

特集 「セマンティックコンピューティング」

# オントロジー工学とセマンティック Web における意味表現

## Knowledge Representation in Ontology Engineering and the Semantic Web

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.  
miz@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, <http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/>

### 1. ま え が き

知識・意味表現は、新しい知的システム構築原理の確立を追求するセマンティックコンピューティングにとって本質的である。それは手段ではなく、研究として達成すべき目的として位置づけられているといえる。

知識表現と深い関係にあるオントロジーは知識表現の一種と考えている人もいるが、実はそうではない。オントロジーは知識表現を支える概念のインフラストラクチャである。本稿では、セマンティックコンピューティング [横井 06] と知識表現を媒介として深い関係にある、オントロジー工学 [溝口 05] とセマンティック Web [SW] において行われている知識表現 [Davis 93] に関して考えるところを述べる。

#### 1.1 知識 (意味) 表現とは \*1

知識表現という行為はある表現言語を用いた単なるインプリメンテーションではない。それは対象の分析とモデリングを伴う高度な作業である。モデリングが含まれるがゆえに、知識表現に関する議論はたぶん哲学的な要素も含まれ、問題を難しくしている。知識を表現するにはまず、対象を理解し、視点を設定して、知識を抽出して、編集して、整形して、組織化する必要がある。そこで必要となるのが対象モデリングである。良いモデルは知識表現がアドホックになるのを防ぐことに貢献する。

知識表現の基礎といえば、述語論理を思い浮かべる読者が多いと思われるが、「論理」は知識表現において最も重要な対象のモデリングを助けてはくれない。論理は推論の基礎であって、知識「表現」の基礎ではないからである。このことは極めて重要である。

まず、「知識表現」という言葉には

- (1) 知識表現された「もの」
- (2) 知識表現する「こと」

との二つの意味があることに注目する必要がある。論理

が知識表現の基礎でないという主張の趣旨は、(2) の基礎ではないということである。論理が (1) の基礎であることは DL (記述論理) が知識表現言語の意味論を支えるためにつくられたことから明らかであろう。この二重性は論理の役割の二重性にも関わっており、これが重大な誤解をしばしば引き起こす。論理は、

- (a) (1) の意味においては知識表現 (言語) の意味論を規定することにおいて極めて有用であり、
- (b) 表現された知識を用いて推論することに役立つ。

論理が推論の基礎であることが理解されたとしても、さらに落とし穴があるので要注意である。よく見受けられる論理の誤った理解、あるいは誤用として、含意表現を直接因果関係として用いる誤用例がある。言うまでもなく、 $A \rightarrow B$  は  $A$  と  $B$  が同時に真であれば、 $A$  が、 $B$  が真になったことの原因であるかどうかにかかわらず真となるため、両者の真理値は一致しない。「論理的含意を因果関係として誤用する」というときの論理は表現言語の意味論を支える (a) の意味の論理ではなく、 $A \rightarrow B$  という論理的含意などを直接知識表現に使う (b) の意味での論理である。(a) の意味では、 $A \text{ causes } B$  という表現を許す言語を設計して、その意味論を論理で定義することは可能である。

人工知能研究が実社会で使われる場合には知識表現は必須であるが、知的システムの開発者が必要なものは、知識表現された「もの」を得るために知識表現「すること」なのである。知識表現されたとしたらどのような性質をもっているべきかということは大切であるが、その前に適切な知識表現「する」ことを実行しなければならない。したがって知識表現言語は知識表現することを助けるものでなければならないし、そのためには対象をいかに捉えるかという対象モデリングの根本原則を提供するものでなければならない。記述論理は表現言語の意味論の確立という意味でその役割は大きいだが、やはり「表現する」ことの基礎ではない。知識表現の基礎となるもの、それはモデリングを支えるオントロジーなのである [溝口 05]。

オントロジー工学では、現実にある問題の解決に直接貢献すること、言い換えれば、表現された知識を用いて

\*1 本稿では知識表現という用語は、意味表現と同じ意味で用いる。

推論することに主眼はない。そうではなくて、問題解決(推論)のために必要な対象世界のモデリングをすることの支援に主眼がある。

一方、オントロジー研究はコンピュータが理解可能な語彙という理解から、物事の存在の様式を問う深い概念体系まで多様な理解が存在するのが現状である。しばしば言及される、light-weight オントロジーと heavy-weight オントロジーがそれぞれ対応する。セマンティック Web で議論されるオントロジーは前者の場合が多いが、light ではあるが、分散してバラバラにつくられたメタデータ間の意味的相互運用性を保証するために必須であり、その存在意義は大きい。

