

12-R001

次世代ネットワークと
産業フロンティア情報技術に関する
調査研究報告書
ー ネットワークエージェント技術 ー

平成13年3月

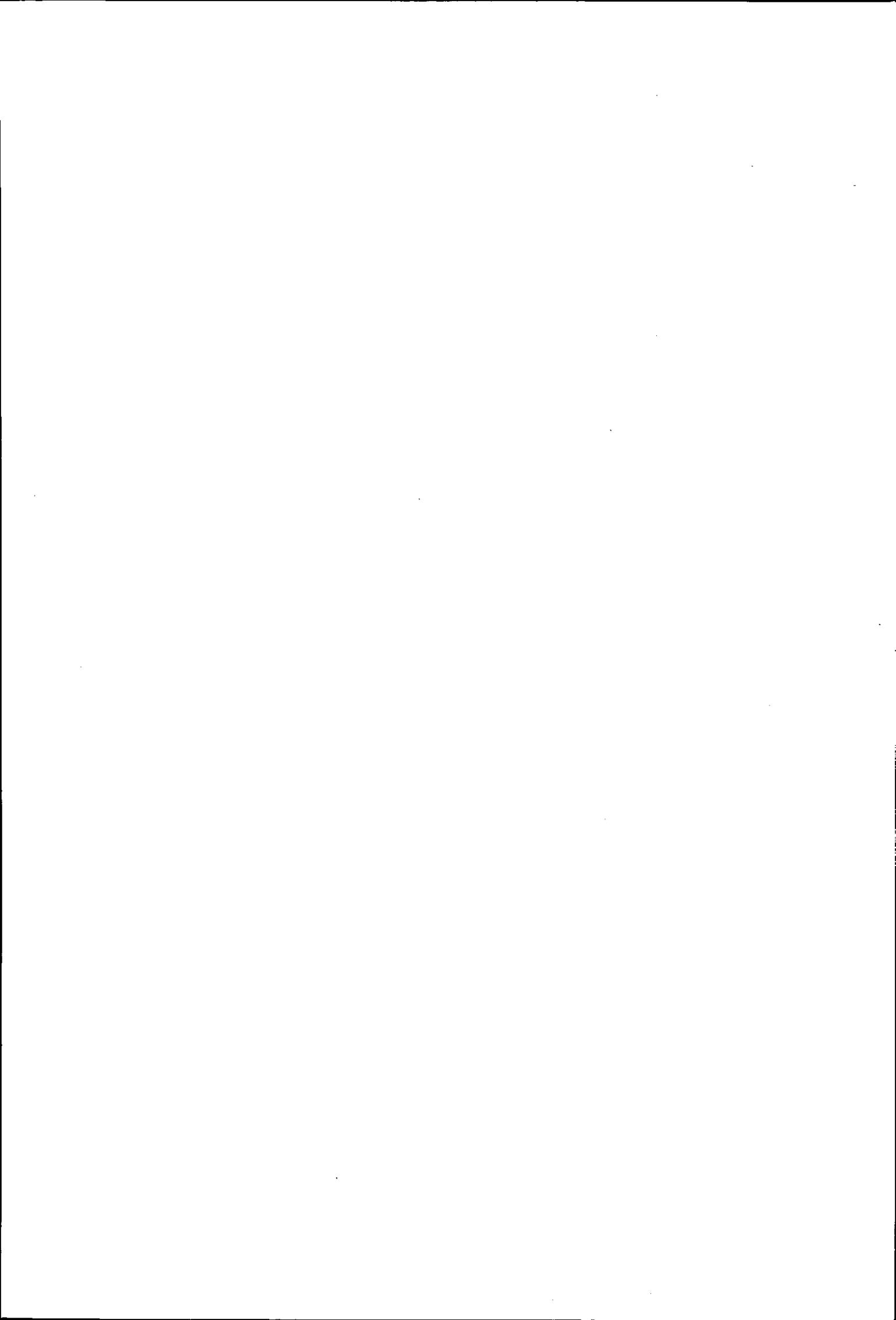


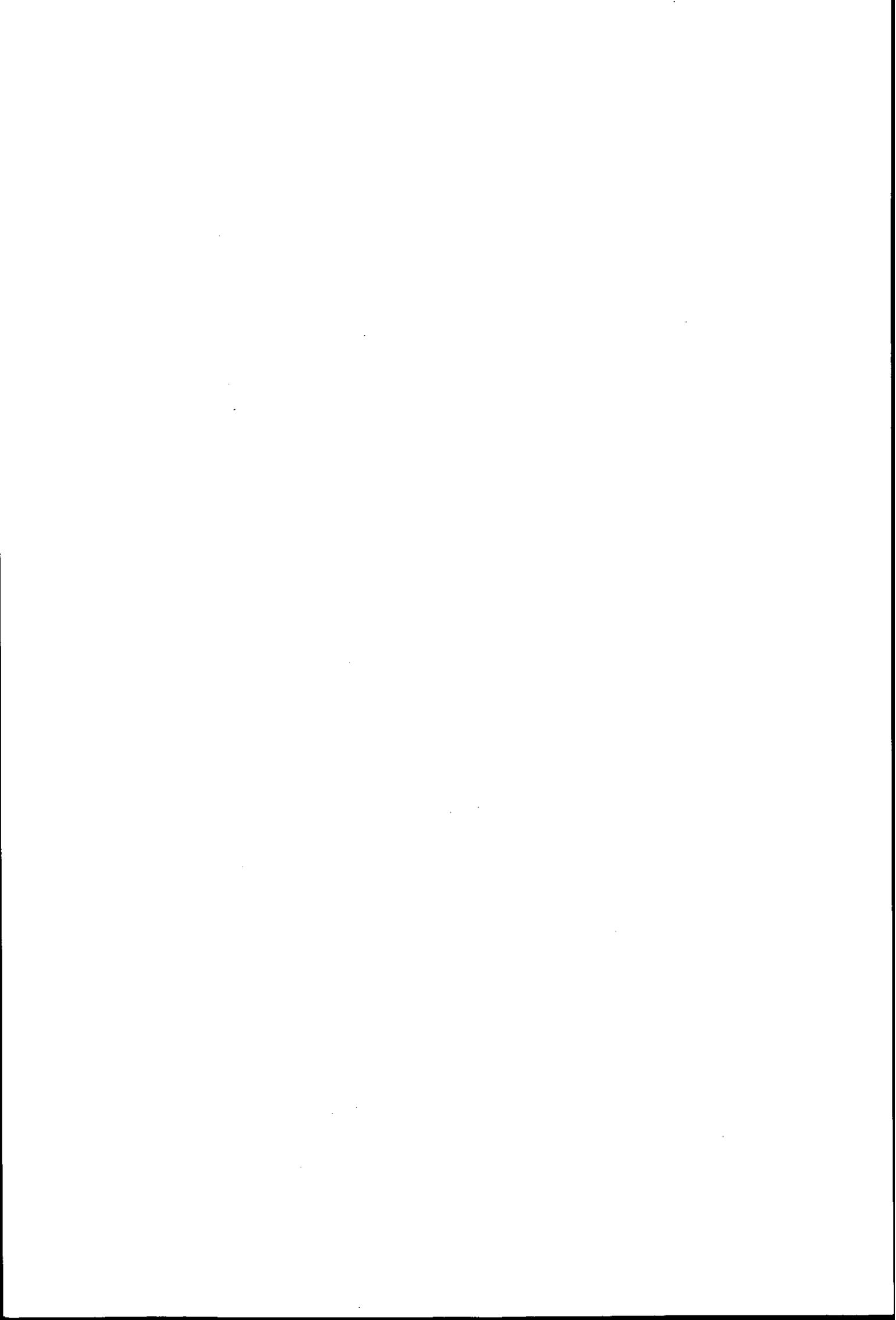
財団法人 日本情報処理開発協会

KEIRIN

00

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、次世代インターネット上の情報資源活用と新しいタイプのコミュニケーションの創出をめざして、ネットワークエージェント技術の研究とその製品開発への取り組みが活発化しています。ネットワークエージェントは、ユーザの代理として問題に応じた様々なアプリケーションソフトウェアや人間と交渉などをする新しいタイプのソフトウェアです。今後の複雑・多様化する情報化社会において、電子商取引、電子図書館、デジタル放送、CAD-CIM、コミュニティビジネスなど広範なアプリケーションの多くの場面で、人間の活動を支援するエージェント技術に対する期待には大きなものがあります。最近、エージェント構築用プラットフォームがネットワークを通して公開され、これらの間のインターオペラビリティを図るための標準化活動が展開されています。

このような状況のもと、当協会では平成11年度より2年間にわたり、「次世代ネットワークと産業フロンティア情報技術に関する調査研究」として、内外における産業界・学界のネットワークエージェントに関わる研究開発動向を調査して、技術課題および今後の研究開発の進め方について提言をまとめるため、「ネットワークエージェント技術に関する調査研究」を実施してまいりました。

実施にあたっては、ネットワークエージェント技術委員会（委員長 西田 豊明 東京大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻 教授）を設置して、調査研究の基本方針、個別テーマの審議・検討を行うとともに、欧米への調査員の派遣、文献調査、ワークショップ開催等を行いました。

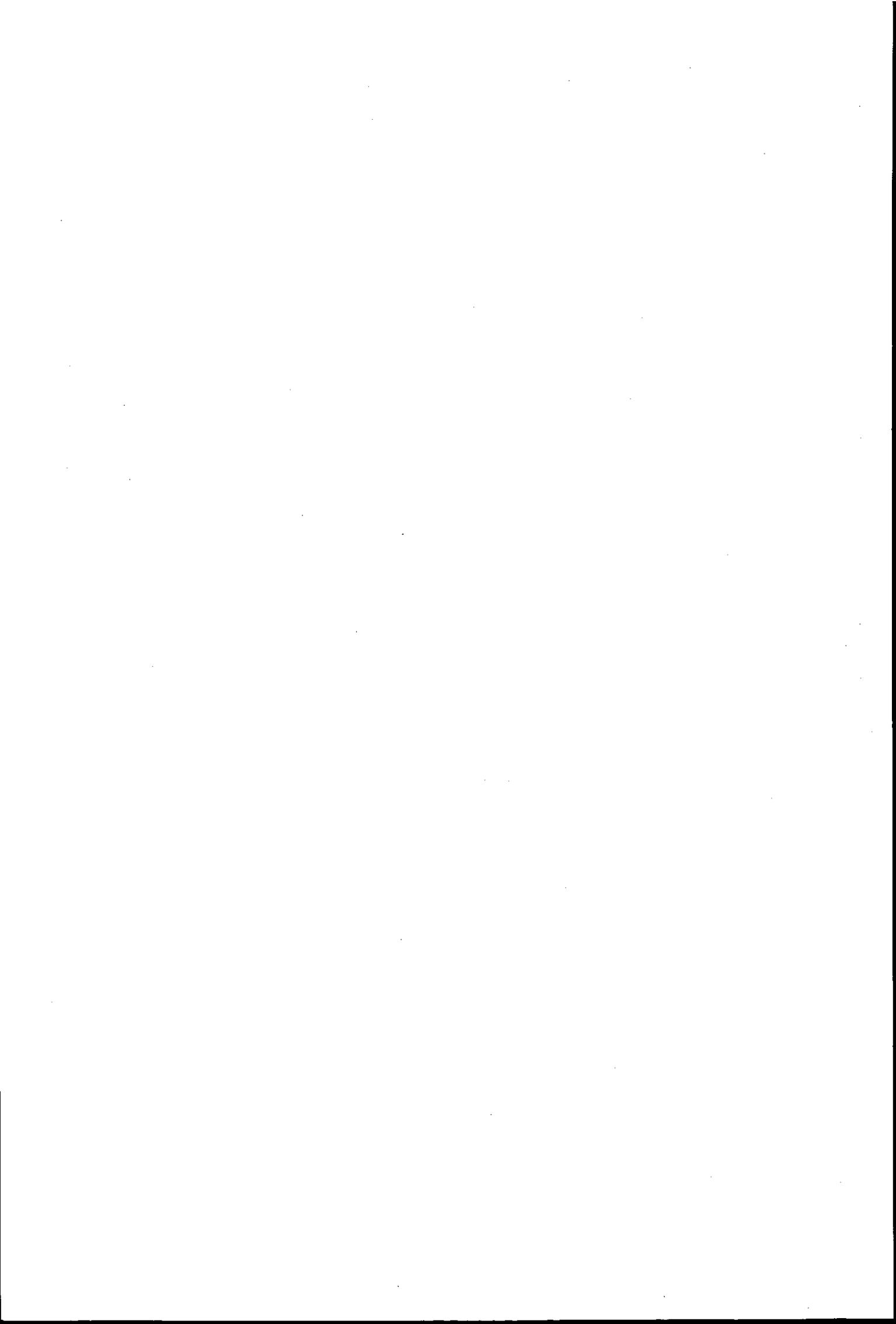
本報告書は、平成12年度の調査研究成果を取りまとめたもので、2編から構成され、I編は本編であり調査研究成果の概要および詳細を、また、II編は資料編でエージェント技術の電子商取引への応用事例、日本および米国におけるエージェント技術研究開発の実態等を、まとめています。I編は、調査研究の背景と目的や経緯を述べた第1章と第2章、多方面にわたってエージェント技術の展望をまとめた第3章、エージェント技術のビジョンと提言を示した第4章から構成されています。

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、ご指導ご協力を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13年3月

財団法人 日本情報処理開発協会



委員会および協力者名簿

ネットワークエージェント技術委員会

(敬称略、50音順)

委員長：

西田 豊明 東京大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻 教授

幹事：

木下 哲男 東北大学電気通信研究所 助教授

北村 泰彦 大阪市立大学工学部情報工学科 助教授

委員：

上田 隆也 キヤノン(株) i 技術開発センター i サーバー技術開発部
i サーバー技術第二開発室 主任研究員

大澤 英一 公立はこだて未来大学
システム情報科学部情報アーキテクチャ学科 教授

大須賀 昭彦 (株)東芝 研究開発センター
コンピュータ・ネットワークラボラトリー 主任研究員

岡田 誠 (株)富士通研究所 ネットメディア研究センター 主任研究員

川辺 治之 日本ユニシス(株) asaban.com 事業部 担当課長

莪山 真一 パイオニア(株) 総合研究所 情報技術研究部第1研究室 副主事

木野 茂徳 三菱電機(株) 情報技術総合研究所ネットワークコンピューティング部
オープンネットワークチーム チームリーダー

桑原 和宏 日本電信電話(株) NTT コミュニケーション科学基礎研究所
社会情報研究部 協調システム研究グループ リーダ・主幹研究員

小暮 潔 日本電信電話(株) NTT コミュニケーション科学基礎研究所
社会情報研究部分散協調理論研究グループ リーダ・主幹研究員

須栗	裕樹	(株)コミュニケーションテクノロジーズ 常務取締役
豊内	順一	(株)日立製作所 システム開発研究所第2部 主任研究員
中嶋	宏	オムロン(株) 技術本部 IT 研究所音声対話研究室 担当係長
長尾	確	日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所 特別研究員
服部	文夫	NTT ソフトウェア(株) 技術開発部先端システム開発センター 所長
藤田	悟	日本電気(株) 情報通信メディア研究本部 インターネットシステム研究所 主任研究員
益岡	竜介	(株)富士通研究所 コンピュータシステム研究所知能システム研究部 主任研究員
間瀬	健二	(株)エイ・ティ・アール知能映像通信研究所第二研究室 室長
松田	晃一	ソニー (株) パーソナル IT ネットワークカンパニーPNC 開発センター モバイルプラットフォーム開発部 システムアーキテクト
丸山	俊弘	日本ビクター(株) 技術開発本部コア技術研究所 キーテクノロジークラスター 主任研究員
三吉	秀夫	シャープ(株) 技術本部システム開発センター 主任研究員
村崎	康博	日本放送協会 放送技術研究所 マルチメディアサービス部 研究員
山本	学	日本アイ・ビー・エム(株) 東京基礎研究所 主任研究員
和田	英彦	横河電機(株) ITプロジェクトセンター 係長
渡辺	光一	関東学院大学経済学部経営学科 助教授

協 力 者 :

神田 智子 アイキャラ(株) 技術開発部長

桑野 文洋 (株)三菱総合研究所 情報技術研究センター情報技術開発部 主任研究員

オブザーバ :

和泉 章 経済産業省 商務情報政策局 情報政策課 課長補佐

横塚 志行 経済産業省 商務情報政策局 情報政策課 技術一係長

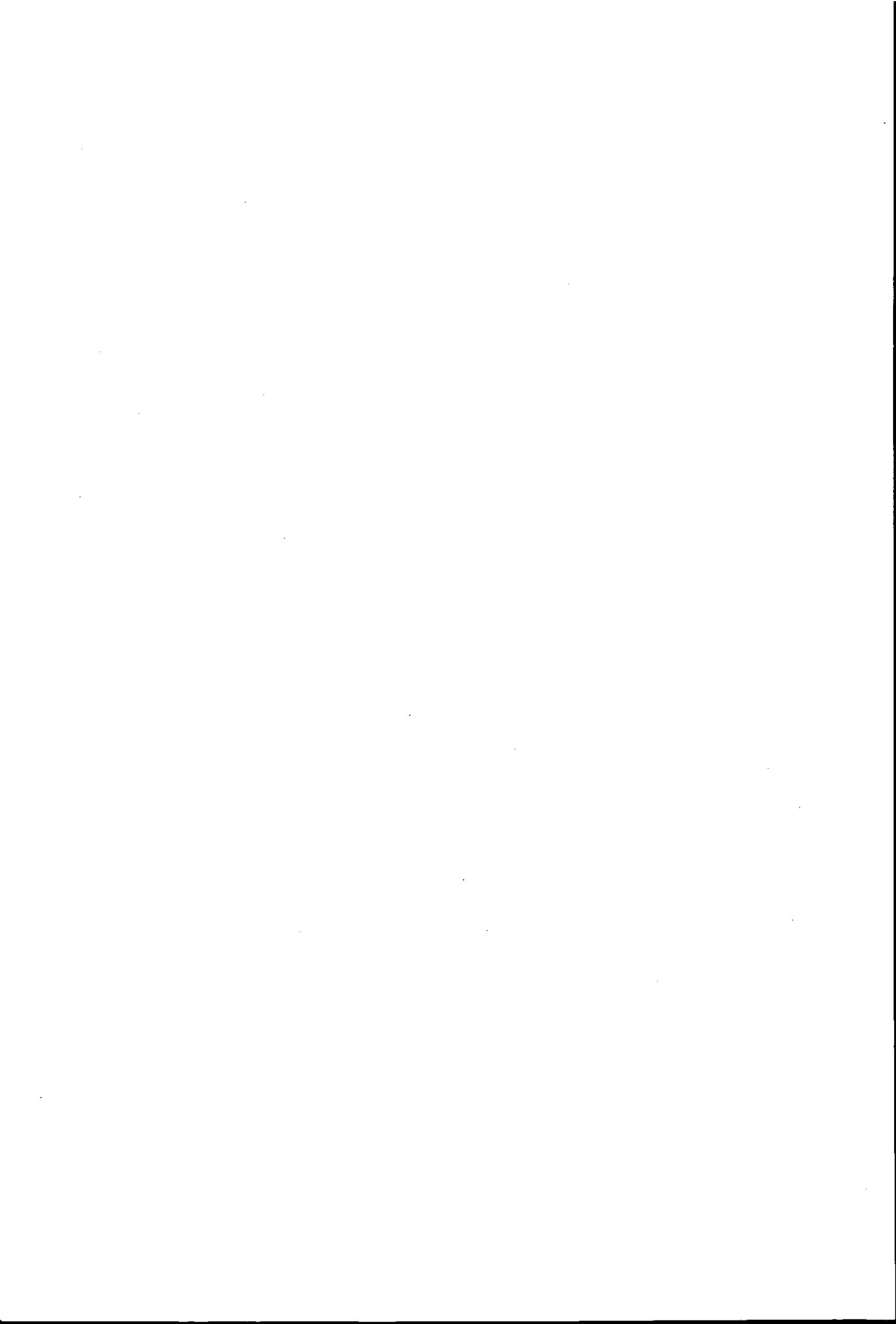
松本 崇 経済産業省 商務情報政策局 情報政策課 技術三係長

事 務 局 :

茂呂 知明 (財)日本情報処理開発協会 技術企画部技術課 専任調査役

向山 博 (財)日本情報処理開発協会 技術企画部 主任研究員

金剛寺 英雄 (財)日本情報処理開発協会 技術企画部技術課 課長



目 次

まえがき

委員会及び協力者名簿

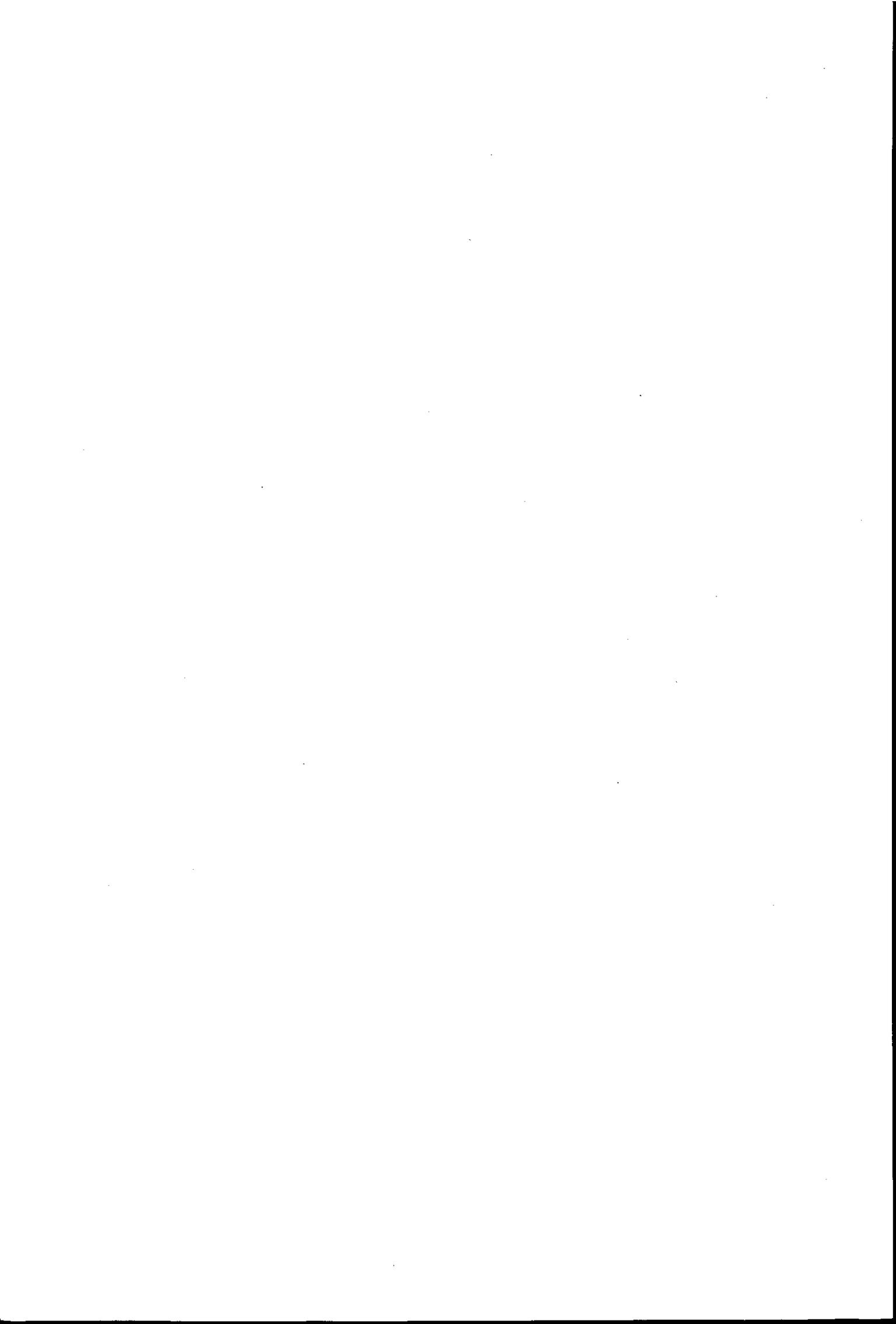
I. 本編

1. 報告書骨子	3
2. 本調査研究の概要	7
2.1 本調査研究の背景と目的	7
2.2 基本的な視点 - エージェントの創るインタラクティブネットワーク	8
2.2.1 はじめに	8
2.2.2 エージェントとは	9
2.2.3 自立サービスの提供とその統合	11
2.2.4 エージェントに媒介された電子商取引	13
2.2.5 人と人をつなぐメディアとしてのエージェント	14
2.2.6 プラットフォームと標準化	15
2.2.7 まとめ	15
3. エージェント技術展望	19
3.1 エージェントの過去・現在・未来	19
3.1.1 AI からエージェントへ	20
3.1.2 オブジェクト指向からエージェント指向へ	30
3.1.3 エージェントからマルチエージェントへ	40
3.1.4 自律的エージェントから社会的エージェントへ	51
3.2 エージェントプラットフォームの将来像と標準化戦略	62
3.2.1 FIPA のプラットフォームアーキテクチャーと Java による実装の標準 API	62
3.2.2 FIPA のエージェント通信言語	71
3.2.3 情報収集エージェントに見るプラットフォーム技術	81
3.2.4 Semantic Web	87
3.2.5 ECCMA における EC コードの標準化	91
3.2.6 情報家電: ホームネットワークにおけるエージェントプラットフォーム	94

3.3	次世代アプリケーションへの道	104
3.3.1	エージェント技術のE A Iへの適用事例	104
3.3.2	エージェント・サーバー技術のビジネス分野への応用と期待	114
3.3.3	エージェント技術の生産システムへの応用と課題	125
3.3.4	ビジネスエージェントに向けた取り組みと課題	136
3.3.5	モバイルコンピューティングとエージェント	145
3.3.6	エージェントを身近に～民生機器応用への期待と課題～	150
3.3.7	放送におけるエージェント活用への期待と課題	160
3.3.8	情報獲得支援へのエージェント技術の応用と期待	171
3.3.9	ネットワークエージェント応用における幾つかの課題	174
3.4	エージェントが仲介するe-コミュニケーションとe-コミュニティ	180
3.4.1	エージェントによるコミュニケーションの仲介	181
3.4.2	場、環境におけるエージェント	187
3.4.3	e-コミュニケーションにおけるアウェアネス支援	195
3.4.4	対話と感情モデル	204
3.4.5	非言語とコミュニケーション	217
3.4.6	インタフェースエージェントとしての会話型ロボット	226
3.4.7	分科会アンケートのまとめ	230
4.	提言	243
II. 資料編		
A	エージェント技術の電子商取引への応用事例調査	251
B	ワークショップ記録	293
C	海外調査報告	307

第 I 編 本編

1. 報告書骨子



1. 報告書骨子

ネットワークエージェント技術は、高付加価値型のネットワークサービスを構築するための核心となる技術として注目を浴びています。(財)日本情報処理開発協会では、ネットワークエージェント技術を IT のなかで有効に活用するためのビジョンと技術戦略を探るために、1999 年にネットワークエージェント技術委員会を設置し、わが国で先進的な取り組みを行っている企業で研究開発に携わっているリーダーを中心に、2 年計画で討論を進めました。2000 年度は、研究開発動向調査に重点を置いた 1999 年の成果に基づき、「技術体系化」、「プラットフォームと標準化」、「アプリケーション・ビジネスモデル」、「インタフェース・コミュニケーション・コミュニティ」の 4 テーマについて分科会にわかれて集中的な討論を行い、ネットワークエージェント技術の今後のビジョンと技術展開の提言作りに取り組みました。

その結果、技術体系化、プラットフォームと標準化、アプリケーションとビジネス応用、コミュニケーションとコミュニティへの応用のそれぞれの側面で、ネットワークエージェント技術の研究開発と利用の方向について、共通の認識と見通しが得られました。

技術体系化に関しては、従来別々に開発されてきた、(いわゆる) エージェント技術、マルチエージェント技術、インタフェースエージェント技術を統合した体系化づくりが急務であるという共通認識が得られました。エージェント技術の体系化においては、エージェントをビジブルにしてユーザからも開発者からも明確に認知されるようにすることが重要であり、社会的エージェント(人間社会のルールやしきたりに合致した社会的行動ができるエージェント)とマルチエージェントシステム(他のエージェントと協力・交渉することによって集団として一定の秩序のある行動をするエージェント群)の確立が有望な技術課題であることが明らかになりました。

プラットフォームと標準化に関しては、エージェント標準化を先導してきた FIPA(Foundation for Intelligent and Physical Agents)で提案された標準化案に基づく実験的実装例が多く出現し、並行して実装段階に達した内容記述やオントロジー標準化などと連動して、エージェントシステムを構築するための標準に基づく土台が確立されたことが 2000 年度の特徴であると言えます。他のソフトウェアと比較したときのエージェントシステムの特徴と有効性を明確にするには、エージェント通信言語を中心として、社会的エージェントとマルチエージェントシステムに関する技術に裏づけされた、アプリケーションにより近いレベルでの相互運用性の実現を目指すべきであることが明らかになりました。また、こうした技術を電子商取引のようにこれから発展していく領域に適用できるようにするばかりでなく、情報家電や製品設計・製造といった日本の強い分野で具体化し、成果を積み重ねていくことが日本からの情報発信につながるだろうという見通しも得られました。

アプリケーションとビジネス応用に関しては、エージェント技術を取り入れることによる有効性がさまざまなシステム開発を通して実証されました。サーバ技術に関しては、エージェント技

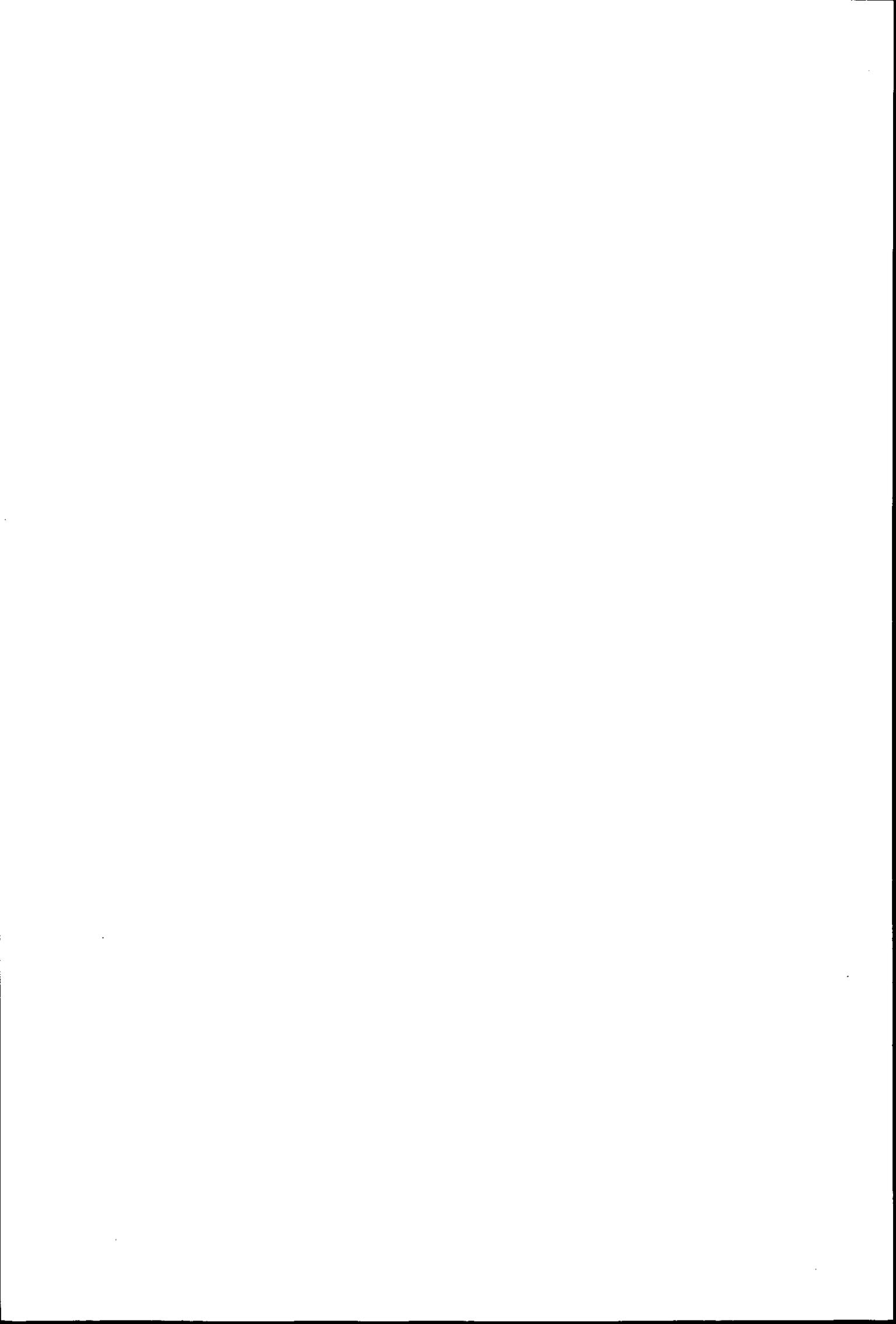
術を使うことにより場合によっては従来のデータベースを使ったサーバの100倍以上の性能をもつサーバが構成可能であることがわかりました。製造に関しては、個別生産に関して柔軟性が高くわかりやすいコンセプトの製造システムが実現可能であることがわかりました。放送・情報家電に関しては、エージェント技術によって簡単・楽しい・便利な機器の実現可能性と、ユーザ指向のコンテンツ作成の可能性が示されました。エージェント技術をアプリケーションとビジネスに応用していくためには、現状のエージェント技術の特長だけでなく、その欠点を正しく認識することが必要であることを指摘した上で、ネットワークエージェントアプリケーションへの一般的な取り組みを行うための、「育てる」、「鍛える」、「拓く」、「使う」という姿勢でエージェント技術を発展させていくことを提案します。

コミュニケーションとコミュニティへの応用に関しては、ネットワーク上に構築されるeコミュニティとそこでのeコマース活動の中心として、エージェントに支援されたコミュニケーションあるいはエージェントに支援されたeコマースが今後発展していくことが予想されます。そのためには、言語コミュニケーションと非言語コミュニケーションを融合したマルチモーダルコミュニケーション、感情モデルの組み込み、アウェアネスを中心としたグループ・コミュニティ支援がこれから重要な課題であることを指摘し、エージェントをこれらの技術を統合した会話志向のシステムとして発展させていくことを提案します。

以下では、第2章で本調査研究の概要と基本的な視点を示します。第3章で、エージェント技術の各項目について、現在の技術動向を示した上で、今後の展開について議論します。第4章で、技術体系化、プラットフォームと標準化、アプリケーションとビジネス応用、コミュニケーションとコミュニティへの応用のそれぞれについて提言を示します。

第 I 編 本編

2. 本調査研究の概要



2. 本調査研究の概要

2.1 本調査研究の背景と目的

エージェントテクノロジーは、協調、交渉、仲介、集約といった社会的な営みを代行するソフトウェア（＝エージェント）を実現し、アプリケーションを構築するための技術の総称である。エージェントテクノロジーは、擬人化インタフェースと生命的エージェント技術、代理人技術（情報個人化と間接操作）、サービス統合と仲介、マルチエージェント技術、人間同士のインタラクションの知的支援、標準化などからなる。これらについては、これまで比較的別々に研究開発が行われていたが、2001年を迎えて一斉に実用段階に入るとともに、相互結合されるようになりはじめ、新たな飛躍の様相を呈してきた。

（財）日本情報処理開発協会では、産業界・学会におけるネットワークエージェントに関わる研究開発の現状を調査して、現在の動向を取りまとめるとともに、今後の研究開発の進め方について提言をまとめることを目的として1999年度から2年間の予定で「ネットワークエージェント技術委員会」を設置した。この委員会は、学術的視点よりも、ビジネス・産業応用の視点に重点をおいたものであり、主たる構成メンバーは、わが国でエージェント技術開発において先進的な取り組みを行っている企業における研究開発リーダーたちである。初年度は、現在のエージェント技術の分析を行い、エージェント技術への期待、エージェント技術の現在のレベル、エージェント技術の今後の課題を明らかにすることをめざした。

平成11年度の調査で、ネットワークエージェント技術は産業フロンティアを拓く情報技術として、電子商取引、デジタルライブラリ、デジタル放送、CAD-CIM、コミュニティビジネスなど広範なアプリケーションへの有効な適用が期待されることが裏付けられた。また、エージェント構築用プラットフォームの間のインターオペラビリティを図るための標準化活動についても進展がみられた。

本委員会の平成12年度の活動は、産業界・学会におけるネットワークエージェントに関わる研究開発の方向に関して専門的な観点から広く討論を行い、ビジョンを提出すること、また、そのビジョンを実現するために公的・非営利的な組織が行うべきアクションプランを明確にすることを目的とし、本委員会で得られた知見が多く技術者に活用されるように、成果を広く公開することを試みた。

- (1) エージェント技術の有望なフロンティアの同定
- (2) エージェント技術体系の明確化
- (3) エージェントシステム開発方法論
- (4) エージェント技術の適用のための方法論
- (5) エージェント技術の標準化のためのアクションプラン
- (6) エージェント技術を活用した有望なビジネスモデル

これらの項目について調査を進めるため、「技術体系化」、「プラットフォームと標準化」、「アプリケーション・ビジネスモデル」、「インタフェース・コミュニケーション・コミュニティ」の4テーマについて分科会にわかれて集中的な討論を行ない、ネットワークエージェント技術の今後のビジョンと技術展開の提言作りに取り組んだ。

分科会討論を中心とした6回の委員会に加えて、2001年1月24日には、各分科会での検討の中間報告とそれに基づく討論を行うため公開のワークショップを開催した。このワークショップでは、各分科会委員によるパネル討論を行い、100名超の参加者とともに、エージェント技術の現状と展望について熱心な討論が展開された。

本報告書では、こうした討論に基づいて、エージェント技術の体系化、プラットフォームと標準化、応用に関して、これからの技術開発と利用のあり方について議論し、展望を示す。

この他に、今年度は国内外における電子商取引へのエージェント技術の適用事例について委託調査を行うとともに、海外調査も実施した。ワークショップ記録も収録した。

2.2 基本的な視点 — エージェントと創るインタラクティブネットワーク

エージェントテクノロジーは、協調、交渉、仲介、集約といった社会的な営みを代行するソフトウェア(=エージェント)を実現し、アプリケーションを構築するための技術の総称である。エージェントテクノロジーは、擬人化インタフェースと生命的エージェント技術、代理人技術(情報個人化と間接操作)、サービス統合と仲介、マルチエージェント技術、人間同士のインタラクションの知的支援、標準化などからなる。これらについては、これまで比較的別々に研究開発が行われていたが、2001年を迎えて一斉に実用段階に入るとともに、相互結合されるようになりはじめ、新たな飛躍の様相を呈してきた。本項では、エージェントテクノロジーの現状を俯瞰する。

2.2.1 はじめに

エージェントテクノロジーは、20世紀の最後の数年間に凄まじい勢いで構築されはじめたデジタルネットワークインフラを背景に急速な勢いで開発されてきた。ネットワークインフラは、生活においてもビジネス・産業においても限らない可能性を秘めている。エージェントテクノロジーは、ネットワークインフラのもたらすポテンシャルを最大限に引き出すことを狙ったものであり、人間と直接インタラクションを行うインタフェースのレベルから、サービス構築の基盤になるレベルまでの広がりがある。

エージェントテクノロジーは、擬人化インタフェースと生命的エージェント技術、代理人技術(情報個人化と間接操作)、サービス統合と仲介、マルチエージェント技術、人間同士のインタラクションの知的支援、標準化などから成り、これまで比較的別々に研究開発が行われていたが、2001年を迎えて一斉に実用段階に入るとともに、相互結合されるようになりはじめ、新たな飛躍の様相を呈してきた。この背景には、オントロジーや音声認識・合成や人工ペットなど周辺技術の進歩と、eコマース、情報家電、コミュニケーション支援などの種々のアプリケーションで新たな付加価値が求められるようになってきたことがある。

2.2.2 エージェントとは

従来、「エージェント」とは、「ユーザから一定の権限を委嘱され、ユーザの代理としてサイバースペースのなかで活動し、ユーザに対してさまざまなサービスを提供する知的ソフトウェア」とであるとされてきた。概念的には、代理人としてのエージェントはユーザから見たエージェントの姿であり、動作主としてのエージェントはネットワーク上で自律的に行動するソフトウェアと言うシステムの視点から見たエージェントの姿であると考えることができる。つまり、

エージェントはインターネット上で社会的相互作用（協調・連携・交渉）しながら、ユーザの代理人として活動する知的ソフトウェアであり、ユーザともマルチモーダルインタフェースによって社会的・情動的なインタラクションをする。

という表現によって、エージェントが特性づけられてきた。

エージェントの出現をもう少し大きな流れの中で捉え、エージェントは、人工システムの内面・外面の両方における擬人化への志向である、つまり、

エージェント＝外面・内面において人間を擬していて、人間のように異なる場所に自在に移動して委託された作業を行い、人間社会に参加したり、自分たちの社会を自律的に構成する能力を持つ人工システム

と位置づけることができる。

エージェントを含んだアプリケーションでは、能動的なエンティティであるエージェントだけではなく、エージェントが活動する空間や組織、エージェントの処理対象となる情報や知識の扱いまでを視野に入れる必要があることに注意しなければならない。特に、オントロジー、ヒューマンコンピュータインタラクション、グループ・コミュニティ支援システムなどの視点は重要である。

現在のエージェントテクノロジーの俯瞰図を図表 2-1 に示す。

人間との直接的なインタラクションに関わる「見えるエージェント」に関わる面では、エージェントテクノロジーは、ネットワークインフラの上で人間の代理人として行動する新しいソフトウェア — エージェント — を導入することによって人知を拡張し、人間をサイバースペースの上で自在に活動するいわばスーパープロデューサーやスーパーコンシューマーに拡張するための手段を提供する。エージェントは、人間とサイバースペースの知的なインタフェースとして機能し、人間の限られた能力を、サイバースペースの巨大性と複雑性にマッチさせる役割を果たす。

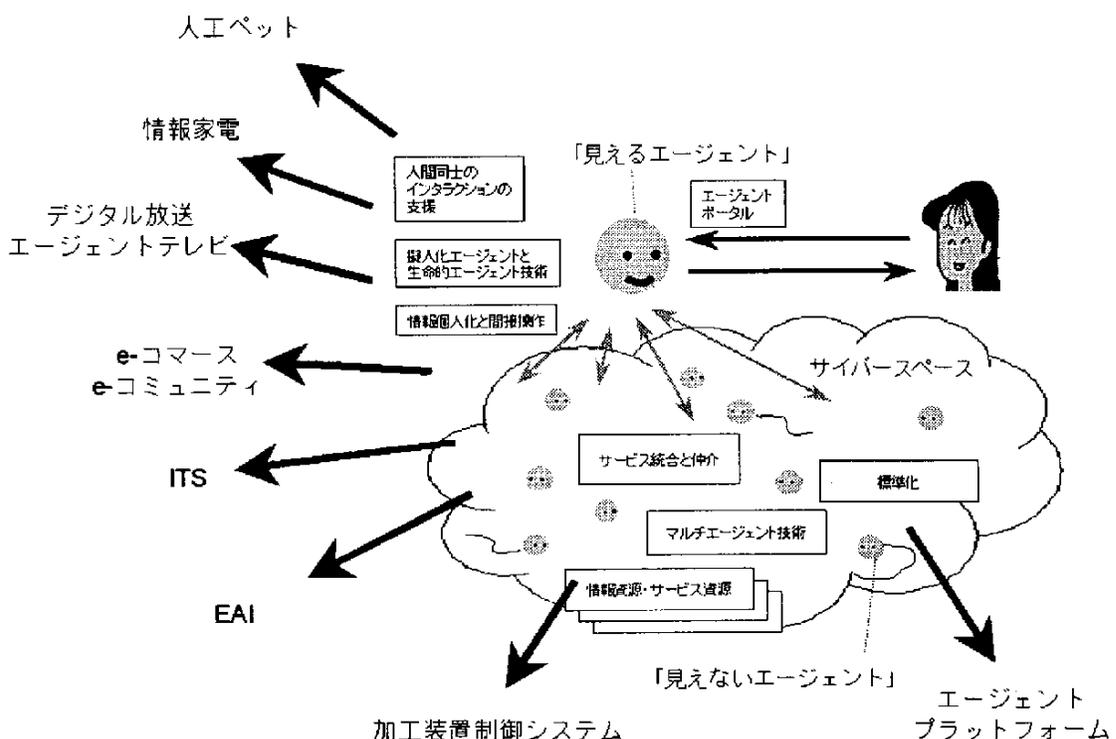
サービスコンシューマーの立場から見ると、エージェントは、人間のガイドとなってサイバースペースのなかを自在に探訪し、無数のサービスプロバイダーのなかから最適なものを選び出したり、興味ある商品のウォッチをしてその動向を知らせたり、専門的な知識に基づいて人間から託された取引 — 例えばオークション — を短期間にやっつけてのけたり、遊び相手として人間を楽しましたり、パートナーの候補を見つけ出したりする。サービスプロデューサーの立場から見ると、エージェントは、数少ないサービスパーソンのアシスタントとなって複雑なプロダクトの活用方をサービスコンシューマーにガイドしたり、逆にコンシューマーの生の声を拾い上げたりすることによって、コンシューマーを楽しませながらきめ細かな高付加価値型のサービスを提供したいとき役立つ。これらの話題は、情報個人化と間接操作の問題として捉えることができる。

インタフェース面では、画面上のキャラクタとマルチモーダルインタフェースによって対話する方式のインタフェース（エージェント指向インタフェース）を提供し、サイトの提供するサービスをユーザに案内するエージェントポータルの実現を可能にする。さらに、擬人化の側面を強調すると、人工ペットや生命的エージェントとしてユーザへのエンターテインメント提供の側面が強くなる。

サービス構築の基盤レベルに関わる「見えないエージェント」については、エージェントテクノロジーは、異なるサービスを統合するためのミドルウェアとして位置づけることができる。エージェントテクノロジーは、さまざまなサービスを仲介したり、それらを連携させて高価値のサービスを作り出したりするための技術を提供し、ユーザが求める機能とシステムが提供する機能を結び付ける役割を果たす。ネットワークに接続されるコンピュータは停止することなく自律的に動作と学習をしつづけることによって大きな価値を発揮する。そのようにして生成された自立的なサービスを統合することによって、より大きな価値が生まれることが期待される。企業情報システム、企業間業務アプリケーション連携、次世代生産システム、ITS 上のナビゲーションサービス、デジタル放送での番組流通、スマートな情報家電など、応用範囲は広い。

エージェントプラットフォーム技術は、種々のエージェントシステムを構築するためのプラットフォームを実現するためのものである。エージェント標準化は、エージェントシステムのインターオペラビリティを実現するための標準仕様を策定する。マルチエージェント技術の導入によって、これからは多数のアプリケーションの連携が自己組織的に形成されていくような進んだシステムの展開も期待される。

人間と直接関わるインタフェースの面においても、ミドルウェアの面においても、エージェントテクノロジーは人間とソフトウェアの織り成す、進んだインタラクションを作り出す技術であるといえる。



図表 2-1 エージェントテクノロジーの俯瞰図

もう一つ忘れてはならないのが、人間同士のインタラクションの知的支援技術としての位置づけである。エージェント技術は、人間関係の形成や交渉など人の媒介（エージェントに媒介されたコミュニケーション）する知的プログラムの実現に関わる。情報化の進展により、人間は情報にこれまでよりはるかに敏感になり、人間同士の関係は、これまで以上に洗練され、微妙なものになっていくだろう。エージェントのもたらす内面的な擬人化、すなわちエージェントとのインタラクションで対人関係の場合と類似の心的効果が生じることは、人間同士のコミュニケーションにも一定の貢献をするだろう。例えば、出会い、仲介、交渉の支援にエージェントを使うことが考えられる。

2.2.3 自律サービスの提供とその統合

文献〔1〕に報告されている、エージェント技術のビジネス・産業応用の事例は、企業情報システム（EAI（Enterprise Application Integration）、情報統合、ナレッジマネジメント）、電子商取引、加工装置制御システム、高度道路交通システム（ITS: Intelligent Transport Systems）、デジタル放送とエージェントテレビ、情報家電と多岐にわたっているが、技術開発を必要とする課題設定について次のような共通性がみられる。

- (1) 既存の情報環境の不均質性に対応したい。組織の内外で集積された文書やデータを一様なインタフェースで利用したいというニーズが大きい。しかし、さまざまな理由で、多種多様な DBMS や文書管理システムが現に使われており、項目名、内容、構造、管理システムの面での不均質性が高い。また、リプレースや、運用変更などによる問題解決は多大なコストの発生が予想されるばかりでなく、技術進歩の速さにより長期的な解決にすらならない。新たな開発コスト、運用コストを発生させることなく、さまざまなサービスを連携させて、新たな価値を作り出したい。
- (2) システムの分散コンポーネント化。システム構成を、共通的なインタフェースでアクセス可能なバスと、それに接続されるコンポーネントのフラットな集まりをもつアーキテクチャに基づいて構成することにより、システムの拡張・分散化・拡大・オープン化・重点的な性能向上ができるようにしたい。システムを企業間のデータ交換や取り引きに利用しようとする、新たにセキュリティの問題など、イントラネット上に分散しているときにはなかった問題が発生する。
- (3) 分散した多数のサービス・コンテンツ生産サイトと諸費サイトの間を動的に結び付けたい。この問題は、電子商取引の販売者と購入者、デジタル放送の番組供給者と視聴者のように人間が絡む場合だけでなく、情報家電におけるプラグ・アンド・プレイのように、サービス間の連携（例えば、レンタルした高品位映像出力装置を家庭内のネットワークにプラグインすれば、それを家庭内のあらゆる装置の映像出力装置として利用できるようにすること）を自動的に生成したいときにもあてはまる。
- (4) 多様化し変化するニーズに応じた動的な組織形成。例えば、加工装置制御システムの領域では、従来の少品種大量生産を前提としたラインは、現在のオーダーメイドないしは多品種少量生産にはマッチしない。

- (5) **インタラクションのモジュール化。**通信技術の急速な進歩で、従来は不可能であったところでも、通信サービスが受けられるようになった。反面、通信サービスは不均質であり、高速で安定した接続が出来るところから、低速で不安定な接続しか出来ないところまでひろがりが生じた。自動車で移動中にインターネットに接続している状況を考えると、一定時間良好な接続を保ったまま WWW を閲覧するなどの情報サービスを受けるという使用形態は考えにくい。むしろ、一定のまとまった要求を、接続状態が良好で安価な場所でネットワークにアップロードし、後刻処理結果をダウンロードするという方式のほうが妥当であろう。
- (6) **サービスへの付加価値。**モノを売ることからサービスを売ることにウエイトがシフトした。高品位で新規性の高い付加価値を持つサービスのデザイン・実装・運用までに要するコストと時間を短縮する技術への需要が大きい。

上記のような問題に対して、ネットワーク上での情報流通とサービス統合の技術、エージェントプラットフォーム技術、エージェント標準化などを適用した取り組みが行われた [1]。これらの取り組みに共通する特色は次のようなものである。

- (1) **コンポーネントの自律化。**システムのコンポーネントを共通言語によってインタラクトするエージェント化することによって、大きな柔軟性が得られる。例えば、多様な要求にすばやく対応できる柔軟性をもつ次世代生産システムを実現するために、移動エージェントと分散オブジェクト技術を導入し、成果をあげたという報告がある (文献 [1]、p. 36~)。提案された生産システムは、顧客の注文した製品に関するレシピをもつ製品エージェント、加工装置に対応した装置エージェント、加工プロセスを管理する管理エージェントから成る分散システムとして構成されている。
- (2) **仲介。**仲介は、エージェント技術の最も基本的な貢献の一つである。情報要求と情報提供をマッチングすることにより、分散した情報源からの情報をひとまとめにして、提供できるようにする。電子商取引、企業内情報統合、デジタル放送とエージェントテレビ、情報家電におけるユニバーサルなプラグ・アンド・プレイなどで使われている (文献 [1]、2 章、3 章)。仲介技術を使うと、各時点で最適な相手を見つけることができるので、次々に新規サービスが生まれるような状況で特に有効である。
- (3) **情報の個人化。**エージェントに、エンドユーザの嗜好や属性に関するプロフィールを与えたり、学習的に獲得させたりすることにより、個人に特化された情報提供が可能である。情報の個人化が有効なシーンは、B2C の電子商取引や、デジタル放送の受信機のように、エンドユーザへのサービスの個別化が求められるケースである。
- (4) **プランニング。**プランニングは、刻々と変化していくサイバースペースで、要求が発生したときに動的にサービスをバンドルする機構であり、ITS のように移動体環境では、不可欠である (文献 [1]、p. 44~)。プランニングの存在は、目的を達成するために必要な資源確保 (例えば、車で食事に行くときの駐車スペース確保) などは自動的に行うので、ユーザをわずらわしい作業から解放するというメリットがある。また、プランニングは仲介サービスの存在を前提としているので、仲介のもつ長所はそのまま利用できる。

- (5) ラッパー。ラッパーは、既存ソフトの外部に追加される「変換器」である。ラッパーの取り付けられた既存ソフトは、見かけ上他のエージェントと共通言語でインタラクトする「エージェント」になる。既存システムの活用において大きな役割を果たす。
- (6) 移動エージェントによる抽象化。移動エージェント技術は管理主体の異なるプラットフォームをつないでデータ転送、イベント通知とモニタリングなどの一連した作業を行う場合に、わかりやすい抽象化をもたらす。プラットフォーム間のインタラクションを移動エージェントに限定することにより、セキュリティの問題も集中的に扱うことができる。このような観点から、移動エージェントによるサービス取次ぎはサービスブリッジと呼ばれ、EAI への応用の重要な要素になっている（文献〔1〕、p.19）。また、異なる移動エージェントプラットフォーム間を連携させるための技術もできつつある。

2.2.4 エージェントに媒介された電子商取引

最近、エージェント技術の電子商取引への適用を目指したエージェントに媒介された電子商取引 (Agent-Mediated Electronic Commerce)〔2〕への関心が高まっている。取引のモデルに関しては、6つのステージにわたる CBB(Consumer Buying Behavior)モデルが知られている。このモデルでは、購入行動を

- ・ 需要の同定(need identification)：購入者が、製品情報に刺激されてまだ満足されていない必要性を認識する段階。
- ・ 製品の仲介(product brokering)：何を購入するかを決定する段階。購入者は、情報を収集し、自分で設定した基準によって製品候補の評価を行う。この段階の出力は、考慮集合と呼ばれる。
- ・ 販売者の仲介(merchant identification)：考慮集合と、販売者情報を組み合わせて、どの販売者から製品を購入するかを決定する。
- ・ 交渉(negotiation)：取り引きの条件を決定する。
- ・ 支払いと配達(payment and delivery)
- ・ 製品のサービスと評価(service and evaluation)

電子商取引の観点から見ると、エージェントテクノロジーを含む次のような技術が貢献するとされている〔4〕。

- ・ 推薦システム：内容フィルタリング、協調フィルタリング、制約の利用
- ・ ユーザインタフェース：人との接点で使われる。人間から見ると、エージェントの信頼性が重要であり、知的なエージェントよりも、単純で把握しやすいエージェントのほうが好まれると言う。
- ・ 交渉メカニズム：ネットワークオークションは最近注目を浴びている技術であるが、価格に直接関わる交渉のほかにも保証条件や引渡し時期などに関する交渉を代行するエージェントの研究も進んでいる。
- ・ インフラストラクチャ、共通言語とプロトコル：電子商取引システムを実現する基盤である。

最後の指摘は重要である。現在、産業界で実問題にエージェント技術が採用されているのは、知的な情報処理の実現が評価されたからではなく、サービス統合のためのミドルウェアとしてエージェント技術が評価されたからである。その上にどのような価値を作り出せるか、これから問われることになる。

2.2.5 人と人をつなぐメディアとしてのエージェント

最近、関心が高まってきた考え方に、エージェントに媒介されたコミュニケーション (Agent-Mediated Communication)、すなわち、人間と人間をつなぐメディアとしてエージェントを位置づけようというものがある。ここでは「人と人をつなぐメディア」をできるだけ広義に解釈し、仮想的なキャラクタがサイバースペースを案内するナビゲーションエージェントや、アーティストが作り出した人工ペットやキャラクタもこのなかに入りたい。要は、エージェントは、直接的あるいは間接的な人と人のコミュニケーションを支援し、発展させる役割をする。

基本的な技術は、個人化と擬人化に大別される。個人化は、ユーザ個人のプロフィールを利用して個人に特化したサービスを提供することである。擬人化は、人間や動物のキャラクタを画面上に表示して、マルチモーダル対話を可能にする技術である。

擬人化に対する批判が根強く残っている。それは、現状のシステムは、音声認識ミスや貧弱な状況認識能力のために、ユーザから見ると擬人化されたエージェントの背後には高い知能が控えていることが予測されるにもかかわらず、その期待を裏切りかねないので、擬人性を強く主張せず、

- ・個人性だけを主張する。
- ・擬人的な存在としてよりもペットとして位置付ける。
- ・テレフォニーサービスのように限られたメディアだけにする。

くらいに留めておけば、受け入れられる可能性はあると言われている。

換言すると、発話と状況理解・行為のプランニング・発話生成という「まともな」アプローチをとると種々のフェーズで困難が生じ、エージェントの不適切な振舞いや応答拒絶といった破滅的状况が起こる可能性が高い。

しかし、会話に関する種々の手法(たとえば、ELIZA で用いられていた、内容の浅い理解に基づく応答生成)の有効性はすでに確認されつつあり、Extempo 社の擬人化エージェントやゲームソフト「シーマン」などに採用され、効果をあげはじめている。また、擬人化のレベルもかなり「ビリーバビリティ」(人間にとって、相手が人工システムであると言う違和感を忘れさせて、会話に引き込む)が高まってきている。

より本格的な言語的・非言語的なインタフェース機能と身体を持つ会話エージェント (embodied conversational agents) の研究も進み、話しかけることのできるエージェントの出現も近い。

2.2.6 プラットフォームと標準化

エージェントプラットフォームは、エージェントシステムを構築するためのプログラミング開発・実行環境である。試用版をネットワークからダウンロードできるものも多い。

最近、エージェントの標準化やビジネス化のための団体の活動が活発化してきている。これらは、エージェント技術の研究開発に携わる人々が協議して、個別に研究開発してきたシステム間のインターオペラビリティを確保することをねらったものである。なかでもFIPAは、開発に先立って仕様を定めるアプリオリ標準化の手法を積極的に展開している。

エージェント標準化に関する取り組みは、FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents)、OMG (Object Management Group) における ADSS DSIG、OMG Agent Working Group などで行なわれている。こうした活動は参加企業のメンバーのボランティアに支えられた NPO (Non-Profit Organization) という形で進行している。わが国企業からの発言も貢献もかなり大きい。FIPAには、日本から Director (役員) を含め、常時複数名参加しているし、OMG ADSS DSIG は日本企業が中心的役割を果たしている。これらの活動は世界からの関心も高く、参加はしなくても動静を見守っているウォッチャーの数は多い。

現状では、エージェント標準化への取り組みで一番進んでいるものは、1997年10月付けの仕様案(FIPA97)を公表したFIPAであるように思われる。しかしながら、その後提出された仕様案はFIPA97と整合性が取れたものになっていなかったため、FIPAは仕様案の再検討と仕様策定のプロセスの再構成を強いられ、表面上では一歩後退することになった。2000年1月のロンドン会議で新しい仕様策定プロセスに向けて大筋合意が取られ、4月から新方式による成果が出始めることが期待されている。ADSS DSIGは1997年11月にWhite Paper、OMGのAgent Working Groupは1999年12月24日にGreen Paper (version 0.9)を出したところであるが、これらの活動の間の人の行き来も活発であるので、FIPAの経験が別の標準化に直接活かされる可能性も高い。

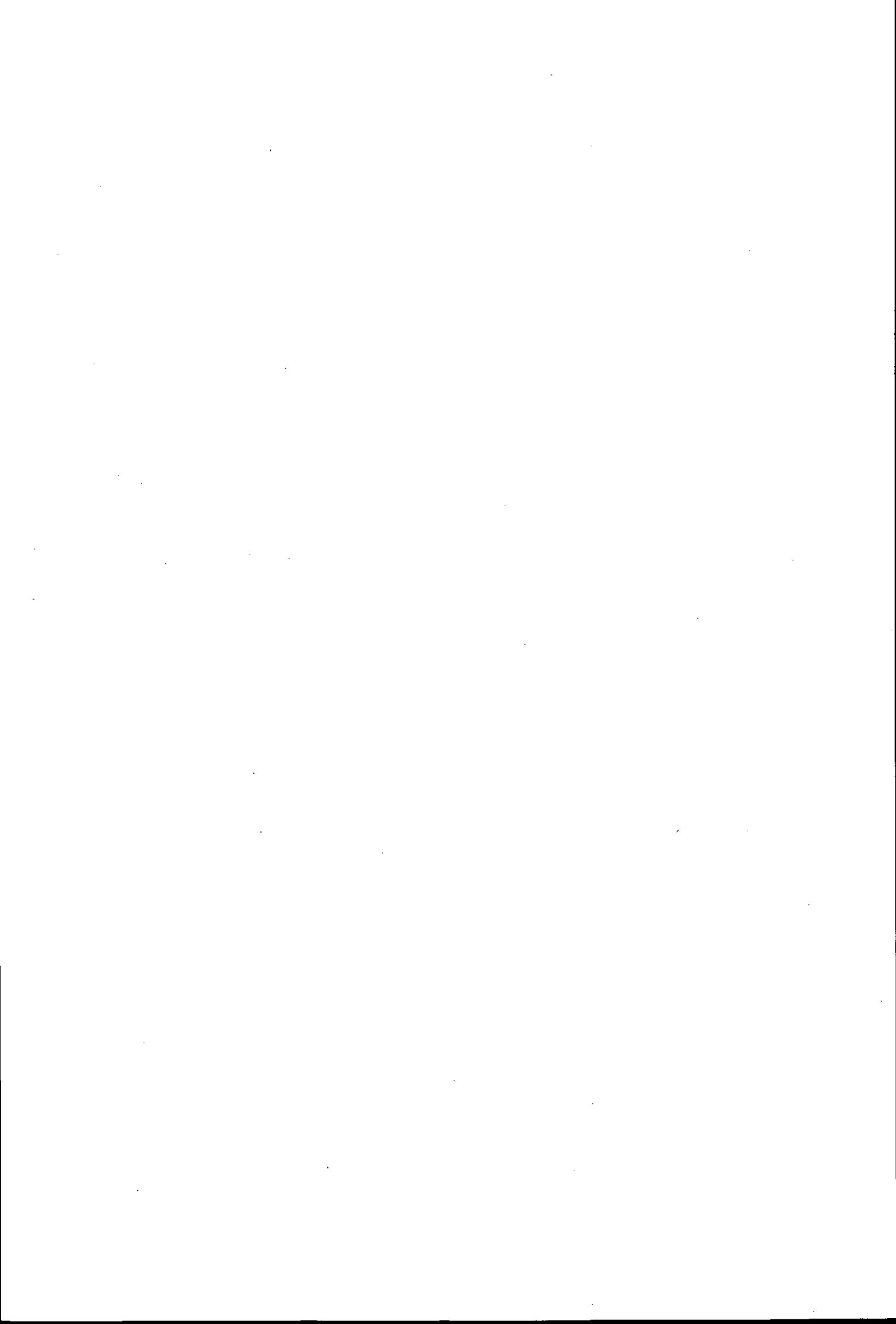
エージェントの産業応用を普及するためには、標準化において決済や信用・信頼性・安全性の確保まで含めた取り組みをきちんとすることが急務であろう。現在の標準化で成果になりそうなところは、まだエージェントシステムの枠組みと相互運用性やエージェント通信言語にとどまっておき、これらだけでは本格的なビジネス応用は困難であろう。しかし、標準化活動における信用・信頼性・安全性への取り組みはまだ本格化していない。エージェントテクノロジーをビジネス応用に本格的に適用していくために取り組まなければならない課題である。

2.2.7 まとめ

ビジネス・産業応用の視点に重点をおいて、最近の応用指向のエージェントテクノロジーを、自律サービスの統合、人と人をつなぐメディア、プラットフォームと標準化という観点から俯瞰した。

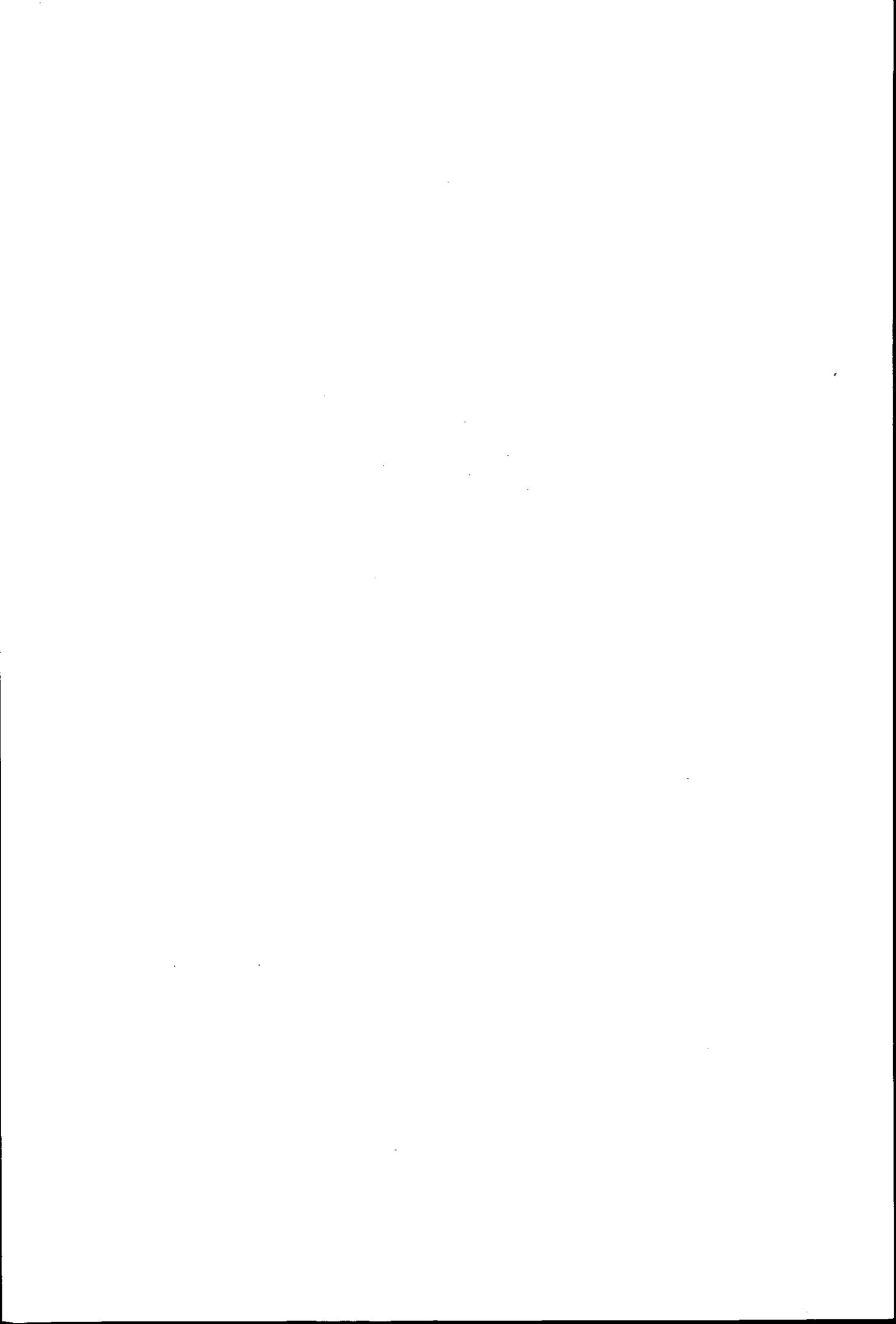
参考文献

- [1] ネットワークエージェント技術委員会：次世代ネットワークと産業フロンティア情報技術に関する調査研究報告書－ネットワークエージェント技術－，11-R001，日本情報処理開発協会，2000.
- [2] Robert H. Guttman, Alexandros G. Moukas, and Pattie Maes: Agent-Mediated Electronic Commerce: A Survey, The Knowledge Engineering Review, Vol. 13, No. 2, pp. 147-159, 1998.



第 I 編 本編

3. エージェント技術展望



3. エージェント技術展望

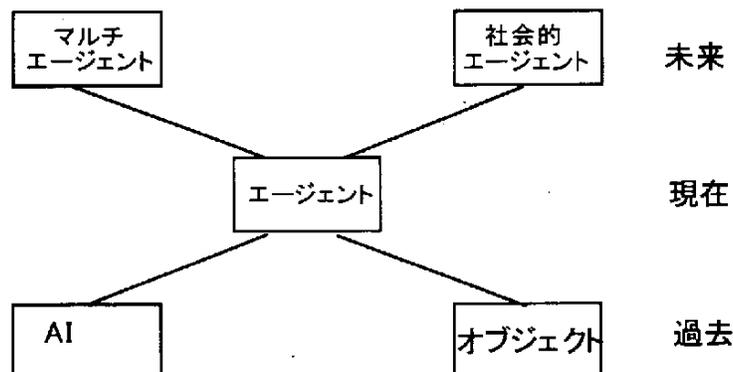
3.1 エージェントの過去・現在・未来

「エージェント」という用語はインターネット上にあふれている。例えば、「エージェント」を検索エンジン (<http://www.goo.ne.jp/>) で検索すると 69,227 件ヒットする (2001 年 3 月 1 日現在)。これに対して「人工知能」で検索すると 27,448 件しかヒットしない。エージェント研究者の間では「エージェント」は「人工知能」の一つのカテゴリと認識されている向きがあるが、インターネット上ではその順序は逆転しているといってもいいのかもしれない。

もちろん、「エージェント」の検索結果には、人工知能が対象とするエージェント技術だけではなく、不動産や人材派遣などの代理業者を意味するエージェントも多く含まれている。これはエージェントという用語自体に、もともとさまざまな意味が存在することからくるものである。例えば英和辞典 (研究者リーダーズ英和辞典) で agent の意味を調べてみると、代行者、代理人、代理業者、代理店、販売外交員、保険外交員、政府職員、官吏、諜報員、スパイ、ある行為をする人、動因、動作主、化学変化を起こさせるもの、薬品、病原体、などといったものが現れる。このようにエージェントは非常に広い意味合いをその語の中に包含しているので、それがさまざまな意味で用いられていることも納得できる。

現在、エージェントの定義として最も広く用いられているものは「利用者の代理として動作するソフトウェア」であろう。しかしこの定義はほとんど実用的な意味を持たないといっても良いかもしれない [Petrie96]。どうのも実世界に存在するほとんどのソフトウェアは何らかの形で利用者の代理として動作しているからである。例えば、表計算ソフトは利用者の代わりに何らかの計算処理をしてくれるであろうし、ワードプロセッサは利用者の代わりに文書作成や印刷を行ってくれる。したがって代理ソフトウェアというのは確かにわかりやすい定義といえるが、その意味する範囲があまりにも広すぎる。

そこで、本節では技術用語としての「エージェント」を図表 3.1-1 に示すように、過去、現在、未来の視点から、もう一度整理し、議論してみようと思う。まず過去の視点からはエージェントのルーツ (特に AI とオブジェクト) に関して、現在の視点からはエージェントの現状や分類、そして未来の視点からはエージェント技術の展望 (特にマルチエージェントと社会的エージェント) について述べる。



図表 3.1-1 エージェントの過去、現在、未来

3.1.1 AI からエージェントへ

(1) エージェント：AI の新しいアプローチ

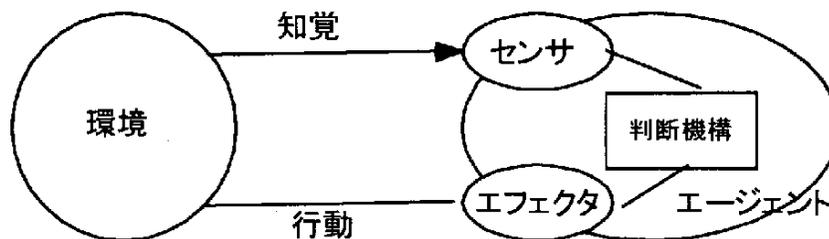
Stuart Russell と Peter Norvig による人工知能の教科書 “Artificial Intelligence: A Modern Approach” [Russell95] では人工知能の新しいアプローチという視点からエージェントを定義しようとしている。その中で Russell らは従来の人工知能の定義を「人間のように考えるシステム」、「合理的に考えるシステム」、「人間のように行動するシステム」、「合理的に行動するシステム」の4つのカテゴリに分類しており、「合理的に行動するシステム」を研究することがエージェントアプローチであると主張している。エージェントアプローチを他のアプローチと差異化する重要なポイントはエージェントを「行動するシステム」として捉えようとしていることである。

すなわちエージェント以前の従来の人工知能はシステムが「どう行動するか」ということよりも、「どう考えるか」ということを重視していたといえる。もちろん、知的に行動するには、その前に十分な思考が重要であることから、思考の重視は当然といえるかもしれない。しかしながら従来の人工知能では、人間の思考能力を細分化して、断片的に議論してしまう傾向があった。例えば、多くの教科書が探索、論理と推論、知識表現、プランニング、学習などに章立てされて、それぞれの知的技術について解説を行っているが、それらを統一的に結びつけるに十分な枠組みが存在しているとはいえなかった。

それに対してエージェントアプローチでは、センサとエフェクタを持つエージェントという実体を定義し、それを（「人間のように」というよりは）「合理的に」あるいは「賢く」行動させるための技術を研究する。すなわち「思考」よりも「行動」を重視することにより、箱庭的なトイ問題を扱う断片的な知的技術の開発よりも、実世界における問題解決を対象とする統合的なシステムの実現を目指しているといえる。

(2) エージェントの構造

センサとエフェクタをもつエージェントの構成要素は図表 3.1.1-1 に示すようなものとなる。



図表 3.1.1-1 エージェントの構造

エージェントはそれが置かれている環境の状態をセンサを関して知覚し、その状態に応じて判断機構が行動を決定し、エフェクタを介して環境にその行動を反映させる。したがってエージェントとは、ある環境をセンサで知覚し、その環境にエフェクタを通して動作するものと定義できる。しかしながら、この定義はセンサ、エフェクタの意味に依存する

ところが大きい。例えば、センサ、エフェクタをそれぞれ単なる入力と出力と定義するならば、ほとんどのプログラムをエージェントと見なしてもよいように思える [Franklin97]。そこでセンサとエフェクタの意味を議論しておこう [Wooldridge99]。

センサ、エフェクタとはプログラムの単純な入力、出力を意味するものではない。センサ、エフェクタとはそれぞれ、エージェントが置かれている環境を直接認識したり、働きかけをしたりするモジュールのことである。例えば、自走ロボットであればセンサである CCD カメラを通して環境を認識し、エフェクタであるモータを利用して環境を移動する。それに対してプログラムの入出力はより一般的な概念であり、環境との直接的なインタラクションを必ずしも前提とはしておらず、そのインタラクションには人間の介在を前提としている事が多い。例えば、家計簿プログラムは、ある家庭の金銭の収入、支出を管理してくれるソフトウェアであるが、そのベースとなる金額データは利用者がキーボードを介して入力しなければならない。また家計が赤字になったとしても、ディスプレイ上に赤いフォントで表示されるだけであり、利用者に対してそれ以上の働きかけは行われない（利用者が気がつかなければ何の効果もない。）。それに対して（未来の理想的な）家計簿エージェントは金銭の出入りの監視を直接行う。例えば、利用者がインターネットショッピングで買物をすればその請求はショッピングサイトから家計簿エージェントに送られ、家計簿エージェントは銀行サイトにその振込みを依頼することになる。また家計が赤字になると、その旨を伝えるメールを利用者に送りつけ、注意を喚起することになる。

(3) エージェントの自律性

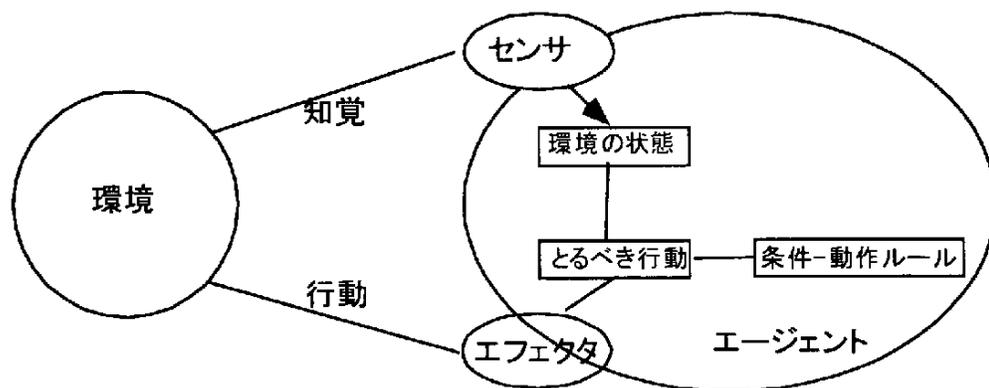
エージェントが通常のプログラムと異なる大きな特徴として、その自律性があげられる [Wooldridge99]。自律性とはエージェントの行動の判断基準がエージェント自身の中に組み込まれているということの意味している。これはプログラムを記述する一般的な枠組みであるオブジェクト指向との違いを考察することにより明確にできる。一般的にオブジェクト指向言語では、メソッド起動の制御はそれを外部に対して公開するか (public 宣言するか) どうかによってしか制御することができない。一旦、あるメソッドを公開すれば、外部からは自由にそのメソッドを起動することができ、オブジェクトはその制御を行うことができない。それに対して、エージェントではアクション (オブジェクト指向におけるメソッド) 起動の判断は内部的にエージェント自身が行う。すなわちエージェント間ではアクションの起動を直接命令しあうことはまれであり、通常は request メッセージを送りあうことになる。すなわちエージェント A があるアクションの実行を依頼する request メッセージをエージェント B に送ったとしても、エージェント B は無条件にそれを実行するのではなく、状況に応じて (例えば、2つ以上のエージェントから request メッセージを受け取った場合のみ) それを実行する。もちろんこのような判断機構はオブジェクト指向言語でも内部的に実装できるが、Java のような従来のオブジェクト指向言語ではそれを形式的には記述する枠組みを備えていない。この意味で、エージェント記述言語と、エージェントの自律性に関する記述を明示的に表現可能にしたものであると定義することができる。

(4) エージェントの知性

エージェントはセンサとエフェクタを備え、自律的な判断機構によりその行動を行うものと定義することができるが、その意味ではサーモスタットは最も単純なエージェントの一つといえるであろう。サーモスタットはセンサにより常に外部温度を観測しており、ある閾値温度を境にスイッチ（エフェクタ）のオンオフを行う。しかし人工知能の立場からエージェントに期待されていることはエージェントの知性であり、サーモスタットより高度な判断機構である。エージェントが知性を備えることにより、より複雑な環境の変化に対して柔軟にふるまうことが可能になる。例えば自走ロボットであれば、置かれている部屋の椅子や机などの配置をセンサにより認識して、それを避けながら目的地まで移動することができるようになる。さらに、障害物で前方がセンサにより認識できないような状況では、一旦移動してから環境を認識することができるようになる。

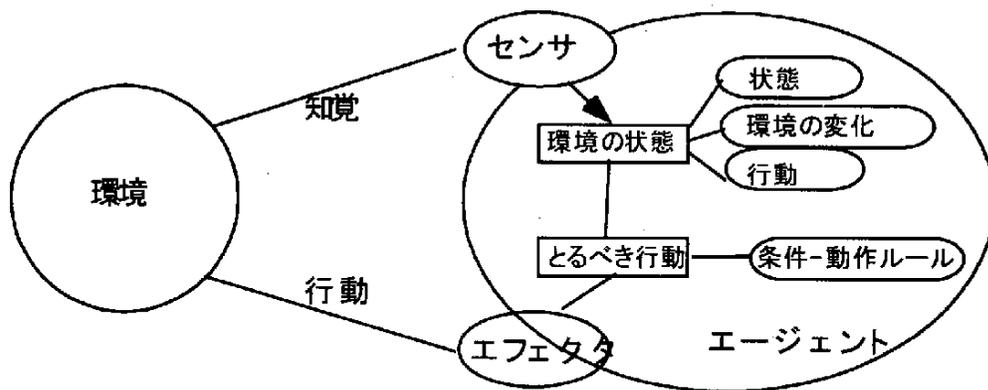
知的機能の高度化したがつて、エージェントは単純反射エージェント、内部状態付き反射エージェント、ゴール主導エージェント、効用主導エージェントへと分類できる〔Russell195〕。単純反射エージェントの構造を図表 3.1.1-2 に示す。エージェントはサーモスタットのようにセンサにより環境を知覚し、その変化に応じてとるべき行動を変えるだけである。この知覚と行動の関係は条件-動作ルールにより記述される。人間のもつ条件反射的な行動もこのようなエージェントによりシミュレートすることができる。

内部状態付き反射エージェントを図表 3.1.1-3 に示す。エージェントが内部状態を持つと、センサから得られる情報が環境を部分的にしか捉えていない場合でも、それを組み合わせて整合性のある行動を行うことが可能になる。例えばカメラをもつ自走ロボットの場合は移動しながら得られる部分的な環境の状態を表すセンサ情報を組み合わせることで全体的な環境の状態を再構成し、それに応じた行動をとることが可能となる。また過去の状態と行動の関係を記憶しておくことも可能になり、エージェントに環境に対する適応能力を与えることができるようになる。

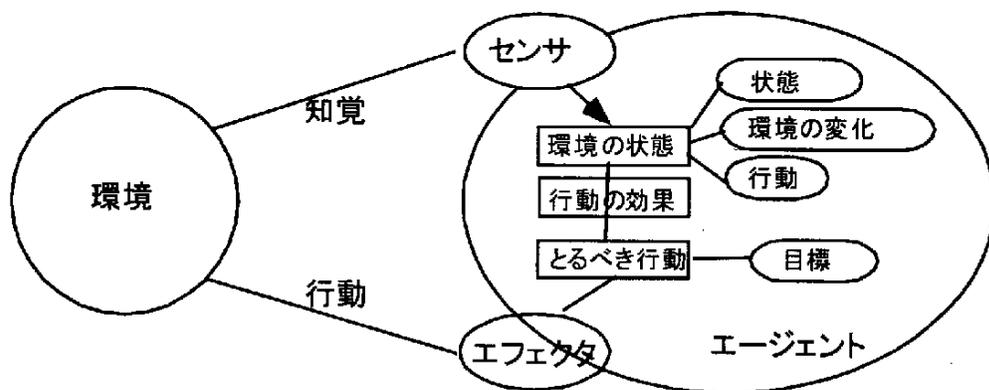


図表 3.1.1-2 単純反射エージェント

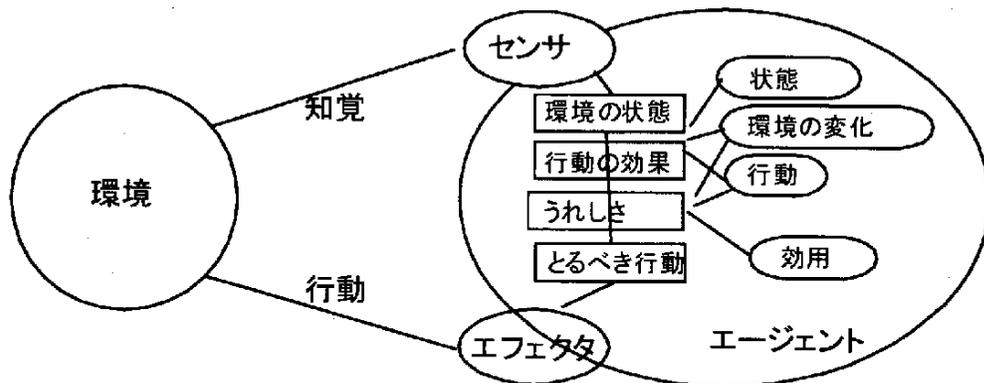
さらにゴール主導エージェントを図表 3.1.1-4 に示す。このエージェントは明確な目標を持ち、その達成が可能ないように行動を選択してゆく。例えば、自走ロボットであれば、明確な目的地が与えられ、そこに向けて障害物を避けながら移動してゆく。これには現在の状態と行動の効果を考慮して、とるべき行動を選択してゆく。このような目的を達成するための人工知能技術として探索やプランニングの技術を利用することができる。



図表 3.1.1-3 内部状態付き反射エージェント



図表 3.1.1-4 ゴール主導エージェント



図表 3.1.1-5 効用主導エージェント

最後に図表 3.1.1-5 で示す効用主導エージェントでは、ある特定の目標を達成するというだけでなく、それをいかにうまく達成するかということを行行動選択の基準とする。ここではゴール達成の「うまさ」や「うれしさ」といった尺度を効用という言葉で表現している。このような効用で表現される評価基準は目的地までの到達コストや時間といった単純で絶対的なものもあれば、ゴール達成において相反する概念であるスピードと安全性の選択といった個人によって異なる相対的なものもある。

(5) エージェントの実例

従来の人工知能における問題解決はパズルやゲームなど、固定された環境を前提としていることが多かった。それに対して、エージェントによる問題解決は環境との相互作用を通して行われ、その環境の変化に対して適応的に動作するという特徴がある。

このようなエージェントシステムの代表例はロボットであろう。ロボットは実世界に物理的に存在することから物理エージェントと呼ぶことができる。現在のロボット技術は旧来の製造ラインにおいて定型的な作業を行うだけのロボットアームから、ホンダの ASIMO や、ソニーの AIBO のように自律的に動作するものが現れている。またロボカップのように複数のロボットが協力してタスクに取り組む試みも注目されている。このような自律ロボットの動作や問題解決を高度化するためにはエージェント技術は必要不可欠になるであろう。

もう一つのエージェントシステムの代表例はインターネット上におけるソフトウェアロボット（ソフトボット）[Etzioni96] あるいは情報エージェント [Klusch99] である。インターネットは仮想的な環境であり、ネットワーク上のサーバにアクセスすることにより情報を獲得することができ、サーバ上に情報をアップロードすることにより全世界に向けて情報発信が可能になる。またインターネットを介してエージェント間でのメッセージ通信も可能である。現在インターネット上には、膨大な量の情報が分散的に蓄積されており、非同期に更新されている。このような情報を扱うには静的な情報源を前提としていた旧来の情報検索やデータベース技術では十分ではなく、新しい情報検索や処理技術が必要とされている。その高度化のためにもエージェント技術は必要不可欠のものとなるであろう。このようなインターネット上での問題解決を行うエージェントとして現在注目されているエージェントとしては、特に以下の三つが存在する。

a) モバイルエージェント

モバイルエージェントはネットワーク上でのエージェントの移動という行動を強調したエージェントである [White97]。これはネットワーク化されたオペレーティングシステムを一つの環境と見立てて相互作用を行っているエージェントと見なすことができる。初期のシステムとしては Telescript [White97] がある。また、第二世代のモバイルエージェントとしては IBM Aglets [Lange98] を始めとして、Java プラットフォーム上にさまざまなシステムが開発された。モバイルエージェントの利点としてはサーバやネットワークの負荷に応じて、エージェント自らが移動することにより柔軟な性能チューニングが行える点である。インターネット上には、高速計算可能なスーパーコンピュータ、大量の記憶容量をもつメインフレーム、個人利用のパーソナルコンピュータ、さらには PDA や携帯

電話など、さまざまな仕様をもつコンピュータが相互接続されている。このような異質な環境においてその問題解決効率を向上させるにはエージェントのモビリティは有用であろう。

b) インタフェースエージェント

インタフェースエージェントは利用者である人間との相互作用を強調するエージェントである [Maes94]。すなわちここでは人間が環境になる。インタフェースエージェントには電子ニュースや電子メールのフィルタ [Maes94]、WWW アクセス支援 [Etzioni96] といった利用者との協調的な問題解決能力を重視したものや、ビリーバブルエージェント [Cassell100] やライフライクエージェント [Ball97] のように、エンターテインメントや人間とのコミュニケーションを重視したものがある。インターネット上には WWW システムをガイドするインタフェースエージェントとして、

Extempo (<http://www.extempo.com/>)、

Haptek (<http://www.haptek.com/>)、

Virtual Personalities (<http://www.vperson.com/>)、

Artificial Life (<http://www.artificial-life.com/>)

などの商用システムもすでに開発されている。さらにはマイクロソフトも MS-Agent の開発に力を入れており、将来の Windows 上にはアイコンではなく、キャラクターが並んでいるような時代が来るのかもしれない。このようなエージェントを高度化するためには、先に述べたエージェント技術だけでなく、ヒューマンインタフェースを強化する技術として、音声認識、自然言語対話、音声合成、画像認識、ノンバーバルコミュニケーションといった技術も重要になるであろう。

c) マルチエージェント

マルチエージェントはエージェント同士の相互作用を強調するものである。ここでは自分以外のエージェントの集合が環境であると見なすことができる。センサネットワークやサプライチェーンマネジメントなどにおけるエージェント同士の協調的問題解決 [Durfee99] や、電子商取引などにおけるエージェント間での取引や交渉などを扱う研究 [Sandholm99] などがある。また複数のエージェントが存在すれば、それらがどのような組織を形成すべきかということも研究課題となる。マルチエージェントシステムの研究はまだまだ基礎的なものが多く、商用システムとして成功する段階までは至っていない。しかしながら、インターネット上でエージェントはさらに複雑な問題解決能力が要求されることが予想され、マルチエージェント技術に対する期待は大きい。

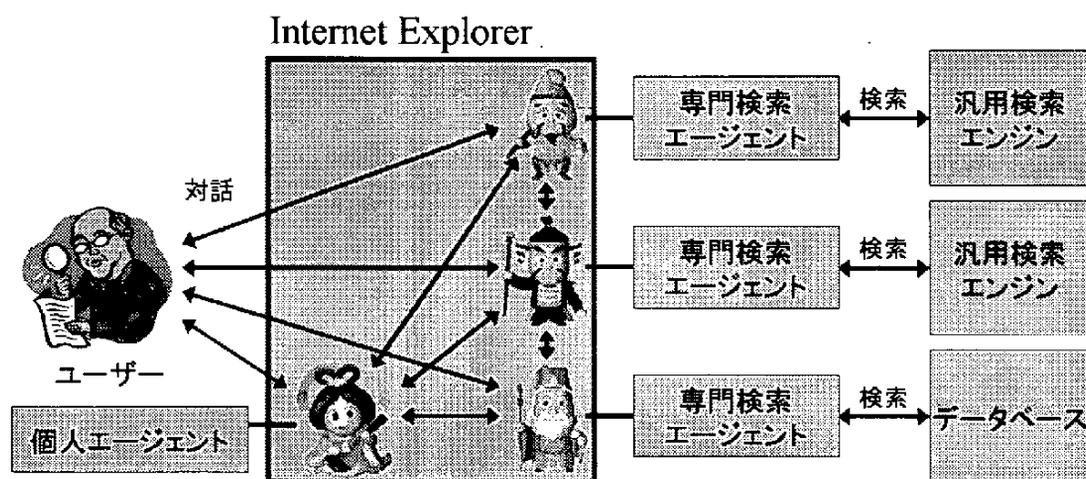
(7) エージェントの未来 : Venus & Mars

インターネットは日本社会においても急速に浸透しているが、今後の社会情報基盤の一つとして日常生活に不可欠でより身近なものになるであろう。現在、その一方でデジタルデバイドがこれからの社会問題として議論されているが、インターネットを誰でも、より簡単に利用するための技術が必要になる。そのためのエージェント技術も今後重要になり、以下のような要求を満たす必要がある。

- a) 自然で簡単なインタフェースにより誰にでも使えること。このようなインタフェースの代表例はキャラクタインタフェースであろう。すなわち自然言語を理解し、人間とコミュニケーションの図れるキャラクタは究極のインタフェースであるといえる。
- b) インターネット上での情報処理を代行してくれること。インターネット上には今後さらに多くの情報が蓄積され、その更新もより頻繁におこなわれるようになるであろう。適切な時期に適切を情報に適切な量だけアクセスすることを支援してくれるようなエージェントが必要になる。そのためにもエージェントが利用者の要求に応じて情報検索の代行をするだけでなく、エージェント側から利用者が興味を持ちそうな情報を逆に提示するような機構も必要になるだろう。
- c) 利用者の要求や好みに応じてカスタマイズ可能であること。利用者の全ての要求に応えられるような万能のエージェントを開発することは困難である。利用者の好みや要求に応じてエージェント自身の動作が変化したり、エージェントを交換したりできるような柔軟なシステム構成が必要になる。
- d) 情報利用者と情報発信者の間でのインタラクションを支援する。現在の WWW ページを仲介する情報共有は静的で非同期のインタラクションを提供しているに過ぎない。情報利用者と発信者の間でよりアクティブで密度の高いインタラクションの仕組みを提供すべきである。

以上のような要求にこたえるエージェントシステムのプロトタイプとしてここでは Venus & Mars (Virtual Environment for Novice User Support and Multi-Agent Recommendation System) [Kitamura00] システムについて紹介する。

Venus & Mars は図表 3.1.1-6 に示すように Internet Explorer 上で動作し、複数のキャラクタエージェントとのインタラクションを通じて情報検索などのインターネット上での問題解決を支援してくれるシステムである。すなわちインタフェースエージェントとマルチエージェントの両方の性質を備えている。

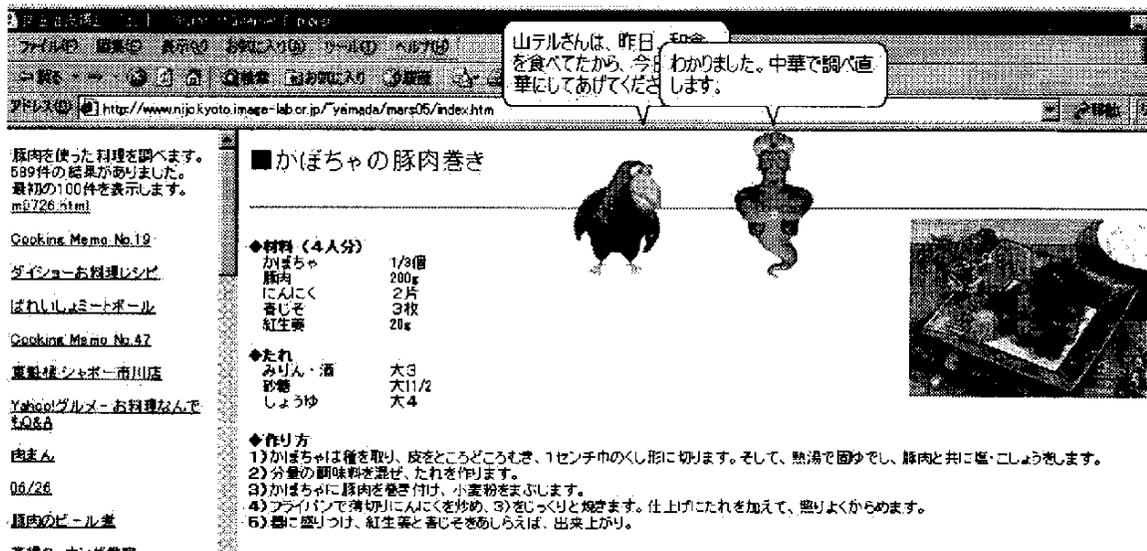


図表3.1.1-6 Venus & Marsシステム構成図

キャラクターは一つのインタフェースエージェントであり、自然言語により利用者との会話が可能である。キャラクターエージェントは専門検索エージェントと個人エージェントの二種類が存在する。専門検索エージェントはそれぞれレシピ検索やレストラン検索などの専門的な検索領域を持っており、利用者の要求に対して、必要なホームページを検索し、提示することができる。個人エージェントは利用者の要求や好みなどのプロフィールを管理して、必要に応じて専門検索エージェントに助言を与える。例えば、利用者の「豚肉を使った料理を食べたい」という要求に対する検索結果が多すぎる場合には、個人エージェントは利用者の好みに応じて、例えば中華料理で絞り込むようにレシピ検索エージェントに助言を与える。このような利用者の好みは利用者の情報検索の過程を監視することにより学習してゆく。もちろん、利用者は個人エージェントの助言が気に入らない場合は訂正することが可能であり、個人エージェントはそのフィードバックを基にさらに学習精度を向上させてゆく。

Venus & Mars のもう一つの特徴はシステムが複数のエージェントから構成されるマルチエージェントシステムになっているところであり、エージェント同士の相互作用を通して情報検索を支援する。例えば一つの専門情報エージェントは「風邪にはシソ料理がお薦めである」というような健康と食に関する知識を有している。このようなエージェントが存在すると「風邪に効く料理を教えてください」という利用者の要求に対して、健康専門エージェントが「風邪にはシソ料理がお薦めである」という検索結果を返し、それに対してさらにレシピ専門エージェントがシソ料理のレシピを検索するようになる。このように複数のエージェントを協調させることにより、単一のエージェントでは検索不可能であった要求が解決可能になる。

Venus & Mars では独立したサーバに存在する複数のエージェントを一つのクライアントマシン上で相互作用させることが可能になっている(図表 3.1.1-7)。これにインターネット上に存在する情報源をより高いレベルで統合することが可能になる。さらに協調するエージェントを組替えることによりさまざまな問題解決への対応が可能になると期待される。



図表 3.1.1-7 Venus & Mars の動作例

今後はこのような目に見えるキャラクタエージェントをベースとしてエージェントシステムを発展させていくことは一つの流れとして期待される。キャラクタエージェントをインターネット上の高度な問題解決システムとして発展させていくためには、対話技術や問題解決技術をはじめとしたさまざまな人工知能技術を組み合わせていくことが必要になる。その意味でエージェントシステムは従来の人工知能技術の一つの集大成となるであろう。また、このような複数のキャラクタエージェントを協調的に動かしたり、人間とのインタラクションを扱ったりするためには、マルチエージェント技術に期待するところが大きい。インタラクションのためのプロトコルやプラットフォームの開発や標準化も重要な課題になると考えられる。

参考文献

- [Petrie96] Charles J. Petrie, Agent-Based Engineering, the Web, and Intelligence, IEEE Expert, Vol. 11, No. 6, pp. 24-29 (1996).
- [Russell95] Stuart J. Russell and Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice-Hall, Inc. (1995). 邦訳は古川康一監訳, エージェントアプローチ人工知能, 共立出版 (1997).
- [Franklin97] Stan Franklin and Art Graesser. Is It an Agent, or Just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents, in Jorg P. Muller, Michael J. Wooldridge, and Nicholas R. Jennings (Eds.) Intelligent Agents III: Agent Theories, Architectures, and Languages, Springer-Verlag, pp. 21-35 (1997).
- [Wooldridge99] Michael J. Wooldridge. Intelligent Agents, in Gerhard Weiss (Ed.) Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, The MIT Press, pp. 27-77 (1999).
- [White97] James E. White. Mobile Agents, in Jeffrey M. Bradshaw (Ed.) Software Agents, AAAI Press/ The MIT Press, pp. 437-472 (1997).
- [Lange98] Danny B. Lange and Mitsuru Oshima. Programming and Deploying Java Mobile Agents with Aglets, Addison-Wesley (1998).
- [Maes94] Pattie Maes. Agents that Reduce Work and Information Overload, Communications of the ACM, Vol. 37, No. 7, pp. 30-40 (1994). also in Jeffrey M. Bradshaw (Ed.) Software Agents, AAAI Press/ The MIT Press, pp. 145-164 (1997). 邦訳は竹内彰一訳, 仕事と情報の負荷を軽減するエージェント, bit, Vol. 27, No. 12, pp. 15-28 (1995).
- [Etzioni96] Oren Etzioni. Moving Up the Information Food Chain: Deploying Softbots on the World Wide Web, Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-96), pp. 1322-1326 (1996). also in AI Magazine, Vol. 18, No. 2, pp. 11-18 (1997).
- [Cassell00] Justine Cassell, Joseph Sullivan, Scott Prevost, and Elizabeth Churchill (Eds.) Embodied Conversational Agents, The MIT Press (2000).
- [Ball97] Gene Ball, Dan Ling, David Kurlander, John Miller, David Pugh, Tim Skelly, Andy Stankosky, David Thiel, Maarten Van Dantzich, and Trace Wax. Lifelike Computer Characters: The Persona Project at Microsoft Research, in Jeffrey M. Bradshaw (Ed.) Software Agents, AAAI Press/ The MIT Press, pp. 191-222 (1997)

- [Weiss99] Gerhard Weiss (Ed.) Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, The MIT Press (1999).
- [Durfee99] Edmund H. Durfee. Distributed Problem Solving and Planning, in Gerhard Weiss (Ed.) Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, The MIT Press, pp.121-164 (1999).
- [Sandholm99] Tuomas W. Sandholm. Distributed Rational Decision Making, in Gerhard Weiss (Ed.) Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, The MIT Press, pp.201-258 (1999).
- [Klusch99] Matthias Klusch (Ed.) Intelligent Information Agents: Agent-Based Information Discovery and Management on the Internet, Springer-Verlag (1999).
- [Kitamura00] Kitamura. A Multi-agent Based Intelligent WWW Interfacer. The 13th Japan-Germany Forum on Information Technology, 8(2), pp.7-11 (2000).

