

PROLOGを用いたリスク管理エキスパートシステム

Risk Management Expert Systems Using PROLOG

知識工学技術による、専門家ノウハウ管理システムの開発・適用を推進している。具体的には、海外でのプラント建設で発生するリスクの、原因と結果に関する因果関係を対象としてシステムを開発した。

本システムでは、リスクの因果関係をIF-THENルール形式で断片的に知識ベースに蓄えた。推論機能を利用して、因果関係のつながりを検索する。原因から、結果から、キーワードから、というように様々な角度からノウハウを検索できる点に特徴がある。

本システムは、論理形言語PROLOGで実現した。利用者主導形のマンマシンインタフェースを実現するために、ワークステーションのマルチウインドウを活用した。

丸岡 哲也* *Tetsuya Maruoka*
佐藤由美子* *Yumiko Satō*
森 文彦** *Fumihiko Mori*
丹羽 清*** *Kiyoshi Niwa*

1 緒 言

エキスパートシステムの特長は、ある限定された特定分野での熟練した専門家の持つ知識、ノウハウを知識ベース化することで、一般のユーザーが専門家のノウハウを活用できることにある。すなわち、エキスパートシステムはノウハウ管理システムであるとも言えるであろう。

日立製作所は、このような観点から、知識工学の立場でのKMS(Knowledge Management System: ノウハウ管理システム^{1),2)})を開発し、適用を推進している。

本稿では、KMSの概要と論理形言語PROLOGによる実現について述べる。

2 ノウハウ管理とエキスパートシステム

専門家の持つ分野固有ノウハウを計算機処理可能な形で管理する場合、二つの方法が考えられる。

一つは、ノウハウを適切な形式で文書化してファイルしておき、必要に応じて検索することである。検索の効率を上げるためには、連想検索などの知的検索機能が有効である。本特集号に報告されている「ソフトウェア常識集知的検索エキスパートシステム」³⁾及びSOCKSをはん(汎)用化した検索形エキスパートシステム構築ツールESOCKSなどは文書の知的検索の例である。

このようなタイプのエキスパートシステムは、ソフトウェア常識集の検索ばかりでなく、作業手順の検索、事故事例集、関連法規の検索、法令手続きの検索など非常に幅広い適用領域がある。文書をファイルしておき、必要に応じて取り出すという行為は、オフィスワークで最も基本的なものであることを考えると、文書検索への知識工学適用は、今後非常に盛んになってくると思われる。

もう一つの方法は、ノウハウをルール形式で記述しておくことである。上記の検索形のシステムでは、ひとかたまりのノウハウをある程度前もって整理し、文書の形式でまとめておくことが必要であるが、ルール形式で記述する場合は、一つ一つのノウハウの断片を、思い付くままに知識ベースに入力しておけばよい。知識相互間の関係づけは、推論エンジンがやってくれるからである。

ルール形式とは、よく知られているように、if(前提条件)-then(結論)の形式(if-thenルール)で知識を記述するものである。if-thenルールは、適用分野に応じて、if(現象)-then(制御行動)、if(現象)-then(故障原因)、if(相談者の置かれた状況)-then(アドバイス)、if(現状の計画)-then(次の計画)、if(原因)-then(リスク)などのように適用される。

3 ノウハウ管理エキスパートシステムの推論方式

特定専門領域でのノウハウを断片的にルール形式で記述し、順序不同に入力して推論エンジンでルール間の関係づけを行い活用するというのは、エキスパートシステムの基本的パラダイムである。実際、このパラダイムによって多くのエキスパートシステムが開発されているのであるが、ここで次のような場合を考えてみよう。

(1) 対象分野でのノウハウが、基本的には断片的な事象を記述する文章の集まりである。つまり、if(現象記述文)-then(現象記述文)の形式をしており、前提部の文も結論部の文も単純な文章であり、演算式、フレームへの参照、メソッドの起動などを含んでいない。

(2) ルールは基本的に、例えば[原因]から[結果]というような現象間の関係づけを行うのであるが、ルールの使い方

* 日立製作所システム開発研究所 ** 日立製作所システム開発研究所 工学博士 *** 日立製作所基礎研究所 工学博士

として、原因から結果への前向き推論も、結果から原因への後向き推論も、両方を必要に応じて使い分けたい。

(3) しかも、収集されたノウハウ知識が非常に膨大な量であるため、前向き推論用、後向き推論用の2種類の知識を記述するのではなく、同一のルールに対して両方の推論方式を適用したい。

