

オントロジー構築・利用環境「法造」を用いた Semantic Webシステム開発の考察

古崎 晃司
Kouji Kozaki

大阪大学産業科学研究所
I.S.I.R., Osaka University
kozaki@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/~kozaki/>

keywords: ontology, building ontologies, semantic web

Summary

近年、次世代の Web 技術として Semantic Web に関する研究が盛んになされるようになった。Semantic Web は、Web の創始者でもある Tim Berners-Lee により提唱された次世代の Web のビジョンで、現状の Web コンテンツに計算機が理解可能な意味情報を付加することにより、Web の有用性を飛躍的に高めようとしている。オントロジーは Semantic Web の重要な構成要素の1つとして位置づけられている。本論文では、筆者らがこれまでに開発を進めてきたオントロジー構築・利用環境「法造」を、Semantic Web システムの開発に応用するための考察を行う。

1. ま え が き

近年における情報社会の発達は、知識システムの巨大化・複雑化を生み出した。計算機の能力向上やネットワークの普及により、システムが扱う知識ベースの規模は拡大し、複数のシステム間での知識ベースの相互運用性の向上も望まれるようになった。このような背景のもと、知識ベースを構築する際の背景となるバックボーン情報を提供し、知識の共有・再利用に貢献するオントロジーに関する研究が盛んになされるようになった。オントロジーとは本来、哲学用語で「存在に関する体系的な理論」のことをさすが、知識処理の分野では知識システムを構築する際に用いられる基本概念の体系的記述を指す。ここ数年、オントロジー研究への関心は急激な高まりを見せ、様々なオントロジーの開発事例が報告されている [溝口 99]。まず、Stanford 大学のオントロジーベース [Ontolingua] では、約 50 の開発例が蓄積されている。ビジネスプロセスモデリングやエンタープライズモデリングの分野でのオントロジー開発も盛んで [伊藤 98]、代表的なものにはエディンバラ大学の AIAI 研究所 [AIAI] とトロント大学 [TOVE] で開発されたエンタープライズオントロジーがある。その他、学習支援システムにおけるオントロジー [AIED99WS]、法律オントロジー [山口 98]、故障のオントロジー [來村 99] など様々な分野でのオントロジーが開発されている。

特に近年、オントロジーの応用分野として注目されている研究課題の1つに、Semantic Web がある [W3C-SW]。Semantic Web は、Web の創始者でもある Tim Berners-Lee により提唱された次世代の Web のビジョ

ン [萩野 01] で、現状の Web コンテンツに計算機が理解可能な意味情報を付加することにより、Web の有用性を飛躍的に高めようとしている。オントロジーは、この意味情報を表現する方法の1つとして位置付けられ [今村 01]、W3C においても 2001 年 11 月に Web-Ontology Working Group が発足している [WebOnt]。またそれに伴い、Karlsruhe 大学 AIFB 研究所の OntoEdit [Staab 00] や Stanford 大学の Protégé [Noy 01]、など Semantic Web に用いるオントロジーを構築するためのツールの開発も進められている。

このような背景のもと筆者らは、オントロジーの構築・利用を支援する計算機環境として、オントロジー構築・利用環境「法造」の開発を進めると共に、様々なプロジェクトにおいてオントロジーやオントロジーベースのアプリケーションの開発を行ってきた [古崎 02a, 古崎 02b]。「法造」の「オントロジーエディタ」は、Java 言語を用いたネットワークアプリケーションとして開発されており、これまでも構築したオントロジーのネットワークを介した公開・共有に用いられてきた。また「オントロジーサーバー」を用いて、分散協調環境下において複数のエージェントがオントロジーを共有・利用するアプリケーションが開発された経験もあり、これらの先行研究から得られた知見を基にシステムを拡張することで、Semantic Web システムの開発に「法造」を利用することが可能になると考えられる。

本論文では「法造」を用いた Semantic Web システムの開発について考察する。2章では Semantic Web に関する研究動向と Semantic Web システムの開発に必要な技術について概説する。3章では、筆者らがこれまで開

