

エキスパートプロトコルの アーキテクチャ

高橋 祥兼 城下 輝治
NTT 情報通信処理研究所

エキスパートシステムを通信回線を介して利用・構築するためのプロトコルを次のように分類して、各プロトコルのアーキテクチャ（プロトコルのモデル、規定項目、機能例）を提案している。

- (1) 知識利用者が集中形態の単一知識ベースシステム（KBS）を利用するためのプロトコル
 - ① リモート知識ベース（KB）アクセス, ② リモート推論アクセス
- (2) 知識利用者が分散形態の複数KBSを利用するためのプロトコル
 - ① 分散KBアクセス, ② 分散協調推論
- (3) エキスパートが集中形態の単一KBSを構築するためのプロトコル（既存）
- (4) エキスパートが分散形態の複数KBSを構築するためのプロトコル

An Architecture for Expert Protocols

Yoshikane TAKAHASHI and Teruji SHIROSHITA
NTT Communications and Information Processing Laboratories

1-2356, Take, Yokosuka-Shi, Kanagawa, 238-03 Japan

This paper proposes an architecture including models, rough specifications and some functional units for those protocols with which an expert system is constructed and used through communication channels from remote sites. These protocols are categorized into the following four types:

- (1) protocols with which a knowledge user makes use of a single centralized knowledge base system (KBS);
- (2) protocols with which a knowledge user makes use of multiple KBS's in the distributed environment;
- (3) protocols with which an expert constructs a single centralized KBS;
- (4) protocols with which an expert constructs multiple KBS's in the distributed environment.

1. ま え が き

エキスパートシステム (ES) は、現在最も開発が進んでいる知能処理システムである。ESの技術開発は、ホストESのスタンドアロン (ローカル)での利用・構築に加え、通信回線等を介したりリモートからの利用・構築についても進められている。これらの開発は、各専門家ドメインごとに個別に、需要に応じて進められているのが現状である。

ESの開発を効率化し、今後のサービスの発展を促進するためには、開発の初期段階から次の条件を満たすようにESを体系的に開発することが必要である。

[条件1] ローカル/リモート共通インタフェース

個々のESで共用される知識ベースシステム (KBS; Knowledge Base System)のユーザ (AP/オペレータ)インタフェースを、ローカル利用とリモート利用で共通化する。

[条件2] ES汎用インタフェース

同一ユーザが同様のインタフェースで複数ESを統合的に利用したり、複数ESが協調して一つの問題を解決したりすることを可能とするESネットワークを実現するため、KBSのユーザインタフェースを個々のESに依存せずに汎用化する。

ユーザとESの間及びES相互間の通信は一つの知能通信であり、この知能通信のための通信規約をエキスパートプロトコル (EP) と呼ぶ。EPは次の2タイプに大別される。

(1) 専門家ドメイン共通プロトコル

個々のESの専門家ドメインには依存せずに、ユーザとKBSとの間、及びKBSとKBSの間で共通的に定められるプロトコルである。

(2) 専門家ドメイン個別プロトコル

個々のESの専門家ドメイン (医療診

断, LSI設計等) に固有な知識や推論等に係わるプロトコルであり、ユーザとAPとの間、及びAPとAPとの間に専門家ドメインごとに個別に定められるプロトコルである。

ESの体系的開発・発展のためには、専門家ドメイン共通プロトコルを上記の条件1、条件2を満たすように定める必要がある。以下では、専門家ドメイン共通プロトコルを単にEPと呼び、プロトコル開発の立場から、条件1、条件2を満たすEPのアーキテクチャ (プロトコルモデル、プロトコル機能、プロトコル規定項目) を構成する。

