

AI基本技術の動向

New AI Technology for Next Generation Expert System

AIの分野では専門家(エキスパート)の知識を計算機で取り扱う「知識工学」技術が多方面で応用され、種々の知的なシステムが実用化されている。本号はそのビジネス分野での応用の特集号であるが、これら応用システムの今後の発展に寄与すると期待される最近のAI研究、特に「人にやさしい」システムの実現に役立つAI基本技術の研究が進んでいる。

知的なシステム実現の基本要素である知識表現では、「概念」が取り扱える。また、知識の獲得、学習の技術も進歩した。音声による自然語インタフェースの研究開発も進んでいる。近い将来、これらの個別技術を融合することによって新しい価値を持つシステムの実現が期待できる。

広瀬 正* *Tadashi Hirose*
藤澤浩道** *Hiromichi Fujisawa*
阿部正博*** *Masahiro Abe*
市川 熹** *Akira Ichikawa*
絹川博之**** *Hiroshi Kinukawa*

1 緒 言

人の知能の計算機による実現がAI研究の目標である。人の知識を計算機で取り扱うことへの試みが1970年代以降、国家プロジェクト(ICOT:財団法人新世代コンピュータ技術開発機構)をはじめ各所で活発に行われてきた¹⁾。

その結果今日では、専門家(エキスパート)の知識を計算機システムに組み込んだES(Expert System)が数多く開発され、実稼動している。実用化されたシステムの多くが生産性向上、利益率や労働環境の改善など、大きな効果をあげていることは本号に掲載されているES開発事例からも推察できるであろう。

ESの適用が広がるに従って、その使いやすさやシステムの構築しやすさへの要求レベルが高まっている。人と対話しているのと同様の操作性の実現、新人に教えるのと同じ容易さでのシステム構築、いわゆる「人にやさしい」システムの実現が望まれている。

本稿では、最近のAI研究の中から、「人にやさしい」システムの実現に役立つ技術の開発動向について述べる。2章では、知的なシステム実現の基本要素である知識表現の分野での「概念」の取り扱いと、その応用について述べる。知識の表現と同時に発展が期待されている技術に、知識の獲得あるいは学習の技術がある。3章、4章でそれぞれ概念学習、ニューラルネットによる学習と応用について述べる。5章では、音声を中心とした理想的自然語インタフェースの実現に向けての基本技術の動向を、6章ではこれらの個別技術を融合した新しい価値を持つシステムのイメージを示す。

2 知識表現の技術

2.1 知識表現のパラダイム

知識の表現は知的なシステムの実現にとって基本的な要素である。知識の表現モデルには、(1)意味ネットワーク、(2)フレームモデル、(3)プロダクションモデル、(4)論理モデルがある。

(1) 意味ネットワーク

意味ネットワークは、概念や意味をノードとリンクで表現するものであり、その単純さとわかりやすさから、自然言語処理の中で多く用いられてきた。ノードは物理的な物や抽象的な概念を代表し、それらノード間に接続されるリンクはある種の間接性を表す。この関係の中で特別なものが概念の上下関係を表すもので、「IS_A関係」と呼ぶ。このIS_A関係によって概念の分類体系を構成することができる。IS_A関係は意味ネットワークという網目の縦糸を構成する。

一方、その他の関係(属性を定義する関係)はネットワークの横糸である。例えば、「鳥は翼を持つ」という事実は、「鳥」と「翼」の二つの概念ノードを、「持つ」という属性リンクで結ぶことで表現できる。一般に属性リンクは関係リンクとも呼ばれ、この例のほかにも多数の関係が存在する。

知識表現で重要な機能の一つはIS_A関係を介した属性の継承である。例えば、「鳥」の下位概念として登録されるすべての概念には、「それは翼を持つ」という属性が継承される。複数の上位概念を持つ概念には、それらすべての属性が多重に継承される。

* 日立製作所 システム開発研究所 ** 日立製作所 中央研究所 工学博士 *** 日立製作所 中央研究所
**** 日立製作所 システム開発研究所 理学博士

このような属性継承機能により、上位概念による質問への応答が可能になる。例えば、「翼を持つ動物は何か」という質問に「それは鳥である」と答えることができる。

(2) フレームモデル

フレーム形知識表現モデルでのフレームとは、「もの」を理解するときのいわゆる枠組みである。例えば、先の概念「鳥」は次のようなフレームで表現できる。

```
(鳥 (IS_A 生き物)
    (HAS_PART_OF 翼 )
    (HAS_PART_OF 足 ))
```

フレームはフレーム名と、属性名と属性値から成るスロットで構成される。上記のスロット (IS_A 生き物) は、意味ネットワークの IS_A 関係に対応し、フレームの分類階層木を構成する。スロット (HAS_PART_OF 翼) と (HAS_PART_OF 足) は、それぞれ「鳥」と「翼」を結ぶ関係リンクとみることができる。

このようにフレームの集合はネットワークを構成しており、フレーム形知識表現は意味ネットワークの見方を変えたものとみることができ、実際上ほぼ等価である。

(3) プロダクションモデル

プロダクションモデルは「このようときにはこのようになる」というような、ものの因果関係の記述に適しており、この方式に基づいてすでに多くのESが実用化されている。

(4) 論理モデル

論理モデル形知識表現は述語論理の体系を用いるものである。例えば、論理式：

$$\forall X. \text{BIRD}(X) \Rightarrow \text{HAS_WING}(X)$$

は、「すべてのXに対して、もしBIRD(X)が真なら、HAS_WING(X)は真である」こと、すなわち「Xが鳥であるなら、それは翼を持つ」ということを表現している。記号 \forall 、 \exists で表す限定子を変数だけにかかる1階述語論理では、論理形プログラミング言語PROLOGを用いて推論システムを作ることができる。このモデルは記述が明快で、かつ推論機構が強力である。

2.2 知的情報検索システム

計算機の中に蓄えた膨大な情報の中から、欲しい情報を意味的に選択して取り出すニーズは、今後ますます増大する。上記の(1)から(4)までの知識表現技術の直接的な応用は、知的な情報検索システムである。

データベースや電子ファイリングシステムが広く実用化されるに従って、その利用方法が初心者には難しいことが実感されるようになった。それも単に操作方法が難しいというだけでなく、情報検索では、欲しいものをいかに計算機に伝えるかという、本質的な問題の存在がわかってきた。その意味ではヒューマンインタフェースの問題である。

知的ファイリングシステムは、このような問題を解決する

システムである^{2),3)}。このシステムは意味ネットワーク形の知識ベース(概念ネットワーク)を持ち、おぼろげな記憶からでも、知識ベースを拾い読みしながら検索文を作成し、推論を用いた検索ができるシステムである(図1)。

