

08-R 007

知的情報技術と利用の動向に関する
調査研究 報告書

平成 9 年 3 月



財団法人 日本情報処理開発協会

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。





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。

このような状況のもと、当協会では、平成7年度より2年計画で「ネットワークAI」に関する調査研究を進めてまいりました。

今年度は、調査研究の最終年度として、平成7年度の成果を踏まえ、ネットワークAIの技術的枠組みを整理し提案するとともに、応用面については、実社会における幾つかの場面を取り上げて、具体的な応用イメージについて検討を行いました。

実施にあたっては、知的情報技術動向調査委員会（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 大学院 工学研究科 情報工学専攻 教授）を設置して、個別テーマの審議・検討を行うとともに、総括的な検討を目的とした「ワークショップ」を開催しました。

また、欧米に調査員を派遣し、エージェント技術など、ネットワークAIにおける主要技術について、最新情報を収集しました。

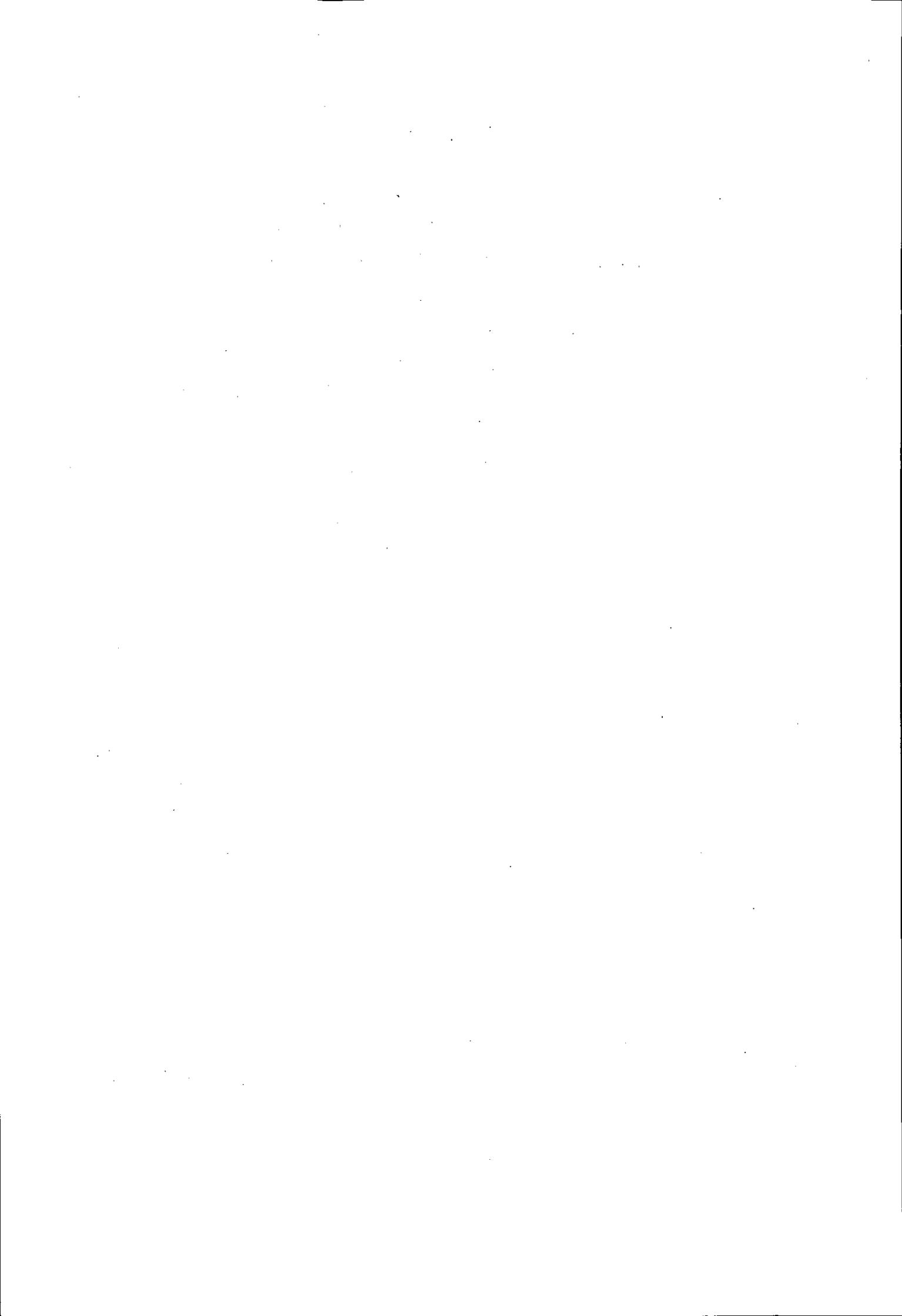
本報告書は平成8年度の調査研究の成果を取りまとめたものです。第1章では、ネットワークAIの概要、2章、3章、4章では、ネットワークAIの技術的枠組み、5章、6章、7章では、ネットワークAIの応用イメージ、第8章では、関連する技術の海外動向、について述べています。

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9年3月

財団法人 日本情報処理開発協会



委員会名簿

(平成9年1月現在)

知的情報技術動向調査委員会

(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 大学院 工学研究科 情報工学専攻 教授
- 倉石 英一 (株)東洋情報システム 常務取締役 技術本部長
- 坂間 保雄 日本電信電話(株)NTT情報通信研究所 知的通信処理研究部 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 大学院 総合文化研究科 広域システム科学系 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
- 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 技術企画部 技術課長

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 大学院 工学研究科 情報工学専攻 教授
- 幹事： 北村 泰彦 大阪市立大学 工学部 情報工学科 助教授
- 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 東北大学 電気通信研究所 助教授
- 小島 昌一 (株)東芝 研究開発センター 企画担当 副参事
- 柴田 義孝 東洋大学 工学部 情報工学科 助教授
- 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
- 出口 弘 中央大学 商学部 助教授
- 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 教授
- 外川 文雄 シャープ(株) 技術本部 マルチメディア事業化推進本部
映像メディア研究所 主任研究員
- 服部 文夫 日本電信電話(株) NTTコミュニケーション科学研究所
計算機科学研究部 部長
- 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 日本アイ・ピー・エム(株) 東京基礎研究所 副主任研究員

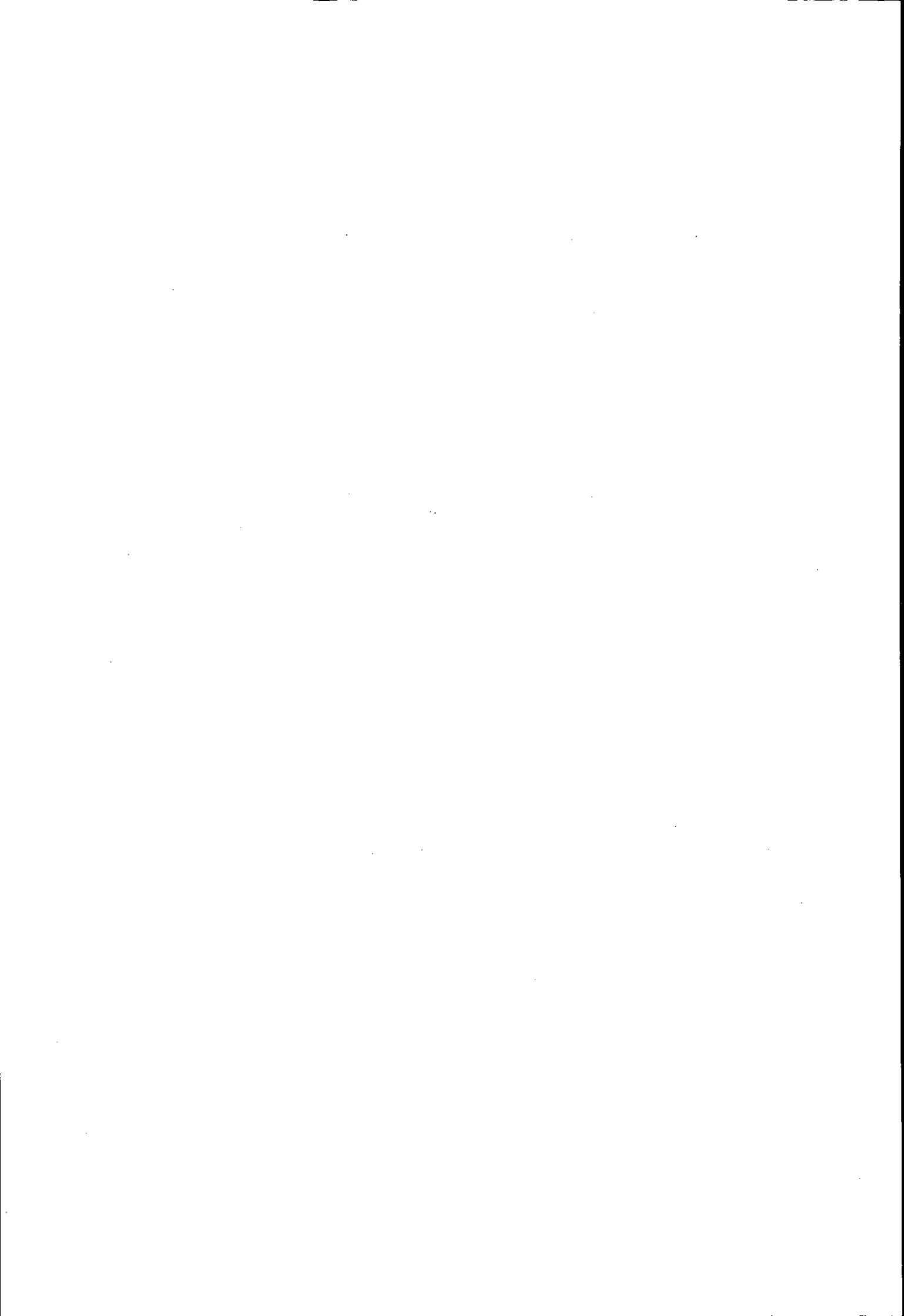
山崎 晴明 山梨大学 工学部 電子情報工学科 教授

鷺尾 隆 大阪大学 産業科学研究所 知能システム科学研究部門 助教授

執筆協力者： 高木 晴夫 慶應義塾大学 大学院 経営管理研究科 教授
宮下 和雄 通商産業省 工業技術院 電子技術総合研究所 知能システム部 主任研究官

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
市川 隆 (財)日本情報処理開発協会 常務理事

事務局： 片岡 幸一 (財)日本情報処理開発協会 技術企画部 技術課長



目次

まえがき

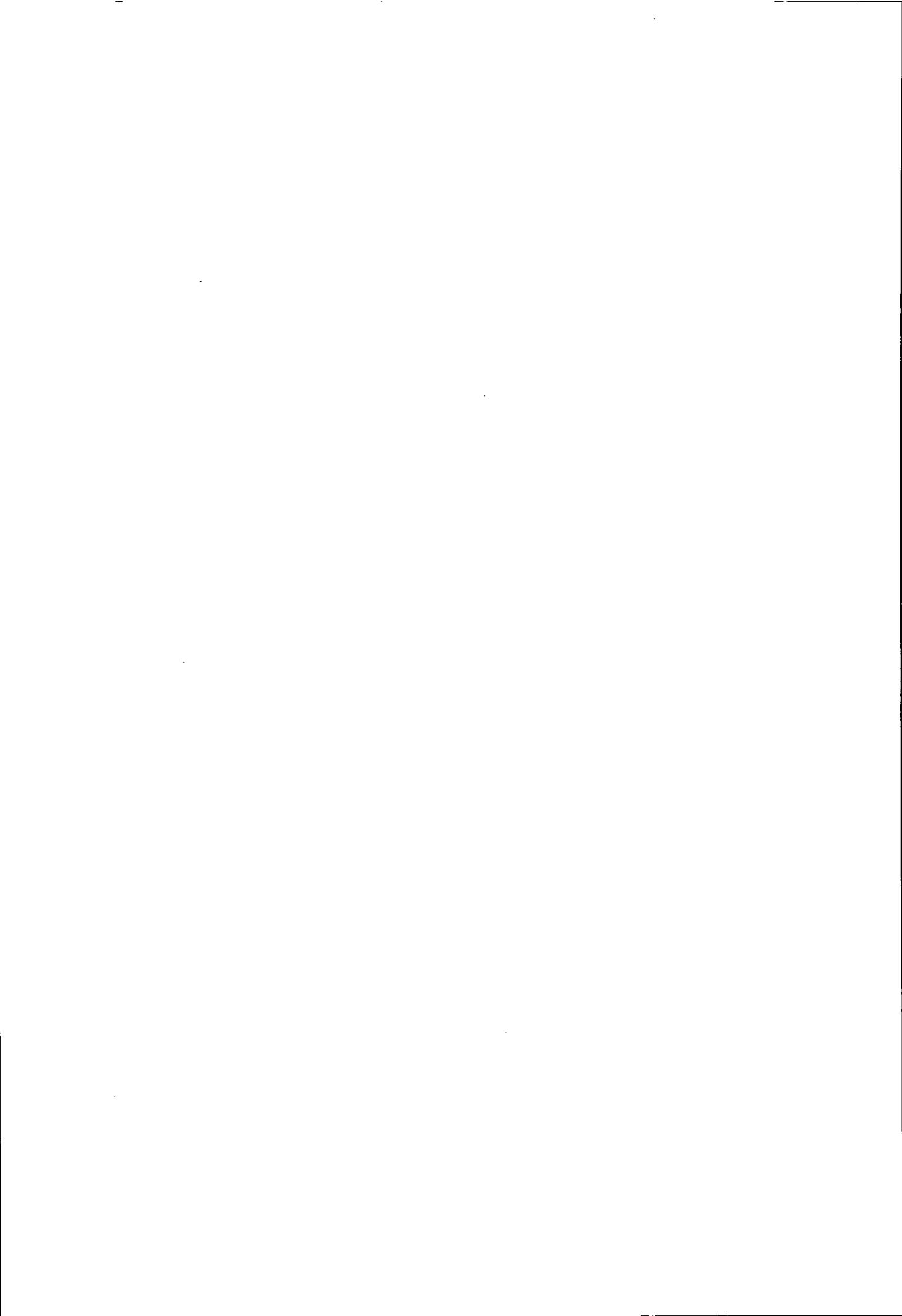
1. ネットワークAIに向けて -----	1
1.1 調査研究の動機 -----	1
1.2 ネットワークAI とは何か -----	3
1.3 ネットワークAI の技術 -----	6
1.4 ネットワークAI の応用 -----	9
2. パーセプチャルウェア -----	15
2.1 パーセプチャルウェアとは -----	15
2.1.1 サイバー社会の感覚的現実感 -----	15
2.1.2 パーセプチャルウェア -----	16
2.1.3 サイバー社会の感覚的現実感を形成するための要件 -----	17
2.2 パーセプチャルウェアを支える技術 -----	21
2.3 ヒューマンインタフェース技術 -----	24
2.4 感性処理技術 -----	27
2.5 ネットワーク指向仮想現実技術 -----	29
2.6 共生感技術 -----	31
3. ソーシャルウェア -----	35
3.1 ソーシャルウェアとは -----	35
3.1.1 サイバー社会の社会的現実感 -----	35
3.1.2 ソーシャルウェア -----	38
3.2 ソーシャルウェアの機能 -----	41
3.2.1 サイバー社会の特性 -----	41
3.2.2 基本的な機能 -----	42
3.3 ソーシャルウェアを支える技術 -----	45
3.3.1 ソーシャルウェアを支える技術の概要 -----	45
3.3.2 エージェントの組織化と合意形成技術 -----	48
4. ネットワークウェア -----	55
4.1 ネットワークウェアとは -----	55
4.1.1 大規模ネットワークとサイバー社会 -----	55
4.1.2 ネットワークウェア -----	56
4.2 ネットワークウェアの機能 -----	57

4.3 ネットワークウェアを支える技術 -----	61
4.3.1 コンセプト/枠組み -----	61
4.3.2 ネットワークコンピューティング技術 -----	63
4.3.3 エージェント指向コンピューティング技術 -----	65
4.4 ネットワークウェアの実現に向けて -----	70
4.4.1 やわらかいネットワークからのアプローチ -----	70
4.4.2 やわらかさを実現する機能 -----	71
4.4.3 やわらかいネットワークとネットワークウェア -----	73
4.5 まとめ -----	77
5. 企業で 「エンタープライズインテグレーション」 -----	79
5.1 はじめに -----	79
5.2 エンタープライズインテグレーションのためのネットワークAI技術 ---	80
5.3 企業情報アーキテクチャ -----	83
5.3.1 データベース統合とオントロジー -----	83
5.3.2 連邦型アーキテクチャ -----	87
5.3.3 インタフェースエージェント -----	92
5.4 ワークフローシステム -----	95
5.5 分散協調スケジューリング -----	100
5.5.1 はじめに -----	100
5.5.2 階層的スケジューリングシステム -----	102
5.5.3 分散制約スケジューリング -----	104
5.5.4 おわりに -----	111
5.6 協調設計システム -----	114
5.6.1 設計における分散協調 -----	114
5.6.2 PACT -----	115
5.6.3 他の協調設計の試み -----	118
5.7 知識管理 -----	120
5.7.1 社会環境との相互作用 -----	121
6. 街で 「エレクトロニックコマースとデジタル経済」 -----	129
6.1 はじめに -----	129
6.2 サイバーモール（電脳商店街）とネットワークAI技術 -----	132
6.2.1 はじめに -----	132
6.2.2 インターネット電気屋 -----	133
6.2.3 ネットワーク上のスマートカタログシステム -----	133

6.2.4	バーチャルショッブが拓く新しいビジネスの世界	136
6.2.5	考察	137
6.3	電子オークションとネットワークAI	138
6.3.1	AI研究としてのオークション	138
6.3.2	オークション応用システム	139
6.3.3	WWW上の電子オークション	140
6.3.4	考察	142
6.4	電子認証システム	144
6.4.1	電子認証システムの目的	144
6.4.2	暗号：「漏洩・盗聴」への対応	144
6.4.3	RSAシステム：「なりすまし」「誤送信（送信事故）」への対応	146
6.4.4	電子公証人：「改竄」への対応	153
6.4.5	考察	154
6.5	工業集積と分散型の製造システムへのシナリオ	155
6.5.1	はじめに	155
6.5.2	生産の現場の変化とそのシステム化	155
6.5.3	ダイコク電機のワークネットと外注加工委託	158
6.5.4	分散型の産業構造のひとつのシナリオと ネットワーク受注型企業の役割	159
6.5.5	考察	161
6.6	エレクトロニックコマースの発展と ネットワークAI技術に関する考察	163
7.	地域で コラボレーション支援	169
7.1	はじめに	169
7.2	コミュニティ支援技術	171
7.2.1	会話支援	171
7.3	情報共有支援	175
7.3.1	知識情報ベース	175
7.3.2	ソフトウェアエージェント	176
7.4	社会的実験	178
7.4.1	大規模オンライン会議	178
7.4.2	携帯端末群による国際会議支援	179

7.5 教育とネットワークの関わり -----	181
7.5.1 教育の場におけるネットワーク化の展望 -----	181
7.5.2 教育の形態とコミュニケーション -----	182
7.5.3 ネットワーク講義の発展形態 -----	183
7.5.4 ネットワークゼミの発展形態 -----	184
7.5.5 ネットワーク独習 -----	190
7.6 おわりに -----	193
8. 海外動向調査 -----	195
8.1 AAI -----	195
8.1.1 ウェブ上での情報収集 -----	196
8.1.2 マルチエージェントによる問題解決 -----	197
8.1.3 マルチエージェントによる交渉および組織形成について -----	199
8.1.4 マルチエージェントの学習について -----	201
8.1.5 エージェントの相互作用について -----	203
8.2 IAAI -----	205
8.3 NetResult 社 -----	206
8.4 イリノイ大学 -----	206
8.5 ECAI -----	207
8.5.1 情報収集とマルチエージェント関連 -----	207
8.5.2 その他のマルチエージェント関連の研究 -----	207
8.6 Fraunhofer Institute for Computer Graphics -----	211
8.7 まとめ -----	212

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 調査研究の動機

今日の情報ネットワークは計算機工学の輝かしい成果である。計算機工学は情報を符合化し、ビットとして扱い、計算し、格納し、伝送することを可能とした。しかし、その情報の意味、価値、社会的影響については議論してこなかった。それは工学の外に位置するものであり、利用者に帰する問題であるとされた。その結果、世界を揺り動かす指令の伝達も、学生の練習問題も計算機の中では同じ扱いを受けた。

計算機が、大型計算センターの空調設備の中に設置されている時代はそれでも良かった。工学者は計算機の物理的性能を向上させることによって、利用者の情報処理の価値を高め得ると信じる事ができた。計算機は高価なものであり、利用者が無駄な情報処理を行なうとは考えにくかったのである。しかし、状況は一変しつつある。ダウンサイジングによって、小型の計算機がオフィスに、家庭に、街に溢れ、インターネット、モバイル通信によって、社会の毛細血管に情報が流れ始めている。価値のある情報もない情報も処理され伝送される時代となった。

計算機工学が考えるべきことは、情報を流す管の太さと速度だけではなくなっている。もはや、太くすれば、速くすれば、利用者のニーズを満たすと単純に信じることはできない。大容量の光通信網や家庭での計算機が本当に必要かどうかがよく議論される。どのような情報をネットワークに流すのか、それによって世の中がどう変わるのかを考えざるを得なくなって来ている。人々の社会活動やコミュニケーションを分析し、モデル化し、その中での技術の果たす役割を問う時期に来ているのである。端的に言えば、計算機工学の中心は開発技術から利用技術へと移りつつあるのである。

一方、人工知能は人間の知能をモデル化し、計算機上に実現しようとしてきた。人工知能の歴史を振り返ると、決してトップダウンに研究が進められて来たのではないことが分かる。むしろ人工知能の研究は、その時々々の計算機工学と常に同期して進められて来た。記憶装置の高価な時代には探索アルゴリズムが検討され、チェスなどのゲームに応用された。記憶装置が安価になると、知識を蓄え活用するエキスパートシステムが研究された。ネットワークが発達した今日では、協調メカニズムや自己組織化を中心に、分散人工知能やマルチエージェントシステムが研究され始めている。人工知能もまた、ネットワークの発達と呼応して、人々の社会活動やコミュニケーションの

モデル化へと向かっているのである。

本調査報告では、人工知能の視点からネットワーク技術の新たな枠組と応用を議論する。本調査の目的は、モデル化を信条とする人工知能的なアプローチが、今後のネットワーク社会の発展にいかに関与するかを検討することである。

1.2 ネットワークAIとは何か

インターネットによる世界規模の情報の交換、携帯計算機（PDA）を用いたモバイルコンピューティングなど、広域ネットワークの発達、情報システムの応用領域及び開発方法論に大きな変化をもたらしている。広域ネットワークは広帯域、狭帯域ともに発達してきている。前者は光ファイバ、ATM交換機に代表される高速大容量通信であり、インターネットによる世界規模の情報の交換を可能としている。後者は無線LAN、PHSに代表される低速パーソナル通信であり、携帯計算機（PDA）を用いたモバイルコンピューティングが現実のものになり始めている。こうした、広域ネットワークの発達は、情報システムと人間社会の接触面を劇的に拡大し、それに伴い情報システムの応用領域に大きな変化をもたらしつつある。企業内ネットワークが組織内の協調作業を主な応用領域としたのに対し、広域ネットワークの進歩は、より広範な、よりオープンな人間の社会活動を活発化すると考えられる。

図1.2-1に広域ネットワークの知能化に寄与する技術マップを示す。この図は、関連する基盤技術、システム、社会現象を含めて図示を試みたもので、様々な用語を1枚の図に収めている。ネットワークシステムと知識システムの境界から、様々な技術が発生し広がっていく様子が理解されるであろう。本報告書では、こうした技術を「ネットワークAI」と総称する。即ち、ネットワークAIは発展する広域ネットワークを背景に、人間社会を知的に支援する技術の総称である。図1.2-2にネットワークAIが目標とする方向を示す。

- 現時点の主要な通信手段は、音声（電話）と文字情報（電子メール）である。しかしながら、この段階ではネットワークが与える感覚的な現実感が乏しい。また通信が1対1であることもあって、現実社会での発言とは異なり私信の感を拭えない。従って、社会的に有効な発言であるとの現実感が乏しい。
- 感覚的な現実感に優れたものには、例えばディズニーランドがある。仮想的な空間を都市近郊に構築することによって、人々はしばし現実から離れ、楽しみを得ることができる。ネットワーク内にディズニーランドを作ることができれば、感覚的現実感についての目標はほぼ達成されたと言えよう。

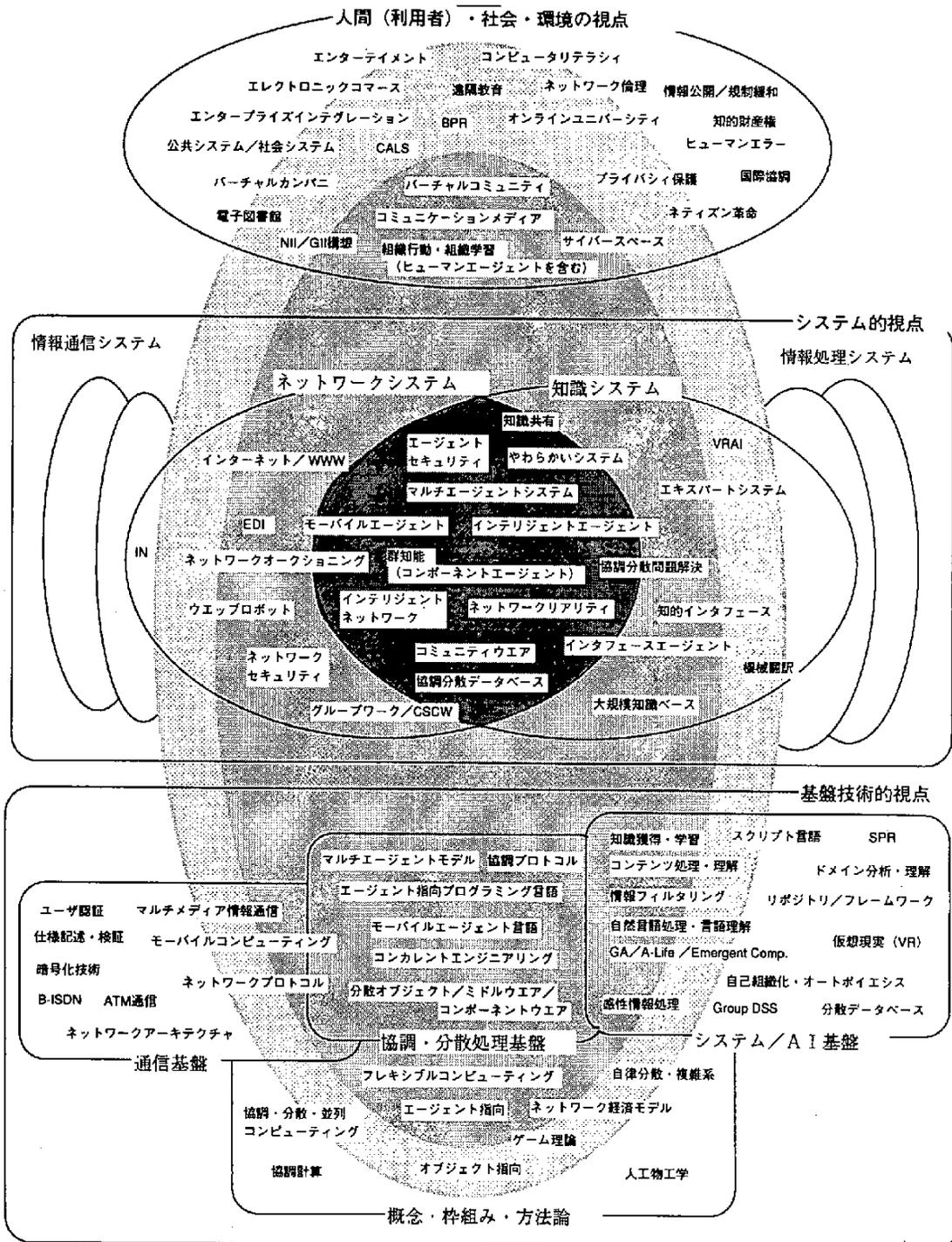


図1.2-1 ネットワーク知能化の技術マップ

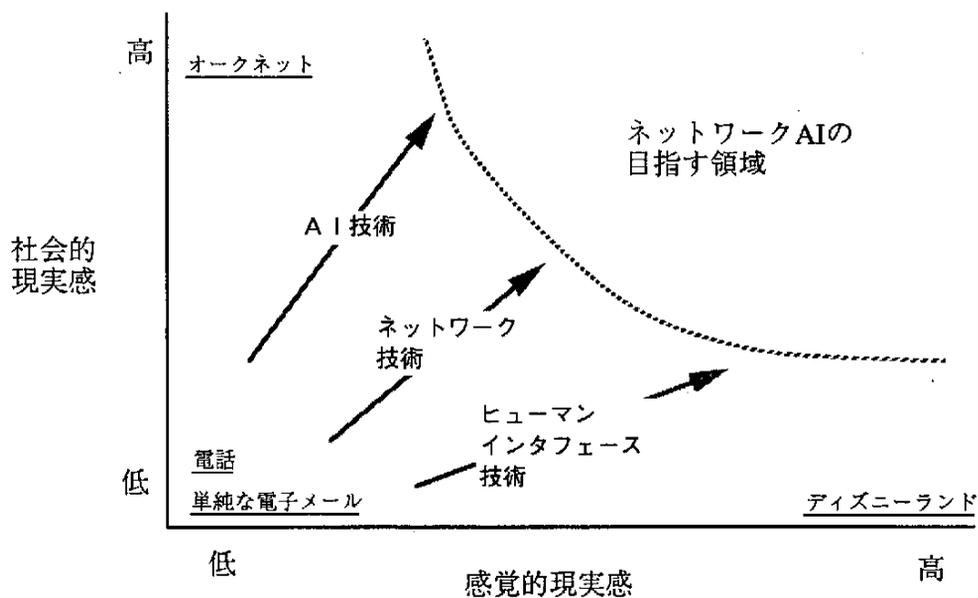


図1.2-2 ネットワークAIとは何か

- 一方、社会的現実感に優れたものとしては、オークネットが知られる。このシステムでは、狭帯域の通信回線を用いて、中古自動車の売買が行なわれる。システムの利用者は相互に信用のおけるグループを形成する。商品に対する共通の認識を有することが僅かな通信量での電子的な取り引きを可能としている。しかしながら、より広範な人々を巻き込むには、感覚的な現実感の強化が必要になる。

ネットワークAIの目指す領域は、感覚的、社会的現実感を共に備えた領域である。広域ネットワークの知的な利用には、その双方の現実感が必要不可欠であり、その実現には、従来のAI技術、ネットワーク技術、ヒューマンインタフェース (Human-Computer Interaction) 技術を総動員する必要があると思われる。

1.3 ネットワークAIの技術

ネットワークAIの技術階層を図1.3-1に示す。従来の物理ネットワークの上に、ネットワークAIの領域が構築される。ネットワークウェアはシステム間の協調的な振舞いを実現するものである。人間と人間をネットワークを介して結び付けるには、さらにパーセプチャルウェアとソーシャルウェアが必要となる。前者は人々に感覚的現実感を、後者は社会的現実感を提供するためのものである。

こうした新しいソフトウェア群の上に、エンタープライズ・インテグレーション、電子商取引（エレクトロニック・コマース）などの応用システムが構築される。サイバー社会の出現である。我々がサイバー社会と呼ぶものは、ネットワークの中だけの仮想社会ではない。オークネットが共通の知識を持つ人々のグループを背景に成立したように、サイバー社会は現実社会を情報ネットワークによって強化拡張した社会であると考えられる。「仮想」と「現実」を対立概念として捉えることは徐々に意味がなくなっていくであろう。社会的現実感が仮想と現実との溝を埋めていくからである。

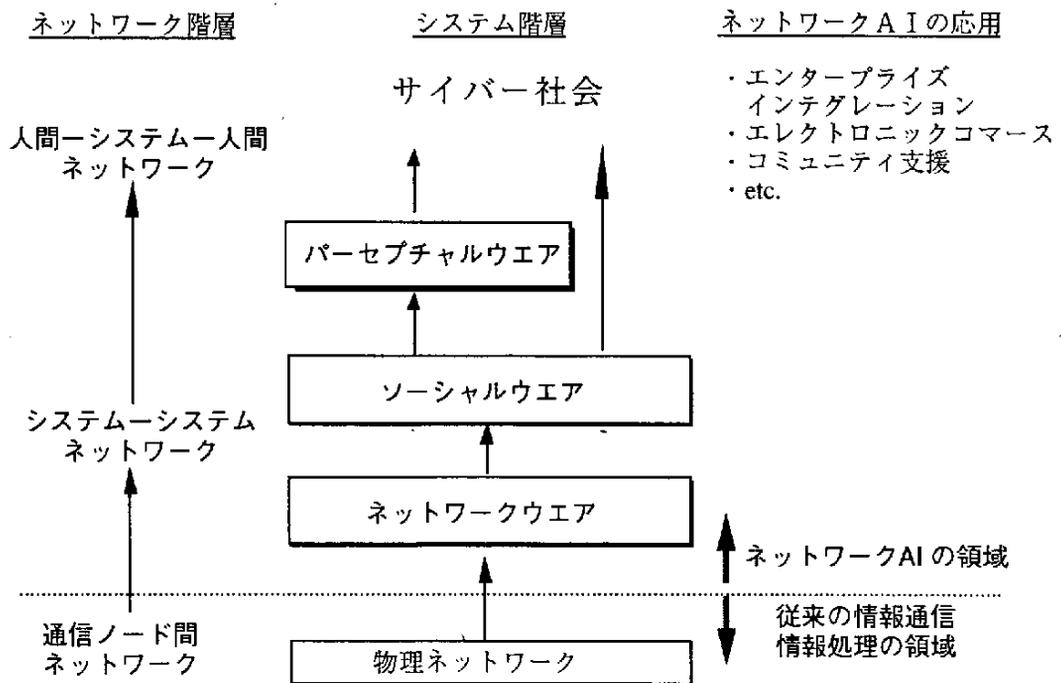


図1.3-1 ネットワークAIの技術階層

パーセプチャルウェア

パーセプチャルウェアは、感覚的現実感を実現するためのソフトウェアの総称である。感覚的現実感を実現する技術としてこれまで仮想現実感（バーチャルリアリティ）技術の研究が行われてきているが、ここでの目標は、物理的な世界と異なる空間を作ろうとするのではない。パーセプチャルウェアは、むしろ人間の視点から、ネットワークと社会の親和性を高めるためのものである。

パーセプチャルウェアの第一の目標は、通信相手の存在感を高めることである。電子メールを例にとろう。電子メールでの議論が、互いの感情を傷つけるまでに激化する現象は良く知られている。本来、言語はよほど吟味しなければ、それだけで意図を相手に伝えることはできない。非同期型の通信しか許されない状況では、言語を補完する情報が何も得られないので、論が成立すると考えるのは、そもそも楽観的である。良く用いられる :-) マークは、感情をシンボル化し、言語での伝達を補完する役割を持っている。パーセプチャルウェアの初期的なものと考えられるだろう。

パーセプチャルウェアの第二の目標は、通信しているグループの、あるいはそれを取り巻く社会の存在感を高めることである。電子メールで会議を行なう際の最大の問題は、十分な発言が得られないことである。通常の会議であれば、議長が発言を促すと、それに応えない状況は起こりにくい。電子メールでの会議では、往々にして議論が漂い、消滅する。議長の発言を促すメールが虚しく流れるのはよくあることである。ネットワークの中では、グループの拘束力、社会的な責務が実感しにくいのだろう。こうした感覚をどう高めていくかが課題となる。

ソーシャルウェア

ソーシャルウェアは、社会的現実感を実現するためのソフトウェアの総称である。ネットワーク上での行為を現実の社会の行為として有効たらしめるためには、現実世界における店舗、市場、広場、地域コミュニティなどを、論理的に模擬することが必要となる。

従ってソーシャルウェアの第一の目標は、世の中の規範を記述し、ネットワーク内で活用することである。例えば、会議の進行には規則がある。提案者が資料を準備し説明した後、質疑が始まる。疑問点が明確となり、賛否が明らかにされていく。こうしたプロセスをネットワーク内で形式的に扱えるようにすれば、大規模な会議を実現

できる可能性がある。

ソーシャルウェアの第二の目標は、ネットワークを用いなければ実現できない新たな社会規範を創造していくことである。例えば、FCC（Federal Communication Commission）による無線電波帯域の割り当てでは、simultaneous multiple round auctionがネットワーク上で行なわれた。このオークションの方式は、価格が決定されるまでに数十回の入札を繰り返すもので、ネットワークにより初めて実現が可能となったものである。ソーシャルウェアが社会を模擬するだけでなく、社会の仕組みを変えていくことが分かる。

ネットワークウェア

ネットワークウェアは、コミュニケーションを支援するツール／システムの総称である。より下層の、基盤となる通信ネットワークの上に位置し、応用プロセス間の機能的な連携や協調動作を支援する。

ネットワークウェアの第一の目標は、利用者の要求に合わせた柔軟なネットワーク環境の提供である。TelescriptやJavaのように、プログラムをネットワーク上で移動させる方式が活発に検討されている。移動しつつあるのはプログラムばかりではない。高速大容量通信によってデータベースを利用者側に移動する方式も提案されている。ネットワーク管理機能も柔軟になりつつある。応用側からネットワーク制御プログラムをルータに送り込み、解釈実行させるという試みも検討されている。利用者にとって「ネットワークは固定的で与えられたもの」という旧来の概念は崩れ、応用に即した柔軟な機能が実現されつつある。

ネットワークウェアの第二の目標は、パーセプチャルウェア、ソーシャルウェアのための共通機能の提供である。例えば、人間社会の契約プロセスをモデル化した契約ネットプロトコルは、応用プログラムに良く用いられている。そうした標準的なプロトコルを、共通機能として組み込むことによって、応用プログラムの開発を容易とする。

1.4 ネットワークAIの応用

図1.4-1に人間社会の組織構造と、対応する主たるネットワーク応用を示す。まず組織構造を2本の軸で表現する。縦軸は、いかに組織が開かれたものかを示す。開かれた組織とは、その構成員が不特定多数であったり、参加に特別の資格（その個人特有の資格）を要しない場合を言う。

閉じた組織の代表的な存在は企業体である。ネットワークの企業内利用は、エンタープライズ・インテグレーションと呼ばれる。企業内の様々な部門のデータベースを統合し相互接続が図られる。インテグレーションは、時として企業間にも及ぶ。多くの企業が共通の目標のために、関連部門をネットワークを介して連結し、バーチャルカンパニーを構成する。

一方、開かれた組織では、共通の目標を達成するという意識は薄れる。むしろ、安全な場を提供して、構成員の利益追求をサポートし、その結果として活力のある社会を実現する方向に向かう。ネットワークを用いた商取引きは、電子商取引（エレクトロニック・コマース）と呼ばれる。開かれた組織での商取引きでは、構成員を保護する仕掛けが必要となる。暗号や符合化技術を用いた、認証、電子マネーなどが検討されている。人々の代理をするソフトウェアエージェントも活躍する。

図1.4-1の横軸は、組織が利潤を追求するか否かを表している。地域でのコミュニティ活動は、非利潤であることが多い。教育や出会いの支援など、ネットワークを介した知的な仕組みが検討されている。地域コミュニティは企業ほど閉じた組織では

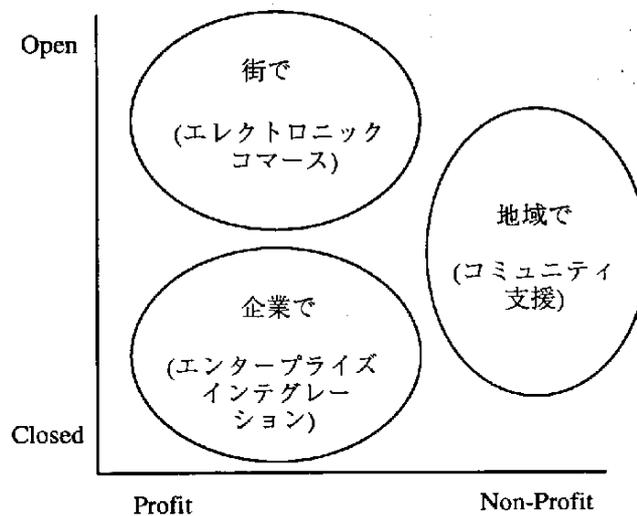


図1.4-1 組織形態とネットワーク上の応用

ない。しかし通常、構成員相互の連帯感を生む何らかの制約が存在する。

以下では、図1.4-1に表すように人間社会の組織を3種に分類し、それぞれをネットワークを用いて支援する試みを報告する。

企業で

ネットワークAIの応用分野として最も身近に感じられる領域は企業内であろう。企業は設計、製造、販売、流通、サービス、経理などの様々な部門から構成され、それらが密接に連携しながら、利潤を追求している。それぞれの部門内でも各構成員が互いに連携しながら個別目標を達成しようとする。また製造部門などにおいては人間組織の中に生産ラインや工作機械が組み込まれている。即ち企業は、多数の人間、機械から成り立つ一つのネットワークであり、その上で行われる問題解決を支援することが重要である。

これまでも企業内では、個人あるいは各部門内での情報処理を支援する様々なシステムが導入されてきた。企業内ネットワークを導入し、電子メール、WWW、グループウェアなど組織を支援することも盛んである。インターネットとの接続により、外部の情報資源も容易にアクセスすることが可能となった。相互接続された情報機器、情報資源をより高いレベルで企業活動に反映させるには、以下のような3種の方向が考えられる。

- その第一は、情報統合と情報獲得支援である。企業内では各部門毎に様々なデータベースが構築され、維持管理されているが、これらを相互運用し全社的に利用可能とする。また外部の情報資源も含めた膨大な量の情報の中から必要なものを的確に抽出し、実時間で提供する技術が必要になる。
- 次にビジネス・製造プロセスの自動化である。企業内で行われているビジネスあるいは製造プロセスをワークフローとして計画立案し、それを監視、制御する技術が必要になる。ただし製造プロセスにおける生産ラインや工作機械の制御手法を、そのままの形で人間の制御に適用することは難しく、インタフェースの工夫が必要である。
- 最後は協調作業支援である。地理的に離れた人々がネットワークを介して協調的に

作業することを支援する。ここでは、どのようなメディアを用い、どのように連携させるかが課題となる。また協調作業を成功させるためのノウハウは必ずしも明示的ではなく、利用者や組織の中に潜在化している場合がある。このような知識をいかに獲得するかは興味深い課題である。

企業でのネットワーク利用は、その業務的な性格のためか、論理を担当するソーシャルウェアが中心となる。パーセプチャルウェアは協調作業支援で役割が期待される。

街で

図1.4-2に商取引の形態の発展の様子を示す。物々交換の時代には、生産者と消費者の区別が希薄であった。今日の貨幣経済に至る工業化の過程で、生産者と消費者の分化が生じたと考えられている。しかしながら情報化が進み、ネットワークを介して商取引が行なわれる近未来の経済では、再び生産者と消費者が混然一体となると予想されている。このときの、経済主体をプロシューマ（prosumer）と呼ぶ。プロシューマはネットワークを通じて縦横に連携する。電子商取引の社会では、組織は従来の階層型の構造ではなく、より平板な構造となる。意思決定が分散化されるため、変化の激しい社会となる。

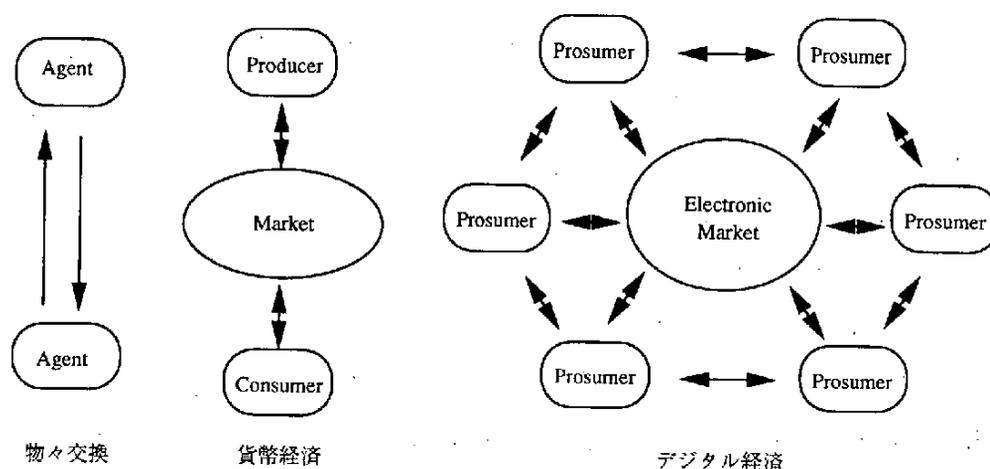


図1.4-2 商取引の進展

商取り引きへのネットワークの導入には、解決すべき様々な問題がある。会ったこともない、居場所も知らない相手との取り引きを円滑に進めるには、相互に信頼できる環境がなければならない。暗号を用いた認証技術は勿論のこと、会員制のグループやリスクを負担するプラットフォームビジネスが必要となる。

街でのネットワークAIの利用は、企業間の取り引きのように論理性の強い側面ではソーシャルウェアが中心となり、一般消費者対象の電子モールのように感性に訴える場合には、パーセプチャルウェアが大きな役割を果たすと考えられる。

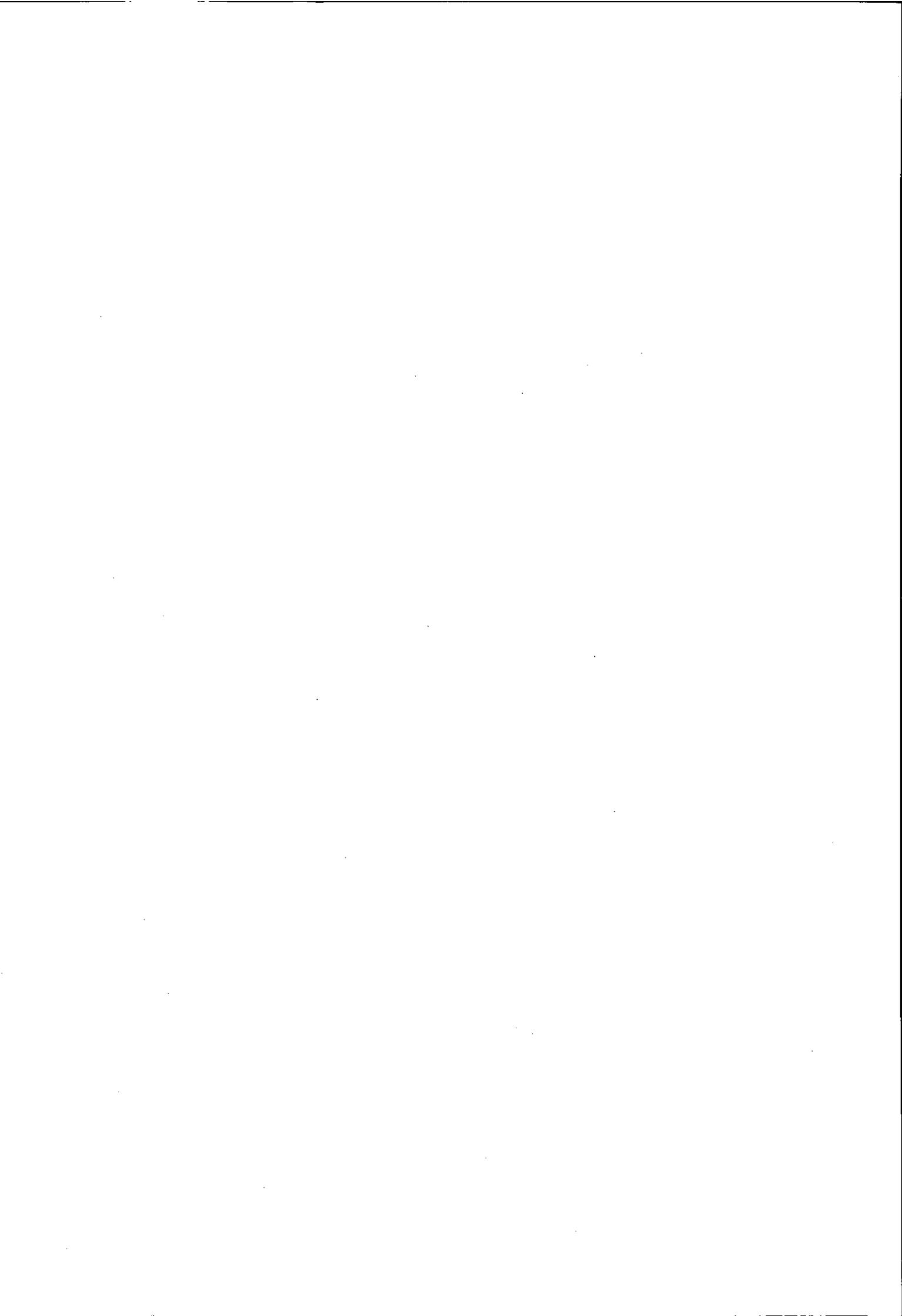
地域で

企業内ネットワークが閉じた組織を支援してきたのに対し、広域ネットワークは十分に組織されていない不特定多数の人々の活動を支援する。例えば災害時における情報通信は、広域ネットワーク技術に期待するところが大きい。ネットワークを用いた協調型の教育システムも現れ始めている。このように、人々の日々の生活を支援するシステムは、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。例えば、地域での活動は個人に還元されるものばかりではなく、地域のあるいは国の行政に影響を与える。情報公開に伴って、ネットワークを用いた地域での行政への直接参加が実現しつつある。

本来コミュニティ (community) は、特定の目的を追求する組織体であるアソシエーション (association) の対置概念で、不特定多数の人々が生活関心を同時に充足する場である。本報告での興味は、コミュニティの形成要因とされる地域性と、広域ネットワークとの関係についてである。一つの方向は、地域を越えたコミュニティの形成で、ネットワークAIが直接的に目標とする方向である。第二の方向は、その裏とも言うべきもので、サテライトオフィスや在宅勤務により、都市にオフィスを集中させる必要性が薄れる結果、居住区を中心に形成される新しい地域コミュニティの発展である。地域を超えた豊かな通信手段が、今後のコミュニティ概念にどのような影響を与えていくかは、興味あるところである。

Hilleryはコミュニティに関する様々な定義を整理し、地域性 (locality)、社会的相互作用 (social interaction)、共通の絆 (common tie) が不可欠の要因であると述べている。さらにMacIverはコミュニティ感情について述べ、我々意識 (we-feeling)、役割意識 (role-feeling)、依存意識 (dependency-feeling) がコミュニティを成立させると述べている。コミュニティを支える要因には、論理もさることながら感情が大切な役割を

示すことが分かる。パーセプチャルウェアの比重が大きい領域であると考えられる。



2. パーセプチャルウェア



2. パーセプチャルウェア

2.1 パーセプチャルウェアとは

2.1.1 サイバー社会の感覚的現実感

ネットワークAI技術などの情報通信技術の発展に伴って、人々の社会活動のあり方が急速な変化を遂げつつある。仮想店舗、在宅勤務、電子商取引、CALS、仮想企業などこれまでにない新しい社会活動のしくみが、マルチメディア通信技術、VR技術、CSCW技術などの機能を利用して、ネットワーク環境の中に成立しつつある。このようなネットワーク技術などにより、いろいろな分野の多数の人間が参加し、これまで物理的現実世界（以下単に現実世界と呼ぶ）で行ってきたのと同様の活動をネットワーク環境で行うためのサイバー社会が形成されつつあり、今後、人間の活動の場の比重が、現実世界からこのようなサイバー社会に移っていくことが予想されている。

サイバー社会とは「多数のネットワーク利用者の共感・合意に基づいて形成される人工的な社会」であり、「仮想現実感に基づきネットワーク環境に構成される仮想世界」である [Bene91]。サイバー社会が提供するサービスを利用することにより、その世界にかかわる人々は、これまでの物理的現実世界のみで活動する場合より、より多くの仕事をこなし、より多くの情報を得ることができ、多くの楽しみを享受できるようになる。このようなサイバー社会を形成するためには、老若男女だれでもこれに参加出来ることが大事な条件となる。すなわち、ネットワークやパソコンなどの専門知識がない一般の人々でも、サイバー社会におけるさまざまな活動が自由にできることが必要になる。

このためには、利用者にとってサイバー社会が現実世界と同様の現実感を持った世界と感じられることが必要である。現実感を持つことにより、現実世界での活動の様式が、サイバー社会でも通用するなど、一般利用者のサイバー社会に対する親和性がかもし出される。サイバー社会が現実世界の状況を常に反映し、逆にサイバー社会での活動の結果が現実世界の状況に正確に反映するならば、利用者のサイバー社会に対する信頼感が形成されるであろう。たとえば、サイバー社会での商取引の結果、現実世界では所有権の移動と対価の授受が確実に成立しているという信頼感が、サイバー社会における商取引の活動を成立させ、発展させるためには重要であろう。

サイバー社会の現実感とは、社会的現実感と感覚的現実感を基本的要素として、これらを組み合わせることにより得られる。社会的現実感とはサイバー社会に参加する人間の間で共有される合意により形成される論理的現実感であり、この論理的現実感に基づいてサイバー社会の環境やものが定義される。社会的現実感に関しては3章で詳しく説明されている。一方、感覚的現実感とは、これらの環境やものに対して、知覚や感性を用いて、論理的に表現できない現実感の部分を個々の利用者ごとに形成する役割を持つ。すなわち、感覚的現実感とは利用者個人とサイバー社会のインタフェースの感覚的側面を強化する役割を持つ。

2.1.2 パーセプチャルウェア

パーセプチャルウェアとは、サイバー社会の感覚的現実感を実現するための装置およびソフトウェアの総称である。人々は、このパーセプチャルウェアを通して、感覚的現実感が強化されたサイバー社会に参加する事ができる。

たとえば、サイバー社会の仮想店舗の一つとしてブティックが建設されていて、このような仮想ブティックに利用者が自分のブレザーを購入する状況を考える。ブティックの機能に基づいたレイアウトや、そこで販売されている商品のリストとそれぞれの論理的情報はソーシャルウェアで定義され、データベースなどの情報/知識として蓄積されている。利用者は、このブティックの論理的表現である販売する商品のデータベースを検索し、これから希望のブレザーを選び出し、売買契約を行い、クレジットなどで支払いをして、その結果、宅配便などにより注文したブレザーを手に入れることができるものとする。

この例において、ソーシャルウェアが定義する社会的現実感とは、サイバー社会の利用者の上記の行為を、現実世界の論理的なメタファを利用することにより支援している。しかし、これだけでは利用者が満足できるブレザーを正しく選択するためには不十分である。なぜならば、利用者は買い物をする際に、注文すべきブレザーの正確な情報をあらかじめ完全に決定しているわけではなく、またおおよそのイメージが分かっている場合でも、その人の嗜好、感性、気分などの感覚的情報を明確な論理的情報として表現できない場合が多いからである。

現実世界では、自分の好むブレザーを手に入れるために、それぞれ特徴や雰囲気の違いのある何軒かのブティックを覗き、ブレザーのデザインや布地の素材を自分の視覚や触覚などの五感を用いて調べ、そこに陳列されているたくさんのブレザーの中から自分

の感性に合ったものを選択する。この際、ブティックのインテリアやBGM、あるいは店員との相性などは、客の感性を刺激して、その人の感性にとってより好ましい選択をするための重要な要素となるであろう。

パーセプチャルウェアは、ブティックのインテリアによる嗜好の表現情報、BGM効果、店員の性格や感性などの非定形な情報を、感覚を通してサイバー社会の利用者に直接与えたり、センサーや対話モジュールを通して利用者から獲得するための装置やソフトウェアである。さらに、ブティックで利用者に対応する店員（ソフトウェアエージェント）が、客の感性を認識し、ブレザーに関する感性情報に基づいて、客の要望に適合したブレザーを選択するための知識・データもパーセプチャルウェアである。

以上の例で示したように、パーセプチャルウェアは、ソーシャルウェアが提供する論理的現実感に対して、感覚的現実感を加えることにより、サイバー社会の環境やその構成要素の現実感を強化することにより、サイバー社会の親和性、信頼性、活動の容易性を実現する。

2.1.3 サイバー社会の感覚的現実感を形成するための要件

パーセプチャルウェアを特性化する一つのアプローチとして、パーセプチャルウェアが提供する感覚的現実感を実現するための要件を明確化することが必要になる。感覚的現実感を実現するために、もっとも貢献する技術として仮想現実技術がある。仮想現実技術により構成する仮想世界は仮想空間と呼ばれる。Zeltzerは、仮想空間に現実感を形成するための要件としてPresence、Interaction、Autonomyをあげている [Zeltzer92]。

Presenceとは人間の感覚器に物理的現実世界で入力される刺激と同等の情報を与えることにより得られる現実感である。Interactionは認識している対象に対して物理的現実世界と同等な感覚で操作が行えることにより得られる現実感である。すなわちInteractionは、presenceにより表現されている対象に対して、操作とそれに伴う反応による双方向感により得られる現実感である。例えばフライトシミュレータなどではこのInteractionに関する現実感が実現されている。Autonomyは対象物がある世界の中で自律的に行う行動の現実感である。対象物は、それが存在する世界の中で論理的に一貫した振る舞いを行い、その世界での制約とその振る舞いは整合が取れていると感じることにより、人間はその世界と対象物に対して現実感を感じる。人工的に現実感を生成するための枠組みとして図2.1-1の図式が提案されている [広瀬93]。ディスプ

レーサブシステムとはシミュレーションサブシステムの結果を人間の知覚に刺激を与える装置である受容器への適切な信号に変換するシステムである。また、センササブシステムとは、人間が知覚した、仮想空間におけるオブジェクトに対する操作行為を検知する装置である効果器からの信号をシミュレーションサブシステムへの情報に変換するシステムである。

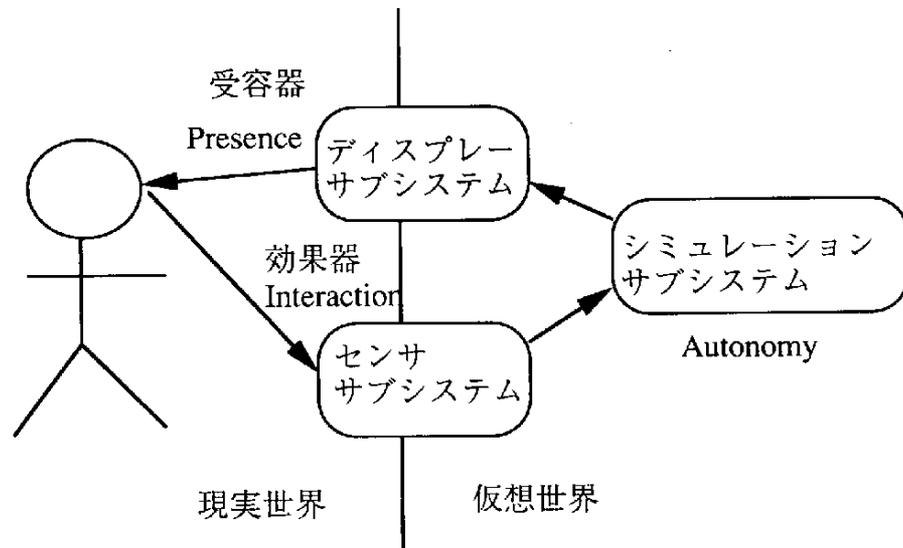


図 2.1-1 人工的に現実感を生成するための枠組み [広瀬93]

図 2.1-1 に示す仮想現実が一人の利用者とシステムの間で形成する現実感であるのに対して、サイバー社会の感覚的現実感とは、多数の人間が同時並行的にそのサイバー社会に参加し、彼等の中にその世界を共有するという共感を形成するところに特徴がある。さらに、サイバー社会には人間の活動を支援するさまざまなソフトウェアが存在し、人間はこれらと相互作用を持ちつつ自分が必要とする作業を進めていく。人間がこれらのソフトウェアとの相互作用を、スムーズに進めていくためには、これらのソフトウェアを擬人的なエージェントとみなすことが便利となる。すなわち、サイバー社会の感覚的現実感のなかには、人間と人間あるいは人間とエージェントの間の共生感を形成することも重要である。これはAutonomyの概念と強く関係するが、ここではあえて、前記の3項目に加えて、4つ目の性質としてSymbiosis（共生感）を加える。すなわち、サイバー社会の感覚的現実感を実現する要件として、以下の4つの性質を実現することが必要となる。

- (a) 現存感 (Presence)
- (b) 双方向感 (Interaction)
- (c) 自律感 (Autonomy)
- (d) 共生感 (Symbiosis)

図2.1-2はサイバー社会を実現するために必要な機能を模式的に表している。物理的ネットワークのさまざまな機能を統合し、高度なコミュニケーション機能を提供するソフトウェア/ミドルウェア/ハードウェアの総体がネットワークウェアであり、サイバー社会の論理的モデルに基づいてサイバー社会の論理的シミュレーションを実現するソフトウェアの総体がソーシャルウェアであり、ソーシャルウェアが定義する論理的オブジェクトやソフトウェアエージェントに対して必要な感覚的現実感を実現するソフトウェア/ハードウェアの総体がパーセプチャルウェアである。パーセプチャルウェアの共生感実現機能は、ソーシャルウェアの機能やネットワークウェアの機能を利用して、ネットワーク環境の中に利用者の間や、ソフトウェアエージェントの間

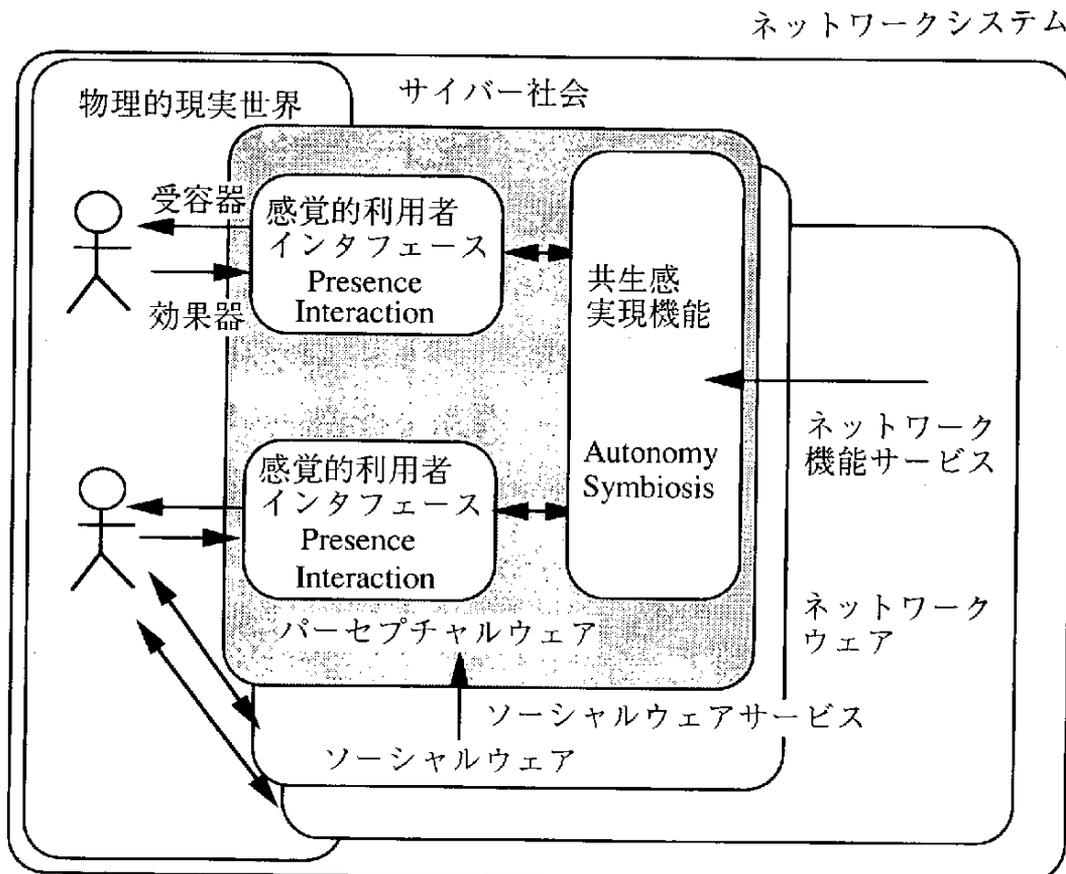


図2.1-2 サイバー社会の感覚的現実感を生成するための枠組み

の共生感を実現する役割を持つ。

パーセプチュアルウェアは個々の利用者がサイバー社会の感覚的情報を受容し、サイバー社会に対して操作意図を伝えるための利用者インタフェース機能と、この個々の感覚情報の全体を、ソーシャルウェアが定義する社会性の中に統合し、その構成要素である利用者やソフトウェアエージェントの間の、親和感や信頼感を生成する機能である共生感実現機能から構成される。利用者インタフェース機能では主に現存感と操作感を実現し、共生感実現機能では主に自律感と共生感を実現する。自律感と共生感は、ソーシャルウェアが実現しているサイバースペースの論理的モデルの自律性および共生性を、利用者が直感的に理解し、これを利用して、サイバー社会における活動を容易に行うための、感覚的現実感を実現する重要な要素である。

参考文献

[広瀬95] 広瀬通孝, バーチャルリアリティ, オーム社, 1995.