2. EPの現状

プロトコル開発の立場から、ESの現状と問題点を概観する。

2. 1 ESの構成

ESの核となるKBSの構成、及び知識表現法と推論方式を整理する。

2. 1. 1 KBSの構成

KBSは以下の機構により構成され、このKBS上にESが構築される (図1)。

(1) ユーザインタフェース処理機構

ユーザには以下の2タイプがある。

(a) エキスパート: 専門家ドメインのエキスパートであり、KBエディタを通じてKBへの知識の投入・更新を行う。

(b) 知識利用者: ESサービスの利用者であり、APを通じてKBや推論機構を利用する。

(2) 知識ベース (KB)

KBはフレームとルールで表現される知識を含む。

(3) 知識作成支援・管理機構

① エキスパートから獲得した知識を機械処理可能な形式に変換する知識表現機構、② ルール知識の最適化処理を行う知識コンパイラ、及び③ 知識をKB

上に格納し維持管理するKB管理機構，
により構成される。

(4) 推論機構

知識利用者から入力された条件やKB
内のフレームをデータとして，関連す
るルールを解釈・処理する。

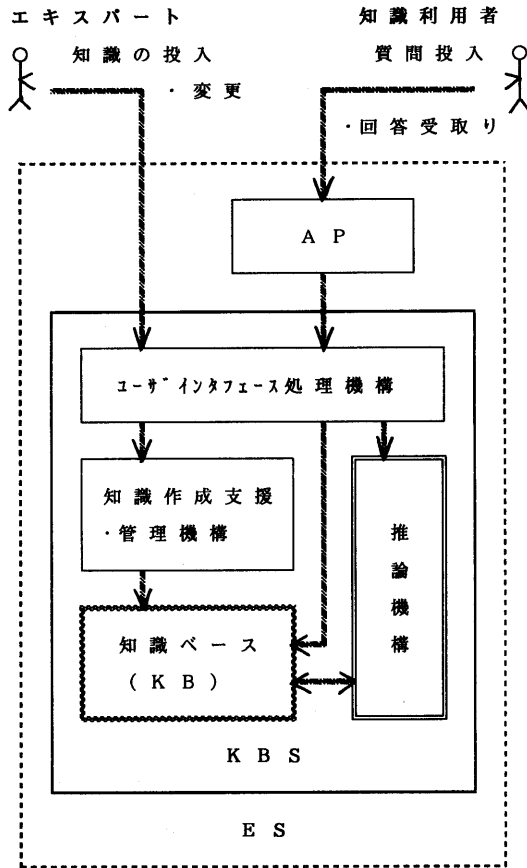


図 1. KBSとその上に構築されたES

2. 1. 2 知識表現法と推論方式

フレームとルールによる知識表現，
及び推論機構における推論実行方式に
ついて述べる。

(1) フレームによる知識表現

フレームは事実知識を以下のように
表現する。

(a) フレームの構成： フレームは次
のような要素から構成される（詳細は
4.1節参照）。

- ① スロットの名前／属性／値
- ② インヘリタンス
- ③ デモン

(b) フレーム間の関係： フレーム相互
の関係は，次のいずれかの方法によっ
て表現される。

- ① クラスとインスタンス： インスタ
ンスは個々の事実。クラスは複数のイ
ンスタンスに共通するデータタイプ。
- ② スーパークラスとサブクラス⁽²⁾： ス
ーパークラスは複数のクラスの共通デ
ータをひとつにまとめたクラス。サブ
クラスはこのときの個々のクラス。ス
ーパークラスとサブクラスの関係は，一
般にIS-A関係と呼ばれている。

- ③ グループ⁽²⁾： いくつかの部分をも
まとめた全体。例えば，「薔薇」は「花
」，「茎」，「葉」，「根」等の構成要
素から構成されるが，これらの要素全
体がグループである。グループとその
構成要素との関係は，一般にPART-OF
関係と呼ばれている。

(2) ルールによる知識表現

ルールは，経験的知識を「If x is
A, then y is B」の形式で表現する。こ
こで，x,yは変数であり，A,Bは事物ま
たは現象等を指す。関連するルールの
集合をルールセットと呼ぶ。

