

インスタンス管理問題におけるロール理論の洗練

Refinement of the Role Theory in the Instance Management Problem

遠藤 諭
Satoshi Endo

古崎 晃司
Kouji Kozaki

溝口 理一郎
Riichiro Mizoguchi

大阪大学 産業科学研究所
I.S.I.R., Osaka Univ

For knowledge (instances model) representation based on ontology and use of them, it is necessary to understand phenomena in the target world as precisely as possible. The theory of ontology should reflect the understanding of them and provide a fundamental theory to manage the behavior of instances adequately. Especially establishment of the instance management method of role concept based on the ontological theory is an important subject. It is mainly concerned with handling of appearance and disappearance of roles. This article discusses refinements of role theory through considerations of two problems: 1) a construction of *is-a* hierarchy of role holder and 2) distinction between constituent roles and general roles.

1. はじめに

近年、知識システムの基盤となるオントロジーは様々な応用システムで利用されるようになり、その有用性への認識は広がりがつつある。オントロジーは知識(インスタンスモデル)を記述するための規約を提供し、その規約に基づいて知識を記述することで、その一貫性や再利用性を保つことが重要な役割のひとつである。その際に、計算機上のインスタンスモデルの扱いと、対象世界におけるインスタンスの振る舞いの一致度を高めるには、対象世界における事象を可能な限り正確に理解し、より適切なオントロジーに基づいてインスタンスを管理するための理論を提供することが求められる。さらに、各理論で扱える問題の範囲を明確にすることで、理論を実問題に適用する際には、必要性に応じて理論を近似的に扱うことが可能となり、より柔軟なシステム開発の実現が期待される。これまでのオントロジーの基礎理論研究においては、ロール概念の一般的性質を中心に様々な議論が活発になされている[溝口 99] [Mizoguchi 07] [古崎 02] [砂川 05]。しかし、インスタンスモデルにロール概念の理論をどのように反映すべきなのかは、十分には明らかになっておらず、研究の余地が多く残されている。

このような背景のもと、本論文では、ロール理論に基づき、ロールホルダー階層の構築と、インスタンスの生成・消滅問題を適切に扱うための理論的枠組みについて検討する。以下、2章では従来研究で考察してきたロール概念について、その概念的性質とインスタンスにおける性質と法造における取り扱いについて述べる。3章ではロールホルダー階層構築の指針として、他の概念階層との性質的な違いと、その対応関係について述べる。4章ではプレイヤーが担うロール概念が変化する際の扱いに関する問題とその解決するために構成ロールというロール概念を導入し、続く5章では今後の課題と展望について述べる。

2. 本研究が扱うロール概念

ロール概念が持つ性質を扱うことの重要性は[Steimann 00] [Masolo 04] [Loebe 05] などでも論じられているが、本論文が扱う「ロール概念」とは、「状況に依存して変化する個物の呼び名」、または「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 02] などと定義される。そして、役割を担い得るもの(「Role Playable Thing」または「Potential Role Player」)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、他の概念に依存せず定義できる概念を「基本概念」と呼ぶ。ロール概念に対してクラス制約となる概念は「プレイヤー」と呼び、原則的に基本概念の中から選ばれる。

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で定められる。そして、ロール概念で定義される役割を担った状態にある基本概念のインスタンス(「Role Playing Thing」)は、「ロールホルダー」と呼ばれる。

これらのロール概念理論に基づいて開発されたオントロジー構築利用環境「法造」¹では、オントロジーは概念を表すノード、概念間の関係を表すリンクおよびスロットを用いて表される(図1)。リンクには *is-a* 関係を表す *is-a* リンクとその他の関係を表す関係リンクがあり、スロットには *part-of* 関係を表す *p/o* スロットと *attribute-of* 関係を表す *a/o* スロットがある。スロットは関係の種類(*p/o* または *a/o*)、スロットの数を規定する個数制約(*Cardinality*)、ロール概念、クラス制約で表される。ロール概念は図2の記述枠組みに基づいて表現され、例えば図3における教員ロールでは、コンテキスト「学校」とロール概念「教員 *role*」の関係は全体-部分(*part-of*)関係であり、ロール概念「教員 *role*」とクラス制約で参照している概念(プレイヤー)「人間」の関係は図2-3のようにロール概念を表す四角の右に参照先の概念を表す四角を表記することで示している。そして、クラス制約を満たすプレイヤー「人間」が「教員 *role*」を担った際に具体化されるロールホルダー「教員」はロール概念を表す四角の内側に示される。

