

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22300053

研究課題名(和文)学際的アプローチに基づく参照機能オントロジーの構築と知識相互運用ツールの開発

研究課題名(英文)Reference Ontology of Function based on Interdisciplinary Approach and Interoperability of Functional Knowledge

研究代表者

来村 徳信 (Kitamura, Yoshinobu)

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号：20252710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,900,000円、(間接経費) 2,970,000円

研究成果の概要(和文)：「機能概念」は人工物、生体などに関する知識表現において中核的役割を果たすが工学・哲学・バイオ分野においてさまざまに定義されており、相互に知見を生かすことができないのが現状である。本研究では、哲学分野の知見を踏まえた学際的アプローチで、人工物と生体の機能のさまざまな定義を分類し関係づけることで、基盤的な「機能の種類」(機能カテゴリ)の体系(オントロジー)を構築した。それに基づいて機能的知識を分野を越えて包括的に記述・変換・相互運用できる。共通するコアな機能概念を定義できる可能性が明らかになり、最終年度前年度の応募を行い採択されたため、新規な基盤研究(B)としてさらに発展的研究を進めている。

研究成果の概要(英文)：Functionality is a crucial concept in knowledge representation of artifacts and biological organs. Many definitions have been proposed in several research areas. It decreases interoperability of functional knowledge between different domains. In this research, adopting interdisciplinary approach, those definitions of function have been categorized and the relationships among them have been clarified. Then, an upper-level reference ontology of function has been established. It increases interoperability of functional knowledge. The research results suggested the possibility of a unified core definition of function. Then, research toward this direction with a new grant-in-aid for scientific research had been started.

研究分野：知識工学

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：オントロジー 機能概念

### 1. 研究開始当初の背景

機能概念は人工物、生体器官などの広い範囲の対象に関する知識記述に必須の概念である。特に、人工物の機能に関する知識は、設計図が設計結果しか表さないのに比べて、概念設計における設計者の意図やノウハウを表現する重要な知識であり、その表現と共有は製造業における重要な課題である。また、近年、設計工学において生体にヒントを得た設計(生物規範工学や Bio-inspired design)が注目されており、生体機能の知識を人工物に適用するような異分野間の機能知識共有が望まれている。

しかしながら、現状では、機能概念については学問領域ごとに多くの研究が行われており、統一的定義もなく多くの定義が存在し、それらの違いや関係性も明確にはなっていない。例えば、人工物の機能に関しては、工学分野では人工知能、設計工学、価値工学などの領域で研究が行われてきた。一方、科学哲学分野では機能とはなにかという深い考察が長年行われてきたが、工学的研究における知見と乖離している。分野横断については、哲学において人工物機能と生体機能の違いに関して長年、論争が行われてきたが、それぞれが唯一の機能定義を指向しており、根本的な相違があり、統合できていない。

したがって、それぞれの分野でさまざまな定義に基づく機能的知識が記述され、それらの再利用・相互運用が困難になっている。テキスト検索などではそのような視点や分野ごとの概念定義の違いを乗り越えることができない。

### 2. 研究の目的

本研究の目標は、工学分野における人工物機能とバイオ分野における生体機能のさまざまな捉え方を、哲学的考察に基づいて、包括的に体系化することで、定義や分野の違いを越える機能的知識の相互運用性を確立することである。

まず、科学的目標は、機能概念の意味を明示化できる機能カテゴリの体系(オントロジー)の構築である(図1参照)。工学・バイオ・哲学分野における機能定義の違いを、哲学的知見も踏まえて分析することで、多様な機能概念を分類する、一般的な機能の種類(機能カテゴリ)を体系化した「参照機能オントロジー」を構築する(図1上部)。カテゴリは特定の「分類視点」に基づいており、視点は互いに直交している。このオントロジーを参照(利用)して既存のさまざまな機能定義を機能カテゴリ(の組み合わせ)に分類することで、それらの意味の違いを明確にできる(図1中央部)。例えば、生体機能のある定義は「能力的機能」と「部品機能」という機能カテゴリの組み合わせでその意味を明示化できる。さらに、製品などの機能発揮

