

OWLとSWRLを用いたロール概念の取り扱いに関する一考察

A Consideration for Dealing with Role Concepts using OWL and SWRL

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

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

This article presents some consideration for dealing with Role Concepts using OWL and SWRL. Recently, these ontology languages, which are standardized for establishing the Semantic Web, acquire more importance as an infrastructure for sharing and distributing ontologies. However, although there are many researches for ontology development in OWL and SWRL, few of them provide frameworks for representing an ontology with fundamental discussion of conceptualization. This can cause a loss of some aspects of objects in a target world in the ontology, because we often are confused by the gap between our recognition of the objects and the semantic primitives for representing concepts provided by the ontology languages. In this research, we aim to bridge the gap by contrivance of ontological primitives which describe higher semantics of concepts, especially role concepts. Our framework helps the developers to define role concepts and describe their features with fundamental theory of ontology.

1. 序論

近年, Semantic Web への注目の高まりは著しく, その実現に向けた基盤技術の確立は急務となっている. 中でも, オントロジーは, 「データに(計算機処理可能な)意味を与える」という点で Semantic Web 理念の根幹に直接関わるものであり, その取り扱いについては, 構築, 維持・管理, 改訂, 共有など外枠の研究から, 基礎理論, 評価, ひな形(Best Practice)など内容に関する研究まで, 多くの面からのアプローチを必要としている.

OWL(Web Ontology Language)や SWRL(Semantic Web Rule Language)など, オントロジー記述言語の標準化が Semantic Web の実現に貢献する部分は極めて大きい. オントロジー記述言語の研究・開発自体は Semantic Web のビジョンが生まれる以前より行われており, 既に数多くの言語(XOL, SHOE, OML, DAML+OIL など)が存在していた. OWL は, このうち DAML+OIL を継承する形で開発され, W3C によって Semantic Web における標準言語として定められた. これに引き続き, ルール記述の標準言語として SWRL が定められ, 複雑な公理処理に向けた基盤も整えられた. 共通基盤を利用し, 相互運用性の高いオントロジーを開発するという点で, これらの言語を用いながらオントロジーを開発することは重要である.

OWL は意味表現の共通基盤となることに重点を置いており, 基本的な Semantics を規定する枠組みだけを提供するものである. そのため, 例えばロール概念のような, より複雑で高いレベルの Semantics を持った概念を扱うためには, 言語が提供する意味プリミティブを組み合わせて, その性質を表現することが必要である. しかしながら, 既存のオントロジー開発ツールの多くは, 言語が提供するプリミティブをそのまま用いた枠組みしか提供しておらず, そのため, 例えば part-of 関係など, 一般的かつ基本的な要素についても開発者が個別に定義する必要があり, オントロジーの意味的相互運用性が不安定になる可能性があった. そこで W3C は, 最近になってようやく OWL を用いたオントロジーの Semantic Web Best Practice and Deployment ワーキンググループを立ち上げ, 代表的な概念の表現パターン

の列挙と, その性質を反映させたオントロジーの開発方法論に取り組み始めたところである.

一方, 本研究プロジェクトは, これまで「ロール概念」と呼ばれる種類の概念に注目し, その性質に関する基礎的考察を重ね, それを忠実に反映することが可能な計算機環境の開発を行ってきた[溝口 99][古崎 02][砂川 05]. 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>). 法造は, ロール概念を定義するための枠組みをオントロジー構築ツールに組み込んで提供しており, ロール概念の基礎理論に十分精通していないオントロジー開発者であっても, その必要な性質を反映したオントロジーを構築することを可能にする.

本稿は, 法造が扱うロール概念の性質を OWL と SWRL を用いて表現することを試み, これまでの考察によって明らかになった性質を, Semantic Web の標準形式で扱う基盤を整えることを目標としている. そして, その議論を通し, 実世界において我々が認識する概念の性質を表現するためには, オントロジー記述言語が提供する枠組みを直接用いるだけでなく, 高度な Semantics を規定する枠組みに基づいて取り扱うことの必要性を提唱するものである.

