

## 競争的環境下の情況判断を支援するエキスパートシステムの知識処理方式†

鶴 田 節 夫††

競争的環境下では、相手側の欺瞞や情報隠蔽などにより、情況判断の入力として得られるデータは、不信頼・不完全なものである。重要なデータほど入手困難なのが普通であるし、確率など数字上ではありそうにない情況や行動がかえって要注意のことも多い。一方、大量・複雑で、変化の激しい情報にもかかわらず相手の可能行動の大局的・的確な把握を常に行い、脅威の有無を迅速に判断することが要求される。本論文は、組織対組織間の競争的環境下での情況判断を支援するエキスパートシステムの基本方式を提案し、実験システムを作成してその有効性を評価する。提案システムは、センサやデータベースからの入力データをもとに情況判断に必要な情報を合成し、そこから自動的に、あるいは専門家の指示により情況情報を分析・表示する。知識ベースを利用するが、前述のとおり問題の性質が悪いので、不確実性に対して、確信度 (CF) による近似推論的なアプローチ<sup>1),2)</sup>をとることはしない。替りに、分析すべき仮定のケースを自動的に設定するための知識と、専門家の操作履歴などからそれを獲得する機構と、これらの知識処理を高度グラフィクスに統合した直観的で効率的な情況判断インタフェースにより、競争的環境下でも迅速で抜けの少ない情況判断を可能とする。

### 1. はじめに

情況判断、つまり、現在の自己を取り巻く環境の情況を把握することは、自己の行動を決定するのに不可欠で基本となる判断である。例えばビジネス分野では、財政投融資の判断において対象企業の財政安定度、生産・販売能力、同業他社の脅威を見積るための情況判断が重要となる。販売合戦では、市場の情況や競争相手の意図を各種情報から推察するための情況判断が戦術・戦略立案の基礎として重大な意味を持つ。一方、これら競争的環境下の情況判断に対し、病気、あるいは故障や計画の乱れ (例えば列車遅延) の原因を調査して、その脅威を予測する各種の診断も情況判断と考えられる。

さて、科学・技術の進歩とそれに伴う社会の拡大と多様化・情報化は、大量・複雑・不確実かつ変化の激しいデータから、大局的かつ的確な情況判断を迅速に行うことを要求している。この要求は、近年急速に強まり人間の情況判断能力の限界を越えつつあり、計算機支援による判断効率や信頼性の向上が重要となってきた。ところがこのような情況判断では、一般に分類すべき個々の対象の構造やその相互関係が複雑であり、情況に依存した分類法や多段の推論を必要とするため、従来の確率・統計的手法<sup>4),5)</sup>では実用的な判断支援が困難である<sup>2),6)</sup>。この問題を解決するため

に、知識工学<sup>6)</sup>を適用して<sup>7)</sup>医療診断における柔軟で実用的な判断支援を可能とするエキスパートシステムが開発されている<sup>1)</sup>。このシステムは、不確実性を表現するための確信度 (CF: Certainty Factor)<sup>1)</sup>を付与したルールによる推論をその特徴とする。

ところで、この確信度を付与したルールを用いた近似推論方式を一般の情況判断にも適用することが提案されている<sup>2)</sup>。また、各ルールが強い条件と弱い条件 (例えば、報告の数が一定数以上に達すると強い条件が成立する) を持ち、2通りのケースの推論を行い、実際の情況は両ケースの間にあると考える方式も発表されている<sup>3)</sup>。ところが、確信度や報告数に頼ったり強弱2ケースの結果を示すなどの、定量的・線形的・連続的な推論方式は、競争的環境下での情況判断支援には以下の点で問題と考える。すなわち、競争的關係にある人間やその組織が相手であるから、故意の情報操作や欺瞞行為が通常である。情況判断の入力データは不完全・不信頼で、重要なデータほど入手困難なのが普通であるし、確率など数字上では可能性が低い情況や行動がかえって要注意の場合も多い。したがって、競争的環境下での情況判断支援には、上記の数値的・線形的な推論方式は問題であり、情報の質的な面を十分に考慮した非数値的かつ非線形・不連続的推論が必要と考える。

本論文では、組織対組織間の競争的環境下で入手できるデータの不完全・不信頼性の特徴を分析し、その情況判断を支援する以下の特長を持つエキスパートシステムを提案する。

(1) 検討すべき入力データや可能行動に対する妥

† Knowledge Information Processing Method of Expert Support System for Situation Assessment under Hostile Environment, by SETSUO TSURUTA (Systems Development Laboratory, Hitachi Ltd.).

†† (株)日立製作所システム開発研究所

当な仮定の設定用知識を持つ。

(2) 情況分析のための専門家のシステム操作とその評価結果から、仮定設定用知識を獲得・統合する。

(3) オブジェクト指向技術を利用して、(1)、(2)の知識処理に高度グラフィックスを統合させた知的インタフェースにより、人間と協調した推論・学習を可能とする。

次に、知識構成など実現方式を述べる。最後に、不完全・信頼な入力に対して妥当な仮定を効率良く検討でき、特に、組織レベルの競争的環境下での迅速・的確な情況判断に、本方式が有効なことを実験により確認する。

## 2. 基本的な考え方と提案機能

### 2.1 基本的な考え方

競争的環境下では、相手側は重要なデータを隠したり、偽情報を流そうとするため、入手できる情報の完全性・信頼性は、医療診断など協力的環境下の情況判断の場合と比較して非常に低い。さらに相手は知能を持つ人間だから、確率など数字の上では評価値が低くかつ非線形・不連続で盲点的な箇所をついてくる。数式では予測が困難なのはもちろん、十分な知識を持つ専門家でも考え落しや見積り違いをしたり、全く思いつかないことさえ多く、これらの判断ミスは相手を非常に有利にする。その上、多数の強力な新装置の出現や高速の輸送・通信手段の急速な発達、大量・複雑な情報の迅速な処理能力をますます必要としている。

このように競争的環境下の情況判断では、かなり不完全・不信頼でかつ大量・複雑な入力データから、脅威となる相手の可能行動を的確かつ迅速に見積る必要性が急速に高まり、人間の判断能力を越えつつある。この解決のため計算機支援が不可欠と考えるが、すでに述べたように問題の非数値性・非線形性や不連続性のため OR (オペレーションズリサーチ) や確率・統計的手法など従来技術<sup>4),5)</sup>、さらに知識工学的手法でも確信度や報告数によって信頼性を保証する推論方式<sup>1)-3)</sup>では、有効な支援が不可能であるとする。

さて、いくら情報隠蔽や欺瞞を行っても、相手が多数の実在の人間から成る組織である場合、行動の徴候は完全に隠せるものでないし、行動様式や可能行動にも原則や制約がある。例えば、文献3)にも示されているとおり、組織を動かすには多階層のサブプロセスが稼働しなければならず、稼働に必要な準備期間、稼働率や稼働順序のパターンもかなり制限される。個人