### 1.2 形式と内容 [溝口 96]

論理による知識表現ではすべて P, Q などの命題記号や述語記号<sup>\*2</sup>を用いて議論される。いみじくもこのことが表しているように、論理における議論では、それらは互いに異なっていることと真理値をとるということ以外のいっさいの意味は考察の対象外なのである。ところが、実際の知識表現においては、P(X) は

human(X), tall(X), hungry(X) and walk(X) などが用いられるわけであるが、論理ではこれらの相違は捨象され、単なる異なる四つの述語でしかない。しかし、現実の世界のモデルをつくる立場からすると、すなわちオントロジーの立場からすると、human は固有の identity をもつ自立したものであるし、tall は human のような自立するものに付随することによってしか存在できない属性であるし、hungry は本質的に時間とともに変動する状態であり、walk は human のように意志をもつものが行う行為であって、オントロジー的に全く異なる概念である。しかし、そういうことは論理による知識表現では関知されない。すなわち、論理では、このように述語のもつさまざまな性質は捨象されて、真理値をとるという意味で全く同種のものであるとみなされる。この抽象化によって論理は美しい形式性を手に入れたわけである。真理値は確かに意味の一部ではあるが、意味の大半は抜け落ちてしまっている。すなわち論理は「内容」を扱う能力に欠けるということが出来る。現実の知識表現では、human(X), tall(X), hungry(X) and walk(X) がどのように意味的に異なっており、どのようなときにどのような概念を用いるべきか、などの考察が必要となる。それこそが「内容」に関するものであり、知識表現の実際では重要な考察となる。そのような、「内容の問題」を考察するもの、それがオントロジーである。オントロジーはこの世にどのような性質をもつ述語があり得るかを議論する。そして human, tall, hungry, walk のそれぞれがもつ本質的な意味と相違点を

\*2 述語論理の場合は述語となるが、この場合命題でも述語でも全く同様である。

を明示化する。筆者が主張し続けてきた内容指向研究 [溝口 96] の心はここに端的に表れている。形式論理は形式を扱うがゆえに領域独立性が高く、一般論ができるので研究活動がもつべき性質を兼ね備えており、研究の体裁を整えるのが容易である。一方、内容指向研究は内容を扱うがゆえに個別的であり、一般性に乏しく、ともすれば ad hoc になりがちで、研究色が薄い。そういう内容指向研究の弱さを払拭して、良い点をすべてもっている研究、それがオントロジー工学なのである。オントロジー工学は高い一般性をもちつつ、今一番必要な「再利用可能な知識モデリング」を支える基盤技術を提供する。

### 1.3 本稿の構成

次節では、これまで述べた知識表現に関する考察を踏まえて、知識表現とそれを用いて行う処理(計算)の深さとの関連において、知識表現のあり方を論じる。次に、セマンティック Web におけるメタデータの性質を述べて意味的相互運用性という新しい課題に対する取組みを簡単に紹介する。そして、本特集の主題ともいえる「意味の所在」について考察を加える。最後に、著者らの研究室が進めてきた、深い考察に基づくオントロジーとその工学的応用の研究の一環として、知識表現を根本から支援する方法論とその具体例としての「人工物の機能モデル表現」に関する研究の思想的な面について概要を紹介する。

## 2. 知識表現と計算の深さ

知識表現はモデル化だけではなく、表現された知識の使い方と深い関係にある。図1に示した7層のモデルに基づいて説明する。セマンティック Web における知識表現のところで論じたように、従来の人工知能研究、特に知識ベースに基づくエキスパートシステムでは、診断や設計などの最も深い意味での問題解決が対象となり、知識表現はそれらの問題解決に必要な知識、問題解決に直接役立つ知識の表現が最重要課題となる。直接問題を解くことに貢献する知識のモデリングは7層の中で最も負荷が重く、いまだに優れた技術は存在しない。それと対極をなす最も浅い問題解決としてデータベースにおけ

