

平成元年度

人工知能の技術と市場の動向に関する
調査研究報告書

平成2年3月



財団法人 日本情報処理開発協会

この報告書は、日本自転車振興会から競輪収益の一部である
機械工業振興資金の補助を受けて平成元年度に実施した「人工
知能の技術と市場の動向に関する調査研究」の成果の一部をま
とめたものであります。

はじめに

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

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

一方、米国においては、永年のAI技術の研究成果を製品化し販売するAI産業が誕生し、この影響を受けて、わが国でもAI関連のビジネスを行う企業が約100社に達しております。また現在、多様な産業分野において、AI技術を応用した知識情報システムやエキスパートシステムの導入が、すすめられており、AIユーザーは今回の調査対象の2割以上を占めるまでになっております。

このような動向の中で、当協会は、第五世代コンピュータの研究開発を実施している財団法人新世代コンピュータ技術開発機構（通称ICOT）と共同で、昭和61年4月に通商産業省のご指導のもとに「ICOT-JIPDEC AIセンター」を発足させました。同AIセンターは、AI技術の普及振興事業をおこ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）」がとりまとめた10年後（1995年）のAI需要予測を発表しました。その後、このAIビジョンに対する実情の動向を追跡調査することは極めて重要であるとの認識のもとに、継続調査として、「人工知能の技術と市場の動向に関する調査研究」を実施いたしました。

本調査研究報告書は、その成果をまとめたものであり、広くAIに関心を有する方々に利用され、情報処理の高度化を通じて高度情報社会の発展に資するものであります。

最後に、本調査研究に当たって、ご協力いただいた委員はじめ関係各位に感謝の意を表する次第であります。

平成2年3月

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ー応用システム担当部長
〃	美濃 順亮	花王(株)知識・情報科学研究所所長
〃	山本 欣子	(財)日本情報処理開発協会常務理事
オブザーバ	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	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	富士通(株)国際情報社会科学研究所第2研究部第2研究室室長
〃	寺野 隆雄	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
〃	岩下 安男	エヌ・ティ・ティ・データ通信(株)開発本部 社会システム開発センター応用システム担当部長
〃	藤田 昌弘	(財)関西情報センターシステム部長
〃	美濃 順亮	花王(株)知識・情報科学研究所所長
〃	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	(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ー応用システム担当部長
委 員	江原 淳	専修大学商学部助教授
〃	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・図形科学教室講師
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

目 次

はじめに

第I編 総論

第1部 人工知能（AI）のトレンド	1
第1章 はじめに	1
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うるか？	6
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	11
第1章 AI利用の現状と展望	11
第2章 AI技術の現状と展望	14

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	22
第1章 AI利用の現状	22
1.1 AI導入の状況	22
1.2 就業者規模別AI利用状況	25
1.3 産業別AI利用状況	27
1.4 AIの利用レベル	29
1.5 AIシステムとその適用業務	31
1.6 AI利用企業経営層の意識	35
第2章 個別AIシステムの利用状況	39
2.1 AI利用概況	39
2.2 開発運用環境	41
2.2.1 AI向き言語・ツールの利用状況	41
2.3 エキスパートシステム（ES）	44
2.3.1 ESの利用状況	44
2.3.2 適用業務と対象領域	45
2.3.3 開発目的と期待効果	46
2.3.4 システム規模	47
2.3.5 使用ツールおよび言語	50
2.3.6 使用マシン	52
2.3.7 実稼働システムの評価	53
2.3.8 知識獲得の方法	53
2.3.9 開発体制	53
2.3.10 外部機関の利用	54
2.3.11 導入・実用化の問題点	54
2.3.12 問題点および今後の見通し	55
2.4 機械翻訳システム	56
2.4.1 利用概況	56
2.4.2 利用分野	56

2.4.3	問題点と今後の見通し	56
2.5	知能ロボット	57
2.5.1	利用概況	57
2.5.2	利用分野	58
2.5.3	問題点と今後の見通し	58
2.6	画像理解システム	59
2.6.1	利用概況	59
2.6.2	利用分野	60
2.6.3	利用マシンおよび利用状況	60
2.6.4	問題点および今後の見通し	60
2.7	音声理解システム	61
2.7.1	利用概況	61
2.7.2	利用分野	62
2.7.3	使用マシンおよび利用状況	62
2.7.4	問題点と今後の見通し	62
2.8	自然言語理解システム	63
2.8.1	利用概況	63
2.8.2	利用分野	63
2.8.3	使用マシンおよび利用状況	64
2.8.4	問題点と今後の見通し	64
2.9	その他のAIシステム	64
2.9.1	利用概況	64
2.9.2	利用分野	65
2.9.3	使用マシンおよび利用状況	65
2.9.4	問題点と今後の見通し	65
2.10	AIシステムの今後	66
第2部	AIシステムのニーズ	68
第1章	未導入企業のAIへの意識	68
1.1	未導入の背景	68
1.2	今後の導入計画	68
1.3	導入期待分野	69
第2章	AIシステムの市場規模推定	71
2.1	AI市場の現状	71
2.2	AIシステムの市場予測	73
2.3	開発要員の伸び	73
2.4	今後のAIの広がり	75
第3部	産業界のAI利用	
第1章	概観	77
第2章	プラントエンジニアリング業界におけるAI利用	77
2.1	プラントエンジニアリング業界の特徴	77
2.2	適用分野	78
2.3	将来の展望と課題	80
2.4	AIシステム事例	81
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	81
2.4.2	手書き図面自動入力システム (ARES)	86
第3章	金融業界におけるAI利用	90

3.1	金融業界の特徴	90
3.2	適用分野	91
3.3	将来の展望と課題	93
3.4	AIシステム事例	95
3.4.1	AIによる個人総合相談サービス	95
3.4.2	工場防災診断エキスパートシステム	102
第4章	電力業界におけるAI利用	104
4.1	電力業務の特色とAIの必要性	104
4.1.1	電力業務の特色	104
4.1.2	電力におけるAIの必要性	105
4.2	適用分野	106
4.3	AIシステム事例	107
4.3.1	変電所レイアウト設計支援システム	107
4.3.2	最大需要予測支援システム	108
4.3.3	火力発電プラント起動時運転支援システム	109
4.3.4	送電線故障区間標定エキスパートシステム	109
4.3.5	基幹系統事故復旧支援システム	110
4.3.6	機器保守教育支援システム	110
4.3.7	お客様相談システム	111
4.4	将来の展望と課題	111
第5章	宇宙開発におけるAI応用	114

第III編 AI技術の動向

第1部	AI技術全体の動き	123
第1章	AI技術の全体象	123
1.1	知能	123
1.2	基礎科学	125
1.3	AI基礎分野	125
1.4	AI工学分野	126
1.5	対象分野	126
1.6	AI応用	126
第2章	学習	127
2.1	学習研究のパラダイム	127
2.2	シンボリズムとコネクショニズム	129
2.3	演繹・帰納・発想	130
2.4	将来の動向	131
第3章	協調型活動支援機能 (CSCW)	136
3.1	はじめに	136
3.2	CSCW/グループウェア	137
3.3	CSCW技術の概要	139
3.3.1	システム・モデル	139
3.3.2	実現化技術	140
3.4	グループウェアの現状	142
3.4.1	概況	142
3.4.2	具体例	144
3.5	補足	144

第4章	AIシステム化技術	147
4.1	はじめに	147
4.2	AIシステム化技術の全体像	147
4.3	AIツールの発展	149
4.4	開発方法論の発展	153
4.5	システム統合化・高機能化の動向	156
4.6	おわりに	158
第2部	ハイライト技術—知的CAD—	162
第1章	設計活動の理論化と自動化への道	162
1.1	はじめに	162
1.2	設計活動の特徴	163
1.3	実用的CADの開発	163
1.4	設計活動の理論化	164
1.5	CAD実装手法としてのAI	165
1.6	知的CADと関連技術	167
第2章	設計システムとAI技術	167
2.1	設計活動の形態	167
2.2	問題解決（探索・推論）	170
2.3	知識表現I—設計知識	173
2.4	知識表現I—設計対象データベース	174
2.5	知識獲得	175
2.6	システム開発	175
2.7	ユーザ・インタフェース	176
第3章	設計エキスパートシステムの例	177
3.1	定型設計エキスパート	178
3.2	設計計算の自動化	178
3.3	設計対象モデル	180
3.4	幾何推論	181
3.5	定性推論	186
3.6	アナログLSI自動レイアウトシステムLADIES	188
3.6.1	概要	188
3.6.2	システム構成	190
3.6.3	レイアウト制約	190
3.6.4	レイアウト制約導出	190
3.6.5	制約考慮配置方式	193
3.6.6	配線	194
3.6.7	改善処理方式	194
3.6.8	評価結果	196
第4章	今後の発展の方向	198
第IV編	環境・基盤整備状況	
第1部	標準化	203
第1章	AI言語	203
1.1	Common Lispの動向とLispの標準化	203
1.2	PROLOGの標準化	214
第2部	人材育成（カリキュラム試案）	220

第1章 知識技術者(KE)の育成指針	220
第2章 KEの役割	220
2.1 ESの構築作業	220
2.2 KEの業務と資格	222
第3章 KEの専門知識	222
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	233
第2章 第五世代コンピュータ・プロジェクト	233
2.1 第五世代コンピュータ	233
2.2 プロジェクトの概要	234
2.3 プロトタイプ・システムの概要	234
2.4 国際研究交流	234
第3章 電子化辞書プロジェクト	237
3.1 電子化辞書	237
3.2 プロジェクトの概要と現状	237
第4章 高機能化AIシステム記述用言語プロジェクト	239
4.1 高機能化AIシステム記述用言語Common ESP	239
4.2 プロジェクト概要	239
4.3 試験研究の現状	240
第5章 ファジィ理論の工学的応用プロジェクト	242
第6章 新情報処理技術に関する総合的な調査研究	242
第5章 AIの普及啓蒙活動	243
第V編 海外の動向	247
第1部 米国	247
第1章 概要	247
第2章 AI関連プロジェクト	248
2.1 NSF	248
2.2 MCC	250
2.3 NASA	255
2.4 DARPA	264
第2部 欧州	270
第1章 概要	270
第2章 イギリス	270
第3章 フランス	272
第4章 西独	273
第5章 欧州共同体	274
資料編	
1. コンピュータの高度利用に関する調査票（第1次調査）	279
2. 人工知能（AI）の利用に関する調査票（第2次調査）	284

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現れている。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、いつかは新らしさを失っていく。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新技術であり得るかを知ることでもある。我々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言える。我々はAIの技術が近代技術全体の中での一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付けられること、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付けられ、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挙げてみよう。大きなもののみに限定しても、

- (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

などを挙げることができる。

ハードウェアの進歩についてはここで改めて言うまでもない。メモリ価格に付いて見ると、この20年ほどの間に10のマイナス4乗程度に下落し、処理速度に付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、大卒者の初任給と比較すると4-6倍程度に上昇している。このことは二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成ったこと、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出来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成り、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、そのための様々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A Iを挙げる研究者、実務家が最も多いことは、最近の世界の情勢を見ても明かである。

しかしこのような要求に応えるためには、A Iが新しい汎用システムであることが必要である。現実に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、C A D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、望まれるのは、現行の汎用コンピュータシステムに代わ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掛けている。現代においては様々な分野の技術が高度化し、その相乗効果によってきわ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。このような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A I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答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なく、法律、経済、社会等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されている。

そして最後にA I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、小規模とは言え、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あってよい。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、そのブレークスルーが可能であるという見通しがたった。今日我々が為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、A Iは単なる流行の技術では無い。A I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言える。A Iが社会的基盤としての広がりを持つため、A Iの研究が多岐にわたるのは当然と言える。A I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すなら、容易に数十を越すであろう。これらはA I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。一つ一つの研究を木にたとえるなら、A I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に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A I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A I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 A Iに何が要求されているか？

このようにA I（と考えられている範囲）の内部から見るのではなく、人間の様々な活動の場としての社会全体からA I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かである。如何なる技術でも、他に同様な支援を為し得る

代替技術が無い場合、あるいは有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有る技術になり得る。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。

人間が問題に当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挙げてきた。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わ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。問題が複雑に成るにつれ、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挙げよう。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つく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言えるが、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われねばならない。問題解決過程のどの段階で、どの様にこの伝達を行うかの問題はマンマシンコミュニケーションの方式と共に、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良い。この境界の選定が適切でないと両者間の情報のやり取りが錯綜し、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様な所があれば望ましい。従来のコンピュータの方式はその成功した1つと言える。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得なかった。それではこれに代わる適切な境界はあるだろうか？ この問いに答えるには問題解決という動作そのものに付いての理解が必要である。問題解決の過程を示すと例外なく図表I-1-2-1に示す様に表される。

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 |
| 現行コンピュータ
(プログラミング)

B |
(ヒューマン | 新しい可能性 (人間—機械系)
インターフェース)

C |
| 新しい可能性 (無人システム)
(問題の検知)

図表 I-1-2-1 問題解決における人と機械の分担

人が問題解決を必要とする動機は様々であり、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上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だすとしたら、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間のインターアクションは少ないからである。言うまでもなくAIに要求されるのはこれを可能にすることである。但しこの際は、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ことが重要で、このためにマンマシンインター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の様な汎用的なAIシステムを開発するには様々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

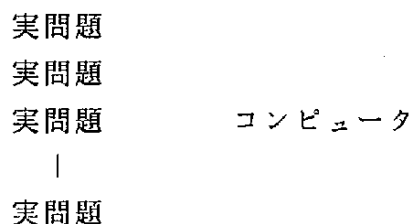
している。一般に実問題は複雑な現実社会を反映して多様であり、その表現も多岐にわたる。これにたいしコンピュータの構成は固定的である。従ってこの間のマッチングを図る必要があるが、たまたまこの間にプログラムが介在するので、一定の構文規則を持つプログラミング言語によって実問題（実はその回答手順）を書き表すことができれば、すなわちプログラミング言語によって実問題の多様性を表現できれば、コンピュータとしてはプログラミング言語の構文規則を忠実に実行する機構となっていれば良い。視点を代えて、コンピュータシステムの設計の立場に立った場合、プログラムの存在を前提とすることにより、機構の設計に際し実問題の多様性を気に掛けずに論理構成を考えれば良く、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-1-2-2 a）。

これが従来のコンピュータの有りかたであり、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性が生じたのは上述した通りである（図表 I-1-2-2 b）。

AIシステムの目的は問題を直接受け入れること、言葉を変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。この時、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出来るであろうか？



(a) 現行システム



(b) AIシステム

図表 I-1-2-2 実問題とコンピュータの関係

これが容易では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有るわけではなく、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良い。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を考える必要が有ろう。

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、我々が確立しなければ成らないのは、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、汎用性に関しては二つの問題がある。一つは記述性、もう一つは性能である。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、この保証が無い限り性能を論じても意味無い。従って、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言うまでもない。汎用性の高いAIシステム開発の第一の条件はそのような言語を持つシステムにあると言える。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くて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。言葉を変えれば、広い範囲の実問題に共通の問題解決手法を見いだ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システムと言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-1-2-2(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毎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訳ではない。従ってこの問題は一見して難しそうに見える。

しかし我々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、問題に直接に関わる知識を必要とすることは言うまでもないが、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、人間は様々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。この人たち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筈である。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言ってよい。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。

A I 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。従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A I 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挙げておこう。

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様になった。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

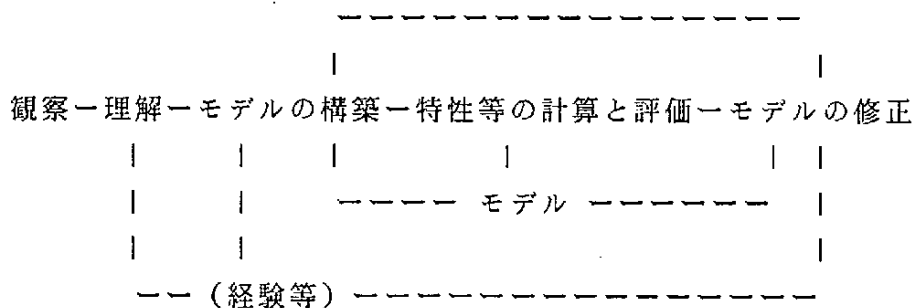
というものである。ここで状況を表すものがモデルである。これは一般的な問題解決手順であり、これに基づいて、例えば物理学等において、未知現象が観察された時、その原因解明の普遍的な手順が以下の様に定式化された。

- (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ーモデルを生成する、
- (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 - 4 - 1 の様に作られる。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。現実に見られる問題は多様であり、純粹に数理的に表現される問題はその一部に過ぎない。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。A I 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、これによって問題及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A I コンピュータの本質的な相違である。



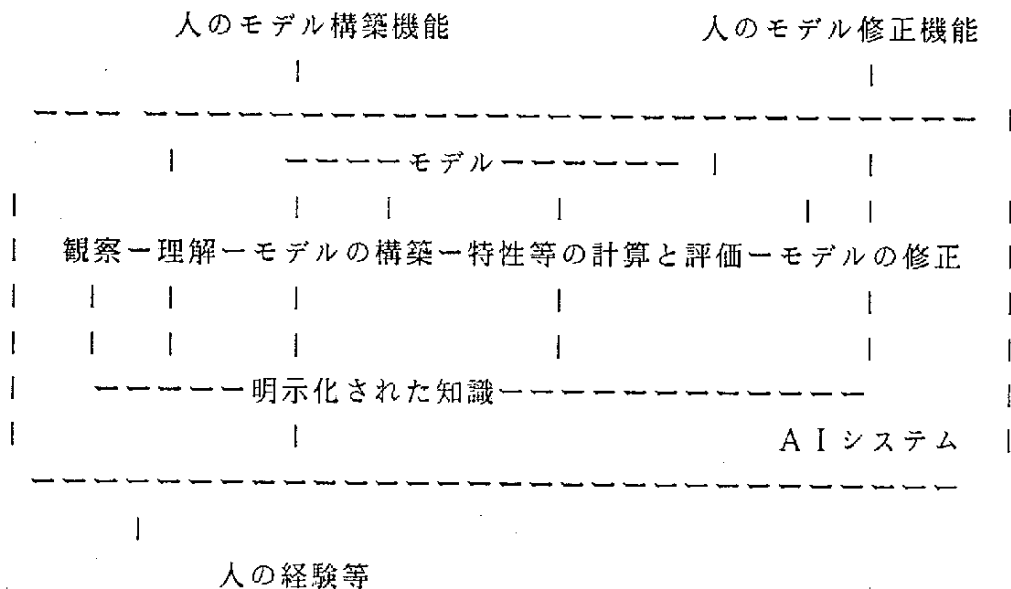
図表 I - 1 - 4 - 1 人間の問題解決モデル

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、直観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も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、用いる言語がきわ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出来る。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 - 2 である。この図でA I 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。



図表 I - 1 - 4 - 2 AIシステム—人間の関係

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共に増大しており、多くの分野において既に個人としての人間の能力を越えてしまっている。然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既に早くから行われていた。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、従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れねばならないものである。

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、ヒューマンインターフェースの問題、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である。これらは既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訳ではない。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上できわめて重要ないくつかの課題を挙げた。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、ここで挙げた課題にたいし関心が高まってきたことは事実である。

現代の社会は既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、既存の技術は既に限界に達し、ソフトウェア開発問題を始めとして様々な歪を生じている。今後発生すると予想される様々な要求は、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もち、とりわけ、発展する社会の基本構造とのマッチングが取れるものでなければならない。そのような目を見たとき、次の時代の新しい基盤技術となりうるものはAIをおいて他にないといって良いであろう。逆に、AIにはそれだけの責任があるとも言える。

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てはやされ、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様な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、需要の拡がりを広く日本全体の動きとして把握するため、従来とは異なり二回の調査を行った。一回目は、AIという言葉を広義に捉え、AIの導入状況とニーズ調査にその主眼を絞った。二回目は、一回目の調査で既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及び計画・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られるであろう。

(1) AI神話から実践へ

米国では、以前から大学の情報系学部学科において、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冬の時代を既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出来ていた。従って、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に取り組めば何でも出来るという神話的発想から、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A I専用マシンやE S構築ツールに対して惜しげもなく金がつぎ込まれたが、現場サイドに於けるエキスパートシステムの開発実践を経て、A Iの実態が理解されるようになり、A I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。

(2) 専用機から汎用機へ

A Iブームの波に乗って、日本に導入されたA I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LAMDAMシン、E S構築支援ツールとしてインテリコープのKEEや、インファレンス社のARTなど、A I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A I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なっ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事も多いが、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。

A Iの実用システムを開発しようとした場合、A I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、A I環境を満足 of いく形で提供できるまでには、マシン性能が向上していなかったといわれてきた。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、A I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。

(3) エキスパートシステムの開発事例は診断及び設計・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、システムの構造及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及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、構造及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E Sの開発がプロトタイプレベルに留まっているのに対し、解析型E S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E S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。

(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の様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 WORKUS、NEXPERTの様なパソコン、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が可能になり始めている。

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の組合せなどがある。

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ゴリゴリ書くしかなく、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出来ないため、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、三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。その一つは、過去の事例から、ES開発に必要な基本的な枠組みを抜き出し、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。既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得る可能性を持っている。

第三に、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、この様な場合、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、よく言われるESの開発過程の中でも面倒な知識獲得の過程が省略出来るわけで、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、人間のもつ直観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なんだと言う声や、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ーフェイス即ち、知識ベースエディタで実現する、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・育成をおこない、KEがそのようなツールを自主開発している例も多くみられる。

(5) 数値処理と記号処理の融合が要

ESの古典とも言える、スタンフォード大学で開発されたMICINという感染症のシステムが診断型であったこともあり、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、全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みもあって、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計画問題や、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。

従って、ORあるいはシステム工学、更には、金融理論、経済モデルの様な数学モデルと、AIのような記号モデルの融合が、ES開発成功への要となって来ているようだ。

第2章 AI 技術の現状と展望

(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。その一つの特徴は、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Ⅱ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みることもできる。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止まらず、人間の専門家が活躍するもっとも広い分野で、様々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。その内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とくに大きい。また、それが問題解決の方法論に深く関わっているので、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) 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は、ノイズに対して強いことも知られている。コネクショニストモデルのもう一つの側面は、超並列計算の機能である。その特徴は、アナログ的であり、精度は充分ではないが、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事ができる。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事ができる。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せる事が必要であるが、数多くの制約をどの順番で充足させるかをきめるのに、すなわち制約充足計算の制御にこの機能が使える分けである。制約充足にとって、その計算制御は、計算の組合せ的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、既に開始されている。とくに、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既に試みられている。

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われてきた。初めは、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を分類できるようになるものであった。つぎに、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出、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。これら二つの方法は、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うシステムの構築に成功した。

これら三つの方法論は、それぞれ独自のパラダイムを成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、再び第一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進展にともない、第二のパラダイムに基づく研究も最近活発に行われている。述語論理における推論の形態には、演には演繹、帰納、発想の3種類がある事が知られているが、各種の概念学習は、この三つの推論形態の成す3角形の適当な場所に位置付ける事ができる。例えば、説明に基づく学習は、演繹と帰納の中間に位置付けられ、仮説推論は、演繹と発想の中間に位置付けられる。このような図式は、充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内、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 Work) とよばれている。従来の人工知能が「個人」の問題解決能力を迫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はそれを一歩推し進めて、集団による意思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、ブレンストレーミングや、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一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、データベース共用化技術、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詳細については、第Ⅲ編、第Ⅰ部、第3章「協調型活動支援機能（CSCW）」の項を参照されたい。

(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システム自身を如何に効率よく実現するか、と言う問題である。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資手、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負うようが期待され、その結果、機能の拡充、既存システムへの組み込み、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理論の発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型の浅い知識に止まらず、対象とするシステムの動作原理をも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海だした。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

一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、例を分析する事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事が試みられている。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2編、第1部、第2章「学習」の項で説明されている。

(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、既に述べた通りである。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取る。その一つの例として、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事と、AI技術が成熟していなかった事によって、知的CADの実現は、AI応用での困難な課題の一つであった。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二つに分けて、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時、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う。

(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度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、既に述べたように、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。たとえば、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言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、各事例毎の処理は、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とくに注目されている。

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 A I 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、「コンピュータユーザー調査年報（日本経営科学研究所発行）」所載の事業体から産業別に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もとずき集計分析を行った。

〔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-1-1-1A I 導入・未導入事業体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った。

基礎資材産業――鉱業、化学、石油石炭、窯業土石、鉄鋼、金属

加工組立産業――一般機械、電気機械、精密機械、輸送機械

生活関連産業――農林水産、食料品、繊維、パルプ・紙、その他製造

公共サービス関連――建設、電力・ガス・水道、運輸・通信

商業金融産業――卸・小売、銀行、保険、証券、不動産

教育公務関連――教育、医療、公務、法律・会計、その他サービス

情報処理産業――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年調査及び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予めご留意頂きたい。

第1部 AIシステムの利用状況

第1章 AI利用の現状

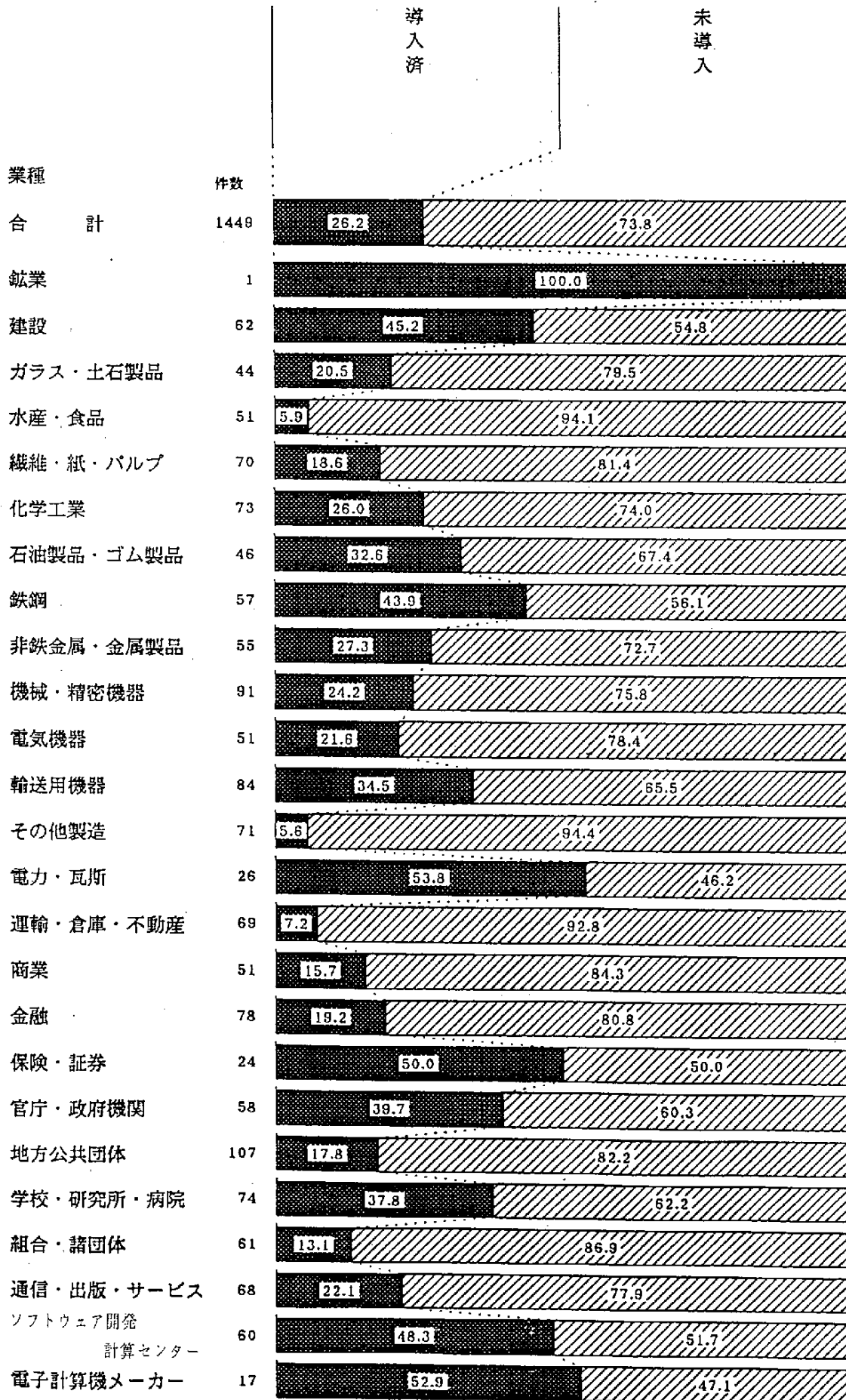
1. 1 AI導入の状況

わが国におけるAIシステムの利用状況を調査するため、各業種の企業・団体の事業所に郵送法によりアンケートした結果、1449件の有効回答を得た。それによると、AIシステムを導入している事業所は全体で26.2%である。昨年の調査では有効回答1480件のうちAIシステム導入済みは20.6%だったから、5.6%の上昇ということになる。図表Ⅱ-1-1-1に今回調査の導入状況を示す。

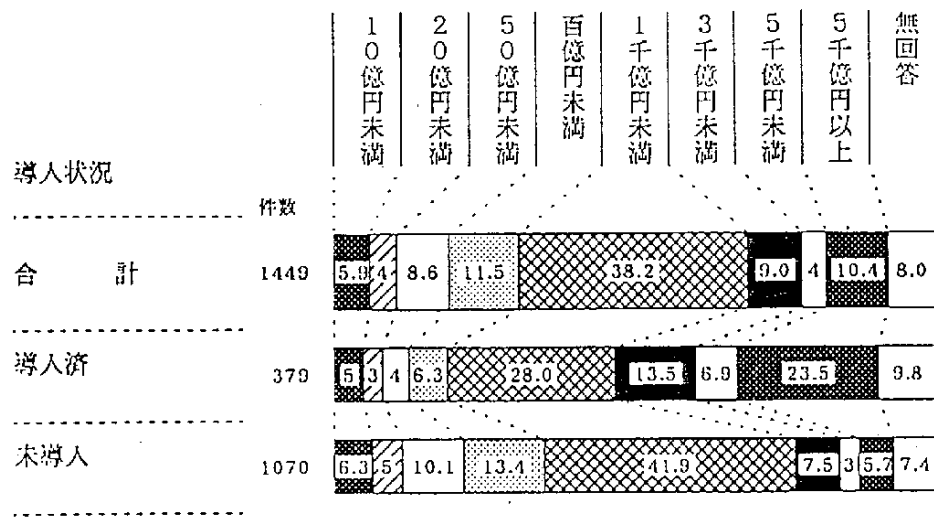
AIシステムの導入状況を年商別に見たのが図表Ⅱ-1-1-2(a)および同(b)である。

導入済みと答えた企業のうち年商の層分けで最も多かったのは100～1000億円で28.0%である。次いで5000億円以上、3000～5000億円の順。事業所ベースで見ても100～1000億円がトップで、次に1000億以上、50～100億円と続いており、中大手企業でのAI利用が進んでいることを示している。

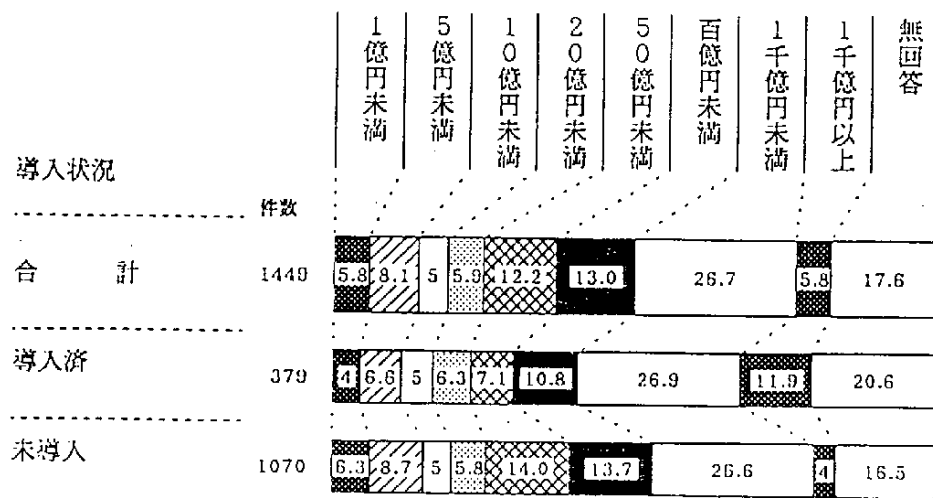
図表Ⅱ-1-1-1 A | 導入・未導入事業体数



図表Ⅱ-1-1-2(a) 年商別AⅠ導入状況一事業体単位



図表Ⅱ-1-1-2(b) 年商別AⅠ導入状況一事業所単位



1. 2 就業者規模別 A I 利用状況

就業者の数による A I システムの導入傾向を見てみる。図表Ⅱ-1-1-3、同4、同5にその傾向をグラフ化した。

まず、就業者を30人未満、100人未満、300人未満、500人未満、1000人未満、5000人未満、1万人未満、1万人以上の7クラスに分け、それぞれの導入、未導入比率を見る。これでいくと、全体の就業者数が1000人未満の企業・団体での A I システム導入率は10%台に止まっているが、1000人以上になると30~50%に上昇している。

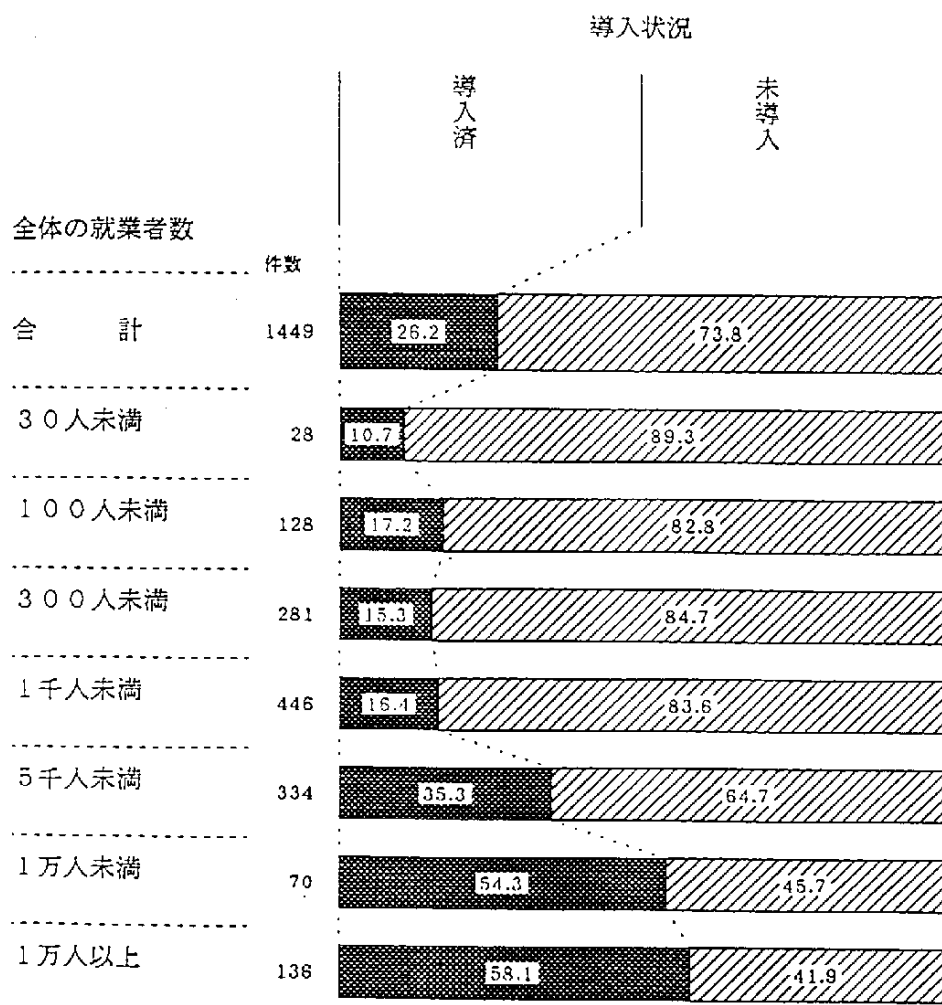
次に、導入、未導入別による就業者数の分布を見てみる。

まず全体の就業者数。ここでも導入済みは1000人以上~5000人未満が31.1%でトップである。以下、1万人以上、1000~5000人と続く。

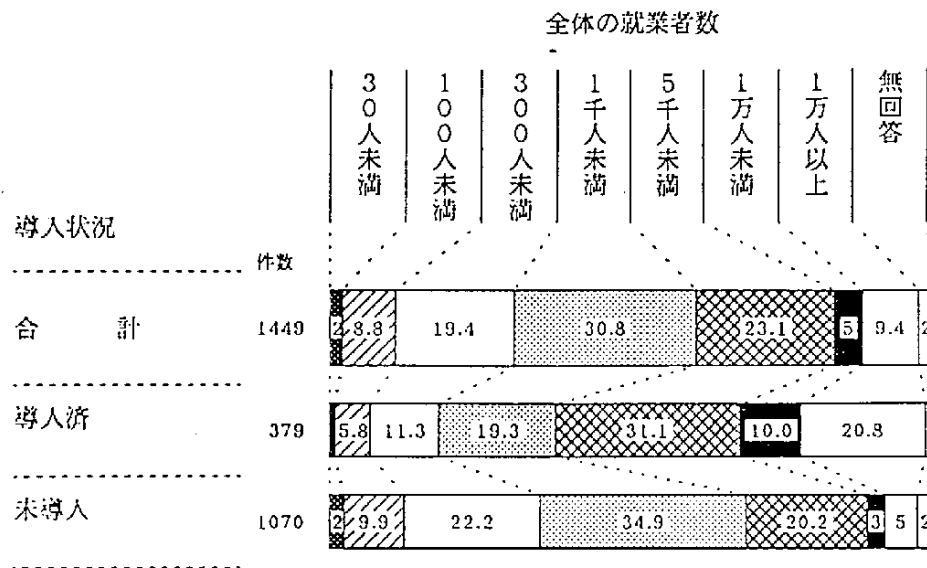
事業所ごとにみた就業者数でも、A I システムを導入しているのは1000~5000人が1位で、300~1000人の事業所が2位に来るという展開である。

以上のように、就業者数からみても、A I システムは、中大手企業を中心に利用が進んでいると言えよう。

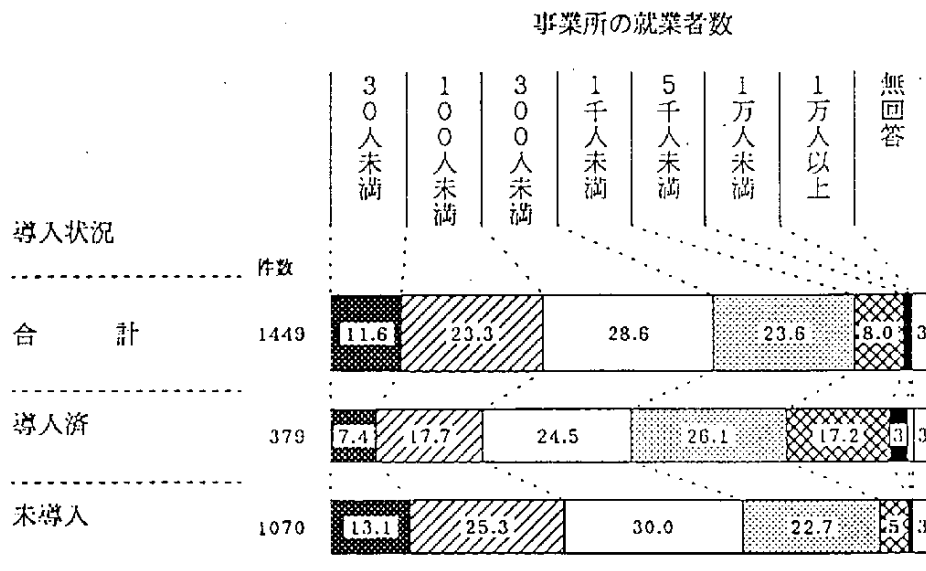
図表Ⅱ-1-1-3 就業者別 A I 導入比率



図表Ⅱ-1-1-4 導入・未導入別就業者数分布—事業体単位



図表Ⅱ-1-1-5 導入・未導入別就業者数分布—事業所単位



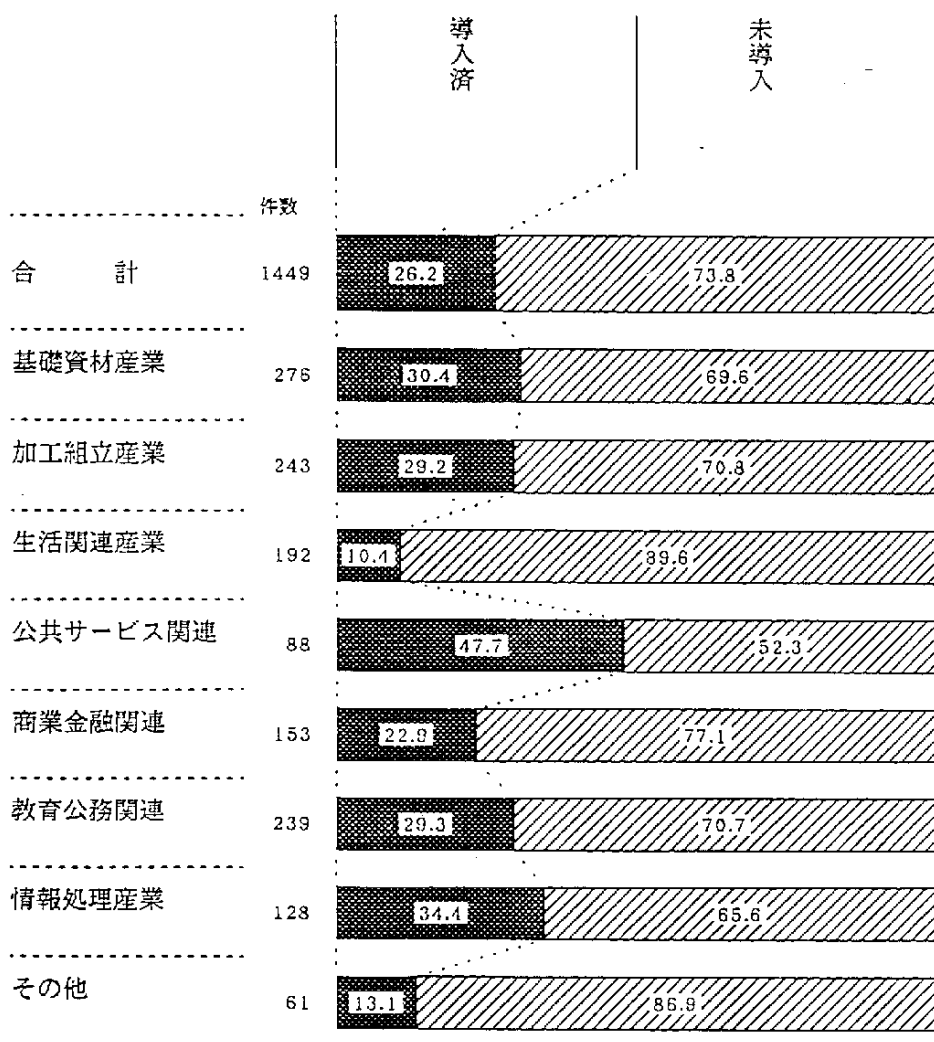
1. 3 産業別A I 利用状況

基礎資材、加工組立、生活関連、公共サービス、商業金融関連、教育公務関連、情報処理産業、その他の各産業におけるA Iシステムの導入状況を見ると、図表Ⅱ-1-1-6のようになる。

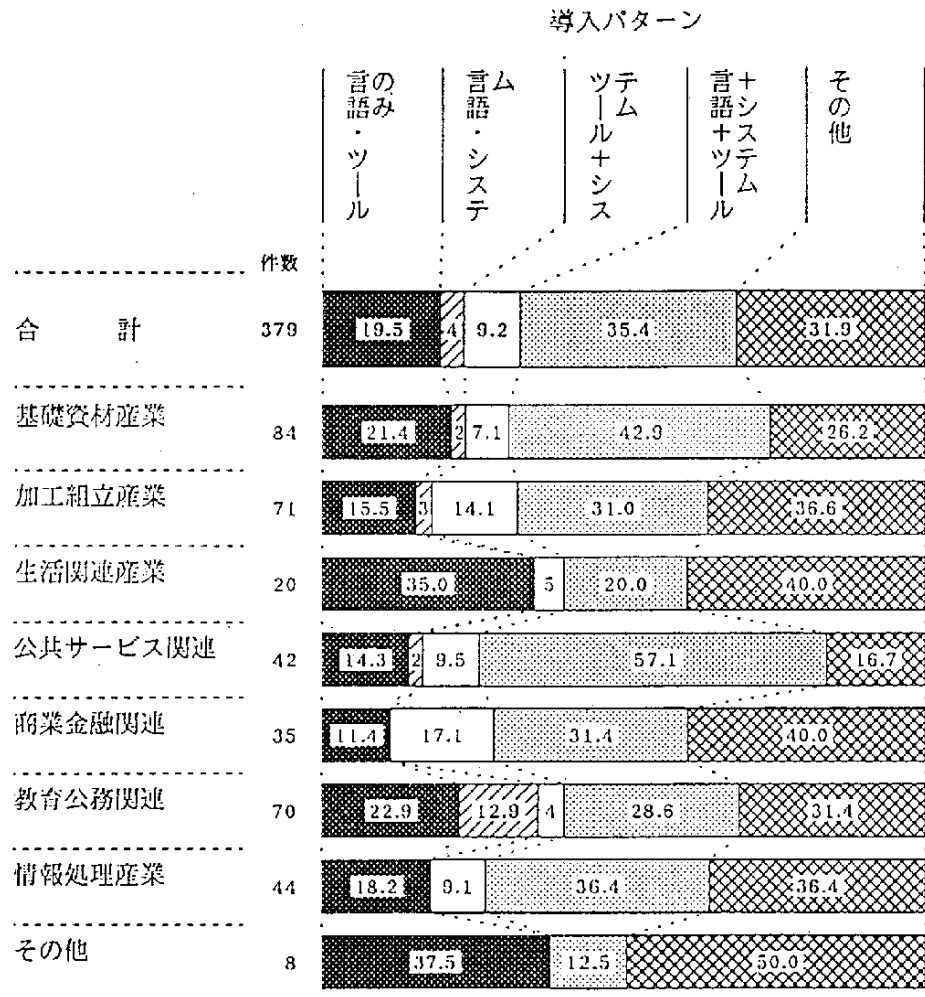
公共サービス関連が導入率ではトップで、情報処理産業が2位である。3位は基礎資材、加工組立、教育公務関連がほぼ横一線である。

次に、各産業における導入パターンを見てみる（図表Ⅱ-1-1-7）。つまり、言語・ツールだけの導入か、言語十システムか、ツール十システムか、言語十ツール十システムか、その他かというパターン分けによる導入状況調査である。当然のことながら、言語、ツール、システムすべてを導入している方がA I化率は高いわけで、ここでも導入率の高かった公共サービス関連が57.1%と最も多い。導入率の最も低い生活関連産業だが、言語、ツールに関しては、その他を除くと一番導入率が高い。言語、ツールは導入したものの、システムにまで到達していないことになるが、逆に言えば、それだけの潜在ニーズを秘めているとも考えられる。この産業は裾野が広いだけに、システム化が実現すれば、A I市場の拡大に大きなインパクトを与えよう。

図表Ⅱ-1-1-6 産業別A I導入状況



図表Ⅱ-1-1-7 産業別AⅠ導入パターン



1. 4 AIの利用レベル

導入してはみたものの、実際はあまり使っていないというケースはどんな場合にも出てくる。そこで、AIシステムが実際にどれだけ利用されているかを判断するために参考になるのが、図表Ⅱ-1-1-8である。

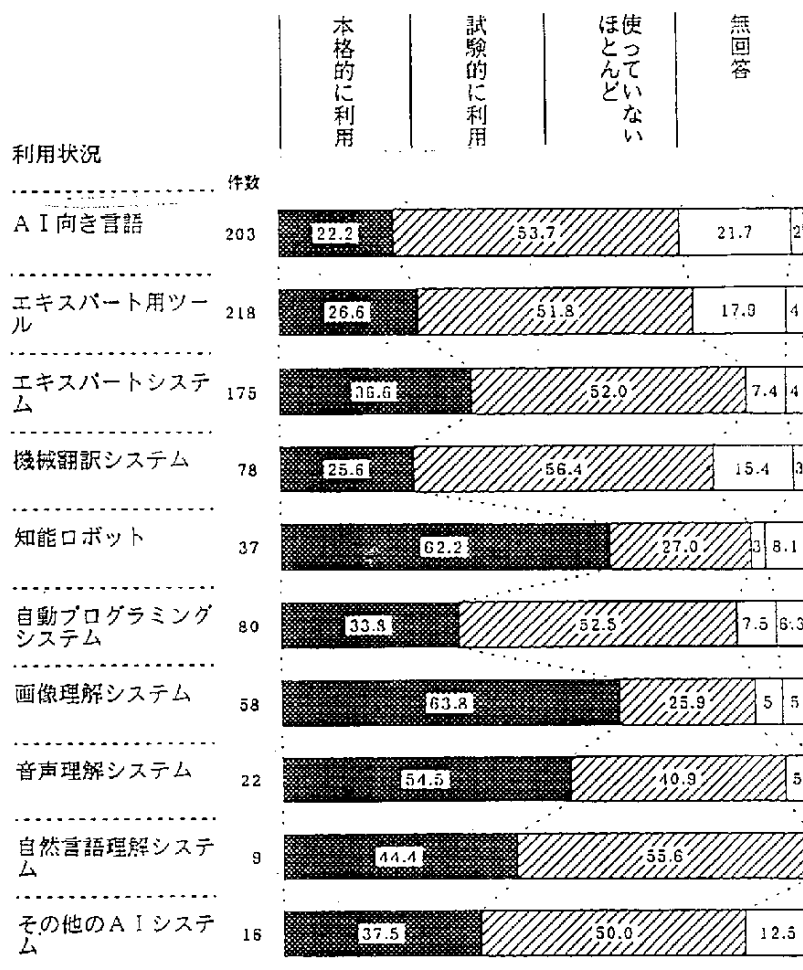
AIシステムとしてもっとも普及していると思われるエキスパートシステムの場合「本格的に利用している」という答えが36.6%で、「ほとんど使っていない」というのは、わずか7.4%に過ぎない。「試験的に利用」を合わせると、エキスパートシステムは88.6%という利用状況にある。

知能ロボット、画像理解システム、音声理解システムの3種は「本格的に利用」が50%を超しているが、これはエキスパートシステムなどから比べると、かなり特殊な利用のために、利用度合いが高くなっているものと思われる。

