

情報指向の人工知能と知識コミュニティ

西田豊明

奈良先端科学技術大学院大学

<http://ai-www.aist-nara.ac.jp/doc/people/nishida/home-nishida.html>

これからの情報化社会における知識インフラとして、大規模知識ベースの実現が期待されている。我々は、大規模知識ベース開発を多人数でボトムアップに進めていくことを可能にするため、大規模知識ベースを自律性のある多数の小さな知識片(エージェント)の協調による大規模な知識の共有・再利用の枠組みとして規定し、知識コミュニティ(The Knowledgeable Community)の開発を進めている。

本稿では、知識コミュニティの枠組みを情報内容の分析・モデル化・構造化を主体とした情報指向の視点から再定式化することを試みる。まず、知識コミュニティ構想の全体像、知識コミュニティの考え方に基づくマルチエージェント型知識ベースシステムのプロトタイプ、テストベッドとして試作中の簡単な旅行計画立案システムによる初期的な評価を中心に現状と課題について報告する。次に、情報中心の視点による再定式化の試案を示し、知識メディア、オントロジー、知識の流通の視点から今後の方向を展望する。

Information-oriented Artificial Intelligence and the Knowledgeable Community

Toyoaki Nishida

Nara Institute of Science and Technology

E-mail: nishida@is.aist-nara.ac.jp

The Knowledgeable Community is a framework for knowledge sharing and reuse based on a multi-agent architecture. In this paper, I attempt to characterize the Knowledgeable Community as an information-oriented approach focusing on analysis, modeling and organization of the contents of information. I describe the whole picture of the Knowledgeable Community and report the current status and evaluation by preliminary experiences with a testbed in travel arrangements. I propose an information-oriented reorganization of the Knowledgeable Community and show prospects of the Knowledgeable community, focusing on knowledge media, ontologies, and a knowledge flow.

1 はじめに

これからの情報化社会における知識インフラとして、大規模知識ベースの実現が期待されている。我々は、大規模知識ベース開発を多数でボトムアップに進めていくことを可能にするため、大規模知識ベースを自律性のある多数の小さな知識片（エージェント）の協調による大規模な知識の共有・再利用の枠組みとして規定し、知識コミュニティ (Knowledgeable Community) の開発を進めている [5]。

本稿では、知識コミュニティの枠組みを情報内容の分析・モデル化・構造化を主体とした情報指向の視点から再定式化することを試みる。まず、知識コミュニティ構想の全体像、知識コミュニティの考え方に基づくマルチエージェント型知識ベースシステムのプロトタイプ、テストベッドとして試作中の簡単な旅行計画立案システムによる初期的な評価を中心に現状と課題について報告する。次に、情報中心の視点による再定式化の試案を示し、知識メディア、オントロジー、知識の流通の視点から今後の方向を展望する。

2 知識コミュニティ KC₀

我々は、大規模な知識の生産・共有・利用の枠組みとして知識コミュニティ (The Knowledgeable Community) を提唱し、そのプロトタイプの開発を進めてきた [7, 6, 8]。知識コミュニティは、知識の断片を担ったエージェントから成るマルチエージェント型の情報処理方式を採用している。情報空間中の知識の断片のエージェント化によって、問題を解決するために用いる特殊な手続きやデータ構造はエージェント内部に隠べいされる。エージェントは様々なタイプの情報——構造化されていないテキストデータ、問題解決サービス、問題解決部品——を提供する。知識コミュニティ全体の情報処理はエージェントの相互作用によって実現される (図1)。