発してきたオントロジー構築・利用環境「法造」の
を述べ、続く4章で「法造」を用いた Semantic Web
システムの開発について考察する。5章では全体を
ると共に今後の研究課題について検討する。

2. Semantic Web システムの開発

2.1 Semantic Web とは

Semantic Web は、WWW の生みの親であり、
のディレクタである Tim Berners-Lee により提
た次世代 Web のモデルである [浦本 01, 浦本 02]
の Web は HTML などの技術を使い、人間が文書
を読み、理解することを前提にして作られている
に、計算機が処理可能な「知識(意味)」を付加す
で、機械が処理可能な Web 空間を構築しようとい
が Semantic Web で、現在 W3C で正式に活動が
れており [W3C-SW]、いくつかの国際会議も開催
している [WSa, WSb, ISWC2002]。

近年の HTML の普及に伴い、多くの情報が Web
公開されるようになった。しかし、HTML で記述
文書は、視覚的な情報をタグによって付加した
ぎず、人間が理解することは出来ても、計算がそ
を理解することは容易ではない。例えば、ある Web
ジで、ある文の文字サイズが他の文章よりも大き
タリングされていたとすると、人間はその文が「見
に相当するものであると分かる。また同様に、表
書きなどを用いて「やさしい HTML の書き方」「
郎」「1500 円」などといった3つ組の文が並べら
ると、それぞれが「本のタイトル」「著者名」「価格」
であると予想される。しかし計算機がこのような内容を理
解をするには、単なるレイアウト情報を与えるタグで
はなく「タイトル」「著者名」「価格」などを表すタグを
付加する必要がある。

このような意味のあるタグを利用を可能としたのが
XML である。XML を用いれば、意味のある自由な要
素タグを用いて文書を構造化することが可能となり、文
書を計算機で処理することが比較的容易になる。しかし、
複数のシステム間でこういった Web 上の文書を処理す
るには、どのタグがどのような内容を表しているのを明
らかにする必要がある。例えば、同じ「商品の価格」を
表す為に「価格」「値段」など別のタグが使用されてい
ると、計算機ではそれらが同じ内容を表すことが理解で
きない。そこで、このようなタグの意味を明確にするもの
が必要となる。それが、Semantic Web におけるオント
ロジーの役割である。

オントロジーとは本来、哲学用語で「存在に関する体
系的な理論」のことをさすが、知識処理の分野では知識
システムを構築する際に用いられる基本概念の体系的記
述をいう。オントロジーにはシステム設計者の視点や利
用目的、用いられる語彙の意味などの知識ベースを構築

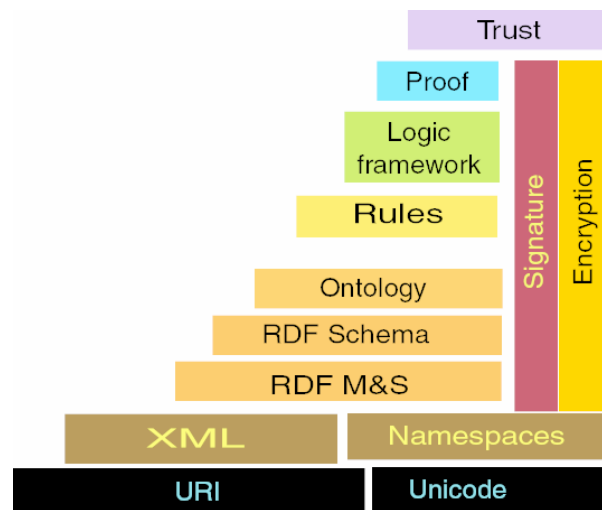


図 1 Semantic Web の構成要素 [Berners-Lee]

する際の背景情報が明示されている。知識システムが扱
う対象世界を表すモデルは、オントロジーが提供する規
約の下、概念や関係のインスタンスとして記述される。
また対象世界において様々な一般性を持って成立する問
題解決に用いるルールや制約を、オントロジーが与える
概念や関係の定義に基づいて記述したものを、本論文で
は知識と呼ぶ。よってオントロジーに基づき記述された
モデルや知識は一貫性を持ち、オントロジーを参照する
ことで他人が記述した知識の理解が容易になる。このこ
とから、従来システムに暗黙的に埋め込まれていた背景
情報をオントロジーとして抽出し、それを明示的に記述
し、それに関するある程度の合意を得ることで、知識の
共有・再利用に大きく貢献する。