ロール概念のコンテキストとなる概念に *is-a* 関係が成り立つとき、上位概念で定義されたロール概念は下位概念に継承される。例えば、図3において学校をコンテキストとして定義された教員ロールや用務員ロールは、学校の下位概念である大学に継承される。さらに、継承されたロール概念の定義を特殊化することで、ロール概念の下位概念を定義することができる。このとき、ロール概念間の *is-a* 関係が成り立つ。例えば、図3において大学の教授ロールは、学校の教員ロールを継承・特殊化したもので「教授 *role is-a* 教員 *role*」の関係が成り立つ。法造の基本画面上では、ロール概念間の *is-a* 関係はリンクとしては表現せず、図3で「教授 *role* << 学校 \$ 教員 *role*」のようにロール概念名の右

連絡先: 遠藤諭, 大阪大学 産業科学研究所 知識システム
研究分野, 〒567-0047 大阪府茨木市美穂が丘 8-1,
Tel: 06-68798416, Fax: 06-6879-2123,
e-mail: endo@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

¹ <http://www.hozo.jp/>

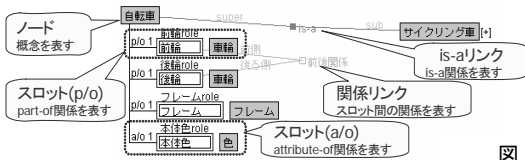


図 1 法造のオントロジー表現

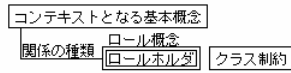


図 2 法造の Ontology Editor における
ロール概念の記述枠組み

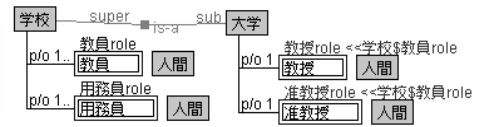


図 3 学校と大学の法造におけるクラス定義

に上位概念にあたるロール概念を「<<コンテキスト\$ロール概念名」という形式で示している。

3. ロールホルダー階層の構築

前章で述べたように、ロールホルダーとは、ロール概念のインスタンスをプレイヤーが担った時の状態のことである。よって、ロールホルダーは、ロール概念のインスタンスとプレイヤーとなる基本概念のインスタンスの存在を前提として具体化される。また、ロールホルダー階層は、ロール概念階層とプレイヤーとなる基本概念階層を基にして構築される。本章では、ロールホルダー階層の構築の考察として、ロール概念階層についての考察を行い、ロール概念階層を基にロールホルダー階層を構築したとき、基本概念階層との対応を考察する。

3.1 ロール概念階層

ロール概念階層は、基本概念階層と同様に is-a 関係で構築され、その概念階層はコンテキストに依存する [砂川 05]。つまり、ロール概念 R1 はあるコンテキスト A の下に定義され、そのコンテキスト A の下位概念であるコンテキスト B におけるロール概念 R2 が R1 の定義内容を継承しているとき、R2 は R1 の下位概念となる。よって、「R2 is-a R1」という関係が成り立つ。

3.2 ロール概念階層に基づくロールホルダー階層

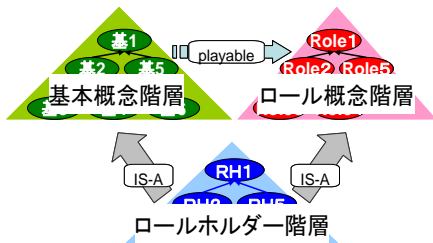


図 4 3種類の階層間における関係

ロールホルダーはロール概念の存在を前提として初めて具体化されるものである。このことから、本稿では、ロールホルダー階層をロール概念階層に基づき構築する。このときロールホルダーは、基本概念と広義の IS-A 関係があり、ロールホルダー IS-A 基本概念という関係がある。同様に、ロールホルダー IS-A ロール概念という関係が成立する。このことを表したのが図 4 である。本節では、ロールホルダー階層がロール概念階層、基本概念階層と、それぞれが階層間でどのような対応関係があり、また、どのような性質の違いがあるのかを考察する。

(1) ロール概念階層とロールホルダー階層の対応関係

クラス定義において、ある一つのロール概念が定義されているとき、プレイヤーで指定されている概念がこのロール概念を担った時に具体化されるロールホルダーは一つである。よって、ロ

