

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25280082

研究課題名(和文)異種の機能的構成物モデルのための共通枠組みと統合モデリングツールの開発

研究課題名(英文)A modeling framework for functional systems and an integrated modeling tool

研究代表者

来村 徳信 (KITAMURA, Yoshinobu)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：20252710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、人工物・生体・社会的組織・サービスなどにおける機能を共通にモデル化するための枠組みの構築と、統合的モデリングツールの開発である。従来、人工物と生体の機能に共通な定義が確立されていなかった問題に対して、本研究では、部分がシステムのゴール達成に貢献する「システムミック機能」を中核概念とし、ゴールを意図から分離された「コンテキスト」のもとで定義することによって、両者に共通する共通コア機能概念の定義に成功した。そのモデル化枠組みに基づくことで、様々なシステムを共通の枠組みの上で統合的にモデリングして相互運用することが可能になった。

研究成果の概要(英文)：The main goals of this research are (1) to establish a common modeling framework for functional systems, i.e., physical artifacts, biological, social and service systems and (2) to develop an integrated modeling tool for them. As a solution for the current issue of the lack of common definition for artifact and biological functions, this research has defined a common core-definition for both kinds of functions based on the "systemic function", which is defined as a behavior of a part of the whole system contributes an assumed system's goal under a specific context. This definition enables us to detach human's intention from the definition of functions and thus to apply the common definition to biological functions irrelevant to human's intention. On the basis of a common modeling framework based on the common core-definition of functions, we have developed an integrated modeling tool for common models of artificial, biological, and other systems.

研究分野：オントロジー工学

キーワード：オントロジー 知識モデリング 機能

1. 研究開始当初の背景

学界や産業界において、人工物や生体それぞれのモデル化に加えて、それらを社会的組織やサービスの一部として扱い、Scio-technical system (STS) [1] や Product-Service System (PSS) [2] などと呼ばれる、ひとつの統合物としてモデル化し、人工物と人間の関わりを考察することの重要性が認識されている。これらに共通に用いられる核となる概念は「機能」概念である。組織やサービスにおける「役割」や「職務」も、類似した概念であると考えられている[3]。

しかしながら、研究開始当初の状況では、人工知能や設計工学分野[4]、科学哲学分野[5,6]などで機能概念について多くの研究が行われているにも関わらず、特に人工物機能と生体機能の違いについて長年、論争[5,6]が行われてきたが、統合的定義は存在していなかった[3-7]。その主な要因は、人工物の機能は設計者や使用者の「意図」が介在することに対して、心臓などの生体物の機能には意図が存在しないことである。多くの定義が乱立してそれに基づくモデル化が行われており、それらの定義の共通性と類似性が明確にはなっていないことが、モデルを相互運用することができないという工学上の大きな問題を生んでいた。

このような問題を解決するための研究課題は、まず、人工物の機能、生体の機能、社会的組織における機能、サービスにおける機能の違いの背後にある共通性を見だし、共通するコア機能概念を同定することである。次に、その共通コア機能概念を核として、人工物・生体・社会的組織などのモデルのための共通枠組みとそれに基づく統合モデリングツールの開発である。

2. 研究の目的

本研究の第1の目的は、人工物・生体・社会的組織・サービスなどにおける機能を共通にモデル化するための枠組みの構築である。まず、これらの対象物における「機能」概念の定義について、それらの定義に共通するような、共通コア機能概念の定義を得ることを目標とした。その際の中心的課題は、前述したように機能定義における「意図」の扱いであり、人工物に対する人間の意図に基づく設計上の要求機能や使用目的の設定と、生体物における自己の生命維持という基本的な目標の間に、共通概念を見出すことである。そのような共通コア機能概念に基づくことで、これらの多様な対象物を、共通に、「部分が機能を発揮することでシステムのゴールに貢献するもの」と捉えて、「機能的構成物」としてモデル化する枠組みの構築を目指した。その枠組みの上で、対象の共通性と違いを明確にして体系化することで、オントロジーとして構築することを目指した。