的な行動と異なり、サブ組織間の連携が容易ではないから、運用効率上、経験のある、あるいは、長期にわたる十分な予備調査・練習を重ねた行動でないと成功しない。したがって、行動の徴候に関して手掛かりとなる幾らかのデータは得られるし、欺瞞にもほぼ一定のパターンがある。また、同じ人間が考えるものだから前例のあるもの、経験的に予測できるものがほとんどである。とはいえ、これらは、置かれた情況、例えば場所・天候、輸送機関の情況、さらには統率者の性格などに依存して、非線形的・不連続的に変化する。前提が複雑で例外条件が多い上、結論も文脈に依存して複数ある。したがって、確率や確信度による数値化、あるいは数式によるモデル化では抜けが生じ危険である。制御の全体の流れは固定的・アルゴリズム的なものではないし、その場の情況に置かれたいと分からない、なぜそう仮定するのか明確に計算機処理できる形に述べられない直観的な判断も多い。

本論文では、多数の人間から成る組織間の競争下で入手できるデータの不完全・不信頼性の特性を以上のように捉える。これをベースに、人間の組織行動に伴う制約に関する経験的知識により予測できる範囲で、これらの入力データを評価し情況判断を支援するため、以下の特徴を持つ知識工学的アプローチを提案する。

(1) 相手や自分の組織、相手の行動様式や目的に関する原則などの知識、および、例外・仮定設定用の経験的知識を組み込み、これらを利用して相手の可能行動や意図の重要なケースを漏れなく推論する。

(2) 専門家の高度な直感を発揮させ、その判断を取り込むための知的インタフェースを持つ。

(3) 現場での専門家の情況判断操作から、専門知識、特に、例外・仮定設定用知識を自動学習したり、その獲得支援情報を自動収集したりする。

### 2.2 基本機能の提案

以上の考えを具体化し、組織間の競争的環境下の情況判断支援の基本機能として、次の機能を提案する。

(1) 相手や自分の組織や能力、相手の行動様式や目的に関する知識を利用して、センサやデータベースからの入力データや標準値だけに基づく、仮定や例外を考慮外とした、基礎となる情況情報を作成する機能がまず必要と考える。

(2) 入力情報の不完全性・不信頼性や対象システムの構造の非線形・不連続性に対処するために、情況判断の専門家は、入力データや相手の行動などのあり

うと思われる妥当な仮定的ケースを漏らさず検討することにより状況分析を行う。ところが、大量・複雑な状況情報に対しこれらの仮定検討を的確・迅速に行うのは容易でない。そこで、仮定設定により生じた矛盾や不足データを計算機がチェック、警告し、解決に必要なデータを計算機が自動的に、あるいは専門家と対話して設定したり、各仮定ケースの検討結果やその全体や途中状況を、図・表・文などで分かりやすく表示し、専門家の直観的な判断力の発揮を支援することが必要と考える。これにはマルチウィンドウ等の高度グラフィックスが有効活用できるオブジェクト指向型の知識表現をベースとした知的インタフェース機能が必要と考える<sup>9)~10)</sup>。すなわち、まず状況判断知識をオブジェクト（フレーム<sup>9),10)</sup>により階層的に表現する。可能行動や意図はトップレベルのオブジェクトとする。オブジェクトにはウィンドウの属性を持たせ、画面に表示可能とする。状況判断結果は、基本的には最重要な可能行動と異常情況（欺瞞など）に限定して表示する。ユーザからの指示や仮定設定は、ウィンドウであるオブジェクトに対し、マウスを介して行う。ユーザが指示すると、上位オブジェクトはその下位オブジェクトをマルチウィンドウを利用して並列表示する。表示されたオブジェクトに対してユーザがこの指示を再帰的に繰り返せば、システムは推論理由や根拠となるデータを、オブジェクトの階層に沿ってトップダウン的に表示し説明する。ユーザの設定した仮定は、オブジェクトの付加知識（デモン）<sup>9),10)</sup>を介してチェックし、矛盾があれば警告する。矛盾や無理のない、他のより重要な状況判断（仮定的ケース）が生成

されるなら、対応する新状況判断を示すトップレベルオブジェクトを表示する。複数の代替案（仮定的ケース、状況判断の候補）を重要度順に表示し、検討すべき仮定的ケースのユーザによる選択も可能にする。新判断や選択した仮定的ケースに焦点を絞った状況分析が行えるように、旧判断を示すオブジェクト群は基本的には消去する。

(3) さらに迅速で漏れのない状況分析を行うには、妥当な仮定的ケース設定用の経験的知識を組み込み、専門家の仮定検討の代行・補完を自動的に行う機能が必要と考える。ところで、何が妥当な仮定かは、専門家の直観・常識・大局判断が絡む上、状況依存度も高いため、妥当な仮定を設定するための知識のすべてを事前に専門家から引き出したり、計算機に組み込むことはできない。したがって、この場合も、計算機が提案した仮定の妥当性を専門家がチェック・修正したり、逆に専門家が設定・修正した仮定の妥当性を考え落とした仮定的ケースを計算機が監視・警告することにより、対話的に状況判断を進める必要があり、やはり上記(2)の知的インタフェースが重要となる。

(4) 前述のように、仮定設定知識は状況依存度が高く、専門家でも、実際の状況判断の場でなければ思いつかないもの、明確に述べられないものも多い。とはいえ、状況判断中に専門家に常に正確な説明を要求するのは現実的ではないし、状況判断の質が低下して目的とする知識が得られない。状況判断時に専門家に説明など状況判断以外の操作をさせることなく、仮定設定知識を自動学習したり、その作成・修正に必要な情報を自動収集する機能が必要と考える。

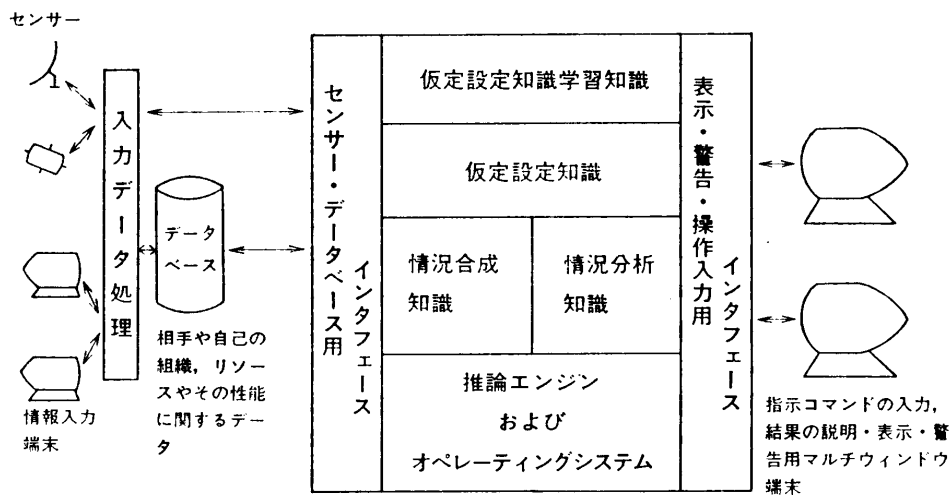


図 1 状況判断支援エキスパートシステムの構成図

Fig. 1 Expert system structure for supporting situation assessment under hostile environment.

