *Machine Learning*, 2, 343-370, 1988.

[Blum 75] Blum, L. and Blum, M. : Toward a Mathematical Theory of Inductive Inference, *Information and Control*, Vol. 28, 1975, pp. 125-155.

[Bobrow 84] Bobrow, D. G. (ed.) : Special Issue on Qualitative Reasoning about Physical Systems, *Artificial Intelligence*, Vol. 24, 1984.

[Buchanan 78] Buchanan, B.G. and Feigenbaum, E. A. : DENDRAL and Meta-DENDRAL : their applications and dimension, *Artificial Intelligence*, Vol. 11, pp.5-24, 1978.

[Cohen 84] Cohen, P.R. and Feigenbaum, E.A. (eds.), 田中幸吉, 淵一博監訳 : 人工知能ハンドブック第3巻、共立出版、東京、1984.

[DARPA 88] DARPA (ed.) : Proc. of a Work-shop on Case-based Reasoning, 1988.

[Forgel 66] Forgel, L., Owens, A. and Walsh, M. : *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*, Wiley, New York, 1966.

[Fukushima 75] Fukushima, K. : Cognitron : a self-organizing multilayered neural network, *Biol.Cybern.*, Vol.20, pp.121-136, 1975.

[Furukawa 86] 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.

[Gentner 80] Gentner, D. : The Structure of Analogical Models in Science, BBN TR No.4451, July 1980.

[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. No. 1, 1986, pp.132-139.

[Hobbs 89] Hobbs, J.R., Stickel, M., Martin, P., and Edwards, D : Interpretation as Abduction, *SRI International AIMemo*, 1989.

[Holland 75] Holland, J. : *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Univ. of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.

[Hopfield 86] Hopfield, J.J. and Tank, D.W. : *Computing with Neural Circuits : a model*, *Science*, pp. 625-633, 1986.

[IJAI89] ICOT-JIPDEC AIセンター (編) : 人工知能の技術と利用-AI白書、日本情報処理開発協会、1989年12月.

[Jinkou 87] 人工知能学会編 : 人工知能学会誌一小特集 高次人工知能へ向けてのパラダイム、VOL.2 No.1, 1987年3月

[Kunifuji 87] 国藤 進 : コネクショニズムの展望 (2) 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 Reserch Center, Report RIA-89-01-07-0, Jan.1989.

[Langley 80] Langley, P.W., Neches, R., Neves, D. and Anzai, Y. : A Domain-independent Framework for Procedure Learning, *J.of Policy Analysis and Information Systems*, Vol.4, No.2, pp.163-197, 1980.

[Lenat 82] Lenat, D.B. : The Nature of Heuristics, *Artificial Intelligence*, Vol.19, No.2, pp.189-249, Oct. 1982.

[Lenat 83] Lenat, D.B. : EURISKO, *Artificial Intelligence*, Vol.21, Nos.1and2, pp.61-98, March 1983.

[Lenat 86] Lenat, D.B., Prakash, M.and Shepherd, M. : CYC : using common sense knowledge to overcome brittleness and knowledge acquisition bottlenecks, *AIMagazine*, Vol.6, No.4, pp.65-85, 1986.

[Lifschitz 85] Lifschitz, V. : Computing Circumscription, *Proc. of 9th IJCAI*, Los Angeles, pp.121-127, 1985.

[Mayr 88] Mayr, E.W. : Parallel Approximation Algorithms, *Proc.of FGCS'88*, Tokyo Prince Hotel, Dec. 1988.

- [McCarthy 80] McCarthy, J. : Circumscription, Artificial Intelligence, Vol.13, pp.27-39, 1980.
- [McClelland 87] McClelland, J.L., Rumelhart, D.E., and The PDP Research Group : Parallel Distributed Processing, 1-2, 1987.
- [Michalski 75] Michalski, R.S. : Variable-valued Logic and its Applications to Pattern Recognition and Machine Learning, in Computer Science and Multiple-valued Logic : theory and applications, D.C.Rine (ed.), North-Holland, 1975.
- [Michalski 86] Michalski, R. S. et al. (eds.) : Machine Learning Vol. 2, Tioga Pub. Co., 1986.
- [Mitchell 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.
- [Minsky 69] Minsky, M. and Papert, S. : Perceptrons, MIT Press, 1969.
- [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.
- [Nilsson 65] Nilsson, N. J. : Learning Machines, McGraw-Hill, New York, 1965.
- [Plotkin 70] Plotkin, G. D. : A Note on Inductive Generalization, Machine Intelligence, Vol. 5, pp. 153-216, 1970.
- [Polanyi 80] ポラニイ, M. (佐藤敬三訳) : 暗黙知の次元-言語から非言語に、紀伊国屋書店、1980.
- [Poole 85] Poole, D., Aleliunas, R. and Gobel, 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.
- [Popper 59] Popper, K. R. : The Logic of Scientific Discovery, Basic Books, New York, 1959.
- [Quinlan 79] Quinlan, J. R. : Discovering Rules from Large Collections of Examples : a case study, in the Microelectronics Age, D. Michie (ed.) Edinburgh Univ. Press, Edinburgh, 1979.
- [Reiter 78] Reiter, R. : On Closed World Databases, in Logic and Data Bases, H. Gallaire and J. Minker (eds.), Plenum Press, New York, 1978.
- [Robinson 65] Robinson, J. A. : A Machine-oriented Logic based on the Resolution Principle, JACM, 12.
- [Rosenblatt 58] Rosenblatt, F. : The Perceptron : a probabilistic model for information storage and organization in the brain, Psychological Review, Vol. 65, pp. 386-407, 1958.
- [Rumelhart 86] Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R.J. : Learning Representations by Back-propagating Errors, Nature, Vol. 323, No. 9, pp. 533-536, 1986.
- [Selfridge 59] Selfridge, M. : Pandemonium, Proc. of the Symp. on Mechanization of Thought Processes, D. Blake and A. Uttley (eds.), HMSO, London, 1959.
- [Shapiro 81] Shapiro, E. Y. : Inductive Inference of Theories from Facts, Yale Univ., Res. Rep. 192, 1981 (有川節夫訳 : 知識の帰納的推論、共立出版、1986).
- [Shapiro 82] Shapiro, E. Y. : Algorithmic Program Debugging, The MIT Press, 1982.
- [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.
- [Tsypkin 72] Tsypkin, J. Z. : Foundations of the Theory of Learning Systems, Publisher Nauka, Moscow, 1972.
- [Valiant 84] Valiant, L. G. : A Theory of the

Learnable, CACM, 27-11, 1984, pp. 1134-1142.

[Winston 75] Winston, P. H. : Structural Descriptions from Examples, in Psychology of Computer Vision, P. H. : Winston (ed.), McGraw-Hill, 1975.

[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、莖草書房。

第3章 協調型活動支援機能(CSCW)

3.1 はじめに

コンピュータと通信技術の融合によって、豊かな可能性を持った新しい情報処理メカニズムが生まれつつある。そのインパクトは非常に大きく、1990年代の経済・社会的な組織のあり方は、これにより決定的な影響を受けるものと考えられる。

すでに、1980年代の後半からLANやISDNの普及によって、コンピュータ・システムのネットワーク化が急速に発展してきたが、そこでのネットワークの役割は、ファイルを共有したり、プリンタなどの周辺機器を共有したりするためのものであるか、あるいは、中央の大型コンピュータと各所に分散された小型機とを結んでデータをやりとりするためのものであるとしか考えられていなかった。

しかし、技術革新、高度情報化、国際化、生活の高度化などに基づく、経済的・社会的構造の変化と、半導体技術の進歩によってもたらされた高性能のパソコンやワークステーションの普及によって、ネットワークの存在意義は飛躍的に高まり、まったく新しい視点から見直されなくてはならない状況になっている。その見直しの核になる概念は、高い自律性をもって行動する主体（エージェント）が相互に作用しあいながら、集団で創造的な活動にあたる協調型活動とその支援技術（コテ

クノロジー）である。

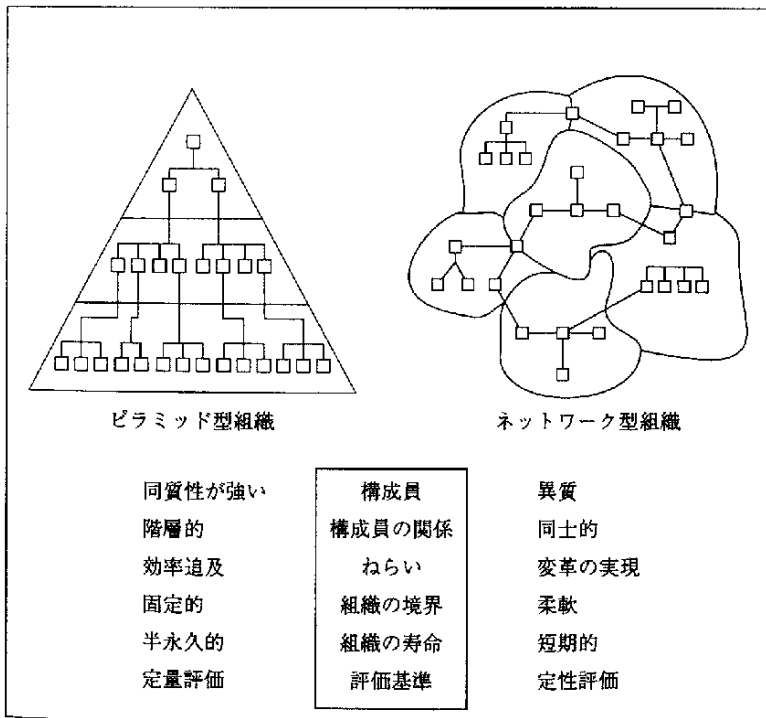
ここでいう主体、すなわちエージェントと、その集団にはさまざまな規模、さまざまな機能のものが考えられる。最もミクロなものとしては、M. ミンスキーの“The Society of Mind”に述べられているような、知能を含めた心的機能を具現化するエージェントの集団があり、逆に最もマクロなものとしては、現在その構築が進行中の企業間ネットワークで連結された企業集団がある。しかし、最も典型的なものとしては、暫定的なタスクフォースとして編成される専門家の集団、すなわちワークグループがある。

こうした集団におけるネットワーク化の意味を明らかにするため、企業間ネットワークの場合を例にとりて見てみよう。“企業間ネットワークは、企業と企業、企業と市場といった異なる主体の間の相互作用を通じて互いに影響を及ぼしあう。参加する主体の数や種類が増えれば、それだけネットワークが獲得する情報は量的にも質的にも増加する。また、いったん獲得された情報は多重利用が可能であるばかりではなく、多様な結合関連が可能である。異なる主体が同一の情報の集合を同時に利用する場合、そこからどのような意味を引き出すかは必ずしも同じではない。ネットワークに参加するメンバーが多ければ多いほど、それだけ多様な意味や価値が創出される可能性が増大する。そして次に、それらの意味や価値はネットワークを通じて再び還流し共有化される。このようなダイナミックなプロセスを通して、企業間ネットワークは単独の企業よりもはるかに多くのシナジー（相乗効果）を生み出す機会に恵まれることになる。”[寺本90] このように、ネットワークが多様な情報や知識を結合・連関させることによって、新たな意味や価値を創造することをネットワーク・シナジーと呼ぶ。[同上]

ここで注意しなければならないことは、ネットワーク・シナジーが効果的に形成されうるために

は、ネットワークの構造がそれに適したものでなければならぬことである。これを企業内の組織形態のあり方として考えてみると、従来の典型であるピラミッド型の組織では不十分で、以下に見るような、新しい意味でのネットワーク型の組織にならなければならない、ということである。ピラミッド型組織は上意下達で、均質的な製品を大量生産、大量販売するのに適した構造であるが、市場などの細かい変化をとらえて、多品種少量生産のような分散的な活動を行なうには適していない。“新しいネットワーク型組織の特徴は<1>指令にしたがって動くだけではない、自ら判断する知的労働者で構成される、<2>複数本社制などを取り、意見決定なども一元的ではなくなる、<3>組織は暫定的な「タスクフォース」型となる、などである。”〔日経産業88〕これら2つの組織を比較すると図表Ⅲ-1-6のようになる。

図表Ⅲ-1-6 「ピラミッド型」組織と「ネットワーク型」組織の比較



3.2 CSCW／グループウェア

ネットワーク型組織におけるタスクフォース的な活動単位をグループというが、このグループにおけるコンピュータの役割に焦点を当てた新しい研究分野が、CSCW（Computer-Supported Cooperative Work）である。CSCW研究の動機となっているのは、一方では、前節で述べたような、経済的・社会的な傾向に基づく、グループ内相互作用に対する関心であり、他方では分散処理、ネットワーク・ファイル・システム、電子メール、高帯域通信回線などの技術進歩である。

グループウェアは、CSCW研究の成果を利用した、グループ作業支援用のソフトウェア（場合によってはハードウェアを含める）のことである。グループウェアという概念が生まれたのは70年代であるが、それが一般的になったのは80年代の後半からである。特に、1986年と88年にACM（米

国計算機学会）の主催でCSCWのコンファランスが開催されたことによって、情報処理の先端的な課題の1つとして広く注目を集めるようになっていく。

グループウェアのあり方を考える上で見落とせないのは、これからのグループ作業が素手の個人が複数集まって行なわれるものではなく、それぞれが固有のワークステーションないしパソコンと不可分の組み合わせられた人々の集まりになるという事実である。この事実は、グループウェアの可能性を広げるものであ

ると同時に、その制約ともなりうるものである。例えば、可能性の1つとして、そのWSあるいはPCを本人の代理として作業に参加させることも、場合によっては考えてよいかも知れない。また、制約となるかも知れない場合としては、そのWSが利用したいグループウェアに対して互換性を持っていないケースなどが考えられる。いずれにせよ、コンピュータによって能力を拡張した個人の集まりが、グループウェアによって、さらに集団としての力を高める可能性があることには間違いがない。

現在、グループウェアの主な適用分野とみられているのは、プログラムなどの製品の共同開発、グループ意思決定、文書の共同執筆や共同編集・校正、作業者間のやりとりのコーディネート、会議システムなどである。これらのそれぞれについて、すでにいくつかの具体化例が存在しており、商品化されているものも少なくない。

グループウェアに対するCSCWの関係は、ソフトウェアに対するソフトウェア工学ならびにAIとの関係に等しいものとみることができる。すなわち、CSCWはグループウェアの基盤技術ならびに基盤科学であるということができる。グループウェアの基盤技術としてみたCSCWの主要素技術をあげると、グループワーク・モデル化技術、メッセージ構造化技術、データ（データベース）共用化技術、ハイパーテキスト技術、共同ウィンドウ制御技術、高速マルチメディア技術などがある〔石井90〕。グループワーク・モデル化技術は、グループ作業における人対人の相互作用のあり方をモデル化した枠組に従って、仕事上のやりとりが順調に進行するよう誘導するための技術である。この場合、人対人の関係をモデル化する研究は、基盤科学としてのCSCWが扱うもので、AIにおける協調型問題解決の研究と密接につながるものである。

この例にもみられるように、CSCWの研究はAIと完全に重なる部分が多く、AIに新しい応用の可

能性を拓くものとみることができる。しかし、AIにとってのCSCWの意味は、単に応用の面にのみ留まるものではなく、新しく研究の視野を広げるための案内者としての面も期待される。この視野の拡大には、2つの方向が示唆されている。その1つは、個の知能から集団の知能へという研究対象の拡大であり、もう1つは、マンマシン・インタフェースを独立の人間と独立のマシンの間の関係としてみるのではなく、人対人の関係を媒介する役割をもつマシンと、その支援を受ける人間との間の関係として見直すという研究視点の転換である。

従来のコンピュータ支援技術が個人単位での生産性向上を目標にしていたものとすれば、CSCWはグループ単位での生産性向上を目標にするものといえる。個人の知的活動のメカニズムを扱う学問は心理学であり、従来のAIは心理学から多くの知見を得てその活力源としてきた。これに対して、人間集団の活動メカニズムを扱う学問は社会科学であり、CSCWはグループ活動の性質を理解するために社会科学を利用する必要がある。これは、'88年の第2回CSCW国際会議での結論として、特に強調されたところである。このような、個人の枠内の現象から人と人との相互作用にみられる現象への関心の移動は、従来型のAIの域内にもみられるもので、自然言語理解における構文解析・意味理解から言語行為へという興味の推移はその一例である。

次に、マンマシン・インタフェース（MMI）についてみると、従来のMMIで扱う表現の範囲は、マシンが扱う世界に対応するものであり、したがって適当に制限を設けることが許された。それに対して、CSCWのためのMMIでは、そうした制限をおくことは、そのまま人対人のコミュニケーションにおける制約となるため、できるだけなくすようにする必要がある。しかし、この場合には、人間が表現したものをすべてをマシンが理解

する必要はなく、その意味が損なわれないかたちで、別の相手に渡されればよい。ここに、新しいMMIが成立する可能性がある。

3.3 CSCW技術の概要

3.3.1 システム・モデル

グループウェアが実行されるシステムの基本型は通信ネットワークで接続された個人専用ワークステーション群である。各ワークステーションは、当面のオペレーションに関係するデータのうちのかなりの部分を保有して各自の処理を行ない、必要に応じてその内容をさまざまなインタフェースとさまざまなビューを介して表示できるようになっている。グループのメンバーは、それぞれ1台のワークステーションを専有するものとする。

グループ作業が実現できるための基本条件は、そのメンバー間でのコミュニケーションが可能になっていることである。ワークステーションのもつ記憶機能とディスプレイ機能、それらを結ぶ通信ネットワークは、時と場所を同じくしなければならないという、面談によるコミュニケーションの制約を大幅に軽減した、新しいコミュニケーション手段を提供するものであり、また、その計算機能とあいまって、面談の場合にもそれを補強する効果をもたらしている。これらの手段や効果を具体化する手法を示すと、次のようになる[Bair 89]。

・面談の補強：

a. ワークステーション機能の活用

・場所の分散化：

a. 端末の接続

b. スクリーンの共用

c. テレビ会議

・時間の非同期化：

a. メッセージ交換

b. ファイルの共用

c. コンピュータ会議方式

これらの手法は、それぞれ実現できる相互作

用の密度に差がある。したがって、必要とする協調関係のレベルに応じて、適用する手法を選ぶことが必要である。この協調関係のレベルとしては、次の4段階がある。

A. 告知レベル：

一方的に情報を送るだけの関係で、送り手と受け手の直接的な接触を必要とせず、コミュニケーションはブロードキャスト的な方法で非同期であってもよい。

B. 調整レベル：

話し合いによって物事の順番や関係を適正なものにし合う関係で、両者間に面識があり、情報や資源を共有するため直接の接触があることが必要。目標は別にして、利害や帰属が一致していることが前提。

C. 協働レベル：

同じグループで対話的な接触をもって、共通目標の達成を目指す関係。両者間に上下関係があってもよく、コミュニケーションにある程度の偏りがあってもよい。

メンバーは、複数のグループに所属していてもよい。

D. 協調レベル：

グループ全員が個人の利害を超越して、平等の立場で緊密な連携プレイをする関係。成果はグループ全体として評価され、意思決定はグループのコンセンサスに基づいてなされる。高密度のコミュニケーションが必要。

明らかに、Dレベルの作業には、対面的な接触が必要である。現在のグループウェアの多くは、Cレベルの作業を支援するものである。

3.3.2 実現化技術

(1) グループワーク・モデル化技術

複雑な議論をする場合、話の筋道が見失われて迷路に落ち込むことが少なくない。また、電子メールで断続的なやりとりをしていると、いくつ

かの話が混線してしまうことがある。グループ作業を順調に進めるためには、こうした事態は極力避けなければならない。そのため、やりとりの流れをモデル化し、それに基づいてコンピュータに話の道案内をさせる方法が提案されている。

このためのモデルは、人間のある局面での行動様式から導かれているものが多い。例えば、電子メールによる対話の制御には、言語行為の構造についての理論から得られるものが用いられている。また、議論の制御には、組織内の原則として培われた討論ルールが応用されたりしている。

(2) メッセージ構造化技術

ワークステーションを使いこなすためには、かなりのコンピュータ知識が必要である。これはグループウェアの普及の障害になるものである。そこでコンピュータの使い方を制限して定型化し、少しの知識で楽に使えるようにすることが望まれる。しかし、利用者の工夫である程度自由にいろいろなことができる余地を残すことも大切である。このために、半構造化されたメッセージを用いる方法などが提案されている。

(3) データ（データベース）共有化技術

ファイルの共有は、メッセージ交換と並んで重要なコミュニケーション手段である。ファイルは、普通データベース・システムによって管理されているが、従来のDBシステムは事務処理向きに作られているため、CSCWの用途には必ずしも適さない。例えば、設計作業で扱うデータは各要素が込み入った関係で結ばれ、複雑な構造を持っている。こうしたデータについて、その一部を切り出して共用する機能は通常のDBシステムには見当たらない。グループ作業の内容は多種多様であるので、DB機能もそれに合わせてできるだけフレキシブルである必要がある。

データ共用の観点から特に重要なDB機能としては、アクセス制御と並行性制御のものがある。しかし、これらについては協調作業の観点から十

分な検討がなされた例が少なく、今後の大きな課題となっている。この他、共用上のポイントとなる項目としては次のようなものがある[Greif 87]。データの粒度（ファイルの読み書きにおける最小データ単位）、機能の拡張性、一過的な操作機能、インヘリタンス、オブジェクト・リンキング、連想アクセス、ビュー、ヒストリー管理、トリガーなどである。これらの機能が網羅的にサポートされているシステムは、まだ見当たらないようである。

(4) ハイパーテキスト技術

知的作業の過程で生まれたり、使われたりする多数の情報（テキスト、音声、画像など）を、それらを必要とする状況の都合に合わせて多重の構造を与えて管理するようにしたものを、ハイパーメディアとよび、その情報がテキストのみに限定されたものを、特に、ハイパーテキストという。ハイパーメディアは、ディスプレイの1つのウィンドウで表示できる大きさの情報を単位（ノード）とし、必要に応じてノード間にポインタ（リンク）を張って構成される。ノードやリンクは、目的別に自由に付けたり、外したりできる。リンクによってできるネットワークの構造は、ブラウザという機能によってディスプレイ上に映して見ることができる。情報内容を見るためには、このネットワーク表示を使って指示したり、キーワードや属性値で指定したり、リンクをたどったりしてみる。

ハイパーメディアは必ずしもグループ作業を意識したものではないが、それに好適のものであることは明らかである。問題は共用のための条件が満たされているかどうかである。

(5) 共用ウィンドウ制御技術

対面式の会議では、黒板などの表示は全員が同じものを見られるようになっている。これをディスプレイで代用する場合にも、同じ原則が守られるのが望ましい。この場合、複数の参加者が同時に操作を掛けると問題が起きるので、それを

制御するための工夫が必要になる。

(6) 高速マルチメディア通信技術

自然で高度なコミュニケーションを行なうためには、音声や動画像が必要になる。このためには、大容量・高速の通信回線や情報圧縮などの技術が前提になる。

3.4 グループウェアの現状

3.4.1 概況

CSCW '86への参加者が約300名であったのに対して、CSCW '88には467名が参加したことからみても、その関心の高まりぶりがうかがわれる。しかし、国別の参加者数をみると、'88で米国が392名と完全に一極集中の状況にある。ちなみに、わが国からは2名であった。

研究開発レベルでの現状を知るためには、図表Ⅲ-1-7が便利である [Crowston 88]。ここに取り上げられているものでは、いずれも、AI応用が試みられている点が注目される。最初の3つでは、グループ内でのインタラクションのやり方について、エキスパート・システムが支援するようになっている。

次に、実用化の状況についてみると、すでに市販されているものだけでも下記のような例を上げることができる [日経コンピュータ89]。

* 会議自動スケジューリング・システム

例：Higgins (Conetic Systems, Inc.),
Office Works (Dara Access Corp.),
The Coordinator (Action Technologies),
Perfect Timing (Imagine Software),
WordPerfect Office (WordPerfect Corp.),
Alis (アブリックス社)

* グループ文書添削・推敲システム

例：ForComment (Broderbund Software, Inc.),
Make Up (メイNSTEY社)

* 電子会議運営システム

例：Caucus (Metasystems Design Group, Inc.)

日本語版：JCAUCUS),

Quick Mail (CE Software, Inc.),

Timbuktu (ファラロン・コンピューティング社)

* 対話行動管理システム

例：The Coordinator (Action Technologies)

* (グループウェア開発支援システム)

例：Lotus Note (Lotus Development Corp.)

* (グループ編成支援システム)

例：SYZYGY (Information Research Inc.),

SuperSync (SwixTech USA)

これら6種類のシステムのうち、最初の4種類が本来のグループウェアであり、残りの2種類はグループウェアが成立するための環境を用意するものである。これらのうち早いものは1985年から出荷されているが、売行きが伸び始めたのは88年頃からということである。LANの普及と関係があるようである。

3.4.2 具体例

(1) The Coordinator

自然言語処理で有名なT. Winogradらによって開発されたシステムである。このシステムは、電子メールのやりとりをチェックすることによって協同作業の進行を管理するためのものであり、そのための主要機能として電子メールと、それによる対話の進行を管理する機能を持っている。また、典型的な協同作業として、会議の設定を組み込み的にサポートしており、グループ・カレンダー機能も備えている。

その特徴は作業の進行を対話の流れとしてとらえ、ある「要求」があればそれに対する「拒絶」なり、「逆提案」なりといった対応行動が正しくとられているかどうかを管理するところにある。言語行為理論に基づいて、対話文を「要求」、「約束」、「拒否」、「提案」、「取り下げ」など7種類に分け、それらの間の状態遷移図式を規定して管理している。これが厳格過ぎて、押しつけがましいという声が多いようである。

(2) COLAB

Xerox PARC研究所で開発されている実験的な電子会議システムで、いくつかの会議用ツールの集まりである。ハード的なツールにはBoardnoterがあり、大型共用スクリーンとそれに連動する複数のワークステーションで構成されている。ソフト的ツールには、CognoterやArgnoterなどがある。

Cognoterはプレゼンテーションの仕方についてのアイデアをまとめるためのツールで、議論の段階をブレインストーミング、構成化、評価の3段階に区分して、発言内容や黒板への操作などが段階ごとの目的に沿ったものになるようガイドする機能を持っている。また、Argnoterは議論での対案を考えたり、評価したりするためのツールである。誤解や偏見などによって議論が歪められな

いようにガイドする機能を持っている。

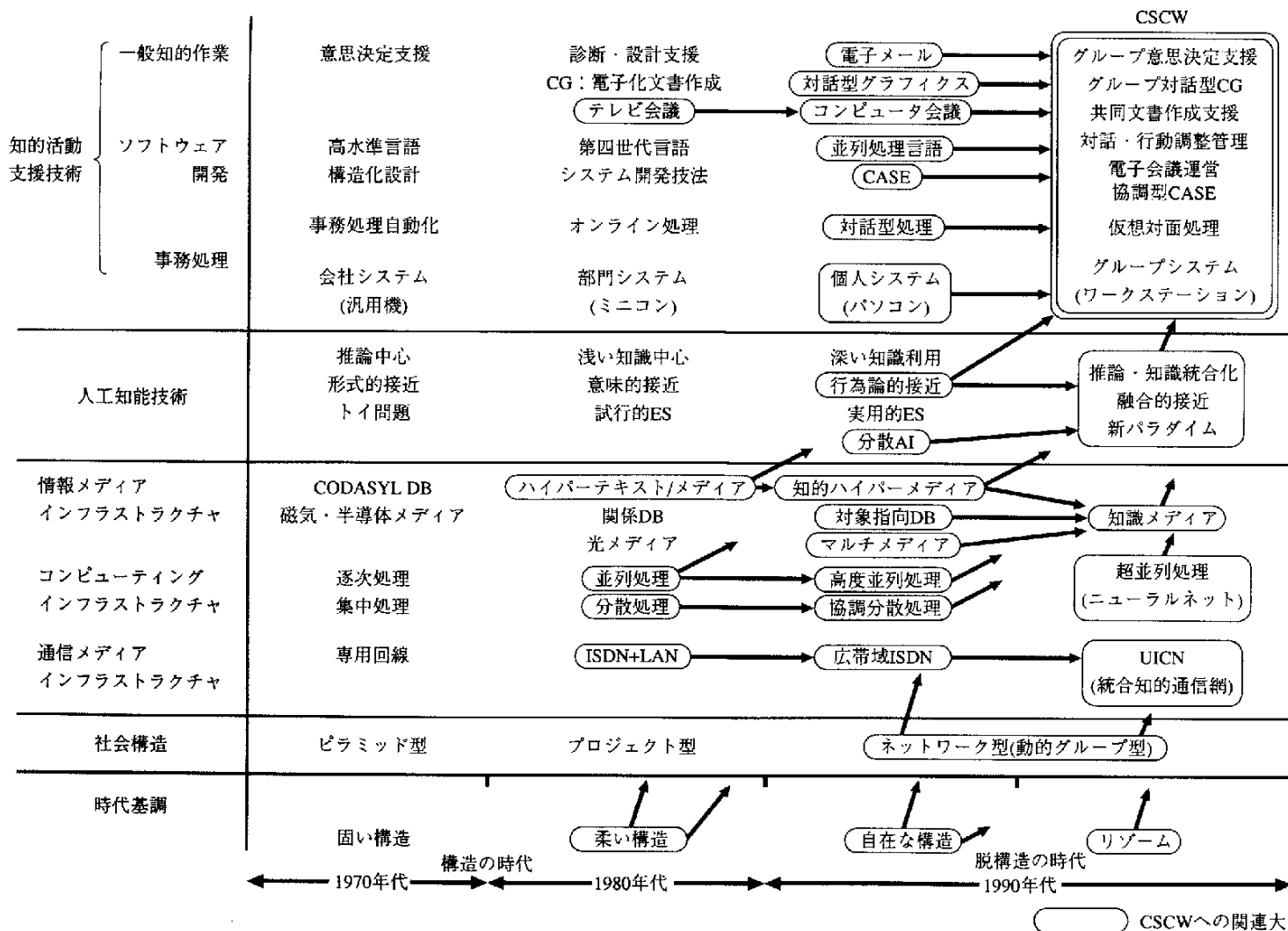
3.5 補足

(1) マップの主旨

CSCWは、技術者の思いつきが偶然、時代の波に乗って脚光を浴びるようになったアイデア技術ではなく、情報と通信を中心にした技術の流れと、流動化に向かう社会の動きの重なりから生まれつつある収束現象の1つということができる。図表Ⅲ-1-8は、この収束現象を具体的に説明するためのものであり、社会におけるあらゆる知的生産活動の現場であるオフィスに焦点を当てて、収束の流れの微分係数を表示している。行き先が明示されていない矢印があるのはその意味からである。

図表Ⅲ-1-7 実験的グループウェア・システム〈Crowston88による〉

システム名	開発者	用途	使用言語・システム AI技術	
System Development Support Environment	Beverly Kedzierski; University of Southwestern Louisiana	ソフトウェア開発	CHI と V	フレーム、ルール
Callisto	Arvind Sathi, Thomas E. Morton Steven F. Roth; DEC	プロジェクト管理	SRL; Knowledge Craft シェルの新版	プランニング
Carieton Office Knowledge Expert System(COKES)	A. Roger Kaye, Gerald M. Karam ; Carieton University	オフィス作業	Prolog	フレーム、ルール
Omega	Gerald Barber; MIT	オフィス作業	Lisp・MIT, Lispマシン	非単調推論
Polymer	W. B. Croft, L. S. Lefkowitz; University of Massachusetts at Amherst	オフィス作業	KEEエキスパート システム・シェル	プランニング
Argnoter	Mark Stefik, Gregg Foster, Daniel G. Bobrow, Kenneth Kahn, Stan Lanning, Lucy Suchman; Xerox PARC	グループ意思決定	Interlisp-D, LOOPS Xerox 1132 WS	非単調推論
Information Lens	Thomas Malone, Ken Grant, Franklyn Turbak, Kum-Yew Lai, Ramana Rao, Kevin Crowston, David Rosenblitt; MIT, Sloan School of Management	電子メール	Interlisp-D, LOOPS Xerox 1100 WS	フレーム、ルール
Object Lens	Kum-Yew Lai, Thomas Malone, Keh- Chiang Yao; MIT Sloan School of Management	オフィス作業	Interlisp-D, LOOPS Xerox 1100 WS	フレーム、ルール



図表Ⅲ-1-8 CSCWへの流れ

「時代基調」の欄に時間軸が示してあるが、それと各項目の対応付けは、主としてわが国における大勢としての状況に基づいて判断したものである。したがって、進んだ環境内にある人にとっては、やや保守的に映るかもしれない。

全体的にみた主要な流れについては、本文中に説明があるのでここには繰り返さない。

(2) 特殊用語の説明

*CASE:

Computer Aided Software Engineeringの略称で、ソフトウェア開発のためのCADと違ってよい。

*リゾーム:

根茎と訳されることもあるが哲学用語で、木構造を持った組織体の中に、図表Ⅲ-1-9のような上層・下層の区別を超えた動きがあって、動的に構造を変えていくようになっているもの。

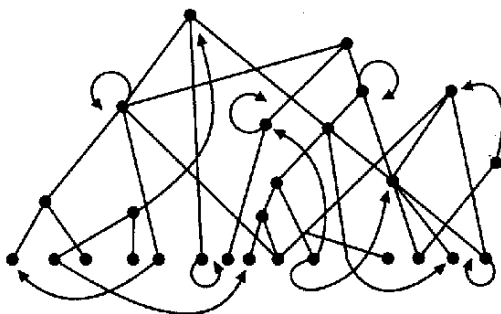
*UICN:

Universal Intelligent Communication Networkの略で、郵政省が構想しているもの。

*仮想対面処理:

離れた場所にいる相手の容貌や声を、情報処理的な手段で目前に現出させて、同席している場合と同じ効果を出すようにするもの。

図表Ⅲ-1-9 リゾームのイメージ



<参考文献>

[寺本90] 寺本 義也：オフィスの情報化と企業戦略—(1) 企業間ネットワーク、日本経済新聞1990年1月9日号、p.12 (1990)。

[日経産業88] 日経産業新聞：記事—21世紀を勝ち抜く企業は？、1988年12月

[石井90] 石井 裕：グループウェア技術の研究動向、情報処理、Vol.30, No.12, pp. 1502—1508 (1989)。

[Bair 89] Bair, J. H.: Supporting Cooperative Work With Computers: Addressing Meeting Mania, Proc. of COMPCON 89, pp. 208—217 (1989)。

[Greif 87] Greif, I.: Data Sharing in Group Work, ACM Trans. on OIS, Vol.5, No.2, pp. 187—221 (1987)

[Crowston 88] Crowston, K., T. W. Malone: Intelligent Software Agents, BYTE, DECEMBER 1988, pp. 267—274.

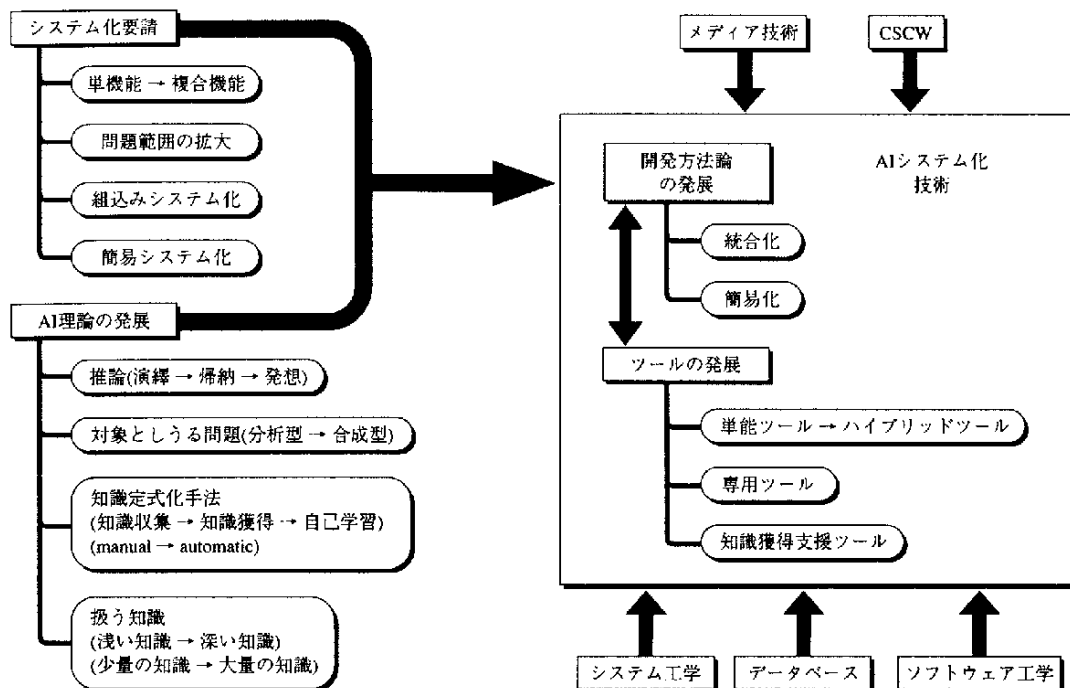
[日経コンピュータ89] 日経コンピュータ：グループウェア；電子メール普及を受け模索始まるグループ・コミュニケーションの姿、NIKKEI COMPUTER 1989.7.31, pp. 48—65.

第4章 AIシステム化技術

4.1 はじめに

コンピュータの黎明期に起源を持つ人工知能研究の成果が、エキスパートシステムを中心とするAI応用システムの成功へつながり出してから十数年が経過した [Schorr 1989]。この間に開発されたシステムは数多く、問題解決システムの機能の向上には、うまく整理された専門知識が有用なことが実証されるようになってきている。その一方で、AI応用システムはプロトタイプレベルまでは開発が容易であるが、それを実用化するのは非常に困難なことが指摘されている [JIPDEC-AI1989]。これまで、AI応用システムはごく狭い

図表Ⅲ-1-10 AIシステム化技術の全体像



分野の問題を経験則レベルで処理することで効果を上げてきたが、現実の問題ではその範囲で扱えるものは少ない。さらに、最近の事例を調査すると、システムとしての成功のキーポイントは、基礎となるAI理論・技術もさることながら、AI技術を問題解決システムのどの部分に適用し成果を上げるかというシステム化技術にあることが分かる。

AIシステム化技術は、まず、さまざまなAI理論に基づいてツールを開発し、これによってシステム開発の効率を改善しようという試みから始まった。次いで、ツールをシステム開発にどのように生かすかという立場から、システム開発方法論の研究が開始された。現在では、この両者がお互いに影響しあって発展を続けている。また、システムの利用者の立場からは、プロトタイプシステムから実用システムへの発展が切実な要求となる。プロトタイプレベルのシステムを実用化するには、個別のシステムの機能を

高度化させて利用者の高度な要求に応える方向と、従来型システム・知識システムを問わず複数のシステムを統合化して全体の性能向上を図る方向の2つがある。

本節では、まず、AIシステム化技術の全体像をこのような立場から考察し、次いで、開発方法論の発展、ツールの発展、システム高機能化・統合化の動向という3つの視点から論ずる。

4.2 AIシステム化技術の全体像

AIシステム化技術の全体像は、図表Ⅲ-1-10のようにまとめられる。基本的には、利用者が望むシステム化要請とAI理論の発展とに支えられて、現在のAIシステム化技術は成立している。上にも述べたように、これには、開発方法論の発展とツールの発展とが車の両輪として存在する。さらに、これは、メディア技術、CSCW (Computer Supported Cooperative Work) などの最近のコンピュータ技術の影響を受け、また、システム工

学、データベース、ソフトウェア工学などの従来から存在する問題解決技術、コンピュータ利用技術との関連性も深い。以下では、図表Ⅲ-1-10の内容を個別に紹介する。

初期のAIシステムに対する要請には、新しいシステムに対する実験や研究開発を重視する面、もしくは、AIの研究開発を実施しているという宣伝を目的とする面が強く見られた。最近では、AIも一時の表面的ブームを終え、システム化要請も実際に役立つシステムの実現へと変化してきている。より具体的には、システム化要請は、ごく狭い範囲の問題を扱う単機能システムから広い範囲の問題を対象とする複合機能システムへ、また、単純な診断問題から複雑な設計・計画問題へと対象とする問題の範囲も拡大してきている。大規模な制御問題などでは、従来型システムにAI応用システムを取り入れる組込型システムへの要求も強い。また、小規模な問題については、OA化の延長として、誰でも開発でき、人工知能に関する前提知識なしで使える簡易システムへの要求も強くなっている。

AI理論については、他の章でも論じているが、次のような発展が見られる。まず、推論手法として、従来の演繹推論の研究開発に加えて、帰納的な推論方式、さらには、発想推論など、より高度な手法の研究が進んでいる。その結果、システム化の対象としても、分類問題（classification problem）の形式に問題を定式化することが有用な、単純な解析型問題から、もともと組合せ的な性質をもつ合成型問題へと研究の中心が移ってきている。問題解決に必要な情報、すなわち、知識の定式化手法も、手作業を中心とする（マニュアルな）方法から次第に、これを自動化する方向へと発展してきた。専門家と知識技術者との間でインタビューを中心として行なわれる知識収集の作業も、特定の問題については知識獲得支援ツールを用いて効率的に行なうことが可能となり、自

己学習可能なシステムの実現性も考察されている。それに伴って、システムの扱い得る知識も、経験則を記号で記述しただけの浅い知識から、システムの構成・機能に基づくいわゆる深い知識へ、少量の知識から大量の知識を扱えるシステムへと変わってきている。

開発方法論については、次節で詳しく論ずるが、開発者個人の能力に依存する面が強い探索型の開発から2つの方向へと発展してきている。その第1は、ソフトウェア工学的なプロトタイプング手法、さらには、システムのライフサイクル全般を支援する方法論であり、例えば、戦略的情報システム開発をAIの面からサポートするような大規模かつ統合的なものである。それに対し、第2の方向は、個々のシステムを容易に知識技術者なしで開発できるような簡易化の方法論の確立を目指すものである。

開発方法論の発展はAIツールの発展も促す。AIツールについても、開発方法論の2つの方向と同様の傾向が見られる。これを分類すると、機能の高度化・利用目的の専用化・知識獲得支援の3つの傾向に分けることができる。すでに、1980年代初めには、単一の知識表現をサポートする単機能ツールから複数の知識表現をサポートするハイブリッドツールが商品化され、最近では、特定のタスクや領域を対象とする専用ツールや知識獲得支援ツールが研究開発の中心となっている。

4.3 AIツールの発展

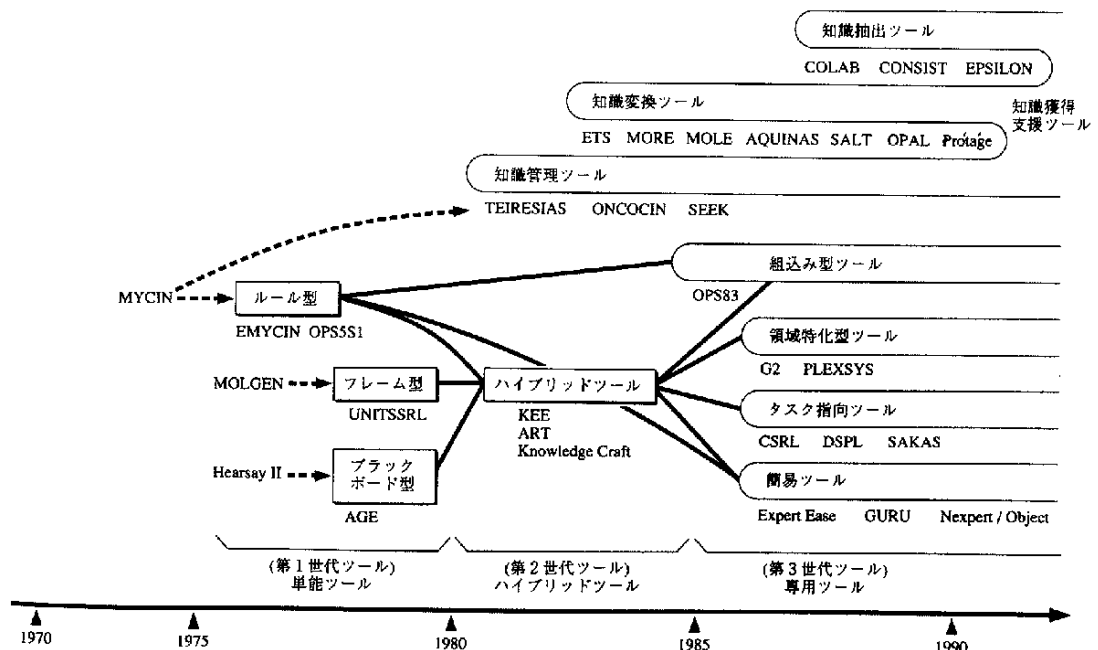
AIツールとは、一般に、知識ベースシステムを開発するためのプログラム言語、もしくは、そのプログラム言語に適した開発環境をも含む統合システムを意味する。（以下では単にツールと呼ぶことがある。）ここで、知識ベースシステムとは、知識ベースと推論機構の存在を明確に意識したソフトウェアシステムのことである〔ICOT-JIPDEC 1989〕。

ツールの発展の経緯は図表Ⅲ-1-11のようにまとめられる。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。第1世代のツールは、単一の知識表現・推論手法をサポートした。ルール型ツールには、医療診断システムMYCIN [Shortliffe 1976] の推論機構がもとになったEMYCIN、ならびに、それを発展させたS1がある。これらは後向き推論をサポートする典型的なルール型ツールである。前向き推論をサポートするツールとしては、プロダクション・システムにおける認知-照合サイクルの概念を素直に実現したOPSS [Brownston 1986] が知られている。フレーム型ツールとしては、遺伝子工学実験のためのエキスパートシステムMOLGENに基づくUNITS [Stefik 1981a, 1981b]、ならびに、カーネギーメロン大学で開発され、制約指向の計画型システムによく利用されるSRL [Wright 1983] などが知られている。ブラックボード型ツールとしては、音声理解システムHearsay-II [Erman 1980] がもとになって発展したAGE

[Nii 1979] が有名である。

これら第1世代ツールに対し、1980年代に入ると、複数の知識表現をサポートする第2世代ツールが開発されるようになった。これらはハイブリッドツールと呼ばれる。これらの特徴としては、当初から商品として設計開発されていること、高価なLISPマシンやワークステーション上で稼働すること、利用者インタフェース、特に開発者インタフェースが充実していることなどがあげられる。ハイブリッドツールの構造としては、第1世代ツールの諸概念のうち、特定の基本的なコンポーネントを定め、これに種々の機能を付け加えて作られたものと、第1世代ツールの諸概念をそのまま組み合わせて作られたものがある。前者の例としては、UNITSをもとに全体をオブジェクト指向の概念でまとめたKEE [Fikes 1985] や、OPSS風の前向きプロダクション・システムを中心に、フレーム (Schemaと呼ぶ)、ATMSなどの機能を取り込んだART [Clayton 1985] が知られている。後者の例としては、フレーム型ツールSRLを中心に、こ

図表Ⅲ-1-11 AIツールの発展



れに、前向き推論機能としてのOPS5、後向き推論機能としてのPrologを組み合わせたKnowledge Craft [Popper 1986] などがある。

さらに、1985年以後は、AIツールはさらに分化し、対象分野や対象タスク、利用者レベルなど、さまざまな面からの専用化が進んでいる。これらの専用ツールを総称して第3世代ツールと呼ぼう。それらは、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、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図る領域特化型ツール、ジェネリックタスク (generic tasks) [Chandrasekaran 1986] の概念をサポートするタスク指向型ツール、人工知能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、などに分類することができる。組込型ツールの例としては、OPS5を発展させ、通常の手続き型言語との融合を容易化したOPS83 [Forgy 1984] などがある。領域特化型ツールとしては、制御分野の問題向けにプラント記述機能やオンライン機能を充実させたG2 [Matthews 1988]、ならびに、原子力分野の問題向けに、プラントの基本モデルやプラント解析機能を基本的な知識ベースとして充実させたPlexsys [Hashemi 1989] などがある。

タスク指向ツールとしては、ジェネリックタスクとして、階層的な分類タスクを対象とするCSRLや、プラン選択によって定型的な設計タスクをサポートするDSPL、さらには、ジェネリックタスクとして表現できるいくつかの概念をサポートするツール群SAKASなどがある。簡易ツールとしては、パソコン上で稼働するルール型ツールExpert Ease、データベース、スプレッドシートなどと組合せて意思決定分野での利用を目指したGURU [Holsapple 1986]、ならびに、オブジェクト指向で利用者インタフェースを充実させたNexpert Objectなどが存在する。

エキスパートシステムの開発作業は、一般に問題の同定・概念化・定式化・実現・テストの5つのプロセスから構成される。このプロセスには、知識獲得のための3つの作業—知識の抽出・知識の変換・知識の管理—が不可欠である。知識獲得支援ツールは、この知識獲得の作業をできるだけ機械で支援することを狙ったソフトウェアシステムである [AI 1990]。

知識管理のツールとしては、MYCIN用の知識獲得支援ツールTEIRESIAS [Davis 1982] があげられる。このシステムは、MYCINにおいて初期の知識ベースの存在を前提とした上で、後向き推論メカニズムとHOW, WHYの説明機能を用いて、ルール間の矛盾の発見・修正を効率化するようにコンサルテーションを行う。その後には作られたONCOCIN [Shortliffe 1981] では、実行結果によらずに知識ベース内の無矛盾性をチェックする機能を実現している。さらに、専門家と知識技術者とのコミュニケーションを助け、知識ベースを分かりやすく提示する機能を持つ。SEEK, SEEK2 [Ginsberg 1988] では、知識ベース全体の診断性を向上させるという観点から、ルールの一般化と特殊化という2つの操作によって知識ベースの強化・洗練が半自動的に行なわれる。

知識変換のツールには、心理学的な手法を適用するもの、領域モデルを用いるもの、専門家向けの利用者インタフェースを充実させたものがある。心理学的な手法に基づくツールとしては、Personal Construct Theory [Kelley 1955] を利用したETS [Boose 1986] やその発展型として、知識獲得のできるだけ広い範囲をサポートしようとするAQUINAS [Boose 1987] などが有名である。領域モデルに基づいて利用者とのインタビューを行なうツールとしては、診断問題向けのMORE [Kahn 1985]、MOLE [Eshellman 1986] や、単純な設計問題を扱うSALT [Marcus 1987] が知られている。専門家インタフェースを重視したツ-

ルとしては、医療診断知識の収集を容易化するために専用のテーブル形式の書式を準備したOPAL [Musen 1987] が存在する。また、この後、OPAL風の知識獲得支援ツールの開発を支援するツールとしてProtagé [Musen 1989] が作られている。

知識抽出のツールは現在のところ数が少ない。そのうち、COLAB [Stefik 1987] は、知的な電子黒板として開発されたシステムであり、少人数で行なわれる会議を生産的・協調的にガイドする機能を持ち、CSCW、グループウェアのツールの1つである。CONSIST [篠原 1986] は、知識獲得の初期段階に必要な漠然とした知識の整理作業を支援することを目的としている。このシステムは、ボトムアップな知識整理法であるKJ法 [川喜多 1967] に関係の階層という考え方を取り入れて実現されている。EPSILON/ONE [滝 1990] は専門家の問題解決過程をプリ・ポスト法という形で整理して利用者とのインタビューをサポートするツールである。

ただし、現在発表されている知識獲得支援ツールのほとんどは、研究段階にあり、商品にはなっていない。また、エキスパートシステム開発の対象分野としては、分析型問題、それも、特に、単純な分類型の診断問題を対象としている。設計・計画などの合成型問題に適用可能な知識獲得支援ツールについては、現在のところ、必要な機能や方法論が明確になっていない。

今後は、第3世代ツールと知識獲得支援ツールが一体化する方向で発展が続くと考えられるが、そのための課題としては以下の点が上げられよう。

①組込型ツール：

実行性能の向上と従来型システムへの組み込みの容易さ。

②領域特化型ツール：

対象分野における、常識的かつ多量な知識の収集と使いやすいインタフェースの確立。

③タスク指向型ツール：

タスク (generic task) と問題解決機能の同定。

④簡易型ツール：

機能の単純化と、専門家自らの利用を可能にするインタフェースの充実。

⑤知識獲得支援ツール：

現実の知識システム開発への適用と対象問題の拡大。

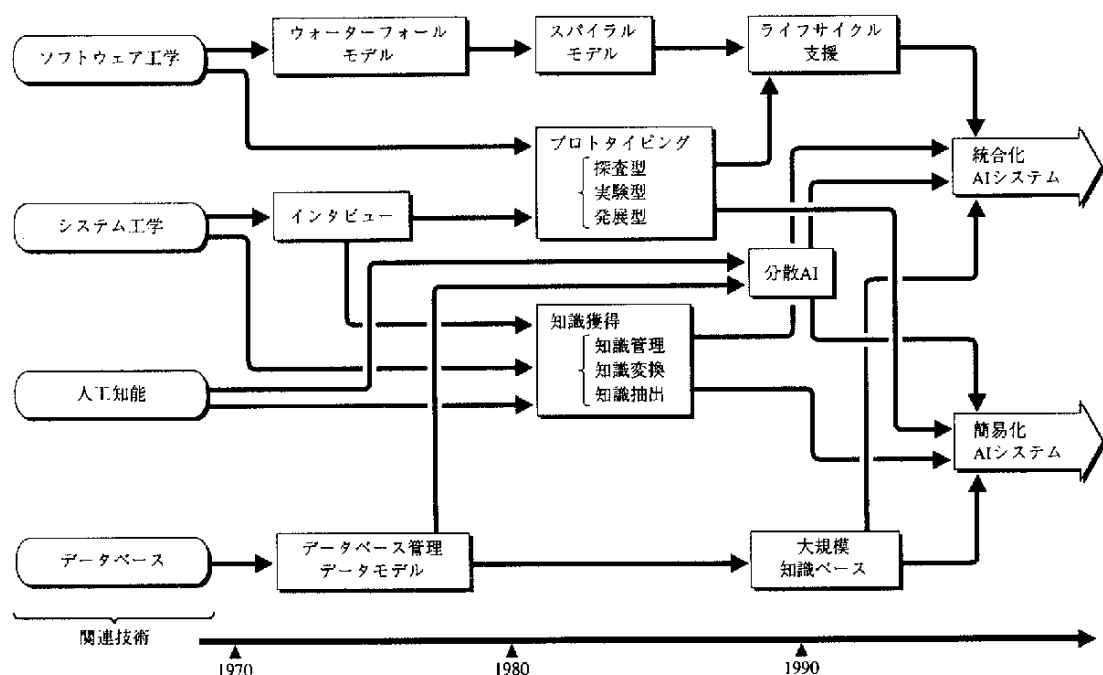
4.4 開発方法論の発展

AIシステムの開発方法論の発展は、AIツールの進歩と表裏一体の関係にあるが、それをまとめると、図表Ⅲ-1-12のようになる。ここで見られる大きなトレンドは4.1でも述べたような、統合化AIシステムの方向と簡易化AIシステムの2つである。統合化AIシステムは、例えば、全社的な戦略的知識システムを目指すものであり、この開発には、従来型システムの開発、既存コンピュータ利用技術、さらには、意思決定支援システムに対する知識・経験を持つ知識技術者、もしくは、情報管理部門の存在が不可欠である。それに対し、簡易化AIシステムは、高度な個別システムを効率的に開発する技術を提供する方向であり、知識技術者なしで専門家と利用者のみでシステム開発を可能とすることを目指す。そこでは、簡易ツールや汎用知識ベース、高度インタフェースなどが重要な課題となる。

これらの開発方法論の発展に関連する技術としては、ソフトウェア工学、システム工学、人工知能理論、データベース技術があげられる。

ソフトウェア工学では、基本的な開発方法論として、まずウォーターフォールモデルが提案され、その後、徐々に発展的な開発を進めていく手法としてスパイラルモデルが提案された。この方法は、いわゆるプロトタイプング手法と関連性が深く、AIシステムのライフサイクル支援の考え方につながっていく [Birrel 1985]。そして、

図表III-1-12 開発方法論の発展



これが、統合化AIシステム実現のための開発方法論の重要な柱となろう。

AIシステムのプロトタイピングは、従来型ソフトウェアの開発と比較すると、特に、①問題解決に必要な情報（知識）とそれに必要なアルゴリズムの性質が開発初期には明確になっていない点、②システムが成功をおさめるほど、継続的な保守・拡張の作業が不可欠となる可能性が強い点の2つが特徴的である。そこで、最近、プロトタイプを探索型、実験型、発展型の3つに分けて考察することが多い〔寺野 1988〕。この3つは、研究フェーズ、試行フェーズ、実用システム開発フェーズの3つに対応するプロトタイピングの概念である。探索型プロトタイピングとは、特に、研究的な要素が強いシステム開発において、要求仕様が定まるまでの試行的なプロトタイピングを指す。実験型プロトタイピングとは、システム実現上、技術的に核になる知識・推論機能などの性能を確認するために作成される実験的なプロトタイピン

グで、必ずしも実用システムにつなげる必要はない作業を指す。それに対し、発展型プロトタイピングでは、実用システム開発を前提にシステムの要求仕様を厳密に定め、徐々にシステム機能を充実させながら開発を進めていく作業を指す。

システム工学は、これまで、人間の問題解決作業を支援する、あるいは、合理化するための技術を提供してきた〔寺野 1985〕。その成果は、インタビュー技術をはじめとして、AIシステムの開発時のボトルネックである知識獲得作業を支援するために利用される。そして、さらにプロトタイピング方法論・知識獲得支援を経由して、AIシステムの2つのトレンドに関連を持つ。

特に、前節で述べたように、知識獲得支援の3つの側面－知識管理、知識変換、知識抽出－において使われるツールでもシステム工学的なアプローチを行なっているものも多い〔ICOT-JIPDEC 1989〕。その中でも、特に、システム開発初期に、専門家でも自覚していないような知識を抽出す

る作業において、システム工学の果たす役割が大きい。

分散人工知能の概念は、個々の比較的小さなAIシステムを互いに協調させることによって、単独のシステムでは解決の難しい問題を解いたり、問題解決効率の向上を図ったりすることを目標とする。新しいアルゴリズムの開発という点からは人工知能理論からの、新しいアーキテクチャ、モデル化技法の開発という点からはデータベース技術からの影響を受ける。

人工知能理論は、当然ながら、AIシステム開発方法論の要となる [JIPDEC AI 1989]、[Guida 1989]。システム化技術という面からは特に知識獲得支援と分散人工知能の研究開発において、人工知能理論の役割は大きい。

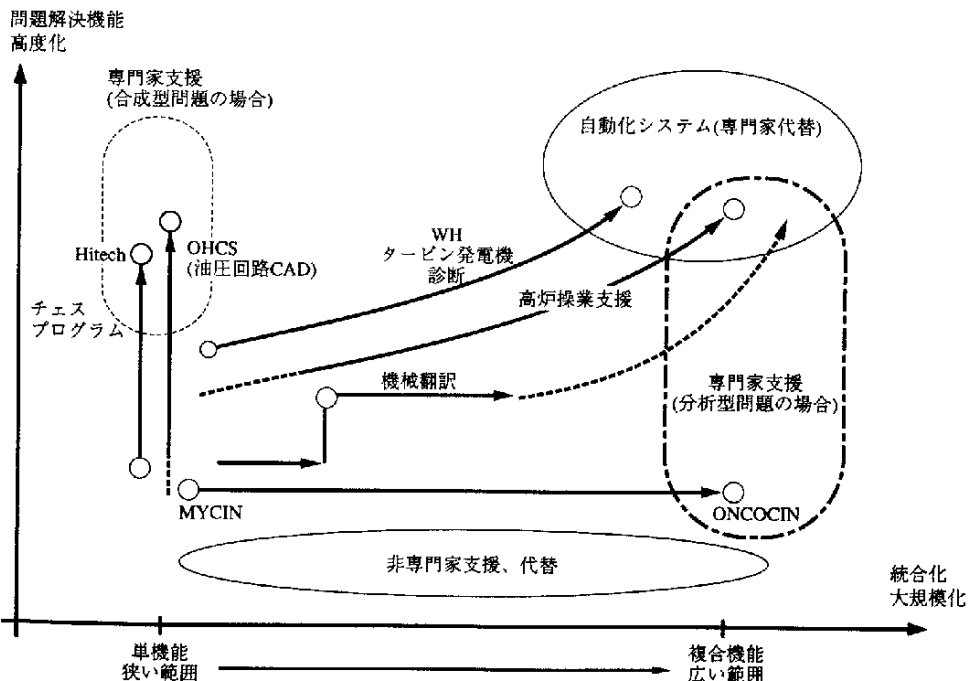
データベース技術は、データベース管理技術やデータモデルなどを通じて、分散人工知能に関連する。また、最近、注目を集めている大規模知識ベース開発においても、基本的な部分で、

データベース技術の役割は大きいといえよう。

4.5 システム統合化・高機能化の動向

前節で述べた、統合化AIシステムと簡易化AIシステムという2つのトレンドを、統合化・大規模化と問題解決機能の高度化という2つの軸で整理して、具体的なAIシステムの動向を取りまとめたのが図表Ⅲ-1-13である。全体的な傾向としては、これまでのエキスパートシステムは、狭い範囲の問題を扱い、記述された経験的知識の利点を生かして単純な推論機能を使って問題解決を行ってきたといえる。これは、図の左下の部分である。このような性質を持つAIシステムに、コンピュータのハードウェア構成作業を支援するRI/XCON [Barker 1989]がある。それに対して、システムの能力と範囲が次第に拡張して、上、右、ならびに右上の方向に発展しつつあるのが現在の状況である。また、図中、領域で囲った部分はその範囲のシステムがどのような目的で使われるか

図表Ⅲ-1-13 問題解決機能高度化の方向と統合化・大規模化の方向



を表し、矢印で示した曲線は個々のAIシステムの発展の経過を表している。以下では、それぞれについて具体的に述べる。

まず、AIシステムといえどもソフトウェアである以上、利用者の特定のタスクを代替・支援するための機能を持たなくてはならない。利用者を専門家／非専門家に分けると、AIシステムの役割は、専門家／非専門家の作業を代替・支援することになる。

非専門家の支援・代替を目的とするAIシステムは、場合によっては、多くの問題を扱う必要があるという意味で、非常に幅の広いものでなければならない。ただし、専門家の（経験的）知識が十分に蓄えられていて、かつ使い勝手のよいものであれば、分類問題などで用いる単純な推論機構のみで、一応の解を出すことが可能である。したがって、このような種類のAIシステムは、図中の下の部分、左から右の範囲にかけて存在する。この例としては、機械翻訳システムがあげられよう。実用に供することを目的とした機械翻訳システムは、通常、単純な推論機能を備え、翻訳辞書と文法とに含まれる知識の数を増やして充実させることによって性能を維持している。機械翻訳システムは将来的には図中右上の方向に進むべきものであるが、現在の状況では、このような位置づけとなる。

専門家のタスクを支援するAIシステムの目的は、合成型問題の場合と分析型問題の場合で2つに分かれる。

設計・計画などの合成型問題では、特定問題における専門家の一連のタスクのうち一部の作業だけでも支援できれば実用化は可能である。しかし、この種の問題は、本質的に組み合わせの爆発を起こすため、実用システム化するには高度な問題解決機能が備わっていなければならない。したがって、このようなAIシステムは、図中、左上の領域に存在することとなる。この典型的な例は、人工知能

研究初期から研究が続けられているゲームプログラムに見られる。例えば、チェスプログラムは特定の問題を解くものであるが、最近のHitechのようなシステムを見ると、非常に高度かつ高速なゲーム木探索機能を備えている。また、油圧回路設計システムOHCS [Schorr 1989]、[JIPDEC AI1989] も、特定のタスクを扱うのに定性推論、ATMSなど高度な問題解決機能を利用したという点で典型的と考えられる。

一方、解釈・診断などの問題で専門家のタスクを支援する場合には、対象となるタスクの範囲をすべてカバーしなければならない。例えば、エンジニアリング分野のシステムを対象とする診断問題では、異常の原因は原則的には設計段階で取り除かれているのが通常の姿であり、実際に生じた故障の原因は、経験的知識では予想もつかなかった事象によるものが多い。したがって、このようなAIシステムは、図中では、右側の領域に存在することとなる。このような典型例としては医療診断システムONCOCINがある。ONCOCINは、MYCINの流れをくむシステムであるが、大量のデータ・知識を利用することで、はじめて実用に供することができるシステムとなった。しかし、そこで使われている推論方法はMYCINのものと比較して格段の進歩があったわけではない。それに対して、対象範囲と問題解決機能の両方の充実が必要な例としては、現在、わが国の各鉄鋼会社で開発運用されている各種の高炉操業支援システムがある。このようなシステムでは、最初の小規模かつ狭い範囲のシステムが徐々に発展して、図中、右上に位置するものとなっている。

専門家のタスクを代替するAIシステムでは、当然ながら、広い範囲の問題を高度な問題解決機能を使って扱う必要がある。これは、図中、右上の領域に属する。この例としては、ウェスティングハウス社のタービン発電機診断用のオンラインシステム [Gonzalez 1986] や、一部の鉄鋼会社にお

ける高炉診断システム [湯井 1987] があげられる。これらのシステムは、ごく小規模なものから開発を開始し、問題解決機能を高度化し、適用範囲を徐々に拡大することで実用に至っている。

以上の具体例の性質をまとめると図表Ⅲ-1-14が得られる。

4.6 おわりに

本章では、AIシステム化技術の動向について論じた。システム化技術というものは、もともと、そのための要素技術の発展に少し遅れた形で整備されていく傾向が強い [Fox 1990]。したがって、AIシステム化技術の今後の発展を予想するには、現在の人工知能理論研究の中にその種を採すことも有用であろう。この点から考えると、今後、AIシステム化技術として重要となる課題として、ニューラル・コンピューティングやファジ理論などのように非記号的な情報を系統的にどのように扱っていくかという問題 [JIPDEC AI 1989]、事例ベース推論 [ICOT-JIPDEC 1989] やCYCプロジェクト [Lenat 1990] などのように

図表Ⅲ-1-14 実用的なAIシステム例の特徴

単純な機能・狭い範囲で成功した例： (ほとんどシステムがこれにあたる)	
GMAC：	財務分析支援
狭い範囲の問題を扱って高度システムを実現した例：	
Hitech：	チェスプログラム
OHCS：	油圧回路設計CAD
問題範囲を拡大しつつシステム高度化を実現した例：	
タービン発電機故障診断 高炉操業支援	
問題範囲を拡大して実現にいたった例：	
医療診断 (MYCIN→ONCOCIN) 機械翻訳	

大量の知識をシステム内外に保持するメモリー重視型の推論方法のシステム化の問題、CSCWやグループウェアの研究開発に見られるようなAIシステムと人間との協調の問題、さらには、AIシステムを社会的に認知させていくための評価の問題 [Winograd 1986] などが考えられる。

<参考文献>

[AI白書 1989] ICOT-JIPDEC AIセンター編：人工知能の技術と利用-AI白書-、日本情報処理開発協会、1989。

[AI1990] 人工知能学会 (編)：人工知能ハンドブック (2.3知識獲得支援ツール)、pp. 603-610, 1990。

[Barker 1989] Barker, V. E., O'corner, D.E. : Expert Systems for Configuration at Digital : XCON and Beyond. Comm. the ACM, Vol. 32, No. 3, pp. 298-318 (1989)。

[Birrel 1985] Birrel, N. D., Ould, M. A. : A Practical Handbook for Software Development, Cambridge University Press (1985)。

[Boose 1986] Boose, J. H. : Expertise Transfer for Expert System Design. Elsevier, 1986。

[Boose 1987] Boose, J. H., and Bradshaw, J. M. : Expertise Transfer and Complex Problems : Using AQUINAS as a Knowledge-Acquisition Workbench for Knowledge-Based Systems. Int. J. Man-Machine Studies, Vol. 26, No. 1, pp. 3-28, 1987。

[Brownston 1985] Brownston, L. S., Farrel, R. G., Kant, E., and Martin, N. : Programming Expert Systems in OPS5, Addison-Wesley, 1985。

[Chandrasekaran 1986] Chandrasekaran, B. : Generic Tasks in Knowledge-Based Reasoning : High-Level Building Blocks for Expert System Design. IEEE Expert, Vol. 1, No. 3, pp. 23-30 (Fall 1986)。

[Clayton 1985] Clayton, B. : "ART Programming Primer." Inference Corp., 1985。

- [Davis 1982] Davis, R., and Lenat, D. B. : Knowledge-Based Expert Systems in Artificial Intelligence. McGraw-Hill, 1982.
- [Erman 1980] Erman, L. D., et al. : The Hearsay-II Speech-Understanding System : Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty. Computing Surveys, Vol. 12, No. 2, pp. 213-253 (1980).
- [Eshelman 1986] Eshelman, L., and McDermott, J. : MOLE : A Knowledge Acquisition Tool That Uses its Head. Proc. AAAI'86, pp. 950-955 (1986).
- [Fikes 1985] Fikes, R., and Kehler, T. P. : The Role of Frame-Based Representation in Reasoning. Comm. ACM, Vol. 28, No. 9, pp. 904-920 (1985).
- [Forgy 1984] Forgy, C. L. : OPS83 Report. Technical Report CMU-CS-84-133, Dept. Computer Science, Carnegie-Mellon University, 1984.
- [Fox 1990] Fox, M., S. : AI and Expert System Myths, Legends, and Facts. IEEE Expert, Vol. 5, No. 1, pp. 8-20 (1990).
- [Ginsberg 1988] Ginsberg, A., Weiss, S. M., and Politakis, P. : Automatic Knowledge Base Refinement for Classification Systems. Artificial Intelligence, Vol. 35, No. 2, pp. 197-226, 1988.
- [Gonzalez 1986] Gonzalez, A. J., Osborne, R. L., Keaper, C. T., Lowenfeld, S. : On-Line Diagnosis of Turbine-Generators Using Artificial Intelligence. IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. EC-1, Vol. 2, pp. 68-74 (1986).
- [Guida 1989] Guida, G., Tasso, C. (eds.) : Topics in Expert System Design. North-Holland, 1989.
- [Hashemi 1989] Hashemi, S. : The Plant Expert System (PLEXSYS) Development Environment : System Description and User's Manual, Version 2. EPRI Report, NP 6410, 1989.
- [Holsapple 1986] Holsapple, C. W., & Whinston, A. B. : Manager's Guide to Expert Systems Using Guru, Dow Jones-Irwin, Homewood, 1986.
- [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), 1989.
- [川喜多 1967] 川喜多二郎 : "発想法" 中公新書, 中央公論社, 1967.
- [Kahn 1985] Kahn, G., Nowlan, S., McDermott, J. : MORE : An Intelligent Knowledge Acquisition Tool. Proc. 9th IJCAI, pp. 581-584 (1985).
- [Kelly 1955] Kelly, G. A. : A Theory of Personality : The Psychology of Personal Constructs, Norton, 1955.
- [Lenat 1990] Lenat, D. B., Guha, R. V. : Building Large Knowledge-Based Systems. Addison-Wesley, 1990.
- [Marcus 1987] Marcus, S. : Taking Backtracking with a Grain of SALT. Int. J. Man-Machine Studies, Vol. 26, No. 4, pp. 383-398, 1987.
- [Matthews 1988] Matthews, B., Lindenfelzer, P., Hawkinson, L., Moore, R. : Process Control with the G2 Real-Time Expert System. Proc. 1st In.Conf. on Industrial & Engineering Applications of AI & ES, pp. 492-497, 1988.
- [Musen 1986] Musen, M. A., Gagan, L. M., Combs, D. M., and Shortliffe, E. H. : Use of a Domain Model to Drive an Interactive Knowledge-Editing Tool, Int. J. Man-Machine Studies, Vol. 26, No. 1, pp. 105-121, 1987.
- [Musen 1989] Musen, M. A. : Automated Generation of Model-Based Knowledge-Acquisition Tools. Morgan Kaufmann Pub., 1989.
- [Nii 1979] Nii, H. P., Aiello, N. : AGE (Attempt to Generalize) : A Knowledge-Based Program for Building Knowledge-Based Programs. Proc. 6th IJCAI, pp. 645-655, 1979.
- [Popper 1986] Popper, J. and Kahn, G. : Knowledge Craft : An Environment for Rapid Prototyping of Expert Systems. Proc. SME Conf. on A. I. for the Automotive

Industry, 1986.