(3) 推論方式

推論機構では，前向き推論や後向き
推論等を組み合わせて高度・複雑な推論
方式（フレーム主体の推論，ルール主
体の推論等）が実現されている。

2. 2 ユーザへのインタフェース機能

現状では，エキスパートに対するユ
ーザインタフェース機能，即ち，エキ
スパート用構築プロトコルの開発が行
われているが，知識利用者に対するユ
ーザインタフェース機能，即ち，知識
利用者用プロトコルは，大部分が個々
のESごとに個別のアプリケーションサ
ービスメッセージとして提供されてい

る。エキスパートと知識利用者に対するユーザインタフェースの現状及び今後の課題を以下に整理する。

(1) エキスパート

エキスパート用構築プロトコルの機能は、ルール構築とフレーム構築に大別される。ルール構築はプログラミング環境等に係わるプロトコル機能を必要とし非常に複雑である。そこで、本論文では、以下、フレーム構築の場合に限定し、これを単にKB構築と呼ぶ。

エキスパートがリモートホスト上のKB内のフレームを作成／参照／更新するためのプロトコル機能が、コマンドとして提供されている。主なコマンド機能例を以下に示す。

(a)フレームの生成／消去，(b)スロットの追加／削除，(c)スロットの参照／更新，(d)付加手続きの追加／削除，(e)付加手続きの参照／更新，(f)属性の参照／更新／削除，(g)クラス/インスタンスの参照，(h)スーパークラス/サブクラスの参照／更新，(j)フレームの選択，(k)フレームのコピー，(l)フレーム名の設定／参照，(m)フレームの参照，(n)グループの定義，(o)グループの生成／更新，(p)グループの参照，(q)デモン設定／参照。

これらのプロトコル機能は、リモートからフレームを構築するためにはほぼ十分な機能である。今後は、これらのプロトコル機能をプログラム言語やインプリメント条件によらずに汎用的に規定すると共に、さらにESネットワークに拡張することが課題である。

(2) 知識利用者

知識利用者に対するユーザインタフェースとしては、現在次の2種のプロトコル機能が提供されている。

(a)各ES共通に、推論機構の起動コマンドが提供されている。

(b)各ESごとにAPにより、「ユーザからの問い合わせ／ESからの回答」を基本としたサービスメッセージが提供され

ている。これらのサービスメッセージは本質的に各ESが提供するサービス（医療診断，教育支援，CAD等）に固有なものであり、汎用的なプロトコルとして決めることはできない。

今後は、上記(a)のレベルで、KBSが知識利用者に対して、APが提供するサービスメッセージよりも共通・汎用的なユーザインタフェースを如何にして提供するかが課題である。

2. 3 EPの機能

今後必要と考えられるEPの機能と需要想定を表1にまとめる。

3. EPのアーキテクチャ

本章では、表1の各EPについて、プロトコルモデル、プロトコル機能及びプロトコル規定項目等のアーキテクチャ案を示す。

3. 1 リモートKBS利用プロトコルのアーキテクチャ

3. 1. 1 リモートKBアクセスプロトコルのアーキテクチャ

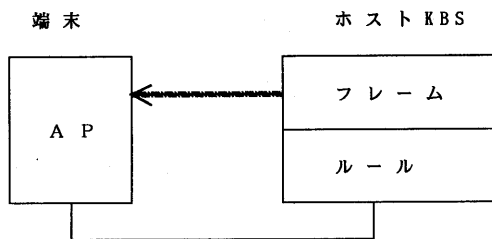
(1) リモートKBアクセスプロトコルのモデル

KBは、DBの情報構造及び情報意味内容を、知識を対象とするように高度化したものと捉えることができる。即ち、KBは、情報構造よりも複雑な属性インヘリタンス等の知識構造をフレームにより効率よく表現できると共に、情報の意味内容よりも複雑な専門家ノウハウ等の経験的知識をルールにより適切に表現できる。

