

参照オントロジーに基づいた機能オントロジーマッピング

Ontology mapping between the functional taxonomies based on a reference ontology of function

大久保 公則
Masanori Ookubo

笹島 宗彦
Munehiko Sasajima

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 such functional models. Improving interoperability among functional models of different functional taxonomies facilitates sharing functional models among designers. Among the different functional taxonomies, however, there are not only terminological differences but also ontological differences implicitly. In this article, we propose a framework for mapping between functional taxonomies using a reference ontology of function. The reference ontology contributes to specify the ontological differences between the functional taxonomies. Moreover, we discuss how to utilize the mapping between the functional taxonomies.

1. はじめに

人工物の部品が果たす役割や設計意図を表す機能に関する知識(機能的知識)は大きな役割を果たしており、それを共有・再利用することの重要性は広く知られている。知識共有を容易に行うためには、ある人工物に関する機能的知識である機能モデルの記述は ad hoc でなく、製品領域や学問領域に過度に依存しないことが望ましい。そのため、機能モデル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。実際に、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[來村 02]や、米国標準技術局(NIST)のプロジェクトの一環として Functional basis[Hirtz 02]などが機能語彙体系として提案されている。

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ける知識の共有や再利用を行う場合には、機能語彙体系間の対応関係が明らかになっていなければならない。この問題は機能語彙マッピングによって解決することができるが、異なる機能語彙体系間には、語彙的な違いだけでなく、暗黙的にオントロジー的な違いも存在する。

そこで本研究では、語彙的な違いだけでなく機能語彙体系間のオントロジー的な違いも明確にする方法として、機能に関するさまざまな定義を含む、機能に関する参照オントロジー[來村 05]を用いた機能語彙体系間マッピングの一般的な枠組みを提案する。この枠組みを利用して、参照オントロジーで分類されたカテゴリに従い、機能語彙マッピングの種類を分類する。このようなマッピングは、ある機能語彙体系を用いて記述している機能モデルを他の機能語彙体系に変換するような機能モデル変換などに利用することができる。

本稿ではまず、参照オントロジーを用いた異なる機能語彙体系間マッピングのための枠組みについて説明をする。そして、この枠組みを用いた機能語彙体系間マッピングの利用法について述べる。また、本稿では Functional basis と FBRL 語彙体系を機能語彙体系の例として用いる。

2. マッピングのための一般的枠組みの概要

2 つの機能語彙体系間におけるマッピングに関する知識(マッピング知識と呼ぶ)に基づいてオントロジーマッピングを行う場合、以下の 3 種類のマッピング知識が必要となる。

1. 参照オントロジーを用いた機能カテゴリ間マッピング
2. 単機能定義マッピング
3. 対象機能構造モデルマッピング

異なる機能語彙体系間には、オントロジー的な違いが暗黙的に存在している。そのため、一つ一つの機能語彙が参照オントロジーのどの機能カテゴリに属するかという観点から分類して、マッピングを行う必要がある(項目 1.)。参照オントロジーは、広い意味での様々な種類の機能とそれに関連する概念を分類した概念階層であり、異なる機能語彙体系間における機能語彙のオントロジー的な違いを明確にするために用いられる。また、各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っている。そのため、機能概念をどのように捉えるかという観点から分類して、マッピングを行う必要がある(項目 2.)。最後に、各機能モデルによって対象の系の捉え方が異なることから、対象機能記述形式の観点から分類して、マッピングを行う必要がある(項目 3.)。

マッピング知識の利用法の一つとして、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、上記 3 つのマッピング知識を必要とする。マッピングのための一般的な枠組みの概要を図 1 に示す。