[Schorr 1989] Schorr, H., Rappaport, A., (eds.) :
Innovative Applications of Artificial Intelligence, AAAI
Press, 1989.

[Shortliffe 1976] Shortliffe, E. H. et al. : Computer-
Based Medical Consultations : MYCIN. Elsevier, 1976.

[Shortliffe 1981] Shortliffe, E. H. et al. :
ONCOSIN : An Expert System for Oncology Protocol
Management, Proc. 7th IJCAI, pp. 876-881, 1981.

[篠原 1986] 篠原靖志、寺野隆雄：関係の階層
化を利用した知識ベース構築支援システム。電子
通信学会技術研究報告（人工知能と知識処理研究
会資料）、AI86-32（1986年12月）。

[Stefik 1981a] Stefik, M. : Planning with Constraints
(MOLGEN Part1) Artificial Intelligence, Vol. 16, pp.
111-140 (1981).

[Stefik 1981b] Stefik, M. : Planning and Meta-
Planning (MOLGEN Part2) Artificial Intelligence ,
Vol. 16, pp. 141-170 (1981).

[寺野 1985] 寺野寿郎：システム工学入門、共
立出版、1985.

[寺野 1988] 寺野隆雄：知識システムの構築技
術。計測と制御、VOL. 27, No. 10, pp. 869-874
(1988).

[Winograd 1986] Winograd, T., Flores, F. :
Understanding Computers and Cognition, Addison-
Wesley, 1986.

[Wright 1983] Wright, J. M., Fox, M. S. : SRL
Schema Representation Language. Tech. Rep., Robotics
Institute, Carnegie-Mellon Univ., 1983.

[湯井 1987] 湯井勝彦、森谷正晴：鉄鋼業にお
けるエキスパートシステムの応用。電気学会論文
誌C, Vol.107, No. 2, pp. 115-120 (1987).

第2部 ハイライト技術—知的CAD—

第1章 設計活動の理論化と 自動化への道

急速に変化する市場の要求に対応して、付加価値の高い適切な商品を迅速に市場に提供していくことが、製造会社に強く求められている。製品の多様化、高機能化、カスタム化、迅速で柔軟な生産システムが、生産活動の新しいパラダイムとして認識されてきており、それに対応できるように設計や生産の活動を合理化、効率化することが製造企業の生き残りの道として追及されている。

従来の少品種大量生産のパラダイムのもとでは、長期間にわたる大量生産の過程で、製品やその製造プロセスの不具合を改善していけば良かったが、上記のような状況ではそのようなことは不可能になりつつある。そこで、強力な情報処理技術を利用して、実際の生産に入る前にできるだけ精細に製品の機能やその生産性を評価して、不具合を除去すると共に、迅速なプロトタイプ製作により評価を確実にしていく技術の確立が望まれる。

非常に少量生産の場合には、プロトタイプ製作をもって実生産に代えることもありうるが、通常は生産工程や対応する生産設備の設計や整備が必要となり、これらの作業を製品設計と並行させて効率良く進行させることが、新しい生産システムの重要な概念となってきている。いわゆる Simultaneous Engineeringあるいは Concurrent Engineeringである。

上記のような概念を現実のものとするためには、先進的な情報処理技術を導入して、コンピュータ内に対象製品やその製造プロセスのモデルを構

築し、さらには、従来は技術者や技能者のノウハウとされてきたような技術作業のコンピュータ化を図っていくことが望まれている。これらの生産に関する技術をコンピュータ上の客観化された知識として集積、継承、利用していける技術を確立することにより、技術の発展がより促進される。

従来のいわゆるCAD/CAMシステム*は、上記のような要求には十分に 대응することができず、新しい技術の発展が望まれていた。革新の方向としては、設計生産作業そのものの確実な理解なくしては良い設計生産支援システムや自動化システムはできないとの立場に立ち、設計や生産作業の理論化に取り組むことがある。一方、そのような基礎に立ちながら、実際の情報システムの構築技術を強化しようとすることも重要である。そのような立場から、近年人工知能(AI)技術の導入が注目を集め、AI-CAD、Intelligent CADあるいは知的CADなどの名のもとに多くの研究がなされてきた。

技術知識のコンピュータ化をベースとしたCADシステムは、目的システムとしての意義のみでなく、目的システム構築のための支援ツールとしての意義が大きい。生産システムを構成する基礎技術は日進月歩であり、生産システムを取り巻く社会的、経済的そして技術的状况も急速に変化していく。このような情勢の中で、製品やその生産形態とは独立に、生産システムの目指すべき一般的な理想像を描くことは実際的に有効ではないし、またほとんど不可能でもある。むしろ、中核的な生産技術の同定とその研究開発に努め、個別の先端的生産システムの開発を効率化するとい

*CAD/CAM=Computer Aided Design and Manufacturing

うアプローチが現実的であろう。このような立場でのAI技術の導入は有効である。

以下、本章ではCAD技術の現状とその革新の方向としての人工知能技術の導入意義について検討する。第2章では、設計システムの具体化に有用なAIの要素技術を解説する。第3章では、今までに開発された種々の設計エキスパートシステムの事例を分析し、第4章の具体例と併せ、現状の技術レベルを認識する。第5章においては、特に重要な技術要素である設計対象物の表現と処理について考察する。第6章は、まとめであり、今後の発展方向を概観する。

1.1 設計活動の特徴

設計作業は、一般的に解析的 (Analytic) でなく、総合的 (Synthetic) であると言われている。近代科学は、対象世界の支配理論を解き明かして行くという、解析的な手法に基礎を置いており、体系的な手法が分野ごとに詳細に展開されている。工学は、既存の世界を解析する科学と異なり、人間の欲求に応じた新しい物を創造することが目的である。このような目的指向の創造的な方法論は、いわゆる科学的方法と馴染まず、科学的な意味での体系的な設計理論は存在していない。

もちろん、設計の場面により解析の手法による総合という方法がとられることも多いが、解析と総合の相違は表層的なものではなく、かなり根源的なものである、というのが一般の認識である。

したがって、現在までのところ、設計技術の本質的な部分は設計者から設計者へと、技芸が伝承されるように、伝承されてきたのが実態であり、個人の能力に大きく依存していた。その結果として、機械、電機、電子、化学、材料、建築、土木など、工業分野により、固有の伝統があり、必要以上に設計技術が異なっているのが現状である。

現状のCADシステムは、上記のような現状技術の上に作られており、基本的には同じような処理

が必要であっても、表面的にかなり異なる形式でシステム化されていることが多く、基本技術の蓄積や技術の共有化が困難であった。その結果、技術の重複投資が多くなり、システムの統合が困難になった。

この現状を改善するためには、まず第一に設計作業のより良い理解が必要となる。設計と一口に言っても、自動車の外形形状の意匠設計やLSIの配置設計などにみられるように、個々の設計には固有の問題点があり、分野や対象依存の明確な設計手法が開発されているものもある。また、製品企画、概念設計、基本設計、詳細設計、生産設計などの段階ごとに異なる設計活動が要求される。あるものは人間の創造力に強く依存していて方法の体系化が不可能であり、またほとんど解析的であって、通常の問題解決に類するものもある。一方、データベースや形状処理、ヒューマンインタフェースなどには、分野共通の基礎技術も多い。以下では、実用CADの現状を分析しながら、分野の固有性を認識しつつ、共通技術の抽出に努める。

1.2 実用的CADの開発

今まで述べてきたように、本来CADの開発に際し、対象となる設計プロセスの十分な理解が先行すべきであるが、実際はそうではなかった。分野ごとに本来設計作業はどうあるべきか、どのような部分を如何にして支援し、自動化すれば、設計者に有用な道具となるか、という点について明確に議論することなく、できる所からアドホックにコンピュータが導入されてきた、というのが実態であると思われる。

その結果、個別分野ごとに極めてボトムアップ的な手法で、特定システムが作られてきた。これらのシステムは本来の設計作業を直接的に支援しないという意味において、CAD (Computer Aided Design) の名に値しないものであり、製図システム (Computer Aided Drafting System) や各種の設

計計算システムなどがある。これらはそれなりに効果をあげたが、製作対象製品の情報を確定し、製造情報を創生する、というCADが本来持つべき機能をほとんど持っていなかった。

しかし、これらの実用システムの開発を通じて、共通に必要とされる支援ツールのいくつかが明確に意識されるようになり、それらが個別に開発されるようになってきた。ワイアフレームや、曲面、立体などの形状モデリングシステム、種々の技術情報をもきちんとモデル化しようとするプロダクトモデリングなどである。

設計や生産準備のプロセス自身を問題とすることは依然として難しく、現状の技術では個別の対応に終始しているが、結果として生成されたモデルの記述については、対象指向方式や論理プログラミング、制約解法や数式処理などの導入により、強力な表現方式が確立されつつある。モデル表現のみでは、所詮支援システムの段階に止まっているが、以前の専用プログラムに組み込まれた対象表現では不可能であった対象の中立的な表現が可能となり、CADデータベースなどの構築においても一般性を確保できるようになった。

一般機械製品のように、製品そのものの表現や機能記述、その設計活動や生産展開への手法などが理論化されにくく、専門家のノウハウに強く依存しているような場合には、上述のようなモデリング支援ツールを活用して、人中心のインタラクティブなシステムを構成することになる。自動車のように、対象製品固有の設計手法が知られている場合には、それを手続型言語で書き下すことにより、機能の高い専用システムを構築することができる。対象表現こそ共通化されているものの、設計システムのプログラムは膨大で複雑となり、それを維持し、技術環境の変化により発展させていくことは困難な仕事となる。

一方、設計手法が理論化されているものについては、理論モデルに基づいて人を排除した自動化

システムが構成されることになる。

現状技術での先進システムとしては、自動車産業などにその典型例をみることができる。高度な技術支援が可能となっている半面、設計方法などが専用化されており、汎用性に欠けるきらいがある。現在ではAI的要素はほとんど取り入れられていないが、技術的ノウハウを要し、専門家が得難くなっているような分野から、エキスパートシステムの導入などが試みられている。

いずれにしても、製品技術の高度化に伴い、設計プロセスのコンピュータ上での実装はますます複雑でアドホックとなり、先の発展が見にくくなってきた。これらの反省に立って、以下に述べるような新しい方向が模索されるようになってきた。

1.3 設計活動の理論化

前述してきたような困難さを回避するためには、基本的には設計活動そのものに対する深い理解とその理論化が必要となる。これは困難な課題ではあるが、過去に多くの試みがある。しかし、依然としてCADシステムを構築する際の具体的なガイドラインとなっていないのが現状である。

設計論ないしは設計学としては、コンピュータの導入以前から試みられていた分類学的なアプローチがある。技術が安定したものを中心として機械設計を標準化して、実務的に有用な設計パラメータにより体系的なカタログを構成しようとする。カタログの中身は、機能要素であったり、部品であったりする。このアプローチはある程度の成功を収めたが、カタログの記述が表層的であるので、技術や環境条件の変更に応じて、カタログを適切に保守維持していくことが困難であり、新しい機械の構成に対応することができない、などの基本的な欠点があり、専用の実用システム以外には有効に应用することが困難であった。

現在では、設計過程をトップダウン的にモデル化しようとするアプローチと、ボトムアップ的に

設計対象物やその製造環境をモデル化しようとするアプローチとがある。

前者の例として、次節に述べられているように、吉川は設計を4種の類型に分類して、その各々を形式化しようと試みた。吉川の設計学は、いわば言語における言語学のようなもので、実用会話においては言語学は役に立たないが、翻訳システムの開発にあたっては不可欠の理論であるように、設計を実務的に解明し支援しようとするよりも、CADシステムの理論的基礎を与えようとするものであった。極めて抽象的な理論であるが、AIの諸技術を導入することにより、具体化のための研究が始まっている。このような研究を通じて、設計問題がAIの目指す中心的課題に対して良い作業世界を提供することが認識されつつある。

一方、極めて実務的なアプローチとして、人間の設計過程の解明は二の次として、設計対象物やその製造環境の物理的制約条件を満たすモデルを完全に構成しようとするアプローチがある。例えば、形状モデルについては長い研究の歴史があり、実用的なシステムも多く世に現れてきている。しかし、形状というように対象属性を限定しても問題は極めて難しく、未だに粘土や木をいじるようにして自由に形状を創成できるようには至っていないのが現状である。最近話題を集めている幾何推論といわれるような、空間での諸性質を導出できるような体系の開発など、従来の形状モデリングを超えた柔軟な形状生成処理方式が必要とされている。

現実の世界に存在する物理対象をモデル化するためには、形状のみでなく、多くの基礎的な物理現象をモデル化し、さらにその上に工学的な技術知識を体系的に表現し処理していける必要がある。AIの基礎的な話題として追及されている定性物理などが有用であるかもしれない。このようなモデリングを総称的にプロダクトモデリングと呼ぶことも多い。

上述のような工学の基礎概念を現実に計算機的に表現し操作していくことは容易ではないが、そのような仮想の世界を用意して、人間の設計行為を適切な設計言語などで書き下し、蓄積していくことにより、設計知識を客観化していこう、というのが実際のアプローチである。

人間の設計行為は、いずれにしても極めて複雑な知的作業であり、その体系的理解のためには、通常の工学のみならず、基礎的な数理学、心理学、言語学など関連の学問的成果を十分に利用する必要がある、さらにそれらを計算機上に実現する技術としてAIが期待されているのである。

1.4 CAD実装手段としてのAI

上記のようにCAD/CAMの機能が高度化し、システムが複雑になってくると、アドホックな手法では実現が困難になり、将来の発展を阻害するようになってきた。正統的な大規模ソフトウェアの開発手法を適用することも有効であるが、設計問題のように良く体系化、整理がされていない複雑な処理を扱うには必ずしも適切な方法ではない。

そのような問題に対して、狭い意味での知識工学的手法に基づいて、ルールベースのエキスパートシステムを利用した事例は数多く知られており、それがいわゆる知的CADのように言われたこともあった。しかし、現在ではこの方法の効用も限界が良く知られており、もっと本格的にAI技術を導入することにより、画期的にシステム開発の効率化を図ろうとする機運が盛り上がってきた。その期待にもかかわらず、現在までのところ実際的な効果が十分に上がっているとはいえ、一種の反省期にあるともいえる。

さて、高機能CADといってもいろいろな側面が考えられるが、以下のような基本機能が重要であろう。

(1) 設計対象物の記述：

対象定義のみでなく、対象の各種属性、環境での振舞いのシミュレーション、対象定義に至るまでの経過や決定過程などの情報も表せる必要がある。

(2) 設計過程（シナリオ）の記述：

設計過程は試行錯誤を含む複雑な過程である。これを一般的な問題解決手法に委ねることは困難であり、個別に解決のシナリオを記述していく必要がある。

(3) 設計知識データベース：

設計のためには膨大な数理的、技術的基礎知識を必要とする。また、標準部品や技術データ、過去の設計例など、雑多なデータも必要である。

(4) ユーザインタフェース：

設計システムは典型的な専門家システムであり、一般ユーザに対するインタフェースとはかなり異なったインタフェースが必要になる。ユーザに対するカスタマイズなどが一例である。

上記のような要求機能を実現するためには伝統的な情報処理技術だけでは不足であり、AI技術の導入が期待されている。その基本は、知識の扱いとそれに支えられた高度な数理的問題解決法にあり、AI研究にとっても挑戦的課題を提供している。

以上のような基本機能に基づく知的CADシ

ステムの機能構成を図表Ⅲ-2-1に示す。図のようなシステムをひな型として、個別の要求に合致するようなシステムを生成していけるような方法論の確立が望まれている。

1.5 知的CADの要素技術

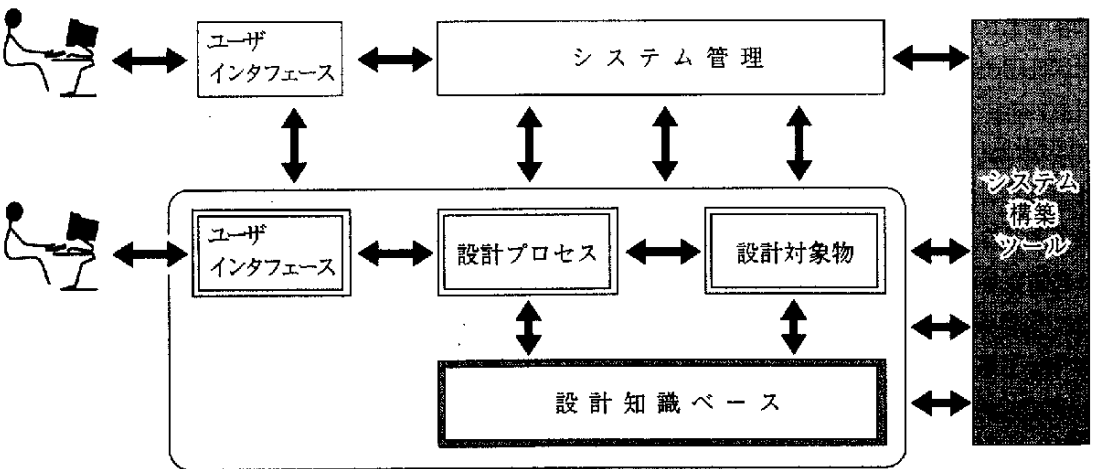
図表Ⅲ-2-2に知的CAD要素技術を中心として、関連するAI技術、その他の基礎的学術の関連を大まかに示す。

知的CADのためには、すでに述べたように設計生産に関する基礎的理論の構築が先行するべきであるが、未だに十分確立していない。このような一般論と共に、知的CAD構築のために対象分野別の固有の工学が有効に利用されるのはいうまでもない。電気回路などのシンセシス法がある程度確立している分野では自動化のレベルの高いCADが構築できる。

知的CADといえども、従来のCADと独立して存在するわけではなく、それらを補完し、統合して使用されるので、情報処理一般の基礎技術はもちろん重要である。

AI技術とCAD技術は、創造的な思考や知識の解明といった極めて基礎的なレベルから、具体的

図表Ⅲ-2-1 知的CADの機能構成



なシステム構築ツールに至るまで、広い範囲で係わりを持っている。歴史的には、実際的に効用のある技術としてAIが期待され、導入されたが、次第に限界が明らかになると共に、基礎的な技術に重点が移っていった、といえるであろう。現在では、技術は相互に影響し合っており、設計問題が興味あるAIの課題を提供しつつある。

第2章 設計システムとAI技術

従来のCAD開発は、設計活動の個別分野ごとにボトムアップに進められてきた。このようなアドホックな対応では、設計活動を総合的に支援するには、さまざまな困難があることが明らかになってきた。知的CADは、これらの困難を解決するコンピュータシステムとして期待され

ている。

このようなコンピュータシステムの実現には多くのアプローチが考えられる。つまり、設計活動における人間とコンピュータの分担を明確にしコンピュータに設計活動の補完をさせる方法、従来の設計活動全般をコンピュータによって代替させる方法、設計活動そのものをコンピュータ向きに変化させる方法、などである。いずれにしても、現状の設計活動に対する理解が不可欠である。

ここでは、まず現在の設計活動の形態について考える。しかる後に設計活動のコンピュータ支援にあたって、AI技術がいかに利用できるかについて概説する。

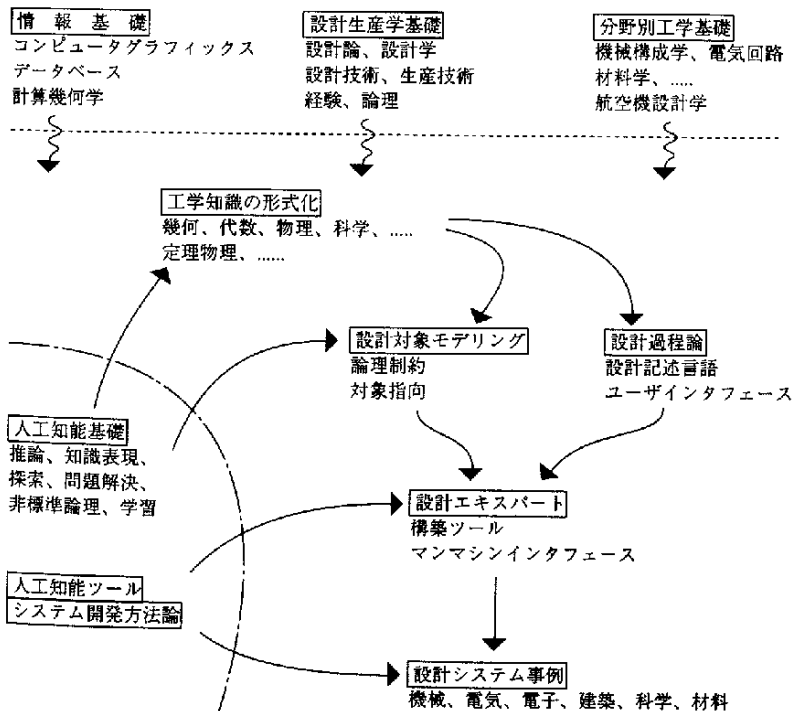
2.1 設計活動の形態

設計活動を大きくとらえると、要求仕様が与えられ、これを満たす解を求める行為と見なすこ

とができる。このとき、設計は問題を詳細化しながら、試行錯誤を繰り返しつつ、逐次進められていく。つまり、問題の詳細化を進めた結果、ある段階で解決不能な状態に陥った場合は、前段に戻って問題を再詳細化する。一般的な設計の過程を図表Ⅲ-2-3に示す。

まず、設計対象に関するさまざまな要求をまとめた設計仕様が提示される。概念設計では、設計仕様を充足するための設計コンセプトを明確にする。基本設計は、概念設計をもとに、要求機能を実現する概略の構造を決

図表Ⅲ-2-2 知的CADと関連技術



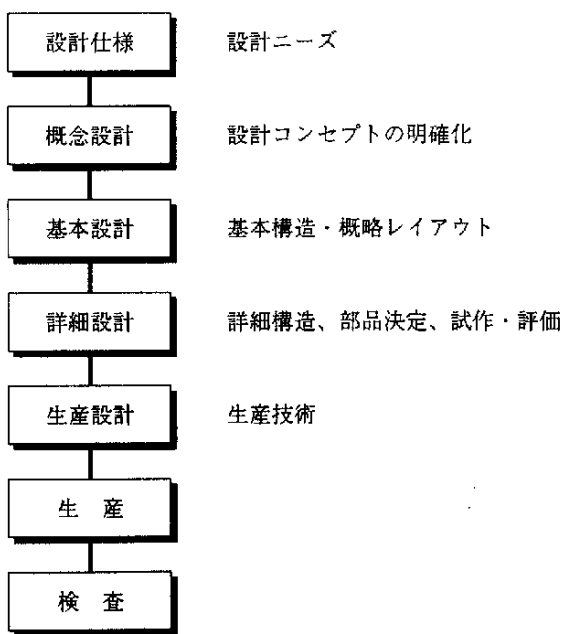
定する。基本設計では、機能計算によって機能の実現性を評価する。ここで解決できない不都合が生じた場合には、概念設計をやり直すことになる。基本設計で定められた概略構造の詳細化や部品の決定を行なうのが、詳細設計である。この段階では、設計対象は具体化し、試作やシミュレーションによる評価・修正が繰り返される。詳細設計を経て設計対象が決定されると、対象を実際に生産するための生産設計が行なわれる。生産設計の結果として得られた加工情報をもとに対象は製造される。製造後、製品は検査され、検査結果は設計にフィードバックされ、新たな設計の検討材料となる。

図表Ⅲ－2－4、図表Ⅲ－2－5、図表Ⅲ－2－6は、それぞれ機械、LSI、建築の各分野ごとの設計の流れを示したものである。設計対象に応じて内容に細かな相違はあるが、設計仕様をもとに、設計問題を詳細化し、情報をフィードバックしながら設計解を得るという流れは共通している。

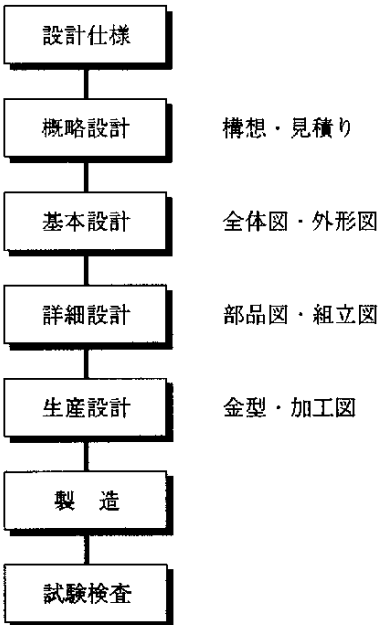
このような設計活動形態の性質から、知的CAD実現のキーテクノロジーとして、AI技術が以下の点で注目されている。

- ①問題解決
要求仕様から解を得る過程は問題解決そのものであり、問題解決に関するAI技術の利用が図られている。
- ②知識表現
設計にあたってはさまざまな知識が利用される。また設計問題の詳細化の程度に応じて、同一の設計対象を多角的に取り扱う必要がある。多様な知識の統合的管理にAI技術の知識表現の利用が考えられる。
- ③知識獲得
設計初期の概念設計では、非常に抽象度が高く、不定形な知識が扱われる。このような知識の獲得に、学習理論やファジィ理論の利用が考えられる。
- ④システム開発

図表Ⅲ－2－3 一般の設計過程



図表Ⅲ－2－4 設計過程（機械設計）



AI研究の過程からプログラム言語や開発環境などの副次的な成果が多数あがっている。これらは知的CADの開発に有効なツールになると思われる。

⑤ユーザ・インタフェース

AI技術の応用として、ユーザ・インタフェースの研究が盛んである。人間とコンピュータの高度な協調性を要する知的CADにおいてユーザ・インタフェースは避けて通れない問題である。

2.2 問題解決（探索・推論）

設計に関する研究は、従来個別に進められてきており、設計一般を対象とした研究は比較的最近になって始められた。そのなかで吉川の一般設計学は大きなインパクトを与えた。一般設計学は、設計過程一般の理論化を目的とし、設計を「機能空間から属性空間への写像」として位置づけた。さらに設計のモデルとして次のものを提示した。

●対応型：機能表現と属性表現が与えられている

もの。

①全数対応モデル

機能空間／属性空間がともに有限集合であり、設計仕様と設計解に有限の対応関係が存在するもの。検索問題に帰着する。

②計算モデル

設計仕様と設計解を数値的に扱え、機能を属性の関数として表現できるもの。連立方程式（不等式）の問題に帰着する。

③生成モデル

機能表現に生成規則を適用し、何段階かの中間表現を介して属性表現を得るもの。

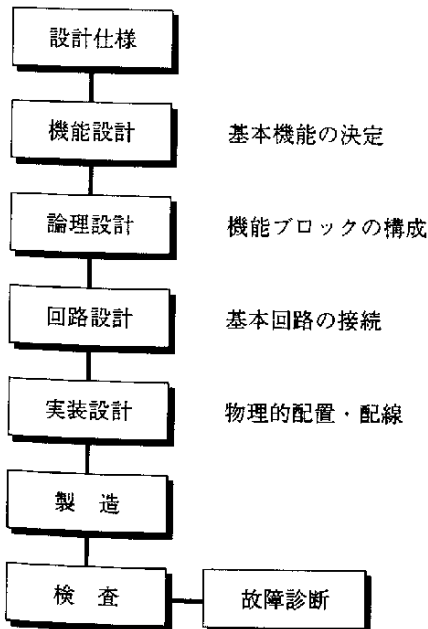
●収束型：実体概念の集合上に、解に収束する有効点列を与えるもの。

④範例モデル

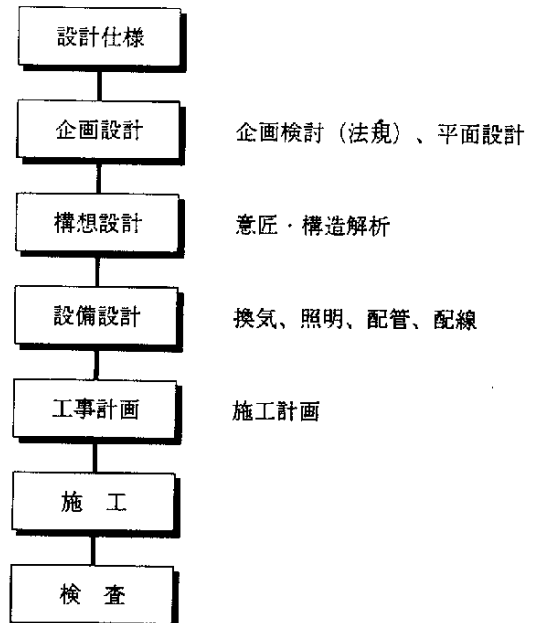
仕様の一部を満たす範例を提案し、満足されない部分を解消すべく範例を変更するもの。提案／変更が繰り返される。

対応型の設計特に全数対応モデルと計算モデル

図表Ⅲ—2—5 設計過程（LSI設計）



図表Ⅲ—2—6 設計過程（建築設計）



は、比較的容易にコンピュータ化できることは明らかである。生成モデルに関しては、設計知識を「if前提then結論」形式のルールとして表現する手法が対応する。これに対して収束型の設計を従来の手続き型のコンピュータ技術によってコンピュータ化することは非常に難しい。この収束型の設計にAI技術が適用できるのではないかと考えられている。

設計活動の性質については前節で概説したが、問題解決という観点から見ると、次のような特徴を備えている。

- 探索：設計解は非常に多くの設計解候補から選ばれるもので、設計解自体が多様な可能性の中の1つにすぎない。つまり、要求機能を満たすための属性空間における探索と位置づけることができる。以下に掲げる各項目はすべて広義の探索問題と見なせるが、適用可能なAI技術との対応から細分化したものである。
- 問題の分解：設計過程では、概念設計、機能設計、詳細設計、生産設計、というように問題を副問題に分解し、ここの副問題を解決していくことで最終的な設計解を得る。これは一般に問題解決におけるグローバルな戦略として位置づけられる。
- 演繹推論：設計仕様をもとに設計知識を用いて設計解を得る。この設計過程の実現形式として述語論理は非常に相性がよい。つまり、設計仕様や設計知識を述語として表現し、公理系から定理証明を行なう形式的手法を利用するというものである。演繹推論の手法としては、自然演繹（natural deduction）や融合原理（resolution principle）が知られている。
- 非単調論理：設計の初期の段階では、設計対象に対する知識は不完全であり、設計の進行とともに変更、修正、詳細化が行われる。一階述語論理の枠組では、このような不完全な知識（公理）をもとに推論を行なうことはできない。つ

まり、公理系が固定されていることが前提となっている。公理系の変化を許容する論理体系は、一般に非単調論理（non-monotonic logic）と呼ばれ、デフォルト論理（default logic）や極小限定（circumscription）などがあげられる。

- 制約充足：設計に対する要求は、ある範囲で満たせば充分なものであり、事象というよりは制約条件と考える方が望ましい。つまり、複数の制約条件を充足する解を求めるという制約充足の問題といえる。制約充足のAI技術としては述語論理を拡張した制約論理プログラミング（constraint logic programming）やATMS（Assumption-based Truth Maintenance System）などが知られている。
- 曖昧性：設計仕様や概念設計においては、設計情報に曖昧性が含まれる。この曖昧さは確率的に表現されることが多い。例えば、A、B、Cすべてが満たされれば充足度100%であるが、Aだけならば70%の充足度であり、Aが満たされなくともBとCが満たされれば充足度は80%である、という具合である。論理においては、真偽を二値に限定せず、確率的に拡張したものとして、確率論理やファジィ（fuzzy）理論などがある。

2.3 知識表現Ⅰ－設計知識

前節では設計活動を問題解決の活動として位置づけたが、この問題解決にあたってはさまざまな知識が利用される。つまり、知識表現は問題解決と密接に結びついている。設計に関する知識は大きく3つに分類しうる。[長澤87]

①設計対象知識

設計対象に関する知識であり、設計案の解析や評価に用いられる。設計対象に関する数学公式や、機能と構造の関係、性能や評価に関する知識などである。

②設計操作知識

設計対象に対する操作の知識であり、設計案の詳細化や修正に用いられる。設計案のカatalogや修正に関する規則などがある。

③設計制御知識

設計過程全体の制御に関する知識であり、設計問題の分割に用いられる。設計者の経験的知識、設計対象知識や設計操作知識を利用するためのメタ知識などからなる。

つまり、設計対象知識は設計案を評価するための知識、設計操作知識は設計仕様や評価から設計案を対応させるための知識、設計制御知識は設計活動全般を分割制御するための知識となる。これらの知識をコンピュータ上で利用するためには、各知識をコンピュータ向きに定式化し表現しなくてはならない。従来の手続的表現では困難だった定式化が、以下のAI知識表現技術によって可能になると考えられている。

●論理ベースの表現：論理を基礎とした知識表現の手法である。問題解決の手法として論理ベースの推論を利用するならば、知識表現も論理ベースのものとなろう。述語論理を基本として、これを拡張した様相論理(model logic)や時間論理(temporal logic)などの利用も考えられている。

●ルールによる表現：「if前提then結論」形式のルールとして知識を表現する手法である。設計仕様や評価をもとに、状態を部分的に変化させて、設計案を提示・修正するアプローチに適合する。吉川の生成モデルは設計操作知識がルール表現されたものと位置づけることができる。ルール型の知識を用いた推論方法は、プロダクションシステム(production system)と呼ばれる。

●モジュール表現：多量の知識を利用する場合には、知識を分類しておかなくてはならない。つまり、設計対象や設計過程の場面に応じて

知識を適切に選択するためには、知識の分類管理・モジュール化が必要である。特に知識をモジュール化し、各モジュールを単位として知識を階層的に管理する方法が有効である。知識をモジュール化するためのAI技術としてセマンティックネット(semantic network)やフレーム理論(frame theory)、オブジェクト指向の(object oriented)概念などがある。

2.4 知識表現Ⅱ—設計対象データベース

CADを用いた設計の結果得られるものは、設計対象(製品)の情報とその生産情報のコンピュータ内記述であり、これらをまとめて設計対象データと呼ぶ。つまり、CADを用いた設計活動とは、設計対象データの構築作業ということになる。設計活動全般のコンピュータ化を実現するためには、設計対象データを管理するデータベースは重要なポイントとなる。

設計活動の性質から考えると、設計対象データベースは次のような条件を満たさなくてはならない。

①統合性

設計活動の各段階で同一の設計対象を扱うのであるから、設計対象に関する情報を統合的に表現・管理できなくてはならない。設計の任意の段階で入力された情報は、内容が損なわれることなく以降の段階で利用できる必要がある。

②多様性

同一の設計対象であっても設計活動の段階ごとに異なった方法で表現される。例としてLSI設計を考えてみる。機能設計の段階では、「入力信号オンのときカウンタをインクリメント」というような機能動作で表現される。論理設計や回路設計の段階では、ブロック線図、論理ゲート網、回路図などの構造表現が用いられる。実装設計の段階では、半導体レ

アウトという物理的な表現となる。LSIに限らず同一の設計対象が設計の局面に応じて多様な表現形式を持たねばならない。

③整合性

異なる形式で表現された設計対象データ間の対応関係さらには一貫性の管理が必要である。任意の形式で表現されたデータが修正された場合には、その修正に伴って他の形式のデータも変更されなくてはならない。つまり、設計対象データの全表現形式が整合性を保持しなくてはならない。

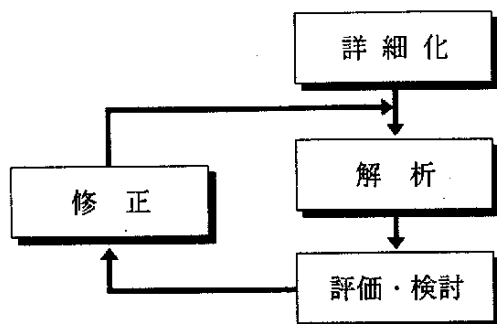
④動的管理

設計活動は、図表Ⅲ-2-7のように、詳細化、解析、評価・検証、修正を繰り返して進められる。つまり、設計対象データは非常に動的なものとなる。しかもその過程で不定型なデータや不完全なデータを扱わなくてはならない。前にあげた整合性の問題とも密接に関連する。

⑤階層性（構造化）

CADシステムの拡張に伴い設計対象データベースは大規模化し、データの多様性も増大する。設計者が設計対象を正確に把握するためには、設計対象データを適切に階層化・構造化しなくてはならない。また、設計対象知識や設計操作知識を有効に利用するためには、それら設計知識と設計対象データが有機的に結合される必要がある。

図表Ⅲ-2-7 設計ループ



上記の要求を満たす設計対象データベースの実現にも、AIの知識表現技術が利用できる。多様性や階層性を実現するためにはモジュール表現が、整合性や動的管理を実現するためには非単調論理をベースとした論理表現の利用が有効であろう。個々の技術についてはすでに述べたので、ここではこれ以上の説明を省略する。

2.5 知識獲得

設計に関する知識の分類については前に述べたが、これらの設計知識は一般に非常に抽象的であり、きちんとした体系化が難しい。実際のところ現場で設計に携わる設計者にとっても、設計知識を明確に表現することは容易でない。このため、熟練設計者の設計知識を初心者や設計者にいかに継承するかという問題は古くより難問とされてきた。

AIの知識表現や知識獲得・学習は、設計知識獲得の有効なツールとなるのではないかと期待されている。知識獲得の技術は知識表現と密接に関連しながら発展してきている。ここでは、知識獲得の観点から、知識表現について再度考察してみる。

- 論理ベースの表現：このタイプの知識は、論理という理論的な基盤を持ち、演繹推論などの処理技術も確立されている。したがって論理形式で知識を表現することにより、知識を明確化するとともに、整合性を管理することができる。
- ルールによる表現：ルール形式の知識表現を用いると、知識を断片的に取り扱うことができる。つまり、十分に体系化されていない知識を表現するのに適している。一見無秩序な知識もルールとして集積し整理することによって、きれいに定式化されることも多い。
- モジュール表現：モジュール表現は知識の体系化に有効である。とくに階層的な知識の表現に優れており、主要概念を起点として関連知識を広げる形式で、知識を体系化するという戦略をとる。

2.6 システム開発

一般にAI研究の副産物として生まれてきたプログラミング言語や開発環境もAI技術の1つとして位置づけられる。これらのプログラム技法あるいはシステム開発技術は、今後のCAD開発に不可欠なツールとなるであろう。

まず、これまでにあげたAI技術の利用を考えるのであれば、それらが実現されたシステム環境の利用は当然といえよう。AI研究の多くはLispやPrologをはじめとするAI言語を用いて実現されている。これらの言語は記号処理に向けたプログラミング言語である。理論的にはFORTRANなどの手続型言語でも同様の処理を実現できるが、システム開発に伴う労力は非常に大きなものにならざるをえない。

またCADシステム開発の特質から、AI言語や開発環境の利用が有利になる点もある。設計活動全般がコンピュータ向きに定式化されていることはまずありえないし、新たに定式化することも容易でない。したがって、本質的に重要と思われる部分を実現し、実際に使用しつつ徐々に他の部分を実現するという戦略がとられる。このような開発形式の結果、開発環境には次のような性質が要求される。

①ラビッドプロトタイピング

CADのプログラム開発が部分的かつ試行錯誤的に進められる。そのため開発サイクルをできる限り短縮する必要がある。プログラムのラビッドプロトタイピング (rapid prototyping) が望まれる。例えば、記憶域の動的管理機能やインタプリタを備えたインクリメンタルなプログラム開発環境は、ラビッドプロトタイピングに非常に有効である。

②モジュラリティ

CADシステムが拡張されるに従って、内部のデータモデルや処理手続も変更される。そのなかでシステム全体の整合性が保たれなくて

はならない。データ構造やデータ操作を抽象化することによって、高いモジュラリティを実現することができる。

このような背景から、以下にあげるAI言語とそのプログラミング環境が知的CAD開発のツールとして有効であろう。

●関数型言語 (Lisp) : ラムダ算法という数学的理論基盤を持ち、データと操作 (関数) を統一的に扱うことができる。リストなどの記号処理に優れており、多くのAIプログラミングに利用されてきた。また、動的な記憶域管理やインタプリタ等、ラビッドプロトタイピングにも適した言語環境を提供する。

●論理型言語 (Prolog) : 一階述語論理という数学的基盤を持ち、手続的解釈とともに宣言的解釈が可能である。双方向のパターンマッチングとバックトラックによって非決定的な処理がなされる。最近では制約を指向した拡張が試みられたりしており、論理や制約に基礎をおく問題解決システムの実現に適している。

●オブジェクト指向言語: オブジェクト指向言語は、データ抽象を推し進めたプログラミング言語である。“オブジェクト”とは、プログラムの内部構造を隠蔽するために、データに作用する手続き群をデータとともにまとめたもので、カプセル化された内部状態と内部状態を操作するメソッドからなる。また関数型言語 (Lisp) との融合を企図し、データ操作の抽象化を進めた汎関数を利用するものもある。データ構造およびデータ操作の両面からプログラムのモジュラリティは非常に高く、システムの拡張が容易になる。

2.7 ユーザ・インタフェース

設計対象のコンピュータ内表現とともに、設計対象に関する情報を人間がコンピュータに対していかに伝えるか、コンピュータが人間に対して

いかに示すか、というユーザ・インタフェースの問題も欠くことのできない要点である。設計活動の性質上、人間とコンピュータの間でやり取りされる情報は非常に高度のものとなる。特に、人間の意図をいかに伝えるか、設計者に一切の制限を与えずいかに豊かな表現法を許すか、などの点が問題となる。

AI研究の成果から知的CADへの利用が考えられる新しいタイプのユーザ・インタフェース技術として次のものがあげられる。

- 自然言語理解：AI技術の代表的な応用例が自然言語理解である。設計者（人間）が通常用いる主たる情報伝達手段も自然言語であり、何の制約もなく自然言語を利用できるのであれば、設計者に余計な負担を与えずにコンピュータ内に情報が入力できることになる。言語の表現対象が設計問題に限定されるという点で、日常一般の言語理解より実現性が高いと考えることもできる。
- 音声理解：自然言語を用いた対話の中でも設計者にとって最も自然かつ容易な対話方法は音声によるものである。単位時間当たりの情報伝達量は文字入力よりも多くなるし、ちょっとした思いつきも気軽に入力できるようになろう。自然言語理解を土台とした技術であるが、音響的な面での音声の振れなどの問題を解決する必要がある。その点でニューロコンピューティングやファジィ理論の利用が図られている。
- 画像理解：自然言語理解とともにAI応用例の代表である。画像は音声以上に多くの情報を表現することが可能であるうえ、設計者にとっても視覚的に表現したほうが適当な場合も多い。文字や音声などと組み合わせたマルチメディアの対話環境実現が理想であろう。

<参考文献>

[吉川79] 吉川弘之：一般設計学序説、精密機械、

Vol. 45 No. 8, 1979, pp. 20-26

[吉川81] 吉川弘之：一般設計過程、精密機械、
Vol. 47 No. 4, 1981, pp. 19-24

[長澤87] 長澤勲：設計エキスパートシステム、
情報処理、Vol. 28 No. 2, 1987, pp. 187-196

[情処誌84] 情報処理、Vol. 25 No. 10, 1984, 「大特集：論理装置CADの最近の動向」

[情処誌87a] 情報処理、Vol. 28 No. 5, 1987 「小特集：VLSI設計の新しい流れ」

[Foo90] Foo, S. Y. et al. : Databases and Cell-Selection Algorithms for VLSI Cell Libraries, IEEE Computer, Vol. 23 No. 2, 1990, pp. 18-30

[情処誌87b] 情報処理、Vol. 28 No. 6, 1987, 「特集：マルチメディアデータベース」

[木村88] 木村文彦：オブジェクト指向によるCAD/CAMのためのモデリングとデータベース、
情報処理、Vol. 29 No. 4, 1988, pp. 368-373

[情処誌89a] 情報処理、Vol. 30 No. 4, 1989, 「大特集：新しいプログラミング環境」

[情処誌89b] 情報処理、Vol. 30 No. 6, 1989, 「特集：非標準論理とその応用」

[情処誌89c] 情報処理、Vol. 30 No. 10, 1989, 「大特集：自然言語理解」

第3章 設計エキスパートの事例分析

最近、製造分野でもより複雑な問題に対する高機能なシステムへの要求が高まり、その中でAIに期待が寄せられている。まだ本格的な実用化例は少ないが、工程設計、生産管理、プロセス制御、操業監視・運転支援、設備故障診断、製品検査などですでにエキスパートシステムが開発されている。しかし、これらは生産流の下流に近い分野のタスクであり、しかもプランニングや診断の分野に属するものが大部分である。それらに比べて設計の上流に近い部分では、プラントの配置、配管

設計やVLSIの設計、その他定型設計の自動化などの例を見る程度にすぎない [Gero 85] [IEEE 86]。

しかし熾烈な企業間競争に勝ち残りをかけて、製品の高品質化、生産リードタイムの減少などを実現するために、特に設計の自動化をさらに進めたいという要求は強い。もし、AIの技術を用いて、設計者の設計過程がコンピュータ上に記述できれば、コンピュータは広範な範囲の設計案を生成し、検討してくれるかも知れないし、またAIによって人間の持つ概念を操作することができれば、従来のCADが対象とできなかった概念設計にもコンピュータが使えるようになるかもしれない。このような期待に応えて、設計エキスパートシステムのための基盤技術が研究され、またいくつかのシステムが開発されている。

本章では、自動化が遅れている機械設計を中心として、機械設計エキスパート構築のための基礎技術に関する研究を紹介する。また、次章では比較的自動化の進んでいる分野である回路設計の分野からアナログLSIの自動設計システムLADIESについて述べる。

3.1 定型設計エキスパート

設計には、新規設計のように創造的なものもあれば、類似設計や再設計などのように、ある程度設計手順が決まっているものもある。これらの定型設計を自動化するシステムが開発されている。例えば [Brown 86] が対象としている定型設計とは、設計対象の構造が決っており、その中に使われている部品などの標準的な設計法が既知であるものを再設計する（設計条件を変えた修正など）。実際の設計ではこのようなものが少なくない。

定型的な設計過程を記述する言語として、[Brown 86] はDSPL (Design Specialists and Plans Language) を提案している。図表Ⅲ-2-8は空気

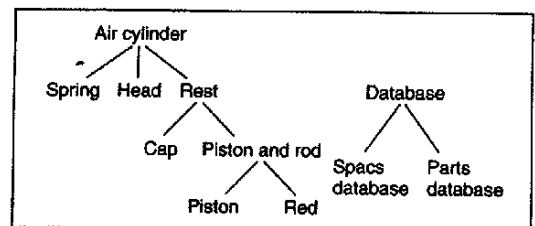
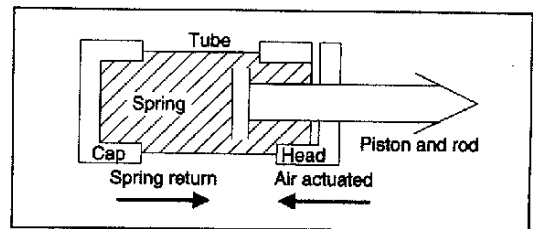
シリンダーの設計を行なった例である。シリンダーの階層的な構造に沿って段階的に設計手続きが記述される。システムの特徴としては、

- 1) 部分問題への分割による問題解決 (Least Commitment + Generic Task)
- 2) design-evaluate-redesign パラダイム (+ failure recovery heuristics)
- 3) 構造変化が少ない設計対象を扱う
- 4) 設計対象の属性が分類され、記号化されている

などがあげられる。

図表Ⅲ-2-9は、DSPLとよく似た考え方でXeroxで開発された複写機の紙送り機構を設計するPRIDE [Mittal 86] の例で、設計問題を解いている様子を示したものである。またPKRL [山田 86] はパッケージ設計の自動化を目指したもので、設計で定型的に行なわれている機能から形状への展開プロセスを記述する言語を開発し、そこに設計知識を表現し、さらにパラメトリックデザインシステムと結合することによって設計の自動化を図っている。さらに、図表Ⅲ-2-10に示すように商用のシステムとしてはICAD [Phillips 87] システムがある。

図表Ⅲ-2-8 DSPL/Airシステム [Dixon 86]



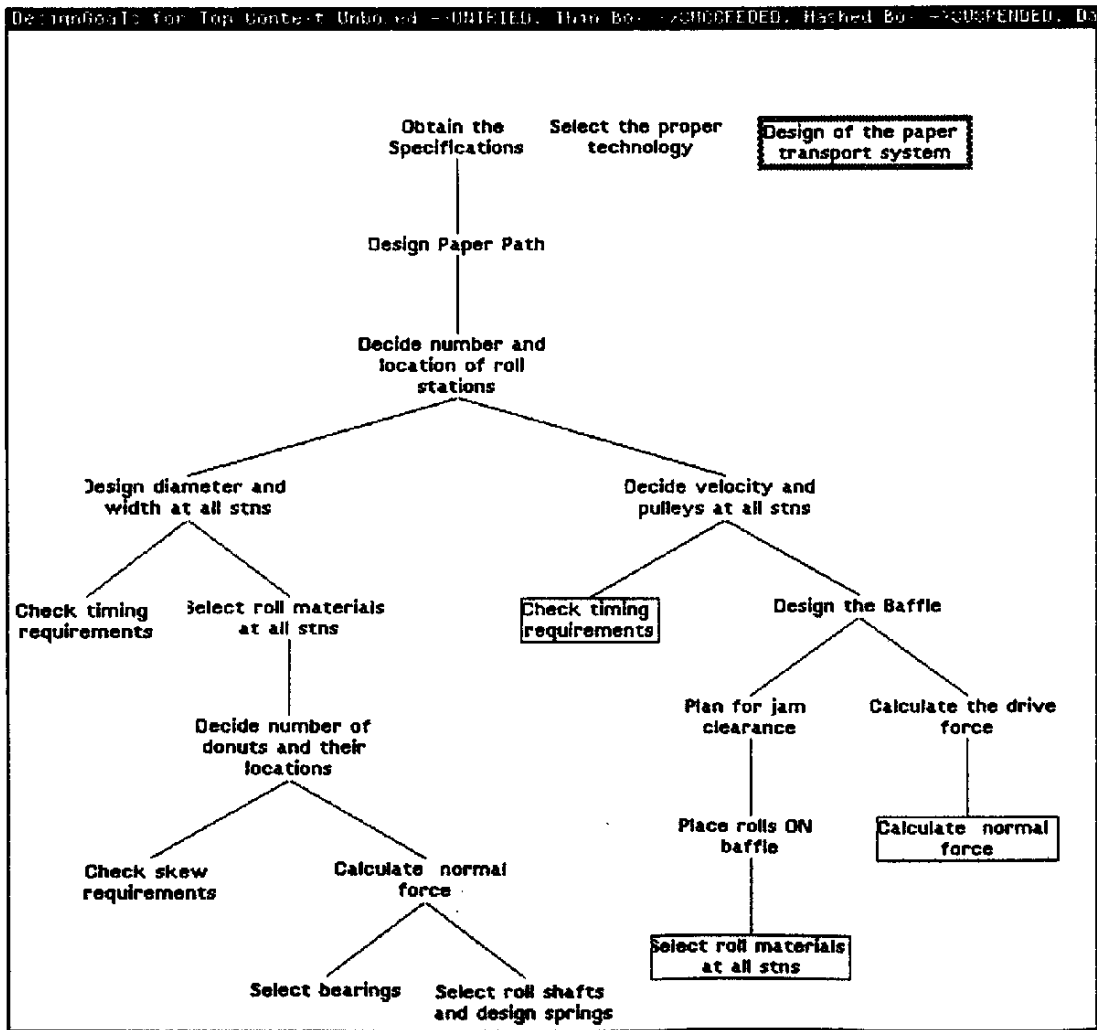
3.2 設計計算の自動化

設計では多量の設計計算が行なわれるが、これは単に方程式を連立して解けば良いというのではなく、設計式の重要度が違っていたり、暗黙値や推奨値などが必要だったり、カタログなどのように離散的な変数があったりするので、設計計算のための計算法が必要である。

例えばDOMINIC [Howe 86] は反復による設計計算の自動化を目指したもので、設計対象の設計変数の修正を効率よく行ない、そのなるべく最適

な解への収束を早めるシステムである。また、ADL/CRS [長澤84] システムは論理プログラム（Prologに近いもの）の上に作られた拘束条件解法を基礎とした設計システム記述言語である。ADL/CAS (A Designer's Language / Constraints Reduction System) で用いられている拘束条件リダクション法は、パラメータに対するある拘束条件の組を、リダクションルールによってよりプリミティブな拘束条件にリダクションしていき、解くことができるところから解いていくものである。最

図表III-2-9 PRIDEシステム [Mittal 96]



後までリダクションされずに残ったものは、それを解く専用の解法（例えば非線形連立方程式の解法プログラムなど）に渡されて処理される。これらは、後述の制約解法を基本とした技術である。

3.3 設計対象モデル

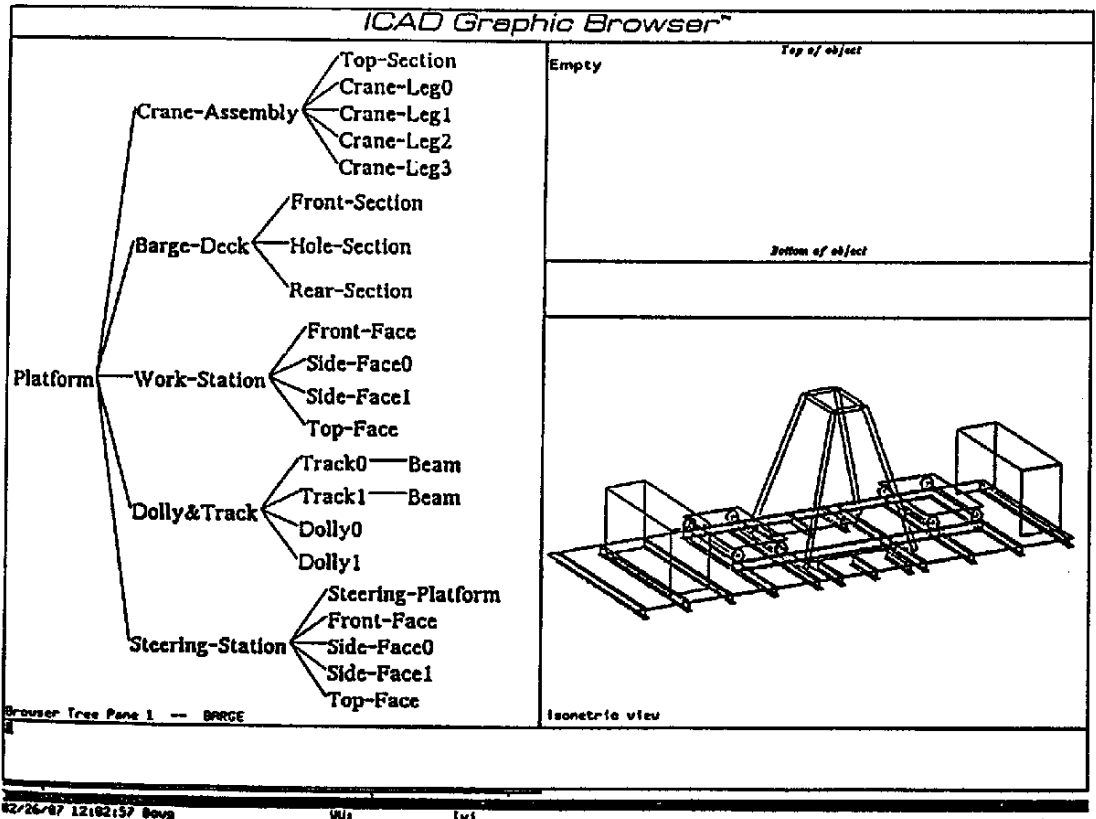
(1) 設計対象の表現

設計過程は、設計対象記述を操作する過程であるので、この意味では設計過程の記述と設計対象の記述は強い関係を持っている。一般的にこの記述は設計対象モデルと呼ばれるが、設計対象を表現するモデルといっても、製品によってもそれは異なるし、またそのモデルの利用される場面、目的などによってもさまざまなモデルが考えられる。また、形状や寸法、組立てな

どの詳細な設計対象の情報を扱うはかに、概念設計段階などで必要とされる、曖昧で、不完全な要求仕様や機能的性質なども扱う必要がある。またそれらが段階的に詳細化されたり、同一の対象に対してさまざまな見方の違ったモデルが作られたり、巨視的あるいは微視的にモデルの精度が変わったりしながら、次第に完全な製品記述に変換されていく過程を扱う必要がある。

このような問題は、CAD/CAMデータベース一般の特質としては、古くから指摘されていた [Kimura 83] が、これに対して知的CADのテーマとして、知識表現を用いる方法が提案されている。しかし、設計対象モデルの概念、要求機能はかなり明らかにされてきているのではあるが、それらのすべてを扱える枠組を研究の射程とすることは野心的にすぎる。そこで、それぞれの問題意

図表Ⅲ-2-10 ICADシステム [Phillips 87]



