07-R 007

AI等先端的情報技術と利用の動向に関する調査研究

報　告　書

平成 8 年 3 月

JIPDEC

財団法人　日本情報処理開発協会

KEIRIN 00 この報告書は、競輪の補助金を受けて作成したものです。

まえがき

近年、情報システムを取り巻く環境は、システムのダウンサイジング、ネットワーク化、処理対象のマルチメディア化などが進み、人工知能（AI：Artificial Intelligence）をはじめとする先端情報技術のあり方にも大きな変化をもたらしつつあります。

このような先端情報技術をめぐる動きのなかで、最近、情報通信ネットワークとAI等の先端情報技術の結合による新たな知的処理の枠組みとして「ネットワークAI」が注目されつつあります。また、コンピュータの高度利用を図るためには、最近の情報環境の変化を踏まえた情報技術および利用環境の各面における課題を明らかにしておくことが重要となりましょう。

このような状況のもと、当協会では、平成７年度 AI等先端的情報技術と利用の動向に関する調査研究として、「ネットワークAI」に関する調査を本年度より２年計画で開始するとともに、「コンピュータの高度利用に関する（アンケート）調査」を行い、コンピュータの高度利用、先端情報技術等の利用の動向について調査いたしました。

実施にあたりましては、AI動向調査委員会（委員長　大須賀 節雄 早稲田大学 理工学部 情報学科 教授）ならびにネットワークAI専門委員会（委員長　石田　亨 京都大学 工学部 情報工学教室 教授）を設置して、両委員会により審議・検討を行うとともに、海外調査員の派遣、文献調査等を行いました。

本報告書は２部から構成され、第１部では「コンピュータ高度利用の動向」として、アンケート調査結果について、第２部では「ネットワークAI」として、関連する基盤技術および応用分野について平成７年度（中間）成果を取りまとめております。

本書が広く各界の方々に活用されることを念願する次第です。

最後に、本調査研究の実施にあたり、ご指導ご協力いただいた委員各位ならびに関係各位に深甚なる謝意を表する次第であります。

平成８年３月

財団法人　日本情報処理開発協会

委員会名簿

AI動向調査委員会　　（敬称略、50音順）

委　員　長：	大須賀 節雄	早稲田大学 理工学部 情報学科　教授
委　　員：	石田　亨	京都大学 工学部 情報工学教室　教授
	倉石　英一	(株) 東洋情報システム　取締役 技術本部長
	坂間　保雄	日本電信電話(株) NTT情報通信研究所 知的情報処理研究部　部長
	諏訪　基	通商産業省 工業技術院 電子技術総合研究所 情報科学部　部長
	武井　欣二	東京都立航空工業高等専門学校 電子工学科　教授
	玉井　哲雄	東京大学 教養学部 情報・図形科学教室　教授
	那須　宗也	日揮情報システム(株)　専務取締役
	萩原　淳	東京電力(株) 技術開発本部 システム研究所 AI研究室　副室長
	福島　善彦	オムロン(株) 技術本部 システム総合研究所 第4研究室　室長
	市川　隆	(財)日本情報処理開発協会　常務理事
オブザーバ：	藤本　康二	通商産業省 機械情報産業局 電子政策課　課長補佐
	大澤　活司	通商産業省 機械情報産業局 電子政策課　国際係長
事　務　局：	片岡　幸一	(財)日本情報処理開発協会 AI・ﾌｧｼﾞｨ振興ｾﾝﾀｰ　調査課長

ネットワークAI専門委員会　　（敬称略、50音順）

委員長：	石田　亨	京都大学 工学部 情報工学教室　教授
幹事：	北村　泰彦	大阪市立大学 工学部 情報工学教室　講師
委員：	宇佐見仁英	富士通(株) 計算科学研究センター 第二研究部　部長
	木下　哲男	沖電気工業(株) 研究開発本部 マルチメディア研究所 知識情報処理プロジェクト　オーガナイザ　主任研究員
	小島　昌一	(株)東芝 研究開発センター システム・ソフトウェア生産技術研究所 開発第一部　主査
	白鳥　則郎	東北大学 電気通信研究所　教授
	末松　千尋	(株)アドバンスト・コンサルティング・ネットワーク　代表取締役
	菅原　研次	千葉工業大学 工学部 情報工学科　教授
	寺野　隆雄	筑波大学大学院 経営・政策科学研究科 経営システム科学専攻　助教授
	外川　文雄	シャープ(株) 技術本部 マルチメディア開発本部 応用システム研究所 第2研究部　主任研究員
	服部　文夫	日本電信電話(株) NTT情報通信研究所 知的情報処理研究部　主幹研究員
	福原　美三	日本電信電話(株) NTT情報通信研究所 高速通信処理研究部　主幹研究員
	藤田　悟	日本電気(株) C&C 研究所 ソフトウェア研究部　主任
	堀　雅洋	日本IBM (株) 東京基礎研究所　副主任研究員
	山崎　晴明	山梨大学 工学部 電子情報工学科　教授
	鷲尾　隆	(株)三菱総合研究所 総合安全研究センター 安全工学第一室　主任研究員

オブザーバ：　大澤　活司　　通商産業省 機械情報産業局 電子政策課　国際係長

事　務　局：　市川　　隆　　(財)日本情報処理開発協会　常務理事

　　片岡　幸一　　(財)日本情報処理開発協会 AI・ﾌｧｼﾞｨ振興ｾﾝﾀｰ　調査課長

目　次

資料編

第１部

コンピュータ高度利用の動向

1.　調査方法（概要）

1. 調査方法（概要）

(1) 調査の背景・目的

近年、システムのダウンサイジング、ネットワーク化、処理対象のマルチメディア化などが進み情報処理システムを取り巻く環境、また人工知能（AI：Artificial Intelligence）をはじめとする知的情報技術のあり方にも大きな変化をもたらしつつある。

このような認識のもと、高度ソフトウェアの研究や実用化を促進するための課題整理を行うため、産業におけるコンピュータの高度利用および高度情報技術（知的情報技術）に関する動向（意識）を調査することとした。

具体的には、コンピュータの高度利用を「コンピュータの利用にあたって、利用領域あるいは、要素技術に先進性があり、かつ、情報技術のパラダイム・チェンジに対応していること。および主としてAI技術またはその派生技術、周辺技術を応用していること」として、 アンケートによる調査を実施した。

(2) 調査対象

調査対象は、コンピュータの高度利用あるいは高度情報技術の利用が進んでいると考えられる28業種（東証一部上場企業）からコンピュータユーザ合計300社を選び、1社につき、情報システム部門および研究開発部門または経営企画部門等の2部門を調査の対象とした。

この趣旨は、コンピュータの高度利用あるいは高度情報技術の利用について、コンピュータの利用・開発の統括部門として情報システム部門の考えと、エンドユーザコンピューティングの代表としての研究開発部門または経営企画部門等の考えの把握を目的としている。

(3) 調査方法

本調査では、次の6つの質問からなるアンケート調査票（付録参照）を調査対象先に送付し、回収結果にもとづき集計分析（第1部第2章）した。

質問1：コンピュータの高度利用について

最近取り上げられることの多いCALS（生産・調達・運用支援統合情報システム）やインターネット等、14の高度利用領域を挙げ、その利用状況と適用業務、また関心度についてたずねた。

質問２：高度情報技術（知的情報技術）の利用について

人工知能技術、ファジィやニューラルネットワーク等、14の高度情報技術（知的情報技術）を挙げ、その利用状況と適用業務、関心度についてたずねた。

また、高度情報技術（知的情報技術）導入を推進するための課題・期待等についてたずねた。

質問３：知識ベースシステムの利用について

知識ベースシステム（エキスパートシステム）の利用および実用システムの稼働、開発状況と適用業務および期待効果をたずねるとともに、これらの知識ベースシステム（エキスパートシステム）と既存システム（事務系情報システムなど）との融合利用についてたずねた。

また、知識ベースシステム（エキスパートシステム）の利用を止めたとする部門については、その理由についてたずねた。

質問４：ソフトウェア開発における高度利用意向について

ソフトウェア開発において、自動化ツールや開発のための共有知識などの利用状況、利用ツール、適用する開発フェイズ、利用している共有知識についてたずねた。

質問５：ネットワークAI基盤技術等の普及状況について

ネットワークAIを、情報通信システムと人工知能（AI：Artificial Intelligence）の結合による新しい知的処理の枠組みと位置付け、マルチメディア情報通信やエージェント技術等のネットワークAIの基盤技術の利用状況、またネットワークAIの環境面から、社内外における情報通信ネットワークや共有データベース等の利用動向をたずねた。

質問６：情報システム（情報技術）の進歩に対する意識について

機械翻訳システムや音声理解システム等、14の情報システム（情報技術）を挙げ、それらの進歩に対する意識について、過去10年間の変化（実用化レベルでの進歩）をどのように見ているかをたずねるとともに、これらの情報システム（情報技術）の今後の課題をたずねた。

(4)　調査時期　　平成８年１月

(5)　有効回答数

集計分析の対象とした有効回答数は、123部門（回収率20.5％）であった。部門別の有効回答数は、情報システム部門64社（52.0％）、研究開発部門37社（30.1％）、企画調査部門20社（16.3％）、その他２部門（1.6％）であった。回答部門の業種別の内訳を表１.１に、回答企業および部門の規模（就業者数、コンピュータ予算）を表１.２および表１.３に示す。

(6) 集計分析について

本調査の集計分析にあったては、サンプル数が少ないことから、ある程度サンプル数を確保することを考えて、業種別ごとの集計は行わず、次の観点から集計分析を行った。

① 有効回答サンプル全体
② 産業区分別：「製造業」と「製造業以外」（以後、非製造業とする）
③ 部門区分別：
・「情報システム部門」と「研究開発部門、企画調査部門、他」（以後、企画・開発部門とする）
・「研究開発部門」と「情報システム部門、企画調査部門、他」（以後、システム・企画部門とする）

表１．１　回答部門の業種別内訳

産業区分	業種区分	発送数	有効回答数				
			総　数	部門別内訳			
				情報システム	研究開発	企画調査	その他
	合計	600	123 (100 %)	64 (52.0 %)	37 (30.1 %)	20 (16.3 %)	2 (1.6 %)
製造業	小計	362	81 (100 %)	38 (46.9 %)	29 (35.8 %)	12 (14.8 %)	2 (2.5 %)
	食料品	34	4	2	1	1	0
	繊維業	22	4	4	0	0	0
	パルプ・紙	6	0	0	0	0	0
	化学工業	62	12	7	5	0	0
	石油・石炭製品	8	2	0	0	1	1
	ゴム製品	4	0	0	0	0	0
	窯　業	12	2	2	0	0	0
	鉄　鋼	14	7	3	1	2	1
	非鉄金属	14	6	1	3	2	0
	金属製品	12	1	0	1	0	0
	機　械	48	11	4	5	2	0
	電気機器	60	11	4	5	2	0
	輸送用機器	38	15	9	4	2	0
	精密機器	12	3	1	2	0	0
	その他製造業	16	3	1	2	0	0
非製造業	小計	238	42 (100 %)	26 (62.0 %)	8 (19.0 %)	8 (19.0 %)	0 (0.0 %)
	水産・農林	6	2	0	2	0	0
	鉱　業	4	1	1	0	0	0
	建設業	46	14	7	6	1	0
	商　業	44	5	3	0	2	0
	金融業	72	7	4	0	3	0
	不動産業	6	1	1	0	0	0
	陸運業	12	2	1	0	1	0
	海運業	4	1	1	0	0	0
	空運業	4	1	1	0	0	0
	倉庫・運輸関連業	8	2	1	0	1	0
	通信業	2	1	1	0	0	0
	電気・ガス業	24	5	5	0	0	0
	サービス業	6	0	0	0	0	0

表1.2　回答事業所の就業者規模

数字は回答部門数、カッコ内は%

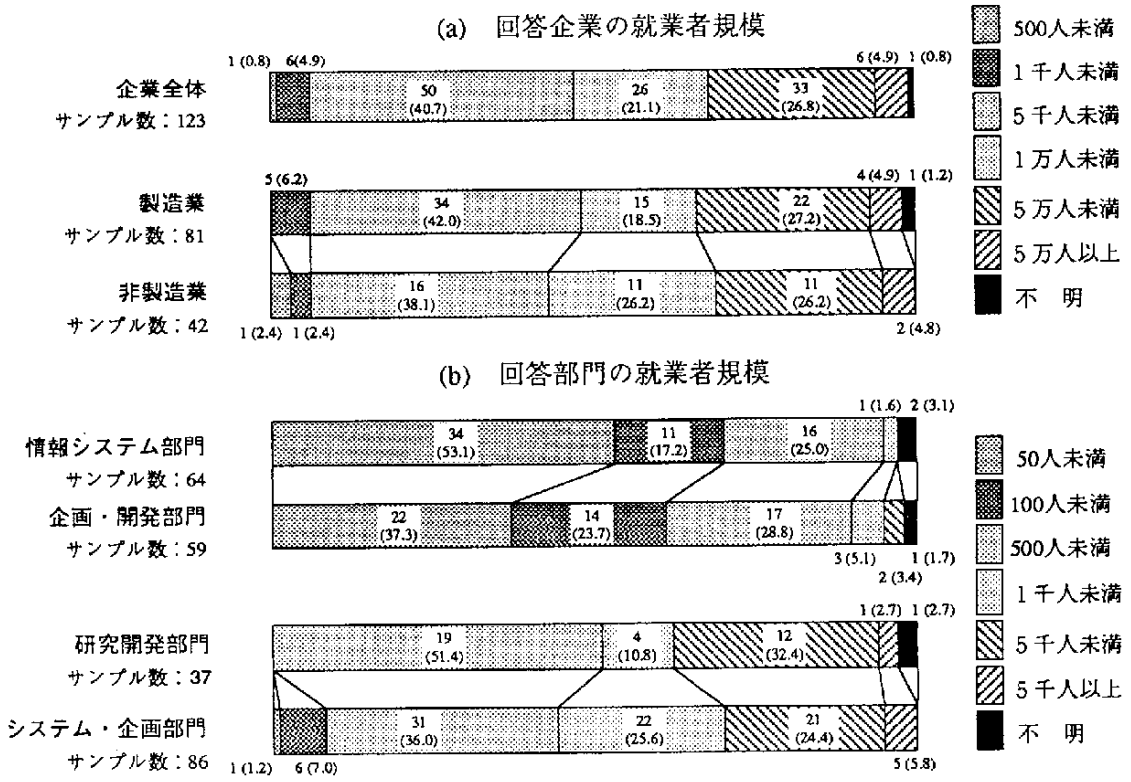
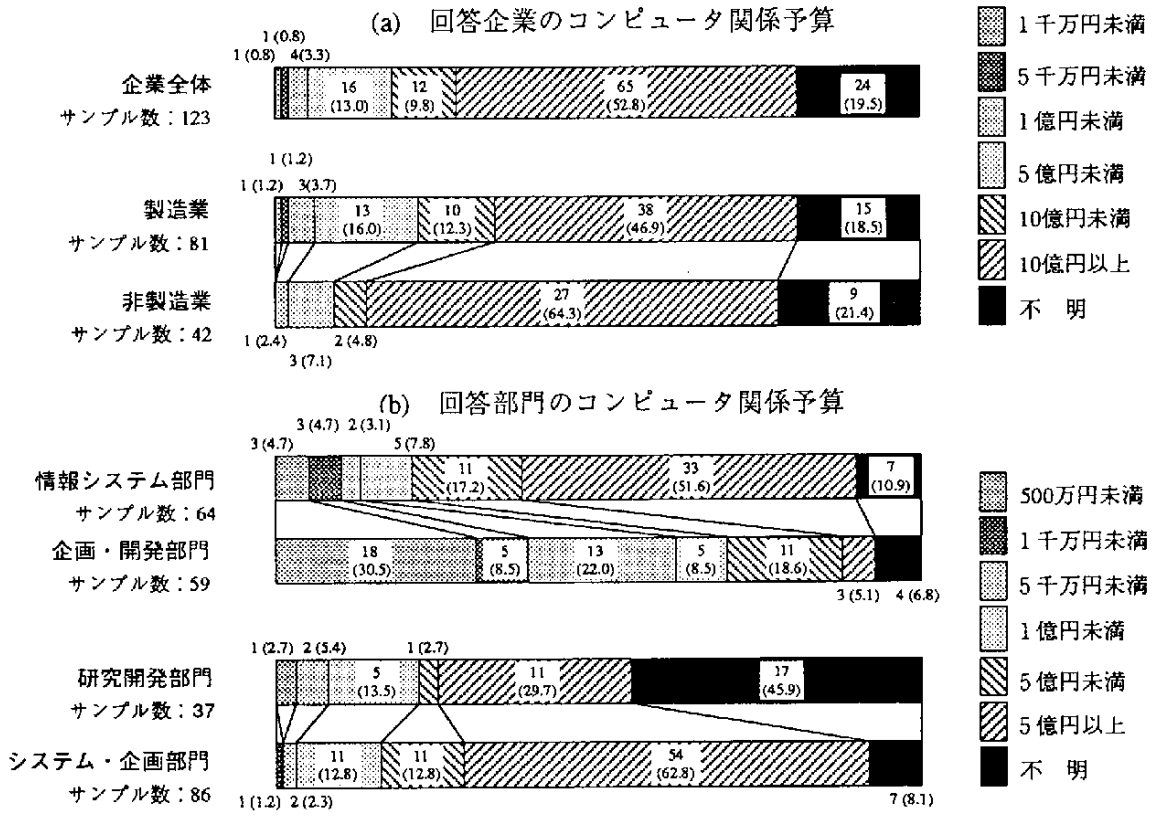


表1.3　回答事業所のコンピュータ関係予算（平成7年度）

数字は回答部門数、カッコ内は%



2.　集計分析結果

2. 集計分析結果

2.1 コンピュータの高度利用

(1) 高度利用状況（集計）

コンピュータの「先進的利用」の観点から、14項目（表中）をコンピュータの高度利用領域として挙げ、現在の利用・開発状況と関心度（意識）について集計分析。

① 有効回答全体

有効回答全体（123部門）のコンピュータの高度利用状況の集計結果を表2.1-1に示す。

各高度利用領域別に、利用・開発（計画）中とするものを高回答率順で見ると、現在利用中とするものでは、インターネット（WWW／電子メール）の65.9%、EDIの29.3%、CASEツールの28.5%、電子会議システムの24.4%、グループウェアシステムの20.3%、以下、マルチメディア情報通信、高度シミュレーションと続く。

また、計画中を含め、現在開発を進めているとするものは、グループウェアシステムの53.7%が最も高く、以下、コンカレント・エンジニアリングシステム（23.6%）、

表2.1-1　コンピュータの高度利用状況（全体）

サンプル数：123（数字は回答部門数、カッコ内は%）

コンピュータの高度利用領域	現在利用中	現在を開発／導入進めている	今後開発／導入する計画がある	計画はないが関心はある	関心がない	わからない
CALS：Continuous Acquisition and Life-cycle Support（生産調達運用支援統合情報システム）	1 (0.8)	5 (4.1)	16 (13.0)	82 (66.7)	11 (8.9)	8 (6.5)
EC：Electronic Commerce（電子商取引）	5 (4.1)	4 (3.3)	17 (13.8)	77 (62.6)	10 (8.1)	10 (8.1)
EDI：Electronic Data Interchange（電子データ交換）	36 (29.3)	13 (10.6)	14 (11.4)	49 (39.8)	5 (4.1)	6 (4.9)
コンカレント・エンジニアリングシステム	3 (2.4)	15 (12.2)	14 (11.4)	54 (43.9)	13 (10.6)	24 (19.5)
ICIM：Intelligent Computer Integrated Manufacturing（知的コンピュータ統合製造）	2 (1.6)	2 (1.6)	5 (4.1)	49 (39.8)	23 (18.7)	42 (34.1)
グループウエアシステム	25 (20.3)	35 (28.5)	31 (25.2)	28 (22.8)	0 (0.0)	4 (3.3)
CASE（Compuer Aided Software Engineering）ツール	35 (28.5)	7 (5.7)	17 (13.8)	42 (34.1)	14 (11.4)	8 (6.5)
インターネット（WWW／電子メール）	81 (65.9)	13 (10.6)	12 (9.8)	17 (13.8)	0 (0.0)	0 (0.0)
マルチメディア情報通信	19 (15.4)	12 (9.8)	17 (13.8)	64 (52.0)	3 (2.4)	8 (6.5)
電子会議システム	30 (24.4)	8 (6.5)	17 (13.8)	54 (43.9)	9 (7.3)	5 (4.1)
高度シミュレーション（仮想現実感を含む）	10 (8.1)	9 (7.3)	9 (7.3)	59 (48.0)	16 (13.0)	20 (16.3)
バーチャルカンパニー	0 (0.0)	2 (1.6)	6 (4.9)	74 (60.2)	15 (12.2)	26 (21.1)
バーチャルファクトリー	0 (0.0)	2 (1.6)	2 (1.6)	65 (52.8)	25 (20.3)	29 (23.6)
知的ロボット／電子秘書（自律・分散システム）	0 (0.0)	6 (4.9)	4 (3.3)	57 (46.3)	28 (22.8)	28 (22.8)
その他	0 (0.0)	2 (1.6)	1 (0.8)	1 (0.8)	--- (---)	--- (---)

マルチメディア通信（23.6%）、EDI（22.0%）、インターネット（20.4%）、電子会議システム（20.3%）というように20%台の回答率を得ており、現在利用中または開発（計画）中としているもの多くは、情報通信ネットワークを基盤とする高度利用領域のものといえる。

関心度について見ると、計画はないが関心があるとするものでは、CALSの66.7%、ECの62.6%、バーチャルカンパニーの60.2%など、最近話題となっている産業の情報化に関するものが高回答率を得ている。

一方、関心がないとするものでは、知的ロボット／電子秘書の22.8%、バーチャルフェクトリーの20.3%、ICIMの18.7%、また分からないとするものでもこの3つが上位を占めているが、これは、製造業とそれ以外（非製造業）で見てみる必要があろう。

② 産業区分別（製造業と非製造業）

製造業とそれ以外の産業（非製造業）のコンピュータの高度利用状況の集計結果を表2.1-2（製造業：81部門）および表2.1-3（非製造業：42部門）に示す。

まず、利用・開発（計画）中とする高回答率のものを見ると、製造業では、インターネット（WWW／電子メール）の66.7%、CASEツールの28.4%、電子会議システムの27.2%、EDIの25.9%、グループウェアシステムの19.8%と続く。非製造業では、インターネット（WWW／電子メール）の64.3%、EDIの35.7%、CASEツールの28.6%、グループウェアシステムの21.4%、電子会議システムの19.0%、となり傾向としては、製造業と非製造業で大きな違いは認められないが、電子会議システムでは製造業、EDIは非製造業で高回答率を得ている。また、高度シミュレーションについては、非製造業で14.3%とポイントが高い。

今後開発あるいは計画中とするものでは、グループウェアシステムは、製造業で57.6%、非製造業で45.2%となり、いずれでも1位の回答となっている。以下では、コンカレント・エンジニアリングシステム、EDIは製造業、マルチメディア情報通信、電子会議システムは非製造業でそれぞれ高回答率を得ており、それぞれの産業の特徴を反映している。

また、関心度では、CALS、EC、バーチャルカンパニーが高回答率を得ており製造業、非製造業に大きな差異はないが、製造業ではバーチャルファクトリーがECと同率（59.3%）であり、非製造業が電子会議システム（45.2%）、高度シミュレーション（45.2%）に関心が高く、違いを見せている。

表2.1-2　コンピュータの高度利用状況（製造業）

サンプル数：81（数字は回答部門数、カッコ内は%）

コンピュータの高度利用領域	現在利用中	現在を開発／導入を進めている	今後開発／導入する計画がある	計画はないが関心はある	関心がない	わからない
ＣＡＬＳ：Continuous Acquisition and Life-cycle Support（生産調達運用支援統合情報システム）	0 (0.0)	5 (6.2)	10 (12.2)	55 (67.9)	6 (7.4)	5 (6.2)
ＥＣ：Electronic Commerce（電子商取引）	2 (2.5)	3 (3.7)	11 (13.6)	48 (59.3)	9 (11.1)	8 (9.9)
ＥＤＩ：Electronic Data Interchange（電子データ交換）	21 (25.9)	10 (12.3)	10 (12.3)	32 (39.5)	4 (4.9)	4 (4.9)
コンカレント・エンジニアリングシステム	3 (3.7)	12 (14.8)	12 (14.8)	38 (46.9)	5 (6.2)	11 (13.6)
ＩＣＩＭ：Intelligent Computer Integrated Manufacturing（知的コンピュータ統合製造）	2 (2.5)	1 (1.2)	3 (3.7)	42 (51.9)	9 (11.1)	24 (29.6)
グループウエアシステム	16 (19.8)	21 (25.9)	26 (32.1)	17 (21.0)	0 (0.0)	1 (1.2)
ＣＡＳＥ（Compuer Aided Software Engineering）ツール	23 (28.4)	5 (6.2)	12 (14.8)	29 (35.8)	9 (11.1)	3 (3.7)
インターネット（WWW／電子メール）	54 (66.7)	7 (8.6)	10 (12.3)	10 (12.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
マルチメディア情報通信	12 (14.8)	8 (9.9)	10 (12.3)	42 (51.9)	3 (3.7)	6 (7.4)
電子会議システム	22 (27.2)	6 (7.4)	10 (12.3)	35 (43.2)	5 (6.2)	3 (3.7)
高度シミュレーション（仮想現実感を含む）	4 (4.9)	5 (6.2)	9 (11.1)	40 (49.4)	9 (11.1)	14 (17.3)
バーチャルカンパニー	0 (0.0)	2 (2.5)	4 (4.9)	49 (60.5)	9 (11.1)	17 (21.0)
バーチャルファクトリー	0 (0.0)	2 (2.5)	2 (2.5)	48 (59.3)	11 (13.6)	18 (22.2)
知的ロボット／電子秘書（自律・分散システム）	0 (0.0)	3 (3.7)	4 (4.9)	40 (49.4)	16 (19.8)	18 (22.2)
その他	0 (0.0)	1 (1.2)	1 (1.2)	0 (0.0)	--- (---)	--- (---)

表2.1-3　コンピュータの高度利用状況（非製造業）

サンプル数：42（数字は回答部門数、カッコ内は%）

コンピュータの高度利用領域	現在利用中	現在を開発／導入を進めている	今後開発／導入する計画がある	計画はないが関心はある	関心がない	わからない
ＣＡＬＳ：Continuous Acquisition and Life-cycle Support（生産調達運用支援統合情報システム）	1 (2.4)	0 (0.0)	6 (14.3)	27 (64.3)	5 (11.9)	3 (7.1)
ＥＣ：Electronic Commerce（電子商取引）	3 (7.1)	1 (2.4)	6 (14.3)	29 (69.0)	1 (2.4)	2 (4.8)
ＥＤＩ：Electronic Data Interchange（電子データ交換）	15 (35.7)	3 (7.1)	4 (9.5)	17 (40.5)	1 (2.4)	2 (4.8)
コンカレント・エンジニアリングシステム	0 (0.0)	3 (7.1)	2 (4.8)	16 (38.1)	8 (19.0)	13 (31.0)
ＩＣＩＭ：Intelligent Computer Integrated Manufacturing（知的コンピュータ統合製造）	0 (0.0)	1 (2.4)	2 (4.8)	7 (16.7)	14 (33.3)	18 (42.9)
グループウエアシステム	9 (21.4)	14 (33.3)	5 (11.9)	11 (26.2)	0 (0.0)	3 (7.1)
ＣＡＳＥ（Compuer Aided Software Engineering）ツール	12 (28.6)	2 (4.8)	5 (11.9)	13 (31.0)	5 (11.9)	5 (11.9)
インターネット（WWW／電子メール）	27 (64.3)	6 (14.3)	2 (4.8)	7 (16.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
マルチメディア情報通信	7 (16.7)	4 (9.5)	7 (16.7)	22 (52.4)	0 (0.0)	2 (4.8)
電子会議システム	8 (19.0)	2 (4.8)	7 (16.7)	19 (45.2)	4 (9.5)	2 (4.8)
高度シミュレーション（仮想現実感を含む）	6 (14.3)	4 (9.5)	0 (0.0)	19 (45.2)	7 (16.7)	6 (14.3)
バーチャルカンパニー	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (4.8)	25 (59.5)	6 (14.3)	9 (21.4)
バーチャルファクトリー	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	17 (40.5)	14 (33.3)	11 (26.2)
知的ロボット／電子秘書（自律・分散システム）	0 (0.0)	3 (7.1)	0 (0.0)	17 (40.5)	12 (28.6)	10 (23.8)
その他	0 (0.0)	1 (2.4)	0 (0.0)	1 (2.4)	--- (---)	--- (---)

(2) 記述のあった具体的システム（内容）

ここで取り上げた14の高度利用領域に対し、記述のあった具体的なシステム（内容）および適用業務（括弧内）について、代表的なものを以下に列挙する。

—CALS に関するもの

・発注間情報交換（情報管理）
・設計部門と現場のコンカレントエンジニアリング（建設）
・設備保全CALS（プラント修理）
・STEPの利用（製品開発支援）、SGMLの利用（情報管理）
・航空機開発（製品開発支援）
・電子マニュアル（ソフトウェア開発）
・技術文書参照システム（データベース検索）
・請求・支払等の電子決済（電子決済）

—EC に関するもの

・ネットワークによる通信販売（経営戦略）
・大手量販店とのデータ交換（情報管理）
・受発注システム（物流管理）
・代金回収システム（顧客管理）
・電子商取引実証推進協議会への参加
・航空旅客予約システム（情報管理）
・クレジット・システム（クレジット認証）

— EDI に関するもの

・SAP, CI-NETの導入（製品開発支援）、EOS の導入（物流管理）
・Nifty-Serve, MS-Mailの利用（情報収集、製品開発支援、情報管理）
・EIAJ-EDI, CII-EDI , E-VAN の利用（物流管理）
・発注・積算・見積・納品・請求業務／データ交換（生産管理、製品開発支援）
・仕入先との受発注データの交換－資材／原料の受発注業務等（物流管理、財務管理、資材管理）
・倉庫会社との入出庫情報交換、出荷案内（物流管理）、生産（進捗）情報の交換（物流管理）
・販売実績データの収集（顧客管理）
・関係会社決済システム（生産管理）
・ファームバンキング（資金運用）
・クレジット売上データと事故カードデータの交換（生産管理）
・SWIFT、全銀ネット（財務管理）
・空港チェックインシステム（ソフトウェア開発）
・金融商品紹介、金利・相場情報の提供（広報／情報提供）
・料金収納業務（財務管理、顧客管理）
・FTP によるデータ転送

ーコンカレント・エンジニアリングに関するもの

・WIND, IDEAS, Pro Engineering, Cadence, New GNC, ESTYの導入（自動設計、製品開発支援）

・大規模宅地開発支援システム（製品開発支援）

・3D-CADを用いたプラント設計（自動設計）

・3D-CADIntergraph によるカメラ設計（製品開発支援）

・射出金型／プラスチック製品設計システム（自動設計）

・半導体設計ツール（製品開発支援）

・技術標準書システム（情報管理）

・図面管理システム（製品開発支援）

・フレームワーク／ワークフロー管理（製品開発支援）

ー ICIM に関するもの

・IMS共同研究（生産ライン操業・管理）

・生産工程スケジューリング（生産管理）

・住宅部品展開システム（資材管理）

・射出成型品製造システム（生産ライン操業・管理）

ーグループウェアシステムに関するもの

・LAN WORLDの導入（工程管理）、Team OFFICEの導入（製品開発支援）

・Lotus Notesの導入（情報管理、情報収集、財務管理、資材管理、製品開発支援、工程管理、DBサービス、顧客管理、計画・シミュレーション、企画調査）

・SLIM、MDSSの導入（情報管理、顧客管理）

・Quick Mail、UPOPIA、PANAPIOS、STAR OFFICEの導入（情報収集）

・Office Manager 2, Team Ware Office の導入（情報管理、製品開発支援、ソフトウェア開発）

・COSMOS-業務高度化（情報収集、情報管理）

・GROUP MAXの導入（情報管理、工程管理）

・MS-Exchangeの導入（情報収集、DBサービス）

・パレットシステム（情報収集、情報管理）

・電子メール、電子掲示版、電子会議（情報収集、広報／情報提供）

・研究計画システム、実験情報システム（情報管理）

・技術標準書システム、（社内）文書管理システム（情報管理）

・伝票処理システム（情報管理）

ーCASEツールに関するもの

・SYNON/2E、X-upper、PLUTO、Designer2000/Developer2000、Lotus Notes、Uniface、Erwin、Mind-INTImate、YPS/APG、STP、Sapience、HD、BUGLESS、ADWTELの導入（ソフトウェア開発）

・Pro/Engineer、ANSYS、EISの導入（製品開発支援）

・G-BASEの導入（情報管理）

ーインターネットに関するもの

・WTalk、Nifty-Serve、PC-VAN、ASAHI Net、JustNet、Peopleの利用（情報収集）

・ホームページ（情報収集、広報／情報提供）

・電子メール-Eudora, SENDmail, CCmailの導入（情報収集、情報管理）

・ネットニューズ-News Watcherの導入（情報収集）
・WWW-Net Scape, Mosaocの導入（DB検索、DBサービス、情報収集、情報管理）
・Chameleonの導入（情報収集）
・企業紹介、商品案内、通信販売（広報／情報提供）

ーマルチメディア情報通信に関するもの

・Malionet, MIME, CU-SeeMe, OPEN MAILの導入（情報収集、情報管理）
・JICST, JOIS, NiftyServeの利用（DB検索）
・ビデオ・オン・デマンド（計画・シミュレーション）
・遠隔画像共有システム（自動設計）
・データ系と音声系情報の統合（情報収集）
・データ・音声・FAXの統合（ネットワーク設計・管理）
・電子会議システム、プレゼンテーション（情報収集）
・WWWホームページ（情報収集）
・色彩の双方向通信（情報収集）
・情報共有（情報収集、広報／情報提供）
・クレーム処理（故障診断）
・医療画像伝送システム（医療診断支援）
・セールス、顧客相談業務（通信販売、窓口相談）
・KIOSK端末

ー電子会議システムに関するもの

・Lotus Notes, Malionet, PictureTEL, CU-SeeMeの導入（情報管理、製品開発支援）
・パソコン通信ーNifty-Serve, Peopleの利用（情報収集）
・テレビ会議システム（情報収集、情報管理、製品開発支援）
・臨場感通信-Video Wallの導入
・社内LAN（広報／情報提供）
・LAN Worldの導入（意見交換）

ー高度シミュレーションに関するもの

・住環境シミュレーション（計画・シミュレーション）
・気流・温度シミュレーション（計画・シミュレーション）
・バーチャルコンストラクションシステム（計画・シミュレーション）
・CGウォークスルー（計画・シミュレーション）
・プラントウォークスルーシステム（自動設計）
・建設工事の自動化（計画・シミュレーション）
・色彩／物性シミュレーション（計画・シミュレーション）
・仮想試作システム（製品開発支援）
・工程計画・日程計画シミュレーション（生産ライン操業・管理、工程管理、計画・シミュレーション）
・電子写真解析システム（製品開発支援）
・構造・流体・電磁界解析（製品開発支援）
・ボイラープラントシミュレーション（プラント操業・管理）

ーバーチャルカンパニーに関するもの

・新商品販売（計画・シミュレーション）

・解析（CAE）業務のアウトソーシング（製品開発支援）

・インターネットパソコン通信によるバーチャルカンパニー（広報／情報提供）

ーバーチャルファクトリーに関するもの

・新商品開発（製品開発支援）

・工程シミュレーション（計画シミュレーション／物流管理）

ー知的ロボット／電子秘書に関するもの

・IMS共同研究（生産ライン操業・管理）

・自動積算（契約・医療・損害査定）

・営業支援システム-特注物件（自動設計）

ーその他

・創造支援システム（自動設計）

・光ファイル（情報管理、広報／情報提供、DB検索）

2.2　高度情報技術（知的情報技術）の利用

(1)　利用状況（集計）

コンピュータの利用において「利用技術の先進性」の観点から、14 項目（表中）を高度情報技術（知的情報技術）として挙げ、現在の利用・開発状況と関心度（意識）について集計分析。

① 有効回答全体

有効回答全体（123 部門）の高度情報技術（知的情報技術）の利用状況の集計結果を表2.2-1に示す。

各高度情報技術（知的情報技術）領域別に、利用・開発（計画）中とするものを高回答率順で見ると、現在利用中とするものでは、画像処理（認識・理解／生成）技術の9.8%、ファジィ理論（推論／集合）、ルールベース推論等の推論技術の8.9%、ニューラルネットワークの8.1%であり、他は数%以下で、高度情報技術の利用は、回答全体でみるとあまり高くはないといえる。

また、計画中を含め、現在開発を進めているとするものを見ると、画像処理技術（13.1%）の1位は変わらないが、音声処理（認識・理解／合成）技術は、現在利用

表2.2-1　高度情報技術（知的情報技術）の利用状況（全体）

サンプル数：123（数字は回答部門数、カッコ内は%）

高度情報技術（知的情報技術）領域	現在利用中	現在を開発／導入進めている	今後開発／導入する計画がある	計画はないが関心はある	関心がない	わからない
エージェント技術	0 (0.0)	4 (3.3)	2 (1.6)	51 (41.5)	16 (13.0)	50 (40.7)
分散協調ＡＩ	0 (0.0)	2 (1.6)	2 (1.6)	41 (33.3)	23 (18.7)	55 (44.7)
仮想現実感	5 (4.1)	7 (5.7)	4 (3.3)	55 (44.7)	23 (18.7)	29 (23.6)
感性情報処理（マルチモーダルインタフェースを含む）	0 (0.0)	1 (0.8)	1 (0.8)	35 (28.5)	29 (23.6)	57 (46.3)
ニューラルネットワーク	10 (8.1)	5 (4.1)	3 (2.4)	44 (35.8)	24 (19.5)	37 (30.1)
ファジィ理論（推論／集合）	11 (8.9)	3 (2.4)	5 (4.1)	51 (41.5)	28 (22.8)	25 (20.3)
遺伝的アルゴリズム／人工生命	3 (2.4)	4 (3.3)	6 (4.9)	25 (20.3)	49 (39.8)	36 (29.3)
自然言語処理／対話処理技術	1 (0.8)	1 (0.8)	3 (2.4)	60 (48.8)	30 (24.4)	28 (22.8)
音声処理（認識・理解／合成）技術	3 (2.4)	5 (4.1)	6 (4.9)	73 (59.3)	15 (12.2)	21 (17.1)
画像処理（認識・理解／生成）技術	12 (9.8)	11 (8.9)	6 (4.9)	68 (55.3)	10 (8.1)	16 (13.0)
ルールベース推論／事例ベース推論／メモリベース推論	11 (8.9)	1 (0.8)	4 (3.3)	36 (29.3)	27 (22.0)	44 (35.8)
学習・知識獲得	0 (0.0)	3 (2.4)	7 (5.7)	59 (48.0)	21 (17.1)	33 (26.8)
共用・大規模知識ベース／分散協調データベース	3 (2.4)	2 (1.6)	10 (8.1)	65 (52.8)	13 (10.6)	30 (24.4)
知的インタフェース	0 (0.0)	2 (1.6)	4 (3.3)	57 (46.3)	16 (13.0)	44 (35.8)
その他	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (0.8)	3 (2.4)	--- (---)	--- (---)

中2.4%に対して10.0%、共用・大規模知識ベース／分散協調データベースは同2.4%に対し9.7%、仮想現実感は同4.1%に対し9.0%と、今後の利用の意向が高いことがうかがえる。

関心度について見ると、計画はないが関心があるとするものでは、音声処理技術（59.3%）、画像処理技術（55.3%）、自然言語処理／対話処理技術（48.8%）などのインタフェースに関する要素技術、および共用・大規模知識ベース／分散協調データベース（52.8%）、学習・知識獲得（48.0%）などの知識、情報基盤に関するものに関心が集まっている。

一方、関心がないあるいは分からないとするものを合わせると、ここで挙げた高度情報技術は、50%前後になるものがほとんどであり、情報処理一般では、まだ研究開発段階の特別な技術である、ということなのであろうか。

② 部門別（研究開発部門とシステム・企画部門）

研究開発部門とそれ以外の部門（システム・企画部門）における高度情報技術（知的情報技術）の利用状況の集計結果を表2.2-2（研究開発部門：37）および表2.2-3（システム・企画部門：86部門）に示す。

まず、利用・開発（計画）中とする高回答率のものを見ると、研究開発部門では、ニューラルネットワークおよび画像処理技術の16.2%、ファジィ理論の13.5%、システム・企画部門では、ルールベース推論等の推論技術の10.5%、ファジィ推論の7.0%となっている。

開発あるいは計画中とするものを見ると、研究開発部門は、画像処理技術は（27.0%）、仮想現実感（21.6%）、ニューラルネットワーク（21.6%）、遺伝的アルゴリズム／人工生命（18.9%）、学習・知識獲得（18.9%）など、ここで挙げた高度情報技術（知的情報技術）のほとんどが十数%台で、今後の利用意向がうかがえる。これに対し、システム・企画部門では、画像処理技術（8.2%）、音声処理技術、共用・大規模知識ベース／分散協調データベース（7.0%）、ファジィ推論（3.5%）などの技術に集中している。ただ、関心度を見ると、いずれの高度情報技術（知的情報技術）にも、研究開発部門、システム・企画部門とも関心は高い。

表2.2-2　高度情報技術（知的情報技術）の利用状況（研究開発部門）

サンプル数：37（数字は回答部門数、カッコ内は%）

高度情報技術（知的情報技術）領域	現在利用中	現在を開発／導入を進めている	今後開発／導入する計画がある	計画はないが関心はある	関心がない	わからない
エージェント技術	0 (0.0)	4 (10.8)	1 (2.7)	13 (35.1)	5 (13.5)	14 (37.8)
分散協調AI	0 (0.0)	2 (5.4)	2 (5.4)	13 (35.1)	8 (21.6)	12 (32.4)
仮想現実感	1 (2.7)	7 (18.9)	1 (2.7)	20 (54.1)	3 (8.1)	5 (13.5)
感性情報処理（マルチモーダルインタフェースを含む）	0 (0.0)	1 (2.7)	1 (2.7)	15 (40.5)	8 (21.6)	12 (32.4)
ニューラルネットワーク	6 (16.2)	5 (13.5)	3 (8.1)	11 (29.7)	8 (21.6)	4 (10.8)
ファジィ理論（推論／集合）	5 (13.5)	3 (8.1)	2 (5.4)	17 (45.9)	6 (16.2)	4 (10.8)
遺伝的アルゴリズム／人工生命	1 (2.7)	1 (2.7)	6 (16.2)	11 (29.7)	14 (37.8)	4 (10.8)
自然言語処理／対話処理技術	0 (0.0)	1 (2.7)	2 (5.4)	20 (54.1)	9 (24.3)	5 (13.5)
音声処理（認識・理解／合成）技術	2 (5.4)	3 (8.1)	2 (5.4)	20 (54.1)	6 (16.2)	4 (10.8)
画像処理（認識・理解／生成）技術	6 (16.2)	7 (18.9)	3 (8.1)	16 (43.2)	3 (8.1)	2 (5.4)
ルールベース推論／事例ベース推論／メモリベース推論	2 (5.4)	1 (2.7)	4 (10.8)	13 (35.1)	10 (27.0)	7 (18.9)
学習・知識獲得	0 (0.0)	1 (2.7)	6 (16.2)	17 (45.9)	9 (24.3)	4 (10.8)
共用・大規模知識ベース／分散協調データベース	0 (0.0)	1 (2.7)	5 (13.5)	21 (56.8)	4 (10.8)	6 (16.2)
知的インタフェース	0 (0.0)	2 (5.4)	4 (10.8)	16 (43.2)	5 (13.5)	10 (27.0)
その他	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (2.7)	0 (0.0)	--- (---)	--- (---)

表2.2-3　高度情報技術（知的情報技術）の利用状況（システム・企画部門）

サンプル数：86（数字は回答部門数、カッコ内は%）

高度情報技術（知的情報技術）領域	現在利用中	現在を開発／導入を進めている	今後開発／導入する計画がある	計画はないが関心はある	関心がない	わからない
エージェント技術	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (1.2)	38 (44.2)	11 (12.8)	36 (41.9)
分散協調AI	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	28 (32.6)	15 (17.4)	43 (50.0)
仮想現実感	4 (4.7)	0 (0.0)	3 (3.5)	35 (40.7)	20 (23.3)	24 (27.9)
感性情報処理（マルチモーダルインタフェースを含む）	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	20 (23.3)	21 (24.4)	45 (52.3)
ニューラルネットワーク	4 (4.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	33 (38.4)	16 (18.6)	33 (38.4)
ファジィ理論（推論／集合）	6 (7.0)	0 (0.0)	3 (3.5)	34 (39.5)	22 (25.6)	21 (24.4)
遺伝的アルゴリズム／人工生命	2 (2.3)	3 (3.5)	0 (0.0)	14 (16.3)	35 (40.7)	32 (37.2)
自然言語処理／対話処理技術	1 (1.2)	0 (0.0)	1 (1.2)	40 (46.5)	21 (24.4)	23 (26.7)
音声処理（認識・理解／合成）技術	1 (1.2)	2 (2.3)	4 (4.7)	53 (61.6)	9 (10.5)	17 (19.8)
画像処理（認識・理解／生成）技術	6 (7.0)	4 (4.7)	3 (3.5)	52 (60.5)	7 (8.1)	14 (16.3)
ルールベース推論／事例ベース推論／メモリベース推論	9 (10.5)	0 (0.0)	0 (0.0)	23 (26.7)	17 (19.8)	37 (43.0)
学習・知識獲得	0 (0.0)	2 (2.3)	1 (1.2)	42 (48.8)	12 (14.0)	29 (33.7)
共用・大規模知識ベース／分散協調データベース	3 (3.5)	1 (1.2)	5 (5.8)	44 (51.2)	9 (10.5)	24 (27.9)
知的インタフェース	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	41 (47.7)	11 (12.8)	34 (39.5)
その他	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (3.5)	--- (---)	--- (---)

(2) 具体的に利用している高度情報技術（知的情報技術）

ここで取り上げた14の高度情報技術（知的情報技術）に対し、具体的なシステム（内容）およびその適用業務（括弧内）について、代表的なものを以下に列挙する。

ーエージェント技術に関するもの

・環境にやさしい工場の設計支援（製品開発支援）
・協調設計システム（製品開発支援）
・ネットワークを利用したソフトウェア配信システム（ネットワーク設計・管理）

ー分散協調AIに関するもの

・協調設計システム（製品開発支援）

ー仮想現実感に関するもの

・住環境シミュレーション（ソフトウェア開発）
・バーチャルコンストラクションシステム（計画・シミュレーション）
・CGウォークスルー（生産管理）
・プラントウォークスルー（自動設計）
・日程計画シミュレーション（生産ライン操業・管理、工程管理、計画・シミュレーション）
・テレイグジスタンス（プラント操業・管理）
・設備運用・保守訓練用VRシステム（人材育成）

ー感性情報処理に関するもの

・音声とポインティングジェスチャ利用システム（CAI）

ーニューラルネットワークに関するもの

・空調負荷予測（プラント操業・管理）
・コンクリート表面評価指標構築（計画・シミュレーション）
・積層ゴム復元モデル（計画・シミュレーション）
・高炉管理／圧延制御／燃焼シミュレーション（生産管理）
・冷延鋼板検査システム（生産ライン操業・管理）

ーファジィ理論に関するもの

・シールド掘削機の軌道制御（生産ライン操業・管理）
・食品生産管理システム（生産管理）
・セメントプロセス制御（生産管理）
・圧延モニタリング（生産管理）
・工業用ロボットのセンサー情報処理（製品開発支援）
・ごみ焼却炉運転支援システム（プラント異常予知）
・金利・相場等の推論（計画・シミュレーション）

ー遺伝的アルゴリズム／人工生命に関するもの

・液状化判定ボーリング配置最適化（計画・シミュレーション）
・創造支援システム（製品開発支援）
・厚板スラブ設計（情報収集、情報管理）

・構造最適設計（製品開発支援）
・ダンパー最適配置システム（自動設計）
—自然言語処理／対話処理技術に関するもの
・技術文書管理-あいまい検索（生産管理）
・音声翻訳（ソフトウェア開発）
—音声処理技術に関するもの
・プラント制御／運転支援（プラント操業・管理）
・プラントの警報（プラント操業・管理）
・コンピュータテレフォニー
・お客様相談室システム（窓口相談）
・取引内容・残高連絡（広報／情報提供）
・振込依頼内容の音声認識（電子決済）
—画像処理技術に関するもの
・気流・温度場解析（計画・シミュレーション）
・図面自動読取システム（自動設計）
・プラント制御／運転支援（プラント操業・管理）
・色彩情報処理／塗膜の目視評価の自動化（製品開発支援）
・冷延鋼板検査システム（生産ライン操業・管理）
・食品の裁断制御（生産ライン操業・管理）
・サービスロボット（ソフトウェア開発）
・車間距離認識（製品開発支援）
・振込伝票の認識（電子決済）
—推論技術に関するもの
・トンネル施工計画支援（計画・シミュレーション）
・オフィスビル概算見積（相場予測）
・プラントレイアウト設計支援（自動設計）
・熱延精整ライン搬送スケジュール管理（生産ライン操業・管理）
・解析結果判定システム（製品開発支援）
・ボイラー故障診断システム（プラント異常予知）
・石炭受払計画システム（資材管理）
—学習・知識獲得に関するもの
・土木技術データベースからの知識獲得（データベース検索）
・金型自動設計システム（自動設計）
—共有・大規模KB／分散協調DBに関するもの
・ロータスノーツ／Malionet（情報管理）
・プラスチック成形データベース　-プロセス知識（製品開発支援）
・コスト情報の比較（計画・シミュレーション）
・グローバルデータベース（経営戦略）
・教育訓練用映像データベース（人材育成）

ー知的インタフェースに関するもの
・設計システム（製品開発支援）
ーその他
・成形プロセスオントロジー（製品開発支援）

(3) 高度情報技術（知的情報技術）の課題および期待

情報処理システムへの高度情報技術（知的情報技術）導入を推進するための課題（⇒期待）に関する回答（自由記述形式）について、代表的なものを以下に整理した。

① 利用の立場

ーシステムの知的化に関すること
・高速ネットワークの普及とエージェント技術の向上　⇒インテリジェントネットワーク。
・システムの操作の簡易性、安全性の実現　⇒マニュアルレス操作。
・より人間に近いコンピュータ
⇒自然な会話で入力が行え、音声で回答が得られる。知識を持ち知能を働かせ判断、推測結果の提供。
・人間のような直感的処理を取り入れた情報処理。
・情報、データに曖昧さを許す情報処理。
・知的情報技術の実用レベルに向けた一層の基礎技術研究
⇒MM 処理に対応した音声、画像の加工のための認識・理解技術。高齢化社会等に対応する人にやさHI、高度な知的情報技術。
・学習能力のさらなる向上（今は学習させる負担が大きく実用性が低い）。
・現実世界での音声や画像処理のためには多くの制約条件の解消が必要　⇒聞き耳を立てる計算機など。
・各種センサー（技術）の開発、確立。特にバイオ分野など。
ー経費・費用対効果に関すること
・機器の進歩の早さへの追随とバージョンアップ（ハード・ソフト）費用の確保　⇒機器等の低価格化。
・高価な通信料金　⇒料金を気にせず情報通信が可能（電気、ガス料金並みで）。
・高度情報技術（知的情報技術）が安価に利用（導入・運用・管理）できること。
・通信回線のコストパフォーマンス。
・導入における費用対効果が不明（情報提供がない）。
・コンピュータの高度利用による技術的優位性、定量的経済性について議論が必要。
・高度情報技術（知的情報技術）は、コンピュータパワーが必要で、高コスト。
ー互換性・標準化に関すること
・OS の互換性
・OSの世代交代等に伴うGUI やアプリケーションの入替えによるエンドユーザ再教育が負担
⇒入替えがあってもアプリケーションの使い勝手を保証／向上するソフトウェア的仕組の確立。
・知的情報技術は既存のコンピュータ設備（環境）を変更せず導入できること
⇒知的情報技術はアプリケーションで実現するのではなく、コンピュータシステム構築で実現。
・インタオペラビリティ　⇒アプリケーションインタフェース等の統合。

・OS 等を超えた統一的な環境、操作性の実現　⇒新たな投資（費用、教育）の削減。
・管理基準の統一、データの標準化　⇒応答性の向上。
・アプリケーション開発用言語の汎用性（標準化）。

ーインタフェースに関すること

・特殊な分野でなく、家電並みに扱えること　⇒真のヒューマンインタフェースの開発。
・人に使い易いマンマシンインタフェース　⇒音声・画像認識の実用化。人の負担の軽減。
・データベースの扱いにくさ
　⇒キー検索ではなく（WWWような使い勝手）のEUC 向けAI データベースの出現。
・端末の音声入力を含めた操作性向上。
・キーボードによらない文字（手書き）入力の高速化　⇒だれもが使えるコンピュータ。

ー業務・組織に関すること

・各部門で保有する現実情報の共有と即時交換　⇒業務を根本から見直した新しい業務体系の再構築。
・組織内におけるセキュリティ意識の差　⇒セキュリティ機能、技術の向上。
・BPR への適用　⇒業務の簡素化、スピードアップ化、ペーパレス化、情報共有。

ー知識獲得に関すること

・書物や雑誌等からの知識獲得技術（特に自然言語処理技術の向上）
　⇒知識ベース、ES構築の費用対効果の向上。
・AI（知識ベース、推論）で可能な解決範囲は狭く、大部分はロジックに頼っている（生産計画分野）
　⇒人間のノウハウをAIシステムに直接入力できる仕組。ラピッドプロトタイピング的な仕組。
・ESのための知識獲得　⇒効率のよい知識獲得ツール。

ー 処理効率に関すること

・ローカルミニマムに陥らない最適設計法（非線形性が強い系は難しい）　⇒全領域の計算なく最適化。
・マルチCPU の並列化自動コンパイラ　⇒光線追跡、分子動力学系、流体計算等の高速化
・高速並列処理技術の向上⇒　人間が処理の遅れを感じない。

ー教育に関すること

・一般ユーザのコンピュータリテラシ（使いこなす技術を含め）の向上⇒　究極の使い易さはなにか。
・コンピュータの高度利用のためには、技術の追及のみでなくユーザ教育が大事。

ー基盤整備に関すること

・大規模な共有ベース、ネットワーク等の基盤整備。
　⇒ハードウェアの進歩とネットワーク等環境整備による、より知的処理領域がブレークスルー。

ー 情報検索に関すること

・ナビゲーション技術（何処に、簡単に、速く）やあいまい情報検索技術
　⇒目的とする情報に簡単な手続きでアクセスできる。

ーその他

・個別システムに対するシステムの検証、チュニング方法の確立。
・システムの高知能化によるブラックボックス化への不安。
・現在の技術レベルと現実の業務の要求レベルとの隔たりが大きい。すぐ取組む気にならない。
・データ量増大に伴うシステムの大型化　⇒分散化の推進と並列統合。

・NN、ファジィ、GAは非線形問題には有効だが、処理過程がブラックボックス化
⇒システムの答えを安心して利用するのため経験・ノウハウの提供。

② 研究・開発の立場

一基礎研究に関すること

・人間の知的作業（学習・類推・発想など）の解明と模倣する技術の開発
⇒ 学際的（認知科学、人工生命等）研究を通じての新たな枠組み・技術的創造。

・情報基盤整備による知的処理領域の拡大、研究開発の底辺の拡大。

一システムの知的化に関すること

・システムの高い自律性（自己学習等で適用範囲の自律的拡大はシステム価値を増大）
⇒人間の思考過程の模倣、創造活動（企画、計画など）の支援（設計業務の立場）。

・ハードウェア故障、ソフトウェア異常による機械が暴走しないための安全性（機械制御分野）
⇒知的機械と人間の共存。

・エージェント技術の進歩　⇒システムの知的化の向上。一般ユーザが使いやすいシステムへ。

一業務の効率化に関すること

・電子マネーシステム　⇒企業間業務の簡素化

一知識獲得に関すること

・知識の体系的整理法の確立と外的要因等による知識の変化への追随
⇒知的データベース、進化するエキスパートシステム、自律的情報（知識）獲得。

一経費・費用対効果に関すること

・ネットワーク、コンピュータ運営管理負荷の軽減とそのための機器やソフトウェアの開発。

一その他

・既存システムのデータ活用で精一杯。高度情報技術に手を付けられる段階でない。

・大規模ネットワークで共用するMMデータベースの利用・運営ソフトウェアの開発。

・画像、音声、アナログデータの認知　⇒認知アルゴリズムの確立と安価なソフトウェアの提供。

2.3　知識ベースシステムの高度利用

(1)　知識ベースシステムの利用・開発状況

有効回答全体（123 部門）の知識ベースシステム（エキスパートシステム）の開発・利用状況の集計結果を表2.3-1に示す。

開発済み（実稼働していないものを含む）あるいは現在開発（計画）中の知識ベースシステムがあるとする回答は32.5%（40 部門）、ないとする回答は67.5%（83 部門）である。あると回答した部門からは、開発済み（実稼働していないものを含む）あるいは現在開発（計画）中の知識ベースシステムの数、その利用状況について聞いた。その結果を1部門あたりの平均で見ると、システム数は2.8 システムであり、その利用状況は、稼働システム 1.5 システム、開発中システム 0.4 システム、開発計画中 0.2 システム、利用中止 0.8 システムであった。

これらの内、稼働中、開発中、開発計画中の知識ベースシステムの適用業務について見ると、単独では計画・シミュレーション業務への適用が18.8%の回答率を得ているものの、生産ライン・操業管理10.4%、情報管理8.3%、工程管理10.4%、生産管理6.3%、資材管理4.2%、物流管理4.2%のように管理業務が全体で4割強を占めた（表2.3-2(a)）。また、知識ベースシステム利用における期待する効果について見ると、専門家の仕事量の削減 54.2%、業務の質の向上 37.5%、業務の質の均質化 31.3%、専門家の数の削減 27.1%などである（表2.3-2(b)）。

表2.3-3に、稼働中、開発中および開発計画中として回答のあった知識ベースシステムの具体的システム名（内容）、適用業務、期待効果を一覧にして示す。

表2.3-1　知識ベースシステムの利用・開発状況（全　体）

サンプル数：123（数字は回答部門数、カッコ内は%）

	利用している		利用していない
	40 (32.5)		83 (67.5)
	システム数	平均システム数	
	111	2.8	
内訳 稼働している実用システム	58	1.5	
内訳 開発中の実用システム	15	0.4	
内訳 開発計画中の実用システム	6	0.2	
内訳 利用を中止した実用システム	32	0.8	

表2.3-2　知識ベースシステムの適用業務と期待する効果

(a)　適用業務

サンプル数：４０
数字は回答部門数、カッコ内は％

適用業務	
機械補修・点検	1 (2.1)
プラント異常予知	2 (4.2)
故障診断	1 (2.1)
生産ライン・操業管理	5 (10.4)
情報収集	1 (2.1)
情報管理	4 (8.3)
工程管理	5 (10.4)
生産管理	3 (6.3)
資材管理	2 (4.2)
物流管理	2 (4.2)
計画・シミュレーション	9 (18.8)
製品開発支援	4 (8.3)
自動設計	4 (8.3)
ソフトウェア開発	1 (2.1)
相場予想	1 (2.1)
CAI	1 (2.1)
その他	2 (4.2)

(b)　期待効果（複数回答）

サンプル数：４０
数字は回答部門数、カッコ内は％

適用業務	
専門家の数の削減	13 (27.1)
専門家の仕事量の削減	26 (54.2)
専門家の育成	3 (6.3)
業務の質の向上	18 (37.5)
業務の質の均質化	15 (31.3)
知識の整理・体系化	14 (29.2)
技術の習得	3 (6.3)
その他	1 (2.1)

表2.3-3　知識ベースシステムの具体名（内容）／適用業務／期待効果（一　覧）

(1／2)

業　種	部　門	システム名またはシステムの内容	適用業務	期待効果
建設業	企画・開発部門	空調設備限界予知保全システム	プラント異常予知	専門家の数の削減 専門家の仕事量の削減 専門家の育成 知識の整理・体系化
	企画・開発部門	建設シミュレーション（仮称）	計画・シミュレーション	業務の質の向上 業務の質の均質化
	情報システム部門	トンネル施工計画支援システム	計画・シミュレーション	専門家の仕事量の削減 業務の質の向上 知識の整理・体系化
	情報システム部門	山留め計画作成支援システム	計画・シミュレーション	専門家の仕事量の削減 業務の質の均質化 知識の整理・体系化
	企画・開発部門	設計エキスパートシステム	自動設計	専門家の仕事量の削減
	情報システム部門	オフィスビル概算見積システム	相場予想	専門家の仕事量の削減 業務の質の向上 知識の整理・体系化
	企画・開発部門	溶接支援システム	溶接計画	業務の質の向上 業務の質の均質化
食品業	企画・開発部門	文献情報システム	情報収集	業務の質の向上
	企画・開発部門	図書システム	情報管理	専門家の数の削減 専門家の仕事量の削減
化学工業	情報システム部門	生産日程計画システム（洗剤工程）	生産ライン操業・管理	専門家の数の削減 専門家の仕事量の削減
	情報システム部門	PERT／QCシステム	工程管理	業務の質の向上
	企画・開発部門	生産計画自動立案システム	生産管理	業務の質の向上 業務の質の均質化
	企画・開発部門	HAPPS／TAPPS	資材管理	専門家の数の削減 専門家の仕事量の削減 業務の質の向上
	企画・開発部門	車両自動割当システム	物流管理	専門家の仕事量の削減 業務の質の向上
	情報システム部門	生産計画システム（樹脂）	計画・シミュレーション	業務の質の向上
	情報システム部門	プラスチック製品設計エキスパートシステム	製品開発支援	業務の質の向上 専門家の仕事量の削減
	情報システム部門	プラスチック金型基本設計エキスパートシステム	製品開発支援	業務の質の向上 専門家の仕事量の削減
	情報システム部門	プラスチック金型詳細設計エキスパートシステム	自動設計	業務の質の均質化 専門家の仕事量の削減
	企画・開発部門	物性値推算システム		
石油・石炭製品	企画・開発部門	製品データベース	情報管理	専門家の育成 業務の質の均質化 知識の整理・体系化 技術の習得
鉄　鋼	企画・開発部門	高炉炉況監視システム	プラント異常予知	専門家の数の削減 知識の整理・体系化 技術の習得
	企画・開発部門	熱延精整ラインコイル搬送制御システム	生産ライン操業・管理	専門家の数の削減 専門家の仕事量の削減
	企画・開発部門	コイル搬送ロボット制御システム	生産ライン操業・管理	専門家の数の削減 専門家の仕事量の削減
	企画・開発部門	工程管理システム	工程管理	専門家の仕事量の削減

(2／2)

業　種	部　門	システム名またはシステムの内容	適用業務	期待効果
鉄・鋼	企画・開発部門	最適工程調整システム	工程管理	専門家の育成
	情報システム部門	出鋼計画システム	生産管理	業務の質の均質化
	企画・開発部門	資材管理システム	資材管理	専門家の数の削減
機　械	企画・開発部門	ART	故障診断	専門家の数の削減 専門家の仕事量の削減 知識の整理・体系化
	情報システム部門	組立順序計算	生産ライン操業・管理	業務の質の均質化 知識の整理・体系化
	情報システム部門	合成管生産計画	工程管理	業務の質の均質化 知識の整理・体系化
	情報システム部門	セグメント生産計画	計画・シミュレーション	業務の質の均質化 知識の整理・体系化
	情報システム部門	CAD／CAM	CAD／CAM	生産効率の向上
電気機器	企画・開発部門	家電製品保守支援システム	機械補修・点検	業務の質の向上 専門家の仕事量の削減
	企画・開発部門	ビデオオーサリングシステム	情報管理	
	企画・開発部門	郵便宛名区分機	物流管理	専門家の数の削減
	企画・開発部門	Optek（レンズ設計エキスパートシステム）	製品開発支援	知識の整理・体系化
	企画・開発部門	エレベータ意匠設計支援	システム自動設計	業務の質の均質化 専門家の仕事量の削減
輸送用機器	企画・開発部門	加工計画システム	生産管理	専門家の仕事量の削減
	情報システム部門	タンカー荷役システム	計画・シミュレーション	専門家の仕事量の削減
	企画・開発部門	解析結果判定システム	製品開発支援	業務の質の向上 業務の質の均質化
	情報システム部門	配管自動ルーティングシステム	自動設計	専門家の数の削減 専門家の仕事量の削減 業務の質の向上
	情報システム部門	航海CAI システム	CAI	技術の習得
	企画・開発部門	機械設計支援システム	設計業務	専門家の数の削減 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 知識の整理・体系化
金融業	情報システム部門	人員のローテーション計画作成（研究テーマ）	計画・シミュレーション	専門家の仕事量の削減
	情報システム部門	システム開発基本計画支援システム	ソフトウェア開発	専門家の仕事量の削減 業務の質の向上
空運業	情報システム部門	要員スケジューリングシステム	工程管理	業務の質の均質化
電気・ガス業	企画・開発部門	システム規模見積	情報管理	知識の整理・体系化
	情報システム部門	石炭受払計画システム	計画・シミュレーション	専門家の数の削減 専門家の仕事量の削減

(2) 既存システム（高度情報技術）との融合利用

知識ベースシステムの利用状況において、稼働中、開発中、開発計画中の知識ベースシステムがある部門（40部門）における、知識ベースシステムと既存システム（事務系システムなど）や高度情報技術との融合利用あるいは融合化（計画）状況の集計結果を表2.3-4に示す。

現在融合利用しているとする回答8件、現在融合化を推進中とする回答2件、今後融合化の計画があるとする回答5件で、合計13件（32.5%）である。また、融合化に関心があるとする回答は12件（30.0%）あり、合わせると25件（62.5%）となった。

これらの内、現在融合利用中、現在融合化推進中、今後融合化の計画があるとする知識ベースシステムの適用業務は、計画・シミュレーション業務、製品開発支援、物流管理などが挙げられる（表2.3-5(a)）。また、融合利用における期待する効果について見ると、業務の質の向上、業務の質の均質化、知識の整理・体系化などが挙げられており、知識ベースシステム単体での利用における期待する効果が人の問題を挙げていたのに対し、業務内容の向上に期待していることがいえよう（表2.3-5(b)）。

表2.3-6に、現在融合利用中、現在融合化推進中、今後融合化の計画があるとする知識ベースシステムの具体的融合システム名（内容）、適用業務、期待効果を一覧にして示す。

表2.3-4 知識ベースシステムと既存システム（高度情報技術）の融合利用（全体）

サンプル数：40（数字は回答部門数、カッコ内は%）

融合対象		現在融合利用中	現在融合化を推進中	今後融合化の計画あり	計画はないが関心あり	必要性がない融合の	わからない
全体		8 (20.0)	2 (5.0)	3 (7.5)	12 (30.0)	5 (12.5)	10 (25.0)
内訳	既存システム	4 (10.0)	1 (2.5)	1 (2.5)	5 (12.5)		
	高度（知的）情報技術	1 (2.5)	1 (2.5)	1 (2.5)	3 (7.5)		
	不明	3 (7.5)	0 (0.0)	1 (2.5)	4 (10.0)		

表2.3-5　既存システム（高度情報技術）と融合した知識ベースシステムの適用業務と期待する効果

(a)　適用業務

サンプル数：14
数字は回答部門数、カッコ内は%

適用業務	
機械補修・点検	0 (0.0)
プラント異常予知	1 (7.1)
故障診断	0 (0.0)
生産ライン・操業管理	0 (0.0)
情報収集	0 (0.0)
情報管理	0 (0.0)
工程管理	1 (7.1)
生産管理	1 (1.1)
資材管理	0 (0.0)
物流管理	2 (14.3)
計画・シミュレーション	4 (28.6)
製品開発支援	4 (28.6)
自動設計	1 (7.1)
ソフトウェア開発	0 (0.0)
相場予想	0 (0.0)
CAI	0 (0.0)
その他	0 (0.0)

(b)　期待効果（複数回答）

サンプル数：14
数字は回答部門数、カッコ内は%

適用業務	
専門家の数の削減	0 (0.0)
専門家の仕事量の削減	5 (35.7)
専門家の育成	0 (0.0)
業務の質の向上	11 (78.6)
業務の質の均質化	7 (50.0)
知識の整理・体系化	5 (35.7)
技術の習得	1 (7.1)
その他	0 (0.0)

表2.3-6　融合した具体的な既存システムまたは高度情報技術（一　覧）

業　種	部　門	知識ベースシステム名 またはシステムの内容	融合した既存システム名 または高度情報技術	適用業務	期待効果
建設業	企画・開発部門	空調設備限界予知保全システム	ファジィ推論 ニューラルネットワーク	プラント異常予知	業務の質の向上 技術の習得
	企画・開発部門	未定	未定	計画・シミュレーション	業務の質の向上 業務の質の均質化
	情報システム部門	トンネル施工計画支援システム	土木技術情報検索システム	計画・シミュレーション	専門家の仕事量の削減 業務の質の向上 知識の整理・体系化
化学工業	企画・開発部門	車両自動割当システム	出荷管理システム	物流管理	専門家の仕事量の削減 業務の質の向上
	情報システム部門	樹脂生産計画システム	樹脂販売物流システム	計画・シミュレーション	業務の質の向上
	情報システム部門	プラスチック製品設計ES＋CAE	ルールベースオブジェクト指向（フレーム）	製品開発支援	業務の質の向上 業務の質の均質化
	情報システム部門	プラスチック金型基本設計ES	ルールベースオブジェクト指向（フレーム）	製品開発支援	業務の質の向上 業務の質の均質化 知識の整理・体系化
	情報システム部門	プラスチック金型基本設計ES	ルールベースオブジェクト指向（フレーム）	自動設計	業務の質の向上 業務の質の均質化 知識の整理・体系化
鉄　鋼	情報システム部門	出鋼計画システム	製鋼システム	生産管理	業務の質の均質化
	企画・開発部門	資材管理システム	工程管理システム	物流管理	専門家の仕事量の削減
輸送用機器	企画・開発部門	WISE	CAD	製品開発支援	専門家の仕事量の削減 業務の質の向上 知識の整理・体系化
	企画・開発部門	DASH	CAD	製品開発支援	専門家の仕事量の削減 業務の質の向上 知識の整理・体系化
空運業	情報システム部門	要員のスケジューリング	要員管理システム	工程管理	業務の質の均質化

(3)　知識ベースシステム利用中止の理由

知識ベースシステム利用のボトルネックを探るために、開発済み（実稼働していないものを含む）あるいは現在開発（計画）中の知識ベースシステムがあるとする回答（40部門）の中から、（過去）実用システムを利用していたが、現在稼働していないとする回答部門にその理由を聞いた。

表2.3-7に、利用を止めた具体的知識ベースシステム名（内容）とその理由を一覧にして示す。中止した理由は、必ずしも技術的問題ばかりではないが、知識の獲得、更新が課題の1つであるといえよう。

表2.3-7　知識ベースシステム利用をやめた理由（一　覧）

業　種	部　門	知識ベースシステム名	利用をやめた理由（原因）
建設業	企画・開発部門	腐食診断システム	開発実証まで実施した受託業務。
	情報システム部門	杭型式選定システム	杭を技術面と価格面で評価選定するが、バブル崩壊後、コスト知識が混乱したことと、その間に稼働プラットフォームが陳腐化したため。
鉄　鋼	情報システム部門	半製品システム	ルールが頻繁に変更され、管理しにくくなった。
電気機器	企画・開発部門	半導体論理合成エキスパートシステム	市販のものでよいものが出てきた。
	企画・開発部門	複写機故障診断	新機種開発の速度に追い付けなかったため中断。
	企画・開発部門	光磁気データベース検索エンジン	製品自体の開発中止。
	企画・開発部門	エレベータ機械設計支援システム	従来の設計支援システムの中に統合化されたため。
	企画・開発部門	RTPS	工場にシステムを移管したため。
輸送用機器	情報システム部門	故障診断	適性知識データ不足による適性推論ができず、実用化中止。
精密機器	企画・開発部門	レンズ公差自動設定システム	ベテランの設定レベルに到達できなかったため。 ノウハウ注入が止まってしまったため。
	企画・開発部門	顕微鏡収差補正システム	代替アルゴリズムで可能となったため。
金融業	情報システム部門	システム開発基本計画支援システム	試行運用のため。
	情報システム部門	電算システム JCL 分析	パラメータをAIで処理できると考えたが、実現にはAIエンジンの実用性が乏しかったため。
電気・ガス業	企画・開発部門	システム規模見積り	新規システムよりメンテナンスの比重が大きく、知識ベースへの蓄積ができない（メンテナンスに対応できないシステムであった）。

