

機能オントロジーマッピングのガイドラインに関する一考察

—2つの機能語彙体系間でのマッピングを例として—

An Investigation into a Guideline for Ontology Mapping between Functional Taxonomies
-A Case Study of Mapping between FBRL and Functional basis瀬川 翔
Sho Segawa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

For intelligent activities including design and diagnosis, 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 describes our investigation on bidirectional mapping between the two taxonomies based on an ontological analysis. Moreover, we propose a guideline for mapping between functional taxonomies.

1. はじめに

設計や故障診断などの知的問題解決において、人工物の設計意図 (Design Rationale) を表現する機能に関する知識 (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。こうした要求に応じて、筆者の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、米国標準技術局のプロジェクトの一環として開発された Reconciled Functional basis [Hirtz 02] などが、機能知識を記述し共有・再利用するための機能語彙体系として提案されている。このような機能語彙体系間の相互運用が可能になれば、設計者は 1 つの機能語彙体系を理解するだけで異なる機能語彙体系に基づいて記述された様々な機能モデルをも利用することができるようになり、知的作業の革新が期待できる。

機能語彙体系間の相互運用実現のためには機能オントロジーマッピングに基づく機能モデル変換の仕組みが必要である。現状で広く行われているオントロジーやセンサーなどのマッピングの研究では、市瀬がまとめているように語彙の類似度計算など表層的な語彙レベルでのマッピングである場合が多い [市瀬 07]。本研究が対象とする機能オントロジーマッピングのように設計や故障診断などの知的問題解決の支援を目的とする場合、語彙の表層表現だけでなく、事物の捉え方やモデリングの前提条件といった深いレベルでの違いを乗り越えるものでなければならない。

本研究に先行して Functional basis から FBRL 語彙体系へのマッピング [大久保 07] が行われたが、一方からのマッピングだけでは相互運用する際に不十分な点があるため、逆方向のマッピングを行うことでマッピングを双方向とすることが必要である。そこで本研究では FBRL 語彙体系から Functional basis への深いレベルでの考察に基づくオントロジーマッピングを行い、FBRL 語彙体系と Functional basis の双方向のマッピングを実現した。また、FBRL 語彙体系と Functional basis のそれぞれの方向からのマッピングを比較し、マッピングの成功率や視点、精度に関する違いについて考察した。

さらに、マッピングで得られた知見に基づき、形式的なマッ

ングを行うためのガイドラインや、マッピングの際に参照される分類軸の観点からのマッピングについての考察を行った。

2. FBRL 語彙体系から Functional basis へのオントロジーマッピング

本節では、FBRL 語彙体系から Functional basis へのマッピングについて述べる。2 つの機能語彙体系間においてオントロジーマッピングを行う場合には、参照オントロジーを用いた機能カテゴリ間マッピング [大久保 07] に関する知識が有効である。参照オントロジーは様々な種類の機能の一般的なクラスを定義している。異なる機能語彙体系間にはオントロジー的違いが暗黙的に存在しているため、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 (図 1 参照)。そこで本研究では、マッピングの種類を次の 5 つに分類して、考察を行った。

- 無条件で 1 対 1 に対応付けられる場合
- 条件を付加して 1 対 1 に対応付けられる場合
- FBRL 機能語彙に対応する Functional basis 機能語彙が、デバイス対象物機能とメタ機能を含む複合デバイス機能の場合
- Functional basis の分類粒度がより荒い場合
- FBRL のみに、より抽象的な概念が定義されている場合

本稿では、このうち (b) と (d) について例を用いて説明する。まず、(b) の条件付加することで 1 対 1 に対応付けられる場合のマッピングについて説明する。FBRL 語彙体系中の機能語彙のうち、そのままの定義では対応する Function basis 機能語彙の候補が複数存在するが、条件を付加することで 1 対 1 に対応付けられる場合がある。例えば、FBRL 機能語彙「存在量を変える」に対応する候補として Functional basis 機能語彙「Regulate」と「Change」がある。このとき、機能タイプを付加する

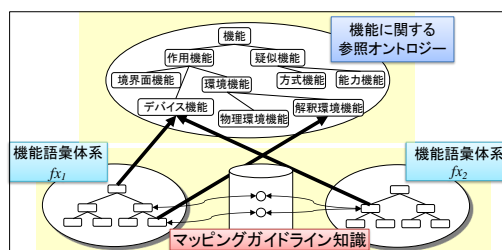


図 1 参照オントロジーを用いた機能カテゴリ間マッピング

連絡先: 瀬川翔, 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, e-mail: segawa@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

