

# OWLとSWRLを用いた機能概念の定式化と上位概念の位置づけ

## Formulation of the notion of function using OWL and SWRL and accounts of upper-concepts

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

The notion of “function” (functionality) is important for representation of artifacts and biological organs. Although much research on function has been done in many research areas, its semantics remains unclear. Aiming at a fundamental model with clear computational semantics as a basis for further investigation of semantics of function, this article proposes a functional model in OWL. Firstly, we propose a simple role model in OWL introducing meta-role concepts. Next, the functional model based on the role model is presented. Lastly, we compare functions of artifacts and biological organs and then try to account a definition of function in the biological domain as a property of an object.

### 1. はじめに

「機能」概念は人工物や生体器官などの存在意義と identity の根幹であり、記述の際の中核的概念である。これまでに設計工学、人工知能、科学哲学などの分野で多くの研究が行われてきたが、その意味論はまだ明確になっていないと言えない。

筆者らはこれまで人工物の機能概念について存在論的な考察を行い、機能に関するオントロジーとその応用を行ってきた[来村 02, Kitamura 06]。機能を、コンテキストのもとで果たされる役割を表す「ロール概念」[砂川 05, Mizoguchi 07]の一種であると捉え、「振る舞いが目的論的コンテキストのもとで果たすロール」であると定義した。機能は外部依存性(externally founded)、非本質性(anti-rigid)、コンテキストによる動的変化性と多重性(dynamic/multiple)などのロール概念の一般的性質[Masolo 04, Mizoguchi 07]を満たすからである[Kitamura 06]。その記述には、筆者らの開発している「法造」[砂川 05]を用い、法造が提供するロール概念に関する機能を用いてきた。

本研究では、「機能」概念の意味論のさらなる明確化の基盤を提供することを目指して、OWLとSWRLを用いて、その定式化を行った。本稿では、まず、機能ロールを表現する基礎となる、一般的なロール概念の簡略的な OWL 表現モデルを示す。次に、そのロールモデルを用いて、ロールとしての機能概念モデルを定式化する。その上で、人工物の機能と生体器官の機能を比較し、性質としての機能について議論する。

### 2. ロールの OWL 簡易モデル

#### 2.1 方針と要求仕様

ロール概念の OWL による表現については[Kozaki 07]や[周 08]などの考察があるが、ここでは、機能ロールを表現するという目的の下で、簡易で明確な意味論を持つ一般的なロールモデルの開発を目指した。したがって、以下のような機能ロールの持つ性質を表現できる簡易なモデルを目標とした。まず、機能ロールは、目的論的コンテキストに依存して、機能を果たす振る舞いと動的な関係を持つ。振る舞いは発揮できる機能を複数持ち、振る舞いとモノの関係も多対多の関係にある。また、機能

ロールは独自の属性(例えば、機能発揮時間など)を持つ。さらに、モノの使用時を考えると、ユーザはまず自分の得たい作用を機能として概念化する(要求機能と呼ばれる)場合がある。そのとき、機能ロールのインスタンスのみが存在し、それを果たす振る舞いや実行する物のインスタンスは存在しない。これは、一般的に、「担われていない状態のロールインスタンス(unplayed role)」と呼ばれる。要求機能をこのように捉えたときに、そのような状態を表現できるモデルを目標とした。

また、明確な意味論のために、ロール概念自体を定義する際に用いるメタロール概念を導入する。

#### 2.2 メタロールに基づく簡易 OWL ロールモデル

開発した簡易 OWL ロールモデルを、教師の例を用いて、図 1 に示す。ここで、*RoleConcept*, *RoleContext*, *PotentialRolePlayer*, *RolePlayingThing* を、ロールを記述するためのロール概念である「メタロール概念」として導入している(イタリック文字は定義されている概念またはインスタンスであることを示す)。まず、*RoleConcept* は役割概念を表す(メタ)クラスであり、通常の *natural type* を表すメタクラスである基本概念(*BasicConcept*)と区別される。*RoleContext* はロール概念を規定するコンテキストとなる役割を表す。*PotentialRolePlayer* は潜在的に特定のロールを果たしうる役割を表す。一方、*RolePlayingThing* は少なくとも1つのロールを現在、担っているものの役割を表す。

