

異なる機能語彙体系間の相互運用性に関する検討 ～Functional basis を例として～

Consideration on interoperability between different functional taxonomies
- Interoperability between FBRL and Functional basis -

大久保 公則
Masanori Ookubo

小路 悠介
Yusuke Koji

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

A taxonomy of generic functions plays a crucial role in describing functional models of artifacts. Improving interoperability among functional models based on different functional taxonomies facilitates sharing functional models among designers. This research aims at automatic conversion of functional models between two existing functional taxonomies, i.e., our FBRL and NIST's Functional basis. For conversion of functional models, this article presents mapping between the two taxonomies based on an ontological analysis. Moreover, we investigate structural differences between the two functional models based on the taxonomies as a reflection of their implicit ontological differences.

1. はじめに

設計意図を表す機能に関する知識(機能的知識)の共有・再利用を行うことによる技術革新への期待は大きく、共有・再利用の重要性は広く知られている。しかし、機能的知識の記述は ad hoc になりがちで、製品領域や学問領域に依存していたり一貫性がないものが多く、現状では共有が困難である。そのため、機能的知識の記述に用いられる機能語彙は、一般性と一貫性をもった機能語彙体系として定義されていることが求められる。筆者の所属する研究室で開発を進めてきた FBRL(Function & Behavior Representation Language)語彙体系[笹島 96]は、オントロジー工学に基づいて、計算機理解可能な定義を機能語彙に与えている。また、米国標準技術局(NIST)のプロジェクトの一環として提案されている Functional basis[Hirtz 02]は、機械工学分野の研究者によって人間向けに自然言語による定義を機能語彙に与えている。ある人工物に関する機能的知識である機能モデルは、こういった機能語彙体系を用いて記述される。

本来、ある機能語彙体系で機能モデルを記述する設計者は、他の設計者が記述した機能モデルが異なる機能語彙で表現されていても、明確に把握し、知識の共有・再利用を行うべきである。しかしそれを行うには、設計者は複数の機能語彙を理解する必要があり負担が大きい。そのため、このような場合は知識の共有・再利用が行われなことが多い。そのため、異なる機能語彙体系を用いて記述された機能モデル間において相互運用性の向上に向けた支援が求められており、支援の1つとして機能モデル変換が挙げられる。機能モデル変換を行うには、オントロジー工学的観点からの分析によって、異なる機能語彙体系間における機能語彙の対応付けをする必要がある。そして機能語彙の対応付けだけでなく、さらに語彙体系の背後にある対象世界の捉え方(オントロジー)の違いなどに起因する機能モデル構造の違いも明示化する必要がある。

本研究では、FBRL 語彙体系と Functional basis を例として、異なる機能語彙体系間の相互運用性の向上を試みる。

2. 機能モデル変換を行うための研究項目

異なる機能語彙間の機能モデル変換を行うためには、以下の項目の検討が必要となる(図 1)。

- 機能語彙の定義の明示化
- 機能語彙間の対応付け
- 機能モデル構造の違いの明示化
- 機能モデル変換

Functional basis の機能語彙の説明は自然言語で記述されている、どのような性質あるいは関係で機能語彙を分類しているのか(分類軸と呼ぶ)が曖昧になっている。そのため、Functional basis の機能語彙を他の機能語彙体系で用いられている機能語彙と対応付けるのは困難である。そこで項目 a において、各機能語彙の分類軸を明示化して、計算機が理解可能な形で定義を明確にする必要がある。次に項目 b において、機能語彙の対応付けを行う必要がある。また、機能モデル変換を行うには、各機能語彙体系で記述された機能モデル構造の違いも明示化する必要がある(項目 c)。最後に項目 b と項目 c に基づいて、機能モデル変換を行う(項目 d)。以下では、各項目について説明をする。