2.4　ソフトウェア開発における高度利用

(1)　利用状況（集計）

ソフトウェアの開発にあたって、自動化ツールあるいは共有知識など、何らかのソフトウェア開発（ツール）システムの利用状況について聞いた。

有効回答全体（123 部門）におけるソフトウェア開発（ツール）システムの利用状況の集計結果を表２.４-１に示す。

何らかのソフトウェア開発（ツール）システムを、現在利用中とする回答は24.4%、現在推進中とする回答は3.3%、今後導入計画があるとする回答は7.3%であり、今後、３割強の部門でソフトウェア開発（ツール）システムの利用が計られることを示すとともに、計画はないが関心があるとする回答も45.5%の回答率を得ており、当然のことながら、ソフトウェア開発における自動化指向の高さがうかがえる。また、ソフトウェア開発における自動化手段の内訳を見ると、利用（推進・計画）中では、自動化ツールに、関心度では自動化ツールとともに共有知識等にも利用意向が高いことがうかがえる。

表２.４-１　ソフトウェア開発（ツール）システムの利用状況（全　体）

サンプル数：123（数字は回答部門数、カッコ内は%）

自動化手段		現在利用中	現在推進中	今後導入計画あり	計画はないが関心あり	利用の必要性がない	わからない
全　体		30 (24.4)	4 (3.3)	9 (7.3)	56 (45.5)	11 (8.9)	13 (10.6)
内訳	自動化ツール等	20 (16.3)	2 (1.6)	2 (1.6)	20 (16.3)		
	共有知識等	2 (1.6)	2 (1.6)	0 (0.0)	11 (8.9)		
	不　明	8 (6.5)	0 (0.0)	7 (5.6)	25 (20.3)		

これらの内、現在利用中、推進中、今後導入計画中のソフトウェア開発（ツール）システムのツール等の種別（表２.４-２）について見ると、全体では、CASEツール71.7%、プログラムジェネレータ35.8%、総合ビジネスパッケージ、知識ベース型プログラミングが共に5.7%、その他1.9%である。これを情報処理システム部門とその他で見ると、情報処理システム部門では、全体の傾向と差異は認められないが、企画・開発部門では、CASEツール、プログラムジェネレータに加え、知識ベース型プログラミングへの利用意向がやや高い。

表2.4-2　利用しているツール等の種別（複数回答）

サンプル数：53（数字は回答部門数、カッコ内は%）

部門 / 利用しているツール等の種別	全体	情報システム部門	企画・開発部門
CASEツール	38 (71.7)	29 (76.3)	9 (60.0)
プログラムジェネレータ	19 (35.8)	15 (39.5)	4 (26.7)
総合ビジネスパッケージ	3 (5.7)	2 (5.3)	1 (6.7)
知識ベース型プログラミング	3 (5.7)	0 (0.0)	3 (20.0)
その他	1 (1.9)	1 (2.6)	0 (0.0)

これらの（現在利用中、推進中、今後導入計画中）ソフトウェア開発（ツール）システムを適用している開発フェイズ（表2.4-3）は、全体では、プログラム設計63.0%、プログラミング・試験55.6%、システム分析・設計50.0%、システム計画、保守・システム改良が共に22.2%、システム総合・運用試験16.7%であり、ソフトウェア開発におけるウォータフォールモデルでいう中流域への適用が中心となっている。これを情報処理システム部門とその他で見ると、情報処理システム部門では、全体の傾向と差異は認められないが、企画・開発部門では、保守・システム改良への適用は減り、やや上流域側によっている。

表2.4-3　適用している開発フェイズ（複数回答）

サンプル数：53（数字は回答部門数、カッコ内は%）

部門 / 適用している開発フェイズ	全体	情報システム部門	企画・開発部門
システム計画	12 (22.2)	8 (21.1)	4 (25.0)
システム分析・設計	27 (50.0)	20 (52.6)	7 (43.8)
プログラム設計	34 (63.0)	25 (65.8)	9 (56.3)
プログラミング・試験	30 (55.6)	23 (60.5)	7 (43.8)
システム総合・運用試験	9 (16.7)	8 (21.1)	1 (6.3)
保守・システム改良	12 (22.2)	11 (28.9)	1 (6.3)
その他	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)

また、利用している共有知識等の種別（表２．４-４）は、全体で、データモデル63.6%、プログラム部品50.0%、ドキュメンテーション関係43.2%、業務プロセスモデル34.1%、GUI部品18.2%、専門知識6.8%となった。これを情報処理システム部門とその他で見ると、情報処理システム部門、企画・開発部門とも、全体の傾向に近いが、情報処理システム部門ではドキュメンテーション関連の、企画・開発部門では専門知識の利用意向が高く、ソフトウェア開発における各々の業務（課題の１つ）を反映していると言えそうである。

表２．４-４　利用している共通知識等の種別（複数回答）

サンプル数：44（数字は回答部門数、カッコ内は%）

部門 / 利用している共有知識等の種別	全体	情報システム部門	企画・開発部門
業務プロセスモデル（業務フロー、階層図、ルールなど）	15 (34.1)	11 (37.9)	4 (26.7)
データモデル（データ構造、ファイル定義など）	28 (63.6)	20 (69.0)	8 (53.3)
GUI部品	8 (18.2)	4 (13.8)	4 (26.7)
プログラム部品	22 (50.0)	15 (51.7)	7 (46.7)
ドキュメンテーション関係	19 (43.2)	17 (58.6)	2 (13.3)
専門知識	3 (6.8)	0 (0.0)	3 (20.0)
その他	1 (2.3)	0 (0.0)	1 (6.7)

(2)　具体的ツール名（内容）／ツール種別／適用フェイズ／知識等種別

表２．４-５に、現在利用中、推進中、今後導入計画中のソフトウェア開発（ツール）システムの具体的ツール名（内容）、ツール等の種別、適用フェイズ、共有知識等の種別を一覧にして示す。

表2.4-5　具体的ツール名（内容）／種別／適用フェイズ／知識等種別（一　覧）

(1／3)

業　種	部　門	ツール名またはツールの内容	ツール等の種別	適用フェイズ	共有知識等の種別
鉱　業	情報システム部門	SYNON/2E	CASEツール プログラムジェネレータ	システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験	データモデル
建設業	情報システム部門	TRIPPER　他	CASEツール プログラムジェネレータ	プログラム設計 プログラミング・試験	データモデル GUI部品 プログラム部品 ドキュメンテーション関連
	企画・開発部門	C++　他	総合ビジネスパッケージ	プログラミング・試験	その他
	情報システム部門		CASEツール	システム計画 システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験	業務プロセスモデル データモデル
	情報システム部門	X-Upper	CASEツール	システム計画 システム分析・設計	業務プロセスモデル
	情報システム部門	ER-Win	CASEツール	システム計画 システム分析・設計	業務プロセスモデル データモデル
繊維業	情報システム部門	PLUTO	CASEツール	プログラム設計 プログラミング・試験	データモデル プログラム部品 ドキュメンテーション関連
	情報システム部門	ALICE	CASEツール	プログラム設計 プログラミング・試験 保守・システム改良	データモデル プログラム部品 ドキュメンテーション関連
化学工業	情報システム部門	Designer 2000／Developer2000	プログラムジェネレータ	プログラム設計	ドキュメンテーション関連
	情報システム部門	PRIDE	開発方法論	システム計画 システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験 システム総合・運用試験 保守・システム改良	
	情報システム部門	MARK4 NATURAL	プログラムジェネレータ	プログラミング・試験	
	企画・開発部門	Uniface	CASEツール	システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験	データモデル GUI部品 プログラム部品
	情報システム部門	ALICE　他	CASEツール プログラムジェネレータ	システム分析・設計 プログラミング・試験	データモデル プログラム部品
窯　業	情報システム部門	YPS／APG	プログラムジェネレータ	プログラム設計 プログラミング・試験	プログラム部品 ドキュメンテーション関連
鉄　鋼	企画・開発部門	構造解析	CASEツール	プログラム設計	専門知識
	情報システム部門	Designer 2000	CASEツール	システム分析・設計	業務プロセスモデル データモデル ドキュメンテーション関連
	企画・開発部門	プロコン一貫CASEシステム	CASEツール プログラムジェネレータ	システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験 保守・システム改良	業務プロセスモデル データモデル プログラム部品 ドキュメンテーション関連
非鉄金属	企画・開発部門	検討中	プログラムジェネレータ 知識ベース型プログラミング	システム計画 システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験 システム総合・運用試験	データモデル GUI部品 プログラム部品 専門知識

(2／3)

業　種	部　門	ツール名またはツールの内容	ツール等の種別	適用フェイズ	共有知識等の種別
機　械	情報システム部門	X-Upper、ER-Win	CASEツール	システム分析・設計	業務プロセスモデル データモデル
	情報システム部門	MIND-INTIMATE	CASEツール	システム計画 システム分析・設計	業務プロセスモデル データモデル
	情報システム部門	SAPR/3、TRIMCS	総合ビジネスパッケージ	システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験 システム総合・運用試験 保守・システム改良	
	情報システム部門	4Tth Dimension	CASEツール	プログラミング・試験	GUI 部品 プログラム部品
	情報システム部門	MAPPER	CASEツール	プログラミング・試験	プログラム部品 ドキュメンテーション関連
	企画・開発部門	OPS5	知識ベース型プログラミング	システム計画	専門知識
電気機器	企画・開発部門	アップルスクリプト		定型業務	
	企画・開発部門	Open Doc			
	企画・開発部門	SIP	CASEツール	プログラム設計	業務プロセスモデル
	企画・開発部門	UIM/X	プログラムジェネレータ	プログラミング・試験	GUI 部品
	企画・開発部門	日立CASEツール	CASEツール	システム計画 プログラム設計	
	情報システム部門	YPS／APG	CASEツール	システム分析・設計 プログラム設計 保守・システム改良	データモデル プログラム部品
	情報システム部門	Oracle Designer 2000			
	情報システム部門	Oracle Designer 2000 Oracle Developer 2000	CASEツール	システム分析・設計 プログラム設計	データモデル GUI 部品 プログラム部品
	企画・開発部門	STP	CASEツール	システム分析・設計 プログラム設計	データモデル プログラム部品
	企画・開発部門	Pational	オブジェクト指向	システム分析・設計 プログラム設計	データモデル プログラム部品
輸送用機器	情報システム部門	日立SEWB	プログラムジェネレータ	システム計画 システム分析・設計 プログラム設計	データモデル プログラム部品 ドキュメンテーション関連
	情報システム部門	POPKIN	CASEツール	システム分析・設計	ドキュメンテーション関連
	企画・開発部門	SEWB2／EAGLE2	CASEツール	プログラム設計	データモデル ドキュメンテーション関連
	情報システム部門	Sapience	CASEツール	プログラム設計 プログラミング・試験 システム総合・運用試験 保守・システム改良	
	情報システム部門	SAP	総合ビジネスパッケージ	プログラム設計 プログラミング・試験 システム総合・運用試験 保守・システム改良	
	情報システム部門	SEWB 2／EAGLE 2	CASEツール	プログラム設計	データモデル ドキュメンテーション関連
	情報システム部門	Synon 2	CASEツール	プログラム設計	データモデル

(3／3)

業　種	部　門	ツール名またはツールの内容	ツール等の種別	適用フェイズ	共有知識等の種別
輸送用機器	情報システム部門	Q/R 7	プログラムジェネレータ	プログラミング・試験	
精密機器	企画・開発部門	SAP	知識ベース型プログラミング	システム分析・設計	業務プロセスモデル
	企画・開発部門	TELON	プログラムジェネレータ	プログラミング・試験	データモデル プログラム部品
商　業	企画・開発部門	CANO-AID	CASEツール	プログラミング・試験	GUI 部品 プログラム部品
金融業	情報システム部門	EAGLE（日立）、ADSS（IBM）	CASEツール	プログラム設計	プログラム部品 ドキュメンテーション関連
	情報システム部門	X-Upper	CASEツール	システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験	
	情報システム部門	YPS	CASEツール プログラムジェネレータ	システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験 保守・システム改良	業務プロセスモデル データモデル GUI 部品 ドキュメンテーション関連
航運業	情報システム部門	ADW	CASEツール	システム計画 システム分析・設計	業務プロセスモデル データモデル ドキュメンテーション関連
	情報システム部門	TELON	CASEツール プログラムジェネレータ	プログラム設計 プログラミング・試験 システム総合・運用試験 保守・システム改良	プログラム部品 ドキュメンテーション関連
	情報システム部門	CANO-AID	CASEツール プログラムジェネレータ	プログラム設計 プログラミング・試験 システム総合・運用試験 保守・システム改良	プログラム部品 ドキュメンテーション関連
電気・ガス業	企画・開発部門	CASE	CASEツール	システム計画 システム分析・設計	業務プロセスモデル データモデル
	情報システム部門	EAGLE 2	CASEツール プログラムジェネレータ	システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験 システム総合・運用試験 保守・システム改良	業務プロセスモデル データモデル プログラム部品 ドキュメンテーション関連
	情報システム部門	SEWB	CASEツール プログラムジェネレータ	システム計画 システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験 システム総合・運用試験 保守・システム改良	業務プロセスモデル データモデル プログラム部品 ドキュメンテーション関連
	情報システム部門	統合化CASE	CASEツール プログラムジェネレータ	システム分析・設計 プログラム設計 プログラミング・試験	業務プロセスモデル データモデル

2.5　ネットワークAI基盤技術・環境

(1)　ネットワークAI基盤技術（手法）の利用状況（集計）

ネットワークAIの基盤技術（手法）として、11項目（表中）を挙げ、時点別利用状況と関心度（意識）について集計分析。

① 有効回答全体

有効回答全体（123部門）について、ネットワークAI基盤技術（手法）別に、5年前から現在、5年後（予測）の利用状況と関心度をたずねた結果を表2.5-1に示す。

5年前から導入・現在利用中とするものを高回答率順で見ると、WWW／電子メールの54.5%、グループウェア、セキュリティ技術の17.1%、マルチメディア情報通信、モバイルコンピューティング、オブジェクト指向技術の10.6%で、他はわずかな回答となっている。ここ数年急速に普及、利用されはじめたWWW／電子メールや情報通信ネットワーク（1人にパソコン1台）の普及で環境が整いつつあるグループウェアを除き、他のネットワークAIの基盤技術（手法）の利用はあまり進んでいないといえる。これを今後5年以内の導入計画まで含めると、WWW／電子メール73.2%、グループウェア63.4%、セキュリティ技術46.4%、モバイルコンピューティング30.9%、マルチメディア情報通信25.0%、オブジェクト指向技術24.4%となる。

これらについては、一様に普及が進んでいくと予想できるものの、ネットワークAIの重要な要素技術と考えられるエージェント通信（3.3%）やマルチエージェント技術（4.9%）などの導入意向が少ないことが分かる。ただ、それぞれ、分からないとする

表2.5-1　ネットワークAI基盤技術（手法）の利用状況（全体）

サンプル数：123（数字は回答部門数、カッコ内は%）

ネットワークAIの基盤技術および手法	過去5年以内に導入済で現在利用中	今後5年以内に導入する計画がある	計画はないが関心はある	関心がない	わからない
マルチメディア情報通信	13 (10.6)	18 (14.6)	73 (59.3)	2 (1.6)	17 (13.8)
臨場感通信	0 (0.0)	4 (3.3)	38 (30.9)	31 (25.2)	50 (40.7)
エージェント通信（ネットワークエージェント）	2 (1.6)	4 (3.3)	46 (37.4)	18 (14.6)	53 (43.1)
WWW／電子メール	67 (54.5)	23 (18.7)	25 (20.3)	1 (0.8)	7 (5.7)
モバイルコンピューティング（PHS等）	13 (10.6)	25 (20.3)	59 (48.0)	8 (6.5)	18 (14.6)
グループウェア（意思決定支援を含む）	21 (17.1)	57 (46.3)	33 (26.8)	4 (3.3)	8 (6.5)
セキュリティ技術（ネットワークセキュリティを含む）	21 (17.1)	36 (29.3)	50 (40.7)	4 (3.3)	12 (9.8)
オブジェクト指向技術	13 (10.6)	17 (13.8)	66 (53.7)	6 (4.9)	21 (17.1)
マルチエージェント技術	1 (0.8)	6 (4.9)	33 (26.8)	24 (19.5)	59 (48.0)
自律・分散・協調技術	0 (0.0)	14 (11.4)	42 (34.1)	15 (12.2)	52 (42.3)
共用・大規模知識ベース／分散協調データベース	4 (3.3)	15 (12.2)	52 (42.3)	12 (9.8)	40 (32.5)

回答も多く、WWW／電子メールなどと違い、イメージが漠然としている（要素技術）ということもあろう。

関心度については、マルチメディア情報通信の59.3％、オブジェクト指向技術の53.7％、モバイルコンピューティングの48.0％、セキュリティ技術の40.7％などと、全体的に関心は高く、現時点で明確な導入意向はなくとも、潜在的導入意向があるとみることもできよう。

② 部門別（研究開発部門とシステム・企画部門）

研究開発部門とそれ以外の部門（システム・企画部門）におけるネットワークAI基盤技術（手法）について、５年前から現在、５年後（予測）の利用状況と関心度の集計結果を表２.５-２（研究開発部門：37）および表２.５-３（システム・企画部門：86）に示す。

まず、これまでに導入し現在利用中とするネットワークAIの基盤技術（手法）を見ると、研究開発部門では、WWW／電子メール59.5％、セキュリティ技術18.9％、オブジェクト指向技術13.5％、マルチメディア情報通信、グループウェアが共に10.8％など、システム・企画部門では、WWW／電子メール52.3％、グループウェア19.8％、セキュリティ技術16.3％、モバイルコンピューティング11.6％、マルチメディア情報通信10.5％、オブジェクト指向技術9.3％などとなり、WWW／電子メールはいづれの部門でもトップ、高回答率を得ているものも大きな違いはないが、システム・企画部門ではグループウェア、モバイルコンピューティングといったシステム製品が高順位になっている。

今後５年以内に導入するものを見ると、グループウェアが研究開発部門で40.5％、システム・企画部門で48.8％、またセキュリティ技術が同27.0％と同30.2％と１、２位となっており、ネットワーク上での意思決定など共同作業やそれに伴うセキュリティに関連する技術の導入が計られることがうかがえる。また研究開発部門では、自律・分散・協調技術、大規模知識ベース／分散協調データベース（共に21.6％）の導入意向の高いことが示された。

関心度について見ると、研究開発部門では、 マルチメディア情報通信、オブジェクト指向技術（共に56.8％）、モバイルコンピューティング（51.4％）、セキュリティ技術（48.6％）、エージェント通信（40.5％）、臨場感通信、グループウェア、大規模知識ベース／分散協調データベース（共に37.8％）、システム・企画部門ではマルチメディア情報通信（60.5％）、オブジェクト指向技術（52.3％）、モバイルコンピューティング（46.5％）、大規模知識ベース／分散協調データベース（44.2％）、セキュリティ技術（37.2％）などとなり、マルチメディア情報通信、オブジェクト指向技術は両部門に共通して関心度が高い。

表2.5-2　ネットワークAI基盤技術（手法）の利用状況（研究開発部門）

サンプル数：37（数字は回答部門数、カッコ内は%）

ネットワークAIの基盤技術および手法	過去5年以内に導入済で現在利用中	今後5年以内に導入する計画がある	計画はないが関心はある	関心がない	わからない
マルチメディア情報通信	4 (10.8)	9 (24.3)	21 (56.8)	1 (2.7)	2 (5.4)
臨場感通信	0 (0.0)	3 (8.1)	14 (37.8)	11 (29.7)	9 (24.3)
エージェント通信（ネットワークエージェント）	1 (2.7)	3 (8.1)	15 (40.5)	7 (18.9)	11 (29.7)
WWW／電子メール	22 (59.5)	3 (8.1)	10 (27.0)	0 (0.0)	2 (5.4)
モバイルコンピューティング（PHS等）	3 (8.1)	9 (24.3)	19 (51.4)	2 (5.4)	4 (10.8)
グループウェア（意思決定支援を含む）	4 (10.8)	15 (40.5)	14 (37.8)	2 (5.4)	2 (5.4)
セキュリティ技術（ネットワークセキュリティを含む）	7 (18.9)	10 (27.0)	18 (48.6)	0 (0.0)	2 (5.4)
オブジェクト指向技術	5 (13.5)	5 (13.5)	21 (56.8)	2 (5.4)	4 (10.8)
マルチエージェント技術	1 (2.7)	4 (10.8)	10 (27.0)	8 (21.6)	14 (37.8)
自律・分散・協調技術	0 (0.0)	8 (21.6)	13 (35.1)	5 (13.5)	11 (29.7)
共用・大規模知識ベース／分散協調データベース	0 (0.0)	8 (21.6)	14 (37.8)	5 (13.5)	10 (27.0)

表2.5-3　ネットワークAI基盤技術（手法）の利用状況（システム・企画部門）

サンプル数：86（数字は回答部門数、カッコ内は%）

ネットワークAIの基盤技術および手法	過去5年以内に導入済で現在利用中	今後5年以内に導入する計画がある	計画はないが関心はある	関心がない	わからない
マルチメディア情報通信	9 (10.5)	9 (10.5)	52 (60.5)	1 (1.2)	15 (17.4)
臨場感通信	0 (0.0)	1 (1.2)	24 (27.9)	20 (23.3)	41 (47.7)
エージェント通信（ネットワークエージェント）	1 (1.2)	1 (1.2)	31 (36.0)	11 (12.8)	42 (48.8)
WWW／電子メール	45 (52.3)	20 (23.3)	15 (17.4)	1 (1.2)	5 (5.8)
モバイルコンピューティング（PHS等）	10 (11.6)	16 (18.6)	40 (46.5)	6 (7.0)	14 (16.3)
グループウェア（意思決定支援を含む）	17 (19.8)	42 (48.8)	19 (22.1)	2 (2.3)	6 (7.0)
セキュリティ技術（ネットワークセキュリティを含む）	14 (16.3)	26 (30.2)	32 (37.2)	4 (4.7)	10 (11.6)
オブジェクト指向技術	8 (9.3)	12 (14.0)	45 (52.3)	4 (4.7)	17 (19.8)
マルチエージェント技術	0 (0.0)	2 (2.3)	23 (26.7)	16 (18.6)	45 (52.3)
自律・分散・協調技術	0 (0.0)	6 (7.0)	29 (33.7)	10 (11.6)	41 (47.7)
共用・大規模知識ベース／分散協調データベース	4 (4.7)	7 (8.1)	38 (44.2)	7 (8.1)	30 (34.9)

(3) 情報ネットワークの利用状況

ネットワークAIの環境基盤の１つである情報ネットワークの利用状況について、利用率（人数比）と利用者範囲について集計分析。

① 社内ネットワークの利用状況

有効回答全体（123 部門）の社内ネットワークの利用率（人数比）とその利用者範囲について、５年前、現在、５年後（予測）の状況の集計結果を表２.５-４に示す。

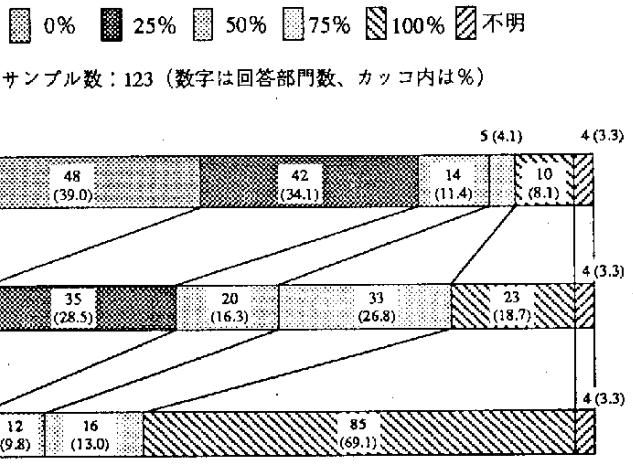
５年前では、社内ネットワークの利用者がゼロとする部門が39.0％と最も多く、25％程度とする部門が34.1％、50％程度とする部門が11.4％であり、利用者の範囲は、一般職員の利用は62.2％の部門、管理職の利用は32.8％の部門、役員の利用は15.1％の部門で行われていたことが示された。

現在の状況は、ゼロとする部門は6.5％とだいぶ減るが、25％程度とする部門が28.5％、50％程度する部門が16.3％、75％程度とする部門が26.8％、100％とする部門が18.7％であり、利用者の範囲は、一般職員の利用は81.5％の部門、管理職の利用は77.3％の部門、役員の利用は75.6％の部門となり、発展中という印象である。

５年後（予測）では、ゼロとする部門は無くなり、75％、100％程度とする部門を合わせると８割強となり、利用者の範囲も８割近くの部門が役員を含めた利用を予測している。

表２.５-４　社内ネットワークの利用状況（全　体）

社内ネットワークの利用率（人数比）



利用範囲（複数回答）

サンプル数：119
（数字は回答部門数、カッコ内は％）

範囲 / 時期	一般職員	管理職	役員
5年前	74 (62.2)	39 (32.8)	18 (15.1)
現　在	97 (81.5)	92 (77.3)	64 (53.8)
5年後 (予測)	107 (89.9)	103 (86.6)	90 (75.6)

② 社外ネットワークの利用状況

有効回答全体（123 部門）の社外ネットワークの利用率（人数比）とその利用者範囲について、５年前、現在、５年後（予測）の状況の集計結果を表２.５-５に示す。

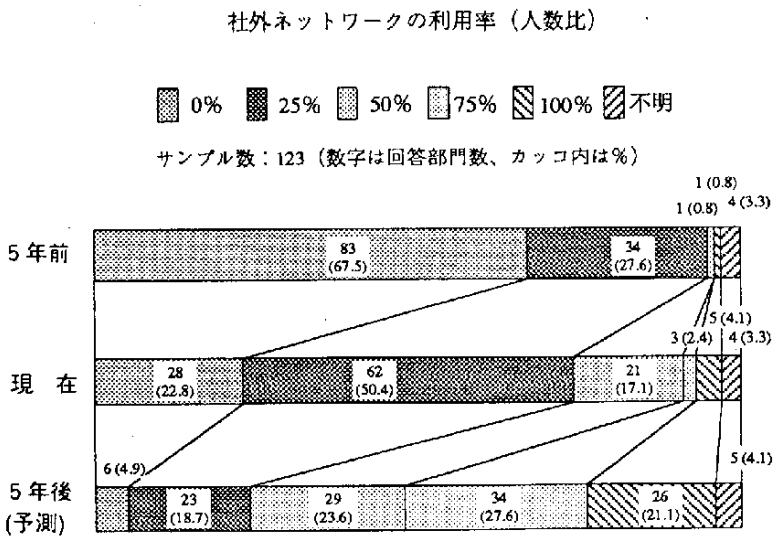
５年前では、社外ネットワークの利用者がゼロとする部門が67.5％、25％程度とする部門が27.6％、50％以上の利用率であるとする部門は合わせて2.0％であり、利用者の範囲、一般職員の利用は39.5％の部門、管理職の利用は17.6％の部門、役員の利用は10.1％の部門で行われていたことが示された。

現在の状況は、ゼロとする部門は22.8％、25％程度とする部門が50.4％、50％程度する部門が17.1％、75％程度とする部門が2.4％、100％とする部門が4.1％であり、利用者の範囲は、一般職員の利用は73.1％の部門、管理職の利用は58.0％の部門、役員の利用は31.1％の部門である。

５年後（予測）では、ゼロとする部門は4.9％、25％程度とする部門が18.7％、50％程度する部門が23.6％、75％程度とする部門が27.6％、100％とする部門が21.1％、一般職員の利用は88.1％の部門、管理職の利用は80.5％の部門、役員の利用は62.7％の部門と予測している。

利用率、利用者の範囲とも序々に拡大している（いく）ことが示されているが、コンピュータの高度利用やネットワークAIの基盤技術（手法）において示されたインターネット、WWWや電子メールへの利用状況や関心度を見るとやや控えめとも思える。

表２.５-５　社外ネットワークの利用状況（全　体）



利用範囲（複数回答）

サンプル数：119、５年後は118
（数字は回答部門数、カッコ内は％）

範囲 / 時期	一般職員	管理職	役員
５年前	47 (39.5)	21 (17.6)	12 (10.1)
現　在	87 (73.1)	69 (58.0)	37 (31.1)
５年後 (予測)	104 (88.1)	95 (80.5)	74 (62.7)

(4) データベース・知識ベース

ネットワーク上に点在する社内外のデータベースや知識ベースを利用した問題解決は、ネットワークAIの主要な応用形態の1つと考えられ、その前提として、データや知識の共有について現在の状況を集計。

① 共有利用の状況

社内あるいは社外のデータベースおよび知識ベースの共有利用について、有効回答全体（123部門）における状況の集計結果を表2.5-6に示す。

社内共有データベースを利用しているとする部門は48.0%、社外共有データベースでは8.9%、また、社内共有知識ベースは6.5%、社外共有知識ベースを利用している部門はゼロであった。組織を超えた、また共有の対象が知識になると、これらの共有利用は進んでいないといえる。

データレベルでは高度な処理は必ずしも必要とせず、ネットワーク等の整備や標準化の進展により今後企業間の共有は進むものと考えられるが、知識レベルの共有については、加えて分野を超えた知識を統一的に扱う技術・手法などの開発などが必要になると思われる。

表2.5-6　データベース／知識ベースの共有利用の状況（全　体）

サンプル数：123（数字は回答部門数、カッコ内は%）

利用中データベース・知識ベース	ある	ない	不明
社内共有データベス	59 (48.0)	56 (45.5)	8 (6.5)
社外共有データベース	11 (8.9)	104 (84.6)	8 (6.5)
社内共有知識ベース	8 (6.5)	106 (86.2)	9 (7.3)
社外共有知識ベース	0 (0.0)	114 (92.7)	9 (7.3)

② 具体的な共有データ／共有知識

有効回答全体（123部門）の回答から、具体的な共有データおよび共有知識を表2.5-7に一覧にして示す。

表2.5-7　具体的な共有データまたは共有知識（一　覧）

(1／2)

業　種	部　門	共有区分	情報区分	共有データまたは共有知識
建設業	研究開発	社　内	データ	社内オンラインシステム
	情報システム	社　内	データ	技術情報
	情報システム	社　内	データ	全社データベース
	研究開発	社　内	データ	経理・人事各コスト、設計・調達データ等
	研究開発	社　内	データ	ホストを中心としたシステム
	情報システム	社　外	データ	WWW
	情報システム	社　外	データ	WWWホームページ
	情報システム	社　外	データ	関連会社と共有
	研究開発	社　外	データ	JICST、ダイアログほか
食料品	情報システム	社　内	データ	販売、物流情報
	研究開発	社　内	データ	経理、物流、製品レシピほか
	企画調査	社　内	データ	特許情報
	情報システム	社　外	データ	特許情報
	企画調査	社　内	知　識	文献情報
化学工業	情報システム	社　内	データ	営業支援情報
	情報システム	社　内	データ	技術情報データベース
	研究開発	社　内	データ	技術情報報告書
	情報システム	社　内	データ	販売管理データベース
石油・石炭製品	企画調査	社　内	データ	試験分析データベース
窯　業	情報システム	社　内	データ	営業・経理等の業務システムデータ
	情報システム	社　内	データ	一般会計データベース
鉄　鋼	情報システム	社　内	データ	販売データ
	情報システム	社　内	データ	販売・生産・管理データベース
	企画調査	社　内	データ	技術情報
	研究開発	社　内	データ	設備技術データ、操業データ
非鉄金属	研究開発	社　内	データ	機械物性データ
	企画調査	社　内	データ	電子掲示板
	研究開発	社　外	データ	JOISE
	企画調査	社　内	知　識	電子掲示版
機　械	研究開発	社　内	データ	特許情報ほか
	研究開発	社　内	データ	技術データベース全般
	情報システム	社　内	データ	人事、営業、生産、技術情報
	情報システム	社　内	データ	業務処理用データ
電気機器	情報システム	社　内	データ	NOTES、WWW
	研究開発	社　内	データ	研究成果資料、報告書
	研究開発	社　内	データ	WWW
	情報システム	社　内	データ	人事、資材、電気部品、メカ部品
	企画調査	社　内	データ	ワークステーション上の共有ファイル
	企画調査	社　外	データ	JICST、特許
	情報システム	社　外	データ	JOIS、PATRIS
	情報システム	社　内	知　識	光学設計知識ベース
輸送用機器	研究開発	社　内	データ	経営情報、人事情報等
	研究開発	社　内	データ	CAD情報
	研究開発	社　内	データ	文書情報（規定など）
	情報システム	社　内	データ	研究開発状況
	研究開発	社　内	知　識	生産情報等
精密機器	情報システム	社　内	データ	電子部品データ
	研究開発	社　内	データ	技術情報、会計情報
その他製造業	研究開発	社　内	データ	社内図書情報データベース
	研究開発	社　外	データ	商用DB　約10種（PATOLIS、JOIS、DIALOG等）
	研究開発	社　内	知　識	半導体プロセスDB
商　業	企画調査	社　内	データ	関係会社データ管理データベース
	企画調査	社　内	データ	商品，営業、人事データ

(2／2)

業　種	部　門	共有区分	情報区分	共有データまたは共有知識
金融業	情報システム	社　内	データ	文書ファイルの一部
	情報システム	社　内	データ	顧客情報管理データ
陸運業	情報システム	社　内	データ	経営情報
海運業	情報システム	社　内	データ	MAIL、荷主情報
空運業	情報システム	社　内	データ	OPEN MAIL BB
電気・ガス業	情報システム	社　内	データ	経営計画情報
	情報システム	社　内	データ	セキュリティデータベース
	情報システム	社　内	データ	ワークフロー業務AP

2.6　情報システム（情報技術）の進歩に対する意識

(1)　進歩に対する意識（集計）

コンピュータの高度利用の観点から、14（表中）の情報処理システム（情報技術）を挙げ、過去10年間の変化（進歩）をどのように捉えているか（意識）について、集計分析。

①有効回答全体

有効回答全体（123 部門）の情報システム（情報技術）の進歩に対する意識に関する集計結果を表2.6-1に示す。

情報システム（情報技術）別に、その捉えられ方を高回答率順で見ると、実用化されているとするものでは、ゲームシステムの38.2%、ソフトウェア開発（ツール）システムの31.7%、CAI（教育）システムの22.8%、知識ベースシステムの19.5%、機械翻訳システムの17.9%、画像理解システムの13.0%と続き、以下、自動プログラミング技術（10.6%）、音声理解システム（9.8%）、知能ロボット技術（7.3%）、他は5%程度の回答である。

実用システムの一部として（取り込まれて）利用されていることについては、機械翻訳システムの48.0%、画像理解システムの47.2%、知識ベースシステムの46.3%、

表2.6-1　情報システム（情報技術）の進歩に対する意識（全体）

サンプル数：123（数字は回答部門数、カッコ内は%）

情報システム（情報技術）	実用化されていると思う	実用システムの一部として利用されていると思う	実用化されていないが進歩したと思う	進歩していないと思う	わからない
機械翻訳システム	22 (17.9)	59 (48.0)	27 (22.0)	4 (3.3)	11 (8.9)
音声理解システム	12 (9.8)	49 (39.8)	40 (32.5)	9 (7.3)	13 (10.6)
画像理解システム	16 (13.0)	58 (47.2)	26 (21.1)	7 (5.7)	16 (13.0)
自然言語理解システム	1 (0.8)	26 (21.1)	44 (35.8)	17 (13.8)	35 (28.5)
知的ヒューマンインタフェース	2 (1.6)	15 (12.2)	48 (39.0)	17 (13.8)	41 (33.3)
知的情報検索システム	7 (5.7)	29 (23.6)	36 (29.3)	14 (11.4)	37 (30.1)
知的分散処理システム	4 (3.3)	15 (12.2)	36 (29.3)	14 (11.4)	54 (43.9)
自動プログラミング技術	13 (10.6)	47 (38.2)	27 (22.0)	15 (12.2)	21 (17.1)
CAI（教育）システム	28 (22.8)	49 (39.8)	16 (13.0)	11 (8.9)	19 (15.4)
知識ベースシステム（エキスパートシステム）	24 (19.5)	57 (46.3)	13 (10.6)	10 (8.1)	19 (15.4)
ソフトウェア開発（ツール）システム	39 (31.7)	53 (43.1)	13 (10.6)	3 (2.4)	15 (12.2)
知的データベースシステム	7 (5.7)	33 (26.8)	31 (25.2)	10 (8.1)	42 (34.1)
知能ロボット技術	9 (7.3)	36 (29.3)	38 (30.9)	11 (8.9)	29 (23.6)
ゲームシステム	47 (38.2)	31 (25.2)	11 (8.9)	2 (1.6)	32 (26.0)

ソフトウェア開発（ツール）システムの43.1%、CAI（教育）システム、音声理解システムの39.8%、自動プログラミング技術の38.2%が続き、以下、知能ロボット技術（29.3%）、知的データベースシステム（26.8%）、ゲームシステム（25.2%）、知的情報検索システム（23.6%）、自然言語理解システム（21.1%）、知的ヒューマンインタフェース、知的分散処理システム（12.2%）となり、20ポイントを超えるものが12あり、情報システム（情報技術）単独では実用化については低い回答率となっているものでも、実用システムの一部として（取り込まれて）利用されているものが多いことがいえる。

両者の回答を実用化されているとする意見として見ると、ここで挙げた情報システム（情報技術）の中で、半数以上が実用化していると考えているものは、ソフトウェア開発（ツール）システム（74.8%）、機械翻訳システム（65.9%）、画像理解システム（60.2%）、知識ベースシステム（65.8%）、ゲームシステム（63.4%）、CAI（教育）システム（62.6%）、画像理解システム（60.2%）である。

実用化には至っていないが進歩していると考えられているものは、知的ヒューマンインタフェースの39.0%、自然言語理解システムの35.8%、音声理解システムの32.5%、知的ロボット技術の30.9%、知的情報検索システム、知的分散処理システムの29.3%などが続く、一方で、知的ヒューマンインタフェース、自然言語理解システムは進歩していないとする回答が、ともに第1位（13.8%）となっている。

知的分散処理システムは、分からないとする回答の第1位（43.9%）となったが、他の情報システム（情報技術）に比べて、システムイメージが明確でないことからと思われる。

② 部門別（研究開発部門とシステム・企画部門）

研究開発部門とそれ以外の部門（システム・企画部門）別の情報システム（情報技術）の進歩に対する意識に関する集計結果を表2.6-2（研究開発部門：37）および表2.6-3（システム・企画部門：86）に示す。

実用化されているとするものでは、研究開発部門では、ゲームシステムの40.5%、ソフトウェア開発（ツール）システムの32.4%、知識ベースシステムの16.2%、機械翻訳システム、CAI（教育）システムの13.5%、画像理解システムの10.8%が10ポイント以上を得ている。システム・企画部門では、ゲームシステムの37.2%、ソフトウェア開発（ツール）システムの31.4%、CAI（教育）システムの26.7%、知識ベースシステムの20.9%、機械翻訳システムの19.8%、画像理解システムの14.0%、音声理解システム、自動プログラミング技術の11.6%が10ポイント以上を得ている。両部門間で、実用化されているとする情報システム（情報技術）の見方に大きな違いはないが、研究開発部門では、ゲームシステムとソフトウェア開発（ツール）システムのほかは10ポイント台、システム・企画部門では、比較的平均している。

実用システムの一部として（取り込まれて）利用されているとする上位の6つは、研究開発部門では、機械翻訳システム（56.8%）、画像理解システム（54.1%）、知識ベースシステム（48.6%）、音声理解システム（45.9%）、CAI（教育）システム

表2.6-2　情報システム（情報技術）の進歩に対する意識（研究開発部門）

サンプル数：37（数字は回答部門数、カッコ内は％）

情報システム（情報技術）	実用化されていると思う	実用システムとして利用されていると思う	実用化されていないが進歩したと思う	進歩していないと思う	わからない
機械翻訳システム	5 (13.5)	21 (56.8)	8 (21.6)	2 (5.4)	1 (2.7)
音声理解システム	2 (5.4)	17 (45.9)	13 (35.1)	2 (5.4)	3 (8.1)
画像理解システム	4 (10.8)	20 (54.1)	9 (24.3)	1 (2.7)	3 (8.1)
自然言語理解システム	0 (0.0)	9 (24.3)	14 (37.8)	5 (13.5)	9 (24.3)
知的ヒューマンインタフェース	0 (0.0)	11 (29.7)	12 (32.4)	8 (21.6)	6 (16.2)
知的情報検索システム	1 (2.7)	10 (27.0)	10 (27.0)	7 (18.9)	9 (24.3)
知的分散処理システム	1 (2.7)	6 (16.2)	12 (32.4)	5 (13.5)	13 (35.1)
自動プログラミング技術	3 (8.1)	12 (32.4)	10 (27.0)	4 (10.8)	8 (21.6)
CAI（教育）システム	5 (13.5)	15 (40.5)	5 (13.5)	4 (10.8)	8 (21.6)
知識ベースシステム（エキスパートシステム）	6 (16.2)	18 (48.6)	4 (10.8)	3 (8.1)	6 (16.2)
ソフトウェア開発（ツール）システム	12 (32.4)	14 (37.8)	2 (5.4)	2 (5.4)	7 (18.9)
知的データベースシステム	3 (8.1)	11 (29.7)	8 (21.6)	3 (8.1)	12 (32.4)
知能ロボット技術	3 (8.1)	10 (27.0)	13 (35.1)	4 (10.8)	7 (18.9)
ゲームシステム	15 (40.5)	10 (27.0)	4 (10.8)	1 (2.7)	7 (18.9)

表2.6-3　情報システム（情報技術）の進歩に対する意識（システム・企画部門）

サンプル数：86（数字は回答部門数、カッコ内は％）

情報システム（情報技術）	実用化されていると思う	実用システムとして利用されていると思う	実用化されていないが進歩したと思う	進歩していないと思う	わからない
機械翻訳システム	17 (19.8)	38 (44.2)	19 (22.1)	2 (2.3)	10 (11.6)
音声理解システム	10 (11.6)	32 (37.2)	27 (31.4)	7 (8.1)	10 (11.6)
画像理解システム	12 (14.0)	38 (44.2)	17 (19.8)	6 (7.0)	13 (15.1)
自然言語理解システム	1 (1.2)	17 (19.8)	30 (34.9)	12 (14.0)	26 (30.2)
知的ヒューマンインタフェース	2 (2.3)	4 (4.7)	36 (41.9)	9 (10.5)	35 (40.7)
知的情報検索システム	6 (7.0)	19 (22.1)	26 (30.2)	7 (8.1)	28 (32.6)
知的分散処理システム	3 (3.5)	9 (10.5)	24 (27.9)	9 (10.5)	41 (47.7)
自動プログラミング技術	10 (11.6)	35 (40.7)	17 (19.8)	11 (12.8)	13 (15.1)
CAI（教育）システム	23 (26.7)	34 (39.5)	11 (12.8)	7 (8.1)	11 (12.8)
知識ベースシステム（エキスパートシステム）	18 (20.9)	39 (45.3)	9 (10.5)	7 (8.1)	13 (15.1)
ソフトウェア開発（ツール）システム	27 (31.4)	39 (45.3)	11 (12.8)	1 (1.2)	8 (9.3)
知的データベースシステム	4 (4.7)	22 (25.6)	23 (26.7)	7 (8.1)	30 (34.9)
知能ロボット技術	6 (7.0)	26 (30.2)	25 (29.1)	7 (8.1)	22 (25.6)
ゲームシステム	32 (37.2)	21 (24.4)	7 (8.1)	1 (1.2)	25 (29.1)

（40.5%）、ソフトウェア開発（ツール）システム（37.8%）という順になる。システム・企画部門では、知識ベースシステム、ソフトウェア開発（ツール）システム（45.3%）、機械翻訳システム、画像理解システム（44.2%）、自動プログラミング技術（40.7%）、CAI（教育）システム（39.5%）という順となり、研究開発部門では機械翻訳システム、画像理解システムが、システム・企画部門では知識ベースシステム、ソフトウェア開発（ツール）システムが高回答率を得ており、それぞれの部門で利用が多いと考えられるシステム（技術）が選ばれている。

進歩しているか否かについては、全体では進歩したと3割程度以上の回答率を得た知的ヒューマンインタフェース（39.0%）、自然言語理解システム（35.8%）、音声理解システム32.5%、知的ロボット技術（30.9%）、知的情報検索システム、知的分散処理システム（29.3%）について見ると、研究開発部門では、知的ヒューマンインタフェースが進歩したとするのは32.4%（3位）、システム・企画部門では41.9%（1位）、自然言語理解システムは同37.8%（1位）と34.9%（2位）、音声理解システムは同35.1%（2位）と31.4%（3位）、知能ロボット技術は同35.1%（2位）と29.1%（5位）、知的情報検索システムは同27.0%（4位）と30.2%（4位）、知的分散処理システムは同32.4%（3位）と27.9%（6位）である。知的ヒューマンインタフェースについては、システム・企画部門が進歩したとする見方がやや多いと認められるが、全体としては両部門に大きな違いはないといえよう。

一方、進歩していないと見ているもについて見ると、知的ヒューマンインタフェースは研究開発部門で21.6%（1位）、システム・企画部門で10.5%（3位）、知的情報検索システムは同18.9%（2位）と同8.1%（5位）、自然言語理解システムは同13.5%（3位）と同14.0%（1位）、知的分散処理システムは同13.5%（3位）と同10.5%（4位）などとなり、研究開発部門では、知的ヒューマンインタフェース、知的情報検索システム、知的分散処理システムが上位を占めており、情報システム（情報技術）の知的化に遅れがあるとみているようである。

(2) 今後の課題

ここで取り挙げた14の情報システム（情報技術）に対し、記述形式で回答があった今後の課題等について、代表的なものを以下に列挙する。括弧内の数字は回答頻度。

① 機械翻訳システムに関するもの

・翻訳の正確さ（自然言語により近く）と速さ（23）
・文脈・状況を理解した翻訳、学識を取り入れた翻訳（10）
・多言語対応（4）
・国際電話などでの活用（同時通訳）（4）
・特定の定型文から自然言語への拡張（4）
・分野別専門辞書の充実（4）
・日英翻訳の充実（英日翻訳に比して）（3）

・抽象的（あいまい）な表現への対応（2）
・インターネットへの取り込み（2）
・用語や表現などの自己学習機能（2）
・文字認識の効率向上（1）
・脳研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（1）
・AI技術の取り込み（1）
・辞書のコンパクト化（1）

② 音声理解システムに関するもの
・認識・理解の精度向上と速さ（計算機パワーを含む）（14）
・話者の拡大（不特定話者へ）（10）
・声紋が違っても同じ言葉として理解する能力（5）
・特定の話題を聞き取る機能（カクテルパーティ効果）（3）
・画像と音声の複合型理解（3）
・連続音声からの正確な単語切り出し（3）
・雑音、ひずみ等への自動対応機能（2）
・自然な話言葉による入出力（認識・理解／合成）（2）
・総合的な意味（文脈・状況）理解による音声理解（1）
・抽象的（あいまい）表現の理解（1）
・応用システムの拡大（1）
・脳研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（1）
・パソコン用ソフトウェアとの連動（1）

③ 画像理解システムに関するもの
・認識・理解の精度向上と速さ（計算機パワーを含む）（12）
・３次元の静的、動的な理解モデルの構築（8）
・総合的な意味（文脈・状況）理解による画像理解（2）
・汎用的多値化処理（2）
・画像切り出しなどの信号処理技術（2）
・対象物の判定（1）
・入力装置の低価格化（1）
・画像と音声の複合型理解（1）
・センサーの高感度化（1）
・脳研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（1）
・研究者、技術者不足（1）

④ 自然言語理解システムに関するもの
・総合的な意味（文脈・状況）理解による自然言語理解（4）
・多様な表現を理解する（受け入れることができる）能力（3）

・自然な会話への対応（2）
・脳（知識表現）研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（2）
・知識ベースの充実（1）
・パーソナル化（1）
・文章要約機能（1）
・実用システムの開発（1）
・認識率の向上（1）
・言語理解のための構文解析手法確立の遅れ（英語に比して）（1）

⑤知的ヒューマンインタフェースに関するもの
・視覚以外のインタフェース、マルチモーダルの活用（5）
・ユーザモデルの活用、人間の機能・心理（表情など）のモデリング（4）
・総合的な意味や意図・意思の理解（3）
・脳研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（1）

⑥知的情報検索システムに関するもの
・あいまい検索、類推検索などの機能の強化（7）
・検索意図の取り込みとその理解（3）
・MMデータ（言語、画像、音声）検索への対応（3）
・検索時間の短縮、並列・超並列コンピュータの利用（2）
・複雑な検索文よらない（自然言語などによる）方法（2）
・世界共通の操作体系（1）
・データの蓄積／更新の自動化（1）
・脳研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（1）
・知能（機能）の向上（1）
・利用データベースの拡充（1）

⑦知的分散処理システムに関するもの
・信頼性向上とバックアップ体制（2）
・ドメインごとの協調方法の研究と確立（1）
・分散協調のための通信技術の標準化（1）
・分散協調システム間のファイル整合（1）
・分散協調アルゴリズムの高速化（1）
・分散協調戦略技術（1）
・知能（機能）の向上（1）

⑧自動プログラミング技術に関するもの
・知的（機能）の向上（完全自動化）、入出力表現の多様化（4）
・プログラミング言語の表現力を引き出せる自動化技術（2）

・生成プログラムの評価・検証技術（2）
・プログラムの生成の正確さと速さ（2）
・特別なハードウェア（コンピュータ）やOSを必要としない（2）
・記述方法の標準化とその普及（2）
・部品化の推進、オブジェクト指向技術との統合（2）
・生成プログラムの保守のし易さ（1）
・既存プログラムの自動プログラミング構造への移行（1）
・脳研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（1）
・自然語による表現（1）

⑨ CAI（教育）システムに関するもの
・知識ベース、教育コンテンツとその作成ツールの拡充（11）
・端末機器、ソフトウェアの低価格化（4）
・能動型 CAI への発展（指導ができ、応用や質問に対応）（4）
・シミュレーション機能やMMの取り込みやネットワークの利用（3）
・操作性（インタフェース）の向上（3）
・脳研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（1）
・学習者の理解度の正確な把握（1）

⑩ 知識ベースシステムに関するもの
・知識獲得、再利用の技術・手段（9）
・適用範囲が限定的、学習機能の向上（4）
・推論機能の高度化（ノンモノトニック推論など）（4）
・知識ベース構築、保守の容易化（3）
・統一的知識表現法の確立（1）
・脳研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（1）

⑪ ソフトウェア開発（ツール）システムに関するもの
・適用範囲が限定的（2）
・ビジュアルプログラミング環境の実現（2）
・生成プログラムの保守のし易さ（1）
・特別なハードウェア（コンピュータ）やOSを必要としない（1）
・ソフトウェアの部品化技術（2）
・複雑なロジック処理への対応（2）
・試験、評価機能の充実（3）
・脳研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（1）
・項目名の統一と関連づけ（1）

⑫ 知的データベースシステムに関するもの
・ネットワーク型MM（ハイパーメディア的）環境の実現（2）
・知識ベースの充実(1)
・適用範囲が限定的（1）
・検索機能（あいまい検索）の向上（1）
・データベースの統合（1）
・並列・超並列コンピュータの利用（1）
・脳研究の成果を取り入れた理論的ブレークスルー（1）
・知識のコード化（1）

⑬ 知能ロボット技術に関するもの
・センシング技術の向上、プログラミングレス（4）
・軽量の構成材料、駆動機構と制御機構（3）
・実時間における適切な動作（2）
・自律性の向上（思考機能、環境認識機能の高度化）（2）
・ロボットの自動保守機能（1）

⑭ ゲームシステムに関するもの
・仮想現実感化、3次元化（6）
・健全さ（人の世界認識や視覚・聴覚・発声野発育に及ぼす影響）（5）
・計算機パワー、LSI技術（2）
・CAIとの融合（1）
・ネットワークとの融合（1）

第2部

ネットワークAI

1.　ネットワークAIに向けて

1. ネットワークＡＩに向けて

1.1 まえがき

エージェントあるいはマルチエージェントという言葉を良く耳にするようになった。この分野の特徴は、人工知能研究者に限らず、分散システムやCSCW等の新しい情報処理を目指す研究者からも興味を持たれていることだろう。たとえば、無数の携帯型計算機が人間を支援し、それらが大容量で柔軟なネットワークに接続されるような極度に分散化された情報処理環境を考えてみよう。ネットワークは日々形を変え、ネットワーク上に散在するプログラムは刻々その連携の形態の変更を迫られる。このような情報処理システムを今日の分散システムの延長で実現できるだろうか。

今日の分散システムは実行形態は分散であるが、そのデザイン（メタ）は人間によって系の外で集中形態で行なわれている。プロトコルを決定し、メッセージの種別と授受の手順を決定し、アルゴリズムやプログラムを設計し何度も検証を重ねる。こういうトップダウンのデザイン形態が分散システムの発展のボトルネックになる可能性はないだろうか。

ネットワークAIはボトムアップである。独立に動作するソフトウェア群が必要に応じて組織を形成し、協調動作を行なう。先の例で言えば、分散システムのデザイナ(メタ)を系の中に入れたものと言える。

ネットワークAIは調停者や王様がいない完全に平等な形態を追求しているわけではない。必要があれば階層的な組織を作り制御を集中することを妨げるものではない。しかし、そういう組織が自ら作り、必要があれば自ら変える柔軟なシステムを目標としている。また、ネットワークAIの目標は、分散環境での実行をあたかも集中環境で実行しているかのようにみせることではない。方向はむしろ逆である。

もともと独立に存在するソフトウェアを陽に意識し、必要に応じて組織し、統合し、調整し、協力させることが目標である。

ネットワークAIは情報処理環境の一層の分散化と共に今後さらに興味を集めるだろう。ネットワークAIの応用は次節以降で述べる3段階を経て発展していくのではないかと考えている。

1.2 第一段階：設計論としてのネットワークAI

ネットワークAIの応用は設計論から始まった。同じ機能を持つシステムを集中システムとして実現することもできるが、応用の特質から分散化した方が良いというものである。

たとえば1980年頃の研究は、分散センシングを題材にしたものが多い。広大なエリアを覆うシステムを構築するのに、集中型にするとセンサ情報を一箇所に送信する必要が生じる。耐故障性も悪い。分散化すればそうした問題はなくなるが、部分的な情報を基に全体の状況を認識しなければならなくなる。

各部分を担当するプロセスはどの段階でどのような情報を相互に通信すれば良いだろうか。そもそも各プロセスはどのように役割分担を行なえば良いか。こうした設計論としての問題設定は基礎研究を大いに刺激し、分散仮説管理、交渉、均衡、問題解決組織などの従来にない問題を認識させるに至った。しかしながら、常に集中処理との競争に晒されたのも事実である。研究が高度になればなるほど、そこまで努力するより集中で設計してはどうかという反論も同様に強くなるからである。以下に、代表的な応用研究を概観する。

(1) 黒板モデル

黒板モデルは、多数の知識源（KS: Knowledge Source）が共有メモリを介して協調するモデルである。黒板モデルという名前は、多くの人間が黒板の前に集まり、知恵を出し合うという状況を想い起こさせる。黒板モデルをHearsay-II音声認識システムを例にとって説明しよう。

Hearsay-IIでは解釈の手順として、音声入力波形からセグメント（segment）が検出され、それらの列から音節（syllable）が、さらに単語（word）や句（phrase）が構成されていく。この認識過程で様々な解釈の可能性が試される。Hearsay-IIで最終的に生成されるのはデータベースに対する検索文である。

このように黒板モデルは、入力信号の解釈を進める過程に紆余曲折はあれ、最終的に得られる認識結果はただ一つに絞り込まれる問題に適している。

Lesser等は黒板モデルの分散化を試みた［Lesser and Corkill, 1981］。そこでは、黒板モデルで問題解決を行うエージェントが複数存在し、エージェント間で中間結果を通信し合うことによって、全体として矛盾のない解を導く。この方式は分散型黒板モデル（Distributed Blackboard Model）と呼ばれる。

たとえば、分散型Hearsay-IIでは発話された文が前中後に3分され、それぞれ別個のエージェントで非同期的に解釈が進められる。

各エージェントは、欠損データを適当に想定しながら、可能性のある複数の中間結果を生成する。必要に応じて黒板上の仮説を相互に送受信することを通じて、全体として正しい文が認識されていく。

一般に分散型黒板モデルでは、各エージェントは不完全な入力データを基に、並行

して問題解決を行い、中間結果を交換しながら、全体として矛盾のない解を導き出す。各エージェントが不完全な入力データを基に処理を行うため、その処理過程では中間結果に矛盾がありうるが、最終的には正確な解に到達する。

このように分散型黒板モデルは、黒板モデルの特質（曖昧なデータに基づく問題解決に強い）を分散環境で本質的に避けられないエージェント間の矛盾の克服にうまく適用したと言える。

(2) 契約ネットプロトコル

契約ネット（Contract Net）は、問題を分割し、多数のエージェントにタスクを割り当てるためのプロトコルである［Davis and Smith, 1983］。契約ネットプロトコルは、従来の通信網プロトコルのように信頼性の高い通信を実現するために定められたものではない。タスク割り当てという問題を解決するために、エージェントは互いに何を通信すべきかを定めたものである。

契約ネットはエージェント間のネゴシエーション（negotiation）によって、タスクの割り当てを実現する。ここでネゴシエーションとは、複数のエージェントが情報の交換を通じて合意を得るプロセスを意味する。契約ネットの特徴は、契約を行う際にマネージャと契約者がそれぞれ「入札」「落札」に際して独立の価値基準を持ちうることである。

まずマネージャが「タスク掲示」を全エージェントに対して行う。ところで契約者にとってみれば、「タスク掲示」を行うマネージャはネットワーク内に多数存在する。したがって契約者は数多くの「タスク掲示」の中から「入札」するマネージャを、契約者独自の価値基準で選択する。

一方マネージャにとっても、入札する契約者はネットワーク内に多数存在する。したがって、マネージャは数多くの「入札」の中から「落札」する契約者を、マネージャ独自の価値基準で選択する。

このしくみは相互選択（mutual selection）と呼ばれる。契約ネットは分散センシングシステム（DSS：Distributed Sensing System）に応用された。DSSは航空機、船、車両などの交通制御を目的とし、地理的に分散された多数のセンサを用いて広範囲な区域を監視制御するシステムである。

エージェントは、最上層に位置し、問題の分割および最終的な解の合成に責任を持つモニタ（Monitor）、計算処理能力を十分に備え、高レベルの解析と制御をつかさどるプロセサ（Processor）、低レベルの信号解析、特徴抽出の機能を有するセンサ（Sensor）の3階層に分かれる。

契約ネットプロトコルを用いたタスク割り当てはこれらのエージェント階層間で行われる。

契約ネットプロトコルのもう一つの応用例として、Enterpriseと呼ばれる負荷分散システムがある。Enterpriseは、ローカルエリアネットワーク（LAN）で接続された計算機群にタスクを割り当てるシステムである［Malone *et al.*, 1988］。

Enterpriseでは、契約者となる計算機は、処理依頼を受けたタスクの内、最も優先度の高いタスクを選択して「入札」する。一方、マネージャは多くの契約者からの入札を調べ、処理依頼したタスクの推定完了時間が最も短い契約者を選択する。この結果、契約者側の負荷が低ければ多数の「入札」が直ちに行われる。したがって、主導権はマネージャに移り、最も完了時間の短い契約者を選択することになる。逆に負荷が高くなると、タスク処理中の契約者が多くなるため、「入札」はなかなか行われない。したがって、主導権は契約者に移り、契約者側に余裕ができ次第、優先度の高いタスクが選択されることになる。

このようにEnterpriseでは負荷の増減につれて、マネージャから契約者に、契約者からマネージャにと主導権が自然に推移する。

1.3　第二段階：運用論としてのネットワークAI

運用論としてのネットワークAIは、「実行段階の分散」のみならず「設計段階の分散」をも対象とするものである。ソフトウェアは謂わば結合テスト抜きで、ネットワーク上で動作を余儀なくされている。問題が生じれば（当然生じる）実行時に自らが解決を図らなければならない。

運用論としてのネットワークAIは説得力がある。他に解決の方法がないからである。以下に示す応用の他にも、(1) エンタープライズ・インテグレーション、(2) 工場の分散スケジューリングなど、ネットワーク化が進むにつれて様々な分野で運用論としてのネットワークAIが発展しつつある。

(1)　ネットワーク／情報ベースの運用

分散環境で動作するソフトウェアは、単独の計算機上のソフトウェアとは全く異なる問題を生じさせる。

たとえば相互に接続されたLANは、これまでの公衆通信網とは異なりその管理が分散されている。通信障害や設定誤りが生じると、診断プログラムは単独ではその原因を判断できない。

計算機ネットワークの診断システムLODES［Sugawara, 1990］は、マルチエージェントシステムにその解決策を見い出している。LAN毎に稼働するLODESは相互に連絡し合い、観察結果を共有することで障害原因を同定する。LODESはオープンシステムの問題を捉えた数少ない実用システムである。

ネットワーク上に分散開発されたデータ／知識ベースも運用上の問題を抱えている。従来の分散データベースは設計論として分散処理を導入したが、マルチデータベースと呼ばれる最近の研究は、統一的な設計が行なわれていないデータベース群を統合しようという試みである。また、奈良先端大学の西田らは知識コミュニティと呼ばれるマルチエージェント型の知識ベース群を提案している。独立に開発された情報ベースを統合し、情報の可用性を高めようと試みている。

一方、こうしたシステムを構築するためのツールとして、Stanford大学ではKQMLと呼ばれるプロトコルを提供している。我々もAgenTalkと呼ぶ拡張性に富んだプロトコル記述言語の開発を始めている。ソフトウェア基盤を確立するための研究は、大学、企業など幅広い層の協力が必要である。

(2)　サービスの干渉

通信網の専門家を中心に議論が広がりつつあるサービスの相互干渉（feature interaction あるいは service interactionと呼ばれる）も運用論としてのネットワークAIの良い例である。通信網での急速なサービスの自由化多様化は、収集のつかない相互矛盾を引き起こし始めている。これらのサービスが、異なる事業体で独立に開発され提

供されることが、問題の解決を一層難しくしている。米国で問題となっている例を幾つか［Velthuijsen, 1993］から引用しよう。

> 話中の回線に接続要求がある場合、*Call Waiting* は呼出音を生じさせ、*Answer Call* は応答サービスを起動する。顧客が話中の顧客が両方のサービスに契約している場合、どちらの動作をとるべきか。

上記は簡単な例であるが、様々なサービスの干渉を想像することができるだろう。

> *Call Forwarding* は接続要求を他の登録された番号に転送するサービスである。一方、*Originating Call Screening* は登録された番号の呼び出しを禁止するサービスである。通常は呼び出しを禁止する番号へ転送することはありえないが、次の場合にはそれが生じる。ある息子が、両親が自宅の電話からポルノダイヤルへの接続を禁止していることを知っている。そこで彼は自宅への電話を全てポルノダイヤルへ転送するよう交換機に指示し、自宅から自宅を呼び出す。

サービスの相互干渉は、独立に設計されたソフトウェアの問題が、実行時に検出され調整されなければならないことを示している。これは通信システム固有の問題ではない。設計が分散して行なわれれば、どの分野（たとえば機械設計）でも必ず生じる問題である。しかし、多くの場合には全体会議が開催されるなど、設計の矛盾が事前に検査される。したがって問題があるとしても、この会議で未然に検出され運用段階で発生することはない。しかし、ネットワーク上のソフトウェアの場合には、あらゆる組合せの結合試験を事前に行なうことは不可能である。プロトコルの取り決めも完全ではないため、運用段階での問題発生は避けることができない。

既にこの関係で3回の国際ワークショップが開催され、複数のサービス間で実行時にネゴシエーションを行なうなどの手法が提案され始めている。

1.4　第三段階：人間社会を支援するネットワークAI

計算機発展の歴史は個人化の歴史でもあった。1970年代の大型計算機は、おびただしい数のワークステーションやパーソナル・コンピュータとそれらを結合するLANによって置き換えられた。わずか20年の間に計算機は個人へと急接近した。

ヒューマン・インタフェースも大幅に改善された。ネットワークAIは、計算機の一層の個人化を促進する可能性を持っている。

(1)　ソフトウェアエージェント

現在提案されているソフトウェアエージェントは、以下の２種に分類できそうだ。一つはネットワークを通じて送出され、遠隔ホスト上で動作するプログラムである。

General Magic の Telescript や Java が知られる。他は利用者の電子秘書として、スケジュールの管理や情報検索作業の支援を行なうものである。順に説明しよう。

現在のネットワーキングはRPC（Remote Procedure Calling）を用いたものが主流である。ネットワークは事前に取り決めたプロトコルに従って、サーバとクライアント間のメッセージ伝達を受け持つ。このような方式では、常に通信路は確保されていなければならず、携帯端末にとっては都合が悪い。

Telescript はこれに対して遠隔プログラミング（Remote Programming）という方式を提案した。クライアントはメッセージではなく一連の操作を記述した手続き（スクリプト）を送信する。この手続きをエージェントと呼ぶ。

エージェントはサーバの計算機上で実行され、必要なだけの通信を行なう。したがって、クライアントはエージェントを送出した後に通信路を閉じてしまってもよい。遠隔プログラミングの適用領域は必ずしも明らかではないが、Telescript はテレショッピングを意識した機能構成となっている。携帯端末からの情報検索やファイル操作にも都合が良い場合がありそうである。

かつて話題となったKnowbotも良く似たアイデアであった。利用者は必要な情報を得るためにKnowbotをネットワークに放つ。Knowbot はネットワーク上を動き回り利用者のための情報を収集し帰ってくる。本格的な実装は行なわれなかったが、想像力をかきたてられるアイデアである。

利用者の電子秘書として働くソフトウェアエージェントは、あちこちで実装され始めている。Kautzらは訪問者のためのスケジューリングエージェント（Visitorbot）を試作している［Kautz *et al.*, 1994］。

Visitorbot の役割は、(1) 訪問者があることを研究員に通知し、(2) その訪問者と面会を求めるか否かの返答を集め、(3) 様々な制約条件を考慮してスケジュールを決定して研究員に連絡する。さらに、(4) 必要が生じた時点での予定の変更も行なうことができる。Sony CSLの竹内、長尾は表情を持つエージェントをディスプレー上に出現させ、音声対話システムと連動させている。実験段階であるが、印象的なデモである［Nagao and Takeuchi, 1994］。

ソフトウェアエージェントの研究は、音声言語、視覚、問題解決、学習などの知覚／知能処理と結合が強まるであろう。

我々も電子メールと同様の手軽さで、B-ISDNを用いた出会いを支援するSocia、FreeWalkと呼ばれるシステムを試作している［Ishida, 1994］。

1.5 むすび

本稿では述べなかったが、従業員、設備を含む企業の組織デザインに関する研究も行なわれている。たとえばUSCのACTIONプロジェクトは、制約充足に基づくアプローチを複数の組織デザインに適用したと報告している。この場合には研究対象がマルチエージェントなのであって、組織の設計プログラムそのものは単一プロセスとして動作する。こうした研究は計算機が人間社会の隅々に浸透するに従って、必然的に増えていくだろう。

計算機は今や個人の情報を格納し、それゆえに個人の生活になくてはならないものとはなり始めている。そろそろ何かが逆転しそうな予感がする。情報科学の対象は計算機ネットワークから、人々のそして人々の住む社会に場を移し始めるのではないだろうか。

計算機が人々の生活に深く根をおろすにつれて、計算機科学が人々の生活を変えた時代から、人々の生活が計算機科学を変える時代へ移行するのではないだろうか。ネットワークAIはちょうどその分水嶺に位置するように思う。

参考文献

[Davis and Smith, 1983] R. Davis and R. G. Smith, "Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving," *Artificial Intelligence*, Vol. 20, No. 1, pp. 63-109, 1983.

[Ishida, 1994] T. Ishida, "Bridging Humans via Agent Networks," *13th International Workshop on Distributed Artificial Intelligence (DAIWS-94)*, pp. 419-428, 1994.

[Kautz *et al.*, 1994] H. A. Kautz, B. Selman, M. Coen, S. Ketchpel and C. Ramming, "An Experiment in the Design of Software Agents," *AAAI-94*, pp438-443, 1994.

[Lesser and Corkill, 1981] V. R. Lesser and D. Corkill, "Functionally-Accurate, Cooperative Distributed Systems, " *IEEE TSMC*, Vol. 11, No. 1, pp. 81-96, 1981.

[Malone *et al.*, 1988] T. W. Malone, R. E. Fikes, K. R. Grant and M. T. Howard, "Enterprise: A Market-like Task Scheduler for Distributed Computing Environments," *The Ecology of Computation*, North-Holland, pp.177-205, 1988.

[Nagao and Takeuchi, 1994] K. Nagao and A. Takeuchi, "Social Interaction: Multimodal Conversation with Social Agents," *AAAI-94*, 1994.

[Sugawara, 1990] T. Sugawara, "A Cooperative LAN Diagnostic and Observation expert System," *International Conference on Computers and Communications*, pp. 667-674, 1990.

[Velthuijsen, 1993] H. Velthuijsen, "Distributed Artificial Intelligence for Runtime Feature-Interaction Resolution," *Computer*, Vol. 26, No. 8, pp.48-55, 1993.