(4) 更に、知識ベース中の知識と人間の連想との組み合わせを実現したい。例えば、人間がマニュアル、ノウハウ集などの書物を利用する場合を考えてみると、人間はただ受動的に書物の中の知識を参考にしてしているのではなく、自分の当面する問題の解決のためのヒントを、なんとかそこから読み取ろうと非常に能動的な精神活動を行っていることに気づく。問題に対する視点を変えて眺めてみたり、当面する問題には直接関係のないように見える知識も、なんとか参考にならないか考えたりするのである。これと同じような、人間と知識ベースとの間の能動的なインタラクションを実現したい。

上記のようなケースは、エンジニアリング会社の海外プロジェクトに関するリスク管理、建設会社の建築プロジェクトのリスク管理など、多くの場合に見られる。

日立製作所は、上記のような場合のノウハウ管理システムに対して、

- (a) 前向き推論機能
- (b) 後向き推論機能
- (c) 連想支援機能^{4),5)}

を用意した。

4 リスク管理エキスパートシステムへの適用

今回開発したシステムで扱う対象ノウハウは、海外プラントのプロジェクトマネージャが持つ、リスク(トラブル)の原因と結果に関するものである。

本システムの対象ノウハウのモデルを図1に示す。対象分野を、リスク要因(実施不良、契約不備、外部要因で示す部分で、リスク発生の原因となるもの)と、業務、リスクの三つの事象に分類した。3種の事象間の因果関係が対象ノウハウである。同図中の矢印が因果関係を示しており、①、②、③は原因→原因、④は原因→結果、⑤は結果→波及の関係である。

本システムでは、上記の因果関係をif-thenルールで表現している。知識の量は、リスク要因90件、業務7件、リスク94件、因果関係(ルール)262件である。

本システムの機能構成を図2に示す。本システムは、(1)論理的考察支援機能、(2)連想支援機能、(3)論理的妥当性確認支援機能の3機能から構成される。

論理的考察支援機能とは、前提条件として入力された、リスク要因(利用者が現在気になっている事柄)とリスクの発生する業務から、実際に発生する可能性のあるリスクを見付け出すものである。論理的考察支援機能は、if-thenルールの前向き推論を用いて実現した。

連想支援機能は、発生リスクに関連する他のリスクを探し出すものである。具体的には、前向き推論で見付け出された発生リスクから、利用者が連想するキーワードを引き出し、キーワード検索で他のリスクを探す。キーワードの引出しに