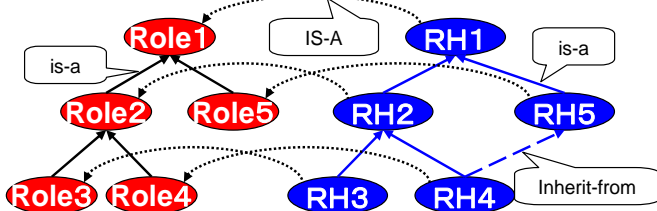


図 5 ロール階層とロールホルダー階層の関係

ール概念階層によってロールホルダー階層を構築した場合、ロールホルダー階層はロール概念階層に対応して生成される。

ロール概念階層に対応して構築されたロールホルダー階層が図 5 である。図 5 では、ロール概念である Role1~5 にそれぞれ対応して生成されたロールホルダーRH1~5 があり、例えば、Role1 IS-A RH1 の関係を持つように、ロールホルダー階層がロール概念階層に対応して構築されていることを示している。ロールホルダー階層は、例えば、Role2 is-a Role1 により RH2 is-a RH1 の関係があるように、ロール概念階層の is-a 関係に基づいて構築される。

ここで、図 8 において、RH4 と RH5 には、RH4 inherit-from RH5 の関係があるが、これは Role4 がアグリゲートされたロール概念であることを表している。アグリゲートされたロール概念とは、複数のロール概念が持つ性質を併せ持つロール概念である。本質となるロール概念をプリミティブなロール概念と決定し、それ以外のロール概念はロールパートとする。図 8 では、Role2 をプリミティブなロール概念とし、Role5 をロールパートとしてアグリゲートされたロール概念 Role4 を表している。そして、これらのロール概念をもとにして生成されるロールホルダー間には、RH4 is-a RH2, RH4 inherit-from RH5 という関係が存在する。

(2) 基本概念階層とロールホルダー階層の対応関係

ロール概念のプレイヤーが基本概念であるとき、そのロール概念のプレイヤーとなりうる基本概念は、プレイヤーとして指定された基本概念のみならず、その基本概念の下位概念も担うことができる。このことを表したのが図 6 である。図 6 では、基本概念は、基1, 基2, ...として表されており、それぞれは is-a 関係によって概念階層を構築している。ロール概念においても同様に表している。ここで、基1は、Role1 のプレイヤーとして指定されており、基1 is playable Role1 という関係が成り立っている。また、基本概念の is-a 関係より Role1 のプレイヤーとなりうる基本概念は、基1のみならず、その下位概念に相当する基2~6も担うことができる。同様なことが Role2 と Role3 についても言える。図 6 のロール概念階層に基づいて構築されるロールホルダー階層と基本概念階層との対応関係を表したのが図 7 である。図 6 と同様に、基本概念の is-a 関係により、ある一つのロールホルダーと IS-A 関係にある基本概念が複数存在する場合があることを図7は示している。

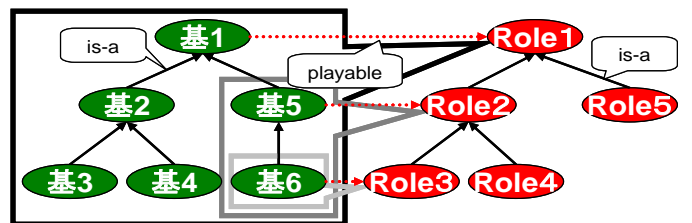


図 6 基本概念階層とロール階層の関係

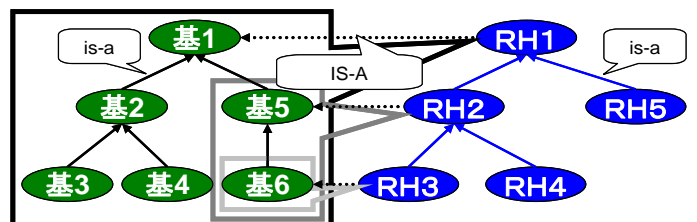


図 7 基本概念階層とロールホルダー階層の関係

3.3 ロールホルダー階層、ロール概念階層、基本概念階層の3対対応関係

3.2 で述べた内容より、図4で示した基本概念階層、ロール概念階層、ロールホルダー階層との対応関係は、図 8 のように各概念間の関係をより詳細に表すことができる。ロールホルダー階層は、ロール概念階層、基本概念階層それぞれに対して、IS-A 関係がある。この関係より、ロールホルダー階層において、ロールホルダーが基本概念とロール概念の定義内容を共に継承していることを表している。