[Bene91] Benedikt M, "Cyberspace: First Step", Cambridge, MA, MIT Press, 1991.

2.2 パーセプチャルウェアを支える技術

2.1節で述べたようにサイバー社会の感覚的現実感を実現するために、図2.1-2に示したような現実世界とソーシャルウェアの間の感覚的インタフェースを形成するのがパーセプチャルウェアであり、これらを実現する技術がパーセプチャルウェア技術である。パーセプチャルウェア技術は主に、ヒューマンインタフェース技術、自然言語処理技術、感性処理技術、仮想現実技術、エージェント技術、協調技術などの領域技術を用いて実現される。これらの技術は、それぞれ独立した分野としてこれまで多くの成果を上げてきている。パーセプチャルウェア技術はこれらの技術が実現する機能を、サイバー社会の感覚的現実感の視点から切り出して、整理統合してできる技術体系である。

図2.1-2に示すようにパーセプチャルウェア技術は、現存感と双方向感を実現する利用者インタフェース機能のための技術と、自律感と共生感を実現するために個々の利用者インタフェースの感覚的情報を統合し処理するための技術に分かれる。

A. 利用者インタフェース機能を実現する技術

利用者インタフェース機能は、サイバー社会に参加する個々の利用者の為のインタフェースを実現する機能であり、主にヒューマンインタフェース技術と感性処理技術を利用して実現される。これらの技術が実現するパーセプチャルウェア機能を列挙する。

(1) ヒューマンインタフェース技術

ヒューマンインタフェース技術が実現するパーセプチャルウェア機能は以下のものである。

・利用者エージェント機能

利用者とソーシャルウェアの間の知的インタフェース機能を実現する。たとえば、個々の利用者のあいまいで不完全な要求を理解し、それをソーシャルウェアが処理可能な情報形式に変換する。あるいは、処理結果としての論理的情報を、直感的に理解しやすい情報形態に変換する役割を持つ。自然言語機能、対話理解機能などもこれに含まれる。

・視覚化機能

ソーシャルウェアが定義するサイバー社会の構造や環境を視覚化して、個々の利用

者にとって必要な情報をわかりやすく表示する。仮想現実技術に関係する。

- ・ユビキタスインタラクション機能

ディスプレイやセンサを現実空間に分散させ、いつでもどこでもサイバー社会と相互作用を行えるようにするための技術である。携帯端末技術なども重要な技術要素である。

(2) 感性処理技術

利用者インタフェースにおいて、ヒューマンインタフェース技術がソーシャルウェアと利用者との間の表層的・客観的な情報の表現や獲得を行う技術であるのに対して、感性処理技術では、論理では表現できない深層的・主観的情報の表現や獲得を行うことを目的とする技術である。図2.1-2の利用者インタフェースには感性処理技術が組み込まれる事により、利用者とソーシャルウェアの間にはより強い感覚的現実感が実現できる。感性処理技術が実現する機能は以下のものである。

- ・個性表現機能

情緒、嗜好、コンサートやアミューズメントなどにおける個人的主観に基づく感情表現を個人に知覚させ、あるいはそれを獲得することにより現存感と双方向感の感覚を強化するための機能である。

- ・社会的感性表現機能

サイバー社会の環境や、その構成要素となるものや道具に関する公共的主観に基づく感情表現を個人に知覚させ、あるいはそれを獲得することにより現存感と操作感の感覚を強化するための機能である。

B. 共生感実現機能を実現する技術

共生感実現機能は、利用者インタフェースとソーシャルウェアとの間で論理情報や感覚情報を変換するインタフェース機能であることと、サイバー社会の自律感とこれに参加する人間間や人間とソフトウェアの間の共生感を実現するための技術であり、主に仮想現実技術と共生感技術を利用して実現される。これらの技術が実現する機能を列挙する。

(3) ネットワーク型仮想現実技術

仮想現実技術が実現する機能は以下のものである。

- ・遠隔地の情報をネットワークを用いて、利用者にとってあたかもその環境の中に実

在して行動をおこなえるかのような臨場感を実現する。

- ・ソーシャルウェアが表現しているネットワーク社会のモデルを、人間にとってあたかも実在する現実世界であるかの様に知覚させるためのメディア、コンテンツを制御する機能である。

- ・ヒューマンインタフェース機能が提供する個々の利用者と直接相互作用を行う装置群を制御する機能を用いて、サイバー社会の環境の感覚的現実感である自律感を表現する機能である。現存感や操作感に関してはヒューマンインタフェース機能で扱うこととする。

(4) 共生感技術

共生感技術が実現する機能は以下のものである。

- ・擬人的エージェント技術

利用者との対話における迫真性を実現するには、インタフェースエージェントの技術で実現される論理性、機能性に加えて、その振る舞いに感情を移入できる感性を処理する擬人的エージェントの技術が必要である。これにより、利用者の共生感を獲得したり、ソーシャルウェアのエージェントの情報に感性をつけ加えより迫真的な表現を行う機能を実現する。

- ・共感形成技術

サイバー社会に形成される企業などの組織や自発的に形成されるコミュニティで活動する人間どうしの共感や協調的関係を表現し制御する機能

以下これらの技術について説明を加える。

参考文献

[Zeltzer92] Zelter, D., Autonomy, Interaction and Presence, PRESENCE, Vol.1, No.1, pp.127-132, 1992.

2.3 ヒューマンインタフェース技術

(1) 利用者エージェント

コンピュータは、高速の計算能力を持ち、大量の知識やデータを記憶し、それを整理して自由に検索する能力を人間に与える。このようなコンピュータは、利用者の要求を完全に伝えなければ目的とする動作を行えず、間違いや曖昧さを許さない。このままでは、サイバー社会で提供する優れた情報処理機能を使いこなすために、利用者には多くの利用知識や作業が必要である。現実世界では、不完全で曖昧な表現でも目的とする事を人に伝えることができるが、サイバー社会ではその行動様式が通用しないとすると、一般利用者がサイバー社会に参加するうえでの大きな障害になる。

利用者エージェントとは、システムと利用者の中に介在して利用者のさまざまな活動を支援するソフトウェアエージェントであり、利用者インタフェースを高度化するための技術として関心が高まっている [木下95]。これらのエージェントは、簡単な利用者支援機能から、高度な学習機能を持ち利用者の直接的に言明された要求を理解するだけでなく、暗黙的な要求を獲得するものまで、幅広い水準でエージェント技術の応用が試みられている。

簡単な利用者支援を行う利用者エージェントの例としては、従来の単純なヘルプ機能を上回るチュータリング/ガイド機能を持つマイクロソフト社のWizardや、アップルコンピュータ社のGuides [Oren90] などが上げられる。

また、コンピュータ利用者の作業を監視して利用者には有用と推測されるサービスを提供するインタフェースエージェントEager [Cypher91] や、部屋のレイアウト設計の知識に基づいて設計者に助言を提示するCritics [Fisher91] などが研究されている。

さらに高度な利用者エージェントとして、利用者の操作状況や利用者には与えられた情報に基づいて学習する利用者エージェントが、電子メールの操作支援、会議スケジュールの設定、ネットニュースフィルタリングなどの作業を支援する機能の研究が進められている [Maes94]。

これらの研究に加えて、サイバー社会の実現にむけて利用者エージェントが持つべき重要な機能は、ソーシャルウェアが提供するさまざまな論理的機能を、利用者エージェントが理解し、利用者の要求を実現するために、利用者に代わってそれらの機能を使いこなすための知識を持つことである。すなわち、利用者の必要とする情報に対して、これを処理・取得する手段を推定し、利用者エージェントがこの手段を実現可能なソーシャルウェアの機能を呼び出す事ができれば、利用者にとって、サイバー社

会で活動するための負担が大きく軽減される。これにより利用者は、物理的ネットワークで有機的に統合されている膨大な資源を有するネットワークの世界を、容易にそして安心して利用することができ、このことが現実世界に生きる利用者が、その活動をサイバー社会に拡張させるための大きな動機と親和感を与える。

(2) 視覚化機能

サイバー社会では、人間や情報処理を行う機能を持つソフトウェアエージェントは化身（アバター）として視覚化されるであろう。利用者はこれらの化身と会話などの相互作用を行い、その中でサイバー社会におけるさまざまな活動を行うことができる。一方、これらの化身が活動する環境の実体は、コンピュータ、ファイルシステム、プログラムや通信システムである。これらの実体に対する論理的機能や相互関係は現実世界のメタファを用いてソーシャルウェアにより実現されるが、利用者がこれを利用するためには、それらのソーシャルウェアのメタファをパーセプトチャルウェアを通して感覚的に認識できなくてはならない。このために最も主要な感覚は視覚であり、サイバー社会の環境を表現するためには視覚化技術を利用しなくてはならない。

視覚化技術により、これまで数値的なデータとしてしか表現されてこなかったさまざまな科学技術計算やシミュレーションの結果が、コンピュータグラフィック技術を用いて3次元画像として表現でき、分子や原子レベルの現象や宇宙規模の現象が直感的に理解できるようになり、この領域の研究が飛躍的に発展した。あるいは人工生命などのように現実には存在しない架空の現象も、現実感を有するものとして視覚化することにより、人工生命が持つ性質をより直感的に理解できるようになってきた。また、架空の物語の世界の中で架空の人物となって冒険を行うコンピュータゲームにおける現実感は、サイバー社会の感覚的現実感を実現するための技術が、技術的にもコスト的にも実用段階に向かいつつあることを示している。また、サイバー社会の環境を構成する要素であるソフトウェアの構造や性質を視覚化する事は、その機能や利用法を感覚的に理解する上でも重要であり、サイバー社会を構築し維持するために有効な技術である [朱97]。

(3) ユビキタスインタラクション機能

ユビキタスコンピューティングはゼロックス社の研究グループにより提案された概念で、いつでもどこでもコンピュータのサービスを受けられるように、生活のさまざまな場にコンピュータにアクセスできるインタフェースを組み込む技術である

[Weiser93]。オフィスの机だけではなく、街角を歩いていて突然ある情報が必要になったときも、すぐにコンピュータにアクセスすることができる。家庭でも、居間でくつろいでいるときにテレビ番組の情報や予約のサービスを受けることができ、台所や入浴中でもコンピュータにアクセスすることが可能になる。モバイルコンピューティングもこのユビキタスコンピューティングの概念を実現する手段の一つである。

このようなインタフェース技術は現実世界とサイバー社会をつなぐための必須の技術となる。現実世界のいたる所で、サイバー社会に容易にアクセスできることは、現実世界での活動とサイバー世界での活動をシームレスにするために重要である。

参考文献

- [木下95] 木下, 菅原, エージェント指向コンピューティング, ソフト・リサーチ・センタ, 1995.
- [Oren90] Oren, T., et. al., Guides: Charactering the Interface, in Laurel, B. ed., The Art of Human Computer Intergace Design, Addison-Wesley, 1990.
- [Cypher91] Cypher, A., Eager: Programming Repetitive Tasks by Example, Proc. CHI'91, pp.33-40, 1991.
- [Fisher91] Fisher, G., et. al., The Role of Critiquing in Cooperative Problem Solving, ACM Trans. Info. Sys, 9(3), pp.123-151, 1991.
- [Maes94] Maes, P., et. al., Agents that Reduce Work and Information Overhead, CACM, 3(7), pp.31-40, 1994.
- [Weiser93] Weiser, M., Ubiquitous Computing, IEEE Computer, Vol.26, No.10, pp.71-72, 1993.
- [朱97] 朱慧珠, 小池英樹, 3次元視覚化を利用したバージョン管理とモジュール管理の統合, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.1, pp.55-62, 1997.

2.4 感性処理技術

社会的現実感が表現するサイバー社会の現実感は、多数の人間の間の客観性、一意性、普遍性、再現性を保証することにより得られる論理的現実感であるのに対して、感覚的現実感、主観性、多義性、曖昧性、あるいは状況への依存性に基づいて得られる現実感である。これは、その個人が生きてきた現実世界の経験やサイバー社会での経験により形成される感性に基づくものであり、これを処理するパーセプチュアルウェアにより個々のインタフェースで実現される機能である。

これらの感性情報は、特定個人の個性に基づいて定義される感性情報と、あるコミュニティに広く受け入れられ共有される感性情報とに分けられる。

(1) 個性表現技術

個人的感性情報である個性の極端な例は、芸術家の持つ感性である。著名な画家の持つ色彩やデッサンの表現力や、演奏家の持つ演奏技術などをサイバー社会に対して表現するときは、個人的感性の表現力であり、サイバー社会でこれを観賞するときの好き嫌いの感情は個人的感性の受容性である。このような感性をサイバー社会において表現し、サイバー社会に属するものや道具から受容するためには、利用者インタフェースにおいて感性をなんらかの尺度に基づくデータに変換し、パーセプチュアルウェアとして蓄積・利用しなければならない。

感性情報は以下の4つの形態的に分類される [井口94]。

- ・シンボルにより表現される感性情報。たとえば「すがすがしい」とか「暖かい」とかの形容詞で表現される感性情報。
- ・パラメータにより表現される感性情報。数値や程度により表現される形容詞の組み合わせにより表現される他次元のベクトル空間の点として表現される感性情報。例えば、「少し寒いがとてもすがすがしい朝」などの表現。
- ・パターンとして表現される感性情報。パラメータでは表現できない感性情報であり、たとえば、楽器の音色、物の質感、量感などがある。
- ・人間の心の中に湧くイメージとしての感性情報。心の中では視覚的あるいは聴覚的形象を持っているが、具象的には表現できない直感やひらめきなどの感性情報で、現段階ではデータ化することは困難である。

このような感性情報は、例えばバーチャルショッピングモールのブティックで服を買う場合、店員にたくさん陳列されている服からどれが似合うのかを相談する場合、店員（例えばソフトウェアエージェント）が客の好みを理解し、その好みに適合する服を選択し、これがその客に似合うことを説得するためには、感性に関する情報処理能力が必要である。また、客もその服の着心地、布の肌触りなど、形状以外の多くの感性情報を得ることが必要である。

(2) 社会的感性表現技術

サイバー社会における感性情報には、あるコミュニティ特有のものがある。例えば、虹の色については日本人は7色と答えるが、3色と答える文化圏もあるし5色と答えるコミュニティもある。すなわちソーシャルウェアの中で「虹」というシンボル情報で蓄積されているオブジェクトを利用者インタフェースで表現するときには、そのコミュニティで共有される感性情報に基づいて表現しなくてはならない。あるいは、「わび」や「さび」など日本人特有の感性もあり、ソーシャルウェアで定義する環境やオブジェクトの論理機能を、利用者それぞれの感覚的現実感に基づいてそれらを利用者インタフェースで表現するためには、コミュニティごとに特有の感性情報を処理する機能を必要とする。

参考文献

[井口94] 井口征士他, 感性情報処理, オーム社, 1994.

2.5 ネットワーク指向仮想現実技術

仮想現実（バーチャルリアリティ）という言葉は、1989年にLanierらにより使われ、「計算機によって、人工的に合成された現実世界」という意味を表している [広瀬95]、それ以前には、Kruegerらにより使われた人工現実感（アーティフィシャルリアリティ）など現実感を扱うたくさんの研究が行われてきた [Krueger83]。仮想現実技術は、サイバー社会の現実感を実現する上で、特に重要な技術である。一般に、仮想現実が対象とする技術は、ヘッドマウントディスプレイやデータスーツなどの、感覚を刺激したり動作の情報を獲得する特殊な装置と、高速なコンピュータグラフィクス機能を持つコンピュータシステムを利用して、実際には存在しない仮想的な世界を、現実世界のように感じさせる技術である。

仮想現実技術を、ネットワークシステムにより接続された多地点の間で構成する仮想現実とスタンドアロンで動作する仮想現実に分類する。前者の仮想現実をネットワーク型仮想現実とよぶ。本節ではネットワークAIの視点から、前者のネットワーク型仮想現実焦点をあて、この分野の主な技術について述べる。

(1) テレプレゼンス技術

遠隔地に分散する複数のマルチメディア端末装置をネットワークにより接続し、ある目的に基づいて複数の人間が協調作業を行う仮想環境を構成する技術である。オフィス作業を支援する目的のチームワークステーションが開発されている [石井94]。

(2) テレイグジスタンス技術

遠隔の地点の情報をネットワークを用いて伝達し、またその地点のオブジェクトをネットワークを用いて制御することにより、その状況を高い臨場感のもとで再合成する技術である。極限環境で活動するロボットの制御や [館92a]、協同設計において遠隔地の対象物をあたかも手元にあるように体感するシステムなどさまざまな応用が提案されている [館92b]。

(3) 仮想空間構成技術

仮想現実をネットワーク技術を用いて多人数、多地点に拡張する技術である。ゲームなどで用いられているマルチユーザダンジョン (MUD)、人間どうしのコミュニケーションを支援するHabitat、仮想美術館、仮想博物館などがある。

参考文献

[広瀬95] 広瀬, バーチャルリアリティ, オーム社, 1995.

[Krueger83] Krueger, M., *Artificial Reality*, Adison-Wesley, 1983.

[石井94] 石井裕, CSCWとグループウェア, オーム社, 1994.

[館92a] 館, 前田, 人工現実感を有するテレイグジスタンスロボットシミュレータ, 電子情報通信学会論文誌, D-II, vol.J75-D-II, No.2, pp.179-189, 1992.

[館92b] 館, 人工現実感, 日刊工業新聞社, 1992

2.6 共生感技術

共生感技術とは、人間とソフトウェアエージェントによりネットワーク環境に構築されるサイバー社会において、親和感、信頼感に基づいて協調作業を行う相手との協調作業を促進しこれを安定して維持するための感覚的現実感を構成する技術である。これは図2.1-2に示すようにソーシャルウェアが提供する論理的な機能を個々の利用者インタフェースに分配し、逆に個々の利用者インタフェースから与えられる情報を社会慣習や通念のもとに統合し、論理的情報としてソーシャルウェアに伝えるインタフェースの役割を果たす機能である。

共生感技術には、個人がサイバー社会のエージェント共生するための擬人的エージェントを構成する技術と、サイバー社会に参加する人間の組織形成や運営を支援する技術がある。

(1) 擬人的エージェント

インタフェースエージェントとは、システムと利用者の中に介在して利用者のさまざまな活動を支援するソフトウェアエージェントである。利用者エージェントは、不完全さや曖昧さを補い、利用者の作業の代行を行う。しかし、現実世界ではさらに、気が利くとか、優しいとか、相性が良いとか人間の間での協調を促進する性質を持つ機能が存在する。このように人間の感性を理解し、それを表現することのできるエージェントを擬人的エージェントとよぶ。

擬人的エージェントは人間の感性や情動的側面を理解するための内面的擬人性と、表情、口調、視線、身ぶりなど感性を表現する外面的擬人性を持つことが必要になる [西田97]。外面的擬人性はサイバー社会で他の利用者やエージェントとの対話時において発生すると考えられている心理的抵抗を軽減するだけでなく、論理的な言葉では伝達できない種類の情報を伝え、サイバー社会の構成メンバーとしての共感を得るために重要である。

さらに高度な擬人的エージェントとして、人間社会における習慣、社会通念や社会規範を理解し人間社会に自然にとけ込むことのできる社会エージェントの提案が行われている [nagao94] [長尾96]。また、舞台における俳優として逼真的演技を行う擬人的エージェントの研究も行われている。これはビリーバブルエージェントとよばれ、アミューズメントや教育の分野で対話を楽しむために使われる [Tosa95]。

(2) 共感形成技術

サイバー社会に形成される人間やソフトウェアエージェントにより形成される組織には、企業のように共通の目的を有するメンバーにより構成され定型的業務を行う組織と、地域住民のコミュニティの様に目的や行動様式が統一されていない非提携な組織とに分類される。このような組織に関する論理的機能はソーシャルウェアで提供される。この組織で活動する上での信頼感や義務感などの共生感は感覚的現実感として形成される。

定型的組織では、組織におけるワークフローや作業を担当する人間あるいはエージェントは決まっており、ワークフローを実行する過程での協調の仕方や、競合が発生した場合の解消方式はほぼ与えられている。従って、空間的にも時間的にも分散したメンバーにより、プロジェクトを形成し、その作業スケジュールを計画し実施する技術はグループウェア技術やコンカレントエンジニアリング技術として、確立した技術領域になりつつある。例えば、あらかじめ定められた会議を空間的に分散するメンバーにより効率よく実施することを支援するツールであるMERMAIDなどが提供されている [Watanabe90]。

一方、非定型のコミュニケーションに基づいて形成され運営される組織はコミュニティと呼ばれるが、非定型の組織ではサイバー社会の不特定の参加者の偶然の出会いにより会話が始まりその結果、あらかじめ想定されない協調作業が発生する [石田97]。このように、偶然の出会いにおける会話と協調作業を支援するシステムとしてFreeWalkなどが試作されている [Nakanishi96]。

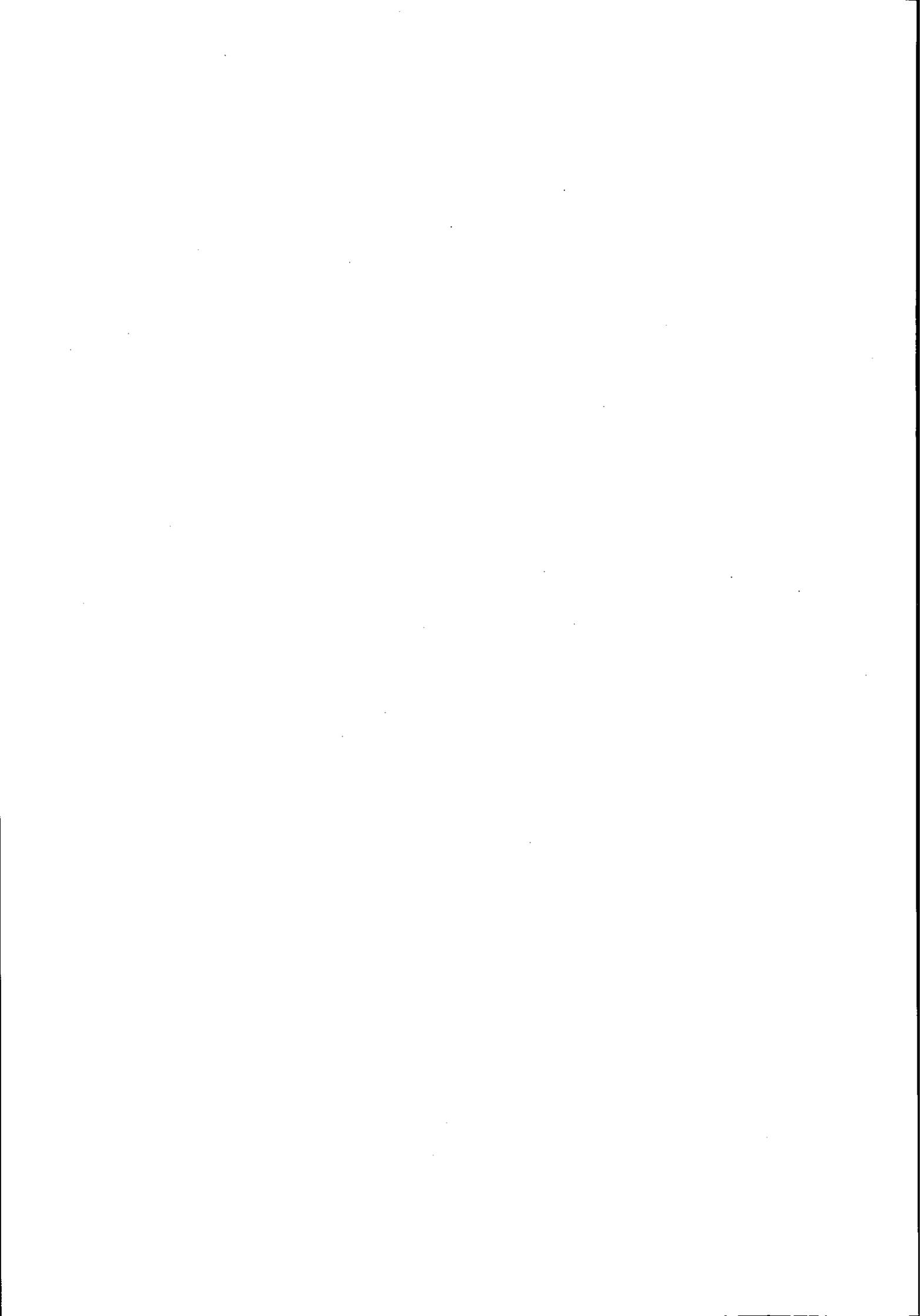
参考文献

- [西田97] 西田豊明, ネットワーク社会とエージェントー擬人化された人工システム, 情報処理, 38巻1号, pp10-16, 1997.
- [nagao94] Nagao, K., et.al., Social Interaction:Multimodal Conversation with Social agents, Proc. of AAI-94, PP.22-28, 1994.
- [長尾96] 長尾確、マルチモーダルインタフェースとエージェント, 人工知能学会誌, Vol.11, No.1, PP.32-40, 1994.
- [Tosa95] Tosa, N., Network Neuro-Baby with Robotics Hand, In Anzai Ed., Symbiosis of Human and Artifact, pp.77-82, Elsevier Science B.V., 1995.
- [Watanabe90] Watanabe, K., et.al, Distributed Multiparty Desktop Conference System

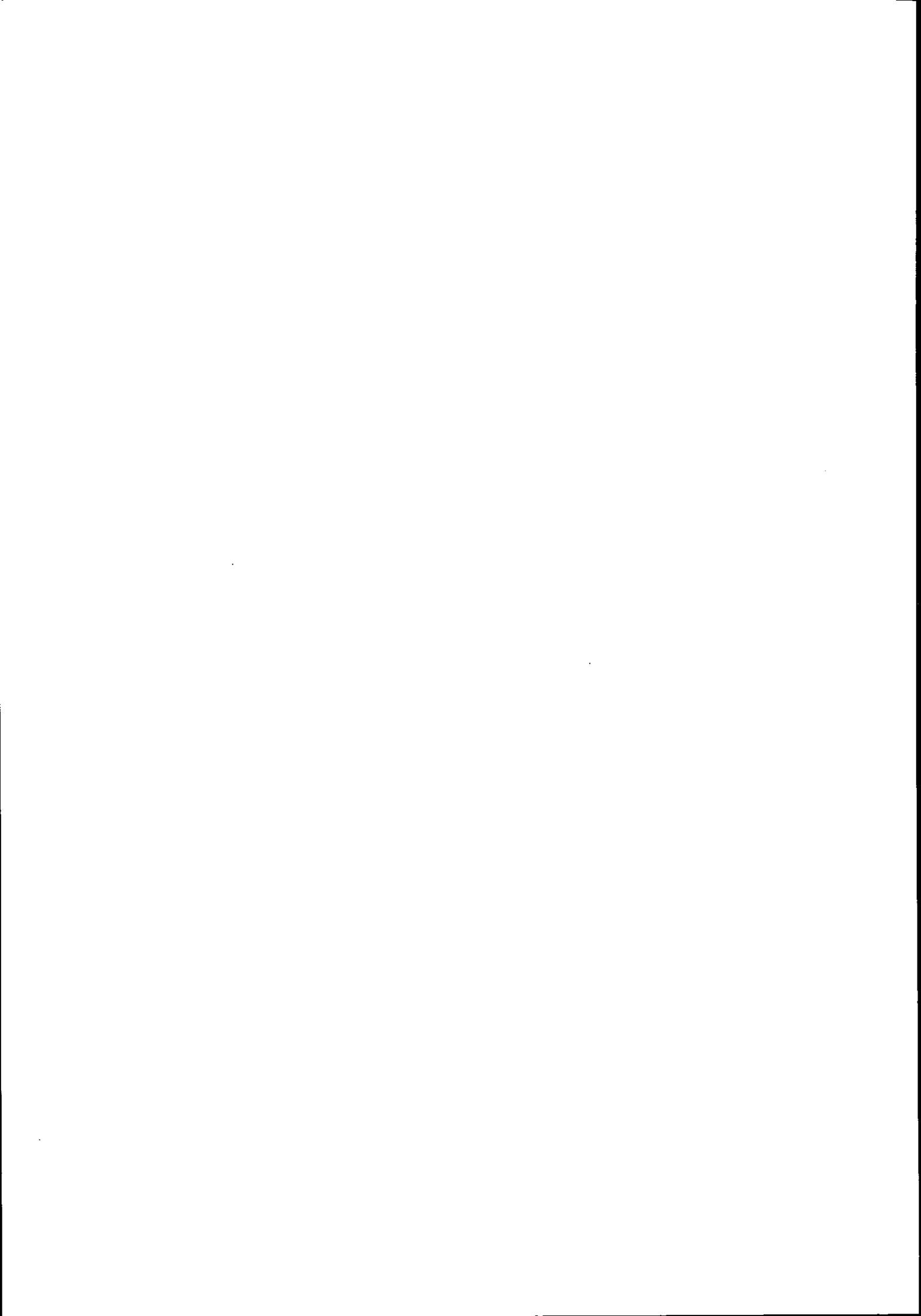
MERMAID: Platform for Groupware, CSCW-90, pp.27-38, 1990.

[Nakanishi96] Nakanishi, H., et.al., FreeWalk:Supporting Casual Meetings in a Network, CSCW-96, 1996.

[石田97] 石田亨, 他, 広域情報ネットワークによるコミュニティ支援, 38巻1号, pp48-53, 1997.



3. ソーシャルウェア



3. ソーシャルウェア

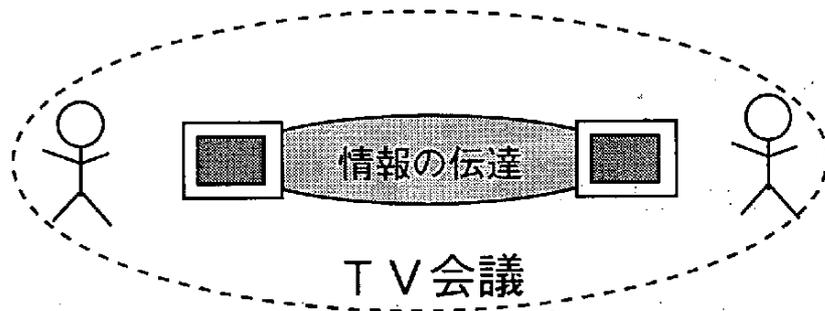
3.1 ソーシャルウェアとは

3.1.1 サイバー社会の社会的現実感

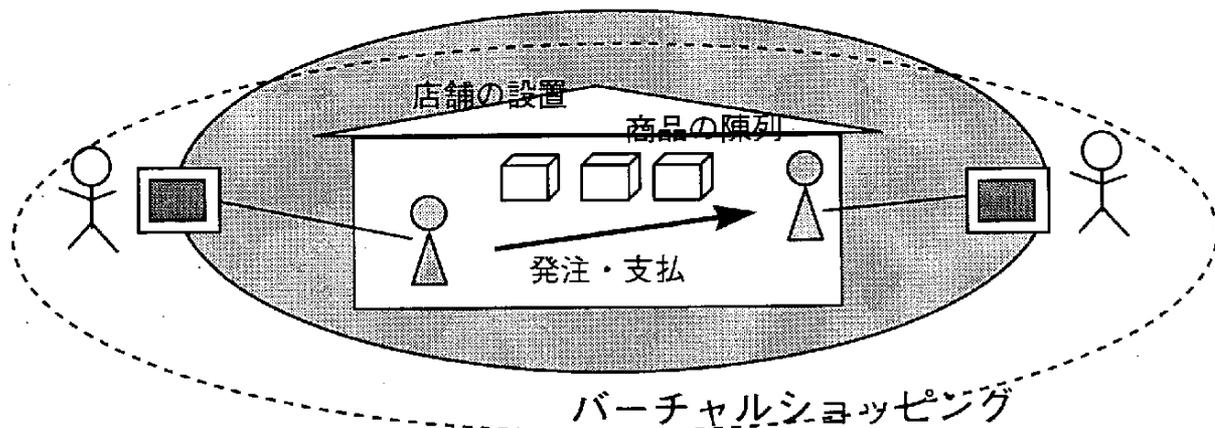
インターネットを始めとする情報通信ネットワークの爆発的な拡大と、マルチメディア技術の革新、パーソナルコンピュータの個人レベルへの普及により、ネットワーク上に新しい社会が生まだされようとしている [CCCI96]。サイバー社会と呼ばれるこの新しい社会においては、現実世界の様々な制約（空間、時間、社会組織、等々）を乗り越えて、バーチャルモール、エレクトロニック・コマース、電子図書館、オンラインユニバーシティ、バーチャルコミュニティなどの新しい形態の社会活動や生活が急速に立ち上がりつつある。

このような社会活動を現実のものとするためには、ネットワークが単なる情報伝達の道具から、社会活動を支えるシステムへと進化する必要がある。例えば、図3.1-1の例を考えてみよう。(a)においてテレビ会議は距離に関する制約を取り除き、遠隔地を結ぶコミュニケーションを実現しているが、ここではネットワークは画像と音声を伝える道具であり、会議という社会活動はあくまで現実世界の活動にとどまっている。一方、(b)のバーチャルモールでの買い物においては、利用者はネットワーク上の仮想的な店舗で仮想的に陳列された商品を眺め、仮想店員に質問を行ない、さらに電子的な決済によって代金を支払う。すなわち、利用者は店舗に入る、店員と話す、お金を渡す、といった社会活動のかなりの部分をネットワーク上で行うことになる。この場合、ネットワークは情報伝達機能だけではなく、店舗を設置し商品を陳列するという社会的な場を提供し、さらに利用者が店舗に入って商品を眺めたり、発注して代金を支払うといった社会的な機能を提供しなければならない。言い換えると、サイバー社会においては、ネットワークがその上で種々の社会活動を行なうための基盤を提供する必要がある。

このような基盤は、現実世界の様々な制約から離れてある程度自由に設計することができる。しかし、サイバー社会が我々の日常生活に組み込まれたものとなるためには、それを利用するすべての人々が共感、合意できる現実感を持つ必要がある。その主な理由として以下の2点があげられよう。



(a) テレビ会議システムの例



(b) バーチャルショッピングの例

図 3.1-1 サイバー社会におけるネットワークの役割

・利用の容易さ

サイバー社会が一部の人のものでなく、老若男女あらゆる人々がそのメリットを享受できるようにするためには、そこで活動するにあたって、特別の訓練や知識がなくても自由にサイバー社会の活動ができなくてはならない。そのためには、例えば、バーチャルモールの店を見て回るのに店のリストからキーボードを使って番号で選択するのではなく、音声による指示などで3次元の街の空間を自由に歩き回る、といったように現実社会での行為と同様の様式で行動できることが望まれる。

・現実社会との連続性

サイバー社会における活動は、必ずしもその中だけで完結するとは限らない。例えば、バーチャルモールで商品を購入したとしても、（ソフトウェアなどの場合を除いて）商品の現物は現実社会の物流システムを通じて購入者へ送られることになる。したがって、現実社会のシステムとサイバー社会のシステムとが円滑につながるためには、その仕組みや制度、組織などが類似していることが望ましい。また、そうでなくてはサイバー社会に対する参加者の共感や信頼感も得られないであろう。

前者は、サイバー社会に対する人間の感覚的な自然さであり、前章で述べた感覚的現実感に対応する。一方、後者は、サイバー社会の挙動の論理的な自然さであり、これを社会的現実感と呼ぶ。すなわち、社会的現実感は以下のように定義できる。

<社会的現実感の定義>

サイバー社会の参加者によって共有かつ共感される、サイバー社会の論理的な自然さ。サイバー社会を構成する人間やソフトウェアの間で行われる相互作用（例えば物を売買する）を社会的活動と呼ぶとすると、その活動の方法が、背景となっている制度や規範も含めて現実世界のそれと論理的に同等、あるいはその自然な拡張になっており、かつそれがサイバー社会の参加者の間で共感されること。

社会的現実感と感覚的現実感によって、サイバー社会は現実社会の自然な拡張となり、あらゆる人にとって現実の制約を緩和した自由度の高い新たな世界を提供することになる。

社会的現実感の高い例として、ネットワークを通じた競売の例を見てみよう（図3.1-2）。図では、競売人をソフトウェアが司ることを仮定している。買い手からの入札に対して、競売ソフトが一番高い値をつけた買い手に落札するという動作をするならば、それは現実社会で行なわれる競売と同様であるという信頼感を競売の参加者が共有できる。このような状態は社会的現実感が高いと言えよう。また、米国のFCC（Federal Communication Commission）による無線電波のオークション [FCC97] においては、ネットワークの特性を生かして短時間に入札が何十回と繰り返し行なわれる。しかし、全体としての落札の方法は現実社会の方法の自然な拡張になっており、やはり社会的現実感が高い。

一方、電子メールを利用した会議を、現実に一室に集まって会議をするのと比較し

てみよう。電子メール会議では、意見や質問に対する反応が返ってくる保証はなく、その意味で社会的現実感は低い。

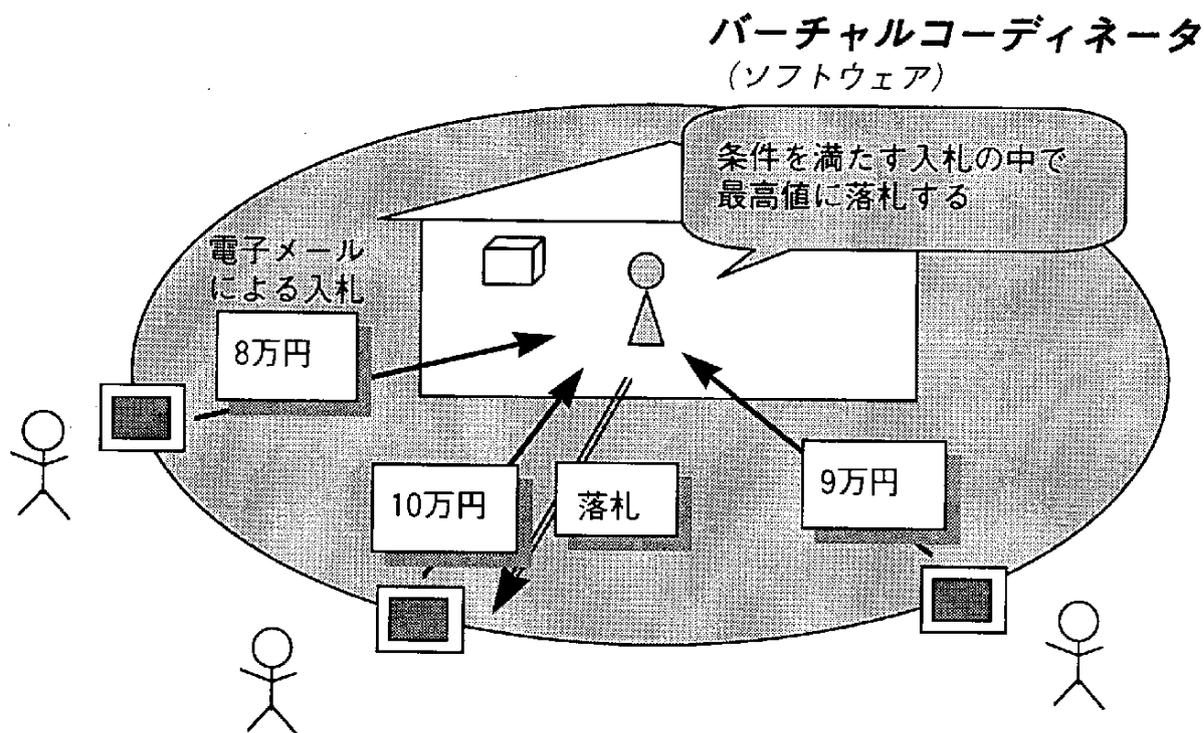


図 3.1-2 オークションネットの例

3.1.2 ソーシャルウェア

ソーシャルウェアとは、ネットワーク上に仮想的な社会システムを形成するための機能（ソフトウェア）の総称であり、社会的現実感を実現するものである。具体的には以下にあげる機能群から構成される。

(1) 論理世界

ネットワーク上で社会活動を行なうための「場」を提供する。現実世界における店舗、市場、広場、地域コミュニティなどを論理的に模擬する。世界に関する静的な情報とその上での活動の状況などの動的な情報を持つ。

(2) エージェント

論理世界の上で活動する「主体」。論理世界だけに存在する主体としてのエージェントと、現実世界に存在する主体の代理をするエージェントとがある。前者は例えばソフトウェアで実現されている仮想的な店員などである。後者は現実世界の人間や物理的なシステムの代理をするものである。パーセプチュアルウェアを通じて直接制御されるエージェントと、ある程度の自律性を備えていて、現実世界と一時的に切り離されて非同期に動作しうるエージェントとが考えられる。

(3) 社会機能群

論理世界の上でエージェントが活動するための「道具」を提供する。例えば電子メール、電子決裁、電子伝票、電子会議、電子掲示板などである。

(4) 社会規範

サイバー社会の論理的なモデルであり、論理世界の上での活動の「規範」となる。様々な活動に関する規則を知識として持ち、エージェントの活動を制約する。

図3.1-3はサイバー社会におけるソーシャルウェアの構成と、パーセプチュアルウェア

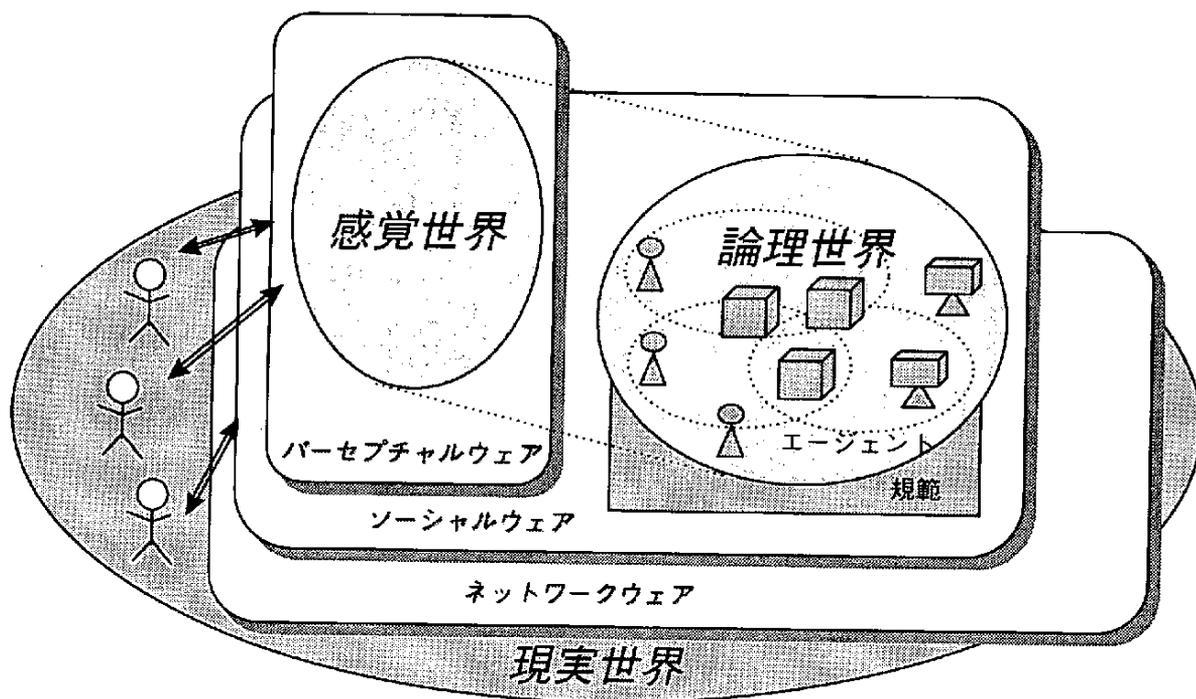


図3.1-3 ソーシャルウェアの位置づけ

アおよび現実社会との関係を模式的にあらわしている。ネットワークウェアはソーシャルウェア（およびパーセプチャルウェア）の実現において必要となる高度なコミュニケーション機能を、物理的なネットワークの機能を統合、制御して提供する。パーセプチャルウェアはソーシャルウェアと現実社会とのインタフェースを提供するものであり、感覚的現実感を実現する。

参考文献

[CCCI96] サイバー社会基盤研究推進センター(CCCI), 慶應義塾大学/野村総合研究所
編著: サイバー社会の展望, 野村総合研究所, 1996.

[FCC97] <http://www.fcc.gov/wbt/auctions.html>

3.2 ソーシャルウェアの機能

ソーシャルウェアは基本的には社会の論理的な模擬システムである。しかし、その実現にあたっては、単なる物理現象やシステムを模擬する場合とは異なり、社会システムを模擬するための機能が必要となる。また、ネットワーク上に展開されるサイバー社会の模擬として特有の機能も必要となろう。以下、サイバー社会の特性について考察し、その特性に応じたソーシャルウェアの実現機能について検討する。

3.2.1 サイバー社会の特性

サイバー社会における社会活動は大きく以下の2種類に分けて考えることができよう(図3.2-1)。

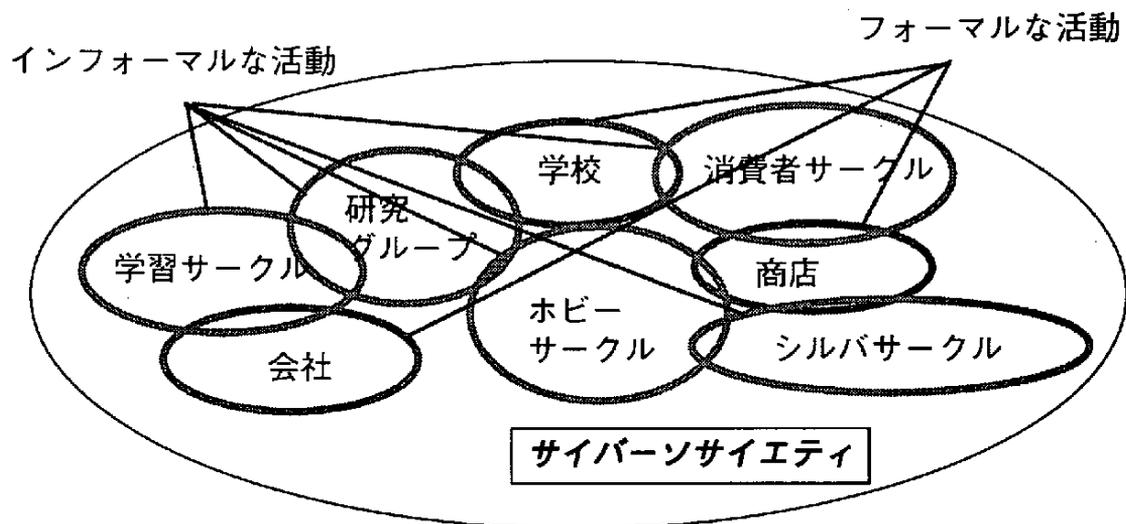


図3.2-1 サイバー社会における社会活動

(1) フォーマルな活動

確立した組織によって定型的なパターンで行われる活動。例えば、企業における開発、生産、営業、販売、取引や、問屋や商店における商取引、物流などである。これらの活動は、あくまで現実社会の組織をベースとしたものであり、既存の情報処理技術の延長で実現できるものと考えられる。フォーマルな活動を支援するものとしては、イントラネット、トランスネット、グループウェア、CALISなどがあり、

将来のサイバー社会においても、これらの延長線上で様々な改良が行われていくことになろう。もちろん、電子現金／電子決済、データ流通などの重要な技術が必要となるが、ネットワークAI技術の範疇からは外れるので、本章ではこれ以上取り上げない。

(2) インフォーマルな活動

組織されていない個人あるいはグループによって非定型的に行われる活動。日常の個人レベルの社会生活、例えば個人の買い物や娯楽活動、趣味のサークルや地域の活動、ボランティア活動などが該当する。これらの活動は、不特定多数の人々によって、非永続的な組織—コミュニティーを形成して活動が行われる。

サイバー社会においては、ネットワークにより、既存の組織や地理的な制約がなくなり、直接的、個別的なコミュニケーションが可能になることから、このようなインフォーマルな活動がネットワークワイドにダイナミックに行なわれる可能性がある[ラインゴールド95]。このような活動を支援する機能がネットワークの利点を最大限に生かしたサイバー社会の構築のために重要になると考えられる。

3.2.2 基本的な機能

ソーシャルウェア、特に上記に述べたインフォーマルな活動のためのソーシャルウェアの機能として、以下の3つをあげる(図3.2-2)。

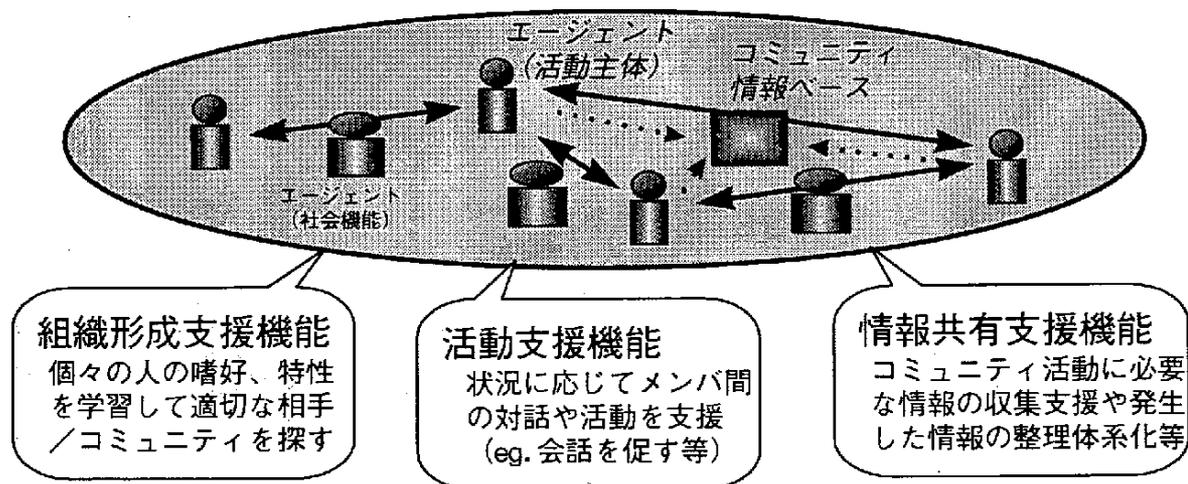


図3.2-2 ソーシャルウェアの基本機能

(1) 組織形成支援機能

サイバー社会においては、ダイナミックに組織（コミュニティ）が形成され、変化し、消滅していく。このようなコミュニティ形成のライフサイクルを支援するための機能が要求される。具体的には、以下のような機能が必要とされる。

●出会いの支援

コミュニティを形成するメンバの出会いを支援する。サイバー社会においては、ネットワークで結ばれた巨大な世界へと出会いの範囲が広がることから、現実社会のように様々な制約にしばられた限定された世界での偶然の出会いにたよることは困難になる。そこで、ソーシャルウェアが積極的に出会いを支援することが必要となろう。具体的には、サイバー社会のなかから、類似した嗜好、特性や同じような問題意識をもった人と人、あるいは人とコミュニティの出会いを支援することになる [石田97]。

●コミュニティ構成支援

サイバー社会では、物理的/時間的な制約が希薄なことから、コミュニティの円滑な形成が困難な場合がある。コミュニティに集ったメンバの意図や行動から、コミュニティとしての目的の生成を支援する。また、その目的に対するメンバの役割分担の明確化を支援する。コミュニティの構成の可視化などもコミュニティの形成を支援する方法の一つと考えられる。

(2) 活動支援機能

形成された組織（コミュニティ）の中での活動がスムーズに行われるように支援する機能。グループウェアの場合と異なり、あらかじめ決まったワークフローのようなものは存在しないので、メンバの間のコミュニケーションを支援し、コミュニティとしての合意を形成していく過程を支援していくことになる。

●会話の支援

コミュニティにおいては、非定型でインフォーマルな会話が行われる。このような会話がネットワーク上で自然に行える環境を提供されることが必要である [石田97]。ソーシャルウェアとしてはさらに、このような会話の中からコミュニティで共有されるコンテキストの抽出や形成を支援することが考えられる。

●交渉、合意形成支援

コンテキストが明確化しコミュニティとしての目的や活動内容が共有されてきたら、次の段階として、その目的を達成するためにコミュニティとしての意志決定が必要となる。そのために行われるメンバ間の交渉や、その結果としての合意の形成を支援す

る機能が考えられる。

(3) 情報共有支援機能 [石田97]

コミュニティの活動の背景には、メンバ間で共有される何らかの情報があり、その獲得および共有化を支援する機能が必要となる。

●情報ナビゲーション

巨大なネットワーク内には多種多様な情報源が分散して存在している。これらの情報源の中からコミュニティ活動に必要な情報の所在を明らかにしたり、あるいは情報を収集したりすることの支援が必要となる。

●情報体系化

コミュニティの形成の初期には単なる情報交換の支援であるかもしれないが、コミュニティが成長してそのコンテキストが明確化するにしたがって、コミュニティの目的に適合する情報の収集支援や、蓄積された情報をそのコンテキストに沿った形で体系化することの支援などが考えられる。

●情報流通

コミュニティに蓄積された情報は基本的にオープンであることが望ましい。コミュニティ間の情報の流通においては、異なったコンテキストや視点によって情報が利用されることから、その再編や変換が必要になると考えられる。

以上のような機能によって、現実社会がネットワークの特性を生かしたかたちで拡張され、人間の活動領域を広げるサイバー社会の実現が可能になると考えられる。

参考資料

[ラインゴールド95] ハワード・ラインゴールド著, 会津泉訳: バーチャルコミュニティ, 三田出版会, 1995.

[石田97] 石田亨, 西村俊和: 広域情報ネットワークによるコミュニティ支援, 情報処理, Vol.38, No.1, 1997.

