

# ES/KERNELでの知識表現方法と高速推論方式

## Knowledge Representation Method and Rapid Inference Method in ES/KERNEL

エキスパートシステムでは、専門家の知識を体系的にコンピュータに取り込むことが必要となる。ES/KERNELでは、専門家の知識を「事実形知識」と「ルール形知識」に分類し、体系的に表現する。また、知識は日本語ふうに表示でき、専門家の知識を無理なく表現することを可能としている。

一方、これまで、実用的なエキスパートシステムを、はん(汎)用ワークステーション上に構築するためには、推論速度が問題であった。これに対しては、ルールの条件部を独自のネットワーク形内部コードに変換することと、これを推論速度を考慮して変形することで、推論の高速化を実現した。これによって、はん用ワークステーション上でも、実用的なエキスパートシステムの構築を可能とした。

金森喜正\* Yoshimasa Kanamori  
大小田 隆\* Takashi Ookoda  
田野俊一\*\* Shun'ichi Tano  
増位庄一\*\* Shooichi Masui  
中川克則\*\*\* Katsunori Nakagawa

### 1 緒 言

エキスパートシステムとは、人間の持つ知識やノウハウなどをコンピュータに組み込み、通常は専門家が行っている高度な判断や作業を、コンピュータに代替させようというもので、AI(人工知能)の応用分野の一つである。

これまで、エキスパートシステムの開発は、主にスーパーミニコンピュータ、ワークステーションなどをベースとしたAI専用機や大形のホストコンピュータなどを利用して進められてきた。

ところが、AI専用機を用いたシステムは、比較的低価格でエキスパートシステムを実現できるものの、ホストコンピュータ側に蓄積されている大量のデータを利用できないという問題があった。また、ホストコンピュータを利用したシステムでは、その導入に際して、より上位のコンピュータを導入するか、新しくAI用にコンピュータを購入しなければならない、いずれにしても大規模な投資が必要となっている。

そこで、AIの入門機として、低価格で容易に導入することができ、しかもホストコンピュータ側のデータも利用できるなど本格的な機能を持つエキスパートシステム構築ツールが強く求められていた。

ES/KERNELは、これらの市場ニーズにこたえるために、はん用的ワークステーションである「日立クリエイティブワークステーション2050」上で実用的なエキスパートシステムを構築できるようにしたエキスパートシステム構築ツールである。

本稿では、ES/KERNELの知識表現方法の概要と、はん用ワークステーション上で、実用的エキスパートシステムの構築を可能とした高速推論方式について述べる。

### 2 ES/KERNELでの知識表現方法

専門家の知識を大きく分類すると、ノウハウ(ルール)と対象世界(データと手続き)に分類できる。例えば、融資の専門家がある会社に対する融資限度額を決定するときの専門家の知識とは、「融資限度額を決定するには、ある会社(対象世界)の信用度をチェックし、信用度によって限度額を決定する(ノウハウ)。信用度のチェックには、その会社の資本金(対象世界のデータ)と、その会社の利益率を計算(対象世界の手続き)し、それを基に判断する。」といったことになる。本稿では、ノウハウをルールと呼び、対象世界をフレームと呼ぶことにする。エキスパートシステムを構築する際には、このような専門家の知識を体系化してコンピュータに取り込むことが必要となる。

専門家の知識を体系化する方法として、大きく2種類の方法が考えられ、それぞれの考え方に沿ったエキスパートシステム構築ツールが開発されている。

一つは、ルールとフレームを明確に分離して表現し、ルールとフレームの関係で推論する方法である。他方は、ルールとフレームを融合させ、まとまりとしたフレームとして表現し、このフレーム間の関連で推論を行う方法である。

ES/KERNELの知識表現は、ルールとフレームとの分離表現を基本に、ルールを「ルール形知識」とし、フレームを「事実形知識」として位置づけた知識表現となっている(図1)。

#### 2.1 事実形知識表現

##### (1) フレーム

ES/KERNELでは、フレームによって専門家の知識をより抽象的なものから、より具体的なものへと階層関係で表現する。

ある対象世界で推論をする場合、個々のフレームは、その

\* 日立製作所ソフトウェア工場 \*\* 日立製作所システム開発研究所 \*\*\* 日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社