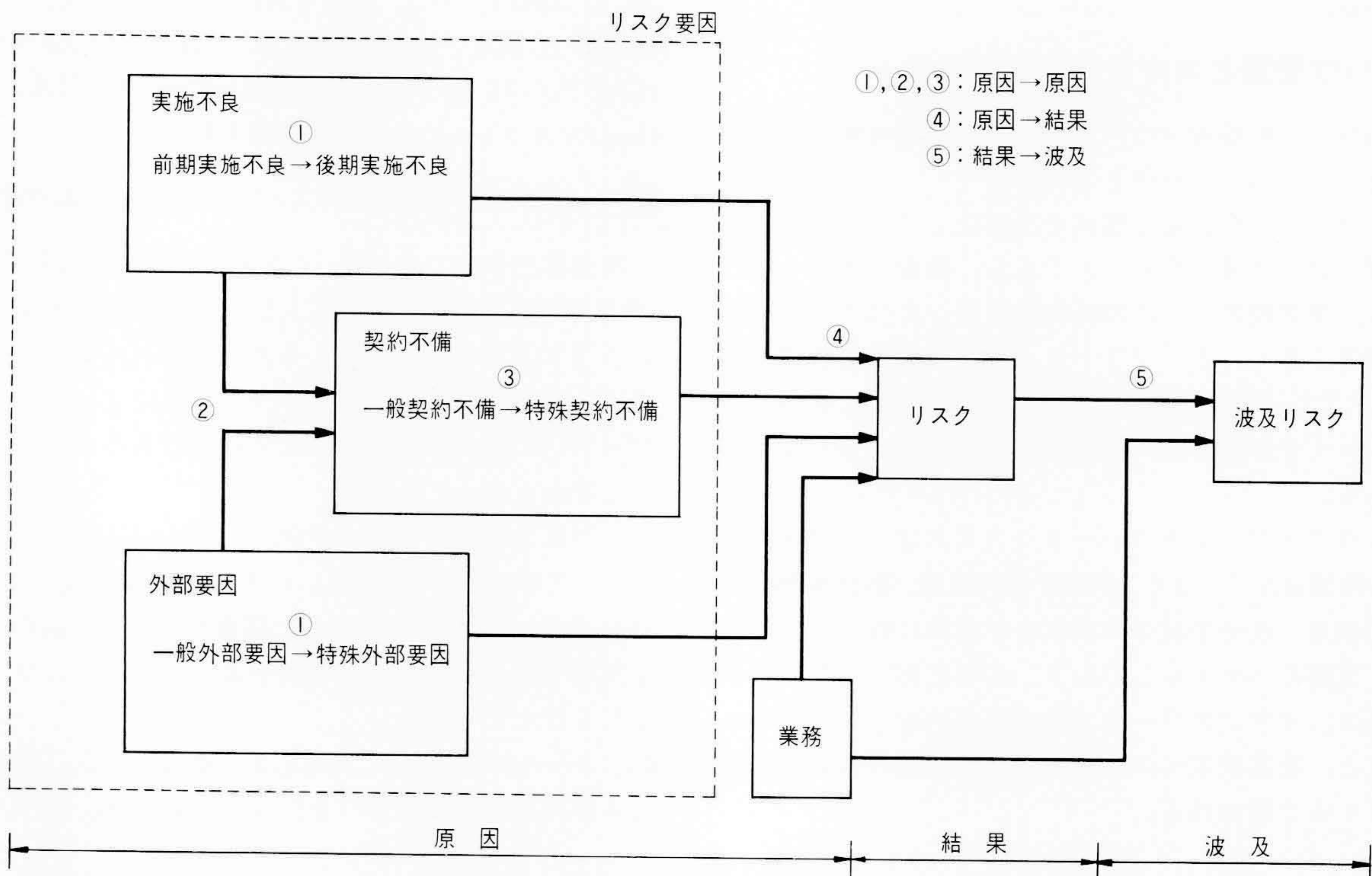


図1 対象ノウハウのモデル 本システムで扱う知識は、リスク要因、業務、リスクの三つの事象と、これら事象間の因果関係である。

は、利用者の連想を刺激するために、視点の変換を誘導する質問をシステムが行う。

論理的妥当性確認支援機能は、連想検索、あるいはキーワード検索によって、見付けたリスク(まだ発生するとは分かっていないもの)が、実際に発生する可能性があるか否かを判定するものである。着目リスクの発生をゴール仮説として、後向き推論で証明することで実現した。本システムの後向き推論は、知識だけからでは判定不可能な事象の真偽を利用者に尋ねる方式である。

5 PROLOGによる実現方式

5.1 システム構成

本システムのシステム構成を図3に示す。本システムは、ワークステーション2050スタンドアロンで稼動する。

推論エンジン、知識ベースはPROLOGで、マンマシンインタフェース部はC言語で実現した。実行形態としては、PROLOG部からC言語部を呼び出す構成とし、二つの言語間の結合をPROLOGの他言語プログラム結合機能(extassert述語)を用いて実現した。

知識ベースには、リスク発生の因果関係に関する知識が蓄えられている。

推論エンジンは、前向き推論実行部、後向き推論実行部、及び連想支援実行部から構成され、知識ベース内の知識を参照しながら推論を行う。前向き推論実行部、後向き推論実行部は、推論の途中経過を記憶させるためにワーキングメモリ

を使用する。

マンマシンインタフェース部は、ウィンドウの生成を行い種々の入出力を行うもので、ワークステーション2050のマルチウィンドウ表示機能、マウス入力機能などを活用して実現した。

5.2 ルールの表現形式と推論の方式

本システムで利用するリスクの因果関係ノウハウを表すif-thenルールは、PROLOGの処理系が直接読み込むことのできる事実節で記述した。

ルールの記述例を図4に示す。述語名はruleである。第一引き数にルール番号、第二引き数にif部、第三引き数にthen部を記述した。同図中のルール1010は図1に示したモデルの①の関係の一例であり、ルール2005は②の一例、ルール4111は④の一例である。

if部とthen部はリストになっている。因果関係の原因をif部に、結果をthen部に記述した。例えばルール2005は、「顧客コンサルタントの習慣の違い」と「営業の管理の対策努力不足」の二つを原因として、「機器納入範囲及び仕様の契約不備」と「納期遅延の免責条項の契約不備」が起こるという意味である。if部に複数の条件が記述されているときは、and条件であると解釈する。

本システムの前向き推論は、すべてのルールを対象にする。利用者から与えられた条件によって、if部に記述した原因すべてを満足するルールを読み込んだ順に探し、then部に記述されている結果を新たに条件に加えていく。これを繰り返し、新しい結果を導くルールがなくなったならば終了する。