概念ネットワークは、概念と関係から構成するネットワークであり、図2に示すように一般的な知識体系を含め、検索対象の情報アイテムおよびそれらの相互間の関係を記憶する。概念ネットワークは、前述の意味ネットワークを拡張したものであり、同義語処理機能や関係表現の強化などが行われている。この知識体系を持つことは、従来の情報アイテムだけを記憶するデータベースとは大きく異なっている点である。

また、このシステムの大きな特徴はビジュアルインタフェースを持ち、これを介して検索文を随意に作成・編集する機能や、知識ベースの中身をいろいろな見方で表示する機能などを備えていることである(図3)。

これにより、ユーザーは自然語風の検索文をマウスによって指示しながら、順次自分の欲しい情報の説明文に仕上げていくことができる。図3の例では、「米国または日本にある会社によって生産されている電子計算機を主題とする記事・論文」が欲しいということが説明的な検索文として、検索文編集ウィンドウの中に作成されている。概念木を表示するウィンドウには、検索文に関連する概念の部分世界が選択的に表示されている。

このように、上位概念で表現される説明的な検索文から具体的に記述された情報を検索する方法は、人間の記憶特性を考えたとき、将来ますます重要になる。

3 知識獲得の技術

3.1 知識獲得の研究動向

ESの開発が活発化し、実用化が進む一方、現状のESに対する限界、開発上の問題点も明らかになってきた。その一つが「ファイゲンバウムボトルネック」と呼ばれる知識獲得の問題である⁴⁾。

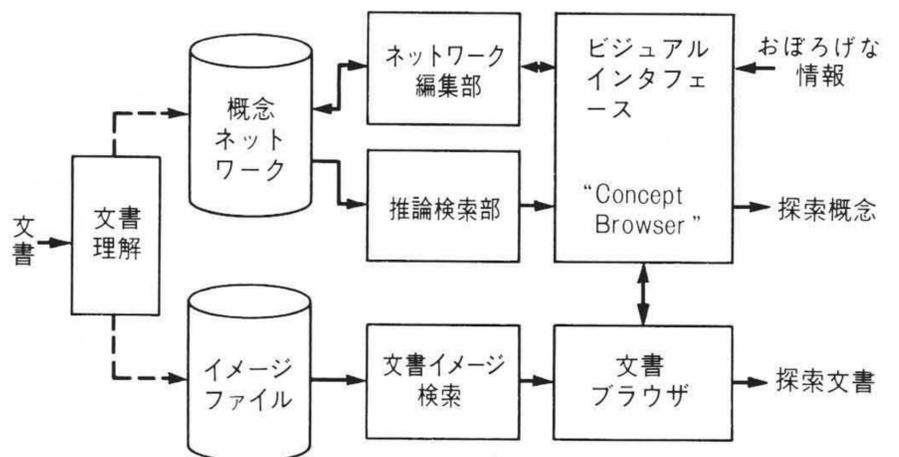
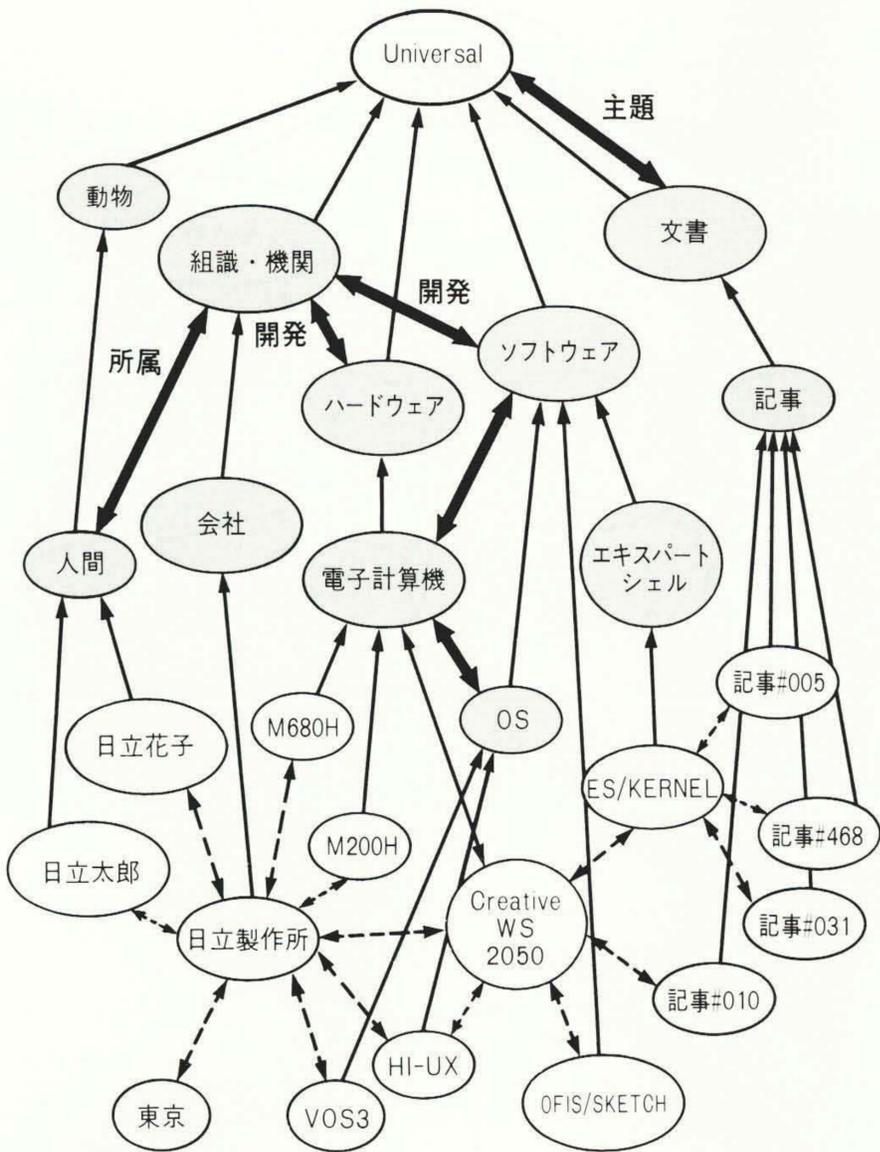