3.3 ソーシャルウェアを支える技術

ソーシャルウェアの実現に向けて、今後重点的に研究開発を進めるべき基盤技術について、その概要を述べる。また、中でもサイバー社会の実現において非常に特徴的かつ重要な技術の一つとして、エージェントの組織化と合意形成技術に関する現状の紹介と今後の課題について述べる。

3.3.1 ソーシャルウェアを支える技術の概要

(1) ソフトウェアエージェント技術

サイバー社会においては、電話に代表されるように空間的制約を超えてコミュニケーションが可能となる。さらに、電子会議室などの例のように参加者が現実の同じ時間を共有していなくてもコミュニケーションが可能となる。すなわち、時間的な制約の緩和がサイバー社会の大きな特徴となる。このようなコミュニケーションの現実感をより高めるのがソフトウェアエージェントの技術である。ソフトウェアエージェントは参加者の代理をつとめる自律的なソフトウェアであり、人間の（直接的な）制御を離れて自律的に環境に対して反応したり、他のエージェントと相互作用をおこなう。例えば、人間の購入指示を受けたソフトウェアエージェントが、いろいろな店員エージェントと交渉してもっとも安価な品物を購入するといったように、論理世界の中で人間の代理をするエージェントが自律的に動作し、その間人間は現実世界の別の仕事をするようになる。

ソフトウェアエージェントの実現に関しては、昨今のインターネットの発展を背景に様々な応用が試みられており[服部97]、今後の発展が期待できる。

●インタフェースエージェント

人間のネットワークに対する操作を観察学習して支援するエージェントであり、Maesのインタフェースエージェントや [Maes94] や Etzioni のソフトボット [Etzioni94] などがある。これらは現状では人間の支援のレベルにとどまっているが、いずれ人間の嗜好や意図を理解して自律的に動作するエージェントが登場してくるものと思われる。

●ナビゲーションエージェント

ネットワーク内の多様かつ大量の情報源から、利用者の目的に適合した情報の検索を支援するエージェントである。ロボットが自律的にWWW空間を探索してイン

デックスを作成するWWWサーチエンジン [Web97] や、利用者の要望に応じて情報を集めてくるエージェント [Takahashi96] [Decker95] などがある。

●仲介エージェント

ネットワーク内の参加者間の仲介をするエージェントである。例としては、買い物の仲介をするエージェント [Doorenbos97] や、類似の嗜好を持つ参加者の出会いを支援するエージェント [Foner97] などがある。

また、ソフトウェアエージェントを構築するための基礎技術として、以下のような技術が精力的に研究されている。

●自律エージェント (Intelligent Agent) 技術

自律的なエージェントの実現はAIの古くからの課題であり多くの研究がある。例えば、自律エージェントを構築するためのフレームワークとしてのARCHON [Wittig92]、ADIPS [藤田96] などの研究や、自律エージェントを記述するための言語AOP (Agent Oriented Programming) の研究 [Shoham93] などがある。しかし、真の自律性を達成するためにはまだまだ解決すべき課題は多い。

●モバイルエージェント技術 [飯田97]

人間の仕事を代替するエージェントとしてのスクリプトをネットワーク内で移動させるための技術である。Whiteによって提唱されたTelescript [White94] はそのさきがけである。また、最近話題となっているJava [Gosling96] もその一種であると考えてよいであろう。

●エージェント間通信技術

エージェント間で情報を交換するための言語として、大規模知識共有プロジェクトから生れたKQML [Finin94] や、プロトコル記述の容易さを狙ったAgenTalk [桑原96] などの研究がある。

(2) ネットワーク情報統合技術 [武田96]

サイバー社会においては、あらゆる情報がデジタル化され、自由に流通させることが可能となり、世界中から多様な情報を瞬時に入手することができる。しかし、ある社会活動を行なうために必要な情報を、組織化されていない大量の情報の中から適切かつタイムリーに抽出することは容易ではない。ネットワーク情報統合技術はネットワーク内に分散している大量の情報の中から必要な情報を収集し、必要な形に体系化する技術である。

●情報収集技術

インターネット上の情報を（特にテキスト情報）を検索する技術としては、WAISをはじめとして多くの研究が行なわれている。さらに、学習や自然言語処理などのAI技術を利用した高度化が試みられている[住田96]。また、大量の情報の中から利用者の興味にあった情報だけを抽出する情報フィルタリングの研究も活発に行なわれている[森田96]。

●情報体系化技術

情報を利用目的に応じた形で体系化する技術である。サイバー社会のようなダイナミックな社会では、情報もダイナミックに体系化する必要がある。従来から、情報をあらかじめ決められた分類にクラスタリングする研究は数多くあるが、最近では収集した情報から分類項目を作成して情報を体系化する方法が研究されている。例えば、オントロジーを利用する方法[岩爪96]や、Kohonenの自己組織化マップを使う方法[田中97]なども提案されており興味深い。

(3) 分散協調システム技術

3.2節で述べたように、サイバー社会では論理世界という場でエージェントの集合が何らかの社会活動を行なうことになる。この時、これらエージェント群が全体として一つの目的を達成するために動作するための枠組みが必要となる。そのための技術は分散AI技術、マルチエージェントシステム技術として研究が行なわれてきた。

●協調問題解決技術

複数のエージェントが協調して一つの問題を解決するための技術である。基本的には与えられた制約のもとで、各エージェントが分散して解を探索する分散探索問題あるいは分散制約充足問題として定式化される[横尾95]。また、各エージェントがそれぞれの目標を追求しながら全体として調和のとれた解を求めようとする市場指向アプローチ[Wellman94]も興味深い。

●交渉／合意形成技術

各エージェントの利害が一致しない場合には、相互に交渉したり何らかの合意形成をはかる必要がある。従来の交渉／合意形成の研究はゲーム理論の分野でごく簡単なモデルを仮定して行われていたが[鈴木94]、今後はサイバー社会に適用可能なより複雑な形態でのアルゴリズムを検討していく必要がある[村上95]。

3.3.2 エージェントの組織化と合意形成技術

サイバー社会における社会活動が、現実世界における活動の自然な拡張であるためには、人間社会の中で執り行われる論理的取り決めがサイバー社会の中でも維持されなくてはならない。フォーマルな社会活動においては、これは、制度、規則、慣習、慣行等を意味し、違反者には罰則等が設けられるものとなる。

インフォーマルな活動においても、フォーマルな場合ほど厳格ではないが、緩い規範が存在する。福祉等の分野でコミュニティ・リビング・スキルといわれるところの一種のスクリプトであり、これは例えば、バスに乗る、ファースト・フード店で注文をするといったときに実施される一連の手順である。

こうしたフォーマル、インフォーマルいずれの社会活動においても、まず最初に考察すべきは、エージェントの組織化とそれに伴う合意形成の技術である。

フォーマルな組織上での組織化と合意形成における初期の例としては契約ネットプロトコル [Smith81] をあげることができる。ただしこの例では、最初にタスク宣言を渡すべき対象集団があらかじめ決められており、その中から組織を形成すべき契約者を管理者が選別するという階層型組織となる。またいったん決められた、管理者、契約者という役割分担は、容易に変更することはできない。

サイバー社会では、フォーマルな組織といえどもこのような階層型の組織よりも、柔軟性を持った水平分散・協調型の組織がより重要となるであろうし、またインフォーマルな組織においては、役割分担すら明確に定まったものとならないことが想定される。このような理由により、サイバー社会におけるエージェントの組織化として契約ネットは必ずしも適合するものとはならない。

3.3.2.1 エージェントの組織と契約ネット

サイバー社会におけるエージェントの組織と契約ネットで形成される組織との差異として考察すべき事項はいくつかあるが、その一つは、前者に置いては、組織化を開始するときに対象とすべきエージェント集団が決まっていなかったことである。このためには、利害や問題を共有する他者、あるいは共通の興味や特性を持った他者を検出し、情報を収集する技術が必要となる。インフォーマルな組織の形成においては、コミュニティの出会いの支援技術がこれに当たり、仮想企業等にみられるフォーマルな組織の形成においては、情報ネットワーク上での情報収集と検索技術 [Kwok 96] がこれ

に当たる。

第2の事項で重要なものは、エージェント組織においては、役割分担は柔軟に変化し、場合によっては、（フォーマル、インフォーマルで程度の差こそあれ）形成された組織への参加、離脱すら自由に行われるという点である。

現在までに、こうした事項を考慮したエージェント組織の形成に関するプロトコルやスキーマがいくつか提唱されている。

3.3.2.2 組織形成と合意に関するモデル

組織形成に関連する古典的な理論は、Von Neumann と Osker Morgensternの共著による「Theory of Games and Economic Behavior」のなかで論じられた協力n人ゲームとその解と呼ばれる利得の配分ベクトルを考察するとき現れる。

つまり多数の人間が個々の利益を最大にすべく協力してゲームをするという局面においては、いくつかの互いに共通部分を持たない集団間での競合や集団内での協調を考察する必要がある。このような集団のことを結託（Coalition）と呼び、全体が集団の和集合として構造化されているものを結託構造（Coalition Structure）と呼んだ。

エージェントの組織形成に関する最近の研究においても [shehory96] [Sandholm95]、組織のモデルとしては、このゲーム論的な結託構造に帰着させているものが多い。このため多くの提唱された組織モデルではエージェント組織に関してつぎのような前提がおかれることになる。

- 1) 情報収集活動により、組織形成の対象とすべきエージェント集団を特定できる。
- 2) エージェントは単独で活動するよりも、組織に参加して活動した方が、何らかの意味で自らの効用（多くの場合経済的価値：マネー）が増す。
- 3) 組織内の各エージェントの役割分担は、特に規定しない。
- 4) 時には、組織内の協調のため自身の効用を犠牲にして、妥協を強いられることもある。もちろん、犠牲が大きくて単独で活動した方がよい場合は、そのエージェントは組織を離れることになる。
- 5) 同じコンテキストや目的を持った競合する複数の組織が存在し、そのような複数の組織に一つのエージェントが、同時に（多重に）加入することはできない。

ここではこのようなモデルの一例として、イスラエルのShehory等によるマルチ・エージェントの組織形成と交渉プロトコルの紹介を行う。

3.3.2.3 エージェントの組織化プロトコルの例

(1) Coalition Negotiation Algorithm (CNA) の概要

組織形成の機構は、社会レベル（レギュレーション）と戦略レベルの2つに分けられる。組織形成のためのプロトコル規則は前者に属し、後者は、与えられた環境化で利得を最大にするために各エージェントの取る行動であり組織形成の過程において各エージェントにより自律的に決められる。

(2) CNAスキーマ

社会レベル

- 1) 最初は単一エージェントのみの組織から出発する（1組織1エージェント）。
- 2) 第1段階：組織のメンバは、他組織からの併合提案のみを受け取る（従って組織は、この段階でのみ拡張できる）。
- 3) 各組織は、代表者もしくは、投票を通じた意志決定を行う。
- 4) 併合提案をする組織 C_p は次を繰り返し実行する。
 - ・ 他どの組織と結合した組織 C_{new} を作るべきかの決定。
 - ・ 他への提案の作成：
 - C_p から C_r への提案は $C_{new} = C_p \cup C_r$ および各メンバの利益の詳細である。
 - C_{new} の各メンバの利益を計算し、さらに C_{new} 以外の組織を含む新しい組織構造を計算する。
 - ・・・このとき計算量は、指数関数的に増大するので組織のメンバ数には制限を加える（すべての部分集合を評価することになるため）。この提案を対象相手の組織に1回転送し、応答を待つ。
 - ・ 提案が受け入れられると、双方で新しい組織を構成し、考慮中の他の提案を取り消す。
- 5) C_p にもはや示すべき提案がないときは、そのことを宣言する。
- 6) すべての組織が提案なしを宣言したとき（定常状態）、第2段階に移行する。そうでなければ、上を繰り返す。
- 7) 定常状態に達する前にデッドラインに達したならば、このアルゴリズムを終了させる。
- 8) 第二段階：第1段階と同じ手順を実施するが、組織の分解や離脱の提案も認める。
- 9) 新しい利益形態に満足しないエージェントはその組織を離れる。このときこの組

織は分解する。

1 0) 定常状態に達するか、デッドラインに達したとき第2段階は終了する。

戦略レベル

C_r に対して提案を設計する結託 C_p は次の戦略を実行する。

<戦略> 提案の設計

C_p は、併合組織の総利益値 V_{p+r} を計算しなくてはならない。

もし $V_p + V_r \geq V_{p+r}$ であれば提案はとりやめる。

そうでなければ C_p は他の組織のすべての利益値を計算し、結合組織 $C_{new} = C_p U_r$ 以外の他の組織は変わらないような組織構造に対する利益を計算する。 C_p は新旧の利益を比較し、 C_p 、 C_r の全メンバの新しい利益が現利益以下にならないのであれば、そしてそれが C_p が現在までに受け取って待ち列に入っているどの提案よりもよいものであるならば、 C_{new} を提案として C_r に送信する。それ以外の時は、 C_p は提案の作成をとりやめる。

3.3.2.4 エージェントの組織化に関する技術課題

エージェントの組織化を支援する技術を、ソーシャルウェア技術の1つとして位置づけ、実用化を試みるためには、ゲーム理論では、従来あまり省みられなかったいくつかの課題を考察することが重要となろう。以下にこれらの課題を列挙する。

1) インフォーマルな組織における共通の効用、価値に関する考察。

インフォーマルな組織であっても、そこに参加することでエージェントは何らかの効用を見いだすはずである。このような価値を数量化することは、支援システムを実装する上では、きわめて有効であり、そのための心理的、経済的側面での考察が待たれる。

2) 組織形成のための交渉および交渉のための戦略に関する研究。

例えば、現実に仮想企業等の一部運用がなされている米国においても、ネットワーク上での組織を形成する際には、現実世界での代表者同士のフェース・ツー・フェースのつきあいと、そこで培われた信用が前提となっているとの報告もある。このような信用や連帯感がサイバー社会の中で発生されうるか否か、またそのためには、パーセプチャルウェアやソーシャルウェアにどのような機能が必要となるかが課題となる。

3) フォーマルな組織における役割分担の問題。

複雑な仕事を組織全体で遂行しようとした場合には、エージェント間での分業が起こる。ただしその役割は、従来の階層型組織とは異なり自由に変更可能であり、各エージェントの内部状態や実行する仕事についての時間順序制約等を考慮した柔軟な構造となることが予想される。このような組織の構造を決定するためには、契約ネットやゲーム論的な枠組みを離れた新しい組織化モデルの開発が必要となる。

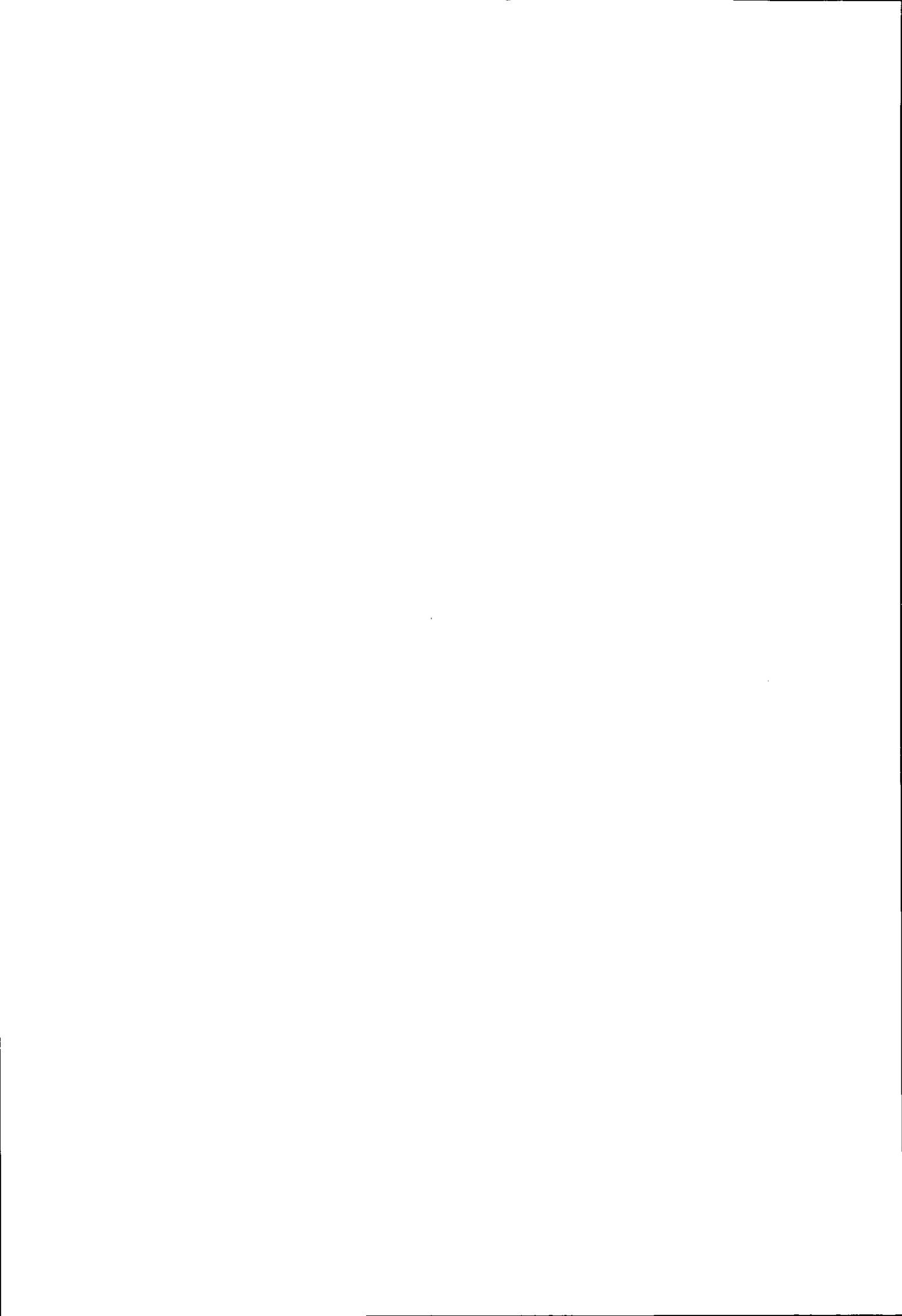
参考文献

- [服部97] 服部文夫：ネットワークエージェントによる情報収集と流通，情報処理，Vol.38, No.1, 1997.
- [Maes94] P.Maes：Agents that Reduce Work and Information Overload, CACM, Vol.37, No.7, 1994.
- [Etzioni94] O.Etzioni、D.Weld: A Softbot-Based Interface to the Internet, CACM, Vol.37, No.7, 1994.
- [Web97] The Web Robot Database, <http://info.webcrawler.com/mak/projects/robots/active.html>.
- [Takahashi96] K.Takahashi, Y.Nishibe, I.Morihara, F.Hattori：Collecting Shop and Service Information with Software Agents, Proc. of PAAM96, pp.587-596, 1996.
- [Decker95] K.Decker, V.Lesser, M.V.NagendraPrasd, T.Wagner：An Architecture for Multi-agent Cooperative Information Gathering, Proc. of CIKM Workshop on Intelligent Information Agents, 1995.
- [Doorenbos97] B.Doorenbos, O.Etzioni, D.Weld：Shopbot, <http://www.cs.washington.edu/research/shopbot/>.
- [Foner97] L.Foner, P.Maes：Yenta, <http://foner.www.media.mit.edu/people/foner/Yenta/>.
- [Wittig92] T.Wittig(ed.): ARCHON: An Architecture for Multi-agent Systems, Ellis Horwood, 1992.
- [藤田96] 藤田茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎：分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.5, 1996.
- [Shoham93] Y.Shoham: Agent-oriented Programming, Artificial Intelligence, Vol.60, No.1, 1993.
- [飯田97] 飯田一朗, 西ヶ谷岳：モバイルエージェントとネットワーク, 情報処理, Vol.38, No.1, 1997.

- [White94] J.E.White: Telescript technology: The foundation for the Electronic Marketplace, White Paper, General Magic, <http://www.genmatic.com/Telescript/>, 1994.
- [Gosling96] J.Gosling, H.McGilton: The Java Language Environment, A White Paper, Sun Micro Systems, http://java.sun.com/doc/language_Environment/, 1996.
- [Finin94] T.Finin, R.Fritzson, D.McKay, R.McEntire: KQML as an Agent Communication Language, Proc. of CIKM'94, ACM Press, 1994.
- [桑原95] 桑原和宏, 大里延康, 石田亨: マルチエージェントシステムにおける協調プロトコル記述, 電子情報通信学会論文誌D-I, Vol.J-79-D-I, No.5, 1996.
- [武田96] 武田英明: ネットワークを利用した知的情報統合, 人工知能学会誌, Vol.11, No.5, 1996.
- [住田96] 住田一男, 三池誠司: 知的情報検索の動向, 人工知能学会誌, Vol.11, No.11, 1996.
- [森田96] 森田昌宏, 速水治夫: 情報フィルタリングシステム—情報洪水への処方箋—, 情報処理, Vol.37, No.8, 1996.
- [岩爪96] 岩爪道昭他: テキストからの情報抽出・統合化法の提案と知的情報収集・分析システムIICAの実験的評価, 第7回データ工学ワークショップ, 1996.
- [田中97] 田中克己: ネットワーク社会とマルチメディアデータベース, 情報処理, Vol.38, No.1, 1997.
- [横尾95] 横尾真: 分散探索とその周辺, コンピュータソフトウェア, Vol.12, No.1, 1995.
- [Wellman93] M.P.Wellman: A Market-Oriented Programming Environment and its Application to Distributed Multicommodity Flow Problems, Journal of Artificial Intelligence Research, Vol.1, No.1, 1993.
- [鈴木94] 鈴木光男: 新ゲーム理論, 勁草書房, 1994.
- [村上95] 村上国男: マルチエージェントシステムとその応用, 電子情報通信学会誌, Vol.78, No.6, 1995.
- [Smith81] R.G.Smith, A Framework for Distributed Problem Solving, UMI research press, Ann Arbor, Michigan, 1981.
- [Kwok96] C.T.Kwok and D.S.Weld, Planning to Gather Information, Proc. of AAAI 96, Portland Oregon, pp32-39, 1996.
- [Shehory96] Onn Shehory, Sarit Kraus (Bar Ilan Univ.Israel), A Kernel-Oriented Model for Coalition-Formation in general Environments:Implementation and Results, Proc. of AAAI 96, Portland Oregon, pp134-140, 1996.

[Sandholm95] T.Sandholm and V.R.Lesser, Coalition Formation among Bounded Rational Agents, Proc.of IJCAI-95, pp662-669, 1995.

4. ネットワークウェア



4. ネットワークウェア

4.1 ネットワークウェアとは

4.1.1 大規模ネットワークとサイバー社会

情報処理分野におけるマルチメディア化の急速な進展に伴って、情報通信ネットワークの取り扱うデータの量と種類は飛躍的に増加し、システムに要求される特性や処理機能も多様で高度なものになりつつある。こうした状況に対処するため、高速で大容量のネットワーク（広帯域ネットワーク）や高度なサービス機能を備えた知的ネットワークなどの実現を目指した技術開発やシステム構築が活発に進められている。高度化を続ける情報通信ネットワークは、ネットワークAI技術をベースとして拡張された現実世界における汎用的な通信インフラとして重要な役割を担っている。

一方、拡張された現実世界において様々なサイバー社会を構成し、多様な社会活動や情報生活を展開してゆくためには、そこで活動する人間、エージェント、システムなどのサイバー社会のメンバ相互間では、現実世界に勝るとも劣らないレベルでの円滑なコミュニケーションが保証されねばならない。そのための手段となるのが、

a) 大規模な情報通信ネットワーク

b) ネットワーク環境上で提供される様々なサービス（機能）や資源を活用して動作するパーセプチャルウェアとソーシャルウェア

である。サイバー社会における円滑なコミュニケーションが実現されるためには、両者の機能がうまく噛み合い、相互の効果的な連携が可能となり、各々の能力が最大限に発揮されることが重要である。更に、サイバー社会では、現実世界におけるコミュニケーションや活動に伴う様々な制約（例えば、各メンバがアクセスできる機能やメディアが限定されたり、メンバ間でのコミュニケーション行為そのものが、機能的／時空間的、更には、社会的／制度的に制限されたりすることなど）を可能な限り緩め、多様な目的／意図に基づく自由で活発な情報交換や意思疎通を促進することも重要となる。

こうした視点からみると、上記の a) については、現在、商用の公衆回線網やデー

タ通信ネットワーク、そしてインターネットなどの急速な普及を背景として、より高速で大容量のネットワークを実現するための技術基盤の整備が精力的に進められつつある。

ところが、b)の側面からみると、解決すべき課題が山積しているようだ。すなわち、汎用的な通信インフラとして提供される現行の情報通信ネットワークでは、サイバー社会の現実感を実現するために必要なサービスや機能が用意されていない。すなわち、ネットワークの持つ機能と、ネットワーク上の高度なアプリケーションとして稼働するパーセプチャルウェアとソーシャルウェアが要求するサービスとのギャップが大きいため、現状では、両者の効果的な連携を図ることが極めて困難である。ネットワークAI技術は、こうしたギャップを橋渡しする新たな機能を実現する手段となるだろう。

4.1.2 ネットワークウェア

サイバー社会の現実感を高め、人々が様々な社会活動を自由に展開できるようにするためには、それらを支える高度なコミュニケーション基盤が必要であり、その中核となるネットワークでは、サイバー社会の人々の多様なコミュニケーション要求に適切かつ柔軟に対処でき、同時に、ネットワーク環境上で動作するパーセプチャルウェア/ソーシャルウェアの実装や運用なども効果的に支援できる新たな機能が要請される。このように、現行のネットワークをより知的で柔軟なネットワーク（多様な利用者の意図や目的に応じたサービスを自由に提供できるやわらかさを備えたネットワーク）に進化させるために導入される新しいソフトウェアをネットワークウェアと呼ぶ。

すなわち、ネットワークウェアは、パーセプチャルウェア/ソーシャルウェアとネットワークとの中間に位置し、コミュニケーション基盤としてのネットワークを効果的に利用するための共通的サービスや支援機能を提供することにより、両者の機能的な連携や協調動作を強化・促進するツール/システムの総称である。

4.2 ネットワークウェアの機能

ネットワークウェアに期待される役割は、次の2つに大別される（図4.2-1）。

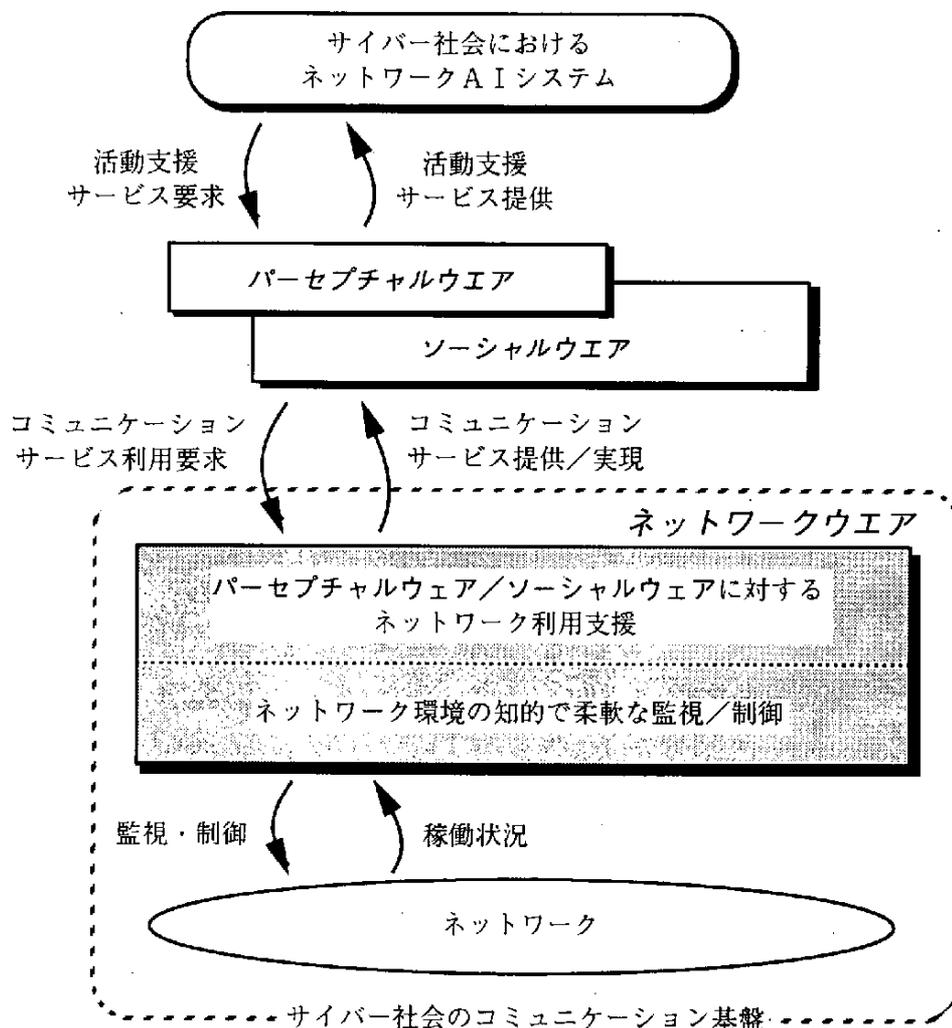


図 4.2-1 ネットワークウェアの位置付けと役割

- (1) パーセプチャルウェア/ソーシャルウェアに対するネットワーク利用支援の提供
- ネットワークウェアは、パーセプチャルウェア/ソーシャルウェアの様々な要求に基づいて適切な機能要素を選択・実行することにより、要求を満足するサービスを提供する。ネットワークウェアが提供するサービスの実現形態は、物理ネットワークの通信サービスを直接的に利用するものから、複数の通信サービスを組み合わせて実現されるものまで、様々なレベルのものがある。いずれも、その目指すところは、機能

要素（システム）相互間での通信や協調動作を支援して、パーセプチュアルウェア／ソーシャルウェアのレベルから、物理ネットワークの機能を容易に利用できるようにすることである。これを、サービスを受けるパーセプチュアルウェア／ソーシャルウェアからみれば、ネットワークウェアによって、様々な通信サービスを効果的に利用するための系統的な手順（プロトコル）が提供されているとみなすことができる。

現状のネットワークシステムでは、ファイル転送や電子メールをはじめとする、ネットワーク上のアプリケーションに適した様々なプロトコルが提供されている。ネットワークウェアがパーセプチュアルウェア／ソーシャルウェアに提供するプロトコルは、こうした既存のアプリケーション向きプロトコルと同等、若しくは、その上位のレベルで規定されたプロトコルである。例えば、サイバー社会の中で、ひとつの仕事を複数のメンバが共同で行おうとする場合、そのために必要なメンバを呼び集め、各メンバに仕事を割り当て、最後にその結果をとりまとめるといった作業が必要となる。分散人工知能の分野では、複数のエージェントを組織化して協調処理を実行する際の基本的なプロトコルとして契約ネットと呼ばれるプロトコルが提案・利用されている。この契約ネットプロトコルがネットワークウェアのレベルで提供されることにより、パーセプチュアルウェア／ソーシャルウェアのレベルでは、契約ネットに基づく組織の形成などが簡単に行えるようになる。また、ネットワークウェアが提供する基本的な契約ネットプロトコルに対して、実社会の慣習や制約などの要素を加味することにより、サイバー社会の現実感を生み出す高度なプロトコルを定義することも容易となるだろう。このように、ネットワークウェアを導入することにより、物理ネットワークの通信サービスの詳細に立ち入ることなく、上位のパーセプチュアルウェア／ソーシャルウェアのレベルから、下位の通信サービスの機能をより簡単に利用できるようになる。

一方、ネットワークウェアは、様々な要求に基づいて起動・利用される多数の機能要素の集合体とみなすことができる。各機能要素は、それが対処できる要求に能動的に反応して単独でサービスを提供したり、必要に応じて他の機能要素と互いに連携して組織を作り、与えられた要求を満足するサービスを自律的に構成したりする。特に、後者の機能は、パーセプチュアルウェア／ソーシャルウェアの多様な要求に柔軟に対処する上で欠くことのできないものである。例えば、ネットワークウェアの機能要素群が連携して複数の電子図書館を利用した歴史情報の検索サービスを支援している。このとき、新たに電子博物館の情報の検索要求が与えられると、ネットワークウェアは、それまでの機能要素の組織に電子博物館の検索を支援する機能要素を追加し、新規要

求に対処する新たな機能組織を動的に生成する。すなわち、ネットワークウェアによって、電子図書館と電子博物館という二種類のシステム相互間での協調関係が自律的に構成される。このように、様々な要求に柔軟に対応するために、ネットワークウェアでは、要求解釈、サービス機能の同定・選択、サービス生成等に関する様々な知識を利用した処理が実行できなければならない。こうした知識は、実際にそれを利用するネットワークウェアの機能要素のレベルに埋め込まれることになる。従って、各機能要素は、種々の知識に基づいて自律的に動作する知識処理モジュールとして構成され、ネットワークウェアそのものは、分散型知識システムとして実現されることになるだろう。

(2) ネットワーク環境の知的で柔軟な監視／制御機能の提供

ネットワークウェアは、物理ネットワークの使い勝手を高めるために、パーセプチュアルウェア／ソーシャルウェアに対して、要求に対処できる信頼性の高い通信サービス機能を安定して供給しなければならない。そのためには、物理ネットワークの通信サービス機能を知的に制御・管理することが必要となる。例えば、インターネットのような大規模ネットワーク環境は、事故、災害、故障といった不測の事態、或いは、ネットワークシステムが有する開放性や自己組織性といったシステム特性に起因する機能的／構造的な変動に日夜曝されている。これらの変動は、ネットワークウェアが提供しているサービス品質を変化（劣化）させる原因となる。ちなみに、前述した要求の変化も、利用者サイドでの変動となる。いずれにしても、ネットワークが大規模・複雑化し、要求されるサービス機能も多様化・高度化するにつれて、こうした不規則な変動がサービスに及ぼす影響を推測したり、その影響を解消したりすることがますます困難になる。

そこで、ネットワークウェアは、物理ネットワークの動作状況を監視し、通信サービス機能とその性能にとって好ましくない状態を検出すると、その影響を軽減・解消するために、関連する機能要素の特性を動的に制御・調整したり、機能要素の組織を動的に再構成したりすることにより、パーセプチュアルウェア／ソーシャルウェアに提供しているサービスの品質を維持するように動作する。このように、時々刻々と変化する動作状況に対応した適切な処理を自律的に選択・実行してゆくためには、前述したように、ネットワークウェアの機能要素では、各々が制御・管理を受け持っている通信サービス機能に関する領域知識／専門家知識を保持し、これらが互いに協調して処理が実行される。また、サービスに関連した処理要素以外にも、物理ネットワーク

の稼働状態を監視したり、ネットワークウェア全体の処理状況の監視・制御を担当する機能要素もある。こうした要素が導入されるのは、分散型知識システムとして構成されるネットワークウェア自身が、ネットワーク上に分散化されて協調的に動作するサブシステムの組織となっているからである。

上述したように、ネットワークウェアによって、物理ネットワークの通信サービス機能を利用する（プロトコルの）レベルを高め、その使い勝手を向上させることにより、パーセプチャルウェア／ソーシャルウェアはサイバー社会の多様な要求に応えられる現実感を備えた高度なサービスを容易に実現することができる。また、サイバー社会で活動する人々にとっては、物理ネットワークの存在を陽に意識することなく、ネットワーク環境が提供する様々な機能を効果的に利用できるようになる。このように、ネットワークウェアは、知的で柔軟なコミュニケーション基盤を目指す立場から、サイバー社会における現実感の実現を支援する。

4.3 ネットワークウェアを支える技術

ネットワークAIの関連技術から、ネットワークウェアの設計や実装に関わる次の3つの項目、すなわち、

- (1) ネットワークウェアのためのコンセプト/枠組み
- (2) ネットワークコンピューティング技術
- (3) エージェント指向コンピューティング技術

を取り上げ、その概要を述べる。

4.3.1 コンセプト/枠組み

ネットワークウェアの設計開発に関わるコンセプトや設計方法論などは、まだ殆ど与えられていない。しかしながら、従来の情報通信システムや知識型システム（特に、エージェント指向システム）に関する研究開発の中から、参考とすべきアプローチや新しい枠組みが提案されつつある。

・自律・分散・協調

近年、大規模で複雑な情報通信システムやそれをベースとした分散システムの設計開発や運用において、自律分散システムという考え方が注目されている。自律分散システムの捉え方には様々なものがあるが、例えば、これを「自律分散システムとは、システム全体を統合する管理機構をもたず、システムを構成する各要素（個・サブシステム）が自律的に行動しながら、協調・競合的に相互作用しあい、全体として任務を達成する（秩序を形成または維持する）システムのことである」と定義することができる〔伊藤95〕。自律分散システムの具体例として、生物の細胞組織、自然界における生物の社会、市場経済システムなど、様々なシステムが挙げられているが、大規模ネットワークとその上に構成されるサイバー社会は、開放性や自己組織性などのシステム特性を備えた自律分散システムとみなすことができるだろう。

自律分散システムの特徴は、そのシステム要素（後述するエージェント指向の枠組みでは、これをエージェントと呼ぶ）に埋め込まれた協調原理にある。これによって、分散人工知能におけるマルチエージェントシステムと同様に、複数の機能（知性）が

互いに協力・協調することにより、単独では対処が難しい問題にも取り組めるより高度な機能（知性）の創発が期待できる。これは、大規模ネットワークとサイバーウェアとの連携と協調の支援と促進を目指すネットワークウェアの設計原理として重要と思われる。

・エージェント指向

ソフトウェアやシステムの設計開発をはじめとする多くの領域で、オブジェクト指向の発展形としてのエージェント指向に対する関心が高まっている。これは、エージェント指向の枠組みでは、自律性をはじめとして、オブジェクト指向の概念を越えた社会性や目的指向性といった新しい特性を持つエージェントを導入することにより、より高度な情報処理の実現が見込めるからである。

現在、エージェント指向の枠組みは、様々なアプリケーションへの適用が試みられつつあり、分散人工知能をはじめとする多くの分野での研究開発も活発化している。情報通信ネットワークの分野でも、より高度なサービスの実現手段としてエージェントの導入が始められている [服部95] [Mage96] [坂間96]。更に、最近では、エージェント技術に関する標準化活動も進められている [FIPA97]。

ここでは、エージェントに関する詳細な議論は割愛するが、種々の特徴を備えたエージェントをシステムの構成要素として積極的に活用してゆくエージェント指向の枠組みは、4.2節で述べた役割や機能を備えたネットワークウェア、すなわち、システム相互間での通信や協調を支援するネットワークウェアの効果的な実現手段を与えるものとして期待される。

・新しいネットワークアーキテクチャ

米国のNII/GII構想にみられるように、次世代情報処理のインフラとなる高度な情報通信ネットワークに関する研究開発が活発化している。また、エージェント技術を適用したネットワークアーキテクチャやネットワークをベースとした知的サービスに関する研究開発も加速されている。ネットワークウェアに関係する枠組みとして、例えば、次世代分散システムの基盤となる新しいネットワークのシステムコンセプトとして提案されたやわらかいネットワークの概念がある [白鳥94]。やわらかいネットワークでは、様々な利用者の多様な要求に知的に対処するネットワーク利用者サイドにおけるやわらかさ、そして、オープンなネットワーク環境に起因する様々な変動を吸収して安定したサービスを維持できるネットワークサイドでのやわらかさの実現を

目指して、エージェント指向のシステムアーキテクチャと応用事例の研究開発が進められている。今後、ネットワークウェアと共通する課題を目指した研究開発の中から、ネットワークウェアの実現に係わる様々な技術要素が生まれることが期待される [竹中94]。

4.3.2 ネットワークコンピューティング技術

ネットワークウェアを支える技術の中で大きな比重を占めるのがネットワーク技術である。従来、金融機関のオンラインサービスや列車の座席予約サービスといった様々な情報処理サービスを背後から支えていたネットワークは、昨今のインターネットやイントラネットに対する関心の高さにもみられるように、一般の利用者にとってより身近な存在となりつつある [CACM96]。ネットワークの利用者が拡大し、ネットワークと情報処理の枠組みとの関係がより緊密なものとなるのに伴って、ネットワークに対するより高度な機能やサービスが要求されるようになる。現在、その実現を目指して様々な研究開発が進められている。ここでは、ネットワークとの連携をベースとした新しい情報処理のための技術（これをネットワークコンピューティング技術と呼ぶ）について述べる。

・オープンネットワーク

現在、インターネットにはその数およそ1千万台ともいわれる多数のホストコンピュータが接続され、様々なサービスが提供されている。インターネットの利用者側でも、従来のパソコンやワークステーションをはじめとする様々なコンピュータが接続され利用されており、最近では、ネットワークコンピュータと呼ばれるようなインターネット専用の端末も提供されるようになってきている。このように、ネットワークを利用して多様な活動や仕事を行おうとする人々にとって都合のよい環境が整いつつある。そこで問題となるのは、こうした多様な計算資源や情報資源がどの程度うまく統合され、利用者にとってどれだけ使い易いものとなっているかということである。

こうした問題に対するひとつのアプローチとして、例えば、IBMから提案されているネットワーク中心コンピューティング (Network Centric Computing: NCC) がある。これは、ネットワークに対して、複数のサーバやクライアントを連携させる機能、エージェントを利用した自動処理機能、ネットワークの信頼性を向上する機能などを付加してネットワークをインテリジェント化し、ネットワーク上のアプリケーションの統

合を目指すものである。また、NTTのコンピュータ専用通信サービスOCN（Open Computer Network）では、高信頼電子メールやマルチキャストルーティングなどのサービスを備えたオープンなネットワークが提供される。その上に種々のサーバーが設置されることにより、利用者はネットワークにアクセスするだけでサーバーの機能が利用できるようになる。また、特定用途向きの（例えば、複数の企業間での取り引き業務や情報交換などの特定の目的に使用される）サーバーを設置することにより、特定のサービス機能を備えたネットワーク（これはトランスネットワークと呼ばれる）としても利用できるという。こうした新しいネットワークの構築基盤の開発を目指して、ルータスノーツサーバを利用するNPN（Notes Public Network）や、NetWareをベースとしたNCS（NetWare Connect Service）などのサービスを対象とした研究開発が既に開始されている。更に、分散処理を支えるネットワークの運用・管理を支援するソフトウェアという側面では、ネットワークOSなどの高度化も進展している [CT96]。このように、今後のオープンネットワークの構築に関わる様々な技術は、ネットワークウェアをボトムアップに支える基盤を与える。

・分散オブジェクト

ネットワークをベースとして実現される分散処理の分野では、分散オブジェクト技術やコンポーネントウェア技術といった分散アプリケーションの構築を支援する技術が開発・提供されている。例えば、分散オブジェクト技術では、OMGオブジェクトモデルに基づく分散オブジェクト管理を対象としたCORBA（Common Object Request Broker Architecture）や、Microsoft社のCOM（Common Object Mode）などが知られている。現在、インターネットやWWWの普及を背景として、分散オブジェクトの枠組みには、ウェブサーバやその上のアプリケーションと連携する機構が導入されるなど、インターネット環境との連携がより強化されようとしている [CT97]。これは、インターネット上に分散した資源をオブジェクト化することによって、様々な機能や情報資源をより効果的に利用したり再利用したりできる可能性があるからである。こうした分散オブジェクト技術は、ネットワークウェアにおける機能要素の実装や管理に関わる基盤技術といえる。

・スクリプト言語

最近、Javaに代表されるスクリプト言語ベースの処理系が、ネットワークコンピューティングを指向した新しい技術として注目されている。これは、従来のRPCベースの

クライアント・サーバ処理方式とは異なり、クライアントとサーバの間でスクリプトをやり取りすることにより、柔軟で効率的な処理の実現を目指すもので、ネットワーク上で提供されるサービス／機能の再利用性を向上させるコンポーネントウェアの実現手段としてみることもできる。最近では、スクリプト言語系の持つ機能を強化し、クライアント・サーバ型分散システムの構築を容易とするために、分散オブジェクト環境との連携も検討されている。例えば、JavaプログラムからCORBAベースのORBを利用するために、Joe (SunSoft) やJYLU (Stanford Univ.) などの開発ツールが提供されている。こうしたスクリプト言語ベースの処理系は、次節で述べるエージェント技術と密接に関連する技術であり、ネットワークウェアの実装技術のひとつとして今後の発展が期待される。

・ モバイルネットワーキング

携帯電話やPHSが手軽に利用できるようになり、小形軽量のサブノートPCやパームトップPCも普及するのに伴って、場所や時間の制約から多少なりとも開放された情報処理環境が実現できるようになった。こうしたモバイルコミュニケーション環境の基盤となるネットワーク、特に、無線通信によるネットワークの場合は、その構造やサービス品質などが時間と共に変化する。こうした状況のもとで利用者に安定したサービスを提供するための技術は、サイバー社会におけるモバイルネットワーキングを支援するネットワークウェアの実現技術として重要だろう。更に、最近では、前述したスクリプト言語系をベースとしたモバイルエージェントの研究開発や応用も活発化している [Mage96]。こうしたモバイルエージェントの場合には、ネットワークを経由して他のサイトに移動し、そこで様々な処理を実行しようとすることから、その安全性や信頼性を保証するための技術も必要となってくる。

4.3.3 エージェント指向コンピューティング技術

エージェント指向の概念は、4.3.1でも言及したように、オブジェクト指向のひとつの発展形として、情報処理の様々な分野で関心が高まっている。自律性や社会性を備えたエージェントに基づく情報処理の枠組み（エージェント指向コンピューティング）は、知的で柔軟な高度情報処理機能やシステムの設計・開発・運用に関する新しいパラダイムを提供するものとして期待されている [木下95]。エージェント指向コンピューティング技術は、理論的基盤となる分散人工知能技術から応用システム構

築に関わるソフトウェア技術やシステム化技術に至る広範な領域に関連した技術である。

・分散人工知能とマルチエージェントシステム

エージェントやエージェント指向システムに関する技術は、これまで分散人工知能の分野を中心として研究開発が進められてきた。そこでは、複数のエージェントが互いに連携して問題解決や情報処理を行うための組織を作り、マルチエージェントシステムとして協調的に動作できるようにするため、エージェントの理論モデルやアーキテクチャ、エージェント間での協調／交渉／合意形成などを実行するためのエージェント通信プロトコル、協調問題解決のモデルやシステムアーキテクチャなどの新しい枠組みや技術が提供されている [石田96]。こうした分散人工知能の技術は、システム相互間での通信や協調を支援・促進するネットワークウェアにとって必要不可欠な技術であるだけでなく、ネットワークウェアと連携してサイバー社会の人間を含む多様なメンバ相互間の活動を支援するソーシャルウェアやパーセプチャルウェアの基盤技術としても重要である。

・エージェントアーキテクチャとエージェントシステムフレームワーク

サイバー社会では、単体でサービスを提供するエージェントから、マルチエージェントシステムとして組織化されて機能するエージェントまで様々なものが考えられる。ネットワークAI技術では、3種類のエージェント、すなわち、知識利用に基づく高度な機能を提供する知的エージェント、ネットワーク環境上を移動しながら処理を行うモバイルエージェント、そして、個々の知性はそれほど高くないが、それらが組織化されることによって単体レベルでは得られない知性（群知能）が発揮されるコンポーネントエージェントに分類している。これらのエージェントを実現するためには、各エージェントの特性を反映したアーキテクチャを工夫するとともに、それらエージェントに知識や機能を埋め込む手段が必要となる。現在、知的エージェントやモバイルエージェントなどを対象として、その設計や実装において用いられるエージェントプログラミング言語、設計ツール、そして、これらを統合したエージェントシステム開発環境（エージェントシステムフレームワーク）に関する研究開発が活発に進められている。その成果は、ネットワークウェアの機能要素としてのエージェントの設計開発を直接的に支援する技術として期待される。

・エージェントのセキュリティとセーフティ

サイバー社会では、様々な社会活動や情報生活を繰り広げる上で、多様なデータや情報が頻繁かつ大量に伝達・交換されることになるだろう。このとき、やり取りされるデータや情報の中には、当然のことではあるが、ラブレターや学業試験の成績のように、他人には知られたくない個人のプライバシーに関するもの、或いは、年端もいかなない子供達には好ましくない成人向き情報や不用意に改竄されては困る貴重な情報など、特定のメンバだけにアクセスを限定したいものが含まれている。その一方では、悪意を持った利用者がデータや情報を不正に入手しようとしたり、不慣れな利用者の誤操作などによって不用意に情報が漏れてしまうこともある。これらは、電子商取引や電子決済への応用が試みられている現状のインターネット環境では差し迫った問題となっており、暗号化技術や利用者の認証技術をはじめとして、情報処理と情報通信の両側面から、機密保全性や安全性を高めるための技術開発が進展している。これらの技術は、サイバー社会のインフラとしてのコンピュータとネットワークにとって極めて重要である。更に、人間だけでなく、自律性や社会性などの特性を持つエージェントや知的システムまでがその構成員となるサイバー社会、そして、そのコミュニケーション基盤としてのネットワークウェアにおいては、こうした人工物を含むシステムとしてのセキュリティやセーフティについて新たな視点から考察されねばならないだろう。

エージェントを主要な構成要素とするネットワークウェアでは、エージェントレベルでのセキュリティやセーフティを確保するための技術が必要となる。現状での一つの事例として、電子ショッピングなどの情報サービスを提供する基盤として開発されたTelescriptシステムが挙げられる。このシステムでは、ネットワーク上を移動するスクリプトとしてのモバイルエージェントに対して、自分自身の情報を提示する身分証明書、利用できるコマンドや資源に関する権限、或いは、寿命などを付加することにより、エージェントが無制限に振舞うことを防いでいる。また、一般に、Telescriptのようなスクリプト言語をベースとしたモバイルエージェントの実行は、エージェントを受け取ったコンピュータによって、スクリプトの解釈・実行に基づいてインタプリティブに進められるため、その過程で不正な処理が防止できるとされている。

また、他の事例としては、米国を中心としてデファクト的に利用されているエージェントコミュニケーション言語KQMLをベースとしたセキュリティシステムのアーキテクチャの研究がある[Thir95]。そこでは、コンピュータセキュリティで用いられる暗号化技術をベースとして、KQMLで規定されているエージェント間通信プリミティブ

(パフォーマティブ) とそれに基づくメッセージ表現形式を拡張し、エージェント相互間で安全性の高いコミュニケーションを行うためのアーキテクチャを提案している。

いずれにしても、エージェントやエージェントを含むシステムにおけるセキュリティとセーフティに関する技術は今後の課題というのが現状のようだ。

・標準化の動き

エージェント技術の研究開発を推進するために、FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) と呼ばれる国際的な組織において、エージェント利用に関する共通技術の体系作りの作業が進められている。その中間的な成果が、FIPA '97 Specification という試案として公開されている [FIPA97]。その内容は、エージェントの利用モデル、エージェント通信言語、既存ソフトウェアとの連携、更には、アプリケーション事例に至る広範なもので、現在、97年10月に予定された仕様書の発行にむけて、提案の募集やとりまとめの作業が続けられているようだ。こうした標準化作業は、エージェント技術やエージェント指向コンピューティング技術の普及・発展を加速するひとつの要因となるだろう。

上述したように、エージェント指向コンピューティング技術は、自律的な機能要素が互いに連携して、システム相互間での通信や協調処理を支援するネットワークウェアの構築を効果的に支援する重要な技術といえる。

参考資料

[伊藤95] 伊藤正美他(編), 自律分散宣言, オーム社, 1995.

[服部95] 服部文夫, 知的コミュニケーションメディアの構築に向けて, 信学技報 AI94-60, 1995.

[Mage96] Magedanz T., et al, Intelligent Agents: An Emerging Technology for Next Generation Telecommunications?, Proc. INFOCOM'96, 1996.

[坂間96] 坂間保雄, マルチメディアと情報通信サービス, 信学技報 TL96-1, 1996.

[FIPA97] Baseline FIPA '97 Specification, Foundation for Intelligent Physical Agents, <http://drogo.csel.stet.it/fipa/>, 1997.

[白鳥94] Shiratori N., Sugawara K., Kinoshita T., Chakraborty G., Flexible Networks: Basic concepts and architecture, IEICE Trans. Commun. E77-B(11), pp.1287-1294, 1994.

[竹中94] 竹中豊文(編), 特集: フレキシブルネットワーク, 信学誌 77(4), 1994.

- [CACM96] Kraut, R. ed., Special Issue: Internet@Home, CACM 39(12), 1996.
- [CT96] 特集：ネットワークOS, Computer Today No.76, サイエンス社, 1996.
- [CT97] 特集：分散オブジェクトネットワーク, Computer Today No.77, サイエンス社, 1997.
- [Mage96] Magedanz T., et al, Intelligent Agents: An Emerging Technology for Next Generation Telecommunications?, Proc. INFOCOM'96, 1996.
- [木下95] 木下哲男, 菅原研次, エージェント指向コンピューティング, SRC, 1995.
- [石田96] 石田亨, 片桐恭広, 桑原和宏, 分散人工知能, コロナ社, 1996.
- [Thri95] Thirunavukkarasu C. et al, Secret Agent - A Security Architecture for the KQML Agent Communication Language, Proc. CIKM95 Intelligent Agent Workshop, 1995.
- [FIPA97] Baseline FIPA '97 Specification, Foundation for Intelligent Physical Agents, <http://drogo.cselt.stet.it/fipa/>, 1997.

4.4 ネットワークウェアの実現にむけて

4.4.1 やわらかいネットワークからのアプローチ

サイバー社会を支えるインフラとしての情報通信ネットワーク／コンピュータネットワークでは、アプリケーションのサービス要求に応える高度な機能の実現が求められるだけでなく、急速に増加する多様な利用者にとって分かり易く、また手軽に安心して使えるようなサービスや支援機能を提供することも必要となる。そこで、やわらかいネットワークの枠組みでは、ネットワークとその利用者という二つの側面から、次世代分散処理の基盤となる新しいネットワークシステムのアーキテクチャとその実現技術の確立を目指した研究開発が進められている [白鳥94] [白鳥97]。

一般に、システムのやわらかさという概念は、システムに接する人間（利用者）の感性に関わるものであることから、システムのやわらかさを定式化し、システムの機能や構造の設計に反映することは難しい問題である。やわらかいネットワークは、利用者の視点からみて、利用者の目的に合致したサービスが、ネットワークの通信機能や稼働環境の詳細に立ち入ることなく簡単にアクセスでき、サービス終了時点まで、そのサービスの機能や品質が安定して供給できる能力が高いほど、ネットワークのやわらかさのレベルが高いと考える。

ネットワークのやわらかさに影響を及ぼす大きな要因として、次の3つが考えられる。

(a) 利用者要求とその変化：利用者から与えられる要求は様々なものがあるが、従来のネットワークでは、標準的に用意しているサービスの範囲内で要求に対処する、利用者からみれば、自分の目的に応じて既存のサービスを自ら選択したり組み合わせたりして利用する必要があった。しかし、これはネットワークに習熟していない一般利用者にとっては難しい作業である。また、利用者の目的や作業状況に応じて要求が変化したときに、それに応じた適切な措置を講じる（例えば、標準的なサービスの特性を調節したり変更したりする）こともまた困難である。

(b) ネットワーク動作環境のゆらぎ：ネットワーク動作環境は、事故や故障、システムのバグや相互干渉、保守／改修作業、或いは、ネットワークを流れるデータ量やホストコンピュータの処理量（負荷）などによって、絶えず不規則に変動している。こ

うした一過性の変動をゆらぎと呼ぶが、ネットワーク動作環境のゆらぎは、利用者要求に基づいて提供されたサービスの機能や品質を不規則に変化させ、利用者の円滑な作業を阻害する要因となる。

(c) ネットワーク環境の進化：ネットワーク動作環境のゆらぎとは違って、ネットワークの構成要素となっている部分システムが新しいシステムに置き換えられたり、技術的進歩によってサービスの機能や実装形態が変わってしまうといったように、ネットワークそのものが新しくなってしまうことがある。これを、ネットワーク環境の進化と呼ぶ。やわらかいネットワークでは、こうした進化の過程でも、利用者に対する利便性を維持し、そのやわらかさを高めてゆくことができないといけない。

上記の事柄を考慮して、やわらかいネットワークでは、次の2つの側面からみたやわらかさを提供することが目標となる。

- ・ 利用要求とその変化に対するやわらかさ
- ・ ネットワーク環境の変動に対するやわらかさ

前者は、上述した要因(a)と(b)の視点から、利用者要求に基づいて、標準的なサービスの特性を自動的に調節したり、複数のサービスが自律的に連携したりすることによって、利用者要求を満たす新たなサービスを提供する機能を目指すものである。一方、後者は、主として要因(b)と(c)の視点から、ネットワークの稼働状況とその変化を観察し、それらがサービスの機能や品質を低下させる場合に、その影響を最小限に抑えるための処理を自律的に発動する機能を目指している。

このように、やわらかいネットワークの枠組みには、ネットワークAI技術におけるネットワークウェアと密接に関連する概念や機能が含まれている。やわらかいネットワークに関する研究は、次世代ネットワークシステムの設計開発という視点から、サイバー社会を支える通信インフラとしてのネットワークウェアの実現を目指すひとつのアプローチと捉えることができる。

4.4.2 やわらかさを実現する機能

やわらかいネットワークでは、前述した2つのやわらかさを実現するために、以下

の3つの機能の実現を目指す。

(1) 要求に基づくサービスのやわらかい構成機能

利用者から与えられる要求には、利用者の目的を達成するためのサービスの機能と品質に関する情報が含まれる。例えば、研究打ち合わせのためにビデオ会議サービスを利用する場面を考えてみよう。このサービスでは、打ち合わせに参加するメンバ相互間での臨場感を高めるために、高品質な情報（画像や音声など）を遅滞なく伝達・交換しながら会議が進められることが望まれる。しかし、メンバが使用しているコンピュータの処理負荷が高かったり、ネットワークのトラフィックが大きかったりすると、利用者から要求された高品質なサービスを提供できないことがある。そこで、やわらかいネットワークでは、ネットワーク環境における各種資源の観察、利用者要求の解釈・詳細化、サービスを構成するための機能部品などに関する様々な知識を利用して、要求を受け取った時点でのネットワークや計算資源の稼働状況を調べ、その状況のもとで利用者要求の内容を最大限に満足するサービスの構成を自律的に決定する。

(2) やわらかいQoS制御機能

利用者に提供されているサービスの品質（Quality of Service: QoS）は、刻々と変化するネットワーク環境の稼働状況に応じて変化する。例えば、ネットワークトラフィックが増加したり、サービスを提供しているホストコンピュータの処理負荷が大きくなると、サービスの応答性が悪くなったりするのはその代表例である。このとき、利用者から指定されていたQoSを維持するように、サービスを構成している機能要素の特性パラメータを動的に変更したり、複数の機能要素やサービスのQoSを総合的に制御・調節したりする。これを、やわらかいネットワークの状況変化適応型QoS制御機能と呼ぶ。また、利用者が、種々の理由により、その時点でのサービスのQoSを変更したくなった場合には、新たなQoS要求に応じたサービスの機能や品質の変更を動的に行ったりする。これを、利用要求適応型QoS制御機能と呼ぶ。これらの機能により、やわらかいネットワークでは、要求変化やネットワーク環境の変動を吸収するための処理を自律的に実行することができる。

(3) やわらかいネットワークの再構成機能

利用者から新たなサービスが要求されたり、事故や故障によってネットワーク環境が大きく変化してしまった場合には、前述したやわらかいQoS制御機能では対処でき

ないことがある。この場合には、サービスの構成を全面的に変更・再構成して、新たな状況に即した機能を備えた新規サービスを実現しなければならない。これを、やわらかいネットワークの再構成機能と呼ぶ。

こうした3つの機能を実現するために、やわらかいネットワークでは、エージェント技術に基づくシステムアーキテクチャを提案している。そして、ADIPSフレームワーク[藤田96]と呼ばれるエージェント指向コンピューティング基盤を導入し、ビデオ会議や遠隔共同作業などのサービスを具体例として、やわらかいネットワークの設計法について検討を進めている。

4.4.3 やわらかいネットワークとネットワークウェア

エージェント指向アーキテクチャに基づくやわらかいネットワークは、ネットワーク上で動作する分散エージェントシステムとして構成され、様々なエージェントの協調動作をベースとして、ネットワークのやわらかさを生み出す機能が実現される。こうしたやわらかいネットワークの機能には、ネットワークウェアとしての機能が含まれていると考えられる。これについて、以下、やわらかいネットワークの概念に基づいて試作されたやわらかいビデオ会議システム [斎藤96] [勝倉97] を例として取り上げて考察してみよう。

・やわらかいビデオ会議システムの機能と構成

やわらかいビデオ会議システムは、ADIPSフレームワークに基づいて設計され、ADIPS 動作環境上で動作するマルチエージェントシステムとして実現される(図4.4-1)。その構成要素となるエージェントには、種々の通信サービスを提供する通信エージェント、ネットワーク環境を監視するセンサエージェント、やわらかいビデオ会議システム全体の制御を担当するマネージャエージェント、及び、利用者とシステムとを仲介する利用者エージェントなどがある。通信エージェントやセンサエージェントはプリミティブエージェントと呼ばれ、ネットワーク環境上で動作する計算機プロセス(通信サービス機能を実現したソフトウェア)にエージェントの機能を付加(エージェント化)することにより、計算機プロセスの制御・管理が行えるようになっている。これらのエージェントは、予めADIPSリポジトリに格納・管理されている。

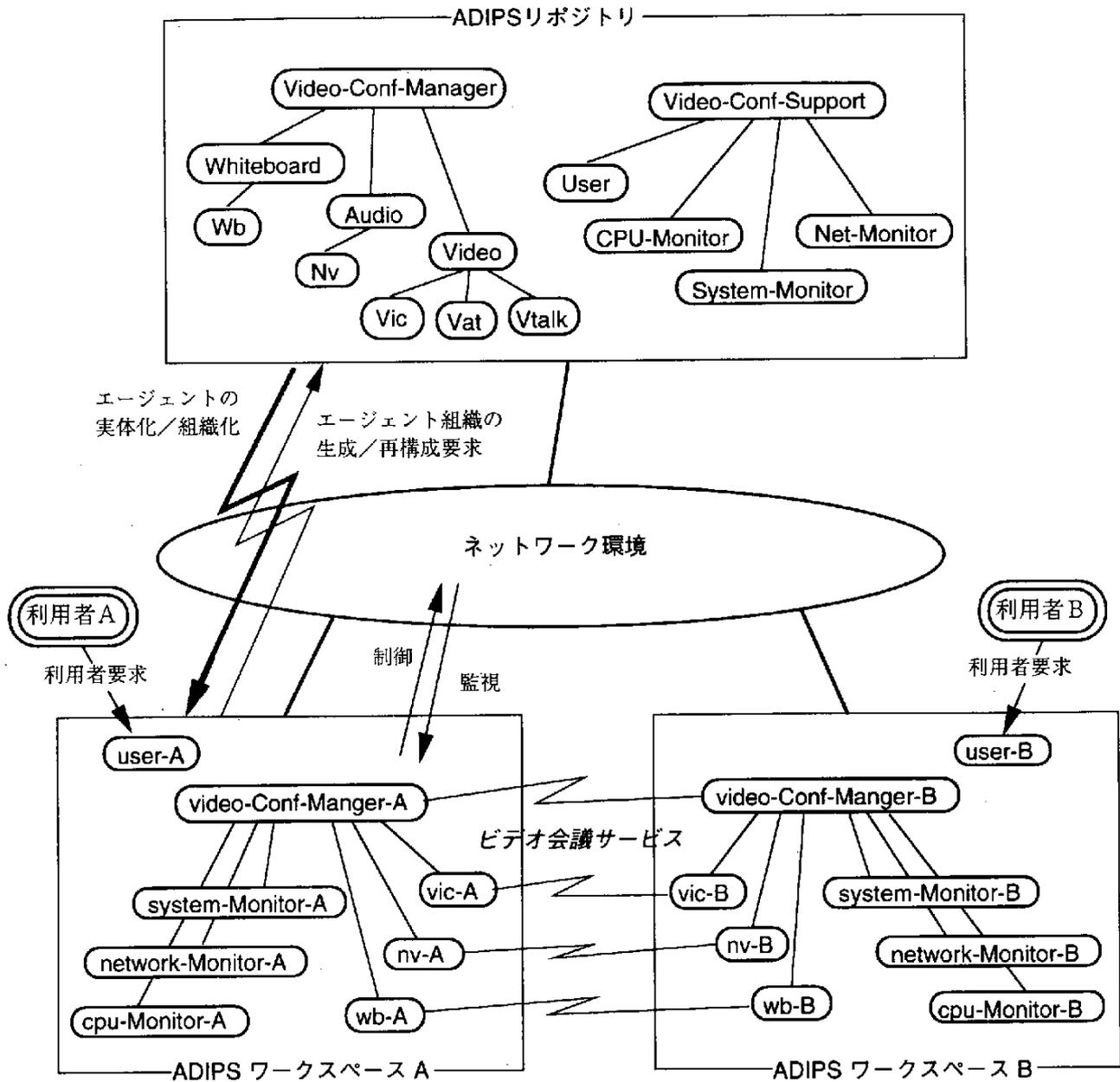


図 4.4-1 やわらかいビデオ会議システム（2者間サービス）の構成例

やわらかいビデオ会議システムでは、ビデオ会議開催に関する利用者要求が利用者エージェントを介して受理されると、それがADIPSリポジトリのマネージャエージェントに送られる。マネージャエージェントは、センサエージェントから環境や資源に関する情報を収集し、通信エージェントを分類・管理するメディアエージェントを介

して、利用者要求を実現するのに適した通信エージェントを選択する。次に、マネージャエージェントと通信エージェントからなる組織がADIPS動作環境上に実体化され、やわらかいビデオ会議サービスが実現される。以降、各エージェントに埋め込まれた知識に基づいて、利用者要求や動作環境の変化に対応したQoS制御や組織再構成が自律的に行われる。

・やわらかいビデオ会議システムにおけるネットワークウェア機能

既存のLAN環境（TCP/IPベース）をベースとしたやわらかいビデオ会議システムの実装形態をみると、これらは全て既存のLAN環境（TCP/IPベース）上のアプリケーションといえる。しかし、その本体部分をもう少し細かく眺めてみれば、ビデオ会議サービスのやわらかさを実現する仕組みは、ADIPSフレームワークとその上で動作するエージェント群であることが分かる。すなわち、利用者エージェントがADIPSリポジトリと連携して、利用要求とその変化に対するやわらかさを提供する。また、マネージャエージェント、通信エージェント、及び、センサエージェントが、利用者要求に応じて動的に組織を形成し、ネットワーク環境で提供される通信サービス機能（計算機プロセス）を協調的に制御・管理して、ネットワーク環境の変動に対するやわらかさを提供する。

これらは、やわらかいビデオ会議システムというアプリケーションに特化したものではあるが、アプリケーションと物理ネットワークとの連携を強化して、利用者にとって使い易いネットワークシステムを実現するという意味で、ネットワークウェアの一つの実現形とみることができる。

今後、他のアプリケーションにおけるやわらかさの実現機構との共通性などに関する検討を通して、やわらかいネットワークの視点から、ネットワークウェアの構築技法に関する手掛かりが与えられることを期待したい。

参考文献

- [白鳥94] Shiratori N., Sugawara K., Kinoshita T., Chakraborty G., Flexible Networks: Basic concepts and architecture, IEICE Trans. Commun. E77-B(11), pp.1287-1294, 1994.
- [白鳥97] 白鳥則郎, 木下哲男, 菅原研次, やわらかいネットワークに基づく人間－エージェント共生空間, 信学技報 IN96-119/OFS96-57, 1997.
- [藤田96] 藤田茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, 分散処理システムのエージェント指向

アーキテクチャ, 情処学論 37(5), pp.840-852, 1996.

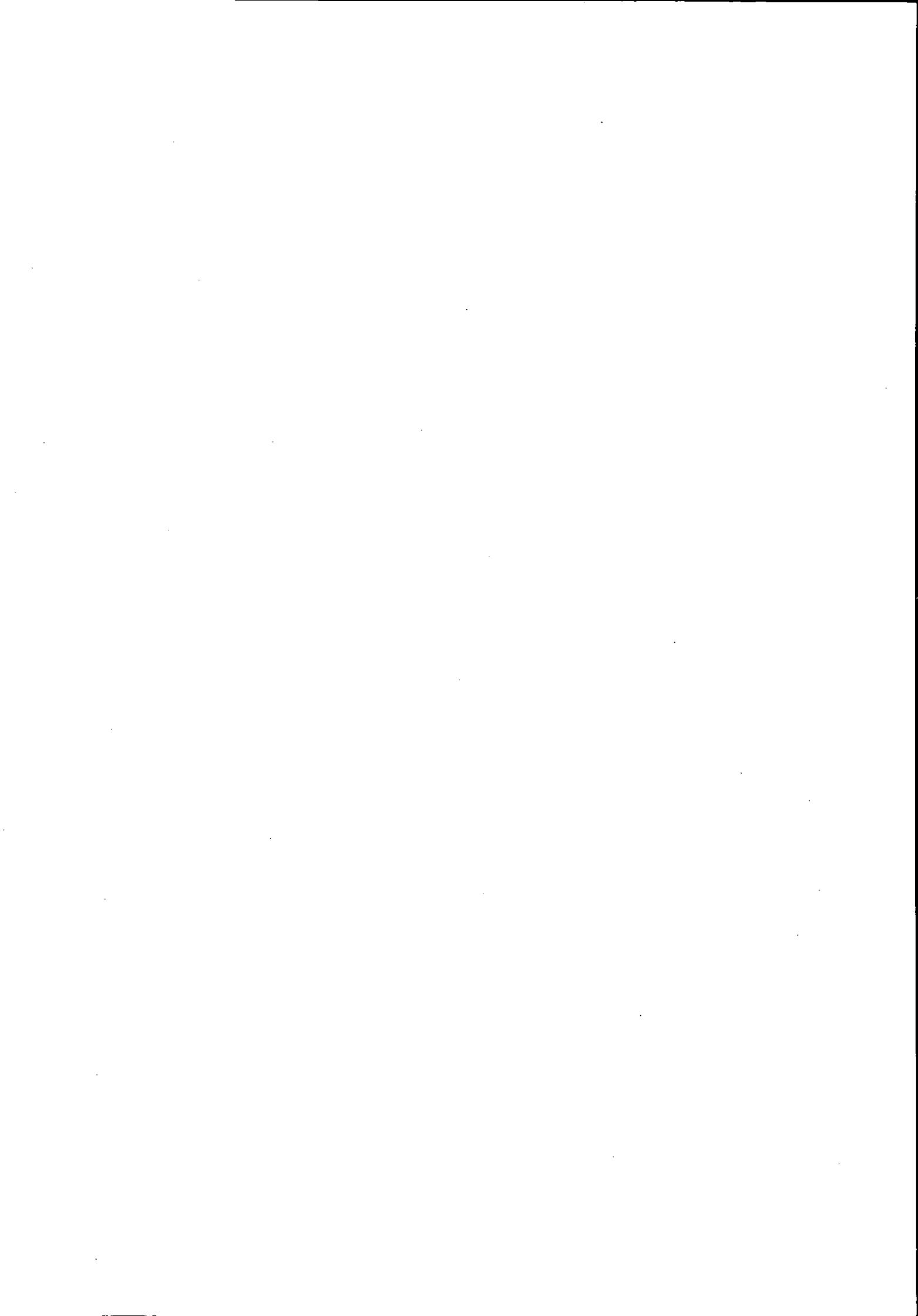
[斎藤96] 斎藤 俊, 内海 博昭, 菅原 研次, 木下 哲男, 白鳥 則郎, ADIPSフレームワークに基づくやわらかいビデオ会議システムの構成法, 信学技報 AI96-9, 1996.

[勝倉97] 勝倉 真, 菅沼 拓夫, 菅原 研次, 木下 哲男, 白鳥 則郎, やわらかいビデオ会議システムの協調プロトコルの設計と実装, 信学技報 AI96-40, 1997.