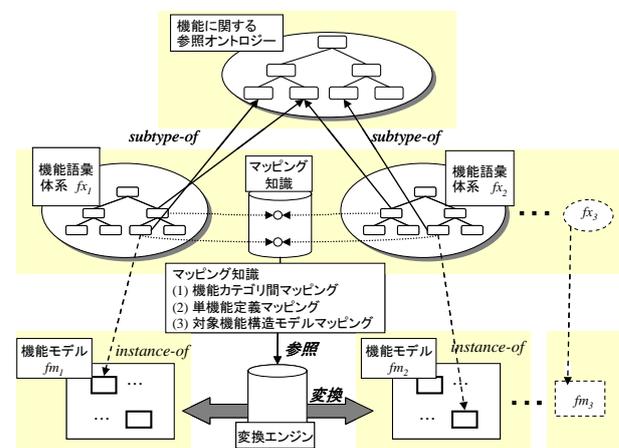


図 1 : マッピングのための一般的枠組みの概要

3. 参照オントロジーを用いた機能カテゴリ間マッピング

3.1 参照オントロジーについて

参照オントロジー(図2)[来村 05]は、様々な種類の機能の一般的なクラスを定義している。「機能」は「基本機能」「複合機能」の2つに分類される。「基本機能」は1種類の機能であることを表し、「複合機能」は2種類以上の機能を含んでいるものである。複合機能の下位にある「デバイス複合機能」は、後述の「デバイス機能」を2種類含んでいるものである。そして基本機能は、「作用機能」「疑似機能」に分類される。「作用機能」は、「ある時間区間における何らかの状態変化を特定の意図された目的のもとで解釈したもの」と定義され、「その目的のもとでの振る舞いの果たす役割」を表す。作用機能は、さらに「デバイス機能」「環境機能」「境界面機能」の3つに分類される。「デバイス機能」は、システム内の変化を概念化する。「環境機能」は、人工物またはモデル化されたシステムの外における変化を含意しているものである。例えば、扇風機の機能として「空気を動かす」はデバイス機能であり、「人間を冷やす」は環境機能である。「環境機能」はさらに、物理的変化を意味する「物理環境機能」と時計の計時機能の様に人間の心理的状态を変化させる「解釈環境機能」に分けることができる。「境界面機能」は、システムの境界における変化を表す。

「デバイス機能」はさらに「状態作用機能」「プロセス作用機能」に分類される。「状態作用機能」は対象物の属性値の変化を表す。そのうち、装置間を流れるものへの装置の作用を入出力間における変化で概念化したものが「デバイス対象物機能」である。Functional basisの多くの機能語彙とFBRL語彙体系の全てのベース機能は「デバイス対象物機能」に分類される。一方、「プロセス作用機能」は対象物の変化プロセスをメタ的に変化させるものである。「プロセス作用機能」は「機能間作用機能(メタ機能)」と「特性可能機能」に分類される。「機能間作用機能(メタ機能)」は、システムが決定する機能コンテキストのもとで機能が他の機能へ果たす役割を表し、接続されている他の装置の機能への役割である「因果的メタ機能」と、機能達成関係における上位機能の部分になっていることを表す「部分達成機能」に分類される。また、「特性可能機能」は、主体や対象物のもつ属性(形状などを含む)が特定の値(範囲)であることを概念化したものである。

最後に、「疑似機能」は作用に直接的には基づかないものと言う。「方式機能」は、機能の達成方式を含意するものを指す。例えば、溶接機械の機能として考えられがちである「溶接する」は、対象物どうしを「一体化する」という「機能」と、それらの一部を溶融させるという機能達成の「方式」の両方を意味している。そのため、「溶接する」は「方式機能」に分類される。方式機能の他の例は、「吸着する」「洗浄する」「圧着する」などが挙げられる。

参照オントロジーにおいて異なる機能語彙体系間における機能語彙どうしが同じクラスに分類される場合は直接対応付けることが出来る可能性が高い。ここで、同じクラスにおけるマッピングは、図2の参照オントロジーのリーフとのマッピングを考えるものとする。例えば、FBRL語彙体系の機能語彙は全て「デバイス

