

オントロジー工学の成功事例

～機能オントロジーに基づく生産技術知識の共有・再利用～

A Success Story of Ontological Engineering

—Sharing and reuse of production engineering knowledge using functional ontology—

溝口理一郎，来村徳信（大阪大学 産業科学研究所）
布瀬雅義（住友電気工業（株）生産技術部）

Riichiro Mizoguchi and Yoshinobu Kitamura, ISIR, Osaka University
Masayoshi Fuse, Production Systems Division, Sumitomo Electric Ind. Ltd.

Abstract: To demonstrate the usefulness of Ontological Engineering for future knowledge systems, we present a successful deployment into an industry which is based on the result of our five-year project on knowledge systematization of functional knowledge in design. Design knowledge is scattered around technology and target domains. One of the reasons is that different frameworks (viewpoints) for conceptualization of design knowledge are used when people try to describe knowledge in different domains. The other one is that several key functional concepts are left undefined or even unidentified. Aiming at systematization of functional knowledge for synthesis, we developed a few ontologies that guide conceptualization of artifacts from the functional point of view. We applied the systematization framework to several real-world problems appearing in the production division and obtained a promising result.

1. まえがき

オントロジー工学はここ数年のセマンティックウェブの進展に刺激されて注目を集めているが、期待の大きさに比べて目に見える成果が得られていないという批判も聞かれる。筆者らは数年来オントロジー工学の研究として基礎研究を含めてその有用性の実証も視野に入れて研究を進めてきた。なかでも、機械設計を主に対象として人工物の「機能」という概念に着目して機能オントロジーの設計を中心にして、生産現場における技術知識の体系化のための「枠組み」を設計、開発してきたが、近年、オントロジー工学の成果といえる結果を得たので紹介する。

設計は知識集約的行為の典型であり、実際、設計者が設計過程において必要とする知識は多種多様、そして大量であることから、コンピュータを用いた知的な支援に関する研究はこれまで盛んに行われてきた。エキスパートシステムが注目を集めていた 1990 年前後にある種の自動設計システムが多く構築された。しかし、残念ながらその多くは成功には至らなかった。その原因には、自動設計システムの構築という目的が野心的すぎたこと、そして設計知識ベース構築技術の未熟さがあった。この問題は設計支援に限らず他の知識ベースシステムにも共通する問題点であるといえる。

そこで近年の知識ベースシステム研究は、人間の設計者と共存してその活動を支援することに専念すること、そして、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、後者がオントロジーに基づく知識ベース開発である。本稿では、筆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の成果を、生産現場の技術者が持つ生産設備の機能に関する知識を抽出、管理、活用するシステム構築に適用した例について述べる。次章において技術知識管理に関する実情と要求、並びに機能的知識に関する技術の現状を概観する。3 章では研究成果である機能知識体系化の枠組みを用いて現在実施中である住友電気工業（株）における生産設備技術知識管理の活動の概要と現在までに得られた成果について述べる。4 章では枠組みの基礎となる未来開拓学術研究推進事業の支援を受けて行ってきた機能概念オントロジーを概説する。5 章ではまとめと今後の展望について述べる。

2. 生産設備知識および機能的知識の現状

2.1 生産現場の現状

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、活用に関しては次に示すような問題があるのが現状である。

- (1) 現在使われているデザインレビュー報告書は記述に用いられる用語や概念に統一性がなく、コンピュ

ータ可読ではあるがコンピュータ処理可能ではない。

- (2) 各技術者個人の頭の中の中にのみ存在する知識が多く残されていて、知識が暗黙的かつ主観的である。
- (3) 記述の対象設備依存性が高く他の設備には適用できない。
- (4) 従って、技術者の間で共有し、活用することができない。

言うまでもなく、生産技術に関する知識の共有、活用のコンピュータ支援が可能になれば、生産設備の維持、保守、ひいては生産効率、そして製品品質の向上に大きく貢献するためこの問題の解決が強く求められている。

2.2 機能的知識の現状

上述の問題の根本には「機能」に関する科学的な理解が不足していると言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、振る舞いの一種であるとされるかのどちらかに別れる。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。この視点はこれまでの研究に欠けていた重要な観点である。機能を概念として Computational に扱うと言う視点から見た場合の現状の問題点は以下の 4 つの依存性に集約される。