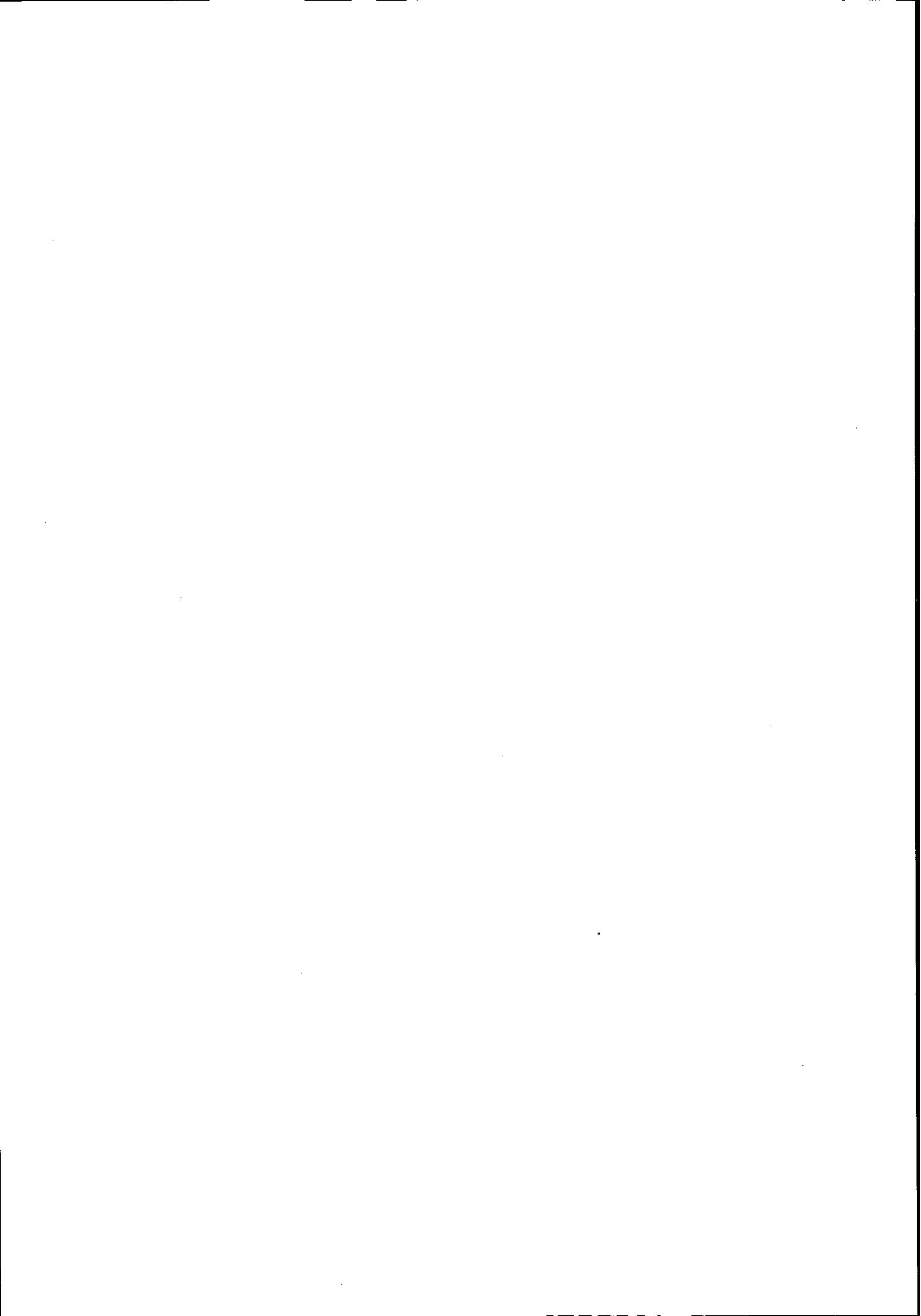
4.5 まとめ

ネットワークウェアは、サイバー社会のコミュニケーション基盤となる大規模ネットワークと、サイバー社会における人々の多彩な活動を直接的に支援するパーセプチャルウェア／ソーシャルウェアとの機能的な連携を強化・促進するための新しいソフトウェアの概念である。

マルチメディア通信や分散処理の急速な普及・発展を背景として、従来にもまして、情報処理と情報通信との緊密な連携が求められる時代となり、最近では国際的な技術提携も積極的に進められているようだ。今後、情報処理と情報通信との連携を強化する技術の確立を目指した研究開発が一段と活発化することが予想されるが、その目標のひとつとして、ネットワークAI技術をベースとしたネットワークウェアの実現を挙げるができるだろう。



5. 企業で —エンタープライズインテグレーション—



5. 企業で ～エンタープライズインテグレーション～

5.1 はじめに

現在の企業は、それを取り巻く環境の変化に応じて利潤を上げ続けてゆくために、市場の変化や顧客のニーズに対する迅速な情報収集能力、的確な意思決定能力、そしてそれを企業活動に反映させる調整能力が要求されている。

このような要求に対して、中央集権的な意思決定機構や階層的な組織はうまく機能しないことが指摘されている。従来の企業組織に関する基本的な考え方は一つの組織を小さな部門に分割することであった。これにより管理者の負荷は軽減する反面、部門間の障壁のゆえに正しい情報が必要となきに得られなかったり、部門間での調整も柔軟性に欠くといったことが問題になっている [Fox]。

このような問題に対して水平分散型組織の有効性が示されている。企業組織を水平な形態とし、各部門の責任を明確化するとともに、可能な限り権限を与えることにより、現場に近い意思決定と対応を迅速に行わせることが可能となる。

一方で、このような水平組織では逆に各部門がバラバラの判断や行動を行ってしまい、企業全体としての整合性が崩れてしまうおそれもある。たとえば、同様の製品を複数の部門で開発したり、同一の顧客を複数の部門でサポートするような重複が生じる場合がある。そこで各部門が企業全体の状況を把握し、各部門において適切な意思決定を行い、場合によっては部門間で調整を行うことが重要になる [末松95]。

エンタープライズインテグレーションはこのような企業内の水平組織を結び付け、各部門間の相互作用を調整することにより、企業全体の利潤を向上させることを目的としている。このためにはパソコンやサーバマシンをはじめとする各種情報機器やインターネットやLANといった通信ネットワーク、さらにそれらを統合するソフトウェアが強力に必要不可欠なツールとなるが、本章ではさらに将来を展望し、構成員をより密接に結び付け、企業活動の効率化を図るネットワークAI技術の可能性について議論する。

参考文献

[Fox] Mark S. Fox, 40 Month Progress Report NSERC Industrial Research Chair in Enterprise Integration, <http://www.ie.utoronto.ca/EIL/overview/overview.html>.

[末松 95] 末松千尋, CALSの世界, ダイアモンド社 (1995).

5.2 エンタープライズインテグレーションのためのネットワークAI技術

一つの企業は設計、製造、販売、流通、サービス、経理などの複数の部門から構成され、利潤をあげるといふ企業目標を達成するために、それらの部門が密接に連携しあっている。またそれぞれの部門内でも各構成員が互いに連携しながら個別目標を達成しようとしている。また製造部門などにおいては人間組織の中に生産ラインや工作機械が組み込まれていると見なすことができ、企業目標達成のためにジョブが割り当てられる。このように企業は多数の人間、機械から構成されるネットワークであり、ネットワークAIはその上で行われる問題解決を支援するための技術となる。エンタープライズインテグレーションを支援するネットワークAI技術は、図5.2-1に示すように大きく三つに分類されるであろう。

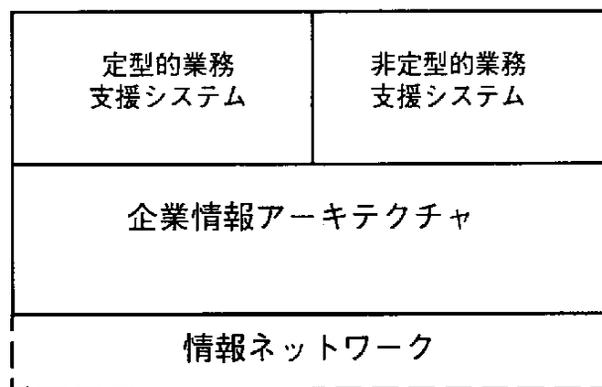


図5.2-1 企業内でのネットワークAI技術の分類

企業情報アーキテクチャ まず企業情報アーキテクチャとはタスクレベルでの協調処理を支援するためのインフラストラクチャであり、情報ネットワーク技術を拡張するものである。すなわち、企業内外に存在するさまざまな情報を利用者やアプリケーションソフトウェアに適切に提供できる技術が要求されている。

これまでも企業内には、さまざまなハードウェア、ソフトウェアが、個人あるいは各部門内での情報処理を支援するために導入されてきた。さらに近年では企業内ネットワークの導入によりこれらの情報システムが相互接続されるようになり、ネットワークを介したアプリケーションの利用やデータベース検索も可能になった。しかしこれからはさらに、複数の部門にあるデータベースやアプリケーションソフトウェアを統合化して相互運用する技術が必要とされている。

このために有望な技術として既存のデータベースやアプリケーションソフトウェア

をエージェント化して統合するという連邦型アーキテクチャがあげられる。連邦型アーキテクチャは柔軟性と拡張性の高い情報統合の手段であり、その上でのさまざまな協調的問題解決システム [石田96] の実現が期待できる。またエージェント間での高いレベルでの情報統合を実現するためにはシステム全体で利用する語彙体系（オントロジー）を確立する必要がある、企業オントロジーの研究が重要になる。

このような情報統合は企業内の情報資源だけでなく、インターネットを介して外部の情報資源もアクセスすることが可能になるであろう。このような情報統合を利用者の視点からとらえると、いかにして膨大な情報の中から必要な情報を選択し、自らの企業活動に生かすかが重要になる。膨大な情報処理を代行してくれるインタフェースエージェントはこのような企業活動を支援する技術の一つとして期待できる。

定型的業務支援 定型的業務とはルーチン的な作業のように、そのプロセスが比較的明確に定義できるものである。プロセスが明確に定義できれば計算機による自動化も比較的容易になる。ジョブショップスケジューリングなど生産ラインや工作機械のスケジューリングはそのような自動化の典型である。分散協調スケジューリングは複数の工作機械を協調的に動作させ、効率的に生産を行うために必要な技術となるであろう。

人間の業務の流れを表すワークフローも同様に自動化の対象となるであろう。しかしながらジョブショップと異なり、ワークフローの場合は作業主体は人間であり、計算機により自動化することが困難な作業を受け持っている。ここでは自動化できる部分とそうでない部分の間のインタフェースも重要な研究課題の一つとなると考えられる。すなわち例外的なイベントの発生など、人間がスムーズに介入できるような仕組みが必要になるであろう。

非定型的業務支援 非定型的業務とは共同作業や会議といった構成員間での調整作業を意味している。このような活動はもちろん計算機による自動化は不可能であり、共同作業をいかに支援するかが課題となる。共同作業においては作業員間での「場」の共有をいかに自然に行なうかが重要な課題となる。この場には空間的なものと時間的なものが考えられる。空間的な場の共有とは地理的に離れた作業員が共有する場であり、コンカレントエンジニアリングによる協調設計は計算機ネットワーク上にこのような場を実現することを目的とした代表的な事例といえる。

また時間的な場の共有とは、企業内のノウハウといった知識を作業員間で受け継ぐ

ために必要となる場である。このような事例としては知識システムの維持、保守に関する知識管理の問題がある。知識システムの運用における様々なノウハウや問題点は必ずしも明示的ではなく、利用者や組織の中に潜在化している場合も多い。そのような知識をいかに獲得し、それを将来のシステム運用に生かしてゆくかが重要な研究課題の一つとなる。

以上のようにエンタープライズインテグレーションのためのネットワークAI技術を三つの領域に分類したが、これらはネットワークウェア、ソーシャルウェアとの関連が深く、それらの技術がこれらの応用を支えるものとして期待される。

本章では、以下、企業情報アーキテクチャ、ワークフローシステム、分散協調スケジューリング、協調設計システム、知識管理について具体的な事例を紹介する。

参考文献

[石田他 96] 石田亨, 片桐恭弘, 桑原和宏, 分散人工知能, コロナ社, 1996.

5.3 企業情報アーキテクチャ

今日の多くの企業ではさまざまな情報機器やアプリケーションソフトウェアが導入され、データベースが構築されている。しかしながらこれらは部門毎に個別に導入あるいは開発され、維持管理されていることが多い。企業における情報処理のベースとなるデータベースは、それを直接利用する部門だけでなく企業全体にとって重要な情報資源であり、部門を越えて共有し、相互運用できることが望まれる。それにより、(1)各部門で行われている企業活動間の調整が容易になる、(2)ワークフローシステムやグループウェアを導入する場合における情報共有のベースとなる、(3)経営者レベルにおいて企業活動の状況をより広範囲に、またより迅速に把握することが可能になる、といったような利点が得られる。

さらに、インターネットへの接続により外部の情報資源に対するアクセスも可能になり、競合企業に関する情報を収集し、自らの企業戦略を決定してゆくことが可能になる。一方でインターネットを介して得られる情報は膨大であり、情報収集や操作のための計算機支援も必要になるであろう。

本節では、これからの企業情報アーキテクチャを示すものとして、データベース統合とオントロジー、連邦型アーキテクチャ、インタフェースエージェントについての事例を紹介する。

5.3.1 データベース統合とオントロジー

企業内において、各部門で運用しているデータベースには様々な違いがある。データの種類にしても、テキストデータや数値データにはじまり、グラフィックデータ、CADデータなど様々なものがある。例えばアパレルメーカーを例にとろう。ここでは衣類に関するデータが中心になるが、在庫管理部門では衣料や素材の識別番号と数量といったテキスト・数値データを主に扱うことになるであろう。営業部門が顧客に対して製品を販売する場合には、製品の様態を表すグラフィックデータを用いるであろう。一方、製造部門では寸法に関する情報が加えられたCADデータが中心になるであろう。このように同一の衣料に関するデータといっても、その用途に応じて様々なデータ形式のデータベースが構築されている。これらの各部門は相互に連携しながら仕事を進めており、これらのデータベースを相互運用できることが望ましい。これにより例えば、顧客の要望が営業部門のグラフィックデータ上で示されると、それが

製造部門のCADデータ上に反映されたり、その変更に必要な素材の在庫の有無に関する情報が在庫部門のデータベースを通して直ちに示されるようになる。

データベースの違いといっても様々なものがある。最初に考えられるものはデータベースの構造（スキーマ）の違いによるものである。例えば関係データベースにおいて、データは属性値リストの集合として表され、データ検索においてその属性名が用いられるが、異なるデータベース間で属性名に重複が生じたり、同じ属性に異なる属性名がつけられたりすることがある。例えば、異なる概念である「顧客の氏名」と「製品の名称」に対して、「名前」という同一の属性名が与えられているかもしれない。また逆に、「顧客の誕生日」という一つの概念を一方のデータベースでは「生年月日」、もう一方のデータベースでは「誕生日」という属性名で指定されている場合もありうる。したがって属性名のみを手がかりとしてデータベースの統合を行なうことはできない。このようなスキーマレベルでの違いは異種データベースにおけるスキーマ変換の技法を用いることにより解消される [Ozsu91]。すなわち前者の場合は属性名の付け替えを行い、後者の場合は共通の属性名を決め、それに変換するようにすることにより解決される。もちろんこれらの作業はデータベース統合を行うシステム設計者の手に委ねられている。

テキスト、数値、グラフィック、CADなどのデータの型の違うデータを統合化する一つのアプローチとしてオブジェクト指向データベースがある。オブジェクト指向データベースでは様々な型を持つデータをオブジェクトとしてデータベース中に格納できる。データに対する操作はメソッドとして表現され、型階層を導入することにより複合オブジェクトも表現できるので、より自然なデータモデリングが可能である [北川96]。それぞれのデータベースのアクセスメソッドを参照し、それを利用したクエリーを記述することによりデータベース統合が図られる。

このように様々なデータ構造や型の違いを統合化する手法はすでに実用化されている部分もあるが、これらはいずれも構文レベルでの統合であり、さらに高いレベルでのデータベース統合を実現するためには意味レベルでの統合を行う必要がある。例えば、「衣類」を表す言葉として「洋服」、「服」、「着物」などのいく通りかの表現法がある。それぞれ個別に開発されたデータベースではその表現がまちまちであるのが普通であろう。複数のデータベースを統合化し、相互運用する場合にはこれらの違いを自動的に解消できることが望ましい。このためにデータベース中のデータを解釈するための共通語彙体系となるオントロジーの研究が進められている [溝口94]。

データベース統合を目的として、オントロジーを用いて意味レベルの統合を行う事

例としてはMCCにおけるCarnotプロジェクト [Huhns92] がある。CarnotプロジェクトではMCCで開発された様々な常識的知識を収集した大規模知識ベースCyc [西田94] をオントロジーとして用いている。そして個別の局所データベース内の概念とCycの概念を関係づけるためにarticulation axiomを用いている。各公理 (axiom) は $ist(G, \phi) \Leftrightarrow ist(C_i, \psi)$ という形式をしている。ここで G はオントロジー、 C_i は局所データベースを表し、 ϕ, ψ はそれぞれの概念を表している。例えば図5.3-1に示すように、あるデータベースDB1では自動車のことをCarで表し、他方のデータベースではAutoで表しているとする。これはともに同一の概念を表しているが、表現が異なっている。ここでオントロジーが乗り物の概念階層を表しており、articulation axiomでCar、Auto、Automobileの関係性を定義することにより、これらがみな同一の概念を表すものとして相互変換される。

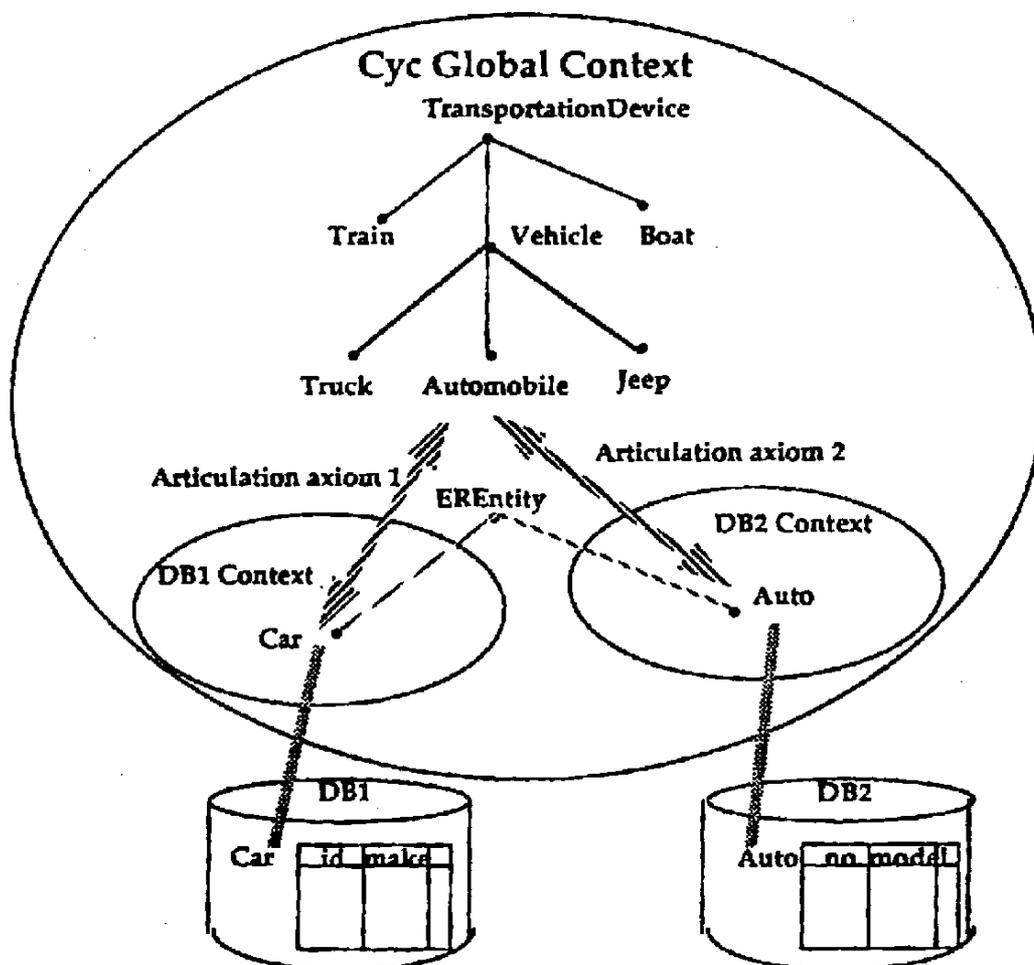


図 5.3-1 Carnot における意味統合 [Huhns et al. 92]

またトロント大学におけるTOVEプロジェクトではエンタープライズインテグレーションを目的とした企業オントロジーを開発中である [Gruninger96]。企業オントロジーは、図5.3-2に示すような複数のオントロジーから構成されている。これらのオントロジーは領域に依存するものと常識に関するものがあり、矢印が示すように相互に関連している。例えば、常識の一つである時間と行動に関するオントロジーは図5.3-3に示すような一階述語論理により表現されている。このような形式的記述法によりオントロジーを表現すれば、それらを用いた推論が可能になり、企業内での自動的なデータベース統合が期待される。

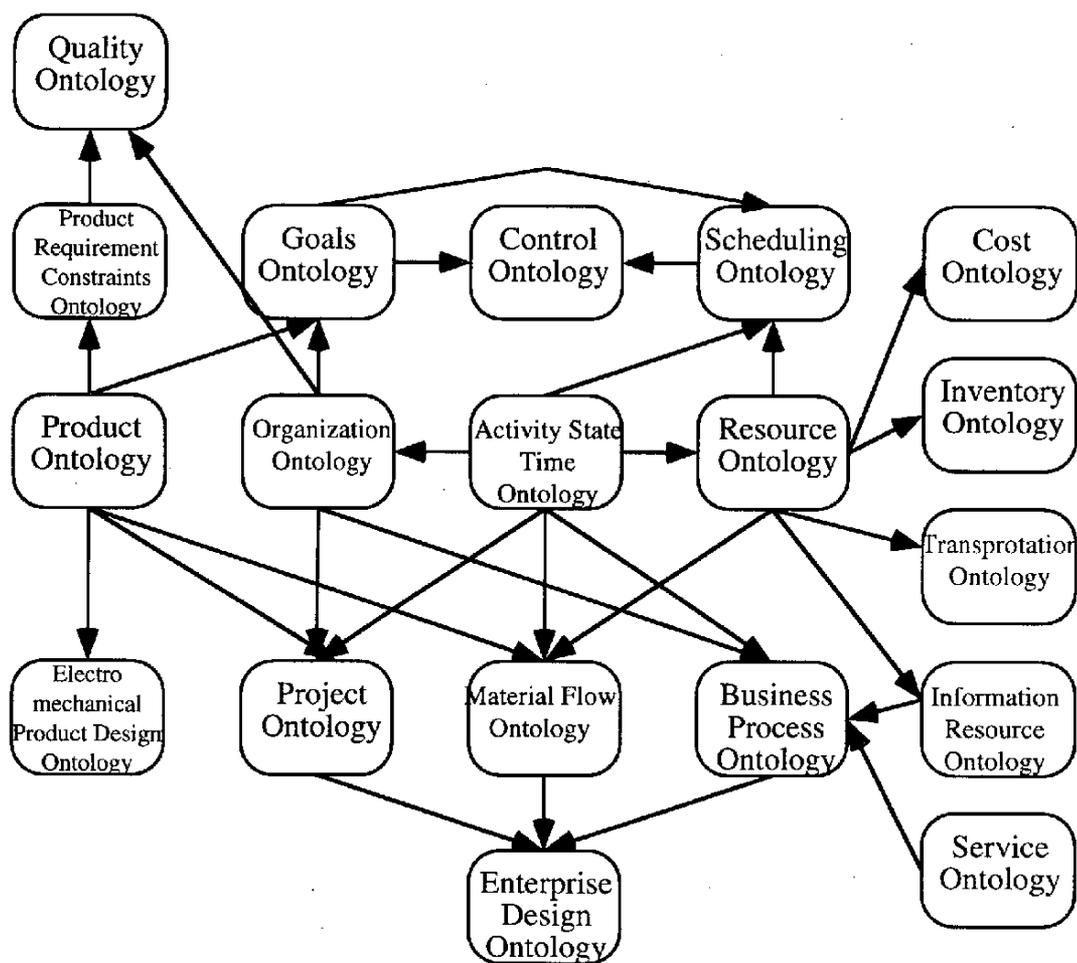


図5.3-2 企業オントロジー

時間は連続的な線として表現される。二つの時刻上で関係 \prec が定義され、 t が t' より早ければ、またそのときに限り、 $t < t'$ である。

世界には初期状態があり、アクションが実行されると状態が変化する。状態 σ でアクション a が実行可能であれば、述語 $Poss(a, \sigma)$ は真となる。状態の構造は木構造である。各枝は仮想的な未来を示す。木全体ではすべての可能性のある未来を表す。

関数 $do(a, \sigma)$ は状態 σ においてアクション a を実行して得られる状態である。初期状態は σ_0 で表す。

公理1から4は関係 \prec に関するもので、公理5から7は現実状態に関するものである。

公理1 $(\forall a, \sigma_1, \sigma_2) \sigma_1 < do(a, \sigma_2) \equiv \sigma_1 \leq \sigma_2$

同じ枝上にある二つの状態は、一方が他方より先行している。

公理2 $(\forall a_1, a_2, \sigma_1) do(a_1, \sigma_1) = do(a_2, \sigma_1) \Rightarrow a_1 = a_2$

状態はユニークな前状態をもつ。

公理3 $(\forall \sigma_1, \sigma_2) \sigma_1 < \sigma_2 \Rightarrow \neg \sigma_2 < \sigma_1$

状態は木構造となる。状態にはサイクルがない。

公理4 $(\forall \varphi) [\varphi(\sigma_0) \wedge (\forall \sigma, a) (\varphi(\sigma) \Rightarrow \varphi(do(a, \sigma)))] \Rightarrow (\forall \sigma) \varphi(\sigma)$

すべての状態は初期状態からアクションの実行により到達できる。

公理5 $actual(\sigma_0)$

初期状態は現実である。

公理6 $(\forall a, \sigma) actual(do(a, \sigma)) \Rightarrow actual(\sigma) \wedge Poss(a, \sigma)$

状態が現実であれば、直前の状態も現実であった。

公理7 $(\forall a_1, a_2, \sigma) actual(do(a_1, \sigma)) \wedge actual(do(a_2, \sigma)) \Rightarrow a_1 = a_2$

現実の状態は高々一つの現実の後続状態をもつ。

図5.3-3 時間オントロジー

5.3.2 連邦型アーキテクチ

企業の中にはデータベースだけでなくさまざまなアプリケーションソフトウェアが存在し、異なるインタフェースを持つことが多い。また古くからのレガシーソフトウェアが受け継がれている一方で、新しいソフトウェアが導入される。従来のデータベース統合は、共通モデルを導入し、異種のデータベースを変換することにより統合を行うことが一般的であったが、アプリケーションソフトの統合においては普遍的な共通

モデルを構築することの困難さはさらに大きい。またアプリケーションの変更や新規導入が共通モデルの変更に至る場合には、システム全体を考慮する必要があり、システムの規模に応じてそのコストは大きくなる。

このような情報システムの動的な変更に対しても柔軟に対処するための一つのアプローチとして複数のエージェントから構成される連邦型アーキテクチャによる情報統合がある [Genesereth94]。

エージェントは図5.3-4に示すようにそれぞれ情報処理を行う能力を備え、他のエージェントとメッセージ交換により通信することができる。既存のデータベースやアプリケーションソフトウェアはメッセージ交換を行うモジュールを付加したり、通信コードを挿入することによりエージェント化される。

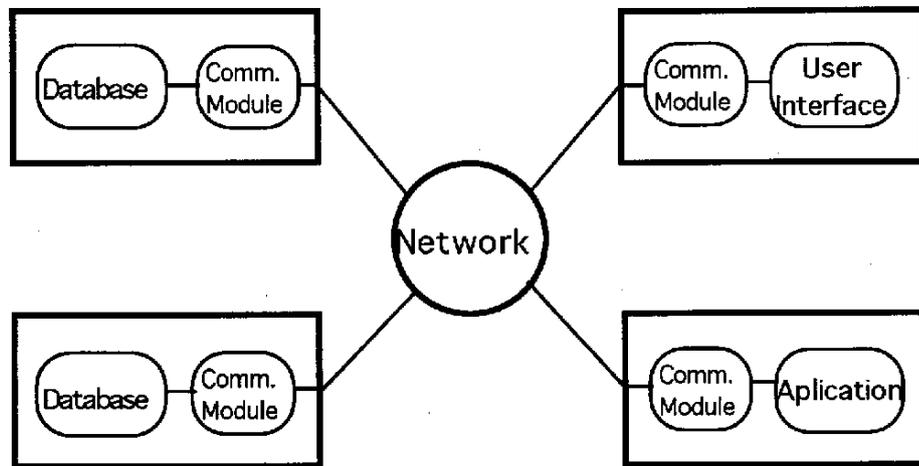


図5.3-4 連邦型アーキテクチャ

このような連邦型アーキテクチャによる情報統合の利点はデータベースやアプリケーションにおける変更はエージェント内にとどめることにより、変更に必要なコストを低減させることにある。また、エージェントはデータ検索という従来の受動的な情報アクセスを受理するだけでなく、それとは逆に、データベースに変更が生じたときにそのことを他のエージェントに知らせるといった能動的な情報転送を可能にする。さらにエージェント内での問題解決能力や協調能力を高度化させることにより、分散協調問題解決も可能になるであろう。

このような分散協調問題解決を実現するためにはエージェント間での通信を記述する必要があるが、それには三つのレベルがある [Barbuceanu96]。第一のレベルはエー

エージェント間で通信される情報コンテンツに関連するものである。このレベルで通信される情報は“(produce 200 widgets)” (200個の部品を生産する。)のような命題 (事実) である。このレベルの記述言語としては1階述語論理を拡張したKIF (Knowledge Interchange Format) [Genesereth94] があげられる。

第二レベルはエージェントの意図を記述するものである。同一のメッセージ内容 (produce 200 widgets) であっても以下に示すように意図の違いによりその意味は異なってくる。

- (ask (produce 200 widgets)) : 送信者は受信者に述べられている事実が真かどうか尋ねている。「部品を200個生産しますか？」
- (tell (produce 200 widgets)) : 送信者は受信者に彼の信念を通信している。「部品を200個生産します。」
- (achieve (produce 200 widgets)) : 送信者は受信者にその事実が真となるように要求している。「部品を200個生産しなさい。」
- (deny (produce 200 widgets)) : 送信者は受信者に述べられている事実が真ではないことを通信している。「部品を200個生産しません。」

このようなレベルの記述言語としてはKQML (Knowledge Query and Manipulation Language) [Genesereth94] があげられる。KQMLは言語行為理論に基づく30種あまりの遂行語 (performative) を通してのエージェント間の通信をサポートしている。

第三レベルはメッセージ交換により相互作用する際にエージェントが従うべきコンベンションに関するものである。すなわちエージェントのメッセージをやり取りを規定する記述である。例えば、営業エージェントが顧客から200個のランプの注文を受けた場合、まず営業エージェントは製造エージェントにランプ製造を依頼するメッセージ (achieve (produce 200 lamps)) を送るであろう。このメッセージに対し、製造エージェントは製造可能な場合は (tell (produce 200 lamps)) を送り、製造不可能な場合は (deny (produce 200 lamps)) を送る。このようなメッセージをやり取りを組み合わせることで、協調的な問題解決を記述することができるようになる。ワークフローシステムへの応用は5.4節で述べている。

それではここで連邦型アーキテクチャの具体例として、エージェント内での推論も含めた協調的情報配送について紹介しよう [Barbuceanu96]。ここではエージェントが従来のデータベースのように外部からのデータ検索にのみ答えるという受動的な情

報提供だけではなく、自らの情報の変化に応じて他のエージェントに働きかけるという能動的な情報提供機能が特徴となっている。

ここでのエージェントの構成を図5.3-5に示す。ここには商品の運搬計画を立案する運搬 (Transportation) エージェント、部品を生産する二つの工場 (Plant) エージェント、情報の仲介を行う情報 (Information) エージェントが存在する。情報エージェントは各エージェントで発生する情報を整理し、情報を必要とするエージェントに配送する役目を負っている。

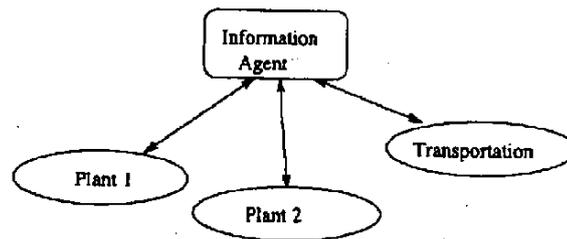


図5.3-5 エージェントの構成 [Barbuceanu and Fox 96]

商品の運搬計画を立案する運搬エージェントは運搬に特別の処置が必要な重い部品の生産を前もって知っておきたいので、図5.3-6に示されるように情報エージェントにsubscribeメッセージとしてこの関心事を示す。

```

;; Topic of interest and subscription of Transportation Agent:

(concept heavy-component           ;; any component whose weight
  (:and component (:gt weight 5000))) ;; is greater than 5000

(subscribe
  :content(stream-about
    :content(query heavy-component
      [:alltime march-april 94])))
  
```

図5.3-6 関心の表明 [Barbuceanu and Fox 96]

例えば図5.3-6では「重い」の概念が5000グラム以上であることを宣言し、94年の3月から4月の間に重い部品があれば知らせてほしいことを宣言している。

情報エージェントは工場エージェントに接続され、さまざまな部品の製造に関するイベントに関する情報更新を受ける。運搬エージェントから重い部品の定義を示され、製品の重さは部品の重さの和であるという常識的知識を利用して、情報エージェント

は図5.3-7に示されるように運搬エージェントに通知する。

```
;; Plant-1 to Information Agent:
(achieve :content (part-of p-111 c-12))
(achieve :content (weight c-12 2700[:starting feb 94]))

;; Plant-2 to Information Agent:
(achieve :content (part-of p-111 c-13))
(achieve :content (weight c-13 3400[:starting jan 94]))

;; Information Agent inferences:
(component p-111)
(weight p-111 6100 [:starting feb 94])
(heavy-component p-111 [:starting feb 94])

;; Information Agent to Transportation Agent:
(tell :content (heavy-component p-111[march-april 94]))

;; Plant-1 to Information Agent:
(deny :content (weight c-12 2700 [:starting april 94]))
(achieve :content (weight c-12 1000 [:starting april 94]))

;; Information Agent to Transportation Agent:
(deny :content
  (tell :content (heavy-component p-111 [march-april 94])))
```

図5.3-7 協調的情報配送 [Barbuceanu and Fox 96]

図5.3-7ではまず部品p-111を構成する部品c-12の重量が94年2月から2700グラムになることがPlant-1エージェントから情報エージェントに通知される。次に、同じく部品p-111を構成する部品c-13の重量が94年1月から3400グラムになることがPlant-2エージェントから情報エージェントに通知される。さて情報エージェントではこれらの情報をもとに部品p-111の重さが94年2月から6100グラムになり、これは重い部品の範疇に入ることが推論で得られる。したがって情報エージェントは運搬エージェントに94年の3月と4月の間はp-111が重い部品であることを伝える。さらにPlant-1エージェントが情報エージェントに部品c-12が94年4月より2700グラムから1000グラムに変更さえることを伝える。情報エージェントではこの通知を受けてp-111がもはや重い部品でなくなったことを運搬エージェントに伝える。

5.3.3 インタフェースエージェント

企業内外に存在する様々なデータベースをはじめとする情報資源が相互に結合されると膨大な量の情報が利用可能となるが、利用者はその情報のすべてを参照することは不可能で、必要なもののみを選択的に利用することになる。特に経営者クラスでは即座に判断を下すためにも、企業全体の状況や、関心のある項目に対して、常に質の高い情報を必要としている。すなわち膨大なデータの中から、必要な部分だけを取り出し、必要な場合にはそれをさらに抽象化し、データ量を少なくして提示してくれるようなシステムが必要になる。

このような目的のためのMITのPattie Maesらはソフトウェアエージェントの研究を行っている [Maes94]。ソフトウェアエージェントは電子的な秘書であり、ネットワークを介して送られてくる情報を取捨選択する支援を行ってくれる。

例えば電子メールエージェントは利用者に代わってメールに優先順位をつけ、削除、転送、並べ替え、保存を行ってくれる。また会合スケジューリングエージェントは利用者のカレンダーを管理し、エージェント同志で会議日程に関して調整を行ってくれる。さらにニュースフィルタリングエージェントはWWWやオンラインニュースから利用者が興味ある情報だけを抜き出して提示してくれる。これらのソフトウェアエージェントに共通の機能は利用者の興味に応じた情報操作や提供を行ってくれるという点である。そのためにエージェントの中に機械学習の機能が組み込まれており、利用者の操作を監視することにより、利用者の関心や好みを学習してくれる。

また電子秘書のように送られてくる情報に対して操作を加える受動的なエージェントだけでなく、自らが情報の収集や監視を行う能動的なエージェントも研究されている。University of WashingtonのOren Etzioniは、利用者の代わりに計算機操作を行ってくれるソフトウェアロボットであるソフトボットの研究を行っている [Etzioni96]。例えばMetaCrawlerは複数のWWW検索エンジンに並列に問い合わせを行い、それらの結果を総合的に判断し、より速く、よりの確に、利用者の必要としている情報を収集してくれる。ShopbotはMetaCrawlerを応用したもので、オンラインで販売されている商品の中からバーゲン情報を見つけてくれるソフトボットである。またネットワーク内の状態を監視するようなソフトボットもある。Robot for OLAPはデータベース内の状況を監視し、その値に変動があった場合にはそれを知らせてくれる機能をもっている。米国のレンタカー会社であるHertzはRobot for OLAPを用いて競合企業の価格設定の変動を常に監視しており、自らの価格設定に反映させている [King96]。

また、CMUのKatia Sycaraらは投資管理のシステムとしてWarrenを開発している [Sycara96]。Warrenは市場の状況、経済ニュース、証券取引委員会 (SEC) の状況、経済指標などをそれぞれ監視するエージェントを置き、それらから得られる情報を総合して株の売買に関するアドバイスをを行うシステムである。

今後はさらに、利用者の要望に応じて情報収集を行うさまざまな種類のソフトボットが必要になることが予想される。そのためにこのようなソフトボットを容易に開発するための言語や環境が必要になるであろう [Kitamura96]。

参考文献

[Barbuceanu and Fox 96] Mihai Barbuceanu and Mark S. Fox, "Capturing and Modeling Coordination Knowledge for Multi-agent Systems," *International Journal on Cooperative Information Systems*, Vol.5, No.2-3, pp.275-314, 1996.

[Etzioni 96] Oren Etzioni, "Moving Up the Information Food Chain: Deploying Softbots on the World Wide Web," *Proceedings Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence*, pp.1322--1326, 1996.

[Genesereth and Ketchpel 94] Michael R. Genesereth and Steven P. Ketchpel, "Software Agents," *Communications of the ACM*, Vol.37, No.7, pp.48-53, 1994.

[Gruninger and Fox 96] M. Gruninger and M.S. Fox, "The Logic of Enterprise Modelling," *Modelling and Methodologies for Enterprise Integration*, pp.140-157, Chapman & Hall, 1996.

[Huhns et al. 92] Michael N. Huhns, Nigel Jacobs, Thomas Ksiezyk, Wei-Min Shen, Munindar P. Singh, and Philip E. Cannata, "Enterprise Information Modeling and Model Integration in Carnot," *Enterprise Integration Modeling*, pp. 290-299, MIT Press, 1992.

[Kitamura et al. 96] Kitamura, Y., Nakanishi, H., Nozaki, T., Miura, T., and Ishida, T., "MetaViewer and MetaCommander: Applying WWW Tools to Genome Informatics," *Proceedings of the Seventh Workshop on Genome Informatics*, pp.137 - 146, 1996.

[King and O'Leary 96] David King and Daniel O'Leary, "Intelligent Executive Information Systems," *IEEE Expert*, Vol.11, No.6, pp.30-35, 1996.

[北川 96] 北川博之, データベースシステム, 昭晃堂, 1996.

[Maes 94] P. Maes, "Agents that Reduce Work and Information Overhead," *Communications of the ACM*, Vol.37, No.7, pp.31-40, 1994.

[溝口 94] 溝口理一郎, 知識共有と再利用研究の現状と動向, 人工知能学会誌, Vo.9,

No.1, pp.3-9, 1994.

[西田 94], 西田豊明、大規模知識ベースシステム, 情報処理, Vo.35, No.2, pp.130-139, 1994.

[Ozsu and Valduriez 91] M.Tamer Ozsu and Patrick Valduriez, Principles of Distributed Database Systems, Prentice Hall, 1991.

[Sycara et al. 96] Katia Sycara, Anandee Pannu, Mike Williamson, Dajun Zeng, and Keith Decker, "Distributed Intelligent Agents," IEEE Expert, Vol.11, No.6, pp.36-45, 1996.

5.4 ワークフローシステム

企業の中においてそのビジネスプロセスの効率を上げる手段の一つとしてワークフローシステムがある。定型的な企業活動は図に示すように、見積、受注、在庫引当、発送、請求、回収といったワークフロー（作業の流れ）として表現することができる。このようなワークフローは必ずしも一筋とは限らず、図5.4-1にも示すように条件分岐や繰り返しが生じることがある。また一つの作業がさらに細分化され、それがもう一つのワークフローを構成することもある。ワークフローの実行時にはそれぞれの作業が企業内の構成員に割り当てられる。

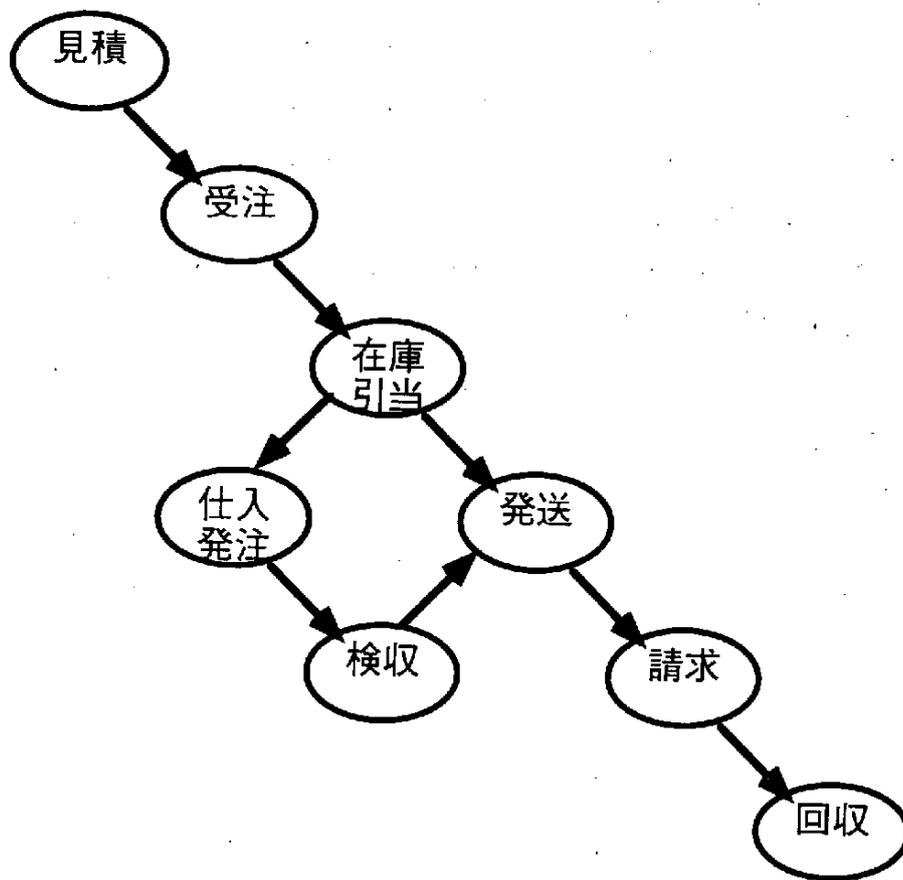


図5.4-1 ワークフロー

ワークフローシステムは計算機によりワークフローを半自動化することを目的としている。各種伝票など作業に必要な情報はデータベース上で管理される、担当者は端末上でネットワークを介して送られてくる作業項目に対して適切な判断を行い、情報

操作を加える。その部所での作業が終了すると作業項目は必要な情報とともに、ワークフローにしたがって次の担当者に送られる。これは工場でおこなれている組立ラインの自動化と類似しているといえる。作業員はそれぞれの作業台で待機しており、ベルトコンベヤで流される製品に対して必要な作業を行う。ワークフローシステムでは作業台がコンピュータ端末、コンベヤがネットワーク、そして製品が電子化された帳票に対応することになる。

このようなワークフローシステムは作業の流れを自動化することによりビジネスプロセスの効率化を支援してくれる。また帳票類を電子化し、ネットワークを介して送付することにより、担当者間での情報の引継ぎが瞬時に行われることになる。またワークフロー全体を監視することにより、作業のボトルネックになっている部所を特定でき、適切な対策を講じることができる。このように、現在のワークフローシステムは変動や例外的なイベントの少ないワークフローを対象に、プロジェクトの進捗状況の管理と作業員間での作業データの受渡しを主な機能としている。ネットワークAIが目指すところは現在では人間が行なっているような複雑な協調作業をできるだけ計算機上で実現することであるといえる。

これを実現する一つの方法が現在人間間で行なわれている協調的作業プロセスを記述し、それを計算機上でシミュレートすることである。そのような試みの一つとしてトロント大学におけるサプライチェーン管理システムの事例を以下に示す [Barbuceanu96]。

サプライチェーン管理システムは図5.4-2で示されるようなエージェントの集合体により実現されている。ここOrder Acquisitionエージェントは顧客からの注文を受け付け、Transportation Managementエージェントは製品や資材の運搬に関する責任を負う。Resource Managementエージェントは資材管理を担当し、Schedulingエージェントは工場内の生産工程をスケジュールする。Dispatchingエージェントは工場フロアを全体的に管理するエージェントである。Logisticsエージェントはこれらのエージェントを統括的に監視し、受注から製品の配送までのプロセスをスムーズにする役目を負っている。そしてInformationエージェントが全体的な情報の流れを管理している。これらのエージェントが全体として協調的に動作することによりサプライチェーンの管理が行われる。

このようなサプライチェーンの管理を行うためにはエージェント間の相互作用を明示的に表現する必要があるが、そのような相互作用はメッセージ交換により行われるので、エージェント側の視点に立てばそれはメッセージの送受信に基づく状態遷移グ

ラフとして表している。

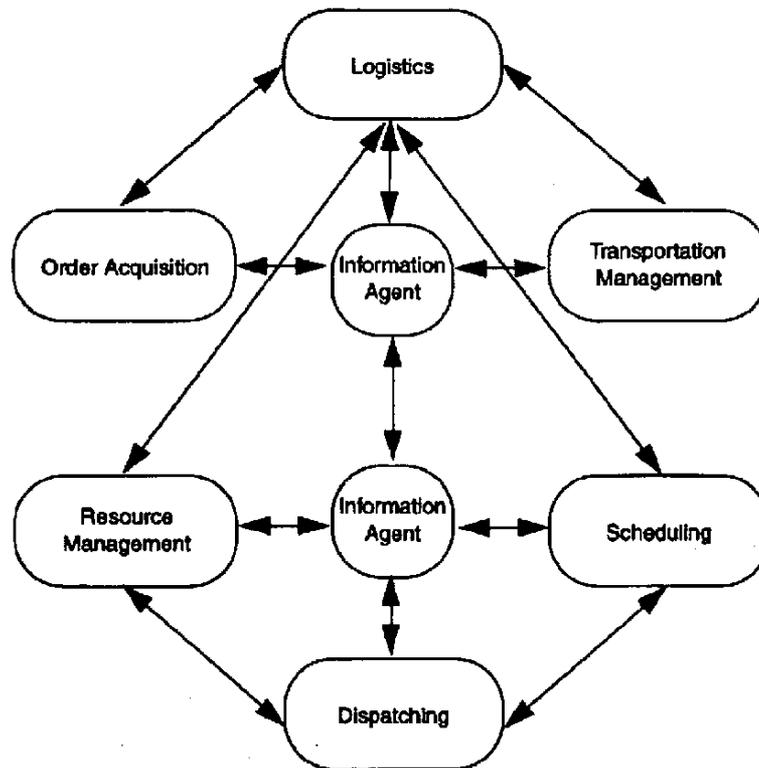


図 5.4-2 サプライチェーン管理システム [Barbuceanu and Fox 96]

図 5.4-3 は Logistics エージェントがサプライチェーン全体を調整するために実行するプロトコルを示している。プロセスは Customer エージェントが注文の要求を送ることから始まる。Logistics エージェントが注文を受け取ると、order-received 状態に移る。そこで注文が完全に記述されているかチェックし、そうでなければ Customer エージェントに書いている部分を満たすように依頼する (asked 状態)。それができなければ、会話は終了である (fail 状態)。注文が完了すると、会話は order-decomposed 状態に移る。ここで Logistics エージェントは製造、組立、運送のタスクに分解しようとし、どのエージェントがこれらの行動を実行するか決める。

分解が失敗すると、Logistics エージェントは (alternative-needed 状態に移ることで) Customer エージェントと注文の変更に関する交渉を行なう。分解が成功すると、Logistics エージェントはそれぞれのタスクを実行する契約エージェントのチームを作る (contractors-ranked 状態)。チーム形成は現在の会話を保留し、図 5.4-4 で示されるチーム形成会話を始めることで達成される。Logistics エージェントは左側の会話を

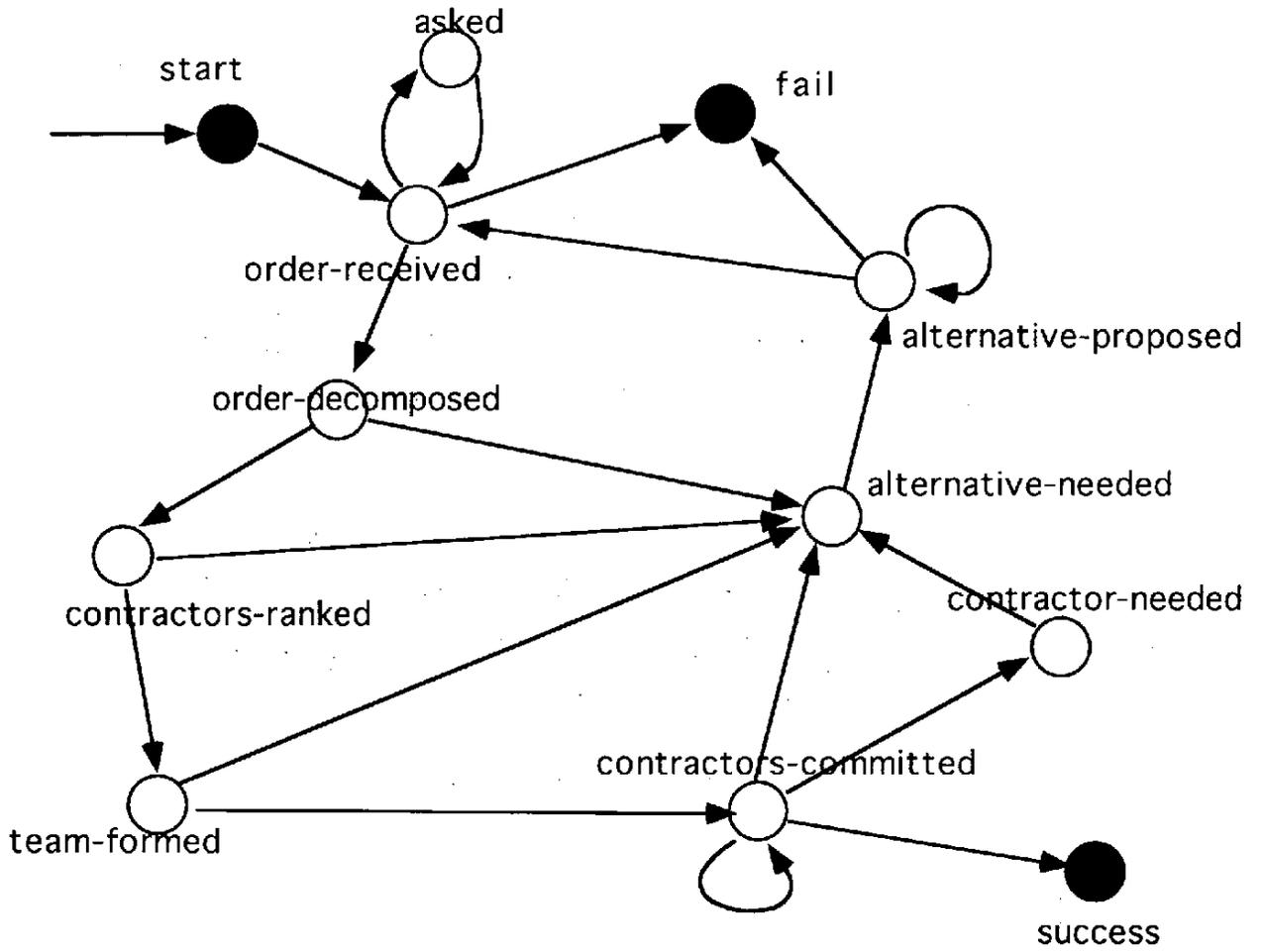


図 5.4-3 サプライチェーン管理プロトコル

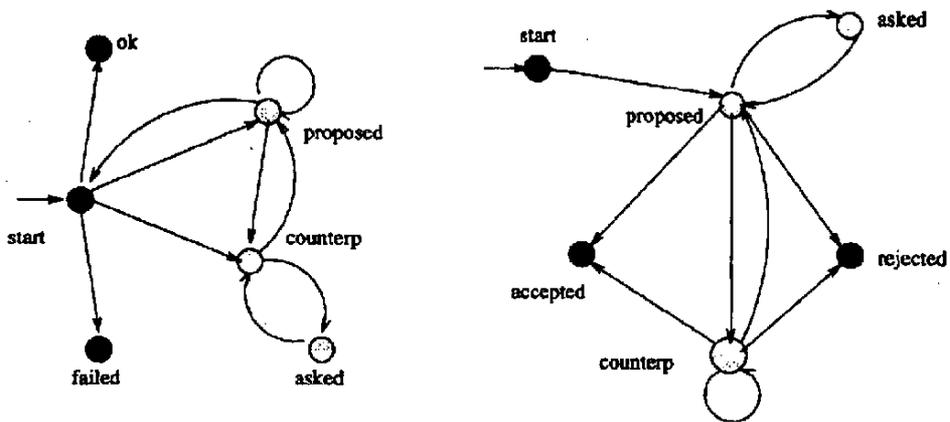


図 5.4-4 エージェント間会話 [Barbuceanu and Fox 96]

用い、契約エージェントは右側の会話クラスが用いる。この会話にしたがって Logistics エージェントと各契約エージェントとの交渉では、合意に至るまで提案と代案が何回か繰り返される。契約エージェントが代案あるいは拒否をする場合には、Logistics エージェントに満たすことのできなかった制約のリストを明らかにする。Logistics はこの制約を用いて、その制約を満たす新しい提案を行う。チーム形成が終わると、保留中の主となる会話が開かれ、次の状態に移る。

contractors-committed 状態では Logistics エージェントは契約エージェントの行動を監視する。契約エージェントが行動の完了を失敗すると、Logistics エージェントは Customer エージェントと契約の変更に関して交渉する (alternative-needed 状態)。その後、新しい提案を Customer エージェントに送る。提案と再提案の繰り返しの後、合意に至ると、order-received の状態に戻り、実行を再開する。

以上のシステムはサプライチェーン管理をエージェント間の会話として表現しており、複雑なワークフロー処理を自動化しようとしている。ここでのエージェント間の会話はあらかじめシステム設計者により記述されたものである。AI におけるプランニングの技法を用いてこれらを自動的に生成することも重要な課題であろう [Mahling95]。またワークフロー実行中において予想外のイベントが生じた場合や、もともと人間でしかできない作業が存在する場合には人間の介在が不可欠となる。そのためには現在どのような作業状態にあるのかを適切に表示したり、他のエージェントと円滑に会話することのできるような利用者インタフェースの研究も重要になるであろう。

参考文献

- [Barbuceanu and Fox 96] Mihai Barbuceanu and Mark S. Fox, "Capturing and Modeling Coordination Knowledge for Multi-agent Systems," *International Journal on Cooperative Information Systems*, Vol.5, No.2-3, pp.275-314, 1996.
- [Mahling et al. 95] Dirk E. Mahling, Noel Craven, and W. Bruce Croft, "From Office Automation to Intelligent Workflow Systems," *IEEE Expert*, Vol.10, No.3, pp.41-47, 1995.