3.1.2 オブジェクト指向からエージェント指向へ

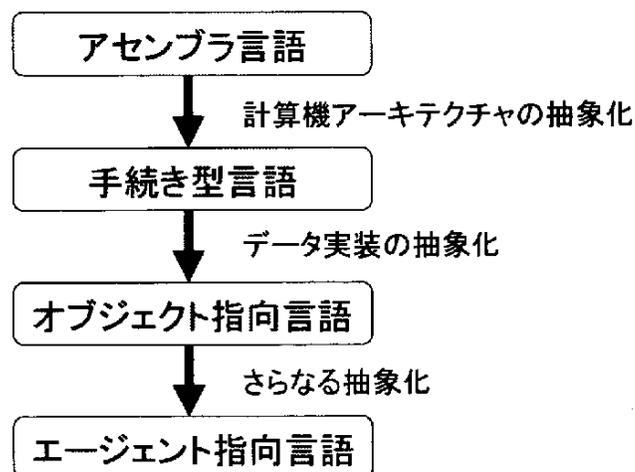
(1) はじめに

本項では、プログラム言語の観点からオブジェクト指向とエージェント指向を対比し、プログラミング言語としてのエージェント技術の姿を明らかにする。

プログラミング・パラダイムの変遷の中で、エージェント指向はオブジェクト指向の次にくる技術と位置づけられる。これまで、プログラミング・パラダイムは主にアセンブラ言語、手続き型言語、オブジェクト指向言語という流れで変遷してきた。アセンブラは計算機のアーキテクチャを強く意識して計算機の挙動を記述するものであったが、手続き型言語においては処理を主体にプログラムが書けるようになり、オブジェクト指向言語では計算対象(Object)を主体とする記述が可能となった。これは、手続き型言語においては計算機のアーキテクチャを隠蔽し、オブジェクト指向言語においてはデータ抽象の考え方によってデータ実装の詳細を隠蔽した抽象化の歴史とみることができる。この抽象化は、計算の世界と現実の世界を近づける方向で続けられてきた。オブジェクト指向の次に位置づけられるエージェント指向もこの抽象化の延長上にあると考えられる。さらなる抽象化によって、計算の世界と現実の世界をより近づけるのがエージェント指向パラダイムのねらいである(図表 3.1.2-1)。

一方で、モデリング手法にエージェントの考え方を導入する試みもある。これも計算の世界と現実の世界をエージェント技術によって近づけるといえる点と同じであるが、この場合は、必ずしもエージェント指向プログラミング言語の利用を前提としない。システムのモデル化にはエージェントを活用するが、実装においてはオブジェクト指向言語などを用いてモデルを実装にマッピングすることがある。

本項では、プログラミング言語としてのエージェントに的を絞り、オブジェクト指向からエージェント指向にパラダイムが変遷する中で、オブジェクト指向には何が不足と考えられ、エージェント指向において何が加えられてきたかを、いくつかの事例を見ながら考察する〔1, 2, 3, 6, 8〕。



図表 3.1.2-1 プログラミング・パラダイムの変遷

(2) エージェントの移動性

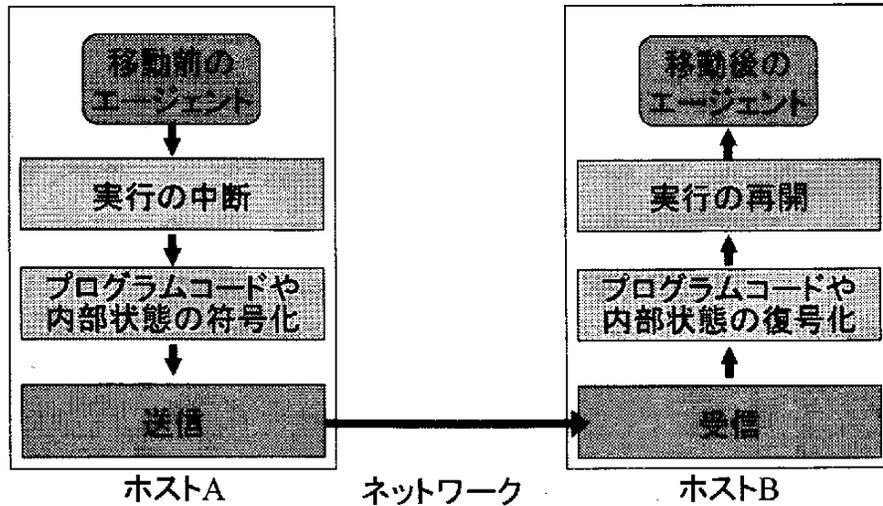
オブジェクトに加えられた特性として、最初にエージェントの移動性を挙げる。ここでは、移動性を持つエージェントをモバイルエージェントと呼ぶ。モバイルエージェントにおいては、分散処理における通信の概念が抽象化されたとみることができる。モバイルエージェントとして多数のシステムが実装されており、Stuttgart 大の Hohl 教授が作成した The Mobile Agent List [19] にも 70 以上のシステムが登録されている。代表的なモバイルエージェントシステムを図表 3.1.2-2 にあげる。

図表 3.1.2-2 代表的なモバイルエージェントシステム

Telescript, Odyssey (GM)
Aglets (日本 IBM)
Voyager (Object Space)
MOA (The Open Group)
Mole (Stuttgart 大)
Kafka, April (富士通)
Concordia (三菱)
Mobidigit (NEC)
Flage (IPA)
Grasshopper (IKV++)
Ara (Kaiserslautern 大)
Agent-Tcl (Dartmouth 大)
Safe-Tcl (SUN)
Mobile Space, Agent Space (お茶大)
Planet (筑波大)
共生・寄生エージェントモデル (慶応大)
Plangent, Bee-gent (東芝)

モバイルエージェントの実装には、独自のスクリプト言語を定義してインタプリタと共に動作させるもの、ライブラリを拡張して既存の言語（多くは Java）に移動性を持たせたもの、言語処理系（Java の場合は JVM）に手を加えて移動性を持たせたものなどがある。また、移動の種類には、強い移動（strong migration）と弱い移動（weak migration）の 2 つの種類がある。移動性に関しては、FIPA、MASIF、CORBA などで標準化の議論が行なわれている [17, 18, 20]。

モバイルエージェントの利点には、ネットワークバンド幅の有効活用があげられる。モバイルエージェントは移動した先の資源にローカルにアクセスできるので、大量のデータに対して高速にローカルアクセスを行なった後、得られた結果のみを移動して持ち帰るといった動作が可能である。必要に応じて移動先のマシン環境の情報を活用したり、負荷の小さいマシンに移動して負荷分散を行なったりもできる。無線アクセスのように通信が切れやすい環境において、通信切断後も処理を継続できる点では特にモバイルエージェントが有効と言える。



図表 3.1.2-3 モバイルエージェントの移動の仕組み

モバイルエージェントの移動の仕組みを図表 3.1.2-3 に示す。この図は、モバイルエージェントがホストAからホストBに移動する流れを示している。まず、ホストAで移動前のエージェントの実行が中断される。そして、エージェントのプログラムコードや内部状態が符号化（シリアライズ）される。符号化の結果は通常データと同じようにして、ホストAからホストBに送信される。ホストBでは、受信したデータに対してホストAと対称の操作を行なう。つまり、復号化（デシリアライズ）によってプログラムコードと内部状態を復元し、エージェントの実行を再開させる。この一連の流れが完了すると、ホストAにいたモバイルエージェントがホストBに移動し、処理を続けることになる。

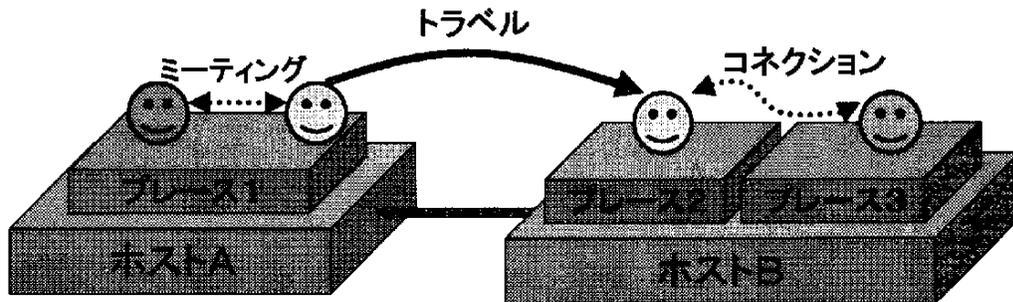
モバイルエージェントの実行の中断/再開、プログラムコードや内部状態の符号化/復号化、送信/受信などは、モバイルエージェントのプラットフォームと呼ばれるミドルウェアによって行なわれる。内部状態の符号化/複合化において、プログラムコードとインスタンス変数のみを対象とすると弱い移動が実現され、プログラムコード、インスタンス変数に加えてプログラムカウンタまで対象とすると強い移動が実現される。ここで強調すべき点は、モバイルエージェントのコーディングの簡単さである。例えば、ホストAで処理1、2を行なって、次にホストBに移動して処理3、4を行なうとする。このときのコーディングは以下のような簡単な記述で済む。

処理1 ; 処理2 ; go(ホストB) ; 処理3 ; 処理4

このため、さまざまな非同期分散処理が必要となる場面でもモバイルエージェントを活用すれば、簡明な記述の集合によって全体の処理を定義できる可能性がある。

モバイルエージェントの例として、General Magic社が開発した Telescript を紹介する（図表 3.1.2-4）。Telescript においては、移動するプロセスをエージェント、移動しないプロセスをプレースと呼ぶ。エージェントがプレース間を渡り歩き、同じプレース内にいるエージェントと出会って（ミートして）相手のプロシージャを呼び出したり、他のプ

レースにいるエージェントと通信（コネクション）したりするモデルが、独自のスクリプト言語上に実装されている。エージェントの移動には、強い移動が採用されている。各エージェントは権限を持っており、これにより資源へのアクセス制御も可能である。今日のモバイルエージェントで用いられる概念の多くは、Telescript において実現されたものである [15]。



図表 3.1.2-4 Telescript

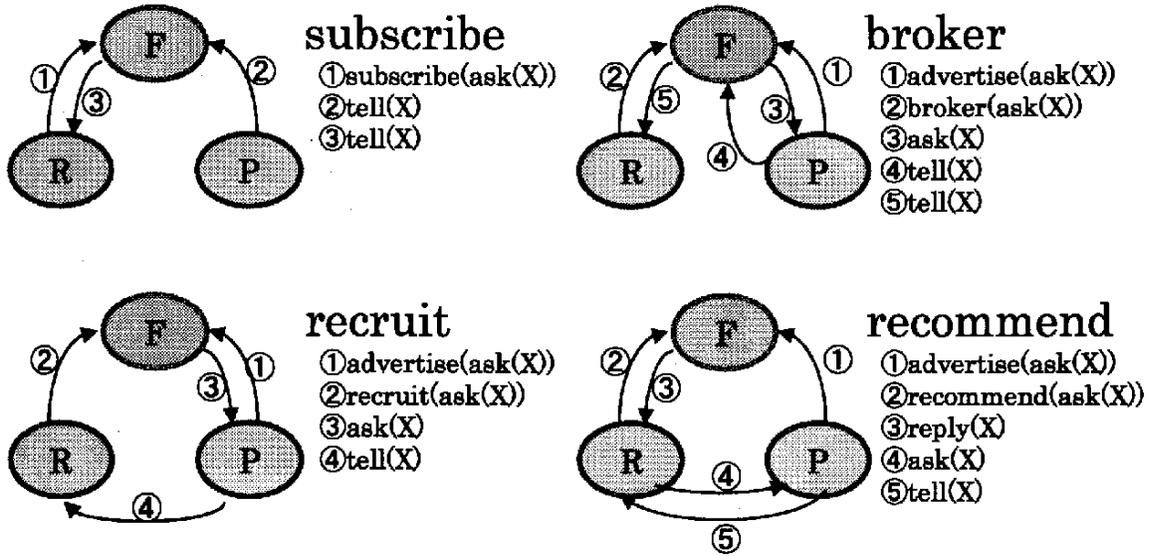
(3) エージェントの協調性

オブジェクトに加えられた特性として、次にエージェントの協調性をあげる。ここでは、協調性を持つエージェントを協調エージェントと呼ぶ。協調性の導入は、分散処理における異種性、位置、通信手順などの抽象化につながるものである。代表的な協調エージェントシステムを図表 3.1.2-5 に示す。

協調エージェントのための技術には、ACL (Agent Communication Language) や KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) などのエージェント間コミュニケーション言語がある。また、この言語を使ったプロトコルとして、契約ネットプロトコル、オークションプロトコル、CFPプロトコルなどがある。ファシリテータ、メディエータ、黒板モデル、共有データ空間といった情報共有のための仕組みや、BDI (Belief Desire Intention) モデルや発話行為理論 (speech act theory) なども協調エージェントのための技術である。FIPA においては、ACL や各種プロトコルの標準化が進められている。

図表 3.1.2-5 代表的な協調エージェントシステム

AOP、AGENTO (Shoham)
 Open Agent Architecture (SRI)
 AgentPro (富士通)
 Linda (Yele 大)
 Bee-gent (東芝)

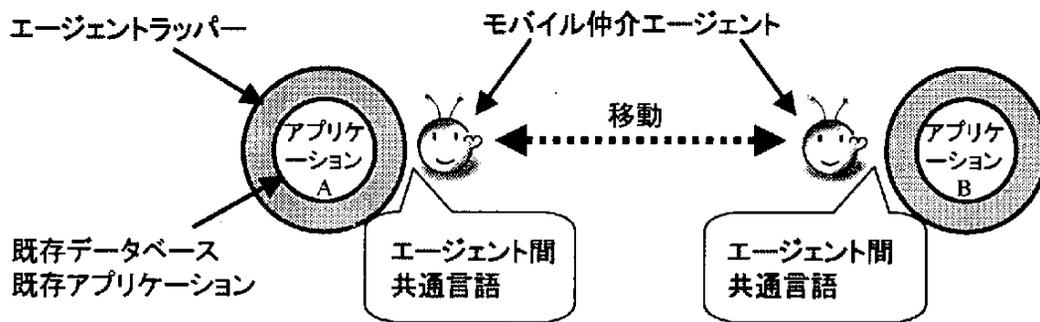


図表 3.1.2-6 ファシリテータによるサービス利用パターン

協調エージェント技術の利点は、コミュニケーションを意味レベル、意図レベルに高めることによる柔軟な対話、動的連携が可能な疎結合モデル、異種システムの相互運用性などである。協調エージェントの研究は、分散オブジェクトの研究と深く関わっている。分散オブジェクトには、もともと分散している（非オブジェクト）システムのそれぞれをオブジェクト化する垂直分散アプローチと、非分散のオブジェクトを（分散化を意識させずに）分散させる水平分散のアプローチとがあるが、どちらにおいても透過性の概念が重要である。分散オブジェクトに関わる透過性には、位置透過性、異種透過性、障害透過性、規模透過性、移動透過性などが挙げられる。透過性とはある種の抽象化であり、その実現には数々の協調エージェントの技術やコンセプトが応用されている。例えば、分散オブジェクトにおける位置透過性の追求には、ネーミングサービス、トレーディングサービス、メディエータなどの技術が使われるが、これにはファシリテータの考え方が関わっている。UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) [22] における Web サービスのためのディレクトリ機能もファシリテータによる recommend パターン(図 3.1.2-6)の応用と見ることができる。図表 3.1.2-6 はファシリテータによるサービス利用の代表的なパターンを示したもので、F はファシリテータを、P はサービスプロバイダを、R はサービス利用者を表す。障害透過性の追求には、オブジェクトの多重化や冗長待機などの手法が用いられるが、共有データ空間、タプルスペース、黒板モデルなどを介してオブジェクト同士が間接的なコミュニケーションを行なう場面にも、協調エージェントの技術が応用され、効果を発揮している [4]。

協調エージェントの例として、東芝の Bee-gent を紹介する。Bee-gent は、既存アプリケーションをエージェント化するエージェントラッパーと、アプリケーション間の連携手続きを管理するモバイル仲介エージェントから構成される。これらの仕組みにより、データベースや Web サービス、レガシーシステムなどの各種ソフトウェアを柔軟に接続して活用することを目指している。図表 3.1.2-7 に Bee-gent の概念図を示す。モバイル仲介エー

エージェントは、接続対象のアプリケーションが存在する場所へ移動し、エージェントラッパーと対話しながら要求を伝える。エージェントラッパーはアプリケーションの状態を管理し、必要に応じてアプリケーション処理を起動することによって、モバイル仲介エージェントからの要求に応える。エージェント間の対話には、FIPA 準拠の ACL が用いられる。ACL は、会話の意図を表す通信行為 (Communicative Act) を記述することが特徴であり、これにより受け手側は意図を解釈した上で自分なりの処理手順を決定できる。Bee-gent では、FIPA が策定する ACL を XML 形式で表現した XML/ACL を採用している。XML 形式の採用によってインターネットとの親和性が格段に向上し、企業間での XML/ACL の交換も可能となっている。モバイル仲介エージェントやエージェントラッパーの動作を定義するための専用のビジュアル開発環境も提供される [5, 13, 14, 16]。



図表 3.1.2-7 Bee-gent

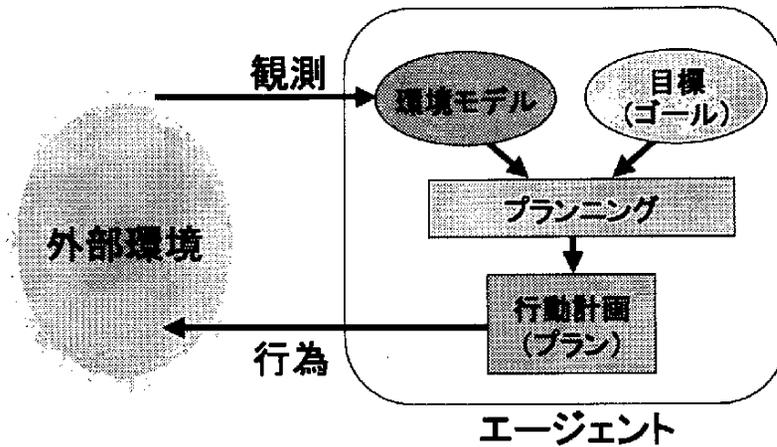
(4) エージェントの自律性

オブジェクトに加えられた特性として、次にエージェントの自律性を挙げる。ここでは、自律性を持つエージェントを自律エージェントと呼ぶ。自律性の導入は、処理の手順や手続きの抽象化に狙いがある。代表的な自律エージェントシステムを図表 3.1.2-8 に示す。

一般にオブジェクトは受動的であり、エージェントは能動的と言われる。しかし、分散オブジェクトなどにおいてはオブジェクトの自律性・能動性が作りこみによって実現される例が多く、外部から観察しただけでは、両者の違いは明確ではない。自律エージェントのための言語においては、自律性が言語処理系において支援される。このような自律性を実現するために、多くの自律エージェントの処理系ではプランニング技術を採用している。一般的なプランニングエージェントの構造を図表 3.1.2-9 に示す。プランニングには熟考プランニング、反応プランニング、ハイブリッドプランニングなどがある [12]。

図表 3.1.2-8 代表的な自律エージェントシステム

Softbot (Etzioni) Knowbot (CNRI) PLACA (Thomas) Plangent (東芝)
--



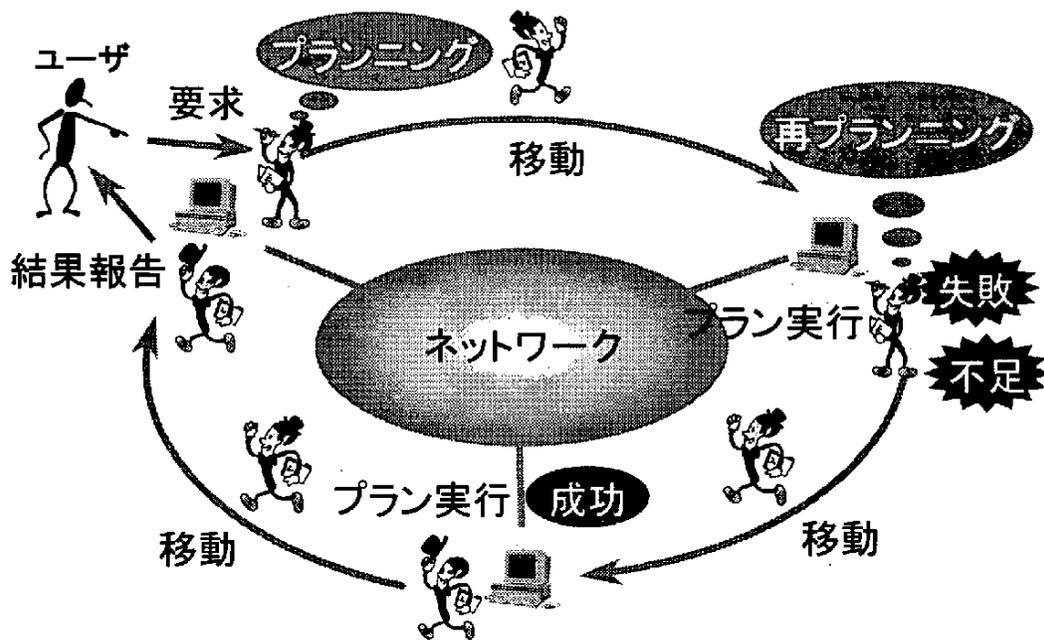
図表 3.1.2-9 プランニングエージェントの構造

自律エージェントの利点は、従来の手続き型言語やオブジェクト指向言語では書ききれないような処理、特に柔軟性を必要とする処理が書きやすい点にある。one to one ビジネスにおけるパーソナライズ処理、状況に応じてダイナミックに処理内容を変更する状況依存処理などに対するニーズは高く、これらの問題に自律エージェントを応用することが期待されている。また、予期せぬ事態に対して柔軟に対処できる点も自律エージェントの利点である。ネットワーク上の処理が何らかの原因で中断された場合にも、自律エージェントは自分で代替手段をさがして処理を継続する。

自律エージェントの例として、東芝の Plangent を紹介する。Plangent は、プランニング機能を持つモバイルエージェントが、目標達成の手段を自分で考えながら、ネットワーク上を自律的に動きまわって処理を行なう点に特徴がある。ユーザからの要求を受けとった Plangent エージェントは以下のように行動する（図表 3.1.2-10）。

- 1) どこで何をするかといった行動計画をプランニングによって立案する。
- 2) この行動計画に基づいて必要な情報やサービスのある場所まで移動する。
- 3) 移動先の情報やサービスを活用して処理を実行する。
- 4) 予期せぬ事態などによって計画の実行が失敗した場合、再プランニングによって状況に合った行動計画を作りなおす。
- 5) 新たな行動計画に基づいて移動と実行を行なう。
- 6) 目標が達成されるまでこれを繰り返し、最後にユーザのところへ戻って結果を報告する。

このような Plangent には多くの利点がある。例えば、ユーザが細かい作業手順を指示する必要がないこと、予期せぬネットワーク環境の変化に対してエージェントが柔軟に対処すること、個人の好みや過去の事例を学習してエージェントが成長することなどは大きな利点である。また、エージェントの移動時以外は通信回線が切断されてもよいため、今後増加する携帯機器向けソフトウェアとしても適した特性を持つ [9, 10, 11, 21]。



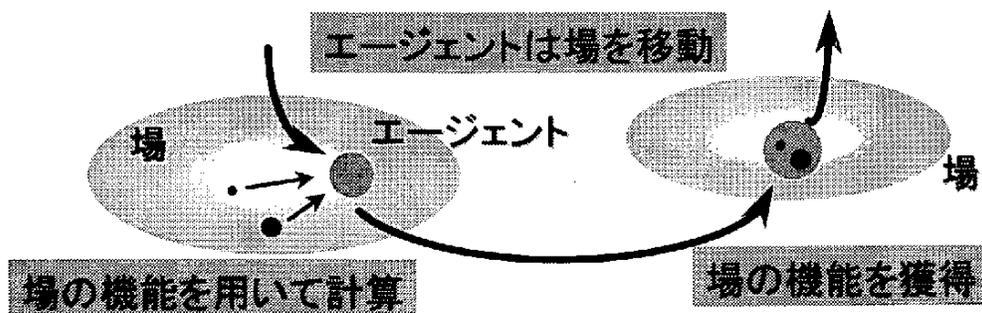
図表 3.1.2-10 Plangent

(5) その他の特性

ここまでに、移動性、協調性、自律性の3特性をオブジェクトがエージェントとなる際に加えられた主要なものとしてあげた。ここではその他の試みを簡単に紹介する(図表3.1.2-11)。エージェントに環境適応性や順応性を持たせる試みに Flage (IPA) の提案がある。また、環境の変化を陽に扱う有機的プログラミング言語として Gaea (産総研) が提案されている。エージェントの成長をコンセプトとする言語には、Flage の他に Music, Morphe があり、計算の場(フィールド)やセルを導入した言語には Flage, Gaea の他に、Cellua, Kamui, Kemari などがある。他にはオブジェクトの通信方式を拡張したり、オブジェクトに永続性を持たせたり、リフレクションを導入してエージェント化を図った言語の提案がある。

図表 3.1.2-11 その他のエージェントのシステム

- | |
|--|
| 環境適応性・順応性
・ Flage (IPA)
有機的プログラミング
・ Gaea (産総研)
成長するエージェント
・ Flage, Music, Morphe
計算の場(フィールド)、セル
・ Flage, Gaea, Cellua, Kamui, Kemari |
|--|



図表 3.1.2-12 Flage

ここではこれらの言語の中で Flage を紹介する。Flage は環境変化に対する適応、エージェントの成長、場の計算といったコンセプトの実現を目的としたエージェント言語である (図表 3.1.2-12)。Flage のモバイルエージェントが場に入ると、そこに置かれている機能を使って計算を行なうことが可能となる。これにより、エージェントは移動先の環境に合った計算方法を獲得し、その場で実行する。また、エージェントは場に置かれている計算方法を自分のものとして取り込み、場を去った以降も持ち歩くことができる。この機能をうまく活用すれば、エージェントが場を渡り歩きながら次々と新機能を獲得し、エージェントが成長するモデルを実現できる [3, 7]。

(6) おわりに

本項では、プログラム言語の観点からオブジェクト指向とエージェント指向を対比し、オブジェクト指向にどのような特性が加えられて、エージェント指向と呼ばれるようになっていったかを概観した。オブジェクト指向からエージェント指向への流れは、さらなる抽象化、透過性や柔軟性の追及と言える。インターネットの普及により、異種システムが混在する中でシステムのオープン化を求められる今日、この種の抽象化に対するニーズはますます大きくなりつつある。今後も本節で紹介したエージェント指向技術の研究は、活発に続けられるものと予想される。

参考文献

- [1] 服部文夫：エージェント言語、コンピュータソフトウェア, Vol.14, No.4 (1997), pp.3-12.
- [2] 本位田真一、大須賀昭彦：オブジェクト指向からエージェント指向へ、ソフトバンク (1998).
- [3] 本位田真一、飯島正、大須賀昭彦：エージェント技術、共立出版 (1999).
- [4] 河込和宏、中村秀男、大野邦夫、飯島正：分散オブジェクトコンピューティング、共立出版 (1999).
- [5] 川村隆浩、長谷川哲夫、大須賀昭彦、本位田真一：Bee-gent: 移動型仲介エージェントによる既存システムの柔軟な活用を目的としたマルチエージェントフレームワーク, 信学論, Vol. J82-D-I, No.9 (1999), pp.1165-1180.

- [6] 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，ソフト・リサーチ・センター (1995).
- [7] Kumeno, F., Ohsuga, A., and Honiden, S.: Flage: A Programming Language for Adaptive Software, IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol. E81-D, No. 12 (1998), pp. 1394-1403.
- [8] 長尾確 編： エージェントテクノロジー最前線，共立出版 (2000).
- [9] Ohsuga, A., Nagai, Y., Irie, Y., Hattori, M., and Honiden, S.: PLANGENT: An Approach to Making Mobile Agents Intelligent, IEEE Internet Computing, Vol. 1, No. 4 (1997), pp. 50-57.
- [10] 大須賀昭彦： プランニングモバイルエージェント，bit, Vol. 31, No. 3 (1999), pp. 88-95.
- [11] 大須賀昭彦ほか： 知的モバイルエージェント Plangent プログラミング，bit, Vol. 31, No. 8, 9, 10 (1999).
- [12] Russell, S., Norving, P., 古川康一(監訳)： エージェントアプローチ 人工知能，共立出版 (1997).
- [13] Tahara, Y., Ohsuga, A., and Honiden, S.: Agent System Development Method Based on Agent Patterns, in Proc. 20th International Conference on Software Engineering (1999), pp. 356-367.
- [14] 田原康之，大須賀昭彦，本位田真一： ビヘイビアパターンに基づくモバイルエージェントシステム開発手法，情処論文誌，Vol. 40, No. 12 (1999), pp. 4319-4332
- [15] 山崎重一郎，津田宏(編訳)： Telescript 言語入門．アスキー出版局 (1996).
- [16] <http://www2.toshiba.co.jp/beegent/>.
- [17] <http://www.corba.org>.
- [18] <http://www.fipa.org>.
- [19] <http://www.informatik.uni-stuttgart.de/ipvr/vs/projekte/mole/mal/mal.html>.
- [20] <http://www.omg.org>.
- [21] <http://www2.toshiba.co.jp/plangent/>.
- [22] <http://www.uddi.org>

3.1.3 エージェントからマルチエージェントへ

(1) マルチエージェント環境とその諸特性

これまでの多くの人工知能研究は、単一のエージェントにおける、問題解決、プランニング、自然言語処理、認識、そして学習などの知的な振舞いを対象としている。それらの研究から得られた成果に基づき、さまざまな知的システムが実装され、利用されている。知的システムの中には、その持つ基本意思決定原理/機構に基づいて、自己の信念や興味（願望、意図）に応じて行動するものがある。ここでは、そのようなシステムをエージェントシステムと呼ぶ。

複数のエージェントシステム（以下では、簡単のためにエージェントと呼ぶ）が存在する環境では、エージェント間の相互作用が、個々のエージェント、もしくは、エージェントのグループの性能にどのような影響を与えるかということが新たな問題となる。マルチエージェントシステム研究の必要性は、このような背景から生じてきており、人工知能研究の今後の展開において、重要な位置付けにある。また、現在のコンピュータネットワークに代表される様な大規模な開放型分散環境において、精度が高く効率の良い処理を行なうためにはさまざまなモジュールやサブシステムの間でどのような相互作用を行なうべきか、という問題に関しても、マルチエージェント研究は重要な役割を担っていると考えられる [1]。

さて、複数のエージェントが独立もしくは共通の目標を持つ環境（以下、マルチエージェント環境と略す）では、各エージェントの目標間にさまざまな利害関係が生じ得る。そのような状況に置かれたエージェント達は、相互の利益のために、必要な情報を交換し、相互の要求を局所的に評価し、最終的には相互の利害を考慮した合意を形成することが好ましい。なぜなら、合意は、目標の変更、行為の整合、そして共同などを含み、それらは結果として大局的な協調動作となり得るからである。

しかしながら、その環境では、(i) 各エージェントの生成・消滅は動的である、(ii) 各エージェントの世界に関する知識や技能が部分的である、(iii) エージェント間の信念が不整合な場合がある、そして、(iv) 環境内の他の要素が変動する可能性がある、などの理由により、すべてのエージェント間の利害関係を事前に把握しておいて適切に対処することは、非常にコストのかかるタスクであり、環境内のエージェント数が多い場合や、環境の要素が変動する速度が高い場合は、事実上不可能となるであろう。

よって、各エージェントは、必要に応じて、また、環境の変動を考慮しながらなんらかの方法により協調動作を実現していかなければならない。しかしながら、エージェント間での協調を実現するためには、いくつかの事前の取り決めや枠組も必要である。それらは、エージェント間での通信や対話に用いられる言語の語彙や文法に始まり、通信や対話のプロトコル（やりとりの方法）、そしてそれらを用いて協調を実現するためのスキーマ（機構）やメカニズムなどである。

以下では、協調スキーマに関するさまざまな研究について紹介する。まず、ゲーム理論における基本的な交渉観に基づいた合理的エージェントの交渉のモデルについて述べる。続いて、より一般的な枠組から提案された交渉プロトコルについて説明する。次に、マルチエージェントプランニングの分野において、より詳細な行為の整合など考慮して提案さ

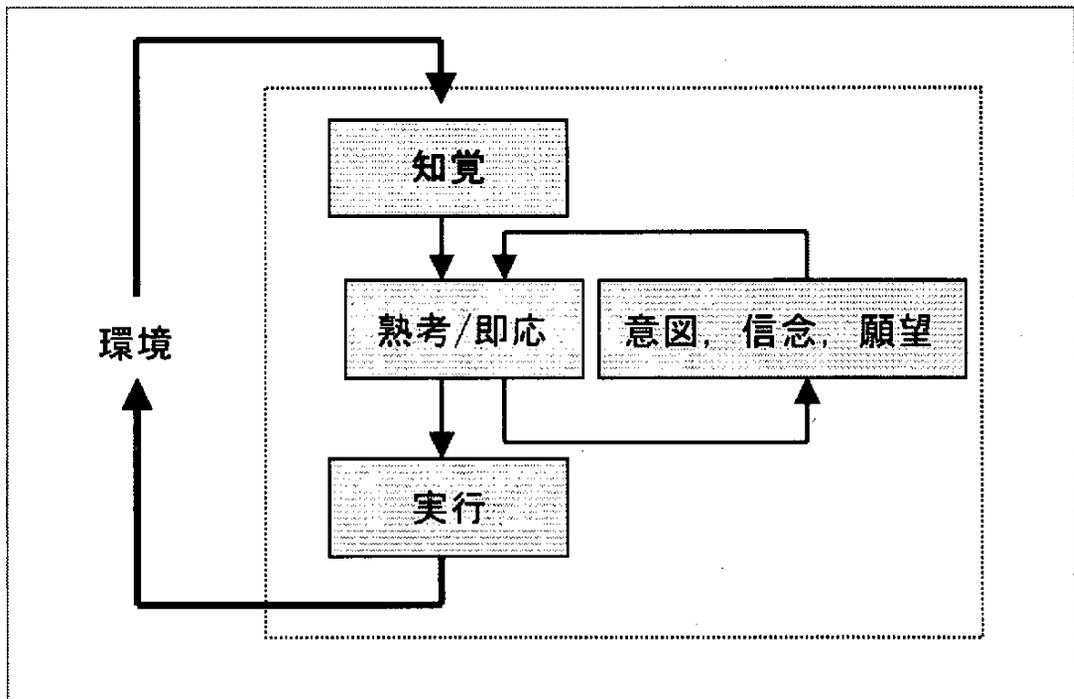
れた交渉のモデルを紹介する。最後に、協調問題解決（複数のエージェントが共通の目標を達成）における組織スキーマの研究について述べる。

(2) ゲーム理論に基づく交渉

①合理的エージェント

エージェントとは環境を知覚し、知覚した環境に関する情報と自己の持つ意図や信念、そして願望などに応じて自己の意思決定原理／機構に基づき行動する主体である（図表 3.1.3-1）。エージェントの行動は環境を変化させ、またその変化した環境を知覚することにより次の動作を決定するというプロセスを繰り返す。ここで、エージェントが採用する意思決定原理／機構によって、そのエージェントの行動は特徴付けられる。(2)では、主に合理的なエージェントを対象とする。この場合、意思決定原理としては効用最大化原理（経済的合理性）や論理的整合（論理的合理性）などが考えられる。

①では、主に効用最大化原理の立場に基づいた交渉モデルの説明を行なう。ちなみに、論理的整合の立場としては、例えば Shoham によるエージェント指向プログラミング [2] や Bratman の研究 [3] などがある。



図表 3.1.3-1

さて、合理的エージェントが研究の対象となった背景としては、次のようなことがあげられる。

初期の分散人工知能研究で提案された協調問題解決やマルチエージェントプランニングの多くの研究においては、一人の設計者によって規定された規範に沿ってすべてのエージェントが行動することを仮定してる。このようなエージェントは与えられた規範に厳密に

従って行動し、また、必要であれば他のエージェントに対して際限のない援助を行なう。そのような意味でこれらのエージェントは従順 (obedient) であり、また慈悲深い (benevolent) と呼ばれる。

このようなエージェントからなるマルチエージェントシステムは、全体として一つの目標の追求している場合は効率よく動作できるが、各エージェントが独立した目標を持ち (例えば各エージェントがそれぞれ異なるユーザのために行動しているような場合)、またそれらの目標の間に利害関係が生じるような場合には不都合が生じる。なぜならば、各エージェントが独立した目標を追求している状況においては、他のエージェントに対して従順さや慈悲深さを仮定することが不可能となる場合があるからである。またこの場合、各エージェントは異なるユーザの代理人として独自の行動規範に基づいて行動しており、エージェント間における整合が必要となった場合に、それを行なうためにエージェント間で大量の通信を行なう必要が生じる。

そこで、各エージェントにどのような制約を設ければ、エージェントの自律性と独立性を保ちつつ、かつ、与えられた目標の制約が破棄されることなく、より効率の良い問題解決が行なえるかということが研究の課題となる。

エージェント同士が相互作用する場合、各エージェントに合理性を仮定すれば、相手のモデルを比較的容易に構築することが可能となり (相手の意思決定や挙動の推定などが容易になる)、必要以上の通信などを行なわずとも効率の良い整合や共同が行なえる可能性がある。また、合理性は、交渉において何を合意として受け入れることができるかの判断基準を提供する。このような理由により、合理的なエージェントの研究は盛んとなった。

②ゲーム理論における合意形成の枠組

複数のエージェントが、それぞれ独立な目標を持っていると仮定する。それらのエージェントが各自の目標を同時に達成しようと試みる場合、それらの目標の内容によっては、いくつかの目標の一部が同時には成り立たないような場合がありうる。このような場合、大局的に協調的な動作を行なうために、エージェントの間で交渉を行なうことが重要となる。

交渉の結果として得られる合意は、全てのエージェントによって受け入れられなければならない。合意の候補 (一般には複数ある) を妥結案と呼ぶことにする。もしある妥結案が、交渉に参加した全てのエージェントに対して最大の効用を与えるならば、それが合意として受け入れられるであろう。しかし、一般には、必ずしもそのような妥結案が得られるとは限らない。よって、複数の妥結案があったときに、どれを合意とするかは自明ではない。

交渉については、さまざまな交渉観が考えられるが、ここではゲーム理論において採用されている次のような基本的な交渉観を考える。以下の交渉観は、多くの人が共通に持つものであると考えられる。

まず、交渉が行なわれる場合、それを成功に導くのは、交渉が成立した場合に得られる効用 $u(s)$ と、交渉しなかった場合、あるいは、交渉が不成立に終わった場合に得られると予想される効用 $u(f)$ とを比較して、 $u(s)$ が $u(f)$ よりも大きいという保証があること

である。交渉が成立して合意（妥結点）が得られるためには、その妥結点は次の様な性質を満たすべきであると考えられている。

[個合理性:] 妥結点における各エージェントの効用は、交渉が不成立の場合に得られる効用未満であってはならない。

[共同合理性（パレート最適）:] 交渉は、双方のエージェントの効用がよりよくなる妥結案がある限り継続される。つまり、合意が得られた場合、双方のエージェントの効用をさらに改善する妥結案が存在しない。

この2つの性質を満たす妥結案の集合を交渉集合と呼ぶ。

このような、ゲーム理論に基づく交渉観は、人工知能研究におけるエージェント間の交渉プロトコルの研究に多くの示唆と影響を与えている。このような研究のうち、初期の代表的なものとして Zlotkin と Rosenschein による統合的交渉プロトコル[4]が挙げられる。

統合的交渉プロトコルでは、複数の合理的エージェントが、各自の目標（一般に、各エージェントの目標とは独立）を達成するためのプランについて交渉を行ない合意を得る。この場合、各エージェントのプランは、交渉時には既に生成され求められている。

③交渉プロトコルに求められる性質

複数の合理的エージェントが対等な関係にあり、独立の目標を持ち、かつ、独立の価値感に基づいて意思決定し行動するような場合、交渉プロトコルにはどのような性質が望まれるのであろうか。これに関して、次のような一つの指針が提案されている [5]。

[有用性:] 交渉の結果得られた合意は有用なものでなければならない（例えば、パレート最適の基準を満たすこと）。

[安定性:] どのエージェントも合意した内容から他の戦略へ変更する動機を持ち得ない。

[単純性:] 交渉に必要な通信コストは低く、計算の複雑さも比較的低い。

[分散性:] ボトルネックなどを回避するために、意思決定のための中心的なエージェントを必要としない。

[対称性:] 交渉において、どのエージェントも特別な役割を負わない。

先に紹介した統合的交渉プロトコルは、上記の性質を満たすようなプロトコルの追求が主な目的となっている。

しかしながら、さまざまな領域での応用を考えた場合、上記のような性質を満たすプロトコルが、必ずしも効率が良いというわけではない。例えば、この節で紹介した交渉プロトコルは、交渉に参加するエージェントが、ほぼ同様な知識や計算や通信能力を備えていることを仮定している。そのような前提条件を成立させるには、一般には、大量の通信を要することになる。よって、ゴールの内容や各エージェントの置かれた状況が限定されている場合は、その状況の特殊性をうまく利用して、例えば、何らかの中心的なエージェントの存在を許容した方が、より効率よく目標が達成できる場合もあると考えられる。さらに、

エージェントが交渉を行なう場合は、さまざまなメッセージのやりとりが必要となり、それらを規定することも必要である。以下の二つの節では、それらについて述べる。

④その他の交渉プロトコル

以下で述べる二つの交渉プロトコルは、交渉に関わるさまざまなメッセージの分類とその役割の規定に主眼が置かれている。

1) 契約ネットプロトコル

契約ネットプロトコル（以下、契約ネットと略す）〔6〕は、人間社会における契約入札の仕組みをもとに、複雑なタスクを独立した個々のタスクに分割して、それらを複数のエージェントに割り当てるためのプロトコルである。契約ネットでは、分割されたタスクは独立に解かれるものとして契約が結ばれる。

契約ネットは、そのプロトコルに従って通信する複数のエージェント、および、問題に対応するタスクとその部分タスクの集まりによって構成される。契約ネットは次のような手順で実行される。

まず、タスクを持つエージェント（マネージャと呼ぶ）は、必要であればそのタスクを部分タスクに分解し、各部分タスクに対してタスク提示メッセージを放送する。提示されたタスクを実行可能なエージェントは、そのタスクに対して入札メッセージをマネージャに送信する。マネージャは、送られてきた複数の入札メッセージを評価し、それらの中から最も適切と思われる入札を一つ選択して、それを送ってきたエージェントに落札メッセージを送る。この落札メッセージを得たエージェントが契約者である。マネージャは、各部分タスクの実行結果のレポートを集め、最終的には各部分タスクに対する解の統合を行なう。

このようにして、契約ネットでは階層的なタスク割り当て構造がトップダウンに形成される。

契約ネットの一つの特徴は相互選択性にある。つまり、契約を行なう際に、マネージャと契約者が入札と落札に関して独立の価値規準を持つことが可能である。このように、契約ネットはタスクの割り当てに関して複数のエージェント間で交渉を可能にするプロトコルとなっている。

2) マルチステージネゴシエーション

マルチステージネゴシエーション〔7〕は、タスク/資源割り当て問題に関して、複数エージェント間でのタスク/資源割り当てに対する大域的な制約がある場合、つまり部分タスク間に制約がある場合に、競合を解消して制約充足を行なうためのプロトコルである。

前節で述べたように、契約ネットは各部分タスクが独立であることを仮定しているため、部分タスク間に制約（相互作用）がある場合が扱えない。マルチステージネゴシエーションでは、部分タスク間に大域的制約が存在する問題を、交渉を複数回繰り返すことにより解決しようとする。さらに、契約ネットでは、タスクの提示、入札、落札という一回のプロセスでタスク割り当てを行なっているのに対して、マルチステージネゴシエーションでは、局所的な資源割り当ての影響に関して交換した情報をもとに、必要に応じて資源割り当てをやり直す。このように、大域的制約が充足されるまで、何度も交渉が繰り返される。

(3) マルチエージェントプランニング

プランニングとは、問題空間（状態集合）において、初期状態から目標を含む状態へ至る行為（動作）系列の探索である。人工知能における初期のプランニングの研究では、問題空間には単一のエージェントしか存在しないと仮定し、そのエージェントによる行為の系列を求める問題としていた。つまり、問題空間が変化するのは、そのエージェントがある動作を行なった結果によるものだけであり、極端な場合には、明示的に記述された変化のみが起こると仮定していた。よって、エージェントが問題空間の変化について推論する場合、自己の動作のみを考慮に入れるだけで十分な場合を取り扱ってきた。

マルチエージェント環境では、他のエージェントの行動の結果として現れる環境の動的性質や、他のエージェントとの相互作用を考慮する必要がある。よって、静的な環境における単一エージェントの存在を前提して開発されてきた従来のプランニング技法だけでは、扱える目標が極端に制限されてしまう。よって、その問題を解決するために、さまざまなマルチエージェントプランニングのスキーマが研究されてきた。

マルチエージェントプランニングでは、マルチエージェント環境における単一、もしくは複数エージェントの目標に関するプランニングの問題を取り扱う。各エージェントは、自己の目標を達成する過程で他のエージェントと競合を起ししたり、その競合を解消しようとしたり、また、単独では達成できない目標を共同により達成しようとする。このような状況では、他のエージェントの行動の結果として現れる環境の動的性質や、他のエージェントとの相互作用を考慮する必要がある。よって、静的な環境における単一エージェントの存在を前提して開発されてきた従来のプランニング技法だけでは、扱える目標が極端に制限されてしまう。本節では、複数エージェント間の相互作用を扱うために開発されてきたマルチエージェントプランニングのさまざまな技法について述べる。

① マルチエージェントプラン研究の様相

マルチエージェントプランニングは、マルチエージェントプランをどのエージェントが生成するのか（つまり、プランニングに関するエージェントの制御関係）によって2つのクラスに分けることができる。第一のクラスは集中型プランニングで、この方式では代表的な一人のエージェントが他のエージェントのためのプランを集中的に生成する。初期の頃のマルチエージェントプランニングの多くはこの集中型プランニングに属する。そこでは、分散計算環境が仮定されているが基本的に目標は一つであり、それに対して特定のエージェントがプランを生成し、他の多数のエージェントがそのサブプランを実行するというものである。

集中型プランニングでは、サブプランの実行を請け負う各エージェントの間の相互作用の問題は、最初のプラン生成時に解決しておくことが可能である。しかしながら、それらのタスクはプラン生成を行なう一人のエージェントに任されるために、そのエージェントがプラン生成のパフォーマンスのボトルネックになる可能性が大きい。

この問題を解決するために、第二のクラスとして分散型プランニングが考えられた。この方式では複数のエージェントがプランを生成し、それぞれのエージェントが自己のプランを実行する。この方式は、集中型プランニングに較べてエージェントの自律性が高く柔軟性が高くなることが期待される。

初期の頃の分散型プランニングでは、プランニングは複数のエージェントに分散されるが、それらのエージェントは最初に存在する共通の大局目標に対してプランニングを行なうと考えられていた。その後、各々独立の目標を持つエージェントが自己の目標に対してプランニングを行ない実行するという環境が研究の対象となった。この場合、各エージェントのプランの間には複雑な相互関係が生じる可能性があり、プランニングの過程においてそれを考慮することが必要となった。

ここで、マルチエージェントプランニングは、目標の性質によっても2つのクラスに分けることができる。第一のクラスは競合解消であり、その場合は、既に各エージェントが自己のプランを持っているという仮定のもとに、それらのプランを実行する上での競合解消や整合を行なうことを目的とする。第二のクラスは共同（共有目標の達成）であり、これは例えば、単一エージェントでは達成できないような目標を複数のエージェントが共同して達成しようとすることを目的とする。

②プランの同期

複数のエージェントが独立に生成したプランを同時に実行しようとする、異なるエージェントのプランの一部や、もしくは、全体が競合する場合がある。プランの競合とは、あるプランが実行されている間、もしくは、あるプランを実行した後に、他のプランの前提条件が成立しなくなることを意味する。このような場合、プランの実行順序の制御が必要となり、それを同期と呼ぶ。

Corkill による分散 NOAH では、連言的目標を分解し各部分目標を独立のエージェントに割り当て、それぞれの部分目標をさらに複数の部分目標に階層的に分解する過程で同期情報を抽出し、それに基づいてエージェント間競合を回避する方法を提案している [8]。分散 NOAH は、階層的分散プランニングと同期の問題を扱った最も初期の研究の一つである。分散 NOAH では、複合目標（連言的目標）が分解され独立のエージェントに割り当てられる。

分散 NOAH では、すべてのエージェントがプランニングに関する同等な知識を有していることを前提としている。しかしながら、マルチエージェント環境（開放分散環境）では、そのような状況は一般的には起こり得ない。つまり、すべてのエージェントは異なる知識を有していると仮定するのが一般的である。そのような状況では、分散 NOAH のように単純な部分目標への分解やエージェントへの割り当てが有効ではなくなる。本論文で述べる機会主導型共同プランスキーマでは、エージェントの知識が不十分なために、そのような分解や割り当てが可能ではない場合を扱う。

また、すべてのエージェントが異なる技能を有するとなると、分散 NOAH では、部分目標を割り当てるエージェント（中心的エージェント）が、他のエージェントの技能（どのような目標に対してプランニングできるか）を知識として蓄積しておいて、割り当てを行なわなければならない。このような方法では、割り当てを依頼するエージェントの数が増えた場合、知識管理と検索に負荷がかかることとなる。本論文で述べる機会主導型共同プランスキーマでは、機会に応じてエージェントの共同を実現することにより、このような知識管理や検索の問題を回避している。

Georgeff は、複数のプランに含まれた競合する行為の同期をとることにより、競合解消を行なう方法を提案している [9]。この方法では、先ず各エージェントは独立にプランを

生成し、次にそれらのプランを大局的スケジューラに伝達することにより各エージェントの意図（この場合、個々に生成したプラン）を伝え、その後、大局的スケジューラがそれらの情報をもとに競合を解消する方法を提案している。具体的な競合解消の方法は、先ず、各エージェントのプランにおいて競合する行為と競合の形態を解析し、次に、競合する部分に適当な同期行為を挿入することにより競合が解消される。

Georgeff の提案した方法は基本的に集中型プランニングに属する。またこの方法は、独立した目標の競合解消的側面を強く見せているが、複数エージェントの共同のための行為の同期としてこの方法を利用することも可能である。

つまり、Georgeff の提案は、複数プランの臨界領域に関する制約の解消による整合の手法であると考えてよい。この方法では、臨界領域に関する制約の解消が大局的スケジューラ（中心的なエージェント）により行なわれる。このような方法では、エージェントの数が増えて大局的スケジューラへの負荷が増えると、ボトルネックが生じて同期抽出を効率よく行なえなくなる可能性がある。

③共同プランニング

マルチエージェント環境においては、単一エージェントでは本質的に達成不可能な目標（例えば技能の不足などにより）を複数のエージェントの共同により達成したり、また、ある問題を単一のエージェントで解決するよりも、複数のエージェントにより効率良く解決する（分散協調問題解決）ということが有用である。以下では、そのような側面に重点をおいたいくつかの主要な研究事例について述べる。

1) Partial Global Plan

Durfee と Lesser は、センサ情報から移動体の航路を解析する DVMT [10] という分散システムを通して、PGP (Partial Global Plan) と呼ばれる疎結合分散協調問題解決のモデルを考案した [11]。PGP は分散型プランニングであるが、先ず、各エージェントは自己のプランを生成し、その概略 (PGP では局所プランと呼ぶ) を他のエージェントに伝える。次に、各エージェントは受信した他のエージェントの局所プランから、大局的なプランを推定する。各エージェントは、自己の局所プランと大局プランの不整合さの度合から、局所プランを修正するかどうかを判定する。

PGP では、不整合さの度合に対するしきい値を適当に選ぶことにより（このしきい値があまり低いと、各エージェントが局所プランの修正に敏感となってしまう、それにかかるコスト増から全体のパフォーマンスが低下することになる）、動特性が変動するような環境においても、各航路追跡エージェントが十分な追跡性能を保持することが可能であることを主張している。

さらに、PGP は移動体の航路推定という問題に限定されている。これは各エージェントが推定した局所的な航路から大局的な航路を推定する問題である。この場合、局所プランにある程度の誤差を含んでいてもなんらかの大局プラン（推定航路）が得られるという性質がある。また、個々の局所プランは直接的には相互作用しない。

2) 階層的共同組織

Martial は、単一エージェントでは不可能な目標を達成するための分散型の共同プラン生成方法を提案している [12]。この方法では、各エージェントの実行可能なプランを事前に解析して、その関連性から、複雑な目標を達成するための階層的プランを複数のエージェントの明示的な協調を仮定して、事前に（つまり実際にその目標の充足が要求される前に）構成しておく。このような方法はマルチエージェント環境のような開放分散環境には適さない。なぜなら、その環境に存在するエージェントの数や各エージェントの技能に変化が生じる毎に階層的プランの修正が必要となるからである。

(4) 協調的組織スキーマ

マルチエージェント環境のように常に動作環境が変化するようなシステムにおいては、問題解決のための全体的な制御を行なうことが非常に困難である。このような環境で独立に動作するエージェントは、能力において限られており、世界に関する部分情報しか得ることができない。このような状況で、エージェントが単独で解決できない問題に直面した時に、協調作業による解決が重要な意味を持つてくる。協調作業に関して考慮されるべき問題の一つは、エージェント間の相互作用の形態、つまり組織の形態とその特性である。共通の大域目標を持つ複数エージェントの集団において目標を効率良く達成するためには、各エージェントが個々の局所的な戦略と大域目標達成のための戦略をどのようなスキーマにより整合させるのが好ましいのか、という問題は、マルチエージェント環境における基本的な課題の一つである。

この問題は、分散人工知能の分野において活発に議論されてきた。多くの研究は、分散センシング、ネットワーク管理、航空管制、協調ロボット、分散スケジューリングなどの具体的な応用分野において問題を発見し、それらをモデル化し、そして理論や解法を与えてきた。これらの応用分野において考慮された問題は、比較的大きくて複雑なものであり、提案された手法の有効性を比較することが困難である。そのために、この問題を考えるために、マルチエージェント環境のある側面を反映した追跡ゲームという単純な問題が考案され、それに基づいて、研究成果の蓄積が行なわれてきた [13, 14, 15]。

それらの研究では、主に、さまざまな組織スキーマに関して、その個々の組織スキーマの特性を解明することに主眼が置かれている。しかしながら、動的な環境においては、単一の固定的な組織スキーマでは、環境の変動に追従して効率良く問題を解くことが困難な場合があり、問題空間の変化に適応して組織を動的に再編することが効率的に優れていることが報告されている [16]。

(5) まとめ

人工知能におけるマルチエージェントシステム研究の主要研究課題およびさまざまな理論や技法について紹介してきた。ここで述べた内容は、分散人工知能の流れから派生し、エージェントという自律主体を意識し始めた研究の萌芽期および基礎展開期の研究が主である。ここで述べた内容のより詳細に関しては文献 [17] を参照していただければ幸いである。またより広範囲の話題を含んだ最近の展開に関しては、文献 [18] などに手際よくまとめられている。マルチエージェント領域の研究に関しては今でも活発に行われており、

最近は WWW 上での情報検索や EC を対象とした応用的な研究の発表も増えてきている。ごく最近の研究成果は、AAAI、IJCAI、ICMAS などの国際会議の論文集を参照されたい。

参考文献

- [1] 所真理雄: マルチエージェントシステム研究の目指すもの, コンピュータソフトウェア, Vol. 12, No. 1, pp. 78-84, 1995.
- [2] Shoham, Y.: AGENT0: A simple agent language and its interpreter, In Proceedings of the Ninth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-91), 1991.
- [3] Bratman, M. E.: Intention, Plans, and Practical Reason, Harvard University Press, 1987.
- [4] Zlotkin, G. and Rosenschein, J. S.: Conflict Resolution in Non-Cooperative Domain, In Proceedings of the Eighth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-90), pp. 100-105, 1990.
- [5] Rosenschein, J. S.: Consenting Agents: Negotiation Mechanisms for Multi-Agent Systems, Proceedings of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-93), pp. 792-779, 1993.
- [6] Davis, R. and Smith, R. G.: Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving, Artificial Intelligence, Vol. 20, pp. 63-109, 1983.
- [7] Conry, S. E., Meyer, R. A., and Lescsr, V. R.: Multistage Negotiation in Distributed Planning, Readings in Distributed Artificial Intelligence, pp. 367-384, 1988.
- [8] Corkill, D. D.: Hierarchical Planning in a Distributed Environment, In Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-79), pp. 168-175, 1979.
- [9] Georgeff, M. P.: Communication and Interaction in Multi-Agent Planning, In Proceedings of the Third National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-83), pp. 125-129, 1983.
- [10] Lesser, V. R. and Corkill, D. D.: The Distributed Vehicle Monitoring Testbed: A Tool for Investigating Distributed Problem Solving Networks, AI Magazine, Vol. 4, No. 3, pp. 15-33, Fall, 1983.
- [11] Durfee, E. H. and Lesser, V. R.: Using Partial Global Plans to Coordinate Distributed Problem Solvers, Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-87), 1987.
- [12] Martial, F.: Coordination of Plans in Multiagent Worlds by Taking Advantage of the Favor Relation, Proceedings of the Tenth International Workshop on Distributed Artificial Intelligence, 1990.
- [13] Benda, M., Jagannathan, V., and Dodhiawalla, R.: On Optimal Cooperation of Knowledge Sources, BCS-G2010-28, Boeing AI Center, 1985.

- [14] Stephens, L. M. and Merx, M. : Agent Organization as an Effector of DAI System Performance, Proceedings of the Ninth Workshop on Distributed Artificial Intelligence, pp. 263-292, 1989.
- [15] Gasser, L., Rouquette, N., Hill, R. W., and Lieb J. : Representing and Using Organizational Knowledge in Distributed AI Systems, Distributed Artificial Intelligence, Volume II, pp. 55-78, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1989.
- [16] Osawa, E. : A Metalevel Coordination Strategy for Reactive Cooperative Planning, In Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems, 1995.
- [17] 沼岡, 大沢, 長尾: マルチエージェントシステム, 共立出版, 1998
- [18] Weiss, G. (eds): Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, The MIT Press, 1999.

3.1.4 自律的エージェントから社会的エージェントへ

(1) はじめに

人間と共存し、人間とより豊かなコミュニケーションを行ったり、人間の日常的な社会活動をより円滑にするように支援するエージェントを作ることができないであろうか。たとえば、人間の質問に対してその意図を理解して適切な応答を行うのみではなく、その応答に友好性を感じさせるエージェント、人間がリラックスする雰囲気を作り出すことができるエージェント、あるいは、人間間のコミュニケーションが円滑に進行するように支援するエージェントなどである。このような種類のエージェントを作り出すことを目指した研究が進められている〔1, 5-7, 9, 10, 12, 13〕。このようなエージェントは「社会的エージェント (social agent)」、あるいは、「社会的に知的なエージェント (socially intelligent agent)」などと呼ばれることがある。本節では、このような種類のエージェントについて述べる。

人間とのより豊かなコミュニケーションを目指すためには、視覚や聴覚、触覚、さらには、嗅覚、味覚などのコミュニケーションチャンネルの使用が望まれてくる。このようなチャンネルでのコミュニケーションを実現するためには、視覚に関しては、視線も含めた顔の表情や身振りなどの高度な認識・合成技術、および、それらを表現するための高精細なディスプレイ装置などが望まれてくる。聴覚に関しては、韻律などパラ言語的な側面も含めた音声理解・合成技術が望まれてくる。また、実世界で身体を持つエージェント、すなわち、ロボットの場合、「なでる」、「くすぐる」、「ひっかく」、「たたく」というような触行動の認識〔15, 18〕や生成の技術なども望まれてくる。また、人間が求めているものを理解し、それに適切に応答するためには人間の行動からの意図やプランの認識の技術と、理解された意図やプランから、それらを達成するために有益なエージェント自身の行動を決定するための意図やプランの生成の技術が望まれてくる。

しかし、このような技術のみでは冒頭に述べた種類のエージェントを実現することはできない。人間とエージェントのインタラクションでは、心理的な側面から、設計者の意図した効果を生み出さない、あるいは、逆効果を生み出す可能性すらある。たとえば、友好性を感じさせることを意図して設計されたエージェントが冷淡さを感じさせることがあるかもしれない。人間がリラックスする雰囲気を醸成することを意図して設計されたエージェントが緊張感を与えることがあるかもしれない。あるいは、人間間のコミュニケーション障害を取り除くことを意図して設計されたエージェントが新たな障害を作り、さらには人間関係を修復不能にすることさえあるかもしれない。このようなことを起こさないようにするためには、エージェントの設計者は人間とのインタラクションにより人間に及ぼす心理的な影響を十分に理解し、考慮する必要がある。このような心理的側面の研究、特に対人レベルの社会心理学的な研究は不可欠である。

以下では最初に現時点で用語「社会的エージェント」がどのように定義され、説明されているのかを概観する。次に社会的エージェントに関する心理学的側面を考え、どのような研究課題が存在するのかについて述べる。最後に社会的エージェントを設計する上で重要な心理学的側面の研究の具体的な事例を紹介する。

(2) 社会的エージェントの定義

用語「社会的エージェント」は現在、エージェントに関する文献の中でどのように定義、あるいは、説明されているのであろうか。Moulin ら [11] は、**志向的エージェント** (*intentional agent*) に関して、自分の意図と信念に関して推論し、動作のプランを作成し、それらのプランを実行することができるものであると述べた上で、「志向的エージェントの能力に加えて、**社会的エージェント**は他のエージェントの明示的モデルを所有する。」とし、ゆえに、それらのモデルを管理し、他のエージェントのモデルに関する決定を行い、プランを作成することができなければならないとしている。ここで、Moulin らは人間も人間エージェント (*human agent*) としてエージェントの中に含めている。(本節を通して、特に断らないかぎり、「エージェント」は人工的なエージェントのみを示す。) したがって、社会的エージェントが人間と関わる場合に人間の明示的モデルを持つことになる。一方、長尾 [12] は人間とのインタラクションに焦点を当て、「このように人間社会とエージェント社会の接点としてのエージェントを考える必要があるが、そのようなエージェントは複数の人間の会話を聞いてその意図を認識し、人間どうしの誤解などによるコミュニケーション障害を取り除く調整役としての機能を持つ必要があるだろう。このような、人間社会において自然に存在し、複数の人間を含む環境においてインタラクションを行うことができるエージェントを社会的エージェント (*social agent*) と呼ぶ。」と述べている。また、OMG Agent Platform Special Interest Group の Agent Technology Green Paper Glossary [16] では社会的エージェントを「(1) チーム、あるいは、アンサンブル (*ensemble*、協調して一緒に動作するエージェントの集まり) の中での洗練された協調と他のエージェントに関する推論の能力を持つエージェント、(2) パーソナリティを持つエージェント」と説明している。

ここで、視点を変えてみる。「エージェント」の定義に関しては本編 3.1.1 の中で述べられているが、この言葉を修飾する「社会的」はどのような意味を持ち、「エージェント」の意味に何を付加するのであろうか。上述の説明の中に含まれる概念と密接に関連する学問領域に社会心理学がある。社会心理学では、「社会心理学は人間の社会的行動の原理の追求を目的とする科学である。」と定義され [20]、ここでの「社会的」が「一般に、他者が存在していること、もしくは他者が介在していることを指す」 [21] とされている。この他者が存在・介在する行動という機能の側面に注目し、特に他者としての人間の存在と他者の介在を重視すると、長尾の定義に結びつく。この定義の中で述べられている機能は Moulin らの定義に述べられている機構により実現することができる。あるいは、このような機能を持つエージェントは志向姿勢 (*intentional stance*) [2] から、そのような機構を持つと考えると、その行動に関して理解することが容易になる。また、長尾の定義の中で述べられているような複数の他者の間に介在する機能を実現するためには、他者 A のモデルに関する他者 B のモデル、などなどが必要になる。

(3) 人間-エージェント共存系の社会心理学

社会的エージェントにとっては、エージェントがインタラクションを行う相手である、エージェントにとっての他者が重要な意味を持つ。このようなエージェントにとっての他者としては主に他のエージェントと人間を考えることができる (もちろん、人間以外の動

物を考えることもできる。(たとえば、アニマルセラピーで疲れた動物をいやすための動物とエージェントとのインタラクションを考えてみるのも面白いかもしれない。) 他者として他のエージェントのみを考える場合は本編 3.1.3 で述べられているマルチエージェントシステムに該当する。一方、エージェントがインタラクションを行う他者の中に人間が含まれる場合、人間-エージェント共存系の社会心理学とでも呼べそうな研究が重要となる。(社会心理学の研究対象には、たとえば、Media Equation の研究 [17] のように人間と機械の間の関係が既に含まれているから、あえて「人間-エージェント共存系の」という修飾語句を付加する必要はないかもしれない。)

上述のように、他者としてエージェントのみが存在する場合に関しては本編 3.1.3 で述べられているから、以下の議論では他者に人間が含まれる場合のみを対象とする。

人間-エージェント共存系の社会心理学にはどのような研究課題があるであろうか。社会心理学が対象とする研究課題を眺めると、どのような課題があるのか見えてくる。たとえば、白樫 [20] は社会心理学がどのようなものであるのかを説明するために現代の社会心理学が取り組んでいる研究課題のいくつかを列挙しているが、その表現の一部を「エージェント」やこれと関連する表現と置き換えてみると、研究課題が浮かび上がってくる。たとえば、以下がある。

- 1) エージェントとのインタラクション (下線部の原文は「テレビのコマーシャル」)にはさまざまなパターンがあるが、どのようなものが消費者の購買意欲をもっともかき立てるのであるだろうか。
- 2) 人はなぜあるエージェント (下線部の原文は「人」)を好きになるのか。
- 3) エージェント (下線部の原文は「人」)はことばを使わずに、ゼスチャー、表情、身体運動などでどの程度自分の意思を他者に伝達することができるであろうか。

また、人間とエージェントのインタラクションを考えると、対人コミュニケーション (interpersonal communication) に関する心理学的な研究が多くの示唆を与える。たとえば、深田 [4] は対人コミュニケーションの本質的特徴やモデルについて説明しているが、これらからも社会的エージェントの研究の方向性が見えてくる。

- 1) 対人コミュニケーションの本質的特徴の一つに当事者間の心理的關係がある。当事者間に心理的關係が成立している場合にはお互いに相手に対して他の人間に対する接し方と異なる特有の接し方をし、成立していない場合には役割 (たとえば、教授と学生) に応じた機械的なコミュニケーションが営まれ、当事者の一方、あるいは、両方が入れ替わっても同じようなコミュニケーションが交わされる。実際、エージェントには同一の名前を使用する相手との過去のインタラクションの経験により、挨拶を変えるものが現れている [3]。このような心理的關係とコミュニケーションの方法の關係に関する研究成果は社会的エージェントを設計する上で有用になるのではないだろうか。
- 2) 対人コミュニケーションの普遍的なプロセスモデルの中の要素にコンテキストがある。コミュニケーションのコンテキストには空間的、時間的、社会的概念が含まれる。時間的なコンテキストは一連のコミュニケーション事象中のどのような位置で当該のコ

コミュニケーションが生じるかを意味する。同じメッセージを発するにしても時間的位置により異なり、たとえば、初対面の仕事相手に自分のプライベートな情報を話すのは会話の後半の方が望ましいとされる。実際、インタラクションがある程度継続すると、初めて自分のプライベートな情報を開示するエージェントも現れている。

- 3) 対人コミュニケーションのプロセスは明確な開始も終了もないという意味で永続的であるとされる。コミュニケーションの当事者が会ってから別れる間を開始から終了と考えることもできそうであるが、以下のような場合を考えることができるからである。すなわち、当事者が出会う前にその一方が他方と接するときのコミュニケーションに関して考えている可能性や、別れた後に次に接するときのコミュニケーションと関係することを考えている可能性があるからである。人間とエージェントの間のインタラクションに関しても次のような場合を想像することができるであろう。人間がエージェントにある情報を検索することを要求したが、この検索に時間がかかったために人間はその結果の一部のみを聞いてエージェントと別れたとする。この人間が次にこのエージェントと接したときにエージェントが「この前聞かれた情報ですが、あれから継続して調べてみましたが、〇〇の方が良いですよ。」と言ったとしたらどうであろうか。
- 4) 対人コミュニケーションの社会心理学的理論の中に認知的斉合性理論 (cognitive consistency theory) がある。そのような理論の1つのハイダーの認知的均衡理論 (cognitive balance theory) の中の三者関係のモデルに P-O-X モデルがある。P-O-X モデルは認知的不均衡状態を解消して認知的均衡状態を回復する過程で認知者と他者の間でコミュニケーションが発生することを示唆するものである。このモデルは認知者である個人 (P)、他者 (O)、事象 (X) の三者関係を想定し、O に対する P の認知、X に対する P の認知、X に対する O の認知に対する P の認知という 3 つの関係を取り扱う。3 つの関係には、たとえば、好意を持っているというようなポジティブな場合には正、ネガティブな場合には負の符号が割り当てられる。それらの積が正の場合には均衡状態であり、負の場合には不均衡状態であり、不均衡状態のときには変更しやすい関係を変更することにより均衡状態が回復されるとされる。このような三者関係でエージェントを含む場合を考えることができる。たとえば、P が人間であり、O がエージェントであり、X が他のエージェントであるとする。ここで、P が O と X の両方に対して好意を持っているときに、P に対して O が X の悪口を言ったとする。このとき、ハイダーの理論が成立しているならば、P は X が良いものであるように O を説得するかもしれないし、O への好意がなくなるかもしれない。この場合のように人間と複数のエージェントがインタラクションを行う場合、人間が各エージェントを完全に別の個体であると認知し、エージェントが人間に観察不能なインタラクションを行っているとき、人間を巧妙に誘導することができる可能性がある。エージェントが人間に観察不能なインタラクションを行うことは非常に簡単である。

以上では、社会心理学の研究成果などを参考に、社会的エージェントに関する心理学的な研究課題を説明した。

(4) エージェントの心理学的研究

以下では、人間-エージェント共存系に関する心理学的側面の研究の具体例をいくつか紹介する。

① エージェントの社会性に関する評価

片桐ら [8] はエージェントの社会性と密接に関連する一連の評価実験を行っている。以下では、それらの一部を紹介する。

・人間の計算機への互恵性反応に関する実験

互恵性とは助けたものに返報するという規範であり、人類に普遍的であることが知られていて、社会的対人行動を特徴付ける重要な要素である。この互恵性に関して、人間と計算機の間が存在することの確認と、その日米間での文化的な相違の比較に関する被験者実験が行われている。

実験は計算機が被験者に援助を与える状況（援助状況）と被験者が計算機に返報する状況（返報状況）から構成される。援助状況では、砂漠遭難課題が与えられた被験者に対して計算機が問題解決に有益な情報を与えようとする。計算機が与える情報としては有用性が異なる情報（高水準の援助と低水準の援助）が存在する。一方、返報状況では、与えられた色彩知覚課題を多く遂行することにより計算機に返報する機会が被験者に与えられる。この際、色彩知覚課題で使用する計算機が砂漠遭難課題と同じ場合と異なる場合の 2 条件で行われている。

以上の設定で、日本人被験者 55 名、米国人被験者 72 名を対象に実験が行われている。実験では、返報の量（返報行動）の測定と、質問紙による被験者の心理的反応（返報態度）が求められている。この実験から以下が分析されている。

- 1) 返報態度に関しては、日米共通に、高水準の援助には返報が観察され、低水準の援助には報復が概して観察されている。
- 2) 返報行動に関しては、米国人被験者には高水準の援助に対する返報と低水準の援助に対する報復のパターンが見られるのに対して、日本人被験者にはこのパターンが観察されず、援助が有益な場合には相手の異同にかかわらず高水準の返報行動が見られ、全般的に返報水準が高いことが観察されている。

この分析は、他の実験の結果と組み合わせられて、人間-計算機間のインタラクションにおいても互恵性要因が機能し、その効果が普遍的であるが、具体的な現れ方に文化的差異が認められると要約されている。

・礼儀と個性に関する実験

人間が計算機を使用するとき計算機に対して礼儀正しく振舞うことが実験的に示されているが [17]、人間は何を個体としてとらえ、社会的行動を行っているのでしょうか。これを調べるための実験も行われている。

実験は被験者と計算機スクリーン上のキャラクターエージェントの間のインタラクションであり、課題解決フェーズと評価フェーズから構成される。課題解決フェーズではスクリーン上に隠し絵を提示し、隠れている動物を当てることを被験者に要求する。この際、キャラクターエージェントが登場し、アドバイスを与える。評価フェーズではアドバイスの効用に関する評定を4種類の条件下で被験者に求める。

- 1) 同個体／同機呈示条件：課題解決フェーズと同じスクリーン上で同じキャラクターエージェントが直接被験者に質問する。
- 2) 同個体／異機呈示条件：課題解決フェーズと異なるスクリーン上で同じキャラクターエージェントが直接被験者に質問する。
- 3) 異個体呈示条件：課題解決フェーズと同じスクリーン上で異なるキャラクターエージェントが被験者に直接質問する。
- 4) 同時呈示条件：課題解決フェーズと同じスクリーン上で異なるキャラクターエージェントが被験者に質問する。ただし、このときに課題解決フェーズと同じキャラクターエージェントが同時に存在する。

以上の条件での実験では、問題解決フェーズのエージェントが評価フェーズのスクリーン上に存在するときに評価が高いという結果が得られている。この結果から、人間が計算機スクリーンではなく、キャラクターエージェントを社会的インタラクションの対象とする単位としてとられているという結論が下されている。

②異文化間の人間の会話に介在するヘルパーエージェントの影響評価

Isbister ら [6, 7, 13] は前述の社会的エージェントに関する長尾の定義の意味での社会的エージェントを設計し、その異文化間コミュニケーションにおける効果の評価を行っている。このエージェントはヘルパーエージェントと呼ばれ、計算機スクリーン上に表示される仮想空間内でパーティのホスト役と類似の役割を果たす。すなわち、仮想空間上でのミーティングの参加者の会話がはずまないとき、一時的に会話に参加し、会話が促進する手助けをすることを意図されたものである。以下では、この研究を紹介する。

・ヘルパーエージェント

ヘルパーエージェントは仮想空間 FreeWalk [14] 内の2人のミーティング参加者が発する音声を観測し、会話がはずんでいないことを示す長い沈黙を検出すると、仮想空間上で参加者に接近し、2人の参加者に順に質疑応答し、話題を推薦し、その場から立ち去る。

具体的には、エージェントは内部状態として待機状態、接近状態、会話状態の3状態を持つ。待機状態のとき、エージェントは仮想空間上で参加者から離れた隅にいる。気まずい沈黙を検出すると、接近状態に入り、参加者に近づく。近づき終わると、会話状態に入り、会話を開始する。ここで、会話状態に入る前に参加者間の会話が再開する場合にはエージェントは待機状態に戻る。

会話状態ではエージェントはテキストメッセージを表示して参加者に質問する。ここで、合成音声を使用しないのは合成音声の不自然性をもたらしたり、参加者が聞き逃すのを回

避するためである。参加者はメッセージに付随する‘yes’と‘no’のボタンで質問に回答する。

エージェントは日米で共通に初対面で使用するのに安全な話題と危険な話題の中から話題を選択し、参加者に質問する。これらの話題は日米の大学生へのアンケート調査の結果として選ばれたもので、安全な話題には映画、音楽、天気、スポーツなど、危険な話題には金銭、政治、宗教などが選ばれている。

これらの各話題に関して、エージェントは木構造状のデータを持つ。各節点は会話の1ターンに対応し、参加者への質問、参加者の回答の候補、各回答へのエージェントの返答、参加者を切り替えるか否かを示すフラグから構成される。各節点は両参加者が順次会話に参加することができるように構成される。

エージェントは安全（あるいは、危険）な話題の中から未使用のものをランダムに選択し、一方の参加者をランダムに選択し、この参加者に選択した話題に関する質問を行う。

・評価実験

上述のヘルパーエージェントの有効性を検証するために、ランダムに選択された同性の日米の学生間の対話の実験が3種類の条件で行われている。すなわち、エージェントが存在しない場合、安全な話題を提供するエージェント（安全なエージェント）が存在する場合、危険な話題を提供するエージェント（危険なエージェント）が存在する場合である。各対話は20分である。対話の後に各参加者はそれぞれの言語で書かれたアンケートに答えることを求められている。アンケートには会話、会話相手、エージェントに関する質問が含まれている。

日本人被験者45名、米国人被験者43名から収集されたアンケート結果から以下が分析されている。

1) 安全なエージェントが存在する場合とエージェントが存在しない場合：

アンケート結果は安全なエージェントが米国人被験者に対しては肯定的な影響を与えていることを示している。具体的には、会話中の自分に良い印象を持ったこと、会話相手に良い印象を持ったこと、日本人への偏見が緩和したことを示している。一方、日本人被験者に対しては否定的な影響を与えていることを示している。具体的には、会話に悪い印象を持ったこと、会話相手に複雑な印象を持ったこと、米国人への偏見が増加したことを示している。

2) 安全なエージェントが存在する場合と危険なエージェントが存在する場合：

アンケート結果は危険な話題が気まずいが面白いこと、危険なエージェントが存在する場合の方が日本人被験者には米国人被験者が悪く見えること、危険な話題が日本人被験者を米国人のように振舞わせること、提供する話題の差異が偏見に及ぼす影響が矛盾することを示している。

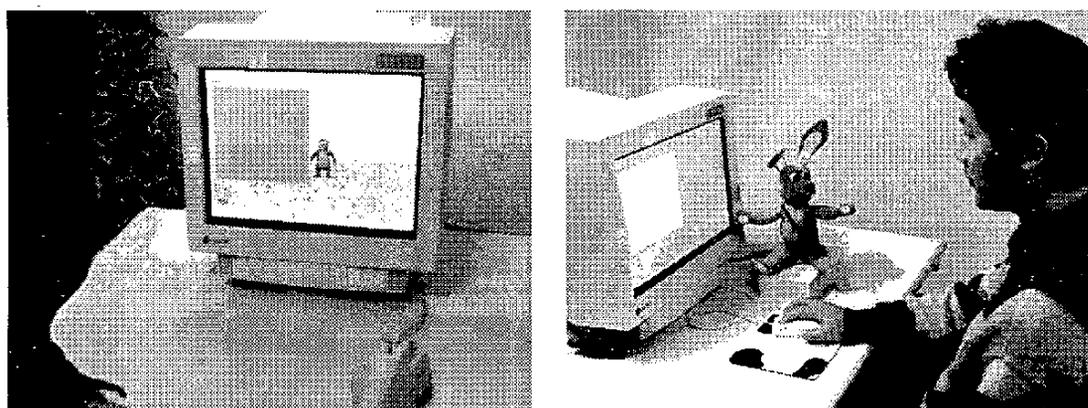
以上の実験を通して、ヘルパーエージェントの行動が人間の行動に影響を与えること、エージェントが各利用者に適応した行動を行うべきであることが確認されたという結論が下されている。

③エージェント/ロボットとのインタラクションの人間の行動への影響評価

大和ら〔22〕は計算機スクリーン上のキャラクターエージェントや、実世界で身体を持つエージェントであるロボットとのインタラクションが及ぼす人間への影響を調べるための評価実験を行っている。以下では、一連の研究の中から、エージェントが取る信頼獲得戦略に関する実験と実世界での身体性の有無に関する実験を紹介する。

以下で述べる各実験は比較的単純な色選択課題におけるエージェント/ロボットの推奨の影響を評価するものである。各実験は30問の設問から構成される。設問に先立ち、エージェント/ロボットは実験の進行役であると自己紹介する。各設問では、計算機スクリーン上に色を呈示し、被験者に2つの候補の中からその色名を選択させる。エージェント/ロボットは音声で「僕は〇〇色だと思うなあ」と一方の候補を緩やかに推奨する。被験者はラジオボタンで色を選択する。ここで、選択と推奨が一致しているとき、エージェント/ロボットは「やっぱり〇〇色だよね」と言いながら、喜びを表す身振りをする。他方、一致しないとき、「そうかなあ、次に行くね」と言いながら、失望を表す身振りをする。設問中に呈示する色はすべて微妙な色であり、候補の色名はなじみのないものである。たとえば、灰色の一種を呈示し、「深川鼠」と「利休鼠」の中から選択させるというようにである。このような設定により、論理的な正解がないと考えられる設問となっている。

使用されているエージェント（図表3.1.4-1の左の写真を参照）はMSエージェントに基づきNTT東日本研究開発センターが開発したものであり、ロボット（同図の右の写真を参照）はNTTサイバーソリューション研究所が開発したものである。いずれも同じ音声合成システムを使用している。これらに基づき、対話的な色選択課題により評価システムが構築されている。



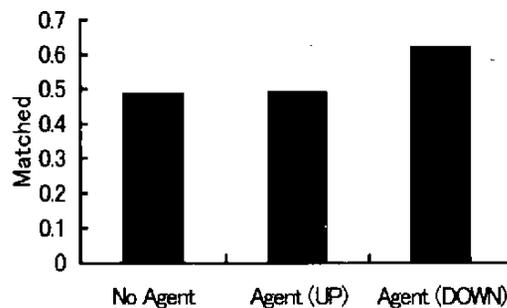
図表 3.1.4-1 実験風景

実験は以下で述べる5種類の条件について各30名の被験者で行われている。各条件で使用される設問とその順序はすべて同一である。問題設定に先立ち、エージェント/ロボットによる推奨なしの予備実験を行い、最初の20問は予備実験での被験者の回答の一方の候補への偏りが大きいものを使用し、最後の10問は偏りが小さいものを使用している。これは信頼獲得戦略を比較するためである。

・エージェントの存在と信頼獲得戦略に関する実験

エージェントによる推奨がない場合（条件 A）と 2 種類の信頼獲得戦略に基づくエージェントによる推奨がある場合（条件 B、C）の比較実験である。信頼性を獲得することを考えると、被験者の嗜好とあまりに異なるものを推奨するエージェントは信頼を獲得することができない可能性がある。それでは、最初に被験者の嗜好に近いものを推奨し、後から遠いものを推奨する場合と、最初に被験者の嗜好に遠いものを推奨し、後から近いものを推奨する場合では、最終的にいずれが強い影響力を持つであろうか。変化としては一般に接近する方向が好ましいことから、いずれの影響力が強いのかは一概に言うことができない。そこで、影響力の差異を比較することができるように推奨が設定されている。条件 B では、最初の 10 問では予備実験で得られた多数の被験者の選択の逆を推奨し、次の 10 問では多数の被験者の選択を推奨する。これを UP パターンと呼ぶ [19]。条件 C では、これとは逆の推奨を行う（DOWN パターン）。最後の 10 問は前述のように予備実験の被験者の選択の偏りが小さいもので、これを評価に用い、条件 B と C の両方でエージェントは同じ色を推奨する。

実験結果として図表 1.3.4-2 に示すものが得られている。ここで、縦軸は評価用の 10 問に関するエージェントの推奨との平均一致率である。分散分析（ANOVA）では 3 条件に差がないとする帰無仮説が $p < 0.05$ で棄却され、Fisher の PLSD（多重 t 検定）により条件 A と C、条件 B と C の間に有意差が検出されている（ $p < 0.05$ ）。以上の結果は、エージェントの推奨が DOWN パターンの場合にのみ有効であることを示している。



図表 3.1.4-2 エージェントの存在と信頼獲得戦略の影響

上述の UP パターンと DOWN パターンは対人心理学の譲歩的要請法と段階的要請法 [4] に対応する。上述の実験では要請（色名の推奨）に格別の根拠がなく、このような場合に譲歩的要請法のように最初に大きな要請を行うと、その時点で拒絶にあう可能性があるため、DOWN パターン、すなわち、段階的要請法が優位になると解釈することもできるであろう。

・実世界での身体性に関する実験

エージェントとロボットの DOWN パターンによる推奨（条件 D、E）の比較も行われている（前述の実験では、エージェントが発声する際に台詞を吹出しとして呈示しているが、ここでは、吹出しを呈示することができないロボットと条件をそろえるために、吹出しの

呈示を行っていない)。この実験の結果として、実世界で身体を持つにもかかわらず、エージェントの影響力のみが検出されている。

この実験では、色が計算機スクリーン上に呈示されるために、(1)ロボットの身体性が活用されていないこと、(2)エージェントの方がロボットと比べて判定対象(色領域)により近い位置にあったこと、など設定上の問題がある。ロボットの身体性がより有効に機能する状況、たとえば、触覚の利用[15, 18]などを含む実験設定でのさらなる研究が望まれる。

上述の両実験では、課題終了後に質問紙によるアンケートが取られているが、これから興味深い結果が得られている。エージェント/ロボットに対する主観的な親密度に関する設問への回答と客観的な影響(一致率)を比較すると、(1)信頼獲得戦略と親密度の間に相関がないこと、(2)ロボットの影響力は小さいにもかかわらず、高い親密度を持つことという2つの結果が得られている。上述の実験ではロボットの身体性が親密度を高める効果があるが、行動への影響という点では十分に生かされていないと見ることができかもしれない。

以上の実験結果をまとめると、色選択のような単純な行動においてもエージェントとのインタラクションが人間の行動に影響を与えることが確認されている。

(5) おわりに

本節では、社会的エージェントが現時点でどのように定義され、記述されているのかを簡単に概観した後、社会的エージェントに関係する心理学的研究としてどのようなことが考えられるかについて述べ、そのような研究の具体的な研究事例を紹介した。

人間が社会的エージェントと共存する社会を考えると、社会的エージェントの人間への心理的影響の研究は重要な研究課題である。今後、社会的エージェントがより多くのコミュニケーションモダリティを使用することができ、各モダリティはより高品質になっていき、それらの心理的影響も大きくなるであろう。これらの研究と並行して、心理学的側面の研究を行う必要がある。

参考文献

- [1] Cassel, J., Bickmore, T., Billingham, M., Campbell, K., Chang, K., Vilhjalmsen, H., and Yan, H., Embodiment in Conversational Interfaces: Rea, *Proceedings of CHI99*, pp. 520-527, 1999.
- [2] Dennett, D. C., *The Intentional Stance*, MIT Press, 1987.
(若島, 河田訳, 志向姿勢の哲学, 白揚社, 1996.)
- [3] Extempo, <http://www.extempo.com>.
- [4] 深田, インターパーソナルコミュニケーション, 北大路書房, 1998.
- [5] Isbister, K. and Hayes-Roth, B., Social Implications of Using Synthetic Characters, *Proceedings of Animated Interface Agents: Making Them Intelligent* (a workshop in IJCAI-97), pp. 19-20, 1997.
- [6] イスピスタ, 中西, ヘルパーエージェント: 仮想空間における人間どうしのインタラクションのアシスタント, *NTT R&D*, 49(2), pp. 96-101, 2000.

- [7] Isbister, K., Nakanishi, H., Ishida, T., and Nass, C., Helper Agent: Designing an Assistant for Human-Human Interaction in a Virtual Meeting Space, *Proceedings of CHI2000*, pp. 57-64, 2000.
- [8] 片桐, 社会的エージェントの心理学, 第6回知能メディアシンポジウム, 2000.
- [9] Kitamura, Y., A Multi-agent Based Intelligent WWW Interfacer, *Proceedings of The 13th Japan-Germany Forum on Information Technology*, 8(2), pp. 7-11, 2000.
- [10] Lester, J. C., Converse, S. A., Kahler, S. E., Barlow, S. T., Stone, B. A., and Bhogal, R. S., The Persona Effect: Affective Impact of Animated Pedagogical Agents, *Proceedings of CHI97*, pp. 359-366, 1997.
- [11] Moulin, B., and Chaib-draa, B., An Overview of Distributed Artificial Intelligence, O'Hare, G. M. P., and Jennings, N. R. (eds.), *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, Wiley, pp. 3-55, 1996.
- [12] 長尾, エージェント指向インタフェース, 長尾(編), エージェントテクノロジー最前線, 共立出版, pp. 63-83, 2000.
- [13] 中西, Isbister, 石田, Nass, 仮想空間でのコミュニケーションを補助するヘルパーエージェントの設計, *インタラクション2000*, pp. 107-114, 2000.
- [14] Nakanishi, H., Yoshida, C., Nishimura, T., and Ishida, T., FreeWalk: A 3D Virtual Space for Casual Meetings, *IEEE Multimedia*, 6(2), pp. 20-28, 1999.
- [15] Naya, F., Yamato, J., and Shinozawa, K., Recognizing Human Touching Behaviors Using a Haptic Interface for a Pet-robot, *IEEE SMC 1999*, II, pp. 1030-1034, 1999.
- [16] OMG Agent Platform Special Interest Group, *OMG Agent Technology Green Paper Glossary*, <http://www.objs.com/agent/agent-glossary-v02.html>, 1999.
- [17] Reeves, B. and Nass, C., *The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*, Cambridge University Press, 1996.
- [18] Shinozawa, K., Naya, F., and Yamato, J., Personal Adaptation of Human Touching Behavior Recognizer Using Pressure Sensors, *Proceedings of AROB 5th*, II, pp. 789-792, 2000.
- [19] Shinozawa, K., Yamato, J., Naya, F., and Kogure, K., Qualitative Evaluation of Effect of Embodied Conversational Agents on User Decision, *Proceedings of HCI International 2001*, to appear.
- [20] 白樫, 社会心理学への招待, ミネルヴァ書房, 1997.
- [21] 末永(編), 社会心理学研究入門, 東京大学出版会, 1987.
- [22] 大和, 篠沢, 納谷, 小暮, エージェントとロボットによるユーザ行動への影響, 信学技報 HCS-2000-58, 2001.

3.2 エージェントプラットフォームの将来像と標準化戦略

3.2.1 FIPAのプラットフォームアーキテクチャーとJavaによる実装の標準API

(1) はじめに

本項では、まずエージェント技術の国際的な標準化団体として知られている FIPA の 2000 年度の活動概要を示す。次に、FIPA におけるエージェントプラットフォームのアーキテクチャーについて説明し、最後にそれを Java で実装する際の API を標準化しようとする活動について述べる。なお、以下の記述で、「現在」「現時点」などとあるものは、2001 年 2 月末日を指すものとする。

(2) FIPA の活動概要

FIPA は、エージェント技術の標準化を目的として、1996 年にスイスのジュネーヴで登記された非営利団体である。現在、15 ヶ国から 59 団体が参加している。これまでに 20 回の会合を重ね、さまざまな仕様を策定してきた。最新の状況については、ウェブ¹をご参照頂きたい。

1999 年から 2000 年にかけて、FIPA の内部では大きな変動があった。実際、1999 年には、外部に向けて公開できる成果はほとんど無かったほどである。以前の状況については、1999 年度の本報告書に解説があるが、要するに、FIPA 97/98 仕様を作成した 1998 年までの活動が、学会や産業界の既存の成果を一通りまとめあげることであったとすれば、それ以降、今日に至るまでの FIPA の苦闘は、将来に向けてエージェント技術にどのような方向性を見出すかの試行錯誤に費されたと言することができる。とりわけ、ドッグイヤーと呼ばれる、インターネットを中心とした情報技術の急速な進展のなかで、エージェントがいかなる役割を果たすべきかの議論はいまだ継続中である。

ここでは、まず、ほとんどの仕様書が実験的実装を推奨する段階、後述となり、組織としても一応の落ち着きを取り戻した現時点における FIPA の状況を概観する。

(3) FIPA の組織

FIPA は、管理組織と技術組織に大別される。一人の会員が複数の委員会等に所属することもできる。

管理組織は、全体を統括するボード、事務局、イメージ委員会から成る。イメージ委員会は、これまで対外的アピールが不足していたという反省から生まれたものである。季刊のニュースレターを発行し、プレスリリースなどの PR 活動を行う。

技術組織として、アーキテクチャーボード、各種の技術委員会、作業部会、スペシャルインタレストグループ (SIG) がある。技術面を総括するアーキテクチャーボードは、技術委員会や作業部会の活動をチェックし、FIPA 総体としての仕様の整合性と有用性に責任を持つ。技術委員会は個別の領域に特化した専門家集団であり、技術仕様をまとめる中核となる。作業部会は技術仕様に基づくアプリケーションの開発や運用を担当する。SIG はいまだ仕様化には至らない技術項目の検討を行う。以下に現在活動中の技術委員会の概要を示す。詳細はウェブ²を御参照いただきたい。

¹ <http://www.fipa.org/>

² <http://www.fipa.org/activities/index.html>

1) アーキテクチャー

エージェントとは何かという（抽象的な）定義から、FIPA 97/98 がその一つのインスタンスであるようなアーキテクチャーを定める。これによって、より高度な見地から互換性や相互運用性が確保されるようになることが期待されている。また、下記アグリーメント委員会でも用いられている、ドメインとポリシーという概念について検討を開始した。

2) アグリーメント

通常の API 呼び出しと異なり、ACL による通信の場合は、送信者の意図の通りに受信者が振る舞うとは限らない。従って、エージェントに約束や契約を守るようにコミットさせ、約束違反の場合は罰則を課すといった制約が必要となる。そのための (a) サービスレベルアグリーメントのオントロジー、(b) 約束管理のためのドメインとポリシーの記述、(c) それに基づくアプリケーションとしてのマルチエージェントの構成管理、を規定する。

3) ゲートウェイ

有線環境と無線環境を接続するゲートウェイの仕様を作成する。すなわち、接続断時のオペレーションモード、ローミングサービス、移動/固定端末のプロファイルの記述、メッセージの高効率化バイナリーエンコーディング等を規定する。

以下に現在活動中の作業部会の概要を示す。

1) AgentCities

インターネットを用いて各参加者それぞれの FIPA プラットフォームを相互に接続する。それぞれのプラットフォームを「街」としてモデリングし、その上で広域分散アプリケーションを構築する。

2) 製品設計と製造

製造業界でいわれている「ホロン」あるいは「ホロニックマニュファクチャリング」と、エージェント概念の親近性に着目し、エージェントに基づく設計と製造のアプリケーションを考える。

以下に現在活動中のスペシャルインタレストグループの概要を示す。

1) リエゾン

OMG, W3C, IETF など、関連団体との協調を行う。セマンティックウェブ、DAML、OIL、UDDI などの紹介が行われた。これらの技術と FIPA がどのようなかわりを持つことになるかは、今後の課題である。

2) セキュリティ

FIPA 98 仕様で不備であった安全性管理を担当する。

3) オントロジー

FIPA の仕様において一貫したオントロジーの概念と使用を実現する。FIPA 98 のオントロジーサービス仕様も引き継ぐ。

4) ピアツーピア

Napster などのピアツーピア技術と FIPA のエージェント技術の協調を目指す。Intel の Peer-to-Peer Working Group と協力しようとしている。

(4) 本年度の会議

以下に本年度に行われた会議の概要を示す (図表 3.2.1-1)。

図表 3.2.1-1 会議概要

回数	日付	場所
17	2000年4月	リスボン、ポルトガル
18	2000年7月	ボルチモア、米国
19	2000年10月	シドニー、オーストラリア
20	2001年1月	フェニックス、米国

一年間かけて、FIPA 2000 と呼ばれていた仕様の議論を行った。第 19 回から 20 回の会議にかけて、ほとんどの審議中の仕様が、後述するエクスペリメンタルという段階に達した。

(5) FIPA の仕様

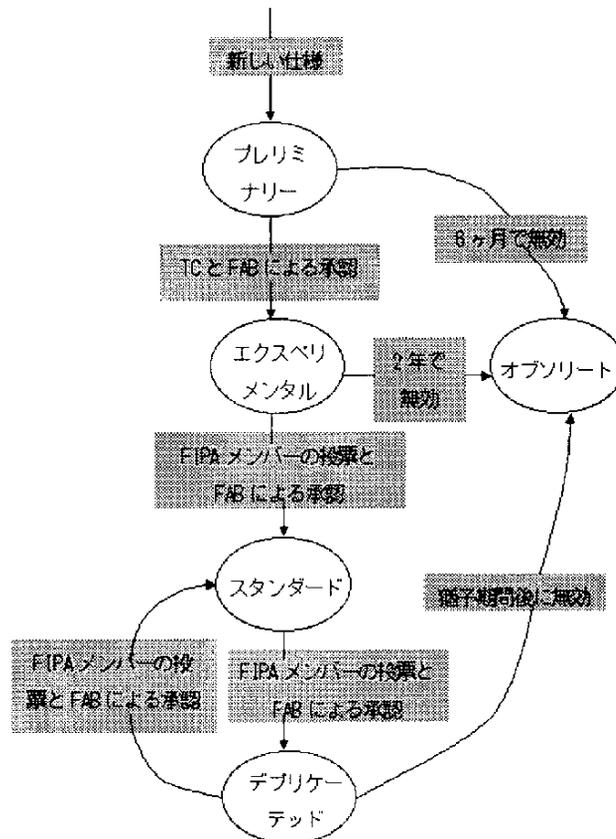
FIPA の仕様で大切なことは、これはあくまでも、相互運用性を保証するために、エージェントというソフトウェアアブストラクションの外部機能のインタフェースを規定するものだという点である。プログラミング言語を含む内部構造の実装については、FIPA の仕様の範囲外である。このことにより互換性と機能性のバランスを取る。ただし安全性や移動エージェントなど、内部の構成に踏み込まざるを得ない箇所では、隔靴痛痒の感は否めない。後述の Java Agent Services は、プログラミング言語として Java を使うと固定することにより、FIPA 仕様の互換性と Java による効率のよい実装の両立をめざしている。

FIPA では従来、FIPA 97、FIPA 98 というように仕様に年号をつけて、一年単位で作業を回してきたが、今後は年単位のサイクルにはこだわらず、非同期に仕様がリリースされる。具体的には、文書の種類として、コンポーネントとプロファイルの二つを定義した。コンポーネントは最小限の個別の技術仕様であり、プロファイルはコンポーネントを束ねることによって仕様の使用者に意味のあるまとまった単位を提供する。ただし、現実にはプロファイル文書はまだ存在しない。また、プレリナリー、エクスペリメンタル、スタンダード、デプリケータッド、オブソリートという文書のライフサイクルの状態を定義した。これらの意味は次の通りである (図表 3.2.1-2)。

図表 3. 2. 1-2 文書の状態

プレリミナリー	技術委員会の外部に出して、レビューが可能な状態。ドラフト文書であり、異なる委員会の仕様との間で不整合がありうる。技術委員会のみが議決すれば本状態になる。6ヶ月以内にエクスペリメンタルに昇格しなければ、自動的にオブソリートとなる。
エクスペリメンタル	他の技術委員会の文書および既存の仕様との整合性がとれており、実験的な実装と相互接続試験が可能となる状態。アーキテクチャーボードの承認によりこの状態となる。エクスペリメンタル文書は、2年以内にスタンダードに昇格しなければ、自動的にオブソリートとされる。
スタンダード	実装がなされ、相互接続実験によって実証された仕様。商業的な開発および運用が推奨される。スタンダードとなるためには、FIPA会員の投票で過半数を獲得した後で、アーキテクチャーボードの承認を得なければならない。投票で見逃された欠陥がある場合、アーキテクチャーボードは拒否権を発動できる。無期限に有効だが、何らかの理由でスタンダードにふさわしくないと判断された場合は、FIPA会員の過半数の支持と、アーキテクチャーボードの満場一致により、スタンダード文書は次のデプリケータッド状態となる。
デプリケータッド	スタンダード文書がオブソリートにされるまでの執行猶予状態。期間は個別に設定される。アーキテクチャーボードは、必要があれば再度その文書をスタンダード状態に戻すことができる。
オブソリート	無効となった文書。参照目的のためのみに無期限に保存される。

これを図示すると図表 3. 2. 1-3 のようになる。



図表 3. 2. 1-3 文書の状態の遷移

現在の仕様の概略を以下に示す。詳細は、ウェブ³を参照して頂きたい。

1) 抽象アーキテクチャー

エージェントの機能とサービスは何かという（抽象的な）定義から、FIPA のそれ以外の仕様がその一つのインスタンスであるようなアーキテクチャーを定める。これによって、より高度な見地から互換性や相互運用性が確保されるようになることが期待されている。また、ドメインとポリシーについての検討を開始した。

2) エージェント通信言語

エージェント間の会話で使用される言語の、コミュニケーションアクト（22 個）、コンテンツ言語（4 個）、インタラクションプロトコル（11 個）を定める。直観的には、コミュニケーションアクトは文の動詞に相当し、コンテンツ言語は目的語を記述する文法を与え、インタラクションプロトコルは語用論に相当する。

3) エージェント管理

マルチエージェントシステムの管理の枠組を定義する。エージェントプラットフォームと呼ぶ管理の単位を定め、ホワイトページ（名前から機能へのインデックス）とイエローページ（機能から名前へのインデックス）について、ディレクトリーサービスとライフサイクル管理を規定する。また移動エージェントの管理を定める。

4) メッセージトランスポート

下位の通信プロトコルである HTTP, IIOP, WAP について、エージェントプラットフォームがどのようにそれらを使用するかを規定する。また、具体的な転送構文として、S 式、XML、バイナリーエンコーディングを定め、それぞれについて SMTP のヘッダーに類似したエンベロープを規定している。

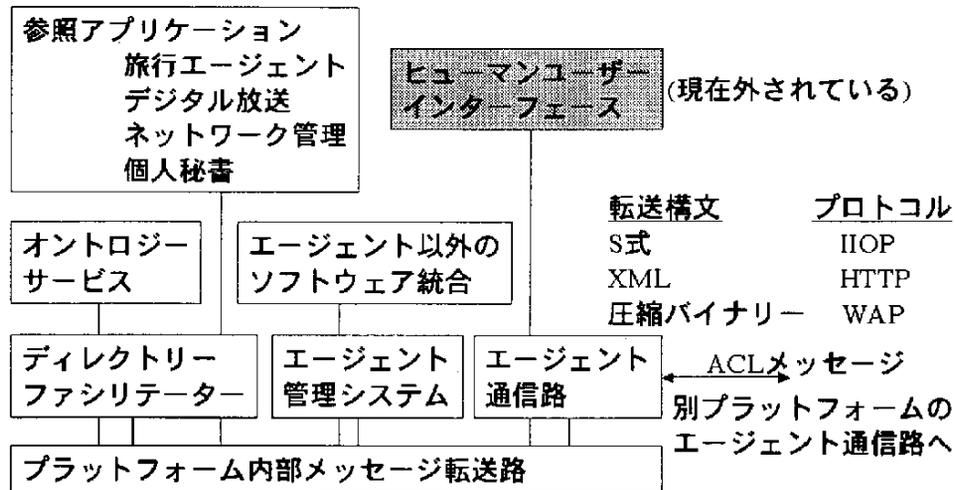
5) その他

エージェントでないソフトウェアをエージェントから扱う際の方式、携帯電話等デバイス移動型エージェントのサポート、オントロジーサービス、FIPA 97 の参照アプリケーション、開発者ガイド等が定められている。また、FIPA 98 にあった人間とエージェントのインタラクション、セキュリティ管理はオブソリート扱いとなった。

(6) FIPA のプラットフォーム

以上の仕様をまとめると、FIPA のプラットフォームの全体像は以下のように図示できる（図表 3.2.1-4）。

³ <http://www.fipa.org/repository/index.html>



図表 3.2.1-4 FIPAのプラットフォームの全体像

ただし、厳密には、FIPAでは、「プラットフォーム」とは、一つのエージェント管理システムによって統括され、同一のプラットフォーム内部メッセージ転送路に接続されるエージェントの集まりという定義をしている。プラットフォームの構成例としては一つの仮想機械、一台の物理的な計算機、一つのLANなどが考えられる。プラットフォーム内部メッセージ転送路の通信プロトコルはFIPAにおいては規定されていないので、プラットフォーム毎に最適なメッセージ転送メカニズム（たとえばUnix IPC, Java RMI など）を用いることができる。異なるプラットフォームとの通信を行うのはエージェント通信路の役割である。

プラットフォームに対して、「ドメイン」とは、ディレクトリーファシリテーターによって管理されるエージェントの集まりである。これらのエージェントは異なるプラットフォームに分散していてもよい。ドメインは、一つのアプリケーションを構成する単位としてとらえることができる。

(7) FIPAの今後の予定

大きく三つの課題が認識されている。まず一つは、現在実験的状態となっている仕様を、早期にスタンダード文書とすることである。これには、作業部会で進行中のAgentCitiesと製品設計と製造のアプリケーションをバネにして、実装と実証を行うことが必要である。

次に、現在技術委員会で審議中の、ドメインとポリシー、アグリーメント、ゲートウェイを実験的にするのが求められている。

最後に、これがもっとも重要なことであるが、じつは1996年設立のFIPAは、憲章により、5年経過後すなわち2001年にいったん解散し、組織の継続の信を問うこととなっている。立ち上げ時期の5年間を終え、今後の5年10年といったスパンを見据え、FIPAがどのような方向性でいかなる活動を行っていくのかの議論が開始されつつある。

⁴ <http://www.fipa.org/docs/output/f-out-00060/f-out-00060.html>

(8) Java Agent Services の活動

Java Agent Services⁵ (以下 JAS という) は、Sun Microsystems による Java Community Process⁶ (以下 JCP という) の一環として、Java Specification Request (以下 JSR という) 87 番⁷の番号を与えられ、活動を行っている。エージェントと関係の深い推論エンジンの部分については、同じく JSR 94 番⁸の Java Rule Engine API との共同作業を計画している。

まず JCP とは、Java の仕様を決めるときに、Sun が勝手につくったものを押し付けるのではなく、世界の Java コミュニティから広く意見を取り入れ、民主的なプロセスで議論を行うための枠組みである。JSR は、新しい仕様が欲しいという提案であり、現在のところ 100 個以上がリストアップされている。JSR は承認されると、自薦他薦による少人数のエキスパートグループが結成され、そこで専門的な議論が集中して行われる。エキスパートグループの成果としては、仕様書の作成、リファレンスインプリメンテーションの開発、互換性検証ツールキットの開発、解説書籍の執筆が求められる。仕様書はコミュニティのリビューを経て正式な Java の仕様として承認される。

JAS の活動が FIPA の外部で生じたことには理由がある。前述の通り、プログラミング言語やネットワーク接続といった実装の内部から独立した、エージェントの外部のインタフェースを規定するということがもともとの FIPA の理念であった。そして 1996 年から 1998 年までの、FIPA 97/98 仕様の作成はこの方針に基づいて行われたものであった。1998 年から 2000 年にかけては、FIPA 97/98 の実装が多数出現した。そしてその多くが Java によるものであった。これらは、エージェント通信のレベルでは相互に会話が可能なように互換性を高める努力が行われたが、Java のプログラミングインタフェースのレベルではそれぞれまったくの別物であったという問題があった。

他方、FIPA では、1999 年から 2000 年にかけて、FIPA 97/98 仕様がそのインスタンスの一つであるような、抽象アーキテクチャーを規定した。また、FIPA とメンバーシップが多く重なっている OMG では、2000 年にエージェントワーキンググループがスペシャルインタレストグループに昇格をはたした。ここでは CORBA にのっとった FIPA の技術の普及促進が目的の一つであった。しかし、組織が大きく制約の多い OMG での活動はやりにくく、結局エージェントスペシャルインタレストグループとしてはエージェントの普及啓蒙活動に焦点を絞ることとなった。抽象アーキテクチャーに基づく FIPA の開発活動をオープンに行うことのできる身軽な活動形態を模索していたところ、JCP のバージョンが 1 から 2 になり、ライセンス条件が緩和されたため、JAS の活動を立ち上げることにしたのである。

現在の JAS のエキスパートグループの構成は、富士通研究所アメリカの Frank McCabe をリーダーとして、Sun, HP, 西フロリダ大学、InterX, IBM, Compendium Technologies, コムテック、ACM となっている(ただし、企業として JCP に参加するためには、年間 5000 ドルの費用がかかるため、後 3 者は無料の個人の資格として参加している)。エキスパートグループは 2000 年 11 月に初会合を持ち、基本的な活動方針とスケジュールを議論した。以降毎月ミーティングを持ち、2001 年の 7 月に一通りの成果を提出する予定である。開発中のソースコードは SourceForge にて CVS

⁵ <http://www.java-agent.org/>

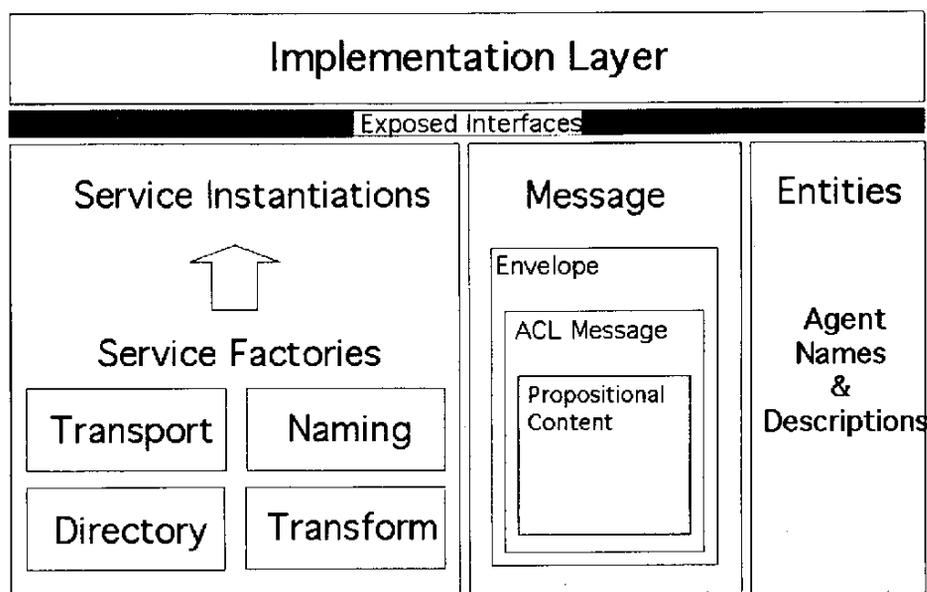
⁶ <http://java.sun.com/aboutJava/communityprocess/>

⁷ http://java.sun.com/aboutJava/communityprocess/jsr/jsr_087_jas.html

⁸ http://java.sun.com/aboutJava/communityprocess/jsr/jsr_094_ruleengine.html

で管理されている⁹。ライセンス形態としては、IBM の提唱する Common Public License¹⁰を用いる予定である。

以下に JAS の基本的な枠組みを図示する (図表 3.2.1-5)。基本的に、抽象アーキテクチャー¹¹の忠実な実装になっていることがわかる。



図表 3.2.1-5 JAS のアーキテクチャーの全体像

まず、メッセージは、トランスポート情報を記述するエンベロープが ACL メッセージを含み、その中に命題を記述するコンテンツが含まれるという入れ子になる。エンベロープ、ACL メッセージ、命題コンテンツはそれぞれビーンである。

トランスポート、ネーミング、ディレクトリー、構文変換などのサービスは、サービスファクトリーによってインスタンス化され、たとえば http トランスポート、JMS (Java Message Service) トランスポートなどの個別のインタフェースを提供する。

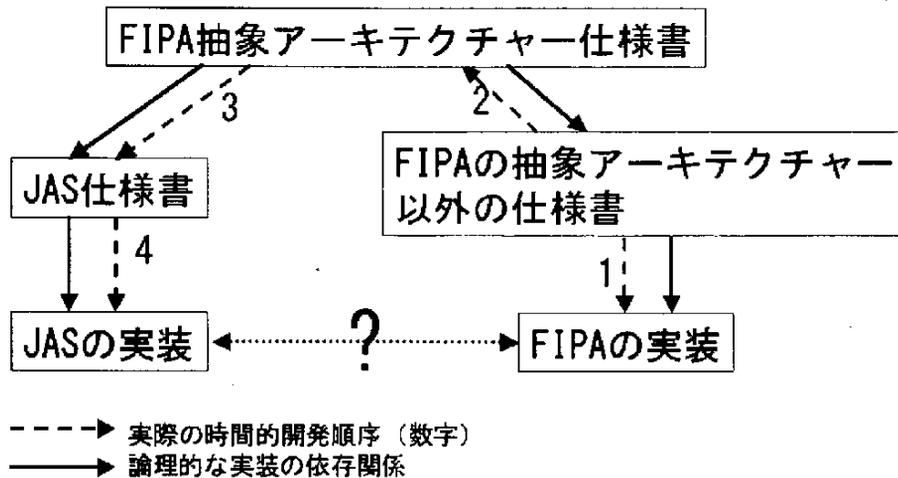
ネーミングサービスはエージェントにユニークな名前を与えると同時に、エージェントの認証を行う。トランスポートサービスは通信のエンドポイントを提供する。ディレクトリーサービスはエージェントの特性の登録、検索、変更、削除の機能を提供する。構文変換サービスは、メッセージの意味論を変えることなく、オブジェクトのシリアライズや base64 エンコード/デコードなどの処理を行う。