ここでの教師の例では、教師ロール(*TeacherRole*)は、学校(*School*)というコンテキストのもとで、教員免許を持った人間(*Person*)が果たすロールであるとする<sup>1</sup>。このことを、図 1 では、まず、*Person* クラスを *BasicConcept* のサブクラスとして定義し、*TeacherRole* を *RoleConcept* のサブクラスとして定義する。*TeacherRole* クラスは、*rolePlayedBy* プロパティに関する *restriction* を持ち、匿名クラスである “*Person*  $\cap$  *PotentialRolePlayer*  $\cap$  has some ( $\exists$ ) *TeachingLicense*” のインスタンスのみを値とする(*owl:allValuesFrom* ( $\forall$ ))ことが、定義される。また、1つの *School* をコンテキストとして持つロールであることが、*teacherOf* プロパティ (*roleOf* のサブプロパティ)に関する *owl:someValuesFrom* 制約で表現される。

連絡先: 來村 徳信, 大阪大学産業科学研究所, 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1, Tel. 06-6878-8416, Fax: 06-6879-2123, kita@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

<sup>1</sup> [砂川 05]で議論されているように、これは教師ロールの組織的側面にすぎず、本来は、教授行為主体ロールとの複合ロール概念として定義されるべきである。ここでは議論を簡単にするため、組織的側面のみを例として定義する。

さらに、「教師 (Teacher)」クラスは、RolePlayingThing サブクラスとして、TeacherRole を担っているものとして定義される。

一方、学校 (School)クラスは、RoleContext メタロールを最初から担った存在として、BasicConcept と RoleContext の両方のサブクラスとして定義される。これは、学校が組織の一種であり、人間から構成され、人間にロールを与える役割を本質的に持っているからである。なお、このこと

は、多くの BasicConcept に対して言えることであり、部分からなる BasicConcept は RoleContext メタロールを担っている。図1では示していないが、人間(Person)も部分から構成されるため、RoleContext メタロールを担っている。

インスタンスレベルでは、まず、ひとりの人間(John)が Person クラスのインスタンスとして生成される。ある学校(ABC-School)のインスタンスが生成されたとき、図1では、Teacher Role インスタンス(TeacherRole\_1)が、数学教師の空きポストとして、生成される。John が教員免許を取得すると、John は TeacherRole の PotentialRolePlayer となる。実際に、John が ABC-School の教師に就任したとき、playRole プロパティが、TeacherRole\_1 と John の間に引かれる。このとき、OWL の推論機構によって、John が Teacher クラスにも所属していることが推論され、ロールを担っている RolePlayingThing であることが分かる<sup>2</sup>。

### 2.3 ロールモデルの能力と限界

このモデルは 2.1 節で述べた機能ロールの性質を表現できる。まず、教師(Teacher)クラスのように、ロールを担った状態のものを表現するクラスを、基本概念クラス(BasicConcept)から区別して定義し、ロールを担うかどうか(playRole プロパティの存在)によって、動的に、インスタンスの所属性を推論機構によって判定することができる。機能ロール独自の属性は、図1における教師ロールの教科(Subject)のように、表現することができる。また、要求機能のように、担うものがまだ存在しない状態のロールインスタンスを、上述した空きポストのように、表現することができる<sup>3</sup>。

一方、このモデルは、ロールホルダー概念 [砂川 05, Mizoguchi 07]を導入していない。RolePlayingThing はロールホルダーに似ているが、ロールホルダーがロール概念とそれを担った概念から構成される(すべての属性を含む)のに比べて、ロール概念を含まず、ロールを担っている概念のみを表す異なった概念である。ロールホルダー概念は、存在論的に正しいオントロジーを記述する際に必要な概念であるとともに、ロールに関