5.5 分散協調スケジューリング

5.5.1 はじめに

工場におけるスケジューリング（生産計画立案）に当っては、企画、営業、製造、購買、物流など、様々な部門の数多くの異なる見方、レベルの意思決定者間の意見を調整する必要がある。企業を取り巻く状況が激しく変化する中で生産活動を最適化するためには、そうした時間のかかる調整作業を計算機によってシミュレートし、合理的な生産計画を効率的に作成するシステムを構築することが重要である。そのようなシステムを構築する手法として、近年、個々の意思決定者を各々の目標や制約を持ったソフトウェアエージェントとしてモデル化し、それらのエージェント間の相互作用により、協調的な合意解の探索を制御する枠組み（ソーシャルウェア）が有効であるという考えが広く認められつつある。更に、こうしたシステムはモジュラリティが高く拡張が容易であることから、今後急速な情報ネットワーク技術の進展に伴い、単一会社という枠を越えて現実化していくバーチャルファクトリにおいて、益々重要な情報インフラストラクチャと発展していくと予想される（次章参照）。

一般にスケジューリング問題は、幾つかのオペレーションから構成された多数のジョブに対し、与えられた制約をできる限り満足した上で、ユーザの持つ複数の目的関数を同時に最適化するように、有限の資源や時間を割り付ける問題であると定義することができる。スケジューリング問題における最も一般的な制約は、ジョブ中のオペレーション間の時間的先行関係と資源容量の制限（全ての資源において、同一時区間内には高々一つのオペレーションしか割り付けられない）であり、ユーザの目的関数としては納期遅れ最小化、資源稼働率最大化などがある。図5.5-1に、資源制約、順序制約を持つ簡単なスケジューリング問題をグラフ表現した図と、それに対するスケジュールを表現するガントチャートを示す。

ジョブショップスケジューリングなど複雑な生産スケジューリング問題はNP困難な問題である場合が多く [French 82]、現実的な時間範囲内での解決には、厳密な最適解ではなく、適当なレベルでの満足解を追求することが重要である。そこで、生産スケジューリング問題を複数の部分問題に分割し、部分問題毎に独立したエージェントが厳密性を代償として相互干渉を抑えながら、できるだけ並列に、しかも矛盾のないよう各部分問題を解決するよう制御することにより、全体としての問題解決効率の改善を図ることができる。

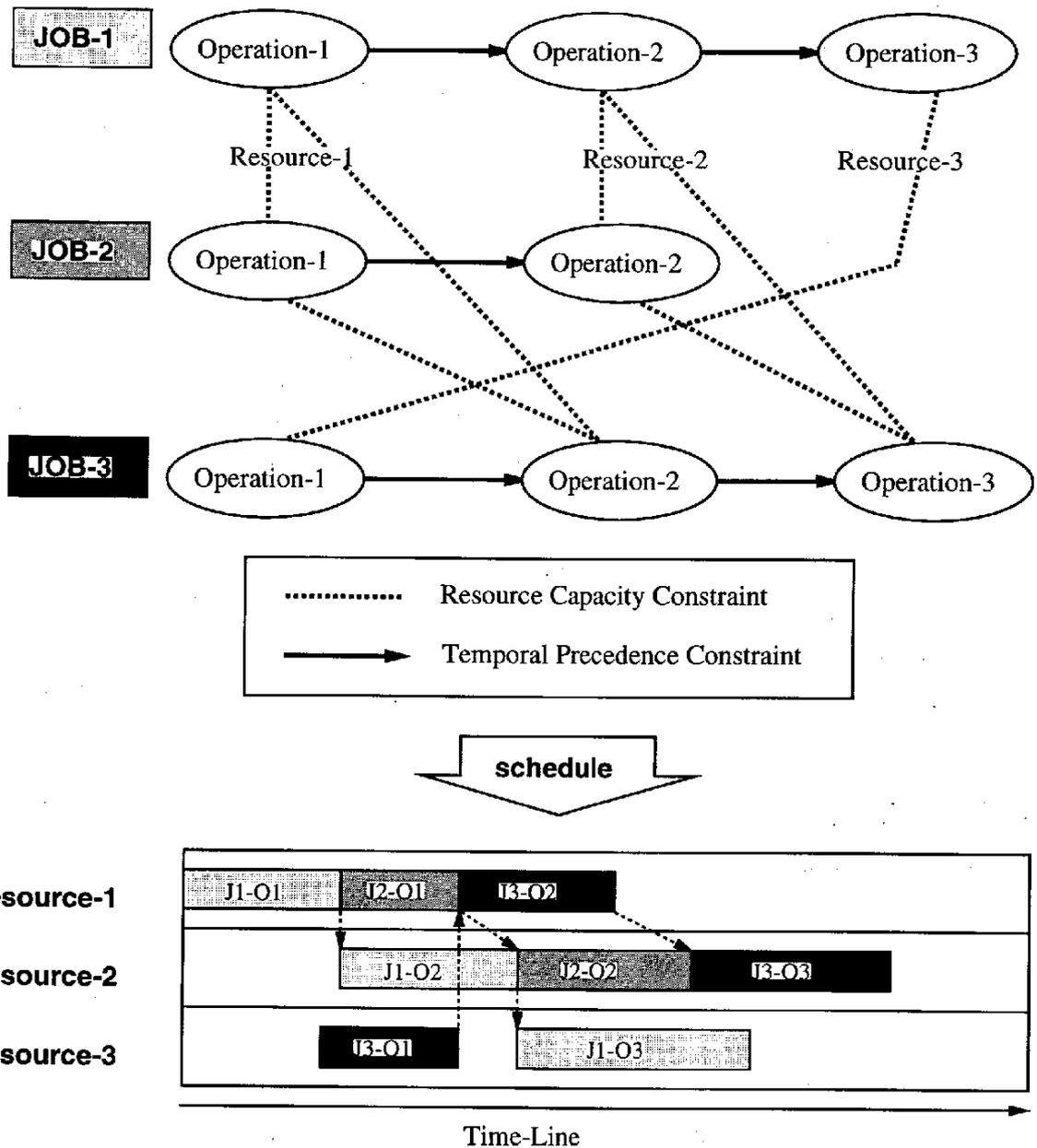


図5.5-1 スケジューリング問題

多数のエージェントを用いて問題解決を行うためには、問題をどのように分割し、エージェントをどう組織化して問題解決を行なうかを決定する必要がある。これまでの分散協調スケジューリングの研究においては、エージェントの組織構造を規定したり、個々のエージェントの役割分担を決めるために、階層的な枠組を用いることが多く行なわれてきた。さらに近年では、分散人工知能研究の一つとして、予め特定の構

造を規定しないよりオープンな環境での問題解決を行うために、複数の均質なエージェントを用いた分散制約充足手法 [Yokoo 92] に基づく研究も見られる。本稿では、先ずそれらの複数エージェントによる分散協調スケジューリング手法に対する種々の研究事例について述べ、最後に各々の手法における長所、短所などをまとめ、今後の課題について触れる。

5.5.2 階層的スケジューリングシステム

スケジューリング問題においては、単独のエージェントでは解決不可能な問題に対する他のエージェントによる制約緩和や問題変更の判断、リアクティブなエージェントによる故障などのリアルタイムな状況変化への対応と並行した熟考型のエージェントによる継続的な意思決定支援、などのエージェントにおける機能分化を効率的に実現するためには階層的な探索制御構造が有効であり、実際にこれまでも多くのシステムが現実の生産工程に適用されてきた。階層的なシステムを構成する個々のエージェントは、以下の基準で異なるレベルに分類することができる：(1) 意思決定の対象範囲（例えば、工場全体、ライン、設備など）、(2) 意思決定に利用する情報（長期計画、実時間モニタリング情報など）、(3) 意思決定が他のエージェントに及ぼす影響の程度（付加、削除する制約条件の種類、強さ）。以下に、異なる基準によって分割された階層的エージェントによる協調的スケジューリングシステムの例を2件示す。

5.5.2.1 システム例

DASスケジューラ [Burke 89] はスケジューリング問題を空間的に分割することにより、異なる範囲の問題空間をカバーするO(perational)エージェント、T(actical)エージェント、S(trategic)エージェントの3階層から成るエージェントによる協調的な問題解決を実現している（図5.5-2参照）。そこでは、Oエージェントは、個々の資源において時間的制約を遵守しながらオペレーションの割り付けを行ない、Tエージェントは、同等能力を持つ資源グループに対して、技術的制約条件を考慮した負荷均衡化を行なう。そして、Sエージェントは、スケジュール全体に対してジョブの投入制御と時間制約違反の解消を行なう。Sエージェントは、下位のエージェント間の制約違反解消の手段として、複数のOエージェントに対するスケジュールの取消（バックトラック）、

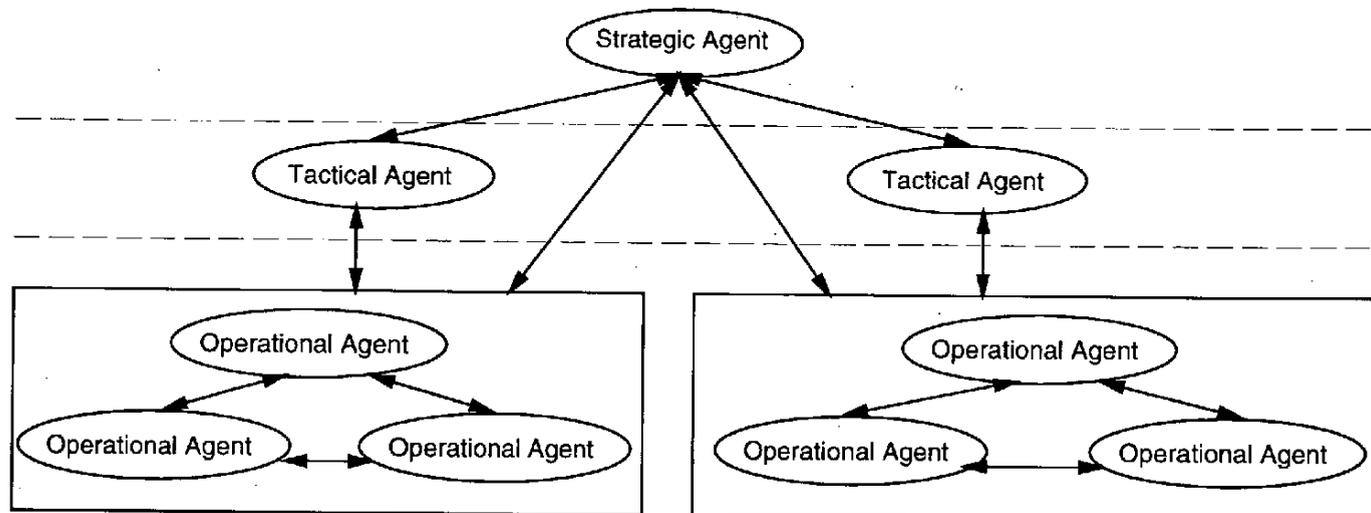


図 5.5-2 DASシステム

およびジョブの時間制約の緩和などの操作を行う。DASの各エージェント間の協調は、優先順位が付加されたメッセージの交換により実現されている。DASシステムは従来の生産管理における階層的な枠組とのマッチングが容易であるため、既に製鉄工場などの生産現場などで適用評価が行われている。

ReDS [Hadavi 92] は、Siemens社のVLSI製造工程に適用されている最小拘束原理に基づくスケジューリングシステムである。図 5.5-3 に示すように、ReDSにおける意思決定は、取り扱う時間軸のスケールや制約の抽象度に応じて、(1)ジョブの投入管理 (FORCE)、(2)ジョブの実行可能性分析 (FA)、(3)詳細スケジューリング (DS)、(4)実時間スケジューリング (SEQ) の4段階のエージェントに分割されて行われる。ReDSでは厳密な最適解よりも、できる範囲で高品質なスケジュールをリアルタイムに生成することに重点がおかれている。したがって、ReDSでは、上位の意思決定エージェントから下位のエージェントへトップダウンにのみ意思決定内容が伝えられ、逆方向へのバックトラックは行なわれない。環境の変化などで、スケジュールの続行が困難になると、その時点で適切なレベルのエージェントに該当するイベントが直接伝えられ、各々のエージェントで並列して対応措置が取られる。ReDSにおけるエージェント間の協調動作は、全てのエージェントに共有されるSTATISTICIANと呼ばれる生産工程の統計モデルが、工場フロアの実データを解析した結果を適切なイベントとして各エージェントに通知することにより実現される。

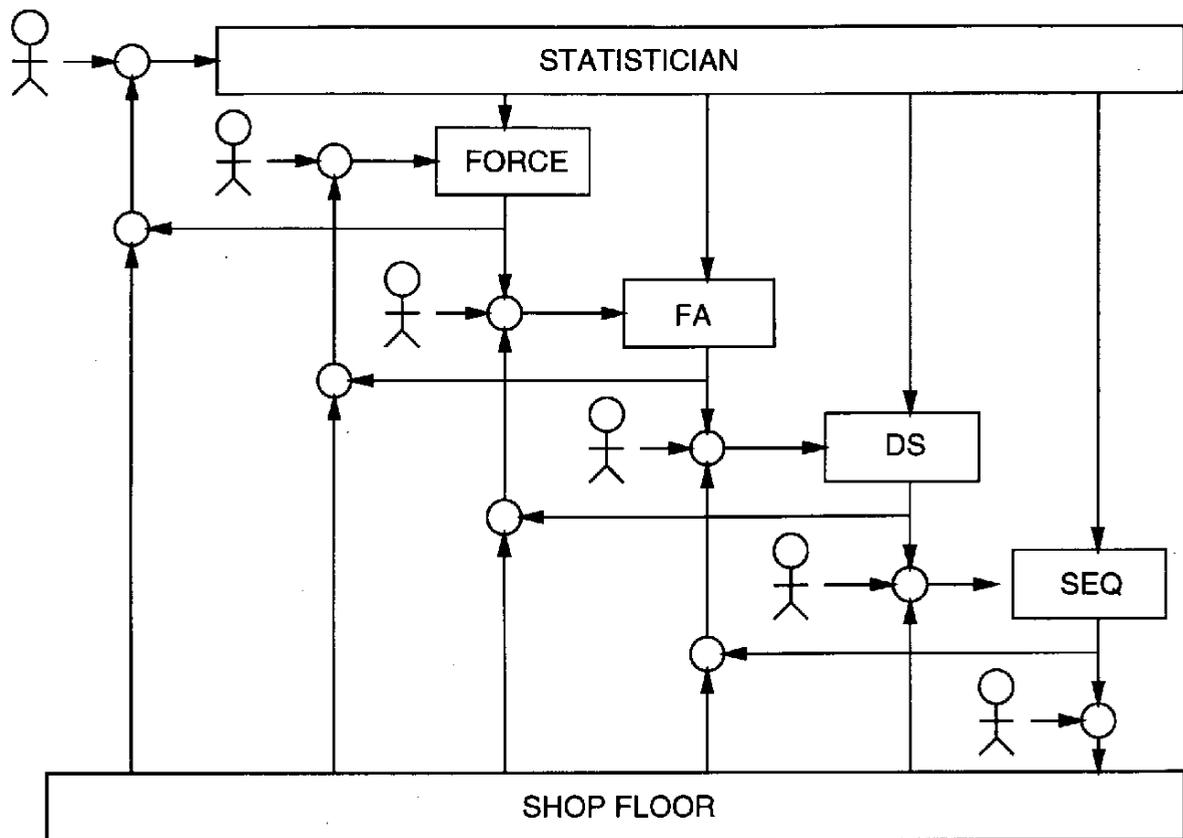


図 5.5-3 ReDSシステム

5.5.3 分散制約スケジューリング

従来の人工知能研究においては、スケジューリング問題を制約充足問題として定式化し、ヒューリスティックな知識を用いて効率的に解を探索する手法の研究が数多くなされてきた [Zweben 94]。そこで得られた知見を活用して更に大規模なスケジューリング問題を解決するためには、複数のエージェントの分散探索による効率的な問題解決の枠組みを実現する必要がある。そのためには、各エージェントにおける処理の並列性をできるだけ保つため、制約伝播に伴うエージェント間の相互作用を最小限に抑えながら、相互に矛盾の無い解を得るための探索制御手法が必要となる。

5.5.3.1 制約探索に基づくシステム例

スケジューリング問題を制約探索によって解決する際の手続きを図 5.5-4 に示す。図中の(2)で実行される制約の一貫性検査に関しては、オペレーション間の時間的順序

- (1) 全てのオペレーションのスケジュールが決定していれば解を通知して処理終了、そうでなければ次のステップへ。
- (2) 全体的な制約充足解の要素となり得ない、局所的に不整合な値の組合わせを除去する。(一貫性検査)
- (3) 行き詰まり状態が検知されたらバックトラックを行う(代替解が残っていれば一つを選択し(1)に戻る、そうでなければ解が存在しないことを通知して処理終了)。
- (4) 次にスケジューリングを行うオペレーションを決定する(変数順序付け)。
- (5) 選択されたオペレーションに対して、有望な値を決定する(値順序付け)。
- (6) 現在の部分解(スケジュール)に対して新しい割り付け結果を付け加えて、新たな探索状態とする。
- (7) (1)に戻る。

図 5.5-4 制約探索によるスケジューリング

関係に関してはPERT/CPM手法 [関根 60]、資源容量制約に関しては前方検査手法 [Haralick 80] を適用することにより効率的に実施できる。しかしながら、一貫性検査によりオペレーション間の順序関係に関してはバックトラックなし探索が保証されるが [Davis 87]、資源制約に関しては部分的な一貫性が保証されるに過ぎない。即ち、競合する資源を要求する幾つかのオペレーションに対して、個々のオペレーションからは自らにとって必要な資源が存在するように見えるが、全てのオペレーションの要求を同時に満たす資源は存在しないような状態に陥ることがあり、その場合にはバックトラックすることが避けられない。また、現実の問題に含まれるその他の種々の制約に関しても、一般に効率的な一貫性検査の手法は存在しないため、探索効率化のためには図 5.5-4 中の(4)、(5)のステップにおいて有効なヒューリスティクス(変数、値順位付けヒューリスティクス)が存在することが重要である。

Sycaraらは、複数のエージェントに与えられた部分的な制約グラフにおいて、制約充足にとって有効なトポロジの特徴をテクスチャ情報として抽出し、その情報を用いて個々のエージェントの局所的な問題空間における探索を制御することにより、大

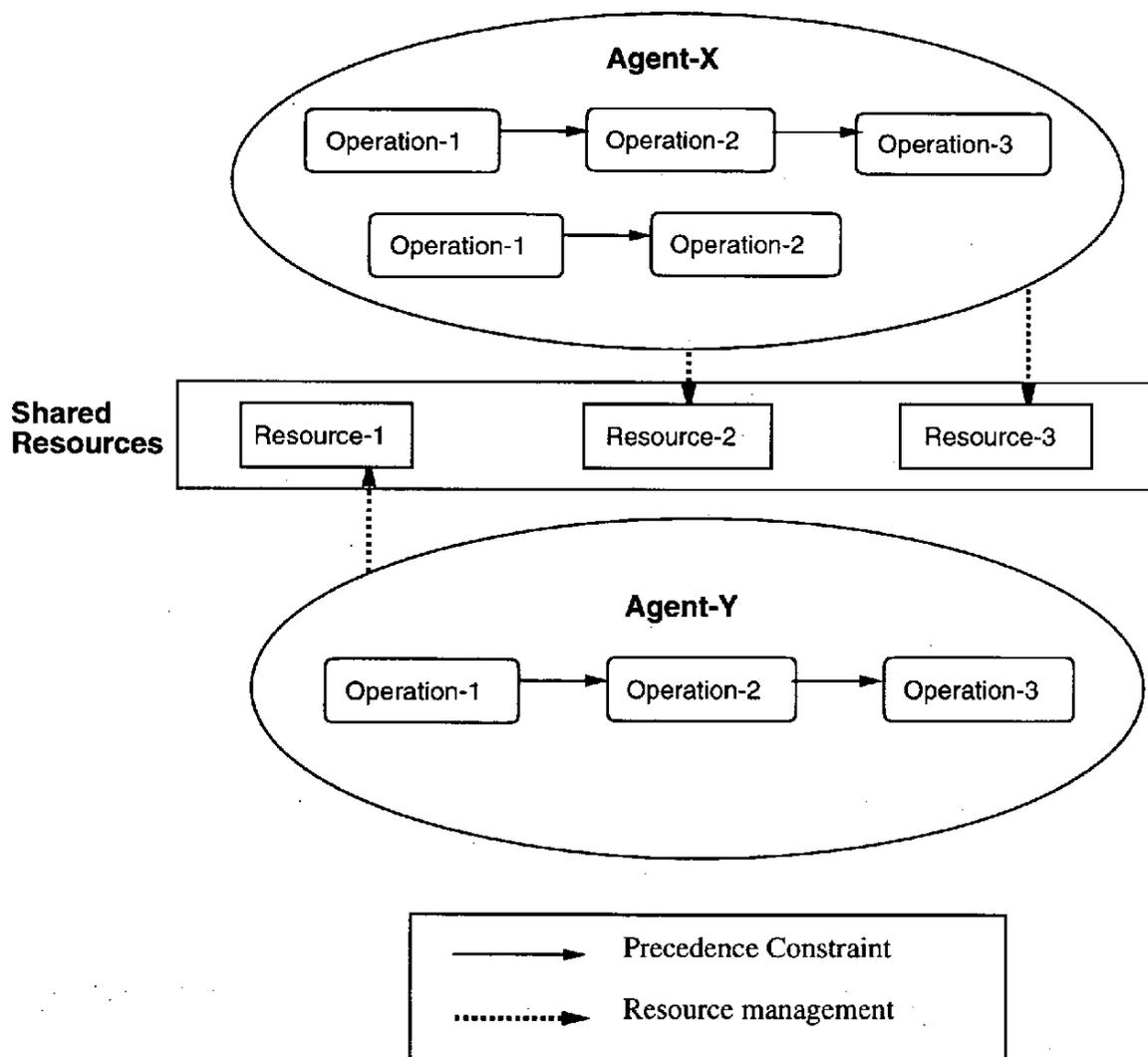


図 5.5-5 分散CORTESSシステム

域的な探索空間における意思決定を最適化することを試みている [Sycara 91]。彼らは、スケジューリング問題を複数エージェントに分割するに際して以下の前提を設けた：(1)個々のエージェントは、大域的な視点を持たず、環境や他のエージェントに関して限られた知識しか持たない、(2)個々のエージェントは、幾つかのジョブのスケジューリングを行ない、他のエージェントと共有する幾つかの資源の管理を行なう、(3)共有資源に関する情報は、必ず資源を共有するエージェントの一つにより完全に管理されている。即ち、個々のエージェントは与えられたジョブに対してはその適切な実行に全ての責任を有するが、ジョブの実行に際しては他のエージェントとの共有資源使用の調整を行う必要がある。このようなモデル化により、個々のエージェントの持つべ

き情報量と、必要な情報にアクセスするための通信コストの適切なトレードオフを実現している。図5.5-5にSycaraらのシステムにおける簡単な問題のモデル例を示す。

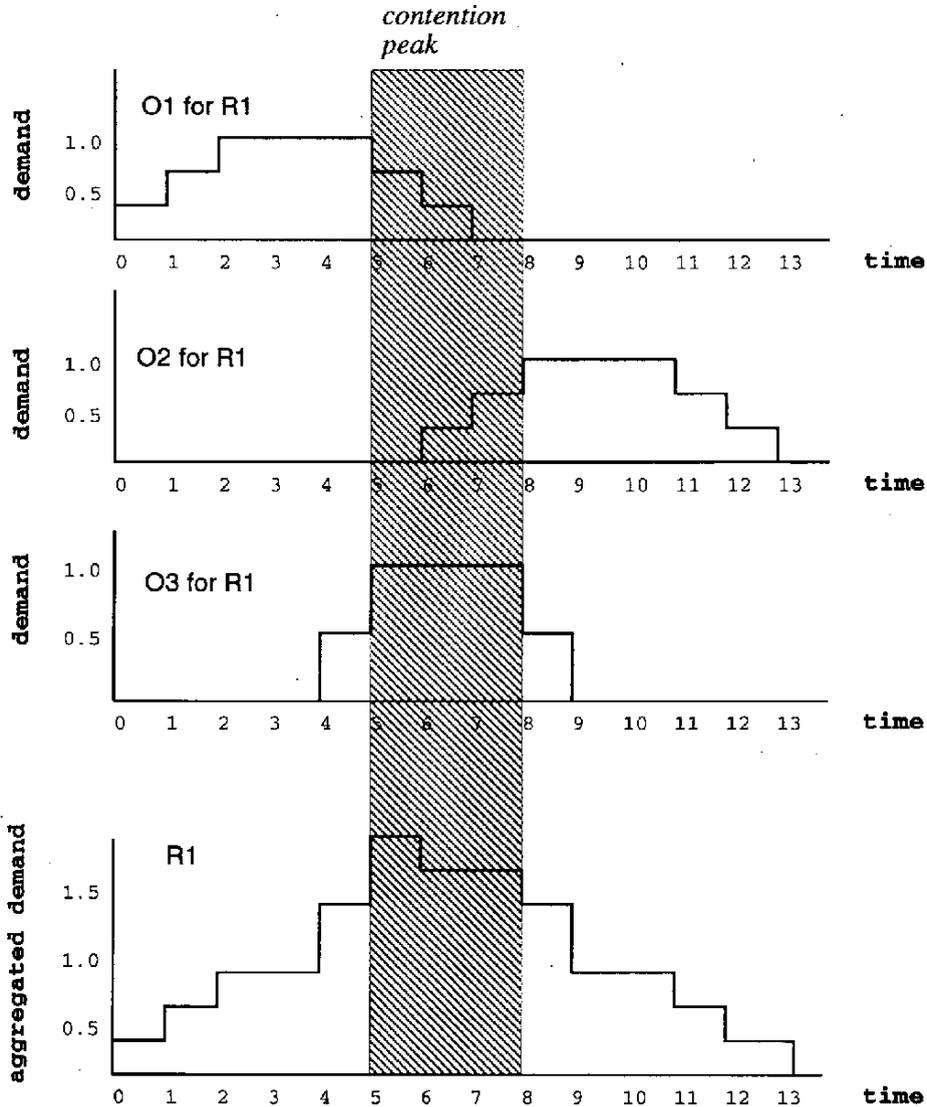


図5.5-6 オペレーション危急度の算出

Sycaraらは、スケジューリング問題における変数順位付けのためのヒューリスティクスとして、オペレーションに対する値割り付けの危急度を問題テクスチャとして確率的に評価したものを利用した。オペレーションの危急度テクスチャは、オペレーションに対する値割り付けがバックトラックを引き起こすことになる可能性、即ち、当該オペレーションに割り付け可能な値が他のオペレーションの割り付け可能な値と競合する可能性としてモデル化される。具体的には、以下のような手順で計算される（図

5.5-6 参照) :

- 1.個々の資源において、その資源を使用する全ての未割り付けオペレーションについて、現在のスケジュール（中間）結果およびオペレーション間の順序制約から、オペレーションの実行開始可能時間を求め、各時間におけるオペレーション実行確率を算出する。図5.5-6は資源R1に割り付け可能な3オペレーション（O1、O2、O3）における計算例を示している。例えば図中のオペレーションO1に関しては、時刻0、1、2において各々1/3の確率¹で開始可能であり、オペレーションの実行時間は5であることを示しており、その結果、図よりO1は資源R1を時間2～5の間で占有する確率が高いことがわかる。
- 2.個々のオペレーションの実行確率が計算されると、資源毎にそれらを合計し、一定時間内におけるオペレーション実行確率の総和が最も大きな（即ち、最も要求されている）資源をボトルネックと判定する。
- 3.ボトルネックとなる資源において、最もオペレーション実行確率の総和が大きな時間帯（競合のピーク）に最も実行確率の大きなオペレーションを、最も危急度の高い変数と判定する。したがって、図5.5-6においては時刻5～8が競合のピークであり、O3が最も危急度の高いオペレーションと判定される。

また、値順序付けヒューリスティクスにおいては、選択された変数の値の有効性を確率的に評価したものがテクスチャとして利用された。値の有効性テクスチャは、ある値を選択された変数に割り付けることによって他の変数の割り付け可能な値に及ぼす影響の小ささ、即ち、現在の探索状態から展開され得る解に含まれる可能性の大きさとして表される。こうしたテクスチャを簡便に求めるヒューリスティクスとして、Sycaraらは同一資源に割り付けられる他のオペレーションの実行確率の分布との重なりがなるべく小さくなるように変数の値（即ち、オペレーションの実行開始時間）を決定している。

しかしながら、一般に分散制約充足問題では、各エージェントは常に問題全体の完

¹この確率にバイアス（早期着手優先など）をかけることにより、制約最適化処理を行うことが可能である [Sadeh91, Miyashita95]。

全な知識を利用できないため、探索過程で行き詰まることが多く、それをバックトラックにより解消しようとする問題解決効率が著しく損なわれてしまう。そこでSycaraらは、あるエージェントが探索行き詰まり状態に達した際、他のエージェントを含めた大域的なバックトラックを行わず、エージェントに属する変数の割り付けを解の整合性がとれるまで逆順に解消し、整合性が再度確保された時点でエージェントにおける探索を再開する手法（バックジャンピング）を適用し、分散環境においても効率的に制約探索に基づくスケジュール生成が可能であることを確かめた。

Neimanらの空港における分散された資源管理問題を扱うDis-DSSシステム [Neiman 94] においては、ローカルな資源を管理する各エージェントがスケジューリングの行き詰まり状態に陥った際、制約テクスチャ情報だけではなく、よりメタなレベルの情報を用いることにより、局所的なバックトラックや制約緩和によって行き詰りの解決を図るか、他のエージェントの協力を求めたより大域的な解決を試みるかの判断を行なう。エージェントの持つメタレベルの情報としては、各エージェントにおいて資源不足が予測される時点と、その時点における代替資源供出可能なエージェントの候補などが利用された。これらの情報を用いて、(1)あるエージェントにおいて資源不足となった際に、他のエージェントに資源の借用を要求をすべきか、また(2)他のエージェントからの資源要求に応えるために、自らの現在のスケジュールに対して局所的なバックトラックや制約緩和などを行なって変更を加えるべきか、などの判断を行なうためにエージェント間の交渉が行なわれる。プロトタイプシステムによる実験では、こうしたメタレベルの情報がエージェント間の協調を促進し、より多くの制約を満たす解を発見する可能性を高めていることが確認された。

5.5.3.2 反復修正に基づくシステム例

分散制約スケジューリング問題において、資源やジョブの状況に関する完全な知識が利用可能でない場合、制約探索に基づくシステムでは解が存在する問題に対しても解を発見できず問題解決の努力が全く無駄になる場合が多くなってしまふ。それに対し反復修正に基づく手法では、たとえ一定時間内で完全な解を発見することができなくても、中間結果にあたる部分解を必ず得ることができ、その結果を元にして新たな探索を行うなどの処置が可能である。そのため、最適ではなくても必ず解を生成する必要があるような現実的なシステムにおいては、山登り法に代表される反復修正に基づくシステムが有効である。

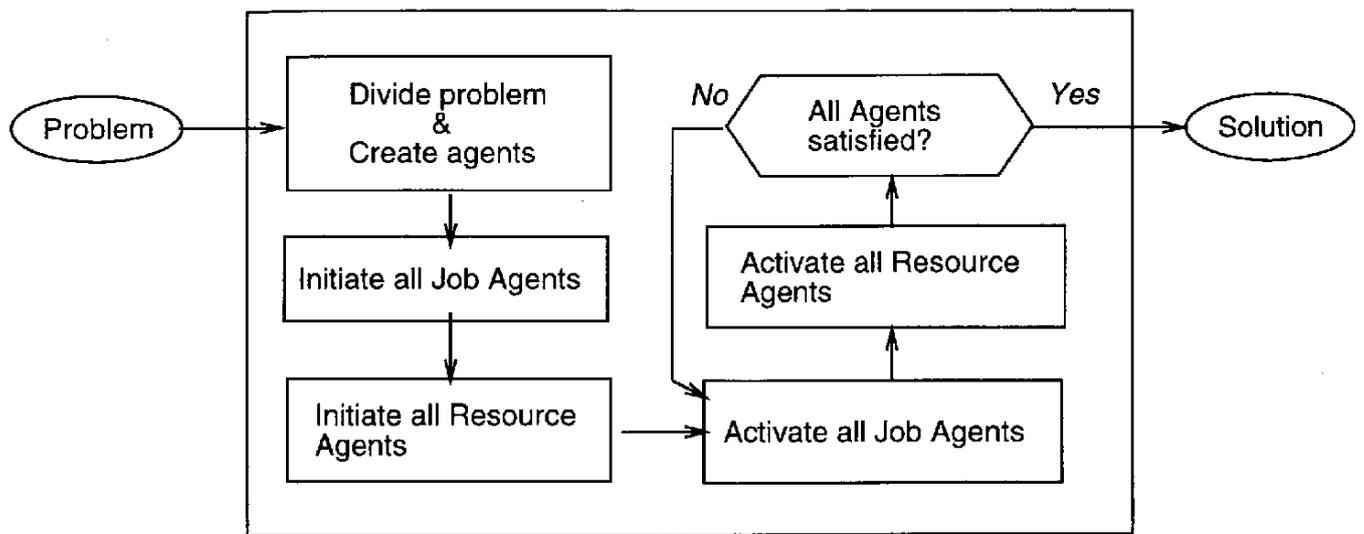


図 5.5-7 CORAシステム

Liuは個々のジョブのスケジューリングを担当するジョブエージェントと、個々の資源の割り付けを行う資源エージェントから構成されるマルチエージェントスケジューリングシステムCORAを開発した [Liu 96]。このようなモデル化を行うことにより、各々のジョブや資源に特有の制約や目標を個々のエージェントに組み込むことができ、システムのモジュール性が向上する。スケジューリング手法として、CORAは修正に基づく探索により初期解を反復的に変更して最終的に制約充足解を発見する手法を採っている (図 5.5-7 参照)。即ち、CORAでは先ず全てのジョブエージェントが起動され、個々のエージェントが資源制約を無視して互いに独立に各々のジョブのスケジュールを生成する。次に、今度は全ての資源エージェントが起動され、個々のエージェントが生成されたスケジュールに資源制約違反が無いかどうかを検証し、違反があればジョブのオペレーション間の順序制約を無視して、他のエージェントと独立に資源制約違反の解消を図る。その結果をジョブエージェントが検証し、全てのエージェントが制約違反を認めなければその結果がスケジュールとして出力され、制約違反があればジョブエージェントが資源制約を無視して制約違反の解消を行う。このプロセスを繰り返すことにより、全ての制約を満足する解を探索する。こうしたプロセスが効率的に制約充足解に収束するためにはジョブエージェントと資源エージェントの協調動作が不可欠であるが、それを実現するためにCORAは以下の2つのメカニズムを用いている。

●部分情報の交換

ジョブエージェント、資源エージェントは各々の見地から評価した個々のオペレーションの特徴を互いに交換することにより、オペレーションに対する共通の認識に基づいて、次に修正すべきオペレーションを決定する。交換される情報は、前後のオペレーションとの時間的余裕や、過去の修正回数などである。

●相互作用パターンの調整

修正プロセスが効率的に収束するためには、個々の修正において、修正される変数の数や修正規模はできるだけ小さく抑えることが望ましい。したがって、制約の厳しい変数は、他の変数に与える影響が大きいため、なるべく修正しないようにエージェント間の相互作用を調整する必要がある。CORAが対象としたスケジューリング問題では、ボトルネック資源に割り付けられるオペレーションが最も制約の厳しい変数であるので、CORAではボトルネック資源を担当するエージェントによる修正は他のエージェントによる修正の続行が困難と判断された時にのみに抑えられている。

CORAは [Sadeh 91] で用いられたベンチマーク問題において、単一エージェントによる集中型のスケジューリングシステムを上回る性能を示し、分散型のスケジューリング手法の有効性を立証した。

5.5.4 おわりに

本稿では、分散協調スケジューリング方式に関して、階層的システム (DAS、ReDS)、制約探索に基づくシステム (分散CORTESS)、反復修正に基づくシステム (CORA) の3方式を解説した。各々のシステムは、上で記したように分散協調スケジューリング方式の有効性を、即応性、柔軟性、効率、モジュール性などの点で実証している。しかしながら、それらのシステムにおいては、以下のような問題点も残されている。

- DAS、ReDSでは、階層的なエージェント間の固定的な相互作用の枠組みの中に、解の最適性と問題解決効率のトレードオフが埋め込まれており、適応的な調整が不可能であるため、時間の許す限り可能な最適解を追求するというようなフレキシブルな問題解決のコントロールが行えない。

- 分散CORTESSでは、制約探索における効率改善、通信コスト削減のためにアルゴリズムの完全性を失った結果、制約充足解が存在するにもかかわらず、解を発見できないケースが数多く発生した。
- CORAは、対象としたベンチマーク問題においては非常に効率的な分散スケジューリングを実現しているが、明確なボトルネック資源の存在と言った問題の特徴に完全に特化した相互作用の枠組みや、エージェント間で共有される情報の有効性の曖昧さなどにより、一般的なクラスのスケジューリング問題での有効性の検証は未だ今後の課題として残されている。

これらの問題を解決するためには、ある程度固定的な役割が予め与えられているエージェント間のより柔軟な協調を可能とするためのソーシャルウェアテクノロジーが重要である。その実現のためのソフトウェア技術としては機械学習、特に環境や他のエージェントとのインタラクションからの学習、が有効であると考えられる。すでに事例ベース学習などの手法を応用して、エージェント間の相互作用を問題の特徴や問題解決の状況に応じて動的に調整する枠組みの提案 [Miyashita 96] などもあるが、現実的なスケジューリング問題における有効性の判定は、今後の実証的な研究を待つ必要がある。

参考文献

- [Burke 89] Burke, P. and Prosser, P.: *A Distributed Asynchronous System for Predictive And Reactive Scheduling*, Technical report, University of Strathclyde (1989)
- [Davis 87] Davis, E.: Constraint propagation with interval labels, *Artificial Intelligence*, Vol.32, pp.281-331 (1987)
- [French 82] French, S.: *Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job-Shop*, Ellis Horwood (1982)
- [Hadavi 92] Hadavi, K., Hsu, W-L., Chen, T. and Lee, C-N.: An Architecture for Real Time Distributed Scheduling, Famili, A., Nau, D.S. and Kim, S.H. (eds.), *Artificial Intelligence in Manufacturing*, AAAI Press, Menlo Park (1992)
- [Haralick 80] Haralick, R.M. and Elliott, G.L.: Increasing tree search efficiency for constraint

- satisfaction problems, *Artificial Intelligence*, Vol.14, pp.263-313 (1980)
- [Liu 96] Liu, J.S.: Coordination of Multiple Agents in Distributed Manufacturing Scheduling, PhD Thesis, The Robotics Institute, School of Computer Science, Carnegie Mellon University (1996)
- [Miyashita 95] Miyashita, K. and Sycara, K.: CABINS: A Framework of Knowledge Acquisition and Iterative Revision for Schedule Improvement and Reactive Repair, *Artificial Intelligence*, Vol.76, pp.377-426 (1995)
- [Miyashita 96] Miyashita, K. and Hori, M.: A Distributed Architecture for Planning and Scheduling that Learns through Negotiation Cases, *Proc. 5th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation* pp.136-142 (1996)
- [Neiman 94] Neiman, D.E., Hildum, D.W. and Lessor, V.R.: Exploiting Meta-Level Information in a Distributed Scheduling System, *Proc. 12th National Conference on Artificial Intelligence*, pp.394-400 (1994)
- [Sadeh 91] Sadeh, N.: Look-Ahead Techniques for Micro-Opportunistic Job Shop Scheduling, PhD Thesis, School of Computer Science, Carnegie Mellon University (1991)
- [Sycara 91] Sycara, K.P., Roth, S.F., Sadeh, N. and Fox, M.S.: Resource Allocation in Distributed Factory Scheduling, *IEEE Expert*, Vol.6, No.1, pp.29-40 (1991)
- [Yokoo 92] Yokoo, M., Durfee, E.H., Ishida, T. and Kuwabara, K.: Distributed Constraint Satisfaction for Formalizing Distributed Problem Solving, *Proc. 12th International Conference on Distributed Computing Systems*, pp.614-621 (1992)
- [Zweben 94] Zweben, M. and Fox, M. (eds.): *Intelligent Scheduling*, Morgan Kaufmann Pub. Inc., San Mateo (1994)
- [関根 60] 関根 智明: PERT・CPM入門, 日科技連 (1960)

5.6 協調設計システム

5.6.1 設計における分散協調

設計対象が大規模化し、また、その構成要素も複雑化してくるにつれて、多くの設計者がそれぞれの専門知識を使いながら協力して設計していくことが求められてきています。言い換えれば、設計は多くの専門家の交渉のプロセスであると言う事ができます。しかし、専門技術は深められ、会社や組織を跨いで存在することが多くなり、物理的にも地理的にも分散されることが多くなっています。設計をうまくやるには、それらの間でスムーズに協力することが要請されています。

それぞれの専門家は、その役割をはたすために電子回路や機械的な力学などの独自の最適のモデルを持っていて、そのモデルに従って部分的な設計を行っていました。従って、そこで利用されるCADやシミュレータなどの設計支援ツールもその特化されたモデルをベースとして開発されています。その結果、あるツールで部分的に設計された結果を別のツールで使うときには、その間を、両方のモデルを理解している人間が翻訳して橋渡しをしていました。翻訳は、相手のモデルの必要な情報を抽出して、その内容を相手のモデルの表現方法に合わせて表現し直すことになります。必要があれば更に他のリソースから補助的な情報を探索して、それを合わせて提供していく必要があります。

一方、小品種大量生産の時代から多品種少量生産の時代に移行し、速く製品を作ることが求められ、必然的に設計も速く完了することが求められています。そのための1つの方法として、設計をシーケンシャルにするのではなく、同時並行的に設計を行う、いわゆるコンカレントエンジニアリングがあります。コンカレントエンジニアリングの対象となる製品は毎回異なっていて、そこで必要とされる技術もまた毎回変わらざるを得ません。また、その技術が対象にする製品部分の側面や粒度が異なっていますが、それらの専門家間で適当に情報が交換されながら最適な製品を設計しなければなりません。しかしながら、専門家の中に流れる情報は、専門家という人間によって媒介されることによって初めて可能になっています。

この節では、コンカレントエンジニアリングを実現するための試みを紹介します。

5.6.2 PACT

PACT (Palo Alto Collaborative Testbed) [Cutkosky 93] は、コンカレントエンジニアリングのインフラストラクチャの構築を目指して、スタンフォード大学、ロッキードの研究所などが協力して1991年に行った実験です。対象としてはロボットのマニピュレータの設計を扱っています。マニピュレータの各部分は、各チームがそれぞれのツールを用意し分担することになっていました。機構部分はスタンフォード大の設計研究センターとEnterprise Integration TechnologiesのチームがNext-cut [Cutkosky 92] という機械設計ツールを用いて担当しました。デジタル回路部分は、スタンフォード大のロジックグループとHewlett-PackardのチームがDesignworld [Genesereth 91] というツールを用いて担当しました。駆動及びセンサー関係に関しては、スタンフォード大の知識システム研究所がDevice Modeling Environment (DME) [Iwasaki 93] というツールを用いて担当しました。制御ソフトウェア部分に関しては、ロッキードチームがNVisage [Weber 92] というツールを用いて担当しました(図5.6-1)。

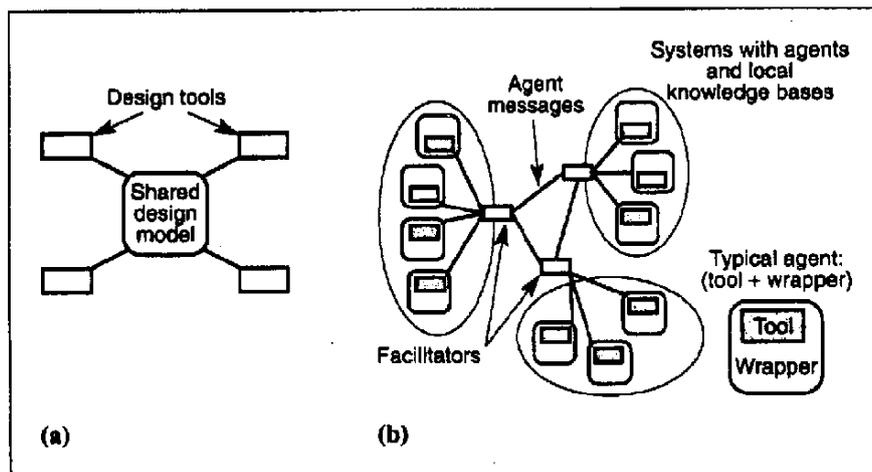


図5.6-1 連邦アーキテクチャ [Cutkosky 93]

各ツールは、5.3.2で述べたエージェントによる統合で、KQML及びKIFを用いて、それぞれのツールがエージェント化され、協調して設計を進めていくようになっています。それぞれのツールは、異なる機種種の計算機に載せられており、インターネットによって結ばれていました。

PACTでのエージェントによる統合の特徴的なところは、いくつかのローカルなエー

エージェント間の情報の交換の仲立ちをする facilitator を導入し、そこで、情報の翻訳や通信ルートの管理を行わせるという連邦アーキテクチャを採用していることです。ここでは、各エージェントは、必ず facilitator と通信し、直接エージェント同士では情報交換を行いません。facilitator は、直接通信できるエージェントとは直接通信し、そうでない場合は、他の facilitator と通信し、それを介して他のエージェントと通信することになります。このようなアーキテクチャを用いる事により、動的に増減したり、内容の変化するエージェントの影響をローカルに押さえることが可能になります。更に、小規模の分散協調システムでは、情報や知識をどのエージェントと交換・共有すれば良いのかを、それぞれのエージェントが固定的にわかっていると想定できますが、より大規模であったり、変化の激しい場合は、情報を交換する時点でどのエージェントと情報を交換するかを探し出すメカニズムも必要になってきます。このようなケースに関しても、facilitator に交換しようとする情報の内容に従って相手のエージェントや facilitator を探すメカニズムを入れることによりダイナミックなルーティングを行うことができるようになります (図 5.6-2)

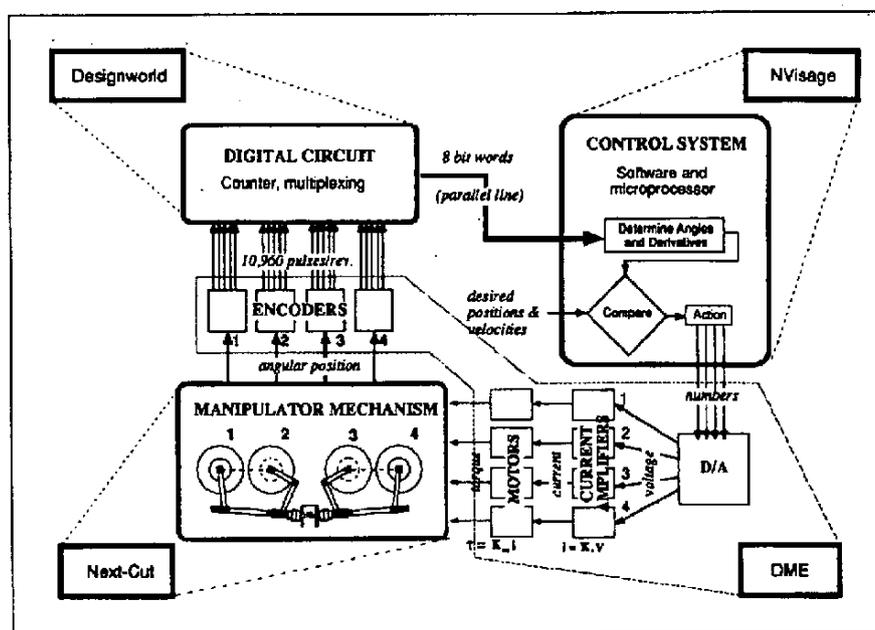


図 5.6-2 PACTシステム構成 [Cutkosky 93]

PACTでは、3つの実験が行われました。1つは、設計の詳細化に関する実験です。それぞれのエージェントが決めなくてはならないものは、それぞれが互いに制約

関係にあります。従って各エージェントの決定が整合するように協調して決定していなくてはなりません。例えば、Nvisageでロッキードがコントローラを設計しようとした場合に、NVisagのDBからスケルトンを選び、そのパラメタは機構部分での情報が必要なので、

```
(interested-in nvisage '(ASSERT (closed-form'(pmx $q1 $q2) $f))
```

というメッセージを発信します。これは、NVisage エージェントが q_1, q_2 という変数から f の値（ここでは方程式）をリクエストしていることを示している。ここで、closed-formやpmxはPACTのオントロジに予め登録されているものです。Next-cutエージェントは、このリクエストを見付けると、 f の方程式をバインドしてNVisageエージェントに返送します。NVisageエージェントは、返送されてきたメッセージから必要な方程式を取り出して、自分の中で実行できる形式に翻訳し、それを使って矛盾しない結果を導きだしていきます。ここでは、NVisageを担当しているロッキードチームは、機構的な仕組みは知らなくて良いし、逆にNext-Cutを担当しているスタンフォード大の設計センターチームは、返送した情報がどのように利用されるかを知る必要はありません。メッセージの中に使われている言葉や単位だけが正しく共通に理解できていれば良いわけです。

第2の実験は分散シミュレーションです。例えば、コントローラの挙動をシミュレーションしたいと思っても、その部分を担当しているエージェントであるNVisageの中だけでは実現できず、相互に関係している他のエージェントに現在の状態を

```
(ASSERT (= (val10000) 4095)
```

というような形で送ります。これは、時刻10000で、pm-encoder-w-1の値が4095であることを示しています。他のエージェントは、このメッセージを見付けると、それに対応した自分の状態を決定して同じ様にメッセージを送ります。NVisageは、この状態を貰い、その結果と自分の結果が矛盾しないように状態を決定していくことによってシミュレーションを進めていくこととなります。もし、返送されてきた状態と自分の状態が矛盾する場合は、自分の状態を修正して、再びその状態を他のエージェントに送ります。これを矛盾が無くなるまで繰り返すことによってシミュレーションが進んでいくこととなります。第3の実験は、分散再設計問題です。例えばモーターが過負

荷であることが分かった場合、DMEはモータを大きなものと取り替えることを考えます。その場合、モータの変更が全エージェントに送られます。Next-cutは、モータの変更に伴って大きさが変わるかどうかを知るためにDesignworldに問い合わせを出すというようにメッセージが連鎖し、それに対して答えが返送されることによって再設計が進んでいくこととなります。

このように、PACTは、エージェント技術やオントロジ技術を用いることによって、異なる専門分野を跨いだ協調設計が行える可能性を示しました。

5.6.3 他の協調設計の試み

PACTの他にも、協調設計の試みをしているプロジェクトがあります。これらのプロジェクトは、知識共有の研究開発を目指したものの関連が多くあります。SHADE (SHared Dependency Engineering) [McGuire 93] は、ARPAのプロジェクトで、スタンフォード大の知識システム研究所とEnterprise Integration Technologyが共同で進めているプロジェクトで、PACTで得られた成果をを発展させたものです。特に知的な情報ブローカーというのが特徴的で、メッセージの内容によって、そのメッセージをどのエージェントに届けるかを定めるメカニズムを持っています。市販のCAD等のツールを使って、より現実的な可能性を示しています。MADEFEST [Cutkosky 96] は、ユタ大やスタンフォード大、Texas Instrumentなどが協力して、optical seekerの設計・製造をアジャイルマニュファクチャリングで実現しようという試みで、インターネットベースでWWWを設計ツールを結ぶインフラストラクチャにしようとしたものです。NEXT-LINK は、ワイヤーハーネス問題で、エージェントベースでの意思決定を効率化する研究で、Reduxというソフトウェアを用いて、拘束条件回避の設計を行っている例などがあります。

参考文献

[Cutkosky 93] M.R.Cutkosky et al.: "PACT: An Experiment in Integrating Concurrent Engineering Systems", IEEE Computer, Vol 26, No.1, PP.28-37, 1993.

[Cutkosky 92] M.R.Cutkosky and J.M. Tenenbaum: "Toward a Framework for Concurrent Design", Int'l J. Systems Automation: Research and Application, Vol 1, No.3, PP.239-261, 1992.

- [Genesereth 91] M.R.Genesereth: "Designworld", Proc. IEEE Conf. Robotics and Automation, PP.2785-2788, 1991.
- [Iwasaki 93] Y.Iwasaki and C.Low:"Model Generation and Simulation of Device Behavior with Continuous and Discrete Changes", Intelligent Systems Engineering, Vol.1 No.2, 1993.
- [Weber 92] J.C.Weber et al.: "Spreadsheet-Like Design Through Knowledge-Based Tool Integration", Int'l J. Expert Systems: Research and Applications, Vol5., No.1,1992.
- [McGuire 93] J.G.McGuire et al.: "SHADE: Technology for Knowledge-Based Collaborative Engineering", Concurrent Engineering: Research & Applications, Vol.1, No.3, 1993.
- [cutkosky 96] M.R.Cutkosky et al.: "Madefast: Collaborative Engineering over the Internet", CACM Vol.39, No.9, PP.78-87, 1996.

5.7 知識管理

従来のAI研究においてあまり意識されることのなかった課題の一つに、時間的なスケーラビリティの問題がある。時間的なスケーラビリティとは、ある目的に利用される問題解決のしくみや、そこで用いられる知識を陳腐化させることなく資産として継承することを可能にするものである。それに対して、大規模知識を対象とした問題解決や、分散環境での協調的問題解決はいずれも空間的なスケーラビリティを狙ったものであると言える。この2つのスケーラビリティはいずれもネットワーク環境におけるAI研究と深く関わるものであるが、それぞれに対する接近法は必ずしも同一でない。

もちろん、空間的スケールと時間的スケールの問題は独立ではなく、知識をメディアとして成熟させていくにはどちらも取り組まなければならないことは言うまでもない。しかしながら、問題領域や状況設定によっては1つの側面を重点的に扱うことが可能である。例えば、自然言語処理の辞書データや、特定の領域理論に見られる大規模知識では、知識の経時的変化よりも規模の問題が重視される。同じように、量的にはそれほど大きくない問題解決知識を前提として、知識システムを継続的に運用していく中で知識の経時的変化に目を向けることができる。そして、当初の問題設定の範囲を越えて領域知識や問題解決のしくみが変わっていく過程を観測しながら知識を蓄積していくことは、知識を資産として共有する技術の発展にとって本質的である。

それにもかかわらず、時間的なスケーラビリティに対する問題意識は希薄であった。例えば、これまでに多くのエキスパートシステムが実用化されてきたが、専門家と同等かそれ以上の能力を発揮した段階で研究は終わったとする場合がほとんどであった。そのような成功事例が知識処理技術の有望さを華々しく伝え研究を活性化したことは事実である。しかしながら、運用開始後の問題は現場の泥臭い部分として敬遠されることが多かった。その結果、実世界における知識の動的な側面に着目し、その変遷を観察する機会が失われていたと言える。

知識システムは継続的に実稼働する中で、関連する他のシステムやユーザとの連携を強めながら、より高い次元での問題解決プロセスに組み込まれる。このような現象は、知識システムに限らず様々な情報システムを核として、非同期的に並行して見られ、そこに空間的なスケーラビリティとの接点が生まれる。時間的なスケーラビリティは、演算速度の高速化、記憶容量の大規模化、通信機能の広域化だけでは決して解決できない問題である。したがって、時間的スケールの問題に取り組むと同時に、それを大規模な空間的スケールの中で応用していくために様々な立場での研究成果を集約

していくことがより大きなブレイクスルーを生むために不可欠である。

5.7.1 社会環境との相互作用

継続的に運用されているシステムは関連システムやそれらの利用者との相互作用を通して、運用上のノウハウや組織内の規則も含めた様々な知識を取り込みながら発展を遂げる。その意味では、社会環境における運用や保守の段階まで含めれば、全てのソフトウェア開発は知識集約的であり、知識システムとして構築されたかどうかにかかわらず知識工学的な視点からの取り組みが必要であると言える。以下では専門家の高度な問題解決知識を実装するエキスパートシステムに限らず、通常のリソース処理を中心とした情報システムも含めて知識システムと総称する。

知識システムの構築プロセスは分析/設計/実装の3つの段階からなるが、開発の初期段階でシステムの仕様を全て洗い出すことは容易でなく、繰り返しの過程を避けることはできない。洗練や保守の段階については、変更の度合に応じて実装/設計/分析のいずれかのフェーズに戻ってそれ以降のプロセスを継続するものとして位置付けることができる。それに対して、実運用の段階は社会環境との相互作用を伴うという意味においてそれらの開発フェーズとは本質的に異なるものである。

実用レベルでの知識再利用を考えた場合、周辺環境との相互作用を通して当初想定されていなかった適用領域の境界が顕在化し [Winograd 86]、境界領域自身も変化する [Brown 94] といった困難に直面することがある。このような知識の文脈依存性は知識システム単体で考えれば再利用性や保守性の阻害要因となる。ところが、システムの利用者/管理者/開発者として関与する人間や相互運用されるシステムを包含する範囲でとらえれば、当該システムの開発と運用を通して提供された知識がその適用領域を明確化あるいは拡張することによって進化する段階としてその意義を認めることができる。

システムが定常的に稼働している限りにおいては、運用フェーズの開発プロセスとしての役割は大きくないように思われる。ところが、実運用を通して個人に蓄積される問題意識やノウハウが集約されシステムの設計や実装に反映される過程は、開発プロセスの重要な一部とみなすことができる。管理上あるいは技術上の理由によりこのような相互作用が継続できなければ、大きな成果を上げたシステムであっても陳腐化を余儀なくされる。

このような社会環境における知識の動的側面を体系的に捉える試みとして、経営組

織論の分野において示された組織的知識創造 (organizational knowledge creation) の枠組 [Nonaka 95] がある。この枠組では企業におけるイノベーションの過程を、個人の知識が明示化され組織全体へ増幅されるプロセスに着目することによって説明している。特に、形式化され他人に伝達可能な知識である形式知 (explicit knowledge) に基づく効率重視の情報処理だけでなく、個別の状況に依存する個人的知識である暗黙知 (tacit knowledge) に内包される「ゆらぎ」が企業活動における知識創造にとって不可欠であることが指摘されている。

共同化：暗黙知→暗黙知 (経験の共有)
表出化：暗黙知→形式知 (概念の創造)
連結化：形式知→形式知 (形式知の体系化)
内面化：形式知→暗黙知 (暗黙知の体化)

図 5.7-1 4つの知識モード

形式知と暗黙知という2種類の知識が相互に変換されるプロセスとして、共同化、表出化、連結化、内面化という4つの知識変換モードが導入されている(図5.7-1参照)。共同化は個人の経験が集団の暗黙知として共有される過程、表出化は暗黙知を概念として明確化する過程、連結化は形式化された概念を組み合わせる過程、内面化は形式化された概念の利用を通してノウハウや知見を得る過程である。組織的知識創造のプロセスは、個人を源泉とする知識がこれらの変換モードを通して組織内の様々なレベルで他者と共有され量的/質的に増幅される繰り返しの過程である。

知識システムの開発プロセスでは、暗黙知と形式知を以下のように捉えることができる。まず、明確に文書化されシステムの動作や運用に反映される手順や概念は形式知に該当する。したがって、論理的に定式化されたモデル、計算機によって解釈・実行可能なプログラムやライブラリだけでなく、文書化された問題解決手順や対象領域のモデルも形式知とみなすことができる。それに対して、システムの動作や運用手順に直接反映できない知見や問題意識など個人の経験に基づく価値判断は暗黙知に該当する。

これらの知識変換モードは分析/設計/実装からなる知識システムの基本的な開発フェイズにおいて以下のように位置付けられる。分析フェイズでは、関係者からのヒアリ

ングを通して現状に対する共通認識の確立（共同化）、および対象業務に関する要件の明確化（表出化）が行なわれる。設計の段階では、システム的な実現に関わる要件が明確化され（表出化）、既存技術の適用（連結化）も検討される。実装フェイズでは、形式的に定義された言語による記述（連結化）が行なわれる。設計/実装のフェイズでは、当初想定されていなかった前提や不明確な要件に気付くこと（内面化）によって、それ以前の段階に戻りする場合がある。さらに、実運用の段階では継続的な利用経験に基づいてシステムの発展性や不具合に関する知見が個人に蓄積（内面化）される。

5.7.1.1 生産スケジューリング・システム開発における知識変換

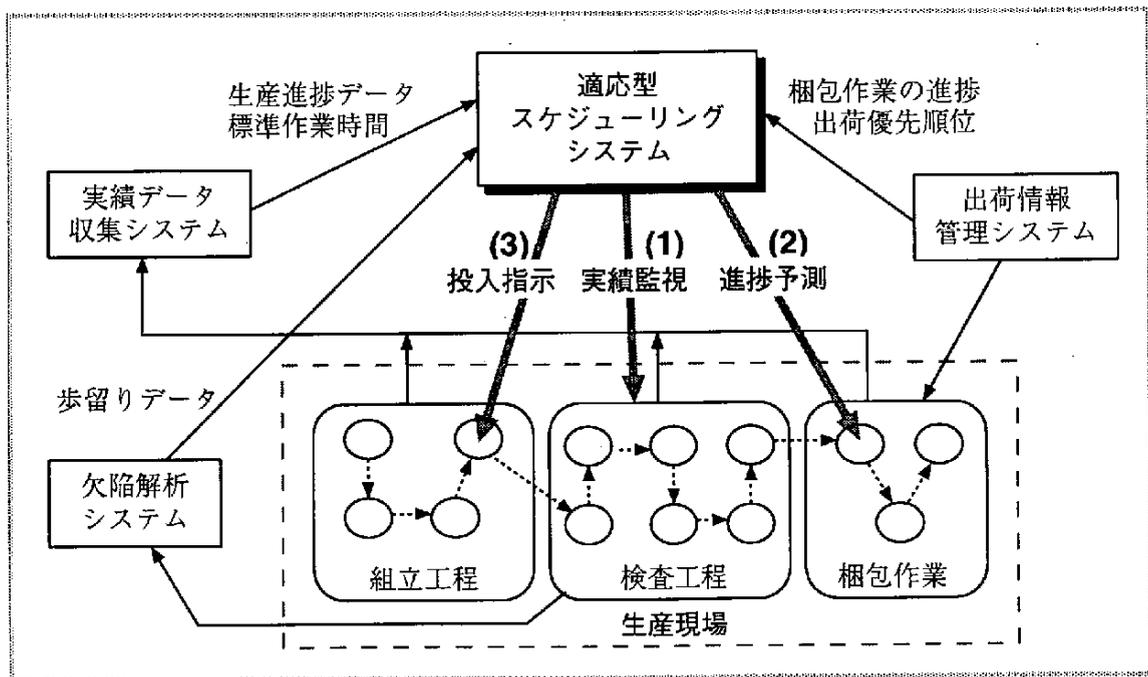
本節では、まず実際に生産現場で稼働しているスケジューリング・システムの段階的な開発/運用プロセスを概観し、次にその過程でみられた知識変換の連鎖を示す。このスケジューリング・システムは、小型ハードディスク検査ラインに適用されたものである[堀 96][堀 97]。この生産現場では、出荷予定の変更や検査工程における歩留まり率の変動など様々な不確定要素に柔軟に対応することが強く求められていた。さらに、この工場では既に多品種の製品を日々大量に出荷していることから、大規模なシステム化によって広範な業務形態の変更を一度に強いることはできないという状況にあった。したがって、システム的な拡張性と不確定要素に対する柔軟性を実現する必要がある、そのような要件を備えたシステムをここでは適応型スケジューリング・システムと呼ぶ。

開発にあたっては生産スケジューリング・システム構築のための部品ライブラリを用いた [Hori 96]。この部品ライブラリはオブジェクト指向の部品化再利用技術を用いてC++で実装され、生産スケジューリングに特徴的な約50個のクラス部品からなる。これらの部品群はより粒度の大きな再利用単位として、生産設備や生産工程といった製造業に特徴的な対象物の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、さらに対話的ユーザインタフェースの3つのサブシステム（ソフトウェア・モジュール）に区分される。スケジュール・モデルは他の2つのサブシステムが前提とすべき概念を与えるもので、生産スケジューリング問題の対象領域モデルとなっている。スケジューリング・エンジンは生産現場に固有の様々な計画手順の実現とその切替えを容易にするために、またユーザインタフェースのモジュールはスケジュール・モデルに対して様々なビューを提供するために分離されている。

小型ハードディスク検査ラインへの適用にあたっては、生産現場での不確定要素に対処するために、以下の3つの機能が実現され段階的に現場に導入された。

1. 検査工程における作業進捗状況のグラフィカルな表示
2. 仕掛り作業の完了予定時刻の予測
3. 予測データと出荷優先度に基づく検査工程への投入指示

なお、生産管理システムの全般的な概要については、例えば文献 [玉木 96] を参照されたい。以下では、適応型スケジューリング・システムが生産現場において他の情報システムとどのように連携するかを中心に各機能の概要を示す。



者に提供された。フォワード・スケジューリングとは各ロットにおいて最初の工程の早開始時刻を起点として工程での作業を順次前詰めにする方法である。

さらに、出荷予定に関する情報も参照しながら、検査工程への投入指示を行なうシステムが実現された（図5.7-2(3)）。投入指示に当たっては、様々な条件に基づいてロットの優先順位を決定するためのディスパッチング・エンジンが用いられた。また、前段階で導入されたフォワード・エンジンによって再計算された作業完了予定時刻に基づいて投入ロットの優先順位は適宜見直される。本システムは現在タイの工場稼働しており、スケジューリング・エンジンが20分おきに自動的に起動され最新の結果が逐次現場に提供されている。日々の生産実績や予測データは日本国内の情報システム部門にも転送され、現状の把握とエンジンのパラメタ調整に用いられている。

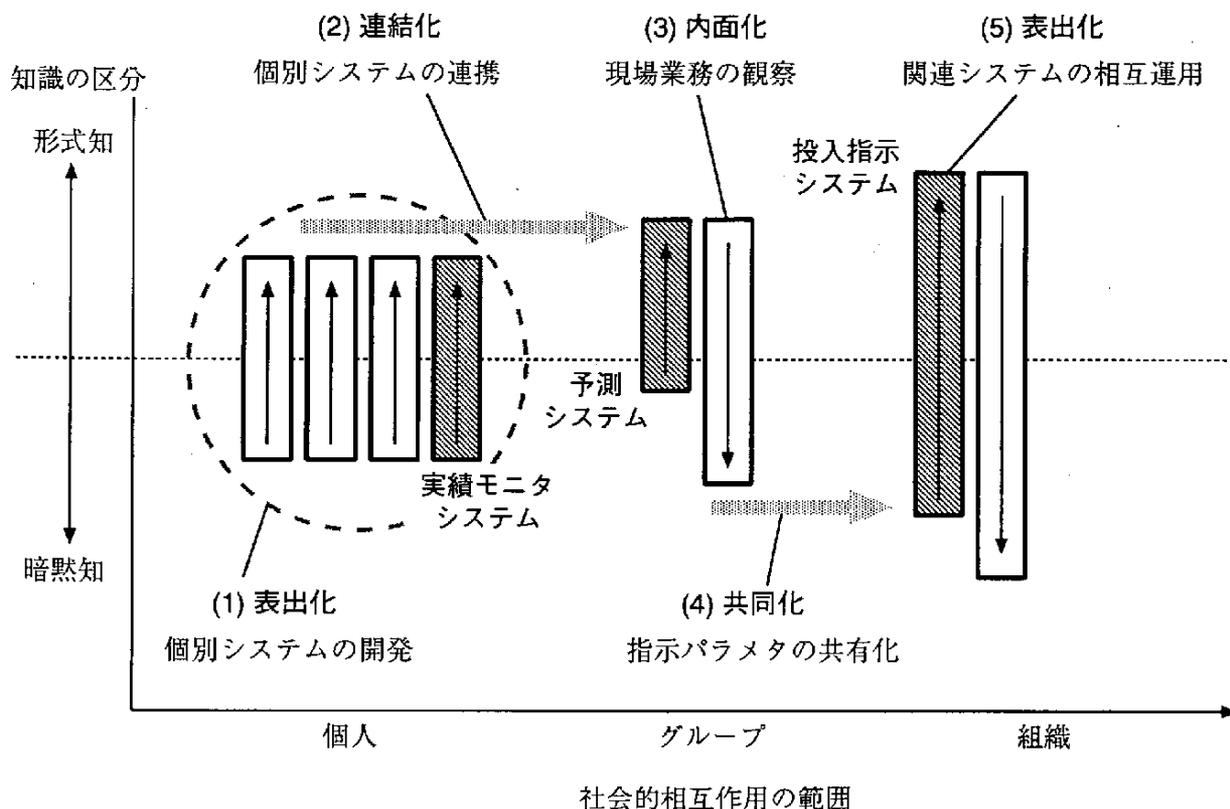


図5.7-3 実システムの開発・運用における知識変換の連鎖

上記のシステムは生産現場においてその適用領域を段階的に広げながら拡張された。その過程で見られた知識変換の連鎖を図5.7-3に示す。図5.7-3(1)では実績表示システムと並行して実績データ収集システムをはじめいくつかの関連システムが開発された。それによってそれまで直観的/断片的にしか把握できなかった情報が計算機上

で適宜参照可能となった（表出化）。そして、最新の生産進捗実績のグラフィカルな表示に基づいて、作業指示が遵守されているかどうかの確認とその改善が行なわれた。

図5.7-3(2)は、欠陥解析システムや実績進捗データ収集システムから取り込まれた各工程の歩留り率や平均処理時間のデータを用いて（連結化）、既に作業に着手している仕掛り品について残り工程の完了時刻の予測システムとして前段階のシステムが拡張された段階に相当する。検査工程での仕掛り状況ならびに作業完了予定時刻は、一定の時間間隔で自動的に再計算され出荷作業の担当者にも提供された。予測システムの動作は関連部署での作業内容に依存するだけでなく、その予測精度は出荷作業に影響を及ぼすため、より広い範囲での相互作用を前提として運用される。

図5.7-3(3)は生産進捗と出荷の実績データに基づいて、見込み出荷量に見合う完成品が確保できるように検査工程での投入量をコントロールすることが可能との見通しが得られたこと（内面化）に相当する。さらに図5.7-3(4)は、投入量を管理する上で顧客からの受注に基づいて生産量を統制している部署との実現可能性についての合意形成（共同化）の過程である。そのような内面化・共同化を経て、図5.7-3(5)はその合意に基づいて検査工程への投入をコントロールするシステムが実現された過程に相当する。この段階で製造/出荷/受注に関わる広範囲の業務がシステムを介して相互に連携するようになった。

このように、現実の環境で運用された知識システムが段階的に発展する過程は形式知と暗黙知の相互変換の連鎖を伴う。これまでネットワーク社会における協調的活動についてなされた議論では、通信規約や一次情報としてのデータである形式的情報だけでなく、何らかの価値判断を伴う意味的情報が重要であるとの指摘がなされている [今井 84]] [Schrage 90]。しかしながら、個人の価値判断に根差した知識は必然的に文脈依存性を内包している。このことから、組織的知識創造の考え方[Nonaka 95]において強調された知識の動的性質に関わる問題は、ネットワーク環境での創造的活動の源泉である知識の高度利用を考える上でも本質的である。

参考文献

- [Brown 94] J. S. Brown and P. Duguid : Borderline issues: Social and material aspects of design. "Human-Computer Interaction", Vol. 9, pp. 3-36 (1994).
- [Hori 96] M. Hori and T. Yoshida : SCOOP: An object-oriented framework for production scheduling systems. "Proceedings of the 6th IFIP International Conference on Advances in

Production Management Systems", pp. 389-394, Kyoto, Japan (1996).