2.2 Semantic Web の構成要素

Semantic Web は、図 1 のような階層から構成される
[Berners-Lee]。RDF は Web 上の文書(リソース)に
関するメタデータ記述するための言語で、モデルと構文
を規定した「RDF Model and Syntax」と、スキーマ
を定義した「RDF Schema」から成る。現在、W3C の
RDFCore Working Group[RDF] によって標準化が進
められている。

Ontology に関しては、W3C の Web-Ontology (We
bOnt) Working Group[WebOnt] において、DAML+OIL
を基にしてオントロジー記述言語の標準化が進められ
ている。DAML+OIL[DAML+OIL] は、DARPA の支
援のもとで開発が進められている、Web 上の情報を検
索するエージェントの為に言語 DAML(DARPA Agent
Markup Language)[DAML] と、Web 上のオントロジー
を記述するためにの言語である OIL(Ontology Inference
Layer)[OIL] の2つのプロジェクトが協力して開発を進
めているオントロジー記述言語である。

さらに RDF で記述した知識やモデル、オントロジーで

規定した概念定義や概念間の遷移を用いて、様々な推論を行うのがこれらの上位に位置する論理層 (Rules, Logic framework), 証明層 (Proof), 信頼層 (Trust) である。これらの層に関しては、現在、議論が進められている。

2.3 Smantic Web 開発に必要な技術・ツール類

Smantic Web システムを開発するには、従来の Web ベースのシステム開発に用いられてきた技術やツール類に加えて、前節で述べた構成要素を扱う技術が必要とされる。現在、XML や RDF を扱うシステム類に加えて、DAML+OIL をサポートしたオントロジーを構築するシステムや、オントロジーに基づいた推論を行う処理系の開発が進められている。代表的なオントロジー構築ツールとしては、Karlsruhe 大学 AIFB 研究所の OntoEdit [Staab 00] や Stanford 大学の Protégé [Noy 01] などがある。

また、現在の HTML をベースとした Wwb を Semantic Web へと発展させるには、既存の Web 空間を Semantic Web に対応した Web 空間へと変換する技術が必要になると考えられる。例えば、オントロジーに基づいて、既存の Web ページに意味情報を付加することを補助するツール類や、既存の Web ページから概念を抽出しオントロジーを構築を支援するシステム、その他、オントロジーの統合・変換などを行う技術の整備が望まれる。

3. オントロジー構築・利用環境「法造」

3.1 「法造」の概要

オントロジーベースのシステム開発は、

- (1) オントロジーの構築
- (2) 構築したオントロジーに基づいたモデル構築
- (3) オントロジー・モデルを利用したシステムの開発

という3つの過程を経てなされる。

このようなオントロジーの構築から利用に至る一連の過程を支援することを目的として、筆者等はオントロジー構築・利用環境「法造」の開発を進めてきた [古崎 02a, 古崎 02b]。「法造」とはオントロジー (= “法”) を構築する (= “造”) 為の計算機環境で、「オントロジーエディタ」、「概念工房」(オントロジー構築ガイドシステム)、「オントロジーサーバー」の3つのシステムから構成される(図2)。

オントロジーエディタはオントロジーの基礎理論に関する考察に基づいて設計がなされた記述環境を提供し(図3)、オントロジーをグラフィカルに表示・編集する機能を持つ。概念間の関係はノード・リンクを用いたグラフ状に表現され、ユーザーはマウス操作で容易にオントロジーの表示・編集を行うことができる。また、概念や関係の意味定義は専用の画面で表示・編集がなされ、概念間の関係や意味定義の継承などはシステムが動的に管理する。この際、形式的な整合性の確認やオントロジーに基づくモデルの記述機能はオントロジーサーバーとネッ