図1 知的ファイリングシステム概念図 概念ネットワークによる知識ベースを持ち、ビジュアルインタフェースを介した対話により、おぼろげな記憶からの検索が可能である。



注：記号説明 ○ 一般概念, → IS-A関係, ← 具体関係
 ○ 具体概念, ↔ 一般関係

図2 概念ネットワーク 一般概念と一般関係によるネットワークで知識体系を記憶し、具体概念と具体関係によって個々のデータや情報を記憶する。

知識獲得の研究アプローチを機能的に分類すると、

- (1) 専門家(人間)からの知識獲得の支援
 - (2) 事例、背景知識からの知識抽出と利用
- に大別できる。(1)は、知識の利用目的を明らかにし、人間(専門家)に適切なアドバイス、適切な質問を与えることにより、いっそう有効な知識を抽出する手法である。実際的な手法ではあるが、問題解決法が限定されるため、限られた範囲の問題にしか適用できない⁵⁾。(2)には、ルールインダクション⁶⁾や概念学習など、知識ベースを自動生成するいわゆる学習アプローチと、事例ベース推論⁷⁾やニューラルネット利用など知識ベースを介さず事例を直接利用するアプローチがある(図4)。ニューラルネットに関しては次章で述べる。以下、概念学習とその応用例について述べる。

3.2 概念学習

機械による学習の実現は、AI研究の大きな課題である。単に過去の事例を覚えておく暗記学習から、過去の事例から演えき的に導かれる一般則を導き出す演えき学習、事例間の類似性を導き出す類推学習、与えられた事例からそれを説明する一般的な規則を導き出す帰納学習など、最初に与えられる情報から最後に得られる知識までの変換の複雑さに応じて、いろいろな学習方式が研究されている。

ここでは帰納学習の一つである概念学習と、その代表的な手法(バージョン空間法)について述べる。

概念学習とは、複数の正しい事例(正例)と誤った事例(負例)から、あることば(概念)を説明する分類(クラス)を導き出すことである。例えば、「白い生き物」という概念を学習する

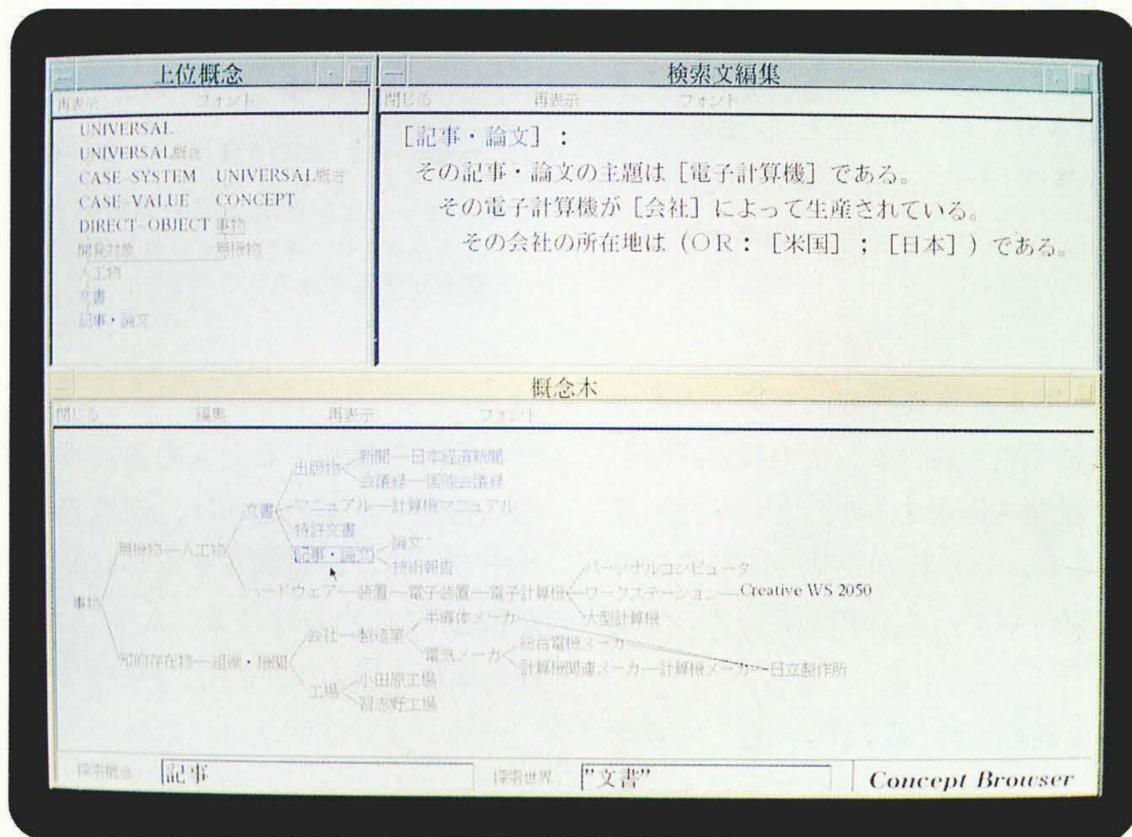


図3 ビジュアルインタフェースConcept Browserの画面例 説明的な検索文を、概念ネットワークを参照しながら作ることができる。検索結果は、日本語やフレームあるいはイメージで表示される。

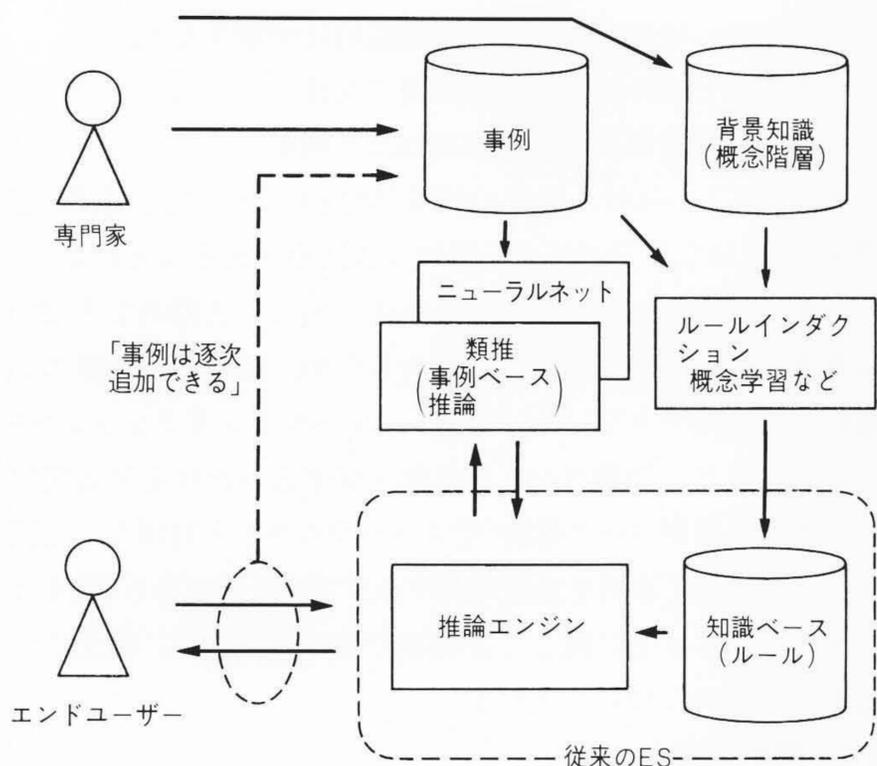


図4 事例・背景知識からの知識抽出・利用のアプローチ 知識ベースを生成するアプローチ(ルールインダクション, 概念学習など)と事例を直接利用するアプローチ(ニューラルネット, 類推など)がある。