[堀 96] 堀 雅洋 : 生産スケジューリング・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 --- 小型ハードディスク検査ラインへの適用 ---. 経営工学会 生産スケジューリング・シンポジウム '96 講演論文集, pp. 247-252 (1996).

[堀 97] 堀 雅洋 : 知識システムのライフサイクルについて --- 組織的知識創造の枠組に基づく考察 ---. 人工知能学会研究会資料, SIG-KBS-9603, pp. 25-32 (1997).

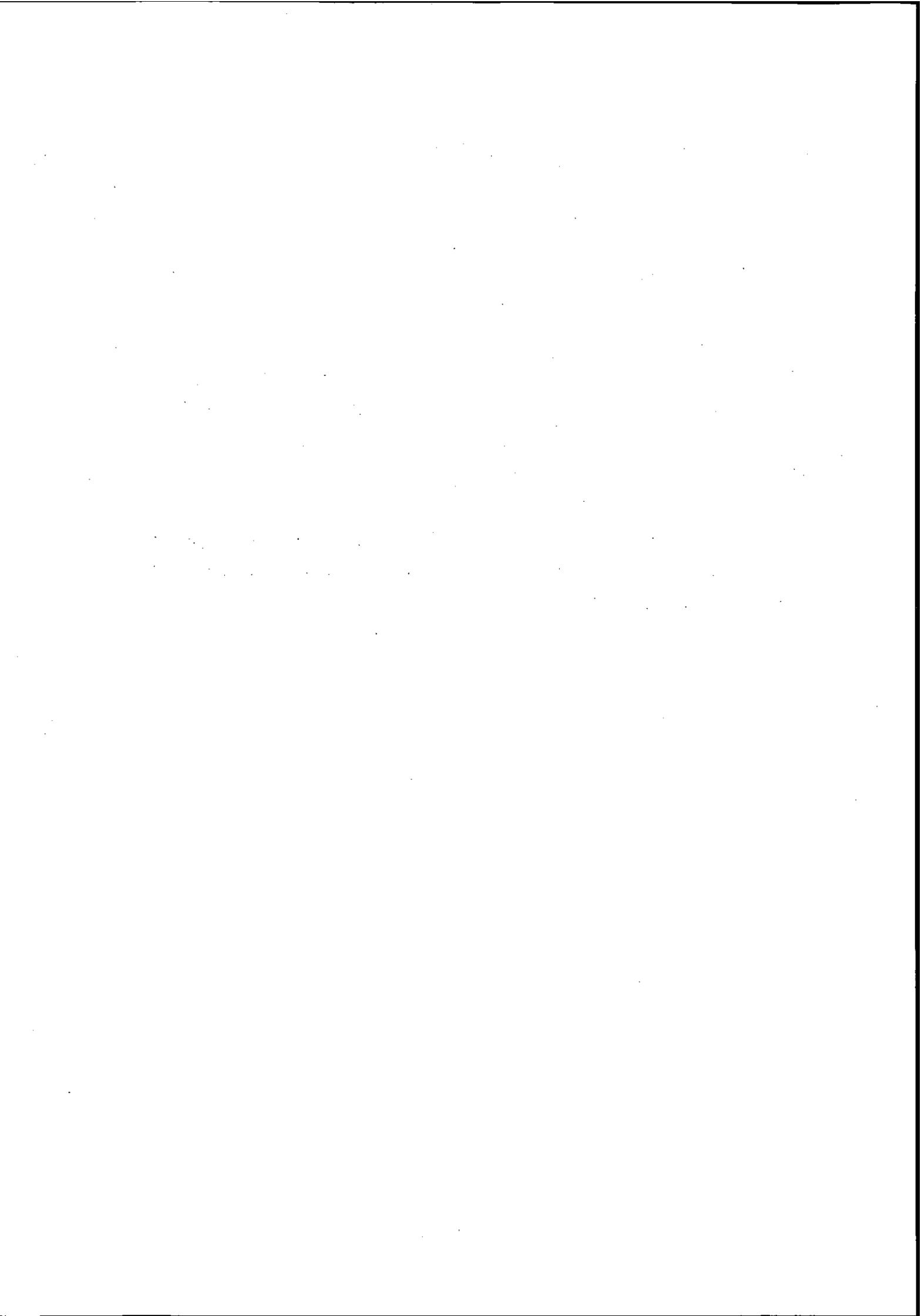
[今井 84] 今井賢一 : 『情報ネットワーク社会』 岩波新書 (1984).

[Nonaka 95] I. Nonaka and H. Takeuchi : "The Knowledge-Creating Company", Oxford University Press, Oxford (1995). (梅本勝博訳『知識創造企業』東洋経済新報社, 1996).

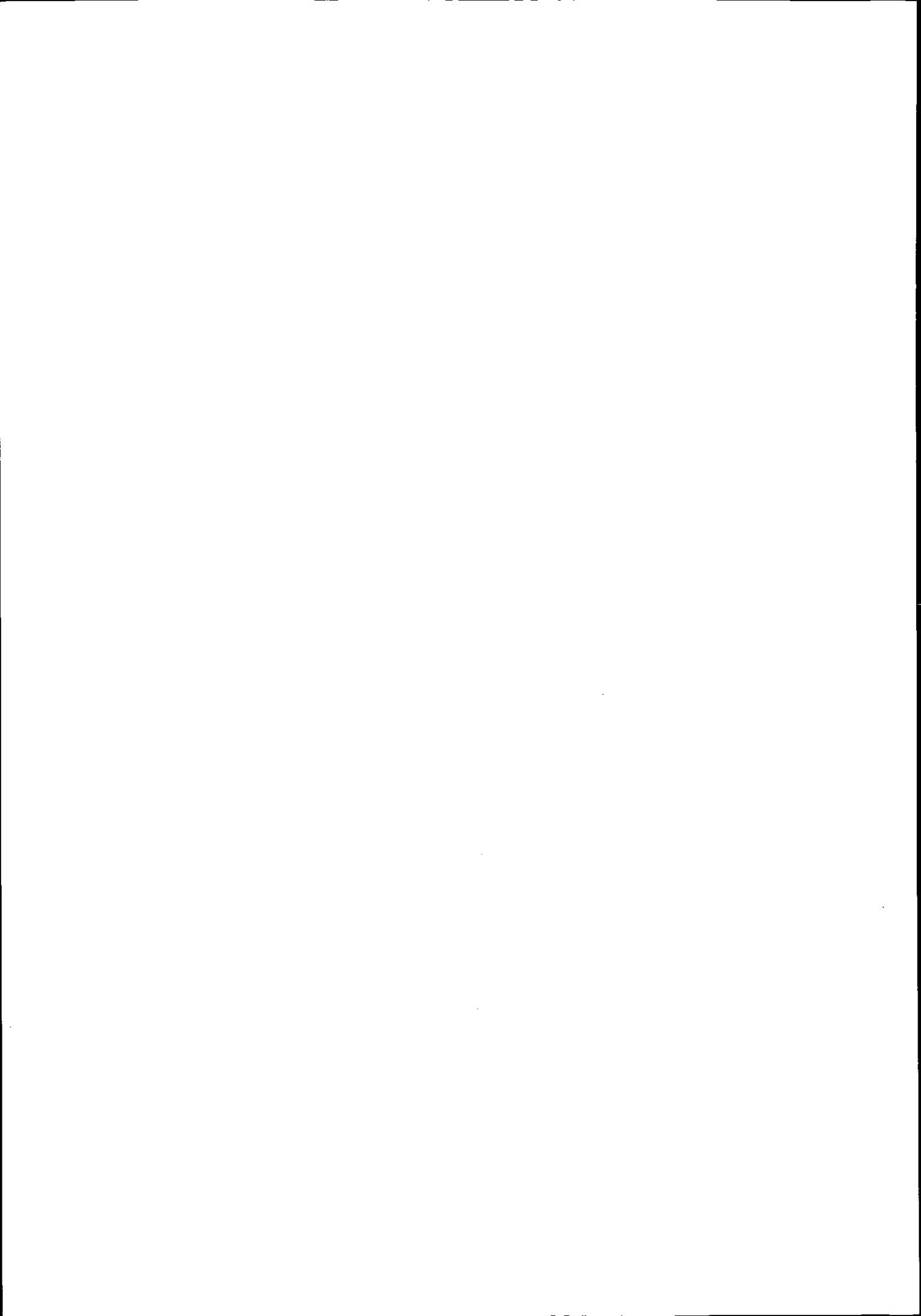
[Schrage 90] M. Schrage : "Shared Minds: The New Technologies of Collaboration", John Brockman, NY (1990). (藤田史郎監修『マインドネットワーク』プレジデント社, 1992).

[玉木 96] 玉木欽也 : 『戦略的生産システム』白桃書房 (1996).

[Winograd 86] T. Winograd and F. Flores : "Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design". Addison-Wesley, MA (1986). (平賀讓訳『コンピュータと認知を理解する』産業図書, 1989).



6. 街で —エレクトロニックコマースとデジタル経済—



6. 街で ～エレクトロニックコマースとデジタル経済～

6.1 はじめに

6章では、企業と企業との間、ならびに、個人と企業とをつなぐネットワーク技術とそれらにおける人工知能、ネットワークAIの役割について論ずることにする。これは、商品、情報、支払い、そしてそれにかかわる人々、組織の問題を含む広い意味での電子的な取引—エレクトロニックコマース—の問題として理解することができる。

取引の歴史を振り返ってみよう。図6.1-1に示すように、かつての一次産業中心の社会においては、その構成員—エージェント—は同等な立場で、物々交換を行うことによって取引を行っていた。それが、二次産業を中心とする工業社会においては貨幣経済にもとづく取引に変化してきた。ここで、物々交換取引時代には同等だったエージェントが「生産者」と「消費者」とに明確に分離し、取引の場としての「市場」が形成されてきたことに注目しよう。これが、現代まで続く「街で」の取引の状況である。

今後ネットワーク技術が普及するにつれ、市場には、商品、貨幣に加えて「情報」あるいは「知識」という要素が新しく加わる。このような姿を知識産業社会と呼ぶ。

[Tapscott 1996]では、知識産業社会におけるエレクトロニックコマースの発展として、デジタル経済という概念を提唱している。そこで挙げられているのは、次のような考え方である。現在を自動車工業などに代表される重厚長大型の産業からコンピュータ、通信、コンテンツを対象とする個別には小規模な知識産業への転換期と捉える。この特徴的な点を、視覚化、デジタル化、個々のシステム・組織のエージェント化とそれらのネットワークによる統合化、さらに、その鍵としてのコンピュータやコミュニケーションの技術進歩に求める。そして、これによって可能となる、知的資源や知識管理の重要性を主張する。その結果として、消費者、生産者とが同等で、両者の垣根を超えたプロシューマが電子取引の中心となり、中間的な管理組織が存在しないような、即時性、グローバル化を備えた経済社会の可能性を説く。

デジタル経済のメカニズムは図6.1-2のようにまとめられる。プロシューマを便宜上生産者と消費者とに分けると、サービス・情報、貨幣、商品がネットワーク上を流通するのが図6.1-2左側の基本的な形態である。これを詳しく見ると、商品の製

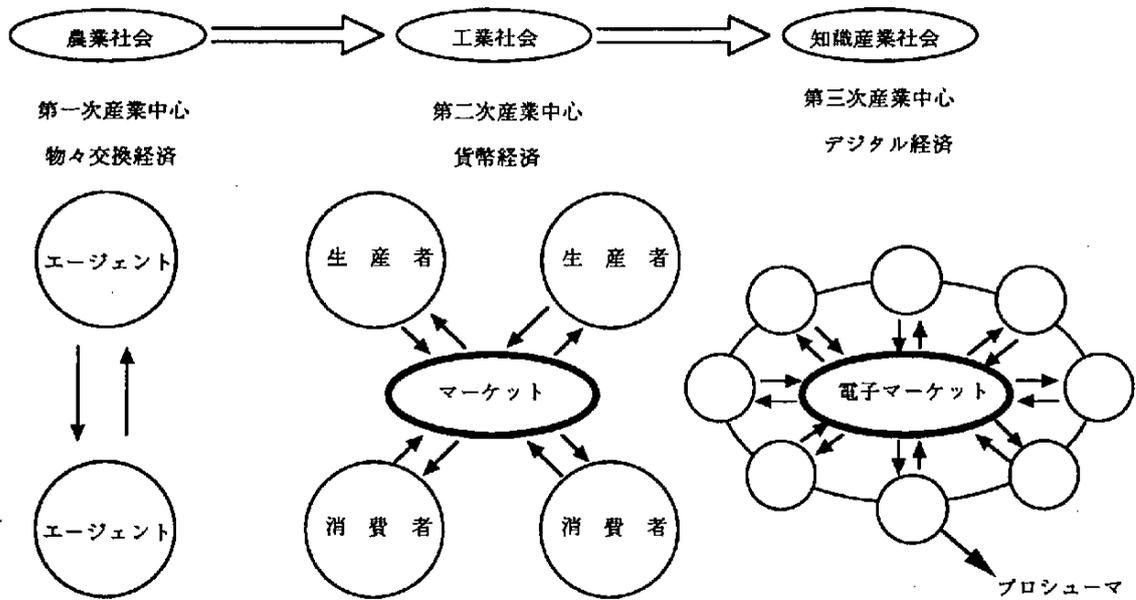


図 6.1-1 商取引の歴史的な変化

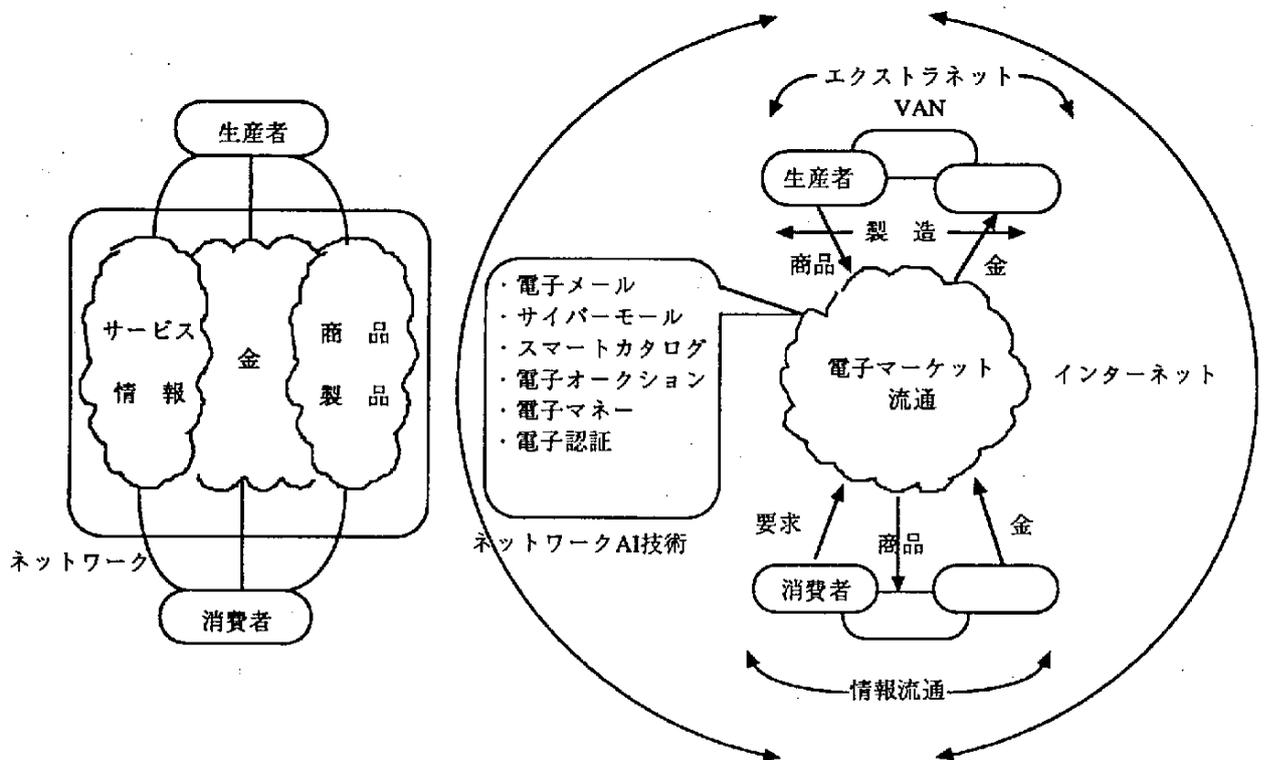


図 6.1-2 デジタル経済のメカニズム

造をつかさどる生産者同士は、VANやエクストラネットで生産情報を交換し、消費者同士も情報発受信を行うことによって情報流通に参加する。これらに共通に使われる資源としてインターネットが存在する。生産者・消費者はデジタル経済のチャネルを通じて、要求・貨幣・商品を流通させる。そこで使われるメディアが、電子メール・スマートカタログ・電子マネー・電子的オークション・電子認証システムであり、これらを高度化するための技術としてネットワークAIが存在する。

以下では、エレクトロニックコマースとデジタル経済に関連するネットワークAI技術的な問題を、サイバーモール、電子オークション、電子認証システム、ネットワーク型製造システムへの適用の順に説明し、さらにネットワークAI技術の適用可能性について考察する。

参考文献

[Tapscott 1996] Tapscott, D.: The Digital Economy: Promise and Peril in the Networked Intelligence. McGraw-Hill, 1996.

6.2 サイバーモール（電脳商店街）とネットワークAI技術

6.2.1 はじめに

ここは原宿かと思間違ふような3次元立体の電脳ショッピングモール。そこには若者達が個性的なコスチュームでウインドショッピングを楽しんでいる。行き着けのブティックに入ると担当のデザイナーエージェントが笑顔で近寄ってくる。今度は何方へお出かけですかとの問いに『一ヵ月後だけロンドンのお友達のホームパーティに招待されて・・・』と応えると、私の好みに合った数種類のドレスを提示してくれる。色柄とかカッティングの細かい所の変更を注文すると即座に変更したドレスが展示される。試着してみますかとの問い掛けに頷くと、そこはホームパーティ会場さながらの場所に試着した私の映像がリアルに表示され、回りの雰囲気をも考慮して好みのドレスが難無く決める事ができた。さらに、未だ寒いからとコートの試着を勧められ、ロンドンの国会議事堂の前をスマートに歩いている私の映像が映し出される。ついつい予定外のコートも買う羽目になってしまった。これらの商品は1週間後には宅配便で自宅に届く事になる。

次にお隣の旅行代理店のお店に入ると、何時ものエージェントが出てきて、同じように目的地を言うと、コーヒーをどうぞと言う間に旅行プランが出来上がってくる。今度の旅行は一寸リッチにビジネスクラスでと言うと、直ちに予約状況を確認して仮予約を入れてくれる。それと同時にホテルも4星クラスにグレードアップされたプランが提示される・・・・・・。家庭に居ながらにして世界各地の有名ショッピングモールでのお買い物を楽しんだり、有名美術館巡りが可能となっている。

これらは、SF小説では無く、正に直前に迫ったネットワークAIの世界である。既に米国ではインターネットを使った大規模な仮想ショッピングモールが開設され、3000社を超えるテナントが出店し、月に10万人を上回る来店者で賑わい出している。日本でも書籍販売を中心に既にビジネス化が始まっており、家電、旅行会社、衣料品メーカー、変わり種としては無農薬野菜を販売する農家などあらゆる業種で軒並みバーチャルショップ出店を試みる動きがある。しかし、現状の多くのショップがホームページ形式の電子カタログを単に置いておくだけのため、閑古鳥が鳴いているお店が多いのも事実である。バーチャルショップに於ける競争は、勿論、価格という面も強いが、個人情報と双方向通信技術を活かした高付加価値サービスにあるといえる。高付加価値化を進めるのが、エージェントを中心としたAI技術である。

ここでは、一つのバーチャルショップの例としてエージェント技術を活用してインターネット電気屋さんについて紹介する。

6.2.2 インターネット電気屋

インターネット電気屋では、Facilitator というメーカーとユーザの仲を取り持つための仲介機構を運営している。Facilitator は加盟しているメーカーに対しAdvertise という機能を使って最新の製品情報を絶えず登録してもらうようにしておく。これにより、利用者はFacilitator と会話するだけで各メーカーの最新機種の中から欲しい製品を容易に選択し購入する事ができる。また、メーカーに取っても常に最新の製品を店頭においておける事になる。従来の電子カタログでは利用者の知っている範囲のメーカーのURLを順に手繰って検索して行き、欲しい製品を捜し出さなければならなかったが、この手の仲介業者の誕生で各メーカーの製品を横通しで簡単に比較検討する事ができるようになる。

6.2.3 ネットワーク上のスマートカタログシステム

(1) システム概要

スマートカタログシステムの概念図を図6.2-1に示す。

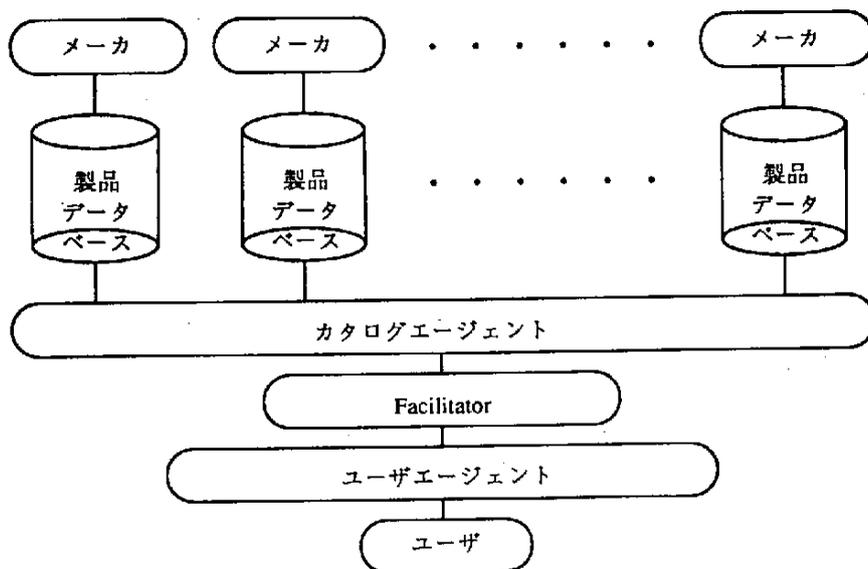


図6.2-1 スマートカタログシステムの概念図

Facilitator とユーザとの間はユーザエージェントが仲介する。また、Facilitator とメーカーとの間はカタログエージェントが仲介する。重要な働きをするのがFacilitator である。Facilitator は、カタログエージェント経由で登録された商品広告を蓄積しておく。例えば、あるメーカーがVTRに関する広告登録 (Advertise) をしたとすれば、どのメーカーがVTRを扱っているか認識できる。これにより、もしサーチ機能付き Super-VHS のVTRとの問い合わせがあれば、広告登録の記録に基づきVTRを取り扱っているメーカーに対して詳細な情報提供の依頼ができる。Facilitator は、ユーザからの要求に対し、カタログエージェントが理解できる言葉に翻訳する。また、カタログエージェントが戻した回答結果を要求された時の言葉に再度翻訳してユーザエージェントに渡す。この機能によって、あるメーカーがランダムサーチ機能と呼んでいるのに対し、同じ機能を他のメーカーがコントロールSと呼んでいたとしても、Facilitator の翻訳機能によってユーザの使った言葉で回答を行う事ができる。このような翻訳を実現させるためにOntology が定義されている。Ontology は、情報源間での用語の統一を図るためのもので、同一の機能に対して各社が別々の用語を使っている場合でも共通の用語として取り扱えるようにすることができる。

詳細な商品情報は、検索の容易性と保守性から各メーカーのデータベースに蓄えられている。このデータベースとカタログエージェントとの間のコミュニケーションは、SQLのような標準的な検索言語で行われる。Facilitator では、製品別の体系をクラス階層で体系化している。例えば、ランダムサーチ機能を持ったサーチ機能付き Super-VHS のVTRの問い合わせを考えてみよう。Facilitator ではVTRのサブクラスがVHS-VTRでVHS-VTRのサブクラスが Super-VHS のVTRという階層関係が定義付けられている。また、サーチ機能というアトリビュートが用意されている。

Facilitator は、このメーカーのVTRのサーチ機能に対するOntologyがコントロールSであることをProduct Ontologyから知ることができる。勿論、対応するメーカーのデータベースのVTRの実際のデータにもコントロールSとして定義がなされている必要がある。従って、サーチ機能付き Super-VHS のVTRの問い合わせは、コントロールS付き Super-VHS のVTRに翻訳され、カタログエージェントでSQLの形に一旦変換されてメーカーのカタログデータベースの検索がなされる。検索結果は、ユーザエージェントのリクエストの形式にもよるが、コントロールS機能をランダムサーチ機能に翻訳した形でのユーザへの提示も可能である。

(2) Facilitator 及びエージェント間の通信

ユーザ及びカタログエージェントとFacilitatorとのコミュニケーションは、ACL (Agent Communication Language) で記述されている。ACLは、

$$\text{ACL} = \text{KQML} + \text{KIF} + \text{Ontology}$$

で構成されている。KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) は、tell and ask 型の自然な動作 (行動) を記述する言語である。KIF (Knowledge Interchange Format) は、PROLOGライクの一階述語論理で表現されており、具体的な内容記述言語であるKQMLと一緒に使われる。Ontologyは、言い換えれば"controlled vocabulary"であり、各製品のデータベースを記述している言葉である。

(3) Facilitator の動作

Facilitator は、ユーザエージェントからの要求を処理し、適切な翻訳、及びプロトコル変換をしてカタログエージェントにメッセージを送る。ユーザエージェントから送られてきた電文はKQML処理部で受け取られ、KIFパーザに送られ解説/実行される。必要に応じてOntologyを使った翻訳がなされる。カタログエージェントから送られてきた各メーカーからの検索結果は、Ontologyによってリクエストで使用された用語に統一され、一覧表の形式にしてユーザエージェントに送付する。

(4) ユーザエージェントの動作

ユーザがNetscapeやInternet ExploreのようなWWWクライアントを使用していたとすると、ユーザはWWWのオリジナルプロトコルであるHTTPやHTMLを使ってユーザエージェントに接続する事になる。従って、ユーザエージェントでは、最初にHTML (HTTP) <-> ACLコンバータを使ってACLに変換し、Facilitator に送付する。Facilitatorからの回答はKIFパーザによって解釈/実行され、さらにACL<->HTMLコンバータによって変換される。

(5) カタログエージェントの動作

カタログエージェントでは、Facilitator から送られてきた電文をKIFパーザで解釈/実行しSQLに変換して実際の企業内のデータベースをアクセスする。検索結果は、ACLに組み立てられFacilitator に送付される。

6.2.4 バーチャルショップが拓く新しいビジネスの世界

現在のハイパーリンクをベースとしたWWWによる各メーカー別の電子カタログでは、使い勝手が悪く、結局使われないサーバとなってしまう可能性がある。何故なら競合他社がお互いにリンクを張る可能性が少なく、結局、利用者がメーカーのWWWサーバのアドレスを知っておかないと欲しい情報に行き当たらない。判らない場合はYahoo等の検索サーバから手繰って行く事になる。いずれにしても、メーカー横通しの価格や機能比較をするには、大仕事になってしまう。もし、仲介業者が現状の方式で同様の付加価値サービスを行おうとするならば、商品情報を各メーカーから取り寄せて、全ての商品を一元的に管理しておくことになる。そのためには、膨大なストレージ容量と保守コストが必要となる。また、最新の情報も仲介業者の取り寄せる時期で決まってしまうので、古い情報を提供することになるかもしれない。これらを回避するのが知的なFacilitatorである。知的Facilitatorでは、ユーザ情報を管理しておくことが可能なので、必要ならば顧客の望みそうな最新情報をメールでダイレクトに顧客に送る事もできる。また、顧客の購入履歴から次に何が必要か、そろそろ寿命がきそうな製品は無いかなど、顧客ニーズにフィットした商品紹介も可能となる。さらに、データマイニング機能により、自動的に顧客分析ができるので、販売戦略の立案、新商品開発のための情報抽出なども可能となる。

それではバーチャルショップ間での競争はどうなるであろうか。一つは、価格で、いかに他のショップより安い価格の提示ができるか否かに掛かってくる。大量販売による仕入れコストの削減が効果的であり、そのためにも大量販売を実現しなければならない。ここでも秋葉原のような値引き交渉を可能とし、店員エージェントとの価格交渉による値引きサービスも一つの付加価値となろう。次に保守等のサービスで、特にパソコン販売でのQ/Aサービスは重要となる。Q/Aも問い合わせエージェント、Facilitatorに蓄積された大量のQ/A事例の中から解を見つけ出してくれるようになる。もし、事例ベースの中に無ければ新たな質問としてメーカーに自動転送され、メーカーの専門家からの回答がFacilitator経由で帰ってくる事になる。

このように、近未来のインターネットをベースとしたバーチャルショップは、物作りから流通まで社会全体を大きく変えてしまう可能性がある。それらが、着実に家庭に入り込むためには使い勝手が良くかつ高付加価値である必要がある。そのためのネットワークAI技術が極めて重要となる。

6.2.5 考察

デジタル経済モデルの視点からみたサイバーモール、スマートカタログシステムは、図6.2-2のようにまとめられる。各生産者がもつ商品に関するデータベース情報はスマートカタログに集められ、サイバーモール上で消費者に公開される。消費者の要求はこれを参照することで明確になり、対応する注文が出され、商品が入手され、そして決済が行われる。ここで使われるネットワークAI技術は、FacilitatorとCatalog Agentに代表される。この形態は、プロシューマが1対1の関係でサイバーモール上のみで活動する形態である。サイバーモールでは、プロシューマの要求に適応的かつ即時的に答えるためには、分散協調型の問題解決機能が不可欠である。これには、分散制約充足のアルゴリズムが適用可能であろう [横尾 1995]。

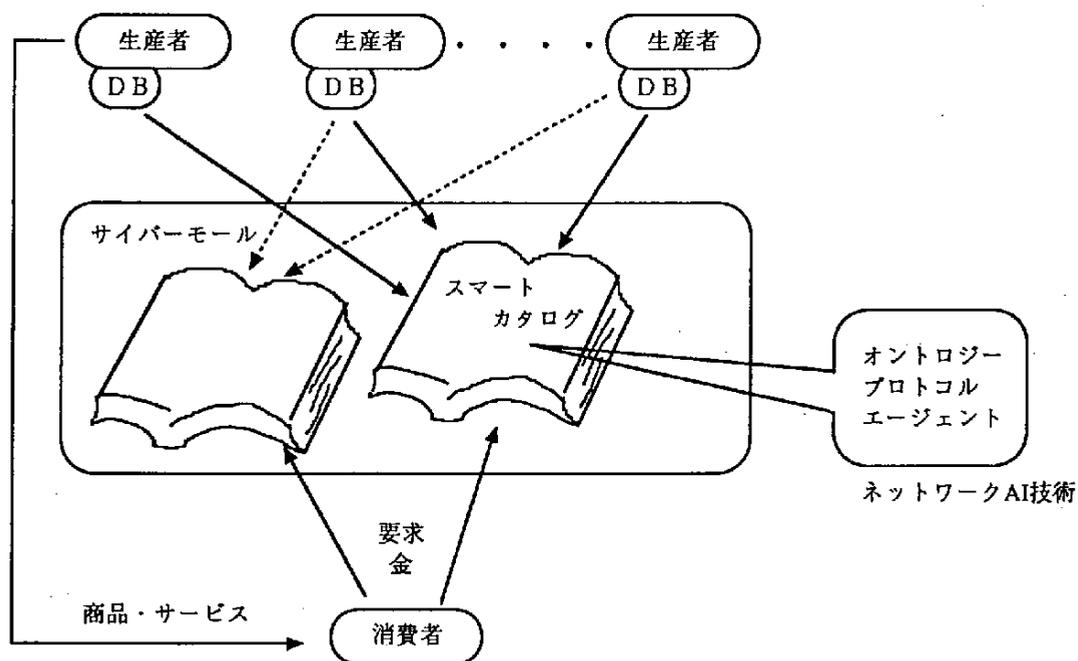


図6.2-2 サイバーモール・スマートカタログシステムの位置づけ

参考文献

[横尾 1995] 横尾 真：分散制約充足問題における制約緩和. 情報処理学会論文誌, Vol. 36, No.2, pp. 275-282, 1995.

6.3 電子オークションとネットワークAI

6.3.1 AI研究としてのオークション

オークションは、市場原理に基づく価格決定機構を持つ。この機構は、直接的な商取引のためだけでなく、資源配分のための基本アルゴリズムとして、マルチエージェント研究の対象になっている。ヘブライ大学の Rosenschein 教授は、彼の著書の中に、交渉プロトコルの必要条件についてまとめた。これは以下のとおりである。

- (1) 効率性：落札に到達した結果は、パレート最適性(他の誰かが利得を下げることなく、ある人がより高い利得を獲得することができないという最適性)など、ある種の最適性が達成された効率の良い解でなければならない。
- (2) 安定性：プロトコルには、最適均衡戦略が存在することが望ましい。すなわち、不当な利用者が、プロトコルの裏をかくことによって、高い利得を得るようなことがあってはならない。
- (3) 単純性：プロトコルは、効率性/安定性の面から単純であるものが望ましい。入札価格決定のために、競争相手の行動深く洞察する必要があるようなプロトコルは、単純性に欠ける。
- (4) 分散性：集中化した制御の入らない交渉が望ましい。
- (5) 平等性：特定の利用者に対して利便性があるようなプロトコルであってはいけない。

例えば、一度の入札で、最高値を入札した人が落札するというオークションについて考えると、入札者は、自分にとっての最適な価格を決定するだけでなく、競争相手の入札価格を推論する必要が生じる。そして、自分が競争相手より上回り、しかもなるべく低い価格で落札できるように、情報収集に奔走しなければならない。これでは、戦略決定に単純性が失われている。また、口頭で価格を順次競り上げていく通常の口頭オークションは、落札価格決定までに長い時間がかかり、これも効率性、単純性の

面で充分でない。

上記条件を満たしたオークションプロトコルとして、Vikrey オークションが知られている。これは、入札は一度で、最高値を提示した人が、2番目の高値価格で落札するプロトコルである。この場合、自分が本当に思っている商品価値の上限値を入札価格として提示することが最適均衡戦略であることが知られている。すなわち、事前に相手の入札価格について注意を注ぐ必要はない。結果として、競争相手が対象商品に対して自分より高い商品価値を見だし、高値で入札すれば、自分が落札できないのは妥当であるし、もし、自分が落札できたとしたら、競争相手が存在する限界価格である2番目の高値価格で落札するので、そこに買い入れ価格に対する余分な価格上昇はなく、効率的である。

しかし、このプロトコルも万能ではなく、オークション開催者による落札価格の虚偽申告による価格操作の可能性、関連性の高い物件が複数存在する場合の入札における最適分配特性の制限、非決定的な価値を持つ商品に対する入札価格の作為的戦略の存在など、いくつかの欠点も指摘されている [Sandholm 1996]。

このほか、オークション関係のAI研究としては、ミシガン大学の Wellman 助教授による資源割り当てシステム WALRASに代表されるマーケットオリエンテッドプログラミングの研究や、ワシントン大学の Sandholm 助教授による落札対象のキャンセルが可能な場合における落札最適戦略に関する研究 [Sandholm 1995] などが、行われている。

上記のようなオークションプロトコルの研究は、マルチエージェント研究の一分野として、ゲーム理論の研究と並んで、複数の価値基準の異なる自律エージェントの調停メカニズムとして採用される傾向にある。また、理論研究的な側面と同時に、オフィスや家庭で利用可能なサービスを提供する応用システムの開発も盛んに行われている。以下に、応用例をいくつか紹介する。

6.3.2 オークション応用システム

オークション機構を用いて、実生活環境に起こる資源分配問題を解決する試みがなされている。Xerox PaloAlto 研究所の Huberman 氏らは、エアコン設備の温度調整にこの機構を導入した [Huberman 1995]。オフィス環境において、エアコンの効き具合は部屋によってまちまちであり、寒い部屋も、暑い部屋も利用者の苦情をかかえる。そこで、冷気を売買対象にしてオークションで、冷気の最適配分を試みたものである。

まず、各部屋ごとに希望温度が設定され、それぞれのエージェントがその温度を監視する。そして、温度が低すぎる部屋のエージェントは、冷気をオークションに売り出し、一方、温度の高い部屋のエージェントは、オークションで冷気を買求める。ここに価格機構が導入され、売買量が均衡化される価格にて落札され、売り手と買い手を決定する。実際の冷気の売買は、エアコンダクトにある弁の調整によって行われ、冷気の売り手は弁を閉めて冷気を遮断することで部屋の温度を上げ、一方、買い手は弁を広く開けて部屋の温度を下げる。

実際の実験を通じた結果では、従来の温度調整手法に比べて、短い時間で、希望温度付近に収束することが確認され、また、外部環境の変化に対しても非常に柔軟な温度調整機構が実現されたことが報告されている。

6.3.3 WWW上の電子オークション

(1) 連邦通信委員会 (FCC) による無線周波数帯使用権の売却

合衆国では、日本で言えば、郵政省の電波管理業務に当たる無線電波の使用権決定のプロセスが、1994年10月より、電子オークション化している [FCC 1996]。

例えば、2 GHz波で 30MHz の帯域をもつ Personal Communication Service (PCS) 用の電波帯の使用免許に対する入札が行われている。このオークションの運営は、事前登録された入札者による遠隔ログインによる入札と、随時 WWW 上で行われる入札状況の情報公開によって構成される。

オークションの基本デザインは、simultaneous multiple round auction である。通常の口頭のオークションでは、商品が逐一競りにかけられ落札されるため、商品間に関連性が強く、例えば両者を同時に落札したいような目論見がある分野では十分な効果を上げることができなかつた。これに対し、simultaneous multiple round auction では、複数商品を同時に競りにかけ、入札者は、同時に複数の商品に入札できる。全商品が落札状態になるまで全商品の競りが続けられる為、相互関連の強い商品の同時落札の可能性を高く秘めた手法になっている。

希望物件の一部だけが落札できて、他方を落札できなかった場合には、一旦落札した入札を罰金を払って取り下げることができることも規則化されている。一方、入札者に対しては、全ての競り値の情報を、随時知らせる必要があり、電子オークション向けの手法であると言える。

電子オークション化される以前は長い公聴会やくじ引きによって免許を与える団体

を決定していたが、免許を与えた後で、権利譲渡などの問題が一般化し、電波の効率的かつ迅速な運用の障害となっていた。電子オークション化以降は、この問題が改善され、迅速で有効なサービスが市民に提供できるようになったと報告されている。

(2) 個人売買のための電子オークション

マーケットオリエンティッドプログラミングの研究で有名なミシガン大学の Wellman 助教授は、研究目的で、AuctionBot という WWW 上の自動オークションを開設している。1997年1月現在は、学内からだけ利用できるが、将来的には利用範囲の拡大を予定している。

AuctionBot は、基本設計コンセプトとして、様々な種類のオークション形態の提供、売り側と買い側の両者に対して中立な運営、プライバシー、オープン性を上げている。あくまでも研究目的で運営されており、マーケットオリエンティッドメカニズムに対する情報共有、有効性実証、実用上の問題点の抽出が主目的である。

現在、利用できるオークションの形態は、先に述べた Vikrey オークションと同等な (M+1)st-Price Auction である。すなわち、M個の商品に対するオークションの場合、高値を提示した M 人の人に対して、M+1番目の入札価格で落札される。よって、入札者は、最初の入札から、自分の希望する上限価格で入札するのが最適戦略となる。

eBay の AuctionWeb は、商用として利用されている自動オークションシステムである。毎日 2000 程度の物件が新たにリスティングされており、骨董品、本、ベースボールカード、PC およびその周辺機器、ソフトウェアなど、幅広い分野の商品が取り引きされている。

AuctionWeb のオークションは、エージェントによる自動競り上げ機構により実現されている。すなわち、入札者は、Vikrey オークションと同じように、自分の希望する上限額を入札する。その額は非公開であり、新たな入札があった時に、その入札に勝てる最小限の額にまで、自動的に競り上げられる。新たな入札額の方が上回ると、入札の失敗が入札者に通知される。このオークションは、入札が1回しかできない Vikrey オークションと違って、失敗した入札に対して上限額を上方修正して、再入札することも可能である。しかし、入札期限の直前に新たな強い入札が入った場合、再入札する時間が許されない場合があることなどから、あらかじめ最初から本当の上限額で入札することを利用者に勧めている。

オークションを開く側は、落札価格を上昇させるための不正な入札をすることが可能であるため、元締めである eBay による入札ログの開示、不正業者の摘発などの努

力が行われている。

6.3.4 考察

デジタル経済モデルの視点からみた電子オークションシステムは、図6.3-1のようにまとめられる。ここでは生産者がもつ商品あるいはサービスの情報が電子マーケットに開示され、それに対して複数の消費者が要求を提示する。ここで、重要なのは、消費者が対象商品に対して抱く「価値」が正しく市場に反映され、しかも、公平な入札が達成されることである。そのためのメカニズムを提供する技術としてネットワークAIが存在し、各種のプロトコルやMarket Oriented Programming、電子社会上の社会学の研究などがなされている。オークションは機構が単純である一方、そこから非常に複雑な振る舞いを得ることができる。コンピュータネットワーク上の電子オークションシステムの歴史は、まだ浅く、今後も理論と応用の両面からの研究と開発が期待される分野である。

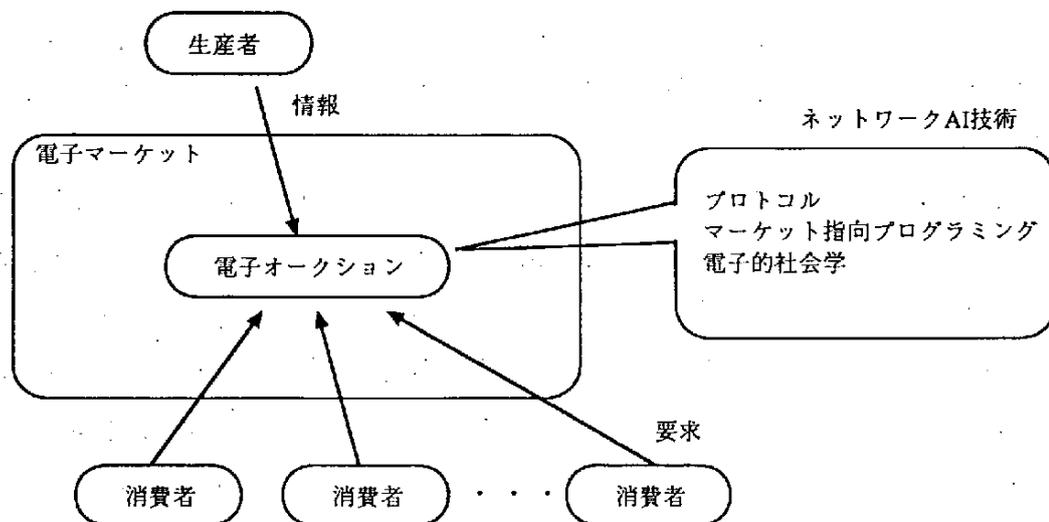


図6.3-1 電子オークションシステムの位置づけ

参考文献

[Sandholm 1996] Sandholm, T., Limitations of the Vickrey Auction in Computational Multiagent Systems, In Proceedings of the Second International Conference on Multi-Agent Systems, pp.299-306, 1996.

[Sandholm 1995] Sandholm, T. and Lesser, V. R., Advantages of a leveled commitment contracting protocol, In Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, 1995.

[Huberman 1995] Huberman, B. and Clearwater, H., A multiagent system for controlling building environments, In Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems, pp.171-176, 1995.

[FCC 1996] Federal Communications Commission ホームページ, <http://www.fcc.gov/>

6.4 電子認証システム

6.4.1 電子認証システムの目的

エレクトロニック・コマースを始めとして、ネットワーク上でのコミュニケーションが社会的に確実に行われるためには、あらゆる犯罪的行為、送信ミス・事故に伴うトラブルに対応するための施策が必要となる。それら対応すべきトラブルには

- 漏洩・盗聴
- なりすまし
- 誤送信（送信事故）
- 改竄

の5種類が考えられる。それらを一つの社会システムとして解決しようとするものが、ソーシャルウェアとしての「電子認証システム」である。

従来は、クレジット・カード会社が、消費者と供給者（企業）の信用を、それぞれ消費者と供給者の観点から調査していたが、マイクロ・マネーの出現によりあらゆる個人が「情報提供」企業としての側面を持ちうることになった現在、より広範囲に、かつ容易に、個人と企業の信用を認識する手段が求められている。

6.4.2 暗号：「漏洩・盗聴」への対応

(1) 暗号化の基本

暗号化とは、メッセージを「鍵」により符号化（暗号化）し、「鍵」を持っている人だけがその符号化されたメッセージと発信者を解読（復号）、理解できるようにするプロセスである。メッセージが他人に傍受されたとしても、まったく意味をなさない。

インターネット上では、デジタル信号で送られる情報を傍受することは技術的には容易である（TCP/IPというプロトコルは本来そのように設計されてる）。したがって、暗号化しておかなければメッセージは容易に他人に漏洩することになる。更に言えば、メッセージが傍受されたことには受信者にも送信者にも知られることはない。たとえば郵便の場合では誰か第三者が書簡を開封して読むことは難しくはないが、通常、受

取人は既に開封されたという事実は明らかになる。その上、書留のような安全度を高められる郵便サービスもある。

しかし逆に言えば、電話回線であれ専用線であれ、ハードにおいては100%確実な伝送はありえないが、高いレベルのセキュリティで暗号化されているデータを盗聴することは現実的に不可能であるということである。

コンピュータでの暗号化には、一般的に二つの方式、「同一型の鍵による暗号化（共通鍵方式）」と「非同一型の鍵による暗号化（公開鍵方式）」がある。以下に、デファクト・スタンダードとして普及している公開鍵方式の暗号化について記述し、さらに暗号の応用と問題などについて議論するものとする。

(2) 公開鍵方式による暗号化 (RSAシステム)

認証の問題と大規模ネットワークでのプライバシー保護については、ホイットフィールド・ディフィーとマーチン・ヘルマンによって1976年に理論的検討が行われた。同年、二人は暗号鍵の交換なしで機密のメッセージを交換する方法についての概念を発表し、その発明で米国特許を取得した。

このアイデアは1977年に、当時マサチューセッツ工科大学教授であったロナルド・リベスト、アディ・シャミルおよびレン・エイドルマンによるRSA公開鍵方式による暗号化システムとして実用化された。このRSAシステムでは、データの暗号化と復号化（解読）の両方に同じ鍵を使用するのではなく、一对の「暗号化用の機能を持つ鍵」と「解読用の機能を持つ鍵」を使う。それぞれの鍵はデータに対して一方向の転換しか行なわないそれぞれの鍵は相手側の鍵に対して反対の機能を持っており、一方で暗号化したものは相手側の鍵でしか解読できない。

公開鍵はその所有者が社会に広く配布するものであり、一方秘密鍵は秘密に保存しておくものである。私的なメッセージを送る場合、送信者は相手先の公開鍵でメッセージを暗号化する。このメッセージは受信者の秘密鍵でしか解読できない。反対に、送信者は自分の秘密鍵を使ってデータを暗号化することもできる。つまり、鍵はどちらの方向にでも機能するということである。この機能が「電子認証」「電子署名」の基礎になる。後で詳しく述べるが、ユーザが誰かの公開鍵でメッセージを解読することが出来たとしたら、相手は最初に本人の秘密鍵でメッセージを符号化したことになり、秘密鍵はその本人しか使えないから、この暗号化されたメッセージは本人が作ったこと、他人では作れないことの証明となるわけである。

このアルゴリズムを実際に運用してゆくにはコンピュータの高い処理能力が要求さ

れるが、この発明が行われた当時はそれだけの容量のコンピュータは大きな機関しか持ち得なく、個人的に使用することは現実的にありえなかった。しかし、現在のパーソナル・コンピュータは、メッセージの暗号化も解読も運用上差し支えない程度の短時間で実行するに十分な能力を備えている。

暗号を不正に解読することの難しさは、暗号化に使用した鍵の長さに比例する。128ビットの鍵で暗号化したものであれば、現在のスーパーコンピュータでもこれを解読するには何年もかかり、十分に実行不可能な長さだと考えられている。しかし、コンピュータの能力は急速に向上しており、使用ビット数は将来には長くなって行く。ビット数がひとつ増えるごとに解読には2倍かかり、たとえば、4ビット追加すると解読に16倍の時間を要することになる。

(3) アメリカ国家安全保障局 (NSA) と FBI の危惧

NSA、FBI、司法省等のアメリカ政府の一部の組織では、公開鍵方式による暗号化が広く使われるようになることに危惧の念を抱いている。犯罪者、テロリスト、その他「社会にとっての脅威」と考えられる者が互いに暗号化した通信のやり取りをすることが可能になり、もはやこれを傍受することも解読することも出来なくなるからである。そこで、NSAでは、メッセージを暗号化する鍵で64ビット以上のものを使用するソフトウェアと機器の輸出を規制した。64ビットまでの長さであれば彼らのコンピュータをもってすれば容易に解読できるからである。しかし、署名、日付と時間、メッセージの「ダイジェスト」（ダイジェストについては後述）を暗号化するのに使用する鍵の長さについては何の制限も設けていない。日本では、盗聴は非合法であるので、暗号化に制限を加える議論は生まれていない。

6.4.3 RSAシステム：「なりすまし」「誤送信（送信事故）」への対応

(1) RSAシステムの目的

RSAシステムは以下のような目的を実現するものである。

●発信人の確認

メールが送られて来た場合、確実に誰により送られたものか、「発者：・・・」のフィールドに記載されているものが本当の発信者かどうか知る必要がある。電子的に送られる情報には、電子メール、ダウンロードしたソフトウェア、発注書、契約書、電子雑誌、ウェブ・ページ・アドレスなどがある。しかし、ファイルのフォーマット

は完全に公開されているため、「発信者：・・・」も簡単に偽造することが出来、他の個人や会社の名前を騙ることができる。発信人が「ビル・ゲイツより」あるいは「ビル・クリントンより」となっているでたための電子メールが既にとびかっている。

●受信者の確認

データを確実に送信するためには、受信者の確認の後に送信することが重要になる。受信者に容易になりすますことができれば、いくらセキュアな暗号化技術といえども、用をなさなくなる。

●ウェブ・サイトの確認

さらに、あるドメイン名を使っているウェブ・サイトが実際そのドメイン名であるかを確認することが必要である。たとえば、電子モールで買い物をする客は、モールのオペレーターの身柄と店のサーバーの（デジタル）IDを要求する。サーバーを確認しないかぎり、客はオペレーターや店に対してクレジットカードの番号のような機密情報を信用して知らせるわけにはいかない。偽の店が、多くのクレジットカード番号を蓄積して、その後ドロンということにもなりかねないからである。

●サイトにアクセスする人物の確認

多くのウェブ・サイトは特定の加入者だけを対象に作られている。現在では、ユーザーは普通パスワードを打ち込まなければアクセスできないようになっている。毎回の入力はいささか面倒であるし、サイト側では膨大な数のパスワードとユーザー名を覚えねばならない。ブラウザでの自動認証を用いることによって、ウェブ・サイト側ではサイトにアクセスして来た人物が真に登録済みのユーザーであるかを確認する情報を得ることができるようになる。企業の場合では、対象を顧客に限っているウェブ・サイトへのアクセスが本当に同社の顧客であることを、また、オンラインで銀行口座にアクセスして来た人物がその口座で情報を入力したり、取引を行ったりすることを認められている人物であることを確認する。

●データの正確性の確認

送信者から受信者に送られる間にデジタル・データは故意、または偶然のハードウェアのミスによっても簡単に変わってしまう。それによるトラブルの発生を未然に防ぐために、データ伝送が正確に行われたことを確認することが重要である。

(2) RSAシステムの実行メカニズム

RSAシステムの説明に入る前に、まず「公開鍵方式の三つの原則」を再度確認しておく。

- [1]全ての鍵是一对（公開鍵と秘密鍵）になっている
- [2]秘密鍵は自分で保管し自分だけが使う。公開鍵は公開し他人が使う。
- [3]公開鍵で暗号化されたメッセージは、対の秘密鍵でしか復号化できない。

またその逆も可能（秘密鍵で暗号化されたメッセージは、その対となる公開鍵でしか復号化できない）。

電子署名はどのように認証に使用されるかについて、図6.4-1に従って「送信者Aが署名入りのメッセージを受信者Bに送る」ケースの説明を行う [末松 1996]。

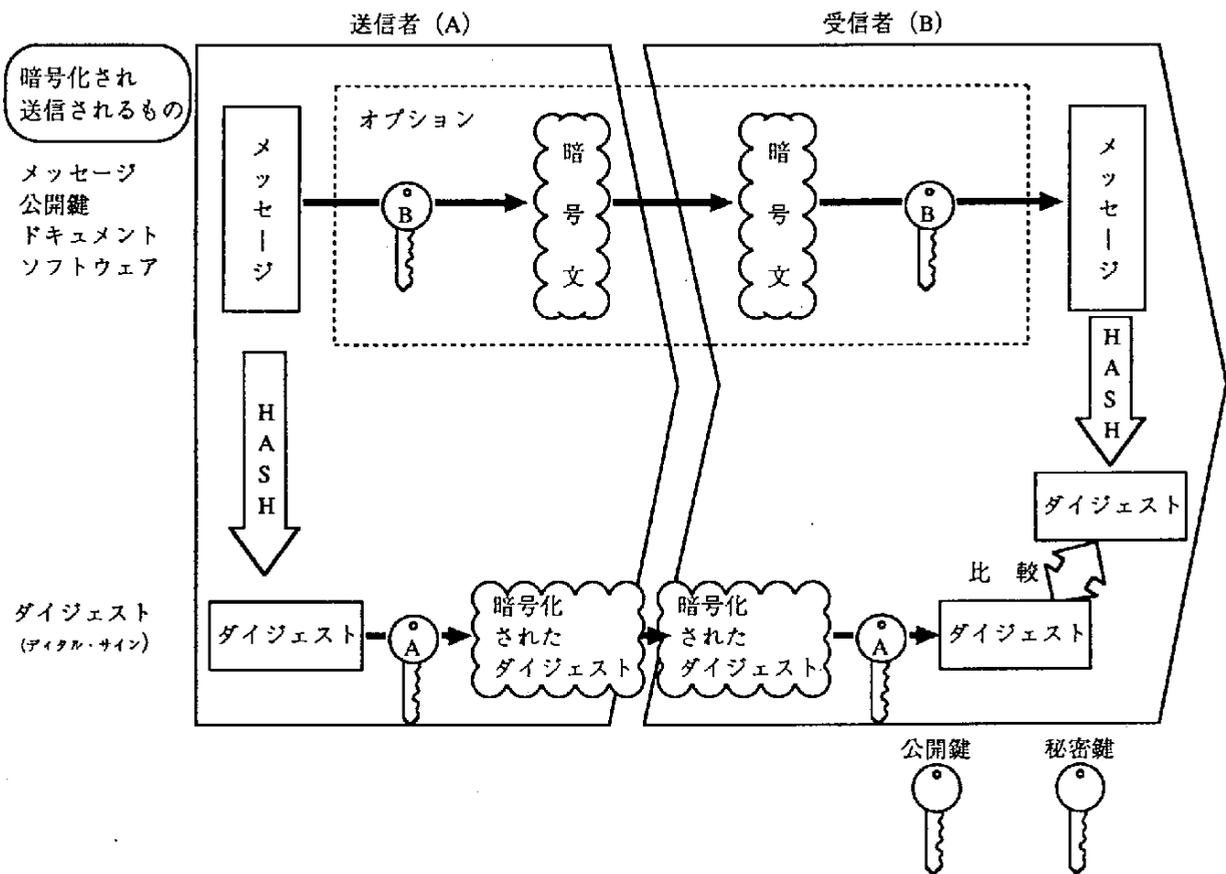


図6.4-1 電子認証システムの概要 [末松 1996]

Aは、メッセージの“ダイジェスト”をつくる。ダイジェストは”ハッシュ”として知られる数学的技法を用いた機械的な数字の文字列で、それ自体は意味を持たない。「ダイジェストからメッセージを解読すること」と「同じダイジェストを持つふたつのメッセージが存在すること」は、絶対に不可能になっている。つまりハッカーが送信者Aの署名のついた偽のメッセージを作成することはできない。

これと同じダイジェストを持つメッセージを他に作ることは、不可能である。メッセージの一部が修正された場合、ダイジェストが変わり、異なったものになり、ダイ

ジェストはメッセージに対して一意的に決まるものである。しかもそれは一方通行で、ダイジェストからメッセージは復元できないことに注意が必要である。

次に、送信者Aは本人の秘密鍵でメッセージのダイジェストを暗号化する。この暗号化されたダイジェストが、Aのメッセージに対する“電子署名”ということになるが、それは「本人しか有していない秘密鍵で処理され、誰でもがそれを公開鍵で確認することができる」という意味からである。電子署名が署名として機能するメカニズムは次のようなものである。

送信者Aは、メッセージと暗号化されたダイジェストのふたつを受信者Bに送付する（図の点線内のオプション部分の「メッセージの暗号化」は行っていないことに注意）。まず受信者Bはこれらを受け取り、送信者Aの公開鍵を使って暗号化されているダイジェストを復号化する。メッセージを確認するために、受信者Bは次のような手順を踏む。送信者Aが用いたのと同じハッシュ処理をメッセージに対して行い、その結果得られたダイジェストを、送信者Aから受け取ったダイジェストと比較するのである。

ここで、ハッシュ処理は両者が同一のものを使用することが不可欠であるが、それは今後、社会的に標準化されたもののなかから、両社が事前、あるいは送信時に決定することになる。どのハッシュを使用するかの情報が漏洩しても、ダイジェストからメッセージは作成できないので、そのセキュリティに腐心する必要は全くない。

まず、ダイジェストが復号化できれば、それが送信者A本人しか有していない秘密鍵で暗号化したものであること、すなわちまさしく本人からの送信であることが確認でき、次に、両者の比較が全く同じであれば送信者Aがダイジェストを作成した後、メッセージは変わっていないことを確認できる。もし、復号化できなければ、ダイジェストは他から送られてきたことがわかり、またもし、二つのダイジェストが同じでないなら、送信者Aが取得したメッセージは別のところから送られて来たか、異なるメッセージのダイジェストが送られてきたかのいずれかである。すなわち、このメカニズムが通常の署名の「作成者本人が内容を確認した」と全く同様の機能を果たすことになるのである。

電子署名を用いてもメッセージそのものを暗号化するものではないことに注意が必要である。送信者Aがメッセージのプライバシーを確実にして漏洩を避けたいと望むのなら、Aは受信者Bの公開鍵を用いて、これも暗号化しなければならない（図の点線内のオプションの部分を実行する）。受信者Bの公開鍵で暗号化したものは受信者Bの秘密鍵でしか復号化できないから、受信者Bのみがメッセージを復号、解読できる、

すなわち漏洩はないことになる。

電子署名の法的有効性について米国では今なお検討中ではあるが、今後数年内に、法的な手続きを経て、電子署名が法的に拘束力を有するための電子署名法、キーサイズ、安全対策の範囲が、包括的に規定されるものと思われる。なおメッセージの暗号化には受信者Bの公開鍵が、ダイジェストの暗号化には送信者Aの秘密鍵が使用されているが、その鍵の組み合わせ以外のケースは有り得ないことに注意が必要である。メッセージの暗号化に、送信者Aの秘密鍵が使用されれば、誰もがそれを解読できてしまう。また、それ自体では意味を持たないダイジェストの暗号化に受信者Bの公開鍵を使う必要はなく、それに送信者の秘密鍵を使用し送信者確認をすることに意味を持つ。

(3) 認証機関によるデジタルIDの発行

●デジタルID

電子認証システムの基本パターンにおいては、送信者と受信者の確認、例えば送信者が山田太郎であるということは確認できるが、「山田太郎」が実は「佐藤二郎」が成りすましている人物であるときには、それを確認することはできない。全く偽メッセージが受信者に“確実に”届いてしまうことになる。その逆に、受信者になりすました犯罪者が、送信者から情報を盗むことも可能である。これは暗号化技術がいくら高度化しても、避けられない課題である。

それに対して、認証機関を設置し、デジタルIDを発行することにより、「山田太郎」が山田太郎本人であることを認証するというソーシャルウェアが普及することになると考えられる。

電子商取引が広範囲に普及して行く上での障害のひとつは、取引関係者の身柄と権限を認証する手段がこれまで存在していないことであった。しかし現在の技術レベルでも、デジタルIDの贋物を作ることは、パスポートや運転免許証などの従来の身柄証明書の偽造よりも技術的に難しいとされており、数年の内には、各種の身柄証明がデジタル化され、政府によって発給されるようになるものとも期待されている。

(4) デジタルIDのコンテンツ

デジタルIDは、運転免許証、パスポート、会員カードの電子版であり、ある人物の身柄や、その人物がオンラインで情報やサービスにアクセスする権利を有していることを証明する目的で電子的に提供される。

デジタルIDは、“デジタル証明書”としても知られており、デジタル情報の暗号化と署名に使用される一対の電子鍵に、個人の身柄を一意的にリンクさせている。デジタルIDがあれば、与えられた鍵の使用権を有している人物が本人自身かを確認ができ、不正行為を防止することができる。暗号化技術と併用することにより、デジタルIDは、取引関係者全員の身柄を認証するものとなり、セキュリティ問題についての解を、より完璧なものとする。

デジタルIDは、認証機関（CA: Certificate Authority）が発行、CAの秘密鍵で署名する。デジタルIDには一般的には次のようなもの（データ、情報）が含まれている。

- * 所有者の公開鍵
- * 所有者名
- * 公開鍵の有効期限
- * 発行者名（デジタルIDを発行したCA）
- * デジタルIDの通し番号
- * 所有者の信用情報
- * 発行者の電子署名

公開鍵はデジタルIDとして、身柄証明とともにCAに保管されており、CAから送信される。これにより、なりすましに対しては完全に防御できる。デジタルID用に最も広く普及しているフォーマットは、CCITT x.509 国際規格に定められている。従って、x.509に準拠しているアプリケーションであれば証明書を読むことも書くこともできる。更に進んだものとしては、「プライバシー保護および認証システム」の規格である公開鍵暗号化規格（PKCS）がある。PKCSは、RSAと業界主要企業、教育機関によって1991年に定められたもので、アプリケーションの設計者に対し、安全で互換性のある、プラットフォームから独立の、アプリケーションを構築するための共通のフレームワークを提供する。

● 認証機関

A. デジタルIDの公的発行機関

電子署名が自筆の署名にとって代わるためには、これが自筆の署名と同じ法的扱いを受けなければならない。すなわち、電子署名のある書類は法的に有効であるとされなければならない。NIST（米国標準技術局）は、電子署名の標準規格は「データが実際に署名者本人により署名されたものであることを第三者に証明することができるも

のでなければならない」と既に定義し検討を始めており、近い将来、米連邦政府の発注書はこの種の標準の何れかによって署名するようになると言われている。つまりこのことは、米国において電子署名の法的有効性を政府が支持しようとしていることを意味する。

B. 私的発行機関

今日の世界において、多くの機関が身分証明書を発行している。政府機関は市民や企業に対して身元証明書を発行し、企業は従業員の身分証明書を発行する。銀行やクレジットカード会社は顧客にカードを発行し、会員制組織やクラブはメンバーに会員証を発行する。近い将来、これらの組織の多くが、従来型の対面識身元確認と同じ機能を、サイバー空間で行うためのデジタルIDの発行を開始すると考えられる。すでに、米国では銀行や証券会社との取引を電話で行うための簡単なデジタルID（通常4桁の数字）が普通に使われている。シティーバンクでは、日本と米国ともに、4桁の数字のパスワードを告げることによって、電話による資金振替を行っている。しかし、インターネットのデジタルID用には、それ以上の高度化した暗号化技術が用いられる。

企業向けに公的なID（時には「証明書」となる）を発行する新しいビジネスも生まれ、この証明書が他の個人や組織、特に会員制の組織に身分証明として受け入れられるようになるだろう。電子取引が社会に完全に定着するようになると運転免許証や旅券がデジタルIDと結び付いてくることは十分予想される。

各発行組織は、IDを発行する対象人物がその当人であるかどうかをチェックするための自己の基準を設定することが必要になる。たとえば、銀行は銀行口座開設の際、運転免許証か旅券（企業の場合には設立書類の証明済みの写し）を身元確認のために要求する。他方、メンバー制クラブではクラブに入って来た客がクラブのメンバーでありさえすれば身元確認の必要性は低い。その代わりIDを発行するに当たっては年会費が払われているかの確認に努力が払われる。

イントラネットやインターネット・コマースを確実に実施するためには、企業は社員、契約者などに対し、組織内のデジタルIDを発行することが必要になる。企業では各自の確認手続を規定し、それに従い実施することになる。企業のインターネット向けにソフトや管理システムを提供する新しいビジネスが生まれつつある。例えば、ベリサイン社ではプライベートIDを開発するためにユーザ企業と共同作業を行っている。

●エージェントの応用

認証機関は今後、公的、私的を問わず、多数出現することが予想される。それらの

認証方法が全て完全に標準化されていれば、ユーザにとって都合がいいが、それぞれの用途が異なることもあり完全な標準化は困難であろう。

その際、エージェントが認証機関を探索し、必要な認証情報を収集してくるというアプリケーションが有効となろう。

6.4.4 電子公証人：「改竄」への対応

中立で信頼できる機関に対して、データを受信者に対して同じ様に送付し、その機関がデータの内容と登録時間について公証するソーシャルウェアも実現に近づいている。送信者が、送信データを改竄したり、発信時刻を偽ったりすることは不可能となり、データ交換のセキュリティがより完全なものとなる。

送信者Aがデジタル書類に署名し、それにタイム・スタンプを押してもらい、受信者Bに送ることを考えてみる。送信者Aはハッシュを用いて書類のダイジェストを作成し、次にこのダイジェスト（書類そのものではない）を電子公証人に送信する。電子公証人はこのダイジェストに電子公証人が受け取った日付、時間、それに電子公証人の署名の入ったデジタル・タイム・スタンプをお繰り返してくる。ダイジェストは書類の内容について何ら情報を漏らさないの、電子公証人では書類を盗用、漏洩することはできない。後日、送信者Aは書類とタイム・スタンプを一緒に送付し、書類がいつの時点で書かれたものであるかを証明することができる。受信者Bは入手した書類と、タイム・スタンプの付いたダイジェストを復号化し、これらが一致することを確認する。

デジタル・タイム・スタンプ・サービスは、暗号技術を使用してデジタル書類に日付と時間を打ち込むものであり、後日あるデジタル書類が、タイム・スタンプを刻印された時点において存在していたことを証明するものである。例えば、ある物理学者が画期的なアイデアを思い付き、これをワープロで書き、このデジタル書類にタイム・スタンプを付したとすれば、強力なライバルが彼に先行して発表を行ったとしても、後日この物理学者がノーベル賞に値する人物であることを証明できる。同様に、特許発明の申請日時、不動産売買の発注の時期、支払の時期など、その応用範囲は極めて広い。

6.4.5 考察

デジタル経済モデルの視点からみると、電子認証システムはデジタル経済の信用・信頼性を保証するためのインフラストラクチャである。ところが、電子的なメディアは、従来のそれとは異なり、複写がコストをかけずに可能であるという特徴をもつ。このことが、知識産業社会においては逆にコスト増加の原因となる。それを適当なコスト範囲で、しかも、確実に保証するのが電子認証システムの大きな役割である。とくに、電子マネーの普及にあたっては、安全性、信頼性、匿名性、流通性の確立が大きな問題である。ここにもネットワークAI技術の適用可能性は開けている。デジタル経済・エレクトロニックコマースにおける電子認証システムの位置づけを図6.4-2に示す。

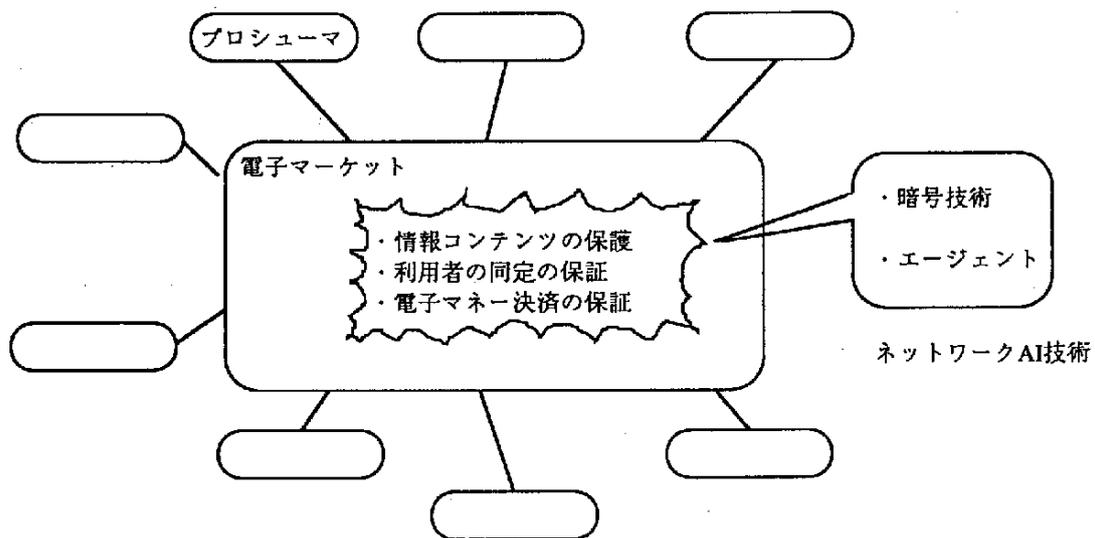


図6.4-2 電子認証システムの位置づけ

参考文献

[末松 1996] 末松千尋 (他) : JAVA革命. ダイヤモンド社, 1996.