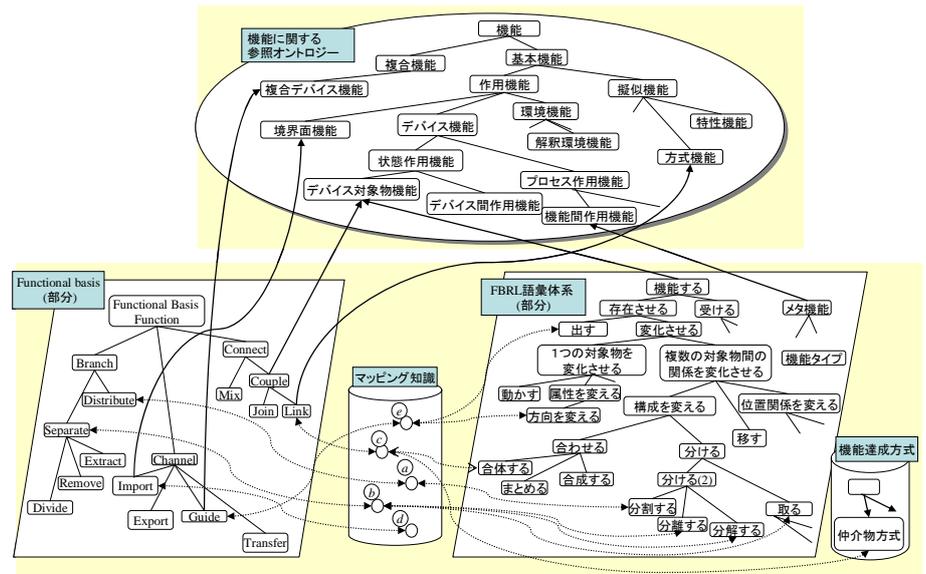


図2 : 参照オントロジーを用いた機能語彙マッピング(部分)

対象物機能」に分類されるため、FBRL語彙体系からFunctional basisへのマッピングにおいて同じクラスに分類される場合のマッピングは、「デバイス対象物機能」どうしのマッピングとなる。一方、参照オントロジーにおいて異なるクラスに分類される場合はオントロジー的違いを埋めるためにマッピングが複雑になる。以下、参照オントロジーを用いた機能語彙体系間マッピングについてマップする機能語彙どうしの機能カテゴリが同じ場合、異なる場合の順で説明をする。

3.2 同一機能カテゴリ間マッピング

異なる機能語彙体系 F1 と F2 に所属する機能語彙 V-F1 と V-F2 を対応付ける場合を考える。参照オントロジーにおいて V-F1 と V-F2 が同じ機能カテゴリに分類される場合、V-F1 と V-F2 を直接対応付けることが可能である。これを同一機能カテゴリ間マッピングと呼ぶ。同一機能カテゴリ間マッピングには、以下の2種類が存在する。

(1) 1対1対応

上で述べた V-F1 と V-F2 が 1対1 で対応する場合、これを「1対1対応」と呼ぶ。例えば Functional basis の「Distribute」は、FBRL語彙体系の「分割する」に1対1で対応するので、「1対1対応」であると言える(図2(a))。

(2) 1対N対応

上で述べた V-F1 と対応付け可能な機能語彙体系が機能語彙体系 F2 に複数ある場合、これを「1対N対応」と呼ぶ。一般に機能語彙体系によって概念定義の粒度が異なるため、粗く定義された機能語彙と詳細に定義された機能語彙を対応付ける場合に1対N対応のマッピングを行う。具体的には、機能語彙 V-F1 がどのような状況で用いられているかを考慮し、N個の対応付けの候補から適切なものを選択する。例えば、Functional basis における「Separate」は FBRL語彙体系では、「分離する」「分解する」「分割する」という3つの機能語彙が対応付けの候補となっており(図2(b))、Functional basis の「Separate」がどのような状況で用いられているかを考慮して、3つのうちのどの語彙に対応付くかを選択する。