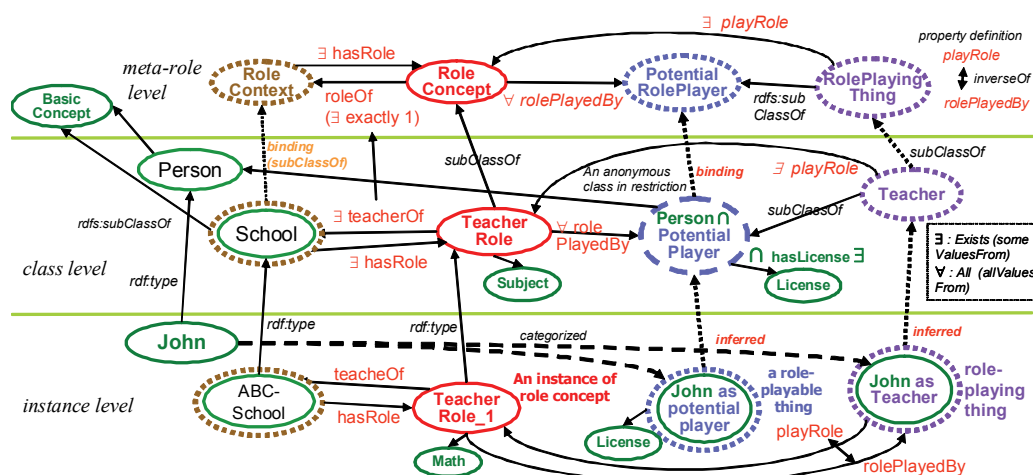


図1 メタロールを導入した簡易 OWL ロールモデルとその例

する基礎的問題であるカウンティング問題[Wieringa 95]を解く方法のひとつを与える。実際、厳密には、(特に実行中の)機能は振る舞いを含むロールホルダーの一種であると考えられるが、このロールモデルに基づく機能モデルは、それを表現することはできない。一方、カウンティング問題については、機能の発揮回数をカウントする必要性はさほど高くはないと考えることができる。

この簡易モデルの意義は、メタロールを導入したことによって、ロール概念自体のセマンティクスがより明確になったことと、ロールのインスタンスを表現することができる簡易的なモデルになっていることである。しかしながら、図1に示している OWL 表現においては、メタロールを担うこと(binding, meta-play) は、rdfs:subClassOf や  $\cap$  によって表現されており、その表現は簡易的なものになっている。

## 3. OWL 機能モデル

### 3.1 目的と方針

ここでの OWL による機能モデルの目的は、明確な意味論を持った、簡易な機能のモデルを構築し、機能に関するさらなるオントロジカルな考察の基盤とすることである。そのため、前節で述べた簡易ロールモデルに基づいて、機能ロールホルダーを扱わずに、機能ロールを中心として、振る舞いや人工物などの関係を明確に表現するモデルを構築することを目指した。

### 3.2 OWL 機能モデル(上位層)

OWL で表現された機能モデルを、椅子などの例を含めて、図2に示す。まず、中央部に、ロール概念の下位概念として、「機能ロール (FunctionRole)」、「機能発揮物ロール (FunctionPerformerRole)」などを定義している。右側のクラス階層は、それらのロールを担う基本概念 (BasicConcept) の下位クラスを表し、「振る舞い」や「人工物」などが定義されている。

FunctionRole は、装置指向振る舞い (DeviceOriented Behavior, 以下では DOB と略す) によって担われるロールである。DOB は、時間的変化を表すプロセス (Process) の一種であり、ブラックボックスとして捉えられる「装置」の作用によって引き起こされる、装置を通り抜けるもの(「対象物」と呼ばれる)の、入出力における値の変化を表す[来村 02]。例えば、熱交換器の振る舞いは、流体の入出力温度によって表現される。その振る舞いは、組み込まれるシステム(これが目的論的コンテキストを構成する)によって、異なる機能ロールを発揮する。例えば、車にエンジンとともに組み込まれれば、「熱エネルギーを除く」機能ロー

<sup>2</sup> PotentialRolePlayer や RolePlayingThing はメタロールであり、この例では、人間の1つのインスタンスの異なる(特殊な)状態を表すものであるとみなせる。インスタンスの identity は人間であることから生じており、変化しない。メタロールは単独でのインスタンスを持たず、それに分類されるインスタンスは常になんらかの BasicConcept のインスタンスでもある。これらの意味で、このモデルは哲学的な存在論的にも許容できるモデルとなっている。また、playRole と rolePlayedBy プロパティが非対称であるにもかかわらず、owl:inverseOf 関係と定義されているが、これも PotentialRolePlayer が単独のインスタンスを持たないからである。

<sup>3</sup> OWL で記述されたオントロジーによく見られるように、ロールをプロパティとして表現すると、これらを表現することができない[Kozaki 07]。

ルを發揮し、発電プラントのタービンの上流に組み込まれれば、「熱エネルギーを与える」機能ロールを發揮する。図2では、FunctionRoleがDOBによってのみ担われることが、rolePlayedByプロパティに対するowl:allValuesFrom(∀)制約によって表現されている。また、それを担ったものは、playRoleプロパティに関するowl:someValuesFrom(∃)制約を用いて、機能的振る舞い(Functional Behavior)と定義される。