6.5 工業集積と分散型の製造システムへのシナリオ

6.5.1 はじめに

近年、コンカレントエンジニアリングとCIMに関する議論がAI関連の情報システムがらみでもいろいろ論じられるようになってきた。これには、エンタープライズモデリングの標準化の動きやCALSベースのバーチャル企業のビジョンも関連している。またISOでもエンタープライズモデリングの標準化を試みつつある。他方で、生産に関する分散協調スケジューリングの重要性も認識されつつある。しかしこれらのビジョンの中には、ジャストインタイム（JIT）的な考え方は含まれていても、広く中小下請け企業のような加工サーバを結ぶ形での分散協調型の製造加工システムについてのビジョンは含まれていない。

以下では、中小企業の工業集積などを製造加工サーバとするような、多様な企業間関係を含む企業の壁を越えた製造加工の分散型の生産システムの可能性について考えてみたい。ここで取り上げる問題は、実はコンカレントエンジニアリング（または、その実現形態であるCIMシステム）、分散協調設計、スケジューリングなどの諸問題と重なるところは大きい。それにもかかわらず、我々がここで提示するのは現在欧米で構想されているものとは、やや異なる日本型の高度工業集積に基礎を置いたモデルである。CALSベースのバーチャル企業のビジョンは、下請け企業が委託先企業の巨大データベースを参照するようなスター型の単品大規模生産に向けた製造システムのビジョンであり、エージェント間の参照構造や協調構造は比較的単純である。

それに対して、複数の製造加工サーバにまたがり、単一の組織ではない形で物作りを行う自律分散的なシステムを組み立てるとしたら、どのようなビジョンが必要であろうか。一種の分散統合スケジューリングがそこでは必要となる。本稿では、現在様々な実験が行われ進化の途上にある、この分散的な物作りのシステムについて、ひとつの可能なシナリオを提示しつつ、その背後にあるシステムの問題を分析する。

6.5.2 生産の現場の変化とそのシステム化

コンカレントエンジニアリングがJITシステムを換骨奪胎する中から生まれたことは有名だが、製造システムとしてのJITシステムが持っていた、あるいはその背後にある日本の物作りの現場が持っていた特性のすべてがコンカレントエンジニアリングとい

うコンセプトに吸収されているわけではない。欧米流の経営では、工場のあるいはその内部のラインなどの製造セルの自律性は低い。そのかわりトップマネジメントの自律性は高い。日本では逆に、企業内部では自律性が高く、様々な改善的な探索活動を自律的に行う。

これを情報共有と設計から製造に向けてのクイックレスポンスのあるフィードバックのシステムとして定式化しようとしたのがコンカレントエンジニアリングだが、その方向性は米国と日本ではやや異なりつつある。日本では、東芝の生産座席予約システムのようなCIMや、ショップ制のような一人生産システムを活用した製造加工システムが現在様々に実験されている。これらの大部分は単一企業の中の生産システムであるが、その実験のかなりの部分は、そのまま組織の壁を越えた製造加工システムへと展開可能なものである。

これらの動きの中で、欧米流のコンカレントエンジニアリングと日本型のコンカレントエンジニアリングで標準化すべきものについてのビジョンの違いが浮かび上がっている。例えば、欧米流のコンカレントエンジニアリングでは、オントロジーと呼ばれる辞書の共有や、エンタープライズモデリングの中での機能オブジェクトの標準化が課題とされている。しかし日本では、単一の組織の内外を問わず製造加工サーバ間の相互参照構造やそれに関するシステム化が進んでいる。東芝の生産座席予約システムは、工場の出荷情報を参照しながら、様々な商品を生産座席に割り当てる。外注の加工協力企業は、この生産座席へ部品納入をする。後で取り上げるダイコク電機ではこの生産座席にあたる加工サーバが組織の外部にあり、システム化されている。

我々はある製品毎に、設計、試作、製造のプロセスが立ち上がり、それが複数企業にまたがるビジョンが必要となると考えている。しかもそこではインターネットのような、知識の蓄積共有を可能にするシステムを生かしたシステム作りが必要と考える。

そこで日本の自律分散型の製造加工サーバの集積である、工業集積を利用した、加工組立委託を三つのカテゴリーに分けることにしよう。第一は、多品種、小ロットでリピートのある加工委託である。第二は、試作品の加工依頼である。第三は、特別な現場や消費者からの製品設計・製造依頼に対応できるような小回りのきく物作りのシステム化である。

第一、第二の場合でも、いずれも状況に応じて詳細設計まで含めて外部委託されることもしばしばある。この二つの従来からあるケースでは協力企業からなる下請けのネットワークばかりでなく、比較的オープンな諏訪や京浜地区、東大阪などの工業集積が盛んに使われており、外部委託のノウハウが集積している。そこでは複合加工委

託などのために、まとめ役としてのネットワーク受注企業などが介在することがしばしばある。

だが情報ネットワークを活用することで物作りの可能性はさらに飛躍的に変化すると考えられる。我々は、この第一、第二の分散型の製造システムが情報ネットワークを活用することでさらに、第三の形態に発展すると考えている。すなわち、我々は情報ネットワーク上で物作りに関する共有知の空間が形成される可能性について検討し、それらと密接に結び付いた第三の形の分散型の製造システムの可能性について構想する。その可能性を示す既に稼働している具体的事例として、次節でダイコク電機のワークネットを取り上げる。

上述したよに、第三の可能性とは、特別な現場や消費者からの何らかの製品の設計、試作あるいは小ロットの製造依頼に対応できるような物作りのシステム化である。現在、

教育、医療、福祉、環境保護など様々な現場で固有に必要とされるような工業製品があったとしても、それらが特別な市場価値のあるものでなければ、それが企業による開発対象となることは難しい。

このような製品の製造加工には、より小回りの利く製造加工のサーバとその活用のためのシステムが必要となる。ある工業製品を必要とし、何が必要であるかを明確に述べることのできる専門家、あるいは現場からの要求を、設計に受け渡し、試作から加工製造し、またそれらに関して責任を持ち製品のライフサイクルを管理するシステムが必要になる。これら分散的な製造システムでは、従来のような大企業が製品に対して一貫した責任を持つとは異なる体制が必要となる。求められる製品のライフサイクル単位で製品に責任を持つコーディネータ機能を持ったサーバを中心に、設計や加工製造の諸サーバが結合しひとつの製品をそれが必要とされる現場のニーズに応じる形で作り上げる分散型の製造システムが構想される必要がある。このような分散型の製造システムでは、さらにネットワーク上での技術的知識やデザインの共有という新しい可能性が生かされる可能性がある。従来の下請けの協力会の内部では閉じた人間関係を中心に技術情報の伝達や共有が行われてきた。開かれた工業集積の内部でも仕事上のつながりのネットワークで様々な情報が共有され、流通する。しかしその共有には限界がある。情報ネットワーク上でそれが可能となれば、ソフトウェアで生じたような技術情報の進化が、組織外部のネットワーク上で起こる可能性がある。

他方で大企業を中心とした製造、加工委託や調達では、他の企業に加工、調達内容を知られないことが重要という認識があった。しかし一部の製造外注やここで問題と

している現場指向の製品の製造では、知識をオープンにして蓄積、進化することに何ら問題はない。

我々は、様々な部品のデータがデータオブジェクトとして記述され、さらにそれらがNCマシンの加工データに比較的容易に転化できるような技術的環境を手に入れつつある。この環境の元である工業製品をデザインするということは、そのデータオブジェクトとしての構造をデザインすることになる。このデータオブジェクトが情報ネットワーク上で蓄積され、改良、進化する可能性はソフトウェアの場合と同様に可能であると考えられる。

製造加工サーバの存在を前提として、フリーウェア、シェアウェア的な製造ノウハウ、設計図などの情報オブジェクトが流通することを前提とした分散型の製造加工システムのビジョンを考えたい。

例えば、ある痩せた体格の老人が、自宅の狭い廊下対応の室内用車椅子を必要とした場合を考えよう。この車椅子は一般の人には小さいかもしれないが、特定の体格の老人と狭い家にとってはフィットした製品である。これに対応しうる公開された車椅子図面があれば、それを変更して製造を引き受ける企業があればよいわけである。しかしこの製品の企画、製造は単なる図面に従った加工能力がある下請け企業が直接受注するのは無理がある。それよりはこういう製品についてノウハウを持っている専門企業やネットワーク受注企業が受けて、製品に関するライフサイクル責任を持つ必要がある。そういう企業が自社加工だけでなく、工業集積内の加工サーバを利用しながら製造加工を行えばよいのである。

このような場合、加工サーバが提供できる加工リソースと依頼側が提供するタスクの結合がどのようにダイナミックに管理されるかが課題となる。そこではどのような機能の標準化が必要とされるのだろうか。それを次節以降で考える。

6.5.3 ダイコク電機のワークネットと外注加工依頼

外部協力企業に対する組立加工外注をネットワークを利用して運用している事例に、パチンコ台のOEM製造を手掛けているダイコク電機のワークネットと呼ばれるエクストラネットがある。ダイコク電機では、このネットワークを利用して、パチンコ台のような季節変動、受注変動の激しい製品に対応する生産システムを協力企業との間で構築している。協力企業はダイコク電機から部材提供を受けて、組立加工を行い、検査も行う。ダイコク電機は、この組立外注のサーバとして協力企業をワークネット上

で協調スケジューリングしている。だがダイコク電機の場合には、組立加工のサーバとして協力企業を利用しており、ダイコク電機がネットワーク上に不定期に出す委託依頼を見て協力企業が受注する形のシステムになっている。ただそこに様々な協調分散スケジューリングの工夫がなされている。納期遅れに対しては怒りマークが出され、委託依頼は全協力企業に同時点で伝わるような工夫がされる。ダイコク電機のワークネットのようなシステムがエクストラネットとして実現可能となったのは、異なった組織に属する加工サーバとしてのエージェント間の情報参照、情報交換コストの大幅な低下がインターネットの普及によって可能となったからである。

ただし一般の外注加工には、機械加工、熱処理、表面処理からそれらをまとめてやるネットワーク加工や設計の外注までいろいろなレベルがある。各々で調達側と下請け側とどちらがどのようなエージェントになって、どのように協調分散スケジューリングが行われるかというモデルが必要となる。

CALSは調達側が巨大なデータベースを提供して、それを下請けエージェントが参照するというエンタープライズモデルとなっている。これに対して我々の提起する分散型の産業構造モデルは、異なったエンタープライズモデルが必要になる。次にそのひとつの可能性をシナリオの形で示す。

6.5.4 分散型の産業構造のひとつのシナリオとネットワーク受注型企業の役割

ここではひとつの分散型の製造加工システムのシナリオとして、様々な中小企業が、様々な種類の製造加工の加工の能力を示す製造加工座席を用意しそれをネットワーク受注型の企業がとりまとめるという協調分散型の加工システムを考える。生産座席は何らかの製造加工能力を持つ企業の側から提案されるとする。

これでその時点で利用可能な加工サービスの種類と余力の把握がネットワーク受注型の企業で可能となる。実際のシステムとしては、中小の加工サーバ（工場）が提示する加工種類と余力情報をネットワーク受注型企業が参照にいくというシステムが必要となるだろう。ネットワーク受注型企業は、例えば一連の流れ加工をデザインしてその座席に割り当てた加工計画シートを作成し、それを個々の委託先が承諾した時点で製造が可能となる。

ワークネットという協力企業への組立加工依頼のエクストラネットを既に運用しているダイコク電機の例では、加工依頼先の責任を敢て明確にするために、加工余力を提示してもらってそこに割り当てる形のシステムは組まずに、そのつど依頼先にダイ

コク電機が提示した依頼項目に対して競争的に申込をしてもらっていた。しかしそれではコーディネート型の企業が複数加工を含む依頼を受けてそれをさらに依頼に出すためのシステムには向かない。

ネットワーク受注型企業はその受注プラットフォームに参加する協力工場の生産余力を種別の生産座席として把握する必要がある。そしてこの生産座席の考え方が、組立、板金、切削、熱処理、塗装などでそれぞれ区分され、ある程度工業集積全体で標準化され共有される必要がある。ここに重要な標準化のポイントがある。

このときのもう一つのポイントは、ネットワーク受注型企業は、その協力工場を垂直統合しないことである。協力工場は複数のネットワーク受注型企業に所属、登録することが可能となる。これによってネットワーク受注型企業は、そのコーディネーション能力を付加価値とせざるを得なくなる。自社加工を含めて得意分野もまた分れて競争することとなるだろう。

ちなみにこの種のプラットフォーム機能を特化した企業にミスミがある。ミスミは、一種の購買代理店として、規格金型という「部品」を標準化してそれを協力企業に製造委託し、販売するシステムを作り上げた。だが我々が構想したいのは、よりフレキシブルな分散型の生産システムである。

工業集積はこのネットワーク受注型の企業に対して認証を与え、支援する役割があるだろう。前述の加工座席を標準化して共有することが重要となる。また認証としては、ISO9000のような外部監査もまた必要となろう。ダイコク電機のワークネットでは、組立加工サーバ（協力企業）の能力の標準化を計るために、教育システムをネットワーク上で提供するという試みを行っている。だがダイコク電機のシステムは、部材支給のアセンブリ加工の依頼のためのシステムであり、したがって均一の組立加工能力や完成品検査などの技術を持った外部委託先が必要となる。

これら製造現場の能力の把握は、ある製品の製造のための一連の加工を行うためには必要となる。これが企業の内部の組立ラインやショップのような場所であれば、組織内部の統制によりそのスキルや品質は維持される。だが異なった組織間を結んで、製造加工依頼を行うとすると、しかもそれが特定の協力会の内部ではなく、いわば一見さんの世界で加工を依頼するとすれば、どのような加工が可能で、どのようなスキルと品質、納期管理が可能かを委託先は把握する必要がある。それを代理して行うところにネットワーク受注型の企業が中間に介在する意義がある。

従来フェイスツーフェイスであれば、けっこうそういう特殊注文を知り合いの工場を動員してこなすような企業が、工業集積の中にはあるものである。ただそれをシス

テム化してネットワークを利用したより普遍的な製造システムにまで持ち上げようとする、どのようなサービスが必要となるかは、それほど自明ではない。これらは、この種のシステムについての実験が始まるなかで次第に明かになってくるだろう。既に諏訪の工業集積では、この種の実験の試みが始まっている。

6.5.5 考察

本節で説明した分散型の製造システムにおいては、電子オークションシステムの場合と異なり、消費者間のインタラクションは陽には必要なく、かわって、生産者間の情報交換が重要となる。これは、従来型のクライアント・サーバモデル、クライアント・サーバ型企業とは異なり、どの生産者でもクライアントにもサーバにもなりうるという点で、きわめてエージェント指向の強い形態である。

従来、このような種類の情報交換は、VAN上でプライベートなネットワークをの利用を前提としていた。そこでは、限られた接続範囲と高価なコストが当たり前であった。それに対して、インターネットは、世界中に広まっており、コストは安価だが信頼性、安全性の面では劣っている [CACM 1996a]。したがって今後の電子的な取引の発展には、高度なコンピュータ、コミュニケーション技術としてのネットワークAIは必要不可欠となる。分散クライアントサーバ型生産システムの位置付けは図6.5-1に示すとおりである。

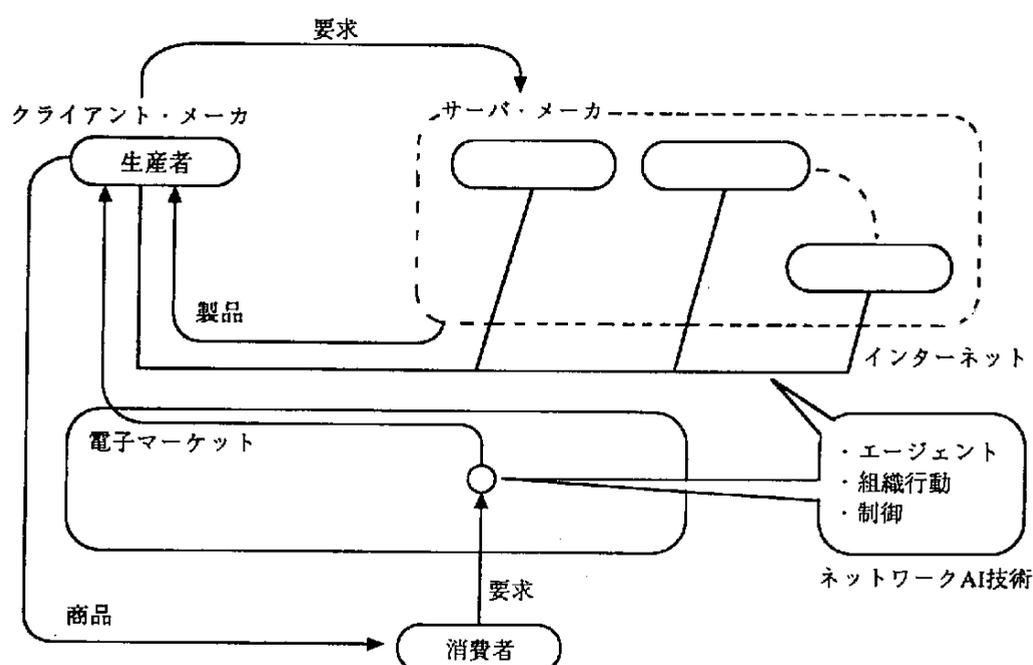


図 6.5-1 分散クライアントサーバ型生産システムの位置づけ

参考文献

[CACM 1996a] Special Issue: Electric Commerce. Comm. ACM, Vol. 39, No. 6, 1996.

6.6 エレクトロニックコマースの発展とネットワークAI技術に関する考察

ネットワークAIに関連する技術として、[Franz 1996]では、次のものが挙げられている。テキストに基づく情報の知的情報管理技術、ユーザとコンピュータ、あるいはコンピュータネットワーク上の協調的情報フィルタリング技術、機械翻訳などの自然言語処理による言語間障壁を軽減する技術、マルチメディア情報の知的検索操作技術、知識共有とオントロジー整備による知識システム技術、状況変化に即応するエージェントの適応化技術、インタフェースエージェントやソフトウェアエージェントを高度化する知的エージェント技術、グループウェアなど対話型利用を前提とする複数利用者アプリケーション開発技術、仮想現実感などを含む知的視覚化システム技術、人間を含むエージェントのネットワーク上での行動を分析・制御するための社会学的な方法論の構築。

インターネットやイントラネットを使って情報の共有化が進展すると、次に課題となるのは、その上での情報の加工の問題、情報の管理の問題である。

情報の加工には各種のソフトウェアが必要となる。しかし、ウェブ上で情報を加工するためのソフトウェアをすべてのサイトが備えているということは対象となるソフトウェアの規模の点から不可能であるし、システムのオープン性・拡張性の点からも望ましくない。そこで、考案されたのが、ネットワーク上を比較的小規模なソフトウェアが移動し、必要な処理を行うという方式である。これは、ソフトウェアエージェントの概念である。

例を述べよう。最近、航空会社の中には当日のフライトの発着情報をインターネット経由で公開しているところがある。このようなシステムでは、利用者には便名や発着地の情報を直接入力させるのは難しい。自社のもつフライトの情報を提供し、その中から利用者に関連する情報を選択させるようなインタフェースが必要である。これにはウェブ上のソフトウェアが不可欠である。このようなソフトウェアはインターネットを経由して、ブラウザに提供されるような仕組みとなっている。そのようなソフトウェアを記述するための言語として注目を集めているのが、インターネット上のJAVAでありTelescriptである。これらの言語は、従来のプログラム言語と比較すると単純で処理系が軽いという特徴をもっている。また、情報を提供する側でも利用する側でも、大がかりなコンピュータ資源を必要としない。今後、これらを使った応用システムの開発がますます盛んになると考えられる。

現在のところ、知的エージェントの応用としては電子メールを自動的に処理するよ

うな、利用者支援を目的とするシステムの研究例が多い。しかし、それでは不十分である。JAVAなどの言語、ならびに、それで作られた応用システムには、利用者が情報を(再)発信、(再)流通させるための仕組みが不足している。商品・情報の提供者と消費者との役割が同等となるべき将来のエレクトロニックコマースの市場においては、一般利用者の情報発信、流通をよりいっそう柔軟かつ容易にする必要がある。それには、知的エージェント技術、分散環境における問題解決技術の発展が期待される所以である。

さらに情報の管理については、セキュリティ保護の問題が重要である。インターネットを古くから利用している大学などの研究教育機関は、いわゆるハッカーと呼ばれる他者の侵入の問題に絶えず悩まされている。インターネットに接続しているコンピュータは、それを通じて世界中につながっているわけで、機密の情報がそこから漏洩する可能性は常に存在する。特定のネットワークへの他人の侵入を防止するための仕組みとしてファイアウォール（防火壁）の技術、ローカルなネットワークを物理的に分離する技術などが普及している。また、ネットワークを経由するデータの暗号化技術の発展も著しい。セキュリティ保護を完璧にすることは、インターネットのオープン性から難しい面も多い。このような問題にこそ、ネットワークAIの適用可能性は大きいと考えられる。

電子メールは、情報ネットワークの利用方法として最初に普及したツールである。これによって在宅勤務が可能になったこと、トップとの意思疎通が容易になったこと、ミドルマネージャの存在意義が議論のたねになったことなどは記憶に新しい。

しかしながら、電子メールシステム、あるいは、その発展としてのインターネットが組織活動に大きな影響を与えたのは、階層型組織における縦方向の情報の流れに加えて、部門を越えた横方向の情報流通が盛んに行われるようになった点にある。組織構成員のひとり一人が接することが可能な情報量が電子メールによって飛躍的に増大したこと、それぞれによる情報の発信が容易にできるようになったことである。個々人の業務の生産性の向上がこれによって達成され、それが、組織の生産性向上にまでつながった企業が、経営情報ネットワークの構築に成功したと考えることができる。これには、情報・知識の明示的な蓄積という側面とインフォーマルな情報交換の有用性という2つの側面がある。

業務遂行上や議論や重要な知識は、書類や議事録のような従来の媒体では十分に記述されないことが多い。それに対して、電子メールの情報は、構成員が節度を保っているかぎりにおいて授受において抵抗が少ない。結果として、それらの情報をデータ

ベース、あるいは事例ベースとして蓄積し、それを検索できるような仕組みを準備しておけば、定型的な業務の効率化に有用となる。ここでは、頻繁な情報交換と情報更新が重要である。

さらに、電子メールによる個人間の情報交換を分析すると、形式にとらわれないインフォーマルな情報が多いことに気づく。これが対象となっている業務の関係者に伝わることで、業務情報・知識の共有化が促進される。管理者としては、ボトムアップ実施される情報交換、その結果として蓄積される情報・知識の重要性を認識することで、経営情報ネットワークの主要な部分、企業モデルが自然に形作られていく。業務遂行にあたって不都合が生じた場合にのみ、管理者が介入し、調整するというようなゆるいコントロールが可能となる。ここで、重要なポイントは、わが国における企業の情報戦略の進展には、ミドルマネージャの寄与するところが大きいことである。これは、経営トップの意思決定が重要な役割を果たす米国の企業と決定的に異なる点である。ネットワーク型組織におけるミドルマネージャによるインフォーマルな情報交換の成否が、わが国における今後の経営情報ネットワーク利用の鍵となると考えられる〔浅田 1997〕。これによって、ネットワークリーダーシップ〔高木 1995〕、または、組織的知識創造〔野中 1996〕という概念につながってくる。これらをネットワークAIの立場から分析し、モデル化の方法論を構築していくことは今後の大きな課題である。

前述したインフォーマルなコミュニケーションの有用性は、業務単位あるいは企業組織を越えた範囲では、急速に薄れる。なんらかの意味でネットワーク利用者間に共通の知識・認識がなければ、情報の価値に対する一致点が得られないからである。業務単位間、企業間において情報交換を有効にするには、まず、この共通となる部分を同定しなければならない。これにはフォーマルなコミュニケーションが必要である。とくにオープンシステムを対象とする場合には、データ交換の標準化が不可欠である。米国で、CALISの概念を普及させるにあたっては、軍の主導で強力な標準化が進められてきた。わが国でもCALISの実践にあたってはさまざまな標準化の重要性が説かれている。

幸いなことに、クライアント・サーバシステム、インターネットやイントラネットにおいては、最近ではハードウェアの制約、距離的・時間的制約は少なくなり、また、ソフトウェアについても事実上の標準が決まりつつある。したがって、経営情報ネットワークを構築して、企業または企業群をバーチャル化すること、それによって、事業の全国展開・世界展開をはかることは、数年前に比べて、非常に楽になってきてい

る。

「街で」ソーシャルリアリティを実現するためのネットワークAI技術は成熟しつつある。これを実現するデジタル経済のフレームワークを図6.6-1に示して、本章の結びとする。

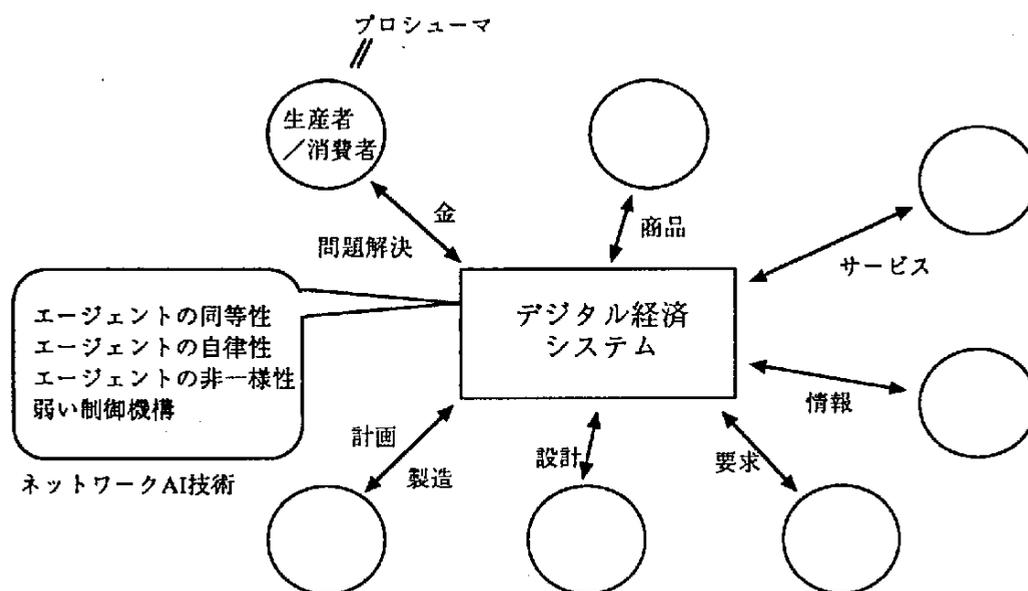


図6.6-1 デジタル経済のフレームワーク

参考文献

[Franz 1996] Franz, A., Kitano, H. eds.: Internet-Based Information Systems: Papers from the 1996 AAI Workshop. AAI Press, 1996.

[浅田 1997] 浅田孝幸 (編著) : 経営情報ネットワーク, 東京経済情報出版, 1997.

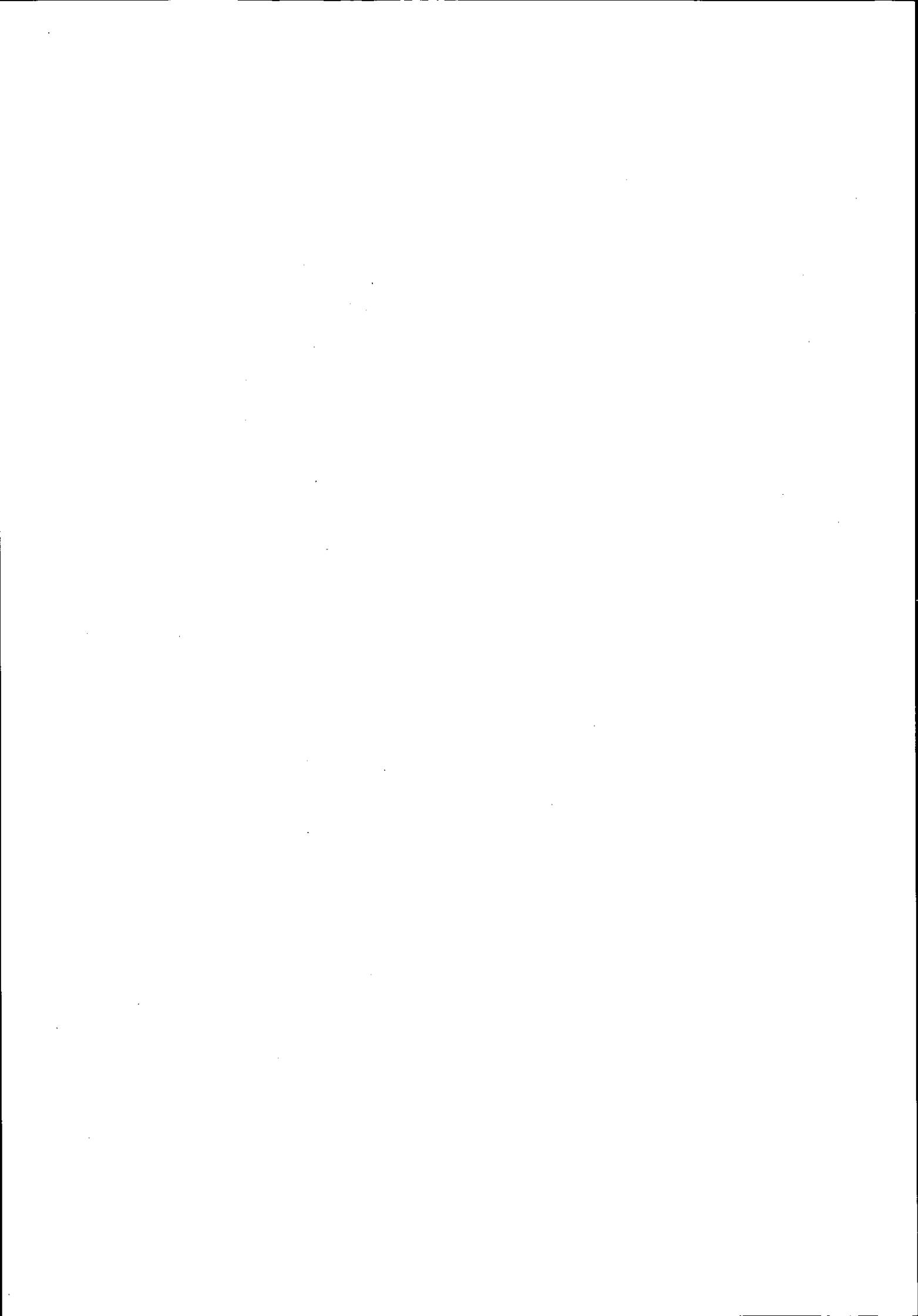
[高木 1995] 高木晴夫, 木島恭一, 出口弘, 畝見達夫, 奥田栄, 寺野隆雄, 松尾和洋 : マルチメディア時代の人間と社会-ポリエージェント・ソサエティ-. 日科技連出版社, 1995.

[野中 1996] 野中郁次郎, 竹内弘高(著), 梅本勝博(訳) : 知識創造企業. 東洋経済新報社, 1996.

[AuctionBot 1996] AuctionBot ホームページ, <http://auction.eecs.umich.edu/>

[AuctionWeb 1996] AuctionWeb ホームページ, <http://www.ebay.com/aw/>

- [Computer 1996] Special Issue: The Web. IEEE Computer, Vol. 29, No. 8, 1996.
- [CACM 1996b] Special Issue: Internet @Home. Comm. ACM, Vol. 39, No. 12, 1996.
- [Fayyad 1996] Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., Uthurusamy, R.: Advance in Knowledge Discovery and Data Mining. AAAI/MIT Press, 1996.
- [Godin 1996] Godin, S.: Presenting Digital Cash. Sams.net Pub., 1996. (白田佳子 (訳) : 金融革命—電子マネー時代への警鐘—. トップラン, 1997.)
- [Rosenschein 1994] Rosenschein, J. S. and Zlotkin, G., Rules of Encounter, MIT Press, 1994.



7. 地域で ーコラボレーション支援ー



7. 地域で ～コラボレーション支援～

7.1 はじめに

ニーズ指向の観点からは最近のインターネット、モバイルコンピューティングなどの広域情報ネットワークの拡大、発展によってコラボレーション環境の今後の発展方向の1つが大きく影響されつつある。かつて企業内ネットワークの進歩がCSCW (Computer Supported Cooperative Work) 研究を牽引したように、広域情報ネットワークの充実はそこに参加する人々の協調コミュニケーション環境の研究を加速することが予感される。企業内の協調作業ではかなり明確な特定の共通目的を指向した協調作業支援が対象であった。一方で広域情報ネットワークの上で展開される協調コミュニケーションは上記のような狭い範囲の明快な目的指向の協調コミュニケーションのみならず、不特定多数のもっと広い目的の協調コミュニケーションが想定される。このような状況ではグループと呼ぶにはあまりにも多くの人々を支援するものであるから、本来グループウェアの範疇に入れるべきではないのかもしれない。ソーシャルウェア (social wear) という用語も使われはじめている模様である。

一方、ニーズ指向の観点からはインターネット上でショッピングモールやサイバースクールといったアプリケーションが実用的に使われだしており、ここではサイバースペースにおける一種のコミュニティが出現している。このようなサイバースペース環境において不特定多数の人々が会話をし、さらにはもっと深いレベルのある種の協調問題解決を行うようになってきている。このような環境において協調コミュニケーションを円滑に支援する技術の必要性が高まっている。今後ますます日常生活にサイバースペースでのコミュニケーションが浸透してくるものと考えられ、一般社会におけるこのようなコミュニケーションの典型的な応用分野はショッピングや教育、娯楽であろう。なかでも教育に関しては、学校教育から生涯教育まで広い年代を対象として様々な試みがなされている。教育応用を想定した協調コミュニケーションに関しては、特にCSCL (Computer Support for Collaborative Learning) が研究テーマとして近年注目されている。遠隔教育が従来のFace-to-Faceの教育形態をそのままネットワーク環境に置き換えて実現することにより、学生を距離の制約から開放することを主たる狙いとしているのに対し、CSCLではより深い思考能力の開発をネットワークベースのこのコンピュータによって実現することを狙いとした研究がなされており、分散

コンピュータ環境によって教育方法の改革を狙ったアプローチである。本章では、教育応用を中心とした地域社会でのコラボレーション支援技術について述べる。

7.2 コミュニティ支援技術

7.2.1 会話支援

不特定多数を対象とする会話支援システムが備えるべき特徴は以下の2点である [Nakanishi 96]。

1. インフォーマルコミュニケーション

企業内での会議のように、定型化された情報伝達を対象とするのではなく、休憩時間の廊下での立ち話のような非定型のコミュニケーションを扱う。気軽な情報交換はコミュニティの形成ばかりでなく、既に確立した組織においても、人間関係の維持や発展に不可欠なものである。

2. 多人数のコミュニケーション

授業や集会、パーティなど、多人数のコミュニケーションには、1対1の通信手段では不十分である。多数の人々が一堂に会することを可能にする必要がある。しかし現状の端末は、参加者全員の顔を表示するには小さすぎる。制約された画面を用いて、多人数の会話をいかに自然に表現するかが問題となる。

会話環境の表現 企業内ネットワークやインターネット環境での会話環境として、これまでに数多くのツールが報告されている。Vic/vat (フリーソフトウェア)、Communique (商用)、Cu-See-Me (商用)、Phoenix (商用)、MERMAID [Watabe 90] (商用)などが知られている。但しこれらのツールは、会合のスケジュールが予め定まっていることを前提としているいわゆるTele-Conferenceシステムである。ところがインフォーマルコミュニケーションでは、会話は利用者の出会いを通じて始まる。会合の参加者や開始時刻は予め定まっていなのが最大の特徴である。例えば、CRUISER [Root 88] はランダムに選択した利用者を相手側の画面に突然表示するAutocruise機能を持っている。これによって、廊下で偶然出会うことを模擬する。筆者らの京都大学石田研究室ではSocia [Yamaki 96] で、視覚エージェントとカレンダー情報を用いて、利用者がどの程度会合可能な状況にあるかを表示し、明確な予定なしに会話を始めることを試みている。

また、多数の人々による会話を実現するには、会話の環境を何らかの形で表現し、

参加者に状況を把握させることが必要である。会話を行うグループが複数存在し、同時に複数の人が話すのであるから、混乱を防ぐためには何らかの対策が必要である。例えばVENUS [松浦 95] は、会話のまとまりを表現する手段として部屋を導入し、窓を通して他の利用者の行動を観察するPilot Window機能を備えている。Comic Chat [Kurlander 96] では、会話に基づいて漫画が生成される。参加者毎にキャラクターを変えることで、状況の把握を容易にしている。会話の内容を漫画で表現することにより、想像力を喚起し（あるいは制約し）、会話に物語性を加えている。

3次元仮想空間の導入 多人数の会話を実現するために、3次元空間を導入したツールも増えてきている。3次元空間には、利用者の混乱を防ぐ様々な利点がある。まず、距離に応じて情報の伝達（音量）を制御することができる。他人の声は遠くまでは伝わらない。従って会話を行うグループは、互いの声が伝わるよう接近する反面、グループ間の距離は十分に確保することになる。

また映像を用いる場合には、互いの顔が見える位置に移動する必要がある。このように3次元空間では、参加者の位置や向きから、会話の相手が推測できるので、多人数でも混乱なく会話を進めることができる。発言権の移行制御などの煩わしさも、3次元空間の導入で解消される。利用者は空間内を自由に移動できるので、話したい相手に近づいて会話を始めればよい。会話の開始や終了、あるいは会話への参加者は、現実世界と同じく利用者の行動によって定まる。利用者同士が近くに集まればそれが会話の始まりとなり、そのとき集まった利用者が会話の参加者となる。多くの利用者が気軽に集まれる場所をネットワーク内に作れば、それがロビーや公園となる。

3次元空間を導入したシステム（DIVE [Hagsand 96] やSonyのCyber Passageなど）では、一般に化身（avatar）を用いて仮想空間を移動すが、その中にもavatarに利用者の映像を表示するもの（InterSpace [Sugawara 94] やFreeWalk [Nakanishi 96] など）もある。

図7.2-1にFreeWalkの画面例を示す。利用者の体は四角錐で表され、その一つの面にカメラで撮影された利用者の動画像が映し出される。利用者の視点はこの面の中央に位置し、そこから見える空間内の風景が利用者の端末に表示される。全ての利用者の位置情報はサーバで管理されるが、音声や動画像の送受信は、必要に応じてクライアント間で行なわれる。これまでの利用実験を通じて、人の会話を遠くから眺めたり、他人の会話に興味を持ちグループに加わった、(図7.2-1参照)、他の利用者を

追いかけて呼びとめるなど、実世界に近い行動様式が観察されている。

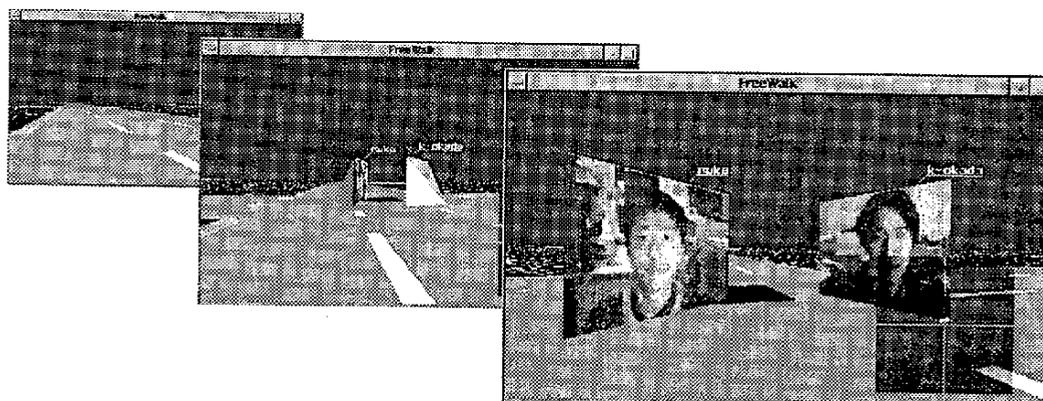


図 7.2-1 Free Walk での出会い

参考文献

- [Nakanishi 96] H. Nakanishi, C. Yoshida, T. Nishimura and T. Ishida, "FreeWalk: Supporting Casual Meetings in a Network," *CSCW-96*, 1996.
- [Watabe 90] K. Watabe, S. Sakata, K. Maeno, H. Fukuoka and T. Ohmori, "Distributed Multiparty Desktop Conference System MERMAID: Platform for Groupware," *CSCW-90*, pp.27-38, 1990.
- [Root 88] R. W. Root, "Design of a Multi-Media Vehicle for Social Browsing," *CSCW-88*, pp. 25-38, 1988.
- [Yamaki 96] H. Yamaki, M. Kajihara, G. Tanaka, T. Nishimura, H. Ishiguro and T. Ishida, "Socia: Non-Committed Meeting Scheduling with Desktop Vision Agents," *International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM-96)*, pp. 727-742, 1996.
- [松浦 95] 松浦宣彦, 日高哲雄, 岡田謙一, 松下温, "VENUS: Interest Awarenessを支援したインフォーマルコミュニケーション環境," *情報処理学会論文誌*, Vol.36, No.6, pp. 1332-1341, 1995.
- [Kurlander 96] D. Kurlander, T. Skelly and D. Salesin, "Comic Chat," *SIGGRAPH-96*, pp. 225-236, 1996.

[Hagsand 96] O. Hagsand, "Interactive Multiuser VEs in the DIVE System," *IEEE Multimedia*, Vol. 3, No. 1, pp. 30-39, 1996.

[Sugawara 94] S. Sugawara, G. Suzuki, Y. Nagashima, M. Matsuura, H. Tanigawa and M. Moriuchi, "InterSpace: Networked Virtual World for Visual Communication," *IEICE Trans. Inf. and Syst.*, Vol. E77-D, No. 12, 1994.

7.3 情報共有支援

この節では不特定多数の人々の情報共有を支援するシステムについて述べる。

7.3.1 知識情報ベース

広域情報ネットワーク上に分散配置されたデータや知識を共有する方法が、様々な角度から検討されている。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。

知識レベルの研究としては、西田らが知識コミュニティ (knowledgeable community) [Nishida 95] と呼ばれる分散知識ベースを提案している。独立に開発された知識ベースを統合し、人間からも計算機からも利用可能な表現形式を導入することによって、ネットワーク内に蓄積された情報の可用性を高める試みである。

一方、知識を交換するためのプロトコルの研究も行なわれている。ネットワーク上での情報共有を促進するために、FininらはKQML [Finin 92] と呼ばれるプロトコルを提案している。KQMLでは情報の生産者と消費者を仲介する機能が提供されており、生産者の広告と消費者の問い合わせの照合 (Match Making) を行なう。桑原らのAgenTalk [Kuwabara 95] も、利用者プロトコルを定義するための拡張性を備えたプロトコル記述言語を目指している。ソフトウェア基盤を確立するための研究には、大学、企業など幅広い層の協力が必要である。最近では標準化¹の動きもあり、今後の進展が注目される。

また、映像情報などの送受信には、アプリケーションレイヤでのQoS (Quality of Service) 制御が必要である [下條 95] [Vogel 95]。利用者の選好を反映させるための、広域情報ネットワークの管理に市場経済モデルを導入することも提案されている [MacKie-Mason 95] [Yamaki 96]。利用者の要求に合わせて、プログラムやデータをネットワーク上で移動させる方式も活発に検討されている。従来のRPC (Remote Procedure Calling) では、常に通信路は確保されていなければならない、携帯端末にとっては都合が悪い。このためTelescript [Telescript Tech. 94] は、一連の処理手続きを送信する遠隔プログラミング (Remote Programming) 方式を提案している。送信された手続きはサーバ上で実行されるので、クライアントは送信後に通信路を閉じてしまっ

¹ <http://www.cselt.stet.it/fipa>

もよい。JavaとTelescriptの比較も議論されている。Javaがネットワークを通じてプログラムをダウンロードするのに対し、Telescriptはプログラムをアップロードするものと考えられる。移動しつつあるのはプログラムばかりではない。西尾らは、高速大容量通信によってデータベースを利用者側に移動する方式を提案している [西尾 95]。ネットワークの発達情報は情報の流れに大きな変化を生み出そうとしている。

7.3.2 ソフトウェアエージェント

利用者の側にも、情報を取捨選択するための新たな機能が準備されつつある。Maesはソフトウェアエージェントの概念を提案し、電子秘書の実現に向けて様々なアイデアを発表している [Maes 94]。電子秘書は利用者の端末に位置し、メールを仕分けし、会合のスケジュールを調整する。ネットワークを調べる電子秘書 (softbotあるいは単にrobotと呼ばれる) は、世界中の情報ベースにアクセスし利用者の必要とする情報を収集する。ソフトウェアエージェントの初期の例として、Kautzらは訪問者のためのスケジューラ (Visitorbot) を試作している [Kautz 94]。

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ことである。さらに、(4) 必要が生じた時点で予定の変更を行なうことも試みている。ソフトウェアエージェントはネットワークを利用する不特定多数を支援するアイデアである。今なお萌芽期にあるこの技術は、今後、音声言語、視覚、問題解決、学習、あるいは分散人工知能 [石田 96] などと結合し発展していくものと考えられる。

参考文献

[Nishida 95] T. Nishida, "The Knowledgeable Community," *International Forum of Frontier of Telecommunication Technology*, 1995.

[Finin 92] T. Finin, J. Weber, G. Wiederhold, M. Genesereth, R. Fritzson, D. McKay, J. McGuire, P. Pelavin, S. Shapiro and C. Beck, *Specification of the KQML agent-communication language*, TR 92-04, Enterprise Integration Technologies, 1992.

[Kuwabara 95] K. Kuwabara, T. Ishida and N. Osato, "AgenTalk: Describing Multiagent Coordination Protocols with Inheritance" *IEEE Conference on Tools with Artificial Intelligence*

(TAI-95), pp.460-465, 1995.

[下條 95] 下條真司, 松浦敏雄, "マルチメディア技術," 電子情報通信学会誌, Vol.78, No.4, pp.364-370, 1995.

[Vogel 95] A. Vogel, B. Kerhervie, and G. von Bochmann, "Distributed Multimedia and QoS: A Survey," *IEEE Multimedia*, Vol.2, No.2, pp.10-19, 1995.

[MacKie-Mason 95] J. K. MacKie-Mason and H. R. Varian, "Pricing the Internet," *Public Access to the Internet*, MIT Press, pp. 269-314, 1995.

[Yamaki 96] H. Yamaki, M. P. Wellman and T. Ishida, "A Market-Based Approach to Allocating QoS for Multimedia Applications," *International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-96)*, 1996.

[Telescript Tech. 94] "Telescript Technology: The Foundation for the Electronic Marketplace," *General Magic White Paper*, 1994.

[西尾 95] 西尾章治郎, 塚本昌彦, "広帯域ネットワークにおけるマルチメディア情報ベース," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-D-II, No.4, pp.460-467, 1995.

[Maes 94] P. Maes, "Agents that Reduce Work and Information Overload," *Communication of the ACM*, Vol. 37, No. 7, 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.

[石田 96] 石田 亨, 片桐 恭弘, 桑原和宏, 分散人工知能, コロナ社, 1996.

7.4 社会的実験

不特定多数のコミュニケーションに利用されるシステムには、共通の難しさがある。第一に人々の利用形態がシステム設計時に明らかでない。不特定多数の相互作用は予測が容易でないからである。第二にシステムの評価が容易でない。ソフトウェア工学で確立したプロトタイプング法は、システムが容易に評価可能であるという前提に基づいている。例えば、マンマシンインタフェースの評価は個々の利用者が独立に行なうことができる。しかし、不特定多数の相互作用を支援するシステムの評価は、利用者個々の使用感の総和では表せない。

従ってシステムの有効性は、多数の人々を巻き込んだ実験を通じて検証される必要がある [社会情報 96]。社会的実験の実施は容易ではないが、最近様々な試みが行なわれている。紙面の都合で紹介できないが、サテライトオフィスに関する実験 [石割 91]、現在進行中のBISDNを用いたオンラインユニバーシティ、衛星通信を用いた共同実験 (Space Collaboration System: SCS) [Ikeda 96] は規模も大きく、得られる経験は技術的、社会的に興味深いものである。以下では米国で行なわれた試みと、我々が現在進めている実験を紹介する。

7.4.1 大規模オンライン会議

米国のGore副大統領の提案により、1994年12月に国政に関する様々な議論 (National Performance Review: NPR) がネットワーク上で行なわれた。この会議は Open Meetingと呼ばれ、参加者が4000人以上の大規模なオンライン会議となった。情報通信の形態としてはWWW上でのテキストベースの会議である。MITで開発された非同期型協同作業システムCOMLIN²がツールとして使われている。投稿された発言はモデレータによって取捨選択され、賛成、反対など7種のリンクによって結合された。具体的な会議の例をWWWで検索することができる³。

会議全体の参加者の85%は政府職員で、4%は州や地方の政府職員であった。会議の参加者はインターネット利用者の平均より、高年齢であり、教育水準が高く、

² <http://www.ai.mit.edu/projects/iip/doc/comlink/overview.html>

³ <http://www4.ai.mit.edu/npr/user/structure/intergovernmental-tax-filing-reporting-and-payments.html>

男性の比率が低い。会議期間中（2週間）に、1,500の異なった計算機から35,000回のアクセスがあった。290人から延べ1,300の投稿があり、その内1,013がモデレータによって採録された。投稿された内容は概して積極的で真剣で、その半分は賛成意見であり、15%が反対意見だったと報告されている。これらの測定結果は、今後のオンライン会議の基礎データとして貴重なものと思われる。

上記の実験に限らず、米国では情報公開と、行政へのネットワークの積極的な利用が進んでいる。本稿の主旨とは外れるが、FCC（Federal Communication Commission）による無線電波のオークションは画期的である。広域情報ネットワークにより可能となった simultaneous multiple round auction の全過程をWWWで追うことができる⁴。広域情報ネットワークが社会の仕組みを変えていくことを実感させるできごとである。

7.4.2 携帯端末群による国際会議支援

筆者らは、1996年12月に開催された国際会議ICMAS96（International Conference on Multiagent Systems）において、会議の参加者を支援するモバイルコンピューティングの実験（ICMAS96 Mobile Assistant Project⁵）実施した。通常の移動通信が point-to-point のコミュニケーションを支援するのに対し、このプロジェクトの目的は、多数の携帯端末により多数の人々からなるコミュニティを支援しようとするものである。100台の携帯電話付 Magic Cap 端末（Sony PIC2000）が、会議の開始時に希望者に配布され、会議の終了時まで会議場、ホテル、屋外で参加者へのサービスを続けた。サービス内容は多岐に渡る。図7.4-1に各種サービスの端末表示を示している。まず基本機能として、E-mail、News、インターネットへの接続などの通信サービスが提供された。さらに、会議プログラムや周辺観光案内等の情報サービス Action Navigator⁶、投稿された様々な話題をハイパーテキスト状に管理する電子フォーラム InfoCommon⁷、研究者の興味の高さと相互作用の状況をパーティ会場を模して表示する Community Viewer⁸などが提供されている。実験データは現在整理中のため機会を

⁴ <http://www.fcc.gov/>

⁵ <http://www.lab7.kuis.kyoto-u.ac.jp/icmas96mobile/>

⁶ NTT情報通信研究所で開発。

⁷ 奈良先端科学技術大学院大学西田研究室で開発。

⁸ 著者の研究室で開発。

改めて報告するが、モバイルコンピューティングの新しい応用に向けての基礎データとなることを期待している。

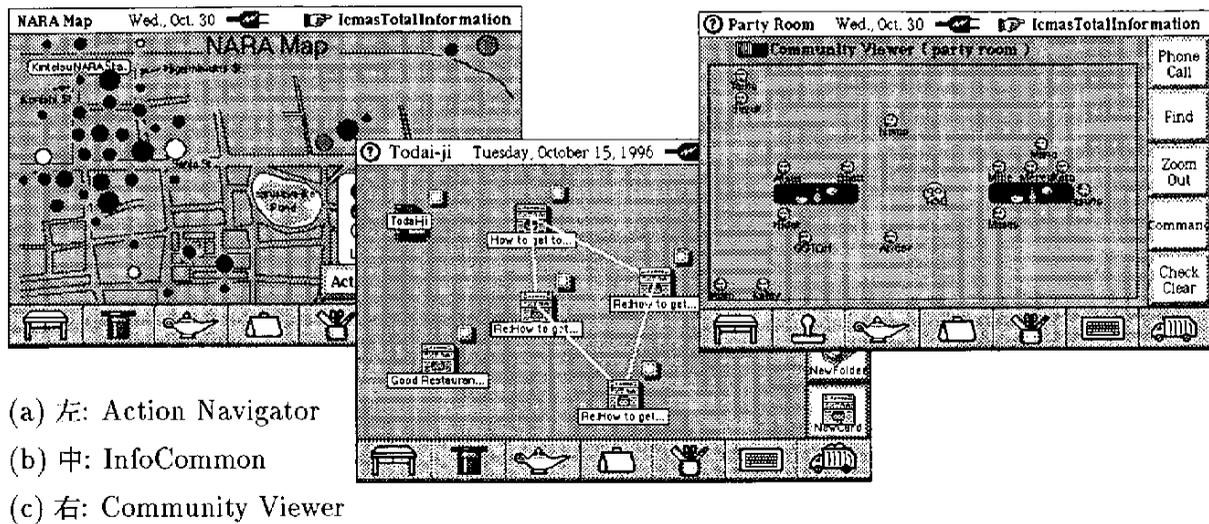


図 7.4-1 ICMAS 96 Mobile Assistant Project の画面

参考資料

[社会情報 96] 社会情報システム学コロキウム編, 社会情報システム学・序説, 富士通ブックス, 1996.

[石割 91] 石割寿郎, "サテライトオフィス実験に関する考察," 電子情報通信学会オフィスシステム研究会 OS91-1, 1991.

[Ikeda 96] K. Ikeda, K. Fujikawa and Y. Okabe, "Network in Education," *International Workshop on High Performance Multimedia Computing and Communication*, 1996.