知識コミュニティの開発は、手作りを主体とする KC₀ と学習や自己組織化による自律的な成長能力を組

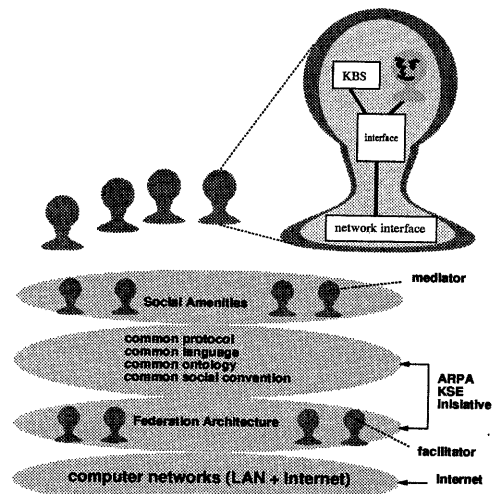


図 2: 知識コミュニティのアーキテクチャ

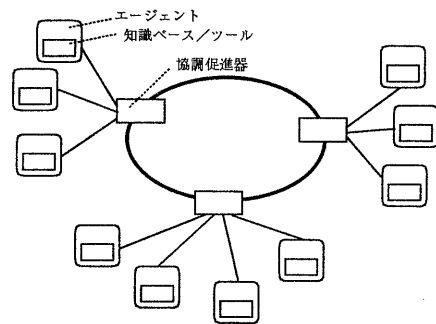


図 3: 連邦アーキテクチャ

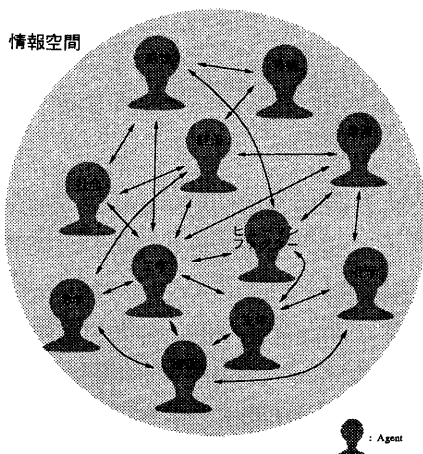


図 1: エージェント化された情報空間としての知識コミュニティ

み込んだ KC₁ の 2 段階に大別される。これまで我々が取り組んできたのは第 1 段階の KC₀ の開発である。KC₀ の概念レベルのアーキテクチャを図 2 に示す。実装レベルでは、KC₀ は ARPA の知識共有再利用活動提案された連邦アーキテクチャ (図 3) を採用した。連邦アーキテクチャでは、メッセージ交換はエージェント間で直接行われるのではなく、協調促進器 (facilitator) を介して間接的に行われる。協調促進器は、エージェント間の相互作用を促進するための特殊なエージェントであり、信頼できるメッセージ通信の提供、内容に応じたメッセージの送信先決定、受信されたメッセージの翻訳、傘下のエージェントの初期化とモニタリングなどを行う。これによって各エージェントは自分自身の言葉で推論でき、ほかのエージェントに情報を求め、他のエージェントに協調促進器を介して要求された情報を提供したりする。

エージェント間で交換されるメッセージの内容は、通信層、メッセージ層、メッセージ内容層に分けられる。通信層はメッセージを実際に伝送するために必要

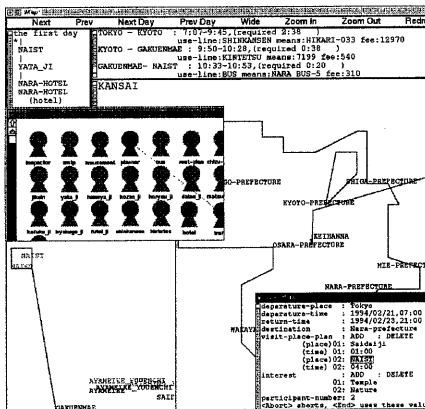


図 7: 知識コミュニティによるマルチエージェント型地域情報システム KC-Kansai による旅行計画立案

まれる知識とエージェントへのインデックスを含む。知識コミュニティでは、オントロジーは2つの役割を果たす。

第一の役割は人間向きのものである。概念の明示的な記述は、知識コミュニティに含まれる対象世界のモデリングの視点と知識体系の全体像の理解に貢献する。特に、エージェント開発者にとってはエージェント間で交換するメッセージに含まれる情報表現に関する合意形成を促進する。

第二の役割はエージェント向きのものである。エージェントはオントロジーによる言明とエージェントへの索引づけを利用して、言明空間に含まれる知識を検索し、エージェントに内包されるアルゴリズム・問題解決法にアクセスすることができる。これによって、エージェント開発者がインプリメンテーションの詳細から独立して問題の本質に近いレベルでの作業に専念することを可能になる。従来の研究では、オントロジーのこのような側面に関する研究はほとんど行われていないように思われる。

