

オントロジーにおけるコンテキストに依存する概念の取り扱い

Treatment of Context-dependent Concepts in Ontologies

砂川 英一
Eiichi Sunagawa

古崎 晃司
Kouji Kozaki

來村 徳信
Yoshinobu Kitamura

溝口 理一郎
Riichiro Mizoguchi

大阪大学 産業科学研究所
I.S.I.R., Osaka Univ.

Abstract. Based on some fundamental theories of ontology, we can treat a role concept as a concept which an entity plays in a context and discriminate it from a basic concept. Because a theory of role concepts makes a static policy for treatment of views and contexts related to conceptualization, discrimination of role concepts contributes effectively to management of instance models. In our research, we have developed an ontology building environment, which provides a framework for representation of role concepts and their characteristics. However, in the framework, role concepts are dealt with in a basic concept centered view and their definitions are scattered around in the respective related concepts which give the context of the roles. In this paper, as an extension of this framework, we present a framework for organizing role concepts in a hierarchy from role centered view and manage their complicated context dependencies.

1. 緒言

オントロジーは単なる語彙階層ではなく、概念の峻別が重要な意味を持つ。その一例に、ロール概念の峻別がある。ロール概念は、文字通り「役割」を概念化したものであり、コンテキストや視点への依存性を持っている。よって、ロール概念を峻別し、その性質を反映する形で対象世界をモデリングするならば、視点やコンテキストの変化を扱うための有効で一貫した立場を保つ事ができる。例えば、コンテキストや視点の変化によって実態の担う役割が変化する事や、役割を担う事をやめても実体は存在し続ける事などをインスタンスモデルにおいて忠実に表現しやすくなる。そのため、ロール概念に関する考察に基づいてオントロジーを構築する事は、対象世界モデリングにおける「役割」の概念化をより自然な形で行う事に繋がる。コンテキストの変化や、それに依存する概念の扱い方は、かねてより知識工学全般にわたって課題とされてきたテーマの一つであり、ロール概念が持つ性質の構造を明確にし、それをオントロジーで表現する事は、インスタンスモデルの管理に大きく貢献する。

オントロジーにおいて役割を概念化し、その定義を表現するためには、OWLのような既存のオントロジー記述言語が提供する枠組みだけでなく、より高度な semantics を規定する枠組みが必要である。なぜなら、それらが提供する枠組みは意味表現の共通基盤を与えるのみであり、それを直接使用する事によって、我々が認識する概念の性質を忠実に表現する事は難しいからである。そのような行為は、あたかもアセンブラで直接プログラミングを行うようなものであり、概念定義を忠実に表現できないだけでなく、オントロジー開発者間に混乱を引き起こし、インスタンスモデルの管理アルゴリズムを複雑にもしかねない。したがって、オントロジーにおいてロール概念を扱うためには、我々が認識するものに近いロール概念の semantics を規定し、それを共通形式のもとで表現するための枠組みが必要となる。

こうした背景の下、本研究は、オントロジー構築において必要となるロール概念の性質を明らかにし、その忠実な反映を可能

にする環境の開発を目指してきた。そして、その成果としてオントロジー構築・利用環境「法造」を公開するに至っている (<http://www.hozo.jp>)。しかし、これまで法造が提供していた枠組みにおいて、ロール概念はコンテキストとなる基本概念の定義の中で扱われるのみであった。そのため、ロール概念間の関係のある程度表現する事は可能であったが、概念化に関する詳細な情報を十分に表現する事ができなかつた。そこで本論文は、これまで提供してきた枠組みの拡張として、ロール概念を組織化するための指針について議論し、それを支援するために必要とされる環境や機能について考察する。これにより、オントロジーに含まれるロール概念について、その分類軸や概念化を決定付ける要因を明示化し、また、その全体像を適度なレベルでまとめて表現する事が可能になる。このように、オントロジーにおいてロール概念を扱うための高度な枠組みを提供する事は、オントロジー構築における役割の概念化をさらに容易にし、結果として、インスタンスモデルの管理に貢献すると考えられる。