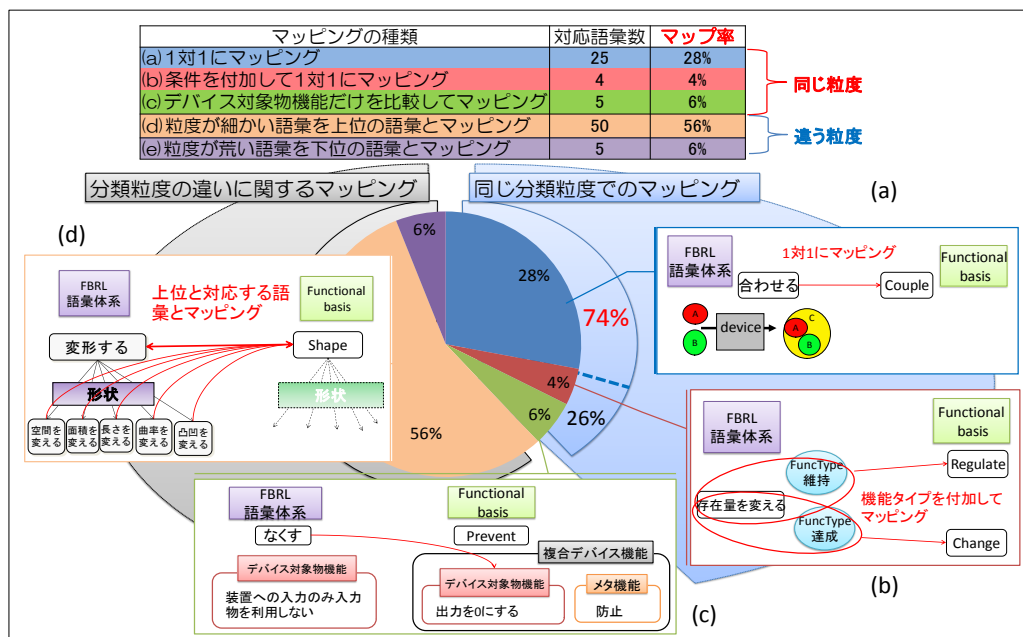


図2 FBRL 語彙体系から Functional basis へのマップ統計

ここで、「存在量を変える」機能の機能タイプが「維持」の場合は「Regulate」に対応付け、「存在量を変える」の機能タイプが「達成」の場合は「Change」に対応付けることができる(図 2(b)参照)。

次に、Functional basis の分類の粒度が粗く下位概念が無い場合のマッピングについて説明する。ある FBRL 機能語彙 A の上位の機能語彙 Upper-A が Functional basis 機能語彙 B とマップされていて、機能語彙 B を更に分類する分類軸が Functional basis に存在しないため B の下位概念が無く、機能語彙 A に対応する Functional basis 機能語彙が無い場合のマッピングを指す。例えば、FBRL 機能語彙「長さを変える」の上位概念「変形する」に対応する語彙は Functional basis の「Shape」であるが、Shape には下位概念が無く、そのため「長さを変える」を直接マップできる機能語彙が無い。このとき、マッピングの方法として以下の2つが考えられる。

① Functional basis の分類の粒度が粗く下位概念が無い場合、FBRL 機能語彙の下位はマップしない。

「長さを変える」の場合、「長さを変える」はその上位の FBRL 機能語彙「変形する」を分類する分類軸「形状」によって分類されている。「変形する」は Functional basis 機能語彙「Shape」に対応する。一方、「Shape」には下位の機能語彙が存在しない。これは、FBRL 語彙体系において適用されている分類軸「形状」が Functional basis にはないためである。したがって、「変形する」の下位の機能語彙である「長さを変える」は Functional basis 機能語彙にマップしない。

② FBRL 機能語彙 A を、その上位の機能語彙 Upper-A に対応する Functional basis 機能語彙 B とマップする。

この立場では、対応付ける FBRL 機能語彙 A とその上位である Upper-A に共通な意味の部分に注目し、A を Upper-A に対応する B とマップする。「長さを変える」の場合、その上位である「変形する」と共通な部分「形状を変える」に注目し、「長さを変える」を「変形する」に対応する「Shape」とマップする(図 2(d)参照)。