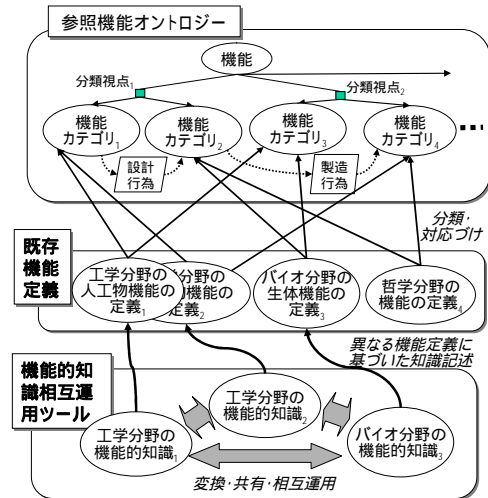


図1 本研究の目標とした概念的枠組み

物のライフサイクルに沿った、機能カテゴリ間の関係性(図1上部)が明らかにされる。例えば、上述の能力的機能は製品製造時/生体生誕時にものに内在し、使用時に引き出されて実体化される、という関係性を持つ。このような関係性に基づくことで、従来暗黙的になっていた、設計・製造行為などの工学行為における機能概念の意味の違いを明確に捉えることができる。得られた機能カテゴリの十分性は、既存研究における機能定義群と設計現場で用いられている機能語彙集合をカテゴリに分類する実験を行うことで確認される。

工学的目標としては、機能的知識相互運用の実現である。上述のオントロジーに基づいて、人工物と生体器官の機能に関する知識の分野を超えた相互運用を支援するツールを開発する。上述の既存機能定義の機能カテゴリ分類に基づくことで、異なる機能定義に基づいた機能的知識を一つのツールで記述することができ、またそれらの関係性に基づくことで相互に変換できる(図1下部)。

### 3. 研究の方法

本研究は、哲学的知見にも基づきながら、工学的立場から、異分野の定義を一つのものに統一するのではなく、違いを明確化し相互に関連づけることで相互運用を図るアプローチをとる。

目標とする「機能の種類(機能カテゴリ)に関する体系」(参照機能オントロジー)は、申請者が長年研究してきた人工物機能のデバイスの定義と他の機能定義の概念的違いを考察することで構築される。海外研究協力者である科学哲学者の協力を得て哲学分野の知見を踏まえつつ、しかしあくまでも工学的な知識表現の立場から機能の定義の違いを概念化する。

初年度では人工物の機能に焦点を絞り、次年度以降で生体器官の機能に対象を広げて、徐々に機能カテゴリの数を拡大する。次に、同定したカテゴリ間の製品/生体のライフ

サイクルに沿った関係性を考察する。また、既存機能定義と機能の実例を機能カテゴリに分類することで、同定した機能カテゴリの十分性を確認し、拡張する。並行して、そのような分類に基づくことで、さまざまな定義に基づく機能的知識を包括的に扱え、相互変換可能な知識記述ツールを開発する。

#### 4. 研究成果

初年度である平成 22 年度では、人工物に焦点を絞って人工物そのものとその機能について考察を行った。まず、哲学的知見の整理を行った。海外研究協力者である科学哲学者のオランダ・デルフト工科大学の Peiter Varmaas を交えて行った議論に基づいて、人工物の持つ機能や機能の不全状態に関して、従来の工学的知見に哲学的知見を加えることができた。

次に、人工物機能を分類する視点の同定について、まず、海外研究協力者であるイタリア国立研究機関 認知科学技術研究所の Stefano Borgo, Nicola Guarino らと行った、人工物特有の概念である「使用」概念についての議論の結果も踏まえて、人工物とその機能の本質的な性質を明らかにした。次に、アメリカ標準技術局の機能語彙体系である Functional Basis の意味定義を精査し、分類視点を同定するとともにそれらの間の関係を明らかにした[学会発表 4]。以上の結果を踏まえて、機能カテゴリの同定とオントロジー構築を行った。