識、立場でさまざまな研究が行なわれているのが現状である [伊藤86]。

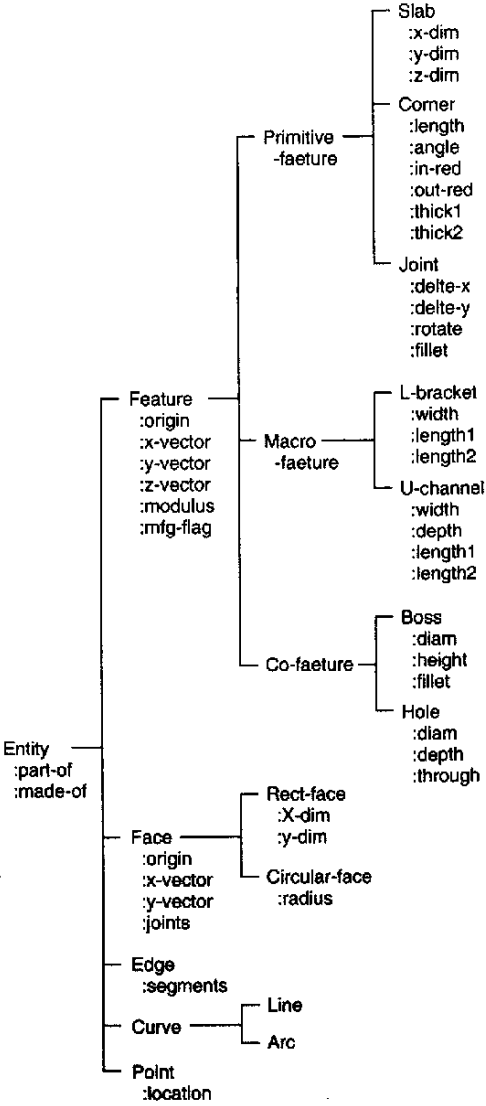
前節の設計エキスパートとの関連でいうと、設計エキスパートシステムの推論や問題解決の中で扱われる設計対象モデルは、設計に必要な属性を設計対象から抽出して記号化したものである。例えば、設計対象をいくつかの属性値パラメータの集合としてモデル化する。その一方で、機械設計の場合には、設計対象の持つ属性の多くはその幾何形状と強い関連を持っている。したがって、このような対象モデルでは、その幾何形状や構造情報が捨象された形で、属性値だけでモデルが操作されていることになる。

(2) 形状特徴モデリング

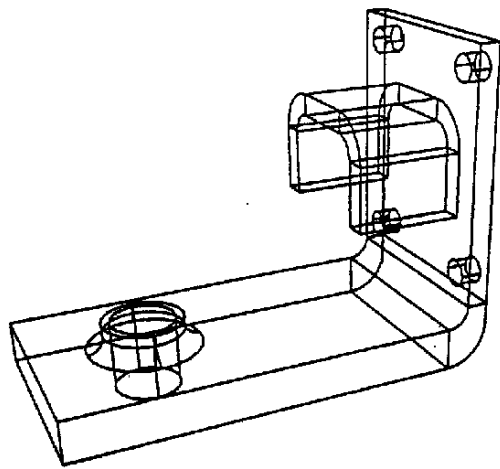
形状特徴については、最近多くの論文が発表されている。形状特徴モデリングは、例えば穴や溝といった名前で呼ばれる製品形状に部分的でしかも特徴的な形状を、これらの言葉を用いて入力し、形状を生成して行くものである。図表Ⅲ-2-11は [Luby 86] の提案するDesign with Featureシステムの例で、このような形状をpart-ofやis-aなどの関連を持つ階層的な形状特徴で表現し、形状モデ

ルにまで展開している。図表Ⅲ-2-12は特徴の階層を示したものである。これらの形状特徴情報もデータベース化されるので、下流の工程設計などに有効なツールとなる。また、形状特徴は形状を記号化した表現ともいえるので、前述のように設計エキスパートに対する設計対象モデルとしても重要である。形状特徴機能を持つ商用システムも利用され始めている。

図表Ⅲ-2-12 特徴モデルの階層 [Luby86]



図表Ⅲ-2-11 Design With Featureシステム [Phillips 87]



3.4 幾何推論

幾何推論に共通する1つの性質は、幾何学的属性で記述されるもの、例えば物の形状や位置、変位、経路などに関して、何等かの推論機構を

持って問題解決を行なうことである。代表的なものには幾何の定理証明や経路探索などがあるが、CADや設計と関係するものとしては、以下で述べるような形状生成、寸法・公差処理、形状特徴

抽出などがある。

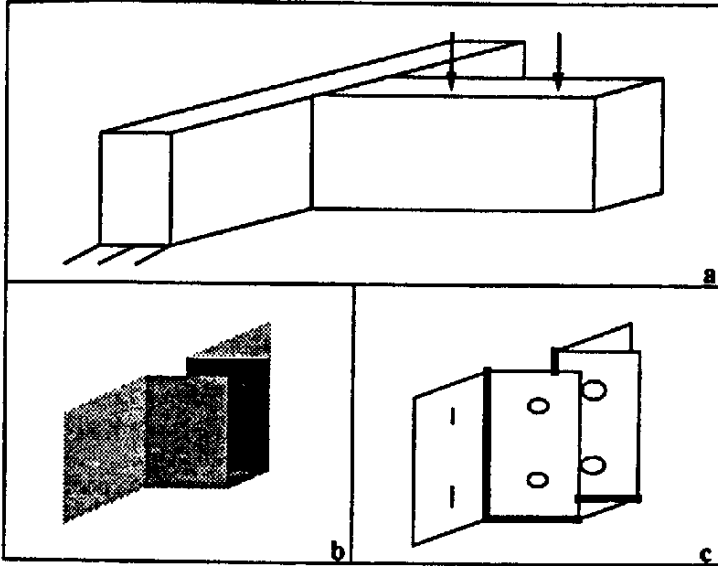
(1) 形状生成

従来の幾何モデルでは、設計者が形状定義の大半を入力していた。幾何属性推論では、対象とする形状が満足すべき拘束を入力し、その拘束条件を満足するような形状を生成する。形状拘束には、さまざまな設計上の拘束を反映したものがあり、例えば図表Ⅲ-2-13は梁の繋ぎ手の形状を梁の加重条件などから生成している [Welch 89]。形状拘束が形状を表すパラメータの上の代数的な制約条件で記述できるような場合にはある程度一般的な制約解決 (constraint solving) の手法が利用できるが、多くの設計制約による形状拘束を解くためには、それに依存したヒューリスティックスによる生成検証法による方式が採られることが多い。他の例としては、図表Ⅲ-2-14に示す機構運動を設計仕様としてコンフィギュレーションスペースによって表し、そこから形状を設計する問題を扱った [Joskowicz 89] などの研究がある。

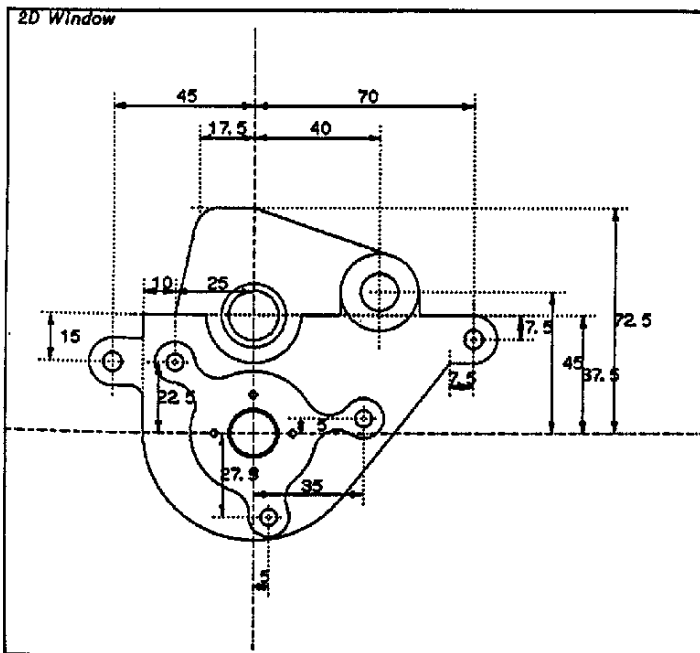
(2) 寸法・公差問題

寸法や寸法を変更することによって設計対象の形状を変更する、いわゆるパラメトリックデ

図表Ⅲ-2-13 繋ぎ手の生成 [Welch 89]



図表Ⅲ-2-14 CSpaceによる機構形状の設計 [Joskowicz87]



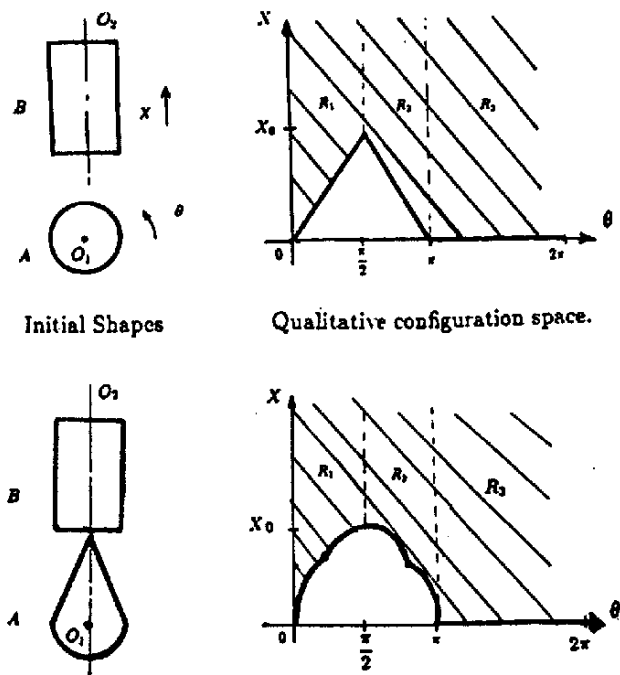
ザインは、前項で述べた形状生成と同様に、寸法を拘束条件とし、それを満足する形状を求める問題と考えることができる。しかし、寸法は曖昧だったり、不足したり、過剰であったりするのが一般的であり、さらにその背後には設計意図という単なる幾何拘束以上の意味を持っているため、多くの研究がなされている。例えば図表Ⅲ-2-15は、寸法整合問題を寸法制約と制約伝播問題として扱い、上記のような問題を依存関係処理によって扱ったシステムである [Suzuki 90]。

さて、公差は寸法に比べて幾何学的側面よりも機能的、製造的な側面が重要であるし、また幾何学的側面に限ってみてもその実形状の持つ fuzziness を直接に扱う必要があり、応用と絡んで最近研究が盛んになってきた分野である。

[Requicha 86] は公差問題を

- 1) Representation of tolerance
- 2) Analysis and synthesis of tolerance specification

図表Ⅲ-2-15 寸法システム [Suzuki 90]



3) Applications of tolerancing information
の3つに分類しているが、3次元の幾何公差を完全に処理できるものはまだない。

(3) 形状特徴抽出

前述の形状特徴モデリングに対して、幾何モデルからその持っている形状特徴を抽出するものである。特徴文法 (Feature Grammar) による抽出ルールを用いた方法や、境界表現の立体モデルの持つ面分などの接続グラフを解析するグラフマッチングによる方法などがある。図表Ⅲ-2-16は [Sakurai 89] の例である。左上の形状に対して、下部のような特徴が抽出されている。しかし形状が、そのマクロ的な特徴には直接影響しないような微細な形状を含んでいる場合、マッチングがそれに影響されてしまい、正確な特徴抽出ができないなどの問題がある。

また、前述の形状特徴モデリングが可能になれば形状特徴抽出は不用であるという考え方もあったが、例えば設計と加工などのように観点が変ると、同一の形状に対して異なった形状特徴が認識されるので、何らかの特徴抽出が必要であるとされている。抽出された形状特徴は、工程設計や生産性アドバイザー (後述) などに利用されることが多い。

(4) 生産 (容易) 性 (Manufacturability) 解析

機械を設計するときには、その機械が単に要求機能を実現するばかりでなく、加工や組み立てなどに要する生産コストが小さいことなどの生産性 (manufacturability) や、製品のライフサイクルにおける保守性 (servicability, maintainability) が良いことなどが要求される。生産性の高い設計を実現するためには、利用

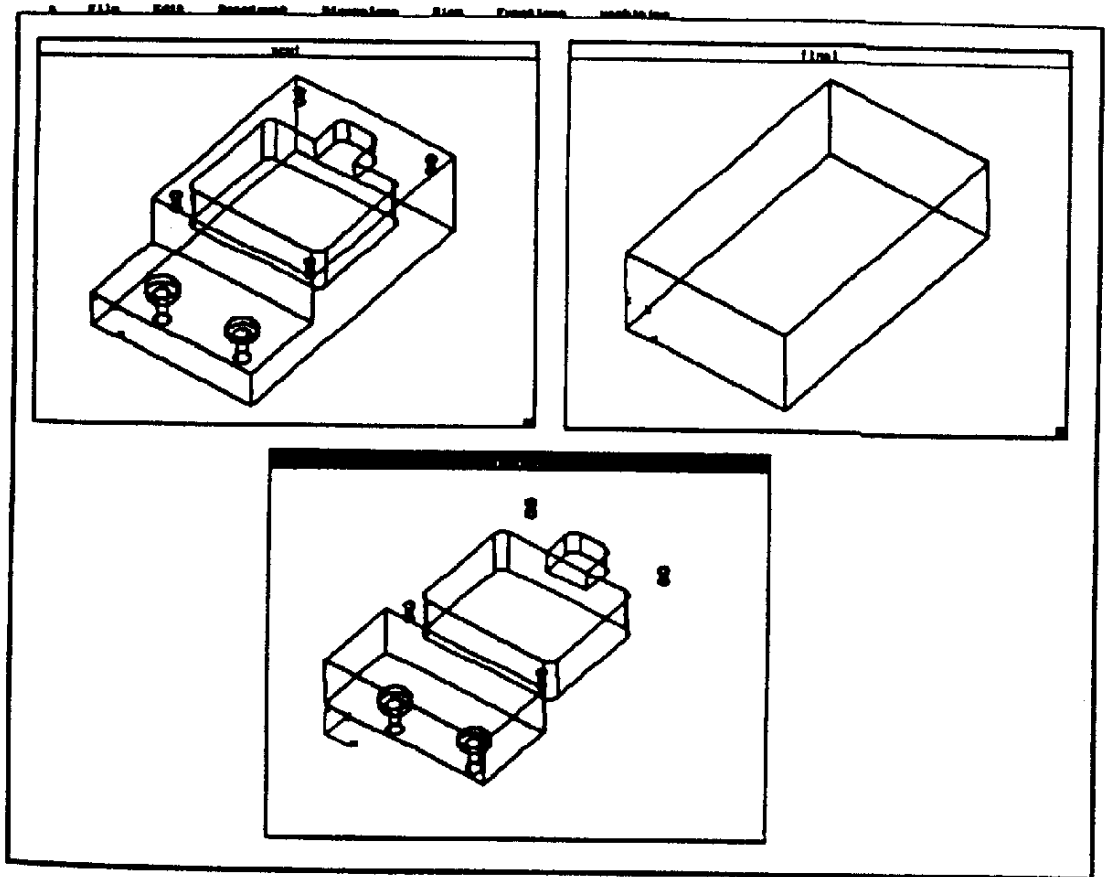
可能な工作機械の能力・容量や加工法、加工コストなどのような下流の生産現場に蓄積された経験やノウハウなどのさまざまな知識が必要である。しかも新素材や新加工法などの開発によって生産性は変化するので、熟練した設計者であってもそれらのすべてに精通することは難しい。

そこで、設計の早い段階で設計案の生産性を評価し、予測する生産性アドバイザーが知的CAD研究の1つの方向となっている。これらは、設計案を生産性の観点から評価するエキスパートシステムである。図表Ⅲ-2-17は [Cutkosky 89] が開発中のFirstCutシステムの例である。

3.5 定性推論

現在、AIのもっとも魅力的な分野の1つが定性推論 (Qualitative Reasoning) である。定性推論の目的は物理系の挙動 (運動や熱など) を定性的に解析する方法を見つけることである。つまり、AI研究の中でも、直接的に設計に有用なものと期待される [Forbus 88]。例えば、設計対象の粗い挙動解析シミュレーションを行ったり、挙動からその仕組みを解析したりするのに利用できるであろう。また、設計対象の挙動を記号的に記述することができるので、設計エキスパートなどとの結合がより容易になるであろう。

図表Ⅲ-2-16 形状特徴抽出 [Sakurai 89]



<参考文献>

- [IEEE 86] Expert Systems in Engineering, IEEE Computer, Vol. 19, No. 7, pp. 92-100 (1986).
- [Gero 89] Gero (eds.) : Knowledge Engineering in CAD, North-Holland, (1985).
- [長澤84] 論理プログラミングを基礎とした設計システム記述言語ADL、情報処理学会論文誌、第25巻4号 (1984).
- [山田淳86] パッケージCADシステム、グラフィックスとCAD、20-6、情報処理学会 (1986).
- [Brown 86] D. Brown and B. Chandrasekaran : Knowledge and Control for a Mechanical Design Expert system, IEEE Computer, Vol. 19, No. 7, pp. 92-100 (1986).
- [Howe] Dominic : A Domain-Independent Program

for Mechanical Engineering Design, Artificial Intelligence in Engineering, Vol. 1, No. 1.

[Mittal 86] PRIDE : An Expert System for the Design of Paper Handling Systems, IEEE Computer, Vol. 19, No. 7, pp. 102-114, July 1986.

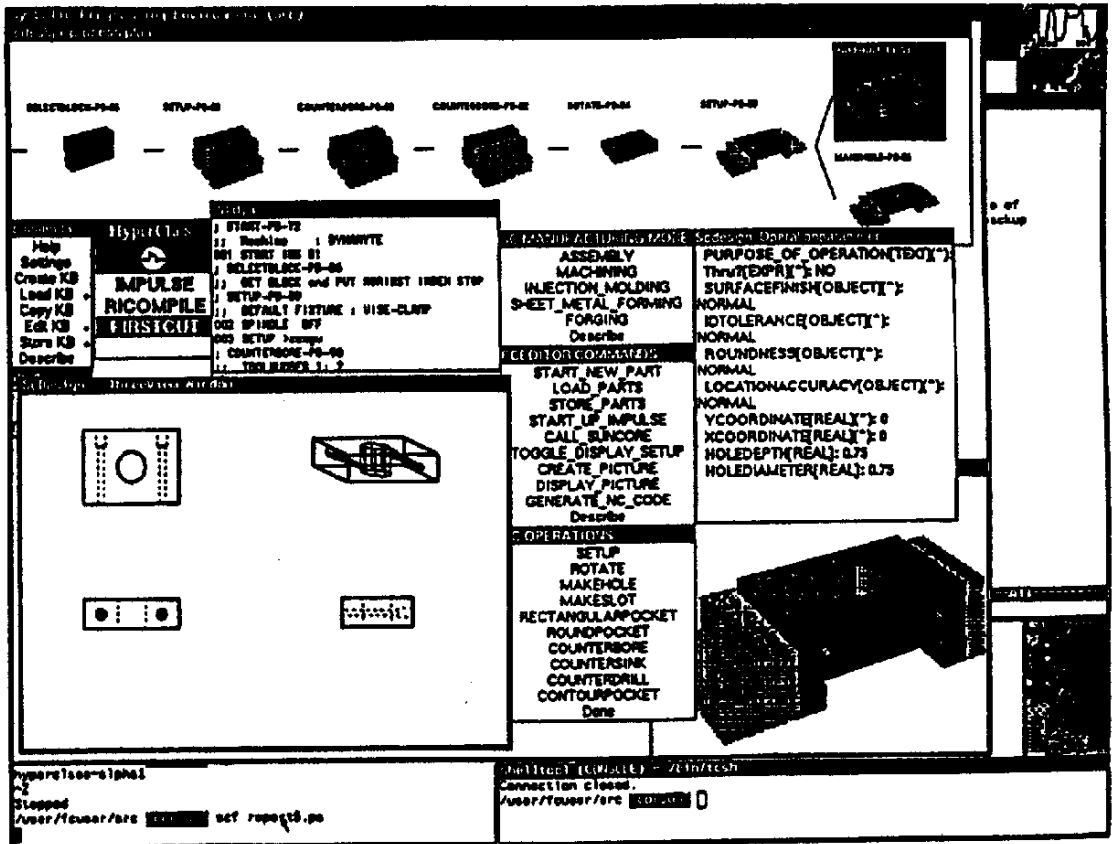
[伊藤公俊86] : 対象のコンピュータモデリングと設計、日本ロボット学会誌、4巻、4号、pp. 101-108 (1986).

[Kimura 83] Integration of Design and Manufacturing Activities based on Object Modeling, Advances in CAD/CAM, North-Holland (1983).

[Phillips 87] A Knowledge-Based System for Design Automation, presented at the Sixth Int. Symposium on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (1987).

[Luby 86] Designing with Features, Creating and

図表III-2-17 FirstCutシステム [Cutkosky 90]



Using a Features Data Base for Evaluation of Manufacturability of Casting, ASME Computer in Engineering, 1986.

[Suzuki 90] Geometric Constraints and Reasoning for Geometrical CAD Systems, Computers & Graphics, Pergamon Press, (in print), (1989).

[Requicha 86] Representation of Geometric Features, Tolerances, and Attributes in Solid Modelers Based on Constructive Geometry, IEEE J. of Robotics and Automation, Vol. RA-2, No. 3, 1986.

[Cutkosky 90] A Methodology and Computational Framework for Concurrent Product and Process Design, Mechanism and Machine Theory, Pergamon Press, (to appear) (1990).

[Forbus 88] Intelligent Computer Aided Engineering, AI Magazine, Vol. 9, No. 3, (1988).

[Welch 89] R. V. Welch and J. R. Dixon: Extending The Iterative Redesign Model to Configuration Design: Sheet Metal Brackets as An Example, ASME DTM '89, pp. 81-88, (1989).

[Sakurai 89] H. Sakurai: Automatic Setup Planning and Fixture Design for Machining, Ph. D Thesis, Department of Mechanical Engineering, MIT, (1990).

[Joskowicz 88] L. Joskowicz and S. Addanki: From Kinematics to Shape: An Approach to Innovative Design, Proc. of AAAI, (1989).

第4章 アナログLSI自動レイアウトシステムLADIES

(日立製作所)

アナログLSIのレイアウトでは、回路機能を保証するためのさまざまな制約を守る必要がある。そのためには、守るべき制約の抽出と、制約を考えた面積最小化という2つの課題を解決しなければ

ならない。(株)日立製作所では、知識処理の応用により、この課題を解決できると考え、アナログLSIレイアウトシステムLADIESを開発した。

LADIESは、知識と回路の特徴を照合して制約条件を抽出する処理、クラスタリング配置とリパルータを用いた手続き型の初期レイアウト処理、および改善ルールを適用することにより制約を守りつつ改善処理を行なう処理の3つの部分からなる。

71素子のアナログブロックに適用し、制約違反なしで、対人手比面積108%の結果を得た。

4.1 概要

デジタルLSIの自動レイアウトでは、面積最小化を目的に、多くのアルゴリズムが考案され、人手並の面積を実現する実用システムが開発されてきた[1]。ところが、アナログLSIについては、デジタルLSIに比べ、レイアウトの自動化が遅れている。近年、いくつかのシステムが開発されているが、その適用範囲に制限があり、多くは人手に頼っているのが現状である。

アナログLSIレイアウトの自動化が難しい理由は2つある。1つは規格化の難しさであり、もう1つがレイアウト制約である。

まず、規格化について説明しよう。図表Ⅲ-2-18にデジタルLSIとアナログLSIとのレイアウトモデルを示す。デジタルLSIでは構成要素のセルは数種類と少なく、大きさもそろえやすい。また、配線はショートせずにつながっていれば良い。そこで、平面を一定間隔の格子で区切り、セルを格子点上に置き配線を格子線上に通すという格子モデルを用いて、レイアウト問題を簡単化することができる。

一方、アナログLSIでは、構成要素となるトランジスタ、抵抗、容量などが、それぞれの回路定数に応じて、さまざまな形状を取り、デジタルの場合のように同一形状にそろえることができない。また、配線幅も流れる電流量に応じて変える

必要がある。したがって、格子モデルを使わず、セルや配線を実際のパターンの図形としてそのまま扱う必要があり、処理が複雑になる。

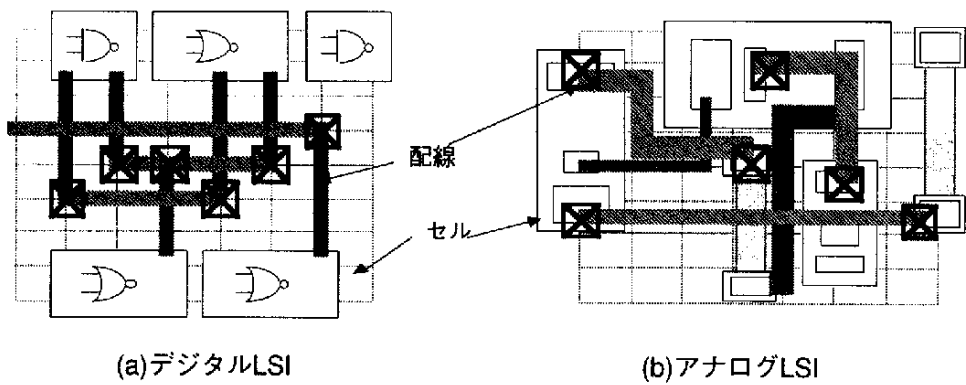
次に、レイアウト制約について説明しよう。アナログLSIでは、製造上のばらつきによる回路定数の変動が、そのままチップ性能にかかわってくる。そこでばらつきの影響を最小限にするため、特定の素子を近くに置いたり、対称的に置いたりする必要が出てくる。また、配線間のクロストークを避けるために近くを通ってはいけな配線もある（図表Ⅲ－2－19）。これら、回路の動作、性能を保証するための、レイアウトの幾何学的条

件をレイアウト制約と呼ぶが、その設定には高度の知識が必要である。また、レイアウト処理自身も、複雑な条件を考慮する必要があり、アルゴリズムの複雑化を招く。

第1の課題については、すでにデジタルの世界でもある程度取り扱われおり、その手法が応用できる。セル形状が一定でない問題は、チップ上に論理ブロックを配置するフロアプランの分野で研究されてきている。また、配線についても、セル設計で可変幅配線が必要ことから研究が進んでおり、その手法が応用できる。

第2の課題のうち、まずレイアウト制約をどう

図表Ⅲ－2－18 デジタルLSIのレイアウトとアナログLSIのレイアウト



図表Ⅲ－2－19 レイアウト制約例

回路特性	レイアウト制約	説明図
素子定数の一致	素子の近接配置 対称レイアウト	
クロストーク対策	配線の交差禁止 並走禁止	
動作タイミング一致	等長配線	

レイアウト知識の例を図表Ⅲ-2-22に示す。

この知識の THEN 部 (→以降) は、そのままレイアウト制約となる。しかし、条件部はこのままでは不十分である。通常回路記述に含まれているのは、素子とその接続情報だけである。図のようなルールを適用するには、条件をより詳細に記述する知識が必要である。

この例で言えば、differential-ampとは、どういう回路か、どういう回路が高周波を出す回路かが、わからなければ、対応する制約を出すことができない。これら、レイアウトにその動作が影響を受けやすい回路を特徴回路と呼ぶことにする。特徴回路の典型的なものについては、テンプレートで

持てばよい。しかし、多種の変形のあるものについては、そのよりマクロな構造を知識として持つ必要がある。

(2) 処理方式

図表Ⅲ-2-23にレイアウト制約抽出処理の概要を示す。前節の考察から、次の3つの処理で行なうようにした。

step1. 特徴回路抽出

回路の結線情報と特徴回路の知識(素子間の結合関係として記述したテンプレート)とのパターンマッチングにより回路中の特徴回路を抽出する。

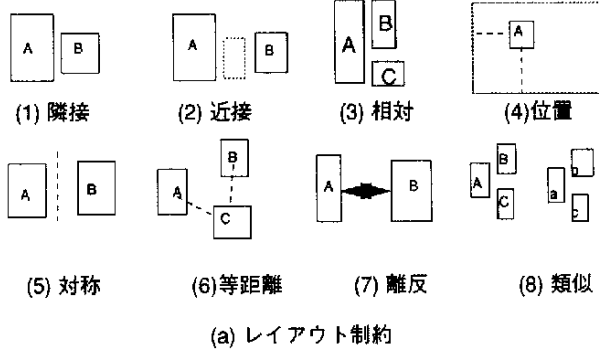
step2. 回路構造抽出

回路構造ルールを適用し、

step3. レイアウト制約生成

上の2つのステップ求められた特徴回路やグループに対する制約をレイアウト制約知識との照合により導出する。

図表Ⅲ-2-21 レイアウト制約とその表現



```
<specification> ::=
| (CONCAT <element> ...)
| (NEAR [<distance> [<overlap>]] <element> ...)
| (RELATIVE V/H <element> ...)
| (POSITION <x> <y> <element>)
| (SYMMETRIC H/V/P <element> <center> <element>)
| (ISOMETRIC <center-element> <element> ...)
| (APART [<distance> [<overlap>]] <element> ...)
| (SIMILAR <group> <group> ...)
<element> ::= <component> | <group> | <specification>
<group> ::=
<name>
(GROUP <name> <element> ...)
(GROUP <name> <specification>)
<value-relation> ::=
(RELATION <param> = | > | < <param> [+ <delta>])
```

(b)記述言語

4.5 制約考慮配置方式

レイアウト制約に従って配置配線を行なう方式を述べる。配置手法として、クラスタリング配置手法を拡張した方法を使う。クラスタリング配置手法は、標準セルのブロック内配置に用いられている手法であり、次の2ステップからなる。

Step 1. クラスタリング

セル、クラスタの数が1つになるまで、"結合度が最も大きいセル、クラスタ同士をまとめ、1つのクラスタにする"ことを繰り返す。

Step 2. トップダウン配置決定

クラスタがなくなるまで、"クラスタを2つに分解し、配線長が短くなるようにその隣接位置関係を

決める"ことを繰り返す。

ここで、結合度は2つのセル、クラスタの間に定義される評価関数で、2つを結ぶ結線が他と結ぶ結線に比べて多いほど、大きい値をとる。この処理で、配置制約は次の処理を行なうことによって考慮することができる。(図表Ⅲ-2-24)

①核クラスタ作成：

接続指定されているセル同士を優先してクラ

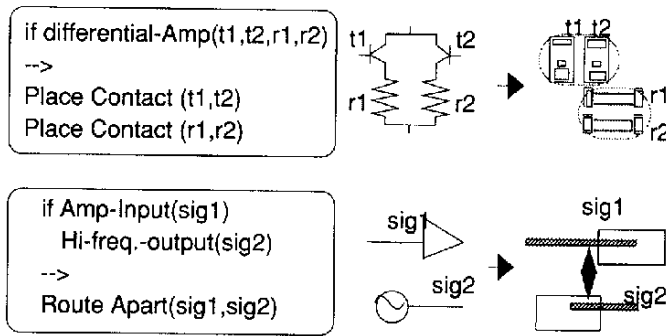
スタリングする。離反指定されているセル同士のクラスタリングを避ける。

②クラスタリング：

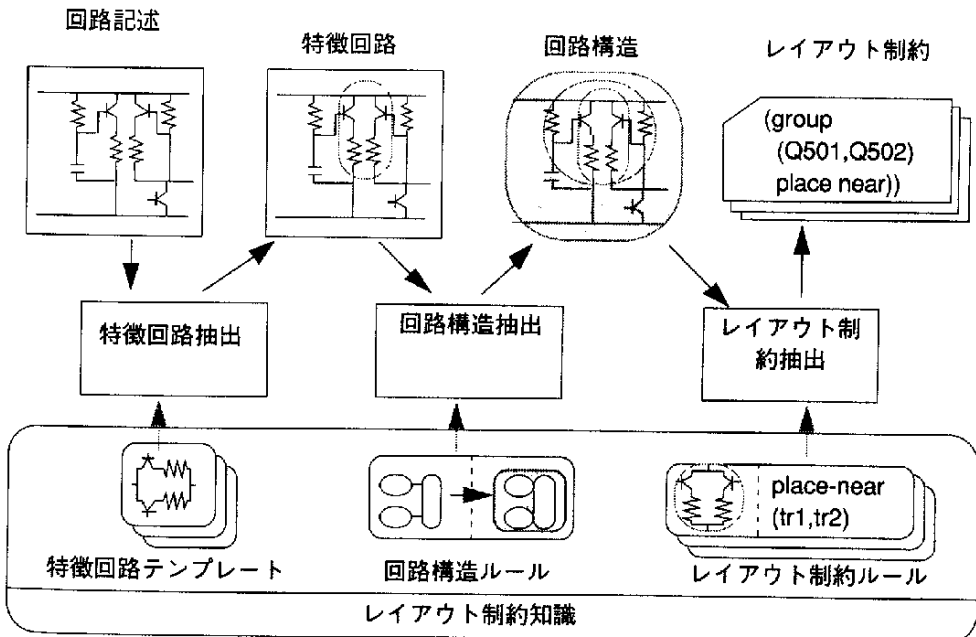
近接指定されているセルを結ぶ正の重みの、仮想的なネットを与える。また、離反関係にあるセル同士に負の重みの仮想ネットを与える。等価、類似関係を指定されているグループ同士は、同じクラスタリングを行なう。

③トップダウン配置：

図表Ⅲ-2-22 レイアウト制約知識



図表Ⅲ-2-23 レイアウト制約抽出処理



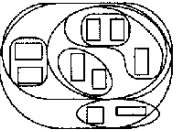
配置方向、位置を満足するように位置関係を決める。

4.6 配線

図表Ⅲ-2-25に配線処理を示す。配線領域を矩形に分割し、その矩形をたどる順番をネットごと求め、詳細配線をRiver Routerを使って行なう。

4.7 改善処理方式

図表Ⅲ-2-24 配線処理

ステップ	考慮制約	処理	説明図
核クラスタ生成	隣接配置	核クラスタにする	
クラスタリング	近接配置 離反配置	ネット重み付け	
トップダウン配置	相対位置	従う	

(1) 改善処理の概要

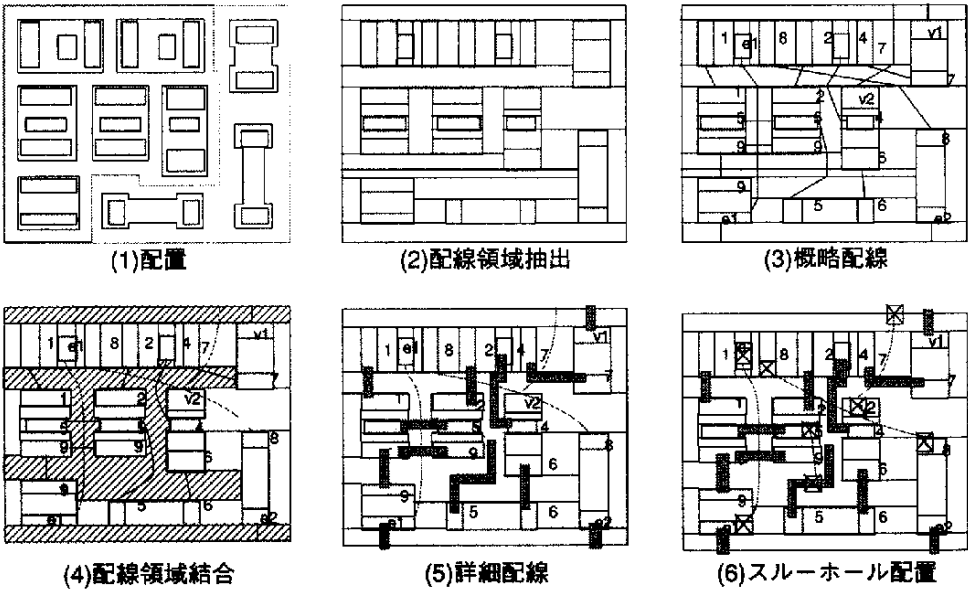
面積の縮小とレイアウト制約の遵守の2つの改善処理を行なう。悪レイアウト状態（制約違反や面積的に損な素子や配線の組み合わせ）を素子や配線の相対関係により記述したテンプレートにより表現し、レイアウトとテンプレートのパターン照合により改善すべきレイアウト部分を抽出する。次に、各テンプレートに対応するレイアウト改善手続きにより、抽出したレイアウト部分の改善を行なう。テンプレートをIF部に、改善手続きをTHEN部に記述したIF-THENルールを複数用意して、照合・実行を繰り返すことで改善を進める。

(図表Ⅲ-2-26)

(2) 予測推論機構

ルールを用いて改善を行なう場合、単純にマッチしたルールを実行するのでは効果的な改善を行なうことはできない。これについて図表Ⅲ-2-27の例を用いて説明する。左は初期レイアウト状態を示す。この状態に対して右

図表Ⅲ-2-25 レイアウト制約知識



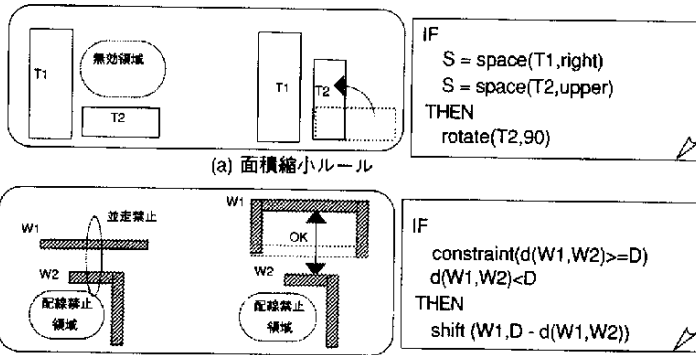
上の状態への改善と左下の状態への改善のどちらかを選択することができる。面積の縮小率のみを考えると左下の改善の方が効果的である。ところが、配線W1とW2に並走禁止の制約がある場合は、制約を守るためにさらに右下の状態への改善が行なわれ、結果的には右上の方が良い改善であったことになる。

このような場合によりよい選択をするためには、1つのルールを適用した結果、どのようなレイアウト状態になるのかを知る必要がある。ルール間の優先度は決定的なものではなく、レイ

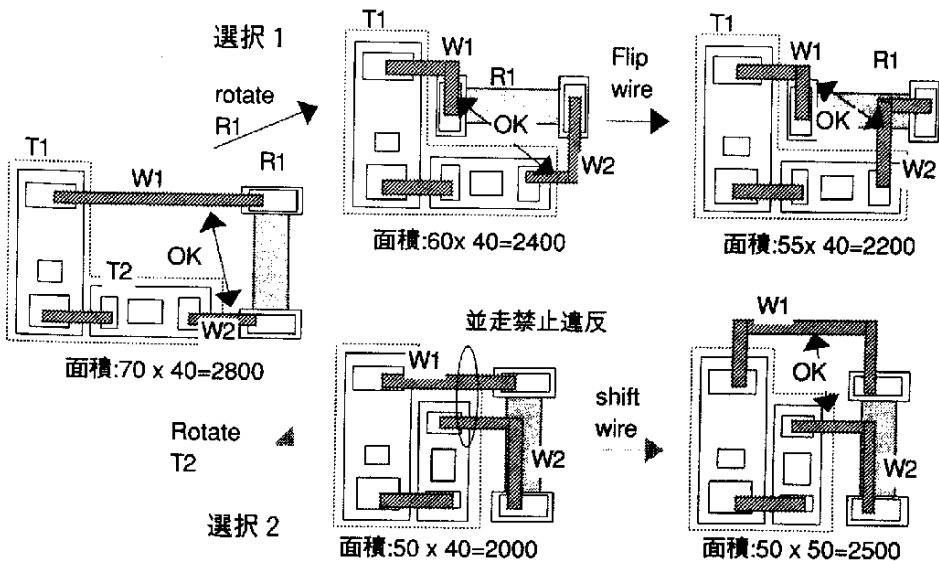
アウト状態と組み合わせて始めて比較できるものであるために、あらかじめルールにプライオリティを付けることはできない。状況に応じて最適なルールを選択するには、推論機構にルール適用後の改善の効果を評価する機能を組み込む必要がある。しかし、汎用の知識処理言語の推論機構では、あらかじめ決定された優先順位によりルールを選択することしかできない。そこで、上のような機能を持つ推論機構として、予測推論機構を考案した。

図表Ⅲ-2-28に推論機構の概要を示す。推論

図表Ⅲ-2-26 レイアウト改善ルール例



図表Ⅲ-2-27 ルールの選択



は以下のステップで行なう。

- step1. レイアウトパターンとルールベースを照合して、マッチするルールの集合を作成する。
- step2. マッチしたルールについて仮の実行を行なう。ルール適用前のデータは保存しておく。
- step3. 仮実行結果のレイアウトパターンとルールベースの照合を行ない、マッチするルールの集合を作成する。
- step4. 改善前のマッチするルールの集合とルール仮実行後のマッチするルールの集合を比較する。
- step5. 改善前よりも、面積が増加する場合や新しく制約違反が生じる場合は、そのルールの採用をやめ、次の候補に対してstep2から繰り返す。逆に、面積や制約違反が減少する場合、そのルールを採用して実行し、step1から繰り返す。

4.8 評価結果

各プログラムはすべてCommon Lisp上に作成した。71素子、51ネットの回路を対象として適用実験を行なった。実験対象回路は、2つの差動増幅器と定電流回路を主要素とするほぼ同じ回路を3

つ並べた構造を持っている。

(1) レイアウト制約導出結果

図表Ⅲ-2-29に、評価結果を示す。以下の基本的な機能を実現した。

- 回路特徴として、特徴回路、回路階層、繰返し
の抽出。
- レイアウト制約として、接続配置、近接配置、
相対配置、および類似配置指定の導出。

(2) レイアウト改善結果

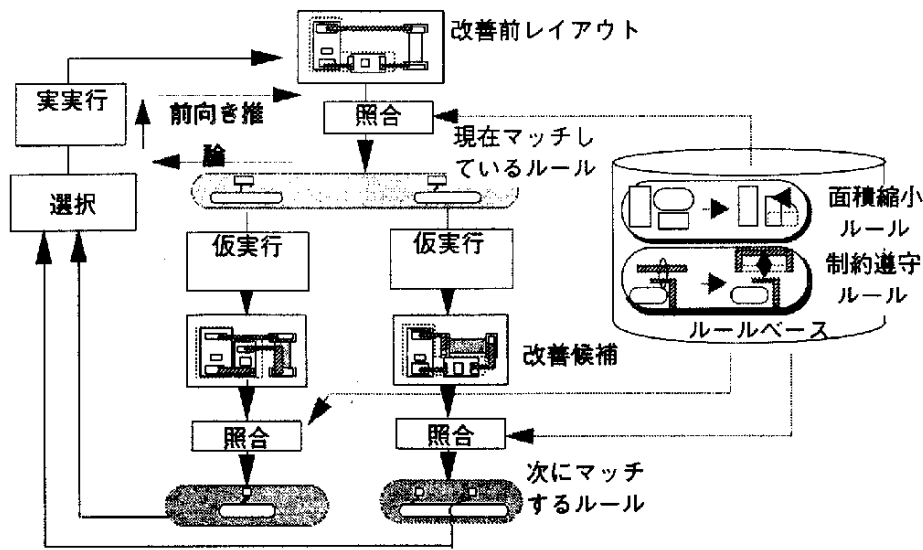
レイアウト改善処理により、初期レイアウトの面積を7%縮小することができた。また、初期レイアウトで満足しているレイアウト制約に違反することなく、面積の縮小が行なえた。

図表Ⅲ-2-30の(a)に初期レイアウト(b)に改善結果を示す。

ここで提案した手法は、レイアウト設計の工程を3つのフェーズに分け、それぞれのフェーズにより、知識処理と手続き処理を使い分けるものである。

レイアウト制約導出処理では、回路情報をもとに差動アンプや定電流回路等の特徴回路を抽出し、回路構造を認識してレイアウトを行なう上で

図表Ⅲ-2-28 ルールの選択



図表Ⅲ-2-29 レイアウト制約抽出結果

回路構造		レイアウト制約	
構造種別	#	制約種別	#
差動 アンプ	6	隣接配置	12
拡張差動 アンプ	3	近接配置	3
定電流源	3	相対位置	3
抵抗群	3	近接配置	3
繰り返し 構造	1	類似レイ アウト	1

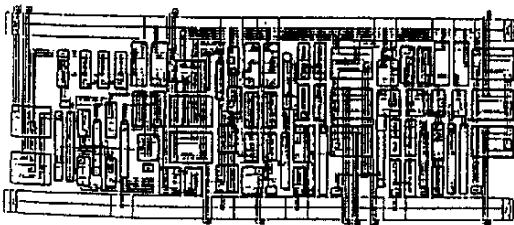
図表Ⅲ-2-30 評価結果

表1. ベンチマーク諸元

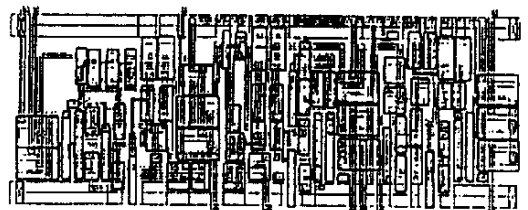
項目	値
素子合計	611
トランジスタ	051
抵抗	22
制約	

表2. 評価結果

レイアウト		面積(mm ²)	対人手比	実効ルール
人手レイアウト		264120	1.00	-
初期自動レイアウト		305136	1.16	-
改善後	前向推論	292032	1.11	30
	予測推論	286416	1.08	40



(a) 初期レイアウト



(b) レイアウト改善後

の制約を導いた。この制約を元に自動レイアウトを行なった結果、レイアウト制約を守り、対人手比面積116%の結果を得た。レイアウト改善処理では、面積縮小ルールと制約遵守ルールを用いて、レイアウト制約を守りつつ面積の縮小を行なうことができた。実験結果では初期レイアウトを7%縮小でき、対人手比面積108%の結果を得た。

<参考文献>

- [1] Kozawa, T., et al. Automatic placement algorithms for high packing density VLSI, Proc. 20th Design Automation Conf., pp 175-181, 1983.
- [2] Winner, G., T. A. Nguyen, and C. Slemaker, Analog Macrocell Assembler, VLSI System Design, May 4., pp. 68-71, 1987.
- [3] Kayal, M. et.al. SLAIM : A Layout Generation Tool for Analog ICs, Proc. IEEE Custom Integrated Circuit Conf., 1988
- [4] Rijmenants, J. et.al. ILAC : An Automated Layout Tool for Analog CMOS Circuits Proc. IEEE Custom Integrated Circuit Conf., 1988
- [5] Garrod, David J., et.al., Automatic Layout of Custom Analog Cells in ANAGRAM, Proc. of ICCAD, pp 544-547., 1988
- [6] Gray, P.R., Meyer, R.G. Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, 2nd. Ed. Wiley pp 389., 1984
- [7] Joobbani, R., and D. Siewiorek, Weaver : a knowledge-based routing expert, Proc. 22nd Design Automation Conf., pp. 266-272, 1985.
- [8] Kozawa, T. et.al., Combine and Top Down Block Placement Algorithm for Hierarchical Logic VLSI Layout, Proc of 21st D.A. conf., June 1984.
- [9] Hsu, Chi-Ping General River Routing Algorithm, 20th D.A. conf., pp. 578-583, 1983.
- [10] Forgy, C., and J. McDermott, OPS, a domain independent production system language, Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp. 933-939, 1977
- [11] 渡辺他「アナログカスタムLSIレイアウトCAD」信学研究会報告CAS 86-pp81-87
- [12] 奥田、佐藤、小野寺、田丸「対称性保持の制約を扱えるレイアウトコンパクションアルゴリズム」信学論A Vol.J73-A No.3 pp.536-543 1990年3月

第5章 設計対象物の表現と処理

設計対象物のモデリングに関する問題点を一般的に分析し、特に記号処理と図形処理が混在して高度な推論が要求される形状のモデリングについて技術の現状を詳述する。

5.1 モデリングに対する要求

設計や生産準備の過程は、対象製品の機能に対する要求条件や仕様を与えられて、それらを満たす製品の構造を確定し、それを製造するために必要となる生産プロセスに対する制御情報や管理情報を生成する過程である。情報处理的に言えば、対象製品を記述するモデルを生成、処理、伝達、蓄積していくモデリングの問題と考えられる。

設計生産作業がコンピュータ化される以前は、人間がこれらの情報処理の主体であり、「図面」を媒体として、作業を進めていた。作業に応じて多種多様な図面が描かれ人間はそこから必要な情報を必要な形式で読み取って、次の作業のための図面を作成していった。

設計生産作業の全体を、あるいはその一部でもコンピュータ化していくためには、従来の図面に代るような記述の「枠組」としてのモデルが必要になる。設計作業においては、すでにできあがった製品をコンピュータのためにモデル化するのではなく、最終製品のモデルを段々と作り上げていくことが本質的なのである。最初は曖昧で不完全

な要求条件が与えられ、最終的には整合性のとれた詳細な製品定義情報が生成される。

上述のようなCAD/CAMのためのモデリングにとって重要なことは、統合性と多様性である。

統合性とは、種々の設計生産作業の間で、必要な情報を、内容を損なうことなく、表現し、伝達できることである。例えば、設計者が元々抱いていた製品に対する設計意図を生産準備段階へ正確に伝えていくとか、製造法より派生する製品構造の不都合な点を設計段階へフィードバックすること、などがある。従来は、作業ごとの自動化システムが個別に開発され、情報がうまく受渡しできないために、全体としての自動化が効率良く達成できなかった。

多様性とは、同じ対象製品のモデルが種々の異なった側面で扱われることで、例えば次のような側面を考えることができる。

- 詳細化：例えば、構造解析と機械加工では、明らかに異なった精度のモデルを必要とする。また、製品全体構造と構成部品では、記述の詳細度が異なる。
- 多視点：例えば、機構の力学的特性を調べるには集中質量系のモデルが適切であるし、精密に機構の衝突をチェックするには形状の忠実な立体モデルが必要となる。また、概念設計と詳細設計では、構造的に異なったモデルを必要とする。
- 階層化：穴を考える場合に、作業に応じて、穴全体を対象としたり、その底面や側面を個別に扱ったりする。
- 系列化：内容や構造が非常に類似していて、互いに関連しているモデルが系統的に構成されることがある。ある親機種からいくつかのファミリー機種を設計する場合などである。

上記のようなモデリングに対する多様な要求に対応する方法を考えていく。モデリングでは、

モデル化されるものの意味やその表現形式、モデルの生成処理方式などが問題となる。これらを、各々モデルの対象記述、およびモデリングの過程と呼ぶことにする。

5.2 問題点とその解決の方策

設計生産作業は、試行錯誤の過程であり、上記のようなモデルは、生成され、更新を繰り返されて、その処理の間には、互いに不整合なデータも扱う必要がある。しかし、最終的には、物理的に製造しうる製品モデルのモデルとなるべく、意味的に整合のとれたものになっていなければならない。

このような問題は、CAD/CAMデータベースの問題として、多くの検討がなされてきたが、伝統的なデータベース理論では扱いにくい問題として認識されていた。代表的な問題点は次のようなものである。

- ・新しいモデルの生成（モデルの動的取り扱い）。
- ・不定型データの扱い。
- ・モデル間の整合性。
- ・モデルの表現能力（複雑な関係）。

従来の有向グラフのデータ構造を基礎とするデータモデルは、その構造の意味づけを手続き的にしか記述できず、モデルが複雑になると、その表現や管理が困難となった。拡張の仕方がアドホックになり、全体が整合的に見えなくなる、ということである。関係モデルを拡張して、上記の要求を満たそうという研究も多く見られたが、複雑なモデルを自然に書ける、という意味において成功したとは言えない。この問題の解決のために多くの試みがなされてきたが、情報処理の立場からは、知識情報処理技術の導入が最近注目されている。知識表現言語により設計知識や対象物のモデルを記述し、処理しよう、というわけである。オブジェクト指向も、この観点から1つのパラダイムとして有効であると考えられている。

具体的にモデリングの問題を考えるためには、前節でふれたように、モデルの対象記述とモデリングの過程に分けるのが便利である。例えば、モータの詳細な記述とそれらを生成する各種の計算手続きなどである。この両者の情報をいかに統合的、整合的に扱えるか、ということが前述の問題解決のために重要である。設計生産自動化の問題においては、対象製品により、また作業の進め方により、どちらかの側面に重点が置かれてきた。機械製品の場合には一般的には対象記述に重点があるが、定型化されたパラメトリック設計では、ほとんど設計手続きだけしか用いない場合もある、という具合である。

モデルの対象記述とモデリング過程の問題は、知識表現における宣言的表現と手続き的表現の問題に似た所がある。その長短を論ずることは必要であるが、表現したい情報の性質や用い方により、適切な表現形式が採れるようになっていることが重要である。従来の表現形式はこの点において、十分な柔軟性を持っていなかった。

現在知られている知識表現形式のどれを採っても、それだけでは十分ではないであろう。それらを組み合わせて用いるマルチパラダイムの考え方が当面有効であろうと思われる。オブジェクト指向方式は、対象も過程もオブジェクトとして記述するという風に見ることができ、対象やその処理手続きが、定型化、体系化されているときに有効である。一般にはそれだけでは十分ではなく、他の方式と組合せる必要がある。例えば、一つの有効な考え方として、オブジェクト指向方式による対象の属性の表現をもとに、述語論理を用いて対象の関係を記述していく方法がある。

5.3 形状モデリングの問題点

2次元や3次元の図形や形状をコンピュータで処理することを、ここでは総括して形状モデリングと呼ぶことにする。形状モデリングは、コン

ピュータグラフィックスの立場から一般的に極めて重要な技術であり、またCAD/CAMの中核技術として、実用に必須の技術でもある。学術的な立場からも、興味ある固有の情報処理技術を必要とすることから、多くの研究が行なわれてきた。

実用システムとして、すでに自動車産業などを中心に、大規模で進歩したシステムが日常的に利用されており、形状モデリングは、一面ではかなり成熟した技術となった、とも考えられる。しかし、CAD/CAM技術が進歩し、より高度な形状処理が要求されるにつれ、従来とは異なった形状処理へのアプローチが必要になってきた。

従来の形状処理の方式を乱暴にまとめて言えば、形状に対する要求を幾何学的条件として明確にし、それらを満たす形状をきちんと生成できる数学理論を発展させてきた、と言える。自動車に代表されるような高品質曲面の生成や複雑な形状を誤りなく処理できる立体モデリングの技術など、実用的な技術として確立してきた。^{11,12} より複雑で、高精度な形状を扱うためには、形状入力手法、形状処理理論、コンピュータ上での実現技術などについて、さらに研究が必要とされている。

しかし、CAD/CAMへの応用の立場から、広く形状処理の問題を考えてみると、従来はよく考察されていなかった問題点があることが分かる。¹³ それらは、大雑把に言えば、CAD/CAMシステムで設計生産しようとする対象製品に対する要求条件を、いかにして対象製品の形状に対する条件に帰着させていくか、ということである。

機械製品を代表として、多くの工業製品は、最終的に形状が確定して、設計が終了する。形状を確定させるまでの過程は、製品の種類や業種によってさまざまである。意匠形状を重視する製品では、設計の早い段階から形状がきちんと考察される。このようなものに対しては、従来の形状処理技術を適用しやすい。機能製品では、機能設計が主体となり、形状設計に多くの工数をさく余裕

がない。このようなものでも、最終的にはきちんとした形状を規定しなければ、物が作れない。そこで、従来の形状モデリングにより形状を生成するのであるが、いかにして形状定義データを生成するのか、が問題となる。

以上のようなことから問題となる点をまとめてみる。

(1) 形状定義の不完全性

製品機能からある制約が課せられるが、形状の詳細については、設計者は気にしないという場合がある。このような場合でも、形状を細部まできちんと規定しなければならないとすると、設計者にとって大変面倒である。設計意図から不完全情報を補い、形状モデリングへ引き渡す仕組みが必要である。

(2) 形状精度の制御

意匠形状や機能的に重要な役割を果たす形状などは、極めて高精度に設計される必要がある。これらに対しては十分に工数をかけて形状入力しても引合う。さほど重要でない所には、それほど工数をかけられない。しかし、形状は作らねばならないので、「ほどほどの」精度で形状を規定できると便利である。

(3) デフォルト形状の利用

通常の製品であれば、形状の多くの部分は、既存形状の引用である。簡単な指定で、あるいは無指定で、適切な既存形状を適合させて、はめこんでくれると良い。

(4) 形状要素間の関係

形状を構成している要素間には、さまざまな関係がある。依存関係や拘束関係などがあるが、形状生成や変更の折に、これらの関係を保持して、処理が進められると便利である。

(5) 多重モデル

設計過程では、同一物体について、いくつかの異なる形状モデルが構成されることがある。概略形状と詳細形状、組立品の全体形状とその部品

形状などである。これらのモデルの間の関連を管理し、不整合を防ぐような仕組みがあると良いが、難しい。また、一方から他方を生成することも必要となるであろう。

(6) 頑健性

人は、誤差の多い図面を書いているので、対象を理解しているので、必要な時には精度の良い図面を書くことができる。コンピュータ処理では、一度精度が落ちると、元へ戻すことは困難である。形状定義情報に基づき、精度を回復して、形状処理をより頑健にしていかなければならない。もちろん、計算幾何学の問題として頑健な幾何処理アルゴリズムを追及することが重要であることは、いうまでもない。

(7) 形状特徴

形状特徴 (form feature) は、最近極めて良く知られるようになった概念である。設計や生産のいろいろな立場から、ひとまとまりとして把握できる形状を指す。この概念をうまく利用すると、形状入力や処理を効率的にすることができる。これについては、5.5節に詳しく述べることにする。

以上にあげた形状モデリングの問題点は従来からの形状モデリングの研究開発と対立するわけではなく、それらを補完するものである。

従来の形状モデリングでは、基本的に、人が事細かに形状を規定せねばならなかった。意匠形状のような場合には、形状そのものが設計者の重要な意図を表しているのであるから、当然のことであるが、上記のように、製品設計生産においては、そうでないような形状生成過程も沢山ある。そのような場合には、すべての形状を人が規定しなくても、人の設計意図やその他の制約条件から、形状を楽に生成できるような、もう少し高度な形状生成法を導入することが望ましい、ということである。

例えば、意匠面を持つ射出成型品を考えてみよう。意匠面は、製品価値を決めるから、工数を

かけて設計することができる。射出成型品として成立させるためには、製品の肉厚を決め、内側形状を作り、内部部品を固定するための台などを配置し、補強のためのリブを入れたりする。成形性や強度などを考えると、これらは決して単純な作業ではないが、その結果の形状はかなり定型化している、と考えられる。その形状を1つ1つ、人手で入力していたのでは、設計変更や、類似品の製作なども考えると、とても現実的ではない。上記の問題点に記したような事柄を考慮に入れて、意匠形状を決め、技術的条件を人が指示すれば、細部形状を自動生成してくれるような機能が望まれる。

以上のような問題点を解決しなければ、形状生成に工数がかかりすぎることが障害となって、CAD/CAMのための完備した形状モデリングが普及することは難しい。

上記のような点を背景に、最近新しい形状モデリングの方法が見られるようになった。「幾何推論」(geometric reasoning)に基づく形状モデリングである。従来の形状モデリングが、形状生成や変形の操作を主体に、形状を直接的に作り出すのに対し、幾何推論では、形状の幾何的性質とそれに対する推論機構を主体にしている点が大きく異なる。ここに、コンピュータグラフィックス技術とAI技術の結合の典型を見ることができ、これが上記の問題の解決に極めて有効であると期待されている。

5.4 幾何推論と形状モデリング

幾何推論の話に入る前に、設計作業と形状モデリングの関係を見直して、幾何推論の役割を明確にしておこう。¹⁾ 製品設計の実態は、製品により大幅に異なっている。しかし、かなり多くの場合に、制約条件を解いていく過程と見なすことができる。(設計過程を形式化するための考え方は、他にも多くあり、これが代表的なものではない。)

種々の設計要求は、製品機能に対する制約条件に翻訳され、さらに具体的な製品にするために、製品を直接的に規定するような属性に対する制約条件に翻訳される。形状は最も重要な属性であり、形状に対する制約条件を解いて、製品形状が確定することになる。この段階で、幾何推論が有効に利用される。上記の過程で、制約条件の翻訳は決して容易ではなく、また制約条件は一般に整合的でもなく、完全でもないので、制約条件解法もまた単純ではないことに注意されたい。幾何推論について、この点を以下に論ずる。

幾何推論の概念がいつ導入されたのか、明確ではないが、形状モデリングの研究に従事していた人々の間では、その必要性は古くから意識されていた。形状を構成的に記述していく操作主体の形状モデリングがまず発展してきたが、その過程で、前節で述べたような問題点が指摘されるようになった。その解決の方向として、幾何推論的な機能が必要なことは意識されてきたが、最近に至るまで具体化の技術が追いつかなかった、というのが実態であろう。

幾何推論の定義は、文献によりさまざまであるが、²⁾ 対象とする要素の幾何学的性質とそれらの間の幾何学的関係を与えて、幾何学的な推論規則により形状の性質を導出する、というのが一般的な範囲である。特に、形状モデルに関連して、幾何学的関係を重視して、関連する幾何学的性質の整合性を保つことや、必要な幾何要素を生成することが重要であり、このための仕組みが考案されている。具体化のための論理としては、特別なものは少なく、通常の述語論理の範囲で実現している。

対象となる幾何要素としては、実体に対応する線や面などだけでなく、それらを規定するために必要となるより抽象的な要素も考える必要がある。中心線など、あるいは形状を規定する構造的な骨組形状などである。また、これらの要素の間

には、階層関係があり、性質の継承をきちんと表現しておく必要がある。これらは後述するように、より一般的に形状特徴という概念でまとめられる。

関係情報としては、いわゆる幾何的 (geometrical) な情報のほかに、位相的 (topological) な情報も管理する必要がある。2次元形状の処理のように、位相的情報をあまり扱わなくてもよい場合には明確であるが、3次元形状処理のように、一般的には複雑な位相処理を必要とする場合は難しい。従来は、面モデルとか立体モデルなどのように、位相構造のはっきりしたもののみを扱ってきたが、設計過程を一般的に考えると、もっと多様な位相構造が必要となることが分かる。例えば非多様体構造などである。⁵¹ 従来の形状モデリングでは、これらの構造をポイント形式のデータ構造で表してきたが、幾何推論の対象としては不便である。述語論理による構造記述をすればよいが、処理効率の問題などがあり、今後の多くの検討が必要である。

幾何学的な推論規則の多くは、基本的には単純なプロダクションルールの形式で、書き下すことができる。しかし、形状生成や変更に伴う状態変化を管理するために、状態変数を導入したり、他の仕組みを考慮する必要がある。複雑な位相構造の操作が必要な場合は難しい。例えば、寸法を変化させて、形状を変更したとき、位相構造が変化するようなときである。このような変化を操作的ではなく、論理を用いて宣言的に効率よく記述できるか否か、まだ分かっていない。現状では、手続き的手法を呼び出して処理することが多いと思われるが、そうすると、結果の形状の性質を追跡することが困難になる。

形状の生成や変更は、通常次のような手順で行なわれる。形状に対する制約条件に基づき、推論規則を適用して、形状を決定する手順を導出する。その手順に従って、具体的な形状構成操作を

実行する。具体的な形状構成操作を一部実行しないと手順が決らないとか、形状構成操作において、複雑な計算を必要とするものは、うまく扱えない。例えば、一方から他方へ計算が進むように整理できず、多変数の方程式を解くような形式になると、一般に難しくなる。

論理操作で終始する幾何推論は良いのだが、最終的に通常の形式の形状モデルに反映しようとすると、困難な問題がいろいろ起きてくる。現状は、問題ごとにアドホックに規則を規定している、といってよい。今後の検討が望まれる。

実用的には、数式の形式の制約条件を扱えることと便利ことが多い。ユークリッド幾何と解析幾何を、場合によって使い分けるようなものである。最近では制約論理プログラミング⁷¹など、論理プログラミングの中で制約式を扱えるようにし、制約式の評価の制御を柔軟に行なえるような道具も一般化してきた。数式処理や個別の問題解決ルーチンを結合して、強力な制約式評価を利用することは有用であろう。

また、制約条件を解く際に、制約条件間の不整合や不完全性を解決することは重要である。不整合な場合には、制約の強さにより、妥協を図ることが必要であり、不完全な場合には、デフォルト条件を導入する必要がある。これらのための幾何情報データベースを整備することは重要であるが、まだ何も行なわれていない。

形状生成の際の条件の依存関係を管理することも必要である。依存関係を管理することで、形状変更や生成を効率的に実行することができる。その実現の仕組みとしては、いろいろ考えられるが、ATMS (Assumption-based Truth Maintenance System) を利用する方式が実験されている。⁹¹

幾何推論のために、汎用の知識表現や処理の手法が活用されているが、幾何推論固有の問題点、特に具体的な形状データの生成などに関連して、

より深い分析が必要とされている。

5.5 形状特徴

幾何推論で、処理の対象となる要素として形状特徴は重要である。前述したように、形状に対する拘束条件は、設計や生産上の何らかの意図を表すものであると考えられ、その対象となる形状要素は、単に線や面だけでなく、設計や生産の意図に対応する意味あるまとまりであることが望ましい。これを形状特徴という。

形状特徴の定義は人によってさまざまなようである。^[10, 11, 12] 一般的に言って、形状特徴とは、ある目的のために有用な、形状の特徴的な性質を持った部分を指す。これでは、ほとんど定義になっていないが、同一形状を見ても、何のために用いるかにより、異なった形状特徴が把握されるので、これ以上の一般的定義は難しいと言える。形状特徴は、応用の観点から、形状モデルより一段抽象的に見た形状要素の記述であると考えられる。