我々はオントロジーによる概念体系へのエージェントの索引付けを利用して、サービスを提供するエージェントとサービスを受けるエージェントを結び付ける仲介機構を実現した[3]。インプリメンテーションレベルでは、オントロジーに関する情報はオントロジーサーバと呼ばれるエージェントが管理し、仲介を行う仲介器からの要請によって情報を提供するようにした。

図8にKC-Kansaiで用いられるオントロジーの一部を示す。各黒枠が一つのクラス概念を示し、その間は概念の包含関係で結ばれている。また、同時にオントロジー上の各概念に関連するエージェントも示している(薄い枠線)。

オントロジーを利用した仲介の例を示す。次の質問が与えられたとしよう。

質問(1) 奈良ホテルの最寄り駅を知りたい

この質問のKQML及びKIFによる表現を図9に示す。ここで、(hotel ?x)は変数?xがクラスhotelのインスタンスであることを意味する。

```
(broker-all :content
  (ask-one :content (and (hotel ?x)
    (name ?x "Nara-hotel")
    (nearest-station ?x ?y))
    :aspect ?y :language KIF)
  :reply-with q1)
```

図 9: message(1)

```
(recommend-all :content
  (ask-one :content (and (hotel ?x)
    (name ?x "Nara-hotel")
    (nearest-station ?x ?y))
    :aspect ?y :language KIF)
  :reply-with q1)
```

図 10: message(2)

(nearest-station ?x ?y)は?yが?xの最寄り駅であることを意味する。:aspect ?yは質問者が尋ねたい情報が?yであることを意味する。ask-oneとbroker-allは、それぞれ質問と仲介依頼を意味するKQMLの遂行語である。

クライアントから上記のメッセージが送られると、協調促進器は図10のようなメッセージにして、仲介器に転送する。そして仲介器はさらにオントロジーサーバに転送する。オントロジーサーバはメッセージから、クラスhotelである変数?xに関連する質問であると判断し、オントロジーに付随するエージェントタグを調べる。クラスhotelには、“hotel-agent”というエージェントタグが付随している(図8参照)ので、“hotel-agent”を回答として、仲介器に返答する。

質問(2) 東大寺の最寄り駅を知りたい

仲介器は、まずtempleというクラスに注目する。今回の設定では寺一般のエージェントが存在せず、各寺毎にエージェントが存在する(図8参照)。このため、これらのエージェントに対して順にメッセージを送る。もし“sorry”以外の返答があればそれを答とする。しかし、この例では各寺エージェントは自身の最寄り駅情報を管理しないので、東大寺に関するエージェントでも回答は“sorry”となる。この場合、仲介器はオントロジーのクラス階層を遡り、次のエージェント候補を探す。“temple”の場合、その上位概念の“visit-place”を観光エージェントが、さらにその上位概念“place”を地理エージェントが管理している(図8参照)。そこで、まず観光エージェントにこのメッセージを送る。それが失敗すると、地理エージェントにメッセージを送る。地理エージェントは場所の地理を管理しているので、このメッセージに正しく返答することができる。