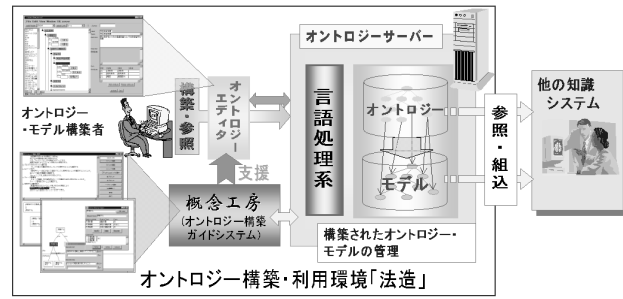


図2 法造の全体像

トワークを介した通信を行いながら実行される。

概念工房はオントロジー構築方法 AFM (Activity-First Method) に基づき、自然言語で書かれたドキュメントからオントロジーで記述される概念の抽出や組織化を支援するシステム [久保 98, 久保 99] で、ガイドラインに従いオントロジーの全体像を構築することができる。AFM はタスクアクティビティと呼ばれる問題解決の処理を表す概念を最初に整理し、それを基にドメイン概念を抽出・整理する構築方法で [Mizoguchi 95, Takaoka 96], 概念工房ではその過程を複数のステップに分けて支援する環境を提供している図4。AFM および概念工房の詳細に関しては別稿で報告する [石川 01]。

これらのシステムで構築されたオントロジーやモデルはオントロジーサーバーで管理される。オントロジーサーバーはオントロジーやモデルを管理するために必要な様々な機能を持ち、概念の定義、編集、参照、整合性の検証などのオントロジーやモデルを操作する為の機能が、操作関数として整理されている。オントロジーエディタをはじめとする他のシステムとはネットワークを介して接続されており、これらの操作関数を用いて、オントロジーサーバーが提供する機能を利用することが出来る。構築されたオントロジーやモデルは、ユーザー毎に管理され、必要に応じて外部システムからの参照や、LISP, XML など汎用形式での出力がなされる。

3.2 「法造」が扱うオントロジー

「法造」が扱うオントロジーは、以下の構成要素からなる。

- label : 概念名を表すラベル
- super : 上位概念
- axiom : 公理
- def : 自然言語による定義 (コメント)
- slots : スロットの集合
 - スロット名
 - スロットの種類 (part-of/attribute-of)
 - クラス制約
 - スロットの数に関する制約

part-of はその概念を構成している部分にあたる概念 (部分概念) を表し、attribute-of は概念がもつ属性を表す。

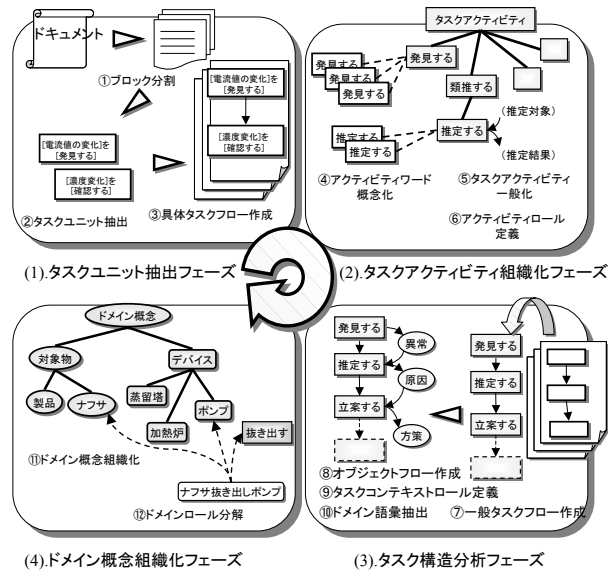
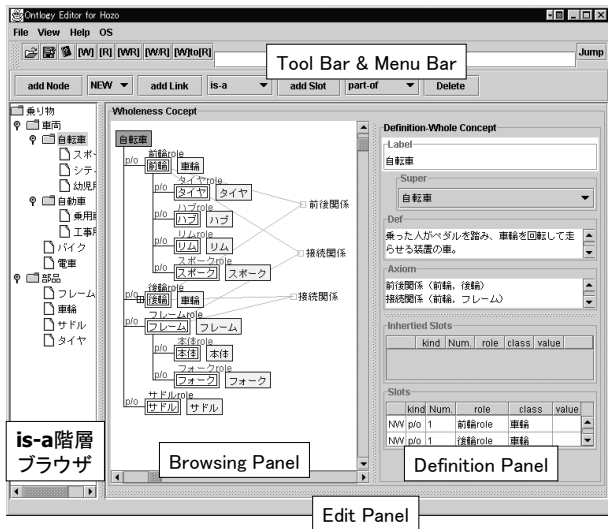