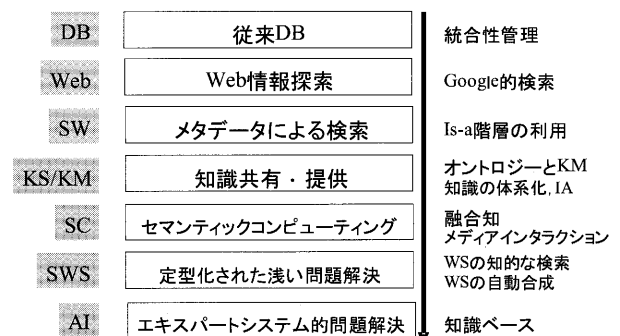


図1 計算レベルの深さと知識表現

る情報検索がある。そこでは、概念スキーマ間の代数演算と通常の検索処理が行われる。処理が簡単であり、知識モデリングとしては、いわゆるデータ構造の設計に対応する問題が主となる。WWWにおける検索はページ間のリンク情報を利用したページのランキング計算を主体とした計算に基づく検索であるが、Googleに代表されるように、強力なネットワーク技術と巨大な並列コンピュータシステム技術が中心となる。セマンティック Webになると各ページの意味内容を表すメタデータ表現とそれに基づく知的な検索処理が行われるが、本質的には概念の is-a 階層や基本的な意味関係を用いた簡単な推論が中心である。モデリングとしてはメタデータ記述のために必要なインデックス的な概念とその意味定義のためのオントロジー開発であるが、インデキシングのためという目的があるため深いモデリングの必要性はない。しかし、後述するように分散するメタデータ間の意味的相互運用性の確保という新しい問題が生まれて、そのためにオントロジーが必要となる。

知識共有や流通のための知識管理タスクでは知識そのもののあり方を問うことが重要となる。現状の知識管理はそのようになってはいないが、著者らが行っている知識共有・管理システムでは、知識はそもそも共有できる形に整理することが必須であるという信念に基づいている。詳細は、5章において述べるが、6層からなるオントロジー工学的なモデリングがなされる。さて、本題のセマンティックコンピューティングであるが、そこではインタラクションによって Emerge する意味とさらに深い理解が目的である。CDLファミリー [横井 06] では概念定義用のメタオントロジーとともに 20万語の概念の意味記述がなされ、総合的な概念記述言語系が構築されようとしている。物事の深い理解という意味ではオントロジーと共通する問題意識をもっている。しかし、機械翻訳や会話理解などがタスクとなり、下の2層の問題解決とは一線を画す。セマンティック Web サービスは一昔前の人工知能で話題になったプログラム自動合成問題に取り組んでいる。従来との相違は部品となるプログラム(サービス)の粒度が極めて大きく、組合せの複雑さのボトルネックが解消されている点にある。サービスのメタデータ記述と検索はセマンティック Web と全く同じ問題である。

### 3. セマンティック Web における知識表現 [SW]

セマンティック Web における知識表現は従来の AI の知識表現に比べて以下のような相違点がある。

- AI: 閉世界, 無矛盾, 集中制御, 知識ベース, 一様, 小規模
- SW: 開世界, 矛盾あり, 分散制御, メタデータ, 多様, 大規模

これらの差は実現の困難度に関していえば、左から四

つ目の取扱い対象を除くすべての点において、セマンティック Web のほうが根本的に難しいといえる。取扱い対象は従来の AI が「知識ベース」であり、セマンティック Web が「メタデータ」であること、そして、それに呼応して、以下に示すように

#### ■問題解決のタイプ

- AI: 診断, 設計, 計画, etc.
- SW: 情報検索, ナレッジマネジメント, etc.