一方、「機能發揮物ロール(FunctionPerformerRole)」は、物体(Object)によって担われるロールである。ある物体が振る舞いを發揮しており、その振る舞いが機能ロールを担うとき、その物体は機能發揮物ロールを担う、と言う。例えば、上述の例において熱交換器の振る舞いが「熱を除く」機能を担っているとき、熱交換器は機能發揮物ロールを担っており、ラジエーターと呼ばれる。図2では、FunctionPerformerRoleがObjectによってのみ担われ、担っているものをFunctionalObjectと呼ぶことが定義されている。さらに、FunctionPerformerRoleにはFunctionRoleとの間にfunctionRolePerformingプロパティが存在し(∃)、それはそのObjectがそのDOBを發揮することを要求することが、requiresプロパティで表現されている。

これらのFunctionRoleなどのロールは、BaseFunctionContextをコンテキストとして、機能コンテキスト(FunctionContext)と関連して定義される。BaseFunctionContextは装置が対象物に対して起こす振る舞いや機能の関係性を規定する。一方、FunctionContextは、その装置と機能の周囲の状況と関連性を表し、DesignedFunctionContextとAccidentalUseFunctionContextに分類される。前者は物体の設計時に意図された機能コンテキストを表し、後者はユーザーによって使用時に意図された機能コンテキストを表す。

「人工物(Artifact)」は機能を發揮することを本質とする物体である<sup>4</sup>。したがって、図2では、FunctionPerformerRoleを担っているものを表すFunctionalObjectの下位概念として、定義されている。これは、人工物が常に機能を發揮しつづけることを意味しているわけではなく、そのライフサイクルのある時期(使用期間)において、(適切な環境が与えられれば)機能を發揮することがある、ということを表している。

例えば、図2において、「椅子(Chair)」はArtifactクラスの下位クラスとして定義され、「位置を保持する機能ロール」(SupportingFunctionRole)を發揮するFunctionPerformerRoleを担う(∃ playRole)ものとして、定義されている。この位置保持機能は設計者によって意図された機能であるので、DesignedFunctionContextの下位クラスと、justifyingContextプロパティで結びつけられる。このプロパティはそのものが本質的としているコンテキストであることを表す。

<sup>4</sup> これは人工物の必要条件のひとつであって、必要十分条件ではなく、人工物をこう定義するものではない。

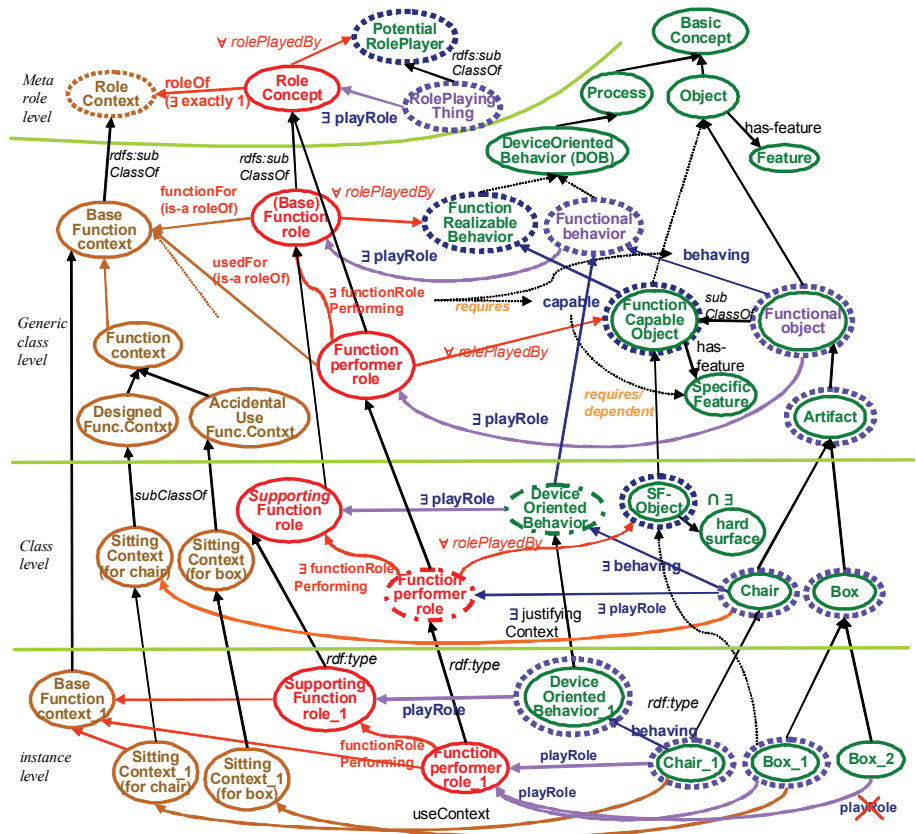


図2 OWLによる機能モデルの上位層とその例

一方、SF-Objectクラスは、SupportingFunctionRoleを發揮するFunctionPerformerRoleを潜在的に担う可能性のある物体を表し(∀ rolePlayedBy)、「堅い表面を持つ」という物理的特性を持つことが必要条件として付加されている。このように定義することによって、(明示的に記述された椅子以外でも)位置保持機能を發揮することができるものを記述できる<sup>5</sup>。