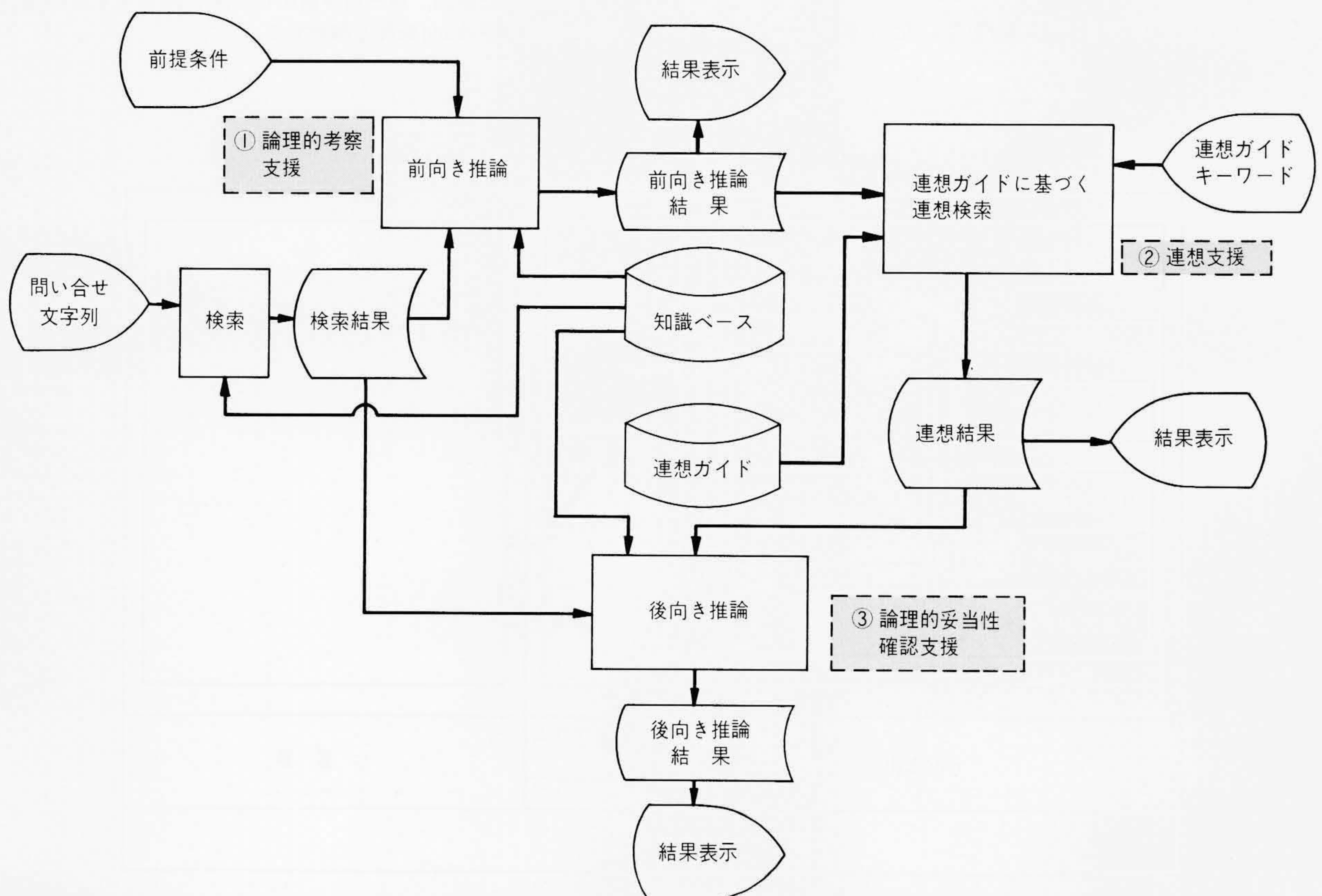


図2 機能構成 本システムは、①論理的考察支援、②連想支援、③論理的妥当性確認支援の三つの機能を持ち、これを用いてリスクの予測、検証を行う。

後向き推論は、発生可能性を調べるリスクをthen部に含むルールを求め、if部の条件一つずつを次の調べる対象として、またルールを探すというように、ルールの探索を繰り返す。調べる対象をthen部に含むルールがない場合には、ユーザーに問い合わせる方式である。

5.3 マンマシンインタフェースの特徴と実現方式⁶⁾

本システムは、輸出プラントのプロジェクトマネージャーのリスク管理業務を支援するものである。利用時にはプロジェクトマネージャーが、簡単な操作で、いろいろな方向からリスクの検討や予測を行うことができるかということが重要となる。

- 本システムのマンマシンインタフェースでは、
- (1) 入出力情報をモジュール化したウインドウ分割による分かりやすい表示
 - (2) 上記(1)のウインドウ間のフレキシブルな遷移処理
 - (3) マウスの多用による操作性の向上と誤入力の防止
- をワークステーション2050のマルチウインドウ表示機能、マウス入力機能などを活用して実現した。