(1) タスク依存性

機能的知識は実務においては特定のタスク（製品要求分析、故障診断、など）に依存した表現方式に則って記述される。そのため、各表現間での相互運用性が保てない。

(2) 対象依存性

多くの機能的知識は具体的な対象物に依存した用語、最善の場合でも対象物が属する領域に依存した用語を用いて記述されるため、異分野間での知識共有は困難であるばかりでなく、同じ領域においてさえ、異なった対象に適用可能かどうかの判断は困難となる。

(3) 組織化の際の視点依存性

概念の理解において関連概念を分類することは本質的であるが、一定した視点で、しかも概念の本質を捉えた視点で組織化することは容易ではない。実際、ある学会が編集している教科書においても視点が混在した概念分類がなされている例がある。

(4) 対象を見る視点への依存性

そもそも機能は人工物を構成する全部品にアサインされるべきものであるが、人工物を一定した視点で部品（機能単位）に分解する方法は定式化されていない。従って、対象物の機能分解を一定の視点に基づいて一貫性を持つ機能構造を抽出することは容易ではない。

以上の 4 つに加えて機能概念の Grounding 問題も重要である。機能を Computational に扱うためには抽象概念である機能を振る舞いと言う具体的な概念にマッピングして、具体的な設計との関連を保持することが不可欠である。機能のモデル化において、計算可能性を重視すると振る舞いと同じレベルのモデルになり、抽象性を重視すると単なる語彙レベルのモデルになっているのがこれまで問題であったことは既に述べたとおりである。機能に関わる知識を適切にモデル化して機能概念を中心とした人工物に関わる知識を体系的に記述するためには、機能に関する更に深い理解が必要とされる。

3. 実用化の現状

3.1 概要

まず、研究成果の実用状況に関して述べ、理論は後で述べることにする。約 1 年間の我々の理論的成果と企業側（住友電気工業（株）生産技術部）の要求に関する議論のあと平成 13 年 5 月より住友電工側で試験的な適用が始まった。適用作業の中心は、例題とする設備を決めてその機能構造モデルを記述することであった。初期的な適用で記述に従事した技術者も指導した上司も良い感触を得たため、試験の継続を決定した。その後現在までに半導体生産プロセスにおける半導体インゴット切断装置（ワイヤソー型、内周刃型）とウェットエッチング等を含む 11 の設備に関する機能構造モデルの記述を行うと共に、光学検査技術に関する機能達成方式を収集した。作業に携わった全ての技術者の意見は極めて良好で、彼らの使用目的の範囲では、これまでに利用した記述方式の中で最も優れたものであり、是非実用に供したいというものであった。現状ではモデルは全て手書きの PowerPoint 形式のものであるが、そのレベルでもそれを実務に利用する経験が数件得られている。たとえば、改良した装置の特許申請の際に、弁理士に対する技術説明に用いた結果、弁理士が特許申請書作成に必要な理解を得るために要する期間が大幅に減少し、弁理士もこの表現モデルが優れていると評価した。また、定例のデザインレビューにおいて用いた結果も、従来の記述方式に比べて遙かに情報伝達力が高く、かつ異分野の技術者並びに現場の知識の乏しい上司にも分かりやすいと言う高い評価を得た。以下はその概要である。

3.2 導入効果の例

(1) 特許申請処理

従来特許申請業務には長い時間を要していた。実際、技術者は発明の新規性を他者が持つ既存の技術と比較しつつ詳しく説明するわけであるが、これまでドキュメント作りと口頭での説明に多大の時間を使うにもかかわらず、理解に大きな負担があり、その後弁理士が特許申請書の作成にも長い時間を要し、技術者いわく「忘れたところに申請書の第 1 版が届く」というのが現実であった。その大きな理由は技術者と弁理士との知識共有の困難さであることは分っていたが、適切な表現様式は見当たらないままにこれまでに至っている。そこで、われわれのオントロジーとそれに基づく機能構造表現方式を用いると、わざわざ弁理士への説明用の書類を作り直すこともなく、新装置の開発に用いた資料をそのまま用いて説明した結果、弁理士はきわめて容易に特許の本質的な内容と既存技術との差別化を理解した。その結果、通常の 1/3 以下の期間で申請書の第 1 版が届き、あまりの速さに驚くほどであったという結果を得た。