第2の目的は、そのモデル化の枠組みに基づいて、多様な機能構成物を統合的にモデル化できる計算機ツールを開発することである。それぞれのモデルは共通コア機能概念に基づく共通基盤モデル部分とその(人工物といった)種類の性質に応じた部分から構成される。共通部分をPivotとして用いることで、より深い知識の相互運用性を実現することを目指した。

3. 研究の方法

第1の目的である「機能的構成物モデルの共通枠組み」は、研究代表者らが長年研究してきた人工物の機能[4]の定義を出発点として、他のものと共通する「共通コア機能概念」を同定することで、構築した。哲学分野[5,6]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共通する定義を概念化する方針をとった。

また、研究の前半期においては、人工物と生体機能に焦点を絞り、後半期において社会的組織やサービスの機能[3]に対象を広げて、徐々に共通コア機能概念と共通モデル枠組みを定義・拡張・洗練していく方法で研究を進めた。また、すでに提案されている機能概念が満たすべき条件リスト[7]に沿って、検証を行った。

このような理論的考察に基づいて、研究中間から、第2の目的である、異種の機能的構成物のモデルを統合的に記述可能であり、統合的な扱いと相互運用を可能とするような計算機ツールの開発を段階的に進めた。

4. 研究成果

本研究全体の概念的枠組みを図1に示す。工学[4]・生体[5-7]・哲学分野[5-7]における機能定義の違いの分析結果に基づき、さらに対象を社会的組織やサービス[3]まで広げて、それらの定義の共通コア機能概念の定義を得た(図1下部、項目(1)で詳しく述べる)。

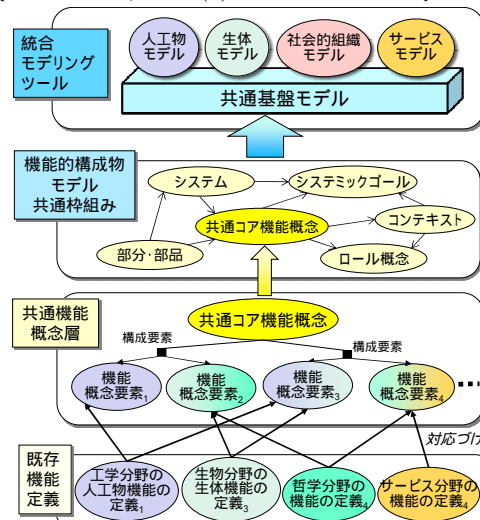


図1 本研究の概念的枠組み

その共通コア機能概念を中核として、人工物・生体・社会的組織・サービスの対象モデルの共通概念要素を同定し、体系化（オントロロジー化）することで、モデルの共通枠組みが得られた（図1中央部）。このモデル枠組みに基づいて、多様な機能構成物を統合的にモデリングできるツールを開発した（図1上部・項目(3)で詳しく述べる）。

(1) 本研究の最も大きな成果は、人間の意図が介在する人工物の機能と、介在しない生体の機能に対して、両者に共通するコア機能概念として「システミック機能」の定義に成功したことである[8]。設計工学や哲学分野において長らく未解決であった本問題を解決する提案が、哲学者も参画しているオントロジーに関する国際学会であるIAOAのフラグシップ国際論文誌である Journal of Applied Ontology に掲載された[8]ことが、成果の確かさとインパクトを示している。

本理論が提案する「システミック機能」とは、システムを構成する「部分」（人工物であれば部品、生体であれば臓器など）の振る舞いが、システム全体（人工物であれば製品やプラントなど、生体であれば人体や動物の総体）における「ゴール」（目的）の達成に貢献していると合理的にみなせるときに、機能と認定されるものである。このシステム全体の「ゴール」は、特定の「コンテキスト」のもとで「仮定」されるものであり、人間（人工物の場合の設計者や利用者）のもつ「意図」から切り離されている。全体システムのゴールが仮定されたとき、それを達成できるようにその部分システムのゴールが合理的に決定され、さらに階層的により小さな部品が果たすべきゴールが決定される。つまり、システムのある部分のゴールとは、常により大きなシステムのゴールに基づいて決定されるもの（「システミックゴール」と呼ぶ）であり、そのゴールに貢献するような部分の振る舞いが機能とみなされる。システム全体にはそれよりも大きなシステムが存在しないため、それが「仮定」されるものであるのは、論理的に素直な帰着である。