7.5 教育とネットワークの関わり

7.5.1 教育の場におけるネットワーク化の展望

教育における主たる拠点は学校である。近世以来ずっと学校は過去の知識の体系的伝承媒体である教科書を介在させながら先生が知識習熟度をチェックしつつ、児童、生徒を目標とされる習得レベルへと導く役割を果たしてきた。児童、生徒の身体的、精神的成長を支える場としての学校の役割は今後も一貫して継続していくと考えられるが、近年種々の変化が起きつつある。その1つは教育メディアの変化である。

一般社会の中にもパソコンは日常的な道具として普及をしており、近い将来各学校に今のテレビと同様、もしくはそれ以上に普及することは間違いないと予測される。文部省の施策においても小学校では2人に1台、中学、高校では1人に1台を目指している（文部省平成7年度教育白書）。それらのパソコンはLANで接続され、さらにそのLANはインターネットに接続されることが想定される。このような情報化の進展に伴い短期的、過渡的には全学年にわたって情報リテラシー教育の比重が高くなると予想されるが、それらは入学後の短期に限定され、本格的な授業あるいは課外活動など学校教育における基幹的教育支援ツールの一つとして定着してゆくであろう。既に、先進的な私立の学校などにおいては情報リテラシーのレベルに終始する時代は終わった、と宣言される先生方も現れている。過去から現在までの学校における基本的な教育支援ツールは黒板、教科書、ノートであるが、この中に、あるいはこれらに取って代わってネットワーク接続されたパソコンが位置づけられる日はそう遠くないであろう。また、学校においてネットワーク接続されたパソコンを教育の場において日常的に使うような時代においては、多くの家庭においてもネットワーク接続されたパソコンが、ちょうど現在のFAXのように存在することは想像に難くない。そのような変化を予想するとき、ネットワーク接続されたパソコンは、単に情報検索の道具としてだけでなく、コミュニケーションのツールとして日常的に活用されるであろう。その利用形態は、(1) 導入当初はワープロやプレゼンテーションなどの電子文房具、(2) ネットワークを通じ、世界中のコンテンツにアクセスするという情報検索ツールとしての役割、(3) 各学校からの情報発信ツール、(4) 不特定多数の外部との協調コミュニケーションツール、の順に発展してゆくと予想される。

多くの大学がキャンパスネットワーク化を進めているが、先進的な大学においてメールのトラフィックを見ると、深夜にもメールが増大する傾向を示しており、これは自

宅に戻った学生が、友達とのコミュニケーションに利用しているからであるという。このことから、近い将来、ネットワーク接続されたPCは、小学校レベルまで含む各学校において、サイバースペースの形態を通して、外部の実社会との接点となるであろう。このネットワークPCはいわゆる授業において使われるだけでなく、サークル活動やPTAなど家庭と学校間のコミュニケーションや学校間のコミュニケーションもネットワークPCの活用により、活性化、進展すると予想され、この中から様々なコミュニティが形成されるであろう。

近年、今後の少子化、女性の社会進出、余暇時間の増大などの社会的傾向を反映し、学校のオープン化の動きが顕著になりつつある。多くの大学において生涯教育センター開設の動きがあるが、ネットワークPCを設置した学校は、その地域における生涯教育の拠点としての役割を十分にはたすことができるであろう。これらの小学校などの地域拠点と情報発信拠点になるであろう大学の生涯教育センターが有機的に結合することにより、様々な生涯教育バーチャルコミュニティが形成される。

7.5.2 教育の形態とコミュニケーション

教育の場におけるコミュニケーションをその環境の観点から分類すると、(1)学校教育、(2)企業内教育、(3)生涯教育に分類することができる。また、従来行われている教育形態の観点から分類すると、(1)講義、(2)ゼミ、(3)独習の3種に大別することができる。インターネットの普及に伴い、ネットワークを教育の場面で利用しようという試みがさまざまな教育環境でなされている。初中等教育を例として学校教育の場における教育形態を分類すると、一般に講義が主たる教育形態として用いられ、それを補完する形で実験、実習などのゼミ型の教育が行われ、さらに自宅における予復習の位置づけ、あるいは受験など短期目的達成型の学習形態として自習型の学習形態が用いられている。学校教育でも大学院あるいはビジネススクールといった高度な問題解決型の能力の向上を目的とした教育の場においては、ゼミ型のグループ学習の比重が高くなる。一方、企業内教育においては、定期的な集合型の研修も行われているが、特に時間的制約の観点から自習の比重が高い傾向にある。さらには生涯教育においては基本的には家庭や職場から自由な時間に必要な知識・技能の修得が可能になるような枠組みが重要である。

7.5.3 ネットワーク講義の発展形態

教育形態の中で最も古くからネットワークが利用されてきたのが講義である。遠隔教育あるいは放送教育の形態で、一方向性の講義から始まった。衛星通信回線を利用して講師の講義を同時に複数のサイトへ配送する形態での衛星遠隔教育が予備校や企業内教育において活用されている。この形態ではリアルタイムに遠隔地から、複数の受講地に講義の映像を伝送する形態であり、従来は大規模システムとして構築されていた。

近年パソコンベースのテレビ会議システムを利用した遠隔講義が試行されている。この形態ではISDNなどの公衆デジタル回線の利用により小規模な遠隔教育システムが構成できるようになった背景がある。インターネットにおいてもソフトウェアによる映像の送信が可能となり、nv/VAT、CU-SeeMe、Communiqueなどの映像音声配送ソフトが利用されている。

また、アプリケーション共有により教材コンテンツを共有したり、IRC (Internet Relay Chat) を組み合わせることにより、リアルタイムにインターネットのネットワークリソースを共有した講義が可能となっている。このような利用形態をより加速するためには、教材素材として利用可能なネットワークリソースの整備 (電子図書館、博物館、美術館)、さらに教材として利用可能なリソースの検索に利用可能な目的指向検索エンジンなどの充実が必要となるであろう。筆者らのNTT情報通信研究所では、KDD、AT&Tとの共同研究による、日米間の国際ATM接続実験の一環として、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスからオハイオ州クリーブランドのCWRU (Case-Western Reserve Univ.) に対して遠隔講義の支援を行った。日本国内は155MbpsのATM交換網、日米間は45MbpsATM、米国内は10MbpsATM網のネットワーク構成である。実際に講義を行ったのは慶應義塾大学環境情報学部の武藤助教授であるが、この講義の中ではWWWをアプリケーション共有し、ダイナミックにネットワーク内のマルチメディア情報にアクセスしながらの講義を行った。ここでは会話システムとしてCommuniqueを用い、武藤助教授はSFCの研究室からWSでWWWを表示すると同時に、カメラのリモートコントローラを操作しながら、学生の状況を観察し、また、随時学生と質疑を行いながら実験的な国際遠隔講義を行った。このような形態の遠隔講義はATM交換網などの高速広域ネットワークの実現により多くの大学で実験されている。NTTのマルチメディア利用実験の中でもオンラインユニバーシティなどで多くの実験講義がおこなわれた。これらの講義のほとんどがオンラインリアルタイムの講義であったが、電子遠

隔講義では空間的制約の克服だけでなく、時間的制約からの解放も重要である。特に、国際交流型の教育においては必須である。そのためには講義、講演を容易にネットワーク登録できるための専用オーサリング機能、さらにその講義をトピックスに応じて映像DB化してライブラリに登録するための機能などが重要となろう。これらが実現された段階での講義は、講師自身の登録映像、各種デジタルコンテンツ、などのプログラム配送に、必要に応じライブ映像などを組み合わせた統合講義となろう。特に、企業内や家庭における生涯学習を想定するとき、時間的制約から解放されたネットワーク講義のニーズは非常に高くなるものと期待される。

7.5.4 ネットワークゼミの発展形態

基本的な形態はグループ学習であり、マルチユーザ参加型の学習形態である。ユーザの参加形態に仮想空間を共有するものと共有しないものがある。後者の代表的な事例は多地点接続型のテレビ会議を用いるものである。前者については様々な形態および技術が関係する。テキストベースのGUIにより簡易に実現する方式から、3次元仮想空間モデルを有し、その空間に参加する形態でのグループ学習を支援する方式まで様々である。ここでは典型的な形態、技術について解説する。

1. テキストベースの仮想空間共有 (MUDs/MOO)

MUDs (Multi-User Dungeons) はもともとマルチユーザの対話型ロールプレイングゲームとしてインターネット上で1978~79年に提供されたものである。その本質はテキストベースのVirtual Realityである。1989年にCMUの学生James Aspnesがゲームとは違うタイプのMUD "TinyMUD"を開発した。このMUDでは参加者が仮想空間を拡張するためのプログラミング言語が提供された。以来多くのMUDsが構築されたが、中でも教育応用のMUDは少なくない。また、MOO (MUD, Object Oriented) という用語も用いられている。MUDs/MOOの特徴を整理すると以下のようなになる。

- 多くのユーザが同時にサーバに接続できる。
- 空間的な構造を有しており (ROOM) 参加者はその中で他の参加者あるいはオブジェクトと対話する。
- 参加者は自分でオブジェクトを生成し登録することができる。

教育目的で公開されているMUDS/MOOの例⁹を以下に示す。

- (a) AcademICK [AcademICK] : テキサス大で開設しているMUDsのサイトであり、教育を含む広範な内容の空間を提供している。
- (b) ColledgeTown [ColledgeTown] : 世界中の学生、教員のための学際的な研究のプラットフォームの提供を目的としたテキストベースの仮想空間である。
- (c) Diversity University [Diversity Univ.] : 1993年夏に開始された最大の教育応用MOOサイトである。キャンパスのような構造の仮想空間の提供が特徴である。
- (d) ExploreNet [ExploreNet] : 学校間での使用を目的としたマルチメディアMUDである。中央フロリダ大学のバーチャルアカデミイプロジェクトの一部である。
- (e) SchoolNet MOO [SchoolNet MOO] : カナダのMOOサイトであり、K-12の語学教育(英語・フランス語)を目的としている。
- (f) SkooMOO [SkooMOO] : 7~18歳の学生・生徒を対象としたMOOサイトで、シンガポールで開設されたアジアで最初のMOOである。

2. CSCL

CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) が研究者の注目を集めている。CSCLの狙いと構成技術についてはD. R. Newman [CSCL] がよくまとめている。ここではNewmanの論文に沿って解説する。CSCLの狙いは、より深い理解のための学習方法支援である。近年の急速な技術革新や世界の変化に対応してゆくためには、単なる表面的な知識の記憶から、より深い学習、すなわち問題解決能力の習得にシフトする必要があることはよく言われていることである。そのためにはグループでの学習が有効である。問題解決と意志決定支援を目標とする深い学習は、多くの研究から5段階のステージに分類される。表7.5-1に5ステージを示す。各ステージにおいて必要とされる能力を抽出、整理すると表7.5-2のようになる。

- G1: 問題認識
- G2: 問題定義
- G3: 問題探索
- G4: 問題評価
- G5: 問題統合

⁹ <http://tecfa.uinge.ch/edu-comp/WWW-VL/eduVR-page.html>

表 7.5-1 問題解決学習のステージ

Stage	Critical thinking (Brookfield, Garrison)	Critical reasoning skills (Henri)	Group learning (Anderson)	Deep learning (Biggs, Entwistle, Ramsden)
G1	Problem identification	Elementary clarification	Triggering event	Motivation to learn
G2	Problem definition	In-depth clarification	Using experience	Discussion
G3	Problem exploration	Inference multiple perspectives	Using	Discussion
G4	Problem evaluation/applicability	Judgement	Social modelling	Discussion
G5	Problem integration	Strategies process	Validation of a stance	Maintaining

表 7.5-2 各ステージ毎の必要スキル

	CT stage: G1	G2	G3	G4	G5
• Acquiring outside information	X				
• Contact with outsiders	X				X
• Organising/structuring ideas		X		X	X
• Structuring documents and other outcomes				X	X
• Stimulating ideas, creative widening			X		
• Group size changing			X		
• Creating and using problem models				X	
• Critical feedback				X	X

各ステージをサポートするツールを表7.5-3に示す。

表7.5-3 各ステージ毎のサポートツール

	CT stage: G1	G2	G3	G4	G5
Information retrieval, e.g. WWW, CDROM	X				
Asynchronous discussion open to outsiders	X				X
Asynchronous discussion in closed groups, e.g. computer conferencing.		X		X	
Idea organising, e.g. IBIS		X		X	
Synchronous discussion, e.g. IRC, CU See Me			X		
Asynchronous creativity support tools of the future		X	X		
Group Decision Support Systems					X
Group editing				X	X
Feedback and assessment, e.g. WEST				X	X
Information dissemination, e.g. WWW					X

次にCSCLプロジェクトの代表例を挙げる。

- (a) The Testbed for Telecollaboration [Telecollabo] : The Testbed for TelecollaborationはNSF (National Science Foundation) の出資による教授・学習プロセスに対するコミュニケーション技術のインパクトを調査研究するテストベッドである。そのねらいは科学の教室における教授、学習を世界中の先生、生徒がWWWを共有環境として利用しながら実験の設計やデータの解析を共有しようというものである。
- (b) LabNet [LabNet] : 科学の先生方のコミュニティである。先生方のサポートにより科学の教え方、学び方を改善して行こう、というのが狙いである。このプロジェクトは1989年に150人の物理の先生方で開始され、現在では高校の物理、化学、生物学などの1,300名の先生方が参加している。
- (c) Learning Through Collaborative Visualization (CoVis) [CoVis] : CoVisはネットワークベースのコラボレーション技術によって学校の科学の教育を変革しようというのである。CoVisでは生徒にリアルタイムの遠隔コラボレーションのためにデスクトップビデオ会議、アプリケーション共用環境を提供している。このプロジェクトではコラボレーション技術を提供すると同時に、このような技術をベースとした新しいカリキュラムや教授法を確立することもその大きな目的としている (図7.5-1)。

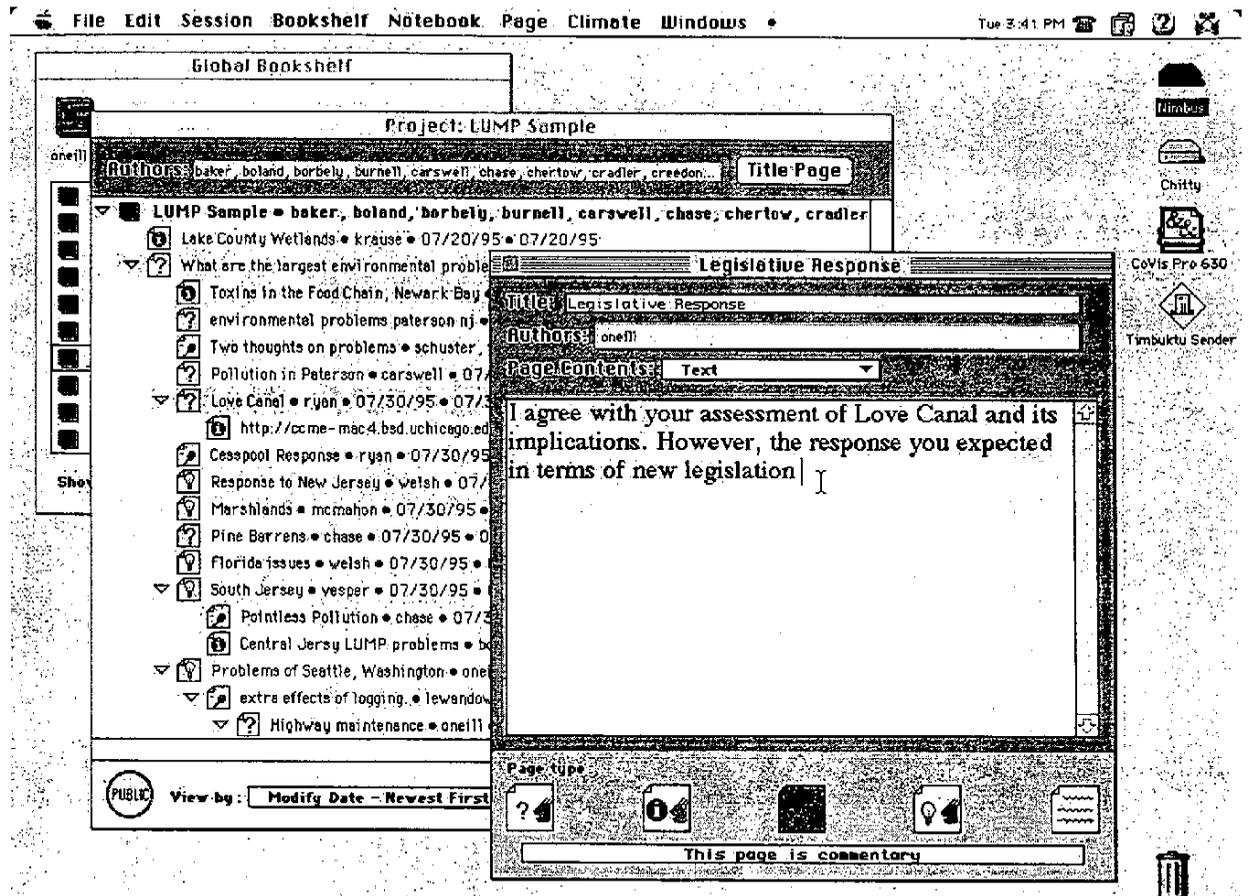


図 7.5-1 CoVisの共有ソフト

3. 3次元仮想空間共有型のシステム

3次元の仮想空間を介した協調学習環境を実現している研究の例として、以下の3システムを挙げる。

(a) AlphaWorld [AlphaWorld] : インターネットで公開されている共有型の3次元仮想空間であり、1996年11月現在で10万人以上が市民権を得ているとされている。参加者が仮想空間内に家をつくるインタフェースを公開しており、自由なコミュニティの形成を許していることが特徴である(図7.5-2)。

- (b) インタースペース：インタースペースは3次元空間の共有による学習環境の例として実際の英会話スクールのサイバー英会話教室に用いられている。ここではあらかじめ時間予約をした学習者がインターネット経由で共有学習空間に入り、先生、生徒それぞれの実写映像を合成したアバタを介してロールプレイング型の会話練習ができるものである。
- (c) Hyclass：Hyclassはアバタを介して仮想共有空間でコミュニケーションすることに加えて、分散オブジェクト管理機構の導入により、空間内におかれた仮想オブジェクトの共有および協調操作を可能としている。具体的には、仮想空間内におかれた実験器具を操作しながら、仮想的な実験を行う、あるいは太陽と地球と月などの衛星の運動モデルを構築し、そのマクロな振る舞いを疑似体験するなどのような体験型の協調学習が可能となる。図7.5-3にHyclassの構成イメージを示す。

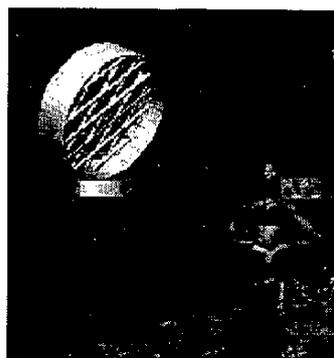
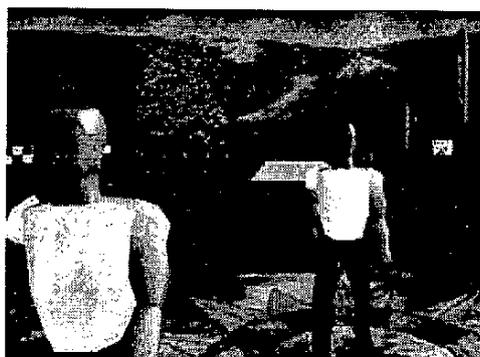


図7.5-2 AlphaWorldの画面

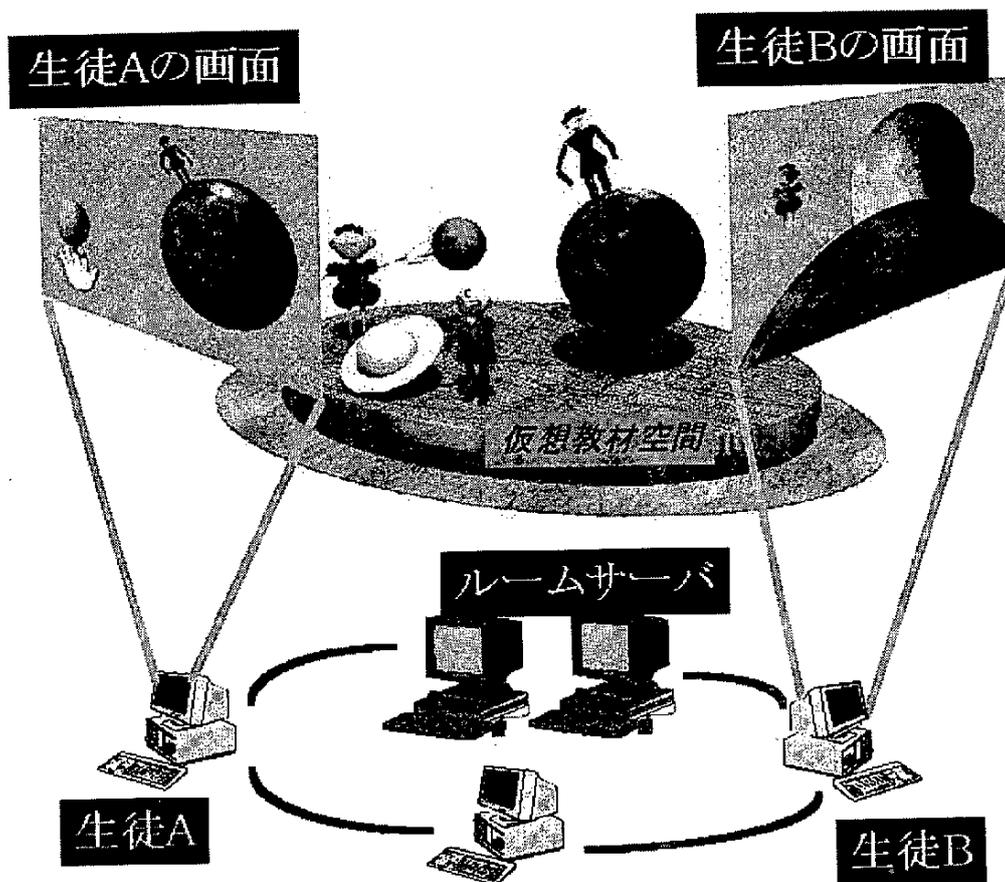


図 7.5-3 Hyclassの構成イメージ

7.5.5 ネットワーク独習

従来、独習を支援する技術としてはCAIシステムが伝統的に活用されてきた。中でも学習者の理解状態の把握に基づき適切な教育的措置を施すことを狙いとした、知的学習支援システム（ITS: Intelligent Tutoring System）が期待され、多くの学習者モデルや教授方略、教材知識表現法などについての研究がなされてきた。しかし、全ての学習者の疑問に対応できないこと、教材作成に膨大な稼動がかかること、などから本格的な実用システムは必ずしも多くない。この対局にあるのがWWWである。学習者の主体的／積極的な意志にのみ依存して、情報を検索するメカニズムであり、適切なサー

チェンジンの支援により、強力な独習支援環境となり得る。しかしながら、個々の課題がクリアであれば、サーチエンジンは有効となるが、一般に学習者が初心者であるほど必要な情報を見分けることが困難となり、適切なナビゲーションが必須となる。そのような問題を解決するためには、知的CAIエンジンと情報探索エージェントの組み合わせが有効となる。知的CAIエンジンは学習者モデルを参照し、提示すべき学習目標を決定する。情報探索ロボットはこの学習目標に最適な情報をWWWより検索し、学習者に提示する、という形態である。なお、当然のことながら現実的アプローチとしては、このアーキテクチャにCHAT、E-mailなどの通信手段を統合することが理想である。

分散型の知的CAIシステムでは学習者モデルについてもグループの概念を導入することが可能となり、また必須となる。学習者モデル間でのコミュニケーションを導入することにより、教材毎、あるいは学習者集団としての特性を考慮した動的な最適化を行うことが可能になり、従来のスタンドアロン型の知的CAIシステムでは不可能であった新たなパラダイムの導入が可能となる。このネットワークベースの自動学習機構と、Human to Human Communicationを組み合わせることにより、より教育効果の高い知的学習支援環境が実現できると期待される。WWWとITSを結合した分散型知的教育システムとして、KayらのC言語教育システム [Kay 94]、Ibrahimらのプログラミン教育システム [Ibrahim 95]、Brusilovskyらのシステム [Schwarz 96] がある。また、筆者らのシステム [Nakabayashi 95] では、教材構造を論理モデルと物理モデルに分離した構造とし、WWWの分散リソースをITSが選択するマルチメディア素材として利用可能とした。

参考文献

[AcademICK] "AcademICK," published on the WWW, <http://www.en.utexas.edu/researchpoints/mudpage.html>

[ColledgeTown] "ColledgeTown," published on the WWW, <http://www.bvu.edu/ctown/>

[Diversity Univ.] "Diversity University," published on the WWW, <http://www.du.org/>

[ExploreNet] "ExploreNet," published on the WWW, <http://lomgwood.cs.ucf.edu/ExploreNet>

[SchoolNet MOO] "SchoolNet MOO," published on the WWW, <http://schoolnet2.carleton.ca/english/fun.html>

[SkooMOO] "SkooMOO," published on the WWW, <http://www.iti.gov.sg/et/moo/skoomain>.

html

[CSCL] "How can WWW-based groupware better support critical thinking in CSCL," Proc. ERCIM workshop on CSCL and the Web, 1996, <http://orgwis.gmd.de/projects/W4G/proceedings/wwwcscl.html>

[Telecollabo] "The Testbed for Telecollaboration," published on the WWW, <http://teaparty.terc.edu/index.html>

[LabNet] "LabNet," published on the WWW, <http://labnet.terc.edu/labnet/labnet.html>

[CoVis] "CoVis," published on the WWW, <http://www.covis.nwu.edu/>

[AlphaWorld] "AlphaWorld," published on the WWW, <http://www.worlds.net/alphaworld/>

[Kay 94] J.Kay and R.J.Kummerfeld, "An Individualized course for the C programming language," Proc.2nd WWW Conf, 1994.

[Ibrahim 95] B.Ibrahim, and S.D.Franklin, "Advanced Educational Uses of the World-Wide Web," Proc. 3rd World-Wide Web Conf., 1995.

[Schwarz 96] E.Schwarz, P.Brusilovsky, and G.Weber, "World-wide intelligent textbooks," Proc. ED-TELECOM 96, pp.302--307, 1996.

[Nakabayashi 95] K.Nakabayashi, et. al., "A distributed Intelligent-CAI System on the World-Wide Web," Proc.ICCE 95, pp.214--221, 1995.

7.6 おわりに

インターネットに代表される広域ネットワークの整備に伴い、ネットワーク分散した人々の間で様々なレベルのコミュニケーションが加速度的に増加することが予想される。

このような状況でいわゆる町レベルで行われていたリアルなコミュニケーションがサイバー環境の中で行われるようになる。日常町中で行われているような自由なコミュニケーションがサイバー環境の中で実現されるためには高速広帯域のネットワークが自由に、また、安価に利用できるという社会インフラの整備が重要なことは言うまでもないが、そのネットワーク上でCMC (Computer Mediated Communication) 環境が整備されなければならない。この中には物理的な所在にかかわらず対話相手を探してくれたり、会議のスケジュールを決定してくれるソフトウェアエージェントの機構が重要である。地域社会でのコミュニケーションの場の一つに学校がある。学校では日常的に先生と生徒の対話による知識伝承、問題解決能力の習得訓練が行われている。このような知識伝承にはネットワークライブラリを活用し、多様で新鮮なリソースが活用できることが重要であろう。また、学校自身がオープンな組織として地域社会における知識習得・伝承の拠点になることが予想される。さらに、従来の知識偏重型の教育から問題解決能力、創造的能力の養成に教育の目標も大きく変化している。このような目標達成のためには協調的なコミュニケーションを高度に支援するネットワーク環境の存在が不可欠である。このような高度に知的な支援環境の研究はまだ緒についたばかりであり、今後一層加速されなければならない。

参考文献

[Comm 94] *Comm. ACM Special Issue on Intelligent Agents*, Vol.37, No.7, 1994.

[松原 78] 松原治郎, コミュニティの社会学, 東京大学出版会, 1978.

[MacIver 17] R. M. MacIver, *Community*, Macmillan Co., 1917 (中久郎, 松本通晴監訳, コミュニティ, ミネルヴァ書房, 1975).

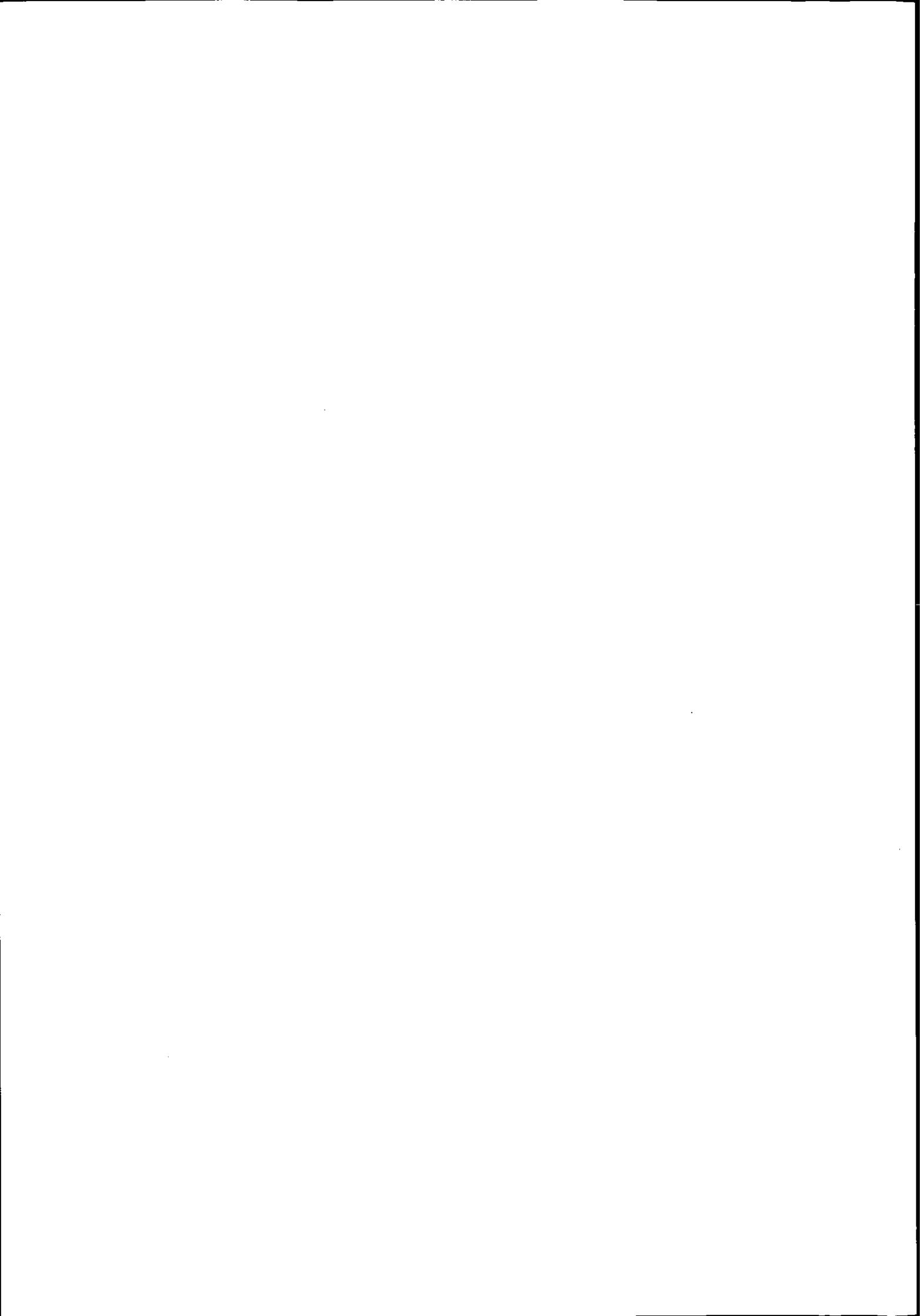
[Fukuhara 95] Y.Fukuhara, F.Kimura, C.Kohama, and Y.Nakamura, "A Knowledge-based Educational Environment Integrating Conceptual Knowledge and Procedural Knowledge in Telecommunication Service Field," *Proc.ED-MEDIA 95*, pp.229--234, 1995.

[Virtual Society] "Virtual Society," published on the WWW, <http://vs.sony.co.jp/>.

[菅原 93] 菅原昌平, 森内万知夫, 鈴木誠二, 鈴木元, "仮想空間通信サービスの検討," 信学技報, HC92-66, 1993.

[Nakabayashi 95] K.Nakabayashi, et. al., "A distributed Intelligent-CAI System on the World-Wide Web," Proc. ICCE 95, pp.214--221, 1995.

8. 海外動向調査



8. 海外動向調査

米国ならびに欧州におけるネットワークとAI関連の技術動向を調査する目的で、1996年8月4日より、同18日まで学会ならびに研究機関への訪問を行った。訪問先は、米国では、オレゴン州ポートランドで開かれたAAAI-96、IAAI-96、インターネット関連の事業展開を行っているNetResult社（パロアルト市）、イリノイ大学である。また欧州では、ハンガリーのブダペストで開催されたECAI-96（European Conference on Artificial Intelligence）に参加後、ドイツのダルムシュタットにあるグラフィックス関連のフラウンホファー研究所を訪問した。今回の調査は、特にネットワーク（インターネット）とAI技術の接点という側面を重視し、研究動向、技術の現状や実態等に焦点を当てた。

以下に個々の訪問先についての報告を行う。

8.1 AAAI（オレゴン州、ポートランド）

AAAIではエージェント、特にインターネット・エージェント関連を中心に、発表論文の調査を行った。エージェント関連の論文総数は20件であり、その内訳は、以下のようであった。

- ・ Internet agent 4 件
- ・ Agent interaction 4 件
- ・ Learning 4 件
- ・ Problem solving 4 件
- ・ negotiation and coalition 4 件

インターネット・エージェント関連ではウェブ上での情報収集やキュアリの実行形式が中心課題となっているようであり、4件中2件はこの話題、他は情報フィルタリングやユーザプレファレンスの学習に関するものであった。

8.1.1 ウェブ上での情報収集

2件の発表が行われたが、いずれもインターネット上の情報源の上で一種のロジック・データベースを構成するアプローチであり、その際にキュアリの実行形態（プラン）を自動生成する技術がキーとなっている。

(1) 'Planning to gather Information' :

Univ. of Washington, Kwok et.al [Kwok 96]

インターネット上のヘテロジニアスな情報ソース群からユーザに必要な情報を集めてくるOCCUMと呼ぶキュアリ・プラン生成システムを提案している。

情報ソースを Operator として記述しておき、キュアリが与えられると、アヴェイラブルな情報ソース operator の記述を組み合わせてキュアリ・プランを自動生成するアルゴリズムである。

(2) 'Query-Answering Algorithm for Information Agent' :

AT&T, Levy et al. [Levy 96]

提案するアルゴリズムの機能は基本的には(1)と同様である。ネットワーク上の情報源全体は、information Manifold とよばれる。このinformation Manifold は world-view と呼ばれる一群のリレーションによって表現され、ユーザはこのworld-viewを用いてキュアリを表現する。キュアリが与えられると、システムはまず適切な情報ソースを特定し、キュアリのサブゴールを個別に生成するアルゴリズムとなっている。

(3) 'Syskill & Webert: Identifying Interesting Web Sites' :

Univ. of California, M.Pazzani et al. [Pazz96]

Syskill & Webert と呼ぶウェブページに対するユーザの好みを学習するソフトウェア・エージェントについて論じている。ユーザは参照したページを好みに応じて3段階で評価し、Syskill & Webert は、各ページの情報を解析することでユーザのプロファイルを学習していく。ユーザプロファイルには2通りの使用方法がある。一つは、探索時にユーザが興味を持つと思われるページを提案するための利用である。もう一つは、興味あるページを見つけるためのLYCOSキュアリを構成するための利用である。さらにこの仕事を実行する6つの学習および情報検索アルゴリズムを比較している。

(4) 'Hybrid Hill-Climbing and Knowledge-Based Methods for Intelligent News Filtering' :

Dept. of Computer Science, Univ. of California Davis, K.Mock [Mock 96]

インターネットの規模が拡大するにつれて、ユーザに入手可能なデータ量は、劇的に上昇し、情報過剰という問題を作り出す。この研究は、INFOS (Intelligent News Filtering Organizational System) と呼ぶ知的な情報フィルタリングシステムの生成に関するもので、このシステムはUsenet記事のうち不適切と予測されるものを自動的に削除し、利用者の探索の手間を減ずるものである。こうした予測は、内部利用者モデルを採用することにより自動的に学習される。このモデルは記事から得られた特徴および他の利用者から導かれる協同的特徴に基づいている。これらの特徴は、キーワードに基づく技法によって操作され、実際のフィルタリングは知識ベース技法によって実行される。知識ベース技法は、入力テキストを細部にわたって解析できるという利点がある反面、処理コストが大きく、大規模なデータに拡張することが困難であるという欠点をもつ。反対に統計的なキーワードによるアプローチは、規模の拡張は容易であるが、入力の理解という意味では、浅いものでしかない。ここでは2つのアプローチを複合したシステムはキーワード単独のアプローチに比べて正確さで勝っているし、その分野に関する知識を保持しており、また拡張も容易であると論じている。

8.1.2 マルチエージェントによる問題解決

このセッションでは、マルチエージェント・システムに基づく問題解決を、コントラクト・ブリッジの計画策定、経済現象の理解、ネットワークにおける最適パス導出、分散型センサデータの解釈問題といった具体的な実例について適用し、その結果を報告している。

(1) 'Total-Order Multi-Agent Task-Network Planning for Contract Bridge' :

S.J.Smith, et al., Science Department and Institute for System Reserch, Univ. of Maryland, T.A.Throop, Great Game Products, Bethesda, MD [Smith 96]

階層型タスクネットワークによる計画策定をコントラクト・ブリッジに適用したときの結果を示している。この方式では、タスクネットワークを用いてゲームの木を作り出すが、この木の選択枝は、可能な操作の集合ではなく、とることのできる戦略の集合となっている。このアプローチは、ブリッジのような不完全な情報における通常のゲーム・ツリー探索の持つ難点を避けることができるが、さらにこれは通常のHTN

プランナーによって用いられる計画策定ともいくつかの点でも異なっている。これらの変更が、ブリッジ・ゲームに適用する際なぜ必要となったかについても報告している。

(2) 'The Use of Artificially Intelligent Agents with Bounded Rationality in the Study of

Economic Markets': V.Rajan, J.R.Slagle, Dept. of Computer Science Univ. of Minnesota

[Raja 96]

「知識」とか「合理性」といった概念は人工知能とか経済学および心理学といった人間の行為や学習に焦点をあてた科学の分野においては極めて重要である。人工知能研究と経済学の類似性（どちらも知的な思考、合理的行動および知識の獲得と利用に関連する）のため、経済モデルを分散型人工知能（DAI）やマルチエージェントシステムにおける問題解決のパラダイムとして用いることが多いが、この研究で提案するものは、全く逆である。

つまり人工知能を経済学の研究に利用しようというものである。幾世紀にもわたり、市場動勢の様々な経済理論が展開されてきた。広く受け入れられている理論は、現行の資産価値は、合理的期待に基づく配当をリスクによって調整した値に収束するというものである。この合理的期待に基づくモデルによれば平衡もしくは準平衡の状態が保証されるが、これでは、市場の非平衡状態について満足のいく説明を得ることができない。市場の非平衡の一つの例は、バブルという現象である。この研究では、バブル現象を解明するために、限界合理性を持つエージェントを用いた実験システムについて報告している。

(3) 'Analysis of Utility-Theoretic Heuristics for Intelligent Adaptive network Routing':

A.R.Mikler et al., Dept.of Computer Science, Iowa State University [Mikl 96]

効用理論は、自律的でアダプティブな通信ネットワークの設計や解析に対するエレガントで強力な理論的枠組みを提示するものである。こうしたネットワークにおけるメッセージのルーチングは動的で、不確定な環境での複数の基準を持つ最適化問題の好例である。ここでは、大規模ネットワークにおいてメッセージを準最適なパスに導くことのできるヒューリスティックな決定関数の集合を段階的に展開し、このようなヒューリスティックの性質を解析している。ただし、ネットワークのトポロジや動的な負荷に対しては単純化した仮定を置き、メッセージを最適パスに導くことを保証するための条件を指摘している。

(4) 'Nearly Monotonic Problems: A Key to Effective FA/C Distributed Sensor Interpretation?':

N.Carver, Computer Science Department, Southern Illinois University, V.Lesser,

R.Whitehair, Computer Science Department, Univ.of Massachusetts [Carv 96]

functionally-accurate, cooperative (FA/C) 分散問題解決パラダイムはホモジニアスな協調エージェント間の分散型問題解決機構を編成するための1つのアプローチである。FA/Cモデルのキーとなる仮定は全体解を決定するにあたって各エージェントの部分解(局所解)は生データの代わりとなるということであった。しかしながらこのことは、必ずしも普遍的ではない。この研究では局所解を交換することでうまくいく様な問題領域を提示し、このような問題をnearly Monotonicと呼び、FA/Cに基づく分散型センサデータの解釈の例でこの概念を論じている。

8.1.3 マルチエージェントによる交渉および組織形成について

このセッションでは、エージェント間の交渉やマルチエージェントによる組織の形成方法について、具体的なプロトコルや機構の研究、提案、実験結果等を扱っている。その多くのは、ゲーム理論を基礎あるいは参考にしてさらに具体化した研究となっている点が注目される。

(1) 'Learning other agent's preferences in Multiagent negotiation':

H.H.Bui, D.Kieronska, S.Venkatesh, Dept. of Computer Science, Curtin Univ. of

Technology Perth, Australia [Bui 96]

マルチエージェント・システムでは、通常各エージェントは、他のエージェントの好みや意志決定に関する知識を持ち合わせていない。これは協調作業をするに当たっての弊害となる。この研究では学習モジュールをエージェントの交渉機構へ組み込んでいる。学習モジュールにより、過去のインタラクションから他エージェントの好みをエージェントが知ることが可能となる。時間の経過とともにエージェントは他エージェントに関する知識をアップデートでき、よりよい協調を達成することができる。また通信と学習を2つの相互補完的な知識獲得法として結びつけているため、平均的な通信量を減じたり、機密保持等のため通信を行いたくないといった場合にも柔軟に対処できるとしている。

(2) 'Advantages of a leveled Commitment Contracting protocol' :

T.W.Sandholm et al., Univ.of Massachussts [Sand 96]

自律エージェント群から成る交渉システムにおいて、契約（コントラクト）は通常は、拘束力がある。このようなコントラクトは将来起こるであろう事象にエージェントが必ずしも効果的に対処できるものとはならない。こうした問題を解決するためにゲーム理論では、コンティンジェンシー・コントラクト（将来起こるかもしれない事象に対する契約の履行義務を条件付きで定義）というものを提起している。しかし、計算機上のエージェントの場合には、このようなコントラクトは、相互に関連し、かつ予期しない多数の起こりうる事象のために、また事象によっては、相互に観測できないとの理由から、実用的でない。このため、ここでは、レベルつきコミットメントによる契約プロトコルという概念を提案している。これはエージェントがローカルな推論をもとに一方向的に契約を破棄することも可能とするプロトコルで、将来起こりうる事象にエージェントが効果的に対処できるようにしたものである。契約破棄によるペナルティは契約時に双方のエージェントにより、指定される。契約の拘束から自由になるためには、エージェントは相手にペナルティさえ払えばよい。いくつかの解析によって、このレベル付きコミットメントを契約プロトコルに入れることで、利益の集団としての効果（パレート効果）を増し、完全なコミットによる契約の場合には、達成できないような、個別合理性を持った契約を実現することができることを報告している。

(3) 'Incorporating Opponent Models into Adversary Search' :

D.carmel, S.Markovitch, Computer Science Technion, Haifa, Israel [Carm 96]

ここでは、相手モデルを考慮したミニ・マクス戦略の一般化であるM*とよぶアルゴリズムの提案を行っている。また相手モデルを用いることの利点を実験的に示す報告も行っている。

(4) 'Kernel-Oriented Model for Coalition-Formation in General Environment : Implementation and Results' : ar Ilan Univ. (Israel) , O.Shehory et al. [Shehory 96]

これは、マルチエージェントにおけるCoalition（結託、組織）形成に関する一般モデルを扱っている。その基盤はゲーム理論に求めているが、新たに組織構造の安定性に関して、Kernel-K（K-stable）という概念を導入している。これは組織からの入・脱会を自律的に行うエージェント集合に対し、組織構造の平衡状態（エージェントの属

する組織が固定化される) が出現しているという概念を定式化したものである。

また組織を構成するための具体的なプロトコルの提案も行っており、インターネット上でのバーチャル・コーポレーション等の応用を考えると興味深い。

さらにこの研究では、シミュレータを実装し、エージェントに自律的な組織構造を構成させその評価を試みてもいる。

8.1.4 マルチエージェントの学習について

このセッションでは、協調的学習あるいは、分散型の学習に対する具体的な試みを扱っている。

(1) 'Tracking Dynamic Team Activity' :

Information Sciences Institute and C.S. Department, Univ. of Southern California,

M.Tambe [Tambe 96]

マルチエージェントの応用分野は、ロボット・サッカー・トーナメントから、インタラクティブな仮想劇場、大規模な実世界の戦場シミュレーションといったものまで、複雑多岐にわたっている。エージェントの追跡(他エージェントの振る舞いをモニタして、その目標や意図を推察する)は、このような分野における重要な課題である。この研究では、個々のエージェントではなく、エージェントのチームの追跡に焦点を当てて、チーム追跡、つまりチームの共有目標やプランを追跡しようとしている。さらにこのとき、動的でリアルタイムな環境条件が付加される。この研究では、個々のエージェント追跡の際に採用されたモデル追跡技術を、チームの振る舞いを追跡するためのチームモデルに置き換えている。チームモデルは、結合意図フレームワークの具体的応用であり、チームの参加者、非参加者のどちらであろうともそのエージェントがチーム行動を追跡する事を可能とするものとなっている。チームモデルによるリアルタイムでの処理を容易にするために:

1) 追跡を制約充足問題として見る。

2) コスト最小の基準が制約つき追跡サーチに適用される。

という2つの手法が取られている。さらに、実際の問題において、2つの異なる条件(動的環境における協調的および競合的)に対する実験結果が示されている。

(2) 'Scaling up: Distributed Machine Learning with Cooperation' :

F.J.Provost, NYNEX Science & Technology, D.N.Hennessy, Univ. of Pittsburgh

[Prov 96]

機械学習は、データの自動解析に対する手法として盛んになりつつある。しかし、一般的な手法では、高価なハードウェアなしで、大量のデータに対する処理に拡張することはできない。この研究は、拡張のための実用的な手法を提示している。それは、ローカルネットワーク上の休止状態にある、PCやワークステーションを利用するものである。各ワークステーションはデータの部分集合上で共通のルール学習プログラムを実行する。

ここではまず最初に、通常用いられるルール評価基準を用いれば、単純な形態の協調では、協調学習者の集合にとって評価の良いルールは、データ集合全体に対して動作する単一の学習者にとってもよく評価されるルールであってかつそのときのみであるということが保証される、ということを示している。さらにこのシステムが探索処理量を減ずるため、学習した知識を共有して、異なった見方をどのようにうまく利用するか、といった点にも触れている。さらにこの方法の強力さを示すため、セルラ通信における不正の検出という課題に基づいた大量データの学習について報告している。

(3) 'Cooperative Learning over Composite Search Spaces: Experiences with a Multi-agent

Design System' : N.Prasad, E.Lander, V.Lesser, Dept. of Computer Science, Univ. of

Massachusetts, Blackboard Technology Group, Inc, Amherst, MA [Pras]

ここでは、2つの学習技法（短期および長期）を使ってマルチエージェントのデザインシステムにおける探索の効率化を述べている。そこでは、各エージェントはローカルな探索プロセスの上で非ローカルな、要求条件を学習する。グローバルな問題解決についての制約情報をエージェントが蓄積し、適用する事を可能にするものが第1の技法で、これらの情報は、エージェント通信の結果として集められ、同じ問題インスタンス内にある別の問題解決のために利用される。

問題例を分類し、適切にインデクス付けし、新しい問題インスタンスに適用するために制約情報を検索するために第2の技法が用いられる。またこれらの技法による学習が、問題解決の解の質と処理時間を改善するものであることも示される。

(4) 'Learning Models of Intelligent Agents' :

D.Carmel, S.Markovitch, Computer Science Department Technion, Haifa, Israel [Carm 96]

マルチエージェント・システム上で動作するエージェントは、他のエージェントに遭遇したときの効果的な戦略を持つ必要がある。最適な相互作用戦略を探すことは、困難な問題である。というのは、それは相手の出方に大きく依存するからである。この研究では、エージェント間の相互作用を繰り返しのある2人ゲームとして表現している。ここでは、エージェントの目標は、ゲームにおける報酬の期待値を最大にする戦略を探すこととなる。またエージェントの戦略を、有限オートマタとしてモデル化し、このモデルベースなアプローチが、効果的な相互作用戦略の学習を可能にする方法として示されている。論文では、最初にエージェントはどのようにして与えられたモデルに対する最適戦略を見つけるかを示し、次に相手オートマトンの入出力からそのモデルを推論するアルゴリズムを提示している。さらに、このアルゴリズムの利点を裏づけるいくつかの実験結果も報告されている。

8.1.5 エージェントの相互作用について

このセッションでは、エージェントの相互作用を扱っているが、前半の2つは、具体的なシステムの実現もしくは、そのためのフレームワークに関するもので、内容的にもいわゆるインタフェースエージェント、秘書エージェントに近いものである。これに対し、後半の2つの研究は、言語論あるいはspeech-act理論を元とした理論的なものとなっている。

(1) 'Agent Amplified Communication' :

H.Kautz, B.Selman, A.Milewski, AT&T Lab. Murray Hill, NJ [Kautz 96]

ここでは、情報の収集タスクに対して、人間-人間の通信を補助し、単純化するためのエージェントに基づくフレームワークを述べている。例えば、特定の課題に対し、そのエキスパートを探し出すといったことである。ここで取られるアプローチは組織の中のインフォーマルな人脈ネットワークを特定知識に対する参照連鎖として利用する。ユーザ・エージェントはこの処理の自動化を支援するものである。このエージェントは電子メールの通信パターン記録を解析することで照会事項を生成する。シミュレーション結果によれば、エージェントに基づくシステムは、完全に人手によるシステムの持つ正確さを引き替えにできるほど高い応答性を持つものであるとしている。さら

にプロトタイプ・システム上で実験を行い、実用的・有効な照会事項が生成できたが、実際のユーザによる実験では、パーソナル・エージェントを成功させるためには、機密保護が重要であり、より高度なシステムでは、信頼性やオーソリテイに関する問題についてさらに検討を要すると報告している。

(2) 'The Contract Finder agent: Answering bulletin board questions with referrals' :

B.Krulwick, C.Burkey, Center for Strategic Technology Research, Andersen Consulting, Northbrook, IL [Krul 96]

ContractFinder と呼ぶ知的ユーザ支援エージェントの実現に関する報告であり、このエージェントは次の4つの意味で革新的であるとしている。第1は、ContractFinderは、ユーザの問い合わせに回答するのではなく、電子的ブレイン・ボード上のメッセージに対して回答したり、読んだりするものである。第2にContractFinderはユーザの特定の質問に直接答えるかわりに、ユーザを助けてくれそうな他の人たちに照会する事でユーザを支援する。第3にContractFinderはメッセージを分類し、一群のヒューリスティクスを用いてその話題分野を抽出する。第4にContractFinderは、単に特定ユーザと通信するかわりに、その照会事項をブレイン・ボードに書き戻す。

この論文では、システムのこうした観点を論じ、また大規模な内部ブレイン・ボードの6ヶ月にも渡る実験的使用を通じた有効性についても示されている。

(3) 'Toward a semantics for agent communications language based on speech-acts' :

I.Smith, P.Cohen, Center for Human-Computer Communication, Dept.of Computer Science and Engineering Oregon Graduate Institute [Smith 96]

分散型エージェントアーキテクチャに基づくシステムは、明確に定義されたセマンティクスを持つエージェント間通信言語を必要とする。この研究では、エージェント間通信の言語におけるセマンティクスは、エージェントが通信の実行によりチームの生成、管理、解散等を行うという前提の上に確立されるということを述べている。この考えは、要求を出すといったような基本的な意志疎通行為の定義を、提示された心理状態がチーム行動の基礎となるところの結合意図の形成のようなものに置き換えることを必要とする。これらの点を説明するためにチームを形成したり、解散したりするいくつかの意志疎通の行為に対するセマンティクスが述べられている。次にWinogradやFloresの「行為に対する基本的会話」のような一般的な有限状態会話モデルの構造の多くが、再定義された意志疎通行為により作り出された論理的関係の結果と

なっているかを示してもいる。

(4) 'Deciding to remind During Collaborative Problem Solving: Empirical Evidence for Agent Strategies' : P.Jordan, M.Walker, Intelligent System Program, Univ.of Pittsburgh, AT&T research Lab. Murray Hill, NJ [Jordan 96]

相互に既知の情報を会話の相手に再確認するというのは、会話をしている者の注視状態、その仕事の要求資源、資源の制約等に依存するというを(著者等は)以前に論じたが、ここではエージェントがどのようにしてその助言者と会話をしようとするかについてのいくつかのモデルを提示し、その評価を行っている。また以前に指摘した事項をさらに精密にして、協調して問題解決を実行しているときに、助言者によるエージェントの行動援助のため、注視状態と資源制約をどのようにして意志決定プロセスの中に組み入れるかについて議論している。ここではマルチエージェントによる問題解決のシミュレーションを用いて2つの仮説を評価を行っている:

1) エージェントは、問題解決全体の作業量を軽減するときのみ知識を提示するの
を決める。

2) エージェントは問題解決の作業量と助言者への意志疎通努力とのトレードオフ
を評価するとき、自分の注視状態を相手のそのモデルとして用いる。

というものであり、シミュレーションによればこのどちらの仮説に対しても肯定的な
結果を報告している。

8.2 IAAI (オレゴン州、ポートランド)

ネットワークへのAIの応用ということで、8月5日のTelecomm Applicationのセッションに参加したが、内容的にはあまり新鮮と思えるものはなく、旧来の故障診断等へのAIの応用といった話題が中心であった。

8.3 NetResult 社 (カリフォルニア州、パロアルト)

代表者のDr. W.Chengは、分散データベースの専門家で、現在データベース等で事業展開を行っているObjectivity社の創設者の一人である。

現在のNetResult社の主要事業は、インターネット関連のソフトウェア開発であり、特に分散DB技術を生かしたソフトウェア・プロダクツが中心となっている。米国におけるインターネット、イントラネットの一般ユーザの需要動向、ネットワークとデータベースの技術動向等について議論したが、米国においても一般のユーザにとってネットワークシステムの構築は、まだまだ困難な作業であり、例えば、Web serverとDBとの間のゲートウェイのようなソフトウェア・プロダクツ、ネットワークのシステム・インテグレーション等に需要の焦点が向けられているようであった。先端的研究と一般ユーザのニーズとのギャップはこの国においても(当然のことであるが)大きいとの印象を持った。

8.4 イリノイ大学 (Prof. J.Liu)

最近の研究である Realtime OS、Realtime distributed DB等の研究分野について議論したが、ネットワークAIという視点からは直接関連する技術課題は少なかったためここでは、議論の概要は、割愛する。

8.5 ECA I (ハンガリー、ブダペスト)

マルチエージェント関連を中心に調査を行った。この分野での総論文件数は7件であったが、うちインターネット上での情報収集に関するものが1件あった。

8.5.1 情報収集とマルチエージェント関連

(1) 'MultiAgent Integration of Information Gathering and Decision Support' :

CMU, K.Sycara et al. [Sycara 96]

これはインターネットを含む情報ソース群上でのキュアリ実行を分散型マルチエージェント・システムで行わせようというものであって、情報収集のみならず、DSSとキュアリ実行がシームレスに結合しているのが特徴的であった。

エージェントは、インタフェースエージェント、タスクエージェント、インフォメーションエージェントの3つのタイプのもので構成され、各エージェントはTCAアーキテクチャ (Task Control Architecture) に基づいているが、Communication Module を持ったものに拡張されている。実際にどこまでが、実装されているのか不明であったが、複雑な仕事を分散型マルチエージェント・システムで行わせるための実例として興味深いものであった。

なお、この他にマルチエージェント関連のものとしてチュートリアル・セッションで発表されたものが1件あった。

(2) 'Distributed Intelligent Agents - A solution for the Managemant of Complex Services' :

BT Lab., M.Busuioc [Busuioc 96]

これは、大規模ネットワーク上での多様なサービスを実現しようとする、サービス間の関係が複雑になりすぎ、通常のソフトウェアの設計では実現困難となる。このためにマルチエージェント・システムのアーキテクチャの適用を試みたものである。

8.5.2 その他のマルチエージェント関連の研究

その他のマルチエージェント関連の研究としては、自律的エージェント群の目標充足や協調といった現象をモデル論的にとらえた研究がいくつか、発表されたが、その

基盤となるモデルは、言語論、物理学、経済学、ゲーム論等様々であった。

(1) 'Cooperative goal-satisfaction without communication in large-scale agent-systems' :

O.shehory, S.Kraus, Dept. of Math and Computer Science, Bar Ilan Univ, Israel

[sheho 96]

大規模な環境における協調的目標充足に関するフレームワークが述べられ、複雑さが少ない物理指向のアプローチが議論されている。ここで扱うマルチエージェント・システムは、物理指向でモデル化されており、このモデルに従えば、エージェントシステムは物理的性質を継承し、そのため処理システムの進化は、物理システムの進化に類似したものとなっている。モデルの実装を可能とするため単一のエージェントで用いられるアルゴリズムの詳細を提示している。このモデルおよびアルゴリズムは、エージェントがシステム全体に利することを試みるような大規模分散型問題解決システムに適したものである。アルゴリズムの解析と評価は、モデルとなる物理系のよく知られた振る舞いや性質を通じて実行される。

(2) 'Emergent Co-ordination of Flow Control Actions through Functional Co-operation of

Social Agents' : S.Ossowski, A.Garcia-Serrano, J.Cuena, Dept.of Artificial Intelligence,

Technical Univ. of Madrid [Ossow 96]

効果的な協調機構を設計するために、協調の社会的側面が中心的な役割を果たすとして、協調的フロー制御のモデルを提示している。このモデルは自律的ソーシャル・エージェントの集合のメタファから得られるもので、ローカルなモチベーションとグローバルな規範によって協調機能が発生するというものである。このような集合において、制御機構の協調的振る舞いは、エージェント間で次第に出現してくるので、信号機の制御の場合を例にとり、このアプローチを議論している。

(3) 'Controlling Distributed Manufacturing Systems by a Market Mechanism' :

T.Kis, J.Vancza, A.Markus, Computer and Automation Research Institute, Hungarian

Academy of Sciences, Budapest, Hungary [Kis 96]

この研究は、限界理性のもとに自身の利益を追求する知的エージェントの協調行為を市場メカニズムに基づいて論じている。特に、動的な注文処理やスケジューリング問題を例に議論がなされている。

(4) 'Understanding Autonomous Interaction' :

M.d'Inverno, M.Luck, School of Computer Science, Univ. of Westminster, London,
UK [d'Inv 96]

自律性というのは、複雑な世界で効果的、効率的に機能するに十分な柔軟性を持ったエージェントを設計するのに不可欠の要素である。しかしながら、自律的相互作用がもたらすもの、特に相互作用がある意味で保証されていることの効果については、多くの研究では、極めて制限された見解が論じられているにすぎない。こうした問題意識のもとに、この研究では、相互作用が保証されなくて、かつエージェントが自律的である時に、エージェントはこの固有の不確かさを扱うことができるにちがいない、ということも議論している。また、自律的相互作用のモデルも提示しているが、これは、上述の事柄に関連して、動機付けされた発見のプロセスとして見ることもできる。またこのアプローチは2つの重要な側面をもつとして、その論点の第1は、エージェントの動機をモデル化する事は、自律性のより適切なモデルを提示することにつながり、また相互作用プロセスの制御戦略を提供することにもなるという点であり、第2は、発見のパラダイムは不確かな環境での効果的な行動や推論のための適切なフレームワークを提供するという点である。

(5) 'Abstract Goals in Multi-Agent Systems' :

H.Burkhard, Inst.of Informatics, Humboldt Univ. Berlin, Berlin, Germany [Burk]

マルチエージェント・システムにおける異なった目標や意図の相互作用について論じている。遷移システムと抽象言語より構成されるフレームワークを、目標や意図をモデル化するのに用いたものである。またエージェントの知識に制限があることは、観測や影響に対する制限としてモデル化され、行動シーケンスの同型イメージを用いて表現される。さらに相互作用が与えられたときの結果、およびフレームワークの性質についても論じている。

(6) 'Altruistic Cooperation Between Self-Interested Agents' :

S.Brainov, Institute of Math and Computer Science, Bulgarian Academy of Sciences,
Sofia,Bul

利他的行動は、ユニークでまれな手段であるため、合理的エージェントによって経済的に生成され、使用されなくてはならない。この研究では、ゲーム理論および経済学に基づいて利他的行動の形式モデルを提案している。利他主義は、利己主義の特殊

なケースと考えられるため、ここでは、協調する相手同士ではなく、第三者間においても、自分の利他的行動がどのようにして相手の利他的行動を生み出すかについて論じている。また利他的行動によりどのようにして資源が効果的に割り当てられるか、さらに、不確かさから生ずる問題から、利己的エージェントをいかに守るかについても述べている。次に2つ以上の利他主義者がいる組織の安定性に対する必要十分条件が議論されている。また2つの具体例についても考察されている：1つは契約ネットのフレームワークにおける利他的組織形成の例についてであり、第2はマルチエージェント環境で、利他主義がどのようにして社会的基準への準拠を促すかについての例である。

8.6 Fraunhofer Institute for Computer Graphics (ドイツ、ダルムシュタット)

ダルムシュタット工科大学と民間企業とが共同出資した研究所である。主要プロジェクトである Virtual reality、CSCWならびにシミュレーション・データの可視化に関する施設、デモ等を見学した。先端技術という意味で特に目新しいものは少なかったが、いずれも現実の問題に対処すべく実装されていて、興味深かった。

- (1) Virtual reality：ダイムラー・ベンツ社との協同開発による Virtual reality を用いた自動車の設計に関するデモを見学した。
- (2) CSCW：米国ブラウン大学とATM回線を介して行われている自動車部品の共同設計プロジェクトの実態を見学した。現在抱えているもっとも大きな問題は、先方との time gap の存在を、運用上どのように解消するかということであった。
- (3) シミュレーション・データの可視化：送信されてくる気象予報データの Visualization System を見学した。データ受信から可視化までに、いっさい人手を介さないことがこのシステムの特徴で、他に類例がないとのことであった。

8.7 まとめ

今回の調査は、ネットワーク技術とAI技術の接点ということに課題を絞って行った。以下にこの技術課題に限って感じたことを述べる。

一つは、ますます複雑多様化するネットワーク上のサービスを実装するにあたって、ソフトウェアの設計法としてのエージェント・アーキテクチャに寄せる期待が大きい、ということである。しかしながらこの期待に応えうるかどうかということに関していえば、実例があまりに少なく、エージェント・アーキテクチャの評価、検証はこれから、という印象が強かった。

またインターネットの普及に伴い、インターネット上での情報収集やフィルタリングを行うエージェントへの関心がますます強まるであろうと思われるが、元来無秩序な情報が錯綜するインターネット上で、運用上の規定なしにどこまで満足のいくシステムの実現が可能であるか疑問も残る。

次に、ネットワークとエージェントということで見られる研究動向として興味深いものは、エージェント集団の自律的組織化、エージェント社会の構成といった課題である。基盤は、旧来のゲーム理論に求めながらもさらに踏み込んで具体的な組織や合意形成のプロトコル、安定状態に達するまでの時間、等の評価も試みられ、今後の研究が注目される。

最後に感じたことは、先端的研究と一般ユーザのニーズとの間のギャップは、やはり大きく、地道な実装努力を積み上げてこのギャップを埋めようとするフラウンホファー研究所のような試みの重要性も再認識した。

参考文献

[Kwok 96] C.T.Kwok and D.S.Weld, Planning to Gather Information, Proc. of AAAI 96, Portland Oregon, pp.32-39, 1996.

[Levy 96] A.Y.Levy et al., Query Answering Algorithms for Information Agents, Proc. of AAAI 96, Portland Oregon, pp.40-47, 1996.

[Sycara 96] Sycara et al., Multi-Agent Integration of Information Gathering and Decision Support, Proc. of ECAI96, Budapest, Hungary, pp.549-553, 1996.

[Busuioc 96] M.Busuioc, Distributed Intelligent Agents A solution for the Management of Complex Services, oral presentation, ECAI96, Budapest, Hungary, 1996.

- [Pazz 96] M.Pazzani, J.Muramatsu, D.Billsus, 'Syskill & Webert: Identifying Interesting Web Sites', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.54-61, 1996.
- [Bui 96] H.H.Bui, D.Kieronska, S.Venkatesh, 'Learning other agent's preferences in Multiagent negotiation', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.114-119, 1996.
- [Sand 96] T.W.Sandholm et al., 'Advantages of a leveled Commitment Contracting protocol', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.126-133, 1996.
- [Carm1 96] D.Carmel, S.Markovitch, 'Incorporating Opponent Models into Adversary Search', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.120-125, 1996.
- [Shehory1 96] O.Shehory et al., 'Kernel-Oriented Model for Coalition-Formation in General Environment: Implementation and Results', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.134-140, 1996.
- [Tambe 96] M.Tambe, 'Tracking Dynamic Team Activity', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.80-87, 1996.
- [Prov 96] F.J.Provost, 'Scaling up: Distributed Machine Learning with Cooperation', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.74-79, 1996.
- [Pras 96] N.Prasad, E.Lander, V.Lesser, 'Cooperative Learning over Composite Search Spaces: Experiences with a Multi-agent Design System', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.68-73, 1996.
- [Carm2 96] D.Carmel, S.Markovitch, 'Learning Models of Intelligent Agents', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.62-67, 1996.
- [Kautz 96] H.Kautz, B.Selman, A. Milewski, 'Agent Amplified Communication', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.3-9, 1996.
- [Krul 96] B.Krulwick, C.Burkey, 'The ContractFinder agent: Answering bulletin board questions with referrals', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.10-15, 1996.
- [Smith 96] I.Smith, P.Cohen, 'Toward a semantics for agent communications language based on speech-acts', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.24-31, 1996.
- [Jordan 96] P.Jordan, M.Walker, 'Deciding to remind During Collaborative Problem Solving: Empirical Evidence for Agent Strategies', Proc. of AAAI96, Portland Oregon, pp.16-23, 1996.
- [Shehory2 96] O.Shehory, S.Kraus, 'Cooperative goal-satisfaction without communication in large-scale agent-systems', Proc. of ECAI96, Budapest Hungary, pp.544-548, 1996.
- [Ossow 96] S.Ossowski, A.Garcia-Serrano, J.Cuena, 'Emergent Co-ordination of Flow Control Actions through Functional Co-operation of Social Agents', Proc. of ECAI96, Budapest

Hungary, pp.539-543, 1996.

[Kis 96] T.Kis, J.Vancza, A.Markus, 'Controlling Distributed Manufacturing Systems by a Market Mechanism', Proc. of ECAI96, Budapest Hungary, pp.534-538, 1996.

[d'Inv 96] M.d'Inverno, M.Luck, 'Understanding Autonomous Interaction', Proc. of ECAI96, Budapest Hungary, pp.529-533, 1996.

[Burk 96] H.Burkhard, 'Abstract Goals in Multi-Agent Systems', Proc. of ECAI96, Budapest Hungary, pp.524-528, 1996.

[Brai 96] Brainov, 'Altruistic Cooperation Between Self-Interested Agents', Proc. of ECAI96, Budapest Hungary, pp.519-523, 1996.

— 禁無断転載 —

知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9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

08-R 007