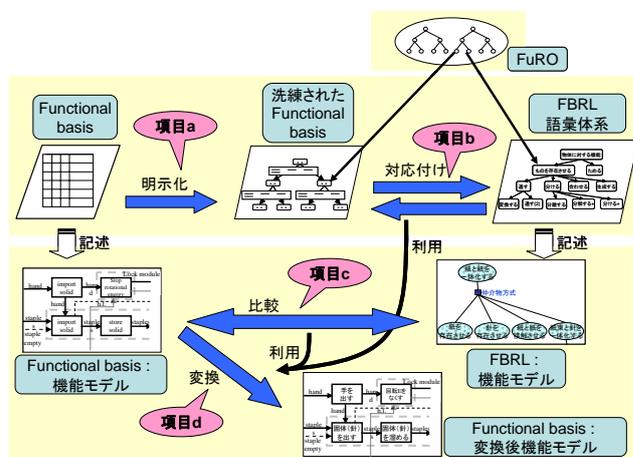


図1 : 機能モデル変換を行うための概要

連絡先: 大久保公則, 大阪大学産業科学研究所 知識システム研究分野, 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1, Tel:06-6879-8416, Fax:06-6879-2123, e-mail:mokubo@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

3. 機能語彙の定義の明示化

3.1 機能語彙の定義の考察

Functional basis は、装置の機能を表す Function の語彙体系 (Function set) と装置内を流れる対象を表す Flow の語彙体系 (Flow set) から構成されている。そのうち、Function set をオントロジー工学的観点においてより明確にするために、まず [Hirtz 02] 中で述べられている Function set 中の語彙についての説明文およびその語彙を用いた例題から、各語彙の定義を考察する。また、定義の考察は3つの方針に基づいて行う。まず、入力物と出力物の状態または関係に基づいて考察をする。そして、設計者が何に注目するのかを明らかにする。さらに、クラス内の同カテゴリに存在する各語彙が識別できるようにする。

3.2 分類軸の明示化

前節で考察した Functional set 中の各語彙の定義に基づき、分類軸の明示化を行う。これにより、各語彙の定義を明確にするだけでなく、どういった属性の値の違いに基づいて分類されているのか、ということも明確になる。

3.3 形式的に不十分な分類

分類軸の明示化を行うことにより、オントロジー工学的観点において形式的に不十分な分類になっている箇所が存在することが分かる。分類が不十分であると、明示される情報が少なくなってしまう、機能語彙体系間の対応付けを行う際に困難が生じる可能性がある。そこで、Functional set に存在する不十分な分類を同定し、分類がより適切になるように修正を行う。ただし、この修正によって新たに得られる概念が、物理的にありうるかどうかについては考えないものとする。本稿では不十分な分類の同定を以下の3種類の観点から行う。

(1) 2つ以上の属性の値の違いに基づいた分類

本来は1つの分類軸において1つの属性の値の違いに基づいて分類するべきであるのに、2つ以上の属性の値の違いに基づいて分類している場合を指す。例えば、図 2(a) では、「Separate」の下位概念を「分離後の個々の注目の仕方」「入力対象物の結合力」という2つの属性の値の違いに基づいて分類している。そこで、1つの分類軸で1つの属性の値の違いに基づく分類に修正し、分類軸を増やす。これにより、中間概念 (Separate-1) が生成され、明示される知識が増えることになる。

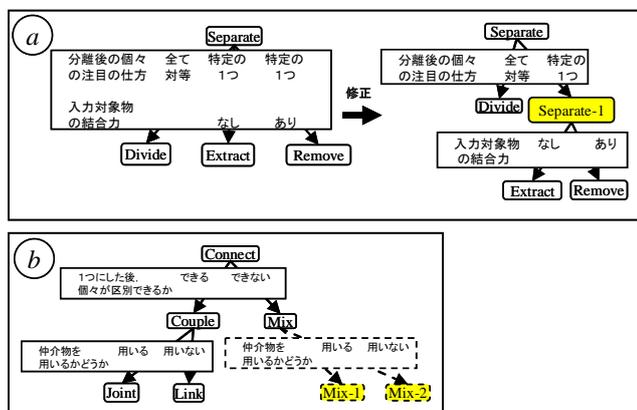


図2 : 形式的に不十分な分類

(2) どの下位概念にも属さない上位概念のインスタンスが存在する分類

ある概念が分類軸の適用によって下位概念を持つとき、その概念のインスタンスは、いずれかの下位概念のインスタンスであることが望ましいが、そうはなっていない場合を指す。そこで、分類軸に不足している属性値を加え、暗黙的になっていた下位概念を明示化する修正を行う。