2. 本研究が扱うロール概念

本研究で扱う**ロール概念**は、「状況に依存して変化する個物の呼び名」、また「あるものが特定のコンテキストのもとで果たす役割を概念化したもの」[溝口 99, 古崎 02a]などと定義され、用いられるものである¹。そして、その役割を担うものが属すべきクラスに関する制約を**クラス制約**と呼ぶ。一方、ロール概念とは異なり、他の概念へ依存せずに定義可能な概念を**基本概念**と呼ぶ。あるロール概念に対してクラス制約となる概念は、原則的には基本概念の中から選ばれる。このように、ロール概念はコンテキストやクラス制約となる概念を同定し、そのコンテキストへの参加の仕方を概念化する事によって定められる。そして、基本概念がロール概念で定義される役割を担った状態にあるインスタンスは、**ロールホルダー**と呼ばれる。例えば、基本概念「人間」のインスタンスが、教員の役割を概念化したロール概念「教員ロール」のインスタンスを担っているとき、このインスタンスはロール

連絡先: 砂川英一, 大阪大学 産業科学研究所 知識システム
研究分野, 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1,
Tel: 06-6879-8416, Fax: 06-6879-2123,
e-mail: sunagawa@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

¹ この本研究におけるロール概念の定義は、ロール概念認定の必要条件として用い、その表現方法を論じる事を目的としたものである。対象世界モデリングにおいて普遍的に適用可能であり、世の中に存在するロール概念の全てを覆うような定義は、本研究の対象範囲外としている。

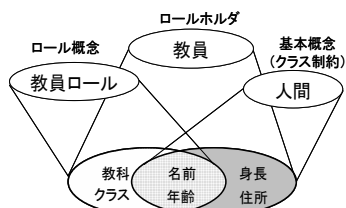


図 1: ロール概念, クラス制約, ロールホルダーの構成要素間の関係例

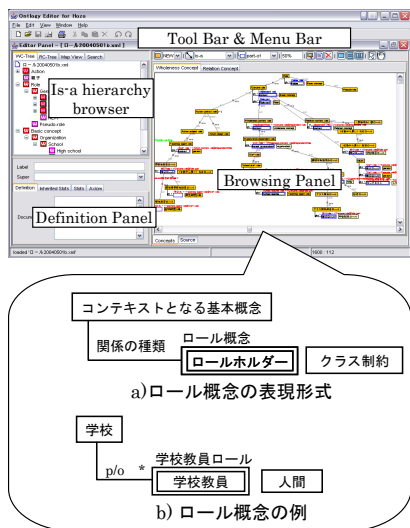


図 2: 法造のオントロジーエディタと, ロール概念の表現例

ホルダー「教員」として認識される。このときロールホルダーは、ロール概念の定義に含まれる属性と、クラス制約となる基本概念の定義に含まれる属性とを合わせて持つ。この構成要素間の関係の概要は図 1 のように表す事が可能である[林 98]。

筆者らは、このようなロール概念の性質に関する考察に基づき、オントロジー構築・利用環境「法造」の開発を行ってきた [Sunagawa03, 石川 02, 古崎 02a, 02b]。法造のオントロジーエディタ(図 2)は、コンテキストとなる基本概念の定義に付随する形でロール概念を記述する枠組みを提供している。図 2-a は、オントロジーをグラフィカルに編集するパネル(Browsing Panel)におけるロール概念の表現形式を示している。このパネルにおいて、ロール概念は「コンテキストとなる概念を表すノードに関連付けられたスロット」の形式で表現される。例えば図 2-b は、「学校」というコンテキストのもとで定義されるロール概念「学校教員」の役割を人間が担い、学校を構成する学校教員(ロールホルダー)になる」という内容を表現している。

3. コンテキスト依存性に基づくロール概念組織化

これまで法造が提供してきた枠組みは基本概念の定義を中心にしたものであったため、「役割」の概念化に関する詳細な情報を表現できなかった。そこで本研究はこの枠組みを拡張し、ロール概念を中心据えた視点から、その組織化を行う枠組みの提供を目指す。本研究におけるロール概念の組織化は、基本概念の階層におけるロール概念の定義部分を参照しながら、それらの相互関係やコンテキスト依存性の構造を明確にし、ロール概念の is-a 階層を構築する事を中心に行われる。対象世界に存在するロール概念は、基本概念階層とロール概念階層の両方において定義を表現する事が可能であり、原則的にそれらが持つ情報は同じである。よって、ロール概念階層は、基

本概念階層に分散して存在するロール概念の情報を抽出して表現しなおしたものだと言える。しかし、ロール概念階層を構築する事によって、そこに基本概念階層では表現しきれない概念化の情報を加える事も可能である。以下の節では、具体例を参照しながら、組織化において方針となる考え方について説明するとともに、上記の各階層が持つ情報について触れる。