ところで、このような JAS の仕様は FIPA の抽象アーキテクチャーの実装であると述べた。JAS の仕様、JAS の実装、FIPA の抽象アーキテクチャー仕様、FIPA の抽象アーキテクチャー以外の仕様、FIPA の実装の関係を図示すると以下のようなになる (図表 3.2.1-6)。

⁹ <http://sourceforge.net/projects/jas/>

¹⁰ <http://oss.software.ibm.com/developerworks/opensource/license-cpl.html?dwzone=opensource>

¹¹ <http://www.fipa.org/specs/fipa00001/>



図表 3.2.1-6 JAS のアーキテクチャーの全体像

ここで問題は、はたして JAS の実装は、これまでの FIPA の実装と互換か否か（相互に会話が行えるか）、である。じつはこの問題はまだ決着がついていない。互換であるのが望ましいことに疑いはないし、論理的にはそうなるはずなのだが、それぞれの仕様が十分に厳密に記述されていないこと、それぞれの実装が十分に仕様に忠実でないこと、また必要な検証手段が確立されていないことの結果として、できあがるまではわからない、できあがってから調整が必要になるだろう、と考えられている。ひとつの理由として、JADE¹²や FIPA-OS¹³といった先駆的な FIPA の Java による実装の経験が、JAS に反映されていないということがあげられる。（当社のコムテックエージェントプラットフォーム¹⁴は Java IDL を使用してはいるものの、大部分が Lisp でつくられている。）今後の大きな課題である。

（9）おわりに

FIPA のプラットフォームアーキテクチャーと Java による実装の標準 API を、それぞれの活動を説明することによって解説を試みた。両方の活動に実際に身をおいているものとして、道のりはまだ長く遠いという実感がある。とりあえず理想は高く、現実は着実に、一步一步できることを積み重ねてゆくしかない。

¹² <http://sharon.cselt.it/projects/jade/>

¹³ <http://fipa-os.sourceforge.net/>

¹⁴ <http://fipa.comtec.co.jp/ap/>

3.2.2 FIPAのエージェント通信言語

エージェントに関わる標準仕様の策定において、エージェント通信言語 (ACL: Agent Communication Language) をどのように定義するかはエージェントの自律性、エージェント間の相互作用などと不可分であり非常に重要な役割を担っている。

1996年に設立されたFIPA (The Foundation for Intelligent Physical Agents) [1]においても、FIPA97/98のSpec 2 [2,3]としてエージェント通信言語に関わる仕様が策定され、その後FIPA97/98のSpec2を一部改編し複数の仕様に分割した形でFIPA2000のエージェント通信言語関連仕様 [4] がリリースされている。

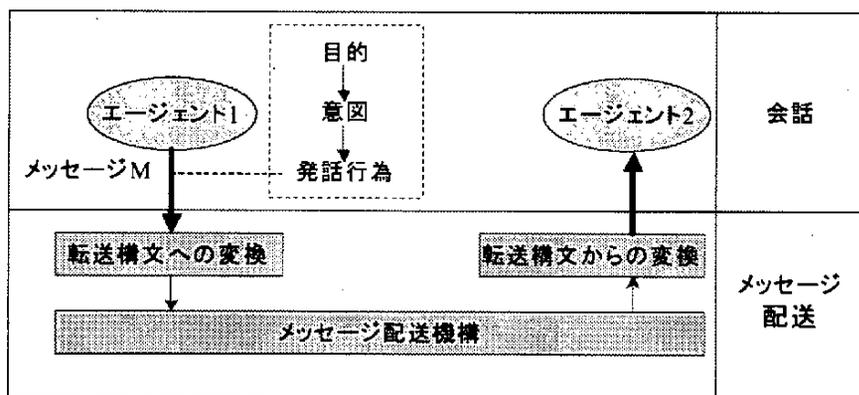
本項ではFIPA-ACLに関する仕様に関してFIPA97/98からFIPA2000への移行を振り返りながら、FIPA-ACLの現状と課題および今後について述べることにする。

(1) FIPA ACL

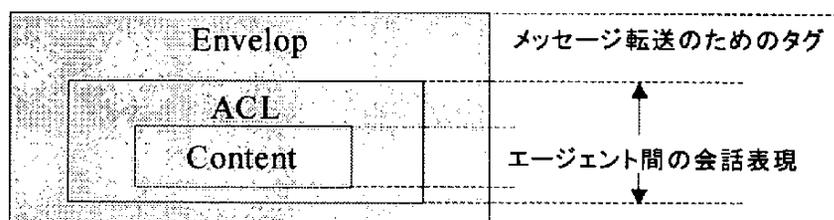
図表 3.2.2-1 はFIPAにおけるエージェント間のコミュニケーションモデルを示している。FIPAのエージェント間通信の基本的な考え方はKQMLと同様、発話行為をベースとしたエージェント間の相互作用にかかわるものである。FIPA ACLは、発話行為をコミュニケーションの媒介とすることで、エージェント間通信の枠組みとして、送信者の自律性と受信者の自律性を強く意識したモデルといえる。

FIPAのエージェント間通信のメッセージは入れ子構造になっている。図表 3.2.2-2はその基本的な構造を示している。

FIPA97/98からFIPA2000への移行では、メッセージ転送サービスが必要とする情報を記述し、一番外側の Envelop 部分が Agent Message Transport 関連仕様 [5] として ACL 関連仕様から分離された。このことによってFIPA ACLの発話行為に関わる仕様としての特徴がより強調されたといえる。



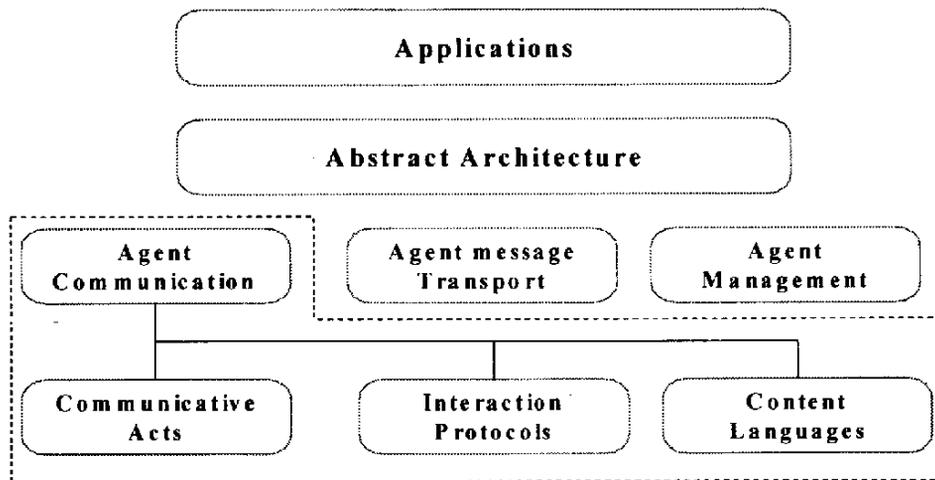
図表 3.2.2-1 FIPAのエージェント間通信モデル



図表 3.2.2-2 FIPAのエージェント間通信モデルの基本的なメッセージ構造

図表 3.2.2-3 は FIPA2000 における仕様の関係図である。Agent Communication に関する部分を破線内に展開して示している。図表 3.2.2-2 でちょうど「エージェント間の会話表現」とした部分が図表 3.2.2-3 の破線の範囲となる。

FIPA ACL が対象とするのは、図表 3.2.2-2 では Envelope の内側であるエージェント間の会話表現に関わる部分、図表 3.2.2-3 では破線内に関するものである。図表 3.2.2-4 に FIPA2000 における ACL 関連の仕様の名称と仕様番号を示す。「ACL Message Structure」は、図表 3.2.2-2 のエージェント間の会話表現を行なうための要素に関する仕様であり、「Communicative Acts」、「Interaction Protocols」、「Content Languages」はそれぞれが「ACL Message Structure」を構成する要素となる。



図表 3.2.2-3 FIPA 仕様 関係図

図表 3.2.2-4 FIPA 2000 ACL 関連仕様 [4]

Title	Identifier
ACL Message Structure	XC00061
Communicative Acts	XC00037
Interaction Protocols	XC00025 - XC00036
Content Languages	XC00007 - XC00011

FIPA において ACL に関わる仕様策定を行なう Technical Committee である TC-C は、1999 年 1 月の Seoul Meeting において FIPA2000 に関する活動指針としてベースラインドキュメントを作成した。Seoul Meeting TC-C ベースラインドキュメントに掲げられた目標は下記の通りであった¹⁵。

¹⁵ Seoul Meeting TC-C ベースラインドキュメントでは、「ACL と Message 表現との分離」も TC-C の作業項目として挙げられていたが、これについてはメッセージ転送に関わる仕様として TC-B で取り扱われることとなり、TC-B で仕様化された。

- a) 新しいCA(Communicative Acts)の導入
- b) Interaction Protocol 記述の見直し
- c) コンテンツ記述言語のライブラリ化

1999年1月以降、TC-Cはこのベースラインを軸として仕様策定の作業を進めた。その際、FIPA97/98とFIPA2000との間で枠組みやアプローチに関わる大きな変更は意図されていない。FIPA-ACLに関する限りFIPA2000はFIPA97/98の延長線上に位置付けられる。実際の作業ではこれに加え、FIPA97/98ではSpec2としてひとつにまとめられていたACL関連仕様を仕様のモジュラリティを高めるために分割する作業と、FIPA97/98に関する不備修正に関わる作業とが行われた。

(2) Communicative Acts

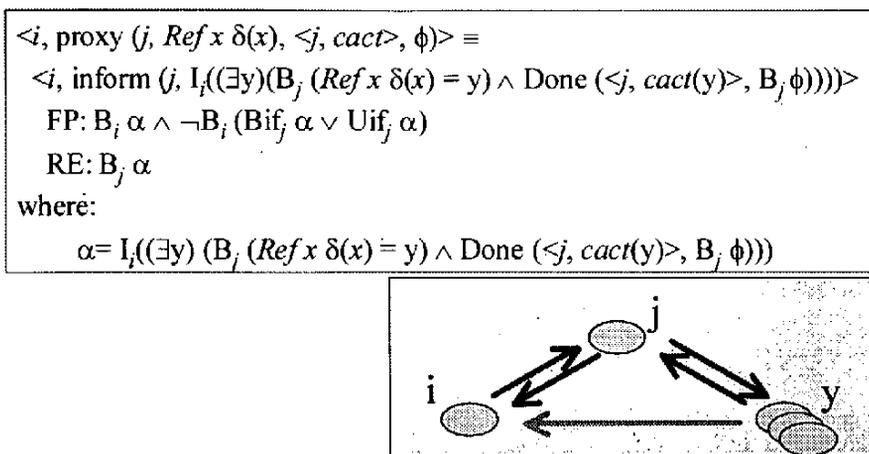
FIPA ACLのモデルでは、図表3.2.2-1に示したように意図の伝播やゴールの共有がSpeech-actに基づくエージェント間の発話行為を媒介として行われる。その意味でCommunicative ActsはFIPA ACLにおいて中心的な役割を果たすものである。FIPA ACLではエージェントの発話行為の意味は形式的に表現され、可能事前条件(FP: Feasibility Preconditions)と合理的な効果期待(RE: Rational Effect)とともに規定されている。図表3.2.2-5はFIPA ACLのCommunicative ActsのひとつであるAgreeを示したものである。FIPA97/98では、inform、request、query、cfp、failureなど「情報の伝達」「行動の実施」「情報の要求」「交渉」「エラー処理」という5つのカテゴリで分類される20の発話行為が規定されていた。

$\langle i, \text{agree}(j, \langle i, \text{act} \rangle, \phi) \rangle =$ $\langle i, \text{inform}(j, I_i \text{ Done}(\langle i, \text{act} \rangle, \phi)) \rangle$ $\text{FP} : B_i \alpha \wedge \neg B_i (B_i \alpha \vee U_i \alpha)$ $\text{RE} : B_j \alpha$ <p>where</p> $\alpha = I_i \text{ Done}(\langle i, \text{act} \rangle, \phi)$
<p>先立って申し出のあった動作の実施要求に対して、 条件が真になったとき動作を実行する意図があることを伝える。</p>

図表 3.2.2-5 エージェント間発話行為の例 (Agree)

FIPA2000では、Seoul Meetingのベースラインドキュメントとそれに続くCall for Proposalに対するレスポンスを通して仲介行為を表現するCommunicative Actsを導入することが決定され、新たなCommunicative Actsとしてproxyとpropagateとが定義された。導入の決定は、KQMLのBroker, Recruitに相当する仲介行為が企業間EC連携に関係するエージェント群の行為として不可欠であるという問題意識と、基本的にエージェント2者間の対話のみを扱っていたFIPA97/98のモデルをエージェント3者間の対話を記述するモデルとして検討しなおすという意図とによるものである。

図表 3.2.2-6 は proxy の形式的表現を示したものである。ここで proxy は、『j が知っているある条件を満たす y に対して、proxy の中に記された発話行為を、条件 ϕ が満たされると j が考えるとき、j が y に対して実施することを i が意図（期待）し、i が j にそれを通知する行為』として表現されている。



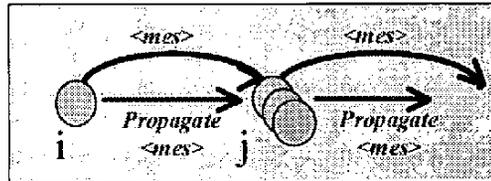
図表 3.2.2-6 仲介行為(Proxy)の形式的表現

proxy の形式的表現に関わる議論においては j が行なう行為をどのように既定するかが問題となった。図表 3.2.2-6 の proxy において j から y への発話行為は j 自身のものであることに注意してほしい。このことは、たとえば i が j に仲介を依頼した行為が inform であった場合、inform の可能事前条件(FP)から、j 自身が Inform される内容を真であると信じていることを意味している。一方、j は単に i に伝言を頼まれたとする立場も存在する。このように、仲介者となるエージェント j 自身が仲介を依頼された行為を行なう『強い proxy』と、j 自身は単に i の意図を伝達するという『弱い proxy』とが考えることになる。この二つを独立した Communicative Acts として定義するか、それともいずれか一方のみとするかが問題となった。議論においては、弱い proxy については仲介の対象となる communicative acts への評価部分を省略できるというメリットも指摘された。最終的には、弱い proxy は強い proxy によって表現することが可能であり強い proxy のサブセットとして位置付けられるという点から、図表 3.2.2-6 で表現される強い proxy が採用された。

proxy に関する議論ではまた、ACL の他の仕様に対する影響についても議論された。proxy 自体はエージェント i から j への行為として閉じているが、その後の j の行為、さらにその後の y の行為へ影響を与えるからである。議論を通し FIPA2000 では戻りメッセージの制御のために reply-to という ACL 要素が追加され、また Brokering, Recruiting という 2 つの Interaction Protocol が導入されることになった。新たに導入された 2 つのプロトコルはちょうど KQML の Broker, Recruit に相当する。また i 自身は y の具体名を知らないことから、ACL メッセージにおける必須要素と既定されていた receiver を必須要素とはしないこととなった。

図表 3.2.2-7 は propagate の形式的表現を示したものである。Propagate は発話行為が繰り返されながら伝播されていくことを表現しており、たとえばエージェント i からエージェント j に propagate (inform (P)) がなされた場合、i から j に inform (P) が行われ、続いて、同様の propagate 行為を j に依頼するといったロコミ型の行為の伝播を表現している。

$$\begin{aligned}
 &\langle i, \text{propagate } (j, \text{Ref } x \delta(x), \langle i, \text{cact} \rangle, \phi) \rangle = \\
 &\quad \langle i, \text{cact}(j) \rangle; \\
 &\quad \langle i, \text{inform } (j, I_i((\exists y) (B_j(\text{Ref } x \delta(x) = y) \wedge \\
 &\quad \quad \text{Done } (\langle j, \text{propagate } (y, \text{Ref } x \delta(x), \langle j, \text{cact} \rangle, \phi) \rangle, B_j \phi))) \rangle \\
 &\quad \text{FP: FP } (\text{cact}) \wedge B_i \alpha \wedge \neg B_i (B_i \alpha \vee U_i \alpha) \\
 &\quad \text{RE: Done } (\text{cact}) \wedge B_j \alpha \\
 &\text{where} \\
 &\quad \alpha = I_i((\exists y) (B_j(\text{Ref } x \delta(x) = y) \wedge \\
 &\quad \quad \text{Done } (\langle j, \text{propagate } (y, \text{Ref } x \delta(x), \langle j, \text{cact} \rangle, \phi) \rangle, B_j \phi)))
 \end{aligned}$$



図表 3. 2. 2-7 伝播行為 (Propagate) の形式的表現

Communicative Acts は FIPA 仕様の中心的存在であり、図表 3. 2. 2-6、図表 3. 2. 2-7 に示したような新しい Communicative Acts の導入は FIPA を活性化する上でも非常に重要である。また Communicative Acts による連携というアプローチは異種接続を前提とした B2B, B2C, C2C システムへの応用と一般化において今後ますます重要となるだろう。新たな Communicative Acts 群を既定していくことは FIPA の活動においてその存在価値に関わる重要な項目といえる。たとえば現在の FIPA 仕様では Commitment に関わる既定が曖昧であるが¹⁶、B2B, B2C, C2C における連携という視点からいえばこれをどう表現し管理していくかは非常に重要な案件といえる。実際このような状況を受けて、FIPA として Commitment を制御するための Communicative Acts 導入に関わる議論も開始されている [6]¹⁷。

その一方で、FIPA の既存の Communicative Acts に関する議論は FIPA2000 において十分尽くされたとはいえない。議論が尽くされなかったのは、ひとつには実際的なアプローチを取ろうとする具体的な実装者の多くが FIPA の形式的モデルの実装を時期尚早であると考え、その仕様の不備に対して比較的無関心であったことによる。またひとつには大学などの研究者に FIPA の仕様の不完全さについて学問的な立場から議論するだけの動機やメリットが十分には存在しないことによる。実際、FIPA97/98 における Not-understand や Cancel の形式表現や記述の不備についても FIPA2000 として仕様確定を行なう直前まで誰も着手しようとしなかったし、現在でも FIPA Communicative Acts の形式的表現が仕様として十分適切であるかどうかについては議論の余地を残したままとなっている¹⁸。また現在の仕様の Feasibility Preconditions や Rational Effect の妥当性も十分な議論が行われてきたとはいえない状況にある。

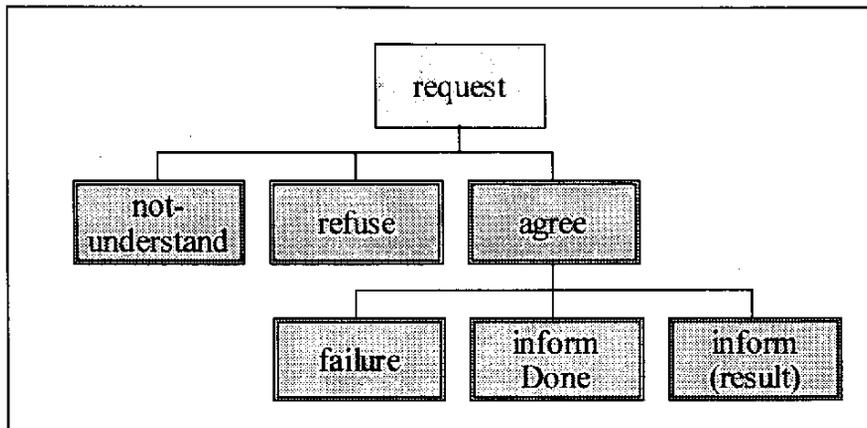
¹⁶ たとえば図表 3. 2. 2-6 の Agree では、メッセージを送ったエージェント i が受信者である j に対してなんらかの Commitment をおこなったとはいえない。

¹⁷ ただし Commitment の形式的表現に関する議論は十分ではない。

¹⁸ 現在の Cancel の形式的表現は Disconfirm から構成され、たとえば事前に行った Request を止めるということを直接的に要求するものではない。

(3) Interaction Protocol

FIPA ACL のインタラクシオンプロトコルは、Communicative Acts と同様、異種接続を前提とした B2B, B2C, C2C システムへの応用と一般化において広く利用される可能性を含んだものである。アプローチとしても RosettaNet [7] や BizTalk [8] などが用途を限定した比較的垂直統合的なアプローチを取っているのに対し、FIPA インタラクシオンプロトコルではより広く水平統合的なアプローチを取っている。またやり取りされるメッセージのタイプが Communicative Acts で既定されているために、単なる非同期メッセージシーケンス図よりもエージェント間の相互作用として視点を踏み込んだものになっている。

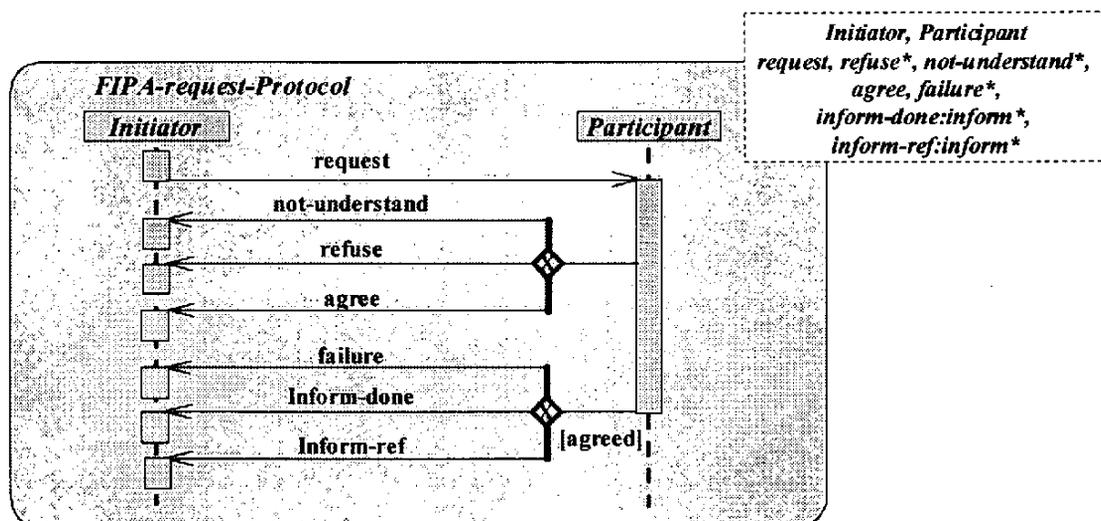


図表 3.2.2-8 FIPA97/98 Interaction Protocol 例 (FIPA-Request)

FIPA2000 では、Interaction Protocol の表現形式の見直しが行われた。図表 3.2.2-8 は見直し前の FIPA97/98 における Interaction Protocol の表現である。図表 3.2.2-8 に示すように FIPA97/98 における Interaction Protocol はブロックダイアグラムとして表現されており、複雑なプロトコルの記述が難しいものであった。FIPA2000 ではこのような問題を解決するために、Interaction Protocol の表現形式に対する見直し作業が行われ、UML のシーケンス図に相当するダイアグラムによってエージェント間のプロトコルを表現する方法が採用された。

図表 3.2.2-9 は FIPA2000 で採用されたインタラクシオンプロトコルの記法で記述した FIPA-Request プロトコルである。図表 3.2.2-9 の例では Initiator エージェントによる Request メッセージに対して、Participant エージェントは Not-understand, refuse, agree のいずれかのメッセージの Exclusive-OR を答えたのち、agree の場合に限り、failure、Inform-done、Inform-ref¹⁹のいずれかのメッセージの Exclusive-OR で答えることが表現されている。図表 3.2.2-9 でも明らかなように FIPA インタラクシオンプロトコルは、エージェント間の相互作用を表現するものであり、やり取りされるメッセージは Communicative Acts で表現されている。

¹⁹ Inform-done、Inform-ref はそれぞれ、『行為の実施の通知』と『行為の結果得られた情報の通知』とを、Inform により表現したものを短縮表記したものである。



図表 3.2.2-9 FIPA2000 Interaction Protocol 例(FIPA-Request)

FIPA2000 では、FIPA97/98 で既定された 7 つのプロトコルに加え、仲介行為に関わる 2 つのプロトコル Brokering と Recruiting と、Propose に関わる一般プロトコルが追加された²⁰。

FIPA97/98 と同様、FIPA2000 で既定されたインタラクショナルプロトコルはプロトコルのテンプレートを表現したものと見える。たとえば図表 3.2.2-9 の Request というメッセージは実際にはそのコンテンツ表現内にリクエストされるアクションが含まれているが、FIPA-Request というプロトコル自体の記述はそのアクションに依存するものではない²¹。

新たな記法の導入により、FIPA のインタラクショナルプロトコルは以前のものより分かりやすくなった。しかしインタラクショナルプロトコルの仕様それ自体については十分な議論がつけられたとはいえない。たとえば、プロトコルの検証メカニズムについては手つかず状態であり問題点の整理もきちんとは行われていない。またプロトコルを体系化するための方法論やプロトコルから逸脱した対話に対する対応についても既定されていない。またプロトコル記法自体についても曖昧さが残っている。このようなことからインタラクショナルプロトコルについては、相互運用や実証実験段階では多くの課題が表面化すると予想される。

(4) コンテンツ記述言語のライブラリ化

FIPA は元々コンテンツ言語としていかなる言語も強制することはないという立場を取ってきた。FIPA2000 においてもその立場に変化はない。しかし、仕様利用者の便宜を考えたとき、コンテンツ言語群がライブラリとして登録されていることが望ましいだろうと判断し、コンテンツ言語ライブラリを整備することを決めた。図表 3.2.2-10 は 2001 年 3 月の段階でコンテンツ言語関連仕様として登録されているものの一覧である。仕様として、ライブラリに登録するための要件と、4 つのコンテンツ言語が 2001 年 3 月の段階で登録されている。

²⁰ Subscribe に関わるプロトコルも提案されたが、Cancel の扱いが確定せず 2001 年 3 月の段階で Experimental にはなっていない。

²¹ ただし、Brokering と Recruiting については、内部に含まれる Communicative Acts が Inform 系であるか Request 系であるかによる影響も考慮してプロトコルが記述されていることに注意すべきである。

図表 3. 2. 2-10 FIPA コンテンツ言語関連仕様

Title	Identifier
FIPA Content Languages Specification	XC00007
FIPA SL Content Language Specification	XC00008
FIPA CCL Content Language Specification	XC00009
FIPA KIF Content Language Specification	XC00010
FIPA RDF Content Language Specification	XC00011

コンテンツ言語のライブラリ化については長時間にわたりさまざまな議論が行われた。たとえばコンテンツ言語はなにを表現すると既定するののかについては見直しが行われ、議論の結果、従来の『コンテンツ言語は命題、対象（オブジェクト）、動作を表現できなければならない』から『コンテンツ言語は、命題、対象（オブジェクト）、動作のいずれかひとつもしくは複数を表現できなければならない』へと変更された。その他、誰がメンテナンスを行なうのか、登録の要件はなんなのか等々、ライブラリを管理するための枠組みの議論が行われた。

しかしその一方で、現時点で登録されている各言語について詳細な議論が十分になされたとはいえない。FIPA としてある程度きちんと議論が行われたのは、従来から FIPA のコンテンツ言語の例として用いられてきた SL (Semantic Language)²²のみといえる。

SL については FIPA との関連する実装者の多くが対応を表明している。SL が今後の FIPA の相互接続実証実験のベースとして利用される可能性も高い。実証実験に利用されることによって仕様の安定化が進み、FIPA 内部で SL が標準的な地位を獲得する可能性も比較的高いといえる。

このような状況を振り返ると、FIPA2000 のライブラリ群整備というアクションは本来の意図とは別に、これまで公式な位置付けが曖昧²³であった SL に、期せずして FIPA コンテンツ言語としての公式な位置付けを与えたといえる。

(5) FIPA ACL 策定作業を振り返って

FIPA のこれまでの仕様策定に関わるアプローチは、いわゆるデファクトスタンダードやデジュアスタンダードを仕様化するというものではなく、必要性や枠組みから入るアプライオリな標準化というものであった。これはエージェントの要件から仕様を創出していくアプローチで、議論をスタートさせ短期間に仕様を立ち上げるための枠組みとしてたいへん有効であったといえる。またアプライオリな標準化の議論と研究的なアプローチとの距離が比較的小さいことから、FIPA の中にエージェント関係者が相互接続や相互運用のためにさまざまな議論を行なうための場としての価値が生まれ、それは現在も変わるものではない。

しかし一方で 1996 年の設立から 5 年が経過し、これまでのアプローチでは対応できない矛盾が、相互に関連性のある問題として表面化してきた。

²² SL については FIPA2000 で既定したものと FIPA97/98 との互換性は失われている。

²³ コンテンツ言語について FIPA はいかなる強制も行わないという立場から、FIPA97/98 における SL の位置付けは曖昧だった。

第1の問題は、仕様策定に関するアプローチの分化をうまく処理できなかったというものである。アプローチの一つは従来のアプリアリな標準策定のやり方で、エージェントの本質に関わる要件や枠組みに関する議論を進めながら仕様を改善していくというものであり、アプローチのもう一つは現在ある仕様をより現実的で具体的な形のものにしていくというものである。前者は新しい枠組みや新しい仕様の源泉となり、後者は仕様の安定性や利用性を高めるものであるといえる。

残念ながら FIPA-ACL に関する FIPA2000 仕様を振り返ってみると、これら二つのアプローチをきちんと整理して分離しながら運用することができず、結果として中途半端で議論を反映した不十分な仕様に留まってしまっている部分が少なくない。仲介行為に関わる新しい Communicative Acts の導入については前者のアプローチが有効に用いられたといえるが、従来からある Communicative Acts については後者のアプローチに基づく議論が十分になされたとはいえない。インタラクションプロトコルについては後者のアプローチに基づく十分な議論が必要であったにも関わらず、前者のアプローチの議論に多くの時間を取られてしまい最終的に仕様として不十分な部分が多く残ってしまった。コンテンツ言語については SL を除けば、いずれのアプローチも十分でなかった。それが現状である。

第2の問題は、エージェントを取り巻く外部の世界の速度に FIPA の仕様策定の速度がついていないことである。エージェント技術がオブジェクト指向モデルの次を狙うものであるならば、本来、外の世界に先行して新しいアプローチや仕様の提案・策定を行なうことで仕様策定団体としての魅力や競争力を獲得することが必要だが、この部分の競争力が相対的にみて落ちてしまっている。1999年1月の段階で策定された TC-C ベーススライドキュメントは、現在から振り返ってみてそれなりに適切なものであったといえるが、実際に FIPA-ACL 関連の仕様は Experimental の Status を獲得したのは2年後の2001年1月である。この間に FIPA の外では RosettaNet, ebXML [9], BizTalk, Peer-to-Peer に関わる議論 [10] などさまざまな仕様化と提案が進められ、現実のプロダクトに反映されている。その速度に比べると FIPA の速度はあまりに遅い。うがった見方をすれば FIPA やエージェント技術が想定していた対象や課題に現実のソフトウェア開発におけるニーズが追いつきつつあるともいえるが、その分 FIPA の意義や業界をリードする力も相対的に減少したことに変わりはない。

第3の問題は、仕様の整合性や具体性、早期のリリースなどを求める内部圧力が弱いことである。デファクト標準やデジュア標準であれば競争原理と投資回収圧力が強く働くため、仕様の整合性や具体性、早期リリースを求める圧力は必然的に高いが、FIPA においてはアプリアリなアプローチを取ってきたためにこの圧力が相対的に弱い。また仕様自体に関する当事者意識も競争原理が弱いため不足しがちである。一方で標準仕様の整備という作業が学問的業績とは直接結びつかないという面もあり、ソフトウェア工学として整合性や現実性を整備していこうという方向が組織化されているとはいえない。

(6) FIPA ACL の今後

FIPA と FIPA-ACL には現状でさまざまな課題があることに間違いはない。しかし一方で、FIPA と FIPA-ACL が存在しない世界とそれらが存在する世界とを比べたとき、前者よりも後者がより見通しのよい世界を与えている、あるいは少なくとも一つの切り口を与えているといえることができる。ソフトウェアモジュール間の相互作用を記述する上でも、コミュニケーションのモジュラリティに関わる議論やシステムとシステムを柔軟につなぐための枠組みの議論が終わったと考えているものは

誰もいない。また、B2B, B2C, C2C に関わるさまざまな開発についてもオープンな世界を前提とすれば解決すべき課題は非常に多いが、その中でFIPA-ACLが取るアプローチの有効性の検証はこれからの課題といえる。さまざまな意味でFIPAやFIPA ACLの存在意義が失われたとは思わない。

FIPA ACLの今後については、組織としての運営上の問題とも密接に絡むため一概にいうことは難しい。少なくともFIPA2000の策定において表面化したような問題をうまく回避しない限り、他の組織との競争力や仕様自体の魅力をアピールすることは客観的に見てむずかしいだろう。特に従来のアプライオリな仕様策定のアプローチと具体的な実証実験、相互接続試験のための土台作りとの両立は解決されていない課題といえる。これまでの経緯に限れば、アプライオリなアプローチはすばやく仕様の叩き台を作るという点においては優れていたが、その後の仕様を詰めるという作業では有効に機能していない。

具体的な作業においては、相互接続における実装面での必要性から、SLを用いた相互接続実験、インタラクションプロトコル仕様の利用と仕様の不備の改善、Communicative Actsの見直しという順に優先度が設定されて作業が行われる可能性が高い。仕様を普及させるための仕組みについても議論が必要である。アプライオリな仕様については実装面の議論とは分離し、コンテンツ言語、インタラクションプロトコル、Communicative Actのそれぞれについて課題を設定して作業を行なうべきであろう。

参考文献

- [1] FIPA <http://www.fipa.org>
- [2] FIPA97/98 Spec2 Original <http://www.fipa.org/specs/fipa00003/>
- [3] FIPA97/98 Spec2 翻訳版 <http://fipa.comtec.co.jp/fipatrans/>
- [4] FIPA2000 ACL 関連仕様 <http://www.fipa.org/repository/aclspecs.html>
- [5] FIPA2000 Agent Message Transport 関連仕様
<http://www.fipa.org/repository/transportspecs.html>
- [6] FIPA2000 Domains and Policies Specification PC00089C
<http://www.fipa.org/specs/fipa00089/>
- [7] RosettaNet <http://www.rosettanet.org/>
- [8] BizTalk <http://www.biztalk.org/>
- [9] ebXML <http://www.ebxml.org>
- [10] openp2p.com <http://www.openp2p.com/>

3.2.3 情報収集エージェントに見るプラットフォーム技術

(1) 情報収集エージェント技術の研究の目的

特別な技術的知識を持たないユーザでも、インターネットを利用した効率の良い情報収集を可能とするため、ネット上の情報をユーザの指示に応じ自動的に収集・整理し、また、その際ユーザの属性に対応したアクセス制御やユーザ情報等の保護を可能とする情報収集エージェント技術に関する以下の研究開発プロジェクトが行われている。

- ・エージェント連携技術の研究開発
- ・ユーザの属性に対応したアクセス制御技術の研究開発
- ・ユーザ情報のネットワークでの安全な管理技術の研究開発

なお、この研究プロジェクトは通信・放送機構（TAO）の研究開発プロジェクトの一環として、2000年から3年間の計画で進められている。〔1〕

(2) 研究の背景

パソコンや携帯電話の一般家庭への普及、ネットワークインフラの整備等により、誰でもインターネットからさまざまな情報を得ることができるようになった。しかし、誰でもが安心かつ快適に利用できる環境整備及び、同時に十分満足がいく情報収集の環境整備が十分であるとは、言い難い状況にある。

具体的には、「個人情報悪用の懸念・漏洩」といったセキュリティ面での危惧や「利用者のニーズに応じたインタフェース」といった快適性の面が挙げられる。また、さまざまなインターネット検索サービスにおいて、得たい情報を的確に収集するためには、検索キーワードや検索条件の設定にノウハウが必要である。それがうまくいかないと、検索結果にはノイズが多く含まれ、目的の情報に到達できないことがある。検索結果についても本当に漏れがなく、十分利用者のニーズに応えた結果であったかは検証できずに利用している状況である。

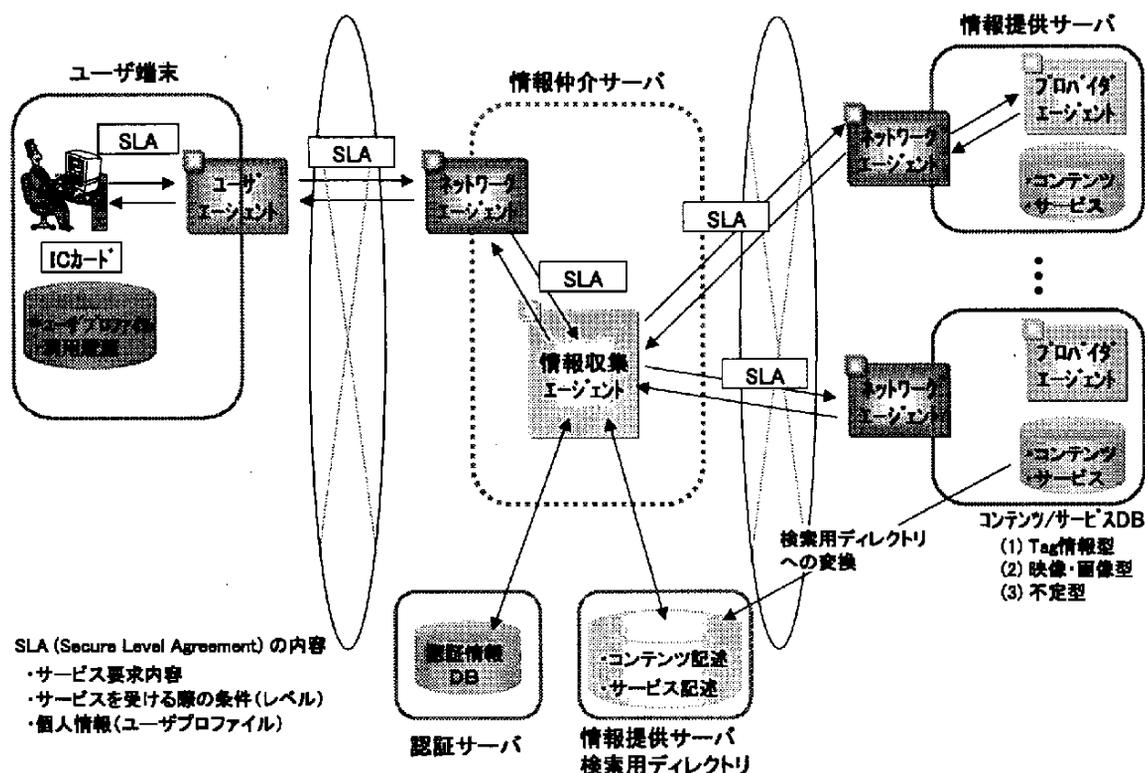
また、昨今「デジタルデバインド」への対応も叫ばれてきている。現在のインターネット利用は新しい利用手段として、既存のサービスや情報提供の利用環境と併用されているが、今後サービスや情報提供がインターネットのみでの環境に移行されると「情報弱者」が多く生み出され、結果として日本国が世界において遅れをとることが危惧される。そのため、コンピュータをうまく使いこなせない人に対しても、インターネットをより簡単に利用できるような情報環境を提供する必要がある。このような中で、今後のインターネットの発展や、スーパー電子政府が具体化することを考慮すると、コンピュータを使いこなせない、または操作できない人は将来のインターネットの発展をますます不安に思うことだろう。すなわち、今後のインターネット社会の更なる発展を目指すため、デジタルデバインドへの対応を確立させることこそが必要である。

情報収集エージェント技術の研究開発プロジェクトでは、上記のような問題点への対応として、利用者のインターネットを利用した情報収集の極めて、簡便かつ正確に実現可能な技術（情報収集エージェント技術）の確立を目標としている。

(3) 情報収集エージェントシステムの構成と概要

本研究プロジェクトでは、上記の目的を実現するため ADSS (Autonomous Decentralized Service System: 自律分散サービスシステム) モデル [2] をベースとした、情報収集エージェントシステムの構成を前提としている。ADSS モデルは、サービスの提供者（プロバイダ・エージェント）、

サービスの消費者（リクエスタ・エージェント）、およびプロバイダとリクエスタの間に立つ存在であるメディエータ・エージェントの3層から成るエージェント・システムモデルである。メディエータは、情報サービス分野におけるブローカー的存在であり、日々莫大な数のサービスが生まれ、変化していく環境において、ユーザに最新のサービスの情報を提供することでサービスの交換を活発に役割を果たすものである。さらに、1対1のみならず多対多の複雑な取引の場合や、デジタルコンテンツを流通させる場合などには、メディエータは交渉やコンテンツ交換の場を提供するとともに、プロバイダとリクエスタの間の調整を行う仲介役にもなり得る。



図表 3. 2. 3-1 情報収集エージェントシステムの構成

情報収集エージェントシステムでは、図表 3. 2. 3-1 に示すようにメディエータには情報仲介サーバが、プロバイダには情報提供サーバが、またリクエスタとしてはユーザ端末がそれぞれ対応している。それぞれのサーバあるいは端末上にはユーザあるいはサーバの管理者の意思を代理して判断したり、情報交換を担ったりする、自律的に稼動するエージェントが存在している。情報収集エージェントシステムの基本的な動作としては、以下のような手順になる。

ステップ1：ユーザのサービス要求内容の取得

まずユーザのサービス要求内容をユーザ・エージェントが取得する。この際ユーザが直接要求した内容のみならず、必要に応じてユーザの個人情報やサービスの利用履歴なども SLA (Service Request Form) というフォーマットに納められユーザ・エージェントに渡される。この際、SLA の交換はセキュアな通信方式によって実現されることが期待される。

ステップ2：ユーザ・エージェントと情報仲介サーバ上の情報収集エージェントの交渉

ユーザ・エージェントは、ユーザの SLA を情報仲介エージェント上の情報収集エージェントにネットワーク・エージェント経由で転送する。情報仲介サーバが複数存在する場合に、どの情報仲介サーバを選択するかも、ユーザ・エージェントが決定する。情報収集エージェントは、SLA を出したユーザの認証を行うとともに、情報提供サーバ検索用ディレクトリに事前に登録されているサービスやコンテンツの情報と、ユーザの SLA とを付き合わせて（マッチング処理）適した情報提供サーバを選び出す。

ステップ3：情報収集エージェントと情報提供サーバ上のプロバイダ・エージェントとの交渉

情報仲介サーバ上の情報収集エージェントは、マッチング処理により選び出した情報提供サーバ上のプロバイダ・エージェントにネットワーク・エージェント経由で SLA を渡す。この SLA は、最初にユーザ・エージェントから渡された SLA と同一である必要はなく、情報収集エージェントの判断で情報が追加・省略されている場合がある。SLA を渡されたプロバイダ・エージェントは、要求を出したユーザに対してサービスや情報を提供できるか、できるならばどの範囲かを自律的に判断し、その結果としてサービスや検索された情報を情報仲介サーバに返す。ただし、サービスや情報は、必ずしも情報仲介サーバを経由するとは限らず、情報提供サーバから直接ユーザ端末に送られる場合もある。

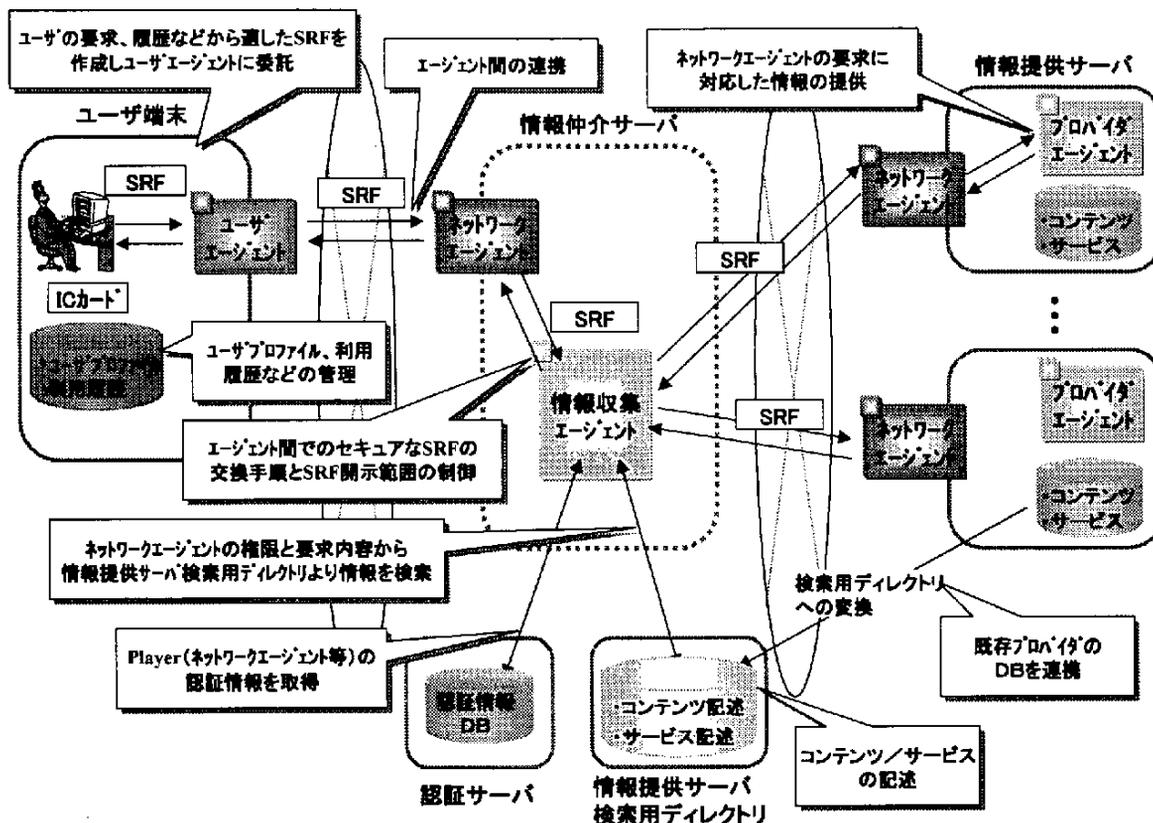
ステップ4：情報仲介サーバからユーザへのサービスや情報の返信

情報収集エージェントは、1つあるいは複数の情報提供サーバからサービスや情報が受信されてきた場合、それをユーザの状況や端末に適したフォーマットに変換、統合して返信する。

(4) 情報収集エージェントシステムの課題

本研究プロジェクトでは、ユーザニーズを反映したカスタマイズと、個人情報の秘匿という相反する課題をいかに解決するかが重要なテーマとなっており、エージェント技術、セキュリティ技術、アクセス管理技術を応用し、システム全体で整合性の取れた情報管理体系を構築する必要がある。Web に代表される既存の情報ネットワークシステムでは、単純な情報サーバへのアクセスか、クライアントサーバ式の一元的な管理方式を採用しており、本研究プロジェクトの目的を実現することは困難である。

本情報収集エージェントシステムの大きな特徴は、情報仲介サーバや情報提供サーバが、それぞれエージェントを有しており、自律的な判断で情報提供サーバの選択や、サービス提供の可否を決定するという点である。これにより、多層的なカスタマイズやアクセス制御が可能となる。ただし、この情報収集エージェントシステムの構成において、上記の手順に従った情報／サービスの交換を実現するためには、図表 3.2.3-2 に示されるように技術的な課題が多くあり、これらを解決していかなければならない。個々の課題は、既存の要素技術で対応可能なものも少なくないが、統合的にこれらの課題を解決するには、システム全体のアーキテクチャ、要素技術間の有機的な連携の体系を構築していかなければならない。以下に、これらの課題を整理する。



図表 3.2.3-2 情報収集エージェントシステムの課題

① エージェント連携技術の研究開発

- a) ユーザニーズのセキュアな情報化：サービス利用履歴による学習をも含んだユーザニーズを、安全かつ適切に明示化するための情報構造及び情報生成方式
- b) ユーザ・エージェントとネットワーク・エージェントの連携：ユーザ・エージェントとネットワーク・エージェントとの連携によるデータ検索・収集を可能とするための連携プロトコル
- c) ネットワーク・エージェント間の連携：ネットワーク・エージェントで連携し、情報やデータの交換を可能とする方式
- d) エージェント利用に適したデータ構造：異種エージェント間の多様な連携を前提とし、交換されるデータの構造

② ユーザの属性に対応したアクセス制御技術の研究開発

- a) エージェントポリシーの確立：エージェントの機能等を策定するポリシー及びポリシーのエージェントへの格納方式
- b) ユーザ認証に応じたアクセス制御：ユーザ情報及びエージェントが具備する情報に基づくユーザ認証方式およびアクセス制御方式

③ ユーザ情報のネットワーク上での安全な管理技術の研究開発

- a) ユーザ情報の安全なデータ構造：第三者によるエージェントに具備された情報の偽造・改ざんを検知可能となるユーザ情報の安全なデータ構造
- b) ユーザ情報管理方式：エージェントに具備されたユーザ情報を、ネットワーク上の盗聴等、第三者からの脅威への対策となるユーザ管理情報方式

(5) 現状と今後の予定

本研究プロジェクトのスケジュールを図表 3.2.3-3 に示す。

現在、本研究プロジェクトは第1フェーズにあり、システムの基本的なアーキテクチャ設計や課題の明確化を完了した。具体的には、機能コンポーネントと各種管理情報の配置、機能間の情報の受け渡し方式を決定し、プロトタイプ Ver.1 と呼ばれる予備試作に着手した段階である。予備試作の完了後は、評価用アプリケーションを用いて、フィージビリティ・スタディを行う。その結果を評価して仕様の改善を行い、第2フェーズに移る。第2フェーズでは、広く複数のベンダの参加を募り、総合的な実証実験を行うことを予定している。

図表 3.2.3-3 情報収集エージェント技術の研究プロジェクトスケジュール

フェーズ1：プロトタイプ試作	フェーズ2：総合実験（参加メンバ募集）
2000/7-2001/1：課題の明確化	2001/9-2002/3：総合実験システム開発
2001/1-2001/5：プロトタイプ Ver.1 作成	2002/4-2002/9：総合実験実施
2001/6-2001/8：プロトタイプ評価、仕様バージョンアップ	2002/10-2003/2：総合実験成果評価

(6) 類似研究のトレンド

①XML/SOAP/UDDI [3]

XML (eXtensible Markup Language) は、ネットワーク上で交換される情報自身を表記するための言語である。個別に開発されたシステム間で、システムの持つデータやサービスの情報を交換するために有効と考えられ、急速に普及した。この XML 仕様をベースとして、インターネットを介して異種のアプリケーションやサービスをより容易に連携させるためのプロトコル仕様として、SOAP (Simple Object Access Protocol) が提案された。この仕様案は、W3C (World Wide Web コンソーシアム) により受理され、より広く普及する兆しを見せている。SOAP を用いることで、多少のインタフェースの違いがあっても、インターネット上で公開されたサービスや情報を利用することが容易となる。

また、XML や SOAP が、言語やプラットフォームに依存しないシステム連携の枠組みを提供する仕様とするならば、UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) は、ネットワーク上のサービスに関する Web ベースの分散情報レジストリとサービスに関する情報を公開・発見する方法を規定する仕様である。XML/SOAP/UDDI の三者を組み合わせることによって、ネットワークベースのサービスや情報の検索、連携を実際に運用するための基盤が整いつつあると言える。

これらの技術や仕様は、本研究開発に対抗するものではなく、有機的かつ相補的に取り込まれるべきものである。今後の試作や評価を通じて、これらを活用する有効性を検証する。例えば、SOAP 仕様はセキュリティやトランザクション処理に関する不備が指摘されており、本研究開発の成果と組み合わせることで、実システムでの運用に耐えるフレームワークや指針を示せるものとする。

②アクセス制御技術

ユーザ属性だけでなく履歴等の動的制約に基づくアクセス制御はワークフローの研究に多く見ることができる。WAM (Workflow Authorization Model) [4] [5]に基づく SecureFlow [6]、は SQL を用いて制約を表現するという点で本研究と似ているがいくつかの点で本研究のほうが勝っている。SecureFlow が基本的にアクセスを許可する集合を求めることしかできないのに対し、本研究開発はアクセスを強要するものとアクセスを禁止するものを扱うことができる。また SecureFlow ではエージェントの作業の繰り返し処理が起こった場合に何回目の作業なのかを表す情報を扱えない。さらに SecureFlow では、「条件 p ならば、制約は q である」というように、一対一の制約を対象としているが、本研究開発では「条件 p1 かつ p2 かつ…ならば、制約は q である」というように、複数条件に基づく制約を対象にしている。

また、履歴ベースのアクセス制御では蓄積しなければならない情報量が大きくなりすぎるということから、事前に許可できる情報のみ定義しておき、フローの進行に従って許可できない情報だけを追加していく方法 [7] も提案されている。しかし、制約の与え方によっては一度実行を禁止されてもエージェントの作業の進行に伴い、実行を許可される場合もある。従ってこの方法では、本研究開発におけるエージェントのアクセス制御に適用するには不十分であると考えられる。

(7) むすび

次世代情報システム技術の研究プロジェクトの一環として進められている情報収集エージェントシステムを概説した。この技術の有用性を評価し普及を推進するには、多数のベンダの参加による総合的な実証実験を行うことが不可欠である。今後、本プロジェクトの認知度向上を図るとともに、広くベンダに参加を呼びかけていきたい。

参考文献

- [1] 高度通信・放送研究開発に係る研究開発委託先の決定について、通信・放送機構：
<http://www.shiba.tao.go.jp/prs12171.htm> [2] ADSS Domain Special Interest Group Whitepaper Ver. 1.0 : ads/97-12-01(1997), <http://www.omg.org>
- [3] UDDI: <http://www.uddi.org>
- [4] Vijayalakshmi Atluri and Wei-Kuang Huang, "An Authorization Model for Workflows", Proc. of the 5th European Symposium on Research in Computer Security, in Lecture Notes in Computer Science, No. 1146, Springer-Verlag, Sept. 1996.
- [5] Vijayalakshmi Atluri and Wei-Kuang Huang, "A Petri Net Based Safety Analysis of Workflow Authorization Models", Journal of Computer Security.
- [6] Wei-Kuang Huang, Vijayalakshmi Atluri, "SecureFlow: A Secure Web-enabled Workflow Management System", Proc. of the 4th ACM Workshop on RBAC, Oct., 1999.
- [7] Martin S Olivier, Reind P van de Riet, Ehud Gudes, "Specifying Application-level Security in Workflow Systems", Proc. of the 9th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, 1998

3.2.4 Semantic Web

(1) Semantic Web とは

Semantic Web は W3C の Tim Berners-Lee が提唱しているアイデアで、人が読むこと (human consumption) を前提にできている現在の Web に対して、コンピュータが理解可能な (machine-understandable) データの Web を作り、より知的なサービスを提供しようというものである。例えば今までのような単純なキーワード検索だけではなく、構造を持った質問に対していくつかのページからの結果を組み合わせて答えることができるようにしようとしている。

([1] [2] [3] [4] [5])

具体的には、オントロジを定め、そのオントロジによるそれぞれのページに関する記述をそのページ自体に (ブラウザには表示はされない形で) 入れる、あるいはそのページとは別に用意する。検索などでは、それらの記述をオントロジの知識などと組み合わせることにより、構造を持った質問などに答えられるようになる。

今までも Semantic Web に近い考え方で Web をより使いやすいものにしようというプロジェクトはあったが、それらのプロジェクトも Semantic Web のもとに集まり、Semantic Web の流れがモーメンタムを得つつあるようである。この Semantic Web が順調に発展すれば、いろいろなソフトウェア間の相互運用性の基本を実現し、インターネットの新しいインフラとして大きな影響を与えると考えている。

現在 W3C (<http://www.w3c.org>) でそのベースとなる Web 上のリソースを記述するための枠組みである RDF Model & Syntax や RDF Schema の標準化が進められ、これらの標準化はほとんど完成した。

この W3C の標準化活動とともに、Semantic Web 実現の両輪をなすことになると考えられるのが、Semantic Web の実装面を中心に活動している DAML プロジェクトである。Semantic Web の実現を目指して行なわれている DAML (DARPA Agent Markup Language, <http://www.daml.org/>) プロジェクトは、DARPA のプロジェクトで、2000 年 8 月より始まった。このプロジェクトでは Semantic Web の実現に必要な言語やツールを作っていく。現在 RDF Model & Syntax や RDF Schema に基づいたオントロジを記述するための言語 DAML+OIL を作り、それに基づき DAML プロジェクトに参加する各チームがオントロジやツールを作ることを進めている。

今後発展しそうな技術である P2P (Peer-to-Peer) や pervasive computing でもソフトウェア同士がやり取りすることが基本になっている。そういったやり取りではメッセージの意味 (semantics) が重要であり、Semantic Web での技術がベースになっていくと考えられる。

Bioinformatics などの分野でもオントロジ (用語) の整備が始まっており (c. f. the Gene Ontology Consortium, <http://www.geneontology.org/>)、Semantic Web の技術が関わっていくものと考えている。

その他、ebXML (<http://www.ebxml.org/>) や RosettaNet (<http://www.rosettanet.org/>) などの企業間取引における標準化なども、結局はソフトウェア同士がやり取りするためのオントロジ (用語) を決める行為と考えられ、Semantic Web が一般的になれば、それをベースとした形になっていくと考えている。

(2) Semantic Web の展開の可能性

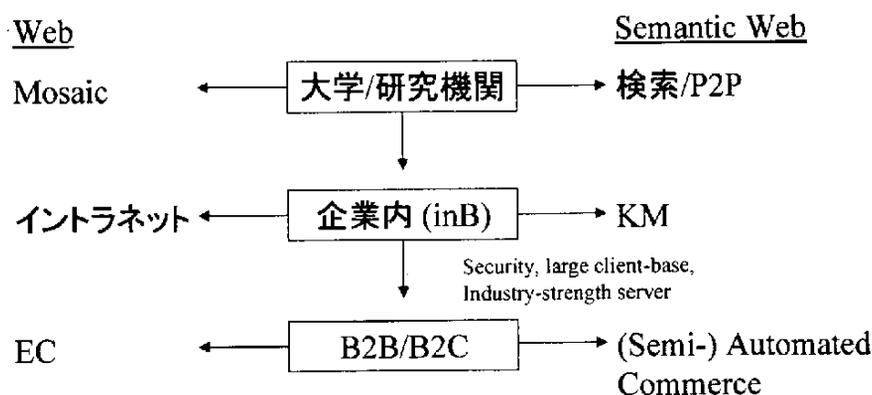
ある技術が発展していく過程を予想するのは、いろいろな要素が絡まり、非常に困難であるが、ここではあえて Semantic Web の今後の展開を予想してみる。以下の文書では煩雑になるので、「...と考えている。」などといった表現はできる限り省略する。なお、書かれていることは一つの想定されるシナリオであり、もちろん必ずしも起こるとは限らない。

現在 pre-competitive research の段階にある Semantic Web であるが、Semantic Web は、これが順調に展開していく場合には、Web が展開した過程と似たような過程をたどるであろう。

まず Web の場合における Mosaic の登場に対応する段階では、Semantic Web のアプリケーションとして検索や P2P (Peer-to-Peer) などの分野で Mosaic に相当するようなキラーアプリケーションが出てくる可能性がある。もしそれが出れば、そのアプリケーションが非常に便利なものとして認識され、まずは大学や研究機関などで実験的に使われるようになると考えられる。その段階ではそのアプリケーションに対していろいろな提案/インプットが出され、徐々にその形をはっきりさせていく。

次の段階としては Web が Intranet の情報共有に使われたように、Semantic Web も比較的大きな会社の社内での情報共有の手段として使われる。例えば社内における Knowledge Management (KM) の分野で、単なる文書共有ではなく、意味も勘案した情報共有の手段として使われていく。

現在 Web は Electronic Commerce (EC) に広範に使われている。現在 B2C (Business to Consumer) の EC では消費者である人間を Web を通じて企業のコンピュータに結ぶといった形が主であり、B2B (Business to Business) の EC では、徐々に企業のコンピュータ同士を Web を通じてつなぐという動きが始まりつつある状況である。Web のこの段階に対応して、EC に Semantic Web とおそらくエージェントが導入されることによって、B2B はもちろん B2C の EC でも、よりコンピュータ取引を任せる形での (Semi-) Automated Commerce の実現につながっていくであろう。



図表 3.2.4-1 Semantic Web の展開

(3) DARPA Agent Markup Language (DAML)

すでに(1)でも述べたが、RDF Model & Syntax/RDFS Schema を中心とした W3C での Semantic Web 関連の標準化活動とともに、Semantic Web 実現の両輪をなすことになると考えられるのが、Semantic Web の実装面を中心に活動している DAML プロジェクトである。Semantic Web の実現を

目指して行なわれている DAML (DARPA Agent Markup Language, <http://www.daml.org/>) プロジェクトは、DARPA のプロジェクトで、2000 年 8 月より始まった。このプロジェクトでは Semantic Web の実現に必要な言語やツールを作っていく。現在 RDF Model & Syntax や RDF Schema に基づいたオントロジを記述するための言語 DAML+OIL を作り、それに基づき DAML プロジェクトの各チームがオントロジやツールを作ることを進めている。

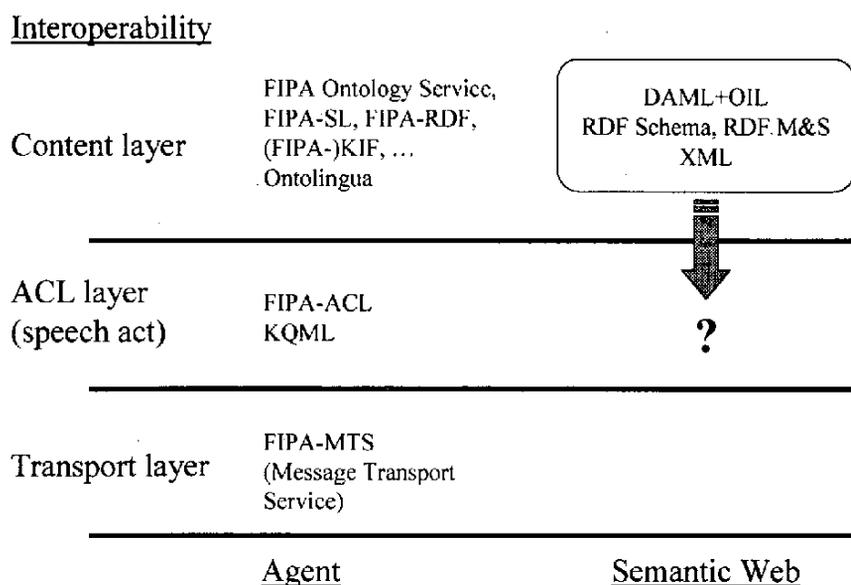
当初 DARPA のプロジェクトとしてアメリカを中心に始まったが、ヨーロッパにおけるオントロジ関係の活動である OIL (Ontology Inference Layer, <http://www.ontoknowledge.org/oil/>) とも緊密に連携し、上記のオントロジ記述言語 DAML+OIL の実現に至っている (<http://www.daml.org/2001/03/daml+oil-index>)。

DAML 活動は具体的で、実際的なアプリケーションを目指している。各チームに数ヶ月ごとに宿題を課してアウトプットを求めるなど、プロジェクトを推進する体制もしっかりしており、DAML の活動が Semantic Web のブレイクスルーに結びつく可能性は高いと考えられる。

(4) Semantic Web とエージェント

エージェントはソフトウェア間の相互運用性を実現していく技術ととらえられる。その技術は、大まかに通信層、ACL 層 (メッセージの種類を決める層)、コンテンツ層の相互運用性に分かれる。Semantic Web は、この中でコンテンツ層の相互運用性を Web の技術である XML をベースに実現していく流れととらえられると考えている。

エージェント研究での Ontology に関連した部分は、Semantic Web の流れの中に統合されていくと考えられる。しかし現在までの Semantic Web の流れでは、Ontology に関する検討はされているが、Semantic Web を使ったアプリケーションを実際にどう実現するかについての検討はあまりなされていない。



図表 3.2.4-2 エージェントと Semantic Web 関係

Semantic Web に基づいたアプリケーションを実現するためには、物理的な、また運用管理的な制約からどうしても分散したソフトウェアモジュール同士のやり取りが必須であり、そこにはエージェントの技術が使われると考えられる。

そこでは今までのエージェント技術のもっとも重要な財産の一つである ACL (Agent Communication Language) の Performative/Communicative Act が使われるであろう。ACL の Performative/Communicative Act 自体、ある種のオントロジであり、そのため Semantic Web で使われる際には Semantic Web の形に書き直される可能性はあるかも知れないが、エージェントにおける ACL の Performative/Communicative Act という抽象化およびそれらの意味付け (Semantics) というその本質は変わらず、使われていくと考えている。

(5) まとめ

ここに来て、Semantic Web を含めてオントロジが大きな流れになってきたと考えている。これにはオントロジの機が熟してきたことがある。ソフトウェアのモジュールの高機能化が進み、それらのモジュールをつないでシステムを実現していく方向になってきた。それらのモジュールをつなぐために CORBA や XML などが整備され、いろいろなレベルのプロトコルやシンタックスがいくつかの標準的なものに収束してきた。こうなるとそれらのプロトコルやシンタックスの上に乗せるメッセージの内容が問題になり、自然とオントロジの考え方に導かれていくのだと考える。

少し大胆かも知れないが、今後のシステムエンジニア (SE) の主な仕事は、

- 1) オントロジを定める (あるいは「選ぶ」)
- 2) そのオントロジを各ローカルなシステムでどう解釈するのかのコードを書く

という 2 つに収束していくのではないだろうか。

以前 1980 年代の Artificial Intelligence (AI) がブームの時には AI 的なアプローチがうまく行かなかったのかも知れないが、今回はシステム実現という現実的な要請に対して AI を純粋に道具として、全く使わないという 0 レベルからはじめて、使える部分だけを使うという方針で行けば、必ず工学的に意味のあることを実現していけるであろう。

これらの状況のもと、Web と AI の交差点にいる Semantic Web は順調に展開すれば Web に続いて、エージェントともにインターネットの新しいインフラとして今後大きな影響を与えるであろう。

参考文献

- [1] Tim Berners-Lee: "Weaving the Web,"
<http://www.w3.org/People/Berners-Lee/Weaving/>
- [2] W3C: "A roadmap to the Semantic Web,"
<http://www.w3.org/DesignIssues/>
- [3] "Knowledge Networking," IEEE Internet Computing, Sep./Oct. 2000
- [4] "Framework for the Semantic Web: An RDF Tutorial,"
IEEE Internet Computing, Nov./Dec. 2000
- [5] SemanticWeb.org: <http://www.semanticweb.org/>

3.2.5 ECCMAにおけるECコードの標準化

—ECとエージェントに関する社会的側面からの考察—

エージェント一般の問題を考えるとオントロジーの問題は重要である。その実用化ということに関して、一番クリティカルかつビジネススペースでまじめに議論されているのは、Electronic Commerceの世界である。インターネットコミュニティでいろいろビジネスパーソン（ビジネスオペレーションや投資を担当している方）たちと交流していくと、Electronic Commerceの世界は非常に参考になる。というのもElectronicCommerceは、エージェントなどオントロジーの利用場面として、最も典型的なもの、あるいは切実なものだが、社会的な利害関係という理由から、実際にそれを作るということは非常に難しいからである。

エージェントとの絡みでElectronic Commerceということではオントロジーを考えると、二つの側面に分けて考えることができる。一つはデータの標準化という問題であり、一つはプロセスの標準化という問題である。つまり、ビジネスという観点からすると、ビジネスシンタックスのオントロジーとビジネスプロセスのオントロジー、という二つに分けて考えることができる。

ここではとりあえず、ビジネスセマンティックスやデータの標準化に、問題を限定して述べる。標準化ということを見ると、一つは設計というか、どういうシンタックス、どういう形式で実装するかという問題がある。木のかたちで書くのか。ネットワークのかたちで書くのか。あるいはもうちょっと実装寄りの問題で言うと、XMLで書くのか、S式で書くのかというような議論である。もう一つはその中身・内容の問題があり、これはどういう項目があるかという問題（つまり、フィールドやノードがどういうものがあるかである。たとえば値段について書くのか、企業について書くのか、製品について書くのかというような問題）と、その中で実際どういうコード付けをするか、どういうインスタンスがあるかという問題である。後者は、たとえば企業コードをどう振るかなど、製品コードをどう振るかという問題がある。

その標準化は原理的に、基本的には二つの方法しかない。つまり機械的方法か人為的方法のどちらしかない。機械的に作ろうと思うと、何らかのデータベースを参照する方法があるが、これはどちらかという、インスタンスを分類するというようなことしかできない。もう一つは、すでに複数ある何らかのオントロジー間における相互変換であり、それぞれのオントロジーの中に含まれているインスタンスの分類の重複関係などを見て、統計的な方法を使って、相互にこの項目とこの項目は同じものではないかというような変換規則を作るという方法があり、これはいろいろ研究されている。ただ、実際にはこの方法がほとんど使われていないのは、蓋然性を与えるものでしかないからである。結局、現実の世界では、人間が一生懸命作っている。「世の中、ともかくオントロジーはいっぱいあるから、集めて見てみましょう」というような議論もある。たとえば企業コードについて見ても、日本なら帝国データバンクが出しているし、アメリカならDunsが出しているなど、種種存在する。

ところが、標準化を人為的に進めていく際に一番難しいのは、社会的な側面、つまり利害関係である。標準を作るために係わっている人は全部、利害関係を持って、あるいは自分がビジネスをやっている、そのために標準化ということを考えている。

したがって、単に社会が便利になれば良いということだけを考えていない。あわよくば、そこで自分が得なようにしたいと考える。もっと正確に言うと、標準化の行為を通じて、実は市場支配力を握ってしまいたいと誰しも思っている。そうすると、それは標準化ということとそもそも二律背反というか、矛盾するようなアクティビティになってしまう。もう一つは、レガシーなオ

ントロジーとの関係をどうするかということがある。このため、下のレベルに入ってくると、なかなか合意に至らない。特に、フィールドやコードに至ると、全然合意に至らず、いくつかの争いが行われているというのが、リアルな世界の問題である。

逆に、そういう基本的な（たとえばフィールドやコードの）標準化ができてしまうと、ものすごく技術的に進んだことをしなくても、それなりのことはできる。つまり、システム相互間の接続性や操作性を高めたいというニーズ以前の問題が非常に大きい。つまり、フィールドやコードを統合できれば、ある程度のことのできてしまうという側面がある。逆に言うと、これがないと、どんなに立派な枠組みがあっても、実現できないという側面がある。しかしながら、社会的な問題から、それを行うことは非常に難しい。現在、本質的には eMarketPlace が提供しているのは、クローズなオントロジーを自分たちが持ってみて、その中にビジネス主体を囲い込んで、クローズな Hub & Spokes を提供しようというものである。現在、シンタクス的には XML の利用が前提になっており、ビジネスの世界ではそれを使用したフレームワークを標準化しようという動きがある。それができてくると、企業と企業のやり取りが、eMarketPlace に捕捉されないで、より Pear to Pear なかたちで実現していくポテンシャルがある。有名などころではたとえば UDDI と SOAP のような、もともとこれは BizTalk の流れから出ているが、現在 IBM も SUN もこれに加わっているという大きな流れが一つある。それから、もともとは oasis の流れであるが、ebXML というのがあり、これは JIPDEC の傘下団体である ECOM が推進していて、非常に力を入れられている。これらはビジネスプロセスとセマンティックス、両方をカバーしている。これらが本当に実現できれば、これは全然立派なものでも何でもないが、かなりのことはできる。たとえば自律性がないという点ではもちろんエージェントという側面を全く実現できてないし、マイグレーションというものがない（従ってそういう意味では分散オブジェクトという側面も持っていない）。しかし、別の言い方をすると、UDDI のウェブサービスという概念で、それぞれの企業の持っているサイトが価格や内容で競合し合い、動的に協調し合って、あるビジネスプロセスを作っていくことを考えると、エージェントによって実現したいと思っていることのいくばくかの部分は、実現できてしまう。あるいはこれはエージェントでやりたいということに似ていなくもない。

いずれにせよ、エージェントと EC という文脈では、オントロジーが非常に重要だということはい間違いないことである。要するにインターネットでオープンな取引をしようと思うと、卑近な例で言うと、たとえば商品分類コード一つ取っても、現在統一した分類コードは存在しないので、そういうものをだれかが統一的に管理していかなければならない。ところがそういったことがなかなかできない。

もしそういうことができると、たとえば売上高が 1000 億の企業があり、そこで調達金額が 500 億円ある。そのうちの 200 億円ぐらいコモディティだとするならば、本来コモディティ用品はインターネットによって取引コストが下がれば、ものすごくインパクトがあると言われている。現在同じコモディティ用品をある企業が多数の企業から調達している。例えば、あるメーカーがいろいろな会社からタイヤを買っているとすると、それを全部統合して、ある事業部 A で使っているタイヤと別の事業部 B で使っているタイヤは同じだから、統合しようとする、消費分析によって 10%か 15%ぐらい買い付けディスカウントがおきて価格が下がる。すると、それだけで 20 億か 30 億円ぐらいコストセービングができる。売上高 1000 億の企業の税引き前利益がそれだけ上がるということはたいへんなインパクトがある。ところがそういうことがなかなかできないの

で、必要な標準化をしようとしているのが ECMA という団体である。これ自身は別にアカデミックなものではないが、筆者が興味を持っているのは、社会的な文脈からなかなか標準化が進まないという現実の前で、ここは非営利団体でそれを行う。そして、そういうコードの変更・追加に 15 日間だけで、対応できるようにしているところが非常に興味深い。利害関係者（利用者）が多数参加しており、当然、コードの体系は変動していく。ここで、一番難しいのはコードが変わったときに、それぞれの企業が持っている製品の個々のインスタンスにコードを振り直すということである。ECMA では、それを柔軟に行うためのシステムを提供している。

3.2.6 情報家電：ホームネットワークにおけるエージェントプラットフォーム

本項では、エージェントの具体的な応用として、高機能化されつつある家電製品、特に情報家電と呼ばれる次世代の家電製品にエージェントを応用するために必要なプラットフォームについて検討する。

(1) 情報家電：家電のネットワーク化

情報家電と既存の家電製品との大きな違いは、ネットワークによって結ばれている、という点である。現時点ではネットワークの実現には無線 (Bluetooth、赤外線)、有線 (IEEE1394、Ethernet、電力線) など、統一はされていないが、家電機器同士を結びつけるためのインフラは確実に整いつつある。また物理的な接続だけでなく、プロトコルを含めたネットワーク化のための規格もいくつか提唱されている。UPnP、Jini、HAVi などである。UPnP、Jini については昨年の報告書 [1] でも紹介されているので参照されたい。

HAVi については、IEEE1394 をベースにした AV 機器接続のためのネットワーク化規格として、家電メーカー数社の参加のもとに規格化が進められている。

こうした情報家電の登場により、いままで単独で機能していた家電製品が、機器同士での情報交換、機器判別や連携などが可能となる。これらは利用者の手を借りずに機器同士が自立的な判断で環境や情報の判断を行うという処理が必要になる。また心配される事としては、機器同士の連携や機器の高機能化により、それを利用する利用者にも多くの負担がかかってしまうという不安も指摘されている。

そこで登場するのが、このような情報家電において機器のインテリジェント化、利用者のアシストのためにエージェント技術を応用する、という考えである。

(2) 情報家電におけるエージェントへの期待

家電機器がより高機能になり、ネットワーク化により機器同士の連携が前提になると、機器そのものに求められる機能もさることながら、利用者にどれだけ負担をかけないようにするか、という配慮も求められる。これらの要求にエージェント技術を応用すると、以下のようなサービスが考えられる。

a) PnP (プラグアンドプレイ) のサポート

複雑な機器の接続や管理、稼動状況の把握を利用者が行うのではなく、機器に組み込まれたエージェントが自律的に行い、利用者に情報を提示してくれる。

b) マンマシンインタフェースの改善

リモコンのボタンやキーボードなどではなく、TV などの画面に実体化されたキャラクターが登場し、利用者との会話をしながら操作の説明や処理の代行をしてくれる。

c) 環境最適化

AV 機器だけでなく、照明や空調、可能であればカーテンの開け閉めなど、利用者を取り巻く環境もエージェントが管理することができれば、自分の好みの環境を覚えさせ、再び同じ利用者が使うときにはその環境を復元してくれる。

などが考えられる。

ここではあくまでもプラットホームという観点で、具体的なサービス内容については言及しないが、高機能化された機器を利用者が負担なく扱えるようになる、というのが情報家電にエージェントを導入する一番のメリットである。

具体的なアプリケーションの例としては次節 3.3 を参照されたい。

(3) 情報家電における AgentPlatform の可能性

本項では現在提唱されている情報家電にエージェントの実行環境を構築する方法を検討する。情報家電に関する規格はいくつか提唱されているが、以下では HAVi システムを例にあげる。

1) HAVi (Home Audio/Video interoperability)

日欧の企業が策定した、家庭内ネットワークの基本仕様。IEEE1394 と呼ばれる高速なシリアル回線を使って異なった種類の機器や、異なったメーカー間の機器をつないでネットワークを形成することが可能となる。

HAVi システムの詳細は以下の URL を参照されたい。

HAVi ホームページ : <http://www.havi.org/>

次では、プラットホームという観点からみた HAVi システムの紹介と、エージェントプラットホーム実装のためのアプローチを提案する。

2) HAVi システムの例

HAVi システムについての詳細はここでは割愛するが、HAVi を構成するための基本構成として図表 3.2.6-1 に示す構成があげられる。

Application				Havlet
Interoperability API				
Registry	Event Mgr	Stream Mgr	Resource Mgr	DCM
Messageing System				
1394 Communication Media Manager				
Platform Specific API				
Vender Specific Platform				

図表 3.2.6-1 HAVi システム階層構造

この HAVi システムをベースにエージェントプラットホームを実装しようとする場合、2つのアプローチが考えられる。一つは、アプリケーションレベルで実装する場合、もう一つは HAVi システムの一部として、エージェントプラットホームとして必要なサービスを実装する場合である。

3) アプリケーションレベルでのエージェントプラットフォーム実装

アプリケーションレベルで実装する場合は、エージェントの実行に必要なメッセージの交換 (ACC)、エージェント情報の登録、取得 (AMS)、イエローページ (DF) などの機能をすべてアプリケーションで実装し、エージェントアプリケーションとはアプリケーション間の通信を行ってサービスを提供する。通信手段については HAVi システムの通信手段 (MessagingSystem など) を用いる方法もあるが、基本的にアプリケーション間での独自の通信手段を用いることも可能である。これは実装するプラットフォームの通信手段に依存する。

アプリケーションレベルでの実装は、ある意味では既存システムとエージェントアプリケーションとのゲートウェイとも呼べる。これは FIPA でも議論された Wrapper という概念に近い。

また、アプリケーションレベルでの実装の場合、HAVi システムの実装がプラットフォームネイティブで行われていたとしても、エージェントプラットフォームを Java などのプラットフォーム非依存の言語で実装することが可能である。HAVi システムには Java 仮想マシンを実装することが前提となる FAV (Full AV Device) というモデルが有る。この場合には HAVi システムとして JVM が実装されているので後述する JADE などの Java によるエージェントプラットフォームを導入することが可能となる。

図表 3.2.6-2 にアプリケーションレベルでの実装の場合のエージェントプラットフォームとエージェントアプリケーションの階層イメージを示す。

Agent Application		HAVi Application			Havlet
Agent Platform					
Interoperability API					
Registry	Event Mgr	Stream Mgr	Resource Mgr	DCM	
Messaging System					
1394 Communication Media Manager					
Platform Specific API					
Vender Specific Platform					

図表 3.2.6-2 アプリケーションレベルでの階層イメージ

4) HAVi システムの一部としてのエージェントプラットフォーム実装

次に、アプリケーションレベルよりさらにシステムに近い実装方法として HAVi システムの API、マネージャレベルでエージェントプラットフォームを実装する方法が考えられる。

これはエージェントプラットフォームを HAVi システムの実装と同じレベル (ネイティブ) で実装することが必要になるが、エージェントから直接 HAVi システムへのアクセスも可能となり、よりシステムに近いアプリケーションの実現が可能となる。またパフォーマンスについてもより高いものが実現できる (図表 3.2.6-3)。

Agent Application		HAVi Application		Havlet	
Interoperability API + Agent Platform API					
Agent Mgr	Registry	Event Mgr	Stream Mgr	Resource Mgr	DCM
Messageing System					
1394 Communication Media Manager					
Platform Specific API					
Vender Specific Platform					

図表 3.2.6-3 Manager レベルでの階層イメージ

(4) 現在公開されているエージェントプラットフォーム

本編 3.2.1(8)で紹介している JAS を含め、独自実装のもの、FIPA 準拠のものなどいくつか挙げられる。ここでは情報家電などの小規模デバイスでの実装が考慮されているものとして、オムロンソフトウェア株式会社の「Jumon」、FIPA 準拠としてアナウンスされている「LEAP」について紹介する。また LEAP の補足として「JADE」についても紹介する。

①実装モデル紹介 - オムロンソフトウェア株式会社「Jumon」(図表 3.2.6-4)

1) Jumon

Jumon はオムロンソフトウェアが開発した小規模デバイス向けのエージェントプラットフォームである。おもな特徴は以下のとおりである。

- ・ Java 環境で動作する組み込み可能なエージェントシステム
- ・ 資源の限られた携帯機器にも組み込みが可能
- ・ ネットワーク上の機器間を自立的に移動するモバイルエージェントを実現
- ・ JumonAPI により普通の Java アプリケーションもモバイルエージェント化可能
- ・ 携帯電話、携帯情報端末、家電、OA 機器、車載用情報機器などにも適用可能

(詳細は<http://www.omronsoft.co.jp/na/jumon/index.html>参照)

2001年3月現在、上記 URL から、評価版のダウンロードが可能となっている。参考にこの評価版を用いて「Jumon」の概要について紹介する。

ダウンロード可能な「Jumon」のバージョンは現在のところ 0.9 となっており、解凍すると以下のディレクトリが作成される

```

jumon:      jumon インストールセット
bin:       実行ライブラリ
lib:       ライブラリ
doc:       ドキュメント
example:   サンプル集

```

agent:	エージェント
message:	リモートメソッドコール
mobility:	オブジェクト移動
naming:	ネーミングサービス
mini:	Jumon-Mini サンプル
circle:	○×ゲーム
vendor:	自動販売機 1

eWebServer: eWebServer

評価版では添付されている Jumon サーバとサンプルプログラムにより、以下の動作が確認できる。

- Message: リモートオブジェクトの生成とそのオブジェクトのリモートメソッドコール
- Naming: Jumon サーバ上のオブジェクトをリモート参照するためのネーミングサービス
- Mobility: Jumon 上のオブジェクトをリモートホストに移動させ実行する Mobility サンプル
- Agent: Jumon 上のオブジェクトを自律的に移動させメソッドを実行するエージェント機能のサンプル
- Mini: Jumon-Mini の一連の機能を用いたサンプル



図表 3. 2. 6-4 Jumon ホームページ
(<http://www.omronsoft.co.jp/na/jumon/index.html> より)

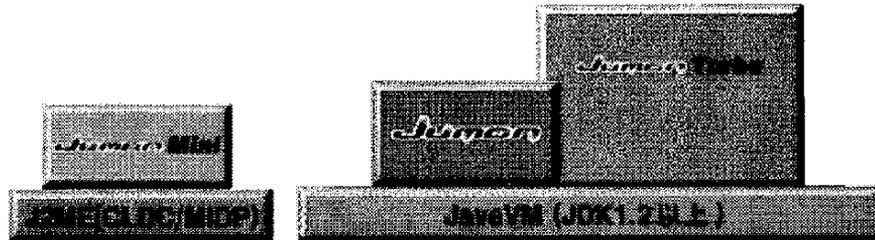
2) Jomon 基本構成

Jumon 基本構成を図表 3.2.6-5 に示す。

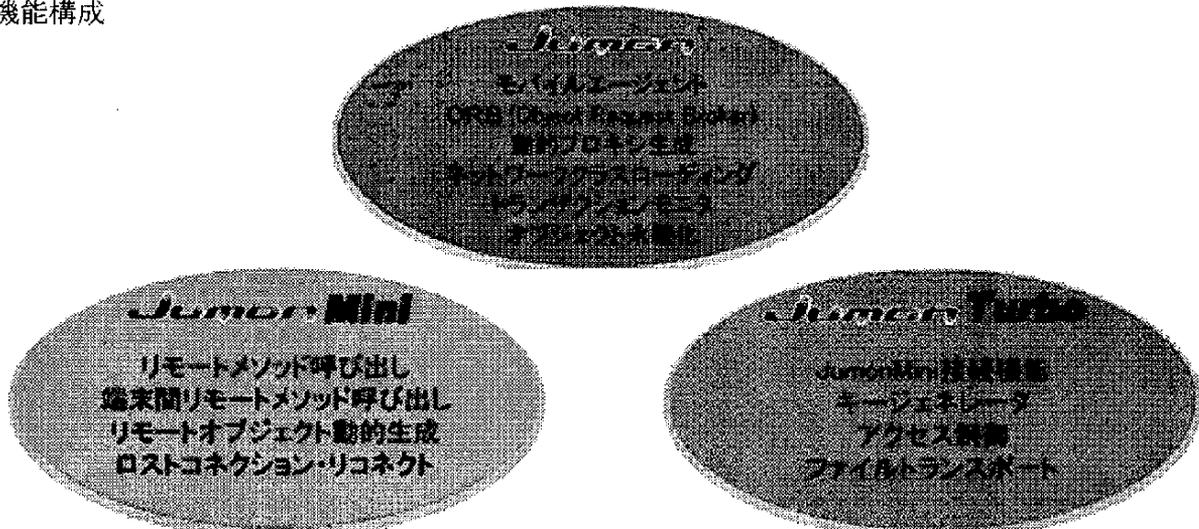
Jumon Ver1.0 は、JDK1.2 以上で動作する Jomon 基本コンポーネントと、i モードなど J2ME (CLDC) 上で動作する Jomon-Mini から構成されている。

拡張機能を追加した Jomon-Ver2.0 を 2001 年 Q2 に提供する予定。

基本構成



機能構成



動作環境

動作環境	Jumon	Jumon-Turbo	Jumon-Mini
OS	Windows-NT 4.0 sp6a / Linux (redhat Linux 6.1J)	Windows-NT 4.0 sp6a / Linux (redhat Linux 6.1J)	Windows-98 SE
HTTP サーバ	Apache 1.3.12, eWebServer	Apache 1.3.12, eWebServer	-
Servlet エンジン	Jserv 1.1.2, eWebServer	JServ 1.1.2, eWebServer	-
必要メモリ	1M バイト	1M バイト	3.5k バイト (最小)

図表 3.2.6-5 Jomon 基本構成、機能構成、動作環境
(<http://www.omronsoft.co.jp/na/jomon/function.html> より)

また Jumon パッケージには以下のような API が用意されている。

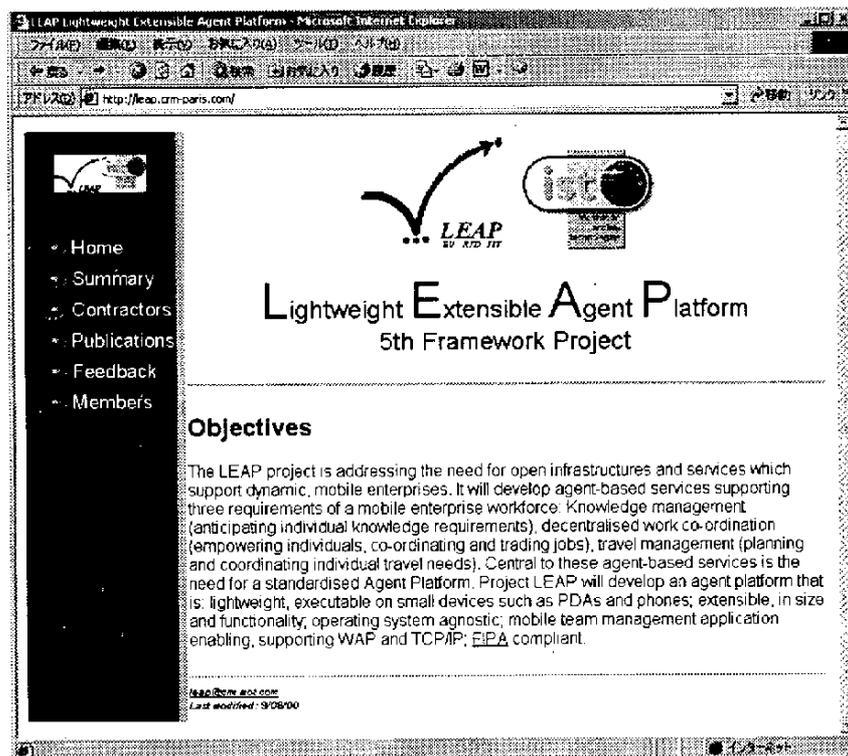
図表 3. 2. 6-6 Jumon の API

パッケージ	名 前	説 明
Com. juman_agent	基本コンポーネント	Jumon の ORB、エージェントなどの基本部分
Com. jumon_agent.turbo	Jumon-Turubo 2	Jumon 拡張機能
Com. jumon_agent.L_JumonMini	Jumon-Mini	Java2ME (CLDC) 上で動作する分散オブジェクト機能
Com. jumon_agent.S_JumonMIni	同上	同上

②実装モデル紹介 (2) ~LEAP

1) LEAP

続いて「LEAP」について紹介する (図表 3. 2. 6-7)。



図表 3. 2. 6-7 LEAP ホームページ (<http://leap.crm-paris.com/>より)

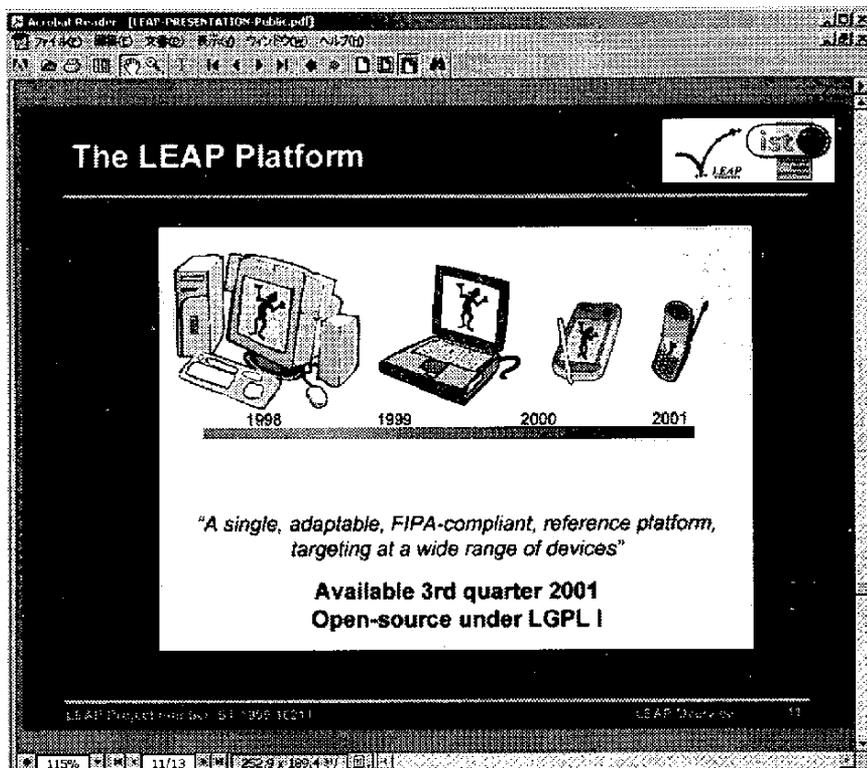
LEAP とは、Lightweight Extensible Agent Platform の略であり、FIPA 準拠の軽量組み込み向け AgentPlatform である。

LEAP を公開している LEAP プロジェクトは ADAC、Boradcom、BT、CSELT、Motorola、Siemens、University of Parma による共同プロジェクトであり、小規模デバイスをターゲットとしたエージェントプラットフォームの実装を目指している。

残念ながらまだ実際に動作確認できるものは公開されていないが、以下のスケジュールで公開されるとアナウンスされている。

LEAP Version1.0	-Dec-00
Lab Trial	-Dec-00
LEAP Version2.0	30-Aug-01
Leap Application Implementations	28-Sep-01
Evaluation of Field Trial	30-Jun-02

LEAP のアナウンスでは、2001 年第 3 四半期に GPL の元でオープンソース化されるとのことである。



図表 3.2.6-8. LEAP ドキュメント (LEAP-PRESENTATION-Public.pdf より)

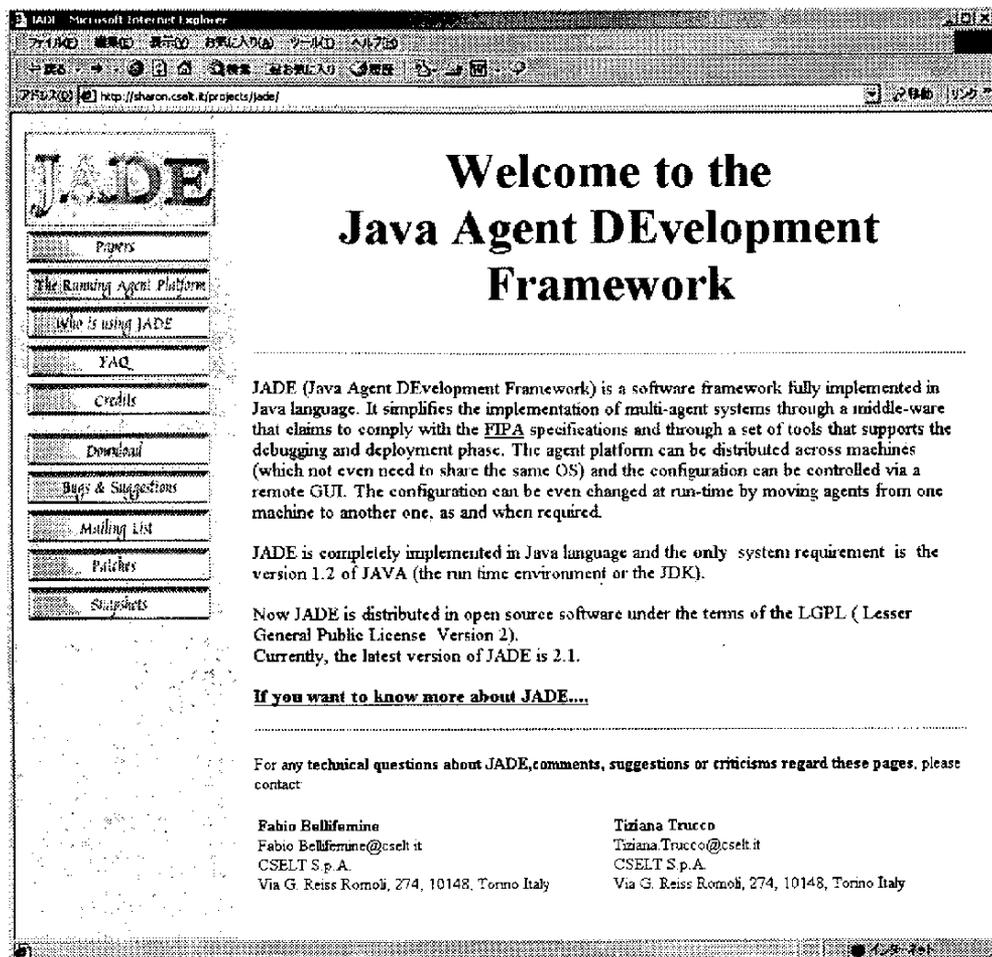
2) LEAP 補足 (JADE について)

LEAP は基本システムとして CSELT の開発した JADE を元になっている。

JADE は、Java で記述された FIPA 準拠のエージェントプラットフォームを構築するためのフレームワークであり、

<http://sharon.csel.it/projects/jade/>

において公開されている (図表 3.2.6-9)。



図表 3.2.6-9 JADE ホームページ

JADE の構成は AMS、ACC、DF などの機能を持ったクラスライブラリとして配布されており、以下の Package、API が用意されている。

図表 3.2.6-10 JADE API 一覧

(JADE 配布パッケージ添付ドキュメント : overview-summary.html より引用)

JADE Packages	
jade	This package simply contains a class to bootstrap JADE system.
jade.core	This package contains the <i>microkernel</i> of JADE system.
jade.core.behaviours	This package is a subpackage of <i>jade.core</i> and contains the classes used to implement basic agent behaviours.
jade.domain	This package contains <i>FIPA</i> specific agents and ontologies.
jade.gui	This package contains general purpose components that can be used to build Swing-based Graphical User Interfaces for JADE agents.
jade.lang.acl	This package contains classes related to <i>FIPA ACL</i> language.
jade.proto	This package contains role behaviours for <i>FIPA</i> standard protocols.
jade.tools.DummyAgent	This package contains the Dummy Agent, a simple yet very useful tool for inspecting message exchanges among JADE agents.