3.3 異種機能カテゴリ間マッピング

3.2節と同様に、異なる機能語彙体系 F1 と F2 に所属する機能語彙 V-F1 と V-F2 を対応付ける場合を考える。V-F1 と V-F2 が参照オントロジーにおいて異なる機能概念に所属する場合、V-F1 と V-F2 のマッピングのことを異種機能カテゴリ間マッピングと呼ぶ。FBRL 語彙体系に所属する語彙は全て参照オントロジーの「デバイス機能」という同じカテゴリに所属する。しかし Functional basis には「デバイス機能」に分類される機能語彙以外に、「方式機能」「境界面機能」「複合デバイス機能」に分類される機能語彙が存在する。以下では、FBRL 語彙体系の機能語彙と、「デバイス機能」以外の機能カテゴリに所属する Functional basis の機能語彙とをマッピングする場合を例にして、異種機能カテゴリ間マッピングについて述べる。

(1) 方式機能

方式機能は、機能を達成する方式を含んでいる機能を指す。参照オントロジーにおいて「方式機能」に分類される Functional basis の機能語彙は、FBRL の機能語彙にその機能を達成するための方式の知識を加えたものに対応する。例えば、Functional basis の「Link」「Join」は参照オントロジーにおいて「方式機能」に分類される。Functional basis の「Link」は“仲介物を用いる方式”によって達成される FBRL の「合体する」に変換される。そして、「Join」は“仲介物を用いない方式”によって達成される FBRL の「合体する」に変換される(図 2(c))。

(2) 境界面機能

境界面機能は、装置内部と外部の境界面における操作を指す。例えば、Functional basis の「Import」「Export」は参照オントロジーにおいて境界面機能に分類される。一方、FBRL 語彙体系は「境界面機能」に分類される機能概念が存在しない。そのため、Functional basis の「Import」は FBRL の機能語彙に変換されず(図 2(d))、「Import」が注目する出力物が、FBRL の機能モデルにおいて系外からの入力物に変換される。そして、Functional basis の「Export」も同様に、「Export」が注目する入力物が FBRL の機能モデルにおいて系内からの出力物として変換される。また、FBRL の機能モデルにおける系外からの入力物は Functional basis の「Import」機能とそれが注目する出力物に変換される。そして FBRL の機能モデルにおける出力物は、FBRL が持つデバイス中心の視点において定義されるモデリング世界の端の機能が注目する出力物であるならば、その出力物は「Export」機能とその入力物および出力物に変換される。

(3) 複合デバイス機能

複合デバイス機能は、デバイス機能に分類される 2 種類の機能語彙の意味を含んでいる機能語彙を指す。デバイス機能に分類される 3 種類以上の機能語彙の意味を含んでいる機能語彙は、デバイス機能に分類される 2 種類の機能語彙の組み合わせで作ることが出来るので考えないものとする。例えば Functional basis の「Guide」は、参照オントロジーにおいて複合デバイス機能に分類される。Functional basis の「Guide」は、FBRL の「運動を出す」と「運動の方向を変える」という 2 つの機能語彙に変換される(図 2(e))。

また、複合デバイス機能に分類される Functional basis の機能語彙と対応付く FBRL の 2 つの機能語彙のうち、どちらかの機能語彙が足りない場合は変換が複雑になる。例えば、上記の Functional basis の「Guide」と対応付く FBRL の「運動を出す」と「運動の方向を変える」の 2 つの機能語彙を考える。「運動の方向を変える」は「運動を出す」よりも「Guide」の本質をより表して

いると考えられる。そこで、「運動の方向を変える」は「Guide」に変換される。一方、「運動を出す」は FBRL の「出す」と定義が似ていることから、「出す」と対応付いている Functional basis の「Actuate」に変換される。

4. 単機能定義マッピング

異なる機能語彙体系間においては、機能や対象物をどう捉えているかという違いが存在する。そこで、異なる機能語彙体系間において、機能語彙の背後に存在する対象世界の捉え方の違いを見出すための分類軸を明確にする必要がある。

図 3 に、ホッチキスについて Functional basis で記述された機能モデル(図 3(a)) [Stone 04] と FBRL 語彙体系で記述された機能モデル(図 3(b)) [大久保 06] を示す。この 2 つの機能モデルを比較すると、対象世界の捉え方の違いを見出すための分類軸の例として 6 種類存在することが分かる。

1. 機能間の達成関係
2. 装置内における対象物(flow)の変化
3. 機能達成方式に対する捉え方の違い
4. 物体間の距離の変化に対する捉え方の違い
5. 装置の操作者(使用者)の捉え方の違い
6. 物質とエネルギーの捉え方の違い

