

大規模知識ベースに関する調査研究

報 告 書

平成 8 年 3 月



財団法人 日本情報処理開発協会

KEIRIN

00

この報告書は、競輪の補助金を受けて作成したものです。



まえがき

近年、情報処理システムは、高度化の1つとして人工知能（AI：Artificial Intelligence）技術などの発展を背景として、知識処理の方向に進んでおります。これとともに大量の知識情報を体系的に蓄積し、共有する大規模知識ベース（VLKB：Very Large-Scale Knowledge Bases）は、より高度な知識処理を実現する情報基盤として期待されております。

大規模知識ベースは、様々な分野・領域（学術、技術、産業など）の知識情報が多様なメディア（文字、言語、画像・映像、音声・音響など）により表現されることから、これらの構築と共有のための技術の研究開発が求められております。

このような状況のもと、当協会では、平成7年度「大規模知識ベースに関する調査研究」として、大規模知識ベースにおける知識の共有化技術の調査ならびに大規模知識ベースを背景とする情報スペースの構築に関する考察を行うとともに、海外の最新の研究開発動向を調査しました。

実施にあたりましては、共有化技術の調査ならびに情報スペース構築に関する考察については、当該分野の国内専門家に研究を委託し、海外動向については国際会議等に調査員を派遣するとともに、外国研究者に調査を依頼して実施しました。

本報告書は本文3編および資料編から構成され、第1編、第2編では「知識共有化技術と情報スペース」について、第3編では「海外の研究開発動向」についてまとめています。資料編では、大規模知識ベースにも関連が深い、我が国のプロジェクト化計画の1つである「ヒューマンメディア先導研究」の概要について紹介しております。

本書が今後の大規模知識ベース関連のプロジェクト計画の立案ひいては高度情報化の発展に寄与することを念願する次第です。

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

平成8年3月

財団法人 日本情報処理開発協会

目 次

まえがき

第1編

高次知識メディアのためのオントロジー

第1部 オントロジー工学確立を目指して -----	3
1. まえがき -----	3
2. オントロジーとは -----	5
2.1 簡単な定義 -----	5
2.2 包括的な定義 -----	5
2.3 オントロジーに関する合意 -----	8
2.3.1 合意の部分性 -----	8
2.3.2 合意のレベル -----	8
3. オントロジー工学の意義 -----	10
3.1 Design Rationale としてのオントロジー -----	10
3.2 オントロジー利用のレベル -----	11
3.3 標準化：ボルト&ナットプロジェクト -----	12
4. オントロジー再考 -----	14
4.1 共有と再利用 -----	14
4.2 オントロジーの分類 -----	15
5. オントロジー工学の研究領域 -----	18
6. むすび -----	21
 第2部 タスクオントロジーに基づく概念レベルプログラミング環境の設計 -----	25
1. はじめに -----	25
2. 概念レベルプログラミング環境 -----	26
2.1 タスクオントロジー -----	27
2.2 タスクオントロジーの記述 -----	30
2.3 タスクオントロジーの記述例 -----	31
3. 設計思想 -----	33
3.1 問題解決知識記述環境の設計思想 -----	33
3.2 問題解決知識記述の暗黙性 -----	33
3.3 概念レベルの説明 -----	35

4. 概念レベルプログラミング環境 -----	36
4.1 タスクオントロジー記述言語 TOL -----	37
4.2 概念レベル実行 -----	39
5. まとめ -----	42
 第3部 流体のドメインオントロジーと推論エンジン -----	45
1. はじめに -----	45
2. 部品に基づいた因果性のオントロジー -----	46
3. 因果的時間オントロジー -----	48
4. 流体オントロジー -----	50
4.1 流体の全連続性 -----	50
4.2 流量の因果性 -----	50
4.3 圧力と圧力差の因果性 -----	51
4.4 因果的時間と大域的制約 -----	51
4.5 部品の因果性の例 -----	52
5. モデルの記述 -----	54
6. 振舞いの推論の能力 -----	56
7. 原子力プラントにおける評価 -----	58
8. 従来技術との比較 -----	61
9. 今後の課題 -----	62

第2編

情報スペース構築・共有・活用技術

1. 序 -----	66
2. 背景 -----	67
2.1 小売業における変化 -----	67
2.2 流通業における変化 -----	70
2.3 ベンチャービジネスにおける変化 -----	72
2.4 製造業における変化 -----	75
2.5 今井・金子の情報ネットワーク社会論 -----	78
3. 研究開発動向 -----	84
3.1 知識の集積・体系化・再利用 -----	84
3.2 知識の共有 -----	92
3.2.1 SIMS における2層モデル -----	92

3.2.2 ARPA の知識共有ワーキンググループのアプローチ	92
3.2.3 オントロジー	95
3.2.4 知識メディア	100
3.3 エージェント	106
3.3.1 エージェント技術の全体像	106
3.3.2 モバイルエージェント	108
3.3.3 エージェント指向インタフェース	111
3.3.4 ビリーバブルエージェントと擬人化エージェント	112
3.3.5 代理人プログラムとしてのエージェント	115
3.3.6 共通言語で相互作用する ソフトウェアモジュールとしてのエージェント	118
4. 事例研究	120
4.1 概 要	120
4.2 IICA - 情報収集と抽出	124
4.2.1 序	124
4.2.2 ページ分類	126
4.2.3 ページからの情報抽出	126
4.3 CM-2 - 情報統合	128
4.3.1 序	128
4.3.2 CM-2 における連想構造	129
4.3.3 CM-2 の機能	132
4.3.4 CM-2 の適用例	132
4.4 METIS - 情報抽出と要約	134
4.5 オントロジーの構築支援	137
4.6 メディエーション	139
4.7 多重オントロジーの理論	141
5. 提 言	143
5.1 アプローチ	143
5.2 情報スペース技術の枠組み	144
5.2.1 情報ベース技術	145
5.2.2 コミュニケーション技術	146
5.2.3 コミュニティ活動支援技術	146
5.2.4 インタフェース技術	147
6. 情報スペース技術の研究開発プランの一例 - 街かど21	148
6.1 街かど21の全体像	148
6.2 コミュニティコモン	149

6.3 コミュニティキオスク -----	151
6.4 コミュニティ情報ベース -----	151
6.5 コミュニティ情報タブ -----	153
6.6 コミュニティウェア -----	153
7. まとめ -----	155

第3編 海外の研究開発動向

1. KB&KS'95 概要 -----	161
2. 研究開発動向 -----	164
2.1 オントロジー -----	164
2.2 知識獲得 -----	165
2.3 大規模アプリケーション -----	165
2.4 データベースから知識ベースへ -----	166
2.5 知識共有と再利用 -----	166

資料編 「ヒューマンメディア先導研究」

1. はじめに -----	169
2. ヒューマンメディア技術の研究課題（ミニプロジェクトの概要） -----	171
2.1 ヒューマンメディア対話 -----	171
2.2 感性エージェントとヒューマンメディアデータベース -----	175
2.3 パーソナルな知的活動支援環境 -----	180
2.4 自然・文化・歴史との交流・共生支援 -----	184
2.5 医療におけるヒューマンメディア技術 -----	187
2.6 モバイルなヒューマンメディア情報環境 -----	190
2.7 多人数参加型の環境シミュレーション -----	195
2.8 現実世界と仮想世界を融合したコミュニティ活動支援 -----	197

第1編

高次知識メディアのためのオントロジー

第1編 高次知識メディアのためのオントロジー

要 旨

本報告は、来たるべき情報化社会に必須の高次知識メディアのためのオントロジーに関する研究をまとめたもので、3部構成となっている。

第1部は、将来の知識処理の基盤研究となる、オントロジー工学を提唱するものである。知識をコンピュータが扱えるようにするために不可欠である内容指向研究の重要性を述べて、その基盤となるオントロジーを対象とする研究の役割とその範囲を体系的に論じている。

第2部では、タスクオントロジーの記述言語に関する考察とその設計を行なっている。オントロジーを記述する利用者をエンドユーザ、個別オントロジー定義者、そして共通オントロジー記述者の3種類に類別し、それぞれに適した記述言語を設計している。

第3部では、ドメインオントロジーの例として、流体の因果オントロジーとその動作に関わる時間のオントロジーについて考察している。そして、プラントのシミュレーションを例に取り、実際に定性的なシミュレーションを行なうエンジンを設計してその有効性を示している。

THE HISTORY OF THE UNITED STATES

1776-1789

The first part of the history of the United States is the period of the American Revolution, from 1776 to 1789. This period is characterized by the struggle for independence from British rule and the establishment of a new government.

The second part of the history of the United States is the period of the early republic, from 1789 to 1800. This period is characterized by the establishment of the federal government and the early years of the presidency of George Washington.

The third part of the history of the United States is the period of the Jeffersonian era, from 1800 to 1820. This period is characterized by the presidency of Thomas Jefferson and the expansion of the United States into the western territories.

The fourth part of the history of the United States is the period of the Jacksonian era, from 1820 to 1840. This period is characterized by the presidency of Andrew Jackson and the expansion of the United States into the western territories.

The fifth part of the history of the United States is the period of the Whig era, from 1840 to 1860. This period is characterized by the presidency of James K. Polk and the expansion of the United States into the western territories.

The sixth part of the history of the United States is the period of the Civil War, from 1860 to 1865. This period is characterized by the conflict between the Union and the Confederacy over the issue of slavery.

The seventh part of the history of the United States is the period of the Reconstruction era, from 1865 to 1877. This period is characterized by the efforts to rebuild the South and the struggle for civil rights for African Americans.

The eighth part of the history of the United States is the period of the Gilded Age, from 1877 to 1900. This period is characterized by rapid industrialization and the rise of big business.

The ninth part of the history of the United States is the period of the Progressive Era, from 1900 to 1920. This period is characterized by efforts to reform society and government.

The tenth part of the history of the United States is the period of the New Deal, from 1920 to 1940. This period is characterized by the presidency of Franklin D. Roosevelt and the response to the Great Depression.

第1部

オントロジー工学確立を目指して

第1部 オントロジー工学確立を目指して

1. まえがき

人工知能研究のなかには、論理や知識表現などを扱う「形式指向」の研究と知識の内容を研究の対象とする「内容指向」の研究がある[溝口, 95]。人工知能研究はこれまで「形式指向」の研究を中心に行なわれてきたが、近年、内容指向の研究の重要性が高まっている。それは、現実存在する知識処理の課題の多く、例えば、知識の再利用、複数のエージェントが協調するために必要な通信、理解に基づくメディア統合、大規模知識ベース／常識ベースの開発、知識の標準化による知識共有などの問題の解決には、推論などの形式的な操作の高度化だけではなく、様々な形態で存在する知識の「内容」を扱う基礎研究と高度技術が不可欠であることが明らかになってきたからである。

形式化の一つである論理は形式的に健全な議論を規定するための強力な道具を提供する。そこでは、形式的に正しい思考を規定することができ、人間の思考の抽象的な限界を議論することも可能である。しかし、健全な推論によって、与えられた問題を解決するためにはどのような知識を用意すればよいか、そもそも知識とは何か、我々は認識をどのように構成し、知識の具体的内容はどういう構造と性質を持っているのかといった疑問に「形式」は答えてくれないのである。

その意味で、「知能」を形式的に捉える、あるいはその根源を問題解決機能（推論、論理など）に求めることの代わりに「知識」の重要性を力説したFeigenbaumの主張は正しかった。このことはエキスパートシステムの成功が証明している。しかし、それは更に深化しなければならない。即ち、Feigenbaumの時代の知識に対する理解は、「専門家の専門知識をルールで表現する」ということが本質であった。現在はそこから遥かに進歩している。知識は様々な形態を取って存在することから分かるように、知識源は実に多様である。専門家、データ集合（データベース）、ドキュメント、画像の中にも存在する。そして、知識を扱う主体としてコンピュータ（ソフトウェアエージェント）と人間との2種類のエージェントが存在する。即ち、知識はこれら両方のエージェントのために存在するべきである。知識は複数のエージェントの間で共有され、様々な目的のために再利用されなければならない。そしてコンピュータによる知識処理は、このような多様な知識源に潜在する知識を両エージェントにとって操作可能な形に、抽出、変形、組織化する技術、即ち、知識メディアに進化しなければならない。その基礎を与える学

(注) 筆者等が使う「エージェント」という単語は人間とコンピュータとを一般化した主体的な動作主という意味である。

問がオントロジー工学である。

「内容指向」の研究の重要性はある程度認識されつつある。それにも関わらず、これまでの人工知能研究の多くは形式指向の研究が重要視され、内容指向の研究は軽んじられてきた。これにはいくつかの理由があるが、最も重要なことは内容指向の研究が以下のような問題を抱えていることであろう。

- 1) 個別の状況に依存したアドホックな議論になりがちであること。従って、
- 2) 形式理論の様に積み重ねが効くような方法論がないこと。
- 3) しっかりした基盤研究、あるいは技術がないこと。

これらの問題点を解決することなしには、内容指向研究の発展は望めない。多くの場合、「開発」にとどまり、「研究」へと昇華することは難しい。このような問題を解決するのが、ここで提唱するオントロジー工学である。オントロジー工学は、知識ベースの設計意図、核となる概念化、基本概念の意味の厳密な定義などを与えるだけでなく、実世界の情報モデル構築のために不可欠な、知識を「積み上げる」技術と理論を提供する。

オントロジーに関する研究はこの数年間で急速な広がりをもって行なわれている。しかし、未だにオントロジー自身に関する定義が定まっていなのが現状であり、まして外部にいる研究者には不透明な部分が多い。更に、我が国においてはオントロジー研究の重要性が必ずしも正しく理解されているとは言えない。オントロジーは哲学的な理論から現実の問題解決に直接関係する具体的な課題まで幅広い議論が必要であり、それだけに奥が深く、理解も混乱しがちである。しかし、工学としての知識処理の将来を考えたとき、「内容指向」研究を支える基礎としてオントロジー研究は今後その重要性がますます重要となる。

第1部では、「記号処理による知識記述」の世界の範囲内で今後の研究の一つの中核をなすと考えられるオントロジー工学を提唱し、その詳細について論じる。次章において、オントロジーの定義に関して論じる。3章ではオントロジーの工学的な利用形態を整理し、その役割、すなわち、オントロジー工学の意義を論じる。次に4章ではオントロジーの分類を行なう。5章では、筆者等が考えるオントロジー工学の範囲を明らかにする。

2. オントロジーとは

2.1 簡単な定義

まず、オントロジーの簡単な定義から始めよう。

- (1) 本来、オントロジーは哲学の用語であり、「存在に関する体系的な理論（存在論）」という意味を持つ。
- (2) 人工知能の立場からは、「概念化の明示的な記述」という定義がなされる[Gruber,92]。ここで概念化とは、対象（世界）に関して、興味を持つ概念とそれらの間の関係とを指す。
- (3) 知識ベースの立場からは、「人工システムを構築する際のビルディングブロックとして用いられる基本概念／語彙の体系」という定義がなされる[Mizoguchi,93]。

一言でオントロジーを表現する場合にはこの様になるが、深い理解のためにはこれでは不十分である。(2)と(3)の定義の相違点は4.1で明らかにすることにして、以下ではオントロジーの詳細な定義を与える。

2.2 包括的な定義

オントロジーと類似する概念であるTaxonomy、TerminologyとVocabulary、そしてオントロジー記述の重要な概念である公理と準公理をとりあげて相互の違いを明確にしておく。まず初めに大前提から始めよう。Ontologyの日本語訳である「存在論」は最後に「論」がつくことから、オントロジーは学問の一分野を指すと考えることが普通である。しかし、現在ではそこでの考察の結果である、「体系的化された存在に関する記述」を指す意味で用いられることが多く、工学的にもその意味の方が大切であるので、ここでは後者を指すものとして議論を進める。

(1) Terminology（用語論）

概念に関する合意を得た後に、その概念に付与すべきラベルを決定する必要があるが、ラベルを何にするかを論じることが中心課題となる。言い方を変えれば、概念の呼び名を議論の対象としている。

(2) Vocabulary（語彙）

自然言語処理などで用いられる処理の対象とする単語の集合を指す。単語は必然的に概念を指示するためオントロジーと非常に近い関係にある。しかし、語彙は自然言語依

存であり、普遍性に欠ける。しかも、語彙（単語）が指す概念の意味と単語間の関係の記述に関する配慮もオントロジーに比べて弱い。Terminologyでは概念が先にあるのに対して、Vocabularyは名前が先にあり、その意味の明示的な記述に興味の中心がある。

(3) Taxonomy（分類）

一般には分類全般を指すが、ここでは概念分類を指すことにすると、オントロジーと最も近い概念である。概念分類はis-aリンクやpart-ofリンクを用いて階層的になされる場合が多い。概略的にはTaxonomyにおいて各概念の意味定義を明確に記述したものがオントロジーといえる。

(4) Ontology（存在論）

Guarinoにならって哲学で議論されるオントロジーをそれ以外のオントロジーと区別するために、初めの"o"を大文字"O"にした"Ontology"という英語を使うことにする[Guarino, 95]。Ontologyは、存在とは何か、全ての存在に共通する性質は何か、存在を説明するために必要な概念は何か、そしてその概念は如何に存在を体系的に説明できるか、などの質問に応えるべき理論であり、哲学者はそれぞれ独自のOntologyを提案してきた。

(5) ontology（オントロジー）

基本的な方法論は哲学に従うが、考察の対象が存在一般という基本的なものだけではなく、人工物を含めた具体的なもの、例えば企業活動、熱力学、問題解決構造などを対象として考察したものであって、そこに現われる概念と関係を明示的に示し、明確な意味定義を与えたもの。従って、原理的にオントロジーは考察対象の数だけ存在し、英語では"ontologies"のように複数形を取りえる。必ずしも論理を使った定式化を行う必要はない。

(6) Formal ontology（形式的オントロジー）

オントロジーの記述を述語論理などを用いて公理化したもの。公理化することによって、オントロジーが持つ能力に関する質問に答えることができる。このことは形式化の意義である。

(7) Axiom（公理）

宣言的かつ厳密に表現された知識でその正しさを証明なしで受け入れるべきもの。論理の世界では推論の前提となる知識を表すので本質的な意味を持つ。一階述語論理で表現される場合にはその推論エンジンとしては汎用の証明系が想定されるが、余りにも当

然のものであり、その存在が議論にのぼることはない。

オントロジー記述における公理には次の二つの役割がある。

- (1) 語彙／概念の意味定義を厳密に表現すること。
- (2) (宣言的に書かれた範囲の知識で) オントロジーに含まれる語彙／概念を使って記述されたものがもつ能力、即ちオントロジーの能力に関する質問に対して解答すること。

オントロジーの能力に関する質問はオントロジーの評価に関して重要な役割を担っているが、大きく分けて次の二つに分類することができる。

- (1) オントロジーを用いて記述できるもの全体に関する抽象的な性質に関する質問。
- (2) オントロジーを用いて記述したものが実行されたときの振る舞いに関する質問。

前者はCompetenceに関する質問[Gruninger,94]、後者はPerformanceに関する質問と言うことができる。Competenceに関しては述語論理などで形式化された公理を用いた記述が適していることは明らかであろう。しかし、Performanceに関する質問に対しては、本質的に手続き的な記述が必要な場合があり、形式的な公理と証明系では答えることができないことが多いのが現実である。そこで、必要となる概念が次の準公理である。

(8) Axiom equivalent (準公理) [Forbus, 95]

完全で普遍性のある述語論理の証明系を前提とした形式化された公理ではなく、Performanceに関する質問に答えるために必要な手続き的なエンジンの存在を前提として、本質的な情報は宣言的に公理として記述したもの。準公理は必ずしも形式化されている必要はなく、Competenceに関する質問には人間が解釈することによって答えを推論することができれば良しとする。

公理と準公理の差は公理の基盤となる表現体系が持つ性質の差と考えることができる。一般に「公理」という言葉には、「ある宣言的表現体系で表現され、それを前提として他の全ての事実を導きうる数少ない法則」というニュアンスがある。もちろん、理論が提供する能力を明確にするために全てを形式的に規定することは工学的にも理想であり、そこで使われる「形式」には体系として様々なオントロジーのバリエーションに対して普遍性と完全性があることが求められる。しかし、そういった理想論は現実を無視した議論でしかない。知識工学が対象とする「知識」の能力に対して十分な表現能力を持った宣言的表現体系を現実的に持ち得ないことを考えると、「公理」という概念をそのままの意味で用いることは強すぎる制約になる。例えば、完全で無矛盾な体系として一階述語論理に基づく表現体系を採用すると宣言した時点で、我々は「数学的帰納法が全ての述語に対して健全である」ということを、知識として扱うことを放棄しなければならない。

形式的体系だけを公理の足場とせず、自然言語での記述、あるいは解釈器として手続き的プログラムを前提とした「準公理」を認め、形式化された「公理」と「準公理」を

積み上げてオントロジーの体系化を目指すことが、工学的に健全なアプローチと言えよう。

2.3 オントロジーに関する合意

2.3.1 合意の部分性

言うまでもなく、オントロジーの利用に際しては、「オントロジーへの合意」が前提となる。しかし、この合意はオントロジーの工学的利用を考える上では本質的に部分的であることに注意しなければならない。例えば、概念依存構造の表現に関するプリミティブを提案したCD理論について考えてみる[Schank, 75]。CD理論のプリミティブに合意した研究者がCD理論を利用したプログラムの作成にあたって、独自の手続き的公理をプログラム中で採用し、結果としてCD理論が明確に規定した以上の意味論を備えたプログラムが実現された。このことは、オントロジーの利用に際して事前の合意が部分的であることを如実に表している。オントロジー研究はこの合意の部分性を念頭に置いて、合意すべき内容のできるかぎり明示的な記述を試みなければならない。

2.3.2 合意のレベル

オントロジーの開発は各研究者によって独自に行なわれるのが通常であるが、同じ対象に関するオントロジーについて合意することは容易ではない。Skuceが指摘するように、合意のレベルにはつぎの4段階がある[Skuce, 1995]。

- (1) 構築の方法論
- (2) 概念の意味
- (3) 概念の名前
- (4) 公理

オントロジー構築の方法論が違うとはじめから全く議論が噛み合わない場合がある。オントロジーの利用目的を明確に規定せずに設計された場合、トップダウンに設計された場合、ボトムアップに設計された場合等立場の相違によって初めから受け入れられないことは理解できよう。

開発方式で合意が得た後、最も重要な点が概念の切り出しとその意味の確定である。

この段階で必要な概念と関係が抽出され、それらの意味が定義される。言うまでもなく、この段階でオントロジーの本質が確定する。次に行われることが、概念の名前の確定である。問題によっては、有用な概念が検出されたとしても、用いる自然言語によってはそれに対応する語彙を持っていない場合があり得る。実際、筆者等は振る舞いの概念化においてそのような経験を持っている。また、開発者によって単語の意味定義が微妙に異なる場合があり、名前付けに関して合意を得るのは容易ではない。

そして、最後の難関が公理化である。既に議論したように、公理化の方法論には厳密な形式化を要求する立場と準公理の立場と対立する方式がある。特に、完全な形式化を行なうと表現できない意味が多く現われ、準公理の立場は細心の注意を払わなければ本質的な情報が推論手続きに埋もれてしまう可能性がある。この問題はオントロジー工学の学問上の本質的な課題であり、今後の検討を要する。

3. オントロジー工学の意義

Ontologyは「分かる」ことに貢献する。工学的な貢献は少ないが、それ自体意義深いことであり、それで十分である。しかし、オントロジー工学は工学である以上、オントロジーの具体的な意義を明確にしなければならない。

全てのソフトウェアにはオントロジーは存在しており、全ての経営者の頭の中には「企業オントロジー」はある。従って、オントロジーを議論する必要性が理解できないという意見がある。一見、その意見は正しいようにも思われるが、それらは「潜在」しているのであって、決して明示的には記述されてはいないことを指摘しておきたい。本章では、オントロジーの明示的な記述で得られるメリット、即ちオントロジー工学の意義を明確にする。

まず、オントロジー工学の究極の目的は、

「実世界、厳密には情報科学が対象とし得る全ての対象のモデル構築の基盤を与えること」にあることを宣言しておこう。そしてそれは共有／再利用が可能で、人間とコンピュータの双方に理解可能でなければならない。

3.1 Design Rationaleとしてのオントロジー

設計問題を例にとる。設計における人工知能の研究で最近注目を集めている研究に、Design rationale（設計意図）の問題がある。設計の世界では、設計後しばらくして改良設計を行なうことや、他人が行なった設計を元にして新たな設計を行なう場合がしばしばある。そのような場合、ある部品が付加されている理由や特殊な構造に出くわしたとき、なぜそのようなになっているか理由が分からない場合には、その既存の設計結果を再利用することができない。その「理由」はDesign rationale（以降、DRと呼ぶ）と呼ばれるが、通常の設計ではそのような情報が残されることは少ない。設計行為は、部品の選択、部品のパラメータの値の選択（決定）、部品間の位相的接続関係の設定など、実に様々な、そして数多くの「決定」の集積であり、その全てには設計者の意図と合理的な理由が存在する。その情報はある意味では設計図と同じくらい重要な意味を持っている。設計物とそれが持つ有用な情報の再利用には、設計意図の理解が不可欠だからである。

知識ベースのオントロジーは正しくDRに対応する働きをする。他人が構築した知識ベースを理解するには、前提とされている条件や環境、解くべき問題が要求する仮定などの暗黙的な情報、そしてそれらを反映した対象の世界の概念化に関わる根本的な情報を知ることが必要である。しかしながら、設計と同様、これまで実に多くのシステム

(知識ベース) が構築されてきたにもかかわらず、その様な情報が明示的に示されることはほとんどなかったと言っても過言ではない。オントロジーはそのようなDR情報を提供し、知識ベースの構築を支えるバックボーンとしての役割を持っている。今後の知識処理は明示的に示されたオントロジーに基づいて行なわれなければならない。

3.2 オントロジー利用のレベル

これまで、オントロジーの開発は盛んに行なわれて来たが、オントロジーの利用の仕方や形態に関してはあまり議論されてこなかった。ここでは、明示的に記述されたオントロジーの利用の仕方を利用の深さが浅い順にまとめておこう。

レベル1：エージェントが会話をするときの語彙として用いる。語彙の意味は隠され、ラベル情報のみが用いられる。最も浅い利用形態である (Implement不要)。

レベル2：データベースの概念スキーマとして用いる。概念や関係の構造情報のみが用いられる (Implement必要)。データベースにおける概念化は概念スキーマそのものである。即ち、対象世界のオブジェクトとその属性、そしてオブジェクト間の関係を明示的に示したものである。データベースの検索は概念スキーマに関する合意があれば、基本的には円滑に行なうことができる。

レベル3：知識ベースの構築を支えるバックボーン (DR) 情報を得る。オントロジーに関する合意を得る情報として用いる (Implement不要)。このレベル以降が、オントロジーの本格的な、即ち内容に踏み込んだ利用の形態である。

レベル4：Competenceに関する質問に答える。オントロジー自身、及びオントロジーを利用して構築されたシステムの様々な性質を形式的に議論する (Implement必要)。

レベル5：標準化

5.1 terminologyとしての標準化 (Implement不要) (レベルは1と同じ)

5.2 概念の意味内容 (基本意味素) の標準化 (Implement不要)。

5.3 対象モデル構築部品の標準化 (Implement必要)

5.4 問題解決部品の標準化 (Implement必要)

レベル6：データベースの概念スキーマの意味を考慮した変換 (EDIの理想型)

(Implement必要)。本質的には同じ情報を持っているが、概念スキーマが異なったデータベース間のデータ交換では、単なる構造変換だけではなく、概念の意味を考慮して対応する概念を同定し、整合性のある対応関係を得る必要がある。

レベル7：バックボーン情報に基づいて知識ベースを再利用する (Implement必要)。ここで言う再利用は、4.1で述べる直接法の意味での再利用である。

レベル8：バックボーン情報に基づいて知識ベースを再構成する (Implement必要)。最も高度な利用であり、オントロジー利用の究極とも言えるものである。一種の機械翻訳である。

このように、オントロジーの利用のレベルは深く、多岐にわたっている。レベル3以降はこれまでになかった新しい知識処理の形態であり、知識工学の基礎を与えるオントロジー工学の意義が理解されよう。

3.3 標準化：ボルト&ナットプロジェクト

オントロジー工学の一つの主要な役割は標準化にあるが、標準化は両刃の刃である。理論をまとめるときには貢献するが、実行に移す時の抵抗は大きく、全ての努力が水泡と帰す可能性すらある。しかし、今後の知識処理の高度化、高能率化を考えると、標準化の問題を避けて通ることはできない。例えば、意味素の標準化は危険ではあるが、魅力的な課題である。レベル6以降の利用を考えると、意味表現の核となる意味素は不可欠であろう。即ち、構造の変換とは異なり、意味を考慮した変換には個別の表現間の大量の変換規則の利用と意味素を介した少数の変換規則の利用との二つの方法があるが、後者の方が効率が高いことは明らかである。

工業製品の生産性の高さを考えれば明らかなように、必要な基本部品の標準化は生産性の高度化に貢献するところが大である。知識処理、特に今後の高度知識処理、モデル構築とそれを前提として行なわれる問題解決においても同様の標準化が行なわれなければならない。ボルトとナットに対応するような規格品を知識処理の世界でも作る必要がある。例えば定性モデルのためのパイプやポンプの規格であり、企業オントロジーであり、タスクオントロジーの標準化である。もちろん、ボルトやナットに多くの規格があるように、これらのオントロジーは唯一のものである必要はない。ある程度広い範囲の人々の合意が得られた標準部品の存在の意義は大きい。また、言うまでもないが、オントロジーの標準化が行なわれたからと言って全ての知識が規格品として表現されるわけではない。これは今日の機械設計が規格品を部品として使いながら独創的な設計が行な

われていることを考えれば明らかであろう。

4. オントロジー再考

知識が如何に用いられるかを考察することによってオントロジーに関する理解が深まる。実は、これまでのオントロジーに関する議論の多くは、オントロジーをどのように用いるかに関する議論を行わずに「利用」という単語を使っているため、議論が不透明になっている。ここでは、3.2節でまとめた利用のレベルを念頭に置きながら、これまでとは違った観点からオントロジーに関する考察を行なう。

4.1 共有と再利用

まず初めに共有と再利用という言葉で語られる知識の利用の形態を明確にする。知識の利用に関しては以下の二つの方法がある。

(1) 直接法

ある人が知識ベースを構築する際に、既に存在している知識ベースの中の知識を利用して、手間を省こうとすることは自然なことである。その時、現在の目的に照らして見て知識ベース内のどの知識が利用可能であるかを注意深く分析し、利用可能な知識を抽出する必要がある。この利用方法は知識ベース内の知識を直接処理の対象とするので直接法と呼ぶことにする。

(2) 間接法

一方、知識ベースの内部に深入りすることを止めて、知識ベースを持つエージェントに問題解決の依頼をして、解決された結果だけを受け取ることによって、間接的に他のエージェントが持つ知識を利用することができる。これを間接法と呼ぶ[Swartout, 93][西田, 94][Nishida, 95]。

さて、共有と再利用の問題は両者の明確な区別なく論じられることが一般的である。両者は共通する概念を多く含んでいるため、両者が同一の概念であると考えられる場合が多く、その相違点の認識は重要であるにも関わらず、必ずしも正しく理解されていないように思われる。再利用と共有と言う用語自身が持つ意味を詳しく論じることは有益ではないので、用語の問題以前の問題として考察する。上で述べた知識利用に関する2つの状況に注目してみよう。

直接法は、ソフトウェア工学における再利用と同じであることから「再利用」と呼ぶことに異存はあるまい。間接法の場合は複数のエージェントが他のエージェントの知識

を間接的に利用することによって「共有」していると考えられることから、「共有」と呼ぶことは自然であると思われる。用語の類似性に反してこの二つの状況は大きく異なっている。「共有」では知識を利用するエージェントは、依頼されて実際に問題解決を行なったエージェントがどのような知識を用いてどのように問題を解いたかには関心がなく、実際それに関して一切の知識を持っていない。一方「再利用」では、再利用の対象となる知識の目的、適用条件などの詳細な事柄に関する情報が必須となり、知識ベースの内部に立ち入った理解が要求される。即ち、「共有」では知識ベースはブラックボックスと見なし、「再利用」ではホワイトボックスと見なしているのである。このように、「再利用」の立場を採ると、「共有」の立場とは異なり、オントロジーに関する合意を得るまでの過程や各概念や関係の意味するところ、即ち「内容指向」研究へ踏み込んでいくことが中心となる。

2.1 節で紹介したオントロジーの簡単な定義において、「概念化の明示的な記述」は中立的な定義の様ではあるが、「再利用」の意識は希薄である。一方、「人工システムを構築する際のビルディングブロックとして用いられる基本概念／語彙の体系」は「再利用」を意識した定義であり、その立場は大きく異なる。

4.2 オントロジーの分類 [Mizoguchi, 95]

上で述べた知識利用への取り組みの相違に対応してオントロジーも自ずと異なってくる。それにもかかわらずこれまで行われてきたオントロジーに関する議論では、どのタイプのオントロジーを論じているのかが不明確であり、オントロジーに関する理解を混乱させていたように思われる。筆者等は、上に示した分類に対応した3種類の一つを加えた次に示す4種類のオントロジーがあると考えている。

(1) Content ontology

再利用可能な知識ベースを構築することを考える際に必要となるオントロジーである。実際にコンピュータ上でオントロジーを（再）利用するので、3.2で述べた利用のレベルで最も深いレベルまでを想定して考察が行なわれる。複数のエージェントが意味の内容に関する合意を得る前の、オントロジーを設計する時の立場を強調したオントロジーということもできる。

(2) Communication(tell&ask) ontology

分散協調による間接的な再利用を考える時に必要となるオントロジーである。エージェ

ントの内部の詳細には関与せず、エージェント間での知識内容に関する合意が得られていることを前提とした、エージェント同志のコミュニケーションに必要最小限のオントロジーといえる[Gruber, 92][西田, 94]。このことから各概念の意味記述よりも、その意味を指示する語彙のラベルを与えることに議論の中心がおかれる傾向がある。データベースの概念スキーマとの類似性やオントロジーの移植性等が論じられるのはこのタイプのオントロジーである。

(3) Indexing ontology

知識ではなく、事例を対象にした事例ベースを構築することを目指し、個々の知識を直接扱うことの困難さを回避する知識利用も存在する。CBR、MBR等の推論手法を考慮にいたした新しい試みがその代表例である。このオントロジーは事例のインデックスの記述に用いられるオントロジーである。事例記述では事例の内容とそれを利用するのに適した問題（コンテキスト）を明示できるように工夫されるのが普通である。しかし、あくまでも検索が目的であるので、詳細な事例に関する記述を保証する概念化は要求されない。従って、オントロジーとしてはそれほど深くなく、程々に内容と問題解決との両方の概念を含むオントロジーとなる。

(4) Meta-ontology

オントロジー記述言語で提供しているオントロジー記述用のプリミティブ（オントロジー）。Ontolingua[Gruber, 92]で採用されているフレームオントロジーはその例である。メタという意味で上の3つとは明確に区別される。

上述のオントロジーの大分類の中のContent オントロジーを知識の再利用の立場から更に分類すると以下ようになる。

Contentオントロジー

Workplaceオントロジー[Vanwelkenhuysen, 95]

問題解決が行なわれる環境が問題解決（タスク）に与える影響を規定する情報に関わるオントロジー。タスクオントロジーと合わせて、問題解決のコンテキストを規定する。

タスクオントロジー[Mizoguchi, 92, 94][Hori, 94][Wielinga, 93]

問題解決の構造をドメイン独立に記述するオントロジー。問題解決の構成単位としての処理（動詞）を中心として構成されるが、制御構造に関する語彙は含まれない。

ドメインオントロジー

タスク依存オントロジー[Mizoguchi,95]

タスク知識によって必要なドメイン知識とその役割が規定される。タスクの観点から眺めた、オントロジーであり、その意味でタスク依存のオントロジーである。T-ドメインオントロジーと呼ぶ。

タスク独立オントロジー

活動(activity)に関連するオントロジーと理論等の静的なものに分れる。

活動関連オントロジー

対象のオントロジーは通常対象のシミュレーションを念頭においてなされるので、ここに分類される。動作概念が中心となる。

対象オントロジー[来村,95][高岡,95][Sasajima,95][笹島, 95]

対象の構造、振る舞い、機能、時間等に関するオントロジー。

活動オントロジー[Gruninger,94]

企業活動オントロジーに代表される組織の活動をモデル化することを主目的にしたオントロジー。

活動独立オントロジー (分野オントロジー)

活動に独立で分野に依存する理論や単位などに現われる基本概念や関係に関するオントロジー。

工学における数学[Gruber,94]

物理単位[Mars,94]

一般／共通オントロジー

Ontologyと同じ対象、即ち実体、プロセス、時間、空間、因果などの基本的な概念に関するオントロジー[Lenat,90][Sowa, 95]。

このようにオントロジーには多くの種類が存在することがわかるが、これはオントロジー研究が発散していることを意味するのではなく、オントロジーの考察対象としての実世界の知識の多様さを表していると考えるべきである。オントロジーの多様さ自体が考察の対象になる。即ち、この多様さを明確に捉えることによって知識に対する我々の理解が深まるのである。

この分類は想定する問題解決に依存するオントロジーと依存しないオントロジーに大別される。通常議論されるオントロジーは後者であるが、前者の考察が必要であることを主張するところは我々の立場の特色となっている。両者をつなぐ橋渡しをする役割はT-ドメインオントロジーが担っているが、十分ではなく、今後の研究が待たれる。

5. オントロジー工学の研究領域

オントロジー工学を提唱するにあたって、筆者等の考えるその学問の範囲を以下に示す。これまでに述べてきた基本思想に則り、哲学における根本からの検討、知識表現、オントロジー設計、標準化、EDI、再利用と共有、メディア統合など工学としてのオントロジー研究がカバーする課題を挙げた。オントロジー工学はまだ未成熟であり、今後の研究を通してその研究課題は洗練されなければならないことは言うまでもない。

基幹部門

- ・ 哲学（存在論、数学基礎論）

アリストテレス以来の哲学者が論じてきたOntologyの議論を行なう。また、数学基礎論や論理学なども関連する分野として研究する。

- ・ 科学哲学

物理の世界における時間、空間、因果、プロセス等を考察し、物理の視点からのオントロジーへ貢献する。

- ・ 知識表現

知識表現に関する基礎的な研究を行なうと共に、オントロジー表現のための言語の設計開発。

オントロジー設計部門

- ・ 一般オントロジー

時間、空間、プロセス、因果関係、部分／全体関係などの普遍性の高い基礎概念に関するオントロジーを研究する。意味の内容に関する深い検討と共に、厳密な公理化の問題の検討。

- ・ ドメインオントロジー部門

プラント（鉄鋼、化学）、電力、土木、建築、企業活動などのドメイン毎のオントロジー開発。

常識ベース部門

一般オントロジーの開発と並行して、常識を収集し、知識ベース化する。

標準化部門

- ・ EDIとデータ意味素

完全自動EDIを目指したデータ素に関する標準化[Hawes, 94]。

- ・ 基本意味素レポジトリ

知識共有実現のためには避けて通れない、基本意味素の標準化の検討。

- ・データベース概念スキーマ標準化(CSMF)

データベース概念スキーマ記述方式の標準化。

- ・モデル部品の標準化／規格化

知識処理におけるボルトやナットの開発を目指した、機械系、流体系等のドメインなどにおける対象モデルの表現のための機能部品の標準化。

データ／知識変換部門

- ・オントロジー変換

同一の対象に関する異なるオントロジーを変換する方式の検討。オントロジ工学の基盤技術。

- ・データベース変換

異なる概念スキーマを持つデータベース間でのデータ交換

- ・知識ベース変換

異なるオントロジーに基づいて構築された知識ベース間の変換。

知識再利用部門

- ・タスクオントロジー

人間の問題解決過程を記述するためのオントロジーの開発。

- ・T-ドメインオントロジー

タスクオントロジーが決定するコンテキストの下で考察したドメインオントロジーの開発。

- ・再利用方式

上述の2つのオントロジーに基づいて実際に知識を再利用する方式の開発。

知識共有部門

- ・通信プロトコル

協調的問題解決のためのエージェント間の通信を規定するオントロジーの開発。

- ・協調タスクオントロジー

エージェント間の協調をタスクと見たオントロジーの開発。

メディア部門

- ・メディアオントロジー

ドキュメント、静止画像、動画像等の各メディアに固有の構造オントロジーの開発。

- ・知識メディア共通オントロジー
一般オントロジーに基づいて、人の振る舞いの基本単位の確立と行動／動作オントロジー、物語オントロジーなどを開発して知識メディアに共通のオントロジーを開発する。
- ・メディア統合
オントロジーに基づくメディアの意味表現言語を開発し、意味内容を考慮したメディア統合方式の開発。

オントロジー構築方法論部門

- ・方法論
オントロジー開発の方法論の研究
- ・構築支援環境
オントロジー開発を支援する環境の開発

評価部門

- ・実問題を通じたオントロジーの適用と評価

6. むすび

人工知能研究における「形式」と「内容」は車の両輪であると同時に、また永遠の課題でもある。本論文で提唱したオントロジー工学は、内容指向研究の基礎(基盤技術)研究であり、内容の表現に必要な知識表現を考え、オントロジーの能力を形式化するための技術を考える学問分野である。様々なタスクとドメインについて系統的かつボトムアップに検討を進めてオントロジーとそれに関わる研究自体を体系化することが目的になっている。

本稿では、オントロジー工学に関する諸概念を系統的に整理し、内容指向アプローチの種類と形態、それが抱える問題点について包括的な議論を行った。オントロジー工学は、内容の核となる実体、事象、アクティビティ、時間、といった対象世界の概念化、各基本概念の意味の明確な定義、そしてそれに基づいて知識ベースの設計意図を明確化することに貢献する。そして最終的には、実世界の情報モデル構築のための合意を形成し、常識の表現、知識の共有・再利用の問題の解決に貢献することが期待される。

諸外国に目を向けると、情報科学と知識工学を「形式」と「内容」と位置づけて、それらを統合しようという気運の高まりが、特にEDIの分野で明確になってきている。この流れは、情報科学の一発展形として必然であり、知識工学が本来目指していた姿の一つでもある。我が国でも、今後の情報化社会の必然的ニーズの受け皿を作るという視点で、内容を対象とした体系的な研究分野が知識工学の一分野として確立されることを期待したい。

参考文献

- [Forbus, 95] E-mail communication on August 7th, 1995.
- [Gruber, 92] Gruber, T.: A translation approach to portable ontology specifications, Proc. of JKAW'92, pp. 89-108, 1992.
- [Gruber, 94] Gruber, T.: An ontology for engineering mathematics, Proc. of Comparison of implemented ontology, ECAI'94 Workshop, W13, pp.93-104, 1994.
- [Gruninger, 94] Gruninger, R. and M. Fox: The design and evaluation of ontologies for enterprise engineering, Proc. of Comparison of implemented ontology, ECAI'94 Workshop, W13, pp.105-128, 1994.
- [Guarino, 95] Guarino, N. and P. Giaretta: Ontologies and knowledge bases towards a terminological clarification, Proc. of KB&KS'95, pp.25-32, 1995.
- [Hawes, 94] ISO/IEC standard 11179: Specification and standardization of data element, Working Draft 5, ISO/IEC SC14, 1994.
- [Hori, 94] Hori, M. and Y. Nakamura: Reformulation of problem-solving knowledge via a task-general level, Proc. of the Third Japanese Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop: JKAW'94, pp.1-15, 1994.
- [来村, 95] 来村徳信、笹島宗彦、池田満、他：モデルに基づく問題解決のための流体と時間のオントロジーの構築とその評価、人工知能学会誌（投稿中），1995.
- [Lenat, 90] Lenat, D. and R. Guha: Building Large Knowledge-Based Systems, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1990.
- [Mars, 94] Mars, N.: An ontology of measurement, Proc. of Comparison of implemented ontology, ECAI'94 Workshop, W13, pp.153-162, 1994.
- [Mizoguchi, 92] Mizoguchi, R. et al.: Task ontology and its use in a task analysis interview systems -- Two-level mediating representation in MULTIS --, Proc. of the JKAW'92, pp.185-198, 1992.
- [Mizoguchi, 93] Mizoguchi, R.: Knowledge acquisition and ontology, Proc. of the KB&KS'93, Tokyo, pp. 121-128, 1993.
- [Mizoguchi, 94] Mizoguchi, R. and J. Vanwelkenhuysen: Task ontologies for explaining expertise in problem solving context, Proc. of ECAI Workshop on Comparison of Implemented Ontologies, Amsterdam, pp.163-174, 1994.
- [Mizoguchi, 95] Mizoguchi, R. and Johan Vanwelkenhuysen: Task ontology for reuse of problem solving knowledge, Proc. of KB&KS'95, pp.46-59, 1995.
- [Mizoguchi, 95] Mizoguchi, R, M. Ikeda, K. Seta, et al.: Ontology for modeling the world from problem solving perspectives, Proc. of IJCAI Workshop on Basic Ontological Issues in

Knowledge Sharing, Motreal, 1995.

[溝口, 95] 溝口理一郎：形式と内容－内容指向人工知能研究の勧め－、人工知能学会誌
Vo.11, No.1, pp.50-59, 1996.

[西田, 94] 西田豊明：知識コミュニティー、人工知能学会全国大会(第8回) S2-3,
pp.77-80, 1994.

[Nishida, 95] Nishida, T., H. Takeda, K. Iino, and M. Nishiki: A knowledge media approach to
ontology development, Proc. of KB&KS'95, Enschede, pp.84-94, 1995.

[Sasajima, 95] Sasajima, M., Y. Kitamura, M. Ikeda, and R. Mizoguchi: FBRL: A Function and
behavior representation language, Proc. of IJCAI-95, pp. 1830-1836, Motreal, 1995.

[笹島, 95] 笹島宗彦、来村徳信、池田満、溝口理一郎：機能と振る舞いのオントロジー
に基づく機能モデル表現言語FBRLの開発、人工知能学会誌（投稿中）、1995.

[Schank, 75] Schank, R: Conceptual information processing, North Holland Pub. Co.,
Amsterdam, 1975.

[瀬田, 95] 瀬田和久、池田満、角所収、溝口理一郎：問題解決オントロジー構成論－概
念レベルプログラミング環境を目指して－、人工知能学会誌（投稿中）、1995.

[Skuce, 95] E-mail communication on July 24th, 1995.

[Sowa, 95] Sowa, J.: Distinctions, combinations, and constraints: Proc. of IJCAI Workshop on
Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, Motreal, 1995.

[Swartout, 93] Swartout, W. et al.: Knowledge sharing: Prospects and challenges, Proc. of
KB&KS'93, Tokyo, pp.95-102, 1993.

[高岡, 95] 高岡良行、広部健治、溝口理一郎：再利用可能知識ベースの構築－変電所事
故復旧問題を例にして－、人工知能学会誌、Vol.10, No.5, pp.786-797, 1995.

[テヘリノ, 93] テヘリノ・ジュリ・A、池田満、北橋忠宏、溝口理一郎：タスクオント
ロジーと知識再利用に基づくエキスパートシステム構築方法論－タスクインタビュー
システムMULTISの基本思想－、人工知能学会誌、Vol.8, No.4, pp.476-487 (1993).

[Vanwelkenhuysen, 95] Vanwelkenhuysen, J. and R. Mizoguchi: Workplace-Adapted Behaviors:
Lessons Learned for Knowledge Reuse, Proc. of KB&KS '95, pp.270-280, 1995.

[Wielinga, 93] Wielinga, B. et al.: Reusable and sharable knowledge bases: A European
perspective, Proc. of KB&KS'93, Tokyo, pp.103-115, 1993.

第2部

タスクオントロジーに基づく 概念レベルプログラミング環境の設計

第2部

タスクオントロジーに基づく概念レベルプログラミング環境の設計

1. はじめに

知識の共有・再利用を実現するために重要な役割を担うオントロジーの概念に対する期待が国際的に広まりつつある。オントロジーに関する様々なプロジェクトが立ち上げられ既に多くの成果が報告されている。しかしながら、オントロジーに関する諸問題を工学的に位置づけて、技術的に成熟させるために欠かせないオントロジーの構築・評価に関する方法論については、それを模索している段階にあるといえよう。この様な問題意識から、第1部では、オントロジー構築方法論の確立とオントロジーの利用に関する包括的な研究としてオントロジー工学に関する考察を行った。

知識を表現するための重要な役割を担うオントロジーには、主に対象物の機能や振る舞いを表現しその利用方法を限定しないオントロジーと、人間が日常的に行っている問題解決の過程を捉えるオントロジーがある。ここで述べるオントロジーは後者を対象としている。我々は人間の問題解決過程を類型化し、対象タスクに一般的な問題解決知識記述のための概念の体系をタスクオントロジーと呼んでいる。

第2部の主な目的は問題解決知識を記述するために必要な概念をオントロジーとして明らかにし、その利用の一形態として概念レベルプログラミング環境CLEPE(Conceptual Level Programming Environment)を提案することである。第2部では、まずCLEPEを実現するための必須概念であるタスクオントロジーについて述べた後、CLEPEの設計思想および、CLEPEで具体的にどのような環境が実現されるのかを示す。

2. 概念レベルプログラミング環境

一般に、オントロジー研究の目的は対象世界を記述するための概念の意味と概念間の関係を明示的に記述することにある。この目的を達成するためにオントロジーの構築と利用に関する一般的な方法論の確立が望まれている。

本研究の目的はその様な方法論の確立を目標に据え、問題解決知識を記述するために必要な概念をオントロジーとして明らかにし、その利用形態を例示することにある。

これらの目的に対して、第2部で提案する概念レベルプログラミング環境CLEPEは次のような側面を持っている。一つは、前者の目的に関して、タスクオントロジーの構築を支援するオントロジー構築支援環境としての側面、もう一つは構築されたタスクオントロジーの一利用形態として実現される問題解決知識記述環境としての側面である。したがって、CLEPEの設計にあたっては二つのタイプの利用者を想定している。一つは問題解決知識を記述するためのオントロジーを構築するオントロジーオーサ(OA)であり、もう一つは構築されたオントロジーを利用して問題解決知識の記述を行う問題解決知識記述者(ユーザ)である。

一般にオントロジーは対象世界の概念に対する、ユーザとシステム間の合意事項である。オントロジーを構築するOAの主な役割は、対象タスクの構造を記述するための概念を分析し、利用するユーザに対して自然に受け入れられる概念の体系を構築するこ

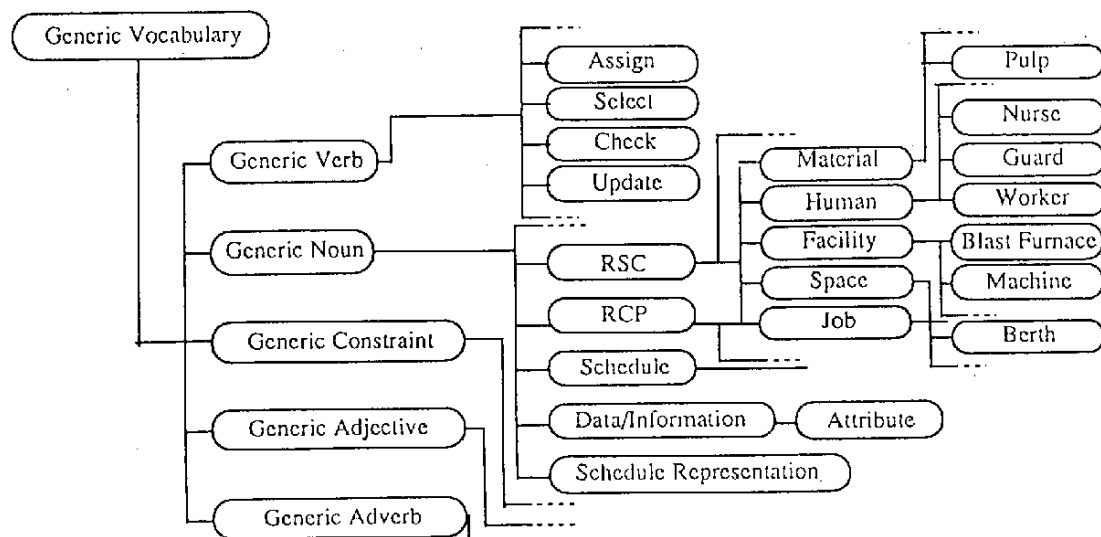


図2-1 TO/K-Lにおける語彙の階層図 (一部)

とである。このためにCLEPEでは、OAに対して、タスクオントロジー記述言語TOL(Task Ontology representation Language)および、オントロジーの編集や参照のためのオントロジー構築環境を提供する。

問題解決知識の記述に際しては、計算機の利用に未習熟なユーザと計算機の間でのオントロジーに対する合意が求められる。一般にユーザにとって、日常的に意識しないが計算機で実行する際に必要となる概念(例えば、データフロー)を明示的に記述することが困難である。そのため、ユーザと計算機の間で問題解決知識に対する概念を共有するためには、計算機側が人間にとって平易な記述を理解するという方向で歩み寄る必要がある。CLEPEはユーザが問題解決知識中に暗黙に記述したもののうち、計算機セマンティクスとしての整合性を確立する上で必要な欠落情報を同定し補完する能力を備えている。CLEPEの問題解決知識記述環境としての特長をまとめると以下のようになる。

- I. ユーザが日常的に用いている平易な語彙を用いて問題解決知識の記述を行うことができる。
- II. 人間の認識に忠実な概念レベルの計算セマンティクスを定義することで、ユーザはタスクの実行過程を概念レベルで解釈したり、デバッグすることができる。

このような問題解決知識の記述から実行概念までの連続性は主にタスクオントロジーの能力によって支えられている。

次節では、CLEPEの問題解決知識記述環境としての側面を実現する上で、タスクオントロジーが担う役割について議論する。次に、タスクオントロジーとして定義すべき概念を明らかにしその表現について述べる。

2.1 タスクオントロジー

一般にオントロジーは概念(語彙)の体系(Taxonomy)と概念の意味やその間の関係を規定する公理(Axiom)からなる。公理はオントロジー利用の側面から見ると、その能力を規定するものと考えられる。公理から解答を導くことのできる「質問」のクラスがオントロジーの能力を規定すると考えると理解しやすい[溝口 95]。

問題解決の観点から対象世界を組織化したタスクオントロジーは、対象とするタスクの特徴をドメイン独立に捉えた一般的な問題解決知識記述語彙の体系であり、知識の内容を再利用可能な形で組織化したものである[ティヘリノ 93]。このように組織化することで、オントロジー利用の観点からは次のような利点を得ることができる。

- A. 問題解決知識記述のためのヒューマンフレンドリなプリミティブの提供により、ユーザがそれを用いて問題解決過程を記述することができる。(記述容易性・読解容易性)
- B. 概念レベルプリミティブを用いて、タスクの実行過程をシミュレートしたり、説明することができる。(概念レベル操作性)
- C. ユーザによって記述された問題解決過程を、記号レベルの実行可能なプログラムコードへと変換し、実行することができる。(記号レベル操作性)

自然言語とのアナロジーをとれば、タスクオントロジーは、問題解決知識を表現するための文章の意味を明示するために必要な基本語彙の体系である。A, B, Cそれぞれの機能を実現するためのモデル、M(A), M(B), M(C)を考え、それぞれについて自然言語との関連で捉えると、M(A)は自然言語による記述そのものを指し、M(B)は、その記述で意図した問題解決の思考レベルのモデル、M(C)は対象における具体的な問題解決能力を備えた実行モデルである。

以下では、自然言語としての単語の意味を中心に扱うM(A)を「Lexicalレベルモデル」、そこから再現された問題解決モデルのM(B)を「概念レベルモデル」、計算機での実行モデルであるM(C)を「記号レベルモデル」と呼ぶことにする。タスクオントロジーはそれぞれのモデルを表現する3つのオントロジーから成っている。M(A)を表現するためのオントロジーとして、Lexicalレベルオントロジー(TO/K-L)を定義し、自然言語に準じた各語の統語的性質を規定している。M(B)を表現するためのオントロジーとしては概念レベル計算セマンティクスのもとでの実行可能性を備えた概念レベルオントロジー(TO/K-C)を定義している。この2つのオントロジーを総称して知識レベルオントロジーと呼ぶことにする。Lexicalレベルオントロジーが「人の対象に対する認識を言語として外化する際の言語的側面を捉えたオントロジー」であるのに対して概念レベルオントロジーは「問題解決過程における対象に関する認識の構造を忠実に表現し、言語として外化する際の源となるオントロジー」である。図2-1に見られるように、Lexicalレベルオントロジーはシソーラス的意味あいをもち、最上位に配置された汎化動詞、汎化名詞、汎化形容詞などの品詞概念のもとで、対象世界に関する概念が人間の対象に関する認識の構造に忠実な形で組織化される。一方の概念レベルオントロジーでは、問題解決におけるアクティビティ概念とオブジェクトの状態の変化に関する概念が定義されている。直観的に、Lexicalレベルオントロジーで定義される動詞、名詞、形容詞等の品詞概念はConceptualレベルオントロジーで定義されるアクティビティ、オブジェクト、叙述概念にそれぞれ対応している。

また、M(C)に対しては、記号レベルのプログラムコンポーネントが定義されている。表2-1にタスクオントロジーの構成を示している。タスクオントロジーは、この3つのレベルのモデルを相互に対応づけるために、ユーザと共有すべき規約と考えることが

できる。タスクオントロジーの利用に関して具体的なイメージをつかんでいただくために、Multisにおける問題解決知識の表現について説明する。Multisでは三つの機能のうち、AとCの実現が考えられてきた。したがって、概念レベルモデル(M(B))はモデルとして明示的には表れず、機能モジュールに手続き的に埋め込まれた形になっている。図2-2にMultisの動作中のイメージを示している。図中に見えるフローチャート状のものが知識レベルのタスクオントロジーの具体化である汎化プロセスネットワーク(GPN:Generic Process Network)であり、全体としてユーザが意図しているスケジューリング問題の解決過程を表している。GPNを構成するノードが図中で上下2つに区分されているが、その上側が具体的な処理(具体プロセス)、下側が汎化プロセスである。汎化プロセスを構成する語の集合を汎化語彙と呼んでおり、タスクオントロジーを構成する概念の最小単位である。Multisの利用者は具体プロセスを入力し、適宜、汎化プロセスと対照しながら、自らが意図している問題解決モデルを表現するGPNを作り上げる。以下では、問題解決知識を記述するユーザをGPNAと表すこととする。