LEAP において上記の API がどこまで提供されるかは現在では不明であるが、FIPA 準拠の AMS、ACC、DF が組み込みデバイス上で実装可能になる期待は大きい。

(5) 課題

エージェントそのものについての課題はまだ多く残されているが、ここでは情報家電などの小規模デバイス、組み込みデバイスへの実装の際の問題点を挙げてみる。

a) 限られたリソースでの実現

組み込み環境では、特にリソースの制限が一番の問題となる。限られた CPU パワー、限られたメモリ、そして限られた Java 環境 (CDC, CLDC, MIDP) において、いかに賢いエージェント、快適な通信環境を確保するかが大きな課題である。

b) ネットワーク環境

HAVi システムでも考えられるが、インターネットのプロトコルである TCP/IP が必ず使用できるとは限らない。また Java を使用できる環境でも CLDC など、ネットワーク環境に制限がある環境も考えられる。エージェントが会話をするための、通信経路をどうやって確保するかについても重要な課題である。

c) セキュリティ・プライバシーの問題

情報家電の大きな役割として、個人個人の情報をも管理することができる点が挙げられる。その個人情報をエージェントが管理し、利用者の嗜好を抽出してくれる、というアプリケーションも考えられる。しかし、その個人情報を如何にして守り、管理するか、という点についてはまだ具体的な案は挙げられていない。情報家電に限らず、今後個人情報を管理することができるエージェントを実現するためにはこのセキュリティ・プライバシーについての十分な保護対策が必須となる。

(6) まとめ

以上、簡単ではあるが、情報家電におけるエージェントプラットフォームについて紹介した。エージェントの可能性については他の章節でも検討が行われているが、より身近なものでエージェントが実装されることが、エージェントそのものの存在価値を示すためには重要であると考えられる。

参考文献・関連 URL

- [1] 次世代ネットワークと産業フロンティア情報技術に関する調査研究報告書
 - ネットワークエージェント技術 -
 2.1.7 情報家電におけるネットワークエージェント技術 p56-60

FIPA <http://www.fipa.org/>
 HAVi <http://www.havi.org/>
 Jini <http://www.jini.org/>
 UPnP <http://www.upnp.org/>
 Jumon <http://www.omronsoft.co.jp/na/jumon/index.html>
 LEAP <http://leap.crm-paris.com/>
 JADE <http://sharon.cselt.it/projects/jade/>

3.3 次世代アプリケーションへの道

3.3.1 エージェント技術の EAI への適用事例

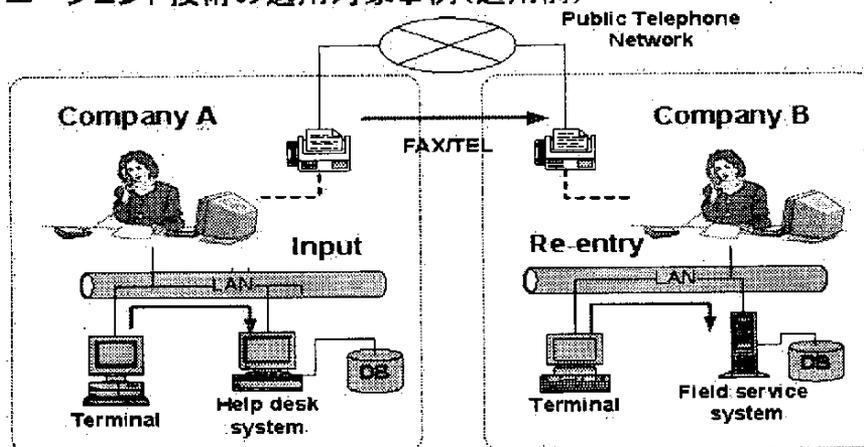
本項では、業務アプリケーション連携／統合 (EAI: Enterprise Application Integration) へのエージェント技術の適用事例を紹介する。業務アプリケーション連携とは、企業で利用される複数の業務用アプリケーションを、通信ネットワークを介して連携させ、アプリケーションのデータ・機能を相互に利用できるようにすることである。ここでは、まず、具体的な業務アプリケーション連携 EAI が望まれている事例を紹介する。続いて、エージェント技術を適用した EAI システム構築事例を紹介し、最後にエージェントの用途、課題について考察する。

(1) 顧客支援システムにおける EAI

ここで紹介するのは、米国での顧客支援システム (Customer Support System) における EAI へのエージェント技術適用事例である。

CIS (Customer Information Services) Business Workflow (no connectivity)

エージェント技術の適用対象事例(適用前)



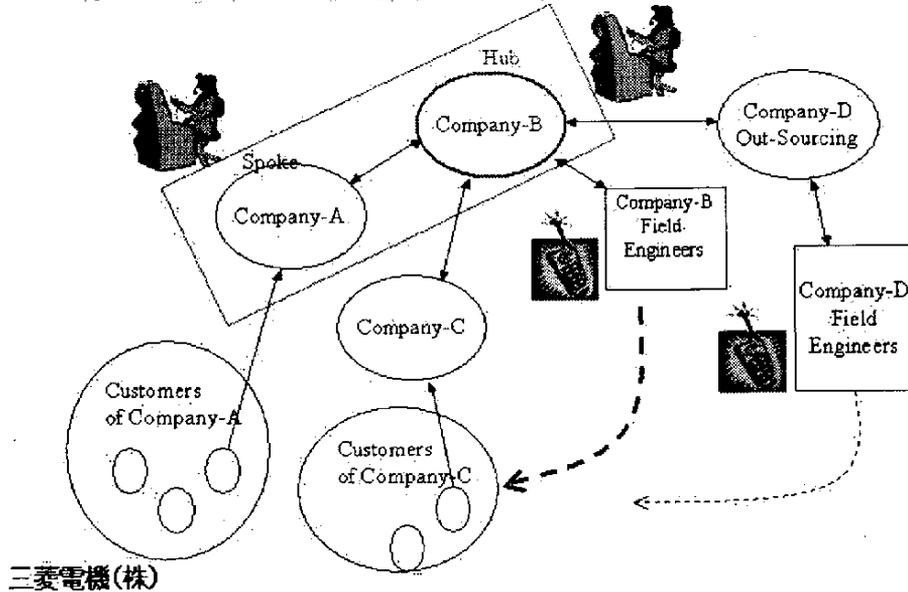
三菱電機(株)

図表 3.3.1-1 エージェント技術導入前の顧客支援システム例

図表 3.3.1-1 は、エージェント技術導入前の顧客支援 (CS: カスタマーサポート) 業務における従来のシステム事例を示している。ここにご紹介する事例は、A社とB社が電子機器・通信機器の保守修理というカスタマーサポートサービス (以後 CS と略記) の依頼する側 (A社) とそのサービスを提供する側 (B社) の事例である。A社とB社は、それぞれ、X社、Y社の CS 業務アプリケーションパッケージソフト (以後単に業務アプリケーションと略記) を利用し、社内業務の効率化を図っている。

CISのビジネス構造

事例 コンピュータ・通信機器 修理サービス



図表 3.3.1-2 CISビジネスの構造

図表 3.3.1-2 は、A社、B社を取り巻く環境を、さらに他の企業との関係を含めて図示したものである。A社はA社自身の顧客を持ち、その顧客サービスをX社の業務アプリケーションを用いて処理している。B社も同様に直接、保守修理を依頼してくる顧客を持ちつつ、A社から保守修理のアウトソーシングを受け付けている。B社には、A社と同様の構造をもち、保守修理を要望する顧客を抱えるC社からも保守修理のアウトソーシングを引き受ける。B社は、こうしたA社やC社、さらには別の会社からのアウトソーシングによる保守修理業務依頼を、Y社の業務アプリケーションを用いて処理している。

B社は自らが保守修理の技師 (Field Engineer) を抱え、その技師を依頼を受けた保守修理を必要としている顧客に派遣する場合と、さらに地域によっては、D社のように保守修理技師の派遣を専門とする別会社に、さらにアウトソーシングをする場合もある。この場合は、D社が、保守修理を必要としている顧客先に技師の派遣を行う。

この事例におけるA社、B社間の課題は、両社で情報機器・通信機器の管理・保守修理のための情報が電子化されコンピュータで管理されているにも関わらず、使用している業務アプリケーションが異なることから、そのデータを相互に利用することができない点である。結局、両社間での機器の保守修理依頼・受付け業務は電話やFAXによって行われ、A社側では「状況確認に時間がかかる」「修理依頼後のサービスの進捗状況が依頼側にわかりにくい」「保守修理業務の状況確認に時間がかかる」といった問題を生じ、B社側では「保守修理作業の依頼者とその状況確認に時間がかかる。」「結果として、事前確認が素早くできないため、準備できたはずの保守器材の準備に時間がかかったり、出直しになる」といった時間損失を生じていた。

次に、両社の業務アプリケーション連携の特徴と、業務アプリケーション連携が期待されている背景について考察する。ERP (Enterprise Resource Planing) や SCM (Supply Chain

Management) と呼ばれる多くの業務アプリケーションでは、業務データに関するビューを構築・提供し、そのビューの組み合わせにより、データの業務上の関連付けを容易に行えるようにすることで、さらには、その関連したデータを「業務知識」と関係づけて処理を行うことで、利用者を支援するところに大きな特長がある。各アプリケーションのデータは、そのビューに添う形で、それぞれのデータが保管され、システムが構築されている。このため、A社とB社間でデータの共有・意味付けの共通化が必要であり、単なるファイル転送（データ転送）では、EAIの実現は難しい。

また、業務アプリケーションを導入した各社は、導入後、それぞれの事情に応じたシステムのカスタマイズを行う。例えば、「以前から使っていたコンピュータとの接続・ソフト資産の活用を図るために、一部のデータ形式を自社の用途に合わせて変更する」、「会社の組織に合わせて業務アプリケーションが供給する標準的ビュー／業務フローに変更を加える」などのカスタマイズが行われる。このため、同じベンダーの業務アプリケーションを使用している、ファイルを送るだけでは、相互の業務アプリケーション連携は実現できないケースがほとんどである。

さらに、それぞれの企業には、他社には見られたくない情報（例えば、取引の割引条件や、関連顧客の情報など）があり、これらが業務アプリケーション中に入力されている。こうした社外に流出させたくない情報を分離し、取引相手に応じて転送内容を選別し、セキュアに連携を実現する機構が要求される。

業務アプリケーション連携を、会社を超えて（Extranetとして）実現しようとする場合には、こうした特徴を踏まえたEAI実装支援ソフトが必要となる。

(2) EAIソフトの要件

会社を越えた業務アプリケーションの相互連携（EAI）を実現するには、

- (a) 連携に要する通信コストを抑え、同時に、セキュリティを確保すること
- (b) 交換するデータ形式を標準的に定めること
- (c) カスタマイズが行われた2社間での連携は個別開発となりがちであるため、そのソフト開発に必要な労力と費用を抑えること

が必要となる。これらの条件は、従来、業務アプリケーション連携が、一部の大型システム同士の連携に限られてきた事情をよく説明している。しかし、近年、これら課題のうち

(a) については、インターネットの普及と暗号・認証を含むインターネット利用技術の進歩により、いくつかのオープンな技術によって実現可能となってきた。また、(b)についても、XML技術の標準化と普及により、データの交換形式を標準的な仕様に基づいて定める事が容易になってきた。すなわち、XML技術を用いた ebXML、BizTalk、SOAP、XML/EDI といった標準仕様の策定により、その方向性は示されたといえよう。さらに、米国を中心に、業務アプリケーション導入の重要性が認識され、ERP、SCM といったソフトウェアがパッケージソフトとして企業に導入されるようになってきた。これに伴い、(c)の個別開発の部分を少なくする／省力化することも可能となってきた。

そうした背景から、業務アプリケーション連携のためのシステム構築支援ソフトウェアが市場に登場してきており、米国では、CrossWorlds Software 社の CrossWorlds Seriesをはじめとして、webMethods 社の“webMethods B2B”、“ActiveWorks”などの製品がある。また、IBM 社の“MQ Series Workflow”も MQ Series ソフトの EAI 対応版と位置づけることができる。EAI 分野へのエージェント技術適用という点では、三菱電機の“MELBA (Multi-Enterprise Links By Agents)”があり、また、東芝“Bee-gent (Bonding and Encapsulation Enhancement Agent)”も EAI を指向したエージェントシステムである。

(3) MELBA

MELBA (Multi-Enterprise Links By Agents) は、企業間の業務アプリケーション連携の実現を容易にすること、特に業務アプリケーション毎・企業毎の個別ソフト開発量を削減することを目的として開発された EAI システム構築支援ツールである。前節に記述した業務アプリケーションの相互連携の条件(a)～(c)を満たし、従来人手で行われていた作業を複数のエージェントに代行させ、図表 3.3.1-4 に示す EAI システムの構築を支援するソフトツールである。

CIS (Customer Information Services) Business Workflow (linked by agents)

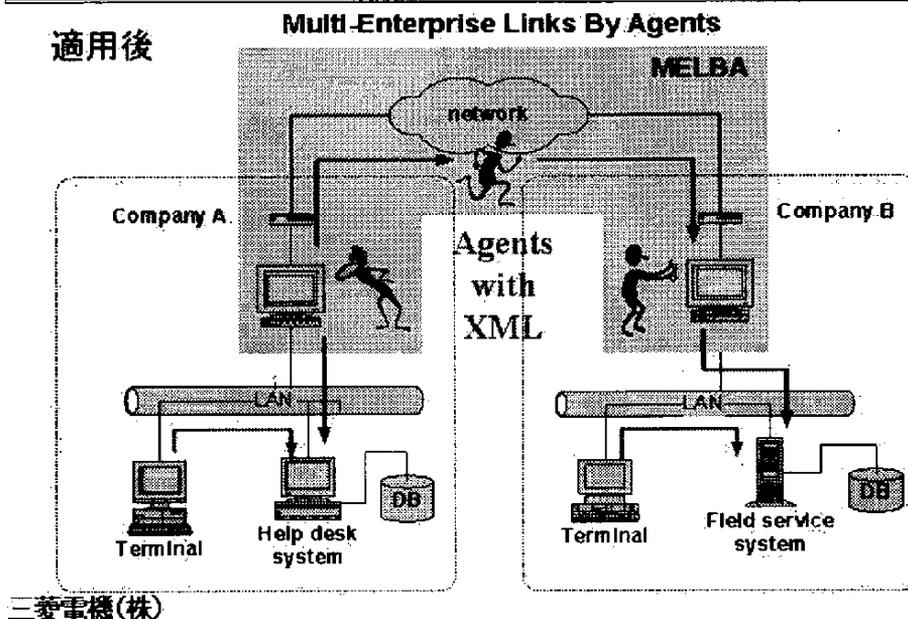


図 3.3.1-3 MELBA による業務アプリケーション連携システムの構築例

このシステムにおいて、エージェントは

- 1) A社からB社への依頼業務の発生検知
- 2) 連携相手の特定 (A社 \leftrightarrow B社であることの識別)
- 3) 伝送すべきデータの選択

- 4) A社側での伝送時のデータ共通形式への変換
- 5) 認証・暗号を利用したデータ転送
- 6) B社側でのデータ形式の適合化変換
- 7) 入力規則の確認と入力実行

などの作業を代理実行している。

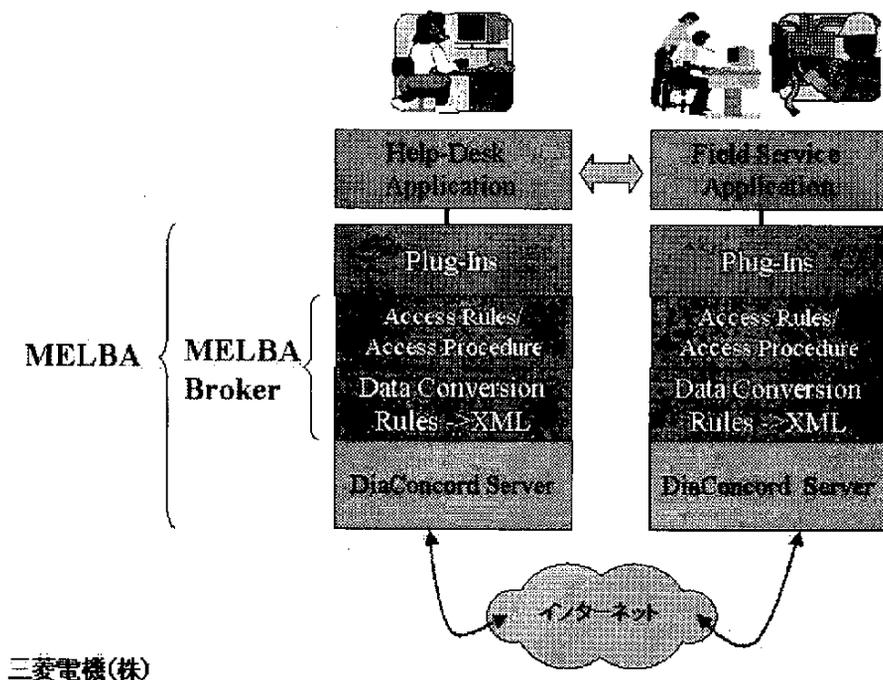
EAI 構築支援ツールを開発するにあたって、われわれが移動型エージェント/Network Programming 技術に期待した効果は次のようなものであった。

- a) システムの拡張性、柔軟性
- b) Network Programming の開発効率化
Network Programming: ネットワークで作業を達成することを目的としたプログラムの開発効率化、開発工期の短縮
- c) システムの遠隔管理、試験、システム更新の簡易化

移動型エージェントの実行環境はプログラムの追加、変更が容易な環境でもある。また、移動型エージェントによるアプリケーションの記述は、Network Programming と呼ばれる「network とそれによってつながれた複数のコンピュータ・機器を利用して、課題を解決することを想定したプログラム」を、容易に開発できる特徴をもっている。また、システムの遠隔監視機能は、容易に追加・変更が可能であり Network Programming 自身の保守にも効果がある。これらは開発者向けの利点であり、システム導入者・ユーザには「工期の短縮」「システム拡張のコスト低減」としてエージェント技術の導入効果がみえることになる(この事例の場合、「ユーザが利用している業務アプリケーションを変更することなく、他社があたかも自社と同じ業務アプリケーションを利用して、ネットワークを経由して取引しているかのように見えること」がユーザにとっての最大の効果である。)。業務アプリケーションとして、A社が Helpdesk アプリケーションXを、B社が Field Service アプリケーションYを使用した場合の MELBA のソフトウェア構成を図表 3.3.1-4 に示す。MELBA は、業務アプリケーション毎のアクセスインタフェースを Application Plug-Ins として供給する。また DiaConcord Server は、JavaVM 上で動作する移動型エージェントの実行・管理環境であり、データの転送を受け持つ。また、MELBA Bridge は、この DiaConcord と後述する MELBA Broker のインタフェース部である。MELBA Broker 部は、(1) アプリケーションへのアクセス規則(アクセス順序や先行入力条件、パラメータ条件等)に則って、データアクセス手順を定め、Plug-In を通してアプリケーションデータの読み書きを実行する。また、(2) データの変換規則に則って、伝送時の共通データ形式とアプリケーションが利用するデータ形式との間のデータ変換を行う常駐型エージェントであり、ユーザ毎・アプリケーション毎に必要である。

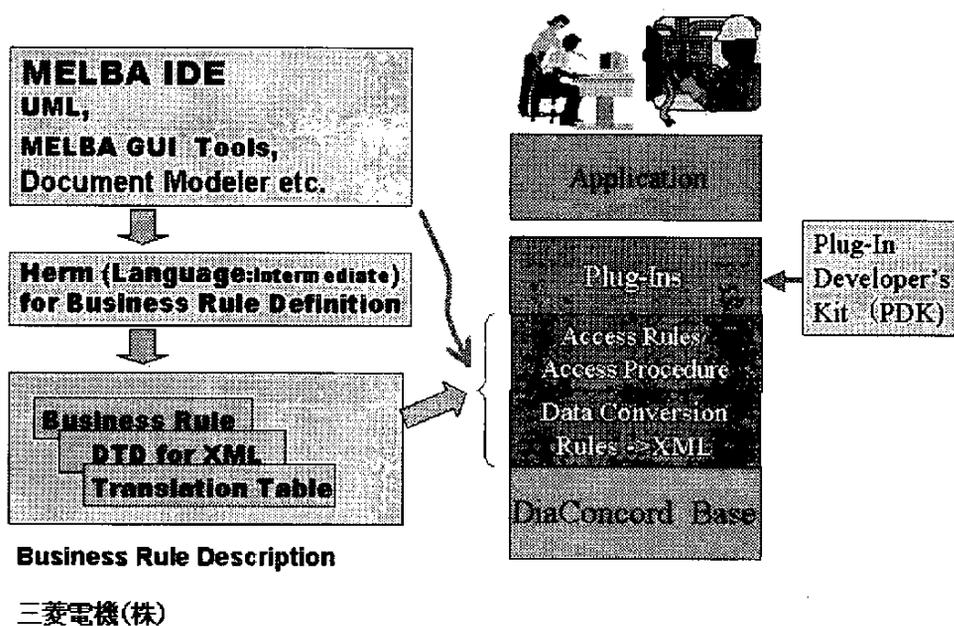
MELBA では、MELBA Broker プログラム自身とそれが利用するアクセス規則・データ変換規則を生成する Code Generation Tools を用意し、MELBA Broker ソフトの開発量を削減する手段を提供している。

Code Generation Tools の概要を、図表 3.3.1-5 に示す。



図表 3.3.1-4 MELBA のソフトウェア構成図

MELBA 2.0 MELBA Broker 開発支援ツール



図表 3.3.1-5 MELBA 2.0 MELBA Broker 開発支援ツール

Code Generation Tools には MELBA Broker 実行プログラムに加えて

- 1) ビジネスルール記述 (例外処理・変換手順なども記述される)
- 2) データの変換規則の記述
- 3) XML 化のための DTD (Data Definition Table)

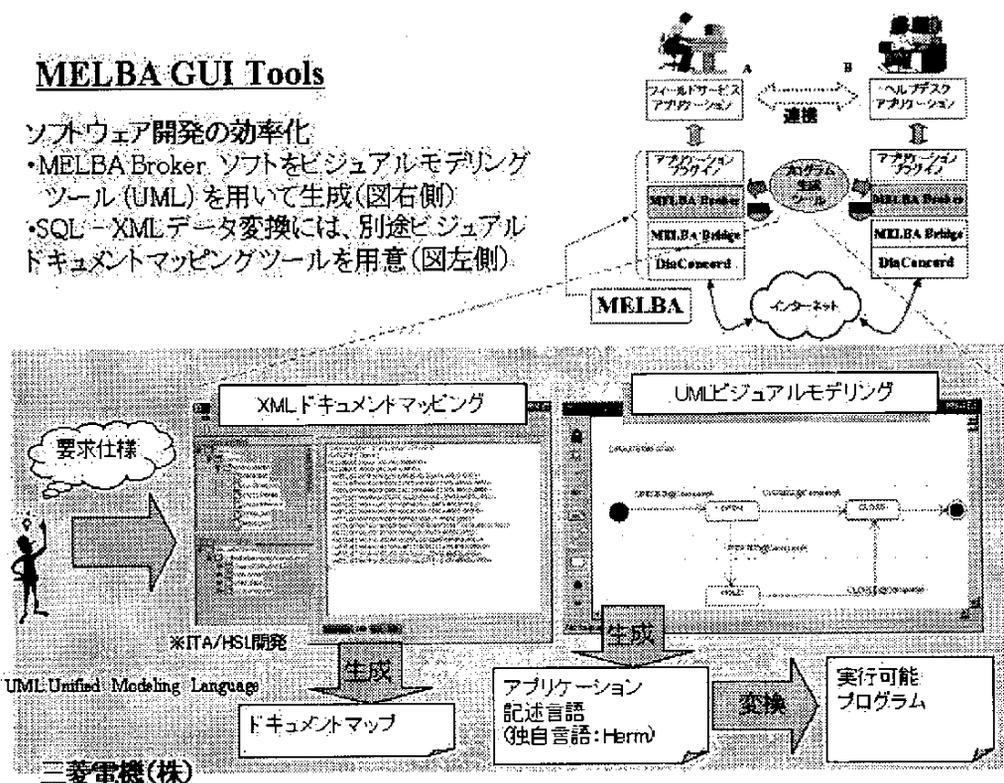
などが含まれる。

これら規則の記述とエージェント処理コードとを一元的に生成できるよう、MELBA ではシステム開発者向けの中間言語 Herm を定義し、MELBA Broker の仕様を Herm で記述して、Herm Compiler を通して MELBA Broker 実行コードと規則記述を生成する仕組みを提供している。

さらに、Herm 中間言語による仕様記述を必要とせず、GUI を通して EAI 仕様を入力していくことで、MELBA Broker コードを生成する MELBA GUI Tool も開発されている。

MELBA GUI Tool は、UML によるビジュアルモデリングツールを用いて Herm を出力するソフトツールである (図表 3.3.1-6)。

こうしてエージェント (ソフト) の生成ツールを充実させることは、エージェントを使いやすいものにし、エージェント以外のソフトウェアとの連携・共存を進めて実用的なシステムを構築していく上で、重要なことだと考えている。



図表 3.3.1-6 MELBA GUI Tools (MELBA Broker 生成ツール)

(4) エージェントの役割についての考察

① A社側 MELBA Broker エージェントの役割

A社側では、B社へ通知すべき事象（情報）の発生検知を行うが、その際に Broker エージェントが特定のデータの組み合わせを監視し、データ値の変化から事象の発生を検知・判断する。また Broker エージェントは、A社業務アプリケーションからのデータの読み出しを行うが、業務アプリケーションは、そのビューによるデータの関連付けに特長をもっており、MELBA Broker がA社業務アプリケーションのユーザと同じビュー・同じ手順でデータを読み出す。業務アプリケーションの機能・知識・ソフトに組み込まれたノウハウをそのまま利用できる。また、A社が業務アプリケーションを複数組み合わせで使用している場合でも、Broker エージェントの機能拡張で比較的容易に対応可能である。

② A社—B社間を移動する移動型エージェントの役割

(a)データが相手に安全・確実に伝送されること、(b)通信・データ処理に関する例外処理が個々の条件に応じて正しく実行され、また、柔軟に対応できることである。MELBA で使用している Mobile Agent Platform “DiaConcord” は、移動するエージェントの認証機能・暗号化機能・キューイング (Queuing) によるデータ再送機能等を有しており、(a)項に関するシステム構築・保守の負担を大きく軽減することができる。(b)項の例外処理に関しては、同じ事象に対しても、各社のシステム運営方針が異なるため、A社—B社といった 1対の業務連携の組み合わせ毎に仕様を定める必要がある。こうした特定の組み合わせで仕様が決められる例外処理ソフトは、移動型エージェントで実装することが有効である。

③ B社側 MELBA Broker エージェントの役割

到着した移動型エージェントが運んできた XML 化されたデータを B社側 MELBA Broker エージェントに引渡す前に、実行優先度の判定や A社側との間で取り決めた特別な処理作業（例えば、データ交換形式標準の中では定義されていない情報の抜き出しなど）を行う。こうした作業は、移動型エージェントが実行する場合（仕様変更・改訂が多いと予想される場合）と、B社側に常駐するエージェントが実行する場合（定型的処理の場合）があり、選択はシステム設計者の判断に委ねられる。

B社業務アプリケーションへの「データ書きこみ」の作業は、業務アプリケーションがデータの書き込みに対する条件／規則を設定している場合が多いため、書き込み規則に則ったデータアクセスを行う。また、実行する（書き込む）に十分なデータが与えられているかを検証するといった機能を実現する上でエージェント実装は有効である。

個々の業務アプリケーションは、業務遂行の目的に応じて特長あるソフトが選択され、その利用者が業務アプリケーションにカスタマイズを加えることで、ネットワーク上には、多様な条件を担った業務アプリケーションデータが存在することになる。その多様な業務アプリケーションデータを相互に有効活用するには、知識（規則や状況・環境を含む）に基づいた変換・選択等の処理が有効であり、ネットワーク上に広がったこれら業務アプリケーションの連携を実現する上で、エージェント技術およびエージェント間通信技術が、多いに貢献できると考えられる。

(5) EAI へのエージェント技術の導入効果

移動型エージェントの実行環境は、プログラムを送り込むことができることから、システムの遠隔監視や仕様変更に効果を発揮する。特に、ネットワークを利用したシステムは、利用度が高いシステムほど、拡張・改訂の時期が早まる傾向にあり、そうした要請に柔軟に対応することができる。また、移動型エージェントは、プログラムが移動するという性格上、その移動実行環境に、認証・暗号化手順を包含しているものが多いが、ネットワークプログラム（ネットワークを利用して作業をすることを前提としたソフトウェア）の開発には、その機能を利用することで、開発工程を簡素化することができる。移動型エージェントプログラムでは、通信相手側のプログラムを開発する必要がないこととあわせて、システム／サービスソフトの開発期間を大幅に短縮することができる。

(6) エージェント技術の課題

① パフォーマンスとセキュリティ

移動型エージェントについては、移動するが故に、プログラムの認証と署名、移動の際のオブジェクトの暗号化、移動先での実行・リソースアクセス権の取得等が求められ、これがパフォーマンスの低下をもたらす。しかし、インターネットを用いた EC 等、移動しないエージェントや一般のアプリケーションにおいても、これらの手続きを踏むことが要求される分野があり、こうした分野での適用を考えれば 大きなハンディとはいえない。プログラムが移動することで、インターネット経由の通信手順を減らすことによるパフォーマンスのアップも期待できる。また、「移動した先で、紛失・消滅することがないように保証する手続き」（エージェントのバックアップ等）によるパフォーマンスの低下も課題であるが、この課題は 移動しないエージェント、一般のアプリケーションにおいても「突然の電源断によりエージェント／プログラムの実行状態、データを保存しておく必要がある」類のソフトウェアと共通の課題である。このように、エージェントのパフォーマンスの課題は、実際に適用するアプリケーション／サービスや、そのトラフィック・通信条件を含めて判断すべきものであり、また他の技術との共通の課題である場合が多い。

ただし、移動するエージェントは、Stored & Forward (Non-realtime) システムであり、リアルタイムシステムでないことを十分に認識して、適用分野を選択すべきである。

また、ファイアウォール等のプログラムが移動することを阻むシステムがあることも、実装上は考慮すべき条件である。

② エージェントの開発支援ツールとエージェントの動作検証技術

(エージェントプログラム適用をより容易に)

まず、エージェント技術が信頼できるソフトウェア技術として認められることが必要である。エージェントが意図しない動作をした場合（バグ、仕様上の漏れ）に、それを検証し、動作を確認する方法を提供できなければならない。われわれは、エージェントプログラム開発を支援するエージェントコードのジェネレータを開発したが、実用上は、こうしたエージェントソフトの検証技術（これもエージェントが行うのかもしれないが）の確立が急がれる。

(7) むすび

今、企業のエージェント技術者には、他のソフトウェア技術と同様、実用化事例を積み重ね、その中で、エージェント技術の特性・課題を明確にしつつ、信頼されるソフトウェア技術として確立していくことが求められているといえよう。

参考文献

- [1] 三菱電機 Mobile Agent Platform "Concordia" Web site
<http://www.meitca.com/HSL/Projects/Concordia>
 "Concordia"は、Mitsubishi Electric Information Technology Center America の米国登録商標であり、同じ技術を日本では"DiaConcord"と呼んでいます。
- [2] 木野、水口、望月、川口 「モバイルエージェント Concordia とその応用システム」
 電子情報通信学会 知識情報処理研究会 1998. 12, pp61-62
- [3] 小池、木野、望月、水口 「ビジュアルモデリングによるエクストラネット開発支援環境」
 情報処理学会 グループウェア研究会 2000. 3
- [4] 「ソフトウェアエージェントとその応用論文特集」 電子情報通信学会 論文誌 D-I (1998. 5)
- [5] 大須賀、飯島、本位田：「エージェント技術」 共立出版 1999
- [6] D. Wong 木野「モバイルエージェント"DiaConcord"」：三菱電機技報 2000. 2, pp58-62
- [7] D. Wong, N. Paciorek, D. Moore: "Java-based Mobile Agents"
 Communications of ACM, 1999, 3, pp. 92-102
- [8] J. DiCelie, 木野 "Concordia and Its Security Features" 日本ソフトウェア科学会 WIT' 98, pp133-140
- [9] T. Walsh, N. Paciorek, and D. Wong, "Security and Reliability in Concordia",
 in Mobility: Processes, Computers, and Agents, ACM Press, New York, 1999, pp. 525-534.

3.3.2 エージェント・サーバー技術のビジネス分野への応用と期待

(1) はじめに

インターネット上のサービスでは、各顧客ごとの情報をサーバー側に保持し、その情報を利用したサービスを提供するものが現れはじめています。サービスの処理形態を見ると、利用者からの要求を受けて応答を返す「要求-応答型サービス」が基本であるが、それと同時にサーバー側で顧客のために自動的に何らかの処理を行ない、結果を利用者に通知を行うサービスも登場しつつある。インターネット上でサービスを提供するシステムを構築するために、現在最もよく使われているシステム・アーキテクチャは、アプリケーション・サーバーとデータベース・サーバーを利用する方法である。各利用者のデータは全てデータベース・サーバーに保管され、アプリケーション・サーバーは適宜データベース・サーバーからデータを取得して処理を行う。しかしながら、このアーキテクチャを多数の利用者にサービスを提供するための高速なシステムに適用すると、数多くのデータベース・アクセスを発生させ、システムの負荷が大きくなる。そのため、システムの挙動が不安定になり、また、応答時間が長くなるなどの問題が発生する。開発面においては、データすべてをデータベースに保存できる形式で表現する必要があり、少しのデータ形式の変更であっても、データベースの定義の変更が必要となる。また、データ形式を変更すると、プログラムに対するその影響範囲をきちんと把握していないとデータ形式の不一致などの問題が発生する。これらのために、アプリケーションが複雑になるほど柔軟性を損なうことになる。

一方、エージェント技術の一つに、利用者の代理として働く「エージェント」を管理するエージェント・サーバー技術がある。ここで言う「エージェント」とは、各利用者のデータと業務ロジックを持つ独立性が高く粒度が大きい「オブジェクト」で、メッセージやイベントを受けて反応的に処理を行うものである。また、このようなエージェントを多数管理するサーバー・プログラムを「エージェント・サーバー」と呼ぶ。エージェント・サーバーは、データ管理と業務処理を一体化させたサーバー・ソフトウェアとして捉えることができる。近年のメモリ価格の低下と計算機の最大メモリ搭載量の増大化により、エージェント・サーバーはその物理メモリ中に多くのエージェントを保持でき、そのため、高い性能を持つシステムの構築が可能と考えられる。

本項では、各利用者の情報を利用して要求-応答型サービス、イベント処理型サービスを提供するシステムの開発において、エージェント・サーバー技術がどのように貢献するかを、開発のし易さ、性能の面から、われわれが開発したエージェント・サーバー「Caribbean」を例に取り上げながら議論する。

(2) 背景

インターネットを通じて各利用者の情報に応じたサービスを提供するシステムは、従来までの企業内のクライアント・サーバー型のシステムとは、サーバー側での処理の大きさ、利用者数に違いがある。利用者側のソフトウェアは Web ブラウザであるため、簡単な機能しかできず、したがって、処理のほとんどがサーバー側にあり、処理が重たくなる。さらに、利用者数が数万人から数十万人を超える莫大な数であるため、Web システムは高い処理能力が必要となる。

開発面をみると、Web サービスの構築はトップダウン型での開発は適切でない場合が多いようである。企業内における業務のシステム化では、基本的に業務内容が既存であり、かつ、設計者はその処理に関する十分な知識があるため、事前に十分に仕様を検討することが可能である。これに対し、Web システムの開発では、新しいサービスの構築を行うことになり、設計者自身があらかじめ完全に仕様を決めることが難しく、作りながら仕様変更を行う場合が多い。そのため、プログラミングの段階になっても仕様が変更される。さらに、一般的に Web サービスの開発期間は従来とくらべ非常に短い。そのため、十分な設計をあらかじめ行ってからプログラミングに入る開発手法では対応できず、結果としてプログラミングと同時に仕様を固めていく「スパイラル」開発的な手法が行われている。したがって、このような開発を行いやすいようなアプリケーション・モデルが必要である。

(3) エージェント・サーバーとは

われわれは、インターネットを通じて各利用者の情報に応じたサービスを提供するシステムの開発に「Agent-oriented Programming Model」[5]に基づくフレームワークとそれを実行するための「エージェント・サーバー」を導入することを提案している。

「Agent-oriented Programming Model」は、分散システムにおいて、複数のサーバーに「自律性」を持たせたものを「エージェント」とし、それらの間の通信を「対話」として表すモデルである。われわれは、このモデルは一つのサーバー上で動くアプリケーションのモデル化にも適していると考えており、実際いくつかの実システムへの適用でその有用性を実感している。「エージェント・サーバー」とは、このモデルに基づいてアプリケーションをモデル化したアプリケーション・サーバーである。ある利用者のエージェントは、その利用者のために働くものであり、利用者に関する情報に基づいた処理を行う。したがって、エージェントは、利用者の情報と処理ロジックを持つ。利用者は、自分のエージェントを通じてサービスを受ける。エージェントは、利用者がアクセスしていない時でも、何らかのイベントをトリガーとして処理を行い、場合によっては利用者に電子メールなどを用いて報告を行う。また、エージェントは他のエージェントと対話を行いながら処理を遂行することもある。エージェント・サーバーでは、利用者ごとにエージェントが作成され、それらのエージェントは、明示的に削除されるまで、エージェント・サーバー上で存在し続ける。

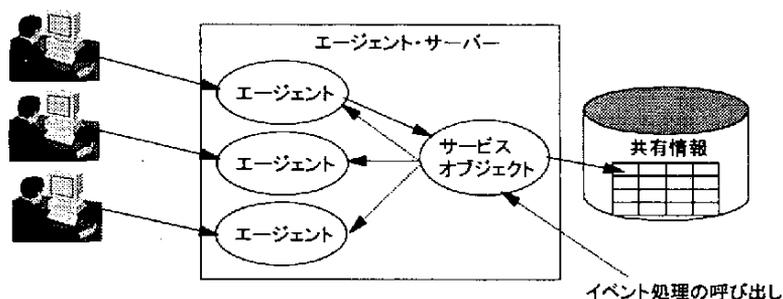
われわれは、このような考えに基づき、Java 上でのエージェント・サーバー「Caribbean」を提供している[1]。Caribbean は、数十万を超えるエージェントを管理するための機能やエージェントの永続性を保証する機能を提供したエージェント・サーバー・プログラムである。Caribbeanに関する詳細は[2, 3]に譲り、ここでは簡単な紹介にとどめる。

Caribbean のエージェントは、そのフレームワークが提供するベースクラスを継承した Java のオブジェクトである。利用者の情報は、このオブジェクトのインスタンス変数として保持される。このオブジェクトは永続的であり、オブジェクトのイメージはエージェント・サーバーによりディスクに保存される。エージェントは、他のエージェントにメッセージを送ることで対話を行う。これは、非同期メッセージングであり、メッセージはエージェント・サーバーが管理するキューに入れられる。エージェント・サーバーは適当なタイミングで宛先エージェントのメッセージ・ハンドラを呼び、メッセージを渡す。このメ

メッセージ・ハンドラの戻り値はブール変数であり、この値が真の場合、実行環境はエージェントの永続化処理を行う。

エージェント・サーバーでは同時並行して複数のエージェントがメッセージの処理を遂行するが、一つのエージェントに着目すると、そのエージェントが同時並行して複数のメッセージを処理することはない。つまり、あるエージェントが、そのキューの中に複数のメッセージを持っていても、それらのメッセージは順番にエージェントに渡される。

多くのアプリケーションでは、エージェントが利用する共通サービスが存在する。例えば、データベースやバックエンド・システムなどの外部のリソースを利用する場合などである。Caribbeanでは、このような共通サービスは「サービス・オブジェクト」として実装される。サービス・オブジェクトとは、サービス・オブジェクト用のベースクラスを継承したオブジェクトである。このオブジェクトは、エージェント同様のメッセージング機構を持つ。さらに、エージェントはこのオブジェクトのオブジェクト参照を取得し、メソッド呼び出しを行うことができる。



図表 3.3.2-1 エージェント・サーバー

エージェント・サーバーでは、利用者ごとにエージェントが作成されるため、大量のエージェントがサーバー上に作られる。さらに、ある時刻において、多数の利用者がエージェント・サーバーにアクセスする。これらを制御するために、エージェント・サーバーはメモリ管理機構とエージェント・スケジューラを持つ。

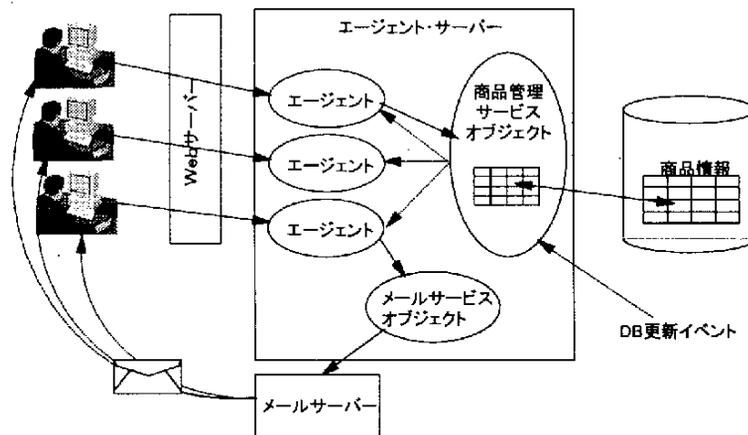
メモリ管理機構は、エージェント・サーバーが利用するメモリ量をある値以下に抑さえるために、活動していないエージェントをメモリから掃き出す（スワップアウト）。スワップアウトされたエージェントは、永続化のためのディスク領域に保存されているので、スワップアウト処理は単にそのエージェントが占めるメモリを解放するだけである。エージェント・サーバーがスワップアウトされているエージェントに処理をさせる場合、ディスクに保存されているオブジェクト・イメージからエージェントを再生する（スワップイン）。

エージェント・サーバーは、CPUを効率よく利用するためのスレッド・プールを持っている。ここで重要なことは、どのエージェントにスレッドを割り当てるかである。メモリ管理機構によるスワップイン・アウトが頻繁に発生するような割り当て方は効率的でない。また、あるエージェントがあまりに長時間処理が待たされることも好ましくない。エージェント・スケジューラはこれらを考慮して、スレッド割当てを行う。

(4) 適用例

エージェント・サーバーをどのように使用するかをパソコン関連商品を扱う電子モールで利用者の要求にあう商品が入荷したら電子メールで通知するというサービスを例に説明する。

ある日、田中さんが 600MHz 以上の CPU を搭載したパソコンを 1 台、128MB の拡張メモリを 2 つ、カラープリンタを 1 台、合計 10 万円以内で探そうと検索を行ったが、8 万円のパソコンと 1 つ 1 万円の 128MB のメモリ、1 万 8 千円のカラープリンタしか見つからず、予算額を超えるため、合計 10 万円以内になるような製品の組み合わせが見つかったら電子メールで通知してくれるようにシステムに人力した。2 日後、この電子モールでは 7 万円の 600MHz の CPU を持つベータ社のパソコン B-600 が登録され、その翌日、1 万円のエジソン社のカラープリンタが登録された。すると、田中さんには、「ベータ社のパソコン B-600 と 128MB メモリ 2 つとエジソン社のカラープリンタで合計 10 万円」という文面の電子メールが送られた。



図表 3.3.2-2 エージェント・サーバーを利用した電子モール・システム

このシステムの内部では次のような処理がなされる。田中さんは電子モールシステム内にいる田中さん用のエージェントに対して条件を Web ブラウザから入力する。すると、このエージェントは、商品情報の管理を行う商品管理サービスオブジェクトからパソコン、メモリ、プリンタ情報を取得する。このサービスオブジェクトは、商品情報をメモリ中に保持している。この場合では、田中さんのエージェントは 8 万円のパソコン、1 つ 1 万円の 128MB のメモリ、1 万 8 千円のカラープリンタの情報を取得し、その情報をインスタンス変数に格納して保持する。2 日後、商品情報データベースに 7 万円のベータ社のパソコン情報が入力される。これと同時に、商品管理サービスオブジェクトにパソコン情報が更新されたことを通知するイベントが送られる。すると、このサービスオブジェクトは更新された情報をデータベースから読み込み、メモリ中の情報を更新する。次に、田中さんのエージェントを含むすべてのエージェントにパソコン情報が更新されたこと示すイベントを送信する。各エージェントは、このイベントを受けて、もしパソコン情報を取得する必要があるら、商品管理サービスオブジェクトから更新された情報を取得する。田中さんのエージェントの場合、7 万円のパソコン情報を取得する。しかし、依然メモリ、プリンタとの合計

額が 10 万円を超えているため、電子メールの送信は行わない。3 日後、プリンタ情報更新のイベントが同様の方法でエージェントに送られる。この時、田中さんのエージェントは同様の方法でプリンタ情報を取得し、合計額が 10 万円となるのでメールサービスオブジェクトを呼び出し、田中さんに通知メールを送信する。

(5) エージェント・サーバーの特徴

①開発面

開発のし易さの比較を定量的に計ることが困難であるため、ここではわれわれの Web システムの開発経験から得た知見にとどめる。エージェント・サーバーによる手法は、いくつかの点で優れた特徴を持つようである。1 つは、プログラマがそのモデルを理解しやすいこと、2 つめは、プログラミングにおけるマルチスレッドに関する面倒かつ難しい部分を隠蔽してくれること、3 つめは、永続オブジェクトにより、データ管理が非常に簡単になっていること、4 つめは、これは非常に面白い部分であるが、サービスのアイデアがひろがること、がある。

われわれの経験では、「Agent-oriented Programming Model」をまったく知らないプログラマに、簡単に Caribbean のアプリケーション・モデルを説明すると、そのモデルをすぐに理解するようである。そして、後述するある点を除き、アプリケーションの概要設計をすぐに適切に行えるようになる。登場人物とその役割をもとに大まかにコンポーネント化することは、まさに人間が仕事の役割分担を行うことと似ており、そのため自然に行えるのではないかと推測される。また、エージェントの粒度はオブジェクト思考プログラミングにおけるオブジェクトの粒度と比較すればはるかに大きく、それほど多くの種類に分割されず、さらにエージェント内部の実装は後で考えれば良いため、概要設計を容易に行えるのではないだろうか。しかしながら、エージェント・サーバーでは、通知処理のように大量のエージェントの処理を一気に行う場面では、消費メモリ量と処理効率に関して注意を払う必要がある。この点に関しては、プログラミング・モデルからは見えにくい。

エージェント・サーバーでは、複数のエージェントが同時並行して処理を行うことはあるが、一つのエージェントに着目すれば、その処理は順序付けされており、同時並行して複数の処理を行うことはない。つまり、サービスオブジェクトの実装を除けば、マルチスレッドを意識する必要はない。

Web サービスは、その質が良くなればなるほど色々なデータを取り扱うことになる。この中には正規化しにくい、つまり、RDBMS に保存しにくいものも多い。永続オブジェクトによる実装では、このような点を気にする必要はない。Java の世界であれば、Serializable なオブジェクトであれば保存が可能となる。さらに、Agent-oriented Programming Model では、エージェントの実装はそのエージェント内で閉じており、したがって、エージェントが持つインスタンス変数のタイプの変更、追加、削除は自由である。このため、頻繁に行われる仕様変更に対処し易い。

Agent-oriented Programming Model の面白い特徴に、新しいサービスのアイデアが色々と浮かんでくることがある。これはプログラムに詳しくない人であっても、その構造を把握でき、また、ある程度「擬人化」して捉えることができるため、日常生活に置き換えて

考えられるのではないだろうか。この特徴は、新しいサービスを提供するシステムの開発には重要な要素である。

②性能面

エージェント・サーバーは、「データ管理と処理が一体化したサーバー」であり、業務処理のほとんどを一つのプロセスで行っている。利用者のデータ管理とそのデータを参照しての処理は、「エージェント・オブジェクト」内でのインスタンス変数を参照しての処理である。また、先の適用例の商品情報のように、各利用者の情報以外の情報もメモリ中に置くことができる。そのため、ほとんどの処理をローカルメモリアクセスで行うことができる。また、エージェント・オブジェクトのインスタンス変数が更新された場合、エージェント・サーバーがエージェント・オブジェクトを直接ディスクに書き込めることができる。これらのために、高速な処理が可能となる。

ここで、われわれが開発したベンチマーク・テストを利用した性能評価結果を示す。ベンチマーク・テストは、「要求-応答型サービス」を想定した「Request-Response ベンチマーク」と「イベント処理サービス」を想定した「Notification ベンチマーク」である。Request-Response ベンチマークではクライアントプログラムからサーバーにアクセスする。Notification ベンチマークではすべての処理がサーバー内だけで行われる。それぞれの処理では、利用者の情報へのアクセスだけを行う。アクセスには利用者データの参照だけを行うもの（以降、参照処理と呼ぶ）と、利用者データを参照し、更新するもの（以降、更新処理と呼ぶ）の2種類がある。参照処理と更新処理の頻度は、100%参照処理、50%参照処理・50%更新処理、100%更新処理の3パターンを行う。利用者の情報は、10文字からなる文字列を50文字列とする。これらのベンチマーク・テストの仕様と評価結果に関する議論の詳細は〔4〕に譲り、結果を図表 3.3.2-3、図表 3.3.2-4 にそれぞれ示す。比較のために、同じベンチマークを状態管理を行わないアプリケーション・サーバーとリレーショナル・データベース管理システム（RDBMS）によるシステム（以降「DB依存型システム」と呼ぶ）で実装したものの性能結果も示す。

図表 3.3.2-3 Request-Response ベンチマーク・テストの評価結果（処理数/秒）

	100%参照処理	50%参照処理・ 50%更新処理	100%更新処理
Caribbean を利用したシステム	790.79	534.80	351.52
DB 依存型システム	154.47	118.37	97.57

図表 3.3.2-4 Notification ベンチマーク・テストの評価結果（処理数/秒）

	100%参照処理	50%参照処理・ 50%更新処理	100%更新処理
Caribbean を利用したシステム	22301.50	2077.90	1,069.33
DB 依存型システム	168.05	125.40	100.61

テストに用いた計算機は、PentiumIII 600MHz のCPU を1つ搭載し1GB のメモリを持つもので、オペレーティング・システムはWindowsNT4.0、Java はIBM JDK1.1.8、エージェント・サーバーはわれわれが開発してる Caribbean を使用した。DB 依存型システムでは、JavaRMI サーバー、IBM Universal Database バージョン 6.0 を使用した。データベースへのアクセスには JDBC を利用している。両システム共に性能が最大になるように全データがメモリに置かれるように設定している。Request-Response ベンチマークでは、クライアント-サーバー間は Java Remote Method Invokation (RMI) で通信する。利用者数は 100,000 人であり、Caribbean、RBDMS 共に、全利用者のデータがメモリ中に保持されるように構成した。Request-Response ベンチマークでは、Notification ベンチマークに比べ低い値となっているが、これはクライアント・プログラムからの RMI によるアクセスコストが含まれるためである。このコストはまだ小さくすることは可能である。どちらのベンチマークでも、エージェント・サーバーを利用したシステムは DB 依存型システムに比べ数倍、場合によっては 100 倍以上の高い性能を達成できることがわかる。この理由はデータへのアクセスがローカルメモリアクセスであるためである。

エージェント・サーバーは、全利用者のデータに対し、物理メモリが十分に存在すると圧倒的に高速な処理が可能となる。近年、メモリの価格は非常に低下しており、また、計算機が持てる最大メモリ量も増加している。サーバー用計算機であれば数ギガバイトのメモリを持てる。今後もこの傾向は続くであろう。したがって、エージェント・サーバーが広大なメモリ空間を効率良く利用して高い性能を達成できることは重要な要素である。

(6) エージェント・サーバーの利用に適した業務

エージェント・サーバーを利用したシステムは、今まで述べたように、柔軟なフレームワークの提供と高い性能を実現できるが、すべてのアプリケーションでその効果を期待できるわけではない。特に性能に関しては、その効果を期待できる理由は、先に述べたように、一連の処理がエージェント・サーバー内で閉じている点にある。このようにできるかどうかは、アプリケーションが扱うデータのタイプに依存する。データのタイプは、複数の利用者に共有されるかどうかという観点（共有／非共有）、更新されるかどうかという観点（参照／更新）の2面から、次のように分類することができる。

図表 3.3.2-5 データタイプの分類

タイプ	説明	電子モールにおける例
共有・参照	全利用者に共有され、参照だけの対象となるデータ	商品情報
共有・更新	全利用者に共有され、参照だけでなく、更新の対象となるデータ	商品の在庫数に関する情報
非共有・参照	利用者ごとのものであり、参照だけの対象となるデータ	利用者の名前などの属性情報
非共有・更新	利用者ごとのものであり、参照だけでなく、更新の対象となるデータ	カート内の商品リスト

非共有データは、参照・更新ともにエージェントが管理できるデータであり、Caribbeanを利用した場合であれば、エージェント・オブジェクトのインスタンス変数として保持されるものである。ただし、このようにした場合、インスタンス変数の内容を外部から参照できなくなり、例えば、ある条件に合致するデータを持つ利用者のリストを取得するなどの操作を行う事ができなくなる。このような処理を行うには、エージェントが持つデータを外部に出力するなどの処理が必要となる。

共有・参照データは、エージェント・サーバー内でメモリ上に保持可能なものである。このデータを全てメモリ中に保持できるのであれば、このデータへのアクセスはメモリ参照だけとなり高速となる。また、エージェント・サーバーを複数にする場合でも、各エージェント・サーバー内にそれぞれ保持できる。しかし、データ量が多い場合、全てのデータをメモリ中に保持できるとは限らない。このような状況下では、データをメモリ中に置かず、参照要求が発生する度にデータベースへ読み込みにいく方法が最も簡単である。しかしながら、この方法では処理速度の面とデータベースへの処理の集中の可能性に注意しなければならない。これを解決する方法としては、エージェント・サーバー内でデータの一部をキャッシュしておく方法が考えられる。また、実際の業務においては、必ずしも共有データの参照が多いとは限らない。例えば、電子モールであれば、商品の検索処理以外にも、検索結果の閲覧、検索条件の入力、カート情報の参照などの処理があり、これらの処理をエージェント・サーバー内で行うことで、商品情報を毎回データベースから取得しても問題ない場合も十分ありうる。

共有・更新データに関しては、エージェント・サーバー内で管理することは難しい。エージェント・サーバーが一つであれば可能であるが、エージェント・サーバーを複数にする場合、複数のサーバー間でのデータの一貫性を保証しなければならない。したがって、そのようなデータをエージェント・サーバー内で管理することは適していない。しかしながら、このことはこのようなデータを扱う業務にエージェント・サーバーを利用することが適していないということの意味するものではない。エージェント・サーバーを利用することで、非共有データの参照・更新に関してデータベースを利用する必要がなくなっており、また、参照だけの対象となっている共有データをメモリ中に置くことも可能である。したがって、データベースの負荷を軽減することができる。業務全体の中で共有データの更新処理がそれほど多くないのであれば、データベースで集中管理してもシステム全体として問題ない。

(7) 関連研究

① エージェント技術の観点から

利用者のエージェント・オブジェクトを管理する「エージェント・サーバー」は、移動エージェント Telescript [6] のコンセプトに含まれており、それ以降も Aglets [7] などで移動エージェントを管理するサーバーとして「エージェント・サーバー」のコンセプトが利用されている。移動エージェント技術では、移動してきたエージェントが活動するための実行環境としてエージェント・サーバーが位置づけられており、そのサーバー上に常駐している静的エージェントと対話を行いながら処理を遂行する。ここで述べている「エージェント・サーバー」は各エージェントは移動機能を持たずサーバー上で生成され常駐

するが、エージェント・サーバーのコンセプトは同じである。実際、われわれが Aglets を開発しているとき、一つのサーバー内においても Agent-oriented Programming Model の柔軟性は実感していた。移動エージェントの研究では、その移動機能そのものに着目した報告は多いが、Agent-oriented Programming Model から由来する恩恵も多いのではないだろうかと思われる。

しかしながら、移動エージェント技術におけるエージェント・サーバーは、強力なセキュリティ機構、エージェント転送機構、プログラムコード管理機構などが技術の中心となっている。これに対し、本稿で述べたエージェント・サーバーは、性能、信頼性などが技術の中心である。移動エージェント技術においても、インターネット上で多くの利用者にサービスを提供することを想定すれば、本稿で述べたような機能は必要不可欠であるが、そのような研究報告はまだ少ない [8, 9]。

②高速なデータ管理システムの観点から

インターネット上には、各利用者の情報に応じたサービスを行うシステムが増えつつあり、このようなシステムの処理能力を向上させるための技術研究が幾つか行われている。データベースを高速化することを目的としたメインメモリ・データベース管理システム (MMDBMS) はその一つである [10]。この研究は以前から行われていたが、近年のメモリ価格の低下と計算機が持つメモリ容量の増大化を受けて商用化されてきている。メインメモリ・データベース管理システムは、全てのデータをメモリ上に保持することを前提としており、そのためデータをディスクに保持することを前提としたデータベース管理システムのバッファ管理などの幾つかの機能を省略することで、高速処理を可能としている。この技術をアプリケーションと一体化させ、背後にある物理ディスクを利用したデータベース管理システムのキャッシュとして利用することで、さらなる高速化を可能としているものもある [11]。

この技術とエージェント・サーバーを比較すると、計算機が保持する大きなメモリを前提とし、それを効率よく利用することで高速処理を可能にするという点で同じである。しかしながら、MMDBMS はあくまでデータ管理に徹していることに対し、エージェント・サーバーはアプリケーション開発のフレームワークまで踏み込んでいる。この考え方の相違は幾つかの場面で顕著に顕れる。例えば、エージェント・サーバーでは、利用者データの操作はインスタンス変数の操作だけであるが、MMDBMS は SQL 文によるデータ操作となる。エージェント・サーバーによる方法は、プログラミングを容易にするだけでなく、データアクセスのオーバーヘッドが非常に小さいことを意味する。

MMDBMS とは別の技術として、オブジェクト・データベース管理システム (OODBMS) を利用することで高速化を行うという方法があり、商用化されているものもある [12]。これは、アプリケーションの「状態データ」をオブジェクトとして表し、OODBMS を利用して管理するものである。「状態データ」とは、電子モールにおけるカートの情報などであり、発注情報のような処理の最終状態ではないデータである。これは前節で述べた「非共有データ」の一種と言える。このようなデータは複雑な構造をしていることが多く、RDBMS で管理するよりもオブジェクトとして表現し OODBMS を利用した方が高速な処理が可能となる。OODBMS そのものはアプリケーション・サーバーとしての性質を持たないため、アプリケー

ジョン・サーバーとの統合が必要である。そのため、Enterprise JavaBeans [13] と統合したものが開発されている。

OODBMS はオブジェクトを管理するための機構を提供するものであり、エージェント・サーバーのプラットフォームにもなりうる。われわれが開発している Caribbean は、OODBMS が必要とする汎用性を取り払い、エージェントの振る舞いに特化したオブジェクト管理機構を実装することで高速化を行おうとしており、Notification ベンチマークでエージェントがメモリ中に置かれる場合では非常に高速な処理を実現している。一方で更新処理はまだまだ改善の余地があることもあり、したがって、オブジェクト管理機構の部分で OODBMS を利用することでどの程度の恩恵が得られるかを今後検証する必要がある。

(8) まとめ

本項では、各利用者の情報を利用して要求-応答型サービスとともに、イベント処理型サービスを提供するシステムにおいて、エージェント・サーバーが柔軟なプログラミング・モデルを提供し、また、高い性能を持つシステムを実現できることを幾つかの評価結果を示しながら述べた。Agent-oriented Programming Model に基づいたフレームワークはプログラマにとって理解しやすく、また、柔軟であるため、開発期間が短く頻繁に仕様変更がなされるような Web システムの開発には適している。また、エージェントの永続性、マルチスレッド・プログラミングの隠蔽化などもこのことに貢献している。性能面では、エージェント・サーバーは、そのプロセス内で業務ロジックだけでなく各利用者のデータも管理するため、データアクセスをローカルメモリ参照で行える。そのため、全データをデータベースで管理する方法に比べ数倍、場合によっては 100 倍以上、の高い処理能力を達成できる。

一方、エージェント・サーバーは全てのシステムに有効というわけではないことも把握しておくべきである。多くの利用者から共有されるデータが頻繁に更新されるようなアプリケーションでは、エージェント・サーバーはその効果を発揮させることはできない。このような場合はデータベースによる集中管理が適している。

実際の業務システムでは、利用者ごとのデータと利用者に共有されるデータがあり、また、その中でも、更新されるものと参照だけのものがある。このような状況の中で適切にエージェント・サーバー技術を適用することで、開発面・性能面において優れた性質を持つシステムを構築できる。

さらに、ここでは述べていないが、エージェント・サーバーはシステムのスケーラビリティに関しても良い性質を持つことがわれわれの研究で明らかになりつつある。性能が計算機台数にほぼ比例して向上していくのである。Web システムはサービス開始以降に利用者数が増加していく性質を持つものが多く、したがって、この特徴は重要であり、今後さらなる研究を続ける予定である。

参考文献

- [1] IBM alphaWorks Caribbean, <<http://www.alphaworks.ibm.com/tech/caribbean>>
- [2] H.Tai and G.Yamamoto: An Agent Server for the Next Generation of Web Applications, The 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications(DEXA-2000), IEEE Computer Society Press, Sep. 2000
- [3] G.Yamamoto and H.Tai: Architecture of an Agent Server Capable of Hosting Tens of Thousands of Agents, IBM Ressearch, Research Report RT0330 (1999) (概要 は Proceedings of Autonomous Agents 2000 に記載)
- [4] G.Yamamoto and H.Tai: Performance Evaluation of An Agent Server Capable of Hosting Large Number of Agents, IBM Ressearch, Research Report RT0381 (2000)
- [5] N.R.Jennings and M.Wooldridge: Agent-Oriented Software Engineering, in Handbook of Agent Technology (ed. J. Bradshaw) AAAI/MIT Press. (to appear)
- [6] J.E.White: "Mobile Agents," Software Agents, J.M.Bradshaw, ed., AAAI Press/MIT Press, 1997
- [7] D.B.Lange and M.Oshima: Program and Deploying Java Mobile Agents with Aglets, Addison-Wesley, Boston, 1998
- [8] G.Yamamoto and Y.Nakamura: Architecture and Performance Evaluation of a Massiv Multi-agent Sysyem, pp319-325, Autonomous Agents '99
- [9] 佐々木、吉井: モバイルエージェントの生成数制御方式、WIT2000
- [10] D.J.Dewitt, et al: Implementation Techniques for Main Memory Database Systems, Proc ACM SIGMOD Conf, 1984
- [11] TimesTen, <<http://www.timesten.com>>
- [12] Versant, <<http://www.versant.com>>
- [13] Enterprise JavaBeans (EJB), <<http://java.sun.com/products/ejb/docs.html>>

3.3.3 エージェント技術の生産システムへの応用と課題

本項では、エージェント技術の生産システムへの応用と課題について述べる。初めに、生産システムとエージェントの関連についてまとめる。次に、エージェント技術を大学の実験室規模の加工装置制御システムに応用した例を紹介する。その後、エージェント技術を生産システムへ適用することを想定した場合のエージェント技術の効果と課題について議論する。最後にエージェント関連の主要な国際会議の一つである Autonomous Agent 2000 に併設する形で、エージェントの産業応用についてのワークショップが開催されたので、そのワークショップ中に行なわれた議論についても紹介する。

(1) 生産システムとエージェント

製造業の生産形態や生産組織は、消費者のニーズの多様化や急速な変化への対応、ワールドワイドでの競争を勝ち抜く必要性などにより大きく変化していかなければならない。生産環境への要求の急激な変化には、現在の生産システムでは十分には対応できず、新たな要求に素早く対応できる柔軟性を持つことが、次世代の生産システムに強く求められている [1]。

従来から使われている集中型でシーケンシャルな生産計画、スケジューリングと制御機構は、生産形態や種々の生産要求の変化へ柔軟に対応するには不十分である。従来型のアプローチでは、生産システムの拡張性や構成変更の能力を制限している。従来の階層型/集中型のシステムは、ひとつの障害がシステム全体のシャットダウンへ結びつくことがあり、システム全体が脆弱で変更に対する応答時間を増加させている。エージェント技術は、そのような問題に打ち勝ち、分散型の知的な生産システムを設計する自然な方法を提供すると考えられる。近年、エージェント技術は分散型の生産システムを開発するための重要なアプローチと考えられており、いろいろな場面でエージェント技術を適用しようと試みられている [2]。

エージェント技術の生産システムや生産制御システムへの適用を考えた場合に、想定されるアプローチとしては、

- a) レガシーシステムの問題点を解決し、会社全体の活動を統合するために、既存のソフトウェアシステムをカプセル化する。
- b) 作業員、セル、機械、ツール、AGV、製品、部品、操作などの生産リソースをエージェントとして表現し、リソースプランニングやスケジューリングや実行制御を取り扱う。
- c) 生産システム内の登録や管理などの特別なサービスをモデル化して提供する。

などの場面が考えられる。以下では、b) における実行制御にエージェントを使用した例として、実験室規模の機械加工装置の制御システムへ適用した例について紹介する。

(2) 適用例の概要

次世代の生産システムに求められる柔軟性とは、生産ラインの変更を行なうための装置の追加、変更や削除に対して、システム全体への影響を極力与えずに対応できることと、

製品の改良や特注に対しても個別に生産可能であることとする。このような生産物と生産ラインの柔軟性を実現するために、個々の生産物と、生産ラインに設置された装置にそれぞれエージェントを対応させることにより、協調性および自律性を持たせた分散システムの実現を目指し、カーネギーメロン大学(CMU)と共同で、実験室の機械加工システムを使ってプロトタイプシステムが構築 [3, 4] されている。

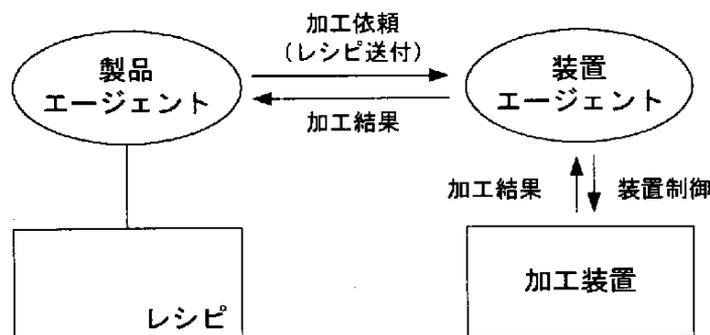
プロトタイプシステムでは移動エージェントと分散オブジェクトの技術を導入して、柔軟性を持ったシステムの実現を目指しており、開発言語として Java を使用し、移動エージェントのプラットフォームとして IBM が開発している Aglets [5] を用いている。以下に、エージェントを用いて加工装置制御システムを実現する場合の基本的な考え方と、開発したプロトタイプシステムについて紹介する。

(3) 基本コンセプト

開発されたプロトタイプシステムでは、柔軟性を持つ生産システムを実現するために、階層型のシステムではなく、エージェントを用いたフラットな構造のシステムを提案している。提案しているシステムの基本的な考え方は次の通りである。

作ろうとする製品一つ一つに対応してエージェントを生成する。このことは、顧客から注文が入るごとにエージェントを生成すると考えてもよい。このエージェントを「製品エージェント」と呼ぶことにする。一方、生産システム内の一つ一つの加工装置に対応させて、「装置エージェント」と呼ぶエージェントを生成する。装置エージェントは、それぞれのデバイスや装置を抽象化したオブジェクトである。

ここで、それぞれの製品エージェントには、作ろうとする製品の製造手順（本項では、この製造手順を記述したものをレシピと呼ぶ）を与え、製品エージェントは、そのレシピの手順に従って必要な加工装置を選択し、選択した加工装置へ具体的な加工手順を指示し、実行させる。実際には、製品エージェントが加工装置へ直接指示を出すのではなく、製品エージェントは装置エージェントへ加工依頼（加工指示）を出し、装置エージェントが装置やデバイスを制御する（図表 3.3.3-1 参照）。



図表 3.3.3-1 基本コンセプト

製品エージェントは、システムや周りの状況を判断し、その変化に動的に対応しながら、システム内を自律的に動作し、製造手順にしたがって製品を完成させる。また、必要に応じて他のエージェントとネゴシエーションを行なうこともある。

このコンセプトを実現するにあたり、製品エージェントを移動エージェントとして、また装置エージェントを非移動型のエージェントとして考える。装置エージェントは、加工装置を制御しているコントローラやコントローラに接続しているコンピュータで動作する。一方、製品エージェントは、移動型のエージェントで、加工を依頼する装置に対応する装置エージェントが動作するコンピュータに加工している製品とともに移動し、装置エージェントが動作しているコンピュータ上で、装置エージェントに対して具体的な加工依頼、指示を行なう。

システム内で、指示は個々の製品エージェントから出されるだけであり、製品を加工することに関しては集中的に管理する部分は必要ではなく、システム全体としてフラットな構造になっている。従って、製品や装置の数が増えた場合に、従来の階層型のシステムでは全体を管理する部分に負荷やメッセージが集中することがあるが、ここで提案しているシステムでは、そのような負荷やメッセージの集中を避けることができる。

(4) ターゲットシステム

①実験室の概要

Shape Deposition Manufacturing (SDM) 実験室 [6] は、CMU のロボット工学研究所に属している。SDM 実験室では、任意の複雑な構造や形状の物を、CAD のモデルのデータから自動的にかつ素早く工作できることを実現している。

実験室では、工作物はパレットと呼ばれる金属製の板の上に作られていく。パレットは、パレット移動用のロボットによって、パレット受け取り機構を持った複数の加工装置にセットされる。現在の SDM テストベッドは、CNC、Deposition、Shot-peening、Cleaning の 4 つの装置から構成される。Deposition 装置も複数の工程をまとめるために別のロボット装置を使用している。

②従来のシステム

SDM 実験室のシステムは、長年に渡って学生によって改良や拡張が行なわれてきている。そのような ad hoc な拡張の結果、システム構成が複雑となっており、システムの維持管理や新しい装置を付け加えることが難しくなっている。また、システム全体がひとつのコントローラにより制御される典型的な集中型制御システムであり、2つの工作装置を同時に使用することができない、などいくつかの改善すべき点が発生している。

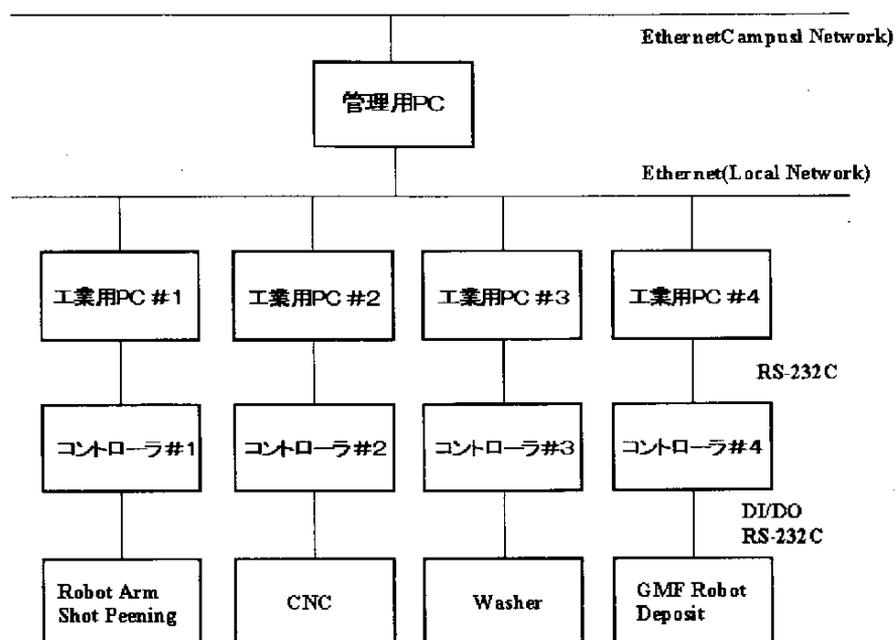
③システム構成

ここでは、従来のシステムの問題点を考慮しながら、前述の基本コンセプトに基づき開発したシステム構成について述べる。

a) ハードウェア構成

本システムでは 6 台のプログラマブルコントローラ (うち 2 台はサブステーションとして使用) を使用している。これらのコントローラは工業用パソコン (Industrial PC、iPC) と各加工装置 (Robot Arm、CNC など) に接続されている。工業用 PC は CPU が Pentium 133MHz、メモリが 32MB の仕様である。さらに管理、操作用 PC (PentiumPro 200MHz、メモリ 64MB) を使用して、システムオペレータはシステムの監視や機械の操作を行なう。各 PC のオペ

レーティングシステムは Windows NT 4.0 である。コントローラと PC 間、コントローラと工作機械の間は RS-232C で接続されている。図表 3.3.3-2 にハードウェア構成を示す。



図表 3.3.3-2 ハードウェア構成

b) ソフトウェア構成

本システムでは以下の4つの主要なソフトウェアモジュールで構成されている。

- 1) 製品エージェント
- 2) 装置エージェント
- 3) 管理エージェント
- 4) ユーザインタフェース

製品エージェントは PC 上を移動する移動型エージェントであるが、装置エージェントは移動せずに特定の PC 上で動作し続ける非移動型のエージェントである。管理エージェントとユーザインタフェースは管理用 PC 上で動作する。それぞれのモジュールの機能と動作について以下に述べる。

1) 製品エージェント

製品エージェントは、ターゲットとなる製品やワーク(この場合はパレットと考えてよい)と一緒にコンピュータやコントローラ上を移動する。製品エージェントは、「レシピ」と呼ばれる製品の加工手順を持っており、そのレシピに従ってターゲットの製品を加工していく。レシピの各行には、{機能名、コマンド}が対になって書かれている。製品エージェントは、レシピを1行ごとに処理していくことで、製造を完成させる。機能名に

は、各装置が実行できる作業名(たとえば洗浄機ならば WASH のように)が書かれている。またコマンドには、工作機械への実際の加工指示が書かれている。製品エージェントは、レシピの各行に書かれている機能名を探索のキーとして、次に加工依頼を行う装置を探す。その後、製品エージェントは、加工を引き受けることができる候補の中からひとつの装置を選択し、コマンドに記述されている加工を指示する。実際には装置そのものではなく、装置エージェントが装置選択の要求に対する受け答えや、加工指示を受け取る。

製品エージェントは、装置利用に関する排他制御を行うために、一つまたは複数の装置エージェントを専有する。排他制御は、装置エージェントが発行するアクセス権を得ることで実現する。製品エージェントは、ひとつまたは複数の装置エージェントのアクセス権を同時に持つことができる。装置エージェントに加工依頼や指示を行う場合には、まずターゲットとなる装置エージェントのアクセス権を取得した後に、実際の加工指示を送る。

2) 装置エージェント

装置エージェントはそれぞれ工作装置の一つ一つに対応し、工作機械の制御とその状態把握を行なう。装置エージェントはそれぞれのエージェントが担当する工作装置の名前を機能名(例えば CNC、WASH など)として持つ。いくつかの装置エージェントがひとつの同じ機能名を持って構わない。機能名はレシピの中でターゲットとして指定される。また、装置エージェントは多くともひとつの製品エージェントに専有され、専有している製品エージェントからの指示によって作業を行なう。製品エージェントからの指示に従って、装置エージェントはコントローラを介して工作機械を制御し、工作機械やコントローラの状態を把握する。装置エージェントが動作する PC とコントローラと、またコントローラと工作機械の間は、シリアルライン(RS-232C)で接続されている。

何からの加工データが必要な場合には、装置エージェントは管理用 PC のディスクからデータを転送する。

3) 管理エージェント

管理エージェントは通常管理用 PC 上で動作して、ユーザインタフェースと通信しながら、オペレータからの製品エージェントの生成や状態のモニタリングの指示などを受け付ける。

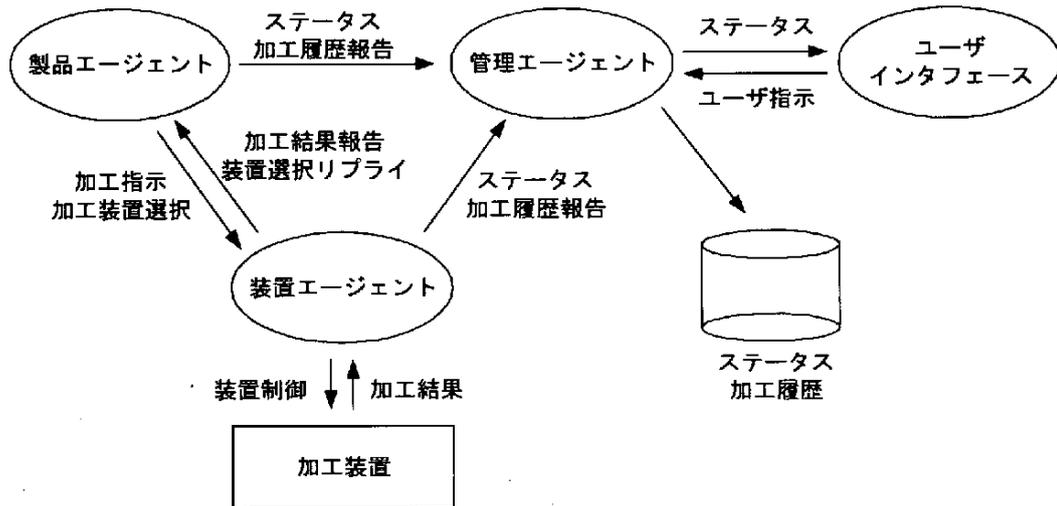
管理エージェントはオペレータに指定されたレシピをつけて、製品エージェントを生成してシステムに投入する。また、製品エージェントの存在場所や内部状態を監視して、管理用 PC のディスク上に製品エージェントのログデータを残す。もしも製品エージェントが停止した場合には、管理エージェントはオペレータに通知し、必要ならば製品エージェントをログデータなどを利用して再生成する。

管理エージェントは装置エージェントの状態の監視も行ない、管理用 PC のディスク上に装置エージェントのログデータを残す。装置エージェントが停止した場合にも管理エージェントはオペレータに通知し、必要ならばログデータなどから装置エージェントを再生成する。

4) ユーザインタフェース

ユーザインタフェースは、オペレータの指示を管理エージェントを通して製品エージェントや装置エージェントへ伝え、製品エージェントや装置エージェントの状態を表示する。ユーザインタフェースは、管理エージェントと IP レベルで接続しているため、ユーザインタフェースのみを遠隔地で利用することもできる。

以上、4つのソフトウェアモジュールの関係を図表 3.3.3-3 に示す。



図表 3.3.3-3 エージェント間の関係

④インプリメンテーション

本システムでは、インプリメンテーション言語として Java を使用しており、シリアルポートの制御には JNI を使っている。Java の実行環境は JDK1.1 ベースである。

エージェントの移動とエージェント間のメッセージ通信には、IBM で開発された Aglets(alpha5) [7] を、また、管理エージェントとユーザインタフェース間の通信には HORB [8] を使っている。また、それぞれの PC 上で NTP(Network Time Protocol)を動作させて、複数ある PC 間の時刻の同期を図っている。これは、ログデータのタイムスタンプがそれぞれの PC のローカルな時刻を使って取られるので、システム全体でログデータの時刻の一貫性を持たせるためである。

(5) プロトタイプシステムの評価

ここまで、CMU の SDM 実験室と共同で開発した移動エージェントを用いた加工装置制御のプロトタイプシステムについて述べた。開発したプロトタイプシステムでは、生産システムで必要となる柔軟性やアシュアランス [9] を提供するために以下のアプローチを採用した。

- ・システムとしての柔軟性を持たすために、加工装置の構成が変わっても対応できるように、実際に加工を行なう加工装置を実行時に選択する。また、生産する製品の種類を変更しやすいように、それぞれの製品の製造手順を示したレシピを、個々の加工物に対応して持たせる。
- ・システムの可用性を確保するために、製品エージェントと装置エージェントはハートビート信号を管理エージェントに送り、管理エージェントはそのハートビート信号を監視する。
- ・データの信頼性を確保するために、製品エージェントは製造データや品質データを、定期的に管理エージェントに送り、管理エージェントがそのデータを不揮発性の媒体（例えばディスク）に保存する。

今まで述べてきたアプローチを取ることで、従来のシステムが持っていた問題点を解決し、工作機械の並行利用やシステム構成の変更への柔軟な対応を実現している。

以下では、エージェントを今まで述べてきた加工装置制御システムや広く生産システムに適用する場合の効果と課題、さらに実システムへの適用の促進方策について述べる。

(6) エージェント導入による効果

本節で説明した加工装置制御のプロトタイプシステムでは、システム内の独立したアクティビティである、

- a) 個々の製品を製造する
- b) 個々の装置を制御する

動作を、それぞれ独立した実行主体として捉え、個々の実行主体に一つのエージェントを割り当てることにより、システムを構築している。言い換えれば、製品や装置そのものが主体性を持って動作できるようにする、という考え方をベースにしたシステムとなっている。「個々の製品に情報をつけてラインを流す」という基本的なコンセプトを、エージェントを利用することで直感的にわかりやすい形で実現できている。

また、加工している製品や装置の制御の担当者がそれぞれの製品／装置に割り当てられていると想定してシステムの動きを考えると、人間が処理する場合にはこういった処理をするだろうといった見方でシステムの動作を考えるため、動作の流れが非常に考えやすいという副次的な効果を得ることができる。

(7) エージェント技術への期待と課題

本節で紹介した CMU のプロトタイプシステムは、あくまでも実験室規模のシステムであり、実際の工場などで運用されている実システムへ適用しているわけではない。ここでは、エージェントを利用したシステムを、実験室レベルのシステムから実システムでの運用レベルまで持っていくことを考える場合に、プロトタイプシステム開発の経験から、エージェントシステム（プラットフォーム）側で提供していると有効な機能として、以下の項目が上げられる。

a) システムの可用性や信頼性向上

実システム／実運用ではシステムの可用性や、エージェントが持つデータの信頼性を向上させる仕組みが絶対に必要である。システムのトラブルや、エージェントが持つデータの消失により、億単位の金額の損失になる場合も発生しうる。そこで、何らかの方法でシステム全体の可用性や信頼性を保証することが非常に重要である。エージェントを使ったシステムの可用性や信頼性を向上させる方法として、エージェントプラットフォーム側で機能や仕組みを提供する、アプリケーション側で個別に対応する、などのアプローチが考えられるが、プラットフォーム側で機能を提供できるようにすることが、エージェントベースシステムが今後いろいろな場面で使われるようになっていくためには必要なことである。

また、システムの可用性、信頼性だけではなく、実システムでの運用を考えた場合、エラーが発生した時にきちんと対応することが必要である。エラー処理の枠組をプラットフォーム側で提供できていると、アプリケーションを作る側は非常に作りやすくなる。

b) 認証

一般的にも言われていることではあるが、移動エージェントシステムではエージェントの認証が重要である。認証と言っても、移動してきたエージェントが信頼できるかを認証するだけでなく、移動エージェントが移動していった先のホストが信頼できるホストかどうかということも認証することも必要である。

c) エージェントベースシステムのデザイン方法論と開発ツール

エージェントベースシステムを利用することは、システムの見通しをよくする場合があることは先に述べたが、実際に動作するシステムとして開発する場合には、システムをデザインするための方法論や開発ツールを整備することが重要である。特に産業分野での応用を考えた場合には、開発者がエージェントや最新技術に精通していない場合が多く、技術レベルもまちまちであることが非常に多い。また、多くの開発者が地理的に分散して開発する分散開発も、しばしば発生する。それらの問題を解決するためには、エージェントベースシステムを対象とした UML や CASE ツールが有効である。しかし、これらのモデルやツールは現在発展中であるために、利用可能な時期とコストの見極めが非常に難しい。

さらに、エージェントベースのシステムを開発するためのデバッグ環境を整備することも重要である。エージェントベースシステムは、通常、分散システム、マルチスレッド、非同期システムなど、開発者からすると複雑な状況になる場合が多い。こういった複雑なシステムのデバッグ環境を考えた場合、この環境を使えばよいといった決め手になるようなデバッグ環境が、まだ世の中に提供されていない。その状況の中で、開発者になるべく負荷をかけない環境を提供できるかということ、エージェントベースシステムが実用的なシステムで使われるかどうか、を決める一つの重要なキーポイントと考えられる。

d) リアルタイムシステムへの適用

エージェントシステムを生産システムの中の装置制御システムへ適用する場合、特に実際に装置の動作を制御する部分へ適用する場合には、リアルタイム機能が必要である。現在のエージェントプラットフォームではリアルタイム機能が提供されていることはほとんどなく、CMUのプロトタイプシステムでも、実際の装置の制御はプログラマブルコントローラで行なっており、エージェントシステム側ではプログラマブルコントローラの制御システムを起動するだけにして、リアルタイムシステムと切り離れた形でエージェントを利用している。今後、装置制御システムのいろいろな場面でエージェントを使うことができるようにするためには、エージェントプラットフォーム側でリアルタイム機能のサポートが必要となってくる。

e) スケーラビリティの確保

CMUでのプロトタイプシステムのような実験室規模のシステムに比べて、実システムでは製品数や装置数が飛躍的に大きくなると考えられる。システムの規模が大きくなっても、同じ考え方や技術が適用できるように、スケーラビリティについても考慮した上で、システムを設計しておく必要がある。

(8) エージェント応用の促進

エージェント技術を実応用システムへ持っていくためには、前節で述べた技術的な課題だけではなく、具体的な事例や経験を蓄積していくことも重要である。ベストフィットしたキラーアプリケーションがないことがエージェント関係者の大きな悩みの種の一つである。この状況を打開するためには、エージェントの自律性、知的性を十分に満足するようなキラーアプリケーションに一気にたどりつくのではなく、エージェントの特徴の一つでもよいから利用した応用例を積み上げていくことが重要であると考えている。たとえば本節で紹介した加工装置制御システムでは、エージェントの独立性は活かしているが、知的性については、適用可能性は見えるものの、まだまだ十分には活かしきっていない。しかし、エージェントの独立性を活かすことで、全体として見通しのよい自律分散型のシステムを構築することに成功している。

このように、エージェントが持つ特徴の一つでもよいからうまく利用したシステムがいくつが開発されてくると、多くの人々がエージェントベースのシステムを考えることができるようになり、また新しい違った展開が開けてくることが期待できる。また、そのような過程の中で、エージェントシステムに対する過度なイメージや期待も、技術と応用がうまくマッチするレベルに落ち着いてくるのではないかと考えている。人が実行するには面倒な作業を、単に代わり実行してくれるだけでも、ユーザにとっては十分なメリットと考えることになると思う。

(9) Workshop on Agents in Industry

2000年6月にBarcelonaで開かれた国際会議 Autonomous Agent 2000で、併設のワークショップのひとつとして“Workshop on Agents in Industry”が開催された。アメリカから7

件、ヨーロッパから 4 件、アジアから 1 件の発表があり、発表の他にエージェントの産業応用に関するフリーディスカッションが行なわれた。

発表の中では、エージェントを EC の分野へ適用したり、既存システムのブリッジとして利用したり [10]、本項で紹介した生産システムへの適用事例 [11] の紹介があった。また、事例の紹介だけではなく、エンジニアリングをどのようにするかという視点からの発表 [12] もいくつか見受けられた。

エージェントの産業応用に関するフリーディスカッションでは、エージェント技術をどのようにすれば本当に実用的な技術として使えるようにできるか、という課題について、世界のエージェント関係者が抱えている共通の課題であることがわかった。フリーディスカッションの中で出された意見を、箇条書きで以下にまとめる。

- ・本当に問題になっていること、つまり本当のユーザのニーズを解決しているわけではないのではないか。
- ・解決している問題が Toy Program に過ぎないのではないか。
- ・技術的には、ある程度の難しさの問題を解決できているとは言えるが、その場合にエージェントを使ったことが、本当に解決のキーになったとは言いきれていないので、インパクトがない。
- ・実用にするためには、問題を解決する以外にもやらなければいけないことが多くある。例えば異常/エラー処理などである。
- ・コンポーネントをつなげるにしても、コンポーネントの中身がわからないとうまく接続することは難しい。従ってオープンソースの環境が不可欠である。
- ・インタフェースさえきちんと取れていれば、コンポーネントをつなげることは十分にできる。
- ・実用（研究）の場では、Java は使いにくい。それはオープンソースの問題とライセンスの問題が関わってくるからである。
- ・エージェントの応用に関する問題を議論をできる場がない。Web などの場所で議論をできる場所を提供できるとよいのではないか。
- ・今後、このワークショップの参加者をまずベースにして、メールベースでこの議論を続けていきたい。Web については今後検討したい。（Workshop Chair のまとめ）

参考文献

- [1] 牧野洋, 新井民夫, “自動組立システムの動向”, 精密工学会誌, Vol.63, No.11, pp.1503-1509, Nov. 1997.
- [2] W. Shen, D.H. Norrie, “Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey”, <http://img.enme.ucalgary.ca/publication/abm.htm>.
- [3] H. Wada, Y. Sakuraba, M. Negishi, T. Yamakawa, K. Kubo, Y. Kashiya, “A Machinery Control System Using Mobile Agents”, Proc. of the 4th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, March 1999, pp.124-131.

- [4] 和田英彦, “次世代生産システムへのエージェントによるアプローチ”, 人工知能学会誌 解説, vol.15, No.4, July 2000, pp.583-591.
- [5] D. Lange and M. Oshima, “Programming and Deploying Java Mobil Agents with Aglets”, Addison-Wesley, ISBN:0-201-32582-9, 1998.
- [6] Shape Deposition Manufacturing Laboratory, <http://www.cs.cmu.edu/~sdm>.
- [7] Aglets Workbench, <http://www.trl.ibm.co.jp/aglets/index.html>
- [8] HORB, <http://ring.etl.go.jp/openlab/horb>
- [9] I-Ling Yen, R. Paul, K. Mori, “Towards Integrated Methods for High-Assurance Systems”, IEEE Computer, Vol.31, No.4, April 1998, pp.32-34.
- [10] J. Hendler, “Using Agents for the US Military”, Autonomous Agent 2000 Workshop on “Agents in Industry”, Barcelona, June 2000.
- [11] H. Wada, Y. Sakuraba, M. Negishi, “Machinery Control System using Autonomous Agents”, Autonomous Agent 2000 Workshop on “Agents in Industry”, Barcelona, June 2000.
- [12] J. Odell, H. Parunak, B. Bauer, “Representing Agent Interaction Protocols in UML”, Autonomous Agent 2000 Workshop on “Agents in Industry”, Barcelona, June 2000.

3.3.4 ビジネスエージェントに向けた取り組みと課題

ビジネスシステムがエージェントに期待するものをまとめて一文で表現すると、「自律的で知的なエージェントが、利用者を代行して、ネットワーク上の他のシステムと交渉しながら協調的に振る舞い、作業の自動化、あるいは、問題解決を行う」となる。この文中のキーワードを掘り下げて検討すると、ネットワークのビジネスシステムに対する要求とエージェント技術の接点が、より明らかになる。

- 1) 自律: ビジネス主体が定義した方法でサービスを提供し、サービスを管理し、他社と交渉を行う。状況に合わせてながら、自律的に振る舞う。
- 2) 知的: 知識や学習を用いて、有用なビジネス情報のフィルタリングを行う。変化の激しいネットワークビジネスの局面において、複雑な意思決定を支援する。
- 3) 代行: 利用者に代わって、ネットワーク中で振る舞う。例えば、ビジネス情報を監視して異常値を検出して通知したり、取引先との交渉を代行したりする。
- 4) 協調: 疎に結合した分散システムが、互いに通信しながら、連携してビジネスを実行する。取引先とビジネス条件について交渉を行う。

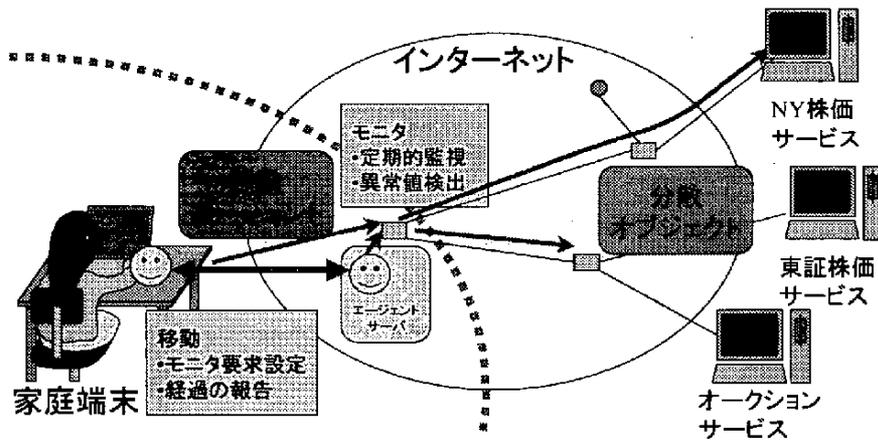
このように、インターネットのビジネスは、エージェントに対してさまざまなタイプの、質の高いサービスを期待している。確かに、エージェントによるビジネスの自動化は魅力的であり、また、技術キーワードとしても非常に興味深い。しかし、エージェント技術で可能なことは限られていることを知り、適切なエージェントの利用方法を検討することが求められている。

本項では、インターネットのビジネスに対するエージェント技術の適用可能性を論じる。まず始めに、われわれの研究グループが取り組んだ事例として、市場監視エージェントと、オークションエージェントを紹介する。続いて、エージェントを本格的なビジネスに適用していくにあたっての課題を示し、これらの課題に対してどのように対処していくべきかを論じる。

(1) 市場監視エージェント

インターネット中には、株価や外国為替など、時々刻々と変化する重要情報が流通している。ビジネスにおいては、これらの情報を随時確認しながら、判断を加えて、次の行動を起こすことが重要になる。しかし、四六時中情報を監視するのは困難なことであり、何らかの形で、代理人に監視作業を委託する必要がある。

このような情報監視システムを作る時に問題になるのは、監視する情報や、情報に対する判断と行動が、個々の利用者ごとに違っていることであり、これをどのようにしてシステム中に表現するかという問題と、その情報監視をどの計算機で実行すべきかという問題である。一般に、個人的にカスタマイズが必要な機能は、個人のパソコン上で実行することが多いが、パソコンを24時間インターネットにつなげて利用できる環境にある人は少ないため、個人のパソコンから24時間インターネットの情報監視を継続することができないのが現状である。



図表 3.3.4-1 情報監視エージェント

このような情報監視の問題に対し、われわれは移動エージェント Mobidget [4] [5] を用いたシステム提案を行った。移動エージェントの特性は、プログラムを実行しながら計算機間を移動できることである。情報監視の問題に当てはめた場合、利用者が自分に必要な情報監視のプログラムを記述できること、そのエージェントが利用者のパソコンからネットワーク中の無停止のサーバに移動して、監視行動を継続できること、そして、必要な時に利用者のパソコンに戻ってきて情報を提示することができることなど、移動エージェントは情報監視に適した環境を提供することができる。図表 3.3.4-1 にその典型的な振る舞いのイメージ図を示す。

移動エージェントの研究が始まった当初から、移動を特徴づけるモデルとして、巡回検索システムが考えられてきた。これは、全ての情報提供サイトにエージェントを移動させて、情報収集を行うモデルであった。しかし、このモデルでは、全ての情報提供サイトが移動エージェントの実行プラットフォームを持たなければならないという制限がありビジネスとして実用的ではなかった。また、エージェントの移動に必要な通信量や通信遅延と、ネットワークを通じた情報交換のための通信量や通信遅延に関するトレードオフについても研究が進み、今日のようなインターネットが進歩し、ブロードバンド化も進んだ環境では、情報収集する目的だけのために、エージェントがわざわざ情報提供先に移動する必然性も薄れてきている。

そこで、われわれの提案する情報監視システムでは、エージェントの移動を、利用者のパソコンと利用者の契約したサーバとの間だけに限定した。そして、サーバに常駐したエージェントは、インターネットを通して情報提供サイトにアクセスするというモデルを採用した。特に今後は、Web 上のサービスを、XML を用いて呼び出す方法がビジネスインターネットの主流になっていくという考えから、米国 Hewlett Packard 社の提供するインターネットのサービス構築基盤技術である e-speak [3] を情報提供サイトとの通信基盤として採用し、これと移動エージェント Mobidget 統合するライブラリの開発を行った。e-speak についての詳細は、米国 Hewlett Packard 社の e-speak のページ [3] を参照されたい。

この移動エージェントと e-speak の統合ライブラリの特徴は以下の通りである。

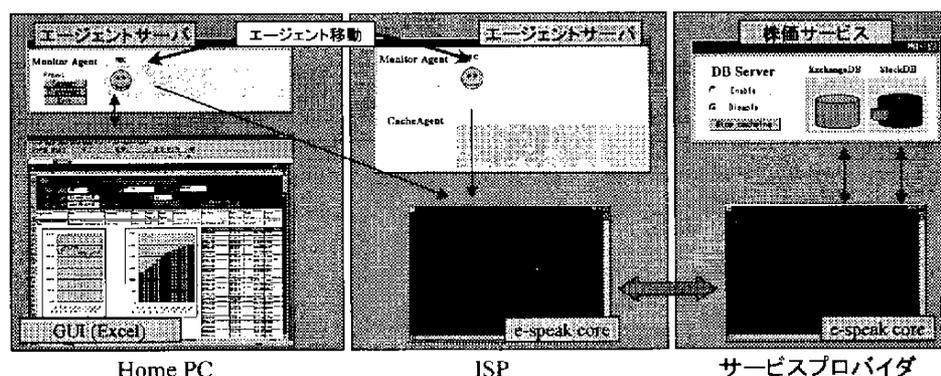
- a) 移動エージェントが e-speak のサービスを利用中に計算機間を移動する場合、e-speak の接続を自動的に保存し、移動先の計算機において再接続を行う。この機能により、移動エージェントからは、位置を気にせずに e-speak による Web 上のサービス呼び出しを利用できる。
- b) サービスの提供サーバを実行時に変更できる。例えば、サービス開始後に、サービス利用者の多いサイトを検出し、近くのサーバにキャッシュエージェントを送り込んで、そこでサービスの中継を行うことができる。

このライブラリを用いて、株価情報をモニタリングするエージェントシステムの試作を行った。試作のシナリオは以下の通りである。

- 1) 利用者が、家庭のパソコン上に株価監視エージェントを立ち上げる。
- 2) エージェントは、e-speak のディレクトリサービスを用いて株価情報のサービス提供者を検索し、モニタリング作業を開始する。
- 3) パソコンの電源を落とす前に、利業者はエージェントに対して、契約したサーバ上に移動することを指示する。
- 4) エージェントは、サーバ上に移動する時に、e-speak との接続の保存と、再接続を自動的に行う。従って、移動後もモニタリング作業は継続される。
- 5) 利用者は、再びパソコンを立ち上げ、エージェントを呼び戻す。
- 6) 呼び戻したエージェントから、モニタリングの結果を受け取ると共に、エージェントは、再びパソコン上で、モニタリング作業を継続する。

試作システムのデモ画面の様子を図表 3.3.4-2 に示す。

このエージェントは知的性を持たない。しかし、利用者がプログラミングできるという意味において、利用者の代理人として、ネットワーク中で自律的に行動できる主体である。移動機能についても、データソースに近いところでデータアクセスするために移動するのではなく、サービスの連続性を保つ為に移動するという点で、これまでの移動エージェントの利用方法と異なった視点を打ち出している。



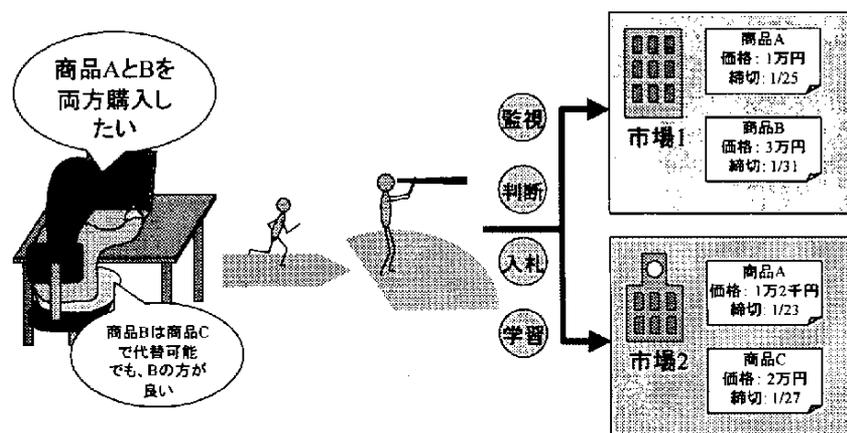
図表 3.3.4-2 情報監視エージェントのデモ画面

ただし、本当に移動機能が必要であったのかについては、今後検討しなければならない課題である。この試作では、株価監視という作業を連続した作業として捉えているが、イベント駆動や定時的に起こる作業として分解した場合、必ずしもエージェントとしての実行状態を保存しなくても、同様の機能を実装する手段がある。確かに、移動エージェントのプログラムは、一つのプログラムで、まとまった作業を記述できる点で優れているが、エージェントサーバを導入するコスト、移動エージェントの実行状態の保存と通信にかかるコストなども検討して、ビジネスに最も役立つ実現方法を検討していかなくてはならない。

(2) オークションエージェント

オークションは、インターネットの一つの目玉サービスにまでに成長している。例えば、ebay [1] では、日々数百万点の商品がオークションにかけられている。オークションにもさまざまな種類のものがあるが、一般に行われているのは English オークション（公開価格であって、価格を競り上げていくもの）や秘密価格オークション（非公開価格であって、最高値の入札者が落札）である。English オークションの場合、自分が最高価格で入札した後でも、他の人がその価格を越えた価格で入札してしまうと自分の落札の権利がなくなってしまうため、入札締め切り時刻まで、オークションの状況を常に監視し、相手の出方に対抗して再入札を繰り返さなければならなくなる。この手間を省略するために利用するのがエージェントである。予め自分のエージェントに（秘密の）最高限度額を与えておき、後は、エージェントが最高限度額までの競り上げを自動的に行うというものである。このような単純なオークションエージェントは、ebay をはじめとする多くの商用オークションサイトで実際に利用されている。

しかし、上記のエージェントは万能ではない。例えば、別々にオークションにかけられている航空券とホテル宿泊券の両方を落札したかったり、あるいは、別々にオークションにかけられているパソコンのどちらか一方だけ落札したかったりという場面を考えると、単純なオークションエージェントでは対応できないことがわかる。前者は補完財に対する入札、後者は代替財に対する入札と呼ばれ、このような商品の組み合わせに対して入札を行えるようなオークションを、組み合わせオークションと呼ぶ（図表 3.3.4-3）。



図表 3.3.4-3 組み合わせオークションへの入札エージェント

現在、Sandholm [8] らを中心にさまざまな組み合わせオークションの研究が行われている。しかし、その多くは一つのオークションサイトで競売にかけられている複数商品を対象にして、商品の組み合わせに対して価格付けをして、入札できるようにするオークションメカニズムに関する研究である。残念ながら、現実世界で起こりうるような、異なるオークションサイトで見つけた複数の商品に対して、都合良く入札してくれるエージェントの研究ではない。

そこで、われわれは、複数のオークションサイトを監視し、複数の商品間に存在する代替財や保管財といった関係を考慮しながら、適切な商品に適切な価格で入札することができる入札エージェントの研究開発を行った [6] [7]。まず、利用者の利得を準線形、すなわち、商品を購入できた時は、その商品の本来の価値と、落札価格との差分を利得とすると定義した。例えば、2つの代替財にあたる商品のいずれか一方に入札する場合、商品価値と落札価格の差が大きい方の商品に入札する方が得策である。また、2つの補完財の商品に入札する時は、両商品を落札できた時の商品価値と落札価格の差が利得となる。

ここで、2つのオークションの落札価格が予めわかっているのであれば、入札すべき商品と入札額(落札価格と等しい)を決定することは容易である。しかし、実際のオークションでは落札価格が既知であることはない。また、さまざまなオークションが、それぞれ異なる入札締め切り時刻をもって運営されているため、補完財に入札している時に、片方の商品を落札した後で、他方の商品価格が高騰してしまつて落札に失敗した結果、役に立たないのに前者の商品だけ購入しなければならないような不利益が生じることも考えられる。

このような不確定な状況のもと、100%最大利得を得る戦略は存在しない。われわれは、組み合わせオークションに対する確率モデルを求め、この確率モデルに沿って、利得の期待値を最大化する入札戦略について検討した。ここで、商品 X と Y の入札締め切り時刻が、時間的順序をもっていると仮定する。商品 X の入札が先に終了するとして、商品 Y の期待落札価格を確率密度関数 $f(y)$ 、先行する入札 X に入札した場合と入札しない場合の利得差を Z とした時の、補完財の入札について利得差の期待値の式を導く。総資金 T より商品 X と Y を両方得た場合の価値 V_{xy} の方が小さいと仮定する。X の現在の価格が x_1 であるとする、Y には $T-x_1$ まで入札可能であるので、Y の価格 y が $V_{xy}-V_x > y$ の時、X と Y の両方を落札できた場合の利得は

$$Z_1 = \int_0^{T-x_1} (V_{xy} - x_1 - y) f(y) dy \quad (1)$$

と表現される。X は落札できたが Y を落札できなかった場合は、Y の価格が $T-x_1$ 以上となり、得られた商品の価値も X 単体での価値 V_x になることに注意すると

$$Z_2 = \int_{T-x_1}^{\infty} (V_x - x_1) f(y) dy \quad (2)$$

と表せる。よつて価格 x_1 に対して入札した時に得られる期待利得は、式(1)、(2)の和をとつて、

$$Z = \int_0^{T-x_1} (V_{xy} - x_1 - y) f(y) dy + \int_{T-x_1}^{\infty} (V_x - x_1) f(y) dy \quad (3)$$

になる。次に商品 Y の入札途中経過の価格が y_1 と判明している場合について考える。この時の、商品 Y の期待落札価格の確率密度関数を $f_{y_1}(y)$ とする。この時に、商品 X に入札することの利得は、次の式で表される。

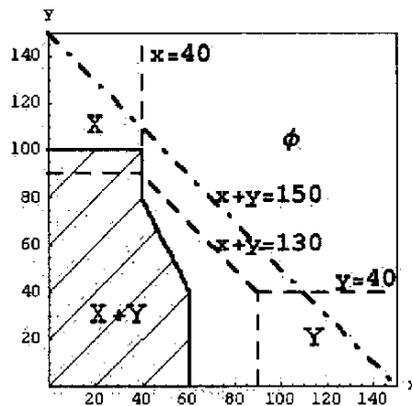
$y < V_y$ の場合

$$Z = \int_{V_y}^{T-x_1} (V_{xy} - x_1 - y) f_{y_1}(y) dy + \int_{T-x_1}^{\infty} (V_x - x_1) f_{y_1}(y) dy - \int_0^{V_y} (V_y - y) f_{y_1}(y) dy \quad (4)$$

$y \geq V_y$ の場合

$$Z = \int_{y_1}^{T-x_1} (V_{xy} - x_1 - y) f_{y_1}(y) dy + \int_{T-x_1}^{\infty} (V_x - x_1) f_{y_1}(y) dy \quad \alpha \text{ を削除} \quad (5)$$

式(4)と(5)について、 $f(y)$ を0から100までの一様分布と仮定し、 $V_x=40, V_y=40, V_{xy}=130, T=150$ の場合について、 $Z=0$ の式を解くと、商品Xに入札すべきか否かの利得の境界線を求めることができる。これを図表3.3.4-4に示す。図の斜線の部分がXへの期待利得が正になる入札領域である。図中に、最終落札価格が既知であった場合の入札領域の境界線が破線で表されており、これと比べると落札価格を知らないことによって、期待値に基づく入札は、より安全を期した弱気な入札戦略、すなわち、商品Xに小さい額でしか入札できなくなっていることがわかる。



図表 3.3.4-4 補完財に対する入札領域

このような期待値に対する解析的手法は、代替財についても計算できる。詳細は、論文[6][7]を参照していただくこととして、このような解析的手法をベースに、複数のオークションの入札に対する知的なエージェントの振る舞いを定義することができることを明らかにした。

(3) ビジネス応用に向けた課題

上記の2例は、ビジネスへの応用を意識して作成されたシステムであるが、残念ながらいずれも実ビジネスにで利用されてはいない。実ビジネスに応用するには、エージェントの持つ特徴がいかされることを議論する以前に、まず、エージェントの安全性、耐障害性、スケーラビリティなどの条件が満たされるエージェントプラットフォームが必要になる。これについては、本編 3.3.2 に述べられている日本 IBM の Caribbean のような、ビジネスに利用することを意識して設計されたエージェントプラットフォームが増えてくることで、エージェントの脆弱さの問題も次第に解決されていくことを期待している。

さらに、ビジネスエージェントが世の中で使われるようになるかどうかには強い影響がある対抗技術として、XML の存在がある。今まで、エージェントは柔軟な通信手段と疎結合なシステムの協調作業を特徴として注目されてきた。ところが、XML を用いても同様のシステムを実現できる。たとえば、現在、標準化が進められている UDDI [9] のようなビジネスディレクトリには、XML の呼び出しインタフェースに関する情報が蓄積され、容易な検索機能を提供している。これによって、動的なインタフェースを用いた通信が可能になる。さらに、ebXML [2] の標準化では、ビジネスプロセスのリポジトリ作成を目指しており、これはエージェント間の協調プロトコルを定義しているのに等しい。

このような XML の環境が整備された時の、ビジネス領域におけるエージェントの役割は何であろうか。私は、エージェントの持つプロセスとしての性質に注目したい。エージェントは、ネットワークにおける自律的で、永続的なプロセスを実現できる技術である。このプロセスが、XML や、その他の通信手段を使って、他のプロセスとコミュニケーションし、自らのプロセスを維持管理していく主体をエージェントとするモデルである。今後、Web サービスのようなネットワーク中でのビジネスプロセスの統合が進められたとき、エージェントが主体となって、このビジネスプロセスを管理・統合していくことができるのではないか。これを実現するためにも、まずは、安全で、頑強で、スケーラビリティをもった強力なエージェントプラットフォームの出現を期待したい。

ところで、Wooldridge らは、エージェントシステムを作成する時に陥りやすいソフトウェア工学的な落とし穴について、論文にまとめている [10]。エージェントシステムを否定するのではなく、エージェントを間違っただけで利用したことによってプロジェクトが失敗することがないように、その落とし穴について事前に知っておくことは価値がある。ここでも、その中から興味深いものをいくつか参考に示す。ここに掲げたものには私の解釈が入っているので、興味ある方は原文も参照してほしい。

1) エージェントへの過大な期待をするな

単なる自動化なら、エージェントを使わなくても良い。逆に、知的エージェントを作るといっても、人工知能として実現されている以上のことはできないことを知っておくこと。

2) エージェントへの過度の信奉は避けよ

エージェントは、汎用解を提供しない。エージェントを用いないほうが素直に解決できる問題も多い。エージェントを利用する時には、その必要性を十分に議論すること。

- 3) エージェントを知らないで使うな
まずエージェントありきで、システムの設計を始めないこと。
- 4) 一般解を求めすぎるな
全ての場合に有能なエージェントシステムを作ることは難しい。
- 5) 劇的な改善はできないことを知れ
エージェントがうまく利用できたとしても、ソフトウェアの生産性を 10 倍のオーダーで改善できるというものではない。
- 6) エージェントはソフトウェアであることを忘れるな
エージェントと言ってもソフトウェアであり、分析、仕様化、設計、検証、テストのフェーズが必要で、それらが不十分では良いシステムはできない。
- 7) エージェントはマルチスレッドのプログラムである
マルチスレッドのプログラム開発は、非常に難しい。マルチエージェントシステムも、同期、排他、デッドロックなどの問題を十分に検討する必要がある。
- 8) 関連技術を積極的に使え
エージェントシステムと言っても、99%は他の技術を利用して作らないと、大きなシステムはできない。
- 9) 自分だけのエージェントアーキテクチャを作るな
エージェントアーキテクチャが少し自分のやり方とあわないだけで、自分独自のアーキテクチャを一から作ることはやめよ。
- 10) エージェントに人工知能を使いすぎるな
人工知能技術を使い込みすぎたエージェントプロジェクトは、失敗に終わりやすい。人工知能的な要素は必要最小限に留めよ。
- 11) なんでもエージェントにしてしまうな
エージェントの管理や通信コストは無視できないほど大きい。エージェントは粒度の大きいところだけに使え。
- 12) インタクションを制御せよ
あまりに自由に通信させると、カオス的になる。エージェント間の通信もほどよく制御すべきで、プロトコルを定めよ。

ここにあげたものは、当たり前の忠告であるようにも聞こえるが、実際にシステム開発現場では、「エージェントならできるだろう」という過度な期待を持たれることがある。エージェントを誤った形ではなく、ビジネスに利用できるソフトウェア技術として発展させるには、今一度、エージェントはソフトウェアであることを認識し直して、その有効な利用方法について検討していく必要がある。

エージェント技術に携わるものとして、ビジネスシステムの中で真に役立つエージェントが登場することを期待している。そのためにも、エージェントへの過度な期待は捨てて、技術として着実に進歩して、実応用システムを構築する実績が積み上がっていくことを期待する。

参考文献

- [1] Ebay, <http://www.ebay.com/>
- [2] ebXML, <http://www.ebxml.org/>
- [3] E-speak, <http://www.e-speak.hp.com/>
- [4] Fujita, S., Koyama, K., Yamanouchi, T., Suresh J., Kelsey, R., and Philbin, J., "Mobile and Distributed Agents in Mobidget", proceedings of ASA/MA99, pp. 276-277, 1999.
- [5] Koyama, K., Fujita, S., and Yamanouchi, T., "A Platform for Mobile and Distributed Systems Adaptive to Inter/Intranet", the Internet Global Summit (INET) 2000, 2000.
- [6] 松本、藤田、「複数商品に対する最適な利得を獲得する自動入札エージェント」、ソフトウェアエージェントとその応用ワークショップ(SAA2000)、pp. 312-318, 2000.
- [7] Matsumoto, Y., and Fujita, S., "An auction agent for bidding on combinatorial auctions", Autonomous Agents 2001, 2001.
- [8] Sandholm, T., "An Algorithm for Optimal Winner Determination in Combinatorial Auctions", proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 542-547, 1999.
- [9] UDDI, <http://www.uddi.org/>
- [10] Wooldridge, M. J. and Jennings, N. R., "Software Engineering with Agents: Pitfalls and Pratfalls", IEEE INTERNET COMPUTING, May-June, 1999.