例えば、寸法や公差の規定においては、関連する要素は形状モデルの中の幾何要素である、と考えると概念がうまく整理できない。平面性などの一定の性質を持った形状特徴間の関係を規定する、と考えるべきである。そのような形状特徴をノミナルに表現するものが、対応する形状モデル内の幾何要素である。また、機械加工を中心に考えると、図表Ⅲ-2-31のような形状特徴があげられる。各形状特徴は、対応する加工法より付与される特有の性質を保持している。

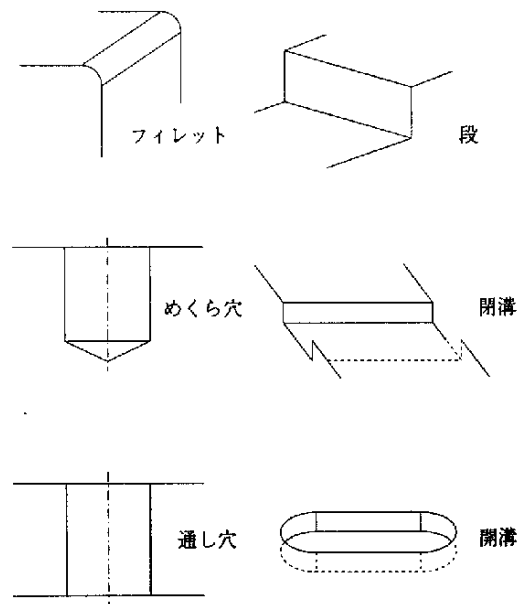
現状では、応用ごとに個別の形状特徴の体系が考察されている。考察の観点としては、製品の概念設計、詳細設計、工程設計、あるいは加工や組立、検査など、さまざまであり、これらは強く関連している。例えば、製品の設計意図が工程設計にいかん反映されるか、という問題は、設計形状特徴と工程設計形状特徴との間の関連や変換を考

察するという問題に帰着される。このような問題を解くのに、幾何推論は1つの強力な枠組となる。

さて、形状特徴の表現法を考えてみよう。大別して、従来の立体モデリングなどのような形状モデリングと関連を持たないものと、持つものがある。前者は、工程設計などの特定の応用のために導入されてきたものが多く、形状特徴を、特定の言語や論理記述などにより表現する。これでは、形状特徴に対応する形状の詳細な評価ができないので、後述するような形状特徴の変換や組み合わせなどを扱うことが困難である。一般的には、形状特徴記述と形状モデリングを緊密に統合し、一方の変化が他方にきちんと反映するような仕組みを考えておく必要がある。

基礎となる形状モデルの表現法としては、CSG (Constructive Solid Geometry) 表現や境界表現などがあるが^[11]、形状特徴表現のためには境界表現を用いることが多い。しかし、通常の閉殻に基づく立体表現のみでは不十分で、非多様体表現を用

図表Ⅲ-2-31 機械加工のために形状特



いて、いろいろな位相構造を表現できるようにする必要がある。形状特徴は、これらの表現に含まれる幾何要素の性質や関係を、述語論理などの言語を用いて記述することにより、定義される。

設計生産などへの応用においては、形状特徴の入力や処理について考えておく必要がある。形状モデルを、通常の形状モデルが持っているような基本形状の組合せとして入力することは、製品の機能や生産性からの要求との整合性が悪く、入力の手間が大変であることは、良く知られている。そのために、形状特徴が導入されたわけだが、実際の形状生成にあたっては、形状特徴の組合せや干渉処理に注意を払う必要がある。¹³⁾

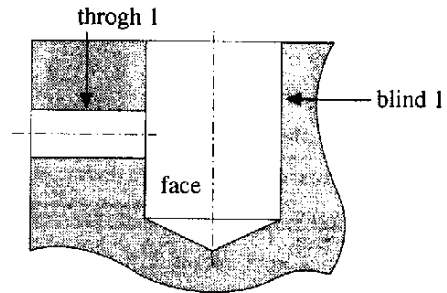
例えば、図表Ⅲ-2-32 (a) においては、1つの穴の側面に他の穴が開口部を持っている。また、同図 (b) においては、穴の上面の開口部に対応する平面を削ってしまうことにより、開口部の面が変わっている。このような場合に、形状特徴記述から形状モデル表現へ、あるいはその逆へと、表現変化の記述をきちんと行なうことは、一般的には面倒で困難な処理である。

形状特徴により、形状が記述される場合には、詳細な形状に至るまで、記述が常に完全であるとはいえない。例えば、指定された形状特徴の間を適切に結合するような形状要素を補完せねばならないようなことは多い。このような処理が完備して、はじめて人に優しい形状入力が可能となる。1例として、3面図入力からの立体形状の再構成問題を考えてみる。現在の方式は、幾何学的考察にのみ依存しているため、図面が不完全であると、全く無力となる。ところが、通常の3面図は、幾何学的には不完全であることのほうが普通である。これを解決するには、3面図の情報を形状特徴として解釈し、対象に関する付加的な知識も利用して、形状を合成す

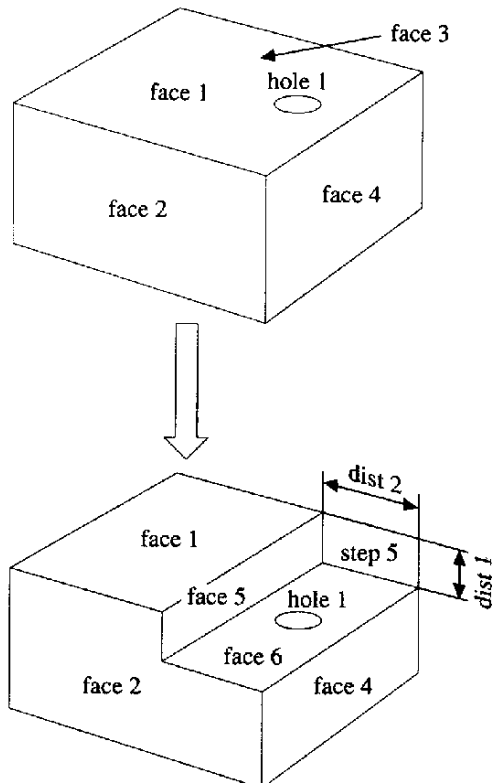
る方式が考えられるが、まだよく研究されていない。

形状モデル記述から形状特徴を認識することも、また重要である。形状特徴は、その定義により、応用や目的に依存しているので、形状モデルのみから形状特徴を認識しようとすることは、ほとんど意味がない。むしろ、形状特徴の変換問題

図表Ⅲ-2-32 形状特徴の干渉と変化

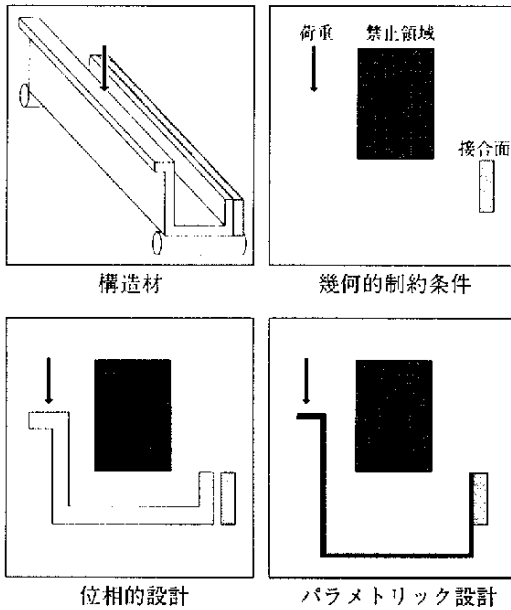


(a) 穴形状特徴の干渉

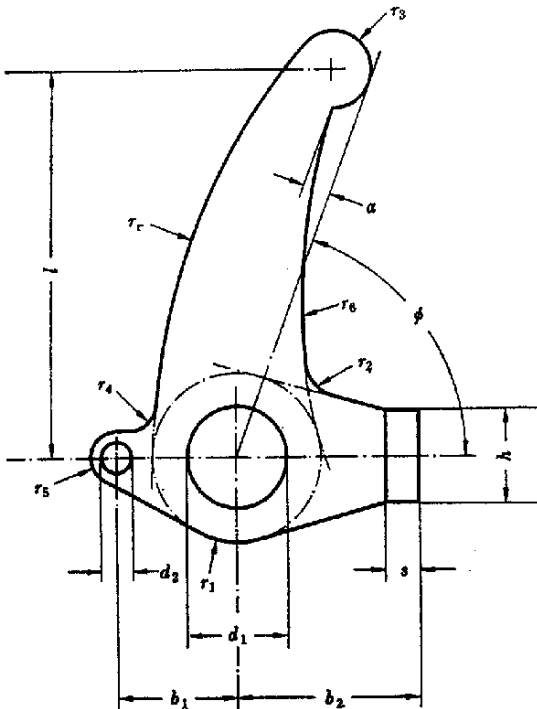


(a) 形状特徴の変化

図表III-2-33 構造材の断面形状生成手順



図表III-2-34 寸法により拘束された可変形状



としてとらえるほうが妥当である。例えば、設計形状特徴により記述された製品モデルから、工程设计で必要となる加工に対応する形状特徴を認識することなどである。このような認識のためには、形状要素間の局所的関係のみでなく、大域的な形状認識や技術知識なども必要となり、困難な課題となるが、未だによく考察されていない。

以上のような各種の形状特徴操作は、個々の応用分野に従って、前節に述べた幾何推論の基本的道具を用いて実現されていくことになる。

5.6 設計生産問題への適用例

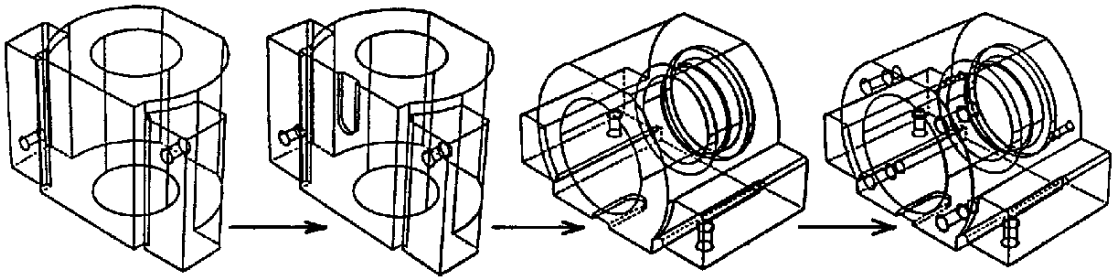
ここでは、設計生産自動化の問題そのものを取りあげることはしない。しかし、5.3節で述べたように、機械製品を考える場合、最終的には形状が機能を発揮するという観点から、機能要求を、何らかの手段により形状拘束に帰着させることは、かなり一般的な有効性を持つことが期待される。このことを前提として、以下では、幾何拘束と幾何推論によるモデル生成や変換の例を示す。

(1) 形状生成

形状に関する制約条件を与えられて、それを満足する形状を自動生成する問題を考える。一般に必要な十分な制約条件が与えられるわけではなく、制約条件の矛盾の解消や、付加情報の導入が必要となる。機能要求により、概略の構造や形状を決定し、生産上の制約などを考えて、形状の詳細を決定するような方法が考えられている。打抜きによる板金部品⁽⁴⁾や、引抜きによる構造材⁽⁵⁾などの形状設計を扱った例がある。図表III-2-33に、構造材の断面形状生成手順の概要を示す。いずれも、2次元形状を扱っているが、3次元形状への拡張は容易ではない。このような類の問題については、過去の設計例や標準部品の情報、生産技術の知識などを体系的に整理し、利用しないと、高度な形状設計はできない。

(2) 可変形状 (Variational Geometry)

図表Ⅲ-2-35 工程設計におけるモデル形状変化



形状を規定する拘束条件として、寸法・公差は極めて重要である。古くは、数理的手法によるものがあつたが、^{16, 17)} 設計生産問題の要求に十分応えられなかった。最近では、論理記述により、寸法や公差の意味を記述し、幾何推論を適用して、寸法変更や公差域の算出などを可能とするものが出てきた。^{18, 19, 20)} 1例を図表Ⅲ-2-34に示す。¹⁹⁾ やはり、2次元形状が主体で、3次元の扱いはこれからである。

(3) 工程設計

機械加工の自動工程設計問題のために、製品の形状特徴記述とルールベースによる工程設計知識の形式化の研究が盛んに行なわれてきた。²¹⁾ しかし、前節で述べたような、形状モデルと形状特徴操作との統合が十分ではなかった。最近では、工程設計途上での対象製品や素材の変化をきちんとモデル化し、正確なプランニングを可能とするものがでてきた。²²⁾ 図表Ⅲ-2-35に、モデル変化の様子を示す。現状では、加工手順の自動決定のレベルであるが、さらに取付具の自動設定や、加工精度評価などを行なうためには、より完全な形状特徴モデリングが必要とされている。²³⁾

<参考文献>

- 1) M. Mantyla : An Introduction to Solid Modelling, Computer Science Press (1987).
- 2) W. Boehm : A Survey of Curve and Surface Methods in CAGD, Computer Aided Geometric Design.

Vol. 1, No. 1, pp. 1-60 (1984).

- 3) 木村文彦 : 形状モデリングとCAD/CAM, 精密工学会誌, Vol. 53, No. 3, pp. 361-364 (1987).
- 4) F. Kimura, H. Suzuki, H. Ando, T. Sato and A. Kinosada : Variational Geometry Based on Logical Constraints and its Applications to Product Modelling, Annals of CIRP, Vol. 36, No. 1, pp. 65-68 (1987).
- 5) F. Arbab and J. Wing : Geometric Reasoning : A New Paradigm for Processing Geometric Information, Design Theory for CAD (Book), pp. 145-159 (1987).
- 6) K. Weiler : Non-Manifold Geometric Modeling, Preprint of IFIP WG5.2 Workshop on Geometric Modelling (1986).
- 7) J. Jaffar and S. Michaylov : Methodology and Implementation of a Constraint Logic Programming System, Technical Report, Computer Science Dept., Monash University (1986).
- 8) 安藤英俊、鈴木宏正、木村文彦 : 機械設計のための幾何拘束処理システム、情報処理学会グラフィックスとCAD研究会報告、31-4 (1988).
- 9) 乾正知、木村文彦、佐田登志夫 : 非単調論理に基づくプロダクトモデリング-ソリッドモデリングへの応用-、昭和62年度精密工学会秋期大会講演会論文集、pp.293-294 (1988).
- 10) M. Pratt : Synthesis of an Optimal Approach to Form Feature Modelling, Proc. Computers in Engineering 88, ASME, pp. 263-274 (1988).
- 11) M. Unger and S. Ray : Feature-Based Process

Planning in the AMRF, Proc. Computers in Engineering 88, ASME, pp. 563-569 (1988).

12) M. Pratt and P. Wilson : Requirements for Support of Form Features in a Solid Modeling System, R-85-ASPP-01, CAM-I, Inc. (1985).

13) M. Inui, F. Kimura and T. Sata : Generation and Verification of Process Plans Using Dedicated Models of Products in Computers, Knowledge-Based Systems for Manufacturing, ASME, PED-Vol. 24, pp. 275-286 (1986).

14) 佐藤達志、鈴木宏正、木村文彦 : 緩やかな拘束条件のもとでの板金部品形状の生成、第5回設計自動化工学講演会論文集, pp. 19-21 (1987).

15) M. Duffey and R. Dixon : Automating the Design of Extrusions : A Case Study in Geometric and Topological Reasoning for Mechanical Design, Proc. Computers in Engineering 88, ASME, pp. 505-511 (1988).

16) R. Hillyard : Dimensions and Tolerances in Shape Design, TR-8, Computer Laboratory, University of Cambridge (1978).

17) V. Lin, D. Gossard and A. Right : Variational Geometry in Computer Aided Design, Proc. SIGGRAPH 81, pp. 171 (1981).

18) F. Kimura, H. Suzuki and L. Wingard : A Uniform Approach to Dimensioning and Tolerancing in Product Modelling, Proc. CAPE 86, North-Holland, pp. 165-178 (1987).

19) B. Aldefeld : Variation of Geometries based on a Geometric-reasoning Method, CAD J., Vol. 20, No. 3, pp. 117-126 (1988).

20) H. Suzuki, H. Ando and F. Kimura : Synthesizing Product Shapes with Geometric Design Constraints and Reasoning, Preprint of IFIP WG5.2 Workshop on Intelligent CAD, Cambridge (1988).

21) Y. Descotte and J. C. Latombe : Making Compromises among Antagonist Constraints in a Planner,

Artificial Intelligence, Vol. 27, No. 2, pp. 183-217 (1985).

22) M. Inui, H. Suzuki, F. Kimura and T. Sata : Extending Process Planning Capabilities with Dynamic Manipulation of product Models, Proc. 19th CIRP Manufacturing Systems Seminar, pp. 273-280 (1987).

23) J. Boerma and H. Kals : FIXES, A System for Automatic Selection of Set-ups and Design of Fixtures, Annals of CIRP, Vol. 37, No. 1, pp. 443-446 (1988).

第6章 今後の発展の方向

知的CADの概要を述べてきたが、狭い範囲を対象とした設計エキスパートシステムなどの例を除いて、実用レベルからまだ遠いといわざるをえない。現状の問題点と今後の発展への期待をまとめてみよう。

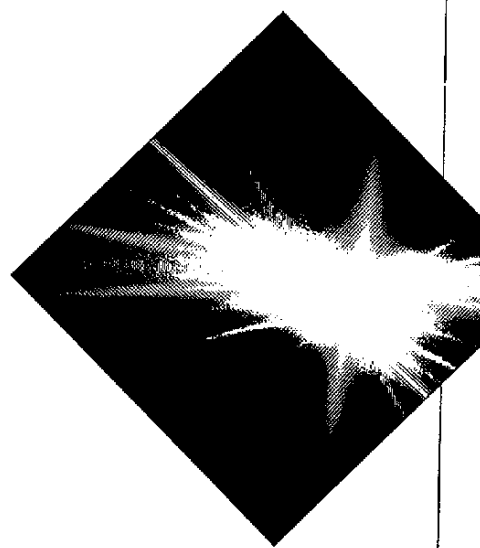
知的CADでは、従来のCADにない機能を目指しているが、未だにトイワールドを扱っている傾向がある。現実的な問題を扱っていくためには、AIの実現環境の性能向上を追及すると共に、互いに機能を補完すべく既存のCADとの密接な結合を達成する必要がある。比較的単純な大規模データベース、複雑な形状や図形の処理、大規模な技術計算、専用のユーザインタフェースなど、いわゆる知的処理とは補完的なもので、一般的にはこれらをAIの枠組みでは扱わずに、個別の既存処理にまかせたほうが良いことが多い。しかし、両者の緊密で効率の良い統合化は容易ではなく、今後の多くの研究を必要とする。例えば、3次元図形処理は、幾何学的性質の導出と絡めて重要であるが、Cなどの手続的言語で書かれた既存のモデリングシステムを呼び出すのか、記号的な知識処理の中で全く新たに作り直すのか、は利害得失が半ばしてその決断が難しい。

実用化にあたっては、知的CADの本当の有効

性を改めて確認しておく必要がある。複雑な処理のプロトタイピングとしての意義が強く、実用化にあたってはシステムを全面的に書き直した方がよい場合も多い。特に、推論や探索に依存する問題は、効率の面から専用化への要求が強い。大量の工学知識を扱い、新たな知識の導入に柔軟に対処できる、などのように、知識指向の処理の場合に知的CADの本当の有効性が発揮されるのかもしれない。しかし、それほどの大量の工学知識はコンピュータ化されていないのが現状である。

利用者の観点からは、知的CADの有効な利用法を確立することが必要である。自動化可能な比較的簡単な仕事を知的CADに任せて、人は難しい仕事に専念するのか、設計全体をCADに任せて人にとってブラックボックスにしてしまうのか、この間にいろいろなタイプがありうる。コンピュータの高度利用を前提とすると、設計作業全体の体系が変わりうるが、実用化の観点からはこのような検討はほとんどなされていない。

第Ⅳ編 環境・基盤整備状況



第1部 標準化

第1章 AI言語

1.1 Common Lispの動向とLispの標準化

(1) はじめに

Lispがどの程度日本で使われているか?これを客観的に述べることは難しい。最近のデータとしては、情報処理学会1989年前期全国大会での発表でのLisp関連のものの件数をあげることができる。それによれば、全件数1168件のうち、82件がLispそのもの、もしくはそれに直接関連する発表である。これをパーセントに直せば7%であり、全体は、ハードウェアから基本ソフト、応用等にわたることを考えると小さな数字ではない。

また、その全国大会での招待講演は"Common Lisp Object System"と題して、そもそもの開発者であるG. Kiczales氏 (Xerox PARC) によりCommon Lisp用のオブジェクト指向標準案について講演が行なわれた。

Lispの標準を議論するにはここに至る道筋を記しておく必要がある。

1950年代初期からのLispの歴史と現在に至る道程を述べるには、日本だけを見ても1974年に情報処理学会に作られた記号処理研究委員会の活動、あるいは、学会・産業界におけるLisp処理系関連の歴史をひもとく必要があるが、1980年代、特にその後半に焦点を当てて述べるのがこの章の目的である。

この期の動向は次のようにまとめられる。

- ①JIS、ISO、ANSIいずれも標準の制定は進行中であり完了していない。
- ②国際的にも多数の処理系が存在し、その上で

多数の応用が開発され、また固まった仕様を持つのはANSI X3J13において作業が進行中のCommon Lispである。

- ③Common Lispはdefacto standardとして機能している。また、その仕様の明確化、改良に当たっては国際的な意見交流が有効に機能している。

- ④Common Lisp以外にもよく知られているLisp処理系としては、InterLisp (Xerox)、UtiLisp (東大)、Franz Lispなどがあるが、現実の処理系および応用の流通実績から見ても、Common Lispの占める位置は大きい。

本節では、こうした点からCommon Lispに関する動向を中心にまとめる。

(2) Common Lisp

Guy Steeleらによる「Common Lisp: the Language」(CLtL)が、1984年に出版されて以来、Common Lisp処理系は多数のコンピュータの上に用意され、多くのAIソフトウェアがその上で開発された。

約30年のLisp文化で培われてきた道具の多くが、その言語仕様の中に組み込まれ、豊富な機能を期待する多くの人々に歓迎され、その結果、ANSI Common Lispを制定するべく米国においては1986年よりX3J13作業グループが始まった。

日本においても1987年よりJIS Lisp WGが設けられ、LispのISO化も1988年より議論が進められる時代となった。

このことは、Lispが大学/研究機関だけのものではなく、実験室を出て、広く産業界で受け入れ出したという実際の流れを同時に表している。また、実験室で議論されるテーマと産業界での応用におけるテーマとは必然的に異なっており、

いわば、Lispの産業化の側面はそれに必要な標準化への要求を自然に引き起こしたといえることができる。

この結果、Common Lispは、機能の豊富さと、多数の人の努力の結集と熱意により、公式の標準とはなっていないものの中心的な役割を果たしてきた。

これらの流れの中で、CLiLも、ANSI X3J13での作業を反映して、1989年に改訂され、第2版（CLiL2）が出版された。

現在では、図表Ⅳ-1-1のような処理系が存在する。大別すると、Lucid系、Allegro系、KCL系、そしてLispマシン用、メインフレーム用、パソコン用などに類別することができる。

これらの仕様の共通性は高く、現在予定されているX3J13によるANSI Common Lisp原案の提出に歩を合わせて、一層の仕様の共通化が意図されている。

（3）Common Lisp成立と進展の背景となる底流

1984年の時点において漠然と考えられていた実現への動きとしては、カーネギーメロン大学で開発されていたSpice Lispを親としてパブリックドメインのソースコードを持ち、同時に、例えばSymbolicsのような既存商用Lisp処理系提供者達は

まず、Common Lisp互換パッケージからはじめ、徐々にCommon Lisp化するということがあった。これによってLisp文化の連続的な継承と育成を図ることが意図されていた。

このベースとなったCLiLは、その仕様の大きさに驚く人が多かったが、必ずしもすべての機能を完璧に実現しなければならないという性格ではなかった。このことは強調しておかねばならない。

1つの例としては、豊富なデータ型というものがあるが、Common Lispの特徴の1つにあるが、「それらのうちのこれとこれを実現していればCommon Lispである」という表記がCLiLにはある。CLiLに書かれているような機能を実現するなら、そこに書かれている仕様を満たせという性格のものであった。実際に起きたことは利用者の要求に従って、多くの処理系はCLiLに記されたすべての機能を実現するようになった。そして、1989年に出版されたCLiL第2版（CLiL2）では、一部の機能の実現だけを認めるような表記はなくなった。

1984年頃より表面化したCommon Lispへの動きは先立つ数年のワーキングドキュメントをめぐる議論を経て、Spice Lispを基にした商用処理系の開発がDEC社のVaxLispをはじめとして順に始まった。国内でも図表Ⅳ-1-2のように順に処理

図表Ⅳ-1-1 現在存在する主なCommon Lisp処理系の例

ワークステーション上の処理系

- 1 Lispとその系統に属する処理系：Sun, Sony News, Apollo, ...
- 2 Allegro Common Lispとその系統に属する処理系：Sun, NeXT, Cray, NEC EWS, ...
- 3 KCL (Kyoto Common Lisp) とその系統に属する処理系：IBCL, AKCL, Delphi, ...
- 4 Spice Lisp：CMU Common Lisp, Vax Lisp
- 5 その他：Herlequin

パーソナルコンピュータ・Mac上の処理系：GC Lisp, Procyon, ...

メインフレーム上の処理系：Fujitsu, Hitachi, NEC, ...

Lispマシン

- 1 Symbolics
- 2 Xerox
- 3 NTT

系が導入された。そのほとんどはCLiL準拠をうたっていた。

Common Lispの機能の豊富さという特徴に対しては、もっと小さな仕様をという要求、いいかえれば、サブセットの制定がごく自然の流れとして求められてきた。これらは、CLiLのフル機能をパソコン上で実現するのは困難と思われていたこと、主に教育上の理由などから全機能は必ずしも不要という主張が根強いこと、公式に2レベルあった方がいい、等に類別できる。その中のいくつかを拾うと、最初は1983年頃を中心

にCLiL設計者達自身から提起されたもの、次は、1985, 86年頃に、日本の電子協Lisp技術委員会よりX3J13に提起されたCL/Core、その次は、1988年頃にフランスを中心に検討された案などがある。

これらはいずれも処理系を生むようには成立していない。その底流にある処理系製作者の中にある考え方は次のような論点である。

サブセット化についていつも同時に出てくる議論は、パソコン関連技術の進歩、特にメモリ技術の進歩があり、サブセットを制定したとしてもその頃にはフルセットのCommon Lispがパソコン程度でも動くであろうという議論である。

こうした点は裏返して言えば、Lispの工業化/産業化と密接な関係があり、その結果機能の豊富さに欠けると判断されるサブセットが本質的に有用な場が認められていないことも多い。

また、京都大学のKCLの開発はCommon Lisp処理系の開発者達に大きなインパクトを与えた。

KCLは、C言語を親とする移植性の高い処理系であり、かつ、パブリックドメインとして利用可能である。所要メモリも、例えば、主記憶2Mバイトでもとりあえず動作できるなど、コンパクトでありかつ実行性能も当時の他のCommon Lisp処理系よりよいデータがあった。KCLによりCommon Lispの普及と位置は確実なものとなった。同時に、KCLはCLiLの機能のほとん

図表Ⅳ-1-2 Common Lisp処理系の日本への導入

1984	Nihongo VAX LISP (DEC Japan -C-) Kyoto Common Lisp (Kyoto University -R C-)
1985	ESHELL/FM (Fujitsu Ltd. -A-) KBMS (NTT -A-), EXCORE (NEC -A-) GCLisp (CEC), KEE (CSK)
1986	KS-300 Series (Nihon Unisys Ltd. Japanized TI-Explorer I, II -I-) KEE/KS-300 (Nihon Unisys Ltd. -I-)
1987	VOS3LISP (Hitachi Ltd. -C-) Lisp System (Fujitsu Ltd. -C-) TAO (NTT Intelligent Tech. Co., Ltd. -C-) Symbolics Common Lisp (Nihon Symbolics Inc. -I-) ABCL/I (Tokyo Institute of Technology -R A-) Nihongo San Marco Lisp Explorer (CEC -A-)
1988	Hi-UX LISP (Hitachi Ltd. -C-) Lucid Common Lisp 3.0 /NEWS (CSK Corp. -I-)
1989	VOS3LISP E2 (Hitachi Ltd. -O-) ELIS Common Lisp (NTT Intelligent Tech. Co. Ltd. -C-) Nihongo Common Windows (CSK Corp. -A-) YY on X (Aoyama Gakuin University. -R A-)
1990 (Scheduled)	NX-LISP (NEC Corp. -C-)

<記号説明>

- A-: Common Lisp上のアプリケーション
- I-: 輸入されジャパナイズされた処理系
- C-: 国内で開発された処理系
- O-: 国内で開発された処理系 (CLOS機能含む)
- R-: 研究成果物

- 注: 1. このリストには、国内において再加工されていない処理系等は含まれていない。(例: Allegro CL, ART)
2. パソコン上のCommon Lispサブセット(とされる)処理系は含まれていない。
3. このリストは、応用を含めることを主眼としてはない。

どを実現していたので、以後の商用処理系の仕様はKCLを意識して設定されることになった。

このKCLの登場もCommon Lisp仕様の高機能化というその後の軌道を促した。また、CLiLは1984年の出版以前にも数回の版があり、それらの作成と議論に費やした設計者達の努力は膨大なものである。これらを短期間のうちにキャッチアップしたKCL製作者達のもたらしたインパクトは大きい。

総じて、これらの事実が指している方向は、Lispのもつ幅広い利用者の中核となるべきものは最新のソフトウェアテクノロジーをLispの中で利用したい利用者達で、簡潔性よりも機能の豊富さとその洗練化を求めた方向のように思われる。それは、Lispの中にオブジェクト指向を取入れ、各種の細かなインタフェースを整備し、プログラミング環境との密接な連携を求め、現在に至るまで、ネットワーク／ワークステーション環境下での他の世界との共存／連携を求め、また、並列化を求め、ランタイム版へのカスタマイズ機能を求めている。それは、プログラミング言語としての発展のみならず、OSあるいは全体的なソフトウェア環境の発展と密接に関連した着実な流れである。

(4) X3J13におけるCommon Lispの標準化

1986年9月にはじまったX3J13委員会は、ANSIに対してCommonLispの標準仕様原案を作成するために組織されたものである。この委員会の当初の目的はGuy L. SteeleによるCLiLの出版当時から予定されていた「委員会形式による仕様の確立」のためのものであった。同時にCommon Lispの仕様書の共有を目指すためのものであった。

というのは、CLiLは特定の出版社から出された出版物であるので各処理系がマニュアルとして利用する場合にいくつかの不都合が生じる懸念があり、これを共有物としてまとめ直す必要があったからである。

当初の線引きでは1988年初頭に原案がまとめら

れる予定が、現在ようやく原案作成の手順が動きだし、"Working Draft American National Standard for Information Systems-Programming Language Common Lisp"というドラフトが委員会内ではほぼ終了している。

この遅延は、

- ①仕様の明確化の議論に多大な努力を払ったこと、
- ②同時に新技術の取入れが行なわれそのためにも大きなパワーが使われたこと、
- ③米国内におけるAI関連産業の動向が必ずしもはかばかしくない時期があったこと、
- ④ISOにおける標準化作業における国論の対立、
- ⑤長期化にともなう各委員（ボランティア）の疲労

などによる。

X3J13には、数人の米国人以外のメンバーが正員として加わっている。日本からは井田昌之氏（青山学院大）、英国からはJeff Dalton氏（エジンバラ大）、フランスからはJerome Chailloux氏（INRIA、88年以降はISOとの関係で辞退）、その他である。

X3J13の作業の多くは定期的に行われる会合だけでなく、電子メールによる日常的な討論／会話が大きな役割を果たしている。

日本からの参加にはWNOCセンタ、慶大、東大、東工大、青学大その他を専用線接続したWideプロジェクトによるインターネット接続が大きく役立っている。

(5) X3J13 Common Lispの仕様上の特徴

CLiLで定義されたCommon Lispと、X3J13で現在まとめられつつあるCommon Lispとは、必然的にいくつかの点で異なる。

1989年の秋にCLiLの改訂版が出版された。これをCLiL2と呼ぶ。CLiL2はANSI X3J13ドラフトを包含し、さらに、いくつかの新しい仕様をその

中に入れている。Seriesがその大きなものである。

現在のCommon Lisp処理系はこのCLiL2に完全準拠しようとするものはない。X3J13で理解されているものと比べてCLiL2で一部追加されているものはまだ、パブリックアクセプタンスが無いからである。

とはいえ、CLiL2は出版され、広く参照が可能な最初のX3J13仕様を定義した文書であり、かつ、Common Lispの生みの親が作成したものであるのものでその影響は大きい。

X3J13仕様の特徴的な事項を以下に示す。

まず第1に、CLiLは必ずしも言語仕様を定義するという書き方がされていないために、CLiL準拠という考え方には曖昧さが残ることをあげることができる。X3J13ではその当初から、この仕様の明確化を第1の目的として取り組み、数百にのぼる細かな点での仕様の「ツメ」を行なった。まず、この点が大きく異なるところである。

第2に、X3J13 Common Lispでは、オブジェクト指向機能をその必須の機能として位置づけた。この結果、マニュアルの記述法だけでなく、処理系の作り方に大きな影響が生じることとなった。この点は、重要なので後述する。

第3に、例外処理機能が加わった。例外状態をなす要因をデータ型として類別し、それらの出現による処理の起動、そしてそれに対するユーザの応答（もしあれば）等の共通化が可能となった。

例外状態をなす要因としては、例えば、ゼロ除算チェックなどのハードウェアに起因するシグナル、メモリが無いといった、オペレーティングシステムに起因するシグナル、ソースプログラムにシンタックスエラーがあるといった言語仕様に起因するシグナルなどを見る見方が整理できるようになった。また、必要があればユーザに指示を仰ぎ、それに従って、続行、アボート、他の機能の実行といったことの選択ができるようになった。

デバッガへのエントリがはっきりとし、共通

化されるようになったという側面もある。多くのLispアプリケーションではユーザとの会話や、各種の環境を背負っているのもので、こうしたことの定義の意味は大きい。

第4に、Loop機能の拡充がある。Loopに対して細かな繰り返し制御機能が与えられた。Common Lispには多くの制御コンストラクトが用意されている。cond, ifなどの基礎的な条件分岐、case, when, unlessなどの条件分岐、do, do*, dotimes, dolistなどの繰り返しコンストラクトその他である。Loopはおそらく繰り返しを行なわせるためのコンストラクト概念としては最も上位に位置すべきものであったにもかかわらず、Common Lisp以前の方言の内での若干の構文則の違いなどから、CLiLにおいてはdo-forever的な永久繰り返し機能以上のものを定義できなかったものである。

(6) オブジェクト指向との取り組み

Common Lispへのオブジェクト指向機能の組み込み、いいかえれば、Common Lispのオブジェクト指向言語化は、Common Lisp成立当初からテーマとなっていた。長い視点を持てば、いずれにしてもオブジェクト指向機能が重要な役割を持つということに異論はないものの、具体的な仕様の新規作成、もしくは既存の仕様の流用のいずれの合意もされずにCommon Lisp: the Languageは1984年夏に出版された。一方、1984年度におけるCommon Lisp Communityの課題はXeroxの流れとどう取り組むかであった。

周知のようにXeroxのInterLispはBBN Lispをその親とし、図式的にいてもLisp 1.5以降、世界をMac Lispと二分してきた一方の雄であることに疑いはない。また、InterLispには独自のプログラミング環境が構築されており、その使いやすさには定評があるところである。

XeroxがCommon Lispとは一線を画して独自の道を行くのも1つの選択であるし、Common Lisp

と融合する方向で行くのも1つの選択である。

ある意味で全米のLispベースのAI産業がXeroxがどうするかを見守っていたのが1984年である。そしてその年の夏、1つの方向が技術的な側面で検討される。

「どの様な鍵を持ってCommon Lispのドアをあけるか？」

これが大きなテーマであった。すでに円熟したレベルにあるInterLisp文化とそれを担うユーザ達は、単に、InterLispからCommon Lispにかわりましたと割り切れない文化的蓄積と誇りがある。そうした意味からも、良い鍵、いいかえれば、良い貢献をともなって迎え入れられるのでなければ意味が無いことになる。その鍵がオブジェクト指向機能であった。いうまでもなく、もしこれが意図的なものであってニーズの無いものであるならどんなによい提案であっても受け入れられるはずが無い。また、それは学術的にも優れたもので無ければ意味が無い。

この(1)必要性、(2)先進性、(3)汎用性という同時に達成するのが大変困難なゴールの同時達成を目指して、Common Lisp用オブジェクト指向機能案の検討は始まるのである。Xerox PARCはこのために、大変な努力をしていく。

Xeroxは1985年の8月のミーティングでCommon-Loopsを標準案として提出し、LOOPSにこだわらないことを示し、そこから出発した。

図表Ⅳ-1-3に、オブジェクト指向機能検討を中心とする流れを示す。

一方、MacLisp系、いいかえればMIT的流れの1つのかなめであるLispマシンを製作販売する2つの会社LMIとSymbolics、特に、Symbolics社ではFlavorsに基づきオペレーティングシステム、ユーザインタフェース、そして応用プログラムが開発される体系が出来上がっている。オブジェクト指向機

能はその意味でLispの言語仕様よりももっと深いところでLispマシン文化とかかわっており、これも、良い仕様だからといって簡単にFlavorsを捨てることはできない面を持っている。事実、一番安直であり、かつ実現性が高いと当初多くの人に信じられていたのは、このFlavorsをCommon Lisp用オブジェクト指向機能の標準とする案であった。

いってみれば、Symbolics社の選択を他が見守ったという図が次にきた。Symbolicsの答えは、Flavorsの仕様を改訂し、新しいFlavorsを登場させた。これはより共通性の高いものにしようという表明であった。1985年12月のことである。

1986年2月よりXerox PARCはPortable Common-Loops (PCL) とよぶCommon-Loopsの処理系の開発・提供とそのメーリングリストによる討論を開始した。また、スタートしたX3J13に対して、3章からなるCommon Lisp Object System (CLOS) という仕様を提案した。

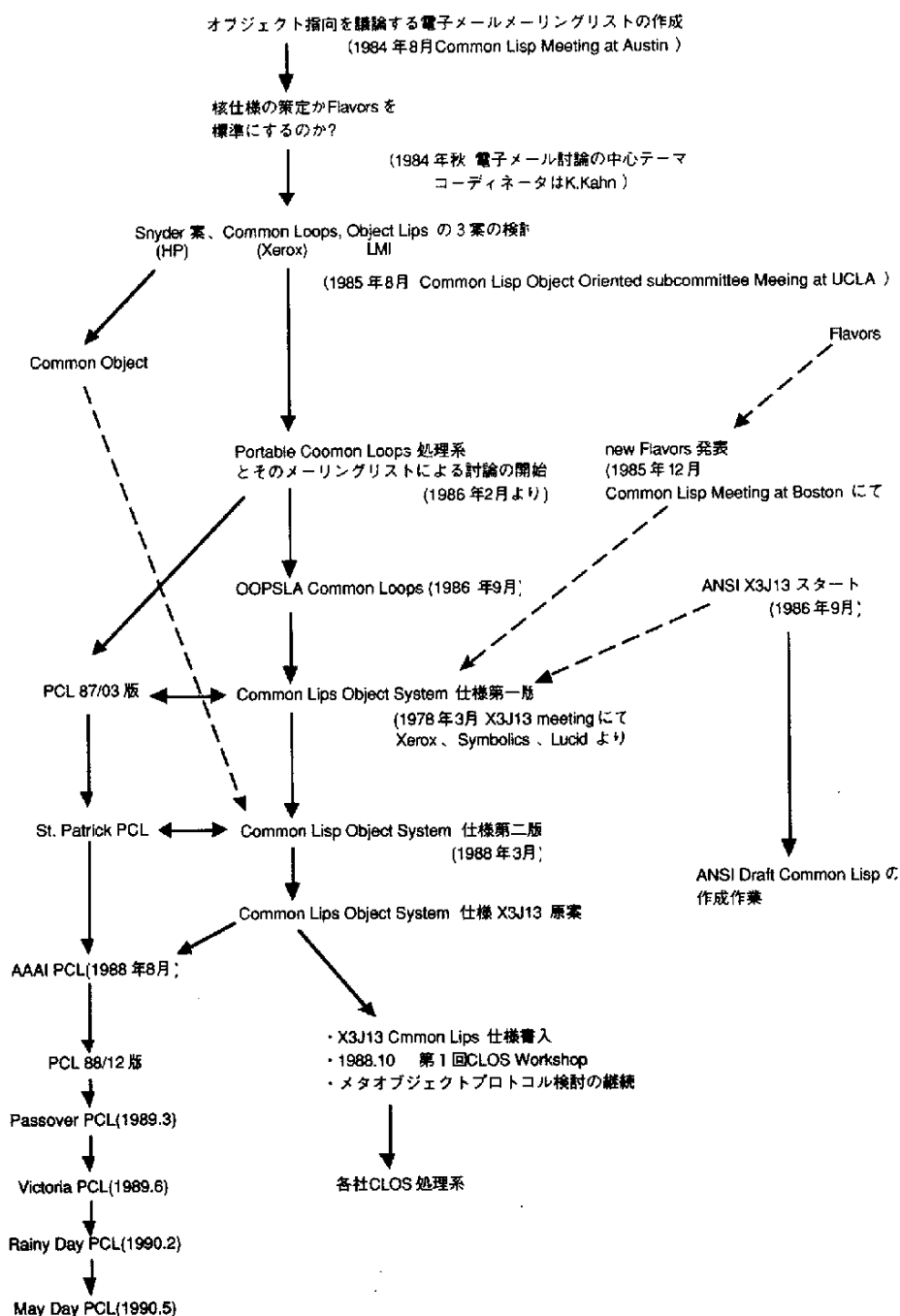
そしてPCLをそのパイロット処理系とすべく改良作業が続けられた。CLOS仕様の第1章、第2章は、88年の3月に改版され、それがX3J13の仕様に入れられることが決められた。第3章メタオブジェクトプロトコルは標準文書の付録としての扱いをすることが決められた。

CLOS Workshopが1988年10月をはじめとして年1回開かれるようになった。CLOSに関する書物もいくつか出されるようになった。

1990年に入り、Lucid、Symbolicsをはじめとして、多くのCommon Lisp処理系は独自のCLOSを持つようになった。パイロット処理系としてのPCLはMayDay Version (90/05/01版) となり、その役割を終えつつある。

各社のCLOS処理系の出現を受けて、MOPの文書は1990年4月よりGregorKiczalesらを中心として改版作業が再び進められ、1990年5月現在では以前の版より緩やかな表現を持ってまとまりつつある。

図表IV-1-3 Common Lisp用オブジェクト指向機能検討を中心とする流れ



(7) (社)電子工業振興協会での取り組み

電子協((社)電子工業振興協会)では、図表Ⅳ-1-4に示すように、かなり早い段階からこのCommon Lispを中心とするLispの産業化の動きに対応するために委員会(委員長:井田昌之氏)を組織した。この委員会では、米国において進行するCommon Lisp仕様の明確化・改良の動きと歩調を合わせ、各種原案の検討とそれに基づく意見交換、処理系への反映を行ってきた。

参加した組織数は平均で27社/年である。また、複数のワーキンググループによる重点的な調査や、

アンケート調査、シンポジウムの開催などの活動を行ってきた。活動の概要を図表Ⅳ-1-4に含める。

参考として、1985年と1987年のアンケート調査の一部から、使用しているLisp処理系に関する部分を図表Ⅳ-1-5にまとめる。

特に、文字処理機能拡張案はこの委員会で原案を作りそれをANSI X3J13に送り、それがもたくなって米国案が作られ、それにより改訂が進められるというプロセスが取られた。オブジェクト指向機能CLOSについても、その早期から活発な意見

見交流を行ない、その成立までの歩みを共にしてきた。

(8) 今後の課題

一口に言って現在のCommon Lispの課題は次に挙げる項目である。

①利用者層への一層の普及

②言語仕様の共通理解

①については、技術的な側面としては使いやすさと性能に大きな影響を及ぼす事項について広く利用者層の声を反映させた機能を置くという点がある。例えば、現在の時点で話題となっているものでいえば、マルチウィンドウインタフェースへの取り組みなどである。もう1つの側面としては教育的な側面がある。エンドユーザおよび応用ソフトウェア開発者に対して処理系提供者は十分な情報を提供しなければならないし、また、利用者側は、それらを要求することが求められて来る。

②については、自然発生的なニーズからX3J13による仕様の

図表Ⅳ-1-4 電子協Common Lisp委員会の活動経緯

1984年度	予備的なミーティングを行ない、Common Lispの進展に対応する委員会の設立を準備
1985年度	マイコン技術委員会傘下にLisp技術動向専門委員会として設置 1. Common Lisp仕様の理解 2. 処理系作成技術に関する討論 3. 既存処理系の調査 4. 米国Common Lisp communityとの交流(訪問調査) 5. Common Lispの応用調査(アンケートの実施) 6. サブセットWGによるサブセット作成の検討 7. オブジェクトWGによるオブジェクト指向機能の検討
1986年度	マイコン技術委員会傘下にLisp技術委員会として設置 1. サブセット案としてCommon Lisp/Coreの仕様作成 2. Common Lisp用オブジェクト指向標準案の比較検討を経て、Xerox社のCommonLoopsに注目し、アルゴリズムの検討、応用の検討 3. 漢字機能拡張に関する具体的検討 4. Common Lisp電子メール討論の要旨翻訳 5. サブセット、オブジェクト、漢字、BBoardの各WGを設置
1987年度	1. ANIS X3J13との意見交換 2. エラー処理とschemeの技術調査 3. アンケートによる利用動向調査 4. オブジェクト指向機能機能の調査 5. loopマクロ拡張構文 6. 日本語拡張案のX3J13への提案 7. 技術動向WG、応用技術WG、オブジェクトSGの設置
1988年度	1. Common Lisp 漢字化の追跡調査 2. Lisp-C記述性の比較実験 3. オブジェクト指向システムの調査 4. ヒアリング調査 5. Common Lispシンポジウム 6. 米国視察団派遣
1989年度	マイコン技術委員会傘下にLisp技術研究会として設置 1. X3J13との意見交換 2. Common Lispフォーラム、6月、2月 3. CLOSの記述性の評価、応用の調査 4. Real Time GCの調査 5. X3J13クリーンアップ項目の調査

図表Ⅳ-1-5使用されているLisp処理系
(電子協調査より)

1985	1987
Franz Lisp (60)	KCl (42)
Vax Lisp (40)	Franz Lisp (26)
InterLisp-D (33)	Common Lisp (24)
UtiLisp (33)	Vax Lisp (23)
Zetalisp (18)	UtiLisp (11)
KCl (17)	Interlisp-D (11)
—	GCLisp (11)
—	Zetalisp (8)
—	TAO (7)
—	VOS3 Lisp (7)

策定の過程でオブジェクト指向機能の共通化が取りあげられ、それがCLOSという形で決着を見、それに対して正しい理解を持つということが重要となっている。

現在の時点は以上に見てきたように、Common Lisp言語仕様の確定をANSIにおいて迎えるという段階である。

これが重要なことは言うまでもないが、いま、最も議論がされているのは(グラフィック)ユーザインタフェース、あるいはマルチウィンドウシステムとの取り組みである。

例えば、X-windowsとの関わりという点をとってみても次のような認識がありうる。

- ①Common LispでXと呼ばればいい。(CLX)
- ②それはオブジェクト指向化されるべきだ。(CLUE)
- ③各種のLook and Feel、特に現在UNIXの世界で議論されているもの、との親和性を持ちたい。
- ④Lispマシンの操作性を他のOS上へ展開したい。
- ⑤ツールキットあるいはAPIを決めたい。
- ⑥(ツールキットではなく)独自のウィンドウシステムとしたい。

⑦X-以外の世界への可搬性を考えたい。

議論されているCommon Lisp用のポータブルウィンドウツールキットとしては、CLIM (International Lisp Associates Inc.)、YY (青山学院大学)、Express Windows (Liszt Programming Inc.) などがある。

もう1つの大きな問題は並列性の問題である。実際的な世界では、複数のサブプロセスの起動と相互間の連携が話題である。基礎的な研究では、さらに根本的な並列Lispとしての言語仕様が話題である。

また、中長期的な展望に立った場合、Common Lisp仕様の整理が課題となってこよう。歴史に学んでみても、自然発生的なニーズに対応した機能の拡充は、その使用経験を経て、機能の取捨選択が起こり、それだけでなく、新たなパラダイムを得て、再構築されると思われる。しかし、まだその段階まで来てはいないように思われる。

<参考文献>—Common Lisp言語仕様関連

[Guy 1985] Guy L. Steele Jr. 他: Common Lisp: the Language, Digital Press, 1984 (邦訳は後藤監訳・井田訳「Common Lisp」共立出版1985)

[Guy 1989] Guy L. Steele Jr. 他: Common Lisp: the Language 2nd edition, Digital Press, 1989

[Bobrow 1988] D.G.Bobrow, G. Kiczales 他: Common Lisp Object System, Chapt. 1, 2, X3J13 88-002R, June 1988 (邦訳は、井田他編「Common Lisp Object Systemとその周辺」第二部、共立出版1988)

[X3J13 1989] X3J13: Working Draft ANSI Common Lisp, 1989 (ドラフトは現在更に改版中)

1.2 Prologの標準化

(1) まえがき

人工知能への関心の高まりを反映して、Prologは予想をはるかに上回る速さで普及した。現在ではヨーロッパ、アメリカ、日本で数多くの処理系

が販売され、実際に多くの大規模な知識情報処理システム開発に使われている。

このような状況を背景に、1986年ISOのプログラミング言語の標準化のための委員会SC22のAdvisory Group会議において、これまでのFORTRAN、COBOL、PL/I、Pascal、Ada、Cなどに加えて、Prologの標準化をwork itemとすることが決定された。この決定により、英国のR. Scowen (National Physical Laboratory) をconvenerとするワーキング・グループ (WG-17) がつくられ、第1回のProlog WG会議が1988年4月に英国のオクスフォードで開催された。実際にはこの約3年前から、英国のグループ (BSI) にフランスのグループ (AFNOR) が加わって標準化のためのパネル討論を重ねており、これがこのWGの作業の出発点となっている。その後、次のように毎年2回ずつこれまでに4回のWG会議が開催されている。

1988年：第1回オクスフォード (英国)

第2回グラサウ (西ドイツ)

1989年：第3回パリ (フランス)

第4回オタワ (カナダ)

1990年：第5回ウィーン

主な参加国は参加者の多い順に、英国、フランス、西ドイツ、日本、カナダ、オーストリア、スイス、ベルギー、デンマーク、スウェーデン、アメリカ、ハンガリーなどである。WG会議は毎回約25～30名の出席者を集めて3～5日間の会期で開催され、期間中は毎日熱心な討議が続けられる。

ISO SC22に対応する日本の国内委員会、情報処理学会情報規格調査会のSC22委員会においても1988年にProlog WG小委員会がつくられた。この小委員会は大学、コンピュータ・メーカー、ICOTなどからの委員15名によって構成され、筆者が主査をつとめている。なお、Prologより少し早くLispについてのISOの標準化も始まっている。

本報告では、ISO SC22/Prolog WGにおいて現時点までにまとまってきた標準案の概要と議論され

た点、現在の主な論点、日本のWGからの主な提案などについて述べる。

(2) 標準Prolog案の主な内容

これまで4回のWG会議を経て固まってきた標準Prolog案の全体の枠組みは、世界中の多くのシステムで採用されているエディンバラ版に基づくものとなっている。(エディンバラ版とは、DEC-10 PrologやC-Prologなどのエディンバラ大学で作られた処理系の文法を指しているが、より正確にはClocksinとMellishの本 [1] に解説されているものが基礎となっている。) 会議の全体的な傾向としては、新しい考え方や機能を取り入れるよりも、すでに広く使われている処理系の構文や機能を基礎とする傾向が強い。

1) 構文

エディンバラ版の項ベースの構文案の他に、フランス提案のリスト・ベースの構文案が提案され、このどちらを採用するかがWGの最初の大きな論点であった。項ベースの構文ではリストは特別な項であるのに対して、リスト・ベースの構文では項はリストによって表される。リスト・ベースの構文はマルセユ大学で最初につくられたProlog処理系のほか、インペリアル・カレッジ (英国) で開発されたMicro Prologでも使われている。このふたつの折衷案も検討されたがこれには問題があり、結局、大多数の処理系が採用している項ベースの構文が採用されることになった。構文は拡張BNF記法に、項の種別 (abstract term) と優先順序 (これは演算子を用いる記法で必要である) を与える規則を付加した形式によって記述されている。最初の構文案には、論理演算のためのif-then-else規則、および確定節文法 (DCG) のための文法規則が含まれていたが、文法を簡潔にしたいという理由からこれらは除外されることになった。

2) 意味

第1、第2回の会議では、意味の正確な記述の

ため、フランスの提案に基づく形式的定義を採用することになっていた。これは実際にはPrologプログラムの動作（より正確には、計算木）を、Prologのサブセットで書かれた一種のインタプリタを示すことによって記述することである。これまで作成されたWD案（Draft of Working Draft）では、この方式の説明に多くのページが割かれ、プログラムと組み込み述語の働きがこのメタ言語によって記述されている。しかしその後の議論において、主にドイツおよびカナダを中心に、この形式的定義は極めて難解であり、一般のユーザーには理解が困難であるとの強い批判がなされた。これについての多くの議論の結果、英語による非形式的記述を主とすべきであるという意見が多数となり、形式的定義は除外されるか、または補助的にのみ使われる可能性が強くなった。

3) 組み込み述語

多くのシステムで共通に採用されている組み込み述語の多くが、一部変更されてWD案に採用されている。次にこれまでに議論された、または現在議論されている、主な問題点を述べる。

①項の順序づけのための述語

アトムおよび数だけでなく、一般の項の順序を与える組み込み述語（演算子@<、@=<などによって表される）が必要であることは意見が一致したが、変数とこれを含む項の順序をどのようにするかについてはWGの最初からの論点の1つであった。（未代入）変数に対する順序を定義する一般的な方法はなく、しかもその順序は変数が代入されると変化してしまうので、論理的な意味をもたない。しかし、例えば変数の集合を順序のあるリストで扱うようなメタプログラミングにはこれは有益である。最新の結論では、変数を含まない項の順序づけ用の組み込み述語を含めるが、変数を含む一般の項の順序づけは除外する（変数を含む場合には、エラーとする）ことになっ

ている。なお、異なる型については次の順序が与えられている。

実数<整数<文字列<アトム<複合項

②入出力

入出力については現時点では未決定の部分が多い。すでにある標準および処理系に基づいたものがよいとしたとき、その基本としてC言語の入出力とQuintus Prologのもののどちらにすべきが議論された。特にC言語を取り上げる理由は、この言語はISOの標準化がすでにDPの段階まで進んでいること、Quintusなど多くのシステムのI/OもCをかなりの程度基本としていることである。第4回会議では、Cを基本とするべきとした案には、賛否相半ばであった。この他、議論されている問題点には、フォーマット付の入出力を含めるか否か、入出力ストリームの名前としてファイル名ではなくユーザーの定義した論理名を使えるようにすること、などがある。また、入出力用述語は標準の主要部でなくライブラリにすべきだ、という意見もある。

③その他

組み込み述語に関して、これまでに次のようなことがらが議論された。

- ・関数のユーザーによる定義の方式。
- ・recorded database用述語（record/2, recorded/2, erase/2など）を含めるか否か（現時点では、含めないことになっている）。
- ・プログラムの読み込み用述語consult/1およびreconsult/1を通常のI/O用の組み込み述語の1つとしておいてよい。

（3）現在の主な論点

以下の3項目について、現在、標準に含めるかどうか、またはどのような形式にするかが議論されている。特にモジュールと文字列の形式は文法全体の基礎となるものであり、これが決定されないと他の項目も決められないため、非常に重要

である。

1) モジュール

エディンバラ版Prologでは、プログラムはホーン節の集合または系列のみからなる平板なものである。これに対して、大規模なシステム開発用には何らかのモジュール構造を導入することが必要であることが認識され、すでにいくつかの処理系（たとえばQuintus Prologなど）には、モジュールが採用されている。これまでのWG会議ではモジュール化を標準に取り入れることは多数意見となっているが、まだWD案には含まれておらず、標準化の作業のなかでこれが最も不確定な部分となっている。

モジュールに関する最大の問題点の1つは、アトム（name）ベースとするか、述語ベースとするかである。述語ベースの場合は、同一の名前と引数の個数を持つ述語も定義されたモジュールが異なれば別の述語とされるのに対して、アトム・ベースでは、モジュールが異なればアトムを含むすべての同一の名前が異なるものとみなされる。

これまでに、フランス、オーストリア、ドイツ、アメリカのグループがモジュール化の提案を行った。初期の時点では、オーストリアとドイツも述語ベースの案を提出し、アトム・ベースを主張するフランスと対立していたが、その後はアトム・ベースの案が変わった。この理由として、特に指定した場合のみアトムもモジュールごとに定義でき、指定しない場合は（デフォルトとして）アトムは述語ベースの場合と同様にモジュールを境界を越えて単一の名前を持つので、この両者の違いは本質的ではないと説明された。

モジュールには特に優れていると思われるモデルやインプリメンテーションがまだないこと、またモジュールによって文法の他の部分も変更を要することなどから、これを含めることに対する慎重論も強い。これからモジュールの議論を続けていたのでは作業が遅れてしまうので、Prologの標

準化を2段階に分割し、まずモジュールを切り離れた第1段階の標準を完成すべきであるとの提案もなされた。しかし、このためには標準化をSC 22の2つのwork itemに分割することが必要であり、第2段階の標準化はいつになるか予想できないことから、最初から標準Prologはモジュールを含めたものとするべきであるという意見が大勢になっている。

2) 文字列

Prologの扱う処理では、文字列（string）の操作が重要であることは明らかである。初期のエディンバラ版Prologには文字列を文字の符号のリストとして扱う機能が含まれていたが、文字符号を直接扱うことは大きな欠点であった。このため、文字列を独立したデータ型として導入することが当初から提案されていた。この場合、文字列はアトムやリストとは統合（unify）せず、文字列用の組み込み述語によって操作される。文字列を独立したデータ型とする理由は、文字列をリストで扱うのは効率が悪いこと、および文字列データはアトムとは基本的性格が異なることである。

初めこの方式は支持されていたが、最近の第4回の会議ではカナダとドイツのグループから独立したデータ型としての文字列を除外する提案がなされ、議論の結果これが賛成多数になってしまった。この意見は、文字列をアトムまたは文字のリストで表せば充分であるというものである。しかし、この場合も文字をどのように扱うかの問題が残っている。

3) 統合

多くのProlog処理系では、J. A. Robinsonに基づく統合（unification）のアルゴリズムを採用しているが、処理時間の高速化のため出現検査（occur check、たとえば、 $X=f(X)$ のような代入を禁止するためのテスト）を省略している。よく知られているように、この方式は出現検査によって統合を失敗とすべきときに無限項を生成

して成功してしまう欠点がある。第3回の会議において、フランスからHuetのアルゴリズムを基本として、無限項に対する扱いを再検討すべきであるとの提案がなされた。出現検査のコストが大きいことや、実際の多くの処理系の現状から、統合に出現検査を含めることは問題となっていない。問題点は、無限項 (cyclic term) に対する扱いをどのようにするか、Huetのアルゴリズムに基づいた無限項を許容した統合を採用するか否か、または、無限項を発見して失敗または誤りとする機能を含めるか、などである。

統合についてのもう1つの問題は、項の統合の際に引数の評価順序が処理系によって異なるために、その結果が異なる場合があることである。すなわち、同一の処理に対してあるシステムでは失敗となり、別のシステムでは無限ループに入るような場合がある。引数の評価順序をかえることによってコンパイラの最適化が可能のため、引数の評価順序を一定 (例えば、左から右) とするか、処理系によって異なることを許すかの2つの方法には、一長一短がある。

(4) 日本の提案

日本は第五世代コンピュータプロジェクトの結果、論理プログラミングについて数々の成果を持っており、標準化に寄与することが期待されている。また、ヨーロッパ系の言語とは基本的に異なる言語を持つ国の代表として、文字セットについてわれわれはいくつかの重要な提案を行ってきた。

1) 多バイト文字を含む拡張文字セット

標準Prologは、多バイト文字を必要とする日本、中国、韓国などに不利益にならないようなものでなければならない。これは他のプログラミング言語の場合も同様であるが、自然言語の処理に多く用いられるPrologやLispの場合には、この問題は特に重要である (漢字などの多バイト文字の操作に関する基本的問題とその解決法が文献 [3] に

述べられている)。この問題に対して、すでにSC22においても基本的な議論がなされている。われわれは、次の2点を骨子とする拡張文字セットを提案している。

①基本の文字セットのほかにsingle-octetおよびmulti-octetの文字を含む各種の拡張文字セットを特別なコストを必要とせず自由に使用できるものでなければならない。拡張文字はimplementation definedとする。

②日本語、中国語、韓国 (朝鮮) 語などの言語用の文字セットはいずれも基本文字セット (ASCIIと同じもの) を含んでいるので、これらの等価な文字の間の (全角文字と半角文字との) 変換機能が必要である。われわれはこの変換を入力時にユーザが定義した特別な述語を呼び出して行なう方式を考えている。

ヨーロッパおよびアメリカの出席者からこのような機能の必要性を疑問視する意見もよく出されるが、SC22においても多バイト文字についての議論が行なわれているためもあるとあって、われわれの主張も理解されるようになってきている。

なお、日本のWGにおいて検討した結果、日本語の処理には上述の独立したデータ型としての文字列が適していることが明らかになったので、多バイトを含む文字セットを考慮した文字列の扱いについてわれわれは具体的な提案をする予定である。(ただし、前述のように独立したデータ型としての文字列は除外される可能性もある。)

2) オブジェクト指向機能

第2回の会議において、われわれはより進んだ形のモジュール化を与えるためにオブジェクト指向機能を含めることを提案した。これは第五世代コンピュータプロジェクトの成果であるPSIマシンの言語であるESPに採用されたものを基礎とし、一般的なPrologとの互換性を持つようにしたものである。われわれは、古典的なモジュールよりもこのオブジェクト指向機能を取り入れるほう

が優れていると主張した。この提案に対しては、オブジェクト指向機能の導入は時期尚早であるとか、通常のPrologから離れすぎるなどの反対が多く、残念ながら採用されるには至らなかった。しかし、この提案はモジュール化に反映されることになっている。

3) マクロ機能

われわれは、ESPで初めて実現された入力時のマクロ機能についても、これを標準に含めるように提案した。これはプログラムの入力時にProlog自身で書かれたユーザ・プログラムによってプログラムを変換する機能であり、簡単な機能の追加によって大きな変換能力を実現できる。この提案は好意的に受け入れられ、マクロの実現に関するさらに具体的な提案が求められている。

(5) 結び

SC22/Prolog WGの実際の活動が始まってからこれまで約2年間に、標準Prologの骨格は次第に固まってきたといえるであろう。しかし、まだモジュールのようにどのような形式になるか不明なものがあり、また文字列の扱いのように一度決定された方針が否定されてしまうこともあるので、いつDP (Draft Proposal) が完成するかを予想することは難しい。現時点の標準案の詳細は、WD案の最新の第3版 [4] を参照されたい。

他の言語の標準化と異なり、PrologのWG会議にはヨーロッパ諸国からの参加者が多く米国からの参加者がこれまで非常に少ない。いくつかの言語の標準化では、ISOと米国のANSIの標準化の関係が問題になった例があったようであるが、Prologの標準化の場合にはこれまでその問題はなかった。しかし、最近ANSIにおいてもPrologの標準化の作業が開始されたとのことである。

われわれ日本のWGでは、標準化の作業の進展をPrologに関心を持つ多くの人々に知っていただき、さまざまな立場からのご意見を反映していきたいと考えている。そして、多くの人々にとって

有益でかつ魅力のあるPrologの標準にするために日本もできるだけ貢献したい。ご支援、ご協力をお願いする次第である。

<参考文献>

- [1] W F Clocksin and C S Mellish, Programming in Prolog (3rd Edition), Springer-Verlag, 1987. (中村訳, Prolog プログラミング改訂版、マイクロソフトウエア、1988)
- [2] S Kondo, T Chikayama, K Nakamura, and O Nakazawa, N39: Japanese Papers for Discussion, Japanese SC22/Prolog WG, 1989.
- [3] T Kurokawa, T Yuasa, Y Hashimoto, and T Ito, Technical Issues on International Character Set Handling in Lisp, Japanese SC22/Lisp WG, 1989.
- [4] P Deransart, P Folkjaer, J-F Pique, and R S Scowen, N53: PROLOG Draft for Working Draft 3.0, Mar. 1990.