2. ロール概念

2.1 本研究が扱うロール概念

役割の概念が持つ性質を扱うことの重要性は[Steinmann 00][Masolo 04][Loebe 05]などでも論じられているが, 本研究が扱う**ロール概念**とは, 「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. そして, 役割を担い得るもの(**Role Playable Thing** または **Potential Role Player**)が所属するクラスに対する制約を**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. 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, コンテキストへの参加の仕方を概念化する事で定められる. 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(**Role Playing Thing**)は, **ロールホルダ**と呼ばれる. 図1は, その具体

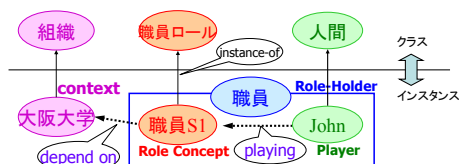


図 1. コンテキスト, ロール概念, ロールホルダの関係

例を示したものであり、「(組織クラスのインスタンスである)大阪大学をコンテキストとする(職員ロールクラスのインスタンスである)職員 S1 ロールを、(人間クラスのインスタンスである)John が担い、職員(ロールホルダ)になる」という事を表現したものである。

ロール概念を他の種類の概念と区別せずに扱うと、is-a 関係の Semantics に影響を及ぼし、インスタンス管理を複雑にしかねないため、取り扱いに関しては十分な考察が必要である。しかし適切に扱うならば、例えば、同一のアイデンティティを保ったオブジェクトが、コンテキストの違いによって別の概念として認識されたり、また、それらが頻繁に変化したりする世界の振る舞いを、その性質を忠実に表現しながらモデリングすることを可能にし、効果的なインスタンスモデル管理に貢献する。

2.2 本研究が扱うロール概念の性質

本節では、これまでの考察によって法造が取り扱ってきたロール概念の性質を明らかにし、その取り扱いを指向したオントロジーが満たすべき要件や取り扱うべき性質を列挙する [Sunagawa 05][Kozaki 06]¹。

(1) ロール概念を伴った part-of 関係

あるインスタンスが別のインスタンスの部分となると、part-of 関係に依存する部品という役割を果たす事に伴い、同時に別の役割も果たす場合が考えられる [古崎 02]²。このとき、全体物となる側の概念は、その部分物だけでなく、それらに付与する一連の役割からも構成されていると考えることができる。このことは、「結晶」を「結晶構造」と「その構造を満たすもの」の両方から構成される概念と見なすことに例えられる。前者はロール概念に、後者は部分物に対応する。

(2) コンテキストの明示

コンテキスト依存性は、ロール概念が持つ最も基本的かつ重要な性質の一つであり、ロール概念の定義においては、それを決定づける概念を明示する必要がある。

(3) ロール概念とロールホルダの区別

役割自体を表す概念と、実際にその役割を担った状態にある概念とを区別して扱うことは、例えば、同一の役割を複数の担い手の間で受け渡すというモデルの表現を可能にし、また、(5)で述べるカウンティング問題の解決にも貢献する。

(4) ロール概念のクラス化

ロール概念をクラスとして扱うことの最も大きな利点は、そのインスタンス管理によって、アイデンティティを持った存在としてのロール概念を扱えるようになることである。これにより、例えば、担うことを止めたロール概念を再び担ったとき、それが以前と同じ役割か、異なる役割かを議論することが可能になる。さらに、空きポストなど、担われていない状態のロール概念についても、個別に識別して扱うことが可能になる。

¹ ここで取り上げる性質は主に OWL や SWRL で表現するために実装上の観点から論じるものであり、オントロジー基礎理論によって厳密に規定される性質全てを網羅的に論じたものではない。

² 法造で扱う「関係概念」がコンテキストとなる場合は、役割の担い手は構成要素とはならず、ただ参加者として振る舞う。しかし、この違いに関する議論は本稿の範囲内では不要であり、その性質も全体概念の場合のアナロジーで処理することが相当程度可能なため、以後の部分においても特に言及しない。

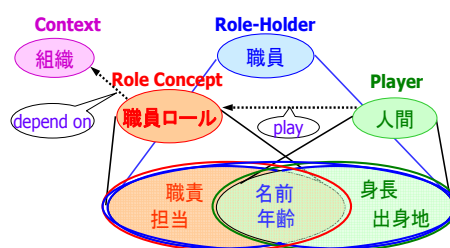


図 2. ロールホルダ, ロール概念, クラス制約の定義の構成要素間の関係

(5) ロールホルダのクラス化(カウンティング問題の解決)