これらの研究過程において、特に海外研究協力者らとの議論を通して、人工物そのものの概念定義についての考察も進み、人工物概念の複数の定義の間の関係を明らかにすることができた。この知見は、人工物概念の本質を明らかにし、生体との違いを明確にすることができた。

また、機能の時間順序列をプロセス系列とみなして、その目的指向モデル化について、一般的考察と他のプロセスモデルとの比較を行った[雑誌論文 11]。

次年度の H23 年度ではひきつづき人工物の機能に焦点を絞って人工物機能の分類と関連性について考察を深めたが、本研究の基盤となる人工物そのものの本質性についても考察を行った。まず、人工物の本質について、製造行為や選択行為などにおける意図に注目して考察を行った、その結果、複数の人工物定義に関する基盤的レベルでの重要な違いと関係性を明らかにし[学会発表 6-7]、海外研究協力者と共著で国際ワークショップにおいて論文発表[雑誌論文 10]を行った。また、これらを包括的に説明する理論と、人工物と自然物（特に生体）の間の本質的関係性を明らかにした。さらに、このような考察を発展させて、次年度の主要な考察目標である人工物機能と生体機能の共通性について、重要な見通しを得ることができた。

次に、異なる機能概念を設計、製造、使用、故障といった製品のライフサイクルフェイズや変化物の違いによって関連づけるモデルを構築した（フェイズモデルと呼ぶ。図 2 参照）[雑誌論文 1, 12]。いわゆる要求機能、設計機能、ものの性質としての機能、作用としての機能といった異なる概念の間の関係を、ライフサイクルの時間軸に沿って、明確にした。また、このモデルを用いると、多くの哲学分野における機能概念の定義は、製造後の製品（または発達後の生体器官）に本質的に備わる「能力(capacity)」の一種である、と位置づけることができる。一方、多くの工学分野における機能概念の定義は、使用時において利用者の設定した目的へ貢献するような「作用」のことを指しており（実行的(actual)機能と呼ぶ）、それは上述の「能力」に基づいていて発揮されるという関係にあることを明らかにした。

これらの考察結果に基づいて、機能の分類視点のオントロジー的定義とその組み合わせに基づく機能概念の定義を行った（図 2 の参照オントロジー）[雑誌論文 2]。機能を捉える際の 5 つの視点とその値（合計 23）を同定し、一般的な機能カテゴリまたは特定の機