ここで参照する具体例(図 3, 4)は、教育世界を対象としたオントロジーに表れる概念の幾つかを、法造のオントロジーエディタを用いて記述したものである。図 3 は、そのうち基本概念の階層の一部を表しており、ロール概念の定義は、コンテキストとなる基本概念の定義に付随する形で記述されている。一方、図 4 は、図 3 で示した基本概念の階層で定義されているロール概念を参照しながら、必要な情報を加えて、階層の形式で組織化し、表現したものである。

3.1 コンテキストの種類によるロール概念組織化

ロール概念は一般にコンテキストへの依存性によって規定されるため、その組織化も、コンテキストとなる基本概念の分類に沿って行う事が可能である。例えば、基本概念の階層において、問題解決の手順などに関するタスク知識の概念体系は、問題解決の対象に関するドメイン知識の概念体系と区別する事が可能である。そのような場合、タスク知識の中に現れるロール概念は、タスクをコンテキストとするロール概念の集合を示すクラスである**タスク依存ロール**に分類される。そして、タスクの種類に応じて、さらにロール概念を組織化する事が可能になる。例えば、「原因」「兆候」などは故障診断タスクに依存するロールに、「検体」は実験タスクに依存するロールとして分類される。一方、専門知識の大部分を占めるドメイン知識の中では、ドメインに特有なロール概念の種類を考える事が可能である。例えば「機能」という概念を、あるドメインにおいてコンテキストとなる概念の主要なカテゴリとして定義する事により、「クーラー」や「圧力計」などは、それが果たす機能によって定まる**機能依存ロール**に分類される。同様に、コンテキストになる基本概念の種類に沿って、**行為依存ロール**(凶器, 学習者など)、**関係依存ロール**(友人, 兄など)、**資格依存ロール**(会員, 王など)、**属性(状態)依存ロール**(高温炉, 病人など)などの種類が考えられる。本研究では、このような観点による分類をロール概念階層のトップレベルで行い、それらを大分類として用いながらロール概念の組織化を目指す。

教育世界を対象としたロール概念階層の図 4-b において、最上位にあたる**ロールクラス**の直下に分類される概念として**行為依存ロール**、**組織依存ロール**などのクラスが、ロール概念階層の上位層で定義されている。この組織化は、基本概念階層の図 3-a,b において、コンテキストとなる基本概念が上位において**行為**、**組織**などの観点で分類されている事を、ロール概念を中心据えた視点から表現したものである。

3.2 ロールアグリゲーション

一般に、ロール概念は複数の視点から概念化されるため、そのロール概念が依存するコンテキストを一意に定める事が難しい場合が考えられる。このとき、そうしたロール概念について、「どのコンテキストのもとに分類するか」、また「複数のコンテキスト依存性をどのように表現し、管理するか」といった問題が生じる。この問題に対し、本研究では**ロールアグリゲーション**という枠組みを導入する。ロールアグリゲーションとは、複雑なコンテキスト依存性を単一のコンテキストごとに分解し、その中から本質となるコンテキスト依存性を決定したうえで、相互の関係を明示化しながら束ねる事によって、ロール概念の定義を表現し、組織化する枠組みである。ロールアグリゲーションは、基本概念の階層

とルール概念の階層の両方において表現可能であり、原則的に、それらが持つ意味情報は等価である。

ルールアグリゲーションの主目標は、コンテキスト依存性の分解である。一般に、ルール概念が持つコンテキスト依存性は分解可能であり、その最小単位に沿って各々のコンテキストを認定する事が可能である。このとき、各コンテキストに対し、それのみに依存するルール概念を定義する事が可能である。単一のコンテキスト依存性を持ったこれらのルール概念を、本研究では**プリミティブなルール概念**と呼ぶ。

ここでは説明を簡単にするため、二つのコンテキスト依存性を持ったルール概念(Rとする)についてアグリゲーションを行う。まず、Rが持つコンテキスト依存性を分析・分解し、そのルール概念にとって最も本質に近いコンテキストを一つ定める。このとき、本質となるコンテキストのみに依存するルール概念(Reとする)と、それ以外のコンテキストに依存するルール概念(Rpとする)が、プリミティブなルール概念の中から選ばれる。