従来研究における生体の機能定義に関する多くの議論では、例えば、心臓のもつ機能は「血液を送り出す」ことであり、「鼓動音を生成する」は機能ではないと、直感的に見なされることを前提に、これらの2つの心臓の振る舞いのうち片方のみがなぜ機能とみなされるのかということに関する「客観的な条件」が議論されてきた[5-7]。

本理論の最も重要なポイントは、そのような客観的な条件は存在せず、システム全体の「ゴール」としてなにを仮定したかという「コンテキスト」に依存しているという発想の転換にある。前述の例で簡単にいえば、システム全体（人体）が達成するゴールが「生命を維持する」（後述するがこれは厳密にはシステミックゴールでない）であると仮定さ

れたコンテキストの下では「血液を送り出す」が心臓の機能であるが、医者が「心臓の異常を（鼓動音から）判定する」というゴールをもって人体を観察するというコンテキストの下であれば、「鼓動音を生成する」が機能である。ここで後者の仮定は人間の意図に基づいているが、前者の仮定はそうではない。また、システム全体のゴールとコンテキストの設定には仮定性があるが、ひとたびそれらが決定されれば、部分の振る舞いのうち、そのゴールに対して貢献しているもののみが機能であると客観的に判定できる。

生体システム全体（生物）の普遍的なゴールは「生命を維持する」ことであり、多くの生体機能に関する議論[5-7]は、このことを暗黙のうちに仮定している。その暗黙の仮定が心臓の「鼓動音を生成する」という振る舞いは機能ではない、という直感的判断を生んでいる。本理論では、そのような暗黙の仮定をゴールの仮定に基づいたコンテキストとして明示的に扱い、前述した心臓の第2のゴールのような異なる仮定が置かれる場合も含めることができる理論となっているところが重要な点である。なお、本理論では、「生命維持」は他に対する作用ではないためシステミックゴールではなく、さらに、その設定は生物学的な知識に基づくことから、この仮定に基づく生体の機能は特殊な機能カテゴリに分類される。

従来研究においても、このような議論は、人工物の機能に関しては、広く行われてきた。人工物システムは、一般的に、設計者によって意図された全体のゴールを合理的に達成できるように部品の機能や構造が決定・製造されているが、ユーザによって異なる機能を発揮するように使用される場合もある。例えば、本来は「人体を座位で支える」という全体ゴールのもとで設計された「椅子」を、脚立の代わりとして用いて「人体を高い位置で支える」という機能を発揮させる場合がある。このように人工物に関する多くの議論で認められている、システム全体のゴールの設定には仮定性があるということが、生体システムの場合にも実は成り立つということが、本理論の重要なポイントのひとつである。

もうひとつの重要なポイントは、人工物の場合はゴールの設定は設計者や利用者などの人間の「意図」に依存しているが、生体システム全体の主なゴールと見なされる「生命を維持する」の場合は、意図が介在しないことである。つまり、従来研究において、人工物と生体の機能の最大の違いと思われてきた、人間の「意図」の介在の有無は、システム全体のゴールをどのように設定するかという点にのみ関わるものであり、本理論はその全体ゴールの設定を意図に基づかない場合も含む「仮定」として扱うことで、その点を切り離している。そして、システム全体のゴールがひとたび設定されれば、システムの部分の機能は、人工物と生体システムに共通

に、階層的なゴールの分解と合理的な貢献関係に従って、全体ゴールの達成に貢献するような振る舞いが機能とみなされる。このように人間の意図が介在する余地のあるシステム全体のゴール設定を切り離すことで、人工物と生体の両方に適用可能な、共通コア機能概念の同定に成功している。

本理論は、その革新性もあって、その論理的基盤を固めて、一流の査読者による厳しい査読をパスするためには、非常に長い時間と労力が必要であった。その点については、本研究の海外協力者で論文[8]の共著者である、Stefano Borgo 氏の貢献が大きい。オントロジー工学の代表的拠点であるイタリア ISTC-CNR の Laboratory for Applied Ontology (LOA) をリードする研究者であり、論理学のバックグラウンドを生かして、本理論の論理的側面を明示化することに多大な貢献を頂いた。その意味で、本研究は真の意味での国際共同研究の成果であると言える。