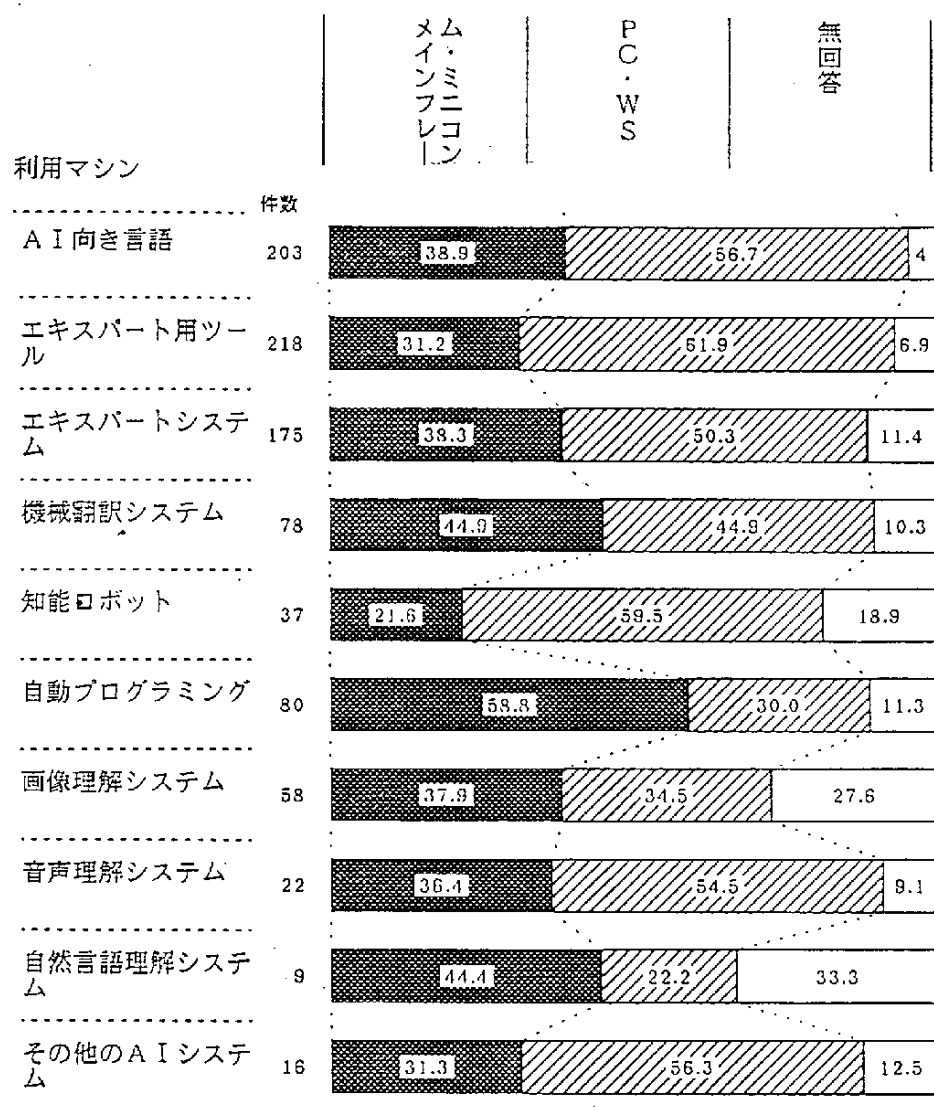
AIシステムで利用しているハードウェアについて、メインフレーム・ミニコンと、PC（パソコン）・WS（ワークステーション）とに分けて答えてもらったのが、図表Ⅱ-1-1-9である。

PC・WSが全体の過半数を占めている点に注目したい。個別システムではエキスパートシステム、知能ロボット、音声理解システムで、ハードウェアの小型化に拍車がかかってきたようである。

図表Ⅱ-1-1-8 AIシステム別利用状況



図表 II - 1 - 1 - 9 AIシステム別利用マシン



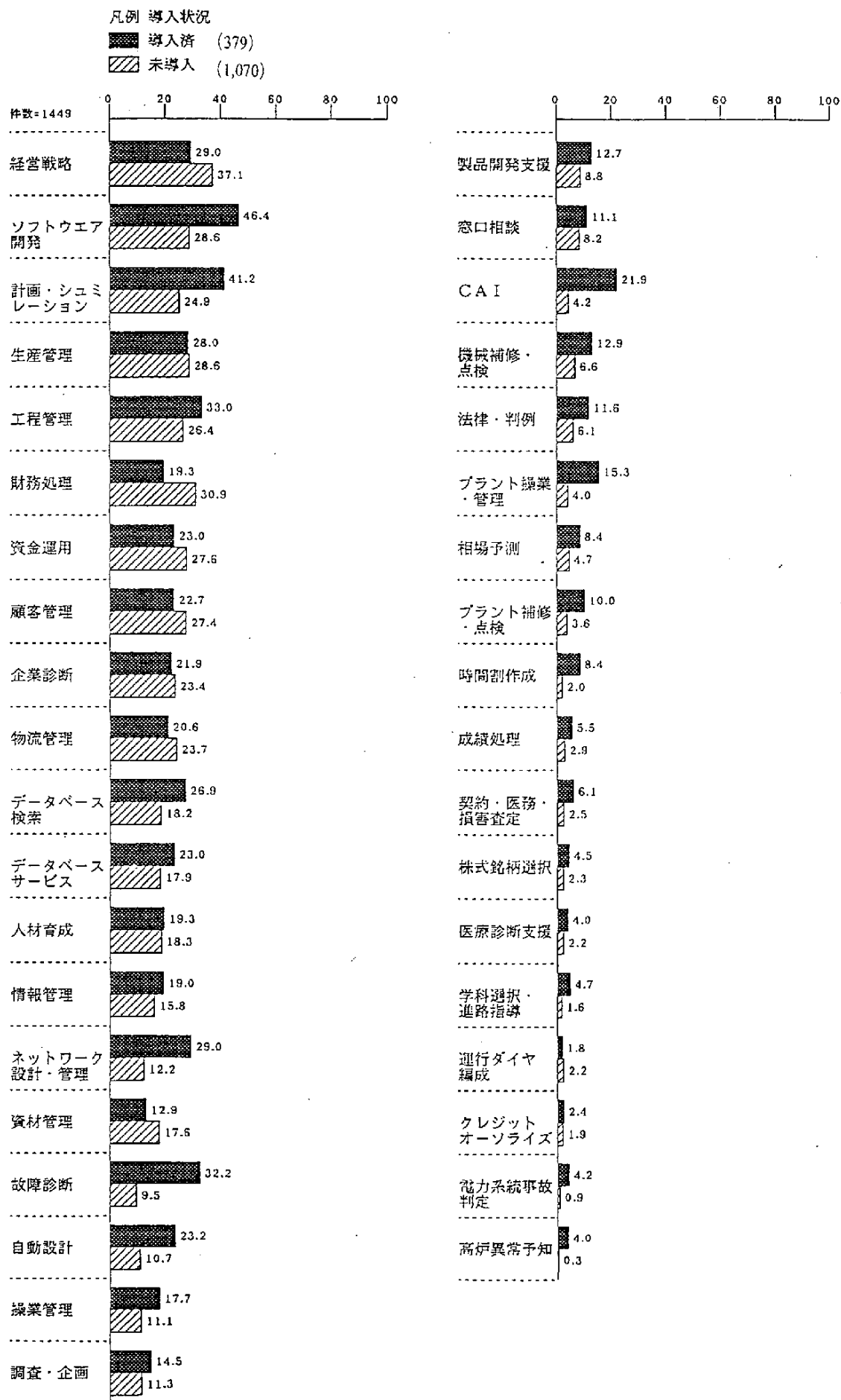
1. 5 AIシステムとその適用業務

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のそれぞれについて、その適用業務に対する利用意向をまとめたのが、図表Ⅱ-1-1-10～15である。

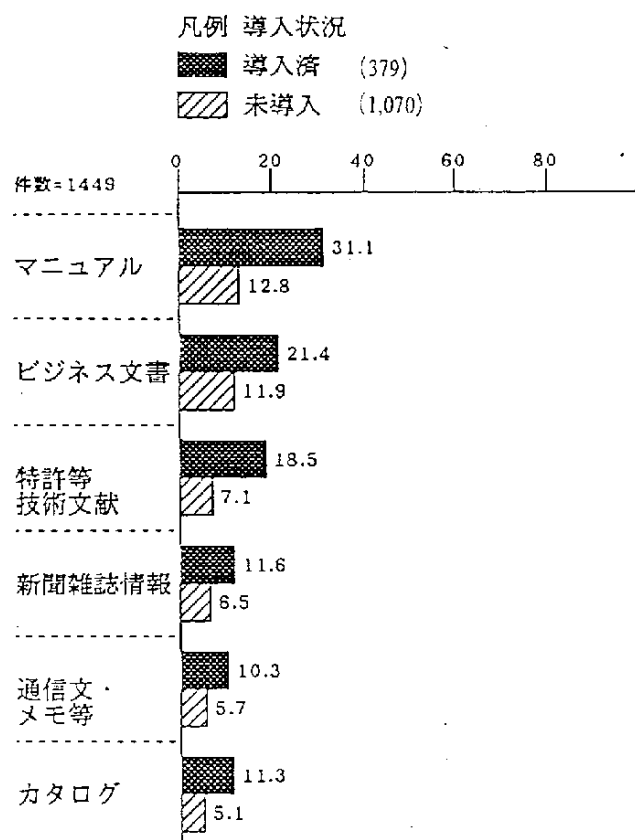
それぞれ導入および未導入別に利用意向を示した。エキスパートシステムの適用業務の多さは一目瞭然だ。機械翻訳では、マニュアルや、ビジネス文書への期待が大きい。知能ロボットは、生産ライン、製品検査などなどに期待されている。

画像理解システムは、やはり画面、帳票の読取りへのシステム化が待たれる。音声理解システムの利用意向では、音声入力ワープロへの期待が最も多い。自然言語理解システムは、データベースが一番だが、英会話教育があがっている点が面白い。この分野の需要は小さくなることは当分考えられないから、期待も出てこよう。

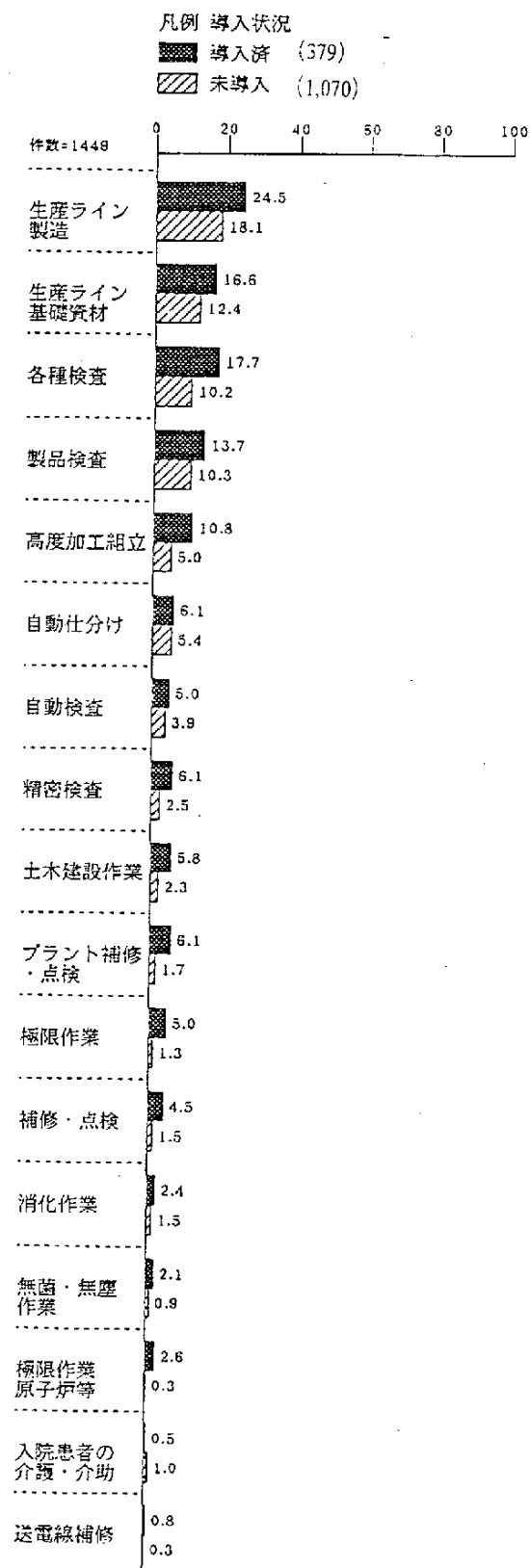
図表Ⅱ-1-1-10 エキスパートシステムの利用指向



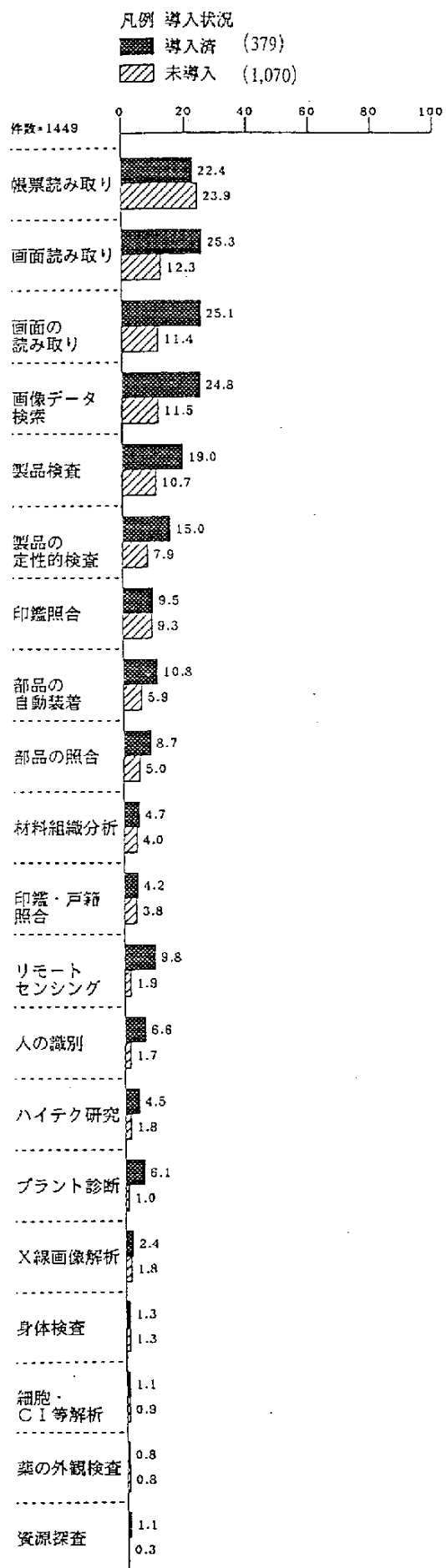
図表 II - 1 - 1 - 11 機械翻訳システムの利用意向



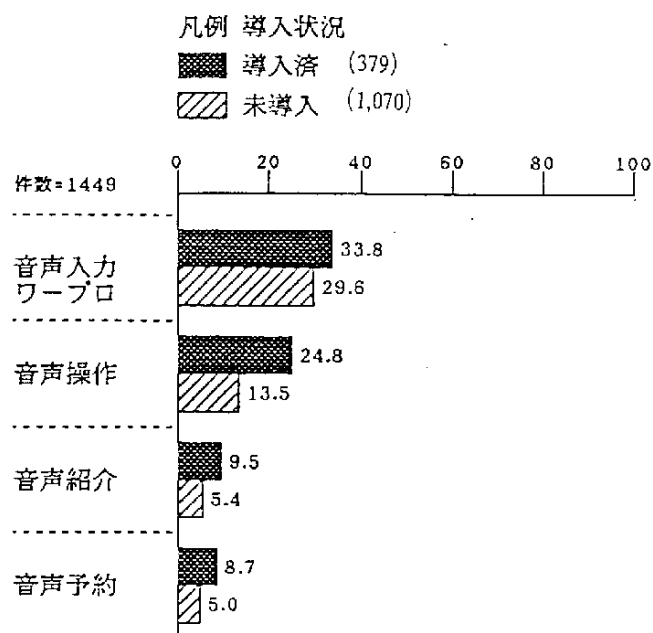
図表 II - 1 - 1 - 12 知能ロボットの利用意向



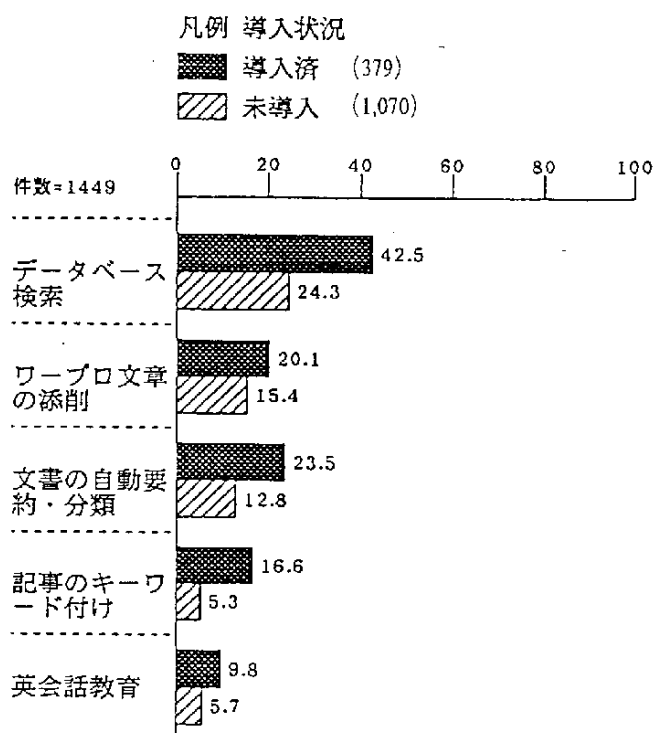
図表 II - 1 - 1 - 13 画像理解システムの利用意向



図表 II - 1 - 1 - 14 音声理解システムの利用意向



図表 II - 1 - 1 - 15 自然言語理解システムの利用意向



1. 6 A I 利用企業経営層の意識

A I を企業の経営層がどう捉えているかについて、A I 利用企業 3 社に対しヒアリングを行った。百貨店、食品、電線各業種の代表的な 3 社で、いずれも「A I は競争力を高める上で効果を期待できる」と答えている。ヒアリングの基本項目は以下の通りである。

1. A I システム利用の現状について

(1) 経営上の情報処理および A I システムの位置付け

経営上の情報処理システム

経営上の A I システム

- A I の捉え方
- 知識処理への移行について
- 人間の判断力・知識・経験をどこまで期待し、活かそうとしているのか？

(2) A I システム利用の目的・適用領域

A I ユーザーとして

- A I システム事例
- 期待効果
- 問題点など

A I ベンダーとして

- 製品の種類と特徴
- 売れ行き・主なユーザー
- 普及上の問題点など

2. 将来における A I 利用について

(1) 発展上の問題点

- 社内への A I システムの普及方法・技術上、応用上
- 経営判断上、その他

(2) 将来計画

3. A I に対する意見など

- 産業、社会、個人への影響
- A I ワールドの広がり方
- 行政への期待など

ヒアリングの結果は、概要以下の通りである。

(1) A 社：百貨店系企業

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。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、蓄財・

投資などを主な事業にしている。

A社はカード（ハウスカード）の取扱い会社としてスタートしたが、1988年7月からインターナショナルカードも発行を開始した。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、銀行系のナショナルカード、インターナショナル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、統計的スコアリング手法で行っており、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、人間の経験を必要とするものはさらに細かな判断をしているので、その部分にAIを応用できないかというわけである。とくに途上与信（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）は人的判断が多いから、AI利用の対象になる。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ク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システム。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「1121」というゼロックスのAIワークステーションを導入している。

これらのツールを使って40代、50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とこれだけのゆとりのある生活設計ができるといったシステムで、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したい考えだ。このサービス自体は無料とし、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箇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、不確定要素が多い部分、ルールの書き替えが必要な部分などである。こうした分野をCOBOLで記述することは相当に困難であり、分野によっては数千倍ラクという。

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、汎用機による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：食品系企業

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をマスターしておく必要に迫られたことがキッカケである。AIのマスターには情報システム部を中心に取り組んだ。B社の情報システム部は大阪本社50人強、東京20人弱。

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。というの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、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。システムの概要は図のフローの通り。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、ソフト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のノウハウをシステム化したい意向。

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働が可能とは考えにくい。むしろ、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、この数年は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くることは確実で、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。そのためにもデータの整備が重要と指摘する。

(3) C社：電線系企業

C社では10年程前から「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ー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 同社のワークステーションの拡販策として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、あまり気にしなかったという。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 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。たと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のである。

とはいうものの、AIでなければ開発不可能という対象はないことも事実で、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、たとえば既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以下に行うかが重要になる。

現在のAI技術では、AIが人間の判断にとって変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すぎると言える。当面は、自分たちが使える必要十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、LA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、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、ファジィの方が、AI以上にハッキリとした形で使えるのではと期待している。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システムの利用状況

2. 1 AI利用概況

この第2章で述べる個別AIシステムの利用状況は、郵送法によってアンケート調査した事業所328件の回答データに基づくものである。今回は調査を2段階に分け、まず第1段階では一般ユーザーに対してAIシステムの導入の有無を聞き、第2段階でAIシステムを導入していると回答した一般ユーザーおよびAIセンター会員ユーザーに対して、AIシステムの利用状況を聞いた。328事業所はこの第2段階調査結果で、一般ユーザー146件、会員ユーザー182件の回答があった（図表Ⅱ-1-2-1）。

今回のAIシステム利用動向調査では、AIシステムを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およびその他のAIシステムに分けた。

全体的にはエキスパートシステムの利用が圧倒的に多く、全エキスパートシステムの約30%は実用システムとして稼働しているという結果が出た。フィールドテスト中のもの、プロトタイプとして評価改良中のシステムを加えると、60%以上のエキスパートシステムが利用されている。

機械翻訳システムを導入・利用していると答えたのは約10%で、昨年調査と比較すると若干減少しているが、昨年と今回の調査の違い（母集団、調査方法）などを考慮すると、利用状況はほとんど変わっていない。

知能ロボットの導入・利用ユーザーは、一昨年、昨年、今年と漸増傾向を見せている。利用分野は高度組立加工が最も多い。ユーザーが指摘する問題点で多かったのは能力・機能不足で、この辺りが改善されると、利用は拡がりそうである。

画像理解システムのユーザーは、昨年の21社から今年は31社へと大幅に増えた。利用分野で多いのは部品・製品などの不良検出システムだが、会議などの報告書のビジュアル化といったOA分野への利用拡大が見られる点も注目したい。

音声理解システムのユーザーも昨年の5社から今年は9社に増えているが、一昨年は13社だったことを考えると、この数年は大きな変化は見られていないといえる。自然音（人間の声）に遠い、などの問題点が指摘されている。

自然言語理解システムの導入・利用は、昨年調査の2倍以上の伸びである。産業別に見

ると、教育公務関連と情報処理に集中している。今後の導入予定では20%以上が導入を計画しており、ニーズは見込める。

これら以外のAIシステムとしては、ファジィシステム、ニューロシステムが2大人気である。エキスパートシステムとの組み合わせによる利用計画を掲げるユーザーが多く、中でもファジィシステムへの期待が大きいようである。

図表Ⅱ-1-2-1 産業別AI導入事業体数

導入会社数

	サンプル数	エキスパートシステム	機械翻訳システム	知能ロボット	画像理解システム	音声理解システム	自然言語理解システム	その他のAIシステム	無回答
合 計	328 100.0	163 49.7	31 9.5	7 2.1	31 9.5	9 2.7	12 3.7	23 7.0	126 38.4
一般サンプル	146 100.0	55 37.7	12 8.2	3 2.1	12 8.2	1 0.7	2 1.4	6 4.1	65 44.5
AIセンター会員	182 100.0	108 59.3	19 10.4	4 2.2	19 10.4	8 4.4	10 5.5	17 9.3	61 33.5
基礎資材産業	56 100.0	28 50.0	7 12.5	1 1.8	4 7.1	2 3.6	1 1.8	3 5.4	21 37.5
加工組立産業	62 100.0	38 61.3	4 6.5	1 1.6	7 11.3	3 4.8	1 1.6	6 9.7	19 30.6
生活関連産業	14 100.0	7 50.0	-	-	-	-	-	-	7 50.0
公共サービス関連	34 100.0	18 52.9	1 2.9	-	4 11.8	-	-	-	15 44.1
商業金融関連	28 100.0	14 50.0	1 3.6	-	2 7.1	1 3.6	-	1 3.6	9 32.1
教育公務関連	54 100.0	21 38.9	12 22.2	2 3.7	8 14.8	1 1.9	4 7.4	6 11.1	20 37.0
情報処理産業	76 100.0	35 46.1	6 7.9	3 3.9	6 7.9	2 2.6	6 7.9	7 9.2	33 43.4
その他	4 100.0	2 50.0	-	-	-	-	-	-	2 50.0

2. 2 開発運用環境

2. 2. 1 AI向き言語・ツールの利用状況

AIシステムに利用されているAI向き言語・ツールの利用状況を、図表Ⅱ-1-2-2～図表Ⅱ-1-2-5に示す。

まずAIシステムに使用されている言語・ツールの種類であるが、図表Ⅱ-1-2-2の円グラフのようにLISP系が全体の41.3%を占めて圧倒的に多く、ついでC言語系の19.5%、PROLOG系の18.4%、オブジェクト指向系の8.2%と続いている（その他が11.4%あるが、これにはFORTRANを含む）。

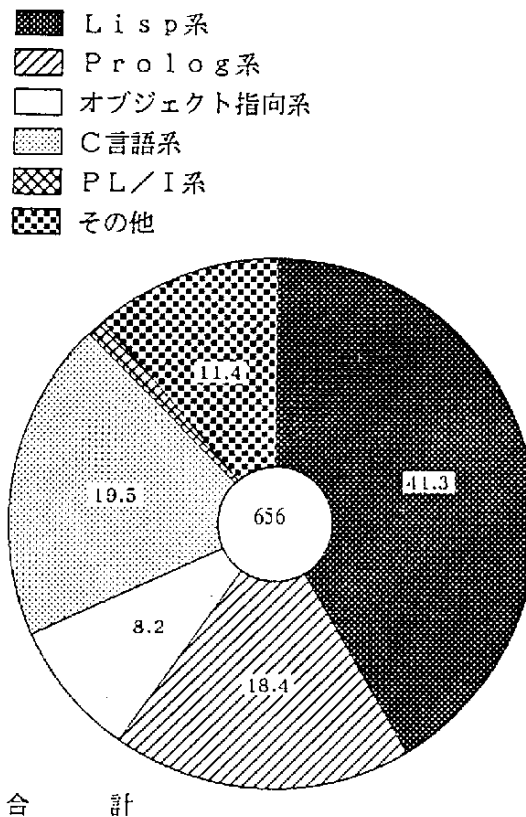
LISP、PROLOGという“二大AI言語系”の間にC言語が割り込んできているが、これは、開発用言語と実稼働用言語とが必ずしも同じではないこと、AIシステムが汎用ワークステーション上で開発されるケースが増えてきており、移植性の良いC言語が多用されるようになってきたためと見られる。このような、AI向き言語の導入目的と、実際の利用状況を表したのが、図表Ⅱ-1-2-3および図表Ⅱ-1-2-4である。

図表Ⅱ-1-2-3のAI向き言語の導入目的を見ると、LISP、PROLOG、オブジェクト指向系は研修・勉強用、試用あるいは自社使用システム開発のためという要素が強い。実用システムとして稼働するためという目的での導入は、PL/系が最も多く、C言語系、オブジェクト指向系、LISP系と比率が下がっている。

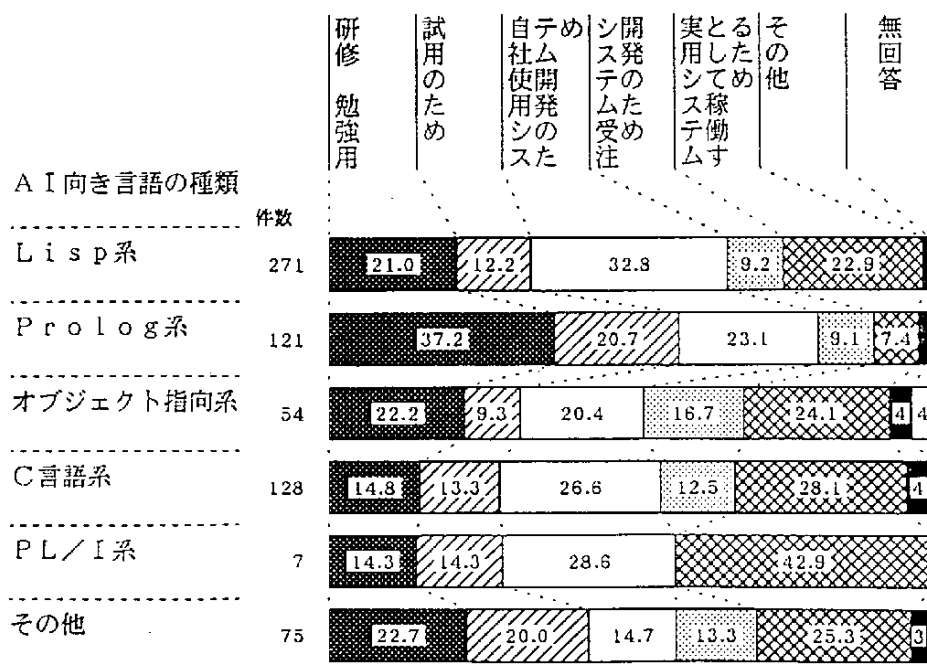
図表Ⅱ-1-2-4の利用状況を見ると、AI向き言語・ツールの導入目的と、実際の利用状況との関連が見て取れる。導入目的の「実用システムとして稼働するため」の項目と、利用状況の「本格的に利用」を対比してみると、導入目的で割合の高い言語・ツールは利用状況でも高いが、注目すべきは、導入目的で7.4%しかなかったPROLOG系言語・ツールが、利用状況では32.2%と高い割合を占めていることであろう。

では、これらの言語やツールはどんな場面で使用されているかを表したのが、図表Ⅱ-1-2-5である。エキスパートシステムが85.2%を占め、圧倒的に多いことが分かる。以下、自然言語理解システム、機械翻訳システムなどが続いているが、その他のAIシステムの中では後述するように、ファジィシステム、ニューラルネットワークシステムの利用が期待されており、これらがC言語系、PL/系の利用増にも繋がってこよう。

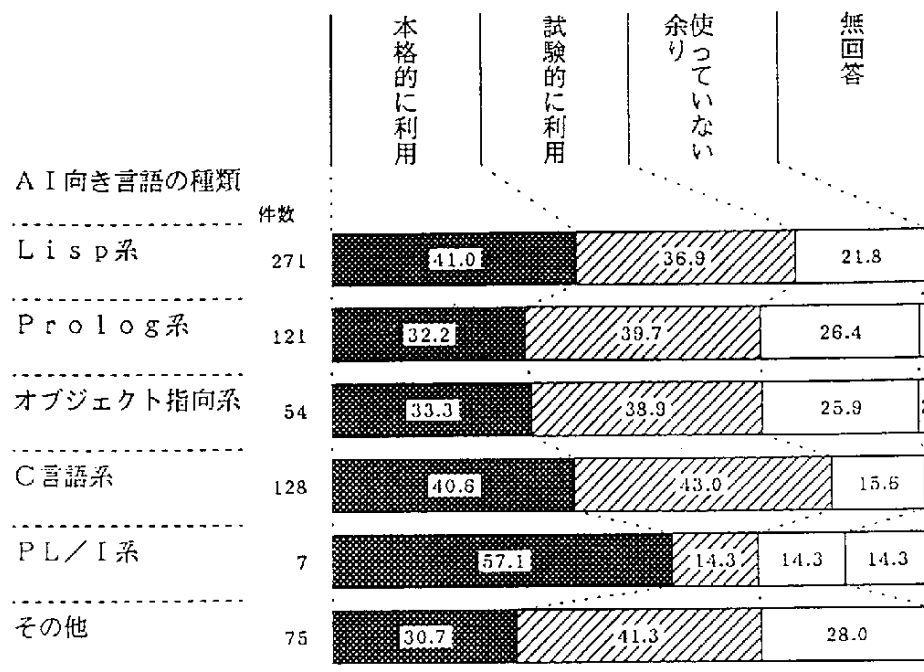
図表 II-1-2-2 使用 AI 向き言語の種類



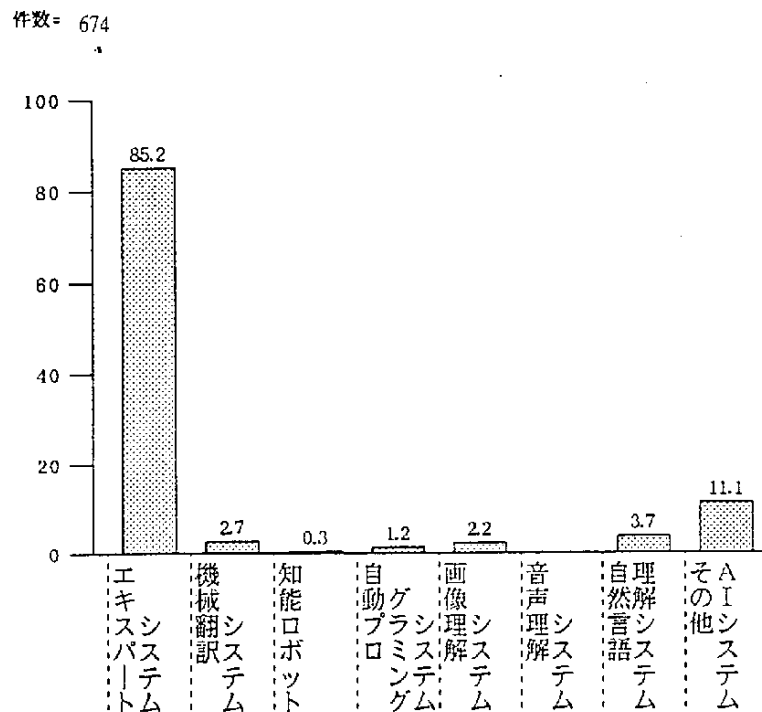
図表 II-1-2-3 AI 向き言語別導入目的



図表 II-1-2-4 AI 向き言語別利用状況



図表 II-1-2-5 AI 向き言語・ツールの利用場面



2. 3 エキスパートシステム (E S)

2. 3. 1 E Sの利用状況

A Iシステムの中で、エキスパートシステムに対するユーザーの関心の高さ、導入・稼働率の高さは「2. 1 A I利用概況」に見る通りである。では、エキスパートシステム個別に見た場合はどうであろうか。

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

エキスパートシステムの利用状況を示したのが、図表Ⅱ-1-2-6である。全体で見ると、実用システムとして稼働中が29.1%、システム3本に1本は実用システムとして稼働していることになる。

この段階別利用状況を一昨年(1987年調査)、昨年(1988年調査)と比較すると、次のようになる。

	一昨年	昨年	今年
稼働中	18.4 %	27.6%	29.1%
テスト中	16.6	19.6	14.7
評価改良中	27.9	29.2	15.6
デモ・実演中	10.1	7.5	7.3
設計・開発中	23.6	13.2	10.4
使用していない	3.4	3.0	2.1

こうしてみると、エキスパートシステムは稼働中のものが増加している半面、テスト中、評価改良中、デモ・実演中、設計・開発中、使用していない、という段階は確実に減ってきている。システムの実用化が進んでいることが、理解できよう。

図表 II - 1 - 2 - 6 E S の利用状況

E S の利用状況 (P A C K 表)

	サ ン プ ル 数	実 用 シ ス テ ム 中	テ ス ト 中 フ ィ ー ド	改 良 中 の 評 価	デ モ ・ 実 験 の み に 利 用	設 計 ・ 開 発 段 階	使 っ て い な い あ ま り	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
A I 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

2. 3. 2 適用業務と対象領域

現在開発中あるいは実際に稼働中のエキスパートシステムのうち、代表的なシステムの適用業務と対象領域について得た回答を分析した。

適用率の高いのはやはり故障診断で15%近くを占める。次いで、計画・シミュレーションの14.2%、プラント操業管理の6.3%、自動設計の6.0%と続いている（その他として11.5%あるが、これは業務を特定しているわけではないのでランクから外す）。

前回の1988年調査では、トップは同じく故障診断で20%を占めている。以下、操業・工程管理の18.7%、その他の17.1%、相談の9.1%、自動設計の8.7%、窓口相談の5.6%と続いている。前回と今回の調査とを比較してみると、エキスパートシステムは故障診断にもっとも多く利用されている点では変わりはない。また今回2位につけている計画・シミュレーションは、前回項目では工程管理に相当するが、今回の計画・シミュレーションと工程管理を足すと、前回の工程管理を上回る利用率になる。シミュレーション業務に対するニーズの高まりを示しているようだ。

対象領域に関しても同じようなことが言える。88年調査では対象領域を解釈、予測、診断、設計、計画、監視、制御、意思決定支援、修理の10項目およびその他に分けていたが、今回はこれを絞り込んで、解釈、診断、設計、計画、制御およびその他にした。結果は診断型と計画型が需要の多さを示している。前は診断33.8%、計画19.8%だった。今回はそれぞれ48.9%、29.7%だが、ほぼ5対3という比率は変わっていない。

2. 3. 3 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と期待効果は図表Ⅱ-1-2-7に示す通りである。

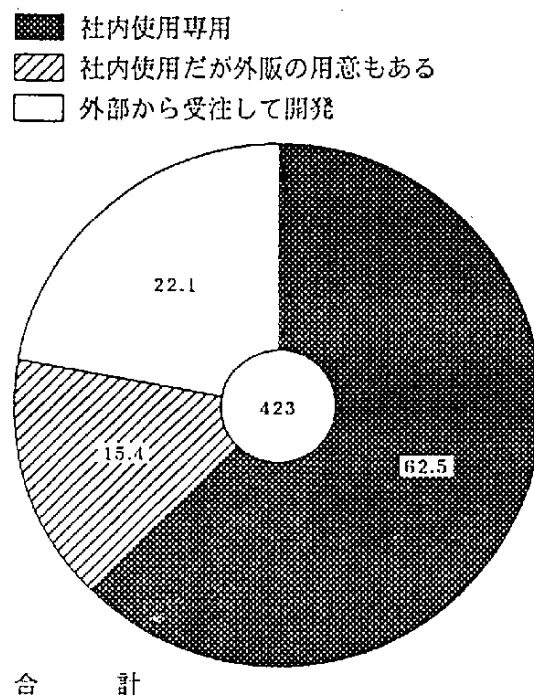
社内使用が全体の62.5%を占めているが、「社内使用だが外販の用意もある」と、「外部から受注して開発」を合わせると37.5%ある。これは、エキスパートシステムがそれだけビジネスの対象になってきたことの表われでもあろう。

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点、つまり「外販の用意もある」と「受注開発」を足した場合で捉えて見ると、1位は当然ながら情報処理産業で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。ユーザーとしてもシステム提供者としてもバランスがとれているのは商業金融関連ということになりそうだ。

ではエキスパートシステムを導入してどんな効果を期待しているのか。1987年、88年、89年（今回）の過去3年間、期待効果の順位は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変わっていないが、専門家の仕事量の削減に対する期待が高まっている一方で、業務の質の向上に対する期待は減少傾向にある。知識の整理体系化、ES技術の習得に関しても僅かずつ減少傾向にあるが、これは整理体系化や技術習得が、過去の経験から容易ではないことを知ってきたからではないかとも思われる。

図表Ⅱ-1-2-7 ES開発システムの目的



2. 3. 4 システム規模

エキスパートシステムの規模を、1988年調査に対比させながらルール数、フレーム数、開発工数でみる。(図表Ⅱ-1-2-8(a)~(b)) まずルール数。1988年調査では、100ルール以下が35.0%、101~200ルールが23.5%、201~500ルールが25.1%、501~1000ルールが8.8%、1001~2000ルールが5.1%、2001ルール以上が2.4%であった。今回の1989年調査では、100ルール以下は31.6%と、前回より少なくなっている。101~200ルールについては23.7%で前回とほぼ同様だが、201~500ルール、501~1000ルールについては前回よりそれぞれ1.2%、4.0%増えている。ところが1000ルールを超えると今度は前回の方が7.5%なのに対し、今回は5.9%と減ってくる。このことから、この1年間に中規模のシステム開発が進んでいることが窺える。

これに対してフレーム数は、200フレーム位までは今回の調査の方がパーセンテージは多いが、それ以上になると減少しているのが特徴である。ちなみに前回調査では100フレーム以下が54.9%、101~200フレームが15.7%、201~500フレームが16.0%、1001~2000フレームが2.7%、2001フレーム以上が3.8%であった。

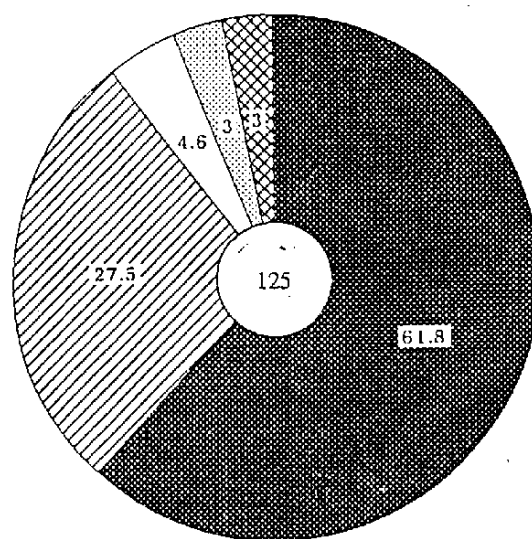
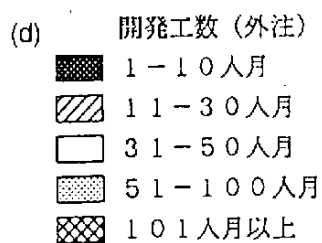
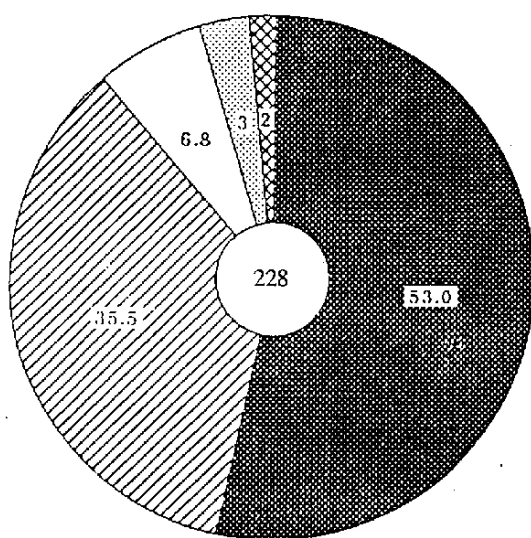
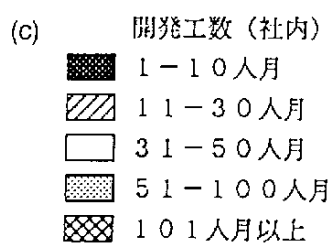
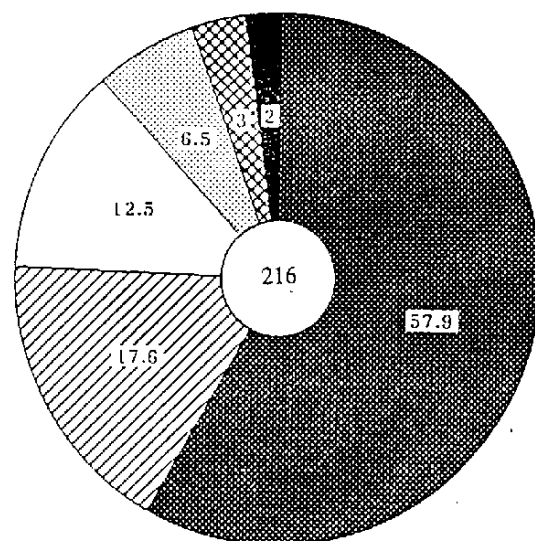
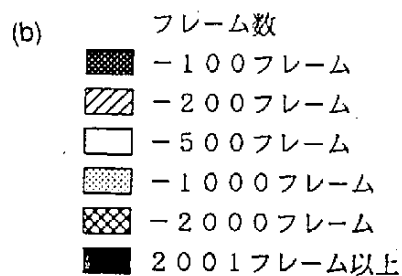
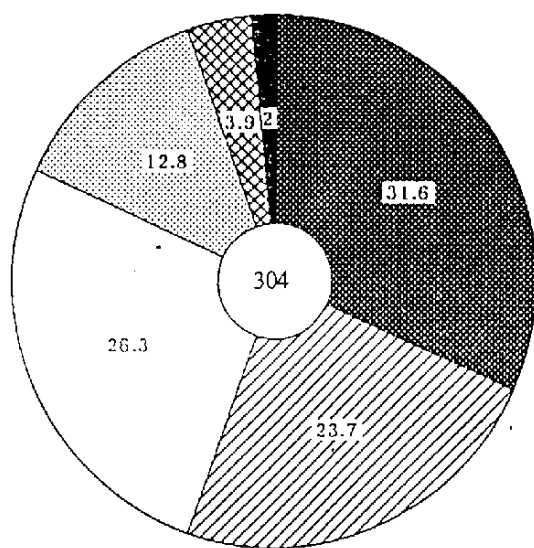
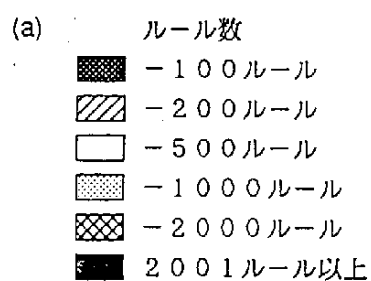
開発工数に関して今回は、社内と外注に分けて調査した。結果は図表Ⅱ-1-2-8(c)および同(d)のようである。これで見ると、10人月以下の開発工数の低いシステムに関しては外注が多く、それ以上になると社内が多いということになる。前回調査では社内、外注という分け方はしていない。参考までに比率を紹介しておくと、10人月以下51.7%、11~30人月30.8%、31~50人月9.5%、51~100人月8.0%である。

エキスパートシステムの開発費のうち、マンマシンインタフェースおよび知識の獲得・整理・変更に要した割合は図表Ⅱ-1-2-8(e)および同(f)のようである。

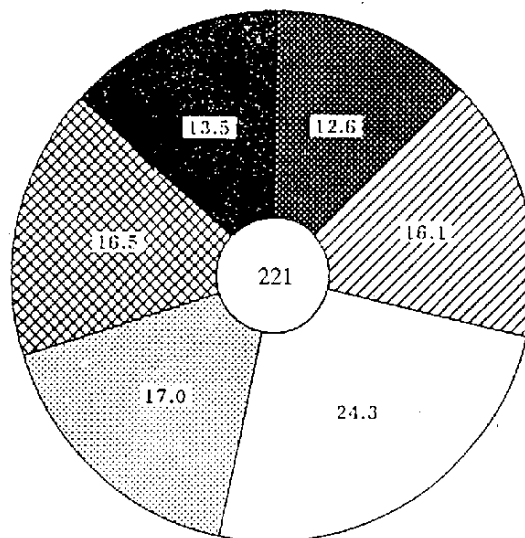
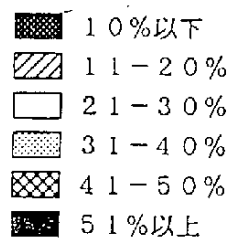
マンマシンインタフェースに見られる特徴としては、31~40%の開発費を要したのが前回の9.2%から今回は17.0%にほぼ倍増していることだ。それだけマンマシンインタフェースは重要なファクターである。

知識の獲得・整理・変更を前回と比較してみると、10%以下では減少しているが、11~30%の間では3~4%増加している。さらに31~50%では減少傾向にあるのに、50%以上になると今度は増加に転じている。これはルール数で見られた中規模クラスのシステム化の増加と相関があるようだ。また50%以上が増加しているのは、大幅なシステムの見直しが行われていると見ることができる。

図表Ⅱ-1-2-8 E Sのシステム規模

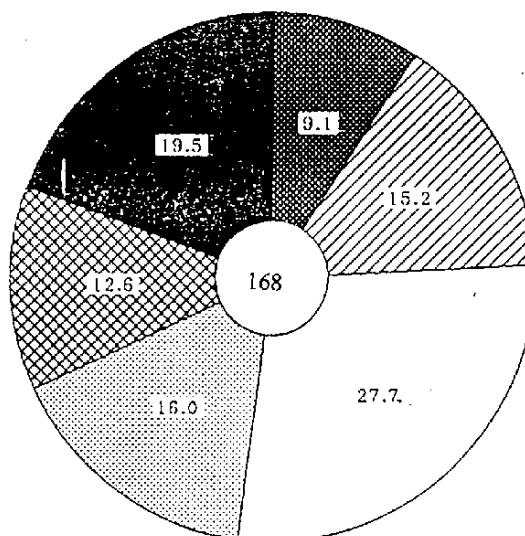
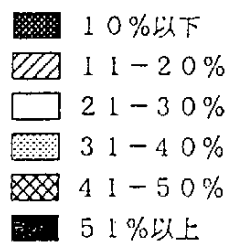


(e) マンマシン・インタフェースに要した割合



合 計

(f) 知識の獲得・整理・変更に要した割合



合 計

2. 3. 5 使用言語およびツール

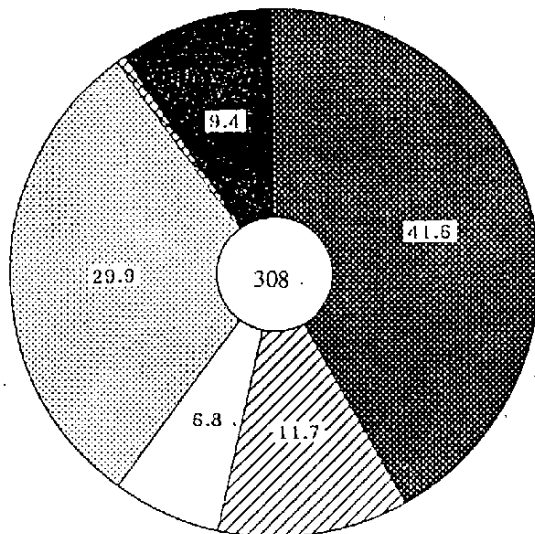
Lisp、Prologなど、いわゆるAI言語で開発しても、実際に稼働させる場合は、C言語に代表される汎用言語で、という図式が見られる。図表Ⅱ-1-2-9(a)はエキスパートシステム開発に使用される言語の割合、同(b)は実稼働システムで使用される言語の割合を示している。