まず、基本概念の階層におけるルールアグリゲーションについて説明する。2章で述べたように、本研究が提供する枠組みでは、ルール概念を担うものが属すべきクラスを限定する事が可能である(クラス制約)。これまでの枠組みにおいて、ルール概念を担う概念は原則として基本概念の中から選ばれていた。ここで枠組みを拡張し、基本概念だけでなく、ルールホルダーもクラス制約として用いる事を可能にする。これによって、既に何らかの役割を担っている状態にあるルールホルダーに、さらに別の役割を担わせる事が可能になる。この事は、あるコンテキスト依存性を持ったルール概念に、別のコンテキスト依存性を追加する事を意味している。そこで、二つのコンテキスト依存性を持ったルール概念(R)を、本質となるルール概念(Re)を特殊化した概念として定義し、そのクラス制約として本質でないルール概念(Rp)を担ったルールホルダーを指定する事によって、ReとRpの両方が持つコンテキスト依存性を兼ね備えたルール概念Rが定義される。

次に、ルール概念の階層におけるルールアグリゲーションについて説明する。複雑なコンテキスト依存性を持ったルール概念は、ルール概念の階層の中ではプリミティブなルール概念の下位で組織化される。ルールアグリゲーションは、プリミティブなルール概念の中から、注目するルール概念が持つコンテキスト依存性を持ったものを選択し、is-a関係と、part-of関係を用いて、コンテキスト依存性を束ねる事で表現される。まず、属性継承を意味するis-a関係を用い、ルール概念Rを、本質となるコンテキストに依存するプリミティブなルール概念(Re)の下位概念として記述する。そして、プリミティブなルール概念の中から、Rの本質とならないコンテキストに依存するプリミティブなルール概念(Rp)を選択し、それをルール概念Rの部分概念として、部品合成を意味するpart-of関係を用いて記述する。ここで付加されるプリミティブなルール概念を、本研究では**ロールパート**と呼ぶ。このように、is-a関係による属性継承と、part-of関係による部品合成を同一のルール概念で行う事により、複数のコンテ

キスト依存性が束ねられる。

例えば、教育世界を対象としたオントロジーにおいて、**学校教員ルール**は、**組織**というコンテキストに依存して定義される**職員ルール**を本質となるルール概念とし、**教授行為**というコンテキストに依存して定義される**教授行為主体ルール**を付加的に持つ概念であると定義されている。その事は、基本概念階層の図3-cにおいては、**学校**というコンテキストにおいて**学校教授行為主体者**が**学校教員**となるとときに担う概念として**学校教員ルール**を定義する事で表される。一方、ルール概念階層の図4-hにおいては、**職員ルール**の下位概念であり、**教授行為主体ルール**をロールパートとして持つ概念として**学校教員ルール**を定義する事で表される。