場合を考えてみよう。概念の階層関係は、あらかじめ図5に示すように与えられているものとする。与えられた概念の階層関係から、獲得する概念の候補を示す空間(バージョン空間)を作ることができる(図6)。

バージョン空間法はすべての正例を含み、負例を一つも含まない唯一の概念を発見する方法である。まず、(白鳥)=(白, 鳥)という正例から得られる最も特殊な概念は(白, 鳥)そのものであり、一般的な概念は(any, any)=(なんでもよい)である。次に負例として(黒うさぎ)=(黒, ほ乳類)を与えると、この負例を含まない最も一般的な概念は{(白, any)と(any, 鳥)}となる。このようにして最も一般的な概念と最も特殊な概念が一致するまで訓練例を入力する。負例として(からす)=(黒, 鳥), 正例として(白うさぎ)=(白, ほ乳類)が入力されると、目的の概念が(白, any)=(白い生き物)であることがわかる。

3.3 概念学習の応用例

概念学習の応用例として、ある計算機教育センターの教育スケジュール作成システム⁸⁾について述べる。この種の計画形ESでは、いかに組み合わせ爆発を回避するか、という技術課題だけが着目されがちであるが、いかにユーザーに制約条件を入力させるか、すなわち使いやすいインタフェースの実現も重要な技術課題である。

このシステムは、暫定的な制約条件(図7①)のもとでスケジュール案を作成する。ユーザーは作成されたスケジュール案(同図②)の中で不適当なスケジュール事例を指摘する(同図③)。システムは、あらかじめ与えておいた概念の階層関係を手がかりにバージョン空間法による概念学習を試み、ユーザ

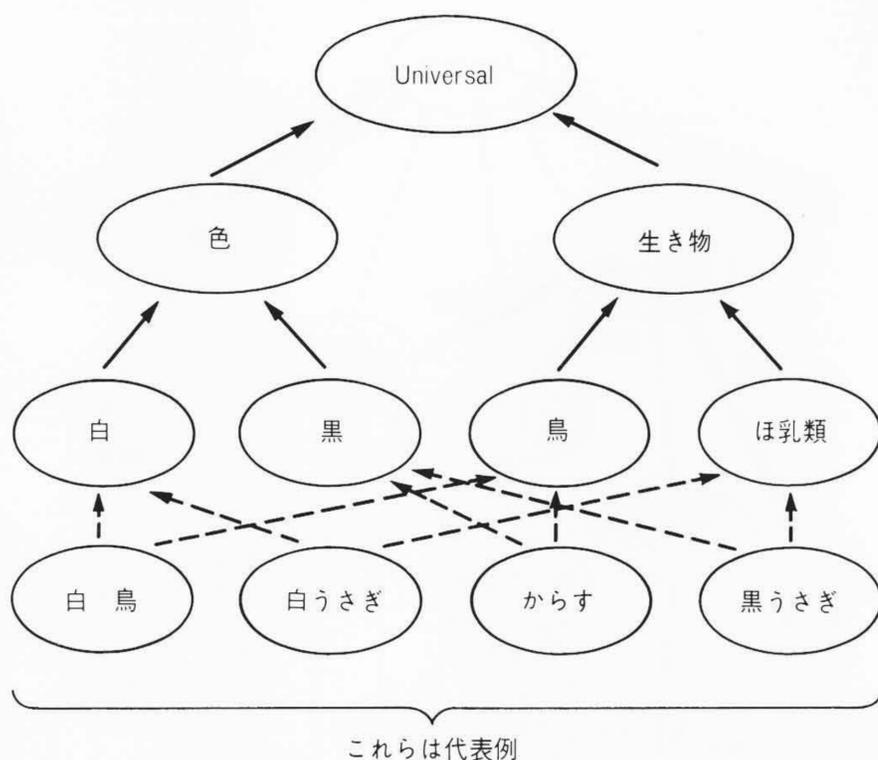


図5 概念階層関係の例 この関係から図6のバージョン空間が作られる。

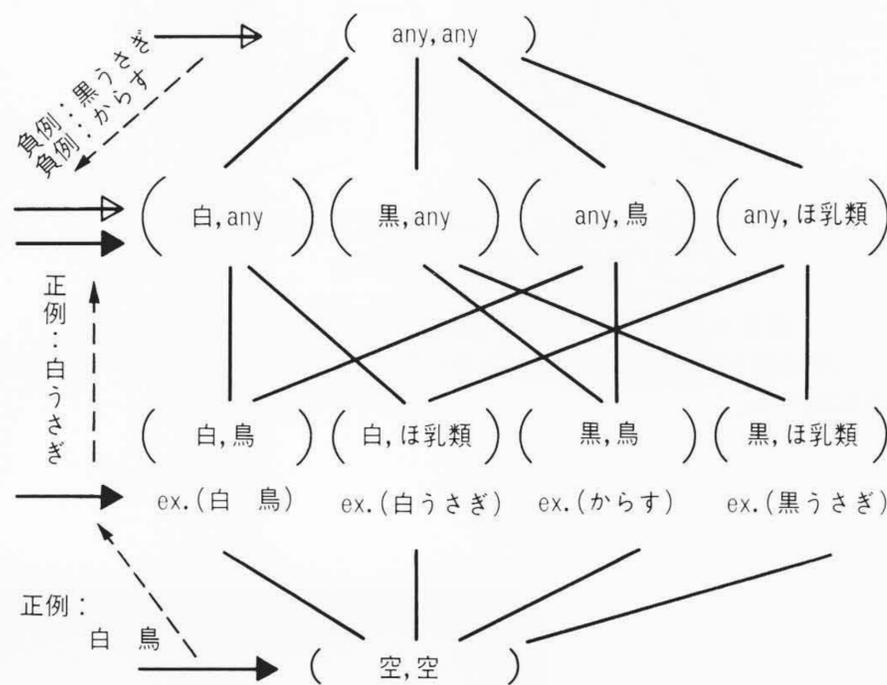


図6 バージョン空間上での学習経過 正例: 白鳥, 白うさぎと負例: 黒うさぎ, からすが与えられ、最終的に(白, any)=(白い生き物)という概念が学習される。