2．　ネットワークAI技術とその可能性

2. ネットワークＡＩ技術とその可能性

2.1 ネットワークＡＩ技術を捉える視点

基盤技術の観点から「ネットワークAI」に係わる技術領域を切り出すことは、現段階ではまだ難しい問題であるが、ここでは、取り敢えず「知識情報処理技術と情報通信（ネットワーク）技術との境界領域に位置する新たな技術領域」としてネットワークAIを捉えてみる。これによって、たとえば、研究開発の側面では、これまで人工知能／知識工学の領域で追及されてきた個別的な知性や機能よりも、むしろそれらの相互作用をベースとして産み出される新たな知性や機能に着目してゆくこと、また、システム的な側面では、知識情報処理システムは勿論のこと、現在、急速に発展を続けつつあるネットワークシステムをもうひとつの重要なインフラとして取り込むことなど、ネットワークAIという新たな領域を特徴付ける技術要素を洗い出すことができるかも知れない。

こうした背景のもと、本報告では、近い将来に出現が予想されるネットワークAIシステムとその実現技術を中核とした３つの視点を設定し、ネットワークAI関連技術を整理してみる。以下、各視点とその考え方について簡単に説明を加える。

(1) システム的視点

ネットワークAIシステムなるものを考えるための視点であり、そこには現状の情報処理システムをはじめとする様々なシステムが含まれている。そして、前述したように、ネットワークAIシステムは、知識情報処理／人工知能技術をベースとした知識システム、および情報通信システムや分散システムのインフラでもあるネットワークシステムという２つのシステム群の境界領域から産み出されるものとして捉える。

(2) 基盤技術的視点

ネットワークAIシステムの実現に係わる様々な技術要素を整理するための視点である。直観的には、極めて多くの技術要素が関係してくるものと考えられるが、発散を防ぐために、ここでは、ネットワークAIの概念や枠組み、あるいはネットワークAIシステム構築にとって特に関連性が高いと判断されるものに着目する。

(3) 人間（利用者）・社会・環境の視点

ネットワークAIシステムを対象とするとき、そのシステムに対面する人間、すなわち利用者の視点は必要不可欠である。また、ネットワークAIシステムという新しい領域が切り開かれ実世界への適用がなされてゆくとすれば、その応用形態、更には、そ

れに伴う情報環境や人間社会への波及効果なども考慮しておくことが重要であろう。そこで、前二者のような技術的視点とは意味合いが異なるが、人間（利用者）・社会・環境からの視点を設定することとした。

2.2　ネットワークＡＩ技術マップ

前節で設定した３つの視点に基づいて、ネットワークAI技術として着目すべき技術要素に関するキーワードを抽出した。そして、それらを３視点に対応付けて模式的に配置することにより、図２．２-１に示すネットワークAI技術マップとしてまとめた。その目的は、ネットワークAIという新たな技術領域における主要な研究課題や要素技術を発掘することである。

本技術マップは、システム的視点を中心としてまとめられている。図から分かるように、ネットワークAIシステムは、そのインフラとなる知識システムとネットワークシステムの双方が交差する境界領域に生まれるものと捉えている。なお、図中のモノクロ階調は境界領域を強調するためのものである。

以下、各々の視点から、ネットワークAI技術マップの概要を述べる。

・システム的視点から整理されたキーワードは、知識システムとネットワークシステムの領域から抽出されたキーワードであり、両者の境界領域に位置するキーワードは、ネットワークAIシステムに特に関連が深いものと判断されたものである。例えば、エージェント、協調分散問題解決、インテリジェントネットワーク（次世代知識型ネットワーク）などは、現在、各システムに関する技術領域でも研究開発が活発化しているものである。

ここで、注意しておきたいことは、本マップでは、現在、一般にエージェントと呼ばれるものの実体を幾つかに分類して扱っている点である。すなわち、例えば、これまで人工知能／分散人工知能／知識工学分野で研究されてきた問題解決知識や推論機構を持つ知識源（問題解決器）としてのエージェントは、インテリエージェント、あるいはインタフェースエージェントなどに対応付けられている。また、分散処理環境や広域ネットワークを移動しながら処理を実行するエージェントをモーバイルエージェント、そして、機能的には小規模なものであるが、それらが多数集まって何らかの組織（群知能）として動作する細粒度エージェントをコンポーネントエージェントと呼び分けている。

また、システム的視点における新しいキーワードとしては、ネットワークリアリティ、コミュニティウエア、やわらかいシステム、エージェントセキュリティなどがある。これらは、今後のシステム関連研究における新たな課題を提起するものと考えられることから、ネットワークAIの観点からも注目してゆきたい。

・基盤技術的視点では、多くの技術キーワードが挙げられているが、これらは、図中に示したような幾つかのサブカテゴリに分類されている。すなわち、情報通信関連のものを含む「通信基盤」、知識情報処理や知識システム関連に対応した要素を配置した「システム／AI基盤」、通信基盤とシステム／AI基盤の中間領域に位置するものを集めた「協調・分散処理基盤」、および、より基本的なコンセプトや技法などを提供する「概念・枠組み・方法論」である。

各サブカテゴリでは、情報ネットワーク、情報処理、分散処理、マルチメディア、

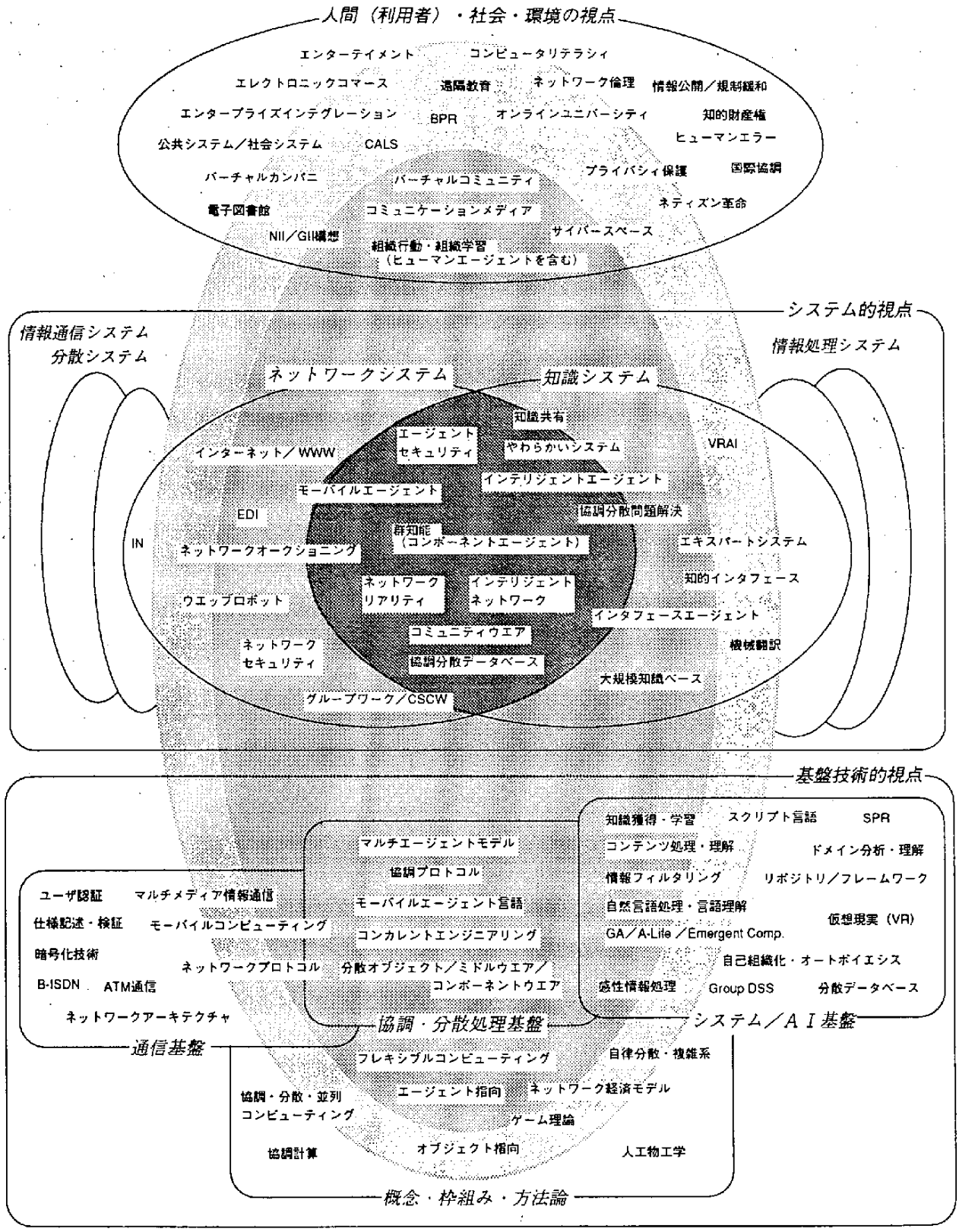


図2.2-1　ネットワークAI技術マップ

知識処理、協調処理、ソフトウエア、データベース、ヒューマンコンピュータインタラクションなどの領域から、ネットワークAIの観点から着目すべき技術キーワードが収集・選択されている。現在、多くの分野で関心が高まりつつあるエージェント指向、マルチエージェントモデル、あるいは協調プロトコルなどは、ネットワークAIへの関連性が高い重要な項目と考えられる。また、これらに関連した項目として、最近、新たな応用が模索されているゲーム理論やネットワーク経済モデルなども取り上げられている。

・人間（利用者）・社会・環境の視点では、主としてネットワークAIシステムを利用したり応用したりする立場から、今後より重要性が高まると考えられるキーワードが抽出されている。例えば、ネットワークAIシステムの応用面からみたキーワードとしては、電子図書館、バーチャルカンパニ、CALS、エレクトロニックコマース、エンタープライズインテグレーション、遠隔教育、オンラインユニバーシティ、バーチャルコミュニティなどがあるが、その幾つかのものは既に研究開発や実証実験が進行しつつある。また、社会的、環境的な側面では、米国から提唱されたNII/GII構想をはじめ、コンピュータリテラシィ、ネットワーク倫理、プライバシィ保護、コミュニケーションメディア、サイバースペース、あるいは人間を要素として含む組織行動・組織学習といったキーワードが取り上げられた。

上述した技術マップは、ネットワークAIに関する現時点での粗いイメージを反映したものであり、精緻化を要する部分も多分に含まれている。しかしながら、本マップを策定したひとつの狙いは、マップ上に現れるキーワード群をひとつの手掛かりとして、ネットワークAIという新たな技術領域（例えば、広域的ネットワーキングと協調分散知識処理との効果的な連携を背景としたシステム化技術など）を模索し、そこでの主要な研究課題や要素技術を発掘することにあった。その結果の概要は次節以降で述べるが、探索型調査研究という意味では、当初の目的をある程度達成できたものと考える。

2.3　ネットワークAIとサイバー社会

最近、エージェント通信、マルチエージェントシステムなどのキーワードに代表されるように、ネットワークAI技術への期待が高まってきているが、その背景にはインターネットの発展にともなって、ネットワーク上での仮想的な社会活動が現実のものとなってきていることがある。すなわち、ネットワークAI技術は、今後のサイバー社会における知的な支援機能としてのニーズと、これまで蓄積されてきた分散AIや通信技術などのシーズの接点に、新たに生まれようとしている技術であると言えよう。その意味で、応用の視点からネットワークAI技術を眺め、そこに必要となる機能、技術を検討していくことは、今後のネットワークAI技術の方向性を定める上で重要な意味を持つと考えられる。

本節ではこのような立場から、ネットワーク上に築かれつつあるサイバー社会上の様々な社会活動の実現において、必要とされるであろうネットワークAI技術への期待と、その基盤となるネットワークAIシステムおよび基盤技術への要求条件について考える。

2.3.1　ネットワーク社会の発展とネットワークAI技術へのニーズ

ここ数年におけるインターネットの急激な発展には目をみはるものがある。そこではネットワークはもはや単なる通信システム、あるいは単なる分散コンピュータシステムではなく、ネットワーク上の仮想的な社会（サイバー社会）を支えるインフラを形成しつつあると言えよう。サイバー社会においては以下に示すような様々な社会活動が急速に立ち上がりつつある。

- WWWによる情報検索、情報発信
- サイバーモールなどによるテレショッピング
- CALS、ECなどの電子商取引
- オンラインユニバーシティなどの遠隔教育
- VOD、遠隔ゲームなどのエンターテイメント
- グループウェア、イントラネットなどの企業活動
- 地域ネットなどのバーチュアルコミュニティ活動

このような活動が活発化する一方で、あらゆる情報がネットワークに氾濫することによる情報洪水や、一般利用者とのインタフェースギャップなどの問題が顕在化しつつあり、今後新たな情報格差を生み出したり、サイバー社会不適応者が発生するなど、ますます深刻な問題となっていくことが予想される。

このような状況において、サイバー社会の活動を支援し、人とサイバー社会との仲立ちをしてくれる知的な支援機能への要請が高まりつつある。このような知的支援機能は、ネットワーク上に分散された様々な構成要素と連携し、さらにダイナミックに

変化する社会活動に適応してフレキシブルにその機能を発揮する必要がある。したがって、その実現形態は従来のAI技術の延長で実現されるような個別システムの形態ではなく、ネットワーク内に配置された各種ノード上に実現された機能の集合体として実現される。また、ネットワークそのものの機能やネットワーク活動の利用者とも連携して、ネットワーク化されたインテリジェントシステム、すなわちネットワークAIシステムとして実現されるものと考えられる。

2.3.2 応用の視点からのネットワークAI技術

ネットワーク上の社会活動を支援するという応用の視点からネットワークAI技術を見たとき、具体的な応用（情報検索、電子商取引等）によって必要とされる技術は様々なパターンがありうる。ここでは、それらの応用に共通的に必要となるであろうと考えられる4つの技術について述べる。

(1) サイバーシステム工学

ネットワーク上のサイバー社会においては、情報のアクセスや対話に関する地理的な制約がなくなる一方、リアルタイムな情報交換や場の雰囲気の共有などに関して物理的な制約が生じてくる。このような環境において、システムの運用や意志決定方法などのシステム工学には、リアルワールドにおけるシステム工学とはまた違った側面があらわれると考えられる。たとえば、分散AIの分野で古くから研究されている契約ネットプロトコル [Davis and Smith 93] は、ネットワーク上での組織の形成に関する研究のはしりであると捉えられる。また、多段交渉プロトコルや分散制約充足、効用理論に基づく意思決定などの研究も行われてきている。これらの研究は非常に単純化された分散システムモデルを対象とした理論的研究であった。しかし、サイバー社会が現実になりつつある状況では、現実の応用に即した技術の開発が重要となる。今後は、サイバー社会におけるバーチャルコミュニティの形成、意思決定、スケジューリング、信頼性評価などの理論／技術の研究がネットワークAI応用のベースとして必要不可欠なものになると考えられる。

(2) ネットワークエージェント技術

ネットワークエージェントは、サイバー社会におけるネットワークAI技術の応用として、最も重要なものである。ネットワークエージェントとは、ネットワーク上での様々な社会活動を支援するための知的なソフトウェアを指し、人間の代理や代行、作業の補助などの秘書的な仕事をする自律的なモジュールという意味でエージェントと呼ばれる。複雑なシステムを分散協調システムとして構築する場合における、構成要素としてのエージェントとは意味合いが異なることに注意されたい。

ネットワークエージェントにはそれが適用される応用、および果たす機能によって

様々な種類のものが考えられる。以下、代表的なネットワークエージェントについて述べる。

・インターフェースエージェント

人間とネットワークシステムとのコミュニケーションを支援するエージェントである。MITのP.Maesらの研究[Maes 94]では、エージェントは人間とシステムとのやりとりを観察し、人間の操作を学習する。学習がある程度進行すると、人間に対して操作方法を提案し、さらには操作を代行して行うようになる。これによってネットワークシステムを利用する際の人間の負担を軽減しようというものである。O.EtzioniらはUNIXのコマンド操作を支援するSoftbotというエージェントを実現している[Etzioni et al., 93]。また、エージェントを擬人化して人間に見せることで、システムに対する人間の抵抗感を柔らかげようという試みもある。

・ナビゲーションエージェント

WWWの現状を見てもわかるように、巨大化したインターネットの上で目的とする情報を探し出すことは非常に難しくなってきている。WWWページ探索に限らず、利用者がネットワーク上で何らかの必要なリソースに到達することを支援するエージェントがナビゲーションエージェントである。Lycosなどのインターネット探索ロボットはAI技術をベースに構築されているわけではないが、利用者にかわって事前にインターネットのHTMLリンクを探索しておき、必要な時に目的とするページの所在を検索してくれるという点でナビゲーションエージェントの一種といっても良いであろう。今後、利用者の特性や意図を反映したり、ロボット間で情報交換したりするようになれば、まさにネットワークエージェントそのものと言えるようになる。インターネット探索ロボットに限らず、知的なイエローページサービスとしてのナビゲーションエージェント構築の試みが、今後ますます増加していくものと思われる。

・メディエーションエージェント

メディエーションエージェントは、サービス提供者とサービス利用者の仲介、利用者相互間の仲介など、サイバー社会の中での出会いの支援やタスクの代行等を実現するものである。西田らは知識コミュニティにおいて目的とする知識を持ったエージェントを探し出してタスクを依頼するMediatorを試作している[飯野 他 94]。Mediatorはタスクに関する概念についての知識（オントロジ）を持つソフトウェアエージェントとして実現されている。また、Kautzらは訪問者のためのスケジューリングを行うエージェント（Visitorbot）を提案している[Kautz 94]。メディエーションエージェントは何でも仲介できる汎用のものを構築することは困難であるが、今後応用分野に応じた様々なメディエーションエージェントが実現されていくことが期待できる。

(3) コミュニケーションメディア技術

ネットワークを通じて人間相互がコミュニケーションを実現するためのメディア技術、およびネットワークシステムと人間とがコミュニケーションを行うためのメディア技術をあわせてコミュニケーションメディア技術と呼ぼう。メディアの種類としては、従来のディスプレイ表示とキーボード／マウス入力の組み合わせから、音声や動画、仮想現実などの多様なメディアが利用可能となってきている。さらにこれらのメディアを組み合わせて、よりスムースなコミュニケーションを実現するためのマルチモーダル対話技術の研究が活発化している。そのベースには自然言語処理技術を出発点とする意図理解、対話理解などのAI技術が存在している。また人間とシステムが共同作業を行っていくためには、人間が扱うメディアとコンピュータが扱うメディアとを関連づけ、双方が理解可能なメディアとしての知識メディア[Stefik 86]，[西田 他]の考え方も重要になってくる。将来の課題としては人間の感性的な側面の処理や、ネットワーク上の仮想的な世界と現実世界とをスムースに結合するための技術なども重要な課題となってくることが予想される。

(4) ネットワーク情報ベース技術

ネットワーク上のサイバー社会の活動を支えるベースとして、ネットワーク上を流通する各種の情報のマネジメントが必要となる。特にネットワークAI技術との関わりで言えば、情報を収集して体系化する技術、分散した情報の同期などの管理技術、情報の流通を支援する技術などが重要な課題となろう。そこでは情報のセマンティクスの理解／処理は避けて通ることのできない問題である。そのための基盤として、情報の概念を記述した知識であるオントロジーが必須となってくる。オントロジー知識ベースの作成や利用の技術の確立は非常に困難な課題であるが、ドメインの限定等によって地道にオントロジー処理技術を模索していくことがネットワーク情報ベース技術の発展の鍵になると考えられる。

2.3.3 今後の調査検討課題

先にも述べたように、ネットワークAIはニーズ指向、ボトムアップの技術であり、この新しい技術分野を確立していくためには、様々な応用分野を背景として、ネットワークAIのプラットフォームとなるシステム技術や基盤技術に対しての要求条件を明確化していくというアプローチがきわめて重要である。また、現在までに人工知能や通信ネットワークの分野で研究されてきた様々なシステム技術、基盤技術を、新しいネットワークAIという応用分野からの視点でその適用性を検証していくことも必要となる。

今後調査検討していくべき課題は多岐にわたるが、特に以下の点に重点をおいて調査検討を進めることが望ましいと考えられる。

(1) サイバー社会での活動のモデル

本調査研究活動を通じて、ネットワークAIに関する様々な具体的な応用事例や応用の可能性が明らかになってくると思われる。これらに関する調査サーベイ結果をもとに、ネットワークを通じた社会活動をモデル化し、その中でネックとなっている（なるであろう）点を明確化することによって、ネットワークAIシステム技術および基盤技術への要求条件を顕在化する。

(2) ネットワークエージェントのアーキテクチャ

これまでのマルチエージェントシステムや分散AIなどの研究成果をベースとして、サイバー社会の中でどのような知的支援機能の構築の可能性があるかを探る。また、その実現形態として、オープン性や拡張性などを考慮した時にどのようなアーキテクチャが望ましいかを明らかにする。

これらの調査検討活動を通じて、ネットワークAIの確固たる基盤となる技術分野像を形作ることが平成８年度の課題であると考える。

参考文献

[Davis and Smith 93] R.Davis and R.G.Smith, "Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving", Artificail Intelligence, Vol.20, No.1, pp.63-109, 1983.

[Maes 94] P. Maes, "Agents that Reduce Work and Information Overload"' CACM, Vol.37, No.7, pp.31-40, 1994.

[Etzioni et al., 93] O.Etzioni, N.Lesh, and R.Segal, "Building softbots for UNIX, ftp://cs.washington.edu/pub/etzioni/softbots/, 1993.

[飯野 他 94] 飯野、武田、西田, ”知識コミュニティにおける仲介機能” 奥野編, マルチエージェントと協調計算」, 近代科学社, 1994.

[Kautz 94] H.A.Kautz, B.Selman, M.Coen, S.Ketchpel and C. Ramming, "An Experiment in the Design of Software Agents", AAAI-94, pp438-443, 1994.

[Stefik 86] M.Stefik, "The Next Knowledge Medium", AI Magazine, Vol.7, No.1, 1986.

[8] [西田 他] 西田、武田, ”知識コミュニティプロジェクト”, http://ai-www.aist-nara.ac.jp/KC/.

2.4　マルチエージェントシステムとエージェント指向アーキテクチャ

2.4.1　分散人工知能とマルチエージェントシステム

マルチエージェントシステムは分散人工知能の一分野として研究が始められた。しかしながら、近年ウェブロボットなどの各種の知的プログラムやテレスクリプトに代表されるようなネットワークを移動し処理を実行するモーバイルプロセスが、エージェントという言葉と伴に世の注目を浴び出している。これらのソフトウェアは、現状では分散人工知能におけるエージェントの必要条件と考えられている自律性と協調性を必ずしも満たしてはいないが、まもなく実現されると言われているネットワーク社会を支えるために使われる技術として、情報処理分野の発展の重要な方向を指し示している。現在「エージェント」という言葉の定義には混乱がみられるが、いずれにしろその基盤とする理論・概念は分散人工知能のこれまでの研究に立脚せざるを得ない。これらのエージェントと名付けられたソフトウェアに期待されている能力を実現し、さらに向上させるためには、分散人工知能の研究分野において開発された理論、技術、方法論が有効である。また分散人工知能の研究自体も未成熟の分野であり、今後さらに推進しなければならない重要な研究課題である。本2.4.1項では、分散人工知能の視点からマルチエージェントの概観について述べる。

分散人工知能が人工知能の一分野として研究が行われてきた理由として以下の点が挙げられるであろう。

(1)　単一の人工知能での処理能力の限界

一般に実用的な知識処理システムとして問題を解決するためには、膨大な量の知識が必要である。これらの知識をすべて知識ベースに格納するとすると、必要な知識を検索し推論するための時間が長くなり、実用的な問題解決システムとして機能できなくなる。また、知識は一般に複雑な相互関係があり、これらを単一の大規模知識ベースで管理すると、知識の変更などの保守作業が困難になる。したがって、知識処理技術の実用化をめざすために、知識をモジュラリティの高い独立した単位で分散的に管理し、協調的に利用することにより、検索時間の短縮や、保守作業の容易化を図ることが必要になってきた。

(2)　情報処理形態としての妥当性

人間の知性を実現している脳ー神経系は、それぞれが多数の神経細胞から構成される並列情報処理システムであり、また全体としてはそれらの機能部分の協調処理により構成される分散処理システムとみなすこともできる。したがって自然知能を機械的に実現する形態として、並列処理あるいは分散処理は妥当なモデルであると考えられる。一方、人間社会も一つの巨大な情報処理システムであり、この情報処理の形態も

自律的情報処理機能単位としての人間の集団により実現される協調処理系とみなすことができる。したがって知的情報処理システムを実現するための構成モデルとして、自律的情報処理要素から構成される協調的分散処理モデルは妥当であり、社会学、組織学、生態学などにおける研究成果を分散人工知能の研究や分散処理システムのアーキテクチャに取り入れることが、今後のネットワーク社会のための高度情報処理機能を実現するための重要な課題になっている。

上記の動機に基づいて、様々なアプローチから分散人工知能の研究が進められてきた。分散人工知能の主な研究課題として以下のものがある［Bond 88］。

① 並列人工知能

プロダクションシステムなどの推論機構を並列コンピュータで実行するための高速アルゴリズムの研究が行われ、実時間知識処理の研究が進められている。また、分散知識ベースの研究により、知識の共有化、知識の保守の効率化が進められている。また、ニューロコンピュータやコネクションマシンなど超並列処理の研究も進められている。

② 分散問題解決のための理論的研究

分散問題解決（DPS: Distributed Problem Solving）は、与えられた問題をうまく分割し、分割された複数の部分問題を、個々の問題解決器（知識源）が解き、得られた解を統合することにより、知的な問題解決を行うための理論研究であるこの分散的問題解決のプロセスで他の問題解決器との協調や競合が発生する。この場合問題解決器は、他の問題解決器と交渉を行い、何らかの評価基準に基づいて妥協を見つけだし、全体の均衡化を図りながら自己の目的を達成する。自律性、分散問題解決アルゴリズム、協調プロトコル、競合解消などに関する様々なモデルが提案されている。

③ 分散問題解決システムの設計・開発研究

分散問題解決システムを実現するための研究として、マルチエージェントシステム（Multi-Agent System）の研究があげられる。マルチエージェントシステムとは、自律的情報処理機能であるエージェントの集団を組織化することにより、全体として知的問題解決を行うシステムである。エージェントとしてはロボットなどのハードウェアから、ネットワークで接続されたCADシステムまで、さまざまな形態のエージェントが試作され、その協調システムであるマルチエージェントシステムの動作実験が行われてきた。

本２．４節では、②の問題を２．４．２項で、③の問題を２．４．３項で述べる。

2.4.2 マルチエージェントシステムによる協調分散問題解決

(1) 協調問題解決と均衡化

マルチエージェントシステムの研究は、エージェントという自律的で協調的な問題解決器を構成要素とする分散問題解決系の振る舞いを明らかにすることを目的としている。一つ一つのエージェントの能力が低くても、それらの協調行動により、全体として目的とする高度な能力を実現することのできるシステムを構成するための枠組みがマルチエージェントモデルである。

マルチエージェントシステムは、問題解決様式の視点から「協調問題解決」型と「均衡化」型の２つに分類される［石田 92］［桑原9 2］。協調問題解決型のマルチエージェントシステムとは、そのシステムを構成するすべてのエージェントが共通の目標を持ち、協調してその目標を達成するための組織を構成するシステムである。一方、均衡化型のマルチエージェントシステムとは、そのシステムを構成するエージェントがそれぞれ独自の目標を持ち、それぞれの目標を達成する過程で、さまざまな交渉を行うことによりエージェント間の競合を解消し、全体として好ましい均衡を維持していくシステムである。次にこの２つの型のマルチエージェントによる問題解決システムについて説明する。

(2) 協調問題解決型マルチエージェントシステム

協調問題解決には２種類の目的がある。一つは、問題解決の性能あるいは効率を高める為であり、もう一つの目的は問題解決の機能あるいは能力を高めることである。前者の対象とする問題は、定型処理かあるいはそれに近い問題で、大規模で複雑な問題であるため、従来のアルゴリズム的アプローチにより単一の計算機を用いた方式では、要求された時間以内に解決できないような問題である。これに対して協調問題解決では、与えられた問題に適応した効果的な問題解決組織を並列処理／分散処理環境上に動的に構成し、実時間の要求を充足させることが目的である。この考え方に基づく、協調問題解決は分散人工知能の分野で多くの研究が行われてきた。たとえば分散探索問題に関しては、本書の３.３.１項を参照されたい。また、協調問題解決における協調の方法にはタスク共有と結果共有の二つの種類がある。タスク共有と結果共有の概略は本書の１.２節の(1)と(2)の項を参照されたい。

一方後者の問題は、エージェントの協調に基づく非定型の相互作用により、あらかじめ設計されていない創発的問題解決能力を創り出すことが目的である。個々のエージェントは対象領域に関する限定された問題解決能力／知識しか持たないが、エージェントの持つ自律機能や協調機能を用いることにより、試行錯誤的に様々なエージェント間の関係を創出しながら、それまでのシステムではでき得なかった新しい問題解決システムを創り出すことが目的となる。このためには、協調、競合解消、交渉などの高度な協調メカニズムが必要であるが、さらに人工生命、遺伝的アルゴリズムなどの

研究成果も積極的に取り込むことが必要である。これらについてはマルチエージェントシステムに関する今後の大きな研究課題である。

(3) 均衡化型マルチエージェントシステム

均衡化型のマルチエージェントシステムとは、そのシステムを構成するエージェントがそれぞれ独自の目標を持ち、それぞれの目標を達成する過程で、さまざまな交渉を行うことによりエージェント間の競合を解消し、全体として好ましい均衡を維持していく多数のエージェントにより構成されるシステムである。

人間社会では、たとえば労使交渉などのように、説得、拒否、提案、再提案、妥協など様々な交渉の行為を行い、競合を解消し合意に至るための知識が蓄積されている。大規模なエージェントの集団を効率よく運営していくためには、このような均衡を維持することに関する人間社会の知恵が必要である。

ここで、簡単にエージェントの交渉のモデルについて説明を行う。いま図2.4-1に示すように、2つのエージェントA1とA2の間に合意をおこなわなければならない問題が発生したとする。エージェントA1は交渉を行うための戦略の集合S1={ a1,a2,・・, an)を持ち、エージェントA2は戦略集合S2={b1,b2,・・. bm}を持っているものとする。エージェントA1は用いられた戦略に対する自分の利益を表す効用関数F1を持っている。エージェントA1が戦略aiを採用し、エージェントA2が戦略bjを採用したときの効用関数F1はF1(ai,bj)で表され，F1(ai,bj)は実数の値を持つ。同様にエージェントA2も独自の効用関数F2(ai,bj) を持っている。エージェントは交渉の行為を実行するための交渉機能を持っており、それぞれの戦略と効用関数に基づいて交渉を行う。もしエージェントA1が戦略c1を提示し、エージェントA2が戦略c2を提示したとき、お互いの効用関数F1(c1,c2)とF2(c1,c2)が双方のエージェントにとって受け入れることができる値を持っていれば，合意(c1,c2)が成立したことになる。

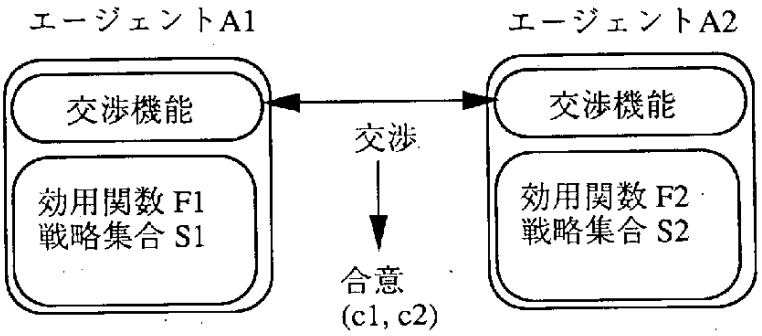


図2.4-1　エージェントの交渉と合意の形成

交渉機能はこの合意を見つけるための、手続きとプロトコルである。交渉は、交渉領域を探すことから始まる。交渉領域とは双方のエージェントが受け入れ可能な戦略の対の集合である。Q1をエージェントA1が受け入れ可能な戦略の対の集合とする。Q1をエージェントA1の受け入れ領域と呼ぶ。Q2をエージェントA2が受け入れ可能な戦略の対の集合とする。もし、図2.4-2に示すように、Q1とQ2の積集合Q1∧Q2が存在すれば、Q1∧Q2は妥結案となり、あとはQ1∧Q2のなかから互いの効用関数を最大にする合意(c1,c2)を見つけだせば良い。

しかしながら、Q1∧Q2＝ϕとなり交渉領域が存在しない場合は、それぞれのエージェントは相手を説得しなければならない。説得は高度な交渉能力である。その方法はいくつか提案されているが、ここでは、次の2つを紹介するにとどめる。

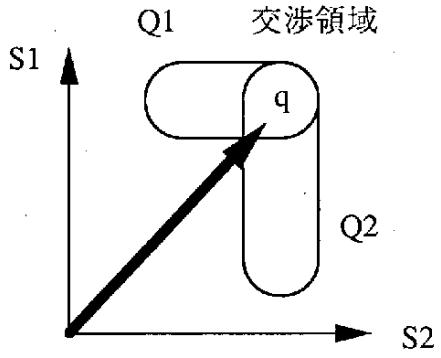


図2.4-2　交　渉　領　域

(1) 相手の効用関数を変化させることにより、受け入れ集合Qを変化させ、交渉領域を生成する。相手の効用関数を変化させるためには、効用関数を決定している相手の信念モデルを分析し、その信念を変化させるアプローチがある。これは、かなり高度の知的処理であろう。もう一つのアプローチは、脅迫による説得である。これは、懸案事項について相手が譲歩しない場合、相手がより重要と考えている事項を達成できなくなる手段を自分が持っていることを示すことである。しかしこのアプローチが真の問題の解決にいたる良い方法かどうかは、人間社会と同様に疑問が大きい。

(2) 交渉の時間経過により、効用関数が変化することを考慮して相手と自分の受け入れ領域Qを変化させることにより交渉領域を生成する。時間の経過に伴って、効用関数が劣化することを理解していれば、早い段階で相手を説得する作業を切り上げて、相手の説得に妥協を行う。

(4)　協調プロトコル

ネットワーク機能の高度化と普及に伴って、高度通信サービスや分散情報処理サー

ビスを実現する協調分散システムをネットワーク環境に実現する方法論が必要に成っている。このためには情報処理単位であるエージェントのモデルと、それらがマルチエージェントシステムを構成するために必要な協調プロトコルを提供する必要がある。

協調プロトコルとは、相互作用や情報交換の手段となるエージェント間のコミュニケーション機能とその規約である。これまで、タスク共有型の協調問題解決のためのプロトコルとして契約ネットプロトコル［Smith 81］が提案され、結果共有型の協調問題解決には黒板モデル［Engelmore 88］が利用されている。契約ネットプロトコルの拡張としては、マルチステージネゴシエーション［桑原 91］［桑原 93］を初めとしてさまざまなプロトコルが提案されている。

協調問題解決の過程で、複数のエージェントの間に発生したさまざまな競合を解消するために、交渉や説得などの能力をエージェントに持たせることは重要である。しかし、これは非常に高度な知識であり、これまで組合の労使交渉などの行為を観察することにより、交渉のプロトコルをモデル化するなどの研究が進められている［Sycara 85］。また、大規模な並行設計プロセスにおいても、プロセス間で競合が発生する。このようなコンカレントプロセスの競合解消のためのプロトコルの研究も進められている［Klein 91］。

またエージェント間の高水準の協調プロトコルを設計する上で、人間の間のプロトコルであるスピーチアクト［Austine 61］の研究は重要であり、これに基づく協調プロトコルモデルも研究されている［Woo 90］。これらの高水準協調プロトコルは、多数の人間と情報処理システムが協調するためには重要な研究である。

2.4.3 エージェント指向アーキテクチャ

(1) エージェントの特性

分散人工知能の立場でエージェントを定義した場合、おおむね以下の様になる。「エージェントとは自律的で協調的な能力を持つ個体で、この能力を用いることにより他のエージェントと協調して、自発的に問題解決の組織を構成することができる存在である」

エージェントのアーキテクチャはこの自律性と協調性の定義に基づいて定められることになる。

自律性の定義は困難であり、研究の立場によりさまざまな定義が存在するであろう。自律性の条件として以下の点が挙げられる。

(a) 所属する世界（環境）や他の自律システムを認識する
(b) 世界の状況の分析・理解ができる
(c) 外部から制御されず、独自の意志決定や行動を行う
(d) 独自の目的・価値観を持つ

上記のような自律的性質を持つために、システムは以下の機構を持つことが必要である。

(a) 自己の能力に関する自覚（Capability）
自己はどのような問題をどのくらい解決することができるか。
どのような条件でそれが可能になるか。
(b) 環境の認識機構（Recognition）
環境を認識するためのセンサーと、それより取り込まれた信号を処理して環境の状況を理解する機構が必要である。
(c) 自律的処理機構（Execution Autonomy）
外部の制御無しで、自己の目的に基づいて行動計画を立案し、外部を制御し、他のエージェントと協調・交渉して目的を達成するための機構が必要である。
(d) 環境操作機構（Action）
立案された行動計画を実行するための実行機構が必要である。
(e) 行動規範（Policy）
引き受けた仕事(task)をどの程度の努力・犠牲で実行するか判断する能力。
判断基準としては時間コスト・資源コストなどが考えられる。
(f) 自己反映（Reflexitivity）
自分の行動が外部に与える影響を認識あるいは予測する能力が必要である。
この認識や予測に基づいて、外部の変化が自分の次の行動にどのような影響を与えるかを判断し、最適な行動を計画する。
(g) 活動条件（Condition）
自分が目的とする活動を実行するためには、何がどれくらい必要かを判断する知識が必要である（資源、他のエージェントの援助、時間、・・）。

また、なぜ自律性が必要なのかという問いには以下の答えが考えられる。

(a) オープンシステムを構成するためには、状況に適応する能力として自律性が必要である。すなわち、多様な外部からの刺激（入力）に対して前もってすべての処理機構を準備しておくことは不可能である。また、標準から逸脱する入力に対しても妥当に応答するためには、自律的問題解決能力が必須である。内部に発生する障害に対しての自己修復に関しても同様である。

(b) 非定型の問題解決には自律性は必須である。すなわち、予想にない状況の発生や、前もって用意された定型アルゴリズムでは解決不能な部分問題の発生などに対応するためには、問題解決プロセスの状況に応じて問題解決組織を動的に再構成しなければならない。これは前もってシステムにプログラムすることはできない。各構成要素が自律的に判断をくだし、他の構成要素と協調し、新たな問題解決組織を構成しなければならない。このためには、そのような状況を認識し、なんらかの行動を自律的に起

こすことのできる能力が必要である。

次にエージェントの協調性について述べる。協調システムとは、多数の処理体が互いに情報を交換しながら、自律的に、あるいは他の処理体の管理の下に動作し、一貫性を維持しながら、全体として目的とする問題を解くことができるシステムである。現実世界での多くの問題解決は、協調問題解決と考えることができる。例えば、グループウェアは人間同士の協調問題解決を支援する枠組みであるし、設計チームはCAD/CASE/DSSを利用して、設計者同士や人間と機械の間で協調設計を行っている。また分散／並列処理環境における計算機プロセスも協調を行うシステムである。

また協調システムが必要な理由として以下の点が挙げられる。

・ネットワーク環境では、システムの制御方式が集中制御から分散制御へ移行しつつある。すなわち、超分散システムのための処理効率の高い新しい制御方式が必要と成っている。
・利用者要求や環境の変化に適応できるやわらかい情報処理のアーキテクチャが必要となっており、その方策として動的に問題解決の機構を構成できる協調システムが必要である。
・一つの問題解決機構が故障（失敗）しても、他の問題解決機構により協調的に補償され、システム全体には危機的状況を引き起こさない信頼性/安定性/恒常性を持つシステムを構築するために、協調システムが必要である。

(2) エージェントのアーキテクチャ

エージェントの特性を実現するためには、エージェントは基本的に以下の３種類の処理モジュールが必要となる。

・コミュニケーションモジュール
・処理モジュール
・知識モジュール

コミュニケーションモジュールは、エージェント間のコミュニケーションや相互作用を実行するモジュールである。物理的なコミュニケーション／相互作用を実行する通信プロトコル層と、論理的な協調／交渉を制御する協調プロトコル層から構成される。処理モジュールとは、そのエージェントに割り当てられた問題を処理するための問題解決器、情報処理プロセス、制御プロセスあるいは知識／データベースである。知識モジュールとはそのエージェント自信に関する知識、他のエージェントに関する知識、協調に関する知識、競合解消に関する知識、問題解決に関するメタ知識などが格納されている知識ベースである。コミュニケーションモジュール、処理モジュールは、知識モジュールに記述されているさまざまな知識を参照してエージェントとして

の動作を決定する。

塾考型アーキテクチャとは、高度な知識モジュール（知識ベース/推論機構）を持つエージェントのアーキテクチャである［Allen 90］。このタイプのエージェントは動作を起こす前に、さまざまな条件を塾考し綿密な行動計画のもとに行動を起こす。逆に、リアクティブエージェントは、包摂アーキテクチャ（Subsumption Architecture）と呼ばれる刺激に対する応答を行うための単純な手続きを用意するだけの構造であり、このようなエージェントの集合体として自律的なビヘービアを実現する［Brooks 91］。

(3) 分散処理システムとエージェント指向アーキテクチャ

インターネットなどのネットワーク技術の普及により、多数の知識処理システムやデータベースシステムが簡単に接続されるようになってきた。このように、ネットワーク内に存在している、様々な情報処理機能を組み合わせて、より高度な情報処理システムを構成する分散処理システムの開発技術が重要になってきている。

大規模分散処理システムの開発パラダイムとしてオブジェクト指向アーキテクチャは重要な研究課題であるが、近年システム設計・開発の効率を上げることに加えて、情報処理システムとしての問題解決能力の向上を目的とした、マルチエージェントモデルに基づくシステム構成方法論の提案が行われており、これらはエージェント指向アーキテクチャと呼ばれる。

エージェント指向アーキテクチャとは、そのシステムの一部あるいは全部が、エージェントと呼ばれる構成要素から組み立てられるシステムの構成法であり、エージェント指向アーキテクチャに基づいて設計・開発されたシステムをエージェント指向システムという。

エージェント指向システムを設計・開発する方法論は現状ではまだ確立しておらず、現在さまざまなフレームワーク、手法、言語、開発支援システムの実験的提案が行われている。この分野の課題として以下の問題が挙げられる。

・エージェント指向システム開発のフレームワーク
・エージェント間通信言語
・エージェント間共有知識体系とオントロジー
・エージェント記述言語と処理系

(4) エージェント指向システム

エージェント指向システムの構成要素である「エージェント」という言葉に対する意味や概念が、それを使う立場により必ずしも一致しているとは言えない。これまで「エージェント」という概念に関係したシステムについて、たとえば以下の視点から議論されている。

(a) 人工知能からの視点

マルチエージェントシステムの研究は、協調分散問題解決を行うシステムモデルから始まっている。これは、自律的で協調的な能力を持った個体が、この能力を用いることにより他のエージェントと協力して、自発的に問題解決を行う組織を構成する問題と捉えられる。さまざまなレベルの自律能力や協調能力を持ったエージェントから構成される系の振る舞いや特性が研究されている。

認識、解釈の問題では、黒板モデルを用いて協調分散処理を行う分散センシングのテストベッドDVMT［Lessor 83］や画像理解システムにおける機能分散的協調処理の研究［角 94］など、多数の研究が行われている。

また、エージェントのコミュニケーションモジュールや処理モジュールに知的問題解決機能を持ち、その結果、学習機能や高度の協調機能を持つインテリエージェントの研究が行われている［Wooldridge 95］［柳沢 95］。

(b) ソフトウェア工学からの視点

ネットワーク環境における分散ソフトウェアは大規模なオープンシステムであり、このようなシステムを開発し効率よく保守を続けていける方法論はいまだ確立されていない。オブジェクト指向は大規模システムの開発を目的として提案された現在最も強力なパラダイムである。しかし、これから到来すると考えられるネットワーク社会を構成する分散ネットワーク基盤およびその上で稼働する分散処理ソフトウェアは、多数の利用者の多様なニーズに応える巨大なオープンシステムであり、さらにその構成要素はさまざまな知的な能力が必要になると言われている［Hewitt 86］。このようなシステムの開発・保守を効果的に遂行するための枠組みとしては、受動的なオブジェクトから構成されるオブジェクト指向の方法論では不十分である。大規模オープンシステムの開発のために、十分な柔軟性を持つエージェント指向ソフトウェア開発の方法論が必要である。

ソフトウェアの協調型アーキテクチャの提案などが行われている［本位田 91］。このようなエージェントモデルに基づくソフトウェアシステムのアーキテクチャは、利用者要求や環境の変化に適応的能力を持つやわらかいシステムを構成できると考えられる。

(c) ヒューマンインタフェースからの視点

これはコンピュータシステムやネットワークシステムの利用を支援する知的インタフェースを構成する問題であり、その利用支援を促進するための能力として、秘書や助手やコンサルタントのような擬人的性格や能力を持たせることを目的としている。

このために、感性レベルの迫真性を持たせる人工現実感の研究や、論理レベルの迫真性を持たせる迫真的エージェントの研究が活発に行われている。バーチャルテクノロジーはネットワーク社会を押し進める必須の技術であるが、バーチャルリアリティ技術、人工知能技術、ネットワーク技術を利用したネットワークリアリティ技術あるいはVRAI技術の創出は重要である。

(d) ネットワークからの視点

インターネットなどに見られるように、ネットワークの普及により、ワークステーションに作成された知識処理システムやデータベースシステムが簡単に接続されるようになってきた。これにより、ネットワーク内に存在している、様々な情報処理機能を組み合わせて、より高度な情報処理システムを構成する可能性が見えてきた。これらのソフトウェアをネットワーク内で自由に組み合わせるための技術として、協調処理を研究対象としている分散人工知能の技術が必要になってきた。この技術が発展することにより、知識共有が進み、またこれまでにない、多様な情報処理サービスが簡単に利用できることが期待されている。

一方、ウェブロボットなどのように利用者のインタネットサーフィンを支援する知的インタフェースやリモートプログラミングによりモーバイルエージェントを実現するテレスクリプトなどが商用の技術として提供されはじめている。このようにネットワーク利用を促進する技術開発は21世紀のネットワーク社会のための重要な課題となっている。これからの電子図書館、バーチャルショッピング、バーチャルオフィス／コミュニティ、オンラインユニバーシティなどネットワーク社会の構成要素を実現するための技術として必須である。

これらのネットワークアプリケーションに対して高度で安定したサービスを提供するためには、通信エージェントの協調により構成されるやわらかいネットワークの実現が必要であろう［岸本 93］。

(e) ロボットからの視点

自律ロボットはエージェントの典型であり、群ロボットはマルチエージェントシステムとして格好の研究課題であり、多くの研究が活発に行われている。制御工学／ロボット工学ではかなり古い時代から自律系の研究が進んでおり、その自然な発展として自律機械・群機械の研究が行われている。これは必ずしも、分散人工知能の研究において行われてきたアプローチとは一致しないが、今後積極的に融合した新しいエージェントモデルを構築することが必要であろう。

特に今後の高齢化社会における介護ロボットの研究や、人に優しい街づくりにはネットワーク化された様々なロボット・自律施設の研究は重要であり、このようなハードウェアロボットと情報源であるソフトウェアロボットの協調を行うためにも、エージェントの枠組みが果たす役割は大きい。

(f) その他の視点

人工生命や遺伝的アルゴリズムからエージェントとを見たときに、これらのパラダイムの実験を行うためのモデルとしては、エージェントの枠組みは魅力的である。逆に、エージェントの協調による創発のメカニズムの研究にはこれらのアプローチは有効であろう。今後の研究の展開が待たれる分野である。

また、高層ビル建築、都市計画、大規模システム設計、マニュファクチャリングなどの大規模コンカレントプロセスを支援する枠組みの与える問題は産業社会における

緊急課題である。これらの系の危機管理（クリティカルシステム問題）を含めた効率的で安定な系を構成する方法論にエージェントは大きな役割を果たすであろう。

2.4.4 今後の調査検討課題

人工知能およびエージェント開発技術の立場からネットワークAIの技術課題を簡単に述べる。

(1) ネットワークシステムは個々の目的を持つ自律的なソフトウェアや人間から構成される社会と考えられる。また、ネットワークシステムは、他のシステムや人間社会と複雑な相互作用を行うオープンシステムである。このような巨大で複雑なオープンシステムの振る舞いを見通すためのモデルが現在存在しない。人間を含めた自律的要素から構成される、オープンシステムのモデルと解析手法を明らかにすべきである。

(2) ネットワーク上のさまざまな情報処理やアクティビティは基本的にはネットワークに存在する多数のエージェントの協調分散問題解決として捉えるべきである。従来の協調問題解決モデルあるいはエージェントアーキテクチャを分散アプリケーション、コンカレントプロセスやグループウェアのアーキテクチャとして導入し、新しい協調型アーキテクチャを創出すべきである。

(3) ネットワークの分散プロセス/データ／知識や人間の間の有効な（実用的な）協調プロトコルの策定と支援メカニズムの開発が必要である。人工知能におけるこの分野の研究課題を整理し、またネットワークで研究されている通信プロトコルとの融合が必要である。

(4) 感性レベルの迫真性を持たせる人工現実感の研究と論理レベルの迫真性を持たせる迫真的エージェントの研究を押し進め、ネットワークリアリティを実現することが、様々なバーチャルスペースをネットワーク上に実現するための必須技術になる。これまでVRAIの研究はあまり行われていないがサイバーテクノロジーを実用技術として発展させるためには必要な技術である。

(5) エージェントの概念が混乱している。概念を整理し、それらを実現するために必要な技術を整理・統合・強化する事が必要である。

(6) ネットワークは社会に分散するデータベース・知識ベースや人間の知識を結びつけ統合する能力を持つ。しかし現状ではその能力を発揮していない。その一つの原因はネットワーク社会における知識の共有と統合の枠組みが存在しないことである。これに関する研究アクティビティを調査し、ネットワーク社会あるいはサイバー社会における統合的知識共有の枠組みを提案すべきである。

(7) エージェン指向システムを開発するためのフレームワーク、アーキテクチャ、開発環境を調査すべきである。協調型アーキテクチャ、リエンジニアリングプロセス、部品／設計知識再利用などエージェント技術が有効であるソフトウェア工学領域の問題は多い。

参考文献

[Bond 88] A.H.Bond and L.Gasser, Readings in Distributed Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann Publishers, 1988.

[石田 92] 石田亨、桑原和宏, 分散人工知能(1), 協調問題解決, 人工知能学会誌, 11, 945-953, 1992.

[桑原 92] 桑原和宏、石田亨, 分散人工知能(2), 交渉と均衡化, 人工知能学会誌, 1, 17-25, 1993.

[Sycara 85] Sycara-Cyranski K.,Argument of Persuasion in Labor Mediation, IJCAI-85, pp.294-296, 1985.

[Brooks 91] Brooks R.A., Intelligence without Representation, Artificial Intelligence, 47, pp.139-159, 1991.

[Smith 81] Smith, R. G., and Davis, R., Framework for Cooperation in Distributed Problem Solving, IEEE trans. System Man Cybern., Vol.SMC-11. No.1, pp.61-70, 1981.

[Engelmore 88] R. Engelmore, et.al., Blackboard System, Addison-Wesley, 1988.

[桑原 91] 桑原和弘、V.R.Lessor, マルチステージネゴシエーションにおけるゴール間競合の検出, 情報処理学会論文誌, vol. 32, no.10, pp.1269-1280, 1991.

[桑原 93] 桑原和弘, マルチステージネゴシエーションにおける探索戦略の評価, 情報処理学会論文誌, vol. 34, no.7, pp.1638-1649, 1993.

[鈴木 94] 鈴木他, 自立型知識処理システムのネゴシエーションによる問題解決, 人工知能学会誌, Vol.9, No.1, pp.109-118, 1994.

[Klein 91] Klein M., Supporting Conflict Resolution in Cooperative Design Process, IEEE Trans. on Syst. Man Cybern., Vol.21, No.6, pp.1379-1390, 1991.

[Austine 61] Austine J.L., How to Do Things with Words, Oxford, 1961.

[Woo 90] C.C.Woo, An Application Layer Communication Protocol for Supporting Organizing Work, Working Paper 90-MIS-019, Univ. British Colum., 1990.

[Allen 90] J. Allen,et.al., Readings in Planning, Morgan Kaufmann, 1990.

[Lessor 83] V.R.Lessor and D.C, Corkill, The distributed vehicle monitoring testbed: A tool for investigating distributed problem solving networks, AI Magazine, 4 (3), pp.15-33, 1983.

[角 94] 角, 画像理解システムにおける機能分散的協調処理, 人工知能学会誌, 9 (5), pp.631-636, 1994.

[Wooldridge 95] M.J.Wooldridge, et.al, Intelligent Agents, Lecture Note in Artif. Intell. 890, Springer, 1995.

[柳沢 95] 柳沢、村上, マルチエージェントシステムのための合意形成方式, 情報処理学会論文誌, 26(2), pp.1387-1395, 1995.
[Hewitt 86] C.Hewitt, Offices are Open Systems, ACM Trans. on Office Information Systems, 4(3),, pp.271-287, 1986.
[本位田 91] 本位田, 協調アーキテクチャによるソフトウェアの自動合成, 人工知能学会誌, 6 (2), 1991.
[岸本93]岸本, 超分散エージェント指向ネットワーキング, 信学技術報告, CS93-12, 1993.

2.5　やわらかいネットワークとネットワーク・リアリティ

2.5.1　分散システムとネットワークAI

(1)　モダン分散システムの登場

1980年代までの分散システムのユーザは、主としてシステムを知っている専門家であった。そのため生産性や利便性に限界があり、分散システムになじみの少ない老若男女が手軽に利用できる環境の提供が課題となった。1980年代末になってこのような環境を提供する分散システムとしてヒューマンインタフェース、仮想システム（分散透明）、インターネットなどをキーワードとしたシステムが登場した。これを「モダン分散システム」と呼ぶことにする。

(2)　モダン分散システムの成熟と限界

①成　　熟

初期の分散システムからモダン分散システムへの発展過程の基本原則は次の3点にあった。

(a) 効率
(b) 高機能
(c) 経済性

これらの基本原則に基づいたモダン分散システムにより、我々は大きな富と豊かさを獲得した。たとえば、LANによるオフィス作業の効率化、制御システムの自動化と高信頼化、また、VANによる多業種間における取引業務の効率化、さらにインタネットの普及により、自分のオフィスや家庭に居ながらにして世界中の人々とメッセージの交換が可能となった。

②限　　界

モダン分散システムは、人間に大きな富と豊かさをもたらした。同時に、その代償として我々は確実に何かを失っている。モダン分散システムの視点の中心は、システムの提供者にあった。つまり、システム提供者の評価基準で効率化と高機能化が達成され、人間の視点が十分でなかった。そのため、開発さたシステムやサービスは、確かに優れたものには違いないが、人間にとって居心地が悪く、なじみにくいものであった。たとえば、操作のボタンの数が多い情報機器やシステムは確かに高機能ではあるが、十分に使いこなせない。使うには、マニアルの熟読などかなりの努力が必要となる。これでは、高機能、豊富なサービスも宝のもちぐされである。さらに例えばインテリジェントビル、これも便利に見えるのだが生活空間としては機械に管理され

ているようで居心地が悪い。何故か。

それは、「モダン」の限界に起因する。モダンの中心的視点は、「主と従」に基づいた効率の追求にある。つまり、与えられたシステムを人間が努力して使う、という前提のもとで、はじめてモダン分散システムの成熟が達成された。

だが、使うのにかなりの努力を要するシステムに対しては、どんなに効率的でも、いかに高機能でも、専門家を除き一般のユーザは次第に離れていく。辛抱するにも限度がある。モダン分散システムの環境下にある人間は機械（人工物）を主とし、管理され時間に追われて仕事をし生活している。

(3) フレキシブルコンピューティング

① ポスト・モダンへ向けて

ポストモダン分散システムを構成する上での基本概念として「Flexible Computing」が提唱されている。これはモダンを越えるための考え方であり、(a)「代って」ではなく「加えて止揚する」、(b)「主従」を越えて「共生」する、の２点に基づいている。このような概念に基づいたポストモダン分散システムの基本構造は、②で述べるエージェント／Doubleにより実現可能と考えられている。

(a)「代って」ではなく「加えて止揚する」

一般に、新しい時代の幕明けや新しい概念の創成は従来の時代や概念を否定することによって乗り越え達成されてきた。一方、ポストモダン分散システムの構成にあたっては、従来の考え方を否定し、とって代るのではなく、これまでの考え方に新しいものを「加えて止揚する」、統合化された手法が重要となる。具体的には、「ポストモダン」では、「モダン」で目指した効率の追求を否定するのではなく、効率の追求に「加えて」新しい評価基準をも考慮した手法が必要となる。たとえば、通信網の超高速化の追求に加えて多種多様な利用者の視点からの総合的なユーザ利用環境の構成が肝要となる。

(b)「主従」を越えて「共生」

人間ー機械系における構成要素間の関係として次の３つが考えられる。

(i) 機械（環境）が「主」で人間が「従」、
(ii) 人間が「主」で機械が「従」、
(iii) 人間と機械の共生。

当初、分散システムでは、(i)のもとで効率が追求され、モダン分散システムでは、(ii)の視点も取り入れられた。(i)の得失は前述のとおりである。(ii)により、ユーザの視点も考慮された。具体的には、分散OSによるシステムの仮想化（分散透明化）、ヒューマンインタフェースによる利用環境の改善など、ある程度の成果が得られた。だが限

界もみえてきた。具体的には(ii)の視点から人間をとりまく環境をより良くしようとする努力がなされ、その結果、たとえば、インテリジェントビルのようなシステムが登場した。しかし、前述のようにモダンを越えることはできなかった。(ii)の視点は、一見、理想的な印象を与えるがこの視点をつきつめると、人間のわがままを限りなく容認することになる。つまり、人間は、機械を意のままに扱い機械は忠実に従う図式となり、人間は機械を含め環境を自由にできる、と考える。紙面の都合でこれらの詳細については省略する。結論的にいえば、資源は有限であり、人間には人間の、機械（環境）には機械のあり方とその関連が問われる。

人間のための視点から環境を作り替え、有限な資源を限りなく利用し消費する方向は逆に人間の生活空間の破壊へと導くであろう。その端緒は環境破壊などいたるところで顕在化している。そのため、ポストモダンでは(i)と(ii)に加えて、人間と機械が協調・調和する(iii)の「共生」の視点が本質的に重要となる。

② ポストモダン分散システムの基本パラダイム

表2.5-1に示すように、当初、分散システムはソフトウェアを開発する場合と同じように全体を複数の「モジュール」に分割し、これらのモジュールの組み合わせとして構築された。次いで、モダン分散システムでは、モジュールの考え方を拡張し「オブジェクト」の概念を導入し生産性の向上を達成しつつある。さらに今後のポストモダン分散システムの基本概念として当面、現在話題となっている「エージェント」が主流となろう。

表2.5-1　分散システムの基本パラダイム

システム	分散システム	モダン分散システム	ポスト・モダン分散システム	
			第一期	第二期
基本概念	モジュール (Module)	オブジェクト (Object)	エージェント (Agent)	ダブル (Double)

ポストモダン分散システムの初期の段階では、前述のようにエージェントに基づいた考え方が基本となる。その後、真のポストモダン分散システムを構築するためにエージェントを越えたパラダイムが必要となる。このようなパラダイムの基本概念として、本稿では、特に「ダブル（Double)」を提案する。「Double」をおおまかに直観的な形で表現すると次式のようになる。

Double　＝〈 Agent, Common Sense, Belief, ……〉

Doubleは、従来のエージェントの機能に加えて、(i) 常識、(ii) 信念、(iii) 発展性（Evolution）、(iv) 恒常性（Homeostasis）のための基本機構を具備している。

Doubleの集合から構成されるシステムはシステムの外部の変化（ユーザ要求の変化、誤操作など）や内部の変化（トラヒックの輻輳、故障など）に柔軟に対応し安定に動作することが可能となる。このようなDoubleや、これに基づいたシステムのアーキテクチャに関する詳細な議論が今後の課題である。

2.5.2 やわらかいネットワーク

(1) やわらかさへの接近法

「やわらかい」という言葉は古くから日常的に用いられてきた。しかし、理工学的に吟味することは容易ではなく研究成果も少ない。最近、基本概念、枠組、モデルなどの観点から少しづつ研究が進められている。たとえば次の２つが挙げられる。

1) やわらかい情報処理
2) やわらかいネットワーク

1) に関連したのプロジェクト（RWC）では、やわらかさの実現へ向けて情報基礎論の視点からアプローチしている。具体的には、推論の仕組みにニューラルネットワークなどを用いてやわらかさを実現しようと試みている。

また、2) では、システム論的立場に立ち、エージェントから成るシステムアーキテクチャを構成し、エージェント間の協調によりやわらかを創出する研究が推進されている［Shiratori 94］［Shiratori 95］。

(2) やわらかいネットワーク

① やわらかい情報通信システム

情報通信システムは一般に次の３つの要素から構成されている。

1) 端末　……(ワークステーション、パソコン)
2) 通信網　……(LAN、インターネット)
3) 情報資源　……(データベース、スーパーコン)

やわらかい情報通信システムの課題は部分問題に分割すると上述の1)、2) と3)のやわらかさの問題に帰着される。

1) ではヒューマンインタフェース、コンピュータのやわらかさが中心的課題となる。

2) はいわゆるサブネットワークのやわらかさであり、トラヒックや伝送品質、ノードやリンクなどの変化を自律的に吸収し、安定な動作をいかに実現するかが問題である。

3) では、あいまいなアクセスやメディア変換などが課題となる。

② やわらかいネットワーク［Shiratori 94］［Shiratori 95］

情報通信システムの構成要素の中で、通信網と端末を中心に情報資源を除いてやわらかさの実現へ向けたやわらかいネットワークの研究が推進されている。やわらかさの仕組みは次の3つに基づいて実現される。

1) 知性 (Intelligence)
2) 恒常性 (Homeostasis)
3) 発展性 (Evalution)

上述の1)、2)と3)を実現するのは容易ではない。これらの実現へ向けてエージェント指向のネットワークアーキテクチャが提案され理論および実験の両面から検討されている。対象世界を、注目したシステム(ネットワーク)とそれ以外に分け、後者を環境と呼ぶ。注目したシステムと環境において、次のような多種の変化が生じる。

A)ユーザ
QoS、要求仕様

B) ワークステーション
負荷、CPU・メモリ割当て

C)ネットワーク
トラヒック、ノード・リンク

やわらかいネットワークのプロジェク［Shiratori 94］［Shiratori 95］において、当面の目標として、前述のA),B)とC)の変化を自律的に吸収する仕組みを研究している。

これらのやわらかさが実現されると、従来のいわゆる固いシステムでは、システムダウンなどでサービスが停止する場合でもサービスが継続し、革期的なシステムが提供される。

2.5.3 ネットワーク・リアリティ

リアリティ（Reality）とは、技術により加工されて、創出される「場」である。このようなリアリティには、用いられる「場」の素材に応じて次の3種類がある。

1) グループウェア・リアリティ
2) バーチャル・リアリティ
3) ネットワーク・リアリティ

1) のグループウェア・リアリティとは、遠隔地の複数の地点を通信路などで結合し、あたかも同一地点であるかのような「場」の提供である。たとえばTV会議が例として挙げられる。各地点では素材として現実そのものが用いられ、これらを組み合わせ、加工などをして「場」を構成する。

2) のバーチャル・リアリティと1)との主たる相違は、2)では「場」の構成要素が仮想物であるという点にある。つまり、作りモノを基本に「場」構成し、現実以上に現実的な「場」、あるいは現実を越えた超現実の「場」を提供する。

3) のネットワーク・リアリティは、1)のグループウェアリアリティと2)のバーチャル・リアリティを包含し、さらに越えた概念に基づいたリアリティである。「場」を構成する要素は、現実と作りモノの両方である。たとえば、場の構成要素として、現実には人間、作りモノとしてエージェントを想定すると、人間とエージェントが協力して新しい「場」の構成が可能となる。このように、ネットワークリアリティは、人間と機械が共生するための「場」のモデルの基本となる概念である。

ネットワークリアリティの例として前述のTV会議において、実際の人間に加えて不在の人に代りエージェントが代理出席し会議に参加する。また、人間は、必要に応じて秘書エージェントと協力し情報を検索し整理しながら、会議を進めることが可能となる。このようにネットワークリアリティにより人間とエージェントが共生するための新しい「場」の創出が可能となる。

参考文献

[Shiratori 94] N.Shiratori, "Flexible Networks: Basic Concepts and Architecture", IEICE TRANS. COMMUN., Vol.E77-B, No.11, pp.1287-1294, 1994.11

[Shiratori 95] N.Shiratori, "Flexible Computing: Basic Concepts, Design and Application", Proc. of th eFifth IEEE Computer Society Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, pp.152-159, 1995.8

[白鳥 95] 白鳥則郎, "ポスト・モダン分散システム", 情報処理学会誌, Vol.36, No.9, pp.811-814, 1995.9

2.6　分散協調システムにおける相互作用モデル

2.6.1　エージェント間相互作用のモデル化

マルチエージェント・システムあるいは群知能システムとよばれる一連の研究においてエージェントもしくは知識源とよぶユニット間での相互作用は、システムを特徴づける上で本質的である。

本節では、分散協調システムを、このエージェント間の相互作用という観点から考察する。

(1) 相互作用における2つの視点

エージェント間の相互作用は、一般には、あるエージェントとその相手エージェント（群）との間の通信として実施される。ロボットの協調作業等の分野［浅間92］では、この通信は、発信者の意志の有無によってインプリシットな通信とエクスプリシットな通信［油田92］とに分ける考え方もあるが、ここではこれらを含めて単に通信とよぶことにする。

しかし、あるエージェントが、他の（複数の）エージェントとどのような相互作用を行うか、ということは、単にエージェント間の通信およびそのプロトコルの問題であるだけでなく、個（特定エージェント）が全体（残りエージェント）に対してどのように振る舞うかという問題をも包含している。

このような視点からは、エージェントの相互作用においては、どのような相手を通信の直接の対象とするのか、また相互作用を行っているエージェントの行動戦略はどのようなものか、という2つの側面がとくに重要となる。前者は、相互作用を実現する際の通信の規模、プロトコルを規定し、後者は、システムにおける個と全体との関係を規定するものとなる。

(a) 通信対象：直接の相互作用を持つ相手エージェントの集合。
(b) 行動戦略：相互作用中のエージェントの行動基準。たとえば、個が全体に対してとる戦略。

本節では、一つのエージェントの相互作用の相手となる対象エージェント集合が潜在的には、エージェント全体もしくはそれに近い集合の場合、通信は広域的（global）、逆にエージェントはその近傍の固定的な少数のエージェントのみ直接の相互作用の対象とする場合、通信は局所的（local）とよぶことにする。

一方、相互作用中のエージェントの行動戦略には、2つの極端な場合がある。1つは、極めて自律的自己本位的で、そのエージェントもしくは近傍のエージェントのみに適用可能な評価関数や目標をもち、自エージェントの都合だけでその行動を決定する。つまりシステム全体としての目標や評価値を各エージェントは考慮しない場合で、

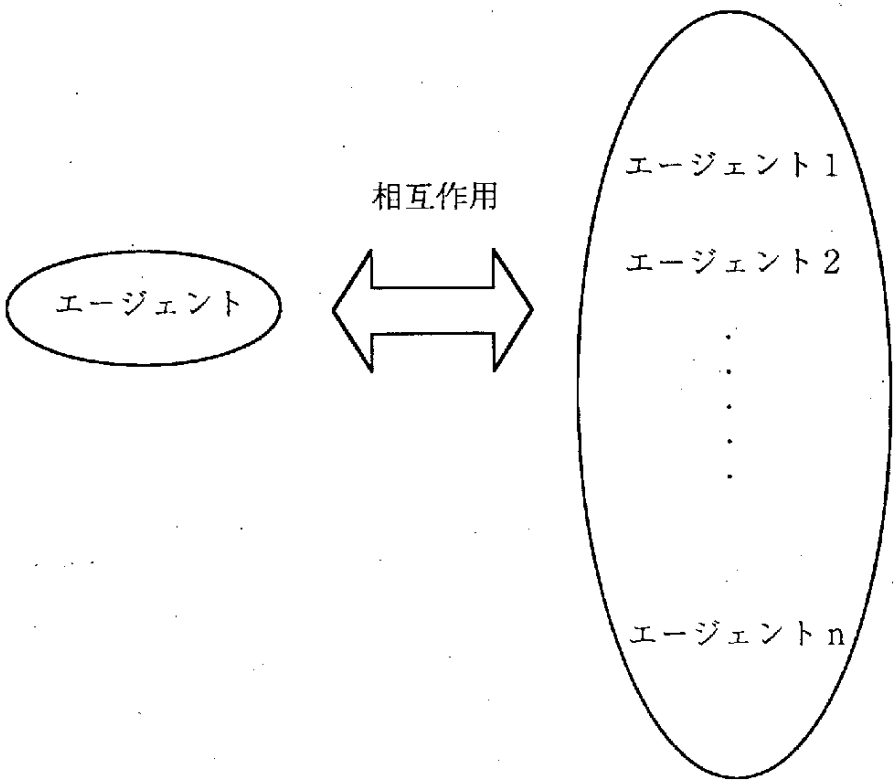


図2.6-1　エージェント間相互作用

これを閉鎖的（closed）戦略とよぶ。これに対し、各エージェントが共通の目標や統一的な評価関数をもち、常にシステム全体を認識して、それを相互作用を行う際の行動基準とする場合、これを統一的（unified）行動戦略とよぶ。

(2) 相互作用のモデル化

上述の２つの視点：通信対象と行動戦略を、それぞれX軸、Y軸にとり、相互作用の形態を平面上で表わしたものが図2.6-2である。

さらに図2.6-2では、現在までに提案されている種々の分散型知識システムの相互作用を、大まかにこの平面上に位置づけている。

このように既提案のシステムにおける相互作用は、この平面上のどこかの領域を占めることになるが、ここでは、この平面を大きく４分割し、相互作用形態のモデル化とする。

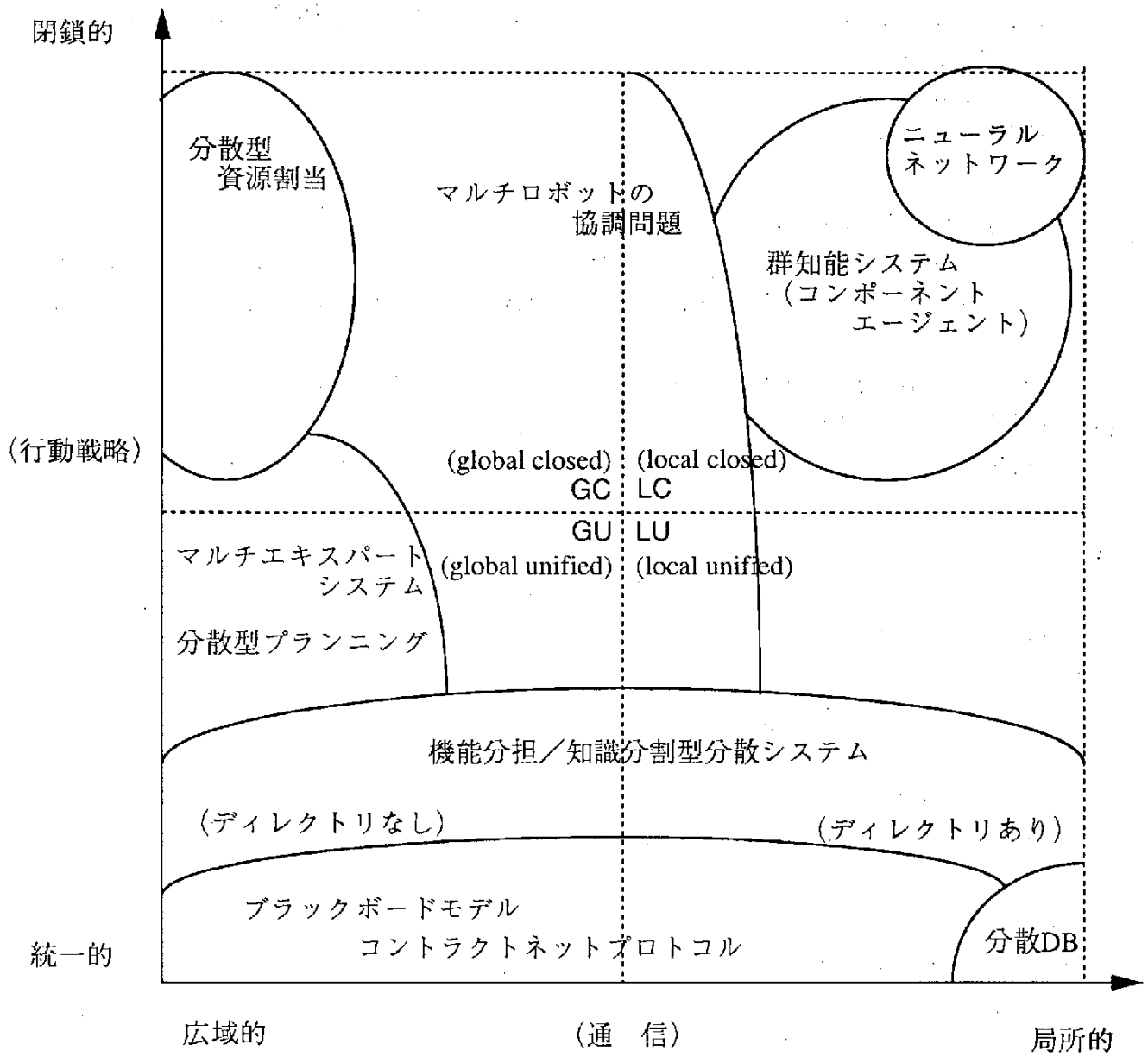


図2.6-2　相互作用の形態

①GU（global, unified）モデル

この領域のシステムでは、相互作用のための通信が広域的に行われ、エージェントの行動戦略は、統一的である。各エージェントは解決すべき問題、解釈すべき状況等に関する統一的な評価基準や視野をもって行動し、一つのエージェントの通信対象には、おおむね全エージェントが選ばれる可能性をもつ。

【事　例】

・ブラックボード・モデル
・契約ネット・プロトコル（タスク宣言の対象によっては局所的通信にもなる）
・分散型 hearsay-2
・マルチエキスパート・システム
・協調分散データベース

② ＧＣ（global, closed）モデル

各エージェントの通信は（エクスプリシット、インプリシットいずれにしても）構成エージェント全体を対象とするが、その行動戦略は、それぞれの利害、目的にもとづく。

したがって、利害が一致するエージェント同士は、協調的行動をとるが、不一致の場合は競合的相互作用となり、多くのシステムにおいては、交渉等のプロトコルにより競合の解決を図る。

【事　例】

・ネゴシエーションを伴う多くの分散型問題解決システム
・分散型資源割当システム
・マルチロボットによる協調作業
・ロボットの配送問題

③ ＬＣ（local, closed）モデル

このモデルでは、一般的に、多数の単純なエージェント集合からシステムが構成され、通信は、限られた近傍のエージェント（多くの場合、固定的な通信相手）間でのみ行われることが多い。

各エージェントは、それぞれ固有の目標と評価関数をもち、個々のエージェントがシステム全体の動きを認識することはない。

【事　例】

・ニューラルネット学習システム
・ニューラルネット・コンピューティング・システム
・群知能ロボット、群知能システム

④ ＬＵ（local, unified）モデル

通信は、近傍のエージェント同士で局所的に行われるにもかかわらず、各エージェントは、システム全体に対する視点を常にもって行動する場合である。知識分割にもとづく分散型問題解決システム［山崎 85］がこれにあたり、各エージェントは自身の知識領域の境界にある問題に対しては、関連エージェントとのみ相互作用を行うため、通信は局所的にしか行われない。

また相互作用は、ＧＣモデルの場合と対照的に、問題解決における仮説あるいは部分解導出に対する支援あるいは不足情報の補完を行うときは、協調的となり、別解、対策を提示する際は、競合的となる。分散協調システムに役割分担を伴う組織を導入した多くのシステムはこのような形態をとる。

【事　例】
・知識分割にもとづく分散型問題解決システム
・契約ネット・モデル（タスク宣言を固定的、局所的ブロードカストで行った場合）
・役割分担／機能分担により組織化されたマルチエージェント・システム
・分散型プランニング

2.6.2　各モデルにもとづくマルチ・エージェントシステムの特徴

(1) 各エージェント機構の複雑さ

一般に、分散型問題解決システムが解こうする問題が複雑であればあるほどエージェントの処理機構は、複雑となるが、エージェント間の相互作用の形態によってもこの複雑さの度合いは影響を受ける。

通信が広域的であればあるほど、また行動戦略が統一的であればあるほどエージェント機構は、複雑となる。

したがって、高度な問題を、統一的戦略と広域的な通信によって解決しようとする試みは、エージェント機構を実現不可能なほど複雑なものとしてしまう可能性がある。

つまり、複雑な問題解決を行おうとするときは、これをできるだけ局所的、閉鎖的なエージェント群の多数の集合体によりシステム化するという方向が、実現可能性が高い。

群知能のような試みの多くは、ローカルで閉鎖的な相互作用をもつ多数の単純なエージェント機構の集合によって、複雑な協調作業や高度な知的問題解決を、実現しようとしたシステムとみなすことができる。

このような相互作用の極端な例は、ニューラルネットワークであり、ニューラルネットワークの各ユニットはエージェントとみなすには、あまりに簡単な機構（多くは、１ビットマシン）であるが、隣接ユニットからのみ信号を受容し、自身のしきい値関数にしたがってのみ出力を生成するという意味でその相互作用は、極めて閉鎖的かつローカルである。

一方、システムが解決しようとする問題の部分問題への分割が容易で、各エージェントの役割分担が決まっている場合や、解決のために必要な知識の分割が明確で、各エージェントが共通の問題認識をもつことが可能な場合は、広域的、統一的な相互作用を行う分散協調システムとして実現しようとする傾向が一般的である。

(2) システム全体の制御

通信が局所的、あるいは行動戦略が閉鎖的であればあるほど、システム全体としての振る舞いを予測することは困難となる。全体として意味のある目標を達成することが可能か否か、さらには問題解決のプロセス自体が収束するかどうか、といった問題である。このようなシステムにおいては容易にデッドロック等の問題を生じ［山崎93］、これを回避するために交渉等の通信プロトコルを導入すると、エージェント自体の複雑さが増す。

また、全体目標を達成するために、各エージェントがそれぞれ保持すべき（閉鎖的）行動戦略をシステムの設計時に規定することは、一般的には、難しい問題であり、このために強化学習やGA（Genetic Algorithms）といった方法を用いた提案もいくつかなされている。

これに対し、各エージェントに全体目標を認識させ、統一的な行動戦略をもたせるという方法は、システム全体としての振る舞いは明確であるが、各エージェントが常に全体を認識するため、その内部構造は複雑になる。また、各エージェントの自律性は、希薄になり、そのためのモジュール化の利点が活かされにくい。

さらには、このアプローチは、与えられた問題に対する共通の目標や評価の設定が困難であるような複雑な問題には適用できない。

また統一的行動戦略の場合、同一の評価関数や目標をもっているため、その相互作用は、仮説等の相互支援や反駁といった協調的な傾向が強く、利害の不一致による競合は少ない。

一方、広域的通信にもとづく相互作用を行うシステムの場合、通信のオーバーヘッドは常に考慮されるべき技術課題となる［山崎85］。このような通信を実装するための方式としては、契約ネットプロトコルのようなブロードカスト通信による方法、ブラックボード・モデルのような一種の共有メモリを用いる方法等が提案されてきた。

2.6.3　今後の調査検討課題

上述の相互作用モデルはかなり大まかな分類であり、次年度に向けてこのような方向からより検討を深めることが重要となるが、さらに各領域のシステムが共通的にかかえる主な技術課題を調査することが次年度調査の課題である。

(1) 各モデルがもつ技術課題の調査

・ＧＵモデル
　－通信オーバーヘッドの解消方式
　－統一的目標、評価関数等の設定方式と事例調査
　－その他

・ＧＣモデル
－各種ネゴシエーションのプロトコル
－通信オーバーヘッドの解消方式
－個別目標と全体目標との一貫性
－その他

・ＬＣモデル
－系の収束に関する見通し、理論
－デッドロックや振動の回避方式
－個別目標と全体目標との一貫性、評価値の設定方式
－その他

・ＬＵモデル
－機能分担とエージェントの組織化の方式
－共通目標の設定方式
－その他

(2) 分散型エージェント・システムの構成法に関する調査

－エージェント機構の複雑さと構成エージェント数の限界
－協調エージェントの構成に対するGA等の技術の可能性

(3) 開発事例の調査

各相互作用モデルの代表例について事例を調査をする。

参考文献

[浅間 92] 浅間, 複数の移動ロボットによる協調行動と群知能, 計測と制御, 1155-1161, Vol.31, No.11, 1992.
[油田 92] 油田, 複数の自律移動ロボットの協調行動, 日本ロボット学会誌, 10-4, 433-438, 1992.
[山崎 85] 山崎, 分散型演繹データベースシステム：ＳＤ^{3}とそのプロトコル, 情報処理学会論文誌, 288-295, Vol.26, No.2, 1985.
[山崎 93] 山崎、長野, 分散型プランニングによる積み木問題の解決, 電子情報通信学会技術研究報告, AI 93, 25-35, 1993.