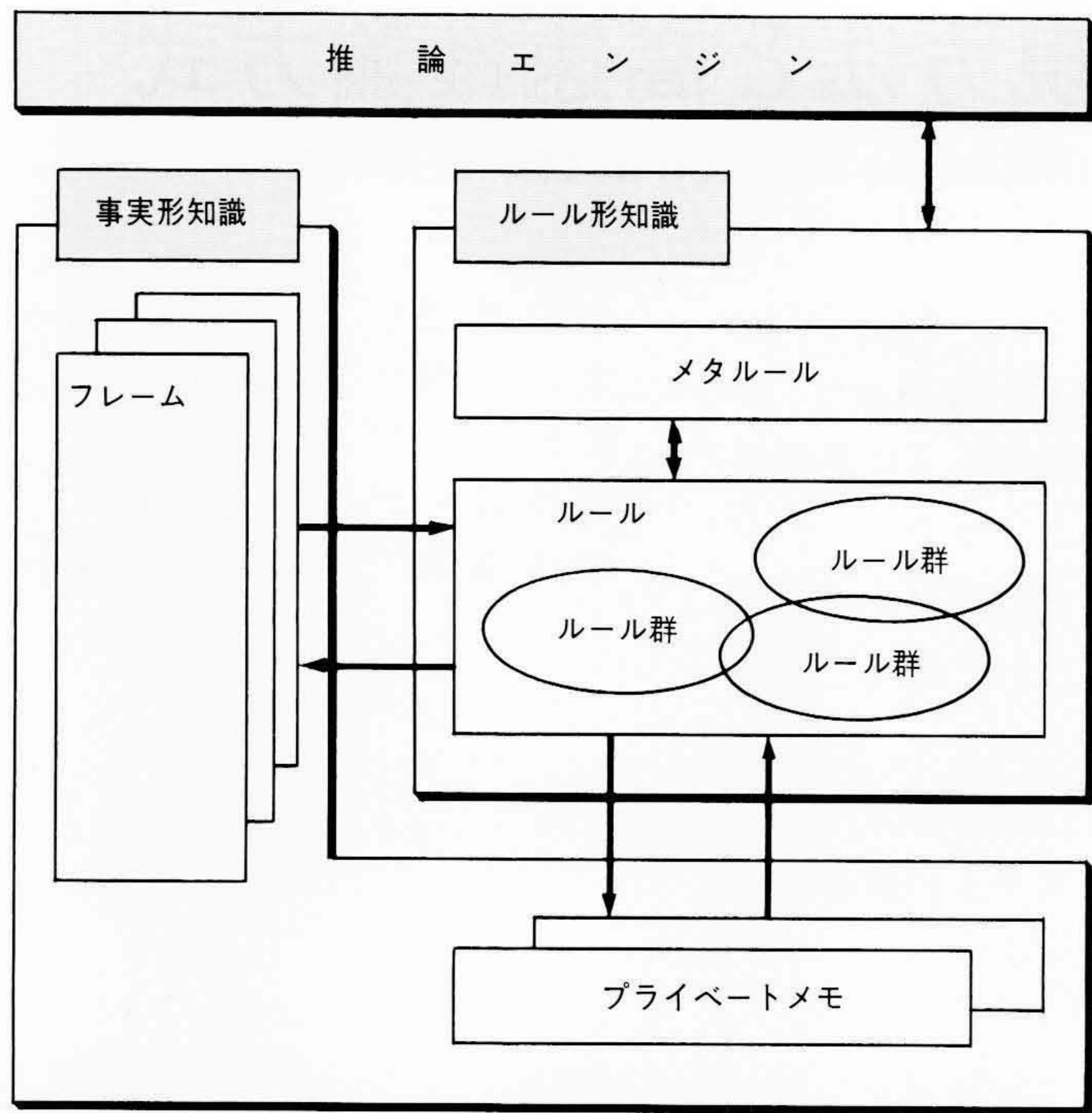


図1 ES/KERNELでの知識表現の基本 ルールとフレームを明確に分離して表現し、ルールとフレームの関係で推論する。

世界を構成する一つの「物」に対応する。フレームは、「物」の属性を表すデータ部としてのスロット、その「物」の固有の処理を表すメソッド部から構成される。また、当該スロットが変更されたとき、又は参照されたときに起動されるメソッドをデモンとして指定しておくことができる。デモンの実体は、メソッド部に記述する。

フレームの重要な特徴の一つは、上位フレームから下位フレームへの性質の継承機能である。図2の例では、フレーム名「会社」で定義された「信用度ランク」は、フレーム名「株式会社」を経て「A社」、「B社」に継承されている。この継承の対象となるものは、フレームのデータ部としてのスロットだけではなく、メソッド部についても上位フレームから下位フレームへ継承される。株式会社で定義されたメソッドである売上計算は、A社、B社にも継承される。

(2) プライベートメモ

推論過程での一時的な事実や仮説など、構造化しにくい知識を記述する。

プライベートメモは、ルール実行部に記述することによって、ビューノートと呼ばれる領域に書き込まれ、ルール条件部で参照して推論を進める。

ある会社に対して融資額を決定する場合、信用度をチェックし、その後融資の可否を判断すると仮定する。また断片的な知識によって導かれる結論にはあいまい性を持たせて表現したい場合を想定すると、図2で示したプライベートメモの「[A社]の信用度は、[大]である 0.9。」は、推論過程でのある断片的なルールにより導き出された中間的な仮説として「A社の信用度は、大きいと考えられる。また、その確信度は0.9である。」ということを意味している。

このように、プライベートメモにはその知識に対する確か

らしさを確信度として表現することができる。これによって、不確実な知識を扱うことができる。確信度は、-1から1までの値をとり、1は肯定を表現し、-1は否定を表現する。

## 2.2 ルール形知識表現

### (1) ルール

ルールでは、専門家の持っている行動規範や経験などを、IF条件部、THEN実行部の形で表現する。

ある会社の信用度を決定する専門家の知識として、「信用度を決定すべき会社の業績が上向きであることと、その会社の資本金が10億円以上であり、株式が第1部あるいは第2部に上場されている場合は、その会社の信用度を大と考える。」があるとした場合、この専門家の知識をルールとして表現したのが図3の例である。

“?”付きで表されているのが変数であり、このルールの実行前にビューノート上に記述されているプライベートメモの中から変数“?会社”が特定される。いま、“?会社”として、A社が選ばれたとした場合、A社のフレームの構成要素である