第2章 AI用語の標準化に向けて

2.1 はじめに

1987年4月から1989年3月の2年間にわたってわが国でAI技術の標準化に関する調査研究が行なわれ、89年にその成果が報告書として出版された [1]。これは通商産業省工業技術院が、AI技術標準化のための研究調査の時期に来ていたという認識のもとに財団法人日本規格協会に委託し、同協会の情報技術標準化研究センター内に「AI技術標準化調査研究委員会」を作って作業を進めていたものであり、わが国だけでなく、国際的にもおそらく最初の試みであり高く評価されてよいと思われる活動である。なお、ここで行なわれた調査の対象は、AI技術全般ではなく、エキスパートシステム関連のAI技術に限定されたものである。また、調査活動はすでに終了し委員会は解散して

いるので、現在この種の公的な委員会は存在しない。

2.2 委員会の性格

まず第1に指摘すべきことは、この委員会はAI技術の標準化そのものを行なう作業委員会ではなく、標準化の必要性和可能性についての現状分析と提言を行なう調査研究委員会であったという点である。AI技術分野においてはISOやJISは未だ存在しないためにいろいろな混乱が生じており、これが産業の正常な発展を疎外しているという認識があった。特に用語の混乱が最も重大な問題である。何となれば、あらゆる表現が専門用語を用いてなされるわけであるから、もし使う人によって用語の意味がまちまちであれば正確に意志を伝えることができないからである。したがって、工業標準において用語の標準はその根底となるわけである。このような理由から、AI用語に関する調査研究が中心テーマとされた。

一方、技術の標準化については、現在急速な発展途上にあるAI技術を標準化することは未だ困難であり、強行すれば技術の進歩を妨げることにもなりかねないという理由から、現状調査とニーズの分析に焦点が当てられた。ただし、調査分析の結果、標準化されてもよいと思われる技術レベルに達しているものもあることが明らかとなっている。現状の把握として具体的に行なわれたことは、AI技術の動向の把握、産業界とくにベンダー側の企業における標準化対策の現状の把握、ユーザ企業からみた問題点に関する認識の把握、および関連技術に関する問題点の把握、等である。委員会は、いろいろな角度から検討する必要があることから、大学、研究所、ベンダー、メーカー、ユーザから協力を得て、研究者、ツール開発者、エキスパートシステム開発者、エキスパートシステム利用者、管理責任者、弁護士等を含む20数名の多彩な顔ぶれによって構成された。組織の

壁を越えてAI技術の標準について調査研究がなされたことはわが国ばかりでなく、国際的にも初めてであるはずである。

2.3 背景

AIの産業分野への波及は80年代の初めに起こり、数年後にはいわゆるAIビジネスが発生し、AI技術がビジネスの対象になったことは周知のとおりである。実際には、AIツールとワークステーションからなるエキスパートシステム開発環境の販売、ツールや言語の使い方の教育、およびエキスパートシステム開発のコンサルテーション等が初期の頃のビジネスの対象であった。これが第1段階であり、続いて第2段階としてエキスパートシステムそのものの販売が一部始まった。しかしながら第1段階と第2段階との間にはかなり大きなギャップがあり、なかなか本格的な展開が起こっていない。これは第1段階においては夢がビジネスとなったが、第2段階では実用性が求められているからである。そしてこれまでたびたび指摘されているように、その原因はAIシステムの実用化が当初予想されたよりかなり困難であることである。人材の不足、経験の不足、AI技術の未成熟に加えて、人間の知的能力に関する理解が未だ学問的にも明かになっていないことなどがその理由として挙げられている。エキスパートシステムの場合には、これに加えて、対象とする問題に関する従来技術自体が実用レベルに達していないことが障害となっている事実が指摘されている。このことは、AI技術単独では実用システムとして存在し得ないことを意味する。

一方AIに関連する産業や商活動をみると、現実の問題として、すでにエキスパートシステムを中心としたAIビジネスと呼ばれる市場が形成され、標準が無いための混乱が生じている。混乱の中身は、概念と技術との関係が曖昧であること、個々の技術に対する効用と評価が定まっていない

こと、さらにはAI用語の意味や使われ方がまちまちであること、等である。これらは、いずれもAI技術が未成熟のままで商活動の対象とされていること、研究の成果が実用性の評価がされないままに次々に開発ツールに取り込まれていること、等に起因していると考えてよいであろう。さらにその原因を考えてみると、AIという言葉が与える夢と現実の技術レベルとのギャップからきており、本格的な実用システムの開発は未だ成功していないといえる状態であるにもかかわらず、AIビジネスが先行してしまっているという問題がある。

事実、委員会での討論を通して明らかになったことは、例えば用語に関していえば、組織の枠を越えてこの種の問題を議論するための場が存在しないこと、そのために企業内で用語の使い方に関する暫定的標準を決めているが技術の進歩との整合性がとりにくく苦慮していること、企業によって使う用語や意味がまちまちでありユーザが迷惑していること、実績と規模によって企業内での対策そのものもレベル差が大きいこと、などである。

AIは本来、人間が持つ知的能力の機構を解明し、これをさまざまな問題解決に応用しようとするものであるが、現在広く普及している経験則に基づくIF-THENルールを主としたやり方ではこの目的の達成が困難であることはすでに明らかとなっている。この問題を解決するための学問的模索が行なわれているが、その成果が実用レベルに達するには今しばらくの時間が必要である。

以上のように、技術の成熟度からすれば標準化の検討は早すぎるにもかかわらず、本委員会が発足した背景には、このまま放置すれば混乱の方がますます増大し、技術の促進、ビジネスの成長そのものにも水を差し、正常な発展が妨げられるようになるに違いないという判断があったからであった。

以上のような認識に基づいて、AI技術の中で特にエキスパートシステム関連技術にまとを絞り、そ

の重要さから特に用語の標準に重点をおいて、関連問題も含めて調査されたわけである。

2.4 調査概要

調査研究は、エキスパートシステム関連技術にまとを絞って、フィロソフィ、用語、および関連技術に関して、3つの小委員会に分かれて作業が進められた。第1小委員会では、AI技術における標準が必要か否かも含めて、広い視点から標準化のフィロソフィが検討された。第2小委員会では、用語の標準化の必要性や可能性について、また第3小委員会では、AIと他の情報処理技術との関わりに関する標準化の必要性が調査された。

調査研究は2年間にわたって行なわれたが、まず1年目は、各委員が持ち寄った資料に基づく討議を中心にしての現状分析が行なわれた。データとしては、AIツールの概要、エキスパートシステム開発例の概要、AI関係のマニュアルからの用語のリストと定義例、専門書等からの用語のリストと定義例、等であった。企業間の技術レベルがある程度あからさまになることもあり、かなりホットな議論が行なわれた。これによって、企業による考え方の違い、対策の違い、用語の使い方や意味の違い、さらには個々の技術に対する評価の違い、等がかなり大きいことが明らかとなった。例えば、特に外資系企業やハイテクのソフトハウスなどツールの開発や提供を先行して行なった企業は、用語や技術の標準についてかなり苦労してきたことがうかがえた。組織内での整合性を維持するために、新しい技術との間にいくぶん無理と思われる解釈を与え、定義を行なっているという事実も見られた。また、学会活動を積極的行なっている組織については、用語の定義や技術の評価に関して組織間の差異が比較的小さいことも分かり、新しい技術の分野での学会活動の重要さが確認された。研究会、講習会、大会等における質疑、学術論文、解説論文における議論や考察、等が標

準化を間接的に促進しているものと考えられる。このように非公開の資料に基づいて検討されたことと、考察が不十分であったために、1年目の報告書は一応作成され印刷されたが外部には公開しないこととなった。

2年目は、アンケート調査を中心にして調査研究が行なわれた。1年目に委員会の中でお互い持ち寄ったデータをもとにかなり具体的な分析と検討を行なったが、説得力ある提案を行なうためには、企業の現場で何が行なわれ、どのような技術が使われ、どの程度に実用化が進行しており、標準がないためにどのような混乱が生じているかを客観的データによって知る必要があり、かつ現場の人々がそれをどのように考え、どう対処しているかを掴む必要があった。エキスパートシステムの実用化動向や予測についてはAI関係の専門誌紙ですでに取り上げられており集計データが公表されているが、相対的に基準が甘く、委員会での調査研究の目的にはそのまま使えなかったことや、委員会独自の調査項目やデータによってよりキメ細かく分析することが必要であった。アンケートは1年目の調査結果に基づいて、各小委員会が別々に調査項目を設定し、それらを1冊にまとめて郵送による調査が行なわれた。アンケートの集計と、その分析に考察を加えたものを委員会の最終報告とし、調査研究を終了させた。なおこの報告書には平成元年度の日本規格協会標準化文献賞奨励賞が与えられている。

2.5 アンケート結果の概要と考察

かなり詳細かつ広範にわたる調査であるが、全般的な問題意識に関する質問部分について、以下にその結果と考察の一端を紹介する。

アンケート調査の結果、AI関連用語と知的所有権は9割以上の回答者が標準化が必要であると答えており、AI言語、ユーザインタフェース、既存システムとのインタフェース等については、6

割以上が標準化の必要性を認めていることが明らかとなった。これとは逆に、構築ツール、知識表現法、推論方式、等の技術項目については、現時点では標準化が不必要もしくはやるべきではないという意見が5割以上を占めている。AI技術は未だ十分なレベルに達していないから現時点での標準化は技術進歩を疎外するおそれがあるという理由からである。また、要求仕様、開発工数、知識獲得法、システムの検証法と評価法の諸項目に関しては、標準化を必要とする解答も多いが、不必要とするものも少なくない。これらは、エキスパートシステムを開発しようとするユーザにとってはあると便利であろうが、実用システム開発運用の実績がある程度数になるまでは、事実上不可能であることによる。いずれにしろ、これらの結果は極めて納得できるものであり、進歩を疎外する可能性のないものについては、標準の存在しないことによる苦勞を多くの組織もしくは人が味わっているという事実が明らかとなった。2～3の重要な項目に関する考察は以下のようなものである。

(1) 用語

標準化において用語は不可欠な項目である。用語の標準がなければ、性能、機能、品質、操作等を正確に記述することができないからである。つまり、標準の記述や審議が困難である。また現実の問題として、システムのドキュメント類の記述が適切にできなくなるが、これは意図の伝達が適正を欠くことを意味する。事実、難解な表現、まちまちな表現ばかりでなく、大げさな表現のドキュメントが少なくないことが調査で明らかにされた。

AI分野では常に新しい概念の提案がなされ、そのために次々に新しい専門用語が考案され使われる傾向が強い。

これらの用語は、新造語よりも他の分野ですでに使われている用語を借用したり、AI的解釈

を加えたものであることも特徴である。例えば、AIの基本用語となっている知識、推論、問題解決、学習、類推、常識等の用語は、心理学、論理学、哲学等からの借用であるが、もともとの意味とは必ずしも同じではない。われわれの日常用語から借用されている場合には本来の意味が極めて限定されているのが普通である。研究者間でも大きく食い違うことが少なくない。さらに、AIに対する考え方も対立する場面がしばしば見受けられる。同じことが、研究者と現場の技術者との間にも存在する。商活動を行なっている人々の間には、もっと大きなギャップが存在する可能性が強い。限定された意味であるはずの用語に常識的な広い意味を持たせ、これにさらに夢をのせていることが少なくない。聞く側も同様である。これらが混乱の原因として無視できないという点が指摘されている。

このように、AI用語は標準化は簡単には実現できない部分があるが、技術用語の中には意味が定着してきたと見なしてよいものも少なくない。プロダクション・システム、ルール、知識ベース、知識ベースシステム、フレーム、フレーム・システム、推論、前向き推論、後向き推論、ISA関係、PARTOF関係、継承、事実、経験則、仮説、等はその例である。このような用語を整理することは可能であり、ガイドラインとしての暫定的標準を設定することの効果も大きいはずである。なお、AIシステムは情報システムでもあるから、問題のないものは情報処理用語の中に組み入れることも検討してよいと思われる。

(2) AI技術

AI技術についても用語と同様なことがいえる。アンケートの結果とは必ずしも一致してはいないが、少なくともAI言語やAIツールとして市場を通して提供されているものの中で使われている基本的技術の大部分が70年代に研究開発されたものであり、これらの中には標準的手法と呼べるように

までに成熟したものが少なくない。ルールやフレームの表現や操作に関する基本的手法がその例である。この種のものに関しては、技法を洗い出して整理し、同様に暫定的標準のガイドラインを設定できるものと思われる。現状では、この種の情報がないために、ツールの適切な評価が困難であり、どのツールを選択することがユーザの目的に最もかなうかを判断できにくくしている。提供者側も、違いや特徴を強調するために、新しい表現や異なった表現を使う傾向がある。例えば、原理的に同一の技法に対して異なった名称が与えられていたり、僅かな違いに対して高度な技術であると錯覚させるような名称が使われていたりする。このことが商活動に無用な混乱を引き起こしている。これは、用語の標準がないこととも関係がある。これと同様の混乱は情報システムが普及しはじめた70年前後に見られたが、用語の標準がJISやISOで制定され解消した。

(3) 知的所有権

知的所有権の保護は最近国際摩擦の種にもなっている重要な問題であるが、AIに関しては、エキスパートシステムの実用化が進むに従って、極めて重要な課題となることが考えられる。従来型ソフトウェアでは知識がプログラム・コードの中に埋め込まれてしまっているために、直接的なノウハウのリークは避けられるが、知識ベースシステムでは組織の最高機密に属する専門知識が容易に判読できる形式で管理されるからそれだけ危険が大きいからである。すでに、専門知識のリークを防ぐために、知識ベースの内容を従来型のプログラム・コードへ変換してしまう技術の開発も一部で真剣に始まっている。法的保護を含めた対策が必要であるという希望が強いのはこのためであるといえよう。これは知識ベース特有の新しい問題である。

(4) インタフェース

ヒューマン・インタフェースや既存システムと

のインタフェースの標準化の問題は、AI技術の領域の中だけで議論できる問題ではなく、広く一般の情報システムに共通の問題である。このことは、AIシステムが情報システムのサブシステムであるとの認識が重要であることを裏付けているともいえる。インタフェースの問題は、最近になって真剣に研究されるようになってきたので、AI技術側からも積極的に関与することが望まれる。特に、その性格からデータベースとエキスパートシステムとのインタフェースの標準化のニーズが高い。しかしこれはデータベース・システムに外部システムとの標準インタフェースが規定されておればすむことでもある。ヒューマン・インタフェースの問題は、基本的にAI技術の応用を必要とする。

(5) 国際活動

AI言語であるLISPとPROLOGに関しては、情報処理学会が中心となって、国際標準の作業に参加しているので、解決は時間の問題である。AI用語については、ISO/IEC JTC1で標準化の試みが始まっているようである。しかし入手した資料によると、未だ意見を打診するための叩き台の叩き台を作ってみたという段階のようである。リストアップされている用語が一人か二人の思い付きでやられた程度のようにあり、そのうちの幾つかに意味の定義が書かれているが、かなりいい加減である。組織化はこれから行なわれることになるから、わが国も何らかの形で参加すべきであろう。

2.6 AI用語に関するアンケートの結果

委員会の調査活動の一環として、AI用語の中から30を選び、出現頻度、重要度、混乱度、および標準化の必要性に関するアンケート調査が行なわれた。対象となった用語は以下のものである：曖昧性／信頼性、浅い知識／深い知識、意味ネットワーク、意味解析／意味表現、インヘリタンス、AI技術、エキスパートシステム、オブジェクト

指向言語、仮説生成検証機構、機械翻訳、協調的問題解決、経験知識、構文解析、黑板モデル、診断型／計画型／制御型、推論／推論機構、対象モデル、知識獲得、知識工学者、知識表現言語、知識ベース／知識ベースシステム、定性推論、デモン、パーザ、非単調推論、不可手続き、ヒューリスティック、フレーム・システム、プロダクション・システム、メタ知識／メタ推論。

(1) 用語の出現頻度

用語の出現頻度の1～5位は、エキスパートシステム、知識ベース／知識ベースシステム、推論／推論機構、プロダクション・システム、AI技術、であり、26～30位は、非単調推論、協調的問題解決、パーザ、仮説生成検証機構、不可手続き、であった。エキスパートシステムの一般的な用語の出現頻度が高く、研究の分野で用いられている専門度の高い用語の頻度が低いことが現れている。

(2) 用語の重要度

用語の重要度の1～5位は、知識獲得、推論／推論機構、プロダクション・システム、知識ベース／知識ベースシステム、フレーム・システムであり、26～30位は、協調的問題解決、非単調推論、仮説生成検証機構、パーザ、不可手続き、であった。これは、出現頻度の高いものをより重要であると考えていることを示していると考えられる。

(3) 用語の混乱度

用語の混乱度の1～5位は、AI技術、浅い知識／深い知識、メタ知識／メタ推論、診断型／計画型／制御型、エキスパートシステム、であり、26～30位は、プロダクション・システム、構文解析、パーザ、インヘリタンス、機械翻訳、であった。これは、一般的な用語ほど使う人によって意味が異なるということを多くの人が感じている事実を示している。AIビジネスが、AI技術の理解に先行したために生じた現象であると考えてよいであろう。前節で述べたこの分野の特殊性がま

に現れている。

(4) 用語標準化の必要性

用語の標準化の必要性の1～5位は、メタ知識／メタ推論、知識ベース／知識ベースシステム、エキスパート・システム、推論／推論機構、オブジェクト指向言語、であり、26～30位は、非単調推論、仮説生成検証機構、不可手続き、パーザ、機械翻訳、であった。これは、エキスパート・システム開発に関連する基本的かつ一般的用語の標準化の要望が強いことを示している。一方、研究の分野で使われている用語やエキスパート・システム以外の用語については標準化の要望が少ないことが分かる。

(5) 経験の有無による差違

なお、これらの調査に関しては、実務経験の有無および開発経験の有無によってどの程度異なるかの分析も行なわれた。その結果は、頻度、重要度、混乱度については、これらの有無によらずほぼ同様の意識であることが明かとなった。標準化の必要性に関しては、開発経験の有無によって、幾つかの顕著な差異があることが判明した。すなわち、開発経験者が標準化が必要と指摘した用語の1～5位は、メタ知識／メタ推論、知識ベース／知識ベースシステム、推論／推論機構、フレーム・システム、エキスパート・システム、であるが、開発経験を持たないものの1～5位は、AI技術、知識ベース／知識ベースシステム、オブジェクト指向言語、エキスパート・システム、メタ知識／メタ推論、であった。

(6) AIシステムのレベルと用語の混乱

対象とするAIシステムのレベルによってAI用語にどんな混乱が生じているのかについても分析されたが、以下がその結果の概要である。

一般にAIシステムと一言で総括される工業製品は、基本的には3つのレベルの製品に分類できる。第1が、システムの稼働環境としてのハードウェア、および基本ソフトウェアとしてのOSおよび

言語処理系という基本システムレベルの製品である。第2が、AI技術を用いた応用システム開発支援環境またはエキスパートシステムシェルと呼ばれる中間的なソフトウェア製品であり、第3が、個別分野のエキスパートシステムや機械翻訳システムなどの応用システムである。

これらの中で、特に応用システムに関連する記述において、不適切あるいは混乱を招くようなAI用語の使用が他と比較して相対的に多いことが判明した。本来、応用レベルのシステムについて伝達すべき情報は、実際のシステムの目的・機能や有用性、あるいは導入に当たって必要とされる計算機環境、マンパワーなどの条件などであるはずであるが、実際にはシステムの説明書の中でこれらの項目は適切に記述されていないケースが多い。つまり、単に知識ベースの応用であるとか、エキスパートシステムと呼ぶことですませている例が少なくない。これは、個々の用語の正確な意味を論じる以前の問題であり、AIシステムの提供者とユーザの間でどのような情報伝達が望まれているかに関する理解が未だ存在していないことを示している。AI用語の定義だけでなく、本来伝達されるべき情報が何であり、AI技術に関連する概念がそのような情報伝達の中でいかなる意義を持つかを、検討することの必要性が明らかとされた。

これに対して、システムの稼働環境としてのハードウェアや言語処理系を含む基本システムでは、処理速度、言語仕様、ヒューマンインタフェースなどが問題となるが、基本的には他の情報処理環境の評価と異なるところはない。特に言語仕様については、詳細な国際標準が整えられており、記述が不明確となる恐れはほとんどなくなってきている。ただし、特定のシステムを指して「AI向き」という形容詞が用いられることがあるが、その実態はしばしば曖昧である。このような記載については、システムのどのような特徴を指してAI向きと称しているかについて、より詳細な基準が

必要であることが指摘された。

知識ベースシステム開発支援環境ないしはエキスパートシステムシェルのレベルのシステムに関する記述では、いわゆるAI技術が生形で引用されることが多いだけに、AI用語の標準化の必要性が最も強く認識されるレベルでもある。ここでは知識表現と推論機構に関するさまざまな手法が取り扱われることとなるが、例えば同じプロダクションシステムと呼ばれているものであっても、その実装方式の相違により、さまざまに性格を異にするものが含まれるところに1つの問題があることが明らかとなった。この問題を解決する方法としては、結局のところ、1つのアイデアの実装にさまざまなバリエーションが存在することを認め、個々のシステムがどのような思想のもとにどのような選択肢を選び、その結果どのような利点を得ているのかを、詳細に説明する以外に方法はない。知識ベースシステム開発支援環境の中での知識表現と推論機構は、知識表現言語とも呼ばれるように、プログラミング言語に匹敵するほどの記述能力を持つ体系であり、その内容の正確な理解のためには、記述系と処理系のシンタックスおよびセマンティックスの理解が不可欠であることが判明した。

(7) アンケート結果のまとめ

以上をまとめると、以下のように要約されよう。

AI用語の標準化については、一般的な用語標準化という意味での、用語辞典の編集という観点が存在しており、もちろん重要な視点ではあるが、AI用語そのものが、人間の知能、AI研究、AI技術という、立場を異にする幾つかの視点から用いられる以上、あまり厳密な定義づけを行なうことには困難がある。とりわけ人間の知能と計算機との関係を取り扱うAI研究では、1つには人間の知能に関わる概念が十分精密に解明されていないのに、さまざまな問題と複雑な関わりを持つこ

とからくる曖昧さから、また1つにはさまざまなモデル化の技法の有効性を幅広く検討していかねばならないところから、用語の意味を狭く限定することには限界がある。AI技術ないしはAI技術を利用した応用システムの記述に当たっても、このような用語を流用しなければならない面は多々あるが、これらを用いるに当たっては、以上のような用語の規定する概念に曖昧さのあることを十分注意したうえで、どのような立場から、どのような情報を伝達するためにAI用語を用いるのかを十分意識したうえで注意深い利用を行なうことが必要である。また、必要とされる場合には、煩雑な表現となることを厭わず、正確な情報が伝達できるように、十分な補足情報を与えることも重要であろう。また、情報を受け取る側についても、現在どのような情報が必要であり、それに関してAI用語がどのような役割を果たしているのかについて、十分な注意を払う必要がある。当面AI用語がある程度概念の幅を持ったものとしてしか定義しきれないと予想される以上、月並みではあるが、情報の発信側と受信側とで、どのような情報のやり取りが期待されているのかを再度検討する必要がある。

2.7 おわりに

AI技術標準化委員会の活動経過および調査結果の一端を紹介した。AI技術、中でもエキスパートシステム技術は80年代におけるさまざまな試みを経て、90年代には多くの実用システムが実現されるものと期待される。これまでは夢の部分が多かったこともあり表層的なフィーバー状態を呈した時期もあったが、これからは着実な進歩を見せるであろう。90年代半ばにはAI技術のかなりの部分が定着すると予想できるので、そのときには具体的な標準化の作業に着手できるものと思う。今回のAI技術標準化調査研究委員会の活動は、組織の枠を越えてAI技術を標準化の観点から調査

研究した初めての試みであった。これは参加者にとっては貴重な経験であった。今回は現状の分析と問題指摘に焦点が当てられたが、これを踏台にして、将来の標準化までの間の暫定的なガイドラインの作成に着手してもよいのではないかと思う。

<参考文献>

[1] AI技術標準化調査研究委員会、「AI技術標準化調査研究委員会報告書」、財団法人日本規格協会情報技術標準化研究センター、平成元年3月

第2部 人材育成（カリキュラム試案）

第1章 知識技術者(KE)の育成指針

AIの普及は、当然ながら、AI技術を習得した新しいタイプの技術者の必要性を大きくクローズアップさせた。知識技術者あるいはKE（Knowledge Engineer.以下KEと言う）が、それである。

過去30余年のコンピュータの発展過程で、新しい技術や応用に対応する新しい技術者の必要性は、それぞれの時点でやはり発生していたに違いない。しかしながら、AIに対するKEというほど、その専門性が明確化していたものは少ない。とはいえ、KEの位置づけはやや流動的である。例えばKEというものの需要は過渡的なものである、あるいは従来のSEの中にいずれKEは吸収される、などの意見がないとは言えない。

ともあれ、現時点では、エキスパート・システム（ES）やAIの技術をマスターした技術者のニーズは極めて高いことは確かである。

このような背景のもとで、（財）日本情報処理開発協会の中央情報教育研究所（略称CAIT）においては、各種の高度情報処理技術者の育成指針の作成業務の一環として1989年にKEのための指針を作成した。育成指針とは、どのような技術者を対象に何をどう教育するかのガイドラインである。以下にその概要を紹介する。

（注）KEの定義

本指針では「KEとは、ESを構築するエンジニア」と定義している。また「ESとは、特定分野の専門知識に基づき、問題解決を行うシステム」とし、知識の中には、専門家の知識、

原理・原則・物理的法則、各種ドキュメントに基づく知識等を含めている。

第2章 KEの役割

KEの役割を定めるには、まずESの構築とはどのような作業であるかを明確にせねばならない。

2.1 ESの構築作業

ES開発の一般の手順を図表VI-2-1に示す。

①問題の設定

まず、対象とする問題がESで扱うのに適したものであるか否かを評価する。ESに適した対象とは、明確なアルゴリズムが存在しない、あるいは条件の組み合わせが莫大であり、逐一判断を行なうことが不可能であるなど、既存の手法では解決しにくい問題である。ES開発が成功するか否かは、適切な問題設定に負うところが大きい。

②既存技術との分担の設定

実用指向のシステムでは、その一部に知識処理技術が用いられ、既存のプログラム（例えばデータベースやアプリケーション等）との連携が必要となる場合が多い。すなわちシステム全体の中での両者の最適な機能分担を設定し、そのインタフェースを十分検討することが必要不可欠である。

③知識源の同定

問題解決に必要とされる知識の所在を明らかにする。知識源は問題領域の専門家には限らない。設計仕様書、操作説明書など

を始めとする各種ドキュメント、あるいは物理的、工学的な原理・原則なども有力な知識源である。各知識源に存在する知識の形態、質と量、信頼性、および利用可能性を分析・評価することが要請される。特に主要な知識源が人間の専門家である場合、その知識の守備範囲の分析や知識獲得の方法を十分検討せねばならない。なお、必要に応じ、知識獲得支援ツールの利用の可否も併せて検討する。

④ユーザモデルの同定

ESの利用目的は多様であるが、大まかに専門家が業務の支援ツールとして用いる場合と、非専門家が、システムを専門家の代替として用いる場合とに分けられる。システムとしては、このような利用者の知識レベルに応じた機能を実現することが必要である。また対話型システムの場合は、システム制御や対話の主導権をシステム側と利用者側のどちらにどの程度持たせるかを検討し、それに基づ

き、適切なユーザインタフェースを設定せねばならない。

⑤評価方法の設定

ESの対象は、明確なアルゴリズムが存在しない、あるいは十分なテストデータが得られない等のケースが多く、結果の妥当性や信頼性に対する評価が難しい。特に知識ベースの正当性の評価が重要であり、その方法や評価基準を明確に設定すべきである。またESは、実運用後も知識ベースの更新が継続的に行なわれることとなり、その更新を利用者が行なえることが望ましい。そこで更新後の知識ベースの評価手段についても併せて検討する必要がある。

⑥知識表現の選択と推論方式の決定

③の分析結果に基づき、対象に関する知識や専門家の知識を表現するために、適切な知識表現形式を選択し、または組み合わせを行なうとともに、問題解決戦略と推論制御方式をも選択する。この際、使用可能なES構築ツールの選定も行なう。

⑦知識の移植

専門家へのインタビューも含め、それぞれの知識源に存在する知識を実際に抽出し、⑥で選択された知識表現形式に変換し、知識ベースに移植する。

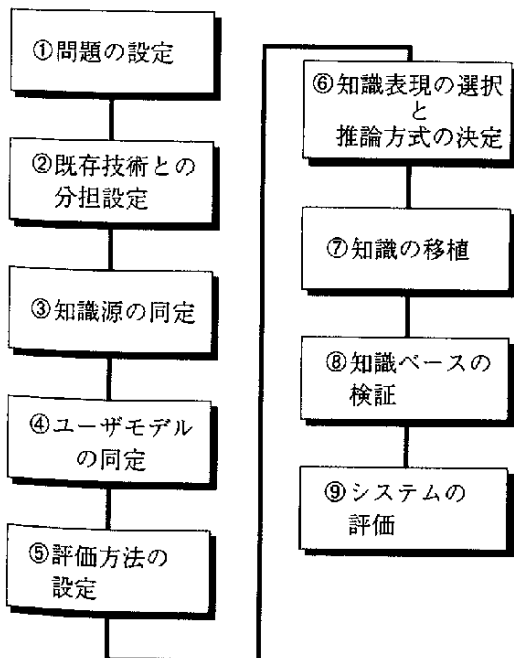
⑧知識ベースの検証

知識ベースが、対象とする問題領域を広くカバーしているか、知識間に矛盾がなく整合性が確保されているか、整合性がないとすれば、それを推論によってカバーできるか等について、検証を行なう。

⑨システムの評価

⑤で設定した評価方法や評価基準に基づき、テストデータ等を用いて、実際にESを動かすことによって、システムの妥当性や正当性を評価する。

図表Ⅳ-2-1 エキスパートシステムの開発手順



ESは、一般にまずプロトタイピング手法によって作成され、十分な評価の後、実運用システムとしてグレードアップまたは再構築される。したがって上記①～⑨の作業は全面的ないしは一部のフィードバックが行なわれつつ進行することとなる。

2.2 KEの業務と資格

KEの業務とは、当然ながら2.1の①～⑨の作業を行なうことである。このうち、①は基本計画、②～⑤はシステム設計、⑥～⑧はシステム開発、⑨は評価と分けることができるが、これらは従来技術でのかなり高度なSEの業務に相当する。特に既存技術との最適のトレードオフの設定やその

図表Ⅳ-2-2 SEの基礎的知識・技術

基礎	数理工学	統計解析、多変量解析、オペレーションズ・リサーチ、シミュレーション など
	システム工学	問題解決技法、システムズアプローチ、モデリング、創造工学手法 など
	コミュニケーション技法	プレゼンテーション技法、ドキュメンテーション技法、調査技法、インタビュー技法 など
情報処理技術	ハードウェア・アーキテクチャ	ノイマン・アーキテクチャ、非ノイマン・アーキテクチャ、並列アーキテクチャ など
	オペレーティング・システム	OSの機能、OSの技術動向、OSの評価、システムインタフェース など
	ソフトウェア工学	要求分析、構造化技法、言語、品質保証・検証、コストモデル など
	ソフトウェア開発技法	要求仕様化、システム設計、プログラミング、テスト・検査、保守、開発環境と支援ツール など
	システム構成技術と評価	システム・アーキテクチャ、分散処理、実時間処理、システム評価 など
	通信ネットワーク	ネットワーク技術、ネットワーク・アーキテクチャ、LAN、WAN、VAN、ネットワーク管理 など
	データベース	データモデル、データ構造、DBMS、マルチメディア・データベース、分散データベース など
	コンピュータ・セキュリティ	物理的セキュリティ、論理的セキュリティ、リスク分析、システム監査 など
	プロジェクト管理	品質管理、工程管理、要員管理、コスト管理 など
	ヒューマン・インタフェース	M-M-I、人間的要因、行動分析、認知過程分析、

有機的な統合を行なう能力が必要であることから、KEとは、すでにSEとしての知識・技術・経験を持つ技術者が、さらにES構築に必要な知識・技術を身につけて、KEとなるというアプローチが最も望ましい。したがって、本育成指針での教育対象は既存のSEであることを前提としている。なお、図表Ⅳ-2-2はSEとしてすでに有しているはずの知識・技術の一覧である。

第3章 KEの専門知識

以下に本指針に基づく教育項目と簡単なそれぞれ

れの目標を図表Ⅳ-2-3に示す。併せて標準的な研修時間も提示した。

なお、研修時間は全体で727時間（約6ヵ月）となっているが、実務者教育の場合は言語や対象を環境に則して限定し、一部をOJTに移行することにより、以下のような3ヵ月程度の期間に縮小することも可能であろう。

項 目	標 準	短 縮
AIの基本知識	27時間	12時間
ESの基本知識	300	180
実 習	400	200

図表Ⅳ-2-3 (a) 教育内容

項 目	教 育 目 標	標準的研修時間
【AIの基本知識】		(27)
1. AIとは	AIの定義は多様であるが、ここではAIを実際に活用するためのシステム化を行なう立場から、その本質を理解させる。	3
2. AIの歴史と動向	AIの初期から現在までの代表的な例を示しAI研究の流れをつかむ。そして、研究開発の今後の動向、将来の展望について理解を深めさせる。	6
3. AIの基礎概念	AIの基礎技術の概要と、従来技術との違いを把握させる。	6
4. AIの応用分野	自然言語理解、音声理解、画像理解、知能ロボット、エキスパート・システムなどをはじめ、AIの応用分野を概観してAI技術の可能性を把握する。	6
5. AI言語の概要	主なAI言語（知識処理言語）と従来の言語の相違点を理解させる。 例①知識処理と情報処理のデータ構造の違い ②束縛の意味と必要性 ③再帰的プログラミングの必要性和効果 ④リスト処理とフレーム処理の特徴 ⑤関数型言語、論理型言語の特徴と適応性	6

図表Ⅳ-2-3 (b) 教育内容

項 目	教 育 目 標	標準的研修時間
【ESの基本知識】		(300)
1. ESとは	ESの定義、歴史、技術の現状と動向などの概要の把握と、従来システムとの違いを理解する。	6
2. ESの基礎技術		102
2. 1 ESの概要		6
ESの構造	エキスパート・システムの基本的な構造について理解し、それによって実際のシステムの構造を分析できること、及びシステムの大まかな構想を立てるための能力を身につけることを目標とする。	
基本動作原理	エキスパート・システムの動作の基本を、以下のポイントを中心に理解させる。「エキスパート・システムは、宣言的に表現された知識をモジュールとして多数蓄積し、それらを推論機構によって組み合わせて使用することで、問題解決にあたる。」	
開発方法	エキスパート・システムの開発方法に関して、以下の諸点を理解させる。 ①従来システムの開発と比較して、異なっている点 ②従来システムと異なる開発方法をとる理由、及び利点	

図表Ⅳ-2-3 (b) 教育内容 (つづき)

項 目	教 育 目 標	標準的研修時間
2. 2 知識表現の基礎		27
プロダクション・ルール	以下の諸側面を理解させることにより、プロダクション・ルールを利用した初歩的な推論システムの設計・評価ができることを目標とする。 ①プロダクション・システムの構成要素、及びその役割を理解する ②前向き推論、及び後向き推論におけるシステムの動作を理解する ③システムの実行効率改善のための推論制御の方法を理解する	
意味ネットワーク	以下の項目について理解させる。 ①意味ネットワークによる知識表現の方法と特徴 ②意味ネットワークを用いた推論	
フレーム	以下の項目について理解させる。 ①フレームの構造 ②フレームの構成要素と、それが表現している知識内容との正確な対応 ③フレーム・システムの持つ処理機構（属性の継承・付加手続き等）の機能	
ロジック	①一階述語論理の表現方法を理解させる。 ②簡単な日本語の文章を述語論理式で表現できること ③論理式の集合と式が与えられた時、その式が集合の論理的帰結であることを例を用いて説明できること ④PROLOG言語の理論的背景であるホーン節と導出原理について理解すること	
オブジェクト指向	(1)オブジェクト指向に関する以下の内容について理解し、オブジェクト指向の観点から実際の問題の分析・整理ができることを目的とする。 ①オブジェクトの観念、およびメッセージ伝達による処理 ②クラスの階層と属性の継承 (2)知識表現を中心にオブジェクト指向がなぜAIの要素技術として重視されるのかを理解させる。	

図表Ⅳ-2-3 (b) 教育内容 (つづき)

項 目	教 育 目 標	標準的研修時間
2. 3 推論技術		27
黑板モデルに基づく推論	(1)プロダクション・システムによる推論での問題点を認識した上で、黑板モデルの一般的概念とその利点を理解させる (2)黑板モデルを利用したエキスパート・システムを設計開発できるようにさせる	
メタ知識に基づく推論	従来のエキスパート・システムの問題点を理解させ、これを打開する為の一つの方法として出現した“メタ推論”の方法について、以下の項目を理解させ、その概要を習得させる ①メタ知識 ②メタルール ③メタ推論	
あいまいな知識に基づく推論	専門家から得られる知識はそれ自体、不完全であり、あいまいであることが多い。特に予測や医療診断はこの側面を持っている。そこでこの節では、代表的な4つのあいまい性の測度を参考に人間の持っている不完全であり、あいまいな知識を如何に表現し、推論するかを理解させる。	
深い知識に基づく推論	従来のエキスパート・システムの問題点を把握し、これを打開するための一つの方法として“深い知識”が研究されていることを理解させる。とくに ①浅い知識と深い知識の差異と関係 ②定性推論の考え方を理解させ、深い知識の概要を習得させる	
時間に関する知識に基づく推論	(1)時間に関する推論の特徴を理解させる (2)時間に関する推論がどうして必要なのかを理解させる (3)時間に関する推論を適用すべき対象が判断できるようにする	
推論の高速化	(1)推論の高速化が必要な背景を理解させる (2)プロダクション・システムの高速化技術として、RETEアルゴリズムを理解させる (3)プロダクション・システムを並列処理マシン上に実装するさいの並列化技法につき理解させる	
高次推論	(1)高次推論としてどのようなものがあるかを理解させる (2)高次推論がでてきた背景としての、通常の推論の問題点を把握させる (3)各々の推論が適用されるべき問題の性格が判断できるようにする	

図表Ⅳ-2-3 (b) 教育内容(つづき)

項	目	教 育 目 標	標準的研修時間
	ESの型	エキスパート・システム(ES)の適用分野は多様であるため、一定の分類をしておくことが必要である。分類は、専門分野別の観点ではなく、ESに要求される基本的なタスク、これを実現するための問題解決機能の観点から行なう。このような観点で、ESをいくつかの「型」に分け、それぞれの特徴を理解させ、KEが専門家と共同でESを構築するときに必要な基本的知識を習得させることが目標である。	12
	人間における知識と推論	(1)人間における知識・推論・学習などの機能の基本的な性質を理解させる (2)現在のAIで実現されている各種の知的処理と人間との違いを理解させる	30

図表Ⅳ-2-3 (b) 教育内容 (つづき)

項 目		教 育 目 標	標準的研修時間
3. ESの開発環境			72
3. 1	AIマシン	AI処理に適するマシンの特徴を示し、共通する特徴を理解させる。 また、AIマシンの動向として、専門のAIマシンの普及とともに、最近は、メインフレームやパーソナル・コンピュータ等の汎用マシンも用いられる傾向にあること、および環境の変化に伴う、AI技術の分散化、統合化、融合化の傾向を理解させる。	6
3. 2	AI言語		42
	LISP	人工知能言語として最も歴史の古いLISPについて習得させる。ANSIのLISP標準化によってCOMMON LISP という言語仕様が定められている。その仕様は非常に大きい為、くわしい言語仕様は参考文献に任せることにし、ここでは以下のことの理解を目標にしてLISPを習得させる。 ・リスト処理の基本的な考え方とその操作 ・関数型の言語としての特徴 ・LISPのデータ処理 ・フォームの評価の方法 ・変数の束縛とスコープ ・再帰的な関数呼び出し	
	PROLOG	人工知能言語としてLISPと並んで代表的なものの1つであるPROLOGを習得させる。本科目の目標はPROLOGプログラミングに必要な基礎知識を身に付けることであり以下の項目に重点をおく。 ・事実と規則を使用した簡単なプログラムが作成できること ・パタンマッチング（共通化）の機構を把握すること ・リストの構造と記法を理解すること ・再帰のプログラムを（作ることはできないにしても）トレースできること ・assert,retract, カットの機能を理解すること ・デバッガの簡単な使い方をマスターすること	
	オブジェクト指向言語	オブジェクト指向言語の代表としてSmalltalkを取り上げ、その特徴を理解させる。とくにAI言語として有効な機能やその理由につき重点をおき説明する。	
3. 3	ES構築用ツール	エキスパート・システムは、LISP,PROLOGのようなAI言語を用いてすべてを構築するとかなりの手間と時間がかかる。そこで多くの場合、エキスパート・システム構築用のソフトウェア・ツールが用いられる。ここでは、ツールを選択する前提として、各種ツールの機能や特徴を理解させる。	24

図表Ⅳ-2-3 (b) 教育内容(つづき)

項 目		教 育 目 標	標準的研修時間
4. ESの構築技法			120
4. 1	対象選択の基準	ES技術を用いて問題解決を行うに適した対象の選択は極めて重要であり、以下の内容に重点をおく。 ①一般的な対象選択の基準を理解させること ②状況に応じた対象選択の基準を設定できるようにすること	12
4. 2	知識表現方法 の選択	対象問題に適した知識表現を的確に発想できるようにすること。特に、フレーム表現、プロダクション・ルール表現の選択及び複合ができるようにすること。	12
4. 3	知識獲得方法	(1)知識獲得段階における問題点の発生、及びその解決の過程でどのようなことが重要となるのかを把握させる (2)知識抽出のアプローチにおける諸手法の長所・短所を理解し、それらの使い分けの原則を習得させる	15
4. 4	マンマシン・ インタフェース	以下の点について理解させることを目標とする。 ①エキスパート・システムにおけるマンマシン・インタフェースの位置づけ ②エキスパート・システムはシステム開発時に使用する開発用インタフェースと、システム完成時に必要となるエンドユーザ・インタフェースの2つの視点から考慮する必要があること ③有効なマンマシン・インタフェースの実現のためにどのような機能が必要とされるか	15
4. 5	ツールの選択	(1)各ツールの特性を知識表現、実行性能、インタフェースなどの複数視点から分析できるようにすること (2)エキスパート・システムの対象とする問題の性質や目的に応じたツールの選択基準を理解させること	12
4. 6	ESの構築手順	エキスパート・システムの開発の各フェーズでの作業内容を理解させる。さらに各フェーズにおけるさまざまな手法について理解させ、プロトタイプを構築するための能力を身につけさせることを目標とする。	18
4. 7	ESの構築方法	以下に示す型のエキスパート・システムについて構築方法の特色を理解させる。また、タイプ別エキスパート・システムの具体的な開発事例についても把握させる。 ①診断型エキスパート・システム ②設計型エキスパート・システム ③制御型エキスパート・システム	24
4. 8	ESの評価	(1)ESの本質・特質を理解し、評価・保証すべき項目を分析・抽出できること (2)ES評価手法を理解し、活用できること (3)ESの評価の事例を調査し、ケース・スタディを実施して、実務能力を高めること (4)従来型システムに対する品質評価についても、理解を深めること	12

図表Ⅳ-2-3 (c) 教育内容

項 目	教 育 目 標	標準的研修時間
【 実 習 】	基本知識の講義と対応した実習編である。講義との関係をよくとりながら、実際にマシンやツールを使わせて、エキスパート・システム構築技術を習得させる。	(400)
1. LISPプログラミング	従来型プログラミングの思考法にとらわれぬよう導く。 主な項目を以下に示す。 ①再帰 ②パタン・マッチング ③探索 ④プロダクション・システム	60
2. PROLOGプログラミング	従来型プログラミングの思考法にとらわれぬよう導く。 主な項目を以下に示す。 ①再帰 ②リスト処理 ③ユニフィケーション ④探索 (含バックトラッキング) ⑤プロダクション・システム	60
3. ヒアリング・インタビュー技法	KEが、知識源である専門家から知識を抜き出す実習である。 (1)ロール・プレイングにより、面接の仕方、メモの取り方のスキルアップを図る ①メモの技法 ②テープレコーダが使える場合 ③メモの減らし方 (2)ヒアリング、インタビューのための下準備の重要性、実施時のエチケットなどを含め、留意すべき事項を列記した「シート」上にチェックさせて、理解度を測る	60
4. ESの構築	(1)テーマを与えてプロトタイプを作成させる (2)テーマを自由に選択させ、プロトタイプを作成させる (3)(1)(2)ともに、プロトタイプができたなら、システムを動かしてみ、使い勝手、機能などを評価する。また、モデルシステムがある場合はそれと比較し、長所や短所を把握させる。	220

第3部 通商産業省のAI関連施策の概要

第1章 AI関連施策の推進

AIは、高度情報化社会を実現するための基盤となる技術であるが、広く社会の中で適用されるには、まだ多くの研究課題、技術開発課題等が存在する。このため、通商産業省としても、基礎的な研究開発プロジェクトの推進を中心として、多面的な施策を展開し、AI技術の発展や利用の促進を図っているところである。

本章においては、これらの施策のうち主要なものを紹介する。

研究開発の代表的なものが、「第五世代コンピュータ・プロジェクト」である。知識情報処理を実現するために必要なコンピュータとして、第五世代コンピュータを開発するものであり、昭和57年度から10年計画で進めている。また、これに関連するものとして、「電子化辞書プロジェクト」および「高機能AIシステム記述用言語プロジェクト」がある。両者はいずれも、基盤技術研究促進センターからの出資事業として、株式会社を設立し、研究開発を推進している。

また、平成元年には、言葉の意味に含まれるような「あいまいさ」を持つ情報を処理するものとして、ファジィに関する研究を行なう技術研究組合が設立され、研究開発を推進している。

さらに、研究開発以外のものとして、AIに関する調査研究・普及啓蒙があるが、これについては、(財)新世代コンピュータ技術開発機構と(財)日本情報処理開発協会が共同で組織した「ICOT - JIPDEC AIセンター」の活動として実施している。

そのほか、通商産業省として、従来のコンピュータが不得意な、人間の脳が行なっているような高度かつ多彩な情報処理技術の実現を目指した、新情報処理技術に関する調査研究も実施している。

それでは、以上の主要なプロジェクトについては、具体的な内容の紹介に移る。

第2章 第五世代コンピュータ・プロジェクト

2.1 第五世代コンピュータ

従来のコンピュータは、その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、現在のものは第4世代に属するといわれている。

しかし、これらはいずれもハードウェア・コストが高かった頃の設計思想に基づいて作られており、比較的単純なハードウェアの上で、複雑なソフトウェアにより処理を行なわせるアーキテクチャになっている。このため、処理の複雑化、膨大化にともない、ソフトウェアにかかる負担が増大し、システムの構築に支障をきたす状況になりつつある。

そこで、人間の思考に近い方法でプログラミングを行い(ロジック・プログラミング)、ソフトウェアの負担を軽減するとともに、複数の推論を同時に実行(並列推論)する、新しい世代のコンピュータが考え出された。(図表Ⅳ-3-1参照)

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を有する、革新的なコン

ピュータである。

2.2 プロジェクトの概要

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として、スタートしたものである。

このプロジェクトは通商産業省の情報化政策の一環として推進されているものであり、昭和57年4月に民間の共同出資により設立された(財)新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT:Institution for New Generation Computer Technology)に委託する形で実施されている。

研究開発は、全体で10年の研究期間を、前期(昭和57～59年度)、中期(昭和60～63年度)、後期(平成元～3年度)に分けて進められており、現在は後期計画に突入している。(図表Ⅳ-3-2参照)

前期では、世界初のパーソナルタイプ逐次形推論コンピュータPSIや関係データベースマシンDelta等のハードウェアと逐次型論理言語ESP、世界初の論理形言語による本格的オペレーティング・システムである逐次推論制御ソフトウェアSIMPOSを研究開発した。

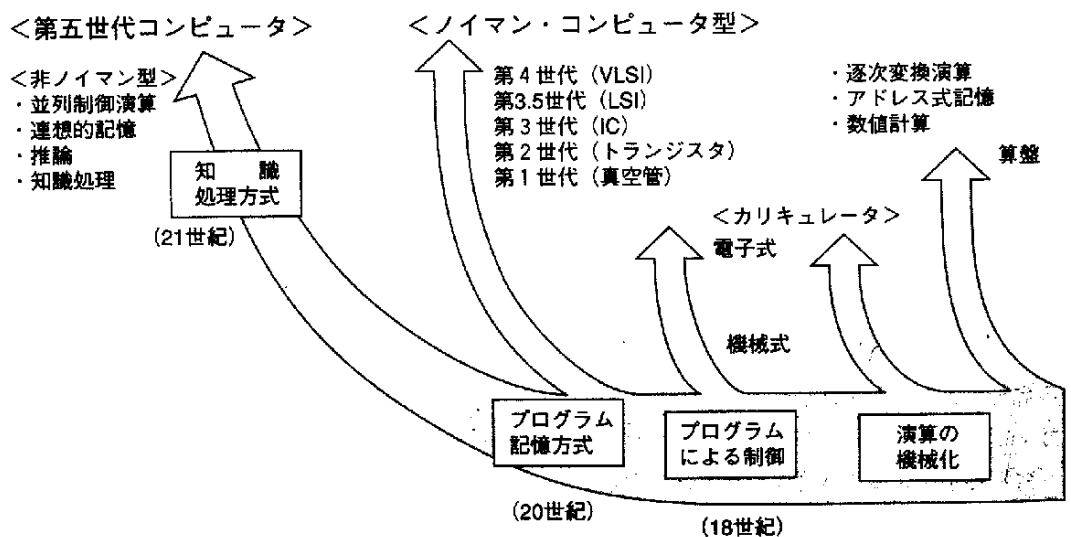
中期では、世界初の並列型推論コンピュータMulti-PSI、並列論理型言語KL1、並列推論制御ソフトウェアPIMOS、分散知識ベース管理基本ソフトウェアKappa、簡単な文章・談話を理解する談話理解実験システムDUALS等が研究開発された。

2.3 プロトタイプ・システムの概要

後期においてはこれまでの研究成果を統合し、第五世代コンピュータ・プロトタイプ・システムを開発することとしている。以下、その概要を説明する。

- ①1,000台程度の並列度を有する、並列推論機能および知識ベース機能を持つ、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

図表Ⅳ-3-1 第五世代コンピュータの位置づけ



理を行な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・システムからなる、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ふべき、プロトタイプ基本応用システム

図表IV-3-3にプロトタイプ・システムの概念を示す。

研究開発は順調に進捗しており、平成元年度に第五世代コンピュータのプロトタイプ・ハードウェアである、PIM（Parallel Inference Machine：並列推論マシン）、プロトタイプ基礎ソフトウェア・システム等の設計を行ない、2年度からその試作に着手している。

2.4 国際研究交流

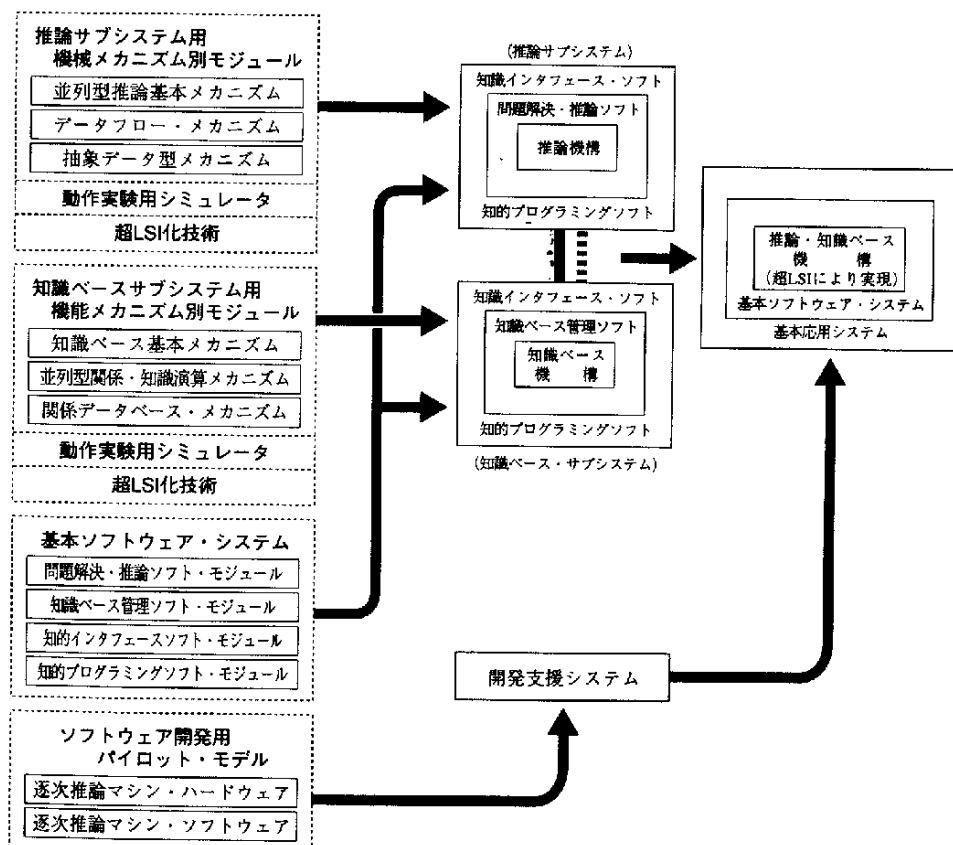
本プロジェクトが対象とするような先端的基礎研究分野では、広く内外における研究交流を行ない、国際的見地から研究を進めていく必要がある。そこで、当プロジェクトではかねてから国際研究交流に重点を置き、研究員の受入れ、シンポジウムの開催等幅広い施策を展開してきた。以下、その主なものを紹介する。

①長期派遣研究員の受入れ

研究者受入れを通じて、その成果を世界に公表することにより、世界レベルでの研究開発の進展に寄与することを目的として、海外研究機関等から研究員を受け入れている。

現在、米国立科学財団（NSF）、仏国立自

図表IV-3-2 第五世代コンピュータの開発ステップ



動化情報研究所（INRIA）、英国貿易産業省（DTI）とICOTとの間で、研究員の受入れに関する覚書が締結されている。

②国際会議の開催

プロジェクトの開始直前および、前期、中期の最終年度の計3回、第五世代コンピュータ国際会議（FGCS）を開催してきた。これは、研究開発成果を広く内外の研究者に披露し、討議を行なうために開催しているものである。

③海外研究者の招へい

海外の第一線研究員を平均1カ月ICOTに招へいし、研究討議による研究交流を行っている。

④AIシンポジウムの開催

欧米のAI先進国と、最前線の研究状況に

関する情報交換を行なうため、AIシンポジウムを開催している。過去、フランス、米国、スウェーデンの各国と定期的に開催しており、元年度からは新たに英国、イタリアともワークショップを設けた。

第3章 電子化辞書プロジェクト

3.1 電子化辞書

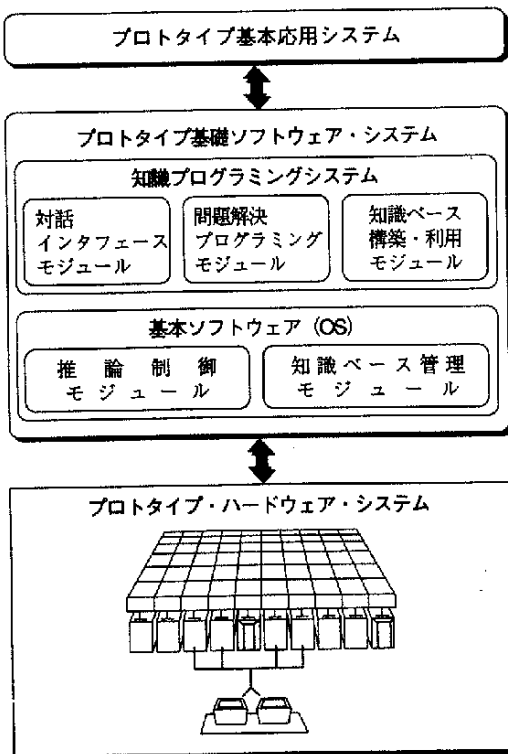
人工知能分野の応用技術の中で、人間が日常使用する言葉をコンピュータに理解させ処理させる自然言語処理技術の開発は必須のものとなっている。このため、研究開発の共通基盤となる大規模で高品質な自然言語処理用データベース、すなわち電子化辞書が必要不可欠となる。このような背景の下、（株）日本電子化辞書研究所（EDR：Japan Electronic Dictionary Research Institute, Ltd.）が設立され、電子化辞書の研究開発を推進している。

EDR電子化辞書は大きく4種類の辞書から構成される。文の構造を把握するために単語の文法的特性とその単語が表す概念を定義する「単語辞書」、単語が表す概念をコンピュータが理解できるように概念間に成り立つ関係を記述する「概念辞書」、文を生成する時に適切な単語を選べるように単語間の共起関係を記述する「共起辞書」、日本語と英語の単語間の対応関係を記述した「対訳辞書」である。

3.2 プロジェクトの概要と現状

プロジェクトは昭和61年4月にスタートした。平成7年3月までの予定である。研究開発テーマは、大きく、単語辞書、概念辞書、データ管理システム、実証評価システムの4つに区分されている。（図表Ⅳ-3-4、図表Ⅳ-3-5、図表Ⅳ-3-6参照）

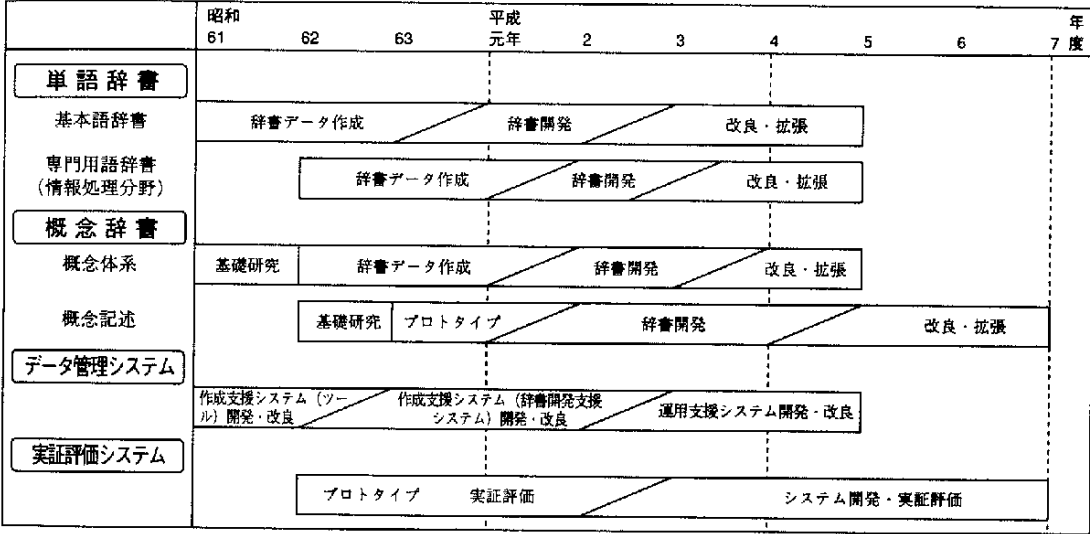
図表Ⅳ-3-3 第五世代コンピュータ・プロトタイプ



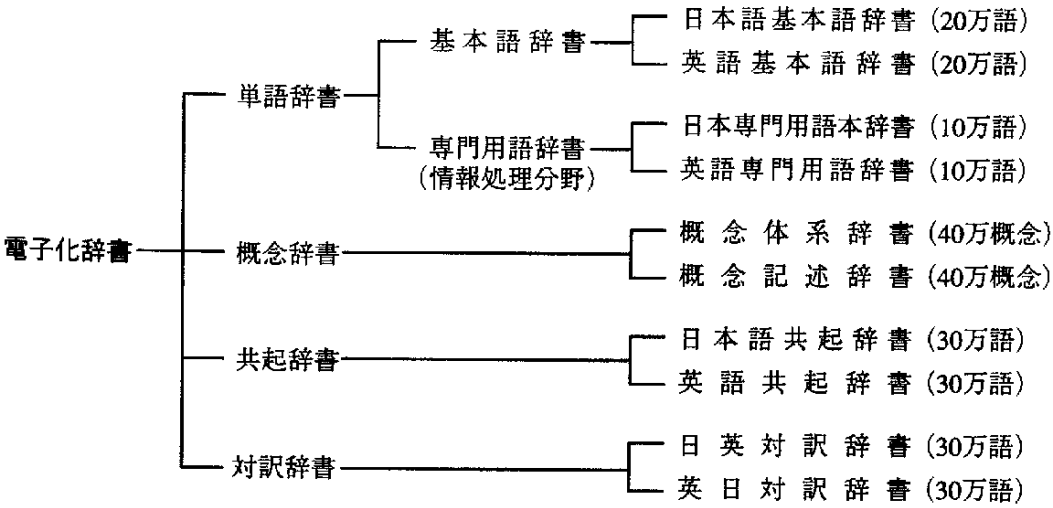
単語辞書については、日常接する文書の範囲をほぼ網羅すると考えられる日英各20万語の辞書開発を行なう計画である。現段階では、辞書開発に関する基礎研究と出版社を通じての辞書データ作成が完了し、本格的な辞書開発に着手している。辞書データとは、辞書開発の出発点となる生データのことであり、辞書となる前段階のものである。日本語、英語それぞれ独立に

17万語の単語見出しの選択を行ない、対訳付けを行なう過程で双方の不足分を補いながらデータ作成を行なった。現在、日本語、英語それぞれ20万語強の規模となっている。一方、多くの単語は複数の意味を持つことから、単語が表す概念は単語の数よりも多く、日本語、英語それぞれ取りあえず50万弱の概念見出しが得られている。この単語辞書は、第1版が完成し、試験的な利用が始めら

図表IV-3-4 研究開発スケジュール



図表IV-3-5 電子化辞書の構成



れるところである。

概念辞書については、概念の上位・下位関係を記述する概念体系のデータ作成が本年中に完了する予定である。このデータは、約100万の概念見出しを約1000個の概念分類項目に分類したもので、体系作りの素データとなるものである。概念の格関係、因果関係等による関係記述である概念記述は、実験・試作が終わり、本格的な開発に着手するところである。

EDR電子化辞書の言語は、日本語と英語、分野は基本語と情報処理専門用語を対象としているが、辞書の仕様、開発の方法は、広く他の言語にも、また他の専門用語にも適用できる一般的なものである。

機能を有する論理型言語として定評のあるPrologにオブジェクト指向プログラミング機能等を付加し、エキスパート・システムやシステムプログラムの記述にも適した、AIシステム記述言語(AI言語)である。

しかし、ESPはこのような優れた特徴を有しながら、逐次型推論マシンPSI(Personal Sequential Inference Machine)上でしか動作しないという制約があった。

そこで、このESPをベースとしてさらに高機能化を図り、汎用ワークステーション、ミニコンピュータ、メインフレーム等の上でも動作可能な高機能AI言語、Common ESPを試験研究することとした。

図表Ⅳ-3-7にCommon ESPの特徴を示す。

第4章 高機能AIシステム記述用言語プロジェクト

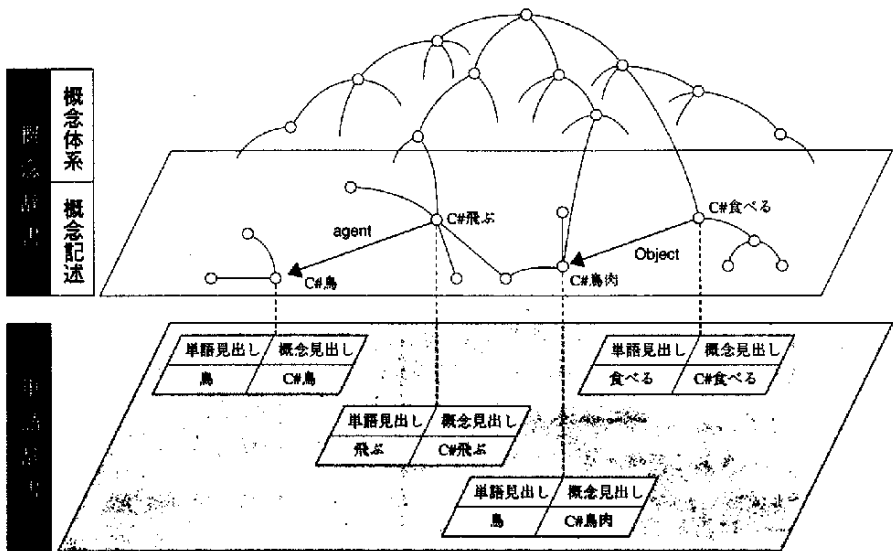
4.1 高機能AIシステム記述用言語CommonESP
第五世代コンピュータ・プロジェクトで開発されたESP(Extended Self-contained Prolog)は、推論

4.2 プロジェクト概要

本プロジェクトは昭和63年3月から4年1カ月かけて、以下の各テーマについて試験研究を行なうこととしており、(株)AI言語研究所(AIR: AI Language Research Institute, Ltd.)によって実施されている。