(2) デザインレビュー

デザインレビューは設計者にとってきわめて重要な業務である。レビューにおいて有益な議論をするためには資料の作成を中心とした周到な準備が行われる。しかし、現実には厳しく、設計意図がうまく伝わらない、批判や疑問に対応できるような資料を作れない、そもそも上司や異なった装置に関わっている設計者に分かり易い資料作成ができない、などの問題があることは否めない。ところが、われわれの表現方式を用いて行った半導体インゴット切断装置の切断面角度調整装置のレビューでは、資料自体が改良設計に用いた機能構造表現の再利用でよく、かつレビューで現れる多くの質問、批判、コメント（考察した複数の設計案の相違点・共通点などの相互比較、提案する新しい設計案以外の解法がレビューで与えられたときに、それに対する適切な対応、考察の網羅性の主張、既存の他の方式との比較検討など）に対する対応が極めてスムーズに行われ、効率よく設計案が承認された。また、レビューの参加者から極めて分かりやすい説明であったとの意見も得られた。

(3) 機能構造表現の再利用

上で成功裏に終了したデザインレビューの結果を実施して、実際に装置を改良して実用に供したところ予測しない不具合が発生した。通常であれば不具合診断には仮説系統図を新たに作成しつつ診断を行うわけであるが、この装置の場合、デザインレビューで用いた機能構造モデルを再利用して診断にあたり、実際不具合原因の究明に成功した。デザインレビューと不具合診断の両方の業務において同じ資料を再利用できた例は同社では初めてのことである。

(4) 不具合診断

さらに本格的な故障診断に使われた例を紹介する。半導体ウェハ研磨装置のプロダクトに敷居値以上の小さな異物が残る不具合の原因追及をある技術者が 4、5 ヶ月取り組んだが、改善できなかった。彼が使った方法は長年利用してきた仮説系統図である。同一の技術者が本手法を学んだ後、同装置の機能構造モデルを作成し、それに基づいて原因究明に取り組んだところ、2、3 週間で解決し、技術者もその有用性を実感した。不具合診断は故障診断より一般に困難であるが、その遂行の支援に使えることが分ったことの意義は大きい。しかも、特許申請の説明資料、デザインレビュー用資料、改良設計にも利用可能であることを考えるとその有用性はさらに高いことが分る。

(5) 装置の改良に関しては研究者、設計者、生産設計者、設備技術者、装置の運用技術者、そして保守技術者という住む世界が大きく異なる職種の技術者が関与しているのが普通である。改良に関する優れたアイデアの創出に関してはこれらのすべての種類の技術者がお互いの立場から知恵を出し合うことが望ましいことは明らかである。しかし、容易に想像できるように、これらの別世界に住む技術者が協調してひとつの装置の改良に携わることはまれである。そこで、光ファイバの製造にかかわる装置の改良を目標としてこれらの技術者の共同作業による改善プロジェクト発足させ、対象装置の機能構造の共同作成を通じた、本方式の効果を測定した。実際に行ったことは以下のとおりである。

3 種類（色）のポストイット：機能分解（青）、方式（黄色）、不具合（赤）を、上述の 6 種類の技術者が持ってそれぞれ自分が得意な部分の機能分解木を大きな紙の上に張りながら共同で機能構造木を作成する。作業途中では、なぜここにこの部品があるのか？なぜ、こんな方法を使っているのか？どうして？と言う質問が飛び交い、実に見事な知識交流が実現された。保全の人が言う不具合を始めて実感として分かったという設計者や、なぜこんな部品がここに付いているかがやっと分かったというオペレータが現れ、参加者の間からは、相互理解が格段に進んだ（初めてできた）という感想が得られた。

プロジェクトはまだ終了していないが、1 回目の共同作業で得られたもうひとつの成果として、赤い不具合がたくさん集中する部分は機能分解が不十分なところが多く、そもそも赤いポストイットを貼る場所が見つからないということ、言い換えれば、皆が機能構造をよく理解していない部分に不具合が集中しているということが明らかになった。これは詳細な機能構造の作成は設計段階から優れた装置の設計に本手法が貢献することとあわせて示唆するものである。

この実験の最もユニークな成果は「研究者、設備技術者、製造担当、オペレータ、保全」等の異なった職種の人たちが、機能構造モデルをポストイットを使用して作成する共同作業をすると、製法や設備