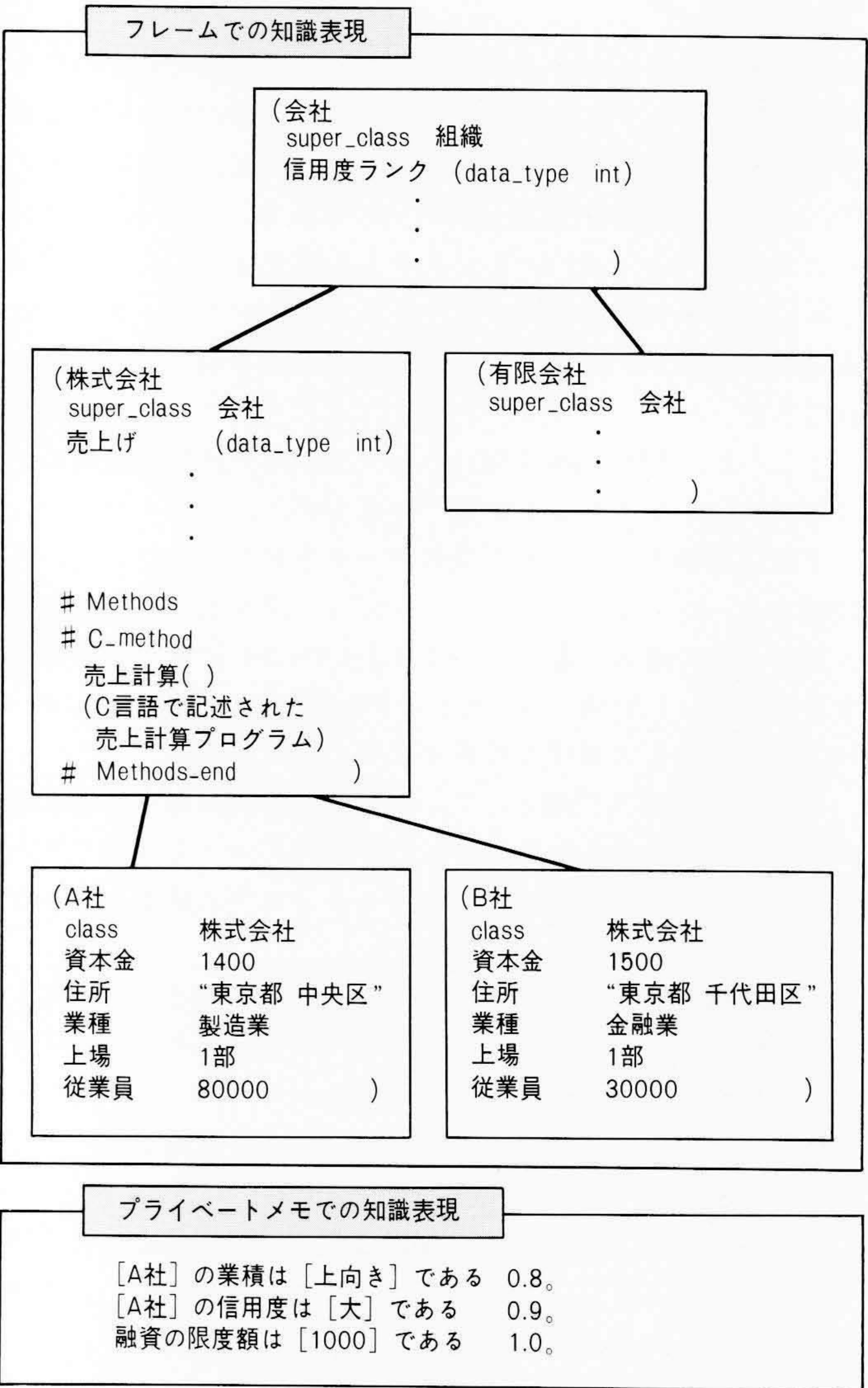


図2 事実形知識での知識表現方法 事実形知識は、フレームとプライベートメモによって構成される。フレームは専門家の知識を階層関係で表現する。プライベートメモは、一時的な事実や仮説など、構造化しにくい知識を表現する。

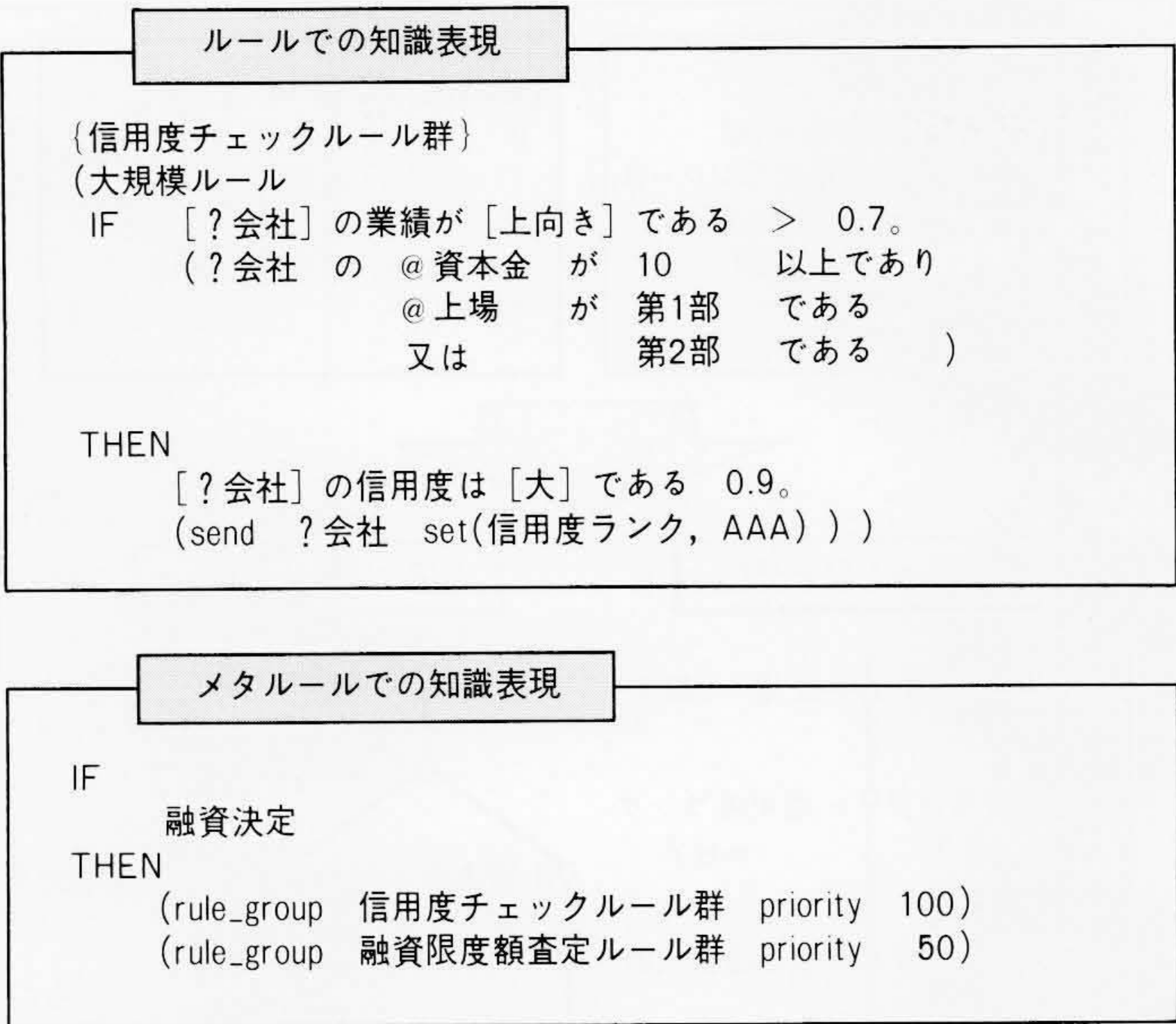


図3 ルール形知識での知識表現方法      ルール形知識は、ルールとメタルールによって構成される。ルールは専門家の持っている行動規範や経験などを、IF条件部、THEN実行部の形で表現する。メタルールでは、知識のまとまりとしてのルール群を制御する。

@資本金と@上場のスロットの値を確認し、この条件に合致している場合、「[A社]の信用度[大]である 0.9」を中間結論としてビューノートにプライベートメモとして記述するとともに、A社のフレームの信用度ランクにAAAを設定している。

(2)   メタルール

専門家の知識を考えた場合、それぞれの断片的な知識と同

時にそれらの知識をまとめ、それらの知識のまとまりの順序関係などを制御する知識がある。この知識を表現するのがメタルールである。

メタルールは、ルールと同じようなIF条件部、THEN実行部の形式で記述する。条件部には、このメタルールを実行すべき事象名称を記述し、実行部では、実行すべきルール群の名称と実行順序を示す優先度を記述する。図3の例では「融資決定」という事象が発生した場合、優先度100である「信用度チェックルール群」を実行し、その後で、優先度50である「融資限度額査定ルール群」を実行することを意味している。

3   推論方法

人間が問題を解決する場合には、大きく二通りのアプローチがある。与えられたデータをもとに結論がどうかを判断する場合と、ある結論に対して、その結論が正しいかどうかを検証する場合である。