問題解決の複雑さ、あるいは推論計算の深さが、従来の AI は深く、セマンティック Web は浅い。すなわち、セマンティック Web は矛盾を含む大規模で多様かつ分散世界を対象にするので極めて高度な課題が山積しているように見えるが、扱う対象はメタデータという極めて単純なものであり、それを用いた情報検索という浅い計算レベルの処理が主体となるので、知識ベースを用いた設計問題などの困難な問題解決を行う従来の AI とは全く性質が異なる。メタデータを扱うセマンティック Web は一見、従来の AI より簡単な問題を扱うように見えるかもしれないが、上の比較から明らかのように、従来の AI が対象としてきた問題とは全く異なる側面に着目した新しい AI の問題を提起しているといえる。

#### 3.1 意味的相互運用可能性

メタデータの意味はオントロジーとして定義されるが、ここで問題となるのが、何の統制もなく勝手につくられたメタデータ間の相互運用をどのようにして行うかにある。セマンティック Web の最大の特徴は分散性(無統制)と大規模性であるが、意味の問題や知識表現の立場から見ると前者が本質的な要因となる。

メタデータ間の相互運用性はオントロジーを介して間接的に行われる。通常この操作に関する話題は、オントロジーマッピング、オントロジー統合などと呼ばれ、活発な研究が進められている。Natashaによると [AAAI 05, Natasha 04] オントロジー統合の手法は以下のように分類される。

- Upper ontology, あるいは Reference ontology の利用
- 経験則や学習
  - 概念名や自然言語定義文の利用
  - Is-a 階層構造の利用
  - 関連してマージすべき概念の提案
  - グラフ構造の利用
  - インスタンス情報の利用
    - ・ドキュメントがインスタンスの場合

共通の上位オントロジーを用いる方法は手作業が主となり上質のマッピングが期待できるが、大規模オントロジーには不向きである。二つ目の方法は半自動の処理であり、大規模なオントロジーへの適用が想定されている。両者の併用が望まれるが、詳細は省略する。

#### 4. 意味はどこにあるのか？

メタデータレベルの意味であれば、意味の問題は比較的表層的であり深い検討はせずすませることができる。また、一方で問題解決レベルまで深くなると、例えば診断の意味は故障原因を特定することであり、意味の問題は明確となる。意味の問題が本質的になるのはちょうど中間の知識共有とセマンティックコンピューティングにおいてである。

意味は **Emergent** であり、主体と環境の間、あるいは主体間の相互作用によって生まれるとする考えは広く受け入れられている。著者もそのような考えの趣旨は十分に理解している。しかし、そうであるとする、意味が生まれる前には、そこには何があったのか？

ここで誤解を避けるために、無の世界から初めて新しい意味が生まれたという意味での **Emergence** と、ある特定の個人にとっての意味が生まれることは別のことであることを確認したい。そして、今議論の対象となっていることは後者の意味である。これを共有したうえで、もう一度問うが、ある特定の個人にとってある意味がインタラクションによって生まれたとき、生まれる前にはそこには何があったのか？ 実際は可能な意味からの「選択」であるということはないか？ したがって、選択対象の「意味」はすでに存在していたのではないか？

この問いは、筆者の現在の主題である「機能」の問題と同型である。人工物の機能は利用コンテキストによって生まれるという考えと、機能は人工物に埋め込まれて存在しているという考えと二つの対立する思想がある。生体の機能に至っては、各部品(臓器)は生得的に機能は定められており、利用のコンテキストという概念は必要なく、機能はそのものに本質的に内在するものであると考えられている。一方、椅子や机などの人工物は本来座るためや、字を書いたり食事をしたりするためにつくられた生得的ともいえる機能があるが、床に座り込んで椅子を机代わりに使うことも、立ち話をしている途中に机に座って椅子代わりに使うこともでき、そういう状況では設計者が意図していない機能が **ad hoc** な使用コンテキストの中で、利用者とその人工物との相互作用によって生まれた機能であると考えられることができる。この問題は、ドキュメントや画像、そして会話コンテキストで、ドキュメント作成者や発話者が意図した範囲以外の意味が参加者にとって生まれることと同型問題である。

心臓の機能はポンピングによって血液を送り出すことであり、これは心臓に内在する本質的な性質・能力であるとバイオフィーマティクスのオントロジーで考えられているのと同じように、会話でも発話には話者が込めた意図どおりに解釈されるという典型的な意味があり、それは **Emerge** するまでもなく、そこにあると考えることは自然である。問題は、意図外の意味である。これを