3．　ネットワークAI応用とその課題

3. ネットワークAI応用とその課題

3.1 はじめに

3章では、ネットワークAIの応用例とその課題を、各委員の研究開発経験に基づいて紹介する。2章までの議論にあったように、ネットワークAIの概念はまだ明確なものとなっておらず、典型的な適用例はまだ存在しない。ここで紹介する各種のアプリケーションもネットワーク上での人工知能技術の適用を指向しつつも、現実のシステムとしては、まだ未成熟なものである。

以下では、ネットワークAIの応用を、利用者・社会・環境の視点からと、工学的な応用システムの視点から述べる。それぞれの例は各委員の研究開発経験をまとめたものである。これらのネットワークAIにおける位置づけを明確にするために、各例のはじめに2章で述べたマップでの位置づけを述べる。

3.2節では、産業・社会システムへの応用；組織エージェントの検討と大規模システムへの応用；組織行動の分析における機械学習理論の適用；ネットワークソフトとマルチモーダル・インタフェースへの応用；知的教育システムへの応用の5つの話題について報告がなされる。

まず、3.2.1項では、産業・社会システムへの応用可能性をCALSに代表されるマルチメディア・ネットワークの視点から論ずる。この議論には、企業内外を越えた業務活動の標準化、BPRによる業務の抜本的改革、情報システム・ネットワークを活用した企業統合の問題などが含まれており、今後の日本企業の組織発展の阻害要因に対する議論がなされている。これは、マップ上での利用者・社会・人間の視点全般に対する重要な考察であると同時に、知識共有、CSCW、協調分散問題解決などのシステム的視点や、分散データベース、エージェント指向、コンカレントエンジニアリングなどの基盤技術的視点へも関連が深い報告である。

次の3.2.2項では、社会分野の問題解決・解析支援という観点からエージェントによって構成されるグループや組織のアーキテクチャの研究例を、また、工学分野の問題解決という観点から、大規模システムにおけるタスク処理に関する高自律型エージェントのアーキテクチャの研究例の2つを紹介する。これらは、社会組織やその行動、あるいは、それと同程度の複雑さを有する大規模システムに関連が深い技術分野である。マップ上、利用者・社会・環境の視点では、組織行動・組織学習、BPRや公共システム・社会システムに波及する内容である。システム的視点では、協調分散問題解決、知識共有、インテリジェントエージェント、モーバイルエージェントなどに関連する。基盤技術的視点に対しては、自律分散・複雑系、協調・分散・並列コンピューティング、エージェント指向などの概念、枠組み、方法論を土台として、知識獲得・学習、A-Life／Emergent Computation、自己組織化・オートポイエシスといったシステム・AI基盤に関連している。

3.2.3項では、上と同様の問題意識から、組織行動の分析に対する機械学習理論

の適用に関する議論を行う。この研究では、企業や社会、あるいは複合した分散型計算機システム・知識システムのように、各構成個体が自律性をもちながら、問題解決・通信・学習を通じて、知的な行動を行うエージェント群を対象とする。そして、この行動原理を分析するための手段を提供することを目的とする。マップ上、利用者・社会・環境の視点では、エンタープライズインテグレーション、公共システム／社会システム、組織行動・組織学習、バーチャルコミュニティ、コミュニケーションメディアなどの項目に関連が深い。システム的視点では、知識システムへの適用をめざしており、知識共有、インテリジェントエージェント、群知能、大規模知識ベース、グループウェア／CSCW、インターネット／WWWなどの項目に付随する知的活動との関連が深い。基盤技術的視点からは、自律分散・複雑系の概念・枠組み・方法論に新たな手法を提供する。さらに、マルチエージェントモデル、協調プロトコルなどの分散処理基盤、知識獲得・学習、GA／A-Life／Emergent Computationなどのシステム／AI基盤に関連する。

3.2.4項では、最近、進歩が著しいネットワークにおけるシステムソフトウェアと端末のマルチモーダルインタフェースの研究開発例を紹介する。前者は電子秘書システムのプロトタイプであり会議などのアポイント機能、電子メール分類機能、分散データベース上の情報収集機能をもつ。後者は、視線、身振り、音声などの多元情報を用いてコンピュータとの対話処理を高度化するためのシステムである。マップ上では、これらはインテリジェントインタフェースとインタフェースエージェントの研究、ネットワークリアリティなどに位置付けられる。

3.2.5項では、知的教育システムへの応用例を紹介する。これは、最近のマルチメディア技術とネットワーク技術の成果を利用して効果的な教育支援環境を実現しようというものである。ここでは、電子遠隔講義支援、分散型独習支援、ネットワークベースのゼミ、教材作成支援、分散バーチャルキャンパスなどの機能をもつ分散知的教育支援環境の研究が紹介されている。この中では、WWWの分散マルチメディアハイパーテキストの特長をいかしつつ、利用者への個人適応機能を実現するシステム（CALAT）について議論がなされている。この研究はマップ上では、オンラインユニバーシティやコミュニケーションメディアなどの研究に位置付けされる。

次の3.3節では、システム的視点から、探索並列化のためのスケジューリング；生産スケジューリング・フレームワーク；エージェント指向言語による看護婦勤務表作成システム；スケジューリングESの開発環境とその応用の4つのテーマについて報告する。これらは、執筆した委員の研究開発経験上、結果的に、スケジューリング問題にきわめて関連の深いものとなった。

3.3.1探索並列化のためのスケジューリングでは、複数の探索パスが与えられているとき、制限時間内に要求を満たす品質をもつ解を見いだすことを目的とする探索問題をとり扱う。解の品質は、確率的に予測できるものの、その実行によって初めて一意の値を得ることを仮定しており。探索と実行とが並列して行われることが本質的となる。ここで使われる技術は、マップ上の協調分散問題解決の問題として研究されている。

3.3.2生産スケジューリング・フレームワークでは、ジョブ割付問題として定式化されるスケジューリング問題を対象とする。そのために、領域理論が要求されない対象分野におけるドメイン・オントロジーと問題解決手続きとの関連について述べる。本研究は、マップ上では、知識システム技術を高度化するとともに、分散・協調処理基盤を与えるものと位置付けることができる。

3.3.3エージェント指向言語による看護婦勤務表作成システムでは、自律分散環境における高度な問題解決の枠組みを確立するために、エージェント指向言語を用いた実社会のシミュレーションを実施する。この内容は、マップ上ではシステム的視点のエージェント技術、とくにやわらかいシステムおよびインテリジェントエージェント技術に対応する。

3.3.4スケジューリングエキスパートシステムの開発環境とその応用では、生産スケジューリングなどのタスクに特化したシステム開発環境の特徴を紹介し、それを利用した個別受注生産と多品種大量生産のショップへの適用事例を報告する。そして、これらの考え方を分散協調問題解決システムに拡張する際の問題点について議論している。この内容は、マップ上では、知識システム技術を高度化するとともに、分散・協調処理基盤を与えるものと位置付けることができる。

3.2 利用者・社会・環境の視点

3.2.1 産業・社会システムへの応用

(1)「高付加価値化」＝「情報活用」

情報システム・ネットワーク技術の革新は驚異的速度で進んでおり、つい最近まで文字情報（テキスト情報）しか扱えなかったネットワークも、急速にCADデータ、音声、画像などの多様なマルチメディア情報（イメージ情報）を扱えるようになってきている。これは即ち、企業内外のありとあらゆるデータがネットワークを介して交換されるようになるということをも意味している。

それが帳票なども含め、企業内外の情報伝達を著しく効率化することは想像に難くない。しかし忘れられがちで今後極めて重要になるだろうもう一つの側面は、あらゆるデータがネットワークにのり交換されるということは、それらがディジタル化され、蓄積され、情報として様々に活用される発展性を持ったということである。それが企業活動と競争優位源泉を根底から覆すことになることは明白である。そのような変革は一般に「マルチメディア・ネットワーク革命」「ディジタル革命」「情報通信革命」「サイバースペース革命」などの様々な呼び名が冠せられ着目されるようになっているが、いずれにしろ産業革命をしのぐような変革になるということでは、みな一致している。

「情報活用」という過去から議論されてきた戦略が、ついに決定的に重要となる。それこそが東南アジアや中国の60～100倍という、世界で最も人件費の高い日本がとるべき道、とらざるを得ない方向性であることに異論はないだろう。

この“革命”に乗じよう、これを加速しようとする企業、あるいは国家の様々な動きが欧米、東南アジアで既に始まっている。米国ゴア副大統領が提唱したNII（全米情報基盤）は、全米に大容量の光ケーブルを敷設し、大量の情報の流通に備えよう、励起しようとするものであるが、それはGIIとして世界的に広まりつつある。

CALSはネットワーク化を進めるために不可欠なデータ電子交換の基準を設定しようとするもので、産業界から期待されている。文書構造から設計、製造に関するもの、受発注や見積り、発送など一般ビジネス帳票までと、ありとあらゆるデータの標準化を実現しようとする、これも世界的な計画である。ネットワークを確立するためのインフラとしては、ハードを標準化するだけでは不十分であり、データの標準化も不可欠になる。これに関しては日本より東南アジアの方がはるかに熱心だ。

インターネットへの熱い注目は、それが家庭へも広がり、物品や情報などの取り引きが、ネットワークを介して行われ、流通構造を革新することが期待されているからである。現在、インターネット市場は欧米で爆発的に成長する前夜にあり、官民で様々なインフラ整備（電子貨幣、電子公証人、セキュリティ等）が進んでいる。

前述したように、これらネットワークによる電子商取引がビジネスを著しく効率化させることは、言及するまでもない。しかし、それが「情報活用による圧倒的な合理

化機会」といった潜在性、発展性を有することは、日本では未だ議論されることは少なくなる。その“革命”の発展性、潜在性は日本で一般に認識されているよりもはるかに大きなものとなるのだ。日本でネットワーク化の進展が遅いのは、これらに対して特に企業の認識が十分でないことも大きな原因の一つと考えられる。ここでは、それら情報ネットワークの影響としての、情報活用に関して議論を進め、その中からエージェントの役割について発展させることとしたい。

(2) ホールセール・ネットワークにおけるエージェント

新たに広がるサイバースペースには、ネットワーク・エージェントの活躍すべき大きな場が広がっている。

現在ブームとなっているインターネットのエレクトロニック・コマースは、主に消費者、消費財を対象としたもの、すなわちリテイル・ネットワークである。これに対して、CALS、EDIは企業間ネットワーク、すなわちホールセール・ネットワークであるということができる。

ジェネラル・マジックに代表される、リテイル・ネットワークにおけるエージェントの可能性については、他の先生方の稿にお任せするとして、本稿では、このホールセール・ネットワークにおけるエージェントについて議論したいと思う。

リテイル・ネットワークが何千万という消費者を対象としたものであるのに対し、ホールセール・ネットワークは対象数からははるかに小さいものとなる。しかし前者の対象が、広く浅いのに対して、後者はより深い内容が必要となることに加え、その対象数もバーチャル・コーポレーションの進展（後述）により、一般に想像されているよりもはるかに大きなものとなる可能性がある。結論から言えば、リテイル・ネットワークと同じように、ホールセール・ネットワークにおいても、ネットワーク上を徘徊し必要な情報を持ち帰ってくるエージェントの活躍の可能性があると考えられる。

(3) 情報活用による抜本的合理化

① 情報ネットワークにより、大きく変わる経営

“ワン・トゥー・ワン・マーケティング”（すなわち、各企業が消費者一人一人の状況を個別に把握し、それら個別[ワン・トゥー・ワン]に的確な販促・製品開発の手段を直接的にもつようになるということ）等、消費財における「顧客情報の活用」、ネットワークの及ぼす影響に比べ、普及はもちろん、議論さえ遅れているのが、ホールセールにおける「顧客情報の活用」の可能性である。特にEDI（電子データ交換）を介して企業間でデータ交換することは、受発注における作業の合理化につながるだけでなく、顧客情報の活用により（品質、コスト、納期の）差別性強化における無限の発展性をもたらす。

もちろんEDIを実現するには、多くの障害が存在することは事実である。しかし新たな発展性の可能性が認識できれば、それらを乗り越えて進むべき、いや進まざるを

得ないという発想に必ずつながる。基本的に日本企業のほとんどは、意識的にも無意識的にも、過去の成功時代の「作れば売れた時代」「少品種大量生産」の行動パターン、発想からほとんど踏み出ていないように思われるのである。

無論、それを実行するためには、ありとあらゆる活動を変えるという変革が必要であり、それをやりたくない、やり方がわからない、という実情はあるだろう。しかしその基本的なところがクリアされなければ、情報システム・ネットワーク革命と叫んだところで、何の意味も持たないだろう。

上記の“ワン・トゥー・ワン・マーケティング”までは比較的よく議論されることであるが、ここから本題の、情報活用がさらにいかに大きな発展性を持っているか、それが合理化にさえ非常に大きな影響を与えるということについて具体的に見ていこう。

まず先にネットワークとデータベースがいかに使われるようになるのか。その具体的姿について、図3.2.1-1に従って説明する。例は、日本企業が強みとした組立産業を念頭においているが、基本的な理念はあらゆる業種に適用可能なものである。

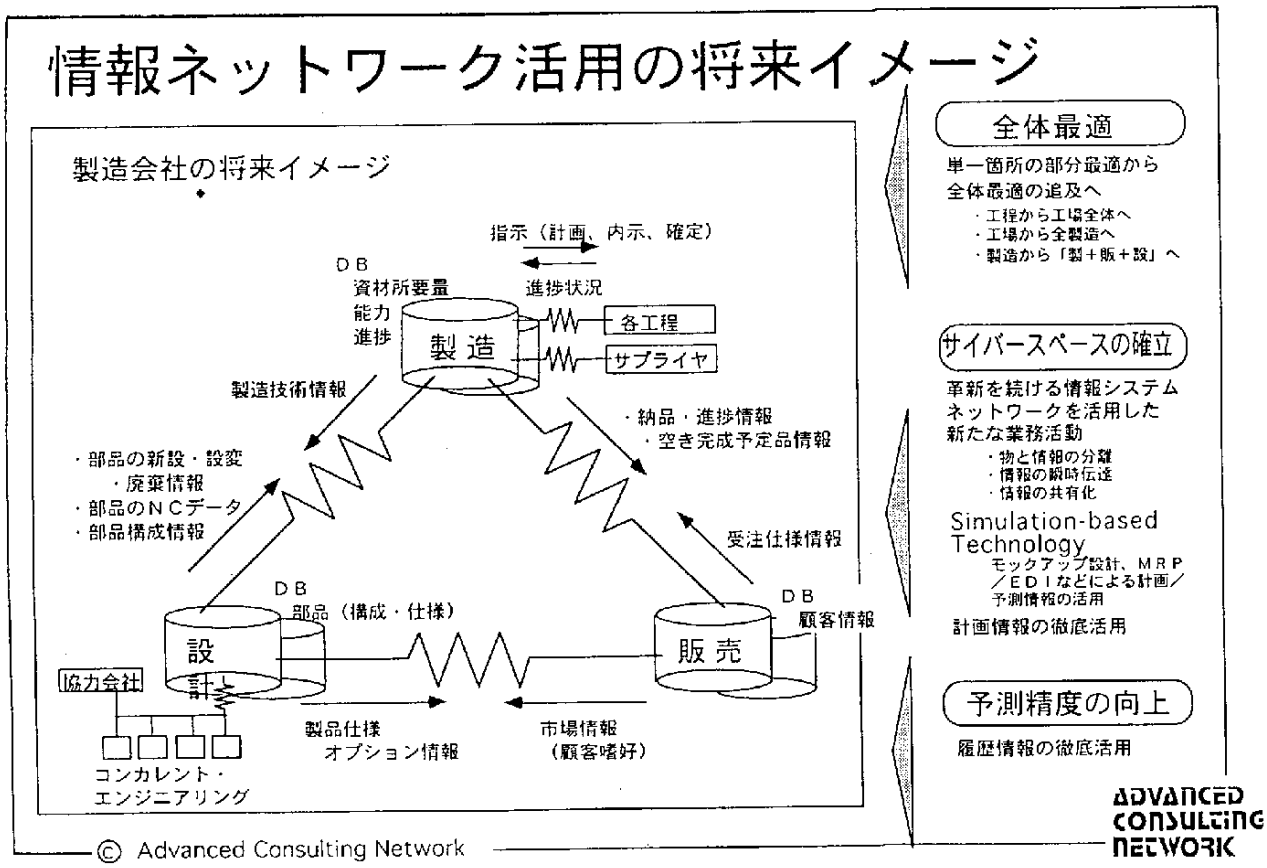


図3.2.1-1　情報ネットワークを活用した製造業の将来イメージ

＜製　造＞

製造においては、一つのデータベースに製造に関するあらゆるデータを集め、そこから的確な生産計画を策定し、それをベースとして全ての活動を行なうようになる。

一つの製品の製造に必要とされる部品・部材・作業に関するあらゆる情報、あらゆる工程の現時点での作業能力、進捗状況などが、リアルタイムでデータベースに登録され更新される。そしてそれからの状況把握をもとに、その時点で最適な「どの製品をどの工程に流せばよいか」という生産計画が策定されるのである。その生産指示は、各工程、各サプライヤーに、ネットワークを介して瞬時に伝えられる。

これに対して、現状の日本企業は生産計画は当然ながら作成しているものの、3ヶ月単位などの大まかな“建前”に過ぎず、実際は工程管理の班長が職人的に、現場の状況を優先した現場での調整を行っている。つまり「計画」よりも「現状」が優先されているのだ。このやり方を続けていても、障害を克服して情報ネットワークを構築しようというニーズには発展しにくい。

各工程での部分最適は完全でも、それが工程を越えたレベル、全工場、全製造での全体最適かというと話しは別である。全体の状況を完全に把握して、初めて全体の最適が考えられる。場合によっては、ある工程の非効率が全体の効率のために必要だということもありうる。そしてそれが、大きな効果をもたらすようになっているのである。

＜設　計＞

設計においては、これも一つのデータベースを中心に、各設計工程がネットワークで連結され、他の工程の進捗状況を見ながら同時進行的に業務を進め、一つのデータベースを完成させるという形態となる。各工程が他工程の状況をネットワークを介して容易に把握し、それらと協調して作業を進めることができれば、「後工程の設計変更の前工程への影響の回避」、それによる「全体作業量・時間の削減」「工程を越えたアイデアの共有」などが可能となる。これは現在“コンカレント・エンジニアリング”として全製造業において着目されている技術である。

それには、現在のように多くの設計業務に一つ一つ対応する「一品職人対応」の作業形態には問題がある。業務の徹底した標準化、部品化により、作業をデータベース化する業務展開に変えていく必要がある。情報システムを別としても、その意識転換だけでも合理化効果は大きい。

＜販　売＞

販売においては、顧客のデータを蓄積し、十分に個別に顧客の状況を理解した上での販売・販促活動を計画することが求められる。（ワン・トゥー・ワン・マーケティングとまではいかなくても）これは現在、各社で認識され始めており、企業レベルでは顧客データベースが完備されるようになっている。

それをさらに進め、営業マン全員の行動を各自の情報分析に基づいて行わせるために、営業マンに携帯用コンピュータを一人に一台とする活動が進められている。しか

し、花王などごく一部の企業を除いて「ハード先行」の感が否めず、実際に活用されているかというと、そうは言い切れない状況にある。

それは現状の営業マンには、データを活用するという行動パターンも習慣も意識もなく、従ってデータ入力作業は業務を繁雑にする無駄な作業でしかない。真剣に入力されていないデータは、抜けや間違いが多く、それを活用しようとしてもなかなか的確なものは出ない。それがますます、データ入力の意欲を減退させ精度を悪くするという悪循環に陥ることになる。

②「情報活用」のための抜本的変革

もちろん、フェース・トゥー・フェースを重視する前近代的商習慣が根強く残っているという問題もあるが、営業マンの行動パターンを情報分析に基づいたものに変えるためには、かなり抜本的な変革が必要になると考えられる。例えば、営業用携帯コンピュータが日本で最もよく機能している花王においては、コンピュータ導入、情報活用型営業活動への転換に先立ち、「エリア制」の導入という、大規模な組織変革を行っている。

そのあらましは次のようなものである。従来の営業の担当領域の分担は、「チャネル別」すなわちパパ・ママ・ストア、量販店、スーパー、デパートというように、チャネルによるものであった。しかし量販店の台頭、パパ・ママ・ストアの衰退という構造転換の中で、どのチャネルを担当するかが、各営業マンの業績を大きく左右するため、各人の業績を明確にしづらいという問題があった。

業績が明確にならなければ、責任も明確にできない。そして権限を与えるということは、責任が明確になって初めて可能となるものである。権限を与えなければ、自ら情報分析して的確な行動をしようというニーズにはなりえない。

そこで花王では、業界他社に「画期的」と言わせるエリア制の採用をコンピューター導入に先立ち、あえて敢行したのである。花王が日本企業特有の横並び意識を持つ企業であったなら、それは絶対に行われることはなかっただろう。

重要なことなので繰り返すが、情報の活用とは、権限の委譲である。権限が与えられて始めて判断が行えるようになる。判断を的確に行うためには、情報が当然必要ということになろう。権限を与えるには、まず責任が明確になっていなければならない。また責任が明確にされ、その評価がはっきりと厳格に行われれば、それを全うするために、少しでも活動の効率を上げるために情報を活用しようとする動機が働くようになる。

この例が示すように情報活用とは、「権限の委譲（英語で“エンパワーメント”と呼ばれ、ここ数年、経営学でよく指摘されるようになっている）」「責任の明確化」という大きな組織変革があって可能となるものなのだ。従来の日本企業は責任を明確にしないことが美徳であるかのような価値観を持ってきた。それを考えれば、抜本的な価値観の転換でさえある。

③「情報活用」のための情報リテラシー

さらに言えば、各人の「責任を明確」にし各人に「権限を与える」だけでも、情報活用には不十分である。当然のことながら、各人の「情報を活用できる能力」も重要になる。

たとえば、規制緩和、地方分権の必要性が昨今よく指摘されるが、これも一種の「権限の委譲（エンパワーメント）」と考えることができる。一般にそれが全面的に行われれば全ての問題は解決されるかのような風潮があるが、官僚が指摘するように「民間や地方に情報を活用できる能力があるのか」という指摘を無視することもできないだろう。

もちろん情報活用能力は権限の委譲とともに高まるという側面もあるが、権限の委譲（エンパワーメント）を円滑に、混乱を最小限に進めるためには、“各人”の情報活用能力を並行して高める努力が必要になる。

現に、前述の花王では「情報リテラシー教育」として全社各人の情報活用能力を高める努力を行っている。「情報リテラシー」は昨今、コンピュータ操作能力という狭い観念が広まりつつあるが、花王では「思考法」「議論をする能力」「コミュニケーション・ノウハウ」など、広い範囲の能力開発に取り組んでいる。

④全社のデータベース間で情報がやりとりされる

上記のようなデータベースの活用だけでも、その効果は十分に大きいし、日本企業にとってはそのような業務形態に変わるだけでも大変なことである。しかしさらに重要なことはこれらデータベースが、みな相互かつ堅密に連絡され、データが共有されるようになるということであり、それが情報活用の無限の発展性もたらすのである。

＜設計←→製造＞

図に返って見てみよう。設計から製造に送られるデータには、新規設計データ、設計変更データなどがある。部品構成や各パーツの形状データなどが、それもNCデータのように製造で直接活用される形式で、リアルタイムで（即座に）送られるのである。同時に製造からは、各設計作業に際して製造からの要求を同時進行的に伝達する。

＜販売←→設計＞

販売から設計には、前述の“コンカレント・エンジニアリング”の一環として、顧客の購買動向に関する様々なデータが、リアルタイムで伝達される。どのような製品が顧客に受け入れられたかを示すそれらデータが、マーケットのニーズを的確に把握した製品開発につながることは言うまでもない。

＜販売←→製造＞

設計から販売には、最新の製品仕様やオプションに関するデータ（文字、数字、画像）が送られ、顧客が必要とする製品に関するあらゆる情報を提供する。顧客は営業所の端末、あるいは各自の端末に表われた写真や音楽付きの動画を見ながら、好みの

仕様やオプションを選択する。

販売から製造には、顧客が発注した仕様やオプションに関するデータが即座に伝えられる。それと同時に、製造から販売に対して、要望の製品に関する納期が伝えられる。顧客からの納期に関する質問には、どの工程に進んでいるかも即座に回答することが可能である。さらに「空き完成予定品情報」、つまりある顧客が要望する形式の白の品種では35日かかるが、赤なら６日でお届けしますといった情報も、顧客に対する高い付加価値となる。それが自社の効率化にも大きく寄与することになるのは明らかだろう。

販売から製造への受注データは、即座に部品・資材展開され、各工程や各サプライヤーに生産指示が出される訳だが、それも従来のカンバン方式に代表されるような確定情報だけではなく、３ヶ月前、１ヶ月前の計画情報、３週間前、１週間前の内示情報、そして確定情報というように、様々なレベルの指示が伝えられる。

生産管理に事前に予定情報が伝えられれば、平準化、効率化が圧倒的に行いやすくなる。それは生産管理ばかりでなく、在庫管理、物流にも全く同様にあてはまる。販促活動などにも応用が可能だろう。

このように、ネットワークとは従来伝達されていた情報を置き換えるものと思ったら、それは大きな誤解である。ネットワークでは基本的にいくら情報を交換してもコストは同じである。とすれば、いかに多くの重要なデータを的確に交換するか、そのようなデータをいかに見出すか、いかに活用するかが、決定的に重要となるのだ。

⑤需給調整機能としてのエージェント

ネットワークにおいて交換される情報は、基本的には需給のマッチングである。ある製品に対する需要と供給のニーズ、例えば、ある特殊鋼で製造された標準形式のベアリングを緊急に必要としている企業が、その在庫を保有する企業と連絡したいというニーズが代表的なものであろう。しかしその他にも、需給調整は様々なものが考えられる。

まず物流において、A地点からB地点まで、何月何日何時何分までに運搬するという需要と供給の調整がある。同じように、何月何日まで在庫させておきたいという需要と供給があり、製造ラインを使用したい、有効活用させたいというニーズのマッチングもあろう。設計作業においてはもちろん、販売作業においても、可能性はある。

今後は企業統合、バーチャル・コーポレーションの進展で、各企業がそれぞれ得意とする機能に特化するという傾向が強まる。とすれば、図３.２.１-１の製造、販売、設計、それぞれが異なる企業が担当するということになる。その際の需給調整においては、需要側、供給側ともに数が増大し、それを調整する機能・作業には、大量数の処理が必要となり、反復性が強く、エージェントが受け持つに適当なものであると考えられる。

⑥蓄積した過去の履歴情報を活用したシュミレーション技術

前項で「計画情報の活用」について強調したが、このように計画情報を活用するた

めには、その精度の高さが極めて重要になる。計画の精度が低ければ、それに基づいた各々の計画や実行活動が意味を持たなくなる。相互にデータを供給しあって、全体の精度を高めていく技術が重要になる。

その一つに、過去の履歴情報の分析があげられる。過去のデータを様々な統計手法を駆使して、将来を予測するのだ。ワン・トゥー・ワン・マーケティングのところでも触れたが、このようにネットワークにおいて様々な情報がやり取りされるということは、同時にあらゆるデータがディジタル化され蓄積されるということと等しい。それらをいかに分析するか、将来を的確に予測するかの技術も非常に重要になる。

もう一つは、現状の様々な計画情報なりステータス情報（現在の状況）なりを活用して、全体を収束させていくという技術である。これは最近“シミュレーション・ベースド・テクノロジー”として注目されるようになっている。すなわち様々なデータからシミュレーションを行い、最適な活動状態（生産管理、物流、在庫など）を算出、その状態に実際の物の流れを持っていくということである。

データだけが過去、現時点、将来に渡り、行き来する世界が出現する。これを“サイバースペース空間（仮想電子空間）”と呼んでいる。「サイバースペース」はもっぱらユーザーが仮想商店街に入ったり、仮想の出会いをしたりというような側面だけが強調される傾向にある。しかし消費財だけでなく、生産財においても、その空間を支配することは決定的に重要になりつつあるのだ。

(4) 情報ネットワークを駆使した情報活用型経営へ

① 現れ始めた情報ネットワークの圧倒的効果

部分最適では日本は世界を陵駕したが、情報システム・ネットワークを駆使した全体最適管理が欧米の製造業で急速に発展しつつある。それは多少の「部分最適」では歯がたたないくらいの可能性を秘めており、既に実験的取り組みレベルで多大な効果が報告されるようになっている。

特に、生産管理、在庫管理まで含めた広い意味での「全社のあらゆる在庫をトータルで管理し、全社として（あるいは材料から消費者までのトータルとして）限りなくゼロに近づける。それと同時に、全社として（トータルとして）最も効率の高い物流手段を考える」という“ロジスティックス”という用語が、運送など狭い意味での“物流”に対して区別して使われるようになってきている。

例えば、リエンジニアリングの成功事例として著名なコンパックは１億ドルの投資で完全な受注生産体制を構築し、６億ドルの調達コストと５～10億ドルの機会調達コストを削減した。ナショナル・セミコンダクターは納期１／２短縮、物流コスト１／４削減と売上１／３増を同時に達成した。GMのサターン・プロジェクトでは全米に散らばった339社の納入業者の完全なJIT（ジャスト・イン・タイム）対応を実現した。その他にも、HP、ゼロックス、フェデラル・エクスプレスなど、多くの企業の成功事例が伝えられるようになってきている。

そのようなネットワークを介した高付加価値サービスが米国ではビジネスとして発

展しつつある。慶應大学國領助教授は、それを「プラットフォーム・ビジネス」として理論的に予測しているが、役割の地盤沈下が激しい卸機能がとるべき方向として重要である。例えば米国鉄鋼業界ではEDIが進展する中でも、物流、在庫管理、需給調整といった高付加価値機能をサービスとして提供する“サービスセンター”（卸業界の新しい姿）がその地位を確固たるものとしつつある。そのような業務を「ホールセール・ネットワーク・エージェント」が支援することになろう。

②「情報活用」こそ、日本社会が生き残る唯一の道である

“高付加価値化”というと「顧客を満足させる商品開発」が対象となるというような見方が、これまで一般的であったように思われる。しかしこれまで記述してきたように、それは合理化まで含めてあらゆるものが対象となり得るのである。

売れるものと売れる消費者を把握し、売れるものだけを仕入れ、あるいは製造し、売れるものだけを運び、売れるものだけを在庫とすれば、機会損失もコストも減少する。経営のあらゆる資産（人、物、金、情報、スペース、運搬車両、情報システム・ネットワークなど）を徹底的に効率活用する。それにより、最小限の資源で、最大の価値を提供する。それこそが「高付加価値化」であり、世界一高い人件費の人材が行わなければならないこと、生き残るための唯一の方向性なのだ。

③最先端情報ｼｽﾃﾑ定着の障害:日本の情報ｼｽﾃﾑ･ﾏｰｹｯﾄの虚と実のギャップ

＜過去の成功体験からの脱出＞

これまで日本企業は「カンバン方式」などに代表されるように、情報システム・ネットワークを全く前提としない大量生産型製造システムを完成させてしまい、それで世界的成功を成し遂げてしまった。常に成功体験は変革を阻害するものとなるが、情報システム・ネットワークの活用のためにはおそらく過去の成功要因、過去の成功者、すなわち上司、経営者の考えや思想までも否定することになる。情報システム・ネットワーク革命を受け入れることは非常に難しいことになるだろう。

前述したように、日本の大企業のようにその新しいやり方がわからないということも大きいだろう。確信が持てなければ過去の成功は否定できない。しかしそのままでは社会全体の活力が減退し、社会全体が奈落の底へと転がり落ちることになる。衰退する組織は様々な矛盾が吹き出し、その転落の速度は加速する。その恐さを日本は歴史的に経験していない。

逆にいえば、そのような「変わりたくない」「やり方がわからない」大企業よりも、信念に基づいて新しい概念を持ち希望に燃えた新興中小企業群に、今後の成長のチャンスが移ったということである。そのような企業が成長できるチャンスを摘みとるような規制は、明らかに今後の日本経済全体の活力を削ぐものとなろう。過去の成功者、すなわち現在の有力者、既得権益者は自らに有利な環境を変えることに抵抗するだろう。しかし過去の成功者から将来の成功者へ、重点をシフトするという、（想像するだけでも難しそうな）大変革が求められているのである。

そのような変革が、順調に進むことを期待したい。

＜広がる実と虚の格差＞

もう一つ、日本社会において、ネットワークの進展どころか、情報システム自体さえの普及を阻害している大きな要因が存在している。

日本の情報システムには、二つのマーケットが存在しているのである。一つは「虚マーケット」、主にコンサルタントやベンダーによりメディア上で議論される最先端の建前（MIS、SIS、BPRなど）であり、どんなに熱心に議論されても、ブームだけで定着することなく終わる。他の一つは本音の“現実”であり、日本型経営と相容れない情報システムが、構築されても効果を生むには至らない。それらのギャップは、虚のマーケットの加熱状態が過激になるにつれて、ますます大きくなっている。

欧米にも“hype（ハイプ）”という用語が存在するように、無論、ブームでマーケットが動く傾向はあるが、それでもその後は多少とも定着している。新しく生まれるハイプも少なくとも実のマーケットを基盤としている。それに対して、日本のブームは実のマーケットと遊離しており、そのギャップはますます大きくなるだけである。

先日、筆者がある顧客にEDI導入の検討を示唆したところ、競合関係にある大手システム・コンサルティング会社がそれを「現実がわかっていない机上の空論」としてもの笑いの種にするということがあった。大手コンサルティングとしては志が低いと憤慨したものの、残念ながら日本のEDIに対する認識がそのレベルであることも否定できない事実である。ちなみにCALSにはEDIは包含され、欧米のCALSはEDIを基礎に発展しつつある。EDIが非現実的な環境において、CALSが容易に進展するとは思いにくい。CALSもやはり虚のマーケットでのおとぎ話しであったのだろうか。

業界関係者からは、クライアント・サーバー・モデルが現実に定着しないことが問題として指摘されることも起きるようになっている。クライアント・サーバー・モデルに限らず新しい情報システムは全て“分散型”システムであり、分散型組織（カンパニー制に代表されるようなフラットな組織）において活用されることを前提として発展してきたものである。それに対して日本の組織のほとんどは集中型であり、それとは相容れない環境にある。

さらに基本的な社会風土の違いを指摘してインターネットのブームに冷や水をかけることさえできるが、それは情報システムのマーケットに身を置く者としては、非常に辛いことである。しかし日本のこの実と虚のギャップを早く認識しなければ、欧米企業との格差という議論よりも、東南アジア諸国との比較に懸念しなければならないという状況になってしまうだろう。その認識が始まらないと、情報システムの世界マーケット（特にソフトやサービス）において、また最大の企業競争力の差別化要因において、世界との格差は決定的なことになってしまう。

本研究においても、実態と遊離することなく、あくまでインプリメンテーションを前提としたものとなるべきであろう。その際に、この虚と実の存在を認識しておくことは（その解決策が本研究の範囲を大きく越えることになるとしても）無駄にはならないと考える。

④ 経営環境の違いが問題

そのギャップは情報システムの違いに着目するよりも、経営や社会の思想について見る必要がありそうである。日本社会が今、全般的に突きつけられている課題でもあるが、上澄みだけでなく、深い文化のところにまで考えを及ぼさなければ、問題は解決できなくなっている。

例えば、ワークフロー・ソフトを真剣に導入すれば、50%程度の合理化は容易に実現できる。しかし現実的にそこで浮いた人材はどうすればいいかを考えれば、経営者としても真剣にはなれないだろう。「日本企業とは非効率であっても雇用を確保する」という原則が存在し続ければ「人材の流動化」は無理である。

周知のとおり、欧米の企業では徹底している「システム」は、日本企業では嫌われ、基本的に否定されている。経営において「システム」の用語を使うことはタブーでさえある。経営のシステム化において、責任を明確にすることは第一歩である。システムをどうのこうの言う以前に、人間が集まれば、責任を明確にすることは議論の余地がないようにも筆者には思えるが、日本では責任を明確にしないことが美徳とされているようである。経営をシステム化するには、あらゆる側面で業務を標準化することが必要となるが、当然、日本では標準はない方がいいとされる。社内でさえ標準が敬遠されるのだから、EDI、CALSといった社会的な標準化など進むべくもない。しかし業務が標準化されなければ、コンピュータシステムは構築できない。この事実が、日本的経営環境の中では、ユーザー、特に経営者に理解されてないのである。

情報を活用することが重要なことは「虚のマーケット」では叫ばれている。確かに、「情報活用」とは「高付加価値化」そのものであり、中国や東南アジアの60から100倍という世界一高価な人件費の人材が行わなければならないことである。しかし現実はと言えば未だ、組織階層を維持するために情報は開示されないのが一般的である。また情報を活用するためには、判断の権限が与えられていることが不可欠であるが、権限の委譲が日本企業で進ませようという計画はあっても、実際に進んでいるという事実はない（責任が不明確では権限は委譲できないから、これは責任が明確にされないこととも関係がある）。

⑤ これらのギャップを埋める情報システム関係者の役割

これらの矛盾は「日本型経営におけるシステムの欠如」に起因しており、情報システムを担当している者には、日常の苦労から非常によく見えるだろうし、また情報システムを担当している者にしか見えないと言っても過言ではないだろう。その矛盾を指摘する情報システム関係者、特にネットワークに詳しい方々の役割が極めて重要になっている。

例えば花王のように、情報システム部門が全社に対する情報リテラシー教育を担当し、そこで「システム思考」など、思考形態にまで及ぶ変革を主導している（それを前面に押し出すことはないが）企業も出始めている。情報や情報システムを活用するためには、そのような深遠なテーマさえ扱わなければならない。それは情報システム部門の、まさに経営企画部門化、経営システム部門化ともとらえることができる。

そのような観点から言えば、昨今注目を浴びているEPR、ワークフロー・ソフトのようなネットワークをフルに駆使した情報システムの導入が有効となろう。ERP（Enterprise Resource Planning）とは、企業全体のあらゆる基幹系業務に関する経営システムが事前に組み込まれた巨大なネットワーク型ソフトウェア・パッケージである。具体的にはSAPのR／３、日立のGroupmax、Baan, QADなどがあるが、従来のソフト開発をオーダーメイドとすれば、ほぼ完全にテーラーメイド化されたものであると考えればよいだろう。

オーダーメイドでは、SEが現場の仕事を「業務分析」し「要件定義」して、システムを一つ一つ作り上げていった。BPRと叫ばれても、実際はSEに業務を変更する権限はなく、ムダで不合理な業務もそのままコンピュータに組み込まれていたのである。そもそも日本企業の自然発生的にできあがった、システム化されていない業務を、コンピュータ化しようとすること自体が無理だったのである。

それに対してERPでは、欧米で設計された、ムダのない、極めて合理的な経営システム、業務プロセスがソフトの中に存在し、ユーザーはそれに合わせることが要求される。従来のように、ソフトを業務に合わせろという発想は通じない。

ERPの導入は（大袈裟ではなく）「生きるか死ぬか」の大変なプロジェクトとなろう。なぜなら、上記のようにERPは大規模かつ徹底した業務変革が容赦なく要求されることになるからだ。中途半端で妥協することは許されない。それではソフトが動かない。それもユーザーはERPに合わせて業務を抜本的に変えなければならない。極めて大規模で全体が連動している全社システムである。もしその一部でもユーザーからの反発を招き、受け入れられないということにでもなれば、全体が機能しない、システム費用や活動費用などを含めて膨大な投資の無駄ということになる。極めて高い効果が得られるか、全く動かないかの二つに一つである。つまり従来のような、妥協を重ねた、安易な方法では実現不可能なのである。それを真剣に行うために、日本企業が、生まれてから今日までの高度成長の間に溜りにたまったあらゆる膿みを絞り出さなければならなくなる。

筆者はこれを「本末転倒の情報化」を呼んで提唱している。ERPに限ることはないが、真剣に情報システムを動かそうとしたら、あらゆる業務を徹底的に変革せざるをえない。要するに、本来は道具であるはずの情報システムを機能させることを目的とした、企業変革である。

冒頭にBPRがブームだけで終わったと書いた。確かに多くの企業では、急ごしらえにBPRプロジェクトを設置しても何ら効果を上げないで終わった。またBPRと叫んでも、結局実現できたのは、花王、富士ゼロックス、横川電機など、以前から地道に取り組んでいた企業だけであるというのも、よく聞かれる議論である。また多くの企業では、BPRのプロジェクトそれ自体の設置さえできなかったり、担当者の「業務と組織にだけは手を付けないでくれ」という要望のもとに、差し障りのない、そして効果もないコンピュータ・プロジェクトに置き換えられてしまった。

しかし中には変化拒絶体質の中で、多くの苦労と障害の中を少しずつ変革に向けて

進みはじめている企業もある。そこに特徴しているのは、外から見れば浮いているという印象さえ受ける強力なリーダーシップの社長と、そして道具としてのERPが見え隠れする。極めて保守的であり、一見「抜本的変革」など無理と思えるような企業が、部分的であるにしろ、また完全に定着した訳ではないにしろ、ERPの導入に取り組みはじめている。

このような議論をすると、よくでるのが「では欧米型経営が何でもいいというのか」「日本には日本のやり方があるはずだ」という思考停止の閉塞状態である。なんでもかんでも欧米がいい、日本が好きという感情論をここでしているのではない。あくまで環境が高度成長から低成長成熟に変化し、それに対応した経営が必要になるということである。その場合、欧米は以前からその環境に順応しようとしており、彼岸の経験が此岸の参考になるということである。それは成功事例もあるし失敗事例もあろう。その中から、日本型経営のいい面、一部の要素をフレーバーとして残すということもいいだろう。

3.2.2　組織的エージェントの検討と大規模システムへの応用

(1)　はじめに

自律分散エージェントは、種々の工学・社会分野の問題解決・解析の手段として、多くの可能性を提供すると期待される。完全自律分散アーキテクチャの下でエージェントの仕組み自体を科学することの重要性は論ずるまでもない。しかし一方で、実際の問題解析や解決の視点から、一定以上広い分野において一般性を有する自律分散アーキテクチャを開発していく方向性も重要である。ここでは、社会分野の問題解決・解析支援という観点からエージェントによって構成されるグループや組織のアーキテクチャ研究を、また、工学分野の問題解決という観点から大規模システムにおけるタスク処理に関する高自律型エージェントのアーキテクチャの研究について述べる。

これらはいずれも、ヒューマンエージェントやネットワークエージェントを含む多様なエージェントによって構成される、社会全体やその部分の組織、また社会と同様な複雑さを有する大規模システムに深い関わりを有する技術分野である。図2.2-1のネットワークAI技術マップ上の利用者・社会・環境の視点においては、組織行動・組織学習、更にはBusiness Process Reengineering（BPR）や公共システム／社会システムに波及する内容を有する。また、システム的視点に立てば、ある種の協調分散問題解決、知識共有、インテリジェントエージェント、モーバイルエージェントなどに関係する内容である。また、後に述べるように、研究及び利用の対象となる基盤技術としては、自律分散・複雑系及び協調・分散・並列コンピューティング、エージェント指向などの概念・枠組み・方法論を土台として、知識獲得・学習やA-Life／Emergrnt Computation、自己組織化・オートポイエシスといったシステム／AI基盤を対象とする。

(2)　組織的エージェントのアーキテクチャ研究

多くの社会的システム及び工学的システムにおいて、組織は広範に見られる構造ないしは現象である。そしてこれは自律個の自己組織化によって構成される場合のみならず、管理者や設計者が付与する組織構造の中での自律個の振る舞いに関する問題をも提起する。このような組織構造と自律個の関係をエージェントを用いて解析することは、全体と部分の関係という古くかつ新しい問題に関する広範な科学的知見を与えると同時に、工学的にも両者の得失や特性の相補性をうまく実現する新たなアーキテクチャの構成に関する手がかりを与える。我々はそのような観点から、グループないしは組織の学習という枠組みで、個体知とグループ・組織知の関係を検討している［寺邊 95a, 95b］。また、真社会性昆虫モデルという枠組みを用い、個体間の協調戦略と組織全体管理戦略の関係解析を行っている［佐久間 95］。以上のような研究を通じ、社会的、工学的システムに新たなアーキテクチャの提案を行えると考える。

① グループ・組織の学習 ［寺邊 95a, 95b］

自律エージェントは、一般には自らを取り巻く環境に働きかけて得た経験を情報源として学習を行う。一方、マルチエージェント環境下では、エージェント間で互いの持つ情報を共有することにより、学習効率を高める協調が可能になる。しかしながら、このような期待を現実化するためには、マルチエージェントシステムを学習可能な組織として設計する方法論を確立しなければならない。Tanは、２エージェント間での種々の知識共有モードについて学習効率の検討を加えており、概ね情報の共有が学習の進行に良い影響を与えるとしている［Tan 93］。一方、社会科学の分野においても、ネットワーク型組織内での情報の共有をともなう学習する組織（Learning Organization）の実現に関する研究が盛んであり［March 91］、理論的検討にコンピュータシミュレーションを用いたものも多く見られる［寺野 94］。本研究では、社会科学の分野で得られているグループ・組織学習についての知見を参考にしながら、組織内の情報共有のあり方や組織の構成に多様性、開放性を与えた場合の学習への影響について、簡単なシミュレーションを通してマルチエージェントシステム設計の方向性について検討した。

「組織学習」はさまざまに定義されるが、一般には組織を取り囲む対象（組織にとっての環境）についての学習という側面と、その学習を有効化するための組織の内部過程による学習という側面の両方をまとめて組織学習とよぶ場合が多い。ここでは、前者の側面について扱う。各個体は、環境に働きかけた際に、環境に関する観測情報を用いて知識を形成する。このように個体毎に形成される知識を「個体知識」とよぶ。

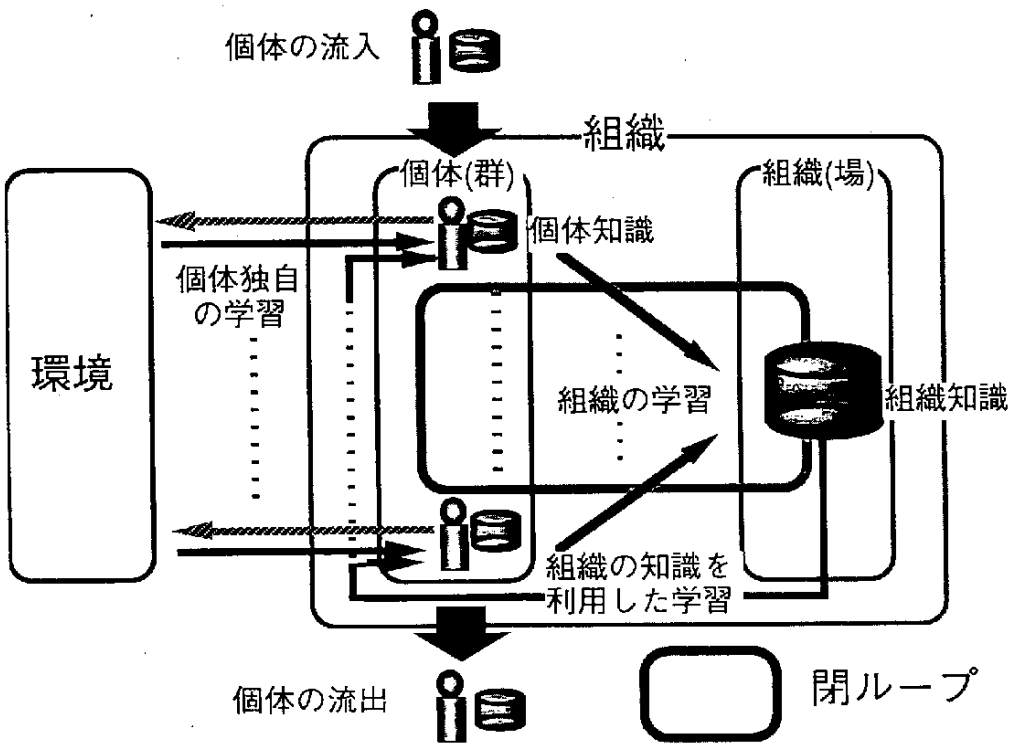


図３.２.２-１　組織・グループ学習のモデル

一方、上記で述べたように組織内部の個体間で情報を交換する場合には、そこに各個体の持つ知識が反映されるかたちで「組織知識」が形成される。ここで図３.２.２-１のように、各個体知識と組織知識の間に閉ループが形成される。このループは、組織知識を利用する個体の学習と、個体からの組織の学習の２つの学習情報リンクから形成される。

本研究では、各エージェントの学習機構として強化学習（Q-Learning）機構をもたせ、Q値の情報をある程度共有する方法を採用し、シミュレーション評価実験を行った。２次元の６×６のグリッド空間を設定し、対角の頂点にスタートとゴールがあり、５つのエージェントがスタート地点から一斉にゴールを目指す。エージェントの目的はより少ないステップ数で、ゴールへと達することであるものとする。空間内に一カ所だけ近道を設けると、エージェントが試行と学習を繰り返すうちに知識が形成され、この近道を通るようになる。個体（エージェント）は個体知識として、現在位置を状態、グリッドの移動を行動とした各組に対するQ値をQテーブル形式で保有する。組織知識も個体知識と同様にQテーブルとする。組織の学習は、各個体のQテーブル内容を一定の反映頻度と反映率で組織全体のQテーブルに導入することにより行われる。また、各エージェントによる組織知識を利用する学習も、一定の利用頻度と利用率により行われる。

種々の条件設定において、学習性能の評価を行ったが、図３.２.２-２のように組織内の個体構成に流動がある場合に関する結果を示す。ここでは200回目の学習ステップで、近道の場所が変化した動的環境変化を与えている。そして同時に、組織内の個

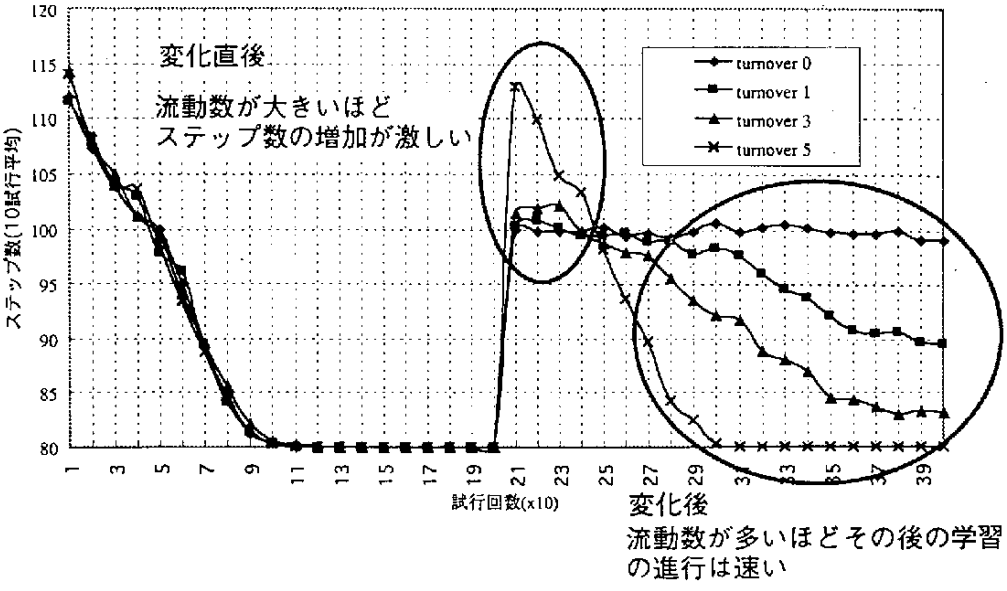


図３.２.２-２　個体構成に流動がある場合の比較

体を入れ替え無し、未学習個体に1/5、3/5、全部入れ替え（turnover）の4通りの条件を採用し比較した。このグラフから、入れ換え数が多いほど一時的にステップ数が増加（性能が悪化）するが、学習の進展が速い（ステップ数の減少が急）ことが判る。このような環境変化に対しては、組織内の個体構成の流動が組織学習に有効な働きをしていることが判る。新たに組織に入ってくる個体は、環境に関する知識を全く持ち合わせていないが、逆に既成の知識にとらわれず新たな解を素早く発見し、組織全体の適応性が向上する。すなわち、過去に蓄えられた知識と新たな知識獲得が組織として適切なバランスで行われる。

この研究を通じ、組織内の個体構成に流動を持たせることや組織内の個体の学習戦略に多様性を持たせることが学習に対して有効に働く可能性があることが判明した。しかしながら、環境（学習する対象）の性質に依存して、適切な個体構成の流動の程度、学習戦略の多様さが異なると考えられる。これについては、ここでは扱わなかった組織学習のもう一つの側面である、組織の内部過程に関する学習が重要な意味を持ってくると考えられる。

② 真社会性組織による大規模タスク処理 ［佐久間95］

エージェント集団に関する研究は、これまでにマルチエージェント研究の立場や人工生命・創発研究の立場から、主に完全自律分散の枠組みの下でのエージェント集団の挙動・性質の研究がなされている。一方、工学の分野ではエージェント集団の振る舞いに何らかの目的が求められる。しかも、その目的は対象環境の状態のみならず、人間の意図によって変化する。この場合、完全自律分散の枠組みだけで、対象環境外部の人間の意図をエージェント集団の挙動に反映させることは、一般に困難ないしは非効率的である。たとえば、大規模ネットワーク内に多量に分散するエージェント全ての動作モードを、人間の意図に応じて変更するためには、全てのエージェントを発見・トレースし個別に指令を与えねばならない。その実現に関わる計算負荷が大きくなるばかりでなく、意図伝達の漏れの可能性も大きい。

一方で、原子力プラント計装ネットワークや公衆通信ネットワークなどの大規模ネットワークでは、一定複数種類のタスク要求がネットワークの方々で同時多発する。この場合、上記のような理由から一定の組織構造を導入した枠組みが有効と考えられる。そこで本研究では、Ant Algorithm に代表される真社会性モデル［嘉数94］にエージェント集団内での各種エージェントの生産供給を通じた間接的統率をつかさどる中心セクタ（女王アリ）を導入し、拡張を図ったアーキテクチャを提唱した。

以下、本研究において提唱する枠組みにおいて重要な幾つかの基本概念を説明する。「真社会性」はもともと生物学の分野で用いられる用語であり、

- 同種の複数個体が共同して育児を行う。
- 生殖のみを行う個体と行わない個体が存在する。
- 親世代と子世代が共存する。

という3つの性質により規定される。すなわち、エージェントの視点で解釈すれば、複数エージェント間の協調によって効率的に特定タスクを処理し、アリのコロニーの

ように生殖する女王エージェントと行わない働きエージェントが存在する。また、エージェントは逐次誕生・死滅し、世代交代が連続的に進むことを意味する。前項でも述べたように組織における個体の入れ替わり、すなわち「組織代謝性」は組織全体の適応性を高める可能性があり、真社会性と組織代謝性は密接な関係を持つ。一方で、働きアリや兵隊アリなど多様に分化した個体で構成される集団は、前項でも述べたように様々な環境変化に柔軟に対応可能である。さらに、これら異種のエージェントが適切な役割分担を行い協調するためには、自己と他者の区別を明確に認識する性質が有効である。このような「多様性」とその下での「自己認識」ないしは「免疫性」も、組織的協調の重要な要素である。

以上のような重要概念を網羅するアーキテクチャとして、図3.2.2-3に示すようなエージェント集団の構成を考え、シミュレーションによりその特性解析を行った。格子状のオープンなノードネットワーク上を動き回るエージェントが多数存在する。

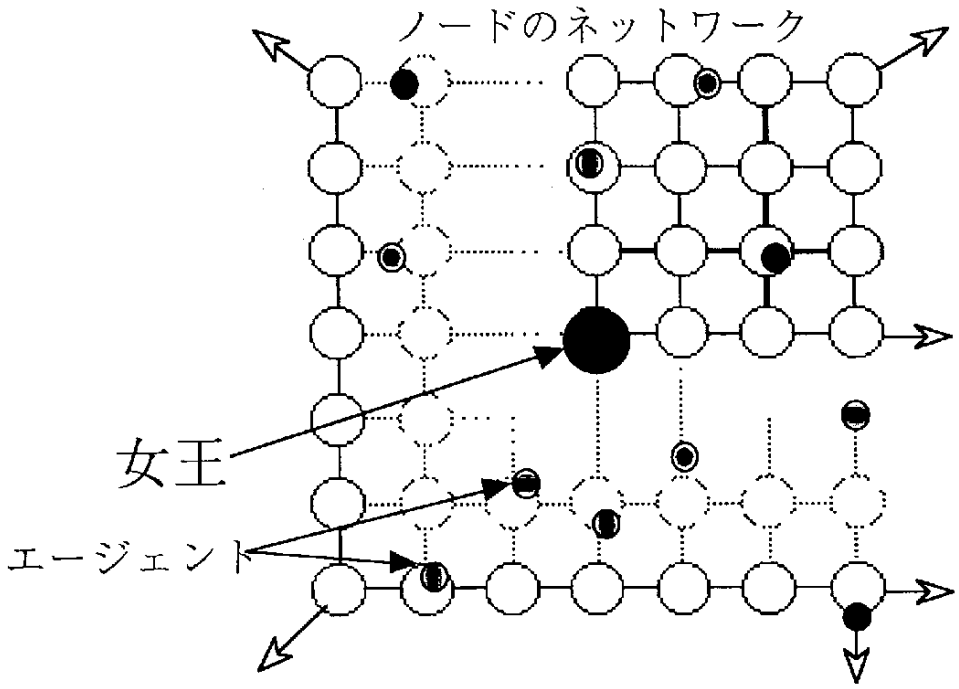
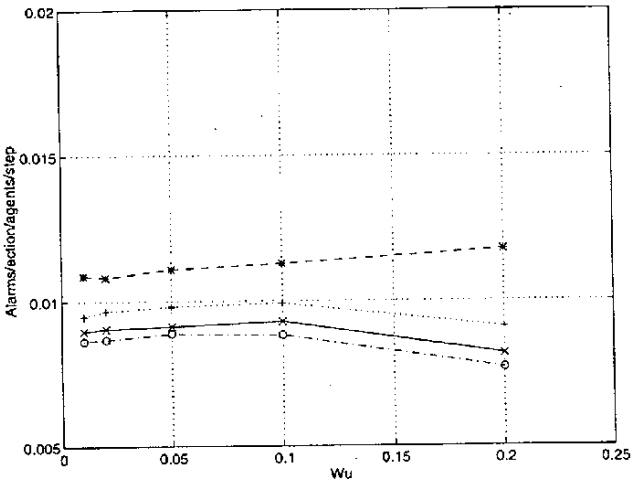


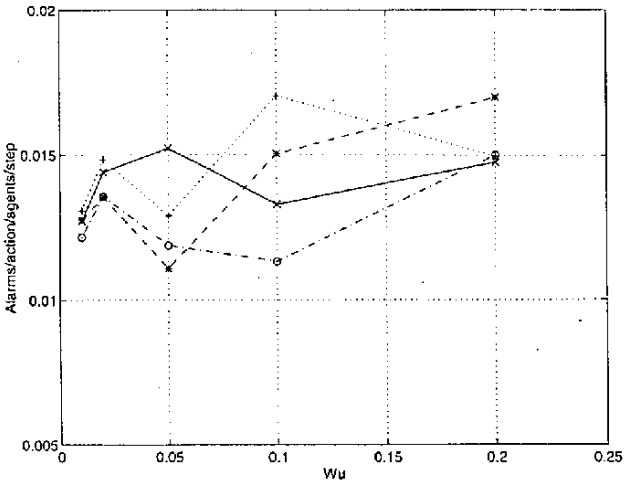
図3.2.2-3　エージェント集団の構成

エージェントは4種類あり、一定の基準により自己と他者の類似度を判定して協調する能力が備わっている。また、有限の寿命を有し、生存中は自己に指定された種類のタスクが存在するノードをランダムに探索し、見つかればそこでタスクを処理する。更に中心には、各種エージェントの死滅による人口減少を補うと同時に、各種類の性能を監視して全体として効率性の高い処理を実現するために人口構成管理を行う生産

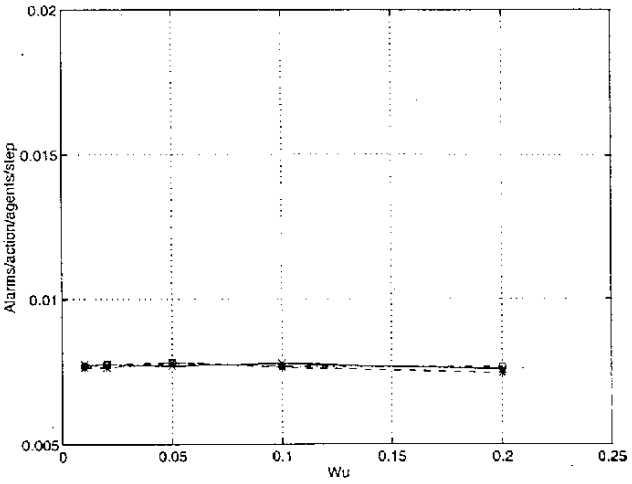
中心セクタ（女王）が存在する。図３．２．２-４にその解析結果の一部を示す。(a) は４種類のエージェントが互いに無関係に個別のタスクを実行可能な場合である。横軸は女王が各種類エージェントのタスク実行性能の良さに対して、その種類の生産率を高める割合係数である。係数が大きいほど優秀な種類を相対的に多数生産する。また、縦軸はエージェント一個体あたりのタスク処理効率（生産性）である。＊印の折れ線が最も優秀な種類のものであり、○印の線が最も性能の悪い種類のものである。右側、即ち女王の生産率が上昇するほど人口過剰となり、かえって若干効率は低下する。こ



(a) ランダムなタスク処理の場合



(b) 補強的協調によるタスク処理の場合



(c) 補完的協調によるタスク処理の場合

図３．２．２-４　異種エージェント間の協調パターンの違いによる処理効率の比較

れに対し、(b) は過去に優秀な成績を示した種類のエージェントをより活動しやすくし、成績の悪いエージェントを活動しにくくする補強的戦略によるのもである。成績の良い種類がより活動するために、全体として効率が上昇しする。これに対して(c) のように、過去に成績の良いエージェントは悪いエージェントと一緒にならないと活動でき

ない補完的協調戦略の場合には、お互いの性能が相殺され種類や女王の生産率に殆ど影響を受けない。また、全体の性能は低下する。

このように、同じ種類のエージェントの組み合わせに対して、同一の人口生産管理を行った場合でも、エージェントの組織的協調方法の違いにより、組織全体としての性能や適応性に大きな違いを生じることが判った。このような特性解析を積み上げていくことで、自律分散型かつ動的代謝を有する新しい工学システムの特性と実用可能性を明らかにできると考える。

(3) 高自律型エージェントネットワーク

上記２つの研究では、エージェントの組織集団の構成に焦点を当て、その特性解析を試みているのに対して、本研究では工学的なシステムにおけるエージェント集団における個々のエージェントの内部構成について考察を行う。通信ネットワークやエネルギープラントなどの大規模システムでは、その複雑さや構造・状態の変化可能性の増大により、従来の集中指向の運用管理システムでは十分な対応が困難になりつつある。ソフボットやモーバイルエージェントなどを含むソフトウエアエージェントは、そのような状況に対応しうる新しい自律分散型運用管理を示唆している。複雑かつ多様な処理が要求される工学的システムにおいて実用的な自律分散処理系を考えるにあたっては、個々のエージェントに高い自律性が要求される。この際、各々が一定以上かつコンパクトな知識を有しなければならない。そのために自己や外界世界のオントロジカルな表現を用い、かつ各エージェントの合目的性に基づく協調関係の自己組織化を可能とするモデルベースエージェントのアーキテクチャを考える［鷲尾 94a, 94b, 94c, Washio 95］。

図３.２.２-５に提案する高自律型エージェントの構造を示す。ここで本体内容とは、エージェントに与えられた目的を直接実現するプログラムやデータ、ハードウエアなどのリソースである。高い自律性を実現するために、本体内容は複数存在する。検索や診断、制御といった幅広い処理機能リソースが備わる場合もあるし、また同一処理機能でも多様な特徴を持つ複数の処理タスクリソースが設けられることも考えられる。たとえば制御という機能１つについても、古典制御、ファジイ制御、AI的探索制御等、種々の長短を有するタスクリソースを備える。更に、自律的に適切な行動を決定するために、自分自身及び自分と外界との関係を記述する統一的自己モデルを導入する。このうち、(A)自己のミッションと状態の知識は対象系統の温度をあるレベルに静定するなど、エージェントに与えられた目的・使命の内容に関する知識と、自分が現在作業中であるか待機中であるかなどの状態に関する知識である。(B)自己と外界との作用リソースの知識は、エージェントの基本的作用リソースの機能・特徴に関する知識とそれらを使用中か否かなどの状態に関する知識である。例えば、常駐型エージェントは、外界の利用可能リソースに関する情報の探索収集という作用を有する。更にワーム型は、受け入れ条件を満たすノードに移動・散開するという作用を有する。(C)自己の本体内容各リソースの処理の知識は、各本体内容の処理が実現する機能やそれが使

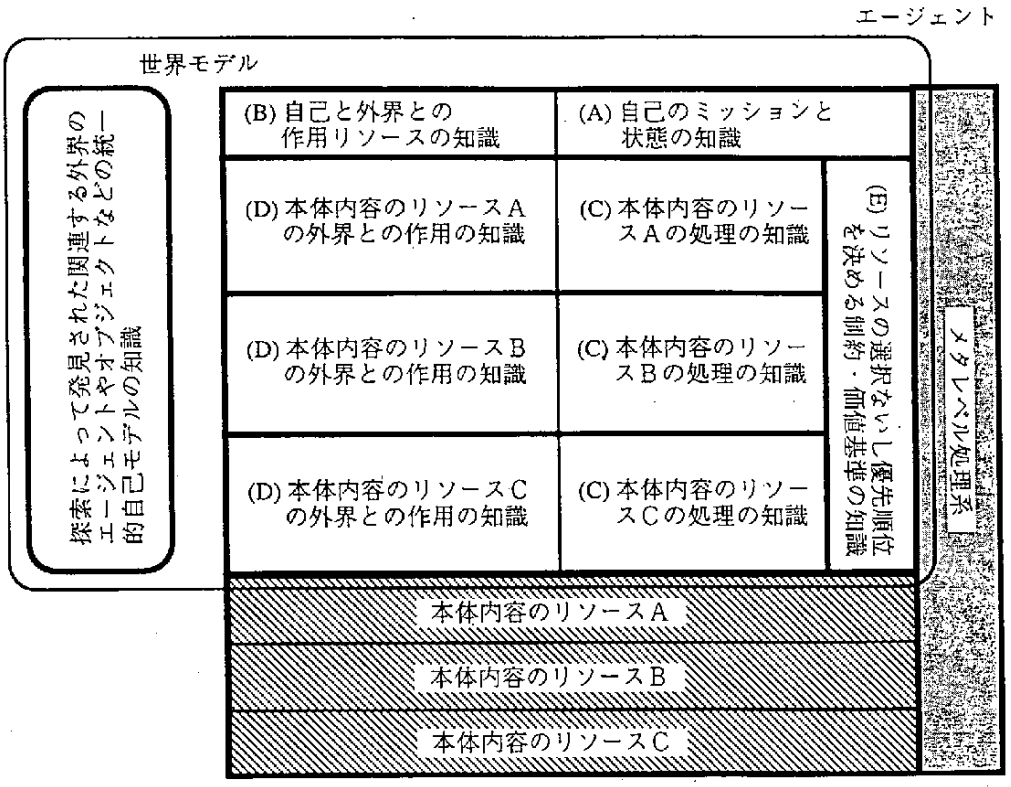


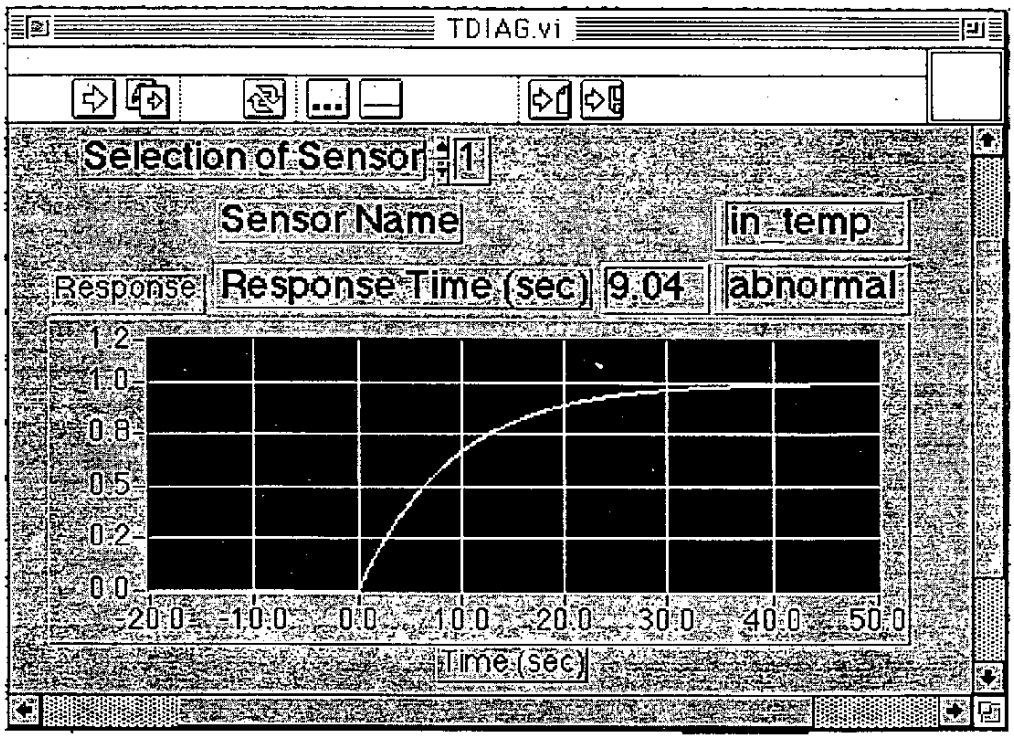
図3.2.2-5　提案する高自律型エージェントの耕造

用している手法やアルゴリズムの特徴に関する知識、リソースの数学的・物理的モデル、また現在その処理が動作中であるか否かといった状態に関する知識である。(D)自己の本体内容各リソースの外界との作用の知識は、各本体内容と外界との立場や採取可能情報、可能動作手段の機能・特徴に関する知識とその使用状態に関する知識である。(E)リソースの選択ないし優先順位を決める制約・価値基準の知識は、本体内容のリソースや探索により外部に発見した利用可能リソースから、動作に必要なものを選択・優先順位づけする際の制約や価値判断指標の知識である。

このような構成の1つのエージェントは、自分に与えられた目的を自己の本体内容リソースのみで実現可能かどうかを、統一的自己モデルで判定する。もし不可能な場合には、ネットワーク内を探索ないしは移動し、必要な他のエージェントのリソースの使用を交渉して、目的実現可能なリソースを揃える。このような高い自律的機能により、種々の環境変化においても複雑なタスクを実現可能となる。

図3.2.2-6に本アーキテクチャの大規模システムへの適用例を示す。プラントには多数の温度センサが取り付けられており、これらの健全性をネットワーク上で巡回しながら応答関数法により診断するエージェントである。エージェントは温度センサのタイプによって手法パラメータを調節したり、ネットワーク上で自ら温度センサを発見して巡回する。

統一的自己モデル（Identity）を有する常駐型・ワーム型エージェントと、これらより構成される自律分散型のネットワークのアーキテクチャを提唱した。幾つかの検証事例を通じて、その実現性、有効性を確認した。



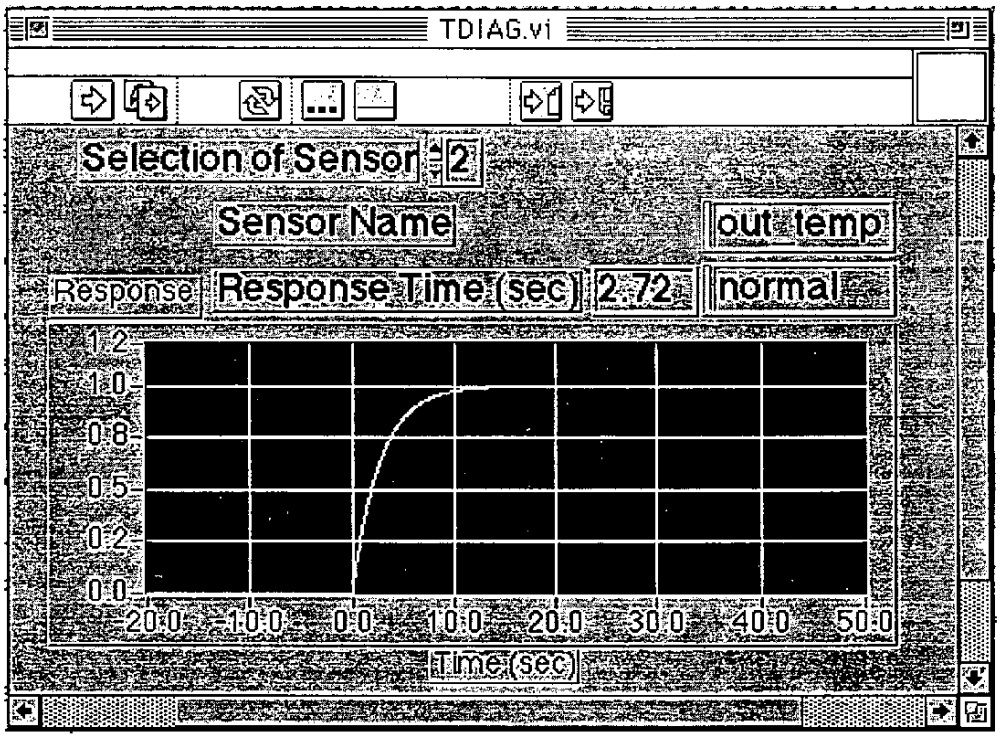


図3.2.2-6　センサ応答診断例（入口（上）と出口温度センサ（下））

(4) まとめ

これまで工学的及び社会的な問題解析・解決の視点から、有用な自律分散アーキテクチャの幾つかの検討を紹介した。自律性や協調、分散といった一般的視点からのみではなく、このような具体的枠組みでのアーキテクチャ開発が、エージェントの工学的応用を促進するものと期待される。

参考文献

[March 91] J.G. March, Exploration and Exploitation in Organizational Learning, Organizational Science (1), 71-87, 1991.