図 4 概念工房におけるオントロジー構築過程

またクラス制約はスロット(部分概念, 属性)の値となりうるインスタが所属するクラスに関する制約, 数に関する制約はスロットの値となるインスタの数に関する制約を示す. 公理は概念が満たすべき性質を宣言的に表したもので, 部分概念や属性に関する制約や関係などが記述される. 公理を記述する文法については, 等価関係 (equal), 所属関係 (include), 順序関係 (order-of) などのプリミティブと, AND, OR, NOT といった論理演算子など, 必要最低限のものを用意している.

3.3 オントロジーの構築

オントロジー構築は,

- (1) オントロジーの設計 (内容の検討)
- (2) オントロジーの記述

(3) 整合性確認

を繰り返すことで行われる.

§1 オントロジーの設計

「法造」におけるオントロジーの設計は, 概念工房によって支援される. 概念工房はオントロジー構築方法 AFM に基づく, オントロジー構築ガイドシステムで, 複数のステップに分かれた一連のガイドラインに沿ってオントロジーの設計を支援し, オントロジーの全体像を構築する機能を持つ. この詳細は別稿で報告する [石川 01].

§2 オントロジーの記述

オントロジーの設計がなされると, 次いで, 3.2 節で示したオントロジーの構成要素を用いて, 設計したオントロジーの定義内容を記述する. オントロジーの記述には, それらの構成要素(記述内容)の表示・編集を支援する諸機能が必要となる. その際, より良質なオントロジーを構築する為には, オントロジーの基礎理論に基づいた扱いをサポートすることが重要となる.

「法造」におけるオントロジーの記述はオントロジーエディタを用いて行う「法造」のオントロジーエディタは「ルール概念」と「関係」に関する考察を中心としたオントロジーの基礎理論に基づき開発されている. この基礎理論に基づいたオントロジーの扱いが「法造」の最も本質的な特徴である [古崎 02a].

§3 オントロジーの検証

記述したオントロジーの定義内容が適切か, 矛盾がないかなどの検証を行う必要がある. オントロジーの定義内容そのものが適切であるかについては, オントロジー研究の本質的課題であり妥当性の確認は容易ではなく, 使用を通して確認する以外に有効な方法はない. しかし, 記述方法の文法エラーなど形式的な整合性の確認は, 適切な言語処理系を用いて行うことができる.

「法造」ではオントロジーサーバーが整合性検証を行うための処理系を提供する. この整合性検証機能は, 本研究の中心課題ではないので現在は, 必要最低限のものを実装しており, 今後, 必要に応じて処理系の機能拡張や, 既存の論理システムを利用することを検討している.

3.4 モデルの構築

オントロジーに基づくモデルの構築は, オントロジーで定義した概念(クラス)から個々のインスタンスを作成し, 接続情報や属性値など, そのインスタンスに特有の情報を与えることで行われる. 各概念や概念間の関係を表す語彙とその定義はオントロジーで用意されているので, オントロジーに基づいてモデルを作成・変更することによりモデリングの作業が容易になり, 構築したモデルの一貫性が保証される. このようなオントロジーに基づくモデル構築は,

- (1) オントロジーで定義した概念や関係に基づき, 個々のインスタンスを作成する(モデルの記述)

(2) 構築したモデルがオントロジーの定義に矛盾していないかを検証する(モデルの整合性確認) という2つの過程を繰り返して行われ、これらの各過程を支援する機能が必要とされる。