機能の問題として考察すると、椅子を机として使う場合の「机機能」は椅子に内在していたのか、使用によって生まれたのか？ 著者は両方が正しいと考える。椅子の人を支える機能は机機能として流用可能であることは明らかであり、意図外とはいえ、当初から想定することはできる。そしてその椅子にそのように使えるような使用環境を与えれば自然にその機能は準「机機能」として認定される。しかし、この机機能認定には「机機能」という概念がどこかに存在している必要があるということを見逃してはならない。すなわち、**Emerge** するかに見える机機能も、実は事前にどこかに存在しており、それを用いて(参照して)概念化されることによってその機能は顕在化される。

このように考えると、機能(意味)が **Emerge** するというにしても、基盤となる機能(意味)はあるものに本質的に(典型例として)存在しており、**Emerge** する場合にもそれらの組合せ、あるいは選択という意味で説明できる場合があることがわかる。

オントロジーの存在を前提とする思想は、意味が **Emerge** するとみなす思想とは対立し、意味 **Emergent** 理論は、オントロジーそのものの有用性を否定する見解に至ることがあり得る。この議論で主張したいことは、実は、横井も述べているように、意味がインタラクションによって **Emerge** するという見方をとるからといって、オントロジーの重要性は全く失われまいということである。人類の歴史上初めて、あるプロレスラーがパイプ椅子を、敵をたたきのめすために使えることを示したときに初めて、「人たたきのめし機能」がパイプ椅子から **Emerge** して以降は、それは存在する機能として認定される。そして、その場合ですら、竹刀や棍棒などももつ「人たたきのめし機能」は存在していたわけである。機能はそれを実現する人工物に「独立」に存在するという機能理論も著者の考えを支持している。

会話における意味の **Emergence** は機能の場合より組合せの複雑さが大きく異なりはするが、本質的には同型であり、既存の基盤意味のオントロジー構造は **Emerge** したとされる意味の表現に大きく貢献する。

#### 5. オントロジーに基づく機能表現

オントロジー研究は上述のような意味での知識表現を根底から支える重要な役割をもっているが、ここでは、著者らが進めてきて、10年弱の年月を経て実用レベルにまで成熟し、現在企業で実用化されている機能オントロジーとそれに基づく機能表現の概要を紹介する。企業の生産技術部における技術者の技術知識の体系化とその共有・再利用を支援する技術知識ナレッジマネジメントシステムにまで進化している[柏瀬 05, 来村 02a, 来村 02b]。

### 5.1 機能の知識表現

この研究は1993年頃より著者らが始めた人工物の機能のオントロジーと機能知識表現言語に関する研究 [Sasajima 95] に端を発しており、著者が提唱してきた「内容指向 AI 研究」[溝口 96] の典型といえるものである。それは機能表現という課題ではあるが、プロダクションシステム、フレーム、セマンティックネットワーク、論理などという知識表現の形式の問題ではない。著者らは知識表現の問題を、表現形式に関わる問題ではなく、「機能とは何か」という内容の問題として考察を行った。知識は明示的な原則に裏打ちされた形で抽出、組織化がなされなければほかの人と共有することは不可能である。そうでなければ知識は「積み重ならない」。多くの人に共有され、多様な目的に再利用され、かけた労力に比例して知識が積み重なっていくこと、これが次世代の知識処理が目指すべき望ましいあり方なのである。そしてそれを可能にする一つの解が「オントロジー工学」であるといえる。知識表現は、そのような大目標のもとで対象世界モデリングという枠組みで捉え直さなければならない。

知識の共有・流通を指向した知識モデリングは、知識のコンピュータの上での組織化・体系化と捉えることができる。既存の学問は人間が使うことを想定した体系化であるが、知識管理が必要とする知識の組織化・体系化はコンピュータが理解できる形での体系化であり、その体系化された知識を人間が利用することによって知的活動を飛躍的に向上させることを目指すものである。

近年の知識ベースシステム研究は、エキスパートシステム時代の自動設計システムから、人間の設計者と共存してその活動を支援し、かつ保守が容易で多くの人が共有できる知識ベースの構築へと変化している。前者に関する一つの動きがナレッジマネジメントであり、後者が、著者らが長年行ってきたオントロジー工学の成果に基づいた機能的知識の体系化研究であるといえる。