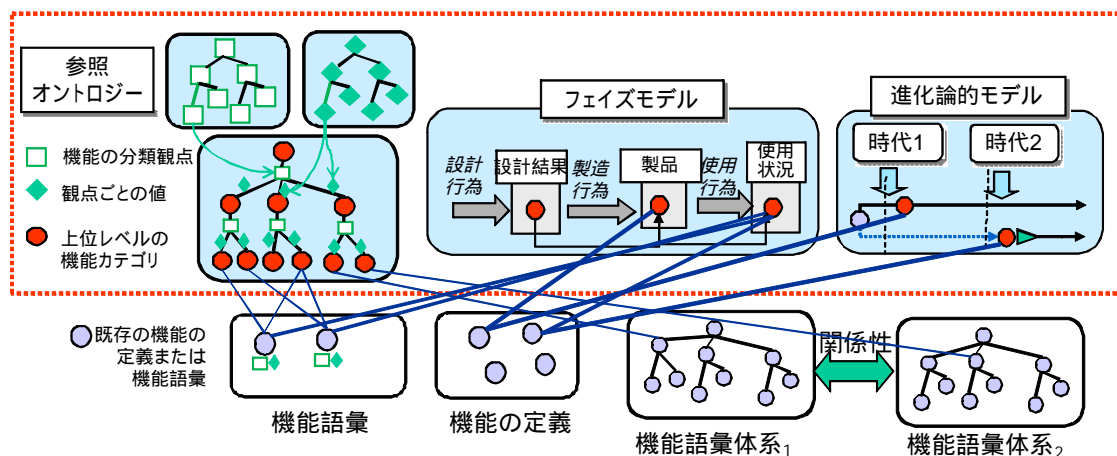


図 2. 本研究で構築した機能に関する上位レベルオントロジーとモデル（概念図）

能の捉え方を，その組み合わせで説明する理論を構築した．それをを用いて，他の論文で問題提起された「現場の技術者 19 人によって油圧ポンプの機能は 11 もの異なった機能として認識されている」という問題を，その組み合わせで説明することに成功した．

さらに，具体的な機能語彙の体系について，その語彙を分類する基準（語彙分類視点と呼ぶ）を明らかにし，複数の機能語彙分類体系の分類視点の違いと関係性を示した[学会発表 4]．具体的には，我々の機能概念体系に加えて Functional Basis を，その分類視点に基づいて説明することができた．

また，機能的知識を統合的に管理するシステムの拡張を行った[雑誌論文 9]．

第3年度にあたる H24 年度では，考察対象を生体器官（自然物）に広げ，人工物の機能と生体器官の機能の共通性と違いについて考察を行った．

まず，前年度の成果を自然物に拡張することで，能力的機能，自然物の機能，実行的機能の機能概念の違いを，人間の道具の扱いに関する進化の歴史上の時代に沿って，徐々に機能概念が分岐・進化していったということを表す「進化論的モデル」を構築した（図 2 右上）．このモデルは，生体の機能が主に能力的機能として捉えられることや，人工物の機能が工学分野では実行的機能として捉えられる傾向があることを説明できる．

次に，これまでの考察によって機能は振る舞いがコンテキストに依存して担うロールと捉えられることが明らかになっていたが，そのコンテキストの成り立ちについて深く考察を行い，コンテキストがなにに依存してどのように決定されるのかといったことについて考察を行った．特に，使用者や設計者といったエージェントの意図やそれによって決定されるゴールと，機能との関係性を明らかにした．

この考察結果に基づき，人工物機能と生体機能の違いと共通性を考察した．大きな違いとして，生物機能には，人工物機能には存在する設計エージェントの「意図」が存在せず，ゴールは外部から意図的に与えられるものではないということを明らかにした．一方で，共通性として，システムが全体としてうまく動作することに貢献するという役割を果たしていることを同定し，「システム機能」と定義した．直感的には，その下位概念として人工物機能と生体機能や各種の機能概念を位置づけることができる感触を得た[雑誌論文 7, 学会発表 1,2]．

次に，機能には本質的なものと偶発的なものがあり，前者が機能物の規範（満たすべき仕様）を与え，達成できない場合には機能不全（故障）と呼ばれるが，前項までの考察結果を踏まえて，人工物と生体の機能不全について考察を行った．

さらに，ロールである機能を一般的に捉えて，一般的なロール理論[雑誌論文 8]や，サービスにおけるその特殊性[雑誌論文 3-6]について，コンテキストに関する分類に基づいて考察を行った．特に，雑誌論文 4 は，製品の機能とサービスにおける意図された作用の違いを明らかにすることで，斬新なサービスの定義を提案し，人工知能学会論文賞を受賞した．

以上，本研究では，さまざまな機能概念/語彙や，特に人工物と生体器官の機能概念定義の間の本質的な「違い」を分類視点として明示化した．その違いを発展的に検討したところ，両者に共通するコア概念を見いだせる可能性が明らかになった．さらに，そのコア概念の候補は，社会的組織やサービスシステムなどにも適用可能性がある感触を得た．すなわち，本研究課題における人工物機能と生体器官機能の「違い」だけに関する考察から，社会的組織やサービスへ対象を拡大するとともに，違いではなく「共通」する統合的な定義を追求するように，本計画を発展的に解消することが非常に意義深いと考え，最終年度前年度の応募を行い採択されたため，新規な基盤研究（B）としてさらに発展的研究を進めている．