に関して相互理解が促進できる」ことを実証したことにある。これまで必要性は理解しておりながらも、そして試みても見たが実現できなかった「装置に関与するすべての技術者の共同作業」がこのように実現できたことは住友電工の関係者にとって大きな驚きでもあった。それぞれ人種が違うと思われるほどの固有の文化を持ち、使う言葉だけではなく、設計図、理論式、作業標準... という意味での表現の手段が違う彼らには、共同作業を行うために必須である意思疎通が困難であったのである。従って、この実験の成功の理由は機能構造モデルが「適切なレベルでの中間言語」として機能しているというところにある。新しい応用としてきわめて有望であると考えている。

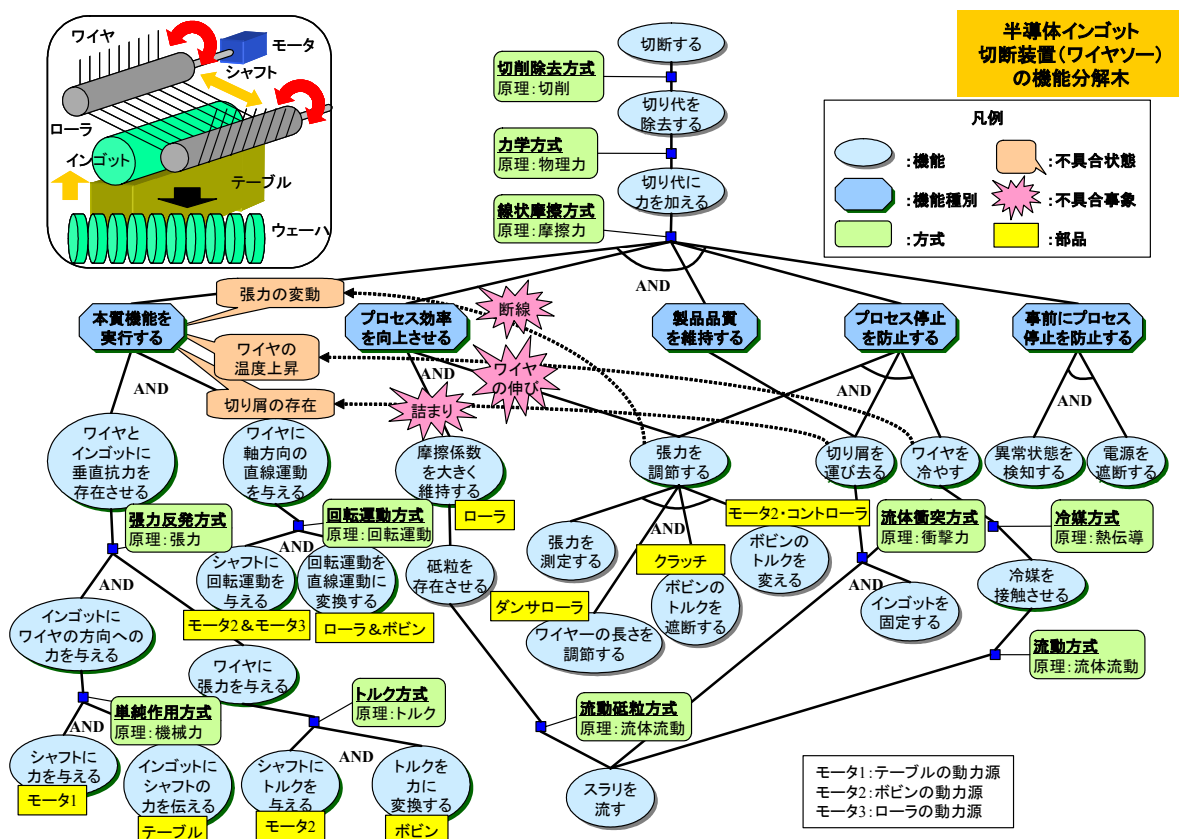
さて、このように期待を上回る実用化実験を経て、現在は、機能構造モデル記述と機能達成方式知識収集を行う支援システムの開発を行っており、現在第 1 版を試用中である。このシステムによりコンピュータが理解可能な機能構造モデルを標準的な書式で蓄積し、技術者が共有し、さまざまなタスクに再利用することを可能にする、本格的な技術知識ナレッジマネジメントシステムへと展開する計画である。