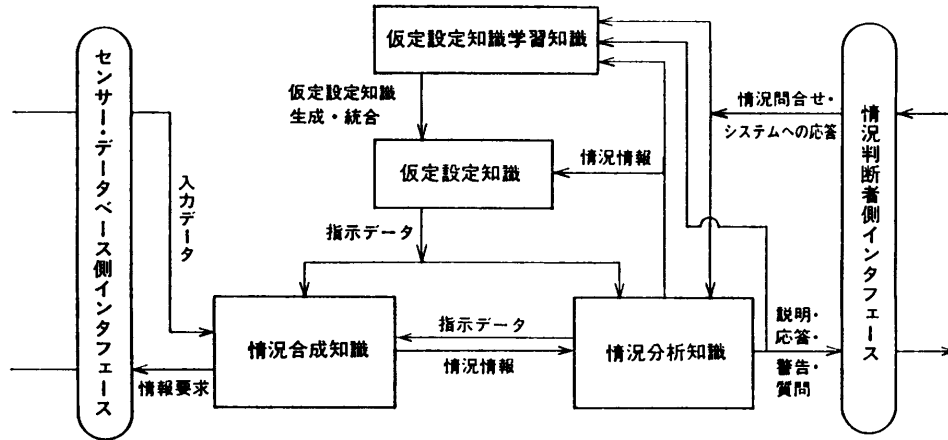


図 2 知識処理のブロック図

Fig. 2 Knowledge processing block diagram of the proposed expert system.

### 3. 実現のための基本方式

提案システムの実現には、2.2 節の(1)～(4)の各基本機能に対応して、以下の知識が必要と考える。

(1) センサやデータベースからの入力データに基づいて状況情報を合成する状況合成知識。

(2) 仮定設定の支援用情報や状況分析結果を表示するための状況分析知識。

(3) 妥当な仮定を設定し専門家の状況判断を代行する仮定設定知識。

(4) 仮定設定知識を専門家の状況判断操作から獲得するための仮定設定知識学習知識。

以上の具体的構成と処理方式を次に述べる。システムの全体構成と知識処理のブロック図を図 1, 2 に示す。

#### 3.1 状況合成知識

専門家は以下のように状況合成を行うと考える。

(1) センサや端末からの報告やデータベースからの入力データに基づいて、相手の能力や行動目標に関する基本情報を整理する。

(2) 幾つかの基本情報の特徴的パターンから相手の意図や可能行動を示唆する徴候をとらえる。

(3) これらの徴候の種類やその時間的・空間的分布などから、相手の意図や可能行動に対する基本的なイメージ(状況情報)を形成する。

そこで、状況合成には、下位から順に、入力情報・基本情報・徴候・可能行動の各レベルに対する知識が必要と考える。これらの知識を次に説明する。

(1) 入力情報(入力データ)……センサや端末、データベースから入力するデータの内容、アクセス方

法、入手時間・費用・信頼度などを記述する知識。

(2) 基本情報……相手の組織や能力、行動目標や基本的な行動様式に関する知識。また、入力情報からのこれらの合成条件や関連する徴候を規定する知識。

(3) 徴候……相手の意図や行動を示唆したり、それらを根拠づける状況を記述する知識。基本情報からの合成条件や他の徴候や可能行動との関係も規定する。

(4) 可能行動(意図)……相手の意図や脅威となりうる行動を記述する知識。徴候や基本情報からの合成条件や他の状況判断用知識との関係も規定する。

状況合成知識は、図 3 のようなフレームネットワークにより実現する。すなわち、下位から入力情報(入力データ)・基本情報・徴候・可能行動の各階層のフレーム(オブジェクト)から成るネットワークにより知識表現する。例えば、徴候フレームは(以下図 4 参照)、基本情報からの徴候の合成条件を規定するために活性化条件スロットを、徴候から推測される意図などを規定するのに連想項目スロットを持つ。図 4 では、徴候 1 のフレームは活性化条件スロット値としてルール 12 とルール 23 を持ち、これらのルールの起動により徴候 1 が合成(すなわち、活性化)される。連想項目スロット値としては、可能行動 1、徴候 2、基本情報 5 を持ち、徴候 1 が活性化したとき、これらのフレームが、例示化されたり活性化条件がチェックされることを示す。

各フレームにはその例示化や状態(スロット値)の変化を監視するためのデモンと呼ばれる付加知識を持たせる。デモンは、スロット値が変化すれば、内容に応じて自他のフレーム内の関連知識の内容変更や起動

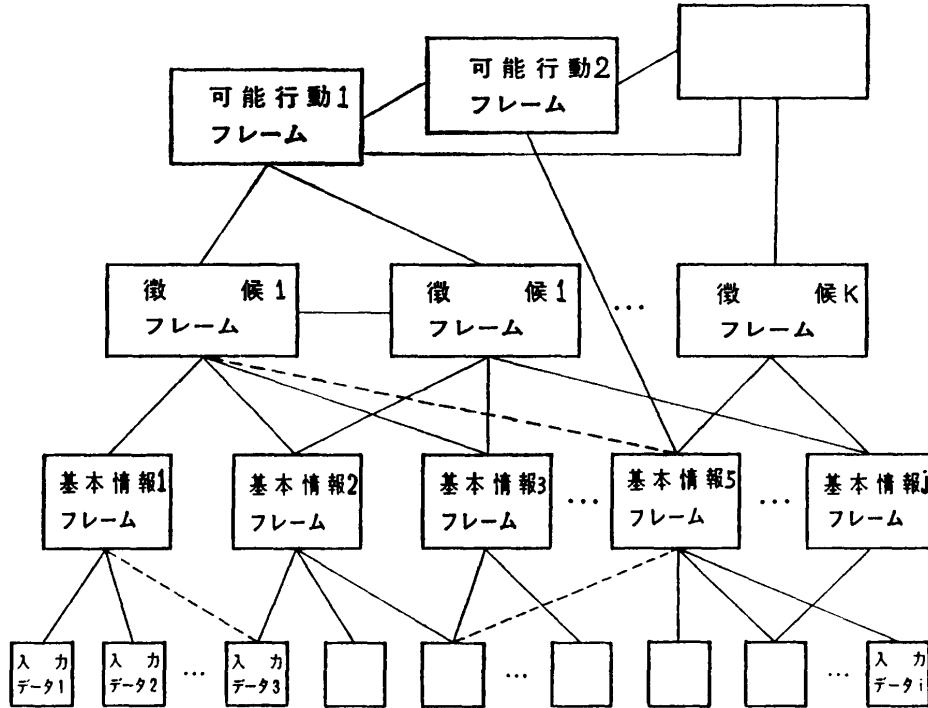


図3 状況合成知識の構造

Fig. 3 Knowledge structure for situation data fusion.