① Common ESP言語仕様および言語処理系

図表Ⅳ-3-6 EDR電子化辞書の構成



(A) Common ESP言語仕様

ESPを参考にしながら、新規パラダイムの導入、ライブラリの拡充等により、ESPの機能を包含しつつより高度化したCommon ESPの言語仕様の作成を行なう。

(B) Common ESP言語処理系

上記の言語仕様に基づいた、Common ESPの言語処理系を研究開発する。

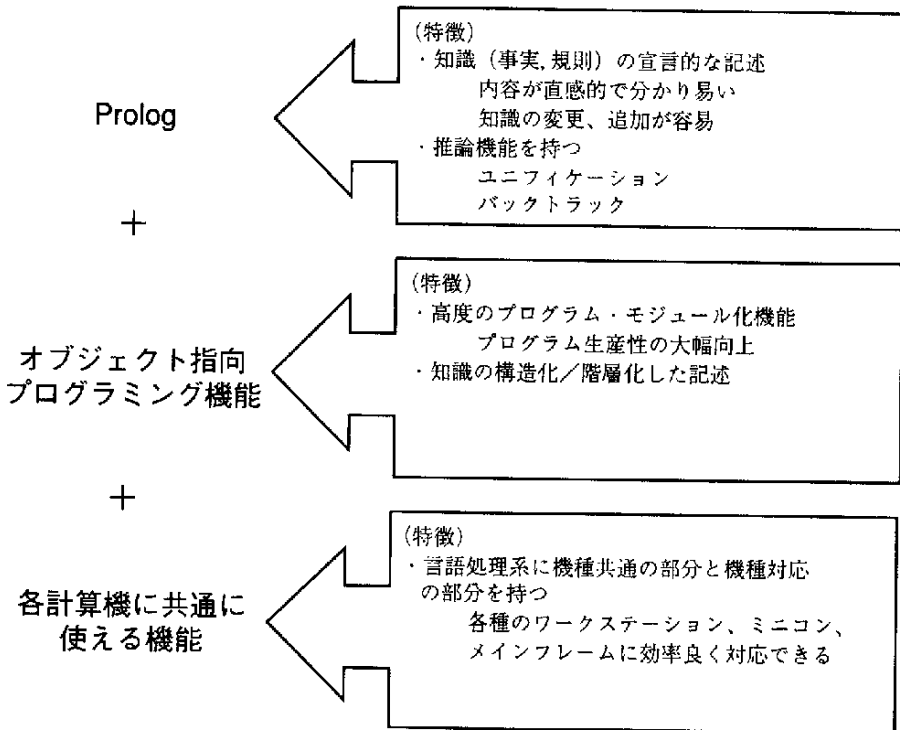
②実証評価

評価用ソフトウェアを試作し、評価を行なう。
評価結果は、Common ESP言語仕様および言語処理系の改良、拡張にフィードバックする。

③ Common ESP最適処理系

Common ESPの一層の高機能化、実行の高速化のため、最適化アルゴリズムの研究、知識を表現するためのより高度なパラダイムの考案と

図表IV-3-7 Common ESPの特徴



ESPと他の言語の記述能力の比較

項目		手続き言語 FORTRAN, C 等	Lisp	Prolog	オブジェクト 指向言語	ESP
人工 知能 分野	自然言語処理	×	○	◎	×	◎
	エキスパート システム	×	○	○	○	◎
システムプログラム (OS, コンパイラ)		○	○	×	◎	◎

Common ESPへの導入、AIシステム向け次世代ソフトウェア統合開発環境の研究等を行なう。

図表Ⅳ-3-8に各テーマごとの試験研究計画を示す。

4.3 試験研究の現状

昭和63年度には、移植性の高いエミュレータ方式を採用した暫定版を開発した後、平成元年度は実行速度の早い、マシン語方式による基本仕様版の開発を完了し、順調に試験研究を遂行中である。

第5章 ファジィ理論の工学的応用プロジェクト

「あいまいさ」をもつ情報を処理するものとして、ファジィ理論の応用が注目されているが、その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標に、平成元年、技術研究組合として国際ファジィ工学研究所（LIFE：Laboratory for International Fuzzy Engineering Research）が設立された。

この研究所の設立には、コンピュータ・メーカーはもちろん、自動車、鉄鋼等のメーカーやソフトハ

ウス、証券会社等、幅広い業種から48社もの企業が参加しており、このことから、ファジィについての関心の高さと、応用分野の広さがうかがえる（平成元年度末時点では49社）。研究期間は約6年間、研究開発費総額は現時点で約50億円が見込まれており、ファジィ理論の制御システムへの応用、ファジィ理論の知的情報処理分野への応用、ファジィ理論の実行に適したファジィ・コンピュータの研究・試作が、研究開発課題である。これらの課題について、大学等との連携や諸外国の研究機関との研究交流を図りつつ、基礎から応用までの幅の広い研究を総合的に推進することとしている。

LIFEの研究は、3研究室体制で行なわれている。第1研究室は、ファジィ制御の研究開発を担当している。具体的には、ファジィ理論を機械系の制御や、プロセスプラントなどの制御システムに応用するため、これに必要な基本技術、開発支援ツール等の研究開発と応用システムの試作・評価を行なっている。

第2研究室は、ファジィ知的情報処理の研究開発を担当している。ファジィ理論を応用し、知的情報処理システムを構築するために、ファジィ意思決定支援システム、ファジィパターン認識およ

図表Ⅳ-3-8 試験研究結果

（テーマ名） AIシステム記述用言語の高度化に関する試験研究

サブテーマ及び小項目	昭和62年度	昭和63年度	平成元年度	平成2年度	平成3年度
1. Common ESP 言語仕様及び言語処理系					
(1)言語仕様		一次試作 [暫定版]	二次試作 [基本仕様版]	三次試作 [フルセット仕様版]	改良・評価 [試作最終版]
(2)言語処理系		一次試作 [暫定版]	二次試作 [基本仕様版]	三次試作 [フルセット仕様版]	改良・評価 [試作最終版]
2. 実証評価		一次試作・評価		二次試作・評価	三次試作・評価
3. Common ESP 最適処理系		基本最適処理系研究		高度最適処理系研究	

びファジィエキスパートシステム構築ツールの研究開発を通じて、所要の共通基盤技術の確立を目指している。

第3研究室は、ファジィ・コンピュータの研究開発を担当している。人間と同じように定性的な言葉の概念を理解し、それに基づいて、ファジィ制御やファジィ知的情報処理における、多量のファジィ情報の処理とファジィ推論の実行を高速に行なう人間との親和性に優れた汎用ファジィ・コンピュータの基礎技術の研究を行なう。

第6章 新情報処理技術に関する総合的な調査研究

通商産業省では、新情報処理技術に関する総合的な調査研究を平成元年度から実施している。

そのねらいは、「従来のコンピュータが得意な、人間の脳が行なっているような高度かつ多彩な情報処理技術の実現を目指して、技術シーズおよび新機能の動向、社会応用の観点から、総合的な調査研究を行ない、21世紀に向けてわが国が世界と共に取り組むべき新しい情報処理技術体系について提言する」ことにある。

平成元年度の検討項目は、以下のとおりである。

①基礎理論・技術に関する検討

新しい情報処理の基礎となる技術について、研究開発の現状をレビューするとともに、今後の技術動向を予測し、技術シーズの側から新しい情報処理の目指すべき方向について提言する。このため、超並列・超分散処理、学習、光技術・新デバイスの3項目について検討する。

②新情報処理に求められる機能に関する検討

現在のコンピュータが不得意とし、今後の実現が期待される新たな機能に関し、そ

の具体的なイメージを明らかにするとともに、取り組むべき課題を抽出することにより、機能の側から新しい情報処理の目指すべき方向について提言する。このため、3次元情報の処理、視覚・聴覚等の認識や理解、生体が行動する際に見られるような自律・協調機能の3項目について検討する。

③応用分野および社会的インパクトに関する検討

新たな情報処理技術の応用分野を明確にするとともに、その社会的インパクトについて調査検討する。

平成元年9月に第1回委員会が開かれて以来、3分科会、6ワーキンググループにより、精力的な検討が行なわれ、3月に中間報告書がとりまとめられた。平成2年度の検討もスタートしており、今後、さらに検討を深め、最終報告をまとめる予定である。

第7章 AIの普及啓蒙活動

7.1 ICOT-JIPDEC AIセンター

AIの利用の中では、エキスパート・システムの分野が最も進んでおり、試験的なものも含め盛んに導入されるようになってきたが、開発手法が確立していない等の普及阻害要因も多い。このため、昭和61年3月、(財)新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)と(財)日本情報処理開発協会(JIPDEC)によりICOT-JIPDEC AIセンターが共同設置され、AI技術の調査研究・普及啓蒙事業を展開している。

7.2 AIセンター事業の概要

①AI動向調査

わが国におけるAI市場および技術の動向について、経年的に調査研究しており、そ

の一部を昭和62年に「AIビジョン」として取りまとめた。また、年度ごとの調査結果を分析し、「AI白書」として平成元年度から毎年発行することとしている。

②AIオープンハウスの運営

内外の代表的AIツール（ハード、ソフト）を集中展示する公共的な共同利用センターとして「AIオープンハウス」を昭和62年12月に開設し、一般の利用に供している。

③普及啓蒙事業

AIの基礎技術やシステムについて、より幅広い層から理解してもらうため、技術講演会や、AIツールの説明会等を開催している。

④第五世代コンピュータのアプリケーションに関する調査研究

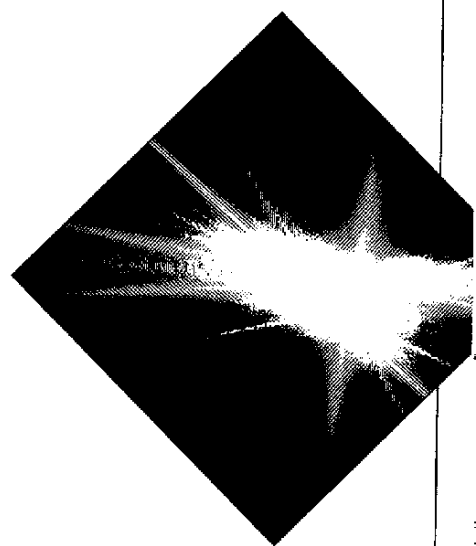
第五世代コンピュータ・プロジェクトで開発されたPSI（逐次推論マシン）について各研究機関に委託し、機能評価を行なっている。

また、論理型プログラミングの利用についても委託調査研究を行なっている。

⑤機関誌の発行

AIの利用動向を紹介する「AIセンターだより」を発行している。

第V編 海外の動向



第1部 米国

第1章 概要

米国のAI技術は特にソフトウェア、なかでもエキスパート・システムの領域で競争優位に立てるといのが、1989年5月に同国商務省情報貿易局（Information Trade Administration）から出された「日本の人工知能市場—米国製品にとっての傾向、発展、市場機会」（Japanese Artificial Intelligence Market : Trends, Developments and Market Opportunities for U.S. Products）と題するレポートの結論である。同レポートは、米国AI市場を要旨次のように述べている。

市場調査会社DMデータによれば、1988年における米国AI市場規模は20億ドルで、対前年比50%の成長を示した。なかでもエキスパート・システムのサブマーケットは、78%以上成長し4億ドルに達し、1990年には2倍になると予測される。

エキスパート・システムの最大ユーザは国防部門で、全体の75%を占めると推定される。アプリケーションは、国防省のスター・ウォーズ計画から戦闘管理計画まで広範である。次いで大きな需要部門は製造業で、そのシェアは15%であり、アプリケーションは製品仕様書作成、設計、計画、生産、流通、フィールド・サービスなどである。ちなみに、「フォーチュン誌500社」の約80%がエキスパート・システムを利用している。

3番目のユーザは銀行業、保険業、クレジット会社を主要ユーザとする金融業で、10%のシェアを占める。

機械翻訳は引き続きスピードと精度を向上させつつあり、政府機関、多国籍企業、なかでも製造

業において広く用いられている。

ニューラル・ネットワークの商業市場は、いまだ期待されているほどには開けていない。現在すめられているニューラル・ネットワークの研究開発は、軍用が主流である。

従来、高価なAI専用マシン上で稼働していた各種のAIツールが、いまでは比較的安い汎用マシン上で稼働するようになったことが、市場成長の重要な要因になっている。米国のAIソフトウェア・ベンダーは、ユーザがその上に自分の特定アプリケーションに関するドメイン知識を入れてエキスパート・システムを構築できるアプリケーション・スペシフィックなツールを開発している。

各種のAIシステムは金融分析から生産ラインの診断問題など、日常業務のいろいろな意志決定への応用が急速に開けつつあり、近い将来、米国産業の能力と競争力は、大いに向上するであろう。

米国連邦政府のAI研究開発費支出は、着実に伸びている。すなわち、1984年の支出は4900万ドルであったが、1988年には1億7200万ドルに達し、過去4年間の平均伸び率は37%である。技術評価に関する議会事務所（Congressional Office of Technology Assessment）によれば、AI研究資金の約90%はDARPA（Defense Advanced Research Projects Agency＝国防省高等研究計画局）と空軍科学研究所（Air Force Office of Scientific Research）、海軍研究局（Office of Naval Research）の支出で、ほかにはNSF（National Science Foundation＝国立科学財団）とNIH（National Institute of Health＝国立健康研究所）の支出である。DARPAは1988年において全体資金の52%を支出している。

なお、ECの推定によれば、1987年に米国で稼

働していたエキスパート・システムは50システム、開発中の同システムは2500システムであったが、1988年には稼働システムが1400システム、開発中のシステムが8500にはねあがった。

第2章 AI関連プロジェクト

本章では、米国における代表的なAI関連プロジェクトを取りあげ、主に1989年1年間の研究開発の動きを中心にして紹介する。ここで取りあげるプロジェクトは、次のものである。

- ① NSF (National Science Foundation: 国立科学財団)
- ② MCC (Microelectronics and Computer Technology Corporation)
- ③ NASA (National Aeronautics and Space Administration: 米国航空宇宙局)
- ④ DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency: 国防省高等研究計画局)

NSFについては資金援助による、また、MCC, NASA, DARPAについては自主または委託による、主要なAI関連研究開発を取りあげる。

2.1 NSF

(1) 大学における研究成果

1989年に報告書が提出されているNSFの資金援助による主な人工知能関連研究は、以下のとおりである。

◆知識に支援された建築設計上の問題解決 (オハイオ大学: Yassios)¹⁾

このプロジェクトの目標は、建築分野の問題解決指向の知識を、コンピュータ支援建築設計 (CAD) システムに統合できるようにする手法を研究することである。これは、既存のCADシステムが備えているCADの能力を保持したまま、知識に基づくエキスパート・システムに置き換え

可能という仮説を立証することを目指している。まず最初に、多くの技術的な問題点への理論上の解決策を探索し、次にその理論上の解決策の有効性を試すためのプロトタイピングによる実用システムを開発することにより、それは立証された。このプロトタイピングによる実用システムは、CKAAD-コンピュータと知識に支援された建築設計エキスパートと呼ばれるモジュールに統合された。

◆地震に対する抵抗力のある建物の構造設計 (National Center for Earthquake Engineering Research: Subramani, M 他)³⁾

耐震設計は不確実性と対象業務知識に依存する。この性格のために、耐震建築物の設計技術者にコンピュータによる設計に対する支援の必要性が生じている。この要求を満たすために、CU-STRAKEという名称の知識ベース・システムのプロトタイプが開発された。この知識ベースの中には、建築法規のうちの地域に関する項目、設計ガイドや技術文献から得たその他の既存情報、および地震後の被災地調査で得られた教訓が含まれている。建物の総合的な評価をするために、CU-STRAKEシステムは耐震パラメータを入手したり、建築法規に照合したりする。耐震構造設計といったエンジニアリング分野のアプリケーションでは、数値計算のためのアルゴリズム機能を利用できることが重要である。CU-STRAKEは、数量を推定するためのアルゴリズム機能と、上述した知識に基づくルールを組み合わせたものである。この知識に基づくシステムは、設計プロセスを支援するために、知識ベースのルール、アルゴリズム機能、および対話型画像処理を組み合わせた総合的な設計環境のモデルをかたちづけている。

◆矛盾を内包するシステムの自律制御のための設計手法 (イリノイ大学: Hung, S.T.)⁴⁾

これは、制御の指示に矛盾を内包するシステム

のための、自律制御コントローラの設計手法を開発するための研究である。制御のために出された指示上の矛盾は、物理的な異常現象もしくは利用者からの指示によって生じるものである。提案された設計手法は、比較的簡単な構造を持ちオンラインによる処理要求がほとんどないコントローラを開発するためのものであり、設計プロセスの中にアプリアリナ情報を幅広く収集し、これをコンピュータから利用できるようにするものである。複雑な問題に対するこの種の単純な解決策は、アプリアリナ情報が不要な場合には軽視されており、これまでに提案されてきた数学的にエレガントな自律制御アルゴリズムの一部では無視されている。

◆マイクロ波分解によるサンプル作成のためのエキスパート・データベース・システム (National Bureau of Standards : Settle, F.A.他)⁵⁾

構造解析用のサンプル準備を支援するためのハイブリッド型エキスパート・データベース・システムが設計された。サンプル準備の手順を開発するために必要な4つの解析記述子 (descriptor) の識別を支援するエキスパート・システムが構築された。このシステムは、サンプルの分解に関する情報を提供する。このシステムの今後のバージョンでは、解析に先だって必要となるであろう分離についての助言を提供する。システムの開発には、PC-ATコンピュータと、商用で入手できるソフトウェアが用いられた。

(2) 1990年の人工知能関連のNSF補助金⁶⁾

1990年にNSFから研究補助金を交付する予定の人工知能関連テーマを次に示す。

◆ロボットおよび人工知能研究

システム設計において何らかのインテリジェンスの特性を実用化することが可能な科学・工学研究を対象とする。

◆ニューロ・エンジニアリング研究

脳の構造と生理学に関してすでに得られてい

る知見に示唆された設計手法を用いて、脳の持つ能力をコンピュータの上に再現する研究を対象とする。

◆情報・ロボット・知的システム分野の研究

人間のインテリジェンスが持つ特性を備えた、コンピュータ利用システムの開発で、すでに着手されている研究を対象とする。

◆機械システム・構造システム研究

工学分野の機械・構造・材料に関する工学知識ベースを拡張・改善するような研究を対象とする。研究手法としては、分析、コンピュータ・シミュレーション、および実験を組合わせたものとする。研究成果が最終的に活用されうることが最大の要件である。

◆知識モデルと認知システム研究

知識の表現および推論や問題解決のためのコンピュータ・システム設計の基礎となるような研究を対象とする。

◆データベースとエキスパート・システムの研究

データベースおよび知識ベース・システムの、設計・開発・管理・利用において基礎となるような研究を対象とする。研究テーマには、既存のデータベースや知識ベースの拡張、分散型システムにおけるデータベース支援、エキスパート・システム、および情報検索が含まれる。

<参考文献>

- 1) Yessios, C.I.;Parent, R.;Brown, W.; Terzides, C. "Knowledge aided architectural problem solving and design." NSF-WNG-89042 (NTIS).
- 2) Arciszewski, T.;Aktan, H. "Innovative design method : A report to the National Science Foundation, (Final Report)." REPT-309-A;NSF/ENG-89018 (NTIS).
- 3) Subramani, M.;Gergely, P.;Conley, C.H.;Abel, J.F. "Knowledge-based approach to structural design of earthquake-resistant buildings." NCEER-89-0006

(NTIS).

4) Hung, S.T. "Design methodology for self-tuning control of systems with inherent conflicts." UILU-ENG-89-2206;DC-110;NSF/ENG-89009 (NTIS).

5) Settle, F.A.;Diamondstone, B.I.;Kingston, H.M.;Pleva, M.A. "Expert-database system for sample preparation by microwave dissolution. 1. Selection of analytical descriptors (Final Report)." J. of Chemical Information and Computer Science 29, p.11-17, 1989.

6) Grants Database 90/Mar.

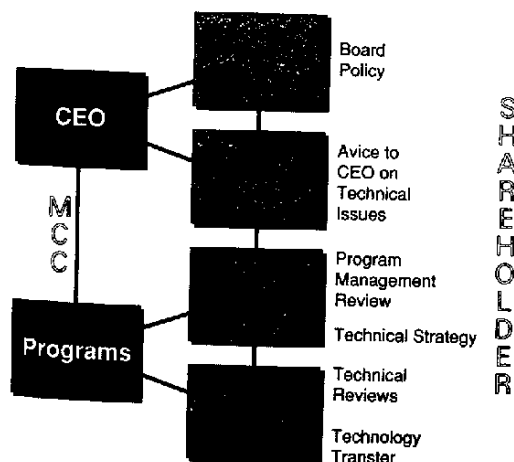
2.2 MCC

(1) MCCの組織の動向

◆MCCの会員企業¹⁾

米国産業界の長期的視野に立った研究開発共同体として1982年に発足したMCCは、当初、10社(AMD, CDC, DEC, Harris, Honeywell, Motorola, National Semiconductor, NCR, RCA, Sperry)の大企業(株主企業)を会員としていた。MCCの研究成果を入手し活用するためには、年間25万ドルの会費に加えて研究開発費の一部を負担しなければならず、会費を払えない小企業にとってはこれま

図表V-1-1 MCCの管理機構



複数の顧問集団が株主企業の経営陣および技術陣とMCCとのあいだのコミュニケーションを促進している。

で何の役にも立たないと批判されてきた。MCCはこのような批判をうけて、1989年よりフォーチュン500社以外の中小企業にも門戸を解放し、年会費2万5千ドルのアソシエート・プログラムを発足させた。企業はプログラムの中で関心のある対象を選択し、応分の費用を払うことでMCCに参加できるようになった。

MCCのこのような方針に応じて、1989年12月より、Apple社が「人工知能研究(ACT)プロジェクト」と「大規模知識ベース構築プロジェクト」に加わっている。

◆MCCの管理機構²⁾

MCCには、役員会、技術顧問会、プログラム技術顧問会、およびプログラム技術パネルの4つの運営管理部門が設置されている。これらの部門は、方針、戦略、および技術の各側面に関して、MCCと株主間の意思疎通を図る重要な機会を提供している。MCCとこれら運営管理部門の関係は、図表V-1-1のとおりである。

◆MCCの人材構成

MCCは全体で440人のスタッフを擁し、そのうちの約80%は技術プログラム担当である。研究者・技術者は全体の約70%を占めており、その約15%は株主企業の人材で、残る85%は他の企業、大学および政府機関の出身者である。株主企業の人材は、MCCの研究活動に参加し、MCCの開発した技術を所属の企業にトランスファーするための重要な役割を果たしている。

◆研究領域

MCCにおけるすべての研究プログラムの共通目標は、コンピュータおよびそのアプリケーションと処理を、より高速で信頼性の高いものにすると共に、より複雑な任務が高品質・低価格で実行できるようにするための技術を提供することである。主な研究プログラムは、以下の5つに分かれている。研究組織の構成は図表V-1-2のとおりである。

- ①高度コンピュータ技術 (Advanced computing technology)
- ②ソフトウェア技術(Software technology)
- ③コンピュータ支援デザイン(Computer-aided design)
- ④パッケージ化/相互接続(Packaging / interconnect)
- ⑤高温超電導の電子分野への応用(Electronic applications of high-temperature super-conductors)

(2) AI技術の応用

◆高度コンピュータ技術

高度コンピュータ技術 (ACT) プログラムの目標は、情報を重視している組織体で「知的助手」として機能するコンピュータシステム実現のための技術を、MCCの株主企業が開発できるようにすることである。このプログラムは、対象市場別の10種類の研究プロジェクトで構成され、株主企業はこれらのうちの少なくとも1つのプロジェクトに参画する。

ACTプログラムは、以下の3分野に焦点を当てている。

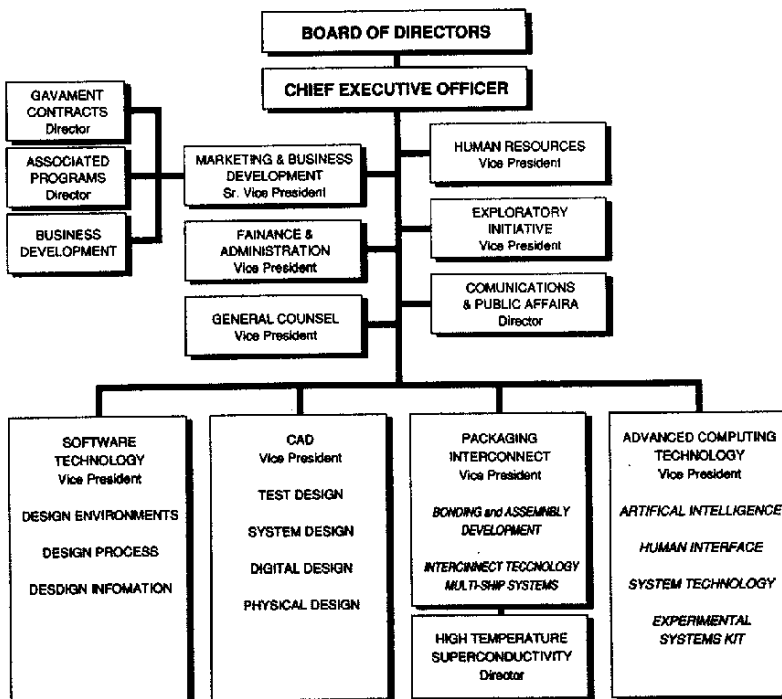
- ・システムの実用性 (system functionality) : エキスパートシステムの開発と大規模知識ベース
- ・システムの利便性 (system usability) : 知識ベースを利用した人間とのインタフェース・ツール
- ・システムのパフォーマンス (system performance) : 高度言語 (advanced language) とオブジェクト指向データベース技術

1987年、MCCの役員会は、関係政府機関との話し合いを主導する役割をMCCに与えることを決定した。それによって、米国内の産業競争力を高めるに当たって、MCCの果たす役割は拡大した。政府とMCCの最初の共同プロジェクトは、DARPAの委託によるものであった。このプロジェクトはExperimental System Kitと呼ばれるACTプログラムの1つで、実験用の高パフォーマンス計

算機システムにおける高速かつ低価格のプロトタイプリングを可能にする技術の開発を目指している。

ACTプログラムで開発されている技術は、半導体関連の研究と直接的に関連するものではないが、その結果得られるMCCの開発成果はいくつかの半導体設計問題に適用されている。例えば、Honeywellでは、MCCが開発したProteusという名の技術を採用した社内の設計用ツールを構築した。ここでは、知識表現のための洗練されたフレームワークを備えた論理に基づく

図表V-1-2 MCCの研究組織



truth maintenanceシステムを採用している。PLEXという名称で知られるProteusのHoneywellによるアプリケーションは、多層印刷回路板（multi-layerprinted circuitboard）上に部品を配置するよう設計されたエキスパートシステムである。

MCCの人工知能技術を応用したもう1つの事例に、NCR Design Advisorがある。これは、エキスパートの設計知識に依拠して設計過程を管理し最適化するためのコンピュータ利用資源を、未熟練の集積回路設計者に提供するソフトウェアシステムである。このDesign Advisorは、パフォーマンス、製造・試験適性、および全般的設計品質を保持しうる標準セルを設計するための助言を提供する。これは、設計を最適化し、高価な失敗を防ぎ、また、設計期間を数週間から数か月短縮することによって、設計者を支援する。

株主企業による上述のアプリケーションのほか、MCCプロジェクトは、推論・学習機能を持つ知識ベース利用の設計システムを開発した。この最初のアプリケーションが、Argoの名称で知られるVLSIデジタル回路設計のためのシステムである。VLSIへのアプリケーションであるArgo-Vは、複数の回路を基本デジタル部品として一体化したものである。

Argo-Vは、アナログ方式の推論を用いることによって、設計の経験を知識として蓄積し、しかもその知識を検索・評価・応用することが可能としようまで機能が高まっている。Argoを単純なデジタル回路に適用し、全く同じ推論を用いて設計を行なうと、これまでにない驚異的な高速化が実現する。

1990年には、人工知能研究所を中心に「設計のための推論アーキテクチャ（RAD）図書館」と呼ばれる新たなプロジェクトが開始されたが、これは「ニューラル・ネット」と「分散型光コンピューティング」という2つのプロジェクトと協同で実施された。RADは共通のアーキテクチャを

基に、伝統的なAIプログラムやニューラル・ネット・プログラム間の情報を共有化するもので、分散型による2つのアプローチで構成される。第1のアプローチである問題解決プログラムはルールに基づくモジュールを採用しており、問題の解決策をさまざまな「推論agents」に分配し、それらの「推論agents」が相互に問題解決手法を相談し合って、設計上のより大きな問題を管理できるようにしている。第2のアプローチであるハイブリッド・プログラムは、従来型の関係データベースを採用することにより、広範囲のルールを利用できるようにしたもので、ニューラル・ネットをパターン認識型の問題解決手法として組み込んでいる。

◆ソフトウェア技術

MCCのソフトウェア技術プログラム（STP）の目標は、ソフトウェア開発工程の生産性とソフトウェア製品の品質を向上させることである。このプログラムは、要求仕様がまだ明確にならないソフトウェア開発の初期段階に焦点を当てている。研究そのものは、専門家との共同作業を伴うチームにより開発される大規模で複雑なシステムを対象としている。STPは、Leonardoとよばれる設計システムを開発している。これは、大規模ソフトウェアシステムの仕様作成と設計に関与する、マネージャー、設計者、顧客代理人などが協力し合って仕事をすることを可能にする一連の技術である。

MCCのソフトウェア技術プログラムによって開発される強力なツールの多くは、集積回路設計チームの生産性が向上し、かつ設計の品質が高まることによって、いつの日か設計者たちに直接的な影響を及ぼすであろう。また、これらのツールは設計や仕様の要求を的確にとらえるとともに、重要な設計情報の再利用化も可能にする。

Leonardoのツール群には、1987年、株主企業に提供された2つの技術—gIBISとPlaneText—が含ま

れている。gIBISツールは、グラフィック指向の課題別 (issue based) 会話捕捉システムである。gIBISの"issue net"は、設計チームのメンバーが設計ネット (design-net) にキーとなる課題 (issue) を提示すると形成される。設計者はその課題をどのように解決すべきかについての方針 (positions) を提示し、その方針に回答して反論 (argument) が出される。

PlaneTextは、設計者とコンピュータの両方に対して情報を組織化する一種のハイパーテキストツールである。MCCのPlaneTextでは、データが連想方式 (ノードとリンクを有するグラフのネットワークとして表現される) になっており、これは複雑なチップを設計する際に生じやすい入り組んだ情報を容易に走査できる。

◆複雑な回路とシステムのためのコンピュータ支援デザイン

コンピュータ支援 (CAD) プログラムは、複雑な超大型集積回路 (VLSI) と電子システムの設計サイクルを短縮し、設計の品質を向上させるツールや技術を株主企業に提供するものである。

CADプログラムの研究戦略には、2つのキ要素がある。1つは、株主企業とCADプログラムが共同で研究の要求事項を決定すること。2つは、それらの要求に見合うよう、プログラムがさまざまな種類の研究開発を実施することである。その中には、多額の経費を要する基礎研究、先端をいく大学との共同／拡大研究、および商用CADの新しい動きを取り入れた研究が含まれる。CADプログラムとMCCによる他分野の研究を組み合わせることも、重要な戦略である。その1つとして、知識ベースや設計再利用技術を用いたCADツールの開発において、CAD研究の成果とACTおよびSTPプログラムの成果を組み合わせるなど、先導的な役割を果たすことがあげられる。

CADプログラムの中心的な活動はCADシステムのフレームワークの開発である。フレームワー

クの開発はこれまでLisp環境で進められてきたが、UNIXを使った大学の研究、利用できる商用CADソフトウェア、およびUNIXワークステーションのコスト対効果の高さをうまく取り入れるために、1988年からUNIX環境に切り替えられた。現在の開発はSemiconductor Research Corporationの支援を得て、主として、カリフォルニア大学バークレー校 (UCB) で開発されたOCTシステム上で行なわれている。そこではMCCとUCBの共同により、分散型データ、設計管理、ツール管理、および外部ツールのOCTフレームワークへの統合という新たな能力が付加されている。フレームワークへの主要な追加点として、ルール駆動知識ベースによるユーザインタフェースと、設計表現の拡張が計画されている。

◆その他のAI関連研究開発³⁾

MCCは、人工知能の特性を備え、複雑なアプリケーションを簡単に使える大画面の対話型ワーク・サーフェイス (interactive work surface : IWS) を開発した。

従来のコンピュータ画面の弱点の1つは、画面が小さすぎるため1人の利用者が必要とするすべての画像を同時に提供することができなかった点にある。対話型ワーク・サーフェイスは、18×24インチの接触式 (touch-sensitive) ガスプラズマ・ディスプレイに、ライトペン、マウス、キーボード、あるいはその他の入力機器を組み合わせることによって、ユーザインタフェースにデスクトップもどきの新しい概念をもたらした。このアプリケーションでは、平板ディスプレイ自体が一種の機上の作業領域のような広がりを持っており、手書き文字も受け入れる。マルチプロセッサ環境においては、これによって利用者が複数のアプリケーションで何が起きているかを常に把握でき、また、複数のウィンドウを開いたり閉じたりすることなしに、1つのアプリケーションから別のアプリケーションに情報を渡すことができる

ようになる。IWSは、複数のウィンドウで埋め尽くされた大きなスクリーンというだけのものではない。AIインタフェースを加えることによって、手書き文字を1字ずつデジタル化する処理ができ、キーボードの代わりとなる「黒板(blackboard)」と呼ばれる入力機器を実現している。これは、情報要求や指示を行なおうとする利用者によって呼び出されるもので、各インタフェースと複数のホスト・システムとの間の媒介者としての役割を果たしている。IWSでは、利用者と、背後で実行中のアプリケーションとを分離させた状態にするために、複数のホストに共通のインタフェースを提供している。

<参考文献>

- 1) "MCC revamps offerings," Austin American-Statesman (TX), August 22, 1989, p.A1, A9.
- 2) Dove, Grant A. "Cooperative research at MCC: A focus on semiconductor-related efforts." Proceedings of the IEEE, vol.77, no. 9, Sep. 1989, p.1368-1375.
- 3) "Interactive work surface: complex applications made easier." MIS Week, Feb. 1990, p.NA

2.3 NASA

(1) NASAにおける研究成果

◆宇宙通信、追跡およびロボット用センサーのための新技術開発¹⁾

NASAでは、宇宙ステーション時代の使命を果たすために、宇宙通信、追跡およびロボット用センサーに関連する技術の開発に取り組んでいる。これらの技術の中で、人工知能に関連したものには以下のものがある。

第1は、宇宙ステーションにおける施設管理や機器の運用を効果的に行なうための自動運転技術。第2は、地上基地と宇宙ステーション間におけるさまざまなコミュニケーションを扱う自動ロボットセンサー技術である。また、宇宙飛行用の

乗物に関して、画像やセンサー等により収集された情報が増加すると、エキスパート・システムを使った自動制御・監視システムが必要となる。NASAでは、宇宙ステーション用のこのようなサブシステムの設計・開発が行なわれている。自動的に制御すべき機能として、①コミュニケーションの計画とスケジュール調整、②コミュニケーションの交通整理とルーチング、③システムとサブシステムのパフォーマンス検定試験、誤りの検出と除去、④配列(configuration)とパフォーマンスの制御、⑤アンテナとテレビの方向調整およびパフォーマンス制御、があげられている。宇宙におけるコミュニケーションが増大すると、再利用可能でモジュール化されたエキスパート・システムの導入が必要となる。CAMモジュールは、意思決定論理アルゴリズムに基づいた知的サブシステムとなるべく構成されており、さまざまな宇宙ステーションや宇宙飛行用乗物にすぐに適用できる。使用言語は、柔軟性および他の制御・監視用サブシステムとの相互接続を考慮すると、ADAが望ましい。宇宙ステーションのための管理・監視サブシステムのコンセプトを図表V-1-3に示す。

◆知的データ管理プロジェクト²⁾

[プロジェクトの概要]

NASAのGoddard宇宙飛行センター(Space Flight Center)の国立宇宙科学データセンター(National Space Science Data Center: NSSDC)は、NASAの支援により実施された数多くの科学実験で得られた、地球・宇宙科学分野のさまざまな領域におけるデータや情報へのアクセス手段を提供するという使命を担っている。NASAの飛行プロジェクトや他の機関による宇宙関連プロジェクト(スーパーコンピュータを使ったモデリングなど)は、従来のやり方ではとても管理し得ない複雑なデータを大量に生み出している。NSSDCには、数千種類の異なるデータセットからなる13万本の磁気テープのほか、数千本のフィルム、印刷物、オンライ

ン・データ等が保存されている。これらのデータはNSSDCによってアーカイブ化され管理されているが、いったんNSSDCの手に渡ると、利用者を支援するためのデータ管理がほとんど実施されていない。

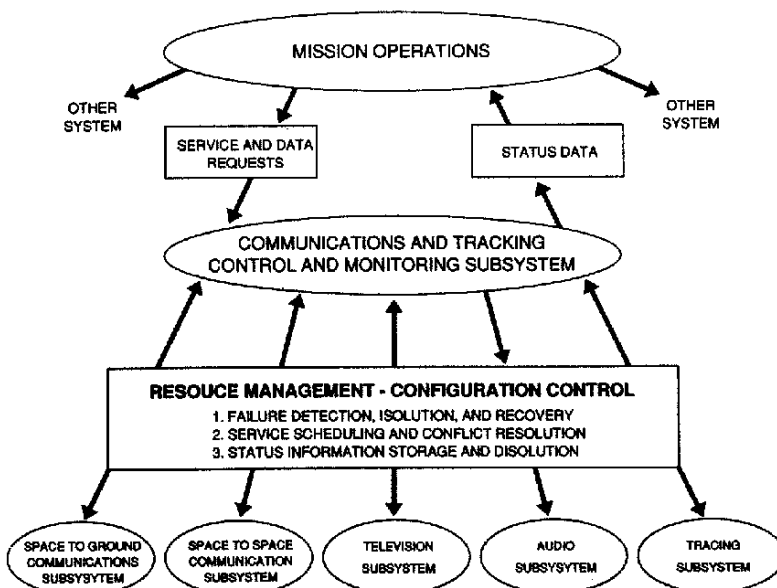
NSSDCでは、これに対処するため、知的データ管理 (Intelligent Data Management : IDM) プロジェクトを開始した。IDM プロジェクトの最終目標は、NASAが支援する地球・宇宙科学領域の科学者と、宇宙から得られた情報の管理・利用に携わる利用者を支援する知的データ管理のためのシステムとサービスを開発することである。これらの科学者や利用者は、地球・宇宙関係のデータに対してオンラインによるアクセスを必要としているが、一般に、データベースの操作に関してはほとんど経験がない。したがって、IDMで開発中のデータ管理システムは、データベースの構造やデータの内容、問い合わせ言語の知識や経験に疎い利用者と、データベース・システムとの間の仲介者的役割を果たすものを目指して

いる。このシステムのコンセプトを確認し、パフォーマンスおよびコスト対効果の両側面における先端技術の統合を可能にするため、プロトタイプ・システムが開発された。

IDMシステムのプロトタイプに関して、最初のコンセプト作りと設計を担当したのが、Computer Technology Associate, Inc.のLarry Roebofsである。プロトタイプは、3カ月の期限内で知的ユーザインタフェース (Intellectual User Interface : IUI) に焦点を絞って開発された。これは、エキスパートの助言、自然言語 (英語)、アイコン、写真、および画像といった種々のメディアを用いて、特定利用者独自の知識領域の分脈に従って、利用者がデータベースを操作できるものであった。このアプローチの優位性は、データの適合している内容や意味 (つまり相関) を指定したり、データ構造内の対象 (対象や対象のクラスター) 相互間の関係を理解しやすくする点にある。また、このアプローチは利用者が明確に述べなかった結論を推察するための「おおよその推論」を支援する。「おおよそ

の推論」とは、データの名称や操作方法を指示せずに述べられるあまり正確でない質問の提示も含んでいるが、それに留まるものではない。IUIはこの他に、未熟な利用者に対して、データベース・アーキテクチャ、蓄積されたデータ、および分析手続きの論理的表現法を提示できる。つまり、IUIのコンセプトは、利用者の能力および独自の科学領域の両方に適したレベルで、その利用者のニーズに応えるのである。また、プ

図表Ⅴ-1-3 宇宙ステーションのためのコミュニケーションと追跡用の制御と管理



ロセッサ/ネットワーク・ロード、アプリケーションの種類、および特定のシンタックスに基づいて利用者の目標を1つの計画に縮小することで、データベース、グラフ、イメージ等をリンクすることができる。

このコンセプトの有効性を確認するために、NSSDCにある運用中の大規模な科学データベースがテスト用に選定された。Crustal Dynamic Data Information System (DIS) に支援されたこのデータベースは、NASAのCrustal Dynamics Projectを支援するため、地球物理学者により利用されている。Crustal Dynamics Projectとは、①地球の地殻プレートの動き、②重要な地震多発帯（例えばサン・アンドレアス断層域）の局地的な変形、③極点移動と地球の自転、④地殻の相対的安定性、を調査するものである。これら地殻の動きを算定するために、衛星レーザ測定 (SLR) と超遠距離限界線干渉法 (VLBI) の2種類の技術が用いられている。SLR技術では、レーザ光のパルスが地上ステーション（固定でも移動でもよい）から地球の軌道上の逆反射装置 (retro reflector) に伝送される。パルスの往復所用時間を測定し、かつ衛星の軌道上の動きを正確に把握することにより、地球を核とするシステム上に地上ステーションを位置づけることが可能となる。多くの地上ステーションからの観測によって、限界線の算定が可能になる。長期間にわたって同じような観測を続けることで、限界線の変化を判定することができる。一方、VLBI技術では、距離を判定するという目標は同じであるが、望遠鏡間の限界線を判定するために、超遠距離にある2つ以上のラジオ望遠鏡によってラジオ信号を同時に収集する方法をとっており、この点がSLR技術と異なっている。

当初、IUIプロジェクトは、高速プロトタイプリングと知識工学に支援されていたIBM PC/AT 1台とDEC VAX-11/780 1台で構成されていたが、IBM PC/ATの限界のせいで、頑健性 (robustness)

に欠けていた。そのため、ハードウェアとソフトウェアの両方について、より強力なツールと多重タスキング環境の必要性が認識された。結果として、第2世代のプロトタイプは、Sun 3/260 (UNIX) とDEC VAX-11/780上で開発された。Sun 3/260はプログラム言語として、Interface社の自動推論ツール (automated reasoning tool)、Natural Language Inc.のNLI Data TalkerとNLI Collector、Sybase社のSybase DBMS、Template Graphic SoftwareのFigaro (PHICS)、およびLISP-CとFORTRANを備えている。VAX上のソフトウェアも、Figaro、Oracle DBMS、およびOracle用のThemis自然言語フロントエンドを備えている。

[知的ユーザインタフェース (IUI) のプロトタイプ]

このシステムの意図は、利用者が望むならば商用の自然言語用フロントエンドに対して自分で問い合わせができるようにすることである。結果が分かりにくかったり、利用者が何を問い合わせているのか明確でない場合には、IUIによって提供されるデータベース助言用エキスパート・システムを使うよう指示される。この助言用エキスパート・システムは利用者に一連の質問を發し、その回答を使って1つの質問文 (英語) を構築する。質問文は次に表形式の結果データを得るために、自然言語プロセッサに送られる。

このシステムがどのように動くかを示すために、地殻プレートについての情報を利用者がどうやって得るかを例示してみる。利用者は南米の地殻の安定性について知りたいと仮定する。IUSを備えていない従来のDISでは、図表V-1-4に示すSQLによって質問を發する。

科学分野の多くの利用者は、この質問の複雑さのために、実際の科学的分析に対してではなく、データディクショナリ (200以上のテーブルがある)、SQL、およびデータについての知識習得に対して長時間を費やしている。

ところが、IDMアプローチを一目見れば、初心

者は自然言語のフロントエンドに次の質問を発したくなるだろう。

"What is the stability of the South America plate?"

図表V-1-4に示したSQLの質問と比べれば、この問い合わせは年代(80,83)、距離のタイプ(限界線、弦、測地線)、処理対象の位置(GFSC、JPL)等の束縛を受けない。実際、自然言語のフロントエンドは、この問い合わせへの回答として図表V-1-5のような表形式のデータを提示する。

これは、地殻上の各地上ステーションの質的安定性を示す1つの安定フィールドが存在することを意味している。この問題の処理方法を図表V-1-6に示す。

利用者の視点に立つと、データへのアクセスは図表V-1-6に示す各ウィンドウと対話することによって行なわれる。通常、利用者はまず左下のウィンドウにある自然言語フロントエンドを通じてデータベースに質問を開始する。もしその応答がまちがっていれば、利用者は右下のエキスパート・システム用ウィンドウを使うよう助言される。

このウィンドウでは、システムの側でデータ要求についての一連の質問を利用者に発する。例えば、最初の質問は「Plate TactonicsとEarth Rotationのどちらか1つを選べ」となり、これは

利用者の関心対象主題の一般的概念を判定するために用いられる。利用者がその質問を理解できないか、あるいは求めているものがどちらでもない場合には、エキスパート・システムに対して利用者は質問を英語で伝えるというオプションを使える。例えば、利用者は、「Earth Rotationとは何か?」と質問することができる。すると、システムはこの場合、右上のウィンドウに回答を表示する。

左上のウィンドウは、利用者とシステムが情報を選択したり表示したりするために用いられる。図表V-1-6の例でいえば、南アメリカの地殻をチェックしている利用者からの「南アメリカの地殻」という質問のパラメータが表示されている。利用者はこのウィンドウ上で、表示された地図をズームアップしたり、望む位置に地球を回転させるオプションも利用できる。したがって、エキスパート・システムによって生成された質問(1983年と1980年についての同じ統計を用いて、1983年のslr限界線を南アメリカについて表示せよ)と、前出の初心者によって発せられた質問とに関する意味上の違いを知ることができる。

上述のセッションに基づいて、エキスパート・システム助言者のインタフェース過程は、2つの別個のフェーズに分解される。第1のフェーズは、利用者の発した言葉(つまり、アイコン上でチェッ

図表V-1-4 SQLによるOracle DBMS への問い合わせ

```
SELECT  baseline80 slrgsfc.f_station, baseline80 slrgsfc.f_station,
        baseline80 slrgsfc.baseline, baseline83 slrgsfc.f_station,
        baseline83 slrgsfc.c_station, baseline83 slrgsfc.baseline

FROM    baseline80 slrgsfc baseline83 slrgsfc.sites

WHERE   baseline80 slrgsfc.f_station, = baseline83 slrgsfc.f_station and
        baseline83 slrgsfc.s_station = baseline83 slrgsfc.s_station and
        (baseline80 slrgsfc.f_station = sites. station                or
        baseline80 slrgsfc.s_station = sites. station)              and
        sites.plate = 'South American';
```

クしたり、質問に回答したり、英語でタイプしたもの)によって、利用者の意図やデータアクセスの目的を判断するものである。いったん利用者の目的が明らかになれば、第2のフェーズは、多くの代替マシンや環境を与えられることによって、目

標を基本的なオペレーション過程に単純化する。

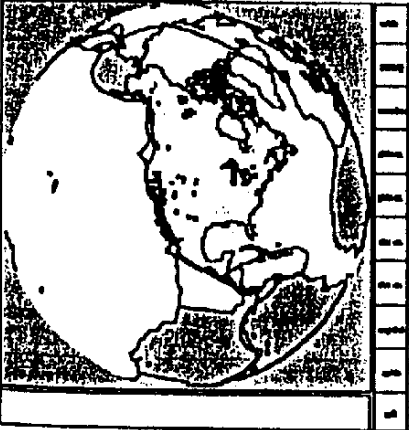
暗黙の仮定の1つは、あらゆる利用者の目標には限界があり、少なくともデータベースもしくは領域のエキスパートによって解釈可能ということである。大部分の利用者コミュニティの目標は、

特定の守備範囲(プロジェクト・マネージャー、地球物理学者、データベース管理者等)によって区分できることが前提となっている。アプリケーション・ビューと呼ばれるこれらの区分は、「意味ネット」と呼ばれる一連の

図表V-1-5 IUIの質問に対する回答

STABILITY	STATION	SITE NO.	PLATE
good	7108	31	South American
fair	7500	22	South American
poor	7800	22	South American
*	*	*	*
*	*	*	*
*	*	*	*

図表V-1-6 IUIプロトタイプのSun-3/260ワークステーション上の表示例



SENSOR_METHOD

SATELLITE LASER RANGING (SLR):
uses a pulse of laser light transmitted from a ground station (either fixed or mobile) to a retroreflector (Lageos, Starlette, or Bec) in orbit. By measuring the round-trip travel time for the pulse, the location of the station can be determined as well as the baselines between stations.

VERY LONG BASELINE INTERFEROMETRY (VLBI):
use the correlation of radio sources (quasars) to determine station distance. The delay in arrival of a signal with respect to another depends on the distance between them and the particular observing geometry.



SLR
Baseline Measurement



VLBI
Baseline Measurement

ROOT

clear
load
reset
watch
run
step
browse
icon editor

Enter your request:
FOR THE NORTH AMERICAN PLATE,
SHOW ME THE SLR BASELINES FOR 1983 AND THE SLR BASELINES FOR 1980
USING THE SAME STATIONS IN 1980 AND 1983.

l_station	l_station	s_station	s_station	baseline	baseline
7002	7002	7210	7210	4,689,653.36	4,689,653.41
7002	7002	7805	7805	7,480,058.24	7,480,059.72
7002	7002	7090	7090	11,985,756.34	11,985,756.14

Press RETURN to continue, 'S' to stop: ☐

COMMAND WINDOW

EARTH ROTATION,
PLATE TECTONICS,
Please choose one of these: plate tectonics

DISTANCE BETWEEN POINTS,
PLATE STABILITY,
WHOLE PLATE MOTION,
REGIONAL DEFORMATION,
Please choose one of these: plate stability

Do you want (slr) or (vbi) experimental types? slr

Do you want (baselines, chords, or geodesics)?
baselines

What is the ending time for the needed range (in
years)? 1983

What is the starting time for the needed range (in
years)? 1980

219

知識ネットワークに概ね対応している。この「意味ネット」は、知識ベースの中に、システム・プロデューサについての任務知識、科学的主題についての特定主題知識、および典型的な利用者についての利用者像知識を含んでいる。

このシステムの主要な意図は、ウィンドウの役割分化のほかに、中央の大規模なシステムに接続されている分散型の科学計算用ワークステーションの概念を、小規模ながらエミュレートすることである。このことは、科学者の入手するツールがその性格やデータ量の違いを除いて、一般的に同じであるということである。こうすることによって、科学者はデータを自分のシステム内に取り込み、そのデータ構造を変更することが可能となる。ワークステーションのカスタマイゼーションとは、分散型の知識ベース（中央の知識ベースの一部）およびデータベースのスキーマやデータを、利用者のニーズに合わせて変更できるようにすることである。利用者が価値を付加した知識やデータは、科学者やプロジェクトチームが望むならば、中央の知識ベースに還元される。

IDMチームの一員であるRobert Crompt博士は、学習上の問題点を解決するために、自分が開発した知識獲得ツールである Advice Taker/Inquirer: AT/Iを用いることを試みている。AT/Iは、基本的に2つの段階—獲得レベルと運用レベル—で構成される。獲得レベルは、問題解決に必要な叙述上の知識と手順上の知識をエキスパート・システムのユーザに教えることを意図している。叙述上の知識はオブジェクト・エディタによってAT/Iに入力され、手順上の知識は英語によく似た超高級言語で入力された後、実行コードにコンパイルされる。この実行コードは、次の運用レベルによって、カスタマイズされたエキスパート・システムを稼働させるために用いられる。

[空間データの管理]

よりすぐれた、より直感的な物理データへのア

クセスを提供するために、IDMのメンバーである Scott Wattawaは、データの管理に役立つ空間データモデルやコンピュータ・グラフィックス利用の研究を行なっている。関係データモデルは、ある程度の不確実性や誤りを含む空間ないし一過性のデータを検索するためにはあまり適していない。これらは、データ選択過程の本質的な構成要素である。効果的なアクセスのためには、空間上の制約に基づいて検索キーを構成し、関連するアイコンや物体を指示する科学者に検索結果を画像として提供する。例えば、地上ステーションは、関係モデル上のステーション識別番号によって判別されるが、この識別番号は、通常、データベース設計者によって付与される任意の番号である。しかし、この番号がディスプレイ上に地上ステーションの地図と共に表示されると、指示は容易である。例えば、南米のチリにある特定の地上ステーションで実施された測定結果に関心をもつ科学者は、観測上の識別子を判定したり、希望するデータ・ディレクトリを選択するために、地図上のステーションをすぐに指示できるのである。限界線の移動といった空間/時間上の問題においては、一定期間にわたるデータのビジュアル化が、選択過程自体の重要な構成要素となる。ビジュアル化による中間結果は、人が見ることによってはじめて、理解できる重要な手がかりを提供する。データ自体の性格に近似したパラダイムにおいて、データ操作を必要とすることは問題解決プロセスにとって大きな支援となる。加えて、空間データの組織化・探索・アクセスは、空間データの実際の構造にかなり対応したデータモデルを用いることで、最も的確に行なうことができる。

[科学データの視覚化]

データを理解する際に重要なことは、データを図もしくは画像で表現して提供する機能である。研究者は、適切で使いやすいインタフェースを通じて直感的にデータへアクセスした後、デー

タ視覚化のツールを利用してデータ分析を行なう。視覚化とは、グラフィック技術や画像技術を用いて、複雑なデータに視覚上の形を与えるための計算機利用の一手法である。相関分析を支援するには、個々の領域に依存しない視覚化テクニックを開発することが求められる。NSSDCのグラフィック・システム（NGS）は、個々の研究領域に依存しないデータの視覚化を行なうための、対話型ツールボックスを提供する。

大規模で複雑な科学的データベースへのアクセスを容易にする能力は、研究者がグラフもしくは画像の形でデータを見たいと望む際に、データ分析段階における新たな問題を生じさせる。個人の専門知識をとらえるための手法は、これまで、データベースの内容と構造を十分理解していることを前提に開発されてきた。この方式で集められた知識を利用することによって、関心対象データベースの使いやすい対話型環境を利用者に提供可能となる。

システムの中に実際のデータ分析が含まれているのであれば、科学者である利用者によって提示された質問に対する回答説明の支援として、そのシステムは関心対象のデータを走査したり探索したりすることに加えて、どうすればそのデータを最適な方式で表示できるかを知らなければならない。この実現には、知識ベースの構成要素としての一連のルールを用いて、情報や属性を表示するためのツールを開発する必要がある。

エキスパート・システムの技術は、このような問題解決を支援し、視覚化方法知識ベース、科学領域知識ベース、およびグラフィック情報知識ベースの定義を可能にするであろう。これら3つの知識ベースは、インタフェース付きの表示属性データベース、知識獲得インタフェース、および視覚化エキスパート・システム・インタフェースを備えている。

[データ・フュージョン]

データ管理問題に対するIDMのアプローチは、商用向けに開発された既存のツールや言語を統合したりカスタム化することに向けられている。つまり、附属の商用パッケージ（商用のDBMS、空間用DBMS、グラフィック等）を操作する知的制御装置を備えたデータ・フュージョン・システムの構築を目指しているのである。構築過程の副産物として、各分野の主要な研究者から集めた科学知識が、アプリケーション・ビューにおいて自動的に集大成される。これは、理論上、知的制御を通じたデータへのアクセス・コストを節約することになり、複数の領域のデータと特定領域の知識の一体化を促進することになる。

オゾンの激減、温室効果、森林乱開発と砂漠化現象、酸性雨、毒性廃棄物など、地球規模の環境危機に対する監視データを、科学者が使いやすい形で適宜入手できるかどうかは、人類にとっての死活問題である。現在、NASAはEarth Observing System（EOS）プログラムの構築を提案している。これは、複数の分野から得たデータを相互に関連づけることによって、惑星規模での重大な環境変化に対する調査を可能にしようとするものである。現段階のEOSは、1日あたり1テラバイトのデータを受信し、処理し、蓄積する。このシステムでは、従来のデータ管理上の問題を克服するのに必要な技術や能力を備えることが求められている。

◆分散コンピュータシステムに対する作動分析エキスパート・システムOPERA³⁾

NASAは、スペースシャトル打ち上げのコンピュータネットワークの運用改善のために、Operation Analyst（OPERA）エキスパート・システムを開発している。OPERAは、ネットワークのエラーメッセージをモニターしこれを解釈して故障原因と対策を指示するエキスパート・システム、ネットワークについての過去の経験を検索してエラー追跡データを与えるエキスパート・シ

テム、およびコントローラで構成され、各々の黒板（blackboard）構造により統合されている。

◆リアルタイムの飛行試験環境に対するエキスパート・システムの適用⁴⁾

NASAのAmes研究センターDryden飛行研究施設では、リアルタイムの飛行試験環境にエキスパート・システムを適用する研究を行なっている。適用範囲は、試験の監視から航空機制御外側ループの表示までである。

これは、知識ベースとアルゴリズムを組み合わせた飛行システムのプロトタイピング用で、柔軟かつ汎用性に富んだシステムである。利用者は、Ames-Drydenのリアルタイム・シミュレーション設備と研究用飛行機を含むさまざまなプロセッサ、ツール、資源を自由に選択できる。

◆構造の支持点荷重を2次元で表示する原型知識ベースシステム（STRUTEX）⁵⁾

NASAでは、設計に要する時間・経費の節約をねらいとする構造分析用システム開発の一環として、構造の支持点荷重を2次元で表示する原型知識ベースを開発している。データベースと知識ベースの間のデータの受渡し方法に関しては、推論エンジンをシステムに統合することによって大幅な改善が行なわれた。また、数値処理のかわりに記号処理を用いた初期構想モデルの改善については、知識ベースの採用で可能となった。

（2）人工知能に関する委託研究課題⁶⁾

米国商務省発行の"Commerce Business Daily"に1989年以降掲載された政府機関の委託先募集記事のうち、NASAによる人工知能技術関連のプロジェクトは以下のとおりである。

◆再使用可能ロボットエンジンのターボポンプ故障診断管理システム

NASA Lewis研究センターは、スペースシャトル主エンジン（SSME）高圧酸化ターボポンプ（HPOTP）のための故障診断・故障予知システムの開発を予定している。この計画の最終目標は、

スペースシャトル発射後のターボポンプ分析に関して、専門家が使える研究段階のツールを開発し、ロケットエンジンの健康診断と故障予知へのエキスパート・システムの適用可能性を実証することである。今回の委託は、「再使用可能ロケットエンジン・ターボポンプ健康診断システム」という既存の研究の成果を踏まえて実施する。

◆宇宙データの管理・分析・視覚化技術の強化

NASAでは、宇宙科学データの管理・分析・視覚化を強化するために、高度コンピュータおよび情報科学技術を利用する研究のプロポーザルを募集している。この目的は、宇宙関連の膨大で複雑なパラメータを持つデータセットを管理・分析・視覚化するためのツールと能力を、NASAの研究環境にもたらすことである。対象領域は、グラフィックおよび視覚化、動的変化の分析、知的データ管理へのエキスパート・システムの応用、データの圧縮、データの管理・蓄積・ハンドリングおよびアクセス技術、ユーザアクセスとユーザインタフェース、およびその関連領域である。

◆宇宙通信技術へのエキスパート・システムとニューロ・コンピューティングの応用

NASAのLewis研究センター 宇宙電子部門のデジタルシステム技術担当は、エキスパート・システムとニューロ・コンピューティング技術を宇宙通信技術に応用する研究を行なっている大学や企業からの情報を求めている。NASAの関心主題領域としては、自動通信衛星と地上ステーション間の通信用システム、リアルタイム故障診断、ビデオ画像データの圧縮、デジタル信号の処理とコード化、モジュレーション、動的トラフィック・ルーティングとリンク制御、および最適化スケジュール作成があげられる。

<参考文献>

- 1) Krishen, K."Advanced technology for space communications, tracking, and robotic sensors." Adv

Astronaut Sci, vol. 67, p. 273-293, 1989.

- 2) Campbell, William J.; Short, Nicholas M. Jr.; Treinish, Lloyd A. "Adding intelligence to scientific data management" Computers in Physics, May/Jun, 1989, p. 26-32
- 3) Adler, R.M. "OPERA- An expert operations analyst for a distributed computer system." Proc. Annu. AI Syst Gov. Conf. 1989, p.179-185.
- 4) Brumbaugh, R.W. "Real-time application of knowledge-based systems." NASA conf. Publ. NASA-CP-3031-PT-1, p.357-371.1989.
- 5) Rogers, J.L.; Sobieszcanski-Sobieski J. "STRUTEX. A prototype knowledge-based system for initially configuring a structure to support point loads in two dimensions." NASA Conf. Publ. NASA-CP-3031-PT-1, p.317-331, 1989.
- 6) Commerce Business Daily, 1989-1990.

