

機能の生態論的モデルに関する一考察

An Ontological Consideration on an Ecological Model of Function

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

Aiming at clearer semantics of notion of function, this article discusses some ontological issues about function such as what the existence of function depends on, how a function inheres to an artifact, and when a function exists and disappears. Firstly, we investigate some ontological distinctions of functions such as actual function and capacity function. Secondly, we propose an ecological model of function that explains how the existence of instances of function is changed by engineering tasks such as design and manufacturing. Lastly, we try to explain a definition of biological functions.

1. はじめに

本稿では人工物の知識表現における主要な概念である「機能」について、存在論的な考察に基づいて、機能の存在の変化に関するモデルを提案する。機能概念については多くの研究が、工学設計[Hubka 88, Pahl 96, 梅田 97, Stone 05], 人工知能[Chandrasekaran 00], 価値工学, 科学哲学[Perlman 04]などの分野で行われてきたが、さまざまな機能の定義が提案されており、それらの間の関係も明確ではない。このような機能概念の不明確さは、機能的な知識を記述する際に恣意的で属人的な記述が行われがちであることの根本的原因のひとつであり、機能的知識を組織内で共有・活用する際の障害となる。

筆者らは、オントロジー工学の立場から機能概念について考察を行い、機能的知識の記述枠組みを提案し[來村 02], 設計/生産現場において実用を行ってきた[Kitamura 06]。機能概念と混同されがちな機能達成方式概念を峻別し機能的知識として顕在化することで、技術者の内省やコミュニケーションが促進され、多くの実務上の効果が得られることが確認されている。

本研究の目標は、機能についてさらに基礎的で存在論的な考察を行い、「機能はなにに依存して存在するのか」、「ものに内在するものなのか/外在するものなのか」、「機能はいつ生まれて、いつ消滅するのか」といった問いに答えることである。これらの問いは時間の遷移に従って変化する機能の存在の様式/形態に関するものであるという意味で存在論的であり、かつ、生態論的であると言える。機能と設計行為や使用行為との関係を明確にすることで、機能記述の恣意性をさらに減少させることを通して、機能的知識の共有へ貢献することを目指す。

本稿^{*1}では、まず機能概念を、いくつかの存在論的な概念識別に従って分類する。それによって、既存研究における機能定義などにおける本質的違いを、明確にすることを目指す。

次に、3 節において、これらの概念を用いて、工学的行為や使用行為によって起こる、機能の存在の変化についての生態論的モデルを提案する。例えば、設計行為によって、機能に関してどのようなものが存在するのかといったことを明確にする。

最後に、科学哲学の分野で大きな議論となっている人工物の機能と生体器官の機能の違いを説明することを目指して、生体機能の哲学的定義[Johansson 05]を解釈することを試みる。

連絡先: 來村徳信, 大阪大学産業科学研究所, 〒568-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1, Tel: 06-6879-8416, Fax: 06-6879-2123, E-mail: kita@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

*1 本稿は[來村 08]における考察を、存在論的類別と機能インスタンスの変化に注目してまとめ、発展させたものである。

2. 機能の存在論的類別

2.1 実行的機能と能力的機能

機能の捉え方として、「もの」^{*2}によって時空間上で発揮されるプロセスに関連するものとみなす立場と、「もの」の持つ性質とみなす立場を区別できる。ここでは前者を「実行的機能(Actual function)」、後者を「能力的機能(Capacity function)」と呼ぶ。

実行的機能は、次節で詳しく述べるように、時空間上に存在するものの時間的変化と関連づけて捉えられる。この機能は、ものによって「発揮・実行される(performed)」ものであり、「ものに外在する」ものであるから「ものが持つ」とは言えない。このような捉え方は、設計工学分野[Pahl 96, 梅田 97, Stone 05], 価値工学, 人工知能研究の機能表現[Chandrasekaran 00]などで広く採用されている。本研究においても、実行的機能を機能概念の第一義的な定義として、他の概念との違いを考察していく。

一方、能力的機能は、機能をものが持つ性質である能力(capacity)または傾向(disposition)の一種とみなす。すなわち、この機能は「ものが持ち」、「ものに内在する」ものである。また、可能性であることから、潜在的(potential)かつ隠れた(hidden)ものと見なせる。このような捉え方は科学哲学の分野[Perlman 04]に多く、設計工学の[Hubka 88]における定義もそうである。

能力的機能は、ものが持つ、「実行的機能を発揮できる能力」として捉えられる。ものが実行的機能を発揮するためには対応する能力的機能を持つことが必要であり、ものが潜在的に持つ能力的機能がユーザなどによって「引き出されて(induced)」、ものがその実行的機能を発揮する、という関係にある。