[Tan 93] M. Tan, Multi-agent Reinforcement Learning:Independent vs. Cooperative Agents, Proceeding of the Tenth International Conference on Machine Learning, 330-337 1993.

[寺野 94] 寺野 隆雄, エージェントの組織行動を分析するための機械学習モデル、経営情報学会1994年春期（第５回）全国大会研究論文集, 191-194, 1994.

[嘉数 94] 嘉数 侑昇, 社会性生物に基づく探索, 人工知能学会誌, Vol.9, No.4, pp.524-529, 1994.

[鷲尾 94a] 鷲尾 隆、北村 正晴, 多様性とアイデンティティーを有する高自律型エージェントの枠組み, 第８回人工知能学会全国大会予稿集, 261-264, 1994.

[鷲尾 94b] 鷲尾 隆、北村 正晴, アイデンティティーを有するワーム型エージェント, 人工知能学会研究会資料, 人工知能基礎論研究会, SIG-FAI-9402-1(10/3-4), 1-8, 1994.

[鷲尾 94c] 鷲尾 隆、北村 正晴, ワーム型動作原理に基づく知的作業エージェントネットワーク, 第20回知能システムシンポジウム（合同シンポジウム）予稿集, 43-50, 1994.

[Washio 95] T.Washio and M.Kitamura, Worm-Type Agents for Intelligent Operation of Large-Scale Man-Machine Systems, Symbosis of Human and Artifact (Proc. of 6th International Conference on HUMAN-COMPUTER INTERACTION (HCI International '95)), Edited by Y. Anzai, K. Ogawa and H.Mori, Elsevier Science B.V., 925-930, 1995.

[寺邊 95a] 寺邊 正大、鷲尾 隆、椹木 哲夫、片井 修, 強化学習機構を持ったマルチエージェントによる組織学習, 第22回知能システムシンポジウム（合同シンポジウム）予稿集, 215-222, 1995.

[寺邊 95b] 寺邊 正大、椹木 哲夫、片井 修、鷲尾 隆, マルチエージェント環境下での情報の共有と組織学習, MACC95発表, 1995.

[佐久間 95] 佐久間 正剛、鷲尾 隆、北村 正晴, 真社会性昆虫モデルに基づく自律分散システムの枠組み, 第22回知能システムシンポジウム（合同シンポジウム）予稿集, 223-230, 1995.

3.2.3　組織行動の分析における機械学習理論の適用

(1)　研究の背景と目的

政治・経済のグローバル化・ボーダレス化が進展する中で、企業組織は国際的な視野にたち、技術重視の戦略をも盛り込んだ適切な意思決定・活動を行うことが求められている。このような状況に対する理論的な課題として、分散協調型企業の組織行動を分析する手法の確立が上げられる。周知のとおり、高度情報化社会における企業組織の問題においては、従来から、情報ネットワーク、経営形態の国際比較などの視点から、多くの研究が行われている。そして、従来の人工知能研究の多くは、高度な意思決定支援システムに人工知能技術、特に、エキスパートシステム技術を適用するという観点からなされていた。たしかに企業経営における意思決定支援システムなどにおいては、人工知能技術の適用したシステム開発例もある。しかし、これまで人工知能研究では、組織行動の分析を対象としたものはほとんど存在しない。すなわち、従来の研究には、理論的な分析の手段として人工知能概念を適用するという視点が存在しない。

本稿では、人工知能の機械学習理論を用いることによって、組織行動の分析に適用可能な新たな研究手段の提供を指向する。ここでいう組織とは、企業や社会、生命体の群、あるいは複合した分散型計算機システムのように、各個体（Agent）が自律性を持ちながら行動しつつも、その行動全体がなんらかの意味をもってくるような集団を意味する。従来の組織行動論の研究では、上のような問題に対して、個々のケーススタディの個別分析と理論化を中心とした研究、もしくは、大量調査データを用いた統計学的なアプローチによる研究がなされていた。本稿では、これらとは異なり人工知能における各種の機械学習理論からの接近をこころみる。これによれば記号による対象の記述と厳密な理論展開に加えて、プログラムの実行という形での理論のシミュレーションが可能である。この特質は、組織論の研究に、新たな研究の道具を提供できる可能性が極めて高い。本研究の適用により、たとえば、日本の組織における意思決定過程の典型である「根回し」「改善活動」などの概念の厳密な記述とそのシミュレーションなども可能になる。経営情報学の分野では「組織知能」という概念が存在するが、本稿のアプローチは、これを機械学習理論から分析しなおすものである。一方、人工知能研究の立場からは本研究は、知識獲得と知識創発の理論、事例ベース推論、説明に基づく学習、ならびに、分散人工知能の諸概念を統合化する手法の研究開発と位置づけることができる。現在のところ人工知能関連研究では、組織行動を直接的な対象としたものは少ない。ここでの記述は、現在のところ理論的なものであるが、その成果は、実現に高度な計算機技術が必要とされる次世代の分散協調型意思決定支援システムの開発にも適用することができると考えられる。

本稿の内容は、ネットワークAI技術マップ上、利用者・社会・環境の視点では、エンタープライズインテグレーション、公共システム／社会システム、組織行動・組織学習、バーチャルコミュニティ、コミュニケーションメディアなどの項目に関連が深

い。システム的視点では、知識システムへの適用をめざしており、知識共有、インテリジェントエージェント、群知能、大規模知識ベース、グループウェア／CSCW、インターネット／WWWなどの項目に付随する知的活動との関連が深い。基盤技術的視点からは、自律分散・複雑系の概念・枠組み・方法論に新たな手法を提供する。さらに、マルチエージェントモデル、協調プロトコルなどの分散処理基盤、知識獲得・学習、GA／A-Life／Emergent Computation などのシステム／AI基盤に関連する。

(2) 分散知能システムにおける学習 ーその意義と課題ー

高度な問題解決能力をもつコンピュータシステムの実現において、人手で投入しなければならない知識（問題解決に必要な情報）量とシステム能力との関係は図3.2.3-1の太線のような関係にある。現状では、性能を改善するためには投入知識量を非常な割合で増加しなければならない。

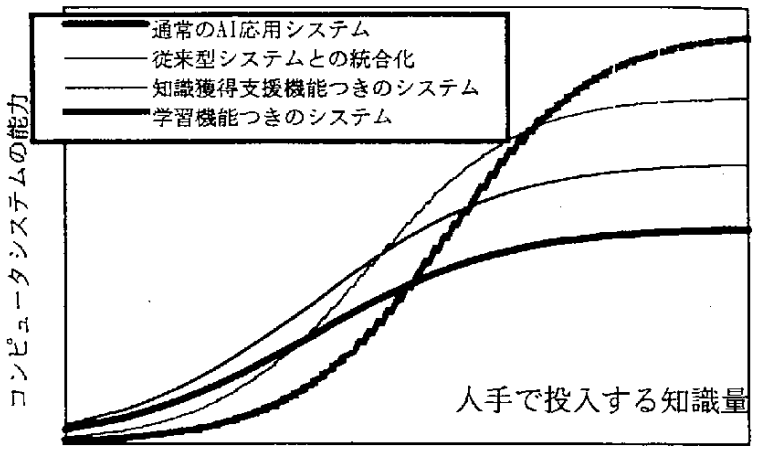


図3.2.3-1 コンピュータシステムの能力と人手で入力する知識量との関係

このような状況を改善するには、現在のところ従来型システムとの統合をはかることがもっとも手軽である。実際に運用されているAI応用システムでは、このような方法が常識となりつつある。すなわち、現実のシステムは記号処理の原理のみに基づいて動いているわけではない。しかし、いっそうの機能の向上にあたっては、自動的な知識獲得機能ならびに学習機能を付加することが不可欠である。

ただし、これらの学習機能が有効に働くためには，やはり図3.2.3-1に示したように、かなりの量の初期知識が必要である。この初期知識量とシステム規模の問題を混同してはならない。十分な初期知識を持つことで、そのまま大規模なAI応用システムが自動的または半自動的に作られることは期待できない。

近年、AI応用システム開発の容易化を目指す大規模知識ベース構築に対する議論がさかんになってきている［寺野 1993］。大規模知識ベースとは複数の目的に利用でき大量の知識を蓄えた次世代の知識ベースである。大規模知識ベースシステムの開発にあたっては２つのアプローチがある。１つはCyc（サイクと読む）プロジェクト

［Lenat 1990］などに見られるように多目的の知識ベースを集中型の単独システムとして実現しようとするものである。ここでは、システムを利用する場面場面にあわせて知識を再利用する手法が重要となる。もう1つは、数多くのシステムを分散環境下で、協調させて問題解決を行おうというものである。たとえば，KSE（Knowledge Sharing Effort）プロジェクト［Neches 1991］では、将来の分散型大規模知識ベースシステムのアーキテクチャとして、分散化した知識ベースを局所的なシステムがアクセスし、理解できるような枠組を提案している。知識コミュニティ［Nishida 1993］では、大規模知識ベースシステムを相互作用する個別サブシステムの集合体と捉えている。そこに共通するキーワードは、分散環境下における知識を共有化／再利用する仕組みの実現である。しかし、現在のところ、このような大規模知識ベースシステムの理論的なモデルは存在しない。

さらに、その次の段階では、分散知能システムでも問題解決能力の自律的な向上が望まれるのは当然であろう。それには、分散知能システムにおける学習機能の実現が必要である。しかし、従来の機械学習を分散知能システムに単純に適用しただけでは、「組合せ的爆発」や「信念の改訂」の問題を避けることができない。ここが、内部モデルとその相互作用の性質を主に考察の対象とできる人間を基本的な要素とする従来のシステムと、「計算の手間」を考慮しなければならないコンピュータ上のシステムの大きな違いである。したがって、分散知能システムにおける学習の問題は、その場面状況に限られたものにならざるをえず、部分的な問題はその範囲で解決でき、必要に応じて外との通信を行うような新しいモデルが必要である。

そこで、以下では、機械学習の概念を分散環境下へ拡張することを試みる。そして、分散型AI応用システム、分散知能システムにおける学習機能の実現に関する諸問題について考察する。分散協調環境における学習機能の実現に関連する共通する課題は、知的なエージェントの問題解決機能、エージェント内・間における学習機能、ならびにエージェント間の通信機能の実現と評価である。以下では、個々のエージェントのもつ知識は一様でなく、内容にもレベルにもさまざまであることを仮定した上で、そのような知識群を使用する問題解決機能、単純な通信機能、記憶型あるいは知識集約型の学習機能をもつエージェントモデルを提案する。さらに、これを用いて、分散協調問題解決や組織的な学習におけるエージェントの振る舞いを分析した実験結果について紹介する。この枠組は比較的単純なものであるが、拡張性と潜在的な適用可能性は広く、知識ベース共有化に対する理論的なモデルを提供することができる［高木 1995］。

(3) 分散知能システムのモデルへの要請

分散知能システムの理論的なモデルには、次の項目が要請される。

① 個々のシステムの局所性と非局所性

分散知能システムを構成するエージェントは、それぞれある程度の問題解決能力を

持つ。この時、ほとんどの問題は、個々のエージェントで解決できるとする。これは、個々のシステムが独立に開発されることを考えれば自然な要請である。

また、はじめは与えられた問題を個別に解決できないエージェントも適切な学習によって、やがて自立した問題解決能力を持つようになることが望ましい。つまり、分散知能システムは局所性を持つ。そして、自ら解決できない問題に遭遇したときに始めて他エージェントと協調することとする。

② 帰納学習と演繹学習

すでに述べたように、機械学習には帰納学習と演繹学習がある。前者は、大量のデータから知識を学習するもので、類似性に基づく学習（Similarity-BasedLearning）などの手法が研究されている。一方、後者は、学習主体が、すでに十分な領域知識を備えているとの仮定のもとで、1つまたはごく少数の例題から学習を行なう。分散知能システムを構成するエージェントの学習・知識獲得機能は、この２つの機能を合わせ持つことが要請される。すなわち、与えられた問題の意味を理解し、問題解決が可能な形に問題を分割するためには、主として帰納学習を行ない、協調問題解決時には他エージェントの知識を取入れて演繹学習を行なう能力をもつことが必要である。

個々のエージェントは、自己で与えられた問題が解けない場合に、他のエージェントに問題解決への協力を依頼し、その結果を学習して、後の問題解決に備えるというフレームワークが自然である。

③ エージェント間の情報交換の形式

上の学習にあたっては、エージェント間の情報交換方式の違いが重要な意味を持ってくる。必要な情報を直接交換するのか、情報の所在だけを交換するのか、といった相違を評価できるようなモデルでなければならない。

分散型知能システムにおいては、個々のエージェントの問題解決器／知識ベースの能力と知識（質問・結果）の交換方式がシステム全体の性能を左右する。このため、知的なエージェントの問題解決知識／問題解決能力ならびに各エージェント間の通信能力の実現・評価が課題となる。このような課題は、分散人工知能研究、特に、マルチエージェント研究で対象となっているものに等しい。

④ エージェントの粒度

各エージェントは、一様でない問題解決知識、問題解決のための知識は互いに異なっており、局所的な通信機能、単純な学習機能をもつことにする。分散知能システムは互いに干渉できる複数のエージェントとエージェントを取り巻く環境から構成されている。この点において、本項で考察するエージェントの粒度はかなり大きくなる。

⑤ エージェントに与える問題

エージェントに与える問題は、必ずしも単一のエージェントで解決することはできないことを仮定する。その結果、問題解決にはエージェント間の協調が必要となる。

エージェント間の通信は一対一で行われることも、一対多で行われることもある。通信の相手が始めからわかっていることも、わかっていないこともある。どの場合でも、通信は問い合わせとその回答から構成される。さらに、エージェントは互いに平等な立場にあることもあるし、何らかの理由で階層化されていることもある。こうした条件の下では、問題解決のためには、エージェントは、通信の経路を効率よく探索しなくてはならないし、環境の変化に柔軟に対応してゆく能力も持つ必要もある。

⑥ 学習の目的

学習の目的は、各エージェントの問題解決能力の向上、ならびに、システム全体の問題解決能力の向上、ならびに、環境の変化への自律的な追随の3つである。ここで、問題解決能力の向上とは、解ける問題の範囲の拡大と効率の改善の両方の意味をもつ。

(4) 分散型機械学習モデルの提案

前述の要請を満たすための最初の近似的なモデルとして開発した4種類の機械学習モデルについて紹介する。これらのモデルでは、個々のエージェントは、一様でない問題解決知識、通信機能、単純な学習機能を持つ。問題解決についてのエージェントの知識は互いに異なり、システムに与えられた問題は、単一のエージェントで解くことはできないとする。

我々が開発したモデルでは、第1に、誰と情報交換を行うか、あるいは、別のことばでいえば、誰と通信できるかを学習する機能の違い［Terano 1995］、第2に、知識を互いに交換しながら学習を進める機能の違い［Terano 1995］、第3に各エージェントのもつ問題解決知識の性質の違い［幡鎌 1996］、第4に各エージェントがもつ帰納的な学習能力の違いのそれぞれをパラメータとする［及川 1996］。最初をコミュニケーションを重視した学習モデル、第2を知識集約を重視した学習モデルと呼ぶ。第3をジェネラリスト・スペシャリストモデル、最後を帰納学習エージェントモデルと呼ぶ。

第1のエージェント群に対しては、何重にも箱につまった荷物を分解して引き出す問題（リスト分割削除問題）を、第2、第3のエージェント群に対しては、特定の概念を共同で知識集約型学習を行う問題（カップ概念学習問題）を、第4のエージェント群に対してはアンケートデータの分類・分析を行う問題を与える。そして、くり返し問題を解く間に、与えられた問題の性質に適した組織が創発的に生成され、その問題解決効率が変化する様子を観察する。

ジェネラリスト・スペシャリストモデルは、組織内での知識のやりとりの不完全性を想定し、外部環境に実用的に適応するための学習方法を探究することを目的とする。そして、組織における意思決定と学習の動的な振舞いを表すために、異なる種類の知識の補い方のダイナミクスをシミュレーションによって示す。さらに、解を発見する問題のダイナミクスを表すモデルを考察する。

帰納学習エージェントのモデルにおいては、帰納学習における属性選択問題に注目し、データの分類のためのルールを発見する帰納学習機能を持つエージェントが、あ

らかじめ与えた目的関数を利用することなく、他のエージェントが持つ知識を利用することにより、取り扱う属性集合を変更するだけで、よりよいルール集合を発見する事ができることを実験的に示す。実験のタスクドメインにはアンケートデータ分析問題を用いて、このシステムが、単独の帰納学習システムでは得ることができない分析結果を発見したり、発見した分析結果を自動的に改良していくことを示す。なお、実験システムにおいては、定評ある帰納学習システムであるC4.5を用いる〔Quinlan1993〕。

以下では、スペースの関係から最初の２つのモデルについて詳しく述べることとする。

①コミュニケーションを重視した学習モデル

このモデルを Communication oriented Learning Model の頭文字をとって CLMと呼ぶ。エージェントは、タスクが与えられると、それに対する問題解決を行なう。エージェントが、あるタスクに対して問題解決を行なうと、タスクの内容は変化する。こうして、各エージェントはタスクの中間結果のいろいろな段階を受けとる。このようなタスクの列を設定することにより、さまざまの環境の変化をつくり出すことができる（図３.２.３-２）。

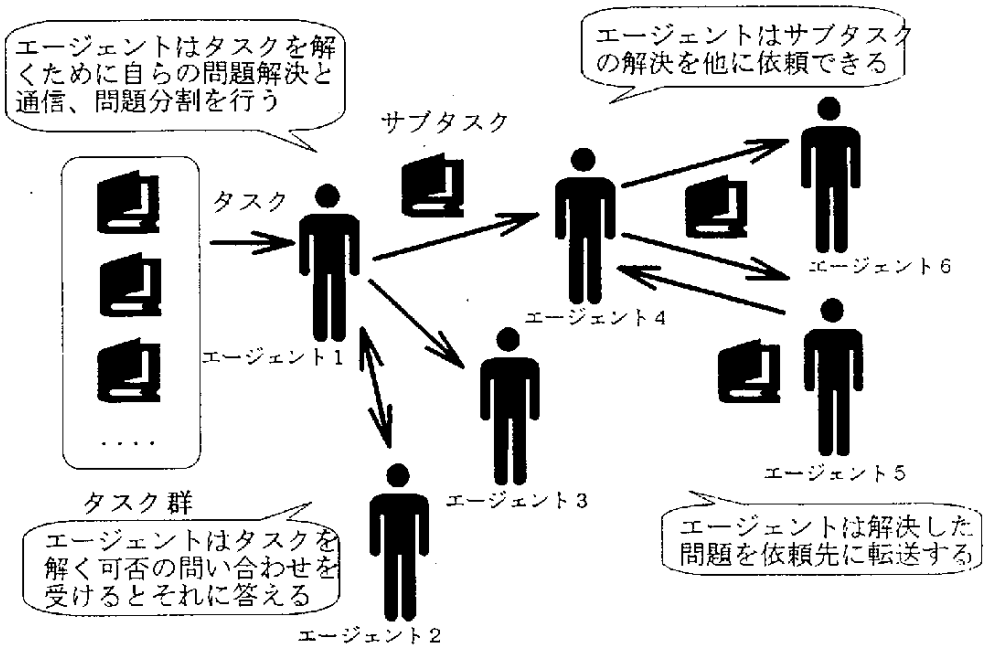


図３.２.３-２　CLM による問題解決

ここで扱う問題のイメージを図３.２.３-３に示す。問題の分割を箱の置き換えで表わし、問題の解決を箱の中身の削除で表わしている。図３.２.３-３では一箇所に置かれた複数の箱をエージェントが取除いていく。各エージェントは特定の箱を処理する知識をもつ。それには、たとえば、箱Ａを分割して小さい箱a, b, cとするような問題分割知識と、箱Ｄを取除くといった問題解決知識がある、（1）が初期状態、（2）、

(3) が中間状態で、(4) が問題解決が終了した最終状態である。

これは一見単純な問題ではあるが、箱を置き換える知識、中身を削除する知識をエージェントの間で適当に共有または分割することによって、複雑かつ困難な状況を表現できる。オフィスにおける事務作業や、工場の製造工程における分業、分散システムにおける検索などを模擬するモデルとして一般性の高い例題である。

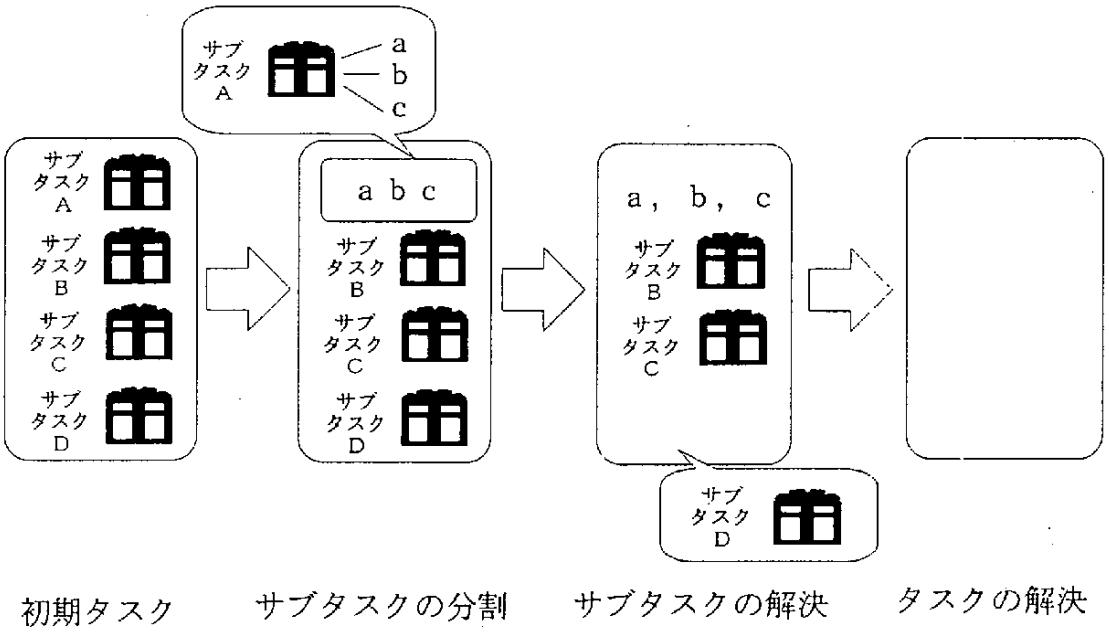


図3.2.3-3　リスト分割削除問題のイメージ

エージェントの機能は、問題の授受、問題解決、通信、信頼度計算の4つからなる。その概要は次のとおりである。

1：エージェントは外からタスクを受け取ると、問題解決部にそれを渡す。

2：問題解決部は、問題解決器（推論機能）と領域知識（知識ベース）をもつ知能システムである。この問題解決部は、与えられたタスクから自分で解決可能なサブタスクを複数個みつけ、領域知識に基づいて解決しようとする。ここで、通常の問題解決と異なるのは、タスクを自分の問題解決知識にあうようにタスク分割知識を使ってサブタスクに分割し、そのサブタスクに対して領域知識を適用するという手順を踏む点にある。解決の結果は通信部に渡される。

3：通信部は、未解決のサブタスクを他のエージェントに渡すコミュニケーション機能と他のエージェントの問題解決能力をその信頼度から予測する知識からなる。通信部は、問題解決の結果が不成功なら通信を開始する。成功ならプログラムを終了させる。

通信は他のエージェントに関する知識を用いて行なう。また、通信の結果、他のエージェントに関する知識（信頼度）が更新される。通信は他のエージェントがタスクの受け入れを了解するまで、エージェント群の中で続く。この際、相手のエー

ジェントに受け入れが拒否された場合でも、問題解決ができそうなエージェントを教えてくれることがある。これは、通信相手のエージェントが他のエージェントに関する知識を用いて回答するためである。

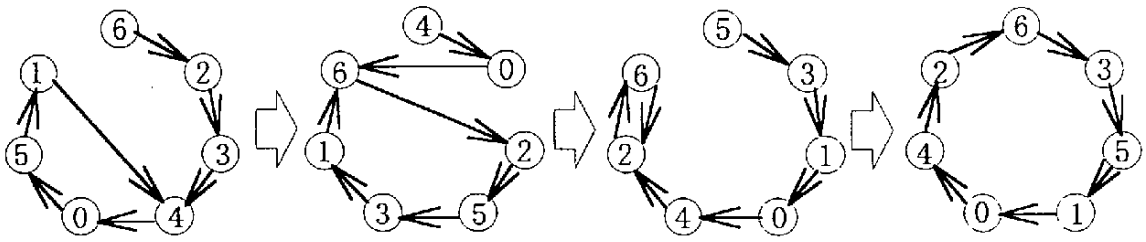
4：他のエージェントに関する知識は、相手のエージェントの名前とそのエージェントに対する信頼度からなる。信頼度は、相手のエージェントか相手のエージェントが指示したエージェントが、タスクを受け入れると上昇し、タスクの受け入れを拒否すると低下する。タスクの受け入れが了解されると、対応するタスクがそのエージェントに渡されるしくみである。

また、CLMでは、エージェントに次のような制約を加えている。これは、現実の組織システムのモデルとしての妥当性を増すと同時に、これがこのモデルの限界でもあるが、プログラムとしての実現しやすさから生じたものである。

・各エージェントは部分的な問題解決知識、または問題分割知識をもつが、自己の知識を他のエージェントに伝えることはできない。
・エージェントは互いの存在を認識してはいるが、初期状態では、どのエージェントがどのような問題を解けるかはわかっていない。
・各エージェントは、自分の解けない問題を他エージェントに知らせあう通信過程で、互いのもつ知識の内容を推論する。
・この結果と過去の問題解決プロセスとに基づいて、問題解決を依頼できそうなエージェントの名前と、そのエージェントに対する信頼度を記憶する。
・エージェントは一度に一つの問題しか解けず、また、記憶できる他エージェントに関する知識量にも限界がある。

CLMを使った実験結果をいくつか説明しよう。

同じ性質をもつ問題群、すなわち、特定のエージェントに対する通信を行っていれば必ず解決される問題群を7つのエージェントに与え続けた結果、得られた信頼度の高い通信経路を図3.2.3-4に示す。問題解決の初期の段階においては、どのエージェントが信頼に足るものかが不明なために、通信経路はさまざまに変化する。しかし、そのうちに問題解決の単純化をはかる協調行動が発現し環状の経路が形成されて、一種の組織化が達成される。



ⓝ：　エージェント番号　　⟶：　形成された通信路

図3.2.3-4　CLMにおけるエージェント間の通信経路の形成

この様子を定量的に示したのが図3.2.3-5のグラフである。このグラフでは、横軸に問題解決の試行回数を縦軸にシステム全体で通信に失敗した回数をとっている。実際に試行が進むにつれ、信頼できる相手のみに問題解決を依頼するようになるので、通信における失敗が減少する様子がわかる。

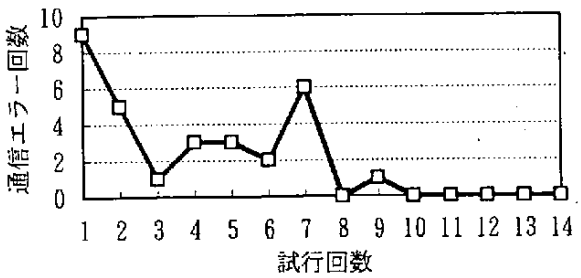


図3.2.3-5　CLMにおける定常的な問題解決中のエラー回数の変化

ここで、外部から与える問題群を絶えず変化させたらどのようになるだろうか？これまでの議論から容易に想像できるように、非定常な問題群に対しては、一定の通信経路を形成することはできない。図3.2.3-5と同じ形式で表示したグラフが図3.2.3-6である。各エージェントは信頼度にしたがって問題解決を依頼するのだが、依頼されたエージェントはそのたびごとに、その信頼を裏切る（すなわち問題が解けない）状況が繰返される。その結果、エラーの回数は減少せず、不安定な状況が継続する。

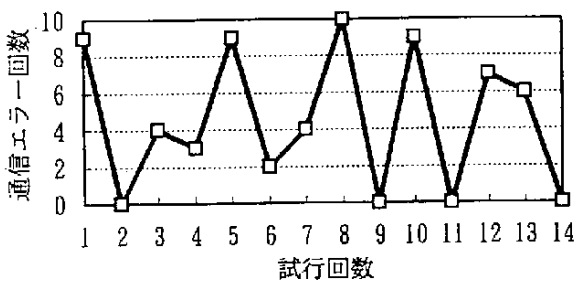


図3.2.3-6　CLMにおける非定常的な問題解決中のエラー回数の変化

② 知識集約学習に基づく学習モデル

知識集約学習に基づくモデルを Knowledge intensive Learning Model の略から KLM と呼ぶ。KLMでは、問題解決のプロセスでエージェント間で必要な知識が交換され、演

繹学習の仕組みによって問題解決効率が改善される。その結果、特定のタスクに特化されたエージェントが次第に構成され、組織化されたエージェントシステム全体の問題解決能力を向上させることが可能である。ここでいう演繹学習の機能は、説明に基づく学習の方法を分散システム上に拡張したものである。KLMにおける問題解決知識はシステム全体としては学習に必要な十分な量と質をもつが、個々のエージェントの知識のみでは与えられた問題は解けないものとする。

KLMが扱う例題は、人工知能における学習の研究でしばしば用いられる知識ベースを、各エージェントに分散してもたせたものである。その例としてカップの概念の学習問題をとりあげる。カップから飲み物を「飲む」とはなにかを、分散環境の中で学習させる例を示す（図3.2.3-7）。

この図では、Agent A が「飲む」ということの一般的な属性（「注ぐ」、「掴む」「持ち上げる」など）を知っている。Agent B と Agent C は一般的な属性は知らないが、詳細な属性（「掴む」には「把手」が必要）を知っている。このような状況のもとで、Agent A に例題（「容器状」で「把手」があるなど）を与える。その例題が「飲む」という目標概念の意味に合致しているかという問い合わせが来ると、Agent A から各エージェントに、詳細な属性の意味の問い合わせが発生する（図3.2.3-8）。

そして学習の結果、それぞれのエージェントが学習をし、Agent A は「飲む」という意味についての正しい知識を得る（図3.2.3-9）。

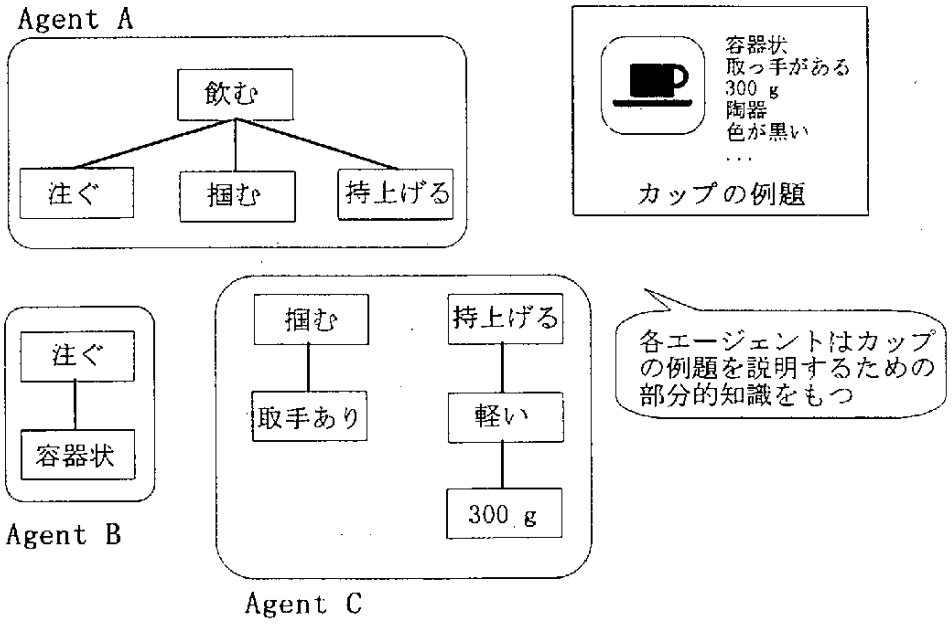


図3.2.3-7　カップの意味を学習するマルチエージェント

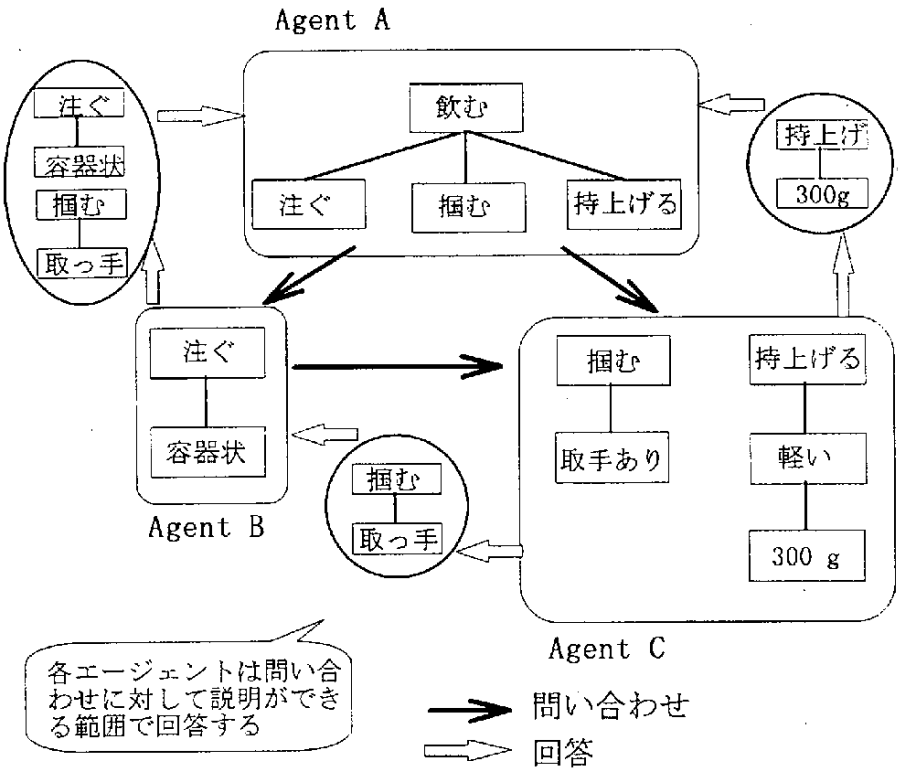


図3.2.3-8　カップの意味を問い合わせるエージェント群

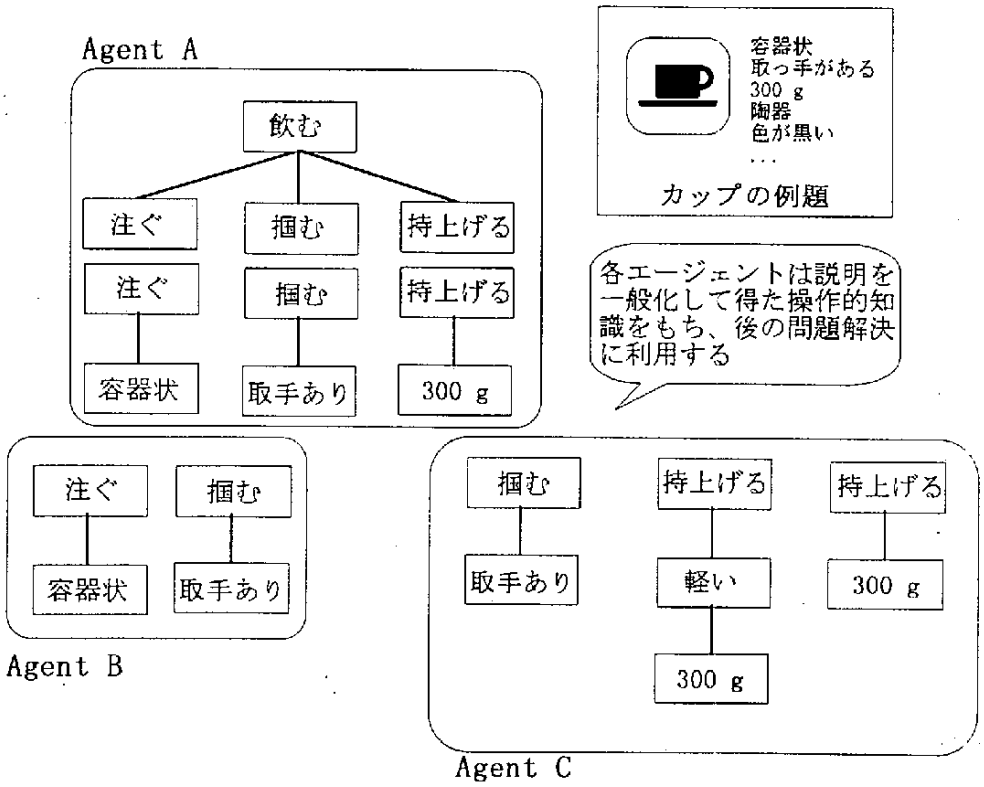


図3.2.3-9　カップの意味を学習したエージェント群

この例題はごく小規模なものなので、知識集約型学習の意義は明確でないかもしれない。しかし、図3.2.3-7から図3.2.3-9へと変化するエージェントの動きは、人間が構成要素の組織システムの場合にみられる行動に類似している。つまり、1人の手に負えないほどの規模の問題を分割しつつ、自分の手に負えない問題の解決を他の人間に依頼する行動に類似しているのである。

さて、KLMの各エージェントは一般には次のような性質をもっている。解決すべき目標とそれを満足する例題はエージェントシステムの外部から与えられる。エージェントのもつ知識ベースは、すぐに問題解決に適用可能な操作的知識と、一般的な形で推論処理を行わないと適用可能性が判定できない非操作的な知識に分れている。各エージェントは、問題と同時に与えられる例題の説明を試み、その結果学習した内容は非操作的知識から操作的知識へと変換される。ここで、例題は、目標に対する問題解決をガイドする役割をはたしている。このような意味でKLMにおける学習は前に述べた説明に基づく学習の概念を分散環境に拡張したものになっている。また、各エージェントは、他のエージェントのもつ操作的知識を問題解決過程で参照することができるが、非操作的な知識は参照できないものとする。これは、他のエージェントの発言や行動は自分で利用できるが、その頭の中の情報は直接は参照できないことに相当する。

KLMにおける問題解決の手続きは次のとおりである。

1：目標概念と例題とを与えられたエージェントが、まず自分のもつ操作的な知識の適用を試み、そして解けない問題については、非操作的な知識を用いて訓練例の説明生成を試みる。
2：次に、与えられた問題に含まれる特定の概念が説明生成不能の場合、これを新しい目標概念として他エージェントに配布する。この時、簡単のために任意のエージェントに問題を配布できるものとする。この通信の方式はCLMの場合とは異なっている。
3：問題を配布された各エージェントは、自分の知識を1と同様の順番で適用して、他から与えられた目標概念の説明生成を試みる。
4：あるエージェントが説明生成に成功した場合は、それを一般化し、自分の操作的な知識に加えるとともに、やはり操作的な知識としてそれを問題を配布したエージェントに返す。
5：説明生成に失敗した（部分的な）概念がある場合は、その説明生成を1～4と同じ枠組で配布実行する。
6：結果を受取ったエージェントはそれを用いて、説明を完成させ、一般化を行った上で、目標概念に対する操作的知識を得る。

KLMの機能を実現するプログラムは、比較的単純である。しかしこのモデルは、以下に述べるような特徴を持つ。

・分散環境下で、（説明生成としての）問題解決を行ない、目標概念を満足する解を

生成するとともに、それを一般化することで知識集約型の学習を行なう。
・分散環境下で、必要に応じて情報交換を行ない、得られた知識を共有化する知識共有化のモデルとなる。
・問題解決器が分散していることで、1つの例題からの複数の操作的知識の抽出が可能である。
・領域知識が分散しているために説明生成の負荷が軽減できる。
・さまざまな問題をこの枠組で処理することによって、特定の問題に対するスペシャリストエージェントが出現する。
・一方、知識の分散により単一のエージェントでうまく学習できるような概念に対しても、学習できなくなる可能性があるとともに、説明生成時の通信量が膨大になる。

このような特徴が、実際に観察されるかどうかについて、小さな例題による実験を行なって確かめた。実験結果によると、分散環境化でエージェントの学習が進むにつれ、個々のエージェントの知識が再構成されることが判明している。これによって分散環境自体に通信の効率化と柔軟な問題解決能力が備わる。

KLMを用いた実験結果について述べる。ここでは、図3.2.3-7に示したような問題を同一のエージェント群に、いくつか解かせることにより、各エージェントがどのように学習を行なうかを実験し、学習した結果を蓄積する能力を制限した場合とそうでない場合の比較を行なった。実験は、エージェント数を9とし、18の類題を特定のエージェントに対して与えた。各エージェントの問い合わせ先の初期設定はランダムになっている。

これらの設定に基づき、次の3つの場合について実験を行なった。

(1) 操作的知識の記憶量、推論方式、通信方式に制限がない場合。
(2) 他のエージェントから受けとる操作的知識を一つだけしか記憶できない場合。
(3) 非操作的知識の適用に当たって、その適用回数を一度のみに制限する場合。

ここで、KLMの実際のプログラムはESPという記号処理向けのProlog言語の一種で記述している。上の適用回数の一度とは、厳密には、バックトラックの回数を1回に制限するという意味である。

こうした制約を設けることにより、実際のシステムで生ずるであろう資源制約のモデルを作り出したことになる。結果を図3.2.3-10に示す。

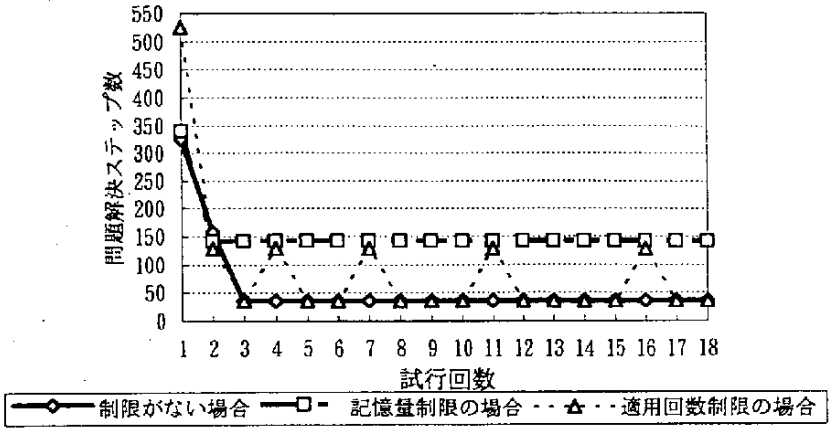


図3.2.3-10　KLMの学習における問題解決ステップと試行回数の関係

まず、記憶域を制限しない場合には、急速な学習効果が得られ、その効果は持続する。この場合、学習後のエージェントは、類似の問題に対しては、他のエージェントへの問い合わせを行なわず、自力で問題を解決している。結果としてこの問題に対するスペシャリストになったことを意味している。スペシャリストになるまでの時間は、かなり短いが、最初の問題に対する説明生成時の通信量は、単一のエージェントに較べてかなり膨大なものになっている。

次に、他のエージェントからの知識を一つに制限すると、学習効果は、制限のない場合に較べて小さくなった。この場合、学習後のエージェントは、完全に自力では問題を解けないが、問題を解決するために必要な知識をどのエージェントが持っているかが分かっているために、問い合わせは限られた相手のみに起こり、学習効果がかなり大きく現れている、これは、自己組織化のモデルとして評価できると同時に、知識共有化のモデルにもなっている。

また非操作的知識の適用回数を制限すると、学習効果は、消滅しないものの、持続しなくなり、再学習が発生する。何らかの理由で、学習効果の一部が失われると説明生成時の通信量は再び膨大なものになる。しかし、この場合でも学習効果は全く失われるわけではなく、再学習のコストは次第に減少して行くことがわかる。

この実験では、KLMに知識主導型学習の機能しか持たせていない。これは、われわれのモデルが分散環境下でのエージェントの学習のみを対象とし、エージェントの内部での学習の問題についてモデルの対象としなかったからである。そのため、各エージェントは与えられた問題を完全に理解し、問題分割も完全にできることを仮定している。しかし、現実には、この仮定がきつすぎる場合もある。例えば、カップとは何か、という問題を与えられた時に、カップの属性は何かを推論するということが必要なはずである。現在の学習機能では、カップの属性は与えられてしまっている。しかし、そうした属性は、常に固定的なものとは限らない。そこに様々の例が与えられると属性が変化する、といった学習機能が必要になる。

こうした、問題を考える時には、知識主導型の学習のみではなく、データ主導型の学習が不可欠である。例えば、さまざまの正例や反例が、与えられてそこから領域知識を新たに作り出すといった作業が必要になる。

(5) 考察と課題

上で紹介した機械学習モデルは、組織理論の立場からみると非常に単純なものである。CLM、 KLMとも、類似した問題を繰返し解決する必要性からエージェントが集まり、徐々に組織的な行動が発現していく様子を模擬していると解釈することができる。このようなシミュレーションモデルは、古くはMarchやSimonなどの手によって、意思決定理論の構築にともなってなされてきたものである。最近では、組織論［ORG 1991］や人工知能［Masuch 1992］、組織知能［OR, 1988］の枠組みでも類似の研究がふたたびなされるようになってきている。以下では、この妥当性について議論する。

企業経営や組織行動などの分野に人工知能理論・技術を適用することを考えると、これらは人間が作りだしてきたものゆえ、Simonのいう「人工物の科学（Sciences of Artificial）」［Simon 1984］の対象となるはずである。しかし、これらの分野は、従来のエキスパートシステムが対象にしてきた分野・タスクに比較して、はるかに定義しにくく構造が不明確である。もちろん、これまで、人工知能は人間にならって知的行動の実現方法を研究するための手法を提供してきた。また、分散人工知能は社会にならって知的システムを実現しようというアプローチを与えてきた。最近の研究では、社会学や経済学の概念を援用して分散人工知能の理論やシステムを論ずる場合が多い。しかし、PHSが普及し、遍在的コンピューティング（Ubiquitas Computing）があたりまえとなるようなマルチメディア社会に適用できる既存の社会科学の理論は存在しない［高木 1995］。このような立場では、今後のマルチメディア社会の問題点を分析しきれないと考える。

経営組織論の分野では、よく知られているように、組織の目的は個人では達成不可能な問題を解決するためであり、組織を運営していくためには情報処理と情報創造が必要であると主張する。そして、意味を捨象したSimon流の情報処理アプローチに加え、情報の意味を積極的に扱い、組織の知識創造、学習（Organizational Knowledge Creation;Organizational Learning）のプロセスを分析する重要性を指摘する。そこでは、「組織」の構成員である「個人」同士、あるいは個人と組織との形式的／暗示的なコミュニケーションによって「学習」が進展していく。さらに、「知識」には暗黙知（Tacit Knowledge）と形式知（Formal Knowledge, Articulable Knowledge）とが存在し、それらの相互作用によって、個人、組織の中で知識創造がなされると考える［野中 1990］、［狩俣，1992］。

［古川 1991］は、組織学習の代表的な定義として、「組織が現在所有し、さまざまの組織活動の結果のいかんを照合している価値基準（theory-in-use）の妥当性を吟味し、それが妥当性を失っている場合には新しいものに置き換える過程」、「組織が、自ら変革をつくる必要性を発見し、より一層の成功を収めるであろうと自ら信ずる変革に

着手しうる能力を獲得し，成長させる過程」の２つをあげている。

しかし、これらの研究で用いられている「組織」、「個人」、「知識」、「学習」などの重要な概念については、研究者ごとに意味づけが微妙に異なっており、厳密な定義がなされていない状況にある。このような状況に対しては、組織論の分析おいて、人工知能における機械学習、ならびに、分散人工知能の諸概念の適用可能性について考察することは、意義が深いと考えられる。つまり人工知能研究の成果を組織科学の説明のモデルに供する意義は大きいはずである。

たとえば、［March 1991］などの議論に見られるように、企業組織はごく少数の歴史的な事実からさまざまな事柄を学び、それによって自らの行動を規定してしまう事例が多い。このような状況を説明するモデルとして、組織構成員であるエージェントが共通の例題と操作性基準のもとで目標概念を「学習し」、共通の操作可能な知識として蓄えるという我々の学習モデルの概念は、適切なものと考えられる。

［野中 1990］などの議論に見られる、組織の行う「暗黙知」の「形式知」への変換は、組織学習における１つのモデルに相当すると考えられる。なぜなら、KLMにおけるエージェントは、組織の構成員と同様に、不十分ではあるが、対象領域に関する知識をもち、しかも、与えられた問題、目標概念に対して十分な問題解決能力を備えているからである。したがって、KLMにおける非操作的な知識を暗黙知、操作的な知識を形式知ととらえると、エージェント間のコミュニケーションにより、操作可能な知識が増加し、組織としての学習が行なわれると解釈することができる。またこれは上に述べた「少数例からの学習のモデル」の概念とも整合するものである。

参考文献

[AI 1990] 人工知能学会誌：特集「分散人工知能」, Vol.5, No.4, 1990.

[AI 1992] 人工知能学会誌：論文特集「学習」, Vol.7,No.6, 1992.

[AI白書 1994] ICOT-JIPDEC AIセンター（編）：ＡＩ白書－人工知能の技術と利用, 1994.

[CACM 1994] Special Issue: Intelligent Agents, Communications of the ACM, Vol.37, No. 7, 1994.

[出口 1994] 出口弘, ネットワーク, 日科技連, 1994.

[古川 1991] 古川久敬, 構造こわしと集団・個人の学習, 組織科学, Vol. 25,No.1, pp.10-21, 1991.

[幡鎌 1996] 幡鎌博、寺野隆雄, 組織における知識活動のマルチエージェントモデル－知識重視型経営手法・CSCW・組織学習の統合をめざして－, 経営情報学会誌, 1996 (掲載予定).

[服部 1991] 服部桂, 人工生命の世界, オーム社, 1991.

[狩俣 1992] 狩俣正雄, 組織のコミュニケーション論, 中央経済社, 1992.

[Lenat 1990] Lenat, D.B. and Guha, R.V., Building Large Knowledge-Based Systems, Addison-Wesley, 1990.

[Masuch 1992] Masuch, M., Warglien, M. (eds.), Artificial Intelligence in Organization and Management Theory, North-Holland, 1992.

[Neches 1991] Neches, R., et al., Enabling Technology for Knowledge Sharing, AI Magazine, Vol.12, No. 3, pp.36-56, 1991.

[Nishida 1993] Nishida,T., Takeda,H., Towards the Knowledgeable Community, In Proc. KB&KS'93, pp.157-166, 1993.

[西垣 1994] 西垣通, マルチメディア, 岩波新書, 1994.

[野中 1990] 野中郁次郎, 1990 知識創造の経営, 日本経済新聞社, 1990.

[及川 1996] 及川覚、寺野隆雄, マルチエージェントによる組織学習的属性選択アルゴリズム, 計測自動制御学会大23会 知能システムシンポジウム, 1996.

[OR 1988] オペレーションズ・リサーチ：特集：組織知能, Vol.33, No.3, 1988.

[Org 1991] Special Issue: Organizational Learning, Organizational Science, Vol. 2, No. 1, 1991.

[Quinlan 1993] Quinlan, J.R., C4.5: Programs for Machine Learning, Morgan-Kaufmann, 1993.

[Simon 1984] Simon, H.A, Sciences of Artificial（稲葉元吉、吉原英樹（訳）, 新版システムの科学, パーソナルメディア, 1987）.

[Sutton 1992] Sutton, R. S. (ed.), Reinforcement Learning, Kluwer（Reprinted from Machine Learning, Vol.8, Nos. 3-4, 1992.

[多田 1993] 多田富雄, 免疫の意味論, 青土社, 1993.

[高木 1995] 高木・木島・出口他, マルチメディア時代の人間と社会, 日科技連出版, 1995.

[寺野 1993] 寺野隆雄, 知識システム開発方法論, 朝倉書店, 1993.

[Terano 1995] Terano, T., Kusunoki, F., Ono, S., Cho, D., 1995 A Machine Learning Model for Analyzing Performace of Organizational Behaviors of Agents, Proc. APORS'94, pp. 164-171, 1995.

[Weiss 1991] Weiss, S. M., Kulikowski, C.A., Computer Systems that Learn: Classification and Prediction Methods from Statistics, Neural Nets, Machine Learning, and Expert Systems, Morgan-Kaufmann, 1991.

3.2.4 ネットワークソフトとマルチモーダルヒューマンインタフェース

(1) はじめに

ネットワーク網のシステムソフトウエアと端末のユーザインタフェースの開発例を紹介する。前者は、アポイント機能、電子メール分類機能、情報収集機能などをもつネットワークソフトのプロトタイプであり、後者は、視線、身振り、音声など多元情報を用いて対話できるマルチモーダルインタフェースのプロトタイプである。これらは、ネットワークAI技術マップで、インテリジェントエージェントとインタフェースエージェントに位置付けられる。

(2) ネットワークソフト［上田他 94］

①概　要

ネットワークを利用したアプリケーションを仮想の秘書との対話により、簡単に使用できる電子秘書システムのプロトタイプを開発した。このシステムでは、(i)ネットワークで接続された端末を用いて会議などのアポイントを取る機能、(ii)到着した電子メールを内容に応じて分類する機能、(iii)分散したデータベースの中から情報を集める機能の3つを実現した。これらの機能は、仮想の秘書との対話を行いながら使用できる。画面上に表示された秘書は、動きや音声により現在のシステムの状態をユーザに分かり易く伝え、ユーザの不安感を取り除く役割を果たす。12名の被験者を用いたインタフェースの評価では、仮想の秘書を通じてシステムの状態をユーザに示すことにより、秘書を表示しない場合に比較して25項目の評価項目のうち20項目で高い評価を得た。仮想の秘書との対話によるユーザインタフェースは、ネットワークで接続された情報機器がオフィスや家庭に入り、より幅広いユーザ層を得るための一つの有効な手段になり得ると考えられる。

②背　景

近年、パソコンやワークステーション、LAN（Local Area Network）、INDN（Integrated Services Digital Network）などの普及に伴い、電子メール／ニュースなどネットワークを用いたアプリケーションが注目されている。

オフィスでは、電子メールが組織を活性化する新たな手段であると言われ、積極的に取り入れる企業も多い。家庭では、見たいビデオを選んですぐに見ることができるビデオオンデマンドの実現が近い。現在普及している携帯端末はネットワークで結ばれることにより、個人の情報を個人で見るためのツールからグループの情報を共有するためのツールへ発展すると予想される。これらの機器を使用すると、場所の隔たりだけでなく、時間の隔たりを越えてコミュニケーションがはかれるため、従来の階層的な組織や仕事の方法を変えるツールになると言われている。

一方、これらの機能がオフィスや家庭にまで普及するためには、誰にでも使うことができるユーザインタフェースが重要になってくる。

我々は、ネットワークを利用した有用で使い易いシステムを構築するため、主として２つの技術開発を行っている。第１は、仮想の秘書を画面に表示し、その秘書に頼めばOSやネットワークなどを意識せずに機能を使うことができる新しいヒューマンインタフェース技術であり、第２はネットワーク上に分散したデータベースに存在するデータを、内容により検索・分類する知的処理技術である。これら２つの技術を用いて構築されたシステムを電子秘書システムと呼んでいる。

今回作成した電子秘書システムのプロトタイプでは、ネットワークで接続された端末を用いて会議などのアポイントを取る機能、到着した電子メールを内容に応じて分類する機能、分散したデータベースの中から情報を集める機能の３つを実現した。これらの機能は、仮想の秘書との対話を行いながら使用できる。画面上に表示された秘書は、動きや音声により現在のシステムの状態をユーザに分かり易く伝え、ユーザの不安感を取り除く役割を果たす。

本稿では、試作した電子秘書システムの機能、秘書との対話インタフェースについて、最後に、被験者を用いた実験により得られた、秘書との対話インタフェースを用いた場合の効果について述べる。

③ 電子秘書機能

(a) システム構成

電子秘書システムは、端末である電子秘書が複数台から構成されている。各電子秘書は、ワークステーション上に構築され、ユーザとのやり取りを行うGUI（Graphical User Interface）部分、スケジュール管理や情報収集等の処理を行う本体部分、個人のデータを蓄積するデータベースからなる。電子秘書のGUIは、UNIX上で動作するオーサリングツールを用いて作成した。本体部分は他のワークステーションとソケット通信で情報のやり取りを行うことができる。データベースには個人のスケジュールに関する情報、検索で用いられる文書データなどが蓄積されている。

(b) スケジュール設定機能

グループ会議などを設定する場合、グループのメンバーの出欠をとることは非常にめんどうなことである。電子秘書システムでは、個人のスケジュール管理のみならず、他の人のスケジュールを確認する機能がある。グループのメンバーに会議のアポイントをとるときのやりとりを示す。使用方法は、スケジュールの各項目に、日時、場所、内容を入力する。グループのメンバーにアポイントを取る場合は、メンバーを指定すると、自動的にそのスケジュールの内容が転送される。スケジュールのリクエストを受けたメンバーは、リクエストを承認するなら「はい」のボタンを拒絶するなら「いいえ」のボタンをクリックするだけで、リクエストに対する返答が自動的に行われる。また、承認したリクエスト内容はスケジュールに自動的に書き込まれる。リクエストを出したユーザには確認のメールが送られ、リクエストに対する返答を確認することができる。

(c) メール分類機能

ネットワークを通じて大量のメールが届いたときに、メールの内容によって分類し、ユーザにとって重要なメールや興味のあるメールなど優先度の高いものから読むことができれば大変便利である。あらかじめ決められた（semi-structured）構造に従って記述されたメールを分類したり優先順位を付ける研究はなされているが、我々は構造に関係なく受信したメールを内容ごとに分類する機能を開発した。分類のカテゴリはあらかじめユーザが設定しておく。電子秘書では名詞間共起関係に基づいて、各カテゴリの基準ベクトルを計算し結果を記憶している。まず、メール１の文章全体の文章ベクトルを計算する。この文章ベクトルと各カテゴリの基準ベクトルとの類似度をそれぞれ計算する。「ニューラルネットワーク」、「VR（バーチャルリアリティ）」、「その他」はユーザが設定したカテゴリである。メール１は一番類似度の高い「VR」のカテゴリに分類される。類似度を右端に表示し、どの程度そのカテゴリに近いのか分かるようにしている。

(d) 情報収集機能

電子秘書システムはネットワークで複数の電子秘書端末が結ばれた構成になっている。ユーザが何かの情報を欲しい場合、自分の端末だけでなく、情報を持っていそうなグループのメンバーにもネットワークを通じて尋ねることができる。ユーザはキーワードを入力し、情報収集を依頼したいメンバーを指定する。GUIからデータを受け取った電子秘書本体ではユーザの指定したメンバーの電子秘書に情報収集の依頼があることを伝える。また、必要があれば、自身のDBから名詞間共起関係に基づいて、キーワードに関する情報を探し出す。依頼を受けた電子秘書も同様に情報収集を行い結果を返す。メンバーの電子秘書から結果がすべて戻ってきたら、ユーザに対して情報収集が終了したことを知らせ、ユーザの指示に従い結果を表示する。

④ 電子秘書システムのインタフェース

電子秘書システムのインタフェースの特徴は、ユーザと内部システムとの間に仮想の秘書を置くことで、人間の秘書に指示するような感覚で使用できるインタフェースを提供することである。ユーザからの入力は、ボタンやアイコンなどをクリックするマウス操作を主体にし、入力の手間を軽減している。画面には秘書の部屋を表示し、アイコンにはカレンダーや本など現実世界で見慣れたものを用いて、システムの持つ機能を分かりやすく表現している。秘書は、まばたきや本をめくるなどの動作を示すアニメーションデータ、「分かりました」などの音声データ、ユーザにメッセージなどを表示するテキストデータなどを蓄積している。システムの内部状態に応じて、これらのデータが表示・再生される。たとえば、情報収集を行うとき、ユーザがキーワードを入力しメンバーを選択すると、電子秘書はメンバーに情報収集を依頼するため通信の状態になる。このとき、画面に自分の秘書と他のメンバーの秘書が現れ、話している様子が表示される。依頼を受けた電子秘書は検索を始め、秘書が本をめくる様子が表示される。

⑤ インタフェース評価実験

電子秘書システムのインタフェースを評価するため、次の３つのインタフェースで比較実験を行った。

(a) 秘書を介するインタフェース（"秘書"）
(b) 秘書の代わりにメッセージを表示するインタフェース（"メッセージ"）
(c) 秘書もメッセージも表示しないインタフェース（"表示なし"）

"メッセージ" は、表示画面に秘書が表示されず「検索中です」など状態を示したメッセージが表示される。"表示なし" は秘書もメッセージも表示されない。

３つのインタフェースとも「キーワードを入力してください」などのダイアログボックスは表示される。実現される機能とユーザの操作手順は同じである。被験者は12名で、電子秘書システムを使ったことのない初心者である。好きなキーワードを設定し、ネットワークを通じて複数のメンバーから情報収集を行うというタスクを設定し、実験を行った。実験を行う順番は入れ替えて、評価に影響がないようにした。実験終了後、インタフェース評価シートに記入するという方法で評価を行った。質問は25項目あり、10段階で主観評価してもらい、意見があるときは別に書いてもらった。

⑥ 解析結果

各項目について被験者12名の主観評価の結果について述べる。評価値は、"秘書"、"メッセージ" それぞれの平均値から"表示なし"の平均値を引いた相対値で表している。25項目のうち20項目で"秘書"の評価が"メッセージ"の評価より高かった。

"秘書"の評価が高かった項目のうち、「待ち時間に不安を感じない」の項目では、秘書がシステムの内部状態を表示することがユーザの不安を軽減していることが分かる。「満足感がある」「おもしろい」などの評価結果から分かるように、システムの使用感に関する項目で評価が高かった。秘書が話したり動いたりすることで、システムに対する楽しさが増し、使いやすさが向上したと思われる。そのほか、秘書が存在することで、ユーザがシステムと対話しやすいと感じていること、初めて使うユーザにとってとっつきやすい印象を与えていることなどが読み取れる。また" 秘書" について「秘書が動いて退屈しない」「いろいろクリックしてみたくなる」などの意見があった。

逆に、「対話の速さは満足できる」の項目で評価が低かったのは"メッセージ"に比べ秘書が話している間の時間が余計にかかることが原因と思われる。また「参考資料が役に立つ」の項目では「使わなかった」（使う必要がなかった）という意見が多く、かえって評価を低くしたと思われる。そのほか、「会話の意味が分かりにくい」「状況に応じたヘルプが欲しい」などの意見があった。

⑦ むすび

2台のワークステーションを用いてスケジュール設定、メール分類、情報収集の機能をもつ電子秘書システムを試作した。本システムを用いると、今まで人が直接電話でやり取りを行っていたスケジュールの調整が、空いている時間にまとめて行えるようになる。また、メール分類や情報収集では、内容に即して分類や情報収集を行うことが可能になる。従来では、仕方なく人に聞いていた事柄も、このようなシステムが実用化されることで、いたずらに他人の仕事の手を止めることが減ることが期待される。

秘書との対話インタフェースの評価では、仮想の秘書を通じてシステムの状態をユーザに示すことにより、秘書を表示しない場合に比較して25項目のうち20項目で高い評価を得た。特に「不安を感じない」「満足感」や「おもしろさ」の点で高い評価を得ており、初心者に対する負担が軽減されていることが分かる。このような情報機器が家庭に入り、より幅広いユーザ層を得るための一つの有効な手段になり得ると考えられる。

今回は、熟練者に対する実験を行っていないが、習熟度に応じてインタフェースを変えたり、個人の持つ多様なニーズに対応するために、学習や適応といった技術を取り入れることが今後の課題である。

(3) マルチモーダルヒューマンインタフェース［TOGAWA et al. 95］

RWC（Real World Computing）プロジェクトの新機能シャープ研究室では「多元情報を用いたヒューマンインタフェース」というテーマで研究を進めている。ここでは、直観的に使え、直感に訴える人にやさしい統合インタフェースを実現することを目標としている。具体的には、「声、表情、身振りなどを使って自然に対話できるマルチモーダルヒューマンインタフェース」をめざしている。この目標を達成するには、音声、画像の認識、言語処理、バーチャルリアリティを用いて異なる情報を最適に統合する技術が課題となる。そこでマルチモーダル・ヒューマンインタフェースを実現するにあたり、人と人の間で交わされる対話過程を模範とするアプローチをとり、そして対話の様々な動作や音声をデータベース化し、対話を解析してモデル化し、そのモデルを実験システムで検証するという3ステップを繰り返しながら研究を進めている。

① マルチモーダル対話解析

人は相手の音声内容のみならず、身振り、表情といったものも利用して対話をしている。そこで人と人の間で交わされる音声やジェスチャを詳細に記録・解析できるマルチモーダル対話解析システムを構築した。

このシステムでは、将来の人間と機械とのインタフェースを前提とし、被験者はスクリーンに映し出された人と、スピーカからの音声を通して対話をする。たとえば、受付担当者と被験者（訪問者）が対話している場面である。二人の対話の様子はカメラやマイクを通して光磁気ディスクに書き込まれ、音声および動作等の種類に応じて、

フレーム（1/30sec.）単位でラベル付けが行えるようになっている。

このように作成したマルチモーダル対話データベースを詳細に観察したところ、頭の振り・顔の向き、視線方向が話し手や聞き手の意図を表わしていること、また、これら頭の振りやあいづちのタイミングにおいて、二人が同期をとりながら、協調して対話をしていることがわかった。

こうして得られた解析結果をインタフェースの設計に役立てる方法を提案した。

② 認識系統合モデル

マルチモーダルデータベースの対話解析結果を基に、意図を抽出するために、音声、頭の振り、顔の向きなどの認識系を統合した「音声と身振りによる認識系統合モデル」を構築した。

これはまず、対話システム（コンピュータ側）のキーワード発話時刻や発話終了時刻に基づいてレスポンスウィンドウという時間枠を設定し、このレスポンスウィンドウ内での各モード（発話単語、頭の振り）の生起に基づいて、ユーザの意図を識別するというものである。

マイク・センサ・カメラ等から入力された情報から発話単語、頭の振り、顔の向きを得る。発話単語は、質問文中のキーワードとの概念の関連度に基づいて、肯定キーワード（「はい」等）、否定キーワード（「いいえ」等）、その他キーワードの３つにカテゴリ分けし、頭の振りは縦振りか横振りかの２種類に分けている。レスポンスウィンドウ内の、これらのデータの生起状況を、マルチモーダルデータベース中のデータと比較して、肯定、否定の意図を識別している。

このように異なる情報を統合することによって意図の識別率が向上した。

③ 実験システム

認識系統合モデルを使って、音声のキーワード、顔の向き、頭の振りなどを統合した「商品紹介システム」を構築した。ここでは、マルチモーダルな入力を使うことで、ユーザの負担が軽減され、より使いやすくなることが検証された。

また、対話過程において、相手との動作や声の同期が重要な働きをしていることから、動作に注目した一例として、声のリズムを抽出して応答タイミングをシステム側がユーザに合わせる「じゃんけんシステム」を構築した。ここでは、対話過程におけるタイミングの重要性と、ユーザに適応することで楽しく使えることがわかった。

(4) まとめ（課題）

今後の課題として、次のものがあげられる。

(i) 国際標準インターネットとの親和
(ii) 新しい知的システムソフトウエア（OSなどに依存しないシステムソフト）
(iii) 情報端末のモーバイルコンピューティング進化
(iv) 新しいメタファのユーザインタフェース（紙メタファから人メタファへ）

参考文献

[上田他 94] 上田徹、松岡靖子、坂本憲治, "電子秘書システム", シャープ技報第60号, pp15-19, 1994.12.