上記の2つのマッピングの種類のうち、どちらを選択するかは両機能語彙体系の利用者に委ねられる。例えば、改良設計などの問題解決に機能概念定義を利用する場合はより正確に FBRL 機能語彙と Functional basis 機能語彙がマップされた結

果が必要であり、その場合は①を選択すればよい。それに対し、出来るだけ多様な類義語を検索語に用いて Web 検索をしたい場合のように、より多くの FBRL 機能語彙と Functional basis 機能語彙がマップされた結果を利用したい場合は②を選択すればよいと考える。

3. マッピング結果から得られた知見

FBRL 語彙体系 - Functional basis 間のマッピング結果から得られた次の3つの知見について述べる。

(1) マッピング統計から得られた知見

先行研究[大久保 07]において Functional basis から FBRL 語彙体系へのマッピングでは 88%の機能語彙が語彙と概念の両方でマップできた。一方、本研究の FBRL 語彙体系から Functional basis へのマッピングにおいては、図 2 の表に示すように同じ分類粒度のマッピングである 34 語彙のうち 25 語彙、すなわち 74%が、語彙と概念の両方でマップできた。なお、これらの統計において、1対1で対応する機能語彙については、複数の Functional basis(FBRL)機能語彙に1つの FBRL(Functional basis)機能語彙が対応付けられる形の重複を許してマップしており、意味が完全に一致している対応とは言えない場合も含まれている。また、FBRL 語彙体系は Functional basis よりも細粒度な語彙体系である。そのため、FBRL 語彙体系から Functional basis へのマッピングにおいて、粒度が異なるために 1対1でマッピングできない語彙が全 FBRL 機能語彙のうち 55 語彙、すなわち 62%を占めた。ここで、図 2 中の(d)は、ある機能概念について FBRL 語彙の方が細粒度である場合に、それら複数の FBRL 語彙をその上位概念にあたる1つの Functional basis 語彙とマップする場合を指す。

この結果から、これらの機能語彙体系は、互いに独立に研究が進められているにも関わらず、分類軸の観点から高い類似性をもつことが分かる。これは注目すべき結果であると考えられる。

(2) 結果の非対称性から得られた知見

FBRL 語彙体系 - Functional basis 間のそれぞれの方向からのマッピングを比較すると、やはり対応関係は非対称となった。その原因の一つ目としてはマッピング視点の違いが挙げられる。FBRL 語彙体系 - Functional basis 間の双方向のマッピングを行う際、それぞれ「マップする Source 側」の機能語彙体系の定義やモデリングの視点に合わせる形で、機能語彙を対応付けることが多い。このようなマッピング視点の変更により、双方向のマッピングが非対称になる。

Functional basis からマップするときには Functional basis の定義やモデリングの視点を重視して、FBRL 語彙体系とのマッピングを行った。例えば、Functional basis の「Import」の場合、そのモデリング視点である「装置内部と外部の境界面の変化」を重視してマップする。このため、装置内部の変化について記述し

ている FBRL 機能語彙とは直接マップできない。「Import」は、FBRL 語彙体系において“デバイスオンロジー視点での人工物のモデリング外から内への入力物”に変換される。その逆に、FBRL 語彙体系からマップするときには、FBRL 語彙体系の定義やモデリングの視点を重視して、Functional basis とのマッピングを行った。「Import」の場合、FBRL 語彙体系のモデリング視点である“装置内部の変化”を重視すると、その定義は“装置外部から装置内部へ移動させることで装置内に flow が存在する”と解釈できる。したがって、FBRL 機能語彙「対象物を出力する(存在させる)」は「Import」にマップできる。

二つ目はマッピング精度の違いである。FBRL 語彙体系 - Functional basis 間の双方向のマッピングにおいて概念の定義の詳細度や形式度が異なるために対応付け結果が非対称となる場合があった。Functional basis は自然言語によって概念が定義されている。一方、FBRL 語彙体系はオンロジー工学に基づいて本質属性が明示的かつ形式的に記述されている。マッピングを行う場合、Functional basis の機能語彙を FBRL にマップする場合には、Functional basis の機能語彙の自然言語による定義文から推測される暗黙的な意味制約に基づいて対応付けることになる。逆に、FBRL 語彙体系の機能語彙を Functional basis にマップする場合には、Functional basis を FBRL と同じ厳密性を持ってオンロジー工学的に分析して対応付ける。したがって、FBRL 語彙体系からのマッピングは、Functional basis からのマッピングよりも精度の高いものになり、それぞれの方向からのマッピングが非対称になる。例として、以下に Functional basis 機能語彙「Stop」と FBRL 機能語彙「なくす」の場合を示す。