Multisの発展形であるCLEPEでは概念レベルモデル(M(B))がモデルとして明示的に表現され、ユーザはLexicalレベルモデル(M(A))を使って、これ进行操作することが可能となっている。

以下ではCLEPEの骨格となる知識レベルオントロジーすなわち、Lexicalレベルオントロジーと概念レベルオントロジー、及びそれらを用いて表現されるM(A)とM(B)に関する話題を中心に議論を進める。

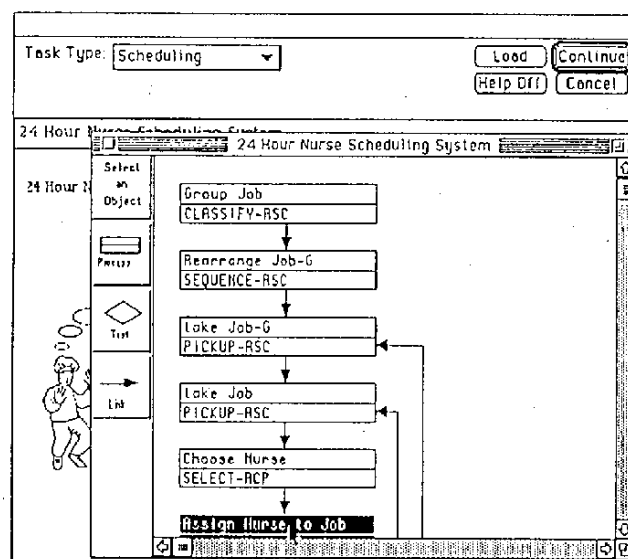


図2-2 Multisの動作画面

2.2 タスクオントロジーの記述

CLEPEのもう一つの側面、オントロジー構築環境としての側面を担うタスクオントロジー記述言語TOLについて議論してみよう。

我々はタスクオントロジーを記述するためのタスクオントロジー記述言語TOL(Task Ontology representation Language)の開発を行っている。TOLの言語仕様について議論する前に、オントロジーを記述するための言語としてTOLが満足すべき要求仕様について考えてみよう。

オントロジー研究の目的は、対象世界の概念を目的に応じた切り口で捉え、そこに存在する概念とその間の関係を明示的に表現することにある。

表2-1には明示的に示していないが、本研究ではタスク独立の切り口とタスク固有の切り口から問題解決を捉えることにしている。人間の問題解決知識に関する認識の構造と、その記述に用いられる語彙はタスクタイプに依存する部分が多く、その特性を適切に捉えなければヒューマンフレンドリなオントロジーを構築することはできない。一方で、問題解決において普遍的な概念を適切に捉えて知識の再利用の範囲を広げるためには、タスク独立の切り口を無視することはできない。

二つの切り口からのオントロジーを、それぞれTask Specific(Task-S)オントロジー、Core Task(C-Task)オントロジーと呼んでいる。OAがタスクタイプに応じて構築するTask-Sオントロジーはこのタスク固有性を捉えるオントロジーであり、Task-Sオントロジーを支えるC-Taskオントロジーは、タスクタイプの固有性を捉えるタスク独立のプリミティブを提供する。

表2-1 タスクオントロジーの構成

オントロジー	Taxonomy	Axiom
タスクオントロジー(TO)	タスクの実行過程を表現する語彙	TO/KとTO/Sの対応関係に基づいた実行モデル
知識レベル(TOK)	概念レベルの実行過程を表現する語彙	TO/K-LとTO/K-Cの対応関係(語用論的意味)と概念レベルの実行モデル
Lexicalレベルオントロジー(TO/K-L)	汎化語彙(汎化名詞、汎化動詞、等)、GPNのノードとリンク	汎化プロセス内の統語則、汎化プロセスの意味(統語的意味)
概念レベルオントロジー(TO/K-C)	対象オブジェクトとタスクを構成するアクティビティを表す語彙	アクティビティの意味としての対象オブジェクトへの作用
記号レベルオントロジー(TO/S)	記号レベルのプログラムコンポーネント(BB)	記号レベル計算セマンティクスに基づいたタスクの実行に関わる公理

二つの切り口を言語として実装するためには、タスクオントロジー記述言語TOLに、Task-Sオントロジーと、C-Taskオントロジーおよび、その間にある関係を明示的に記述する能力を備える必要がある。C-Taskオントロジーはタスク記述におけるTask-Sオントロジーの意味論を規定し、Task-SオントロジーはC-Taskオントロジーのもとで概念が組織化されることになる。ここでは便宜上C-Taskオントロジー、Task-Sオントロジーを記述するオーサをそれぞれOA(C-Task), OA(Task-S)と表すことにする。

このように、C-TaskオントロジーとTask-Sオントロジーを分離しそれぞれを明示的に記述することで問題解決アクティビティすなわちタスク構造を記述する上で一般的な概念が明確になるというオントロジー工学的な意義がある。TOL言語の具体的な構成は4.1節で述べる。

2.3 タスクオントロジーの記述例

C-Taskオントロジーの定義には、動詞、名詞などの品詞概念、それぞれの構成、統語論的性質、TO/K-LとTO/K-Cの対応関係が記述される。Task-SオントロジーはC-Taskオントロジーのもとでタスクタイプに固有の概念に対する意味内容が記述される。TOLを用いて具体化されるタスクオントロジーの表現について、ここではスケジューリングタスクタイプを対象に構築されているTask-SオントロジーについてTO/K-LとTO/K-Cの記述例を示しながら、タスクオントロジーの概念がどの様に具体化されているかということを書いてみたい。

TO/K-LとTO/K-Cの記述に際しては、TO/K-Cで記述される概念の意味と、それを言語として外化する際の言語的側面を捉えたTO/K-Lの間の対応関係が重要となる。例えば、スケジューリングタスクにおける「assignmentの集合」に対するユーザの認識は、同一のassignmentの集合がタスクの実行を通して、「(割り付けが)完了していない」「(割り付けが)完了したが制約を完全に満足していない(S-temporal)」、「制約を満足している」というように状態が変化していくものと捉えている。一方その認識をGPNとして表現する際にはその状態の変化に対応してそれを表象するタームが「途中解」「暫定解」「最終解」のように異なっている。つまり、人間の認識としての同一オブジェクトがGPN上では異なるエンティティとして記述されることになる。ユーザが表現したい意味(TO/K-C)とターム(TO/K-L)の連続性を提供するために、図2-3に示すように、TO/K-LとTO/K-Cを分離し、相互の対応関係を定義として明確に記述することで言語とそれが指示するオブジェクトとの対応関係が明示的に表現されることになる。

図2-3に「暫定解」(TO/K-L)および「assignment-set」(TO/K-C)の定義を示している。Task-Sオントロジーの概念である「暫定解」の定義には、「暫定解」が「解」クラスの

サブクラス概念であり、対応するオブジェクトとして「暫定状態(S-temporal)にある解オブジェクト(O-assignment-set)が指定されている。上で述べたように、名詞定義に現れる、階層関係(class-hierarchy)、対応するTO/K-Cのオブジェクト概念(cor-object)、オブジェクトの取り得る状態(status-spec)などのスロットは、C-Taskオントロジーにおいてその必要性が明示的に記述されている。

また、TO/K-Cのオブジェクト概念のクラス定義には、クラス階層、タスクの実行による影響を受けない普遍的な性質(object-spec)、タスクコンテキストのもとで付加されうる状態制約(status-spec)が記述されている。assignment-setのクラス定義には、assignment-setがオブジェクトの下位概念であり、タスクの実行を通して普遍的に持つ性質として「assignment-setがassignmentの集合」であることまた、状態制約として「中間(割り付けが完了していない)」、「部分の」、「暫定の」、「最適の」という状態を取り得ることが記述されている。

```
(Define-Tol-noun temporal-solution (?t-sol)
  :class-hierarchy (subclass-of temporal-solution assignment-set)
  :cor-object (?O-ass-set :constraints (instance-of ?O-ass-set O-assignment-set))
  :status-spec ((S-temporal ?O-ass-set)))

(Define-Tol-object O-assignment-set (?O-ass)
  :class-hierarchy (subclass-of O-assignment-set object)
  :object-spec (?O-ass :constraints
    (forall ?O-ass
      (=> (member ?O-ass ?O-ass)
        (instance-of ?O-ass O-assignment))))
  :status-spec (?status-spec :constraints
    (member ?status-spec
      ((not (s-temporal ?O-ass)) (s-partial ?O-ass)
       (s-temporal ?O-ass) (s-optimal ?O-ass)))))
```

図2-3 名詞概念「暫定解」とオブジェクト概念「assignment-set」の定義

このように表現することで、GPN上で表現されたオブジェクトの参照コンテキストが規定するオブジェクトの指示関係を知識表現として明示的に表現する枠組みが具体化される。

3. 設計思想

CLEPEでは二つのタイプの利用者、OAとGPNAのそれぞれに対し、オーサの目的に応じた環境が設定されている。基本的に、オントロジーを構築するOAに対しては、オントロジーの編集や参照のためのオントロジー構築環境を提供する。OAは適宜既に構築されたオントロジーの定義や階層関係を参照しながら、新しいオントロジーを構築することが可能となっている。紙面の都合上、以下では問題解決知識記述環境を実現する際の設計思想について詳しく議論することにする。

3.1 問題解決知識記述環境の設計思想

CLEPEでは「ユーザ個々の意識性に応じて、タスク記述に込める暗黙性を尊重する」という知識レベル原則を遵守している。本研究では、人間の認識の特性としての記述の暗黙性が許されている。この知識レベル原則のもとで、ユーザが日常的に意識していないことをあえて明示することを強要しないヒューマンフレンドリーな問題解決知識記述環境を目指している。

CLEPEでは人間が日常的に行っている問題解決を計算機に代行させたいような問題を対象として、計算機になじみがないユーザでも、日常的に使用している平易な語彙を用いて問題解決過程を記述することができると同時に、その語彙に対応した概念レベルで実行結果を解釈し、デバッグできるような環境が実現される。

以下では、CLEPEが「何の」暗黙性を許容しそれを「どのように」扱っているかということについて具体的なイメージをつかんでいただくために機能的な側面から、オブジェクトフロー解析と概念レベルでの説明について述べる。

3.2 問題解決知識記述の暗黙性

ヒューマンフレンドリーな問題解決知識記述環境を提供するためには、人間が暗黙に表現した意味を計算機側が理解するという方向で歩み寄る必要がある。この様な記述の暗黙性について例示してみよう。

プロセスの作用対象に対する意識性の欠如が、暗黙性の一つの源になる。汎化プロセスに対して汎化動詞が割り付けられると、通常は汎化動詞の入力オブジェクトと出力オブジェクトが、汎化プロセスの入力オブジェクトと出力オブジェクトに対して、それぞれバインドされる。ただし、このバインド関係は必須ではない。動詞によっては、入力

オブジェクト、出力オブジェクト、あるいはその両方が言及されていないことがあるからである。例えば、集合から要素を順次取り出すループの構成部品であるpickupの停止条件に相当するcheckの場合、入力、出力ともに言及されないのが自然である。これは、ユーザの作用対象に対する意識性の欠如からくるものである。この場合、checkの対象は、pickupにおける未操作の集合であることがユーザにとっては当然であり、そのことはpickupとcheckの間の語用論的關係としてTO/Kの公理となる。

このようなコンテキストに依存した暗黙性は、TO/Kの公理に基づいて解消されることになるが、解消された状態はあくまでもGPNに対するシステムの内部理解である。暗黙であることが自然なものは、ユーザとは可能な限り暗黙で済ませることが、TO/K-Lを利用する処理系が知識レベルを尊重していることの現れである。

CLEPEは、ユーザがGPN中に暗黙に記述したオブジェクトフローから明示的なオブジェクトフローを半自動的に読みとる能力を備えている。統語論的意味、動詞の作用、名詞のクラス所属性、GPNの制御構造に基づいて無矛盾なオブジェクトフローをユーザと対話的に解釈する作業をオブジェクトフロー解析と呼んでいる。

CLEPEはオブジェクトフロー解析のためのモデルとしてフォーカスモデルを利用する。フォーカスモデルはタスクの制御構造が設定するオブジェクト参照に関するコンテキストをモデル化したものである。図3-1にGPNの一部とそれに対応するフォーカスモデルを示す。フォーカスは各汎化プロセス毎に生成され図中の黒枠で囲まれた楕円は、プロセスで生成された新しいオブジェクトに対するフォーカスを表している。フォーカスの生成、消滅のモデルは対応するGPNの構造に依存して決定される。図には、loopのスコープ外ではloop内で生成されたフォーカスが消滅し、loop全体の実行を通して生成されたオブジェクトassignment-setに対するフォーカスが生成される様子が表されている。

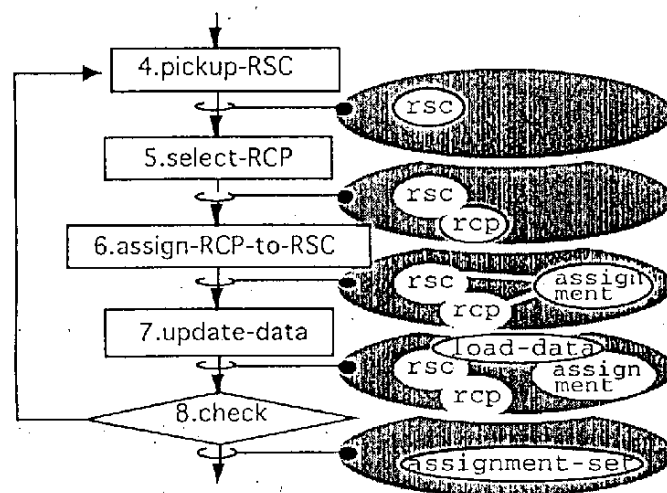


図3-1 GPNの一部と対応するフォーカス

3.3 概念レベルの説明

本研究において、タスクオントロジーとそれを用いて記述される問題解決知識はシステムとユーザの間で共有すべき合意事項である。この合意事項に対してシステムの解釈とユーザの理解の間にギャップがある場合には、ユーザにシステムへの歩み寄りを期待せざるを得ない。ユーザがシステムへすり寄る際の支援としてCLEPEは、概念レベルの説明機能を備えている。

ユーザが暗黙的に表現した係り受け関係のような語用論的意味に対するシステムの内部理解を説明文に埋め込むことで、(1)ユーザが問題解決知識に込めた意味とシステムの内部理解の間のギャップをユーザが認識でき、この情報をもとにデバッグ作業を行うことができる。(2)ユーザとシステムの間の問題解決知識に対する合意がより明示的に行われることになる。

以下では、より一般的な観点から、概念レベルの説明を提供することのオントロジー工学的な観点からの有効性について議論を進めてみたい。

タスクオントロジーはユーザとシステムの間で共有すべき規約である。したがって、OAの役割は自然に受け入れられるオントロジーの構築を行うことにある。しかしながら、工学で扱う現実的な問題では、オントロジーを利用するユーザのタームで表象される意味の認識とオントロジーとして定義された意味の間にはギャップが存在する可能性があり、このギャップはユーザの歩み寄りにより埋められることになる。したがって、このギャップの存在を認識した上でこれを埋めるための機能をシステム側が提供することが工学としてのオントロジー研究の健全なアプローチであるといえよう。CLEPEでは、説明機能がこの様な役割を担っている。

4. 概念レベルプログラミング環境 —CLEPEの構成—

CLEPEではオントロジーを構築するOAと定義されたオントロジーを利用してGPNを記述するGPNAのそれぞれに対する支援が行われる。

二つのタイプのオーサそれぞれの視点からCLEPEの構成を示したのが図4-1である。図の上面はOAに向けられており右側面はGPNAに向けられている。

図中の薄い平面は言語を表している。例えば、底面と左側面のシャドウで表された部分はCLOS言語が提供する記述レベルに対応している。

OAが定義するC-Taskオントロジーはタスクタイプに依存しない部分を捉えたオントロジーである。したがって、理想的には、C-Taskオントロジーは固定的なものであり、CLEPE運用時にOAが主に行う仕事は新しいタスクタイプに応じてTask-Sオントロジーを構築することに限定される。しかしながら、現状ではタスク構造を記述するための一般的な概念、すなわちC-Taskオントロジーを明らかにすることが我々のオントロジー研究の目標に含まれているため、OAに対してC-Taskオントロジーを含めたオントロジーの編集やブラウジングといった機能(TO-Editor, TO-Browser)が提供されている。

一方GPNAの主な仕事は問題解決知識(GPN)を記述し、それに対するシステムの解釈結果として作り出される概念レベルの実行モデルとの整合性を確認し、必要に応じて問題解決知識の修正を行うことである。GPNAに対する支援としてCLEPEでは、知識レベル原則のもとでよりヒューマンフレンドリな問題解決知識記述環境を提供している。また、GPNAあるいはアプリケーションユーザ(GPNAが作成したアプリケーションの利用者)は問題解決知識をもとに生成された概念レベル実行モデルを実行し、実行結果を概念レベルで解釈し、デバッグすることが可能となる。

これをシステムの実現の観点から機能的詳細に立ち入って見たものが図4-2である。図に示すようにCLEPEは9つの機能モジュールから構成されている。図中の長方形が機能モジュールを表しており、機能モジュールの間を流れるデータが楕円で表されている。また、機能モジュール間を結ぶ矢印はデータの流れを表している。以下に各機能モジュールの働きを示す。

- TOL-Parser: TOLで記述されたタスクオントロジーを読み込みパーシングを行いパーシング結果を出力する。
- Ontology Manager: オントロジーベースを管理し、クラス定義の参照、インスタンスの生成要求に応える。
- GPN-Parser: GPNを読み込みパーシング結果を出力する。
- Model Generator: オブジェクトフローの照応結果から、概念レベルの実行モデルを生成する。

- WM Manager: オブジェクトフロー解析に関わるデータを一括管理する。
- 制約Generator: オブジェクトフロー解析の際、統語論的制約/語用論的制約を生成する。
- 照応解析エンジン: フォーカスと制約を参照して、オブジェクトの参照関係を同定する。
- Focus Manger: オブジェクトフロー解析の際に用いられるフォーカスを管理する。
- Executer: 概念レベル実行モデルを読み込み概念レベル実行を行う。

処理の大まかな流れは次のようになっている。問題解決知識の記述の際には、まずタスクオントロジー記述言語TOLで記述されたオントロジーが入力される。これをTol-Parserが解釈し、実行結果をオントロジーマネージャ(OM)に送る。OMはオントロジーベースを管理し、クラス定義の格納や他のモジュールからのクラス定義の参照、インスタンス生成といった要請に応じる。GPNAとは図中のシャドウで表されたオブジェクト照応解析モジュールが大きく関わっている。オブジェクト照応解析の際の全てのデータはワーキングメモリマネージャ(WMマネージャ)が管理している。オブジェクト照応解析の際には統語論的な制約(LC:Local Constraint)の生成が行われた後、GPNの開始ノードから制御構造に沿った形で語用論的意味(GC:Global Constraint)の解釈が行われる。

この過程で、フォーカスマネージャはフォーカスを管理し、照応結果は、WMマネージャによって管理されるが、照応データの追加、更新に応じてWMマネージャによってフォーカスマネージャが起動され、データ駆動でフォーカスが更新されるメカニズムが実現される。最終的な照応結果は、モデルジェネレータによって実行モデルに変換される。GPNAはExecuterを介して実行モデルの実行を行うことができる。

以下では、二つのタイプのオーサ、OA、GPNAに対する支援内容についてより詳細に理解いただくためにOA、GPNAのそれぞれに対して提供されるタスクオントロジー記述言語TOLと概念レベル実行について、より具体的に議論を進める。

4.1 タスクオントロジー記述言語 TOL

図4-1にTOLの直観的なイメージを示している。TOLは言語仕様としてTOL/0で定義される意味論のもとでC-Taskオントロジー、Task-Sオントロジーを記述する枠組みを具体化している。この枠組みのもとで、OAはそれぞれのレベルに応じたプリミティブを用いてオントロジーを定義することが可能となっている。

TOLの言語としての枠組みは次のようになっている。TOL言語は強力な概念化機能を備えており、TOL/0に対してC-Taskオントロジー及びTask-Sオントロジーを読み込むことで、人間の概念化に対応する意味論を提供することができる。したがって、TOLで記

述される全てのタスクオントロジーに対する意味論は最終的にTOL/0で規定されることになる。具体的に、TOL/0では問題解決知識を記述する上で一般的な概念に対する意味論が規定され、C-Taskオントロジーを定義するためのプリミティブ(Define-Tol-Core-Lexical, Define-Tol-Core-Conceptual等)が提供されている。OA(C-Task)はこのプリミティブを用いて問題解決に必要な概念(例えば「動詞とはどのような概念であるか」)を定義することになる。ここで定義されたC-TaskオントロジーをTOL/0に対して読み込むことで、人間の概念化に対応する概念プリミティブが提供され、読み込まれたC-Taskオントロジーに対応する意味論が提供される。OA(Task-S)はここで提供される概念プリミティブ(具体的にはDefine-Tol-Verb, Define-Tol-Noun等)を用いて対象世界の概念(例えば「(スケジューリングタスクにおいて)動詞assignはどのような概念を表象したオントロジーであるか」)を定義することが可能となっている。

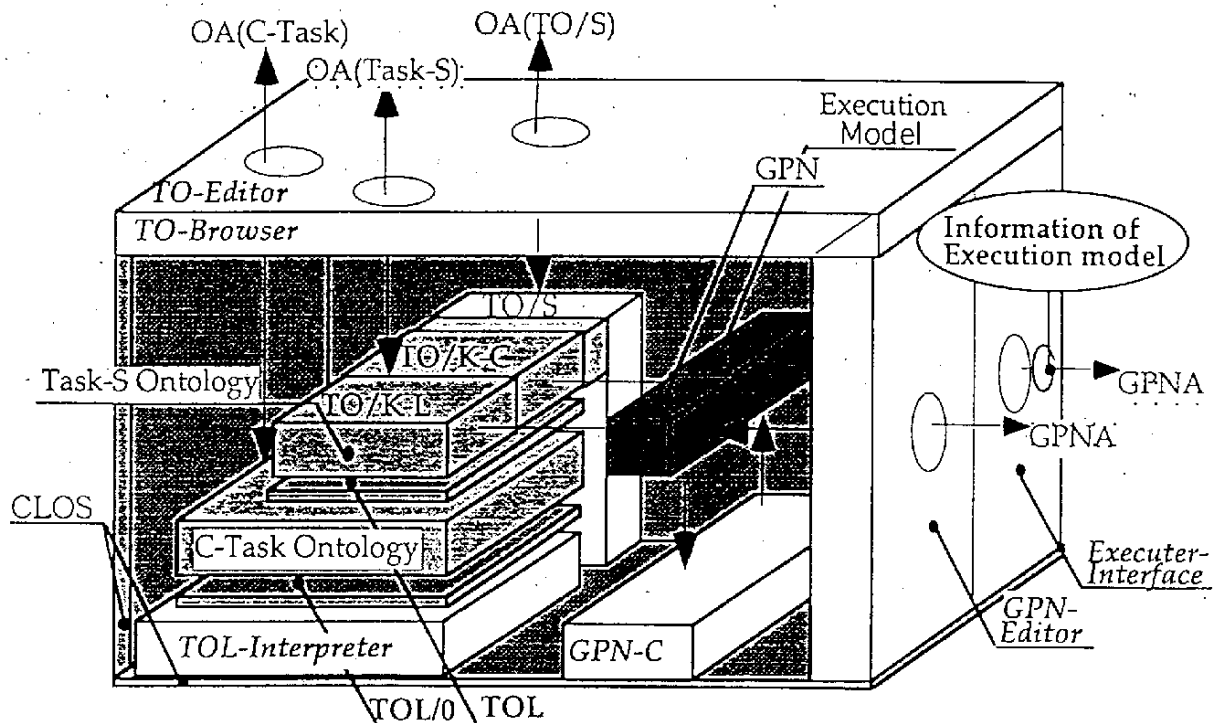


図4-1 CLEPEの構成

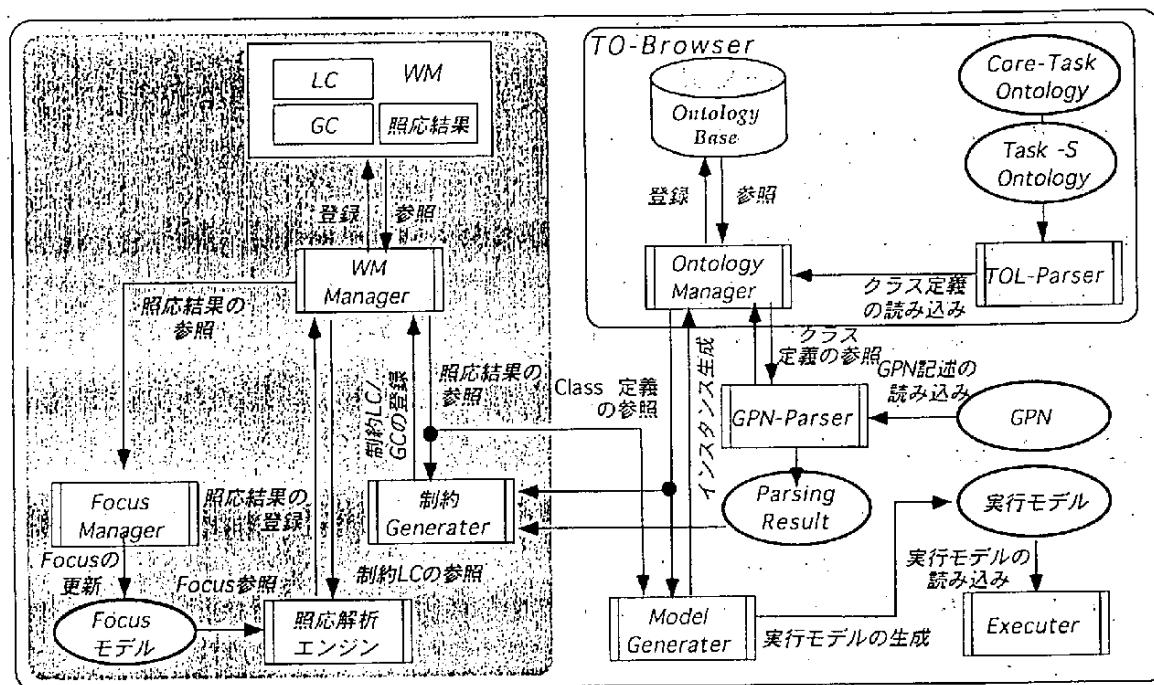


図 4-2 CLEPE のモジュール構成

4.2 概念レベル実行

オブジェクトフロー解析によって無矛盾なオブジェクトフローが確定するとTO/Kレベルの実行可能な問題解決モデル(概念レベル実行モデル)を考えることができる。オブジェクトフローは、問題解決モデルを流れるオブジェクト概念の性質を規定している。これに関して、オブジェクト制約と状態制約の間には取り扱いに大きな違いがある。前者を静的所属性(クラス概念を指しそのクラスに属する全インスタンス共通の制約)、後者を動的制約と呼ぶことにする。あるオブジェクトに対して、静的所属性は普遍的であるが、動的制約はコンテキスト依存になる。例えば、「ある解インスタンス」の「解クラス」に対する所属性は普遍的であるが、それが「暫定」解であるか「最終」解であるかは同一オブジェクトであってもオブジェクトフローのコンテキストに依存する。TO/Kレベルの実行モデルでは、この区別のもとで、静的所属性に基づいて実体が生成され、動的制約によっ

てその変化が表現される形になっている。TOの定義において、この二つは明確に分離されている。詳細は割愛するが、直観的には、静的所属性はTO/K-Cのオブジェクト概念に相当し、動的制約は叙述概念に相当する。

このようにして、静的所属性に基づいて実体化されたオブジェクトの変化を、アクティビティの作用の結果としての動的制約でトレースすることによってTO/K-Cでの実行が定義される。

図4-3に概念レベル実行モデルの実行イメージを示している。図の左側は24時間要員配置スケジューリング問題における専門家の問題解決知識(TO/K-L)を表している。TO/K-L記述では、これまでに述べたヒューマンフレンドリな記述プリミティブを用いて問題解決知識が記述されている。右側には対応するシステムの内部理解(TO/K-C)の様子が示されており、タスクに昇華した語彙を用いて記述されている。図中の:sc、:dcはオブジェクトフロー解析により得られたオブジェクトの意味制約を表しており、それぞれ、静的所属性、動的制約に対応している。assignプロセスを介した入出力オブジェクトの変化に注目してみよう。オブジェクトフロー解析を通じてassignプロセスの入力オブジェクトとして、pick-upプロセス、selectプロセスの出力オブジェクトが照応している様子が示されている。一方、出力オブジェクトは静的所属性として「assignmentクラス」に所属すること、さらに、タスクコンテキストのもとで位置づけられる動的制約として、「取り出された(picked-up)Job」と「選ばれた(selected)Nurse」から構成されていることがわかる。また、四角で囲まれたassignment-setは、ループ全体の出力として、「部分解」が出力されていることを表している。

ここまで、読み進められた読者の中にはオブジェクトフロー解析の際に得られる照応結果と、概念レベル実行モデルとの間の差違を見いだせないといわれる人がいるかもしれないが、両者の差違はその能力(competence)を比較すると理解しやすい。例として説明に見られる両者のcompetenceの違いについて議論してみよう。

オブジェクトフロー解析の結果として得られる照応結果と概念レベル実行モデルの大きな違いは、照応結果が、オブジェクトの状態の変化や同一性を中心とした叙述的な側面を捉えたものであるのに対し、概念レベル実行モデルではさらに、概念レベル計算セマンティクスのもとで定義された実行概念のもとでモデルの意味論が定義されていることにある。すなわち、ユーザ側から見ればループの1回1回の処理を通して、例えば「Pickupプロセスが終わった後で、どの様なオブジェクトが残っているのか?」、「ループのn回目の実行結果として生成されるものは何か?」といったことについて説明を受けることが可能になるのである。

CLEPEは、記号レベルの実行モデルとは独立に成立する概念であるが、記号レベルの問題解決器と概念的連続性を備えることによって、ドメイン知識を用いた具体的な実行結果を知識レベルで捉え、ユーザに提供することが可能になる。これらの機能は、

Multisで考えられていたタスクオートロジーの利用を発展させた形態になっている。

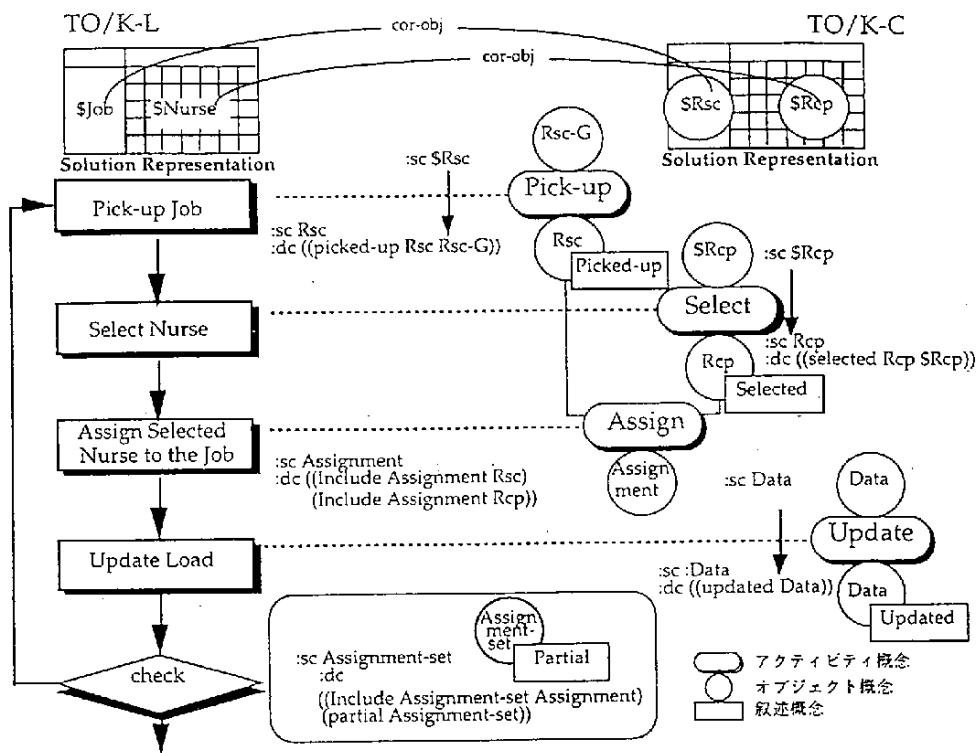


図 4-3 概念レベル実行モデルの実行イメージ

5. まとめ

第2部ではタスクオントロジーに基づいて実現される概念レベルプログラミング環境を提案した。タスクオントロジーをシステム設計の根底におくことによって、利用者に対して問題解決知識から実行概念までの連続性を保証することが可能になっている。

SteelsによるComponents of Expertiseを具体化したCOMMET[Steels 90]統合ワークベンチとJohn McdermottらのSBF (Spark ,Burn ,Firefighter)[Yost94]では、実際的で優れたシステムが提供されている。しかし、知識レベルの分析が体系的になされておらず、基礎となるオントロジーが明確になっていない。

問題解決オントロジーを対象とした研究として、本研究と最も関連が強いものは、Mark S.Foxらが進めているTOVE(TORonto Virtual Enterprise)オントロジー [Fox 93],[Gruninger 95]である。オントロジーに対する考え方は、TOVEと本研究で概ね一致しているが、我々がLexicalレベルのオントロジーを特に意識している点が異なっている。現在、上に示した設計思想に基づいて、概念レベルプログラミング環境の実装を進めている。

参考文献

- [Fox 93] Fox, M.S., Chionglo, J., Fadel, F.: A Common-Sense Model of the Enterprise, Proc. of the Industrial Engineering Research Conference(1993)
- [溝口95] 溝口 理一郎,池田満:オントロジー工学序説,人工知能学会誌(投稿中).
- [Steels 90] Components of Expertise, AI Magazine, Vol.11, No.2, pp. 28-49 (1990).
- [ティヘリノ 93a] ティヘリノ・ジュリ・A, 池田満, 北橋忠宏, 溝口理一郎: タスクオントロジーと知識再利用に基づくエキスパートシステム構築方法論ータスク解析インタビューシステムMULTISの基本思想, 人工知能学会誌, Vol.8, No.4, pp.476-487(1993).
- [Yost 94] G.R.Yost et.al.:The SBF Framework,1989-1994: From Applications to Workplaces, Proc. of the EKAW-94, pp.318-339 (1994).

第 3 部

流体のドメインオントロジーと推論エンジン

第3部

流体のドメインオントロジーと推論エンジン

1. はじめに

対象のモデルに基づく問題解決においてモデルに記述すべき知識の内容について検討し、流体系に関する対象オントロジーを記述した。特に、系の振舞いにおける因果関係を捉えるために基本的な因果性と時間のオントロジーを明らかにした。因果性のオントロジーは人間が認知する部品の局所的な因果性を3種類に分類し、対象オントロジーに記述すべき部品の因果性を明確にしておき、再利用可能なモデルの構築に貢献する。また、時間のオントロジーは因果関係における時間区間の概念を7つに分類しており、対象オントロジーの時間分解能力を明示することができる。これらの基礎的なオントロジーに基づいて、プラントなどの流体系における対象オントロジーを構築した。ポンプやバルブなどの典型的な部品の因果性を同定し、そのモデルを記述した。また、これらのオントロジーの推論系として、対象の系の挙動の振舞いを推論する推論エンジンを実装した。さらに、本オントロジーに基づいて実在の熱輸送プラントのモデル化と異常時における挙動の推論を行った。推論結果は専門家によるものと一致した。

本オントロジーの構築にあたり、能力の評価軸として(1)振舞いの因果的順序の生成、(2)知識の再利用性と記述の容易さ、(3)曖昧さの抑制の3つに着目し、部品の概念に基づいたモデル化を行った。本第3部ではまず部品に基づいた因果性のオントロジーを示し、とらえるべき部品の因果的性質を明らかにする。次に、オントロジーの時間分解能を表す因果的な時間のオントロジーを示す。これらの基礎的なオントロジーに基づいて、4章でプラントを流れる動作流体に関するオントロジーについて述べる。次に5章でモデルの記述様式を示し、6章でオントロジーの能力について議論する。最後に本オントロジーに基づいた実際のプラントのモデル化と推論の例として、原子力プラントのモデルと推論結果の一部分を示す。

2. 部品に基づいた因果性のオントロジー

通常の定性推論[Kuipers 86]におけるモデリングは(定性的な)数学的制約式を中心としているが、数学的制約式だけでは因果関係を表現することはできない。さらに、部品には固有な因果的性質があり、一般的法則のみからそれらを導くことは難しいと考えられる。したがって、対象オントロジーにはなんらかの因果的性質の明示的記述が必要である。本オントロジーでは因果的性質をパラメータの因果的役割に対する制約と捉える。因果的役割には「原因」と「結果」があり、なんらかの理由により制約されて、パラメータが因果的役割を果たす可能性が事前に決定されていると考える。したがって、因果的性質としてパラメータの果たす可能性のある因果的役割(原因になれる、結果になれない、など)を記述する。記述を「因果指定」と呼ぶ。因果指定は起こりうる因果関係をグラフを用いて記述するのに比べてパラメータへの分解性が高く、記述が容易である。

因果的性質の明示的記述にあたっては、知識の composability を維持するために局所性(locality)と状況独立性(context-independency)を満たしている因果的性質を捉える必要がある。No-Function-In-Structure 原則[de Kleer 84]は部品の機能が状況に依存しがちであることを指摘し、機能記述の分離の必要性を述べている。筆者らは機能と振舞いは本質的に異なると考えて、本質的な差を表現するプリミティブを振舞い表現に付加することで機能を表現する研究を進めている[Sasajima 95][笹島 95]。ここでは、機能レベルにふれずに、振舞いレベルにおける因果性について考察する。振舞いのレベルの因果的性質においても部品の接続トポロジーに起因する依存などが起こりえる。

局所性と状況独立性を満たす因果的性質を捉えることは必ずしも自明なことではない。一般に、人間は部品を系に組み込んだ状態での系全体における因果関係のみを認識していることが多いために、系の状況に依存しない部品単体の因果的性質を把握することは難しい。さらに、原因と結果は相対的概念であるために、因果的性質を捉える際の視点によって混乱が起こることが多い。これら为了避免するためには、局所性を満たす部品の因果性についての分類を行い、捉えるべき因果的性質を明確化する必要がある。

局所的な部品の因果性は表 2-1 の 3 種類に分類できる。因果的性質はいずれの因果

表 2-1 局所的因果性の種類

	構造的スコープ	因果関係の過程
孤立内部因果性	部品内部	部品内
外部因果性	部品間	部品間
連結内部因果性	部品内部	部品内と部品間

性の観点でも局所的に記述できるが、互いに異なる。表1は任意の2つの事象間の因果関係を、記述の際に注目している構造的範囲(スコープ)と、因果関係の途中の過程がすべて部品内の事象であるかどうかに基づいて分類したものである。

孤立内部因果性とは、なんらかの理由で原因事象が起こったときに同じ部品内の事象のみを経て結果として同じ部品内の事象が起こることを言う。外部因果性は接続された部品間における影響の授受に関する因果性である。部品の入力と出力の概念に(逆の概念として)対応し、入力は結果であり出力は原因になる。連結内部因果性は原因と結果は同じ部品内にあるが、他の部品の事象を経由する因果性である。

それぞれの因果性の観点からパラメータの因果的性質を捉えることができ、記述上は局所性を持つが、それらは互いに異なる。例えば、部品にはメカニズムなどの理由でパラメータの値を部品の作用として変化させることができない場合がある。そのようなパラメータの値は他の部品における事象の影響によってのみ変化するため、因果的性質は孤立内部因果性の観点では「結果にはならない」と言える。しかし、外部因果性の観点では「原因にはならず結果になる」である。これは因果性を捉える際のスコープの相違の結果であって矛盾ではない。また、部品内の事象の影響が他の部品を経由してそのパラメータの値を変化させる場合には、連結内部因果性の観点において「結果になる」と捉えることができる。

連結内部因果性は他の部品における事象と関係するため、連結内部因果性の観点からの因果的性質は部品が組み込まれる系の状況に応じて変化し、状況独立性を満たさない。また、多くの部品固有の因果的性質は部品内部の構造やメカニズムによって決まっており、外部因果性の外部的観点よりも内部的観点による把握が有効であると考えられる。したがって、モデルに記述する因果的性質は孤立内部因果性の観点から捉えなければならない。

次に、人間の認識を考慮すると局所的決定性と呼ぶ性質が重要である。局所的決定性とはある因果関係が「局所的に値を決定できるかどうか」を表す。人間にとって、あるパラメータへの影響が曖昧な値(変化の方向)を生成する場合は因果関係と認識しにくい。曖昧な値を考慮すると、変数の導入や複数の値の仮定)が必要なため、直感的理解に不向きである[deKleer 84]。つまり、局所的決定性を満たす因果関係を導出できるような因果的性質を同定する必要がある。局所的決定性は階層的である。つまり、ある階層レベルで決定的に値を求めることができないパラメータの値は階層的に上位の制約によって決定的に値が求められる。部品に基づく場合、階層的に低い局所的な部品とそれを覆う大域的な制約との間に因果関係が成り立つ。大域的制約の構造は物質やエネルギーなどの一般的な性質と接続トポロジーに基づいて認識できることが多い。このような性質を「大域分節性」と呼ぶ。対象オントロジーの設計においては適切な大域分節性を捉える必要がある。

3. 因果的時間オントロジー

因果関係を導出するオントロジーにおける時間概念は、導出する因果関係の詳細度によって決まる。因果関係の認識には時間の経過の認識が伴うとともに、導出したい因果関係以上に詳細な時間概念は必要ないからである。部品単位の因果関係を導出するためには、まず局所的因果性の分類に対応した時間概念が必要である。それによって「どの部品(の変化)が原因なのか?」という質問に答える能力をオントロジーに与えることができる。また、部品の局所的現象ではなく大域的法則に基づく現象があるため、その区別ができる必要がある。このように考えると、部品単位の因果関係を導く能力を持つオントロジーには以下の7種類の因果的時間概念が必要であることが分かる。

T1: 部品内時間: 部品内のパラメータの変化の間の時間。

T2: 局所的部品間時間: 隣接する異なる部品に存在するパラメータの変化の間の時間。

T3: 大域的時間: 異なる部品に存在するパラメータの変化の間の時間。大域的な現象による場合。

T4: 大域的同時時間: 異なる部品に存在するパラメータの変化の間の時間。大域的に同時な現象による場合。

T5: 完全充足状態時間: 全パラメータが全平衡式を満足する一意な値を取る状態(完全充足状態)になるまでの時間。

T6: 部分的平衡状態時間: 系のある部分が平衡状態に到達するまでの時間。

T7: 完全平衡状態時間: 系全体が平衡状態に到達するまでの時間。

「T1:部品内時間」は孤立内部因果性を表す時間である。次に、部品を単位として対象の振舞いを理解するためには隣りあった部品間で影響を伝播する際に部品間に認知的な距離を考慮し、時間遅れを想定する。「T2:局所的部品間時間」はそのような部品間の認知的時間遅れを表現し、外部因果性に対応する。「T3:大域的時間」は物理法則や物質の性質が大域的に発現する現象のための時間である。T2:局所的部品間時間は部品の接続トポロジーに沿った因果関係における時間であるが、大域的な現象による因果関係は離れた部品間を直接結びつけるものである。「T4:大域的同時時間」は理想化すると大域的に同時に変化すると認知される現象を区別するために必要である。このような現象による因果関係は他の現象によるものより先行して認識される。また後述するようにフィードバック時にも結果の認識が異なる。「T5:完全充足状態時間」は積分規則によって進む時間であり、すべてのパラメータはT5における時間点 t において全ての制約式に無矛盾な一意な値を取る(完全充足状態と呼ぶ)。一方、T1-T4は完全充足状態間の値の決定順序を表し、部分的充足状態の系列である。「T6:部分的平衡状態時間」は系の部

分的な平衡状態のための時間であり、系のある部分の微分値群が定量的に0に安定し、その部分が平衡状態に到達するまでの時間である。「T7:完全平衡状態時間」は系のすべての微分値が定量的に0に安定するまでの時間である。因果的時間概念間の相対的長さに関して次の関係が成り立つ。

$$T1 < T4 < T2 < T3 < T5 < T6 < T7$$

T1-T4 の時間概念に基づいた因果関係を導出するためにモデルの数学的制約式に時間遅れを記述する必要はない。本第3部で述べるオントロジーでは、基本的に時間遅れを表現しない平衡式を用いる。モデルの局所的表現と接続関係に基づいて T1 と T2 や T2 と T3、T4 を区別する。さらに T3 と T4 を識別するために、「現象にかかる時間」を明示的に記述する。現象にかかる時間が「同時である」と記述された大域的制約のことを「大域的同時制約」と呼ぶ。大域的同時制約による因果関係は T4:大域的同時時間を意味する。差分による現象や時間遅れを明示したい場合は微分値に関する制約式を記述する。微分値の変化に応じた積分規則による影響は、通常定性推論と同じように直接的に T5:完全充足状態時間の経過を意味する。T1-T4 の時間はモデルの数学的表現には現れておらず、それぞれの因果的時間における事象の順序は、対象の系における実数表現された時間と厳密に対応するとは限らない。例えば、対象の系においてほぼ同時に起こっている事象の間に因果的順序をつけて理解する現象がある。

4. 流体オントロジー

述べてきた基礎的オントロジーに基づいた対象オントロジーとして、プラントなどの流体系のオントロジーの構築を試みた。なお、流体は非圧縮性であると仮定し、流体の流量、圧力、熱量の関係を対象とした。

4.1 流体の全連続性

非圧縮性流体において局所的決定性に基づいた因果性を捉えるためには、部品に流れ込む流体の全部が連続して出ていくかどうか(流体の全連続性と呼ぶ)について検討する必要がある。部品に流体の分岐機構が含まれているなどの理由で流体の全連続性が成り立たない部品は、下流に対する流量供給部品と認識できる。つまり、対象の系に含まれる部品は全連続性の観点から流量供給部品とそれ以外に分類できる。

流量供給部品：ポンプ、圧力調整弁(ドレーンあり)、分岐/合流パイプ、タンク

流量消費部品：パイプ、流量調整弁、逆止弁、熱交換器

対象の系を流量供給部品の個所で区切ると、全連続性が成り立つ複数の全連続流路に分解できる。全連続流路は大域的構造単位を構成し、因果的時間の大域的(同時)時間は全連続流路を単位とする。

4.2 流量の因果性

全連続流路の概念を用いて流量の変化に関する因果性を捉えることができる。あるひとつの全連続流路の流量は流路の元となる流量供給部品で最初に変化し、流量消費部品で最初に変化することはない。流路の途中で最初に変化するとすると一時的にしる全連続性が維持されないため、そのように考えることが因果的に正しい。つまり、流量消費部品である流量調整弁で起こる事象(例えば、バルブを閉めたことによる開度パラメータの変化)によって、流量調整弁の流量が孤立内部因果性における結果として変化することはない。全連続流路における流量は、ポンプなどの流量供給部品においてのみ孤立内部因果性の結果として変化する。したがって、バルブが閉まったという事象の流量調整弁の流量への影響は連結内部因果性を持つ。つまり、閉まった影響は他のパラメータ(圧力差)を介してポンプへ伝わりポンプの流量を変化させる。流量調整弁の流量

はポンプの流量変化の結果として変化する。したがって、流量消費部品における流量の因果性は孤立内部因果性の観点では「結果になれない」であり、連結内部因果性では「結果になれる」である。

さらに、流量の局所的決定性は流量制御弁では満たされず、ポンプにおいてのみ満たされる。ポンプの特性によっては、バルブを閉めても流量は変化しないことがある[井上 89]。つまり、流量調整弁で孤立内部因果性において流量が決定的に変化するという因果認識は誤っており、本節で述べてきたようにまず圧力差が変化しその連結内部因果性の結果として流量が変化する(または変化しない)という因果認識が正しい。

4.3 圧力と圧力差の因果性

局所的決定性に従えば、圧力ではなく圧力差がオントロジーの中で重要な概念となる。圧力は局所的に決まるものではなく、系全体におけるバランスで決まるものである。例えば、流量制御弁の開度が変化したときには入口圧力と出口圧力の値は局所的には決定できず、圧力差の変化の方向のみが言える。もちろん、実際の物理現象においては開度の変化と同時に圧力がいずれかの方向に変化しているが、局所的には変化の方向が決定できないので開度から圧力への孤立内部因果性は認識できない。したがって、開度の変化は孤立内部因果性としては圧力差に影響を及ぼすと捉えるべきである。開度から圧力への影響は連結内部因果性である。流量制御弁の圧力差の変化の影響が全連続流路の流量や他の部品の圧力差を変化させ、系全体における圧力バランスによって流量制御弁の圧力が変化する。流量調整弁のモデルには圧力と圧力差の両方のパラメータが存在するが、因果指定には孤立内部因果性を記述すべきであるので、圧力差の因果指定は「結果になれる」であり、圧力は「結果になれない」である。

4.4 因果的時間と大域的制約

流量と圧力差は大域的に同時に変化すると言えることができる。例えば、ポンプで流量が変化したことが下流のパイプやバルブへ伝わるのは理想的には同時と考えられる。また、パイプの流量の変化とバルブにおける流量の変化の間には意味のある時間差はない。したがって、流量と圧力差は大域的同時制約でモデル化され、その変化には T4: 大域的同時時間しかかからない。

一方、熱量は隣接する部品間のみで伝わる(熱放射を考えないとした場合)。したがって、温度パラメータは局所的に隣接する部品のみで伝播されるようにモデル化される。

しかし、流路がループを構成している場合には、ループを循環する単位流体を考えるとループを一周する間に流入する熱量と流出する熱量の差によってループの各部品における流体の温度が変化する。この大域的な熱量バランスによる現象は大域的な制約として表現される。熱に関する大域的現象は流量や圧力差と異なり、流体がループを循環する時間がかかると考えられるので大域的同時制約ではない。

流体における大域的制約は部品の接続トポロジーのみに依存しており、トポロジーごとに一般的法則としてあらかじめ用意できる。以下の4つの法則はループ構造である全連続流路において一般的に成り立つ。

熱量保存則：流入熱量と流出熱量の差の定性値が各部品における温度の微分値の定性値に等しい（相変化がないとした場合）

流量保存則：非圧縮性流体の各部品における流量は等しい。大域的同時制約である。

圧力差：流量消費部品における圧力差の総計は流量供給部品の両端の圧力差の総計に等しい。大域的同時制約である。

圧力：各部品における圧力はすべての部品の圧力差によって求まる。大域的同時制約である。

4.5 部品の因果性の例

本章で述べてきたことをまとめると、流体オントロジーにおける部品の因果性を把握することができる。以下では流量供給部品と流量消費部品の代表的な例として、ポンプとパイプの部品の因果性を示す。

ポンプは流量供給部品である。ポンプでは、外部から供給される電力と流路全体の圧力差(水頭圧)と流量(吐出流量)の関係が規定される。孤立内部因果性は、流量が「結果になれる」、圧力差が「原因になれる」である。電力はポンプが消費する電力量に応じて外部から供給されるため、一般には、「原因かつ結果になれる」である。流路圧力差が変化した際に電力と流量がどのように変化するかはポンプの特性に依存する。圧力補償型ポンプは電力が一定になるように制御を行うので、電力を「原因になれる。結果になれない」と捉えることができる。この場合、ポンプは「電力と流路圧力差に応じて流量を生成する部品」と捉えられる。流量供給部品といっても流量は流路圧力差によって変化するため、電気回路とは異なり理想流量源と考えることはできない。

パイプは流量消費部品である。両端の圧力差と流量の比例関係がある。孤立内部因果性は圧力差「結果になれる」、流量「原因になれる」、圧力「原因になれる」である。つまり、パイプは流量に応じて圧力差を生成する部品である。

5. モデルの記述

本章では本方式におけるモデルの記述様式について述べる。系全体のモデルは部品のモデルの集合と部品の接続関係で表現される。部品の知識は(1)パラメータの集合、(2)パラメータの間に成り立つ制約条件、(3)部品における因果的性質を記述する因果指定、(4)接続関係、(5)現象にかかる時間からなる。

パラメータは基準値からの逸脱方向を表す3つの定性値[0]、[+]、[-]のうちのひとつを値として取る。[+]([-])はパラメータの値が基準値より大きい(小さい)ことを表す。ここで基準値とは、系が正常な状態にあるときにパラメータがとっている値の範囲のことである。系の正常な状態はすべてのパラメータの時間微分値が定量的に0であるような平衡状態であるとする。この仮定は「多くの工学的な目的を持つ系は、継続的な動作を行なうために、正常な状態は平衡であり正常状態では微分値が0になるようなパラメータで系を記述できる」ことに基づいている(例えば、特殊な例として振動を考えると、単位時間あたりの振動数や振幅をパラメータとして取れば正常な状態では平衡状態になる)。

「制約条件」は定性的演算子とパラメータを用いて記述される。特殊な表記として $D(p)$ は任意のパラメータ p の微分値であるパラメータを表す。 $D(p)$ は値として[+]、[0]、[-]をとるが、これは基準値として0をとった、定量値の微分値の符号を表す。 $D(p)$ に関して定性的積分規則、 $p(t+1) = p(t) + D(p)(t)$ が常に成り立つ。また平衡状態のみに興味があるなどの理由で、とくにある特定のパラメータ p が平衡状態に必ず到達することを「Exists t in T_6 , $D(p)(t) = [0]$ 」と指定する。

「因果指定」は、孤立内部因果性を表す以下の2つのフラグを用いたパラメータごとの属性である。

原因(Cause:C) : そのパラメータの変化が部品内の他のパラメータの値を部品内の事象のみを経て変化させるかどうか。

結果(Effect:E) : 部品内の他のパラメータの変化によってそのパラメータの値が部品内の事象のみを経て変化するかどうか。

因果指定は2つのフラグと否定記号"~"を組み合わせることで表現する。例えば、あるパラメータの変化の影響を受けるパラメータがひとつでもあればCフラグが、ひとつも存在しなければ~Cがそのパラメータの因果指定に付加される。因果指定の値はCE、~CE、CEのいずれかである。例えば、抵抗の抵抗値 R のように一定値を保つようなパラメータは因果指定としてCEを持つ。CEを持つパラメータの値は隣りの部品の影響で変化するか、もしくは故障などの記述対象の系の外部の要因によって変化

する。したがって、因果指定がCEであり、接続関係知識に他の部品への接続が記述されていないパラメータを系の外因的(exogenous)パラメータと定義できる。外因的パラメータは故障診断の際には故障原因の候補となる。

「接続関係」はポートの概念を用いて部品の接続関係を表現する。接続関係は階層的であり、複数の部品にまたがった相対的に大域的な制約部品を記述することができる。

「現象にかかる時間」は大域的同時制約を表現するためにあり、現象にかかる時間が理想的には「同時」であることが記述される。局所的な部品や大域的な熱平衡を表現する大域的部品には「同時ではない」ことが記述される。

6. 振舞いの推論の能力

本章では本オントロジーの能力を示す。推論エンジンは外乱が与えられたときの対象の系の振舞いと因果関係を推論するものである。入力としてパラメータの初期値の集合が与えられる。初期値集合は対象の系に外乱が与えられた瞬間を意味するものとし、基準値とは異なる値が少なくともひとつ与えられるとする。出力は、対象の系が到達する平衡状態における全パラメータの値とそれに至るまでのパラメータの値の変化の因果関係である。本オントロジーは、主に正常な完全平衡状態から異常な完全平衡状態への過渡期を扱っている。特に、正常な完全平衡状態から最初の完全充足状態へ移行する際の部分的充足状態の系列を導出する。部分的充足状態の系列の順序はT1-T4に基づいた因果的関係を意味し、因果指定で表現された因果的性質と部品の接続トポロジーによって正当化される。

フィードバックの解析は、対象の系の理解に不可欠なものである。ここではフィードバックを、あるひとつのパラメータの値が決定された後、その影響が自分に戻ってくる現象と定義する。本オントロジーでは因果指定に基づいて仮定を導入することで、連結内部因果性におけるフィードバックを解析できる。仮定は部品の因果的性質によって正当化される。ネガティブ・フィードバック後の値は事象にかかる時間と部品接続のトポロジーに基づいて、以下のようなヒューリスティックスに従って決定できる。

(1) 大域的同時制約:

新しい値が曖昧になった場合、大域的同時制約によるネガティブ・フィードバックの影響は無視されてもとの値が維持される。つまり、瞬間的なフィードバックは起こらず、安定すると仮定される。具体的な推論例を以下で述べる。

(2) その他の平衡式:

同時ではない平衡式による影響は、影響が一周したことによって時間が経過したと考える方が自然であるため、新しい値が求められる。

(3) 積分:

フィードバック項が結果項の積分である場合、新たな値が求められる。もし、知識として「必ず平衡に到達する」ことが記述されていれば、平衡状態における値を求める。

例えば、流体を駆動するポンプの電力が低下したときを考えてみる。ポンプの電力 P はポンプから出ていく流量 F と流体が流れる流路の総圧力差 A の積に比例する。前述したようにポンプは電力と圧力差に応じて流量を変化させる部品と捉えることができるので、総圧力差 A は CE であり、流量 F は CE である。電力 P が低下し $[-]$ になっ

たとき、推論エンジンは総圧力差 A を $[0]$ と仮定して、流量 $F = [-]$ と推論する。ポンプの流量の変化は流量に関する大域的同時制約によって同時に、流路の各流量消費部品へ伝播される。各部品では流量と圧力差は比例するので、流量 $[-]$ から各部品の圧力差 $[-]$ が推論される。各部品の圧力差の変化に基づいて圧力差に関する大域的同時制約によって、流路の総圧力差 $[-]$ が推論される。総圧力差 $[-]$ がポンプに伝播され、総圧力差 $A[-]$ 電力 $P[-]$ から流量 F を求めると、曖昧になる。ここで、大域的同時制約によるネガティブ・フィードバックに関するヒューリスティクスを用いると、流量 $F = [-]$ であることが分かる。つまり、電力低下の影響はポンプが送り出す流量の低下として現れ、その結果として圧力が低下することが推論できた。

7. 原子力プラントにおける評価

本章では、提案したオントロジーに基づいた原子力プラント熱輸送系のモデリングと振舞いの推論について述べる。

図7-1は、対象とした2系統の原子炉主冷却系の概略である。対象とした熱輸送系は発熱体である原子炉の熱を空気に伝えることを目的としており、冷却材が循環するループを2つ持った熱輸送系統が2組ある。それぞれをA系統・B系統と呼び、両系統にある各部品には系統を表す添字をつける。

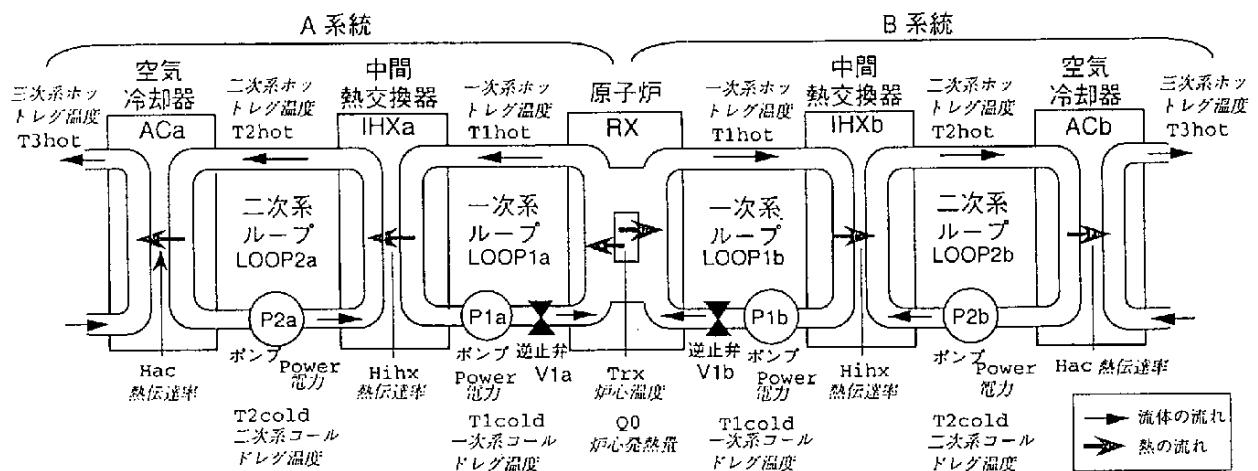


図7-1 2系統熱輸送系の概略

熱輸送系全体のモデルは27個の部品、143個のパラメータ、102個の制約式から構成される。局所的部品には原子炉、中間熱交換器、ポンプなどの11個がある。中間熱交換器のモデルを図7-2に示す。対象とした系を全連続性に沿って大域的構造へ分割すると、両系統にある4つのループを認識できる。それぞれのループを大域的構造とみなしA系統の一次系ループをLOOP1aなどと表現する。各構造に前述した一般的法則を適用すると、16個の大域的制約が生成される。図7-3は、そのひとつであるA系統の一次系ループにおける熱量保存則を表す大域的制約である。

表7-1は推論結果の一部を表したものである。列の項目が与えた外乱を表し、行の項目が他のパラメータの名前である。定性値(“?”はいずれの値もとリエることを表す)の横の番号は値の因果的順序を表す。全ての推論結果は専門家によって妥当性を確認されている。二次系ポンプの電力減少時における値がフィードバック後に曖昧になっている

が、これは専門家にとっても流量の定量的な値を知ることなしには決定できない。

推論エンジンは UNIX Workstation 上の CESP 言語でインプリメントされている。CESP 言語はオブジェクト指向型 Prolog であり、そのオブジェクト指向的特徴を生かして推論エンジンは実装されている。

Name: IHXa

Time: not-simultaneous /* 「同時ではない」 */

Ports: symbol connected comp. connected port

in1 RX out1a

out1 P1a in

in2 P2a out

out2 ACa in1

heat1 LOOP1a_HEAT out

heat2 LOOP2a_HEAT in

flow1 LOOP1a_FLOW rst2

flow2 LOOP2a_FLOW rst1

dp1 LOOP1a_DP rst2

dp2 LOOP2a_DP rst1

Parameters:

symbol description causal spec. port

T1hot 1ry Coolant inlet Temp. CE~ in1, heat1

T1cold 1ry Coolant outlet Temp. ~CE out1, heat1

T2cold 2ry Coolant inlet Temp. CE~ in2, heat2

T2hot 2ry Coolant outlet Temp. ~CE out2, heat2

Q12 Heat transported to 2ry coolant CE heat1, heat2

Hihx Heat trans. resistance. CE~

Flow1 Flow rate of 1ry coolant CE~ flow1

Flow2 Flow rate of 2ry coolant CE~ flow2

Dp1 Pressure drop of 1ry coolant ~CE dp1

Dp2 Pressure drop of 2ry coolant ~CE dp2

Constraints:

$Q12 = Hihx * ((T1hot + T1cold)/2 - (T2hot + T2cold)/2)$

$Q12 = Flow1 * (T1hot - T1cold)$

$Q12 = Flow2 * (T2hot - T2cold)$

$Dp1 = Flow1$

$Dp2 = Flow2$

図 7-2 A 系統中間熱交換器 (IHXa) のモデル

Name: LOOP1a_HEAT
 Time: not-simultaneous /* 「同時ではない」 */
 Port: symbol connected compo connected port
 in RX heata
 out IHXa heat1
 Parameters:
 symbol description causal speco port
 Qlin Heat transported from RX CE in
 Qlout Heat transported to IHX C~E out
 Tlhot Coolant Temp. (hotleg) ~CE in, out
 Tlcold Coolant Temp. (coldleg) ~CE in, out
 Constraints:
 $D(Tlhot) = Qlin - Qlout$
 $D(Tlcold) = Qlin - Qlout$
 Exists t in T6, $D(Tlhot)(t) = [0]$
 Exists t in T6, $D(Tlcold)(t) = [0]$

図 7-3 A 系統一次系ループの熱量保存則(LOOP1a_HEAT) のモデル

表 7-1 推論結果

		RX Q0 [+]	IHXa Hihx [-]	ACb Hac [-]	P1a Power [-]	P2a Power [-]
	Trx	(1)+	(2)+	(3)+	(1)+	(2)+
A	Tlhot	(1)+	(2)+	(3)+	(1)+	(2)+
	Tlcold	(2)+	(1)+	(4)+	(1)-	(3)+, (4)?
	T2hot	(2)+	(1)-	(4)+	(1)-	(3)+, (5)?
	T2cold	(3)+	(2)-	(5)+	(2)-	(4)+, (6)?
	T3hot	(3)+	(2)-	(5)+	(2)-	(4)+, (6)?
B	Tlhot	(1)+	(2)+	(3)+	(1)+	(2)+
	Tlcold	(2)+	(3)+	(2)+	(2)+	(1)+, (4)?
	T2hot	(2)+	(3)+	(2)+	(2)+	(1)+, (5)?
	T2cold	(3)+	(4)+	(1)+	(3)+	(1)-, (6)?
	T3hot	(3)+	(4)+	(1)-	(3)+	(1)-, (6)?