2.2 実行的機能と振舞い

装置の実行的機能はその装置が使用されるコンテキスト(使用/機能コンテキスト, 次節参照)に依存している。例えば、「椅子」はユーザが「座る」ことを目的として用いると「人が座る姿勢を支える」という機能を果たし、「ものを運ぶ」という目的で用いると、「ものを移動させる」という機能を果たす。

本研究では、実行的機能を、装置が実行する「振る舞い」によって「担われる」と捉える。ここで「振る舞い」とは、使用コンテキストに依存しない時間的変化のことを指すものとする。つまり、本研究では実行的機能を「特定の機能コンテキストのもとで、装置が実行する振る舞いが担うロール(役割)である」と定義す

*2 本稿での議論の主な対象は、物理的実体を持った工学的な人工物の、芸術的側面を除いた機能的側面に注目したものであり、その全体またはその構成物を「装置」または単に「もの」と呼ぶ。

る[Kitamura 06]. より正確に言えば, 実行的機能は機能ロールとそれを担っている振る舞いから構成される「ロールホルダー」[溝口 05]である. 特定の装置や振る舞いは機能コンテキストに依存して, 異なる機能を果たしうる. 逆に, 特定の機能は, 異なる装置や振る舞いによって発揮されうる.

このように装置の機能を振る舞いと関連づけて人間の認識の結果と見なすことは, 多くの機能表現研究と共通するところである[梅田 97, Stone 05]. また, 機能は, ロール概念の一般的性質[Mizoguchi 07]として知られている, 外部依存性, 非固定性, コンテキストによる動的変化性と多重性を満たす[Kitamura 06]. いくつかの哲学的考察においても, コンテキスト依存性に基づいてロールと見なされている[Perlman 04]. 一方, 一部の研究[Pahl 96]などでは振る舞いと十分に分離されていない.

2.3 部品機能と外部機能

機能をそれが認識される機能(使用)コンテキストが決まる要因から, 「部品機能」と「外部(external)機能」に分類できる. 前者は, ある装置(部品)が, より大きなグレンサイズの装置(システム)のなかに組み込まれた際に, 発揮する機能である. その部品機能は, 周囲の部品の機能と組み合わせられて, システムの全体機能を達成する(機能分解関係[Pahl 96], 機能達成関係[来村 02]と呼ばれる). 例えば, 熱交換器の「熱を伝える」振る舞いが, 発電プラントというシステムに組み込まれた際に, その全体機能「熱を電気に変換する」と発電プラントの部品構造を機能コンテキストとして, そのもとで解釈されると, 「熱を与える」という部品機能が捉えられる. 一方, エンジンシステムに組み込まれると, 同じ振る舞いが, 「熱を除去する」という部品機能と認識される.

一方, 「外部機能」は装置の使用者の意図に直接的に基づいた外部機能コンテキストに基づく. 例えば, ドライバーは「ねじを回す(回転力を加える)」という機能の他に, ドライバーの後部を用いて「釘を打つ(鉛直方向の力を加える)」機能を発揮するように用いることもできる. 外部機能コンテキストに基づいてシステム全体の外部機能が決定され, その機能をシステムコンテキストとして, そのシステム内の部品の部品機能が決定される.

2.4 実行的機能と機能仕様

実行的機能に対して, それを制約するようなものである「機能仕様」を考えることができる. 機能仕様は, 機能が実世界において発現する前に与えられる, 発現する機能がどのようなものかということに関する制約である. 3 節において示すように, よく言われる「要求機能」は, 設計前に与えられる実現すべき「機能仕様」として表現できる. また, 設計結果は一般に「仕様」である. 例えば, 設計の結果として生み出される装置の仕様(「装置仕様」のインスタンス)は, 製造後に実在する装置(インスタンス)が満たしているべき条件を表している. 実在する装置インスタンスと装置仕様インスタンスとの関係は, realization-of と呼ばれる[溝口 05]. しかしながら, 「仕様」概念はインスタンスを規定するという意味では「クラス」概念に非常に近く, 仕様のインスタンスは「クラスに対応するもの」とも言える. 概念設計結果における機能仕様を「仕様の機能」とも呼ぶ(3.1 節参照).

2.5 本質的機能と偶発的機能

機能を, ある装置に対して, 本質的(essential)機能と偶発的(accidental)機能に分類できる. 例えば, ドライバーにとって, 上述した「ねじを回す」という機能は設計者によって意図された機能であり, ドライバーはその機能を実現することを意図されて設計・製造されている. 一方, 「釘を打つ」は設計者によって通常意図されておらず, ユーザがその場で意図したものである. 装

置が設計・製造された際の意図に基づいた「設計(designed)機能コンテキスト」で発揮される機能を「本質的機能」と呼び, 「偶発的使用(accidental use)機能コンテキスト」で発揮される機能を「偶発的機能」と呼ぶ. この区別は装置に対して相対的である. 例えば, 上述の「釘を打つ」はドライバーにとっては偶発的機能であるが, ハンマーにとっては本質的機能である.