一の意図を推測する。入力される訓練例が少なく、一つの概念に特定できないときは、複数の概念(候補)を一覧表示し、ユーザー自身に選択させる(同図④)。システムは、選択された概念(この場合はスケジュールリングのための制約条件)を問題の条件に加え(同図①), 再びスケジュールリング案を生成する。

バージョン空間法は、訓練例の与え方によって学習の結果が変わらない強力な方法である。ノイズに弱い、大規模な概念の学習は、バージョン空間が巨大になり計算困難になるなどの問題点も残されているが、適用対象によっては実用的な手法である。

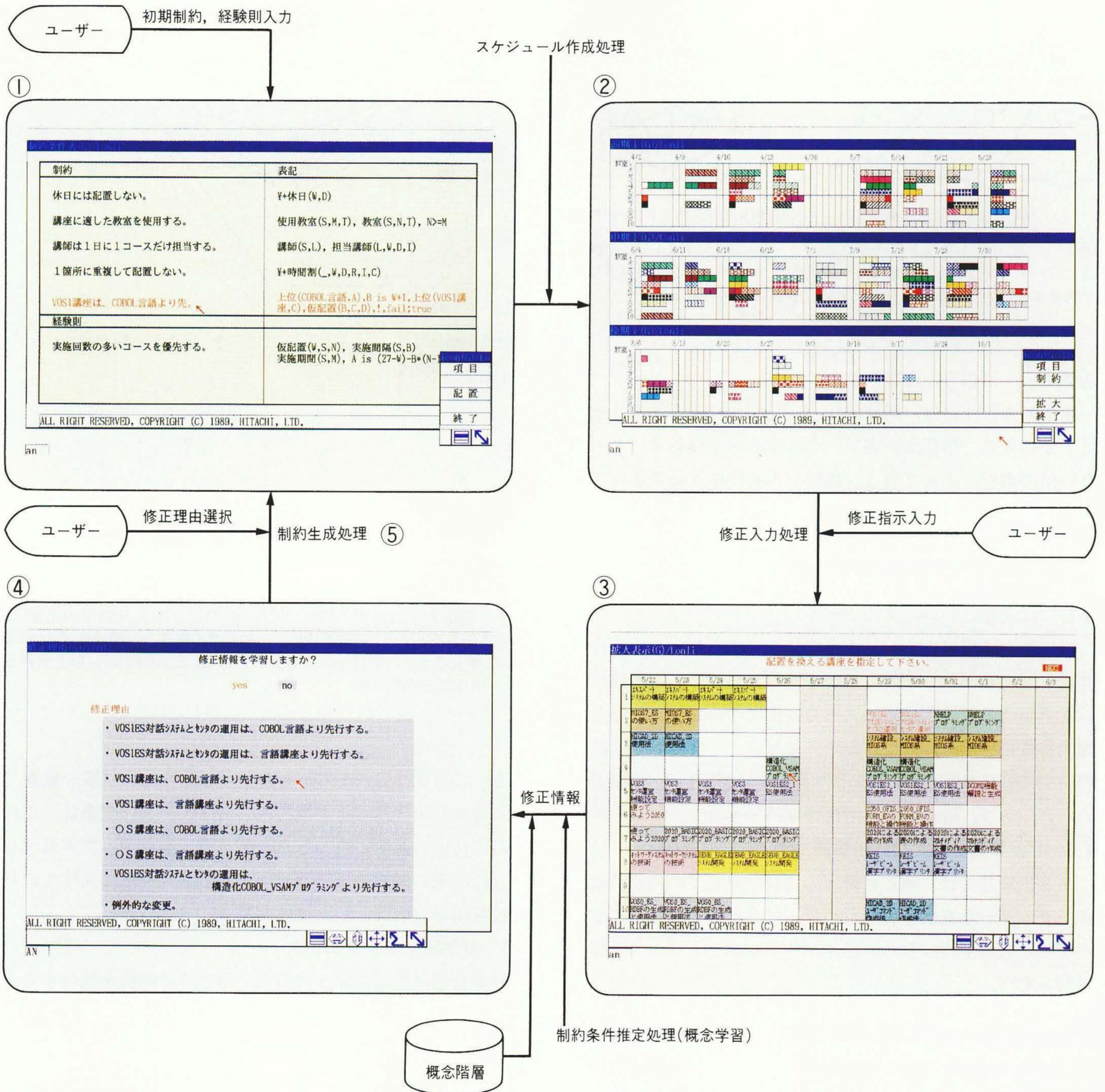


図7 概念学習の適用事例 初期制約①に基づき作成したスケジュール案②に対するユーザーの指示③から、概念学習④によって、新たな制約を生成する⑤。

4 ニューラルネットワーク

4.1 ニューラルネットワークモデル

脳の神経細胞(ニューロン)の構造をモデルとした情報処理技術として、ニューラルコンピューティング技術が注目されている⁹⁾。多種のネットワーク構成が考案されているが、

- (1) 階層形ネットワーク構成(ラメルハートモデル)
- (2) 相互結合形ネットワーク構成(ホップフィールドモデル)の2種が代表的な構成で(図8), 前者がパターン認識などの

学習判定処理に、後者が大規模な組み合わせ最適化問題の高速求解処理に適用されている。ここでは、階層形ネットワークとその応用について述べる。

4.2 階層形モデルと学習機能

階層形ネットワーク構成とはニューロンに相当するノードをN階層に並べ、各層間のノードを結合する方向性を持ったアークを張った構成である[図8(a)]。各アークには重みを与えられ、信号伝達の強度が調節される。各ノードにはしきい値を与えられ、入力信号の総和がしきい値よりも大きいとき、

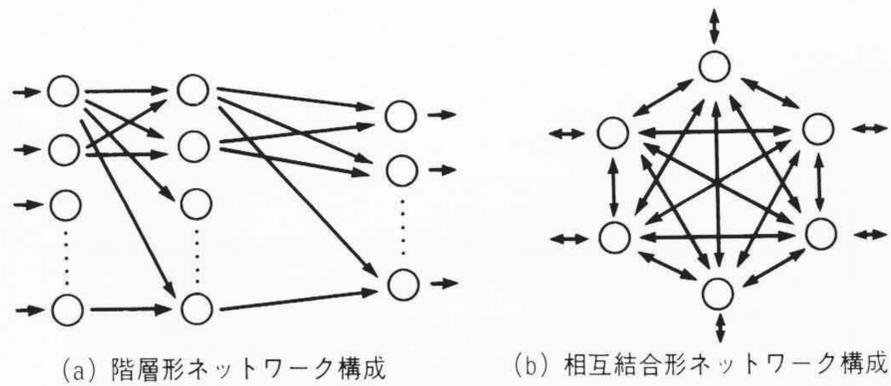


図8 ニューラルネットワークの構成 (a)階層形ネットワーク構成は主にパターン認識などの学習・判定処理に、(b)相互結合形ネットワーク構成は主に大規模な組み合わせ最適化計算に適用される。