グラフからも明らかなように、開発段階ではLisp、Prologを合わせると53.3%と過半数を占めていたものが、稼働段階になると40.2%と半数を割ってしまっている。これはこのあとに出てくる使用マシンとの関連もある。

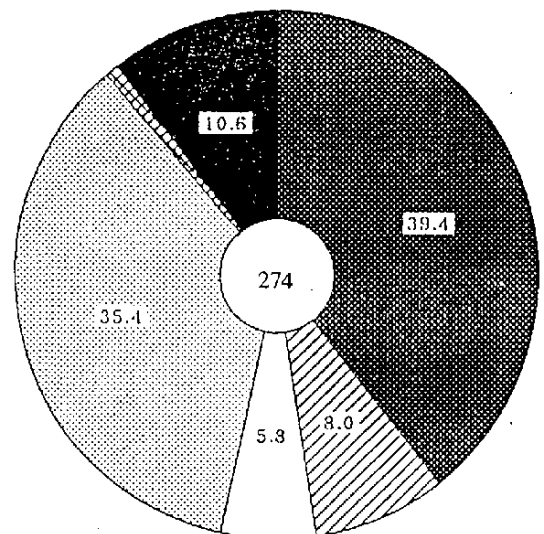
一方、ツールについては図表Ⅱ-1-2-9(c)、(d)に示すように、市販のものを使用しているケースが開発用、実稼働用ともに70%近くを占めており、エキスパートシステムにおける開発・稼働用ツールの重要性を裏付けている。自社開発のツールまで含めると、実に90%以上がツールを利用していることになる。

図表Ⅱ-1-2-9 E Sの使用言語・ツール

(a) 使用言語-E S開発用



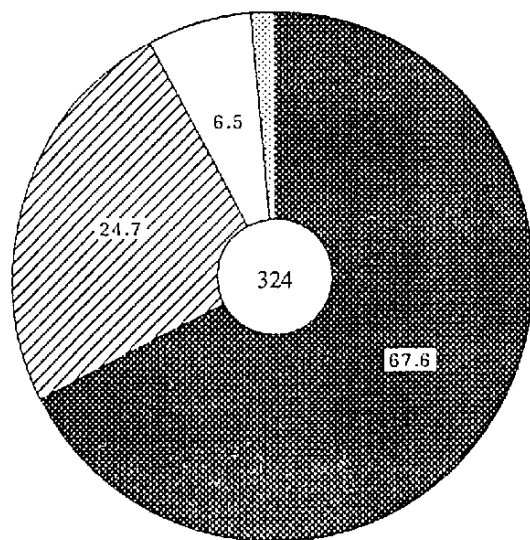
(b) 使用言語-E S実稼働用



(c)

使用ツール－E S 開発用

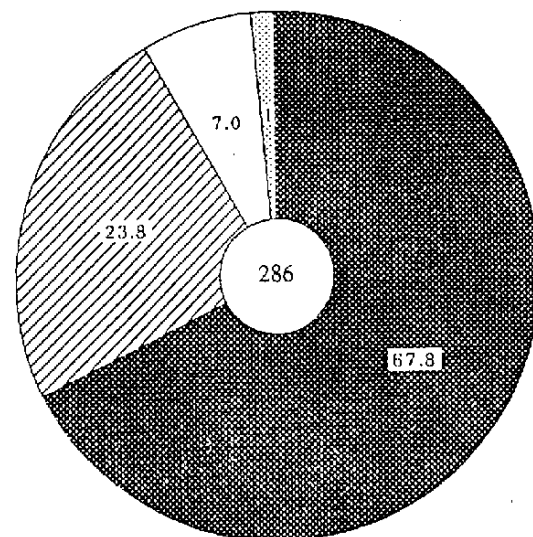
- 市販のものを使用
- 自社開発
- 使用していない
- その他



(d)

使用ツール－E S 実稼働用

- 市販のものを使用
- 自社開発
- 使用していない
- その他



2. 3. 6 使用マシン

エキスパートシステムの開発、利用におけるハードウェアについての特徴的な点を挙げるとすれば、次のようになる。(図表Ⅱ-1-2-10)

- AI専用マシンは開発、実稼働とも8%前後の利用率である
- AI専用マシンは実稼働段階になると利用率がやや落ちる
- メインフレームは開発、実稼働のいずれのときも同じような比率である
- ミニコンは実稼働段階になると、開発時の倍近い利用率になる
- 逆にワークステーションは、実稼働段階になると利用率がダウンする
- ワークステーションとパソコンを合計すると、開発、実稼働とも70%を超える利用率である

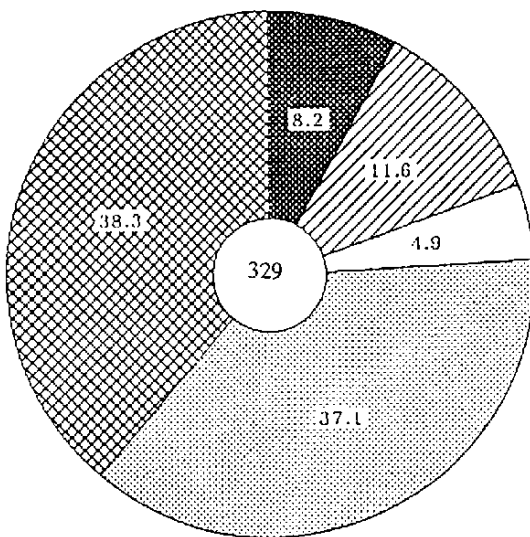
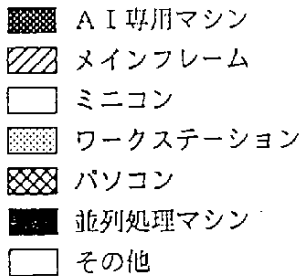
- エキスパートシステムで今もっとも使用されているコンピュータはパソコンである

1987年、1988年との比較で目に付くのは、AIマシンは開発用としては年々利用割合が減る傾向にあるが、実稼働用としては87年、88年と下降してきたのが、今回の調査では僅かだが持ち直してきている点だ。ただしこれは、前回と今回では調査先が同一ではないという条件による可能性がある。

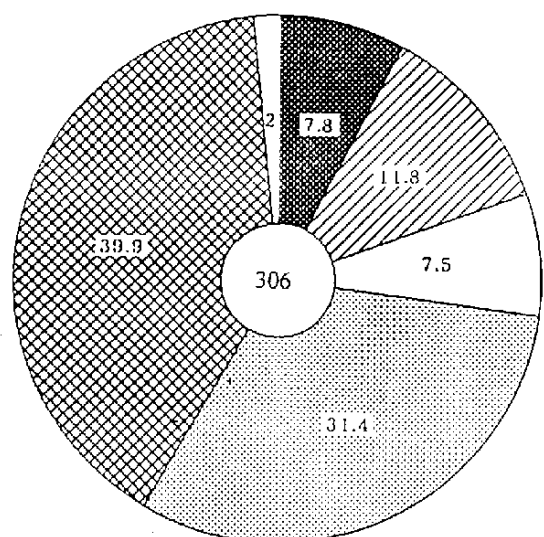
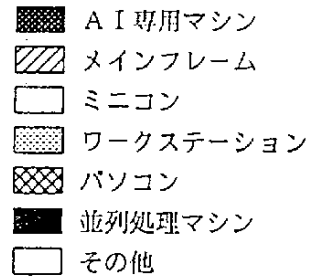
もう一つはワークステーションとパソコンの利用が年を追うごとに拡大していることである。この傾向はここ当分続くことであろう。

図表Ⅱ-1-2-10 ES使用マシン

(a) エキスパートシステム開発用マシン



(b) エキスパートシステム実稼働用マシン



2. 3. 7 実稼動システムの評価

実際に稼動しているエキスパートシステムについて、

- 非常に効果があった
- まあ効果があった
- どちらともいえない
- あまり効果がなかった
- ほとんど効果がなかった

の5段階で評価を聞いた。

57.9%が「非常に効果があった」、34.7%が「まあ効果があった」と答えており、この2つを合計すると92.6%が、エキスパートシステムは「効果があった」と評価していることになる。

この数字は、調査票の回答者がコンピュータ部門の担当者である場合もあるので、割り引いて判断する必要があるかもしれないが、いずれにしても、エキスパートシステムが効果的であることを否定するものではない。

2. 3. 8 知識獲得の方法

知識獲得の方法および知識獲得の今後の課題について聞いた。回答があったのは163件で、知識獲得の方法としてもっとも多かったのはインタビュー方式の79.8%、次いで「整理されたドキュメントから知識を獲得する」の50.9%、3位は弟子入り方式の13.5%であった。

「知識獲得方法論が整理されていてそれを利用している」あるいは「知識獲得支援ツールを利用している」という項目に対してはそれぞれ6.7%、2.5%と低い回答数しか得られていない。

この傾向は前回(1988年)と全く同じである。前回は、インタビュー方式85.5%、ドキュメントの利用59.7%、弟子入り方式14.2%、方法論利用9.7%、獲得支援ツール利用4.5%であった。知識獲得の方法論を確立することの困難さを示しているわけでもあるが、これがある程度確立されてくることが、エキスパートシステムの将来には欠かせないと言える。

今後の課題について、①知識獲得方法論の整備②知識獲得支援ツールの整備(研究開発を含む)③シェル・ドメインシェル等の整備(同)④インタフェース等の開発環境全体の整備(同)⑤その他、という5項目で聞いたところ、最も多いのはやはり知識獲得の方法論の整備で31.9%あった。知識獲得支援ツールの整備と環境全体の整備が同率で20.2%である。これも前回と同様で、対策が望まれるところだ。

2. 3. 9 開発体制

エキスパートシステム構築に専門家が不可欠なことはいうまでもないが、では専門家、知識エンジニア(KE)、情報処理部門(SE)がどのように関わってシステム開発に取り組んでいるのか。

最も多い開発体制は専門家+KE+SEというパターンで34.4%。専門家+KEが21.5%、専門家+SEが12.9%である。

前回は、専門家+KE+SEが30.1%、専門家+KEが18.6%でこれを合わせると48.7%になる。今回、開発体制の中にKEが加わっている部分、つまり専門家+KE+SEの34.4%および専門家+KEの21.5%を加えると55.9%となり、過半数になっている点が注目されよう。

これは、KEがエキスパートシステムを構築するためにどれだけ貢献しているか、という議論をする場合の参考になる。開発態勢に占めるKEの増加の要因は、KEそのものの数の増加とともに、エキスパートシステム開発時に占めるKEの重要性の高まりの両面があるものと思われる。

2. 3. 10 外部機関の利用

エキスパートシステムの開発を効率的に行うためには外部機関を利用することも重要である。その際、どういう外部機関を利用するか。

これによると、最も利用したい外部機関はソフトウェアハウスで40.5%である。以下、コンピュータメーカー、大学や公的研究機関と続いているが、前回と最も異なる点は、トップにソフトウェアハウスがランクされていることである。

前回のトップ3は、コンピュータメーカー44.6%、大学や公的研究機関39.5%、ソフトウェアハウス38.0%であった。

今回の調査結果から以下の2点を推測することができよう。ひとつは、エキスパートシステムがハードウェア依存から脱却しつつあることだ。このことは、2. 3. 6の使用マシンとも関連するが、ハード依存度がこれまでより減った分、コンピュータメーカーへの依存度も少なくなったということになるだろう。

もう一つは、ソフトウェアハウスの力量の向上である。エキスパートシステム開発をより多く手掛けることによって、ソフトウェアハウスはKEを育て、対応力を養ってきたといえよう。

これら以外では、民間研究機関の利用要求は前回の21.4%から14.7%にダウン。「利用しない」は、12.7%から13.5%にわずかにアップしている。

2. 3. 11 導入・実用化の問題点

エキスパートシステムの導入・実用化の問題点について、回答（複数化）してもらった。前回と比較しながら、今回の回答の特徴を分析してみる。

導入・実用化上の最大の問題点は、知識獲得に問題があるという点で46.0%、およそ半分を占めている。これは前回の回答では59.6%とさらに大きなウェイトを占め、トップであった。2位の「知識エンジニアが不足である」（35.0%）という項目は、前回は「技術者不足」として、KE、SEを引っ括めた形になっており、今回同様2位で41.2%ある。

問題点の3番目として前回は技術能力不足が29.2%ある。この項目について今回は18.4%で6番目になっており、変わってメンテナンスに対する問題点を指摘する声が増えている。メンテナンスには2通りあって、ひとつは開発に関わるメンテナンス、つまり、知識ベースのメンテナンスが困難というものである。もう一つは、開発が終了し、実

稼動に入った後も、開発者が面倒を見続けなければならないという負担に関してのものである。

これに対し、「ニーズのある適当な分野がない」「操作性が悪い」などは問題点としては低いレベルに止まっている。以上のような点を考慮していくと、エキスパートシステムは、ニーズはあるにも拘らず、知識獲得の方法が未だしで、知識エンジニアも不足している。さらにメンテナンス技術を確立する必要もある、ということになりそうである。

2. 3. 12 問題点および今後の見通し

エキスパートシステムの問題点と課題については、前項(2. 3. 11)でかなり指摘されているが、回答の自由記述も踏まえ、総体的に考えると、以下のような点が挙げられよう。

- 導入するには現在のエキスパートシステムのレベルは低い
- エキスパートシステムの対象になるような大きな利用領域
- 知識獲得手法の確立
- 開発コストの低減化
- マルチメディアへの対応
- テーマの選択
- KEの確保・育成

5年後の普及見通しについて、アンケート調査の回答は次のようである。

＜かなりの程度普及する＞	46.6%
＜やや普及する＞	28.7%
＜どちらともいえない＞	10.1%
＜ほとんど普及しない＞	3.7%
＜まったく普及しない＞	0.9%
＜無回答＞	10.0%

かなりの程度普及する、やや普及するを合わせると75.3%という高いパーセンテージである。エキスパートシステム以外のAIシステムの5年後普及見通しで、この2つを合わせた数字が2番目に高いのは、機械翻訳システムおよび画像理解システムの43.6%で、エキスパートシステムへの期待の大きさが分かる。

2. 4 機械翻訳システム

2. 4. 1 利用概況

国際化が進む中で、翻訳に対する需要は大きくなる一方である。機械翻訳システムの定義を「機械翻訳とは、コンピュータを用いて、ある自然言語（たとえば日本語）で書かれた文書を他の自然言語（たとえば英語）に翻訳するシステム」（昨年同様）とし、導入状況を調査した。

回答があったのは290件。機械翻訳システムを導入・利用していると答えたのは31件で、10.7%、今後導入・利用予定と答えたのは46件・15.9%、予定なしが213件・73.4%である。前回は導入利用済が37件・13%、導入予定が64件、23%、予定なしが181件・64%であり、全体的に導入意向が前回を下回っているが、これは調査の母集団が異なっていることもあり、一概に機械翻訳システムに対する需要が低くなっているとはいえない。

導入事業所を産業別に見ると、もっとも多いのは教育公務関連で12事業所、導入事業所全体の38.7%を占める。以下、基礎資材産業の7事業所・22.6%、情報処理産業の6事業所・19.4%と続く。昨年の調査で教育公務関連が急伸しているが、今回もこの傾向を持続している。また昨年は加工・組立産業も多かったが、今回は基礎資材産業の割合が多いのが注目されよう。

2. 4. 2 利用分野

機械翻訳システムの利用分野として特許等技術文献、統計等経済資料、マニュアル、カタログ、ビジネス文書（契約書等）、通信文・メモ等、新聞・雑誌情報、その他に分けて利用分野を調査した。その結果、マニュアル、ビジネス文書、特許等技術文献が上位を占めた。昨年調査ではマニュアル45.4%、新聞・雑誌情報22.7%、通信文・メモ等15.9%の順で、この1年の間にカタログ、ビジネス文書などビジネス分野における利用が進んでいることを窺わせている。

翻訳内容を見ると、全体では日→英が36.8%、英→日が42.1%、その他13.2%などとなっており、英語から日本語への翻訳需要が多い。だが産業別に見ると、基礎資材産業は日→英が42.9%なのに対し英→日は28.6%、加工組立産業は日→英、英→日とも33.1%の同率、教育公務関連は日→英35.7%なのに対し英→日は50%と、当該産業の海外との関連の具合を示唆しているようにも見える。利用マシンは、メインフレーム36.8%、パソコン28.9%、ワークステーション21.1%の順で、AI専用マシンは2.6%と少ない。

翻訳した結果の使い方の点では、翻訳結果をそのまま利用するケースは皆無。翻訳システムは導入しているが現在は試験中という回答が31.6%もあり、人手でかなり修正して利用しているケースが18.4%、人が翻訳する際の参考程度という回答が15.8%ある。

2. 4. 3 問題点と今後の見通し

以上のように、機械翻訳システムはまだニーズに応えていない状況にある。現在利用中のシステムの問題点について、次のような回答を得た。最も多いのは、翻訳精度が低いという点で、全体の54.8%の指摘。これは、翻訳結果をそのまま使うことがないことから分かる。以下、辞書の開発・維持・メンテナンスが大変35.5%、原文入力

に手間がかかる22.6%、担当要員が不足している19.4%と続く。

機械翻訳システムに対するこれまでの累積投資額は500万円未満というのが回答事業所の32.3%を占めるが、多いところだと5～20億円にものぼる。これはシステムニーズの表われといえよう。したがって、機械翻訳システムは今後も改良を繰り返しながらニーズに応えなくてはならないが、翻訳精度をある程度ユーザーが満足できるようになるには、時間がかかりそうだ。

2. 5 知能ロボット

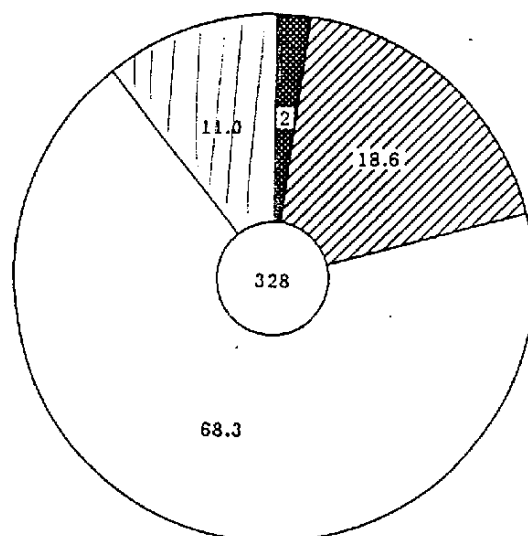
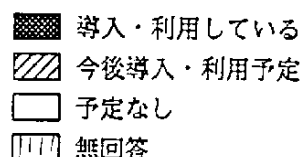
2. 5. 1 利用概況

「ロボットの中で、特に、高度のセンサー機能、推論機能、自律的な行動能力などをもつもの」という定義のもとに、知能ロボットの利用状況を調査した。それによると、知能ロボットを導入しているのはAIシステム導入328事業所のうちの2%（7件＝7社）、今後導入・利用予定が18.6%（61件）、導入予定なしが68.3%（224件）、無回答が11.0%（36件）であった（図表Ⅱ-1-2-11参照）。一昨年、昨年と比較すると、導入済み件数では一昨年4社、昨年5社に対し、今年は7社と漸増傾向にある。しかし、今後導入・利用を予定しているかどうかについては、一昨年の54社から昨年は72社と増加したのに対し、今年は61社と減少している。この数字から見る限り、知能ロボットの利用状況はこの数年、あまり進んでいないといえそうだ。

産業別に見ると、導入企業は情報処理産業3社、教育公務関連2社、基礎資材産業および加工組立産業が各1社という構成である。今後導入・利用予定と回答しているのは、加工組立産業21件、基礎資材産業16件、公共サービス関連9社、教育公務関連8社、などとなっている。

図表Ⅱ-1-2-11

知能ロボットの利用状況



合 計

2. 5. 2 利用分野

知能ロボットの利用分野について極限作業（海底、宇宙、原子炉）、野外作業（土木、建設、農業林業）、補修点検、高度組立加工、精密検査、自動知能機械（船、自動車等）、医療看護、窓口業務、その他の9項目で回答（複数回答可）を求めたところ、高度組立加工が4件、自動知能機械が1件、その他が3件あった。その他の利用は現場作業、運搬、自動化である。

導入企業7社の知能ロボットの平均保有台数は16台あるが、これは特定企業が100台と回答しているため、それ以外の6社の保有台数は1～5台である。導入7社中4社が高度組立加工で、台数的にも圧倒的にこの分野での利用が多い。わが国は産業用ロボットの発達している国だが、この回答から、産業用ロボットにセンサー、推論機能が付加されたロボットの需要が多いと見ることができる。

2. 5. 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、同じく複数回答可で7項目（雇用の縮小、安全性、信頼性、保守の負担、能力・機能不足、価格、その他）を挙げて回答してもらった。最も多かったのは能力・機能不足で5件・71.4%、安全性と信頼性が2件・28.6%ずつ、価格が1件であった。

この回答内容と前項の利用分野をオーバーラップさせると、能力や安全性、信頼性が向上すれば知能ロボットはもっと利用されるであろうと思われる。なぜなら、導入を否定する要因である「雇用の縮小」や「保守の負担」といった項目を問題点として指摘している企業はなく、導入それ自体を否定はしていないからである。

導入企業の知能ロボットに対するこれまでの投資額は500万円未満から2～5億円までとかなりバラつきがある。総体的に多い投資額とはいえないが、後述する音声理解や画像理解さらにはファジィシステムとの連携をとったロボットへの注目も高まってきており、将来的には利用は拡大していくものと見られる。ただし、知能ロボットの本格的な使用開始時期に対しては、1年以内と答えた企業は1社もなく、3年以内で18件・5.5%、5年以内で32件・9.8%と少ない。これに対し10年以上後と答えたのが95件・29.0%もある。つまり、3割は10年以上という長いレンジで知能ロボットの利用を考えていることになる。10年以上ということは、当分は知能ロボットの導入は考えていないといってもよいが、さりとて導入は不必要と思っているわけでもない、という判断であろう。機能の向上次第、というスタンスであるように見える。

2. 6 画像理解システム

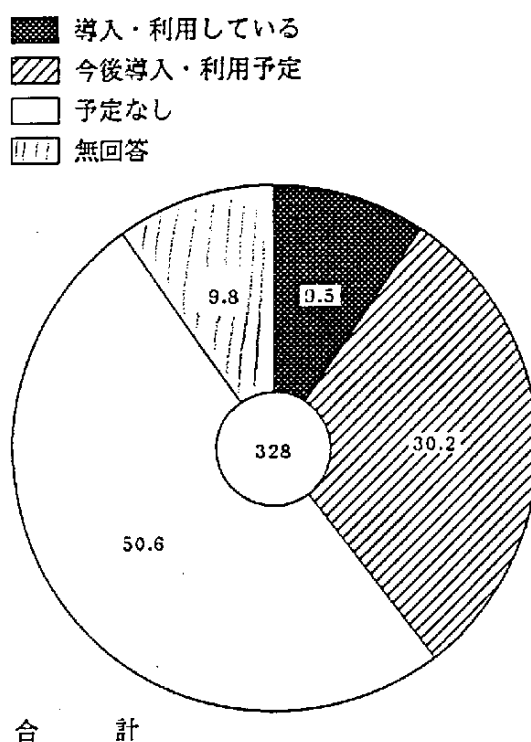
2. 6. 1 利用概況

画像情報、イメージ情報を処理したいという要求は、文字認識やパターン情報処理分野を筆頭に近年高まりを見せている。それを裏付けるように、画像理解システムを導入していると回答した企業は、昨年の21社から今年は31社に増加した。

画像理解システムの定義を、今年は昨年よりやや簡単に「画像理解システムとは、入力された画像情報から、対象物が何であることを理解できるシステム」とした（因みに昨年の定義は「入力された画像情報から、対象物の形状を抽出し、その形状をもとに対象物が何であることを理解できるシステム」である）。

今回調査の導入・利用状況は、図表Ⅱ-1-2-12のようである。画像理解システムを導入・利用しているのは回答総数328件のうち31件（31社）。一昨年の22社、昨年の21社から大幅に増加した。産業別に見ると、教育公務関連がトップで8社、以下、加工組立産業の7社、情報処理産業の6社、基礎資材産業および公共サービス関連の各4社、商業金融関連の2社と続いている。

図表Ⅱ-1-2-12 画像理解システムの利用状況



2. 6. 2 利用分野

画像理解システムの導入企業から、36システムの利用が挙げられている。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各3件（8.3%）。会議報告書等のビジュアル化など、自然環境の認識、商品のラベル検査がそれぞれ2件（5.6%）。

これら以外では、以下のようなシステム利用が回答されている。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、汎用、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、プラント補修・点検、機械補修・点検。

2. 6. 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を種類別に見てみよう。回答件数は総数42件（複数解答）。最も多いのはワークステーションの18件・42.9%。2番目はパソコンで、8件・19.0%。以下、AI専用5件・11.9%、ミニコン4件・9.5%、並列処理マシン2件・4.8%となる。

これを、実用システムとして稼働中の場合と、評価テスト中に分けて見た。実用・稼働中のシステムは17件、評価テスト中のシステムは25件あるが、実用・稼働中の場合、使用マシンの順位は、ワークステーション7件・41.2%、パソコン3件・17.6%、AI専用およびミニコンの2件・11.8%である。一方、評価テスト中では、ワークステーション11件・44.0%、パソコン5件・20.0%、AI専用3件・12.0%、ミニコン2件・8.0%である。

こうして見ると、実用・稼働中、評価テスト中を問わず、ワークステーションが40%以上を占め、次にパソコンが20%近くを占めていることが分かる。つまり画像理解システムの約60%はワークステーションとパソコンで利用、もしくは評価されていることになる。

画像理解システムは31社が36システムを導入しているが、これを実用システムとして稼働中か、評価テスト中かで分けると、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、まだ評価テスト中という企業が過半数を占めているのが現状だ。

産業別に利用状況を見ると、稼働中が多いのは基礎資材産業の4対1、商業金融関連の2対0、情報処理産業の5対2などである（数字はシステム数）。反対に評価テスト中が多いのは加工組立産業の5対2、公共サービス関連の3対2、教育公務関連の9対1などとなっている（同）。

2. 6. 4 問題点および今後の見通し

調査票で、現在利用中のシステムについての問題点を自由に記述してもらったところ、以下のような回答を得た。

- ・処理速度、操作性に問題がある
- ・ネットワークが困難
- ・人手による目視チェックを性能的に越えるのが難しい

画像理解システムを今後導入・利用予定していると回答しているのは、現在導入・利用

している企業31社の3倍強の99件に上る。また、画像理解システムの試験使用開始時期に対しては、1年以内と回答しているのが23件、3年以内が58件と近い将来を想定している点は、このシステムに対するニーズの高さを示している。

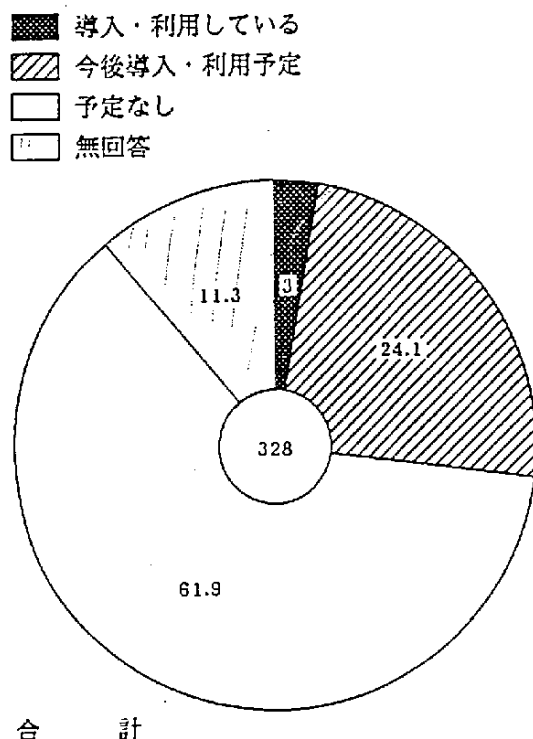
2. 7 音声理解システム

2. 7. 1 利用概況

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、利用状況を調査した。導入・利用状況を一昨年、昨年と比較すると、一昨年に導入・利用していると答えた企業は13社あったのに対し、昨年は5社に減少した。ところが今回は9社に増加している。一昨年は「音声認識システム」という設問の仕方をしたのに、昨年は「音声理解システム」という高度利用を強調したために13社から5社に減少した可能性が強かった。今回は昨年とは調査母集団が異なるため、昨年との単純な比較はできないが、企業数だけを見れば80%の増加となる（図表Ⅱ-1-2-13参照）。

導入・利用している企業を産業別に見ると、基礎資材産業2社、加工組立産業3社、商業金融関連1社、教育公務関連1社、情報処理産業2社と、比較的各産業に分布している点が特徴的である。

図表Ⅱ-1-2-13 音声理解システムの利用状況



2. 7. 2 利用分野

音声理解システム導入企業9社の利用分野を列举すると以下のようになる。

- 疵情報音声入力
- 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マンの入力作業
- 電話によるスケジュール管理
- 離着岸警告システム
- 機器操作

この中で実用システムとして稼働中なのは疵情報音声入力、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システムである。

2. 7. 3 利用マシンおよび利用状況

上記の9つ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件、その他2件である（複数回答あり）。実用システムとして稼働中の場合と、評価テスト中に分けた場合は、パソコンは2件ずつ、その他も1件ずつで均等に分かれているが、ワークステーションの場合は稼働中は1件なのに対しテスト中が3件ある。音声理解システムは現在、ワークステーションによるテスト利用が少なくない、ということになる。

実用システムとして稼働中か、評価テスト中かについては、9社中4社が稼働中、5社がテスト中である。

2. 7. 4 問題点と今後の見通し

音声理解システムの問題点について、導入企業が指摘する問題点は以下のようである。

- 自然（人間）発語に遠い
- 未知語処理機能が必要
- 100 %の理解が難しい
- 人が異なると標準パターンを入力するため、事前に音声を入力しておく必要がある

音声理解システムは、メモリーの集積度など、ハードウェア要件に左右される部分が少なくないが、ハードウェア技術の進展は目覚ましく、今後の見通しは明るいといえよう。音声理解システムを今後導入・利用予定と回答したのは79件。昨年の112社からすると減少しているが、一昨年の76社からすれば微増で、導入・利用ニーズは堅調であろう。

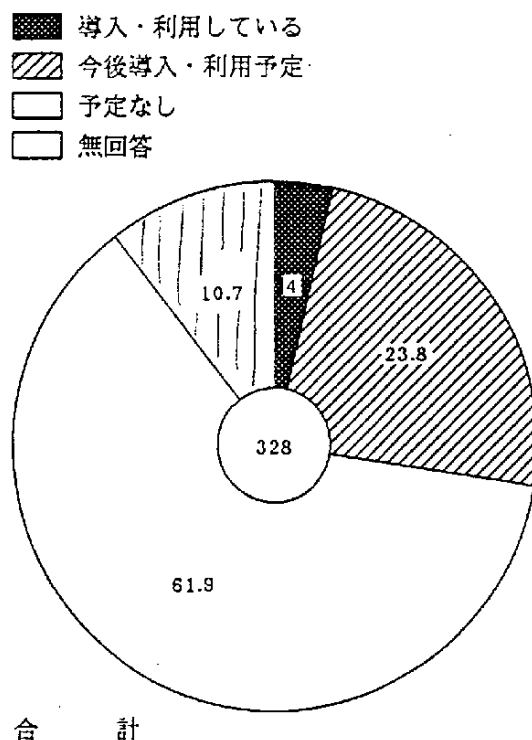
2. 8 自然言語理解システム

2. 8. 1 利用概況

コンピュータの専門知識がなくてもコンピュータを使いこなすためには、日常使用している自然言語が使えることが理想的である。ユーザーが、自らの専門分野の業務をコンピュータ化していくには、ユーザー自身が自然言語でシステム構築できるに越したことはない。自然言語理解システムには、そういう期待がある。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」と定義して、利用状況の調査を行った。

自然言語理解システムを導入・利用しているのは12社で、昨年調査の5社から比較すると2.4 倍の伸びである（図表Ⅱ-1-2-14参照）。最も多かったのは情報処理産業の6社、次が教育公務関連の4社、基礎資材産業と加工組立産業が各1社ずつである。

図表Ⅱ-1-2-14 自然言語理解システムの使用状況



2. 8. 2 利用分野

今回の調査では、12社から14システムの自然言語理解システムの回答が得られた。それによると、談話理解・意味解析関連での利用が4件で最も多い。以下、データベース検索関連の3件、文書の自動索引づけ・キーワード検出関連の2件、OCRデータ読取り、文書の自動要約、自然言語インタフェース、文書校正システムの各1件である。

だが、解決されるべき問題点があることも事実で、今回の調査に対する自由記述からピックアップすると、以下のような点が指摘できる。

- ・辞書（汎用的なもの、大規模なもの）がなく、構築がネック
- ・ユーザーインタフェース、弱い
- ・開発時のツールキットが必要
- ・フルテキストデータベースが必要
- ・処理速度、グラフィックスなどが不備
- ・日本語入力に手間が掛かる
- ・日本語の意味が曖昧

これらがある程度ユーザーの満足度を満たすようになれば、自然言語理解システムの利用は急速に拡大するものと思われる。

2. 8. 3 利用マシンおよび利用状況

自然言語理解システム14システム中、最も多く使用されているコンピュータはワークステーションで、9件・64.3%と過半数を占めている。これ以外では、AI専用マシンおよびミニコンが各2件ずつ（各14.3%）で、画像理解システムや音声理解システムで比較的利用率の高かったパソコンは、わずかに1件（7.1%）である。

産業別に自然言語理解システムの利用状況を見ると、基礎資材産業および加工組立産業が1件ずつ、残りは教育公務関連と情報処理産業に集中している。これは、自然言語理解システムがユーザーインタフェース（マンマシンインタフェース）の大きな要因であることを示しているといえよう。

実用システムとして稼働しているかどうかについては、実用・稼働中は2システム（14.3%）しかなく、昨年と比べ導入は2.4倍に増えたものの、実用となるとこれからにかかっている。

2. 8. 4 問題点と今後の見通し

自然言語理解システムに対するこれまでの累積投資額を見ると、12社のうち4社（33.3%）は500万円未満だが、6社は5000万円～2億円未満の間にあり（無回答2社）、必ずしも少ない額とはいえない。また、自然言語理解システムを今後導入・利用予定していると答えているのが78件（23.8%）あることをみると、ニーズはかなりあるといえよう。

2. 9 その他のAIシステム

2. 9. 1 利用概況

その他のAIシステムとして知的CAI、知的CAD、自動プログラミングシステム、知的スプレッドシートなどの導入状況を調査した。回答総数328件のうち、導入・利用していると答えたのは23件・7%、今後導入・利用予定が128件・39.0%、予定なしが146件・44.5%である。

これを産業別に見ると、もっとも導入・利用しているのは情報処理産業で7件。加工組

立産業と教育公務関連がそれぞれ6件ずつ、基礎資材産業が3件、商業金融関連が1件あった。

2. 9. 2 利用分野

知的C A I、知的C A D、自動プログラミングシステム、知的スプレッドシートなどを導入しているのは23事業所・32システム。これをシステムで見ると、知的C A Iは14システムで43.8%、知的C A Dは4システム・12.5%、自動プログラミングシステムは8システム・25.0%、知的スプレッドシートは2システム・6.2%、その他4システム・12.5%である。

これらのシステムに使用している言語・ツールとしては、知的C A IではL I S P、P R O L O G、K E EといったA I言語・ツールが多いのに対し、自動プログラミングシステムではC言語など汎用言語を中心に開発・利用されているのが特徴的である。知的C A D、知的スプレッドシートについては市販のツールを利用するケースが目立つ。

2. 9. 3 利用マシンおよび利用状況

その他のA Iシステムについて、どんなタイプのコンピュータを使用しているか、またそれぞれのシステムは実用システムとして稼働中か評価テスト中かを聞いた結果は、次のようである。

まず使用マシンについてはA I専用、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、その他に分けて聞いた（1システムに対し複数マシン使用も含む）。もっとも多かったのはワークステーションとパソコンで、それぞれ12件・37.5%である。次いでA I専用マシンの6件・18.8%、メインフレームとミニコンの各1件・3.1%で、並列処理マシン、その他は回答がなかった。

実用システムとして稼働中か、それとも評価テスト中かについては29件の回答があり、実用システムとして稼働中が6件・20.7%、評価テスト中が19件・65.5%、「休止」と答えたのが1件、無回答が3件あった。

2. 9. 4 問題点と今後の見通し

知的C A I、知的C A D、自動プログラミングシステム、知的スプレッドシートといったA Iシステムのうち、実用システムとして稼働している6件のなかには、評価テスト中でもあるという重複回答も含まれている。つまり1部は稼働しているが、全体としては評価テスト中ということであろう。したがって、これら「その他のA Iシステム」の大半は評価テスト中で、これから、その効果が評価される段階にある。

一方、現在は未導入だが今後は導入・利用を予定している割合が39%もあることは、将来のA Iシステムに対する期待が大きいことを物語っている。

2. 10 AIシステムの今後

AIシステムの今後について、事業所内の業務に一般的に使用するのはいつごろからと考えるか、試験使用開始時期と本格的な使用開始時期に分けて聞いた。また、所属する業界において5年後にどの程度普及すると思うかについても聞いた。AIシステムそれぞれの分野について、本格的な使用開始時期、5年後の普及程度は以下のようなものである。

〔エキスパートシステム〕

エキスパートシステムの今後の本格的な使用開始時期に対する調査結果は、現在使用中が25.0%、1年以内が11.9%、3年以内が21.0%、5年以内が14.9%、10年以内が9.1%、10年以上後が4.0%、無回答が14.0%であった。また、5年後の普及程度についてはかなりの程度普及する、やや普及する、どちらともいえない、ほとんど普及しない、全く普及しない、無回答で調査した（以下、同）。エキスパートシステムに関しては、2. 3. 12で紹介したように「かなりの程度普及する」と「やや普及する」を合わせると75.3%と、高い比率を示し、将来性の良さを窺わせている。

〔機械翻訳システム〕

機械翻訳システムの本格的な使用開始時期は、現在使用中が2.7%、1年以内が2.4%、3年以内が8.2%、5年以内が18.9%、10年以内が15.5%、10年以上後が18.3%、無回答が33.8%であった。5年後の普及度は、15.9% 27.7% 16.2% 9.1% 5.8% 25.3%と、5年後の普及は40%台である。

〔自動プログラミングシステム〕

自動プログラミングシステムは現在使用中が1.2%、1年以内が1.5%、3年以内が6.4%、5年以内が19.5%、10年以内が21.0%、10年以上後が17.7%、無回答32.6%である。5年後の普及度は14.6% 21.3% 23.8% 9.5% 4.9% 25.9%で、30~40%が普及するとしている。

〔画像理解システム〕

画像理解システムの本格的な使用開始時期は、現在使用中の3.0%が、1年以内に2.4%、3年以内に11.6%、5年以内に14.9%、10年以内に18.0%、10年以上後に17.7%（無回答32.3%）になる見通し。また5年後は、16.8% 26.8% 18.9% 9.5% 4.9%、23.2%と、40%が普及を見込んでいる。

〔音声理解システム〕

音声理解システムの現在使用中の割合は0.6%と低い。1年以内は0.6%、3年以内で7.0%、5年以内で14.9%、10年以内で19.8%、10年以上後で21.3%、無回答35.7%である。5年後の普及ではどうか。10.4% 22.0% 22.9% 13.1% 5.2%、26.5%と、30%台が普及を指摘する。

[自然言語理解システム]

現在使用中は0.3 %。1年以内0.6 %、3年以内6.7 %、5年以内11.0%、10年以内18.3%、10年以上後27.1%、無回答36.0%。5年後の普及予測では 7.9 % 18.3% 24.1% 15.2% 7.6 % 26.8%である。

[その他のAIシステム]

現在使用中は0.3 %、1年以内0.9 %、3年以内8.5 %、5年以内11.9%、10年以内15.5%、10年以上後17.7%、無回答45.1%。5年後の予測では 6.4 % 16.5% 27.1% 6.1 % 4.6 % 39.3%。

[ファジィシステム]

ファジィシステムの本格的使用開始時期で最も多いのは、5年以内という回答で、18.0%である。次が3年以内というもので14.9%ある。ファジィシステムへの期待はかなり大きいといえる。因みに1年以内3.4 %、10年以内10.4%、10年以上後14.6 %、無回答33.5%である。5年後の普及度では 24.1% 22.9% 17.4% 5.5 % 3.4 % 26.8%と50近くが普及すると答えている。

[ニューロシステム]

ファジィシステムとともに脚光を浴びているニューロシステムだが、本格的使用開始時期については、10年以上後とする見方が最も多い。次系列で見ていくと、現在使用中1.5 %、1年以内1.5 %、3年以内10.4%、5年以内14.3%、10年以内15.5%、10年以上後22.9%、無回答33.8%である。5年後の普及度では 11.0% 24.1% 23.8% 9.8 % 5.2 % 26.2%である。

第2部 AIシステムのニーズ

第1章 未導入企業のAIへの意識

1. 1 未導入の背景

1980年代半ばをAIシステムの普及の開始時期だとすると、すでに4～5を経過したことになるが、これまで述べてきた利用動向でも分かる通り未導入企業（事業所）は多い。あるいは導入企業であっても評価テスト中という場合も少なくない。

AIシステム未導入の背景についてはさまざまである。今回の調査は2段階に分け、第1ステップではホストコンピュータを導入している一般ユーザーに、AIシステムの導入の有無を聞き、第2ステップで、第1ステップで導入していると答えたユーザーおよびAIセンター会員を対象に導入状況を聞いた。第1ステップの調査票の回答の中から、AIシステム未導入のユーザーのコメントを以下に列記し、未導入の背景を考慮する。

- 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予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利用しており、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

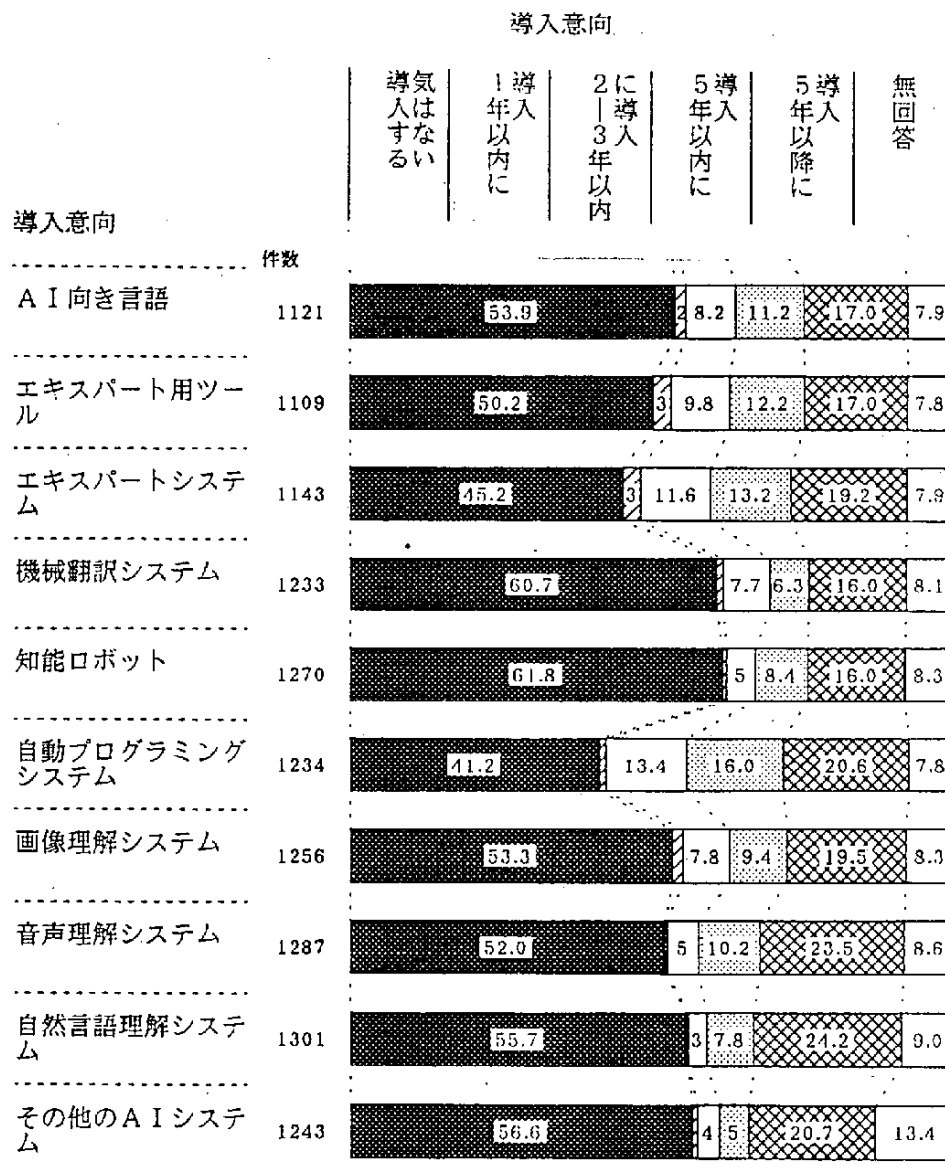
これらを総合して考えると、AIシステム未導入の背景として、まず必要性を認めていない点がある。次に、必要性は認めているが、コストパフォーマンスを見込めない。第3に、ユーザー側のAIシステム導入体制に不備が少なくないこと、などが主たる要因といえよう。

1. 2 今後の導入計画

図表Ⅱ-2-1-1に各AIシステムに対する今後の導入意向を示す。これを見ると、未導入企業の約半分はAIシステムを導入する気はないことになる。しかし、2～3年以

内、5年以内、5年以降と中長期的な展望になるにつれて、導入意向を示す企業も増加している。

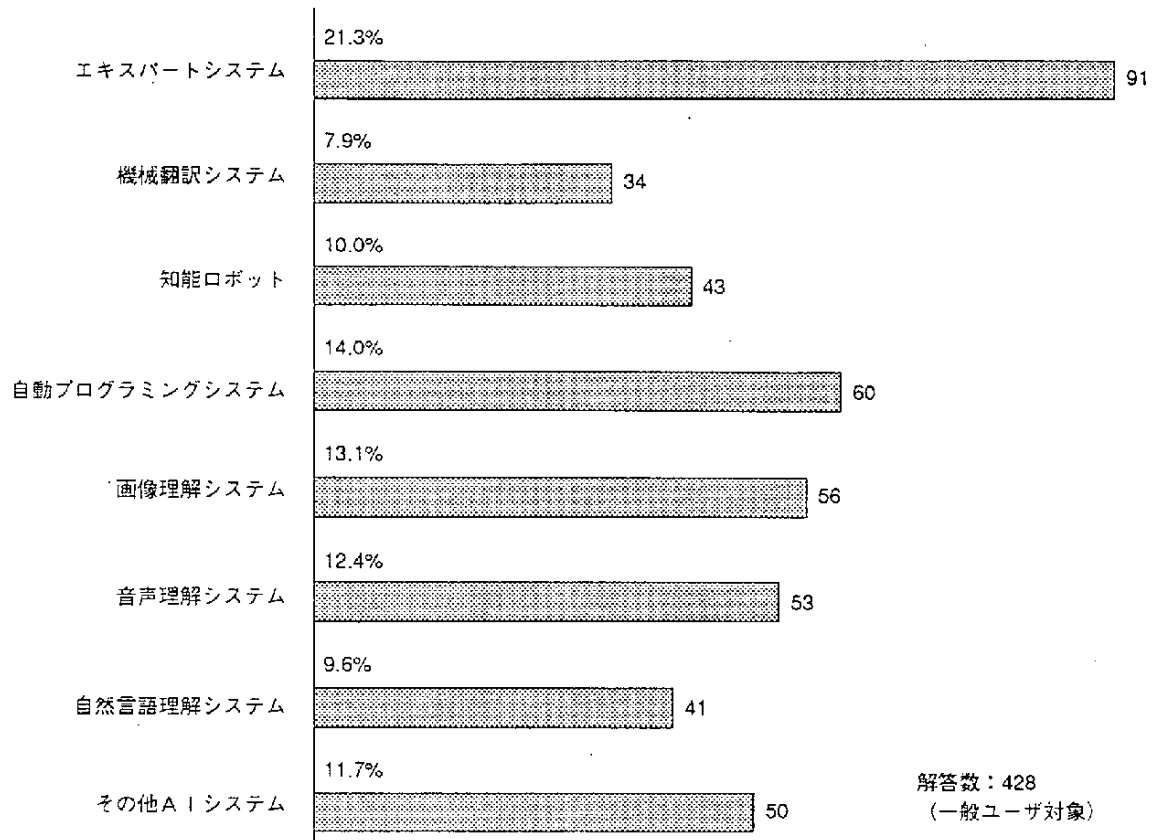
図表Ⅱ－２－１－１ AIシステムに対する今後の導入意向



1. 3 導入期待分野

AIシステム未導入企業の利用意向を図表Ⅱ－２－１－２に示す。やはりエキスパートシステムへの期待が大きいですが、自動プログラミングシステム、画像理解システム、音声理解システムに対する要求が高い点に注目したい。

図表Ⅱ－２－１－２ 今後利用したいAIシステム



第2章 AIシステムの市場規模推定

2.1 AI市場の現状

現在のAI市場を概観するため、次の調査を行なった。

母集団：1989年現在のホスト機導入事業所（18,076）

標本数：6,238

抽出方法：層化無作為抽出法（産業別に層化）

抽出台帳：コンピュータユーザ調査年報1989年版

調査方法：郵送方式

調査時期：1989年12月

回収標本数：1,449（回収率23.2%）

この調査では、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、ホスト機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。

（従って、①ミニコンやAI専用機やパソコンのみしか利用していない事業所・個人から発生する需要は含まれていないこと、②ユーザ事業所の、内部人件費も含めた支出金額ベースの需要規模であり、サプライヤーの投資は含まれていないこと一に留意されたい。）

現在まで（1989年末）の我が国のAI市場全体への投資額は6,837億円と推定される。現在の年間市場規模は2,000億円弱と見込まれ、これまで年率平均46%程度の高い成長を示してきている。

これまでの投資の30%にあたる2,116億円がハードウェアへの投資であり、次いで内部人件費1,933億円、外注費1,193億円、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育成費の比率が小さくないこと、外注費を内部人件費が上回っていることが注目される。（図表Ⅱ-2-2-1）

図表Ⅱ-2-2-1 AI全体の投資額

		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

解説 AI市場の推計方法

(目的)