(3) 本来あるべき分類がされていない分類

ある概念を分類するのに適用した分類軸が、他の概念に対しても適用可能であるのに適用していない場合を指す。例えば図 2(b) では、「Mix」の下位には「Couple」と同様に「仲介物を用いるかどうか」という分類軸が適用可能であるのに適用されていない。そのため、理想的には左右対称の木構造が非対称になっている。そこで、本来あるべき分類軸を適用させ、下位概念 (Mix-1, Mix-2) を明示化する修正を行う。

4. 機能語彙体系の対応付け

オントロジー工学的分析によって洗練された Functional basis の各機能語彙の定義と FBRL 語彙体系の各機能語彙の詳細な定義を比較し、Functional basis から FBRL 語彙体系への対応付けを行う。対応付けには、さまざまな機能概念の意味の違いを説明するための一般的な機能の分類体系である Reference Ontology of Function (FuRO と呼ぶ) [來村 05] を参照する。FBRL 語彙体系は、ベース機能 (装置の振る舞いを目標の下に解釈したもの)、機能タイプ (ベース機能のゴールの種類)、メタ機能 (他のベース機能への役割) の3つの機能概念で構成されており [來村 02]、3つの機能概念は、FuRO において「デバイス機能」 (装置内における変化を概念化したもの) に分類される。一方、Functional basis における機能語彙は、多くは FuRO において「デバイス機能」に分類されるが、一部の機能語彙はさまざまな機能に分類される。

対象とする機能語彙どうしが、FuRO においてともに同じ機能に分類される場合は、直接対応づけることが可能である (同一機能カテゴリ間マッピングと呼ぶ)。また、対象とする機能語彙どうしが、FuRO においてそれぞれ異なる機能に分類される場合は、対応付けが複雑になる (異種機能カテゴリ間マッピングと呼ぶ)。以下、各マッピングにおいて、それぞれどのような種類があるかについて説明をする。

(1) 同一機能カテゴリ間マッピング

1. 1対1対応 : 語彙の違い

Functional basis の機能語彙と FBRL 語彙体系の機能語彙が 1対1に対応する場合を指す。例えば、Functional basis の「Distribute」は、FBRL 語彙体系の「分割する」に対応する (図 3 (a))。

2. 1対N対応 (OR) : 中間概念の有無

Function set 中の語彙に対応する FBRL 語彙体系の機能概念の候補が複数存在する場合を指す。この場合、その語彙が用いられる状況に応じて、その候補の中のどれと対応付くかが変わることになる。

例えば、Functional basis の「Separate」は FBRL 語彙体系では、「分離する」「分解する」「取り出す」という3つの機能概念の候補が挙げられる (図 3 (b))。Functional basis では「分離後、個々が区別できるか」という分類軸を適用されており、FBRL 語彙体系では「分かれ方」という分類軸が適用されており、この2つの分類軸は本質的に似ている。そのため、FBRL 語彙体系に

上記の3つの機能概念を全て含むような中間概念が存在すれば、「Separate」はその中間概念と1対1に対応する。

一方、Functional basisの「Transfer」はFBRL語彙体系では、「媒介関係を解釈する」「距離関係を解釈する」「属性値を変えずに通す」という3つの機能概念の候補が挙げられる(図3(b'))。FBRL語彙体系の上記の機能概念は、どれも適用されている分類軸が異なっている。そのため、「Transfer」と1対1で対応付くような、上記の3つの機能概念を全て含む中間概念を作ることが出来ない。これは、Functional basisとFBRL語彙体系において、機能語彙の分類の違いが存在するためである。