ES/KERNELでは、前者については「前向き推論機構」で、後者については「後ろ向き推論機構」で対応できるようにしている。これによって、ユーザーは、問題解決に適した推論方式を自由に選択できるようになっている。本稿では、前向き推論の方法について簡単に説明する。

図4は、ES/KERNELでの前向き推論処理概要を示したものである。

4   高速推論処理方式

推論処理で最も時間がかかるのは、ルールの条件部の成立

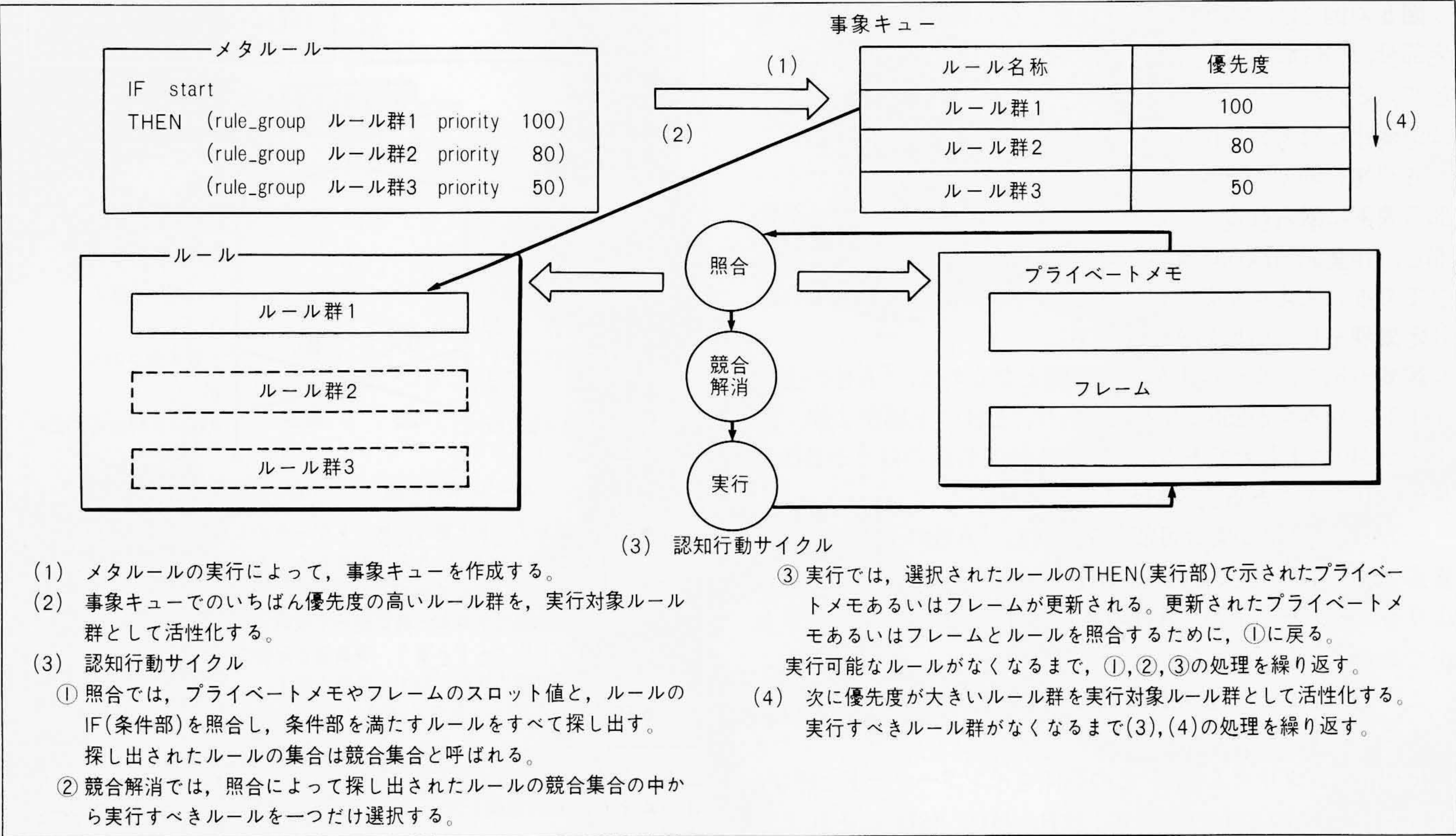


図4 ES/KERNELでの前向き推論処理概要      メタルールによってルール群を活性化し、認知行動サイクルによってルールを実行する。

を判定する照合の過程である。処理負荷の90%以上がこの照合処理に費やされる。また、ルールの条件ごとにその成否を調べるのでは、ルールの個数に比例して処理時間が増大することとなる。この問題を解決することが、実用的エキスパートシステムをはん用ワークステーション上で構築する上での技術的な課題でもあった。なおこれ以降、説明の都合上プライベートメモとフレームを「要素」と呼び、フレームを構成するスロットを「項目」と呼ぶことにする。

ES/KERNELでは、この技術的課題を解決するために、ルール条件部をネットワーク形の内部コードに変換する。これにより、文字列操作を高速の数値、ビット操作に肩代わりさせ、比較演算を容易とする。また、ルール条件部と要素との状態を、毎回すべてのルールの条件部とすべての要素について照合することをやめ、変化した要素に関する照合だけをやり直すことで、処理の高速化を実現している。この推論の高速化に対する基本的な考え方が同じものとして、C.L.Forgyが提案したRete Match Algorithm<sup>1)</sup>(以下、RETEアルゴリズムと呼ぶ。)が有名である。このRETEアルゴリズムは、現在での世界最高のアルゴリズムとして評価されている。以下、このRETEアルゴリズムとの比較の中で、ES/KERNELでの高速推論方式の特徴について述べる。

#### 4.1 RETEアルゴリズムの概要

RETEアルゴリズムでは、次に述べる二つの考え方が、高速処理の基本となっている。

##### (1) ルール条件部の重複部分の共通化

ルールの条件部は、複数のルールで重複している場合が多い。ルール条件部を、ネットワークで表現する場合、この重複した部分を共有させた形で表現し、判定処理回数を減らし、処理効率を上げる。

図5の例では、ネットワーク化をしない判定回数(○印が判定部分)が8回に対して、ネットワーク化によって6回に減少している。

##### (2) 変化した要素に関するルール条件部だけの実行

各認知行動サイクルでの作業記憶の状態の変化は、ごく一部の要素に限られる。したがって、毎回すべてのルール条件部と、作業記憶域内のすべての要素を比較判定することはむだである。変化した要素に関するルール条件部だけについて判定処理をし、処理効率を上げる。

図6の例で、ルール1が実行可能となるのは、「A社の上場が1部、資本金が250よりも大であり、B社の上場が2部、資本金が240よりも大である。また、A社の利益のほうがB社の利益よりも大である。」場合である。