[TOGAWA et al.95] Fumio TOGAWA, et al., "Integrated Recognition Models of Keywords in Speech and Head Movements Using a Multimodal Interaction Database-Toward a Multimodal Human Interface -", 95 RWC Symposium Technical Report, 1995.6.

3.2.5 知的協調教育環境

(1) はじめに

教育分野にAI技術を応用しようとする試みの起源は1970年代に遡る。当初の目標は、AI全体の目標がそうであったようにチューリングテストに代表されるような、人間の専門家に取って代われるシステムの実現にあった。そのため、研究の主眼は一人の学習者がコンピュータと対峙する系が想定され、人間の先生が対応するようにシステムが、学生の発する疑問・質問に答えると同時に、学生を正しい理解に導くための教育的措置を行うシステムが目標とされた。このような知的教育システムの実現に必要な機能モジュールは、教授戦略知識、教材知識、学習者モデル、対話知識である。これらそれぞれの機能モジュールの知的高度化が達成されたとき、当初目標とされた知的教育システムが実現される。

これまでの研究の多くは学習者の理解状況を正確・精緻に把握できる学習者モデルの構築、そしてそれに基づき適切な教育指導を行うための教授戦略の構築、システムと学習者間の相互に自由で自然な対話の実現など、知的学習システム（ITS:Intelligent Tutoring System）の実現に関わるものであり、この研究成果として多くの知見が得られているが、実用という観点では多くの課題を残している。

知的教育システムに関わる研究については自律的システムとしての高度に知的なシステムの実現という前述の目標ではなく、人間の知的活動としての学習を如何に効果的に支援するか、というまた別の観点での研究が盛んに行われ、マイクロワールドという考え方が提案されている［White 93］。マイクロワールドは現実の世界の部分集合としての仮想環境を実現し、その中で学習者に自由な振る舞いを許すようなシミュレーションを提供し、疑似体験を通じて自発的な学習を促進しようとするものである。さらにその発展系としてマイクロワールドの長所とITSの長所を生かし、発見的な学習を体系的に支援しようとするILE（Interactive Learning Environment）に関する研究が最近注目されている［大槻 93］。

一方、より実用的な研究開発の立場から、最近のマルチメディア技術とネットワーク技術の進展により、これらを教育の様々な場に活用することにより教育活動を効率的に支援しようとする試みが最近特に盛んに行われている。上記のITS、ILEもこれらネットワークベースのマルチメディアツールとの組み合わせによりより効果的な教育支援の環境を実現できる可能性がある。特にネットワーク環境における統合的な知的教育支援環境の実現が今後重要な課題となってくると考えられる。

(2) 分散知的教育支援環境

従来の教育分野へのコンピュータおよび情報処理技術の適用はCAIシステムに代表されるように単一単独が主流であった。しかし、コンピュータの高性能化、大衆化に加えて、ネットワーク利用が身近になってきたこととあわせ、より総合的な支援技術

の確立が望まれる。具体的には教育の場にあわせた利用形態を利用者が意識することなくシームレスに利用できることが望ましい。またこれにより、参加者である学習者や講師に最も適した時間・空間・個人差を克服した教育環境が、いつでも、どこでも、どんな端末に対しても提供される理想的な教育環境の実現につながろう。

① サービスの分類

ネットワークの利用の如何をとわず、教育応用システムの形態、狙いはそのシステムの対象とする学習者層により大きく変化する。特に幼児・児童と成人を対象とする場合ではそのアプローチはかなり異なると思われる。ここでは大学での教育や企業内教育に代表される成人の教育を前提とする。特に大学の教育に関わる機能をコンピュータネットワーク上に実現することを想定すると以下の特徴的な機能が抽出される。

(a) 講　義

教授が教科書などの副教材を利用しながら自身の専門知識を特定の時間に特定の場所に集合した学生に提供する形態である。

(b) 独　習

学生が講義の不明点を補足するため、あるいは自分の興味を満たすため、図書館などで学習する形態である。学生が主体的な意志に基づき学習するもので、従来のCAIシステムを利用する学習形態のこの形態に含まれる。

(c) ゼ　ミ

基本的な学習形態はグループ学習である。文化系であれば、研究内容を発表し、それに基づき討論を行うような形態が代表的な形態であり、理科系において典型的な形態は共同実験に代表される協調的な学習／研究の形態である。

② 電子遠隔講義支援システム

伝統的な講義は前に述べたように、特定の時間に特定の教室に講師と学生が集合し、決められた時間まで主として教授側から一方的に知識を提供する形態が主流であった。近年、講義の場にテレビ会議を活用し、離れた場所でも講義が受けられる形態が遠隔に複数の教室を有する予備校や大学などの教育現場に導入され、主として距離の克服という効果を上げている。テレエデュケーションではこの形態をさらに進め、真に距離と時間を克服する「バーチャル電子講義」の実現が望ましいと考えられる。バーチャル電子講義では、講師はあらかじめ講義のシナリオを電子的に作成しておき、ネットワーク内のサーバに登録しておく。電子講義は講師のビデオ講義とマルチメディアプレゼンテーションの組み合わせで実現されており、学生は決められた期限までの自由な時間にその講義を好きな端末で好きな場所で受講することができる。また、質問があれば電子メールで行い、講師は適宜受講状況を自分の端末でモニタし、討論や補足説明が必要と判断すれば、ビデオ会議による討論や追加の電子講義を行う。また、一

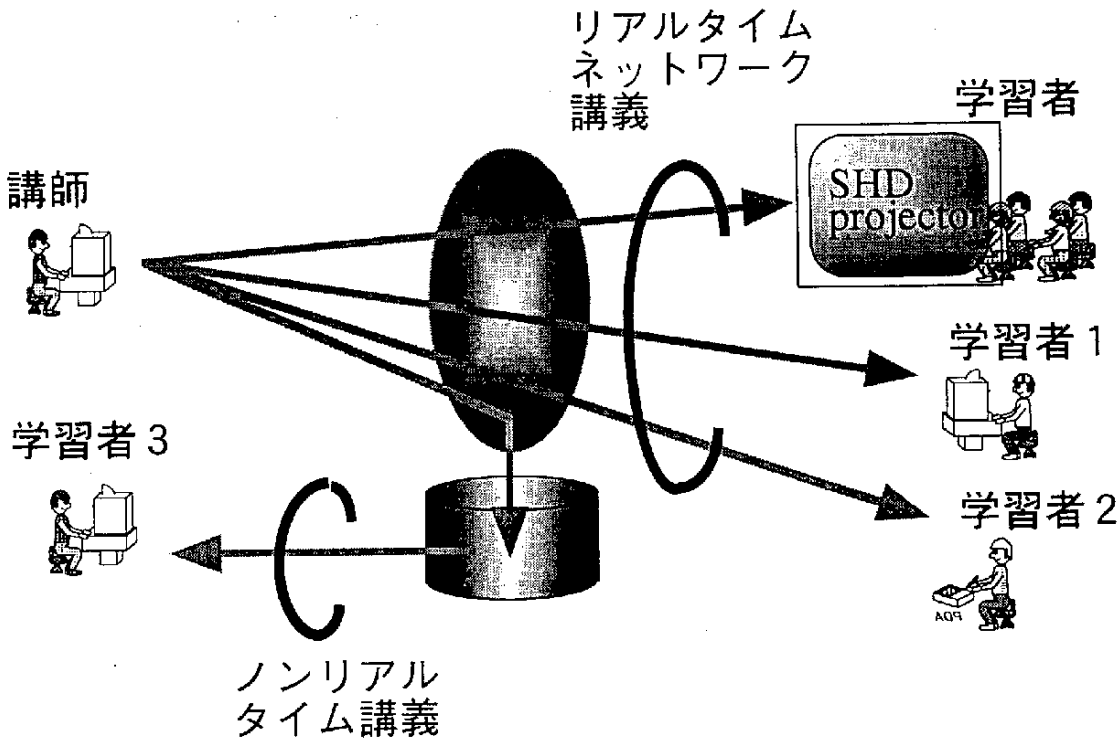


図3.2.5-1　電子遠隔講義

旦登録された講義の内容は、いつでもある特定のトピックスのみを参照できるように構造化された形式で蓄積される必要がある（図3.2.5-1）。

③ 分散型独習支援システム

学生が自分の意志の基づき、教科書や本を読みながら自分の知識を増やしていくことは基本的な学習形態である。この形態では従来は印刷物としての教科書、参考書などが媒体として重要な役割を担ってきた、また、CAIが一部提供されているが、魅力的かつ効果的な教材は提供されていない。分散知的教育支援環境において真に効果的な独習型支援システムには個人適応型の学習制御機構と魅力的な教材素材の存在が不可欠である。特に素材についてはインターネットの普及拡大に伴い、多くの情報がアクセス可能な状態で提供されつつある。具体的なシステム化を想定すると、個人適応学習支援技術と膨大な電子ライブラリとをつなぐ技術が重要になる。この狙いにあわせて開発されている分散知的CAIシステム(CALAT)の詳細を(3)で解説する（図3.2.5-2）。

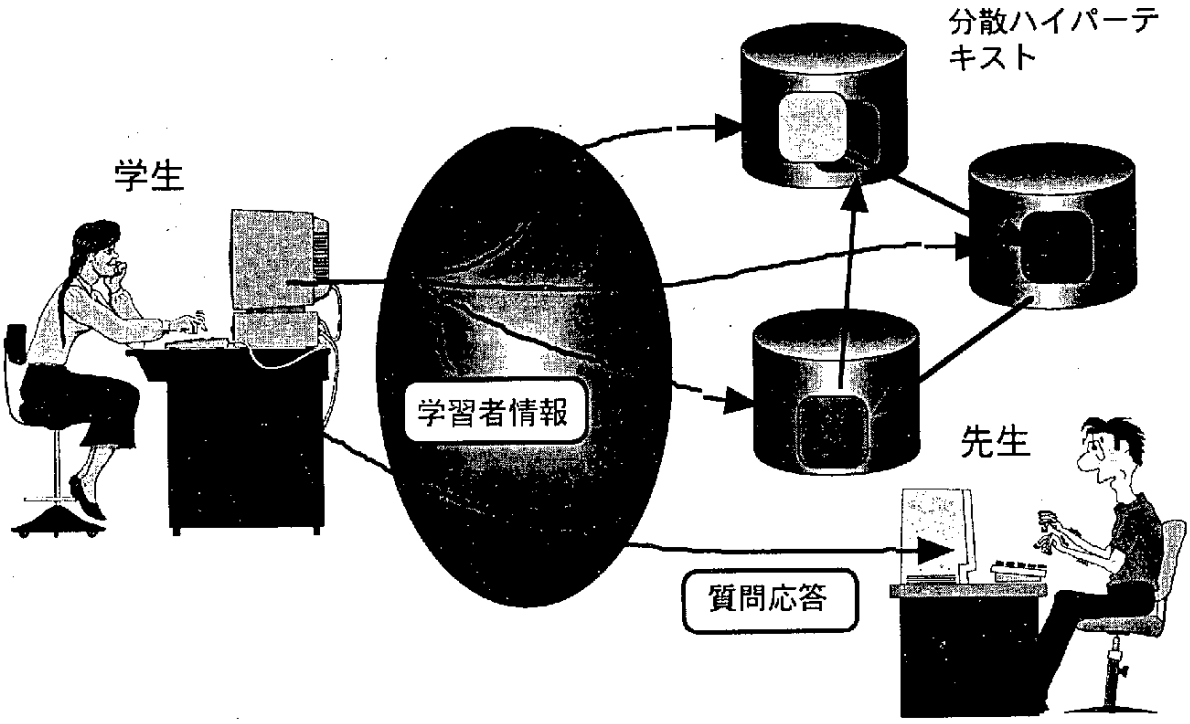


図3.2.5-2　独習型形態

④ネットワークベースゼミ支援システム

学習形態の一つに、グループ学習がある。中でも具体的には理学や工学系の実験、小テーマに関する発表討論などの形態に見られるようなグループの構成員が相互に協調しあいながら学習を進めていく形態がある。このような形態では単に複数学習者間の音声、映像がリアルタイム双方向で多対多に伝送できるだけでは十分とはいえず、仮想的な教材空間および教材オブジェクトを共有しながら協調的に学習を行う形態が有効である。分散知的学習支援環境ではこのような少人数でのグループ学習の分散環境での実現を狙いとしたシステムが望まれる。特に単に距離を克服するだけではなく、コンピュータネットワーク上での実現を生かし、現実のシステムでは表現できないような仮想的な環境を実現することを想定している。具体的には危険な作業を疑似環境で疑似体験できたり、複雑なシステムや環境をデフォルメし、本質的な部分の理解を助けるような環境を提供したり、物理的なスケール（大きさや時間）を縮小、拡大することで理解を促進するような環境である。学生は端末を介して他の学生や講師と教材の存在する空間を仮想的に共有し、そこに参加できる必要がある。このようなシステムはATMなどの高速ネットワーク技術および3次元CGやそれをベースにしたVR（Virtual Reality）などの要素技術の発展により環境としては実現可能になってきてお

り、筆者らのところにおいても協調学習空間のプロトタイプ（Hyclass）を作成し、このサービスの実用性／有効性の検証を行っている。Hyclass（図3.2.5-3）では惑星の運動や位置関係を確認、疑似体験できるような教材例を作成している。このシステムでは少数の遠隔の学生が仮想的な3次元の宇宙空間を共有し、リアルタイムの音声による対話をしながら相互に位置の移動を行い、惑星の運動を体験したり、お互いの存在と行動を作業を確認しながら協調的なグループ学習を行う環境である。

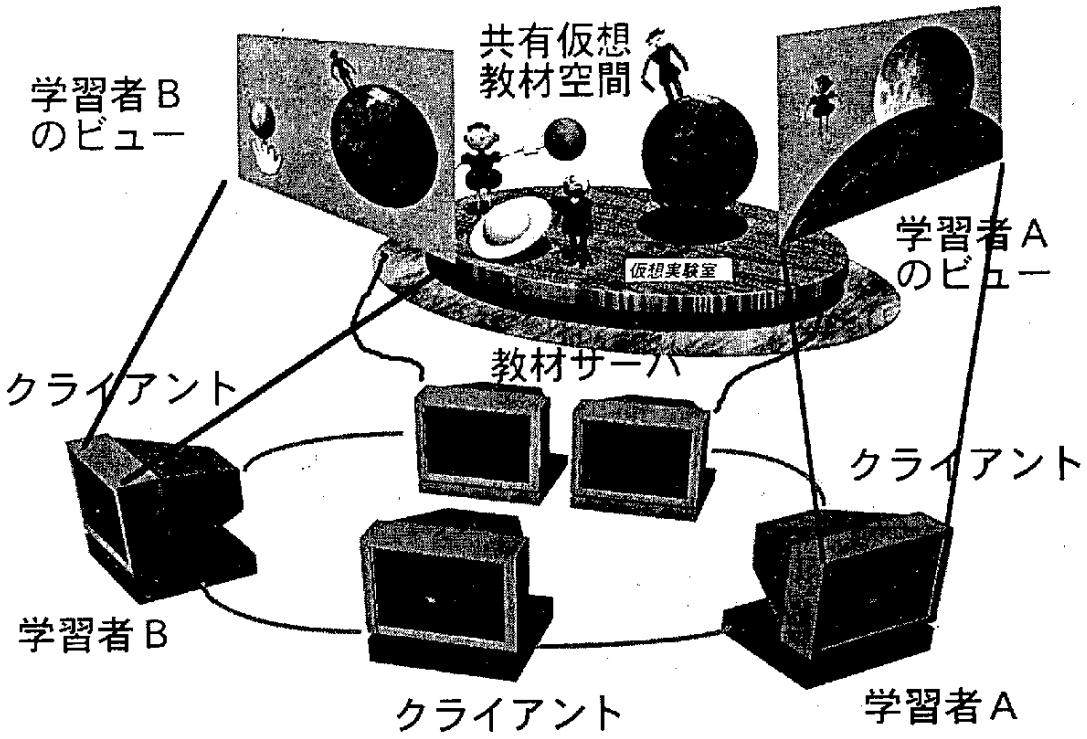


図3.2.5-3　Hyclass構成

⑤ 教材作成サービス

テレエデュケーションではすべて教材はコンピュータネットワーク上に分散配置されていることを前提にしており、またWWWに代表されるマルチメディア情報の利用を前提としている。電子講義の教材は各教授のワークステーションにあることが望ましく、場合によっては遠隔のサーバにおかれることもある。教材をいかに簡単に、タイムリーに作成できるがが重要となる。また、流通、再利用が容易であることも重要な要素である。そのため、分散データベース技術や構造化支援技術などを核とした分散ハイパーテキスト教材の作成支援環境が重要な技術となる。

⑥ 分散バーチャルキャンパス

上記の各サービスは単独の形態でも効果的な学習環境を実現することは期待される

が、これらが自由にしかも必要に応じ連続的に組み合わせて利用できることがテレエデュケーションの最終的な目標となろう。テレエデュケーションはこれまで述べてきたように、マルチメディアサービスで必要とされる各種技術を総合的に組み合わせて初めて実現できるサービスであり、ATM、インターネットなどのコンピュータネットワーキングや動画、CG、オーディオ情報マルチメディア処理技術についての進展が必須となる。これらの技術を核とした具体的な統合サービス実現例が分散バーチャルキャンパスである（図3.2.5-4）。

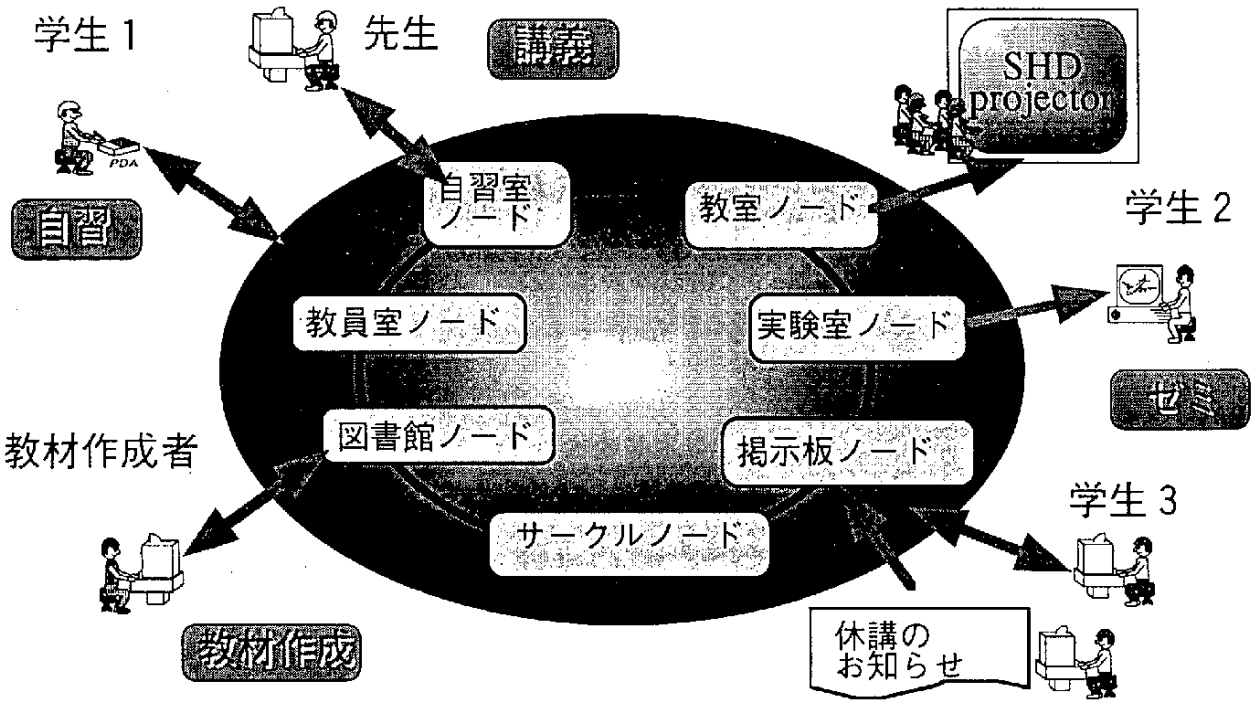


図3.2.5-4　分散バーチャルキャンパスの構成

(3)　分散知的CAIシステム（CALAT）

①ねらい

WWWを教育に活用するもっとも自然な形態はマルチメディアハイパーテキスト教材としての利用であろう。WWW上にはすでに多くのマルチメディアデータが蓄積されており、電子図書館、電子博物館を目的としたサーバも既に存在し、今後も増えることから、このような既存のデータの利用も含めて、教育的な効果を考えたハイパーテキスト教材を提供することができれば、教材の作成・流通・再利用の点で大きな効果が期待できる。

また、NCSA Mosaic、Netscape Navigatorなどの汎用のWWWブラウザはマルチメディ

アデータの表示機能を備えているから、学習者の側には専用プログラムは不要であり、汎用のWWWブラウザさえあればこのようなマルチメディア教材にアクセスすることができるのも大きな特長といえる。

さらに、CD-ROMなどに比べてマルチメディアデータの配布・更新が格段に簡単になるという、教材提供側の利点もある。WWWのこのような特長に着目し教育に応用しようという試みはすでにいくつか提案されており［Goldwin-Jones 94、Davis 94］、ある程度対話性を持たせるように工夫した例なども見られる［Robertson 94］。

しかし、WWWは基本的に受動的なハイパー”テキスト”であり、これらの提案においても、学習者の状況に応じてシステム側が呈示する教授内容を能動的に選定する個人適応機能は実現されていない。本項では、我々が開発を進めている分散型知的CAIシステムCALAT（Computer Aided Learning and Authoring environment for Tele-education）について述べる。CALATはWWWの分散マルチメディアハイパーテキストとしての特長を活かしつつ、個人適応機能を実現することを狙いとしている。現在公開中の第1バージョンでは、WWWサーバ側に知的CAIシステムを置いたクライアント／サーバ型の構成を取っている。サーバ側には我々が従来より開発を進めてきた個人適応型CAIシステムCAIRNEY［Fukuhara91、Fukuhara93］を用いている（図3.2.5-5）。

この構成では、従来CAIRNEYでスタンドアロンのPC上で実現されていたのと同様な知的CAIサービスを、遠隔のクライアントからWWW経由で受けることができる。計画中の第2バージョンでは、教材自体を複数のWWWサーバに分散化することが可能なアーキテクチャの構築を想定している。これによって、現在のWWWでマルチメディアデータの流通・再利用が一気に加速されたのと同様のことが、構造を持った教材のレベルでも可能になると考えられ独習型サービスの効果的な支援ツールとなると考えられる。

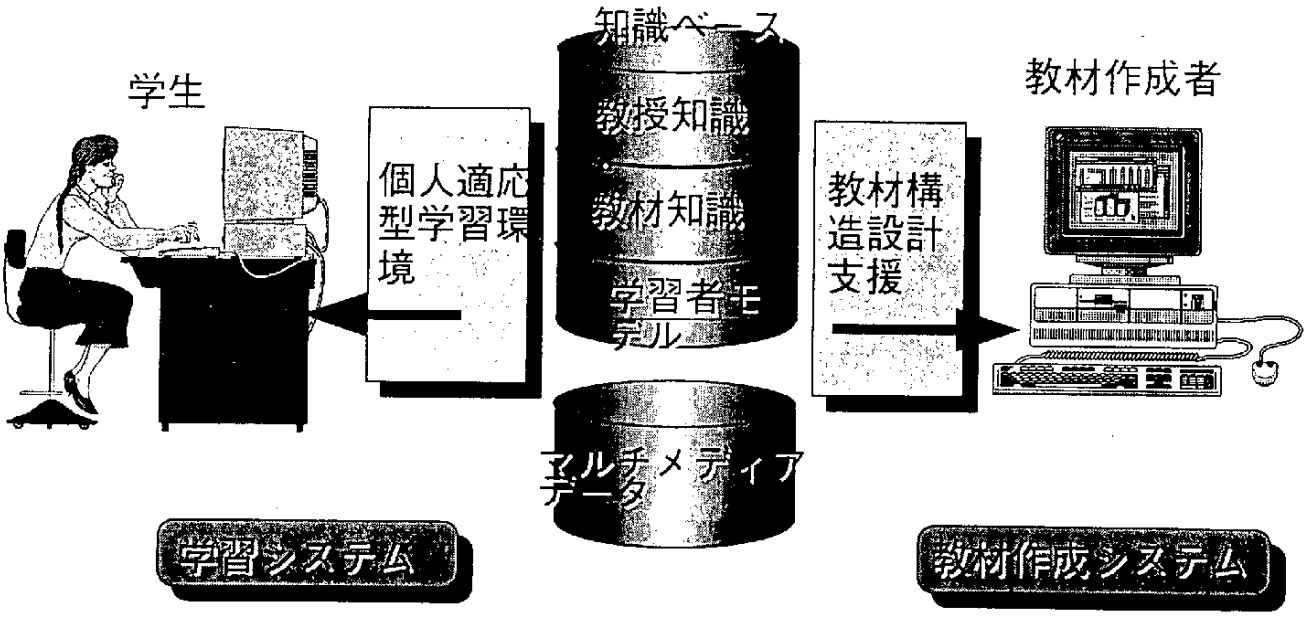


図3.2.5-5　CAIRNEYの構成

以下、WWW 上で個人適応機能を実現しようとした時の問題点とこれを解決したCALAT第1バージョンの構成について述べる。また、教材自体の分散化を狙いとした第2バージョンの構想にふれる。

② WWWの問題点

上で述べたようにWWWはマルチメディア学習環境のプラットフォームとして魅力的な特長を多く備えている。しかし、現在のWWWの仕組みだけで個人適応機能を持った学習環境を構築することは、以下のような理由から困難である。

(a) ステートレスプロトコルの使用

WWWでは分散ハイパーテキストを簡潔で効率的に実現するためにステートレスプロトコルを採用している。すなわち、クライアントとサーバの間の通信は、クライアントからの一つの要求に対するサーバからの一つの応答で完全に完結しており、ある通信の結果が次の通信の内容に影響を及ぼすような”状態(ステート)”はサーバにもクライアントにも保持されない。ユーザからの入力の履歴に応じてシステムが判断を行う必要のある個人適応型のCAIシステムには、このようなプロトコルは不向きである。

(b)ビューア制御機能の欠如

クライアント側で表示しているデータをサーバ側から制御する機能が用意されていない。これもWWWの仕組みの簡潔さの現れであるが、たとえば画像を表示した外部ビューアをいつ消去するかは完全にユーザに任されている。したがって、極端にいえばシステム側はカンニングを防止するすべを持たない。CAIシステムとしては、場面に応じてユーザに見せたい情報だけを呈示できるような制御手段が必須である。

(c)ナビゲーション機能の欠如

(a)、(b)とも関連するが、どのような情報にアクセスするかは完全にユーザの自由であり、逆にユーザはハイパーテキストの中で”迷ってしまう”ことも生じる。学習が効果的に進むためには、場合によってはユーザがアクセスできる情報を制限したり、ユーザを目標に向かってガイドするナビゲーション機能が必要である。

③ CAIRNEY

ここでは、現在実装中のCALATバージョン1のサーバに組み込まれている知的CAIシステムCAIRNEYの概要を述べる。

CAIRNEYはPC上で稼働するスタンドアロン型の汎用知的CAIシステムで教材作成環境(CAIRNEY-AUTHOR)ならびに学習実行環境(CAIRNEY-TUTOR)からなる［Fukuhara 91］。CALATに組み込んだのはCAIRNEY-TUTORである。CAIRNEY ではテキスト、画像、アニメーション、音声などを用いたマルチメディア教材を扱える他、機器の操作などを習得するための簡易なシミュレータを作成・実行する機能を有する

［Fukuhara 93］。

現在、NTTの社内では200タイトル以上のCAIRNEY教材が作成され、支店・営業所などの職場での日常的な知識習得のためのシステムとして、また研修センタにおいて集合研修時の補強用独習システムとして利用されている。

CAIRNEYは十分なプログラミング知識がない教材作成者にも個人適応型のCAIが容易に構築できることを目標に設計されている。そのためCAIRNEY-TUTORは、図3.2.5-5のように、教材、汎用教授戦略、学習者モデルの三つの要素から構成されている。

教材は、実際に学習者に提示される説明や演習問題のページに対応するマルチメディアの”シーン”と学習目標を達成するためのシーン間の論理的な関連を記述した”学習目標構造”からなる。

汎用教授戦略部は、学習目標構造と現在の学習者の状況から呈示するシーンを決定し、演習問題やシミュレーションに対するユーザの応答から学習者状況をアップデートする、というサイクルを繰り返す。

教材作成者はCAIRNEY-AUTHORを用いて、個々のシーンの作成および教育内容固有の学習目標構造の記述を行うだけで、プログラミングの深いレベルに立ち入らずに個人適応型の教材を作成することができる。

④ CALATバージョン1

CALATバージョン1は以下のような方針で設計した。

(a) ステートレスプロトコル上で個人適応型CAIを実現する。

(b) ビューア制御を可能とする。

(c) HTTPプロトコル、WWWブラウザには手を入れず、汎用的な環境だけで学習が可能とする。

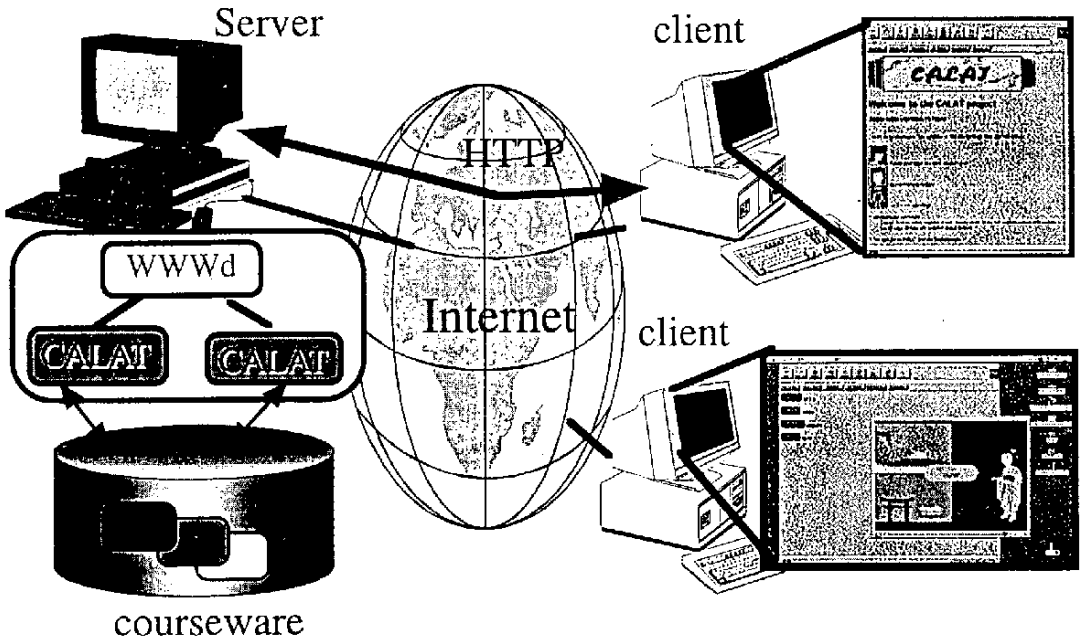


図3.2.5-6　CALATの構成

CALATバージョン1はサーバ／クライアント型の構成を採っている。図3.2.5-6に全体の構成を示す。

サーバ側にはWWWサーバ（httpd）と個々の学習者に対応した複数CAIRNEYプロセスがある。それぞれのCAIRNEYプロセスの実体はCAIRNEY-TUTORの汎用教授戦略部と学習者状況部でサーバ上CAIRNEY教材を参照しながら遠隔の学習者と対話を進めていく。クライアント側は通常のWWWブラウザ（たとえばNetscape Navigator）、CAIRNEYのマルチメディアシーンを再生・表示するビューアおよびビューア制御プログラムからなる。CAIRNEYプロセスはhttpdを介してHTTPプロトコルによるクライアントにHTMLテキストやCAIRNEYのシーンデータを送る。学習者がWWWブラウザをクリックしたりフォームに入力した情報は同様にhttpdを介してCAIRNEYプロセスに送られる。

(a) 個人適応機能

(3) ②で述べたようにWWWはステートレスプロトコルを採用しており、そのままでは個人適応機能を実現するのは困難である。

CALATバージョン1ではサーバを以下のように構成することで、HTTPプロトコルおよびWWWクライアント自体には手を入れずに個人適応機能を実現した（図3.2.5-7）。学習者は最初にCALATのホームページで学習したい教材と自分の名前を入力する。

httpd は CALAT entry という CGI（http://hoohoo.ncsa.uiuc.edu/docs/cgi/overview.html参照）プログラムを経由して新たな CAIRNEY プロセスを起動する。
このときCAIRNEY プロセスの標準入出力を、学習者名／教材名をファイル名とする

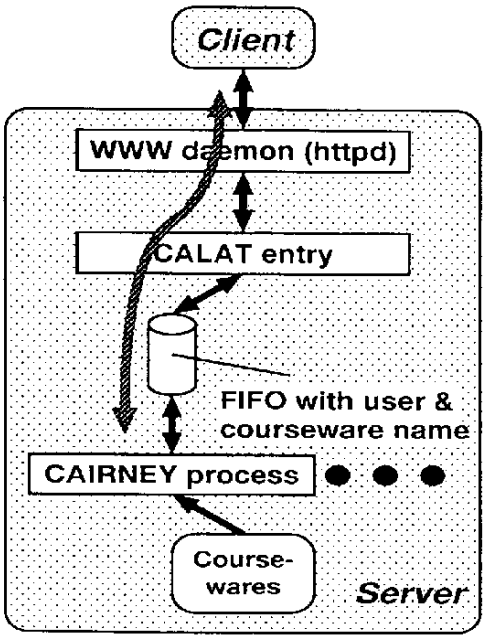


図3.2.5-7　CALATの個人同定機構

FIFO（UNIX で用意されている名前付パイプ）にリダイレクトする。

起動されたCAIRNEY プロセスはHTMLファイルやCAIRNEYのシーンファイルに必ずFIFOの名前を埋め込んでクライアントに送り返す以後クライアントからの要求には必ずFIFO名が含まれるので、CALAT entryは学習者に対応するCAIRNEYプロセスを選択することができる。これによって、CAIRNEYプロセスは学習者状況を更新しながら応答を返すことが可能となり、CAIRNEYの個人適応機能をHTTPプロトコル経由で利用できる。

(b) ビューア制御機能

効果的な学習を行なうためには、ある場合には複数の情報を同時に表示し、また、ある場合にはひとつの情報だけを示すなど、学習者に呈示する情報をシステムが制御する機能が必須と考えられる。(2)で述べたようにこのような仕組みは残念ながら現在のWWWでは提供されていない。

この問題を解決するため CALAT ではクライアント側にビューア制御の仕組みを置くこととした（図3.2.5-8）。

CAIRNEYのシーンを表示する場合、サーバは、シーンデータとともに制御スクリプトを含むアーカイブファイルをクライアントに送る。このファイルはWWWブラウザ

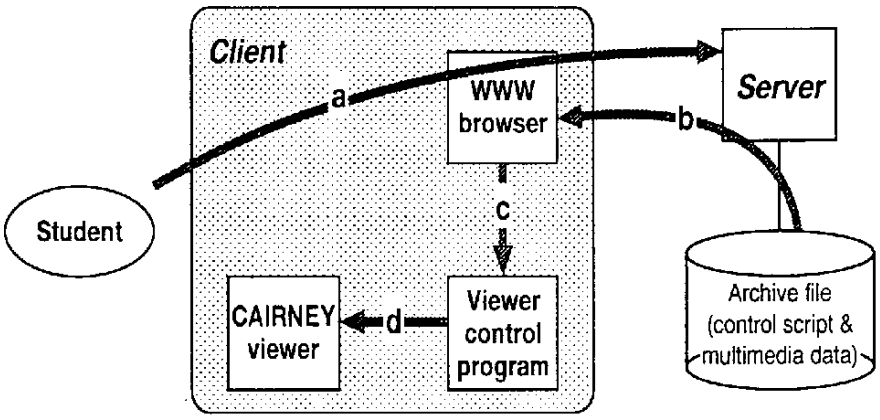


図3.2.5-8　CALAT ビューワ制御機能

にとっては、MPEGなど外部ビューアによって表示するデータと同様に扱われる。すなわち、WWWブラウザはこのファイルを受けとると、MPEG 外部ビューアを起動するのと同様に、ビューア制御プログラムを起動する。ビューア制御プログラムは受けとったアーカイブファイルを解凍して制御スクリプトを取り出して実行する。

この制御スクリプトにより、「現在のシーンを消去して新たなシーンを表示する」、「新たなビューアを起動して前のシーンと並べる」などの制御が可能となる。

表示例を図3.2.5-8に示す。ビューア自体は、CAIRNEYの音声付アニメーションを表示するために新たに開発したものである。同じ考え方で動画など他のメディアを表示するビューアも制御することもできる。

(c) ネットワーク資源の参照

当初インターネットに公開したCALATバージョン1では教材として既存のCAIRNEY教材を完全に流用した。CAIRNEYはスタンドアロンのPCでの学習を前提として作成したため、教材は全て単一サーバに置いた。しかし、CALATのクライアント・サーバ間プロトコルは、HTTPを変更も拡張もせず適用しているため、一般的なWWWサーバ上のマルチメディアデータを教材の一部として組み込むことが可能であり、またCAIRNEYの教材構造自体も物理的なメディアと論理的な教材構造を分離独立して管理しているため、素材のポインタ情報を教材情報として指定できことから第2ステップとして本機能を実現した。この機能の利用により、CALATサーバに置かれた教材構造のシナリオにアクセスすることにより全世界に置かれた電子博物館、電子美術館のマルチメディア情報にそのリンクの有無を意識することなく一連の情報を参照することが可能となる。また、最近ではマニュアルなど技術情報をHTML化してWWW経由で参照できるようにしている利用形態も増えており、本機能によりこれらの技術情報を即座に教材として参照可能となる。

(d) シミュレーション機能

現在のスタンドアロンのCAIRNEYには、機器操作などを習得するためのシミュレーション機能がある。

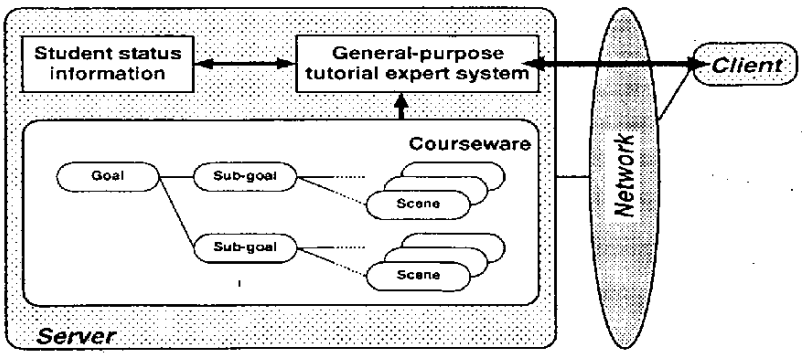
シミュレーション機能を実現するためには、単なるマルチメディアデータの再生だけでは不十分で以下の機能が必要となる。

・表示されたオブジェクトをユーザが操作できること。
・ユーザの操作をシステム側が追跡し、適切なタイミングで介入してヘルプを出したり、手本を見せたりできること。

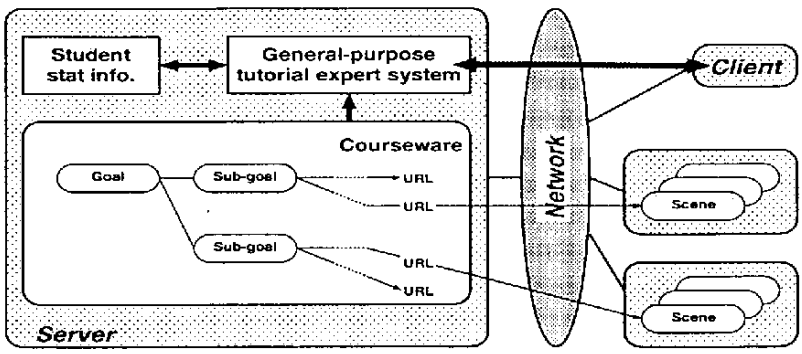
現在、CAIRNEYで定義されたシミュレーションをサーバ上に実装し、学習者からの操作に合わせた機器の操作シミュレーション等の教材をクライアント上のビューワ制御機能から利用可能とした。

⑤ CALATバージョン2

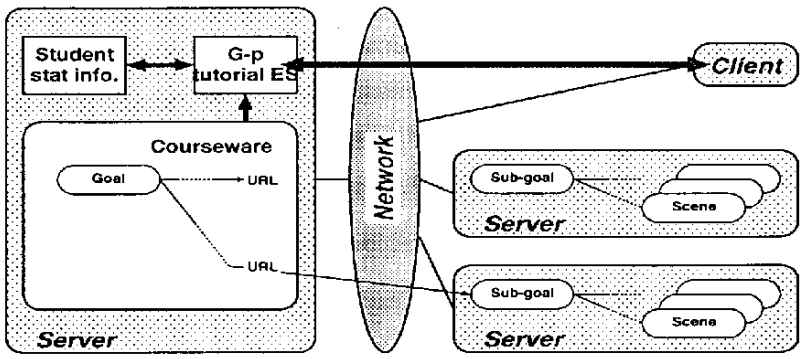
CALATバージョン1では、②で述べたWWWの問題点の最初の2点の解決、すなわち、ステートレスプロトコル上での個人適応機能およびビューア制御機能の実現を図った。



(a) CALAT ver.1



(b) CALAT ver.1.1



(c) CALAT ver.2

図3.2.5-9　CALAT　V.2の構成

このアプローチはWWWを、プロトコルやブラウザには手を入れずに、汎用の”マルチメディア通信”プラットフォームとして活用したものである。これにより、ユーザはどこからでも知的CAIサービスを利用可能となり、教材作成側からみると教材の作成・配布・修整の手間が従来のスタンドアロン型におけるCD-ROMなどに比べて格

段に少なくなる。しかし、この構成では教材はあくまでもひとつのサーバに閉じており、WWWの分散ハイパーテキストとしての特長を活用したものとはいえない。

WWWの特長をさらに活かす方向として、図3.2.5-9のような発展の段階が考えられる。(a) (b)はここまで説明したCALATバージョン1である。

次の段階として、(c)のように目的構造を持った教材の一部をURLとして指定可能とすることが考えられる。

現在のCAIRNEYでは階層的な学習目標で教材の構造が決められているので、学習目標をURLとして指定できるようにすれば、ネットワークにまたがった教材の流通・再利用が可能となる。

これはマルチメディアの素材だけでなくシナリオの部分も含めた分散ハイパーテキスト化と考えることができる。このような仕組みにより、現在のWWWでマルチメディアの素材データの流通・再利用が一気に加速されたのと同様のことが、構造を持った教材のレベルでも可能になると考えられる。この形態では、教材の中のシーンおよび学習目標間の論理的な関係をURLにマッピングする必要があり、どのような記述体系を用いればよいか、学習実行のアーキテクチャはどのようなものにすればよいか、オーサリングはどうすればよいか、などを解決する必要がある。また、独立に作られた教材同士が後から相互参照できるようにするなど、教材の発達を助けるような構造はどのようにすればよいか、このように結合しあった教材構造の中を学習者をナビゲートするにはどのような教授戦略・学習者モデルが必要か、などの検討も必要になる。

(4) 知的協調教育環境の実現にむけた課題

分散環境における知的教育環境を想定するとき、知的協調処理が重要な支援技術となる。分散知的CAIにおいては特に教材作成を如何に効率的に支援するかが重要な課題となる。教材作成効率化のための課題は大きく分けると以下の3点に集約される。

- 再利用流通の促進と分散管理のための構造化技法の確立
- 教材の目的に合致したリソースをネットワーク資源から効率的に探索するためのネットワークエージェント機構の実現
- 教材作成作業の遠隔分散のための分散協調作業支援技術の確立

また、学習時の環境においては、学習状況を共有出来るようなリアルタイムコミュニケーション環境との融合やグループ学習におけるリアルタイムの協調学習が重要となると考えられる。特にグループ学習時のコミュニケーション円滑支援のためのコミュニケーションモデルの確立と協調学習支援手法の構築が望まれる。

参考文献

[White 93] White, B.Y.:ThinkingTools:Causal Models,Cnceptual Changr, and Science

Education, Cognition and Instruction, 10(1), pp. 1-100 (1993)
[大槻 93] 大槻説乎:発見学習とその支援環境, 人工知能学会誌, Vol.8, No.4, pp.21-28 (1993)
[Parker 94] Parker, T.L.: The Internet and Schools: A Survey of Networking Activities, Proc. INET'94, Internet Society (1994).
[渡辺 94] 渡辺健次、岡崎泰久、江藤博文、近藤弘樹, グローバル・クラスルーム・プロジェクト, 第2回JAIN Consortium Symposium 予稿集, pp.44--50 (1994)
[高田 94] 高田敏弘, 人工知能研究者の情報サービス, 人工知能学会誌, Vol.9, No.6, pp. 810-816, (1994)
[Goldwin-Jones 94] Goldwin-Jones, D., Language Learning and the WWW, Proc. WWW'94 fall, (1994)
[Davis 94] Davis, N.B., et. al., Interactive Compurer Based Programs versus Traditional Methods for Self-Study, Proc.WWW '94 fall, (1994)
[Robertson 94] Robertson, D., Johnston, W. and Nip, W., Virtual Frog Dissection: Interactive 3D Graphics via the Web, Proc.WWW'94 fall, (1994)
[Fukuhara 91] Fukuhara, Y., Kiyama, M., and Nakata, K., Multimedia Authoring System for Practical Scene-oriented ITS (CAIRNEY), Proc. of Int. Conf. Multimedia in Education and Training, pp.215-218, (1991)
[Fukuhara 93] Fukuhara, Y. and Kiyama, M., A Knowledge-based Educational Environment for Real Business Settings, Proc. World Conference on Artificial Intelligence in Education.

3.3 システム的視点

3.3.1 探索並列化のためのスケジューリング

(1) はじめに

探索問題にも様々な種類のものが存在する。ここで扱う問題は、複数の探索パスが与えられて、制限時間内に要求を満たす品質を持つ解をみつけることを目的とする探索問題である。解の品質は、確率的に予測できるが、実行を伴って初めて一意の値を得られることを仮定しており、探索が実行と並行して行われることが本質的となる。実行にかかる時間も、同様に、事前には確率的な情報だけが得られるだけであり、探索計画を難しくする。また、探索問題は探索の分岐点ごとに並列性が存在するため、並列化による高速化の期待が大きい一方、並列化は探索スケジューリングの一層の複雑化をもたらす。

並列探索の技術は、ネットワークAI技術マップの中の「協調分散問題解決」として研究されてきた。例えばTAEMS［Decker 92］では、部分タスク間の構造を明らかにし、その依存関係に基づいたスケジュールを作成することを試みている［Decker 93］［Garvey 93］。しかし、これらは、解の質や実行時間が不確定な問題への考慮はなく、実探索問題への適用を難しくしていた。

ここでは、上記のような探索のタスク構造と不確定な解の質、実行時間のモデル化を行い、探索を並列プロセッサ上で実現するためのスケジューリング技術に関して紹介する。

(2) 探索のモデル化

図3.3.1-1(a)に、対象とする探索問題の簡単な例を示す。この問題は、2つの分岐点を持ち、それぞれ2つの選択枝を持つ。全体で4通りのパスA→C、A→D、B→C、B→Dが存在し、各パスともゴールに到達するが、実行時間、品質が異なる解を得る。

品質を最大化するタスクを決定する問題を定式化するために、TAEMS［Decker 92］は、図3.3.1-1 (b)のように、タスクをノードで表し、サブタスクとの間をリンクで結び、解品質の合成法をノード内に表す記法を用いた。特に、末端ノードには実行可能なタスクがあり、基本メソッドと呼ぶ。階層リンクの他に、enableリンクなどをサポートするが、タスク間の入出力の依存関係を表現することはできない。そこで、TAEMSのタスク構造に加えて、探索プロセスの進行を明示的に表すseqノードを新たに導入し、図3.3.1-1(c)で探索問題を表現することを試みた。

各実行メソッドには、実行時間と得られる解品質の期待値分布が与えられ、それらを上位ノードで合成することにより、各探索パスに対する期待実行時間、期待品質が計算できる。例えば、i番めのサブタスクの解品質xに対する累積分布関数がF_i(x)、実行時間tに対する累積分布関数がG_i(t)であるm個のサブタスクから、最大の解品

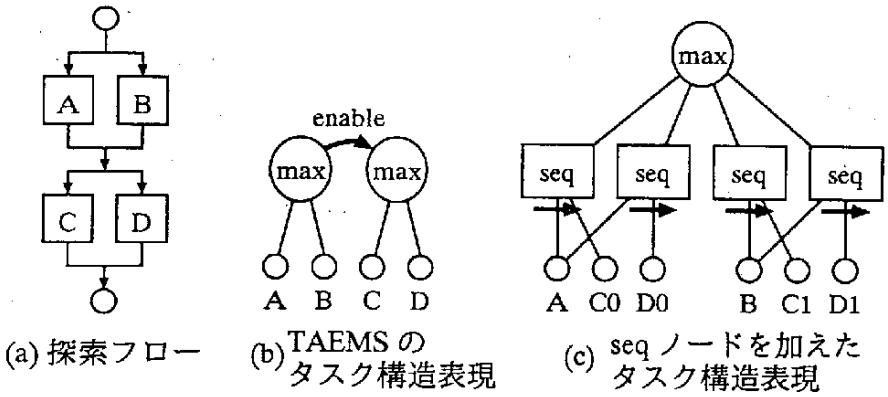


図３．３．１-１　中粒度探索問題とその表現法

質を取り出す場合に期待される実行時間と得られる解品質の関係 F_{m}^{max}(x, t) は、次式で表現される。

$$
\begin{aligned}
F_{m}^{max}(x, t) = &(1 - G^1(t)) \\
&+ \Sigma_{j=1}^{m-1}\{(G^j(t) - G^{j+1}(t))\ \Pi_{i = 1}^{j} F_i(x)\} \\
&+ G^{m}(t)\ \Pi_{i = 1}^{m} F_i(x)
\end{aligned}
$$

この数式は、探索の利得変化を表現しており、anytime algorithms の確率的 performace profile ［Zilberstein 95］に相当する。

探索に対して与えられる解品質の要求は、全ての到達可能な解の中での相対的な品質で与える。また、以下のようなキーワードで指定することもできる。

- Complete　全探索。
- Optimum　全体の 90% 程度に保証された最適解探索。
- Satisfactory 全体の 80% 程度に保証された最適解探索。
- Median　全体の 50% 程度に保証された最適解探索。

(3)　スケジューリングアルゴリズム

探索タスクの並列スケジューリングは、①タスク候補集合生成、②プロセッサ数決定、③マクロ順序生成、④メソッド優先順位づけ、⑤並列スケジュール生成の５工程で行う。

① タスク候補集合生成

タスク構造のノードとして表現される各タスクは、最終的に基本メソッドの集合として達成される。どのような基本メソッドの集合を選択するかで、達成される解の品

質と実行にかかる時間が大きく左右される。この工程では、タスク候補として、基本メソッド集合の絞り込みを行い、実行して価値のあるタスク候補を生成する。

タスク候補集合は、タスク階層の下位のタスクから順に上位のタスクに向けて段階的に拡張していく方法で生成する。各レベルでは、サブタスクごとに持つ候補集合を組み合わせた基本メソッド集合を作成し、それらの実行時間と得られる解の品質について比較を行う。実行時間と解の品質は、確率分布で与えられるので、厳密な比較は困難である。そこで、以下の制限をつけた比較が行われる。

1. 解の品質、実行時間が存在しうる信頼区間の上限と下限値だけを用いて分布を比較する。
2. 比較で明らかになる部分順序関係だけを求める。

すなわち、2つのタスク候補X、Yを比較した時、解の質に関して信頼区間の上限値、下限値共にXがYより上回る時に、Xは質に関してYより優れるという部分順序関係を与える。一方、実行時間は、短い程良いと言う意味から、上限値、下限値共にXがYより下回る時だけ、Xは実行時間に関してYより優れるという部分順序関係を与える。

さらに、上記の時間と質のそれぞれに関する関係から、次のメタレベルの関係が導き出される。

・Xが、質と時間の両方の観点でYより優れる時、Yは明らかにXより劣るため、候補群から除かれる。
・Xが質に関してYより優れるが、時間に関してはYに劣る時、メタレベルの順序関係X＞Yを与える。

タスク候補集合生成では、このメタレベルの関係を用いて、価値のない候補の削除と、価値のある候補の順序付けを行う。また、タスク候補集合の絞り込み過程を下位のタスクから順に行うことにより、多くのタスク候補が早い段階で枝刈りでき、候補生成の組み合わせ的爆発を防ぎ、効率向上に貢献する。

② プロセッサ数決定

制限時間内に要求品質を持つ解に達成できるために必要なプロセッサ台数を決定する。まず、1台のプロセッサでの実行を仮定して、要求品質を満たすのに必要な実行時間を計算する。これは、要求品質を満たすタスク候補群の中の最も時間のかからない候補を見つけ、その実行に必要な時間を計算する事で実現する。次に、この必要時間と制限時間とからプロセッサ台数を決定する。通信時間を考慮しなければ、2倍のプロセッサは、2倍の計算力を持つが、実際はタスクの同期にかかる時間と未完メソッドの存在のため、2倍の性能には達しないことを考慮して、必要台数を決定する。

③ マクロ順序生成

マクロ順序生成では、部分順序関係を持つ複数のタスク候補集合から以下の制約を満たすような１つの有用なマクロ順序を決定する。

1. マクロ順序は、部分順序関係を保存する。
2. マクロ順序は、含まれる基本メソッドが単調に増加する。
3. マクロ順序は、制限時間において要求解品質の期待値を最大化する。
4. 制限時間内で終わることが確定的なタスクは、それ以上に分解しない。

たとえば、図３.３.１-１(c) の問題に対するある制限時間を与えた時のマクロ順序は以下のように決定される。

1. {B-D1}
2. {B-D1, B-C1}
3. {B-D1, B-C1, A-D0}
4. {B-D1, B-C1, A-D0, A-C0}

集合 {B-D1, B-C1} において、メソッド B は同一であるので、後ろの B は省略できる。また、タスク候補は単調に増加するので、その差分リストだけで表現できる。最終的に、マクロ順序に沿った差分リストは、次のように表される。

{B,D1} → {C1} → {A, D0} → {C0}

④ メソッド優先順位付け

マクロ順序付けの後、順位の同じレベルに存在する複数のメソッドに対して、ヒューリスティク関数を用いた最終的な優先順位づけを行う。ヒューリスティック関数は、Design-To-Time［Garvey93］とほぼ同じで、他のメソッドを実行可にするメソッド、他のメソッドの実行を容易にするメソッド、他のメソッドの実行を阻害しないメソッドなどに優先的に高い点が与えられる。

Avoid-not-enabled は、先に実行されていなければならないメソッドが終了していないメソッドを待ち状態にする。

Enforce-enables は、他のメソッドを実行可にするメソッドの点を上げる。

Avoid-hinders は、まだ実行されていない他のメソッドの実行を阻害するメソッドの点を下げる。

Prefer-facilitators は、他のメソッドの実行を容易にするメソッドの点を 上げる。

Longer-method-earlier は、実行に時間がかかるメソッドほど高い点を与える。

前述したマクロ順序の中で、{B, D1} と {A, D0} について、B は D1 を実行可にし、

AはD0を実行可にするので、B、Aはそれぞれ高い点を得る。最終的なメソッドの順序付けを以下に示す。

B → D1 → E1 → A → D0 → E0 → C1 → C0

⑤ 並列スケジュール生成

メソッドを、次に示すヒューリスティクスを用いて、プロセッサに割り当てる。割り当ては、メソッド優先順位に沿って行われる。

1. no-pre-method-append-early
   対象のメソッドが、前もって実行が必要なメソッドを持たない時、最も早い空き時間のあるプロセッサに割り当てる。
2. single-pre-method-append-tail
   対象のメソッドが、前もって実行が必要なメソッドを1つ持ち、それがあるプロセッサのキューの最後尾にあるとき、その直後に割り当てる。
3. single-pre-method-not-append-tail
   対象のメソッドが、前もって実行が必要なメソッドを1つ持ち、しかし、それがキューの最後尾にない時、このメソッドは、最も早い空き時間を持つ任意のプロセッサに割り当てられる。
4. multiple-pre-methods-with-one-extreme
   対象のメソッドが、前もって実行が必要なメソッドを複数持ち、ある1つのメソッドが、他と比べて非常に遅い時間にスケジュールされていてかつ、キューの最後尾にあれば、そのメソッドの直後に割り当てる。
5. multiple-pre-methods
   最も一般なケースとして、複数の前もって実行が必要なメソッドを持つ場合、全てが終了する時間を予測し、それより後に割り当てる。

(4) 実験による評価

図3.3.1-2に、このスケジューラを用いて作られたスケジュール例をいくつか示す。オプションを変える事によって、様々な違った結果を得る事ができることが確認できる。例えば、#1と#2では、厳しい制限時間がプロセッサ台数を変更していることがわかる。#1と#3では、#3の方が合成要求が厳しく、より多くのプロセッサ台数を要求し、より多くのメソッドを実行するようにスケジュールされている。

#4は、プロセッサ数を2台に固定したスケジュールである。#1と#4は、同数のプロセッサに対するスケジュールであるが、全く異なる結果が得られる。#1では、制限時間20の中では、B、E1、D1だけが終了すると判断し、それを中心としたスケジュールである。もし、E1の前にAを割り当てると、E1が終了しない確率が高くなるので、良いスケジュールではない。一方、#4は、制限時間が40と緩い制約であって、ほとんど

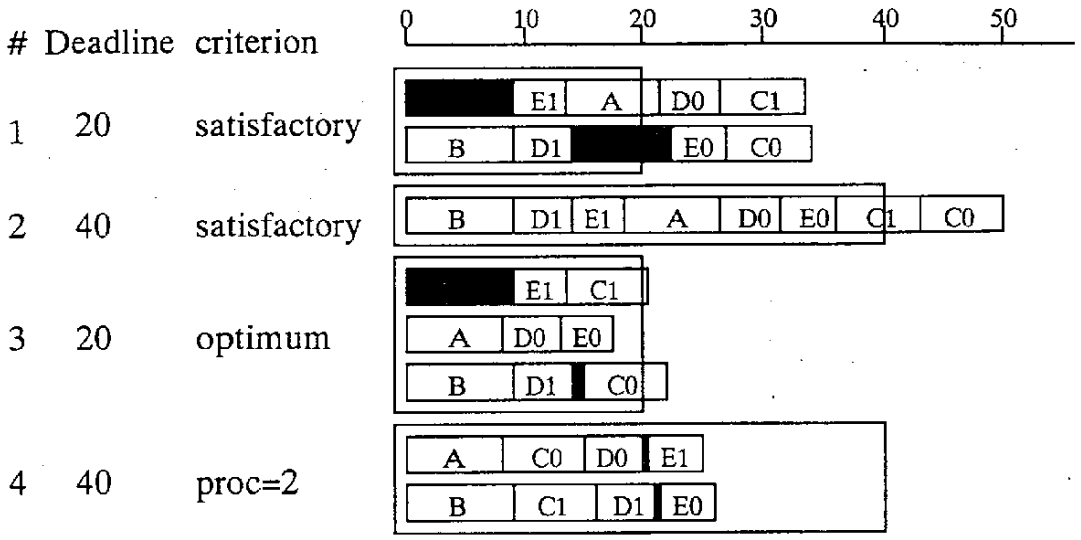
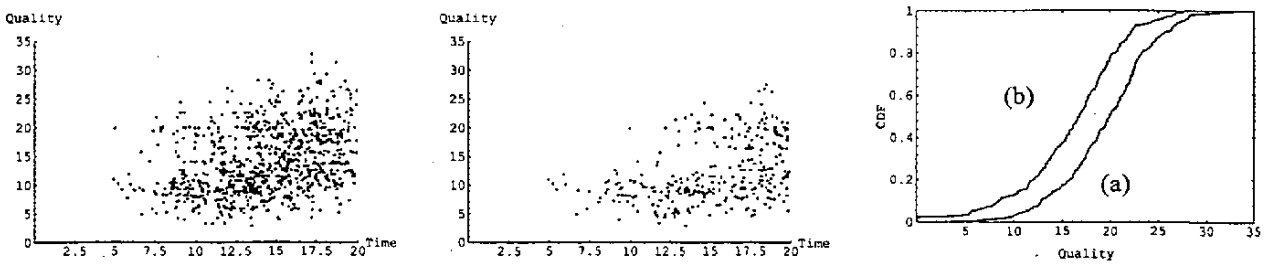


図3.3.1-2　スケジュール結果の例

のメソッドが終了すると予想できる。このため、マクロ順序は生成されず、メソッド順位付けの段階で、メソッドの連続関係を重視したスケジュールが作成される。

シミュレーションによるスケジュール結果の評価を図3.3.1-3に示す。グラフ(a)と(b)は、個々のメソッドが終了した時刻とその時までに達成された解の質をプロットしたものである。(a)は、図3.3.1-2の#3に、(b)は、#1と対応している。(c)は、(a)と(b)の実験で制限時間になった時点における最良解の累積分布関数を示したグラフである。シミュレーションは、各々のスケジュールのメソッドに対して確率分布に沿ったランダムな実行時間と解の質を与えた実験を200回繰り返して得た結果である。

(a)と(b)を比較すると、(a)の方が圧倒的に点の数が多く、かつ高い質の解に到達している。これは、3台のプロセッサを割り当てたことが大きく影響しており、多くのメソッドが実行されたことを示す。累積分布関数を示すグラフ(c)で比較しても、両者の差は顕著である。



(a) criterion = optimum　　(b) criterion = satisfy　　(c) (a)と(b)の累積分布関数の比較

図3.3.1-3　シミュレーションによるスケジュール評価

(5) おわりに

ここでは、協調分散問題解決の一例として、探索並列化のためのタスクスケジューラについて紹介した。不確定性な質と実行時間を確率モデルで解析して、performance profile に相当する品質の向上曲線を計算し、これを用いて、タスク間に部分順序関係を与え、ヒューリスティクルールで個々のメソッドに優先順位を与えた後、並列化する手法を示した。また、シミュレーション実験から、ユーザの解品質の要求の厳しさを反映した探索スケジュールが作成できたことを確認した。

協調分散問題解決を実システムに応用するには、安定的な効果を保証することが重要であり、上記のような解析的モデルに基づくシステム設計が必要となる。現在は、本スケジューラを実際に CAD システムを制御するという場で評価する方向で検討を進めている。

参考文献

[Decker 92] Decker, K. and Lesser, V., ``Generalized Partial Global Planning", International Journal on Intelligent Cooperative Information Systems}, vol.1(2), pp.319-346, 1992.

[Decker 93] Decker, K, Garvey, A., Humphrey, M. and Lesser, V., ``Control heuristics for scheduling in a parallel blackboard system". International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, vol. 7(2), pp.243--264, 1993.

[Garvey 93] Garvey, A., Humphrey, M. and Lesser, V., ``Task Interdependencies in Design-to-time Real-time Scheduling", Proc. of AAAI-93, pp. 580-585, 1993.

[Zilberstein 95] Zilberstein, S., ``Optimizing Decision Quality with Contract Algorithms", Proc. of IJCAI-95, pp. 1576-1582, 1995.