3. 1対N対応(AND) : ベース機能複合概念

Functional basisのある1つの機能語彙が、FBRL語彙体系の複数のベース機能概念を同時に含んでいる場合を指す。例えばFunctional basisの「Guide」は、FBRL語彙体系では「運動を存在させる」と「運動の方向を変える(機能タイプ:維持)」という2つの機能概念を同時に含んでいると考えられる。

(2) 異種機能カテゴリ間マッピング

1. 1対N対応(AND) : メタ機能複合概念

Functional basisの機能語彙がFuROにおいて「メタ複合機能」に分類される場合を指す。「メタ複合機能」は、ある機能とメタ機能が複合した機能である。この場合、FBRL語彙体系との対応付けでは、ある機能概念とメタ機能を同時に含んでいると考える。例えば、Functional basisの「Regulate」は、FBRL語彙体系では、他の機能からメタ機能「制御」を受けている「属性値を変える」に対応すると考えられる。

2. 1対N対応(AND) : 方式複合概念

Function set中の語彙がFuROにおいて「方式機能」に分類される場合を指す。「方式機能」は、ある機能がその機能を達成する方式を含んでいるものを指す。この場合、FBRL語彙体系との対応付けでは、ある機能概念と、その機能を達成するための方式知識が含まれている、と考える。FBRL語彙体系では、方式知識は機能を達成するやり方として、機能と区別している。例えば、Functional basisの「Link」は、FBRL語彙体系では、「仲介物を用いる方式」によって達成される「物質を合わせる+」に対応すると考えられる(図3(c))。

3. 対応概念無し : 捉え方の違い

Functional basisとFBRL語彙体系において、FuROの分類が異なるため、Function set中の語彙に対してFBRL語彙体系では本質的に似ている機能概念が存在しない場合を指す。

例えばFunctional basisの「Import」は、FuROでは装置内部と外部の境界面における変化を表す「境界面機能」に分類され

る。しかし、FBRL語彙体系における機能語彙は「デバイス機能」に分類されるため、「境界面機能」に分類される機能語彙とは対応付かない。

このような対応付けの種類に基づいて、Functional basisの語彙とFBRL語彙体系の対応付けを行う。

また、FBRL語彙体系はFunctional basisよりも分類が細かく概念数が多いため、図3(d)の「物質同士を近づける」のように、Functional basisからFBRL語彙体系への対応付けの時に、対応付いていない概念が多く存在する。この場合、上位概念である「距離関係を解釈する」と対応付けられているFunctional basisの機能語彙「Transfer」と対応付く。

5. 機能モデル構造の違いの明示化

機能語彙体系によって機能や対象物をどう捉えているかが異なる場合がある。そのため単純に機能語彙を対応付けてしまうと、その語彙が表す意味の一部が失われてしまうことがあり、真の意味で相互運用性を向上させるとは言えない。そのため、各機能語彙の背後に存在するオントロジー的な対象世界の捉え方の違いを明確にして、それに基づいた支援をする必要がある。

図4に、ホッチキスについてFunctional basisで記述された機能モデル(Functional basis:機能モデルと呼ぶ(図4(a)))[Stone 04]とFBRL語彙体系で記述された機能モデル(FBRL:機能モデルと呼ぶ(図4(b)))を示す。この2つの機能モデル構造を比較すると、次に示す6種類の違いが存在する。

(1) 機能間の達成関係

FBRL:機能モデルでは、「紙と紙を一体化する」(図4(b)(ア))というホッチキスの機能(全体機能)をそれを達成できる部分機能の列に展開すること(機能分解)を繰り返し行った結果を表している。そのため、どのような部分機能列によって全体機能が達成されるかが明確に示されている。一方、Functional basis:機能モデルでは、ホッチキスの部品が果たす機能は何か、ということは明らかであるが、ホッチキスの全体機能が記述されておらず、全体機能が何であるかは推測をするしかなく、暗黙的になっている。

(2) 装置内における対象物(flow)の変化

Functional basis:機能モデルでは、flowを種類ごとに分けていて、各flowが装置内で機能を受けることで、どのように変化していくかというflowの流れが明確に示されている。一方、FBRL:機能モデルでは、このような各対象物が、機能を受けることでどのように変化していくのか、という順序は暗黙的になっており、振舞いレベルのモデルで表現される。