カウンティング問題とは、例えば「ある期間のうちに飛行機会社が運んだ乗客数(延べ人数)と、その会社を利用した人間の数(同じ人を重複して数えない)とのギャップ」に関する問題である。この問題は、乗客ロールを担ったオブジェクトの数と、担うことによって認識されたロールホルダの数とを区別して数えることで解決されるが、ロールホルダのクラスを定義し、そのインスタンスを数えることは最も簡単な解法の一つである。

(6) ロール概念のインスタンスの存在条件

part-of 関係に基づくコンテキスト依存性から、ロール概念のインスタンスが存在するためには、それが依存するコンテキストとなる概念のインスタンスの存在が必要である。

(7) ロールホルダのインスタンスの存在条件

ロールホルダのインスタンスは、(9)で論じるロール概念のインスタンスの状態に依存して決定され、クラス制約を満たすインスタンスが役割を担うことによって初めて認識される。

(8) ロールホルダの定義継承

ロールホルダは、対応するロール概念のインスタンスとそれを担っているインスタンスの両方と、性質を共有する。その構成要素間の関係は、図 2 のように表される。

(9) ロール概念のインスタンスの状態表現

ロール概念のインスタンスには、担い手に無関係な役割のみが概念化された「空きポスト」のような状態と、インスタンスによって実際に担われ、完全なインスタンスとして振る舞うことが可能な状態とが存在する³。

(10) 複合ロール概念の定義(ロールアグリゲーション)

依存するコンテキストの数で分類したロール概念の種類に、単一のコンテキストから決定される「プリミティブロール概念」と、複数のコンテキストから決定される「複合ロール概念」とがある。これらの性質の違いを扱う枠組みの一つに、コンテキストの分解と本質の決定に基づいてロール概念の組織化を行う「ロールアグリゲーション」がある。

(11) 複合ロール概念を担うインスタンス

複合ロール概念のインスタンスを担う際は、それを構成する複数のロール概念のインスタンスを同時に担う必要がある。

2.3 「法造」におけるロール概念の取り扱い

筆者らは、前節で述べた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。法造のオントロジーエディタは、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おり、図 3-a はその表現形式を示すものである。法造が取り扱うオントロジー表現はフレームシステムに基づいており、ロール

³ 一方で、例えば「夫婦」における「夫ロール」と、それを満たす「男性」とを切り離して扱うことが不可能であるように、ロール概念と、それを担う概念との part-whole 関係の Semantics が密接に絡む場合も存在する。こうした、部品の必須性や部品間の関係の扱いについては、さらなる考察が必要である。

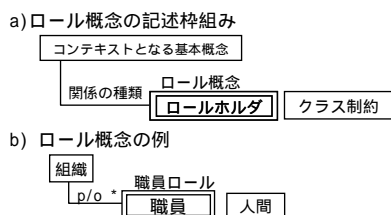


図 3. 法造のオントロジーエディタと、ロール概念の表現例

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。図 3-b は、図1で示した職員ロールの例を、法造の形式で表現しなおしたものである。また、これに加えて、現在、ロール概念の is-a 階層を構築することが可能な、ロール概念組織化の枠組みの開発も行われている[砂川05]。

3. OWL と SWRL を用いたロール概念の表現

本章では、2章で論じたロール概念の性質に基づき、OWL と SWRL を用いてロール概念を表現することを試みる。なお、本文中の斜体文字は全てプロパティを表すものである

図 4 は、前章で例として用いた職員ロールの例(図 3-b)を、OWL の抽象構文形式で表現したものであり、図 5 は、職員ロールのコンテキスト依存性を本質とし、教授行為主体ロールのコンテキスト依存性を合わせ持った複合ロールである教員ロールを表現した例である。また表 1 は、図 4,5 で用いられているクラスやプロパティの間に成り立つ推論ルールを表現したものである。表中の推論ルールは可読性を高めた形式で記述されているが、SWRL の抽象構文で表すと、例えば表下の例ようになる。これらのルールは、インスタンスモデルに適用し、ある事実から別の事実を導くものであるが、同時に、ロール概念の性質を表すものとして、法造が提供するクラスやプロパティの用い方を規定するものでもある。例えば Rule-03, 04 は、ロール概念のクラスを定義する際には、そのコンテキストとなる概念を表すクラスとの間に、*hozo:dependOn* と *hozo:hasStructuralComponent* の両方を成り立たせる必要があることを表している⁴。