(2) 本研究における事前に予期されていなかった成果として、「人工物の定義」に関する考察[9]が挙げられる。項目(1)の人工物と生体の機能の違いを海外協力研究者と議論していく中で、そもそも人工物とはどのような条件を満たすものをいうのかという疑問が課題として浮かび上がってきた。オランダとポーランドの大学の哲学者3名を巻き込んだ議論の結果、人工物の定義には少なくとも3つのものがあり、それらの違いを明確にすることができた[9]。一般に、人工物とは「人間が作ったもの」と直感的に定義されるが、その定義では、例えば、砂浜を歩いたあとにできる「足跡」も人工物とみなされてしまい、直感に反する。つまり、人工物の定義には、単なる「作る(製造)」だけではなく、そのものを製造する「意図」や、発揮することが期待される「機能」または「有用性」の認定といったものが必要になり、その組み合わせによって、少なくとも3つの定義が考えられる。論文[2]では、それら3つの定義について詳細に議論し、それらの間の関係性を明示化することで、「人工物」という非常に基礎的な概念の定義について、哲学的かつ論理的な成果を示すことができた。この論文も非常に長く濃密な国際共同研究と厳しい査読を経て、J. of Applied Ontology に採録されており、その大きな価値が示されていると言える。

実は、この人工物の定義の議論は、本研究の初期段階において、人類の進化論的発展(evolution)との関連で論じたこと[10]がベースとなっている。人類にとって、進化の初期段階では「生命維持」が中心的目標であった。次の進化段階において、例えば尖った石などの自然物を、なにかを切るといった特定の目的のもとで「使用」するようになった。さらに次の段階において、自然物をそのまま使うのではなく、使用目的を実現しやすいように形状などの「設計」を行い、その特徴を備え

るように「加工・製造」を行うようになった。例えば、尖った石を加工し、握る部分を作るなどである。このように進化論的な観点から考えれば自然物と人工物はステップ的な変化をしたものと捉えることができ、論文[9]における人工物の定義や、論文[8]における人工物と生体における機能の定義に関する考察の基盤となったといえる。しかしながら、論文[10]の本研究の初期段階においては、そのような議論の基盤となることを意図していたわけではなく、論文[9]は事前に予期されていなかった新たな知見であるといえる。

(3) 本研究課題の第2の主要な目的である、モデリングツールの開発は、従来から開発を行ってきた人工物の機能のモデリングツールを基盤として、項目(1)の共通コア機能概念を中核とした共通モデリング枠組みに基づくことで、異なる分野のモデルも共通に表すことができる共通基盤モデルを記述できるように、設計・開発を行った。

ツールの開発は段階的なプロトタイプの開発として進めた。それにおける知見に基づいて、研究期間を延長した2017年度において、より本格的なツールの委託開発を追加的研究として行った。大規模で複雑なシステムのモデリングのためのより使いやすいツールとして、ユーザの目的や状況に応じて、機能を分解した木構造の特定の部分のみを抽出して、自動的に整理する機能を開発することで、ユーザの状況やニーズに対して動的に適用して、求められている情報への効率のよいアクセスを実現した。

このように、人工物・生体・社会的組織・サービスなどの様々なシステムを、システムック機能という概念を共通コア概念として用いて、共通の枠組みの上で統合的にモデリングし、相互運用することが可能になった。

<引用文献>

- [1] Kenyon B. and De Greene, *Sociotechnical systems: factors in analysis, design, and management*, Prentice-Hall, (1973).
- [2] Sakao, T. and M. Lindahl, (eds.), *Introduction to Product/Service-System Design*, Springer, (2009).
- [3] 吉川弘之, サービス工学序説 サービスを理論的に扱うための枠組み, シンセシオロジー, 1(2), pp. 112-122, (2008)
- [4] Stone, R. B. and Chakrabarti, A. (eds.), Special Issues: Engineering applications of representations of function, *Journal of Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 19 (2/3), (2005).
- [5] Perlman, M., The Modern Philosophical Resurrection of Teleology. *The Monist*, 87(1), pp. 3-51, (2004).
- [6] Ulrich Krohs, Peter Kroes (eds.), *Functions in Biological and Artificial Worlds*:

Comparative Philosophical Perspectives, MIT Press, (2009).