「法造」でモデルを構築する際には、モデルの表示・編集を行う「モデルエディタ」と、オントロジーの定義を参照する「オントロジー参照ウィンドウ」の2つが表示される。ユーザーはオントロジーで定義されている概念の一覧から必要な概念を選択し、そのインスタンスを作成することでオントロジーに基づいたモデルの記述を行う。その際「法造」は、オントロジーに基づき構築されたモデルの整合性を保つために、オントロジーで定義された公理やスロットに関する制約に従い「必須スロットの自動生成」や「制約に基づいたスロット作成の制限」などの機能を提供する。また、このようにして構築したモデルは、オントロジーサーバーの処理系を用いて、オントロジーで定義された制約や公理が満たされているかを確認し、違反があるとユーザーにエラーメッセージを表示する。これらの機能を用いて、ユーザーはオントロジーに基づいたモデルを構築することができる。

3.5 オントロジーとモデルの利用

「法造」で構築されたオントロジーやモデルはオントロジーサーバーが管理し、必要に応じて外部の知識システムによって利用される。本論文では、構築されたオントロジーやモデルを、オントロジーサーバーを介して利用する外部システムを「OS 利用エージェント」と呼ぶ。「法造」では、OS 利用エージェントがオントロジーやモデルを利用するために、オントロジーサーバーは以下の3通りの枠組みを用意している。

- (1) ネットワーク経由の参照: 構築されたオントロジーやモデルを、ネットワークを介して外部から参照する。
- (2) 特定形式への変換: 構築したオントロジーやモデルを、階層化テキスト形式、Lisp 形式、XML/DTD 形式など、汎用の形式に変換して出力する。
- (3) 操作関数 (API) を利用したアクセス: オントロジーやモデルの構築に用いられる操作を、外部システムから利用可能な公開関数群として提供する。

3.6 開発状況

「法造」のオントロジーエディタは、約5年間に渡り研究室内外の様々なプロジェクトでオントロジーやモデルの構築に利用されており、高い評価を得ている。また、オントロジーサーバーを利用したシステムも既に開発されている。具体的には、知的教育システムのオントロジー [金 99]、CSCL におけるシステムのインタラクションオントロジー [Barros 01] などの構築に利用がなされてきた。

これらの利用例を通して得られた成果の一例を示すと、旧通産省の支援のもと、ヒューマンメディアプロジェクトの一環としてなされた、石油精製プラントのオントロ

ジーと対象モデル [佐野 99] の構築がある。この際、構築された概念数約 400 のプラントオントロジーおよび部品数約 2000 というプラントモデルは、企業の専門家からも現実の石油精製プラントを扱うのに十分な規模を提供していると認められており、本システムが現実規模のオントロジーの構築に十分耐えうるシステムであることが示されたと言える。さらに同プロジェクト内の開発システム(三菱電機(株)、日石三菱石油(株)が参加)において、これらのプラントオントロジーおよびモデルを利用したアプリケーションも開発され、オントロジーエディタがオントロジーの構築から利用までの一連の過程をサポートできることが示された [古崎 02b]。また、機能オントロジーの構築 [來村 01] においては、従来の記述環境では構築が困難であったオントロジーの構築が可能となったとの評価を受けている。

4. 「法造」を用いた Semantic Web システムの開発

前章で述べたように「法造」はオントロジーを構築・利用するためのシステムであるので、Semantic Web システムを開発する際には、オントロジー層を中心とした開発に貢献すると考えられる。本章では「法造」を用いた Semantic Web システムの開発に必要なと思われる研究課題や、利用の可能性について考察する。

4.1 オントロジーエディタの利用

現在「法造」を用いた Semantic Web システム開発の準備作業として「法造」で構築・利用するオントロジーの DAML+OIL 形式への対応を進めている。DAML+OIL をサポートしたオントロジー記述環境は既にいくつか開発されているが「法造」の特徴であるオントロジー基礎理論に基づいた記述環境を用いることで、より良質なオントロジー構築が可能になると期待される。「法造」を開発する際に考察したオントロジー基礎理論は「ルール概念」と「関係概念」という2種類の概念に関する理論を中心としており [?]、この理論に基づくことで様々なコンテキストに伴う適切な視点を柔軟に扱うことが可能になると考えている。Semantic Web のように多数のシステムが、広大な Web 空間に広がる知識を処理しようとする際には、様々な視点を明確に扱うことができる枠組みは重要な研究課題の1つとなる。