本年度の試みとして、AIのサプライヤーの研究開発投資等を除いて、AI関連ビジネスがどれくらいの市場となっているかを、ユーザ側の支出ベースで明らかにしようとした。

やや専門的な調査となるので、回答できる担当者が存在すると思われる「89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。

このため、ミニコンやワークステーションのみを利用している事業所は対象外となっているが、R&Dは含まず、AI利用のためのユーザ側の投資額を得るための調査であるので（ミニコン、TWSしか利用していないソフトハウスや研究所等が対象から漏れても）大きな問題はないと思われる。

(調査の概要)

ステップⅠ

(母集団) 89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18,076事業所)
(抽出台帳) コンピュータユーザ年報89年版
(抽出方法) 層化無作為抽出法
(産業別に層化)
(標本数) 6,238
(調査方法) 郵送法
(回収標本数) 1,458 (うち有効回収1,449 回収率23.2%)
(調査時期) 89年12月

ステップⅡ

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、その内容を尋ねる調査を行なった。

(調査対象) ステップⅠの回収標本のなかで、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) 90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)

18,076事業所を産業別に区分し、各産業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なった。

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。

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あてられている。他のシステムは揺籃期にあるが、他のハードやソフトと一体となって利用されることの多い画像理解システムが1,424億円と多くなっており、音声理解システムにおけるANSWERなど情報処理部門の経費に計上されにくいシステムではやや小さめの数字となっている。（図表Ⅱ-2-2-2）

図表Ⅱ-2-2-2 現在までのシステム別投資額 （単位：億円）

エキスパートシステム	4,277	63%
機械翻訳システム	305	4%
画像理解システム	1,424	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	6,837	100%

2.2 AIシステムの市場予測

今後のAI市場は、1990～1994年末の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12,375億円と予想される。（図表Ⅱ-2-2-1、図表Ⅱ-2-2-3のケースA）

最も伸びるのはツール言語などソフトウェアの購入費（7.8倍）であり、次いでハードウェア（5.4倍）、外注費（5.3倍）の順になっている。今後、人材育成に力をい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。

これは、これまでの数年間の需要の伸び（年率46%）とは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。これは資料編2.の調査票I-3の項目別の投資額を集計したものであり、いわば今後の投資予定を示しているものと考えられる。

これに対し、同調査票I-2の総額を尋ねた質問から集計すると、5年間で1兆9,000億円程度と見込まれる。これは質問方法の相違や質問I-2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。（図表Ⅱ-2-2-3のケースB）この場合、年率22.7%成長に相当し、ES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く、今後は他の情報処理産業と同程度の成長ということになる。

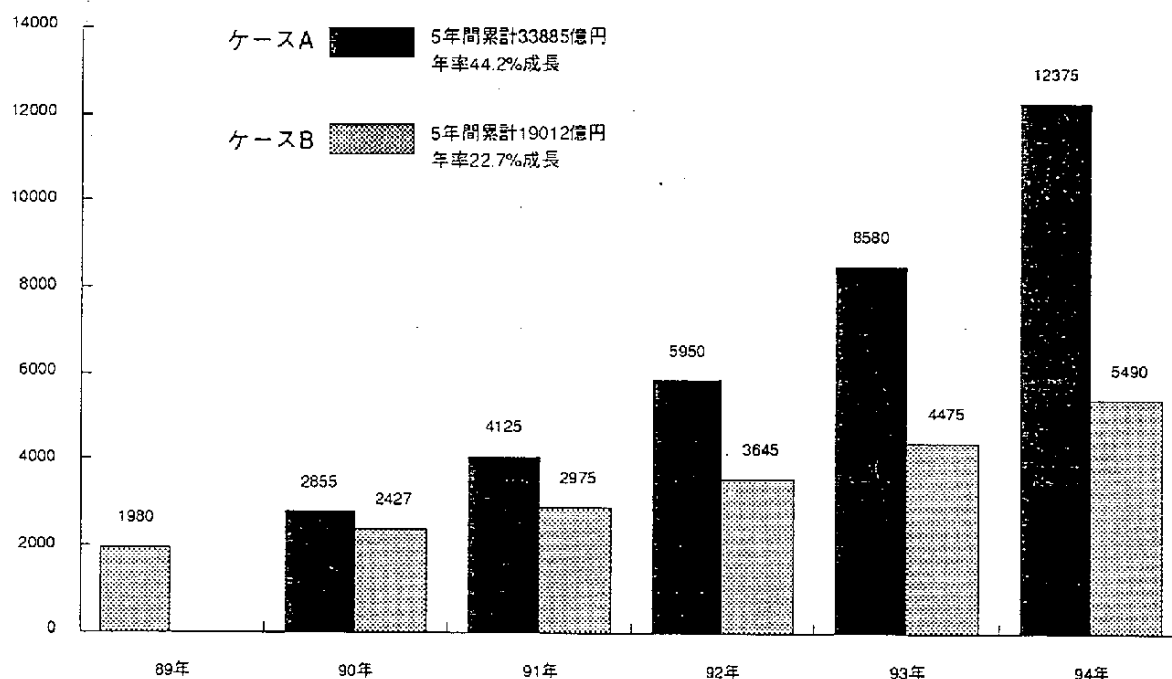
2.3 開発要員の伸び

現在のホスト機導入事業所関連でのソフトウェア開発要員は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。しかし、たとえばKEの専任・兼任比率は16:84であり、AIシステム開発は兼任者を中心に緒についたばかりという感がある。（図表Ⅱ-2-2-4）

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、全てのソフトウェア開発要

員の1割を上回る見込みである。とくに専任KE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KE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し、教育の市場が焦点の一つとなろう。

図表Ⅱ－２－２－３ 今後のAI市場の伸び



図表Ⅱ－２－２－４ ソフトウェア開発要員数の伸び

(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

(注) 要員の中には、常時、事業所で就業している外部要員(外注・派遣)も含めている。

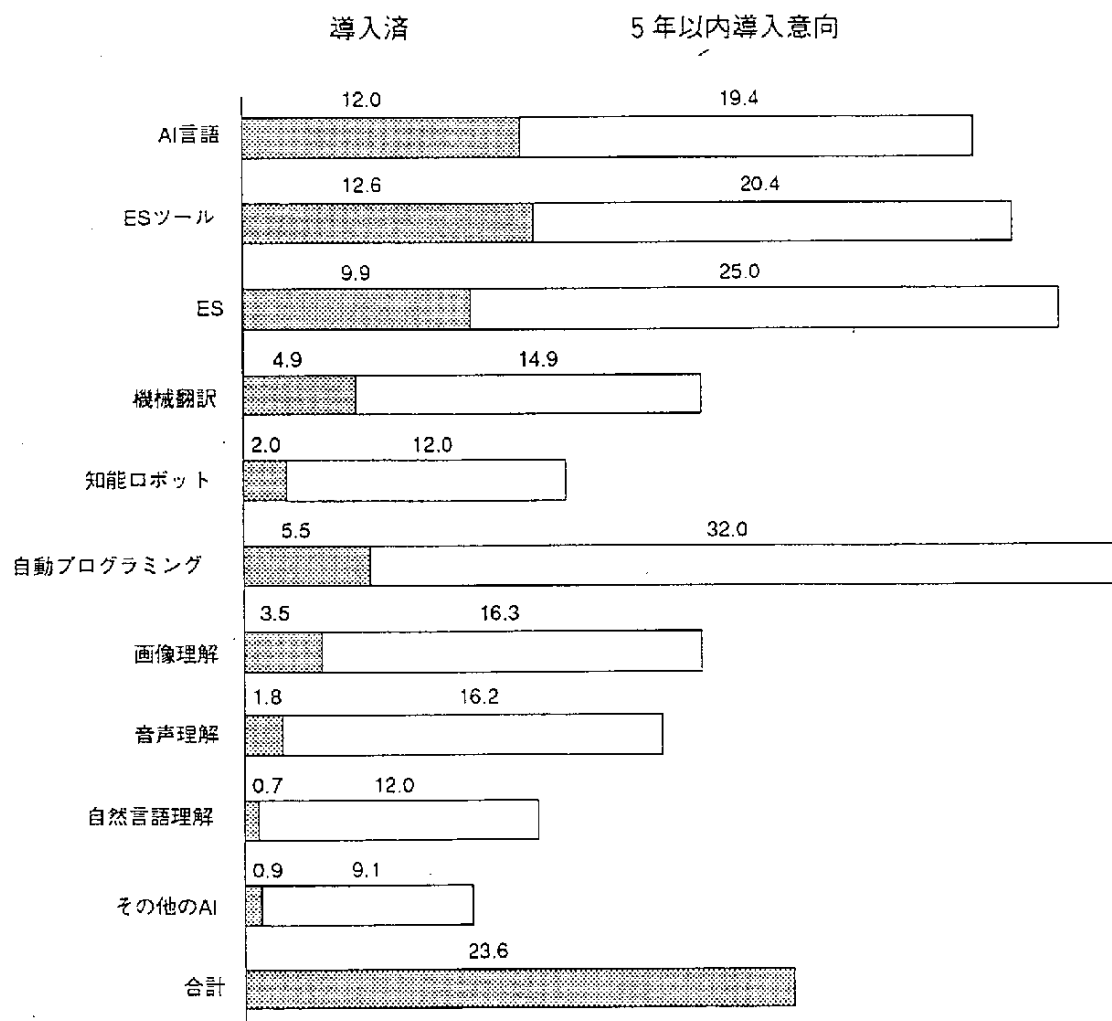
2.4 今後のAIの広がり

現在、ホスト機の存在する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。しかし、その大半がAI言語やES構築ツールを入れたというレベルであり、エキスパートシステムを導入しているところは10%弱しかない。未導入事業所でも5年以内にESを導入したいとしているところは多く、5年後には4分の1の事業所がESを導入するものと考えられる。（図表Ⅱ-2-2-5）

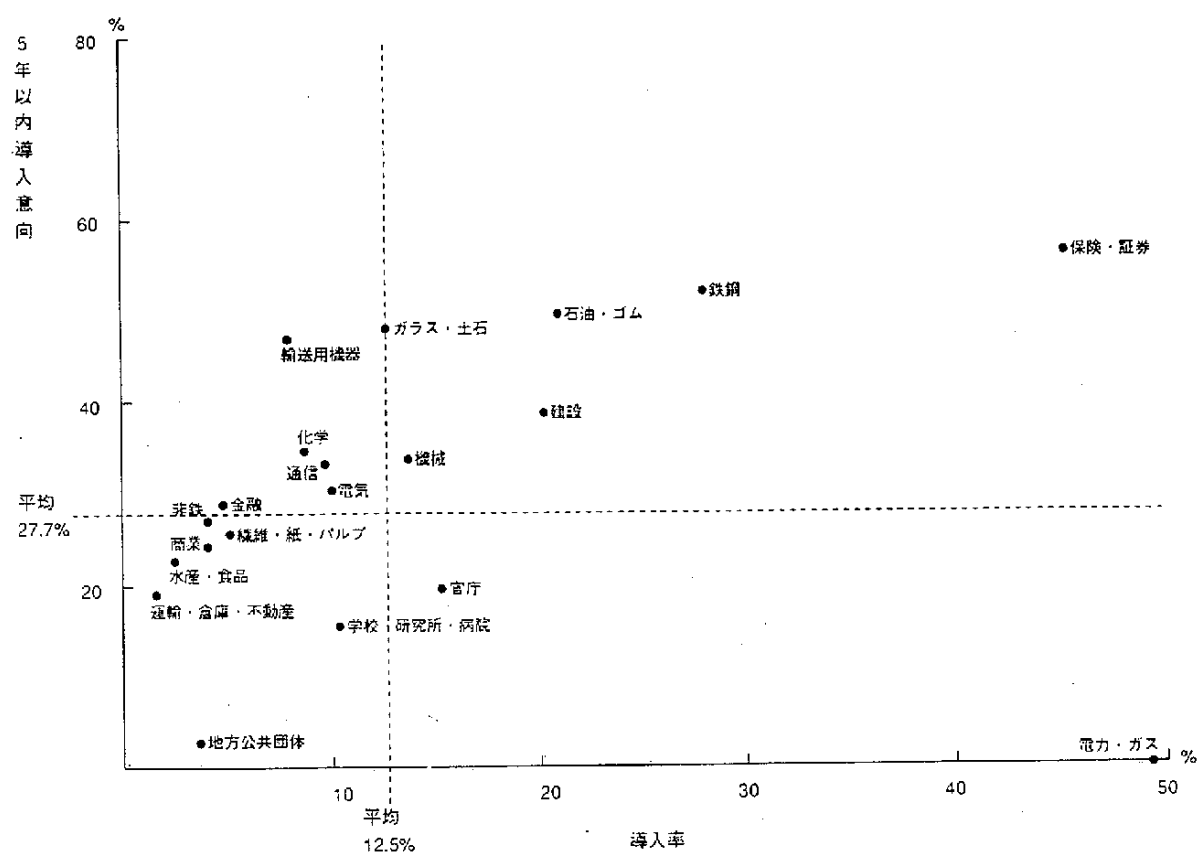
このように「5年以内での導入意向」を見る限り、注目されるのは自動プログラミングである。5年以内に3分の1の事業所が導入したいと考えており、更なる研究開発が望まれる。他にも、知能ロボット、画像理解、音声理解、自然言語理解等で、現在の導入率の数倍以上の導入意向が見られ、ニーズとシーズとのギャップがこれらのシステムで存在し、今後が期待されていることが分かる。

現時点で最も導入されているシステムであるESについてみると、図表Ⅱ-2-2-6のように業種によってバラツキの大きいことがわかる。導入率に比して、5年以内導入意向率が高いのは、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り、実用システムとしてのESの導入が検討されていることがうかがわれる。

図表Ⅱ-2-2-5 導入・意向事業所数 （全事業所数：18,076）



図表Ⅱ－２－２－６ エキスパートシステム 5年以内導入意向と現在導入率



第3部 産業界のAI利用

第1章 概観

4年振りに米国で開催されたIJCAI 89(11th International Joint Conference on Artificial intelligence：第11回人工知能国際会議)の展示会では、AIの実用化の発展に伴って各AIベンダーがデータ処理市場に自社の製品を積極的に組み込み、アプリケーション分野での展示に重点を置くようになってきている事が伺える。

一方、展示の大部分がエキスパートシステムに関するものであったが、この傾向は今回の調査にも現われており、この傾向は当分変わらないものと思われる。

また、機械翻訳や画像理解、音声理解なども「役に立つ」製品として市場に出てきていることは、ユーザの期待に応えたものである。

産業界のAI技術の利用は、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る問題を解決する一つの方法として期待されている。このため各業界では、社内業務への活用と共に顧客へのサービスに活用することや、商品にAI技術を組み込むための努力が行なわれている。

今回のAI利用動向調査の中で、産業界が「どのようにAI技術の利用を行っているか」を、特に、次の四つの業界を取り上げてその動向を調査した。

- ・プラントエンジニアリング業界
- ・金融業界
- ・電力業界
- ・宇宙産業

特に、この4つの業界のAI技術の利用では、

- ・プラントエンジニアリング業界については、エンジニアリング技術を活用して世界各国でプラントの建設を行っており、その企業活動の中でのAI技術の利用
 - ・また、情報化やグローバル化のインパクトを正面に受けている金融業界では、その"待ったなし"の中でのAI技術の利用
 - ・エネルギーを供給する立場の電力業界では、火力、原子力、水力などの設備の安全性や良質で高い信頼性を持った電力の供給を行なう中でのAI技術の利用
 - ・ハイテクな技術の集合体である宇宙開発上でのAI技術の利用
- について、その適応分野と事例、将来の展望と課題を以下に紹介する。

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、そのサービス体制は重要になっている。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、技術的な裏づけは勿論であるが、統一した思想のもとで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。このため、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、プラントエンジニアリング業界は、時代に応じたプロ

ジェクト遂行方法を学んできた。

これは、発展途上国で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、情報化への投資を押し進める大きな要因になっている。

また、プラントエンジニアリング企業にとっての合理化、能率向上は、企業自体にとっても、またプラントエンジニアリング企業の顧客にとっても双方の利益をもたらす不可欠な努力となっている。

(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」の企業化計画のフィジビリティ・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ロジェク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。

エンジニアが、コンピュータを計算尺代わりに使い始めてから、今で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。これは、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とってAI技術の利用面から見ると、

- ・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

などの利用の仕方がある。

労働集約型で、且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経験するチャンスはなく各専門エンジニアに蓄積されるため、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、多くのプラントの建設やオペレーションの経験からプラントの運転に係わる知識のAIへの適用が要求されてきている。

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、ある程度まで一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F/S、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
- にある。

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業務について、分類、整理してその主な適用業務を以下に述べる。

(1) 業務の合理化への活用

業務の合理化へ活用するAI技術は、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。その多くは、プロジェクトを遂行するために必要な技術情報であり、専門技術者支援と共に他の専門技術者へのコンサルテーションツールとして不可欠になりつつある。

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には、多くの経験が必要であり、また、管理の段階でのプロジェクトリスクに対するノウハウ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への教育

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あ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あ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

- ・ 運転要因の教育

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運用するためには、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く、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となっている。

一方、プラント業界では、プラント設備の停止や事故は社会的な影響が大きく、確実に迅速な対応が必要になっている。これは、従来の運用や制御方法では限界になってきつつある現象である。

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り、また、高度化し新しい技術を採用し設備運用業務の集中化した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ため、その要員の確保が非常に難しくなっている。

この事が、プラント設備等の設備にAI技術を組み込み活用する大きな要因になっている。

特に、プラントエンジニアリング業界が要求している適用分野は、

- ・ プラント設備の運転支援
- ・ 故障診断・異常診断
- ・ スペアパーツの寿命管理業務支援

等である。

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技術を社内用、社外向けなどに広く、開発・試用を行なっているが、今後は、更に対象業務の範囲の拡大が図られ、その内容も充実が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一つとして有効であると思われる。

この課題の幾つかを以下に紹介する。

(1) 開発要員の確保

社内用、社外向けに出来るだけ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行くことがAI技術の蓄積になる。しかし、これに求められる人材の育成、

体制と環境の整備は、企業にとって大きな負担になる。このためには、AI技術が特別に教育されたAI専門家だけのものでなく、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使いやすく、誰にでも使えるものが必要である。

(2) マン・マシン・インターフェイス

現在のシステムは、利用者の立場からみると必ずしも使いやすいものとは言えず、人間の立場から考えたシステムへの科学的なアプローチを図る必要がある。マン・マシン・インターフェイスとして、グラフィックな図形表示など絵で表示する必要がある。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と思われる。

(3) リアルタイム処理

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

AI技術によって作られたシステムを誰が検証し、保証するかは非常に難しい問題である。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。また、利用者が、そのシステムについて素人である場合、その利害は社会的な問題になると思われる。

情報・通信システムの高度化に伴って、システムは統合され新しい時代に向って進歩することは間違いのない事実である。この中で、AI技術は、まだ多くの技術的な課題を残しているが、産業・社会へのインパクトは大きく、広く活用されるようになるし、大きな期待が集められていると考えられる。

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) 序

当社は、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来ており、その運転監視の為、常に革新的、先進的な技術を取り込み実装置に適用する様努力して来た。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ーフェースの良いシステムが求められている。この様なニーズに対応する為に、当社でも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、既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報告する。

プラントへ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事もあるが、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、または、作業指示を出力するもので、これらは、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。

ここでその様なシステムの効果を簡単に述べておく。

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、提示する事が出来る。

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取るべきか分からないと言う事も少なくない。この様な時、コンピュータによる異常診断は、混乱に陥る事無く、常に客観的に行われる。

3) 知識の共有と伝承

プラントの運転においては、オペレータやグループにより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事により、均質なオペレーションが行なわれ、更に世代を越えた知識の伝承が行なわれる事が期待される。

(2) エキスパートシェル

エキスパートシステムを開発する為のコマンド体系や環境をエキスパートシェルと言い、多くの製品が市場に出回っているが、ここでは、各事例で使用した次の3つの製品について述べる。

1) B R A I N S : 非コンピュータメーカー系のシェルとしては常に上位のシェア(国内)を持つものである。大型汎用機を対象としたオーソドックスなエキスパートシェルで、知識表現は、プロダクションルールで前向き、後向き推論を行なう。このシェルにはトランスレータというオプション機能があり、その知識ベースをC言語に変換しPC9801等のパーソナルコンピュータに移植する事が可能である。従って、適当な通信システムと組み合わせる事によりオンラインリアルタイムシステムの構築が可能である。

2) G U R U : パソコン、ワークステーション用のシェルとして国内外で大きなシェアを持っている。比較的早期に商品化された統合型のシェルで、リレーショナル型のデータベース、表計算やビジネスグラフ等の機能を持っている。当然、通信機能も持っているのでオンライン化も可能である。実際、近年、欧米ではG U R Uを使ったオンラインシステムの開発が活発化している。

3) G 2 : オンラインリアルタイムシステム構築用に特化したシェルで、近年大きなシェアを占めつつある。汎用ワークステーションで高速即時処理が可能である。知識ベースを自然言語(英語)に近い形で表現する事が可能でエキスパート自身による知識ベース構築が可能である。シミュレーション機能がありオンラインリアルタイムシステムのテスト、デバッグに便利である。プラントの計装システムや他のコンピュータとの通信インターフェースがオプションとして用意されている。

(3) 開発事例

3. 1. 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始め各種の精留装置や重質油を分解する各種分解装置、及び各種タンク群、ポンプ、バルブ、計装システム等から成る。

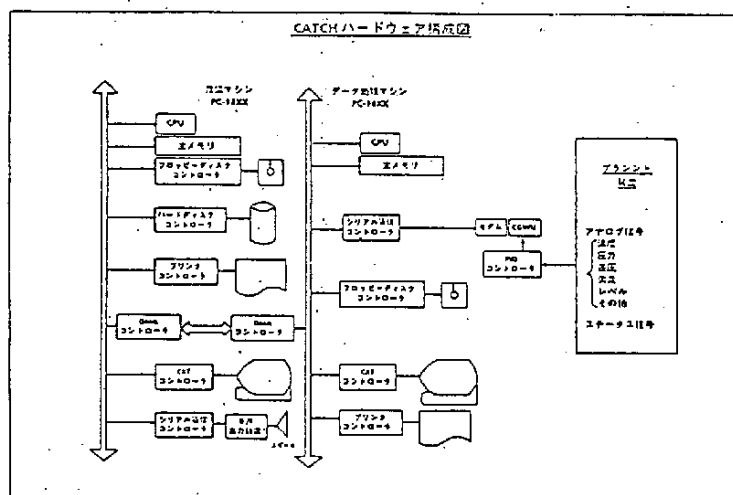
本事例は、その中の重質油を触媒を用いて分解するFCCプロセスの異常検知とその原因を求める為のルールとその推論システムに関するものである。エキスパートシェルとしては、BRAINSを使用し、前に述べた様にトランスレータによりC言語に変換し、PC9801上で稼動する様にしたものである。本システムでは、推論と各種数値計算を同時処理する為図表Ⅱ-3-2-1の様にPC9801を2台、DMAにより接続した。

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いている。

診断結果の例を図表Ⅱ-3-2-2に示す。

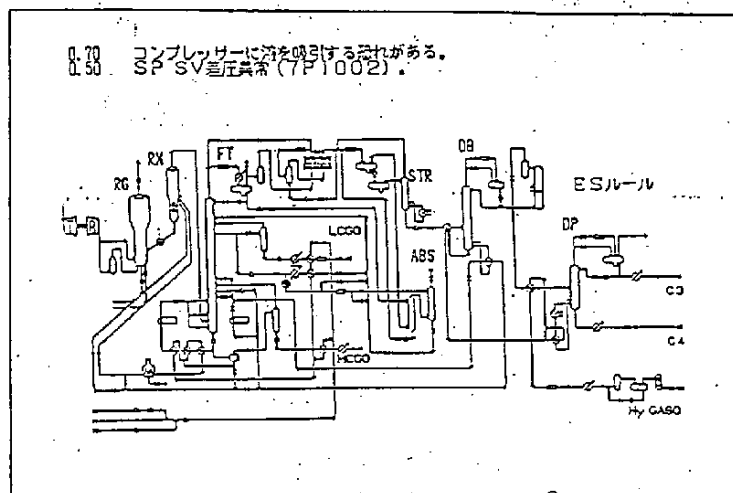
図表Ⅱ-3-2-1

ハードウェア構成



図表Ⅱ-3-2-2

診断結果の例



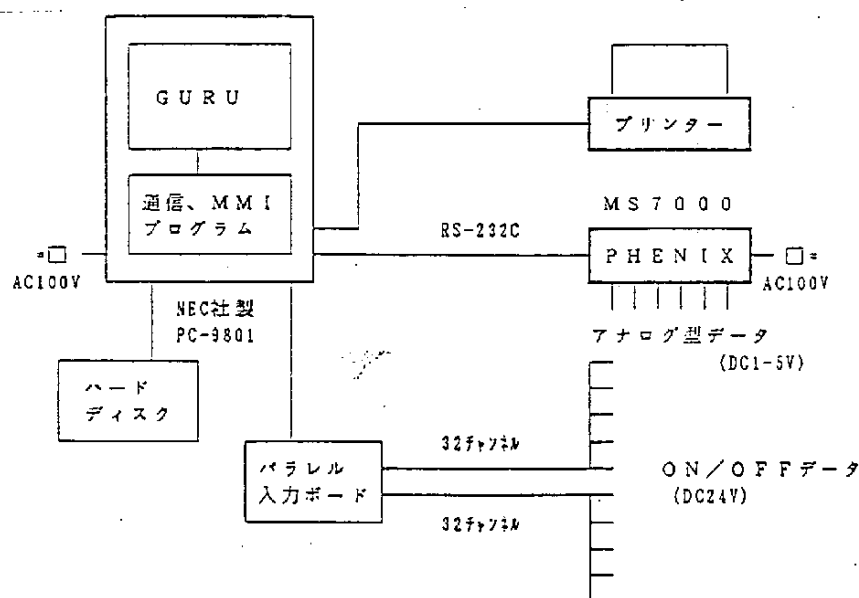
事例 2. ユーティリティ管理システム

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切な運転機器の組合せを求めるものである。エキスパートシェルとしては、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、事例 1.と同様ハードウェアとしてPC9801を使用しており、図表Ⅱ-3-2-3のようなシステム構成となっている。

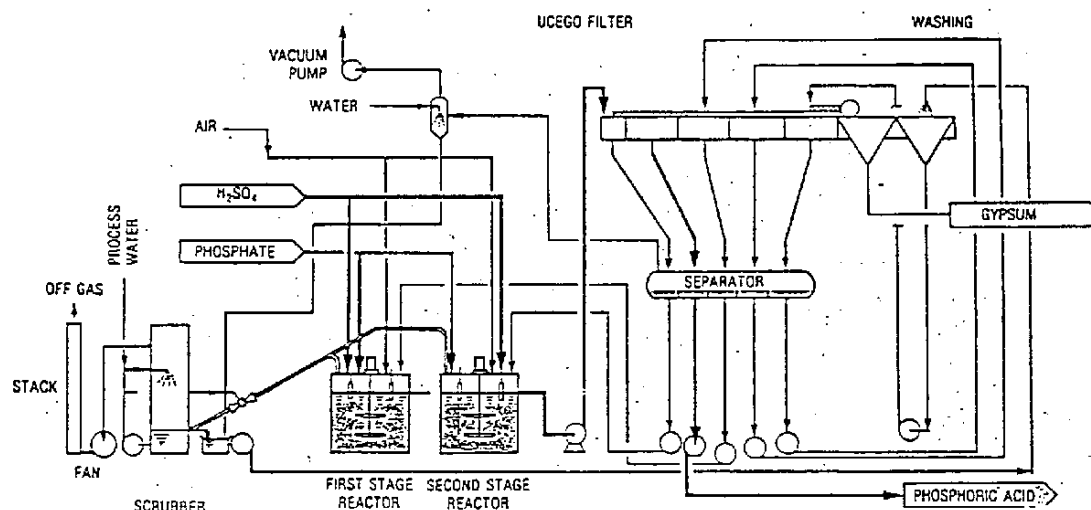
図表Ⅱ-3-2-3 システム構成



事例 3. リン酸プラント運転支援システム

本プラントは、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（図表Ⅱ-3-2-4）。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。

図表Ⅱ－３－２－４ リン酸製造プロセス

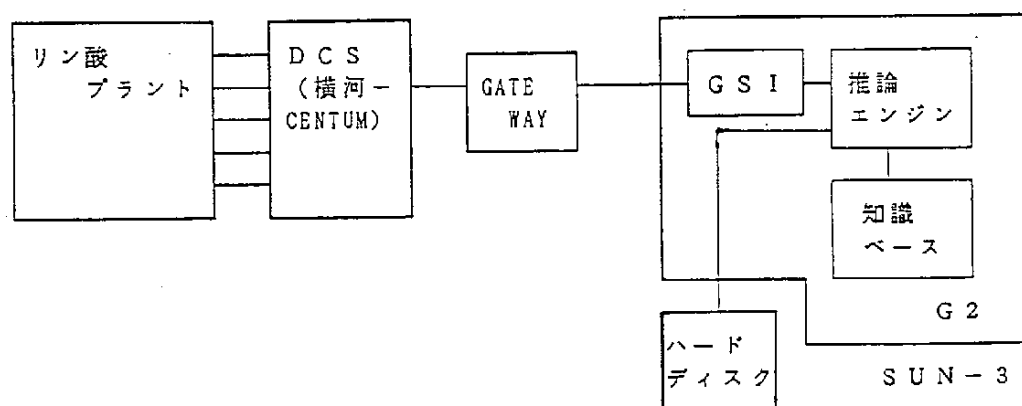


本システムでは、反応状態の管理、監視の為にリン酸、硫酸の濃度、反応の温度、圧力等の測定し異常の有無を判定する。また、フィルター部でのリン酸濃度や圧力損失等を監視し、フィルターの洗浄や交換に関する作業指示を出力する。

これらの知識ベースは、G2で構築されている。プラントの計測値は、G2のインターフェースである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。尚、本プラントの計装システムにはCENTUM (横河電機) が使用されている。

本事例でのシステム構成を図表Ⅱ－３－２－５に掲げる。

図表Ⅱ－３－２－５ リン酸プラント向けのシステム構成



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、設計者自から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実際には現状では難しい。

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。

エンジニアリング会社では、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、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

1）システムの機能

ARESのシステム構成は、図表Ⅱ-3-2-6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-3-2-7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図面で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

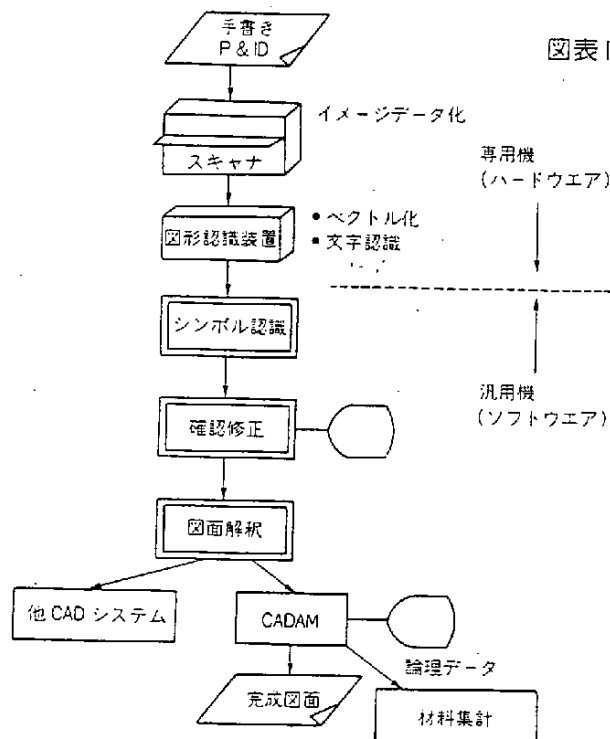
P&IDに書かれるシンボルは図表Ⅱ-3-2-8に示すようなものが対象である。これらのシンボルは、図表Ⅱ-3-2-7から判るようにラインと接続しているもの、浮いているもの、シンボルとシンボルの組み合わせ、シンボルと文字の組み合わせなどがある。認識は、シンボルの切り出しと特徴分類とパターンマッチングにより行なう。利用されるシンボルは、ジョブにより異なるためシンボル認識辞書が容易に登録できるようになっている。

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-3-2-9に文字とシンボルの確認修正画面の例を示す。

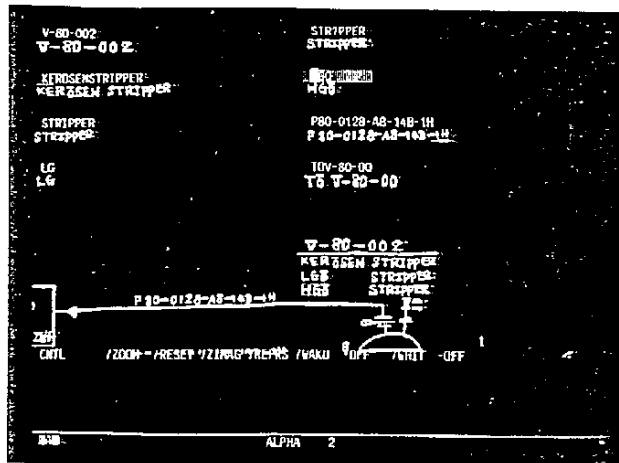
⑤ 図面解釈

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。

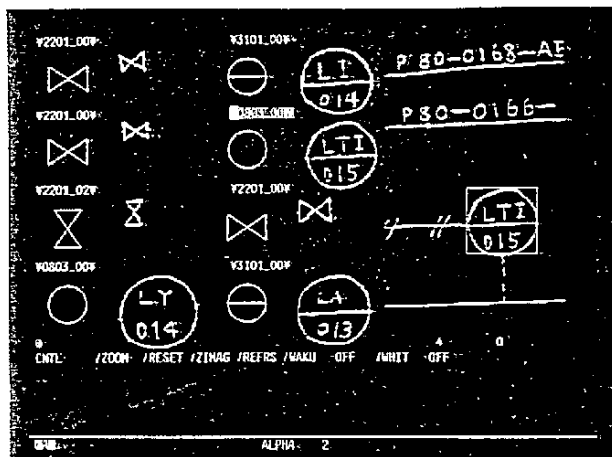


図表Ⅱ-3-2-6 ARESシステム構成

図表11-3-2-9 図面認識確認修正画面

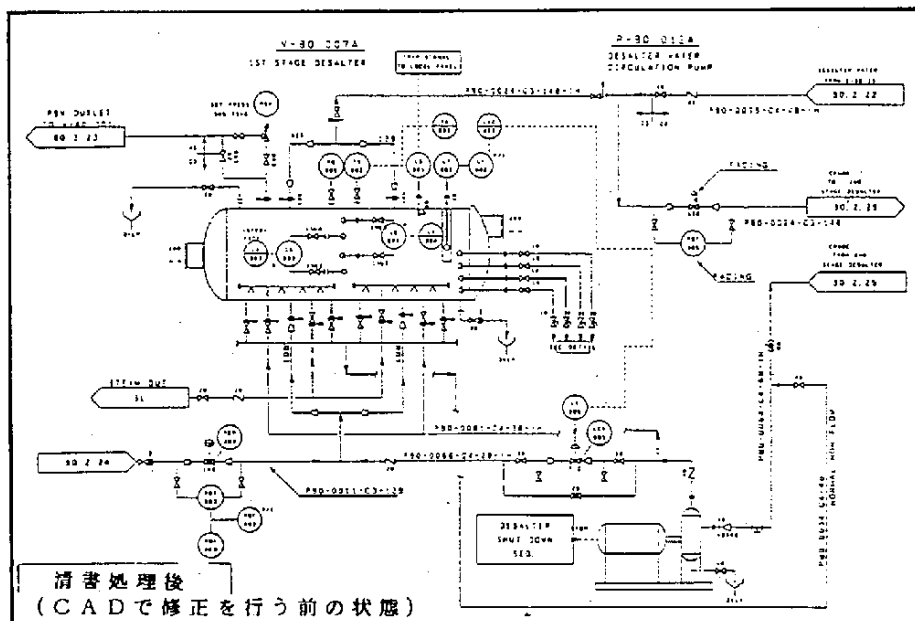


a) 文字認識専用画面



b) シンボル認識専用画面

圖表 II-3-2-10 ARES自動處理結果



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

当社では、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。既に数百枚の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-3-2-7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-3-2-10に示す。図表Ⅱ-3-2-10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。入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。

(4) 今後の展開

前述したようにP&IDのCADへの初期入力に全面的に活用して行くと共にさらに機能、性能の改善を図っていく。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していきたい。

<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（人工知能）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いるが、金融業界でもこのところ金融情報システムの大規模化、高度化が進むなかでこうした新しい情報処理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専門的な業務の多く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、機械化等があげられる。金融環境の変化が急速に進展するなかで、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・業際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対応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なかで、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な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、そのための具体策なツールの一つとして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既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。

金融機関では、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共に、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分野の多くはＥＳ適用の可能性があると考えられる。

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充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

適用領域が見出しにくいことが指摘されている。金融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・整理すると以下の通りとなる。

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、通達案内、テレックス電文解析等 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が、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にまとめることができる。

1) 取組状況

- ・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。

- E Sに取り組んでいる金融機関は、銀行、生・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、特定のベンダとの共同開発体制を採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E S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A L M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・給付金支払いの審査業務、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みられる。

3. 3 将来の展望と課題

(1) E S適用分野の展望

このように、金融機関においてこれ迄に開発・公表されているE S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E Sは既に実用化ないし試行の段階にあるといわれている。今後、A I技術の進展や開発ノウハウが蓄積されるのに伴い、より高度な判断業務や企画業務への応用が検討され、E S適用分野は多岐にわたることが想定される。今後のE S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組が期待される。また、対象ユーザ層の観点からは、現状は営業推進要員対象とするE S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う合成型の機能もより多く取り組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一つの契機に、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年代からの国際発行残高の累積を背景に、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

以上の通り、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、これ迄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を独立した利用と考えず、既存システムと有機的に結合するシステムのなかに利用したとき、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ェ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、E Sが専門家の判断にどこまで近づ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、E S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、E S構築にあ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一つの要因とおもわれる。

5) K Eの育成

専門家が直接、E Sを開発する場合を除いて、E Sを開発するのに不可欠なのがK Eの存在である。現在、金融機関ではE Sの開発はメーカー等との共同開発体制を採っている機関が多く、知識ベースの構築等は外部のK Eに頼る傾向が強い。このため、自社のK E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K E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

本節では、銀行と保険会社におけるAIシステム事例を紹介する。

(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、第一勧業銀行では、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、リテイ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。

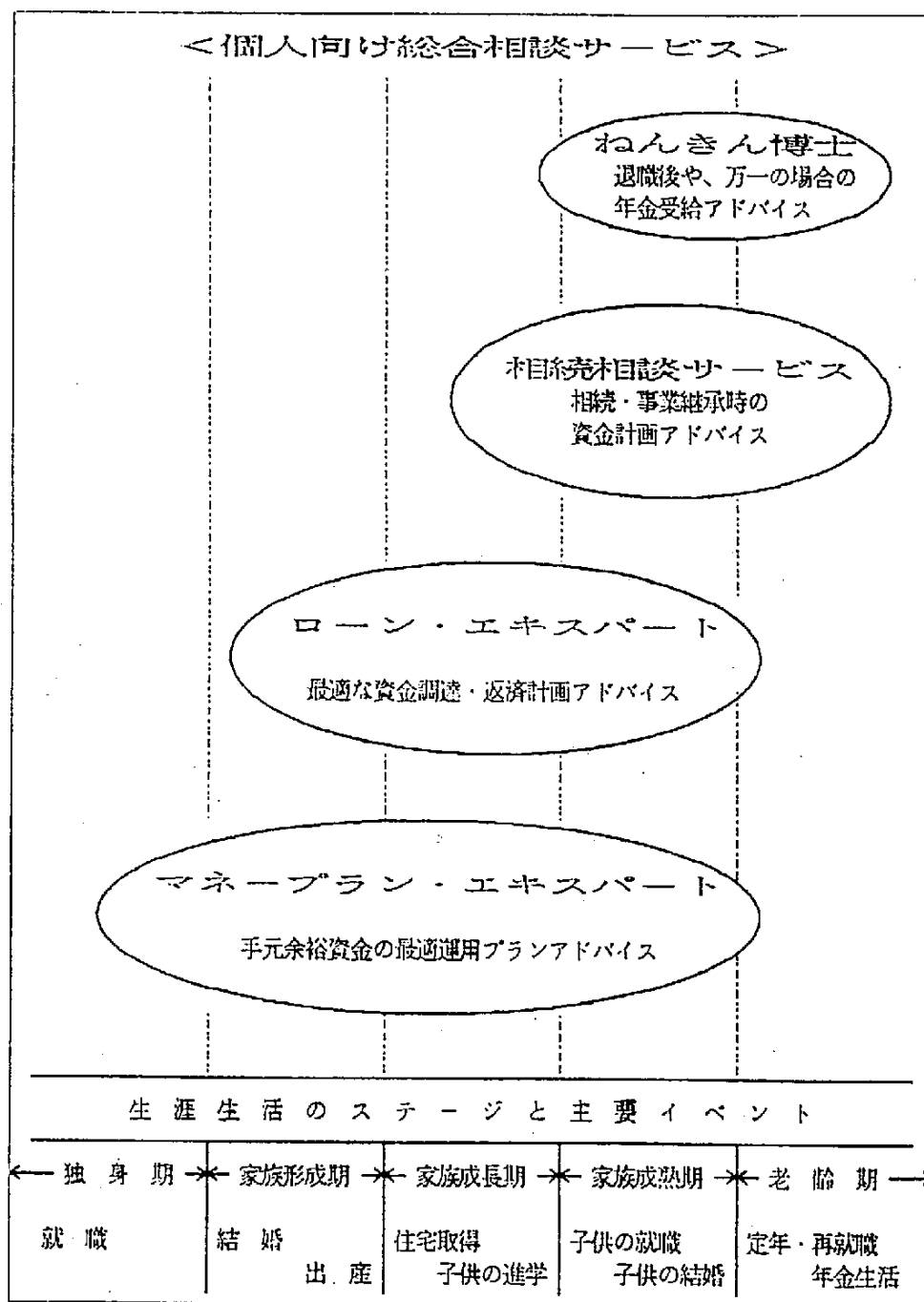
2) システムの概要

本システムは、次の四つのサブシステムから成り立つ。(図Ⅱ-3-3-1参照)

資金運用相談サービスを行う「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う「ローン・エキスパートシステム」、年金相談サービスを行う「ねんきん博士」、そして相続時対策アドバイスを行う「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。

図表Ⅱ－３－３－１ 個人向け総合相談サービス



(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 目的

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 主要機能

このシステムの主要機能は、下記のとおりである。

- ・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

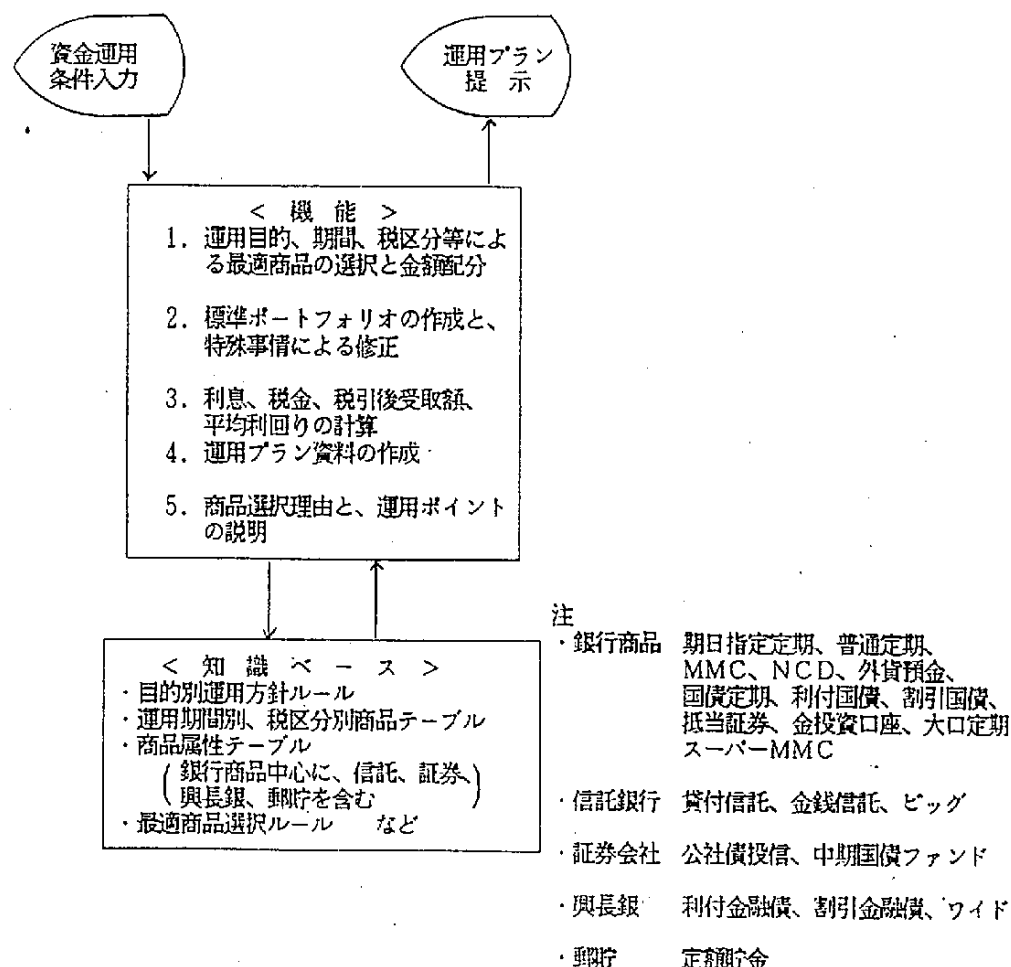
処理概要については、図Ⅱ-3-3-2のとおりである。

2) 「ローン・エキスパートシステム」

a 目的

このシステムの目的は、①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うことは勿論、②営業店の行員向けに、ローン審査業務のサポートと③ローン事務処理の正確性向上・

図表Ⅱ-3-3-2 「マネープラン・エキスパートシステム」の処理概要



効率化を図ることである。

この三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 主要機能

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れる。

(a)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

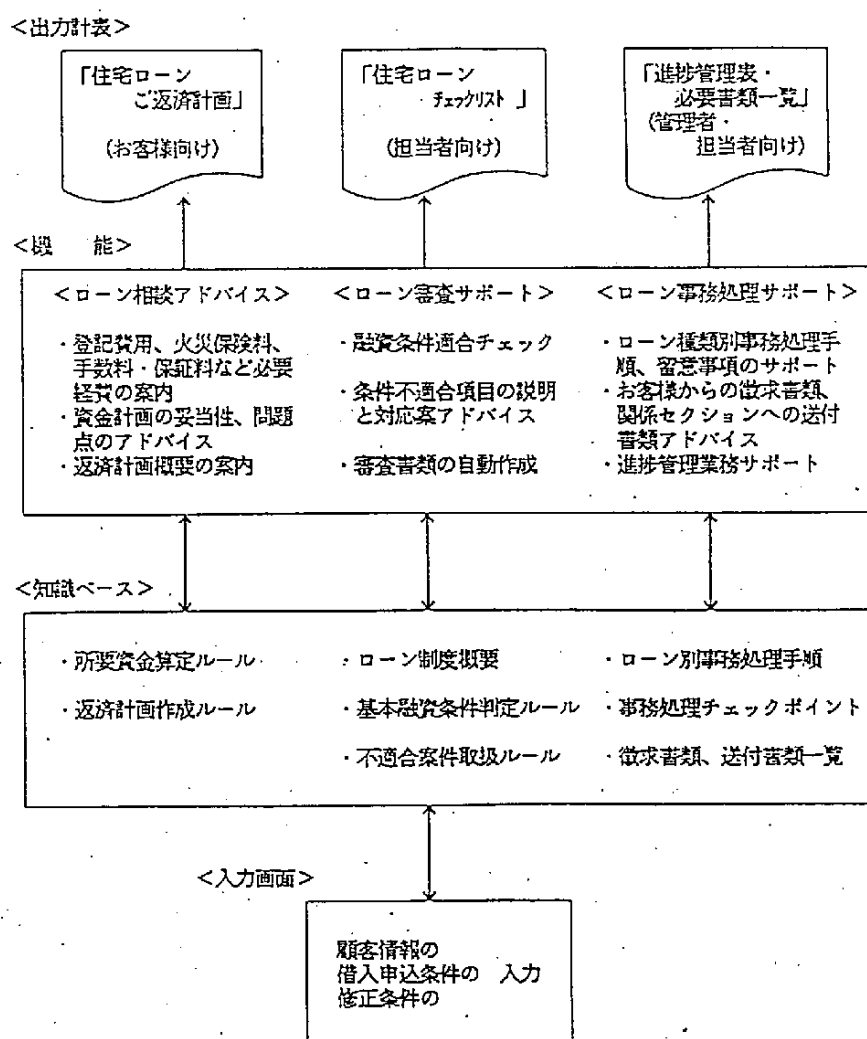
(b)営業店担当者向け機能

- ・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 処理概要

本システムの処理概要については、図Ⅱ-3-3-3のとおりである。

図表Ⅱ-3-3-3 「ローン・エキスパートシステム」の概要



3) 「ねんきん博士」

a 目的

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 主要機能

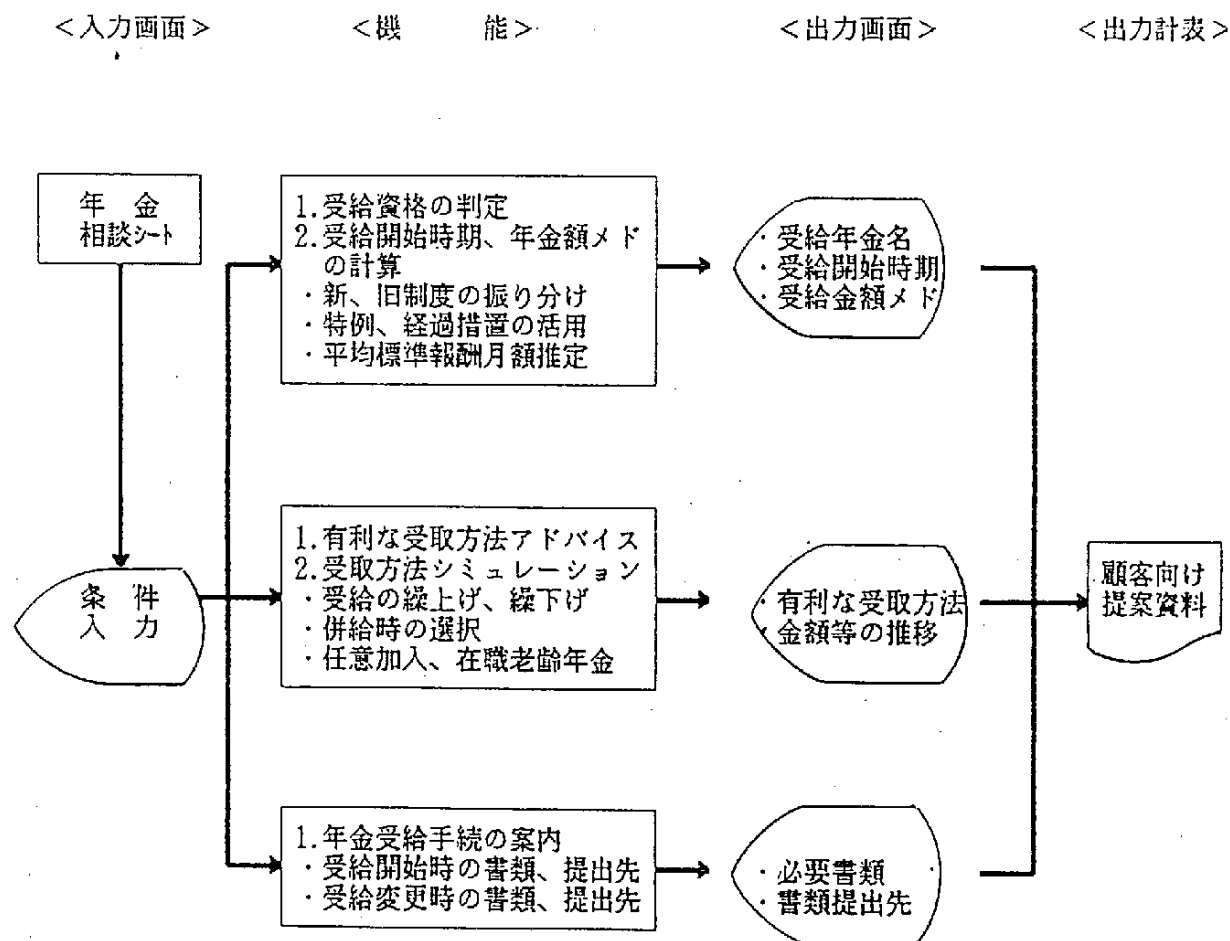
このシステムは、新制度、旧制度及び国民年金、厚生年金、共済年金の全ての公的年金をカバーしており、その主要機能は以下のとおりである。