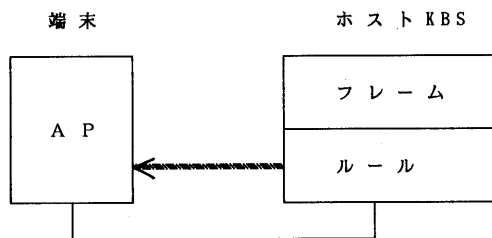
リモートKBアクセスプロトコルは、DBアクセスの考え方を発展させて、KBに蓄えられている知識を知能処理に利用することにより通信処理の高度化を図るものである(図2)。例えば、"x is A"という事実が分かっているとき

表 1. 今後必要な E P の機能

ESネットワークへの プロトコル 適用形態	プロトコル の総称	今後必要と考えられる E P の名称, 機能, 需要想定	
		知識利用者用 利用プロトコル	エキスパート用 構築プロトコル
集中形態 (単一 KBS)	リモートKBS 利用 / 構築 プロトコル (3.1節)	リモートKBアクセス (需要 1 ; 3.1.1項)	リモートKB構築 (既に存在)
		リモート推論アクセス (需要 2 ; 3.1.2項)	なし
分散形態 (複数 KBS)	分散KBS 利用 / 構築 プロトコル (3.2節) (3.3節)	分散KBアクセス (需要 3 ; 3.2.1項)	分散KB構築 (需要 5 ; 3.3節)
		分散協調推論 (需要 4 ; 3.2.2項)	なし



(a) リモートフレームアクセス



(b) リモートルールアクセス

図 2. リモートKBアクセスプロトコルのモデル

に, "If x is A, then y is B" というルールにアクセスして, アクション / 結論 "then y is B" を知る等の場合に利用される。

このプロトコルでは, 端末がアクセス結果として受け取ったフレームやルールを端末側の知能処理にどのように用いるかは規定しない。

(2) リモートKBアクセスプロトコルの規定項目

(a) フレーム / ルールのモデル

KBアクセスでは, 個々のKBの実装に依存しない汎用的なユーザビューを仮想KBとして規定する必要がある。KBは内容的にフレームとルールに分れアクセス機能も異なるため, 各々, 別々にモデル化する。

(b) フレーム / ルールの操作機能

フレームがDBと最も異なる点の1つは, 次のような複雑なデータ構造を表現できる点にある。

- ① 上位フレームから / 下位フレームへのフレーム属性のインヘリタンス
- ② フレーム内の各種の手続き
- ③ フレーム内データからの他フレームへのポインタ

そこで, フレームアクセス機能としては, DBアクセスで規定されている単

なる参照・更新機能に加え，知識の内容に応じて矛盾なく上記①，②，③の複雑なデータ構造を操作可能な機能を規定する必要がある。

ルールについては，知識利用者にとってひとまとまりの意味のあるルール知識（ルールセット等）を矛盾なく参照・更新できるルールアクセス機能を定める必要がある。

3. 1. 2 リモート推論アクセスプロトコルのアーキテクチャ

(1) リモート推論アクセスプロトコルのモデル

リモート推論アクセスプロトコルは，端末側のAP/オペレータが，ホストKBSの推論機構上で推論を実行し，推論結果を受け取るためのプロトコルである（図3）。このプロトコルにより，従来のホストAPがルールセットを起動するというレディメイドESサービスに加え，知識利用者が個々に開発した端末上のAPからホストKBS上のルールセットを起動するというオーダーメイドESサービスが実現可能となる。

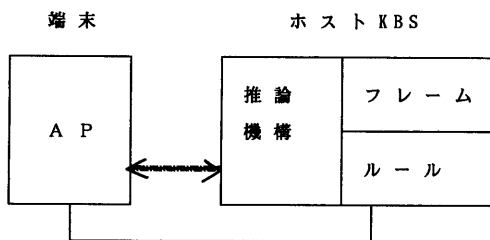


図3. リモート推論アクセスプロトコルのモデル

(2) リモート推論アクセスプロトコルの規定項目

(a) 推論モデル

知識利用者からみたフレーム/ルールを用いた推論機構モデルを規定する必要がある。また，どのような推論方式（前向き/後向き，及びそれらの組合せ等）を採用するかを定める必要がある。