8. 従来技術との比較

de Kleer は「架空の時間」に基づいたヒューリスティックスによる仮定の導入を提案している[deKleer 84]。本第3部で示した因果的時間の T1-T4 は架空の時間に対応し、それをより精密に細分化したものと言える。また、本オントロジーでは、部品の因果的性質を明示的に記述することにより仮定の導入の任意性を無くしている。因果指定の一部(CE)は論文[Iwasaki 86]において系全体に対して行われている外因的パラメータの指定を部品ごとに行ったものに相当する。系全体の因果関係は系の状況に依存する(つまり安定ではない[Skorstad 92])が、部品の因果性のある部分は局所的であり安定である。本方式ではあらかじめ記述された部品における状況独立な因果的性質を用いて、部品を接続したことによる複雑な影響の伝播を推論し、フィードバックを含む系全体における因果関係を導出する。

TQ 解析[Williams 84]は積分によるフィードバックループにおけるフィードバック項を決定するヒューリスティックスを与える。本方式では因果指定を用いて平衡式の場合でも結果項を識別することができる。ネガティブ・フィードバック後の値の決定に関して、TQ 解析ではふたつの規則を用意して曖昧さを解消しているが、本稿で述べたオントロジーでは因果的時間に対応したヒューリスティックスによって同じ結果を実現する。Top らは、bondgraph を用いた因果導出を示している[Top 91]。bondgraph は少数の一般的な物理的プリミティブ(source など)を用いてデバイスの因果性を表現するが、本質的に連立なフィードバックに単一の順序をつけることはできない。一般的な知識や数学的手法では、このようなフィードバックに対して単一の因果順序をつけることはできないと考えられる。

de Kleer による部品に基づく定性推論[de Kleer 84]では構造に関する知識は局所的な continuity、compatibility condition だけであり、複雑な構造については十分ではない[Schryver 92]。本第3部で述べた熱に関する大域的制約は QSIM における熱エネルギー保存則を表す Global filter[Fouche 92]と同じである。さらに、本オントロジーでは流量の変化といった大域的に同時に変化する現象を適切に推論するために、現象にかかる時間を明示的に表現する。現象にかかる時間の把握は新規な概念ではなく、幾つかの研究が行われている[Kuipers 94]。本研究では部品オントロジーにおける因果理解と結び付け、時間オントロジーとして整理を行なったところに意義がある。論文[Forbus 84][鷲尾 90]では物理原理やプロセスごとに因果連鎖の方向を記述している。我々はデバイス中心のモデリングである。

9. 今後の課題

第3部で議論した対象オントロジーが満たすべき要件は流体といった記述対象の種類に依存しておらず、部品に基づくモデリングを行う対象オントロジー全般に有効である。3章で述べた流体における全連続性といった概念は、電気回路や機構部品にも類似の概念がみられる。このことは、流体オントロジーの概念の一般性を示唆するが、その範囲や記述対象の種類ごとの差異は今後の研究課題である。

ここで示したオントロジーの準公理と推論エンジンでは、正常平衡状態の存在の仮定、ネガティブ・フィードバックに関するヒューリスティックス、積分規則による変化および平衡状態への到達のすべての順序を生成しないことに基づいて、実用性が高く効率のよい推論を実現している。流体・熱輸送系での適用実験を通して、仮定や前提の有効性を示唆した。今後は、他の対象領域においても適用実験を行ない、扱える範囲と限界を明らかにしたい。

また、物質やエネルギーの一般的性質を部品の接続トポロジーにおける大域的な構造に適用することで、大域的制約を導出できると考えられる。本第3部で示した実際の適用例では、大域的制約は大域的な部品の制約式として直接記述されていた。現在、大域的制約を自動的に生成する機構(構造コンパイラと呼ぶ)について、考察を進めている。

参考文献

- [de Kleer 84] de Kleer, J., Brown, J. S.: A Qualitative Physics Based on Confluences. Artificial Intelligence, Vol.24, pp.7-83 (1984).
- [Forbus 84] Forbus, K. D.: Qualitative Process Theory, Artificial Intelligence, Vol.24, pp.85-168 (1984).
- [Fouche 92] Fouche, P., Kuipers, B. J.: Reasoning about Energy in Qualitative Simulation, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.22, No.1, pp.47-63 (1992).
- [Iwasaki 86] Iwasaki, Y., Simon, H. A.: Causality in Device Behavior, Artificial Intelligence, Vol.29, pp.3-32 (1986).
- [Kuipers 86] Kuipers, B. J.: Qualitative Simulation, Artificial Intelligence, Vol.29, pp.289-338 (1986).
- [Schryver 92] Schryver, J. C.: Object-Oriented Qualitative Simulation of Human Mental Models of Complex Systems, IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.22, No.3, pp.526-541(1992).
- [Skorstad 92] Skorstad, G. : Finding Stable Causal Interpretations of Equations. Recent advances in Qualitative Physics, Faltings and Struss(Ed.), pp.399-413, MIT Press(1992).
- [Top 91] Top, J., Akkermans, H.: Computational and Physical Causality, Proc. of the IJCAI'91, pp.1171-1176 (1991).
- [Williams 84] Williams, B. C.: Qualitative Analysis of MOS Circuits. Artificial Intelligence, Vol.24, pp.281-346 (1984).
- [井上 89] 井上雅弘、鎌田好久：流体機械の基礎、コロナ社(1989).
- [鷺尾 90] 鷺尾隆：物理法則に基づく外的駆動型因果性の導出、人工知能学会誌、Vol.5、No.4, pp.94-103 (1990).

第2編

情報スペース構築・共有・活用技術

第2編

情報スペース構築・共有・活用技術

要 旨

情報スペースの構築・共有・活用に関わる背景、社会からの要請と技術動向を調査し、研究開発の進め方について提言する。

1. 序

情報化による社会構造の変革が急速に進んでいる。来るべき社会においては、産業・流通構造は消費者・ユーザ主導になり、顧客満足が最重要課題になることが指摘されている。流通と生産はユーザの望みを的確かつ迅速に把握し、応答しなければならない。情報ネットワーク社会では、異なる価値を結び付けるものが評価される。成熟した技術を密に集積し共有するとともに、人の出会いを促進することが新しい時代の原動力となる。我々がめざす情報スペース技術もこのような社会動向を踏まえたものでなければならない。

ここで提案する情報スペース技術は、情報ネットワーク社会における知識の創出、流通、集積、体系化、共有を支援するための枠組みを与えるものである。形式化され整備の行き届いた公共財としての知識ばかりでなく、公共財になる前の文脈や場面に依存したクラブ財としての知識や、主観的で非形式的な知識も含んだ広い範囲の個人財としての知識も視野に入れる。現場で発生する断片的で不完全な情報や、情報発信者が独自のフォーマットで作り出す情報を対象とした知能情報処理ばかりでなく、情報の効果的な提示といったヒューマンファクター、さらには出会いの支援といった情報スペースの創出と拡張に間接的に関わるプロセスも含めた幅広い取り組みを提言する。

ここで提案する情報スペース技術は、人間をループから除外しコンピュータによる人工知能の実現を主眼とした従来の人工知能のアプローチや、コンピュータで実行可能なヒューリスティックという狭い範囲に限定して高機能・高パフォーマンスのエキスパートシステムを実現しようとする従来の知識工学、あるいは少量のスキーマに支配される大量データの効率的な取扱を目指した従来のデータベース技術、人間とコンピュータのインタフェースだけに焦点をあてたヒューマンインタフェース技術、情報よりもデータに焦点をあてた従来のマルチメディアやグループウェア技術とは一線を画するものである。

以下では、まず情報化による最近の社会構造の変化を調査し、情報スペース技術の背景と技術への要請の明確化を行う。次に、情報化に伴う最近の知識情報処理における研究開発動向について述べる。次に、情報スペース技術に関わる研究事例である知識コミュニティプロジェクトの概要について述べる。最後に、情報スペース技術への一つのアプローチを提案する。

2. 背 景

情報ネットワーク技術の急速な浸透に伴って、社会構造の急速な変革が進んでいる。情報スペース構築、共有、活用技術は、そのような動きを反映したものでなければならない。この章では、まず、小売業、流通業、ベンチャービジネス、製造業における新しい動きをサーベイする。次に、情報ネットワーク技術によって実現される新しい社会構造を論じた今井・金子のネットワーク社会論のサーベイを行なう。

2.1 小売業における変化

文献[67]に基づいて、構造の急速な変革が進んでいるアメリカの小売業の現状をまとめる。

小売業は商品を介した消費者と生産者の界面にあり、情報化にいち早く反応している。1993年のアメリカ小売業上位100社の業態別売り上げ構成を表2-1に示す。

表2-1 アメリカ小売業上位100社の業態別売り上げ構成(1993年)[67]

スーパーマーケット	28.7%
ドラッグストア	6.8%
衣料専門店	3.9%
家電専門店	5.5%
ディスカウントストア	17.3%
ホールセールクラブ	6.8%
スーパーセンター	2.2%
シアーズ+ペニー+モンゴメリーワード	8.7%
百貨店	8.1%
コンビニエンスストア	2.1%
ホームセンター	4.1%

コストダウンと顧客満足のさまざまな試みが進められている。特に、

会員制ホールセールクラブ(MWC) 巨大な倉庫型の店舗を使った(ビジネス/個人)会員制の安売り店。商品はホールセール(卸売)価格で表示される。業務用パックを中心に販売する。バラエティには欠けるが、価格は安い。

カテゴリーキラー 扱い商品を特定カテゴリーに限ったディスカунストア。ホームデポ（ホームインプループメント用品）、トイザラス（玩具・子供用品）、サーキットシティ（家電）、コンプUSA（パソコン）などがある。

ホームセンター ホームインプループメント商品、家具・室内装飾品（ホーム・ファールニッシング）商品を総合的に扱う店。

パワーセンター 核テナントとして10,000m²級のディープ・ディスカウンターまたはカテゴリーキラーを2～5店舗擁し、総売り場面積が25,000～80,000m²のオープンモールタイプのショッピングセンター

など、アメリカの広大な土地を背景にした新しい業態が次々と売上を伸ばしている。同一業態のなかでも激しいシェアの奪い合いがある。

小売業の競争は熾烈である。今日の小売業は業種の境のない多元的な競争がますます激化するなかで、「効率」と「効果」がより厳しく問われるようになっている。競争に勝つためには、マネジメントやマーケティング、ロジスティクスなど経営全般にわたる革命的な経営手法の開発や情報システムの導入が不可欠である。消費者のトレンドの変化を認識し、変化に迅速に対応するために、ハイテク時代の流通革新はシステム革命を伴うものとなる。

小売業では顧客満足が最優先される。顧客の動向を把握するためには、売り場、取引先、顧客と接する時間を十分確保しなければならない。

ノードストロームでは客のニーズや個々の商圈における競合状況などを考慮した品揃えを最優先課題にしている。従業員ハンドブックには、「ルール1：どんな場合でもすべて自分の判断で決めなさい。ルールはそれだけです。ノードストロームの最大の目標は顧客に最良のサービスを提供することで、皆さんはそれができる能力を持っています。判断はプロフェッショナルである皆さんにまかせます」と、顧客第一主義が明記されている。また、売り場の一角でピアノの生演奏をしたり、ビジュアルマーチャンダイジングに力を入れている。

伝統的な書店ブックス&カンパニー（オハイオ州デイトン）では、書店の枠を超え、地域のカルチャーセンターとしての生き残りにかけている。地域住民にさまざまな情報発信と交流の場を提供することによって、本を介して地域の住民が出会い、交流する場、本の愛好家が集まるサロンとしての自らの位置づけを試みている。在庫件数は地下書庫を含めて110,000点程度ある。顧客サービスカウンターとは別に、各売り場ごとにパソコンを設置し、在庫照会や著者・書名による検索ができるようにしている。

小売業の劇的な変化の背後の要因はいくつか考えられる。

第一は、人口動態の変化である。ベビーブームの世代の中年化、価値志向、価格志向、消費の保守化、家庭回帰など新しいライフスタイルが出現している。近年の低成長は、ある程度、人口動態の推移の直接の結果であると言われている。すなわち、「70年代末から80年代の初頭にかけてのベビーブーム世代の成熟に伴って、世帯形成率が上昇した。これが住宅、自動車、家電製品などの高額商品に対する高需要をもたらし、それとともに住宅ローンや割賦債務の水準をも高めた。人口動態要因によるこれら商品に対する需要の後押しは、ベビーブーマーの高齢化と、世帯形成率の鈍化につれて消えてきた」（エコノミスト臨時増刊「総特集'92米国経済白書」）というわけである。女性就業者数が増大し、共稼ぎで時間に追われる女性が増えたことも要因になっている。

第二はバリューシフトである。消費者の価値観と買い物行動が変化してきている。女性の職場進出が進み、ウィンドーショッピングを楽しむ時間的余裕がなくなってきたため、女性のウィンドウショッピング離れが起きている。また、自由時間の使い方が変わってきた。時間節約志向と価格志向が進んでいる。店やブランドの知名度ではなく、価値のある商品をフェア・プライス、またはエブリディ・ロープライスで提供している店を選ぶようになってきている。計画外の衝動買いやファッションやウィンドウショッピングが減少している。環境問題への関心が高まり、商品を購入するとき環境への影響を考え、環境への配慮をする。

第三はテクノロジーの変化である。スーパーに限らず、アメリカ小売業の売り場では近未来のインストア・マーケティング革命を予見させるような新しい店舗システムが動き始めている。店舗のインテリジェント化が進むと、店頭に設置された情報端末に顧客が直接アクセスする機会が増える。情報検索だけでなく、取り引き機能のついた端末も増えている。小売業者と製造業者の関係も変化してきている。バーコードの普及で小売業者が情報を握るようになった。その結果、商取引の主導権が製造業者から小売業者に移行した（アルビン・トフラー：パワーシフト）。しかし、商取引の主導権争いを超えて、情報化によって製造業と小売業が急接近している。例えば、プロクター&ギャンブルとウォルマートによる戦略同盟が行なわれている。情報通信ネットワークを使った情報の共有によって実現したインベントリー・マネジメントであり、柔軟で効率的な生産・供給体制を実現している。

各事業部の会長を商品カテゴリー別のリーダーに任命し、全事業部で扱う商品を一括仕入れするために作った組織をチームバイイングという。この方式は、各事業部が自立性をもち、独自に商品企画や仕入れを行う従来の方式における労力の重複を削減している。

情報装置の導入により、販売の様式も変化してきている。第一に、検索機能と取り引き機能のついた電子キオスクを使って客が欲しい情報を自分で探すことができるようにしている店舗が出始めている。電子キオスクを使ったインタラクティブ・ショッピング

はDIY(Do-It-Yourself)ショッピングとも呼ばれる。商品によっては高度な商品知識を持った販売員の説明やアドバイスを聞くよりは、電子キオスクを使った方が時間の節約になることもある。電子キオスクであれば売り場スペースに制約されず、品揃えを増やすことができる。売り場にはない商品でも、電子キオスクに収録されている商品であれば売ることができ、機会損失の防止になる。買い物客が売り場を回って自分で商品を選び、チェックアウトまで自分で運んで代金を払うセルフサービスショッピングが実現されつつある。

第二に、販売員全員がペンコンピュータで情報武装し、顧客の注文受け付け、在庫確認、希望する日時の取り付け工事の可能性の照会ができるところもある。入力されたデータは無線機能を使ってコントローラーを経由してバックヤードとPOSに伝送される。客が直接持ち帰る商品は倉庫から店のピックアップカウンターに運ばれる。客はチェックアウトで会員カードを提示して代金を払い、ピックアップカウンターで商品を受け取る。自分一人では駐車場まで運べないような大型商品は車を横付けすると、従業員が積み込みの手伝いをしてくれる。

顧客を知るために、FSP(Frequent Shopper Program)で収集された顧客情報を分析して、(1)来店客の地理的分布の把握による新たなターゲットの設定、(2)部門・曜日ごとのプロモーション・ターゲットの設定、(3)客層(クラスター)別プロモーション・プログラムの開発、(4)品揃え計画、価格決定、販売活動の評価分析、などを把握する。来店客が店内をどのように回り、滞店時間は何分だったかなどを追跡調査するトラッキングシステムの実験もはじまっている。

老舗タンディ(家電専門店)のインクレディブル・ユニバースでは、カードによる効率化とクイックサービスと顧客の組織化を行ない、取り引きデータの収集をしている。

第三に、ハイテクを駆使した集客の試みがある。「インフォメーション」と「エンターテイメント」を合わせた「インフォテインメント」は、ハイテクを駆使した情報発信とエンターテイメントに溢れた商空間の創造を意味する。

2.2 流通業における変化

日本の流通は現在大きな変革の波を受けている。文献[42]に従って、流通業における変化についてまとめる。

バブル期を過ぎてから売り手市場から買い手市場への転換が起きつつあり、供給過剰になっている。商品市場は衣食住全般にわたって多くの分野で成熟し、高度消費社会になっている。「特に買いたいものはないが、魅力的で安いものなら支出する」という消費者が増えている。情報通信システムの発展により、国境を超えた製販同盟が進み、流通システムの飛躍的向上が見られる。このような動きから、消費の個性化と多様化につ

ながら、ヒット商品は小粒になるという分衆化が予測されるが、現状は必ずしもそうでもない。むしろ、同一ジャンルにおける特定の商品の一本かぶり、一人勝ちが起きる。その理由は、何が魅力的なのか自らの判断に自信のもてる消費者はそれほど多くなく、一部の消費リーダーがこれは良いと評価した商品に購買が集中するためであると考えられている。ふだんは無縁な分衆でありながら、ある期間同じ消費行動をとる現象は、大分衆化と呼ばれる。

価格破壊の進行とともにディスカウンターの自主開発商品（PB(Private Brand)商品）が増えてきている。それに伴ってNB(National Brand)商品とPB(Private Brand)商品の相互作用が生じる。PB商品のコストダウンはNB商品の定価格化ばかりでなく、高機能化も誘発する。また、安全・健康をうたった商品が売れる傾向にある。

系列店の崩壊が進み、メーカー販社の圧縮と販路の見直しが行なわれている。

商業の中心は、駅前商店街や旧市街地の商店街から郊外（郊外型スーパー、ホームセンター、総合ディスカウンター、パワーセンター）へ移動が進むとともに、淘汰も進んでいる。生鮮DS(Discount Shop)、生花DS、郊外型カジュアル衣料専門店などの新しいディスカウントショップも出始めている。

コンビニも進化しつつある。80年代後半から、宅配便の取次サービス、コピー、電力・ガス・電話や通信販売などの料金の収納代行サービス、映画・コンサートのチケット販売などを扱うようになった。ここ1、2年は、唐揚げ、野菜の煮物、サラダ、つけものといった惣菜類の需要が増えている。子どもや中学生には漫画やアイスクリーム、独身者には、ビール、つまみ、雑誌、文庫本などが人気がある。「近代よろづ屋」の様相を呈しつつある。

インターネットの普及を反映して、インターネット通信販売が増えている。経費が安く、商店や飲食店などの個人事業者を中心に参入が相次いでいる。取り扱い商品は、パソコン・パソコンソフト・パソコン周辺機器などのコンピュータ関連商品、日本茶・そば・鮮魚・ジャガイモ・酒・和菓子などの食品、ランジェリー・子供服などの衣料品、名刺・書籍・花・眼鏡・布団など多岐にわたっている。95年夏から大手も参入を始めている。3年後に1000億円市場になるとも言われている。これに対して通信販売は伸び悩んでいる。

1995年7月からPL法（製造物責任）が施行された。PL法は消費者が泣き寝入りをするように道を開いたものである。人や物への損害をもたらすような製品の安全上の瑕疵（法律または当事者の予期するような状態や性質に欠けていること）があるとメーカーが責任を負わなければならない。ただし、製品を販売した時点での科学・技術知識の水準では製品に内在していた欠陥を見い出すことができなかったケースはPL法では免責になる（開発危険の抗弁）。流通企業もPL法対策をしっかりとっておく必要がある。ニチイでは、95年春から商品の品質管理を大幅に強化している。高島屋や三越は95年夏の

中元商戦から、取り扱う商品は極力PL保険に加入しているものにするよう取引先に要請している。PB商品に欠陥があれば、小売業は実質的な製造業者として責任を負わなければならない。

2.3 ベンチャービジネスにおける変化

世界のハイテク産業をリードするシリコンバレーにおけるハイテク産業に関わるベンチャービジネスのビジネススタイルの実態を文献[25]に従ってまとめる。

シリコンバレーにおける産業・ビジネススタイルの分析。シリコンバレー流ビジネス。シリコンバレー型ビジネスは考えてから走り出す。シリコンバレー型企業は3つのタイプに分類される。

技術評価実験会社（ハイテク技術開発会社、投資減価償却型） ヒトもモノ（設備）も資金も持たないアイデアだけの会社である。アイデアをプレゼンテーションし、資金を集める。集めた資金を分割して、アイデアに沿って人件費やモノの購入費、設備投資に使われていく。資金が枯渇する直前までに得られた評価データや知的所有権を投資会社にリターンする。評価データの中にニュービジネスを興せる項目があれば、商品製造部門や新会社を設立して、本格的ビジネスに参入する。さらに詳細に評価すべき項目が出てきたら、再度技術評価実験部門や新会社をつくり、新たに資金集めを始める。

投資会社 技術評価実験会社から提出された提案書を検討し、市場分析やマーケット分析の結果や将来性を考慮、目標達成時期や中間チェック時期、その内容を明らかにし、投資金額を決める。チェック間隔は1クォーター（3ヵ月）である。技術評価実験会社から投資の見返りとして、開発技術の評価実験データと評価実験中に得られた特許などの知的所有権を得る。基本的にはデータと知的所有権のソフトウェアのみである。

商品製造会社（商品対価還元型会社） 技術評価実験会社が出したアウトプットの中で、新しいビジネスを興せる項目に着目して、商品製造会社が設立される。設立に当たっては、技術評価実験会社に資金供与した会社が優先的に参入してくる。商品製造会社は、この資金を元手に商品の製造を開始する。商品が売れると、次からはその売り上げ利益を元手に商品を製造し、これを繰り返しながら利益を上げていく。

シリコンバレーのベンチャー企業は、アイデア一つで資金を集めてハイテク技術評価

を行い、何もないところから無形財産（知的財産）を作り上げ、巨額の利益を得る。一つのプロジェクトの期間は日本企業と比べると非常に短い。シリコンバレーの産業は短距離型ランナー（技術評価実験会社）が試合が終わるごとにバトンリレーするようなものである。「細胞分裂して成長するのがシリコンバレー産業」と言われている。

商品製造部門を新設した企業の一部が生き残り、長距離ランナー型企業になることがある。長距離ランナー型企業になるための必要条件として、(1) 技術評価実験会社をベースとして商品製造会社の機能をもつこと、(2) 得意技の異なる複数の短距離ランナーを集めた集団をもつことによるリスク分散があげられている。

シリコンバレーでは、アイデアから実際に金儲けできるまでのアプローチや手段が完備している（＝アイデアが良ければ誰でも投資資金が活用できる）ので、アイデアだけで会社を興すことができる。スポンサーになることの社会的価値が高い。スポンサーという概念は保証人、引受人、後援者になることを意味する。スポンサーであることは人の能力をきちんと評価でき、財政的にもきちんと支えることができることを意味する。すなわち、シリコンバレー企業が元気な理由は、人材供給システムと投資環境にあり、(1) ハイテク技術の開発に適した人材供給システムがあること、(2) ハイリスク、ハイリターンの技術開発投資に魅力を感じる資金の専門家や投資家が集まっていることに要約される。シリコンバレーには最優秀の頭脳集団とアイデアを実験評価する優秀なテクニシャン集団の両方がバランス良く揃っている。これに対して、ボストン郊外のザ・ハブは優秀な技術者を欠いている。

また、要素技術の集積も重要である。シリコンバレーには熟した要素技術（半導体、マイクロプロセッサ、パソコン、ワークステーション、スーパーコンピュータ、並列処理コンピュータ、コンピュータグラフィックス、データベースソフトウェア、ゲームソフトウェア、通信ソフトウェア、OS、セットトップボックス、LAN部品、ワイヤレス通信部品、ディスク、バイオ技術、バイオ医学、ロボット、セキュリティ、軍事技術、宇宙技術など）が数多く存在する。要素技術の組み合わせに着目すれば、起業家はいくつものニュービジネスを考え出すことができるので、高確率な投資ビジネスを検討しやすく、起業家、投資家、資金の専門家が集まる。これに対して、ボストン周辺にはこのような熟した要素技術が少ない。

シリコンバレー企業のビジネススピードは日本の数倍にのぼる。日本企業の2年の開発工程（全体で1回の資金請求行為）の期間内に、アメリカ企業では1年の開発工程（資金請求行為が3回）が2サイクル行われる。このため資金回転は日本の6倍になる。

シリコンバレーでは、異なる価値を結び付ける者が評価される。市場シェアが複数会社が2分割、3分割され、異なる会社の製品が多く共存するようになると、各社は独自に低価格化や高品質化を目指すので、製品の仕様が各社によって大きく異なる状態が生じる。この状態が行き過ぎると、ユーザは購入した製品の操作法や仕様が大幅に異なる

ために使い勝手が悪いという不満が生じる。インテグレーターは（大きくなったベンチャー企業から業務委託や開発委託を受けて）ばらばらな事柄や物を結び付けて付加価値を上げる。

異種装置や異種のシステムを接続して既存のサービスを向上させたり新サービスを提供するインテグレーションのビジネス市場は大きい。インテグレーションが重要である理由は顧客やユーザが複数の製品を自由に選択できる市場を新しく作り出すからである。異種を結び付けるインテグレーターは購入製品の選択の幅を広くさせるという自由競争の基本概念から派生する異種共存の問題を解決する職種として位置付けられる。一度広がった第一の市場に対して、インテグレーターが互換性、共通性、接続性、インタフェースの共通性を考慮した機器を開発・販売し、第二の市場を作る。インテグレーターは市場の拡大と開拓を創出するクリエイターである。

優秀なベンチャーキャピタリストは革新技術を評価できる多数の専門家に強いコネを持ち、彼等を活用する能力が優れている。投資物件があると技術の専門家やマーケット関連の専門家にそれとなく聞き、有用な情報のかけらを集め、この情報に基づいて評価し、投資を決めることが多い。

シリコンバレーでは、情報の入手（起業や新規事業進出等に当たり、各分野の専門家のアドバイスをもらう）と資金の取得（資金の出資者を探す）のための産学協同の橋渡しが整っている。橋渡しの手段は、スタンフォード大学の各種同窓会や産学協同の元祖であるスタンフォード工業団地における企業と大学の交流の場を基本とする。

大学の同窓会は新規事業やニュービジネスの出発点としての役割を果たしている。シリコンバレーではスタンフォード工業団地が産学協同の交流の場として有名である。この工業団地内では有名なベンチャー企業とスタンフォード大学関係者が絶えず交流しており、新規事業やニュービジネスの話題が話し合われる。ベンチャー・キャピタル市場に出る前のホットで具体的な話題、ニューアイデアや資金の提供等が話し合われている。

同好会ネットワークの威力は大きい。例えば、月1回最新の技術開発について講演会が行なわれる。大半の現地会員の目的は講演会終了後の懇談会（懇談会では「君はどこで働いているの?」「うちの会社に来ない?」という会話がかわされて仕事勧誘が行なわれ、フェイス・ツー・フェイスの会話を通して、当事者同士で相手のグレードがすばやく評価される。これに対して、インターネットなどの通信ネットワークを通して人材を募集する方法では、プロフェッショナルのグレード評価を素早く行えないという欠点がある。

2.4 製造業における変化

製造業における変化はすでに、コンカレントエンジニアリングや製販同盟などで起こっているが、CALSによってさらに大きな変化が起こることが予測されている。ここでは、CALSによってもたらされる製造業の変化についてまとめる。

文献[41]では、今後顧客ニーズの複雑化と多様化が急速に進み、製品寿命が短くなるために、企業はスピードに合わせなければならなくなるとしている。そのため、製造業の側でも、生産者中心から消費者中心へ、官僚的組織からチーム志向型組織へ、移行が必要になってくる。これに対応する組織構造がザ・ニュー・マニファクチャリング・エンタープライズ・ホイールである。顧客中心にした6つの層から構成される。

カスタマー 製造業の全ての活動は、何らかのかたちで付加価値を生むことによって顧客に貢献していかなければならない。顧客の付加価値を創造することによって製造業は利益を享受でき、発展することができる。

人とチームワーク主体の組織 顧客と直接接する人またはチームが、顧客のニーズを把握し、それに対する付加価値ある提案をすることができる。この最前線の人の経験と知識と意識がきわめて重要である。

共有知識とシステム 情報・知識を共有するためのシステムは、製造業の仕組を支えるための重要な存在である。知識共有によって、企業における資産である人、モノ、金、情報、個人の知識や知恵を利用した、よりよい製品とサービスの創造が期待される。

プロセス 製造業において、人がさまざまな資源を使って企業への付加価値(=利益)を生み出す過程をいう。企業の各々の組織が相当する。企業の組織を単純化すると、(1)顧客ニーズから製品コンセプトを確立して、企画、開発・設計、生産技術などを含めた開発設計技術事業部門、(2)生産部門、(3)セールスマーケティングからカスタマーサポートまでを担当するカスタマーサポート部門の3事業部門から構成されることができる。

リソース 商品を出力するためのさまざまな資材を指す。

生産のインフラストラクチャ 国際政治環境、国際金融環境、国際社会環境、各国の消費者の動向、原材料などの資源・エネルギー事情、交通運輸事情、学校教育事情、

研究機関、競争相手も生産のインフラストラクチャの一部と考える必要がある。

文献[57]では、CALSの本質を「標準化された電子的なデータ交換による社会の電子化」、つまり、「情報システム活用による、企業内および企業間の業務プロセスの徹底した合理化と高付加価値化」としている。

CALSは次のような概念から構成される。

コンカレントエンジニアリング 設計のプロセスを合理化し、高付加価値化させようとする、製造業における業務変革を指す。設計における各工程をネットワークで結び、各工程の統合データベースを構築することにより、各工程が互いの進捗状況を公開しあい、同時進行的・協調的に設計業務を進めることを可能にする。

ライフサイクルサポート 製品に関して一度入力された情報をデータベース化することにより製品のライフサイクル（製品が新規に設計・開発され、製造され、運用・メンテナンスされ、教育が行われ、部品や消耗品が供給され、設計変更がなされ、マニュアルが差し替えられ、寿命を終えて廃棄処分されるまでのプロセス）において何度でも使用することを可能にする。

コンピュータ統合生産(CIM) 社内の各工程（営業、設計、資材調達）だけでなく、社外の下請け企業も取り込んで、ネットワーク接続とデータベース統合を行う。

エジルマニュファクチャリング(AM) 狭義では、工場内の生産機器をコンピュータで統合的に管理し、情報の即時伝達、情報の共有化を行うことを狙ったものでCIMに近い。広義では、設計と生産の統合、調達と生産の統合、下請け企業との統合、営業の市場予測との統合など、迅速な生産を可能にするためのあらゆる施策を含む。ECR/QRに近い。

電子商取引(EC) 見積り依頼書、見積書、発注書、請求書などのビジネスデータの交換、支払をEDI、電子メール、EFT(Electronic Fund Transfer)を活用して、電子的に行う。

製販統合(ECR/QR:Efficient Consumer Response/Quick Response) ネットワーク(EDI)とデータベース(POS情報)の使用を大前提とした製造／販売の企業統合、企業間業務プロセスの変革である。本質はリエンジニアリングであり、企業間の業務プロセスの統合化を含む。受発注の電子化、POS情報の特定メーカーへの公開による

自動発注、在庫管理、運送、生産のシステムとの連動、POS情報の定番選定および商品構成決定への活用、POS情報の活用による棚割り提案、POS情報の商品(PB)開発への適用、メーカー・小売両者の継続的無駄の削減活動などが含まれている。

企業統合(Enterprise Integration) すべての企業がネットワークでつながれ、情報を共有し、各地の才能やノウハウが相互に提供し合われるようになると、それらの企業のネットワークを介して協調的な活動を始めるようになる。企業統合には、独立企業内の事業部門、機能部門（営業、製造、設計等）間の統合も含まれる。各部門の責任を明確にするとともに可能な限りの権限（収益責任）を与え、状況が多様化し中央からは的確な判断がしにくい意思決定を迅速に行わせる。組織がフラットになると現場は活性化する。

仮想企業(Virtual Corporation) ネットワークを介した情報のやり取りによって、参加企業の間のような資源の相互供給を実現し、全体として一つの完結した事業を行う。

CALSが実現されると、企業内外におけるデータ交換が電子化され、社会構造は大きく変化するだろう。あらゆる企業間がネットワークで接続されるようになると、統合データベースを企業間に構築することが可能となり、統合データベースによる情報共有によって、営業と製造、設計と製造、マーケティングと設計などの各企業の様々なプロセスの相互関係は従来とは比較にならないほど緊密になり、企業内ばかりでなく、各企業間においても強固な関係を構築することができるようになる。これを企業統合(EI:Enterprise Integration)と呼ぶ。

従来は、研究開発、設計、製造、マーケティング、営業、サービスなどのすべての機能を自社内で揃えなければ事業を行うことはできなかった。企業間ネットワークの進展により他企業の機能を確実に取り込むことができるようになれば、自社で行うよりも低コスト・高い信頼性のもとでそれらの機能を他社に任せることができるようになり、各企業が全ての機能を自前で揃える必要はなくなる。

企業統合は特に小企業に大きな恩恵をもたらす。資金や人材などの経営資源が不足している中小企業では、貴重な経営資源を自社の得意とする領域に集中させ、その他については他社からサービスの提供を受ければよい。企業統合により中小企業も大企業となんら遜色なく競争を行うことが可能となる。

月尾[68]はマルチメディアの社会・産業への影響を、マスからパーソナルへ、オン・スケジュールからオン・デマンドへ、供給者主導から消費者主導へ、リアルからバーチャルへ、の4つに要約している。

2.5 今井・金子の情報ネットワーク社会論

今井の情報ネットワーク社会論[20]では、情報ネットワーク社会を、「情報の生産と伝達が発展の原動力となり、ネットワーク型の組織によって編成される社会」と規定している。ここでは、情報とネットワークは2つのタイプに分類される。

情報は、形式的情報と意味的信息に分類される。形式的情報は、情報の意味内容を問わず、もっぱら情報の形式だけに注目したものである。それによって機械化が可能になる。一方、意味的信息は、情報の意味内容を重視し、どのような人々の連結の中で、どのような文脈で生成されるかを問うものである。

一方、ネットワークは定形型ネットワークと創発型ネットワークに分類される。定形型ネットワークは、標準化され、定形化された仕事のネットワークである。形式的情報と結び付くことによって新たな情報通信のインフラストラクチャを形成する。一方、創発型ネットワークは、思いがけない連結を生むようなネットワークである。それまで無関係であった産業・企業・領域を新たに連結し、異質なものを結び付けることによって、閉じたシステムを開いたシステムにすることに積極的に貢献する。

このような情報とネットワークの区分は、定形的な仕事と非定形的な仕事、安定性と瞬発力との区別に対応する。経営戦力の課題は両者の適切なバランスを見出すことが重要である。技術および市場の融合と、異質な分野の結び付きが重なることによって、新結合としてイノベーションが生み出される。その過程は、古いシステムを脱して新たなシステムを求める自己組織化の動きとなってあらわれている。自己組織化の動きはネットワーク社会を作る原動力になる。

情報ネットワーク社会では、(1) 社会のインフラストラクチャが情報・通信系に移行する、(2) 情報化したインフラの上に形成される産業・企業がネットワーク型に発展する、(3) それらの基盤の上に形成される情報空間と都市空間のなかで我々の生活行動がネットワーク型（自律性を重視するが、ネットワークにおける自分の位置を考え、他人との距離を計りながら行動する）に向かうという変化が生じている。

分業の細分化が著しく進んでくると、部分部分がきちんとできて、かつそれらを情報交換によってうまく組み合わせられるという微調整型の能力が、産業社会の隅々に至るまで、ますます必要になってきている。細部を軽視することはできない。細部に仕事が生まれるからである。これを端的に表したものが「細部に神は宿る」（アビ・ワールブルグ）である。

情報化には克服すべき課題も含まれていることに注意しなければならない。第一の課題は、「時間の反逆」と呼ばれるものである。情報化による効率化がある分野に雇用不安をもたらすとともに、ある分野の仕事を多忙にすることを意味する。

第二の課題は、「多様性の反逆」と呼ばれるものである。これは社会における統一性

の喪失を意味する。情報化は、小さなメディアのなかでの「たこつぼ」的な心理状態を
かもしだす。衣食住の充たされた安全な世界では、平均人は「いかなる物に対しても、
またいかなる人間に対しても関心を払うことができず、自分だけは十分だと信じている」
(オルテガ)。これは情報格差の原因になったり、社会を分断して活力のないものにし
てしまう危険性を含んでいる。

情報ネットワーク型組織が活力をもつための鍵は自己組織化能力である。情報ネット
ワーク型組織では、小さな主体が自律的にそれぞれ環境に適応しながら連結していくそ
れぞれの単位組織が自律性をもち、自らの環境を細かく見て適応するので、小さな環境
の変化に敏感に適応することができ、またそれが多様なルートで諸単位間に伝達される
ので、全体として環境の変化に敏感なシステムでありうる。各単位組織は独自に主体的
に環境に対応していくので、適応の仕方に異質性と独自性を確保でき、どこかに創造的
な解を生み出さうる可能性を持っている。固い連結の組織と比較して、単位組織間の相
互負荷が軽いので、予期せざる環境の変化に対する脆弱性が小さい。

イノベーションの可能性をめぐる二つの対立的な見方がある。一つは、イノベーショ
ンは目標を設定した合理的な研究開発活動から意図的に生み出されるものだという見方
である。他の一つは、小さな改良と革新の繰り返しによる試行錯誤の過程を介した、ラン
ダムな新結合の累積からイノベーションが生み出されるという見方である。ネットワー
ク組織によるイノベーションは典型的に後者の方のものである(インクリメンタル・イ
ノベーション)。ただし、異分野との境界を広げ、適切な開発のデザインや設計思想を
持つことが成功の条件である。

情報ネットワーク社会は都市型社会の上に育まれる。「良かれ悪しかれ、新たなライ
フスタイルをはぐくむのは都市である。都市は交換の場であり、会話の場であり、文化
の伝達と経済交流の場である」([20],p.190)。都市では、時代の生活システムが生ま
れ、人々に広がっていく。「(都市は)意味ある会話に最大の便宜を与えるように設計
された場である」(ルイス・マンフォード)と言われている。都市は、仕事の機会を作
り、新しいやり方の発想を与え、ライフスタイルを作っていくための場を提供する。こ
れによって都市では、新しい情報が作られていく。都市の発展には、自己組織化のプロ
セスが不可欠である。ジェーンジェイコブスの「都市の原理」(鹿島出版会、1971年刊)
では、マンチェスターとバーミンガムが対比されている。マンチェスターは一色整然と
した都市であるが、発展の契機を失った。それと対照的に、バーミンガムには多様性が
あり、ダイナミックに発展した。整然とした機械的な秩序は情報を生み出さないため、
その役割が終われば死ぬ。ダイナミズムのある都市はその相互作用の中から情報を生み
出し、環境の変化に応じた自己組織化によって進化する。

ジェイコブスは、発展する都市の条件として、(1)地区の多様性(職住共存、多重使
用)、(2)小規模ブロック、(3)多様な建造物(古い建物の保存)、(4)高い人口密度をあ

げている。栄える都市は、商業の必要に応じ、住み方の流れに応じてアミーバーのように発展していく。したがって、急速に成長している都市ほど非能率であり、非実用的である。これは発展のためのマイナスの側面として考えられやすい。例えば、その街を単に通過しようとするだけの人の人にとっては非能率である。しかし、経済的には、「非能率で非現実的であるために、都市は経済的に価値がある」という見方がある。新しい仕事は白紙から生まれるのではなく、古い仕事に新しい情報が加えられて生まれる。古い建物は、イノベーションが生まれるまでのふ卵期に安いコストで試行錯誤を積み重ねる実験室の役割を果たす。都市には雑然として多様な仕事があり、さまざまな人間が住んでいるので、よろず屋的な仕事が成り立ち、レストランや貸し事務所が栄える。それらが試行錯誤の実験に必要な材料を提供する供給者となり、「意味ある会話」の場を提供すると考えられる。

「（シリコンバレーは）ネットワークにネットワークが重なり、情報クラブみたいなものである」（スタンフォード大学、E.ロジャーズ教授）。ノウ・フーを軸にした連結によって情報交換のネットワークができ上がり、それが自然発生的に展開するとともに密度が高まっていく。

シリコンバレーの活力を支えている要因の一つは情報交換の密度の高さである。密度の高い情報交換が可能であるためには、フェイス・ツー・フェイスの人と人との直接的な交流が重要な役割を果たしている。バーやクラブがビジネスライクな相談が行われ、情報交換のための偶発的な公共空間を提供している。情報がクラブ財として生産され、交換される。シリコンバレーでは、この地域に集積した研究開発企業、ベンチャービジネス、大学などの間で情報・知識のプールが形成され、その情報・知識がそれらの企業・大学にかかわる人々から構成されるネットワークによって共有されている。また、人々が企業の間をきわめて頻繁に転職することを通じて情報交換が促進されるとともに、意図せざる連結効果が生まれ、それが創発的なネットワークを作り出し、研究開発・技術開発におけるダイナミズムを生み出している。

日本において情報と技術の集積が最も進んでいるところは東京の下町の零細工業地帯である。今井はこれを「テクノポリス東京」と呼んでいる。「価値ある非効率」（ジェーン・ジェイコブス）の一例と捉えることができる。ここで非効率とは、過密性と老朽・低価格建物の存在を意味する。東京下町の雑然とした中小零細工場の集積を形成し、分業のネットワーク化や情報伝達の効率において、他国にはほとんど類例がない独自の性質を持っており、典型的なゆるやかな連結のネットワーク組織を形成している。ここでは、典型的にネットワーク型をした分業の増殖の過程が見られる。技能の分化によってスピノフが生じ、差異化が促進され、新たな用途が見い出される。その一方で、それぞれの分業を担っている小企業間の連帯が生み出される。小企業はある地域内に相互補間的に存在し、お互いの特技に応じて仕事を融通しあう。きわめて細分化された微細な

技能の分化と付加が行われるとともにそれらがネットワークとして連結し合い、ゆるやかな連結の組織として機能することになり、ネットワーク分業が形成される。

ネットワークを構成している小企業間における横の情報交換は、仕事の融通・連携の過程を通じて自然発生的に時間をかけずに行われる。共有知識を利用して短い言葉でポイントをつくものとなる。現場で発生した重要な情報が伝達される。なぜならば、弱い連結のネットワークでは、情報を発する側は責任を強く感じず、それを評価しどう受けるかは相手の責任であると考えて、気軽に情報を伝達しうるからである。新しいアイデアやヒントはこのように現場の感覚を自然に伝える言葉のなかに潜んでいる。親会社と1次下請け企業の関係はかなりの強い連結であり、計画的に情報交換が行われる。親会社は下請け企業に技術情報の移転を行い、1次下請け企業は自らの経験に基づいて部品の細部や工程の段取りについて意見を述べる。その際に2次下請け企業の情報も活用される。このような垂直的な情報交換が進み、かつそれが効果を上げてくると、親会社にも下請け企業にもそれをさらに積極的に推進したいというインセンティブが生まれる。

東京下町の中小企業のネットワーク組織は、微細な分業と、現場での情報獲得と弱い連結を通じての情報の伝播を特色としている。当初はいくつかの親会社が意図的に形成した下請け企業群であるが、それらの仕事の過程でさらに細胞分裂が起こり、創発的なネットワークとして進化的に形成されてきた。換言すると、意図的・明示的に作られたネットワークから創発的なネットワークが生まれ、それらが全体として進化的な構造として定着してきた。このように形成された構造は固定されず、さらに次の段階に進化する。このようなネットワークは、それまでに活用されていなかった多様な資源を多重に活用することによって生まれてきたものである。地域的近接性、情報伝達時間の短縮、多様な仕事のすき間から生まれてくる事業機会の自然な発展、これらを利用した特殊専門技能の多重活用が期待される。

n人から構成されるクラブによって共有される財産をクラブ財、公共で共有される財産を公共財という。公共財とは受け手の人数が無限大のクラブ財であると捉えることができる。いったん生産されてしまえばそれを再生産し、複製するにはコストがかからない財産は公共財になり得る。

情報は一見、公共財に見えるが、厳密にはほとんどがクラブ財である。情報の生産と販売には何段階かのクラブ形成があり、最終的にはクラブの極限である万人に消費される公共財になっていく。

今井・金子[19]では、幅広いベースから生まれた情報を伝え結合し交流させるメディアの例として、ロンドンのコーヒーハウスをあげ、市民レベルの情報メディアとして大きな役割を果たしたことを指摘している。

インフラストラクチャ（社会基盤）の技術的機能は、そのうえに形成される経済や社会のシステムに大きな影響を与える。1890年アメリカ道路および電話のネットワークと

いう旧インフラの完成によって、突然の大規模生産・大規模販売のシステムが出現し、市場経済による「見えざる手」から、標準化による大量生産と大量販売を軸とするアメリカ的な産業システムの大企業による「見える手」への移行が生じた（アルフレッド・チャンドラー）。

需要側において、「土地の豊かなアメリカの社会的、地理的条件から標準的低価格商品の大量生産ができる技術に向けた一連の嗜好や選好」（ネイザン・ローゼンバーグ）があり、供給側において、豊かな天然資源の存在、労働節約的技術の開発を促進するインセンティブ、機械による量産化技術があり、標準化と大量生産が促されたと考えられる。このようなアメリカ的な産業システムは肝心の情報は組織の上層部にあるという仮定に基づくものであり、仕事を細分化し、固定化し、それに労働力を特化させるという固定的分業観さまざまな矛盾を引き起こした。

一部の企業には膨大な利益がもたらされるが、社会全体には大量の失業が待ち構えている（ジョブレス・グロース：雇用を伴わない成長）。モノの生産と雇用とが分離し、またモノの世界とカネの世界が結び付かない「アンカップリング」な世界に向かいつつある（ドラッカー）。

石油危機の結果、まず産業組織の中に連鎖的な分業がものすごい勢いで増殖した。各企業は合理化のためにそれぞれの要素技術を深く掘り下げ、他の追随を許さない徹底した専門化を追及した。大規模な企業はそれらの技術を連結し、システム化した。このような分業自体は新しい現象ではないが、それが企業の境界をこえ、産業の垣根を超えて、技術移転を伴いつつ横に連結したところにネットワーク化と呼びうるような特色がある。

今井・金子は、それぞれが自立性をもちながらも、密接な相互依存関係にある分業をネットワーク分業と呼んでいる[19]。さまざまなことが実際に起こる現場を場面と呼ぶ。ネットワーク分業では、中心的な知や全体的な知が信用されず、知のあり方（ものを知り、ことを理解する様式）に直接関わる場面情報が重視される。見方を変えると、「神は細部に宿る」（アビ・ワールブルグ）すなわち、物事ないしその場その場の細部の出来事にももの考え方を組み直していく鍵があると考えられる。既成の概念や理解の枠組みをいったん離れて、物事をつかみ直す。それまでの経験を総動員し、感覚を働かせて、ものに直接触れて物事を見ることが重要である。場面情報を連結することによって、新しい関係が生まれ、意味が問い直され、自分と他人の境界が引き直され、目的が捉え直される。

このように、今井・金子のネットワーク組織論[19]は、ミクロからマクロへ、自発的つながりの形成、自他の境界の引き直し、自己更新、多様なコンテキストといった考え方を軸に構成されている。大都市はイベント会場や実験的展示場のように人々の考え方やそれによる活動が明示的に公開される場（見える場）と、光ファイバーなどに隠蔽され相互に接続され世界中に張りめぐらされた見えないネットワークとの相補的な関係の

上に成り立っている。

関係の形成は、情報をやりとりしてお互いの持つ考え方を理解しあうこととして位置付けられる。コンテキスト（文脈）は、当事者の間に構築される情報の意味を伝える双方向のメディアである。企業作りの本質はコンテキスト作りである。企業活動の関心事は、製造・流通・販売のように、これまで企業活動の本質と思われていたことから、企業活動を通じて取引先である他企業や消費者などとのようにして意味が通じ合う関係を作っていくか、いかに一方的でないコンテキストを構築していくか、といった問題に変化しつつある。

3. 研究開発動向

社会のネットワーク化に伴って、広い意味での知識情報処理技術への期待が牽引力になり、いくつかの新しい試みが始まっている。この章では、そのような動きを、

1. 知識の集積・体系化・再利用
2. 知識の共有
3. 人間が巨大な情報空間を探訪し、活用するプロセスを支援するエージェント技術

の視点から捉え、研究開発動向をサーベイする。

3.1 知識の集積・体系化・再利用

コンピュータ上での実行可能な形式で記述した専門家の知識を用いたエキスパートシステムの試みは一応の成果を収め、我が国でも多くのエキスパートシステムが開発と実用化が行われた[52,34,21,58]。エキスパートシステムの開発思想は、人工知能システムの問題解決能力は一般的な問題解決能力によるのではなく、問題領域や問題解決法に関する知識の質と量に依存するという知識原理[9]である。

どの領域において知識ベースを構築する場合にも必要になってくる共通的知识の集積・体系化の研究、以前に開発された知識ベースの再利用の研究が進められている。これは、新たに知識獲得すべき知識の量を大幅に削減することによって、従来知識獲得のボトルネックと呼ばれていた問題を解決することをねらったものである[47,48]。これらの研究では、新しい知識表現法や推論方式の創出ではなく、知識ベースの内容を実際に構築するところに重点が置かれている。

理想的な大規模知識ベースシステムは図3-1のように個々の知識ベースシステムに対して設計時または実行時に必要な知識を提供するインフラストラクチャとしての役割を果たす。

実施中または計画中のプロジェクトを集積される知識の実行可能性と専門性によって分類したものを図3-2に示す。これらのプロジェクトで集積される知識は、知識ベース部品やソフトウェア部品のように情報内容を解釈して問題解決に役立てる解釈装置（インタープリタ）が存在するものから、自然言語テキストやマルチメディア部品のように入力情報が人間にしか意味をなさないものまでの広がりがある。また、情報内容に関しても基本的な認識の根幹をなすものから専門領域のノウハウまでの広がりがある。