また，この研究期間中に，国際論文誌の特集号[書籍 1]，国際会議予稿集[書籍 2]，オントロジーの応用に関する書籍を編集した[書籍 3]．

## 5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 12 件)

1. Yoshinobu Kitamura and Riichiro Mizoguchi, Characterizing functions based on phase- and evolution-oriented models, J. of Applied Ontology, 査読有, Vol. 8, No. 2, 2013, pp. 73-94, IOS Press, DOI: 10.3233/AO-130123
2. Yoshinobu Kitamura and Riichiro Mizoguchi, Ontological characterization of functions: Perspectives for capturing functions and modeling guidelines, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AIEDAM), 査読有, Vol. 27, No. 3, 2013, pp. 259-269, Cambridge Univ. Press, DOI: 10.1017/S0890060413000267
3. Satoshi Nishimura, Yoshinobu Kitamura, Munehiko Sasajima, Akiko Williamson, Chikako Kinoshita, Akemi Hirao, Kanetoshi Hattori, and Riichiro Mizoguchi, CHARM as Activity Model to Share Knowledge and Transmit Procedural

- Knowledge and its Application to Nursing Guidelines Integration, J. of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, Vol. 17, No. 2, 2013, pp. 208-220, <http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=JACII00170020010.xml>
4. 住田光平, 來村徳信, 笹嶋宗彦, 高藤淳, 溝口理一郎, オントロジー工学に基づくサービスの本質的性質の考察, 人工知能学会論文誌, 査読有, Vol. 27, No. 3, 2012, pp.176-192, DOI: 10.1527/tjsai.27.176,
  5. 住田光平, 來村徳信, 笹嶋宗彦, 溝口理一郎, サービス概念の定義に関する包括的検証, 日本経営工学会論文誌, 査読有, Vol. 63, No. 3, 2012, pp. 138-153, <http://www.jimanet.jp/journal/journal-of-jima/paper/vol63#vol63no3>
  6. Kouhei Sumita, Yoshinobu Kitamura, Munehiko Sasajima and Riichiro Mizoguchi, Are Services Functions? In Proc. of Third International Conference on Exploring Services Science (IESS 2012), 査読有, Lecture Notes in Business Information Processing, Vol. 103, 2012, pp.58-72, Springer, DOI: 10.1007/978-3-642-28227-0\_5
  7. Riichiro Mizoguchi, Yoshinobu Kitamura and Stefano Borgo, Towards A Unified Definition of Function, In Proc. of the 7th International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS 2012), 査読有, Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol. 239, 2012, pp. 103-116, IOS Press, DOI: 10.3233/978-1-61499-084-0-103
  8. Kouji Kozaki, Yoshinobu Kitamura and Riichiro Mizoguchi, A Model of Derived Roles, In Proc. of the 18th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW 2012), 査読有, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7603, 2012, pp. 227-236, Springer, DOI: 10.1007/978-3-642-33876-2\_21,
  9. 高藤淳, 來村徳信, 溝口理一郎, オントロジー工学に基づく技術知識統合管理システムの発展とビジネス展開, 人工知能学会論文誌, 査読有, Vol. 26, No. 5, 2011, pp. 547-558, DOI: 10.1527/tjsai.26.547
  10. S. Borgo, M. Franssen, P. Garbacz, Y. Kitamura, R. Mizoguchi, P. E. Vermaas, Technical Artifact: An Integrated Perspectives, In Proc. of Fifth International Workshop Formal Ontologies Meet Industry (FOMI 2011), 査読有, Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol. 229, 2011, pp. 3-15, IOS Press, DOI: 10.3233/978-1-60750-785-7-3
  11. 來村徳信, 笹嶋宗彦, 溝口理一郎, 目的指向プロセスのオントロジー的共通性に基づいた人工物機能とモバイルユーザ行動のモデリングとその応用, 人工知能学会誌, 査読有(招待解説論文), Vol. 25, No. 4, 2010, pp. 526-536, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007658024>
  12. Yoshinobu Kitamura and Riichiro Mizoguchi, Characterizing Functions based on Ontological Models from an Engineering Point of View, In Proc. of Sixth International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS 2010), 査読有, Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol. 209, 2010, pp. 301-314, IOS Press, DOI: 10.3233/978-1-60750-535-8-301
- [学会発表](計 7 件)
1. 來村徳信, 溝口理一郎, 機能的構成物に関する一考察, Design シンポジウム 2012, ds12-025, 2012 年 10 月 16 日, 京都大学(京都市)
  2. 溝口理一郎, 來村徳信, Stefano Borgo, 意図, ゴール, そして機能, 2012 年度人工知能学会全国大会, 112-R-4-5, 2012 年 6 月 12 日, 山口県教育会館(山口県山口市)
  3. Y. Kitamura, Y. Koji, R. Mizoguchi, FOREST: An ontological modeling framework for product-related processes, 7th International Conf. of Engineering Design in Integrated Product Development, 2011 年 6 月 30 日, Wroclaw 工科大学 (Wroclaw, Poland) [invited]
  4. Y. Kitamura, S. Segawa, M. Sasajima, R. Mizoguchi, An Ontology of Classification Criteria for Functional Taxonomies, ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (ASME IDETC/CIE 2011), 2011 年 8 月 29 日, Hyatt Regency on Capitol Hill, (ワシントン D.C., U.S.A.)
  5. Y. Kitamura, R. Mizoguchi, Towards Perspectives for Capturing Functions, Fifth Interdisciplinary Ontology Meeting, 2012 年 2 月 23 日, 慶應義塾大学(東京都)
  6. 來村徳信, 溝口理一郎, 人工物の定義と機能との関係性に関する一考察, 2011 年度人工知能学会全国大会, 2011 年 6 月 3 日, アイーナいわて県民情報交流センター(岩手県盛岡市)
  7. 來村徳信, 溝口理一郎, 人工物の定義の