2.4 課題

以上に述べた実験の結果、課題として次のような点が明らかになった。

オントロジーの記述力の弱さ 現在、オントロジーを記述するために用いている Ontolingua は概念の間の論

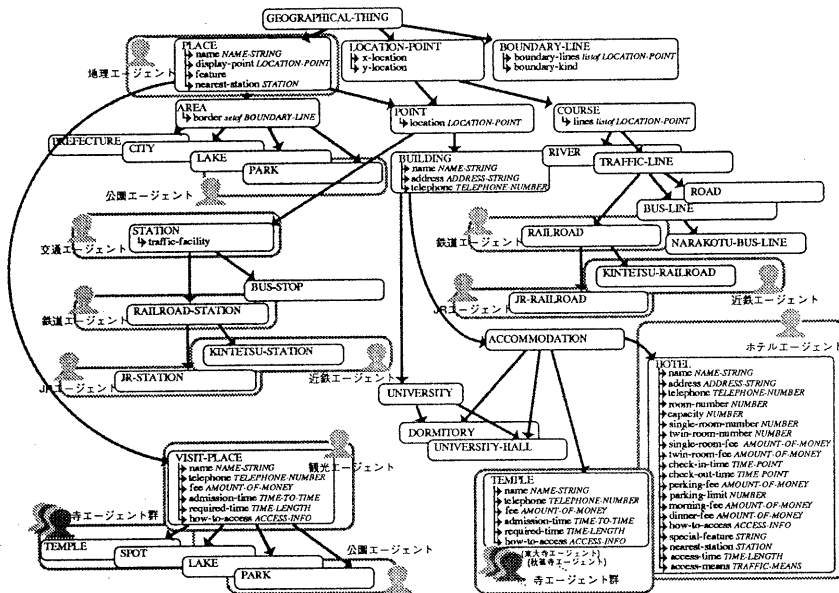


図 8: Ontology on travel plan

理的な関係しか記述できない。概念自体の記述、概念間の近さや連想関係の記述ができる概念記述体系が必要である。

オントロジー開発の困難さ 現在、オントロジーの開発は人手で行っているが、方法論が不十分であるためにオントロジー構築は直観を頼りに試行錯誤的に行わざるを得ず、かなりの労力を要する。大規模なオントロジーを開発するためには、トップダウンな概念分類的手法と、データの分析に基づくボトムアップなアプローチを有効に組み合わせることが望ましい。

応用プロトコルの設定とデバッグの効率の悪さ 応用システムのプロトコル設定について開発者の間でのネゴシエーションがたびたび必要になったり、応用システムのデバッグにはしばしば開発者全員が立ち会わなければならないことがしばしばあり、開発の効率の向上を妨げる原因となった。

仕様変更のオーバーヘッド 応用システムの開発が進むにつれて、問題の認識が深まり、仕様変更の必要性が高まるが、知識共有の度合いが高いほどエージェントの仕様変更のもたらす影響が大きい。エージェントのグレードアップと系の整合性維持の間のジレンマを解消する仕組みが必要である。

3 情報指向のアプローチと知識コミュニティ

KC₀の限界のいくつかは処理概念を中心としてシステムを構成する処理指向のアプローチに起因するものとして捉えることができる。

知識・ソフトウェアの共有・再利用のアプローチの主流は、ソフトウェアモジュールや知識ベース部品などの処理要素の部品化・部品の体系化・部品ベースからの知的検索・部品合成を主体とするものであった。また、一般に部品の体系化は処理要素の内包するアルゴリズムや問題解決法の形式化と抽象化に基づくものであった。

このような処理指向のアプローチには次のような問題が含まれている。第一に、ソフトウェア部品や知識ベース部品の処理内容は非常に複雑で多様な代数構造をもち、人間にわかりやすい形に体系的に整理することが困難である。第二に、知識の共有・再利用の観点からみると、ソフトウェア部品・問題解決法は共有・再利用すべき知識の一部であるが、背景世界自体のモデル化は部品化・共有の対象から取り残されている。第三に、ソフトウェア部品・問題解決法向きの情報の構造化・知識の体系化が行われ、情報の本来の生産・消費者である人間のための情報の構造化が行われていない。人間向きの情報は、コメント・入出力・インタフェースという2次的な扱いを受けているため、ユーザにとっての有用性が保証されない。

このような問題を解決するためのアプローチとして、情報内容の分析・モデル化・構造化を主体とする情報指向のアプローチを取ることを考えてみよう。

前節で述べたKC₀のアーキテクチャを図11のように、(1)概念空間、(2)言明空間、(3)エージェント(限られた知識片に基づいて計算・推論・情報提供などを行う自律的なソフトウェアモジュール)の集合として再構成することが考えられる。

概念空間は知識コミュニティで対象とする情報空間の基盤を与える。概念空間はオントロジーによって規定され、言明空間に含まれる知識とエージェントへのインデックスとしての役割を果たす。言明空間には、概