Functional basis からマップする場合、「Stop」はマッピングの種類「1 対 1」により「なくす」と対応付けられる。一方、FBRL 語彙体系からマップする場合、「なくす」はマッピングの種類“デバイス対象物機能の部分だけを比較してマッピング”により「Stop」と対応付けられる。この例におけるマッピングの種類非対称性は、「メタ機能」に関する双方向のマッピングの精度が異なるために生じる。すなわち、Functional basis からのマッピングでは、Functional basis 機能語彙が「メタ機能」を含意するかどうかについての分析を行わずに対応付けを行っているが、それに対し、FBRL 語彙体系からのマッピングでは、「メタ機能」が機能語彙と別に概念化されているため、Functional basis のオンロジー工学的分析において「メタ機能」に関する分析を行う必要がある。ゆえに、このようなマッピング精度の違いが生じることで、それぞれの方向からのマッピングが非対称となる。

(3) Functional basis へのカバレッジ統計から得られた知見

FBRL 語彙体系から Functional basis へのマッピングにおいて、Functional basis の語彙のうち、85%が FBRL の 1 単語または 2 単語の組と対応づいた(表 1)。これらのうち、2 章で述べたような 1 対 1 の関係で FBRL 語彙と対応した Functional basis 語彙は 32 語彙(62%)であった。また、FBRL 語彙体系の 2 語彙を組み合わせた概念に対応付けられた Functional basis の語彙は 12 語彙(23%)であった。例えば Functional basis の機能語

表 1 Functional basis へのカバレッジ率統計

	Functional basis 語彙数(全52)	割合
FBRLの1単語に対応するもの	32	62%
FBRLの語彙2つにFunctional basisの1単語に対応するもの	12	23%
対応しないもの	8	15%
合計	52	100%
対応しない8語彙の内訳		
方式知識がFunctional basis語彙に混在する場合	4	8%
分類がFBRLに存在しない場合	3	5%
FBRLとモデリング視点異なる場合	1	2%

対応付いた語彙85%

彙「Guide」は、「運動を出す」と「運動の方向を変える」の 2 つの FBRL 機能語彙を組み合わせた概念と対応付けられる。

一方、FBRL 語彙体系から Functional basis へのマッピングにおいて、FBRL 語彙体系に対応しない Functional basis 機能語彙は 8 語彙(15%)であった。この内訳は次の通りである。

まず、Functional basis 機能語彙の定義に方式知識が混在している場合で、4 語彙がこれに当たる。例えば「Couple」の低位概念「Join」「Link」は、接続する「方式」で区別されている。FBRL では方式知識を機能語彙とは別に概念化しているため、機能語彙のみでは Functional basis 語彙と対応付かない。

2 つ目は、Functional basis でなされている分類が FBRL 語彙体系に存在しないため Functional basis と対応する語彙がない場合で、3 語彙がこれに当たる。例えば、Functional basis 機能語彙「Prevent」「Inhibit」は出力量を「0 にする」か「ほぼ 0 にする」かの違いで上位である「Stop」から分類されている。FBRL 語彙体系はその区別を必要と考えていないため分類が存在せず、したがって「Inhibit」に対応する語彙がない。

残り 1 つの語彙は Functional basis 機能語彙「Export」で、FBRL と Functional basis のモデリング視点(デバイス入出力の捉えかた)が異なるため Functional basis と対応づく語彙がない。

4. 機能オンロジーマッピングのためのガイドラインに関する考察

4.1 ガイドラインの提案

異なる機能語彙体系を用いて設計などの知的問題解決に取り組む技術者の間での知識共有のために、機能語彙の単語表現といった表層的な違いだけではなく、語彙が表す概念の本質、すなわちオンロジー的違いも明らかにしてマップするためのガイドラインを提案する。