名前: 徴候1  
 クラス: 徴候  
 :  
 活性化条件: ルール12 ルール23  
 連想項目: 可能行動1 徴候2  
           基本情報5  
 根拠: 専門家Aの仮定  
 発生時点: 60, 5, 10, 800  
 問題点: (矛盾 徴候5)  
 コメント: ルール12は基本情報1と基本情報2に  
           関するルール  
 キー状況: 基本情報5 徴候2  
           基本情報3

図4 徴候フレームの例

Fig. 4 Instance of indication frame.

を行う。これにより、フレーム内の関連スロット値の設定、矛盾・不足データの検出などを行ったり、不足データをデータベースから入力したり、センサや端末に情報要求を行ったりする。例えば矛盾の検出は、図4の徴候1フレームが例示化されるとデモンは連想項目スロット値である基本情報5をチェックする。基本情報5が相手グループのリソースに関する情報の場合、そのグループ員数や能力が小さいことが判明したなら、それを根拠に徴候1と徴候5との両立は不可能(矛盾する)と推論し、問題点スロットに設定する。矛盾・不足データの検出・解決のためには、特に、後

述のように状況分析知識や仮定設定知識を活性化させて、欺瞞や隠蔽に対処するための推論を可能にする。

さて状況合成のための推論は、図3における各フレームを結ぶ弧(アーク)に沿って、行われる。この弧(アーク)は、各フレーム内では、図4のように、活性化条件スロット値、連想項目スロット値として、また、デモンによる関連フレームの例示化やその活性化、およびスロット値の設定として表現される。推論はこの弧に沿って、次のようにボトムアップ、トップダウンの双方向に進む。すなわち、センサやデータベースからのデータが入力情報フレームに設定されると、関連する基本情報(例えば、図3の基本情報1フレーム)内のスロット値が、入力情報フレームのデモンにより設定される。これにより基本情報1が活性化(詳細は次文および次々文を参照)すると、基本情報1のデモンにより、例えば徴候1(図4)が、図3のアークに沿って連想(例示化)される。この時、徴候1のデモンは活性化条件スロット値のルールを用いて徴候1の活性化条件をチェックする。図4の場合、ルール12が起動されるなら、徴候1が活性化し、可能行動1が連想されボトムアップに推論が進む。この時、図4の連想項目スロット値、例えば、基本情報5も連想

され、その確認のためデータベースからの入力が行われるなどトップダウンにも推論が進む。

### 3.2 状況分析知識

2.2節の(2)で述べたように、競争的環境下の状況判断では、相手の欺瞞や情報隠蔽などによる不完全・不信頼なデータを補充・修正し、対象の非線形性・不連続性(例えば盲点)に対処するため、現実的で重要な仮定的ケースを漏らさず検討して分析する必要がある。

このような分析を支援するために、まず、合成された状況情報に対して、情報の矛盾・不足および分析すべき脅威を重大性・緊急性・可能性などとともに列挙したり、欺瞞・隠蔽などの異常状況や過大・過小評価箇所などを重要度を考慮して警告し理由の説明をしたりする必要がある。また、専門家への問い合わせも含め、情報要求により、重要情報を確認する必要がある。

以上を実現するため、次の知識が必要と考える。

(1) 相手の可能行動に対し、それが成就した時の脅威度、成就可能性、時期および分析必要度を規定する知識。

(2) 欺瞞・隠蔽の常套的パターンや警戒すべき異常状況、要注意情報・範囲を規定する知識。これらと徴候や相手の可能行動との関連を記述する知識。

(3) 状況依存的、非線形的で過大・過小評価しやすい項目、感度の高い情報、および過大・過小評価の判定基準などを規定する基本知識。

(4) 与えられた状況の分析において、確認すべき情報や確認手段・確認容易度(入力情報フレームに規定した入手時間やコストに関係するが、より上位で文脈依存的なもの)を規定する情報要求知識。

本知識は、以下のようにフレームとして表現する。

(1) 局所的・固定的知識……状況合成知識内のフレームのスロット値として埋め込む。例えば、各センサの入力(変動)値や端末からの報告内容に関する妥当な範囲や要注意条件は、状況合成知識内の入力情報フレームのスロットに埋め込み、デモンに異常を監視させる。

(2) 大局的知識……合成した状況情報を大局的に分析・管理する独立したフレームとして表現する。欺瞞などに対する大局的知識を表現する異常予期フレームや、分析すべき可能行動や関連する各種仮定的ケースの評価・管理をする知識を表現する分析計画フレーム等がその例で、各々状況合成フレームと関係する。

個々の知識は、ルール、事実、手続きとして埋め込む。

状況分析のための推論や対話は次のとおりである。

(1) 状況情報およびその不足情報に対するユーザの仮定値から、相手の意図の成就可能性・時期・影響と分析重要度を分析計画フレームにより計算・推論し重要度順に表示する。

(2) ユーザが分析を指示した可能行動(意図)に焦点を絞る、(a)異常予期フレームによる、欺瞞・隠蔽などの推論と表示、(b)状況合成知識内の分析知識による、高感度情報およびその過大・過小評価や状況情報の不足・矛盾のチェックと表示、(c)情報要求知識による、確認情報・確認先の選定と情報要求、を行う。こうして専門家とマシンの相互チェックを通して対話設定された仮定的ケースに対する脅威度を分析計画フレームにより推論・計算し、結果の表示や理由の説明を行う。

### 3.3 仮定設定知識

専門家の仮定設定の代行には、まず、合成された状況情報の不足・矛盾に対する暫定的な仮定を自動設定する。次に、重要度・実現性の高い可能行動を分析すべき候補として設定する。次に、これらの各候補に対し、関連情報の矛盾・不足や欺瞞・隠蔽、過大・過小評価の可能性の中から、分析すべき妥当な仮定的ケースを選定し重要順に候補列に設定する。状況分析は、この候補列から仮定的ケースを取り出して自動的に行う。ただし、各ケースの実行ごとに実行結果をチェックし、分析すべき可能行動や仮定的ケースの候補列の追加・修正、および重要な分析結果や不足データの専門家への表示・確認を行い、柔軟性・対話性を保証する。

以上を実現するため、次の知識が必要と考える。

(1) 分析方針設定知識

(a) 状況情報の不足データに対する基本的な(分析する可能行動に依存しない)仮定の設定・確認(項目やその値に関する)条件を規定する知識。

(b) 相手の可能行動の分析結果に対して、表示・記録や専門家との対話の要否、次に分析すべき可能行動やその反復条件・分析順位を規定する知識。

(2) 個別仮定設定知識

相手の意図や可能行動を仮定した(焦点を絞った)時の欺瞞・隠蔽や過大・過小評価などの可能性を規定し、各可能性に対して分析すべき仮定的ケースの候補と分析順位や確認データ(情報要求)を規定する



図 5 競争的環境における状況判断操作とその意図の履歴例

注 1) 操作図は操作番号の右側に示した。

注 2) キーとなる状況情報は操作対応に保存されるが本図では省いた。

Fig. 5 History of user operations and his intention for situation assessment.