次のノードに信号が伝達される。

階層形モデルには、訓練例(入力と出力の対)を学習させることができる。学習は、各アークの重みおよび各ノードのしきい値の調整によって行う。調整の方法は種々研究されている。広く用いられている誤差伝搬法は、入力データから得られた出力値と訓練例の出力値の誤差の自乗和を最小にするように、アークの重みとノードのしきい値を出力層から入力層まで順に調整していく方法である。

階層数を4層以上とし、十分なノード数を与えれば任意な非線形関係を学習させることができる。しかし、学習後のネットワークの訓練例以外の入出力特性については、十分な理論的特性把握が行われていない。また、ノード数の増大は学習時間の爆発を招く。計算時間に関しては専用LSIの開発が進められており、近い将来の解決が期待できる¹⁰⁾。

4.3 ビジネス分野での応用事例

ある出版社では、新しい雑誌の発刊に際しての効果的なダイレクトメール宣伝を行うために、アンケート分析によるターゲット読者層の絞り込みをニューラルネットワークを用いて行った¹¹⁾。

訓練例は、顧客データベースに格納されているアンケートの中から無作為に選択した100件のアンケート結果と、そのアンケート記入者に対して行った関心度調査結果(雑誌への関心度の大、中、小)である。図9に示す3階層のネットワークに訓練例を繰り返し(約300回)与えて学習させる。学習後のネットワークに顧客データベースのアンケート結果を入力し、ネットワークの出力値から関心度の大きいと予想される顧客だけを選別して、ダイレクトメールを発送する。

上記の例からも明らかなように、階層形ネットワークはESの知識獲得機能として利用できる。

5 ヒューマンインタフェース

ユーザーがAIシステムの高度の能力を最大限に活用するために、ヒューマンインタフェースの役割がとみに重要になってきた。そのために、さまざまなグラフィックインタフェースGUI(Graphical User Interface)が提案され、国際的業界標

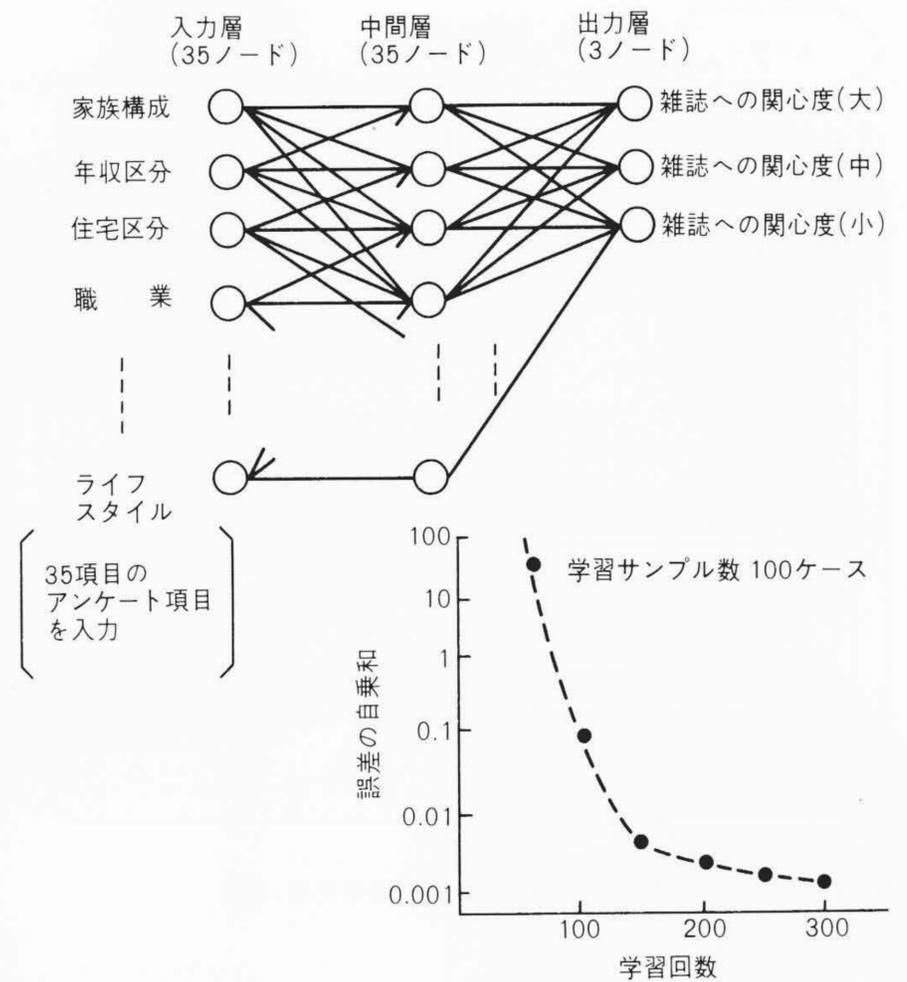


図9 階層形ニューラルネットワークのビジネス分野での応用例 35項目のアンケート項目と雑誌への関心度の関係を、訓練例(100例)を用いて学習させる。学習後、本ネットワークは正答率約70%(ESと同等水準)で関心度を予測する。

準として定まりつつある。しかし、もう一つの重要な様態である自然言語に基づく本格的インタフェースの開発は、これからの技術の進展に待つところが多い。本章では音声処理を中心に将来の理想的自然語インタフェース実現に向けての基礎技術開発の一端について述べる。

5.1 自然語インタフェース

日常会話に近い自然な日本文を用いてコンピュータを操作することが、自然語インタフェースの目的である。自然語インタフェースには、多様な自然文表現の使用を可能にする柔軟性、多種の計算機システム、種々の分野での使用を可能にする可搬性が求められる。

柔軟性と可搬性を実現するために、自然語インタフェースシステムには、対象分野および認識すべき操作指示内容の意味構造が定義できるようになっている¹²⁾。例えば、データベース検索用の自然語インタフェースの場合、「昨年度の衣料品部門の売上高を表示せよ」を理解するために、「対象が百貨店データベースであること」、「入力される固有名詞はデータベースのフィールド名称またはレコード選択条件であること」、などその分野の専門家が日本文を理解するのに使っている知識をあらかじめ投入しておく。