3.3.5 モバイルコンピューティングとエージェント

(1) はじめに

モバイルコンピューティングというと、従来はノートパソコンや PDA を持ち歩き、時々携帯電話や固定電話でネットワークに接続して利用するという、極めて限定されたコンピューティング環境であった。これを一変させたのが i モードや WAP といった、携帯電話によるインターネットである。i モードのユーザはあつというまに 1000 万人を越え、携帯電話によるメールのやりとりが、ごく日常的なものになってきている。今ではメールだけではなく、チケットの予約、購入や株の取引など、思い立ったときにさまざまな情報サービスがすぐに利用可能となって、その利便性は格段に向上していることは、われわれ自身が実感しているところである。さらに今後は個人利用だけではなく、ビジネス利用の面においてもさまざまな広がりが見込める。例えば、オフィスのグループウェアのモバイル環境での利用から始まって、配送状況のリアルタイムでの確認やモバイル環境での商取引などである。

しかし、モバイル環境でのインターネットの利用においては、通常のデスクトップ環境と異なるさまざまな制約や状況によって、使いやすさの面で解決すべき課題が数多く存在している。本節ではモバイル環境に起因するインターネット利用上の課題について考察し、その解決のためのエージェント技術の応用について述べる。

(2) モバイル環境でのインターネット利用の課題

インターネットを利用する上で、モバイル環境では通常のデスクトップ環境と異なる幾つかの解決すべき課題がある。まず、課題を列挙してみよう。

1) 細くて不安定な通信路

固定通信路のパフォーマンスは xDSL や光ファイバなどによる常時接続の普及によって、急速に向上している。これに対し、モバイル環境での通信路は IMT が普及したとしても歩行環境で 384Kbps と固定通信路にははるかに及ばない。また無線接続を利用していることの宿命として、電波状態による不安定さや中断は避けることができない。このような環境で通信、ひいてはその上で提供されるサービスの品質の管理が重要な課題となる。

2) 入出力の制約

携帯電話にしても携帯情報端末 (PDA) にしても、入力、出力ともそのインタフェースは極めて限定されたものになる。音声入力やヘッドマウントディスプレイなどの開発が進められているが、携帯性の面から限界がある。マンマシンインタフェースの直接的な改良は勿論であるが、それ以外に利用者の特性を把握して入出力量を減らす工夫が重要である。

3) リソースの制約

携帯端末機器のハードウェアリソースの制約から、端末側で持てる情報の量や処理能力には限界がある。一方で、全てのデータをサーバから必要の都度ダウンロードするには、1) の通信路の制約がある。したがって、サーバと端末との間でデータ配置の最適化や、重複配置する場合の同期の問題等が発生してくる。

4) 変化するユーザの状況

モバイルコンピューティングに特有なものとして、ユーザをとりまく状況が一定ではないことがあげられる。ユーザの地理的な位置や、利用環境（路上、列車の中、オフィス、住宅の中 etc.）の違いによって、利用者の作業内容も変わってくるし、必要な情報も異なると予想される。このようなユーザの状況に応じた情報処理の実現が課題となる。

(3) エージェントの適用

以上のような課題に対して、エージェント技術の適用が有望である。その理由をエージェントの特性である自律性、社会性、反応性、自発性 [1] の4つの面から考察する。

a) 自律性

通信路の状況やユーザの回りの状況を常時監視し、ユーザに代わって適切な措置をとる上でエージェントの自律的に動作する機構が有効である。これによって、ユーザの行動がただでさえ制約されているモバイル環境において、ユーザが本来やらなければならない作業に集中することが可能になる。

b) 社会性

モバイル環境では、端末とサーバとの間の通信路が必ずしも安定していないため、それぞれに自律的な処理主体の存在が必要になるとともに、その間で情報を交換して、全体として最適な処理をする必要がある。このような相互作用を実現する上で、エージェントの社会性が有効であると考えられる。

c) 反応性

モバイルにおけるユーザを含めた周囲環境を認識し、その変化に適切に応答する上で、エージェントの反応性は必要不可欠なものである。

d) 自発性

モバイル環境では、ユーザを取り巻く状況や通信の中断などによって、ユーザが手がけていた作業に継続的に対応できない状態が生じがちである。このような場合に、エージェントが自発的にある目標に対して、処理を継続する仕組みが有効であると考えられる。

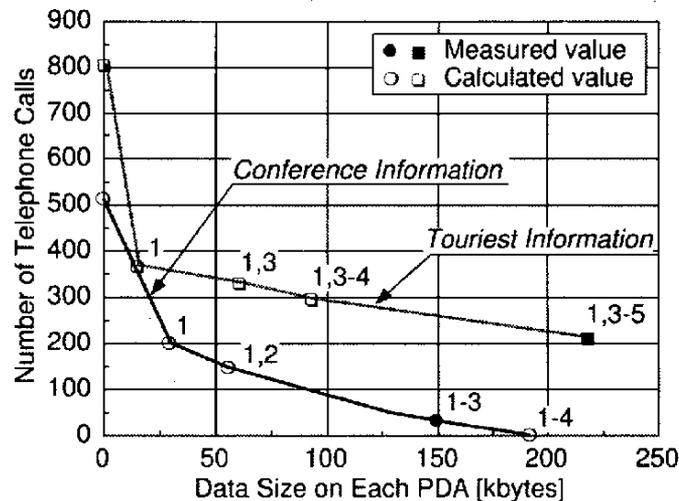
以上述べたモバイル環境でのインターネット利用上の課題と、エージェントの特性とを考慮したとき、モバイルコンピューティングにおけるエージェントシステム適用の可能性として次のようなものが考えられる。これらのうち一部については既に開発が進められている。

i) QoS エージェント

不安定なモバイルネットワーク上でのサービスの品質管理を行うエージェントである。伝送路のエラー発生率などの品質状況を監視し、状況に応じて必要な通信サービスパラメータを調整する。例えば伝送する音声や画像の圧縮率などである。また、伝送の中断などに備えて、セッションの管理を行い、再接続やデータの再送などを行うことも含まれよう。さらにサービスレベルで、データの検索範囲の制御や、配布データの量を制御することも考えられよう。

ii) シンクロナイズエージェント

課題の 3) で述べたように、特にビジネス応用を考えるとマスターとなる情報はサーバに置き、一部のコピーを端末側に置くという形態が多くなるものと考えられる。この形態において、通信路の状況やデータの利用方法に応じて、端末とサーバ間での最適なデータ配置を決定する機能が必要とされる。図表 3.3.5-1 は若干古い実験結果で恐縮であるが、1996 年に ICMAS という国際会議で、会議参加者に 100 台の携帯端末を配布してサービス実験を行ったときの、端末とサーバ間のデータ配置と通信量の関係を表した図である。端末に少しでもデータを配置することで、通信量が大幅に減少することがわかる。モバイルコンピューティングの実験をさらに、重複して配置されたデータに関して、端末およびサーバ側でそれぞれ独立に更新が加えられる可能性があり、その更新状況を監視して常に最新で矛盾のない状態にデータの一貫性を維持する機能も重要である。このような機能を実現するものとしてエージェント技術の適用が期待される。



図表 3.3.5-1 端末上に配置したデータ量とサーバアクセス回数の関係

iii) パーソナルエージェント

モバイルユーザの入出力の負荷を軽減するために、ユーザ個々にエージェントを割り当て、ユーザの特性を把握することによって入力時における選択肢の絞込みや、出力時における提示データのフィルタリングなどを行う。携帯電話での web アクセスにおいては、ユーザ個人専用のメニュー画面の設定を行うことが一般化しているが、これをさらに拡張して、エージェントがユーザのアクセス状況を観察し、それに応じて設定やデータの表示方法を調節することになる。

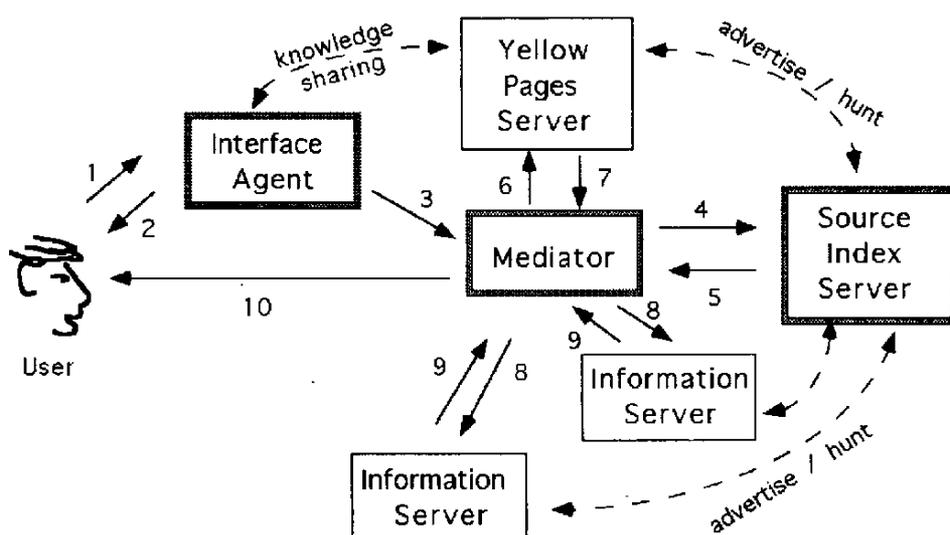
iv) 代行処理エージェント

モバイル環境では、課題にあげたように通信路が不安定なこと、入出力に制約があること等から、ユーザが継続的に作業に従事できない場合がある。このようなときに、ユーザの意図を受けてその作業を代行するエージェントの実現が望まれる。例えば、ユーザがネット上の何かの情報を検索したいときに、検索要求をエージェントに託して、いったんログアウトし、後刻検索結果を入手するようなことが考えられる。処理が複雑で

いろいろなサイトを利用しなければならない場合には特に有効である。図表 3.3.5-2 はユーザの入力した検索条件をもとに、ネット上から必要な情報を収集して統合、提示するインテリジェントページシステム [2] のアーキテクチャである。

v) 位置指向処理エージェント

携帯電話や携帯情報端末で情報案内サービスを受けようとする時に、自分のいる場所に応じた周辺の案内サービスを受けたいというのは、ごく自然な要求であるが、一方で自分の位置をいちいち入力するのはわずらわしいし、正確な位置を入力するのは困難をとまなうことも多い。エージェントが携帯端末の位置を自動的に判定して、必要な情報をセレクトしてくれればうれしいと思うユーザは少なくないであろう。既に、PHS の位置案内サービスや GPS による位置検出を利用して位置情報を判定し、位置に依存した情報案内等のサービスを実現しようという試みは実用レベルに達している。図表 3.3.5-3 は位置指向の情報収集サービスを提供するモバイルインフォサーチ [3] の構想を、また図表 3.3.5-4 はそのアーキテクチャを示している。



図表 3.3.5-2 インテリジェントページのアーキテクチャ

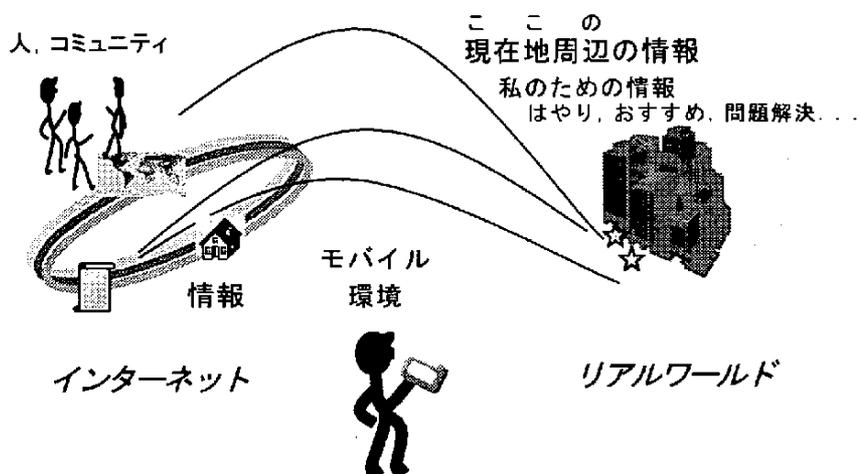


図 3.3.5-3 モバイルインフォサーチの構想

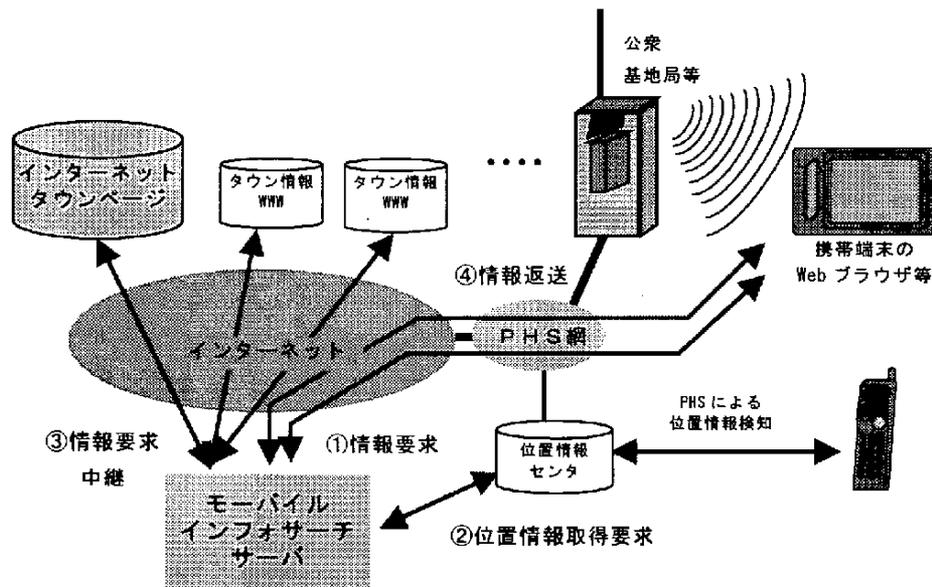


図 3.3.5-4 モバイルインフォサーチのアーキテクチャ

(4) 今後の課題

以上述べてきたように、モバイルコンピューティングにおいて、エージェントの考え方を適用したさまざまな機能の実現が有益であることは疑う余地がない。しかし、その実現においてエージェントの技術がどの程度必要であるかは、今後検討の必要がある。例えば、前記iv)の代行処理エージェントを実現する上で、モバイルエージェントの技術を利用しようとするのは自然な発想であるが、よく考えて見ると処理条件のデータだけを端末からサーバに渡すだけでよいのかもしれない。しかし、一方ではプロセスにデータをバインドして持ち回るといった実現方法がもっとも効率がよいかも知れない。現時点では、概念的にエージェントの考え方が適用できるアプリケーションの開発経験を積むことによって、それらを自然に表現するモデリング手法とその実現技術が自ら明らかになってくるのではないかと考える。

参考文献

- [1] M. J. Wooldridge and N. Jennings: Intelligent Agents, Lecture Note in Artificial Intelligence 890, Springer-Verlag, pp. 1-39, 1995.
- [2] K. Takahashi, Y. Nishibe, I. Morihara, and F. Hattori: Intelligent Pages: Collecting Shop and Service Information with Software Agents, Applied Artificial Intelligence, Vol. 11, pp. 489-499, 1997.
- [3] 高橋: モバイル環境下での情報収集を支援するエージェント, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 4, pp. 590-597, 1999.

3.3.6 エージェントを身近に～民生機器応用への期待と課題～

(1) はじめに

現在エージェント技術は、コンピュータとネットワークインフラを柔軟に融合する技術として、ビジネス分野への応用研究を中心に実用化がすすめられている。この場合、エージェントの恩恵を受けるのは、ビジネスを展開する企業とその企業の顧客である。エージェントは、企業が提供するサービスの構築と運用の両面に対して作用し、サービスの保守、連携ならびにシステムの動的な変動に対処する存在として、今後更なる応用が期待されている。

一方、民生分野への応用についても、これまでさまざまなアプローチで利用者にエージェントを提供しようとする動きが見られた。アニメーションや音声を利用したガイド機能に始まり、擬人化されたインタフェース、検索ロボット、ペット型ロボット等々、幅広い応用例が存在する。しかしながら、コンピュータアプリケーションを除くと、それらの多くは実験的あるいは付加機能的なものであり、一大市場を作り上げてエージェントの恩恵を訴えるまでには至っていない。第一の理由は、民生品の大半が特定用途向けの製品であり、比較的処理能力の低い組込み機器であるということである。多くの場合、ハードウェア資源の制限によって、実装できるエージェントは小規模なものに限られていた。また、コンピュータのように標準的なネットワーク環境が保証されていることが少なく、動的要素が持ち味であるエージェントそのものが静的なものにならざるを得なかった。第二の理由は、対象となる一般利用者のエージェントに対する認識、製品に求められるニーズが非常に多岐にわたっており、市場投入コストに占めるエージェント価値の見極めが難しいことである。

民生分野では、2000年から2001年にかけて大きな転機を迎えている。ネットワークインフラとしてのCATV、ADSLの出現、IMT2000サービス開始予定といった通信のブロードバンド化が急速に進む。さらにデジタル放送の開始、音楽映像のネットワーク配信、Java¹搭載による携帯端末アプリケーションの多様化が現実のものとなり、一般利用者にとってエンターテインメントの幅が確実に広がりつつある。ところが、洪水のごとく迫り来る情報を活用し、大量のメディアを十分に楽しむことは、残念ながら一般利用者の能力を超えてしまっているのが現状である。また、膨大な情報コンテンツをパーソナライズすることは人間のなせる技ではない。つまり民生分野においては、今こそさまざまな代理作業を行うことのできるエージェントの出番であり、エージェントを身近なものにする絶好の機会であると考えられる。本項では、エージェントの民生機器への応用について、その期待と留意すべき事項を述べる。そして、一例として著者らが試作を行ったエージェントシステムK3を紹介する。

(2) 民生機器応用への期待

民生機器に対してエージェントの応用を考えた場合、その期待は利用者の意識によってさまざまなものがあると考えられる。著者らは、民生用エージェントに期待する共通の要素を“簡単、楽しい、便利”というキーワードで捉えている。ここでは、そのキーワードをもとに、エージェントに期待される役割について説明する。

¹ Javaは米国およびその他の国における米国 Sun Microsystems, Inc.の商標または登録商標です。

①高機能化による複雑さから利用者を解放

これまで多くの製品メーカーは、自社製品にいかにより多くの機能を搭載するかに注力してきた。事実、多彩な機能が製品の価値と評価を決定していた。ところが、基本性能に加えて差別化に向けた付加価値を追及するにつれて、製品は膨大な機能を抱えるようになった。さらに最近では、機能の集約化や階層化によって直感的な操作は困難を極めており、一般利用者が簡単に利用できるのはごく表面的な機能のみである。取扱説明書は辞書のごとく厚くなる一方で、説明方法と使用する用語はあくまで製品メーカー主体のものであるため、一般利用者にとって決して理解しやすいとは考えられない。この事実は、製品メーカーに対しても残念な結果をもたらす。多大な技術と労力をつぎ込んだ性能を、十分に活用してもらえなくなるからである。

エージェントは、この問題を解決する。第一に利用者の“代理人”として難しい操作や面倒な設定を行い、第二に製品の楽しみ方を分かりやすく提供し、第三に利用者が戸惑った場合は迅速かつ的確に補助動作を行う。エージェントはこれらの能力をもつことによって、無機質な機械であった製品を、インテリジェントで楽しめるものにするのである。

②大量コンテンツの有効活用

近頃、DVD、ハードディスクなどに代表される大容量蓄積装置の普及によって、インターネットやデジタル放送から得られる大容量コンテンツを容易に蓄積できるようになった。これまでもビデオテープにいくつもの番組を録画した末に、あらためて楽しもうとすると番組の検索に苦労してしまう、といった経験は誰しも持つものであるが、今後はコンテンツの取り扱い次第で、それとは比較にならないほど深刻な状況を生み出す可能性がある。幸いにも映像の分野においては、MPEG7²によるコンテンツ記述の標準化が進められており、蓄積し続けたコンテンツを管理ならびに検索を行うことは可能になりそうである。しかしながら一般利用者にとって問題となるのは、コンテンツを取得、蓄積し、後にそれを楽しむまでの一連の作業において、少なからず面倒な操作を強いられることである。また蓄積可能なコンテンツ数が人間の記憶能力をはるかに超えている上に、人間の興味は移り変わるものであることを考えると、蓄積したコンテンツの有効活用は難しいと言わざるを得ない。

エージェントには、複数の異なる情報源からコンテンツを選択する操作、それを蓄積する操作、そして後に蓄積されたコンテンツの中から探し出すといった一連の作業を、一般利用者の意思を受けて確実にこなす役割を期待されている。また、過去に蓄積されたコンテンツとその時の利用者の意思を記憶しておくことによって、時を隔てて利用者にそれを思い出させるべく、視聴の提案などを行うこともできる。

③シームレス環境のサポート

従来、民生機器は家庭内を中心として楽しむものであったが、近年携帯電話の性能が飛躍的に向上したことによって、どこにいてもインターネットを利用してさまざまな情報を取得することが可能となった。また携帯電話には、2001年2月末を皮切りにJava環境が順

² <http://www.cselt.it/mpeg/>

次搭載され、2001年中には近距離無線プロトコルである Bluetooth³の装備が見込まれている。家電機器などそれ以外の民生機器においても機器間接続ならびにインターネット接続への対応が進んでおり、家庭内外を問わない一つのネットワークが構築されつつある。その結果、外出先から録画予約がしたい、好みの音楽コンテンツを好きな時にダウンロードして家庭内、外出先を問わず楽しみたい、といったさまざまな欲求が一般利用者の間から出てきている。

これらを現実のものにするためには、端末や利用環境の違いを的確に判別し、異種ネットワークの相互接続を保証する技術が必須である。また、利用者の意思にかなった操作性、エンターテインメントを提供するなど、まさにエージェント技術の役割が重要になってくる。

④個人志向型（パーソナライズ）サービスの創造

あらゆる情報を誰でも容易に取得できる環境が整備される中で、一般利用者の興味はどれだけ多くの情報が得られるかよりも、いかに自らの望む情報が得られるかに移行している。そのような個人志向型サービスが求められる一方で、ネットワークを通じた個人情報の公開に対する抵抗も強く、提供されるサービスの信頼性と安心感が重要な要素となってくる。

エージェントには、個人の“代理人”という概念から、利用者の嗜好にもとづいたカスタマイズ、パーソナライズを行う能力を求められている。一般利用者は、個人情報を自らネットワークに送信するのではなく、信頼できるエージェントに託すことで、利用者情報を可能な限り保護しつつ、かつそれらを活用した信頼性の高い結果を持って帰ることを期待しているのである。

（3）ビジネス応用との相違点

現在、ビジネス応用分野において実用例が見られるエージェント技術も、民生機器応用へ展開した場合には多分に様相が異なってくる。

①利用者主体の考え方

ビジネス分野におけるエージェントの多くは、特定の目的をもった顧客に対するサービスを主体に考えるが、民生機器は幅広い年齢層の不特定多数を対象とする。民生機器の評価というものは、その性能だけではなく、世の中の流行や利用者本人の主観に左右されるといった側面をもつ。当然ながらそこに搭載するエージェントにも同様のことがいえる。例えば、あるエージェントの効果がビジネス分野ですべての顧客を満足させたとしても、民生機器においては、簡単で楽しくなければ意味がないと評価されるかもしれない。つまり流行に適合したユーザインタフェース、利用者世代に見合ったエンターテインメント性など、一般利用者の感性に訴える要素が不可欠であると思われる。

³ <http://www.bluetooth.com/> official Bluetooth SIG webpage

②応用形態の違い

業務用アプリケーションの多くは、パーソナルコンピュータ（以下 PC）とインターネットの利用を前提としている。一方で民生機器応用においては、PC のみならず一般組み込み機器へ広く展開する必要がある。特に組み込み機器は、限定された用途に特化した製品である場合が多く、PC と異なり標準的なオペレーティングシステムやグラフィックシステムをもたないなど、ハードウェアの仕様と性能にばらつきが生じる。そのためエージェントを実装する場合にも、各々の枠組みに沿った形への最適化作業が必要となる。勿論一般利用者からは、そのようなハードウェア事情の問題解決がエージェントに求められていることは言うまでもない。

また、ビジネス分野におけるエージェントは、システムの確実な運用が重要任務であり、その信頼性が顧客の満足を導くものであるが、民生機器を前にした一般利用者が満足度を求めるのは、楽しさと利便性を感じさせるインテリジェンスである。利用者が求めるのは、複数のエージェント群の協調動作や、ネットワークの背後に存在する異種プラットフォーム間の連携ではなく、常に利用者の身近に位置しているエージェントがいつでも対応してくれる信頼性なのである。

（4）民生機器応用への留意点

ここでは、エージェントを実際に民生機器に搭載し、市場導入を検討する際に留意すべき点について説明する。

①人間とエージェントの役割の明確化

人工知能の要素を少なからず含むエージェント技術研究の中には、エージェントに人間らしさを追求する擬人化という分野がある。擬人化されたエージェントは、人間と同様知識、感情をもち、常識にもとづいた行動を行い、時には人間であるかのように会話を行うことができる。民生機器においては、利用者と自由にインタラクションを行うエージェントが最低でも一つは必要であり、そこには擬人化の概念が非常に魅力的に映る。当然ながら、利用者の命令にしたがってあらゆる代行動作を行うことができるのが望ましい。

しかしながら、人間の行動すべてを代行することを一般利用者が喜びと感じるかという点、それは疑問である。例えば、ショッピングというものは商品を購入することが目的でありながら、人は疲労を顧みず、自らの足で移動して意中のものを見つけ出す。そこには“自ら選ぶ”という喜びがあり、仮に何も購入しなかったとしても選ぶ楽しさがもたらす満足感が残るはずである。仮にショッピングをエージェントに委託したとすると、エージェントはインターネットを検索して利用者が指定した商品を探し出してくるだろう。あるいは他の候補を検索するために、利用者に好みを尋ねてくるかもしれない。不幸にして目的の商品が見つからなかった場合、エージェントの返答を待っていた時間とインターネット接続料金は無駄なものとなり、利用者は少なからず後悔するのである。ところがエージェントは結果の良否にかかわらず、委託された検索作業を完了したのだから満足したに違いない。つまり人間の満足度に関しては、エージェントが推測することは難しいのである。

このことは、民生分野においてはエージェントが人間の代わりになるのではなく、人間とエージェントの役割を、利用者ニーズと利用者価値観を見極めた上で明確にする必要が

あることを示している。基本的に人間は思考、モラル、感情といった定量化し難い分野に長けており、コンピュータプログラムであるエージェントは記憶、演算、ネットワークアクセスといった定量的な能力を備え、時間的、物理的制限に強いという特徴をもつ。これらは、エンターテインメント性と利便性のバランスにも関係する。エージェントが提供するエンターテインメントを楽しみと感じるのは利用者の感性あり、気分次第では楽しくない場合も有り得る。したがってエージェントが有機的に動作するためには、利用者に利便性とエンターテインメントを与えつつ、それを利用者がどのように受け取り、どのように感じたかを定量値としてフィードバックされることが必要になる。つまり、本当に利用者から求められ、受け入れられるエージェントとは、利用者の得意分野を尊重しつつ、それをサポートしてはじめて実現するのである。

②機能とコストの関わりについて

最近の民生機器分野においては、製品のもつ基本性能は次第に増加する一方で、競争を勝ち抜くために、付加価値の創造とコストダウンという相反する要求を解決する義務を課されている。現状エージェントを実装する効果も、製品付加価値の向上として認識されているが、一方でエージェントの搭載によるコストアップの合理性が問われている。以下に留意すべき事項を列挙する。

- 1) エージェント機能による既存性能への影響
- 2) 製品仕様との整合性
- 3) 市場投入後の利用者負担費用（通信費 etc.）

既存性能への影響とは、組込み機器におけるリアルタイム処理に支障をきたす場合である。エージェントが駆動されるタスクによる CPU 占有時間が、基本性能を駆動するための入力に対するレスポンスを遅らせるといった、システム処理への影響が考えられる。

製品仕様との整合性の問題は、製品メーカーの戦略と利用者ニーズとの間に発生するギャップを意味している。例えば、高価格帯の製品はハードウェアの性能、資源ともに豊富で、エージェントを搭載することはコストの面でも余裕がある。ところが、長年カーナビゲーションを使ってきた達人が最高性能のシステムに買い換えた場合、エージェントのサポートを必要とするだろうか。エージェントは、広い世代に渡る多数の利用者が簡単に手に入れられる普及機モデル、つまり価格帯が低い製品にこそ搭載されるべきである。なぜなら、エージェント技術がより多くの利用者に体験され、認知されることによって、その機能を付加価値ではなく、基本機能の一部として搭載されるというシナリオにつながるからである。

ところで最近では、アプリケーションが小さなデバイス上で最大限のパフォーマンスを上げるために、またハードウェア資源の少なさを補う手段として、ネットワークアクセスを利用するシーンが増えてきている。市場投入後の利用者負担費用の代表的なものが、ネットワークアクセスに要する通信費である。エージェントもインターネットアクセスを効率的に活用することで、端末のみでは実現し得ない機能を持つことができる反面、結果的に多額の通信費を利用者に負担させる可能性が強くなる。ここで注意すべきことは、負担金

額が利用者意識の範囲を超えたとき、エージェントは大きく信頼性を失うことになる。したがって、民生応用においては、通信費用のかかるネットワークに依存するエージェントの利用は、必要最低限にするべきであろう。

③エージェントの存在形態について

民生製品に搭載されるエージェントの形態には、完全な機能モジュールとしての位置付けと、利用者の相手役を担うインタフェースとしての二通りが考えられる。これらの複合型が搭載されることが望ましいが、ユーザインタフェースが限定された小型オーディオ機器など、製品の基本性能によっては一方のみが必要とされる場合も多い。

両者の間には、エージェントがもつべき特徴と評価基準について以下の違いがある。

- 1) 機能モジュール型
 - a) 利便性志向
 - b) 付加価値的であっても明確な効果
- 2) インタフェース型
 - a) エンターテインメント志向
 - b) 利用者主観による評価

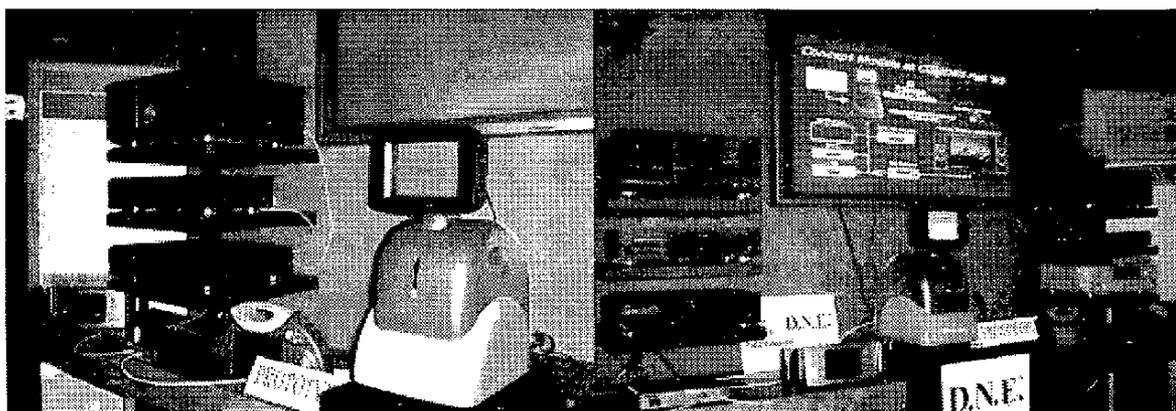
機能モジュール型は利便性を追求するものであり、将来的には機器の性能をエージェント基盤全体として支えることができる。例えば、利用者からは“見えない”複数のエージェントが、製品の機能を担当するもの、従来の機能をエージェント化したもの、他の機器とのネットワーク接続を保証するものなど、各機能をタスクとして担当する。そして、従来は複雑に関係していた複数の機能群の関わりを、エージェント間インタフェースを介して分離し、ある機能に不具合が発生した場合には、その状態を回避し、修復するエージェントが事態を治める。その後、障害要因と修復記録が利用者あるいは製造メーカーに報告される。結果として、平行して動作している他の機能は正常状態を保ち、製品の動作が保証されることになる。

一方、インタフェースとしてのエージェントは、利用者との直接的なインタラクションを受け持つため、視覚的な印象、インテリジェンスを感じさせる動きが求められる。そのパフォーマンスに対する評価は、各利用者の好み、感性といった主観的尺度で決定されるため、製品としての導入時期には慎重を要する。なぜなら、“流行”という要素が製品寿命を大きく左右する場合があるからである。

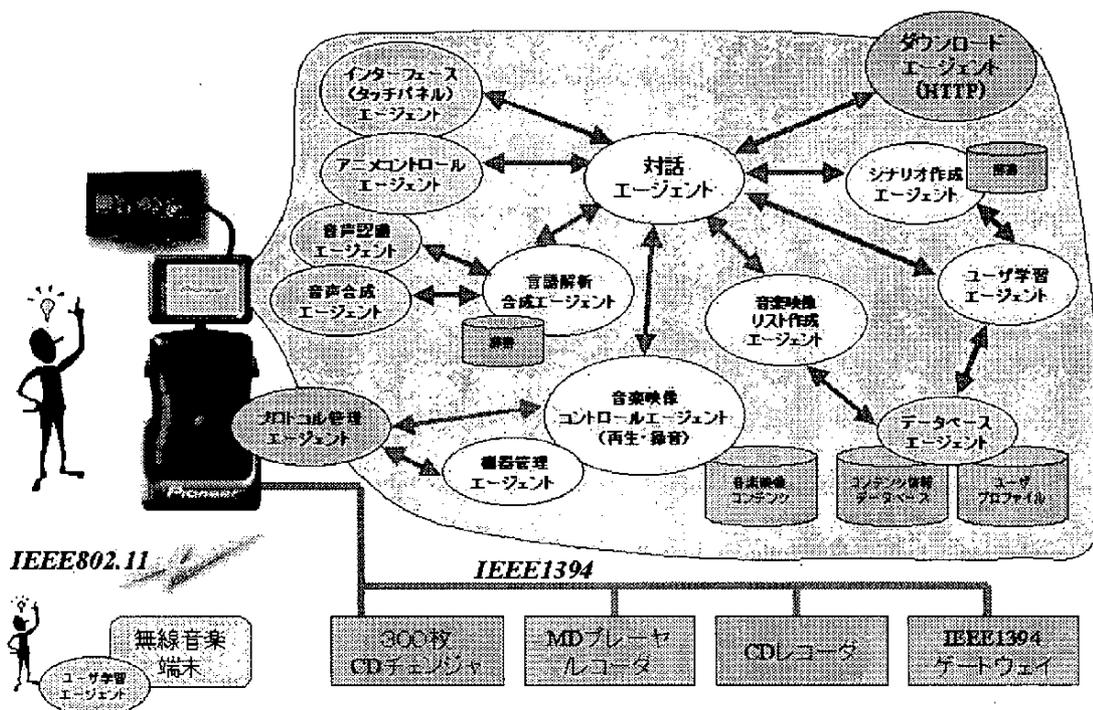
ところで、いつでもどこにいても身近な存在としてのエージェントは、一般利用者の所有物であってもよい。エージェントが実際は仮想的な存在でありながら、製品を実体とした物理的な存在を感じさせることができれば、一般に人々がもつ、“機械というものは機械であり、インテリジェントであるはずがない”という先入観を劇的に排除することができる。身近な民生機器がロボット化していくという発想があっても良いだろう。

(5) エージェントシステム K3

ここでは、著者らが試作を行ったエージェントシステム K3 [1] (以下 K3) について説明する。K3は、本体に大容量のハードディスクを内蔵した家庭内 AV サーバであり、IEEE1394 プロトコルで接続された複数の家庭用 AV 機器の運用と操作、コンテンツを含めた管理を行う。また、K3 はマルチエージェントシステムとして、ユーザインタフェースと各種サービスをエージェントの協調動作によって実現する。図表 3.3.6-1 に実際のシステムを、図表 3.3.6-2 にシステム構成と実装したエージェント群を示す。



図表 3.3.6-1 WinterCES2000 での展示風景



Corporate R & D Laboratories Copyright © 2001, Pioneer Corporation. All rights reserved.

Pioneer

図表 3.3.6-2 K3 におけるシステム構成とエージェント群

①基本性能

K3 サーバ : Windows98SecondEdition、18GBHDD、タッチパネル付き LCD

IEEE1394、IEEE802.3、IEEE802.11 対応

音声認識合成、MP3 音楽再生、MPEG2 動画再生機能

300 枚 CD チェンジャ、MD プレーヤ/レコーダ、CD プレーヤ/レコーダ

: IEEE1394 対応

IEEE1394/アナログゲートウェイ (アナログ音声出力)

IEEE802.11 対応 MP3 再生無線端末 (K3 内蔵コンテンツにアクセス)

②エージェントシステムとしての特徴

K3 を前にした利用者は、エージェントと音声対話をしながら好みの音楽映像を探し出し、楽しむことができる。また、エージェントは利用者の音楽嗜好をもとにさまざまな音楽映像リストを動的に作成し、利用者に推薦する能力をもつ。難しい機器操作はいっさい必要とせず、利用者は K3 が保持する音楽映像コンテンツと、IEEE1394 経由で接続された他の機器に存在する音楽コンテンツを、エージェントを通じてシームレスに再生、録音をこなすことができる。

次にエージェントが提供するサービスを列挙する。

- 1) マルチモーダル機能
- 2) 操作代行機能
- 3) ユーザプロファイル管理機能
- 4) FIPA '97 仕様準拠エージェントプラットフォーム

マルチモーダル機能としては、入力手段として英語、日本語対応音声認識と、タッチパネル操作を、エージェントの動作結果の出力には、音声合成、アニメキャラクターの吹き出しの組み合わせで実現している。また、音声対話は連続単語認識の Grammar 制御と、text-to-speech を利用した擬似的な自然言語形式を用いている。音声認識結果の意味記述には独自の中間スクリプト言語を使用し、言語の種類を吸収している。またこの中間スクリプトは、音声以外の入力の記述と、音声出力用のテキスト生成における指針にも使用している。なお、会話を作り上げるシナリオはモジュール化された木構造、再帰構造となっており、動的に会話のロジックを組み合わせることも可能である。

以下にシナリオの一部を示す。

```

利用者) Hello K!
K3)      Hi There ! What's your name ?
利用者) I'm Tim !
K3)      Hello Tim ! How's it going today ?
利用者) I'm fine today.
K3)      That's great ! Let's enjoy some music together !
利用者) What's your recommendation ?

```

K3) Rock music is pretty well. Does that sound good ?

利用者) Well, I want something different.

K3) No problem. How about dance music ?

利用者) Sounds good !!

K3) OK Tim ! You can trust me ! Great choice !

(ダンス音楽のプレイリスト作成後、一曲目を再生)

利用者) I'm done for now ! Thanks !

K3) That's all for now. See you later ! Bye !

操作代行機能には、IEEE1394 機器管理、操作、K3 内蔵コンテンツの操作およびデータベース管理が含まれる。特に音声再生系、ハードウェア制御はエージェントでラッピングを行っている。

ユーザプロファイル管理機能は、利用者が過去に指定した嗜好情報をデータベース化し、上記のシナリオにみられる音楽映像推薦サービスに反映する。また、会話シナリオの選択、条件分岐を行うための利用者名、嗜好情報の入出力を管理する。

以下に、各エージェントのタスクを簡単に記述する。

- a) インタフェースエージェント： タッチパネル入力ラップ
- b) アニメコントロールエージェント： アニメ動作制御
- c) 音声認識、音声合成エージェント： 音声認識合成エンジンラップ
- d) 言語解析合成エージェント： 認識音声⇄中間スクリプト⇄テキスト合成
- e) 対話エージェント： 会話シナリオ管理
- f) 音楽映像コントロールエージェント： コンテンツ再生・録音制御
- g) 機器、プロトコル管理エージェント： IEEE1394AVC コマンド、IEEE802.11 管理
- h) リスト作成エージェント： 動的音楽映像リスト作成
- i) シナリオ作成エージェント： 辞書化されたシナリオ群を利用した会話のロジック作成
- j) ユーザ学習エージェント： ユーザプロファイル(嗜好情報)管理
- k) データベースエージェント： データベースアクセス管理
- l) ダウンロードエージェント： インターネットアクセス

これらのエージェントの管理、実行環境としては、FIPA'97 仕様の一部⁵にもとづいたエージェントプラットフォームを実装している。

③エージェントを利用したメリットと課題

K3 エージェントシステムは、AV エンターテインメントを題材に利用者好みの音楽を推薦、再生といった機能性と、音声対話を利用した日常会話的なシーンを融合したことで、エー

⁴ <http://www.fipa.org/>

⁵ FIPA'97 仕様に規定された AP プロトコルとしての IIOP は実装していない。

エージェント利用による楽しさを提供することができた。また、マルチエージェントによるシステム動作の独立化を図ったことによって、コンテンツの再生録音中といった機器制御が行われている場合にも、K3 は常に利用者からの要求を受け付ける状態を維持することができる。万一、機器側に例外が発生した場合にも、システムはデッドロックを起さずに必ずレスポンスを返すという、利用者側への安心感を提供する。

一方で課題も残された。ハードウェア資源の乏しい組み込み機器において、自然な音声対話を実現することは現時点でかなり難しい。また、家庭用 AV 機器を楽しむために、あえて音声対話を使用する必要性についての議論が少なくない。したがって民生機器にエージェントを応用する際には、ユーザインタフェースが重要な側面でありながらも、エージェントとしてその意義とパフォーマンスを確立したものから個別に実装していくことが、世の中にエージェント製品を送り出す早道である考えられる。実際には、市場導入コストに見合う利用者ニーズと満足が得られる商品の企画力が求められる。

(6) まとめ

エージェントの民生機器応用においては、まず組み込み機器へのエージェント実装技術を確立する必要がある。極めて制限されたハードウェア資源の中でエージェントの特徴を発揮するには、機器の基本機能とネットワーク資源を効率的に利用し、それらの動的な組み合わせによって利用者の意向に合った動作を行う必要がある。

ただし、エージェントは必ずしも技術的に高度である必要はない。一般利用者に求められ、受け入れられるエージェントの本質は、利便性とエンターテインメント性の絶妙なバランスであり、その存在を利用者に意識させるとともに製品価値の向上に貢献することが本来の目的である。今後は多くの民生機器にエージェントが搭載され、広い世代の人々がエージェントとともに身近な製品をより楽しく、簡単に利用できるような生活シーンの創造が期待されるだろう。

参考資料、URL

- [1] K3 紹介ページ <http://www.zdnet.co.jp/news/9911/17/homenetwork.html>

3.3.7 放送におけるエージェント活用への期待と課題

(1) 背景

2000年12月にBSデジタル放送が開始され、放送分野でも大量の情報が供給される時代を迎えた。これは将来高画質・高機能そして多チャンネルによるさまざまな放送サービスが期待できることを意味する。

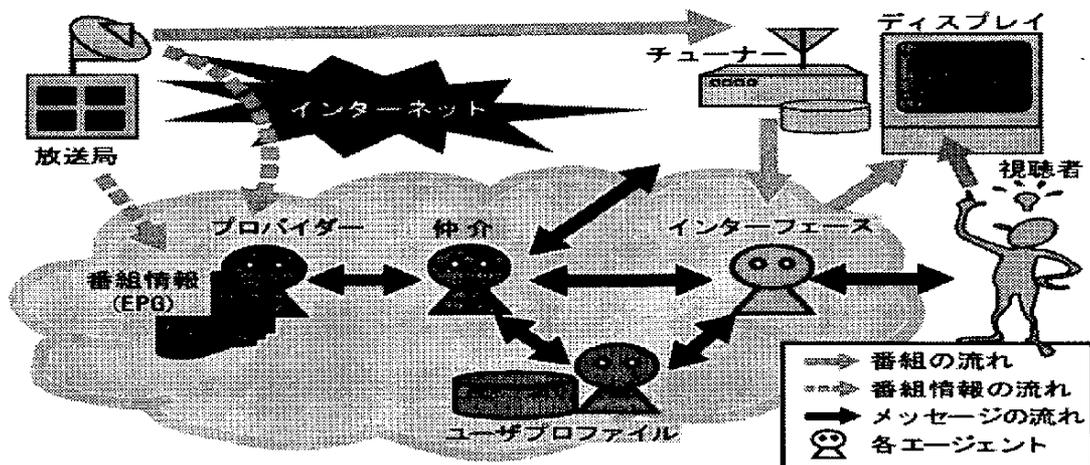
それに伴い番組制作者が扱う番組素材・データの量も激増し、また番組視聴者が選択・視聴できる番組サービスもより多様化すると予想される。そのため煩雑が予想されるこの分野においても、限られた時間枠でいかに効率よく情報（映像音声素材、番組データなど）処理ができるかが問題となってきた〔1〕。

そこでその解決策として、エージェント技術を利用した研究開発が進められている。エージェントは番組制作から、受信までの放送システム全範囲に適用できるような柔軟性を持っていると考えられる〔2〕。すなわちエージェントがユーザ（番組制作者、番組視聴者など）の嗜好やニーズを把握してタスクを実行し、その結果得られた情報やデータをわかりやすい形態でユーザにフィードバックすることが可能と考える。これにより一連の番組制作や番組受信処理において煩雑な作業を減らし、ユーザにやさしいシステムが期待できる。ここでは、放送におけるエージェント技術の役割と期待ならびに今後実用化するための課題を述べる。

(2) 現状 ～FACTS システムを例に～

他の分野と同様、放送におけるエージェントには、ユーザ（人間）に対して、「人にやさしい」機能を提供することが求められる。すなわちユーザとシステム（コンピュータなど）とを効率的に結びつける働きが必要である。

放送システムで利用するために必要なエージェント技術は、エージェント自体の実現に必要な一般的な技術と放送システムに特化した技術との2つに大きく分けられる。前者はプラットフォーム、あるいはミドルウェアレベルにおいて、ネットワーク分散処理や学習・協調機能の要素技術を取り入れる必要がある。



図表 3.3.7-1 FACTS システムの概要図

また、後者の放送システムに特化した技術に関しては、効果的な番組制作・番組視聴を実現するための人工知能・自然言語処理・音声認識合成などを要素技術とする新しいアプリケーションレベルの開発が必要となる〔4〕。さらに放送規格（放送法などの法規や ARIB：電波産業会などの規格）に準じた放送施設、放送波などにも対応したものが必要である。

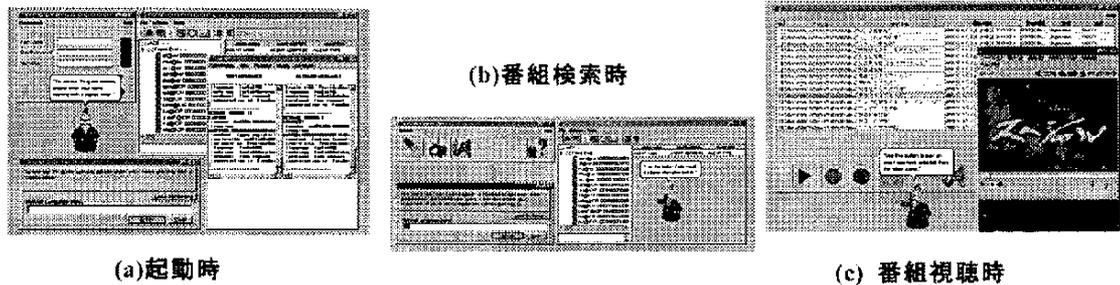
これらをもとに、NHK 技研では、欧州連合のプロジェクト FACTS (FIPA Agent Communication Technologies and Services) の参加を通じて (1998/3-2000/2) 放送にエージェント技術を取り組んだ実装システムを試作してきた〔7〕〔8〕。以下、試作したテレビエンターテインメントシステム（以下単に FACTS システム）を例に、その現状について紹介する。

このプロジェクトは、もともとエージェント国際標準化組織である FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) のフィールドトライアルとして、エージェント間の相互運用性を確保するために規定した標準仕様を、検証することを目的として行われた〔9〕。そしてこのシステムが目指したコンセプトは次のとおりであった。

- 1) 当時の FIPA 準拠のエージェントシステムを設計し、エージェントを使うことでのメリット・デメリットを明確にする。
- 2) ユーザの嗜好情報を、プロフィールに明記されたものばかりでなく、潜在的な好みと思われるものも引き出す働きを付加する。
- 3) ユーザとのデータのやり取りを容易にするためのユーザインタフェースの設計を工夫する。またシステムの状態が明示的に把握できるような支援機能を導入する。
- 4) 実際の放送局からのサービスをシミュレートして、ユーザがテレビを実際に視聴するようなイメージを与える。

図表 3.3.7-1 は、FACTS システムの概要図である。このシステムには、各番組の内容を記述した EPG (Electronic Program Guide：各番組の内容を記述した電子番組情報) と、視聴者の嗜好や興味を記述したユーザプロフィール情報が用いられている。また、約 20 種類の異なるエージェントが構成され、ユーザプロフィールの自動学習、CG キャラクター・GUI や自然言語インタフェースの提供、異なるエージェントプラットフォーム間の通信のサポートなどを提供している。

図表 3.3.7-2 は、FACTS システムの実行画面の様態である。まず起動時にログインダイアログと管理画面などが現れる (図表 3.3.7-2(a))。左上のログインダイアログにユーザの名前を入力することによって本システムを利用することができる。このときキャラクターを利用したガイドを使ってシステムの使い方などの説明が受けられる。ユーザのデータを入力した後に、検索メニューが現れる (図表 3.3.7-2(b)の左上)。ここでは、ユーザプロフィールに従った番組検索、プロフィールにとらわれずユーザモデルを用いた番組検索、そしてユーザが条件を加えて手動で行う番組検索がアイコンで提供されており、ユーザの希望に応じたモードで行うことができる。番組検索の結果、番組一覧表が提示され、そのなかから番組を選ぶことにより、実際に番組コンテンツを再生・視聴することことができる (図表 3.3.7-2(c))〔5〕。



図表 3.3.7-2 システム画面図

FACTS システムの特長や課題については次項で述べるが、FIPA のフィールドトライアルとしての役割としての目的は、概ね達成されている。また、放送への応用として世界で初めて試作・実装を行い、2000年4月、FIPAのエージェントアプリケーションコンテストで最優秀を獲得した。FACTS システムはプロジェクト終了後も、それらをもとにエージェントプラットフォームの改良、ユーザに特化するエージェント構築を進め、番組制作支援システムやヒューマンインタフェースの開発を推進している。

エージェントテレビに関連するプロジェクトには FACTS のほかにも、DICEMAN (Distributed Internet Content Exchange with MPEG-7 & Agent Negotiations) があげられる。FACTS が、FIPA がエージェントの相互運用性を確保するために提案したエージェント規格の正当性を立証することを目的として、エージェントをテレビに実装する実験を行ったのに対し、DICEMAN は、MPEG-7 の規定に従って記述されたさまざまなコンテンツに対して、柔軟なコンテンツの検索を実現する手段としてエージェントを利用し、ユーザの好みに適した番組選択の実現を目指している [6]。MPEG-7 などのコンテンツに対する記述情報は、エージェントシステムの信頼性などを高めることができるため、このようなメタデータを積極的に活用することは、放送分野においても重要であると考えられる。

(3) FACTS システムの特長と課題

FACTS システムでは、プロジェクト内での検証実験や内外のデモ発表などを通じて、次のような特長が得られた。

- a) FIPA 準拠のエージェントプラットフォームである JADE を採用し、これが提供する AMS (Agent Management System)、DF (Directory Facilitator)、ACC (Agent Communication Cannel) を活用することで、エージェントの機能やライフサイクルなどの管理、エージェント間通信が容易にできた [12]。
- b) リアルタイムに EPG を提供する複数の番組プロバイダを用いることで、蓄積されている番組コンテンツと合わせてより多くの番組視聴を可能にした。また番組プロバイダもユーザの契約状況に合わせて、配信媒体 (衛星放送、地上波放送など) の管理もシミュレートできるようにした。
- c) ユーザの情報を、ユーザの嗜好や興味を記述したユーザプロフィールと一般の視聴動向の統計から設定したユーザモデルとで二重化して管理した。これによりプロフィールに明記される好みばかりでなく、潜在的な好みを引き出す試みを行っている。

このうちユーザプロフィールの管理にはペイジアンネットワークを用いることで、ユーザが視聴する曜日、時間ごとの番組ジャンルデータ（ユーザが検索のために入力したキーワードも含めて）を管理・学習し、番組検索時に最も視聴すると予想されるユーザデータを提供できるようにした〔13〕。

またユーザモデルはNHK放送文化研究所などから得たユーザ視聴傾向の統計データを参考に、年齢、性別、趣味、職業、技術、番組ジャンルに対する嗜好などについてデータベース化した。

- d) ユーザインタフェースは、ユーザとのデータのやり取りを容易にするために、ダイアログ (GUI) を提供するほかに、音声認識機能を取り入れ、話し言葉などの自然言語処理にも対応した。また、ユーザの入力したデータやシステムの状態を把握できるための、キャラクターエージェントを利用した。キャラクターを利用して、ジェスチャーや顔の表情を含めたサービスは、ユーザの好みにも左右されるが、基本的にはシステムの状態やユーザへの反応を示す上では有効であった。キャラクターエージェントの動作や実際選択された番組一覧について、プロジェクト内での評価実験では、被験者の約8割がその有効性を認めた。
- e) 要素技術（ペイジアンネットワーク、番組メタデータベース、自然言語処理インタフェース、キャラクターエージェント、TVML (TV program Making Language)、MPEGプレーヤ）に担当のエージェントを常駐させ分散配置することで、個々のコンピュータの付加を低減し、相互作用を実現させ、明示的なメンテナンスを可能とした〔10〕。
- f) 他の研究機関との共同開発する際、相互接続や共通のアーキテクチャーを構築して、ACL (Agent Communication Language: エージェント間通信言語) やオントロジなどの標準仕様を共有することは、お互いの開発段階でのリエゾンをとるには効果的であった。

一方 FACTS システムを通じて、明らかになった課題については、次のようなものが挙げられた。

1) 頑強性、信頼性、機密性

エージェントプラットフォームに、すべてのエージェントが登録されているため、容易にプラットフォームがダウンしてしまうと、システムが機能しなくなる恐れがある。また個々のエージェントが頻繁にダウンして全システムが機能しなくなるようでは、実用システムとしては信頼性に欠き、利用することは不可能となる。したがってエージェントシステムの基幹要素である、プラットフォームやミドルウェアレベルでのフォールトトレランスを強化する必要がある。すなわちエージェントが持つ自律的なメンテナンス機能を強化して、システムの2重化や遠隔制御システムなどを補強する必要がある。これらは、放送局のシステムや機器を扱う分野には極めて重要な条件になる。

またFIPAのACLによるエージェント間通信も、少数のCA (Communicative Act: 通信行為) で簡易に使用されており、実際にエージェント間の交渉事については完全に対応してはいなかった。セキュリティに関しては、あらゆる放送データベースなどを利

用する際の必要な機能であるため、今後付加する必要がある。

このような課題は、エージェントがどのような既存技術や新しい技術を取り入れたらよいかを開発段階から検討し、取り組んでいくことで克服できると思われる。

2) 個人化

番組検索にユーザプロフィールとユーザモデルとの二重化を採用したことで、多彩な番組検索を可能にしたが、選択された番組リストはただ結果を羅列しただけであり、特定ジャンルに偏った画一的な番組提供になりがちであった。これは今後ユーザへの魅力を欠き、かえって興味を失わせる可能性がある。ユーザの状態や視聴時間などを分析し、それに合わせてさまざまな種類の番組を効果的に並べる、「番組編成機能」を充実させる工夫が必要である。

また魅力ある番組リストを提供するためにも、ユーザに依存した番組検索にとどまらず、全く意識していない項目を提供してより有効な情報発見を促す機能が必要と思われる。例えば政治・経済・社会面で現在話題となるトピックやキーワードを収集し、これを用いて番組検索を行うなど、新たな検索手法を積極的に取り入れることで効果が期待できる〔11〕。

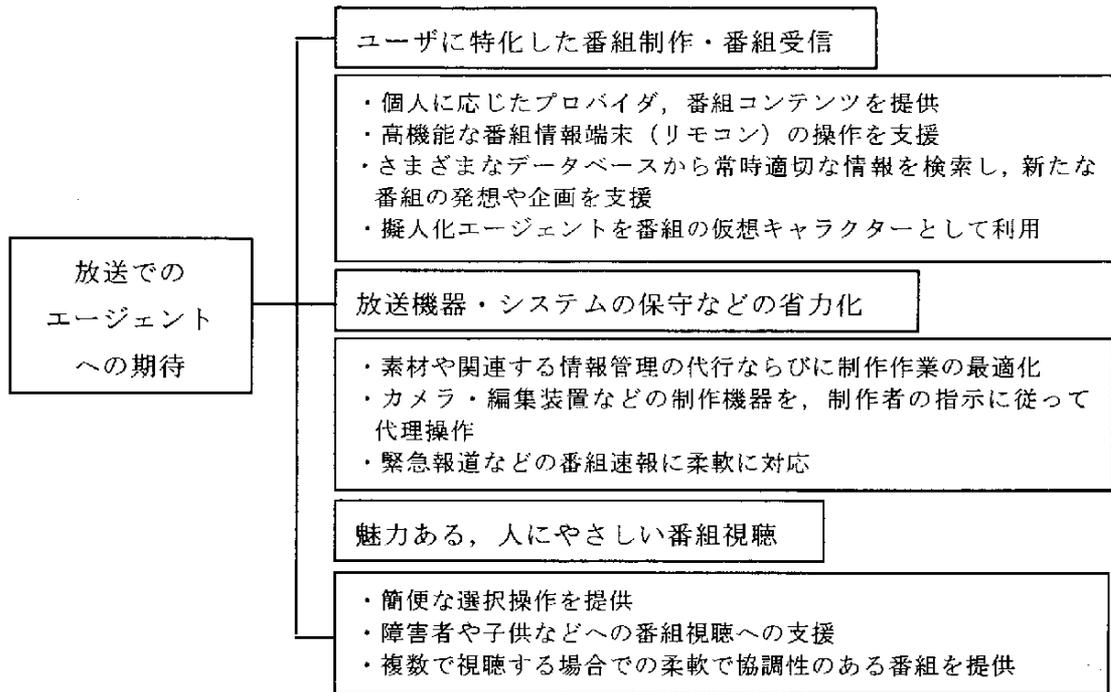
3) 規格・整備への対応

FACTS システムでは、番組プロバイダ、EPG、配送媒体などをシミュレーションすることで、現用の放送システムやテレビ受像機に当てはめて試作してきた。そして実際の放送波や受信装置（BS デコーダや CATV アダプターなど）を使用せず、インターネットや PC を利用してデモンストレーションを行っている。そのためシステムを実際に導入するためには、厳密に放送規格ならびに現行放送・デジタル放送システムに対応しなくてはならない。この件については、デジタル放送の規格化動向にも左右されるため、慎重にすすめる必要がある。

以上、FACTS システムを例として、放送での取り組みの現状とその特長ならびに課題について述べた。FACTS システムは今後のエージェントシステム開発の指針となる試作システムである。このシステムならびに FACTS プロジェクトでの経験をもとに、(4) ではエージェントがもたらす期待と展望について述べる。

(4) 期待と展望

エージェントの取り巻く現状を認識し、課題を克服することにより、放送分野でエージェント技術が期待できる展望について、ここでは特に次のような点で説明する（図表 3.3.7-3 参照）。



図表 3.3.7-3 放送でのエージェントへの期待

①よりユーザに特化した番組制作・番組受信

エージェントを基に柔軟でかつ高度な情報処理能力を持たせ、よりユーザに密着して、大量の番組メタデータから、必要な情報や興味を引く番組・素材を選択し、それらを効果的に提示する機能が期待される。

a) 個人に応じたプロバイダ、番組コンテンツを提供

ユーザが視聴する番組の中には、あらかじめ番組プロバイダと契約した上でサービスを受けられるものが今後増えると予想される。こうした契約条件やユーザが持つハードウェア（衛星やケーブルといった受信手段）が多様化するのに対し、それぞれのプロバイダごとに常駐するエージェントが煩わしい番組選択を支援することが期待できる。またそれらのエージェントを通じて、番組プロバイダが自分の持つ番組コンテンツを番組宣伝することができ、新たにユーザに番組を提供したり、契約を促したりすることも期待できる。さらにはインターネットを利用して世界中とネットワークを結ぶことにより、日本ばかりでなく、世界中の番組プロバイダと契約して番組コンテンツを得ることも期待できる。

b) 高機能な番組情報端末の操作を支援

今後放送サービスは多様化していく中で、普段利用しているテレビのリモコンも、数多くのボタンやGUIを駆使した、「番組情報端末」として進化するものと思われる。そして多彩な機能を十分に活用しながら、サービスを楽しもうとするユーザに柔軟に対応するような、優れたユーザインタフェースやプレゼンテーションツールが必要となる。エージェントは、ユーザに合った操作方法を柔軟に調整させることで、使いやすい番組情報端末を提供できるものと思われる。

c) さまざまなデータベースから常時適切な情報を検索し、新たな番組の発想や企画を支援
今後デジタル放送において、番組で取り上げる情報量が増えるに従い、ユーザ（番組制作者）は、番組を制作する段階で自分の持つ情報と同様に、他者のさまざまなデータベースを活用して、情報収集にあたらなくてはならないことが予想される。しかしながらそれぞれデータベースの仕様は多種多様であり、個々に直接接続して作業を行うのは煩雑である。エージェントは各データベースを担当するエージェントたちと通信することで、ユーザが必要とする情報を引き出してくれる可能性がある。

d) 擬人化エージェントを番組の仮想キャラクターとして利用。

(3) の特長で触れたが、擬人化エージェントを利用することで、キャラクターが持つ表現、ジェスチャーや声によって、番組での特殊効果が期待できる。この手法は、既にいくつかの番組コンテンツにも応用されてきている。キャラクターは画面の中にいるアニメーションの場合もあれば、テレビ受像機の外に存在する人形（あるいはロボット）である場合もある。

②放送機器・放送局システムの保守・管理および更新の省力化

放送システムの機器管理などにもエージェント活用が期待でき、広く放送分野においても、有効で将来性のあるものと期待される。

1) 保有する素材や関連する情報の管理の代行ならびに制作作業の最適化

ユーザ（主に番組制作者）は、自ら保有する番組制作に利用する情報や、番組素材をほとんど自分自身で管理することが多い。そのためデジタル化に伴い、情報量も多くなると人間で管理できる量を超える可能性がある。エージェントはユーザとデータベースとの中間にたつて、煩雑な管理作業を代行することが期待できる。

2) カメラ・編集装置などの制作機器を、番組制作者の指示に従って代理操作

番組は、番組制作者（狭義で番組ディレクターを指す）のほかカメラマン、音声技師、スイッチャーなど複数のスタッフで制作されている。しかしながら、屋内スタジオでの簡単な番組であれば、カメラ・編集装置などの放送機材をエージェントが操作することが期待できる。ユーザは操作卓でエージェントを利用して作業することで、制作コストなどの省力化が期待できる。

3) 緊急報道などの番組速報に柔軟に対応

エージェントはリソースの確保、環境変化への適応、与えられたタスクを自律的に遂行する能力を持っている。これを応用することにより、突然飛び込んできた情報を瞬時にユーザへ通知したり、ユーザが後で見そうな番組をホームサーバなどの大容量の記憶装置へ、適当に録画したりする機能なども実現可能となる。

③魅力ある、人にやさしい放送サービスの提供

エージェントは個人に特化した高機能な操作を提供するだけでなく、デジタルデバイスに対応するため、すべてのユーザに対応できるようなサービスを提供することが期待できる [3]。

a) 簡便な選択操作を提供

複雑な操作をユーザの代わりにエージェントが行うことで、とにかくテレビの電源スイッチをつければ、自動的に自分の好きな番組を選択して提示するといった「おまかせ機能」を提供することが可能になる。これは「機能がすぎるリモコンや番組情報端末の操作はどれも苦手」という人にとって、やさしいテレビになることが期待できる。

b) 障害者や子供などへの番組視聴への支援

特定のプロバイダを指定することで、特定のユーザにとってより有効な番組視聴が可能となる。たとえば、高齢者や視覚・聴覚障害者には字幕や副音声のサービスをもつプロバイダを自動的に選択したり、外国人に対しては、外国語や二か国語放送を扱うプロバイダを選択したりすることが期待できる。さらに受信した番組コンテンツのなかから字幕や副音声をエージェントが直接操作することで、ユーザに合った声の速さや高さを自律的に調節することが期待できる。

また子供に害を与える番組を親があらかじめカットすることが期待できる。これは「Vチップ」などの従来の番組フィルタリング装置と比べ、個々の個性ある子供に対し柔軟に設定を変えることができる。エージェントは、大人が見ていた番組を子供が加わった時点で即座に他の番組に切り替えることもできると思われる。

c) 複数で視聴する場合での柔軟で協調性のある番組を提供

自宅のテレビを家族で見るときには、その時間帯によってチャンネル争いが起きそうになることを事前に把握し、家族全員で楽しめる番組を提供することが期待できる。

(5) 提言：エージェント技術とその応用を促進する手段／方策

ここでは、デジタル放送における番組制作・送信から受信までのシステム開発を対象に、エージェントを効果的に応用するための手段や方策について述べる。

①番組制作・送信側

a) 各放送機器を連結・管理する手段としてのエージェントプラットフォームの構築は、既存のシステム、規格に十分対応し、準拠できるような柔軟性を最優先する。

各制作機器／情報データベース／送信・受信装置など既存のシステムどうしを融合するため、それぞれの機能を能率的にエージェントシステムへ伝達するラッパーエージェントを開発することが有効であると考えられる。多種多様な機器間でゆるやかな連結を図ることで、エージェントの活動できる範囲を広くし、その動作状況を把握しながらシステムを構築することが可能となる。これらのエージェントは、人間の作業を裏で支える基幹的な技術として設計されるため、十分な信頼性、頑強性、協調性が必要になると考える。

b) 既存の非エージェント技術を要素技術として最大限に活用し、全体としてエージェントシステムを設計する。

通信プロトコルやデータベース管理においては、すべて完全独自の規格・設計でエージェントを作成するような「ピュアエージェント化」をはかるのではなく、要素技術として使える既存技術を十分に活用して設計するのが望ましい。例えば前述のラッパーエージェントを使うことにより、番組データベースのインタフェース部分のみをエージェ

ントがラッピングすることで、既存のシステムを活用することができ、開発の省力化が期待できるものと思われる。

またエージェント技術の思想を啓蒙する1つの政策(?)として、開発段階からエージェントをイメージして設計し、実装を行う手法が考えられる。すなわちエージェントシステムをモデル化し、それをイメージしながら開発を進めることで、システムにどのようなエージェント機能を盛り込むべきか目的意識を明確にすることができると考えられる。

- c) 1局の放送事業者が単独で進めるのではなく、通信・放送機関はもとより、あらゆるジャンルの研究機関と共同で進めていく。

閉鎖的な市場であった放送業界も近年は緩和化が進められ、通信と放送との融合がささやかれるようになった。放送に関する垣根が低くなり、異事業者による放送サービスへの展開が進められてきている。その一方放送事業者においても、情報技術革新が比較的進んでいる通信分野の技術を導入する機会が増えてきた。エージェント技術を放送において普及させるには、番組を提供するあらゆる放送事業者と連携して開発を進めなければならない。エージェントがグローバルなネットワークシステムを構築するためには、もはや各研究機関が独自に開発することへの限界が感じられる。既存システムやロケーションにとらわれないエージェントを今後共有していくことは、共同開発を進める有効な手段になると考える。

②番組受信側

- 1) 既存のヒューマンインタフェース技術を融合しながら、ユーザにやさしく番組視聴を促すようにする。

番組を視聴するさまざまなユーザに対応するためには、自律的なユーザプロフィールやユーザモデルの管理、ユーザの生理的状态を感知できるようなセンサーなども含めるような、インタラクションを柔軟に行えるヒューマンインタフェースが必要である。これらは既に個別に開発されてきている視聴覚や触覚を扱うようなマルチモーダルの要素も取り入れていくものと思われる。それらをエージェントによってラッピング/融合することで、全体としてマルチモーダルのヒューマンインタフェースを構築することがより効果的であると考えられる。

- 2) エンターテインメント的な分野でエージェント技術を導入する。

テレビのリモコン/番組情報端末や番組コンテンツそのものに使われるGUIやキャラクターは、管理・制御といった放送局の基幹的な部分に比べて、比較的頑強性や信頼性を必ずしも厳しくすることがないため、リスクが少ない分野と考えられる。そこでユーザが興味をひくような、エンターテインメント的な効果を持つ擬人化エージェントを活用したアプリケーション開発を、展開することが期待できる。そこで擬人化エージェントの働きを持つような、アバタなどアニメーションなどのアプリケーションを使うことにより、ユーザにインパクトを直接与えることができる。このようなアプリケーションは放送においては既存のものが少なく、比較的開発余地があり、新しい技術としてエージェントに取り入れられるものと期待できる。

③統括

- a) 放送分野においてもエージェントは黎明期であることを認識し、エージェント機能のどの部分を取り入れるべきかを見据える。

エージェントは万能であると考えられるのは、理論上抱える機能が豊富にあり、あらゆる分野に適合できる可能性があると考えられるためである。理論に関しては、以前から提唱されてきているが、実装段階ではまだ十分に実現されているとはいえない。したがって理想と現実の格差を把握したうえで、過度にエージェントに対して期待をすることは危険である。放送システムについても、どの部分に導入するかどうか、現用システムの問題点とエージェントが可能とする効果とを照合した上で進めるべきである。エージェントは形態や特徴を多様に設定できる柔軟性があることから、余分な機能を持たないスリムな設計を維持することが望ましいと考える。

さらに学会や標準化機関などで、開発段階から過度に規格を策定することは、エージェント開発への門戸を狭くする恐れがある。まだ確固たる成果物、アプリケーションが普及していないと思われる現状において、理想のエージェント論に忠実に準拠するもののみを厳密に「エージェント」として認めることは、開発者にとって大きな負担とリスクを負うことになり、避けるべきであると考えられる。

(6) まとめ

本項では、放送分野においてエージェント技術を導入するにあたり、現状、課題、期待展望、提言について、主に NHK が参加した FACTS プロジェクトから得た経験を中心に述べた。エージェントの開発は、エージェントそのものを「育てる」ばかりでなく、放送技術者をはじめ放送に関わるあらゆる人々にとって、「エージェントに関する知識・理解を広める」役割を持つことを意識する必要があるのかもしれない。

今「エージェント」が脚光を浴び、放送分野においてもその活用が期待され、効率のよい番組制作手法と新たな受信サービスの提供を可能にする次世代技術として検討されている。エージェントによる新たな技術革新の到来を期待したい。

参考文献

- [1] 金, “デジタル放送とエージェントテレビ”, 次世代ネットワークと産業フロントティア情報技術に関する調査研究報告書, pp. 50-55(2000)
- [2] 金ほか, “放送がマルチメディアとエージェントに出会うとき”, テレビジョン学会誌, Vol. 49, No. 11, pp. 1475-1481 (1995)
- [3] 金, “エージェント技術の放送への応用”, 映像情報メディア学会, Vol. 52, No. 4, pp. 447-451(1998)
- [4] 村崎ほか, “エージェントテレビ”, 情報処理学会誌 Vol. 40, No. 7, pp. 693-697(1999)
- [5] 村崎ほか, “エージェントを応用した次世代テレビエンターテイメントシステム”, 信学技報 AI2000-25(2000)
- [6] 柴田, “MPEG-7 の規格化計画”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 53, No. 4, pp. 498-503(1999).
- [7] FACTS, <http://www.labs.bt.com/projects/facts/>

- [8] FACTS- AI, <http://sharon.cselt.it/projects/facts-ai/>
- [9] FIPA, <http://www.fipa.org/>
- [10] TVML, <http://www.str1.nhk.or.jp/TVML/index.html>
- [11] Yamada, I. et al: "Topic Event Detection using Japanese News Articles", NLPRS1999, 375-380(1999)
- [12] Bellifemine, F. et al. : "JADE-A FIPA-Compliant Agent Framework", In Proceedings of PAAM99, pp.97-108(1999)
- [13] Cattoni, R. et al : "Evaluation the FIPA standards on the field: an audio video entertainment application" , In Proceedings of IAT ' 99 (1999)

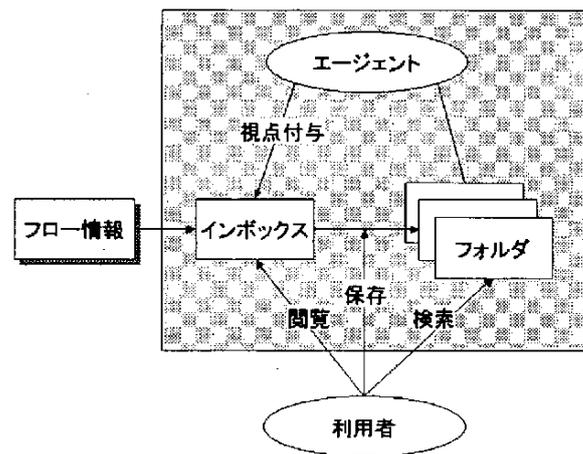
3.3.8 情報獲得支援へのエージェント技術の応用と期待

インターネットの普及により種々の情報へのアクセスが容易になり、さらに、携帯機器や無線通信技術の進歩により、欲しい情報をいつでも入手できる環境が整備されつつある。実際、GPSやPHSの位置情報サービスを利用して位置情報に基づいた情報提供を行なうサービスもあらわれている。その反面、情報の種類や量が膨大になったことに伴い、ユーザが真に必要な情報を容易に獲得できないという問題が生じている。

この問題への解決策として、エージェントにユーザの嗜好や属性を学習させ、それにもとづいて情報を提供させたり、エージェントにユーザの状況を認識させることにより状況に応じた情報をタイムリーに提供させたりすることが考えられる。すなわち、ユーザに特化した情報提供をエージェントに行なわせることによって、ユーザの情報獲得を支援できるのではないかということである。本項では、エージェント技術のアプリケーションレベルの応用として、情報獲得支援というドメインへの適用について、筆者らの行なった研究開発事例を紹介する。

第一の事例は情報収集・活用支援システムFit (Flexible information tracking system)である〔1〕。Fitはフロー情報(新聞記事のように刻々と新情報が提供される情報)を対象として、ユーザの情報獲得活動を支援するシステムである。

フロー情報では、ユーザが興味や目的に応じて継続的に新しい情報を収集し(収集フェーズ)、必要な情報は保存しておいて後で活用する(活用フェーズ)、という利用形態が見られる。こうした利用形態では、ユーザの興味や情報の見方(これを「視点」と呼ぶ)が一般に時間とともに変化する。Fitでは視点の変化に対応することにより、収集フェーズ、活用フェーズ各々の作業を支援する。



図表 3.3.8-1 Fitの構成

図表 3.3.8-1 に Fit の構成を示す。収集フェーズでは、エージェントがフロー情報を監視し、新しい情報があればその中からユーザの視点に合致する情報を選別し、視点ごとに分類してインボックスに提示する。これによりユーザが情報を探し出す負荷を軽減する。ユーザは必要な情報を保存する場合、各視点に対応したフォルダに保存する。この際、エージェントは提示したもの以外にも適切な視点の候補を提示して保存操作を支援する。こ

これは特に視点の数が多く場合に効果的である。もちろんエージェントによる視点の付与は全て正しいわけではないが、これらの支援機能は収集フェーズにおける時間短縮に寄与することが評価実験により確認されている。

活用フェーズでは、フォルダを一つの単位として検索する機能を提供する。活用時には、単独の情報でなく、関連する情報をまとめて利用することが多いので、この機能は有効である。視点は収集時と活用時で一致しているとは限らないが、ある程度近似しているので、ユーザは活用の目的に合った情報を容易に取り出すことができる。

収集フェーズ、活用フェーズのいずれにおいても、ユーザは視点の変更（追加・削除・統合・分割）を簡単な操作で行なうことができる。エージェントはユーザの視点を、それまでに収集された各視点に属する事例から学習しているので、視点に変更があった場合は再学習することによって柔軟に対応することができる。

次に、第二の事例として、実空間と情報空間の双方向ナビゲーションシステム Canopy (Context-aware navigation and operation yard) を紹介する。Canopy は、インターネットカメラにより実空間の各地点を容易に移動できることを利用し、Web の情報空間と実空間とを速やかに行き来できるナビゲーションを実現したシステムである [2]。

図表 3.3.8-2 に Canopy の画面の表示例を示す。左上のフレームにはインターネットカメラ (WebView Livescope⁶) からの映像、左下のフレームには地図、右上のフレームには Web ページ⁷がそれぞれ表示される。右下のフレームでは、インタフェースエージェントがユーザに対する能動的なナビゲーションや検索の際の対話を行なう。映像と地図が実空間を表現し、Web ページが情報空間を表現している。



図表 3.3.8-2 Canopy の表示例

ユーザが実空間／情報空間のいずれかにおいて注目対象を切り替えたときは、それに連動してもう一方の空間で、その対象物が表示されるようにカメラ及びアングルを切り替え

⁶ WebView World ホームページ (<http://www.x-zone.canon.co.jp/WebView/>) 参照。

⁷ キヤノン株式会社ホームページ (<http://www.canon.co.jp/>) からの引用。

たり、その対象物に関する Web ページに切り替えたりする。また、情報空間で検索を行なうときには、現在注目している対象物のみについて検索を行なうことにより検索対象の自然な絞り込みを実現している。

ユーザの操作が暫時途切れたときには、ユーザが情報を求めている状態と捉え、インタフェースエージェントが能動的にアドバイスを提供する。この際、事前に設定されたユーザの好みに合致する内容を提示する。ユーザの注意を喚起するために、キャラクタイメージを動かし、合成音声を用いて近くの店の紹介などを行なう。

以上の機能を実現するためには、映像・地図・Web ページの各メディアで表現される同一の対象物に対応づけることが必要である。Canopy では、映像と地図、地図と Web ページをそれぞれ対応づけることにより、地図を介して三者の対応関係を自動的に求めている。映像と地図はカメラ座標系と地図座標系の相互変換により対応づける。また、地図と Web ページは、Web ページ中の HTML テーブルによって暗黙に表現されているオントロジーを抽出し、これを地図のオントロジーと統合することにより自動的に対応づける。オントロジーの統合には、筆者らが開発した事例に基づくフレームマッピング技術 [3] を使用している。インターネットのような開放型分散情報源においてはオントロジーを統一するのは困難であり、異なるオントロジーの統合技術は有用である。

本項では、情報獲得支援というドメインにおけるエージェント技術の応用事例を紹介した。こうした事例を実際のサービスに育てていくにあたっては、情報空間および実空間におけるさまざまな行動履歴からユーザの嗜好・属性を学習する技術や、適切なタイミングで適切な手段を使用して能動的にユーザに情報を提供する技術が鍵になる。また、ユーザの置かれている状況を認識するためのセンサ技術、学習によって得たユーザ情報を管理するプライバシー保護技術など、エージェント技術を有効に機能させるための周辺技術を確立することも不可欠である。

今後ビジネス分野だけでなくコンシューマ分野でもますます多種多様な情報が利用可能になり、情報獲得支援に対するニーズはいつそう高まることが予測できる。一方、このドメインにおけるタスクは比較的小規模なため、実際にエージェント技術を導入して効果を検証することが容易である。検証結果にもとづいて技術を改良し、進展させることも期待できる。こうしたことから、情報獲得支援はエージェント応用分野の有望なものの一つとして位置づけることができよう。

参考文献

- [1] Otani, Itoh, Shibata, Ueda, Ikeda: An Information Retrieval System based on Personal Viewpoints for Everyday Use, Second International Conference on Knowledge-based Intelligent Electronic Systems, 1998.
- [2] 伊藤, 大谷, 上田, 池田: 属性オントロジーの抽出と統合を用いた実空間と情報空間のナビゲーションシステム, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 6, pp. 1001-1009, 1999.
- [3] 伊藤, 上田, 池田: 分散情報源に対する情報エージェントのための事例に基づくフレームマッピング, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol. J-81-D-1, No. 5, pp. 433-442, 1998.

3.3.9 ネットワークエージェント応用における幾つかの課題

ネットワークエージェントのラフなイメージは、ネットワーク環境に接続されたプラットフォーム上で稼動し、必要に応じて他のネットワークエージェントやシステムとネットワークを介して協調・連携したり、自分が動作する場所を変更（移動）したりしながら、処理を行うというものである。その応用形態は、企業システムから個人レベルまで、あるいは、ビジネス応用からエンターテインメント的応用まで、さまざまなものが考えられる。本項では、これらのアプリケーションにおいて、その目的に即したエージェントを実現する際の幾つかの課題について、主としてそのインフラとなるネットワーク環境の観点から考察する。

(1) ネットワークエージェントを支えるネットワーク環境

複数のエージェントが協調的に動作するためにはエージェント間でのメッセージ通信が必要となる。単体のプラットフォーム上で動作するエージェントであれば、相互にやりとりするメッセージの形式や意味（エージェント通信言語 ACL）、あるいは、これらを扱うエージェントの実装言語やプラットフォーム環境に関するレベルの議論で十分かもしれない。しかし、インターネットなどの広域ネットワーク環境上で動作するネットワークエージェントを考える場合には、上記の議論に加えて、実際に ACL に基づくメッセージ通信のサービスを提供するネットワーク環境に関する議論も必要となってくる。

現在、エージェントが実装されるネットワーク上のプラットフォーム環境では、IP ベースの通信が主流となっている。その背景には、既に広範に普及しているインターネットとそのサービスの実現方式の存在があり、今や携帯端末や家電製品などにも個別の IP アドレスが割当てられる時代が到来しようとしている。エージェントの研究開発においても、例えば、KQML の実装における TCP/IP とのアプリケーションインタフェースが提供されたり、モバイルエージェントの通信基盤を IP レベルに設定するなど、既に IP レベルの通信サービスを前提としたエージェント開発やアプリケーション構築は常識となりつつある。もっとも、最近では Java 言語などのマルチプラットフォーム対応のプログラミング言語を用いたシステム実装が多く見られるようになってきているが、そこではエージェント通信などの諸機能が言語処理系によって提供されるインタフェースを用いて手軽に実現できるため、物理的ネットワークをそれ程意識しなくとも済むようになってきている。

(2) 現下のネットワーク環境における課題

広域分散環境におけるエージェントアプリケーションの実現を目指す場合、現行のインターネット環境は極めて魅力的である。これは、多種多様なプラットフォームが接続・利用されているにも関わらず、それら相互間で情報交換を行うためのプロトコルが標準化され、最近では、コンテンツ周りでも標準化の動きが活発となってきており、これらを基盤としたエージェントアプリケーションの開発や普及・展開がより容易になると考えられるからである。前述した Java 言語などはまさにこうした情報環境向きに設計されていることなども、これを後押しする要因になっているといえるだろう。

ところが、現行のインターネット環境に全く問題がない訳ではない。むしろエージェントアプリケーションを含む多様なアプリケーションを搭載する基盤としてみた場合には、

まだまだ解決すべき問題が山積しているといえる。以下、その幾つかを拾い出して考えてみる。

①ネットワークサービスの品質

現行のインターネット環境などの広域分散環境では、いわゆる「ベストエフォート型サービス」といわれるように、利用者に提供されるサービスの品質を保証することが極めて困難なつくりになっている。ここでいうサービスの品質とは、利用者に提供されるサービスの満足度、あるいはサービス利用における要求条件の充足度などを意味する。例えば、非同期通信型の電子メールやメッセージングサービスなどでは、利用者サイドの要求条件がそれほど厳しくないこともあって、サービス品質が取り沙汰される場面はそれほどない。しかし、テレビ会議やオンデマンドサービスなどリアルタイム性の高い同期型通信サービスでは、刻々と変化するネットワーク環境の影響が直接的に現れてくるため、利用者にとって快適な、すなわち利用者の要求条件を満たす状況を確保することは、専用回線などは別として、極めて難しい問題である。

現状のネットワークエージェントのアプリケーションでは、ネットワークのサービス品質が効いてくるような問題は殆ど扱われていないが、今後、実用的な問題、例えば、タイムクリティカル性の高い問題への応用を目指す場合には、エージェント処理系の処理効率如何もさることながら、ネットワークのサービス品質をどのように確保して、アプリケーションからの要件に応じてゆくかという問題について真剣に考える必要が生じてくるだろう。

現在、次世代インターネット環境の実現にむけた研究開発が世界各国で進められており、ギガビットやテラビットといった高速大容量ネットワークや帯域保証型通信サービスなども利用できるようになりつつある。そこでの重要な論点のひとつがサービス品質 (QoS: Quality of Service) といわれているが [1]、ネットワークエージェントのアプリケーション構築の立場から、そこに一石を投じることも必要かもしれない。

②異種ネットワークの接続

さまざまなエージェントの組織として実現されるネットワークエージェントアプリケーションでは、これら構成要素となるエージェント群の協調動作、すなわち相互運用性を確保する必要がある。複数の設計者がコンポーネントとなるエージェントの開発を行ったり、既開発のエージェントを利用/再利用しようとする場合には、これが大きな問題となってくる。FIPAをはじめとするエージェント技術の標準化のひとつの狙いは、こうしたエージェントの相互運用性の実現にあるといえる。

ところで、こうしたエージェント群を搭載するネットワーク環境に目を向けると、そこでも同様の問題が生じることに気がつく。すなわち、複数のネットワーク環境で稼動するネットワークエージェントが通信したり協調動作したりする場合には、これらネットワーク環境の特性、例えば、アプリケーションとのインタフェース、提供される通信プロトコル、その基盤となる通信サービスや通信方式などが互いに共通化されていることが必要である。もちろん、例えば、全てのネットワークが TCP/IP ベースの環境であれば、論理的にはひとつのネットワーク環境と同等となり大きな問題は生じない。しかしながら、個々

のネットワークにおける通信方式、ルーチング方式、サービスプロトコル、管理・運用ポリシーなどが異なる場合には、これら異種ネットワークの差異を吸収するシステムアーキテクチャを工夫したり、エージェント処理系やエージェントフレームワークなどで異種ネットワーク環境を均質な環境にみせることが必要だろう。一般に、これらは必ずしもネットワークエージェントとそのアプリケーションのみが抱える問題とはいえないが、ネットワークエージェントの効率的な相互運用性を達成する上で考慮されるべき問題であろう。

③アプリケーションからみたネットワークの管理や制御

一般に、ネットワーク環境とその上のサービス群は、利用者やアプリケーションからみて使い易く、また分かり易いものとはなっていないのが現状である。また、このことが、ネットワークが社会的なインフラとして重要であるにも関わらず、その管理や制御は一部の専門家に頼らねばならない状況を生み出す一因ともなっている。更に、インターネット環境では、そこに接続された個々のネットワークの（人手による）管理・制御はある程度可能であるとしても、インターネット全体の管理や制御は不可能であり、その結果、前述したように、サービス品質の確保などが困難となっている。また、アプリケーションなどが、ネットワーク環境の状況を察知したり、その情報に基づいてネットワークサービス利用に関する要求を送ったりする手段なども殆ど与えられていない〔2〕。

こうしたネットワーク環境上で、ネットワークエージェントとそのアプリケーションの開発を行おうとする場合、エージェントアプリケーション開発そのものの難しさだけでなく、もうひとつ別の難しさが加わることになる。すなわち、エージェントに基づくシステムでは、エージェントの非決定的／状況依存的な性質により、それらエージェントの組織として構成されるエージェントアプリケーションそのものの機能や性能は、設計段階では明確に規定することができないことが知られている。これに対して、更に、前述したネットワーク環境の管理・制御に関する問題が加わることにより、ネットワークエージェントアプリケーションの開発は、より困難なものとなることが容易に予想される。すなわち、例えば、エージェント自身の振舞いを決定する過程で、そのエージェントが置かれたネットワーク環境の状況を知る必要がある場合でも、現状では、そのための手段／サービスが与えられていないのでこれは不可能である。従って、ネットワークエージェントとそのアプリケーションを目指す場合には、アプリケーションレベルから基盤となるネットワーク環境の状況把握や（ある程度の）制御ができる機能を充実させることが必要不可欠である。

現在、こうした問題に対して、アプリケーションから制御可能な機能要素をもつネットワークアーキテクチャの研究開発（アクティブネットワークなど）〔3〕や、ネットワーク上にエージェント指向ミドルウェアの階層を設けて、アプリケーションとネットワークの柔軟な連携を実現するための研究（動的ネットワークング）〔4〕などが推進されている。

④安全性と信頼性

最近、ネットワークを介したシステムへの不正進入、情報盗用、サービス妨害などの事件が増大してきており、企業、大学、官公庁などの組織体では、より安全なネットワーク環境の整備が急務となっている。ネットワークレベルでの安全性や信頼性を高めるための

仕組みは、ネットワーク上で動作するネットワークエージェントやそのアプリケーションの設計にも影響してくる。

実際、ネットワーク上を移動して処理を実行するモバイルエージェントでは、この問題の重要性は以前から認識されており、その萌芽はテレスクリプトにおけるエージェントの認証、権限、寿命、あるいはエージェントの暗号化などの概念や技術にみることができる。現時点では、エージェントレベルとネットワークレベルでのセキュリティやセイフティーに関わる技術的な境界や差異などが余り明確化されていないが、今後、継続して検討を重ねて行く必要があるだろう。

一方、電子商取引、遠隔医療、あるいはコンピュータセキュリティなどの分野でエージェントを利用するための研究開発が進展している。前述したエージェントのセキュリティやセイフティーに関わる機能は、これらの場面で活躍するエージェントの能力と同程度に重要な要素といえる。アプリケーションの観点からみれば、エージェントに要請される自律性／目的指向性などの特性は、アプリケーションドメインごとに設定されるエージェントの安全性／安定性などの基準をクリアする仕組みとバランスよく組み合わせられた結果として得られるものともいえるだろう。いずれにしても、そのための技術や手法が与えられてこそ、資産や人命に関わる判断や処理をある程度委ねることができる信頼性を備えたエージェントが実現されることになるだろう。

(3) ネットワークエージェントアプリケーション構築の支援と推進

ネットワークエージェント技術を適用したアプリケーションの研究開発を支援・促進し、有益なアプリケーションの構築を推進してゆく上での4つのコンセプトを掲げておく(図表3.3.9-1)。

①育てる

ネットワークエージェント技術は、未だ発展途上にあるといっても過言ではなく、今後に残された課題も多い。従って、当面は、現下の諸課題の解決・克服が最重要課題といえる。また、その中に含まれる共通的／標準的な技術や枠組みを体系付けてその普及・展開をはかる標準化活動も必要だろう。これと並行して、ネットワークエージェントアプリケーション開発の過程で得られた貴重な経験に関する情報・知識を共有し、その利用／再利用を支援・促進するためのしくみ、また、ネットワークエージェントの基盤となるエージェント技術そのものの教育・訓練を支援する手段も整備してゆく必要があるだろう〔5〕。これらが効果的に連携することが、ネットワークエージェントとそのアプリケーションを「育てる」ことにつながってゆくものと考えられる。

②鍛える

ネットワークエージェントアプリケーションの開発にあたり、新しい技術を適用した効果や影響を的確に評価・検証するための手段、例えば、試験・評価の手法／方法論、標準的なテスト問題／テストデータなどを整備する必要がある。また、こうした試験・評価の結果をアプリケーション開発の過程に素早くフィードバックするために、プロトタイプシステムの設計・試作・実験・評価の各ステージを回しながらスパイラル的に設計目標に近

づいてゆくプロトタイプ指向開発プロセスが重要となるだろう。これらを基盤として、ネットワークエージェントアプリケーションをどんどん「鍛えて」ゆくことが必要だろう。

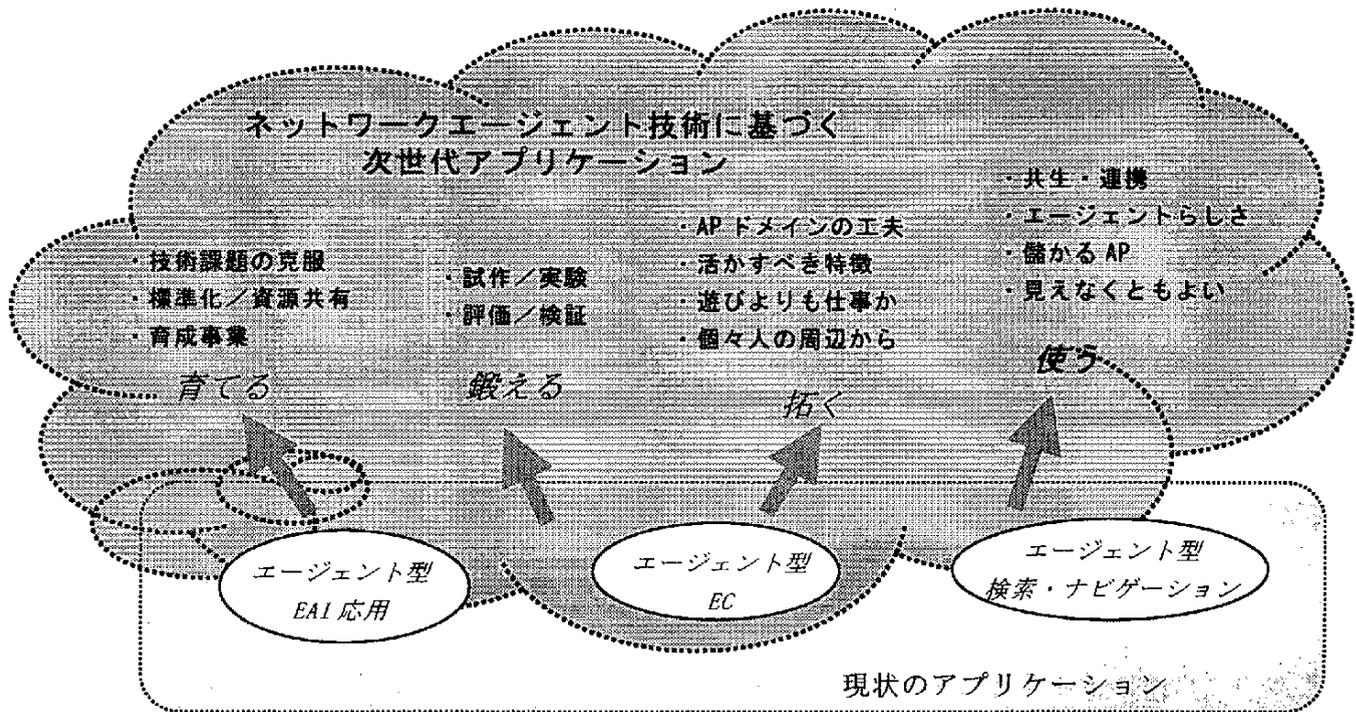
③拓く

新技術の普及・促進を図る際の手段として、当該技術の有効性や独自性が明確に把握できるキラーアプリケーションを提示することが挙げられる。ネットワークエージェント（一般のエージェントも含めて）については、未だこうしたキラーアプリケーションは見付かっていないというのが現状といえるだろう。このとき、アプリケーションの狙いやアプリケーションドメインの違いが、アプリケーションの評価に反映されることに注意すべきかもしれない。例えば、エンターテインメントを指向したアプリケーションと実務向きアプリケーションでは、ネットワークエージェントに求められる機能や性質、また利用者からの見え方などが異なってくると考えられるからである。いずれにしても、現時点では、こうしたキラーアプリケーションを含めて、ネットワークエージェント技術を適用すべき領域を「拓く」こと、またその意識をもって身近なところから実問題への取り組みを進めてみるのが重要と考える。そのためには、さまざまなアプリケーションを扱ったり、新規アプリケーションを狙ったドメイン分析などを精力的に行ったりして、ネットワークエージェントの利害得失を実地に検証してゆくことが必要となるだろう。

④使う

新しいものはなんでもそうかもしれないが、ネットワークエージェント技術はまずは試しに「使って」みるのが大事だと考える。このとき、ネットワークエージェントの機能や構成、またそれらの特徴が十分理解されているに越したことはない。しかし、その幾つかしか把握できていないとしても、それがアプリケーションにとって有益だと想定される場合には積極的に試してみることを薦めたい。その結果、ネットワークエージェントの機能や特性（「エージェントらしさ」）が効果を発揮する場面が確認・検証できれば、これが新たなアプリケーションや儲かるアプリケーションなどを「拓く」ことにつながってゆくものとする。

上述したように、「育てる」、「鍛える」、「拓く」、「使う」というキーワードは、いわばネットワークエージェントアプリケーションへの一般的な取り組みの姿勢を表現したものである。現時点では、これらを敷衍して、ネットワークエージェント技術の具体的な支援・促進・普及策を提示してゆくことが求められている。これらについては、「第4章：ビジョンと提言」を参照されたい。



図表 3.3.9-1 ネットワークエージェントアプリケーション構築の支援と推進

参考文献

- [1] P. Ferguson (戸田監訳), 「インターネット QoS」, オーム社, 2000.
- [2] Shiratori N., Kinoshita T., Sukanuma T., Mansfield G., "Towards Application-Centric Flexible Network Operation and Management", IEICE Trans. Commun., Vol. E82-B, No. 6, pp. 800-805, 1999.
- [3] S. Covaci(ed.), "Active Networks", LNCS-1653, Springer, 1999.
- [4] Sukanuma T., Kinoshita T., Shiratori N., "Flexible Network Layer in Dynamic Networking Architecture", Proc. Workshop on Flexible Networking and Cooperative Distributed Agents (FNDA00), pp. 473-478, IEEE, 2000.
- [5] 木下哲男 (編著), 「エージェントシステムの作り方」, 電子情報通信学会, 2001.