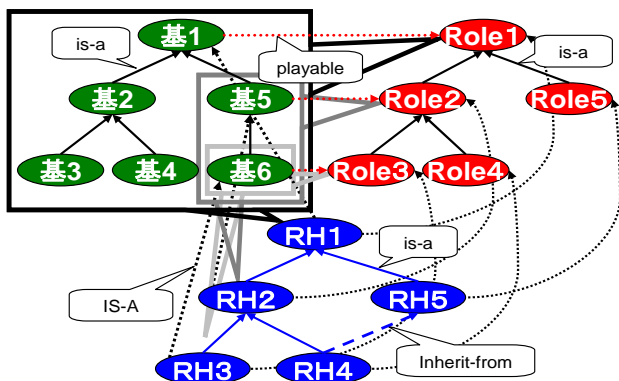


図 8 3 種類の階層間の詳細関係

4. 構成ロールと役割ロール

4.1 構成ロールと役割ロールの導入

プレイヤーが存在しない状態 (R_i') で存在することができるロール概念のインスタンスが複数存在し、そのプレイヤーが担うロール概念のインスタンスが変化する際に生じる問題のうち、ロール概念の is-a 関係の性質に伴う問題より、構成ロールと役割ロールの導入について述べる。

例として、A 大学における山田さんの准教授から教授への昇進問題を考える。現実世界において、山田さんが准教授から教授に昇進した際、山田さんは准教授のときに持つ A 大学の教員の状態を保ったまま教授に昇進したと考えることができる。

このことを、図 9 で示したクラス定義に基づいたインスタンスモデルを考えてみると、「准教授ロール is-a 教員ロール」の関係があることから、ロール概念の is-a 関係の性質により、木村さんが准教授ロールのインスタンス(准教授 R_i' とする)を担うことを止めることは、同時に A 大学の教員ロールのインスタンス(教員 $R_i'1$ とする)を担うこと止めることを意味する。このことは、木村さんが A 大学の准教授を退職することに相当する。そして「教授ロール is-a 教員ロール」の関係から、木村さんが教授となることは、A 大学での教授ロールのインスタンス(教授 R_i' とする)を担うのと同時に教員ロールのインスタンス(教員 $R_i'2$ とする)を担うことに相当する。つまり、木村さんが A 大学の教授に再就職したことになる。このように、図 9 で示したクラス定義に基づいたインスタンスモデルでは、木村さんが准教授から教授に昇進したことが正しく表されていない。

以上の問題は、教授・准教授ロールのクラス定義に、大学の教員であることを表す教員ロールと、各教員が大学において果たす役割(役職)を表す教授・准教授ロールが混同されていることに起因する。よってこの問題は、図 10 で示すように、大学教員ロールと教授・准教授ロールを別々に定義し、教授・准教授ロールのクラス制約を大学教員ロールのロールホルダーである大学教員とすることで解決できる。

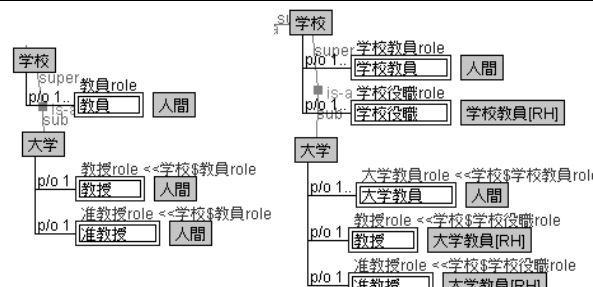


図 9 大学のクラス定義

図 10 新たな大学のクラス定義

以上の例で述べた「大学における昇進問題」を一般化すると、共通の上位概念を持つロール概念が同一コンテキストで2つ以上存在するとき、これらのうちある1つのロール概念のプレイヤーがそのロール概念のインスタンスを担うことを止めた後、そのコンテキストに参加している状態を保持したまま別のロール概念のインスタンスを担うことを取り扱う際に生じる問題と言える。この問題を解決するには、プレイヤーがコンテキストに参加していることを表すロール概念 ($R_{participate}$) と、プレイヤーがそのコンテキストで果たす役割を表すロール概念 (R_{role}) を分離して定義し、 $R_{participate}$ のロールホルダーを R_{role} のクラス制約とすればよい。例えば、学校の上位概念となる組織では、人間がその組織に参加していることを表すロール概念は構成員ロール、その組織で果たす役割を表したロール概念は役職ロール、そして役職ロールのクラス制約は、人間が構成員ロールを担ったときに具体化される構成員(ロールホルダー)と定義できる。