また「法造」のオントロジーエディタが持つ「オントロジーに基づくモデル構築機能」は、Semantic Web システムの開発においては、オントロジーに基づいた Web 文書の記述に利用することが考えられる。その為には、オントロジーと Web 文書の対応関係について考察する必要がある。

4.2 オントロジージャーの利用

オントロジージャーは、オントロジージャーベースのアプリケーションを開発するための基本的な機能を提供している。現在のオントロジージャーは必要最低限の処理系を実装しているのみであるので、Semantic Web システム開発に利用するためには DAML+OIL への対応を含めて処理系の拡張が必要となる。

4.3 概念工房の利用

概念工房は技術文書を基にしたオントロジージャー構築を、複数ステップに分かれたガイドラインに沿って支援する。この機能を、既存の Web 文書を基にした Semantic Web 用のオントロジージャー構築支援に追うようすることが考えられる。また、オントロジージャーエディタと連携し、HTML ベースの Web 文書を Semantic Web に対応した Web 文書に変換するツールの開発に、概念工房の技術を利用することも考えられる。

5. む す び

本論文では、オントロジージャー構築・利用環境「法造」を Semantic Web システムの開発に利用する方向性に関して考察した。Semantic Web は、まだ本格的な研究が始まってまもない分野であり、多くの課題が残されている。しかし Web 技術や AI 研究の応用分野として、大きな期待がよせられている。オントロジージャーは Semantic Web が成功する為の鍵となる重要な構成要素であり、筆者らがこれまでに開発を進めてきた「法造」は、Semantic Web システムの開発に様々な形で貢献することが期待される。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [AIAI] AIAI, : <http://www.aiai.ed.ac.uk/enterprise/enterprise/ontology.html>.
- [AIED99WS] AIED99WS, : AI-ED 99 Workshop on Ontologies for Intelligent Educational Systems: <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/aied99/aied99-onto.html>.
- [Barros 01] Barros, B., Mizoguchi, R., and Verdejo, F.: A Platform for Collaboration Analysis in CSCL. An ontological approach, in *Proceedings of AIED01*, St. Antonio, USA (to appear,2001).
- [Berners-Lee] Berners-Lee, T.: The Semantic Web: <http://www.w3.org/2002/Talks/04-sweb/>.
- [DAML] DAML, : The DARPA Agent Markup Language: <http://www.daml.org/>.
- [DAML+OIL] DAML+OIL, : <http://www.daml.org/2001/03/daml+oil-index.html>.
- [萩野 01] 萩野達也: セマンティクス WEB の現状と課題, データベースと Web 情報システムに関するシンポジウム, pp. 71-77 (2001).
- [今村 01] 今村誠: セマンティクス Web とオントロジ, データベースと Web 情報システムに関するシンポジウム, pp. 85-88 (2001).
- [石川 01] 石川, 久保, 古崎, 来村, 溝口: タスク・ドメインロールに基づくオントロジージャー構築ガイドシステムの設計と開発 - 石油精製プラントを例として -, 人工知能学会誌 (投稿中) (2001).
- [ISWC2002] ISWC2002, : 1st International Semantic Web Conference (ISWC2002): <http://iswc.semanticweb.org/>.
- [伊藤 98] 伊藤, 山口: オントロジージャーとエンタープライズモデル, 人工知能学会誌, Vol. 13, No. 6, pp. 870-879 (1998).
- [金 99] 金, 林, 池田, 溝口 他: 訓練システム Smart Trainer 構築用オーサリングツール, 教育情報学会誌秋号, Vol. 16, No. 3, pp. 139-148 (1999).
- [来村 99] 来村, 溝口: 故障オントロジージャー - 概念抽出と組織化 -, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 5, pp. 828-837 (1999).
- [来村 01] 来村, 笠井, 吉川, 高橋, 古崎, 溝口: オントロジージャーに基づく機能的知識の体系的記述とその機能構造設計支援における利用, 人工知能学論文誌 (投稿中) (2001).
- [古崎 02a] 古崎, 来村, 池田, 溝口: 「ロール」および「関係」に関する基礎的考察に基づくオントロジージャー記述環境の開発, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 3, pp. 196-208 (2002).