3.3.2 生産スケジューリング・フレームワーク
―ドメイン・オントロジーに基づく利用文脈への適合―

(1) はじめに

近年の情報ネットワーク技術の急速な発展と社会への浸透に伴い、知識システム、情報システム、専門知識を有する利用者の大規模で有機的な協調的問題解決が現実的になるとともに、AI分野における技術基盤の確立が求められている。知識工学分野では、80年代の知識システムが「孤立した一枚岩」（isolated monolith）であったことから、知識の共有と再利用を目指した取り組みが最近活発に行なわれている。特に、「一枚岩」であることを克服するために部品合成による知識システム構築のアプローチが試みられてきた［溝口 94］。

一方、「孤立性」については知識システム群の分散・協調的な運用に際して、それらが埋め込まれる利用文脈を明示的にすることの重要性が指摘されている［Yost 94］［Vanwelkenhuysen 94］。本報告では、特定の問題領域に特化した問題解決部品を用いて構築された知識システムが、複数領域にまたがる大規模問題解決に介在する上で不可欠なドメイン・オントロジーの構成について、生産スケジューリング・システム問題における適用例に基づいて論じる。

報告者らはこれまでスケジューリング問題をジョブ割付問題として定式化し、部品合成によるプロトタイプ開発環境の構築[Hori94]、ならびに問題解決手続きの部品化に取り組んできた［Hori 95］。ジョブ割付問題は、旅客機の搭乗ゲートへの割付、製鋼工程の生産計画、レストランでの人員配置など様々な分野におけるスケジューリングを対象とするもので、これらの分野に共通する断片的な機能単位が問題解決部品として抽出された。ところが、それらの部品では問題解決過程において前提となる対象分野に特徴的な構造が明示的ではなかった。そのため、プリミティブな推論操作が前提とするデータ構造と概念レベルの対象モデルを明確に対応付けることが必ずしも容易ではなかった。

以下では、領域理論が要求されない対象分野におけるドメイン・オントロジーと問題解決手続きの関連について論じる。まず、製造分野に関するドメイン・モデルを示し、類似の問題解決手続き群を階層的に構成する方法について述べる。さらに、その枠組みを用いることによってスケジューリング・システムの構成を様々な利用文脈(生産現場)に適合させることについて論じる。

(2) 生産スケジューリング・フレームワーク

本フレームワークは、ジョブ割付問題を前提とした部品抽出の経験を踏まえて、既に多くの導入実績がある生産計画システム・パッケージの開発者にもヒアリングを行なった結果に基づいて、特にオブジェクト指向フレームワークとしてC++を用いて実装されている［堀 95］。

オブジェクト指向フレームワークは類似のアプリケーションに共通するクラス群に対して、クラス間での典型的なメッセージ交信の形態を明示的にするもので、特に設計情報の再利用が重視される［Johnson 88］。フレームワークの例としては、領域に特化したグラフィクスの描画［Vlissides 90］、マルチメディア・データの編集［Gibbs 91］、金融取引のシミュレーション［Eggenschwiler 92］といったアプリケーションを対象とするものがある。それに対して、具体的なアプリケーションを想定せずに一般的に有効な諸機能を提供することによってコードの再利用を促すものはツールキットと呼ばれ、フレームワークと区別される［Johnson 88］。

本報告では、C++で実装された生産スケジューリング・システム構築のためのフレームワークをObject Modeling Technique（OMT）［Rumbaugh 91］の記法に従って示す。このフレームワークは、生産設備や生産工程といった製造分野に特徴的な構造を表すスケジュール・モデル、計画立案の機能を担うスケジューリング・エンジン、さらにユーザインタフェースに関するモジュールの３つのサブシステムから構成される。スケジュール・モデルはドメイン・モデルとして位置付けられ、他の２つのサブシステムはこのモデルを前提とした上で個別の要求仕様に応じて適宜具体化される。以下、スケジュール・モデルならびにスケジューリング・エンジンの構成について述べる。

① ドメイン・モデル

スケジュール・モデルはスケジューリングの観点から生産現場をモデル化したもので、資源（Resource）、生産工程（Process）、製品（Product）に関する３つのサブシステムから構成される(図３.３.２-１)。

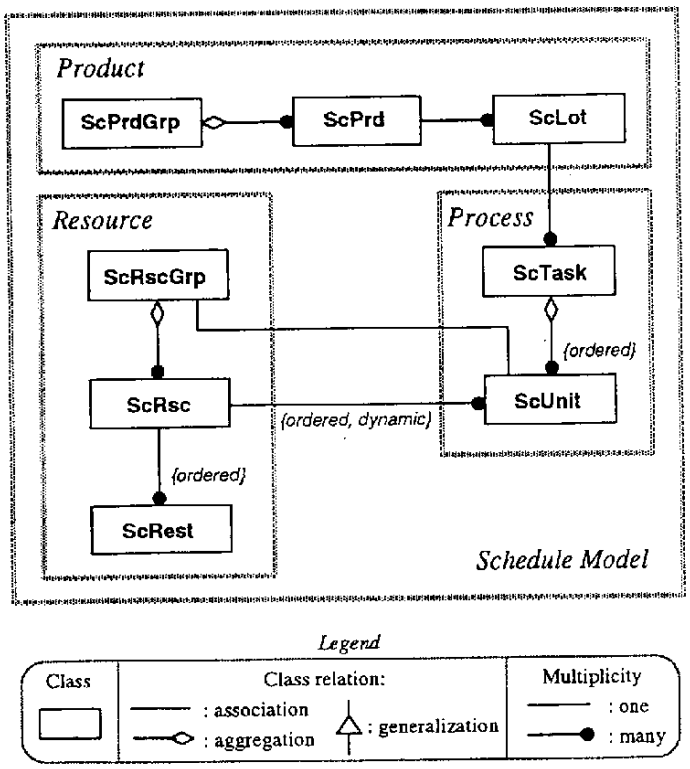


図３.３.２-１ スケジュール・モデルの構成

資源サブシステムは、工作機械などの生産設備に関するもので、同一タイプの資源集合である資源グループ（ScRscgrp）、個々の資源（ScRsc）、および資源の休止時間（ScRest）からなる。一方、生産工程はあるタイプの資源において実施される最少の作業単位であるユニット（ScUnit）、ある製品を完成させるために順序付けられた一連のユニット全体に相当するタスク（ScTask）からなる。また、製品については、製品グループ（ScPrdGrp）、各製品（ScPrd）、および納期や数量の定められた生産単位であるロット（ScLot）からなる。

報告者らが扱ってきたジョブ割付問題［Hori 94］は、ジョブ（ここでのユニットに相当）を資源に割り付ける問題としてのみ定式化されていた。それに対して、このスケジュール・モデルではユニットと資源の多対一関係以外にも製造分野に特徴的なドメインの性質がモデル化されている。このようにスケジュール・モデルは対象領域の構造的な特徴をとらえたもので、その構成要素はドメイン・オントロジーとしての役割を果たす。

② 問題解決手続き

スケジューリング・エンジンのサブシステムは、様々な計画手順の使い分けおよび類似機能の追加による拡張を容易にするために、以下の3レベルに分けて問題解決手続きを定義している(図3.3.2-2)。

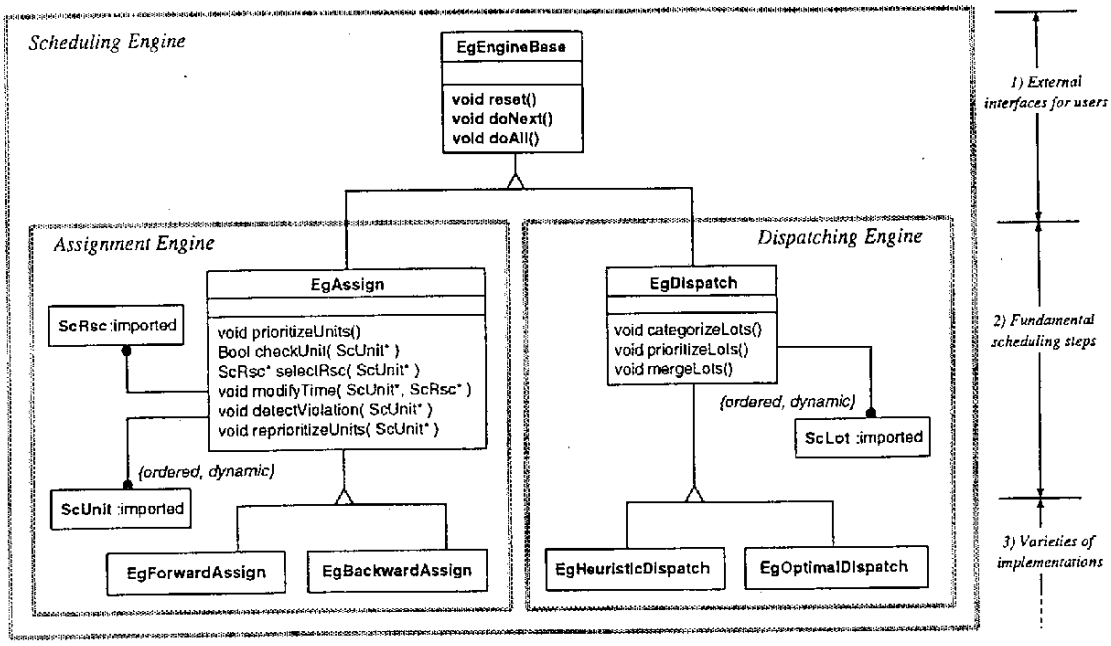


図3.3.2-2 スケジューリング・エンジンの構造

レベル1は図3.3.2-2のEgEngineBaseにおいて規定される。ここでは、エンジンを初期化（reset）した後、全ての処理を一括して行なう（doAll）場合と、ある1単位の処理（doNext）を繰り返す場合の2通りの起動方法が与えられる。このレベルは計

画担当者であるエンド・ユーザを対象としているのに対して、これ以外の２つのレベルはいずれも知識工学者ならびにソフトウエア・エンジニアが関わることを前提としている。

レベル２では、EgEngineBase の下位クラスである EgAssign および EgDispatch において、ドメイン・オントロジーを前提とした問題解決手順の雛型が定義される。EgAssign はユニット（ScUnit）の候補からなるリストの要素を順次該当する資源（ScRsc）に割り付けるもので、EgDispatchはロット（ScLot）の優先順位を決定するものである。ここで、ロットはユニットを集約したもの、すなわちある工程（ScTask）におけるユニットの集まり全体がロットに対応する（図３.３.２-２）。したがって、EgDispatch が全工程をひとまとめにして捉えようとするものであるのに対して、EgAssign はより詳細なレベルでの問題解決を想定していることがドメイン・オントロジーの構成を通して明示的にされている。

EgAssign では、通常の生産計画において典型的なフォワード・スケジューリングおよびバックワード・スケジューリングに共通する手順の雛型が与えられる。バックワード・スケジューリングとは各ロットの最終ユニット（最終工程）の納期を起点として、各ユニットを後詰めにする方法である。それに対して、フォワード・スケジューリングは各ロットの第１ユニットの最早開始時刻を起点として各ユニットを順次前詰めにする方法である。

これら２つの手法は、注目しているユニットが割付可能かどうかのチェック（checkUnit）、割付対象となる資源の選択（selectRsc）、ユニットの作業開始および終了時刻の設定に伴う関連ユニットへの変更の伝搬（modifyTime）といった基本操作の適用順序(制御構造)が与えられる［堀 95］。ただし、これらの基本操作はC++の純粋仮想関数として定義されておりこのレベルでは具体的な実装を伴わない。

各基本操作の具体的な実装はレベル３、すなわちEgAssign の下位クラス（EgForwardAssign, EgBackwardAssign）において与えられる。個別の状況に応じた部分的な機能拡張（たとえば残業を考慮した割付処理）については、さらに下位のクラスを定義し該当する基本操作を再定義することによって行なわれる。EgDispatch は半導体製造ラインのスケジューラとして現在稼働中のシステムの問題解決過程を分析することによって得られたものである［吉田 95］。分析手順は文献［Hori 95］に示された方法に準拠しており、特にドメイン・オントロジーに基づいてシステムの開発者に直接インタビューすることによって行なわれた。

EgHeuristicDispatch はロット投入順序についての既知の経験則（たとえば加工時間最大ロット優先、納期余裕時間最小ロット優先など）を適宜組み合わせて適用するものである。また、EgOptimalDispatch はロットの平均納期遅れの最小化等を目的関数として近似最適化を行なうもので、確率的アルゴリズムの１つであるシミュレーティッド・アニーリングの手法を用いて実現される。

(3) 利用文脈への適合

本フレームワークは、個別の事例ごとに具体化されるが、その構成はシステムの利用文脈によって異なる。図3.3.2-3にいくつかの構成例を示す。各サブシステム1つずつからなる構成をそのまま具体化するもの（図3.3.2-3(a)）が最も典型的で、スケジューリング・エンジンにはユニットの割付あるいはロットの優先順位付けのいずれかを行なうものが組み込まれる。

一方、スケジューリング・システムが既に運用されている環境で、現行スケジューラによって得られた予測値と生産現場から収集された実績値の相違を作業員に提示するといった状況も考えられる。この場合には、現行のスケジューラおよび実績データ収集システムから取り込んだデータをドメイン・オントロジーに適合するように変換し、その結果をユーザ・インタフェースを介して表示することになる。たとえば、2つの工場での進捗が同一ウインドウ上で画面を切替えることによって表示するために、図3.3.2-3(b)に示した構成を取ることができる。

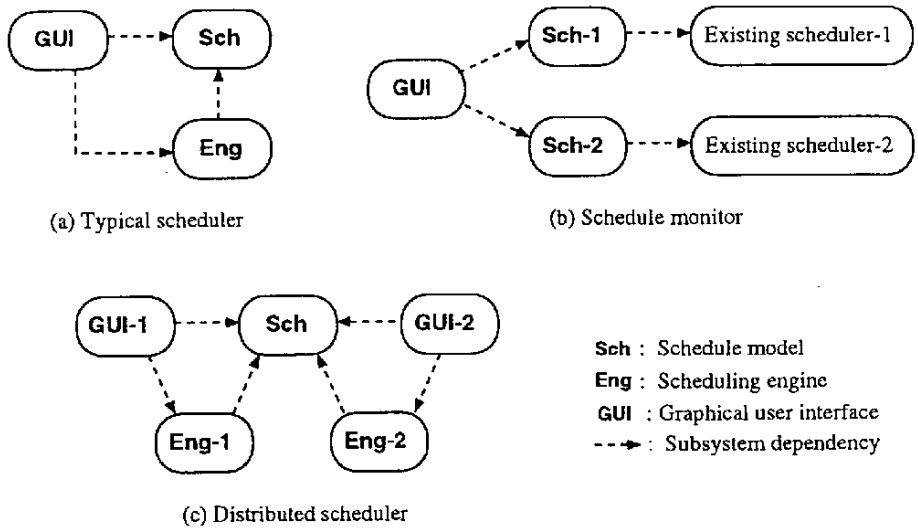


図3.3.2-3 スケジューラの構成例

さらに生産のサイクル・タイムが長期にわたる場合、生産工程をいくつかの部分工程に分割したり、生産ライン全体について異なる観点からスケジューリングを行なうことが考えられる。そのような場合には、複数のスケジューリング・エンジンが1つのドメイン・モデルを介して協調する分散スケジューリングの形態を取る（図3.3.2-3(c)）。たとえば、ウェーハの投入から作業完了まで通常20～50日を要する半導体製造ラインでは、納期が守られるように各ロットの優先度をEgDispatchによって決定するとともに、各資源の稼働率を上げるために現場作業員の担当範囲ごとにEgAssignを起動しながら各工程の進捗状況を監視するといった役割分担が可能である。

報告者らは、電子機械デバイスの検査ラインのスケジューリング・システムを本報

告で述べたフレームワークを用いて現在開発中である。そのシステムは現状では図3.3.2-3(a)のパタンに該当するが、運用開始後に対象範囲が拡大することによって図3.3.2-3(c)のパタンへ移行することが予想される。

(4) 考　察

坂元ら［坂元93］は変電所事故復旧問題での経験からドメイン・オントロジーが記述対象とするモデルを、タスク依存対象モデル、一般対象モデル、サブタスク依存のドメイン知識、領域理論の4種類に分類している。本報告におけるスケジュール・モデルはスケジューリングの観点から生産現場を捉えたもので、タスク依存対象モデルに対応する。変電所の構造は背後にある領域理論に支配される部分が多く、タスクの視点を排除したレベルでの一般対象モデルは再利用の観点から有効であると考えられる。例えば、製造過程における歩留り低下の理由を生産対象物の背後にある領域理論に求める場合、領域理論を拠り所として構成された生産対象物の一般対象モデルは計画タスクと診断タスクに共通する抽象的な対象モデルとして有用であろう。

ここではスケジューリング問題を領域理論を前提としないタスクと捉えており、一般対象モデルに相当する概念は特に用いていない。ただし、領域理論を前提としないタスクにおいても、タスクの視点を可能な限り排除した対象モデルを想定することは可能である。報告者らはジョブ割付問題を一般割付問題として抽象化し、その問題解決過程が前提とし得るいくつかの対象モデルを汎タスクレベルのマクロ構造として抽出した。そのようなマクロ構造を拠り所として、製鋼工程の生産スケジューリングと電気回路の接合点配置問題における問題解決過程に類似性を見い出した［堀94］。しかしながら、マクロ構造は推論操作対象の構造を著しく抽象化したものであることから、通常のタスクの範囲を越えて問題解決過程の共通性を見い出す上で有用な指針を与えることは必ずしも容易ではない。

(5) おわりに

本研究では、計画型タスクよりもさらに具体的な生産スケジューリングを対象として知識の再利用を試みている。これはある意味では問題領域を狭めたことになるが，同時に製造分野において関わりのある他の問題領域との関連を明確にすると考えることができる。生産スケジューリングでは，それに先立って必要な資材を購入するためのプランニング、ある工程での歩留り低下の原因を究明するための診断などが相互に連携することによって高次の問題解決が遂行される場合が一般的である。したがって、タスクのレベルよりも具体的な問題領域を設定することは，複数領域にまたがる大規模問題解決に介在する知識システム群が相互に連携するために必要な文脈を明示していると言うことができる。今後は製造業を対象とした広域的なフレームワーク［SEMATECH 96］［Aarsten 95］との整合性やスケーラビリティを考慮しながら本フレームワークをさらに発展させることが重要な課題となる。

参考文献

[Aarsten 95] Aarsten, A., Elia, G. and Menga, G. : G++: A pattern language for computer-integrated manufacturing. In J. Coplien and D. Schmidt, Eds., Pattern Languages of Program Design, pp. 91-118, Addison-Wesley, Reading, MA, 1995.

[Eggenschwiler 92] Eggenschwiler, T. and Gamma, E. : ET++SwapsManager: using object technology in the financial engineering domain. OOPSLA '92 Conference Proc., pp.166-177, ACM Press, 1992.

[Gibbs 91] Gibbs, S. : Composite multimedia and active objects. OOPSLA '91 Conference Proc., pp.97-112, ACM Press, 1991.

[Hori 94] Hori, M., Nakamura, Y. and Hama, T. : Configuring problem-solving methods: a CAKE perspective. Knowledge Acquisition, Vol.6, No.4, pp.461-488, 1994.

[Hori 95] Hori, M., Nakamura, Y., Satoh, H., Maruyama, K., Hama, T., Honda, S., Takenaka, T., and F. Sekine : Knowledge-level analysis for eliciting composable scheduling knowledge. Artificial Intelligence in Engineering, Vol.9, No.4, pp.253-264, 1995.

[堀 94] 堀、中村, 汎タスクレベルを介した問題解決知識の再利用性について, 第8回人工知能学会全国大会論文集, pp. 85-88, 1994.

[堀 95] 堀、中村, 生産計画システム構築のためのオブジェクト指向フレームワーク, 情報処理学会研究会報告 95-SE-103, pp.33-40, 1995.

[Johnson 88] Johnson, R. and Foote, B. : Designing reusable classes. Journal of Object-Oriented Programming, Vol.1, No.2, pp.22-35, 1988.

[溝口 94] 溝口理一郎, 知識の共有と再利用研究の現状と動向, 人工知能学会誌, Vol.9, No.1, pp.3-9, 1994.

[Rumbaugh 91] Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., and Lorenson, W. : Object-Oriented Modeling and Design. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.

[坂元 93] 坂元、高岡、張、溝口, 再利用可能知識ベースに基づく一次変電所事故復旧支援システム, 人工知能学会研究会資料 SIG-KBS-9304-3, pp.17-24, 1993.

[SEMATECH 94] SEMATECH Inc. : Computer Integrated Manufacturing (CIM) Application Framework Specification 1.3, #93061697F-ENG, 1996.

[Vanwelkenhuysen 94] Vanwelkenhuysen, J. and Mizoguchi, R. : Maintaining the workplace context in a knowledge level analysis. Proc. of JKAW-94, pp.33-47, 1994.

[Vlissides 90] Vlissides, J. and Linton, M. : Unidraw: a framework for building domain-specific graphical editors. ACM Trans. on Information Systems, Vol.8, No.3, pp.237-268, 1990.

[吉田95] 吉田、堀, スケジューリング・フレームワークの半導体製造工程への適用, 計測自動制御学会 システム情報関連合同シンポジウム論文集, pp. 321-326, 1995.

[Yost 94] Yost, G., Klinker, G., Linster, M., Marques, D., and McDermott, J., The SBF framework, 1989-1994: from applications to workplaces. Proc. of EKAW-94, pp.318-339, 1994.

3.3.3 エージェント指向言語による看護婦勤務表作成システム

(1) はじめに

オブジェクト指向を越える新しいパラダイムとしてエージェント指向が注目され、様々なソフトウェアが開発されている。しかしながら、エージェント指向自体、新しい概念でもあり、未だ明確な定義がなされないまま開発者の都合の良い定義で使われているのが現状である。エージェント指向は、従来の集中型のシステムではなく、ネットワーク等をベースとした分散型の新しい時代の情報処理形態を築く要素技術の一つとなる事は間違いがなさそうである。特に、オブジェクト指向言語が受動的なのに対しエージェント指向言語は自律的な機能を具備した新時代の知的言語といえる。

本論では、自律分散環境における高度な問題解決の枠組みを確立するために、エージェント指向言語を用いた実社会の問題解決のシミュレーションを実施する。具体的な問題として看護婦勤務表作成問題を取り上げ、そのシステム化を実施したので報告する。

尚、本論はネットワークAI技術マップのシステム的視点のエージェント技術、特にやわらかいシステムおよびインテリジェントエージェント技術に対応する。特に、人間がごく普通に行う交渉過程を人工知能分野にどのように取り込めば、柔軟な柔らかいシステムが構築できるかに力点を置いて検討した。また、従来のエキスパートシステムの最大の課題である知識獲得ボトルネックの解消、より人間に近い新しい知識表現などへのフィードバックが期待できる。さらに、超並列計算機など21世紀に主流となるであろう情報処理機構の中心的なソフトウェアになるものと考えられる。

(2) エージェント指向言語ＡＰＲＩＬ

エージェント指向言語は、自律性を持った独立単位としてのエージェントとエージェント間のコミュニケーション、情報共有の仕組みなどを記述するための言語体系を備えている必要がある。エージェント指向言語として様々な仕様の物が既に提案されているが、本論では英国インペリアル大学のDr. McCabe 等によって開発されたAPRIL 言語［MaCabe 94］を採用する事にした。

APRIL（Agent PRocess Interaction Language）は、マルチタスク記述の記号処理言語である。エージェントを名前付きのプロセスで表現し、APRIL ネームサーバで一括管理している。したがって、エージェントの生成はネームサーバに登録する事に相当し、登録されたエージェント間では、エージェント名でネットワークを通してコミュニケーションが可能となる。また、手続をメッセージ送受信付きのプロセスとして生成できるので、あたかもエージェントのように手続を呼び出して使う事も可能である。このように、APRIL では、協調的に並列実行がなされるプロセスの集合として対象のモデル記述がなされ、ホストのクロックを使った実時間のシミュレーションが実行できる。スタンフォード大学のAGENT-0［Shohm 93］のような要求、同意、提案、折衝などの

特別なエージェントの枠組みは無いが、基本的な分散指向の問題解決の枠組みは揃っている。

契約ネット

APRIL の代表的な交渉プロトコルに契約ネット、オークションモデル等がある。ここでは、代表的なモデルとして契約ネットを紹介する。契約ネットは複数のエージェント間で、以下のような遣り取りをしながら問題解決（タスク割当）を実施するプロトコルで、人間社会における契約プロセスに類似している。

(a) タスクを持つノードはマネージャーノードとなり、契約者ノード群にタスク提示メッセージを放送する。
(b) 受信した契約者ノードは、自分が実行可能なタスクならば入札メッセージをマネージャーに返答する。この時、自分がどの程度のコストがタスクを実行できるか等の見積り情報を付けて返答する。
(c) マネージャーは、一定時間内に返答のあったメッセージを集計し、どの入札者に実行させるかを評価し、最適な者を選びだして該当者に落札メッセージを送付する。
(d) 落札メーセージを受け取ったノードは、コントラクタとしてタスクを実行する。
(e) タスク終了後に、その旨をマネージャーに通知する。

契約ネットは、契約者ノードが自分の観点からタスクを評価して入札するために、契約者の意図が反映しやすいプロトコルである。看護婦の勤務割当問題では、嫌なら入札しなければ良いので、看護婦個々の利害等の記述が容易となる。また、一般的な大規模問題においては、マネージャーはタスクをサブタスクに分割して、それぞれのサブタスクについて入札を実施し別々の契約者にサブタスクを並列に実行させるのが普通である。さらに、場合によっては契約者がマネージャーとなって入札したタスクを分割して入札に掛ける状況もある。マネージャーは、各々の契約者からのサブタスクの実行結果を受け取って、その結果を統合する。

(3) 超並列計算機とエージェント指向

APRIL を富士通の超並列計算機 AP1000 上への移植を検討した。AP1000 は、FEP（Front End Processor ）にSunを使ったバックエンドタイプの計算機である。AP1000 は、最大1024 PE（Processor Element ）まで搭載できる拡張性の高いマシンで、最大性能は50 GFLOPS に達する。また、メモリー搭載量も64 GB と超大容量のメモリー空間を実現できる。AP1000 の特長は、3 種類の異なるネットワークにある。

一つめは、2 次元トーラスネットワークで、任意のプロセッサ間のコミュニケーションを効率良く実行するための物である。

2 つめは、放送ネットワークで、各プロセッサに同時放送したり、一斉に回答を貰ったりする事を高速に実行するための物である。

3つめは、同期ネットワークで各プロセッサ間の実行同期やマスク処理などが行える。

このような超並列計算機は、エージェント指向で最も頻繁に使われる一斉同報（放送機能）や任意のエージェント間のコミュニケーションを高速に実行するための専用のネットワークを備えている事になり、ハードウェア的に見ても極めて親和性の高いアーキテクチャーといえる。また、ソフトウェア的にもメッセージパッシング方式のコミュニケーション機能がOSレベルで用意されており、エージェント指向言語の移植が容易なシステムである。

看護婦の勤務表作成問題においては、FEPに婦長さんを割当、各PEに看護婦さんを割り付ける事で、非常に効率の良いシステムが実現できるであろう。また、超並列計算機の動作モニターを見る事によって、誰が発言して何が行われているか、誰がさぼっているかなどが一目瞭然となるであろう。実際のインプリメントまでは行かなかったのが残念ではあるが、非常に興味深い課題である。

(4) 看護婦の勤務表作成問題

看護婦の勤務表作成問題は、人工知能の一般問題として良く取り上げられる。この問題は、スキル（内科、外科、耳鼻科など）、資格（正看護婦、準看護婦など）、勤務形態（夜勤、日勤、準夜勤など）が複雑に絡み合っていて、一人一人の看護婦が満足するような勤務表を作るのが難しく、婦長が最も苦労している作業の一つである。特に、個人個人の休日希望とか当番医との相性、看護婦間での人間関係など、細かい所まで考慮すればする程、勤務表の作成が難しくなる。一般的な制約充足等の人工知能技術で看護婦の人間関係まで考慮した勤務表を作成しようとすると、システムが複雑になってしまう。エージェント指向技術を導入すれば、エージェントに個々の情報を格納する事ができるので、システムの作りが単純化され、保守性が向上する事が期待できる。このように、看護婦の勤務表作成問題は、人間が他人の顔色を見ながら、時には交渉によって決めていく問題であり、人間系の問題解決の典型的な例題である。

① 問題設定

【仮定した病院】

日本国内の実データが入手できなかったので、英国の総合病院の事例を用いる。日英では、グレードの表現、シフトの表現などが異なっている程度で大きな相違は無い。

(a) 専門分野の異なる8つの病棟から成る。
(b) 三つシフト（午前、午後、夜間）がある。
(c) 看護婦は、各々専門スキルと5段階のグレード
　(Officer, Staff, Student1, Student2, Student3)を持つ。
(d) 看護婦は、複数の専門スキルを持つ。
(e) 看護婦の定員は充足しているものとする。

【勤務割当制約】

スケジューリング問題でポイントは制約条件である。制約条件には、必ず満たさなければならない必須条件と場合によっては満たさなくても良い希望条件がある。これらの条件を満たす解を導出するのがスケジューリング問題となる。看護婦の勤務割当問題では、以下のような制約がある。

(a) 日中は各病棟３名、夜間は１名の看護婦を割り当てる。（必須）
(b) 各シフトには少なくとも一人の対応した専門スキルを持つこと。（必須）
(c) 昼間のシストは、次のグレードを持った看護婦である事。（必須）
　・一人目：Officer,Staff
　・二人目：Officer,Staff,Student2,Student3
　・三人目：制限無し（Student1～Officer)
(d) 夜間は、Officer,Staff のスキルを持った看護婦である事。（必須）
(e) 一日の内では一つのシストにしか着けない。（必須）
(f) 夜勤明けの次の日の午前勤務は禁止。（必須）
(g) 週一回の休暇は必ず取らせる事。（必須）
(h) 休日申請（病欠等）が出されている看護婦は割り当てない。（必須、希望）
(j) 看護婦の希望シフトを尊重する。（希望）

ここで、(h) のような制約条件では、病欠等の調整不可能な場合は必須条件となるが、休日希望日や代休のような場合は、可能な限り満足するように考慮するが場合によっては満足させなくても仕方がない条件となる。

また、柔らかいシステム実現のために、医者との相性、看護婦間の人間関係などの制約も取り入れたかったが、今回のシステムでは残念ながら取り入れる事は出来ていない。

② プログラム

出来るだけ実世界と同様な担当者間のコミュニケーションによって勤務表が作成出来るような状況を設定する。ここでは、勤務表を作成する中心人物として、一名の婦長エージェントと人数分の看護婦エージェントを登場させ、各々の自律機能を用いて以下のような初期割当プロセスで作成する。

【初期割当プロセス】

(a) 婦長エージェントは、曜日／シフト／病棟単位のタスクを選択する。
(b) 婦長エージェントは、全看護婦に選択したタスクを放送する。
(c) 看護婦エージェントは、受信したタスクに対し勤務可能ならばその旨を回答する。
(d) 婦長エージェントは、一定時間回答メッセージを待つ。
(e) 応募メッセージの中から偏らないように評価して一名を決定する。
(f) 該当看護婦エージェントに通知する。

(g) 看護婦エージェントは、内部状態（予定表）に書き込む。

実際のプログラムでは、個々の状況に応じて従来のエキスパートシステムと同様な戦略的な知識を使用している。例えば、(a) の婦長がタスクを選択するような状況下では、夜間勤務はハイグレードのスキル(officer,staff) の看護婦が一名なので、早めに割り当てて置かないと後で調整がきつくなる。このような、制約のきつい夜勤の割り付けを最初に実施していくようなプロセスが組み込まれている。また、(e) の決定課程でも、希望シフト、勤務数、夜勤数、スキル数などの情報に基づいた評価が成され決定していく。ここでの問題点は、勤務数との必須条件が満たしていれば、希望シフトが評価され、その者が優先的に割り当てられて行く事になる。通常は、昼間の良い時間帯の勤務に希望が集中し、その中から一名を選択する事になる。選択の基準は、勤務数、夜勤数、スキル数、希望シフト違反数（希望を満たしてあげられなかった数）を考慮して決定する。一般的では無いが、もし皆が嫌う夜勤を希望する看護婦がいると、毎日、夜勤ばっかりという勤務形態となってしまうことになる。実際の場合には、労働基準法とか婦長さんからの注意とか何らかの抑制が掛かるのであろうが、その辺の記述は出来ていない。

この初期割当プロセスでは、応募者がいないスロットは空きスロットとして、その時点では穴埋めするための調整は実施せず、以降の再割当プロセスで実施する。通常の人工知能技術では、バックトラック等によってスケジューリングを後戻りして再度実行するようなプロセスをとるが、本論では簡単な交渉によって再割当を試みた。

【再割当プロセス】

基本的には、未割当スロット分の空き時間が何処かの看護婦に生じているので、その空き時間を玉突き的に交換していけば良い。本論のような定員が充足している問題においては、必ず制約を充足する解を導き出せる事になる。玉突き的な交換や複数人の交渉による交換は、かなり複雑になるので、ここでは単純な２人による交換法について述べる。

(a) 婦長エージェントから未割当スロットの情報を放送する。
(b) 余分の空き時間を持つ看護婦エージェントは、その情報を放送する。
(c) 未割当スロットに空き時間を持つ看護婦エージェントは、当該スロットのタスク条件をチェックする。
(d) 条件を満たせば、他の看護婦エージェントが提示した余分の空き時間情報から交換可能なスロットを探す。
(e) 交換可能なスロットが自分の条件を満たすかチェックする。
(g) 満たしたなら、当該スロットを持つ看護婦エージェントに交換を打診する。
(h) 打診された看護婦エージェントは、条件をチェックし可否の返答する。
(i) 看護婦エージェント間で合意したら、婦長エージェントに通知し承認待ちとする。
(j) 婦長エージェントは、当該スロットの他の合意案件と比較検討して一組を選定する。

(k) 選定結果を関連の看護婦エージェントに通知する。
(l) 当該看護婦エージェントは、それぞれの内部状態（予定表）を更新する。

このように、定員が充足している問題では、空き時間をキーにタスクの交換を実施していくことにより、デッドロック（ループ）が発生しない限り制約条件を満たす解を導出する事ができる。また、デッドロックも、同一のスロットでは同一の看護婦との再交渉を禁止すれば容易に回避する事ができる。

③ 実験結果

70人規模の実際のデータで実験したが、初期割当プロセスでは順の始めでは候補者が多く、勤務を割り当てられない無駄な空き時間を持つ看護婦が出る一方で、あとの方になるにつれて候補者が減少し、割当不可能なスロットが生じ易い。この辺は、通常のスケジューリング問題と全く同じ結果となる。今回のような定員が充足しているような簡単な問題では、未割当数も全体で5件程度（割当率98％）となった。また、2者間の簡単な交換程度の再割当では、未割当の解消が行えなかった。3者、あるいは玉突き方式による交換を実施しないと、実際の問題では中々上手く行かない事が分かった。また、今回のような空き時間を放出させるやり方では駄目で、無駄（たとえば、Student のレベルで良いのにstaff や Officer が勤務しているような場合）を意識的に解消していくような最適化に近い機能を導入しなければ行けない事が分かった。この辺は、実際の人間が行う割当でも一番不得意の所でもあり、エージェントによるシステム化も難しい所である。最適化まで考慮するとなると、GA（Genetic Algorithm：遺伝的アルゴリズム）や制約充足等の数学的なアプローチの方が良くなる。

今回の実験は、極限られたプロセスの実現ではあるが、婦長エージェントに処理が集中しボトルネックになる傾向が見られた。また、看護婦エージェントは受け身となってしまっていて殆ど決定には携わっていない事が分かった。この事は、従来のエキスパートシステムと同様な中央集権型の処理形態であって、本来の目的としていた看護婦通しの自律的な交渉等による決定メカニズムとは程遠い結果となった。また、この程度の問題ならば、従来のエキスパートシステムや制約充足等の手法で実施した方が複雑でなく高速に処理できそうである。つまり、今回の結果は、従来の手法（割当順番、優先度など）を単に婦長と看護婦に割り振って、会話形式で問題解決をする形に変形させただけで、会話のオーバヘッド、そのためのソフトウェアの複雑化などが発生してしまっている。

今後は、定員不足を起こし超過勤務などによる解決を想定しなければならない状況で、強い交渉や妥協などの枠組みを作って行きたい。また、実世界とは少し遠く成るが、勤務表を公開して看護婦が自主的に希望の勤務表を埋めていくようなシステムも実験して行きたい。

(5) 結　論

今回は、看護婦勤務表という簡単な題材に対し、エージェント指向言語を用いた人間系に近いやわらかいシステムの構築を試みた。当初の目標であったやわらかいシステムからは程遠くなってしまったが、今回の実験からエージェント指向を用いた場合に、以下のような評価を得る事が出来た。

【メリット】
(a) 個の情報を入れ込み易い。
(b) 人間系に近い処理手順を実現し易い。
(c) 効率の良い分散処理（超並列計算機向き）が可能である。

【デメリット】
(a) 簡単な処理の割りにはプログラムが複雑になる。
(b) 妥協や目標のすり合わせを実現するには更に複雑となる。
(c) 処理の無駄が多く、トータルとしてのオーバーヘッドが大きい。

ネットワークAI技術マップにおけるやわらかいシステムを中心に、エージェント機能での実現を検討してきた。これらの経験を踏まえ、ネットワークAIに対する期待と課題について触れてみる。

① ネットワークAIの期待

21世紀の来るべく高度情報化時代のシステム形態を考察してみる。従来の情報処理形態は、コンピュータが中心に位置づけられ、利用者は端末を使って処理をするイメージのものであった。小規模のシステム形態では、効率良く機能してきたが、ネットワーク技術が発達し、大量のコンピュータがネットワークの中に取り込まれて来ると、中央集権的な超大型コンピュータを頂点としたシステム形態では機能しなくなって来ている。コンピュータはダウンサイジング化されネットワークの中の小さな一ノードとなり、それに伴って一部の機能を担うだけの分散処理形態になってくる。このように集中型の形態からシステム全体が複雑／巨大化した分散型の形態に移行すると、システムとして整合性を取るのが非常に難しくなる。システムが巨大化してくると人間社会の地方分権と同様に、各ノードが高度に自律化し、お互いに協調しながら様々な処理を実行していく必要が生じる。また、システムの信頼性を確保するために、人間社会と同様なバックアップ体制の仕組みが必要となろう。このようなシステム実現には、自律分散型を実現するための新しい発想のソフトウェア体系が必要となる。本論で議論してきたエージェント指向の考えかたは、これらのシステムには欠かせない重要な技術となろう。特に、エージェント指向の具備する自律化機能、協調動作の枠組み、コミュニケーション法などは重要な考え方になる。

このように考えると、ネットワークAIはコンピュータや人間が有機的に接続された

高度ネットワーク社会におけるソフトウェアの一つのあり方を示すものである。

看護婦の勤務表作成システムは、このような観点から、小さなコミュニィティではあるが看護婦の世界で、お互いの利害関係が複雑に絡み合う勤務表作成という問題に対して、超並列機という最先端の分散処理システムとエージェント指向を活用して、来たるべくネットワークAI時代に向けての実験を実施したものである。

② ネットワークAIの課題

ネットワークAIは研究が始まったばかりであるが、インターネットを中心としたネットワークコンピュータ社会が既に到来しており、実用化が急務の状況である。人間社会と同様な役割分担の定式化や実際のネットワーク社会でのシステム化を検討する場合、自律単位としてのエージェント自身の粒度決定、自律化機能、競合解消のためのネゴシエーションや合意形成などの様々な検討が必要になってくる。これらの整合性の取れた大規模なシステムを構築するには、開発環境と共にその方法論等の整備が必須となろう。また、システムの信頼性の観点からも自動修復機能や自動拡張機能などの検討も必要であろう。

参考文献

[MaCabe 94] F.G.MaCabe: April-Agent PRocess Interaction Language, Internal report, Dept. of Computing, Imperial College, March 10, 1994.

[Shohm 93] Agent-oriented programing, Artificial Intelligence Vol.60, No.1, pp.51-92, 1993.

3.3.4 スケジューリング・エキスパートシステムの開発環境とその応用

(1) はじめに

本項では、知識システム、特に生産計画などのスケジューリングタスクに対象を特化したエキスパートシステムの開発環境とその環境を利用して開発されたエキスパートシステムについて述べる。本項で対象としているエキスパートシステムは、全体を一括してスケジューリングする単独のAIシステムであり、ネットワーク化される前の状態と考えられる。

(2) スケジューリング方法の分類

スケジューリング問題は、古くからOR（Operations Research）の対象として研究されてきた。しかしながら、その実用化となるとなかなか難しいという現実がある。スケジューリング問題の解法を分類して見ると大きく3つに分類出来ると考えられる。

① 解析的アプローチ

従来のORのアプローチがここに入る。組合せ最適化理論を適用して、厳密で精度の保証された解を得られる。解としては最適なものが得られるが、解が得られるようにモデル化することが難しく、また、一般的には解を得るまでの計算量が膨大になる傾向がある。

② 結果チューニング型アプローチ

比較的簡単なスケジューリングエンジン（シミュレータ）を用意し、その各種パラメタを試行錯誤によって変更することによって所望のスケジュールを得るアプローチである。最適化の保証は一般にはないが、やり方によっては比較的高速なスケジューリングが可能であり、多様な制約への対応も比較的容易である。試行錯誤の部分は、人間の専門家に任せる場合とGA（Genetic Algorithm：遺伝的アルゴリズム）等を利用して自動的に行うものがある。専門家に任せる場合は、結果や経過を見せ、スケジューリングエンジンへの支持を与えるインタフェースが重要である。また、自動的に行うには、そこにかなりのノウハウを入れる必要がある。

③ プロセス記述型アプローチ

スケジューリングをするプロセスを記述することによってスケジューリングを行うアプローチである。本項で述べる専門家の知識を記述するエキスパートシステムのアプローチもここに入るものが多い。最適は保証されないが、多様な制約に対して実用的な時間で実用的なスケジュールを作成することを目的にしている。専門家の知識を獲得するところがシステム構築上の大きなボトルネックになっている。

(3) スケジューリングＥＳ開発の難しさ

エキスパートシステムの開発には、プロダクションシステムなどの汎用のメカニズムを利用して行うことが多った。これは、従来の手続き型言語によって書き下すよりは容易に知識の記述が出来るが、それでもまだかなりの困難が伴う。

困難の第一は、専門家との知識表現のギャップが大きい点である。専門家がスケジューリングの言葉で表現した知識を計算機上で動く形にするまでには、汎用のメカニズムが用意している表現は汎用であるがためにプリミティブ過ぎる。したがって、いわゆるKE（Knowledge Engineer：知識技術者）と言われる人が専門家から話を聞いて、それをもとに汎用メカニズムの表現へ翻訳する必要があった。また、逆に知識ベース上に記述された知識を専門家が解釈するのもかなり難しく、専門家とKEとの間の意思疎通もかなり難しかった。

困難の第二は、エキスパートシステムの開発方法論と知識処理言語の乖離が大きい点である。いくら知識処理言語を習得しても、それを利用してどのような手順でスケジューリングシステムを組み上げれば良いかがわからない。

困難の第三は、無意識下にある知識を抽出してくることが難しい点である。専門家が自分の知識を整然とまとめて表現出来ればよいが、現実は無意識に使っている知識が多い。それらを抽出するために一番有効な手段は、判明している知識を使って得られる結果を提示して、それに対する批判をきっかけとして知識を抽出する方法である。この方法を実現可能にするためには、かなりの頻度でプロトタイプを作成・修正する必要がある。そのために、簡単にプロトタイプを作成できる環境が必要である。

上記の３つは知識獲得に関する問題であるが、最後に実行速度の問題も考えておく必要がある。汎用の知識処理言語での実装は、従来の手続き型言語での実装に比べてかなり遅くなる可能性が大きく、それが運用上許容される範囲に入るかどうかが問題になる。

(4) スケジューリングＥＳ開発環境

① スケジューリングにおける知識

スケジューリング ES において記述すべき知識としては、大きく分けて、対象問題モデルと問題解決知識がある。前者は対象とする問題の定義をする知識であり、ジョブやリソースがどのようなものであるかやスケジュール結果が守らなければならない制約条件などである。後者は、スケジューリングの手順や解法で、専門家のノウハウに大きく依存する部分である。

② タスク特化シェル

同じようなタイプのスケジューリング問題は、同じような問題解決知識を持つことが多いところに注目して、問題解決知識をツール側でサポートして、対象問題モデルだけに柔軟性を持たせるいわゆるドメインシェルのアプローチがある。このアプロー

チでは、ユーザは対象問題モデルを記述するだけでスケジューリングシステムが出来上がる。しかし、スケジューリング問題は、全く同じ解法が別の問題にそのまま適用できることは稀で、同じタイプの問題だとしてもいろいろな部分を変更しないと実用システムとしては使えないことが多い。現実には、アプリケーションに応じてチューニングしていく必要がある。

タスク特化シェルは、スケジューリングというタスクに範囲を限定することによって、スケジューリングシステムを構成する対象問題モデルと問題解決知識の記述に関してそれらの共通的な記述プリミティブを提供することによって、スケジューリングの知識の再利用や記述を容易にしようとするものである。これらの記述プリミティブは、スケジューリングの言葉で表現することが可能であるから、専門家にも理解可能な表現にできる。さらに、これらの記述プリミティブに対して、それを実現するためのソフトウェアモジュールを用意することにより、プロトタイプの作成をかなり容易にすることができる。

③ スケジューリングタスク特化シェルの構成と知識表現

スケジューリング問題向けのタスク特化シェルARES／SCH（Advanced Real world Expert System tool for SCHeduling）［小島 94］［荒木 93］を例にその構成と知識表現を述べる。

ARES／SCH は、図３．３．４-１に示すように、大きく分けて、知識ベース構築環境と推論実行環境から構成される。前者は、各種知識の記述を行う部分であり、そこで、記述された知識をコンパイルし、対応する基本タスクライブラリの関数群とリンクすることによりスケジューリングシステム（推論部）が完成する。後者では、スケジューリングの対象となるジョブとそれを処理するリソースの情報を入力することによってスケジュールを作成し、ガントチャートなどの形式で結果を表示する。知識ベース構築環境においては、３つのエディタが用意されている。

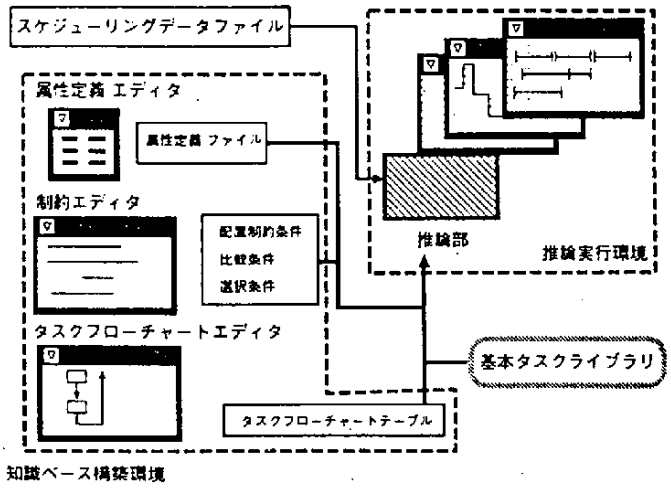


図３．３．４-１　ARES／SCH の構成

属性定義エディタは、対象問題モデルの内のジョブやリソースの記述形式を決めるもので、図3.3.4-2のような画面を持つ。ここで定義された属性項目に従って、スケジューリングデータファイルにジョブやリソースの記述がなされる。

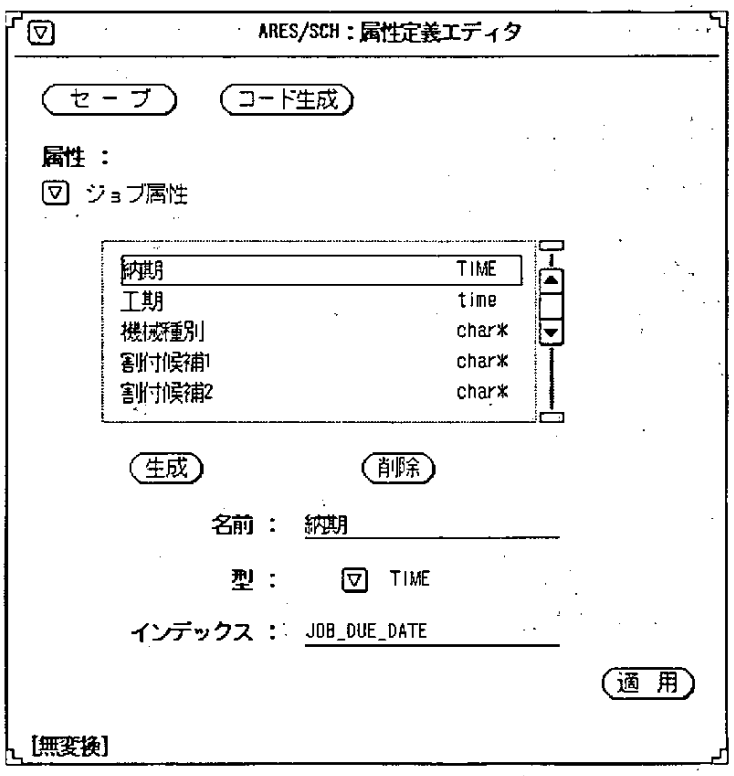


図3.3.4-2　属性定義エディタ

タスクフローエディタは、基本タスクと呼ばれる問題解決知識のプリミティブをフローチャート形式で組み合わせることによりスケジューリングの手順を記述するもので、図3.3.4-3のような画面を持つ。

基本タスクは、大きく分けて操作対象や配置対象を選択あるいは絞り込むためのタスク群、スケジュールの操作（割り付け、挿入、入れ換え、外し）を行うタスク群、実行制御（分岐制御、バックトラック）を行うタスク群などが用意されている。基本タスクは、それだけでは動作が一意には決まらず、対応するタスク実行知識を必要とする。たとえばジョブを選択する基本タスクであれば、どのような条件を満たすジョブを選ぶのであるか（選択条件）、また、選択条件を満たすものが複数ある場合はどれを優先的に選ぶか（比較条件）を指定する必要がある。逆に言えば、ジョブ選択をする場合は、このような知識も合わせて記述する必要があることが分かる。これらのタスク実行知識の指定は、タスクフローエディタの中の図3.3.4-4の画面で行う。

制約エディタは、スケジューリングを行うための各種条件を記述するものであり、図3.3.4-5のような画面を持ち、自然言語風に論理式で記述するものである。条件を記述するためのテンプレートや語彙辞書を内蔵しており、指定した構文要素に対し

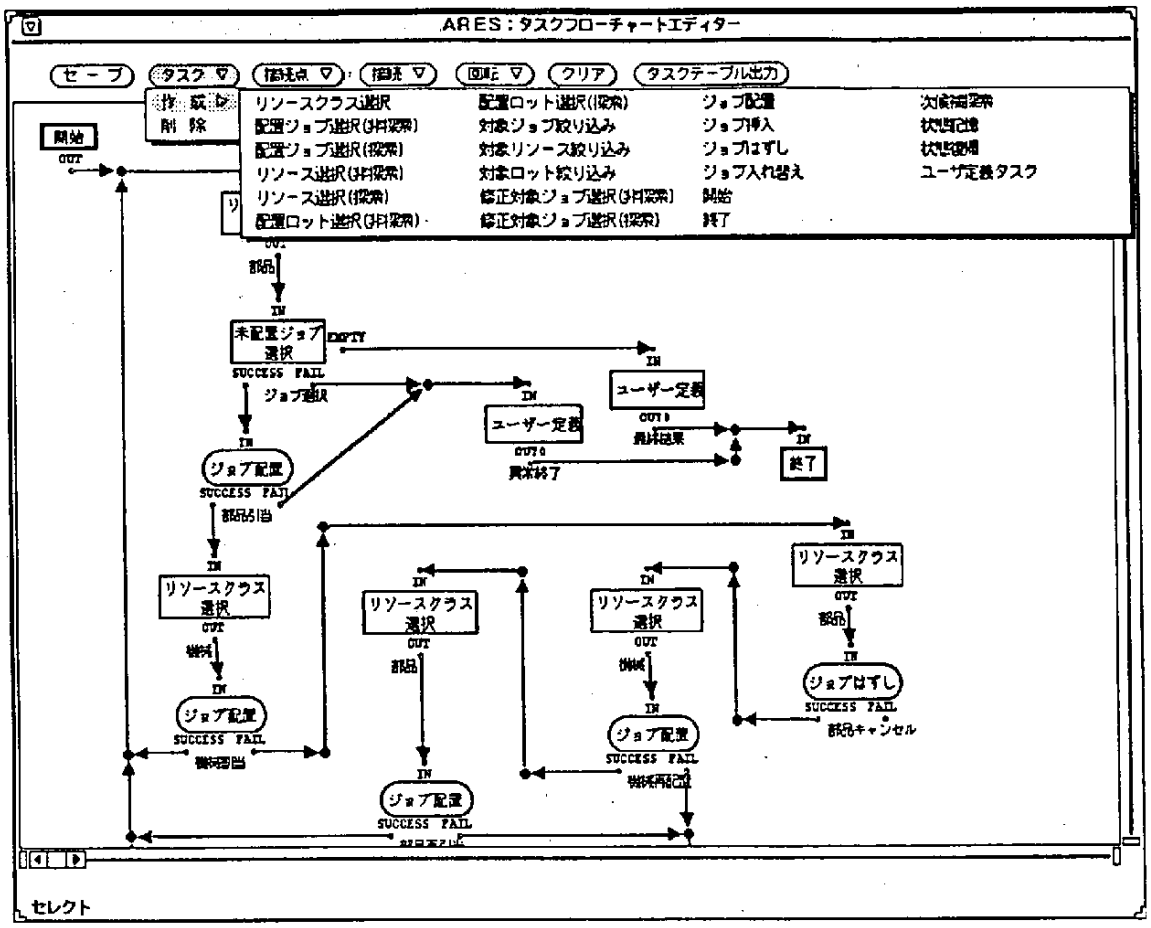


図3.3.4-3　タスクフローチャートエディタ

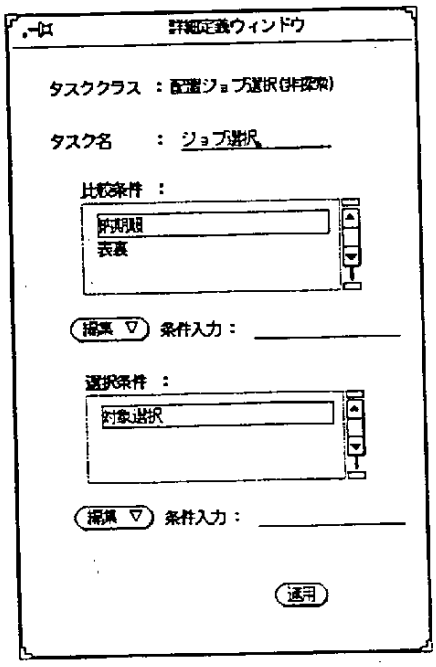


図3.3.4-4　タスク実行知識設定画面

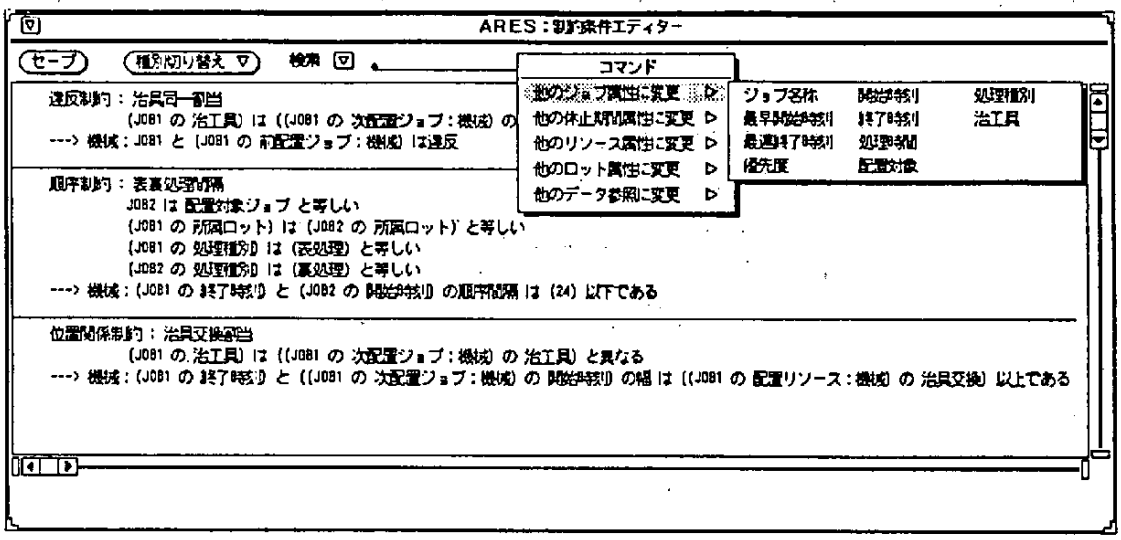


図3.3.4-5　制約エディタ

て置き換え可能な語彙をメニュー表示することよって、構文規則を意識せずに各種条件を入力・編集できる。ここで記述される配置制約条件、比較条件、選択条件は、タスクフローエディタで記述された基本タスクのタスク実行知識として参照される。

(5)　応用例

①コイル巻スケジューリング

大型変圧器の中のコイルを巻くショップを対象にスケジューリングシステムを開発した［小西 94］［荒木94a］。このショップは、典型的な受注生産型のショップであり、従来２、３日かけて専門家が５週間分の作業計画を作成していた。このシステムの目的は、納期の遵守とスケジューリング業務の効率化・省力化である。

このショップでのスケジューリングの特徴は以下のようなものがあった。

・コイル巻に使用できる機械は、コイルの種類や容量によって限定される。しかも、使用可能な機械の中でも、望ましさが何段階かに分けられている。
・一台の変圧器を作るために、いくつかの種類のコイルを数本ずつセットで作る必要があり、それらの間に同期をとる必要がある。
・工期を短縮するために夜勤を設定できる。夜勤を増やせば余裕ができてスケジューリングは楽になるが、最低限に抑えることが要請されている。また、夜勤の出来る人数には上限がある。

このような各種の制約を満たすように、スケジューリング手順を図3.3.4-6のように設計した。これを基本タスク用いたフローチャートで記述すると図3.3.4-7のようになり、実行可能となる。

本システムは、約４ヵ月でシステム開発を行い、運用が開始した。運用は、汎用の表計算ソフトで製造するコイルの情報を入力し、スケジューリングを行う。その後、

専門家が必要ならば微調整を行い作業指示に回すようにしている。専門家による修正の時間も加えて、30分以内でスケジュールを完成できる。

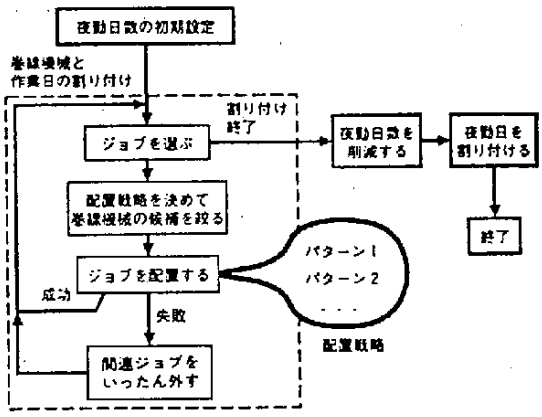


図3.3.4-6　コイル巻スケジューリングの手順

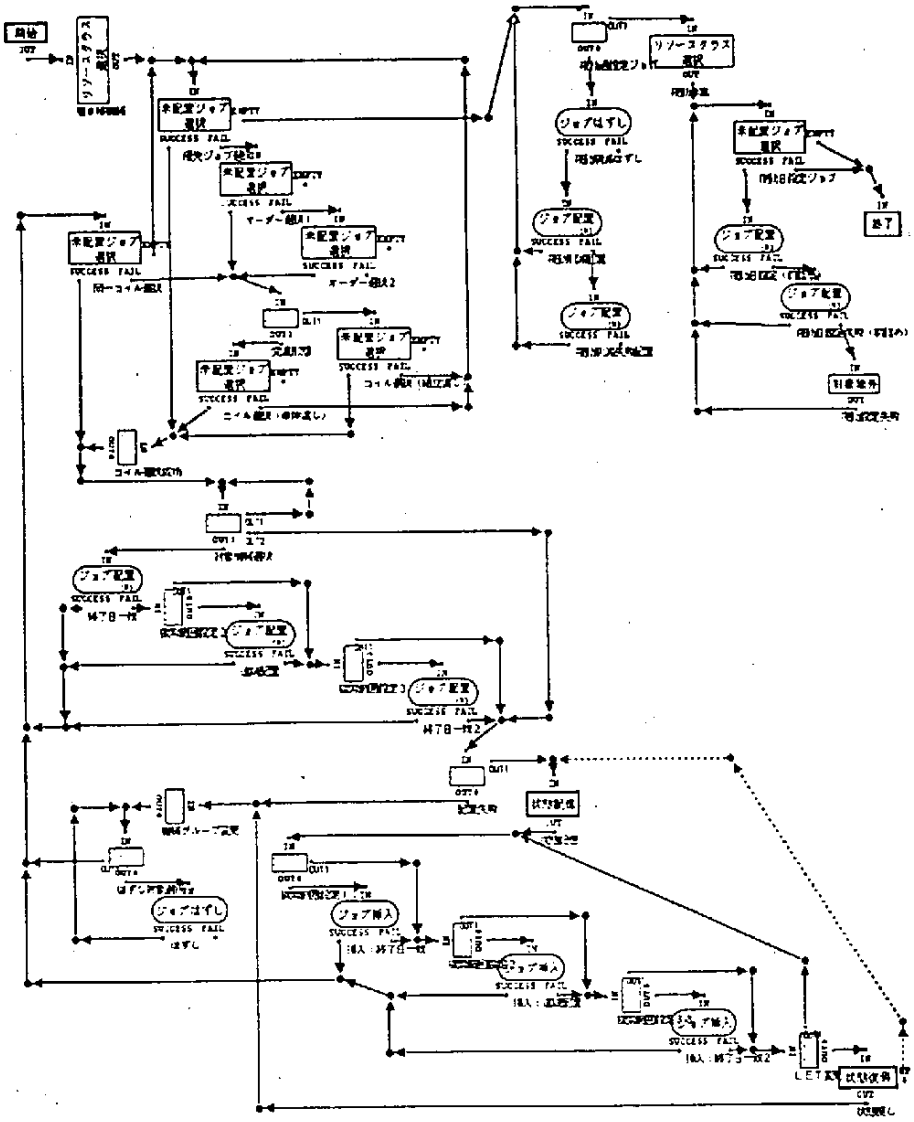


図3.3.4-7　コイル巻スケジューリングのタスクフローチャート

② 半導体検査工程への応用

半導体の製品検査のショップのスケジューリングシステムを開発した［荒木94b］。ここでのスケジューリングの目的は、多数あるテスタに対して製品の投入を制御することにより、テスタの稼働率を向上させることである。

このショップの特徴は以下のようなものがある。

・製品検査は異なる条件で複数回行う。
・段取り時間が大きくばらついている。同一品種を同一条件で検査する場合は段取り時間がいらないが、治具交換などの段取り替えはかなり長い時間を要する。品種と測定条件が近ければ段取り時間は短く、遠ければ長いという性質がある。
・リソースとしては、テスタの他にいくつかの治具が必要である。したがって、製品検査には複数のリソースが同時に必要になる。

稼働率を向上させるためには段取り時間を短くすることが有効であり、同じ品種の同じ条件の試験を連続して行わせることで実現できる。しかし、各製品には当然納期があり、それを無視出来ないのでその間のトレードオフを考えながらスケジューリングを行うように手順を設計した。

本システムは，初期のプロトタイプは約２週間で作成され、その後現場での評価と知識獲得を繰り返して数十回に及ぶ改良を行い、約６ヵ月で運用を開始した。運用は、本ショップのPOP（Point Of Production）からデータを吸い上げ、また、前工程から流れて来る製品情報を管理している生産管理ホストからスケジューリングに必要なデータを抽出し、スケジューリングを行った後、生産管理ホストに送り、そこから自動的にPOP端末に作業指示が出されるようになっている。

本システムは、約５分でスケジューリング可能であり、データ転送なども含めて15分程度で新しいスケジュールがサービスされる。

(6) 結　論

本項では、スケジューリングタスクに特化したエキスパートシステムの開発環境とそれの個別受注生産と多品種大量生産のショップへの適用事例を述べた。エキスパートシステムの開発で最も問題になる知識獲得の支援として、専門家に理解できるレベルでの知識表現と、それを実行可能にすることによってスケジューリング結果を見せ、そこから発想される新たな知識を引き出すという手法はかなり有効であった。

現在のところ、本項で述べたような実行レベルのスケジューリングシステムは、ショップやライン単位のそれほど大きくないものを対象にしている。したがって、１つのスケジューリングシステムで全ての情報を把握して、全体のスケジュールを作成することが可能である。しかし今後は、工場全体であるとか、その周りの物流なども含めた大規模なスケジューリング、さらには複数の企業をまたがって行うスケジューリングが求められてくることが予想される。このようなスケジューリングを単一のスケジュー

リングシステムで行うことは必ずしも得策でない。そのような大規模なスケジューリングの全体をカバーできる知識は一般には存在しないと考えられる。また，現在のような変化の激しい時には、部分的な変更が全体にできるだけ波及しなうようにする必要がある。また、規模が大きくなるにつれ、必要となるデータの量も膨大になり、その管理維持が難しくなって来ると予想されし、本質的にデータが全て公開されているとは限らない。そこで、システムの構成を、ローカルな知識やデータと他のスケジューリングシステムとの協調メカニズムを持った複数のスケジューリングシステムの集合体として構築し、それらがが協調しながらそれぞれのスケジュールを作成することで、全体のスケジューリングを行うという方法が考えられる。これによって、全体のスケジューリングシステムを単一のシステムとして開発・改良していくよりははるかに構築性や保守性の良いシステムにできるのではないかと考えられる。また、状況が変わって再スケジューリングをする場合でも、そのローカルな部分と影響を受ける一部のスケジューリングをやり直せば良く、応答性もよくなる可能性がある、今後はますます、１つの製品を製造するのに、その部品を多数の会社で製造するということが普通になってくる。この場合、それぞれの会社のスケジューリングシステムが協調して全体として良いスケジュールができるようにすることは重要である、上記のように分散協調で問題解決を行う場合、どのような通信プロトコルで、そのような交渉プロトコルを用いて実現するかは今後の課題として残されている。また、これらの中に、人間の判断をどこまでいれるべきか、また、それをいれるためにはどのようなメカニズムが必要かも考えて行かなくてはならない。

参考文献

[小島 94] 小島昌一他, "スケジューリング問題向けタスク特化シェルARES／SCH", 東芝レビュー, Vol.49, No.8, pp.553-555, 1994.

[荒木 93] 荒木大他, "スケジューリング問題向けタスク特化シェルにおける専門家モデルの表現", 人工知能学会大７回全国大会論文集, pp.365-368, 1993.

[小西 94] 小西克己他, "大型変圧器コイルスケジューリングシステム, 東芝レビュー, Vol.49, No.8, pp.556-559, 1994.

[荒木 94a] 荒木大, "AIによるスケジューリングの産業応用", 計測と制御, Vol.33, No.7, pp.561-565, 1994.

[荒木 94b] 荒木大他, "ARES／SCHによる半導体検査スケジューリングエキスパートシステムの開発", 生産スケジューリングシンポジウム'94 講演論文集, pp.118-123, 1994.

3.4 おわりに

本章では、ネットワークAIの応用と課題と題して、本年度の委員会における各委員の研究開発経験の発表とそれに基づく討論の結果に基づいて、ネットワークAIの応用を、利用者・社会・環境の視点からと、工学的な応用システムの視点とから論じ、2章で述べたマップ上での位置づけについて述べた。以下では、まとめとして、これらの内容を「コンピュータの高度利用に関する調査」アンケートの結果と比較して、今後のネットワークAIの動向と課題について簡単にまとめることとする。

高度利用のニーズについては、アンケート項目に挙げられた項目すべてに関心をもちつつも、現在導入を進めている、あるいは計画があると答えた組織は比較的少ない。しかも、これらの項目を実現するシーズとなるはずの知的情報技術については、かつてのAIブームの時のような興奮状態にはない。しかし、情報技術のこの10年間における進歩については肯定的な意見が多く冷静に技術動向の変化を観察し続けている状況がうかがえる。

ネットワークAIに関連する基盤技術や手法についても、おおむね他の情報技術と似た傾向にあるが、WWW／電子メールやグループウェア、意思決定支援システムについては過去5年間あるいは今後5年間に導入する計画の部門の割合が約半分となっている。このタスクドメインにおけるネットワークAI応用に対する関心は高いと言える。さらに、コンピュータの高度利用のニーズについても、電子データ交換、グループウェアシステム、CASEツール、電子会議システムの現在の利用状況は、対象部門において1／4程度、また、インターネットまわりのWWWや電子メール技術を現在利用中の部門は6割を越えている。このようなネットワーク上での情報交換を中心とするタスクにおいては高度なネットワーク利用技術は普及しはじめており、今後の一層の発展が期待できる。ただし、これらの応用は個人的なレベルに止まり易い性質のものである。企業体による組織的・社会的対応が不可欠であるCALSや電子商取引きなどのより広範囲の問題については、今後の研究開発が重要になってくると考えられる。

現在、ネットワークAIの概念は必要性が認識されはじめたばかりであり、実際的な応用分野としてのニーズは明確になっていない。このようなアンケート結果と我々の議論とを比較すると、潜在的なニーズが高く、また技術的なレベルとしても妥当であるはずの、生産スケジューリングなどのタスクドメインへの適用に関する興味が充分に醸成されていない状況にあることがわかる。さらに、より本質的な問題である、利用者・社会・環境の視点からの考察や議論はきわめて少ないと考えられる。

以上の考察に基づいて、本章の結論を述べる。今後のネットワークAIの進展と普及をはかる上では、本章で紹介したような応用システム分野における適用の実績を積み重ね開発方法論を明確にしていくとともに、現在の適用例やニーズの高いネットワーク上の情報交換の高度化を目的とするネットワークAI技術の確立をはかる必要がある。また、さらに、利用者・社会・環境の視点からのネットワークAIの重要性を主張していくことが重要である。来年度以降の調査研究がこのような視点で進められることを期待する。

4．　海外動向調査

4. 海外動向調査

4.1 米国におけるネットワークＡＩ関連技術の研究開発動向

4.1.1 概 要

北米を中心としたネットワークAI関連技術の最新動向を探るために、95年11月27日から12月３日まで、米国メリーランド州ボルチモアで開催されたForth International Conference on Information and Knowledge Management（CIKM'95）の実地調査を行った。調査日程は、11月28日はCIKM'95チュートリアルセッション（電子図書館）、同29日から12月１日までがCIKM'95本会議、そして、12月１日午後から同２日にかけて併催のワークショップ（インテリジェントインフォメーションエージェント）に参加した。

CIKM'95は、情報処理／知識処理に関する広範なトピックを対象とした会議であり、本会議には、米国を中心として約250人の参加者が参集し、招待講演を含めて62件の発表があった。今回の会議では、データベースや情報検索関連を中心として、分散処理や知識ベース／知識処理に至る広範なトピックを対象とした技術発表があった。今回の調査では、会議の性格を反映して組まれている招待講演、全体セッションを中心として、最新の研究開発動向を調査した。

これらのセッションで取り上げられているテーマは、最近注目されているトピックや現在進行中の研究プロジェクト（米国）に関するものが多く、いずれも、今後のネットワークや分散環境（NII／GII）をベースとした情報処理システム構築における基本技術の研究開発に係わるものであった。これらの概要については後述する。

また、本会議に先だって、電子図書館、分散データ／オブジェクト管理、そして、マルチメディアデータベースに関する３つのチュートリアルセッションが開催された。今回の調査では、最近、国内外で研究開発が活発化している電子図書館のセッションに参加した。講師は、ヴァージニア工科大学のE.A.Fox氏であり、同大学のコンピュータサイエンス専攻におけるカリキュラムに準拠して、電子図書館システムの基盤となる情報検索とハイパーテキストの要素技術に関する概説があった。参加者は10人と少なかったが、米国をはじめ、英国、シンガポールなどからの参加者があり、熱心な質疑応答があった。

一方、本会議の最終日から、３つのワークショップが連続的に開始された。トピックは、高度地理情報システム、インテリジェントインフォメーションエージェント、及び、情報視覚化／操作における新パラダイムである。各ワークショップとも、本会議から多数の参加者が流れて、賑やかな会議となっていた。今回参加したインテリジェントインフォメーションエージェントワークショップは、参加者が約80人で、口頭発表14件、ポジション発表25件、計39件の論文が集まり、１.５日に渡る会議の最後まで、活発な議論があった。発表論文は、大別して、アプリケーション、アーキテクチャ、理論、言語という４つのカテゴリに分類することができるが、その内容は、分散人工

知能の分野で比較的多く見受けられる理論的なものより、むしろ応用を指向したものが多かった。従って、エージェント関連技術の応用や今後の展開を探るという視点からみて、有益な会議であった。

以下、CIKM'95本会議、チュートリアル、ワークショップの順にその内容を報告する。

4.1.2 CIKM'95 本会議

会議の全体構成をみるために、そのセッション構成を示す。括弧内の数字は、それぞれ各セッションにおける口頭発表件数である。

・招待講演（5）

－Data Warahousing
－Mining Data
－Unambigous Reconstruction of Text
－Application of NN to DB
－Electronic Catalog

・全体セッション（8）

－NSF研究体制
－Interoperable DB
－User-centered Interface & Tools
－Database Security
－TSIMMIS System
－Performance Evaluation
－I3 Program
－Extensible KBMS

・個別セッション（49）

－データマイニング（3）
－並列性（2）
－インタオペラビリティ（4）
－情報検索Ｉ（3）
－問い合わせ最適化（2）
－曖昧性（2）
－オブジェクト指向とルール言語（3）
－推論と表現（4）
－インデキシング（3）
－モーバイル環境（2）
－問い合わせ処理（4）
－情報検索ＩＩ（4）
－分散化（5）
－協調とワークフロー（3）
－時空間関連の話題（4）
－科学／設計用データベース（3）

全体的には、データベース関連の話題が比較的多いが、分散処理、知識ベース、知識処理まで、かなり広範なトピックを対象とした会議であることがわかる。以下、招待講演と全体セッションから幾つかのトピックを取り上げて報告する。

(1) 全体セッション

①NSF研究体制（P. Young, NSF）

NSFの組織や活動状況に関する講演であった。
まず、NSFの目指すゴールとして、

－科学技術における世界的リーダシップの維持
－雇用を産み出す長期的な経済成長の促進
－環境保全
－国家的安全性（National Security）の強化
－強い情報技術（Harness Information Technology）

などが挙げられたが、昨今の米国の基本的な姿勢が反映されているように見受けられた。
現在、NSFの研究開発において着目している分野としては、

－Computer & Communication
－Information Robotics & Intelligent System
－Microelectronics Information Processing System
－Cross-disciplinary Activity
－Advanced Scientific Computing (Super Computer and new technologies)
－Networking Communication Research & Infrastructure (NSF net)

などがある。これらは、コンポーネント、コンピュータ、コミュニケーションという領域に分類されるが、最終的な狙いは、これらを統合して実現されるアプリケーションにある。現時点でのアプリケーションの約半分はHPCC関連のものらしい。
また、こうしたNSFの研究開発予算の推移をみると、70年代前半から、国防関連と民生関連の予算配分が逆転し、以降、民生関連部門の比率が増大しつつある。しかし、予算総額は96年度をピークとして減少傾向にあるとのことである。
一方、NSFのビジョンとして「America in the Age of Information」が掲げられていたが、その観点から、今後、次のような領域に注力してゆくとのことである。

－大域的情報基盤（Global-scale Information Infrastructure）
－高性能スケーラブルシステム（High Performance Scalable System）
－高信頼システム（High Confidence System）
－利用者中心インタフェース／ツール（User-centered Interface & Tools）
－仮想環境（Virtual Environment）
－人的資源と教育（Human Resource & Education）

そして、高度なパイロットアプリケーションによって、これら注力領域の促進と支援を図る。また、こうしたプロジェクトを推進する際のNSFの基本戦略として、

－知的資源の開発（Develop Intellectual Capital）
－物理的インフラの強化（Strengthen Physical Infrastructure）
－研究と教育の統合（Integrate Research & Education）
－協業促進（Promote Partnership）

などが掲げられていた。

② TSIMMIS （H.G. Molina, Stanford Univ.）

スタンフォード大学とIBMとの共同で進められているプロジェクト（The Stanford-IBM Manager of Multiple Information Sources: TAIMMIS）の紹介で、半構造化データ、或いはその構造が動的に変化するような様々な情報の統合を支援する技術の開発を目指している。その特徴は、自然知能（Natural Intelligence）、半構造化データの取り扱い、及び、問い合わせ結果の（再）処理と情報統合にあり、ARPAのI3プロジェクトに対するインフラの提供を目指している。

そのアーキテクチャの基本的構造は、クライアント－メディエーター情報源（wrapperを伴う）である。すなわち、機能包含機構（wrapper）によって包み込まれた複数の情報源が、メディエータ（協調機構）を用いて統合される。利用者（クライアント）は、ブラウザを介してこれらの情報源を利用する。現在まで、wrapperを自動的に生成するWrapper Generatorの試作、OEM（Object Exchange Model）に基づく情報源問い合わせ言語（論理型言語／SQL的言語の２種類）、メディエータの生成を支援するMedMakerという機構などが試作されている。分散配置された情報を、メディエータとラッパ付き情報源をベースとして統合しようとするもので、データウエアハウスプロジェクトとは対照的なアプローチといえる。

③ 利用者指向インタフェース／ツール（G. Strong, NSF）

HPCCの一環として行われているInteractive System ProgramにおけるHuman-Centered Information System（HCIS）プロジェクトに関する講演であった。

本プロジェクトの目標は、

－HCISの解明（人間の情報処理）
－人間の能力拡大（Augumentation of Human Capabilities）

にあり、主要な研究課題として、

－相互作用性：人間とエージェントとの対話、問い合わせ言語、ラピッドプロトタイピング、音声理解など
－対象表現　：複雑システムとインタラクションの記述、不確実性、抽象化、統合、イメージと音声の融合など
－認識処理　：不確定オブジェクトの動作とイベント処理、注視点制御、認識系

／動作系の理解、学習

－エージェント：モダリティ、並行性、複雑性、知的システムの設計

－コーパス（発話の集積）：マルチモーダル情報処理アーキテクチャ、高信頼システム、同定、正確性、エンドユーザオーサリングツール、人間の能力に関する事典など

があり、現在、それぞれ研究開発を推進中である。これらは、HPCCにおけるヒューマンインタフェース関連の技術課題、すなわち、

－マルチモーダルインタラクション／検索：電話を利用した検索、マルチモーダル情報投入など

－談話現象の理解：ジェスチャを含む表現の分析能力の向上、エラー訂正、談話モデルの改良、クロスモダリティインプットなど

－信号－モダリティ処理のための新アルゴリズム：HMMの代替案、Population-based model for reasoningなど

－モダリティサービスのためのインタラクションアーキテクチャ

などとリンクしてしている。

一方、アプリケーションイメージとしては、

－人間の技能の拡大（performance augumentation）：タスク処理自動化

－モダリティの多様化：ウインドウ＋メニュー＋ポインタベースのインタフェースから、ジェスチャ＋マルチメディア＋スピーチベースのインタフェースへ

などがあり、将来的には、スピーチとテキストインタフェースの統合（例えば、知的テキスト検索や要約機能によって強化された電話による入出力インタフェース）、仮想環境、スピーチベース自然言語理解、新たなコミュニケーションモデルなどに関する成果（next "big pay-off"）も期待されている。

④ I3 Program （D. Gunning, ARPA）

1995からスタートしたARPA主導による情報の知的統合プログラム（Intelligent Integration of Information Program）の概要が紹介された。

プロジェクトの主要なターゲットとしては、

－戦況監視（Battle-field Awareness）

－準実時間指令管制制御（C3）と動的プランニング

－連続的な戦争状態（"Continuous war" environment）のシミュレーション

－大容量で頑健な移動型の戦場用ネットワーク技術

－米国の情報システムの生存可能性
－生物兵器戦の防衛（Biological warfare defence）
－小型、軽量、移動型情報システムのための電子技術
－多目的防衛のための戦力移転
－小規模軍事作戦
－革新的なコンセプト

などがある。

システム面では、メディエータ／ファシリテータを介した分散資源の統合のための基本アーキテクチャが検討されている。ここで、メディエーションとは、未処理／非統合な詳細データから抽象化されたデータを導出するプロセスを意味している。主なメディエーションサービスの機能としては、Agent-Coordination & Management (Facilitator)、Semantic Integration & Abstruction (Mediator)、Data Wrapping, Accessing & Restructuring (Wrapper/IS)などがある。情報統合の手順としては、まず、ポイントーポイントの統合（95）からスタートし、メディエタによる統合（97）、そして、メディエータ／ファシリテータによる統合（99）へと至るシナリオを描いている。

本プロジェクトには、以下に示す多様なテーマの下に多くの研究機関が参加している。

－Toolkit for Active OODB with Application to Interoperability (U. Colorado)
－Agent-based Software Interoperation (Stanford U.)
－Agile Integration of Multiprotocol, Multimedia Infor. Services (U. Colorad)
－An Integrated Information Management System (Stanford U.)
－Asynchronous, Distributed, Scalable Algorithm for Intelligent Reasoning with Geographically Dispersed Hybirid Knowledge Base (U. Maryland)
－Caption-based Access to Multimedia Database (US Naval Postgrad. School)
－Combining Expert Knowledge & Inductive Learning for Knowledge Base Maintenance (UC Irvine)
－Context Interchange (Sloan School)
－Cosmos: System for Accumulating and Managing Distributed Design Knowledge (Lockheed AI Center)
－Formal Method for Integrating Knowledge Bases (Kestrel Institute)
－I3 through Learning and Negotiation (CMU)
－Image Representation for Browsing and Retrieval (Stanford U.)
－Information Infrastructure for I3 Technology Transfer (ISX Corp.)
－Intelligent Agent Integration Technology (U. Maryland)
－Intelligent Agent Integration Technology (Unisys)
－Intelligent Query Transformation and Processing (U. Maryland)
－KQML Servers for Agile Manufacturing Enterprise (Crystalize Inc.)