一方、ルール2が実行可能となるのは、「A社の上場が1部、資本金が250よりも大であり、B社の上場が2部、資本金が240よりも大である。また、A社の利益のほうがB社の利益よりも小である。」場合である。

この例で注目すべき点は、判定部分で異なる要素と比較している(◎印の部分)点にある。

RETEアルゴリズムでは、この◎印をインターノードと呼び、インターノードに至る枝(枝A、枝B、枝C、枝D)にそれまでの照合状態を記憶しておく。これによって、変化した要素に

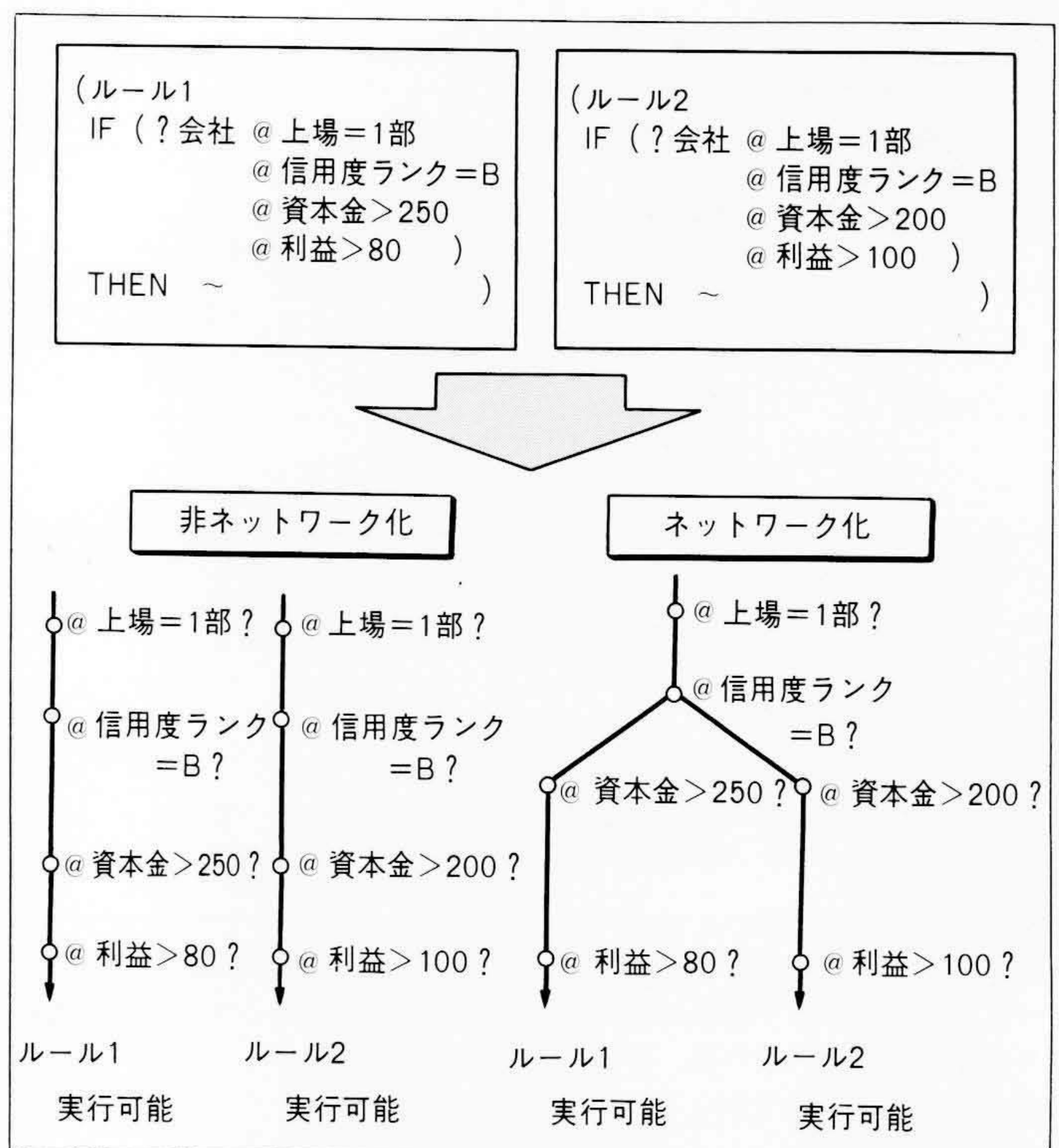


図5 ルール条件部の重複部分の共通化 ルール条件部をネットワークで表現する場合、重複した部分を共有させた形で表現し、判定回数を減らして処理効率を上げる。

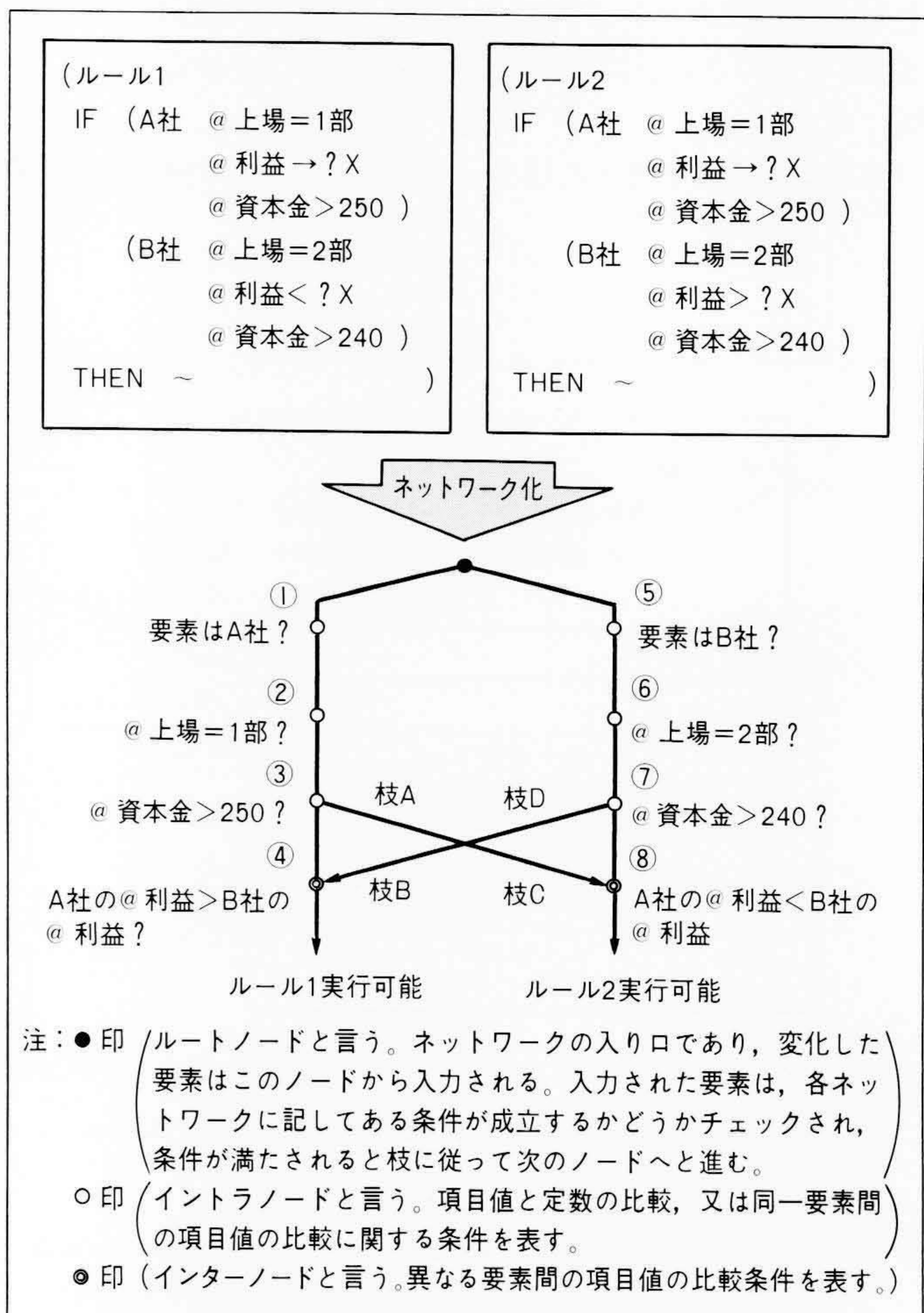


図6 変化した要素に関するルール条件部だけの実行 ルール1、ルール2との実行可能となっている状態で、A社の利益が他のルールで変更された場合、A社に関してだけ(①、②、③、④の部分だけ)条件判定すればよい。

関するルール条件部だけについて判定処理をし、処理効率を上げることが可能としている。

図6で、ルール1、ルール2とも実行可能となっている状態で、A社の利益が他のルールで変更された場合、A社に関してだけ(①②③④の部分だけ)条件判定すればよく、B社に関する条件判定は不要となる。

#### 4.2 ES/KERNELでの高速推論方式

ES/KERNELでの高速推論方式は、前述したRETEアルゴリズムと基本的な考え方は同じと言えるが、根本的に違う点は、ルール条件部のネットワーク表現が全く異なる点と、ネットワークの変形方法及びネットワーク中の情報の消去方法である。

本稿では、ES/KERNELでのルール条件部のネットワーク表現方法の特徴と、ネットワークの変形方法についてその概要を述べる。