(b) 推論操作機能

現在ホストのKBSとAPとの間で行われているルールセット起動のインタフェースを，ホストKBSと端末側の知識利用者との間で実現するための推論操作プロトコルを定める必要がある。

3. 2 分散KBS利用プロトコルのアーキテクチャ

3. 2. 1 分散KBアクセスプロトコルのアーキテクチャ

(1) 分散KBアクセスプロトコルのモデル

分散KBアクセスプロトコルは，ESネットワークにおいて，ひとつのKBSが他KBSの知識を取り寄せ，自KBS上でその知識を用いて推論処理を行うためのプロトコルである。

ESネットワークにおいて，次のような環境条件で利用される分散KBアクセスプロトコルのモデルを図4に示す。

(a) 端末KBSには，ユーザの通常の仕事で必要となる知識が蓄積されており，通常は端末KBS上でのみ仕事の実行される。

(b) ホストKBSには，百科辞典のような広範なフレーム知識や特定領域に関する各種専門家の経験的ルール知識が蓄積されている。

(c) 端末側の仕事遂行過程で特殊・高度な知識が必要な場合，通信回線を介してホストKBSにアクセスしてフレーム/ルールを端末KBSに取り寄せ，それらと元々の端末KBSの知識とを組合せて端末KBS上で推論を実行する。

(2) 分散KBアクセスプロトコルの規定項目

(a) KBSモデル

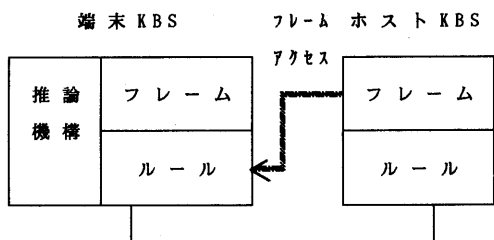
リモートKBアクセスと分散KBアクセスとの相違は，分散KBアクセスではホストKBSから取り寄せた知識を端末KBS上で推論処理する方法まで規定する点にある。そこで，ホストKBSの知識が端末KBS上でもそのまま利用できるようにするため，ホストKBSと端末KBSとで同一のKBSモデルを規定する。また，ホス

ト一端末間での知識の分散形態（分散単位や知識の重複配置，インヘリタンス指定方法等）を定める必要がある。

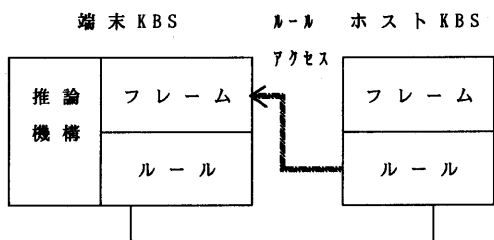
(b) フレーム／ルールの操作機能

リモートKBアクセスプロトコルの知識操作機能に，端末KBS上で以下の操作を可能とするためのプロトコル機能の追加規定が必要である。

- ① 端末KBSのルールが，ホストKBSのフレームをデータとして端末KBS上で推論を実行する。
 - ② 端末KBS上に取り寄せられたホストKBSのルールが，端末KBSのフレームをデータとして端末KBS上で推論を実行する。
- なお，ホストKBSのルールがホストKBSのフレームを参照している場合は，そのフレームも端末KBS上に転送する。