- ・年金受給資格の判定、受給開始時間と年金額の計算
- ・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を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 処理概要

このシステムの処理概要は、図Ⅱ-3-3-4のとおりである。

図表Ⅱ-3-3-4 「ねんきん博士」の処理概要



4) 「相続相談サービス」

a 目的

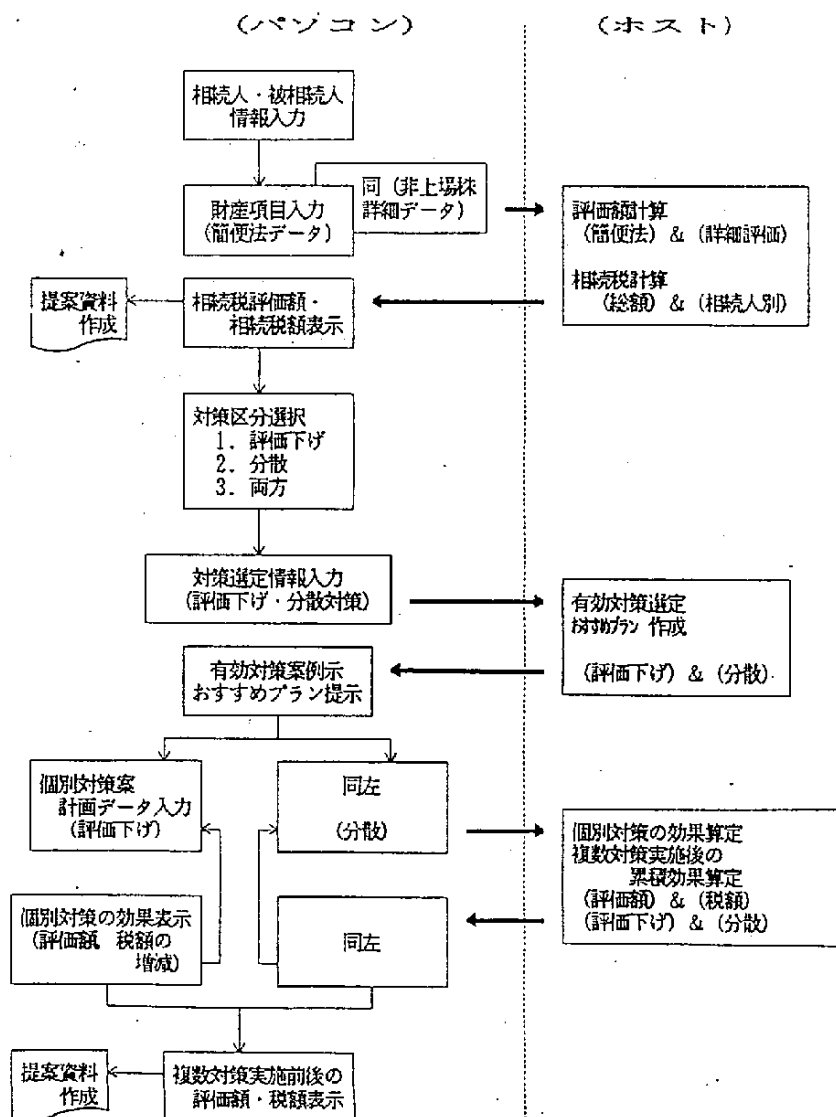
本システムの目的は、顧客の相続に関する相談に単に受け身で対応するだけではなく、顧客の財産概要により、相続時の税負担のメドを示して、相続対策の必要性を積極的にアピール、提案することにある。これにより顧客の潜在的ニーズを掘り起し、個人取り引きの増強を図ろうとするものである。

b 主要機能

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
- ・財産構成から有効と判断される個別対策案の選定、例示と其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
- ・対策案実施計画のシュミレーション

図表Ⅱ－３－３－５ 「相続相談サービス」 処理概要



・顧客向け提案資料の作成

c 処理概要

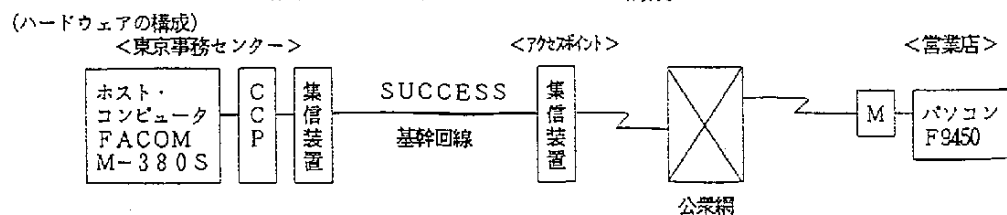
処理概要については、図Ⅱ-3-3-5のとおりである。

(3) システム構成

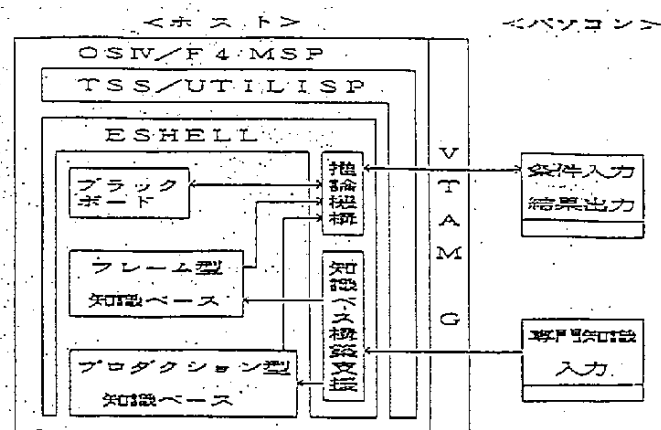
「個人向け総合相談サービス」は、営業店全店における利用と金利や制度変更に対するメンテナンスの容易性を考慮し、ホスト集中型のシステム構成をとっている。

詳細は図Ⅱ-3-3-6のとおりである。

図表Ⅱ-3-3-6 システム構成



(ソフトウェアの構成)



(4) むすび

当行では、ポスト三次オンシステムに人工知能技術を積極的に取り込む方針である。

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に応用したシステムの開発、導入を図っている。

①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う「天才くん」の開発

②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、試行システムを開発

③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、大正海上火災保険(株)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。

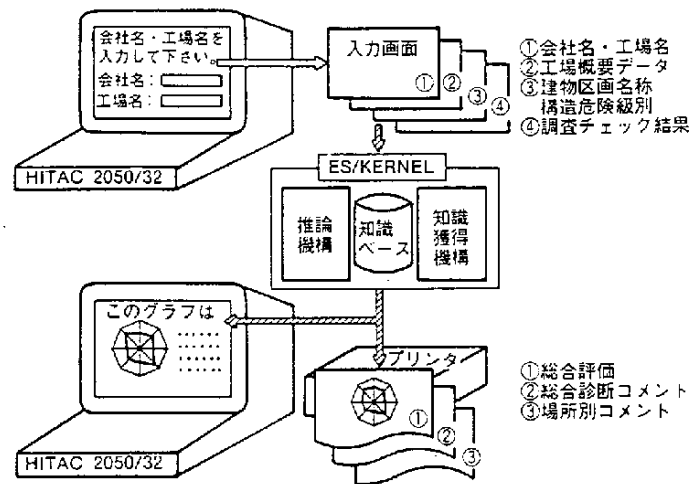
本システムは、防災診断業務に関する専門家のリスク診断の判断基準や、診断結果のまとめ方のノウハウを蓄積した知識ベースを中心に構成したものである。システムの目的は、専門家のノウハウの蓄積と伝承、専門家の業務の効率化や均質化、および専門家の早期育成である。

(3) 主要機能

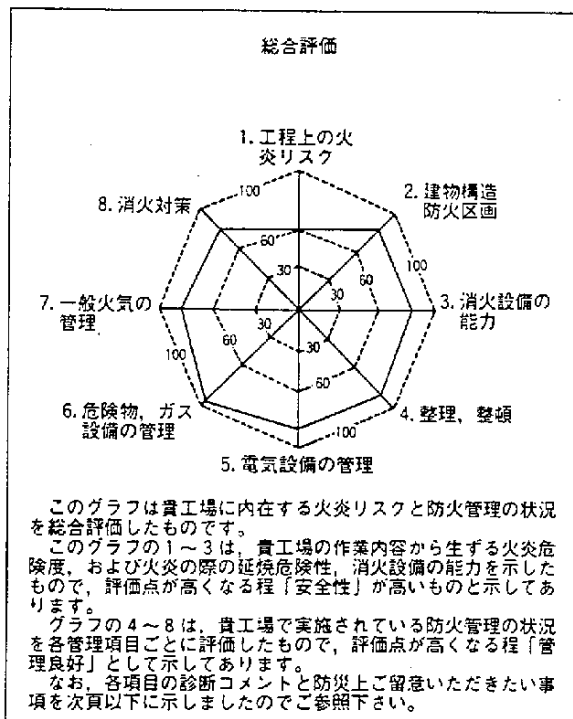
本システムは、工場での調査結果を入力することにより防災状況を得点形式で評価する機能、防災能力を高めるための改善コメントを生成する機能、および生成した文書をワープロにより編集する機能で構成されている。システムには評価診断のための各種チェックリストが蓄えられており、チェック項目には評価点が予め設定されている。リスク評価はこの評価点を用いた得点形式で行う。リスク評価と評価点の集計、報告書作成の部分に知識処理を用いている。

図表Ⅱ-3-3-7はシステム構成のイメージの概要である。図表Ⅱ-3-3-8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-3-3-9と図表Ⅱ-3-3-10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。

図表II-3-3-7 システムのイメージ



図表II-3-3-8 総合評価の出力例



図表II-3-3-9 総合コメント

項目	評価	所見
1. 工程上の火災リスク	56	原材料、製品の大部分が不燃物ですが、工程上塗装作業場で危険物を取り扱っており、ここでの出火防止には十分に留意される必要があります。
2. 建物構造 防火区画	82	建物のほとんどが不燃構造であり、建物相互間の延焼危険性は低いものと想定されます。 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おります。
3. 消火設備の能力		消火器、屋内消火栓、及び自動火災報知設備により防護されています。

図表II-3-3-10 場所別コメント

場所	防災上留意いただきたい場所
1. 第一工場 部品加工場	放電加工場の自動消火装置の点検が実施されていません。他の消防火設備と同様定期的に点検することが望まれます。
塗装作業場	小出し油置場の保管量が多いように見受けられます。保管量は1日の使用量程度とすることが望まれます。 当該建物を防護する消火栓のノズルはストレート型が設置されています。可変噴霧ノズルと交換されることをお勧めします。

(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、画面インターフェースの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、ユーザ部門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い、活用の範囲を広げている。

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様々な問題をたくさん含んでいる。

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様々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な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）と一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) 電力システムの計画・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

従来より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あげてみる。

- (1) 将来計画では、経済予測ほ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) システム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・的確な行動をしなければならない。
- (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きた。

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・保守していく上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、

- (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、整理し主な適用業務について以下に述べる。

(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う。

- 電力系統停止調整支援

系統の停止に関する様々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

G I S（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う。

- 巡視、点検支援

巡視、点検を効果的に行うため、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う。

（５）その他

- 各種相談支援

お客さま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 a i システム適用事例

適用分野で述べた業務の中から実現されているシステムについていくつかの事例を紹介する。

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ーフェースの四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。始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

配置が決まった後、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

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う必要がある。そこで、需要変動要因の詳細な分析を行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様々な判断を行う。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い予測値を算出する。

データ解析支援環境は、様々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、重回帰解析を行う際に、解析期間、説明変数の組合せ、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を支援を行う。

(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機能は、前記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ー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評定は、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さ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おり、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おり、シミュレーションモードは、運用者の介在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共に、運転・保守に携わる要因の教育・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、保守に関する様々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プ内容（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）で表示する。このネットワーク図の構築手法は、全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 お客さま相談システム

(1) システムのねらい

お客さま相談室などに寄せられる様々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。また、操作は、検索エディターに用意されたファンクションキーを使用することでマウスのみの操作で行うことができる。

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、既に、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、A I 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A I 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下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・変電所などの様々なシステムは、有機的な連携や統合化が行われ、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いっそう高度で大局的判断が行われるようになると思われる。さらに、A I 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わりにあるいは人間と協調して効率的に行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A I 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、A I 技術は、その手段の一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A I 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、優れた能力をも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、専門家のもっている知識は、直観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ではなく、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・導入がきわめて重要である。

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、A I 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言えず、電気事業でA I 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、言語学など様々な分野からのアプローチが必要であると思われる。

今後A I は、電気事業の様々な分野（電力技術は勿論、事務から経営にいたるあらゆる分野）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、A I 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), 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), 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), 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), 59
- (6) 小池; 「電力分野におけるエキスパートシステム」, 電気学会論分誌C, 107巻, 2号(1987), 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), 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), 385
- (10) 大橋, 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), 2989, 49
- (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), 49
- (13) 藁科, 他; 「基幹系統事故復旧エキスパートシステム」, 同上, 108巻, 11号(1988), 517
- (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; 「ファジー理論を応用したOPGW利用送電線故障区間標定手法」, 電気学会論分誌B, 108巻, 11号(1988), 509
- (16) 吉澤, 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), 638
- (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と、様相も変化しつつある。その流れに対応しつつ、NASA（米国航空宇宙局）、ESA（ヨーロッパ宇宙機構）、日本等の宇宙開発機関を初め、システムの自律性要求の観点から、人工知能技術に対する期待が年々高まってきている。

特に有人による宇宙環境利用においては、宇宙飛行士の良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言う基本的要求が、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毎に、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、それらの統合管理及び効率的な開発・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、

- ・ NAMING標準
- ・ COMMUNICATION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 等を提案している。

注) 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。

(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、従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。

”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 A I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A I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

以下の分野について、エキスパートシステムの検討／開発が進められている。

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一日の計画を立てるのに一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は必至である。

現在NASA、ESA、日本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、数万種におよび、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は必至である。現在、各所で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。さらに文書としての実験マニュアルを、NB化する翻訳システムの検討も平行して実施されている。

(2) 音声理解技術の応用

宇宙ステーションにおいてクルーと計算機のインタフェースとして検討中である。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

地上計算機において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A I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、未知なる要素が多く、従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・製作に平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、計算機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、計算機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。従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 技術の要素技術

今後宇宙開発において AI を適用していく上で、各分野毎にどのような要素技術が期待されているかを図 5-1 に示す。

図5 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)

A I 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	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	自動プログラミング	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	コンピュータ・グラフィクス	画像理解	知的CAD／CAE		メカトロニクス	マシン・インタフェイス	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A I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	○	○	◎	○	○	○	○	○	◎						△	△				△	△		○	△	○			○			○	

A I 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	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	自動プログラミング	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	コンピュータ・グラフィクス	画像理解	知的CAD/CAE		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A I 利用分野																																		
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	○			○	◎	○		○		○			○	○	◎		○				△		△		○		○				○	○	
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	○	○		○	○	○		○	○	○							○	◎	△		◎	○	○										

A I 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	自動プログラミング	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	コンピュータ・グラフィクス	画像理解	知的CAD／CAE		メカトロニクス	マシン・インタフェイス	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A I 利用分野																																	
7 深宇宙	7.1 深宇宙における有効性	○						○		○								◎			◎	○	○		○					○			
8 信頼性・安全	8.1 飛行安全管理への応用				○	◎	○		○	○	○		○		○		◎								○	○	○				○		△
	8.2 人工衛星の故障診断		○		○	◎	○		◎				○		○		○		○					○		○						△	
	8.3 故障診断・処理システム		○		○	◎	○		◎	○			○		○		○		○					○		○						○	
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	○	○				○						○	○	○	◎	○															○	

[illegible]

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-1-1-1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全体的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。

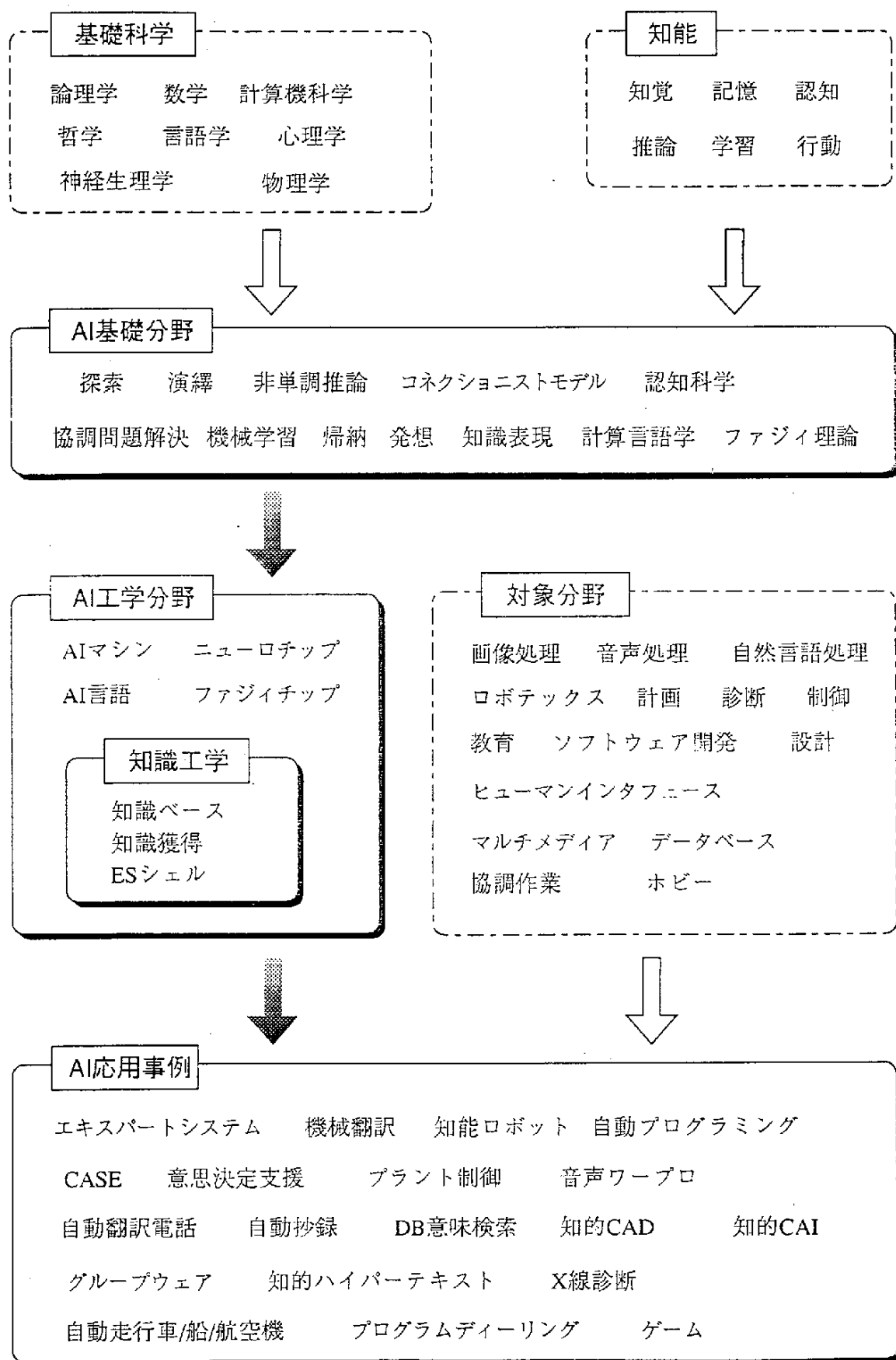
そして、もちろんAI工学分野はその科学的基盤をAI基礎分野に負っているという関係がある。以下でこの各領域について簡単に説明する。

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、知能を考える上で一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言えようが、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、および行動を挙げている。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。



図表III—1—1—1 AI技術の全体像

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挙げている。(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、とく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取るものであるから、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み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また発言している。AI自身の否定につながる議論をも含めて、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挙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：とく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。

1.3 AI基礎分野

AIの基礎理論や方法を、AI基礎分野として挙げている。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挙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。

ここに挙げた諸項目は、知能の項で挙げたような様々な知的能力の種類（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-AI 1989）。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挙げたのが後者である。

また、ここに挙げた認知科学は、一つの項目と言うよりも一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一つと言うよりは、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、あえてここに挙げている。

この中での新しい動きとしては、協調問題解決(本部第3章ではとく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-AI 1989）でも特集テーマとして取り上げ、本部第2章でもマップをあたえている学習、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、すなわち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、という目的で進められている技術やツール開発、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、ここでの一つの核になることは明らかであろう。

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-AI 1989, 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ーチップを挙げることができる。

第4章でのべる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及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一つは、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さだめられる点にある（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、ロボテックス、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ついて、AIの柱を構成してきた。計画、診断、制御、教育、などという対象の挙げ方は、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と結びついた結果としては、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、などが挙げられるが、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挙げたのに対し、ここでは具体的な応用事例を挙げている。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、ここに挙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言える。

「JIPDEC-AI 1989」のpp.156-214には14の事例がある。また、アンケート調査の結果からは、エキスパートシステムの552例を初めとして、機械翻訳システム、知能ロボット、自動プログラミングシステム、画像理解システム、音声理解システム、自然言語理解システムという分類の

もとに、産業界に導入されているシステム事例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。

<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-、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-1-2-1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)という三つのパラダイム〔Michalski 86〕を経て発展してきた。

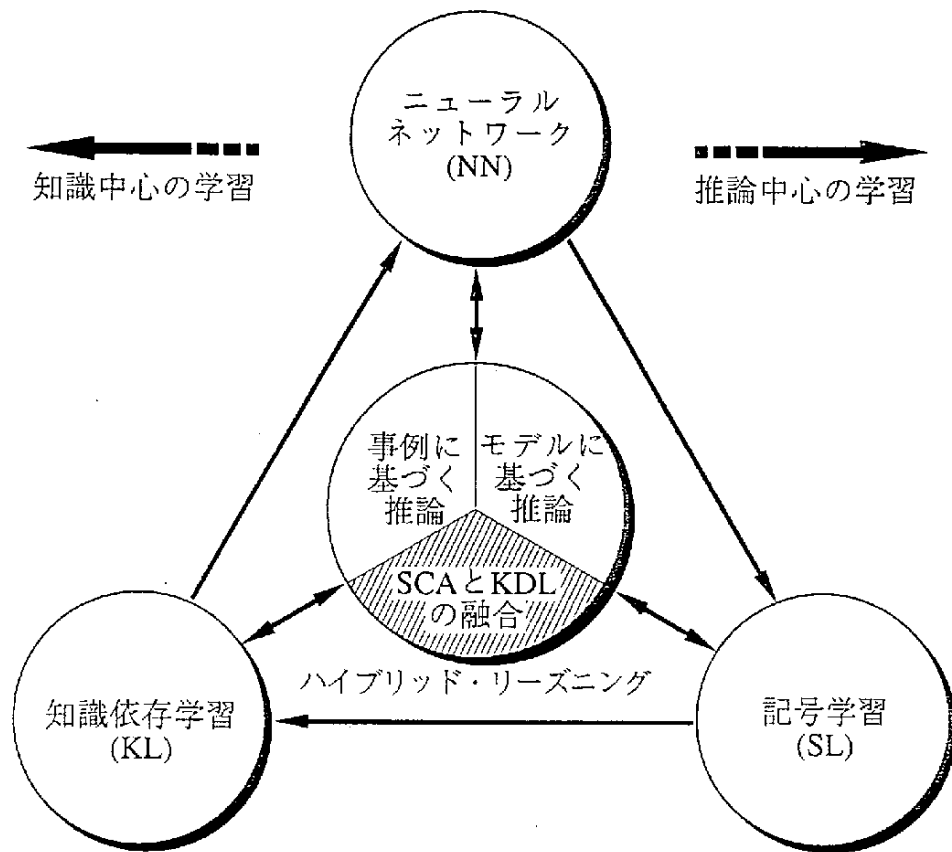
①は神経モデルとも呼ばれ、初期知識を小さくして汎用の学習システムを、結合係数の学習をもとに構築していく。パーセプトロン〔Rosenblatt 58〕、パンドモニウム〔Selfridge 59〕、判別関数〔Nilsson 65〕を用いる方法等があり、パターン認識における決定理論手法や適応制御システム〔Tsypkin 72〕へと発展した。進化的学習〔Fogel 66〕、遺伝的アルゴリズム〔Holland 75〕の研究もこの分野に含める。このパラダイムは、最近、コネクショニストモデル(Connectionist Model)〔McClelland 87〕と呼ばれるようになり、雑音のある例からもロバストに学習しうるところに特徴がある。

②では、ある概念集合の記号表現を、その概念を満足する正の例やその概念を満足しない負の例によって学習していく。帰納推論〔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。

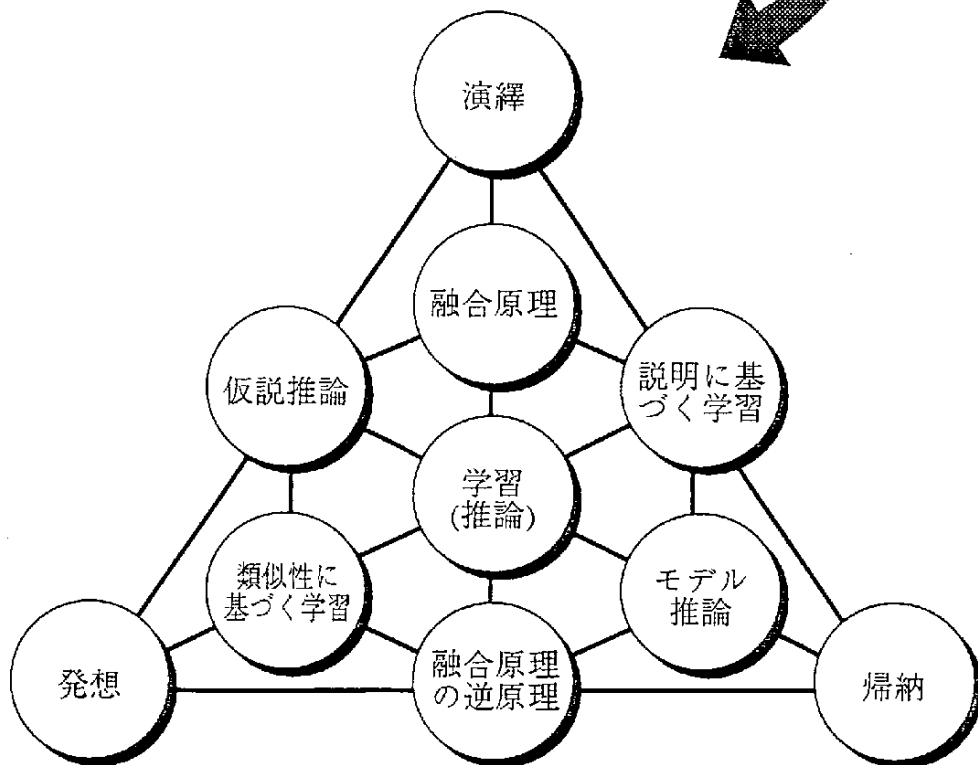
③では、事前に定義した多くの概念、知識構造、制約、ヒューリスティクス等を、システムが対象とする領域固有の知識として保有して、その学習システムの問題解決のプロセスで利用していく。説明に基づく学習〔Michell 86〕、類似性に基づく学習、観測による学習、発見的学習が代表的なものである。AM、EURISKO〔Lenat 82, 83〕やCYCプロジェクト〔Lenat 86〕も、このパラダイムを最大限に利用しようという立場である。

以上から明らかなように、図表Ⅲ-1-2-1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ので、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・シフトがみられる。すなわち、コネクションマシン上のコネクショニストモデルの実験に典型的に見られるように、



図表III-1-2-1 学習研究のパラダイムシフト



図表III-1-2-2 演繹・帰納・発想推論の機械化

新たな技術による学習研究の再構成、再構築が行われている。更に、図表Ⅲ-1-2-1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ズ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を組み合わせるシステム統合する研究が重点的に行われているが、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、そのなか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伴い、知識情報処理システムの三つのボトルネック（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）のブレイ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, IJAI 89〕が注がれている。

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付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全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一つで、人間の知性の本質である問題解決・推論能力は全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。従って、そのような記号処理過程は計算機のなかで実現できるとする立場とつながる。計算機が取り扱う情報は、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, Furukawa 88〕が、最近では記号処理言語を用いて、種々の問題解決・推論システムが実現されつつある。

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ないかが、並列推論との関連〔Miyano 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、特定の中枢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『どういう知識表現のクラスに対して、どういう学習アルゴリズムを適用したら、どういう計算量になったのか』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〕の二の舞い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。従って、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、得られる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仮定され、一個以上の真とみ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、与えられた真とみ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と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に処理しようとするとき、図表Ⅲ-1-

2-2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なか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なかで明確に実現可能であるが、図表Ⅲ-1-2-2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の報告書〔IJA 89〕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三つの視点を通して、様々の学習研究がう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-1-2-3である。同図で引用されている原典は全て参考文献に参照されている。ここに、図表Ⅲ-1-2-3の1990年代以降の展開は学習研究の潮流の一つの予測であり、新しい技術の独創に伴い、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。

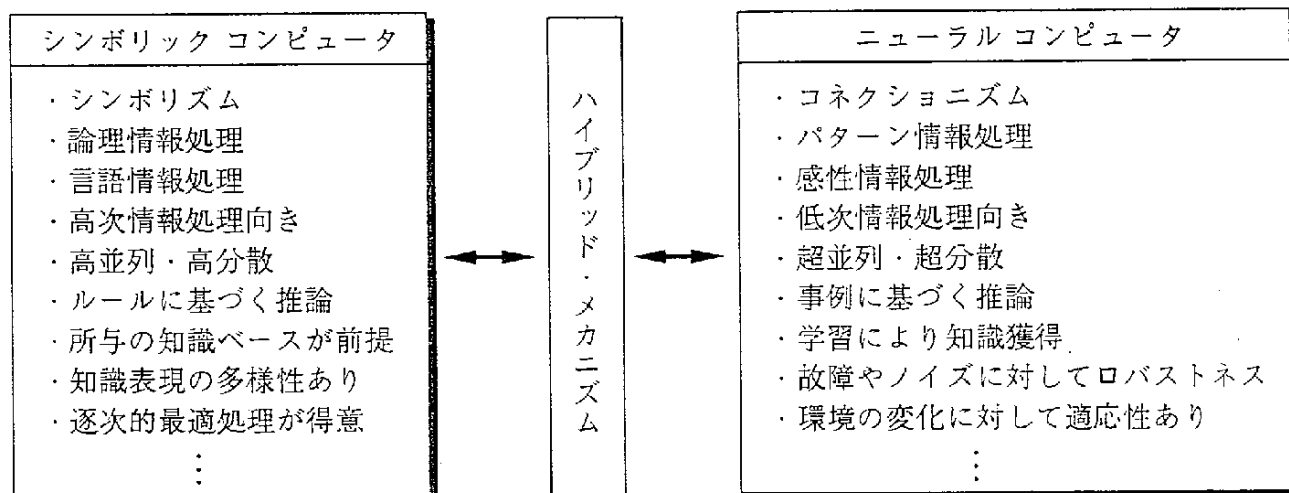
コンピュータと人間の能力比較をすると、記憶のメカニズムは人間の方が複雑で高級であり、記憶の正確さはコンピュータの方が優れており、処理能力はコンピュータの方が単純かつ明確なものに対して高速で正確である。また、判断のメカニズムは人間の方が複雑で高級であり、判断のスピードはコンピュータの方が高速といった特長がある。情報伝達、機能回復力、創造性においても、それぞれ長短がある。コンピュータの歴史は真空管、トランジスタ、IC、LSI、VLSIといった素子の進化で特徴づけられ、それぞれ第1世代、第2世代、第3世代、第3.5世代、第4世代コンピュータといわれる。その基本原理は全てプログラム内蔵、線形番地記憶、逐次処理に基づくフォンノイマン方式である。電子の移動速度の限界という素子技術の壁が見え始めた現在、新たに並列分散処理アーキテクチャを基本とする非フォンノイマン方式に基づく第5世代コンピュータを研究開発することは極めて有意義なものと認識され、実際、1982年以降各種プロジェクトが推進されてきた。

コンピュータの世代の急速な進化のなかで、コンピュータが取り扱う情報処理媒体は、符号情報、手続き情報、論理情報、ファジィ情報、パターン情報、感性情報と着実に知識情報処理指向の方向に進展しつつある。すなわち、より柔軟かく、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の長短が、現在、次第に分かりつつある。最初にコンピュータと人の長短と思っていた特徴の幾つかが、実はシンボリックコンピュータとニューロコンピュータの長短であった。人間の頭脳という存在証明をモデルとするバイオコンピュー

図表III-1-2-3 技術マップ：「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 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(Tsypkin 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)	視覚聴覚情報処理、ロボット、 制御への応用 ハイブリッドリーズニング
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)	アルゴリズムミックス・デバッグ 例からのエディット・デバッグ 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 ニューラルネットワークとの結合
	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

タの実現に向けて、人間はありとあらゆる叡知を結集し、今後とも様々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-1-2-4〔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。



図表Ⅲ-1-2-4 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

<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 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, 瀧一博監訳: 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 Workshop on Case-based Reasoning, 1988.
- [Fogel 66] Fogel, 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.1, No.1, 1986, pp.132-139.
- [Hobbs 89] Hobbs, J.R., Stickel, M., Martin, P., and Edwards, D.: Interpretation as Abduction, SRI International AI Memo, 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.
- [IJAI 89] 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-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] 國藤 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 Research 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. 1 and 2, 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, AI Magazine,

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 Pappert, 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 Goebel, R.: Theorist : a logical reasoning system for defaults and diagnosis, submitted as a chapter in the volume Knowledge Representation, N.J.Cercone & G.McCalla(eds.), IEEE Press, 1985.

[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 infor

mation 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.: Learning 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、勁草書房.

第3章 協調型活動支援機能 (C S C W)

3. 1 はじめに

コンピュータと通信技術の融合によって、豊かな可能性をも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年代の経済的・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用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もとづく、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ければ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当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、その集団には様々な規模、様々な機能のも

のが考えられる。もっと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、逆にもっと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、もっと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ってみてみよう。‘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合う。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、多様な結合連関が可能である。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、ネットワークが多種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・シナジーとよぶ。〔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ないことである。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捉えて、多品種小量生産のような分散的な活動を行うのには適していない。”新しいネットワーク型組織の特徴は、＜1＞指令に従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＞複数本社制などをとり、意思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-1-3-1のようになる。

3. 2 C S C W / 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、C S C W (Computer-Supported Cooperative Work) である。C S C W 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・社会的な傾向にもとづく、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、C S C W 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も含める）のことである。グループウェアという概念が

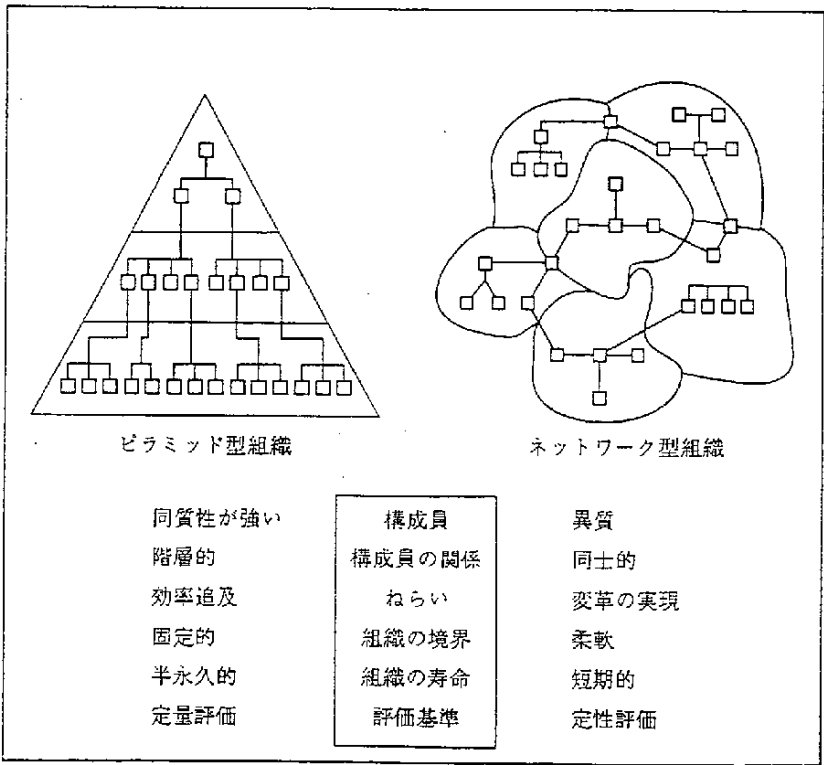
生まれたのは70年代であるが、それが一般的になったのは80年代の後半からである。特に、1986年と88年にACM（米国計算機学会）の主催でCSCWのコンファレンスが開催されたことによって、情報処理の先端的な課題の一つとして広く注目を集めるようになっていく。

グループウェアのあり方を考えるうえ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的に組み合わさ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。たとえば、可能性の一つとして、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しれない。また、制約となるかもし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も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、作業間で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

図表Ⅲ-1-3-1 「ピラミッド型」組織と「ネットワーク型」組織の比較
（〔日経産業88〕）



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出来る。グループウェアの基盤技術としてみたCSCWの主要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、共用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出来る。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、二つの方向が示唆されている。その一つは、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、もう一つは、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え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。

つぎに、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。これに対して、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、できるだけ無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い、必要に応じてその内容を様々なインタフェースと様々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、つぎのようになる。

[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、つぎの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仕合う関係で、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もとずいてなされる。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すくなくない。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、それにもとず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。たとえば、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え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）共用化技術

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、ふつう、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つくられているため、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、複雑な構造をもっている。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システムにはみあたらない。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、今後の大きな宿題となっている。この他、共用上のポイントとなる項目としてはつぎ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、トリガーなどがある。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、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、ディスプレイの一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みることができる。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-1-3-2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。最初の三つでは、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。

つぎに、実用化の状況についてみると、既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(Data Access Corp.), The Coordinator(Action Technologies), Perfect Timing(Imagine Software), WordPerfect Office(WordPerfect Corp.), Alis(77'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(メインステイ社)

*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.), Timbuktú(ファロン・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 Notes(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、売れ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。

図表III-1-3-2 実験的グループウェア・システム〈Crowston 88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

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もっている。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捉え、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。言語行為理論にもとずいて、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室システムで、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。ソフト的なツールには、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ィ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毎の目的に沿ったものになるようガイドする機能をもっている。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もっている。

3. 5 補 足

(1) マップの主旨

CSCWは、技術者の思い付きが偶然、時代の波に乗って脚光を浴びるようになったアイディア技術ではなく、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一つということができる。

図表Ⅲ-1-3-3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。

「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もとず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。

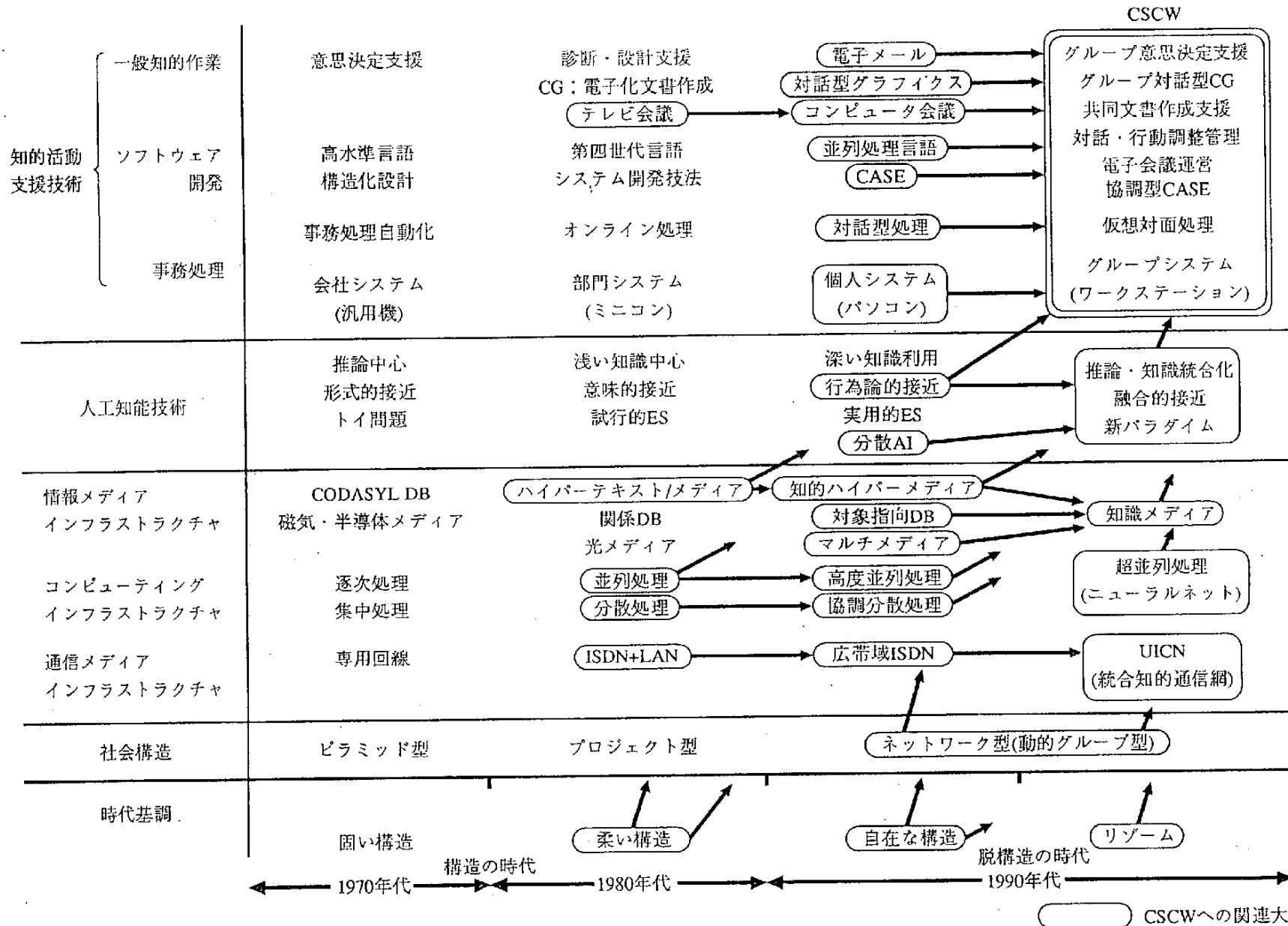
全体的にみた主要な流れについては、本文中に説明があるのでここには繰り返さない。

(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、木構造をもった組織体の中に、図表Ⅲ-1-3-4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

図表III-1-3-3 CSCWへの流れ



ていくようになっているもの。

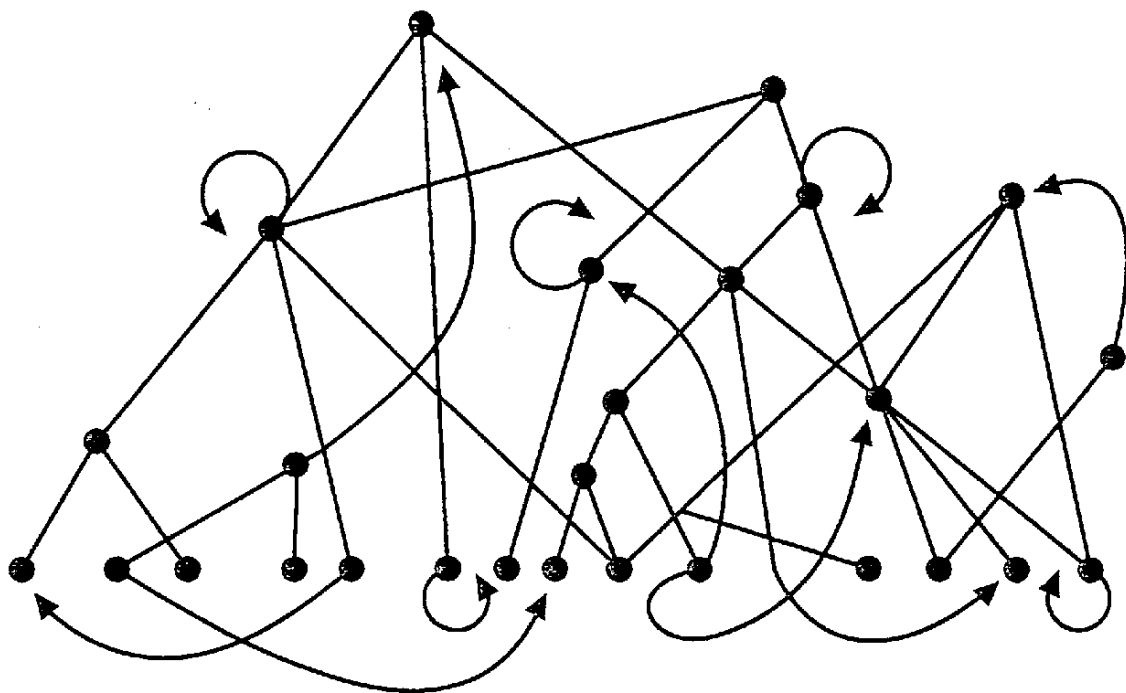
*UICN: Universal & Intelligent Communication Network の略で、郵政省が構想しているもの。

*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。

<引用文献>

- [寺本90] 寺本 義也: オフィスの情報化と企業戦略ー(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: 記事ー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.187-211 (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.