知識。

仮定設定知識は、状況情報や分析履歴、またはそれらの特徴パターンを前提部とし、状況情報の矛盾・不足解決用の情報要求や妥当な仮定、分析すべき可能行動や分析順位、警告すべき分析結果、または各々の特徴パターンを結論部とする知識として表現する。関連知識ごとにグループ化し、グループ内では、より特殊な知識（前提条件が厳しい知識、次節参照）が優先適用されるような順に配列する。特に、個別仮定設定知識は状況合成知識の可能行動フレーム（オブジェクト）に対応づけて分散する。つまり、その付加知識（デモン）として表現する。また、仮定的ケースの候補列は、状況分析知識の分析フレームの仮定的ケース候補スロットとして表現する。

### 3.4 仮定設定知識学習知識

本システムに対する専門家の操作履歴、キーとなる状況情報、以前の分析結果を記録し、そこから有効な仮定設定操作を選択し、状況情報や分析結果を前提部、仮定設定操作やその意図を結論部として仮定設定知識を生成し、従来の仮定設定知識に統合すればその学習が可能と考える。また、学習過程、使用した知識や収集データの重要部を指定して記録・表示することにより、対話的な学習知識の検証・修正や知識獲得が

可能と考える。ところで、仮定設定操作の選択には、誤操作や意図変更に伴う無効操作（図 5 の 4~8 番操作）の排除などのために操作意図の推論が必要である。また、収集すべき状況情報や分析履歴を限定することが実用上不可欠と考える。

したがって、本知識は操作履歴や関連するキー情報を収集するための収集知識、収集した情報から無効操作情報などを排除する選別知識、選別された情報から知識を生成する生成知識、旧知識に統合する統合知識から構成する。これらの知識と履歴情報など関連データの管理用に学習フレームを設ける。次に、これらを説明する。

収集知識は、状況合成や状況分析用の各フレームの付加知識として表現され、これらのフレームが操作された時、操作内容（意図）やキーとなる状況情報の値を学習フレームの履歴スロットに収集する。キーとなる状況情報も本知識で規定する。本知識は分散しているが、その管理は学習フレームが一括して行う。

選別知識は、分析実行操作により活性化され、学習フレームの履歴スロットから、仮定的ケース（設定操作列）を切り出し、操作意図の追加、無効操作の削除などを行う（図 5）。仮定的ケース（設定操作列）は、可能行動指定操作、仮定値設定操作、キーとなる状況

情報や分析結果歴の組である。これを単位に、前後の操作や状況合成・分析知識から操作意図や無効操作などを推論する。

生成知識は選別された仮定的ケース設定操作（意図）列やそのシーケンスから、以下のように知識を生成する。

(1) 分析方針設定知識の生成……状況や分析結果歴を前提部、分析すべき可能行動や仮定的ケースおよびそのシーケンスやこれらの特徴パターン（分析意図）を結論部とする。

(2) 個別仮定設定知識の生成……選択された可能行動や状況および分析結果歴を前提部、仮定値設定操作（群）やその意図（操作意図）を結論部とする。

統合知識は生成した知識を次のように実証・統合する。

(1) 前提部が同一で結論部が異なる旧知識が存在する場合、前提部に異なる条件を付加して特殊化知識として追加する。本知識は通常より適用順位を上げる。

(2) 前提部が異なり結論部が同一の旧知識が存在する場合、前提部から異なる条件を削除して一般化知識として追加する。本知識は通常より適用順位を下げる。

(3) 同一の旧知識が存在する場合、追加せず、同一の旧知識の実証回数を上げる。

(4) 上記以外の場合はそのまま追加する。

(5) 記憶領域がなくなると保存基準（実証回数、適用回数、特殊化率、ほか）に従って、知識を削除する。

#### 4. 実験システム作成による提案方式の評価

##### 4.1 実験システムの概要

実験システムを作成して、提案方式の基本的な実現性・有効性を確認した。実験システムの構成は、ほぼ図1のとおりであるが、センサや他の入力端末はなく、代わりに擬似入力データを用意する。以下の実験例は、競争的關係にある自分側の組織と相手組織の対抗ゲームの一場面を想定して、本システムの支援により、欺瞞や隠蔽のために信頼・不完全となった入力データから、相手の可能行動を正確かつ効率的に評価できることを示すものである。まず、主な実験データと推論ルールの具体例（すべて仮定）を示し、次に、実験システムの動作の概要を述べる。

##### (1) 実験データと状況評価知識の具体例

本実験に使用した入力データや状況評価のための推論ルールの具体例を以下に簡略化して示す。

(a) センサや端末からの報告データ

「A飛行場のA1ブロックの航空機群が、高信頼センサ画像や高精度写真から検出できなくなった。」…(a1)

「A飛行場の航空機の整備・出発準備が盛んとの報告が5日前から6件ある。」…(a2)

「C飛行場へ物資の搬入が増えているとの報告が10日前から7件ある。」…(a3)

「C飛行場の発着時の交信音に、これまでと異なるものを、この2日間にセンサが10回傍受した。」…(a4)

(b) データベース中のデータ

データベース中には、相手組織や（攻略目標となる）自分側の組織の構成要素やその規模・能力に関するデータ、地理・気象データなどを含む。具体的には次のようなものがある。

「A飛行場のA1ブロックには、15機のM1、またはM2タイプの航空機がある。」…(b1)

「C飛行場は、X地区と1,200キロの距離。」…(b2)

「B飛行場は、X地区と1,300キロの距離。」…(b3)

「M1タイプの航空機は、1,500キロまでなら100%の能力を発揮できる。」…(b4)

「X地区は、30機までのM1には対抗できる。」…(b5)

「M1タイプの航空機の稼働率は60%である。」…(b6)