(a) ホストフレームの端末ルールへの結合



(b) ホストルールの端末フレームへの結合

図4. 分散KBアクセスプロトコルのモデル

3. 2. 2 分散協調推論プロトコルのアーキテクチャ

(1) 分散協調推論プロトコルのモデル

分散協調推論プロトコルは，複数のKBSが協調して推論を実行し，与えられた1つの分散知能処理問題（意志決定，

戦略立案等）を解決するためのプロトコルである。分散協調推論プロトコルは，特に，異なる種別の知識（製品技術開発動向知識と製品ニーズ動向知識等）を持つ複数KBSの協調推論による総合問題（製品開発戦略の立案等）の解決等に有効である。

ESネットワークにおいて，次のような環境条件で利用される分散協調推論プロトコルのモデルを図5に示す。

- (a) ホストKBSは本店に存在し，このホストKBSに，全国各地に散在する複数支店の端末KBSが接続している。
- (b) 分散知能処理問題として，「個々の支店における各月の製品販売戦略と本店における四半期の全社総合製品販売戦略とを矛盾なく立案すること」という問題が与えられた。
- (c) 各端末KBSでは，当該支店での販売実績データに基づいて，支店での製品販売戦略を立案する。また，本店のホストKBSでは，全支店の販売実績データに基づいて，全社総合製品販売戦略を立案する。端末KBSとホストKBSとは戦略作成過程で途中結果を交換し合い，戦略間の相互無矛盾性をチェックする。

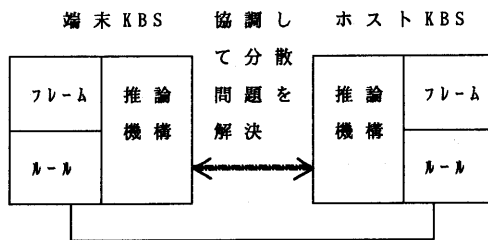


図5. 分散協調推論プロトコルのモデル

(2) 分散協調推論プロトコルの規定項目

(a) 知能処理能力の分散方式

各KBSに知能処理能力（フレーム／ルール知識とそれを用いた推論能力）をどのように分散するか，またその分散された知能処理能力をどのように管理・制御するかを規定する必要がある。

(b)分散協調推論機能

複数KBSによって分散知能処理問題を解決する時に遂行される以下の各種制御・管理手順ごとにプロトコル機能を規定する必要がある。

- ① 分散知能処理問題の各KBSへの分割
- ② 問題解決過程での各KBS間での途中経過情報の交換
- ③ 各KBSで作成された分散知能処理問題の部分解の統合とその正当性の検証

3. 3 分散KB構築プロトコルのアーキテクチャ

KB内の知識は個々のエキスパートの知識であり、これらの知識は日々進歩する。また、これらの知識は適当な単位でまとめて維持管理する方が、知識管理、知識利用効率、信頼性等の観点で有利である。分散KB構築プロトコルは、地理的に散在する複数のエキスパートが、通信回線を介して自己の知識に関連するKBを部分的に構築することによって全体として1つのまとまったKBを完成するためのプロトコルである。

分散KB構築プロトコルは、既存のリモートKB構築プロトコルに分散機能を拡張することにより構成する。

(1)分散KB構築プロトコルのモデル

ホスト2台にKBが分散されている場合のプロトコルモデル及びプロトコル構成法を以下に示す(図6)。

(a)管理領域: ESネットワークは、1つのホストとそれに所属する端末群からなる2つの管理領域に分割される。各ホスト内のKBは、当該管理領域内の端末から直接、作成・更新・参照される。

(b)管理情報: 各ホストは、自管理領域のKB及び他管理領域のKBに関する管理情報を持つ。各ホストは、この管理情報を用いて分散KB管理・制御のための以下のプロトコル処理を行う。