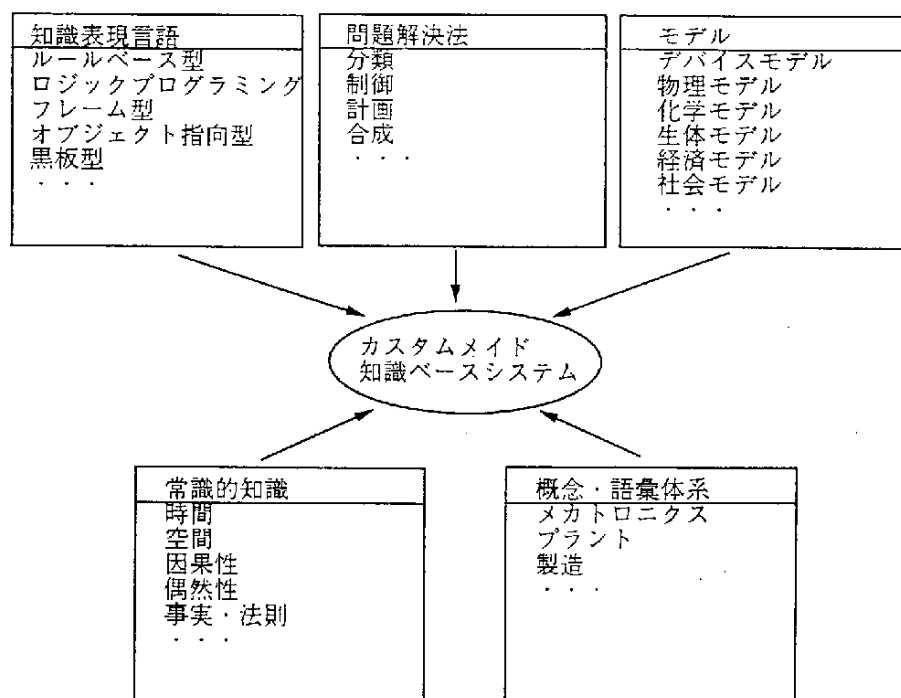


図 3-1 知識ベースシステムの母体としての大規模知識ベースシステム

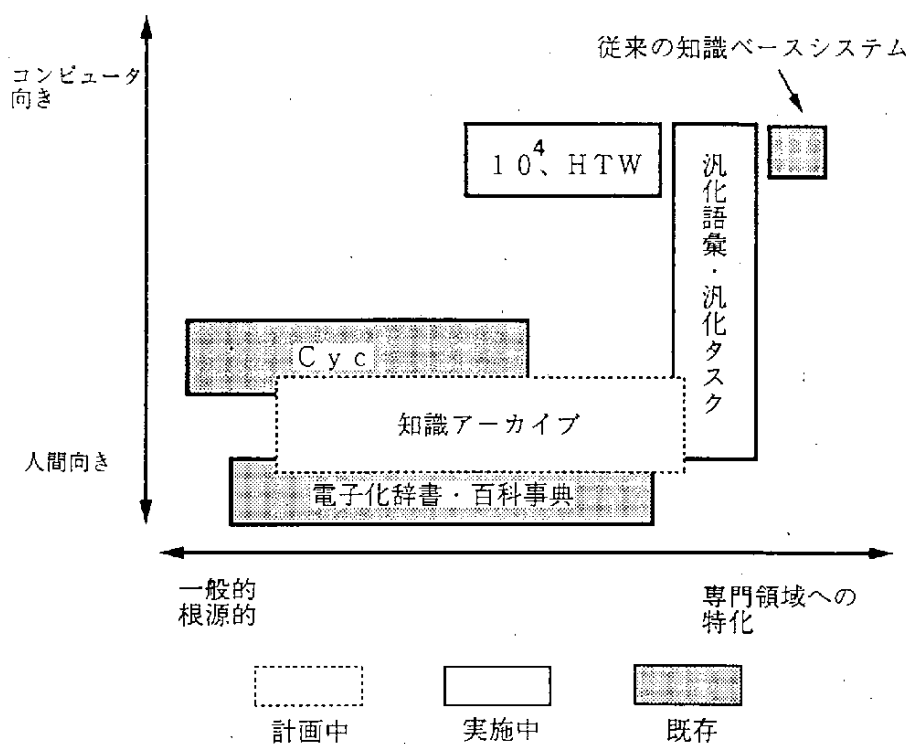


図 3-2 集積指向のアプローチによるプロジェクト

Cycプロジェクト Cycプロジェクトは、全ての知識に共通する常識的知識を包括的に収集することをねらって、アメリカのMCC(Microelectronics and Computer technology Corp.)で1984～94年にかけてMCCのLenatが中心になって手作りで作成されてきた[30,29,59,60]。Cyclistと呼ばれる知識投入者が所定の知識源を理解してCycの知識表現で記述してきた。一定量の知識が集積されるまでは、機械学習や自然言語理解が有効に機能しないので、人手による収集が不可避であるという認識に基づいている。プロジェクトの初期の段階では、百科事典が知識源として選ばれた。

Lenatによると、Cycプロジェクトでは、知識を集積してコミュニティで共有できる大規模知識ベースを実際に構築すること("get it to exist, to work (not appear to work), and to be used")を最優先してきた。10年間に集積されたCycの知識ベースとテクノロジーを引き継ぎ、さらに発展させていくため、1995年1月にCycorpが設立された。Cycorpは、Cyc知識ベースの育成、CycL(1階述語論理を拡張したCycの知識表現言語)の推論エンジンの拡張、インタフェースの開発、自然言語処理・機械学習の研究などを行なう。Cycorpは、その事業への理解を深めるために、100K項、500Kアサーションを含むCycの一部を公開する計画である。公開される部分は集合関係や関連性に関する概念知識を含んでいるという。

Cycとして具体化された常識は完璧なものとは言えないが、今後改良を重ね、自然言語理解や機械学習などの技術と組み合わせることによって、人間-人間、人間-エージェント、エージェント-エージェントのコミュニケーションと知識共有が飛躍的に加速することが期待される。知識ベースシステムの観点から言うと、Cycで収集する常識的知識は既存の知識ベースシステムで収集された狭い専門的知識と人間の知識の間を埋めるものであり、別々に開発された知識ベースシステムを結合して協調させるための意味的な糊(semantic glue)の機能を果たす。

Cycの知識ベースは、認識レベル(Epistemological Level, EL)とヒューリスティックレベル(Heuristic Level, HL)から構成される。ELは、Cycと外部ユーザ(コンピュータプログラムまたは人間)のコミュニケーションのための知識表現のレベルであり、効率的な推論を行うためにCyc内部で用いられるHLとは区別される。両者を対応づけるためにTell&Askと呼ばれるトランスレータが用いられる(図3-3)。

Cycにおける知識を記述するための知識表現言語はCycLと呼ばれる。ELのCycLは、フレーム型の言語を1階述語論理に基づく制約言語(CL)によって強化したものである。ELにおける知識の記述例を図3-4に示す。

CycLによる大規模知識ベース構築作業と利用をサポートするために、継承、自動分類、知識の依存関係の管理、議論の生成・比較・撤回・矛盾解消を中心としたデフォルト推論、推論制御のためのメタレベル推論、制約処理、複数の特化された推論エンジンの管理などの豊富な推論機構と、スプレッドシート型のフレームエディタUE、概念の空

間的配置などを行うグラフィックエディタMUEを中心としたインタフェースが開発された。

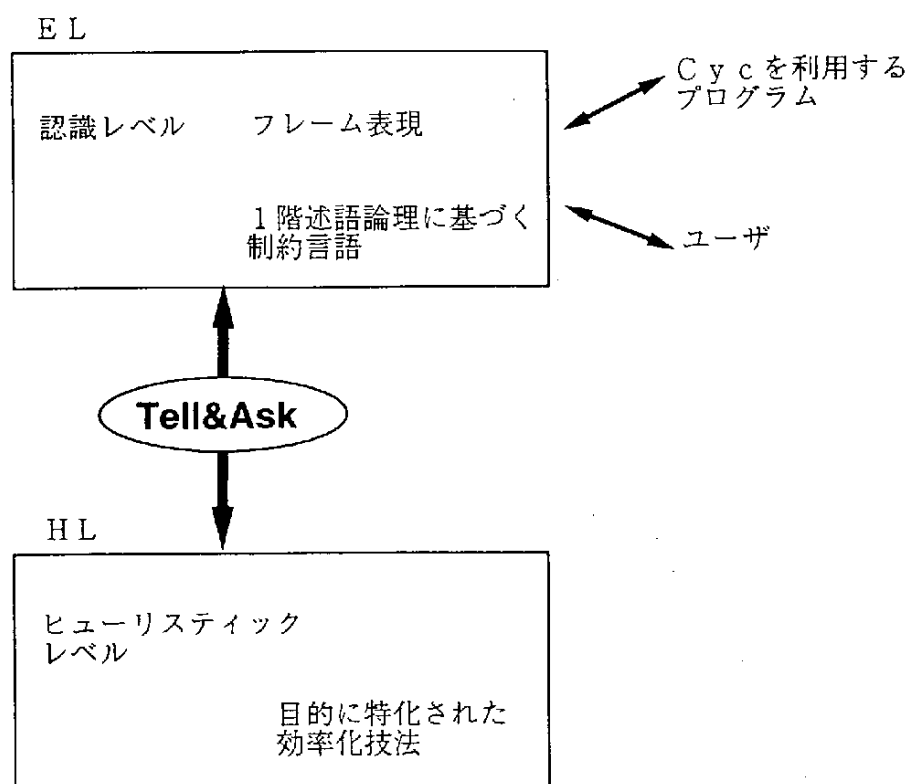


図 3-3 Cycの知識ベースの構成

EDR電子化辞書 日本電子化辞書では、大規模知識ベースにおける知識表現言語としての自然言語の役割の重要性を強調し、EDR電子化辞書を実世界に関する知識を含んだ大規模知識ベースに至る中間成果物として位置付けている。成果物である電子化辞書はCD-ROMに収納され、研究開発の基盤として利用できる状態にある。

知識アーカイブ コンピュータ上での実行可能性に関わらず自然言語、形式言語、図形言語、画像、音響などのさまざまなメディアの知識を大量に集積した知識アーカイブの構築を目標とするプロジェクト化の努力が行なわれている[44,71]。公表されている構想によると知識アーカイブの知識はいくつかの層に階層化される。量的に中心を占めると思われるのは、知識メディアで表現され、分析の対象となるように整備された知識ドキュ

メントである。知識ドキュメントは、自然言語テキスト、知識部品・プログラム、データに分類される。知識ドキュメントを蓄積した知識ドキュメントベースの上に、構造化された知識の層が作られる。機能面では、知識アーカイブは知識の収集・獲得・検索・翻訳・応用などのサービスを提供する。

(a) フレーム型言語による“residents”(住民)の記述

```
residents
  instanceOf: (Slot)
  inverse: (residentsOf)
  makesSenseFor: (GeopoliticalRegion)
  entryIsa: (Person)
  specSlots: (lifelongResidents
              illigalAliens
              registerVoters)
  slotConstraints: ((coTemporal u v))
```

「residentsはスロットの一種である。residentsOfは逆の関係を与えるスロットである。GeopoliticalRegionタイプのユニットだけがこのスロットを持つことができる。このスロットのエントリはふつうPersonユニットである。XのlifelongResidentsスロット、illigalAliensスロット、またはregisterVotersスロットのエントリは、またresidentsユニットのエントリであると考えてよい。uのresidentsユニットのエントリがvであれば、ふつうuとvは同時代のものである。」

(b) 制約言語 CL による“Buying”(購入)の記述

```
(Implies
 (LogAnd
  (allInstanceOf E Buying)
  (performedBy E X)
  (objectInvolved E Y)
  (seller E Z)
  (holdsDuring Y cost N SO)
  (occursIn E SO))
 (LogAnd
  (allInstanceOf (SkolemFunction (X Y Z) 'PAYING1) Paying)
  (performedBy (SkolemFunction (X Y Z) 'PAYING1) X)
  (objectInvolved (SkolemFunction (X Y Z) 'PAYING1) Z)
  (amountGiven (SkolemFunction (X Y Z) 'PAYING1) N)
  (subEvents (SkolemFunction (X Y Z) 'PAYING1) E))))
```

全てのBuying(購入)のインスタンスEに対して、Eの行為者をX、売り主をZ、コストをNとすると、Eの部分イベントが存在し、その行為者はX、支払先はZ、金額はNである。

図3-4 ELにおける知識の記述例

10⁴プロジェクト、HTWプロジェクト Cycプロジェクトや知識アーカイブとは対照的に具体的な工学的問題解決に的を絞り、知識ベースシステムで直接利用可能な知識の収集と体系化を主要目標として設定している。これらのプロジェクトでは、知識ベースが基本的には対象モデルと問題解決法(例えば、汎用診断エンジンや一般設計法)に分解できるというモデルに基づく推論(model-based reasoning)を基本パラダイムとし、モデルの記述と収集に重点が置かれている。

東京大学工学部における10⁴プロジェクト[33]では、機構学における知識の体系化の試みとして、機構部品のモデルの集積を行っている。様々な観点からのモデルを関連づけるためにメタモデル[28]という手法が用いられている。メタモデルは図3-5のように物理世界に関する常識的概念に基づいて異なるモデルにおける概念間の関係付けを行うための機構である。メタモデル機構で使われる概念に関する記述を蓄積するための知識ベースは、フィジカルフィーチャーデータベースと呼ばれる。フィジカルフィーチャーの表現は定性プロセス理論[11,46]の枠組みを拡張したものであり、記号的なシミュレーションが可能である。10⁴というプロジェクト名は、中間的な収集目標として設定したフィジカルフィーチャーの個数を表している。種々の工学モデルの集積と結合を促進するための枠組は、KIEF(Knowledge Intensive Engineering Framework)と呼ばれている。大規模知識ベースはKIEFに様々な知識を提供する知識源として位置付けられる。KIEFにおけるモデルの結合は、共通する物理概念を含んだメタモデルを介して行なわれる。

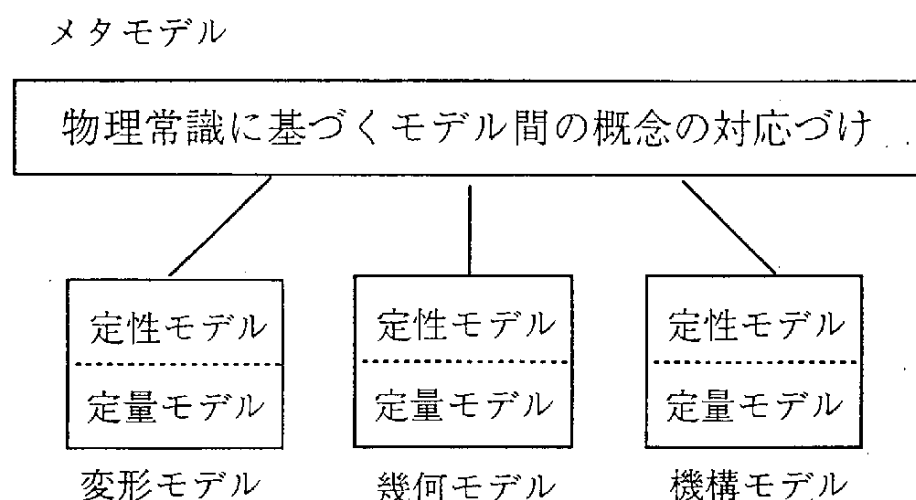


図3-5 メタモデル機構

Stanford大学知識システム研究所におけるHTW(How Things Work)プロジェクトでは、複数の領域にまたがる装置の設計と診断に必要な対象のモデルの構築、シミュレーションなどを支援するDME(Device Modeling Environment)[24,23]の研究が行われているが、ここでも対象のエンジニアリングモデルの収集が中心的な関心の一つになっている。

汎化語彙、汎化タスク 10⁴プロジェクト、HTWプロジェクトと同様に専門性の高い知識に焦点を当てている。汎化タスク[5]、汎化語彙[35,39]などが提案されている。

大阪大学産業科学研究所で行われているMULTISプロジェクトでは、知識ベースシステム部品を記述するための語彙(オントロジー)の整理と体系化が行われている。オントロジーはタスクオントロジーとドメインオントロジーに分類される。タスクオントロジーは、問題解決法を記述するのに適した量(数十から数百語)と粒度をもつ語彙(とその背後にある概念)体系であり、ドメインオントロジーは、問題解決の行われる領域(ドメイン)の対象や現象を記述するための語彙(とその背後にある概念)の体系である[37]。MULTISプロジェクトでは、まずタスクオントロジーが収集された[36]。タスクオントロジーは、汎化語彙(汎化名詞と汎化動詞)によって記述される。汎化語彙は専門分野の違いを越えて共通する問題解決法を記述するためのものである。

インタビューによる知識獲得システムでは専門家が自分の専門領域の語彙と汎化語彙との対応を取ることによって、専門的問題解決知識の事例化、再利用、自動合成が行われる。汎化語彙はコンピュータ向きの知識と人間の知識を対応づけに大きな役割を果たすことが期待される。これまでに、汎化語彙を用いてスケジューリングタスクに関する問題解決知識の収集が行われている。

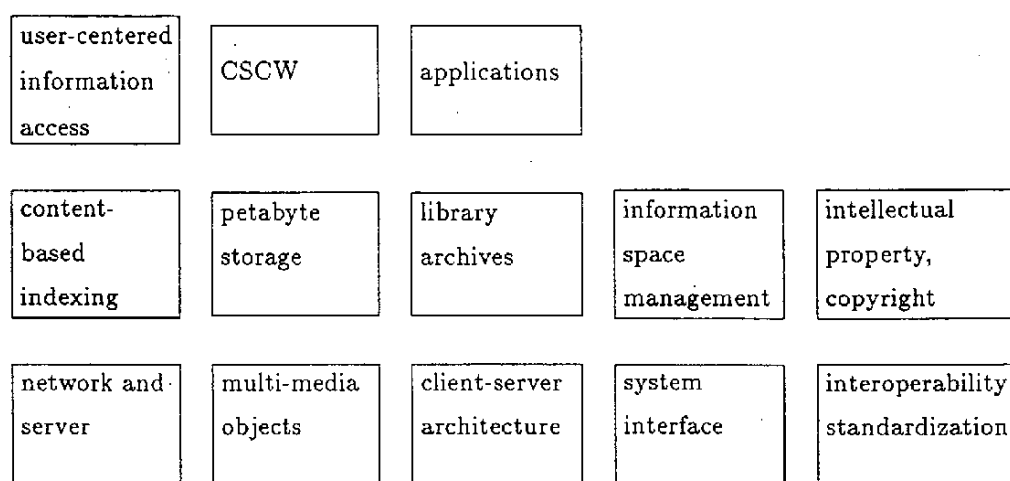


図3-6 デジタルライブラリのための技術体系

デジタルライブラリ アメリカで進行中のデジタルライブラリ計画は、表3-1に示すように6つのプロジェクトから成る(Chen95)。各プロジェクトは、指導的な役割を果たす研究者を中心に大学、コンピュータメーカ、コンテンツ提供者(出版社など)がチームを組み、具体的な目標を掲げて研究開発を推進する。

Chenによると、デジタルライブラリのための技術体系は、情報獲得、体系化、伝送、アクセスを軸とするものであり、図3-6のような構成をしている。

表3-1 デジタルライブラリプロジェクトの概要

プロジェクト名	概要
Informedia (カーネギーメロン大学)	ビデオライブラリの創作と利用のための音声、イメージ、言語理解の統合。Kanade, Wactlarを中心に、Microsoft, DEC, Bell Atlantic, Open Universityなどが参加。
The Environmental Electronic Library (カリフォルニア大学バークレイ校)	大規模化可能な知的分散電子図書館のプロトタイプ。Wilensky, Stonebrakerを中心に、Xerox, California 州立図書館、HPなどが参加。
The Alexandria Project (カリフォルニア大学サンタバーバラ校)	地図情報の包括的サービスを行なうことのできる分散電子図書館。Smithと odchildを中心に、DEC, Xerox, Library of Congressなどが参加。
Building the Interspace (イリノイ大学 Urbana-Champaign 校)	大学における工学コミュニティのためのデジタルライブラリのインフラストラクチャづくり。Mosaic へのオントロジー導入などを行なう。Schatzを中心に、NCSA, CNRI, IEEE Computer Society, AIAA, IOP, John Wiley & Sons, U.S. News & World Reportなどが参加。
The University of Michigan Digital Libraries Research Project (ミシガン大学 Ann Arbor 校)	ミシガン大学におけるデジタルライブラリ研究プロジェクト。D. Atkinsを中心に、IBM, Elsevier Science, Apple Computer, Bellcore, McGraw-Hill, Encyclopaedia Britannica Educational Corp. などが参加。
Stanford Integrated Digital Library Project (スタンフォード大学)	一様なアクセスを可能にする単一の書館。information bus、デジタルライブラリの自己組織化などについて研究する。Garcia-Molina, Winograd, Shohamを中心に、HP 研究所、NASA/ARC, ACM, Bellcore, WAIS Corp., Zeroxなどが参加。

3.2 知識の共有

知識の共有の研究は、相互接続を意識せずに作られてきたため特性が不均質なまま存在するさまざまな情報資源の統合的利用を目指したものである[47,48]。まず、SIMSにおける2層モデルとARPAの知識共有化ワーキンググループのアプローチについて述べた後、仲介、オントロジー、知識メディアなどの技術課題について述べる。

3.2.1 SIMSにおける2層モデル

ソフトウェアエージェントの内部がデータベースである場合について、まとまった研究がされている。SIMSモデル[1]では、ソフトウェアエージェント系に共通する概念体系（ドメインモデル）に基づいて情報を提供する情報検索エージェントと、実現方法に特化したモデル（情報源モデル）に基づいて情報を提供する情報サーバから成る2層モデルが用いられている。

質問が与えられると、情報検索エージェントは情報サーバへのアクセスのプランニングとアクセスプランの生成・実行を行う。アクセスのプランニングでは、情報サーバの選択、概念の一般化、特殊化、概念・関係分割を行って、ドメインモデルレベルの質問を情報源モデルレベルの質問に変換する。アクセスのプランニングでは、move-data(1つの情報サーバから得られた情報を別の情報サーバに移す)、join(2つのデータ集合にjoinを適用して新しいデータ集合を導出する)、retrieve-data(特定の情報サーバから検索するデータを規定する)などの操作からなる情報サーバへのアクセスプランを生成する。

3.2.2 ARPAの知識共有化ワーキンググループのアプローチ

ARPAの知識共有化ワーキンググループなどでは、ソフトウェアモジュールの入出力を共通言語を用いて統一する枠組をつくり、インターオペラビリティ（相互運用性）を向上させる試みをしてきた[40,53]。共通のプロトコルと情報表現言語を用いたメッセージ交換によって、相互作用するソフトウェアモジュールを仮想知識ベースまたはエージェントと呼んでいる。仮想知識ベース間で共通言語・プロトコルを用いた知識共有が行なわれる。各仮想知識ベースは、知識ベースシステム、データベースシステム、ソフトウェアツールなどのツールにメッセージ処理をするモジュールをかぶせてインプリメンテーションの詳細を隠蔽（カプセル化）したものである[14]。

図3-7にこのタイプのモデルの枠組を示す。エージェント間のメッセージ交換は、

ソフトウェアツールをカプセル化したエージェント

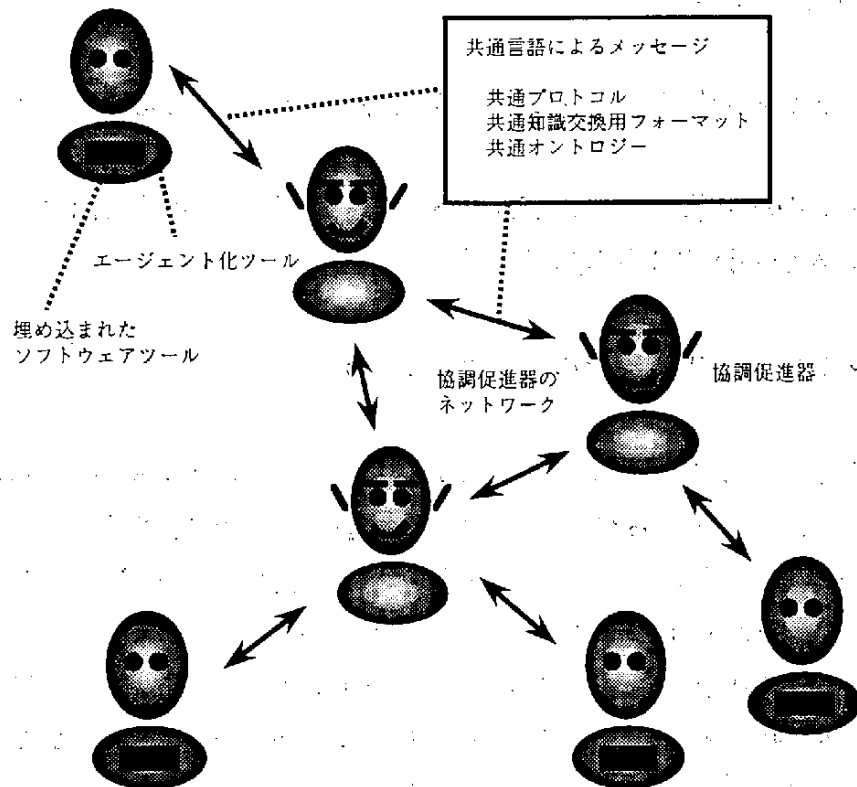


図3-7 共通言語で相互作用する仮想知識ベースによる知識共有

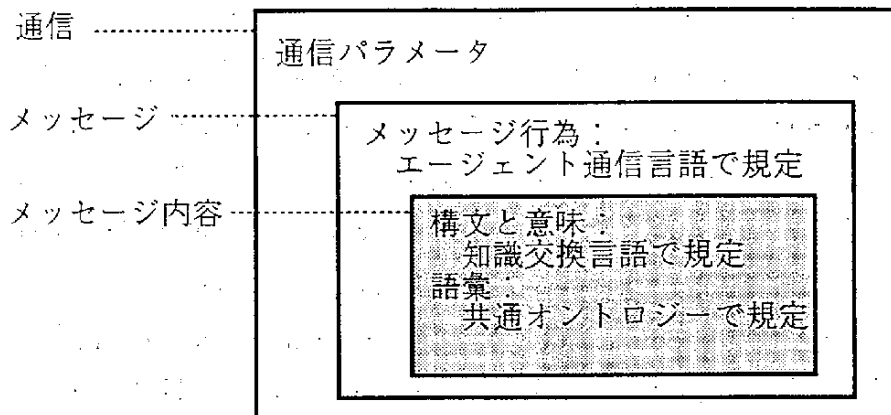


図3-8 エージェント間でやりとりされるメッセージの階層

原則として協調促進器(facilitator)と呼ばれる管理用エージェントを介して行なわれる。つまり、メッセージはエージェント-協調促進器の間、または協調促進器どうしの間で送受される。協調促進器は、

1. エージェントから発信されたメッセージ内容を解析して宛先を決定する
2. エージェントの取り扱うツール依存のメッセージ表現と共通言語によるメッセージ表現の間の相互変換を行う
3. エージェントの初期化や実行のモニタリングを行う

などの役割を果たす。このアーキテクチャは連邦アーキテクチャ(federation architecture)と呼ばれる。エージェントからのメッセージには必ずしも宛先が明記されている必要はない。また、エージェントはエージェント系全体に共通するメッセージの生成・解析を行う必要はなく、ツールに依存したメッセージだけを扱えばよい。

エージェント間でやり取りされるメッセージは図3-8のように、3層に分けられる。最も外側の層は通信層であり、メッセージを実際に伝達するために必要となる低レベルの通信に関する情報が記述される。その内側の層はメッセージ層であり、メッセージによる行為をエージェント通信言語を用いて記述する。最も内側の層であるメッセージ内容は、メッセージにおいて参照される処理対象の記述である。構文と意味は知識交換用言語で規定され、語彙は共通オントロジーで規定されたものが用いられる。

KSEでは、エージェント通信言語として、KQML(Knowledge Query and Manipulation Language) [10]、知識交換用言語としてKIF(Knowledge Interchange Format)[13]、共通オントロジー記述用言語としてOntolingua[15]が提唱されている。

KQMLによるメッセージを理解し、然るべき応答を返すエージェントは、KQMLエージェントと呼ばれる。KQMLエージェントを外部から見ると、仮想知識ベース(VKB:Virtual Knowledge Base)に基づく応答をしているとみなすことができる。KQMLには30種類余りのタイプのメッセージ行為が定義されている。それらは、情報伝達(tell, deny, untell)、質問(ask-if, ask-all, stream-all, reply, sorry など)、依頼(achieve, unachieve など)、生成器関係(standby, ready, next, discard など)、通知(subscribe, monitor)、ネットワーク処理(register, unregister など)、仲介処理(broker-one, recommend-one, recruit-one など)などに分類できる。なかでも、仲介に関するものは特徴的である。ユーザは新しいメッセージ行為を所定の形式で定義することによって与えられたメッセージ行為集合を拡張することができる。

KIF(Knowledge Interchange Format)は、1階述語論理を拡張して、項の定義、メタ知識

(知識に関する知識)、集合、非単調理論などを記述できるようにした知識交換フォーマットである。

Ontolinguaは、異なる知識表現ツールに基づくエージェントの間に共通のオントロジーを定義することによる知識の共有の促進をねらったものである。対象領域に現れる対象のクラス、関係、関数、オブジェクト、法則を記述するためには、KIFを拡張した構文と意味論に基づく宣言的な表現を用いる。Ontolinguaはフレーム型の概念化(フレームオントロジー)をサポートするために、数十個の2階の述語を提供している。

ARPAの知識共有作業部会の方式の特色は、内容によるメッセージ配送を行なう動的なメッセージの知的ルーティング方式である。例えば、(1) 情報提供側は自分の提供できる機能を協調促進器にadvertiseする、(2) 情報利用側は自分の求めている機能を協調促進器にsubscribeする、(3) 協調促進器は両者を照合して情報提供側と情報利用側を取り持つ(matchmaking)、という3ステップによるメッセージ仲介が行なわれる。

このようなアプローチはコンカレントエンジニアリング[7]とも密接な関係があり、特に、コンカレントエンジニアリングに適用したPACTプロジェクト[6]がよく知られている。ロッキードAI研究センターでは実証実験が継続されている。Markによると、現在使用されている知識ベースシステムは近似に過ぎないので、継続的に改善し成長させていかなければならないが、その過程で知識ベースシステム構築者と利用者の間でオントロジーに関する合意を維持し続ける必要がある。すなわち、構築者と利用者の間に"contract of expectation"が必要である。用語の相互的な依存関係を保存し、修正を追跡するツールComet、Cosmosがある。

ヨーロッパ宇宙オペレーションセンターでは、ARPA知識共有活動の提案に基づくヨーロッパ共同体宇宙船のミッションコントロールシステムのパイロットモデル試作が行なわれた。

3.2.3 オントロジー

オントロジーは対象領域に存在する対象やその間の関係に関する概念化(conceptualization)とそれを表現するための語彙(terminology)を陽に規定したものである。「オントロジー」という用語は、もともと哲学用語であり、存在(existence)の体系的な取扱いを意味している知識ベースにおけるオントロジーのタイプと役割を図3-9に示す。

LADSEB-CNRのGuarinoは、「オントロジー」という用語が現在さまざまな意味で用いられていることを指摘し、それを整理する試みを行なっている。Guarinoによると、「オントロジー」という用語は、(1) 哲学の存在論、(2) インフォーマルな概念体系、(3) 形式的な意味論体系、(4) 「概念化」の規定、(5) logical theoryによる概念体系の表現、(6)

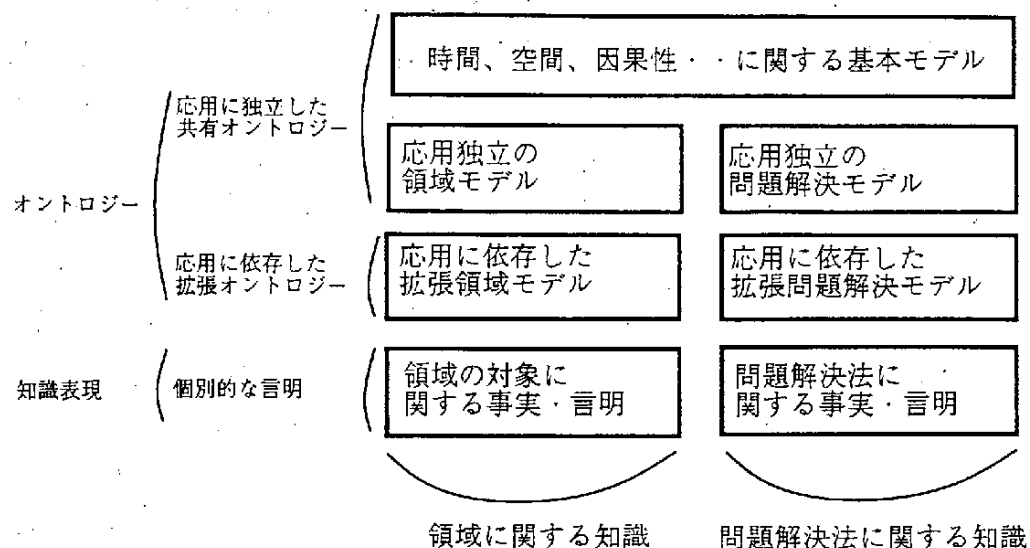


図3-9 知識ベースにおけるオントロジーの役割

1. 存在論の考え方に基づいて、人工物としてのオントロジー (= オントロジー理論: ある概念化のもとで常に真となることを意図された論理式の集合) を構築する試みをオントロジー工学と呼び、知識工学の一部門として位置付ける。
2. オントロジーは特別な種類の知識ベースである。
3. オントロジーは背後に概念化を伴う。
4. 異なるオントロジーが同一の概念化を内在することがある。
5. 異なる知識ベースが同一のオントロジーにコミットすることがある。

図3-10 Guarinoによるオントロジー関連用語整理の試案

logical theoryで使用されている語彙体系、(7) logical theoryのメタレベルの規定、などの意味で使われている。混乱を解消するために、図3-10のように用語を区別することを提案している。

大阪大学の溝口は、タスクオントロジー構築のための方法論を提案し、それに基づくタスクオントロジー構築の実験を行なっている。まず、知識ベースシステムにおけるオントロジーを「人工システムを構築するためのプリミティブとして使われる概念／語彙の体系」と規定し、オントロジーへのアプローチを直接法、間接法、事例ベース法に分類した。各アプローチにおけるオントロジーは、それぞれ知識再利用のためのコンテンツオントロジー、知識共有のためのTell&askオントロジー、事例検索のためのインデクスオントロジーと呼ばれる。この方法論に基づくタスクオントロジー構築実験は、スケジューリングタスクを対象に行なわれた。

ARPAの知識共有作業部会の提案では、エージェント間でやりとりされるメッセージはオントロジー記述言語Ontolingua[16,15,17]で記述された共通オントロジーを用いて記述することとした。対象領域に現れる対象のクラス、関係、関数、オブジェクト、法則を記述するためには、KIFを拡張した構文と意味論に基づく宣言的な表現を用いる。Ontolinguaはフレーム型の概念化(フレームオントロジー)をサポートするために、数十個の2階の述語を提供している。図3-11にOntolinguaによる概念定義の例(「(文献の)著者」の概念定義)を示す。ここでは、

$$\begin{aligned} \text{value-cardinality} : (\text{?domain-instance}, \text{?binary-relation}) &\mapsto ?n \\ \text{value-type} : (\text{?domain-instance}, \text{?binary-relation}, \text{?class}) &\mapsto F/T \end{aligned}$$

がフレームオントロジーとして提供された2階の関数、述語であり、それぞれ対象?domain-instanceが2項関係?binary-relationによって対応づけられる対象の個数とタイプを表わす。

このアプローチでは、まずアプリケーション領域に関するオントロジーをOntolinguaで記述し、次にそれをエージェント開発チームに配布してローカルな知識表現システムの概念定義に翻訳し、知識ベースに組み込む。

問題が大規模・複雑になって全体を見渡せなくなると、システム開発に先行する共通オントロジー構築は極めて困難になる。また、既存のエージェント系が存在するときその再利用をどのように行うかが問題になる。

そこで、異なるオントロジーに基づく知識表現の間の結合機構を導入することによって、別々に開発されたサブシステムの統合を図る方式が考えられる。この方式は、対象領域は一つの大域的なオントロジーによってではなく、異なる側面毎に定義された局所

```

(define-class AUTHOR (?author)
  "An author is a person who writes things.
  An author must have created at least one document.
  In this ontology, an author is known by his or her real name."
  :def (and (person ?author)
            (= (value-cardinality ?author author.name) 1)
            (value-type ?author author.name biblio-name)
            (>= (value-cardinality ?author author.documents) 1)
            (<=> (author.name ?author ?name)
                (person.name ?author ?name))))

```

?author が著者であるとは、?author が person であり、関係 author.name で規定されるちょうど一つの対象が存在し、それはクラス biblio-name のインスタンスでなければならず、author.documents で関係づけられる少なくとも1個の対象が存在し、author.name という関係と person.name という関係が同値であることである。

図 3-1-1 Ontolinguaによる概念定義の例

オントロジー(アスペクト[63])の集まりとして特性化される。異なるオントロジー間の知識変換は、アスペクト変換規則として規定される。

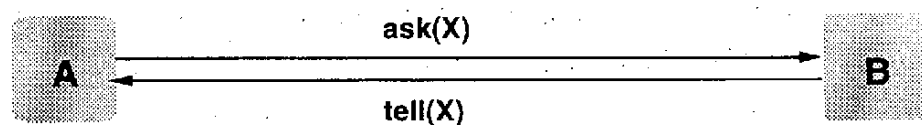
アスペクト変換規則の構築と更新を支援する方法として、ヒューリスティックや機械学習の手法を用いて未知の情報源のモデルを推定したり、変換規則の管理を行なう方法がいくつか研究されているが、まだ十分な成果は得られていない。

仲介によるエージェントの協調 エージェント間の最も基本的なコミュニケーションは、メッセージの宛先を明示するものである。この方式はエージェントの個数が増加し、仕様の変化が頻繁になると、どのエージェントが所望の機能をもっているかを知るための労力が増える。また、エージェント間の結合が固定化されると、新しいサービスの恩恵を受ける機会を失いかねない。

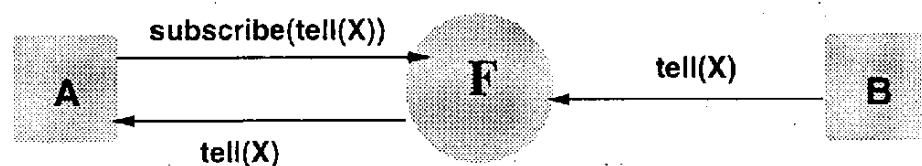
ARPAの知識共有作業部会で開発されている動的なメッセージの知的ルーティング方式の詳細を図3-1-2に示す。

MCCのHuhnとSinghは大規模な常識ベースとして知られるCycを共通オントロジーとして使用することによるエージェント連携方式を提案している[18]。これは独立につくられたデータベースのデータモデルと共通オントロジーの間の対応関係の論理的記述を

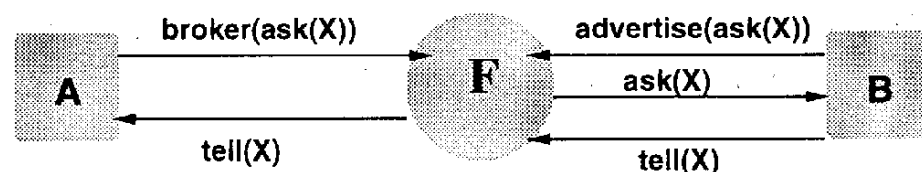
(a) アドレス指定型ルーティング



(b) subscribe 型ルーティング



(c) broker 型ルーティング



(d) recruit 型ルーティング

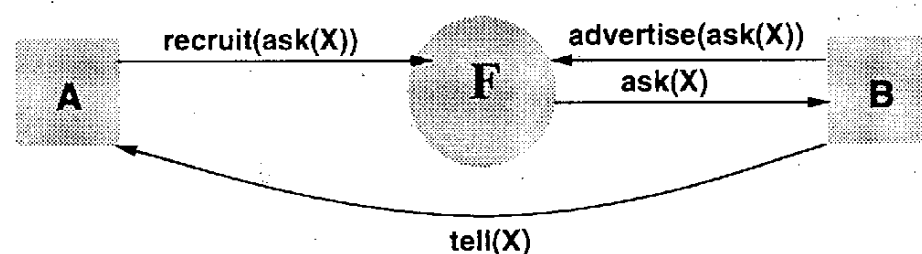


図 3-1 2 KQMLによるメッセージの知的ルーティング方式

与えることによって意味レベルでの情報変換を可能にしている。

エージェントたちの間での連携を促進するためにはさらにエージェント間の相互作用をとりもつ情報バブとしての仲介器(mediator)が必要である。Wiederholdは仲介器の機能

として次のようなものが必要であると指摘している[70]。(1)多様な情報資源へのアクセスの選択、(2)適切な情報源の選択、(3)適用範囲の不整合の解消、(4)抽象化による粒度の整合、(5)広範な情報源からの情報の統合、(6)広範な情報源からの情報の評価、(7)広範な情報源からの情報の質と関連性に基づく順位づけ、(8)重複情報と既知情報の削除、(9)期待値や傾向からの例外の検出、(10)ユーザに対する情報提示を効果的にするための素材の加工、(11)ユーザのバンド幅やメディア能力への適応、(12)応答時間向上とコスト低下のための最適化。

3.2.4 知識メディア

知識メディア(KM)は、人間のように高度の知能をもつ主体によって解釈されなければ価値のない人間向きの情報メディア(HM)と、コンピュータによって実行可能ではあるが人間にはわかりやすいとは言えないコンピュータ向き情報メディア(CM)を統合する情報メディアとして提案されたものである[56]。

知識メディアの研究では、知識の創出・流通・共有・利用・体系化が効果的に行なわれる情報環境を作り出すことが大目標となる。基本的な認識として、情報表現の効用と構造化の労力のトレードオフがある。すなわち、情報システムで扱う情報のうち、コンピュータに理解可能なものの割合を高めるほど大きな効用が得られるが、それに伴う労力も急速に増加する。特に、現在の技術では人間向きの情報を全てコンピュータに理解させることはできない。従って、問題に応じて情報の構造化の範囲と程度を注意深く模索することが必要である。

知識メディアのアプローチでは、まず、人間とコンピュータの長所を組み合わせ、そのなかで知識が増加・進化する知識マーケットの系を出現させ、次に、人工知能技術を応用して種々の知的エージェントを導入し、コンピュータ向き情報メディアの割合を徐々に高めていく、ブートストラップの方法論が用いられる。

以下では、知識メディアに関するいくつかの話題を述べる。

カプセル化と関係づけ SHADEプロジェクトを中心に、協調設計のための知識メディアシステムの研究が行なわれている。知識メディアは、人間とコンピュータの間コミュニケーションメディアとして明示的に定義された知識表現として位置付けられ、研究課題として(1)設計知識の表現の共有、(2)非常に異なるツールからの異種フォーマットによるデータの間の関係の表現、(3)処理向きに構造化された知識とそうでない知識の間の関係づけ、(4)情報の依存関係の表示とそれに基づく変更通知、を掲げている。

Reduxサーバ[54]では、図3-13のような協調設計における決定構造の明示的な表現

を用いてグループによる協調設計過程の知的管理（設計変更の知的伝播など）を行なう。ここでは、ドメイン固有の表現はカプセル化されている。*Redux*サーバは、カプセル(決定や理由を記述するボックス)間の関係だけを理解でき、設計変更の伝播や決定の状態管理を行なう。

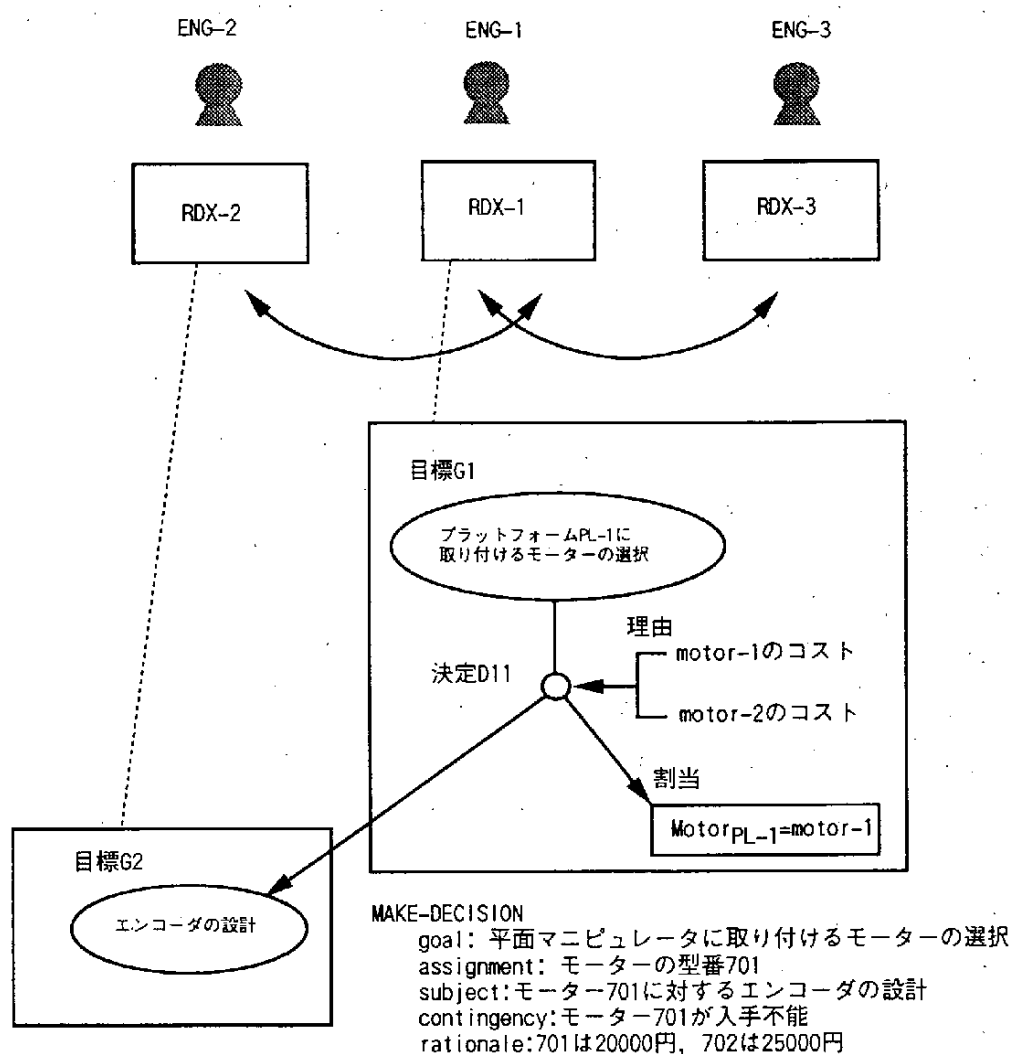


図 3-1 3 *Redux*サーバ[54]における決定構造の表現

マルチメディア文書の知的管理・分析・共有 知識獲得などの知的手法を用いたマルチメディア文書の管理・分析・共有は、人間指向の情報メディアに拠点をおいた知識メディアへのアプローチとして重要である。概念マップを用いて研究プロジェクトのミッションやプロジェクトの目標を記述したマルチメディアドキュメントを異なる研究グループのサイト間で関係づけるグループウェア知識支援システムMediator[12]はそうしたアプローチの成果として位置付けられる。

電子メディアからの知識ベース生成 電子メディアの急速な普及に伴って、大量の自然言語・マルチメディア文書が電子化されつつあることに注目し、電子メディア（主として自然言語テキスト）からの情報獲得、オントロジー構築を試みる論文が何件か発表されている。大半の研究は自然言語の構文・意味のレベルに、具体的な問題解決知識の獲得までは踏み込んでいないように思われる。そうした中で、植物事典の記述を自動的に知識表現化して、植物分類の知識ベースシステムの構築を試みている Taylor の試みは注目される。

自然言語からの情報獲得 文献[27]はトレーニングコーパスから自動的に言語パターンを獲得するシステム PALK A について報告している。このシステムの主要な目標は言語パターンの大規模知識ベースの構築の支援である。PALK A は特定の領域のサンプル入出力を使う。パターンは FP-構造 (Frame-Phrasal pattern structure) と呼ばれる特殊な形式として表現される。FP 構造は意味フレームと句パターンの対である。獲得はパーザに対するフィードバックとして行われる。関連する文の試行パーズングが適当なパターンの欠如によって失敗すると、獲得システムは新しいパターンを作成する。獲得されたパターンは意味制約の一般化を通してさらにチューンされる。帰納学習メカニズム (Michalski, 38; Mitchell, 82) が一般化に用いられている。

このアプローチにおける仮定は、限定した領域ではある情報を記述するために比較的少数の表現が頻繁に使用されることである。ゆえに、たとえ完全な句をパターンとして表現したとしても、ある情報を抽出するためのパターン数は有限である。さらに、ある種の応用領域に対するパターンの大半はその領域から抽出された比較的少数のトレーニングコーパスでカバーできる。

この研究の背景は ARPA がスポンサーをしている MUC (Message Understanding Conference) である。各システムは再現率と正解率によって評価される。再現率はシステムが生成した正解数を全ての正解数で割ったもの。正解率はシステムが生成した正解数をシステムが生成した回答数で割ったものである。

限定された領域の情報抽出タスクは一般的な自然言語理解タスクと大変異なっている。自然言語理解にとっては、言語の複雑性を完全に扱い、暗黙的に意図された意味も含めて入力文の全ての意味を表現する出力表現を生成しなければならない。古典的な方法は構文解析と意味解析を行うことであった。

これに対して限定された領域での情報抽出においては、完全な構文解析や意味解釈は不要である。BOMBING や KILLING といった、入力テキストが写像される少数のイベントカテゴリがあるだけである。また、抽出されるべき情報のタイプは予め定義されている。ゆえに、関連ある文に対してすら、関連ある情報をもたらすいくつかのタームを解釈すれば十分である。このような特製のため、MUC-4 においてうまくいったシステムの

多くは様々な形態の言語パターンを使用し、パターンマッチングを使用している。

FP構造について。次の文：

- 1.The dynamite exploded inside the administration office.
- 2.The dynamite destroyed the windows of the administration office.
- 3.The dynamite was hurled to the administration office.
- 4.The dynamite explosion caused serious damage to the administration office.
- 5.The administration office was damaged by the dynamite explosion.
- 6.An attack with a dynamite in front of the administration office has left one person injured.

は全て同じ情報

even category: bombing, instrument: dynamite, target: administration office

を含んでいる。これらをbombingに分類することが意図されているときは、上記の文をexplode-event, hurt-event, leave-eventに写像することは無意味である。

FP構造では情報のタイプを定義するフレームと構文的な順序関係を記述する句パターンの対として言語パターンを表現する。知識構造はFP構造のネットワークと概念階層として構成される。類似の表現にはphrasal lexicons(Becker,75;Zernik,87)、パターン・概念対(Wilenski,84)、句パターン(Hobbs,92)、概念ノード(Lernert,92)、語彙パターン(Jacobs,93)などがある。FP構造の特色は、意味が予め定義された情報タイプを用いて表現されていること、マッチングのためのパターンとして完全な句が指定できること、ドメインの概念階層における概念または概念の組み合わせを用いて意味制約が規定できること、である。

獲得のプロセスは、パーザに対するフィードバックとして遂行される。知識ベースの状態によってパーザは、正しい解釈／解釈なし／誤った解釈のいずれかの結果を生じ得る。正しい解釈が得られた場合は獲得のプロセスは起動されない。たとえば、

入 力 : A powerful bomb exploded in front of the building.

パターン : bombing:[(instrument: dynamite) explode]

の場合、パターンのdynamiteが特殊すぎるので解釈なしになる。この場合、新しいパターンが入力文から生成され、過去のパターンを用いて一般化される。また、たとえば、

入 力 : The foreign debt crisis exploded in Andean countries.