図表III-1-3-4 リゾームのイメージ



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-AI 1989]。これまで、AI応用システムはごく狭い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技術の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わかる。

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はじまった。ついで、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、この両者がおたが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答える方向と、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はかる方向の2つがある。

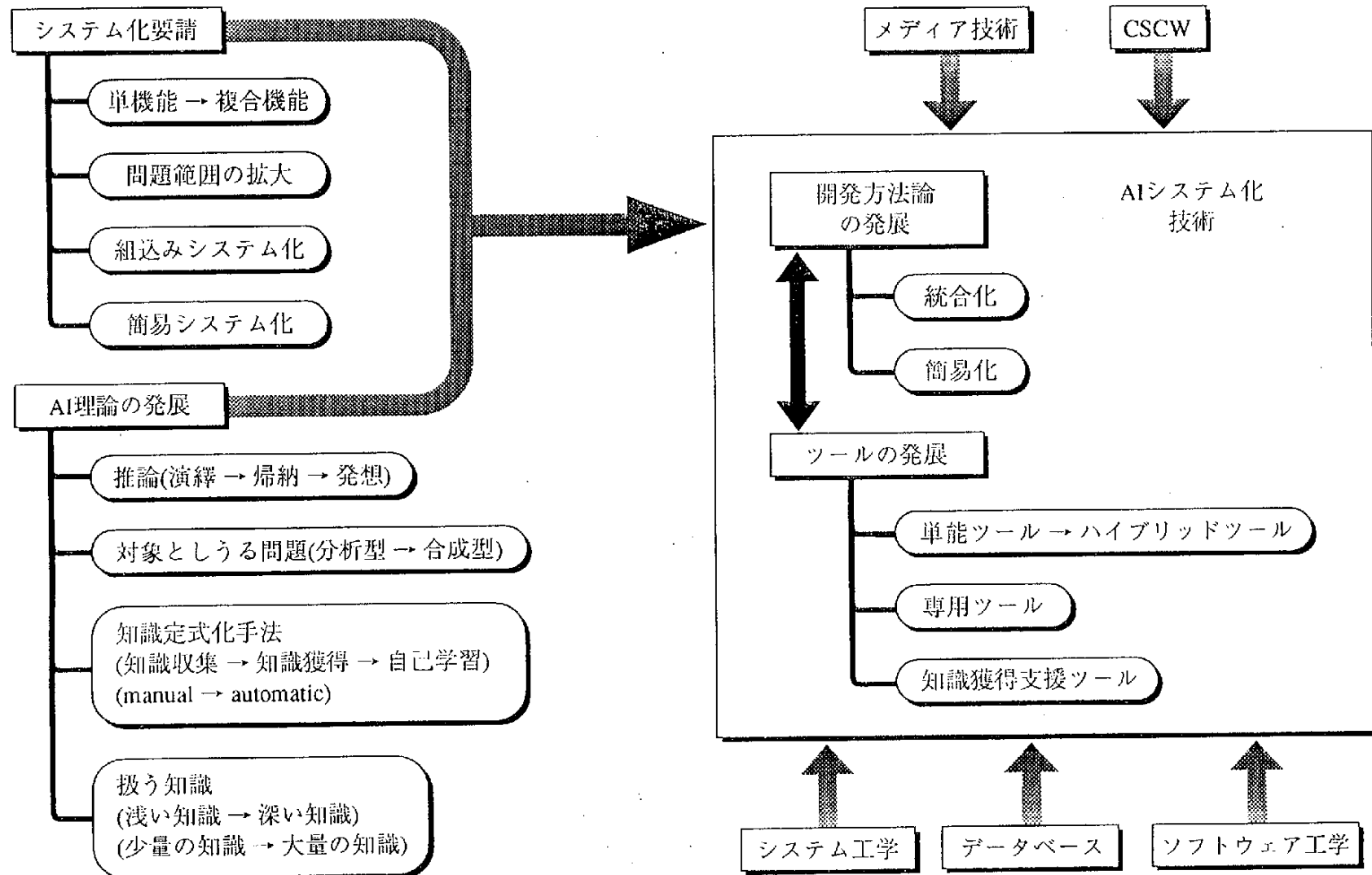
本節では、まず、AIシステム化技術の全体像をこのような立場から考察し、ついで、開発方法論の発展、ツールの発展、システム高機能化・統合化の動向という3つの視点から論ずる。

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-1-4-1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-1-4-1の内容を個別に説明する。

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

図表III-1-4-1 AIシステム化技術の全体像



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ピング手法、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。

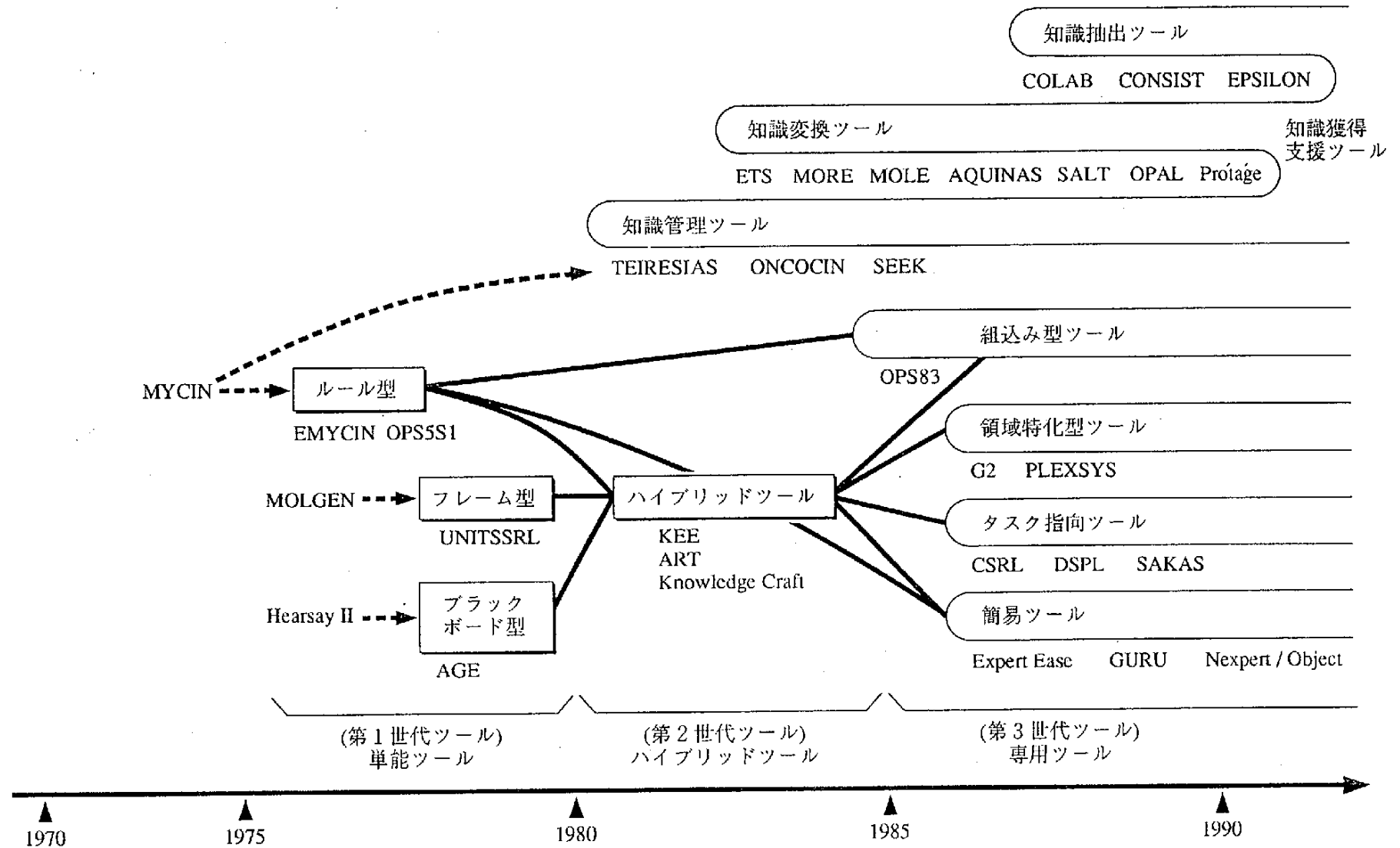
開発方法論の発展はAIツールの発展も促す。AIツールについても、開発方法論の2つの方向と同様の傾向が見られる。これを分類すると、機能の高度化・利用目的の専用化・知識獲得支援の3つの傾向に分けることができる。すでに、1980年代はじめには、単一の知識表現をサポートする単機能ツールから複数の知識表現をサポートするハイブリッドツールが商品化され、最近では、特定のタスクや領域を対象とする専用ツールや知識獲得支援ツールが研究開発の中心となっている。

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-1-4-2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もつものが多い。第1世代のツールは、単一の

図表III-1-4-2 AIツールの発展



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、後ろ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すなおに実現したOPS5 [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MOLEGEN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年代にはいと、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上げられる。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合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、OPS5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、これに、前向き推論機能としてOPS5、後ろ向き推論機能としてのPrologを組合せた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はか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DSP L、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[Holsaple 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ねら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]が上げられる。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、後ろ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。その後で作られた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、知識ベースをわかりやすく提示する機能をもつ。SEEK, SEEK2[Ginsberg 1988]では、知識ベース全体の診断性能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、専門家む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ールとしては、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Protage [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、小人数で行われる会議を生産的・協調的にガイドする機能をもち、CSCW、グループウェアのツールの一つである。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]に關係の階層という考え方を取入れて實現されている。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、現在發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込の容易さ。
- ②領域特化型ツール： 対象分野における、常識的かつ多量の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、専門家みずからの利用を可能と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。

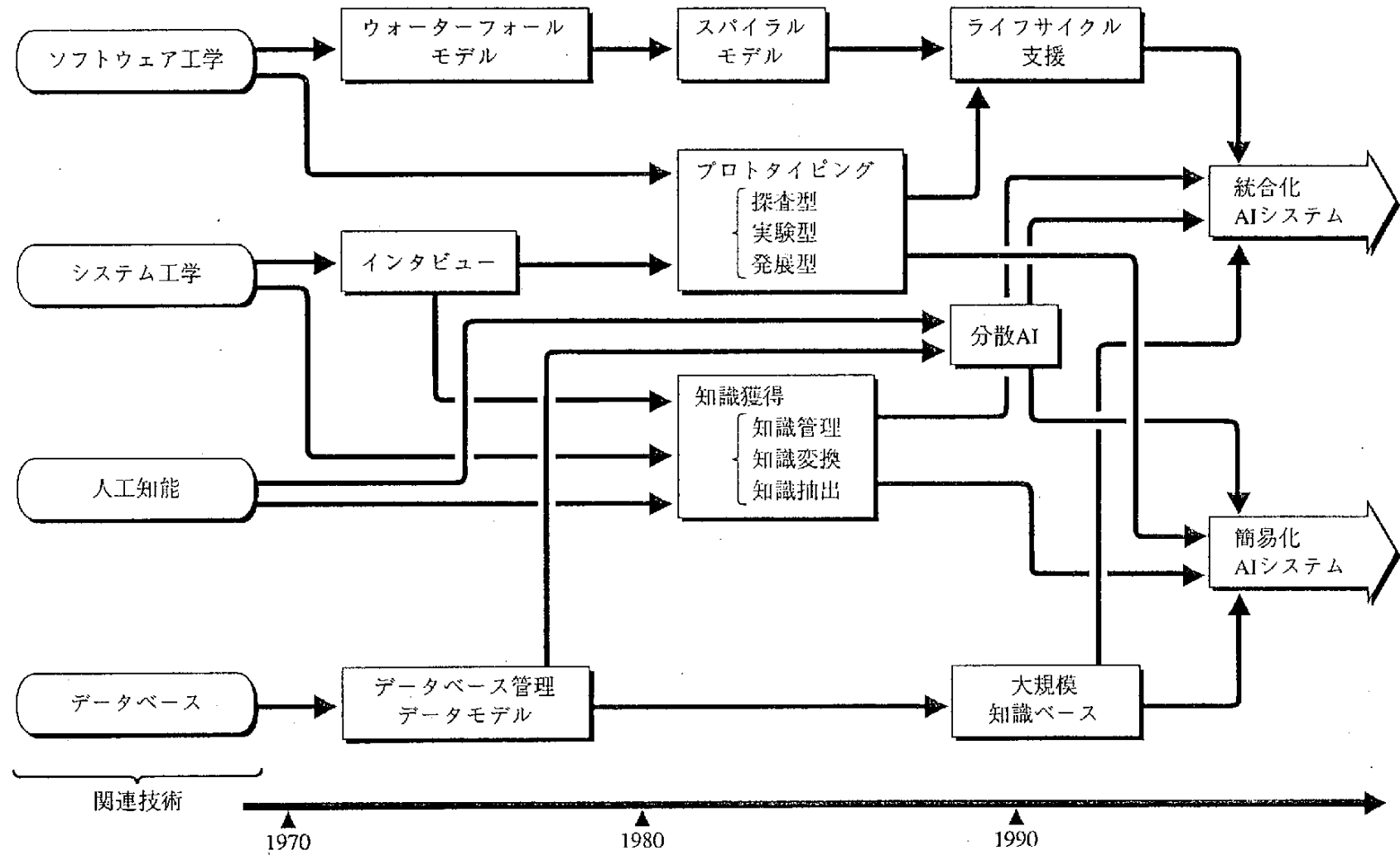
4. 4 開発方法論の発展

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關係にあるが、それをまとめると、図表Ⅲ-1-4-3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旨とする。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上げられる。

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、その後に、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、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。

図表III-1-4-3 開発方法論の発展



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さす。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さす。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さす。

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もつ。

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、システム工学のはたす役割が大きい。

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はか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A Iシステムと簡易化A I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A Iシステムの動向をとりまとめたのが図表Ⅲ-1-4-4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い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言える。こえは、図の左下の部分である。このような性質を持つA I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R1/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を表し、矢印で示した曲線は個々のA I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。

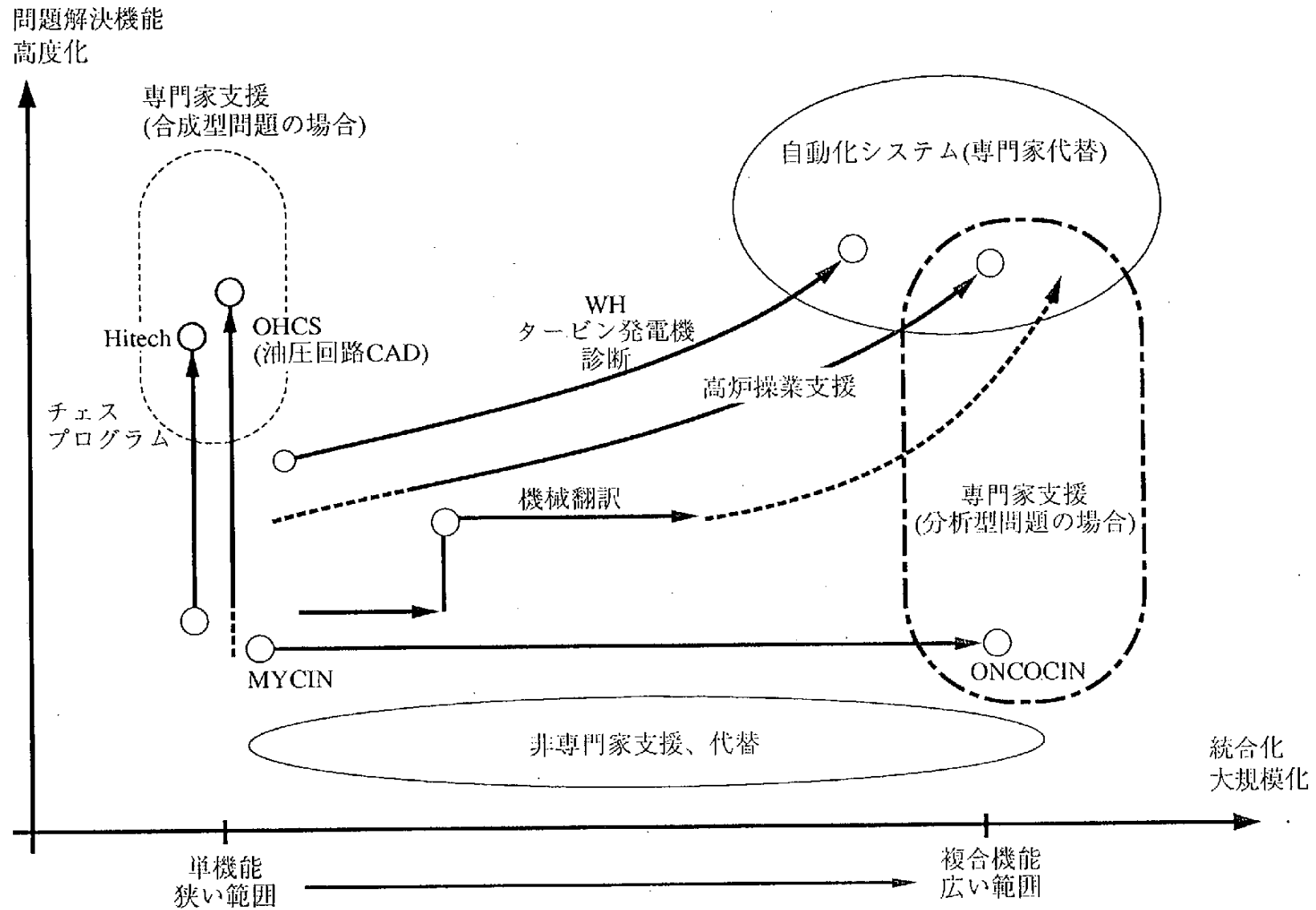
まず、A Iシステムといえどもソフトウェアである以上、利用者の特定のタスクを代替・支援するための機能を持たなくてはならない。利用者を専門家／非専門家に分けると、A Iシステムの役割は、専門家／非専門家の作業を代替／支援することとなる。

非専門家の支援・代替を目的とするA I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、使い勝手の良いものであれば、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A Iシステム、図中、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上げられよう。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べきものであるが、現在の状況では、このような位置付けとなる。

専門家のタスクを支援するA I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、本質的に組合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いなければならない。したがって、このようなA I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。たとえば、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そなえている。また、油圧回路設計システムOHCS [Schorr 1989], [JIPDEC AI 1989]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

図表III-1-4-4 問題解決機能高度化の方向と統合化・大規模化の方向



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。たとえば、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除かれているのが通常のものであり、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、我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]が上げられる。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-1-4-5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探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ィ理論などのように非記号的な情報をシステム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。

図表Ⅲ－１－４－５ 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：

（ほとんどの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用化にいたった例：

医療診断（MYCIN → ONCOCIN）

機械翻訳

<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.
- [AI 1990] 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.: 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.: Plannning with Constraints (MOLGEN Part 1). Artificial Intelligence, Vol.16, pp. 111-140 (1981).
- [Stefik, 1981b] Stefik, M.: Plannning and Meta-Plannning (MOLGEN Part 2). 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. 電気学会論分子C, Vol. 107, No. 2, pp. 115-120 (1987).

第1章 設計活動の理論化と自動化への道

1. 1 はじめに

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元では、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出来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平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た。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、計算機内に対象製品やその製造プロセスのモデルを構築し、更には、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計算機化を計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計算機上の客観化された知識として集積、継承、利用していく技術の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、上記の様な要求には十分に答えることが出来ず、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良い設計生産支援システムや自動化システムは出来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、近年人工知能技術の導入が注目を集め、AICAD、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。

技術知識の計算機化をベースとした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、生産システムを取巻く社会的、経済的そして技術的状況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えが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示し、現状の技術レベルを認識する。第4章はまとめであり、今後の発展方向を概観する。

1. 2 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毎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、いわゆる科学的な方法と馴染まず、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的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。

従って、現在までの所、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、上記の様な現状技術の上に作られており、基本的に同じ様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の配置設計などに見られるように、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毎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、ヒューマンインターフェースなどには、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. 3 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。分野毎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計算機が導入されてきた、というのが実態であると思われる。

その結果、個別分野毎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る。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殆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幾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。自動車の様に、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見ることができる。高度な技術支援が可能となっている反面、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。現在では人工知能的要素は殆ど採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、設計プロセスの計算機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、以下にの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. 4 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は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、計算機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出来ない、などの基本的な欠点があり、専用的な実用システム以外には有効に応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した。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、人工知能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、設計問題が人工知能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越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、更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る必要がある。人工知能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、集積していくことにより、設計知識を客観化していこう、というのが実際的なアプローチである。

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、基礎的な数理科学、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人工知能が期待されているのである。

1. 5 CAD実装手法としての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となり、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も良く知られており、もっと本格的に人工知能技術を導入することにより、画期的にシステムの機能と開発の効率化を計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、現在までの所実際の効果が十分に上がっているとは言えず、一種の反省期にあるとも言える。

さて、高機能CADといっても色々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。

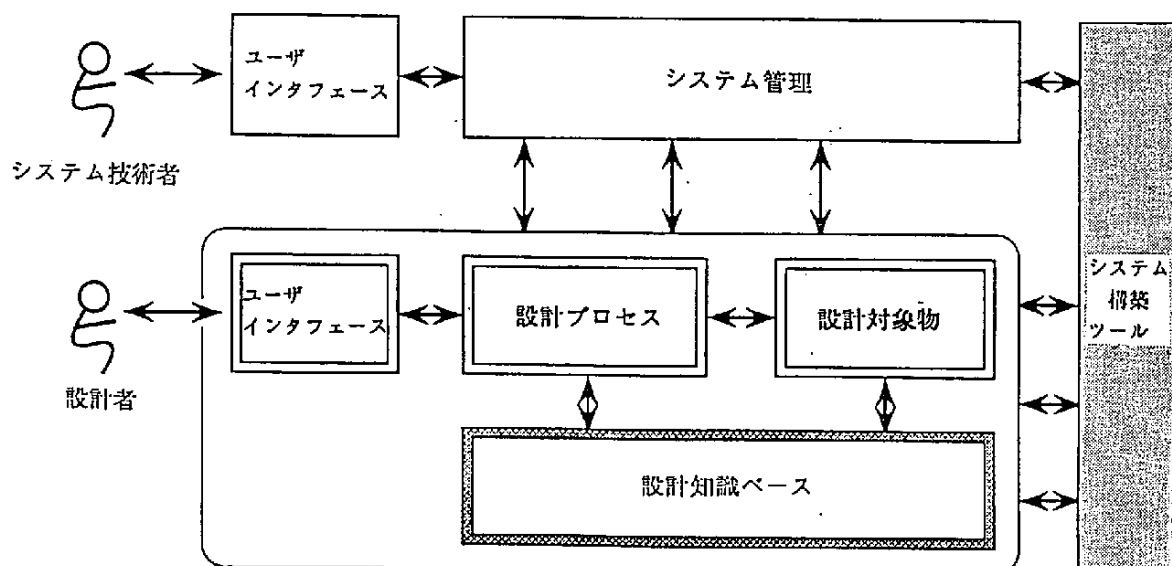
③設計知識データベース：設計のためには膨大な数理的、技術的基礎知識を必要とする。また、標準部品や技術データ、過去の設計例など、雑多なデータも必要である。

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、カジュアル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。

上記の様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、人工知能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、人工知能研究にとっても挑戦的課題を提供している。

以上の様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－２－１－１に示

図表Ⅲ－２－１－１ 知的CADの機能構成



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. 6 知的CADと関連技術

図表Ⅲ-2-1-2に、知的CADの要素技術を中心として、関連する人工知能技術、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、既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とは言うまでもない。電気回路など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と言えども、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勿論重要である。

人工知能技術と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、实际的に効用のある技術として人工知能が期待され、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あっており、設計問題に興味ある人工知能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、様々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計算機システムとして期待されている。

このような計算機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計算機の分担を明確にし計算機に設計活動の補完をさせる方法、従来の設計活動全般を計算機によって代替させる方法、設計活動そのものを計算機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。

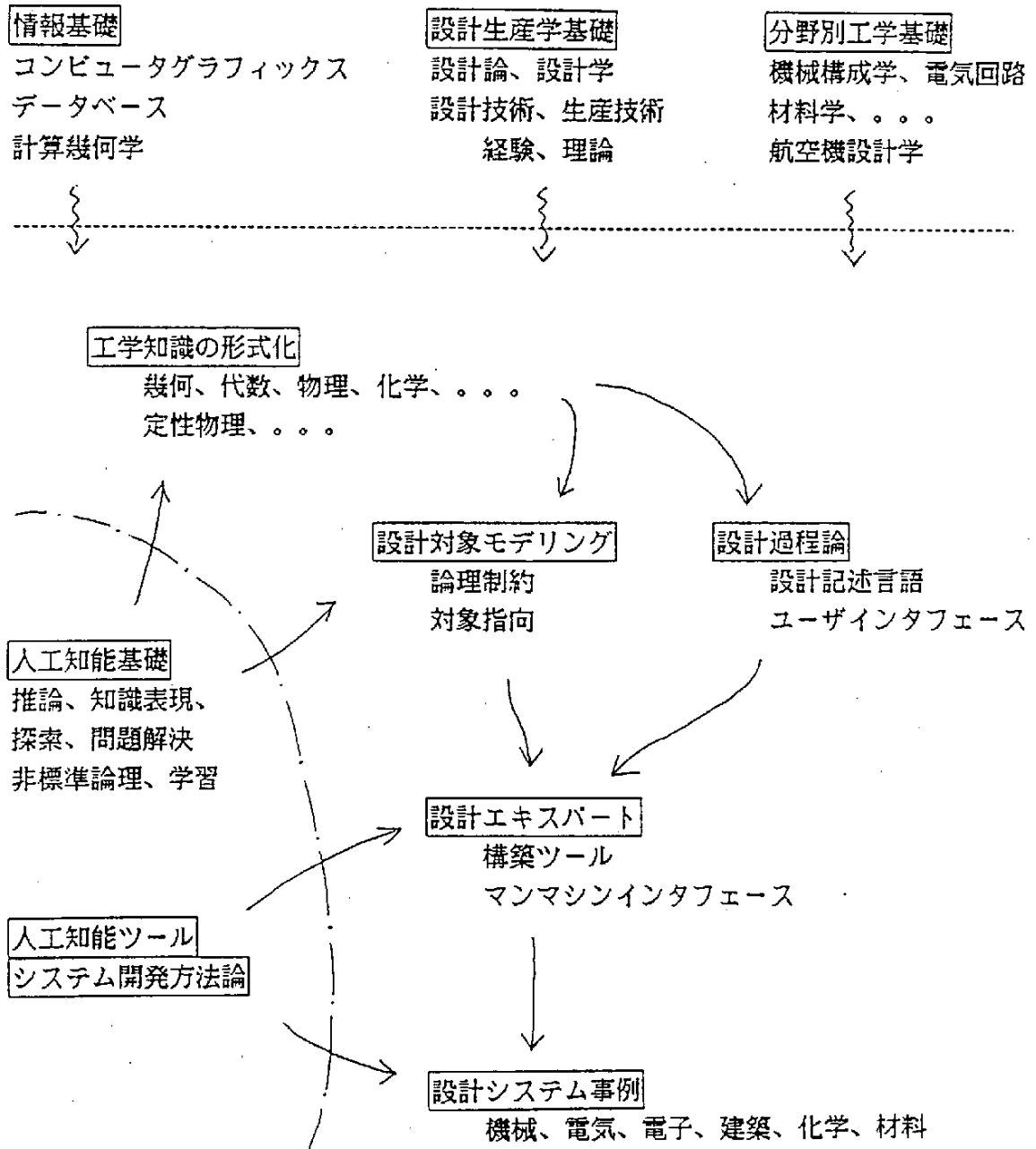
ここでは、まず現在の設計活動の形態について考える。しかる後に設計活動の計算機支援にあたって、AI技術がいかに利用できるかについて概説する。

2. 1 設計活動の形態

設計活動を大きく捉えると、要求仕様が与えられ、これを満たす解を求める行為とみなすことができる。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-2-2-1に示す。

まず、設計対象に関する様々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

図表III—2—1—2 知的CADと関連技術



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－２－２－２、図表Ⅲ－２－２－３、図表Ⅲ－２－２－４は、それぞれ機械、L S I、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C A D実現のキーテクノロジーとして、A I技術が以下の点で注目されている。

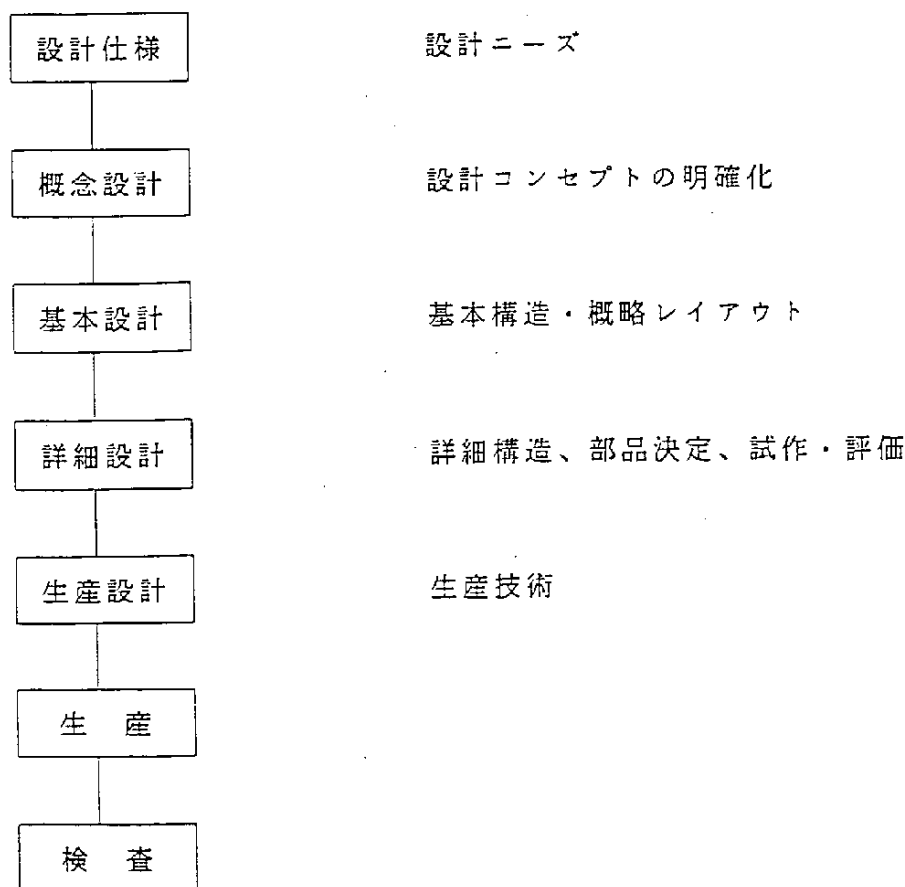
①問題解決

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A I技術の利用が図られている。

②知識表現

設計にあたっては様々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、

図表Ⅲ－２－２－２ 一般の設計過程



同一の設計対象を多角的に取扱う必要がある。多様な知識の統合的管理に A I 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、学習理論やファジー理論の利用が考えられる。

④システム開発

A I 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 C A D の開発に有効なツールになると思われる。

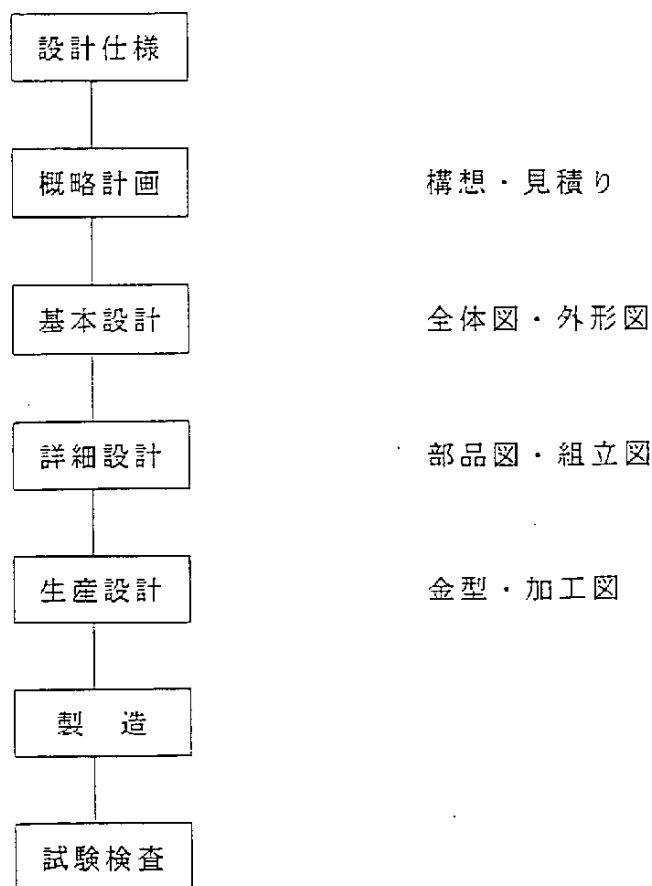
⑤ユーザ・インタフェース

A I 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。人間と計算機の高度な協調性を要する知的 C A D においてユーザ・インタフェースは避けては通れない問題である。

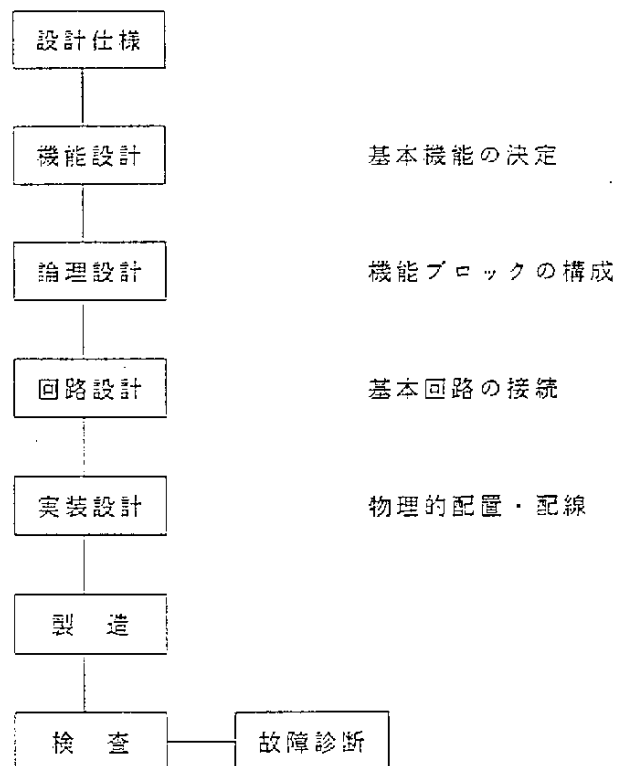
2. 2 問題解決（探索・推論）

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。

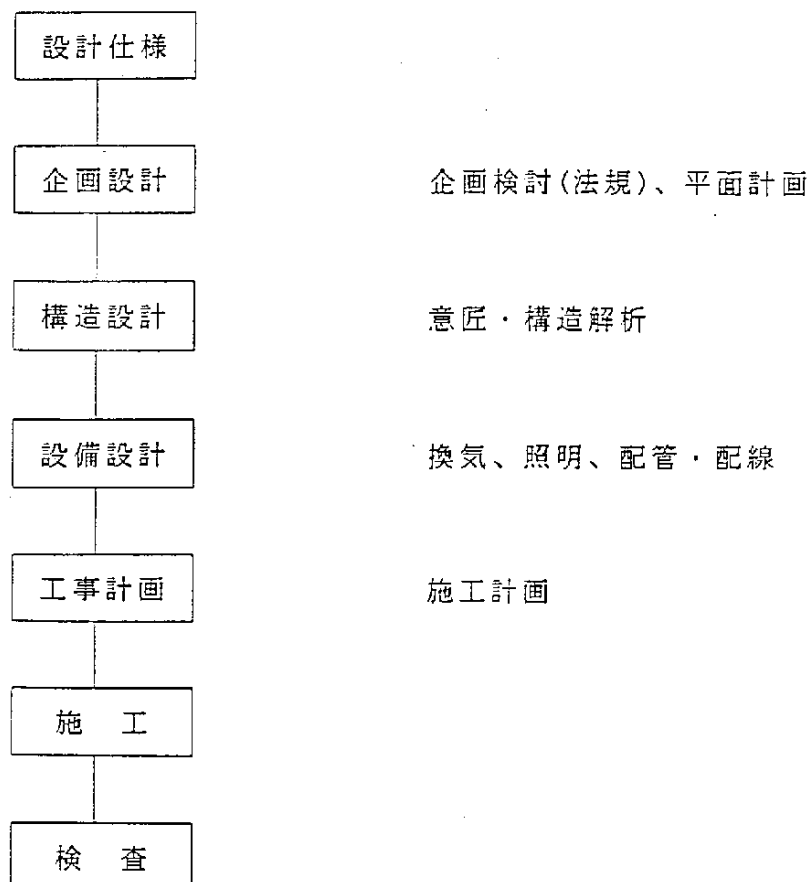
図表III-2-2-3 設計過程（機械設計）



図表III—2—2—4 設計過程（LSI設計）



図表III—2—2—5 設計過程（建築設計）



- 対応型：機能表現と属性表現の対応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／変更が繰返される。

対応型の設計とくに全数対応モデルと計算モデルは、比較的容易に計算機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計算機技術によって計算機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、設計解自体が多彩な可能性の中の1つに過ぎない。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みなせるが、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、個々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良い。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、詳細化が行なわれる。一階述語論理の枠組みでは、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)などが挙げられる。
- 制約充足：設計に対する要求は、ある範囲で満たせば十分なものであり、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言える。制約充足のA I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、確率論理やファジー(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様々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。長澤は設計に関する知識を大きく3つに分類した。

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。これらの知識を計算機上で利用するためには、各知識を計算機向きに定式化し表現しなくてはならない。従来の手続き的表現では困難だった定式化が、以下のA I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(modal 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。とく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技術としては、セマンティックネットワーク(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計算機内記述であり、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。設計活動全般の計算機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、半導体レイ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-2-2-5のように、詳細化、解析、評価・検証、修正を繰返して進められる。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。前に挙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。

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既に述べたので、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。

A I 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採る。

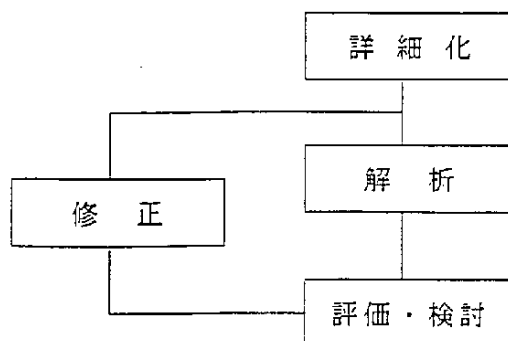
2. 6 システム開発

一般にA I 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A I 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C A D 開発に必要不可欠なツールとなるであろう。

まず、これまでに挙げたA I 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言えよう。A I 研究の多くはL i s p やP r o l o g を始めとするA I 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F O R T R A N などの手続き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C A D システム開発の特質から、A I 言語や開発環境の利用が有利になる点もある。

図表III-2-2-5 設計ループ



設計活動全般が計算機向きに定式化されていることはまず有り得ないし、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部分を実現するという戦略が採られる。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。たとえば、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きも変更される。そのなかでシステム全体の整合性が保たなくてはならない。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、以下に挙げる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)：ラムダ算子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、手続き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

設計対象の計算機内表現とともに、設計対象に関する情報を人間が計算機に対していかに伝えるか、計算機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、人間と計算機の間でやりとりされる情報は非常に高度のものとなる。とくに、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つぎのものが挙げられる。

- 自然言語理解：AI技術の代表的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計算機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。単位時間あ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る。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ー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合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、その中で人工知能が期待がされている。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、製品検査などで既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過ぎない[Gero85][IEEE86]。

しかし熾烈な企業間競走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、人工知能の技術を用いて、設計者の設計過程が計算機上に記述できれば、計算機は広範な範囲の設計案を生成し、検討してくれるかもしれないし、また人工知能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計算機が使えるようになるかもしれない。このような期待に答えて、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、まず前半の部分で、設計の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為に基礎技術に関する研究を紹介し、後半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[Brown86]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、[Brown86]はDSPL(Design Specialists and Plans Language)を提案している。図表Ⅲ-2-3-1は空気シリンダーの設計を行った例である。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

などが挙げられる。

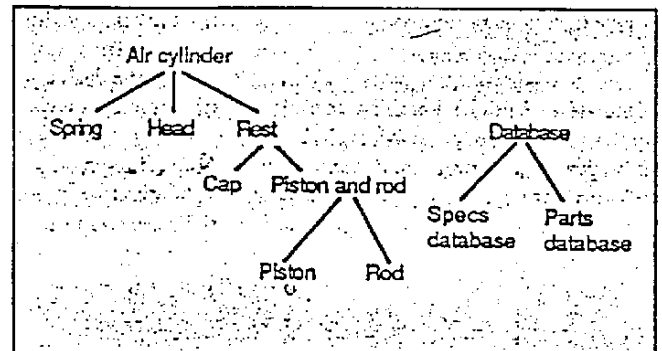
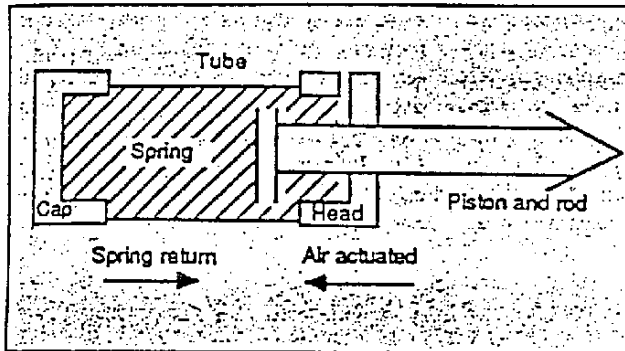
図表Ⅲ-2-3-2は、DSPLとよく似た考えかたでXeroxで開発された複写機の紙送り機構を設計するPRIDE[Mittal86]の例で、設計問題を解いている様子を示したものである。またPKRL[山田86]はパッケージ設計の自動化を目指したもので、設計で定型的に行なわれている機能から形状への展開プロセスを記述する言語を開発し、そこに設計知識を表現し、さらにパラメトリックデザインシステムと結合することによって設計の自動化をはかっている。さらに、図表Ⅲ-2-3-3に示すように商用のシステムとしてはICAD[Phillips87]システムがある。

3. 2 設計計算の自動化

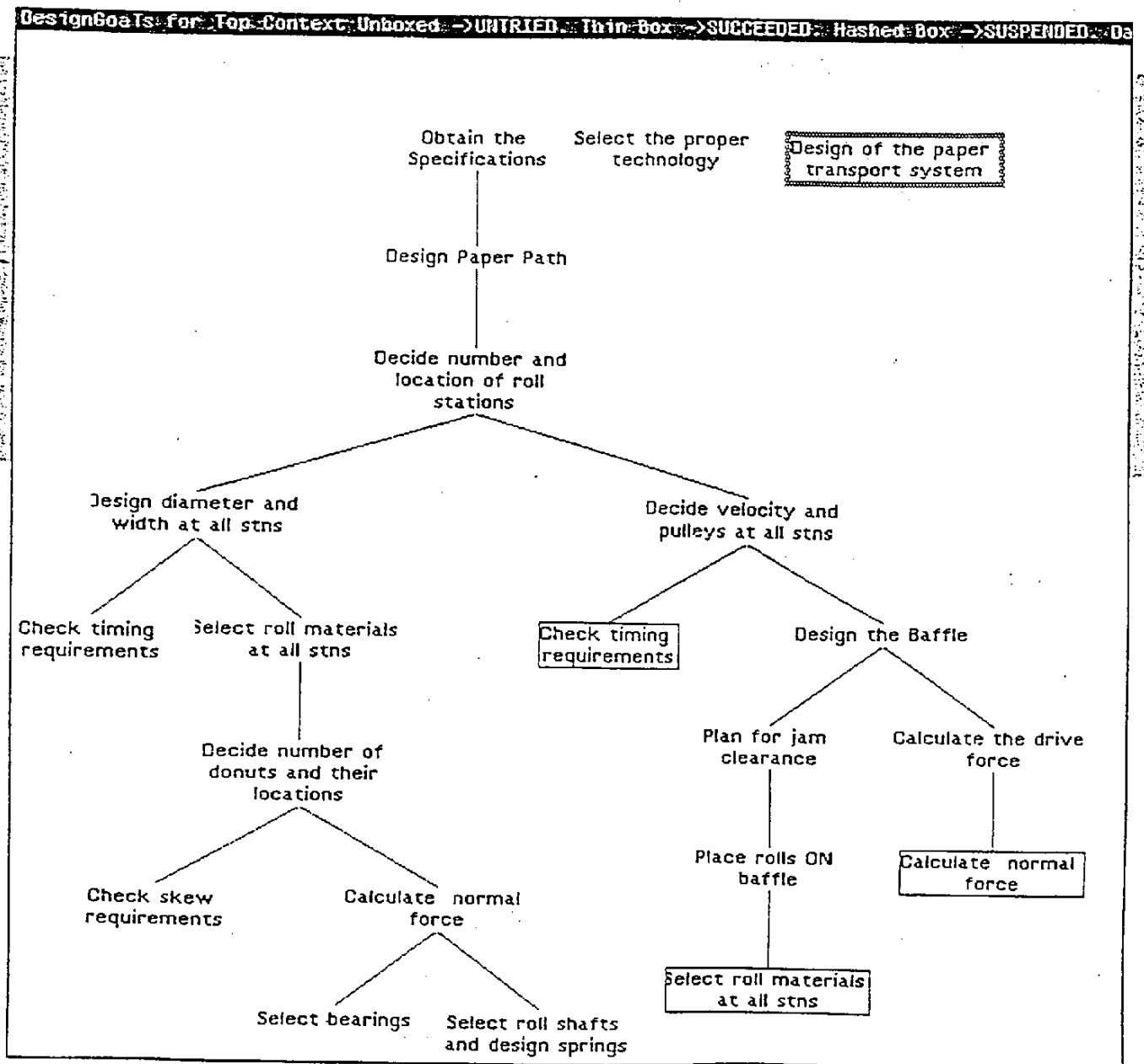
設計では多量の設計計算が行われるが、これは単に方程式を連立して解けばよいというのではなく、設計式の重要度が違っていたり、暗黙値や推奨値などが必要だったり、カタログなどのように離散的な変数があったりするので、設計計算のための計算法が必要である。

例えばDOMINIC[Howe86]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

図表III-2-3-1 DSPL/Airシステム [Dixon86]



図表III-2-3-2 PRIDEシステム [Mittal86]



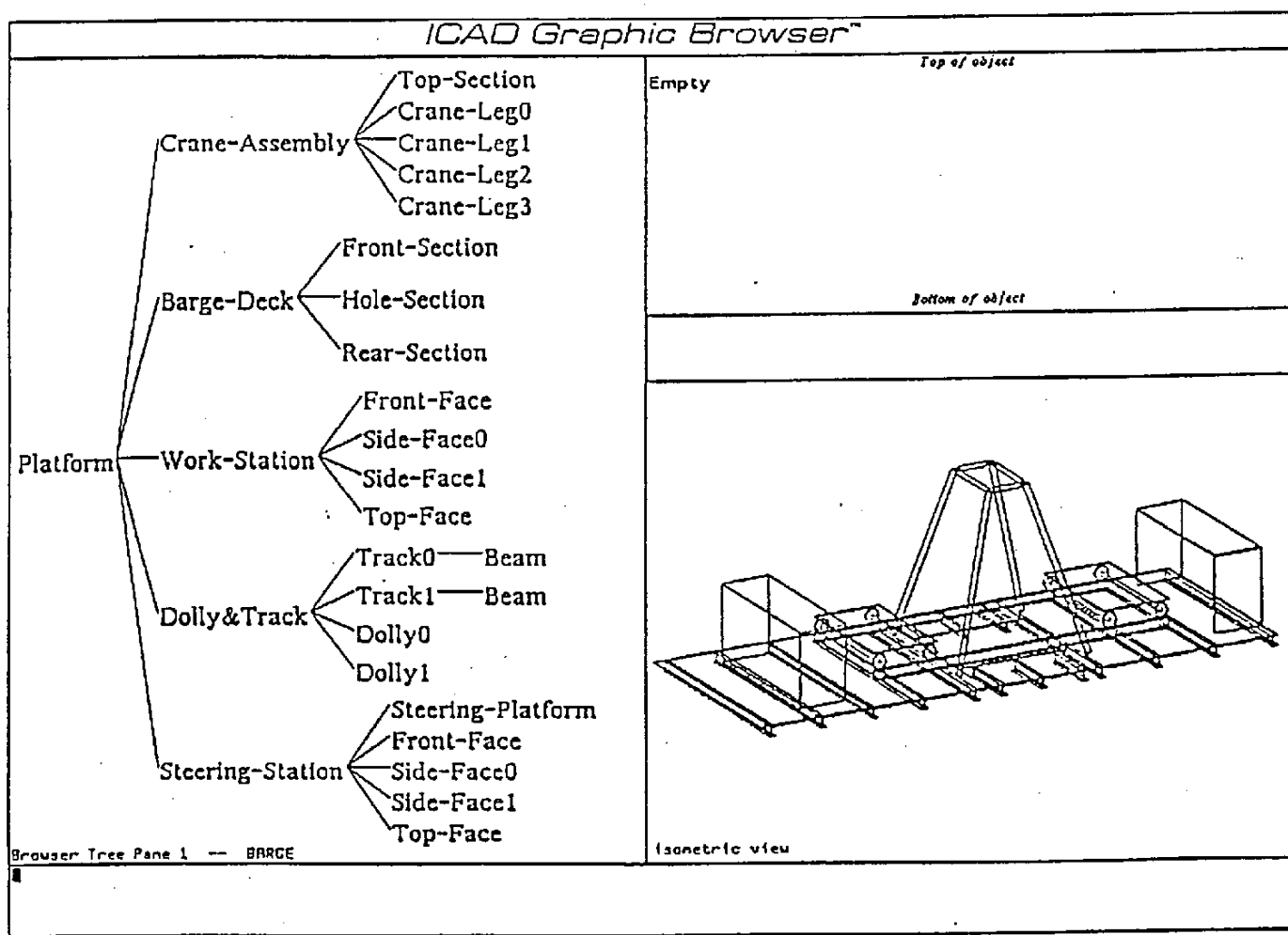
計変数の修正を効率よく行ない、そのなるべく最適解への収束を早めるシステムである。また、ADL/CRS[長澤84]システムは論理プログラム(Prologに近いもの)の上に作られた拘束条件解法を基礎とした設計システム記述言語である。ADL/CRS(A Designer's Language/Constraints Reduction System)で用いられている拘束条件リダクション法は、パラメータに対するある拘束条件の組を、リダクションルールによってよりプリミティブな拘束条件にリダクションしてゆき、解くことができるところから解いていくものである。最後までリダクションされずに残ったものは、それを解く専用の解法(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言っても、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様々なモデルが考えられる。また、形状や寸

図表III-2-3-3 ICADシステム [Phillips87]



法、組立などの詳細な設計対象の情報を扱う他に、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様々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、しだい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[Kimura83]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、それらの全てを扱う枠組を研究の射程とすることは野心的に過ぎる。そこで、それぞれの問題意識、立場で様々な研究が行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言うと、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、設計対象のも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と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、形状を生成してゆくものである。図表Ⅲ-2-3-4は[Luby86]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-2-3-5は特徴の階層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、後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、前述の様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コマーシャルシステムも利用され始めている。

3. 4 幾何推論

幾何推論に共通する一つの性質は、幾何学的属性で記述されるもの、例えばものの形状や位置、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

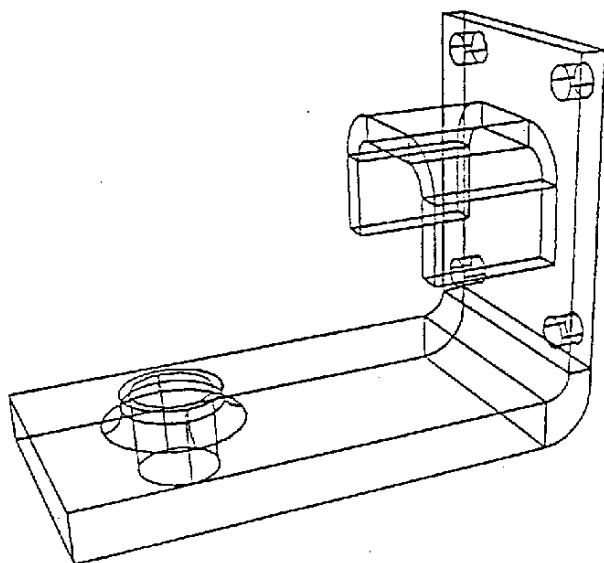
従来の幾何モデラでは、設計者が形状定義の大半を入力していた。幾何属性推論では、対象とする形状が満足すべき拘束を入力し、その拘束条件を満足するような形状を生成する。形状拘束には、様々な設計上の拘束を反映したものがあり、例えば図表Ⅲ-2-3-6は梁の繋ぎ手の形状を梁の加重条件などから生成している[Welch89]。形状拘束が形状を

表わ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時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為には、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取られることが多い。他の例としては、図表Ⅲ-2-3-7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わし、そこから形状を設計する問題を扱った[Joskowicz89]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事ができる。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-2-3-8は、寸法整合問題を寸法制約と制約伝播問題として扱い、上記の様な問題を依存関係処理によって扱ったシステムである[Suzuki90]。

図表Ⅲ-2-3-4 Design With Featureシステム [Luby86]