- [7] Artiga, M., Re-organizing organizational accounts of function. *J. of Applied Ontology*, 6(2), pp. 105–124, (2011).
- [8] Riichiro Mizoguchi, Yoshinobu Kitamura, Stefano Borgo, A Unifying Definition for Artifact and Biological Functions, *Journal of Applied Ontology*, 11(2), pp. 129-154, (2016).
- [9] Stefano Borgo, Maarten Franssen, Pawel Garbacz, Yoshinobu Kitamura, Riichiro Mizoguchi, Pieter E. Vermaas, Technical Artifacts: An Integrated Perspective, *J. of Applied Ontology*, 9(3/4), pp. 217-235, (2014).
- [10] Yoshinobu Kitamura and Riichiro Mizoguchi, Characterizing functions based on phase- and evolution-oriented models, *Journal of Applied Ontology*, 8(2), pp. 73-94, IOS Press (2013).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

Riichiro Mizoguchi, Yoshinobu Kitamura, Stefano Borgo, A Unifying Definition for Artifact and Biological Functions, *International Journal of Applied Ontology*, 査読有, Vol. 11, No. 2, pp. 129-154 (2016), DOI: 10.3233/AO-160165

Stefano Borgo, Riichiro Mizoguchi, Yoshinobu Kitamura, Formalizing and Adapting a General Function Module for Foundational Ontologies, In *Proc. of the 9th International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS 2016)*, 査読有, pp. 241-254 (2016), DOI: 10.3233/978-1-61499-660-6-241

Stefano Borgo, Maarten Franssen, Pawel Garbacz, Yoshinobu Kitamura, Riichiro Mizoguchi, Pieter E. Vermaas, Technical Artifacts: An Integrated Perspective, *J. of Applied Ontology*, 査読有, Vol. 9, No. 3-4, pp. 217-235 (2014), DOI: 10.3233/AO-140137

Satoshi Nishimura, Yoshinobu Kitamura, Munehiko Sasajima, and Riichiro Mizoguchi, Systematic Description of Nursing Actions Based on Goal Realization Model, In *Proc. of 15th European Conference on Knowledge Management (ECKM 2014)*, 査読有, pp. 730-739, (2014).

Yoshinobu Kitamura and Riichiro Mizoguchi, Characterizing functions based on phase- and evolution-oriented models, *Journal of Applied Ontology*, 査読有, Vol. 8, No. 2, pp.

73-94 (2013), DOI: 10.3233/AO-130123

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, pp. 259-269 (2013), DOI: 10.1017/S0890060413000267

[学会発表](計 6 件)

來村徳信, 溝口理一郎, 目的指向性に基づく人工物・生体・社会的組織・行為・サービスの統一モデル, 2015年度人工知能学会全国大会, (2015)

來村徳信, 溝口理一郎, 目的指向性に基づく Socio-technical system の統一モデル構築の試み, Design シンポジウム 2014, (2014).

小林陽, 來村徳信, 溝口理一郎, 感情に関わる情報処理関連機能/行為語彙に関する考察, 2014年度人工知能学会全国大会, (2014)

西村悟史, 來村徳信, 溝口理一郎, Dual Goal Model, 2014年度人工知能学会全国大会, (2014)

小林陽, 來村徳信, 笹嶋宗彦, 溝口理一郎, 情報やコミュニケーションに関わる機能語彙に関する考察, 2013年度人工知能学会全国大会, (2013)

西村 悟史, 來村徳信, 笹嶋宗彦, 溝口理一郎, 人間行動根拠付けのための目的達成方式の組織化を目指して, 2013年度人工知能学会全国大会, (2013)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

來村 徳信 (KITAMURA, Yoshinobu)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 20252710

(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: 20116106

(3) 研究分担者

笹嶋 宗彦 (SASAJIMA, Munehiko)
大阪大学・産業科学研究所・研究員
研究者番号: 80402999
(平成26年度まで)

(4) 海外研究協力者

Stefano Borgo
Laboratory for Applied Ontology (LOA)・
ISTC-CNR, Italy・Researcher