##### (1) ルール条件部のネットワーク表現

RETEアルゴリズムでは、異なる要素の項目と比較する場合、直接インターノードどうしを結合している。一方、ES/KERNELでは、要素に関する条件を、独立したサブネットワークとして表現する。また、要素間の関連は、各サブネットワークに付随する仮想的なノードである候補ノードとの関連によって表現し、それぞれのサブネットワークはマージノードで結合する。

図7は、「A、B、C、D社の組合せで、一組みでも業種が等しい会社があり、一組みでも売上げが等しい会社があり、一組みでも利益が等しい会社があり、一組みでも規模が等しい

会社がある場合は……」といった複雑なルール条件部をネットワーク表現したものである。この例を見れば、ルール条件部が複雑になっても、ES/KERNELでは、RETEアルゴリズムのように、ネットワークが肥大化しないことが理解できる。

##### (2) ネットワークの変形方法

ES/KERNELでは、ルール条件部のネットワークの処理量を減少させるために、ネットワークを変形し効率化を実現している。

ルール条件部の重複部分の共通化は、RETEアルゴリズムの場合と同じであるが、これに加え、「ネットワーク中のノードの処理量評価によるノードの入れ替え」によって処理効率を向上している。これは、ルール条件部のネットワークを各ノードの処理量とノードの組合せによる処理量によって、ネットワークを変形するものである。すなわち、インターノードよりもイントラノードを優先させ、ノードのOR結合よりもAND結合を優先させて変形する。

図8の例では、A社の信用度が、AからBに変更されたとした場合、例で示したルールが実行可能かどうかを判定するとする。変更前のネットワークでは、すべてのノードでの判定処理を行わなければ、実行不可能であると判定できないが、変更後のネットワークでは、イントラノード④の処理を行えば、当該ルールが実行不可能であると判定できる。