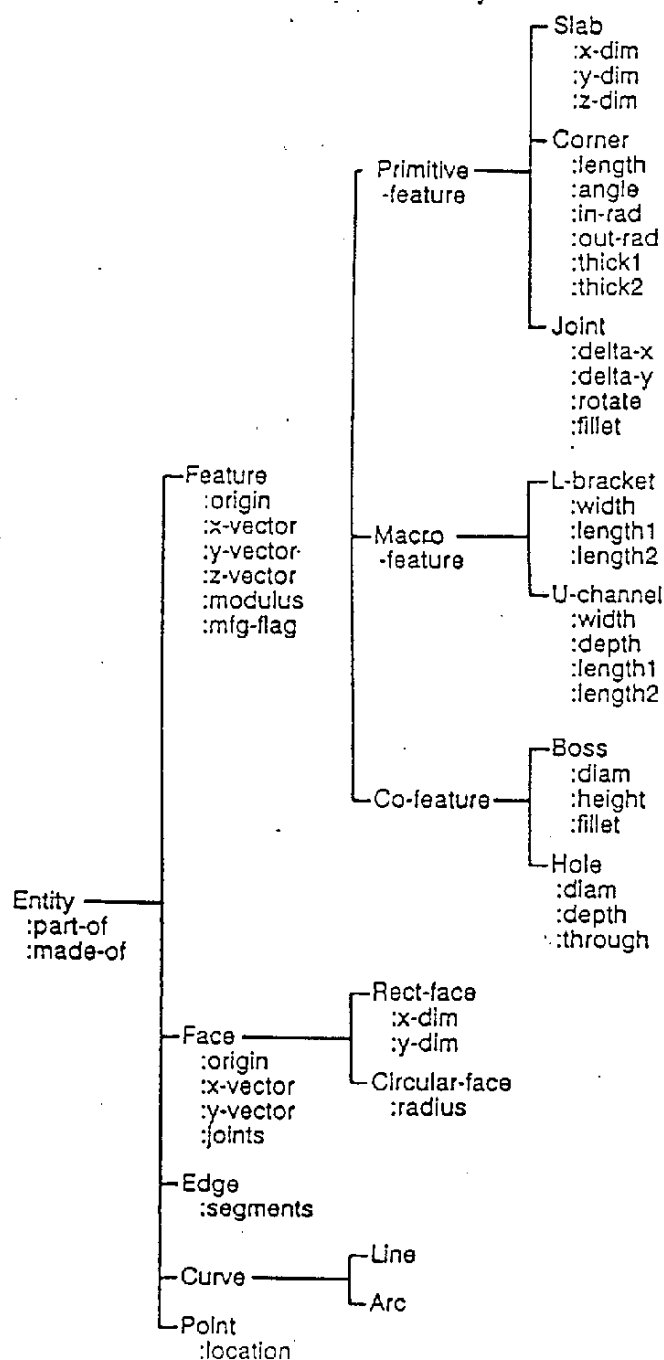
さて、公差は寸法に比べて幾何学的側面よりも機能的、製造的な側面が重要であるし、また幾何学的側面に限ってみてもその実形状の持つfuzzinessを直接に扱う必要があり、応用と絡んで最近研究が盛んになってきた分野である。

[Requicha86]は、公差問題を

- 1) Representation of tolerance
- 2) Analysis and synthesis of tolerance specification
- 3) Applications of tolerancing information

の三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。

図表III-2-3-5 特徴モデルの階層 [Luby86]



(3) 形状特徴抽出

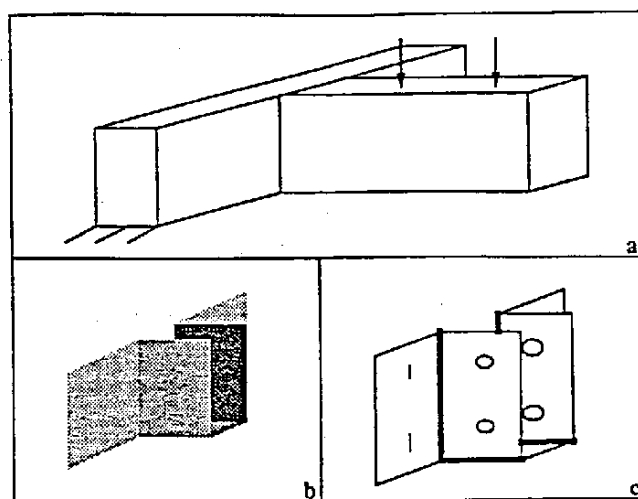
前述の形状特徴モデリングに対して、幾何モデルからその持っている形状特徴を抽出するものである。特徴文法(Feature Grammar)による抽出ルールを用いた方法や、境界表現の立体モデルの持つ面分などの接続グラフを解析するグラフマッチングによる方法などがある。図表Ⅲ-2-3-9は[Sakurai89]の例である。左上の形状に対して、下部のような特徴が抽出されている。しかし、形状が、そのマクロ的な特徴には直接影響しないような微細な形状を含んでいる場合、マッチングがそれに影響されてしまい、正確な特徴抽出ができないなどの問題がある。

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要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わると、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、なん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。

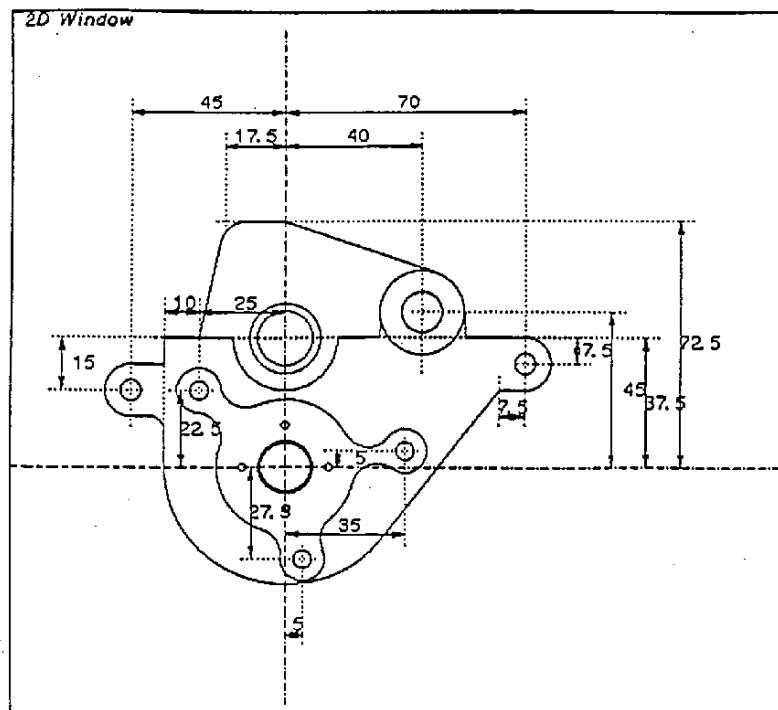
(4) 生産(容易)性(Manufacturability)解析

機械を設計する時には、その機械が単に要求機能を実現するばかりでなく、加工や組立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

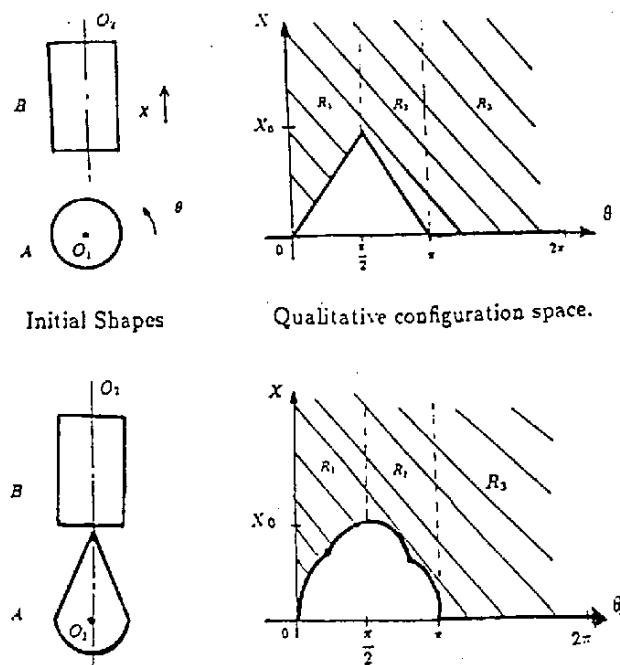
図表Ⅲ-2-3-6 鑿ぎての生成 [Welch89]



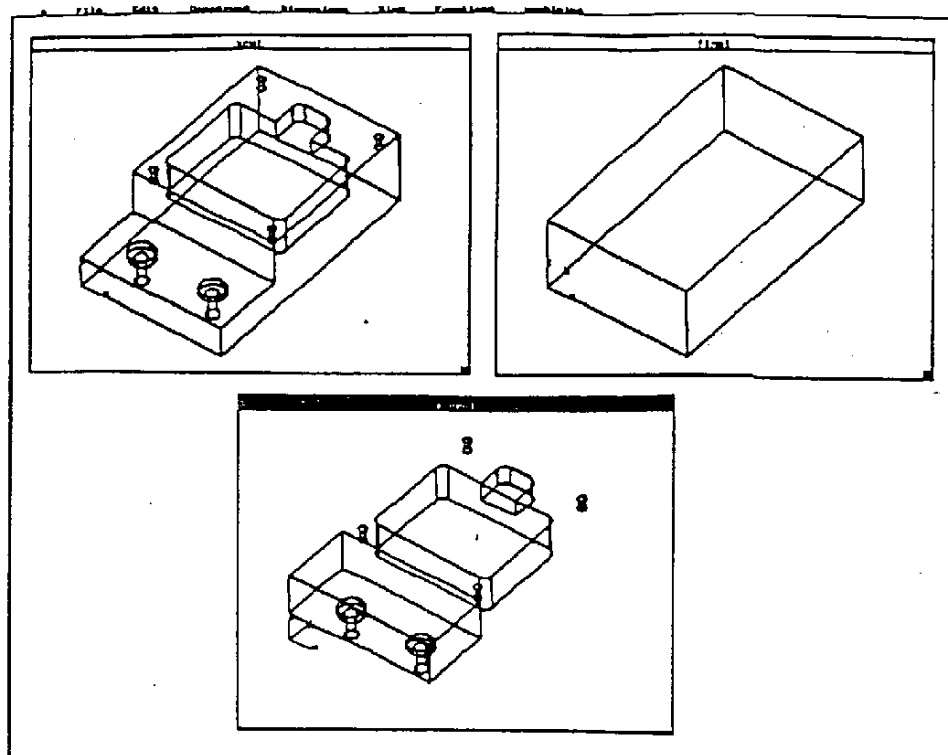
CSpaceによる機構形状の設計[Joskowicz87]



寸法処理システム[Suzuki90]



図表Ⅲ—2—3—9 形状特徴抽出[Sakurai89]



サイクルにおいて保守性(servicability, maintenancibility)が良いことなどが要求される。

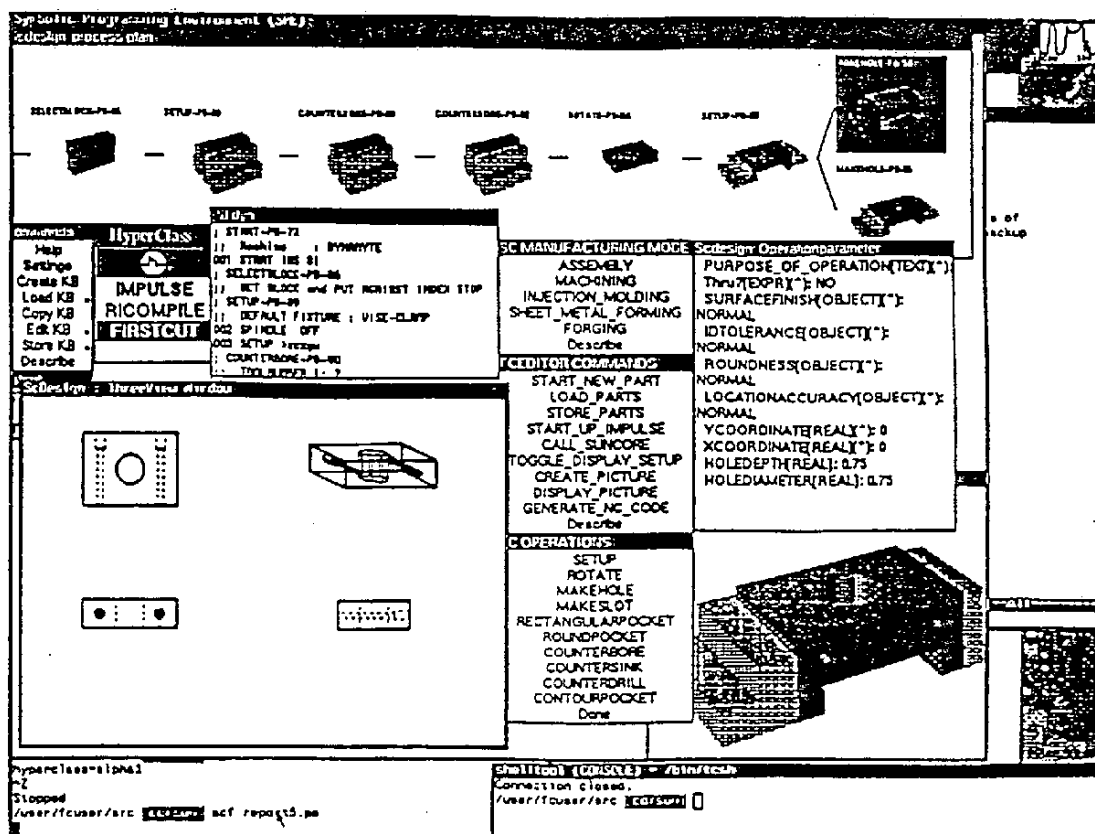
生産性の高い設計を実現するためには、利用可能な工作機械の能力・容量や加工法、加工コストなどのような下流の生産現場に集積された経験やノウハウなどの様々な知識が必要である。しかも新素材や新加工法などの開発によって生産性は変化するので、熟練した設計者であってもそれらの全てに精通することは難しい。

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研究の一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-2-3-10は[Cutkosky89]が開発中のFirstCutシステムの例である。

3. 5 定性推論

現在、人工知能の最も魅力的な分野の一つが定性推論(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、人工知能研究の中でも、直接的に設計に有用なものと期待される[Forbus88]。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-2-3-10 FirstCut システム[Cutkosky90]



参考文献

- [IEEE86] Expert Systems in Engineering, IEEE Computer, Vol. 19, No.7, pp.92-100(1986).
- [Gero85]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、グラフィクスとCAD、20-6、情報処理学会(1986).
- [Brown86] 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.
- [Mittal86] 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]: 対象の計算機モデリングと設計、日本ロボット学会誌、4巻、4号、pp.101-108 (1986).
- [Kimura83]Integration of Design and Manufacturing Activities based on Object Modeling, Advances in CAD/CAM, North-Holland (1983).
- [Phillips87] A Knowledge-Based System for Design Automation, presented at the Sixth Int. Symposium on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (1987).
- [Luby86] Designing with Features, Creating and Using a Features Data Base for Evaluation of Manufacturability of Casting, ASME Computers in Engineering, 1986.
- [Suzuki90] Geometric Constraints and Reasoning for Geometrical CAD Systems, Computers & Graphics, Pergamon Press, (in print), (1989).
- [Requicha86] 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.
- [Cutkosky90] A Methodology and Computational Framework for Concurrent Product and Process Design, Mechanism and Machine Theory, Pergamon Press, (to appear) (1990).
- [Forbus88] Intelligent Computer Aided Engineering, AI Magazine, Vol.9, No.3 (1988).
- [Welch89]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).

[Sakurai89]H.Sakurai: Automatic Setup Planning and Fixture Design for Machining, Ph.D Thesis, Department of Mechanical Engineering, MIT, (1990).

[Joskowicz88]L.Joskowicz and S.Addanki: From Kinematics to Shape: An Approach to Innovative Design, Proc. of AAAI, (1989).

ラプション

3.6 アナログLSI自動レイアウトシステムLADIES

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様々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二つの課題を解決しなければならない。我々は、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と、クラスタリング配置とリバールータを用いた手続き型の初期レイアウト処理と、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。

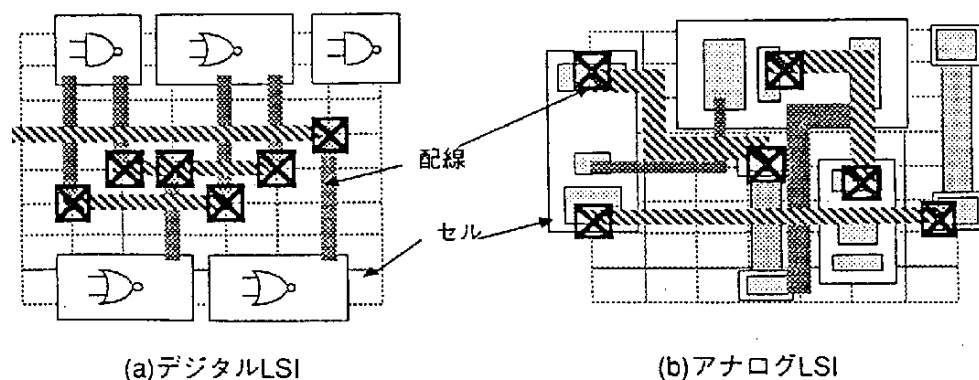
71素子のアナログブロックに適用し、制約違反無しで、対人手比面積108%の結果を得た。

3.6.1 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、幾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二つある。一つは規格化の難しさであり、もう一つがレイアウト制約である。

図表Ⅲ-2-3-11 デジタルLSIのレイアウトとアナログLSIのレイアウト



まず、規格化について述べる。図表Ⅲ-2-3-11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、様々な形状を取り、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。従って、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述べる。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、対象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過してはいけない配線もある（図表Ⅲ-2-3-12）。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な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与えるかについて、これまで発表されたものは、すべてを入力として設計者が与える形になっている²⁾。しかし、その制約指定個所は、2000トランジスタのチップで100個所とかなりの数に登る。また、実際の運用を考えると、レイアウト結果を見て、制約を設定し直す必要が出て来る。できるだけ、制約は自動的に設定

図表Ⅲ-2-3-12 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	

し、人が与えるのは、最小限にする必要がある。レイアウト設計者は、どのような回路にはどのようなレイアウト制約を与えるべきかということをも「知識」としてもっており、この知識と回路を対応させてレイアウト制約を設定していると考えられる。この知識には、回路の形から機械的にあたえるもの（いわゆる浅い知識）と、回路の動作を考て与えるもの（いわゆる深い知識）と二つがある。レイアウト制約の約9割は、浅い知識だけで与えることができる。我々は、浅い知識をルールとして組み込み、レイアウト制約の多くは、自動で与え、深い知識が必要な指定は人に任せることにした。

次に、レイアウト制約を満足するレイアウト手法について述べる。これまでの、アプローチは、アルゴリズムを拡張して制約を取り扱えるようにするというものであった。しかし、制約の種類に限られている場合は、これで良いが、アナログLSIの様に数十種類に及び、互いに関連し合っている場合には、それを全て尽くすように処理を記述するのは困難である。

知識処理では、各々の制約条件を独立に記述することができるので、実現は容易になるが、実用的な処理時間で解がえられない恐れが大きい。そこで、我々はまず、初期レイアウトをアルゴリズムを用いてもとめ、その後知識処理を用いて改善するというアプローチをとることにした。

3.6.2 システム構成

LADIESのシステム構成を図表Ⅲ-2-3-13に示す。LADIESは、次の3つの処理からなる。

(1) レイアウト制約抽出

回路に対し、必要なレイアウト制約を知識ベースを参照して付加する。

(2) 初期配置配線

レイアウト制約を遵守しつつ初期レイアウトを生成する。

(3) レイアウト改善

改善ルールを適用し、面積の縮小制約違反の除去を行う。

3.6.3 レイアウト制約

アルゴリズムで対応できるためには、レイアウト制約は幾何学的な条件として記述される必要がある。また、レイアウト知識を十分反映できるように一般性がなければならない。この点から、レイアウト制約記述言語を次のように定めた（図表Ⅲ-2-3-14参照）。

3.6.4 レイアウト制約導出

レイアウト制約抽出は、与えられた回路に対してレイアウト制約を与えるものである。

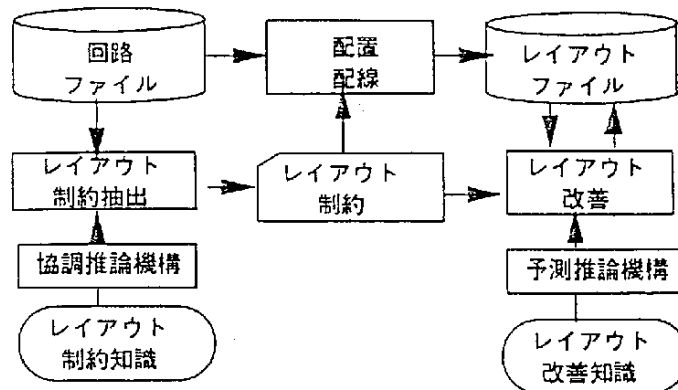
(1) レイアウト制約知識

レイアウト知識の例を図表Ⅲ-2-3-15に示す。

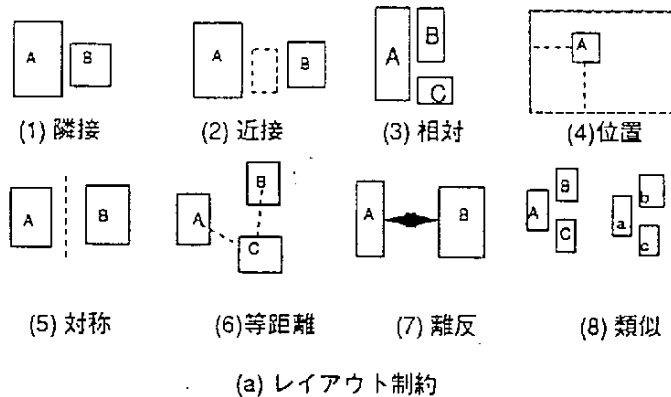
この知識の THEN 部は、そのままレイアウト制約となる。しかし、条件部はこのままでは不十分である。通常回路記述に含まれているのは、素子とその接続情報だけである。右図のようなルールを適用するには、条件をより詳細に記述する知識が必要である。

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

図表Ⅲ-2-3-13 LADIESシステム構成



図表Ⅲ-2-3-14 レイアウト制約とその表現

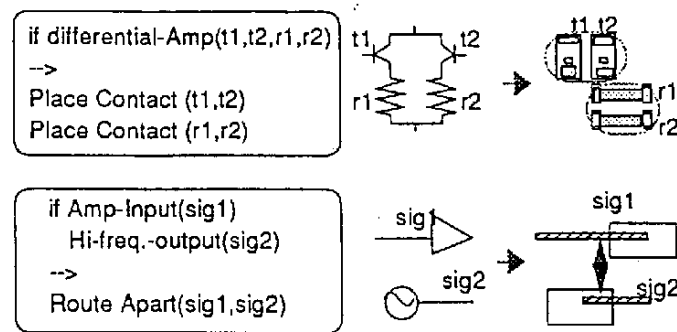


```

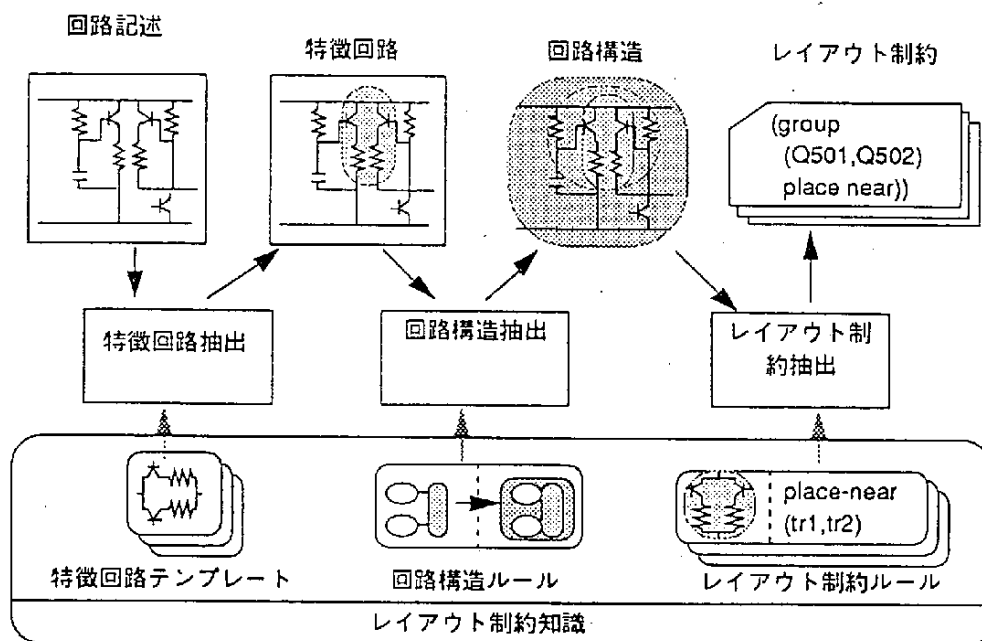
<specification> ::=
  (CONCAT <element> ...)
  (NEAR [<distance> [<overlap>]] <element> ...)
  (RELATIVE V|H <element> ...)
  (POSITION <x> <y> <element>)
  (SYMMETRIC H|V|P <element> <center> <element>)
  (ISOMETRIC <center-element> <element>...)
  (APART [<distance> [<overlap>]] <element> ...)
  (SIMILAR <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

図表Ⅲ-2-3-15 レイアウト制約知識



図表Ⅲ-2-3-16 レイアウト制約抽出処理



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-2-3-16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。

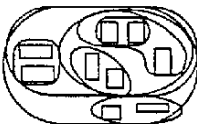
step2. 回路構造抽出

回路構造ルールを適用し、

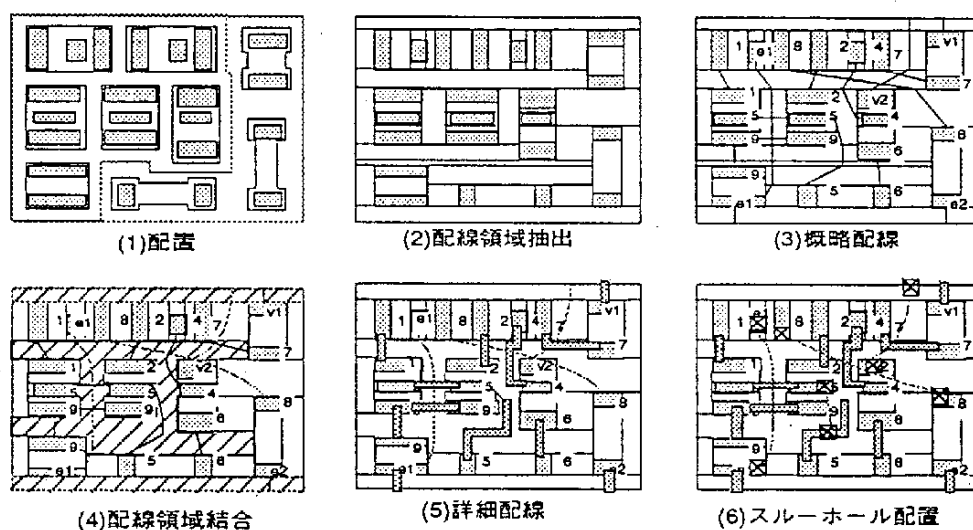
step3. レイアウト制約生成

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-2-3-17 配置処理

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	

図表Ⅲ-2-3-18 配線処理



3.6.5 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、クラスタの数が一つになるまで、“結合度が最も大きいセル、クラスタ同士をまとめ一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

クラスタが無くなるまで、“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、大きい値を取る。この処理で、配置制約は次の処理を行うことによって考慮することができる。

- 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う。
- ③トップダウン配置： 配置方向、位置を満足するように位置関係を決める。

3.6.6 配線

図表Ⅲ-2-3-18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をつかって行う。

3.6.7 改善処理方式

(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I F部に、改善手続きをT H E N部に記述したI F-T H E N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。

(2)予測推論機構

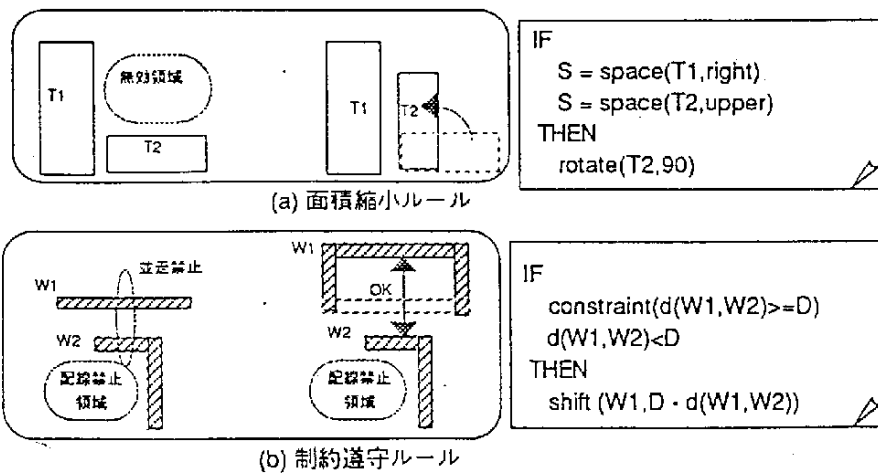
ルールを用いて改善を行なう場合、単純にマッチしたルールを実行するのでは効果的な改善を行なうことはできない。これについて図表Ⅲ-2-3-20の例を用いて説明する。左初期レイアウト状態を示す。この状態に対して右上の状態への改善と左下の状態への改善のどちらかを選択することができる。面積の縮小率のみを考えると左下の改善の方が効果的である。ところが、配線W1とW2に並走禁止の制約がある場合は、制約を守るためにさらに右下の状態への改善が行なわれ、結果的には右上の方が良い改善であったことになる。

このような場合によりよい選択をするためには、一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なく、レイアウト状態と組み合わせ始めて比較できるものであるために、予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、予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。

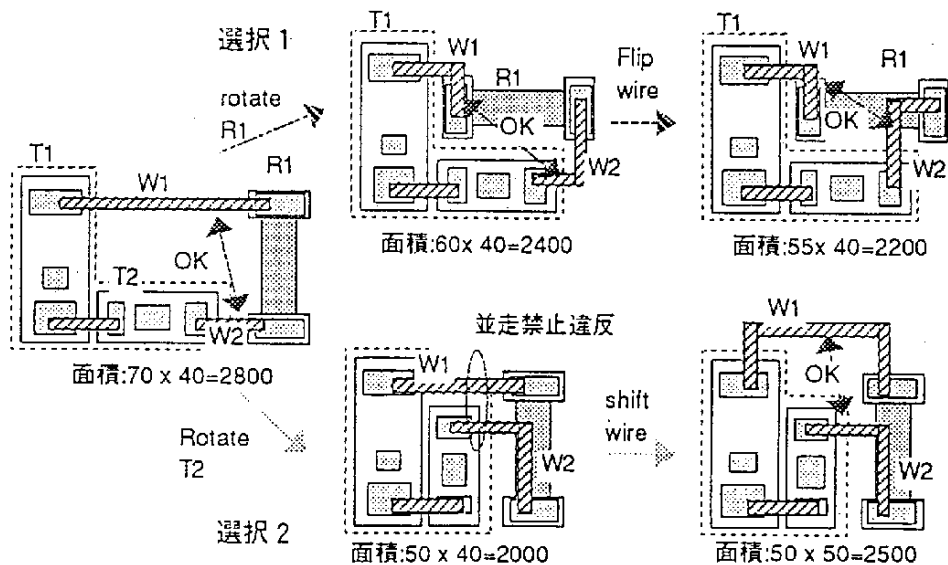
図表Ⅲ-2-3-21に推論機構の概要を示す。推論は以下のステップで行なう。

- 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

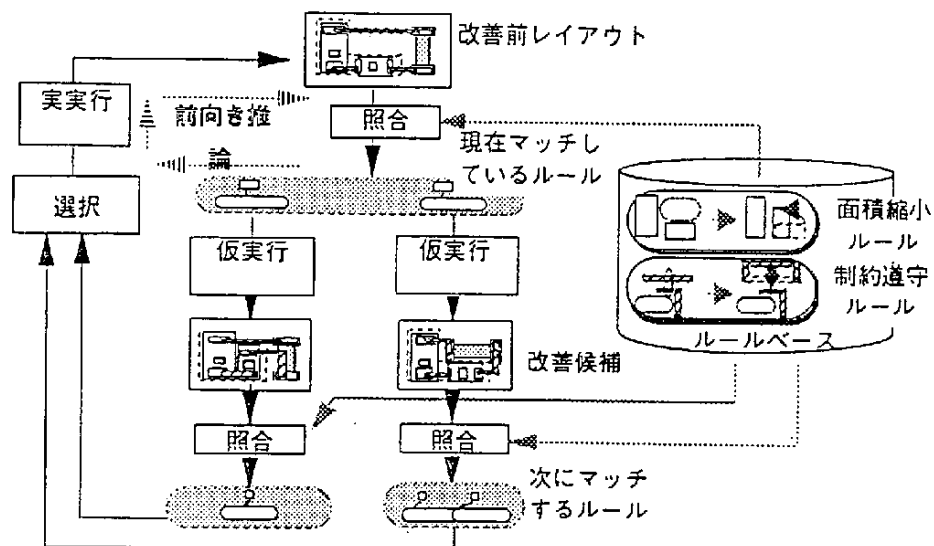
図表Ⅲ-2-3-19 レイアウト改善ルール例



図表Ⅲ-2-3-20 ルールの選択



図表Ⅲ-2-3-21 予測推論機構



採用をやめ、次の候補に対してstep 2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。

3.6.8 評価結果

各プログラムは全てM680Hの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った。

実験対象回路は、二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三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-2-3-22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、及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-2-3-23の(a)に初期レイアウト(b)に改善結果を示す。

図表Ⅲ-2-3-22 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	1 2
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
繰返し 構造	1	類似レイ アウト	1

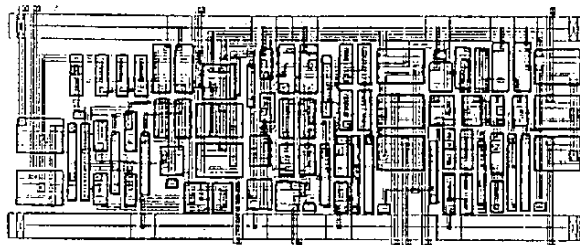
図表Ⅲ-2-3-23 評価結果

表1. ベンチマーク諸元

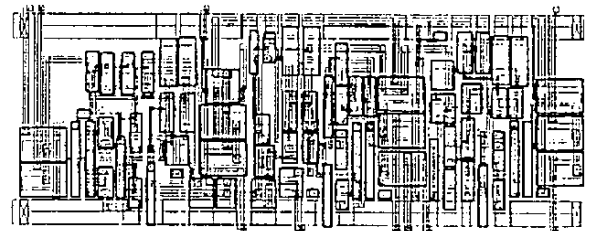
項目	値
素子合計	61
トランジスタ	10
抵抗	51
制約	22

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

本稿で提案した手法は、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 隆「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 4 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などの例を除いて、実用レベルからまだ遠いと言わざるを得ない。現状の問題点と今後の発展への期待をまとめて見よう。

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、人工知能の実現環境の性能向上を追及すると共に、互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人工知能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、実用化に当ってはシステムを全面的に書き直した方が多い場合も多い。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、それほど大量の工学知識は計算機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、この間に色々なタイプがありうる。計算機の高度利用を前提とすると、設計作業全体の体系が変り得るが、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、応用等に渡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。

③公式の国際標準を制定するISO及びそれに同期するJISは、日米欧の三極の構造の中で政治課題を内在しており、ここでその過程にふれるのは任ではなく、かつ、なじまない。

④Common 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。

⑤Common 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作業グループがはじまった。

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なり、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うことができる。

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、CLtLも、ANSI X3J13での作業を反映して、1989年に改訂され、第二版（CLtL2）が出版された。

現在では、図表Ⅳ－１－１－１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、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。

図表Ⅳ－１－１－１ 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

(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計ることが意図されていた。

このベースとなったCLtL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。

一つの例としては、豊富なデータ型と言うものがCommon Lispの特徴の一つにあるが、「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CLtLにはある。CLtL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したがって、多くの処理系はCLtL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年に出されたCLtL 第二版 (CLtL2)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を元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-1-1-2のように順に処理系が導入された。そのほとんどはCLtL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、いかえれば、サブセットの制定がごく自然のながれとして求められてきた。これらは、CLtL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、公式に二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CLtL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CLtLの機能のほとん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、CLtL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。

図表Ⅳ－１－１－２ Common Lisp処理系の日本への導入

1984

Nihongo VAX LISP (DEC Japan -C-)
Kyoto Common Lisp (Kyoto University -RC-)

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/1 (Tokyo Institute of Technology -RA-)
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 -RA-)

1990 (Scheduled)

NX-LISP (NEC Corp. -C-)
Hi-UX Lisp E2 (Hitachi Ltd. -O-)

<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。

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を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り入れ、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、現在は更に、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Common Lisp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CLtL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、CLtL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なお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おお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

CLtL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CLtLの改訂版が出版された。これをCLtL2と呼ぶ。CLtL2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いれている。Seriesがその大きなものである。

現在のCommon Lisp処理系はこのCLtL2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CLtL2 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、CLtL2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でその影響はおおきい。

X3J13仕様の特徴的な事項を以下に示す。

まず第一に、CLtL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、CLtL準拠という考え方には曖昧さがのこ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一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。

第二に、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。

第三に、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、それにしたがって、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で、こうしたことの定義の意味は大きい。

第四に、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る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、CLtL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 LispCommunity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、図式的に言っても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一つの選択であるし、Common Lispと融合する方向で行くのも一つの選択である。

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、一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)汎用性というたいへん同時に達成するのが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CommonLoops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-1-1-3に、オブジェクト指向機能検討を中心とする流れを示す。

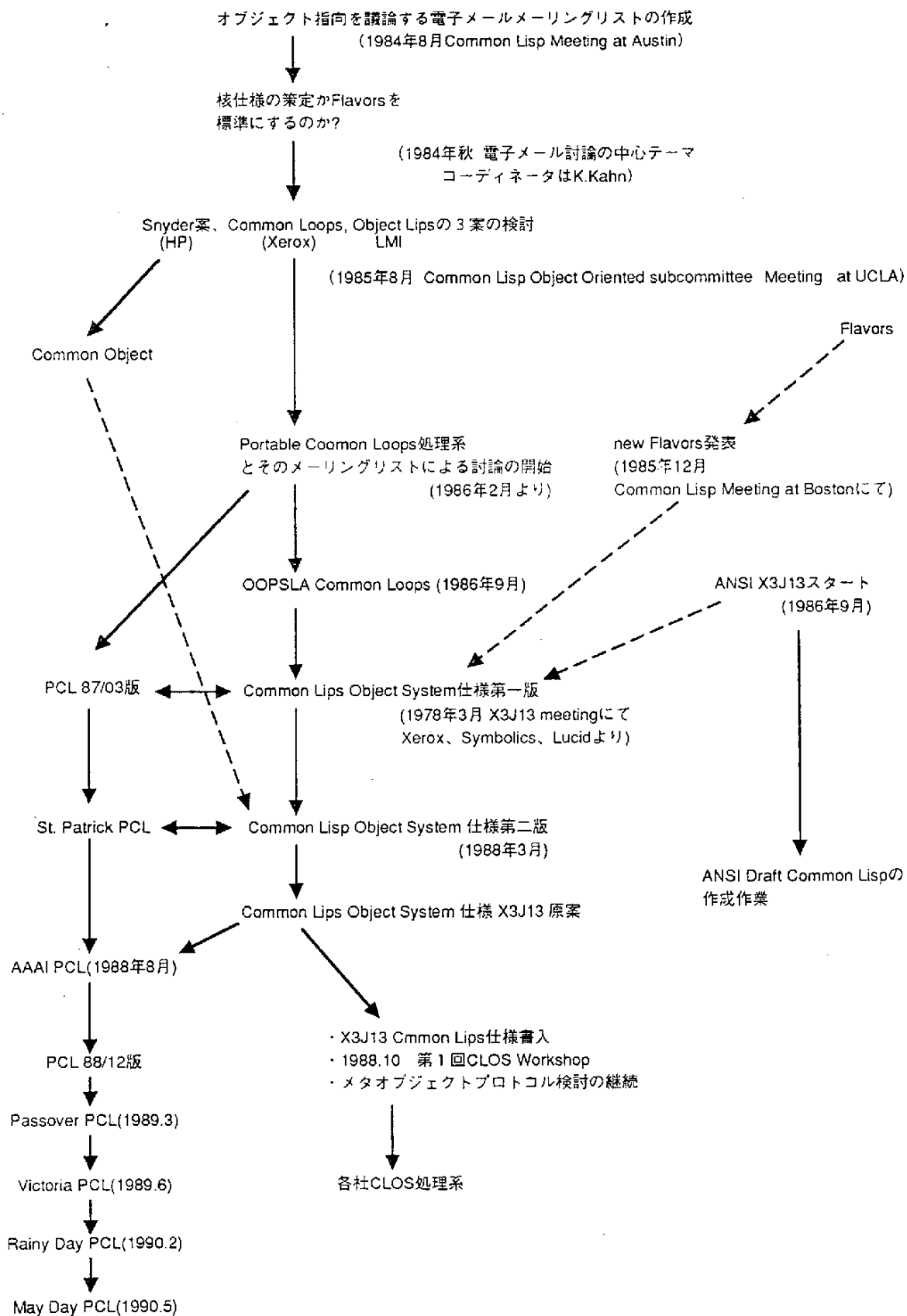
一方、MacLisp系、いいかえればMITの流れの一つのかなめであるLispマシンを製作販売する二つの会社LMIとSymbolics、特に、Symbolics社ではFlavorsに基づきオペレーティングシステム、ユーザインタフェース、そして応用プログラムが開発される体系が出来上がっている。オブジェクト指向機能はその意味でLispの言語仕様よりももっと深いところでLispマシン文化とかかわっており、これも、良い仕様だからといって簡単にFlavorsを捨てることはできない面をもっている。事実、一番安直であり、かつ実現性が高いと当初多くの人に信じられていたのは、このFlavorsをCommon Lisp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月の事である。

1986年2月よりXerox PARCはPortable CommonLoops (PCL) とよぶCommonLoops 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、三章からなる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仕様の第一章、第二章は、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。第三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。

図表IV-1-1-3 Common Lisp用のオブジェクト指向機能検討を中心とする流れ



図表Ⅳ-1-1-4 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

CLOS Workshopが1988年10月をはじめとして年一回開かれるようになった。CLOSに関する書物もいくつかだ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。

(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-1-1-4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なってきた。

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なってきた。活動の概要を図表Ⅳ-1-1-4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-1-1-5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つくりそれをANSI X3J13に送り、それがもとに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交流を行ない、その成立までの歩みを共にしてきた。

図表Ⅳ-1-1-5 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)

(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。たとえば、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。もう一つの側面としては教育的な側面がある。エンドユーザ及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による仕様の策定の過程でオブジェクト指向機能の共通化がとりあげられ、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みてきたように、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有り得る。

①Common Lisp でXを呼べればいい。(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、との親和性をもちたい。

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。

もう一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、更に根本的な並列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つてこよう。歴史にまなんでみても、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/1, 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、つぎのように毎年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もと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つく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。

(2-1) 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。

(2-2) 意味

第1、第2回の会議では、意味の正確な記述のため、フランスの提案にもと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、この形式的定義はきわめて難解であり、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。

(2-3) 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。つぎ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ひとつであった。（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、たと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つぎ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大きい。すでにある標準および処理系にもと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か議論された。特にC言語をとりあげる理由は、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、これまでにつぎ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ひとつとしておいてよいか。

(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。

(3-1)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なん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もっと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ひとつは、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も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もつので、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した第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 の二つの 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。

(3-2)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。

(3-3)統合

多くの Prolog 処理系では、J. A. Robinson にもとづく統合 (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 Hue 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 のアルゴリズムにもと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ひとつの問題は、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なため、引数の評価順序を一定（たとえば、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二つの方法には、一長一短がある。

（４）日本の提案

日本はF G C S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もっており、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もつ国の代表として、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。

（4-1）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]にのべられている）。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、つぎの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ーが定義した特別な述語を呼び出して行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。）

（4-2）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P S I マシンの言語であるE S Pに採用されたものを基礎とし、一般的な Prolog との互換性をも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方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。

(4-3) マクロ機能

われわれは、E S P 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ー・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 D P (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、W D 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、I S O と米国の A N S I 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 A N S I においても Prolog の標準化の作業が開始されとのことである。

われわれ日本のWGでは、標準化の作業の進展を Prolog に関心をも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, マイクロソフトウェア, 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。

とは言え、KEの位置付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ので、（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、どの様な技術者を対象に何をどう教育するか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もとづき、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もと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ことを明確にせねばならない。

2.1 ESの構築作業

ES開発の一般的手順を図表IV-2-2-1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、あるいは条件の組合わせが莫大であり、逐一判断を行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。即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、結果の妥当性や信憑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われることとなり、その更新を利用者が行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の分析結果にもとづき、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遍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もとづき、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。

ESは、一般にまずプロトタイプ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の作業は全面的内至は一部のフィードバックが行われつつ進行することとなる。

2. 2 K Eの業務と資格

K Eの業務とは、当然ながら2. 1の①～⑨の作業を行うことである。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S E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有機的な統合を行う能力が必要であることから、K Eとは、既にS Eとしての知識・技術・経験を持つ技術者が、更にE S構築に必要な知識・技術を身につけて、K E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S Eである事を前提としている。なお、図表Ⅳ-2-2-2は、S Eとして既に有しているはずの知識・技術の一覧である。

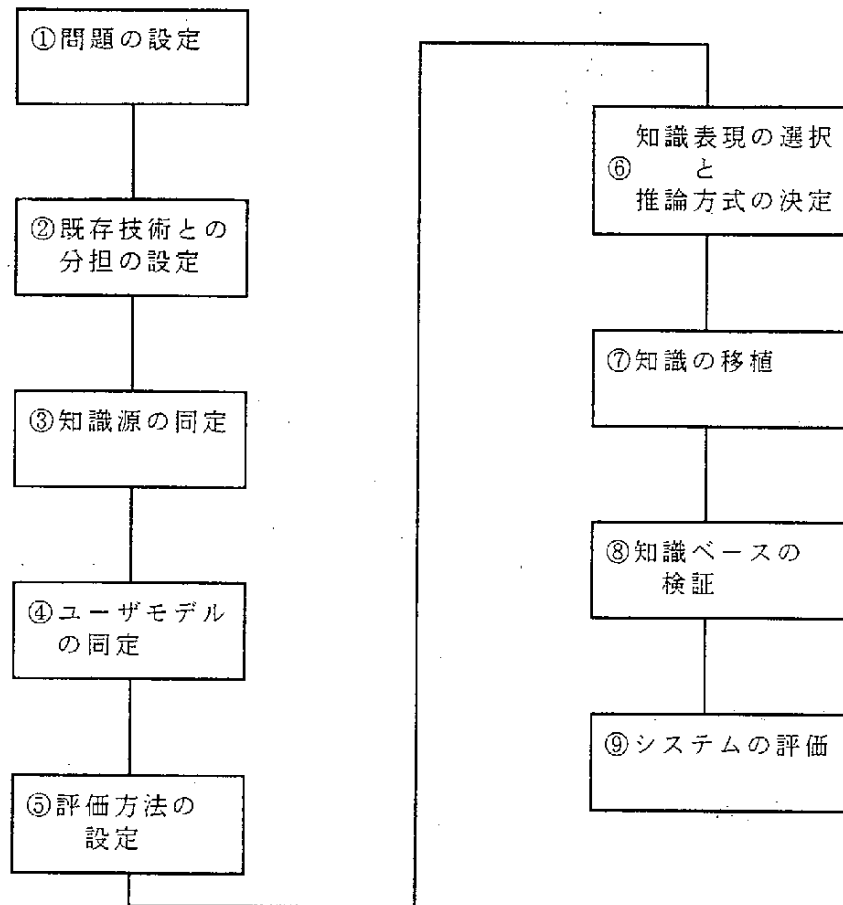
第3章 K Eの専門知識

以下に、本指針にもとづく教育項目と簡単なそれぞれの目標を、図表Ⅳ-2-2-3に示す。併せて標準的な研修時間も提示する。

なお、研修時間は全体で727時間(約6ヶ月)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O J Tに移行することにより、以下のような3ヶ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
A I の基本知識	2 7 時間	1 2 時間
E S の基本知識	3 0 0	1 8 0
実 習	4 0 0	2 0 0
計	7 2 7 時間	3 9 2 時間

図表Ⅳ－２－２－１ エキスパートシステムの開発手順



図表Ⅳ－２－２－２ S E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
礎	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， マルチメディア など

図表Ⅳ－２－２－３（ａ） 教育内容

項 目	教 育 目 標	標準的研修時間
【ＡＩの基本知識】		(2 7)
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－２－２－３（ｂ） 教育内容

項 目	教 育 目 標	標準的研修時間
【ＥＳの基本知識】		(3 0 0)
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		1 0 2
2.1	ＥＳの概要 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。	6

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 ③開発の各段階の位置づけ

図表Ⅳ－２－２－３（ｃ） 教育内容

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－２－２－３（d） 教育内容

2.3	推論技術	27
黒板モデルにもとづく推論	(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、黒板モデルの一般的概念とその利点を理解させる (2)黒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	
メタ知識にもとづく推論	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	
あいまいな知識にもとづく推論	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。	
深い知識にもとづく推論	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もとづく推論	(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、R E T E 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－２－２－３（e） 教育内容

2.4	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。	1 2
2.5	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	3 0

3. ESの開発環境			7 2
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		4 2
	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 ・パターンマッチング（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Small-talkを取り上げ、その特徴を理解させる。とくにAI用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	E S 構築用 ツール	エキスパート・システムは、LISP, PROLOG のような A I 言語を用いてすべてを構築するとか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。	2 4
-----	----------------	--	-----

4. E S の構築技法			1 2 0
4.1	対象選択の基準	E S 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	1 2
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。	1 2
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	1 5
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	1 5
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	1 2
4.6	E S 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。	1 8

4.7	E S 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	2 4
4.8	E S の評価	(1) E S 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) E S 評価手法を理解し、活用できること (3) E S 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	1 2

【 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。	(4 0 0)
1. L I S P 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	6 0
2. P R O L O G 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	6 0
3. ヒアリング・ インタビュー技法	K E が、知識源である専門家から知識を抽出する実習である。 (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	6 0
4. E S 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。	2 2 0

出典：(財)日本情報処理開発協会 中央情報教育研究所
「高度情報処理技術者育成指針－ナレッジ・エンジニア編－」平成元年3月

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。

この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」及び「高機能AIシステム記述用言語プロジェクト」がある。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、昨年には、言葉の意味に含まれるような「あいまいさ」をも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設置した「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の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来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する並列推論を可能にする、新しい世代のコンピュータが考え出された。(図表IV-3-2-1参照)

第五世代コンピュータは、推論及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(ICO T: 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-3-2-2参照)

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P S Iや関係データベースマシンD e l t a等のハードウェアと逐次型論理言語E S P、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S I M P O S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-P S I、並列型論理言語K L 1、並列推論制御ソフトウェアP I M O S、分散知識ベース管理基本ソフトウェアK A P P A、小学6年程度の国語を理解する談話理解システムD U A L S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。

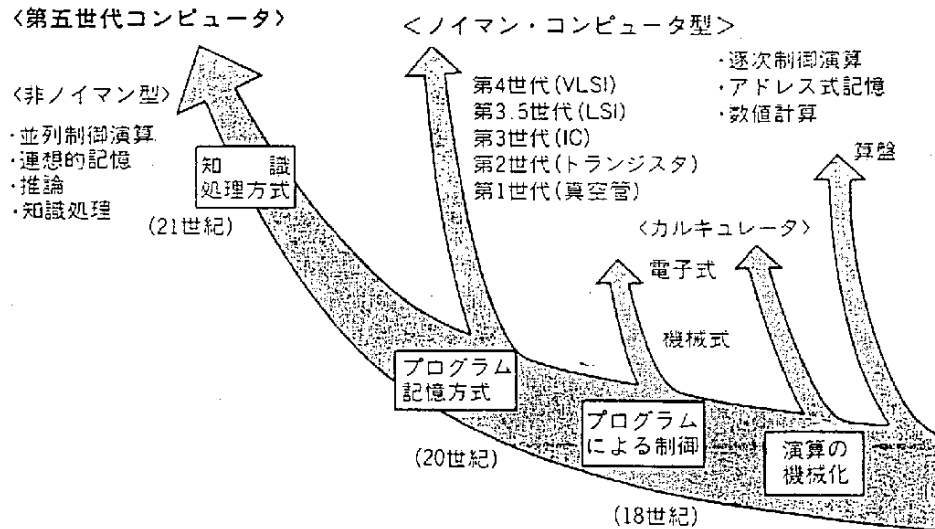
- ①1,000台程度の並列度を有し、並列推論機能及び知識ベース機能を持つ、プロトタイプ・ハードウェア・システム
- ②ハードウェアの並列推論制御と知識ベース管理を行う基本ソフトウェア(O S)並びにそのユーティリティ群である知識プログラミング・システムからなる、プロトタイプ基礎ソフトウェア・システム
- ③第五世代コンピュータのアプリケーションともいうべき、プロトタイプ基本応用システム

図表Ⅳ-3-2-3にプロトタイプ・システム概念を示す。

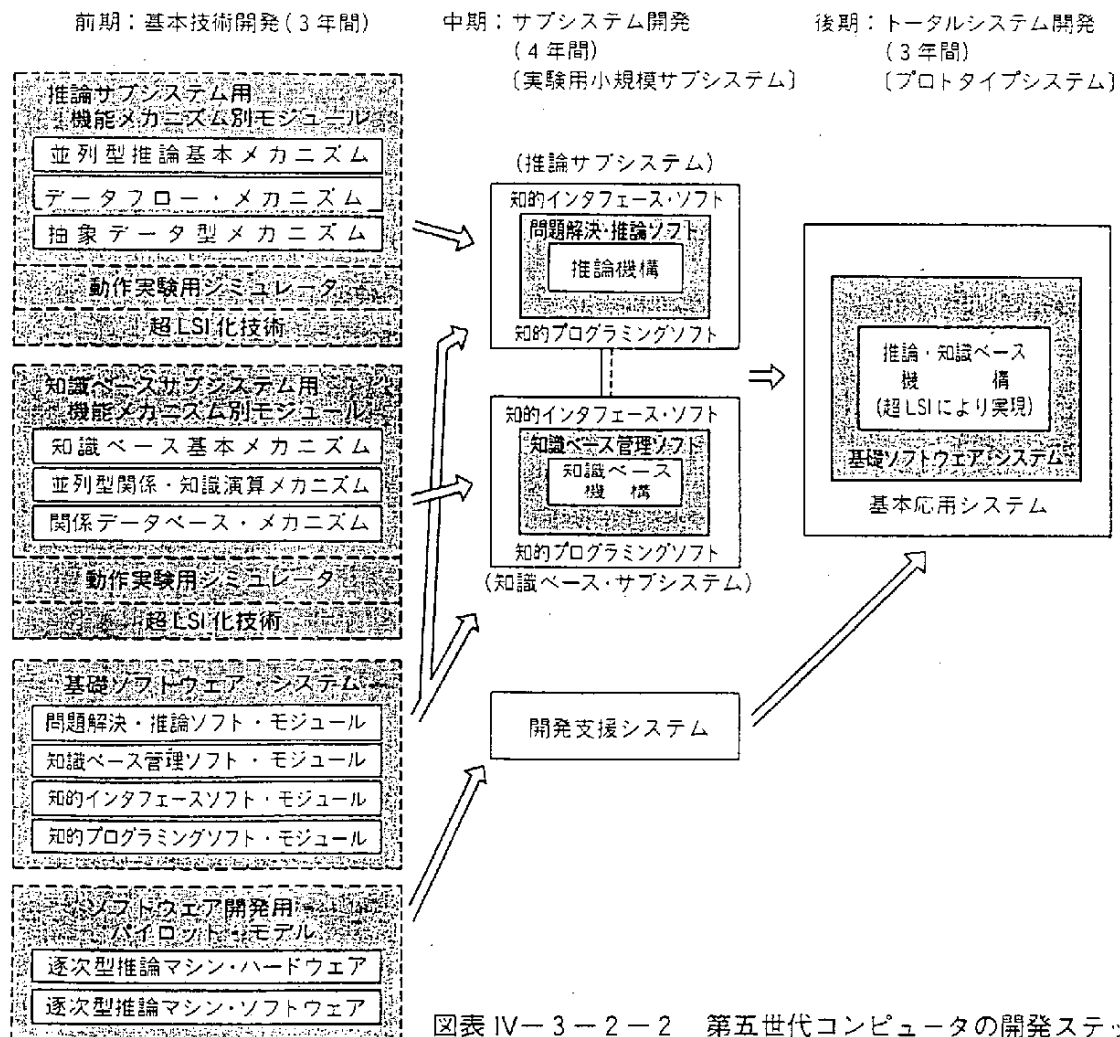
研究開発は順調に進捗しており、平成元年度に第五世代コンピュータのプロトタイプ・ハードウェアである、P I M (Parallel Inference Machine: 並列推論マシン)、プロトタイプ基礎ソフトウェア・システム等の設計を行い、2年度からはいよいよその試作に着手することとしている。

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い、国際的見地から研究の進展に寄与していく必要がある。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試作を展開してきた。以下、その主なものを紹介する。

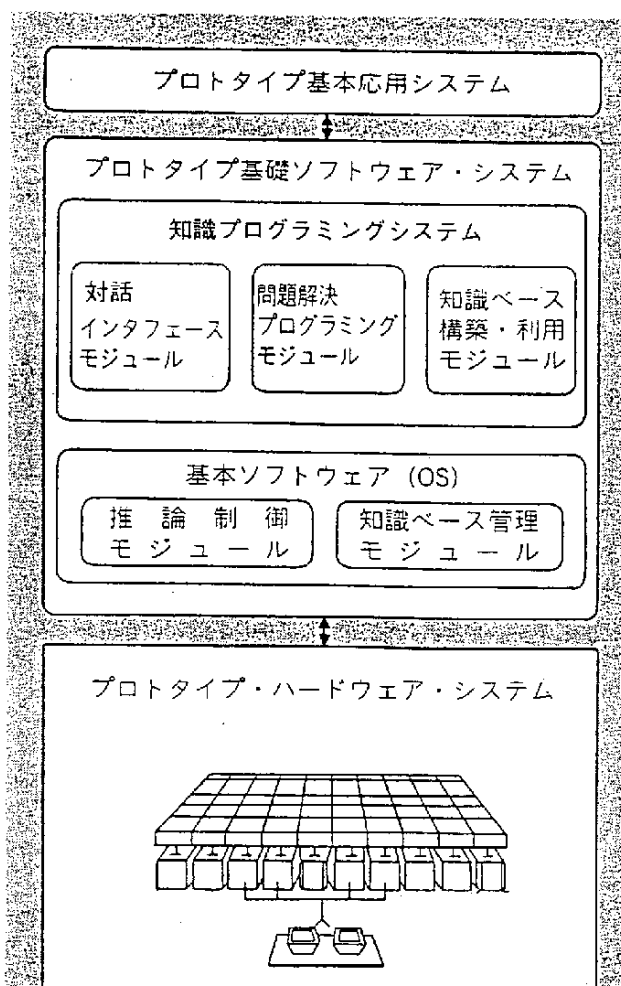


図表 IV-3-2-1 第五世代コンピュータの位置づけ



図表 IV-3-2-2 第五世代コンピュータの開発ステップ

図表 IV-3-2-3 第五世代コンピュータ・プロトタイプシステム



①長期派遣研究員の受入れ

海外の第一線研究者の受入れを行い、その成果を世界に公表することにより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、前記、中期の最終年度には、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、外国研究者の研究発表・討議を行うために開催しているもので、過去3回開催されている。

③海外研究者野招へい

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先進国とは、研究の最前線での研究状況に関する情報交換を行うため、AIシンポジウムを開催している。過去、仏国、米国、スウェーデンの各国と定期的に開催してきており、元年度からは新たに英国、伊国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きた。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-3-3-1、図表Ⅳ-3-3-2、図表Ⅳ-3-3-3参照)

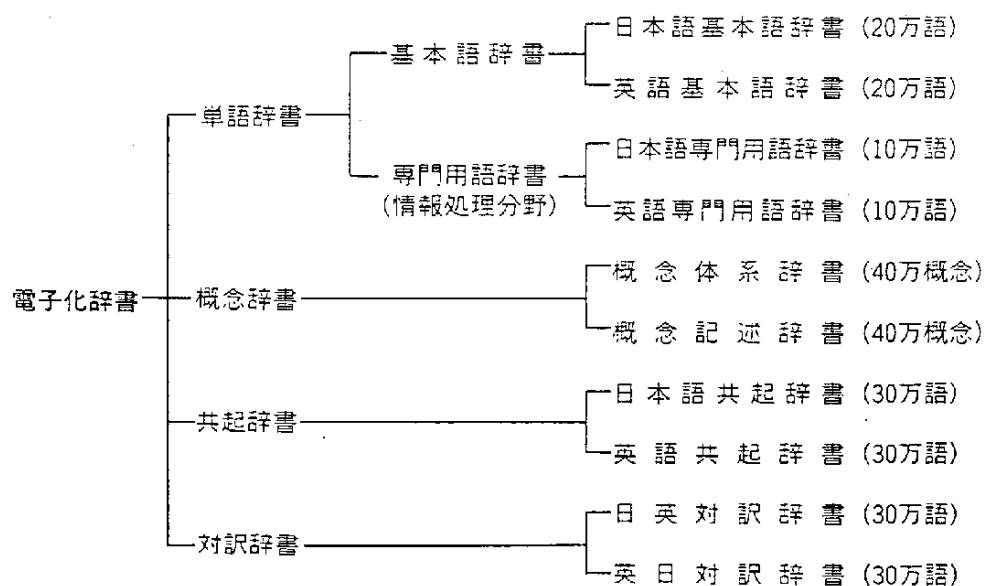
単語辞書については、日常接する文書の範囲をほぼ網羅すると考えられる日英各20万語の辞書開発を行う計画である。現段階では、辞書開発に関する基礎研究と出版社を通じての辞書データ作成が完了し、本格的な辞書開発に着手している。辞書データとは、辞書開発の出発点となる生データのことであり、辞書となる前段階のものである。日本語、英語それぞれ独立に17万語の単語見出しの選択を行い、対訳付けを行う過程で双方の不足分を補いながらデータ作成を行った。現在、日本語、英語それぞれ20万語強の規模となっている。多くの単語は複数の意味を持つことから複数の概念が対応するため、日本語、英語それぞれ取りあえず50万弱の概念見出しが得られている。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1000個の概念分類項目に約100万の概念見出しを分類したもので、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。

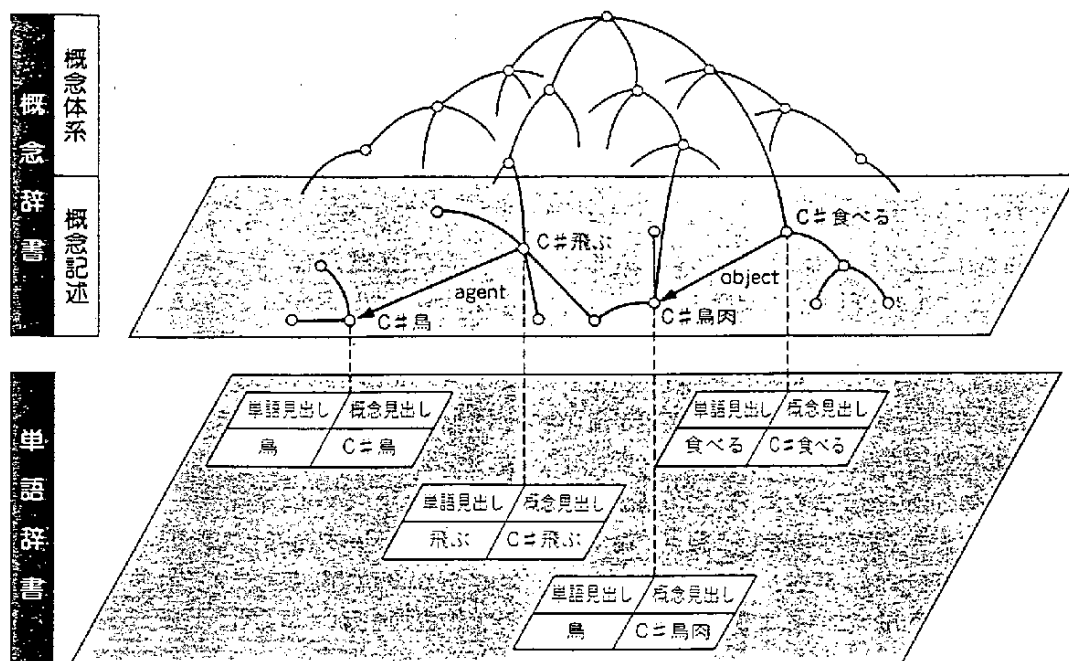
EDR電子化辞書の言語は、日本語と英語、分野は基本語と情報処理専門用語を対象としているが、辞書の仕様、開発の方法は、広く他の言語にも、また他の専門用語にも適用できる一般的なものである。

	昭和 61	62	63	平成 元年	2	3	4	5	6	年 7度
単語辞書										
基本語辞書		辞書データ作成		辞書開発			改良・拡張			
専門用語辞書 (情報処理分野)		辞書データ作成		辞書開発			改良・拡張			
概念辞書										
概念体系	基礎研究	辞書データ作成		辞書開発			改良・拡張			
概念記述		基礎研究	プロトタイプ		辞書開発			改良・拡張		
データ管理システム										
		作成支援システム(ツール)開発・改良	作成支援システム(辞書開発支援システム)開発・改良			運用支援システム開発・改良				
実証評価システム										
		プロトタイプ	実証評価				システム開発・実証評価			

図表 IV-3-3-1 研究開発スケジュール



図表 IV-3-3-2 電子化辞書の構成



図表 IV-3-3-3 EDR電子化辞書の構成

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 Common ESP

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-3-4-1に Common ESPの特徴を示す。

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カ月の研究期間をその試験研究期間として予定しており、以下の各テーマについて試験研究を行うこととしている。

①Common ESP言語仕様及び言語処理系

(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、評価を行う。

評価結果は、Common ESP言語仕様及び言語処理系の改良、拡張にフィードバックする。

③Common ESP最適処理系

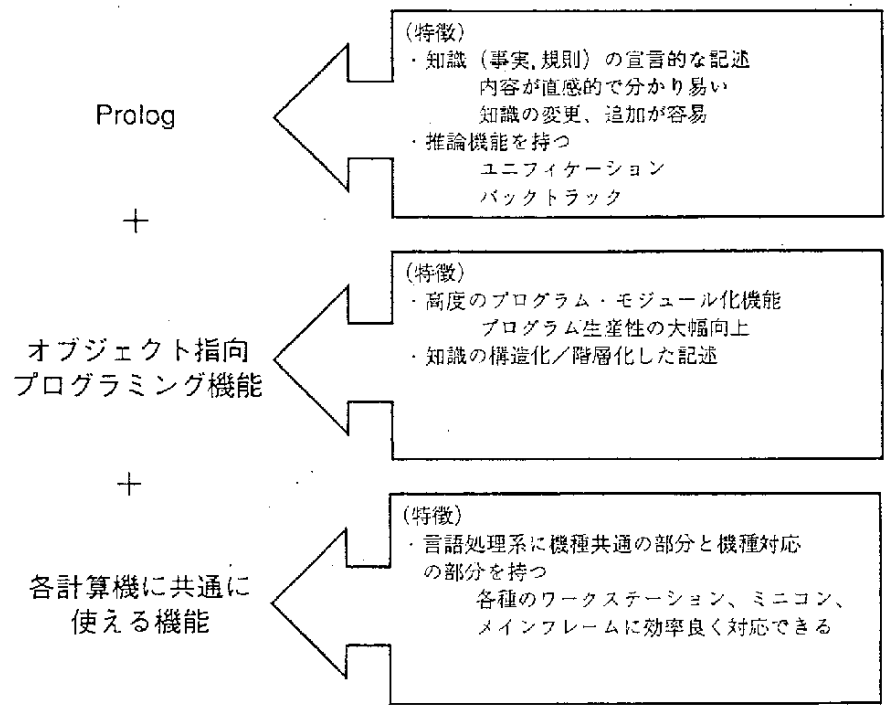
Common ESPの一層の高機能化、実行の高速化のため、最適化アルゴリズムの研究、知識を表現するためのより高度なパラダイムの考案と Common ESPへの導入、AIシステム向け次世代ソフトウェア統合開発環境の研究等を行う。

図表Ⅳ－３－４－２に各テーマ毎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。

図表IV-3-4-1 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)		○	○	×	◎	◎

図表IV-3-4-2 試験研究計画

(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					
		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]
		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	

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、昨年、技術研究組合として国際ファジィ工学研究所（L I F E : 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、応用分野の広さが伺える（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。

L I F E の研究は、3研究室体制で行われている。

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に試作評価を行っている。

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、ファジィ意志決定支援システム、ファジィパターン認識及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不得意な、人間の脳が行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、技術シーズ及び新機能の動向、社会応用の観点から、総合的な調査研究を行い、21世紀に向けて我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。

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、精力的な検討が行われ、3月に中間報告書がとりまとめられた。平成2年度に、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 事業の概要

①AI動向調査

我が国におけるAI市場及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、年度毎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。
(貿易センタービル7階(東京都港区浜松町 2-4-1)TEL(03)578-3469)

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技術はとくにソフトウェア、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というのが、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ーは国防部門で、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、フォーチュン誌の製造業500社の約80%がエキスパートシステムを利用している。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。

3番目のユーザーは銀行業、保険業、クレジット会社を主要ユーザーとする金融業で、10%のシェアを占める。

機械翻訳はひ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・ネットワークは、期待されている商業市場はまだ開けていない。現在す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、ユーザー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、ほかには国立科学財団(National Science Foundation)と国立健康研究所(National Institute of Health)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上げ、おもに1989年1年間の研究開発の動きを中心にして紹介する。ここで取り上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上げる。

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よばれるモジュールに統合された。

◆高度設計手法:設計理論と方法論プログラム(Wayne State Univ. Arciszewski, T.)²⁾

この研究の主たる目的は、形態学的分析の原理に基づいて、コンピュータによる高度な設計手法を開発することである。この手法は、高度な設計および概念設計を教えるためのアプリケーションに適している。

◆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支援用のコンピュータによる設計補助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、システムの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くっている。

◆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。矛盾は物理的な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もち、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に、設計プロセスの中にアприオリな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приオリな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等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既に得られている知見に示唆された設計手法を用いて、脳のもつ能力をコンピュータのハードウェアやソフトウェア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何等かの特性を備えた、コンピュータによるシステム開発で、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、および実験を組合せたものとする。研究成果が最終的に活用され得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、科学的・工学的研究を対象とする。

◆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。

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." UIU-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 M C C

(1) M C C の組織の動向

◆M C C 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M C C 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。M C C 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はか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-1-2-1のとおりである。

◆MCCの人材構成

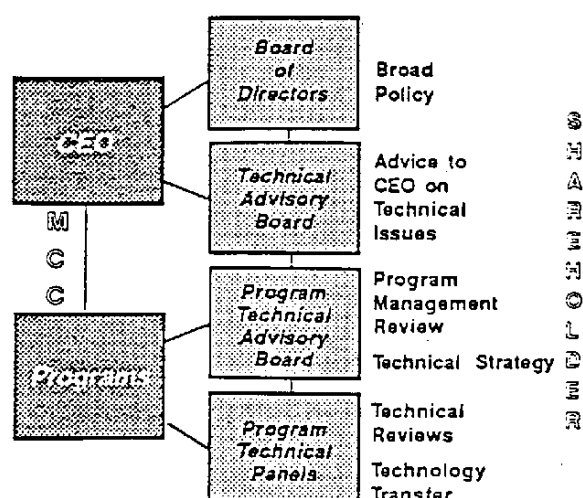
MCCは全体で440人のスタッフを擁し、そのうちの約80%は技術プログラム担当である。研究者・技術者は全体の約70%を占めており、その約15%は株主企業の人材で、残る85%は他の企業、大学および政府機関の出身者である。株主企業の人材は、MCCの研究活動に参加し、MCCの開発した技術を所属の企業にトランスファーするための重要な役割を果たしている。

◆研究領域

MCCにおける全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-1-2-2のとおりである。

①高度コンピュータ技術(Advanced computing technology)

図表V-1-2-1：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との間のコミュニケーションを促進している。

- 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

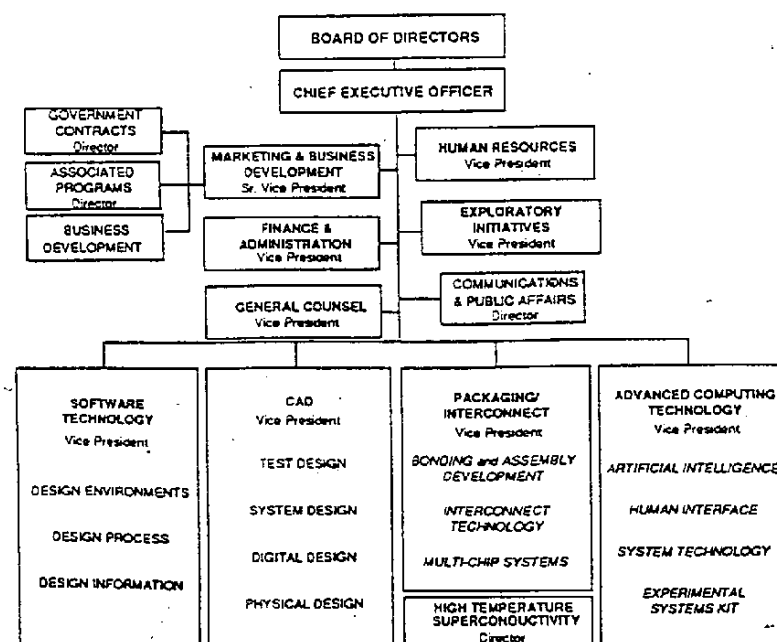
高度コンピュータ技術 (ACT) プログラムの目標は、情報を重視している組織体で「知的助手」として機能するコンピュータシステム実現のための技術を、MCCの株主企業が開発できるようにすることである。このプログラムは、対象市場別の10種類の研究プロジェクトで構成され、株主企業はこれらのうちの少なくとも一つのプロジェクトに参画する。

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) と目的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とよばれるACTプログラ

図表V-1-2-2：MCCの研究組織



ムのひとつで、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ピングを可能にする技術の開発を目指している。

A C T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M C C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。たとえば、Honeywellでは、M C C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 truth maintenanceシステムを採用している。P L E X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。

M C Cの人工知能技術を応用したもう一つの事例に、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、および全般的な設計品質における標準セル設計への助言を提供する。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ヶ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に、M C C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V L S I デジタル回路設計のためのシステムである。V L S I 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、設計の経験が蓄積され、しかも検索・評価・応用が可能な機能にまで高めている。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共同で実施された。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、分散型による二つのアプローチで構成される。第一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、問題の解決策を様々な「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。第二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を組み込んでいる。

◆ソフトウェア技術

M C C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あてている。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捉えると共に、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——glBISとPlaneText——が含まれている。glBIS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。glBIS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、その方針に応答して反論(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つのキー要素がある。一つは、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。二つは、それらの要求に見合うよう、プログラムが様々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。その一つとして、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挙げられる。

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一つは、画面が小さすぎるため一人の利用者が必要とする全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、18x24 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、一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、手書き文字を一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 (black board)」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。

第一は、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うための自動運転技術。第二は、地上基地と宇宙ステーション間における様々なコミュニケーションを扱

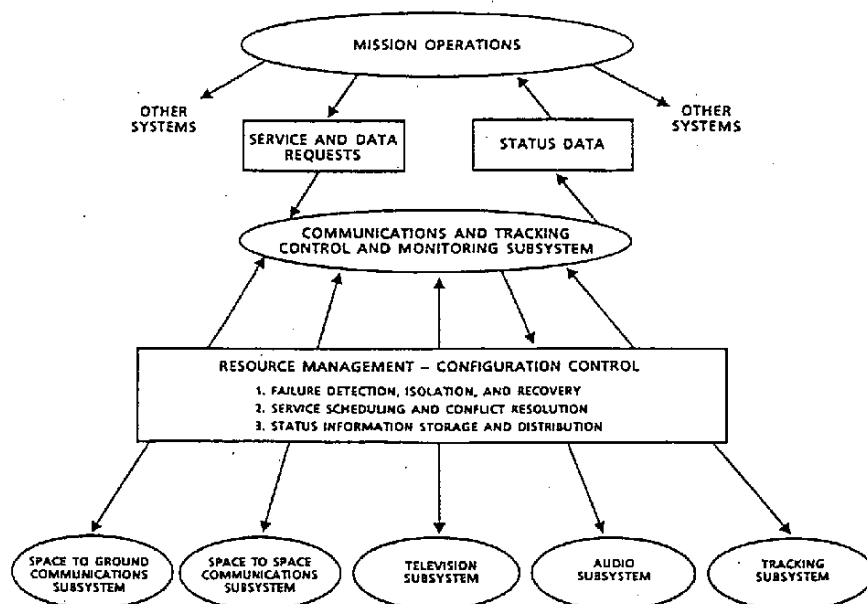
う自動ロボットセンサー技術である。また、宇宙飛行用の乗物に関して、画像やセンサー等により収集された情報が増加すると、エキスパート・システムを使った自動制御・監視システムが必要となる。NASAでは、宇宙ステーション用のこのようなサブシステムの設計・開発が行われている。自動的に制御すべき機能として、①コミュニケーションの計画とスケジュール調整、②コミュニケーションの交通整理とルーティング、③システムとサブシステムのパフォーマンス検定試験、誤りの検出と除去、④配列(configuration)とパフォーマンスの制御、⑤アンテナとテレビの方向調整およびパフォーマンス制御、が挙げられている。宇宙における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、様々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-1-2-3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・宇宙科学分野の様々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。

図表V-1-2-3: コミュニケーションと追跡のための制御と管理



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。従って、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か月の期限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一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 (たとえばサン・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。長期間に渡って同じ様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、高速プロトタイピ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、腕力(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、第二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発し、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-1-2-4に示すSQLによって質問を発する。

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

図表V-1-2-4: SQLによるOracle DBMS への問い合わせ