本稿での考察対象である「装置」にとって, 「本質的機能を発揮する能力(性質的機能)を持つこと」は, そのために設計・製造されていることから, 本質的であり, 本質的属性[溝口 05]であると言える. 例えば上述したドライバーにとって「ねじを回す」機能を発揮する能力を持つことは本質的であり, それを失うとドライバーではないとみなされる可能性がある(3.5 節参照).

なお, 部品機能の場合には, 部品の設計者が意図した機能を本質的機能, その部品をシステムに組み込む際にシステム設計者が独自に付与した機能を偶発的機能と見なす.

3. 機能の生態論的モデル

本節では装置のライフサイクルにおける工学的行為や使用者の行為に沿って起こる機能インスタンスの存在の変化をモデル化し, 機能がどこに, いつ, 生まれ, 消滅するのかを議論する. 主要な部分を図 1 に椅子を例として示す. 図 1 上部は前節で導入した実行的機能(ロール)や機能仕様などの概念のクラス分類階層を示し, 下部はそれらの個物(インスタンス)を示す. 図 1 下部における(a)~(e)は製品ライフサイクルにおけるフェイズを表し, グレイのブロック矢印で表されている工学的行為などによってフェイズが(図中右方向へ)遷移する.

3.1 設計行為

通常, 設計行為の前に, 想定される機能コンテキストと, 実現したい機能が(多くの場合曖昧な内容で)与えられる. このことは, 機能コンテキストの仕様インスタンス SFC_1 と, 実世界で発揮されることが要求されている機能を制約する機能仕様(2.4 節)のインスタンス SF_1 が, 曖昧な意味内容を持ったものとして存在すると表せる(図 1(a)). SF_1 は設計時における「要求機能」と呼べる.

設計時には, 実世界で存在すべき機能, 振る舞い, 装置を制約するものとしてそれぞれの「仕様」インスタンスが存在する. 図 1(b)では, 「支える」機能仕様クラスのインスタンス SF_2 , 椅子(装置)仕様クラスのインスタンス SD_1 , 振る舞い仕様クラスのインスタンス SB_1 が存在し, 関連づけられている. その内容値は, 設計プロセスの中で, 設計条件と機能を発揮するための制約条件を満たすように決定される. 機能仕様インスタンス SF_2 の設計終了時点における内容は, 要求機能仕様インスタンス SF_1 の内容を, 理想的には, 満たしている. 満たしていない状態は設計行為が失敗したことを表す. SF_2 は, 実世界に存在するべき機能を制約するものという意味で, 「仕様の機能」と呼べる. 椅子仕様インスタンス SD_1 は, 「椅子」の特定のサブクラス「椅子 C_a 」の内容を規定すると考えることもできるが, 一回の設計結果によって, 新たなサブクラスが生成されるとは考えにくい[溝口 05].

3.2 製造行為

装置の製造行為とは, 装置の仕様に基づいて, 実世界に装置を存在させることである. 例えば, 椅子の設計の場合, 椅子仕様インスタンス SD_1 に規定されている条件を満たすように, 定義済「椅子」クラスからインスタンス C_1 が作られる(図 1(c)). C_1 は「椅子」クラスと instance-of の関係にあり, 椅子仕様インスタンス SD_1 と realization-of の関係にある. この 2 つの関係は, 前述したように C_1 を規定するという意味では同じ役割を担っており, 本質がどちらかという違いを表している.

消滅するとモデル化できる。3.4 節で述べた使用者による装置選択が不適切で、選択された装置が要求機能を発揮する能力を十分に持っていなかった場合や、機能発揮中に故障が生じた場合も同様である。一方、ユーザが使用を試みる前に故障に気づいた場合は、装置選択の際にその装置が選択されないというようにモデル化できる。

ここで議論を要する点は、この時点において、椅子の本質的属性である「人を支える」機能の発揮能力が失われているため、椅子がもはや椅子ではなくなると認識される可能性があることである。その認識は修理可能性や注目する時間区間の長さによって依存すると考えられる。つまり、修理可能な一時的な故障であって、修理期間を含むような長い時間区間を考えれば、椅子はその本質的属性である本質的機能の発揮能力を失っておらず、椅子であり続けることができると考えられる。(故障とは異なるが、ガソリン切れの自動車の場合なども、このような認識が自然であるように思われる。) しかしながら、破壊の状況などの修理不可能な場合や、その時点だけに注目する場合には、椅子はその本質を失ったとみなされ、椅子ではないと考えられる。