(c) 状況判断用知識の具体例

状況判断用の推論ルールの例を簡略化して示す。

「もし、航空機移動準備盛んの報告が3日以上前から5件以上あり、その保有航空機群がセンサや写真に捉えられなくなった相手飛行場があれば、

その飛行場の航空機状況を航空機群移動とし、航空機配置徴候を生成<sup>3)</sup>し、その確認情報を要求する。」…(c1)

「もし、相手側飛行場で新交信音の傍受回数が1日5回以上、物資搬入増加の報告が7件以上、かつ5日以上前からある上、そこから、1,500キロ以内に自分側の重要地区があり、かつ航空機配置徴候があれば、

その飛行場の航空機状況を航空機増加とし、航空機配置徴候の配置形態スロット値を前進配置とする。」…(c2)

「もし、活性化しようとする可能行動が、入手しやすい情報や目に付きやすい徴候から連想されたものなら



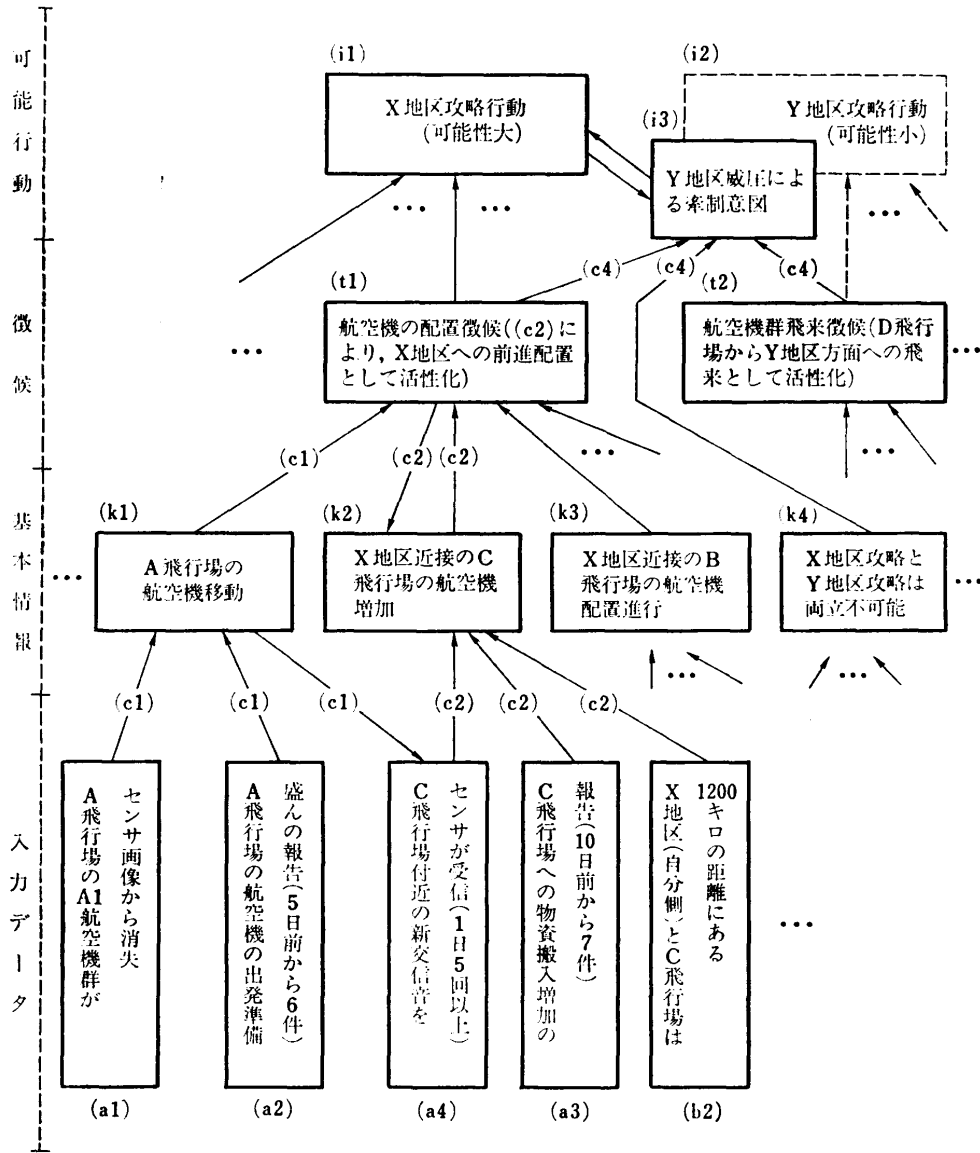


図6 実験システムの状況合成・分析過程の具体例  
((a1)~(a4), (b2)は入力データ, (c1)~(c4)は推論ルールを示す)

Fig. 6 Example of the situation data fusion process in the experimental system.

活性化する前に、目に付きにくい徴候やそれらから連想される可能行動をさらに強力に分析し、脅威のないことを再確認せよ。」…(c3)

「もし、目に付く徴候と目に付きにくい徴候がともに活性化されており、かつ、両者から2通りの可能行動が連想され、しかも、それらが両立しないなら、

前者は欺瞞意図によるものである。」…(c4)

(2) 実験システムの動作の概要

状況合成と分析動作の概要は次のとおりである (以

下、図6参照)。ただし、すでに、X地区攻略とY地区攻略の両立不可能(例えば、相手の総能力から推論される)を示す基本情報 k4 と、Y地区方面への航空機群飛来徴候 t2 は活性化され、Y地区攻略の可能行動フレーム i2 は徴候 t2 により連想(例示化)されていると仮定する。