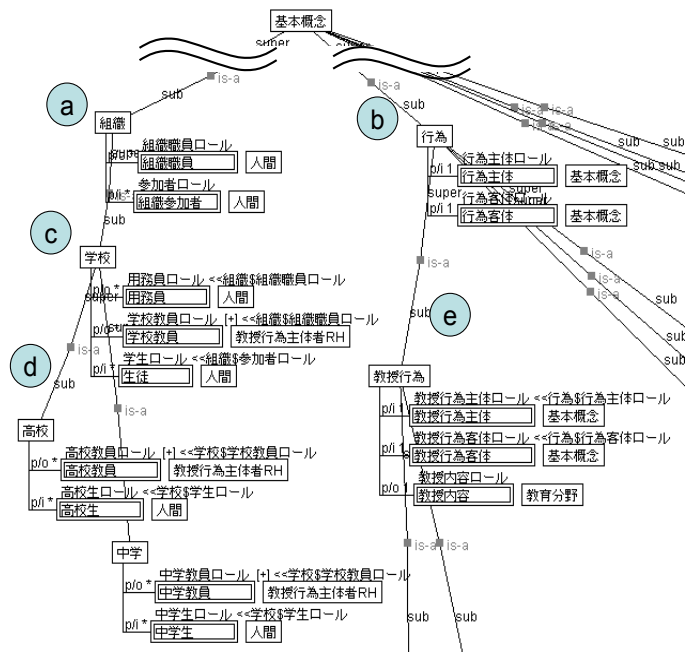


図3：教育世界に現れる基本概念の階層

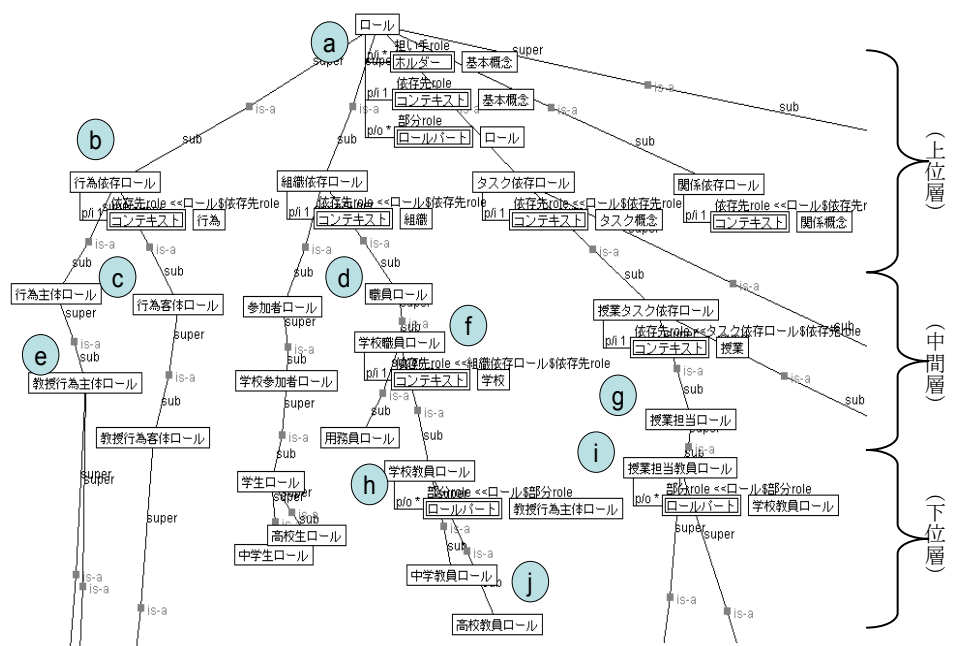


図4：教育世界に現れるルール概念の階層

3.3 ロール概念階層の構築で用いられる観点

コンテキストとなる基本概念の種類に沿ってロール概念を分類した後は、各分類の中でより細かい組織化が行われる。これらの組織化は主として、ロール概念の階層においては、3.1節で述べた上位層と、3.2節で述べたロールアグリゲーションが行われる下位層との中間に位置する層で行われる。ここでは、組織化の軸となる主要な3つの観点を紹介する。

一つ目は、コンテキストにおいてロール概念を決定付ける観点や、コンテキストへの参加の仕方による組織化である[石川02]。それらはコンテキストとなる基本概念それぞれの定義で記述されており、その種類もコンテキストとなる概念の定義に依存する。例えば、ロール概念階層の図4-c,dでは、組織をコンテキストとした**組織依存ロール**の下位概念として**職員ロール**や**参加者ロール**を定義し、行為をコンテキストとした**行為依存ロール**の下位概念として**行為主体ロール**や**行為客体ロール**が定義されている。これらは、基本概念階層の図3-a,bにおいて、組織の定義の中で**職員ロール**や**参加者ロール**が定義されており、行為の定義の中で**行為主体ロール**や**行為客体ロール**が定義されている事を、ロール概念の階層で表現したものである。

二つ目は、コンテキストとなる基本概念の is-a 関係に基づく組織化である。基本概念の階層において、is-a 関係で結ばれた二つの概念が存在し、下位概念で定義されているロール概念は、上位概念で定義されているロール概念のコンテキストを限定し、特殊化したものであるとする。このとき、これら二つのロール概念間の関係は、ロール概念の階層においては is-a 関係を用いて表現される。例えば、基本概念階層の図5-c,d部分では、**学校教員ロール**と**高校教員ロール**が定義されている。**高校教員ロール**は、**学校教員ロール**のコンテキスト**学校**を、**<高校 is-a 学校>**という関係に基づき、**高校**に特殊化したものであると定義される。これらのロール概念間の関係は、ロール概念階層の図6-h,jで、**<高校教員ロール is-a 学校教員ロール>**と表現される。