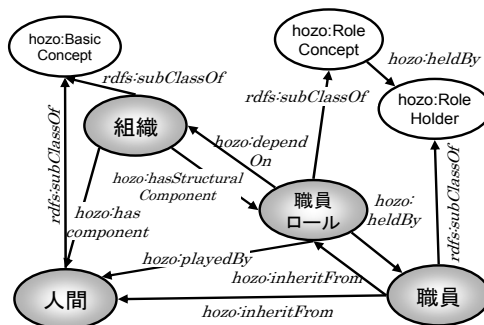
まず、基本概念(全体概念)、ロール概念、ロールホルダの区別に従い、各々に対応するクラスである *hozo:BasicConcept*⁵、*hozo:RoleConcept*、*hozo:RoleHolder* を定義する。法造で記述される全ての概念は、これらのいずれかの下位概念として表現される。以下では、2.2 節で論じたロール概念の性質と照らし合わせながら、各々の性質がどのように表現されるかを説明する。

(1) ロール概念を伴った part-of プロパティ

法造が提供する part-of リンクは、原則としてロール概念を伴ったものであり、ロール概念とクラス制約の両方に関して、二重の Semantics を持っている。OWL による表現では、これらは明示的に分離され、*hozo:hasStructuralComponent* や *hozo:hasComponent* を用いながら、プロパティ制約とともに表現される(図 4, 表 1 Rule-01~02)。例えば Rule-01 は、z をコンテキストとするロール概念のインスタンス x は z における役割の一つである(*hozo:hasStructuralComponent(?z,?x)*)⁴が、このロール概念 x を y が担う(*hozo:playedBy(?x,?y)*)とき、y も z の部分となる(*hozo:hasComponent(?z,?y)*)ことを導出する。

⁴ 二つのプロパティが同時に存在することは *owl:inverseOf* でも表現可能であるが、両者の Semantics は本質的に異なるものであり、この場合は適切でない。

⁵ ここでは便宜的に *hozo:BasicConcept* クラスを定義してプロパティ制約などで用いるが、記述の仕方を工夫することによって、*hozo:BasicConcept* を上位クラスとして用いずとも、本稿で論じたロール概念の性質を表現することは十分可能である。



```

ObjectProperty(hozo:dependOn
  domain(hozo:RoleConcept))
ObjectProperty(hozo:playedBy
  domain(hozo:RoleConcept)
  range(hozo:BasicConcept))
ObjectProperty(hozo:inheritedFrom
  domain(hozo:RoleHolder))
ObjectProperty(hozo:hasComponent
  range(hozo:BasicConcept))
ObjectProperty(hozo:hasStructuralComponent
  range(hozo:RoleConcept))
Class(hozo:BasicConcept partial
  DisjointClasses(hozo:RoleConcept hozo:RoleHolder))
Class(hozo:RoleConcept partial
  restriction(hozo:dependOn cardinality(1))
  restriction(hozo:playedBy maxCardinality(1)))
Class(hozo:RoleHolder partial
  restriction(hozo:inheritedFrom cardinality(2))
  restriction(hozo:inheritedFrom someValuesFrom(hozo:RoleConcept))
  restriction(hozo:inheritedFrom someValuesFrom(hozo:BasicConcept)))
Class(職員ロール partial hozo:RoleConcept
  restriction(hozo:dependOn allValuesFrom(組織))
  restriction(hozo:playedBy allValuesFrom(人間)))
Class(職員 partial hozo:RoleHolder
  restriction(hozo:inheritedFrom someValuesFrom(職員ロール))
  restriction(hozo:inheritedFrom someValuesFrom(人間)))
Class(組織 partial
  restriction(hozo:hasStructuralComponent someValuesFrom(職員ロール))
  restriction(hozo:hasComponent someValuesFrom(人間)))
  
```

図 4. OWL を用いたロール概念の表現例

(2) コンテキストの明示

hozo:RoleConcept クラスの定義では、*hozo:dependOn* について *cardinality=1* という制約が記述される(図 4)。このプロパティは、ロール概念をドメイン、依存するコンテキストとなる概念をレンジとするプロパティであり、これによってコンテキストとなる概念が常に明示化される。

(3) ロール概念とロールホルダの区別

ロール概念とロールホルダの区別は、各々に対応するクラスが、*hozo:RoleConcept* また *hozo:RoleHolder* クラスの下位概念として定義されることで表現される(図 4)。