この時、図6のように、まず、(1)に示した入力データ a1 と a2 から、ルール c1 により、A飛行場フレーム k1 (図6)の航空機移動が基本情報として

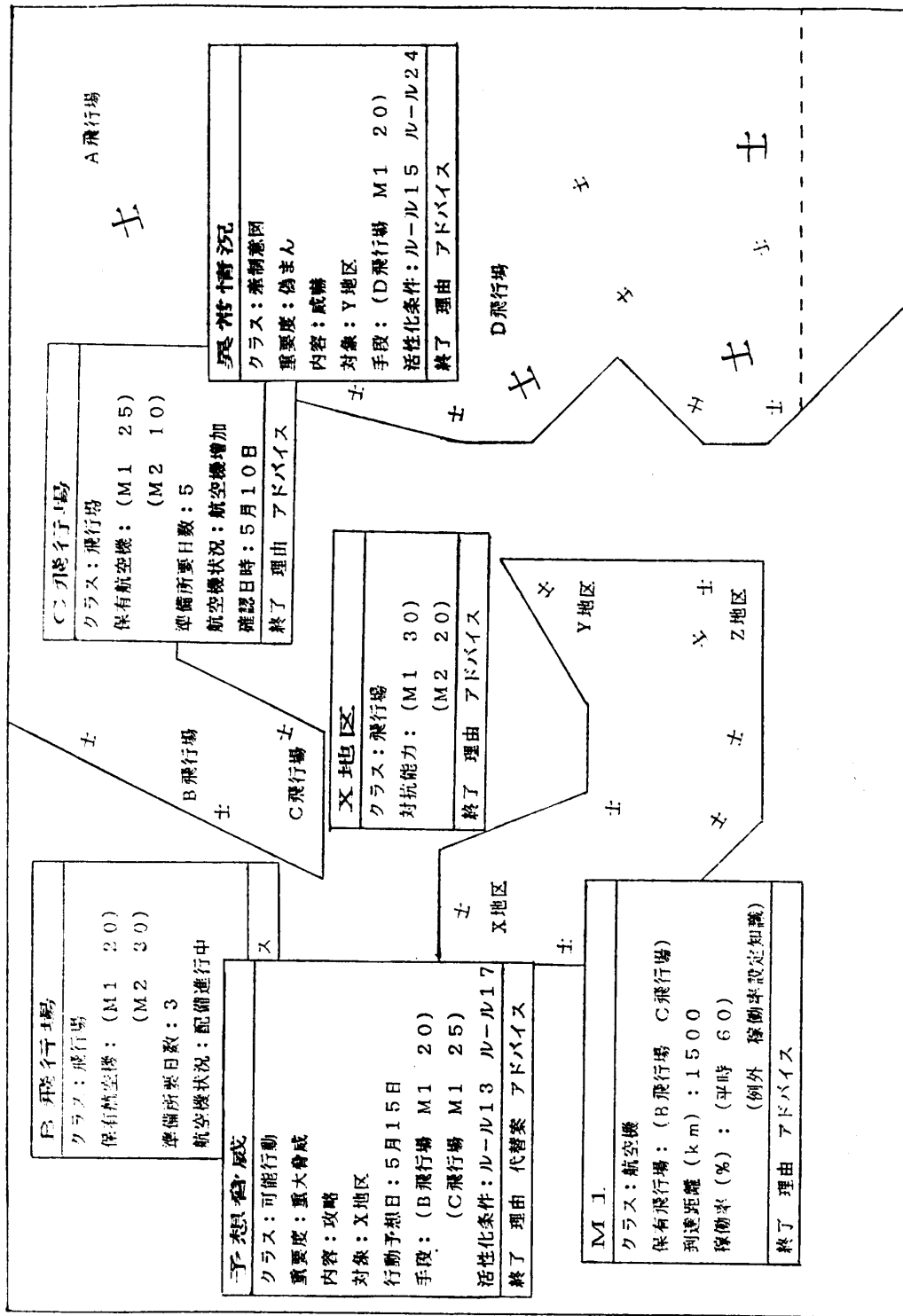


図7 実験システムの状況判断結果の表示例  
 Fig. 7 Display output example of the situation assessment result in the experimental system.

設定される（航空機状況スロットの値が航空機移動と設定される）とともに、航空機の配置徴候フレーム  $t1$ （図6）が例示化（生成<sup>3)</sup>）されボトムアップに推論が進む。また、その確認のための情報要求として、相手側の各飛行場の航空機発着の監視強化をセンサに対して要求し、トップダウンにも推論を進める。

次に、ルール  $c2$  は、この情報要求などから得られた入力データ  $a4$  と航空機の配置徴候  $t1$ （図6）および入力データ  $a3$ ,  $b2$  などを結び付け、C飛行場フレーム  $k2$ （図6）の航空機増加を基本情報として設定するとともに、航空機の配置徴候フレーム  $t1$ （図6）をX地区を対象とした前進配置として活性化（配置対象スロット値をX地区、配置形態を前進、励起状態スロットの値を活性とする）。また、これによりX地区攻略の可能行動フレーム  $i1$ （図6）が例示化される。その活性化には、活性化条件スロット値のルール（図4、図7参照）がチェックされ、これらのルールにより必要な徴候の有無が確認されると、X地区攻略の可能行動フレーム  $i1$ （図6）が活性化し、警告のため表示される。詳細は後述するが、これにより、D飛行場からY地区方面への航空機群の飛来は、X地区攻略の意図を隠すための欺瞞であると結論する。以上の状況判断結果は図7のように、図や表により多角的・並列的に表示される。

さて、上記の欺瞞に関する詳細を述べる。(1)の(b)のデータベースのデータ  $b6$  によると、M1タイプの航空機の稼働率は60%であるが、機数は、C飛行場の航空機が増えても25機（図7）で、B飛行場（20機）と合わせて45機である。このため稼働機数は確率的には  $45 \times 0.6 = 27$  機となり、X地区の対抗能力30に達せず、X地区攻略行動（可能行動フレーム  $i1$ ）は脅威とならない。そこでY地区攻略行動（可能行動フレーム  $i2$ ）を活性化し脅威と結論しようとするが、仮定設定知識である分析方針設定知識のルール  $c3$  はX地区攻略行動のさらに強力な分析を要求する。これに対し、X地区攻略行動の予想日を5月15日と実験システムが推論したり専門家が設定したりすると、可能行動フレーム  $i1$  のデモンが、この予想日スロットの値の変化を検出する。デモンは、その個別仮定設定知識「5月中旬から7月までは、B、C地区のM1の稼働率を80%と評価すべきである。」により、M1の稼働機数は  $45 \times 0.8 = 36$  機でX地区の対抗能力30を超すと判断し、X地区攻略行動  $i1$  を脅威と結論する。これは、可能行動フレーム  $i1$  の活性化を

意味する。次にデモンは、この可能行動  $i1$  を仮定した（X地区攻略行動に焦点を絞った）時の欺瞞・隠蔽の分析を行う。すなわち、状況分析知識である異常予期フレーム（3.2節の(2)、特に2番目の(2)参照）を例示化する。このフレームは、そこに埋め込まれたルール  $c4$  の起動により、X地区攻略とY地区攻略は両立しないとの基本情報  $k4$ 、および、徴候  $t1$  と  $t2$  から、欺瞞（牽制意図） $i3$  として活性化される。つまり、実験システムは、X地区攻略行動  $i1$  が本命であり、D飛行場からの航空機群によるY地区攻略行動  $i2$  の可能性は低いと結論する。以上のようにして、図6、図7に示す状況評価結果を得る。