### 5.2 機能的知識の現状

生産現場における知識は多様であるが、その中で設備・装置の機能構造に関するものは特に重要な位置を占めている。実際それはデザインレビューや保守、そして改良設計などにおいて中核をなす情報源となっている。しかし、その知識の記述、管理、活用に関しては、対象依存性や記述を支える理論の欠如などの問題がある。この問題の根本には「機能」に関する科学的な理解が不足しているという大きな問題が横たわっている。機能モデルに関する研究は多く行われてきているが、基本的には機能は単なる語彙として扱われる色彩の強いものか、振舞いの一種であるとされるかのどちらかに分かれる。しかしながら機能概念はそのいずれだけでもない。機能は人工物が特定のゴールのもとで担う役割を表す概念であり、それを概念としてコンピュータ処理する方策 (Computational な扱い) を考案する必要がある。

### 5.3 デバイスオントロジー

人工物の機能モデルを構成するには、その構成要素 (部品) に対して機能をアサインするわけであるが、機能概念の付与に適している、かつ一貫した観点で構成要素に分解する方法論として、デバイスオントロジーの考えを導入する。

デバイスオントロジーの必要性を示す例として動作流体を用いて機能するプラントシステム (以下、プラント系) の過熱器 (熱交換器の一種) の機能「蒸気を温める」と、力を伝達することで所望の運動を達成する機構システム (機構系) のカム&シャフトのカムの機能「シャフトを押す (押し上げる)」を比較する。どちらも自分ではないもの (対象物) への作用を表しており、対象物の属性値を変化させていることを概念化している。しかし、その変化は前者が装置を通り抜ける蒸気の入出力時点における違いを表しているのに対して、後者は同じ位置における状態の変化を表している。また、蒸気は過熱器への入出力物とみなせるが、シャフトはカムの入出力物とはみなせない。カム&シャフトを一つの部品と見て、その機能を「回転運動を直線運動に変換する」と表現し、運動を出力されるものとみなすと、上述の違いはなくなる。しかし、過熱器においては蒸気が熱エネルギーの担い手 (媒体) として明確に認識できるのに、カムでは何が媒体に該当するのかが明確ではない。このように、部品認識とその解釈には、機能を単なる語彙とみなす立場では気づかない複数の可能性があるが、デバイスオントロジーの枠組みはそれを一定の方針で行うことを可能にする。著者らはデバイスオントロジーに、処理主体としての「装置」、単なる伝達のみを行う特殊な装置である「導管」、装置の処理対象としての「対象物」、対象物を担う「媒体」という四つの概念を導入して、従来からある入出力ポートの概念と併せてオントロジーとして定式化した。詳細は [來村 02a] を参照されたい。

### 5.4 振舞いと機能の定義

デバイスオントロジーを厳密に定義して、あらゆる人工物をこのデバイスオントロジーの観点で解釈するという前提を置いた。すなわち、どのような人工物も入出力ポートをもち導管を通して接続されるデバイスの組合せで表現できるとする。デバイスは入れ子構造をもち、システム全体が一つのデバイスで表され、複数のサブシステムの接続として表現されるというようにどこまでもグレインサイズを小さくしていくことができる。

詳細な動詞概念の分析とデバイスオントロジーに基づいて人工物の機能モデルを構築するために必要十分な振舞いと機能を以下のように定義した。

**振舞い**：装置の動作によって生じた入出力の状態変化を装置の立場から状況 (ゴール) 独立に概念化したもの

**機能**：振舞いのあるゴールの下で解釈したもの

この定義では「回転する」は振舞いとして認定されない。「回転する」の様な自動詞はデバイスオントロジーという入出力概念をアサインすることができないからである。それは数値シミュレーションなどが対象とする振舞いであり、実はそのような「振舞い」が通常理解される振舞いである。ここで大切なことは、そのような振舞いは因果性に無関係な概念であることである。ところが機能はゴールの達成に関係するものであって、通常何らかの因果連鎖の結果得られる状態(結果状態)がゴールに対応することからわかるように、因果性に無関係な振舞いをいくら組み合わせても機能は出てこない。これは極めて重要な知見である。人間が、人工物がいかにその機能を発揮するかを、言い換えれば、**How things work**を理解するというこの本質は因果理解であることからわかるように、単なるシミュレーション振舞いではなく、因果連鎖に深く関連した振舞いを扱う必要がある。上で定義した振舞いはまさしく、そのような振舞いなのである。そして、「回転する」のような振舞いは、例えば、カム&シャフトの機構のような、回転運動(入力物)を往復直線運動(出力物)に変換する機能をもつ装置の入力として現れる。