分類とその本質性に関する一考察，  
Design シンポジウム 2010，2010 年 11 月  
25 日，産業技術大学院大学（東京都）

〔図書〕(計 3 件)

1. Yong Zeng, Kyoung-Yun Kim, Victor Raskin, Benjamin C.M. Fung and Yoshinobu Kitamura (eds.): Special issue: modeling, extraction, and transformation of semantics in computer aided engineering systems, Advanced Engineering Informatics, Vol. 27, No. 1, pp. 1-92, Elsevier (2013)
2. Hideaki Takeda, Yuzhong Qu, Riichiro Mizoguchi and Yoshinobu Kitamura, (eds.): Semantic Technology - Second Joint International Conference, JIST 2012, Nara, Japan, December 2-4, 2012, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7774, 390 pages, Springer (2013)
3. 來村徳信(編著)，人工知能学会(編集): オントロジーの普及と応用，228 ページ，オーム社 (2012)

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

來村 徳信 (KITAMURA, Yoshinobu)  
大阪大学・産業科学研究所・准教授  
研究者番号：2 0 2 5 2 7 1 0

### (2)研究分担者

溝口 理一郎 (MIZOGUCHI, Riichiro)  
北陸先端科学技術大学院大学・サービスサイエンス研究センター・特任教授  
研究者番号：2 0 1 1 6 1 0 6

古崎 晃司 (KOZAKI, Kouji)  
大阪大学・産業科学研究所・准教授  
研究者番号：0 0 3 6 2 6 2 4

笹嶋 宗彦 (SASAJIMA, Munehiko)  
大阪大学・産業科学研究所・特任研究員  
研究者番号：8 0 4 0 2 9 9 9