#### 4.2 提案方式の有効性

実験により提案方式に関し以下の有効性を確認した。

(1) 前節(2)の実験システムの動作例の最後に述べたように、時期や飛行場による稼働率の違いに関する仮定設定知識がなければ、X地区方面のM1タイプ航空機数は単純な確率計算ではX地区の対抗能力30に達しないから、Y地区方面の方を脅威と評価してしまい、相手の欺瞞を成功させてしまう危険性が高くなる。もちろん、確信度などのあいまい性を入れればX地区攻略の可能性も下位には表示されるかも知れない。しかし実際問題として、そもそも確率や確信度を信じるエキスパートなら、下位に表示された確信度の低い可能性など無視するだけで表示してもあまり意味がない。組織間の競争的環境下の状況判断では、相手は欺瞞や情報操作を行うが、それらは、人間が考え、しかも大きな組織を動かして行うものである以上、比較的定型的な経験知識によりかなり推測できる。したがって、これらの経験的知識だけから素直に推論される可能性を、確信度などの数式評価を加えずに、この可能性に焦点を絞ったときの最も重大な欺瞞や事実データとともに、それ以外は問い合わせられたデータだけを、並列・多角的に表示して、後は人間の直感や大局的知識により結論を引き出す本提案方式が有効と考える。人間が行っているわけではない確信度や確率演算などの数式処理を知識処理に加えるとエキスパートが計算機の処理を理解しにくくなったり、計算機が出力した確信度を信用して事実を見失い判断を誤ったりする危険性も高い。しかも、このような判断の抜けや誤りは競争的環境下の状況評価においては重大な問題である。

(2) 欺瞞に関する状況分析を自動的に行うために

用いた上述(1)の仮定設定知識は、手動時の状況分析操作から得たものである。すなわち、図7の航空機M1フレームの稼働率スロットの値を状況分析のために専門家が操作した履歴を、稼働時期や飛行場などのキー情報とともに保存し、これから3.4節の方法で推論ルールを生成し、人間がチェック・修正して得たものである。このように、本システムの知識獲得・学習支援機構により、最初は手動で行っていた状況分析が段階的に自動化でき、より迅速な状況判断が可能となる。

(3) オブジェクト(フレーム)指向の知識処理を高度グラフィックスと統合した本システムの知的インタフェース方式が、下記の点で競争的環境下でも効率的で抜けのない状況判断に有効なことを確認した。

(a) 本システムは、基本的には、最重要なトップレベル状況フレーム(例えば、可能行動や欺瞞)に焦点を絞ったマクロな状況を結果として表示する(以下、図7参照)。ユーザが図表中のアイコンやメニュー(スロットもメニューとして表示)をマウスで選択すれば、フレームの知識階層(図3)をトップダウンにたどりながら、下位状況フレームや推論理由を表示し、具体的な状況画面に展開していくことにより、説明情報を筋道立てて提供できる。マウス指示による代替案(他の仮定的ケース)の表示も可能である。これらの関連知識はマルチウィンドウにより、各種断面から多角的かつ並列的に表示できる。以上から、大局把握や焦点化、および欺瞞などの直感的な発見が容易になり、また計算機の状況判断過程が効率良く把握でき、マンマシン協調による抜けのない状況判断が容易となる。

(b) 人間が直感的に設定した仮定的ケースの矛盾は、デモンを介した知識処理により機械がチェックし、問題のあるフレームを並列表示するため、ミスや抜けの少ない妥当な仮定設定が迅速にできる。

(c) 獲得・学習した知識は、根拠となる操作履歴や選別・統合過程とともに、オブジェクトとして表示・修正できるため、その検証や保守・拡張が容易である。

## 5. おわりに

競争的環境下での状況判断を支援するエキスパートシステムの基本機能、および、その実現のための知識構成と知識処理方式の枠組を述べた。入力データの不信頼・不完全性、問題の構造の非線形・不連続性や非数値性に対処するために、仮定設定知識やこれを専門

家の操作から獲得するための知識をマルチウィンドウなどの高度グラフィックスと統合して、必要な仮定的状況を迅速かつ的確に検討する知的インタフェースを提供する。

実験システムを作成し実現可能性を確認した。妥当な仮定的ケースを迅速かつ的確に検討できるため競争的環境での抜けのない状況判断に有効と考える。仮定設定知識の自動生成と修正・統合支援機能は専門家の操作からの知識獲得手段として、実用上有効と考える。

謝辞 本研究の場合、およびその方向づけを与えてくださった、日立製作所システム開発研究所川崎淳所長、井原廣一副所長、春名公一部長、また、ご指導、ご討論をいただいた同所、松本邦顕主任研究員、本社研究開発部、宮本捷二主任研究員に感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) Shortliffe, E. H.: *Computer-Based Medical Consultation: MYCIN*, American Elsevier, New York (1976).
- 2) Ben-Bassat, M. and Freedy, A.: Knowledge Requirements and Management in Expert Decision Support Systems for (Military) Situation Assessment, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, Vol. SMC-12, No. 4, pp. 479-490 (1982).
- 3) Lenat, D. B., Clarkson, A. and Kiremidjian, G.: An Expert System for Indications & Warning Analysis, *3rd AAAI*, pp. 259-261 (1983).
- 4) Flehinger, B. J. and Engle, R. L., Jr.: HEME: A Self-Improving Computer Program for Diagnosis-Oriented Analysis of Hematologic Diseases, *IBM J. Res. Dev.*, Vol. 19, No. 6, pp. 557-564 (1975).
- 5) Patrick, E. A. and Stelmack, F. P. and Shen, L. Y. L.: Review of Pattern Recognition in Medical Diagnosis and Consulting Relative to a New System Model, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, Vol. SMC-4, No. 1, pp. 1-16 (1974).
- 6) Rasmussen, J.: Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, Vol. SMC-13, No. 3, pp. 257-266 (1983).
- 7) 井原廣一: 知識工学の産業界への応用, *電気学会誌*, Vol. 103, No. 3, pp. 204-208 (1983).
- 8) Hewitt, C.: Viewing Control Structure as Patterns of Passing Messages, *Artif. Intell.*, Vol. 8, No. 3, pp. 323-362 (1977).

- 9) 鶴田節夫, 宮本捷二, 鬼塚武郎: オブジェクト指向型列車ダイヤ作成・運転整理エキスパートシステムの開発, 第30回情報処理学会全国大会論文集, pp. 1493-1494 (1985).
- 10) 鶴田節夫, 宮本捷二, 鬼塚武郎: 列車ダイヤ作成・運転整理エキスパートシステムへのオブジェクト指向アプローチ, 第22回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集, pp. 235-239 (1977).

(昭和61年5月7日受付)

(昭和61年11月5日採録)



鶴田 節夫 (正会員)

昭和22年3月25日生。昭和46年3月早稲田大学工学部電気通信学科卒業。昭和48年3月名古屋大学大学院電気・電子・電気第2工学研究科修士課程修了。同年4月(株)

日立製作所システム開発研究所入社。現在、指令・管制システムなどを対象に知識情報処理の研究に従事。電気学会, 電子情報通信学会, ACM, IEEE 各会員。