このように本枠組みの実用へ向けての取り組みは順調に進んでいるが、一つの問題は、厳密な観点から評価すると、初心者が記述した機能構造モデルが、枠組みが持つ制約を完全には満たしていない場合が多々あることである。この問題は知識管理をコンピュータが行う段階になると無視できない問題を生じることが明らかであり、その意味で、記述過程をガイドする支援システムの構築が必要であることが分かっており、現在研究が進められている[高橋 02]。

3.3 機能構造モデルの具体例

図 1 に半導体ウエハを製造するためのインゴット切断装置の一種であるワイヤソーの機能構造モデルの一部を示している。主要な特徴は以下のとおりである。

- (a) 骨格構造は機能分解木である。下位の機能が上位の機能の部分機能となっている。大きな特徴は機能分解の正当性の根拠となっている概念を「機能達成方式」というものに概念化し、達成の対象としての機能(what)と達成の方式(how)とに分割したことにある。
- (b) 機能モデリングは従来から研究の対象とされてきたが、図に書かれた機能概念は概念レベルでの定義を行い、それを振る舞いと装置にまで対応付ける計算モデルに基づいている。
- (c) 図の 8 角形で表されている、本質機能、製品品質維持機能、プロセス効率向上機能、プロセス中断防止機能、事前にプロセスを停止する機能という 5 つの抽象的なノードが導入されている。



図ではトップレベルにしか記述していないが、原理的には全てのノードにも付随して現れ得るものである。これによって実際の装置の部品が如何に複雑にならざるを得ないかがよく分かる。そして、各部品がなぜ必要であるかも一目瞭然となる。これらのノードは下位の機能群が果たす役割を述べたものであって、通常の機能とは別の概念であることはいうまでもない。また、下位に続く機能分解階層は全てのノードに関して同じセマンティックスを持っているため、階層木の一様性は保たれている。

- (d) 本質機能からの吹き出しに記述されている「本質機能実行中に生じる可能性のある不具合状態」の導入
本質機能だけでは機械は使い物にならない。その実行中に必然的に付随する副作用としての不具合状態を明示化し、それによって最終的に引き起こされる故障状態とリンクで明示的に関連づける。
- (e) ギザギザマークで囲まれている「その不具合によって生じる故障状態」の導入
この故障状態を阻止するために製品品質維持機能等の 4 つの機能が付加されているのが現実の機械である。

図 1 は一見単なる機能をノードに持つ階層木と見えるが、実際には 5 年間研究してきた全ての理論的考察に裏付けられた computational なコンピュータ表現である。機能概念が書かれているすべてのノードには対応する部品が想定されており、部品には厳密に定義された入出力があり、接続されている部品間では処理対象が流れている。

4. 機能的知識の体系化

本節では、前述の機能構造モデルを生み出した、筆者らが未来開拓学術推進事業の支援を受けて行った「人工知能による協調的シンセシスの方法論」プロジェクトの成果の一部である機能的知識の体系化に関する成果の概要を述べる。

4.1 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て、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」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、その変化は前者は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比べて、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、運動を入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、カムではなにが媒体に該当するのかは明確ではない。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見なす立場では気付かない複数の可能性があり、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。筆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 4 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。

4.2 機能概念

4.2.1 機能の Grounding

我々は機能概念を振る舞いに写像するための言語 FBRL (Function and Behavior Representation Language) [笹島 96] を構築している。振舞いの記述に Functional Toppings (FTs) と呼ばれる解釈情報を付加することで表現する。FT には注目する対象物 (Obj-Focus)、対象物の属性 (O-Focus)、注目するポート (P-Focus)、対象物の必要性 (Necessity) がある。FBRL によって、「機能」という概念レベルのものが振る舞いと構造に対応付けられ、機能を「物のレベル」に Grounding することができ、コンピュータが機能进行操作することが可能になる。詳細は紙面の都合で省略する。

4.2.2 機能概念のオントロジー

機能概念オントロジーはベース機能（物理的に存在する対象物に対して機能する）、メタ機能（ベース機能間の依存関係の概念化）、機能タイプ（機能が目標を達成するやり方の概念化）と呼ばれる 3 種類の機能概念を定義する [来村 02a]。詳細は省略するが、図 2 にそれらの概念の is-a 階層の一部を示している。ベース機能には着目する側面に応じて物質機能、エネルギー機能、情報機能、機構系機能の 4 種類がある（この分類は人間の可読性を増すためであり、実際の定義はかなりの部分を共有している）。これらは前述の Functional Toppings を参照することで定義されている。4.1 で述べた共通オントロジーであるデバイスオン