```
SELECT  baseline80 slrgsfc.f_station, baseline80 slrgsfc.s_station,
        baseline80 slrgsfc.baseline, baseline83 slrgsfc.f_station,
        baseline83 slrgsfc.s_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';
```

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 stablilgy of the South America plate ?"

上図に示した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-1-2-5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一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-1-2-6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-1-2-6に示す各ウィンドーと対話することによって行われる。通常、利用者はまず左下のウィンドー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ーを使うよう助言される。このウィンドーでは、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。たとえば、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。たとえば、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、右上のウィンドーに回答を表示する。

左上のウィンドーは、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-1-2-6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ー上で、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。従って、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。

図表V-1-2-5: IUIの質問に対する回答

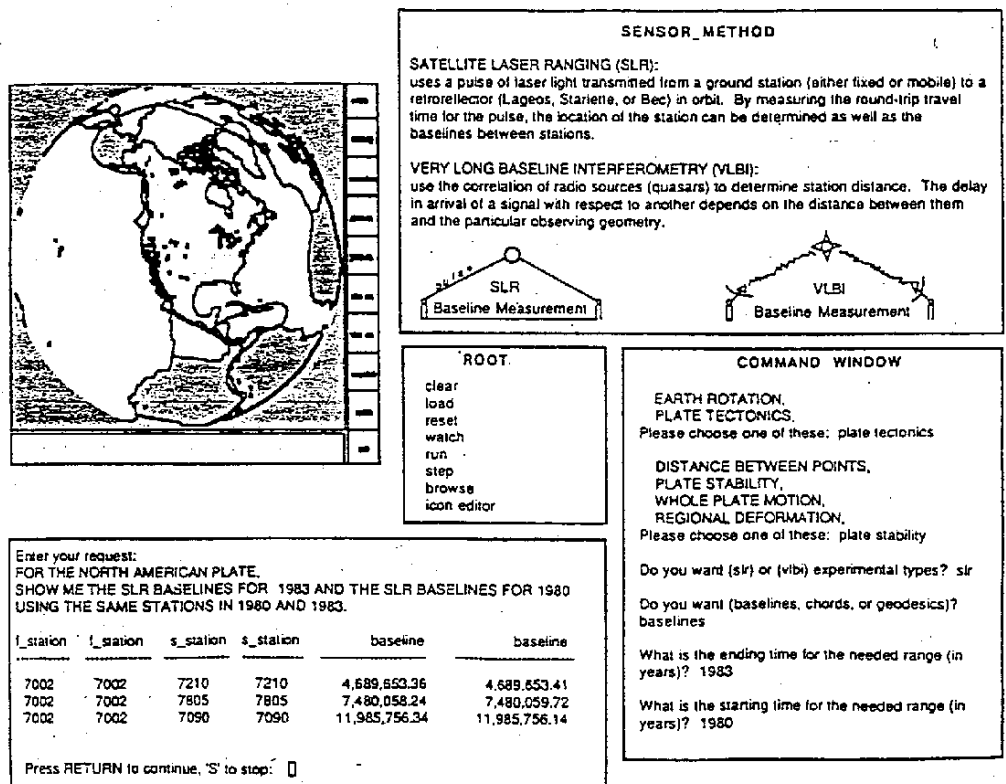
STABILITY	STATION	SITE NO.	PLATE
good	7108	31	South American
fair	7500	22	South American
poor	7800	22	South American
*	*	*	*
*	*	*	*
*	*	*	*

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。第一のフェーズは、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、第二のフェーズは、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。

暗黙の仮定のひとつは、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、ウィンドー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

図表V-1-2-6 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



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・システムのユーザー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。たとえば、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。たとえば、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・ディレクトリーを選択するために、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、一定期間に渡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。個人の専門知識を捉えるための手法は、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、インタフェイス付きの表示属性データベース、知識獲得インタフェイス、および視覚化エキスパート・システム・インタフェイスを備えている。

[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。

オゾン層の激減、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・システム、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様々なプロセッサ、ツール、資源を自由に選択できる。

◆構造の支持点荷重を二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二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ふまえて実施する。

◆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も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イス、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挙げられる。

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.; Sobieszczanski-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、政府機関の方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、大学の実験的な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 exploratory 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年代初頭にかけて様々な機関がかなり熱心に基礎研究を行っていたが、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、何等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²⁾

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"Millitary 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

年でみると、空軍はA I 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A I 投資は年平均約59万5000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、S F 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A I 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A I 関連プロジェクト

◆パイロット助手プログラム (PAP) ^{3), 4)}

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) ⁵⁾

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も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、およびデュポンとマーチン・マ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・マリエッタは、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・マリエッタ社の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・マ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年間に渡って行ってきた。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。

◆ファジー・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ー・コンピュータ理論は、米国において25年間に渡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。ファジー・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様々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ー・コンピュータ理論の重要性を軽視しているが、日本人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ー・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ー・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、すでにファジー・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4万件のファジー推論を実行する能力のあるファジー・チップを開発している。同社の顧客はおもに日本企業である。同社は、ファジー・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みられ、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3万5000ドルに削減されたため、当初予定の予算3300万ドルの獲得はむずかしくなった。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 Misseles & 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めざしている。

◆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ワードをも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 (national 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.Enc. (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、大がかりで従来、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年はそれらの計画に着手されてから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させる計画である。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のフェイズ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だしたメーカーが4社(イギリスのMeiko およびParsys、西ドイツのParsytec、フランスのTeimat)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。及第点をとり、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フェイズ1の220にのぼるプロジェクトの71パーセントにイギリスが寄与している実績に鑑みESPRITフェイズ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ひ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フェイズ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。

			1	2	3	4	5	
開発システムの目的			1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	
システムの開発または導入により目指す効果 (複数回答可)			1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 4 5 6 7 8	
システムの規模	ルール数	1. 100以下	1	1	1	1	1	
		2. ~200	2	2	2	2	2	
		3. ~500	3	3	3	3	3	
		4. ~1000	4	4	4	4	4	
		5. ~2000	5	5	5	5	5	
		6. 2001~	6	6	6	6	6	
システムの規模	フレーム数	1. 100以下	1	1	1	1	1	
		2. ~200	2	2	2	2	2	
		3. ~500	3	3	3	3	3	
		4. ~1000	4	4	4	4	4	
		5. ~2000	5	5	5	5	5	
		6. 2001~	6	6	6	6	6	
開発工数	社内(具体的に人月で記入ください)							
	外注(具体的に人月で記入ください)							
開発工数中のマンマシンインターフェースに要した割合			%	%	%	%	%	
開発工数中の知識の獲得・整理・変更に要した割合			%	%	%	%	%	
使用ツールおよび言語	開発用	ツール	1. 市販のものを使用	1	1	1	1	1
			2. 自社開発	2	2	2	2	2
	3. 使用していない		3	3	3	3	3	
	4. その他		4	4	4	4	4	
	言語	1. Lisp系	1	1	1	1	1	
		2. Prolog系	2	2	2	2	2	
3. オブジェクト指向系		3	3	3	3	3		
4. C言語系		4	4	4	4	4		
実稼働用	ツール	5. PL/I系	5	5	5	5	5	
		6. その他	6	6	6	6	6	
		言語	1. 市販のものを使用	1	1	1	1	1
			2. 自社開発	2	2	2	2	2
	3. 使用していない		3	3	3	3	3	
	4. その他		4	4	4	4	4	
実稼働用	言語	5. Lisp系	5	5	5	5	5	
		6. Prolog系	6	6	6	6	6	
		オブジェクト指向系	1	1	1	1	1	
			2	2	2	2	2	
	3		3	3	3	3		
	4		4	4	4	4		
実稼働用	C言語系	5	5	5	5	5		
		6	6	6	6	6		
		PL/I系	1	1	1	1	1	
			2	2	2	2	2	
	3		3	3	3	3		
	4		4	4	4	4		
実稼働用	その他	5	5	5	5	5		
		6	6	6	6	6		

			1	2	3	4	5
使用マシン	開発用	1. AI専用マシン 2. メインフレーム 3. ミニコン 4. ワークステーション 5. パソコン 6. 並列処理マシン 7. その他	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7
	実稼働用	1. AI専用マシン 2. メインフレーム 3. ミニコン 4. ワークステーション 5. パソコン 6. 並列処理マシン 7. その他	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7
利用状況		1. 実用システムとして稼働中 2. フィールドテスト中 3. プロトタイプとしての評価・改良中 4. デモ・実験のみに運用 5. 設計・開発段階 6. あまり使っていない	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6	1 2 3 4 5 6
評価 (1. 「実用システム」と答えたもののみ)		1. 非常に効果があった 2. まあ効果があった 3. どちらともいえない 4. あまり効果がなかった 5. ほとんど効果がなかった	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5

Ⅲ-3 知識獲得の方法と今後の課題についてお答えください

Ⅲ-3-1 知識獲得の方法はどれですか（複数回答可）

1. インタビュー方式	5. 知識獲得支援ツールを利用している (ツール名:)
2. パーバルプロトコル解析方式	6. 整理されたドキュメントから知識を獲得
3. 弟子入り方式	7. その他 ()
4. 知識獲得方法論が整理されて いてそれを利用している	

Ⅲ-3-2 知識獲得ボトルネックが言われていますが、今後の課題は何であるとお考えですか、1つお選びください。

1. 知識獲得方法論の整備
2. 知識獲得支援ツールの整備（研究開発を含む）
3. シェル・ドメインシェル等の整備（研究開発を含む）
4. インターフェース等の開発環境全体の整備（研究開発を含む）
5. その他 ()

Ⅲ-4 開発体制としては次のどれにあたりますか。

1. 問題領域の専門家（ドメインエキスパート）の参画を得て、情報処理部門（システムエンジニアなど）が実施する
2. 問題領域の専門家の参画を得て、知識エンジニア（KE）が担当する
3. 問題領域の専門家と知識エンジニア、および情報処理部門（システムエンジニアなど）が協力して実施する
4. 問題領域の専門家が主体となる
5. 情報処理部門（システムエンジニアなど）が主体となる
6. その他 ()

Ⅲ-5 外部機関の利用としては、次のどれを利用または期待していますか（複数回答可）

- | | | |
|---------------|----------------|--------------|
| 1. 大学や公的研究機関 | 3. コンピューターメーカー | 5. その他（ |
| 2. 民間研究機関／専門家 | 4. ソフトウェアハウス | 6. 利用は考えていない |

Ⅲ-6 エキスパートシステムの導入実用化の問題点は何でしょうか（複数回答可）

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1. 現在の技術では、エキスパートシステムとして能力が不足で役に立たない | 7. 専門家の業務の一部しか移植できないので効果があがらない |
| 2. エキスパートシステム開発にコストがかかりすぎ、効果と引合わない | 8. 当初の想定に対して開発工数がかかりすぎる |
| 3. 知識エンジニア（KBE）が不足である | 9. 機能の追加、修正が困難である |
| 4. 適切な開発用ツールがない | 10. 知識ベースのメンテナンスが困難 |
| 5. 知識獲得に障害がある | 11. 操作性が悪い |
| 6. ニーズのある適切な分野がない | 12. 開発者がメンテナンスまで関わらなければいけない |
| | 13. その他（ |

Ⅲ-7 エキスパートシステムを開発・導入するための投資額（累積）として、入件費も含めてどのくらいの規模ですか。現在までと、今後の5年間の見通しについてお答え下さい。

Ⅲ-7-1 現在までの累積投資額

- | | | | |
|--------------|--------------|------------|-------------|
| 1. 500万円未満 | 4. 5,000万円未満 | 7. 5億円未満 | 10. 500億円未満 |
| 2. 1,000万円未満 | 5. 1億円未満 | 8. 20億円未満 | 11. 500億円以上 |
| 3. 3,000万円未満 | 6. 2億円未満 | 9. 100億円未満 | |

Ⅲ-7-2 今後の5年間合計

- | | | | |
|--------------|--------------|------------|-------------|
| 1. 500万円未満 | 4. 5,000万円未満 | 7. 5億円未満 | 10. 500億円未満 |
| 2. 1,000万円未満 | 5. 1億円未満 | 8. 20億円未満 | 11. 500億円以上 |
| 3. 3,000万円未満 | 6. 2億円未満 | 9. 100億円未満 | |

Ⅲ-8 将来のエキスパートシステムの貴事業所での利用状況を予測すれば、どのような方向が考えられますか。以下に自由にお答え下さい。

IV. 機械翻訳システムについて

機械翻訳システムとは、コンピュータを用いて、ある自然言語（たとえば日本語）で書かれた文書を他の自然言語（たとえば英語）に翻訳するシステム。

IV-1 貴事業所の翻訳に関わると思われる総費用は、年間どのくらいですか。

約 万円/年

IV-2 現在、機械翻訳システムを導入・利用していますか。

1. 導入・利用している 2. 今後導入・利用予定 3. 予定なし

IV-3 機械翻訳で処理する翻訳量は全体の翻訳量の何%ですか。

約 %

IV-4 現在、導入・利用されている機械翻訳システムについて、製品名、利用分野などについて、それぞれお答えください。複数あればそれぞれについてお答えください。

導入・利用しているシステムの数 システム

製品名	利用分野	翻訳内容	使用マシン	利用の形態
	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 ()	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5
	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 ()	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5
	1 2 3 4 5 6 7 8	1 2 3 ()	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5

例：ATLAS I/II, BRAVIS,
HICATS/JE, シストラ, PIVOT,
東芝英日機械翻訳システム,
シャープ英日機械翻訳システム

1. 日→英
2. 英→日
3. その他

1. AI専用
2. 専用機
3. ミニコン
4. リーディング
5. パソコン
6. 並列処理
マシン
7. その他

1. 翻訳結果をそのまま利用
2. かなり入手で修正して利用
3. 人が翻訳する際の参考程度
4. 試験中
5. あまり使っていない

1. 特許等技術文献 5. ビジネス文書(契約書等)
2. 統計等経済資料 6. 通信文/メモ等
3. マニュアル 7. 新聞・雑誌情報
4. カタログ 8. その他

IV-5 現在利用中のシステムの問題点をあげてください。(2つまで)

1. 辞書の開発・維持・メンテナンスが大変 4. 原文入力に手間がかかる
2. 翻訳時間がかかりすぎる 5. 担当要員が不足している
3. 翻訳精度が低い 6. その他

IV-6 現在までに、機械翻訳システムを導入・運用するための投資額(累積)は、人件費も含めてどのくらいの規模ですか。

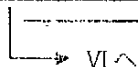
1. 500万円未満 4. 5,000万円未満 7. 5億円未満 10. 500億円未満
2. 1,000万円未満 5. 1億円未満 8. 20億円未満 11. 500億円以上
3. 3,000万円未満 6. 2億円未満 9. 100億円未満

V. 知能ロボットについて

ロボットの中で、特に、高度のセンサー機能、推論機能、自律的な行動能力などを持つものを知能ロボットという。

V-1 現在、知能ロボットを使用していますか。

1. 導入・利用している 2. 今後導入・利用予定 3. 予定なし



总台数は何台ですか

--	--	--	--

台

V-2 どのような種類の知能ロボットを使用していますか。使用しているものすべてに○をつけて下さい。

- | | |
|---------------------|-------------------|
| 1. 極限作業（海底、宇宙、原子炉） | 6. 自動知能機械（船、自動車等） |
| 2. 野外作業（土木、建設、農業林業） | 7. 医療看護 |
| 3. 補修点検 | 8. 窓口業務 |
| 4. 高度組立加工 | 9. その他 |
| 5. 精密検査 | () |

V-3 上記で挙げられたような知能ロボットの導入に対し、問題点は何ですか。（複数回答可）

- | | | | |
|------------|--------|------------|----------|
| 1. 雇用の縮小 | 2. 安全性 | 3. 信頼性 | 4. 保守の負担 |
| 5. 能力・機能不足 | 6. 価格 | 7. その他 () | |

V-4 現在までに、知能ロボットを開発・導入するための投資額（累計）は、人件費も含めてどのくらいの規模ですか。

- | | | | |
|--------------|--------------|------------|-------------|
| 1. 500万円未満 | 4. 5,000万円未満 | 7. 5億円未満 | 10. 500億円未満 |
| 2. 1,000万円未満 | 5. 1億円未満 | 8. 20億円未満 | 11. 500億円以上 |
| 3. 3,000万円未満 | 6. 2億円未満 | 9. 100億円未満 | |

VI. 画像理解システムについて

画像理解システムとは、入力された画像情報から、対象物が何であることを理解できるシステム。

VI-1 現在、画像理解システムを開発・導入していますか。

1. 開発・導入している 2. 今後開発・導入予定 3. 予定なし

開発・導入しているシステムの場合は システム

VI-2 現在、開発・導入されている画像理解システムについて、システム名や適用分野などについて、それぞれお答え下さい。複数あればそれぞれお答えください。

適用分野（具体的に）	使 用 マ シ ン							開発利用状況	
例：機械部品の手書き図面入力 プリント基板のキズの検出等	AI専用	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	実用として稼働中	評価テスト中
	1	2	3	4	5	6	7	1	2
	1	2	3	4	5	6	7	1	2
	1	2	3	4	5	6	7	1	2

VI-3 現在までに、画像理解システムを開発・導入するための投資額（累積）は、人件費も含めてどのくらいの規模ですか。

- | | | | |
|--------------|--------------|------------|-------------|
| 1. 500万円未満 | 4. 5,000万円未満 | 7. 5億円未満 | 10. 500億円未満 |
| 2. 1,000万円未満 | 5. 1億円未満 | 8. 20億円未満 | 11. 500億円以上 |
| 3. 3,000万円未満 | 6. 2億円未満 | 9. 100億円未満 | |

VI-4 現在お使いのシステムになにか問題点がございましたら、ご自由にお書きください。

VII. 音声理解システムについて

音声理解システムとは、音声情報を分析しその内容を理解できるシステム。

VII-1 現在、音声理解システムを開発・導入していますか。

1. 開発・導入している 2. 今後開発・導入予定 3. 予定なし

→ VIIIへ

開発・導入しているシステムの数はいくつシステム

VII-2 現在、開発・導入されている音声理解システムについて、システム名や適用分野などについて、それぞれお答えください。複数あればそれぞれお答えください。

適用分野（具体的に）	使用マシン							開発利用状況	
	AI専用	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	実用として稼働中	評価テスト中
例：電話による商品注文システム 音声入力ワープロ									
	1	2	3	4	5	6	7	1	2
	1	2	3	4	5	6	7	1	2
	1	2	3	4	5	6	7	1	2

VII-3 現在までに、音声理解システムを開発・導入するための投資額（累積）は、人件費も含めてどのくらいの規模ですか。

- | | | | |
|--------------|--------------|------------|-------------|
| 1. 500万円未満 | 4. 5,000万円未満 | 7. 5億円未満 | 10. 500億円未満 |
| 2. 1,000万円未満 | 5. 1億円未満 | 8. 20億円未満 | 11. 500億円以上 |
| 3. 3,000万円未満 | 6. 2億円未満 | 9. 100億円未満 | |

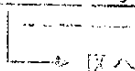
VII-4 現在お使いのシステムになにか問題点がございましたら、ご自由にお書きください。

VIII. 自然言語理解システムについて

自然言語理解システムとは、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

Ⅷ-1 現在、自然言語理解システムを開発・導入していますか。

1. 開発・導入している 2. 今後開発・導入予定 3. 予定なし



開発・導入しているシステムの数は

システム

Ⅷ-2 現在、開発・導入されている自然言語理解システムについて、システム名や適用分野などについて、それぞれお答えください。行数あればそれぞれお答えください。

適用分野（具体的に）	使 用 マ ー ケ ッ ト							開発利用状況	
	AI 専用	メ イン フレーム	ミニ コン	ワ ー ク ス タ ー シ ス テム	バ イ オ メ トリ ック	並 列 処 理 マ シ ン	その他	実 用 シ ス テ ム として稼働中	評価中、導入中
例：データベース検索 文書の自動要約・分類									
	1	2	3	4	5	6	7	1	2
	1	2	3	4	5	6	7	1	2
	1	2	3	4	5	6	7	1	2

Ⅷ-3 現在、自然言語理解システムを開発・導入するための投資額（経費）は、人件費も含めてどのくらいの規模ですか。

- | | | | |
|--------------|--------------|------------|-------------|
| 1. 500万円未満 | 4. 5,000万円未満 | 7. 5億円未満 | 10. 500億円未満 |
| 2. 1,000万円未満 | 5. 1億円未満 | 8. 20億円未満 | 11. 500億円以上 |
| 3. 3,000万円未満 | 6. 2億円未満 | 9. 100億円未満 | |

Ⅷ-4 現在お使いのシステムになにか問題点がございましたら、ご意見をお書きください。

IX. その他のA I システムについて

その他のA I システムとは、知的C A I、知的C A D、自動プログラミングシステム、知的スプレッド・シート等を想定しています。

IX-1 現在、その他のA I システムを開発・導入されていますか。

1. 開発・導入している 2. 今後開発・導入予定 3. 予定なし

↓

開発・導入しているシステムの数

システム

Xへ

IX-2 現在、開発・導入されているその他のA I システムについて、システム名、適用分野などについてそれぞれお答えください。回数あればそれぞれお答えください。

適用分野 (具体的に)	使用している 言語・ツール (具体的に)	使 用 マ シ ン							開発利用状況	
		A I 専 用	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	実 用 と し て 稼 働 中	評 価 テ ス ト 中
		1	2	3	4	5	6	7	1	2
		1	2	3	4	5	6	7	1	2
		1	2	3	4	5	6	7	1	2

X. AI システムの今後について

X-1 以下に示すAIシステムを貴事業所の業務に一般的に使用するのはいつごろからと考えられますか。試験使用の時期と、本格的実用化の時期の2つに分けてご記入ください。また御社が属する業界において、5年後にはどの程度普及すると思われますか。

		a エキスパートシステム	b 機械翻訳システム	c 知能ロボット	d 自動プログラミングシステム	e 画像理解システム	f 音声理解システム	g 自然言語理解システム	h その他のAIシステム	i フジイシステム	j ニューロシステム
試験使用 開始時期	1. 現在使用中	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2. ～1年以内	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3. ～3年以内	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4. ～5年以内	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5. ～10年以内	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	6. 10年～	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
本格使用 開始時期	1. 現在使用中	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2. ～1年以内	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3. ～3年以内	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4. ～5年以内	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5. ～10年以内	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	6. 10年～	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5年後の 普及度	1. かなりの程度普及する	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2. やや普及する	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3. どちらともいえない	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4. ほとんど普及しない	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5. 全く普及しない	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

X-2 今後のAIの普及について、例えば雇用を圧迫する、人が機械に使われるといった社会的な問題を指摘する議論もありますし、ソフト化社会の中で大きな役割を担うとする意見もあります。普及のための条件、要望なども含めて、AIの今後の展望につき、自由な御意見をお書きください。

ご協力ありがとうございました。

- 禁無断転載 -

平成 2 年 3 月発行

発行所 財団法人 日本情報処理開発協会
東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号
機械振興会館内
電話 (03) 432-9390

01-A 001