パターン：BOMBING[(instrument:thing) explode]

の場合は、意味制約がthingと過度に一般化されているので入力文はBOMBINGと誤って解釈されることになる。この場合は、意味制約は適切なレベルまで特殊化される。このようなプロセスを通して、システムは無矛盾で意味的に正しい知識ベースを生成していく。

PALKAにおける獲得手続きの詳細について述べる。

フレーム定義と文抽出：FP構造の獲得は1度に1つずつ行われる。たとえば、システムは最初にBOMBINGイベントフレームに対するパターンを全て獲得し、次にKILLINGフレームに対する全てのパターンを獲得し、最初にFP構造の初期構造が作られる。

単純な節：もとのテキストが関係節、名詞句、接続句などを含んだ複雑な文からなるときは、FP構造が単純節に対して構成されるので、複雑な節を単純な節の集合に変換することが必要である。単純な句パーザは抽出された文を次のステップによって単純節に変換する。

(Step1) 単語のグルーピング：句パーザは各単語の統語カテゴリと名詞グループと動詞グループに対する順序づけ規則に基づいて単語をグループにまとめる。単語統語カテゴリの基本的な決定はこのステージで遂行される。

(Step2) 単純化と分解：グルーピングが遂行されたあと、句パーザは冠詞、副詞、引用符、括弧のような不必要な要素を取り除く。次に、句パーザは単純化された文をいくつかの単純な節に変換する。変換規則には、関係節、名詞節、接続節の分離が含まれている。

FP写像モジュール：この時点で、意味フレームの定義が得られており、単純な句パターンが抽出されている。これらからFP構造をつくるために、フレームスロットと句パターン要素の間のリンクが確立されていなければならない。テンプレートが得られるか否かによって二つの動作モードがある。

自動写像モード：テンプレートが得られれば、PALKAは対応するテンプレートにおける情報を使って写像を探し出す。フレーム定義の各スロットはテンプレートの一つまたは複数のスロットに対応する。フレームの各スロットに対してシステムはテンプレートのなかを探してそのスロットに対するフィルターを拾い上げる。次に、句パターンの各要素は集められたフィルターと比較される。もし要素がフィルターとマッチすれば対応するスロットとマッチした要素の間のリンクがつけられる。

対話的写像モード：テンプレートがないとき、PALKAはまずフレーム定義の各スロッ

トに対して規定された初期的な意味制約を使い、次にユーザとの対話によって写像を確立することによって各スロットに対する候補をみつける。

FP構造の構築：全てのリンクが確立された後、PALKAは写像情報に基づいてFP構造を構築する。FP構造をつくるための基本戦略は写像要素と主動詞を含め、写像されない要素を捨てることである。なぜならば、関心のある情報だけを拾い上げる必要があるからである。しかし、主動詞、主語、目的語のような必須格はたとえそれが写像されなくても含まれる。これはそのパターンが実際に情報抽出に使われるとき、パーズングのマッチングプロセスを促進するためである。FP構造構築のためのいくつかの基本的なルールは次のとおりである。

(Rule1) 全ての写像された要素をその意味カテゴリに置き換える。

(Rule2) 名詞グループにおける写像された要素が主名詞であるとき、そのグループ全体をその要素に置き換える。そうでなければ残りの要素も含める。

(Rule3) キーワードを含む句を除き、全ての写像されない前置詞句を捨てる。

(Rule4) 写像されない名詞グループは、その主名詞の意味カテゴリに置き換えた後、それが前置詞句の一部でない限り保存する

(Rule5) 全ての動詞はその根形式に置き換える。そして、受動態におけるbe動詞を除く全ての助動詞を捨てる。

一般化と特殊化：一般化の目的は句パターンにおける各要素の意味制約に対する概念階層における最適レベルを決定することである。各要素に対する意味制約は概念階層における概念または概念の選言によって与える。それは概念のカバーする範囲を決定する。制約が特殊すぎるとそれは文を見逃すことになる。制約が一般的すぎるとそれは誤ったマッチすることになる。

新しく生成されたパターンの意味カテゴリーは最も特殊なものになるので、それは可能な限り一般化されなければならない。獲得されたFP構造は一般化のために既存のものと比較される。より単純な句パターンをもつ二つのFP構造が生成されたときその意味制約は一般化される。誤ったマッチングなどによって過度に一般化されたパターンが見つかったとき、対応する意味制約は特殊化されなければならない。

この論文ではsingle-stepとincrementalという二つの異なるアプローチを与える。いずれにおいても帰納学習が意味制約の修正に適用される。たとえば、新しく生成されたパター

ンの意味制約が正の例として使われ、誤ってマッチしたパターンが負の例として使われる。

single-stepの一般化では、アルゴリズムは獲得過程の間、FP構造の各要素に対する例題意味制約（概念）のリストを保持し、最後に適切な意味制約を計算する。正の例に出会ったときは、対応する概念をP(Positive)リストに追加する。負の例に出会ったときは、N(Negative)リストに追加する。一般化はこれらのリストを使って獲得過程の最後に実行する。

一般化は無矛盾な意味制約のなかの最も一般的な概念を検出することである。無矛盾な意味制約とは正の例を含み、負の例を含まないもののことである。

インクリメンタルな一般化：トレーニング集合のサイズが大きいとき、獲得の間に意味制約を変更すると獲得プロセスをスピードアップする。なぜならば、パーキングの失敗の回数が減少するからである。インクリメンタルなアプローチでは、アルゴリズムは新しい例文に遭遇するたびに意味制約を修正する。獲得過程において新しい正または負の例に出会うと一般化または特殊化がただちに実行される。正の例に出会うと、意味制約が一般化され、負の例に出会うと意味制約が特殊化される。

3.3 エージェント

複雑・多様化するネットワーク社会に適した新しい情報処理パラダイムとして、エージェントへの関心が高まっている。ここでは、人間の情報スペース探訪を支援するという視点からエージェント技術をサーベイする[50,49]。

3.3.1 エージェント技術の全体像

エージェントは、急速に普及するマルチメディアと大域ネットワークに適した新しい情報処理パラダイムとして提案された。何をエージェントと呼ぶかについては、まだ研究者の間で合意に達しているわけではない[22]が、エージェントという用語は、ふつう「ユーザの代理人として、仕事を代行するソフトウェアモジュール」ないしは「情報環境で自律的に作業を行なうソフトウェアモジュール」を指すために使われている。エージェントは、人にやさしく楽しいコンピュータ環境の実現、コンピュータに支援されたヒューマンインタラクションの場の創出、ネットワークを介した大規模な情報共有などの応用面において、インパクトが期待される。

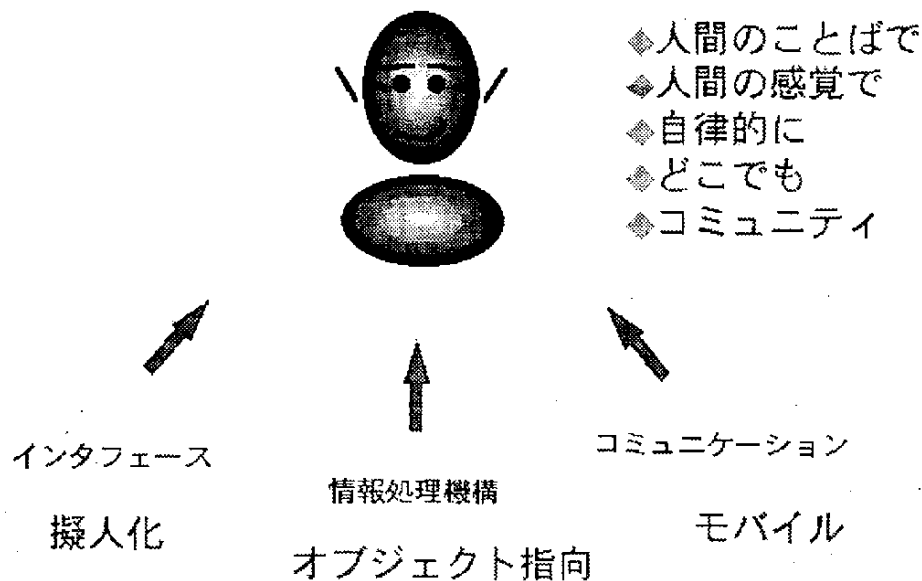
現在応用分野でエージェントと呼ばれているものは、外面的な違いから次のように分

類される。

1. モバイルエージェント
2. エージェント指向インタフェース
3. 擬人化エージェント
4. 代理人プログラムとしてのエージェント
5. 共通言語で相互作用するソフトウェアモジュール

これらの「エージェント」は、ユーザから一定の権限を委嘱され、ユーザの仕事を代行する「代理人」という特性が共通している(図3-14)。この特性は、代理人プログラムとしてのエージェントの本質である。モバイルエージェントは「代理人」の移動性が強調されている。擬人化エージェントでは、「代理人」の「人」としての側面が強調されている。人間社会の種々の社会既約に従い、システムによっては感情を交えた反応をする。知識共有におけるエージェントは、「代理人」を外部から利用する立場から捉えたものであり、情報ネットワーク社会における種々の不均質性を克服して情報を共有するために代理人のネットワークを構成することをねらったものであると考えられる。

要するにエージェントとは、



エージェントは、人間をなぞらえた姿をし、人間の言葉を話し、人間の感覚の理解と生成を行い、自律的にどこにでも移動し、人間のコミュニティのコミュニケーションを支援したり、あるいは自らがコミュニティを形成するソフトウェアシステムとして位置付けることができる。

図3-14 エージェントの枠組み

さまざまな領域でエージェントの広範な応用が考えられる(表3-2)。応用を考えていく上で強調しておきたいことは、エージェント間のコミュニケーションばかりではなく、エージェント系に関わる人間(設計者やエンドユーザ)間のコミュニケーションを考慮に入れなければならないことである。エージェントが内容を理解できる程度に形式化された情報が多ければ多いほど間接実行によってメリットが得られるが、現状の技術ではそのような情報は人間が理解できる情報に比べてかなり狭い範囲に留まっている。従って、人間どうしのコミュニケーションで使われる情報メディアとソフトウェアモジュールどうしのコミュニケーションで使われる情報メディアの両方を関連づけた知識メディアの観点が重要である。

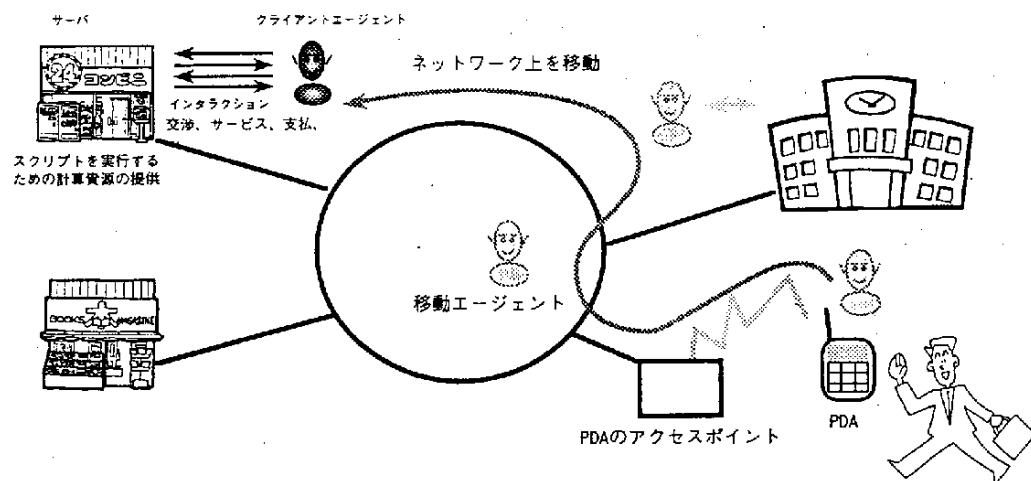
表3-2 エージェントの典型的な応用と技術の関係

タスク	エージェント関連の技術			
	共通言語・モデル	協調・仲介	間接実行	人間への能動的な働きかけ
メールのフィルタリング			◎	○
スケジュールのアレンジ		○	◎	○
電子会議		◎	○	◎
協調オーサリング	○	◎	○	○
コンカレントエンジニアリング	◎	◎	○	○
知識の共有・再利用	◎	○		
情報収集	◎	◎	◎	○
情報空間のナビゲーション	○	◎	○	◎
遠隔教育		○		◎
エンターテインメント		◎		◎
電子マーケット	◎	◎	◎	◎

3.3.2 モバイルエージェント

ネットワークに接続されたホストからホストへと移動し、遠隔ホスト上でスクリプト(手続き型プログラミング言語の一種で記述された作業手順)に記述された作業(メッセージの伝達や電子商取引など)を実行する。遠隔ホストはそのスクリプトの実行を許す環境を持っている(例えば、スクリプト言語のインタプリタを持っている)ことが条件である(図3-15)。

ネットワーク上を移動し、遠隔ホスト上で実行されるという点ではモバイル・エージェントはコンピュータウイルスと共通している。きちんとした手続きを踏んで遠隔ホストに招き入れられるか否かが異なっている。



情報ネットワーク上を移動し、スクリプトに記述された作業(メッセージの伝達や電子商取引など)を実行する。

図 3-15 モバイルエージェント

現状では、スクリプトをPDAなどからネットワークに発射して、ネットワーク上のサーバを渡り歩かせて結果を報告させるアップロード方式と、サーバからスクリプトをダウンロードして手元のコンピュータで実行させるダウンロード方式と、ホスト上に存在し、特定のユーザのために通信管理を行なうインテリジェントプロセス方式がある。

アップロード方式の代表例は、Telescriptエージェント[69]である。Telescriptは情報ネットワーク世界での広範な活動のためのプラットフォームを目指したものである。主要な応用の一つは、電子キャッシュシステムと組み合わせた電子商取引である。ユーザのエージェントは、ネットワーク上の様々な仮想商店をめぐり、電子商取引をする。Teleclicksと呼ばれる電子キャッシュをもち、遠隔ホストからサービスを受けると、その対価として一定のTeleclicksがエージェントの持ち主から遠隔ホストの持ち主に移動する。

Telescriptのもう一つの有力な応用は、ネットワークコミュニケーションの支援である。Telescriptを応用したAT&TのPersonalLinkサービスでは、例えば、返信用の通知とスケジュール管理システムのスケジュール更新手続きを含んだ電子招待状を送ることができる。

また、Telescriptは、PDA(Personal Digital Assistant)に搭載されてユーザとともに移動し、Magic Capのユーザインタフェースによって電話番号管理、住所録管理、カレンダー管理などの機能を提供するので、利便性が高い。

モバイルエージェントで強調されているエージェントの移動性は、RPC (Remote Procedure Call)の対極として提案された遠隔プログラミングに基づいている。RPCのよう

にホストに固定されたプロセスが遠隔のプロセスとメッセージ交換する方式をとると、サービスを受けている間中、通信回線を保持する必要がある。ネットワーク上のトラフィックの増加、通信の遅延やパケットの紛失などによるサービスの品質と信頼性の低下が問題になる。

モバイルエージェントそれ自体はデータと手続きが一体となったスクリプトである。通信回線の保持はエージェントを送出するときと、ミッションを済ませて帰ってきたエージェントを受け入れるときだけである。サービスを提供するエージェントとモバイルエージェントの間の相互作用は、通信回線を使うことなく、ローカルなマシンの上で行なわれるので、原理的にはRPCよりも通信量は減少することになる。また、ネットワークを渡り歩いている間に、求めているサービスに巡り逢えることもある。これらが本当に長所になっているのかどうかは今後の評価を待たなければならない。

モバイルエージェントが実用化されていくためにはいくつかの問題を解決する必要がある。第一に、モバイルエージェントのスクリプトを実行を許すマシンが十分な台数存在することが必要である。第二に、モバイルエージェントが「トロイの木馬」となってホストに害を及ぼしたり、逆にモバイルエージェントの中に蓄積されたデータが読みとられたりするのこないよう、セキュリティを十分に保証する必要がある。第三に、Telescriptなどいくつかのシステムは独自のネットワークの中に閉じたものでありWWWを中心とする既存のInternet環境との整合性が課題である。第四に、PDAを越えて、電子マーケットに展開していくためには取り引き交渉用のプロトコル開発をどのように支援するかが課題になる。

アメリカで進められているデジタルライブラリ計画では、ネットワークに接続されたホスト上を動き回ってユーザのために情報を収集する知的なノウボットの実現が重要テーマの一つとして掲げられている。

ダウンロード方式の代表例はJava[43]である。Java言語は、ネットワーク組込み型の装置、WWW、デスクトップに至るまでの幅広い環境のもとで、安全性に優れた分散ネットワーク・ベースのエンドユーザアプリケーション開発のための言語環境である。KISS(Keep it Small and Simple)思想による簡易、オブジェクト指向、マルチスレッド、ハイパフォーマンス、インタープリタとコンパイラの併用、セキュリティ、優れた移植性の特色がある。

Hot Javaブラウザはネットワークを介してどの位置からでもJavaプログラム(アプレット)をダウンロードし、ユーザマシン上で実行できる。Hot JavaブラウザはWebブラウザの機能に対話性の概念を追加している。これにより、Webブラウザの静的表示をハイパーテキストに対応した動的、アニメーション指向、対話型表示のシステムに拡張することができる。コンテンツプロバイダはインターネットを介して簡単に自分のアプリケーションを配布できる。

第一世代のWebブラウザは全てのタイプのデータ、プロトコル、動作を一枚岩の上に密結合していることが問題である。あらゆるデータタイプに対応するハンドラが含まれている。データタイプやプロトコルが変更されるとブラウザをアップグレードしなければならない。これに対してHot Javaブラウザはそのつどクライアントマシン上で実行すべきコードセグメントをダイナミックにダウンロードする。プロトコルハンドラとデータハンドラを外部から取り入れる。ユーザブラウザがサーバにオブジェクトを要求したときサーバから返されたデータのなかにブラウザが認識できないオブジェクトが含まれていると、ブラウザはサーバにそのオブジェクトをサポートするJavaコードを要求し、サーバがそれを返す。対話型教育用科学実験、ゲーム、専用のショッピング・アプリケーション、対話型広告、個別の新聞など、新しいアプリケーションに展開可能である。

遠隔ホスト上のインテリジェントプロセス方式は、オラクルモバイルエージェントがある。

3.3.3 エージェント指向インタフェース

エージェント型システムをヒューマンインタフェースの新しい姿（エージェント指向インタフェース）として具体的に示したのは、Alan Kayである。Kayは、Apple社がイメージ化したThe Knowledge Navigatorというシステムにおいて、ユーザが大規模な情報空間を探訪し、さまざまな活動を行う過程を支援する、人間の姿をもつソフトウェアモジュールとしてエージェントを定式化した。エージェント指向インタフェースの特質として、外面的な擬人性、内面的な擬人性、代理人機能、移動性があげられる。

外面的な擬人性とは、エージェント指向インタフェースが外面的にみて人間と共通する特質をもつことを意味する。すなわち、エージェント指向インタフェースは自己のアイデンティティを表象する「顔」や「体」をもち、音声・視線・表情・身振りなどの人間どうしの会話で使われるモダリティによって人間と相互作用を行う。外面的な擬人性が実現されると、コンピュータと対話するための心理的な抵抗がかなり減少するばかりでなく、コンピュータ上に現われたキャラクタへの感情移入も促進する。

内面的な擬人性とは、エージェント指向インタフェースが、(a) 自己概念とそれにもなう持続的な記憶をもち、(b) 他者を自己から区別し、(c) 人間同士の会話で使われる習慣（例えば、あいづちをうったり、主導権の交代のしかた）、社会的規約（例えば、契約や交渉など）、通念（例えば、クライアントに利益をもたらすよう行動する、他者に迷惑をかけない、など）に基づいて、人間や他のエージェントとやりとりできること、(d) 人間の情動的側面（例えば、助けてもらえばうれしさと感謝を表明する、設定され

た目標の達成が困難になれば悲しさを表明する、など)をシミュレートできること、を意味する。内面的な擬人性をもつためには、エージェント指向インタフェースは、さまざまな状況で自律的な判断を行い、人間や環境に能動的に働きかけることができないといけない。

このような特質の一部をもつインタフェースはすでに、マイクロソフトのBobやNEC 98CanBeに搭載されはじめている。研究レベルでは、東芝のTOSBURG IIやマイクロソフト研究所のPersonaなどがある。

TOSBURG IIでは、ユーザ側・システム側の発話のタイミングの制御も配慮した頑健なマルチモーダル音声対話システムを実現している[62]。

Microsoft研究所のPersonaは家庭向きエンターテインメントのアシスタントとしてはたらく、人工的な「キャラクタ」である。これまで、アーティスト・タイトル・ジャンルなどさまざまな角度から音楽CDの案内をする、鸚鵡の姿をしたPeedyというエージェントが作られている[2]。Peedyには、十分なめらかな音声認識と自然言語理解を組み込むとともに、ユーザからの入力に反応して様々な演技を行なわせ、それを適切なカメラワークでとらえることによって、実在感を高めてユーザを引き込む。

エージェントが顔や表情を持たせることによって発現する擬人性は、今後エージェントの大きな柱になっていくと考えられる。第一に、日常の人間同士の対話で使われるモダリティを用いてコンピュータとコミュニケーションができるので、コンピュータの素人でもコンピュータが馴染みやすいものになる。擬人化の考え方は、コンピュータを受動的な道具ではなく、知的なアシスタントとして位置付けていこうとする間接実行の考え方と相性がよい。第二に、人間どうしのコミュニケーションでは顔や表情は重要な役割を果たす。人間は顔や表情の識別能力が高く、かなり短い時間に事態を把握することができる。第三に、擬人性はコンピュータの癖を捉えやすくする。エージェントに代行させる作業(例えば、電子メールの分類や旅行プランの立案)が複雑になると、作業自体を厳密に定義することができなくなる。その結果、ユーザは異なるエージェントに問題の特性にあうエージェントを指定したり、複数のエージェントに同じ問題を解かせて解を比較したりするだろう。微妙な癖の表象には、擬人性が適していると考えられる。第四に、擬人化エージェントはアミューズメントの要素を取り入れやすくし、OSにゲーム的な要素を持ち込んでコンピュータを使うことが楽しくなるようにしようという最近の動向とも一致する。

3.3.4 ビリーバブルエージェントと擬人化エージェント

エージェント指向インタフェースの技術における擬人性を強調し、人工的な人格の合

成を追求したものがビリーバブルエージェントないしは擬人化エージェントである。これらの応用は、アミューズメントやエンターテインメントの世界である。そこでは、ソフトウェアは必ずしも100%の信頼性でユーザからの入力を理解し、作業を実行できなくてもよい。むしろ、存在感があり、エージェントとの対話の内容よりも対話することそのものが楽しくなることに意義がある。

ビリーバブルエージェントとは、知覚され、意図をもち、社会的なインタラクションの機能をもち、本当にそこにいるかのように感じられる自律的でインタラクティブな存在である[3]。これは映画、小説、ドラマなどで追及されてきたキャラクタに相当し、不信の一時的な停止(suspension of disbelief)を可能にする存在である。ディズニーのキャラクタのように幾何学的な姿や物理的な特性は人間と同じでなくても、相互作用をしているうちに引き込まれてしまうような実在感のあるキャラクタ（ビリーバブルエージェント）を生み出すことがねらいである。我が国ではソーシャルエージェント[38]やニューロベイビー[65]などの研究が行われている。

擬人化され、「顔」や「感情」が与えられたソフトウェアモジュールである。人間とはマルチモーダルインタフェースによって「対話」する。アニメーションやゲームのキャラクタのように、人間の忠実な再現ではなく、より抽象化された人工的な「人格」や、みかけ上は人間と異なる人工ペットを狙っている場合は、ビリーバブルエージェントと呼ばれる。ビリーバブルエージェントは、ディズニーのキャラクタのように十分な実在感があり、相互作用をしているうちに引き込まれてしまう不信の一時的な停止(suspension of disbelief)を引き起こす存在として定義される[3]。

次のような原則が提案されている。

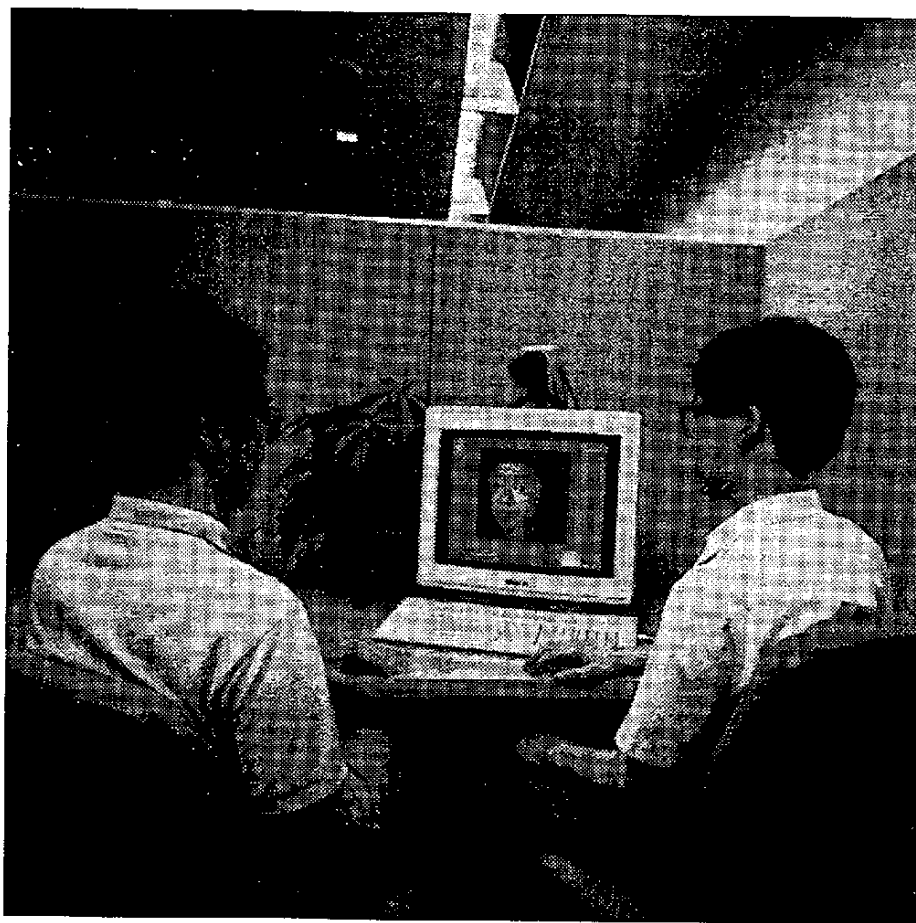
1. エージェントはそれが生命感があり、美しいほどビリーバブルである。エージェントに生命感を与えるには、知識（技能や生活習慣、記憶など）、多様な思考力、統一された自己（動機や目的からなる）、目的（現状とそうありたい状態との差によって生じる）、内部的なフィードバック、外部的なフィードバック、創発的なふるまいなどが必要である。
2. いつも規則的な応答をしたり、ループに陥ったりしないこと。
3. ある種の非線形性があること。

さらに、個人的あるいは社会的な情動を作り出すモデルが必要である。「重要な目標の失敗の見込み」によって「不安」の状態を生じさせたり、「重要な目標の成功に他のエージェントが貢献した」ことによって「感謝」の行動をひきおこすなど、プランニングの状態と情動を結び付ける研究などが行なわれている。

これまで発表されている代表的なシステムには次のようなものがある。

SONYCSLのソーシャルエージェント SONYコンピュータサイエンス研究所で研究が進められている人間どうしの会話に参加できるコンピュータである[38]。限定されているが、自己概念をもち、自己と他者を区別し、外界を認知することによって自律的に行動する。時には、積極的に発言する。「顔」をもち、音声・視線・身振りなど複数のモダリティを用いて人間と対話する。驚きや喜びなどの感情が顔の表情として現れるように、感情モデルを用いた筋肉モデルの制御が行なわれる(図3-16)。

ニューロベビー 人間からの声などに情動的な反応をする、3次元グラフィックスで生成されたアニメーション・ベビーである(図3-17,[65])。人間のコミュニケーションの円滑化を図ることをねらっている。例えば、「山田さん」が「田中さん」に怒りを伝えたいとき、「山田さん」はその感情をニューロベビーに組み込んで「田中さん」に伝えれば、怒りの直接的な表現よりも和らいだものになるだろう。ユーザの感情をニューロベビーに伝達するために、多層型ニューラルネットワークによる教示が用いられる。



独自の顔をもち、人間どうしの間でふつうに行なわれる会話に参加する。写真はSONY中央研究所 竹内彰一氏提供。

図3-16 SONYCSLのソーシャルエージェント[38]



図 3-17 ニューロベビー[65] (資料提供: ATR 知能映像通信研究所土佐尚子氏)

3.3.5 代理人プログラムとしてのエージェント

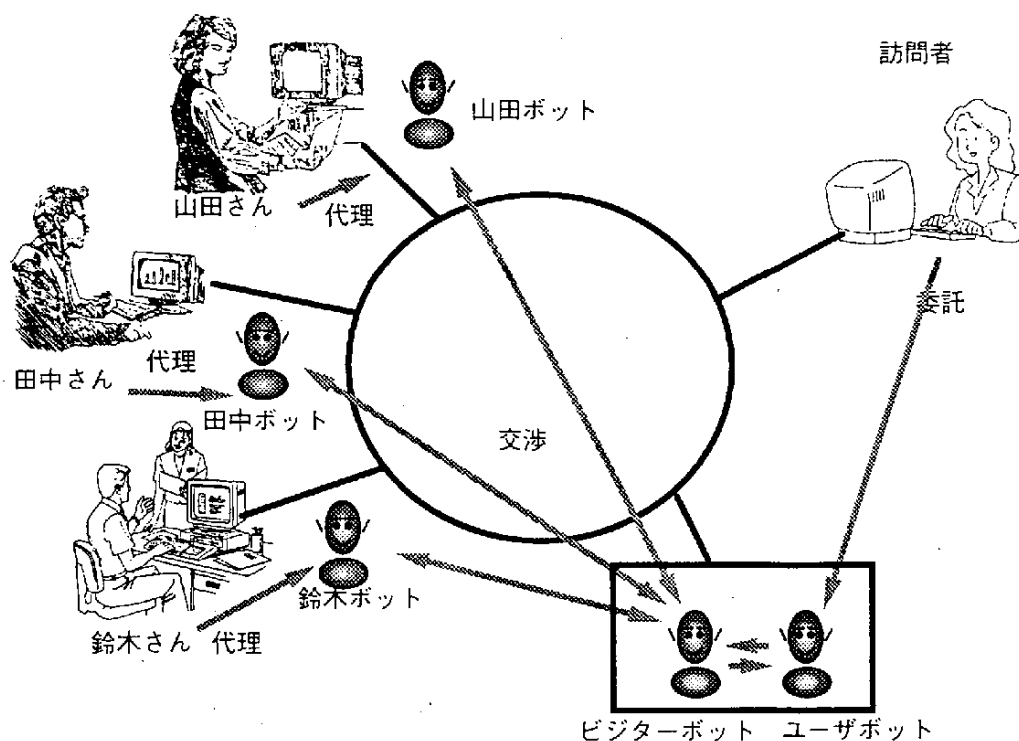
情報ネットワーク社会における日常の情報生活を助ける。ネットワークに接続されたワークステーションやパソコンに、電子メールの選別や会合のスケジュール調整をするための知的機能を追加したものと考えればよい。これまでに発表されている代表的なシステムには次のようなものがある。

Maxims ユーザが電子メールを読む作業を支援する[31]。未決のメールのなかから重要度の高いものを選別したり、ジャンクメールを削除したりする。ユーザからの指示やフィードバック、ユーザから与えられた例、ユーザのメール仕訳作業の観察などから、ユーザ固有のメールの仕訳の規則性を学習する。仕訳の規則には確信度が対応づけられている。確信度の高い規則はユーザの承認なく実行される。類似のシステムに、ネットニュースの記事のフィルタリングを行なうニュースエージェントなどがある。

後で述べるように、これらのシステムは単なる知的アシスタントであることよりもユーザの作業を代行する点にエージェントとしての意義がある。

ボット AT&Tベル研では、ユーザ・ボットとタスク・ボットという2つのタイプのソフトウェアエージェントを用いて、ベル研への訪問のアレンジをするシステムを試作した[26]。ユーザ・ボットはユーザの個性に特化したインタフェースを提供する。タスク・ボットは、スケジュール管理や会合のアレンジなど、タスクに特化した作業を行なう。

訪問のアレンジに特化したタスク・ボットはビジター・ボットと呼ばれる。ビジター・ボットは、ベル研の研究者の代理となるユーザ・ボット(例えば、Henry Kautzの代理となるkautzbot)とコンタクトして、会合の約束、講演のアナウンス、予定変更への対応、当日のモニタリングなどを行ない、ユーザ・ボットを介して訪問者に伝える(図3-18)。



訪問者から委託を受け、所員とコンタクトをして、訪問スケジュールをたてる。

図3-18 AT&Tベル研のボット[26]

ソフトボット ユーザの与えた目標を達成するために、オペレーティングシステムによって作り出される情報空間のなかで自律的に行動するソフトウェアモジュールを指す

[26,8]。ソフトボットは、スケジュールの設定やメールの整理など比較的単純な知的作業を遂行する「情報空間のロボット」をめざしたものである。ソフトボットはオペレーティングシステムのコマンドにより情報空間の状態を認識し、変化させる。

ソフトボットは次のような機能（の一部）をもつソフトウェアモジュールとして規定される。(1) ユーザや他のソフトボットと双方向のコミュニケーションができる、(2) 連続的で持続的な動作ができる、(3) 作業手順ではなく、作業目標を与えるだけで、タスクを遂行する、(4) 目標達成のためのプランニング、プランの実行、モニタリング、エラーからの回復ができる、(5) 他のソフトボットの能力を利用できる、(6) 過去の経験に基づいて、自分自身の行動を改善できる、(7) 自分自身の破壊や、環境の破壊を防止できる、(8) 人間の情報を（部分的に）理解して、問題解決に利用できる。

ここでは、ユーザから一定の権限を委嘱され、エージェントがユーザの代理として情報処理を行なうという代行概念が重要である。代行は、間接実行とも呼ばれる。間接実行は、現在のウィンドウシステムの設計原理になっている直接実行にかわるものとして提案された。

直接実行では、コンピュータ画面上にユーザが作業をするために必要な文房具を表示して直観的に操作できるようにすること（デスクトップメタファ）によって、誰でも手軽にコンピュータをツールとして使えるようにしたものである。しかし、このアプローチは作業自体の複雑化・多様化のために適切なメタファが見つからなくなったり、作業量自体が増加すると破綻する。

間接実行では、エージェントが作業を代行するので、ユーザは情報過負荷から解放されるばかりでなく、ユーザが知らなかったり、利用のし方を理解していない情報資源やサービスを利用できる可能性が生じる。

間接実行原理が成功するか否かは、エージェントがユーザから委託された作業を確実にかつ迅速に遂行できるかどうかにかかっている。例えば、旅行プランの作成やスケジュールの設定を委託することを考えてみると、価格とサービスのバランスをどうしてほしいかといった意向をエージェントに完全に伝えることは困難である。

こうした問題を解決するために、機械学習の手法を使って、ユーザの傾向や好みをエージェントに教示する方法についての研究が進められている。学習のための情報源としては、(1) 観察されるユーザのふるまい、(2) ユーザからの直接的ないしは間接的なフィードバック、(3) ユーザから与えられた例、(4) 類似のタスクについてユーザを支援する他のエージェントからのアドバイスなどが用いられる。学習アルゴリズムとしては、データベースに含まれる法則性を見つけて、それを表現する最小の判別木を出力するID3[55]が用いられることが多い。ID3は簡明な方法であるが、大量のデータに対しても適用でき、ノイズのあるデータにも対応できる。

しかし、現在の技術レベルではこうした方法でエージェントに伝達できる情報はかな

り限られたものであり、今後の研究を待つところも多い。処理の品質に問題があっても許される場合に適用するか、問題に特化した直接実行インタフェースを作成するかのいずれかが必要である。たとえ、後者の立場をとっても、直接実行の問題の一部は解決される。

3.3.6 共通言語で相互作用するソフトウェアモジュールとしてのエージェント

知識共有における仮想知識ベースを指す。

現在のエージェント技術への関心は、代行や移動性や擬人化などユーザに近い部分に集中しがちであるが、長期的な視点では情報統合が重要である。現状では情報ネットワーク上に存在するさまざまな情報資源はそれぞれ限られた用途を想定したもので不均質であるが、エージェントはユーザの求めによって多様な情報源からの情報とサービスを統合し均質な情報空間を提供する必要がある。

エージェント技術の利点はオブジェクト指向技術の利点と重複する。データ構造と手続きの詳細を隠蔽し、外部からの一様なアクセスを可能にする。知識共有ではそれをさらに進めて語彙の体系（オントロジー）まで含めたドメインモデルとメッセージの共通化が図られている。協調促進器・メディアータ・ブローカーを用いた内容によるメッセージのルーティングによって、エージェントのプログラミングの負担が軽減されるとともに、エージェント系の動的な変化に対する頑健性が得られる。

注意しなければならない点は、応用プロトコルの設計やオントロジーの開発のコストが大きいことである。すでに非構造化メディアにおける情報共有はWWWなどによってかなり普及しているので、エージェントによる情報共有は非構造化メディアから少しずつ進めていくのがよいと思われる。このような方向からの試みは、知識メディア[45]や知識ドキュメント[12]の研究として進められている。

今後、分散人工知能の研究で取り組まれてきたマルチエージェントシステムの視点(表3-3)を取り入れた研究開発が必要である。

表 3-3 分散人工知能の研究課題[4]

1. 問題の形式化、記述、分解、結果の統合

記述: 抽象レベル、制御の依存関係、データの依存関係、データ分割、相互作用のレベル、冗長性、資源の最小化、不確実性; 分解: 階層的な分解、プログラマーによる分解、負荷のバランス、最小連結サブグラフ、サブタスクの集合; タスクと資源の割り当て: ボトルネックの回避、知識の依存関係、役割の重複、不確実性の回避、信頼性、消費資源の最小化、緊急性; マーケット機構、マルチエージェントプランニング、役割分担

2. エージェント間の相互作用、言語、コミュニケーション

相互作用、言語、コミュニケーションのための言語; 文脈、発話行為; 相互作用のプロトコル、対話ゲーム; コミュニケーションのプランニング

3. 首尾一貫性 (coherence) と協調 (coordination)

組織化: 階層的、市場型; 局所化の改善: 特定化、依存関係の軽減; 局所能力の増強; プランニング: マルチエージェントプランニング、分散型プランニング; 文脈の知覚の増強 (increasing contextual awareness); コミュニケーションの管理: 関連性、適時性、完全性; 資源利用の管理; 不確実性の管理; 抽象化とメタレベル; 適応: 問題の変化によってエージェントが処理仮定や相互作用のスタイルを修正する。

4. 他のエージェントや組織の行為のモデリング

他のエージェントの能力、資源、要求、責任、問題解決の進捗状況、通信、信念、目標、プラン、行為; 組織化の一般原理、システムにおける組織化の方法、通信構造、権限、知識;

5. 不一致 (不完全さ、論理的矛盾、確信度の違い、非互換性) の表現と認識

共通の枠組の抽象化; 共通知識の達成; 仮定の明示; 権威と調停; 制約解決; 証拠推論と議論; 目標の優先度; 衝突のない統合; 交渉 (negotiation)

4 事例研究 --- 知識コミュニティプロジェクトから

この章では、情報スペース技術への先駆的取り組みである知識コミュニティプロジェクトにおける研究事例をサーベイする。

4.1 概 要

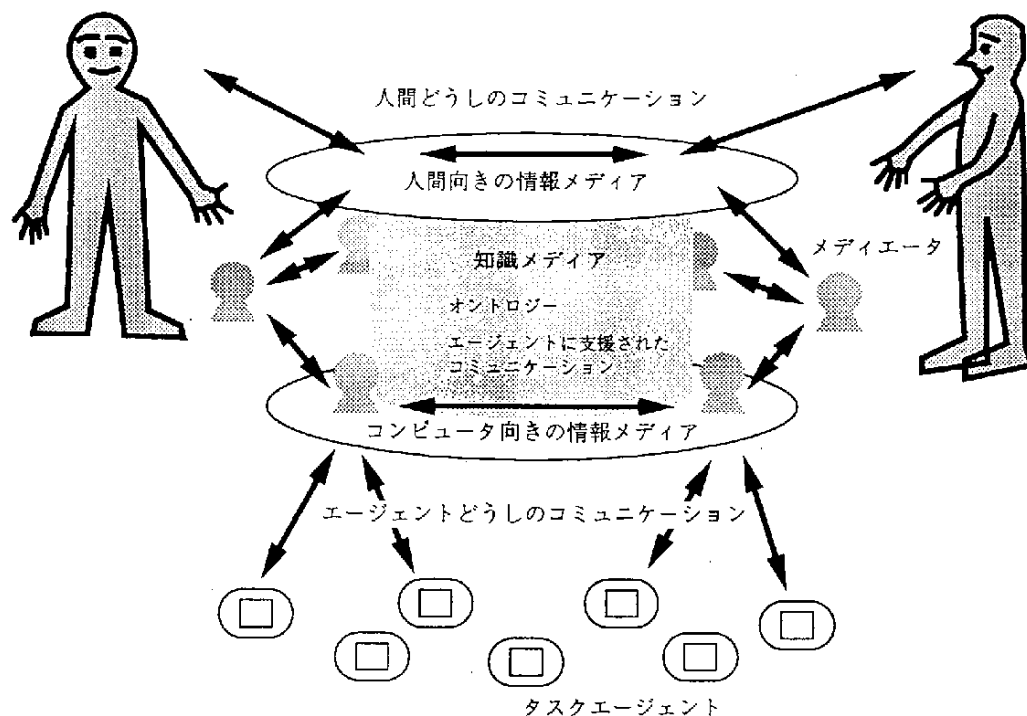
知識コミュニティ(The Knowledgeable Community)は、知識の創出・流通・共有・利用・体系化のための人間とコンピュータの協同作業の枠組として規定される。知識コミュニティによって、コンピュータの情報内容理解能力を漸次高め、高い創造力をもつ人間・コンピュータ系を実現することを目指している。

現在、実現を目指している知識コミュニティの枠組KC₁では、

1. 人間向きの情報メディアとコンピュータ向きの情報メディアを統合するための知識メディアの実現
2. 多様な情報を一定の視点のもとから統合するハイパーメディアータの実現
3. オントロジー開発方法論の確立

に焦点を当てている。

知識メディアの視点からみた知識コミュニティ 人間同士のコミュニケーションの媒体となる人間向き情報メディア(human-oriented information media)では、人間の効果的な理解に重点が置かれるが、自律的なソフトウェアモジュールであるエージェントの間のコミュニケーションの媒体となるコンピュータ向き情報メディア(computer-oriented information media)では、正確な情報伝達と効率的な情報処理に重点が置かれる。知識コミュニティでは、人間とコンピュータの協同作業の場をつくるために、両者を統合する知識メディア(knowledge media)を中心に構成する(図4-1)。

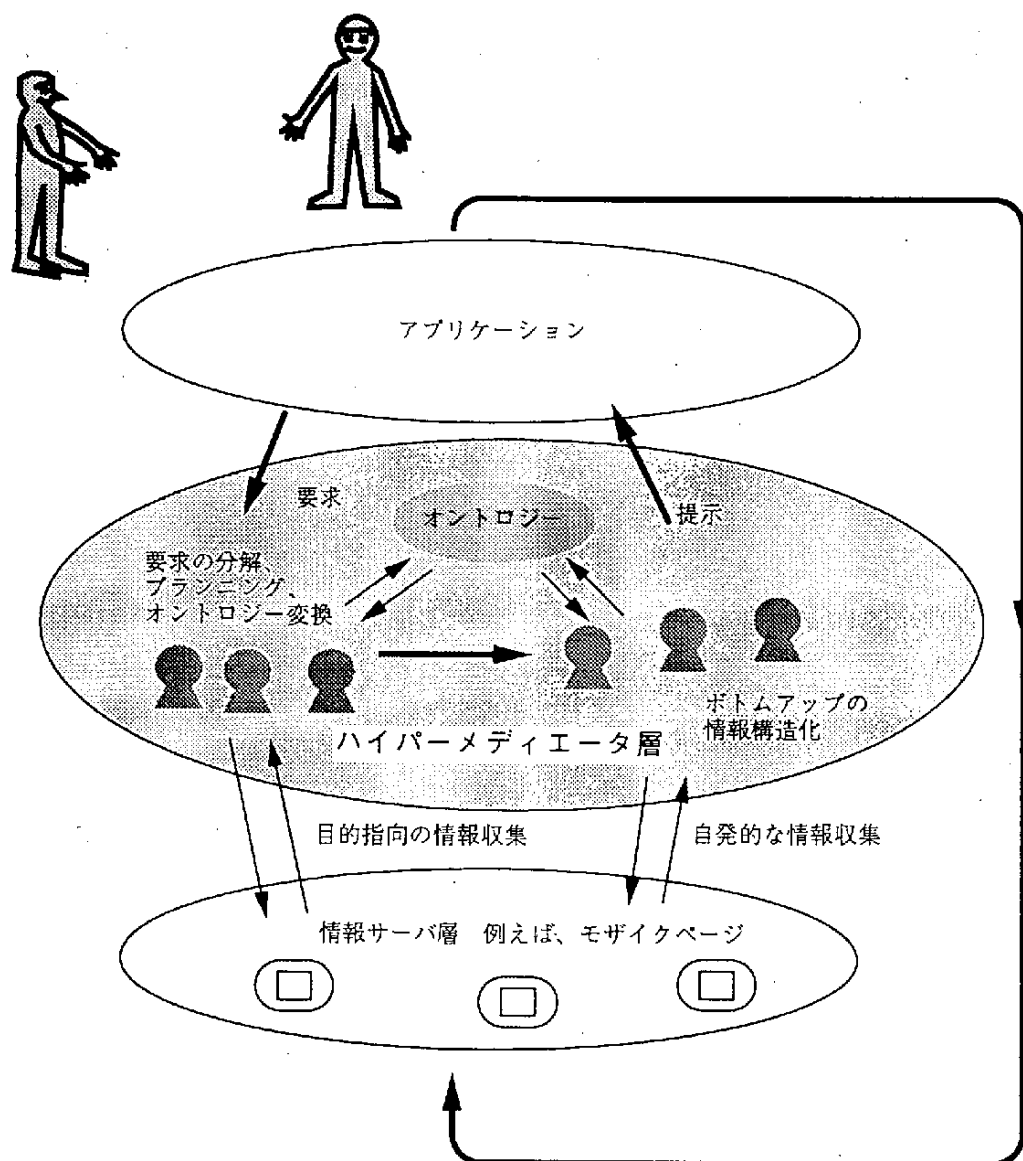


知識メディアの核となるのは、情報処理の対象を規定するための概念体系とそれを表出する語彙体系であるオントロジーと、知識メディアによるコミュニケーションを支援するメディエータと呼ばれるエージェントである。メディエータのなかのあるものはインタフェースエージェントと呼ばれ、人間と知識コミュニティの間のコミュニケーションの支援に専念する。

図4-1 知識メディアの視点からの知識コミュニティKC₁の枠組

ハイパーメディエータの視点からみた知識コミュニティ ハイパーメディエータは、情報を求めている人間・エージェントとその情報を提供できる人間・エージェントの間をとりもつ。一般に、情報提供側の人間・エージェントは人間向き情報メディアからコンピュータ向き情報メディアまで広いスペクトルにわたる多様な情報を統合する必要がある。ハイパーメディエータが集めてきた情報をアプリケーションで活用することにより、新たな情報が創出され、それは再び情報サーバとして知識コミュニティに提供される。ハイパーメディエータはこの知識サイクルを加速するための牽引力を提供する。メディエータの視点からの知識コミュニティの枠組を図4-2に示す。

オントロジー開発方法論 知識コミュニティでは、情報処理の対象を規定するための概念体系とそれを表出する語彙体系(オントロジー)が大きな役割を果たす。従来の研究では、オントロジーは内観や議論によってオントロジー開発者の頭のなかからひねり出すという、トップダウン性の強いものであった。これはかなり場当たりのであり、網羅



情報サーバは、人間向き情報メディアからコンピュータ向き情報メディアまで広いスペクトルにわたる多様な情報を提供する。ハイパーメディアはさまざまな種類の情報サーバから提供される情報とサービスを一定の視点から統合し、アプリケーションレベルに提供する。情報体系化の核としてオントロジーが使用される。

図4-2 メディエータの視点からの知識コミュニティの枠組

性や労力の面で問題がある。知識コミュニティプロジェクトでは、図4-3のようなボトムアップのオントロジー構築開発方法論を提案している。この方法論では、一定の品

質を確保しつつ、包括的なオントロジーを低コストで構築することを目指したものであり、自然言語ドキュメントやシソーラスなど、現在利用可能なさまざまな自然情報源を材料とし、人間とコンピュータの協同作業によって少しずつ構造化を行なっていく。構造化の段階として、連想関係による概念間の関係づけだけを用いた表現、意味ネットワーク、述語論理を設定している。述語論理までの構造化がされていない状態でも、概念情報は弱構造化オントロジーとして利用可能である。このうち、連想関係による概念間の関係づけだけを用いた表現に関する研究は知識コミュニティプロジェクトの特色であり、人間向き情報表現とコンピュータ向き情報表現を関係づける上で大きな役割を果たす。

知識コミュニティの実現に向けて、帰納的なアプローチをとっている。このアプローチは、まず基本概念とソフトを完成させてから、問題に応用する演繹的アプローチと対照的なものである。帰納的なアプローチでは、知識コミュニティらしさを表した応用システムによる経験をつみ、それを抽象化・一般化することによって知識コミュニティのシステムと理論を構築していく。

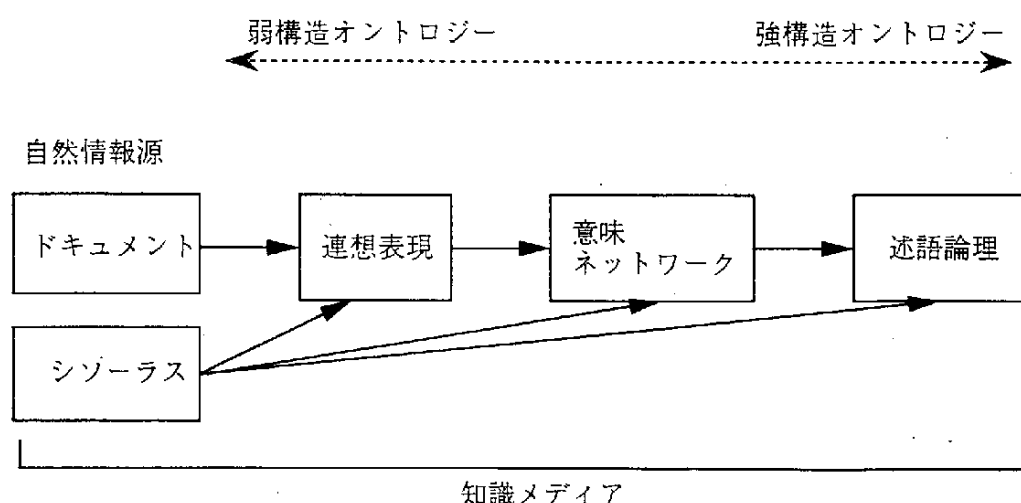


図4-3 知識メディアによるオントロジー開発方法論

4.2 IICA -- 情報収集と抽出

近年、インターネットに代表される情報ネットワークで提供される情報源は急速に多様化、大規模化しており、人間の処理能力では対応が困難になってきている。従来の情報検索ツールには、対象領域に関する体系的な知識が欠如しているため、ユーザの要求と関連のあるものは何か判断したり、検索結果を体系的に分類して分かりやすく示すことは不可能であった。

この研究では、情報ネットワークに散在する大量の情報群から、オントロジーを利用して必要な情報を自動的に収集・分類する知的エージェントIICAを考案し、プロトタイプシステムの開発を行った。また、WWWおよびネットワークニュースを対象とした情報収集および分類の評価実験を行った。実験の結果、このアプローチが、広域ネットワークに散在する多様な情報の収集・分類に有効であることが明らかになった。

4.2.1 序

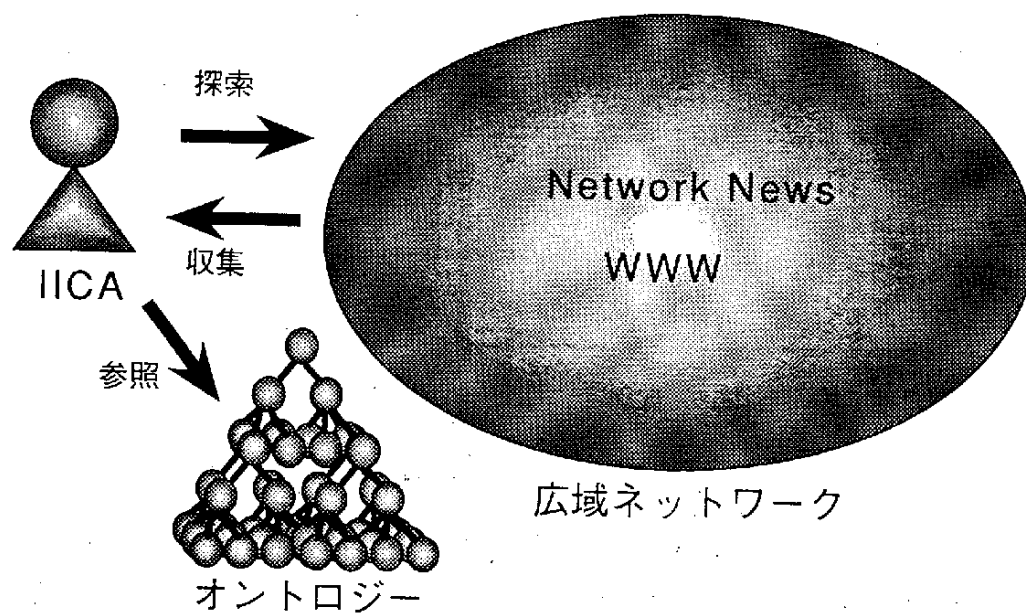
近年、インターネットに代表される広域情報環境の整備やWWWなどのマルチメディア情報技術の普及により、個人でも容易にネットワーク上の情報の利用したり、提供することが可能になっている。それにともないネットワークの利用者は急速に増加しており、そこで提供される情報源の多様化・大規模化もとどまるところを知らない。すでに、個人で処理しなければならない情報の量も、人間の処理能力を越えてしまったと言えよう。広域ネットワークから必要な知識を得るためには、情報の収集・整理・理解の各過程において多大な時間と労力を費やさなければならない。

このような問題に対し、情報ネットワークのインターフェースや情報検索ツールの研究が盛んに行なわれており、実際に利用可能なものも存在する。しかし、これらのツールの多くは対象領域に関する体系的な知識が欠如しているために、ユーザが必要とする情報が、どの分野に属するものか理解したり、検索結果を解釈し、分かりやすく示すことはできない。

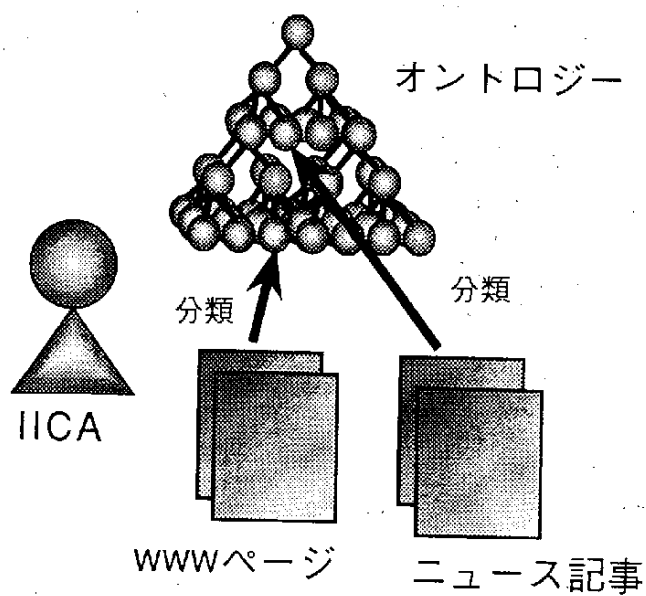
IICA (Intelligent Information Collector and Analyzer)は、特定の対象領域に関するオントロジーを利用して、広域ネットワークに散在する情報を自動的に収集し、分類・整理する。IICAの機能の概要を図4-4に示す。

このシステムは、(1)ユーザからのキーワード列入力に応じて、WWWやネットワークニュース上の情報を探索・収集する。このとき、IICAはオントロジーを利用して、ユーザからの依頼と関連性の高い項目は何であるか推論を行ない、必要と思われる情報を収集する(図4-4(a)参照)。さらに、(2)収集した情報群をオントロジーに結び付けること

によって、体系的に分類・整理する(図4-4(b)参照)。



(a) オントロジーを用いた情報収集



(b) オントロジーを用いた情報分類

図4-4 IICA: Intelligent Information Collector and Analyzer

4.2.2 ページ分類

ページが収集されると、各ページをオントロジーにおける最も近い概念に対応付けることによって分類する。このステップは、(1) 特徴ベクトルとカテゴリーベクトル間の類似度計算によるテキストの割り付け、(2) カテゴリーベクトル間の類似度からオントロジーの概念間の重みを変更する、という2ステップから構成される(図4-5)。各ドキュメントの特徴を表す特徴ベクトルは、ベクトル空間モデルに基づいて計算する。一方、オントロジーの概念に対応するカテゴリーの特徴を表すカテゴリーベクトルは、そのカテゴリーに分類されたテキストの代表ベクトルの重心を計算することによって求める。

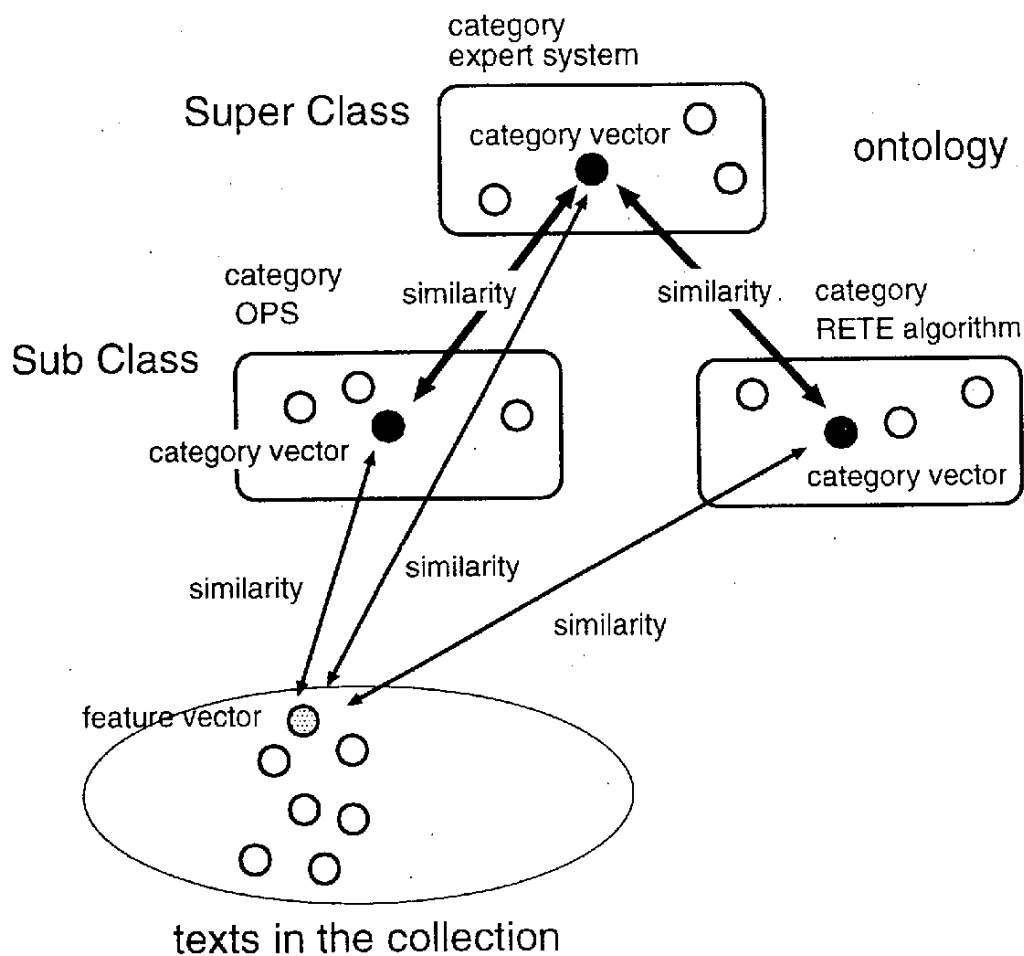


図4-5 オントロジーによるテキスト分類

4.2.3 ページからの情報抽出

収集・分類されたページから次の方法を用いて情報を抽出する。

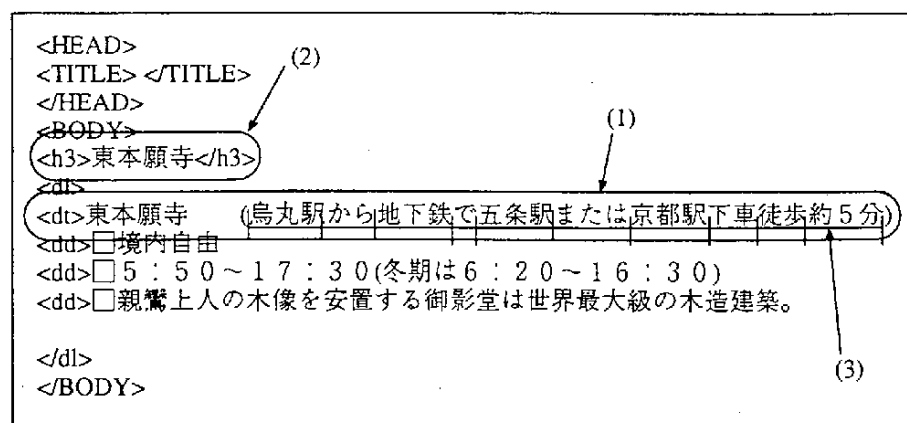
1. 状態遷移図を用いる方法

状態遷移図にしたがって、文章から特定の情報のみを順番に抽出する。例えば、交通手段に関する情報の場合、

地点→バス→地点→徒歩→…、

といった順序関係を状態遷移図によって把握しながら、次に抽出べき情報を決定する(図4-6、図4-7参照)。

該当するHTMLファイルを(1),(2),(3)の手順で解析



(1) 交通手段に関する情報の発見、(2) 交通手段が書かれている観光地名の取得、(3) 交通手段の記述部分の解析と抽出。

図4-6 交通手段情報の獲得過程

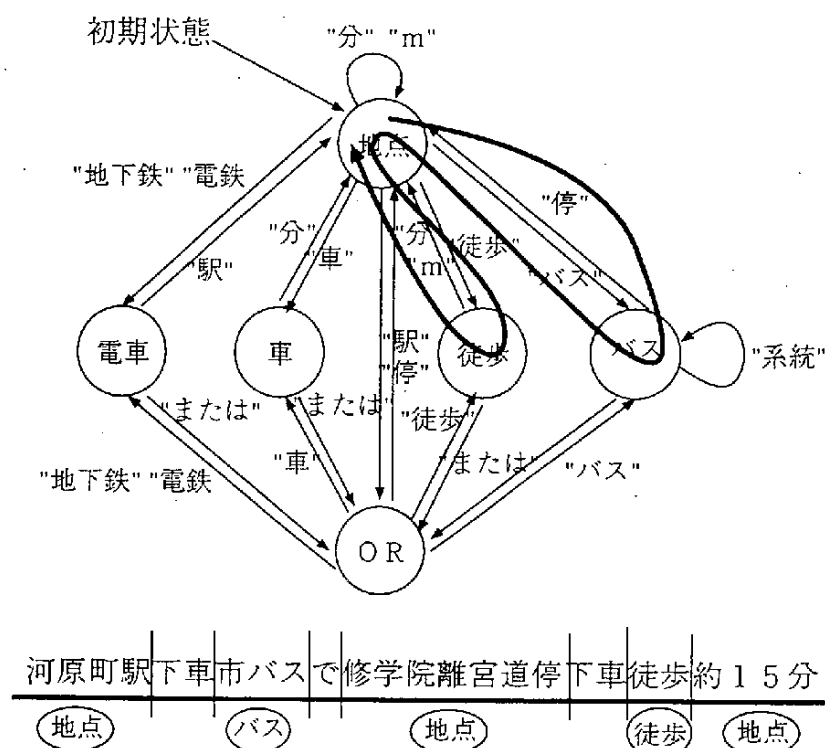


図4-7 交通手段解析の状態遷移図

2. 概念の記述ルールを用いる方法

オントロジーの各概念に対して、抽出すべき属性情報を定義し、各属性情報に特有の言語表現パターンに基づいたルールによって内容抽出を実行する（図4-8参照）。

```
(define-concept (効能 (is 傷病 with (or "効能>" "効果" "効く"))))  
(define-concept (傷病 (or "+ 症>" "+ 傷>" "+ 病>")))
```

図4-8 温泉の効能抽出のためのルール

これらの方法を用いて日本国内の観光情報が公開されているページを収集・分析し、実用に耐え得る情報の抽出・統合化が可能であるという見通しを得た。

4.3 CM-2 -- 情報統合

雑多で構造の不均質な情報を収集・整理する一つの手法を提案する。基本となるアイデアは雑多な情報をゆるやかに関連づけるための連想構造とよぶデータ構造を用いることである。連想構造は単純な表現であり、生データから容易に生成できることと、人間が直観的に理解しやすいことが特徴である。

この研究では、連想構造を用いて既存の情報源から情報を収集し、整理する過程を支援するシステムCM-2を試作した。CM-2では、(a)既存の構造や表現の違う不均質な情報源から情報を取り込み、CM-2の連想構造を生成する情報キャプチャ機構、(b)与えられた視点から情報の切り出しと構造化を行う知的情報統合機構、(c)キーワードによる連想的な検索を可能にする連想検索機構を実現した。CM-2の有効性を実験によって確かめた。