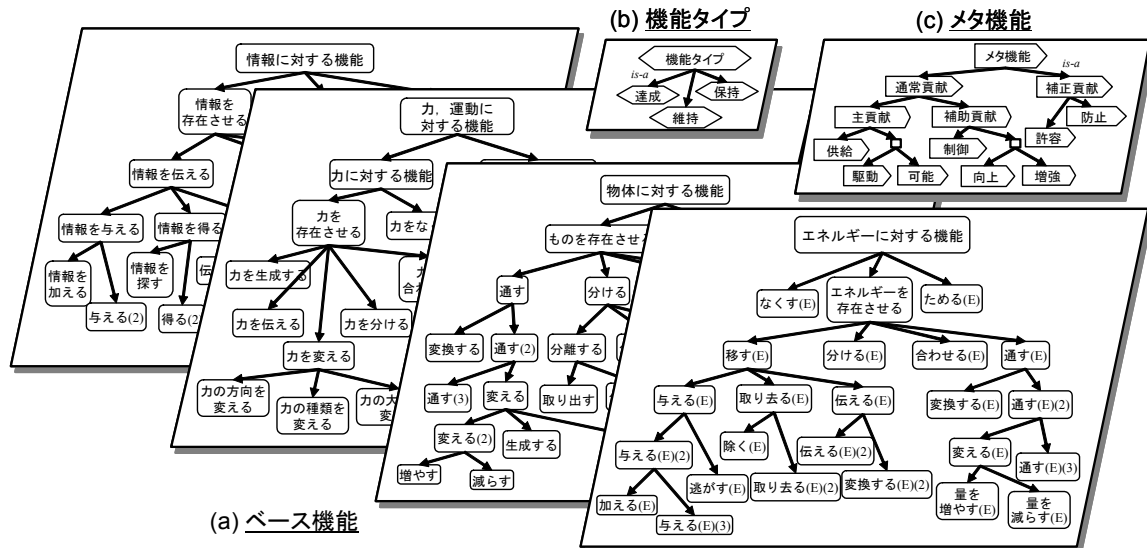


図 2：機能概念オントロジー（部分）

トロロジーに従うことで、機構系における力や運動に対する機能も同様に定義されている。このような定義は、振る舞いに明確に対応づけられており、装置や対象物、実現の方法からの独立性が高いという特徴がある。

4.3 機能達成方式

機能を達成するやり方に関わる知識をここでは「機能達成知識」と定義する。以下では機能概念オントロジーと「方式・方法概念」によって可能になる達成方法・方式知識の体系的記述[来村 02b]について述べる。

4.3.1 機能間の達成関係の記述

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することができる。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[Paul 88]）。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み合わせとして記述される。つまり、機能概念オントロジーにおける機能概念の定義が単独で「機能がなにを(what)達成するか」を表し、（機能達成）方法知識は「機能がどのように(how)達成されるか」を表している。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、機能分解階層木における上下の関係は全体一部分関係(is-achieved-by 関係と呼ぶ)を表している。また、部分機能間は基本的には AND の関係で、さらに構造的・時間的な制約関係が存在する。

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。さらに、部分機能間の制約を記述する概念を与える。構造や時間的制約に加えて、メタ機能を用いて部分機能に存在しなければならない協調関係を表現することができる。

4.3.2 原理の記述と方式の概念化

前項で述べた機能間の達成関係は、従来の機能分解知識と同様に、どのような部分機能列によって全体が達成されるかを表しており、なぜそのような達成が可能になるのかを表していない。ところが設計者は物理原理や対象の構造などを念頭において機能分解を行っていると考えられ[武田 94]、そのような背景情報が明示化されていないことは問題である。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。また、一般にある機能を達成するやり方にはさまざまなものがあり、設計物の要求仕様に合わせて選択すべきであるので、それぞれのやり方の知識にはその方法の持つ特性を表現する必要がある。このような知識を「機能達成方式知識」と呼ぶ。方式で言う原理は、方法に基づく理論的な裏付けであり自然現象や構造などを表す。原理には原理を使うことによって生じる性質、原理を使うために必要な制約などが記述される。ある機能を達成するためにある方式を採用したときに現れる性質の多くはこの原理の性質に起因している。例えば、接続するために溶接方式をとったときの「分離できない」という性質は、その機能達成原理である化学結合によって説明できる。つまり、達成原理によって概念化された方式知識は機能達成関係の本質的性質を表している。