マンマシンインタフェースの実現画面例を図5に示す。同図は、前向き推論によるリスク発見結果と推論過程説明ウインドウ例である。上から2番目のウインドウには、前向き推論によって探し出した七つのリスクが表示されている。この中の「顧客コンサルタントの承認遅れ」というリスクの推論過程をいちばん上のウインドウに示している。もちろん、七つのリスクのうち、任意のものを指定することができ、更に、ここから連想支援機能呼び出すことも可能である。このように、システムの機能実行に自由度を持たせ、利用者が必要に応じてその機能呼び出せる構成とした。また、一つのウ

インドウで一つの機能を実行するので、利用者に混乱を生じさせることが少ない。

本システムのマンマシンインタフェースは、C言語で記述しており、PROLOGの他言語プログラム結合機能でリンクしている。他言語プログラム結合実現するための、PROLOGの

```
rule(1010,
    if([技術者の英語力不足]),
    then([顧客コンサルタントへの説明不足])).

rule(2005,
    if([顧客コンサルタントの習慣の違い,
        営業の管理の対策努力不足]),
    then([機器納入範囲及び仕様の契約不備,
        納期遅延の免責条項の契約不備])).

rule(4111,
    if([納期遅延の免責条項の契約不備,
        顧客コンサルタントへの説明不足,
        土建業務]),
    then([顧客地質データ不良による設計変更])).
```

図4 ルールの例 ルールは述語名ruleの事実節で記述する。第二引き数のif部に原因、第三引き数のthen部に結果をリストで表現する。if部の複数条件はand条件と解釈する。