(1) 機能語彙体系のオンロジー工学的分析

(1-a) 定義の考察

(1-b) 分類軸の明示化

(1-c) 参照オンロジーを用いた機能カテゴリ分析

(2) 機能語彙のマッピング

まず、機能語彙体系のオンロジー工学的分析により、両機能語彙体系の分類軸を明示化することで機能語彙の定義をより明確にし、また暗黙的な知識を明らかにする。さらに、機能語彙が参照オンロジーにおけるどの機能カテゴリに分類されるかを分析し、マップする機能語彙体系間のオンロジー的な類似点や相違点を明らかにする。本研究では、FBRL 語彙体系と Functional basis のオンロジー工学的分析を行い、そのもつで両機能語彙体系を同じオンロジー構築ツール「法造」で記述した。これにより、自然言語により暗黙的な制約記述が行われていた Functional basis の定義がより明確になった。なお筆者らが Functional basis を分析・記述した結果の妥当性に関しては、Functional basis の開発を進めている Stone 氏らと直接議論を始めている。

次に、上記(1)の分析に基づいて機能語彙のマッピングを行う。まず、参照オンロジーにおいて同じ機能カテゴリに所属する機能語彙どうしのマッピングを行う。この場合、マップする機能語彙の定義とその機能語彙を分類する分類軸を、マップされる機能語彙体系の中で同じ機能カテゴリに所属する機能語彙と比較し、類似するものを探す。一方、参照オンロジーにおいて異なる機能カテゴリに所属する機能語彙の場合は、何らかの条件を付加することで機能カテゴリ間のオンロジー的違いを埋めることが可能であればそのようにマップする。ここで、それぞれの機能カテゴリ間のオンロジー的違いを埋める条件パターンを

作成することで効率的なマッピングを支援できると考えられる。例えば、参照オントロジーにおいて「デバイス対象物機能」と「方式機能」に所属する機能語彙どうしをマップする場合、「デバイス対象物機能」の機能語彙に方式知識を付加することで両機能カテゴリ間のオントロジーの違いを埋めることができる。

4.2 ガイドラインの適用と考察

本節では、前節で述べたガイドライン中の語彙マッピングを行う際に、分類軸に注目してマッピングを行う手法について考察し、その適用を行う。

機能語彙体系間において、マッピングの可否には機能語彙階層の分類軸が大きく影響している。そこで、参照オントロジーにおいて同じ機能カテゴリに所属する機能語彙どうしをマッピングする際、最初に機能語彙体系間の分類軸どうしを比較することでマッピングを効率化できると考えられる。本稿では参照オントロジーにおいて同じ「デバイス対象物機能」に所属する機能語彙どうしの場合を例として分類軸グルーピングを行い、候補となる機能語彙の絞り込みを行う。具体的な手順を次に示す。

- (1) マップする2つの機能語彙体系における同じ機能に関する分類軸の抽出
- (2) 分類軸カテゴリへの分類軸のグルーピング
- (3) 同じ分類軸カテゴリ内どうして類似する分類軸の探索

上記の各項目について、FBRL 語彙体系 - Functional basis 間でマッピングを行う場合の例を用いて説明する。

(1) 分類軸の抽出

まず、マッピングを行う2つの機能語彙体系の、参照オントロジーにおけるデバイス対象物機能に関する分類軸を抽出する。例えば、FBRL 機能語彙は全て、参照オントロジーにおけるデバイス対象物機能以外の機能カテゴリに分類される機能語彙が存在する。そこで、FBRL 語彙体系の全ての分類軸と Functional basis のデバイス対象物機能に関する分類軸を抽出する。

(2) 分類軸カテゴリへの分類軸のグルーピング

参照オントロジーにおけるデバイス対象物機能に関する分類軸をグルーピングする。デバイス対象物機能に関する分類軸をグルーピングするカテゴリ(分類軸カテゴリと呼ぶ)として、ポートの条件、装置内の条件、対象物に対する注目条件、対象物の属性条件、の4つを作成しグルーピングを行う。例えば「ポートの条件」カテゴリには、参照オントロジーにおけるデバイス対象物機能に関する分類軸の中で、Functional basis の分類軸「分離後の出力物の注目の仕方」など設計者が装置へ入出力される対象物をどのように見るか、という部分に注目している分類軸をグルーピングする。