3.4 エージェントが仲介する e-コミュニケーションと e-コミュニティ

この節では電子的なコミュニケーションサービスや電子的なコミュニティサービスにおいてエージェント技術がどのように適用されるか、あるいはどのようなエージェント技術が存在し、将来どのような技術が必要になるかを議論する。そのため、議論の視点として、直接的なタスクとしての仲介、エージェントの存在する場や環境、間接的に支援するタスクとしてのアウェアネスの提供、基本的な技術としての、対話モデルや感情モデルの取り扱い、非言語処理技術、インタフェースとしてのエージェント技術などに焦点をあてる。

ここでは最終的なサービスのイメージとしてコミュニケーションやコミュニティをあげている。電子コミュニケーションは、従来の電話や電子メールの延長上にある立場からみることができる。一方、電子コミュニティについては新しいメディアによる概念であると同時に、既存の地域コミュニティ活動などにおけるコミュニケーションの性質と異なる部分がある。例えば、コミュニティとは、ある属性を共有する共同体と定義できる。従来は、地域とか趣味などの共通属性をもち一緒に活動することにより本人の参加意識が強いという特性があった。電子的なコミュニティは、電子的なネットワーク越しにそれが形成されてしまうため、共通属性への帰属意識が低い場合が生じやすい。例えば、知らないうちにメーリングリストに登録されてメールがくる事態がある。このとき、リストの管理者は、その人をコミュニティの仲間だと思っけていても、本人には帰属意識もなければあまりコミットする意志もないことがある。このように電子コミュニティでは、グループへのコミットメントの意識の強弱の度合いが広くなると考えてもよかろう。またそのスペクトラムも広がり、電子的なコミットメントにとどまるものから、物理的なコミットメントにまでつながる場合がある。このように、時間と空間を越えたコミュニティの形成を可能とし、コミュニケーションとコミュニティの新しい領域を作り出す。

3.4.1 エージェントによるコミュニケーションの仲介

人間同士あるいは人間とサイバースペースのコミュニケーションに介在するエージェントは、「見える」エージェントのひとつである。それは自分の存在を代理してもらい、相手に見えるように振る舞うエージェントであったり、第三者とのインタラクションにおけるコミュニケーションを助ける働きをする。それらはインタフェース・エージェントと呼ばれ、人間機械間の知的なインタラクションを支援することをタスクとし、対話支援に必要な情報を、人間が気軽に取得できるようにしたり、人間が知らないうちに取得して、サービスを提供したりする。あえて、「インタフェース・エージェント」を定義すると、「人間やコンピュータシステムのための、あるタスクをもつ自動プログラムで、自律性があり、擬人性を有して、ユーザである人間とのインタフェースまでかかわるソフトウェアなどの概念」となる。例えば、コンピュータグラフィクスやロボットによる人間型（あるいは動物型）の外見をもった知的システムで自律性を備えているものである。

将来このようなエージェントは、常時携帯するコンピュータの中に存在することになるであろう。そのエージェントと、ユーザ個人の行動および経験情報を獲得して、それをもとにユーザの行動モデルや興味モデルのような内部モデルを作り、それを使って、的確に情報提供したり、行動をガイドしたり、他者とのコミュニケーションを支援する。そのコンピュータは、デスクトップ型でないのはもちろん、現存する PDA(Personal Digital Assistant)や次世代携帯電話のような形状でもない可能性がある。偏在コンピューティング(Ubiquitous Computing)やウェアラブルコンピューティング(Wearable Computing)と呼ばれるような、都市基盤や住宅に埋め込まれていたり、玩具や家電製品や衣服に自然に取り込まれたコンピュータ環境となっていると想定される。そのようなコンピュータ環境が提供するサービスは、スプレッドシートや文書処理のようなビジネスアプリケーションに限らず、もっと日常的な活動を支援するサービスが主体であろう。もっとも重要なサービスは、人間同士のコミュニケーションであり、コンピュータ環境と人間との情報のやりとりである。ここにインタフェースエージェントの価値が生ずる。

以下、本項では、インタフェース・エージェントによるコミュニケーションの仲介に焦点をあてつつ、いくつかの事例を紹介し、ネットワークエージェント技術の将来像をさぐる。

(1) インタフェース・エージェントの社会性

将来インタフェース・エージェントは形態を変えながらも人間社会に入り込んでくる。そのときに、人間の、コンピュータエージェントに対する反応を知っておくことは、エージェントシステム的设计において大いに役に立つ。認知心理学的な実験手法により、人間の反応にはいくつかの特性があることが認知科学的に明らかにされている。例えば、竹内ら〔1〕によれば、人間同士に見られる返報行動が、人間とコンピュータ間でも観察できることが報告されている。人間の場合には、何か助けてもらおうと、助けてくれた人にお礼としてなにか返報をすることがあるが、同様の現象を、たとえ相手がコンピュータでも、人間は返報行動をすることが観察されるという。また、人間同士は意見があうと、その人と行動を共にするという、社会的親和性とよばれる性質があるが、コンピュータエージェントとの関係でも、同じような傾向が見られる。インタフェース・エージェントに擬人的

な役割を演じさせれば、そのような傾向が強調されてくるだろう。これは、システムデザインをするときに効果的に使えば、ユーザのある行動を引き出すことが容易なシステムを提供できるかもしれない。ユーザの購買行動にみられるような心理を利用した、商取引や宣伝用エージェントが実現できる可能性がある。

(2) 社会性と行動記録の知識を使ったコミュニケーションの仲介

インタフェース・エージェント技術を使った、実世界指向のモバイルガイドシステムとして試作されている C-MAP (Context-aware Mobile Assistant Project) システムの 1 アプリケーションとして研究されているエージェントサロンを紹介する。

C-MAP は、ミュージアムや展示会などのガイド [2] として活躍できるエージェントシステムを提供することを目的としている。ユーザが実世界とサイバースペースおそれぞれで行うインタラクションの中からユーザの興味や背景情報を獲得してユーザの状況を把握することで、「自律的に情報フィルタリングをして展示見学をガイドするパーソナルなアシスタント」と、「展示者と見学者の時空間的な制約をとりはずしてコミュニケーションを活性化させる機能」の提供を目標としている。別の見方では、それは、人間同士あるいは他のエージェントとの非同期的な、あるいは同期的なコミュニケーションに介在してコミュニケーションを支援するというタスクになる。また、擬人性を有してノンバーバルな表現で作業内容や状態を可視化したりすることも、ユーザに優しいインタフェースを提供する上で必要な条件と考えられる。

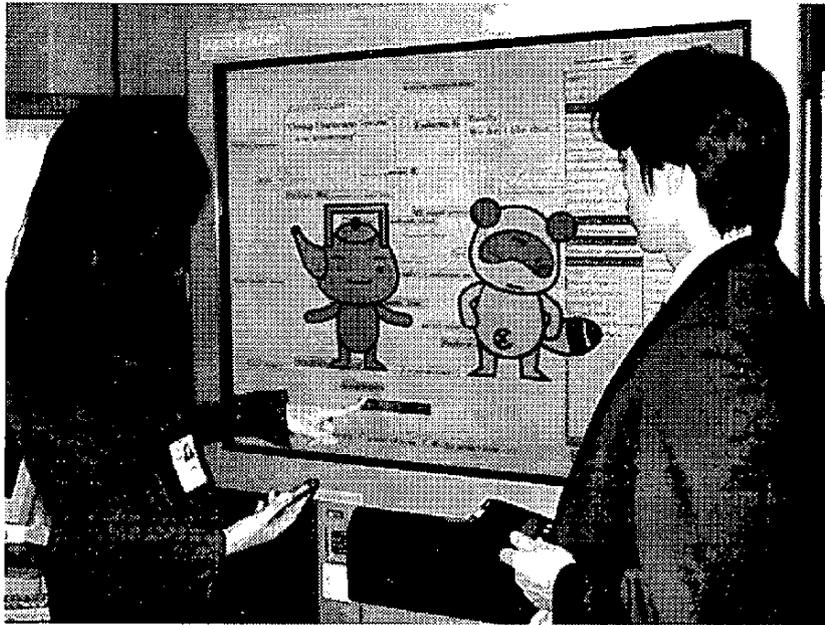
上記のような機能をもつエージェントを実現するため、C-MAP では個人携帯端末と環境に埋め込まれた情報提示キオスクや位置検出装置を使って、下記のタスクを設定している。

- 1) システムとのインタラクションにより個人の物理的・意味的状況を収集する
- 2) システムはユーザに個人化されたガイド情報を提供する
- 3) システムはユーザの見学プランを立てて推薦する
- 4) 擬人化されたエージェントはマルチモーダルインタフェースを提供する
- 5) エージェントは社会的インタラクションを調整する
- 6) エージェントは実世界とサイバー世界を行き来して誘導する

エージェントサロンは、この 5) の実現を目的としている。「代理人」の意味をもつコンピュータ上のエージェントは、ユーザのさまざまな要求や問題を本人に代わって遂行するところからその名称をもつ。エージェントを代理としてコミュニケーションに使う分身コミュニケーションの概念は、非対面非同期型のコミュニケーションを実現する一つの方向性を示しているが、つねにユーザと行動を共にするパーソナルエージェントとしてユーザの行動パターンや興味をよく知っていれば、対面コミュニケーションにおいてもそれを補佐する能力を備えることが期待できる。

エージェントサロンは、展示会場の待ち合わせ場所のような場所に設置されることを想定したシステム [3] で、図表 3.4.1-1 のように複数人で使えるように大きなディスプレイを使う。そこに、各ユーザのパーソナルエージェントがアニメーションキャラクタとして登場し、おしゃべりを始める。エージェント同士がユーザの興味や、それまでの履歴に基

づいたおしゃべりをする事で、その会話に引き込んで、ユーザ同士の出会いや知識交流を促進することを目指している。

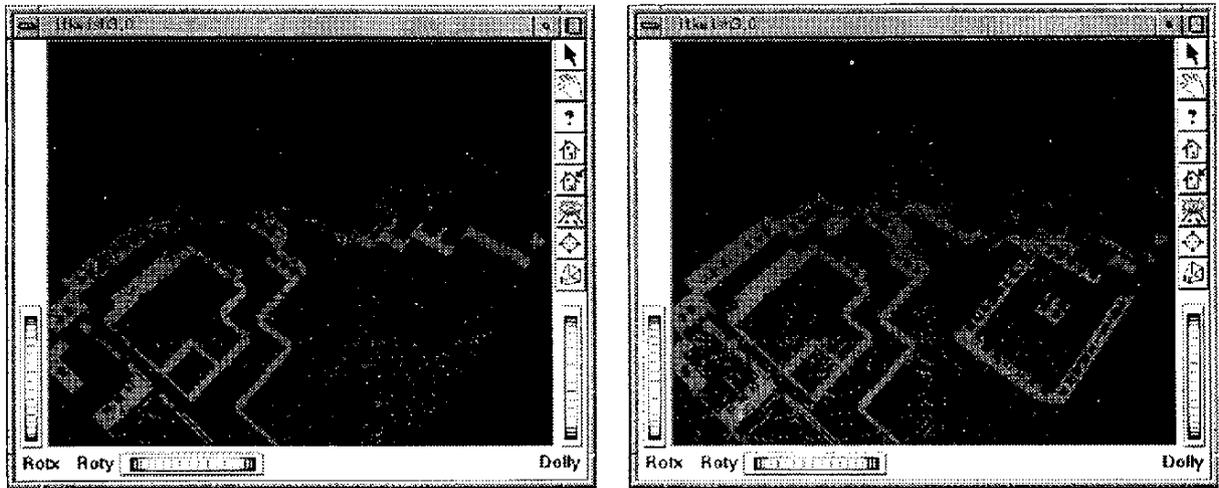


図表 3.4.1-1 エージェント同士の対話が対面対話を活性化するエージェントサロン

(3) 仲介による提供情報のコーディネーション

博物館は過去も未来もコミュニティ形成の場所である。物理的な制約があった博物館も、電子化により仮想的な展示が可能になった。さらにインターネットの高速化と普及により、このような仮想展示は、いつでもどこからでも利用できるなどの利点がある。仮想博物館は、今後も増え続けるであろう。しかし、従来の博物館と同様に、興味などが異なる見学者に対して同じ展示しか提供しないため、見学者が展示を十分に理解できないという問題を抱えている。説明しようとしている内容について深く理解できるように、展示間の関係や並びなどを個人化することが試みられている。配置を自由に変えられる仮想博物館ならではの利点である。具体的には意味的関連に基づいて展示の構造の個人化を行う仲介システムを利用し、仮想博物館の中に見学者ごとのパーソナルギャラリーを作成するシステムが提案されている（図表 3.4.1-2）。

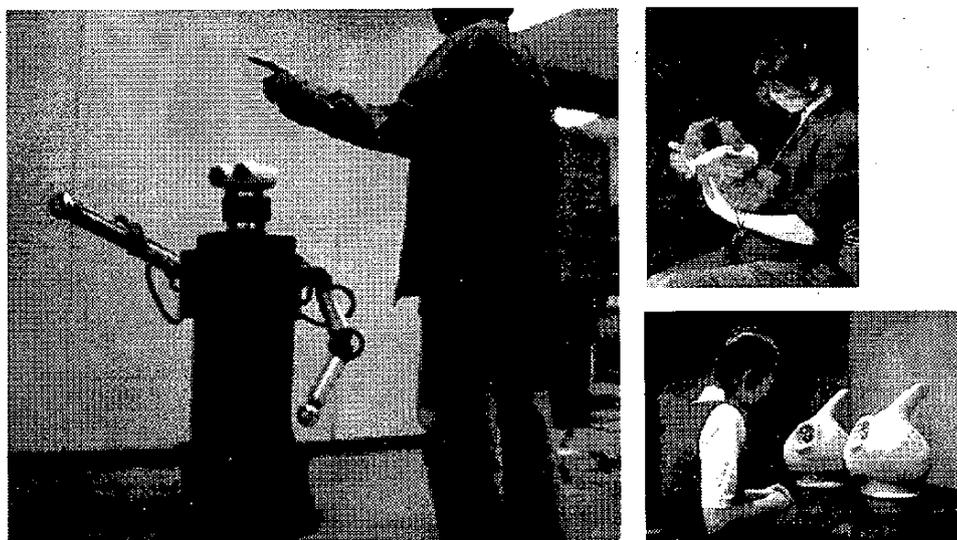
これらのシステムはユーザ（見学者）と展示者が用意した情報のインタラクションによる、双方向コミュニケーションを実現している。しかし、このインタラクションの後で、展示者との間の非同期コミュニケーションをどう実現するか、まだ残された課題がある。



図表 3. 4. 1-2 仲介エージェントが作成した仮想博物館内のパーソナルギャラリー

(4) 仲介エージェントの形態の進化

本項で、最初にのべたように、インタフェースエージェントは将来いろいろな形態をとっていくと考えられる。現在はデスクトップコンピュータやキオスク端末で、実験的に実装されているにすぎないエージェントシステムも、近い将来には携帯端末や携帯電話で自由に使えるようになるだろう。また、それらの形態が徐々に変わってゆくであろう。インタフェースは、子供や老人に優しい、図表 3. 4. 1-3 のようなロボットや人形のような物理的に擬人化された形態に進む可能性も高い [4]。人形やぬいぐるみは、人間や動物の形態をしたおもちゃである。子供が人形あそびをするとき、人形には、自分を反映した 1 人称の分身としての役割と、話相手になる対象としての 2 人称のパートナーとしての役割を付与している。また、ままごと遊びにおける役者を演じることもある。これらは擬人化インタフェース・エージェントにおける、アバター、アシスタント、あるいはアクターの役割と同じである。



図表 3. 4. 1-3 インタフェース・エージェントの将来形態 (ロボット型やぬいぐるみ) [4]

パーソナルコンピュータ Dynabook を提唱したアラン・ケイは、人工知能を使ったビバリウム・プロジェクトという電子生態系を作るプロジェクトの一環で、大きなぬいぐるみインタフェースを試作した。人間程度の大きさのぬいぐるみ Noo-bie にさまざまなセンサーを埋め込み、こどもが抱かれながら遊ぶインタラクションの実現を試みた。Noo-bie はユーザである子供にとってのパートナーの役割をもつように設計したのではないかと考えられる。MIT メディアラボでは Swamped! というシステムを作り、多様なセンサーを詰め込んだ人形をコントローラとして、3次元グラフィックスで表示される物語空間を体験できるようにしている。このシステムは、センサー人形のジェスチャーを認識することで、あらかじめ演出が決められた中で、場面によって異なるキャラクターの行動をコントロールできる。ぬいぐるみを共感インタフェース (sympathic interface) としてとらえている点が注目できる。ぬいぐるみには加速度センサ、タッチセンサ、マイクロフォンなどが搭載されており、無線によりホストコンピュータにデータを送り、ホストコンピュータでは、隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model、HMM) などのパターン認識機構によりジェスチャーを認識し、物語演出モジュールに送っている。人形がもつ身体性を利用しているが、体験は視覚的な仮想空間となっているため、コントローラ的要素が強く、物語世界を体験するアバターのコントローラと考えられる。このような人形型外観を持ったエージェントでは、とくにパートナーと分身としての2つの役割を行き来する事で、コミュニケーションにおける自己表現を支援し仲介するタスクが実現できよう。

ActiMates Barney (TM) は、子供の学習教材として市販されているおもちゃである。接触などの働きかけに対し単純な返答をするスタンドアロンモードだけでなく、テレビやコンピュータとつなぐと、プログラムと連動するぬいぐるみとなる。ディスプレイの手前でユーザと一緒にいて、物語を体験したり教材を学習するようになっており、パートナーの役割が強い。その他にも、おもちゃ市場ではさまざまなコンピュータ化されたぬいぐるみシステムが流通している。Furby (TM) はセンサーの反応により、ユーザの入力に対して言葉や簡単な動きで反応する。語彙の度数により発話に変化をつけて、ことばを学習をして成長するらしいがそのメカニズムはあきらかではない。Barney が情報世界とのインタフェースになっているのに対し、Furby はいまのところ単体のおもちゃの領域にとどまっている。以上のぬいぐるみは、受動的なシステムで、音声や最小限の機構によるアクチュエータを備えたシステムである。AIBO やたま等のペットロボットや ATR の日常活動型ロボット Robovie (図表 3.4.1-3 左端) などのヒューマノイド型ロボットは、自律能動的に動く人形型インタフェースの可能性をさらに拡げる。例えば、R100 では情報家電システムのインタフェースとしての利用法が紹介されている。これらのロボットは身体性を有することにより、人間のおかれた状況を体験できるため、より正確に「理解」できるという利点がある。しかしながら、自律性や個性の主張が強くなると、自己の分身としての役割を見いだすことは困難となるだろう。

(5) まとめと今後の課題

インタフェースエージェントが、コミュニケーションの仲介をタスクとして電子コミュニティの一員になる日はそれほど遠くはなからう。後述のように、すでにサイバースペースのチャットシステム上にアバターとして存在し、見えるエージェント技術は実現されつ

つある。今後は、ユーザとの物理的、心理的な距離をもっと近づけるための技術が必要になろう。とくに、実世界で利用可能な知的処理、すなわちあいまいな情報から実時間で推論などの判断をし、ユーザとインタラクションしながら提示できるなどの機能や性能をそなえた人工知能技術が必須である。また、ユーザの状況モデルを構築するための、画像認識や音声認識など状況情報処理も不可欠である。また、今後はそれらを利用した感性情報処理が必要になり、人工知能技術との統合により、自然で親密なインタフェースエージェントが実現されうるだろう。

参考文献

- [1] 竹内勇剛、片桐恭弘：人-コンピュータ間の社会的インタラクションとその文化依存性 — 互惠性に基づく対人的反応 —、認知科学、Vol. 5、No. 1、pp. 26-38 (1998)
- [2] 角康之：JSAI2000 デジタルアシスタントプロジェクトの報告、人工知能学会誌、Vol. 15、No. 6、pp. 1012-1026 (2000)
- [3] 角康之、間瀬健二：実世界コンテキストに埋め込まれたコミュニティウェア、情報処理学会論文誌、Vol. 41、No. 10、pp. 2679-2688 (2000)
- [4] 間瀬健二：Toy インタフェース、ヒューマンインタフェース学会誌、Vol. 3、No. 1、pp. 41-48 (2001)

3.4.2 場、環境におけるエージェント

現実空間やコンピュータが作り出す仮想空間といった、場や環境においてエージェント技術がどのように適用されるか、あるいはどのようなエージェント技術が存在し、将来どのような技術が必要になるかを議論する。このようなエージェント技術が適用される場や環境として、仮想空間や複数のユーザの参加が可能な共有仮想空間、そして現実空間がある。場や環境におけるエージェント技術の導入は、技術的にもビジネス的にも非常に重要な研究分野であるが、これまで十分な研究や実用化がされてきてはいない。以下、本項では、場や環境におけるエージェント技術の適用を中心に、いくつかの事例を紹介し、将来像について議論する。

場や環境におけるエージェント技術の重要な要素の一つに、その場や環境に関する情報とエージェントが支援するユーザの個人情報の両方をエージェントが利用できることと、現実世界や共有仮想空間では、エージェントの姿が他のユーザから見える（共有される）ことがあげられる。エージェントが共有されることにより、コミュニケーションのアクセスポイントとして機能したり（一種の犬の散歩現象）、コミュニケーションを仲介させたりできる。また、他のユーザがエージェントに接しているところを見ることができ、ユーザ間のエージェントに関する学習効果などが期待できる。後で述べるが e-コマース的な観点からは、共有されていることにより、他のユーザに見せびらかすことが可能になり、自分の持つエージェントを外見的に差別化したいという欲求をコマースに適用することができる。

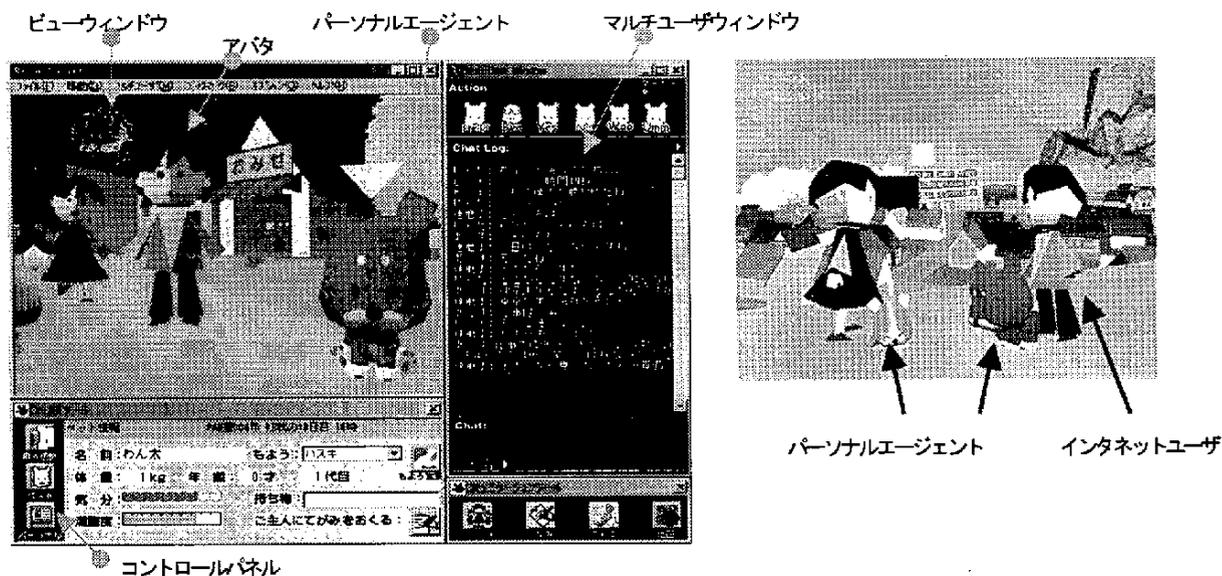
(1) アウェアネスモデル

これまでのインタフェースエージェント技術に加え、場や環境が共有される場合には、技術的には、場合の共有とアウェアネスモデルによるエージェントと人間、または、エージェントとエージェントの相互作用を考慮する必要がある。このようなアウェアネスモデルは、主に CSCW や分散型仮想環境の分野で研究されており、その一つにオーラモデルがある [1]。なお、仮想空間内の場の共有技術に関しては、[2] を参照してほしい。

オーラモデルは、aura（気配）、nimbus（後光）、focus（焦点）という概念でアウェアネスモデルを規定している。aura は、例えば、共有仮想環境におけるアバタ（その環境内のユーザの表現、図表 3.4.2-1 参照）の周囲にできる空間であり、aura 同士が重なり合うと、そのアバタ間でインタラクションが可能になる。nimbus と focus も、オーラと同様にインタラクションの対象の周囲にできる空間であり、インタラクションを介在するメディアごとに存在しうる。nimbus は、それを持つユーザが相手に対して発するアウェアネス情報の程度を示す。つまり、A というインタラクションの対象が、B の nimbus の中に入れば入るほど A は、B のアウェアネス情報を多く受け取る。focus は、この逆である。このようなオーラモデルは、インタラクション対象の 3 次元的位置とその周囲にできる空間で規定されるため、現実世界での実体を持つエージェントとのインタラクションにも応用可能である。これらの概念は、エージェント技術的には、基本となるアウェアネス情報やインタラクションの管理に加え、エージェントの持つ機能やサービス・ネゴシエーションの管理などに応用できる。このようなアウェアネスモデルを持つ共有仮想環境にエージェントを適用した例に PAW² がある [3]。

(2) 仮想社会におけるパーソナルエージェント

PAW²は、いわゆる分散型共有仮想環境 (Distributed Shared Virtual Environment) をベースに構築された、3D の共有仮想社会である。PAW² は、アバタとテキストなどによるコミュニケーションという従来の仮想空間の持つ機能に加え、ユーザと一緒に行動する犬型のパーソナルエージェントと社会的・環境的なインフラストラクチャを持つ仮想社会である。図表 3.4.2-1 (左) に PAW² を使用している様子を示す。



図表 3.4.2-1

PAW² にアクセスしている様子 (左) と PAW² 内の基本的なインタラクションスタイル (右)

パーソナルエージェントは、ユーザを個別に支援する自律プログラムであると定義される。PAW² ではユーザが飼い主となって PAW² のワールド内で飼うことができる犬型の自律プログラムとして実現されている。PAW² におけるパーソナルエージェントを位置付けると、次のようになる。すなわち、(1) 擬人的 (PAW² の場合には擬「犬」的である) な化身を用いたヒューマンインターフェース、(2) 代理人エージェント、(3) 他のエージェントと交渉する能力を持つプログラム、といったの機能を複合的に持つエージェントとすることができる。PAW² のパーソナルエージェントの重要な特徴に、他者との共有に加えて、エージェントが、1年365日、PAW² の世界で生きていることがある。

PAW² では初めてアクセスしたときに、1ユーザに1つずつパーソナルエージェントが割り当てられる (図表 3.4.2-1 右)。ユーザがパーソナルエージェントに名前を付け、e-mail アドレスを登録することでそのユーザ (飼い主) のものになる。パーソナルエージェントは、ELIZA をベースにした自然言語インタフェースと感情モデルを内部に持ち、自然言語や動作、e-mail の発信などを用いてさまざまなインタラクションを行う。

PAW² におけるパーソナルエージェントにも上記で述べたアウェアネスモデルが適用され、各エージェントはオーラを持つ。これにより、オーラが接触したユーザと自分の飼い主であるユーザの関係を調べ、相手に対する接し方を変えたり、場や環境の情報を取り出して

様々なサービスを提供することができる。例えば、知りあいには「こんにちは」と挨拶し、初めて会った人の場合には「はじめまして」と挨拶したりする。アウェアネスモデルのエージェントの機能への適用という観点では、現時点では、エージェントの飼い主とその人以外というレベルしかないが、これを飼い主とその知り合いなどという関係の元にエージェントのサービスを差別化することは可能である。以下に、PAW²をベースに行われている一連の研究の中からパーソナルエージェントに関する興味深い結果を示す。

① 仮想社会へのアクセス要因としてのパーソナルエージェントの役割

〔4〕では、PAW²に再訪問するユーザのアクセス要因をユーザのアクティビティを元に統計的な手法を用いて解析している。調査対象となったユーザのアクティビティは、パーソナルエージェントに関するものが9項目、コミュニケーションに関するものが4項目、イベントに関するものが10項目、アイテムに関するものが3項目となっている。これで、PAW²でユーザが行えるのアクティビティのほとんどがカバーされている。これらのアクティビティを説明変数とし、ユーザのPAW²へのアクセス回数を説明変数として、どのアクティビティが最もユーザのアクセスに寄与しているかを多変量解析を用いて調べている。調査対象は、1ヶ月の調査期間中に最低1回以上アクセスしていたユーザー全6,497人から外れ値を含むレコードを除いた全5,170人(母集団の79.5%)である。この結果、パーソナルエージェントに関するユーザのアクティビティがアクセスに寄与する比率が最も高く、また、使用歴別に見ると、初期のユーザに関しては、パーソナルエージェントに関するものがユーザの行動モデルに与える影響が大きく、その後、徐々に、コミュニケーション及びイベント系に関するものへと行動モデルがシフトして行くことが報告されている。

② 情報源としてのパーソナルエージェントの役割〔3〕

PAW²では、3Dの仮想空間という特性を生かして、ロケーションベースのイベントを行っている。例えば、現実世界でのオリエンテーリングをPAW²の世界でイベントとして実施している。イベントに対するユーザの評価は高く、参加率も高い。イベント実施日には多くのアクセスが集中し、最大同時アクセスもイベント時に観測されている。ここで興味深いのは、ユーザに対して行った、イベントに関する情報の入手源に関するアンケート結果である。イベントに関する情報は、(1)オフィシャルなホームページ、(2)仮想世界内のテロップ、(3)メーリングリスト、(4)パーソナルエージェントからのメールを用いて同じ情報がユーザに提示される。これに関して、「どの情報源から得た情報をもとにイベントに参加したか」というアンケート結果から、情報の入手源は、パーソナルエージェントからのメールが約50%を占め、次のホームページが25%であることが分かった。パーソナルエージェントがユーザとPAW²の世界をつなぐ絆になっていることが分かる。

(3) e-コマースへの応用

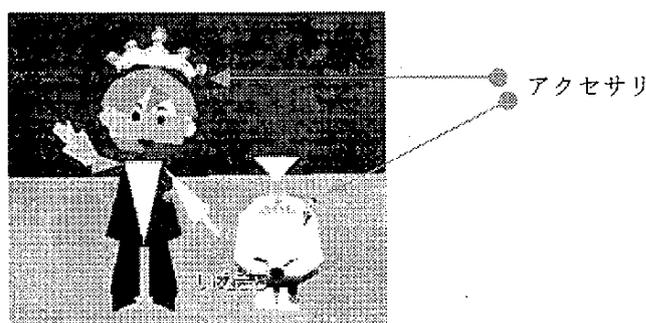
場や環境におけるエージェント技術をe-コマースに適用した事例は、少ないが、場や環境におけるエージェント技術がインタフェースエージェントの要素を併せ持つことを考えると、エージェントの機能やエージェントにつけるアクセサリの販売などが考えられる。つまり、エージェントの付加機能を販売したり、自分のエージェントと他人のエージェン

トを外見的に差別化することを可能にすることで、仮想の物を販売することが可能である（もちろん、現実世界の実体を持つエージェントでは、外見の差別化には、現実の物の販売が可能である）。ここでは、PAW²で行った課金実験の事例を示す。

①PAW²での実験

PAW²では、パーソナルエージェントを含む共有仮想社会を用いた e-コマースに関する実験を行っている [5]。PAW²での課金実験は、現実のお金を用いたアイテム販売と集会場の貸し出しに関して約2ヶ月間行われた。これは、PAW²での2年に相当し、PAW²内の四季やサービスが二巡する。

アイテムは、PAW²内の流通システムの基礎をなすものであり、PAW²に置ける物はアイテムとして表される。アイテムには、エージェントの餌である肉や、アバタなどに付けるアクセサリ、イベントに参加した結果として手に入る賞品的な意味を持つものがある。図表 3.4.2-2 に、購入したアクセサリ（王冠）をアバタとエージェントの頭に付けている様子を示す。PAW²のアイテムは、ユーザ間でやり取りすることができる 32x32 ドットの大きさのビットマップで構成されるスプライトであり、ポリゴンではない（実際には、透明 gif で作成される）。アイテムは、入手すると、ユーザが保有することができ、身に付けたり、使用したり、他のユーザにあげたりすることができる。課金実験では、以下の4タイプのアイテムが実験的に販売された。



図表 3.4.2-2 アクセサリをつける、アバタとパーソナルエージェント

- 1) イベントアイテム(販売価格 300 円): 2種類。PAW 内で定期的に行われている季節のイベントに参加すること入手できるアイテムのうち、入手が難しく、かつ機能を持つもの。魔法のランプ、お守り地蔵がある。例えば、お守り地蔵は、夏のイベントで、夏になると PAW の世界に出現し、修行をしながら 100 回目にクリックしたユーザの手に渡る。
- 2) 機能アイテム(販売価格 300 円): 7種類。パーソナルエージェントに機能を追加したり、パーソナルエージェントに作用する機能を持つアイテム。ふしぎ猫缶(エージェントの色変え機能)、デジタルゲタ(電卓機能)、So-net 帽子(うらない機能)などがある。例えば、ふしぎ猫缶は、持っているときパーソナルエージェントの色を自由に変えることができる。
- 3) アクセサリ(販売価格 100 円): 26種類。アバタやパーソナルエージェントに付けることができるアクセサリ。シルクハット、探偵の帽子、教授めがね、バッチ等がある。

- 4) 花(販売価格 100 円) : 6 種類。花は、春のイベントで手に入るイベントアイテムの一種であるが機能はない。菊、薔薇、キキョウ等がある。

これらのアイテムは、Web 上の物品販売のように、Web ページ上に、商品の写真(実際には、アイテムのビットマップデータ)と値段を表示し、顧客に個数を指定させることで販売された。

②販売結果

販売結果は、次のようになっている。

- ・売上個数 : 合計 7,616 個(104 個/日, 9.2 個/人)
- ・売上金額 : 合計 1,145,800 円(15,696 円/日, 1,393 円/人)
- ・購入者数 : 延べ 1,958 人(26.8 人/日), 832 人(ユニーク数)

また、アイテムの種類ごとの購入者数は、機能アイテムが 676 人、アクセサリが 572 人、イベントアイテムが 338 人、花が 193 人である。

調査を行った時期の登録ユーザ数は、調査期間の平均で 80,019 人、その 10%の約 8,000 人がアクティブなユーザであることを考慮すると、アクティブユーザの 10%が利用し、延べではその 25%が利用したことになる。

アイテムを購入したユーザの人数、販売個数の内訳、売上金額の内訳を見ると、総販売個数の 44% (3,337 個) をアクセサリ、40% (3,062 個) を機能アイテムが占め、総売上金額的にも、29% (33.37 万円) をアクセサリ、51% (58 万円) を機能アイテムが占めている。また、購入金額及び購入個数の 1 位は、両方とも機能アイテムふしぎ猫缶 (27.33 万円、911 個) である。エージェントに機能を追加するアイテムとアクセサリが販売に対して効果があったことが報告されている。特に、機能アイテムは、アクセサリに比べて種類が少なく、価格も高かったことを考慮すると、特に効果があったと考えられる。このような結果から将来的には、エージェントの機能を単体として (アクセサリともからませながら) 販売することが期待できる。例えば、エージェントの機能をエサとして売り、食べさせると機能付加がされる、などのメタファが考えられる。

(5) 関連研究

エージェント技術の適用先として仮想空間にパーソナルエージェントを導入した研究には、これ以外にも Doyle ら [6] や門林ら [7] のものなどがある。これらのパーソナルエージェントは、ユーザの現在のコンテキスト (例えば、どこにいるかなどの場所情報) を利用して仮想空間内でユーザを案内する機能を持つ。Doyle ら [6] は、仮想空間におけるユーザのコンテキストをガイドするための情報として用いているのに対して、門林ら [7] は、現実空間にいるユーザのコンテキストをガイドする情報として用いている。門林ら [7] は、3D の仮想空間を用いた集落変遷シミュレーションシステムである VisTA-walk で、過去の集落を 3DCG で復元し、身振りと 170 インチの大きなスクリーンの入出力インタフェース

によって、装置を装着することなしに見学を可能にしている。見学者が現実空間の展示を見るのに費やした時間と、展示を見学中に集落などの情報を得るために携帯型コンピュータにアクセスした回数の2種類のインタラクションをコンテキストとして試用している。

これらに対して、松田ら〔3〕のPAW²は、アプローチとしては、Doyleらの研究と似ている。すなわち、PAW²では、多人数が参加可能な3Dの共有仮想世界(仮想社会)に、仮想社会内でのユーザのコンテキストを用いて、ユーザをサポートするパーソナルエージェントを導入している。松田ら〔3〕は、このようなパーソナルエージェント指向の仮想社会を構築し、インターネット上で、ユーザの社会的行動、パーソナルエージェントがユーザアクセスに与える影響、などe-コマースへの展開に関する大規模な実験を行っている。また、エージェントとしてではないが、インターネット上の仮想社会にペットを導入した例にPeopleSpace〔8〕がある。PeopleSpaceのペットは、機能としてはアクセサリ的なものであり、インタフェースとして積極的なものではなかった。

また、京都などの現実の都市を仮想空間として実現したデジタルシティの研究においても、エージェント技術が応用されている。石田ら〔9〕のデジタルシティ京都では、二条城バスツアーにおいて複数のユーザでチャットしながら、エージェントに引率されて内部の観光ができる。

現実空間や仮想空間といった場において、人間と人間のコミュニケーションを支援するエージェントの研究は、他の節や項と重なる部分が多いと思われるので、ここでは、長尾ら〔10〕やIsbisterら〔11〕の研究を紹介するにとどめる。長尾ら〔10〕のエージェント(社会的エージェント)は、擬人的なインタフェース(顔)を持ち、コンピュータの前での人間同士の会話を聞きながら(つまり、会話による場の情報を共有しながら)、その会話に口をはさむことを可能にしている。長尾ら〔10〕の研究では、人間同志の会話中、人間のアテンションがエージェントの方に向きやすく、会話のバンド幅が広げられたことが示されている。Isbisterら〔11〕の研究は、これの共有仮想空間版である。Isbisterら〔11〕らは、3次元仮想空間FreeWalkを用いてシステムを構築しエージェントによる異文化コミュニケーションの支援に関し、日米の被験者100名を用いた評価実験を行っている。この結果、エージェントの発話内容が、エージェントの印象に加え、対話相手の印象、国民性に対するステレオタイプにまで影響を与えることが報告されている。

(6) まとめと今後の課題

本項では、場や環境におけるエージェント技術と手順について述べた。さまざまな場や環境を支援する技術としてエージェントは魅力的なものがあり、実用レベルとして使われるようになる日も近い。まずは、仮想空間、共有仮想空間といった場でのエージェントの展開と研究開発からはじまり、そして現実空間への応用、特に、社会性を持つ共有仮想環境におけるパーソナルエージェントの研究は、実世界における「実体をもった」パーソナルエージェントの基礎研究になると考えられ重要である。

今日、インターネット技術のおかげで、大規模(他人数が参加可能)な社会性を持つ共有仮想空間(仮想社会)の構築が容易に行えるようになってきた。このような場や環境では、場や環境が人工的に作られているため、場や環境に関する情報やユーザの個人情報活用しやすく、また、限定することができる。限定した情報から徐々に拡張することも可

能である。このため、エージェントがどのように場や環境とインタラクションし、その情報などを利用するかを含め場や環境に関するエージェント（特に、パーソナルエージェント）の研究開発の場として、今後さまざまな利用がされていくであろう。仮想社会自身は、現実社会のシミュレーションであり、デジタルシティなどの技術を用いることで、場や環境そのものを現実社会に近づけることで、より精度の高い研究開発が期待できる。

かつて、子供向けのTV番組に「光速エスパー」（1967年8月、第1話放送）というのがあった〔12〕。普通の少年が強化服の助けを借りて敵と戦うという話である。エスパーの着る強化服はいくつかの特殊機能を持つが、印象的な機能にパーソナルエージェント技術の一端が見える。強化服を着たエスパーの肩に小鳥の形をした小さなロボット「チカ」が乗り、必要に応じて現れて、エスパーが敵と戦うときに、場や環境に関する情報とエスパーの個人情報を用いて、いろいろな助言や手助けをしてくれる（もちろん、自然言語で!）。今日の携帯電話のストラップのアクセサリの盛況さを見れば、この「チカ」に対して同様なビジネスが展開できそうである（これは、古くから日本にある根付の文化の再来なのかもしれない）。

「チカ」はまさに、場や環境におけるパーソナルエージェントの一つの理想像であり、パーソナルエージェント研究の大きな目標の一つが、この「チカ」の実現であろう。もちろん、このようなパーソナルエージェントの実現には、場や環境に関する情報と個人情報を共有するため人工知能、画像・音声認識などのインタフェースエージェントが本質的に持つ技術的な課題に加え、ロボット工学的な課題以外にも、そのエージェントへの依存性などといった、これまでの社会には存在しなかった「異質さ」という社会学的な面の課題を克服する必要がある。ただし、異質=よくないこと、ではない。これまで、テクノロジーは、さまざまな異質さを社会に持ち込んできたし、消化もしてきた。今後、エージェント技術の進展とともにこのような異質さが発生するのは明らかであり、社会としてはそれを受け入れた上で、どうあるべきかを議論すべきである。エージェント技術が単なる技術だけにとどまらず、社会的な課題までも含んだ大きな技術として捕らえなくてはならない時代が来ているのである。

参考文献

- [1] C. Greenhalgh, S. Benford: MASSIVE: A Collaborative Virtual Environment for Teleconferencing, ACM Transaction on CHI, Vol. 2, No. 3, pp. 239-261, 1995.
- [2] S. Singhal, M. Zyda, Networked Virtual Environments, ACM Press, Addison-Wesley, 1999
- [3] K. Matsuda: Evaluation of Personal Agent-oriented Virtual Society --- PAW, PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 10, No. 2, pp. 160-174, 2001.
- [4] 松田, 谷島: パーソナルエージェント指向仮想社会 PAW² におけるユーザアクティビティの分析と考察, pp. 775-780, DICOMO シンポジウム, 2000
- [5] 松田, 杉野, 他: パーソナルエージェント指向仮想社会 PAW における課金実験とその評価, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol. 5, No. 2, 2001

- [6] P. Doyle, B. Hayes-Roth: An Intelligent Guide for Virtual Environment, Proceedings of Animated Interface Agent: Making them Intelligent, pp. 77-84, 1997
- [7] 門林, 間瀬: 実空間でのコンテキストを利用して仮想空間内をガイドするマルチモーダルなパーソナルエージェント, DICOMO シンポジウム, pp. 653-660, 1998
- [8] 落合和正: 商用化された仮想社会 PeopleSpace の現状/基礎技術/展望, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol. 1, No. 1, pp. 13-18, 1997
- [9] T. Ishida, K. Isbister (Eds.), Digital Cities: Experiences, Technologies and Future Perspectives, Lecture Notes in Computer Science, 1765, Springer-Verlag, 2000
- [10] K. Nagao, A. Takeuchi: Social interaction: Multimodal conversation with social agents. Proceedings of the twelfth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-94), 22-28, 1994
- [11] K. Isbister, H. Nakanishi, T. Ishida, and C. Nass: Helper Agent: Designing an Assistant for Human-Human Interaction in a Virtual Meeting Space,' International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI-2000), pp. 57-64, 2000
- [12] <http://www.st.rim.or.jp/~val/esper.html>

3.4.3 e-コミュニケーションにおけるアウェアネス支援

(1) はじめに

インターネットや移動体通信などの情報技術の発展にともない、ネットワークを介したコミュニケーションが日常のものになりつつある。時と場所によらないコミュニケーションが実現し、われわれの日常生活はますますネットワークを介していろいろな人々と「つながった」ものになっているといえる。

コミュニケーションの機会や可能性が飛躍的に増大し、いつでもどこでもコミュニケーションが可能となる一方で、人々の生活は入ってくる情報にあふれるという問題が生じている。また、人々間のコミュニケーションが細切れとなり、本当に効果的にコミュニケーションができていないか、だんだんわからなくなっているともいえる。また、ネットワークコミュニケーションでは、話された言葉、書かれた言葉に大きく依存し、必ずしも適切なコミュニケーションの手段を提供していないのではないかという指摘もある。

本項では、このようなネットワークコミュニケーションの問題に対処するために大黒によって提案されたエージェントシステム [8] について紹介する。そこでは利用者に対応してエージェントが存在し、利用者のさまざまなコミュニケーション活動を支援することを目的としている。特にエージェントが他の人々との「つながり感 - 他の人とつながっていることに対するアウェアネス/気づき (Awareness of Connectedness)」を醸成するような情報を利用者へ提示することが特徴になっている。この時、エージェントは利用者に対して、出しゃばらない、押しつけがましくないように振る舞うことで、利用者の自発的な行動を促すようにしている。そのような観点から、ここでのエージェントは“Suggestive Agent”とも呼ばれている。

(2) アウェアネス

“Suggestive Agent”によるつながり感 (Awareness of Connectedness) の醸成について紹介する前にグループウェアや共同作業支援の研究における「アウェアネス」について概観してみよう。

グループウェアの研究では、インフォーマルなコミュニケーションのきっかけを与えるものとして、「アウェアネス (Awareness)」が議論される場合が多い⁰。アウェアネスの定義として、「コンピュータを用いて他の人物 (特に協同作業) の存在・行動を認識させ、そこから生じるコミュニケーションを支援する技術」というものがある⁰。例えば遠隔地の離れた相手と円滑な共同作業をすすめる場合には、空間を共有していないことにより失われるさまざまな情報 (例えば、相手の状況、様子など) を補う必要がある。相手の視線に関するアウェアネス (gaze awareness) は、ビデオ信号を用いた遠隔地とのコミュニケーションを含んだ多くのリアルタイム型のグループウェアシステムでとりあげられている。また、非リアルタイムの共同作業でも、相手の状態、状況を知ることが円滑な共同作業を実現するには重要である。

共同作業の一種といえる協調学習 (computer supported collaborative learning) の研究において、学習者が学習を進めるうえで支援すべきアウェアネスとして Gutwin らは次の四つを提案している [2]。

- a) ソーシャルアウェアネス (Social Awareness) : グループにおける他のメンバーとの関係、グループ内での位置づけの認識。
- b) タスクアウェアネス (Task Awareness) : どのようにタスクが完成されるかという認識 (例えば、タスク達成の手順、道具なども含む)。
- c) コンセプトアウェアネス (Concept Awareness) : 特定の活動や一片の知識が、学習者の既に持っている知識にどのように反映されるかの認識。
- d) ワークスペースアウェアネス (Workspace Awareness) : 他の学習者が、どこで何をしているか、また既に何かをしたかという認識。

さらに、協調学習において、討論のきっかけとなる知識の存在や、学習者の存在に気づかせる知識アウェアネス [7] も提案されている。

また、共有空間での他者の行動を意識させるだけではなく、共有空間外での個人のアクティビティを意識させようというアクティビティ・アウェアネス [3] という概念も提案されている。これは、共同作業が共有空間内だけにとどまらないという問題認識から出発している。

一方、組織内での情報や知識の共有という場面においては、Knowledge Awareness [13] や、情報取得アウェアネス [4] などの概念が提案されている。これらは周囲の情報・知識の存在や、情報共有活動を意識させ、システム内に蓄積している情報の再利用を促進させることを目的としている。

また、個人の興味を媒介として、共同作業者のコミュニケーション、特にインフォーマルコミュニケーションを誘発しようとする Interest Awareness という概念も提案されている [6]。Interest Awareness を実現したコミュニケーション支援環境 Venus では、情報共有型アウェアネスとアクティビティ型アウェアネスという二つのタイプのアウェアネスを実現している。前者は図書室・資料室というメタファの共有スペース内で、個人の興味にしたがって情報を取得することをお互いに認識させるもので、後者は個人作業空間の“窓”から他人の行動が見えるようにすることで他人の行動を認識させるものである。

さらに、組織とは違い、境界がはっきりしていないネットワーク・コミュニティを対象として、「他者の存在や他者との関係、組織の存在や動態」が組織内外から認識されることを意味する「組織アウェアネス」という概念も提案されている [3]。この概念を用いて、例えばメーリングリストのような非同期で文字ベースのコミュニケーションが行われるネットワーク・コミュニティにおける種々の問題を軽減する手法が試みられている。

これらのアウェアネスの概念が、他の人々の状態、まわりの状況を認識させることに主眼をおいているのに対し、ここで紹介するアプローチでは、利用者自身の行動のフィードバックを利用者自身に与えることで、利用者自身のコミュニケーション活動を支援することを目的としている。すなわち、利用者がコミュニケーションを通して、他の人々と「つながっている感覚」が感じられるか、また、誰とどれくらいコミュニケーションをとっているか、コミュニケーションによってお互いにどのような影響を与えているかなどを利用者に気づかせるきっかけを与えることを目指している。

実装されているプロトタイプ（「浸透圧」または「表示器」（Indicator）と呼んでいる）では電子メールを対象としている〔1〕。図表 3.4.3-1 が「表示器」の最初のプロトタイプのスクリーンイメージである。利用者の電子メールを介したコミュニケーション行動のサマ리를「自分対誰か」という観点で提示する。利用者自身を中心としたコミュニケーションの様子を提示するため、円形（パイチャート）を用いている。中心には利用者自身が位置し、円周上にはコミュニケーションの対象である相手（電子メールのやりとりの相手）が並ぶ。ここでは、利用者と相手にはそれぞれあらかじめ色を決めておくことを前提としている。

それぞれの相手に応じて扇形が対応し、扇形の面積はある期間において交換されたメッセージの量に比例して決定される。すなわち、メッセージの交換が多い相手に対応する扇形ほど大きな領域を占める。

また、扇形は内部と外部の二つの領域に分けられている。内側の部分は利用者自身の色で塗られ、外側の部分はメッセージの交換相手の色で塗られる。内側の部分は利用者から相手に送られたメッセージの数に対応し、外側の部分は相手からその利用者へ送られたメッセージの数に対応する。したがって、メッセージの受信数に比べ送信数が多い場合は、内側の部分がより大きくなる。この時、これらの二つの部分は明確な色分けがされるわけではなく、利用者の色から相手側の色へと次第に変わるように表示される。お互いの色が浸透し混じり合うような表現をとることによって、つながっている感覚を利用者に提示することを狙っている。

電子メールのやりとりはバックエンドのモジュールによって実時間でモニタされている。利用者からメッセージが送られた時には、波が中心から外側へ向けて広がるアニメーションが表示される。また、利用者宛にメッセージが到着した時は、波が外側から内側に向けて到着するようなアニメーションが表示される。このように送受信共に等しく表示されるという点において、biff 等のメールの着信を表示するツールを単にグラフィカルに拡張したものとは異なっている。

この「表示器」を実際に使用してみて、案外、自分がどのように電子メールをやりとりしているかが、気がついていないという感想も寄せられている。また、利用者が自分の思いこみと、実際に「表示器」によって提示されるコミュニケーションのサマリが違う場合は、自分のコミュニケーション行動を考え直すきっかけになるとの感想もある。システムが、「...をしてはどうですか？」などと直接に利用者を誘導するのではなく、間接的に情報を提供することにより、利用者に対してコミュニケーション活動へのフィードバックを与えている。

（5）簡単で直感的なメディア：「ひとのあかり」

もう一つの機能は、簡単で直感的なメディアを提供することである。具体的には「ひとのあかり（Gleams of People）」と呼ばれるプロトタイプが作成されている。これは、利用者同士で、利用者の存在や状態を簡単にかつ直感的に交換することを狙ったメディアである。

「ひとのあかり」のコンセプトは、「改めて話すほどのことではないが、思いは伝えたい」といったことを表現することを目指したものである。例えば、ネットワーク上で「こんにちわ」とか「元気？」といったあいさつを交わすような状況を想定している。

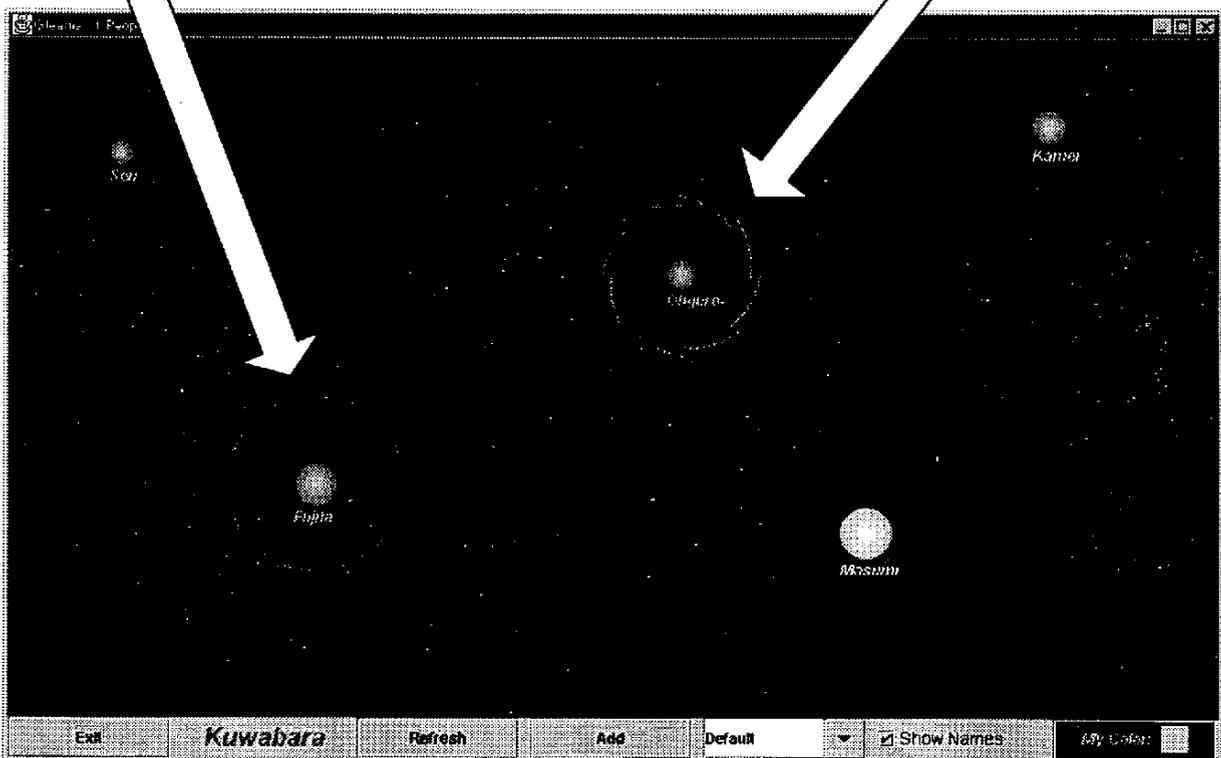
直感的には、「ひとのあかり」は人と人の間の ping とも考えられる。通常の ping と違うところは、送信させるメッセージの内容として、送信元の状態もあわせて相手に送られるということである。プロトタイプでは、送信者の状態／ムードは色で表現されるものとしている。

図表 3.4.3-2 に「ひとのあかり」のプロトタイプのスクリーンイメージを示す。画面上の球は、それぞれ利用者の知りあい（相手方）を表わす。それぞれの球は相手から送られてきた最新の状態を表わす色で表示される。相手からメッセージが送られてきたときには、そのメッセージに含まれる色の情報で瞬く。それと同時に球から波紋が広がるようなアニメーション効果が表示され、メッセージの到着が利用者に知らされる。また、自分から送ったメッセージに対して、返事が帰ってきたときにも同様のアニメーション効果が表示される。

球 = 人、
色 = 「状態（ムード）」、
メッセージ送受 = 「存在」

受信：送信者の「色」で球が
きらめく

送信：球をダブルクリック、自分の
今の「色」をのせて



図表 3.4.3-2 「ひとのあかり」のスクリーンイメージ

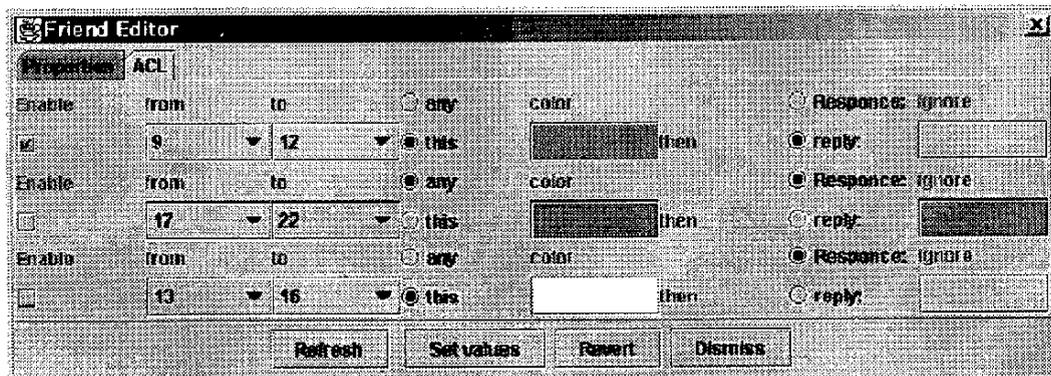
利用者から相手にメッセージを送る時は、相手に対応する球をダブルクリックする。この時も、波紋が相手を表す球に吸い込まれるようなアニメーション効果を使用される。利用者は自分のムードを表わす色をあらかじめ選択しておく。選択された色は送信者の状態として、メッセージにのせられて相手に送られる

メッセージを受取ったエージェントは、自動的に返答を返すことになる。この時にメッセージを受取った相手側の状態の色（あらかじめ受け取る相手が指定しているものとする）が返答のメッセージにのせられる。

さらに、それぞれの球はある固有の時間間隔で瞬くようになっている。この間隔は、過去に交換されたメッセージの頻度、方向、時刻などの統計情報から計算され、“つながっている”という雰囲気を利用者に直感的に与えることが意図されている。また、利用者が相手に送ったメッセージの頻度は球の大きさにも反映される。

エージェントが自分の状態の色を自動的に返すことから、プライバシーが非常に重要な問題となる。プロトタイプでは簡単なアクセス制御機能が提供されている。すなわち、メッセージ送信者、時間に応じて、どのような色（状態）で返答を返すか、ないしは無視するかを指定することができるようになっている。

図表 3.4.3-3 にアクセス制御を指定するためのコントロールパネルのスクリーンイメージを示す。



図表 3.4.3-3 「ひとのあかり」におけるアクセス制御のコントロールパネル

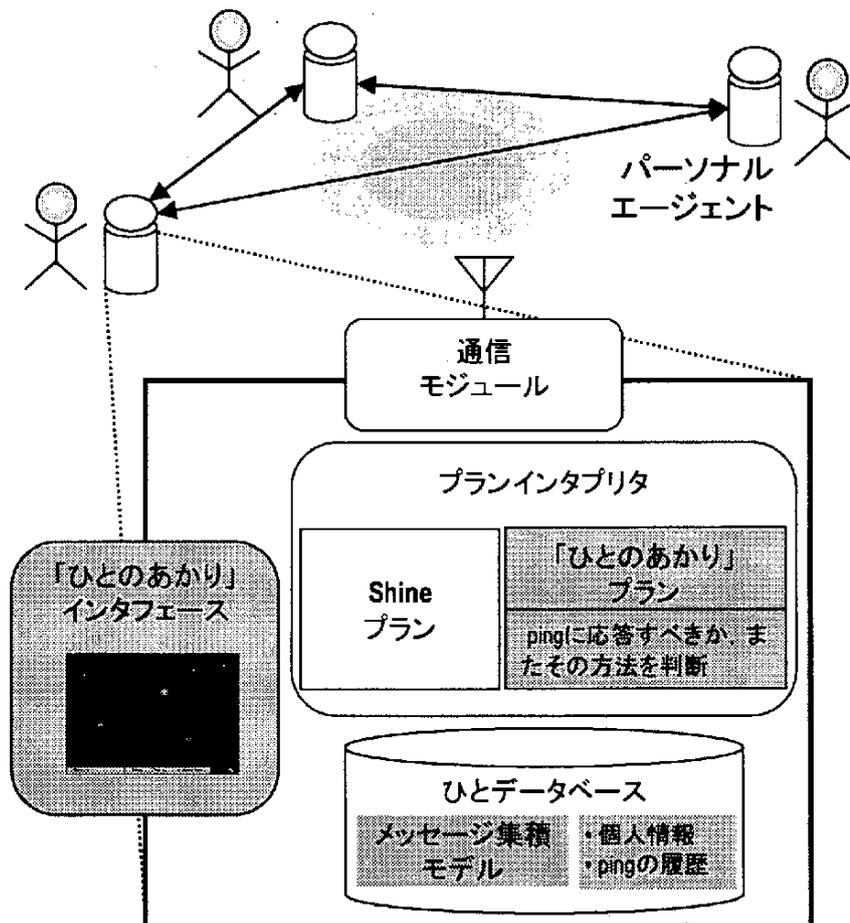
(6) システムの実装例

二つのプロトタイプ（「表示器」と「ひとのあかり」）で実現される機能は必ずしも独立しているものではなく、お互いに補完するものと捉えられる。「表示器」の最初のプロトタイプは電子メールのやりとりを表示していたが、電子メールに限らず、「ひとのあかり」における ping メッセージのやりとりのサマリを表示することも考えられる。これにより、二つのツールを統合して利用者に使わせることが可能となる。

また、マルチエージェント・アーキテクチャに基づくソーシャルウェアプラットフォーム Shine [13, 15] の機能に基づいた実装も行われている（図表 3.4.3-4）。Shine では、利用者にパーソナルエージェントを配置し、利用者の知りあいのデータを保持するのが特徴である。「ひとのあかり」では ping メッセージの履歴やその他の利用者情報を格納する

ことになる。また、ping のメッセージに対してエージェントがとるべきアクション（ping に応答すべきか、また、応答するとしたら、どのような応答をかえすか）を記述した手続き（プラン）を定義することにより、エージェントの振る舞いを決定することになる。さらに、エージェント間での通信には Shine で提供される通信機能を用いている。

さらに、利用者に対応したエージェントがオフラインになる場合を想定して、リピーター・エージェントを導入することも提案されている [9]。リピーター・エージェントはいわば、共有の“バッファード・リピータ”の機能を持つもので、パーソナルエージェントが ping を送ろうとした際、宛先のエージェントが不在であったり、オフラインであった場合に、送られるべき ping を一時的に溜めておくものである。後の時点で相手のエージェントが、オンラインになった際に再配送を行なうことになる。これにより、ping メッセージの着信時に利用者がオフラインであった場合でも、他の利用者の存在・状態情報や、誰が ping をかけてきたという情報は利用者がオンラインに復帰した際に活用することができる。



図表 3.4.3-4 「ひとのあかり」の実装例

さらに、これらの実装に基づき、何人かの参加者にシステムを実際に使ってもらった評価実験も行われている。特に「ひとのあかり」に関して、「表示器」の機能を組み込んだ場合とそうでない場合とで、ユーザのコミュニケーション行動に変化が見られたかの比較実験が行われており、「ひとのあかり」のメディアとしての特性とともに「表示器」の利

用者へのフィードバックの効果について評価が行われている（詳細の結果は〔2〕の改訂版を参照）。

（7）まとめ

ここでは利用者の「つながり感」を醸成することを目指したエージェントシステムの試みを紹介した。エージェントは、利用者のコミュニケーション行動（例えば電子メールのやりとりや、人々の間の ping メッセージ）の履歴を提示する機能を持つと同時に軽い直感的なコミュニケーションメディアを提供する。ここでのエージェントは、あれこれと利用者に対し指示を出したりせず、できるだけ利用者のコミュニケーション能力を引き出すように、出しゃばらないエージェント（“suggestive agent”）を目指している。

このような出しゃばらないエージェントを設計するには、どのような状況で、誰に使われるべきかを明確にする必要がある。ユーザのコミュニケーション活動のサマリという抽象的なものをいかに直感的に表現するか、また、言葉に表せない思いを伝えるメディアをいかにデザインするかという、ここで扱った問題は、新しいタイプのコミュニケーション支援エージェントをどのようにデザインするかという問題につながる。これは情報に形をあたえ、利用者の経験をデザインしようとする情報デザイン〔10〕の研究とも関連してこよう。

参考文献

- [1] モンフバートルデルゲルマー, 大黒 毅: E-mail 利用状況の直感的な表示—コミュニケーション行動に対するアウェアネスの改善に向けて—, 第 60 回情処全国大会講演論文集(4), pp. 167 - 168, 情報処理学会 (2000).
- [2] Gutwin, C., Stark, G., and Greenberg, S.: Support for Workspace Awareness in Educational Groupware, Proc. CSCL '95, pp. 147 - 156 (1995).
- [3] 林 浩一, 野村 恭彦, 陌間 端: アクティビティ・アウェアネス: 個人活動からコラボレーション空間形成, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 11, pp. 3977 - 3987 (1999).
- [4] 門脇 千恵, 爰川 知宏, 山上 俊彦, 杉田 恵三, 國藤 進: 情報取得アウェアネスによる組織情報の共有促進支援, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 1, pp. 111 - 121 (1999).
- [5] 松下 温, 岡田 謙一: コラボレーションとコミュニケーション, 分散協調メディアシリーズ 3, 共立出版 (1995).
- [6] 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, 情報処理学会誌, Vol. 36, No. 6, pp. 1332 - 1341 (1995).
- [7] 緒方 広明, 矢野 米雄: アウェアネスを指向した開放型グループ学習支援システム Sharlok の構築, 電子情報通信学会誌, Vol. J80-D-II, No. 4, pp. 874 - 882 (1997).
- [8] Ohguro, T.: Toward the Agents which are Suggestive of “Awareness of Connectedness”, Workshop on Software Agent and its Applications (SAA2000),

- pp. 207 - 214 (2000). (改訂版が IEICE Trans. (Special Issue on Software Agent and its Applications), Vol. E84-D, No. 8, 2001 に収録予定)
- [9] Ohguro, T., Yoshida, S., and Kuwabara, K.: Gleams of People: Monitoring the Presence of People with Multi-agent Architecture, in Nakashima, H. and Zhang, C. eds., Approaches to Intelligent Agents- Proceedings of the Second Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents (PRIMA '99), LNAI 1733, pp.170 - 182 Springer-Verlag (1999).
- [10] 須永 剛司, 永井 由美子: 情報デザインー情報に形を与えることー, 情報処理学会誌, Vol. 41, No. 11, pp. 1258 - 1263 (2000).
- [11] 高橋 正道, 北山 聡, 金子 郁容: ネットワーク・コミュニティにおける組織ウェアネスの計量と可視化, 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 11, pp. 3988 - 3999 (1999).
- [12] 垂水 浩幸: グループウェアとその応用, ソフトウェアテクノロジーシリーズ 12, 共立出版 (2000).
- [13] Yamakami, T. and Seki, Y.: Knowledge Awareness in Asynchronous Information Sharing, in D. R. Vogel et al., eds., Local Area Network Applications: Leveraging the LAN (Proc. of the IFIP TC8/WG8.4 Working Conference), pp. 215 - 225, North-Holland (1993).
- [14] Yoshida, S., Kamei, K., Ohguro, T., Kuwabara, K., and Funakoshi, K.: Building a Network Community Support System on the Multi-Agent Platform "Shine", Zhang, C. and Soo, V.-W. eds., Design and Applications of Intelligent Agents - Proceedings of the Third Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents (PRIMA 2000), LNAI 1881, pp. 88 - 100, Springer-Verlag (2000).
- [15] 吉田 仙, 大黒 毅, 亀井 剛次, 船越 要, 桑原 和宏: サイバーコミュニティのアプリケーションのためのプラットフォーム Shine の提案, 第 13 回人工知能学会全国大会論文集, pp. 461 - 462 (1999).

3.4.4 対話と感情モデル

本項では、人とエージェントの対話について、主にその機能的面について述べる。また、エージェントの行動選択およびインタフェースを柔軟にすることを目的とした感情モデルについての研究動向について示す。最後に、感情モデルについての評価実験の報告および、エージェントのパーソナリティ設計について簡単に報告する。

(1) 対話の機能について

「対話」という言葉は、たとえば、「親子の対話」「官民の対話」「日米の対話」「顧客と企業との対話」「教師と教え子との対話」などのように用いられる。これらのどの対話も、説明するまでもなく、情報伝達による相互理解をその基本機能として説明できる。しかしながら、その情報伝達は実は難しい。先に示した対話のどれもが、「うまくいっていないので、努力しましょう」という文脈で利用されることが多いことから、対話の困難性は理解できる。対話が困難となる原因の1つには、次に示されるいくつかの原則が守られていないからではないだろうか。これら原則は対話主体間（もしくは、情報伝達の主体と客体間）における約束事について述べられたものである。まず、対話原則として、

①明瞭性重視の原則

②対人関係重視の原則

がある。H. P. Grice は、①の明瞭性重視の原則に相当する対話において守るべき事項として以下に示すような会話の公準を提唱した [1]。

- a) 質の公準……根拠のある事実や真であることを伝える
- b) 量の公準……過不足ない情報を伝える
- c) 関係の公準……話し手と聞き手がお互いに関連した事項を伝える
- d) 様態の公準……明確に、簡潔に、順序立てて話す

G. Lakoff によると、②対人関係重視の原則として、次のような原則を提示した [1]。

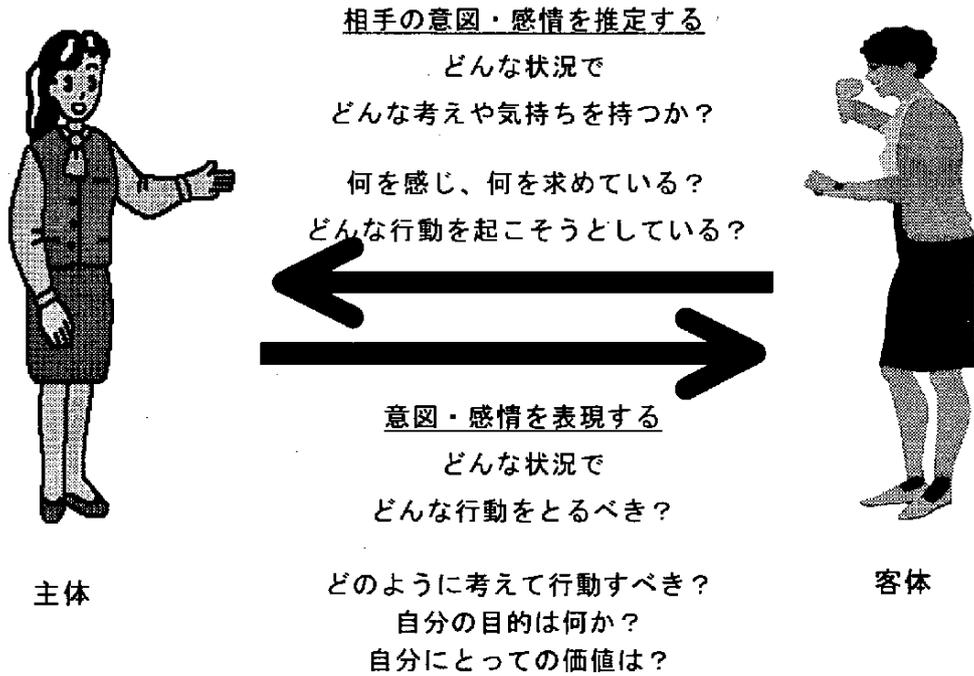
- a) 形式性の原則…相手に対して一定の距離を保つ
- b) 選択性の原則…相手に対して選択の余地を与える
- c) 同等性の原則…相手と自分が同等の地位関係にあるように振舞う

これらの原則は、対話を成り立たせるために必要なものである。

次に、なぜ対話が必要であるのかという観点から、対話の提供する機能を議論すると同時に先述した原則の理解を深める。図表 3.4.4-1 に人間同士の対話の様子を示す。対話の目的は、交渉・説得・談笑などさまざまなものが考えられるが、目標としては相互の意図や目的を理解することである。そのために、対話によって情報伝達を行うのである。

情報伝達の効率面から考えると、一時に大量の情報を伝達するほうがより効率が良い。たとえば、交渉・説得・指示などのタスク達成が重視されるのであれば、あれこれ議論せ

ず一気に自分の思いを伝えて目的を達成することが効率的で良い。しかしながら、人間は、1ターン（対話相手との情報伝達の1回をこのように呼ぶ）に大量の情報を与えられても、それを理解し、綿密な判断を行うことは困難である。G.A.Miller のマジカルナンバス 2 [2] が訴えるように、人間の短期記憶の容量には制約があり、一時に処理できる情報量は限られている。加えて忍耐性の問題もある。たとえば、電話口で5分もあるようなメッセージを集中して、何の確認もなしに聞きつづけることができるであろうか。たとえ聞けたとしても、記憶にどれだけ残るであろうか。あるいは、疲労の度合いも容易に想像できる。視覚的情報を例にしても 100 項目もあるようなメニューから瞬時に好みの注文を選び出すことも不可能に近い。このような場合、伝達されるべき多量の情報を、限られた量に区分した上でインタラクティブに処理することが必要である。人はそのやり取りを通じて、理解・判断・意思決定を行う。対話の機能の1つは情報を1ターンで伝達可能な量に細分化し、より効果的な情報伝達を行うということである。このことは、明瞭性重視の原則そのものである。



図表 3.4.4-1 対話は相互理解の手段

対人関係重視の原則においては、対話は相手の目的、理解度、あるいは志向などにあわせて行われる。たとえば、情報伝達する主体と伝達される客体の間では、客体の理解度に応じて、主体が伝達する内容の吟味を行うべきであるし、客体の要求に応じた情報が伝達されるべきである。主体は客体の振舞いを観察し、最善の情報伝達を行うべく対話を構築する。客体からの要望に応じることが、主体にとって対話を成り立たせる重要事項である。すなわち、対話の機能の第2は相手に合わせ、最適な情報提供あるいはその他のアクションを行うことである。

対話は、主体と客体の間で行われる情報伝達の一連の時系列的流れとしてとらえることができる。フェイスツーフェイスや電話などの同期的な対話であれば、こまかなインタラクションにて理解の度合いを増すことができる。また、電子メールなどの非同期の対話であれば、場合によっては思考の時間を十分に取る事ができる。対話の第3の機能は、主体と客体双方に、理解・判断を行う思考の時間を与える。同時に、対話の順序は双方に思考のプロセスを与える。これらは、明瞭性重視の原則の1つである、様態の公準（プロセスを与える）にあてはまると考えられる。また、対人関係重視の原則には明示的にはあらわされていないが、対話相手の理解度に応じたプロセス、もしくは時間を供与するという点では、対人関係を重視していると言える。

以上を整理すると、人とエージェントの対話で考慮すべき機能は、次の3点である。

- a) 対話は伝達する情報を細分化する
- b) 対話は相手に合わせて行われる
- c) 対話は思考の時間とプロセスを与える

これらは、先の原則に加えて、人間とエージェントの効果的・効率的な対話を設計する上で重要な機能として扱うべきである。

しかし、ここで示された一連の原則および機能は、対話のタスク達成という側面を中心に示されたものである。対話には、もう一つの別の重要な側面が存在する。それは、対話自身が目的として捉えられる場合である。このような対話について、(2)で検討を行う。

(2) 自己目的的な対話について

M. Csikszentmihalyi は、外発的報酬を得ることを動機とした行為ではなく、内発的動機を中心として行われる行為を説明するフロー理論を提唱している [3]。フローとは、その行為に没入している状態である。彼は、ロッククライマー、チェスプレイヤー、作曲家、バスケットボールプレイヤーなどを被験者として実験やインタビューを行い、フロー状態のモデル化を試みている。このフロー状態の特徴として、次のような項目をあげている。

- a) 遂行すべき課業が遂行能力の範囲内にある
- b) 行為と意識が融合し、邪魔になる刺激を注意の外におく
- c) 自我忘却しながらも支配の感覚を残す
- d) その行為が首尾一貫した矛盾のない行為である
- e) 自己目的である…それ自体のほかに目的や報酬を必要としない

これらの特徴からは、たとえば、懸命にTVゲームに打ち込む姿も容易に想像できる。西本らは、音声認識を利用したゲーム体験を題材に自己目的的な楽しさを実験・考察している [4]。3種の音声認識を利用したゲーム（算数の問題を解く、擬人化キャラクタと簡単な対話をする、クイズに答える）を題材に、15名の大学生・大学院生を被験者として実験を実施している。実験の目的としては、音声認識体験の自己目的的性に関連する性質を

調べることにした。考察として、ゲームコンテンツのみを楽しんだ被験者は多くないことから、音声認識（実際には、音声合成も利用した対話を行っていることから、音声対話と呼ぶほうが相応しいと思われる）そのものがゲーム性を持ち、体験の楽しさに貢献しているとした。また、音声認識の使用は創造的で知的な問題解決、あるいは演技などの表現活動と類似しているが、一方で、親しみやすくするという点では知覚されていないという点を抽出した。ところが、被験者は実験システムに対して、相手が子供や外国人であるかのように感じたという。認識と合成のそれぞれの影響をさらに詳しく検討する必要はあるが、被験者は実験で利用された音声対話システムに対して、イリュージョンを感じ、ある種のパーソナリティを感じたということが言えないだろうか。

先述した機能的な対話とは異なり、対話自身が楽しみの対象として取り扱われることは、エージェントとの対話においても求められるであろう。ペットロボットの主要な目的は、このような自己目的的な対話を提供することにある。ペットロボットやエージェントとの対話においても、先の対話の各種原則をいかに考慮するかは重要である。ペットロボットでは、対人関係（対ロボット関係・対エージェント関係？）重視の原則の変則が必要である。しかし、同等性の原則などは考えにくく、対ロボット・対エージェントに対する人間の優位性が原則となるべきであろう。また、明瞭性の原則においても、関係の公準などは、ペットやエージェントが話題と異なる事項を突如として話すことで、利用者の興味を強くひくこともありえる。これらのように、対話の原則は自己目的的な対話においても重要な役割を果たす。

（3）人とエージェントとの対話

まず、人間の行動特性についての幾つかの知見をあげる。B. Reeves および C. Nass の研究による Media Equation において、人はコンピュータを人と同等にみなすとした〔5〕。N. Humphrey は、社会的動物は自らの心のシミュレーションを行うことで相手の心理状況を推論するとした〔6〕。D. Dennett は、人間は自分と関わる対象の現象や行動に合理的な意図を見出そうという傾向があるとした〔7〕。これらの説によると、人間はエージェントに対して、人間と同等の期待をもつ可能性がある。しかしながら、エージェントは人間に期待されるほど高度な機能は持ち合わせていない。エージェントはあくまで人工物であり、人間が利用するような高度なモダリティを十分に活用して対話できるわけではない。また、人間の有する非常に高度な理解の構造はもたない。人間のエージェントに対する期待感と、エージェントで実現される機能・性能のギャップは問題とされる場合が多い。しかしこれは、あくまで「期待」が機能・性能を上回るということが問題であり、機能・性能が人間と同等でなければならないというわけではない。（もちろん、エージェントの機能・性能の高度化は研究開発されなければならない。エージェントの高機能化・高性能化を否定するわけではない。）人間がエージェントの機能・性能をある程度、理解していれば、このようなギャップによる期待はずれを減少させることができないだろうか。エージェントの提供する機能・性能および振舞い方を、人に如何に理解させるかが1つの課題である。加えて、人間の行動特性を十分に考慮した、エージェントと人とのコミュニケーションおよびコミュニティ造りを行うことが重要である。

(4) エージェントと感情モデル

工学分野においては、感情研究は積極的に行われてこなかった。哲学、心理学、社会学、生理学、生物学などにおける話題であった。しかし近年、ポケットゲームやペトロボットなどにおいて、感情の商品応用もなされており、研究も認知科学や人工知能分野でさかんに研究が進められている〔8〕〔9〕。ここでは、感情研究およびそのエージェントへの応用について述べる。

感情の工学的研究は主に以下の目的をもって進められている。

①知的処理の高度化

感情の知性への影響については、さまざまな指摘がなされている。M. Minsky は、感情は問題解決における目標構成に影響を与えると述べている。また、AI は感情処理の能力を備えるべきであるとも述べている〔10〕。W. James は、感情は認知においても行動においても主要な働きをなすと指摘している〔11〕。これらの知見から、工学的応用にあたっては、感情は価値評価の機能を持ち、認知に対して影響を与え、判断や行動の選択を可能にするという点が期待されている。感情モデルは、判断や評価のメカニズム、選択的注意および自律的行動決定などの実現に期待されている。

②インタフェースのわかり易さ

感情表出としては、P. Ekman and W. V. Friesen の顔表情の研究〔12〕が著名である。21カ国にわたる洋の東西を問わない文化圏で、6種類の顔表情が適切に分類されたという事実は、感情は普遍的なコミュニケーション・シグナルであることを裏付ける。また、先に示した人間の行動特性を積極的にとらえると、エージェントのインタフェースにエージェントの感情や意図の表出が自然に行えることが望ましい。自己目的的な対話を構成するにあたっては、感情モデルに基づく表出が、エージェントの内部状態の伝達に重要な役割を担うと考えられる。これらは、エージェントとの対話において、エージェントおよびその行為への納得性を確保するために必要な議論である。

一方、ペトロボットやサイバーペットにおいては、行動の意外性に重要な価値が認められる場合がある。自らの価値判断に基づく行動選択・生成機能はデザイン次第では、人間に対して意外性を与えることができる。実際には設計者さえ、感情モデルを思い通りに制御することが困難な場合もあり、結果的にそのことが意外性に結びつくことも考えうる。これらの納得性や意外性によって、人間はロボットやペットに対する親近感を覚える可能性がある。

上記に示した感情モデルが提供するであろう価値を実現するにあたって、大きく2通りのアプローチがある。一方は、エージェントやロボットの実装に、明示的に感情モデルを利用する立場である。もう一方は、明示的な感情モデルを持たずせに、対話の文脈や状況に基づく人間の解釈に任せるという立場である。前者としては、B. Hayes-Roth〔13〕、P. Maes〔14〕、J. Bates〔15〕、H. Ushida〔16〕などの研究がある。後者としては、R. Pfeifer〔17〕、T. Shibata〔18〕などの研究がある。

(5) エージェントとパーソナリティ

エージェントにパーソナリティ（個性）が必要かどうかは、一般的にはオープンな話題と捉えられているようである。それ以前に、パーソナリティの定義自体が明確ではない。しかし、先述の Media Equation 等の主張に従えば、エージェントにパーソナリティを持たせるかどうかではなく、エージェントと対話する人間が個性を必然的、無意識的に感じる傾向があり、この傾向をいかに扱うか議論のポイントとなる。このような行動特性を積極的に活かすには、エージェントに適切なパーソナリティを与えることが必要となる。

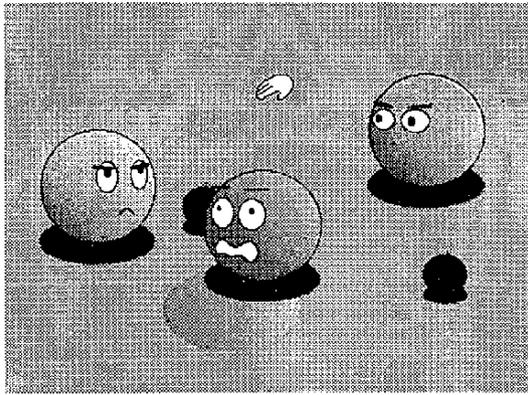
心理学領域では、the Big Five と呼ばれる 5 つの軸が定義されている。この知見を応用し、エージェントの個性の実装も行われている。D. Moffat は、Open、Conscientious、Extravert、Agreeable、Neurotic の 5 つのパラメータに正負の程度を与えることで個性を生成することを提案した [19]。B. Reeves and C. Nass は、the Big Five はどれも重要であるとしながらも、特に、メディアートされたパーソナリティ（たとえば、擬人化エージェントあるいはペットロボットなど）では、dominance-submissiveness および、friendliness-unfriendliness が支配的な 2 軸であるとしている。加えて、メディアートされたパーソナリティは明確に区別可能であるとの規則を抽出している [5]。

(6) 感情モデルの適応と評価事例

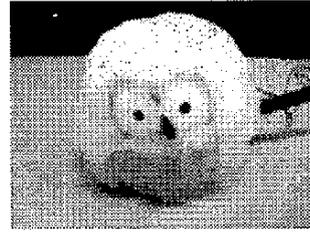
先にエージェントが感情モデルを活用する効果の 1 つとして、「インタフェースのわかりやすさ」をあげた。ここでは、感情の顔表出に重点をおいて実装したエージェントを題材に行った評価実験について報告する [20]。実験で利用したエージェントは、心と意識をモデル化した MaC モデル [21] によって自律的行動選択および感情表出を行う。評価目的は、感情モデルが有効に働き、エージェントのインタフェースを通じて正確に被験者に伝わるかを検証することである。

実験システムの画面イメージを、図表 3.4.4-2 に示す。本システムは CreatureWorld と呼ばれる仮想世界に 3 体のエージェントが存在し、それらが利用者と触覚センサ（図表 3.4.4-3）を通じて対話を行う。3 体のエージェントは、異なるパーソナリティを持ち、それぞれ赤・青・黄の色、異なる顔表情、および音声を持つ。感情に基づく顔表情の表出については、P. Ekman and W. V. Friesen の理論に基づいて設計している。図表 3.4.4-4 に感情発現を促す要因例をあげる。利用者はマウスによって、図表 3.4.4-2 中に示される手の形のポインタによって、触れたいエージェントを指定し、さらに触覚センサを通じ、エージェントを「たたく」「なでる」ことができる。また、仮想世界に対してエージェントの食糧である「りんご」を自由な場所に配置することができる。エージェントは、仮想世界内を自律移動し、食欲や喉の渇きに応じてりんごや水を摂取する。

実験は、表出される感情の理解、個性の理解、および振舞いから受ける印象という 3 つの観点から実施した。被験者数は 23 人（男性 13 女性 10）で、各被験者は 3 実験全てに参加した。被験者には仮想世界とそのインタラクション方法に関する説明だけが与えられた。



図表 3.4.4-2 仮想世界



図表 3.4.4-3 触覚センサ

実験 1. 表出感情の指摘

目的：エージェントの表出感情に対する理解容易性を評価する

手順：仮想世界の実行の様子を撮影した 6 分間の映像を見てエージェントが表出する感情の種類をリアルタイムで被験者に回答してもらい、次式によりその正答率を求める。

正答率 = 正答数 / 有効回答数

正 答 数：表出感情を正しく指摘できた回答の数、

有効回答数：感情に無関係な回答(動作)を除いた回答の数、

全被験者あわせて 正答数 = 458、有効回答数 = 522

結果：図表 3.4.4-5 に感情別の正答率を示す。

考察：全感情の平均では 9 割近くの正答率を得ているが、「驚き」と「嫌悪」では正答率が低い (6~7 割)。これらの原因はともに他の感情との表現の類似性と感情を表出する状況の類似性にある。例えば、「驚き」の表情は「恐怖」の表情に類似しており、また、「ユーザからたたかれた」という状況で表出される「嫌悪」に対し「怒り」と「痛がる」という誤答が多い。

図表 3.4.4-4 エージェントの持つ感情と状況の例

感情	感情発生を促す要因例
喜び	●ユーザからなでられた ●食糧や水を摂取した
怒り	●食糧や水を他者 (エージェント) に取られた
悲しみ	●なでて欲しい時、ユーザの手が遠ざかる ●食糧や水を他者に取られた
恐怖	●他者から威嚇や攻撃をされた
嫌悪	●ユーザからたたかれた ●嫌いな物体 (ユーザの手・他者) が近付いた
驚き	●突然、他者が近くで声を発した

図表 3.4.4-5 各感情の正答率

	喜び	怒り	悲しみ	恐怖	嫌悪	驚き	平均
正答率 (%)	100.0	100.0	80.2	89.0	67.9	63.8	87.7

実験 2. 感情および個性の列挙

目的：エージェントの個性に対する理解容易性を評価する

手順：仮想世界との自由なインタラクションを5分間体験してもらった後、エージェントの個性を被験者に列挙してもらう。図表 3.4.4-6 に各エージェントの個性に関するパラメータ設定内容を示す。各エージェントのパーソナリティは、一言では「赤は激しい」「青は臆病」「黄は落ち着いた」となる。これらを図表に示すとおりのパラメータ設定によってパーソナリティを設定した。

結果：図表 3.4.4-7 に被験者が自由記述によって指摘した各エージェントの個性を示す。

考察：個性の設定内容と被験者の解釈はほぼ一致している。例えば、青に対する臆病という解釈は、恐怖のしきい値が最も低く、恐怖を表出しやすいという設定内容と一致する。

図表 3.4.4-6 個性パラメータの設定

要因	設定パラメータ値の大小関係
生得的目標	快適刺激欲求度： 赤<黄<青
経験的目標	固執度の減衰係数： 赤<青、黄
感情表出に対する閾値	喜び： 青<黄<赤 怒り： 赤<黄<青 悲しみ： 青<黄<赤 恐怖： 青<黄<赤 嫌悪： 赤<黄<青 驚き： 青<赤<黄
行動生成に対する閾値	威嚇： 赤<黄<青 快適刺激要求： 青<黄<赤 譲渡依頼： 青<黄<赤

図表 3.4.4-7 被験者による個性の指摘結果

エージェント種別	被験者が指摘した個性 ()内の数は回答者数
青	臆病(7)、従順(3)、おとなしい(2)、甘えた(2)、 社交的(2)、好奇心旺盛(1)、寂しがり(1)
黄	普通(5)、マイペース(3)、気弱(3)
赤	怒りっぽい(15)、攻撃的(3)、わがまま(3)、意地悪(2)

実験 3. エージェントの振舞いに対する印象

目的：エージェントの振舞いの生物らしさを評価する。

手順：実験 2 の体験でのエージェントの観測結果から次の機能が感じられたかどうかを被験者に 7 段階で評価してもらう。「自律性」、「意図」、「学習」、「感情」、「個性」、「ユーザとの相互作用」、「エージェント同士の相互作用」

結果：図表 3.4.4-8 に各項目に対する評価回答(数字は人数)を示す。

図表 3.4.4-8 エージェントの振舞いに対する印象

	肯定			どちらでもない	否定		
	かなり	まあ	やや		やや	まあ	かなり
生物らしさ	1	8	6	4	2	2	0
自律性	2	10	1	4	5	1	0
意図	1	11	9	0	0	2	0
学習・適応	0	7	3	9	2	2	0
感情	2	11	9	0	0	1	0
個性	9	12	2	0	0	0	0
ユーザとの相互作用	2	4	10	4	3	0	0
他者との相互作用	4	15	4	0	0	0	0

考察：被験者の約 65%が振舞いの生物らしさを認める回答をしている。特に、意図、感情および個性の生成と表出については 9 割以上の被験者がその機能の存在を認識している。一方、学習・適応の機能が不十分であったことがわかる。

なお、本実験で利用した MaC モデルはリファインを重ね、ペットロボットへの応用 [22]、擬人化エージェントへの応用 [23] を行っている。

(7) エージェントのパーソナリティ設計について

エージェントが商用で利用される場合には、企業、あるいはある製品ブランドのイメージを大切にしなければならない。ヒューマン・エージェントであっても、人工物のエージェントであっても同様であろう。

一方、エージェントの容姿・振舞いなどの設計パラメータのバリエーションは非常に複雑である。音声対話を行う場合にも、音声の声質、ワーディング(スクリプト)、対話フローなど、個々のものを取り上げてもそのバリエーションは多量であり、実際にはこれらの組み合わせを最適に設計しなければならない。

これらの市場ニーズと技術シーズを最適に結びつけるための方策が必要である。この方策の 1 つとして、エージェントのパーソナリティの設定が考えられる。たとえば、ブランドイメージ・企業イメージなどは、エージェントによって消費者・ユーザに伝えられる。このエージェントの容姿・振舞いを規定するのがパーソナリティである。加えて、エージェントのインタフェースやインタラクションを設計する上で、重要な制約となるのもパーソナリティである。パーソナリティ設計を考慮して設計されたエージェントとそうでないものとは、同一機能であったとしても、成績に明確な違いが出るのが容易に想像でき

よう。このような、ソーシャル・インテリジェンス（社会生活を営む上で必要となる知性）が適切に与えられたエージェントが、購買率や再購買率などに与える影響を研究した事例もある〔24〕。

エージェントの感情モデルの実装にあたっては、明示的な感情モデルを持たせるというアプローチと、文脈や状況を鑑みた対話する相手の人間による解釈に任せ、感情についての明示的なモデルを持たないというアプローチがあることを先述した。パーソナリティについてはどうであろうか。パーソナリティ自身の定義が、あいまいな点は否めないが、パーソナリティをインタフェース・デザインとして考慮することは可能である。たとえば、擬人化エージェントのキャラクタの容姿、振舞い、音声など多かれ少なかれ検討されている場合がほとんどであろう。

以降でエージェントのパーソナリティ設計の一部を紹介する〔25〕〔26〕。パーソナリティの定式化にあたっては、先に示した the Big Five があるが、設計作業における単純化を狙い、B. Reeves and C. Nass の提案する 2 軸の表現を支持し、これをエージェントのパーソナリティ設計に応用している。概ね、次のようなステップにそってパーソナリティ設計を行う。

ステップ 1：目的の明確化

まず、エージェント導入の目的を明確にする。

- a) 企業イメージ・ブランドイメージとして、どのようなものを目指すのか。
- b) エージェントに与えられる使命は何か。
- c) エージェントが実行するタスクはどのようなタスクか。
- d) どのような利用者像（ユーザモデル）であるのか。

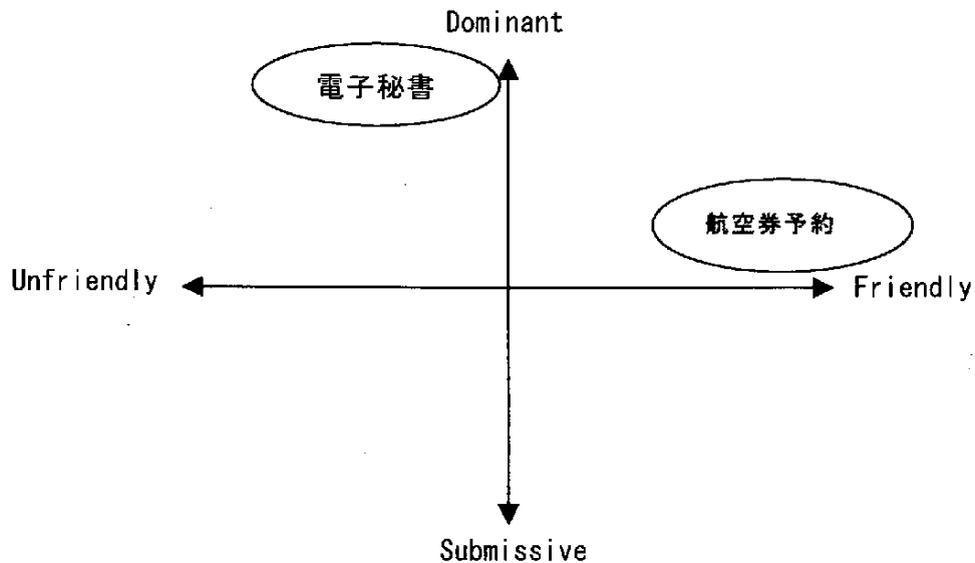
などの点を明らかにする。

ステップ 2：パーソナリティの表現

次に、先の 2 軸を 2 次元マップ上にあらわしたパーソナリティマップ、およびパーソナリティの記述したバックストーリーにてエージェントのパーソナリティを明示する。図表 3.4.4-9、図表 3.4.4-10 にそれぞれの例を示す。

図表 3.4.4-9 において、航空券予約では、タスクが複雑である点、また、予約という業務であることから、「親切に対応し、かつ、ある程度の自信を持って処理する」というようなことを期待してマッピングしている。また、電子秘書については、毎日のように利用することから、「親しみよりも、自信を持って対応する」ことを重要視している。ただし、これらは一例であって、ブランドイメージやユーザ像によって同一タスクによってもパーソナリティマップの位置は移動する。

図表 3.4.4-10 のバックストーリーにおいては、サービス実行にあたって必要な要件を挙げていく。ここで記述されたことは、設計者間でイメージの共有を促進するのに役立つ。



図表 3. 4. 4-9 パーソナリティマップの例

彼女は、

- 親しみやすく、自信をもっている
- 並外れて有能で知的である
- 機知に富み、抜け目のないところがある
- 同僚や友人を褒め称える
- どのような管理上の危機にも落ち着いて対処できる

彼女の仕事は、

- 作業をテキパキと進める
- 質問されても気持ち良く答える

図表 3. 4. 4-10 バックストーリーの例

ステップ3：エージェントのデザイン

エージェントのインタフェース・インタラクションの設計を行う。次のカテゴリについて、パーソナリティ定義に基づいたパラメータ設定を行う。

- a) 容姿
- b) 振舞い
- c) 声質
- d) ワーディング (スクリプト)
- e) 対話フロー

これらのコンビネーションも重要な検討要素である。対話フローによって、文脈の限定を行い、各ターン（インタラクション）のステートにおいて、ワーディング・振舞いが一致していないと、利用者は違和感を覚える〔27〕。

（8）まとめ

人とエージェントの対話について、対話の原則から対話が提供するべき機能について述べた。エージェントをより知的に、また、わかりやすいインタフェースの実現に向けて取り組まれている感情モデルの研究動向について簡単に示した。これらを通じ、人間の行動特性についての知見を最大限に生かし、エージェントの内部および表出面の設計を、より有効に行える可能性を示した。

参考文献

- [1] 長尾真編, 岩波ソフトウェア講座 15「自然言語処理」, 岩波書店, 1996
- [2] G.A. Miller, The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity to Process Information, *Psychological Review*, 63, pp.81-97, 1956
- [3] M. Csikszentmihalyi, 今村浩明訳, 楽しみの社会学, 新思索社, 2000
- [4] 西本卓也, 新美康永, 音声認識の自己目的的な楽しさ, 人工知能学会研究会資料, SIG-SLUD-9804, pp.13-18, 1999
- [5] Byron Reeves and Clifford Nass, "The Media Equation", Cambridge University Press, 1996
- [6] ニコラス・ハンフリー, 垂水雄二訳, "内なる目", 紀伊国屋書店, 1993
- [7] ダニエル・C・デネット, 若島正・河田学訳, "志向姿勢の哲学", 白揚社, 1996
- [8] 特集: 感情のモデルと工学的応用の動向, 日本ファジィ学会誌 Vol.12 No.6, 2000
- [9] G. Hatano N. Okada, and H. Tanabe (editors), "Affective Minds", Elsevier, 2000
- [10] D.G. Stork, Scientist on the Set: An Interview with Marvin Minsky, In D. G. Stork ed. HAL's Legacy, 2001's Computer as Dream and Reality, MIT Press, 1997
- [11] W. James, The Principles of Psychology, New York Holt, 1980
- [12] P. Ekman and W.V. Friesen, "Unmasking the Face", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 1975
- [13] B. Hayes-Roth, Improvisational Characters, In proceedings of the IJCAI-97 Workshop on Animated Interface Agents: Making Them Intelligent, 1997
- [14] P. Maes, Artificial Life Meets Entertainment: Lifelike Autonomous Agents, *Communication of the ACM*, 38(11), 1995
- [15] J. Bates, The role of emotion in believable characters, *Communication of ACM*, 37, 7, 1994
- [16] H. Ushida, Y. Hirayama and H. Nakajima: Emotion model for life-like agent and its evaluation, *Proceedings of the 15th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-98)*, pp.62-69, 1998
- [17] R. Pfeifer, The Fungus Eater approach to emotion: a view from artificial intelligence. *Cognitive Studies*, 1, 42-57. (in Japanese -- "Distinguished paper

- award for 1994", Japanese Society for Cognitive Science). English version: Technical report, IFI-AI-95, Artificial Intelligence Laboratory, University of Zurich, 1994
- [18] T. Shibata, et al., Emotional Robot for Intelligent System - Artificial Emotional Creature Projects, Proceedings of 5th IEEE International Workshop on ROMAN, pp466-471, 1996
 - [19] D. Moffat, "Personality Parameters and Programs", Creating Personalities for Synthetic Actors, Springer, 1997
 - [20] 平山裕司, 牛田博英, 中嶋宏, 擬人化エージェントのための感情モデルの試作, 第14回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 693-696, 1998
 - [21] 牛田博英, 平山裕司, 中嶋宏, 自律的行動決定モデルに基づくインタフェースエージェント, 電子情報通信学会論文誌 知能情報メディア特集号, Vol. J82-D-II, No. 10, 1999
 - [22] 牛田博英, 平山裕司, 中嶋宏, 田島年浩, 工藤敏巳, 齋藤幸弘, 感情モデルのペットロボットへの適用, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'98講演論文集, 2C11-4-5, 1998
 - [23] 牛田博英, 平山裕司, 中嶋宏, インタフェース・エージェントにおける対話制御, ヒューマンインタフェースシンポジウム'99講演論文集, 1999
 - [24] Youngme Moon, "When the computer is the "salesperson": Consumer responses to computer "personalities" in interactive marketing situations", Harvard Business School Working Paper 99-041, 1998
 - [25] 大本浩司, 中嶋宏, 森島泰則, Voice User Interface における設計技術—電話音声対話システムの設計手法について, OMRON Technics Vol. 40, No. 1, (133), 2000
 - [26] 大本浩司, 中嶋宏, 森島康則, Voice User Interface におけるパーソナリティ, proceedings of Human Interface Symposium 99, 1999
 - [27] Katherine Isbister, "サイバー空間での社会的インタラクションのための設計", 情報処理, Vol. 40, No. 6, pp. 569-574, 1999

3.4.5 非言語とコミュニケーション

(1) 概要

人間同士のコミュニケーションにおいては言葉以外に、身振り・手振り、表情、しぐさ、抑揚、発話速度などのさまざまな様態（モダリティ）が複合的に用いられている。またこれらのさまざまなモダリティを用いることによって、言葉だけでは表現しきれない内面の感情的な情報を適格に伝達したり、コミュニケーションをより自然で円滑なものにしている。従って言葉以外の情報、つまり「非言語（non-verbal）」は、コミュニケーションにおいて重要な役割を担っていると考えられる。また近年、この非言語をマン・マシンインタフェースに応用したマルチモーダルインタフェース [1] が各所で開発されている。正確には、非言語インタフェース（ノンバーバルインタフェース）とマルチモーダルインタフェースは同義ではないが、言葉（特に音声言語）に加えてジェスチャなどの非言語情報を介して人間と機械の間のインタラクションを行わせしめるものがマルチモーダルインタフェースと呼ばれている。マルチモーダルインタフェースは、人間あるいはなにがしかの生物の風貌をしたキャラクタ・エージェント（一般に「擬人化エージェント」と呼ばれる）の形で実現されているものが多い。擬人化エージェントは機能的にみればキーボード・マウスのようなユーザインタフェースの一種であり、また別の見方をすればソフトウェアエージェントの一種である（従って、「インタフェースエージェント」と呼ばれる。）。エージェントであるからには、当然「自律性、学習能力」といった、エージェントの要件を満たしていなければならない、つまりあたかも実在の人間であるかのような振舞いをするのが要求されるのである（より高度な知的機能を持つマルチモーダルインタフェースはPUI [2] と呼ばれる。）。また上記擬人化エージェントはコンピュータ上の仮想的な実体であるが、物理的な実体のあるロボットも知的処理機能を高めることによりインタフェースエージェントになり得るであろう。つまり IT 技術が発展した今後の社会（これを「e-コミュニティ」と呼ぼう）においては、人間、さまざまな個人・組織の代理人としてのエージェント（実体のないソフトウェアエージェントと実体のあるロボット）がネットワークで結ばれ渾然一体として存在するようになると思像される。これらの人間やエージェントが実空間やサイバー空間を共有しながらさまざまな社会活動をするのであろう。

本項ではこのような e-コミュニティにおけるコミュニケーション（「e-コミュニケーション」と呼ぶ）と非言語の関連について考察する。そこで、一般のコミュニケーションにおける非言語の役割について概説し、次に非言語情報を積極的に活用したマルチモーダルインタフェースの研究事例を紹介する。最後に非言語における擬人化と個人化、e-コミュニティにおける非言語の役割について考察する。

なお本稿では、「マルチモーダルインタフェース、擬人化エージェント、インタフェースエージェント、対話型（ユーザ）インタフェース」といった用語はほぼ同義として扱う。

(2) 非言語とコミュニケーション

ここでは、人間のコミュニケーションにおける非言語の機能について述べ、インタフェースとの関りを考察する。

黒川〔3〕によれば非言語情報には図表 3.4.5-1 のようなものがある。これらはコミュニケーションに密接に関係があるものから関係の薄いものまでさまざまであるが、特にコミュニケーションに関連深いものとしては身体動作と周辺言語が挙げられる。

図表 3.4.5-1 非言語情報の種類（黒川〔3〕より引用）

ノンバーバル言語		属性など
身体動作	表情 視線 瞳孔 身振り 口唇の動き 姿勢（構え）	視線交差、凝視、無視 散大・縮小 口話含む
生理的行動	くしゃみ、あくび	
対人接触		
対人距離	個人空間、距離、位置	
周辺言語	声質 発声法 特徴性 限定性 遊離性	アクセント、ピッチ、発音 笑い、泣き、うめき、叫び 強勢、大小、長短 つなぎ、間、沈黙
身体的特徴	体格、体型 容貌 皮膚 頭髪	顔面形状、髭 色、皺、体毛 色、毛質、はげ、髪型
発汗		
体臭		
衣服	帽子、上着、下着、制服 ネクタイ、靴下、履物	
装飾品	バッジ、イヤリング、指輪 ネックレス、かつら	
眼鏡		
化粧		
身体加工	入れ墨、ピアス、整形 染髪、脱毛	

Ekman らは身体動作を図表 3.4.5-2 のように分類している。このなかで、「標識(emblem)」はことばに言い換え可能なものである。勝利を表す V サインや、人差し指を立てて数値の「1」を表すものなどである。また、首の立て振り・横振りで肯定・否定を表すのもこの標識に相当する。「例示子」は、発話に並行して表現されるものであり、発話の内容や流れに関連して内容を強調したり、精緻化したり、補足したりするもので、これらはコミュニケーションを促進するのに役立つ。対象を指差す動作もこれに該当する。「情感表現」は、情動の表出であり、こぶしを作って振るわせる「怒り」の表現などである。「調整子」は、話す順番を決定したり、発話権の授受を制御したり、会話の流れを円滑にする機能を持つ動作である。「適応子」は、身体的要求を満たしたり、情緒を管理したりといった、

状況に適応するための身体動作で、頭をかく、足を組む、相手との距離を変えるなどの動作がこれに相当する。周辺言語は音声に含まれる属性から音声言語を除いたものであり、アクセント、ピッチ、間、などが相当する。周辺言語は「調整子」の機能を持つといわれている。このように、非言語の中でも例示子・調整子に相当する情報は、コミュニケーションを促進し円滑にする機能がある。

図表 3.4.5-2 身体動作の分類

標識	音声語句に翻訳可能。
例示子	発話の内容や流れと結びつき、発話内容を強調、精緻化、補足する。
情感表示	情動に伴う表情、身振り
調整子	発話権の授受を制御したり会話の流れを円滑にする動作
適応子	状況に適応するための動作

コミュニケーションにおける非言語の重要性を実証するものとしてマレービアンの実験の報告〔4〕を挙げよう。それによれば次のように報告されている。

好意の総計 = 言葉による好意表現(7%) + 声による好意表現(38%)
+ 顔による好意表現(55%)

感情の総計 = 言葉による感情表現(7%) + 声による感情表現(38%)
+ 顔による感情表現(55%)

上記第1式は、「人間の対話において、相手に対する好意の気持ちが言葉では7%、言葉以外では93%の割合で伝わる」ということを示している。つまり相手に対する好意の気持ちのほとんどは非言語を介して伝達されるということである。第2式は感情の伝わり方についても同様であることを示す。

以上のように、非言語は意図や意味内容を伝達する役割は少ないが、発話者の内的な状態（特に感情）を伝達したり、対話を円滑化・促進化するのに重要な役割を持つことが分る。従ってインタフェースエージェントのような音声対話型のユーザインタフェースにおいてもこのような機能を見捨てるわけにはゆかない。なぜならこれらがユーザインタフェースの重要な要素である、親近性、安心感、快適性、といった付加価値を与える役割があるからである。逆にこのような付加価値を持たないインタフェースエージェントは、応答の仕方が不自然で使い勝手が悪くて実用にはならないであろう。

(3) 事例紹介

ここでは、非言語の持つ役割を積極的に活用したインタフェースエージェントの研究事例として、RWCP マルチモーダル機能シャープ研究室（以後「当研究室」と称す）で行われている研究開発〔5〕について紹介する。

①概要

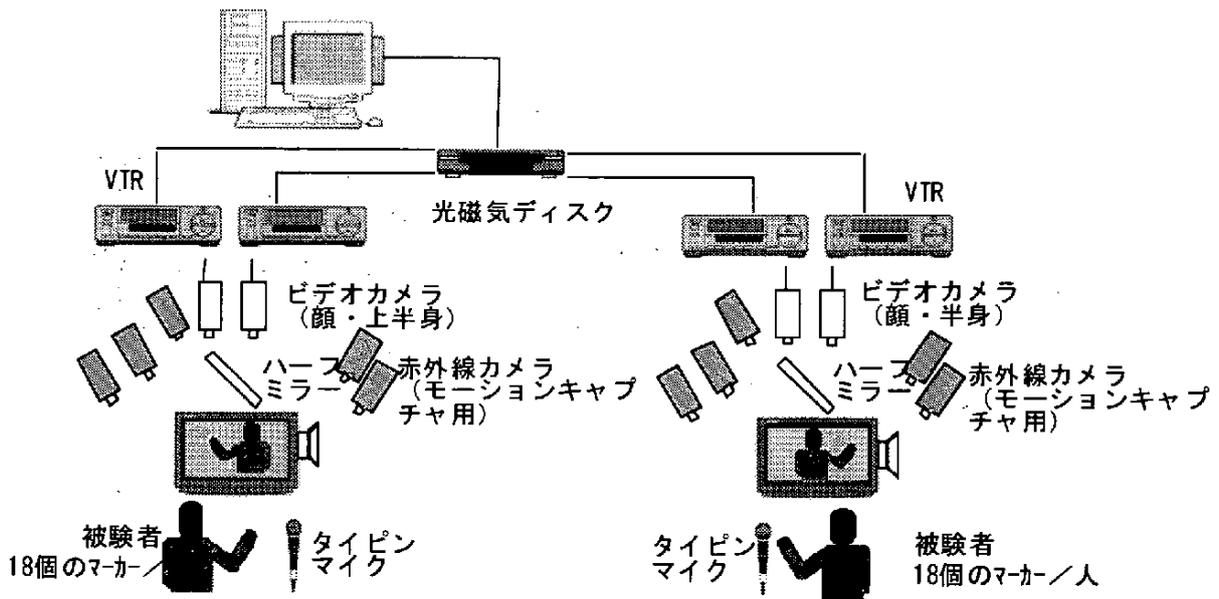
当研究室では経済産業省が推進するリアルワールドコンピューティング（RWC）プロジェクトにおいて、マルチモーダルインタフェースの研究開発を進めている。ここでは人間の対話そのものを一つの研究対象とし、実際の人間同士の対話データを多数収録したデータベースを構築している。これらをさまざまな角度から分析し、特徴を抽出、これにより得られた知見を活かした対話型インタフェースのプロトタイプシステムを試作している。

なお、リアルワールドコンピューティング（RWC）プロジェクト〔6〕は、経済産業省が実世界の情報を処理する革新的な情報処理技術体系の確立を目指して1992年度にスタートさせた10年計画の国家プロジェクトである。その前に実施された第五世代コンピュータプロジェクトの後継的な位置付けである。プロジェクトを推進する母体は、「技術研究組合新情報処理開発機構（RWCP）」と呼ばれる研究組合組織であり、これには国内民間企業及び、ドイツのGMDのような海外国立研究機関など約20の組織が組合員を構成している。更に、電子技術総合研究所や国内外の大学が共同研究や再委託の形でプロジェクトの研究開発に参加している。

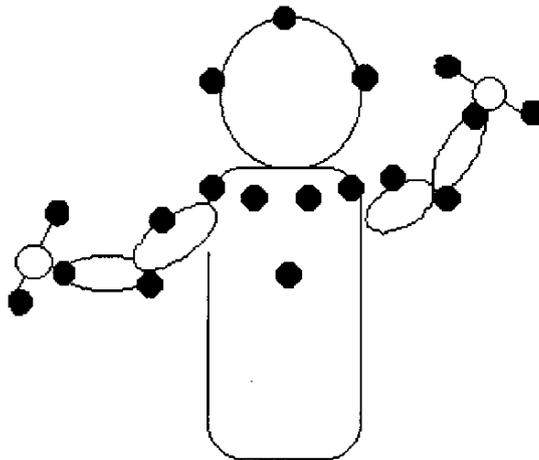
②マルチモーダル対話データベース

当研究室では、人間同士の対話過程を分析するために、音声と画像の同期を保ちながらこれらを収録するマルチモーダル対話データ収集システム〔7〕を構築した。図表 3.4.5-3のように、本システムは、話者の音声を捉えるマイクと、正面から顔及び上半身画像を捉える2台のカメラを内蔵したモニタ（29インチ、ハーフミラー搭載）を備え、別々の部屋に居る二人がモニタに映し出される相手と対話できるようにしたものである。二人の対話は、それぞれ2台ずつ、合計4台のVTRに収録される。4台のVTRはパソコンで同期を取りながら操作が可能であり、二人の対話の様子を同時に観察しながら、発話内容や音声ピッチ、しぐさ、頭の動き、表情などが分析できるようになっている。従来は相づちなど動きの情報にタグ付けするには、VTRを何度も再生しながら人手で行っていたために膨大な労力と時間を要していた。タグの種類としては、頭の向きや手の形、動きの方向などをコード化して、記号で記述する試みがあるが、観察者によりタグの付け方に揺れがあるという問題がある。そこで本対話データ収集システムには、人手を殆ど介さない客観的なデータを供することができるよう、光学式モーションキャプチャシステムを導入した。当研究室が導入したモーションキャプチャシステムでは、赤外線カメラで被験者の身体につけたマーカを光学的にとらえて、対話をしている時に身を乗り出したり、強調の動作をしたり、物の形や大きさの説明をしたり、あるいはうなずいたりしている時のマーカの位置の3次元数値データを時間情報と共に自動的に得ることが出来る。マーカは図表 3.4.5-4に示すように、上半身に18個つけている。これにより、これまで人手で行っていた動きの分析を効率的かつ客観的に行うことが可能になった。また各部位の単一な動きだけでなく、頭や腕、手などがそれぞれ相補って全体的にどのような動きを形成しているのかの分析も可能である。

当研究室ではこれまでに通算25組の対話データを収集した。今後も対話場面を変更したり、被験者数を増やすなどして、データベースの充実を図ることになっている。



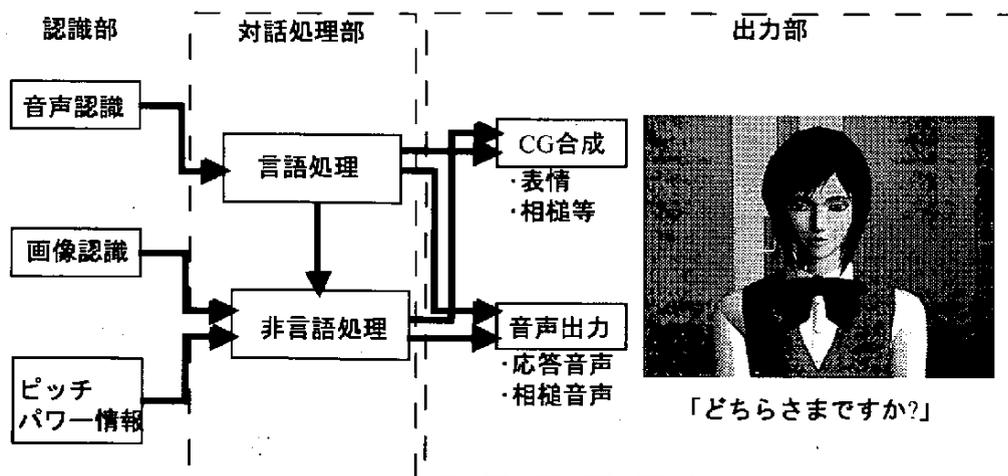
図表 3. 4. 5-3 マルチモーダル対話データ収集システム



図表 3. 4. 5-4 マーカの位置

③マルチモーダルインタフェースエージェント MAICO

MAICO (Multimodal Agent Interface for COmmunication) は当研究室が開発しているインタフェースエージェントであり、ユーザと対話を行うだけでなく、ユーザ音声のパワー情報を利用して相づちを打つのが特徴である。図表 3. 4. 5-5 にシステム構成図を示すが、ここでは非言語処理による相づちの実装について述べる。



図表 3.4.5-5 MAICO のシステム構成図

人間の相づちの振舞いを分析するために当研究室では次のような実験を行った。あらかじめ収録した語りかける口調の 160 秒の音声から、言語情報を落としたピッチのみの音声を作成し、それを被験者に提示し、被験者が相づちしている様子を 1 フレーム=1/30sec で録画する。このデータを基に、「えー」「へー」などの音声や頷きの動作によって相づちを出している区間の自己相関を求めた結果いくつかのデータにはピークが見られ、何らかの周期性（リズム）があるものと推測される。また、そのピークは入力のパッチの自己相関とも被験者によっても異なることから、単に受動的に発話者のピッチに合わせた相づちではなく、自分自身の状態に基づいて能動的、自律的に発話に関わるものがあると考えられる。

相づちそのものが本質的に持っている発話者に対する受動性と、データの解析から推測される自律性を兼ね備えたモデルとし、以下のように力学系対話処理モデルを相づちに適用した。

- a) 話者が話し続けると相づちを打ちたい気持ちが上昇、発話の途中でも気持ちが強くなれば相づちを打ち、同時に気持ちも下降する。
- b) 話者が話をやめると、相づちを打ちやすくなる。
- c) 話者の話と聴取者の気持ちの盛り上がり具合が合えば、大きく影響を受ける。

以上を、相づちを打ちたい気持ち x とその変化 q をエージェントの状態とし、ユーザからの入力としてユーザの音声パワー V を用いて定式化した。ここでは「相づちを打ちたい」という気持ちに対して力学系対話処理モデルを適用する。これはある時刻 t におけるシステムの状態を x 、ユーザとシステムの気持ちの一致を $y (=V-q)$ とするとき、 f_{int} をシステム自身の状態、 f_{ext} をユーザの影響とみなし、システムの状態の変化 q を(1) - (4)式で表すものである。

$$\frac{dx}{dt} = q \quad (1)$$

$$\frac{dq}{dt} = f_{in}(x) + f_{ex}(y) \quad (2)$$

$$f_{in}(x) = -\omega^2 x \quad (3)$$

$$f_{ex}(y) = \begin{cases} b(y-a)^2 + c & \text{if } y < 0 \\ -b(y+a)^2 - c & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

ここで ω はシステムの持つリズム、 a 、 b は正の定数である。相づちを打ちたい気持ちは時間によって変化する。ある時刻 t におけるシステムの状態の変化は、システムの状態の変化量とユーザの気持ちの状態変化量の双方に依存することを示している。これはユーザの振る舞い（外部パラメータ）だけでなく、システムの内部状態からも影響を受けることを示す。即ち、ユーザに対する反射的な反応しか示さない受動的なシステムではなく、自律的な反応を持ち、且つ、ユーザの気持ちの変化に応じた反応を示し、自分自身で対話に関わることのできる能動的なシステムとなっている。

次にMAICOの振舞いについて述べる。MAICOはユーザが語り掛けると「はい、ええ」などの相づちを交えて表情豊かに応答する。またMAICOはキーワードベースの言語処理機能及びオートマトンを用いた対話制御機能を備えており、ユーザと対話をしながら予め設定したタスクを実行する。現在までに、将来の応用として「留守番テレビ電話のエージェント」や「天気予報検索」等を想定したデモシステムが試作されている。

図表 3.4.5-6 に MAICO の対話例を示す。

ユーザ：もしもし。
MAICO：（うなずき）はい。（うなずき）
ユーザ：田中さんのお宅でしょうか？
MAICO：はい。（うなずき） あいく、田中はただいま留守にしておりますが、 メッセージがありましたら、どうぞ。
ユーザ：留守ですか。えーと、向井ですけれども、 今度の休みにスキーに行く計画があるので返事をください。
MAICO：（うなずき）申し訳ございません。 （おじぎ）出発はいつですか？

図表 3.4.5-6 MAICO の対話例

（4）非言語による擬人化と個人化

昨年度の本委員会報告書においてインタフェースエージェントの「擬人化」と「個人化」について議論がなされたが、本節では非言語という観点から擬人化と個人化について簡単に述べる。

①非言語による擬人化

擬人化とは人間の所作に近い振舞いをするエージェントを創造することであり、非言語レベルでの擬人化とは(2)で述べた身体動作や周辺言語を実際の人間のそれに近づけることにほかならない。(3)の事例では、擬人化エージェントに相づち機能を付加しており、ユーザの音声のパワー情報とエージェント自身が内部に持っているある種のリズムを力学系で記述し、ユーザの語りかけに対して絶妙なタイミングで相づちを打たせることができる。またマルチモーダル対話データベースを分析して得られる知見をエージェントの振舞いに応用したり、モーションキャプチャから得られる動きデータを使ってエージェントの動作を制御させたりしている。これによりリアリティの高い動作をすることが可能になっている。

②非言語による個人化

通常、個人化と言えばユーザの趣味や嗜好に合ったコンテンツを提供するというようなコンテキストで用いられることが多いが、非言語レベルでの個人化もあると思われる。例えばその一つのモデルとして、心理学における「相互作用の同調行動 (Interactional synchrony)」という現象が挙げられる。これは、親しい人同士の対話は相手の話し方、しぐさにだんだん似てくる(同調してくる)という現象である。また逆に対話において、わざと相手方の振る舞いに似たような動作をすると、相手方の自分に対する親近感が増してくることも知られている。

これらの性質をエージェントの振る舞いに利用することによって、ユーザのエージェントに対する親近感が高まることが期待される。(3)の研究事例では、ユーザの発話速度や話し方を同調させることを試みようとしている。

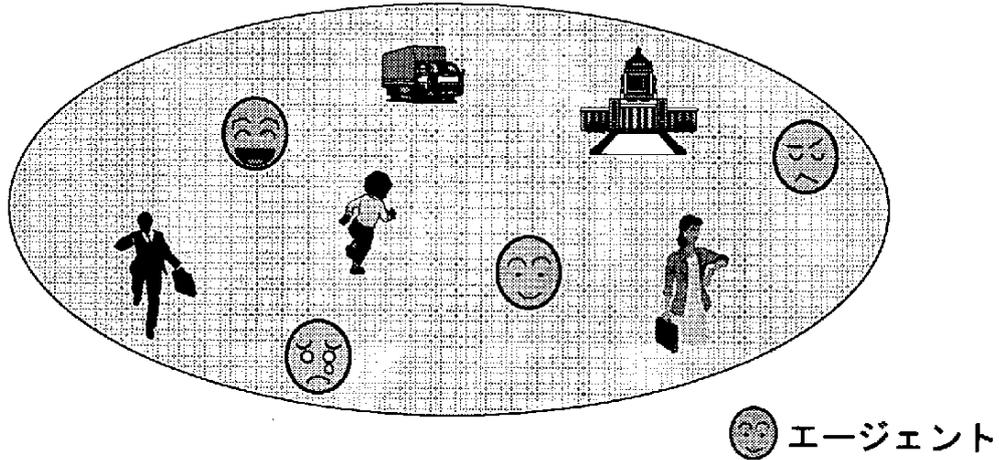
(5) e-コミュニティにおける非言語の役割

以上非言語に関連する話題を述べたが、最後に e-コミュニティと非言語の関連について考察する。

e-コミュニティの在り様については明確ではないが、少なくともコミュニティの構成要素が人であるので、e-コミュニティは人間とエージェントがその構成員となるであろう。エージェントはさまざまなエージェントがあるであろうが、その物理的性質としては一方はソフトウェアエージェントだろうし、他方はペトロボットのような実体のあるエージェントであろう。次に、エージェントが代理人ということであれば、誰の代理人をするのか。これは次の3種類に分類できる。

- 1) 特定個人の分身：特定のユーザの性格や人格をコピーしたエージェント
- 2) 特定の個人や組織のパートナー：これが一般的なエージェントであり、特定個人の苦手なところを代行してくれる
- 3) 特定個人や組織に依存しない中立的な第三者：例えば、人同士のコミュニケーションを仲介するようなエージェント

e-コミュニティというのはこういったいろいろな性質を持つエージェントと人間が混然一体に存在した図表 3.4.5-7 のようなものであろう。それと非言語はどう係わるであろうか。



図表 3.4.5-7 e-コミュニティの在り様

まず、非言語の持つ対話の円滑化機能や促進機能は、エージェントと人間の間のコミュニケーションではインタフェースエージェントと同様に有効であろう。しかし、エージェント同士のコミュニケーションにおける有効性は不明である。例えばロボット同士のコミュニケーションにおいて本当に非言語が役に立つであろうか。もちろん、エージェント同士がコミュニケーションしているところを更に別の人間が監視しているような状況では、エージェントの内部状態を人間が把握するのに有効であると思われる。

なお(4)で述べた「相互作用の同調行動」は、自分と人格や性格が似た分身エージェントを作成するのに有効であると思われる。

参考文献

- [1] 長尾, インタラクティブな環境を作る, 認知科学モノグラフ2, 共立出版, 1996年
- [2] 竹林, ヒューマンインタフェースの観点から見た気の利いた情報システム, 電子情報通信学会誌, Vol. 82, No. 4, pp. 310-318, 1999年.
- [3] 黒川隆夫, ノンバーバルインタフェース, 電子情報通信学会編ヒューマンコミュニケーションシリーズ, オーム社, 1994年.
- [4] A. マレービアン (西田ほか訳), 非言語コミュニケーション, 聖文社, 1986.
- [5] 三吉秀夫ほか, RWCP マルチモーダル機能シャープ研究室, Journal of Signal Processing, Vol. 4, No. 5, pp. 383-392, September 2000.
- [6] <http://www.rwcp.or.jp/>
- [7] 綿貫ほか, モーションキャプチャシステムを用いた対話データの収集, 第3回社会言語学会シンポジウム, pp. 142-143, 1999年.