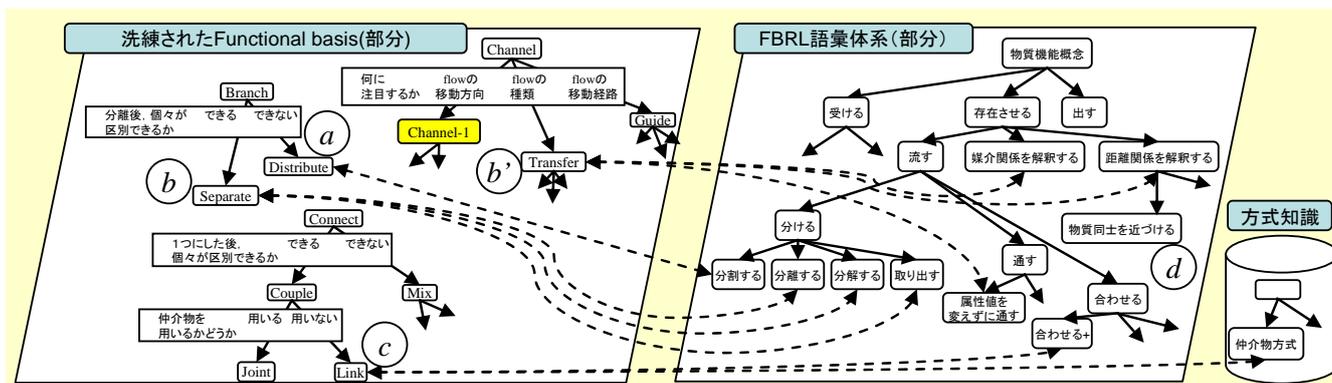


図3 : 異なる機能語彙体系間の対応付け(部分)

(3) 機能達成方式に対する捉え方の違い

FBRL：機能モデルでは、機能と機能を達成するための方式知識を分けて記述しているのに対し、Functional basis：機能モデルでは方式知識が記述されておらず、機能だけが記述されている。ここで機能と方式知識を分けて記述することは、特定の分野の知識に依存せず、知識表現の一般性を高めることを可能にする。知識表現の一般性が高まることで、設計者は異なる分野で用いられている方式知識を導入することが容易になり、知識の再利用性が高まる。

(4) 物体間の距離の変化に対する捉え方の違い

Functional basis：機能モデル中の矢印は、flow の種類と行き先を示すだけでなく、図 4(a)(イ)の箇所のように、flow 同士 (staples と sheet) の距離に関して、矢印の合流によって暗黙的に解釈している場合が存在する。一方、FBRL：機能モデルでは、物体間の距離に関して、図 4(b)(イ)のように「針と紙束を接触させる」という機能として明示されている。

(5) 装置の操作者(使用者)の捉え方の違い

Functional basis では、図 4(a)(ウ)の箇所のように、操作者の一部(hand)を flow として扱っているが、FBRL 語彙体系では、基本的にはこのような概念を対象物として扱っていない。これは操作者を装置外部として捉えており、装置外部はモデリングしないとしているためである。

(6) 物質とエネルギーの捉え方の違い

Functional basis では、「物質」クラスの flow と「エネルギー」クラスの flow は分けて考えている。一方、FBRL 語彙体系では、図 4(b)(エ)のように、エネルギー(垂直方向の力)は単独では存在できず、何らかの物質(針)を媒体として存在するものとして捉えている。