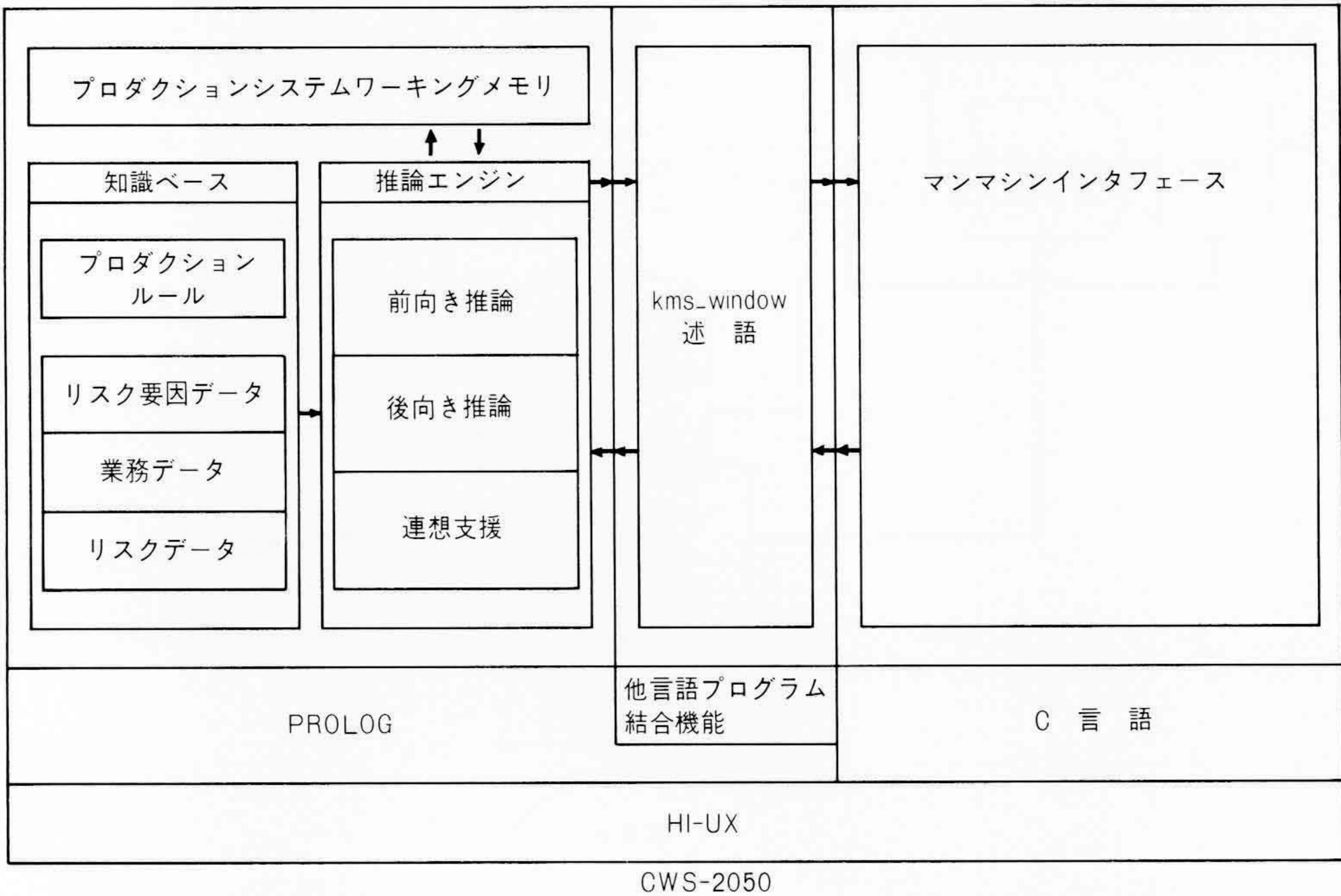


図3 ソフトウェア構成 知識ベース、推論エンジンはPROLOGで、マンマシンインタフェースはC言語によって実現し、これをPROLOGの他言語プログラム結合機能を用いて接続している。

extassert述語の定義と、C言語側で呼び出される関数のソースリストを図6に示す。PROLOG側からのC言語呼び出しは、kms-window(Control, Number, String)という一つの述語で実現した。Controlに機能種別を示す整数を設定して本述語

をコールすれば、C言語側が機能種別に対応する手続きを実行する。Control以外で、PROLOGとCの間でやり取りされる情報は、Numberで示される整数情報と、Stringで示される文字列情報だけである。