4.3.3 方式知識の体系化

一般に知識を整理する際に困難なことは、概念化や分類の方法にはさまざまなものがあり、そのどれが本質的なものであるかが分からないことである。機能達成知識に関しても同様のことがいえ、従来の整理は本質的ではない属性に基づいた分類が行われていたり、本来分解すべき概念を暗黙のうちに統合してしまっていることが多い。

前項で述べた方式概念は、機能達成知識を適切に体系化する鍵となる。達成原理が達成方式の本質的性質を決定づけると考えられることから、ある機能を達成する方式をその原理の一般・特殊関係に基づいて抽象階層化(is-a 階層化)することができる。一方、一般に設計の教科書などに見られる達成方式の分類の多くは本質的属性による分類とは言えず、is-a 階層ではないものが多い。これらの知識は本質的な知識から生成すべきものである。つまり、方式知識を階層的に組織化したものは、方式特性木、対象固有方式木、汎用機能分解木、方式 is-a 木の 4 種類に分類することができる。ここでは紙面の都合で方式 is-a 木についてのみ述べる。

4.3.4 方式 is-a 木

ある機能を達成する方式群をその原理の一般・特殊関係に基づいて抽象階層化したもの。原理が方式の本質的性質を決定することから、視点に依存しない本質的分類である is-a 階層とみなすことができる。また、方式を適用する対象にも依存せずに、ある機能を実現するためにとりえる方式を分類している。機能達成方式知識の例として、「(物理的) 力を(物体上に) 存在させる(加える)」機能の達成方式知識の is-a 階層とそれらの部分機能を図 3 に示す。図中では長方形が方式概念を表し、角丸長方形がその方式を達成するための部分機能を表す。「力を存在させる」ための方式には、例えば「摩擦方式」があり、力を存在させたい(加えたい) 対象物 A に対して作用物を利用した摩擦力を加えるという原理の元に、部分機能として「A と作用物を接触させる」などの図中に示す部分機能を達成することで、「力を存在させる」ことができる。一方、衝撃力方式では「作用物を A に衝突させる」ことなどで同じ機能を発揮する。さらに、この方式を衝突が間欠的か継続的かによって、瞬間衝撃方式と継続衝撃方式に特殊化することができる。前者はさらに「対象物落下方式」などに特殊化できる。

4.3.5 方式知識と機能概念

一般に機能的知識を記述する際には多くの混乱が生じている。その原因のひとつに装置がなにを(what)達成するのかということの概念化と、どのように達成するのか(how)ということの概念化の区別が難しいということがある。例えば、「溶接する」と「構造締結する」は一見なにを達成するのが違うように思われるが、本質的には対象物の位置関係を制約する構造を作るという同じ効果を持ち(それぞれの場合における対象物の変化は異なるが、この機能的観点からはそれらの違いは無視できる(注目されない)。また、ここでは「接合する」を生産装置の機能として捉えている、それを達成する原理(前者は溶融、後者は塑性加工)が本質的に異なると考えることができる。このように機能の定義を入出力関係で捉え、達成の原理を方式として概