以上の考察から、ロール概念を、あるコンテキストに参加していることを表すロール概念と、そのコンテキストに参加しているロールホルダーが果たす役割を表すロール概念に分離することができる。本論文では、これらのロール概念をそれぞれ**構成ロール**、**役割ロール**と呼ぶ[遠藤 07-1]。

4.2 構成ロールの導入が不必要なロール概念の考察

前節で述べた構成ロールの導入は、プレイヤーがロール概念のインスタンスを担う・担うことを止めることがコンテキストの生成・消滅と関連のないロール概念のインスタンス[遠藤 07-2]であった。プレイヤーがロール概念のインスタンスを担う・担うことを止めることがコンテキストの生成・消滅を伴うロール概念は、プレイヤーがあるロール概念のインスタンスを担うことを止めたとき、コンテキストが消滅するため、同一コンテキスト内の他のロール概念も消滅し、プレイヤーが他のロール概念のインスタンスを担うことができなため、構成ロールの導入が必然的に不必要となる。例えば、夫婦関係をコンテキストとする夫ロールと妻ロールは、2人の人間(プレイヤー)がそれぞれのロールのインスタンスを担うと同時に、夫婦関係および夫ロール・妻ロールのインスタンスが生成される。このとき、どちらかの人間が夫ロール(または妻ロール)の役割を担うことを止めると、そのロールのコンテキストである夫婦関係のインスタンスも消滅し、そのコンテキストの消滅に伴い夫ロール・妻ロールのインスタンスも同時に消滅する。すなわち、これらのロール概念のインスタンスは、プレイヤーが担う・担うことを止めることがコンテキストの生成・消滅を伴うため、同一コンテキスト内の他のロール概念のインスタンスを担うことができないことより、構成ロールの導入が不必要となる。

4.3 構成ロールの導入に関する考察

本節では、構成ロールの導入の際に、取り扱いたい問題によって、どのコンテキストの下に構成ロールを導入すべきなのかについて、(1)では会社における人事異動問題、(2)では部署内昇進問題を例としてあげながら述べる、さらに、(3)では、本章で述べた内容をより一般的に、前節で述べた性質を持たない

ロール概念全てに対しては、構成ロールと役割ロールの導入が必要であることについて、机や会員制クラブの例を通して、ロール理論の拡張を行う。

(1)異なるコンテキストで定義されたロール概念に共通した構成ロールの導入:営業部と人事部を部分概念として持つ会社において、営業部および人事部をコンテキストとして営業部員ロールと人事部員ロールが定義されているとき、人間のインスタンスの木村さんが営業部員から人事部員へ人事異動になったことを考える。現実世界において、木村さんがこの会社の社員のまま営業部員から人事部員に移動すると考えることができる。よって、インスタンスモデルにおいて、木村さんのインスタンスが、この会社の社員の状態のまま、営業部員ロールを担うことを止めて、人事部員ロールを担うことを取り扱うには、営業部と人事部を部分概念として持つ会社において、社員ロールを定義し、このロール概念を人間が担った時に具体化されるロールホルダーを、営業部員ロールと人事部員ロールのクラス制約として定義すればよい。このように、プレイヤーが、異なるコンテキストに参加していることを表す構成ロールは、それらのコンテキストを包含するコンテキストの下に定義し、そのロールホルダーを異なるコンテキストに定義されたロール概念のクラス制約とすればよい。

(2)コンテキストに依存した構成ロールの導入:人事部に所属する人事平社員の木村さんが人事部長に昇進することを考える。現実世界では、木村さんは人事部の部員のまま、昇進すると考えられる。このことをインスタンスモデルで取り扱うには、人事部において人事部員ロールを定義し、そのロールホルダーを人事平社員ロールと人事部長のクラス制約とすればよい。このように、プレイヤーが特定のコンテキストに参加している状態を保持するには、そのコンテキストの下に構成ロールを定義すればよい。