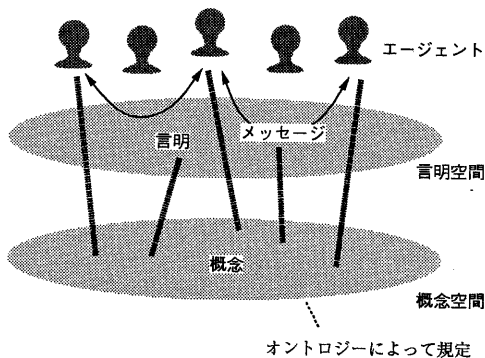


図 11: 知識コミュニティの枠組み

念空間で与えられる概念要素を用いて対象世界に関するさまざまな言明が記述される。エージェントには、情報空間におけるさまざまなアルゴリズムや問題解決法が内包される。比較的単純な情報処理は個々のエージェントによって行い、複雑な情報処理はメッセージ交換によるエージェント間の相互作用によって行う。

情報指向のアプローチによる知識コミュニティの再定式化の中心となる視点として、知識メディア、オントロジー、情報流通の3つが考えられる。

3.1 知識メディア

知識メディアは、知識ベース部品のような実行可能性を満足する形態(情報処理システムに理解できる形式)とマルチメディアを主体とした理解可能性を満足する知識(人間に理解できる知識)を統合した知識表現手段である。知識コミュニティに知識メディアを導入することによって、知識ベース部品化の過程で捨象されてしまう知識の吸収と、推論エンジンによる知識処理代行機能の効用の両方が期待される。これに関して現在次のような研究を進めている。

分散型マルチメディア旅行案内システム Virtual tour 分散型マルチメディア旅行案内システム Virtual tour は、各エージェントは訪問先の画像イメージや案内図などのメディア片を概念情報と対応づけて管理し、要求に応じて検索・合成を行い、旅行プランに対応づけてユーザに提示する(図12, 13)。

現在、次のような機能をもつプロトタイプを試作中である[13]。

1. 物語生成 - 複数のエージェントの相互作用により、固定した物語でなく、旅行の種類・取得メディア・人間の要求などにより、動的に変化する物語を生成する。
2. メディアの効果的提示 - 情報を取捨選択し提示することにより、提示時間制限等の様々な制約を考慮した情報提示を行なう。
3. 不完全な情報の提示 - 抽象度が高いプランや、そのプランに関する情報が不完全な場合に対して緩やかな機能低下を行なう。

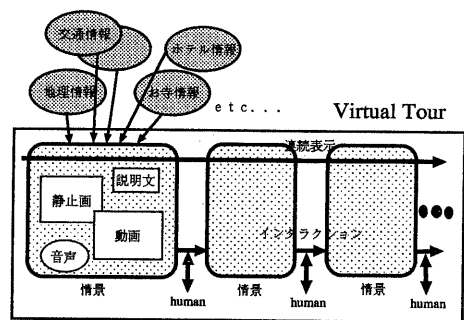


図 12: Virtual Tour のイメージ

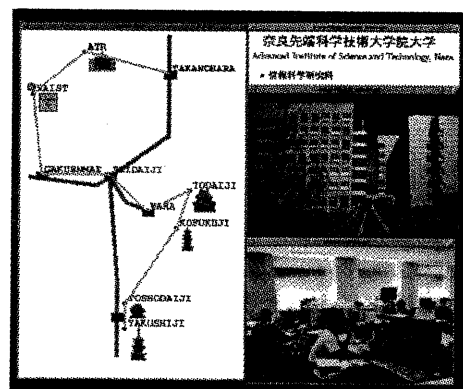


図 13: Virtual Tour の実現例

3.2 オントロジー

知識の共有・再利用におけるオントロジーの役割は認識されているものの、ARPAの知識共有活動などで行われているトップダウンのアプローチ(先験的な知識によってまずオントロジーを書き下すアプローチ)によるオントロジー開発は信頼性と作業効率の面でかなり問題があると考えられる。反面、概念体系は専門用語辞典などの形でかなり存在する。

このような完全に形式化されていないオントロジーを逐次形式化していくボトムアップなアプローチが有望であると考えられる(図14)。これに関して現在次の研究を行なっている。