(4) ロール概念のクラス化

(3)に伴って、ロール概念のクラスが取り扱われる。これにより、アイデンティティを持ったロール概念のインスタンスを扱うことも可能になる。

(5) ロールホルダのクラス化(カウンティング問題の解決)

(3)に伴い、アイデンティティを持ったオブジェクトとしてロールホルダのインスタンスを扱うことが可能となり、ロール概念や担い手となる概念のインスタンスから明確に区別される。カウンティング問題は、ロールホルダのインスタンスと、その担い手となったインスタンスを区別して数えることで解決される。

(6) ロール概念のインスタンスの存在条件

(2)に伴い、*hozo:RoleConcept* クラスのインスタンスが存在するためには、コンテキストとなるクラスのインスタンスが存在しており、かつ、両者の間に *hozo:dependOn* が成り立たなければならない事も表現される(図 4, 表 1 Rule-03~04)。

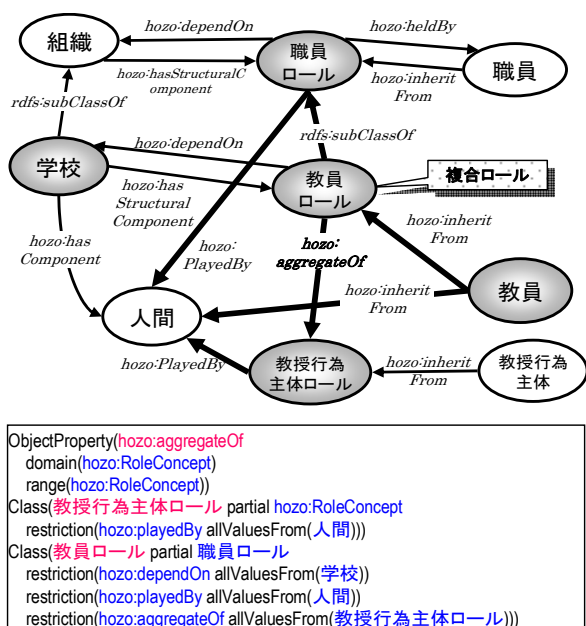


図 5. OWL を用いた複合ロール概念の表現例

(7) ロールホルダのインスタンスの存在条件

ロールホルダのインスタンスが存在するためには、ロール概念のインスタンスと、担い手となるクラスのインスタンスとの間に *hozo:playedBy* が存在しなければならない(図 4)。このことは、SWRL を用いて表現される(表 1 Rule-05~08)。

(8) ロールホルダの定義継承

ロールホルダが、ロール概念と、それを担う概念(Role Playing Thing)の両方から定義を継承することは、*hozo:inheritFrom* を用いて表現される(図 4)。これは、*rdfs:subClassOf* のように、レンジのクラスが持つプロパティをドメインのクラスが継承することを表すプロパティであるが、継承の条件で高階推論が必要となる可能性があり、現在考察中である。

(9) ロール概念のインスタンスの状態表現

担われている状態のロール概念のインスタンスと、担われていない状態のインスタンスとの違いは、*hozo:playedBy* が他のインスタンスとの間に成り立つかどうかの違いで判断される。

(10) 複合ロール概念の定義(ロールアグリゲーション)

複合ロールは、それを構成するロール概念のうち、本質となるコンテキスト依存性を持ったロール概念の下位概念として *rdfs:subClassOf* を用いて表現され、それ以外のロール概念との関係が *hozo:aggregateOf* を用いて表現される(図 5)。*hozo:aggregateOf* は、*hozo:inheritFrom* のように、レンジとなるロール概念が持つプロパティのうち必要なものを、ドメインとなるロール概念(複合ロール)に継承させる働きを持つが、この性質についても(8)と同様の考察が必要である。

(11) 複合ロール概念を担うインスタンス

複合ロール概念を担うインスタンスは、その構成要素となるロール概念の全てを同時に担う(図 5, 表 1 Rule-09~11)。

4. 関連研究

OWL などの標準形式で、代表的な概念の性質を取り扱う試みに、W3C の Semantic Web Best Practice and Deployment ワーキンググループがあり、現在、part-whole 関係やクラス階層を用いた属性値表現に関するドキュメントが公開されている。しかし、紹介されている part-whole 関係が扱う性質は、主に推移律に関するものだけであり、mereology に基づくインスタンス存在の依存関係や、ロール概念との関係などに関する考察はない。