次に、分類軸カテゴリにグルーピングした分類軸どうしを比較し、類似するものを探す。カテゴリ間での比較の結果、同じ分類軸カテゴリ内に類似する概念をもつ分類軸が存在すれば、その分類軸の下位の機能語彙はマップできる可能性が高いので、それらの中から対応付く機能語彙を探す。

FBRL 語彙体系から Functional basis へのマッピングにおける「ポートの条件」の分類軸カテゴリの例で説明する。FBRL 語彙体系の分類軸のうち「ポートの条件」カテゴリにグルーピングされたものは、「出力の有無」と「注目媒体」である。また、Functional basis「ポートでの振る舞い」が「ポートの条件」カテゴリにグルーピングされている。これらの分類軸を比較して類似するものを探すと、「出力の有無」と「ポートでの振る舞い」が概念的に類似していることが分かる(図3参照)。このことから、両機能語彙体系の「出力の有無」と「ポートでの振る舞い」によって分

類される下位の機能語彙にはマップできるものがある可能性が高いことが分かる。それに対して、「注目媒体」に類似する分類軸は Functional basis のポートの条件のカテゴリ内に存在しない。したがって、FBRL 語彙体系から Functional basis へ対応付ける場合には、「注目媒体」によって分類される下位の機能語彙には対応するものが存在する可能性が低いことが分かる。この例を3章で述べたマッピングの結果に照らして考察する。マッピング結果より、2つの機能語彙体系の分類軸「出力の有無」と「ポートでの振る舞い」の下位の機能語彙は部分的ではあるが対応付けられている。例えば、FBRL 機能語彙「存在量を変える」と Functional basis 機能語彙「Regulate」「Change」などがこれに当たった。一方、「注目媒体」によって分類される FBRL 機能語彙には、対応する Functional basis 機能語彙が存在しない。このような事例から、分類軸カテゴリへのグルーピングにより候補となる機能語彙を絞り込める可能性があると言える。

一方、現在この手法には以下に述べるような課題も存在する。まず本研究では FBRL 語彙体系と Functional basis の分類軸をのみ対象として分類軸の抽出を行ったため、機能語彙体系における一般的な分類軸の数上げが十分とはいえない。今後、分類軸を整理して形式的な定義を与えた後に、(半)自動処理を含めて対策を考えたい。

また、この手法は、参照オントロジーにおける「デバイス対象物機能」以外の機能カテゴリに分類される機能語彙どうしのマッピングには、適用することができない。これは、現在デバイス対象物機能以外の機能に関する分類軸カテゴリが未作成であることが原因である。そこで、今後「デバイス対象物機能」以外の機能に関する分類軸カテゴリを作成することが必要である。

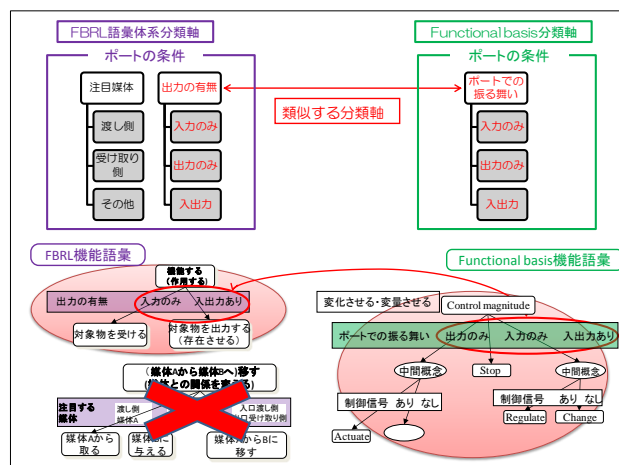


図3 分類軸グルーピングによる候補語彙の絞り込み例

5. 今後の展望

今後は、機能オントロジーマッピングで得られた知見を、数多く存在する動作概念に関する語彙体系に適用することで、一般の語彙体系間マッピングのガイドラインへの展開も検討したい。

参考文献

[来村 02] 来村徳信, 他: 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), pp61-72, 2002
 [Hirtz 02] Hirtz, J., et al., "A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts", Research in Engineering Design 13(2):65-82., 2002
 [市瀬 07] 市瀬龍太郎, 情報の意味的な統合とオントロジー写像, 人工知能学会論文誌, 22(6), pp819-825, 2007
 [大久保 07] 大久保公則, 他: 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, 第21回人工知能学会全国大会, 2B3-2, 2007.