店舗レイアウト支援知識メディアシステム 店舗レイアウト支援知識メディアシステム[9]では、各エージェントは商品のレイアウトに関する一定範囲の知識を知識メディアとして保持し、与えられた状況に応じたレイアウト知識をハイパーテキストとして合成出力する。各メディア部品はオントロジーに対応づけて管理され、与えられた要求に応じて結合される。オントロジーはメディア部品をつなぐための背景知識としての役割を果たす。

専門分野の目次には図15のように概念情報が現れる。図16にそれをオントロジー化したものを示す。図

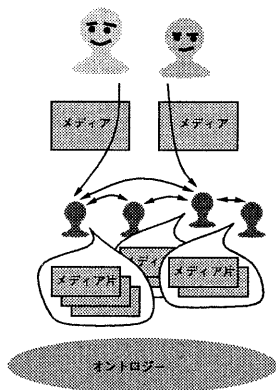


図 14: 知識コミュニティへの知識メディアの導入

第4節 床と天井の作り方

(1) 床の作り方 (4-001)

1. 床の高さ (4-002)

- A. 道路より高い場合 (4-003)
- B. 道路より低い場合 (4-004)
- C. 店内に段差のある場合 (4-005)

2. 床の材質 (4-006)

- A. 犬走りの材質 (4-007)
- B. 店内の床材 (4-008)

図 15: 本の目次の例:()内はドキュメントにつけた通し番号 出典: 高瀬昌康著「店舗施設の総合知識」(誠文堂新光社)

17に店舗レイアウト支援知識メディアシステムにおける知識メディア構造の概念図を示す。

3.3 情報流通

対象領域における知識の生産・加工・流通・利用の過程をサポートする機能は、知識コミュニティにとって不可欠なものである。情報の生産者から消費者に至る情報の流れとそこに介在する情報処理の単位と機能

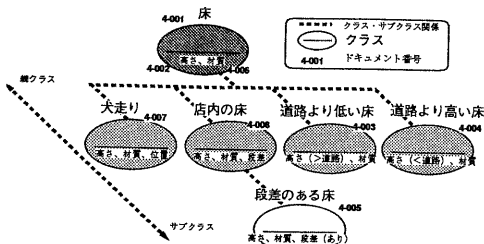


図 16: 図 15 のオントロジー化

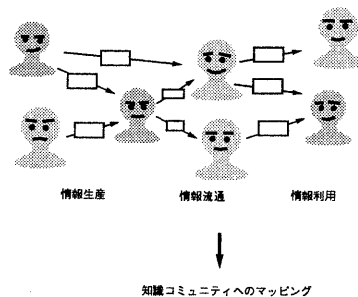


図 18: 知識コミュニティにおける知識の生産・加工・流通・利用のサポート

を同定し、対象領域における情報と知識の構造を反映した知識メディアの構造を設計し、情報流通過程における情報処理機能をエージェント化する必要がある(図 18)。

この方向に関して現在次のような研究を進めている。

1. 共通の目標を持つが、異なる知識源と評価基準をもつ複数のエージェント間の情報流通とネゴシエーションのモデル化の試み [10]
2. 知識コミュニティにおける知識流通において大きなボトルネックとなる知識獲得の問題を解決するための試み: (電子掲示板からの情報抽出 [4] と、構文・意味が明確に規定されていないプロトコルの解釈 [2])。

4 まとめ

本稿では、知識コミュニティの枠組みを情報内容の分析・モデル化・構造化を主体とした情報指向の視点から再定式化することを試みた。知識コミュニティ構想の全体像、知識コミュニティの考え方に基づくマルチエージェント型知識ベースシステムのプロトタイプ、テストベッドとして試作中の簡単な旅行計画立案システムによる初期的な評価を中心に現状と課題について報告し、情報中心の視点による再定式化の試案を示し、知識メディア、オントロジー、知識の流通の視点から今後の方向を展望した。

参考文献

- [1] R.J. Brachman and J.G. Schmolze. An overview of the KL-ONE knowledge representation system. *Cognitive Science*, pp. 171-216, August 1986.
- [2] 花川賢治, 武田英明, 西田豊明. 人工的なプロトコルによらないエージェント間コミュニケーション. 1994 年度人工知能学会全国大会, 1994.