このように、処理主体としての装置、入出力の概念、処理対象物、処理対象を運ぶ媒体、そして特殊な装置である導管。これらの概念を正しく用いることによって人工物を一定の指針で一貫性をもってモデル化できる。我々のデバイスオントロジーは複雑な人工物の、一貫性のある概念レベルモデルを構築する際の強力な「概念ツール」となっている。

### 5.5 機能達成方式と機能分解木

一般に、ある機能はいくつかの部分機能を実現することによって達成される。実際、概念設計において設計者は与えられた機能を、それを達成できる部分機能の列(我々はこれを「方法」と定義した)に展開することを行っている(機能分解と呼ばれる)。このような機能実現方法は基本的には、実現したい機能とそれを達成できる部分機能の列の組合せとして記述される。また、概念階層における上下の機能間の関係は **is-a** 関係であるのに比べて、機能分解木における上下の関係は一種の全体-部分関係(厳密には **is-achieved-by** 関係)を表している。

機能概念オントロジーは(機能達成)方法知識の記述に用いられる概念を提供する役割を果たす。まず、達成すべき機能と部分機能は機能概念オントロジーのベース機能概念を用いて記述される。このことにより統一された概念集合に基づいて知識を記述することができ、相互運用性が向上する。

我々はこのような機能達成方法の背景を概念化したものを「方式」と定義した。方式はある機能を達成するやり方に対応する概念でもある。実際には、一つの機能の達成の仕方(機能の分解の仕方)にはさまざまなもの

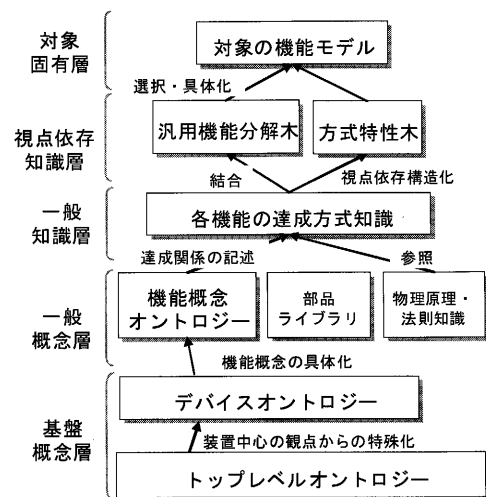


図2 機能オントロジー・知識階層

があるので、機能分解木の機能とそれを分解する方式との関係は **Or** となる。一方、一つの方式によって分解されてできる部分機能はすべてを達成する必要があるので **And** 関係となる。このように、機能分解木は人工知能でよく知られた **And/Or** 木となり、分解木の構造自体には新規性はないが、機能の分解において、親機能と子機能の間に「方式」概念を導入したことに新規性がある。さらに、従来の機能概念を精査して、機能を **what to achieve** と **how to achieve** の二つを分離したことが方式概念の導入の最大の成果といえる。例で説明すると、従来の機能概念では「溶接する」は溶接装置の機能と認識されてきたが、我々の理論では、

溶接 = 一体化する (what) + 溶融方式 (how)

というように、**what to achieve** と **how to achieve** の二つの概念の合成概念であると定式化され、「一体化する」が機能となる。これから推測されるように、我々が提案する機能概念はその実現方法から独立であり、かつ領域独立性が強く、領域を超えた知識の共有・流通を可能にすることに本質的に貢献する。

さらに、そのようにして抽出された方式知識を体系化する方法も確立しており、種々の装置の機能分解木とそれらから抽出し、組織化された方式知識の領域を超えた共有・流通を可能にするツールへと進化している。機能オントロジー・知識の階層図を図2に示す。

### 5.6 考察

機能表現に限られた特別な知識表現と捉えていただかないように注意を喚起したい。人工物の意味(の本質)は機能にあるといっても過言ではない。この観点からすれば著者らの成果は人工物の意味記述の基盤概念をオントロジー工学的に体系化したことに相当する。

一見、閉じたシステムのように見えるかもしれないが、実はそうではなく、米国の技術標準局 **NIST** が行っている **Functional basis** と呼ばれる機能語彙とのオントロジ