(3)より一般的な構成ロールと役割ロールの導入について:構成ロールと役割ロールの導入は、あるロール概念のインスタンスのプレイヤーがそのインスタンスを担うことを止め、さらに同一コンテキスト内にある他のロール概念を担った時に、そのコンテキストに参加している状態を保持するために必要であった。しかし、構成ロールと役割ロールは、このような問題を取り扱う場合以外でも、その概念的性質より、4.2節で述べたロール概念を含めて全てのロール概念に対して導入が必要となる。例えば、現実世界において、天板と脚によって形作られる机について考える。クラス定義では、天板ロールと脚ロールが机をコンテキストとして定義されており、これらのロール概念は役割ロールの下位概念である。さらに、これらのロール概念のプレイヤーとなるのは、構成ロールの下位概念となる机部品ロールを担った時に具体化される机部品であるとする。ここで、現実世界において、天板と4つの脚の部品が机を形作らずに存在していたとき、それらの部品集合は単なる机部品集合であり、机であるとみなすことはできない。これは、インスタンスモデルにおいて、天板と脚の各部品が机をコンテキストとして存在する机部品ロールのインスタンスのみを担っており、天板ロールと脚ロールのインスタンスは R_i の状態で存在しているだけの状態となる。このように、プレイヤーがコンテキストの構成ロールのインスタンスだけを担っている状態は、プレイヤーの単なる集合がそのコンテキストを形成するとみなすことができる。このとき、役割ロールのインスタンスは担われていないため、そのロール概念が果たす性質や機能は具体化されていない。ある物が単なる部品の集合以上の意味を持つ全体物として存在するためには、各部品がそのコンテキストの下で果たす性質や機能などの役割ロールがインスタンスモデルにおいて存在している必要がある。これは、ただ単に人やものを集めただけのときに認識される集合とは異なる性質を持っていることを表している。例えば、会員制クラブは一見構成ロールだ

けで構成されている様に見えるが、単なる人の集合と差別化するためには、平会員ロールなどを役割ロールの下位概念として定義し、会員構成員ロールを構成員ロールの下位概念として定義することが必要となる。

以上述べたように哲学的な観点から考察すると、基本的にすべてのロール概念に対して、構成ロールと役割ロールが存在すると考えられる。一方工学的には、4.2節で述べた夫婦における夫ロールや会員制クラブの平会員ロールなど、構成ロールの導入を工学的近似で省略しても、問題が生じない場合もある。¹

5. まとめと今後の課題

本論文では、ロールホルダーがロール概念をもとに生成されることから、ロール概念階層をもとにして、ロールホルダー階層構築の指針を述べた。今後、より詳細なロールホルダー階層構築のために、ロール概念間の is-a 関係の種類毎にロール概念階層の性質を考察し、ロールホルダー階層との関係性に関する理論を検討する必要がある。また、本論文では新たなロール概念の種類として、構成ロールと役割ロールを導入した。構成ロールを定義するコンテキストの決定方法や、構成ロールを特殊化する際の指針などについては議論の余地が残されている。この点は、構成ロールの定義の詳細度に応じて変化する取り扱える問題の範囲と合わせて検討する必要がある。さらに、構成ロールを計算機上で実装する方法に関しては、計算機で取り扱う ID と構成ロールが持つ identity の理論的対応などを別途検討する必要がある。今後は以上の考察を深めていくと共に、ロール概念のインスタンスを扱うための理論的枠組みの、計算機システム上への実装を進める。

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 02] 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.
- [砂川 05] 砂川, 古崎, 来村, 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.
- [Mizoguchi 07] Mizoguchi, R. et. al; A Model of Roles within an Ontology Development Tool: Hozo, J. of Applied Ontology, Vol.2, No.2, pp.159-179. Sep. 2007
- [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 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.
- [遠藤 07-1] 遠藤, 古崎, 溝口: ロール理論の拡張によるインスタンス生成・消滅問題の考察, 人工知能学会研究会資料 SIG-SWO-A702-03, 2007
- [遠藤 07-2] 遠藤, 古崎, 溝口: ロール理論におけるインスタンス生成・消滅問題, 信学技報 Vol.107, No.212, pp. 67-72, 2007

¹ ただし、省略が許されるのは構成ロールのみで、役割ロールを省略することは許されない