実行可能なルールを効率良く探すことは、実行不可能なルールを効率良く探し出すことにほかならない。

#### 4.3 高速性の評価

ES/KERNELでは、前節で述べたような高速推論方式によ

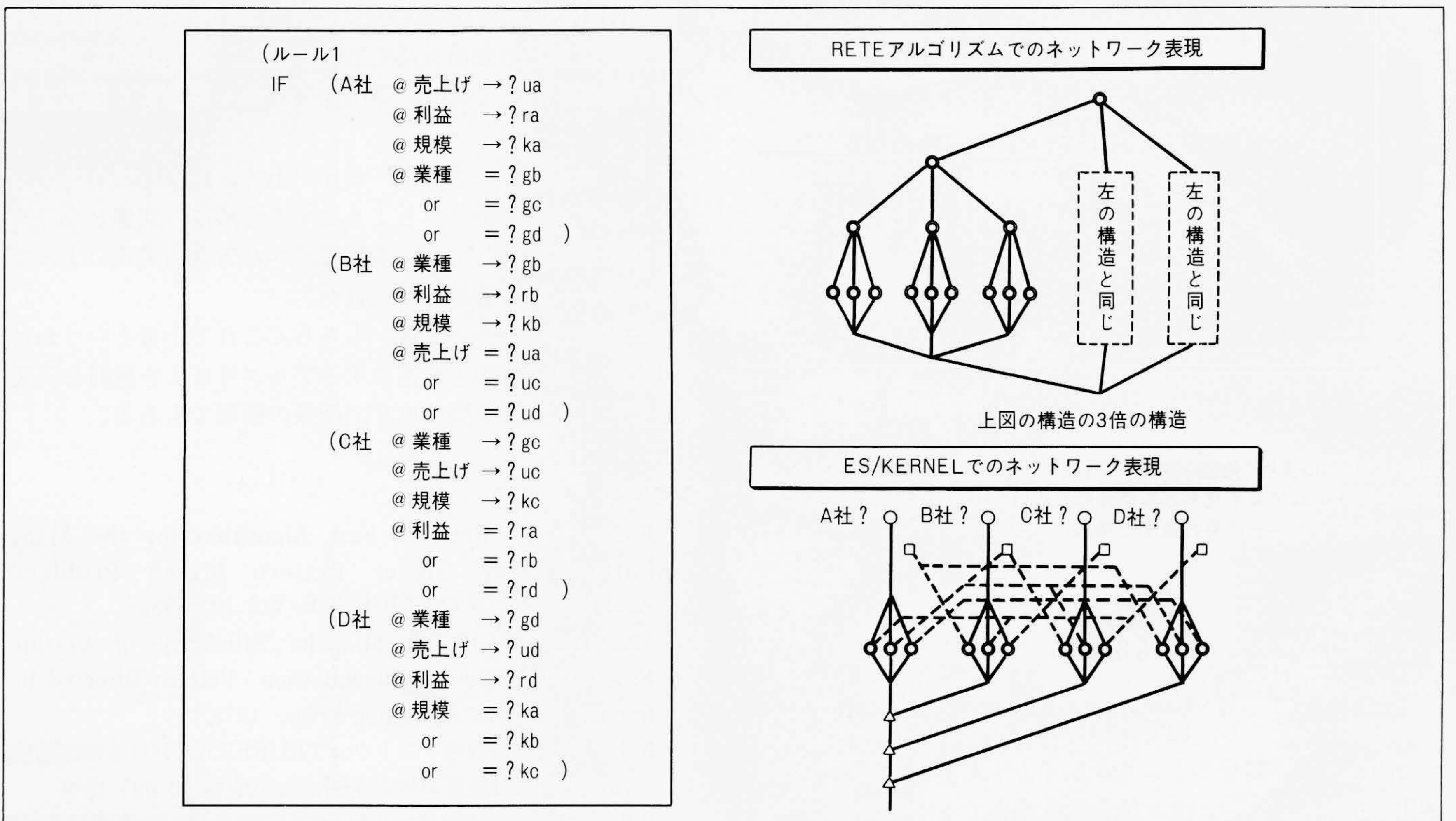


図7 複雑なルール条件部に対するRETEアルゴリズムとES/KERNELでのネットワーク表現 ルール条件部が複雑になっても、ES/KERNELではRETEアルゴリズムのようにネットワークが肥大化しない。

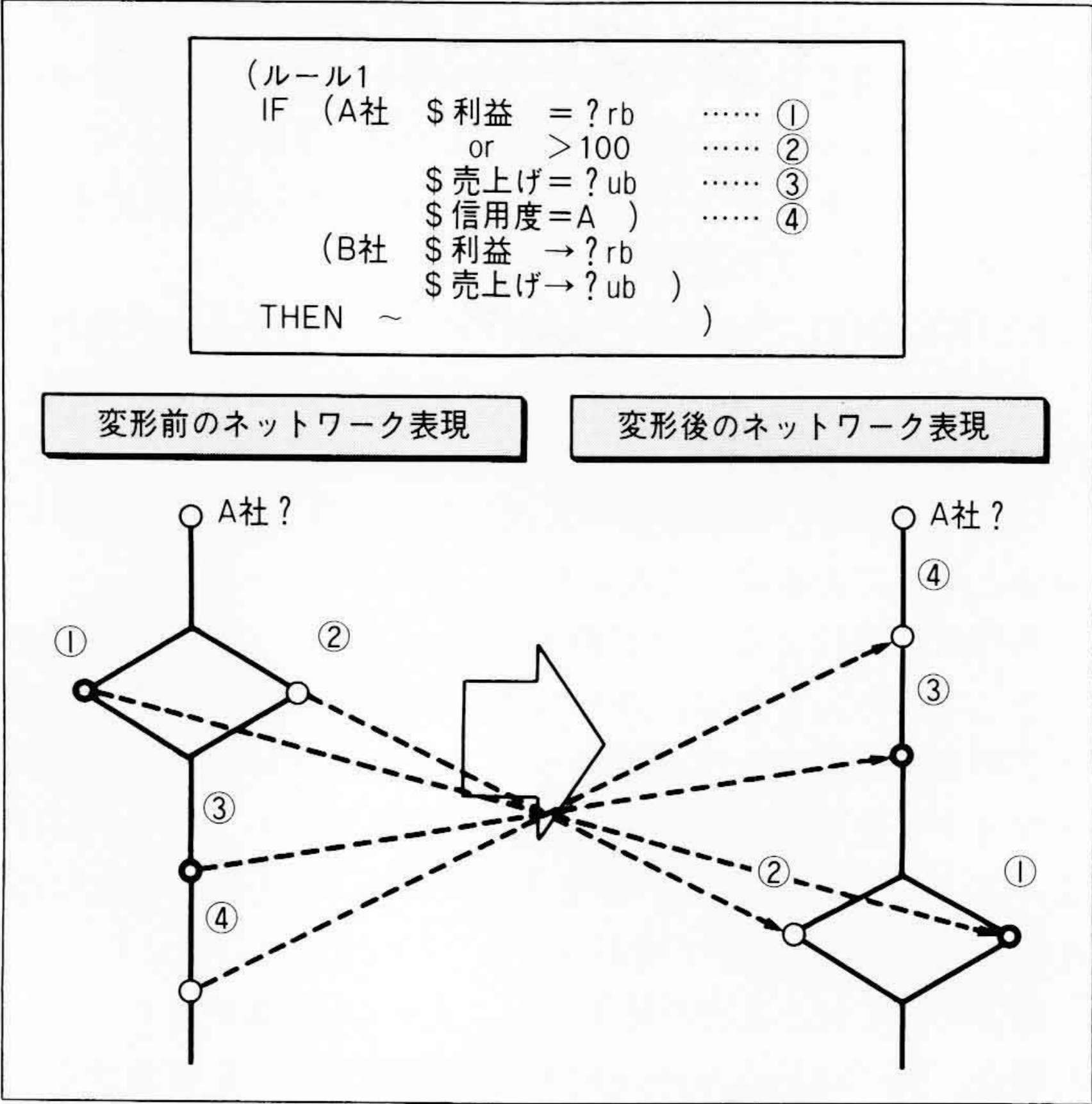


図8 ネットワーク中のノードの処理量評価によるノードの入替え インターノードよりもイントラノードを優先させ、ノードのOR結合よりもAND結合を優先させて、ルール条件部のネットワークを変形する。