- ① 自管理領域内のKBが修正され他管理

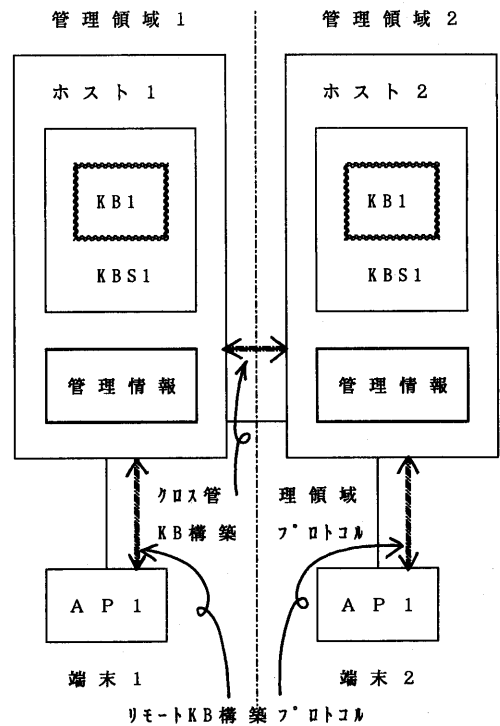


図6. 分散KB構築プロトコルのモデル

領域のKBまたは管理情報に修正が及ぶ場合、その旨を関連管理領域のホストに通知する。

② 知識作成・更新要求が自管理領域内のKBへの修正ではなく、他管理領域のKB修正となる場合は、その要求を関連ホストにルーティングする。

(c)リモートKB構築プロトコル: 端末側のエキスパートに、KBが分散していることを意識させない方が望ましいため、ホスト/端末間のリモートKB構築プロトコルは、既存の集中形態の場合と同一とする。

(d)クロス管理領域KB構築プロトコル: クロス管理領域KB構築プロトコルは、リモートKB構築プロトコルに以下のプロトコル機能を拡充することにより定める(このプロトコルは、分散KB管理者/管理プログラムによって使用される)。

- ① 自管理領域内のKB修正が他管理領域

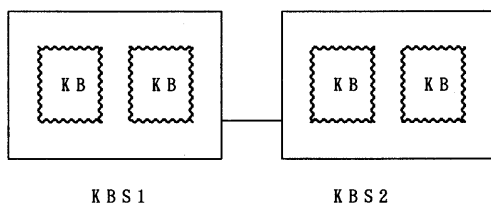
のKBや管理情報に影響を及ぼす場合、その修正を行う機能。

②他管理領域のKBに対する知識修正要求を受けた場合、管理情報から関連ホスト(群)を割り出し、各ホスト対応に適切な知識修正要求を発行する機能。

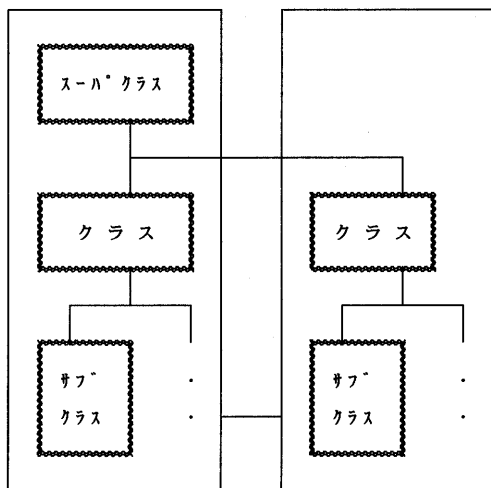
(2)分散KB構築プロトコルの規定項目

(a)知識の分散形態

知識の複数ホストへの分散形態例を図7に示す。



(a)KB単位の分散



(b)フレーム単位の分散

図7. KBの分散形態(例)

(b)管理情報の内容

ESネットワークの拡張の容易化と管理領域の独立性の確保の観点から、管理領域間ではできるだけ疎結合となるように管理情報を定める。即ち、KB修正の影響範囲、他ホストへのKB修正要求

のルーティング、及びESネットワーク構築後の知識利用者等による分散KBアクセスや分散協調推論の制御・管理、のために必要となる最低限の分散知識制御・管理情報のみを規定する。