4.3.1 序

研究活動に代表される創造的思考活動には、過去に作成した論文やOHPや研究メモ、

研究動向を調査するための書籍・雑誌、広く知識を収集するための辞書、オンラインデータベースやWWW(World Wide Web)などの、雑多で構造の不均質な情報が必要である。文書として書き表されていない頭の中の断片的なアイディアや常識も重要である。このような情報を統合的に扱うためには、既存のデータモデルや知識表現などを用いて情報ベースを構築することは人間の負荷が高い。

ここでは雑多で構造の不均質な情報を収集・整理する一つの手法について述べる。基本となるアイディアは雑多な情報をゆるやかに関連づけるための連想構造とよぶデータ構造を用いることである。連想構造は単純な表現であり、生データから容易に生成できることと、人間が直観的に理解しやすいことが特徴である。採用する方法はヒューリスティックなものであり、あらゆるケースに対応できるものではないが、予備実験の結果かなりの有効性が期待されたので、定式化、実現によって有効性を実験的に評価することとした。CM-2は、連想構造を用いて既存の情報源から情報を収集し、整理する過程を支援する。CM-2では、

- 既存の構造や表現の違う不均質な情報源から情報を取り込み、CM-2の連想構造を生成する情報キャプチャ機構
- 与えられた視点から情報の切り出しと構造化を行う知的情報統合機構
- キーワードによる連想的な検索を可能にする連想検索機構

を実現した。

4.3.2 CM-2における連想構造

CM-2では情報を蓄積する情報ベースの基本構成要素をユニットと呼ぶ。

ユニットはCM-2の外部のテキストファイルやイメージファイルを表す外部参照データユニットと、CM-2において情報を関連付けるための内部的な対象である概念ユニットに大別される。これらのユニットは、連想構造によって関連付けられる。連想構造はkeyと呼ぶいくつかのユニットとvalueと呼ぶいくつかのユニットの間に定義され、「keyが与えられるとvalueが想起される」というゆるやかな関連を表す。keyとvalueの間の連想関係は精密に定義されたのではなく、多分に主観的なものであることを許している。これは既存の情報の雑多性、多様性に対応することを狙ったものである。

CM-2における連想構造は図4-9のようにも記述する。図4-9(a)はkey「奈良」が与えられるとvalue「奈良公園」「大仏」「鹿」が想起されることを示す。図4-9(b)はkey「奈良」と「寺」からvalue「東大寺」「法隆寺」「興福寺」が想起されることを示す。

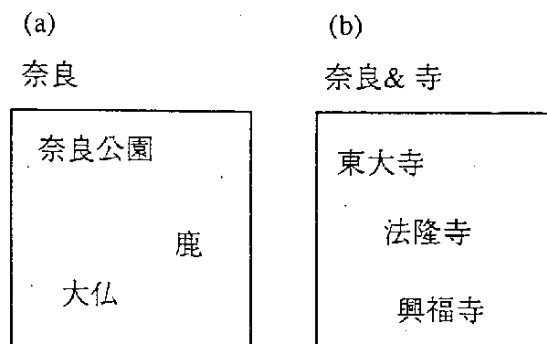


図 4-9 CM-2における連想構造

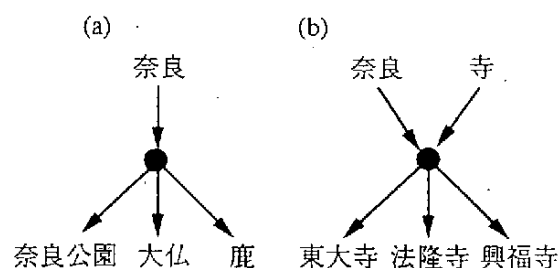


図 4-10 CM-2における連想構造(ドット表記)

図 4-10 は、図 4-9 の連想構造をドット表記と呼ぶ表現を用いて表したものである。ドット表記では、1つの連想構造を点を用いて表現し、keyとvalueの関係を矢印を用いて表現する。

連想構造には、特別な形態として、IS-A構造(図 4-11(a))、辞書構造(図 4-11(b))を定義することもできる。IS-A構造においては、クラス、サブクラスなどを区別することなく、上位概念をクラス、下位概念をインスタンスと呼ぶ。IS-A構造は知的情報統合機構における推論に使用される。辞書構造は、利用者の語彙を定義するもので、概念ユニット間の変換辞書として使用される。例えば、図 4-11(b)の辞書構造がある場合、利用者が「奈良先端大」と入力すると「NAIST」というユニットに変換が可能である。

現実の世界においては、概念にどのような名前付けを行うかは個人によって違う。同じ概念に違う名前をつけることもあるし、違う概念に同じ名前をつけることもある。また、情報の構造は作者によって違う。

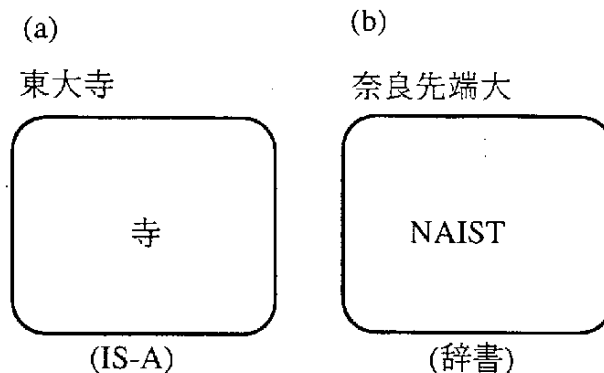


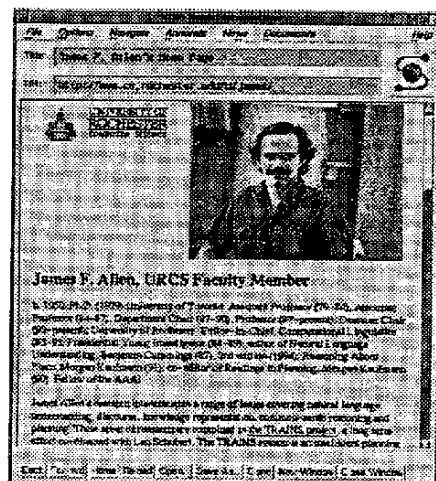
図 4-1 1 連想構造の特別な形態

例えば、図 4-1 2 (a)と図 4-1 2 (b)を比較してみよう。これらは、WWWブラウザに表示された有名な人工知能研究者 2 人のページである。

直観的に明らかなように両者のページの情報の構造は異なっている。例えば、James Allenのページ(図 4-1 2 (a))では、ページの最初に写真や名前があり、次に履歴や研究に関する情報が通常の文章ととして書かれている。これに対してBarbara Hayes-Rothのページ(図 4-1 2 (b))では、名前、e-mailアドレス、ポジションなどが箇条書で書かれている。このような現象を情報の乱雑さと呼ぶ。

(a) James Allen のページ

<http://www.cs.rochester.edu/u/james/>



(b) Barbara Hayes-Roth のページ

<http://www.ksl.stanford.edu/people/bhr/index.html>

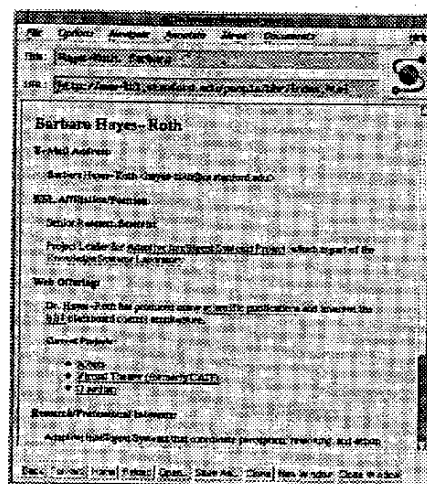


図 4-1 2 WWW ページの例

4.3.3 CM-2の機能

CM-2は、既存の雑多で構造の不均質な情報源から情報を収集・整理するための情報整理システムである。

CM-2の情報ベースは、内部知識ベース(概念ベース)とテキストデータやイメージデータなどがある外部データベースから構成される。利用者はワークスペースと呼ぶ空間を通してネットワークに接続された個人やグループの情報ベースを利用できる。

CM-2では、(a) 雑多で構造の不均質な情報源から情報を取り込み、CM-2の連想構造を生成する情報キャプチャ機構、(b) 与えられた視点から情報の切り出しと構造化を行う知的情報統合機構、(c) キーワードによる連想的な検索を可能にする連想検索機構、の3つの機構を持つ。

4.3.4 CM-2の適用例

例1：人工知能情報ベース 自分の興味のある分野の研究者やプロジェクトに関連する情報を知りたいが適当なデータベースがないとする。そのような場合、個人の持つ知識や、WWWのページを収集・統合して、必要な情報だけを得ることができると便利である。図4-12(a)、図4-12(b)のようなWWWの人工知能研究者のホームページの22URLを入力として、情報キャプチャ機構、知的情報統合機構を用いて人工知能情報ベースを作成した。図4-13(a)は、「研究者」「e-mail」「URL」「大学」「プロジェクト」などの項目を入力して研究者毎に情報を整理してWWWブラウザに出力した結果を示す。例えば、James Allenに関しては、James Allenのページ(図4-12(a))から「名前」「大学」「プロジェクト」の情報を抽出して表示している。元のページに書かれていない「e-mail」などの情報は表示されない。

図4-13(b)は、「プロジェクト」「研究者」「URL」「大学」を入力項目としてプロジェクト毎に情報を整理してWWWブラウザに出力した結果を示す。例えば、「Adaptive Intelligent Systems」プロジェクトは、Barbara Hayes-Rothのページ(図4-12(b))から抽出され、プロジェクトから逆に研究者名を関連づけて表示している。

例2：奈良観光情報ベース 奈良観光ガイドブックを参考にして、奈良観光情報ベースを手作業で構築した。

図4-14(a)は、「大仏がある寺は？」という入力に対する活性伝播型連想検索の結果である。CM-2は、質問文から「大仏」「寺」の概念ユニットを抽出して、各ユニットから連想構造でつながれている「東大寺」を提示する。

図4-14(a)の状態です。「東大寺」を選択する(近傍検索)ことにより、「東大寺」から連
 べられるさらに詳しい情報を得ることができる(図4-14(b)参照)。例えば、「東大寺の
 創建が743年で聖武天皇によること」や「東大寺が大仏殿春日大社前より徒歩3分であ
 ること」などがわかる。

(b) プロジェクト毎

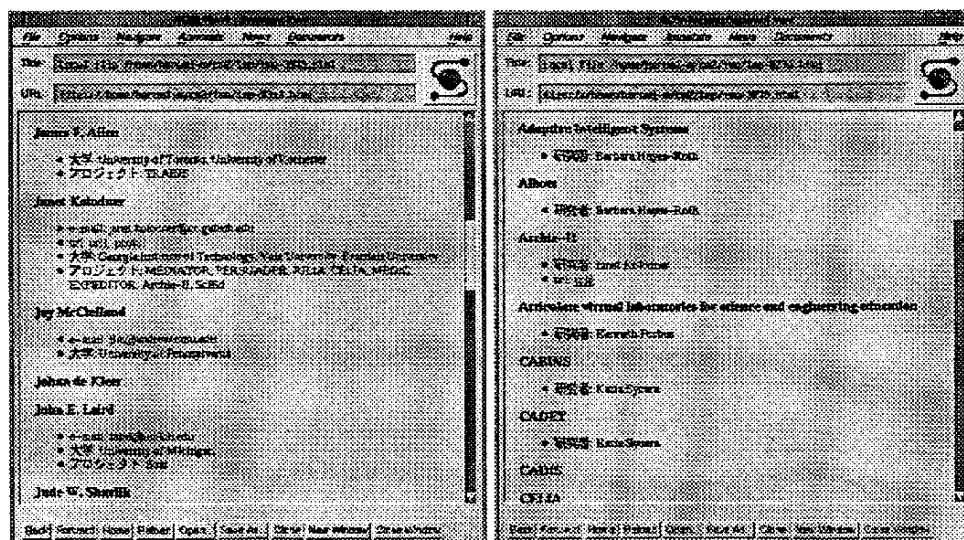


図 4-13 人工知能情報ベース

(b) 近傍検索

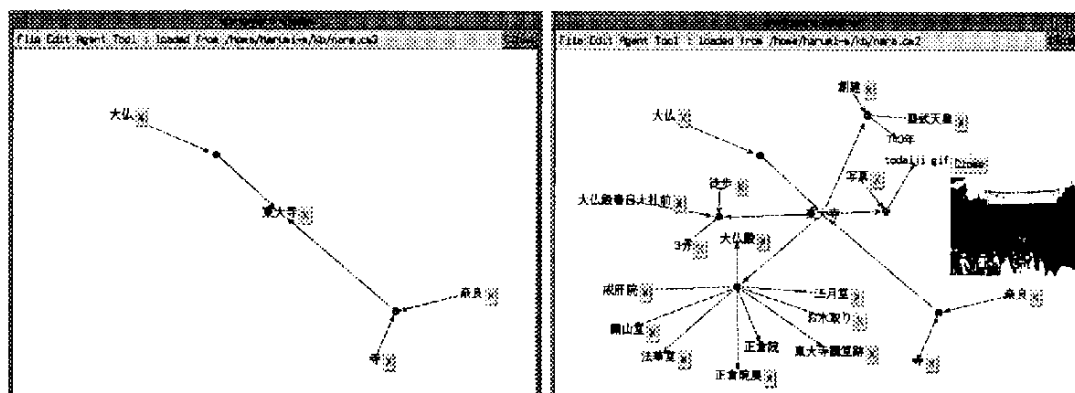


図4-14 奈良情報ベース

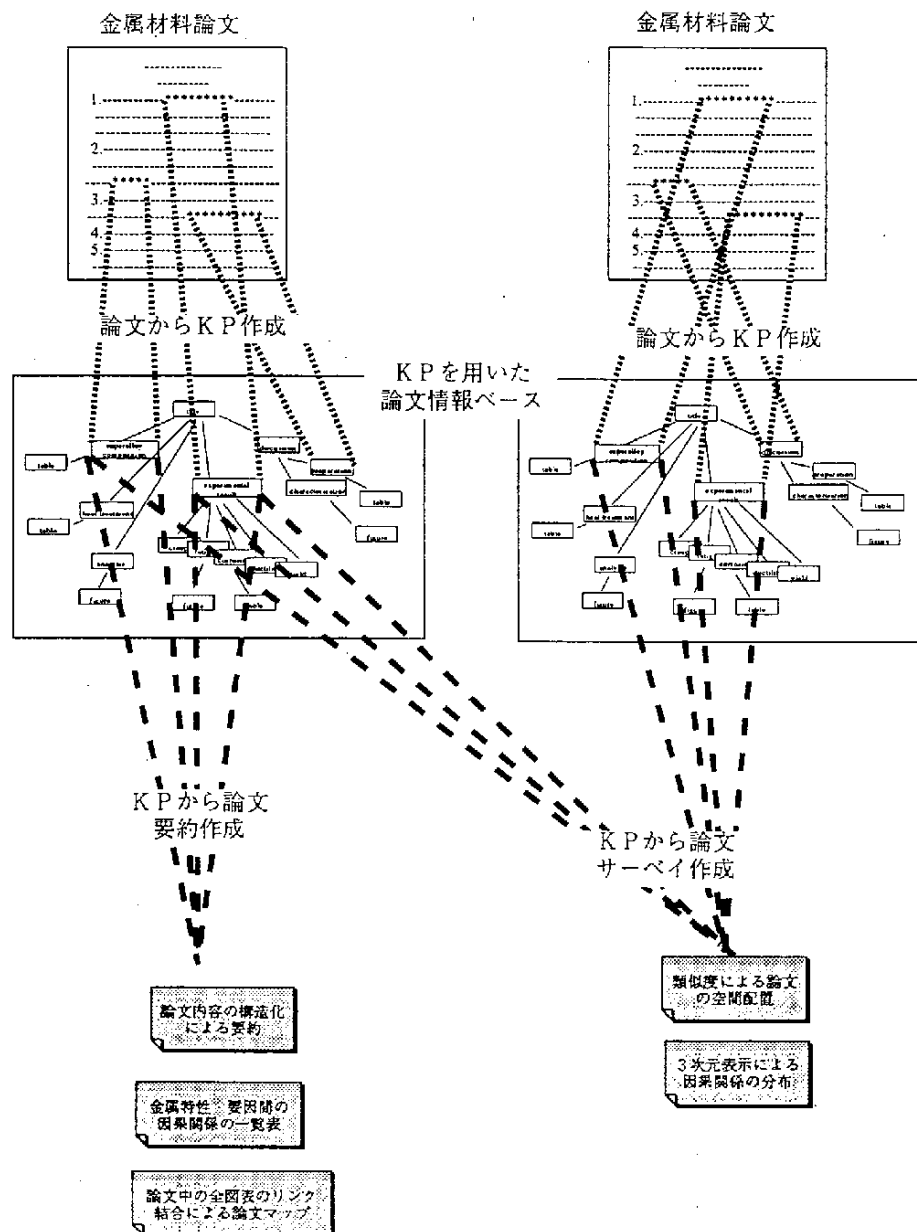


図4-15 METISシステムによる論文内容の要約とサーベイ生成[32]

4.4 METIS -- 情報抽出と要約

METIS[32]は、与えられた金属材料論文の集合から要約とサーベイを半自動生成する(図4-15)。浅い自然言語処理によって、与えられた論文テキストをKPとよぶ小さな情報単位の集まりに分解し、それをもとに論文要約として、

1. 論文内容の構造化（自動）
2. 金属特性・要因間の因果関係記述の一覧表形式による表現（自動）
3. 論文に含まれる図表を関係づけた、論文内容マップ（図4-16、半自動）

を生成する。さらに論文要約をもとに、複数の論文の内容のサーベイとして、

1. 内容の類似度による論文マップ（図4-17、自動）
2. 因果関係記述の分布（図4-18、自動）

を生成する。

METISに関して金属材料の専門家から次の評価を受けている。

実用合金開発の分野では、直接必要な特性のみではなく、極めて多くの因子が関連してくる。これらに関する文献情報を的確に検索するためには長時間の作業が必要で、本研究の因果関係ネットワーク、論文類似度の表示は文献内容の検索に役立つと思われる。さらに、因果関係の詳細を表示できるようになれば意義は極めて大きい。論文内容のマップ表現は理解を助ける効果が大きいのので、さらに工夫してほしい。ただし、不適切な使い方をしている専門用語があるので、改善が必要である。

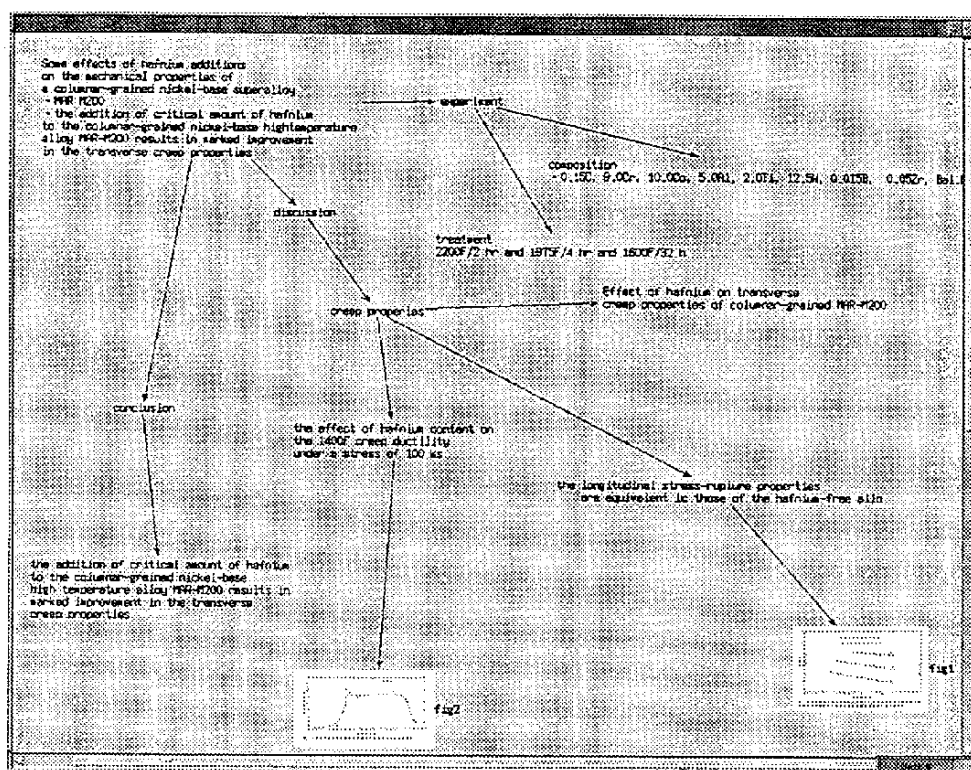


図4-16 論文に含まれる図表を関係づけた、論文内容マップ[32]

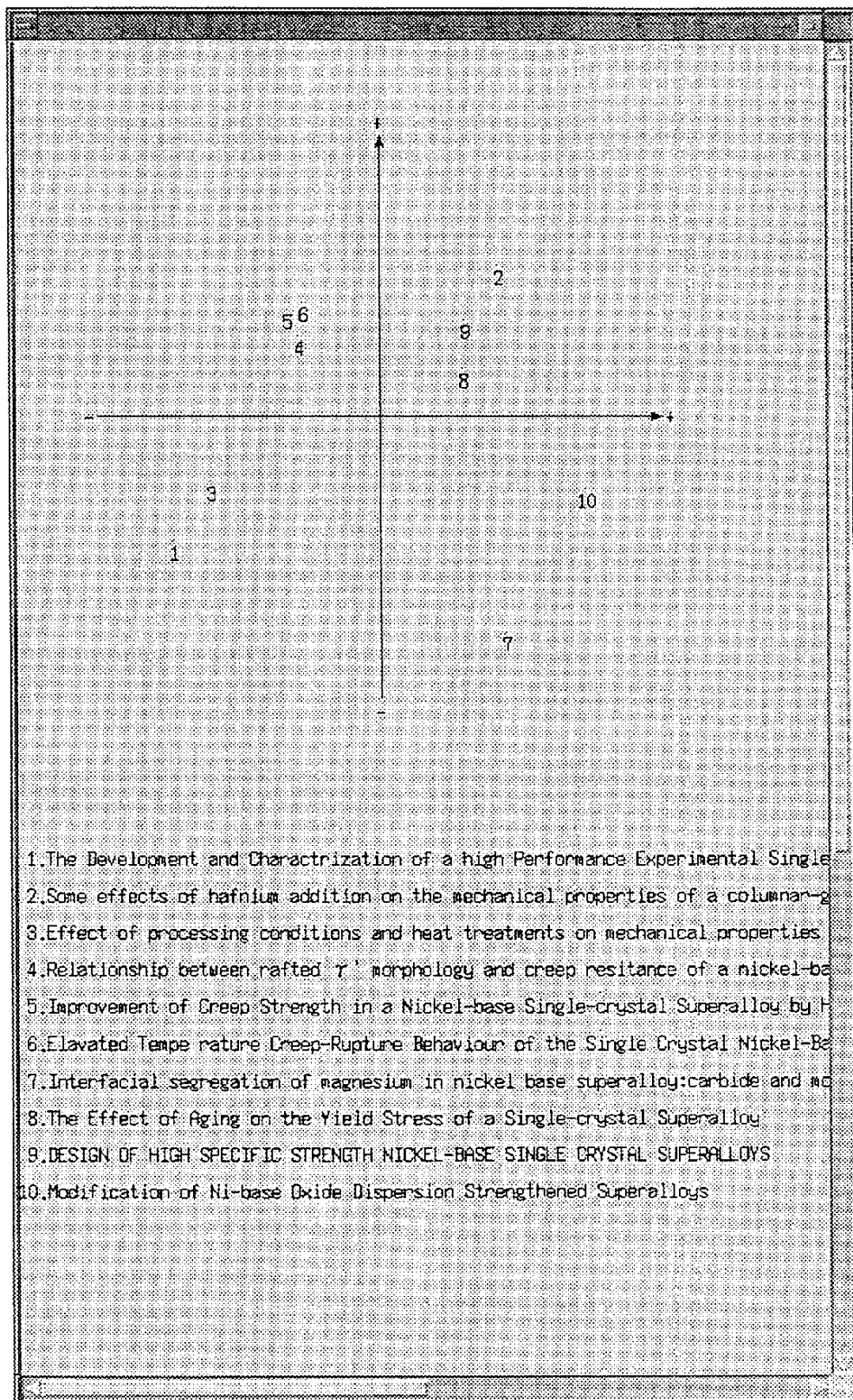


図 4-1 7 内容の類似度による論文マップ[32]

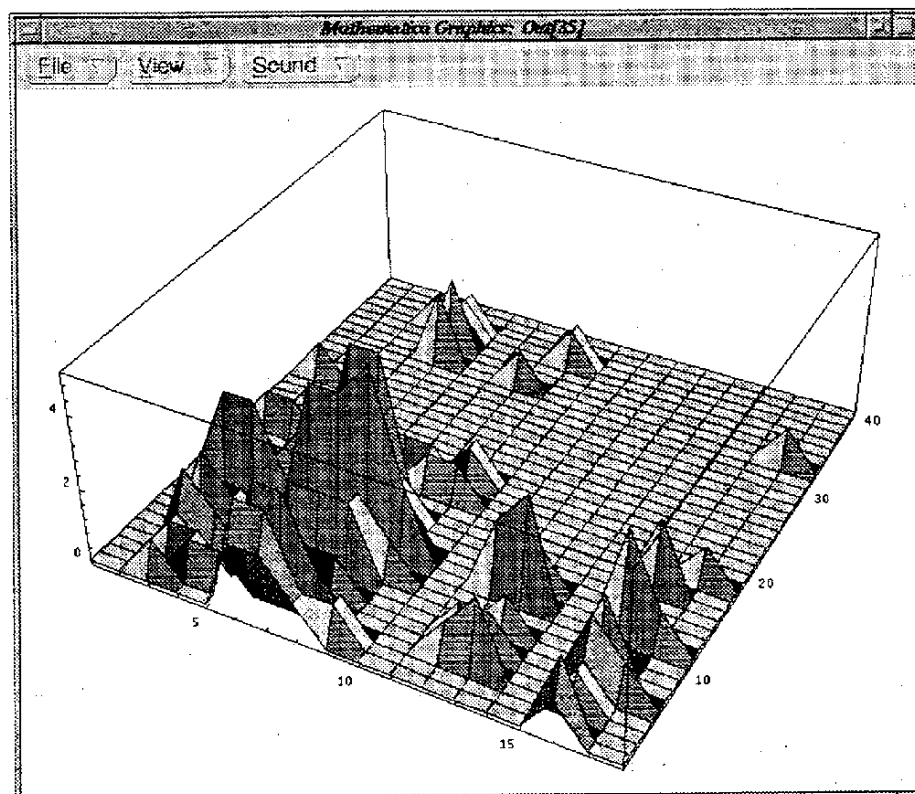


図 4-18 3次元表示による因果関係の分布[32]

4.5 オントロジーの構築支援

マルチメディアドキュメントの断片を蓄積し、ユーザからの要求に応じて情報を動的に編集し、提示する。オントロジーは、ドキュメント片を記述するための語彙、ドキュメント片にアクセスするためのインデックス、ドキュメント片を相互に関係づけたり、ストーリーにまとめるための背景知識として機能する。専門文書を対象とした専門文書知識メディアシステム([51]図 4-19)を試作した。このシステムでは、専門分野のオントロジーを背景知識オントロジーと専門知識オントロジーに分けている。専門知識オントロジーは、専門書に陽に現れる概念構造である。背景知識は、専門書に陽に書かれてはいないが、専門書を読むために必要となる概念構造を意味する。専門文書からオントロジーを構築する作業は、専門家が専門書を読むことによって背景知識オントロジーと専門知識オントロジーをつくり出す作業として捉えられる。専門文書片は、専門知識オントロジーに対応づける。

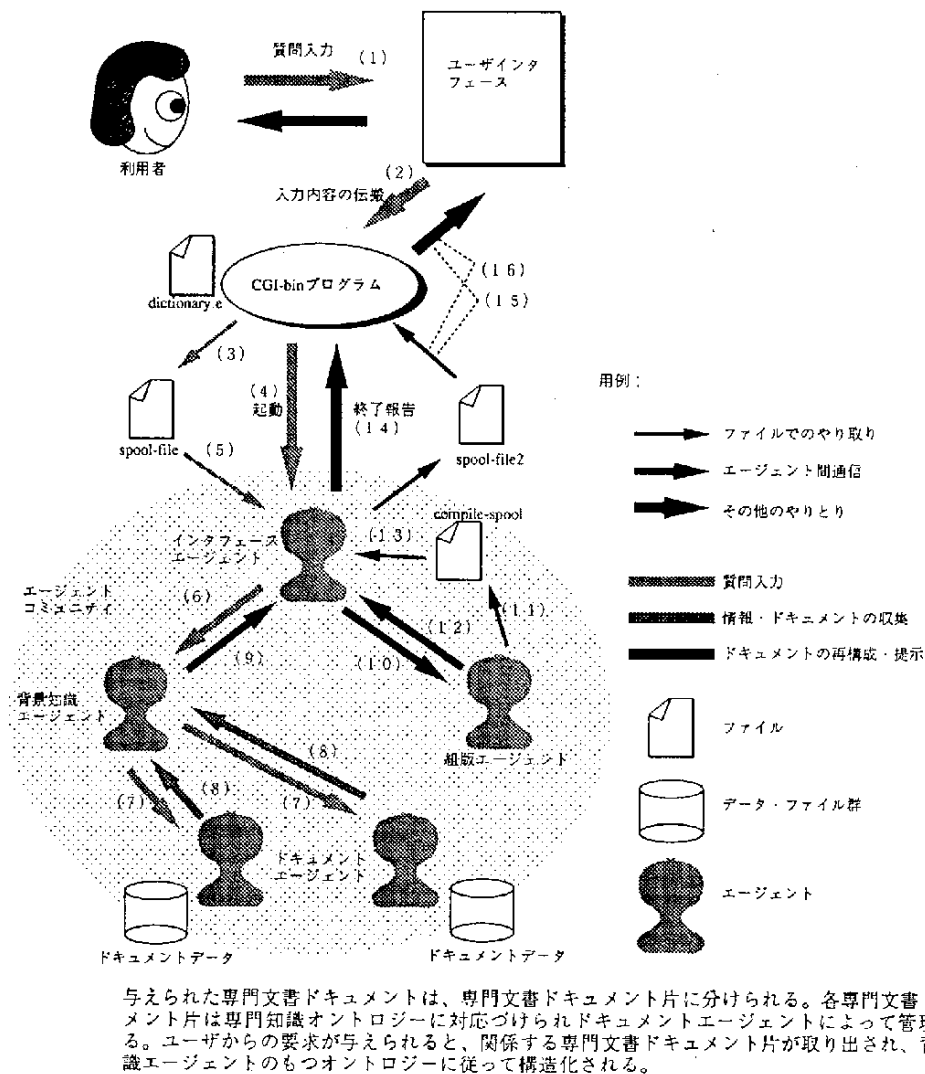


図4-19 専門文書知識メディアシステム[51]

オントロジー構築は、次のような作業手順に従った。

1. 基本概念タイプと概念間関係の定義：作業に先だって、基本的な概念タイプと関係を定義する。

2. 単語の切り出し：背景知識オントロジーを構成するために用いる語彙を専門書から抽出する。専門知識オントロジーができてからフィードバックをかける。
3. 背景知識オントロジーの構築：抽出した語彙を体系化することによって、背景知識オントロジーを構築する。
4. 専門知識オントロジーの構築：専門知識オントロジーは、まず専門書の目次を参考にオントロジーの骨格を形成し、次に専門書の内容を参考に概念と関係を適宜追加する。

文献[61]と[64]に適用し、それぞれ500～1100程度の語彙項目数をもつオントロジーを構成することができた。品質について現在評価を行なっている。

4.6 メディエーション

知識コミュニティでは仲介(Mediation)のためにいくつかの方法を用いている。ここでは、知識コミュニティの概念を実証するためのテストベッドとして構築中の地域情報システムKC-Kansaiの例を用いて、オントロジーを利用した仲介について述べる。

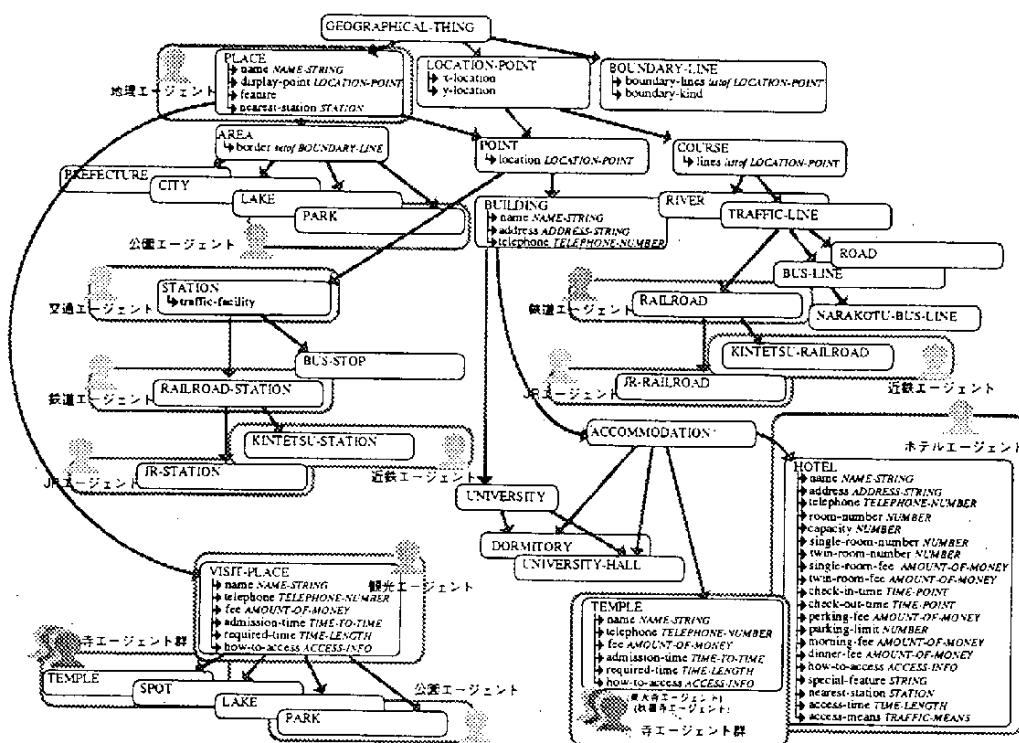


図 4-20 関西訪問のためのプラン立案のためのオントロジーの一部

KC-Kansaiは、関西訪問のプラン立案に必要となる、関西の交通機関、宿泊施設、地域に固有のさまざまなサービス、旅行ヒントなどについてユーザの要求に応えることを目的にしている。例えば、関西方面の旅行のための交通手段・宿泊プランを様々な情報を組み合わせて提案する。

KC-Kansaiでは、交通手段に関する知識・情報を司るエージェント群や宿泊施設の情報を持つエージェント群、個々の寺などの観光地の知識を提供するエージェント群などからなる。

オントロジーはフレーム型オントロジーに基づいている。オントロジーではクラス間の関係各クラスに付随するスロット名・スロットの値のクラスなどが定義されている。

オントロジーサーバはオントロジーに関する情報を提供するエージェントである。オントロジーサーバは、クラス間の関係やスロットに関する情報や、クラスに対応づけられたエージェントへのタグを持つ。

オントロジーに関する情報のうち、各エージェントに関わる部分は各エージェントの能力記述として知識コミュニティに公開されたものを用いる。

オントロジーサーバが仲介において果たす役割は、ある宛先不明のメッセージの内容についてオントロジー情報を用いて、メッセージにおいて問題となっているクラスを判断し、クラスに強く関係づけられているエージェントを特定することである。これまで、155の定義から成るオントロジーを作成した。

オントロジーサーバを用いた仲介の手続きを図4-21に示す。

1. 質問者は仲介器を依頼するメッセージを協調促進器に送る。
2. 協調促進器はメッセージを仲介器に対して転送する。
3. 仲介器では、:content の内容について処理能力を持つ可能性のあるエージェントを知るため、オントロジーサーバに問い合わせを行なう。
4. オントロジーサーバでは次の手順で該当するエージェントのリストを作成する。
 - (a) KIF 表現から、メッセージで問題となっているクラスを特定する。
 - (b) 特定されたクラスに関連するエージェントへのタグが付随していれば、それを第一候補として保管する。
 - (c) 特定されたクラスの下位クラスにエージェントへのタグが付随していればそれを次の候補として保管する。
 - (d) 以下、下位クラスがなくなるまで検索を続ける。
 - (e) 特定されたクラスの上位クラスへ順に検索を行ない、エージェントタグが付随していればそれを次の候補として保管する。
5. オントロジーサーバからのエージェントのリストをもとに、第一候補から順にメッセージを送る（あるいは全ての候補に一斉に送る）。解答が得られれば、それをもとの質問者に送る。

図4-21 オントロジーサーバを用いた仲介の手順

4.7 多重オントロジーの理論 --- アスペクト理論とその言語

アスペクト理論では、一つの視点からの世界の一つの特性化をアスペクトと呼ぶ。オントロジーはアスペクトの整合した組合せとして定式化される。

原始アスペクトは一つの完結した理論である。原始アスペクトAはアスペクト名 $N(A)$ 、アスペクト述語集合 $R(A)$ 、アスペクト理論本体 $T(A)$ からなる。 $T(A)$ は $R(A)$ の述語を使った論理式の無矛盾な集合である。組合せアスペクトは他のアスペクトへの参照を含む。カテゴリアスペクトは同一の対象の異なる側面を記述するために用いる。その主な部分はカテゴリアスペクトから参照している対象の異なるアスペクト間の変換規則の定義の集合からなる。

アスペクト記述言語はアスペクトの定義と変換規則の記述を規定するための枠組を与える。図4-22にお寺の入場料を記述した二つの異なる視点を表すアスペクトを示す。

2つの異なる料金体系 fee/A と fee/B は原始アスペクトとして定義される。アスペクト fee/A では料金は入場者に対して一様に規定されているが、アスペクト fee/B では料金は大人と学生に区分されている。アスペクトの違いによってお寺は二つの異なるカテゴリに分類されている。最後にカテゴリアスペクト FEE に両者の間の変換規則が与えられている。第一のものはアスペクト fee/A に基づく料金からアスペクト fee/B に基づくものへの変換を規定している。第二のものはその逆方向の変換を規定している。

異なるアスペクト間でのメッセージ変換は変換エージェントが受け持っている。変換は次のように行なわれる。

(step1) 目標とするアスペクトから現在のアスペクトへの変換規則を含むカテゴリアスペクトを探索する。

(step2) アスペクト定義に従って欠如しているクラス述語を追加する。

(step3) 変換規則を逆向きに適用する。

(step4) 参照されていないリテラルの除去

これによって変換された質問メッセージに対する回答が得られると、それは再びもとのアスペクトにもどされる。

```

(define-aspect fee/A (FEE))
(in-aspect fee/A)
(define-class fee (?fee)
  :def (has-one ?fee fee-value))
(define-function fee-value (?fee)
  :-> ?val
  :def (and (fee ?fee) (natural ?val)))

```

(a) 原始アスペクト fee/A

```

(define-aspect fee/B (FEE))
(in-aspect fee/B)
(define-class fee (?fee)
  :def (and (has-one ?fee adult)
            (has-one ?fee student)))
(define-class fee-elm (?elm)
  :def (has-one ?elm fee-value))
(define-function fee-value (?elm)
  :-> ?val
  :def (and (fee-elm ?elm)
            (natural ?val)))
(define-function adult (?fee)
  :-> ?elm
  :def (and (fee ?fee) (fee-elm ?elm)))
(define-function student (?fee)
  :-> ?elm
  :def (and (fee ?fee) (fee-elm ?elm)))
(define-function make-fee (?elm1 ?elm2)
  :-> ?fee
  :def (and (fee-elm ?elm1)
            (fee-elm ?elm2)
            (fee ?fee)
            (adult ?fee ?elm1)
            (student ?fee ?elm2)))
(define-function make-fee-elm (?val)
  :-> ?elm
  :def (and (natural ?val)
            (fee-elm ?elm)))

```

(b) 原始アスペクト fee/B

```

(define-aspect temple/A (TEMPLE))
(:use fee/A)
(in-aspect temple/A)
(define-function name (?x)
  :-> ?n
  :def (and (temple ?x) (string ?n)))
(define-function temple-fee (?x)
  :-> ?f
  :def (and (temple ?x) (fee ?f)))

```

(c) 組合セアスペクト temple/A

```

(define-aspect temple/B (TEMPLE))
(:use fee/B)
(in-aspect temple/B)
(define-class temple (?x)
  :def (and (has-one ?x name)
            (has-one ?x fee)))
(define-function name (?x)
  :-> ?n
  :def (and (temple ?x) (string ?n)))
(define-function temple-fee (?x)
  :-> ?f
  :def (and (temple ?x) (fee ?f)))

```

(d) 組合セアスペクト temple/B

```

(define-category-aspect FEE
  (fee/a fee/b))
(define-translation FEE
  (=> (fee/A!fee ?fee)
       (fee/B!fee ?fee))
  ((:query-precedence nil
    :inform-precedence nil
    (-> (fee-value ?fee ?value)
        (and
         (adult ?fee ?fee1)
         (student ?fee ?fee2)
         (fee-value ?fee1 ?value)
         (fee-value ?fee2 ?value))))))

(define-translation FEE
  (=> (fee/B!fee ?f) (fee/A!fee ?f))
  ((:query-precedence nil
    :inform-precedence nil
    (->
     (and
      (adult ?fee ?fee1)
      (student ?fee ?fee2)
      (fee-value ?fee1 ?value1)
      (fee-value ?fee2 ?value2)
      (max ?value1 ?value2 ?max-value))
      (fee-value ?fee ?max-value))))))

((:query-precedence nil
  :inform-precedence nil
  (-> (and (adult ?fee ?fee1)
            (fee-value ?fee1 ?value)
            (fee-value ?fee ?value))))))

((:query-precedence nil
  :inform-precedence nil
  (-> (and (student ?fee ?fee2)
            (fee-value ?fee2 ?value)
            (fee-value ?fee ?value))))))

```

(e) カテゴリアスペクト fee

図 4-2 2 アスペクト定義の例

5. 提 言

現在の社会と技術の動向をまとめ、情報スペース技術の枠組みと研究開発課題について提言する。

5.1 アプローチ

現在、情報化社会は国際的に急速に発展し、普及しつつある。物理的資源が乏しく知的生産に頼らざるを得ないわが国の状況を振り返ると、マルチメディアテクノロジーもコンテンツ生産もアメリカに10年以上水をあけられていると言われ、ソフトウェア生産においてはアジア諸国にリードを許している。日本が得意としていた産業においても、日本での生産がコスト的に不利になるとともに、情報化による生産構造の変革が起きると、CALSに代表される標準化能力において多くの困難が予想される。産業廃棄物による環境破壊や急速なテクノロジーの進歩の副産物として生じる様々な社会・環境問題も深刻化している。

小売業・流通業を中心として、わが国でも情報通信基盤に基づく情報中心型の社会構造への移行が進みつつあるが、それがばらばらに起きているのではその成果が現われるまでに時間がかかるであろう。現在の社会のリストラが人員削減にかなり依存していることも注意しなければならない。また、価格や商品開発やサービスなどにおける過度の競争が進行し、文字とおり身も心も削って休みもなく働いたものがギャンブルに勝ったものだけしか報われないということになるのではないかという懸念もある。産業構造が再生されても十分な収入に支えられた人々の豊かな暮らしがなければ意味がない。最後の清流と言われる四万十川の価値とその流域の豊かさが真剣に見直され始めているのは豊かさの内容への関心がこれまで以上に高まっていることを示している。

環境、社会、産業において意思決定の主体は常に人にある。地球全体の環境を考え、豊かで潤いのある社会の実現の方策を議論し、新しい産業を興すイノベーションを試みるための基盤は、人々が培い蓄積してきた知識と、知識基盤をもとに新たな知識の創出を試みる人々の交流の場である。

逆に、そのような知識基盤と人々の交流の場があると、以前では考えられなかった技術の組み合わせから新しい技術が次々と創出されることが期待される。技術・技能の数が人口を上回ると、一人一芸時代、すなわちその技術・技能をもつ人は世界中に自分一人しかいないという状況が生じ得るが、そうになると人々は自分に誇りをもち、自分のペースで生きていくことができよう。環境・社会問題に関しては、人々が自分たちを取り巻く社会環境の現状に関する多方面からの生々しいレポートを見ることによって、社会・

環境において何が起きているか、何が問題か、どのようなことがなされているか、何ができるかを確かむことができるようになると、ゴミ・廃棄物の抑制や分別、ボランティアへの参加など具体的な行動へと結び付き、それが市民運動に発展していくことが期待される。それによって価値観が多様化し、単一の標準化された価値観に起因する現在の学歴社会の根本的な改革も期待される。

情報スペース技術が社会・産業における変革にインパクトを与え得るものになるためには、次のような条件が満足されていなければならないと考えられる。

誰にでも使えること 社会・産業の大多数を占めるコンピュータ技術の非専門家でも使えることが必要であることは言うまでもない。使いやすだけでなく、習熟に従ってより高度で効率的な利用を可能にするものでなければならない。

役にたつこと 人々が抱えている問題、要求の解決に貢献するものでなければならない。そのためには、すでに内容が固定化された情報だけでなく、生きた知識を扱う必要がある。また、全て知識が自動化されている必要もない。例えば、所定の問題を誰に聞けばよいか即座に回答してくれるシステムを開発するだけでも大きな効果が期待される。

今すぐに利用できること 情報スペース技術の進展はどれだけ多くの人々が参画するか依存している。多くの利用者の参加があってはじめて、現実の課題が把握でき、具体的に明確な目標の設定ができるのである。研究開発の初期の段階でも多くの人が参画できるよう、現状の技術の組み合わせを考えていかなければならない。技術を完成させてから普及させるのではなく、使いながら構築していくための方策が必要である。

次の節では、これらの条件を勘案し、研究開発のターゲットとする情報スペース技術の一つのモデルを提案する。

5.2 情報スペース技術の枠組み

ここで考える情報スペース技術は、図5-1に示すように、情報通信、マルチメディア、ヒューマンインタフェースからなる共通基盤技術を智能情報処理技術によって、情報ベース、コミュニケーション、コミュニティ活動支援、インタフェースの4つの方向に拡張し、知識の収集、編集、発想、オーサリング、プレゼンテーション、討論、伝達、流通、共有、体系化の諸側面における人間の知的活動の支援をめざしている。

5.2.1 情報ベース技術

マルチメディア情報ベース技術 マルチメディア情報の表現、インデクシングによってイメージや映像として存在する膨大な記録（例えば、テレビ局のもつ記録映像、未編集フィルム）の活用を図る。

情報収集技術 インターネット上に存在する大量の不均質で非定形な情報を収集し、活用するための技術である。情報の探索、情報抽出、例えばロータスノートで作られた自然言語のメモ書きのような非定形情報資源の活用を支援する。

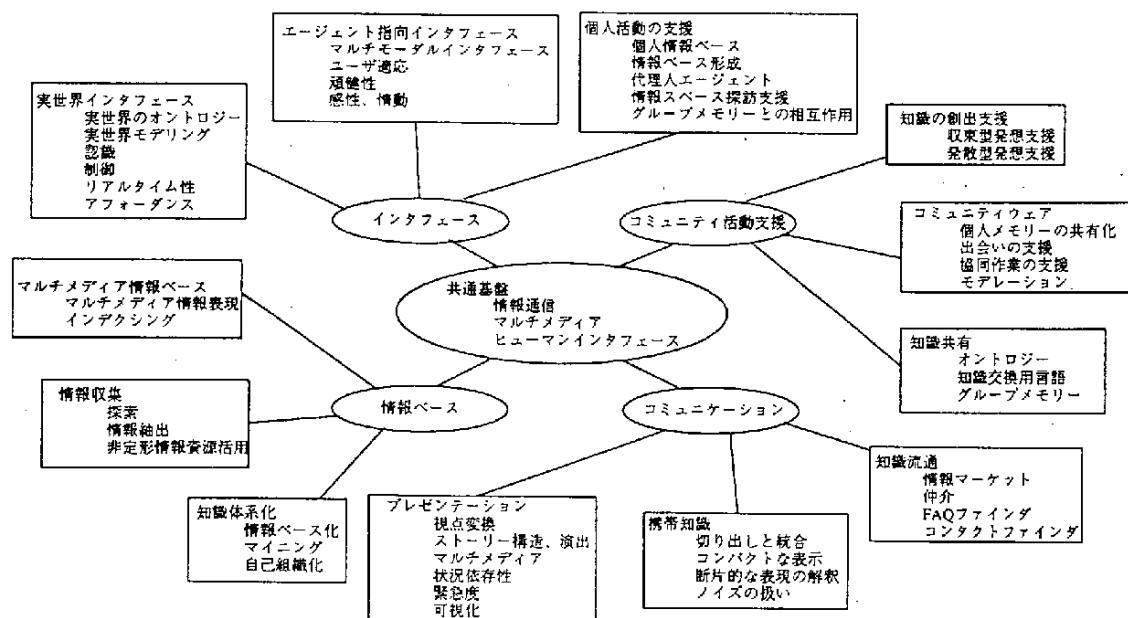


図5-1 情報スペース技術の枠組み

知識体系化技術 断片的な情報を体系化して高品質な知識体系を作り上げるための技術。非定形情報の情報ベース化、データベースからの知識獲得（「データベースマイニング」）、情報ベースの自己組織化などの研究課題がある。例えば、既存の百科事典からコンピュータで解釈実行可能な表現で記述された知識ベースを生成することが考えられる。

5.2.2 コミュニケーション技術

プレゼンテーション技術 情報や知識を人間にわかるように一定の視点から提示するための技術である。例えば、製品に関する顧客からの質問やクレームをオンデマンドでプレゼンテーションをすることが考えられる。情報の受け手に応じた視点の選択とストーリー構造と演出の自動生成、状況や情報自体の緊急度と提示法、可視化技術、マルチメディア情報の活用などの研究課題がある。

携帯知識技術 携帯端末や移動体通信の普及によって時間的・空間的に拘束されないコミュニケーションが可能になっている。情報端末はネットワークと接続し続けることは考えにくいので、状況に応じて局所的な情報を切り出して携帯端末で保持し、ネットワークとの再接続時にホスト上のパーソナル情報ベースと統合することになるだろう。例えば、PDAがネットワークから切り離されている状態で会合の約束をしている最中に、ネットワーク上のホストには別の会合への招待が届き、代理人エージェントが仮予約をしているかもしれない。PDAをネットワークに再接続したとき、そのような不整合性を解決する必要がある。情報の切り出しと統合の方式、コンパクトな情報の提示、断片的な情報の受理と解釈、ノイズの扱いなどの研究課題がある。

知識流通技術 知識を作り出す人やエージェントとそれを利用する人やエージェントの間の情報の流れを創出する技術である。情報そのものを仲介する技術だけでなく、情報を知っている人を紹介するコンタクトファインダーや、関連するQ/A対を探し出すFAQファインダーも有効である。

5.2.3 コミュニティ活動支援技術

知識共有技術 コミュニティにおける知識共有を促進するためのオントロジー、知識交換用言語、グループメモリーなどの設計と実現法に関する技術である。人間のための知識共有（例えば、WWWなどを用いたドキュメント共有とイントラネット技術）とコンピュータソフトウェアのための知識共有技術（例えば、レガシソフトの相互運用性の確立）の両方を考慮し、両者を関連づける必要がある。

コミュニティウェア技術 コミュニティにおける出会いや協同作業の支援、モデレーション、個人メモリーの共有化の支援などのための技術である。意思決定や事態の認識などにかかわる重要度の高い場面情報がフェース・ツー・フェースで交換される実世界

の出会いと、論理的なインデックス情報が効率的に交換される電子メールなどによる仮想世界の出会いの効果的な関連づけが期待される。

知識の創出支援技術 これは必ずしもコミュニティに関わるものではないが、これからのハイテク社会では新しい知識（例えば、新しい商品企画）は異種の知識を組み合わせから生まれることが多くなるだろう。グループにおける収束型／発散型の発想を支援する技術である。

5.2.4 インタフェース技術

個人活動の支援技術 個人情報ベース形成や情報スペースの探訪など個人の情報活動を支援する技術である。代理人エージェントの設計と実現、グループメモリ・コミュニティメモリとの連携などの研究課題がある。情報の自律的な収集やフィルタリングやファイリングによって、今後のアクセス可能になる情報量の爆発的増大から個人のロードを軽減することがねらいである。

エージェント指向インタフェース技術 音声、視線、ジェスチャーなどによるマルチモーダルインタフェースによって誰でも情報スペース技術を使えるようにするための技術である。ユーザ適応、頑健性、感性情報とロジカルな情報の統合などが研究課題である。擬人化インタフェースを用いることによって、親しみやすく楽しいインタフェースの実現が期待される。

実世界インタフェース技術 情報世界と現実の世界を対応づけるためのインタフェースを設計・実現するための技術である。実世界のオントロジー、モデリング、認識と制御、リアルタイム性の実現、行動や身体性との関連づけなどの研究課題がある。特に実世界のオントロジーは現実世界の事物・イベントを認識できるものでなければならない。例えば、「かばん」という概念記述は現実世界のどれが鞆であるかを見分けるための情報を含んでいなければならない。また、「詐欺」という概念は現実世界あるいは情報ネットワーク上の詐欺行為を認識するための情報を含んでいなければならない。

次章では、上に述べた情報スペース技術を現実世界と仮想世界の街かどを舞台に展開したプロジェクト提案事例について述べる。

6. 情報スペース技術の研究開発プランの一例 --- 街かど 21

街かど(図6-1)は、異文化がフェイス・ツー・フェイスの交流をし、新しい文化が育まれていく場として重要な役割を果たしてきた。一方、最近の情報通信技術の発達により、パソコン通信などを中心とした仮想空間を利用した仮想の街かどが急速に出現し始めている。情報スペース技術の応用例として現実の街かどと仮想的な街かどを融合させることによって、にぎわいとうるおいとやすらぎをあわせもち、コミュニティの人々の知的生産性を飛躍的に向上させることが考えられる。そのような街かどのプロトタイプを街かど21と呼び、研究開発プランの一例を示す。



図6-1 現実の街かど（新宿アルタ前）

6.1 街かど21の全体像

街かどのプロトタイプの全体像は図6-2に示すように

- 人が集まる場を提供し、出会いを演出するコミュニティコモン
- 街かどをいきかう人と情報世界をつなぐコミュニティキオスク
- 街かどの空間と生活の情報を組織化し共有するコミュニティ情報ベース
- 街かどを認知し、コミュニティウェアと連携する携帯用のコミュニティ情報タブ
- コミュニティコモン、コミュニティキオスク、コミュニティ情報ベース、コミュニティ情報タブを統合し、出会いとクラブの形成・活動を支援するコミュニティウェア

から構成される。この実証システムの中心は、人が出会う場所としてのコミュニティコモンとそれを支援するコミュニティウェアである。コミュニティコモンはフェイス・ツー・フェイスの出会いが行なわれる現実世界のコミュニティコモンと情報通信技術による仮想的な出会いが行なわれる仮想世界のコミュニティコモンに分けられる。両者は双対の関係にあり、両者の事物や活動はコミュニティウェアで対応付けられる。

このようなプロトタイプの研究開発を通して、情報通信、家電、建築、芸術工学、都市環境、サービス業などの街かどに関わる異業種間の新しい連携の方式を模索し、街かどに根づいた新産業の創出と育成のための土台とする基盤技術の枠組をの創出が期待される。

6.2 コミュニティコモン

コミュニティの人々が集まる場である。現実世界と仮想世界の両方に存在し、相互に接続される。

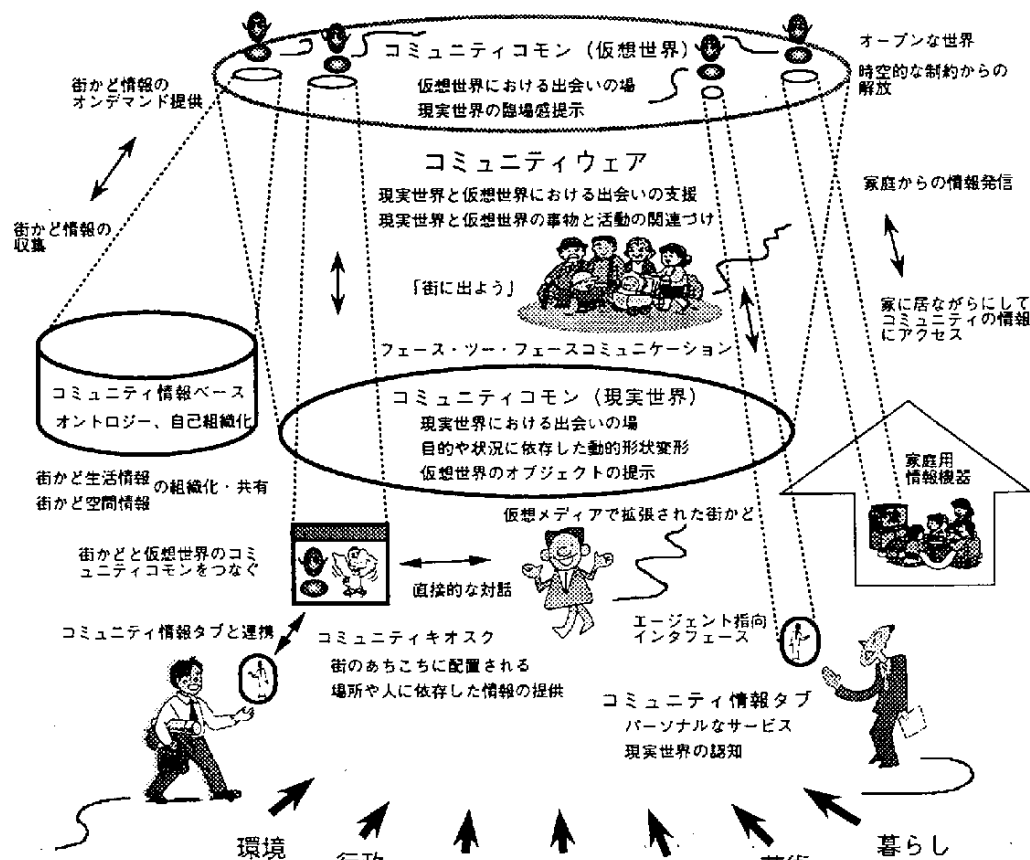
現実世界のコミュニティコモンは、コミュニティのメンバーやビジターがフェイス・ツー・フェイスで集まる場である。仮想世界のコミュニティコモンは、離れたところにいる人々が仮想的に集まる場を提供する。両者は一体となり、隣の人の話が聞こえるサロン(「情報クラブ」)やイベント会場として機能し、コミュニティの情報の拡散と共有に貢献する。次のような機能をもつ。

1. 目的や状況によって動的に形状を変える(図6-3)。例えば、現実世界のコミュニティコモンは、あるときはパーティや展示会のように少人数の会合が並列に開かれる場合に適した形状をし、別のときは講演やコンサートのように少数の人のプレゼンテーションを多人数の人々が聴講するのに適した形状に変わる。一方、仮想世界のコミュニティコモンは、話題に応じて空間のトポロジーを形成し、人々のアイコンを配置する。話題の変化に応じて、空間の構造が動的に変化する。
2. 現実世界のコミュニティコモンの臨場感提示(仮想世界のコミュニティコモン)。例えば、家庭やオフィスから、現実世界のコミュニティコモンにいる人と話をしたり、現実世界・仮想世界のオブジェクトを組み合わせで一つのテーマを表現する。
3. 仮想メディア技術による拡張現実機能(現実世界のコミュニティコモン)。例えば、街かどを歴史的映像によって拡張して伝統的な行事を復元したり、人の流れと荷物の搬出入が調和するように、知的なフロー制御を行なう。

街のにぎわい、うるおい、やすらぎ

異業種連携による新産業の基盤

コミュニティにおける人々の活動を支援する
ヒューマンメディア技術の研究開発



街かど21ができれば...