ーマッピング作業を行っており [大久保 06], セマンティック Web 技術を用いて人工物の機能表現に関する意味的相互運用性をもつ開いたシステムとなっている。

## 6. む す び

知識・意味表現に関して, 対象世界のモデル構築という深い位置づけの下に, セマンティック Web とオントロジー工学における考え方を論じた。特に, デバイスオントロジーに基づく人工物の機能構造表現は, 内容指向研究に駆動された知識モデリングとしての知識表現となっており, 知識表現のあり方を示したパイロット的意味合いをもっていると考えている。現在, ロールに関しても同様の考察とモデリングを行っている。上位オントロジーを考えたとき, 同様の研究を継続, 発展させることによって, 意味的相互運用性をもつ, 対象世界モデリングを支援しつつ適切な知識・意味表現を支援する, 新しい時代の知識・意味表現方法論の確立の可能性が見えてきたように思われる。

### 謝 辞

5章の機能表現研究に関する記述は, 同研究のキーパーソンである来村徳信助教授に寄るところが大きい。ここに記して深謝する。

### ◇ 参 考 文 献 ◇

- [AAAI 05] *AI Magazine* special issue on Semantic Integration, Spring (2005)
- [Davis 93] Davis, R., Shrobe, H., Szolovits, P.: What is a knowledge representation?, *AI Magazine*, Spring, 1993, pp. 17-33, 1993.
- [柏瀬 05] 柏瀬雅一, 篠木秀次, 布瀬雅義, 来村徳信, 溝口理一郎: 機能分解木記述による設備異常の原因究明とその解決事例, 設備管理学会誌, Vol. 16, No. 4, pp.164-170 (2005)

- [来村 02a] 来村徳信, 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, Vol. 17, No.1, pp. 61-72 (2002)
- [来村 02b] 来村徳信, 笠井俊信, 吉川真理子, 高橋 賢, 古崎晃司, 溝口理一郎: 機能オントロジーに基づく機能的知識の体系的記述とその機能構造設計における利用, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 1, pp. 73-84 (2002)
- [溝口 96] 溝口理一郎: 形式と内容-内容指向人工知能研究の勧め, 人工知能学会誌, Vol. 11, No. 1, pp. 50-59 (1996)
- [溝口 05] 溝口理一郎: オントロジー工学, オーム社 (2005)
- [Natasha 04] Natasha, N.: Semantic Integration: A Survey Of Ontology-Based Approaches, by N. F. Noy., SIGMOD Record, Special Issue on Semantic Integration, Vol. 33, No. 4 (Dec. 2004)
- [大久保 06] 大久保公則ほか: 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, 人工知能学会全国大会, 3B2-02 (2006)
- [Sasajima 95] Sasajima, M., Kitamura, Y., Ikeda, M. and Mizoguchi, R.: FBRL: A function and behavior representation language, *Proc. of IJCAI'95*, pp. 1830-1836 (1995)
- [SW] <http://www.w3.org/2001/sw/>
- [横井 06] 横井俊夫: セマンティックコンピューティング-知的システム・知的環境の設計原理-, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 683-690 (2006)

2006年8月31日 受理

### 著 者 紹 介



溝口 理一郎 (正会員)

1972年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業。1977年同大学院基礎工学研究科博士課程修了。同年, 大阪電気通信大学工学部講師, 1978年大阪大学産業科学研究所助手, 1987年同研究所助教授, 1990年同教授。現在に至る。工学博士。パターン認識関数の学習, クラスタ解析, 音声の認識・理解, エキスパートシステム, 知的学習支援システム, オントロジー工学の研究に従事。1985年 Pattern Recognition Society 論文賞, 1988年電子情報通信学会論文賞, 1996年人工知能学会創立10周年記念論文賞, 1999年 ICCE99 Best paper Award, 2005年大川出版賞 (オントロジー工学), 2006年人工知能学会論文賞受賞。人工知能学会理事, 同編集委員会委員長, 教育システム情報学会理事, 同編集委員長, Intl. AI in Education (IAIED) Soc. President, APC of AACE President を歴任。現在, 本学会会長, Semantic Web Science Assoc. Vice-President, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本認知科学会, AAAI, IEEE 各会員。