－KQML Accessible High Performance Knowledge Bases (U. Maryland)
－Loom (USC)
－National Industry Information Infrastructure Protocols Project (NIIIP)
－SHADE (Lockheed AI Center)
－SIMS (USC)
－Scalable and Extensible Cooperative Information System (UCLA)
－Secure Access to Databases on Internet (U. Illinois)
－Semantic Interoperation via Ingelligent Mediation (SRI)
－Supporting Multiuser Access to Learge-scal, Persistent KB (SRI)
－Survey of Temporal Ontologies (U. Illinois)

これらのテーマにおける主要な技術的トピックとして、次のものがある。

－オントロジ（ベースオントロジ）構築とそのツール
－ドメイン固有オントロジ
－推論方式
－学習と知識獲得
－テクノロジトランスファ

また、成果の応用としては、、空軍出撃プランニング、戦傷治療、兵站管理デスク、F-22 統合型兵器システムデータベース、工学技術更改通報、衛星画像の情報配信、仮想的な技術／製造会社、電子図書館、財務データベースなどがイメージされている。

⑤ Database Security（T. Lunt, SRI）

ARPAのInformation Survivability Programの一環として行われている研究開発で、頑健で安全な防衛基盤のための利用可能（affordable）、検証可能（verifiable）、拡張可能（scalable）な技術の開発を目指している。

具体的な開発目標としては、

－ARPA出資の次世代ＯＳ／ネットワークに対するセキュリティ技術
－COTS／Legacy componentsによって構成されるシステムに対して信頼性の高いセキュリティを付与するための技術（wrapper、セキュリティインテグレーション技法、安全なシステムを構成するためのアーキテクチャなどの開発）
－防御的情報戦（defensive information warfare）のための技術（局所的／国家的システムへの侵入・妨害の検出技術、再構成／適応可能なセキュリティ技術など）
－セキュリティを確実に保証するための技術（セキュリティに関する推論など）

が挙げられていた。また、長期的な目標として、

ー情報システム依存性の高まりに伴って増大するDoDの弱点を克服する
ー利用可能なセキュリティ（affordable security）
DoDの要求に適合するコマーシャルプロダクト
Industry-standard security services and toolkits

を目指している。

95 年度の開発内容としては、以下のものがある。

ー高信頼ネットワーキング（high-confidence networking）
Criptographic API(CAPI)、CAPI-conformant security services、
ネットワークプロトコルのsecurity-weaknessに対処する技術などを開発中。
ー高信頼コンピューティングシステム（high-confidence computing system）
moduler, verifiable, prototype system for security, reliability and real-time
ワークステーション上でのプロトタイプを完了し、現在、スケーラブルＯＳや侵入防御のためのファイーウォールの開発を開始した。
ーセキュリティ保証と統合
セキュリティとロバストネスを備えたシステムの設計、統合、評価のツール、セキュリティ精緻化、安全なソフトウエアのアーキテクチャの開発。
ー大規模システムにおけるサバイバビリティ
大規模インフラシステムのサバイバビリティを向上させる技術、ロバストで安全なマルチキャストプロトコル、ロバスト性を確保するための機能ラッピング技法などを検討中。

一方、今後の課題としては、ローカルデータベースにおけるセキュリティポリシーの強化、ユーザ認証技術、セキュリティ属性の表現と変換、セキュリティ属性の意味レベルでの統合、aggregation（レコードの集合体）とinference（低次情報から高次情報を導出する際の推論処理）の保護、セキュリティ保証技術などが挙げられた。特に、システムセキュリティの信頼性は、システムが、想定されるセキュリティ侵害、情報流の経路、誤り訂正に関する高度な解析能力に依存する。セキュリティチェックは、各データアクセス毎に行われるべきで、そのメカニズムは勝手に手を入れることができないようになっているべき。セキュリティクリティカルな部分はきれいに構造化され、信頼できる計算基盤と解析可能な程度に小規模なものとなる必要がある。

(2) 招待講演

① Data Warehousing (J. Widom, Stanford U.)

現在、データベース関連技術の一環として研究開発が活発化しているデータウエアハウス（DW）に関するプロジェクトの紹介であった。

その基本的なモチベーションは、多数の異種データベース（情報源：Information

Source）を統合することにある。そこでは、従来アプローチにおける問題点、すなわち、

－問い合わせ主導（Query-driven）：lazy on-demand
－クライアント－メディエータ（一様なデータモデル）－ラッパー情報源
－欠点：問い合わせ処理の遅さ、頻発する問い合わせ処理の非効率性など

を解決する必要がる。そこで、Data Warehousingアプローチでは、

－処理に先立つ情報統合
－情報源に対する直接的問い合わせとその解析に備えて種々の情報をDWに格納
－クライアント－DW－情報源という構成

をとることにより、効率的な問い合わせ処理、局所的処理の活用（複雑な問い合わせはDW、OLTPは情報源）、DW上での情報管理（履歴情報を含む）などを実現する。

現在のシステムアーキテクチャは、クライアント－DW－インテグレーター－イクストラクター情報源という構成となっており、DWの実体としては市販のDBMSを、また、情報源としては関係DBを利用している。また、インテグレータ／イクストラクタの処理はバッチ形式である。

今後の課題としては、イクストラクタの試作（トランザクション処理、更新検出、データ洗練など）、統合方式（DWにおける高度に統合されたビュー）、DWの仕様化、最適化（イクストラクタにおけるフィルタリング、インテグレータの自動保守機能、マルチプルビュー最適化など）をはじめとして、DW管理、情報源の付加／除去、一貫性管理、DWコンフィギュレーションモデルからのインテグレータ・イクストラクタの自動生成など、多くのものがある。

② データマイニング（J.Han, Simon Fraser U.）

データベースからのデータマイニング／知識発見に関する研究開発は、現在、SIGMODをはじめとする各種の機関で様々な国際会議が開催され、活発化している。その目標は、大規模データベース中のデータから興味深い知識を抽出する手法を確立することにより、今後の情報氾濫に対処するひとつの手法を提供することにある。

関係データベースにおけるデータマイニングでは、一般化に基づく大規模関係DB向きデータマイニングツール、マルチプルデータマイニング機能モジュール、マルチプルコンセプトレベルにおける知識発見手法、データマイナのためのDM問い合わせ言語（DMQL）などの研究開発が行われている。

一般に、データマイニングでは、次の３つのアプローチ、すなわち、

－漸近的詳細化（Progressive Deepning）
－漸近的一般化（Progressive Generalization）
－反復的な汎化／詳細化（Iterative up and down）

が知られている。また、データマイニングの主要な要素は、概念階層と（データマイニング用の）知識であり、これらの知識は、特性化ルール、連想ルール、識別ルール、分類ルール、クラスタリングルール、データ発展ルールなどの形式で定式化される。現在、

－インターネット情報マイニング（WebMiner）
－地域データマイニング（GeoMiner）
－関係データベース向きインタラクティブマイニング（DBMiner）

などのシステムが試作されている。

③電子カタログ（A. Segev, UCB）

UC Berkeley / CommerceNet Pilotとして開発を進めているもので、バックエンド処理を統合することの重要性、及び、高度な機能の必要性（知識処理、知的インタフェース）などを探ることが主な目的となっている。現在のウエッブ上のアプリケーション（4タイプ）としては、

－静的な出版
－動的なデータベース問い合わせ
－トランザクションシステム（販売と支払の統合的支援）
－内部アプリケーション（Internal Applications）

があり、そこでは、情報ツールとトランザクションツールが電子カタログの形態として統合される。講演では、幾つかの画面例を挙げて、その現状が紹介された。

④An Extensible KBMS (S. Su, U. Florida)

仮想的企業（VE: Virtual Enterprise）の構築において、異種分散システムの相互運用性を実現する情報基盤の提供を目指す研究開発として位置付けられる。その主たる目標は、データ、人間／種々のリソース／組織構造／業務上の制約／生産プロセス／業務活動などのモデル化、メタ情報／共有情報の管理、及び、システム構築時／運用時における相互運用サービスの実現などである。現在、VE概念モデル（大域的、メディエーション型）が提案されている。また、NIIIP（National Industrial Information Infrastructure Protocol）の利用も考慮されている。

一方、拡張可能な知識ベース管理システムのアーキテクチャも提案されている。これは、OSAM*（Object Oriented Semantic Association Model）に基づく構成となっている。現在、システム構築時のサービスとして、データディクショナリハンドラ、ルールバインディング、コード生成、知識ベース初期化などが、また、運用時のサービスとして、問い合わせ処理、リクエスト監視、ルール処理などが検討されている。これらの

要素によって、システムのオブジェクトモデルの拡張や変更を通してシステムの拡張性の実現や、ルール（Event-Condition-Action-AlternativeAction Rule）に基づく相互運用性の実現を目指す。

4.1.3　チュートリアル：Digital Libraries

ヴァージニア工科大学のE.A.Fox氏を講師として、電子図書館システムの要素技術と、北米における電子図書館システムの研究開の現状に関する講演があった。参加者は10人と意外に少なかったが、米国をはじめ、英国、シンガポールなどからの参加者があり、熱心な質疑応答があった。

本チュートリアルの内容は、

PartI: Information Retrieval and Hypertext

PartII: Research and Design Issues

からなるもので、以下、各々の概要を報告する。

PartI では、ヴァージニア工科大学のコンピュータサイエンス専攻におけるカリキュラムに準拠して、電子図書館システムの基盤となる情報検索とハイパーテキストの要素技術に関する概説があった。取り上げられた項目は以下のものであった。

・テキスト情報の構造化（コンテンツの電子化）技法
　SGML、HTMLなどの標準化手法と自動インデキシング手法の概要
・情報検索基礎技術
　情報検索モデル（Boolean mode, PAT model, Vector Space model）の紹介、およびクラスタリングと類似度計測の手法の概要
・ハイパーテキスト
　基本概念、および、その応用（電子出版、ページシステム、知的情報検索、電子図書館など）

一方、PartII では、電子図書館システムの基本概念と実現上の技術課題に触れた後で、現状の幾つかのプロジェクトや応用事例が紹介された。項目としては、

・従来の図書館と電子図書館の違い
・電子図書館設計の指針
・電子図書館プロジェクトの事例（概要）
　Netlib, CORE Project, Experimental Digital Journal Library（D-Lib Magazine），
　TULIP, NSF/ARPA/NASA Project（CMU, Illinois, UMichigan, UCB, UCSB, Stanford U.）

などであった。

参加した感想としては、話題の豊富さの割りに時間が少ないこともあって、全体と

して技術的内容がやや乏しいチュートリアルであった。しかしながら、V.Tech をはじめとする米国の各大学では、電子図書館を意識した新しい教育体系が工夫されていることが分かった。また、米国では、ARPA主導の電子図書館プロジェクトが既に精力的に推進されている現状も考えると、日本で進められつつある電子図書館関連プロジェクトの出遅れが大いに気になるところではあった。

4.1.4 ワークショップ：Intelligent Information Agent Workshop

今回参加したインテリジェントインフォメーションエージェントワークショップは、参加者が約80人で、口頭発表14件、ポジション発表25件、計39件の論文が集まり、1.5日に渡る会議の最後まで、活発な議論があった。発表論文は、大別して、アプリケーション、アーキテクチャ、理論、言語という4つのカテゴリに分類することができるが、その内容は、分散人工知能の分野で比較的多く見受けられる理論的なものより、むしろ応用を指向したものが多かった。したがって、エージェント関連技術の応用や今後の展開を探るという視点から有益な会議であった。

以下、ワークショップの発表論文を、アプリケーション、アーキテクチャ、理論、言語という4つのカテゴリに分類し、その概要を纏める。なお、これらの詳細は、プロシーディング（オンラインプロシーディング：http://www.cs.umbc.edu/~cikm/iia/）から情報入手が可能である。

① アプリケーション

・Animated agents with decision and reactive behaviours （U. Pennsylvania）

人間の動作をシミュレートし、アニメーションによってその結果を表示するシステムで、アニメーション中の人間をエージェントと呼んでいる。例として、戦車や飛行機（コックピット）などへの乗り降りのシミュレーションや、4人のエージェントによる”かくれんぼゲーム”などが示された。並列有限状態マシンに基づくネットワーク（Pat-Net）としてエージェントの動作知識が表現され、プランニングに基づいて実際のビヘイビアが決定される。今後の課題としては、Pat-Netの自動生成、ビヘイビアライブラリの拡張、Pat-Netの意味論、Pat-Net構築用GUI など。先々はVR 空間中で人間とエージェントがインタラクトすることも可能となり、種々のトレーニングやシミュレーション（医療など）への応用が考えられる。

・Task Planning Agents in the UMDL （U. Michigan）

電子図書館のための柔軟で拡張可能なインフラの提供を目指すもので、市場経済の概念に基づくエージェント指向処理の枠組みを採用している。タスクプランナエージェントはその中心的役割を担うもので、タスク記述言語、ドメイン知識と世界知識、BDIモデルに基づくエージェントアーキテクチャが定義されている。実装は、TCP/IPとCORBAをベースとしている。

・An Approach to Large Scale Distributed Systems Using Statistical Properties of Text to Guide Agent Search （U. Maryland）

分散環境上での情報検索へのエージェントの応用。従来の情報検索用ロボットにおける集中的処理などの問題点を克服するために、KQMLに基づくメディエーションとメタデータ利用をベースとしたアーキテクチャを採用している。

・Agents for Internet Information Clients（Bunyip Info. Sys. Inc.）

インターネット上の情報アクセスと管理に対するエージェント（URA: Uniform Resource Agent）の応用。URAのアーキテクチャは、クライアントが情報源を識別し、情報源が問い合わせに対する最適解を作成し、ミドルウエアとしてのエージェントが要求に対する高次レベルでの情報処理を行うというインタラクションモデルに基づいている。URAの応用として、カナダ政府向けのインターネット情報検索クライアントが作成されている。

② アーキテクチャ

・The Cycric Friends Network （U. Maryland）

Cycシステムを共有／利用する際のインタフェース手段として、KQMLベースで通信を行うエージェントを利用して構築されつつあるCycric Friends Networkの紹介。目標は、大規模な専門知識へのアクセス、分散型常識推論などである。インターネット上に配置されるインタフェースはCAI（Cooperative Ad-hoc Interface）と呼ばれる。ここでの課題は、処理を支援してくれる他のエージェントの発見方法、問い合わせ方法、エージェント間での対話方法などである。現在、幾つかの事例（GeoPolitical）を通して、実験研究を推進中。結果として、KQMLは、少数のエージェントを相互接続するのに非常に適していることが確認された（ただし、スケーラビリティは議論の余地あり）。また、Cycric Friend Network は、常識推論を多数のエージェントに分散化できる（現在、Cycプロジェクトの成果を活かすためにCycorpという会社が設立されている）。

・KAoS: A Generic Agent Architecture for Aerospace Application （Seattle U.）

エージェントを利用したドキュメントコンストラクションやソフトウエアインテグレーションへの応用を目指した研究で、CORBAベースのエージェントアーキテクチャを提案している。各エージェントはジェネリックエージェントクラスのインスタンスとして生成され、エージェントドメインが構成され、各ドメイン間ではプロキシィエージェントを介した通信が行われる。更に、メディエーションエージェントが、人間や他システムなどとのコミュニケーションを提供する。エージェント間コミュニケーションプロトコルでは、スピーチ・アクトに基づく幾つかの動詞が採用されている。

・GIA: An Agent-based Architecture for ITS （MITRE Corp.）

知的CAI への応用を目指したエージェントアーキテクチャ。ITSは開発に手間とコストが掛かる割りには望ましくない結論に至ることが多いアプリケーションであり、技

術的見通しも余りよくない。ここでは、「シミュレーション＋教材メディア＋人工知能」というコンセプトに基づいて、KQMLベースでコミュニケーションを行うエージェントに基づくアーキテクチャを提案している。プロトタイプはSmalltalk 環境で試作されている。

・Informaster: A Virtual Information System （Stanford U.）

分散環境上の種々の異種情報をアクセスするための仮想情報システムに関する研究で、利用者やリソースのサイトが、ファシリテータを介してACL（KQML）を用いて互いにコミュニケートする枠組みとなっている。ユーザインタフェースはNetscapeを利用しており、利用者がスプレッドシートを利用して質問すると回答が得られる。応用としては、C3、ロジスティックス、EC、医療（健康管理）などがある。これは、コンピュータセンシブルなネットワーク（WWWはヒューマンセンシブルネットワークである）を目指す研究として位置付けられ、現時点のシステムは、世界的な拡がりを持つWorld Information Networkの第一版である。

③理　論

・Toward a Semantics for a Speech Act Based Agent Communications Language
（Oregon Graduate Institute）

エージェントコミュニケーション言語にはそれなりのセマンティックスを与える必要があるが、こうしたエージェント間通信は、エージェントのチームを組織化したり、維持したり、解散したりするためのタスク指向の対話として捉えられる。そこで、こうした対話こう構造を形式化するために、スピーチ・アクトに基づくジョイントインテンション理論（JI-T）を提案している。これによって、ACLのための構成可能なオペレータが定義され、エージェントチームの形成／解散の形式的枠組みが与えられた。

・A Foundation for Commitiments as Resource Management in Multi-Agent
Systm（U. Montreal）

エージェントが自律的に振舞うためにはモチベーションが必要で、そのためには、自分で自分自身のゴール設定ができなければならない。そして、究極のモチベーションは、そのためのリソース管理に関係してくる、という観点から、リソースとして認められるべきもの（1次リソース／2次リソース）としてコミットメントを挙げ、コミットメントを管理する制御構造を形式化した。これによって、マルチエージェントシステムにおけるリソース管理の基本的枠組みと、コミットメントのオペレーショナルな定義を与えた。

④言　語

・April: a process based symbolic programming language for building internet
wide agent based applications,（Imperial College）

DAI, MAS, CSCW, Coop. KBs などの広範な応用（分散記号処理）に供することを目

指した言語処理系であり、大域的にユニークな識別名（インターネット的なアドレッシング）を持つプロセスのメッセージ交換に基づいてアプリケーションが実現される。

・Reusable Architecture for Embedding Rule-based Intelligence in Information Agents （IBM）

商用版の情報エージェントの構築においてルール型表現に基づくエージェント動作の仕様化の枠組みを提案している。エージェントの実用化において、適用可能性（Embeddability）を備えた技術を与えることは重要である。そのときルール型表現は、各種知識の組み合わせ、意味、推論制御の柔軟性といった面で有効であると主張している。こうした観点から、エージェントベースのアプリケーション構築におけるビルディングブロックを提供するRAISE（Reusable Agent Intelligence Software Environment）と呼ばれる環境が試作されている。この応用タイプとしては、ネットワーク情報検索、ワークフロー管理、電子メール処理などがある。

・Developing InfoSleuth Agents Using Rosette: An Actor Based Language （MCC）

MCCにおけるCarnotプロジェクト（エンタープライズインテグレーション）の後継プロジェクトの紹介。KQMLをベースて分散アプリケーションを容易に生成するためのエージェントベースアーキテクチャ（InfoSleuth）を提案し、アクタモデルに基づくインタプリタ（Rosette）を利用したデモシステムの開発を進めている。

・Agent Tcl: A transportable agent system（Dartmouth College）

モーバイルエージェント（ここではトランスポータブルエージェントと呼んでいる）を構築する際の言語系の提案と現状の紹介。Tcl/Tkをベースとした言語系で、単一命令の転送、エージェント通信の透過性、マルチランゲージサポート、Unix環境との親和性、セキュリティとフォールトトレランスなどの実現を目指している。現在のバージョンはC/C++言語を利用して実現されており、Tcl/Tkの拡張などを含めて約１４万ラインのプログラム（Tcl/Tk本体は約12万ライン）となっている。今後の主たる課題として、マルチスレッド、デバッギング、セキュリティとプライバシ、ネームベースとトラッキングなどがある。

上述したように、本ワークショップの口頭発表をみると、ネットワーク環境を背景としたエージェントやエージェントシステムに関する研究開発が、様々な視点から活発に進められていることが実感される。

また、この会議の性質にもよるのだろうが、分散人工知能分野でみられる理論的な話題よりも、エージェントの応用を指向した話題が多かった。発表や討論を通して、分散システム／ソフトウエア技術の発展形としてエージェント技術を幅広く捉えているように思われた。

一方、システム実装面で重要な役割を果たすエージェントコミュニケーション言語（ACL）に対する関心が高いことが分かった。これに関しては、例えば、現在はKQMLをベースとするものが多くみられるが、これは本当によいものなのか、それで

できることは何か、ACLのセマンティックスの問題などがその普及を阻む要因になるのではないか、大学等におけるアカデミックな研究開発は産業界における研究開発に対抗していけるのかなど、非常に現実的な視点からの議論もあったが、時間の関係もあり、今後の指針を与えるような結論には至らなかった。

いずれにしても、米国を中心とした研究者層の厚さや研究の幅広さには依然として刮目すべきものがあり、日本としても余りのんびりと構えてはいられないと感じられた。

4.1.5 まとめ

本実地調査では、現在、米国（大学／企業）では、NSFやARPAなどのビジョンをベースとした様々なプロジェクトが組織化され、これらが相互に緊密に連携しながら、基礎から応用に至る先端的な情報処理／知識情報処理技術の研究開発が精力的に進められている状況が実感された。その多くが、将来の情報通信ネットワークや分散環境（NII／GII）を前提としたシステムを指向するものであるという意味で、今後、その中から、ネットワークAI関連技術として重要となるであろう種々の成果が産み出されるものと予想される。

また、こうしたプロジェクトに関する講演を通して、先端的情報処理技術分野において主導権を維持しようとする米国の並々ならぬ意気込みが窺われた。日本の情報産業界では、ソフトウエア関連技術における日米間格差の問題が指摘されて久しいが、米国における研究開発の一端を見ると、こうしたギャップを埋めるのも容易ではないと改めて感じさせられた。

一方、最近、日本国内では、エージェント技術やエージェント指向システムに関する関心が高まっており、ネットワークAI専門委員会においても重要な技術要素として捉えている。今回の調査では、こうしたエージェント関連技術の研究開発動向を探ることも目的のひとつであったが、CIKM'95の本会議における印象としては、セッション講演ではエージェントということばが随所に出現はするものの、それほど強調されることはなかったように感じられた。これは、広範なトピックを対象とした会議の性格もさることながら、情報共有やシステム相互運用、或いは、それらをベースとした分散アプリケーションシステムの設計や構築を目指す上で、エージェント関連技術はその基盤技術として既に取り込まれていることを意味しているのかも知れない。また、ワークショップにおける議論でも、前述したように、極めて現実的な視点から議論が展開されていることが印象に残った。

4.2　欧州におけるネットワークAI関連技術の研究開発動向

4.2.1　はじめに

欧州におけるネットワークAIに関連する研究開発動向を調査するために、1995年10月31日より12日間の日程でドイツ、イギリスを訪問した。今回の訪問では、分散人工知能（Distributed Artificial Intelligence: DAI）に関する研究に調査対象を絞り、ドイツにおいては、その分野での代表的な研究者であるDaimler BenzのKurt Sundermeyer博士、またイギリスにおいては、分散人工知能と分散データベースの融合を目指した協調知識ベース研究の第一人者であるKeele大学のS. Misbah Deen教授を訪問し、意見交換と見学を行った。さらにQueen Mary and Westfield CollegeのNick Jennings博士がコーディネーションを行った"Intelligent Agents and their Business Applications"セミナーに参加し、欧州だけでなく米国も含めた第一線の研究者の発表を聴講した。本稿では欧州における全体的な研究動向をまず述べ、その後、訪問、出席した研究機関、セミナーに関して個別に報告を行う。

キーワード：協調分散問題解決、エキスパートシステム、インタフェースエージェント、協調分散データベース

4.2.2　全体動向

欧州における代表的なDAI研究としてはESPRIによるARCHONとIMAGINEプロジェクトがあげられる。ARCHON（ARchitecture for Cooperative Heterogeneous ON-line systems）プロジェクトは、ドイツ、フランス、イギリス、ギリシャ、スペイン、オランダ、ポルトガル、スイスの企業、大学、研究機関の参加により、1989年1月から5年間の計画で開始された。この中核的なメンバーにはイギリスQueen Mary and Westfield CollegeのNick Jennings博士がいる。プロジェクトの目標は産業分野における実用的DAIシステム開発のための汎用アーキテクチャ、ソフトウェアフレームワーク、方法論を開発することにあり、エキスパートシステムを一つのエージェントとしてカプセル化し、それらを互いに協調させるARCHONアーキテクチャを提案した。このようなアプローチをとることにより、既存のシステムを再利用することが可能になり、システム開発のコストを軽減することができる。この手法を実証するために、電力配送／供給、セメントキルン制御、素粒子加速器制御、組立ロボット制御などの分野に応用している。特に電力供給システムに関してはスペインの電力会社IBERDROLAにおいて実用化されることが決定しており、世界で最初に実用化されたDAIシステムであるといえる。ARCHONプロジェクトで用いられている協調手法自体はタスクグラフやスクリプトをベースにしたものであり、目新しさはないが、実世界での応用に力点をおき、それなりの成果を上げることができたという意味で、よく評価されたプロジェクトであったといえる。本プロジェクトに関する文献としてはプロジェクトの中間レ

ポート［Wittig92］やNick Jenningsによるものなど［Jennings94a, Jennings94b, Cockburn96］が出版されている。さらにNick JenningsのWorld Wide Web（WWW）ホームページ（http://www.elec.qmw.ac.uk/dai/）からも関連情報を得ることができる。

次にIMAGINE（Integrated Multi-AGent INteractive Environment）プロジェクトは、イギリス、ギリシャ、ドイツ、フランス、オランダの企業、大学の参加により、1990年11月から当初5年間の計画として開始された。今回訪問したKeele大学のS. Misbah Deen教授も本プロジェクトのメンバーであった。プロジェクトの目標は人間と計算機から構成されるマルチエージェントシステムのモデル化と構築のための汎用的形式化手法とプログラム環境を開発することにあった。その主な成果は、マルチエージェントシステムの概念設計、仕様、プロトタイプ実装のための言語MAIL、MAILを実装するためのプロセス指向言語April、協調アプリケーション構築用マルチエージェント環境MECCA（Multi-agent Environment for Constructing Cooperative Applications）である。IMAGINEプロジェクトにおいて、エージェントはHead, Communicator, Bodyにモデル化され、それぞれ協調、通信、問題解決モジュールの役割を果たす。MAILは知識処理とエージェント間の協調を記述できる言語である。知識ベースはタプルの集合から構成され、それを操作するアクションは前提条件、手続き、事後条件から構成される。手続きは逐次あるいは並列的に実行することができる。また協調のためのプリミティブとして言語行為論に基づき、propose, refine, modify, accept, reject, order, request, tellが用意されている。AprilはMAILの実装を目的とした言語で、プロセス管理、メッセージ交換、マクロ機能などの特徴がある。またMECCAにおける研究では都市交通管制やカレンダー管理を対象としたプロトタイプ作りがおこなわれた。しかしながらこのプロジェクトは本来の研究期間より短縮され、1994年半ばで打ち切られてしまった。このプロジェクトでの目標の一つはマルチエージェントシステム構築のためのプログラム環境であったが、得られた二つの言語の記述能力はその目標に比べるとまだ低いレベルにしかないといえる。最近ではTelescriptなどのマルチエージェントを指向した言語は商品化の段階まで到達しており、これらの言語を普及させるのはかなり難しいように思われる。本プロジェクトに関する文献はあまり公開されていないが、[Haugeneder94]がある。なお、Aprilの開発者であるFrank G. McCabe氏は現在、富士通研究所に所属している。

4.2.3 Daimler-Benz

ベルリンにあるDaimler-Benz Research in Systems TechnologyのKurt Sundermeyer博士の研究室を訪問した。DAIに関連する研究はCOSY（COoperating SYstems）プロジェクトのもとで行われている。本プロジェクトは概念と方法論を研究するCOmeth、開発ツールを研究するCOtool、応用に関して研究するCO<appl>に分けられ、CO<appl>はさらにCOroad（運転者シミュレーション）、COlayout（VLSI設計）、COprod（生産工程スケジューリング）、COmoves（配送スケジューリング）に細分されている。COSYプロジェクトではエージェントをオブジェクトの拡張として、心理状態（信念、欲望、意

図など）、協調能力、社会的役割をもつオブジェクトとしてとらえ、その上で汎用的なエージェント指向技術の開発を目指している。エージェントは<intention, action, perception, resource>の4つ組で表され、intentionは長期目標や欲望、役割など、actionは推論、メッセージ送信を含めた動作、perceptionはメッセージやセンサー情報の受信、resourceは問題解決に必要な知識や信念を表している。各エージェントは単一の知識ベースシステムであり、問題解決や協調はスクリプトベースで行われる。

以上のフレームワークはシミュレーションツールであるDASEDIS（Development And Simulation Environment for DIstributed Intelligent Systems）により実現され、様々なマルチエージェントシステムのシミュレーション実験を行うことができる。DASEDISは単一のSUNワークステーション上でX-WindowsとAllegero Common Lispを用いて実装されていた。

応用に関しては生産工程スケジューリングと配送スケジューリングのデモを見ることができた。生産工程スケジューリングでは工場内における材料搬送車のスケジューリングを対象問題としていた。工場内には原材料保管場所と複数の工作機械があり、要求に応じて、適切な順序で時間的制約を満たしながらリソース（材料や半製品）を機械間で移動させる必要がある。リソースの移動は複数台の搬送車により行われ、これらの搬送車の効率的なスケジューリングが研究の目的となる。この問題は最適化問題の一つと見なすことができるが、要求の変動、工作機械や搬送車の故障などの外乱により、従来の手法を用いることができない。また現場においては多くの計算コストをかけて最適解を保証することよりも、耐故障性や実時間性が重要視される。そこで耐故障性を上げるためにエージェントは分散して処理を行い、外乱に対処するためにエージェントが協調するマルチエージェントを用いた解法を採用している。タスク割り当ての具体的手法としては契約ネットプロトコルが用いられ、中央のコーディネータからのタスク要求に対して、各搬送車に存在するエージェントがタスク実行の計画を立案し、コーディネータに返送する。その中で制約を充足するものが選択され、タスクがその搬送車に割り当てられる。このように中央にコーディネータの存在を前提とすることから、必ずしも分散的に問題解決を行っているわけではないが、この点に関しては彼らは``as decentralized as possible, as centralized as necessary"の立場をとっており、現実的な応用に関しては問題解決において分散と集中をうまく使い分けることが必要であると説明していた。

もう一つのデモは配送スケジューリングに関するものであるが、これは単一の企業内でもモデルではなく、複数の競合的企業間での協調を扱うものである。複数の配送会社が存在し、それぞれ貨物車による配送ネットワークをもっている。ここで自社の配送能力を超えるような要求が顧客から与えられた場合、その要求を満たすために他社にその配送を依頼する。これが例えば営業所間など、単一企業内での協調であれば単なる貨物車のスケジューリング問題といえる。しかし、ここでは企業間での協調を対象としており、各企業はそれぞれの利潤が大きくなるように利己的に取引を進めるので、そのための交渉の手法が研究の対象となる。このような問題はインターネットによる商取引が可能になった現在ではより現実的な問題になったといえる。

以上の研究成果はまだプロトタイプ的な段階であり、実用化にむけてはさらに様々な課題を解決してゆく必要があるが、生産管理や流通管理はDAIの応用が有望な領域あると感じることができた。

4.2.4 Keele大学

Keele大学ではS. Misbah Deen教授により分散データベースと分散人工知能技術の融合を図る協調知識ベース（Cooperating Knowledge Based System: CKBS）の研究が行われている。Keele大学ではすでに1990年と1994年に協調知識ベースに関する国際会議［Deen 91,Deen 94b］を主催し、またイギリス国内の研究者のための研究会であるCKBS-SIG（CKBS-Special Interest Group）［Deen 93, Deen 94a］でも中核的働きをしている。

CKBSはデータベース技術を用いることにより、DAIのより現実的な応用を目指している。その特徴として、汎用性のための階層的アーキテクチャ、高レベル言語、柔軟な協調戦略定義、ユーザインタフェースがあげられる。近年の成果としてはタスク割り当てに基づくtransaction-orientedな応用のためのCKBSアーキテクチャフレームワークの提案がある［Deen 96］。

このアプローチの特徴はエージェントの協調（データ交換とタスク割り当て）をデータベースの概念である関係スキーマを用いて表現しようとしている点である。エージェント間でのデータの受け渡しはexternal relationにより行われ、内部データを表現するinternal relationのビューとなっている。またエージェント間でのタスクの受け渡しはexport shadowとimport shadowにより行われ、タスクの実行要求は自分のexport shadowにaction tupleを書き込むことによりなされる。export shadowは他エージェントのimport shadowと連動しており、それによりタスクの受け渡しが行われる。具体的な協調戦略はCOAL (Co-Operating Agent Language)と呼ばれる言語により記述される。

しかしながら、このアプローチはエージェント間の協調をデータベース的な観点から整理したという点では意味があるかもしれないが、DAIの立場からは目新しいものはあまり感じられなかった。

4.2.5 Intelligent Agents and their Business Applicationsセミナー

11月8、9日にロンドンWestbury HotelにおいてIntelligent Agents and their Business Applicationsセミナーが開催された。ARCHONプロジェクトに参画したQueen Mary and Westfield CollegeのNick Jenningsがコーディネートしたセミナーで欧米の第一線の研究者の講演があった。全体的な内容は分散協調的な問題解決を行うDAI的エージェントよりも、利用者のネットワークインタフェースとなるソフトウェアエージェントに重点が置かれていた。講演者と講演タイトルを以下に示す。

Nick Jennings (Queen Mary and Westfield Collage, イギリス) and Mike Wooldridge

(Manchester Metropolitan University, イギリス)：Overview of agent theories, applications, language and architecture

Pattie Maes (MIT Media Lab, アメリカ)：Agents that reduce work and information overhead

Christine Guilfoyle (The Trefoyle Partnership, イギリス)：Vendors of agent technology

Katia Sycara (Carnegie Mellon University, アメリカ)：Intelligent agents andthe information revolution

Jerry Foss (GPT, イギリス)：The use of agents in information brokering systems

Betty Atkinson (IBM, アメリカ)：IBM applications of intelligent agents

Marius Busuioc (BT Laboratories, イギリス)：Intelligent agents managing novel service in integrated fixed-mobile networks

Michel Plu (France Telecom/ CNET, フランス)：Agents in network environment

Nick Jennings (Queen Mary and Westfield Collage, イギリス)：Seminar Review

以下、特に印象が強かった3件の講演を中心に、それぞれの概要を記す。

(1) Nick Jennings and Mike Wooldridge

本セミナーのコーディネータであるNick Jenningsと彼の共同研究者であるManchester Metropolitan UniversityのMike Wooldridgeによるサーベイ講演である。エージェントの定義に続いて、エージェント理論、エージェントアーキテクチャ、エージェント言語、エージェントアプリケーションについてのサーベイが行われた。エージェントの定義に対しては、ソフトウェアエージェントをWeak Agency、DAIエージェントをStrong Agencyに分類することにより区別していた。エージェント理論に関しては、エージェントを信念、欲望、合理性などを表現できるintentional systemとして定式化を行った。これらはマルチエージェントシステムの動作に意味付けを行うものである。しかしながらこのような定式化は単純な機構の説明ができるにすぎず、現実の応用問題を扱うには抽象的すぎる。

エージェントアーキテクチャに関しては、熟考性と即応性の観点から分類がなされ、実例としてBratman, Israel, PollackによるIntelligent Resource-bounded Machine Architecture（IRMA）、JenningsによるGRATE*、BrooksのSubsumption Architeture、FergusonのTouring Machine Architectureが挙げられた。

エージェント言語に関しては、weak agent languageとしてACTOR（Hewitt, Agha）、TCL/TK、Telescript、strong agent languageとしてAGENT0（Shoham）とConcurrent METATEM（Wooldridge）、またそれ以外のものとしてKQML（Knowledge Query and Manipulation Language）とKIF（Knowledge Interchange Format）が紹介された。

エージェントの応用に関しては、DAI、Information Agent、Interface Agent、Believable Agentに分類し、DAIに関してはNick Jennings自らが関わったARCHONプロジェクトにおける電力ネットワークの事例が紹介された。Information Agentに関しては、Etzioni, WeldのSoftbot、Interface Agentに関してはMaesのNews Filtering Agentの事例が紹介された。

以上のサーベイはJenningsとWooldridgeによる独自の視点がかなり強く、米国におけるDAI研究の成果はほとんど紹介されていなかった。

(2) Pattie Maes

Pattie MaesはMIT（Massachusetts Institute of Technology）Media Laboratoryに所属し、様々なソフトウェアエージェントの研究を進めている。ソフトウェアエージェントは一種の利用者インタフェースであるが、利用者のパーソナルアシスタントを目標としている。エージェントは学習機能により利用者の興味や嗜好を学習し、個別的、自律的、適応的に利用者を支援する。ソフトウェアエージェントの実例として、カレンダー管理、電子メール管理、電子ニュース管理、WWW検索、エンタテイメント選択、商取引、電子マッチメイキングなどが紹介された。

しかしながらこのようなソフトウェアエージェントはパーソナルアシスタントとしての役割をどこまで果たしてくれるのであろうか。示された実例は表層的なものばかりで、実用化しようとするとかなりの知識や常識がエージェントに要求されるように思われる。講演の中で「エージェントに賢さは必要ない。利用者から賢さを学習すればよい。」という発言があったが、これは大いに疑問である。

(3) Katia Sycara

Katia SycaraはCarnegie Mellon University（CMU）Robotics Instituteに所属し、これまで分散制約充足などDAIの分野において主に研究を進めてきたが、最近はソフトウェアエージェントにも関心をもち始めている。SycaraのアプローチはMaesのものに比べてより分散指向といえる。その理由として、Sycaraは単一のエージェントが様々な問題解決のアシスタントを行うためには膨大な知識が必要になり、またその処理を単一のエージェントで行うことは困難である。また現在のエージェントの学習能力には限界があり、新しい情報源が現れるごとにプログラムしなおさなければならないと述べている。このように多数のソフトウェアエージェントの協調により利用者をアシストしようというアイデアはDAIの立場からは興味深い。示された応用例としては研究所訪問者スケジューリングシステム、投資管理システム、緊急医療支援システム、電子

取引などである。

(4) その他

Christine Guilfoyle（The Trefoyle Partnership）は電子メールやPDA（Personal Digital Assistant）などのエージェント技術関連商品の市場動向に関して、Jerry Foss（GPT）は情報提供者と情報利用者との仲介を行う情報ブローカリングサービスに関して、Betty Atkinson（IBM）はIBMでにおけるエージェント技術への取り組みについて述べ、その応用事例としてシステム／ネットワーク管理、移動アクセス管理、電子メール、情報アクセス管理、コラボレーション、ワークフロー管理、電子取引、適応的利用者インタフェースをあげていた。また共通アーキテクチャに関する話題もあった。Marius Busuioc（BT Laboratory）は移動体通信ネットワーク上でのエージェント技術について述べた。最後に、Michel Plu（France Telecom）は通信ネットワーク上でのサービス統合のためのエージェント技術に関して講演をした。

4.2.6 まとめ

今回のセミナーで感じたことはエージェント技術に対する期待の大きさである。しかしながらここでエージェントという用語の定義にはかなりばらつきがある。分散問題解決を行うDAIエージェント、カスタマイズ可能な利用者インタフェースとなるソフトウェアエージェントだけでなく、PDAに対してまでもエージェントという呼び方がなされている場合がある。現在、エージェントという言葉にはインターネット上での通信アプリケーションに付加価値を与えるもの、そしてそれがビジネスチャンスにつながるものとしての期待が込められているように思われる。その中でも特にソフトウェアエージェントに対する関心は大きいが、簡単な学習能力をベースにする現在の機能ではあまり高度な処理は期待できそうにないと思われる。

DAIエージェントは問題解決に力点がおかれ、その重要な機能にエージェント間の協調（相互作用）がある。これに関しては今回調査したいずれのアプローチにおいてもスクリプトで記述するという方法がとられていた。エージェント間の協調はまだまだモデル化が不十分な分野であり、今後の研究が期待される。そのためには基礎的な研究だけでなく、ARCHONプロジェクトでとられたように応用分野を積極的に開拓して、得られた技術を実証してゆくというアプローチも重要であると思われる。またSycaraのようにソフトウェアエージェントを協調的なマルチエージェントシステムとして実現するというアプローチも興味深い。

参考文献

[Bussman 94] Bussman, S., A multi-agent approach to dynamic, adaptive scheduling of material flow, MAAMAW-94, 1994.

[Cockburn 96] Cockburn D. and Jennings N.R., ARCHON: a distributed artificial intelligence system for industrial applications, Foundations of Distributed Artificial Intelligence (eds. G. M. P. O'Hare and N. R. Jennings) , pp.319-344, Wiley, 1996.

[Deen 91] Deen S.M. ed., Cooperating Knowledge Based Systems 1990, Springer-Verlag, 1991.

[Deen 93] Deen S.M. ed., CKBS-SIG Proceedings 1992, University of Keele, 1993.

[Deen 94a] Deen S.M. ed., CKBS-SIG Proceedings 1993, University of Keele, 1994.

[Deen 94b] Deen S.M. ed., CKBS'94 Proceedings, University of Keele, 1994.

[Deen 96] Deen S.M., An architecture framework for CKBS applications, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol.8, No.4, 1996.

[Haugeneder 94] Haugeneder H., Steiner D., and McCabe F.G., IMAGINE: a framework for building multi-agent systems, CKBS'94 Proceedings, DAKE Centre, University of Keele, 1994.

[Jennings 94a] Jennings N.R., Cooperation in industrial multi-agent system, World Scientific, 1994.

[Jennings 94b] Jennings N.R., The ARCHON system and its applications, CKBS'94 Proceedings, DAKE Centre, University of Keele, 1994.

[Maes 94] Maes, P., Agents that reduce work and information overload, Communications of ACM, Vol.37, No.7, pp.30-40, 1994.

[Wittig 92] Wittig T. ed., ARCHON:An Architecture for Multi-agent Systems, Ellis Horwood, 1992.

資　料　編

平成８年１月

コンピュータの高度利用に関する調査
調　査　票

ご記入にあたってのお願い

1.この調査は、産業におけるコンピュータの高度利用に関する動向を把握し、高度ソフトウエアの研究や実用化を促進するための方策検討に活用させていただくものです。
この調査では「コンピュータの高度利用」を以下のように定義させていただきます。

> コンピュータの利用にあたって、利用領域あるいは、要素技術に先進性があり、かつ、情報技術のパラダイム・チェンジに対応していること。および主としてAI技術またはその派生技術、周辺技術を応用していること。

2.調査対象は、２８業種（東証１部上場企業）から合計３００社を選択し、**調査票を１社につき情報システム部門１通と研究開発部門または企画部門等に１通の計２通送付させていただきました。**
この趣旨は、コンピュータ利用開発の統括部門として情報システム部門のお考えと、エンドユーザ・コンピューティングの代表として研究開発部門または企画部門のお考えを把握しようとするものです。
サンプル数が少ないので、必ずご回答賜わりますようお願いいたします。

3.ご回答いただきました調査票は、部外厳秘とするとともに、原則として統計処理を行うほか記述回答は個別の企業名を伏せて、調査結果をまとめることといたします。最終的に、当協会の検討を経て公表させていただきます。

4.各質問に対する回答は、選択肢のある場合は該当するものの番号を○で囲んでください。また数量などを記入するところで確定値がわからない場合には、おおよその数を記入してください。

5.回答をご記入いただきましたら、同封の返信用封筒にて 1月31日 までに下記あてご返送くださるようお願いいたします。
宛先：　(株)リサーチ・アンド・ディベロプメント　企画３部（担当：小暮）
〒103　東京都中央区日本橋人形町１－４－１０　人形町センタービル
電話０３（５６４２）７７１８、　ＦＡＸ０３（５６４２）７７３０

6.ご回答いただきました方には、後日、調査結果（要約）を送付報告申し上げます。

7.本調査票について、ご不明な点がある場合には下記あてお問い合わせください。
問合わせ先：　財団法人日本情報処理開発協会　ＡＩファジイ振興センター（担当：片岡）
〒105　東京都港区芝公園３－５－８　機械振興会館内
電話０３（３４３２）９３９０、　ＦＡＸ０３（３４３１）４３２４

ご回答くださる方の所属とお名前をご記入ください。

貴社名：	
所属・役職：	
お名前：	
電話：	内線：
電子メールアドレスまたはパソコン通信ID：	

財団法人　日本情報処理開発協会

0．事業所の概要

0-1. 貴社および貴部門の就業者数は、つぎのどれに該当しますか。

貴社全体	1. ５００人未満	2. １千人未満	3. ５千人未満
	4. １万人未満	5. ５万人未満	6. ５万人以上
貴部門	1. ５０人未満	2. １００人未満	3. ５００人未満
	4. １千人未満	5. ５千人未満	6. ５千人以上

0-2. 貴社および貴部門の平成７年度コンピュータ関係予算（人件費、研究費を除く）は、つぎのどれに該当しますか。

貴社全体	1. １千万円未満	2. ５千万円未満	3. １億円未満
	4. ５億円未満	5. １０億円未満	6. １０億円以上
貴部門	1. ５００万円未満	2. １千万円未満	3. ５千万円未満
	4. １億円未満	5. ５億円未満	6. ５億円以上

0-3. 貴社および貴部門の平成７年度コンピュータ関係予算（人件費、研究費を除く）を、ハードウエア費、ソフトウエア費、通信回線費、その他費用に分けて、各々のおおよその割合をご記入ください。

貴社全体	ハードウエア費	（　　%）
	ソフトウエア費	（　　%）
	通信回線費	（　　%）
	その他費用	（　　%）
	合　計	（１００%）
貴部門	ハードウエア費	（　　%）
	ソフトウエア費	（　　%）
	通信回線費	（　　%）
	その他費用	（　　%）
	合　計	（１００%）

0-4. この調査票のご回答いただいている部門は、つぎのどれに該当しますか。

1. 情報システム	2. 設計	3. 研究開発
4. 企画・調査	5. 営業・販売	6. 生産・製造
7. その他（　　）		

1．コンピュータの高度利用のニーズについて

近年、マルチメディア技術などの多様な情報形態を扱う技術やネットワーク技術の進展、またクライアントサーバシステムなどのコンピュータの利用環境の変化の中にあって、より高度なコンピュータの利用に関する議論が必要になってきております。これには、社会や産業側からの問題提起が要件かと存じます。

1-1. コンピュータの高度利用について、「先進的利用」の観点から、つぎに掲げるA～Oの高度利用領域について、貴部門でのご関心や利用状況について該当する回答の番号を○で囲でください。

コンピュータの高度利用領域	回答欄					
	現在利用中	現在を開進発め／て導い入る	今後す開る発計／画導が入ある	計画関は心なはいあがる	関心がない	わからない
A．ＣＡＬＳ：Continuous Acquisition and Life-cycle Support（生産調達運用支援統合情報システム）	1	2	3	4	5	6
B．ＥＣ：Electronic Commerce（電子商取引）	1	2	3	4	5	6
C．ＥＤＩ：Electronic Data Interchange（電子データ交換）	1	2	3	4	5	6
D．コンカレント・エンジニアリングシステム	1	2	3	4	5	6
E．ＩＣＩＭ：Intelligent Computer Integrated Manufacturing（知的コンピュータ統合製造）	1	2	3	4	5	6
F．グループウエアシステム	1	2	3	4	5	6
G．ＣＡＳＥ（Computer Aided Software Engineering）ツール	1	2	3	4	5	6
H．インターネット（WWW／電子メール）	1	2	3	4	5	6
I．マルチメディア情報通信	1	2	3	4	5	6
J．電子会議システム	1	2	3	4	5	6
K．高度シミュレーション（仮想現実感を含む）	1	2	3	4	5	6
L．バーチャルカンパニー	1	2	3	4	5	6
M．バーチャルファクトリー	1	2	3	4	5	6
N．知的ロボット／電子秘書（自律・分散システム）	1	2	3	4	5	6
O．その他（　　）	1	2	3	4		

1-2. コンピュータの高度利用について、質問 1-1で１、２、３に回答された方にお聞きします。
貴部門で利用中または開発／導入中あるいは開発／導入予定のシステムのうち、具体的なシステム名またはシステムの内容（代表的なものを３つまで）を挙げていただき、その適用業務について、次ページを参照して、該当する回答の番号を選択欄から選び、回答欄にご記入ください。

コンピュータの高度利用領域	回答欄	
	システム名またはシステムの内容	適用業務（１つ選択）
A. CALS：Continuous Acquisition and Life-cycle Support（生産調達運用支援統合情報システム）	①	
	②	
	③	
B. EC：Electronic Commerce（電子商取引）	①	
	②	
	③	
C. EDI：Electronic Data Interchange（電子データ交換）	①	
	②	
	③	
D. コンカレント・エンジニアリングシステム	①	
	②	
	③	
E. ICIM：Intelligent Computer Integrated Manufacturing（知的コンピュータ統合製造）	①	
	②	
	③	
F. グループウェアシステム	①	
	②	
	③	
G. CASEツール	①	
	②	
	③	
H. インターネット（WWW／電子メール）	①	
	②	
	③	
I. マルチメディア情報通信	①	
	②	
	③	
J. 電子会議システム	①	
	②	
	③	
K. 高度シミュレーション（仮想現実感を含む）	①	
	②	
	③	

次ページにつづく

コンピュータの高度利用領域	回答欄	
	システム名またはシステムの内容	適用業務（1つ選択）
L. バーチャルカンパニー	①	
	②	
	③	
M. バーチャルファクトリー	①	
	②	
	③	
N. 知的ロボット／電子秘書（自律・分散システム）	①	
	②	
	③	
O. その他（　　）	①	
	②	
	③	

1. プラント修理
2. 機械補修・点検
3. プラント異常予知
4. 故障診断
5. 事故判断・復旧
6. プラント操業・管理
7. 生産ライン操業・管理
8. 情報収集
9. 情報管理
10. 工程管理
11. 生産管理
12. 資材管理
13. 物流管理
14. 顧客管理
15. 計画・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ
16. 運行ダイヤ編成
17. 製品開発支援
18. 自動設計
19. ﾈｯﾄﾜｰｸ設計・管理
20. ソフトウェア開発
21. 経営戦略
22. 財務処理
23. 人材育成
24. 法律・判例
25. 企画・調査
26. 企業診断
27. 資金運用
28. 相場予測
29. 窓口相談
30. クレジット認証
31. 株式銘柄選択
32. 契約・医務・損害査定
33. ＣＡＩ
34. 医療診断支援
35. 広報（情報提供）
36. データベース検索
37. データベースサービス
38. その他（回答欄の適用業務欄に具体的にご記入ください）

2．コンピュータの高度利用技術（知的情報技術）に対する期待について

近年、コンピュータ利用の知的度やインテリジェント度を高めるソフトウエア技術の研究が盛んに進められていますが、一方で知的情報技術の適用や実用化ＡＩ（人工知能）などの社会や産業における問題解決に寄与する技術開発の必要性が議論されております。これには、社会や産業側からの問題提起が要件かと存じます。

2-1．コンピュータの高度利用について、「利用技術の先進性」の観点から、つぎに掲げるＡ～Ｏの高度利用技術（知的情報技術）領域について、貴部門でのご関心や利用状況について該当する回答の番号を○で囲でください。

高度利用技術（知的情報技術）領域	回答欄					
	現在利用中	現在を開進発め／て導い入る	今後する開発計／画導が入ある	計画関は心はあるがない	関心がない	わからない
A．エージェント技術	1	2	3	4	5	6
B．分散協調ＡＩ	1	2	3	4	5	6
C．仮想現実感	1	2	3	4	5	6
D．感性情報処理（マルチモーダルインタフェースを含む）	1	2	3	4	5	6
E．ニューラルネットワーク	1	2	3	4	5	6
F．ファジィ理論（推論／集合）	1	2	3	4	5	6
G．遺伝的アルゴリズム／人工生命	1	2	3	4	5	6
H．自然言語処理／対話処理技術	1	2	3	4	5	6
I．音声処理（認識・理解／合成）技術	1	2	3	4	5	6
J．画像処理（認識・理解／生成）技術	1	2	3	4	5	6
K．ルールベース推論／事例ベース推論／メモリベース推論	1	2	3	4	5	6
L．学習・知識獲得	1	2	3	4	5	6
M．共用・大規模知識ベース／分散協調データベース	1	2	3	4	5	6
N．知的インタフェース	1	2	3	4	5	6
O．その他（　　）	1	2	3	4		

2-2. コンピュータの高度利用技術（知的情報技術）について、質問2-1で１、２、３に回答された方にお聞きします。
貴部門で利用中または開発／導入中あるいは開発／導入予定の高度利用技術（知的情報技術）のうち、具体的なシステム名またはシステムの内容（代表的なものを３つまで）を挙げていただき、その適用業務について、次ページを参照して該当する回答の番号を選択欄から選び、回答欄にご記入ください。

高度利用技術（知的情報技術）領域	回答欄	
	システム名またはシステムの内容	適用業務（１つ選択）
A．エージェント技術	(1)	
	(2)	
	(3)	
B．分散協調ＡＩ	(1)	
	(2)	
	(3)	
C．仮想現実感	(1)	
	(2)	
	(3)	
D．感性情報処理（マルチモーダルインタフェースを含む）	(1)	
	(2)	
	(3)	
E．ニューラルネットワーク	(1)	
	(2)	
	(3)	
F．ファジィ理論（推論／集合）	(1)	
	(2)	
	(3)	
G．遺伝的アルゴリズム／人工生命	(1)	
	(2)	
	(3)	
H．自然言語処理／対話処理技術	(1)	
	(2)	
	(3)	
I．音声処理（認識・理解／合成）技術	(1)	
	(2)	
	(3)	
J．画像処理（認識・理解／生成）技術	(1)	
	(2)	
	(3)	

次ページにつづく

高度利用技術（知的情報技術）領域	回答欄	
	システム名またはシステムの内容	適用業務（1つ選択）
K．ルールベース推論／事例ベース推論／メモリベース推論	(1)	
	(2)	
	(3)	
L．学習・知識獲得	(1)	
	(2)	
	(3)	
M．共用・大規模知識ベース／分散協調データベース	(1)	
	(2)	
	(3)	
N．知的インタフェース	(1)	
	(2)	
	(3)	
O．その他（　　）	(1)	
	(2)	
	(3)	

1. プラント修理
2. 機械補修・点検
3. プラント異常予知
4. 故障診断
5. 事故判断・復旧
6. プラント操業・管理
7. 生産ライン操業・管理
8. 情報収集
9. 情報管理
10. 工程管理
11. 生産管理
12. 資材管理
13. 物流管理
14. 顧客管理
15. 計画・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ
16. 運行ダイヤ編成
17. 製品開発支援
18. 自動設計
19. ﾈｯﾄﾜｰｸ設計・管理
20. ソフトウェア開発
21. 経営戦略
22. 財務処理
23. 人材育成
24. 法律・判例
25. 企画・調査
26. 企業診断
27. 資金運用
28. 相場予測
29. 窓口相談
30. クレジット認証
31. 株式銘柄選択
32. 契約・医務・損害査定
33. ＣＡＩ
34. 医療診断支援
35. 広報（情報提供）
36. データベース検索
37. データベースサービス
38. その他（回答欄の適用業務欄に具体的にご記入ください）

2-3. 既存の情報処理システムにコンピュータの高度利用技術（知的情報技術）を導入して、システムのインテリジェント化が図られておりますが、まだ多くの課題が残されております。
コンピュータの高度利用技術（知的情報技術）導入を推進するための課題・期待などについて、これらの高度利用技術（知的情報技術）の利用の立場あるいは開発・提供の立場からご意見をお聞かせください。
利用の立場か、開発・提供の立場かは、いずれかを○で囲んでください。

	1. 利用の立場　　2. 開発・提供の立場　　（いずれかを○で囲んでください）
課　題	
期　待	
その他	

3. 知識ベースシステム（エキスパートシステム）について

知識ベースと推論機能を主とした知識ベースシステム（エキスパートシステム）は、社会や産業において個別の問題解決システムとして開発利用されています。最近では、既存システムやソフトウエアの高度化技術や知的情報技術と融合して利用されるようになっております。

3-1. コンピュータの高度利用として、貴部門において既に開発済み（実稼働していないものも含む）または現在開発中あるいは開発予定の知識ベースシステムはございますか。（ある場合）そのシステム数を回答欄にご記入ください。

		総数		回答欄
1	ある	システム	1. 稼働している実用システム	システム
			2. 開発中の実用システム	システム
			3. 開発計画中の実用システム	システム
			4. 実用システムを利用していたが、現在、稼働していない	システム
2	ない			

１３ページの質問４に
おすすみ下さい

3-2. 質問 3-1で、1.稼働中、2.開発中、3.開発計画中 の実用システムがあると回答された（システム数をご記入いただいた）方にお聞きします。
貴部門で稼働中または開発中あるいは開発予定の知識ベースシステムのうち、具体的なシステム名あるいはシステムの内容（代表的なものを３つまで）を挙げていただき、その適用業務および効果（開発中あるいは開発予定の場合は、期待する効果）について、該当する回答の番号を選択欄から選び、回答欄にご記入ください。

回答欄		
システム名またはシステムの内容	適用業務（１つ選択）	効　果（複数回答可）
(1)		
(2)		
(3)		

1. プラント補修・点検
2. 機械補修・点検
3. プラント異常予知
4. 故障診断
5. 事故判定・復旧
6. プラント操業・管理
7. 生産ライン操業・管理
8. 情報収集
9. 情報管理
10. 工程管理
11. 生産管理
12. 資材管理
13. 物流管理
14. 顧客管理
15. 計画・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ
16. 運行ダイヤ編成
17. 製品開発支援
18. 自動設計
19. ﾈｯﾄﾜｰｸ設計・管理
20. ソフトウェア開発
21. 経営戦略
22. 財務管理
23. 人材育成
24. 法律・判例
25. 調査・企画
26. 企業診断
27. 資金運用
28. 相場予測
29. 窓口相談
30. クレジット認証
31. 株式銘柄選択
32. 契約・医務・損害査定
33. ＣＡＩ
34. 医療診断支援
35. 広報（情報提供）
36. データベース検索
37. データベースサービス
38. その他（回答欄の適用業務欄に具体的にご記入ください）

1. 専門家の数の削減
2. 専門家の仕事量の削減
3. 専門家の育成
4. 業務の質の向上
5. 業務の質の均質化
6. 知識の整理・体系化
7. 技術の習得
8. その他
（回答欄に具体的にご記入下さい）

3-3. 質問 3-1で、1.稼働中、2.開発中、3.開発計画中　の実用システムがあると回答された（システム数をご記入いただいた）方にお聞きします。

近年、知識ベースシステムを、既存システム（事務系システムなど）、また高度利用技術（質問2で挙げたソフトウエアの高度化技術や知的情報技術など）と融合して利用されるようになっております。

貴部門で稼働中または開発中あるいは開発予定の知識ベースシステムで、既存システムや高度利用技術と融合して利用しているもの（計画）がございますか。

貴部門のご関心や利用状況について（既存システムとの融合および高度利用技術との融合の別を含めて）、該当する回答の番号を○で囲んでください。

回答欄	
1	現在（1. 既存システム　2. 高度利用技術）と融合利用している
2	現在（1. 既存システム　2. 高度利用技術）の融合化を進めている
3	今後（1. 既存システム　2. 高度利用技術）との融合化を進める計画がある
4	計画はないが、（1. 既存システム　2. 高度利用技術）との融合化に関心がある
5	既存システムや高度利用技術との融合利用の必要性を感じていない
6	わからない

3-4. 質問 3-3で、1、2、3に回答された方にお聞きします。

貴部門で、既存システムあるいは高度利用技術と融合利用または融合化を進めている、あるいは融合化を進める計画のある知識ベースシステムについて、システム名あるいはシステムの内容（代表的なものを3つまで）を挙げていただき、融合利用または融合化を進めている、あるいは融合化を進める計画の既存システムあるいは高度情報技術の内容、その適用業務および融合による効果（融合化を進めている、あるいは融合化を計画中の場合は、期待する効果）について、該当する回答の番号を選択欄から選び、回答欄にご記入ください。

回答欄			
知識ベースシステムの システム名またはシステムの内容	既存システム名 または高度利用技術の内容	適用業務 （1つ選択）	効　果 （複数回答可）
(1)			
(2)			
(3)			

1. プラント補修・点検
2. 機械補修・点検
3. プラント異常予知
4. 故障診断
5. 事故判定・復旧
6. プラント操業・管理
7. 生産ライン操業・管理
8. 情報収集
9. 情報管理
10. 工程管理
11. 生産管理
12. 資材管理
13. 物流管理
14. 顧客管理
15. 計画・ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ
16. 運行ダイヤ編成
17. 製品開発支援
18. 自動設計
19. ﾈｯﾄﾜｰｸ設計・管理
20. ソフトウェア開発
21. 経営戦略
22. 財務管理
23. 人材育成
24. 法律・判例
25. 調査・企画
26. 企業診断
27. 資金運用
28. 相場予測
29. 窓口相談
30. クレジット認証
31. 株式銘柄選択
32. 契約・医務・損害査定
33. ＣＡＩ
34. 医療診断支援
35. 広報（情報提供）
36. データベース検索
37. データベースサービス
38. その他（回答欄の適用業務欄に具体的にご記入ください）

1. 専門家の数の削減
2. 専門家の仕事量の削減
3. 専門家の育成
4. 業務の質の向上
5. 業務の質の均質化
6. 知識の整理・体系化
7. 技術の習得
8. その他
（回答欄に具体的にご記入ください）

3-5. **質問 3-1で、4.実用システムを利用していたが、現在、稼働していない に回答された（システム数をご記入された）方にお聞きします。**
貴部門でかつて利用し、現在利用を止めた知識ベースシステムについて、、具体的なシステム名あるいはシステムの内容（代表的なものを3つまで）を挙げていただき、利用を止めた主な理由について回答欄にご記入ください。

回答欄	
システム名またはシステムの内容	利用を止めた理由
(1)	
(2)	
(3)	

4. ソフトウエア開発方法について

ソフトウエアの開発では、開発のための自動化ツールや支援プログラム（以後、自動化ツール等）また共有データや知識ベース（以後、共有知識等）を活用し、複雑な問題解決や開発の効率化合理化を進めることが提案されています。

4-1. ソフトウエア開発方法の知的化高度化に関し、貴部門でのご関心や利用状況について（自動化ツール等および共有知識等の利用の別も含めて）、該当する回答の番号を○で囲んでください。

回答欄	
1	現在（1. 自動化ツール等 2. 共有知識等）を利用してソフトウエア開発している
2	現在（1. 自動化ツール等 2. 共有知識等）を利用したソフトウエア開発の導入を進めている
3	今後（1. 自動化ツール等 2. 共有知識等）を利用したソフトウエア開発を導入する計画がある
4	計画はないが、（1. 自動化ツール等 2. 共有知識等）を利用したソフトウエア開発に関心がある
5	自動化ツール等や共有知識等を利用したソフトウエア開発の必要性を感じていない
6	わからない

4-2. ソフトウエア開発方法の知的化高度化に関し、質問4-1で、1、2、3に回答された方にお聞きします。貴部門で利用中または導入中あるいは導入予定の自動化ツール等のうち、具体的なツール名またはツールの内容（代表的なものを3つまで）を挙げていただき、それらの自動化ツール等の種別、適用している（する）開発フェイズ、また共有知識等を利用している場合は、共有知識等の種別について、該当する回答の番号を選択欄から選び、回答欄にご記入ください。

回答欄			
ツール名またはツールの内容	ツール等の種別（複数回答可）	適用フェイズ（複数回答可）	共有知識等の種別（複数回答可）
(1)			
(2)			
(3)			

1. CASEツール
2. プログラムジェネレータ
3. 総合ビジネスパッケージ
4. 知識ベース型プログラミング
5. その他（回答欄に具体的にご記入ください）

1. システム計画
2. システム分析・設計
3. プログラム設計
4. プログラミング・試験
5. システム総合・運用試験
6. 保守・システム改良
7. その他（回答欄に具体的にご記入ください）

1. 業務プロセスモデル（業務フロー、階層図、ルールなど）
2. データモデル（データ構造、ファイル定義など）
3. GUI部品
4. プログラム部品
5. ドキュメンテーションに関するもの
6. 専門知識
7. その他（回答欄に具体的にご記入ください）

5. ネットワークＡＩについて

ネットワークＡＩは、近年のコンピュータネットワークの拡大と技術的進展を背景に、従来の人工知能（ＡＩ）／分散ＡＩにおける個別的な知的処理にとどまらず、それらの相互作用（インタラクション）に基づく分散・協調環境における新しい知的処理のパラダイムとして位置付けられています。
このため、ネットワークＡＩに関連する基盤技術や手法、あるいは利用環境などの課題に関する議論が必要になってきております。

5-1. つぎに掲げるＡ～ＫのネットワークＡＩの基盤技術や手法について、貴部門でのご関心や利用状況について該当する回答の番号を○で囲んでください。

ネットワークＡＩの基盤技術および手法	回答欄				
	過去5年以内に導入済で現在利用中	今後5年以内に導入する計画がある	計画は関心はあるがない	関心がない	わからない
A. マルチメディア情報通信	1	2	3	4	5
B. 臨場感通信	1	2	3	4	5
C. エージェント通信（ネットワークエージェント）	1	2	3	4	5
D. WWW／電子メール	1	2	3	4	5
E. モバイルコンピューティング（PHS等）	1	2	3	4	5
F. グループウエア（意思決定支援を含む）	1	2	3	4	5
G. セキュリティ技術（ネットワークセキュリティを含む）	1	2	3	4	5
H. オブジェクト指向技術	1	2	3	4	5
I. マルチエージェント技術	1	2	3	4	5
J. 自律・分散・協調技術	1	2	3	4	5
K. 共用・大規模知識ベース／分散協調データベース	1	2	3	4	5

5-2. ネットワークＡＩの基盤的環境であるコンピュータネットワークの利用状況について、貴部門でのネットワークの利用者規模を、５年前、現在、５年後（予測）に分けて、該当するおおよその利用者率（人数比）の番号を○で囲み、その利用者範囲を該当する回答の番号を選択欄から選び、回答欄にご記入下さい。

	回答欄		
		利用率（人数比）	利用者範囲（複数回答可）
社内ネットワーク	５年前	1. 0％ 2. 25％ 3. 50％ 4. 75％ 5. 100％	
	現　在	1. 0％ 2. 25％ 3. 50％ 4. 75％ 5. 100％	
	５年後（予測）	1. 0％ 2. 25％ 3. 50％ 4. 75％ 5. 100％	
社外ネットワーク（商用ネット／インターネット）	５年前	1. 0％ 2. 25％ 3. 50％ 4. 75％ 5. 100％	
	現　在	1. 0％ 2. 25％ 3. 50％ 4. 75％ 5. 100％	
	５年後（予測）	1. 0％ 2. 25％ 3. 50％ 4. 75％ 5. 100％	

1. 一般職員
2. 管理職
3. 役　員

5-3. ネットワークＡＩでは、ネットワーク上に点在するデータベースや知識ベースの共有が重要な要素の一つと考えられております。
貴部門におけるデータベースおよび知識ベースの共有利用の状況について、該当する回答の番号を○で囲んでください。あるとお答えいただいた（1.あるを○で囲んだ）場合は、そのデータベースまたは知識ベースの内容を、回答欄に具体的にご記入ください。
「共有」とは、単に情報検索のみに類するものは除き、利用者（社）双方による更新が行われるものとします。

	回答欄
社内共有データベース	1. ある（具体的に、　　） 2. ない
社外共有データベース（外部機関と共有している）	1. ある（具体的に、　　） 2. ない
社内共有知識ベース	1. ある（具体的に、　　） 2. ない
社外共有知識ベース（外部機関と共有している）	1. ある（具体的に、　　） 2. ない

6．情報システム（情報技術）の進歩について

コンピュータの高度利用の観点から、これまでに多くの処理システム（情報技術）が研究・開発されてきましたが、さまざまな評価がされています。

6-1. つぎに掲げるA～Nの情報システム（情報技術）について、過去１０年間の変化をどのように捉えていますか。「実用化」の観点から、該当する回答の番号を○で囲でください。

情報システム および 情報技術	回答欄				
	実用化されていると思う	実用化されていないが利用されていると思う	実用化されていないが進歩したと思う	進歩してないと思う	わからない
A．機械翻訳システム	1	2	3	4	5
B．音声理解システム	1	2	3	4	5
C．画像理解システム	1	2	3	4	5
D．自然言語理解システム	1	2	3	4	5
E．知的ヒューマンインタフェース	1	2	3	4	5
F．知的情報検索システム	1	2	3	4	5
G．知的分散処理システム	1	2	3	4	5
H．自動プログラミング技術	1	2	3	4	5
I．CAI（教育）システム	1	2	3	4	5
J．知識ベースシステム（エキスパートシステム）	1	2	3	4	5
K．ソフトウエア開発（ツール）システム	1	2	3	4	5
L．知的データベースシステム	1	2	3	4	5
M．知能ロボット技術	1	2	3	4	5
N．ゲームシステム	1	2	3	4	5

6-2. 情報システムおよび情報技術について、今後の課題を挙げて下さい。

情報システムおよび情報技術	回答欄 今後の課題
A. 機械翻訳システム	① ② ③
B. 音声理解システム	① ② ③
C. 画像理解システム	① ② ③
D. 自然言語理解システム	① ② ③
E. 知的ヒューマンインタフェース	① ② ③
F. 知的情報検索システム	① ② ③
G. 知的分散処理システム	① ② ③
H. 自動プログラミング技術	① ② ③
I. CAI（教育）システム	① ② ③
J. 知識ベースシステム (エキスパートシステム)	① ② ③
K. ソフトウエア開発（ツール）システム	① ② ③
L. 知的データベースシステム	① ② ③

次ページにつづく

情報システムおよび情報技術	回答欄 今後の課題
M. 知能ロボット技術	① ② ③
N. ゲームシステム	① ② ③

AI 等先端的情報技術と利用の動向に関する調査研究報告書

発　行　平成８年３月
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）3432-9390

07-R 007