例えば、図2においては、箱(Box)は通常、椅子のような位置保持機能を設計時には意図されていない。したがって、BoxクラスはplayRoleプロパティやjustifyingContextプロパティをSupportingFunctionRoleと結びつく形では持たない。しかし、インスタンスのレベルでは、位置保持機能を發揮するのに十分な堅さなどを備えた箱が存在し、ユーザーが椅子の代わりに位置保持に用いる場合がありえる。図2では、Box\_1がそのような状況にある箱インスタンスを表しており、AccidentalUseFunctionContextのインスタンスをuseContextとして<sup>6</sup>、playRoleプロパティをSupportingFunctionRoleと結びつく形で持っている。

## 4. 人工物機能と生体器官機能

### 4.1 共通点と違い

前節で述べた機能モデルを用いて、人工物の持つ機能と、生体器官の持つ機能の共通点と違いを明らかにすることを試みたものを図3に示す。生体器官(BioOrgan)、例えば、心臓(Heart)の振る舞いはポンプと同じように流体に対して圧力をか

<sup>5</sup> 一般的に、このような必要条件を十分に記述することは難しい。

<sup>6</sup> このコンテキストが存在する時間は、ユーザーが箱の保持機能發揮性を認めた時、箱をそう使おうと思ったとき、箱が現在保持機能を發揮している瞬間などさまざまなケースが考えられるが、useContextはこれらを包括して、使用フェイズにおけるコンテキストであることを表す。



けるという役割を、血液循環器系というシステムの中で、果たしている。このような、システムの中で部分が果たす機能ロールのコンテキストを *SystemFunctionContext* と呼ぶ。つまり、生体器官は *SystemFunctionContext* を *useContext* として、機能を発揮しているが、その *SystemFunctionContext* は常に固定されていて、他のシステムで機能を発揮することはない<sup>7</sup>。一方、人工物の部品では、例えばポンプの場合、流体循環システムや油圧システムなどのさまざまなシステムで機能を発揮することができる。また、通常、生体器官には設計時における意図があるとは考えないため、*Desinged* と *Accidental UseFunctionContext* の違いは現れない。しかしながら、外部から(多くの場合ユーザによって)直接的に用いられる場合のコンテキストである *ExternalFunctionContext* においては、生体器官も多様なコンテキストのもとで機能を発揮することができる。例えば、心臓の場合、「鼓動音を生成する」はシステム内では役割を担っておらず機能ではなく振る舞いである。しかし、医療診断という *External FunctionContext* のもとでは、機能であると考えられる。

#### 4.2 生物分野における機能定義の解釈

科学哲学分野においては、生物の持つ機能と人工物の持つ機能の違いについて多くの議論が行われており、機能はものの持つ「固有的(inherent)」で「客観的な(objective)」な属性(能力(capability)または傾向(disposition))とみなされることが多い[Perlman 04]。これは本稿で定義した機能がプロセスの一種が動的に果たす役割(ロール)であることと大きく異なる。例えば、B. Smithらは生体器官の機能を“a disposition to act in a certain way to contribute to the realization of [a ...] larger function on the part of that whole organism which is its host” [Johansson 05]と定義している。この定義は、本稿における定義と目的指向性を共有しているが、機能をももの持つ傾向であるとみなし、本稿における *ExternalFunctionContext* 下での機能を含んでいない。

このような定義の違いは、図3に示した生体器官の機能の特徴で説明できると思われる。生体器官は、特定のシステムのもとで特定の機能を果たしており、また、*ExternalFunctionContext* で果たす機能を除外しているため、生物器官が担っている *RolePlayingThing* メタロール(機能を果たすというメタロール)とものとの関係が固定的になることから、このメタロールをももの持つ「固有な」性質と見なすことができていると考えられる。

#### 5. まとめ

本稿では、メタロールを導入した簡易的な OWL ロールモデルを提案し、それに基づいて明確な計算機的意思論を持った機能モデルを示した。また、生体器官機能との比較を行った。

現在、この機能モデルに基づいて、従来から開発してきた機能オントロジーの OWL での構築を進めている。本稿では紙面の都合で省略したが、実際の機能を表す機能概念の定義においては、SWRLを用いて、意味制約を表現している。

**謝辞:** 本稿は、第1筆者がスタンフォード大学 Stanford Center for Biomedical Informatics Research の Mark Musen 研究室に滞在中に行った研究の一部をまとめたものであり、Mark A. Musen 教授、Natasha F. Noy 上級研究員、Martin J.