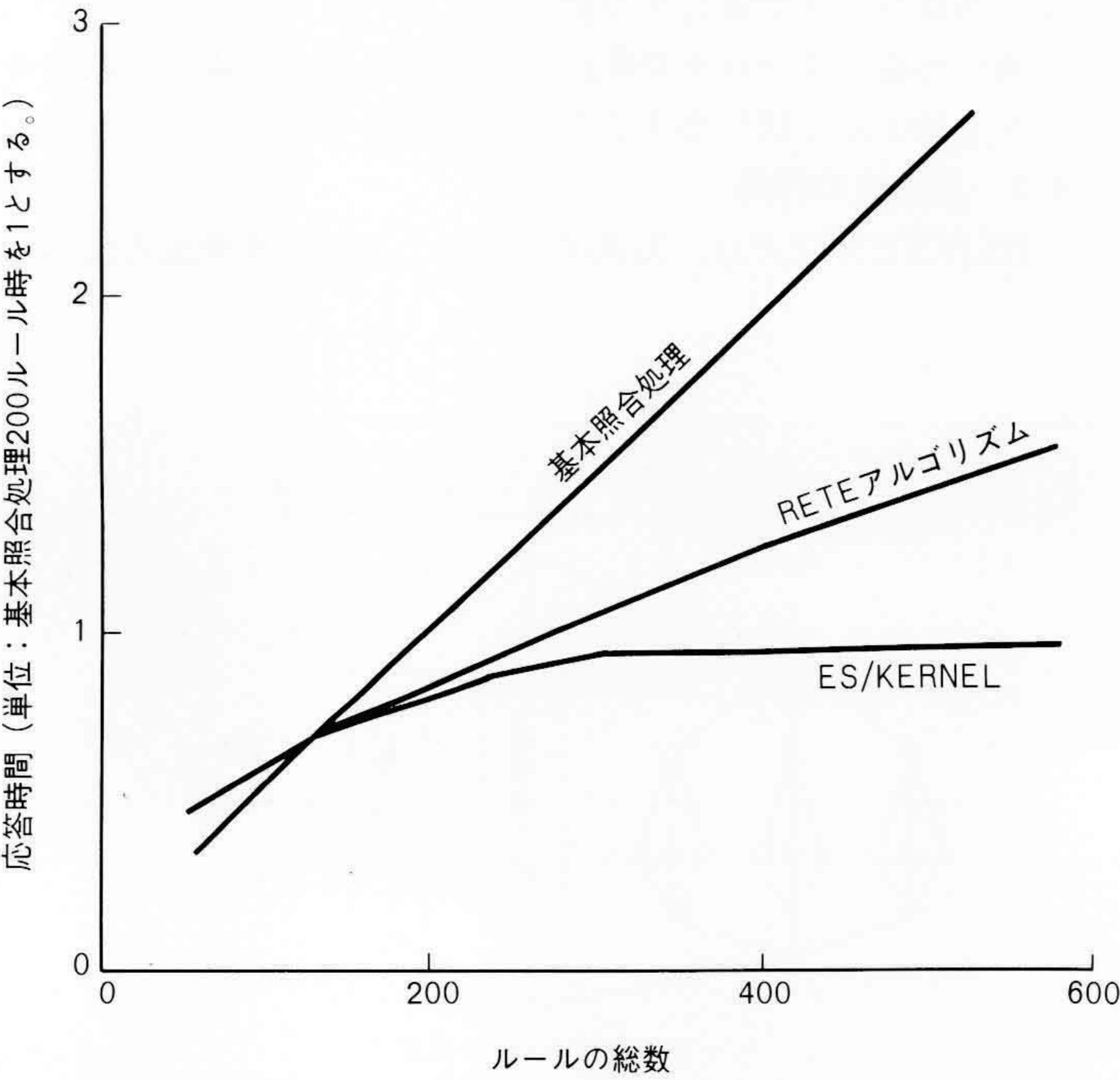


図9 ルール実行(推論)速度 ES/KERNELの高速推論方式は、実用的なシステムでよく見られる条件部が複雑化しながら、ルール数が増加する場合でもルール実行速度の増加は微増である。

って、RETEアルゴリズムも用いない基本的な推論処理に比べ数十倍の処理速度を実現した。更に、複雑な条件部を持ったルール群に対しても、図9のような処理効率を実現した。

このように、実用的なシステムでよく見られる条件部が複雑化しながら、ルール数が増加する場合でも、要素数が一定で、ある条件下でルール実行速度の増加は微増であり、大規模ルールでも実用に十分耐えられると評価できる。

表1 ES/KERNELの適用例 ES/KERNELを利用したエキスパートシステムの適用領域は、ほとんど無限の可能性がある。

| 業 種   | シ ス テ ム           | 内 容                   |
|-------|-------------------|-----------------------|
| 製 造 業 | 故障診断エキスパート        | 変圧器，自動車，複写機などの故障診断    |
|       | 設計支援エキスパート        | 橋りょう(梁)など建築物の設計支援     |
| 金 融 業 | 融資エキスパート          | 融資案件の審査・手直し・稟議書の作成支援  |
|       | 資金運用エキスパート        | 窓口での資金運用相談支援          |
|       | 事故処理エキスパート        | 手形事故などトラブルの対応策のアドバイス  |
| 流 通 業 | 出店計画エキスパート        | 出店計画意思決定を支援           |
|       | 店舗レイアウトエキスパート     | 店舗レイアウトの作成            |
|       | ワークスケジューリングエキスパート | 作業手順立案のアドバイス          |
| 医 療   | 医療診断エキスパート        | 脳外科，耳鼻科などの診断を支援       |
| 航空・鉄道 | 航空管制エキスパート        | 飛行機などから発せられる電子信号の解析支援 |
|       | 運転管理エキスパート        | 列車運行や運転管理を支援          |

5 適用例

ES/KERNELを利用したエキスパートシステムの適用領域は、ほとんど無限の可能性がある。表1に、想定される事例を示す。

6 結 言

ES/KERNELでの知識表現は、専門家の知識を体系的に表現するのに適した表現方法である。また、知識表現も日本語ふうの記述を許しており、専門家の知識を無理なく表現できる。

また、はん用ワークステーション上で、実用的なエキスパートシステムを構築できるようにするために、問題となっていた推論速度に関しても、本稿で述べた方式の実現によって実用に耐えられる性能を得られた。

推論の高速化については、もちろんこれで十分というわけではなく、更に推論を高速にするアルゴリズムを検討し、実現していくことが重要であり、今後の課題でもある。

参考文献

1) Forgy, C.L.: Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, Vol.19, 1982

2) McDermott, J.C., et al.: The Efficiency of Certain Production System Implementation: Pattern Directed Inference Systems, Academic Press, 1978

3) 田野, 外: 知識処理ソフトウェアEUREKAにおける推論機構の高速化, 第31回情報処理全国大会予稿集, p.993(1985)

4) 田野, 外: 知識処理ソフトウェアEUREKAにおけるルールネットワークの効率化方式, 第32回情報処理全国大会予稿集, p.1517(1986)