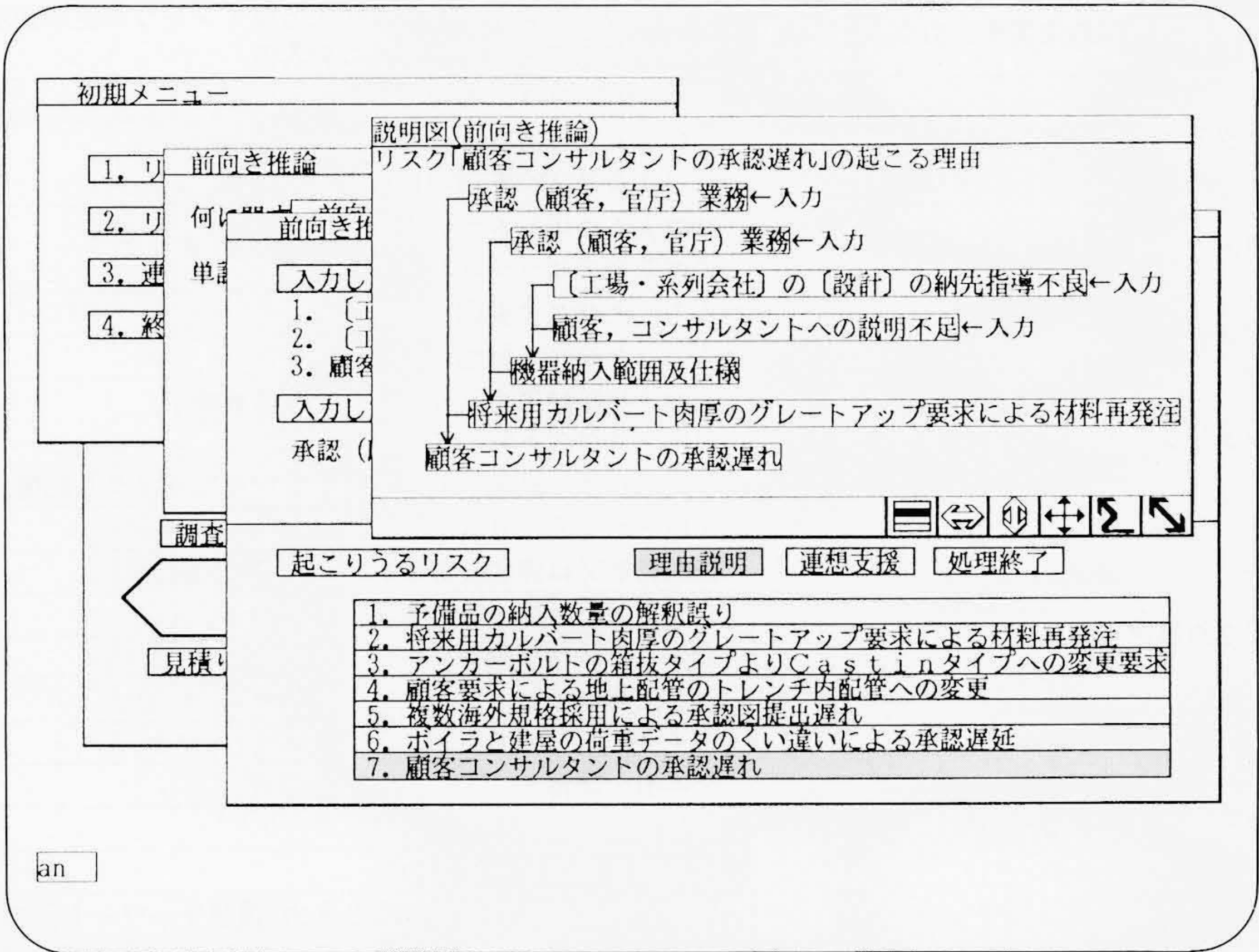


図5 マンマシンインタフェースの実現画面例 ワークステーション2050の柔軟な入出力機能を活用し、操作性の良いマンマシンインタフェースを実現している。本例は、前向き推論で捜出されたリスクの一つについて、推論過程説明図を表示しているところである。

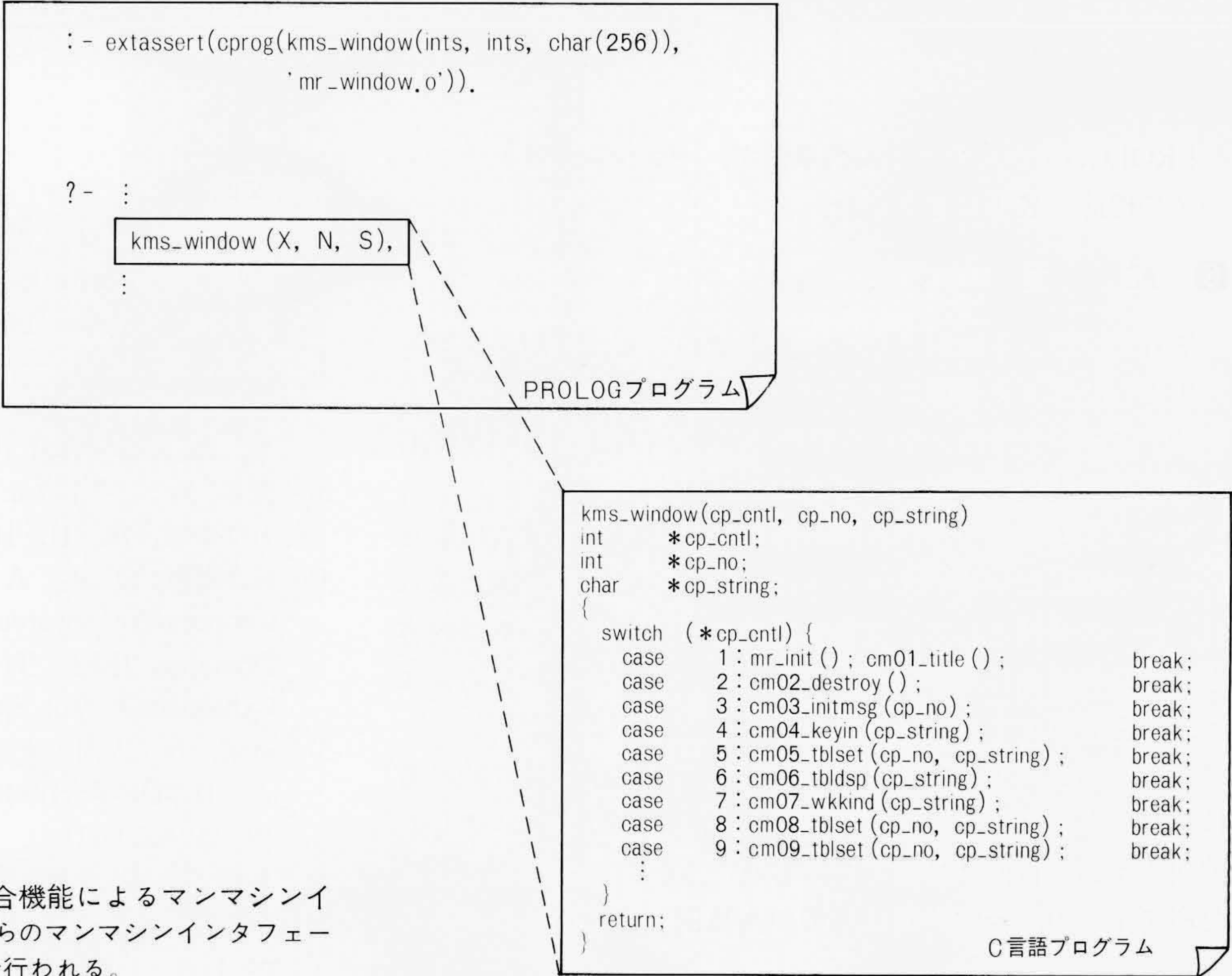


図6 PROLOGの他言語プログラム結合機能によるマンマシンインタフェースの呼出し PROLOG側からのマンマシンインタフェース機能呼出しは、すべてkms_window述語で行われる。