表 1. SWRL を用いたロール概念の性質表現

	Antecedent	Consequent
Rule-01	<i>hozo:playedBy</i> (?x, ?y) ∧ <i>hozo:hasStructuralComponent</i> (?z, ?x)	<i>hozo:hasComponent</i> (?z, ?y)
Rule-02	<i>hozo:playedBy</i> (?x, ?y) ∧ <i>hozo:hasComponent</i> (?z, ?y)	<i>hozo:hasComponent</i> (?z, ?x)
Rule-03	<i>hozo:structuralComponent</i> (?x, ?y)	<i>hozo:dependOn</i> (?y, ?x)
Rule-04	<i>hozo:dependOn</i> (?x, ?y)	<i>hozo:structuralComponent</i> (?y, ?x)
Rule-05	<i>hozo:playedBy</i> (?x, ?y)	<i>hozo:heldBy</i> (?x, ?z)
Rule-06	<i>hozo:heldBy</i> (?x, ?y)	<i>hozo:playedBy</i> (?y, ?x)
Rule-07	<i>hozo:playedBy</i> (?x, ?y) ∧ <i>hozo:heldBy</i> (?x, ?z)	<i>hozo:inheritFrom</i> (?z, ?x)
Rule-08	<i>hozo:inheritFrom</i> (?x, ?y) ∧ <i>hozo:RoleConcept</i> (?y)	<i>hozo:heldBy</i> (?y, ?x)
Rule-09	<i>hozo:aggregateOf</i> (?x, ?y) ∧ <i>hozo:playedBy</i> (?x, ?z)	<i>hozo:playedBy</i> (?y, ?z)
Rule-10	<i>hozo:aggregateOf</i> (?x, ?y) ∧ <i>hozo:playedBy</i> (?y, ?z)	<i>hozo:playedBy</i> (?x, ?z)
Rule-11	<i>aggregateOf</i> (?x, ?y)	<i>differentFrom</i> (?x, ?y)

例: Rule-01
 Implies(Antecedent(*hozo:playedBy*(l-variable(x) l-variable(y))
hozo:hasStructuralComponent(l-variable(z) l-variable(x)))
 Consequent(*hozo:hasComponent*(l-variable(z) l-variable(y))))

5. 今後の課題・結論

本稿は、オントロジーで扱うことが望ましいロール概念の性質を、OWL や SWRL などの標準形式で表現することを試みた。3 章で述べたように、いくつかの点でその表現は不十分であり、今後さらなる考察が必要ではあるが、ロール概念が持つ主要な性質は表現できており、OWL と SWRL を用いたロール概念表現のひな形(Best Practice)として利用可能なものである。この考察は、法造におけるオントロジーの OWL+SWRL エクスポート機能に反映され、Semantic Web の共通基盤に則ったオントロジー開発ツールとしての法造の位置を、より明確にするものである。

参考文献

[溝口 99] 溝口, 池田, 來村: 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 02] 古崎, 來村, 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.
 [砂川 05] 砂川, 古崎, 來村, 溝口: コンテキスト依存性に基づくロール概念組織化の枠組み, 人工知能学会論文誌, Vol. 20, No.6, pp.461-472, 2005.
 [Steimann 00] Steimann, F.: On the representation of roles in object-oriented and conceptual modelling, Journal of Data Knowledge Engineering, Vol.35, No.1, pp.83-106, 2000.
 [Masolo 04] Masolo, C. et al.: Social Roles and their Descriptions, Proc. of the 9th International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR2004), pp. 267-277, 2004.
 [Loebe 05] Loebe, F.: Abstract vs. Social Roles - A Refined Top-Level Ontological Analysis, Papers from the AAAI Fall Symposium Technical Report FS-05-08, pp.93-100, 2005.
 [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ック的考察 ~ is-a, part-of, identity ~, 信学技報 A198-40 pp.1-8, 1998.
 [Sunagawa 05] Sunagawa, E. et al.: A Framework for Organizing Role Concepts in Ontology Development Tool: Hozo, Papers from the AAAI Fall Symposium Technical Report FS-05-08, pp.136-143, 2005.
 [Kozaki 06] Kozaki, K. et al.: Fundamental Consideration of Role Concepts for Ontology Evaluation, Proc. of 4th International EON (Evaluation of Ontologies for the Web) Workshop (to appear), 2006.