三つ目も、コンテキストとなる基本概念の is-a 関係に基づく組織化であるが、特にロール概念の階層の中でのみ行われるものである。ロール概念の階層を構築する際は、基本概念の階層に現れないロール概念が定義される事がある。そのような概念は、ロール概念が依存するコンテキストに限定をかけるために記述され、基本概念の階層で定義されているロール概念間の中間概念としての役割を果たす。これらは**抽象ロール概念**と呼ばれるものであり、オブジェクト指向における抽象クラスのように、実体を持たず、インスタンスを直接生成する事のないロール概念である。例えば、ロール概念階層の図6-fにおいて、**学校職員ロール**が、**学校教員ロール**や**用務員ロール**を一般化したロール概念であり、同時に、**学校**というコンテキストに限定して**職員ロール**を継承するロール概念として定義されている。この**学校職員ロール**は基本概念階層では定義されておらず、教育世界に現れるロール概念を適切に階層化するうえで定義された抽象ロールである。

4. ロール概念組織化の支援機能

これまで法造の枠組みにおいて、ロール概念はコンテキストとなる概念の定義に付随する形式で扱われていた。そのため、ロール概念の組織化は依存するコンテキストとなる基本概念の階層に沿った形でしか行えず、ロール概念そのものを系統立てて分類し、その階層を構築する事が難しかった。

そこで本研究は、法造のオントロジーエディタを拡張し、ロール概念を中心に据えたロール概念階層の表示・編集パネルと、本論文で述べた理論を実行するために必要とされる支援機能

をオントロジーエディタに追加する。本論文で述べたロール概念の組織化は、基本概念階層を表示するパネルを参照しながら、ロール概念階層の表示・編集パネル上で行われる。その際、システムは、ロール概念の階層におけるロール概念と、基本概念の階層におけるロール概念との対応を動的に管理しながら、オントロジー開発者が整合性を保つための支援を行う。特に、ロールアグリゲーションを可能にするよう枠組みを拡張する事により、複雑なコンテキスト依存性を持ったロール概念も取り扱えるようになる。これによって、ロール概念を記述・操作するために提供される機能の質が向上すると共に、ユーザーのロール概念に関する理解や概念化の更なる支援が可能になると考えられる。

5. 今後の課題と展望

今後の課題として、まずロール概念の組織化に関する理論をさらに深める必要がある。本論文では、コンテキストの種類について幾つか例を挙げて考察したが、より一般的なレベルでの議論も望まれる。また、ロール概念の階層における特徴をさらに詳しく検討し、組織化の指針となる考え方を整理する必要がある。例えば、アグリゲーションで用いるロール概念間の is-a 関係と他の種類の is-a 関係とは、より厳密には異なる semantics を持っていると考えられるため、さらに議論を深め、この違いを扱う事が可能な枠組みを検討する必要がある。また、ロール概念の階層を構築する際にガイドラインとなるものを作成すると、ロール概念の組織化がより容易になると考えられる。さらに、システム拡張の仕様を具体的に決定し、それを実装する必要もある。

本論文では、オントロジーにおいてロール概念を他の概念と峻別する事の重要性を指摘し、ロール概念を組織化する際に指針となる観点について論じた。ロール概念に関する理論をツールに反映し、また、ロール概念に関する意味定義の枠組みを提供している事は、他のオントロジー構築ツールにはない法造の特徴である。引き続きロール概念に対する考察を深め、その特徴を忠実に反映可能なオントロジー構築支援の枠組みについて研究・開発を進める。

参考文献

- [溝口 99] 溝口, 池田, 来村: オントロジー工学基礎論, 人工知能学会誌, Vol.14, No.6, pp.1019-1032, 1999.
- [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記述環境の開発, 人工知能学会誌, vol.17, No.3, pp. 196-208, 2002.
- [林 98] 林, 瀬田, 池田, 金, 角所, 溝口: 概念間関係に関するオントロジー的考察～is-a, part-of, identity～, 信学技報 AI98-40 pp.1-8, 1998.
- [Sunagawa 03] Sunagawa, E., Kozaki, K., Kitamura, Y. and Mizoguchi, R.: An Environment for Distributed Ontology Development Based on Dependency Management, Proc. of the 2nd International Semantic Web Conference, pp.453-468, 2003.
- [石川 02] 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－, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 5, pp. 585-597, 2002.
- [古崎 02b] 古崎, 来村, 佐野, 本松, 石川, 溝口: オントロジー構築・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を例として－, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 4, pp. 407-419, 2002.