単機能定義マッピング知識は、このような機能語彙の違いを見出すための分類軸を参照して生成される。この対応関係をマッピング知識として用意しておき、前章の機能カテゴリ間マッピング知識と併せて利用することで、例えば記述されている機能語彙の意味を明確にするための支援などが可能となる。

5. 対象機能構造モデルマッピング

異なる機能語彙体系の機能モデル間において、対象の系の構造をどう捉えているかが異なっている。例えば、Functional basis 機能モデルは対象の系をありのままの構造で捉えているのに対し、FBRL 機能モデルでは対象の系を機能分解の形で捉えている。このような機能構造の捉え方の違いをマッピング知識として用意しておき、機能カテゴリ間マッピング知識、単機能定義マッピング知識と併せて利用することで、機能モデル変換による機能モデル間の知識共有が容易になる。例えば、対象としているデバイスの部品間接続関係に関する知識が Functional basis 機能モデルには存在するが、FBRL 機能モデルには欠けている。そこで、FBRL 機能モデルから Functional basis 機能モデルへ変換する場合は、部品間の接続関係を加えればよい。

6. マッピングのための一般的枠組みの利用例

異なる機能語彙体系間マッピングのための枠組みにおいて重要な役割を果たす参照オントロジーは、設計者にオントロジー的違いを明確に理解させる以外に、機能語彙を特徴付けるために利用することが出来る。例えば Functional basis と FBRL の場合、参照オントロジーにおいて境界面機能に分類されるような機能を設計者が記述したいとする。前述の通り、境界面機能に分類される機能語彙は Functional basis には存在するが、FBRL 語彙体系には存在していない。そのため、境界面機能を明示して記述したい場合は、Functional basis が向いているということが分かる。

次に、機能語彙体系間マッピングの利用として以下の 3 種類が考えられる。

(1) 機能語彙の意味の明確化

設計者が、現在記述しようとしている装置に関する機能モデルを文献検索などの手段で発見した場合を想定する。そのとき、

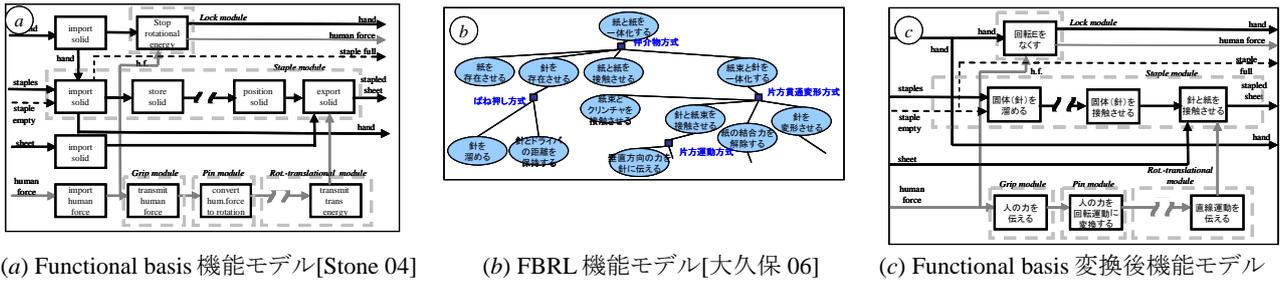


図 3 : ホッチキスに関する機能モデル(部分)

機能モデル内で記述されている機能語彙が、どのような定義を持っているのかをより明確に知りたいとする。具体的には、Functional basis に馴染みのある設計者が、現在記述しようとしている装置に関する機能モデルを Functional basis のデータベースを利用して発見したときに、記述されている語彙の意味が曖昧で分からないとする。例えば、Functional basis 機能モデル内に「Separate」が記述されていて、その機能語彙の意味が曖昧で詳細を知りたいとする。その場合、マッピング知識を用いて、「Separate」は FBRL 機能語彙「take out, detach, decompose」の 3 つが対応していることが分かる。