3.6 機能インスタンスの存在の変化に関するまとめ

本節で述べた機能の存在の変化に関して簡単にまとめると、以下のようになる。

- ・設計開始時: 設計時要求機能(機能仕様)として存在する
- ・設計終了時: 仕様の機能(機能仕様)として設計案に存在
- ・製造終了時: 能力的機能(機能発揮能力, 機能仕様)として装置に内在する
- ・使用意図時: 特定の機能コンテスト下における使用時要求機能(機能仕様)として存在する。
- ・実使用時: 装置に外在した、実行的機能(ロールとロールホルダーインスタンス)として存在する。

したがって、「機能はいつ、なにに依存して、どこに存在する(生まれる)のか」という疑問に関する答えは、どの種類の機能を考えるかによって異なることが分かる。仕様、能力、実行という3つの機能の種類を区別することにより、このような詳細な言明が可能になったことが、本稿の意義であると言える。例えば、我々が第一義とする実行的機能に関しては、「使用前に設定される機能コンテキストの下における使用時要求機能を満たすように、実際の使用時に、装置の能力的機能に基づいて発揮される振る舞いによって担われることによって存在する」と言える。

本質的能力的機能のインスタンスは、装置の本質属性であり、(故障しない限り)装置の存在期間にわたって存続する stable な存在である。一方、実行的機能インスタンスは、使用者の意図などの機能コンテキストに依存して、装置の発揮能力と振る舞いによって支えられている期間のみ存在する dynamic な存在である。この dynamic 性は、3.4 節でも述べたように、2.2 節で述べた機能のコンテキストへの依存性や装置や振る舞いからの(選択可能性という意味での)独立性をよく表す。また、装置が実際に発揮する「作用」とその効果または価値を重視するという工学的な立場から機能を捉えたものと言える。

クラスレベルでは、機能のタイプ(例: 図 1 の「支える」機能タイプ)の定義は、振る舞いと機能コンテキストを参照する必要がある。第一義的に、実行的機能のクラスとして定義される。機能仕様の下位クラスとしての機能タイプは、この実行的機能クラスを参照して定義される。装置の本質的属性である本質的機能の発揮能力を定義する場合(図 1 の椅子クラスの定義を参照)にも、実行的機能クラスへの参照が根源的であると考えられる。したがって、クラスレベルにおいても実行的機能が中心的機能概念であると考えられる。

4. 生体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)で客観的な能力または傾向とみなされることが多い[Perlman 04]。例えば、Barry 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、本稿における能力的機能(2.1 節)に類似しており、また、部品機能(2.3 節)のみを考慮している。このような定義は、3 節で述べた人工物(装置)に関するモデルを特殊化することで説明できる。つまり、設計者の意図や外部からの使用(使用者の意図に基づく外部機能)を考慮せず、図 1 における設計前/後のフェイズと(外部)使用意図フェイズを削除したモデルとして捉えることができる。その結果、ものが持つ能力的機能と実際に発揮される実行的機能の関係が固定的になる。このことが、能力的機能を機能と定義している理由のひとつだと考えられる。実行的機能は functioning と呼ばれている[Johansson 05]。

5. まとめ

本稿では、人工物に関する知識の基盤的概念である機能概念に関する存在論的考察を行った。設計案、装置、実世界にそれぞれ存在(内在)する機能の識別を可能にし、それらの存在の変化を明確に記述できることを示した。

参考文献

- [Chandrasekaran 00] Chandrasekaran, B., Josephson, J.R., Function in Device Representation, *Engineering with Computers*, 16(3/4), pp. 162-177, 2000
- [Hubka 88] Hubka, V., Eder, W.E., *Theory of Technical Systems*, Springer-Verlag, 1988.
- [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.
- [來村 02] 來村徳信, 溝口理一郎, オントロジー工学に基づく機能的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*, *J. of Applied Ontology* 1(3/4), pp. 237-262, 2006.
- [來村 08] 來村徳信, 溝口理一郎: ロール概念に基づく機能に関する存在論的一考察, *デザインシンポジウム 2008*, pp. 455-462, 2008.
- [溝口 05] 溝口理一郎, *オントロジー工学*, オーム社, 2005.
- [Mizoguchi 07] Mizoguchi, R. et al.: *The Model of Roles within an Ontology Development Tool: Hozo*, *Applied Ontology* 2(2), 159-179, 2007.
- [Pahl 96] Pahl, G., Beitz, W., *Engineering Design - a Systematic Approach*, The Design Council, 1996.
- [Perlman 04] Perlman, M., *The Modern Philosophical Resurrection of Teleology*. *The Monist* 87(1), pp. 3-51, 2004.
- [Stone 05] Stone, R. B., Chakrabarti, A. (eds.), *Special Issues: Engineering applications of representations of function*, *AIEDAM*, 19(2 and 3), 2005.
- [梅田 97] 梅田靖, 富山哲男, 吉川弘之: 機能設計支援のための FBS モデリングの提案, *精密工学会誌* 63(6), 795-800, 1997.