現在、多種の操作指示の自然文入力を可能とする技術の開発、システム状態の推移の追跡結果を参照し、照応表現を同定する談話理解方式の開発を進めている。

5.2 音声出力

音声は人間の思考に直結したメディアであり、音声入出力は他のメディアにない効果を発揮するものと期待されている。しかし、実用的なメディアとするための技術課題は多い。

音声出力の場合、大事なことばや文章の構造、文章の意図などが自然に聞き取れなければならない。聞き取りやすさは主に「抑揚」と呼ばれるイントネーションとアクセント、プロミネンス(強調)によって大きく左右される。

イントネーションは文章の構造を、アクセントはことばの境界を、プロミネンスは大事なことばを示す機能を持っている。抑揚のない音声は、あたかも仮名文字だけによるべた書きの文章を読むような状態になる。換言すれば、表示出力のように読み返しができないため、ことさら理解が難しくなる。

現在、任意の仮名漢字交じり文を聞きやすい抑揚の付いた音声で出力する技術を開発している¹³⁾。例えば、「衣料品の仕入れ単価を検索します」という音声出力を行う場合、意味解析から順に応答文生成、韻律記号付与、アクセント情報付与の処理を行い、「仕入れ単価」の部分だけをゆっくり強調して出力する(図10)。また、明りょうで自然な音色の合成音声を作り出すための、精密な音声スペクトル分析合成技術の開発も並行して進めている。

5.3 音声入力

音声入力装置が、ユーザーに書きことばの文法に従った文章を一音一音でいねいに発声し入力することを要求することは、ユーザーの思考を中断させ、きわめて使い勝手の悪い入力手段であることを意味する。音声入力に対する基本的期待感を裏切るものと言えるであろう。日立製作所は、自然で自

由な発声を許容する音声入力の実現を目指して研究を進めている。自然な発声の音声の抑揚から、文章の構造や大事なことばの位置を推定し¹⁴⁾、あいまいに発声されている大事なことばの音韻をニューラルネットとファジー論理を用いて認識し¹⁵⁾、使用目的の情報や意味の情報を利用して入力音声を認識理解していく方式である。

5.4 音声会話インタフェース

自然な会話を調べてみると、文末まで聞かないで理解されており、簡潔な省略文で効率よく会話の主導権が交代し、相づちなどの応答でスムーズに会話が流れていることがわかった¹⁴⁾。このような理想的会話インタフェースを機器と人の間に実現するためには、以上に述べた諸技術とともに、柔軟な対話制御技術の開発が不可欠である。

このために、日立製作所は黒板モデルをベースとした新しい対話制御技術を開発中である。これにより、機器がユーザーの入力するあいまいな情報を推論し、協調的で自然な対話を実現することができるものと期待している。

5.5 音声アノテーションシステム

文書を作成・検索しているとき、浮かんでくるさまざまなアイデアをメモに記入したり、キー入力することはめんどろであり、思考を中断させる。音声アノテーションシステムは、電子的な文書へ直接音声の注釈(アノテーション)を付加するシステムである。思考の中断を最小限に抑えながらアイデアを保存し、必要なときに再生して思い出すことが可能となる。いわば思考の時間的ワープの実現である。このための音声編集機能、情報圧縮機能、早口再生機能などの技術開発を進めている¹⁶⁾。

6 将来の応用システムイメージ

次世代のESを担う幾つかのAI基本技術の動向について概観した。紙面の都合で取り上げることのできなかった機械翻訳や画像理解などの技術も含めて、これらのAI技術によって将来実現されると思われる応用システムイメージの一例が、次世代の金融ディーリング業務支援ESである(図11)。

本号の別論文にも取り上げられているが、ディーリング業務でディーラーは、市場動向だけでなくニュース、企業財務データなどを総合的に判断して最も有利な取引を判断する。多量の情報を容易に取り扱えるようにすることにより、ディーラーの作業能率と作業内容の高度化を図りたい。時々刻々入力されてくるニュースは、英文であれば機械翻訳され、知識ベースに概念レベルで蓄積される。ディーラーは必要なときに、必要な情報が簡単に取り出せる。

市況データがリアルタイムに入力されてくる。現在は、入力された情報を常時監視し、経験に照らして判断しているが、判断のノウハウを知識ベースに入力しておくことで、この部分はシステムが代行してくれる。知識獲得技術の進歩により、