3.4.6 インタフェースエージェントとしての会話型ロボット

IBMの東京基礎研究所では、新たなヒューマンインタフェースとして会話型ロボットに関する研究を進めている。IBMの取り組むロボットは、手足の動きなど外観の機能や動きを追求するのではない。「人間にとって役に立つ、便利な助手のような存在」として利用できるようにするための仕組み、つまり知能の部分にフォーカスを当てている。人間とのコミュニケーションの手段は非常に身近な「会話」である。しかしながら、人間が機械に対して話しかける行為に抵抗を感じるという問題をまずはクリアしなければ役には立たない。人間は無意識のレベルで、存在感があり、動作する対象が自分に注意を向けていることを感じ取ると、それは「自分とコミュニケーションする対象なのだ」と直感的に認識していると思われる。IBMは直感的で臨場感のある「会話」によって、人間と機械がスムーズなコミュニケーションを行なうために、「ロボット」という入れ物を利用している。それが「Pong(ポン)」である。

「Pong」は、話しかけられると、ユーザの意図を理解し、必要な情報を集めて自動的に処理し、適切な応答の生成を試みる。さらにはユーザと行ってきた会話の履歴を記憶する能力を持たせることにより、ユーザの嗜好にあった行動をロボットが自発的に行なってくれるようになるだろう。また、ユーザに特化し同調するような仕組みとして、感情を理解できるシステムもあらかじめ組み込んでおけば、ユーザがうれしいとき、ロボットもうれしいし、楽しいとロボットも喜んでくれるだろう。ロボットが知性と感情を持ちあわせるようになったとき、便利さだけでなく、人間を癒してくれる存在となるだろう。

最近、ペット型ロボットなどにより人間とある種のコミュニケーションを行なうロボットに関心が高まっている。しかし、エンターテインメント性だけを追求していると、いつか飽きられてしまうだろう。しかし、人間との会話や知識を処理するインテリジェンスを持たせたとき、人間にとって本当に信頼のおけるパートナーになり得るだろう。近い将来に、インテリジェンスを備えたロボットは携帯電話やゲーム・マシンが一般家庭に普及したスピードと同じかそれ以上の速さで、受け入れられていくと思われる。



以下は Pong との会話例である。

Pong 「こんにちは。ボクは Pong って言うんだ。アメリカの IBM 研究所で生まれたロボットなんだ。ボクは人間の言葉が少しだけわかるんだ。ボクになにか聞いてよ」

人間 「君は何ができるの？」

Pong 「いろいろできるよ。たとえば計算とか」

人間 「じゃ、問題を出すよ」

Pong 「いいよ」

人間 「 100×200 は？」

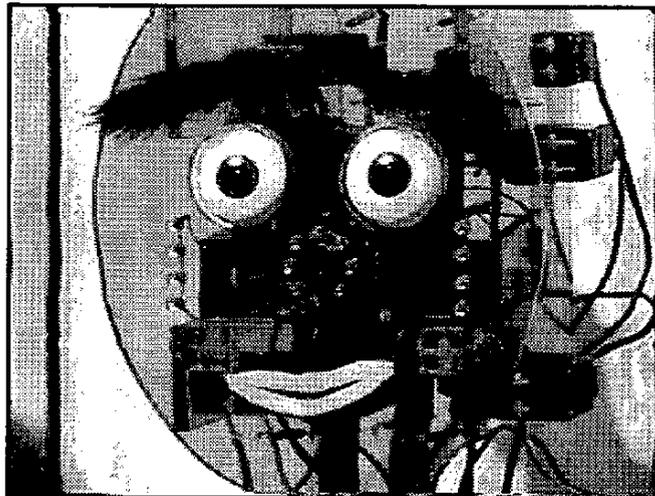
Pong 「 100×200 の答えは 2 万だよ」

人間 「じゃ、 $100 \div 7$ は？」

Pong 「 $100 \div 7$ の答えは割り切れないよ。14.28571428……」

人間 「どうもありがとう」

Pong 「どういたしまして」



「ピンポン（卓球）」の「ポン」から名づけられたこのロボットは、もとは IBM アルマデン研究所で開発されたものである。人間の感情を理解できるコンピュータの開発を目指す「ブルーアイズ」プロジェクト (<http://www.almaden.ibm.com/cs/blueeyes/>) の産物である。赤外線 LED を頬に埋め込み、鼻の部分に仕込まれたカメラを使って人の顔などの画像を入力する。人の方向を向いて笑ったり、人が視界からいなくなると悲しそうな表情をするなど、人間の行為に対して反射的な応答を示すことができる。

ここで重要なのは、顔表情が人間とのコミュニケーションを促進する働きがあるということである。

これは、コンピュータアニメーションでも同様なことが言え、インタフェースエージェントにキャラクターの外観を与え、表情やジェスチャなどのノンバーバルモダリティを持たせる研究がいくつか行なわれた。現在では、インタフェースエージェントという名前を聞いたときに、コンピュータスクリーン上の擬人的なキャラクターを想像する人は少なくないであろう。しかし、スクリーン上のバーチャルなキャラクターに絶対的に不足しているのは、

「彼（彼女）が今ここにいて、自分に関心を向けている」という存在感あるいはアウェアネスであろう。物理的な存在感ほど人間の直感に訴えるものはない。バーチャルリアリティが目指しているのも、まさにその部分をソフトウェアによって制御可能にすることだと思われる。

次世代のコンピュータには、これまでのようなディスプレイやキーボードがなく、わざわざコンピュータを起動させなくても、自然にコンピュータやネットワークを使いこなせる、そんな日常が待っていると考えられている。コンピュータを、たとえば天井や壁などに埋め込み、人間がコンピュータを意識せずとも、周りの環境が人間に注意を向ける、コンピュータが人間に注意を向けて反応する、という研究はアテンティブ・エンバイロメント (attentive environment) と呼ばれ、前述の「ブルーアイズ」プロジェクトが目指しているものである。

しかし、いくらコンピュータが埋め込まれていることがわかっているとしても、壁や天井に向かって話しかける気持ちにはなかなかないだろう。留守番電話にメッセージを入れるのがおっくうな人が多いのも同じような理由によるものだと思われる。しかし、インタフェースが物理的な存在感を持ち、人間と会話ができ、働きかけができるものであるなら、親密度はぐっと増し、コンピュータ（の埋め込まれた環境）はとっつきにくく、使いづらいついというイメージを一新できるかも知れない。

そのような発想から生まれたのが、Pong のような会話型ロボットである。ロボットに話しかけるだけで、テレビを見なくても、新聞を読まなくても、その日のニュースや情報を得ることができるようになる。

たとえば、以下のような具合である。

人間「Pong、インターネットってわかる？」

Pong「もちろんわかるよ。インターネットを使うといろんな情報が手に入るよ」

人間「じゃあ、日経新聞のページが見たい！」

Pong「日本経済新聞のホームページだね。スクリーンに出すよ」

人間「読んでくれる？」

Pong「東京証券取引所の先物取引で……」

人間「英語のページも見たいな。ブルーアイズのホームページをお願い」

Pong「ブルーアイズのページを出すよ」

人間「英語わかる？」

Pong「もちろんわかるよ。でも、まだあまり上手じゃないけど」

人間「説明してくれるかな」

Pong「ページに書いてあることを説明するよ。ブルーアイズは……」

今後、すべての家電にコンピュータが搭載されネットワーク化される、いわゆる「情報家電」の時代がやってくると言われている。家庭内がネットワークでつながると、それらを使いこなすにはどうしたらいいか、また新たな問題が発生してしまうだろう。これまでならテレビのスイッチを入れればテレビがついたように、操作する対象と操作内容が1対1の関係であったためにわかりやすかったものが、さまざまな機械が依存関係を持ち、何を

操作すると何に影響するのかがわかりにくくなってしまいうだろう。このような依存関係をすべて人間に把握させるのは困難なので、インタフェースとしてのロボットにその役割を担ってもらおうということである。ロボットに情報家電のすべての機能および依存関係を把握させておき、ロボットに自分の要求を言葉で伝達すると、ロボットは人間の意図と状況を認識し、家電を操作し、状況を報告する、という具合になるだろう。そのようになって初めて、ロボットは人間にとってなくてはならない存在になると思う。

PongにはIBM東京基礎研究所の最新技術が結集されている。たとえば、音声認識ソフト「ViaVoice8」、日本語音声合成ソフト「ProTALKER」、Webページを要約・翻訳するセマンティック・トランスコーディング技術、ユーザの好みに合わせて声を変える「ボイスフォント」などである。ちなみにPongの声は、有名な声優の声を使って合成している。このように、会話型ロボットはさまざまな技術を統合するテストベッドにもなる。

最後にインタフェースエージェントとロボットの今後の方向性について述べる。

物理的な存在であるロボットの弱点は、そのままの形では情報世界を移動できないことである。しかし、ロボットの記憶や知識は人間にとって重要なものであり、たとえば外出先であっても、それを利用したい状況は多いと思われる。人間がロボットを引き連れて移動することも考えられるが、それよりも、ロボットの記憶や知識を受け継いだ（ソフトウェア）インタフェースエージェントを携帯型システムに常駐させ、移動中であってもインタラクション可能にするやり方が有効であろう。

この場合、物理的な存在感は感じられないが、以前のインタラクションの記憶が継承されていれば人間にとってロボットとエージェントは一貫したものと感じられ、電話で遠隔地の人間と話すように、エージェントと会話して、要求を伝達することができるだろう。このように、インタフェースエージェントと会話型ロボットはその多くの部分を共有し、記憶の一貫性を保ち、状況に応じてインタラクションのスタイルを変えられるようになると思われる。

また、ロボットとエージェントは、コミュニティを媒介し、人同士のコミュニケーションを促進するシステムとしても機能する。たとえば、会話型ロボットは遠隔地にいるもの同士が非同期でコミュニケーションする場合に、物理的な存在感を備えた、擬似的な対面性を実現することができる。また、長い経験を通じて個人情報を獲得したロボットやエージェントは、その人の外在化された記憶あるいはパーソナリティを持つシステムとして機能できるようになるだろう。これは、ロボットやエージェントが文字通り人間の代理人になるということであるが、もしロボットやエージェントの信用や責任という問題が、技術的あるいは社会的にうまく解決できれば、人間は自分のコピーあるいは分身を作って同時に複数の作業ができるようになるだろう。

筆者としては、このようなシステムは、何らかのトラブルの元になるかも知れないが、正直言って、のどから手が出るほど欲しいシステムである。

3.4.7 分科会アンケートのまとめ

本委員会の分科会 SIG4 では、昨年度の中心検討課題であるエージェントの個人化や擬人化のテーマを発展させて、エージェントが仲介するコミュニケーションとコミュニティを中心に議論した。その際に、分科会メンバーの分野が広範囲なため、お互いの意識の違いを顕在化し、参加者同士の共通基盤を作ってから議論を進めることにした。そのため、2回のアンケートを参加者に実施し、回答してもらった。

第1回目のアンケートは前年度の課題であった、擬人化と個人化についての立場を明確にするとともに、インタフェースエージェントのタスクについて興味分野の特定をすることを目的とした。第2回目のアンケートは、主にコミュニケーション支援におけるエージェントの役割について質問した。以下はその質問回答を質問ごとに整理したものである。分科会メンバーのそれぞれの立場によって課題の捉え方が違うことが読みとれよう。また、この分野は定義が未成熟でもあり、メンバーからの回答が専門家の立場からの用語や概念の明確化の一助になると考える。質問回答の順列は整理すべきであるが、回答の文脈を構成していると考えられるので、アンケートの設問順にならべた。なお、メンバー名については匿名とした。

A. アンケート1 「エージェントの擬人化および個人化について」

Q1. 擬人化は必要だと考えていますか？

A氏：タスクによって有効な場合があると思っています。位置的な表現や内部状態をノンバーバルに表現することが、補助的に効果がある場合など。

B氏：現在のところ、われわれのグループでは（人と人とのコミュニケーションを支援するという観点から）特に擬人化は考えていませんが、擬人化できれば、それはそれで新しい展開が可能になるとは思っています。

C氏：人の擬人観という特性を考慮した、システム設計やインタフェース設計が必要と考えます。ただし、アプリケーションによっては、人間などのキャラクタをイメージする擬人化エージェントは必ずしも必要ではないと考えます。従って、キャラクタなどの擬人化は必須ではない。しかし、例えば、文字言葉だけのモダールであっても、スクリプトを工夫するなどの擬人化は必要と思います。

D氏：対話型ユーザインタフェースにおいては必須ではないが、あれば望ましいと考えます。ユーザからの単発のアクションで済むタスクはともかく、人間と機械の間に複数回のインタラクションを要するタスクにおいては、エージェントの内的な状態を表情・仕草で表現しながら応答させることにより、対話の円滑性を増大したりユーザの発話を促進することが可能になります。また擬人化により、コミュニケーションチャンネルが増し、エージェントへの親近性を高めるための「相互作用の同調行動」を実装することが可能になります。

Q 2. 擬人化の実現手段のキー技術は何ですか？

A氏：内部状態やメッセージを的確に動作や振る舞いで表現できるプロセスに必要な各過程でのアルゴリズム。

B氏：一般的には音声認識・合成、自然言語処理、対話処理などの技術でしょうか？

C氏：1つは、内部処理を司る感情モデルなどの自律的な機能を提供する技術。あるいは、自律的でなくとも、対話フローなどをデザインする技術。そしてもう1つは、その内部処理の結果を、表情や音声などで表現する技術。

D氏：擬人化の本質はノンバーバルな情報を活用すること。従ってノンバーバルな情報を処理したり生成する技術。

Q 3. 感情を陽に取り扱っていますか？

A氏：いまは扱っていません。感情は補完的な表現で、プライマリな表現をどうするかで悩んでいます。そのなかに感情的な表現はありますが、作り込みです。

B氏：陽には扱っていません。が、感情というか、その時の気分を相手に伝える必要性は感じています。

C氏：自律的行動生成に6基本感情モデルを活用しています。

D氏：基本6感情は扱っていません。

Q 4. エージェントの個性のデザインを意図的に行っていますか？

A氏：はい。人格と個性は必要だと思います。

B氏：エージェントの個性は特に意識していません。

C氏：個性のデザインを、ソーシャル・インテリジェンスの観点（一貫性を重視する、アプリケーションやシステムの機能／性能に応じた個性のデザインなど）から行っています

D氏：エージェントの個性そのものを創ってはいません。ユーザの個性を学習して、それに適した応答（ユーザ適応）をさせることは考えています。

Q 5. 知性（あるいは知識）と見た目のバランスを考慮していますか？

A氏：見た目のクオリティを重視していないという意味で、考慮したことになるかもしれませんが。

B氏：擬人化という意味での見た目は意識していませんが、いろいろな情報をいかにわかりやすくユーザに提供するか、また、ユーザとシステムとのインタラクションをどのように設計するかは重要なテーマだと思っています。

C氏：ペットロボットのような自律性を重視するアプリケーションではバランスを考慮しています。電話対応のような、自律性よりもタスク達成を重視するアプリケーションでは内部処理に知性はないかも知れませんが、声に知性を感じさせることは意図的に行っています。

D氏：特に考慮していません。

Q 6. 実行タスクは何がありますか？

A氏：会話の仲介（コーディネーション）、情報の個人化、出会いの支援など

B氏：特定のタスクを想定するというよりも、現段階では汎用のツール（プラットフォーム）を目指しています。

C氏：CD タイトル検索、ヘルプデスク、住所氏名認識など。ペットロボットでは、特に決まったタスクはない。

D氏：現在までに、「留守番 TV 電話エージェント、ファーストフード対応エージェント」などのデモシステムを開発しました。

Q 7. 仲介（ファシリテータ、人と人とのコミュニケーション支援）に重点をおいていますか？

A氏：yes。

B氏：人と人とのコミュニケーション支援に重点を置いています。

C氏：中心は人と機械の対話です。

D氏：No です。人とエージェントの対話に重点を置いています。

Q 8. コミュニティの規模は？（**人）

A氏：展示会参加者が300～500人規模のもので実験していますが、コンピュータ上で形成されるものはもっと小さいものです。

B氏：数名から多くて百名程度を想定しています。

Q9. コミュニティは自然形成ですか？ それとも既成のコミュニティがありますか？

A氏：展示会など一つの場所に集まるという点でゆるやかな既成のコミュニティがあつて、そのなかで小さなコミュニティの自然形成をねらっています。

B氏：エージェントを使って新しいコミュニティが形成支援できることを期待しています。さらに、新しくできたコミュニティの運営（コミュニティ内の情報流通）の支援も目指しています。

C氏：クリーチャワールドというデモでは、クリーチャは3体。あとは、すべて、ユーザは1名で機械の方はエージェントが数名もしくは1名。

D氏：現時点では、分かりません。

B. アンケート2：

「コミュニケーションの支援からみたエージェントの役割と形態について」

Q1. コミュニティ支援とコミュニケーション支援は別物か？

A氏：コミュニティ支援にはコミュニティの機能に合わせた支援機能が必要である。そのうちの1つがコミュニケーション支援といえる。2つを並べたときにコミュニケーション支援が基本技術で、コミュニティ支援はアプリケーションととらえるべきである。

F氏：コミュニティとコミュニケーションの定義を明確にしないと議論は難しいですね。ただ、何もコミュニケーションがなくコミュニティが構成されることはないと思われるので（あたりして）、局所的にはコミュニケーション支援がコミュニティ支援の一部になりうると思います。もちろん、コミュニティをあるグループとしてみて、そのグループのアクティビティを塊として支援するという違った支援の方法はありうると思います。

B氏：コミュニティ支援では、集団のアクティビティを支援するという意識が強く、コミュニケーション支援では個々の「ユーザ」のコミュニケーション活動を支援するという意識が強くなると思います。多くの場合、一人の人間が複数のコミュニティに属するので、コミュニケーション支援では、“複数のコミュニティに属する人”の支援という観点もでくると思います。

E氏：他の人も言っていますが、コミュニケーション支援は、コミュニティ支援の部分機能でしょう。コミュニティ支援と関係のないコミュニケーション支援があってもいいと思いますが、特に区別する必要はないでしょう。

C氏：直感的には「コミュニティ」は「コミュニケーション」という情報伝達の上に成り立つととらえられます。コミュニケーション支援はコミュニティ支援の必要条件なのではないでしょうか。コミュニティ支援はコミュニケーション支援だけでは成り立たないような気がします。コミュニティ支援といった場合、文脈や状況の共有というのが必須だと思われれます。コミュニケーション支援の場合も文脈や状況の共有は必要だとは思いますが、スコープが異なるということでしょうか。

D氏：直感的には、コミュニティ支援の方が広い概念のような気がします。完全に包含するかどうかはよく分かりません。コミュニティ支援そのものがよく分っていません。

Q2. 非言語処理はコミュニティ支援やコミュニケーション支援とどう関わっているのか？

A氏：気軽なユーザインタフェースを備えたシステムを構築するのに非言語処理は欠かせないだろう。また情報の可視化や擬人化されたエージェントなども非言語処理ととらえれば、入力から出力にわたって非言語処理が使われよう。また、コミュニティのつながりを支援する、いわゆるメンバーシップアウェアネスを実現するにも非言語処理が多用されてくる。

F氏：よりコミュニケーションをリッチにする。言語では伝わりくい情報(例えば、感情など)を伝えることにより、よりコミュニケーションが円滑に進むよう。

B氏：コミュニケーション支援には、単に言語的な要素だけでなく、その場の雰囲気といった非言語的な要素も重要になってくると思います。その時、雰囲気をすべて伝えれば解決するのか、または、メディアを制限して相手の想像力をかきたてるような伝え方をした方がいいのか(よく言われる話ですが、極端の例としては、短歌とか俳句など)、状況によって変わってくると思います。

E氏：コミュニケーションのモダリティを拡張して、利便性や臨場感に貢献する手段だと思えます。

C氏：非言語処理の扱いには大きくは2通りあるのではないかと。1つは言語によって情報伝達する際の補助的な役割としての非言語。環境雑音のために動作しない音声認識の変わりに身振りを使うなど。もう1つは、言語では伝えづらい情報を伝えるというもの。叩く／なでるなどの動作を伝える場合には言語による情報伝達よりもはるかに多くの情報量を扱っていると思われる。

D氏：コミュニケーションを円滑にする機能。

Q3. ペットやロボットは実体のあるエージェントなのか？

A氏：ペットをエージェントと考えるには無理な面がある。しかし、遊び相手にとどまらずあるタスクをもって代行してくれればエージェントの役割を発揮するだろう。生きた犬でも、買い物をしてくれる犬がいるが、あれはエージェントであり、かつ、飼い主と親密性が非常に高いという点が注目できる。ペット型にはそのような発展がありうる。

F氏：ペットやロボットに入り込む魂的なものがエージェントの一つの役割だと思っています。入り込む実体によって capability がかわると面白いと思っています。

B氏：ペットやロボットが自律的に動作するのか、それとも、ユーザインタフェースの延長かということで違ってくると思います。

E氏：（一部の）物理的なロボットは実体のあるエージェントと言ってよいと思います。バーチャル・ペットは実体と言ってよいかどうかむずかしいですね。「実体」を感じるかどうかは、それを受け入れる側の問題なので、受け入れられやすいようなモダリティを備えるべきだと思います。ちょっと古いですが、「たまごっち」や「どこでもいっしょ」にはまっている人を見て、外観の複雑さは関係ないのではないか、と思うことがありました。

C氏：ペットやロボットがエージェントなのかどうかは分からないが、ペットやロボットであってもエージェントとしての役割や機能を提供するのでは？

D氏：それらが自律的で知的な振舞いをするならば、エージェントだと思います。脱線しますが、エージェントが「誰の代理人」であるかで、ある種の分類が可能だと思います。

(1) インタフェースエージェント（タスク指向）

マシン（タスク、システム）側の代理人（分身）

ユーザの意図を正確に理解する機能、タスク遂行機能

(2) コミュニケーション支援（コミュニケーション指向）：

ユーザの代理人（分身）

第三者（仲介者）

調整能力、交渉力

(3) ペット、ロボット

通常は第三者。今のペットロボットはタスク指向・コミュニケーション指向のどちらでもない癒し系。目的型ロボット（家事ロボット、介護支援ロボットなど）は、タスク指向的になるのかな？

「だから何だ？」となると困るのですが、インタフェースエージェントとコミュニケーション支援エージェントでは要求される機能が少し違うのでは。

Q 4. ペットやロボットはコミュニティやコミュニケーション支援とどうかかわるか？

A氏：ペットは個人の相手であり、コミュニティのつながりには大きく貢献しないだろう。しかし101匹わんちゃんの映画の例のように、ペットが人と人の出会いを支援することはあるし、対面の話に、手慰みのような役割を果たすこともある。コンピュータ化されたペットがそのような役目を果たせるかどうかは、もう少し検討が必要。また、実体をもたない、ソフトペットがコミュニティ形成などに影響するのは難しだろう。しかし、ペットそのものを対象とする趣味の仲間は対象がなんであれ生まれる。ロボットのコミュニケーション認知における話には面白い実験結果があり、今後、さらなる研究が必要。また、実生活やビジネスにも関係する可能性大。

F氏：特定の目的の無いコミュニケーションの支援（例えば、見知らぬ同士が話をする、とか）には、外見を持つエージェントはコミュニケーションのアクセスポイントとして十分に機能します。これは現実世界のペットのコミュニティと同じです。もし、エージェント自体が十分にインテリジェントなら、チューリングテストのようですが、それが支援しているのかコミュニケーションしているのかわからないという可能性はありますが、まあ、これは大分先の話でしょう。

B氏：ペット、ロボットが人間と同列な第3者として人間同士のコミュニケーションを活発にすることが考えられると思います。また、ペット、ロボットを使って相手の状況を表現する（代理実体？）ということも考えられるのではないかと思います。

E氏：ペットはわかりませんが、実体のあるエージェント、あるいはロボットは人と人との間のコミュニケーションを促進することが可能だと思います。

C氏：ペットやロボットを介したコミュニティ形成というのはあり得るではないか。ペットやロボットを所有（？）するもの同士のコミュニティというのは現実に発生している。

D氏：上記の役割が担えるならば、コミュニケーション支援の機能を持つことが可能。

Q 5. エージェントはコミュニティ・コミュニケーション支援にどう関わるか。

A氏：エージェントとロボットを分離して考えるのはだんだんと難しくなっていく。実体があるかないかの違いがロボットエージェントとソフトエージェントの違いである。エージェントの機能はやはり代行と自律性とそれを動機づける人格性につきる。コミュニティにおいては代理出席、ソーシャルフィルタリングの役目が強まるだろう。コーディネーションは困難なままであるが、チャレンジすべき。コミュニケーションにおいては、賢い通訳者、仲介者の役目がある。また、自分の記憶や知性（理性、感性）を補佐するエージェントはいつも望まれる。

F氏：うーん、コミュニティ・コミュニケーション支援とは？コミュニティ独特なコミュニケーションは、それ以外のコミュニケーションとどう違うのか。

B氏：コミュニケーションの中身まで踏み込んで積極的にユーザを支援するという「インテリジェント」なアプローチと、中身に踏み込むというより、個人に特化したコミュニケーションのメディアを実現するのにエージェントを用いるというアプローチがあるのではないかと思います。

E氏：実体のあるエージェントは、非同期的な対面型コミュニケーションを実現する唯一の手段だと思います。非同期的なコミュニケーションは、メールなどでも実現できますが、対面型コミュニケーションをメール等で実現することはできません。エージェントやロボットによって、初めて非同期的な対面型コミュニケーションが実現できると思います。エージェントによるコミュニケーション支援の本質はそこにあると思います。

C氏：MIT Media Lab. 石井先生のやられていた Tangible Bit の InTouch(?) のような触感を共有するというコミュニケーションメディアであってもコミュニケーション支援をなしてはいる。エージェントの支援とは、これとは別の、エージェントが付け加えるなんらかの情報の量や質があるべきではないか。

Q 6. これらはアプリケーション、基盤技術、ツール、認知モデル、社会モデルなどの軸で整理できるか？

A氏：よくわからない。

F氏：コミュニティ支援、コミュニケーション支援という観点からのエージェント技術は、基盤技術、認知モデル、社会モデルという軸で整理できそう。コミュニティやコミュニケーションという軸もありそうです。ツールは疑問。

B氏：アプリケーションに含まれると思いますが、適用領域（使われるシナリオ、ターゲットユーザ、スケーラビリティ、...）なども考えられるかと思います。

E氏：基盤技術とツールはほぼ同じ軸になると思いますが、その他は、分類には使えると思います。しかし、それで何が見えてくるのかはわかりません。

C氏：整理できるかも知れませんが、現在はノーアイデアです。すみません。

D氏：よく分りません。

Q 7. e-コマースにコミュニティ、コミュニケーション、非言語、ペット、それぞれはどの貢献できるのか、あるいは貢献できないのか、関係ないのか。

A氏：関係ないことはない。実体のある癒しタスクのペットが e-コマースで買い物ができるようになるかどうか。ペットの機能が汎用になり、実体インタフェースが買い物とマッピングできるようになれば。そのほかは、十分関係する。コミュニティとはそれ自体がソーシャルフィルタリングの場でもあるので、有効に機能するだろう。

F氏：エージェントの機能を売るということはできそう。実際に PAW でも、エージェントに機能を追加するアイテムは売れました。

B氏：いわゆる CtoC の世界になると、コミュニティ、コミュニケーションなどが重要な意味をもってくると思います。また、BtoC でもカスタマーリレーションの関係では貢献できるのではないかと思います。

E氏：e-コマースに最も重要なのは、いかに多くのオーディエンス（潜在的参加者）を獲得するか、ということですから、コミュニティ支援（コミュニケーション支援）が大いに貢献すると思います。ロコミで潜在的需要が拡大していくのと似たような話です。

C氏：e-コマースへの貢献は、ビジネスモデルにも大きく依存するのでは？ それぞれが同一のビジネスモデルに貢献というより、それらが貢献すべき適切なビジネスモデルがあるのではないか。言い換えるとそれらが生み出すビジネスモデルがあるのでは。コミュニティへの参加自体に価値があれば、そこに貢献できるコミュニケーション/ペットなどもあると思う。

D氏：Eコマースに特化した積極的な意義はないように思います。

Q8. なぜそれぞれの研究分野に興味があるのか。どんなビジョンをもっているのか。

A氏：人とのコミュニケーションを支援してくれるツールとしてエージェントやロボットが欲しい。相互に理解できない。自分をうまく表現できないなど。それは日常的に付き添ってくれる自分を向いた機械。家族とのコミュニケーションギャップを解消したい。

F氏：仮想社会というコンテキスト内で、常に自分を支援するエージェントの実現。これは、将来的には、光速エスパーの肩に乗っているトリのような（うーん、この例えは、何人の方に理解してもらえるのでしょうか）現実社会での実体を持ったエージェントの基礎研究になるのではと思っています。もちろん、その手始めとして、コミュニケーション支援があるわけです。

B氏：コミュニケーションやそれを通してのコラボレーションを支援するシステムの実現を目指しています（そこでは、個人に特化したエージェントがユーザの行動の支援をする。）。特に個人の情報発信のしきいをさげるよう方向で、個人のもつ情報を容易に交換したり、共有できるようなコミュニケーションメディアのデザインをしていきたいと考えています。

E氏：エージェントやロボットは、今後、必須の技術として社会に浸透していくと思います。そのために考えなければならないことは、やはり、エンターテインメント性を追求していくことよりも、エージェントのインテリジェンスを強化して人同士のコミュニケーションを促進していくことでしょう。エージェントの外観をどうするかということは、その部分問題に過ぎないと思います。

C氏：インタフェース・エージェントを研究開発していると思うのは、ある一分野だけの技術だけでは良いものが産み出せないということ。音声認識の性能が抜群でも、対話や合成音の声質、容貌など、どれ一つでも、落第点があれば、それに引っ張られる。その傾向は、コミュニティ支援になれば、一層強まるのではないか。コンテンツに引きずられるなど。現在の興味は「人と機械の対話」であるが、それでもコンテンツに引っ張られる部分は多い（認識や合成の語彙など）。

D氏：非言語の役割の解明とインタフェースエージェントへの活用。

Q9. 残されている技術課題は何か？

A氏：たくさんありすぎる。知性を持たせたい。感性をもたせたい。気配りのできるコンピュータはどう作ればいいのか？VRは遠隔のシーンを手元にもってきたが、自分を遠隔の実世界にヴァーチャルに送りこむにはどうすればいいのか。

F氏：たくさんあるが、より自然なインタフェース。そもそもエージェントがエージェントと意識せずともユーザがそれを使いこなせるのが重要。

B氏：コミュニケーションの中身にどこまで踏み込めるか（言語処理、各種のメディア処理を含む）。インフラ的な話しですと、ネットワークサービスといかに融合していくか。

E氏：たくさんありますが、やはり、インテリジェンスの設計に関することでしょう。

C氏：あげればキリがないが、「対話」を技術と呼べるものに仕上げるのが当面の技術課題かも知れない。

D氏：言語理解など山積み。

Q10. 技術ではなくマーケティングや経営戦略、政策的な部分に左右されるものはあるか。

A氏：大いにあると思うが、技術者としては、まず技術を追求するのが正しいスタンスだと思う。

F氏：うーん、現在は、それほどありませんが、今後、十分にありうると思います。というか、当面は、Domain-specific なエージェントしか作れないでしょうから...

B氏：世の中に普及するためには技術以外の要素が果たす役割も大きいと思います。特にコンテンツがいかにかうまれるかが一つの鍵と思います。

E氏：よい研究にたくさん投資してくれる仕組みを作れるか、ということではないですか。それは、現在のマーケティングや経営戦略ではなくて、将来のマーケットに関わってくる問題です。しかし、将来のマーケットを予測できる人はいませんから、強力なリーダーシップを発揮できる人が「未来はこうなる」って言い切ってしまうと、それで投資の方向性を誘導してしまうしか手はないでしょうね。その場合、そのリーダーがとんでもなく間違ったことを言わないようにコントロールしてあげるのが、研究者や技術者の役目でしょう。

C氏：やはり流行りというのは大きい。ペットロボットやエージェントなどはその傾向は大きいのでは。

D氏：むしろその方が多いと思います。

Q11. 擬人化や個人化といった問題は怎么样了のか。

A氏：なくなっていない。コミュニティやコミュニケーションという議論では部分にすぎない。

F氏：エージェントに対するユーザの敷居を低くするという意味で、擬人化、個人化は重要な問題である。特に、ビジネスを考えた場合には、より重要だと思います。

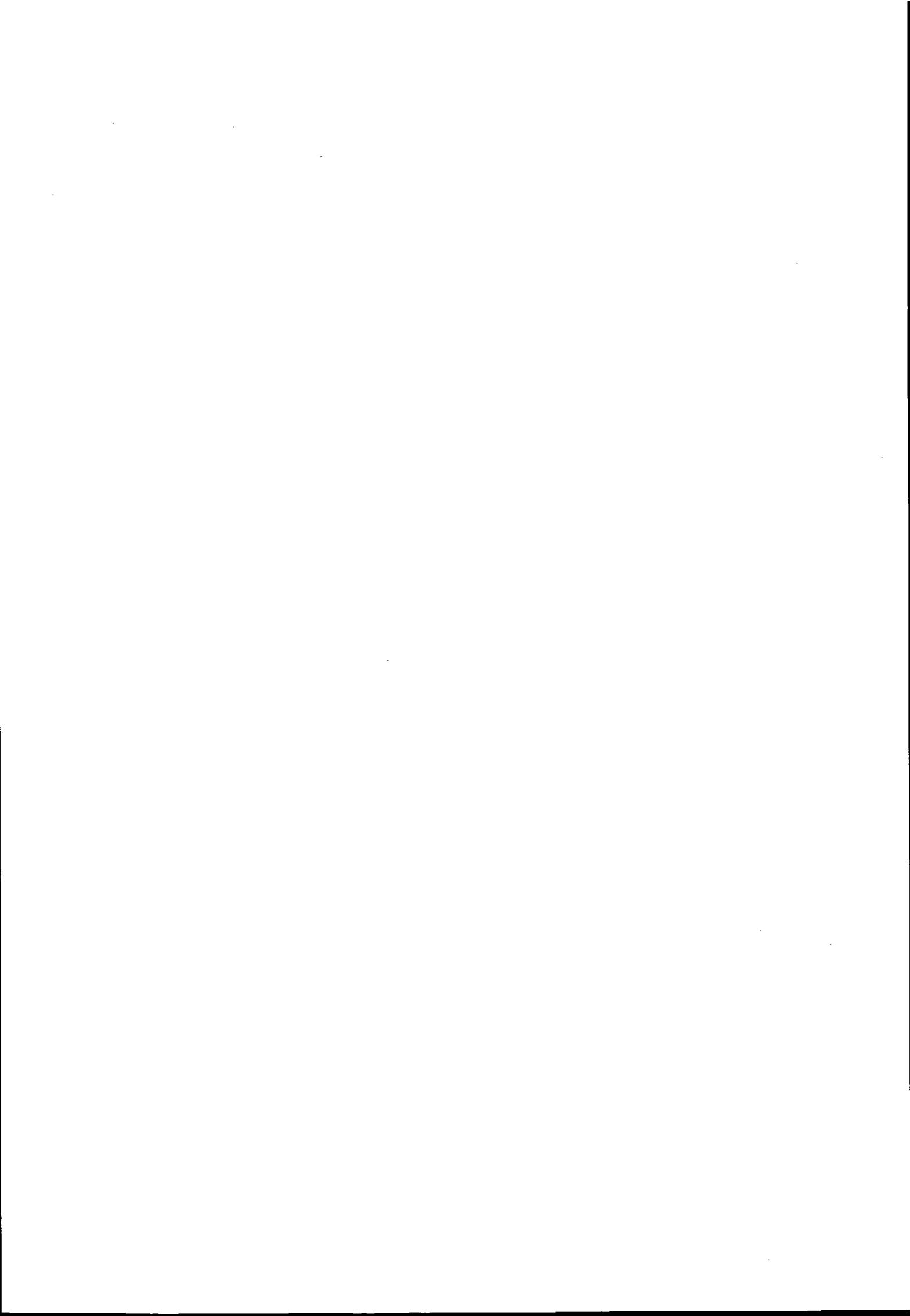
B氏：コミュニケーション支援という観点からは個人化は避けて通れないと思います。擬人化はペット、ロボットという時にでてくると思います。

E氏：依然として重要な問題だと思いますが、擬人化や個人化は、比較的考えやすいとっかかりの問題に過ぎなくて、より本質的なのはエージェントにどうやって（ほどほどの）インテリジェンスを与えるかということだと思います。

C氏：個人化というのが、One To One という切り口であれば、非常に重要な機能と思える。特に e-コマースとは外せないのでは。

第 I 編 本編

4. 提言



4. 提言

これからのエージェントの技術の研究開発について、ネットワークエージェント技術委員会として提言する。提言は、技術体系化、プラットフォームと標準化、アプリケーションとビジネス応用、コミュニケーションとコミュニティへの応用のそれぞれに関するものからなる。

エージェント技術の体系化については、エージェントをビジブルにしてユーザからも開発者からも明確に認知されるようにすることが重要であり、社会的エージェント（人間社会のルールやしきたりに合致した社会的行動ができるエージェント）とマルチエージェントシステム（他のエージェントと協力・交渉することによって集団として一定の秩序のある行動をするエージェント群）の確立を目指すべきであると考ええる。

プラットフォームと標準化に関しては、他のソフトウェアと比較したときのエージェントシステムの特色と有効性を明確にするには、エージェント通信言語を中心として、社会的エージェントとマルチエージェントシステムに関する技術に裏づけされた、アプリケーションにより近いレベルでの相互運用性の実現を目指すべきであると考ええる。また、こうした技術を電子商取引のように、これから発展していく領域に適用できるようにするばかりでなく、情報家電や製品設計・製造といった日本の強い分野で具体化し、成果を積み重ねていくことが日本からの情報発信につながるだろう。

ネットワークエージェントアプリケーションへの一般的な取り組みを行うためには、「育てる」、「鍛える」、「拓く」、「使う」という姿勢でエージェント技術を発展させていくことを提案する。現在のエージェント技術を厳密に分析するのではなく、より広いアプリケーションを視野に入れて、エージェント技術を育成するという姿勢が重要であると考ええる。

コミュニケーションとコミュニティへの応用については、会話そのものを目的とし、身体をもつエージェント技術の開発が重要であると考ええる。これは、従来のようにエージェントと呼べるものを、とにかく実現することを目標にする開発スタイルを一步進め、エージェントをコミュニケーションの媒介やコミュニティ支援という、より大きな目的のなかで利用できるようにすることをめざした取り組みをすべきであることを示唆している。

（1）エージェント技術体系化に関する提言 -- 21世紀のインターネットライフをナビゲートする生活密着型ビジュアルエージェントを目指して

インターネットは現在社会に浸透し、われわれの日常生活に不可欠のインフラストラクチャの一つとなりつつある。地球規模で情報ネットワーク化が進展している現在の中で、日本が優位性を保っている技術としては、携帯電話に代表されるモバイルネットワーク技術、コンピュータゲーム機やそのソフトウェアなどのエンタテインメント技術、そして日常生活に密着している情報家電技術であろう。これらの技術はインターネットとより密接に結びつくことでさらに発展してゆくことが予想される。これは従来のインターネット技術

が研究やビジネスを中心に発展してきたものであったのに対し、より生活に密着した形での発展であると見なすことができる。インターネット技術の高度化のために、次のような方向でネットワークエージェント技術を展開していくことを提言する。

- i) **人と優しく接するインタフェースエージェント技術。**生活密着型システムの利用者層は従来の若年男性を中心にした層から、女性や高齢者を加えた層に拡大する。そのためインタフェースもより人に優しいものになる必要がある。そのためにも人の形を持ち、自然言語によりコミュニケーション可能なビジュアルなインタフェースエージェントの研究を進めてゆくべきである。
- ii) **様々な状況の中で情報処理を柔軟にアシストするマルチエージェント技術。**インターネットは日々進化を遂げており、様々なサービスが自律分散的に加えられている。このようなサービスを統合的に扱う万能の単一エージェントを構築することは現実的でない。むしろ小規模なサービスを利用者の要求に応じて組合せ可能なマルチエージェント型のシステムが望ましい。複数のエージェントを相互作用させ、高度な情報処理を実現されるマルチエージェントの研究を進めてゆくべきである。
- iii) **社会の中で共存できる社会エージェント技術。**生活密着型のインターネットシステムでは多数の人間とエージェントが共存する社会を構成することになるであろう。その中ではエージェントの行動が利用者の要求を真に反映するものであるかどうかを保証する必要がある。また、不正な行動を行うエージェントをどう検知し、取り締まるかも重要な課題となる。したがってエージェントのトラスタビリティやセキュリティに関する研究を進めてゆくべきである。

(2) プラットフォームと標準化に関する提言

エージェントプラットフォームとは、マルチエージェントが分散協調処理を行うために必要とされる共通の技術基盤である。エージェント通信言語、コンテンツ言語、メッセージの配送、エージェントの構成管理、ディレクトリーサービス、交渉や合意形成のためのプロトコルと制約条件の記述などの要素を含む。異なるヒューマンインタフェースやプログラミングインタフェースが、標準エージェントプラットフォームに仲介されて相互に接続されることになる。

マルチベンダーから提供されるエージェントたちが、インターネット上のアプリケーションとして動作するためには、エージェントプラットフォームの標準化が必要不可欠である。これはちょうど、TCP/IP 技術が標準化されているために、ウェブやメールなどのアプリケーションがインターネットで爆発的に普及したのと同様である。インターネットでは、標準化された TCP/IP および関連技術に基づき、ソフトウェアベンダーやハードウェアメーカーに依存しないアプリケーションの相互運用性が実現されている。

ただし、ここで注意しなければならないのは、エージェントおよびエージェント通信という考え方は、たとえばオブジェクトやアプリケーションプログラミングインタフェースの呼び出しよりも、一段階抽象化の度合が高いということである。オブジェクトのインタ

フェースや API の呼び出し/戻り規則などは、原則として一意に定められねばならないのに対して、エージェントというアブストラクションの特徴はその柔軟性にある。すなわち、エージェントの意図や行為の意味を表現するメッセージに着目し、それが通信相手にいかに影響するかを扱うのがエージェントのモデルである。メッセージがどのような通信プロトコルでどのような RPC によって運搬されるかは副次的な問題であり、いかように変更されても（満足につながる限りは）かまわない。

とは言っても、エージェント通信のメッセージが何らかの手段でビット列となり一つのソフトウェアから別のソフトウェアに転送されなければならないことには変わらない。ここに現在のエージェントプラットフォームの標準化の困難と混乱がある。たとえば FIPA においても、メッセージの意味の議論と、そのメッセージがどのようにエンコードされどのようなインタフェースでどのように運搬されるのかの議論がしばしば混乱される（CORBA にたとえば、IDL と各プログラミング言語向けの IDL コンパイラーの関係、あるいは GIOP と IIOP の関係に似ている。）。

そこで、実りあるエージェントプラットフォームの標準化のために、次の提言を行う。

- i) エージェントレベルの機能を明確に規定する¹。他のソフトウェアモデルと異なるエージェント独自の機能を明確に定め、その機能に対するエージェント通信レベルでのインタフェースを規定する。研究者や開発者が誇りをもってエージェントを語れるだけの機能の同定と（キラー）アプリケーションの夢が必要である。アジモフのロボット三原則（安全、忠実、自己保存）にならってエージェント三原則のようなものを考えるのは一つの方法である（cf. 石田 亨「エージェント三原則」人工知能学会誌 15 巻 6 号（2000 年 11 月）p. 939）。意味論や存在論を計算機で形式的に処理することによって人間の知能を実現することは現実的に不可能であるという反省をふまえ、工学的に有効な手法を選択する必要がある。
- ii) エージェント以外のソフトウェアとの関係を明らかにする。エージェントレベルの機能に対応する下位技術を（複数）同定し、実装のためのマッピングを規定する。たとえば、エージェントのディレクトリーサービスを LDAP を使って実装するとしたら、LDAP の API をどのように使用するかを定める。XML, UDDI, OIL といった技術が既に存在する。エージェントはこれらと競合するのではなく、これらをうまく下位技術として活用すべきである。そのためのインタフェースを規定すべきである。
- iii) 日本からの発信とヒューマンネットワークをつくる。グローバリズムの世の中であるからこそ、ローカルな研究開発支援体制の充実が必要である。エージェントの研究開発に関わる技術者のヒューマンネットワークを組織化し、複数の組織からの個人が出入りするプロジェクトとしての側面と、交流の場としての側面の両方を持った組織となるようにする。現在日本には、本ネットワークエージェント技術委員会、INSTAC ネットワークエージェント指向標準化調査研究委員会、インテリジェントエージェント

¹ 逆に、アプリケーションの新たな可能性を探るのであれば、(3) ネットワークエージェントアプリケーションに関する提言 iii) 『エージェント』や『エージェント技術』を厳密に規定するのはもう少し待とう」という立場もある。

研究会がある。ほかにもエージェントを扱う研究会やワークショップも数多い。これらを横断するヒューマンネットワークの構築が必要である。また、公的資金による研究開発補助が必要である。たとえば米国では DARPA による DAML プロジェクトが、7 千万ドルの予算をかけて行われている。

日本における公的な研究開発補助の貧困については、cf. 内田、牧村「国の資金による IT 研究開発における仕組みや法制度に起因する研究開発の日米格差について」情報処理 2000 年 10 月 41 巻 10 号 pp. 1168-1173. <http://www.icot.or.jp/>

- iv) エージェントの技術開発マネジメントの方法論を確立する。そもそもエージェント標準化はうまくいくのか？ソフトの標準化はハードの標準化とは異なるのではないのか？標準化ではないがロボカップがうまくいった理由は何か？マイクロソフト的なデファクト標準化に対して成功したのは、Linux のようなオープンソース・無償のボランティア的標準化といえるのではないのか？ソフト販売をビジネスにするのではなく、配布や教育など、周辺で（スモール）ビジネスをする（ただし、最近では Linux も大企業化しつつある）？といったプラグマティックな話題に関する議論を進めることによって、エージェントの技術開発マネジメントの方法論を確立することは有用であろう。

(3) ネットワークエージェントアプリケーションに関する提言

ネットワークエージェントアプリケーションへの一般的な取り組みを行うためには、「育てる」、「鍛える」、「拓く」、「使う」という姿勢でエージェント技術を発展させていくことを提案する。

- i) ネットワークエージェントのアプリケーションの芽を育てよう。現在、ウェブ指向システム、企業情報システム、家電を含む民生用システムをはじめとする様々な分野において、ネットワークエージェント技術の実問題への応用が試みられようとしている。その適用レベルを大別すれば、アプリケーションレベル、ミドルウェアレベル、プラットフォームレベルに分けられる。各レベルで導入されているエージェントやエージェント技術の内容や規模は、現状ではそれぞれ少しずつ異なっているものの、実際にその導入効果が確認された事例も得られつつある。今後、ネットワークエージェント技術の適用領域やその適用事例が着実に増加してくることが予想される。この流れを加速・拡大し、新たなアプリケーションの実現（とビジネス）を目指すためには、ネットワークエージェント技術を導入すべきアプリケーションを積極的に発掘し、多少なりとも導入効果が期待されるものについては、そのアイデアと実現可能性をとことん追求してゆくことが重要である。これが次世代アプリケーションの裾野を拡大することにつながり、アプリケーションサイドからネットワークエージェント技術の高度化を推進するパワーとなるだろう。
- ii) 身近なところから「ネットワークエージェント技術」を適用してみよう。新しい技術はどんどん使ってみなければ、その本質も見えてこないし、技術の発展も期待できない。そこで、有力なアプリケーションドメインが確定していれば、先ずはそのドメインから選択した実問題に対してネットワークエージェント技術を適用し、そのドメインの観点から評価を進めていきたい。一方、現状では、こうしたアプリケーションド

メイン自体を見つけることがひとつの課題となっている。その背景には、例えば、ネットワークエージェントの機能や特性が十分に把握できていない、既存技術と比較したときの差異や利点が不明確である、ネットワークエージェント技術に過不足があり選択した問題に適用できない、そもそもネットワークエージェント技術を習得するすべがないなど、種々の要因が存在している。そこで、一足飛びに実問題に取り組むのではなく、まずは身近な問題から、例えば、比較的簡単で全体が把握できる小規模な問題からはじめてみるのが推奨される。このとき、エージェントに要請されている種々の特性（例えば、自律性、社会性、目的指向性などなど）の一つでもよいので、ネットワークエージェントを適用した問題において、その特性が発揮できる場面や可能性を探ってみることが重要であろう。これにより、ネットワークエージェント技術を適用した効果がきちんと評価でき、応用範囲を段階的に拡大・深化させることができるだろう。

- iii) 「エージェント」や「エージェント技術」を厳密に規定するのはもう少し待とう²。ネットワークエージェント技術を応用しようとするとき、その技術の本質や実体を把握しておくことは必要不可欠である。換言すれば、「エージェント」や「エージェント技術」の概念、核となる技術とその利害得失、あるいは技術的な位置付けなどが明確になっていることが望まれる。残念ながら、現状では、エージェント技術そのものが発展段階にあり、その可能性や限界などが十分把握されるに至っておらず、これが過度の期待や不必要な誤解を生み出す原因となっていることは否めない。アプリケーションの観点からすれば、これは大変不都合ではあるが、それゆえ現時点でネットワークエージェント技術というものを厳密に規定してしまうことは避け、アプリケーションへの適用を考える時点でうまく活用できる部分を積極的に取り込んでゆくことが得策だといえるだろう。ネットワークエージェント技術に関する明確な定義や技術的位置付けに対する解は、今後、学術的研究の結果として与えられるであろうことは論を俟たないが、同時に、様々なアプリケーションの開発経験の蓄積がこれに対する現実的な解を与えることも大いに期待できるからである。
- iv) アプリケーション開発を支援・促進するしくみを創ろう。ネットワークエージェント技術の応用の裾野を広げ、真に有用な技術領域の確立を目指すためには、それらの活動を支える効果的なしくみが必要である。種々のドメインで推進されている現状でのアプリケーション開発は、それぞれの目的や適用ドメインの違い、あるいはビジネス戦略などを反映して、当然のことながら、独立性や特殊性が高く、また、個別的、単発的な試みとなりがちであり、エージェント関連の学会発表などを除けば、その情報に触れることは一般に困難な状況にある。しかしながら、これらの成果や経験を共有したり再利用したりできるとすれば、真に有用なアプリケーションの発掘、設計開発、評価・改良を大いに支援することができる。更に、これがネットワークエージェント技術応用の裾野を拡大し、エージェント技術そのものの高度化にもつながってくる。

² 標準化による普及を重視すれば、(2) プラットフォームと標準化に関する提言 i) 「エージェントレベルの機能を明確に規定する。」という立場もある。

そのために、新たなしくみを早急に整備することが重要である。例えば、アプリケーション開発に関する種々の情報交換が行えるコミュニティ（関連学会による会議や研究会、産学連携コンソーシアムなど）の形成、アプリケーション開発の情報／成果の蓄積／共有／再利用などを支援する（公的）制度の設置など、産官学の連携を前提にして、具体的な方法を探っていくことができるだろう。いずれにしても、貴重な経験や情報をネットワークエージェント技術に基づくアプリケーション開発の現場にフィードバックすることが、次世代アプリケーションの「夢」を実現する際の喫緊の課題といえる。

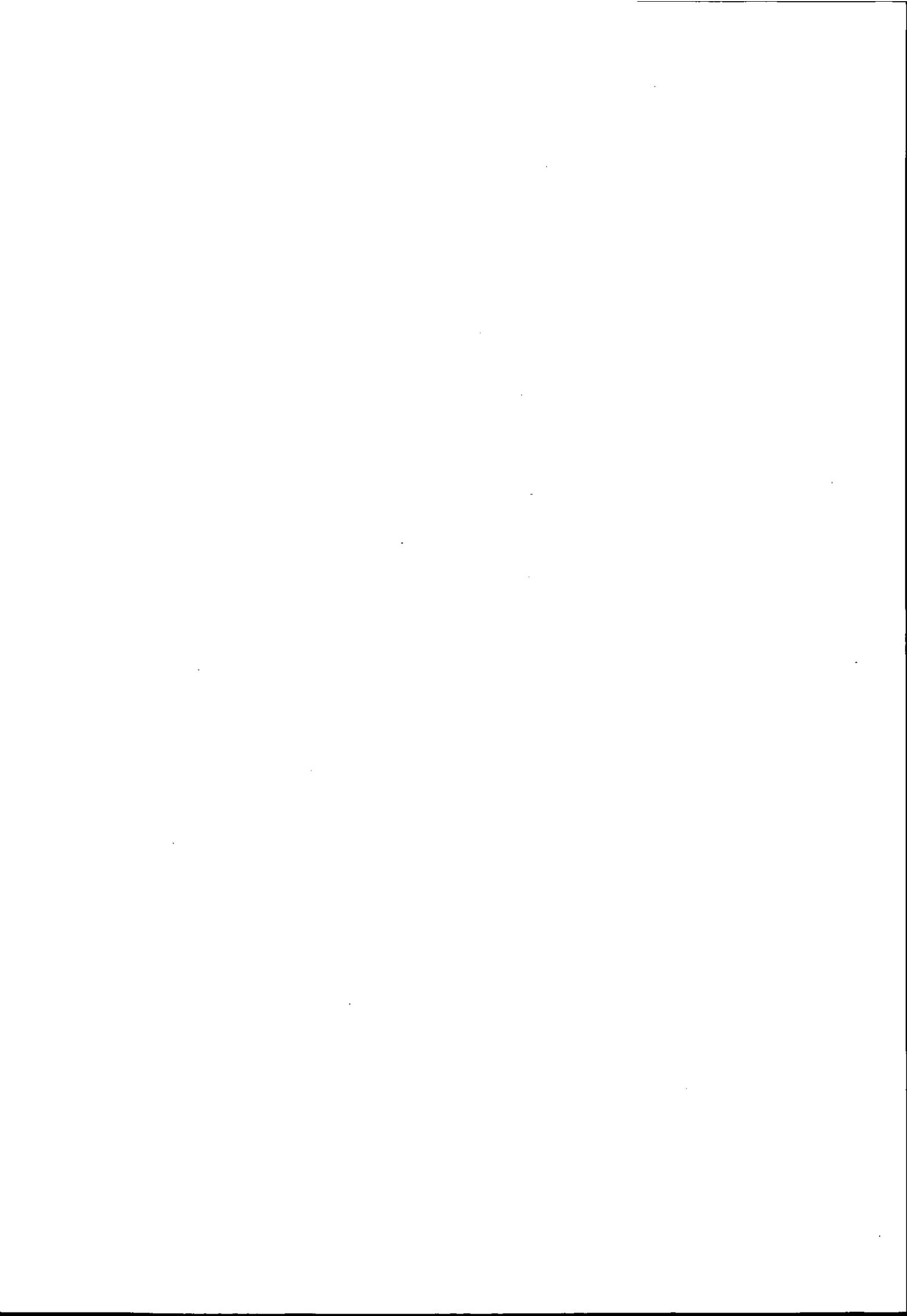
（４）コミュニケーションとコミュニティへの応用に関する提言

コミュニケーションとコミュニティへの応用については、会話そのものを目的とし、身体をもつエージェント技術の開発が重要であると考えられる。

- i) 会話そのものを目的とするエージェントを開発する。インタフェースエージェントの分野は、情報検索のインタフェースから、今後対話そのものを目的とする方向にタスク中心がシフトしていくだろう。この場合対話とは、対面同期だけではなく、非対面や非同期のものも含み、ネットワーク経由の遠隔対話や、e-コミュニティのようなネットワーク上で興味や目的を共有できるグループにおけるディスカッション、ロボットエージェントなど実体をもったシステムとの対話など、多様な形態を想定しておくべきである。そのように考えると、この分野は新しいアプリケーションを引き起こす大きな可能性秘めており、その実現と先導とするための国家的な研究プロジェクトをスタートすることを提言する。そして、従来の人工知能や分散処理の観点から進められてきたエージェント技術の研究開発を新しい方向から眺めることで、新しい研究パラダイムや研究アプローチ、問題解決手段を提供できるようになると考えられる。
- ii) 身体をもつエージェントを開発する。対話をする身体性をもったエージェントとして従来のコンピュータ上の対話キャラクタに加え、実体のあるロボットやぬいぐるみなどが形態属性として考慮されなければならない。また、対話の内容を知的にするためには、それぞれのコンテンツが知的に利用可能な形式で用意されている必要があるし、広範囲のコンテンツから適した話題を抽出するネットワーク情報検索が一層重要度を増すだろう。対話する能力が問われることになるため、自然言語処理や非言語処理などは不可欠である。対話内容の知的さは対話を継続し、対話内容への信頼性につながり、ひいてはエージェントとの信頼関係、関係付けに至る。したがって感情知性や社会知性、経済知性などの従来の人工知能研究の枠組みでは十分に検討されていなかった内容にも深く切り込まなければならない。これらの技術的な課題のほかに、このようなエージェントは社会的に大きな存在になることが予想されるので、社会におよぼす影響や個人の健康や安全におよぼす影響についても研究する必要がある。政策や倫理などとも関わるため社会学者や政治学者との学際領域も検討対象となろう。

II. 資料編

A. エージェント技術の電子商取引への応用事例調査



1. 調査の背景と目的

インターネット上の情報資源活用と新しいタイプのコミュニケーションを図るための技術としてネットワークエージェント技術への取り組みが活発化している。ネットワークエージェントは、ユーザの代理として他のソフトや人間と交渉などをする新しいタイプのソフトウェアとして特徴付けられる。近年、エージェント構築システムもネットワークを通して公開され、それらの間のインターオペラビリティを図るための標準化活動も展開されている。エージェントを巡る国内外の最近の動きは加速・多様化し、その全貌を捉えることは困難になっている。ネットワークエージェント技術委員会では、産業界・学会におけるネットワークエージェントに関わる研究開発の現状を調査して、現在の動向を取りまとめるとともに、今後の研究開発の進め方について提言をまとめることを目的として、活動を行っている。

本調査では、(財)日本情報処理開発協会 ネットワークエージェント技術委員会での調査活動の一環として、ネットワークエージェント技術の応用がもっとも期待されている電子商取引への応用動向と、国内外におけるエージェント技術に係る研究開発の実態を明らかにすることを目的とし、調査を行った。本報告書では、これらの各テーマにつき、調査方法、調査結果およびその分析結果を報告する。

2. 電子商取引を支援するエージェント技術の現状

2.1 調査内容および方法

本調査項目では、電子商取引へのネットワークエージェント技術の応用動向を以下の視点から明らかにする。

- ・電子商取引における購買側、販売側の各行動ステップと、エージェント技術が実現する支援機能との対応関係と傾向
- ・エージェント技術をベースとしたシステムが、実用化に向けて具備しているもしくは具備すべき他の技術や、エージェント技術と競合関係となる技術
- ・電子商取引にエージェント技術を応用する必然性、実用可能性

具体的な調査作業としては、3つのサブ調査項目を設けて実施した。各項目における調査方法と項目間の関係について、以下に説明する。

(1) 電子商取引の形態分類と、参加者の行動ステップの抽出

電子商取引において、参加者が行っている行動ステップを整理する。電子商取引は、参加者の種類によって、BtoB、BtoC、CtoC等に分類できるが、行動ステップの観点では、さらに購買側、販売側に大きく分けることができる。これらの分類の軸をベースとし、実際に行われている電子商取引の事例から、エージェント技術の応用の観点から形態分類を行った。

事例に関する情報収集は、電子商取引推進協議会(ECOM)で公開されている「対消費者サイトのビジネスモデル調査レポート(平成10年度版)」や「EC/CALS調査委員会活動報告書「企業間電子商取引の実用化動向」平成12年」を中心として行った。各報告書には、国内外を合わせ100を超える事例が掲載されている。なお、GtoBに代表される行政システムに係る電子商取引については、多くの事例が構想もしくは開発段階のものであり、運用を開始している事例の情報収集が困難なため、調査対象からは除外した。

(2) エージェント技術に関する動向調査

エージェント技術に関する国際会議、電子商取引技術に関する国際会議のプロシーディングスや、エージェント技術に関する情報を集めたホームページなど、文献やインターネットにおける公開情報から、電子商取引への応用を目的としたエージェント技術について情報収集を行った。この結果から、(1)の結果として得られた行動ステップに対して、各研究例、システム例、サービス例が目的とする応用の範囲や応用の傾向を表す応用マップを作成した。また、情報収集した結果の整理にあたっては、電子商取引における他の技術との関連についても、検討を加えた。

(3) 応用可能性の分析

(2)の調査結果と、電子商取引の現場関係者へのヒアリング、その他の文献情報から、電子商取引へのエージェント技術の応用について、その傾向、応用の必然性、実用可能性について分析を行った。

2.2 電子商取引の形態分類

電子商取引は、その参加者のタイプから、BtoC、BtoB、CtoCに分けることができる。こうした分類は取引やビジネスモデルの形態からさらに細分化することができる。「対消費者サイトのビジネスモデル調査レポート（平成10年度版）」では、BtoCに関して、ビジネスにおける対価の種類（製品、仲介等のサービス）に基づいて、製品販売モデル、有料型情報提供モデル、無料型情報提供モデル、予約型仲介サービスモデル、有料型仲介サービスモデル、無料型仲介サービスモデルといった分類わけを行っている。本調査では、これに加え、CtoCで行われているオークションや、BtoBでの調達やエクスチェンジ、（逆）オークション、さらにはSCMの言葉に代表されるビジネス形態に係るBtoBtoCも考慮し、取引において参加者が行う行為とそれを支援するエージェント技術の関係を明らかにするという観点から再整理し、分類分けを行った。そして、各分類に対し、電子商取引の参加者行動パターンとして、購買側の行動パターンと販売側の行動パターン（多くの場合、購買側の行動と販売側の行動は相互対応関係となる）を抽出した。以下に各分類の概要を示す。

(1) BtoC 製品販売モデル

Webを通して、消費者に商品を提示し、販売を行うモデルであり、もっとも一般的で事例数の多いビジネス形態である。購買側の行動ステップは以下のものがあげられる。

(2) BtoC 情報提供モデル

消費者が必要としている様々な情報を提供するサービス・ビジネス形態である。無料もしくは有料の会員制とする場合もある。収入源は広告や会費などによる。

(3) BtoC 仲介サービスモデル

消費者に仲介サービスを提供するビジネス形態である。仲介サービスの内容は、人材紹介サービスから株取引に代表される金融サービスまで様々である。

(4) BtoC オークション

消費者にオンライン・オークションのサービスを提供するビジネス形態である。オークションは、1人の売り手に対し、複数の買い手が購入希望価格を提示し、最高価格を提示した買い手が購入する取引形態であり、売り手が企業の場合がこの形態である。

(5) CtoC オークション

買い手、売り手ともに消費者の場合のオンラインオークションである。

(6) BtoB 1 対 N の調達または販売

企業間取引において従来から行われてきた形態であり、電子商取引としても最も単純な企業間の取引形態である。一つの企業が一つ以上の企業から調達を行ったり、販売を行う。取引を行う企業は固定の場合もあるし、そうでない場合もある。

(7) エクスチェンジ

複数の売り手と買い手が希望する購入価格と販売価格を提示しあい、価格合意がなされた場合に取引を行う形態であり、BtoB のマーケットプレイスにおける一つのビジネス形態である。

(8) BtoB オークション

BtoB マーケットプレイスにおいて、売り手企業と買い手企業がオークション形式で取引を行う形態である。企業向けの商品が売買されているというだけでなく、余剰在庫の処分や中古品などの目的で使われることが多い。

(9) BtoB 逆オークション

BtoB マーケットプレイスにおいて、買い手が提示した商品・購入価格に対して、複数の売り手はその商品の販売価格を入札し、買い手にとって最も条件のあった売り手と取引を行う形態である。BtoB でない事例もあるが、複数の売り手が供給できる商品を大量に調達したい場合などに有効といわれており、その意味では BtoB 向けの形態であるといえる。

(10) BtoBtoC 製品販売モデル

製品販売型ビジネスにおいて、資材調達から消費者販売までの取引の流れが一連のチェーン（いわゆるサプライチェーン）になっており、BtoB と BtoC が密接に連携している形態である。BtoB から BtoC の取引の連鎖の中で、生産または在庫管理、調達および輸送の計画・スケジューリング作業など、各取引フェーズに跨る作業が重要な役割を果たす形態である。

(11) BtoBtoC 予約型仲介モデル

旅行の各種手配・予約など、消費者からの要求に対して、消費者との取引だけでなく、そのバックグラウンドでの BtoB としての各種手配や予約取引などが連携する必要があるビジネス形態である。宿泊施設、交通、レストランの予約や、イベント、コンサートのチケット予約などがこの形態に該当する。

2.3 エージェント技術の電子商取引への応用動向

2.3.1 応用事例の傾向

2.1(2)で記したエージェント技術の情報収集結果の概要と、そこから明らかになったエージェント技術の電子商取引への応用事例の傾向について記す。

情報収集は国際会議のプロシーディングスとインターネットでの公開情報を基にして行った。エージェント技術に関する国際会議としては、以下の会議を対象とした。いずれもエージェント技術もしくはその応用に関連する著名な国際会議である。

- ・ International Conference on Autonomous Agents(AA' 98,99,00)
- ・ International Conference on MultiAgents Systems(ICMAS-1998, 2000)
- ・ International Conference on the Practical Application of intelligent Agent and Multi-agent technology(PAAM98, 99, 00)

なお、エージェント技術の要素技術として人工知能技術やヒューマンインタフェース技術があり、これらの要素技術から電子商取引への応用研究も盛んに行われているが、エージェント技術の応用と判別できるもの・できないものの境界線があいまいになるため、ここでは敢えてエージェントに関する国際会議に調査範囲を限定した。そして、上記の国際会議での研究発表の中から、電子商取引への応用を明示している論文を抽出した。情報システムやEAIなどのエンタプライズ応用も電子商取引と関連が深い応用事例といえるが、本調査ではあくまでも電子商取引への応用に重点をおき、これらの事例は対象外とした。

また、電子商取引技術に関する国際会議としては、以下の会議を対象とした。

- ・ ACM Conference on Electronic Commerce(EC' 99,00)
- ・ International Conference on Telecommunications and Electronic Commerce (ICTEC' 99,00)
- ・ International Conference on Electronic Commerce(ICEC' 99,00)

電子商取引に関しても、要素技術は、WebやXML、セキュリティなど広範囲にわたり、各技術に関する国際会議が数多く存在し、かつそれらの国際会議は電子商取引に係る研究発表のみとは限らないため、本調査では、電子商取引(Electronic Commerce)が明示されている国際会議として、上記の会議を調査対象とした。これらの国際会議での研究発表の中から、エージェント技術を明示している論文もしくは関連が深いと思われる論文を抽出した。抽出結果は以下の通りである。

図表 A-1

	AA	ICMAS	PAAM	EC	ICTEC	ICEC
1998	8/102	3/99	3/36	-	-	10/46
1999	7/99	-	4/39	6/21	1/37	-
2000	12/113	9/98	9/31	6/29	4/36	3/53

凡例：電子商取引へのエージェント技術応用研究の発表数/会議全体の発表数
 ただし、対象は査読によって選出された一般発表のみとし、併設ワークショップ、展示会等は含まない

国際会議ごとに研究分野の指向や投稿・採択された論文など様々な要因が作用するので、会議別の傾向を計るのは困難であるが、全体的な傾向として、電子商取引応用に関する発表は増加傾向にあり、特に2000年に入り、発表数が増加していることがわかる。

インターネット上の公開情報の収集は、UMBC Agent Web(<http://agents.umbc.edu/>)のリンク集を基点とし、Agents for Electronic Commerce、Applications and Software: Applications: Electronic Commerce、Companiesなどのサブカテゴリ・リンク集に掲載されているホームページから、エージェント技術の電子商取引への応用を目的とするソフトウェアおよびサービス、リンク集等のホームページを抽出し、情報収集を行った。国際会議からの情報が技術的または応用的な先進事例を中心としているのに対し、インターネットからの情報収集では、ビジネス・事業化が始まっている事例が中心となった。なお、情報を収集したページの中には、エージェント利用を標榜しているものの、エージェント技術との具体的な関連が明示されていないものも含まれている。情報収集の結果は以下の通りである（サイト数は述べ数）。

図表 A-2

種別	サイト数
研究システム、研究プロジェクトの公開サイト	7
オンラインショッピングなどのエージェント技術を用いたサーバによるサービス提供	6
エージェント技術を用いたアプリケーション、ソリューション提供、システム開発請負など	23
その他、リンク集など	1

2.3.2 電子商取引への応用マップ

ここでは、2.2で整理した電子商取引の形態分類に基づき、各形態におけるエージェント技術の応用マップを記述する。応用マップは、参加者が行う行為とエージェント技術の事例の関連を示している。具体的には、参加者の各行為に対して、その行為を支援する機能を提供している、提供できる可能性がある、もしくは機能の実現に役立つ技術であるといった、ある程度明確化された関連性を持つ事例の数を記入している。こうした関連を一覧的に俯瞰することにより、電子商取引におけるエージェント技術の応用の範囲や適用の傾向などを明らかにすることが応用マップ作成の目的である。

しかしながら、各事例で収集した情報の内容、詳細度は事例ごとに異なっており、2.2で整理した参加者の行為の支援を明確化した形で書かれているわけではない。また、基礎に近い研究成果や汎用的なプラットフォーム、ソリューション提供などにおいては、それらの応用が限定されているわけではなく、収集した情報には明記されていない潜在的な応用の可能性や、開発当初には予想もつかない応用が展開される可能性がある。

こうした点を踏まえ、応用マップの作成にあたっては、関連付けの条件を緩めてなるべく広範囲な関連付けを行うものとする。ただし、関連付けを多くしすぎて、応用の範囲や傾向が不明確にならないように配慮する。従って、応用マップで関連付けが行われなかった箇所が関連性が全くないということを意味するものではない。また、ソフトウェアやソリューション提供などの事例において、具体的な支援対象や支援機能が明確ではない事例、機能と先進的なエージェント技術との関連が明確ではない事例、エージェント技術以外の技術による機能など、集計の対象外としている事例もある。

応用マップ表の縦軸は、電子商取引の参加者が行う行為（すなわち、技術の支援対象）であり、横軸は事例の種別である。表内の数字は、行為の支援に関連する事例の数を表している。

(1) BtoC 製品販売モデル

購買側の行動に対する技術応用マップ（図表 A-3）

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
必要なものの同定把握	1	2	2	1	
購入品の選択	2	7	5	8	1
購入先の選択	1	5	3	7	1
注文	1	1			1
購入品受け取り、決済	1	4			1
問い合わせ、アフターサービス	1	3		5	

販売側の業務に対する技術応用マップ（図表 A-4）

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
購入品情報の広告提示	6	4	1	7	1
受注	3	4			1
購入品手配		1			
配送、納品、決済	1	6			2
問い合わせ対応、アフターセールス（販促）	1	4	1	8	

(2) BtoC 情報提供モデル

利用側の行動に対する技術応用マップ（図表 A-5）

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
会員登録					
情報の選択	2	4		6	
情報入手利用		3	1	3	
リクエスト				6	

提供側の業務に対する技術応用マップ（図表 A-6）

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
会員登録受付	2	2		5	
広告コンテンツ作成	4	1		7	
情報提供	2	5	1	2	1
リクエスト対応				7	

（3）BtoC 仲介サービスモデル

利用者側の行動に対する技術応用マップ（図表 A-7）

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
会員登録				4	
情報選択	1	3		9	
仲介依頼	1	1		4	
仲介サービス情報入手	9	5		1	2
問い合わせ	1	1			

提供側の業務に対する技術応用マップ（図表 A-8）

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
会員登録受付	2	2		6	
情報提供		2		8	
仲介依頼受託	2	2		6	
仲介	10	8			
問い合わせ対応	1	1			

（4）BtoC オークション

購買側の行動に対する技術応用マップ（図表 A-9）

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
購買品の選択	2	2	2	2	
入札（再入札）、落札	10	9	2	2	1
注文		4			
商品受け取り、決済	1	3			
問い合わせ、アフターサービス				5	

販売側の業務に対する技術応用マップ（図表 A-10）

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
出品情報の提示	7	8			1
オークション管理	3	8	1	1	1
受注		4			
発送、決済	1	6			1
問い合わせ対応				6	

(5) CtoC オークション

購買側の行動に対する技術応用マップ (図表 A-11)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
購買品の選択	3	3	2	2	
入札 (再入札), 落札	8	6	2	2	
注文		3			
商品受け取り、決済	1	3			
出品者評価			1	1	

販売側の行動に対する技術応用マップ (図表 A-12)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
出品情報の提示	3	5			
オークション管理	3	5	1	1	
受注		3			
発送、決済	1	3			
落札者評価			1	1	

(6) BtoB 1対N 調達または販売

購買側の業務に対する技術応用マップ (図表 A-13)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
調達品選定		1		1	1
取引先選定 (値段、量、納期)	5	5	2	5	1
交渉	8	5		2	1
発注	2	4		1	1
調達品受け取り、検品	1	3			
決済	1	3			1
問い合わせ		1		6	

販売側の業務に対する技術応用マップ (図表 A-14)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
調達品情報提供		4		4	1
見積り、交渉	8	8		1	1
受注、与信管理	4	6		5	
注文品手配	2	4		1	
配送、納品		4			1
決済	1	2			1
問い合わせ対応		2		5	

(7) BtoB エクステンジ

購買側の業務に対する技術応用マップ (図表 A-15)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
参加登録					
商品情報交換	3	4		6	1
交渉	8	5		1	1
発注	1	4		1	1
調達品受け取り、検品		1			
決済		2			1
問い合わせ				4	

販売側の業務に対する技術応用マップ (図表 A-16)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
参加登録					
商品情報交換	2	6		6	1
交渉	7	6		1	1
受注、与信管理	1	4		1	1
配送、納品		4			1
決済		1			1
問い合わせ対応				4	

(8) BtoB オークション

購買側の業務に対する技術応用マップ (図表 A-17)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
参加登録					
購買品の選択	1	2	1	5	
入札 (再入札), 落札	9	9	1	3	1
発注	1	6			
調達品受け取り、検品		2			
決済		2			
問い合わせ				4	

販売側の業務に対する技術応用マップ (図表 A-18)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
参加登録					
出品情報の提示	6	8		1	
オークション管理	3	8	1	2	1
受注、与信管理		5			
配送、納品	1	3			1
決済		3			
問い合わせ対応				5	

(9) BtoB 逆オークション

購買側の業務に対する技術応用マップ (図表 A-19)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
参加登録					
購入希望情報の提示	1	2			
オークション管理		3	1	3	
発注	1	3			
調達品受け取り、検品		2			
決済		3			
問い合わせ				3	

販売側の業務に対する技術応用マップ (図表 A-20)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
参加登録					
入札 (再入札)、落札		4	1	3	
受注、与信管理	1	5			
配送、納品		3			1
決済		3			
問い合わせ対応				5	

(10) BtoBtoC 製品販売モデル

サプライチェーンの工程の中で考えられる以下業務に対する技術応用マップ (図表 A-21)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
需要予測		1			
生産計画、在庫管理		2			
調達計画、スケジューリング	1	5			
輸送、物流計画および 実行(フルフィルメント)		4			1

(11) BtoBtoC 予約型仲介モデル

予約側の行動に対する技術応用マップ (図表 A-22)

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
必要なものの同定把握	1	3	1	6	2
予約品の選択	1	7	1	7	2
予約先の選択	2	7	1	7	2
予約	1	5		1	2
予約確認情報、チケット受け取り	1	5		4	2
問い合わせ、キャンセル	1	4		4	2

提供側の業務に対する技術応用マップ（図表 A-23）

支援対象	基礎技術	研究システム	サービス	アプリケーション	プロジェクト
提携先の子約関連情報の提示		7	1	8	2
その他の子約促進情報の提示		5	1	8	2
予約受付、手配	1	7		1	2
予約確認情報送付	1	5		4	2
問い合わせ、キャンセル対応	1	4		4	2

2.4 エージェント技術と他の電子商取引技術との関連

ここでは、2.2 および 2.3 の調査によって得られた情報から、エージェント技術以外の電子商取引技術について、基盤技術、セキュリティ技術、応用実現技術に分類し、それぞれにおけるエージェント技術との関連について言及する。特にエージェント技術を利用したシステムが実用化に向けて必要となる技術、もしくはエージェント技術と競合する技術という観点で分析を行う。そして、これらの電子商取引技術に対するエージェント技術の位置付けについて考察を加える。

（1）基盤技術

電子商取引を行うための共通インフラストラクチャーを実現する基盤技術である。具体的には、WWW やメールサーバ技術、SGML や XML といったコンテンツ記述やデータ交換のための記述言語、Java に代表されるオブジェクト指向言語やその開発環境および実行環境、CORBA や SOAP といった分散オブジェクト技術、データベース技術などの基盤技術が考えられる。これらの技術はエージェント技術の実現にも利用されているものが多い。ただし、エージェントシステムを実現する基盤技術として、エージェント技術に特化して研究開発されてきた基盤技術の中には、その他の基盤技術と競合関係となる可能性のあるものも存在する。たとえば、ACL、KQML といったエージェント間のメッセージ交換や知識共有を行うための言語体系と、SGML や XML との関連がこれに該当するであろう。現在のエージェント技術の研究開発においては、これらの技術を積極的に利用もしくは融合させる方向に研究が進んでいる傾向にあると思われる。

（2）セキュリティ技術

セキュリティ技術は電子商取引における不正行為を防止する技術である。暗号技術を初めとして、電子認証技術やインターネットマーク技術、個人情報の保護技術など様々な技術が研究開発され、基盤技術上での応用が展開されている。電子商取引の普及のためには、安全な電子商取引を実現する技術が必須であり、セキュリティ技術は極めて重要な電子商取引技術であるといえる。エージェント技術とセキュリティ技術の関連を考える上での接点として、二つの視点が考えられるであろう。一つはセキュアなエージェントを実現するためのセキュリティ応用技術であり、もう一つはセキュリティを実現するためのエージェ

ント技術である。研究開発動向としては、前者の分類に入る研究開発が主流を占めている。後者の分類に入る研究開発としては、エージェント技術を利用したアクセス制御技術や、移動エージェントを利用した不正アクセスの追跡技術などいくつかの研究例が発表されている。今後は後者の分類に属する研究も多くなるであろう。W3C では、個人情報保護を実現するために P3P (Platform for Privacy Preferences) と呼ばれる個人情報保護のためのプラットフォーム仕様が策定されている (<http://www.w3.org/Ecommerce>)。P3P を使ったより高度な個人情報保護管理システムの実現を目指して、個人情報をやり取りするクライアント側とサーバ側の間のネゴシエーションにエージェント技術を利用することは考えられるし、逆に P3P を利用したセキュアなエージェントシステムも研究の方向として考えられる。

いずれにしても、エージェント技術とセキュリティに関する研究は、エージェント技術の中で一つの研究分野となりつつある。ちなみに 2001 年 5 月には、International Conference on Autonomous Agents (Agents 2001) の併設ワークショップとして、First International Workshop on Security of Mobile MultiAgent Systems (SEMAS-2001), <http://www.dfki.de/~kuf/semas> が開催される予定となっている。

(3) 応用実現技術

電子商取引で利用されるアプリケーションやサービスを、基盤技術やセキュリティ技術をベースとして、実現する技術である。こうした技術もしくはシステムとして、SCM パッケージやマーケットプレイスを実現するための商用プラットフォーム、企業間取引を実現する EDI システム、企業情報や製品情報に関する情報を共有するための UDDI や GBR、電子決済システム、CRM を実現するマスカスタマイゼーション技術などが考えられる。

これらの技術とエージェント技術は、エージェント技術を利用した電子商取引のアプリケーション、実現している機能もしくは実現を目指している機能によって、相補的な関係にも競合的な関係にもなりうる。相補的な関係とは、エージェント技術以外の応用実現技術とエージェント技術とを組み合わせることにより、より付加価値の高いアプリケーションやサービスを実現できる関係を意味する。競合的な関係とは、エージェント技術以外の応用実現技術が実現されることにより、エージェント技術で実現を目指している応用機能の意義や価値が低下するもしくは消滅してしまう関係のことを意味する。また、もう一つの関係として、エージェント技術以外の応用実現技術で実現するアプリケーションとエージェント技術で実現するアプリケーションに全く接点がなく、いわゆる棲み分けができた関係も考えられる。これらの関係については、2.5 の電子商取引におけるエージェント技術の展望においても言及する。

以上の検討分析から、電子商取引を実現する技術におけるエージェント技術の位置付けをまとめると以下の図のようになる。

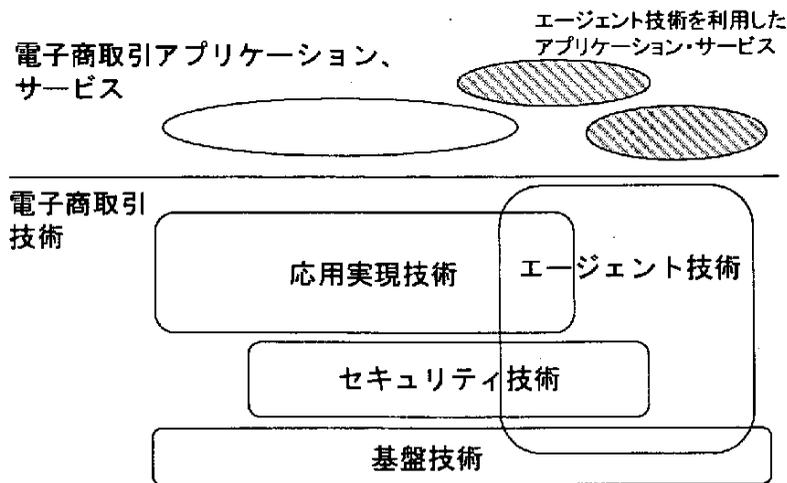


図 A-24 エージェント技術の位置付け

2.5 電子商取引におけるエージェント技術の展望

本節では、インターネットでの公開情報およびヒアリングによって得られた情報から、電子商取引におけるエージェント技術の対する肯定的・否定的な評価をまとめる。さらに2.3での応用マップから、エージェント技術の電子商取引への応用動向を分析し、2.4で述べた他の電子商取引技術との関連の検討結果も踏まえ、電子商取引におけるエージェント技術の将来を展望する。

2.5.1 エージェント技術に対する肯定的・否定的評価

インターネットからは、日本語のページを中心に、「エージェント技術」、「電子商取引」などのキーワードの組み合わせによる検索を行い、ヒットしたホームページからエージェント技術に対する評価についての情報を収集した。結果としては、エージェント技術の発展が電子商取引に大きな影響を与えるであろうという意見が多くを占めた。肯定的な意見として、たとえば、以下のような要旨の意見があった。

- ・人間に代わって商品の検索、購入の交渉を行うエージェント技術が発達することにより、電子商取引において大きな役割を果たすようになり、企業対消費者の関係は大きく変化するであろう。
- ・買い手側の取引履歴、規模、購入希望などに応じて売り手側の戦略をダイナミックに変えることを可能とするエージェント技術により、中小企業などの売り手でも、極め細やかな条件で取引が行え、大企業とも対等な立場で取引ができるようになると思われる。
- ・数年後には、エージェント技術を駆使した新しいサービスが多く登場していると予測される。
- ・エージェント技術は、消費者にとって優しいカスタマーサービスを提供するソリューションに利用されるであろう。

ただし、こうした意見は、プラットフォームベンダー、マスコミ記事や評論からのものであり、電子商取引でビジネスを行っている当事者の意見とはいえるものではない。また、多くの意見は「期待」や「予測」を述べているのに過ぎず、現在すでに利用されている実用技術という見方がされているわけではない。

また、エージェント技術に対する危惧を抱いている意見として、Web上のエージェント技術がプライバシーの保護に重大な問題をもたらす恐れがあるといった意見も見られた。財団法人ニューメディア開発協会がまとめた「インターネット上のプライバシー保護に関する各国の現状」によると、これはカナダのプライバシーコミッショナーとオランダのデータ保護機関が99年に発行された報告書の中で述べられているものであり、エージェント技術の利用により、あるサイトで個人情報を提供するか否かの意志決定が自動化され、利用者が自分の個人情報の開示に対する制御を失う恐れがある、としている。

一方、ヒアリングでは、電子商取引を実ビジネスとして行っている現場からの意見を収集するため、電子商取引推進協議会（ECOM）において、電子商取引の導入企業に対し、国内外を通して、数多くの事例調査と現場ヒアリングを実施している担当者数名にヒアリングを行った。ヒアリングの結果を以下にまとめる。

・エージェント技術に限らず、現状よりも、作業の時間が短縮できる、手間が軽減される、ということが実現できることが、先進技術の実用化のポイントである。電子商取引の現場では技術優先ではなく、問題解決第一優先でシステム化が行われサービスが実現している。すなわち、問題解決に利用できそうな技術があり、それが現実的な性能・コストで業務上支障なく利用できるものであれば、利用するという立場である。

- ・ショッピングボットのようなソフトウェアのニーズはあるだろうし、オフライン（つまり人間が各店舗を調べてその商品の比較情報コンテンツを提供）するようなサービスは存在する。kakaku.comなどのサイトはこれに近いし、そうしたサイトでは単純な作りの巡回ソフトは使われていてもおかしくないであろう。ショッピングボットのようなものは個人がインストールして使うというよりもWebでサービス機能として提供する機会が多いのではないかと。ただしこれだけの機能では収入モデルを作るのは難しいかもしれない。
- ・エージェント技術に対しては、現在埋もれてしまっている（たとえば中小企業や個人商店の）サイトを拾って、ニーズがマッチした顧客に提示してくれるといった機能実現への期待はある。
- ・値段設定は人間が様々な経験に基づいて行うことが基本であり、エージェントが自動的に行うような機能が受け入れられるとは、現時点では考えにくい。
- ・擬人化セールスエージェントといった高度な擬人化インタフェースは、数年前まで電子商取引に有望な技術と考えられていたが、こうした高度なインタフェースは電子商取引の促進や普及には本質的な役割は果たさないと考えたほうがいいであろう。オンラインショッピングなどを使い慣れた人はこうしたインタフェースは煩わしいだけである。ただし、検索エンジンの使い方を知らないような未熟ユーザにとってはある程度の効果を持つかもしれない。売り手をリアルにするのではなく、むしろ商品をリア

ルに提示する（たとえば実物の色、手触りなどを提示する）ほうがニーズとしては高いのではないだろうか。

- ・消費者の興味や個人プロフィールから、ユーザの意図や嗜好を高精度に推論し、カタログ情報を提示するような機能は、いわゆる CRM の一つの形態であり、電子商取引の売り手にとってニーズの高い技術である。BtoB でも重要な技術となりつつあり、Web におけるバックエンドのサーバ機能として、顧客ごとの購入プロフィール、個人情報をデータベースに蓄積し、そこからその顧客にとってもっとも欲しいと思われる商品情報のページを生成して提示するといったサービスは実際に行われている（米国の Grainger 社など）。買い手にとってうれしい場合もあるが、買い手の目的や興味は時間、状況によって変化するので、こうした機能がかえって邪魔になる可能性もある。過度の押しつけは逆効果となるであろう。
- ・（ネット上ではない）現実の世界で行われているオークションをネット上で行うニーズは存在するであろう。実際ダブルオークションに関しては、物流の分野においてダブルオークション用サーバシステムが開発されている。ただし、BtoB の場合はクローズドなマーケットにおいては問題ないが、誰でも参加できるようなマーケットでは与信管理に問題があるであろう。
- ・検索の基礎技術として、大量のデータから条件を満たすものを抜き出すところまで、もしくは抜き出したものを単純に比較するところまで、が現在の技術の限界だと思われる。一方、実際にエージェントに要求される機能は技術的にもう少し高度かつ複合化されたものである（例えば予算内という条件で、収集してきた雨傘、レインコート、長靴の複数の組み合わせに対し、消費者がカラーコーディネーション上満足できるのはどのセットなのかを判定する、など）。そして最大の問題は、これを実現するには、メタタグの付加を義務付けるなど、不特定多数のコンテンツの作り手に対する要求が必須で、それ以外に解決策が思い当たらないところにあるのではないか。結局、必須要素技術が利用レベルに達していない、ということなのかもしれない。これは BtoB では何らかの逃げ道が想定できるものの、BtoC ではさらに登場人物に不特定性が増すこともあり、かなり致命的なマイナス要因になると思われる。
- ・現在のユーザの受身的なインターネット利用形態から、ユーザがより能動的にインターネットの中で活動できるような利用を実現するエージェントや、地域や国の壁（特に言語）をなくすようなエージェント機能に対する期待はあると思う。

2.5.2 電子商取引におけるエージェント技術の将来展望

2.5.1 のエージェント技術に対する評価調査の結果、2.3 の応用マップや 2.4 の他の電子商取引技術との関連性についての検討結果を踏まえ、電子商取引におけるエージェント技術の実用化に向けての今後の課題や方向性を展望する。

エージェント技術が電子商取引において実用技術になるためには、電子商取引を行っている現場で直接的もしくは間接的に役立つ技術になっていなければならないことはいまでもないであろう。技術的先進性や概念的な斬新さ、面白さを追求した研究開発も重要であることは確かであるが、実用化の観点から考えれば、その研究成果や技術が電子商取引においてどのように役立つのかを具体的に示すことが最も重要である。ヒアリングの結果

にあるように、電子商取引の現場においては、現状よりも作業時間・コストが軽減できる、現在抱えている問題が解決できる、といった具体的な問題解決を実現できる技術が必要とされている。こうした現場のリアルなニーズを把握した上で、エージェント以外の従来技術にはない、エージェント技術ならではの長を有したソリューションの提示が実用化へのポイントとなるであろう。

一般的に、エージェントと呼ばれるソフトウェアは、自律性、移動性、協調性、知性、擬人性のいずれかの性質を持つものとされている。こうした定義は抽象的かつ曖昧なものであり、エージェント技術とそれ以外の技術の境界線も曖昧である。単に表面的な機能内容がエージェントのように解釈できるだけで、仕組みとしてはエージェント技術とは言い難い構造のソフトウェアも多く存在するであろうし、そうしたソフトウェアはこれからも出てくるであろう。このような状況において、エージェント技術ならではのソリューションを提示するのは容易なことではないように見える。しかしながら、2.2 で示した海外を中心とした応用研究事例、アプリケーション事例や、2.5.1 での調査およびヒアリングで明らかとなったエージェント技術への期待からは、エージェント技術独自のソリューションを提示することは決して不可能なことではなく、すでにいくつかの応用場面で現実のものとなりつつあることが伺える。

2.3 応用マップからは、エージェント技術の電子商取引への応用範囲および傾向として、特に以下の分野での応用が研究レベルもしくはアプリケーション提供レベルで行われていることが分かる。

- ・ 購買側における、商品や購入先の検索、選択支援

電子商取引へのエージェント技術応用がもっとも進んでいる分野と考えられる。ショッピングボットのリンク集に掲載されている Jango や mySimon はすでにサービス提供を始めた事例であり、応用の成功事例といえるであろう。ニーズも高いため、今後も応用発展が進む分野と考えられる。

- ・ 販売側における、広告や CRM への支援

販売側においては広告や CRM の支援に対するニーズは高く、購買側にとって自然なインタフェースや便利かつ迅速なカスタマーサービスの提供、購買側の興味やニーズに沿ったきめ細やかな商品情報の提供、妥当な値段設定の支援など、研究レベルからアプリケーションレベルまで多くの事例が存在している。研究システムが銀行におけるコールセンター業務へ適用され始めている事例などにあるように、研究レベルから実用化に進んでいる事例も出てきている。

- ・ 取引交渉、オークションの支援

実世界の商取引における交渉やオークションをエージェントによる支援を受けながらネット上で行うニーズは高いと考えられる。企業間の取引においては、交渉の方法やオークションの種類に多様なものが存在する。企業間の複雑な交渉やオークションをネット上でシステム化して行う場合、人手では実施が難しい複雑な入札など、エージェントによる支援が必要となる場合も多いと考えられる。応用事例としては、研究レベルのものが中心であるが、これらの実用化が進めば、BtoB の電子商取引に大きな影

響を与えると予想される。BtoBは電子商取引において、もともと市場規模が大きい取引形態であるため、結果的には電子商取引全体に与える影響も大きいと考えられる。

上記以外でも個人旅行支援など、特定のアプリケーションドメインでの応用も進んでいる。これらの応用が現実の実用技術となれば、2.5.1で記したようなエージェント技術への期待に応えられることになるであろう。

ただし、エージェント技術以外の電子商取引技術も急速に進歩し、様々なサービスが普及しつつある。これらの中には、エージェント技術の一部と競合関係となる可能性を持つものも考えられる。たとえば、GBRやUDDIのようなサービスが整備されてしまえば、取引先の探索や選択を行うためのエージェント技術は不要になってしまうかもしれない。つまり、エージェント技術がターゲットとしていた問題の解決がエージェント技術以外のアプローチによって実現され、それが普及した場合、そのエージェント技術の価値は著しく低下してしまう。一方、ターゲットとしている問題が、従来技術では解決が及びもつかないようなハードルの高い問題の場合は、よほど画期的な研究成果でない限り、実用化が難しく、結局役に立たないということにもなりかねない。

このように、電子商取引でのエージェント技術の実用化にあたっては、他の電子商取引技術やサービスの動向も考慮にいった現実的なソリューションを提示することが重要と考えられる。さらに、性能や信頼性、エンドユーザにとっての使いやすさといった実用ソフトウェアとしての要件や、適用内容によっては、コンテンツ作成・提供のコストや既存コンテンツの扱いなども考慮する必要がある。またソリューションとしては、収入モデル、導入コスト、ランニングコストといったビジネスモデルとしての要件も、当然要求されるであろう。したがって、実用化には、研究および技術提供を行うシーズ側と日々の運用や取引を行っているニーズ側の双方のコラボレーションが必須となる。具体的な要件を知る上では、フィールド実験も重要であろう。特にユーザビリティやセキュリティ、システムの頑健性などに係る要件は、実際にテスト運用を行って初めて分かる場合も多いと思われる。

また、実際の現場では、エージェント技術のみで解決する問題は決して多くなく、むしろ他の技術やシステム、サービスと組み合わせることで、より高い付加価値を生むことができるケースが多いと想定される。すなわち、エージェント技術が他の技術と2.4で述べたところの相補的な関係を持つことで、実用化へ進むと考えられる。

図表 A-25 にエージェント技術の実用化に向けての展望を示す。

3. 国内外におけるエージェント技術研究開発の実態調査

3.1 調査内容および方法

本調査項目では、以下の項目につき、その実態を明らかにする。

- ・国内におけるエージェント技術の研究開発に対する出資・補助
- ・海外におけるエージェント技術の研究開発に対する出資・補助

国内に対する調査としては、平成10年度から平成12年までの間に中央省庁で実施されている情報技術関連の研究開発を対象に、ホームページ、成果報告書等の公開情報から、エージェント技術関連の研究開発テーマをまとめた。各省庁ごとに調査対象とする研究開発を記す。

通産省：通産局、IPA、NEDOで公募事業として行われている研究開発

郵政省：TAOで公募事業として行われている研究開発

科学技術庁：科学技術振興事業団で公募事業として行われている研究開発

文部省：科学研究費補助金で行われている研究開発

なお、本調査における情報収集は省庁再編前に実施されたため、各省庁や関係機関の名称、ホームページのURL等は省庁再編前に情報に基づいている。具体的な情報収集の方法としては、各機関サイトで公開されている公募情報・採択テーマ一覧、事業内容の各ページを調査した。各事業で行われている研究開発テーマの中から、テーマ名や概要にエージェントという用語が利用されており、研究内容がエージェント技術に係るものであることが確認できたものを抽出した。また、各機関サイトに設置されている検索エンジンも補助的に利用した。また、文部省に関しては、文献情報として、「文部省科学研究費補助金採択課題・公募審査要覧平成10年度版、平成11年度版、平成12年度版」から情報を収集した。

海外に対する調査としては、1998年から2000年の間に、米国のDARPA、NIST、NSFで実施されている研究開発プロジェクトを対象に、インターネット上の各機関のサイトで公開されている情報から、エージェント技術関連の研究開発テーマをまとめた。米国を調査対象とした理由は、本調査の主旨がエージェント技術の電子商取引への応用に係る調査であることと、海外では米国が電子商取引がもっとも普及している国であり、かつエージェント技術関連の研究開発が活発であることによる。情報収集の方法としては、各機関サイトに設置されているプロジェクト検索用のデータベースもしくは検索エンジンを積極的に活用した。キーワードとして、“agent-technology”、“agent-based”、“agent-oriented”、“interface-agent”、“intelligent-agent”、“multi-agent”、“mobile-agent”を利用した。さらに各サイトのトップのページからリンクをたどって各プロジェクトのページを調べることも併用し、内容から判断して、エージェント技術関連の研究開発と思われるものを抽出した。判断基準としては、タイトルまたは概要に“agent”ないしは上記のキー

ワードが出現することに加え、内容としてエージェント技術に関する研究、エージェント技術を用いた研究、結果としてエージェント技術の可能性を導き出す研究のいずれかに該当するもの、とした。

3.2 国内におけるエージェント技術研究開発の実態調査

3.2.1 通産省

通産省に対しては本省、通産局、情報処理振興事業協会（IPA）、新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）の各サイトを対象に調査を行った。各機関ごとに調査結果をまとめる。

（1）本省

平成 10 年度から平成 12 年度までで掲載されていた公募事業名は以下のものであるが、いずれの事業にもエージェント技術関連のテーマは見つからなかった。

- ・ 先進的アプリケーション基盤施設整備事業
- ・ 地域における電子商取引の普及
- ・ 地域情報化街づくり推進事業
- ・ マルチメディアコンテンツ市場環境整備事業
- ・ 物流情報管理システム開発事業