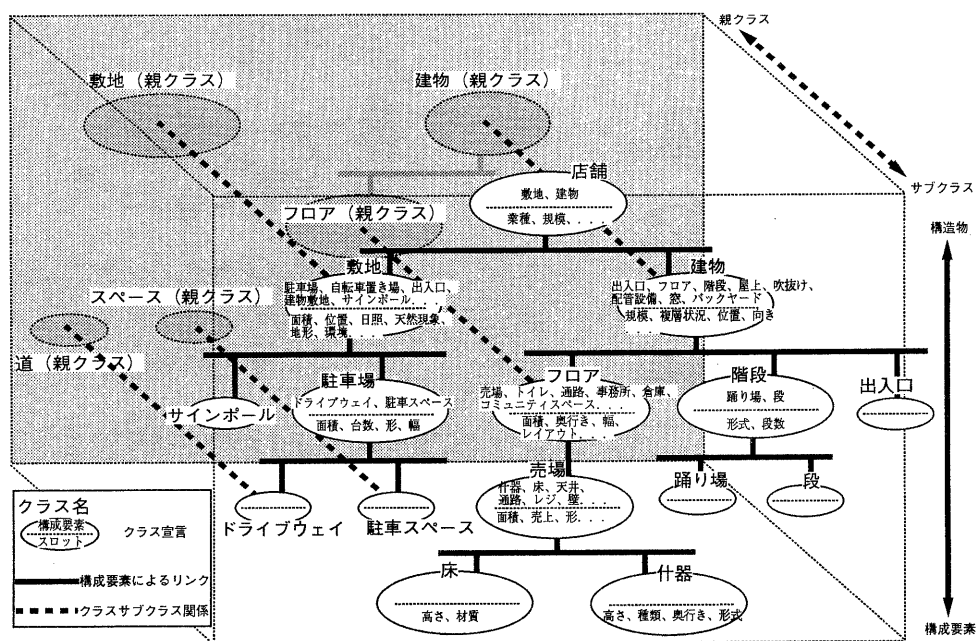


図 17: 店舗レイアウト支援知識メディアシステムにおける知識メディア構造

- [3] 飯野健二, 武田英明, 西田豊明. 知識コミュニティにおけるメッセージ仲介機構. 1994 年度人工知能学会全国大会, 1994.
- [4] 岩爪道昭, 武田英明, 西田豊明. 電子掲示板における記事の自動分類と議論の可視化. 1994 年度人工知能学会全国大会, 1994.
- [5] 西田豊明 (編). 知識コミュニティプロジェクト 1993 年度成果報告書. 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 知能情報処理学講座, 1994.
- [6] 西田豊明 (談). 人間とコンピュータでつくる知識コミュニティ — コンピュータが利用できる大規模知識ベース. あれきてる, No. 47, pp. 22-27, 1992.
- [7] 西田豊明. 大規模知識ベース構築への私案. Technical Report 技術研究報告, AI91-69, 電子情報通信学会, 1992.
- [8] 西田豊明. 知識コミュニティ. 北野宏明 (編), グランドチャレンジ — 人工知能の大いなる挑戦 —, pp. 176-189. 共立出版, 1993.
- [9] 錦正信, 武田英明, 西田豊明. マルチエージェント系による関連知識の抽出・統合と提示. 1994 年度人工知能学会全国大会, 1994.
- [10] 大西克二, 武田英明, 西田豊明. 知識コミュニティにおける情報流通の方式について. 1994 年度人工知能学会全国大会, 1994.
- [11] R. S. Patil, R. E. Fikes, P. F. Patel-Schneider, D. McKay, T. Finin, T. R. Gruber, and R. Neches. The DARPA knowledge sharing effort: Progress report. In Charles Rich, Bernhard Nebel, and William Swartout, editors, *Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Third International Conference*. Morgan Kaufmann, 1992.
- [12] Mark Stefik. The next knowledge medium. *AI Magazine*, Vol. 7, No. 1, pp. 34-46, 1986.
- [13] 高岡和宏, 武田英明, 西田豊明. 知識コミュニティにおける知識メディア. 1994 年度人工知能学会全国大会, 1994.
- [14] 武田英明, 飯野健二, 西田豊明. 知識コミュニティにおける知識共有メカニズム. 1994 年度人工知能学会全国大会, 1994.