2.4 DARPA

(1) DARPAから大学に提供される補助金の動向¹⁾

大学のコンピュータ科学の研究者には、政治的なリスクを伴う政府の資金援助よりも、私的補助金を好む傾向がある。それにもかかわらず、大学のコンピュータ科学研究の大部分は政府資金によって賄われている。これは、四半期単位でしか計画をたてられない民間企業よりも、政府機関のほうがはるかに長期的な展望を持っているからである。将来の成長が期待される基礎的なコンピュータ科学研究にはリスクが伴うが、それを負うには長期的展望が不可欠なのである。

現在、大学のコンピュータ研究に対する米国政府の資金援助は、その大部分が、国防省 (DOD) とその主な技術開発部門であるDARPAからの補助金である。NSFといった他の政府機関による基礎的なコンピュータ研究への資金援助は、DARPAと比べものにならないほど少額なため、軍事費に

よる研究を望まない大学の研究者にとっては、選択の余地がない。

DODのISTO/DARPAは、大学の実験的コンピュータ科学研究のための主要な資金源となっており、コンピュータ学科の創設や廃止を左右するほどの力を持っているという。DODは、1989年現在、大学のコンピュータ科学研究に対する政府資金の71%を(10年前には45%であった)占めている。米国におけるコンピュータ科学分野の主要4大学(カリフォルニア大バークレイ校(UCB)、カーネギーメロン大(CMU)、MIT、およびスタンフォード大)に提供されている政府の研究補助金の80%以上が、軍事予算からのものである。

コンピュータ科学研究に対する資金援助を通じて、DARPAが大学に及ぼす影響の中で最も問題とされている点は、対象が基礎研究ではなく応用研究に偏り過ぎていることである。ACMのSIGACTの中にある、コンピュータ科学の資金政策に関するプロジェクトの調査結果によると、大学のコンピュータ研究に対するDARPAの資金援助総額は、1980年に1480万ドルであったが、1988年には9430万ドルで、1988年のドル価格に換算して340%も増加している。この中で、応用研究に該当する"6.2 ex-ploratory research"への援助は、580万ドル(1980年)から7600万ドル(1988年)へと大幅な増加をみせている。他方、基礎研究は、1980年から1983年にかけてわずかに上昇したものの、1984年から1985年には下降しており、それ以降は変化がみられない。米国では、政府の予算削減政策のために、大学の研究者が政府機関から資金援助を得るのはかなり困難になっている。DARPAは、議会からの圧力もあって、基礎研究に比べてコストがかからずリスクの少ない応用研究に関心を向けている。だが、5～10年前までは、DARPAも基礎研究指向であった。人工知能研究においては、1960年代末から1970年代初頭にかけてさまざまな機関がかなり熱心に基礎研究を行

なっていたが、1980年代初頭になるとそれも衰退した。この間、政府機関の中で一貫して資金を提供し続けたのはDARPAだけだった。DARPAの存在がなければ、人工知能研究はなくなっていたであろうとさえいわれている。

DARPAの応用研究への投資額が増加したのは、現在のStrategic Computing Initiative（旧称Strategic Computing Program（SCP））の開始とほぼ同じ時期であった。米国における最も有意義な政府資金によるコンピュータ研究プロジェクトといわれているSCPは、戦闘管理や自律走行車のためのエキスパート・システムといった、何らかの軍事目的に直結した研究を実施している。米国政府のSCPへの出資額は変動しているが、年間一億ドルを下回ったことはない。他の政府機関に対する出資額がおおむね縮小されているにもかかわらず、SCPは1988年、これまでで最高の12,710万ドルを獲得している（1987年はこれまでで最低の10,450万ドルであった）。DARPAは米国の安全保障に貢献すると信じられているが、最近の政府予算削減による議会の圧力から免れ得なかったようで、1990年には11,490万ドル、1991年には11,030万ドルに減額されると予測されている。

（2）国防関係AI研究の将来動向²¹

人工知能技術は米国のデータ通信分野で幅広く応用されており、米国国防省もその技術に注目し、今後5年間にわたってAI研究開発への投資を強化していくであろう。Frost & Sullivanの最近の報告書 "Military Artificial Intelligence in the US,"

（#A2078, \$2,300）によると、米国国防省は1994年までの5年間、人工知能技術の研究開発に毎年2億7140万ドルを費やすという。これは、1988年の年間開発費2億100万ドルを上回るものである。

1988年の国防関係AI開発費の69%にあたる1億3790万ドルは、DARPAに配分された。DARPAは米国の国防戦略上のコンピュータ関連プログラムを統括している。1994年には、国防関係AI開発費

全体の58%にあたる1億5830万ドルがDARPAに配分されるものと予測されている。

国防関係のAI関連開発費は、米国の3軍に平等に分配されているわけではない。1988年で見ると、空軍はAI開発費の17%にあたる3390万ドルを、陸軍は1820万ドルを、海軍は670万ドルを獲得している。1994年までの5年間にも、空軍へのAI投資は年平均約5950万ドルにのぼるであろう。一方、陸軍は3300万ドル、海軍は1330万ドルと見込まれている。

民間による人工知能のアプリケーションはかなり実用的であるが、軍部のエキスパート・システムのアプリケーションの中には、SF映画もどきのものもある。これまでにあまり例のなかったAI技術の応用としては、監視用ロボット、コンピュータ支援による戦闘計画案の作成、デジタル化された人工的自我（digital alter egos）による戦闘パイロットのミサイル発射支援等がある。ただし、この分野の人工知能技術はまだ研究開発段階のものが多く、実用段階の軍事システム構築にはまだ達していない。開発予算の大部分は、エンジニアリング開発費ではなく、研究および実験のための費用である。

（3）現在進行中のAI関連プロジェクト

◆パイロット助手プログラム（PAP）^{31）、41）}

未来の戦闘機パイロットを支援するためのエキスパート・システムを開発するこのプロジェクトは、民間企業への委託によるテストシステム開発の段階に達している。これは、大量の実時間データを融合させることによって、戦闘中のパイロットを情報過多から解放するものである。ルールに基づいたエキスパート・システムによる常識的な決断を飛行制御用コンピュータに委ねることで、戦闘中のパイロットがその主たる任務に集中できるようにするというのが、このプログラムの基本的な考え方である。委託先企業は、マクドネル・ダグラス、ロッキード、GEなどである。

◆潜水艦自動化プログラム

(Submarine Automation Program : SAP)⁵¹⁾

このシステムは、攻撃用潜水艦に関して表面的な情報しか持たない当直士官が重大な意思決定をすばやく下せるよう支援をするものである。本プロジェクトはパイロット助手プログラム (PAP) から派生したものだが、これを一歩進めて、不完全もしくは混乱した情報でも、それを基に当直士官がすばやく決断できることに焦点をおいている。DARPAは実時間で稼動するシステムを要求している。

このプログラムに参加（入札）しようとしている企業は、GE、ロッキード・ジョージア、マクドネル・ダグラス、およびデュボンとマーチン・リエッタのチームである。

これら競合する4社・チームは、3フェーズから成る開発計画の第1フェーズについて、各々50万ドルを受注した。プログラムの進捗状況に応じて発注される第2、第3のフェーズについては、その範囲や契約金額はまだ明らかにされていない。

◆自律飛行機 (AAC)⁶⁾

マーチン・リエッタは、攻撃目標を見つけて攻撃した後、被害を評価して基地に戻るという自律飛行機 (AAV) 知的巡航ミサイルを開発している。AAVには、FLIRセンサー、ミリ波リーダー、画像信号処理、人工知能、センサーフュージョン、および並列処理の技術が用いられている。AAVの鍵を握るのは、マーチン・リエッタ社のGeometric Arithmetic Parallel Processor (GAPP)で、これは夜間ビジョン・システム用に開発された。GAPPは、マーチン・リエッタが開発したApacheヘリコプターのためのTADS/PNVS夜間航行標的誘導システムに応用するよう提案された。

◆自然言語理解⁷⁾

この研究は、DARPAのSCPの一環として1988年にBBN研究所で実施された。研究そのものは、コンピュータ・システムの自然言語理解能力を強

化するために、ユーザの計画や目標のモデルを探求するもので、通常の語彙に含まれる語による言い間違い (alias errors) を対象としている。人間が決まりきった手順で簡単に訂正できるこのような言い間違いの多くは、実践的なコンテキストで構成される知識によってのみ訂正可能である。この原理は、エキスパートの助言に従って問題を解決しようとする代理人 (agent) がいる場合を想定し、エキスパートによる助言の中に含まれる実践的なコンテキストのモデルを提示している。このアプローチは、Pragmaと呼ばれるシステムで実用化されている。これは、海軍の守備範囲における実践的なコンテキストに基づく自然言語の誤りを訂正するものであるが、他の分野の誤りにも拡張できる。BBNは会話理解システム (SLS) の開発をほぼ20年間にわたって行ってきた。最初は、1971〜76年にかけてDARPAの会話理解研究プログラム (SPR) プログラムの一環として、旅行管理タスクにおける1000ワードの自然言語を理解するプロトタイプを構築した。1982年以降は、DARPAの別のプログラムの一環として、より高度な会話認識システムを研究しており、その成果であるBYBLOSシステムは、大量語彙の連続会話認識において最高水準のパフォーマンスを達成した。最近では、新しい会話システムであるHARC (Hear and Respond to Continuous Speech) を構築するために、BYBLOSの会話理解能力増大を図っている。

◆ファジィ・コンピュータ理論⁸⁾

カリフォルニア大学バークレイ校のL.A.Zadehにより考案されたファジィ・コンピュータ理論は、米国において25年間にわたって研究や議論が続けられてきたが、未だに確立された理論とはなっていない。ファジィ・コンピュータ理論とは、「熱い」とか「やや」といった不正確な概念をコンピュータが扱えるようにすることで、コンピュータを人間の思考に近づけることを目指した

ものである。この技術は、家庭用器具や乗物の制御を含むさまざまなシステムに適用できる可能性を秘めている。

米国の一部の専門家はファジィ・コンピュータ理論の重要性を軽視しているが、日本はすでにこれを商用化している。日立製作所は、仙台の地下鉄を制御するためのファジィ・コンピュータを開発した。関係者らは、このシステムが人間のオペレータよりもスムーズに電車のスピードを上げたり下げたり出来ると認めている。

米国の一部の企業は、日本におけるファジィ・コンピュータ理論の普及に刺激されて興味を持つようになっている。Togai Infralogic（カリフォルニア州Irvine）は、すでにファジィ・コンピュータ・システム開発用のソフトウェア・ツールを構築し、現在、1秒間に4万件のファジィ推論を実行する能力のあるファジィ・チップを開発している。同社の顧客は主に日本企業である。同社は、ファジィ・コンピュータ理論プロジェクト用の補助金をDODのDARPAに要請している。

◆ニューラル・ネットワーク・プログラム^{9)・10)}

人工的ニューラル・ネットワーク（ANNs）は、非常に複雑な問題への解決策を見出す際に即時的な対応能力を提供するものである。この分野の研究は10年以上前に一時衰退したが、最近では基礎的な方法論と応用可能な技術の開発に大きな発展が見られ、ANNs関連の研究が復活しつつある。DODのDARPAもこの研究を支援している。

1988年12月16日より、3300万ドルのニューラル・ネットワーク・プログラム（28カ月間を予定）がDARPAで開始された。このプログラムは3分野に分割されており、800万ドルが理論およびモデルに、800万ドルがハードウェアの技術基盤開発に、残る1600～1700万ドルが相対的パフォーマンス測定に当てられる計画であった。しかしながら、1990年の軍事予算が3万500ドルに削減されたため、当初予定の予算3300万ドルの獲得は難し

くなった。しかし、上院の国防最適化小委員会は再度3300万ドルを確保しようと努力している。DARPAは1989年度予算の残り1290万ドルを転用し、かつ1990年度予算からの1000～1500万ドルを追加することで、開始したばかりのニューラル・ネットワーク・プログラムを維持しようとしている。これまでのところ、Lockheed Missiles & Space と Science Applicationsの2社に委託契約が出されている。

◆コンピュータ・ビジョン¹¹⁾

DARPAのSCVision研究は、強力で高パフォーマンスな画像理解システムを構築できる知識ベースの技術を開発し、それをDODの広範囲のアプリケーションに適用しようとするものである。この目標を達成するために、SCVision研究は、知識ベースの画像理解における4つの重要な分野――①画像のモデリングと認識、②ダイナミックな場面の動きの分析、③視力（vision）に基づく障害物の回避とパス計画、④並列処理問題――に取り組んでいる。また、システム・インテグレーションの課題にも焦点が当てられている。

DARPAがヒューズに委託したSCORPIUSプログラムでは、DARPAの画像理解とコンピュータ・アーキテクチャ分野の技術を実世界のアプリケーションに統合し、空中イメージの自動探査を目指している。

◆会話理解プログラム¹²⁾

DARPAの会話理解（SPR）プログラムのために、連続音声認識用の名目上1000ワードを持つ資源管理データベースが開発された。このデータベースは現在、ベンチマークテスト用にいくつかの研究機関で利用されており、近い将来、広範な利用に供されることが期待されている。

<参考文献>

- 1) Schatz, Willie "U.S. computer research's basic dilemma." Datamation vol.35, no.23, p.44 (Dec. 1,

- 1989).
- 2) "Tomorrow's warfare may rely heavily on artificial intelligence technology." Data Channels (Incl Computer Digest), May 17, 1989 v.9, no.10.
 - 3) Smith, D.; Broadwell, M. "Plan coordination in support of expert systems integration." 8th International Workshop. Expert Systems and their Applications. Specialized Conference. Artificial Intelligence and Defence, Expert System and Maintenance, Expert Systems and Medicine pp. : 271 - 7, 1989.
 - 4) Smith D.; Broadwell, M. "The Pilot's Associate—an overview." 同上pp.263 - 9
 - 5) "Four in race for sub AI pact." Advanced Military Computing, Feb. 13, 1989 v.5, no. 4.
 - 6) "Martin pursues development of autonomous cruise missile." Aviation Week & Space Technology May 1, 1989 p.85 - 86.
 - 7) Ramshaw, L.A. "Research and development in natural language understanding as part of the Strategic Computing Program." Annual Technical Rept. Dec. 87 - Dec 88, BBN System and Technologies Corp. 185 p.
 - 8) "Fuzzy computer theory : How to mimic the mind?" New York Times (nzational Edition) Apr. 2, 1989 p.1, 12
 - 9) "DARPA's Christmas present : BAA B" AI Week, Jan. 15, 1989, p.7, 8.
 - 10) "DARPA's neural nets live" Electronic Engineering Times, Sep. 25, 1989, p.24.
 - 11) Simpson, R.L. Jr. "An update on strategic computing computer vision : taking image understanding to the next plateau." Proc. SPIE - Int.Soc.Opt. Eng. (USA) vol. 1076, pp.52 - 8, 1989.
 - 12) Bogdanowicz, J.F. "Status update of the SCORPIO program." Proc. SPIE. Int. Soc. Opt. Eng. (USA) vol. 1076, pp.59 - 66.

第2部 欧州

第1章 概要

日本の第五世代コンピュータ開発プロジェクトの開始後間もなくイギリス、西ドイツ、フランス、およびEC委員会がAI関連研究開発費を計上し、各種の国家的プロジェクトを発進させたことは、89年版のAI白書で述べた。なかでもイギリスのアルベイ計画とECのESPRIT計画（European Strategic Programme for R&D in Information Technology＝情報技術の研究開発のための欧州戦略計画）は大きかりで、従来、薄かった大学と企業間あるいは異国籍の企業と大学間の協力関係が醸成された。また、1989年はそれらの計画が着手されてから5～6年が経過し、要素技術的なハードウェアである並列処理マシンとソフトウェアのうえでいろいろな中間的成果が得られ、1992年の欧州市場統合へ向け情報技術の面からその実現を支えるインフラストラクチャとして、各種のAI応用システムに結実する計画である。やはり、なかでもエキスパート・システムの開発、産業への技術移転がすすんでおり、ECは1988年におけるエキスパート・システムの市場規模を3億5000万ECU（546億円）と推定、これが1992年には4.3倍の15億ECU（2340億円）に成長するとみている。また、ESPRITのフェーズ1の成果として開発された高性能トランスピュータT-800をベースに商業化並列処理マシンを売り出したメーカーが4社（イギリスのMeikoおよびParsys、西ドイツのParsytec、フランスのTelnat）登場、成長し始めるなど、新しい動きがみられる。これらの商業化並列マシンの共通点は、廉価で高性能なマシンの提供を狙っていることである。以

下にナショナル・プロジェクトを中心に各国の動向を述べる。

第2章 イギリス

アルベイ計画後の新情報技術開発（IT）計画

アルベイ計画は同国の産業貿易省に設けられたアルベイ計画統括事務所で出した評価レポートが、「ほとんどすべてのプロジェクトにおいて産業界と大学が協力関係を学習し、産業活性化の基盤を築くことに成功した」と述べる及第点を取り、1988年春に第2次アルベイ計画を予算要求していたが、サッチャー政権の厳しい査定の結果、ESPRITフェーズ1の220にのぼるプロジェクトの71%にイギリスが寄与している実績に鑑みESPRITフェーズ2を活用するべく深くメッシュすることになり、同国自体としてはよりアカデミックな基礎研究を引き続きすすめることになった。このためにアルベイ計画統括事務所は解消し、それに代わって新情報技術計画をSERC（Science and Engineering Research Council＝科学工学研究評議会）と協調して統括する情報工学統括事務所IED（Information Engineering Directorate）が設けられ、さらに最高の意志決定機関として学界と産業界の委員半数からなる情報技術諮問委員会（ITAB＝Information Engineering Advisory Board）が設置された。IEDとSERCは情報技術のための共同フレームワークを練りあげ、情報技術の研究開発、その技術移転および教育訓練の3計画に対して1989～90年に8000万ポンドを支出することにし、ESPRITフェーズ2へのイギリスの拠出分と

して約2億ポンド（520億円）を支出することにした。

共同フレームワークはその検討内容のすべてを終わったわけではないが、これまでにデバイス、システムズ・アーキテクチャ、システムズ・エンジニアリング、制御および計装の4分野をカバーすることを決め、それぞれの分野の検討のために合計11の小委員会が設置されている。1989年6月現在、共同フレームワークのもとに次のプロジェクトへの支出が承認された。（図表V-2-1）

産業貿易省はアルベイ計画、新IT計画、ESPRITフェーズ2との関係を、「アルベイ計画はESPRITフェーズ1よりもより基礎的な研究開発計画であったので、これからESPRITフェーズ2へその成果を技術移転していく」といっている。例えばイギリスのトップ・コンピュータ・メーカーICLがメイン・コントラクターとなり開発したFLAGSHIP（並列宣言的技術を取り込んだ並列処理マシン）は、ESPRITフェーズ2のEDS（European Declarative System）プロジェクトへ技術移転され、ANSA（Advanced Network Systems Architecture）は同様にISA（Integrated Systems Architecture）プロジェクトへ移転される。

新IT計画では、IEDの管理下にATP（Advanced Technology Programme）を、CERCの管理下により個別のかつ基礎的研究、例えば並列処理、セキュリティ、ニューロなどをすすめていく。すでにニューロについては、4つのプロジェクトに着手している。また、自国内はもちろん、欧州諸国に対

する技術移転、教育訓練を大企業ではなく中小企業を対象にすすめていく計画である。

アルベイ計画の産物として顕著なのは、産業貿易省が全国に並列処理マシンを設置したコンピュータ・アーキテクチャ・センター網を設け、民間に開放し始めたことである。アルベイ計画では、FLAGSHIPのほかに高速マルチユーザーPROLOGデータベース・マシン、GRIP（Graphic Reduction In Parallel）マシン、逐次型推論コンピュータ、ParSiFal（Parallel Architecture Simulation Facility）、並列PROLOGマシン、パーシアリ・オートノマスMIMDマシン、リアルタイム2.5次元ビジョン・システムといった並列マシンを開発してきて、これらを手がけた大学などのセンターを開放し利用を促進しようとしているのである。

これらのセンターのなかにはMeikoやParsysの商業化並列マシン（前者は1000台規模、後者は64～256台規模）を設置しているところがある。

第3章 フランス

フランスのAIナショナル・プロジェクトの実施機関には国立情報自動化研究所INRIA（Institut National de Recherche en Informatique et Automatique）や国立科学研究所CNRS（Centre de National Recherche Science）、農務省管轄下のIRAVなどがあるが、産業省と研究技術省管轄下のINRIAが最も有名である。

国内4カ所に研究センターを持ち、グルノーブル、ツールーズ両大学にも研究拠点があり、所員は900名。うち科学者は600名。①基礎および応用研究、②各種実験システムの設計、③技術移転、④知識移転、⑤科学

図表V-2-1 ITABが承認したプロジェクト数

	共同研究	アカデミック（大学）研究	合計
デバイス	15 (6.0)	9 (4.4)	24 (10.4)
システムズ・アーキテクチャ	15 (6.1)	8 (5.2)	23 (11.3)
システムズ・エンジニアリング	50 (11.9)	11 (9.3)	61 (21.2)
合 計	80 (24.0)	28 (18.9)	108 (42.9)

（ ）内数字は予算 [単位100万ポンド]

の国際交流、⑥各種国際共同計画への寄与、⑦科学専門知識の培養、⑧諸標準化への寄与、の8研究分野に分け、50以上のプロジェクトを手がけている。最近の研究成果として次のものがある。

ープログラミング、記号計算、AI＝正しさを証明できる関数型ソフトウェア言語CAMILを完成、エキスパート・システムのカーネル設計に使いだした。

ーリアルタイム・アルゴリズムの同期デスクリプションに用いているSIGNAL言語の新版を定義＝INRIAとCNET（郵政省研究所）が共同開発した信号処理用ワークステーションに使う準備をすすめている。

一次の3つの欧州プロジェクトに参加＝①GIPE（Generation of Interactive Programming Environment）プロジェクト。これは言語のスペックからインタラクティブ・プログラミング環境を自動生成しようというプロジェクト。②ESPRIT計画のCOCOSプロジェクトに参加し、各種ワークステーションのアーキテクチャにかかる在来言語のコンパイルを単純化するための中間コードの実行結果のスタディを担当。③ユーレカのESF（Eureka Software Factory）プロジェクトに参加。同プロジェクトは高信頼性の適合可能なモジュラー・ソフトウェア環境の開発が目標。

ー新コンピュータ・アーキテクチャ＝①SIMD構造と、2つのSIMD/SPMDモード間の二者択一アーキテクチャに関する予備調査をベースに、パイプライン・マルチプロセッサの設計をすすめて、現在SIMD/SPMDシミュレータを動かしている。②HELENAなどの並列ベクトル・プログラミング・ツールを開発した。③特殊並列マシンの研究から、シストリック・アーキテクチャの合成用ツールDIASOLとPROLOGインタプリタの生成に向けたMALIマシンのための集積回路を定義。

ーマンマシン・コミュニケーション＝①UNIXリアルタイム・マシン上への移植を狙い、PHOENIX（Acoustic Phonetic Decoding Expert）システムを開発中。②ESPRITのHERODE（Handling the Electronic Representation of Office documents on ECMA 101 standard）に参加。これはドキュメントのグラフィック部分の処理のための高度OAシステムの開発が目標。③自動車、原子力プラントなどの制御やトラブル・シューティングにおける認知科学的过程を研究し、オペレータの推論、知識のモデリングを行っている。④PROLOGで書いた行動計画支援システムPLANEXのポータブル版を開発。⑤多言語マルチアルファベット・マンマシン・ダイアログの研究成果として、アラビア語のUNIX版を開発。

なお、INRIAの共同開発契約件数は、産業との契約が45件、公共機関との契約が25件、ECとの契約が15件、政府インセンティブ契約が10件、合計95件にのぼっている。産業への技術移転に熱心で、CAE分野の子会社SIMULAG、知的ソフトウェア分野の子会社ILOGをもっており、これまでにLE-LISP、MENTOR、CAML、CLASSIC、SMECI、SHIRKA、QNAF2、BASILE、SICLA、EDIMATH、VISIL、INRIMAGE、SABRINA、CHORUSなどを製品化し販売している。また、ECの統合を睨んで、1989年春には西ドイツのGMD、オランダの国立研究所CWIと長期研究協定を結んだ。

第4章 西ドイツ

西ドイツは最も自由経済思想の実行が徹底している連邦制共和国で、各州の主体性が強い。したがって情報技術についても他国のように政府主導ではなく、学界、民間の覚書による要請に応じて連

邦政府が資金援助をする形式をとっている。しかし、技術に無関心なのではなく、州や大学の提唱にのる形で情報、技術に限らず連邦政府の資金援助が昔から行なわれており、世界的にも著名な研究所が多い。現在ではそれらの研究所の一部活動として新たにAI研究が開始されている。

情報とAI専門の研究所ということでは、いずれも州の提唱から始まっているが、ノルトライン・ヴェストファーレン州主導のGMD（ドイツ国立情報処理研究所＝Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH）、バーデン・ヴュルテンベルク州主導のFAW（応用指向知識処理研究所＝Forschungsinstitute für Anwendungsorientierte Wissensverarbeitung）、ラインラントプファルツ州とザールラント州主導のDFKI（ドイツ人工知能研究所＝Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH）がある。

FAWは1987年11月に、州政府とダイムラー・ベンツAG、ヒューレット・パッカードGmbH、IBMドイッチュラントGmbH、マンネスマン・キンツレーGmbH、ジーマンスAG、ニックスドルフ・コンピュータAGの6社によって設立され、新建築の研究所をウルム大学に持っている。運営費は州政府40%、上述の6社の均等10%負担によって賄われ、研究員は約50名である。研究分野は、移動職場環境も含む職場環境の知的サポート・システムの研究開発で、CIMとオフィス・オートメーションに重点を置いている。

DFKIは上述の両州と連邦政府の技術省が音頭をとってカイザースラウテルン大学内に1988年7月に設立された。公共企業2社と民間企業9社（ADV/ORGa、AEG、フラウンホッフアー、GMD、IBM、INSIDERS、クルップ・アトラス、マンネスマン・キンツレー、ニックスドルフ、フィリップス、ジーマンスの11社。ニックスドルフはその後ジーマンスに買収されたので、いまは10社）が株主である。研究員は約50名。知的ウィンドウ利用、知

的エンジニアリング・システム、知的オフィス・システム、知的通信システム、知的協同システムの研究開発がテーマである。

西ドイツには国立研究所が13あり、その1つであるGMDは情報専門の国立研究所。同研究所はノルトライン・ヴェストファーレン州と連邦政府の共同出資により1968年4月に設立され、本部をボンとケルンの中間地点にあるザンクスト・アウグステインに置いている。歴史が古いだけに、コンピュータ利用の情報処理に関する多方面の研究を行っており、いまや所員は1,400名に及ぶ。ボン、ケルン、ダルムシュタット、カールスルーエ、ベルリンに研究拠点を持つ。

現在、長期の重要プロジェクトとして、①マッピング・パラレル・システム、②科学用スーパーコンピュータ、③VLSI用知識ベース設計支援、④革新的プログラミングとコンピューティング・システム、⑤ソフトウェア工場、⑥融合通信サポートシステム、⑦開放型および分散ブロードバンド・システム、⑧アシスティング・コンピュータ、⑨アクティブ・ブック、⑩スーパーコンピュータ研究およびテストのための研究所、の10プロジェクトをすすめている。

AI関係では、現在、3つのエキスパート・システム関係のプロジェクトが進行中である。つまり、①フォーマリズムを重点にディープ・モデリングを行ない、非常に小規模な領域（パソコン）上で稼働するシステムを開発する（ジーマンスと共同開発）、②ジーマンスの子会社BAYEIやクルップなどとコンソーシアムを組みプロセス・コントロール用エキスパート・システムや軍用電子装置の監視・診断システムを開発する、③オフィス・サポート領域の各種エキスパート・システムを開発するプロジェクトである。現在AIの研究に直接従事している研究員は24名とそれに学生が60名。ほかに統合電子出版分野で自然言語理解を研究しているグループが約20名いる。

ECのESPRIT、RACE、COMETT（技術教育訓練計画。Community Programme in Education and Training for Technology）、その他の計画についても重要な役割を演じている。最近、GMDが出資しているスーパーコンピュータの開発会社スープレヌムが開発してきた並列処理科学用コンピュータ（モトローラのM68020を最大320プロセッサつなげるMIMDマシン）SUPRENUMUが完成、その1号機がGMD本部に設置された。GMDはESPRITフェーズ2のGENESIS新プロジェクトのメインコントラクターとして、3年計画でSUPRENUMUの後継機を開発している。

第5章 欧州共同体 (EC)

ECのAI関連プロジェクトは日本の第五世代コンピュータ開発プロジェクトを意識して着手されたESPRIT（情報技術の研究開発に関する欧州戦略計画＝European Strategic Programme for R&D in Information Technology）に代表されるが、欧州統合という大きな枠組みの中で進行中の他の情報技術主要計画と密接な関連があり、それらの上位に位置づけられている。情報技術開発全般へ

の支出状況は、図表V-2-2のとおりである。

すなわちESPRITは企業の前競争的な基礎的研究開発を推進し、それによって欧州産業全般の国際競争力を培養し、個別企業の活性化に結びつけるのが目的で、図表V-2-2のRACE以下のプロジェクトは、ESPRITで築かれた情報技術を具体的に実用システムあるいはインフラとして実現、さらにこの表にのっていないEUREKA（European Research and Co-ordination Agency）において製品化することが1つの目標とみることができる。したがって、ESPRITでは個別プロジェクトに必ず2社以上の企業や国籍の違う企業または組織、大学が協力して開発に当たることが義務づけられている。ESPRITフェーズ1では220のプロジェクトに420の企業または組織が参加し、約3,000名の科学者やエンジニアが協力したが、ECが組織した独立のESPRIT評価委員会は、「全体として欧州の情報技術産業はなお弱いとはいえ、5年以前にくらべて将来に対してよりよい位置にいる。1993年には情報技術産業は欧州最大の部門になり、他の産業およびサービス部門の約3分の2が自己の能力と競争力維持のために同産業に依存するようになるだろう」と結論し、「ESPRIT Iの1つの成果として、国際標準への寄与、産業と大学の間の関

図表V-2-2 情報技術分野における欧州の諸計画とタイムスケール

計 画	着手年	計画期間	予算（単位10億ECU）
ESPRIT I	1984	5	1.5
ESPRIT II	1988	5	3.2
RACE	1987	5	1.1
DELTA	1988	2	0.04
DRIVE	1988	3	0.12
AIM	1988	2	0.04

出所：The Review Of ESPRIT 1984-1988; Report of the ESPRIT Review Board, May 1989

注：RACE=Research and Development in Advanced Communications Technology in Europe 欧州高度通信技術研究開発計画。ブロードバンド通信ネットワーク建設と機器開発を行う。

DELTA=Developing European Learning through Technical Advance

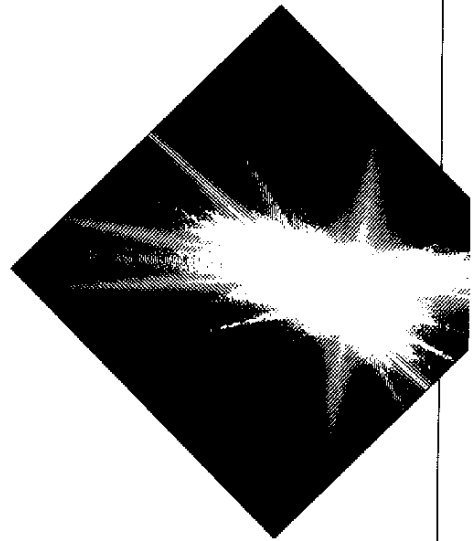
DRIVE=Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe

AIM=Advanced Informatics for Medicine

係が国境を越えて強化されたこと、将来に対する確信と楽観がより強まったことがあげられる」と述べている。

ESPRITフェーズ2では、①インフォメーション・プロセッシング・システム、②オフィスおよびビジネス・システム、③CIMの3分野の各種システムを構築することになっているが、中小企業への技術移転を重視している。そのなかで知識ベースに基づく各種のエキスパート・システムや柔軟かいヒューマン・インタフェースなど、AI技術は横断的なコンポーネントとしてビルトインされる方向にある。また、これらのソフトウェアが稼働するインフラとなるハードウェアおよびOSとして、①各種のマッシュブリ・パラレル・アーキテクチャ・システム、②各種の汎用MIMDマシン（10万プロセッサまでリニアに拡張可能なシステム・アーキテクチャでプロトタイプは少なくとも1,000台規模を開発）、③一般化できるフォールト・トレラント・システム・アーキテクチャ④ニューラル・コンピューティング（ハードウェアとソフトウェア）、⑤記号処理と数値処理の両方の機能に適したマシンの開発がすすめられている。

資料編



資料1. 1989年のAI関連活動

年月	AI関連イベント	AI関連ニュース
1989年 1月	9-10日 ウィンター・チュートリアル「学習と知識獲得」 17-18日 (日本ソフトウェア科学会、於：東京)	ー 十印が機械翻訳システムの導入／運用支援サービスを開始。 ー 伊藤忠テクノサイエンスが米国Integrated Analytics社製のトレーダー支援用ES「Market Mind」を販売開始。 ー 東洋情報システムが診断型（リアルタイム監視・診断用）と計画型（スケジューリング用）のドメイン・シェルを商品化。 ー 日興証券がインテリジェントテクノロジーと共同で社内用に開発したオプション・トレーダー養成用知的CAIシステム「OTTシステム」を外販開始。
1989年 2月	25日 第4回コンピュータと教育シンポジウム（情報処理学会、於：福岡）「知的CAI」	ー AI言語研究所がprolog系AI言語「CESP (Common ESP)」暫定版を出資各社へ提供。 ー マンプスシステム研究所がAI言語「GNOSIS」新版を提供開始。 ー アイザックが同社製「K-Prologインタプリタ」と「K-Prologコンパイラ」をワークステーションSun 4に移植し販売開始。
1989年 3月	15-17日 情報処理学会第38年全国大会（於：東京） 27-28日 第9回知識工学シンポジウム（計測自動制御学会、於：東京） 28-31日 昭和64年電子情報通信学会全国大会（於：大阪）	ー ニチメンデータシステムが、ES構築ツールARTのパソコンPC-9801版を販売開始。 ー シーアイテクノがオーストラリアISR社製AIツール「XL」に独自に機能強化して販売。
1989年 4月	10-12日 International Workshop on Industrial Applications of Machine Intelligence and Vision (MIV-89)（於：東京）	ー CSKが米国Lucid社製Common Lisp処理系の日本語版をソニー製ワークステーションNEWS上で提供開始。 ー 岩崎技研がAI言語「AZ-Prolog」を販売開始。

年月	AI関連イベント	AI関連ニュース
1989年 5月		－ 日中健康事業団が日本社会医療研究所製の医師向け漢方処方診断ES「ドクトル漢方」を販売開始。 － 医療情報システム開発センターが医療分野向けAIツール「TAMEIKE」を医療用VANサービスMEDINET上で研究者に提供開始。 － 新日本製鉄が並列プログラミング支援環境「parallel ware」を販売開始。 － 東京薬膳が日本社会医療研究所製漢方診断支援ES「張仲景」を漢方薬局のフランチャイズ展開に利用。 － クレオが米国Paperback Software International社製ES構築ツール「VP-Expert」を販売開始。 － ドゥ・スポーツブラザが運動処方を提案するES「Fitness Expert System」によるサービスを開始。
1989年 6月	1－2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） 2－3日 第5回ファジィ・システム・シンポジウム（国際ファジィ・システム学会日本支部、於：神戸） 6－7日 IFIP WG 10.2 Working Conference on the CAD Systems Using AI Techniques（於：東京）	－ CSK総合研究所が80386搭載パソコン用AI言語「Amorphous Prolog/Lisp」を開発。 － 浜松ホトニクスがトランスピュータ採用の分散型smalltalkマシンを開発。 － 富士通が実用システム開発向けニューロシミュレータ発表。 － 富士通が知識獲得支援ツール「SAKAS」を商品化。 － インテリジェントテクノロジーが米国Carnegie Group社製故障診断用ドメインシェル「Test Bench」を販売。 － メイテックインテリジェントテクノロジーが知識エンジニア（KE）などの人材派遣ビジネスを開始。

年月	AI関連イベント	AI関連ニュース
1989年 7月	3-6日 第5回人工知能総合展示会（A I 89）（主催：日本経済新聞社、於：東京） 24-26日 平成元年度人工知能学会全国大会（第3回）（於：東京）	－ 日立造船がMacintosh用の日本語版「Nexpert-Object」を発表。 － シーイーシーが米国Gold Hill Computers社製のパソコン用Lisp処理系「GC Lisp」3.1版の日本語版を出荷開始。 － スピリッツがパソコン用英日／日英双方向電子化辞書「X-DIC」を販売開始。 － 島津製作所がESを組み込んだ元素同定用分析測定装置を販売開始。 － 高次脳機能の解明を目指す神経回路学会（会長 福島邦彦大阪大学教授）が設立。
1989年 8月	28-31日 5th International Symposium of Robotics Research (ISRR)（於：東京）	－ インタフェイスコンピュータジャパンがAI言語Prologの処理系「IF/Prolog」の4.0版を販売開始。 － エレクトロデザイン研究所が米国Syntonic Systems社製アナログ・ニューロチップ「Dendros-1」の評価用ボードを販売開始。
1989年 9月	4-6日 IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems 89 - The Autonomous Mobile Robot and its Application（於：つくば市） 12-14日 平成元年電子情報通信学会秋季全国大会（於：横浜）	－ NTTデータ通信がサンワ・等松青木監査法人と共同開発した債権管理支援ES「CLICKS」を販売開始。
1989年 10月	25-27日 第5回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム（計測自動制御学会、於：京都）	－ エーアイソフトがES構築ツール創玄／大創玄を使って応用システム(ES)を開発するVAR事業を開始。 － CSKが同社のES構築ツール「XPT II」を用いた診断型ES構築のためのユーティリティソフト3種を「XPT-Tools」として販売開始。 － サントリーがパソコンFM-TOWNSで稼働するワイン選択ES「AIソムリエ」の販売

年月	AI関連イベント	AI関連ニュース
1989年 11月		開始。 － 日新電機がパソコンPC-9801上で稼働するファジィ・ソフト「FZY98」を販売開始。 － 三菱金属が英国Expertech社製のAIツール「XiPlus」と「Egeria」を販売開始。 － AI言語研究所がProlog系AI言語「CESP (Common ESP)」暫定版を大学など非営利研究機関へ提供開始。 － エヌケーエクスがデータベース管理システムを利用した分類／検索用AIツール「Knowledge Advisor」を販売開始。 － ミサワホーム総合研究所がパソコンFM-TOWNS向けにファジィ技術を導入した料理献立検索用CD-ROMソフト「おしゃれクッキング」を販売開始。
1989年 12月	4 - 6 日 1st International Conference on Deductive and Object-Oriented Databases(DOOD'89) (於：京都)	－ NTTデータ通信が日本語文章からの自動キーワード抽出システム「INDEXER」を販売開始。 － ブレインズがES構築ツール「Hyper Brain／脳力男」の入門版を販売開始。 － 日本ソフト開発がプログラム変換用エキスパートシステムを販売開始。 － アドイン研究所が同社製AIツール「AI-DNA」と「AI-RNA」に新モデルを追加し、製品系列拡張。 － カテナリソース研究所がアバクス社と共同開発したMacintosh用英日機械翻訳システムの暫定版を提供。

資料 2. わが国の主要AI関連機関

(社)人工知能学会(JSAI) Japanese Society for Artificial Intelligence 住 所 〒162 東京都新宿区津久戸町4-7 OSビル402号室 電 話 03-5261-3401 代 表 者 会長 辻 三郎 (大阪大学教授) 設立時期 平成2年9月1日 (任意団体として 設立昭和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 03-3436-4536 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、関係諸部門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

(社)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 03-3505-0505 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
(社)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 03-3433-6691 代 表 者 会長 熊谷信昭(大阪大学学長) 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ない、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 03-3814-4121 代 表 者 会長 示村悦二郎 (早稲田大学理工学部教授) 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 - パターン計測部会 - 知能工学部会 - ヒューマン・インタフェース部会 - 生体・生理工学部会 - 自律分散システム部会 - ロボット工学部会
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

(財)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 03-3456-2511 代 表 者 理事長 青井舒一 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 普及の促進等を行なうことにより、 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 研究部 第一研究室～第七研究室
(株)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 03-3798-5521 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関連の研究会・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

(株)AI言語研究所(AIR)

AI Language Reserch Institute, LTD.

住 所 〒105 東京都港区芝3-15-15
桜井ビル

電 話 03-3456-0391

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(財)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 昭和58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

リプレゼンテーション&インタフェース
研究分科会

基礎研究分科会

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3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 (大阪工業大学教授) 設立時期 1989年6月3日	目 的 広く曖昧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曖昧さを対象とするファジィ理論の研究、並びに、それらの応用を目指すとともに、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並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～第三研究室

(株)エイ・ティ・アール自動翻訳電話 研究所 住 所 〒612-02 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 樽松 明 設立時期 昭和61年4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な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なう。 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
(株)エイ・ティ・アール視聴覚機構 研究所 住 所 〒612-02 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4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目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なう。 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

(株)エイ・ティ・アール通信システム
研究所

住 所 〒612-02 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4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

神経回路学会(JNNS)

Japan Neural Network Society

住 所 〒194 東京都町田市玉川学園
6-1-1

玉川大学工学部情報通信工学科

生体情報工学研究室内 塚田 稔

電 話 0427-28-3457

代 表 者 会長 福島邦彦
(大阪大学基礎工学部教授)

設立時期 平成元年7月21日

目 的 高次脳機能の解明をめざす工学・医学・心理学などの分野の研究者および、その工学的応用を図ろうとする研究者の学際的協力関係を推進し、学際的情報の集積と提供、情報の交換、新しい人材の養成、国際学会、会議への協力等を行なう。

AI関連の活動

ニュースレター、学会誌の発行

情報交換用パソコン通信の運用

講演会、セミナー、講習会、大会の開催

(財)人工知能研究振興財団 Artificial Intelligence Research Promotion Foundation (AIRPF) 住 所 〒461 愛知県名古屋市東区白壁 3-12-13 中産連ビル新館6階 電 話 052-932-8951 代 表 者 理事長 薦田 国雄 (東邦瓦斯) 設立時期 平成2年3月26日	目 的 人工知能の研究に対する助成、人工知能に関する講演会、シンポジウム、セミナーの開催等を行うことにより、人工知能に関する研究の振興を図り、もって産業技術の高度化及び我が国経済の健全な発展に寄与する。 AI関連の活動 AI研究に関する助成 講演会、シンポジウム、セミナー、研究会等の開催 AIに関する調査研究、情報の収集・提供、相談・指導
--	--

資料 3. AI利用動向調査集計表

3-1 AIシステム導入・未導入事業所数（1989年）

	第一次調査（AI導入状況）						第2次調査（AI利用状況）	
	発送数	有効回答数	有効回答率	AI導入事業所数	未導入事業所数	AI導入率	発送数	有効回答数
合 計	7084	1844	26.0%	697	1147	37.8%	697	328
コンピュータユーザー	6238	1449	23.2%	379	1070	26.2%	379	146
AIセンター会員	846	395	46.7%	318	77	80.5%	318	182

3-2 AI未導入コンピュータユーザーのAIシステム別導入意向（1989年）

	回答事業所数	導入する気はない	一年以内に導入	2～3年以内に導入	5年以内に導入	5年意向に導入	無回答
AI向き言語	1032 100.0	604 58.5	19 1.8	92 8.9	126 12.2	191 18.5	89 —
エキスパートシステム用ツール	1022 100.0	557 54.5	32 3.1	109 10.7	135 13.2	189 18.5	87 —
エキスパートシステム	1053 100.0	517 49.1	33 3.1	133 12.6	151 14.3	219 20.8	90 —
機械翻訳システム	1133 100.0	748 66.0	15 1.3	95 8.4	78 6.9	197 17.4	100 —
知能ロボット	1165 100.0	785 67.4	9 0.8	61 5.2	107 9.2	203 17.4	105 —
自動プログラミング	1138 100.0	508 44.6	14 1.2	165 14.5	197 17.3	254 22.3	96 —
画像理解システム	1152 100.0	669 58.1	22 1.9	98 8.5	118 10.2	245 21.3	104 —
音声理解システム	1176 100.0	669 56.9	6 0.5	68 5.8	131 11.1	302 25.7	111 —
自然言語理解システム	1184 100.0	725 61.2	4 0.3	39 3.3	101 8.5	315 26.6	117 —
その他のAIシステム	1076 100.0	704 65.4	4 0.4	50 4.6	61 5.7	257 23.9	167 —

3-3 AI導入事業所の現在ソフトウェア開発要員数（1989年）

	現在ソフトウェア 開発要員	AIシステム開発要員	知識エンジニア専任	知識エンジニア兼任	その他
合 計	300 34353 114.5	283 1980 7	156 421 2.7	224 762 3.4	169 694 4.1
コンピュータユーザー	128 8459 66.1	113 339 3	53 42 0.8	82 237 2.9	52 47 0.9
AIセンター会員	172 25894 150.5	169 1641 9.7	108 379 3.5	138 525 3.8	118 647 5.5
基礎資料産業	51 3981 78.1	50 223 4.5	23 45 2	35 127 3.6	26 34 1.3
加工組立産業	56 6281 112.2	55 589 10.7	31 127 4.1	44 166 3.8	35 263 7.5
生活関連産業	14 191 13.6	14 20 1.4	10 1 0.1	13 12 0.9	8 3 0.4
公共サービス関連	30 3736 124.5	30 129 4.3	15 19 1.3	23 70 3	16 33 2.1
商業金融関連	25 4041 161.6	23 77 3.3	13 12 0.9	21 53 2.5	13 12 0.9
教育公務関連	46 2627 57.1	38 294 7.7	21 58 2.8	25 87 3.5	20 141 7.1
情報処理産業	75 13464 179.5	72 648 9	45 159 3.5	60 247 4.1	50 208 4.2
その他	30 32 10.7	0 0 0.0	0 0 0.0	0 0 0.0	0 0 0.0

上段：回答事業所数

中段：合計要員数

下段：平均要員数

3-4 AI導入事業所の2～3年後ソフトウェア開発要員数（1989年）

	2～3年後ソフト ウェア開発要員	AIシステム 開発要員	知識エンジニア 専任	知識エンジニア 兼任	その他
合計	270 41311 153.0	254 2946 11.6	153 642 4.2	207 1097 5.3	149 849 5.7
コンピュータ ユーザー	113 8983 79.5	102 640 6.3	47 108 2.3	77 345 4.5	44 150 3.4
AIセンター 会員	157 32328 205.9	154 2306 15.0	109 534 4.9	130 752 5.8	104 699 6.7
基礎資材産業	48 4263 88.8	42 354 8.4	22 66 3.0	32 128 4.0	23 51 2.2
加工組立産業	51 8155 159.9	50 1074 21.5	32 283 8.8	44 376 8.5	32 385 12
生活関連産業	14 238 17	14 36 2.6	7 2 0.3	13 23 1.8	6 4 0.7
公共サービス 関連	28 4454 159.1	27 196 7.3	15 36 2.4	21 83 4	12 30 2.5
商業金融関連	20 3566 178.3	18 117 6.5	11 16 1.5	15 55 3.7	12 41 3.4
教育公務関連	37 2833 76.6	34 213 6.3	18 41 2.3	21 53 2.5	15 102 6.8
情報処理産業	70 17787 254.1	69 956 13.9	48 198 4.1	59 379 6.4	48 236 4.9
その他	6 15 2.5	2 15 7.5	0 0 0	0 0 0	0 0 0

上段：回答事業所数

中段：合計要員数

下段：平均要員数

3-5 AI導入事業所の5年後のソフトウェア開発要員数（1989年）

	5年後ソフト ウェア開発要員	AIシステム 開発要員	知識エンジニア 専任	知識エンジニア 兼任	その他
合計	260 51161 196.8	245 4186 17.1	159 828 5.2	199 1652 8.3	148 1351 9.1
コンピュータ ユーザー	109 9594 88	98 835 8.5	52 109 2.1	75 369 4.9	32 202 6.3
AIセンター会員	151 41567 275.3	147 3351 22.8	106 719 6.8	125 1283 103	100 1049 10.5
基礎資材産業	47 4498 95.7	43 477 11.1	22 87 4	33 197 6	24 68 2.8
加工組立産業	49 8850 180.6	48 1084 22.6	34 217 6.4	41 417 10.2	30 375 12.5
生活関連産業	14 270 19.3	14 49 3.5	9 6 0.7	13 29 2.2	3 4 0.7
公共サービス関連	27 6099 225.9	26 387 14.9	17 63 3.7	20 166 8.3	83 69 5.3
商業金融関連	19 4230 222.6	16 309 19.3	11 26 2.4	14 120 8.6	11 163 14.8
教育公務関連	36 3409 94.7	33 320 9.7	19 74 3.9	21 74 3.5	16 156 9.8
情報処理産業	67 23800 355.2	64 1560 24.4	45 355 7.9	57 649 11.4	47 516 11
その他	1 5 5.0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0

上段：回答事業所数

中段：合計要員数

下段：平均要員数

3-6 産業別AIシステム保有数（1989年）

	エキスパートシステム	機械翻訳システム	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
合 計	163 668 4.1	31 55 1.8	31 44 1.4	9 15 1.7	12 68 5.7	7 — —	23 32 1.4
コンピュータユーザー	55 100 1.8	12 13 1.1	12 15 1.3	1 3 3.0	2 4 2.0	3 — —	6 7 1.2
AIセンター会員	108 568 5.3	19 42 2.2	19 29 1.5	8 12 1.5	10 64 6.4	4 — —	17 25 1.5
基礎資料産業	28 92 3.3	7 7 1.0	4 5 1.3	2 4 2.0	1 1 1.0	1 — —	3 3 1.0
加工組合産業	38 234 6.2	4 23 5.8	7 9 1.3	3 7 2.3	1 50 50.0	1 — —	6 12 2.0
生活関連産業	7 13 1.9	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
公共サービス関連	18 51 2.8	1 1 1.0	4 6 1.5	— — —	— — —	— — —	— — —
商業金融関連	14 25 1.8	1 1 1.0	2 2 1.0	1 1 1.0	— — —	— — —	1 2 2.0
教育公務関連	21 109 5.2	12 14 1.2	8 12 1.5	1 1 1.0	4 4 1.0	2 — —	6 6 1.0
情報処理産業	35 142 4.1	6 9 1.5	6 10 1.7	2 2 1.0	6 13 2.2	3 — —	7 9 1.3
その他	2 2 1.0	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —

上段：事業所数

中段：システム数

下段：事業所当り平均保有システム数

3-7 導入AI向き言語の種類（1989年）

	回答言語数	Lisp系	Prolog系	オブジェクト指向系	C言語系	PL/I系	その他	無回答
合計	656 100.0	271 41.3	121 18.4	54 8.2	128 19.5	7 1.1	75 11.4	744 —
コンピュータユーザー	186 100.0	87 46.8	26 14.0	10 5.4	32 17.2	4 2.2	27 14.5	334 —
AIセンター会員	470 100.0	184 39.1	95 20.2	44 9.4	96 20.4	3 0.6	48 10.2	410 —
基礎資材産業	100 100.0	47 47.0	11 11.0	3 3.0	25 25.0	2 2.0	12 12.0	155 —
加工組立産業	145 100.0	51 35.2	30 20.7	13 9.0	32 22.1	1 0.7	18 12.4	140 —
生活関連産業	24 100.0	14 58.3	3 12.5	1 4.2	5 20.8	1 4.2	— —	31 —
公共サービス関連	78 100.0	39 50.0	11 14.1	2 2.6	18 23.1	— —	8 10.3	62 —
商業金融関連	38 100.0	12 31.6	2 5.3	7 18.4	11 28.9	— —	6 15.8	72 —
教育公務関連	101 100.0	40 39.6	27 26.7	10 9.9	9 8.9	2 2.0	13 12.9	104 —
情報処理産業	164 100.0	65 39.6	34 20.7	18 11.0	28 17.1	1 0.6	18 11.0	176 —
その他	6 100.0	3 50.0	3 50.0	— —	— —	— —	— —	4 —

3-8 AI向き言語・ツール導入の目的（1989年）

	回答言語・ツール数	研修・勉強用	試用のため	開発のため 自社使用システム	開発のため システム受注	稼働するため 実用システムとして	その他	無回答・無回答
全産業	696 100.0	164 23.6	103 14.8	184 26.4	72 10.3	159 22.8	14 2.0	704 —
コンピュータユーザー	200 100.0	47 23.5	32 16.0	52 26.0	11 5.5	57 28.5	1 0.5	320 —
AIセンター会員	496 100.0	117 23.6	71 14.3	132 26.6	61 12.3	102 20.6	13 2.6	384 —
基礎資材産業	114 100.0	21 18.4	12 10.5	23 20.1	5 4.4	51 44.7	2 1.8	141 —
加工組立産業	147 100.0	29 19.7	25 17.0	49 33.3	14 9.5	28 19.0	2 1.4	138 —
生活関連産業	24 100.0	5 20.8	7 29.2	5 20.8	— —	7 29.2	— —	31 —
公共サービス関連	78 100.0	17 21.8	11 14.1	39 50.0	2 2.6	9 11.5	— —	62 —
商業金融関連	40 100.0	4 10.0	4 10.0	8 20.0	2 5.0	21 52.5	1 2.5	70 —
教育公務関連	114 100.0	42 36.8	18 15.8	29 25.4	2 1.8	19 16.7	4 3.5	91 —
情報処理産業	173 100.0	46 26.6	21 12.1	30 17.3	47 27.2	24 13.9	5 2.9	167 —
その他	6 100.0	— —	5 83.3	1 16.7	— —	— —	— —	4 —

3-9 AI向き言語・ツールの利用状況

	回答言語ツール数	本格的に利用	試験的に利用	余り使っていない	無回答
全産業	695 100.0	259 37.3	272 39.1	164 23.6	705 —
コンピュータユーザー	196 100.0	50 25.5	88 44.9	58 29.6	324 —
AIセンター会員	499 100.0	209 41.9	184 36.9	106 21.2	381 —
基礎資材産業	114 100.0	48 42.1	42 36.8	24 21.1	141 —
加工組立産業	147 100.0	66 44.9	59 40.1	22 15.0	138 —
生活関連産業	24 100.0	6 25.0	12 50.0	6 25.0	31 —
公共サービス関連	82 100.0	21 25.6	33 40.2	28 34.1	58 —
商業金融関連	40 100.0	15 37.5	16 40.0	9 22.5	70 —
教育公務関連	109 100.0	27 24.8	56 51.3	26 23.9	96 —
情報処理産業	173 100.0	72 41.6	52 30.1	49 28.3	167 —
その他	6 100.0	4 66.7	2 33.3	— —	4 —

3-10 AI用マシン別導入状況（1989年）

	回答マシン数	AI専用マシン	メインフレーム	ミニコン	ワークステーション	パソコン	並列処理マシン	その他	無回答
全企業	494 100.0	59 11.9	42 8.5	31 6.3	178 36.0	179 36.2	— —	5 1.0	382 —
コンピュータユーザー	158 100.0	14 8.9	23 14.6	10 6.3	51 32.2	58 36.7	— —	2 1.3	184 —
AIセンター会員	336 100.0	45 13.4	19 5.7	21 6.3	127 37.8	121 36.0	— —	3 0.9	198 —
基礎資材産業	76 100.0	6 7.9	9 11.8	5 6.6	30 39.5	26 34.2	— —	— —	80 —
加工組立産業	101 100.0	12 11.9	4 4.0	8 7.9	41 40.6	35 34.7	— —	1 1.0	70 —
生活関連産業	17 100.0	3 17.6	— —	— —	8 47.1	6 35.3	— —	— —	22 —
公共サービス関連	55 100.0	7 12.7	6 10.9	4 7.3	11 20.0	26 47.1	— —	1 1.8	32 —
商業金融関連	39 100.0	5 12.8	2 5.1	2 5.1	16 41.0	14 35.9	— —	— —	39 —
教育公務関連	70 100.0	7 10.0	12 17.1	5 7.1	20 28.6	24 34.3	— —	2 2.9	56 —
情報処理産業	133 100.0	19 14.3	9 6.8	7 5.3	50 37.6	47 35.3	— —	1 0.7	80 —
その他	3 100.0	— —	— —	— —	2 66.6	1 33.3	— —	— —	3 —

3-11 エキスパートシステムの適用業務（1989年）

	システム数	プラント 補修・点検	機械 補修・点検	プラント 異常予知	故障 診断	電力系統 事故判定	プラント 操業・管理	生産ライン 操業・管理	情報 管理	工程 管理	生産 管理	資材 管理	物流 管理	顧客 管理
合計	423 100.0	7 1.7	7 1.7	6 1.4	49 11.6	10 2.4	21 5.0	11 2.6	6 1.4	9 2.1	7 1.7	2 0.5	3 0.7	1 0.2
コンピュータ ユーザー	98 100.0	— —	— —	1 1.0	12 12.2	2 2.0	1 1.0	— —	1 1.0	2 2.0	5 5.1	— —	2 2.0	— —
AIセンター会員	325 100.0	7 2.2	7 2.2	5 1.5	37 11.4	8 2.5	20 6.2	11 3.4	5 1.5	7 2.2	2 0.6	2 0.6	1 0.3	1 0.3
基礎資材産業	70 100.0	1 1.4	4 5.7	2 2.9	14 20.0	— —	4 5.7	3 4.3	— —	3 4.3	2 2.9	— —	1 1.4	— —
加工組立産業	119 100.0	3 2.5	2 1.7	2 1.7	15 12.6	5 4.2	9 7.6	6 5.0	1 0.8	2 1.7	3 2.5	— —	1 0.8	— —
生活関連産業	13 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	1 7.7	2 15.4	— —	— —	1 7.7	— —	— —	— —
公共サービス 関連	47 100.0	— —	— —	— —	7 14.9	2 4.3	2 4.3	— —	2 4.3	— —	— —	— —	— —	— —
商業金融関連	25 100.0	1 4.0	1 4.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
教育公務関連	43 100.0	— —	— —	— —	5 11.6	1 2.3	3 7.0	— —	2 4.7	— —	1 2.3	1 2.3	1 2.3	— —
情報処理産業	104 100.0	2 1.9	— —	2 1.9	8 7.7	2 1.9	2 1.9	— —	1 1.0	4 3.8	— —	1 1.0	— —	1 1.0
その他	2 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

3-11 つづき

	計画・シミュレーション	運行 ダイヤ構成	製品 開発支援	自動 設計	ネット ワーク 設計・ 管理	ソフト ウェア 開発	経営 戦略	財務 処理	法律・ 判例	調査・ 企画	企業 診断	資金 運用	相場 予測
合計	47 11.1	2 0.5	9 2.1	20 4.7	2 0.5	7 1.7	1 0.2	1 0.2	9 2.1	1 0.2	5 1.2	4 0.9	1 0.2
一般サンプル	15 15.3	— —	2 2.0	7 7.1	1 1.0	2 2.0	1 1.0	1 1.0	1 1.0	— —	3 3.1	1 1.0	— —
AIセンター会員	32 9.8	2 0.6	7 2.2	13 4.0	1 0.3	5 1.5	— —	— —	8 2.5	1 0.3	2 0.6	3 0.9	1 0.3
基礎資材産業	15 21.4	1 1.4	— —	2 2.9	— —	1 1.4	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
加工組立産業	4 3.4	1 0.8	4 3.4	7 5.9	1 0.8	2 1.7	— —	— —	1 0.8	— —	— —	— —	— —
生活関連産業	3 23.1	— —	1 7.7	1 7.7	— —	— —	— —	— —	1 7.7	— —	— —	— —	— —
公共サービス 関連	8 17.0	— —	— —	4 8.5	— —	1 2.1	— —	— —	1 2.1	1 2.1	— —	— —	— —
商業金融関連	1 4.0	— —	— —	— —	— —	— —	1 4.0	— —	1 4.0	— —	3 12.0	3 12.0	— —
教育公務関連	7 16.3	— —	1 2.3	4 9.3	— —	1 2.3	— —	1 2.3	— —	— —	— —	— —	— —
情報処理産業	8 7.7	— —	3 2.9	2 1.9	1 1.0	2 1.9	— —	— —	5 4.8	— —	2 1.9	1 1.0	1 1.0
その他	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

3-11 つづき

	窓口相談	クレジットオンラインライズ	契約 医務 損害査定	C A I	時間 制作 成	医務 診断 支援	デー タ ベ ース 検 索	デー タ ベ ース サー ビス	そ の 他	無 回 答
合計	14 3.3	3 0.7	6 1.4	10 2.4	1 0.2	5 1.2	5 1.2	1 0.2	38 9.0	92 21.7
一般サンプル	6 6.1	2 2.0	3 3.1	2 2.0	—	—	—	—	10 10.2	15 15.3
AIセンター会員	8 2.5	1 0.3	3 0.9	8 2.5	1 0.3	5 1.5	5 1.5	1 0.3	28 8.6	77 23.7
基礎資材産業	—	—	—	1 1.4	—	—	—	—	2 2.9	14 20.0
加工組立産業	3 2.5	—	1 0.8	3 2.5	—	2 1.7	2 1.7	1 0.8	5 4.2	33 27.7
生活関連産業	—	—	—	—	—	—	—	—	2 15.4	1 7.7
公共サービス 関連	2 4.3	—	—	—	—	—	—	—	5 10.6	12 25.5
商業金融関連	4 16.0	—	3 12.0	—	—	—	—	—	4 16.0	3 12.0
教育公務関連	1 2.3	—	1 2.3	2 4.7	—	—	1 2.3	—	1 2.3	9 20.9
情報処理産業	4 3.8	2 1.9	1 1.0	4 3.8	1 1.0	3 2.9	2 1.9	—	19 18.3	20 19.2
その他	—	1 50.0	—	—	—	—	—	—	—	—

3-12 エキスパートシステムの対象領域（1989年）

	シ ス テ ム 数	解 釈	診 断	計 画	制 御	設 計	そ の 他	無 回 答
合計	423 100.0	51 12.1	160 37.8	52 12.3	97 22.9	33 7.8	17 4.0	96 22.7
コンピュータ ユーザー	98 100.0	8 8.2	41 41.8	12 12.2	25 25.5	6 6.1	4 4.1	15 15.3
AIセンター会員	325 100.0	43 13.2	119 36.6	40 12.3	72 22.2	27 8.3	13 4.0	81 24.9
基礎資材産業	70 100.0	4 5.7	22 31.4	6 8.6	20 28.6	7 10.0	4 5.7	14 20.0
加工組立産業	119 100.0	13 10.9	37 31.1	16 13.4	20 16.8	7 5.9	2 1.7	38 31.9
生活関連産業	13 100.0	1 7.7	3 23.1	2 15.4	5 38.5	1 7.7	—	1 7.7
公共サービス関連	47 100.0	6 12.8	22 46.8	6 12.8	10 21.3	2 4.3	2 4.3	12 25.5
商業金融関連	25 100.0	1 4.0	15 60.0	2 8.0	4 16.0	—	2 8.0	3 12.0
教育公務関連	43 100.0	6 14.0	16 37.2	9 20.9	12 27.9	7 16.3	4 9.3	9 20.9
情報処理産業	104 100.0	20 19.2	44 42.3	11 10.6	25 24.0	9 8.7	3 2.9	19 18.3
その他	2 100.0	—	1 50.0	—	1 50.0	—	—	—

3-13 エキスパートシステムの開発目的 (1989年)

	システム数	社内使用専用	社内使用だが 外販の用意もある	外部から受注 して開発	無回答
合計	423 100.0	195 46.1	48 11.3	69 16.3	111 26.2
一般サンプル	98 100.0	72 73.5	5 5.1	11 11.2	10 10.2
AIセンター会員	325 100.0	123 37.8	43 13.2	58 17.8	101 31.1
基礎資材産業	70 100.0	42 60.0	4 5.7	6 8.6	18 25.7
加工組立産業	119 100.0	47 39.5	15 12.6	11 9.2	46 38.7
生活関連産業	13 100.0	11 84.6	1 7.7	—	1 7.7
公共サービス関連	47 100.0	30 63.8	3 6.4	7 14.9	7 14.9
商業金融関連	25 100.0	17 68.0	5 20.0	—	3 12.0
教育公務関連	43 100.0	25 58.1	3 7.0	1 2.3	14 32.6
情報処理産業	104 100.0	22 21.2	16 15.4	44 42.3	22 21.2
その他	2 100.0	1 50.0	1 50.0	—	—

3-14 エキスパートシステム導入により目指す効果 (1989年)

	システム数	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	E/S技術の取得	その他	無回答
合計	423 100.0	61 14.4	173 40.9	50 11.8	136 32.2	109 25.8	93 22.0	75 17.7	1 2.6	97 22.9
一般サンプル	98 100.0	17 17.3	51 52.0	19 19.4	46 46.9	40 40.8	30 30.6	28 28.6	2 2.0	9 9.2
AIセンター会員	325 100.0	44 13.5	122 37.5	31 9.5	90 27.7	69 21.2	63 19.4	47 14.5	9 2.8	88 27.1
基礎資材産業	70 100.0	13 18.6	36 51.4	6 8.6	22 31.4	24 34.3	16 22.9	17 24.3	—	14 20.0
加工組立産業	119 100.0	17 14.3	44 37.0	11 9.2	37 31.1	27 22.7	18 15.1	14 11.8	6 5.0	38 31.9
生活関連産業	13 100.0	5 38.5	8 61.5	2 15.4	6 46.2	6 46.2	5 38.5	3 23.1	—	1 7.7
公共サービス関連	47 100.0	4 8.5	26 55.3	6 12.8	19 40.4	11 23.4	18 38.3	9 19.1	1 2.1	7 14.9
商業金融関連	25 100.0	3 12.0	8 32.0	7 28.0	10 40.0	12 48.0	4 16.0	9 36.0	—	3 12.0
教育公務関連	43 100.0	3 7.0	15 34.9	5 11.6	17 39.5	7 16.3	15 34.9	7 16.3	2 4.7	8 18.6
情報処理産業	104 100.0	16 15.4	35 33.7	13 12.5	24 23.1	20 19.2	17 16.3	16 15.4	2 1.9	26 25.0
その他	2 100.0	—	1 50.0	—	1 50.0	2 100.0	—	—	—	—

3-15 エキスパートシステムの開発利用段階（1989年）

	システム数	で稼働中 実用システムとし	フィールドテスト中	プロトタイプとし での評価改良中	利用 デモ・実験のみに	設計・開発段階	あまり使っていない
合計	668 100.0	196 29.3	87 13.0	137 20.5	72 10.8	140 21.0	36 5.4
一般サンプル	100 100.0	36 36.0	17 17.0	23 23.0	5 5.0	15 15.0	4 4.0
AIセンター会員	568 100.0	160 28.2	70 12.3	114 20.1	67 11.8	125 22.0	32 5.6
基礎資材産業	92 100.0	39 42.4	15 16.3	17 18.5	7 7.6	14 15.2	0 0.0
加工組立産業	234 100.0	62 26.5	35 15.0	55 23.5	32 13.7	28 12.0	22 9.4
生活関連産業	13 100.0	2 15.4	4 30.8	2 15.4	1 7.7	3 23.1	1 7.7
公共サービス関連	51 100.0	10 19.6	8 15.7	16 31.4	6 11.8	8 15.7	3 5.9
商業金融関連	25 100.0	12 48.0	3 12.0	3 12.0	2 8.0	5 20.0	— —
教育公務関連	109 100.0	35 32.1	3 2.8	6 5.5	5 4.6	52 47.7	8 7.3
情報処理産業	142 100.0	36 25.4	18 12.7	37 26.1	19 13.4	30 21.1	2 1.4
その他	2 100.0	— —	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —

3-16 エキスパートシステム開発用マシン（1989年）

	システム数	AI専用マシン	メインフレーム	ミニコン	ワークステーション	パソコン	並列処理マシン	その他	無回答
合計	423 100.0	27 6.4	38 9.0	16 3.8	122 28.8	126 29.8	— —	— —	94 22.2
一般サンプル	98 100.0	5 5.1	12 12.2	7 7.1	27 27.6	33 33.7	— —	— —	14 14.3
AIセンター会員	325 100.0	22 6.8	26 8.0	9 2.8	95 29.2	93 28.6	— —	— —	80 24.6
基礎資材産業	70 100.0	4 5.7	11 15.7	3 4.3	22 31.4	15 21.4	— —	— —	15 21.4
加工組立産業	119 100.0	9 7.6	7 5.9	2 1.7	36 30.3	28 23.5	— —	— —	37 31.1
生活関連産業	13 100.0	2 15.4	— —	— —	5 38.5	5 38.5	— —	— —	1 7.7
公共サービス関連	47 100.0	2 4.3	4 8.5	4 8.5	9 19.1	21 44.7	— —	— —	7 14.9
商業金融関連	25 100.0	2 8.0	— —	3 12.0	10 40.0	7 28.0	— —	— —	3 12.0
教育公務関連	43 100.0	— —	7 16.3	3 7.0	12 27.9	8 18.6	— —	— —	13 30.2
情報処理産業	104 100.0	8 7.7	9 8.7	1 1.0	28 26.9	41 39.4	— —	— —	17 16.3
その他	2 100.0	— —	— —	— —	— —	1 50.0	— —	— —	1 50.0