2001年4月XX日：満開の桜が美しい公園を改造したコミュニティCOMMONでは花見パーティで賑わっている。あちこちでパーティが盛り上がっているが、感性音響システムのため心地よいざわめきになっている。

Y氏は、その様子を自宅に借りているコミュニティキオスクから見ているが、旧友のAさんやBさんの家族も来ているのを見つけて声をかけた。少し話しているうちに自分も出かけることにした。インドのソフトハウスからの連絡を待っていたので、連絡があったときのために、コミュニティ情報タブを持っていき、コミュニティキオスクに接続すれば会議もできる。

コミュニティCOMMONには近所の子どもやお年寄りも来ている。子どもたちはコミュニティ情報タブを持っていて、切符の買い方や道順などを教えてくれるから親も安心しているらしい。

宴もたけなわになると、お年寄りの一人が子どもたちにその地域の昔の花祭りの様子を語りはじめた。見物人も増えて輪が大きくなってきたが、それに伴ってコミュニティCOMMONの一部が形状を変えていく。後ろの方でも苦にならない。

他のお年寄りの何人かは自分の家に保存している昔の写真を取り寄せ、資料館からも資料を取り寄せて、コミュニティCOMMONの壁面の上に合成した。こうして一帯では昭和初期の花見が再現され、お年寄りは若かった頃の思い出にひたり、子どもたちはおじいさんとおばあさんがより身近に感じられるようになった。また、Y氏にもふだんは口うるさい隣りのおじいさんのことが少し理解できるようになり、ゆっくりと話してみようかと思うようになった。

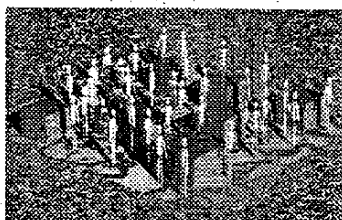
再現された花見の様子はコミュニティ情報ベースに保存されたのは言うまでもない。

図6-2 街かど21プロトタイプ全体像

(a) 会合



(b) パーティ



(c) ステージ

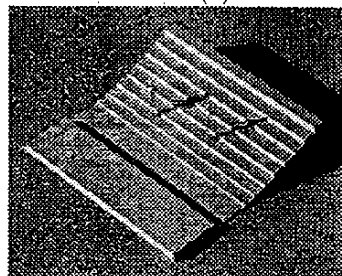


図 6-3 可変構造空間

6.3 コミュニティキオスク

街のあちこちに配置され、街かどをいきかう人と情報世界をつなぐ高速の窓口としての役割を果たす。個人ないしは2、3人のグループのための一時的な準プライベートスペースを提供する。既存の公衆電話ボックスやインターネットカフェの端末の未来版として位置付けられる。

次のような機能をもつ。

1. 場所や人に依存した情報の提供。例えば、工事現場の借り囲いの近くに設置され、建設中の建物の紹介や施工主と近隣の対話の場を提供することが考えられる。
2. 擬人化知的エージェントによるヒューマンインタフェース機能。様々な情報をわかりやすく提示し、コンピュータリテラシーをもたない人でも直接話しかけられるようにするため に複数のモダリティを統合したインタフェースを提供する。また、感性的側面を重視し、誰にも親しみやすいようにする。

6.4 コミュニティ情報ベース

街かどの空間と生活の両面においてコミュニティで共有される情報基盤としての役割を果たす。コミュニティのさまざまなところで発生する情報を組織化し、要求に応じてオンデマンドに提供する(図 6-4)。

次のような機能をもつ。

1. 街かど生活情報の収集・組織化とオンデマンド提供。アルバイト、家庭教師、バーゲン、ガレージセール、バザー、困り事や悩み事の相談、催し物、ボランティア、サークル活動、自治会活動、PTA活動、地史、市民検診、献血など生活に密着した多様な情報の収集・組織化を行ない、要請に応じてユーザの視点に応じた再構成を行なって提供する。
2. 街かど空間情報の共有とオンデマンド提供。例えば、地域の歴史的な町並みを現実の町並みに対応させたVRMLデータを提供したり、住宅を建築しようとしている人のために、地中に埋まっている配管や登記上の区分や建築条例で定めた制約を統合して様々な角度からのビューを提供する。
3. 個人財としての情報、クラブ財としての情報、公共財としての情報の連携。例えば、街のインフラ情報ベースと個人のパーソナル情報ベースからコミュニティ情報ベースをダイナミックに生成したり、コミュニティ情報ベースからインフラ情報ベース、パーソナル情報ベースのアップデートを行なう。特に、市民生活環境サービス(市民のふれあいの場、高齢者支援、障害者支援など)、企業生活環境サービス(バーチャルコーポレーション、CALSやECなど)、行政生活環境サービス(施設案内、催し案内、緊急時連絡など)を統合して個人に応じた視点から再構成して提供する。

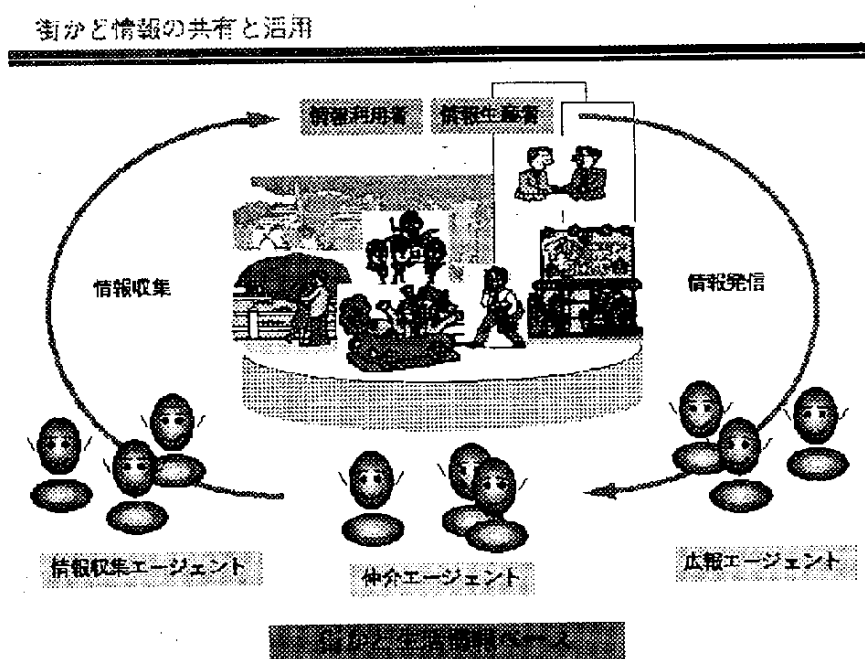


図 6-4 コミュニティ情報ベース

6.5 コミュニティ情報タブ

誰でも携帯でき、街かどの状況を認知し、コミュニティウェアと連携して、パーソナルな移動情報空間を提供する(図6-5)。

次のような機能をもつ。

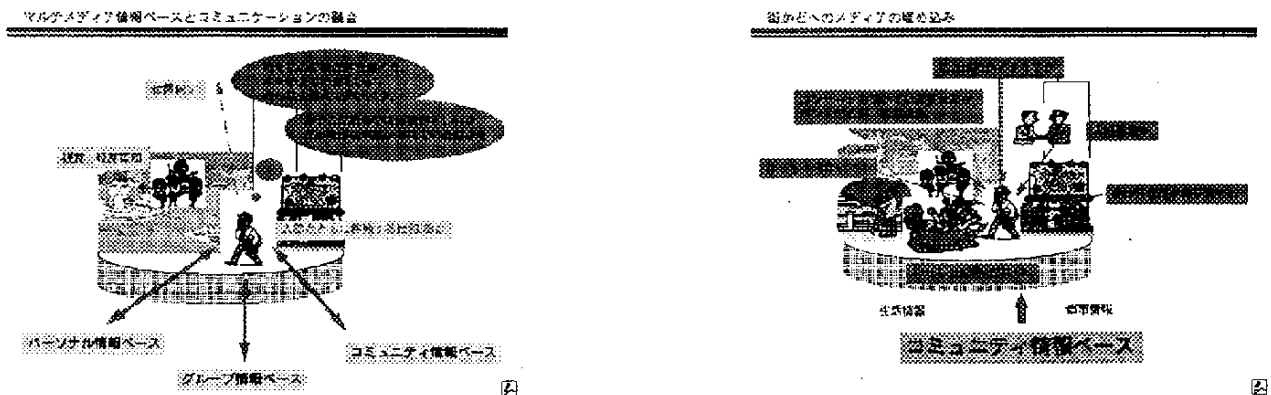


図6-5 コミュニティ情報タブの使用例

1. 他人の持つコミュニティ情報タブやコミュニティキオスクと連携して、持ち主に働きかける。例えば、不案内な土地で目的地へ案内したり、近くのレストランを紹介したり、旧友の偶然の接近を知らせたり、災害時の誘導を行ったりする。
2. 現実世界を認知して、人に知らせる。例えば、転びやすい場所や車の接近などの危険を察知して人に知らせたり、街かどで見かけたものの説明を表示したりする。

6.6 コミュニティウェア

コミュニティコモン、コミュニティキオスク、コミュニティ情報ベース、コミュニティ情報タブを統合し、出会いとクラブの形成・活動を支援する。

次のような機能をもつ。

1. 現実世界と仮想世界における不特定多数の人と人の間のオープンでダイナミックでゆるやかなコミュニケーションの支援。例えば、個人やグループについて公開され

たプロフィールや興味などを用いてボランティアのメンバー探しを支援したり、予約がなくても即席で会合のセットアップを行なったり、総会やパーティのセットアップを行なう。図6-6は京都大学石田研究室における研究中のFreeWalkの画面を示す。

2. 現実世界の事物と仮想世界の事物の関連づけ。例えば、町並みや街かどの歴史的な建築物や展示物と、それに関する情報を対応づけて提供したり、街かどで出会った人と仮想世界で知っている人を対応づけてたり、仮想世界にアイコンが存在する実在物への案内を行なったりする。
3. 現実世界の活動と仮想世界の活動の関連づけ。例えば、現実世界の会合で発生した疑問を解決するために遠隔地の専門家に連絡をとって意見を聞いたり、仮想世界から現実世界の展示物の遠隔操作をする。

コミュニティの活動支援



出会いの支援 [石田研究室, 95]



図6-6 FreeWalk[石田研究室,1995]の例

7. まとめ

情報スペースの構築・共有・活用に関わる背景、社会からの要請と一般的な技術動向を調査した。さらに、情報スペース技術への先駆的取り組みである知識コミュニティプロジェクトにおける研究事例を紹介し、情報スペース技術の枠組みとアプローチの仕方について提言した。また、情報スペース技術の研究開発プランの一例として「街かど21」を示した。

参考文献

- [1] Yigal Arens, Chin Y.Chee, Chun-Nan Hsu, and Craig A. Knoblock. Retrieving and integrating data from multiple information sources. *International Journal on Intelligent and Cooperative Information Systems*, Vol.2, No.2, pp.127 -158, 1993.
- [2] J.Eugene Ball, David J.Kurlander, Daniel T.Ling, John Miller, Tim Skelly, Andrew Stankosky, and David Thiel. Persona: An animated, conversational assistant as computer interface. In *Believable Agents*, pp. 4 - 7, 1994.
- [3] Joseph Bates. The role of emotion in believable agents. *Communications of ACM*, Vol.37, No.7, pp.122 - 125, 1994.
- [4] Bond and Gasser, editors. *Readings in Distributed Artificial Intelligence*. Morgan-Kaufmann Publishers, INC., 1988.
- [5] B.Chandrasekaran. Generic tasks in knowledge-based reasoning. *IEEE Experts*, pp.23 - 30, 1986.
- [6] Mark R.Cutkosky, Robert S.Engelmore, Richard E. Fikes, Michael R. Genesereth, Thoas R.Gruber, William S.Mark, Jay M.Tenenbaum, and Jay C.Weber. PACT: An experiment in integrating concurrent engineering systems. *IEEE Computer*, Vol. January 1993, pp.28 - 38, 1993.
- [7] Presun Dewan. Toward computer-supported concurrent software engineering. *IEEE Computer*, Vol. January 1993, pp.17 - 27, 1993.
- [8] O.Etzioni, N.Lesh, and R.Segal. Building softbots for UNIX (preliminary report). Technical Report 93-3-01, Computer Science Department, University of Washington, 1993.
- [9] Edward A.Feigenbaum. The art of artificial intelligence: I.themes and case studies of knowledge engineering. In *Proceedings of IJCAI-77*, pp.1014 - 1029, 1977.
- [10] T.Finin, J.Weber, G.Wiederhold, M.Genesereth, R.Fritzson, D.McKay, J.McGuire, P.Pelavin, S.Shapiro, and C.Beck. Specification of the KQML agent-communication language. Technical Report EITTR 92-04, Enterprise Integration Technologies, 1992. (Updated July 1993).
- [11] Kenneth D.Forbus. Qualitative process theory. *Artificial Intelligence*, Vol.24, pp.85 - 168, 1984.
- [12] Brian R.Gaines and Mildred L.G.Shaw. Using knowledge acquisition and representation tools to support scientific communities. In *Proceedings AAAI-94*, pp.707 - 714, 1994.
- [13] Michael R.Genesereth and Richard Fikes. Knowledge Interchange Format version 3.0 reference manual. Technical Report Logic-90-4, Computer Science Department, Stanford University, 1990.

- [14] Michael R. Genesereth and Steven P. Ketchpel. Software agents. *Communications of ACM*, Vol.37, No.7, pp.48 - 53, 1994.
- [15] Thomas R. Gruber. *Ontolingua: A mechanism to support portable ontologies Version 3.0*. Technical report, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, 1992.
- [16] Thomas R. Gruber. A translation approach to portable ontology specifications. In R. Mizoguchi, H. Motoda, J. Boose, Gaines B., and Quinlan R., editors, *Proceedings of the Second Japanese Knowledge Acquisition for Knowledge-based Systems Workshop JKAW'92*, pp. 89-- 108, 1992.
- [17] Thomas R. Gruber. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. Technical Report KSL93-4, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, 1993.
- [18] Michael N. Huhns and Munindar P. Singh. Global information management via local autonomous agents. In *FGCS'94 Workshop on Heterogeneous Cooperative Knowledge-Bases*, pp. 1 - 15, 1994.
- [19] 今井賢一, 金子郁容. ネットワーク組織論. 岩波書店, 1988.
- [20] 今井賢一. 情報ネットワーク社会. 岩波新書 (黄版) 285, 1984.
- [21] 日経AI (編). エキスパートシステム最前線 --- 統合化への加速. 日経BP社, 1992. 別冊.
- [22] 石田亨. エージェントを考える. *人工知能学会誌*, Vol.10, No.5, pp.663 - 667, 1995.
- [23] 岩崎由美. 定性推論の応用に関する展望. *情報処理*, Vol.32, No.2, pp.163 - 170, 1991.
- [24] Yumi Iwasaki and C. Low. Model generation and simulation of device behavior with continuous and discrete changes. Technical Report KSL-91-69, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, 1991.
- [25] 印牧直文. シリコンバレー・パワー. 日本経済新聞社, 1995.
- [26] Henry A. Kautz, Bart Selman, and Michael Coen. Bottom-up design of software agents. *Communications of ACM*, Vol.37, No.7, pp.143 - 146, 1994.
- [27] Jun-Tae Kim and Dan I. Moldovan. Acquisition of linguistic patterns for knowledge-based information extraction. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol.7, No.5, pp.713 - 724, 1995.
- [28] 桐山孝司, 富山哲男, 吉川弘之. 設計対象モデル統合化のためのメタモデルの研究. *人工知能学会誌*, Vol.6, No.3, pp.426 - 434, 1991.
- [29] Douglas B. Lenat. Toward programs with commonsense. *CACM*, Vol.33, No.8, pp.33 - 49, 1990.
- [30] Douglas B. Lenat and R. V. Guha. *Building Large Knowledge-based Systems*. Addison-Wesley, 1989.
- [31] Patties Maes. Agents that reduce work and information overload. *Communications of ACM*,

Vol.37, No.7, pp.31 - 40, 1994.

- [32] 松尾利行, 武田英明, 西田豊明. 金属材料論文の知識メディア化の試み. 1995年度人工知能学会全国大会 (第9回) 論文集, 1995. 15-07.
- [33] 松本幹雄, 川合稔, 中田秀基, 山本文緒, 富山哲男, 吉川弘之. 設計向き大規模知識ベースの研究. 1991年度人工知能学会全国大会 (第5回) 論文集, pp.717 - 720, 1991.
- [34] 溝口理一郎. エキスパートシステム I~III. 朝倉AIライブラリ, 1993.
- [35] Riichiro Mizoguchi. Task ontology and its use in a task analysis interview system. In Proceedings of JKAW'92, 1992.
- [36] 溝口理一郎, 小川均, 小島昌一, 進藤静一, 益田亮, 長橋一彦, 増井庄一, 坂間千秋. 知識の再利用を目指したタスク分析とタスクオントロジーの整備. Technical Report SIG-F/H/K/S/I-9201-6(12/4), 人工知能学会, 1992.
- [37] 元田浩, 溝口理一郎, 西田豊明. 知識の共有と再利用ワークショップ報告. 人工知能学会誌, Vol.8, No.5, pp.666 - 671, 1993.
- [38] Katashi Nagao and Akikazu Takeuchi. Social interaction: Multimodal conversation with social agents. In Proceedings AAAI-94, pp.22 - 28, 1994.
- [39] 中村祐一, 堀雅洋. 知識ベースシステム構築のための問題解決部品の同定 --- タスクの性質を反映した部品空間について --- . Technical Report 研究会資料AI-91-68, 電子情報通信学会, 1992.
- [40] Robert Neches, Richard Fikes, Tim Finin, Thomas Gruber, Ramesh Patil, Ted Senator, and William R. Swartout. Enabling technology for knowledge sharing. AI Magazine, Vol.12, No.3, pp.36 - 56, 1991.
- [41] 根津和雄. CALSでめざす米国製造業躍進のシナリオ. 工業調査会, 1995.
- [42] 日本経済新聞 (編). ウィークエンドに読む流通 TODAY. 日本経済新聞社, 1995.
- [43] 日本サンマイクロシステムズ. Java言語: A White Paper. 日本サンマイクロシステムズ株式会社, 1995.
- [44] 日本システム開発研究所 (編). 知識アーカイブ研究開発計画. Technical report, 機械振興協会・経済研究所, 1992.
- [45] 西田豊明, 武田英明. 知識コミュニティプロジェクト. Technical report, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科知能情報処理学講座, 1995.
<http://ai-www.aist-nara.ac.jp/KC/>.
- [46] 西田豊明. 定性推論の諸相. 朝倉書店, 1993.
- [47] 西田豊明. 協調型アーキテクチャによる知識の共有と再利用. 人工知能学会誌, Vol.9, No.1, pp.23 - 28, 1994.
- [48] 西田豊明. 大規模知識ベース. 情報処理, Vol.35, No.2, pp.130 - 139, 1994.
- [49] 西田豊明. エージェント. 日経コンピュータ, No.1995.11.27, pp.126 - 132, 1995.

- [50] 西田豊明. エージェントとその周辺. 電子情報通信学会誌, Vol.78, No.11, pp.1252 - 1259, 1995.
- [51] 錦正信. 専門文書概念構造の抽出と知識メディア化. 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士論文 NAIST-IS-MT351086, 1994.
- [52] 大須賀節雄. AIマップ --- AI研究のあり方. 人工知能学会誌, Vol.7, No.5, pp.796 - 809, 1992.
- [53] R.S.Patil, R.E.Fikes, P.F.Patel-Schneider, D.McKay, T.Finin, T.R.Gruber, and R.Neches. The DARPA knowledge sharing effort: Progress report. In Charles Rich, Bernhard Nebel, and William Swartout, editors, Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Third International Conference. Morgan Kaufmann, 1992.
- [54] C.Petrie. The Redux's server. In: the Proceedings of the First International Conference on Intelligent and Cooperative Systems, Rotterdam, May 12-14, 1993.
- [55] J.R.Quinlan. Induction of decision trees. Machine Learning, Vol.1, No.1., 1986.
- [56] Mark Stefik. The next knowledge medium. AI Magazine, Vol.7, No.1, pp.34 - 46, 1986.
- [57] 末松千尋. CALSの世界. ダイヤモンド社, 1995.
- [58] 日経インテリジェントシステム(編). 特集 --- 進化する知識ベースシステム. 日経BP社, 1992. 別冊1992年秋号.
- [59] 寺野隆雄. Cyc大規模知識ベース -- 知識への第1歩か? 非常識な計画か? コンピュータ科学, Vol.1, No.2, pp.114 - 118, 1991.
- [60] 寺野隆雄. 大規模知識ベース技術の動向と課題. 1992年度人工知能学会全国大会チュートリアル講演テキスト, pp.C13 - C27, 1992.
- [61] 高瀬昌康. 店舗施設の総合知識. 誠文堂新光社, 1984.
- [62] 竹林洋一. 音声自由対話システム tosburg ii -- ユーザ中心のマルチモーダルインタフェースの実現に向けて --. 電子情報通信学会論文誌, Vol.J77-D-II, No.8, pp.1417 - 1428, 1994.
- [63] Hideaki Takeda, Kenji Iino, and Toyoaki Nishida. Agent communication with multiple ontologies. In FGCS'94 Workshop on Heterogeneous Cooperative Knowledge-Bases, pp. 111 - 124, 1994.
- [64] 田中英彦, 相磯秀夫(編). コンピュータの事典. 朝倉書店, 1981.
- [65] N.Tosa. Network neuro-baby with robotics hand. In Anzai, editor, Symbiosis of Human and Artifact, pp.77 - 82. Elsevier Science B.V., 1995.
- [66] 土佐尚子, 濱崎好治. トーキング・ニューロベビー --- 仮想世界の電子ペット ---. 仏教, No.24, pp.125 - 133, 1993.
- [67] 豊島弘. アメリカ小売業最前線. 日本経済新聞社, 1995.
- [68] 月尾嘉男. マルチメディア超企業破壊. 徳間書店, 1995.

- [69] Peter Wayner. Agents away. BYTE, Vol.May 1994, pp.113 - 118, 1994.
- [70] Geo Wiederhold. Interoperation, mediation, and ontologies. In FGCS'94 Workshop on Heterogeneous Cooperative Knowledge-Bases, pp.33 - 48, 1994.
- [71] 横井俊夫. 知識処理と自然言語処理の融合としての大規模知識ベース --- 電子化辞書から知識アーカイブへ --- . 人工知能学会誌, Vol.8, No.3, pp.286 - 296, 1993.

第3編

海外の研究開発動向

第3編 海外の研究開発動向

1. KB&KS'95 概要

大規模知識ベースの構築および共有に関する諸技術について、海外の最新の研究開発動向を把握することを目的に、1995年4月10日（月）～13日（木）の4日間の日程で、オランダのエンスヘデにあるTwente大学において開催されたKB&KS'95（第2回大規模知識ベースの構築と共有に関する国際会議1995）での現地調査を行った。

この国際会議は、1993年12月、東京で開催したKB&KS'93に続くもので、同大学のMars教授の呼びかけにより開催されたものである。日本からは、当協会「大規模知識ベース調査研究委員会」委員の横井（電総研）、溝口（大阪大学）、西田（奈良先端科学技術大学院大学）の3氏のほか、富山（東京大学）、石井（東京大学）、J. Vanwelkenhuysen（大阪大学）の各氏が参加して、研究発表を行った。

会議は、まず研究発表に先立ち、大規模知識ベース構築の現状報告として、日・欧・米を代表する大規模知識ベースの構築事例に関する招待講演が行われた。つづいて、(1) オントロジー、(2) 知識獲得、(3) 大規模アプリケーション、(4) 大規模化への課題、(5) 支援技術、(6) 知識ベースとデータベース、(7) 知識共有と再利用、の8分野からの研究発表と討議が行われた。

投稿された研究論文は、表1-1のとおりであるが、会議を通じて共通する話題は、オントロジー、知識獲得と共有技術、デジタルライブラリに分類できる。

オントロジーに関するものでは、オントロジーの定義と役割を明確化するための議論（Dr. N.Guarino：National Research Council, イタリア）、オントロジー工学の提唱（溝口理一郎教授：大阪大学）やタスクオントロジーの再利用のためのワークプレイスという概念の提案（Dr. J.Vanwelkenhuysen：大阪大学）があった。

知識共有技術に関するものでは、知識ベース構築者と利用者の間でのオントロジーに関する合意の維持は不可欠であり、そのための“用語の相互的な依存関係を保存・修正を追跡するツール”の必要性を指摘（Dr. William Mark：Lockheed AI Center、米国）、また、効果的な知識共有には、知識メディアの考え方が必要で、そのための試みに関する報告（西田豊明教授：奈良先端大）、欧州共同体宇宙船のシミュレーションコントロールシステムへのARPAとの知識共有に関する試みの報告（Dr. M.Jones：European Space Operations Center、ドイツ）などがあった。

自然言語テキストからの情報獲得に関するものでは、論文の著者の半数近くが欠席したため詳細については分からないが、投稿された論文から判断する限り、まだターゲットは辞書・シソーラスのレベルに留まり、概念レベルまで踏み込んでいないものが大半

であるように思える。そうした中で、植物事典の記述を自動的に知識表現化して、植物分類の知識ベースシステムを構築する試み (Dr. A.J.Taylo : Univ. of New South Wales、オーストラリア) は注目される。

デジタルライブラリに関するものでは、米国のデジタルライブラリ計画 (6つのプロジェクト) の概要紹介 (Dr. Su-Shin Chen : NSF、米国) が行われた。

表 1-1 投稿論文一覧

Towards Large Knowledge Bases

- Steps to Sharing Knowledge, *D.B. Lenat*
- Knowledge Bases and Computational Molecular Biology, *F. Rechenmann*
- The Impact of the EDR Electronic Dictionary on Very Large Knowledge Bases, *T. Yokoi*

The Role of Ontologies

- Ontologies and Knowledge Bases Towards a Terminological Clarification, *N. Guarino and P. Giaretta*
- Ontological Commitment and Domain-Specific Architectures: Experience with Comet and Cosmos, *W. Mark, J. Dukes-Schlossberg and R. Kerber*
- Task Ontology for Reuse of Problem Solving Knowledge, *R. Mizoguchi, J. Vanwelkenhuysen and M. Ikeda*
- The Generalized Upper Model Knowledge Bases: Organization and Use, *J. Bateman, B. Magnini and G. Fabris*
- Ontologies for Very Large Knowledge Bases in Materials Science: a Case Study, *P.E. van der Vet, P.-H. Speel and N.J.I. Mars*
- A Knowledge Media Approach to Ontology Development, *T. Nishida, H. Takeda, K. Iino and M. Nishiki*

Knowledge Acquisition

- Steps Towards Automated Knowledge Acquisition, *Y. Wilks and S. Nirenberg*
- Knowledge Acquisition from Natural Language Documents for Large Knowledge Bases, *G.P. Zarr*
- Extracting Knowledge from Biological Descriptions, *A. Taylor*

Large-Scale Applications

- A Very Large-Scale Knowledge base for the Knowledge Intensive Engineering Framework, *M. Ishii, T. Sekiya and T. Tomiyama*
- A Scientific Knowledge Base for Extracting and Justifying Scientific Hypotheses in Atmospheric Research, *E. Kapetanios*
- Building Consensual Knowledge Bases: Context and Architecture, *J. Euzenat*
- A Case Study in the Use of Large-Scale Knowledge-Based Technology for an Environmental Application, *N.B. Pinto, L.M. Stephens and R.D. Bonnell*

Scaling Issues

- On the Integration of Specialized and General Reasoning, *G. Wickler*
- Scalability of the Performance of Knowledge Representation Systems, *P.-H. Speel, F. van Raalte, P.E. van der Vet and N.J.I. Mars*

Supporting Technology

- Structuring Methods for Nonmonotonic Knowledge Bases, *G. Antoniou*
- Exceptions in Composition Graphs, *M. Magnan and C. Oussalah*
- COLOR-X: Object Modeling Profits from Linguistics, *J.F.M. Burg and R.P. van de Riet*

Knowledge Bases and Data Bases

- OSIRIS: an Object-Oriented System Unifying Databases and Knowledge Bases, *A. Simonet and M. Simonet*
- Interfacing of Object-Oriented Databases and Knowledge-Bases Engineering Systems Using Views, *K. Tanskanen, A. Aaltonen, P. Paasiala and A. Riitahuhta*
- Why and How to Define a Similarity Measure for Object-Based Representation Systems, *G. Bisson*
- Intelligent Caching in Heterogeneous Reasoning and Mediator Systems, *S. Adali and V.S. Subrahmanian*

Knowledge Sharing and Reuse

- An Agent Based Approach to Spacecraft Mission Operations, *M. Jones, J. Wheadon*
- Workplace-Adapted Behaviors: Lessons Learned for Knowledge Reuse, *J. Vanwelkenhuysen and R. Mizoguchi*
- Knowledge Bases, Texts and Lexicon, *F. Lemaire*
- Evaluation and Assessment of the Knowledge Sharing Technology, *A. Gomez-Perez, N. Juristo and J. Pazos*
- Knowledge Dissemination - Digital Libraries + Collaboration Technology, *Su-Shing Chen*

2. 研究開発動向

本章では、KB&KS'95 で発表（投稿）された研究論文の中から、各分野の主な研究論文の概要を紹介する。

2.1 オントロジー

(1) オントロジーと知識ベースの用語の明確化[1]

最近「オントロジー」は、知識工学の世界では一般的な言葉となってきた。しかし、この言葉の使われ方は様々であるため、その意味するところも曖昧なままである傾向が強い。人工知能（AI）における最近の議論で提示されたものの中には、明確化に値すると思われる、いくつかの解釈を認めることができる。そのような解釈が示唆するものを明らかにし、「オントロジー」「概念化」「オントロジー的コミットメント」などの術語的使用に関する、明確な用語選択の必要性について議論したものである。哲学の一分野を表わす「オントロジー(大文字の"O"で始まる)」の使用について少々論じた後、知識レベルにおけるある概念の枠組みとして意図されたオントロジーと、ある与えられた目的に対する記号レベルでの具体的な人工物として意図されたオントロジーとの間で起こりうる混乱について分析している。また明確化の作業で重要なポイントとなる、オントロジーは概念化の特殊化であるというGruberの定義について、深い分析を行っている。

: Ontologies and Knowledge Bases Towards a Terminological Clarification, *N.Guarino and P.Giaretta*

(2) オントロジカルなコミットメントと領域固有の構造：CometとCosmosでの経験[2]

大規模知識ベースは、設計、デバッグおよび保守などのための開発プロセスおよびツールを必要とする複雑なソフトウェアあるといえる。タスク固有の構造と分類学的設計手法は、部分的回答を与えるが、知識ベースに対するすべての追加および変更でその中心となる仮定と外界との期待に関する契約を保持したいとするニーズを満たすことはできない。われわれは、オントロジーにおける主要な項間の相互依存性を定義するという一連のオントロジカルなコミットメントを把握することにより、知識ベースの開発プロセスについて記述している。これらのコミットメントは、明確に表現され、知識ベースの開発中に実施された領域固有の構造として捉えたものである、CometとCosmosの2つのシステムについて本システムを適用、実験した結果の紹介である。

: Ontological Commitment and Domain-Specific Architectures: Experience with Comet and Cosmos, *W.Mark, J.Dukes-Schlossberg and R.Kerber*

2.2 知識獲得

(1) 生物学に関する記載からの知識抽出[3]

自然言語による記載をもとに、生物学上の同定を行なうシステムの紹介である。このシステムは、制約された自然言語による多量の生物学上の記載を含んだテキストを解析し、知識ベースを構築する。このシステムは語彙、ときには文法を拡張することにより、半自動的にテキストに適応することができる。構築された知識ベースは、対話的に標本の同定を行なうために使用される。このシステムは自動的にHTML形式を作成し、ハイパーメディア資源との統合を可能とし、World Wide Web 上での同定インタフェースを提供する。このシステムのインプリメンテーションと、2つの大規模な植物学に関するテキストにおけるその性能を紹介している。

: Extracting Knowledge from Biological Descriptions, A.Taylor

2.3 大規模アプリケーション

(1) 共感知識ベースの構築：文脈と構造[4]

共感知識ベース (すなわち知識が公式な言語で表現され、特定の研究領域の最先端技術を含むと考えられるベース) を実現するための規約や知識についての紹介である。知識ベースの構成は共同で実現すべきで、またそれが可能であるということを前提条件としている。構造は、知識ベースの開発を支援する各ワークステーションをベースとしている。知識ベースとは、ハイパーテキスト・ノードやリンクによる注釈が付けられたオブジェクト、タスクおよび定性式などによる、公式な知識表現である。これは、各知識間における類似性と矛盾を見いだすためのツールとしての役割も果たす。これらのベースを一緒にまとめて、新しい基準知識ベースを構成することもできる。この最終的ベースを構成するためのプロセスは、ピアレビュー・ジャーナルに対する記事の投稿を真似たものである。これは、グループ・ベースへの知識のサブミット、そのベースのコンテンツとその対比、その結果に基づいた修正、他の知識ベースによる再評価ならびにその統合に関する規約を通じて最終的に実現される。システムは、研究者達がゲノム配列分野で使用することを目的としている。

: Building Consensual Knowledge Bases: Context and Architecture, J.Euzenat

2.4 データベースから知識ベースへ[5]

(1) ビューを使用したオブジェクト指向データベースと知識ベース・エンジニアリング・システムの相互接続[5]

知識ベース・エンジニアリング・システムとオブジェクト指向データベースを相互に接続すると、双方の分野における最も優れた機能を利用することができるようになる。オブジェクト指向データベースに関する手法を利用すると、単純な技術データだけでなく、コンポーネント固有の知識の多くもデータベースに蓄積できる。この論文では、オブジェクト指向のビューについて述べており、このビューにより、2つのシステム間における強力なインタラクションが可能になる。提案されたシステムの特徴は、通常の照会言語の能力を上回るオブジェクト選択機能、オブジェクト階層構造内のプロパティへのアクセス機能および、パラメーター化計算法から得られる結果の受け取り機能などが挙げられている。

: Interfacing of Object-Oriented Databases and Knowledge-Bases Engineering Systems Using Views,

K.Tanskanen, A.Aaltonen, P.Paasiala and A.Riitahuhta

2.5 知識共有と再利用

(1) 宇宙探査計画へのエージェント・ベース・アプローチ[6]

ATOS (Advanced Technology Operations Systems) は European Space Agency がサポートするプログラムで、高度アプリケーション、特に知識ベース・アプリケーションと、宇宙探査計画のための地上システムとの統合をめざしている。論文では、知識を共有するためのATOSアプローチと、そのアプローチをサポートするインフラストラクチャを解説している。このアプローチは、宇宙船運用のための問題を解決するARPA Knowledge Sharing Effortの成果に基づいている。アプリケーションはそれぞれが、自身の知識ベースを持ったエージェントの共働体で、ある共通のオントロジーに準拠し、インフラストラクチャにより調整されている。論文では、今日までの実際的な経験を要約し、結論としてATOSプログラムが将来何をなすべきかを概論している。

: An Agent Based Approach to Spacecraft Mission Operations, *M.Jones, J.Wheadon*

(2) 作業場適合行動：知識の再利用に関し習得した教訓[7]

組織化された作業慣行に統合されている問題解決行動は、作業場、組織的取り込みおよび社会環境などの特質から生じる拘束力に必然的に適合されている。同じ技術情報にアクセスする同じデバイスに関するさまざまな作業場で実施されている課題追求行動を

解析および比較した結果、統合されている行動が他の作業場では不十分な可能性があることが判明した。作業場適合行動に関する知識レベルのモデルは、それぞれ非常に異なっている。このため論文では、再利用可能な問題解決コンポーネントの開発および利用に関するこのような観察結果について報告している。

: Workplace-Adapted Behaviors: Lessons Learned for Knowledge Reuse, *J. Vanwelkenhuysen and R. Mizoguchi*

(3) 知識の普及 = デジタル図書館 + コラボレーション技術[8]

地球的情報インフラストラクチャにおいて、情報スーパーハイウェイ上の公衆への知識普及には、デジタル図書館が不可欠な役割を果たすと考えられる。論文では、デジタル図書館の全体的な骨組みを説明し、デジタル図書館とコラボレーション技術を使用した知識分散のモデルを示している。

: Knowledge Dissemination - Digital Libraries + Collaboration Technology, *Su-Shing Chen*

参考文献

- [1] Nicola Guarino. Towards Very Large Knowledge Bases, N.J.I.Mars (Ed.), 25 - 32, 1995.
- [2] William Mark, Jon Duke-Schlossberg, Randy Kerber, Towards Very Large Knowledge Bases, N.J.I.Mars (Ed.), 33 - 45, 1995.
- [3] Andrew Taylor, Towards Very Large Knowledge Bases, N.J.I.Mars (Ed.), 114 - 120, 1995.
- [4] Jerome Euzenat, Towards Very Large Knowledge Bases, N.J.I.Mars (Ed.), 143 - 155, 1995.
- [5] Kari Tanskanen, Anne Aaltonen, Pasi Paasiala, Asko Riitahuhta, Towards Very Large Knowledge Bases, N.J.I.Mars (Ed.), 228 - 235, 1995.
- [6] M Jones, J Wheadon, Towards Very Large Knowledge Bases, N.J.I.Mars (Ed.), 259 - 269, 1995.
- [7] Johan Vanwelkenhuysen, Riichiro Mizoguchi, Towards Very Large Knowledge Bases, N.J.I.Mars (Ed.), 270 - 280, 1995.
- [8] Su-Shing Chen, Towards Very Large Knowledge Bases, N.J.I.Mars (Ed.), 297 - 301, 1995.

資料編

「ヒューマンメディア先導研究」

資料編

ヒューマンメディア先導研究

1. はじめに

この研究は、通商産業省工業技術院産業科学技術研究開発制度のなかで、ヒューマンメディア・プロジェクトの先導研究として、平成6年度、7年度の2年計画で実施されたものです（実施主体：ヒューマンメディア技術調査委員会*（委員長：坂井利之 京都大学名誉教授（龍谷大学大学院理工学研究科長）））。

平成6年度では、ヒューマンメディアの技術を要素技術の観点から(1)知識メディア技術、(2)仮想メディア技術、(3)感性メディア技術に分類し、またヒューマンメディアと社会的課題の面から検討がなされました（ヒューマンメディアの調査研究報告書（平成7年3月）**参照）。

平成7年度では、ヒューマンメディア技術の研究課題の検討を実問題を解決するシステムを想定して行い、応用の面から以下の8つのミニプロジェクトが提案されています（ヒューマンメディアの調査研究報告書（平成8年3月）***参照）。

- (1) ヒューマンメディア対話 ー次世代プラントー
- (2) 感性エージェントとヒューマンメディアデータベース ー感性工房と感性情報基盤ー
- (3) パーソナルな知的活動支援環境 ーブレインパートナーー
- (4) 自然・文化・歴史との交流・共生支援 ーヒューマンメディアリラクゼーションー
- (5) 医療におけるヒューマンメディア技術 ーバーチャルメディカルセンターー
- (6) モバイルなヒューマンメディア情報環境 ー空間移動メディアー
- (7) 多人数参加型の環境シミュレーション ー都市環境ヒューマンメディアー
- (8) 現実世界と仮想世界を融合したコミュニティ活動 ー街かど21ー

このほか、同報告書では、ヒューマンメディア・プロジェクト基本計画、ヒューマンメディアにより実現される情報環境のイメージがまとめられています。

大規模知識ベースの調査研究との関係では、実世界のさまざまな知識をさまざまな様

* 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託により財団法人イメージ情報科学研究所が実施

** NEDO-PR-9407 ヒューマンメディアの調査研究報告書 平成7年3月
新エネルギー・産業技術総合開発機構／財団法人イメージ情報科学研究所 編

*** NEDO-PR-95003 ヒューマンメディアの調査研究報告書 平成8年3月
新エネルギー・産業技術総合開発機構／財団法人イメージ情報科学研究所 編

式で蓄え、それらを取り扱う大規模知識ベース技術は、知識メディア技術と重なる部分も多く、ヒューマンメディア技術の中核技術の1つに位置付けられます。

2. ヒューマンメディア技術の研究課題（ミニプロジェクトの概要）

ヒューマンメディア・プロジェクトは、実問題を扱うシステムの開発を通じ、ヒューマンメディア技術の研究開発を行うアプローチを指向しており、平成7年度先導研究として、応用に関する8つのミニプロジェクトおよびヒューマンメディア共通基盤技術に関するプロジェクトが提案されている。

提案された応用に関する8つプロジェクトについて、研究計画の概要部分を平成7年度「ヒューマンメディアの調査研究報告書***」から抜粋し、以下に載せる。

2.1 ヒューマンメディア対話 一次世代プラント

より高度で安全性の高いプラントの運転・保守支援機能を持つ次世代プラント運転支援ヒューマンメディアシステムのプロトタイプシステムの開発を行う。

(1) 研究計画の概要

分散環境において協調に基づく共同作業(運転+保守+訓練)を支援するために必要な要素技術として、オントロジーに基づいて知識の獲得／体系化／共有を行い、タスクに関連する基盤技術の高度化を行うとともに、仮想メディアと感性メディア技術を用いて感性／価値観のレベルでの意思の疎通を可能にする仮想作業空間を構築し、作業員間、及び作業員と対象間のインタフェースの飛躍的な高度化を図る。

具体的な応用としてプラント・機械系の運転管理・保守支援などを想定している。最終成果イメージを図1に示す。

次世代プラント運転・保全支援システム

発電、石油、化学プラントなどにおいて、プラントのプロセスや将来の振る舞いを予測できるシミュレーション能力を持つ仮想空間環境の中で、運転員・保守員の感性とその時点での心理状態に適し、かつプラントの状態が集約されたシンボルに変換された適切な情報の提供をしながら、緊急時の運転、悪条件下での運転継続、作業現場における保守作業などをインタラクティブに支援する。

図2が示すように、産業界における実問題を対象にした知識メディア技術をベースにして、感性メディアと仮想メディアを取り込んだ高度なインタフェースを持つプラントの運転・保守支援システムを開発する。本計画でいうインタフェースは、従来のインタフェースのように対象とするシステムと利用者との単なる「界面」ではなく、システムと利用者の両方の内部に深く切り込んで両者を深いところから融合する基盤技術として

位置づけようとするところに特徴がある。

更に、プラント運転と保守という二つのタスクの視点から、基盤技術としての知識メディア、そしてインタフェース技術としての感性和仮想メディアという共通の課題を詳細に検討することによって、各々の技術を産業界の実問題において実用に供し得る技術にまで洗練することを目指す。

発電設備における次世代ヒューマンメディアインタフェースのイメージ例

次世代運転用ヒューマンインタフェースの特徴

豊富なデータをもとにプラント状態をわかりやすく表示し、緊急時には運転員の感性状況に適應した適切なガイダンスを、画像、音声等で運転員に提示する。

1. データだけではなくマテリアルバランスやエネルギーバランスなど、意味のレベルで表示し、運転員の素早い判断が可能。
2. コマンドレベルの音声入力により、画面に必要なデータを表示させたり、操作の指示が可能。
3. 3次元VR空間表示の大画面を、複数の人間が同時に共有できる。
4. 運転員／エージェントが操作するカメラなどの現場情報はVR空間に反映される。

次世代保守用ヒューマンインタフェースの特徴

保守員は現場にて、VRめがね等を通じてマニュアルレスで作業指示や作業手順、プラントデータを受けて作業ができるほか、リアルタイム、インタラクティブに運転員と音声・画像データを交信できる。

1. 現場の保守員はめがねの表示を、音声コマンドで指示。
2. 保守員が撮像する映像をリアルタイムで運転員へ転送する。中操から計測ポイントをリアルタイムで指示し、その内容はめがね型表示される。
3. 作業者の見ているものを中操でも見て、共有し、その内容に基づいて、運転員と保守員が議論できる。

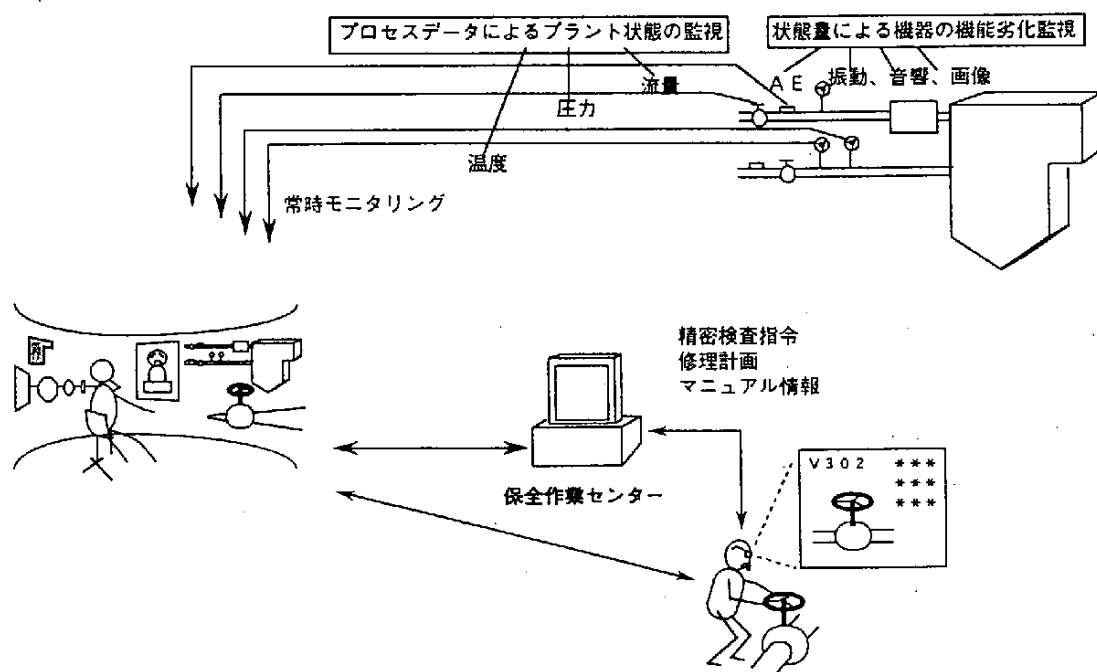


図1 保守作業支援システムのイメージ

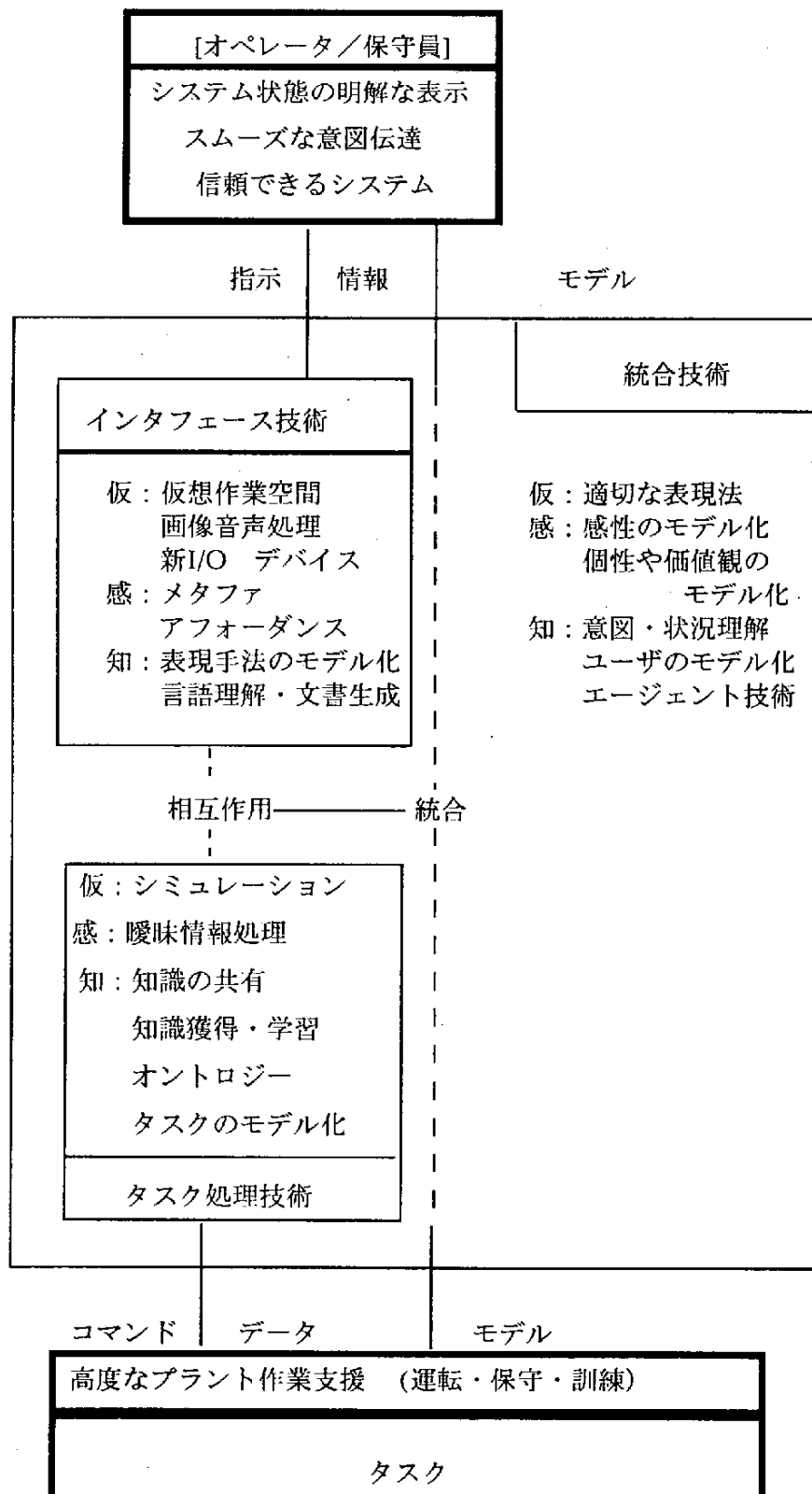


図2 プロジェクトの概念図

第1期の目標

実証システムの開発を通して要素技術を研究し以下のソフトウェアを開発する。

・システム化ソフトウェアの研究開発

知識・仮想・感性に関する基盤的要素技術をソフトウェアの形に具体化し、これらに必要なオントロジー、モデルデータ等のコンテンツを統合した各種の応用システム構築の基盤となる機能別ミドルウェアの研究開発を行うと同時に、各要素技術の検証を行う。

・バックボーン技術の研究開発

分散環境におけるエージェント記述言語、同期処理機能、情報共有化／相互運用性、セキュリティ機能等プラットフォームのバックボーンとなる基本ソフトウェアの研究開発を行い、プロジェクト第2期の統合化情報環境の研究開発に備える。

第2期の目標

開発した複数の要素技術を統合し、機能ソフトウェアをシステムとして統合し、その評価を行い、必要なら改良、洗練化を行う。

(2) 研究開発スケジュール

第1期： 4年

第2期： 3年

2.2 感性エージェントとヒューマンメディアデータベース

－感性工房と感性情報基盤－

(1) 研究開発の概要

人間一人一人の顔が違いうように、個々の利用者やそのグループは、情報を主観的・直感的に判断・解釈し、また、表現・伝達し、それぞれの個性を特徴付けている。

本研究では、感性メディア技術の高度化を核に、このような主観的・直感的な情報の判断・解釈の仕方や情報の表現・伝達の仕方にマッチした、知識メディア技術・仮想メディア技術を確立する。このような技術開発を通じて、利用者の主観的な特性に対応して利用者の知的活動を支援するヒューマンメディア技術を確立すると共に、FTTH (Fiber to the Home)時代に重要な役割を果たすコンテンツ産業（コンテンツの収集・管理・検索・作成・発信）に必要な技術的基盤を整備し、未開拓・潜在的なニーズを満たす新しいマーケットを育てることが、本研究開発の産業政策的な目標である。

本研究では、視覚・聴覚・触覚等の感覚情報に関する情報処理過程のモデル（感性モデル）化、感性モデルに基づいて能動的に情報を解釈し取舍選択するメカニズム（感性エージェント）の確立、これらを利用したヒューマンメディアデータベース等の情報処理システムの構築・運用技術を開発し、感性情報基盤の確立に資する。

ここで、感覚情報に関する情報処理過程に関しては、次に示す2つの視点からのモデル化を統合的に行うことが望ましい。

感性の構造として、人間が外界を知覚（入力に相当）し、また頭の中でのイメージを具体化して外界に働き掛ける（出力に相当）までの過程に着目しよう（図1）。個々の人間が感覚情報を受け取り、様々な特徴抽出機構を経て、これを主観的に解釈するまでの階層的な過程を知覚感性と呼ぶ。また、個々の人間が頭の中でイメージする情報を、

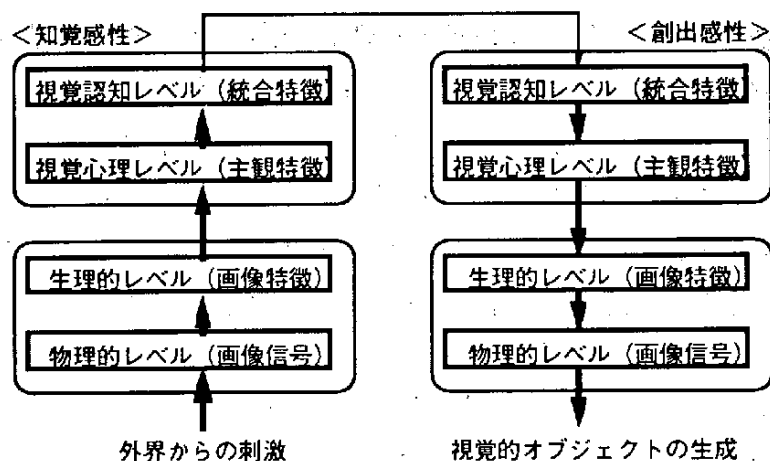


図1 感性（知覚感性・創出感性）の階層的モデル

具体化して、実際に他の人間や計算機が知覚可能な情報に形作るまでの階層的な過程を創出感性と呼ぶ。この様な感性情報の知覚・表現のメカニズムの解明とモデル化が第1の視点である。

次に視覚・聴覚・触覚等の感覚情報を総合的に処理する過程に注目する(図2)。人間は、多種類の感覚(視覚・聴覚・触覚等)を同時に相互に関係付けつつ、外界に能動的に働き掛けたりしながら外界を知覚し、また様々な表現手段(スケッチ・音声・動き等)を同時に組合せて、イメージを表現する。この様なマルチモーダリティのメカニズムの解明とモデル化が第2の視点である。

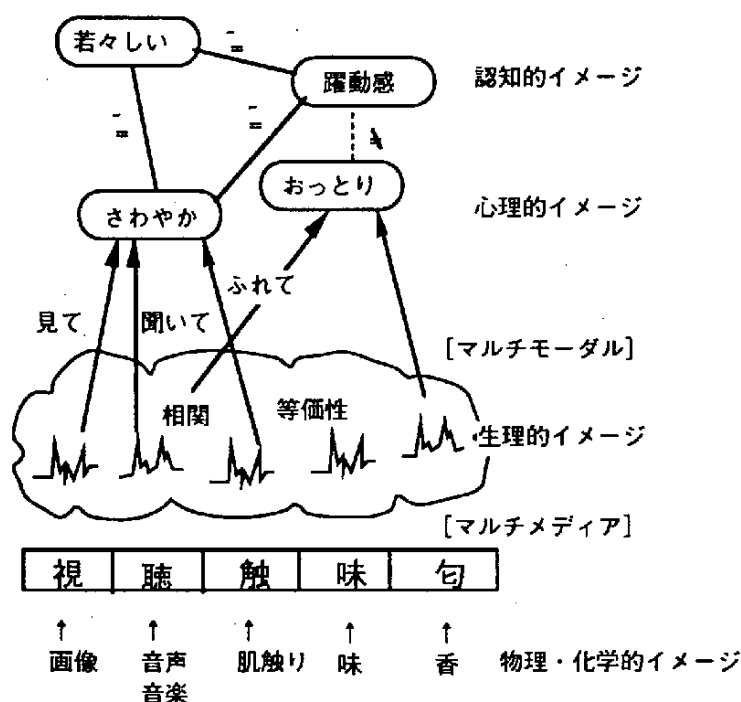


図2 感性のマルチモーダル構造のモデル

本研究では、視覚・聴覚・触覚等の多感覚情報の内、特に視覚的情報に関する知覚感性および創出感性のモデル化、感性モデルに基づいて能動的に情報を解釈し取捨選択する感性エージェントの確立、これらを利用したマルチメディアデータベース等の情報システムの構築・運用技術を開発し、感性情報基盤の確立に資する。また、聴覚及び触覚等に関する知覚感性および創出感性の情報処理モデル(感性モデル)の構築、多感覚を組合せて総合的に処理する過程の情報処理モデル(感性モデル)の構築、および、その利用等に関する基礎的研究を並行して進める。