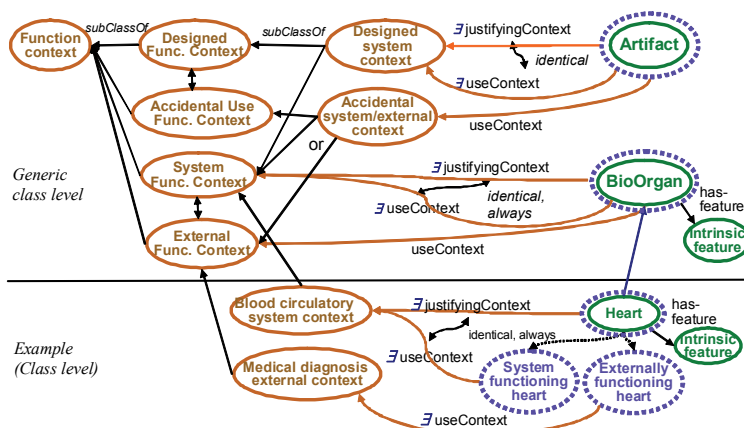


図3 人工物の機能と生体器官の機能

O'Connor 研究者らとの貴重な議論の成果を含んでいる。機能の定義の明確化については、University at Buffalo の Barry Smith 教授との議論が大変、有益であった。溝口研究室の古崎晃司氏の議論も参考になった。記して、感謝の意を表したい。

#### 参考文献

[Johansson 05] Johansson I, Smith B, Munn K, Tsikolia N, Elsner K, Ernst D, Siebert D.: Functional Anatomy: A Taxonomic Proposal. *Acta Biotheoretica* 53(3):153-66, 2005.

[来村 02] 来村 徳信, 溝口 理一郎: オントロジー工学に基づく機能知識体系化の枠組み, 人工知能学会論文誌, 17(1), pp.61-72, 2002

[Kitamura 06] Kitamura, Y., Koji, Y., Mizoguchi, R.: An Ontological Model of Device Function: Industrial Deployment and Lessons Learned, *Journal of Applied Ontology*, Vol. 1, No. 3-4, pp. 237-262, 2006.

[Kozaki 07] Kozaki, K., Sunagawa, E., Kitamura, Y., and Mizoguchi, R.: Role Representation Model Using OWL and SWRL, In *Proc. of 2nd Workshop on Roles and Relationships in Object Oriented Programming, Multiagent Systems, and Ontologies*, pp.39-46, 2007

[Masolo 04] Masolo, C., Vieu, L., Bottazzi, E., Catenacci, C., Ferrario, R., Gengami, A. & Guarino, N.: Social Roles and their Descriptions, In *Proc. of the 9th Int'l Conf. on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR2004)*, pp.267-277. AAAI Press., 2004.

[Mizoguchi 07] Mizoguchi R., Sunagawa E., Kozaki K. and Kitamura Y.: The Model of Roles within an Ontology Development Tool: Hozo, *J. of Applied Ontology*, Vol.2, No.2, pp.159-179, 2007.

[Perlman 04] Perlman, M.: The Modern Philosophical Resurrection of Teleology. *The Monist* 87(1):3-51, 2004.

[砂川 05] 砂川英一, 古崎晃司, 来村徳信, 溝口理一郎: 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.

[周 08] 周 俊, 国府 裕子, 古崎 晃司, 溝口 理一郎: OWLを用いたロール概念表現モデルに関する考察, 第22回人工知能学会全国大会, 3G2-1, 2008

[Wieringa 95] Wieringa, R. J., de Jonge W., Spruit, P.: Using Dynamic Classes and Role Classes to Model Object Migration, *Theory and Practice of Object Systems*, 1, 61-83, 1995.

<sup>7</sup> 咽のように 2 つ以上のシステム(呼吸系と食物摂取系)で機能を発揮することもあるが、システムは固定されている。つまり、組み込まれる機能構造が固定されている。