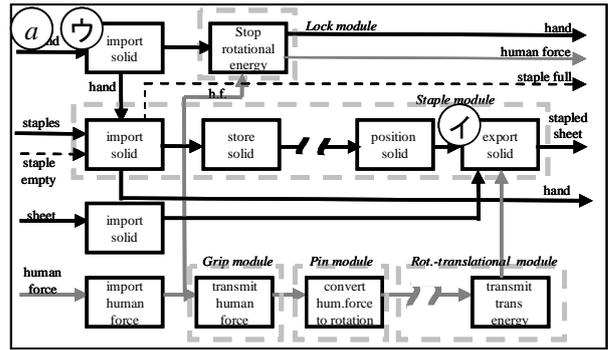
6. 機能モデル変換

本章では機能モデル変換について述べる。機能モデル変換は、機能語彙とモデル構造の変換によって行われる。機能語彙の変換は、4章で述べた対応付けに基づいて、Functional basis：機能モデルで用いられている各語彙を FBRL の機能概念に置き換えることで行われる。また、モデル構造の変換については、前章の(4)(5)について考慮することにする。(4)を考慮するために、変換時に、flow の合流部分に flow どうしを「接触させる」という機能を記述することにする。また、(5)を考慮するために、操作者の一部を flow として扱う機能は、変換時に記述しないこととする。前章の(1)(2)(3)(6)については、本稿では考慮に入れないものとする。

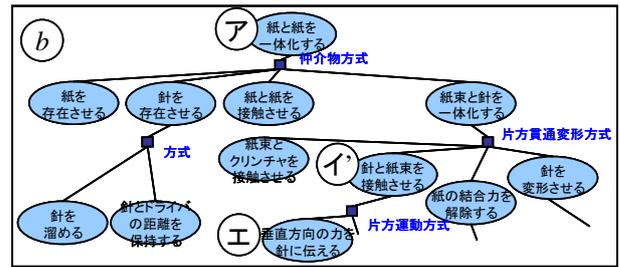
以上の変換を行うことで、Functional basis：機能モデルは FBRL 語彙体系に機能モデル変換される。機能モデル変換を行った Functional basis：機能モデル(Functional basis：変換後機能モデルと呼ぶ)を図 4(c)に示す。

7. まとめと今後の課題

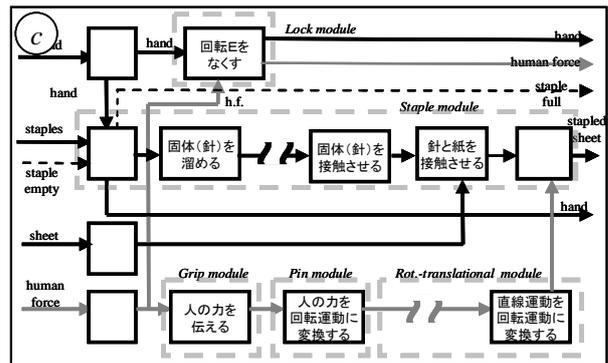
本稿では、異なる機能語彙間における相互運用性の向上を目指した。そして、相互運用性向上の支援の1つである機能モデル変換において、必要となるオントロジー工学的観点からの分析について述べた。さらに、その分析に基づいた機能モデル変換について述べた。今後、他の機能語彙体系に関しても同様にオントロジー工学的分析を進めることで、さまざまな機能語彙を説明できるような、機能を捉えるときのオントロジー的な違いを包括的に扱う枠組みの構築が可能となると考えられる。



(a)Functional basis：機能モデル[Stone 04]



(b)FBRL 語彙体系：機能モデル



(c)Functional basis：変換後機能モデル

図 4： ホッチキスに関する機能モデル(部分)

参考文献

[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), pp61-72, 2002
 [笹島 96] 笹島, 来村, 池田, 溝口:「機能と振舞いのオントロジーに基づく機能モデル表現言語 FBRL の開発」, 人工知能学会誌 11(3), 420-431 (1996)
 [Hirtz 02] Hirtz, J., Stone, R., McAdams, D., Szykman, S. and Wood, K., 2002, "A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts", Research in Engineering Design 13(2):65-82.
 [Stone 04] Stone, R., McAdams, D. and Kayyalethekkel, V., 2004, "A Product Architecture-Based Conceptual DFA Technique," Design Studies, 23(3):301-325.
 [来村 05] 来村, 鷲尾, 小路, 溝口:技術知識管理のための機能に関するオントロジーとセマンティックアノテーション, 第 19 回人工知能学会全国大会, 2D1-03, 2005