本研究は、具体的な実証例として、図形・テクスチャパターン・図面・静止画・動画等をコンテンツとするマルチメディアデータベースを構築する。このマルチメディアデータベースシステム上に、利用者が描いた例示画から画像を検索する内容検索、主観的な

判断規準から類似画像を検索する類似検索、主観的・直感的な表現から妥当な画像を検索する感性検索の機能等、知覚感性の階層構造に対応させたデータベース操作機能を実現する。また、3次元空間の視認性と利用者の知覚感性の双方にマッチした、マルチメディアコンテンツの提示技術を開発し、マルチメディアデータの検索結果を多次元空間上に表示する機能を実現する。さらに、様々な利用者の知覚感性・創出感性の双方にマッチさせてマルチメディアコンテンツを再編集する機能を提供し、創作・デザイン等の知的創造活動の支援を可能にする（感性工房；図3参照）。

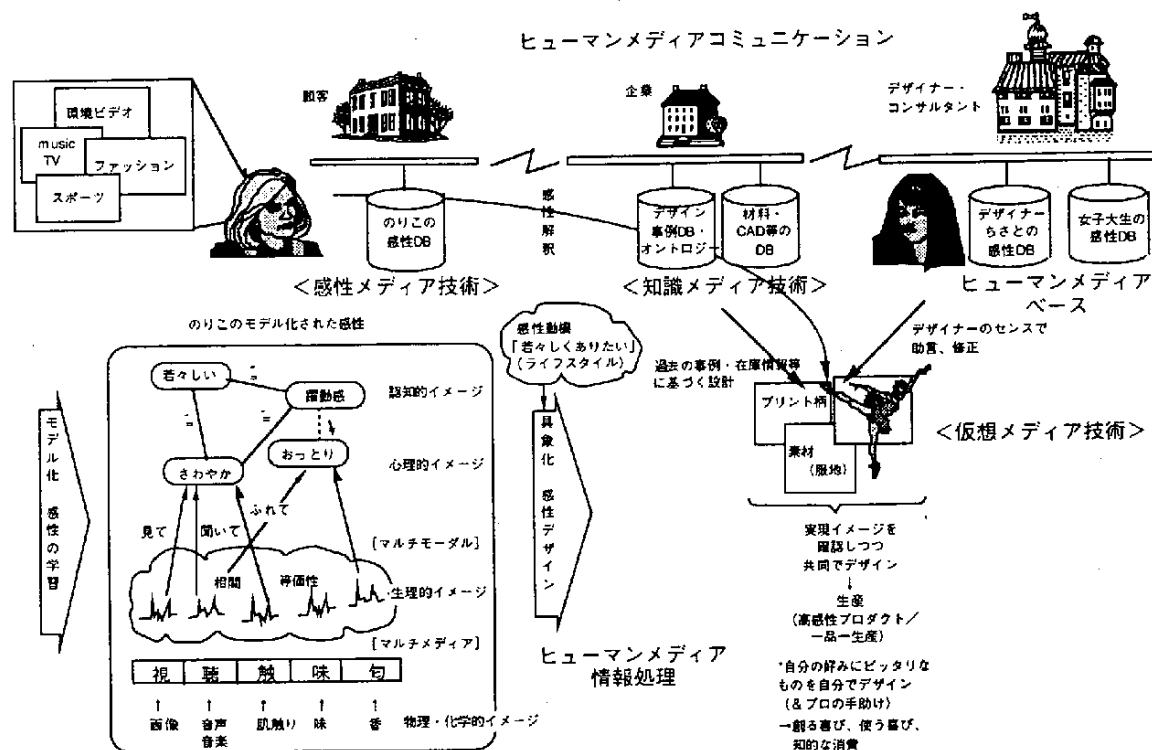


図3 感性工房

(2) 研究開発スケジュール

研究開発の核となる感性メディア技術に関しては、以下の機能の実現、技術の確立を目標とする。

- 人間が持つ知覚感性のメカニズムを、視覚系への物理的刺激とそれに対する人間の応答を対応付けて階層的にモデル化すると共に、利用者が主観的な視点からマルチメディアデータを解釈する過程を計算機で再現する機能を実現する。
- 感性の階層的モデルに基づき、マルチメディアデータを個人差や室内環境の違いによらずに高精度に提示する方法論を明確にすると共に、画像・映像データ等を人間が容易にかつ高精度に知覚できるように提示する機能を実現する。

- (c) 人間が持つ創出感性を、利用者固有の主観的な特性や技能に基づいてイメージ情報を具体化（可視化）する過程として階層的にモデル化すると共に、イメージ情報の具体化（可視化）を計算機により支援、あるいは計算機で代行する機能を実現する。
- (d) 主観的な視点からの感性検索を含む、マルチメディアコンテンツの内容検索機能（例示画検索、類似画検索、感性検索等）を実現する。
- (e) マルチメディアデータベースから、特定の主観的視点に基づいて類似検索を行い、検索したコンテンツを、利用者が与えた物理的・主観的拘束条件に合致するように加工（再編集）する機能を実現する。
- (f) 聴覚及び触覚に関する感性モデルの構築を試み、また、多感覚感性によるマルチモーダル感性モデルとして統合する可能性・道筋を明らかにする。
感性メディア技術との融合を図る知識メディア技術、仮想メディア技術、バックボーン技術に関しては、以下の機能の実現、技術の確立を目標とする。
- (g) オブジェクト指向データベース管理システムと感性モデル化ソフトウェアの統合化を実現する。
- (h) インターネットを利用してマルチメディアデータの自動／半自動収集を行うデータベースエージェントを実現する。
- (i) マルチメディアデータベースからの検索結果の多次元表示技術として、利用者の感性モデルから評価される候補データ相互の類似度に基づく、3次元空間表示法を実現する。
- (j) 感性モデルに基づいて能動的に情報を解釈し取捨選択するソフトウェア（感性エージェント）を実現する。

<参考>

なお、参考のために、ヒューマンメディアプロジェクト第2期で想定される技術目標を紹介する。

プロジェクト第1期で行う主として視覚に関する感性の階層的モデル化技術等を踏まえて、第2期においては、聴覚・触覚等の様々な感性を階層的にモデル化し、多感覚感性を統合したマルチモーダル感性モデルに基づく感性メディア技術を確立することが課題となる。また、知識メディア技術、仮想メディア技術、バックボーン技術との統合・融合をより進めることも課題となる。

- (a') 人間が持つ視覚・聴覚・触覚等の多感覚の知覚感性を階層的かつ統合的にモデル化すると共に、利用者が主観的にマルチメディアデータを解釈する過程を計算機で再現する機能を実現する。
- (b') 感性の階層的モデルに基づき、マルチメディアデータを個人差や室内環境の違いに

よらずに高精度に提示する方法論を明確にし、人間が容易にかつ高精度に知覚できるように様々な感覚情報によるマルチメディアデータを提示する機能を実現する。

(c) 人間が持つ創出感性を階層的かつ統合的にモデル化し、利用者固有の主観的な特性や技能に基づいてイメージ情報の具象化を計算機により支援、あるいは計算機で代行する機能を実現する。

(d) 主観的な視点からの感性検索を含む、マルチメディアコンテンツのマルチモーダル内容検索機能を実現する。

(e) マルチメディアデータベースから、利用者の主観的視点に基づいて類似検索を行い、検索した様々な感覚情報によるマルチメディアデータを、利用者が与えた物理的・主観的拘束条件に合致するように、個々の感覚情報を加工（再編集）するとともに多種の感覚情報を効果的に組合せて統合する機能を実現する。

2.3 パーソナルな知的活動支援環境 —ブレインパートナー—

(1) 研究計画の概要

コンピュータの主要な役割は、数値計算から、事務処理、更にメディアへと進展してきており、今後は情報環境が重要な役割になろうとしている。特に、人にとって豊かで優しい情報空間を構築し、個人の仕事の知的創造性を高め、かつその生活を豊かなものにすることが、今後の重要な社会的課題であり、そのための基盤技術を整備していくことが重要になってきている。

人間の頭脳の活性化にとって豊かな情報刺激、入力是不可欠な要素であるが、雑然として玉石混交、要不要の情報が混在する情報の海の中のままの状態ではかえって適切な情報の抽出、判断処理に余分な労力を使うことになり、知的創造性は抑制されてしまう。新たな情報空間に人間の方から適合することを迫るのではなく、人間中心主義の立場から、人間が生来的に備える情報受容・処理能力に適合する、あるいは良い刺激となる適合量を幾分越える程度の適切な量と質の情報を、適切な時に伝達するメカニズムを創出することが重要になる。

これまでの情報システムは情報の価値判断能力を欠いていた。その主たる理由は、情報価値が情報対象のコンテキスト（同じ情報でも昨日までなら誰も知らなくて価値が高かったとか、異分野の別のアイディアと並置してみると価値が増すなど）、及び情報の利用者の情報受容・思考や操作履歴のコンテキスト知的作業の課題、目的、切り口、他の価値判断など）に依存するため、価値判断・選別が困難であったことによる。そのため、これまでのOSによるGUI環境では、質の高い情報も低い情報も一様に並べて提示する形態になってしまっている。

本研究開発の「ブレインパートナー」は、知的生産活動中（文書作成など）に、時々刻々必要となる関連情報を、膨大な情報の中から各個人の思考や行動の履歴等も考慮することにより価値判断・選別し、適切な量と質の情報をマルチメディア形式で重要度を含めてダイナミックに提示してくれる知的生産活動支援のためのシステムである。そして、個人ユーザが思考している内容、出かかっているアイディアを速やかに容易に定着することを可能とするマルチメディア・エディタを提供し、個人の思考能力、知的生産能力の拡大を可能とする。時事、経済等の大規模データベースの利用と共に、個人が知的生産した情報をグループ、企業内で共有、利用できる仕組みを構築し、新しい知的生産機能を備えた次世代オフィスの情報環境の基盤技術を確立する。

以上がブレインパートナーの中核機能の概要であるが、創造性豊かな情報空間を形成するためには直接的に作業に関係する情報だけでなく、エンターテインメント的要素も含む感性豊かな多岐にわたる幅広い情報に接することができる環境とすることが必要である。このような情報へのアクセス、提示のチャンネルとして位置づけて、擬人化インターフェー

ス部とAR(augmented reality)情報端末機能の開発を行なう。ブレインパートナーの個人別の情報の価値判断、選択機能と結合することにより、これらを通じて多岐、多方面にわたる情報への円滑なアクセス、AR情報も含む感性豊かな情報提示を可能にする。

図1および図2に本「ブレインパートナー」の概要と各機能の位置づけと説明を示す。

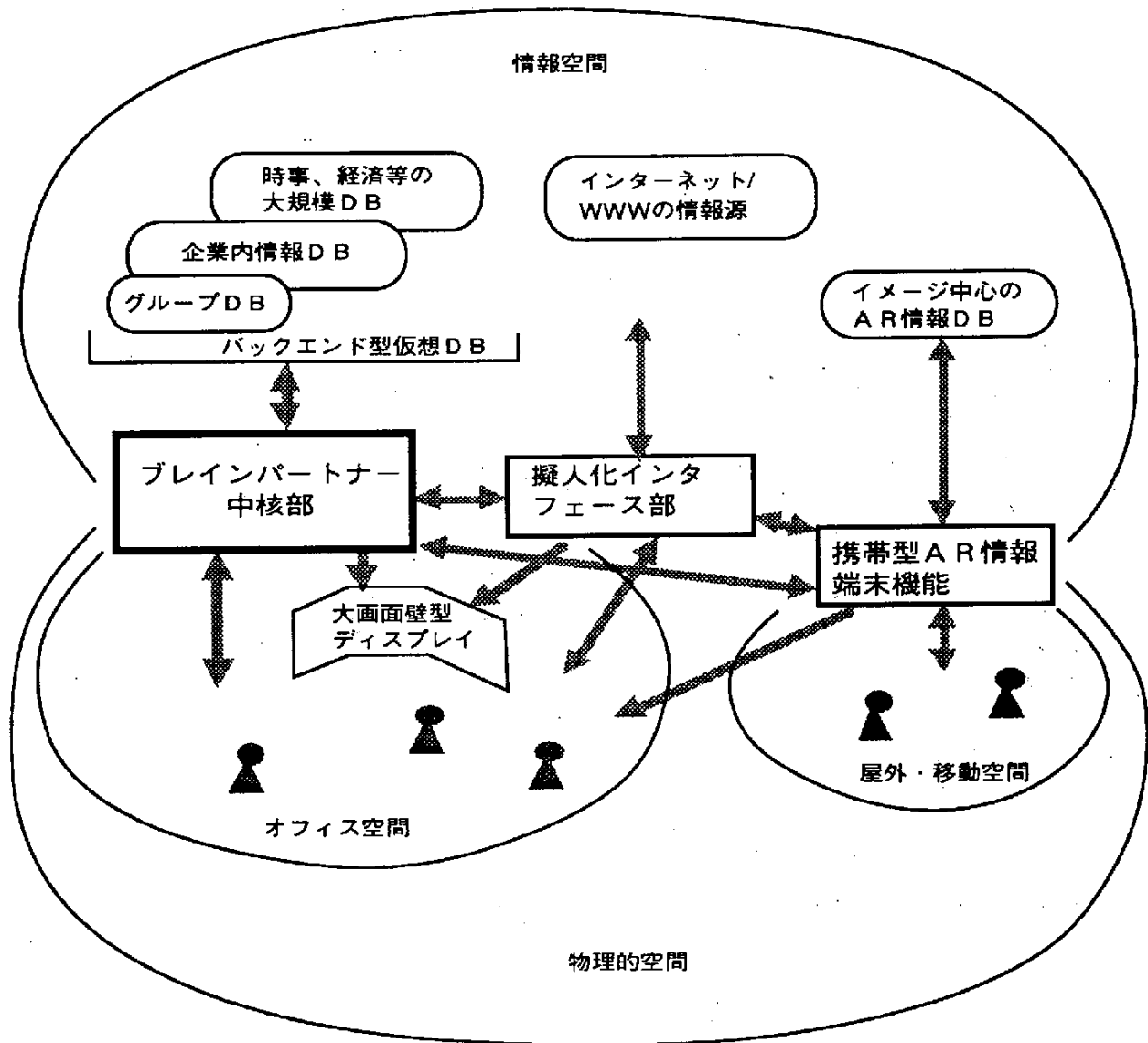


図1 ブレインパートナーの概要と各機能の位置付け

ブレインパートナー [中核部]

知的作業中のユーザの状況を把握し、その個人的な作業や行動の履歴を参照しつつ、必要とする情報の価値判断、選択を行ない、必要と思われる適正量の情報を作業空間に融合してダイナミックに提示する。提示には通常のディスプレイに加えて、インタラクション機能を有する大画面壁面ディスプレイ空間も用い、AR情報にはAR端末も用いる。また、グループ、組織内での知的生産物としての情報を共有し利用できる仕組みを構築する。個人別の情報の価値判断を伴う選択機能を中核とし、次世代オフィスの知的作業支援環境の基盤技術とする。

擬人化インタフェース部

日常生活に近い感性的な顔や会話音声による擬人化の高次メタファによるインタフェースを提供し、特別な知識を要せず不案内な情報空間であっても、ガイド機能にも支援されて望む情報を享受できるようにする。多岐で多面的な情報にアクセスする知的作業支援に有用であるだけでなく、広く一般の人々の生活活動の豊かな情報空間を親しみやすく身近なものにする重要なインタフェースの形態とする。

AR情報端末機能

オフィス環境では直接的な知的作業支援機能ばかりでなく、知的創造力を向上させる環境作りには感性的でエンターテインメント的要素も含む情報も必要であり、これを携帯可能なAR端末により提供する。これはブレインパートナーの個人別情報選択機能とリンクを有する。オフィス内だけでなく、屋外や移動空間までブレインパートナーの情報空間を拡大すると共に、物理空間での位置という状況に依存して物理空間に融合したAR情報をダイナミックに提供する。屋外で働く人と共に、物理-情報空間を楽しみながら探訪する人の豊かな活動の支援を可能にする機能も具備する。

図 2

(2) 研究開発スケジュール

期 間 ： 5 年を予定（前期の 3 年目と後期の 1 年目は重複）

前期 3 年：基礎要素技術の研究開発と初期プロトタイプシステムの作成。

基礎要素技術のうち感性関係については、他の技術が整備されてからとなるので、後期まで継続とする。

後期 3 年：要素技術の洗練と確立、情報コンテンツ及び関連知識ベースの拡大・充実、要素技術の統合による実用性を備えたプロトタイプシステムの作成。

2.4 自然・文化・歴史との交流・共生支援

－ ヒューマンメディアリラクゼーション －

(1) 研究開発の概要

人間の感性は自然環境、そして人類の歴史の遺産である文化環境の中で育まれてきたものであって、自然あるいは生命体（動物、植物）、文化、歴史との共生が人間の本来の姿である。ところが現代社会は、高度に都市化、情報化、そして刹那化されて自然や歴史と接する機会がなくなっており、人間が本来有していた感性の衰退や精神と肉体の不安定化が問題になっている。

このような都市化と情報化によるテクノストレス社会を迎えて、そこで生活する人の精神的な落ち着きとやすらぎを与えることの重要性は今後ますます高まっているが21世紀の高齢化社会の到来を目前にした現在でも、これに応える新しい産業の基盤が整備されたとは言えない状況である。

この研究開発は、メディア技術を用いて自然・文化・歴史との交流の促進を図り、自然・文化・歴史との共生に基づく人間本来の感性の回復を目指すことを目的とする。本研究開発により、“効率”や“便利さ”を価値基準として発展してきた既存産業の延長上にあったメディア情報産業に、“心地良さ”や“癒し”を新しい価値の尺度として取り入れたヒューマンメディア産業の創生が期待される。

具体的にこの研究開発で取り組むべき研究課題としては、例えば自然環境を対象とした場合は、次のようなものがある。（図1）

(a) 自然の解明：自然環境の形成要素の解明

自然環境を形成する自然光、自然音、自然温、自然風、あるいは季節感、自然リズムなどの解明を通じて、自然との交流システム構築の技術的基盤を確立する。

(b) 感受性の解明：ヒト・人間における自然環境感受性の解明

生物学的なヒトとしての本来の自然環境感受性の仕組み、および都市社会を生きる現代人の感受性喪失の実態を解明して、自然との交流・共生システム開発の指針を得る。あわせて、自然環境における心地よさ、快適さなどの感覚の評価尺度の定量化を検討する。

(c) 体験支援：自然環境を体験するための空間構築技術の開発

自然環境の遠隔体験、仮想的な自然環境体験などを目的として、メディアの中に自然環境空間を構築する技術の開発をおこなう。特に、自然な音環境の構築はその基盤となるものであり重点的に検討を進める必要がある。また、自然環境空間構築に必要にして

十分な帯域・解像度を有するメディア（多次元超高解像度五感呈示メディア）の開発も重要である。

(d) 交流支援：自然環境との間のコミュニケーション支援技術の開発

自然環境と人間との間の感性的なコミュニケーションの支援を目的として、自然環境感性情報の増幅、可感化（可視化、可聴化、可触化など）技術を開発する。また、自然生命体（動物、植物）との交流を目的として、動物（たとえばイルカ）や植物との対話支援の可能性を探る。

(e) 探勝支援：自然環境の能動的な探勝を支援する技術の開発

自然環境を受動的・仮想的に体験するメディア技術の開発に加えて、自然環境の能動的な探勝を支援するシステムならびに技術の開発をおこなう。自然環境データベースシステム、ナビゲーションシステムの開発などがこれに含まれる。

(f) くつろぎ・癒し支援：自然交流メンタルケアシステムの開発

自然との交流・共生技術の応用として、自然との交流によって、安らぎや休息、精神的な落ち着きを与えるシステム（例えば、自然セラピスト、自然・バイオフィードバックシステム）の開発をおこなう。

なお、自然環境には人類の営存圏としての地球規模の環境も、ここでの対象に含むものとする。関連した研究開発課題として、例えば地球汚染を可視化するためのメディア技術の開発がある。

自然環境のみならず、自然環境の中で育まれてきた文化環境、歴史環境との交流・共生に関しても、同様な研究開発課題を設定することができる。例えば、文化環境を対象とした体験支援技術、探勝支援技術として、次のような課題が考えられよう。

(g) 文化体験支援：文化・歴史を体験するための空間構築技術の開発

日本および世界の芸能、文化あるいは習俗を身近なものとして体験・鑑賞するためのメディア技術を開発する。例えば、野外の薪能なども体験可能な仮想能舞台、理想的な音場再生による仮想コンサートホールなどが考えられる。

(h) 文化探勝支援：文化・歴史の能動的な探勝を支援する技術の開発

世界の様々な伝統芸能、文化習俗などのインタラクティブなマルチメディアデータベースを整備し、仮想体験のみならず、現地での能動的な実体験をナビゲーションするシステムの開発をおこなう。

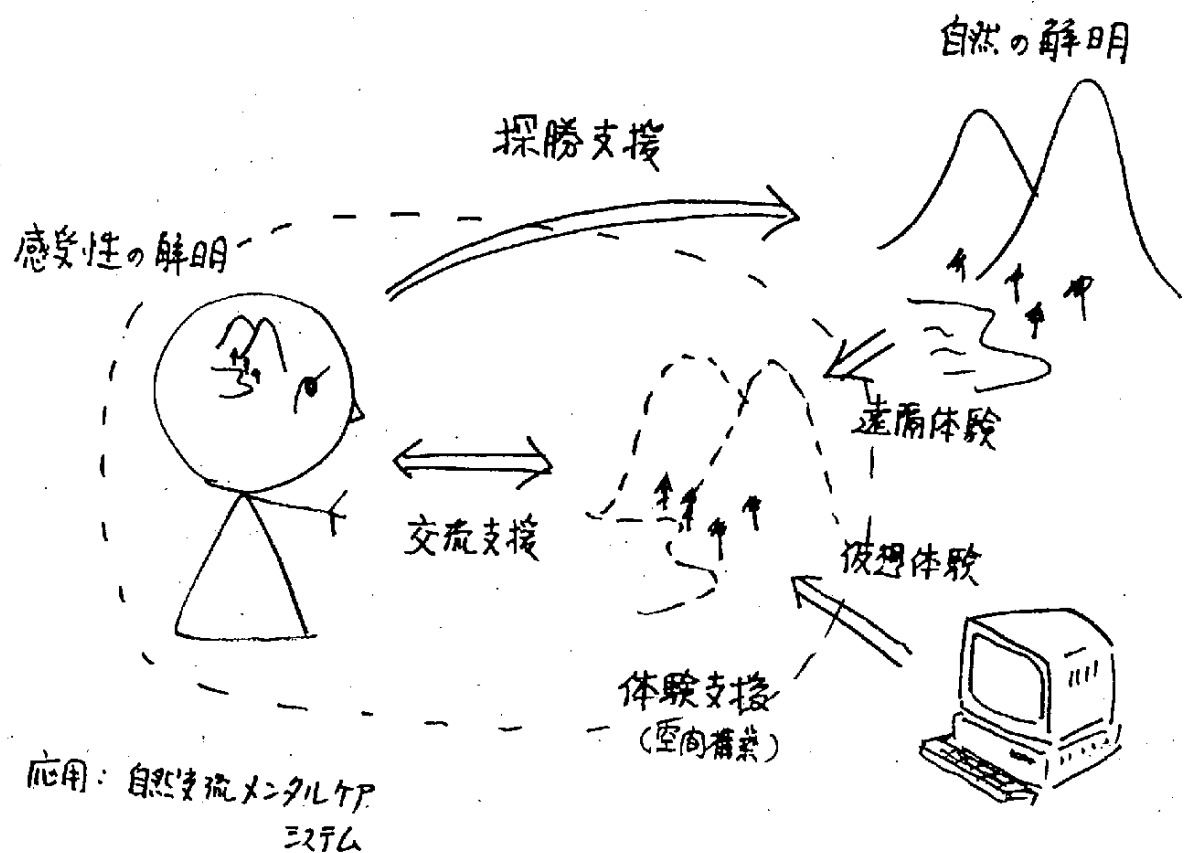


図1 自然交流メンタルケアシステム

(2) 研究開発スケジュール

第1期（4年）：

感性メディア技術の開発を軸に、相互に交流しながら感性、仮想、知識の各メディア技術の統合的な基礎研究を行い、複数の実証システムを構築し評価を行う。

これらは同時並行的に構築・試験され、技術開発へのフィードバックが行われる必要がある。また、可能な限り、開発段階からネットワークあるいは開発拠点でのシステム公開をして、ユーザ観察を行うと同時に、これからの社会を支える新しい産業としての可能性を広く周知する。

第2期（4年）：

要素技術のパッケージ化と産業応用を前提とした実システムの製作を行うと同時に、地球規模の自然あるいは文明遺産との交流のために人間、歴史・文化および地球環境の大規模分散型感性データベースシステムの構築の基礎研究とデータ収集計画を策定する。これは実システムに必須なトータルコンテンツを用意するものである。

2.5 医療におけるヒューマンメディア技術 ―バーチャルメディカルセンター―

(1) 研究開発の概要

個人適応型多形態情報提示技術

医療技術の高度先進化、高齢化、患者ニーズの多様化に伴い、今後ますます包括的な医療の必要性が高まってきている。その中において医療側、患者側およびその相互理解にとってヒューマンメディアの果たす役割は大きい。これからの医療は、様々な形態の入力情報(人間の五感+多種医療機器からの画像・生理情報)や膨大かつ複雑な知識情報(ある部分個性にも依存する)を、立場や知識背景の異なる人々が効果的に利用する必要性が高くなってきている。そこで、本研究グループでは、「複雑、かつ多形態で、変化する情報を個人、立場に応じてもっとも自然で人間的な方法で医療の場に提示する」ことを可能とするヒューマンメディア技術の開発を行うことを目標とする。

このため、まず複数多形態情報を同時に理解しやすい仮想現実(virtual reality:VR)環境もしくは強化現実(augmented reality:AR)環境を作成し、提示する「仮想メディア技術」を中心に研究を進める。そのためには、生データから高密度の必要情報の抽出、多形態データの統合、理解し易いためのデータ修飾など入力データの自動変換技術という仮想提示を意識した高度化を行なう。また、提供情報を用いて人間が行なう作業(医療の場合は、治療・手術・リハビリテーションなど)を妨げない(VRと相性の良い)提示形態(提示機器)の高度化を行なう。個人及び状況に応じて変化する複数多形態情報を真に理解するため、人間の特性(生理・心理)、個性、環境など状況を把握する「感性メディア技術」の開発を行なう。さらに、大量の(医療)データを体系化し、異なる対象者・状況に応じて適切な情報を提供するための「知識メディア技術」の開発も進める。これらの技術は、各々の出力(データ変換結果、状況判断結果、知識情報など)が、相互技術間においてさらに高度な処理に必須な入力情報となるため、融合を強く意識して研究を進めるべきである。

以上述べたように、「仮想メディア技術」、「感性メディア技術」、「知識メディア技術」全般に亘った研究開発が望まれ、現実の臨床場面でこれら統合技術の検証を行ない、新たな問題点を洗い出しながら研究をすすめる。プロジェクト前半においては、各技術を統合した実験的なプロトタイプの作成を意識し、その要素技術を重点的に取り扱う。

具体的なプロトタイプモデルを用いて、「複数入力機器の情報に(粗に)分散されて存在する必要情報を、人間がこれらのデータを同時に理解できるように状況に応じて形態変換(必要な情報の抽出、異なる源からの情報の統合、理解を助ける修飾)して、的確な表示手段(装置)を用いて提示し、人間の五感に代わる多形態情報入力手段を用い、これをネットワークを介して伝達し、あたかも距離を感じないように複数情報を自然に再

統合し提示する」ことを実現できることを実証する。

(イメージ図：図1参照)

(2) 研究開発スケジュール

開発期間を5年と想定すると、前期3年・後期2年として研究開発する。

<前期3年の技術目標>

ニーズ側とシーズ側の密なコンタクトを取りながら、要素技術の研究開発を進めると共に、プロトタイプ第1版を試作して、ニーズ側とシーズ側の両面から実証評価と課題抽出を行なう。具体的には、以下の機能の実現、技術の確立を目標とする。

- i) 多形態情報の統合手法に関して、情報に依存しない基本的手法部分と依存する個別対応部分を明らかにし、汎用的な自動統合手法の枠組みを確立する。
- ii) 変形する柔らかな対象の3次元再構成技術を確立する。
- ii) 既存のVRソフトウェアツールの上に仮想メディア技術の幾つかを追加することにより、「仮想世界での各種情報入力提示技術」を開発し、また感性メディア技術の「個人状態の識別技術」を開発することにより、遠隔操作・遠隔診断・健康安全管理の支援機能を実現する。
- iv) 高精細・高解像度、コントラストを中心として、各種情報入力機能とコンテンツ間のレジストレーションおよび携帯型(可搬型)最適表示提供機能の実現をはかる。
- v) 個人の感性・技能抽出のために必要な基礎的データを整備する。
- vi) 複数形態の画像情報のリアルタイム3次元のレジストレーションの実現(超音波像と他の入力)と、表示方式の被呈示者対応手法の枠組み確立。
- vii) ヴァーチャルコンソールの1次試作/使用感評価
- viii) 触力覚情報呈示方式の確立とそれを組み込んだ基本的なリアルタイム手術シミュレーションの実現。

<後期の技術目標>

前期における各要素技術の評価結果と抽出課題に基づき、要素技術の高度化開発を行ない、さらにプロトタイプ第2版を試作し、ニーズ側とシーズ側の両面から実証評価を行なう。これにより、以下の技術の確立を目標とする。

- i) 知識メディアから得られる対象情報から、複数情報の自動統合手法中の個別対応部分を自動生成する技術を確立する。
- ii) 柔らかな物体の非定常な変形をシミュレーションにより予測する技術を確立する。
- iii) 階調(ガンマ特性)、明るさを中心としたニーズに適合した表示機能の実現をは

かる。

iv) 知識メディア技術の「各種センシング情報に基づく検索技術」及び「個別の状況対応型インタフェース技術」を確立する。

v) リアルタイム手術シミュレーション方式（予測手法）の確立

vi) 知識メディアからの画像情報を実測定画像と対照する個人ノウハウを自動的に抽出・再現

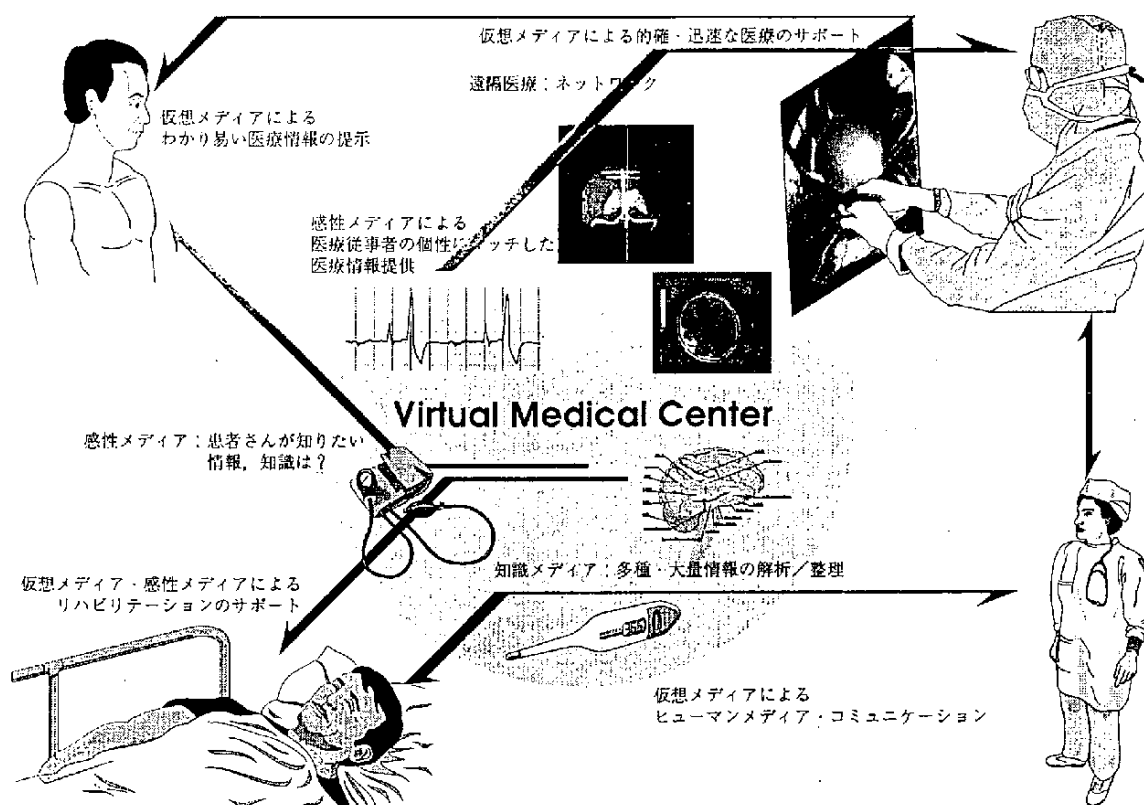


図 1

2.6 モバイルなヒューマンメディア情報環境 —空間移動メディア—

(1) 研究計画の概要

① 研究開発の目的

走行中の運転者は視覚・聴覚・力覚等を駆使して、ダイレクトに、リアルタイムに外界とのインタラクションを行っている。

一方、携帯電話の80パーセント以上のユーザが自動車内での使用経験があるという調査結果からも分かるとおり、複雑な都市環境において自動車の内部は手軽に外界から遮蔽可能であるという意味で貴重なパーソナル空間であり、このパーソナル空間内でマルチメディア情報をインタラクティブに発信受信したいという欲求は今後一層高まってゆくものと考えられる。

実空間における自動車運転と、仮想空間の情報世界へのアクセスという一見相反する要求を満たすためには自動車自体がヒューマンメディア化する必要があり、このことは高齢化の社会に対応したより高度な安全性と、省エネルギー寄与を目指した効率の良い移動を両立したクルマ社会の実現につながると考えられる。マルチメディア情報インタラクション手段を介して人—クルマ、クルマ—クルマ、人—人の間での交通情報、旅行情報、一般会話等の感性コミュニケーションを行えるようにし、スムーズに移動する安全・快適なパーソナル空間の中での楽しい会話、メディアへの参加を可能とするクルマの提案と、その要素技術の確立をはかる。

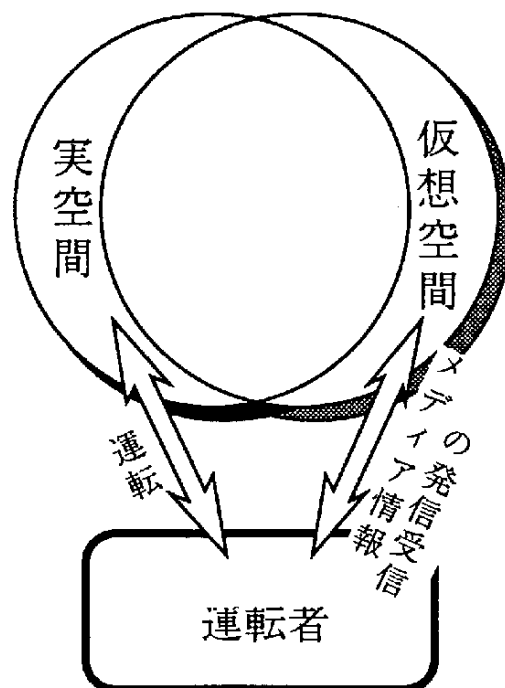


図1 実空間と仮想空間の融合

② 研究開発の概要

実空間における移動体である自動車と、仮想空間の情報世界とをシームレスにつなぐメディアを開発する。省エネルギーへの寄与を目指すと同時に運転安全性を確保しつつ高度な情報提示入力技術確立する。さらに運転者の情報受信能力を拡大し、運転者を情報の発信者とすることも可能とする自動車間コミュニケーションを支援する革新的情報システムを開発しテスト車への搭載・評価を行う。

研究前期においては、要素技術の研究開発のため「予防安全ドライブシミュレータ」を開発し、後期においては統合システムを組み、実証用プロトタイプ車両を試作する。

(a) エンジニアリングシミュレータ (予防安全ドライブシミュレータ)

走る曲がる止まるの基本性能を追求するための従来より導入されているドライブシミュレータシステムとは異なり、疑似の走行車両、霧や雨の走行状態を模擬するシステムとシースルーのヘッドマウントディスプレイ (HMD) またはヘッドアップディスプレイ (HUD) により予防安全のための情報提示システムを加えた予防安全ドライブシミュレータを開発する。

このシミュレータでは発展的に複数人の同時体験ができるようにする。

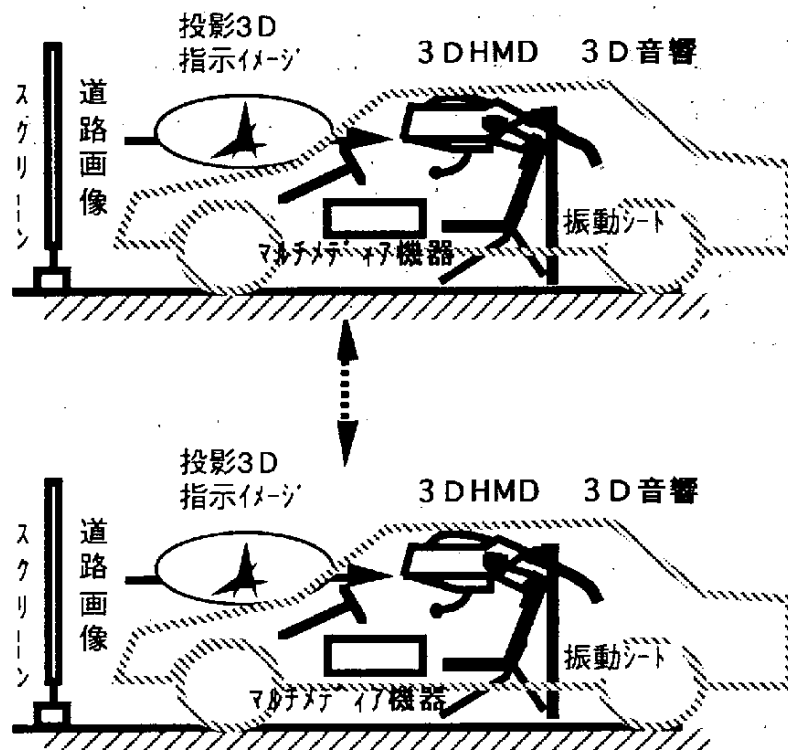


図2 エンジニアリングシミュレータ (予防安全ドライブシミュレータ)

(b) マルチメディア空間車両／パーソナル移動体空間

車自身をパーソナルな移動空間としてとらえ、実空間の移動、仮想空間の移動をシームレスに統合するとともに、運転安全性を確保するための人－車の自然な整合性を保つシームレスな情報提示、対話が可能な人間中心（eg. パニック時に確実に即時で安全な情報提示）のマルチメディア空間車両を開発する。

シームレスな情報提示入力インターフェイスはヘッドアップディスプレイ（HUD）による視覚情報提示に加え、聴覚、力覚を含めた多感覚インターフェイスを実現する。

シームレス通信については音声情報ベースのシステムとする。

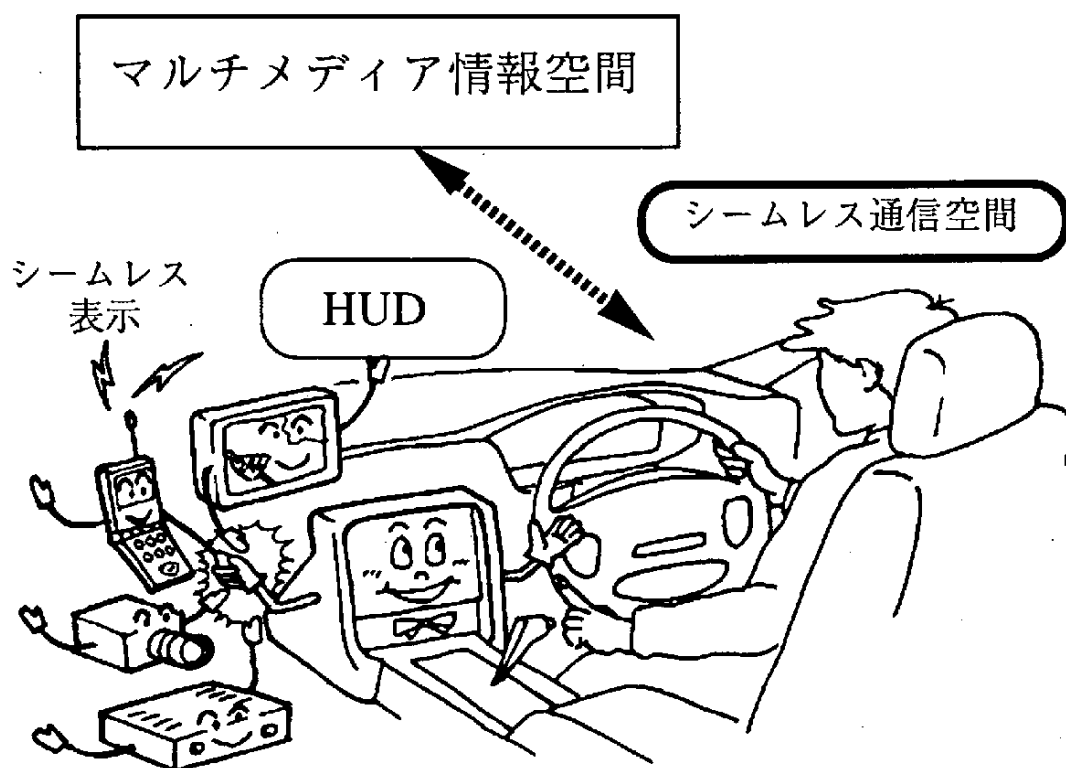


図3 マルチメディア空間車両／パーソナル移動体空間

③ 研究開発内容

(a) 車載多感覚インターフェイス

人間中心のマルチメディア空間車両においてシームレスな情報提示、対話を可能とするインターフェイスデバイスとして、視覚、聴覚、力覚を統合した、運転者用の下記インターフェイスを構築する。

i) 車載型ヘッドアップディスプレイ

マルチメディア情報を虚像として外界空間内に融合させて表示する。従来の自動車用

ヘッドアップディスプレイに比して大面積で3D表示を行うことにより、シームレスな視覚情報提示を可能とする。

ii) 車載型音声提示入力装置

車両内外の騒音下においても有効な情報の発信受信を可能とする聴覚情報提示入力装置を開発する。

iii) 車載型力覚提示入力装置

これまで自動車内では積極的に利用されていない力覚情報を情報の発信受信のモダリティに加える。手指による情報提示入力のみならずシート座面の振動による情報提示の有効性についても検討を加える。

(b) 統合的情報提示入力ソフトウェア

移動に関連する各種の情報を整備し、上記多感覚インターフェイスを通じて情報の発信受信を行う提示入力ソフトウェアを開発する。

多感覚インターフェイスに関して運転のメンタルロードを考慮した運転者の感性モデルの検討を行い、この感性モデルに基づいた統合的情報提示入力方法の評価手法を開発する。

(c) 運転者のユーザモデル

移動中の情報発信受信インターフェイス評価のプラットフォームとなるエンジニアリングシミュレータ（予防安全ドライブシミュレータ）を開発する。このシミュレータをベースとし、上記評価手法を用いて運転者が多感覚インターフェイスデバイスを通じてマルチメディア情報を検索・理解するプロセスを検討し、運転安全性の確保と確実な情報発信受信を実現するシステムの研究を行う。

(d) 音声情報ベース通信

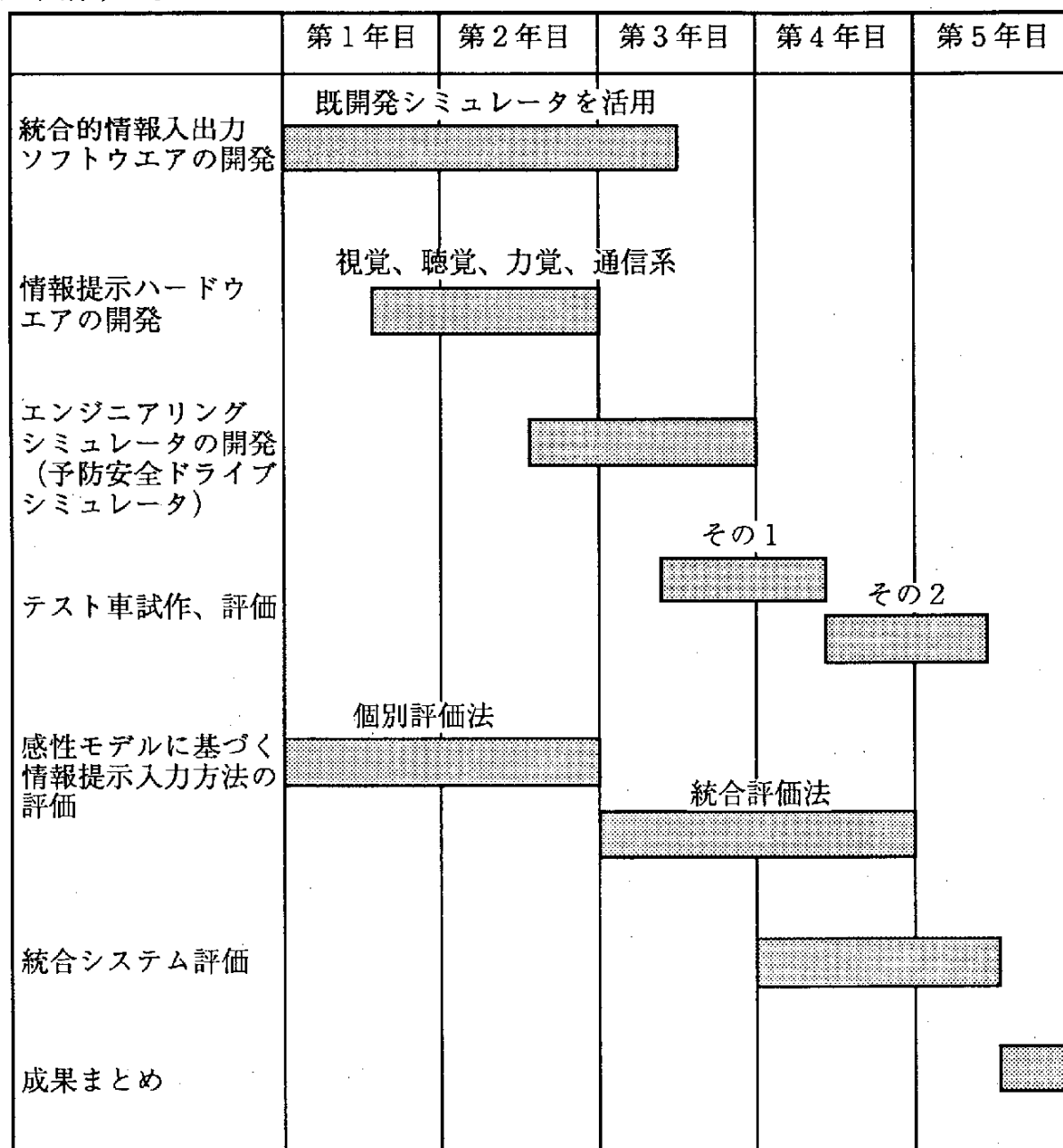
限られた伝送容量・品質で自動車と外界をつなぐ音声情報ベースの無線通信を用いたモバイルコミュニケーション技術を開発する。

ここで音声情報ベースとした理由は、運転者が動画データのような大容量情報を発信受信することは走行安全性を確保し、疲労・緊張等のメンタルストレスの少ないドライブを実現するという目的に反することにつながると考えられ、また携帯電話を初めとする移動体通信において伝送速度・通信品質・通信路の信頼性が限定されていることを考慮すると音声情報はインタラクティブな送受信に妥当なデータ容量であると考えられる。

(2) 研究開発スケジュール

研究1年目～3年目を研究前期とし、要素技術の研究開発のため「予防安全ドライブシミュレータ」を開発する。

研究3年目～5年目を研究後期とし、統合システムを開発し、実証用プロトタイプ車両を試作する。



研究開発スケジュール

2.7 多人数参加型の環境シミュレーション —都市環境ヒューマンメディア—

(1) 研究計画の概要

情報通信技術の発達により、人間の生産活動の形態は今日大きく変わろうとしている。本研究開発では、都市開発／再開発、遷都計画、防災計画などの新規・既存を問わず、都市全体、都市内の構造物、都市を構成する工業製品の設計および評価を、複数人の異なる分野の専門家が協調して実施できるシステムのプロトタイプ（共同設計支援環境）の構築及び、このプロトタイプにより構築される仮想都市環境を、多数の一般市民が同時に、相互にコミュニケーションを行ないながら体験可能なシステムのプロトタイプ（多人数参加感性評価環境）を構築する。同時に、これらのシステムの構築に必要な基盤技術（大規模分散仮想環境管理・構築・表示技術）の確立を目指す（図1）。

都市環境ヒューマンメディアにより、都市を構成する工業製品の設計から都市全体の設計までを対象とする設計・評価支援および、設計された都市での景観、騒音、交通、災害時の非難行動などを多数の人間が同時に仮想体験可能となる。都市環境ヒューマンメディアは、21世紀に向けた、情報・通信・建築・土木・交通・防災・エネルギーなどの分野を横断し、行政サイド、開発者、消費者（都市住民）が参画可能な設計・評価総合支援環境構築への第1ステップである。

前述のプロトタイプシステムは以下の機能を持つ。

- (a) 仮想メディアを用いて多重スケールでの人工物の設計を複数の人間が協調して効率的かつ容易に設計できる機能。多重スケールでの人工物としては、都市の景観・インフラストラクチャ・都市構成する建築物から都市内で利用される各種工業製品まで考え、これらを一元して取り扱えることとする。（共同設計支援）
- (b) 上記仮想メディアを用いて多重スケール人工物と既存の自然・人工物との多面からの調和性を評価できる機能。例えば(a)により景観設計した都市と想定開発地に既存の自然／人工物との景観／機能の調和性、工業製品の室内での発熱や騒音、災害シミュレーションによる防災機能などを評価できる機能。（共同設計におけるシミュレーション評価）
- (c) 機能(a)・(b)により策定された人工物とその利用者との相互作用に関する評価をシミュレーション技術を用いて実施できる機能。具体的には工業製品の操作における安全性や操作感の感性評価、都市の防災機能に関しての評価、都市空間における環境調和、やすらぎ、快さなどの感性情報量の収集などを想定する。（多人数参加評価）
- (d) 製品／建築物／都市全体のデザイン・概要設計・詳細設計・評価が一連の工程として取り扱えることのできる機能。共同設計から多人数参加評価へのリンク）
- (e) 機能(a)・(b)・(c)により構築された多重スケール都市環境をネットワーク結合された仮想メディアを利用して同時に多人数の人間が相互作用しながら体験できる機能。具

体的には、市街地再開発地疑似体験、遷都計画疑似体験、都市安全性確認体験などを
実現する。（多人数参加評価）

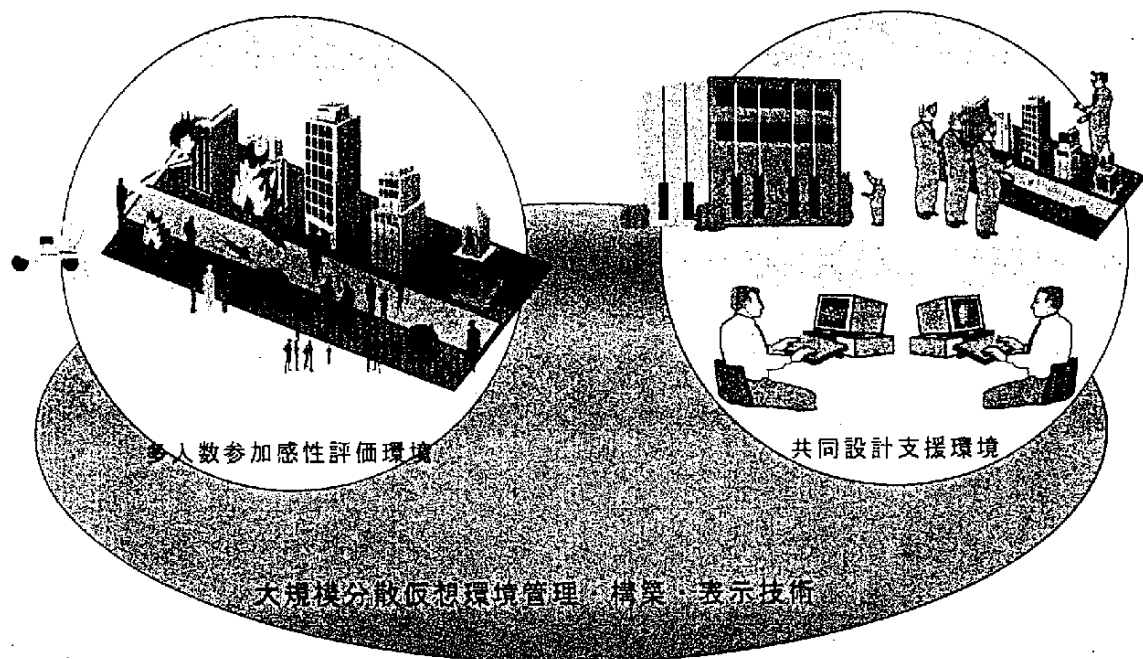


図1 都市環境ヒューマンメディアのイメージ

(2) 研究開発スケジュール

研究開発スケジュール（一例）を示す。基盤技術としての大規模・分散仮想環境の構築・管理・表示技術の整備を前半に集中して行い、この環境上に協調設計支援技術と多人数感性評価技術を研究期間の後半で構築する。

第1ステージ3年間、第2ステージ3年間（1年オーバーラップ）合計5年間を研究計画とする。

第1ステージ：それぞれの大規模分散仮想環境構築の基盤整備（共通基盤技術の開発）を行う。

第2ステージ：実際の共同設計支援アプリケーションおよび多人数参加感性評価アプリケーションのプロトタイプ（2種類）を基盤技術上に実装する。

共通基盤技術に関しては、従来からいくつかの企業・大学・国研で先行研究が進められておりすでに基盤技術の蓄積がある。従って、研究開発の着手はすぐに可能である。

2.8 現実世界と仮想世界を融合したコミュニティ活動支援 ー街かど21ー

(1) 研究計画の概要

街かどは、異文化がフェイス・ツー・フェイスの交流をし、新しい文化が育まれていく場として重要な役割を果たしてきた。こうした街かどの機能は、近年の情報ネットワーク技術の進歩によって急速な拡大の進む仮想世界においても現実世界とは異なった形で実現されつつある。一方、高齢化、国際化、情報ネットワーク化が進む今日において、現実の街かどは必ずしも人にやさしいものではなく、高齢者や幼児や外国人には苦渋や危険に満ちた場であったり、ビジネスマンには利便性に欠け、しかたなく通過せざるを得ない通路になり下がっている面もある。

本研究開発では、現実の街かどと仮想的な街かどを融合させ、にぎわいとうるおいとやすらぎをあわせもち、コミュニティの人々がそれぞれに楽しみ、意義を見い出すことのできる21世紀の街かどのプロトタイプを研究開発する。これを通して、技術利用者へのリテラシーを要求せず、情報通信技術と物理環境制御技術を融合させた、情報面でも物理面でも人を中心としたヒューマンメディア技術体系の一つのモデルをつくる。本研究開発を通して、情報通信、家電、建築、芸術工学、都市環境、サービス業などの街かどに関わる異業種間の新しい連携の方式を模索し、街かどに根づいた新産業の創出と育成のための土台とする基盤技術の枠組を提言したい。

限られた期間と資源で実効的な成果を得るために、本研究開発では現実世界と仮想世界における人と人の出会いと交流の支援に焦点をあてて、研究開発を行なう。

【項 目】

- ・人が集まる場を提供し、出会いを演出するコミュニティコモン
- ・街かどをいきかう人と情報世界をつなぐコミュニティキオスク
- ・街かどの空間と生活の情報を組織化し共有するコミュニティ情報ベース
- ・街かどを認知し、コミュニティウェアと連携する携帯用のコミュニティ情報
- ・コミュニティコモン、コミュニティキオスク、コミュニティ情報ベース、コミュニティ

情報タブを統合し、出会いとクラブの形成・活動を支援するコミュニティウェアについてプロトタイプを試作し、統合する。協力者を募って市民・企業・行政の視点からのフィールドテストによる実証評価を行ない、21世紀のヒューマンメディア技術体系への要求を具体化する。

ヒューマンメディアプロジェクト全体から見ると、本研究開発は、

- ・現実世界または仮想世界の共同体で生活する人々の活動に密着した生きた情報を扱う、

- ・異業種技術の連携によって現実世界と仮想世界の融合を試みる
- ・エンドユーザの視点から研究課題設定とフィールドテストによる実証評価を行なう点でユニークなアプローチとして位置付けられる。

(2) 研究開発スケジュール

研究開発は、3期5年計画とする。

第1期（1年間）：市民、街かどでビジネスをしている産業、都市環境の専門家、ネットワーク情報社会学者、行政などから広く意見を求め、基本概念の明確化とコンポーネントの基本部分の試作を行なう。

第2期（2年間）：機能面は不十分でも性能と品質面で満足できるプロトタイプの研究開発を行ない、システムにおいてユーザを満足させるために重要な役割を果たす技術課題を同定する。第2期の終りにシステム統合を行ない、フィールドテスト可能な状態にする。

第3期（2年間）：性能と品質を保ちつつ、機能面の高度化を行なう。

融合技術とバックボーン技術は本研究開発を通して一貫して取り組む。中間点でフィールドテストを実施し、研究開発計画の中間評価と再検討を行なう。フィールドテストの題材として、工作教室、地誌教室、バザーなどを考えている。

— 禁無断転載 —

大規模知識ベースに関する調査研究報告書

発 行 平成8年3月
発行所 財団法人 日本情報処理開発協会
東京都港区芝公園3丁目5番8号
機械振興会館内
電話 (03) 3432-9390

07-R 008