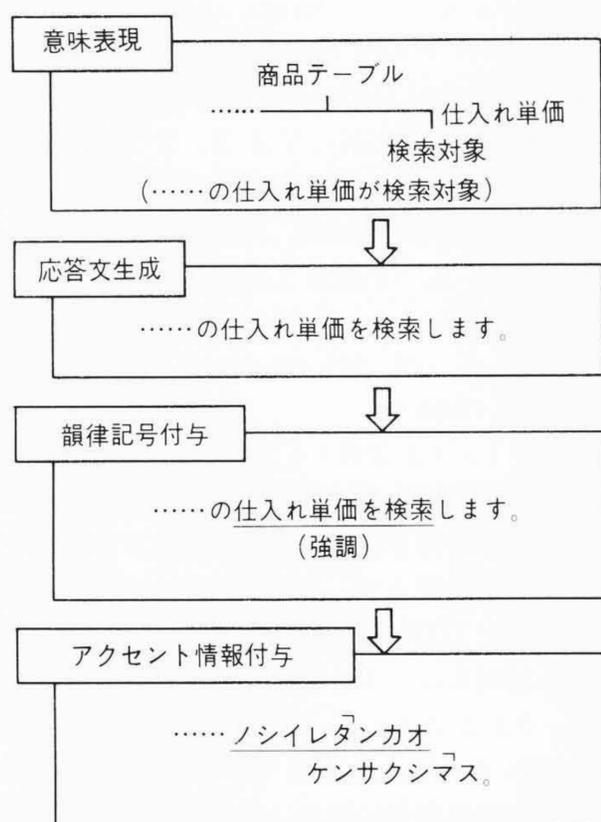


図10 音声出力用言語処理の例 出力文の意味を考慮して、イントネーションやアクセント情報を付加し、聞きやすい音声を出力する。

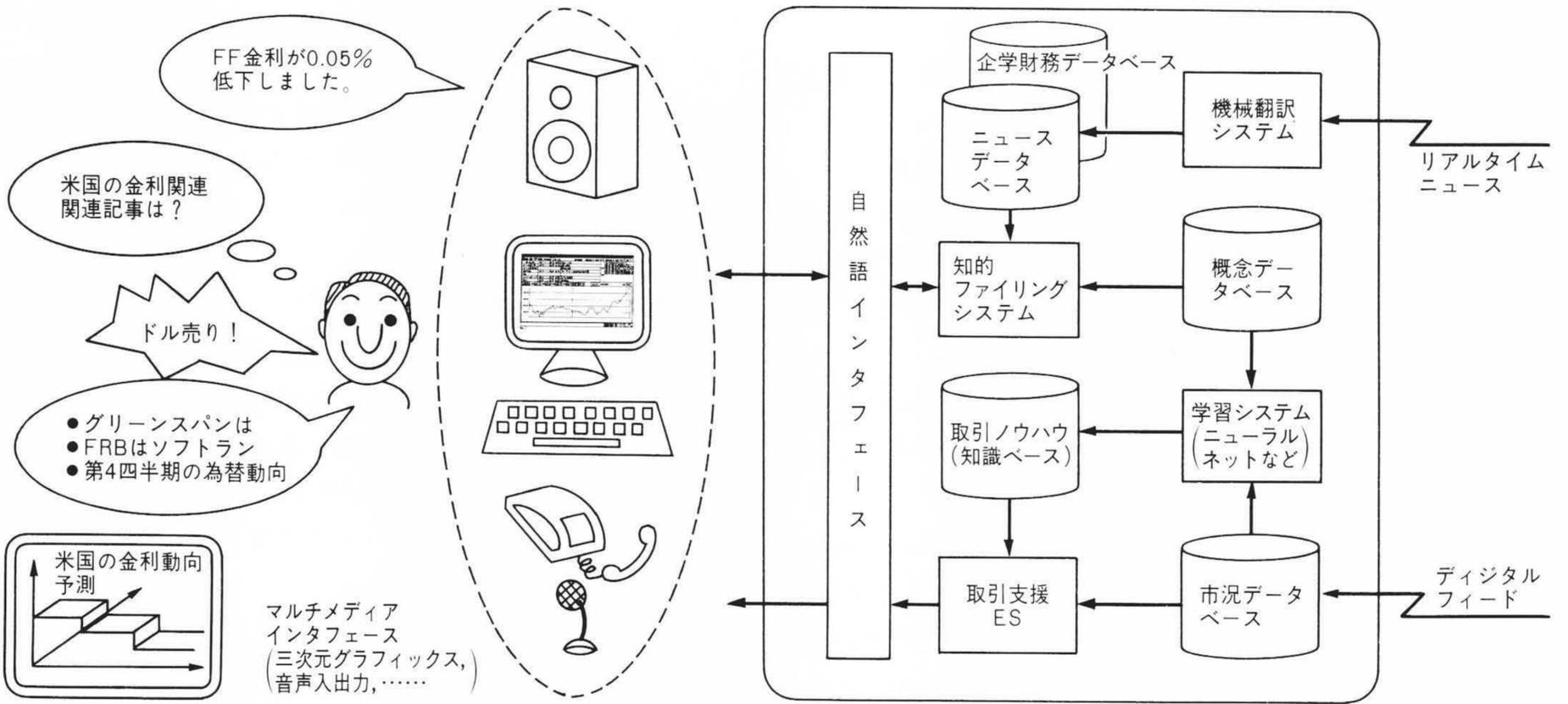


図11 次世代金融ディーリング支援システムのイメージ 知識表現、知識獲得、自然語インタフェースなど、個別技術の統合化により、「人にやさしい」新しい価値を持つシステムが構築できる。

知識ベースの更新が容易になっているから、自分の分身として判断支援システムを使いこなすことができる。ニューラルネットワークの学習機能などにより、自動的な知識の追加更新も行われる。

支援システムとの入出力は三次元グラフィックスや自然語である。音声入出力も可能で、あたかも秘書と会話するように計算機を使うことができる。

7 結 言

最近のAI研究の中から、人の考える「概念」を取り扱う方式として概念ネット技術、人の知識を抽出する方式として概念学習技術とニューラルネット技術と応用例、さらにより人にやさしいインタフェースを実現する自然語インタフェース技術について述べた。今後はここで述べた個別の技術の進歩だけでなく、それらを融合する技術、すなわちシステム化技術もますます重要になってくる。システム化を進めるためにも、あるいは各個別技術に明確な到達目標を与えるためにも、さまざまな分野での次世代のESの理想像を描いてみる必要がある。

参考文献

- 1) 財団法人新世代コンピュータ技術開発機構：第5世代コンピュータ研究開発の概要(平2-6)
- 2) 藤澤，外：概念ネットワークを用いた知的ファイリングシステム，日立評論，69，3，231～238(昭62-3)
- 3) 木内，外：知的ファイリングシステムのビジュアルインタフェース，情報処理学会，文書処理とヒューマンインタフェース研究会資料，21-3(昭63-4)
- 4) D. S. Prerau：Knowledge Aquisition in the Development

of a Large Expert System, AI Magazine Vol.8, No.21, 43～51(1987)

- 5) G. Kahn, et al.：Strategies for Knowledge Acquisition, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.1, No.5, 511～522(1985)
- 6) 増位，外：エキスパートシステム技術の動向，日立評論，72，11，1099～1104(平2-11)
- 7) 吉浦，外：Case-Based Reasoningによるエキスパートシステムの知識獲得の容易化，情報処理学会第40回全国大会，4D-7(平2-3)
- 8) 坂尾，外：学習機能付割当計画エキスパートシステムの開発，情報処理学会第40回全国大会，2D-1(平2-3)
- 9) 麻生：ニューラルネットワーク情報処理，産業図書(昭63-6)
- 10) M. Yasunaga, et al.：Design, Fabrication and Evaluation of a 5-inch Wafer Scale Neural Network LSI Composed of 576 Digital Neurons, International Joint Conf. of Neural Network (IJCNN), Vol. II, II-527～II-536(1990-6)
- 11) 古賀，外：対話型ニューラルネット適用支援システムの開発，情報処理学会第40回全国大会，5D-6(平2-3)
- 12) H. Kinukawa：A Natural Language Interface Processor based on the Hierarchical-Tree Structure Model of Relation Tables, J. of Information Processing, Vol.11, No.2, 83～91(1988-6)
- 13) 武田：プロミネンスを含有する日本語文音声の韻律的特徴の解析，電子情報通信学会音声研資料SP89-46(平1-9)
- 14) 小松，外：韻律情報を利用した構文推定およびガードスポットによる会話音声理解方式，電子情報通信学会論文誌D, Vol. J71-D, No.7, 1218～1228(昭63-7)
- 15) 天野，外：対判定ルールに基づく子音認識方式へのニューラルネットワークおよびファジー論理の適用の検討，電子情報通信学会論文誌D-II, Vol. J72-D-II, No.8, 1200～1206(平1-8)
- 16) 藪内，外：音声の視覚的編集システムとその応用，第5回ヒューマンインタフェースシンポジウム，2314, 441～448(平1-10)