表1 マンマシンインタフェースのプログラム構成 機能(処理内容)の欄に記述された内容が、1回のPROLOG側からのkms_window 述語の呼出しで実行される。

推論モード	対 象 ウ イ ン ド ウ	機 能 (処理内容)
初 期 処 理	(1) タイトルウインドウ	タイトルウインドウの生成表示
	(2) 初期メニューウインドウ	初期メニューウインドウの生成表示 メニューのピック入力
前向き推論	(3) リスク要因検索の文字列入力ウインドウ	リスク要因検索キーワードの入力ウインドウの生成表示 リスク要因検索用キーワードの入力
	(4) リスク要因入力ウインドウ	検索されたリスク要因の記憶
		記憶された検索リスク要因の表示 該当するリスク要因のピック入力
	(5) 業務入力ウインドウ	業務入力ウインドウの生成表示 該当業務のピック入力
	(6) 前向き推論結果表示ウインドウ	入力したリスク要因の記憶
		入力した業務の記憶
		前向き推論結果表示ウインドウの生成表示 前向き推論のトレース情報の表示
		前向き推論の結果、発生すると分かったリスクを記憶
		記憶された発生リスクの表示
		説明機能又は連想支援機能のピック入力起動
	(7) 前向き推論過程説明ウインドウ	説明図表示用の推論過程情報の記憶
		前向き推論過程説明ウインドウの生成表示
連 想 支 援	(8) 連想支援ウインドウ	連想支援ウインドウの生成表示
		ガイドパターンのピック入力
		関与者の記憶
		関与者の表示
		該当関与者のピック入力
		事態の原因の入力要求表示と入力(連想キーワード入力)
		メーカーへの要求事項の入力要求表示と入力(連想キーワード入力)
	(9) 連想結果表示ウインドウ	連想リスクの記憶
後向き推論	(10) リスク確認ウインドウ	連想結果表示ウインドウの生成表示
		記憶された連想リスク表示と確認リスクのピック入力
		リスク確認ウインドウの生成表示
	(11) 後向き推論過程説明ウインドウ	質問内容の表示と、回答のピック入力
		リスク確認(後向き推論)の結果表示
		説明図表示用の推論過程情報の記憶
		後向き推論過程説明ウインドウの生成表示

PROLOG側からのコールの単位で、マンマシンインタフェースの機能を表1にまとめた。

6 結 言

海外でプラント建設プロジェクトでのリスクの因果関係を対象としたリスク管理エキスパートシステムを例に、知識工学的アプローチでのノウハウ管理システムの概要とPROLOGを利用した実現方式について述べた。

本システムのように、人間の経験的知識をシステムに取り込み、利用したいというニーズは、数多くの応用分野にみられ、一つ的手段として、文書処理機能などを用い、その内容を詳細に利用者に示すマニュアルの知的検索イメージのシステムが発表されている。

一方、本システムでは、内容の検索ではなく、断片的に蓄積したノウハウのつながりの検索を目的に、if-thenルールの前向き推論、後向き推論を利用した。上記の知的検索とはまた別タイプの、経験的知識利用の実現例と考えられるであろう。

参考文献

1) K.Niwa, et al. : An Experimental Comparison of Knowledge Representation Schemes, AI Magazine, Vol.5, pp. 29~36, Summer(1984)

2) 丹羽, 外 : 知識ベース(プロダクションルール, フレーム, 述語論理)の比較検討, 情報処理学会第26回全国大会講演予稿集, pp.1003~1004 (昭58-3)

3) 橋本, 外 : ソフトウェア常識集知的検索エキスパートシステム, 日立評論, 70, 11, 1197~1202(昭63-11)

4) K.Niwa, et al. : A Knowledge-based Human-computer Cooperative System for Ill-structured Management Domains, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.SMC-16, No.3, pp.335~342(1986)

5) 丹羽, 外 : 人間の連想を支援する機能をもつ知識工学システム, 日本OR学会1984秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 19~20(昭59-11)

6) 丸岡, 外 : リスク管理エキスパートシステムのマンマシンインタフェースの開発, 情報処理学会第36回全国大会講演予稿集, pp.1511~1512(昭63-3)