Functional basis 機能語彙は、FBRL 語彙体系のそれと比べると、語彙数が少なく分類が粗い。そのため、Functional basis 機能語彙だと曖昧になっている箇所は、Functional basis と比べて詳細に定義されている FBRL 機能語彙を調べることで明確にすることができる。

(2) 機能語彙による技術文書検索

筆者の所属する研究室で開発を進めてきた、Web ドキュメントに対して機能を表すアノテーションを付加することによって、Semantic Web 環境における技術コンテンツの管理を行う枠組み Funnotation(FUNCTIONal anNOTATION) Search System [鷲尾 06]にマッピング知識を利用することを考える。Functional basis 機能語彙を利用する技術文書を検索する場合、通常は Functional basis 機能語彙を利用した文書のみ検索される。また、Funnotation Search System は FBRL 語彙体系に基づいて設計されているため、FBRL 語彙体系以外に基づくメタデータに対しては検索することができない。そこで、Functional basis と FBRL 語彙体系をマッピングしておくことで、どちらの機能語彙体系に基づくメタデータであっても、技術文書の検索を行うことが可能になる。具体的には、FBRL(Functional basis)機能語彙で検索すると、通常の FBRL(Functional basis)機能語彙による文書検索に加えて、Functional basis(FBRL)機能語彙に一度変換して文書検索することが可能となる。すなわち、相互運用性の高い検索システムを構築することができると考えられる。

(3) 語彙変換とモデル構造変換に基づく機能モデル変換

設計者が、現在設計しようとしている装置の不具合に対して改良設計を行うことを考え、不具合解消へのヒントとなる過去の設計案を探しており、文献検索などの手段で参考になりそうな機能モデルを発見した場合を想定する。そのとき、機能モデルが馴染みの無い機能語彙体系で記述されている場合、馴染みのある機能語彙体系による機能モデルで記述するとどうなるかを知りたいとする。機能モデル変換には、機能語彙変換とモデル構造変換の 2 種類が必要である。機能語彙変換は、機能語彙マッピング(3 章)によるマッピング知識と単機能定義マッピング(4 章)によるマッピング知識に基づいて、機能モデルで用いられている各機能語彙を他の機能語彙体系の機能語彙に置き換えることで行われる。そして、モデル構造変換は、対象機能構造モ

デルマッピング(5 章)によるマッピング知識に基づいて行われる。例として、4 章で用いたホッチキスについての Functional basis 機能モデルを、対象機能構造マッピングを用いて変換した結果を図 3(b)に、各構成部品の機能を FBRL 機能語彙体系の機能語彙にそれぞれ変換することで得られる結果を図 3(c)に示す。

機能モデル変換を行うことによって、設計者はどちらか片方の機能語彙体系を知っていれば知識共有が可能で、両語彙体系を知っておく必要がなくなる。さらに、機能モデル記述の効率が改善され、様々な面で設計者の負担が軽減されることが考えられる。

7. まとめと今後の課題

本稿では、異なる機能語彙体系間における相互運用性を向上させることを目指して、参照オントロジーに基づいた機能語彙体系間マッピングのための一般的な枠組みを提案した。そして、この枠組みを用いた利用法について述べた。今後、他の機能語彙体系に関しても同様にこの枠組みを利用していくことで、さらなる相互運用性の向上が期待される。さらに、この枠組みを Funnotation Search System[鷲尾 06]に拡張する形で実装を行い、機能語彙体系の違いを意識せずに類似の機能概念を含む技術文書を検索可能なシステムの構築を目指したい。

参考文献

[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知識体系化の枠組み, 人工知能学会論文誌, 17(1), pp61-72, 2002
 [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.
 [來村 05] 來村, 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
 [鷲尾 06] 鷲尾, 小路, 來村, 溝口:Funnotation:技術文書共有のための機能アノテーションとその利用の枠組み, 第 20 回人工知能学会全国大会, 2G2-01, 2006
 [大久保 06] 大久保, 小路, 來村, 溝口: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~, 第 20 回人工知能学会全国大会, 2B2-02, 2006