3-17 エキスパートシステム実稼働用マシン（1989年）

	システム数	AI専用マシン	メインフレーム	ミニコン	ワークステーション	パソコン	並列処理マシン	その他	無回答
合計	423 100.0	24 5.7	36 8.5	23 5.4	96 22.7	122 28.8	— —	5 1.2	117 27.7
一般サンプル	98 100.0	5 5.1	11 11.2	8 8.2	21 21.4	32 32.7	— —	4 4.1	17 17.3
AIセンター会員	325 100.0	19 5.8	25 7.7	15 4.6	75 23.1	90 27.7	— —	1 0.3	100 30.8
基礎資材産業	70 100.0	4 5.7	10 14.3	4 5.7	20 28.6	12 17.1	— —	— —	20 28.6
加工組立産業	119 100.0	7 5.9	8 6.7	4 3.4	28 23.5	31 26.1	— —	— —	41 34.5
生活関連産業	13 100.0	2 15.4	— —	— —	5 38.5	4 30.8	— —	— —	2 15.4
公共サービス関連	47 100.0	1 2.1	3 6.4	6 12.8	8 17.0	20 42.6	— —	— —	9 19.1
商業金融関連	25 100.0	2 8.0	— —	2 8.0	9 36.0	9 36.0	— —	— —	3 12.0
教育公務関連	43 100.0	— —	8 18.6	4 9.3	4 9.3	11 25.6	— —	3 7.0	13 30.2
情報処理産業	104 100.0	8 7.7	7 6.7	3 2.9	22 21.2	34 32.7	— —	2 1.9	28 26.9
その他	2 100.0	— —	— —	— —	— —	1 50.0	— —	— —	1 50.0

3-18 エキスパートシステムの利用状況（1989年）

	システム数	稼働中 実用システムとして	フィールドテスト中	プロの評価改良中 プロタイプとして	デモ利用・実験のみに	設計・開発段階	あまり使っていない	無回答
合計	423 100.0	123 29.1	62 14.7	66 15.6	31 7.3	44 10.4	9 2.1	88 20.8
一般サンプル	98 100.0	27 27.6	15 15.3	24 24.5	6 6.1	13 13.3	4 4.1	9 9.2
AIセンター会員	325 100.0	96 29.5	47 14.5	42 12.9	25 7.7	31 9.5	5 1.5	79 24.3
基礎資材産業	70 100.0	24 34.3	9 12.9	8 11.4	4 5.7	11 15.7	— —	14 20.0
加工組立産業	119 100.0	37 31.1	19 16.0	12 10.1	5 4.2	6 5.0	3 2.5	37 31.1
生活関連産業	13 100.0	2 15.4	2 15.4	2 15.4	1 7.7	4 30.8	1 7.7	1 7.7
公共サービス関連	47 100.0	10 21.3	7 14.9	15 31.9	4 8.5	4 8.5	— —	7 14.9
商業金融関連	25 100.0	11 44.0	3 12.0	3 12.0	1 4.0	4 16.0	— —	3 12.0
教育公務関連	43 100.0	13 30.2	7 16.3	5 11.6	4 9.3	4 9.3	2 4.7	8 18.6
情報処理産業	104 100.0	26 25.0	14 13.5	21 20.2	12 11.5	11 10.6	3 2.9	17 16.3
その他	2 100.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —	1 50.0

3-19 実用エキスパートシステムの評価（1989年）

	システム数	非常に効果があった	まあ効果があつた	どちらともいえない	なかった あまり効果が	なかった ほとんど効果が	無回答
合計	123 100.0	70 56.9	42 34.1	8 6.5	1 0.8	— —	2 1.6
一般サンプル	27 100.0	7 25.9	13 48.1	6 22.2	— —	— —	1 3.7
AIセンター会員	96 100.0	63 65.6	29 30.2	2 2.1	1 1.0	— —	1 1.0
基礎資材産業	24 100.0	14 58.3	6 25.0	3 12.5	1 4.2	— —	— —
加工組立産業	37 100.0	22 59.5	14 37.8	— —	— —	— —	1 2.7
生活関連産業	2 100.0	2 100.0	— —	— —	— —	— —	— —
公共サービス関連	10 100.0	6 60.0	3 30.0	— —	— —	— —	1 10.0
商業金融関連	11 100.0	4 36.4	6 54.5	1 9.1	— —	— —	— —
教育公務関連	13 100.0	7 53.8	3 23.1	3 23.1	— —	— —	— —
情報処理産業	26 100.0	15 57.7	10 38.5	1 3.8	— —	— —	— —
その他	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

3-20 知識獲得の方法（1989年）

	件数	インタビュー方式	解析方法 バーバルプロトコル	弟子いり方式	方法論を利用 整理された知識獲得	知識獲得 支援ツール	メントから知識を獲得 整理されたドキュメント	その他	無回答
合計	163 100.0	130 79.8	2 1.2	22 13.5	11 6.7	4 2.5	83 50.9	19 11.7	5 3.1
一般サンプル	55 100.0	43 78.2	—	4 7.3	2 3.6	1 1.8	27 49.1	8 14.5	3 5.5
AIセンター会員	108 100.0	87 80.6	2 1.9	18 16.7	9 8.3	3 2.8	56 51.9	11 10.2	2 1.9
基礎資材産業	28 100.0	26 92.9	—	3 10.7	1 3.6	1 3.6	11 39.3	5 17.9	—
加工組立産業	38 100.0	29 76.3	1 2.6	5 13.2	5 13.2	2 5.3	19 50.0	5 13.2	2 5.3
生活関連産業	7 100.0	7 100.0	—	1 14.3	—	—	4 57.1	1 14.3	—
公共サービス関連	18 100.0	14 77.8	—	2 11.1	2 11.1	—	13 72.2	3 16.7	—
商業金融関連	14 100.0	10 71.4	—	—	1 7.1	1 7.1	9 64.3	1 7.1	—
教育公務関連	21 100.0	11 52.4	1 4.8	4 19.0	1 4.8	—	10 47.6	1 4.8	3 14.3
情報処理産業	35 100.0	31 88.6	—	7 20.0	1 2.9	—	16 45.7	3 8.6	—
その他	2 100.0	2 100.0	—	—	—	—	1 50.0	—	—

3-21 知識獲得の今後の課題（1989年）

	件数	知識の整備 方法論	知識の整備 支援ツール	シエルの整備 ドメインシェ	開発環境全体の整備 フレームワーク等	その他	無回答
合計	163 100.0	52 31.9	33 20.2	16 9.8	33 20.2	5 3.1	24 14.7
一般サンプル	55 100.0	22 40.0	7 12.7	3 5.5	12 21.8	1 1.8	10 18.2
AIセンター会員	108 100.0	30 27.8	26 24.1	13 12.0	21 19.4	4 3.7	14 13.0
基礎資材産業	28 100.0	8 28.6	4 14.3	2 7.1	6 21.4	2 7.1	6 21.4
加工組立産業	38 100.0	9 23.7	15 39.5	2 5.3	5 13.2	1 2.6	6 15.8
生活関連産業	7 100.0	2 28.6	1 14.3	2 28.6	1 14.3	—	1 14.3
公共サービス関連	18 100.0	8 44.4	3 16.7	1 5.6	5 27.8	—	1 5.6
商業金融関連	14 100.0	7 50.0	2 14.3	—	2 14.3	—	3 21.4
教育公務関連	21 100.0	8 38.1	2 9.5	2 9.5	5 23.8	—	4 19.0
情報処理産業	35 100.0	8 22.9	6 17.1	7 20.0	9 25.7	2 5.7	3 8.6
その他	2 100.0	2 100.0	—	—	—	—	—

3-22 エキスパートシステム開発体制（1989年）

	件数	情報処理部門が実施	KEが実施	専門家が協力してKE情報処理	専門家が主体となる	主体となる情報処理部門が	その他	無回答
合計	163 100.0	21 12.9	35 21.5	56 34.4	17 10.4	18 11.0	5 3.1	11 6.7
一般サンプル	55 100.0	10 18.2	3 5.5	24 43.6	4 7.3	9 16.4	2 3.6	3 5.5
AIセンター会員	108 100.0	11 10.2	32 29.6	32 29.6	13 12.0	9 8.3	3 2.8	8 7.4
基礎資材産業	28 100.0	8 28.6	7 25.0	8 28.6	1 3.6	3 10.7	— —	1 3.6
加工組立産業	38 100.0	1 2.6	10 26.3	12 31.6	5 13.2	4 10.5	2 5.3	4 10.5
生活関連産業	7 100.0	— —	1 14.3	5 71.4	— —	1 14.3	— —	— —
公共サービス関連	18 100.0	5 27.8	4 22.2	5 27.8	1 5.6	— —	3 16.7	— —
商業金融関連	14 100.0	3 21.4	1 7.1	8 57.1	— —	2 14.3	— —	— —
教育公務関連	21 100.0	2 9.5	1 4.8	5 23.8	5 23.8	3 14.3	— —	5 23.8
情報処理産業	35 100.0	1 2.9	10 28.6	13 37.1	5 14.3	5 14.3	— —	1 2.9
その他	2 100.0	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —

3-23 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（1989年）

	件数	大学その他公的	民間研修機関専門家	コンピュータメーカー	ソフトウェアハウス	その他	利用は考えていない	無回答
合計	163 100.0	54 33.1	24 14.7	59 36.2	66 40.5	3 1.8	22 13.5	8 4.9
一般サンプル	55 100.0	13 23.6	9 16.4	29 52.7	25 45.5	2 3.6	4 7.3	4 7.3
AIセンター会員	108 100.0	41 38.0	15 13.9	30 27.8	41 38.0	1 0.9	18 16.7	4 3.7
基礎資材産業	28 100.0	6 21.4	1 3.6	18 64.3	11 39.3	1 3.6	4 14.3	— —
加工組立産業	38 100.0	12 31.6	2 5.3	7 18.4	16 42.1	— —	8 21.1	3 7.9
生活関連産業	7 100.0	— —	— —	3 42.9	4 57.1	— —	1 14.3	— —
公共サービス関連	18 100.0	5 27.8	3 16.7	7 38.9	14 77.8	— —	1 5.6	— —
商業金融関連	14 100.0	2 14.3	4 28.6	7 50.0	6 42.9	— —	1 7.1	2 14.3
教育公務関連	21 100.0	10 47.6	4 19.0	8 38.1	5 23.8	2 9.5	3 14.3	1 4.8
情報処理産業	35 100.0	19 54.3	9 25.7	8 22.9	9 25.7	— —	4 11.4	2 5.7
その他	2 100.0	— —	1 50.0	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —

3-24 エキスパートシステム導入・実用化の問題（1989年）

	件数	現在で役にたてない技術では能力不足	システム開発にコストがかかり過ぎる	知識エンジニアが不足である	適切な開発用ツールがない	知識獲得に障害がある	分野がない	ニーズのある適当な	専門家の業務の一部しか移植できない	想定に対して開発工数がかかりすぎる	機能の追加修正が困難である	メンテナンスが困難	操作性が悪い	開発者がメンテナンスを得ない	その他	無回答
合計	163 100.0	30 18.4	32 19.6	57 35.0	27 16.6	75 46.0	18 11.0	38 23.3	28 17.2	14 8.6	40 24.5	10 6.1	53 32.5	14 8.6	5 3.1	
一般サンプル	55 100.0	11 20.0	9 16.4	22 40.0	11 20.0	21 38.2	10 18.2	15 27.3	9 16.4	6 10.9	13 23.6	3 5.5	20 36.4	5 9.1	3 5.5	
AIセンター 会員	108 100.0	19 17.6	23 21.3	35 32.4	16 14.8	54 50.0	8 7.4	23 21.3	19 17.6	8 7.4	27 25.0	7 6.5	33 30.6	9 8.3	2 1.9	
基礎資材産業	28 100.0	4 14.3	6 21.4	14 50.0	5 17.9	14 50.0	3 10.7	4 14.3	6 21.4	1 3.6	4 14.3	2 7.1	9 32.1	2 7.1	—	
加工組立産業	38 100.0	7 18.4	7 18.4	8 21.1	4 10.5	19 50.0	3 7.9	10 26.3	5 13.2	2 5.3	11 28.9	3 7.9	13 34.2	5 3.2	1 2.6	
生活関連産業	7 100.0	—	4 57.1	4 57.1	3 42.9	2 28.6	2 28.6	3 42.9	2 28.6	2 28.6	2 28.6	—	3 42.9	1 14.3	—	
公共サービス 関連	18 100.0	4 22.2	3 16.7	6 33.3	5 27.8	9 50.0	3 16.7	9 50.0	2 11.1	3 16.7	4 22.2	3 16.7	7 38.9	2 11.1	—	
商業金融関連	14 100.0	2 14.3	1 7.1	6 42.9	1 7.1	7 50.0	3 21.4	2 14.3	1 7.1	1 7.1	5 35.7	—	5 35.7	1 7.1	1 7.1	
教育公務関連	21 100.0	5 23.8	2 9.5	9 42.9	4 19.0	11 52.4	3 14.3	2 9.5	3 14.3	2 9.5	6 28.6	1 4.8	4 19.0	2 9.5	2 9.5	
情報処理産業	35 100.0	8 22.9	9 25.7	9 25.7	5 14.3	13 37.1	1 2.9	7 20.0	9 25.7	3 8.6	8 22.9	—	12 34.3	1 2.9	1 2.9	
その他	2 100.0	—	—	1 50.0	—	—	—	1 50.0	—	—	—	1 50.0	—	—	—	

3-25 エキスパートシステム開発・導入のための累積投資額（1989年）

	資金運用回答事業数	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
合計	148 100.0	24 16.2	15 10.1	26 17.6	29 19.6	23 15.5	16 10.8	11 7.4	2 1.4	2 1.4	— —	— —	15 —
コンピュータユーザー	51 100.0	11 21.6	5 9.8	12 23.5	10 19.6	7 13.7	3 5.9	2 3.9	— —	1 2.0	— —	— —	4 —
AIセンター会員	97 100.0	13 13.4	10 10.3	14 14.4	19 19.6	16 16.5	13 13.4	9 9.3	2 2.1	1 1.0	— —	— —	11 —
基礎資材産業	27.0 100.0	2 7.4	2 7.4	7 25.9	6 22.2	6 22.2	2 7.4	1 3.7	1 3.7	— —	— —	— —	1 —
加工組立産業	32 100.0	7 21.9	4 12.5	4 12.5	6 18.8	4 12.5	4 12.5	3 9.4	— —	— —	— —	— —	6 —
生活関連産業	6 100.0	1 16.7	1 16.7	2 33.3	— —	— —	2 33.3	— —	— —	— —	— —	— —	1 —
公共サービス関連	18 100.0	1 5.6	3 16.7	4 22.2	2 11.1	7 38.9	— —	1 5.6	— —	— —	— —	— —	— —
商業金融関連	12 100.0	1 8.3	1 8.3	3 25	3 25	1 8.3	— —	2 16.7	— —	1 8.3	— —	— —	2 —
教育公務関連	18 100.0	6 33.3	1 5.6	3 16.7	2 11.1	3 16.7	1 5.6	1 5.6	— —	1 5.6	— —	— —	3 —
情報処理産業	33 100.0	6 18.2	3 9.1	2 6.1	9 27.3	2 6.1	7 21.2	3 9.1	1 3.0	— —	— —	— —	2 —
その他	2 100.0	— —	— —	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

3-26 エキスパートシステム開発・導入のための累積投資額（1989年）

	回答事業所数	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
合計	141 100.0	9 6.4	7 5.0	12 8.5	20 14.2	27 19.1	26 18.4	27 19.1	10 7.1	3 2.1	— —	— —	22 —
コンピュータユーザー	47 100.0	4 8.5	4 8.5	5 10.6	4 8.5	10 21.3	11 23.4	6 12.8	2 4.3	1 2.1	— —	— —	8 —
AIセンター会員	94 100.0	5 5.3	3 3.2	7 7.4	16 17.0	17 18.1	15 16.0	21 22.3	8 8.5	2 2.1	— —	— —	14 —
基礎資材産業	26 100.0	— —	2 7.7	1 3.8	4 15.4	5 19.2	6 23.1	4 15.4	3 11.5	1 3.8	— —	— —	2 —
加工組立産業	32 100.0	3 9.4	3 9.4	3 9.4	5 15.6	4 12.5	5 15.6	6 18.8	3 9.4	— —	— —	— —	6 —
生活関連産業	5 100.0	— —	— —	1 20.0	1 20.0	1 20.0	1 20.0	1 20.0	— —	— —	— —	— —	2 —
公共サービス関連	16 100.0	— —	1 6.3	2 12.5	3 18.8	3 18.8	4 25	2 12.5	1 6.3	— —	— —	— —	2 —
商業金融関連	11 100.0	1 9.1	— —	— —	1 9.1	3 27.3	4 36.4	1 9.1	— —	1 9.1	— —	— —	3 —
教育公務関連	18 100.0	2 11.1	1 5.6	4 22.2	1 5.6	2 11.1	3 16.7	4 22.2	— —	1 5.6	— —	— —	3 —
情報処理産業	32 100.0	3 9.4	— —	1 3.1	5 15.6	8 25.0	3 9.4	9 28.1	3 9.4	— —	— —	— —	3 —
その他	1 100.0	— —	— —	— —	— —	1 1	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1 —

3-27 機械翻訳システムの導入状況（1989年）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	299 100.0	31 10.7	46 15.9	213 73.4	38 —
コンピュータユーザー	133 100.0	12 9.0	22 16.5	99 74.4	13 —
AIセンター会員	157 100.0	19 12.1	24 15.3	114 72.6	25 —
基礎資材産業	50 100.0	7 14.0	6 12.0	37 74.0	6 —
加工組立産業	55 100.0	4 7.3	11 20.0	40 72.7	7 —
生活関連産業	12 100.0	— —	2 16.7	10 83.3	2 —
公共サービス関連	31 100.0	1 3.2	4 12.9	26 83.9	3 —
商業金融関連	27 100.0	1 3.7	6 22.2	20 74.1	1 —
教育公務関連	46 100.0	12 26.1	11 23.9	23 50.0	8 —
情報処理産業	67 100.0	6 9.0	6 9.0	55 82.1	9 —
その他	2 100.0	— —	— —	2 100.0	2 —

3-28 機械翻訳システムの累積投資額（1989年）

	回答事業所数	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
合計	22 100.0	10 45.5	6 27.3	1 4.5	1 4.5	1 4.5	2 9.1	—	1 4.5	—	—	—	9 —
コンピュータユーザー	6 100.0	4 66.7	2 33.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6 —
AIセンター会員	16 100.0	6 37.5	4 25.0	1 6.3	1 6.3	1 6.3	2 12.5	—	1 6.3	—	—	—	3 —
基礎資材産業	6 100.0	2 33.3	3 50.0	—	1 16.7	—	—	—	—	—	—	—	1 —
加工組立産業	3 100.0	—	2 66.7	—	—	—	1 33.3	—	—	—	—	—	1 —
生活関連産業	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
公共サービス関連	1 100.0	1 100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
商業金融関連	0 100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 —
教育公務関連	8 100.0	6 75.0	1 12.5	—	—	—	1 12.5	—	—	—	—	—	4 —
情報処理産業	4 100.0	1 25.0	—	1 25.0	—	1 25.0	—	—	1 25.0	—	—	—	2 —
その他	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

3-29 知能ロボットの導入状況（1989年）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	292 100.0	7 2.4	61 20.9	224 76.7	36 —
コンピュータユーザー	134 100.0	3 2.2	20 14.9	111 82.8	12 —
AIセンター会員	158 100.0	4 2.5	41 25.9	113 71.5	24 —
基礎資材産業	50 100.0	1 2.0	16 32.0	33 66.0	6 —
加工組立産業	52 100.0	1 1.9	21 40.4	30 57.7	10 —
生活関連産業	12 100.0	—	2 16.7	10 83.3	2 —
公共サービス関連	32 100.0	—	9 28.1	23 71.9	2 —
商業金融関連	28 100.0	—	—	28 100.0	—
教育公務関連	47 100.0	2 4.3	8 17.0	37 78.7	7 —
情報処理産業	69 100.0	3 4.3	5 7.2	61 88.4	7 —
その他	2 100.0	—	—	2 100.0	2 —

3-30 画像理解システムの導入状況（1989年）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	296 100.0	31 10.5	99 33.4	166 56.1	32 —
コンピュータユーザー	136 100.0	12 8.8	33 24.3	91 66.9	10 —
AIセンター会員	160 100.0	19 11.9	66 41.3	75 46.9	22 —
基礎資材産業	50 100.0	4 8.0	18 36.0	28 56.0	6 —
加工組立産業	53 100.0	7 13.2	21 39.6	25 47.2	— 9
生活関連産業	12 100.0	— —	3 25.0	9 75.0	2 —
公共サービス関連	31 100.0	4 12.9	12 38.7	15 48.4	3 —
商業金融関連	28 100.0	2 7.1	7 25.0	19 67.9	— —
教育公務関連	49 100.0	8 16.3	15 30.6	26 53.1	5 —
情報処理産業	71 100.0	6 8.5	23 32.4	42 59.2	5 —
その他	2 100.0	— —	— —	2 100.0	2 —

3-31 画像理解システムの累積投資額（1989年）

	回答事業所数	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
合計	29 100.0	3 10.3	7 24.1	5 17.2	3 10.3	1 3.4	3 10.3	4 13.8	3 10.3	— —	— —	— —	2 —
コンピュータユーザー	12 100.0	2 16.7	4 33.3	1 8.3	2 16.7	— —	1 8.3	1 8.3	1 8.3	— —	— —	— —	— —
AIセンター会員	17 100.0	1 5.9	3 17.6	4 23.5	1 5.9	1 5.9	2 11.8	3 17.6	2 11.8	— —	— —	— —	2 —
基礎資材産業	4 100.0	— —	— —	1 25.0	2 50.0	— —	— —	— —	1 25.0	— —	— —	— —	— —
加工組立産業	6 100.0	— —	— —	1 16.7	1 16.7	1 16.7	1 16.7	1 16.7	1 16.7	— —	— —	— —	1 —
生活関連産業	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
公共サービス関連	3 100.0	— —	2 66.7	— —	— —	— —	1 33.3	— —	— —	— —	— —	— —	1 —
商業金融関連	2 100.0	— —	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
教育公務関連	8 100.0	2 25.0	2 25.0	2 25.0	— —	— —	1 12.5	— —	1 12.5	— —	— —	— —	— —
情報処理産業	6 100.0	1 16.7	2 33.3	— —	— —	— —	— —	3 50.0	— —	— —	— —	— —	— —
その他	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

3-32 音声理解システムの導入状況（1989年）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	291 100.0	9 3.1	79 27.1	203 69.8	37 —
コンピュータユーザー	133 100.0	1 0.8	22 16.5	110 82.7	13 —
AIセンター会員	158 100.0	8 5.1	57 36.1	93 58.9	24 —
基礎資材産業	51 100.0	2 3.9	17 33.3	32 62.7	5 —
加工組立産業	51 100.0	3 5.9	18 35.3	30 58.8	11 —
生活関連産業	12 100.0	— —	2 16.6	10 83.3	2 —
公共サービス関連	30 100.0	— —	11 36.7	19 63.3	4 —
商業金融関連	28 100.0	1 3.6	5 17.9	22 78.6	— —
教育公務関連	46 100.0	1 2.2	10 21.7	35 76.1	8 —
情報処理産業	71 100.0	2 2.8	16 22.5	53 74.6	5 —
その他	2 100.0	— —	— —	2 100.0	2 —

3-33 音声理解システムの累積投資額（1989年）

	回答事業所数	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
合計	9 100.0	1 11.1	1 11.1	2 22.2	1 11.1	1 11.1	— —	1 11.1	2 22.2	— —	— —	— —	— —
コンピュータユーザー	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
AIセンター会員	8 100.0	1 12.5	1 12.5	1 12.5	1 12.5	1 12.5	— —	1 12.5	2 25.0	— —	— —	— —	— —
基礎資材産業	2 100.0	— —	1 50.0	1 50.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
加工組立産業	3 100.0	— —	— —	1 33.3	— —	1 33.3	— —	1 33.3	— —	— —	— —	— —	— —
生活関連産業	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
公共サービス関連	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
商業金融関連	1 100.0	— —	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
教育公務関連	1 100.0	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
情報処理産業	2 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	2 100.0	— —	— —	— —	— —
その他	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

3-34 自然言語理解システムの導入状況（1989年）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	293 100.0	12 4.1	78 26.6	203 69.3	35
コンピュータユーザー	133 100.0	2 1.5	19 14.3	112 84.2	13
AIセンター会員	160 100.0	10 6.3	59 36.9	91 56.9	22
基礎資材産業	51 100.0	1 2.0	10 19.6	40 78.4	5
加工組立産業	53 100.0	1 1.9	18 34.0	34 64.2	9
生活関連産業	12 100.0	— —	1 8.3	11 91.7	2
公共サービス関連	30 100.0	— —	7 23.3	23 76.7	4
商業金融関連	28 100.0	— —	8 28.6	20 71.4	—
教育公務関連	46 100.0	4 8.7	10 21.7	32 69.6	8
情報処理産業	71 100.0	6 8.5	24 33.8	41 57.7	5
その他	2 100.0	— —	— —	2 100.0	2

3-35 自然言語理解システムの累積投資額（1989年）

	回答事業所数	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
合計	10 100.0	4 40.0	— —	— —	2 20.0	2 20.0	2 20.0	— —	— —	— —	— —	— —	2
コンピュータユーザー	1 100.0	— —	— —	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1
AIセンター会員	9 100.0	4 44.4	— —	— —	2 22.2	1 11.1	2 22.2	— —	— —	— —	— —	— —	1
基礎資材産業	1 100.0	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	—
加工組立産業	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	—
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	3 100.0	2 66.7	— —	— —	1 33.3	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1
情報処理産業	5 100.0	1 20.0	— —	— —	1 20.0	2 40.0	1 20.0	— —	— —	— —	— —	— —	1
その他	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	—

3-36 その他のAIシステムの導入状況（1989年）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	297 100.0	23 7.7	128 43.1	146 49.2	31 —
コンピュータユーザー	134 100.0	6 4.5	40 29.9	88 65.7	12 —
AIセンター会員	163 100.0	17 10.4	88 54.0	58 35.6	19 —
基礎資材産業	51 100.0	3 5.9	17 33.3	31 60.8	5 —
加工組立産業	54 100.0	6 11.1	26 48.1	22 40.7	8 —
生活関連産業	12 100.0	— —	3 25	9 75	2 —
公共サービス関連	31 100.0	— —	16 51.6	15 48.4	3 —
商業金融関連	28 100.0	1 3.6	9 32.1	18 64.3	— —
教育公務関連	49 100.0	6 12.2	17 34.7	26 53.1	5 —
情報処理産業	69 100.0	7 10.1	39 56.5	23 33.3	7 —
その他	3 100.0	— —	1 33.3	2 66.6	1 —

3-37 エキスパートシステム試験使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	163 49.7	36 11.0	44 13.4	27 8.2	6 1.8	7 2.1	45 13.7
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	59 40.4	18 12.3	17 11.6	14 9.6	6 4.1	5 3.4	27 18.5
AIセンター会員	182 100.0	104 57.1	18 9.9	27 14.8	13 7.1	— —	2 1.1	18 9.9
基礎資材産業	56 100.0	31 55.4	7 12.5	6 10.7	5 8.9	1 1.8	1 1.8	5 8.9
加工組立産業	62 100.0	35 56.5	6 9.7	12 19.4	2 3.2	— —	1 1.6	6 9.7
生活関連産業	14 100.0	9 64.3	1 7.1	3 21.4	— —	— —	— —	1 7.1
公共サービス産業	34 100.0	19 55.9	6 17.6	2 5.9	3 8.8	1 2.9	1 2.9	2 5.9
商業金融関連	28 100.0	18 64.3	3 10.7	— —	2 7.1	1 3.6	— —	4 14.3
教育公務関連	54 100.0	16 29.6	5 9.3	6 11.1	5 9.3	3 5.6	3 5.6	16 29.6
情報処理産業	76 100.0	33 43.4	8 10.5	15 19.7	10 13.2	— —	1 1.3	9 11.8
その他	4 100.0	2 50.0	— —	— —	— —	— —	— —	2 50.0

3-38 エキスパートシステム本格使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	82 25.0	39 11.9	69 21.0	49 14.9	30 9.1	13 4.0	46 14.0
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	24 16.4	20 13.7	25 17.1	23 15.8	16 11.0	8 5.5	30 20.5
AIセンター会員	182 100.0	58 31.9	19 10.4	44 24.2	26 14.3	14 7.7	5 2.7	16 8.8
基礎資材産業	56 100.0	17 30.4	8 14.3	11 19.6	8 14.3	6 10.7	1 1.8	5 8.9
加工組立産業	62 100.0	22 35.5	6 9.7	11 17.7	14 22.6	3 4.8	2 3.2	4 6.5
生活関連産業	13 100.0	3 21.4	4 28.6	4 28.6	2 14.3	— —	— —	1 7.1
公共サービス産業	34 100.0	7 20.6	2 5.9	12 35.3	4 11.8	5 14.7	1 2.9	3 8.8
商業金融関連	28 100.0	8 28.6	8 28.6	4 14.3	3 10.7	2 7.1	— —	3 10.7
教育公務関連	54 100.0	8 14.8	3 5.6	9 16.7	7 13.0	3 5.6	6 11.1	18 33.3
情報処理産業	76 100.0	17 22.4	8 10.5	17 22.4	10 13.2	11 14.5	3 3.9	10 13.2
その他	4 100.0	— —	— —	1 25.0	1 25.0	— —	— —	2 50.0

3-39 機械翻訳システム試験使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	33 10.1	15 4.6	54 16.5	53 16.2	31 9.5	40 12.2	102 31.1
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	11 7.5	7 4.8	19 13.0	22 15.1	17 11.6	19 13.0	51 34.9
AIセンター会員	182 100.0	22 12.1	8 4.4	35 19.2	31 17.0	14 7.7	21 11.5	51 28.0
基礎資材産業	56 100.0	6 10.7	2 3.6	10 17.9	13 23.2	7 12.5	5 8.9	13 23.2
加工組立産業	62 100.0	5 8.1	5 8.1	15 24.2	7 11.3	4 6.5	6 9.7	20 32.3
生活関連産業	14 100.0	— —	— —	4 28.6	3 21.4	— —	3 21.4	4 28.6
公共サービス産業	34 100.0	3 8.8	3 8.8	4 11.8	5 14.7	2 5.9	6 17.6	11 32.4
商業金融関連	28 100.0	1 3.6	1 3.6	3 10.7	4 14.3	5 17.9	6 21.4	8 28.6
教育公務関連	54 100.0	9 16.7	2 3.7	6 11.1	6 11.1	3 5.6	7 13.0	21 38.9
情報処理産業	76 100.0	9 11.8	2 2.6	11 14.5	15 19.7	10 13.2	7 9.2	22 28.9
その他	4 100.0	— —	— —	1 25.0	— —	— —	— —	3 75.0

3-40 機械翻訳システム本格使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	9 2.7	8 2.4	27 8.2	62 18.9	51 15.5	60 18.3	111 33.8
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	5 3.4	3 2.1	5 3.4	24 16.4	24 16.4	29 19.9	56 38.4
AIセンター会員	182 100.0	4 2.2	5 2.7	22 12.1	38 20.9	27 14.8	31 17.0	55 30.2
基礎資材産業	56 100.0	1 1.8	1 1.8	4 7.1	12 21.4	16 28.6	10 17.9	12 21.4
加工組立産業	62 100.0	2 3.2	3 4.8	6 9.7	14 22.6	9 14.5	8 12.9	20 32.3
生活関連産業	14 100.0	— —	— —	2 14.3	4 28.6	1 7.1	3 21.4	4 28.6
公共サービス産業	34 100.0	— —	— —	3 8.8	6 17.6	7 20.6	6 17.6	12 35.3
商業金融関連	28 100.0	1 3.6	— —	1 3.6	6 21.4	5 17.9	7 25.0	8 28.6
教育公務関連	54 100.0	3 5.6	3 5.6	4 7.4	6 11.1	3 5.6	10 18.5	25 46.3
情報処理産業	76 100.0	2 2.6	1 1.3	7 9.2	13 17.1	10 13.2	16 21.1	27 35.5
その他	4 100.0	— —	— —	— —	1 25.0	— —	— —	3 75.0

3-41 知能ロボット試験使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	7 2.1	7 2.1	39 11.9	42 12.8	40 12.2	66 20.1	127 38.7
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	3 2.1	2 1.4	17 11.6	17 11.6	16 11.0	32 21.9	59 40.4
AIセンター会員	182 100.0	4 2.2	5 2.7	22 12.1	25 13.7	24 13.2	34 18.7	68 37.4
基礎資材産業	56 100.0	1 1.8	— —	11 19.6	11 19.6	9 16.1	10 17.9	14 25.0
加工組立産業	62 100.0	2 3.2	4 6.5	12 19.4	9 14.5	8 12.9	5 8.1	22 35.5
生活関連産業	14 100.0	— —	— —	2 14.3	2 14.3	4 28.6	2 14.3	4 28.6
公共サービス産業	34 100.0	— —	2 5.9	7 20.6	3 8.8	4 11.8	5 14.7	13 38.2
商業金融関連	28 100.0	— —	1 3.6	— —	4 14.3	2 7.1	11 39.3	10 35.7
教育公務関連	54 100.0	1 1.9	— —	5 9.3	7 13.0	3 5.6	11 20.4	27 50.0
情報処理産業	76 100.0	3 3.9	— —	2 2.6	6 7.9	9 11.8	22 28.9	34 44.7
その他	4 100.0	— —	— —	— —	— —	1 25.0	— —	3 75.0

3-42 知能ロボット本格使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	4 1.2	— —	18 5.5	32 9.8	44 13.4	95 29.0	135 41.2
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	2 1.4	— —	7 4.8	16 11.0	18 12.3	41 28.1	62 42.5
AIセンター会員	182 100.0	2 1.1	— —	11 6.0	16 8.8	26 14.3	54 29.7	73 40.1
基礎資材産業	56 100.0	1 1.8	— —	— —	9 16.1	15 26.8	15 26.8	16 28.6
加工組立産業	62 100.0	— —	— —	9 14.5	10 16.1	9 14.5	13 21.0	21 33.9
生活関連産業	14 100.0	— —	— —	2 14.3	2 14.3	2 14.3	4 28.6	4 28.6
公共サービス産業	34 100.0	— —	— —	2 5.9	4 11.8	5 14.7	10 29.4	13 38.2
商業金融関連	28 100.0	— —	— —	1 3.6	2 7.1	3 10.7	12 42.9	10 35.7
教育公務関連	54 100.0	1 1.9	— —	3 5.6	3 5.6	6 11.1	12 22.2	29 53.7
情報処理産業	76 100.0	2 2.6	— —	1 1.3	2 2.6	4 5.3	28 36.8	39 51.3
その他	4 100	— —	— —	— —	— —	— —	1 25.0	3 75.0

3-43 自動プログラミングシステム試験使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	7 2.1	12 3.7	68 20.7	67 20.4	39 11.9	34 10.4	101 30.8
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	3 2.1	4 2.7	26 17.8	30 20.5	16 11.0	16 11.0	51 34.9
AIセンター会員	182 100.0	4 2.2	8 4.4	42 23.1	37 20.3	23 12.6	18 9.9	50 27.5
基礎資材産業	56 100.0	1 1.8	2 3.6	12 21.4	14 25.0	5 8.9	6 10.7	16 28.6
加工組立産業	62 100.0	—	5 8.1	14 22.6	14 22.6	9 14.5	3 4.8	17 27.4
生活関連産業	14 100.0	—	—	3 21.4	4 28.6	1 7.1	2 14.3	4 28.6
公共サービス産業	34 100.0	—	1 2.9	10 29.4	5 14.7	5 14.7	4 11.8	9 26.5
商業金融関連	28 100.0	—	—	8 28.6	7 25.0	2 7.1	3 10.7	8 28.6
教育公務関連	54 100.0	2 3.4	—	7 13.0	6 11.1	7 13.0	10 18.5	22 40.7
情報処理産業	76 100.0	4 5.3	3 3.9	14 18.4	17 22.4	9 11.8	6 7.9	23 30.3
その他	4 100.0	—	1 25.0	—	—	1 25.0	—	2 50.0

3-44 自動プログラミングシステム本格使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	4 1.2	5 1.5	21 6.4	64 19.5	69 21.0	58 17.7	107 32.6
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	—	2 1.4	9 6.2	29 19.9	31 21.2	22 15.1	53 36.3
AIセンター会員	182 100.0	4 2.2	3 1.6	12 6.6	35 19.2	38 20.9	36 19.8	54 29.7
基礎資材産業	56 100.0	1 1.8	1 1.8	2 3.6	12 21.4	15 26.8	9 16.1	16 28.6
加工組立産業	62 100.0	—	3 4.8	6 9.7	13 21.0	13 21.0	11 17.7	16 25.8
生活関連産業	14 100.0	—	—	—	4 28.6	2 14.3	3 21.4	5 35.7
公共サービス産業	34 100.0	—	—	1 2.9	7 20.6	10 29.4	6 17.6	10 29.4
商業金融関連	28 100.0	—	—	2 7.1	9 32.1	6 21.4	3 10.7	8 28.6
教育公務関連	54 100.0	1 1.9	—	2 3.7	3 5.6	10 18.5	13 24.1	25 46.3
情報処理産業	76 100.0	2 2.6	—	8 10.5	16 21.1	13 17.1	12 15.8	25 32.9
その他	4 100.0	—	1 25.0	—	—	—	1 25.0	2 50.0

3-45 画像理解システム試験使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	20 6.1	23 7.0	58 7.7	57 17.4	38 11.6	32 9.8	100 30.8
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	6 4.1	7 4.8	26 17.8	19 13.0	22 15.1	14 9.6	51 34.9
AIセンター会員	182 100.0	14 7.7	16 8.8	32 17.6	38 20.9	16 8.8	18 9.9	50 27.5
基礎資材産業	56 100.0	2 3.6	3 5.4	13 23.2	9 16.1	9 16.1	5 8.9	16 28.6
加工組立産業	62 100.0	7 11.3	4 6.5	12 19.4	12 19.4	8 12.9	2 3.2	17 27.4
生活関連産業	14 100.0	— —	2 14.3	2 14.3	2 14.3	4 28.6	1 7.1	4 28.6
公共サービス産業	34 100.0	3 8.8	5 14.7	7 20.6	3 8.8	5 14.7	3 8.3	9 26.5
商業金融関連	28 100.0	2 7.1	1 3.6	5 17.9	8 28.6	2 7.1	3 10.7	8 28.6
教育公務関連	54 100.0	3 5.6	3 5.6	6 11.1	9 16.7	4 7.4	8 14.8	22 40.7
情報処理産業	76 100.0	3 3.9	5 6.6	13 17.1	13 17.1	6 7.0	10 13.2	23 30.3
その他	4 100.0	— —	— —	— —	1 25.0	— —	— —	2 50.0

3-46 画像理解システム本格使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	10 3.0	8 2.4	38 11.6	49 14.9	59 18.0	58 17.7	106 32.3
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	5 3.4	3 2.1	11 7.5	19 13.0	28 19.2	27 18.5	53 36.3
AIセンター会員	182 100.0	5 2.7	5 2.7	27 14.8	30 16.5	31 17.0	31 17.0	53 29.1
基礎資材産業	56 100.0	3 5.4	— —	5 8.9	9 16.1	16 28.6	9 16.1	14 25.0
加工組立産業	62 100.0	2 3.2	3 4.8	12 19.4	11 17.7	11 17.7	7 11.3	16 25.8
生活関連産業	14 100.0	— —	— —	2 14.3	3 21.4	2 14.3	4 28.6	3 21.4
公共サービス産業	34 100.0	1 2.9	— —	6 17.6	7 20.6	5 14.7	5 14.7	10 29.4
商業金融関連	28 100.0	2 7.1	— —	2 7.1	8 28.6	5 17.9	4 14.3	7 25.0
教育公務関連	54 100.0	2 3.7	3 5.6	4 7.4	4 7.4	9 16.7	10 18.5	22 40.7
情報処理産業	76 100.0	— —	2 2.6	7 9.2	7 9.2	10 13.2	19 25.0	31 40.8
その他	4 100.0	— —	— —	— —	— —	1 25.0	— —	3 75.0

3-47 音声理解システム試験使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	4 1.2	11 3.4	55 16.8	56 17.1	46 14.0	43 13.1	113 34.5
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	— —	2 1.4	21 14.4	21 14.4	26 17.8	20 13.7	56 38.4
AIセンター会員	182 100.0	4 2.2	9 4.9	34 18.7	35 19.2	20 11.0	23 12.6	57 31.3
基礎資材産業	56 100.0	1 1.8	— —	11 19.6	11 19.6	11 19.6	7 12.5	15 26.8
加工組立産業	62 100.0	1 1.6	3 4.8	15 24.2	12 19.3	6 9.7	4 6.5	21 33.9
生活関連産業	14 100.0	— —	1 7.1	1 7.1	3 21.4	5 35.7	— —	4 28.6
公共サービス産業	34 100.0	— —	3 8.8	8 23.5	5 14.7	4 11.8	2 5.9	12 35.3
商業金融関連	28 100.0	1 3.6	— —	4 14.3	6 21.4	4 14.3	6 21.4	7 25.0
教育公務関連	54 100.0	— —	1 1.9	6 11.1	6 11.1	6 11.1	11 20.4	24 44.4
情報処理産業	76 100.0	1 1.3	3 3.9	10 13.2	12 15.8	10 13.2	13 17.1	27 35.5
その他	4 100.0	— —	— —	— —	1 25.0	— —	— —	3 75.0

3-48 音声理解システム本格使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	2 0.6	2 0.6	23 7.0	49 14.9	65 19.8	70 21.3	117 35.7
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	— —	1 0.7	6 4.1	16 11.0	34 23.3	32 21.9	57 39.0
AIセンター会員	182 100.0	2 1.1	1 0.5	17 9.3	33 18.1	31 17.0	38 20.9	60 33.0
基礎資材産業	56 100.0	1 1.8	— —	— —	10 17.9	18 32.1	12 21.4	15 26.8
加工組立産業	62 100.0	— —	1 1.6	9 14.5	12 19.4	11 17.7	8 12.9	21 33.9
生活関連産業	14 100.0	— —	— —	1 7.1	2 14.3	6 42.9	1 7.1	4 28.6
公共サービス産業	34 100.0	— —	— —	3 8.8	9 26.5	5 14.7	5 14.7	12 35.3
商業金融関連	28 100.0	— —	— —	2 7.1	6 21.4	5 17.9	8 28.6	7 25.0
教育公務関連	54 100.0	— —	1 1.9	2 3.7	3 5.6	9 16.7	14 25.9	25 46.3
情報処理産業	76 100.0	1 1.3	— —	6 7.9	7 9.2	10 13.2	22 28.9	30 39.5
その他	4 100.0	— —	— —	— —	— —	1 25.0	— —	3 75.0

3-49 自然言語理解システム試験使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	8 2.4	6 1.8	49 14.9	46 14.0	55 16.8	49 14.9	115 35.1
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	—	—	16 11.0	16 11.0	33 22.6	22 15.1	59 40.4
AIセンター会員	182 100.0	8 4.4	6 3.3	33 18.1	30 16.5	22 12.1	27 14.8	56 30.8
基礎資材産業	56 100.0	1 1.8	1 1.8	4 7.1	9 16.1	18 32.1	8 14.3	15 26.8
加工組立産業	62 100.0	2 3.2	—	14 22.6	7 11.3	10 16.1	6 9.7	23 37.1
生活関連産業	14 100.0	—	—	2 14.3	—	4 28.6	4 28.6	4 28.6
公共サービス産業	34 100.0	—	1 2.9	4 11.8	6 17.6	5 14.7	5 14.7	13 38.2
商業金融関連	28 100.0	—	2 7.1	5 17.9	4 14.3	3 10.7	5 17.9	9 32.1
教育公務関連	54 100.0	2 3.7	—	6 11.1	5 9.3	9 16.7	9 16.7	23 42.6
情報処理産業	76 100.0	3 3.9	2 2.6	13 17.1	15 19.7	6 7.9	12 15.8	25 32.9
その他	4 100.0	—	—	1 25.0	—	—	—	3 75.0

3-50 自然言語理解システム本格使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	1 0.3	2 0.6	22 6.7	36 11.0	60 18.3	89 27.1	118 36.0
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	—	—	4 2.7	10 6.8	31 21.2	41 28.1	60 41.1
AIセンター会員	182 100.0	1 0.5	2 1.1	18 9.9	26 14.3	29 15.9	48 26.4	58 31.9
基礎資材産業	56 100.0	—	1 1.8	1 1.8	2 3.6	18 32.1	19 33.9	15 26.8
加工組立産業	62 100.0	1 1.6	—	7 11.3	7 11.3	10 16.1	15 24.2	22 35.5
生活関連産業	14 100.0	—	—	1 7.1	1 7.1	3 21.4	5 35.7	4 28.6
公共サービス産業	34 100.0	—	—	1 2.9	4 11.8	6 17.6	10 29.4	13 38.2
商業金融関連	28 100.0	—	—	4 14.3	5 17.9	3 10.7	8 28.6	8 28.6
教育公務関連	54 100.0	—	—	3 5.6	3 5.6	9 16.7	14 25.9	25 46.3
情報処理産業	76 100.0	—	1 1.3	5 6.6	13 17.1	11 14.5	18 23.7	28 36.8
その他	4 100.0	—	—	—	1 25.0	—	—	3 75.0

3-51 ファジィシステム試験使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	35 10.7	41 12.5	62 18.9	31 9.5	27 8.2	28 8.5	104 31.7
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	6 4.1	9 6.2	22 15.1	19 13.0	15 10.3	19 13.0	56 38.4
AIセンター会員	182 100.0	29 15.9	32 17.6	40 22.0	12 6.6	12 6.6	9 4.9	48 26.4
基礎資材産業	56 100.0	6 10.7	5 8.9	10 17.9	8 14.3	7 12.5	7 12.5	13 23.2
加工組立産業	62 100.0	11 17.7	7 11.3	13 21.0	3 4.8	4 6.5	3 4.8	21 33.9
生活関連産業	14 100.0	2 14.3	1 7.1	3 21.4	4 28.6	1 7.1	1 7.1	2 14.3
公共サービス産業	34 100.0	8 23.5	5 14.7	3 8.8	4 11.8	1 2.9	2 5.9	11 32.4
商業金融関連	28 100.0	2 7.1	4 14.3	8 28.6	2 7.1	2 7.1	5 17.9	5 17.9
教育公務関連	54 100.0	3 5.6	5 9.3	4 7.4	7 13.0	5 9.3	7 13.0	23 42.6
情報処理産業	76 100.0	3 3.9	14 18.4	20 26.8	3 3.9	7 9.2	3 3.9	26 34.2
その他	4 100.0	—	—	1 25.0	—	—	—	3 75.0

3-52 ファジィシステム本格使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	17 5.2	11 3.4	49 14.9	59 18.0	34 10.4	48 14.6	110 33.5
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	4 2.7	2 1.4	9 6.2	24 16.4	20 13.7	28 19.2	59 40.4
AIセンター会員	182 100.0	13 7.1	9 4.9	40 22.0	35 19.2	14 7.7	20 11.0	51 28.0
基礎資材産業	56 100.0	3 5.4	1 1.8	7 12.5	11 19.6	9 16.1	10 17.9	15 26.8
加工組立産業	62 100.0	6 9.7	5 8.1	9 14.5	15 24.2	3 4.8	5 8.1	19 30.6
生活関連産業	14 100.0	2 14.3	—	1 7.1	4 28.6	3 21.4	2 14.3	2 14.3
公共サービス産業	34 100.0	2 5.9	2 5.9	7 20.6	5 14.7	3 8.8	3 8.8	12 35.3
商業金融関連	28 100.0	2 7.1	1 3.6	6 21.4	7 25.0	1 3.6	7 25.0	4 14.3
教育公務関連	54 100.0	2 3.7	—	5 9.3	4 7.4	7 13.0	11 20.4	25 46.3
情報処理産業	76 100.0	—	2 2.6	14 18.4	12 15.8	8 10.5	10 13.2	30 39.5
その他	4 100.0	—	—	—	1 25.0	—	—	3 75.0

3-53 ニューロシステム試験使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	18 5.5	24 7.3	49 14.9	53 16.2	39 11.9	42 12.8	103 31.4
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	4 2.7	2 1.4	13 8.9	21 14.4	22 15.1	26 17.8	58 39.7
AIセンター会員	182 100.0	14 7.7	22 12.1	36 19.8	32 17.6	17 9.3	16 8.8	45 24.7
基礎資材産業	56 100.0	3 5.4	3 5.4	6 10.7	8 14.3	11 19.6	12 21.4	13 23.2
加工組立産業	62 100.0	6 9.7	5 8.1	14 22.6	11 17.7	5 8.1	4 6.5	17 27.4
生活関連産業	14 100.0	— —	1 7.1	— —	5 35.7	3 21.4	2 14.3	3 21.4
公共サービス産業	34 100.0	— —	5 14.7	3 8.8	8 23.5	2 5.9	3 8.8	13 38.2
商業金融関連	28 100.0	3 10.7	2 7.1	5 17.9	4 14.3	2 7.1	6 21.4	6 21.4
教育公務関連	54 100.0	4 7.4	4 7.4	4 7.5	3 5.6	9 16.7	7 13.0	23 42.6
情報処理産業	76 100.0	2 2.6	4 5.3	17 22.4	13 17.1	7 9.2	8 10.5	25 32.9
その他	4 100.0	— —	— —	— —	1 25.0	— —	— —	3 75.0

3-54 ニューロシステム本格使用開始時期（1989年）

	回答事業所数	現在使用中	1年以内	3年以内	5年以内	10年以内	10年以上後	無回答
合計	328 100.0	5 1.5	5 1.5	34 10.4	47 14.3	51 15.5	75 22.9	111 33.8
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	1 0.7	3 2.1	2 1.4	16 11.0	23 15.8	40 27.4	61 41.8
AIセンター会員	182 100.0	4 2.2	2 1.1	32 17.6	31 17.0	28 15.4	35 19.2	50 27.5
基礎資材産業	56 100.0	1 1.8	— —	4 7.1	7 12.5	11 9.6	18 32.1	15 26.8
加工組立産業	62 100.0	1 1.6	3 4.8	7 11.3	17 27.4	10 16.1	7 11.3	17 27.4
生活関連産業	14 100.0	— —	— —	1 7.1	1 7.1	4 28.6	5 35.7	3 21.4
公共サービス産業	34 100.0	— —	— —	4 11.8	2 5.9	8 23.5	6 17.6	14 41.2
商業金融関連	28 100.0	— —	2 7.1	5 17.9	5 17.9	2 7.1	8 28.6	6 21.4
教育公務関連	54 100.0	2 3.7	— —	5 9.3	4 7.4	5 9.3	13 24.1	25 46.3
情報処理産業	76 100.0	1 1.3	— —	8 10.5	11 14.5	10 13.2	18 23.7	28 36.8
その他	4 100.0	— —	— —	— —	— —	1 25.0	— —	3 75.0

3-55 エキスパートシステム 5 年後の普及度 (1989年)

	回答事業所数	かなり普及する程度	やや普及する	どちらでもない	ほとんど普及しない	全く普及しない	無回答
合計	328 100.0	153 46.6	94 28.7	33 10.1	12 3.7	3 0.9	33 10.1
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	53 36.3	42 28.8	19 13.0	9 6.2	1 0.7	22 15.1
AIセンター会員	182 100.0	100 54.9	52 28.6	14 7.7	3 1.6	2 1.1	11 6.0
基礎資材産業	56 100.0	27 48.2	16 28.6	8 14.3	— —	1 1.8	4 7.1
加工組立産業	62 100.0	35 56.5	15 24.2	4 6.5	1 1.6	1 1.6	6 9.7
生活関連産業	14 100.0	7 50.0	4 28.6	1 7.1	1 7.1	— —	1 7.1
公共サービス産業	34 100.0	13 38.2	12 35.3	3 8.8	3 8.8	— —	3 8.8
商業金融関連	28 100.0	16 57.1	6 21.4	3 10.7	1 3.6	— —	2 7.1
教育公務関連	54 100.0	16 29.6	19 35.2	5 9.3	3 5.6	— —	11 20.4
情報処理産業	76 100.0	38 50.0	21 27.6	9 11.8	3 3.9	1 1.3	4 5.3
その他	4 100.0	1 25.0	1 25.0	— —	— —	— —	2 50.0

3-56 機械翻訳システム 5 年後の普及度 (1989年)

	回答事業所数	かなり普及する程度	やや普及する	どちらでもない	ほとんど普及しない	全く普及しない	無回答
合計	328 100.0	52 15.9	91 27.7	53 16.2	30 9.1	19 5.8	83 25.3
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	19 13.0	32 21.9	21 14.4	21 14.4	10 6.8	43 29.5
AIセンター会員	182 100.0	33 18.1	59 32.4	32 17.6	9 4.9	9 4.9	40 22.0
基礎資材産業	56 100.0	4 7.1	17 30.4	12 21.4	8 14.3	4 7.1	11 19.6
加工組立産業	62 100.0	11 17.7	19 30.6	8 12.9	4 6.5	2 3.2	18 29.0
生活関連産業	14 100.0	1 7.1	4 28.6	1 7.1	3 21.4	2 14.3	3 21.4
公共サービス産業	34 100.0	4 11.8	9 26.5	5 14.7	4 11.8	2 5.9	10 29.4
商業金融関連	28 100.0	5 17.9	7 25.0	4 14.3	4 14.3	3 10.7	5 17.9
教育公務関連	54 100.0	11 20.4	11 20.4	5 9.3	4 7.4	4 7.4	19 35.2
情報処理産業	76 100.0	15 19.7	24 31.6	18 23.7	3 3.9	2 2.6	14 18.4
その他	4 100.0	1 25.0	— —	— —	— —	— —	3 75.0

3-57 知能ロボット5年後の普及度（1989年）

	回答事業所数	かなり普及する程度	やや普及する	どちらでもない	ほとんど普及しない	全く普及しない	無回答
合計	328 100.0	35 10.7	57 17.4	63 19.2	39 11.9	33 10.1	101 30.8
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	16 11.0	22 15.1	20 13.7	21 14.4	21 14.4	46 31.5
AIセンター会員	182 100.0	19 10.4	35 19.2	43 23.6	18 9.9	12 6.6	55 30.2
基礎資材産業	56 100.0	7 12.5	8 14.3	15 26.8	6 10.7	6 10.7	14 25.0
加工組立産業	62 100.0	11 17.7	14 22.6	14 22.6	2 3.2	2 3.2	19 30.6
生活関連産業	14 100.0	3 21.4	4 28.6	2 14.3	—	2 14.3	3 21.4
公共サービス産業	34 100.0	3 8.8	6 17.6	5 14.7	8 23.5	2 5.9	10 29.4
商業金融関連	28 100.0	1 3.6	4 14.3	5 17.9	2 7.1	10 35.7	6 21.4
教育公務関連	54 100.0	2 3.7	10 18.5	6 11.1	11 20.4	3 5.6	22 40.7
情報処理産業	76 100.0	8 10.5	11 14.5	15 19.7	10 13.2	8 10.5	24 31.6
その他	4 100.0	—	—	1 25.0	—	—	3 75.0

3-58 自動プログラミングシステム5年後の普及度（1989年）

	回答事業所数	かなり普及する程度	やや普及する	どちらでもない	ほとんど普及しない	全く普及しない	無回答
合計	328 100.0	4 14.6	70 21.3	78 23.8	31 9.5	16 4.9	85 25.9
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	21 14.4	29 19.9	30 20.5	14 9.6	9 6.2	43 29.5
AIセンター会員	182 100.0	27 14.8	41 22.5	48 26.4	17 9.3	7 3.8	42 23.1
基礎資材産業	56 100.0	5 8.9	12 21.4	16 28.6	4 7.1	4 7.1	15 26.8
加工組立産業	62 100.0	11 17.7	14 22.6	15 24.4	4 6.5	3 4.8	15 24.2
生活関連産業	14 100.0	1 7.1	2 14.3	4 28.6	3 21.4	1 7.1	3 21.4
公共サービス産業	34 100.0	2 5.9	11 32.4	9 26.5	2 5.9	2 5.9	8 23.5
商業金融関連	28 100.0	7 25.0	7 25.0	7 25.0	1 3.6	1 3.6	5 17.9
教育公務関連	54 100.0	4 7.4	7 13.0	10 18.5	10 18.5	2 3.7	21 38.9
情報処理産業	76 100.0	17 22.4	17 22.4	16 21.1	7 9.2	3 3.9	16 21.1
その他	4 100.0	1 25.0	—	1 25.0	—	—	2 50.0

3-59 画像理解システム5年後の普及度（1989年）

	回答事業所数	普及する かなりの程度	やや普及する	どちらでもない	普及しない ほとんど	全く普及しない	無回答
合計	328 100.0	55 16.8	88 26.8	62 18.9	31 9.5	16 4.9	76 23.2
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	24 16.4	27 18.5	24 16.4	23 15.8	9 6.2	39 26.7
AIセンター会員	182 100.0	31 17.0	61 33.5	38 20.9	8 4.4	7 3.8	37 20.3
基礎資材産業	56 100.0	12 21.4	8 14.3	9 16.1	10 17.9	4 7.1	13 23.2
加工組立産業	62 100.0	12 19.4	22 35.5	9 14.5	3 4.8	1 1.6	15 24.2
生活関連産業	14 100.0	1 7.1	6 42.9	3 21.4	2 14.3	1 7.1	1 7.1
公共サービス産業	34 100.0	7 20.6	10 29.4	6 17.6	3 8.8	1 2.9	7 20.6
商業金融関連	28 100.0	6 21.4	3 10.7	6 21.4	6 21.4	3 10.7	4 14.3
教育公務関連	54 100.0	7 13.0	14 25.9	11 20.4	4 7.4	—	18 33.3
情報処理産業	76 100.0	10 13.2	24 31.6	18 23.7	3 3.9	6 7.9	15 19.7
その他	4 100.0	—	1 25.0	—	—	—	3 75.0

3-60 音声理解システム5年後の普及度（1989年）

	回答事業所数	普及する かなりの程度	やや普及する	どちらでもない	普及しない ほとんど	全く普及しない	無回答
合計	328 100.0	34 10.4	72 22.0	75 22.9	43 13.1	17 5.2	87 26.5
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	14 9.6	23 15.8	32 21.9	26 17.8	9 6.2	42 28.8
AIセンター会員	182 100.0	20 11.0	49 26.9	43 23.6	17 9.3	8 4.4	45 24.7
基礎資材産業	56 100.0	5 8.9	8 14.3	13 23.2	12 21.4	4 7.1	14 25.0
加工組立産業	62 100.0	9 14.5	17 27.4	14 22.6	4 6.5	2 3.2	16 25.8
生活関連産業	14 100.0	1 7.1	6 42.6	3 21.4	1 7.1	1 7.1	2 14.3
公共サービス産業	34 100.0	5 14.7	9 26.5	6 17.6	3 8.8	1 2.9	10 29.4
商業金融関連	28 100.0	2 7.1	4 14.3	8 28.6	6 21.4	3 10.7	5 17.9
教育公務関連	54 100.0	5 9.3	10 18.5	11 20.4	6 11.1	3 5.6	19 35.2
情報処理産業	76 100.0	7 9.2	17 22.4	20 26.3	11 14.5	3 3.9	18 23.7
その他	4 100.0	—	1 25.0	—	—	—	3 75.0

3-61 自然言語理解システム5年後の普及度（1989年）

	回答事業所数	普及する かなりの程度	やや普及する	どちらでもない	普及しない ほとんど	全く普及しない	無回答
合計	328 100.0	26 7.9	60 18.3	79 24.1	50 15.2	25 7.6	88 26.8
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	6 4.1	22 15.1	34 23.3	25 17.1	15 10.3	44 30.1
AIセンター会員	182 100.0	20 11.0	38 20.9	45 24.7	25 13.7	10 5.5	44 24.2
基礎資材産業	56 100.0	1 1.8	7 12.5	16 28.6	13 23.2	5 8.9	14 25.0
加工組立産業	62 100.0	9 14.5	14 22.6	12 19.4	8 12.9	2 3.2	17 27.4
生活関連産業	14 100.0	1 7.1	—	5 35.7	1 7.1	4 28.6	3 21.4
公共サービス産業	34 100.0	—	6 17.6	10 29.4	5 14.7	3 8.8	10 29.4
商業金融関連	28 100.0	3 10.7	4 14.3	7 25.0	5 17.9	4 14.3	5 17.9
教育公務関連	54 100.0	4 7.4	10 18.5	12 22.2	6 11.1	3 5.6	19 35.2
情報処理産業	76 100.0	8 10.5	18 23.7	17 22.4	12 15.8	4 5.3	17 22.4
その他	4 100.0	—	1 25.0	—	—	—	3 75.0

3-62 ファジィシステム5年後の普及度（1989年）

	回答事業所数	普及する かなりの程度	やや普及する	どちらでもない	普及しない ほとんど	全く普及しない	無回答
合計	328 100.0	79 24.1	75 22.9	57 17.4	18 5.5	11 3.4	88 26.8
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	16 11.0	33 22.6	30 20.5	11 7.5	8 5.5	48 32.9
AIセンター会員	182 100.0	63 34.6	42 23.1	27 14.8	7 3.8	3 1.6	40 22.0
基礎資材産業	56 100.0	8 14.3	14 25.0	13 23.2	5 8.9	3 5.4	13 23.2
加工組立産業	62 100.0	18 29.0	16 25.8	9 14.5	2 3.2	1 1.6	16 25.8
生活関連産業	14 100.0	3 21.4	5 35.7	3 21.4	1 7.1	1 7.1	1 7.1
公共サービス産業	34 100.0	11 32.4	8 23.5	3 8.8	1 2.9	1 2.9	10 29.4
商業金融関連	28 100.0	8 28.6	6 21.4	6 21.4	2 7.1	2 7.1	4 14.3
教育公務関連	54 100.0	7 13.0	8 14.8	13 24.1	3 5.6	2 3.7	21 38.9
情報処理産業	76 100.0	24 31.6	18 23.7	9 11.8	4 5.3	1 1.3	20 26.3
その他	4 100.0	—	—	1 25.0	—	—	3 75.0

3-63 ニューロシステム5年後の普及度（1989年）

	回答事業所数	かなり普及する程度	やや普及する	どちらでもない	ほとんど普及しない	全く普及しない	無回答
合計	328 100.0	36 11.0	79 24.1	78 23.8	32 9.8	17 5.2	86 26.2
コンピュータ・ユーザー	146 100.0	8 5.5	30 20.5	33 22.6	13 8.9	13 8.9	49 33.6
AIセンター会員	182 100.0	28 15.4	49 26.9	45 24.7	19 10.4	4 2.2	37 20.3
基礎資材産業	56 100.0	2 3.6	10 17.9	17 30.4	8 14.3	6 10.7	13 23.2
加工組立産業	62 100.0	11 17.7	15 24.2	15 24.2	5 8.1	— —	16 25.8
生活関連産業	14 100.0	— —	5 35.7	3 21.4	4 28.6	1 7.1	1 7.1
公共サービス産業	34 100.0	3 8.8	9 26.5	7 20.6	2 5.9	2 5.9	11 32.4
商業金融関連	28 100.0	6 21.4	7 25.0	7 25.0	2 7.1	2 7.1	4 14.3
教育公務関連	54 100.0	6 11.1	9 16.7	12 22.2	4 7.4	3 5.6	20 37.0
情報処理産業	76 100.0	8 10.5	24 31.6	16 21.1	7 9.2	3 3.9	18 23.7
その他	4 100.0	— —	— —	1 25.0	— —	— —	3 75.0

ICOT-JIPDEC AIセンター概要

はじめに 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（青井舒一理事長、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なうことにより、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 03-3432-9390

FAX 03-3431-4324

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 03-3456-3195

FAX 03-3456-1618

AI白書1991 **定価5,500円**（本体価格5,340円）1991年3月20日 第1刷発行

監 修 通商産業省機械情報産業局電子政策課

編 集 ICOT-JIPDEC AIセンター

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3-5-8 機械振興会館内

電話 (03) 3432-9390

不 許 複 製

発売所 **株式会社 コンピュータ・エージ社**

〒100 東京都千代田区霞が関3-2-5 霞が関ビル30階

電話 (03) 3581-5201 ファックス (03) 3593-1860

万一乱丁・落丁がございましたら、お買い求め書店または発売所にてお取り替えいたします。

ISBN4-87566-100-2

C2060

P5500E

通商産業省機械情報産業局電子政策課.....◆ 監修

◆ ICOT-JIPDEC AIセンター.....◆ 編

財団法人日本情報処理開発協会.....◆ 発行

発売所

CA コンピュータ・エージ社

定価＝5500円（本体5340円）

ISBN4-87566-100-2 C2060 P5500E