（2）通産局

平成 12 年度「新規産業創造情報技術開発」

(<http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0000914/0/denseika2.pdf>) (図表 A-26)

研究開発名	実施機関
Missionエージェント機能を持った、新世代マルチメディア情報検索応答システム“Mission-Link”の開発とその実用化	メディアドライブ (株)
利用者の意図を汲み取る新しい情報処理体系の開発とその実用化	コンピューターコンサルタント (株)
知識補償技術と感情伝達技術による次世代知的情報配信ポータル技術の開発	(株) レクサーリサーチ
インターネット上に分散された情報のストレージ技術とパーソナルエージェント技術の開発とその実用化	(株) カンマン、 (株) デジタルドリーム

（3）情報処理振興事業協会（IPA）

①平成 10 年度

・次世代デジタル応用基盤技術事業(<http://www.ipa.go.jp/NBP/digital98-7.html>) (図表 A-27)

研究開発名	提案者
知的エージェントによるホームインフォメーションシステム開発・実証プロジェクト	三菱電機株式会社/四国電力株式会社
マルチエージェントシステムにおける標準オントロジーサービス	株式会社コムテック
移動エージェント相互運用ミドルウェアの開発	株式会社東芝
インテリジェント・エージェント方式による自然言語対話インターフェイスの開発	九州大学大学院システム情報科学研究所

- ・教育の情報化推進事業 (<http://www.ipa.go.jp/NBP/education98-7.html>) (図表 A-28)

研究開発名	提案者
知的エージェントによる遠隔教育システムの開発と実証実験	学校法人電子学園 電子学園総合研究所
マルチエージェントモデルによる社会シミュレータシステムの開発及び普及事業	株式会社構造計画研究所
起業家を支援する産学協働型エージェントシステムの開発および実験	株式会社三菱総合研究所
エージェント指向多言語マネージメントゲームによる国際経営教育	株式会社日本経営データ・センター
表現教育分野のエージェント指向グループ学習支援システムの開発と実証	株式会社プロシード
岡山情報ハイウェイを活用した生涯学習支援システムの構築	社団法人システムエンジニアリング岡山

- ・情報ベンチャー事業化ソフトウェア等開発事業

(<http://www.ipa.go.jp/NBP/3ji/vent/>) (図表 A-29)

研究開発名	申請者
会話分析エンジンを装着したインターネットセキュリティエージェント	株式会社ガーラ
知的販売を促進するためのエージェントシステムの開発	日本コンピューター株式会社

- ・特定プログラム開発および普及事業 (図表 A-30)

研究開発名	申請者
衛星放送受信エージェント	不明

- ・独創的情報技術育成事業 (<http://www.ipa.go.jp/STC/dokusou-old.html>) (図表 A-31)

研究開発名	申請者
耐タンパ・移動エージェントの調査研究	有限会社アイエスディー、東京理科大学、株式会社学習研究社

- ・高度情報化支援ソフトウェアシーズ育成事業 (<http://www.rise.or.jp>) (図表 A-32)

研究開発名	実施者
高階モバイルエージェントシステムの設計と構築	お茶の水女子大学、株式会社インパクト
動的適応可能なソフトウェアの系統的構成方式と言語の研究開発	北陸先端科学技術大学院大学

- ・機械システム振興協会事業 (<http://www.mmca.or.jp/news/99/990702.htm>) (図表 A-33)

研究開発名	申請者
LANDEBOOをベースとしたマルチメディアコンテンツ流通システムSmartBookmarks	株式会社三菱総合研究所

- ・地域産業振興事業 (<http://www.jilc.or.jp/result/home.html>) (図表 A-34)

研究開発名	申請者
エージェント指向ソフトウェア技術の応用による次世代型産業振興支援NW	株式会社サイエンティア

②平成 11 年度

- ・独創的情報技術育成事業

(<http://www.ipa.go.jp/STC/DOKUSOU/99saitaku-j.html>) (図表 A-35)

研究開発名	申請者
ネットワーク侵入検出システムIDA (Intrusion Detection Agent system) の研究開発	株式会社日本総合研究所、早稲田大学、上越教育大学

- ・高度情報化支援ソフトウェアシーズ育成事業

(<http://www.rise.or.jp/html/seika.html>) (図表 A-36)

研究開発名	申請者
学会事務支援システムと擬人化エージェント実用化技術の研究開発	電子技術総合研究所 株式会社アルゴクラフト

③平成 12 年度

- ・未踏ソフトウェア創造事業 (<http://www.ipa.go.jp/NBP/12nendo/12mito/>) (図表 A-37)

研究開発名	実施者 (個人名)
パーソナルサイズのマルチエージェント統合環境AirWeb	飯塚 豊
プラットフォーム費依存な汎用ネットワークエージェントシステム	銭谷 謙吾
プログラム記述スキルを必要としないプログラム開発ツール	岡本 慎太郎
ユーザ支援のための携帯型対話エージェントの開発	長谷川 修

- ・独創的情報技術育成事業 (<http://www.ipa.go.jp/STC/dokusou.html>) (図表 A-38)

研究開発名	申請者
擬人化音声対話エージェント基本ソフトウェアの開発	東京大学、北陸先端科学技術大学院大学、立命館大学、成蹊大学、豊橋技術科学大学、電子技術総合研究所、財団法人京都高度技術研究所

- ・高度情報化支援ソフトウェアシーズ育成事業

(<http://www.rise.or.jp/html/saitaku12.htm>) (図表 A-39)

研究開発名	申請者
グループウェア向けエージェントシミュレータの研究開発	京都大学

(4) 新エネルギー・産業技術開発機構 (NEDO)

平成10年度から平成12年度までで、情報技術関連の研究開発に係る公募事業として掲載されているものは、以下のものであるが、いずれの事業にもエージェント技術関連のテーマは見つからなかった。

- ・即効型提案公募事業 (第1次補正予算対応、第3次補正予算対応)
- ・新規産業創造型提案公募事業
- ・マッチングファンド方式による産学連携研究開発事業
- ・産業技術研究助成事業
- ・産業技術基盤研究開発
- ・産業技術応用研究開発

ただし、産業技術基盤研究開発の「ヒューマンメディア」プロジェクト(注1)や、産業技術応用研究開発の「人間協調・共存型ロボットシステム」プロジェクト(注2)では、エージェント技術と関連する研究が行われていると思われる。

注1 : http://www.nedo.go.jp/introducing/activities_index.html

注2 : http://www.nedo.go.jp/introducing/activities_index.html

3.2.2 郵政省

郵政省に対しては、通信・放送機構(TAO)の公募事業として行われている情報技術関連の研究開発の中でのエージェント技術に関連した研究開発の情報を収集した。エージェント技術関連の事業が行われた事業と研究開発テーマに関する情報を、各年度ごとにまとめる。

(1) 平成10年度

- ・高度通信・放送研究開発

(<http://www.shiba.tao.go.jp/kenkyu/ken01014.htm#05>) (図表 A-40)

研究開発名	プロジェクトリーダー
分散型映像曖昧検索技術に関する研究開発	脇英世 東京電機大学教授
通信ネットワーク・コラボレーション実現のためのオブジェクト通信等に関する研究開発	月尾嘉男 東京大学工学部教授
マルチ・ネットワーク制御等に関する研究開発	村井 純 慶應義塾大学教授

- ・高齢者・障害者向け通信・放送サービス充実研究開発

(<http://www.shiba.tao.go.jp/prs10151.htm>) (図表 A-41)

研究開発名	プロジェクトリーダー
エージェント技術を用いた在宅高齢者・介護支援通信システムの研究開発	キッセイ・コムテック株式会社

- ・国際標準実現型研究開発制度に係る研究開発

(<http://www.shiba.tao.go.jp/prs10161.htm>) (図表 A-42)

研究開発名	プロジェクトリーダー
エージェント国際標準化のためのメタメディアライブラリの研究開発	財団法人仙台応用情報学研究振興財団

(2) 平成11年度

- ・通信・放送研究成果展開事業（共同研究者を募集するプロジェクト）

(<http://www.shiba.tao.go.jp/prs11341.htm>) (図表 A-43)

研究開発名	プロジェクトリーダー
在宅テレワークの普及に資する情報通信システムの開発・展開	東京工業大学

- ・通信・放送研究成果展開事業（マルチメディア・パイロットタウン構想等）

(<http://www.shiba.tao.go.jp/prs11171.htm>) (図表 A-44)

研究開発名	プロジェクトリーダー
放送ソフト流通ネットワークシステムの研究開発	株式会社社会情報研究所

- ・産学連携支援・若手研究者支援型研究開発制度

(<http://www.shiba.tao.go.jp/prs11311.htm>) (図表 A-45)

研究開発名	実施機関
スマートカードを用いた知的携帯エージェントシステム	筑波大学社会工学系
心理エージェント	会津大学コンピュータ理工学部

- ・高齢者・障害者向け通信・放送サービス充実研究開発

(<http://www.shiba.tao.go.jp/prs11221.htm>) (図表 A-46)

研究開発名	実施機関
エージェント技術を用いた在宅高齢者・介護者支援通信システムの研究開発	キッセイコムテック株式会社

- ・先進技術型研究開発 (<http://www.shiba.tao.go.jp/prs11201.htm>) (図表 A-47)

研究開発名	実施機関
マルチデバイス対応パーソナルエージェントシステムの研究開発	株式会社ホットライン

- ・創造的通信・放送システム開発事業

(<http://www.shiba.tao.go.jp/prs11191.htm>) (図表 A-48)

研究開発名	実施機関
マルチメディア・モデル研修	北海道深川市

- ・「ギガビットネットワーク利活用研究開発制度」に係る研究開発

(<http://www.shiba.tao.go.jp/prs11161.htm>) (図表 A-49)

研究開発名	実施機関
高速・広域ネットワークを利用した知識抽出エージェントモデルに基づく分散協調学習システムに関する研究開発	電気通信大学

- ・「地域提案型研究開発制度」に係る研究開発

(<http://www.shiba.tao.go.jp/prs11121.htm>) (図表 A-50)

研究開発名	実施機関
産地主導型バーチャルマーケットの実現に資する情報通信エージェント技術に関する研究	宮城大学

(3) 平成 12 年度

- ・通信・放送研究成果展開事業（創造的情報通信システム開発事業等）

(<http://www.shiba.tao.go.jp/prs12161.htm>) (図表 A-51)

研究開発名	実施機関
インタラクティブ性を有する教育番組における、放送を補完するリアルタイムCGによるエージェント合成システムの研究開発	株式会社社会情報研究所 株式会社テレビ東京制作

- ・高度通信・放送研究開発

(<http://www.shiba.tao.go.jp/kenkyu/ken02119.htm>) (図表 A-52)

研究開発名	実施機関
情報収集エージェント技術に関する研究開発	日立製作所

3.2.3 科学技術庁

科学技術庁に対しては、科学技術振興事業団の公募事業として行われている情報技術関連の研究開発と、科学技術振興調整費において実施されている情報技術関連の研究開発の中から、エージェント技術に関連した研究開発の情報を収集した。エージェント技術関連の事業が行われた事業と研究開発テーマに関する情報を以下にまとめる。

(1) 科学技術振興事業団

- ・個人研究推進事業 (PRESTO) (<http://www.jst.go.jp/presto/>) (図表 A-53)

研究開発名	実施機関
模倣学習によるマルチエージェントシステムの構成	電総研 野田五十樹

- ・戦略的基礎研究推進事業 (CREST) (<http://www.jst.go.jp/crest/>) (図表 A-54)

研究課題	研究開発名	実施者
高度メディア社会の生活情報技術 (平成12年度)	情報のモビリティを高めるための基盤技術	辻井潤一、東京大学教授
高度メディア社会の生活情報技術 (平成12年度)	人間中心の知的情報アクセス技術	橋田浩一、電総研
高度メディア社会の生活情報技術 (平成11年度)	デジタルシティのユニバーサルデザイン	石田亨、京都大学教授

(2) 科学技術振興調整費

- (<http://www-dir.jst.go.jp/tenkai/scf/mokuji/title-euc.html>) (図表 A-55)

研究課題	研究開発名	実施者
知的生産活動における創造性支援に関する基盤的研究	協調エージェント機能を持ったアクティブ・メディアの部品化と構築環境の研究	田中譲 北海道大学
知的生産活動における創造性支援に関する基盤的研究	思考・情緒過程からの言語の深層構造の生成に関する研究	岡田直之 九州大学
知的生産活動における創造性支援に関する基盤的研究	構成理論に基づく的コミュニケーションのモデル化に関する研究	電総研 中島秀之、大澤一郎、河越正弘、青山宏
知的生産活動における創造性支援に関する基盤的研究	外化情報の収集検索のための支援技術に関する研究	科学技術振興事業団 小原満穂
人間の社会的諸活動の解明・支援に関する基盤的研究	人間と共創する自在型認識・行動システムの設計原理とその応用に関する研究	株式会社富士通研究所 細木信也

3.2.4 文部省

文部省に対しては、科学研究補助金で実施されている情報技術関連の研究開発の中から、エージェント技術に関連した研究開発の情報を収集した。調査対象としては、特定領域研究、基盤研究および萌芽的研究の電気電子工学、科学教育・教科教育学、情報科学、完成工学（時限付細目）、複雑系の科学（時限付細目）とし、研究タイトルからエージェント技術に関する研究開発と思われるテーマを抽出した。年度ごとにその結果をまとめる。

(1) 平成10年度

図表 A-56 (1)

研究課題	研究代表者	
	役職	氏名
マルチエージェントの協調による発展可能型ソフトウェアの実現	神戸大学自然科学研究科 教授	金田 悠紀夫
エージェント型データマイニングに基づく知識発見法の開発と応用	東京理科大学理工学部 教授	溝口 文雄
モバイルオブジェクト計算に基づいた広域分散プログラミングシステムに関する研究	筑波大学電子・情報工学系 助教授	加藤 和彦
マルチエージェント概念に基づく秘書システムの開発	九州大学システム情報科学研究科 教授	雨宮 真人
ネットワーク化情報環境における知的擬人化インタフェースエージェント・システム	東京大学工学（系）研究科 教授	石塚 満
エージェントを用いた日本語教育のための柔軟な協調学習環境の研究	徳島大学工学部 教授	矢野 米雄
コミュニケーションエージェントによる遠隔教育教授法の高度化に関する研究	大阪府立大学 教授	田村 武志
ロボットへの多重化技術による専門分野知識の体系化の研究	奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 教授	西田 豊明
エージェント指向に基づくやわらかいネットワークの研究	東北大学電気通信研究所 教授	白鳥 則郎
エージェント概念に基づいた長時間トランザクション・モデルの研究	名古屋大学工学（系）研究科 教授	渡辺 豊英
擬人化エージェントによるマルチモーダルインタフェースプロトタイプ構築	成蹊大学工学部 助教授	森島 繁生
知識エージェントによる広域画像データベース利用の協調学習支援システムの開発	電気通信大学 教授	岡本 敏雄
免疫型複雑系のエージェントによる研究	奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 助教授	石田 好輝
並行計算に基づくエージェント計算系の論理的意味論に関する基礎研究	静岡大学情報学部 教授	富樫 教
創発的計算と機械学習理論による情報ネットワーク社会モデルへの接近	筑波大学社会工学系 教授	寺野 隆雄
分散型意思決定支援のためのエージェントに基づく合意形成アルゴリズムの構築	名古屋工業大学工学部 助教授	新谷 虎松
知能エージェントによる分散協調型ネットワーク運用・管理	早稲田大学 教授	浦野 義頼
知的エージェント集団による、大規模最適化への学習型分散的手法の開発	千葉大学自然科学研究科 教授	平田 廣則
エージェントの分散制約充足に基づく計算機システムの検証および診断	北海道工業大学工学部 教授	栗原 正仁

図表 A-56 (2)

研究課題	研究代表者	
	役職	氏名
マルチエージェント・アプローチによる外国為替市場のモデルの構築と分析	東京大学総合文化研究科 助教授	大勝 孝司
マルチエージェントによる統合的学習支援に関する研究	広島市立大学情報科学部 教授	大槻 説平
知的エージェントを用いた仮想的活動空間に関する基礎的研究	東北大学電気通信研究所 助教授	木下 哲男
マルチエージェントを利用した学習支援システムの構成に関する研究	電気通信大学 助手	鷹岡 亮
ネットワーク型知的擬人化エージェントインタフェースの研究	東京大学工学(系)研究科 助手	土肥 浩
モバイルエージェントのための資源共有アルゴリズムの設計と実装	お茶の水女子大学理学部 助手	佐藤 一郎
意思決定におけるエージェントのモデル化と競合および協調のための最適戦略	静岡大学情報学部 講師	飯田 弘之
自己免疫メカニズムに基づく情報処理モデルの構築とエージェントシステムへの応用	琉球大学工学部 助教授	遠藤 聡志
無線エージェントによるマルチメディア移動通信システムに関する研究	大阪大学工学部 助手	岡田 実
機能オントロジーに基づいた人工物の機能理解に関する研究	大阪大学産業科学研究所 助手	来村 徳信
オントロジーを用いて設計者を支援する設計過程モデルの構築	奈良先端科学技術大学院大 学情報科研 助教授	武田 英明
分散協調型強化学習によるマルチエージェントシステムの研究	金沢工業大学工学部 助教 授	阿部 倫之
モバイル・エージェント技術にもとづくソフトウェアの遠隔保守	慶應義塾大学理工学部 助 手	飯島 正

平成 10 年度合計 : 32 件、67,600 千円

(2) 平成11年度

図表 A-57 (1)

研究課題	研究代表者	
	役職	氏名
エージェント型ターマイニングに基づく知識発見法の開発と応用	東京理科大学理工学部 教授	溝口 文雄
コミュニティ情報流通プラットフォームの構築	京都大学情報学研究科 教授	石田 亨
モバイルオブジェクト計算に基づいた広域分散プログラミングシステムに関する研究	筑波大学電子・情報工学系 助教授	加藤 和彦
モバイルオブジェクトを使ったタスク・データ並列型粒子メッシュコードに関する研究	筑波大学電子・情報工学系 助教授	蔡 東生
不完全通信環境下における論理型マルチエージェントシステムの構築	北海道大学工学(系)研究科 助教授	佐藤 健
遺伝的プログラミングを用いた共進化型学習に基づく協調エージェントシステムの研究	東京大学工学(系)研究科 助教授	伊庭 斉志
オントロジーの基礎理論とその開発環境に関する研究	大阪大学産業科学研究所 教授	溝口 理一郎
ネットワークにおけるコミュニケーション支援のための知識ライフサイクルの研究	奈良先端科学技術大学院大学 情報科研 教授	西田 豊明
エージェントを用いた日本語教育のための柔軟な協調学習環境の研究	徳島大学工学部 教授	矢野 米雄
コミュニケーションエージェントによる遠隔教育教授法の高度化に関する研究	大阪府立大学 教授	田村 武志
マルチエージェント概念に基づく秘書システムの開発	九州大学システム情報科学研究科 教授	雨宮 真人
エージェント指向に基づくやわらかいネットワークの研究	東北大学電気通信研究所 教授	白鳥 則郎
エージェント概念に基づいた長時間トランザクション・モデルの研究	名古屋大学工学(系)研究科 教授	渡辺 豊英
擬人化エージェントによるマルチモーダルインタフェースプロトタイプ の構築	成蹊大学工学部 助教授	森島 繁生
知識エージェントによる広域画像データベース利用の協調学習支援システムの開発	電気通信大学 教授	岡本 敏雄
モバイルオブジェクト技術を利用した分散並列WWW検索システムに関する研究	筑波大学電子・情報工学系 助教授	加藤 和彦
一般ユーザーを対象にした電子商取引用マルチエージェントシステムの開発	埼玉大学工学部 助教授	B. H. Far
仮想人間エージェントを用いたWWW上の個人向け番組制作の研究	九州工業大学情報工学部 助教授	乃万 司
ニューラルエージェントを用いた発生的計算による原日本語助詞の発生シミュレーション	愛知大学短期大学部 講師	須田 淳一

図表 A-57 (2)

研究課題	研究代表者	
	役職	氏名
エージェントの分散制約充足に基づく計算機システムの検証および診断	北海道工業大学工学部 教授	栗原 正仁
免疫型複雑系のエージェントによる研究	豊橋技術科学大学工学部 教授	石田 好輝
並行計算に基づくエージェント計算系の論理的意味論に関する基礎研究	静岡大学情報学部 教授	富樫 敦
創発的計算と機械学習理論による情報ネットワーク社会モデルへの接近	筑波大学社会工学系教授	寺野 隆雄
分散型意思決定支援のためのエージェントに基づく合意形成アルゴリズムの構築	名古屋工業大学工学部 助教授	新谷 虎松
自律エージェント群による協調行動の自己組織化に関する基礎研究	徳島大学工学部 教授	小野 典彦
仮相空間に提示する3次元エージェントアイコンの機能性と認知性に関する研究	京都工芸繊維大学 助教授	森本 一成
知的エージェントを用いた仮想的活動空間に関する基礎的研究	東北大学電気通信研究所 助教授	木下 哲男
生物の脳細胞の振舞いを利用したマルチエージェント画像認識システム	北海道大学工学(系)研究 科 助教授	長谷山 美紀
異機種計算機環境におけるモバイルオブジェクト実行システムに関する研究	筑波大学電子・情報工学 系 助手	松原 克弥
実世界型モバイルエージェントに関する基礎的研究	電気通信大学 助手	岡 哲資
マルチエージェント環境における合意形成モデルの非単調論理に基づく形成化と実現	名古屋大学工学(系)研究 科 助教授	外山 勝彦
複数エージェント間のオトロジー交換プロトコル	千葉工業大学工学部助手	藤田 茂
強化学習に基づいた分散人工知能の研究	松江工業高等専門学校 助教授	原 元司
マルチエージェントを利用した学習支援システムの構成に関する研究	電気通信大学 助手	鷹岡 亮
ネットワーク型知的擬人化エージェントインタフェースの研究	東京大学工学(系)研究 科 助手	土肥 浩
モバイルエージェントのための資源共有アルゴリズムの設計と実装	お茶の水女子大学理学部 助教授	佐藤 一郎
エージェント協調に基づく分散DTP支援方式に関する研究	岡山県立大学情報工学部 助教授	国島 丈生
意思決定におけるエージェントのモデル化と競合および協調のための最適戦略	静岡大学情報学部 講師	飯田 弘之
自己免疫カニズムに基づく情報処理モデルの構築とエージェントシステムへの応用	琉球大学工学部 助教授	遠藤 聡志

平成 11 年度合計 : 39 件、90,600 千円

(3) 平成12年度

図表 A-58 (1)

研究課題	研究代表者	
	役職	氏名
遠隔一斉教育のための教師業務支援エージェント構築ライブラリの開発	静岡大学情報学部 教授	山口 高平
モバイルオブジェクト計算に基づいた広域分散プログラミングシステムに関する研究	筑波大学電子・情報工学系 助教授	加藤 和彦
物語性に着目した個人・コミュニティ記憶連携型マネジメントシステムの研究	東京大学工学(系)研究科 教授	西田 豊明
音源ローザを用いた音楽情報処理の研究	東京理科大学理工学部 教授	奥乃 博
社会ネットワークに着目したエージェント指向協調学習支援システムの研究開発	徳島大学工学部 講師	緒方 広明
ロボティクスに基づく訓練システムのための知的オサリクツールの試作	大阪大学産業科学研究所 教授	溝口 理一郎
エージェントを用いた日本語教育のための柔軟な協調学習環境の研究	徳島大学工学部 教授	矢野 米雄
自己反映計算を用いた移動エージェント・システム	筑波大学電子・情報工学系 教授	板野 肯三
モバイルオブジェクトを使ったタスク・データ並列型粒子メシユードに関する研究	筑波大学電子・情報工学系 助教授	蔡 東生
マルチエージェント概念に基づく秘書システムの開発	九州大学システム情報科学研究科 教授	雨宮 真人
不完全通信環境下における論理型マルチエージェントシステムの構築	北海道大学工学(系)研究科 助教授	佐藤 健
遺伝的プログラミングを用いた共進化型学習に基づく協調エージェントシステムの研究	東京大学 助教授	伊庭 斉志
ロボティクスの基礎理論とその開発環境に関する研究	大阪大学産業科学研究所 教授	溝口 理一郎
ネットワークソフトウェアのコンプレキシティを克服する環境適応型エージェント	広島市立大学情報科学部 教授	角田 良明
移動オブジェクトと分散トランザクションを統合する分散システムの設計と実装	お茶の水女子大学理学部 助教授	佐藤 一郎
非機能型要件を考慮した適応的移動エージェントのモジュール化手法	北陸先端科学技術大学院大学情報科 助教授	渡部 卓雄
移動エージェントに基づく開放型分散システムに関する基礎理論	静岡大学情報学部 教授	富樫 敦
マルチエージェントシステムの動特性の解析と制御に関する研究	東北大学電気通信研究所 助教授	木下 哲男
協調戦術を適応学習するエージェントの構築と分析	東京大学総合文化研究科 教授	永野 三郎
状態空間の自動的な圧縮表現に基づくマルチエージェント強化学習手法	徳島大学工学部 教授	小野 典彦
異種分散データベース環境におけるエージェント機構の研究	大阪大学 助教授	中西 通雄
免疫型複雑系のエージェントによる研究	豊橋技術科学大学工学部 教授	石田 好輝
モバイルオブジェクト技術を利用した分散並列WWW検索システムに関する研究	筑波大学電子・情報工学系 助教授	加藤 和彦
創発的計算と機械学習理論による情報ネットワーク社会モデルへの接近	筑波大学社会工学系 教授	寺野 隆雄
分散型意思決定支援のためのエージェントに基づく合意形成アルゴリズムの構築	名古屋工業大学工学部 教授	新谷 虎松

図表 A-58 (2)

研究課題	研究代表者	
	役職	氏名
一般ユーザーを対象にした電子商取引用マルチエージェントシステムの開発	埼玉大学工学部 助教授	B.H Far
マルチエージェントの協調作業に向けた遺伝的プログラムによる知識進化に関する研究	名古屋工業大学工学部 教授	伊藤 英則
環境情報の統合によるマルチエージェントロボットの行動学習	長崎総合科学大学工学部 教授	安田 元一
仮想人間エージェントを用いたWWW上の個人向け番組制作の研究	九州工業大学情報工学部 助教授	乃万 司
エージェントを利用した教師教育のための対話型授業映像検索環境に関する研究	山口大学教育学部 講師	鷹岡 亮
インターネット上の巡回エージェントによる進化ソフトウェアの構築	神奈川大学工学部 講師	能登 正人
エージェント群の通信の学習による最適化	北海道大学工学(系)研究科 助手	山本 雅人
ペーパernetワークを用いたマルチエージェント型物体認識システムの実現	電気通信大学電気通信学部 助手	柳井 啓司
問題解決オントロジーに基づくモデリング支援システムの開発	大阪大学産業科学研究所 助手	夫 和久 (瀬田 和久)
マルチエージェント合意形成のための共同注視点獲得に関する研究	琉球大学工学部 助教授	山田 孝治
マルチエージェント環境における記号とパターンの統合	金沢工業大学工学部 講師	出村 公成
生物の脳細胞の振舞いを利用したマルチエージェント画像認識システム	北海道大学工学(系)研究科 助教授	長谷山 美紀
異種計算機環境におけるモバイルエージェント実行システムに関する研究	筑波大学電子・情報工学系 助手	松原 克弥
実世界型モバイルエージェントに関する基礎的研究	電気通信大学 助手	岡 哲資
マルチエージェント環境における合意形成モデルの非単調論理に基づく形成化と実現	名古屋工業大学工学(系)研究科 助教授	外山 勝彦
マルチエージェントシステムに基づく適応的画像認識システムに関する研究	大分大学工学部 講師	行天 啓二
柔軟なマルチエージェント協調行動システムの構築に関する研究	愛知県立大学情報科学部 助教授	何 立風
複数エージェント間のオントロジー交換プロトコル	千葉工業大学工学部 講師	藤田 茂
エージェント指向分散情報処理システムの開発支援環境	千葉工業大学工学部 助手	原 英樹

平成 12 年度合計：44 件、96,600 千円

3.3 海外におけるエージェント技術研究開発の実態調査

3.3.1 DARPA (<http://www.darpa.mil/>)

DARPA に対しては、DARPA に所属する 5 機関に対して調査を行った。調査結果を以下にまとめる。

(1) Information Technology Office (ITO) (図表 A-59)

年	研究テーマ名、URL
1998 年 (計 7 件)	An Agent-based Architecture for Supporting Application Aware Security, http://www.darpa.mil/ito/psum1998/f437-0.html
	Battlefield Intelligent Agents, http://www.darpa.mil/ito/psum1998/c980-0.html
	Enhancing Survivability with Distributed Adaptive Coordination, http://www.darpa.mil/ito/psum1998/f160-0.html
	Integrated Design and Analysis Tools for Software-Based Control Systems, http://www.darpa.mil/ito/psum1998/g437-0.html
	MANET: Mobile Agents for Network Trust, http://www.darpa.mil/ito/psum1998/f255-0.html
	Multimodal Human-Computer Interaction, http://www.darpa.mil/ito/psum1998/c532-0.html
	Server and Agent Based Active Network Management (SAAM), http://www.darpa.mil/ito/psum1998/g417-0.html
1999 年 (計 11 件)	A Case-Based Reflective Negotiations Model, http://www.darpa.mil/ito/psum1999/h357-0.html
	A Software Architecture and Tools for Autonomous Mobile Robots that Learn on Mission, http://www.darpa.mil/ito/psum1999/h911-0.html
	ANT-Based Adaptive Resource Management for Electronic Warfare, http://www.darpa.mil/ito/psum1999/h356-0.html
	Autonomous Negotiating Teams (ANT), http://www.darpa.mil/ito/psum1999/h355-0.html
	Autonomous Negotiating Teams and Model_Integrated Computing for Autonomic Logistics, http://www.darpa.mil/ito/psum1999/h360-0.html
	Camera: Coordination and Management Environments for Responsive Agents, http://www.darpa.mil/ito/psum1999/h361-0.html
	DYNAMITE: Dynamic Negotiating Adaptive Multi-Agent Teams, http://www.darpa.mil/ito/psum1999/h353-0.html
	Integrated Design and Analysis Tools for Software-Based Control Systems http://www.darpa.mil/ito/psum1999/g437-0.html
	Scalable Real-Time Negotiation Toolkit, http://www.darpa.mil/ito/psum1999/h354-0.html
	Server and Agent Based Active Network Management (SAAM), http://www.darpa.mil/ito/psum1999/g417-0.html
	Technology for Analyzing Change and Composing Reusable, Real-Time Software Components and Applications, http://www.darpa.mil/ito/psum1999/d883-0.html
2000 年 (計 1 件)	Active Multi-Model Control of Uninhabited Air Vehicles, http://www.darpa.mil/ito/psum2000/j065-0.html

(2) Information System Office (ISO)

図表 A-60

年	プログラム、URL
2000年 (計5件)	Advanced Logistics Project (ALP), http://dtsn.darpa.mil/iso/programtemp.asp?mode=246
	Control of Agent-Based Systems (CoABS), http://dtsn.darpa.mil/iso/programtemp.asp?mode=126
	DARPA Agent Mark Up Language (DAML), http://dtsn.darpa.mil/iso/programtemp.asp?mode=347
	Joint Logistics Technology Office (JLTO), http://dtsn.darpa.mil/iso/programtemp.asp?mode=327
	Taskable Agent Software Kit (TASK), http://dtsn.darpa.mil/iso/programtemp.asp?mode=348

Taskable Agent Software Kit (TASK)については、DARPAのサイト外にあるTASKのウェブサイト(<http://www.task-program.org/>)にプロジェクトが挙げられていたため、そのタイトルを列挙する。

図表 A-61

研究テーマ名
Analytical tools for investigating and modeling agent-based systems
Multi-Agent Framework for Using Commercial Assets to Support Military Airlifts
Information Dynamics and Agent Infrastructure
Dynamics of Learning and the Emergence of Distribute Adaptation
Mathematical Modeling of Large Multi-Agent Systems
Representation and Computation with Decision and Game-Theoretic Agents
Principled Analysis and Synthesis of Agent Systems Using Tools from Statistical Physics
Formal Models of Multi-Agent Interactions and Behaviors
Modeling, Creation, and Analysis of Adaptive Agent Systems
Stochastic Models for Web Agents and the Web Environment
Multi-Scale Behavioral Modeling and Analysis Promoting A Fundamental Understanding of Agent-Based System Design and Operation
Development of a Formal Theory of Agent-Based Computing for System Evaluation and System-Design Guidance
A Parametric Model for Large Scale Agent Systems
Agent-Based Systems Engineering
Computation in the Wild: Moving Beyond the Metaphor

(3) Advanced Technology Office (ATO)

図表 A-62

年	研究テーマ名、URL
1999年 (計1件)	DOMAINS: Design of Mobile Adaptive Networks Using Simulation and Agent Technology, http://www.darpa.mil/ato/programs/glomo_ts99/F619.htm

(4) Tactical Technology Office (TTO)

TTO に関しては、DARPA のトップのページで利用できる検索エンジンで検索範囲を、TTO に限定して検索を行い、情報を収集したがエージェント技術関連の情報は収集できなかった。

(5) Contracts Management Office (CMO)

図表 A-63

年	研究テーマ名、URL
1998年 (計1件)	Intelligent Agent-Based Software Architecture for Combat Performance Under Overwhelming Information Inflow and Uncertainty, http://www.darpa.mil/sbir/sbir982selections.html
1999年 (計7件)	A Distributed Adaptive Control System Based on Composable Agents, http://www.darpa.mil/sbir/99.1selections.html
	Multi-Agent System for Resource Reliability, http://www.darpa.mil/sbir/99.1selections.html
	MAPMS: Multi Agent Performance Monitoring System, http://www.darpa.mil/sbir/sbir99.2selections.html
	Java Assembly, Deployment, Control, Environment for Agents (JADCEA), http://www.darpa.mil/sbir/sbir99.2selections.html
	Human Interaction with Software Agents, http://www.darpa.mil/sbir/sbir99.2selections.html
	Interactive Construction of Mobile Agents, http://www.darpa.mil/sbir/sbir99.2selections.html
	Novel Host Based Intrusion Indicators for Agent-Based Detectors, http://www.darpa.mil/sbir/99sttrawards.html
2000年 (計1件)	Dynamic Group Workflow Collaboration Using Agent-Based Asynchronous and Fault-Tolerant System, http://www.darpa.mil/sbir/00.1sbirawards.htm

3.3.2 NSF (<http://www.nsf.gov/>)

NSF に対しては、NSF サイトのプロジェクト検索システムを利用し、情報収集を行った。調査結果を以下にまとめる。

図表 A-64 (1)

年	研究テーマ名、URL
1998 年 (計 21 件)	Collaborative: Design of Adaptable Dynamic Wireless Network Architectures Using Intelligent Agents, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9804104
	Enhancing Robustness of Information through Distributed Adaptive Coordination, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9812755
	Enhancing Robustness of Information Systems through Distributed Adaptive Coordination, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9812764
	Support for International Travel to Conference on Multiple Agents, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9813573
	Mechanisms for Secure and Robust Agent-Based Distributed Computing, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9813703
	Design of Adaptable Dynamic Wireless Network Architecture Using Intelligent Agent, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9816633
	CISE Research Instrumentation: Agent-Based Research and Applications, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9818335
	CISE Research Instrumentation: Research in Networked Information Systems, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9818338
	USA-China Workshop on Advanced Machine Tool Research; January 8-11, 1999, Los Angeles, CA, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9820812
	Agent-Based Models of Social Interaction and the Emergence of Multi-Agent Institutions, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9820872
	Workshop on Multi-Agent Computation in Natural and Artificial Economies, Washington, DC, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9820873
	SBIR Phase I: Reliable Distributed-Object Computing with Fault-Tolerant Cooperative Intelligent Agents, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9861270
	SBIR Phase I: Research Agents and Inferential Retrieval, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9861411
	Congregating Agents, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9872057
	Social Structures and Artifacts for Intelligent Agent Systems, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9872062
	MetaComputing with the IceT System, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9872167
	KDI: Next-Generation Agent-Based Distributed Simulation, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9873138
	KDI: Automated Learning in Network Traffic Control, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9873469
	KDI: Teachable Agents: Computer Environments for Supporting High Achievement in Science and Mathematics, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9873520
	CAREER: MultiAgent Systems to Support Mobile Information Access, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9875433
CAREER: A Framework for Fault-Tolerant and Secure Agents, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9876052	

図表 A-64 (2)

年	研究テーマ名、URL
1999 年 (計 13 件)	Planning Grant: International Collaboration on Cross-Language Information Retrieval, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9901650
	SBIR Phase II: Agent-Based Simulation and Modeling over the World Wide Web, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9901678
	Special Project: International Conference on Virtual Worlds and Simulation: San Francisco, California, January 18 - 20, 1999, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9904324
	Agent-Based Precision Manufacturing Systems, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9908174
	U. S. Students' and Researchers' Travel to the First European Agent Systems Summer School (EASSS '99), July 26 - 30, 1999, Utrecht, The Netherlands, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9908539
	Interactive Tensor Field Visualization, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9908881
	MRI: Acquisition of a Superworkstation Cluster for Research and Teaching in Distributed Agent-Based Computing, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9977471
	The Agent Institute: Develop an Infrastructure for Agent-Based Research and Development for the State of Maine, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9977780
	Multi-agent Instructional Communities: A Computational and Experimental Approach https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9977960
	SGER: Multi-Agent Diagnostics, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9977960
	Incorporating Agent-Based Computing into Computer Science and Engineering Curriculum, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9980375
	CAREER: Contractual Agent Societies: Negotiated Shared Context and Social Control in Heterogeneous Multi-Agent Systems, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9984147
	NSF-CNPq Collaborative Research: Combining Cognitive & Utilitarian Coordination in a Layered Agent Architecture, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=9988784

図表 A-64 (3)

年	研究テーマ名、URL
2000年 (計18件)	A Preliminary Investigation of Diverse Learning Styles in a Multi-agent System https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0002364
	POWRE: Mathematical Modeling of Multi-Agent Systems, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0074790
	Workshop: Support for International Travel of Graduate Students to Agents Conference https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0076319
	ITR: Dynamic and Secure Distributed Collaborations, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0082215
	Robust Software with Errors through Team-Oriented Programming, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0083362
	Collaborative Research: A Computational Framework for Agent-Based Contracting, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0084202
	Collaborative Research: A Computational Framework for Agent-based Contracting, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0084234
	Integrating Models of Trust, Gossip, and Emotion for Artificial Agents, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0084508
	ICMAS-2000 Student Travel Grant, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0084708
	SGER: Analysis of Fundamental Control Mechanisms for Mobile Agents in Large Network Infrastructures, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0084846
	ITR: Creating the Next Generation of Intelligent Animated Conversational Agents, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0086107
	CISE Educational Innovation: Integrating Agent Technology into CISE Curriculum Using Lecturelets, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0086230
	Educational Innovation: Integrating Intelligent Agent and Wireless Computing Research into the Undergraduate Curriculum, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0086260
	U. S. Graduate Student Travel to the Second AgentLink European Agent Systems Summer School (EASSS) 2000, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0089901
	User Interface Softbots, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0083281
	Scalable Enterprise Systems: Emergent Organizational Structures in Multi-Agent Scalable Enterprises, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0075462
	SGER: Advanced Engineering Diagnostics - An Innovative Approach, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0090061
	Practical Reasoning in Autonomous Agents, https://www.fastlane.nsf.gov/servlet/showaward?award=0080888

3.3.3 NIST(<http://www.nist.gov>)

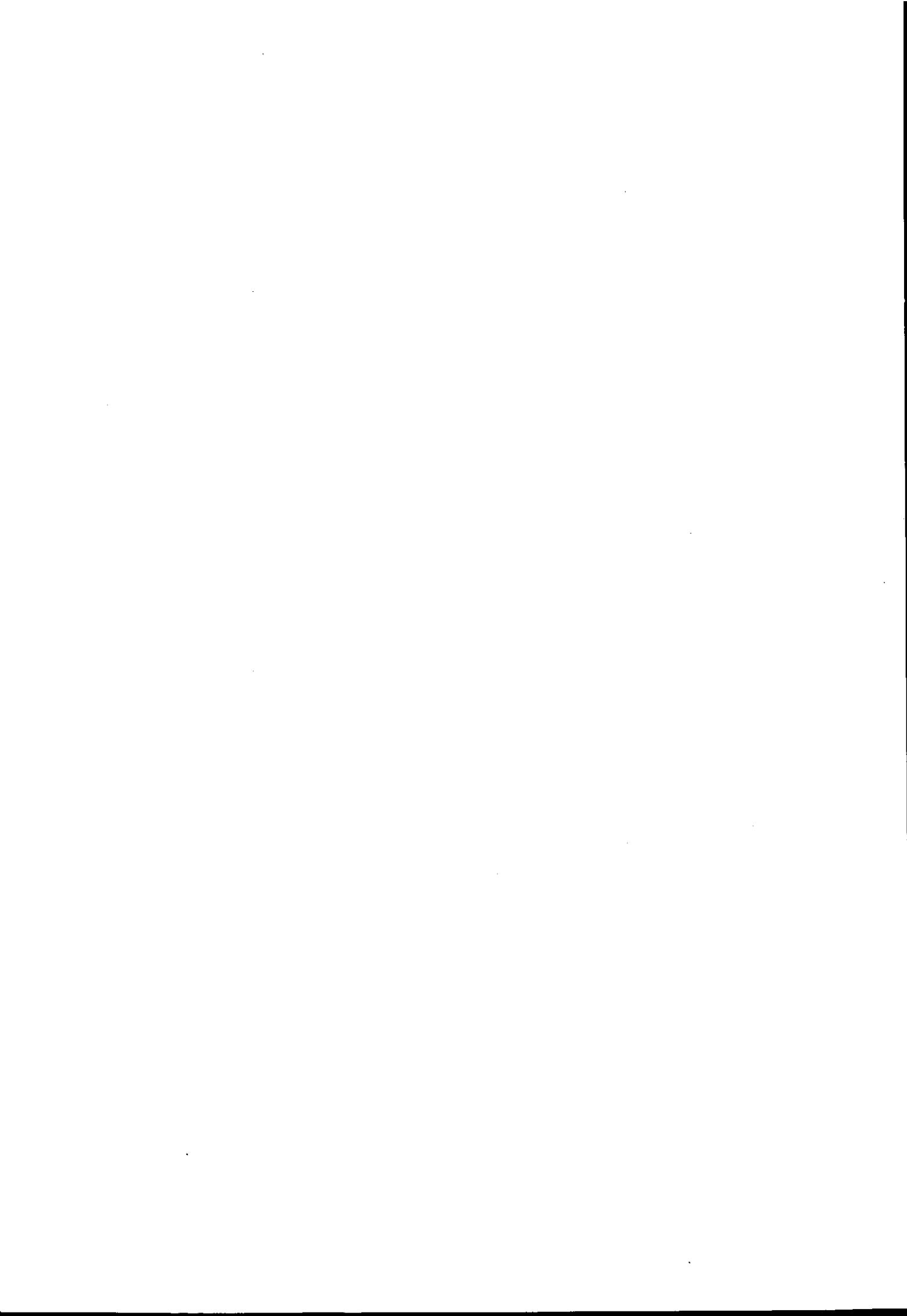
NIST に対しては、Manufacturing Engineering Laboratory、Information Technology Laboratory の2機関と Small Business Innovation Research Program, Advanced Technology Program に対して調査を行った。調査結果を以下にまとめる。

図表 A-65

年度	研究テーマ名、URL
1998年	Internet-based Commerce Using Autonomous Agents, http://patapsco.nist.gov/ts_sbir/abstracts/98abst.htm
1999年	Conversational 3-D Character On-Line Agents, http://patapsco.nist.gov/ts_sbir/abstracts/99abst.htm
2000年	Mobile Agent Intrusion Detection and Security Research, http://www.itl.nist.gov/div893/projects/893-00-MAIDS.htm
	Manufacturing Enterprise Engineering, http://www.mel.nist.gov/proj/mee.htm
	Conversational 3-D Character On-line Agents, http://patapsco.nist.gov/ts_sbir/abstracts/00abst.htm

Ⅱ. 資料編

B. ワークショップ記録



B ワークショップ記録

本記録は、(財)日本情報処理開発協会の主催で平成13年1月24日に開催された「ネットワークエージェント技術に関するワークショップ—eビジネスとe産業に展開するエージェント—」について、参加者も含めた討論・質疑応答をまとめたものである。

1. 特別講演

「パーソナルエージェント指向仮想社会PAW」松田 晃一 (ソニー)

Qミツオ (東京電力) 私も次はこういうものかなということでチャットを何度かのぞいているのですが、結構はまっている人がいて、一種の社会現象かなという気もするのでちょっと教えてください。まず、エージェントの有効性として、会話回数が挙げられていたのですが、チャットでもわかるように、公的な場にあまり出ない人というのが結構な割合でいます。多分ここで40%と出ていたのかなと思うんですが、そういう人はほとんどエージェントと会話していると思うんです。その部分が除かれているのかわからなかったのが一点です。あと、先ほど犬の糞が落ちているということをおっしゃっていましたが、糞をして全然始末しない人に対してペナルティみたいなものがあるのかという話がもう一点です。三点目が、現実には仮想空間としてこういうことが成り立っているというのは、逆に実世界に影響することも多分あるのではないかと思うんです。もしそういう研究がされているのであれば、教えていただきたいという、以上3点です。よろしくお願いします。

A松田 最後の実世界の影響というのは僕も興味があります。最初のほうに話したように、最近、ユーザのプライベートな情報は取りにくくなり、コンテンツのサービス側が実際に個人と直接コンタクトというのは非常に難しい状況になってきていて、そこまで踏み込んだことはできていないのが現状です。ただ、そういう研究もできるとうれしいなと思います。一番最初の質問ですが、統計ではエージェントとのコミュニケーションをカウントしています。エージェント以外の人としゃべったものは分けていますので、ピュアにエージェントとしゃべっているのかというのは、一応セパレートした計算にはなっています。しかし、確かにそういうユーザが多いことによって、エージェントの寄与率が上がっているように見えているのかもしれませんが、あと犬の糞問題はどのような話でしたっけ？

Qミツオ 例えば、実世界では区役所の担当者が犬の糞はだめだとかというのがありますが、そういう制約があるのかということです。

A松田 拾わなかった人の問題ですね。この世界でペットの糞の位置付けがちょっと違ってしまっていて、拾って捨てるとお金になるんです。ですから、他の人のエージェントの糞を拾って泥棒と言われたというのがあります。そうすると、コミュニティでペットの糞は飼い主以外は拾わないようにしましょうと、中でルール付けができたりしています。

Qハシモト(NEDO) パーソナルエージェントは初期状態ですでに個性がある状態なのか。それとも最初は同じであって、育てるに従ってだんだん違いが出てくるのか。それともすべて同等のものであるのか。その点について伺いたいのですが。

A松田 最初は基本的にみんな同じ個性を持っていて、だんだん変わっていくのですが、今はその変わり幅があまりないんです。ただ、現象として面白いのは、そんなに変わり幅がなくても、自分のエージェントは非常に賢いとか、かわいいというユーザの反応が出てきているのがわかってきています。その辺をもうちょっと幅を広げてあげると、よりエージェントへの入れ込みが大きくなるのかなという感じは受けています。

Qコジマ(明星大学) 私はこういうサイバー空間におけるeビジネスをどう作っていくか、経営学のほうから興味があります。これはインターネット型ベンチャービジネスの可能性が十分にある話なので、開発、運営にどのぐらいの人数と工数をかけていらっしゃるのか、差し支えない範囲で聞かせていただければと思います。

A松田 開発の話ですが、PAW 自体はかなりトライ・アンド・エラーで作っていた感じがありまして、1年ぐらいかかっています。ただ、最初からちゃんとしたノウハウがかなりたまりましたので、新しく作るには半年とか3ヶ月ぐらいでできるかなと思います。ランニングですけれども、今はサーバ側がほとんど落ちず、サーバが動いていることを監視しているツールもありますので、人件費的なランニングコストはほとんどかかっていません。ただ、ユーザサポートに1人いるぐらいで、ほとんど自動運用できています。

2. パネル討論

(1) セッション1: エージェントの過去・現在・未来

「AI からエージェントへ」北村 泰彦(大阪市立大学)

「エージェントからマルチエージェントへ」大澤 英一(公立ほこだて未来大学)

「オブジェクト指向からエージェント志向へ」大須賀 昭彦(東芝)

「自律的エージェントから社会的エージェントへ」小暮 潔(日本電信電話)

Qウエノ(創価大学) いろいろな面からお話をいただいたのですが、一つエージェントを実際に応用する場合に、セキュリティが一番大きな問題になると思います。こういう世界には悪意のあるエージェントが必ずあると思いますが、そのときに悪意のあるエージェントにいかにして規律を守らせるか。そういうためにポリスエージェントというような考え方もあると思うんですが、そういうセキュリティの側面のお話をいただきたい。

A大須賀 セキュリティの話題はいろいろなところで、エージェントが自律性を持つという話をするたびによく聞かれるんです。結局、エージェントだからこのセキュリティという話ではなくて、世界全体がどういうセキュリティを作って、その中でエージェントはど

ういう役割を果たすかという話にどうしてもなってしまうので、一般論としてのエージェントセキュリティはなかなかできないんです。一般論で言うと、認証とか暗号化とか、要素技術に落ちてしまう。インターネット自体もセキュリティのないような世界で、そこでエージェントだけが特別にセキュアになるということはあまり考えにくくて、全体でのバランスでどうしていくかというふうに考えられています。特定のセキュリティを守るためのアプリケーションとして、先ほど言われたポリスエージェントみたいな話は侵入追跡エージェントという研究がIPAでされていたり、防衛関係でそういうエージェントが監視していて不正をするものを見つけるという、監視側のエージェントはいくつか存在します。しかし、インフラとして何が必要なのかというのは、アプリ依存だと考えています。

A北村 セキュリティは世の中にいろいろな技術があると思うんですが、エージェントの中では、信用の問題が非常に重要なのではないかなということです。ですから、これが直接セキュリティに関わるかかどうかわかりませんが、例えば大澤さんのお話の中で合理性とか自律性とかが出ましたが、エージェントが自律的に動いたり、エージェントがユーザの代わりに何かするとき、本当にそれがユーザの思いどおりに動いているのかどうかということを、ある程度確認しないといけないような気がします。ですから、エージェントが合理的と思っていることが、ユーザにとって合理的なのかどうかは自明でないような気がするんですが、そこらへんはいかがですか。

A大澤 この問題はすごく難しいと私は思っていて、セキュリティはいろいろなレベルがありますが、私がやっている研究の領域だと、それは信頼性という言葉になるんだと思うんです。こういった複雑なシステムを作るときには、いろいろなデザインポリシーがあって、最初からトップダウンに、最終的にこういうルールを作ろう、それに従うようなコンポーネントを作っていこう、というやり方がきつとあると思います。そのときにお手本として人間の社会システムみたいのところを持ってこようという話はあると思うんです。それは最終的に実用的なシステムを作るときには絶対必要になるとは思っているんですが、私たちはまず一番ボトムにあるエージェントのレベルで最大限のことをやりたいわけです。

A北村 あと小暮さんの先ほどの実験の中で、エージェントが泣きついたりすると、ユーザがころころ変わってしまうという話がありました。それも一種のセキュリティというか、ユーザをブレインウォッシングできるというか、そういう性質もあるように思うんです。そこらへんはいかがですか。

A小暮 人間の経験的な方向性のある、かなり偏っているようなものにおいて、最初にエージェントと人間の大多数が選んでいるのと反対のことをリコメンドするようなエージェントを設計していくと、それはずっと信用されない。あるいは、最初は人間の判断とかなり一致するようリコメンデーションをするのだけれども、だんだん違ってくると、今度はそれにつられて大多数が判断しないようなほうに引っ張られる。そういった意味で、人間は第一印象で判断してしまうというのが、そのままエージェントにも持ち込まれているとか、そういった面白い話があります。

A北村 ポリスエージェントみたいなエージェントがいてもいいのですが、現実の社会でもそうなんですが、本当に警察は信用できるのかという、そういう問題とも非常にかかわってくるのではないかなと思います。

Q 株取引などで一時コンピュータ売買で株が乱高下するとかの問題がありました。あれは何かというと、個々の判断が合理的であっても、それが従来は時間的な遅れであるとか、もしくは情報が不均一であることによってなんとか守られていた。それが個々の合理的な判断を総合すると、全体としてシステムが破たんするという問題のように思えるんです。これからエージェントが株の代理取引みたいなことを始めますと、その傾向がさらに加速して、システムの破たんが起きるのではないかという気もするんですが、その辺についてはいかがお考えでしょうか。

A大澤 確かに1980年代にそういうことが起きました。相場とか株というのはみんな場で共有しているわけで、その場のスタビリティとか、全体の意味でのセーフティみたいなものを考えずに、グリーディにやったら、多分そういうことが起きると思うんです。おそらくそういうことが起きないようにしていくためには、人間が売買しているのと違う状況でどういうふうに相場が動いていくのか。そのときに全体として安定した方向にどういうふうに持っていけばいいのかということの研究しなければいけないわけです。実はそういう研究をしている人たちがいます。エージェントというレベルでモデルが始まっているのだけれども、最終的にはeコマースみたいなものを想定して、その世界での相場や金融の変動がどういう様相になるのか。ステーブルにするためには、どここの部分をどういうふうコントロールすればいいのか。そういう領域があるんです。ただ、実際にはまだ使われてはいないですし、ほとんどの部分がこれからの研究課題だと思うんです。

A北村 人工社会とかというような研究をやられている。エージェントのいいところはシミュレーションができる場所だと思うんですが、実際にエージェントで経済システムや株のシステムを作ってみて、その中でエージェントにいろいろなパラメータを与えてみて、どんな挙動をするか見てみようというのが一つのアプローチかなと思います。

A大澤 それで思い出しましたが、この前もわれわれの大学でワークショップがあったのですが、人工経済というのはコミュニティとして結構育ってきているんです。社会学者とか経済学者などがユーザになり、コンピュータサイエンスをやっている人がプラットフォームの提供とかをやって、シミュレーションをしている人たちが実際にいるんです。彼らはマクロ経済のシミュレーションをかなり信頼性の高いレベルでやるのが目標らしいのですが、はたして予測という意味で人間社会で実際に起きていることとかなり近いものが本当に出てくるかどうかとか、そういうのを見てみないとわからない部分があります。私が先ほど言ったのはそれとは別の話で、当然起きることに関して、どうやって安全策を事前に入れておくかという研究もやられているという話です。

(2) セッション2：エージェントプラットフォームの将来像と標準化戦略

「FIPAのプラットフォームのアーキテクチャとJavaによる実装の標準API」

須栗 裕樹 (コミュニケーションテクノロジーズ)

「Agent Communication Language」岡田 誠 (富士通研究所)

「情報収集エージェントに見るプラットフォーム技術」豊内 順一 (日立製作所)

「Semantic Web」益岡 竜介 (富士通研究所)

「ECCMAにおける標準化」渡辺 光一 (関東学院大学)

「情報家電：ホームネットワークにおけるエージェントプラットフォーム」

丸山 俊弘 (日本ビクター)

Q長尾 (日本アイ・ビー・エム) 皆さん全員に聞きたいのですが、お話の中にオントロジー、セマンティックス、インターオペラビリティという言葉が出てきたのですが、それぞれどういう意味なのか教えてほしいんです。

A岡田 インターオペラビリティは、違ったシステム、要するに最初からプログラマーがトップダウンで決めたのではない状況で相互接続ができるというコンテキストで、インターオペラビリティが重要だというふうに使いました。セマンティックスのほうは単にXMLのようなシンタックスを決めるというだけではなくて、言葉の持っている意味を違ったものにつなぐときに、お互いに何の相互理解もなければ原理的につながるはずがない。だから、どこまでを共通部分とし、その共通部分の意味を共有するという意味でセマンティックスという言葉を使いました。オントロジーは言葉の単語レベルで、私はオントロジーというのは図の中ではちょっとしか使っていないんですが、例えば鉛筆やペン、あるいは机というのはどういうふうに定義されるのかとか、そういうことです。あまりよい答えではないですが、難しいですね。

A益岡 インターオペラビリティは人間同士がやり取りするというのをコンピュータ上で実現するということだと思います。つまりコンピュータ上のソフトウェアがやり取りできるインフラを実現する。セマンティックスとオントロジーは混ぜてしまおうかなと思うんですが、人間同士だったら、言葉にこれまでのいろいろな経験があり、それでどういう意味かというのを理解できると思います。しかし、コンピュータにとってはそういう経験というのはなく、ソフトウェア同士がただ単に言葉でやり取りしても、それは記号にしかすぎない。その記号の使われるコンテキストをなるべく制約して、やり取りが成立するようなものがオントロジーやセマンティックスではないかと考えています。

A渡辺 順番を逆にお答えすると、オントロジーは語彙で、セマンティックスは語彙の記述系、インターオペラビリティはそれらを使った相互のお話ですよね。お話をするためにはいわゆる語彙だけではなくて、そのプロセスに関しても、ある統一がなされていなければならないというような意味で私は使いました。

A丸山 私もあまり深い意味で考えてはいないのですが、一つひとつ言えば、セマンティックスということであれば、シンタックスに対して意味的な表現です。オントロジーは私も会社の中では使っているのですが、そのときの共有知識というか、なんらかの手段に対するアクセス方法、そういった漠然とした意味で考えています。インターオペラビリティについては、相互接続性というか、相互接続ということで認識しています。

A須栗 私のほうからは特に付け加えることもないのですが、インターオペラビリティということに関して言えば、仕様書があって、複数のメーカーなり、複数の人が作ったものがその仕様にととっているがために、ちゃんとつながりますよという、そっちのほうに力点を置いて使いたいと思っています。

Q長尾 最後にコメントを出したいのですが、だいたいおっしゃることはよくわかります。しかし、私はどうもそういうことは昔、AIの議論で十分言われてきて、10年以上前に知識表現とかでそういう話をされて、結局、結論はユニバーサルな知識表現というのはないという話だったと思うんです。しかし、今お話しされているのはそれを再び復活させて、今度はあたかもできるんだというように話を持っていったような気がするんです。やはり反省すべき点は反省して、なぜAIの文脈で意味とかオントロジーというのはだめだったのかを踏まえてやると、新しい方向性が見えてくるのではないかと思ったわけです。

A岡田 例えばコミュニケーションアクトについては、ユニバーサルには世界を記述しようというアプローチではないです。ある限定された、例えば、基本となるコミュニケーションアクトはインフォームとリクエストであり、その組み合わせ、あるいは意図を伝えるために、これとこれは必要だというミニマムセットを決めるというのがFIPAのアプローチだと思います。早口で述べたので伝わらなかったかもしれませんが、FIPAに対する一方での不満は、例えば最小限決めなければいけないコミュニケーションアクトは何かと言ったときに、その学術的な議論が多少欠けているんです。つまりコミットメント、約束というのはどういうふうに入れるかとか、そういうものが欠けている。その辺をどこがミニマムセットなんだということを決めるところで、まだうまくできていないというのが私の見解です。

(3) セッション3：次世代アプリケーションを支えるネットワークエージェント

～ビジネス応用への期待と課題～

「次世代アプリケーションを支えるネットワークエージェント」木下 哲男（東北大学）

「EAIへのエージェント適用事例 —MELBA2.0とDiaConcordXML—」木野 茂徳（三菱電機）

「Webアプリケーションのためのエージェント・サーバー技術」

山本 学（日本アイ・ビー・エム）

「エージェントのビジネス応用への期待と課題」藤田 悟（日本電気）

「民生用エージェントアプリケーション～情報家電応用への課題～」

莪山 真一（パイオニア）

「放送サービスにおけるエージェント技術の活用に向けて」村崎 康博（日本放送協会）

Q ハシモト (NEDO) もしよろしければ皆さんに、例えば5年後、10年後は、エージェントが使われることによって、それぞれの分野でこういうふうになるんだというイメージを語っていただけないでしょうか。

A 木野 もっと小型の機器に、あらかじめいたるところにプログラムを埋め込まなくても済むようにするのが、ロングレンジでのわれわれの目標です。例えばファイルもモバイルエージェントで運べばいいじゃないか。ですから、今までの観点とはちよつと違って、プラットフォームを全部モバイルエージェントに置きかえるような、そういうことができたらいいなと思っています。ただ、それは5年後には来ないだろうと思っています。5年後はわれわれの中では携帯電話の少し高機能になったものがかかりソフトウェア化してきますので、その上でいくつかの機能を盛り込めたらなと今考えています。そのぐらいです。

A 山本 先ほど申し上げましたが、業務システム開発という中でエージェント技術、またはもうちょっと広げて、エージェントという考え方を導入することで、もっと効率的にシステム開発ができないかというようなことを考えてみようかなと漠然と思っています。どうしてかと言いますと、システム開発の世界は実は人海戦術なんです。コンピュータがこれだけ進んでいるにもかかわらず、システム開発の部分ははっきり言って問屋制家内工業に近いです。そのところをどうにかしなければ、ますます今後の情報化に対処できないだろうと思っています。その中で、開発者が理解しやすい切り口から、エージェントというものを見つめ直して、システム開発に取り入れていくと面白いものができるのではないかと思っています。今後5年とかというスパンではどうかはわからないのですが、とりあえず私としては今大手都銀で使っていただいています、その考え方を少しずつ広げていって、例えば携帯電話などにも対処できるようにしたい。携帯電話の中に業務システムの多くを入れることはできないのでサーバとの協調が必要になる。その中でエージェントサーバというような技術が使っていけるのではないかという感じで考えています。

A 藤田 私も月並みなことしか言えないのですが、インターネット、ウェブの世界。今まではブラウザ中心の見るウェブですよ。それが今、本当に使うウェブに変わってくるといふ流れはいろいろな人が言っている。その使うウェブというのは人間が端末から全部使っているというのはほとんど無理な話ではないのか。そうすると、使う実体として、だれかが永続化したプロセスというものをちゃんと管理できなければならない。そこがこのエージェント技術なのかなと思っています。ですから、先ほどのアイ・ビー・エムさんの話でいくと5年後ではなくて、今もある程度できているのかもしませんが、個人のロジックを持ち込んで、ネットワークの中で実行する実体がエージェントであり、使うウェブとして使うためのプロセスとして、各個人がエージェントをネットワークのところに置いておくというのが、エージェントが一番直近でありそんなことなのかなと思っています。それから、ロジックと言っているものは、個人から本当にがりがりにハードコーディングされているもの。それともビジネスプロセス的なものがディポジトリ内に入っていて、それをインタープリットしながら、エージェントが次々に違うロジック、違うプロセスを実行していくインタープリティブな実行実体。この辺がエージェントがインターネットで使わ

れるキーなのかなという。それが5年後にかなり実現されているのではないかというのが私の考えです。

A 義山 エージェントが場所を問わずどこにでも個人に付いてきてくれて、便利なことをしてくれるだろう。その背景には今でも J-phone のほうでステーションという地域情報サービスがありますが、今後、そういったものがデフォルトで取得できるようなかたちになっていくわけです。それから、その地域の情報がわかれば、その場所、限られた範囲で、どういうことをしたらそのユーザが喜ぶかというのはわかるでしょう。そういうことで、自分用のエージェントが単に仮想的なものではなくて、地域的な情報を含めた上で、リアルタイムな、便利な情報をどこにでも提供してくれるようになるのではないかと思います。5年後というのはちょっとわかりませんが、少なくともインフラ的には5年後に、今私が申し上げたものは出てくる可能性が高いと考えております。

A 村崎 先ほど紹介しましたデモシステムが、実際に本システムになるかというのは、全く未定でありまして、そういう方向への開発は今こちらでは考えていません。ただ、ホームサーバを開発しているメーカーの中にはホームサーバの中にエージェント機能を取り入れようとする動きがあるので、そちらのほうを注目したいと思っています。われわれとしては逆に制作側、番組制作をする上で、既存のコンピュータを使った番組制作システムにエージェントを使って融合して組み立てられたらいいなと考えております。

A 木下 私などが思いますのは、今のエージェントは主にきちんとした枠組みを整備して、その上でたくさんエージェントを動かしたり、アプリケーションに使ったりということが進んでいると思うんです。例えば今から5年ぐらいうれば、だいぶ整備が進んでいるのではないか。個人利用とはまた別に、ビジネス分野とか企業アプリケーションの分野ではおそらく今以上にエージェントが利用されているのではないかと思うんです。それが企業の中で使われる部分と、それから外に向かって、何かサービスを提供するものと2種類できるかなと思います。もう一つは、われわれ、個人個人の環境で使えるエージェントが今はほとんどないのですが、5年ぐらいうると、そういうものを自分で作れる環境ができてほしいなと個人的には思っています。

Q 木下 皆さんに一言、キーワード、フレーズレベルで結構ですので、今お考えにあるところ、こういうことをすべきだということを短く、お願いしたいと思うんです。

A 木野 私はセキュリティかなと思っています。今、世の中でエレクトロニックコマースとか言われているのはほとんどがブラウザで、リアルタイムでやられています。エージェントというのはノンリアルタイムの典型みたいなものなので、エージェントが活躍するには、そういうノンリアルタイムのところのセキュリティを着実にした通信の手順が必要になるだろう。それができたら、かなりの部分で使えるのではないかと思います。各社それぞれの事情があると思いますので、早くマーケットを絞り込んで実証して、皆さんにエージェントの技術が使えるものだということをお見せするのが大切なのではないかなと思います。

A山本 私も実は似たような意見です。まず実システムで使い、実績を積むことだと思います。要はエージェント技術というようなものを適用することで、これだけいいものができるという具体的なシナリオを作って使っていくということが、最終的に受け入れられるのに必要な条件だと思います。

A藤田 ほとんど同じなので、もう何も言うことはないのですが、やはり使える処理系を作って実績を作る。それに尽きる。現状では、私は Caribbean の考え方には同感でして、本当にミッションクリティカルな金融みたいなところに使えるエージェントが出てきたら、もっと他の使い方というのは人が考えてくれるのかなと思っています。あといろいろなエージェントが乱立しないことというのが、ひよっとしたら、普及の根幹にあるかなと思っています。

A蒔山 わわわれも得意なところから、エージェントをまずは民生製品にしていく。iモード、Java なんかですと、エージェントという言葉はかなりの人の目に付くわけですから、エンターテイメント系のほうでエージェントというものを世の中に出して、こういうところが楽しいんだというのをわかってもらうところから民生のほうはやっていきたい。エージェントをやっていく上で、民生のほうではデジタル放送だとか、これから利用するネタがどんどん来ているわけです。ですから、今のタイミングを逃さずに、こういうのがエージェントだということを製品に載せることがまず最初にやることだと考えています。

A村崎 だいたい皆さんと同じなんですけど、いくつかやるべき点はあると思うんです。一つ挙げるとすれば、ユーザと向き合うようなエージェントシステムを作る必要があるということ、そのためにはまず現場の声を聞いて、現状システムとして作るために信頼性のある頑強的なシステムを作って使ってもらう。それを繰り返して一つのよいシステムを作ることが必要になってくるかと思っています。

(4) セッション4：エージェントが仲介するe-コミュニケーションとe-コミュニティ
「エージェントが仲介するe-コミュニケーションとe-コミュニティ」

間瀬 健二 (エイ・ティ・アール)

「e-コミュニティ」松田 晃一 (ソニー)

「Suggestive Agent' : Awareness of Connectednessに向けて」

桑原 和宏 (日本電信電話)

「人間とエージェントとの対話」中嶋 宏 (オムロン)

「コミュニケーションと非言語」三吉 秀夫 (シャープ)

「インタフェース・エージェントとeコミュニティ」長尾 確 (日本アイ・ピー・エム)

Qミツオ (東京電力) 中嶋さんに質問なんですけど、人とエージェントの対話のところ、人間はエージェントとの対話において、相手を人と同様に扱う傾向があるという下りがあります。一瞬、あ、なるほどと思ったのですが、逆に相手を人と同様に扱う傾向がないというのは、どういうことかというのがちょっとわからなくて、質問させていただきました。

A中嶋 思ってもみなかったようなご質問なのですが、(笑)実はこの言葉自体がそのように、一瞬とらえると、結構、奇をてらったような表現にはなっているのですが、よく考えてみると、今おっしゃったように人と違う扱いをするというのはどういうことかを、実はうまく説明できません。ここでコンピュータ、あるいはエージェントを人と同様に扱う傾向があると書いてあるのですが、この Media Equation の中ではもう少し幅広くとらえていまして、例えば物理世界の現象と、サイバーの中で行われている現象との区別がないというようなことが書かれているんです。例えば子どもにポップコーンのカップが映っているテレビを見せて、テレビをひっくり返すとどうなるかという質問をすると、大半は「ポップコーンがこぼれちゃう」とか答えるんです。自分が物理世界の中で生きてきた経験や知見を使って、そういう判断をするわけです。ですから、今ご質問にあったようなことは実はほとんど考えられない。人間、あるいは物理世界の中で生きてきた知見以外の部分を行動の中で生かしていくということは、なかなか考えづらいということなんです。ただ、ここで申し上げたかったことは、相手を人間と思って行動してしまうという部分を特に意識して、エージェントのパーソナリティとか、あるいは感情とかという部分をもう少し意識してやればいいのかということをお願いしたかったわけです。

Qミツオ わかりました。人ができることというのは限られているので、同じような表現で伝えたいという、インタフェースを共通化したいということはあると思うので、そういう意味かなと思っていました。結局、そういうことと考えるとよろしいですか。

A中嶋 そうですね。あともう少し突っ込んで話をすると、例えばパーソナリティのほうも利用者のパーソナリティに応じて、エージェントのパーソナリティは例えば外向的なほうがいいのか、内向的なほうがいいのかというような知見もあります。そういう部分を積極的にデザインに生かしていったほうがいいのかということなんです。

A間瀬 私も似たようなことでコメントさせていただきたいと思います。同調行動というのは三吉さんに言っていただきましたけれども、例えばコンピュータの言語認識、音声認識の能力はあまり優れていないのですが、エージェントがゆっくり話してやると、それに合わせてゆっくり答えるようなことは演出できるわけです。ですから、やさしい技術を組み合わせると、知らないうちにちゃんと条件、仕様に合わせて、行動を引き出すというようなことはあると思うんです。一瞬一瞬は引きずりこまれてしまうという人間の特性を、うまく使えるのではないかと考えています。

Qヤマモト (ソニー・ヒューマン・インタフェース・ラボ) 私はインタフェースエージェントの開発でキャラクターを使っていて、キャラクターのエージェントは最初は受けがいいんですが、時間とともにすぐ飽きられてしまう。これはもちろん機能がブアということもあると思うんですが、本質的なことがあるのかなと感じているんです。それは午前中の松田さんのお話でもきれいなデータとして示されていました。一方、AIBOがありますが、もちろん私の開発しているのより全然高度なんですけど、同じようなことをやって、やっぱり実体があるということが大きいのか、なかなか飽きられないということがある。そうなる

と、人間の飽きるということに関して研究しないとわからないのかもしれませんが。その辺の見通しなり、ビジョンをお聞きしたいと思います。

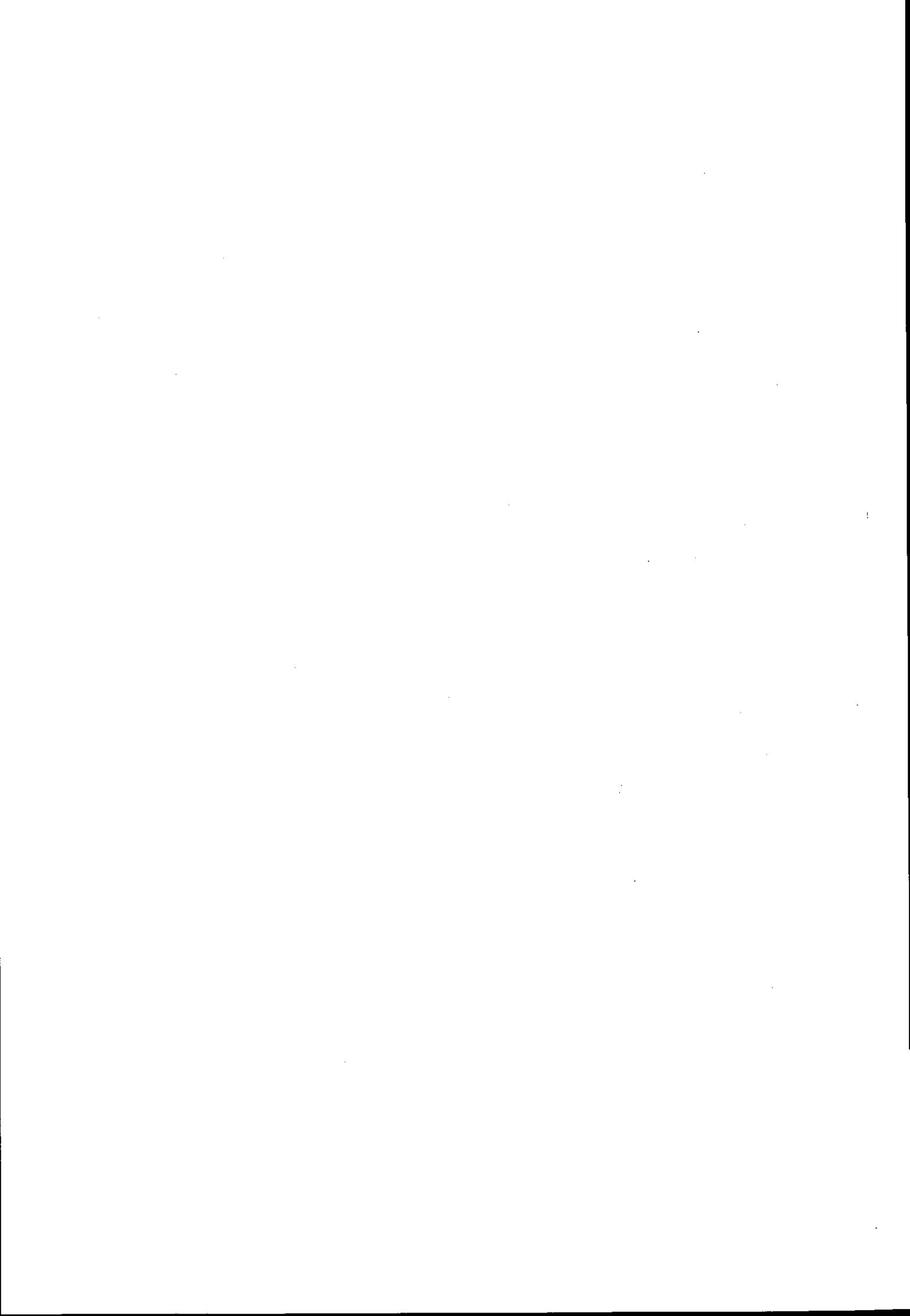
A長尾 私はAIBOも飽きられると思います。われわれはインテリジェントなものを求めていると思います。もちろんロボットと遊んで楽しいというのはあると思うんですが、人間並みのインテリジェンスはなくても、役に立ってほしいと思うわけです。役に立ってくれば、飽きるとか飽きないという話ではなくて、使い続けるわけです。もう一つ言えば、飽きさせない方法はあるでしょう。今のAIBOはそうだと思いますが、非常に単純な行動の中にすごく意外な行動があるといった、意外性で人間の興味や関心を持続させる。それはソフトウェアエージェントでもできる話です。しかし、私自身は場合によっては接触的なインタラクションもできてという意味では、物理的な実体を持っていたほうがより人間にとってはなじみやすいのではないかと思います。

Qコグレ 擬人化エージェントのもたらすダークサイドの影響についてどう考えられるのか。例えば擬人化エージェントとしか会話ができないような人ができてしまったら、それに対してどう考えるのか。いろいろな立場があると思うんですが、皆さん、その辺に関して、答えられる範囲でお願いします。

A松田 今おっしゃったように、負の側面は特にパーソナルエージェントではそれに非常に依存してしまうというのはあると思うんですが、依存しているのがいいか悪いかというディスカッションがまだ出ていないと思うんです。それはわれわれがやるべきなのかよくわからないですけども、そこから始めていく必要があると思います。

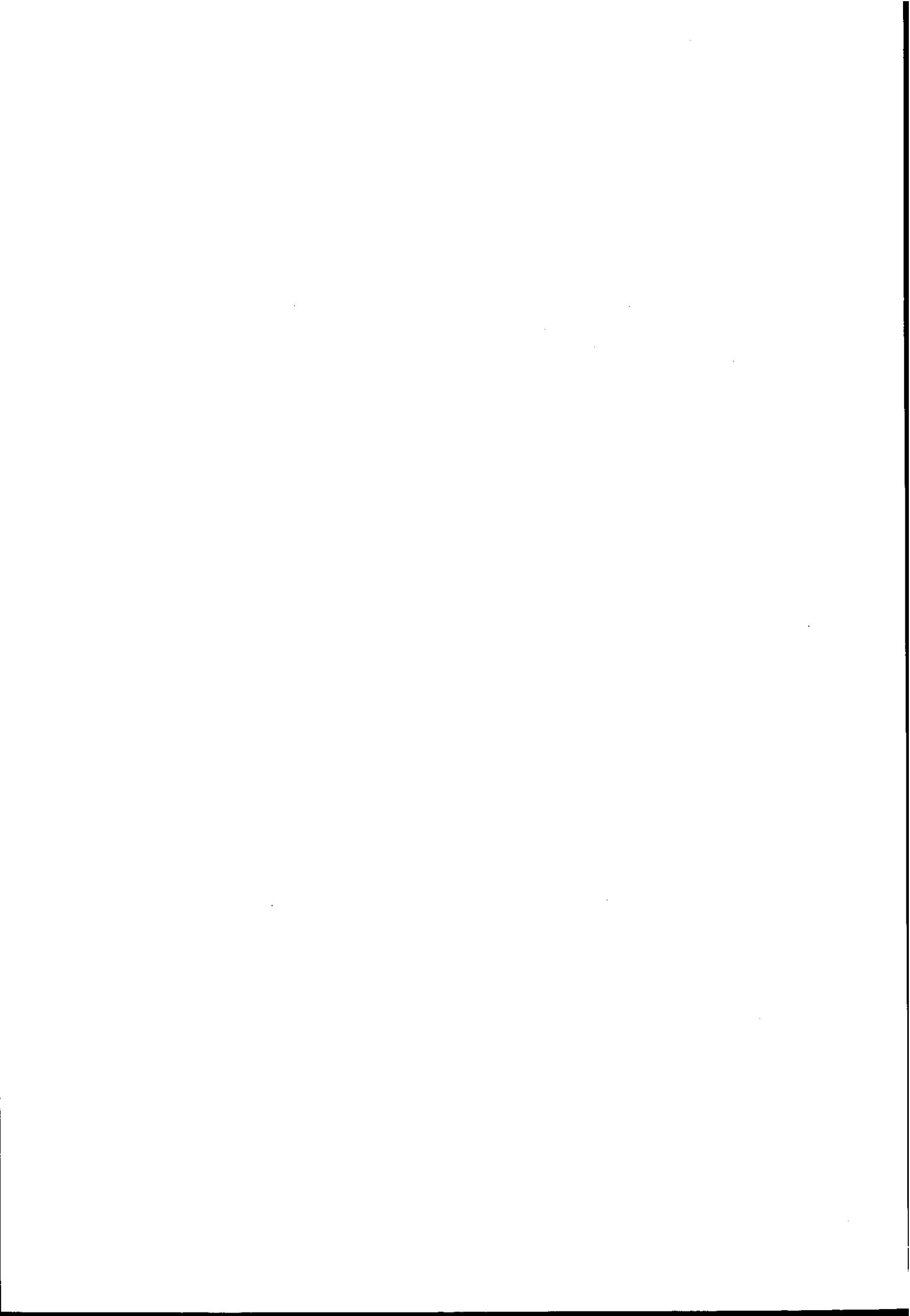
A長尾 私もゲームは危険だと思います。そういうものを作ろうとしているのではないんですけれども、結果的に似ていると言われると、そうかもしれないという部分はあります。私は初めからエンターテイメント性のみ限定するつもりはないですが、エージェントは人間のことがよくわからないわけで、一部で人間の関心、会話を持続させなければいけない。そういう意味ではもうちょっと笑ってくれたり、怒ってくれたり、そういう反応は一部必要かなと思っています。ただ、それでユーザを完全に取り込んでしまって、それ以外とのつながりを断ってしまおうとしているのではないことをどうやって示すかが、これからの課題だと思います。

A間瀬 非常にまともな答えでありがとうございました（笑）。結構、この辺でやっている人はその辺をまじめに考えて一つひとつ設計して、ものを作って見せるときもそこをちゃんとやっていると思うんです。われわれ、開発とか研究をやっている人はダークサイドが表れないような仕組みをどうやって作るかということを常に考えていかないといけないなと思っています。



II. 資料編

C. 海外調査報告



C. 海外調査報告

1. 出張者：木下哲男，東北大学電気通信研究所，助教授
2. 出張先：The 2001 Symposium on Applications and the Internet (SAINT-2001)
DoubleTree Hotel San Diego-Mission Valley, California, USA
3. 出張期間：2001年1月8日～14日

(1) 概要

ネットワークエージェントに関わる最新技術の動向を探るために、新年早々に米国サンディエゴにおいて開催された SAINT-2001 に参加し、エージェント技術とその応用という観点から実地調査を行った。

SAINT-2001 は、IEEE/CS (コンピュータサイアティ) と情報処理学会の共催による日米合同のシンポジウムとして企画されたもので、今回が第一回目であった。特に、今回は、情報処理学会の40周年記念と重なっていたこともあって、基調講演のセッションでは、情報処理学会への祝辞や今後の日米間での協力に関するメッセージなどが述べられるなど、記念行事的な側面も伴った会議となっていた。長尾真教授による基調講演では、戦略的基礎研究推進に関する検討結果などを含めて、インターネット関連の研究開発の現状と将来展望について発表があった。

さて、SAINT-2001 では、そのタイトルからも察せらるるように、インターネット関連技術とその応用に焦点を当てている。時節柄、日米を中心として多数の申込み(135件)があったとのことだが、査読の時点で大幅に絞込みを行った結果、本会議の一般発表は25件となり、国際会議としては、比較的コンパクトな形態となっていた。その代わり(かどうかは判然としないが)、併設のワークショップが9件(うち1件はパネルのみ)あり、本会議と合わせて活発な議論が行われていた。会議への参加者は、発表者を中心として150人程度であったが、今回は、前述した事情も手伝って、日本からの参加者が半数以上を占めていたように思われる。

本会議のセッションは、後述するように、基盤技術から幾つかの応用領域に至る幅広い範囲から幾つかの重要なトピックを取り上げて構成されていた。それらセッションでの発表の内容は、インターネットを前提とした情報処理/サービスやシステムの研究開発や試作評価に関するものが大半を占め、応用/実用レベルのものはほとんど見られなかった。また、ネットワークエージェント技術に直接的に関わるものは2件のみとやや寂しい状況ではあった。一方、ワークショップでは、インターネット環境を前提としたシステムや応用、また、ネットワーク基盤に関わるトピックが取り上げられていた。これは、本会議では取り上げることができなかった種々のアプリケーションに関わる議論をワークショップとして実施しようとする企画であったのかもしれない。

今回の SAINT-2001 は、日米の情報処理関係の学会の企画と相互協力に基づく会議、特に、日本側の情報処理学会としては、40周年を記念して創設した初めての会議であったが、その狙いは概ね成功したといえるだろう。ちなみに、第二回の会議は、来年、日本(奈良)で開催される予定となっている。

(2) SAINT-2001 本会議の話題から

①会議の構成

本会議のセッション構成と発表件数（末尾の括弧内）を以下に示す。

Session 1: Information Retrieval and Data Mining- Advanced Search Method (3)

Session 2: Agents on the Internet (2)

Session 3: Domain Specific Languages (3)

Session 4: Distributed and Parallel Applications- Scalable Services (3)

Session 5: Information Retrieval and Data Mining
- Advanced Information Retrieval (3)

Session 6: Multimedia Technology (3)

Session 7: Mobile Computing (3)

Session 8: Collaboration Technology - Collaboration Support (2)

Session 9: Collaboration Technology - Community Support (3)

これからある程度推察されるように、インターネット環境を背景とした情報検索、協同作業、グループワークなどの応用に関する技術から、エージェント技術、マルチメディアコンテンツの処理や記述に関する技術、そして、モバイル環境やネットワークサービス構成に関する技術など、広範囲な領域から関心度の高いトピックが選択されていたが、それぞれのセッションでの発表件数が限られていたこともあり、やや議論の盛り上がりには欠ける側面もあったように思われる。

発表の内容面では、研究開発レベルのものが殆どであったが、検索・マイニング技術、モバイルコンピューティング技術、CSCW 関連技術などでは、アプリケーション寄りの立場からの発表が多かった。また、研究開発の背景の違いから幾つかのセッションに散らばっていたが、インターネット環境上でのミドルウェア技術に関する発表も多かった。例えば、セッション4で発表されたサービスグリッドと呼ばれるネットワークアプリケーション提供環境などは、QoS を考慮した多様なサービスの利用を目指す際のひとつのアプローチといえるが、これらは現下の研究開発の方向性を感じさせるものといえるかもしれない。

②ネットワークエージェント関連技術の発表

“インターネット上のエージェント”と銘打ったセッション Session 2 では、2 件の研究発表があり、1 件はモバイルエージェント処理系、もう 1 件は、次世代型ネットワーク上でのサービス/アプリケーションの実現を目指す際のミドルウェアアーキテクチャに関する発表があった。

前者は、Java ベースのモバイルエージェント処理系 J-SEAL 2 の設計開発の報告 (CoCo Soft. Eng., Austria) であった。Java 環境上での処理系の実装技術を中心とした内容であり、その実行性能は、PentiumII, 400MHz, Java1.3 にて、初期段階で 125 Ag/sec. とのことであった。しかし、多数のモバイルエージェント処理系が出現している現下の状況においては、その機能や特徴を明確化する上で、他システム等との比較検討などをもう少し掘り下げて欲しいと感じられた。

一方、後者は、バイオネットワークと呼ばれるコンセプトに基づく分散型ミドルウェアの提案とそのシミュレーション実験に関する報告であった。これは、UCI の津田教授のグループで行われている研究で、次世代ネットワーク環境上のサービス/アプリケーションを実現する際に、生物系にみられる特徴（創発性や適応性など）に倣って、ネットワークサービス向きのミドルウェアのアーキテクチャを設計・実現してゆこうとするものである。このアーキテクチャでは、ミドルウェアの構成要素として、エージェント（モバイルエージェント）とほぼ同様の概念が導入されているが、この研究では、これらをエージェントとは呼ばずに、サイバーエンティティと命名している（予稿集の中では、“一種のモバイルエージェント”であるとの記述があるが）。利用者要求やネットワーク環境での変動に効果的に対処するための高度なミドルウェアを目指す上で参考になると思われるので、③で、その概要を簡単に紹介しておくことにする。

なお、上記の発表以外に SAINT-2001 本会議においてエージェントというキーワードが見受けられたのは、セッション3のネットショッピング支援エージェント（東大）、セッション5のデジタルシティ向きウェブにおけるインタフェースエージェント（京大）など、僅かなものに留まった。ただし、これらの研究では、エージェントそのものが主目標ではないこともあって、ネットワークエージェント技術として注目すべき内容には乏しかった。

③ バイオネットワークアーキテクチャ

次世代のネットワーク/ネットワークアプリケーションに求められる性質として、この研究では、

- ・百万ユーザ程度までの拡張性 (scalable)
- ・非均質で動的なネットワーク状況への適応性 (adaptable)
- ・セキュリティ攻撃などに対する頑健性 (survivable)
- ・何時でも使える可用性 (available)
- ・設計と保守の容易性/簡明性 (simple)

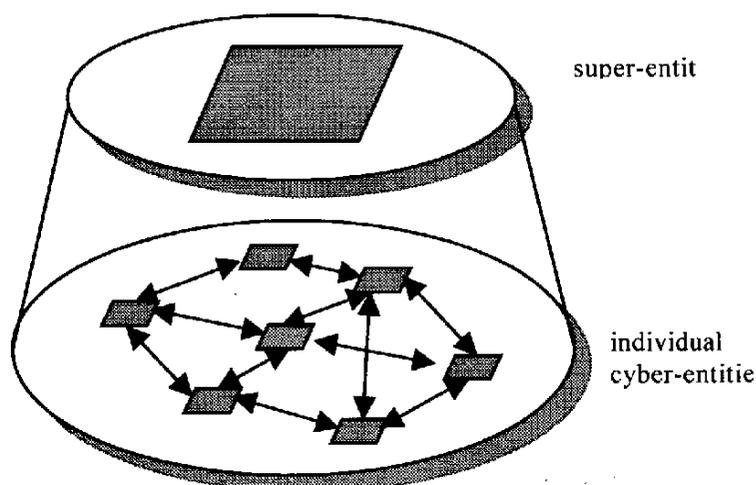
などを掲げている。そして、これらの実現において、生物系に見られる諸特性、すなわち、

- | | |
|--------------------------|-----------|
| ・創発性（振舞い/動作、性質） | ・香り/フェロモン |
| ・ライフサイクル（食料/エネルギー、再生、死滅） | ・相互作用の局所性 |
| ・進化（多様性、自然淘汰） | ・自己防衛 |

などを参考にして、バイオネットワークという概念とアーキテクチャを提案している。

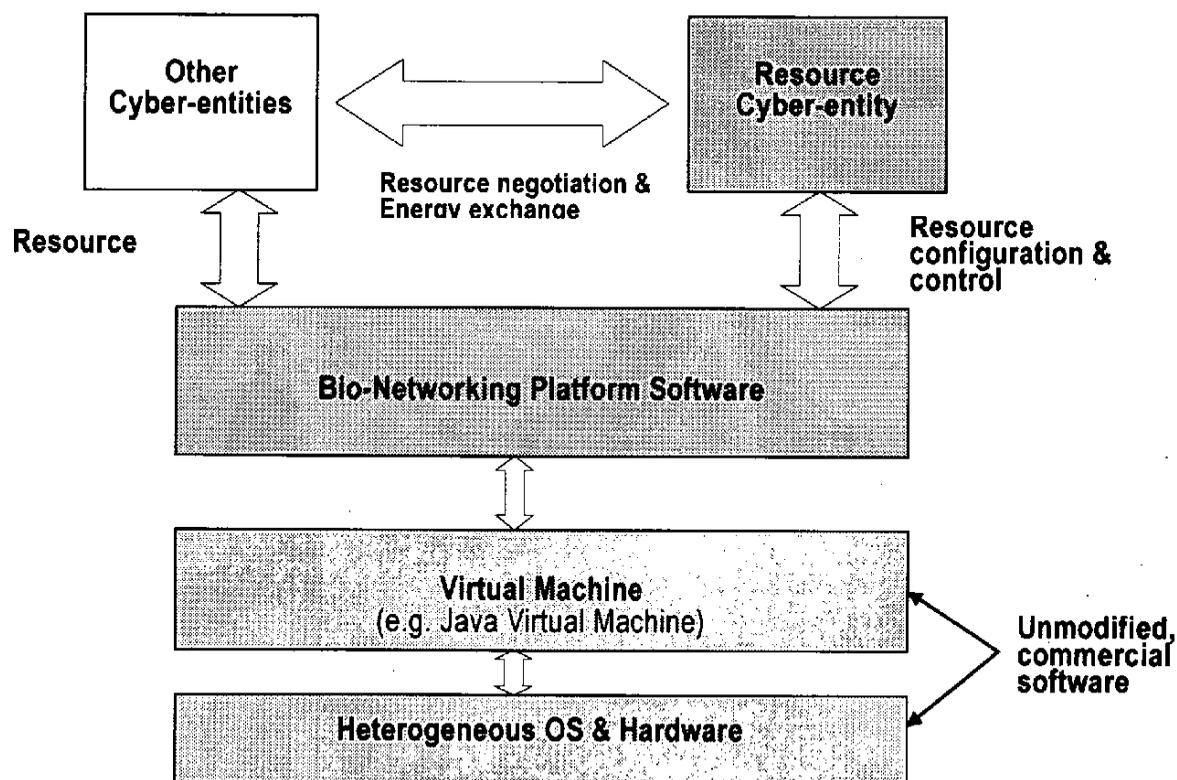
バイオネットワークは、サイバーエンティティと呼ばれる自律的な処理体からなり、これは前述した諸特性を備え、生物系の構成要素と同じように振舞う。すなわち、サイバーエンティティは、自分自身のエネルギーをもち、それを消費しながら動作したり進化したりする。また、サイバーエンティティが複数個連携してスーパーエンティティという組織を形成する。これが、ネットワーク上のサービス/アプリケーションに対応するものとな

る。このようなサイバーエンティティは、いわゆるエージェントとして、またスーパーエンティティはエージェント組織(マルチエージェントシステム)と捉えることができるが、この研究ではこれらをエージェントとは呼ばないようだ。いずれにしても、このようなエンティティを組み合わせた組織として、ネットワークの機能/サービス、或いはネットワークアプリケーションを設計、実現していこうとするもので、次世代ネットワークアーキテクチャに関する研究としてはユニークな部類に属する。ちなみに、日本では、こうした発想に基づくネットワーク関連技術の研究開発は極めて少ないように思われる。



図表 G-1 バイオネットワークアーキテクチャのエンティティ

一方、このアーキテクチャの実装イメージは、Java の VM 上に専用のプラットフォーム (bio-networking platform software) を実現し、その上で種々のサイバーエンティティやリソースを生成・動作させるというものであり、これはエージェントプラットフォームなどと全く同様の形態となっている。また、その動作イメージは、利用者から与えられる要求に基づいて、サイバーエンティティが生成され、それらが自律的に動作してサービス組織を形成し、更に、状況の変化に応じて組織を変形したり、サイバーエンティティ自身が移動したり進化したりしながら、例えば、最適なルーティング経路を形成したり、必要なサービス機能を構成したりする。



図表 C-2 バイオネットワークアーキテクチャにおけるノードの構造

現在、バイオネットワークアーキテクチャは、シミュレーション実験により、サイバーエンティティに埋め込まれた自律的な適応機能や進化機能などの評価が行われているとのことだが、このアーキテクチャに最適なアプリケーションについてはまだまだ検討の余地があるようだ。いずれにしても、米国において進展しているアクティブネットワークなどの研究開発とも関連して、今後の成果が期待される研究である。

(3) SAINT-2001 ワークショップ

①ワークショップの構成

ワークショップは、パネルのみのもを含めて以下の9件が開催された。以下にそのタイトルの一覧を示すが、これから分かるように、本会議では扱われていないアプリケーション領域をそれぞれ設定することにより、本会議の内容を補完するものとなっていた。

- W1 : HIGHLY DISTRIBUTED SYSTEMS (4)
- W2 : DIGITAL LIBRARIES (4)
- W3 : INTERNET-SUPPORTED EDUCATION (10)
- W4 : MOBILE INTERNET (4)
- W5 : SOFTWARE ENGINEERING ON INTERNET (2)
- W6 : INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS (4)
- W7 : MULTIMEDIA INTERNET (3)

・W8: GLOBAL TELEHEALTH/ TELEMEDICINE & THE INTERNET (26)

・W9: Panel on Federal Networking Research Programs

ワークショップでの発表件数は、パネルのみのものを除いて、全体で58件あり、インターネット上のアプリケーションを探る上で有用であった。このうち、W1: 高度分散システム、W8: 電子医療、W9: 米国ネットワーク研究(パネル)は本会議と並行して開催され、他のものは本会議終了の翌日に開催された。今回の調査では、全てのワークショップに参加することは出来なかったため、ネットワークエージェント技術のアプリケーションに関係すると思われるワークショップ(W1、W3、W4、W5、W6、W8、W9など)を中心として、複数のワークショップを行き来してみた。全体として、各ワークショップでは、それぞれトピックを絞って企画されたこともあってか、参加者が適度に分散して、活発な意見交換が行われていた。

とりわけ発表件数の多かったのがW3の教育環境とW8の電子医療関係のワークショップであった。W3では、インターネット環境を背景とした学習手法/環境や教材作成/提供などに関して日米欧からの発表があり、それらに対する関心の高まりを感じさせるものがあった。このワークショップの中では、残念ながらネットワークエージェント技術とその応用につながる話は聞けなかったが、コースウェアの設計支援、教育情報の作成・管理・探索・流通、学習者の知的支援などの側面で、エージェントの導入の可能性が大いにありそうに感じられた。

一方、W8は、26件の発表やパネルを交えて、3日間連続したワークショップとして組まれており、ほとんど本会議とは独立して開催された会議という感があった。参加者も欧米の同分野の専門家・研究者であり、(私が参加した時点では)日本人参加者は見られなかった。このワークショップで取り上げられている遠隔医療/保健衛生などに関する話題は、インターネット環境の浸透と共に、今後ますます一般の人々にとって(高齢化社会の到来が声高に叫ばれつつある現下の日本にとっても)その重要性に対する認識が高まってきているようだ。残念ながら、個人的には殆ど予備知識を持たない領域ではあり、ワークショップの発表でも、ネットワークエージェント技術に関連する議論は殆ど聞かれなかったが、僅かに医療情報のデータハウジングや医療従事者教育に関する発表の中で、エージェントというキーワードが出ていた。レベル的には未だ研究・試作段階にあるようだが、エージェント技術に対する潜在的なニーズや期待も感じられた。また、議論の中で、高速ネットワーク環境の利用に伴うアクセス制限やコスト高が問題であるという指摘があったが、この辺の事情は世界共通なのかもしれない。

② ネットワークエージェント関連技術に関する話題

アプリケーションサイドの色彩が濃いワークショップではあったが、エージェントというキーワードを掲げていたものは、W5(ソフトウェアエンジニアリング)の中的一件だけであった。これは、ソフトウェアエンジニアリングにおいて近年その重要性が改めて認識されつつある要求工学の領域において、設計仕様の作成・更改・精緻化(requirements evolution)の過程をエージェントによって支援するためのアーキテクチャを提案していた。このアーキテクチャでは、仕様作成作業はGUI環境のもとでインタラクティブに行われる

とのことで、GUI 環境の背後に複数のエージェントを階層的に配置して、設計者の作業を支援しようとしている。エージェントの例として、要求仕様データベースのアクセス（リソースエージェント）、設計者の作業支援（ドメインエージェント）、設計者環境の管理・制御（ゲートウェイエージェントや GUI エージェント）などの定住型エージェント、複数の設計者環境（ドメイン）間を行き来して情報交換や情報共有を支援する移動型エージェント（モバイルエージェント）などが挙げられていた。この研究はまだ構想を練っている段階にあるようだが、設計問題におけるエージェント応用例として興味深かった。

ネットワークエージェント技術そのものではないが、その基盤となるネットワーク／ネットワークアプリケーション関連技術に関する発表が多かったので、その中から幾つかの話題を拾って報告する。

まず、W9 のパネルでは、米国のネットワーク関連研究の紹介と議論があった。パネルは、NASA、DARPA、NSF において次世代ネットワーク技術の研究開発を推進している人々であった。最近の研究における重要な研究の焦点を表わすものとして、

- ・ギガビットネットワーク
- ・ネットワークの適応性／自律性
- ・QoS (Quality of Service)
- ・スケーラビリティ
- ・マルチキャスト
- ・ミドルウェア
- ・ハイブリッドネットワークキング
- ・パワーアウェアネス
- ・適応型アプリケーション
- ・高信頼性／頑健性

などのキーワードが挙げられていた。

また、アプリケーションの例としては、

- ・仮想型協調的医療診断 (Virtual Collaborative Clinic)
- ・環太平洋デモンストレーション (大規模データベース相互アクセスなど)
- ・PC-MON-IP トラフィックモニタリングツール
- ・適応的ミドルウェア
- ・分散型工学設計

などがあった。

これらのトピックを背景として、DARPA では、DoD の大規模分散システムのアーキテクチャとその構築技術に関する研究が進められている。そのシステムアーキテクチャは、最上位から列挙すれば、アプリケーション、ドメイン指向ミドルウェア、共通ミドルウェア、分散ミドルウェア、基盤ミドルウェア、OS／プラットフォーム、ハードウェア／デバイスとなっている。そして、各階層に対応して、SEC (highlevel adaptive control & computation)、ARMS (adaptive reflective middleware system)、Quorum (QoS & translucent system)、PCES (composable embedded system)、NEST (deeply networked embedded system)、PCA (polymorphous computing architecture) などのソフトウェアを開発してシステムを実現しようとしているようだ。このように、種々のミドルウェアを充実させて大規模・複雑なシステムを実現する手法が主流になってゆくと思われる。また、今後の研究課題の一例と

して、テラビットネットワーキング、異種ネットワーク（無線ネット、衛星ネットなど）のシームレス統合、適応型ネットワーク基盤、ネットワークセキュリティ、ネットワークアプリケーション、Tetherfree communication network（制限されない通信ネットワーク）、ネットワークオペレーションツールなどのキーワードが挙がっていた。

W1（高度分散システム）は W9 のパネルと連動して企画されたようで、W9 での議論を受けて、適応的ネットワークアーキテクチャ（バイオネットワーク概念の応用）、分散オブジェクト、ネットワークサービスなどに関する発表があった。これらは、次世代インターネットなどを指向した研究として位置付けられるが、ネットワークエージェントシステムを支える新しいネットワーク基盤の実現が期待される。

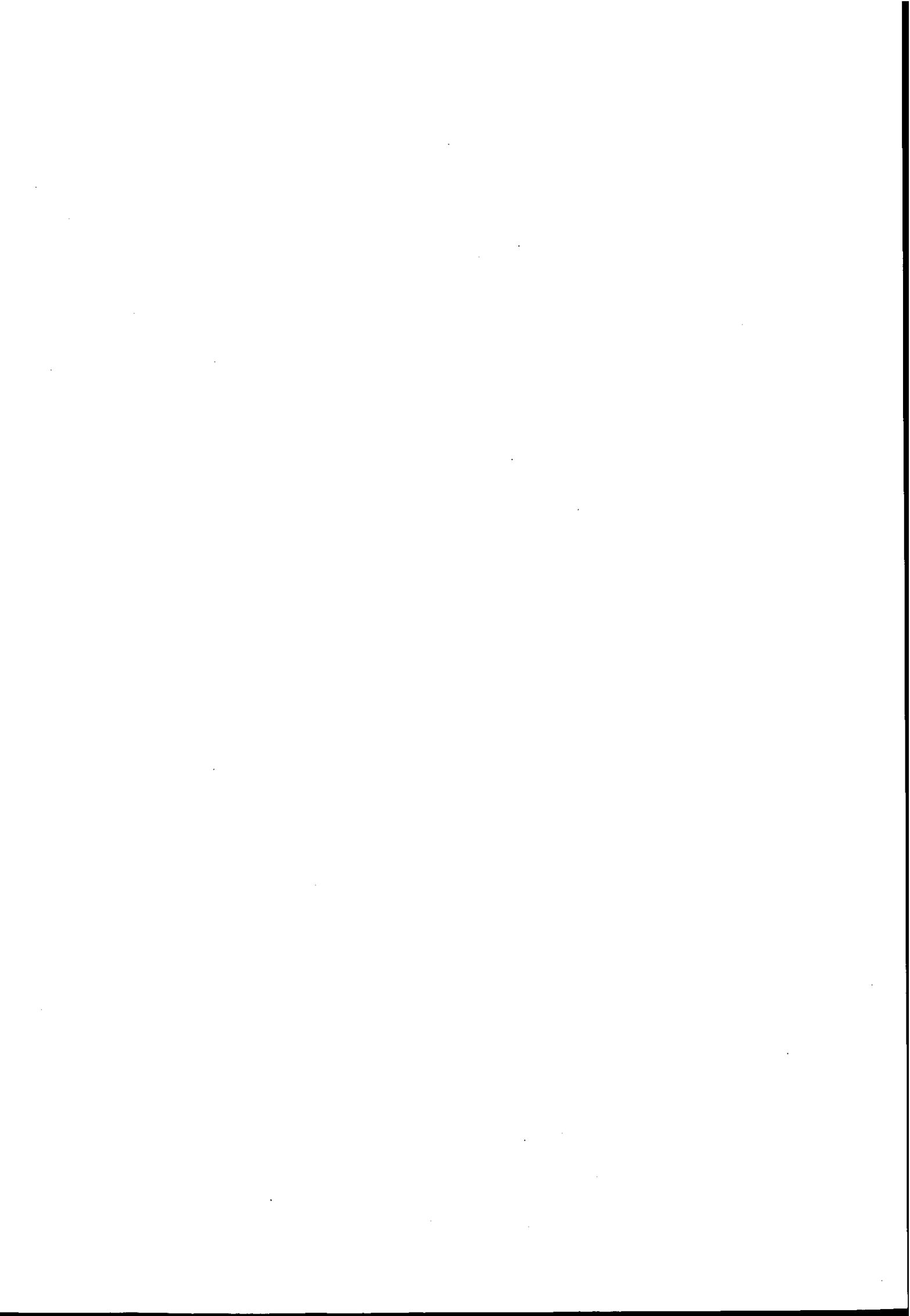
また、W4（モバイルインターネット）では、第三世代に移行しつつある i-mode 技術とその将来（第四世代）、第三世代の携帯電話／端末技術などに関する議論があった。第四世代にむけて、高速・大容量・低ビットコスト、対障害（侵害）などが重要なキーワードとして挙げられていたが、そのアプリケーションに関する議論では、プログラミング／データ処理、メッセージング、ゲーム／エンタテインメント、ロケーションベースサービス、EC、マルチメディアテレフォニーなど、特に目新しいものはなく、利用者サイドにおける工夫が求められているように思われた。また、こうしたアプリケーションの開発プロセスは、今後一段とインプリメンテーション・ドリブン（試作先行型）になるだろうという議論などもあり、この分野の動きの速さを感じさせるものがあった。

一方、他のワークショップについては、前述したように、その様子を眺める程度に留まってしまったが、現在、独立したアプリケーション分野として世の中に定着してきている遠隔教育、ITS、電子図書館、遠隔医療などについては、ネットワークエージェント技術の応用可能性が高い領域として、その動向をウォッチしておく必要があると思われる。

（４）まとめ

SAINT-2001 では、インターネットとその上でのアプリケーションに焦点が当てられていたが、今回の会議では、ネットワークエージェント技術に直接的に関係する議論は決して多くはなかった。しかしながら、ネットワークエージェントを支えるインターネット関連技術の研究開発動向、特に、米国を中心とした次世代ネットワーク環境やインターネットアプリケーション開発への取り組み状況の一端を垣間見ることができ有意義であった。





注記：

本報告書の中にある登録商標及び商標は、該当各社の登録商標及び商標であります。

－ 禁無断転載 －

次世代ネットワークと産業フロンティア情報技術に関する
調査研究報告書

－ ネットワークエージェント技術 －

発行 平成 13 年 3 月 30 日

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

機会振興会館 B 1

電話 (03) 3432-9390

12-R001