(c)クロス管理領域KB構築プロトコルの内容

ホストKBSで次のような一連のクロス管理領域KB構築処理手順を可能とするように、リモートKB構築プロトコル、ホストのプロトコル処理動作、及びクロス管理領域KB構築プロトコルの内容を規定する必要がある。

- ①エキスパートからのKB修正要求受付
- ②KB修正要求が自管理領域内で処理不可能であることを認識
- ③管理情報に基づいて、関連ホストにKB修正要求を発行
- ④KB修正要求を発行したホストからの処理結果応答を回収し、エキスパートに最終的な処理結果を返却

4. リモートフレームアクセスプロトコル

リモートフレームアクセスプロトコルは、最も簡単なリモートKBアクセスプロトコルの1つである。本章では、ユーザビューとしての仮想的なフレームモデルとそのフレームへの操作機能の観点から1つのリモートフレームアクセスプロトコルの考え方を示す。

4.1 フレームモデル

仮想フレームは、以下の要素から構成する(図8)⁽¹⁾。

(1)フレーム名

フレームシステム内で一意。

(2)スロット名

フレーム内で一意。

(3)インヘリタンス指定

クラス-インスタンス等のフレーム階層関係において、上位フレーム内の同一名のスロットの属性情報をどのよ

うに下位フレームに継承するかを指定。

主な指定例には、Unique（一意）、Same（同一）、Range（範囲）、Override（無視）等がある。

(4)スロット属性の指定

スロット値のデータタイプを指定する。データタイプ例には、FRAME（他フレームへのポインタ）、INTEGER、REAL、BOOL、ANK（英数字）、LISP（付加手続き）、TEXT、LIST、TABLE等がある。

(5)スロット値

スロット値は、そのスロットの属性指定及びインヘリタンス指定の条件を満足しなければならない。

(6)デーモン

一定の条件が満たされたとき自動的に起動される手続きであり、IF-NEEDED（スロット値の参照時）、IF-ADDED（スロット値の代入時）、IF-REMOVED（スロット値の削除時）等がある。

フレーム名	←----- 会議フレーム			
スロット名	インヘリタンス	スロット属性	スロット値	デーモン
日時	U	REAL	63.9	連絡
場所	O	FRAM	東京	-
テーマ	U	ANK	AI	-

図 8. フレームのユーザーモデル

4. 2 フレーム操作機能

フレーム操作機能としては、フレームの各要素に対して2.2節で述べたプロトコル機能（リモートKB構築）が基本となる。これらのプロトコル機能を基に、フレーム操作機能を以下の条件を満たすように規定する。

(1)2.2節で記述した機能は基本的には

エキスパート向けであるため、知識利用者向けの、より高度な知識利用者インタフェースが提供できること。

(2)次のようなフレーム／スロット間の関係に係わる各種性質や条件を正しく処理できること。

(a)あるスロット値がアクセスされた場合、その上位フレームから継承されるインヘリタンス情報もアクセス結果として得られる。

(b)他フレームをポインタするスロット値がアクセスされた場合、ポインタされたフレームもアクセス結果として得られる。

(c)スロット値を設定・変更する場合、スロット属性指定やインヘリタンス指定の条件チェックを行える。

5. おわりに

知能プロトコルとして最も開発が急がれるEPのアーキテクチャを構成した。ESの今後のネットワーク利用への発展を考慮すれば、ローカル技術としてのKBS開発とネットワーク部品としてのKBSのプロトコル開発を親和性を保って進めて行く必要がある。本論文で示したEPアーキテクチャは、現在世の中で開発されているKBSとの親和性を考慮しているため、現在のKBSをネットワーク部品として、今後ESネットワークを体系的に構築・利用して行くことが可能である。

今後は、本論文で示したプロトコルモデルとプロトコル機能をフレームワークとして、EPの規定内容を詳細化する予定である。

参考文献

- (1)上野：「エキスパートシステム 知識工学とその応用」、オーム社（昭61.12.25）
- (2)NTT：「KBMS エキスパートシステム構築支援ツール 概説書」、1986