- [古崎 02b] 古崎, 来村, 佐野, 本松, 石川, 溝口: オントロジージャー構築・利用環境「法造」の開発と利用 - 実規模プラントオントロジージャーを例として -, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 4, pp. 407-419 (2002).
- [久保 98] 久保, 古崎, 来村, 池田, 溝口: オントロジージャー構築ガイドシステムの概念設計, 人工知能学会全国大会論文集 (第 12 回), pp. 36-39 (1998).
- [久保 99] 久保, 古崎, 来村, 溝口: オントロジージャー構築方法 AFM(Activity-First Method) の詳細化の試み, 人工知能学会全国大会論文集 (第 13 回), pp. 114-117 (1999).
- [Mizoguchi 95] Mizoguchi, R., Ikeda, M., Seta, K., and Van-welkenhuysen, J.: Ontology for Modeling the World from Problem Solving Perspectives, in *IJCAI Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing* (1995).
- [溝口 99] 溝口理一郎: オントロジージャー研究の基礎と応用, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 6, pp. 977-988 (1999).
- [Noy 01] Noy, N. F., Sintek, M., Decker, S., Crubezy, M., Ferguson, R. W., and Musen, M. A.: Creating Semantic Web Contents with Protégé-2000, *IEEE Intelligent Systems*, pp. 60-71 (2001).
- [OIL] OIL, : The Ontology Inference Layer OIL: <http://www.ontoknowledge.org/oil/>.
- [Ontolingua] Ontolingua, : Stanford KSL Network Services: <http://www.ksl-svc.stanford.edu:5915/>.
- [RDF] RDF, : RDFCore Working Group: <http://www.ercim.org/EU-NSF/semweb.html>.
- [佐野 99] 佐野, 来村, 溝口: ヒューマンメディア・プロジェクトにおける石油プラントオントロジージャーの構築とその利用, 人工知能学会全国大会論文集 (第 13 回), pp. 378-381 (1999).
- [Staab 00] Staab, S. and Maedche, A.: Ontology Engineering beyond the Modeling of Concepts and Relations, Koblenz, Germany (2000).
- [Takaoka 96] Takaoka, Y. and Mizoguchi, R.: Identification of Ontologies to Reuse Knowledge for Substation Fault Recovery Support System, *Decision Support Systems* 18, pp. 3-21 (1996).
- [TOVE] TOVE, : <http://www.eil.utoronto.ca/tove/toveont.html>.
- [浦本 01] 浦本直彦: Semantic Web -機械のための Web-, 人工知能学会誌, Vol. 16, No. 3, pp. 412-419 (2001).
- [浦本 02] 浦本直彦: Semantic Web, *2002 MAY XMLWorld @ JavaWorld*, pp. 155-165 (2002).
- [W3C-SW] W3C-SW, : W3C Semantic Web: <http://www.w3.org/2001/sw/>.
- [WebOnt] WebOnt, : W3C Web-Ontology (WebOnt) Working Group: <http://www.w3.org/2001/sw/WebOnt/>.
- [WSa] WS, : The Second International Workshop on the Semantic Web - SemWeb'2001: <http://semanticweb2001.aifb.uni-karlsruhe.de/>.
- [WSb] WS, : Strategic Workshops - Shaping future EU-NSF collaborations in Information Technologies: Semantic Web: <http://www.w3.org/2001/sw/RDFCore/>.
- [山口 98] 山口, 樽松: 法律オントロジージャー, 人工知能学会誌, Vol. 13, No. 2, pp. 189-196 (1998).