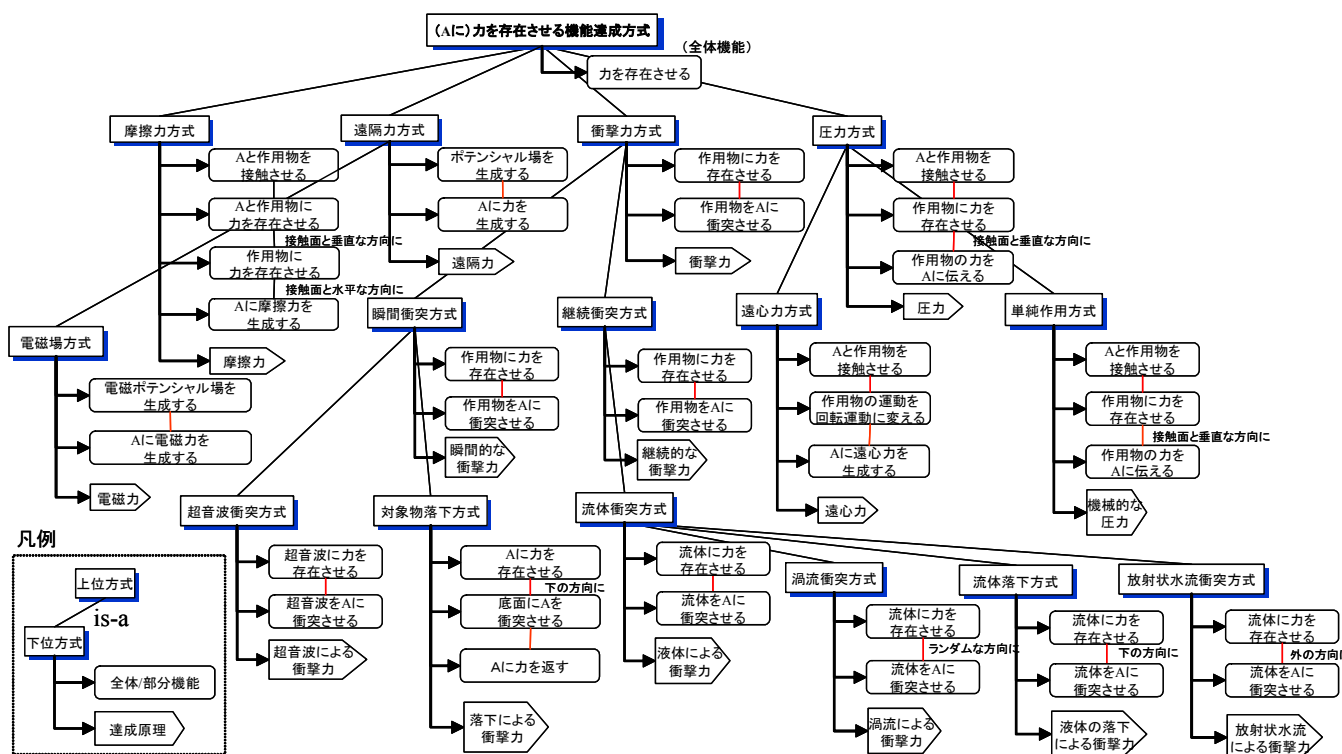


図 3 : 「(物理的) 力を存在させる (加える)」機能の達成方式知識の is-a 階層

念化する本枠組みに基づくことで、両者を異なる機能概念ではなく、同じ「接合する」という機能を達成する異なる方式概念である、と整理することができる。

すなわち、機能概念の定義を明確にして機能にまつわる *what* と *how* を分離することによって、方式という概念を「切り出し」、独立した概念として扱うことが可能になっている。したがって、方式概念の *is-a* 階層は、機能概念の *is-a* 階層と本質的に異なったものである。さらに、前者は達成すべき機能ごとに階層を構成するのに比べて、後者は機能の対象に応じたごく少数（我々の現在の整理では、物体、エネルギー、力・運動、情報の 4 つ）の階層である。

実はこの二つの概念の混同には、動作に関わる概念では *is-a* と *part-of* 関係の区別が一般的に難しいという深い問題が横たわっている。機能の *is-a* 関係と達成関係（*part-of* 関係の一種）の区別は機能が 1 対 1 の場合は難しい。実際、機能概念の定義は本質的にそれによって達成する状態（変化）に依存してなされるため、機能の *is-a* 階層における任意の下位の機能は上位の機能を達成すると解釈することができる。したがって、機能の達成階層を記述する際に、*is-a* 関係を混入することが起こり得る。これは達成階層の意味論に適合してはいるが、方式知識の整理という目的を考えると、混入させるべきではない。つまり、1 対 1 の関係において本質的效果が他方に含まれる場合は、*is-a* 関係として扱うべきで、達成関係として扱うべきではないと考えられる。

4.4 オントロジーの全体像

以上概略を述べたオントロジー、およびオントロジーで定義された概念を用いた機能的知識の記述の全体像は図 4 に示すようになっている。

5. むすび

平成 9 年より 5 年間、未来開拓学術推進事業の支援を受けて、オントロジー工学の基礎から深く考察を重ねてきて得られた機能概念オントロジーとそれに基づく機能的知識体系化の枠組みを、企業の生産現場の技術者が持つ、設備に関する機能的知識のナレッジマネジメント問題に適用し、実用化研究へと発展している状況を紹介した。

本研究の成功の要因をまとめると以下の通りである。

- (1) オントロジーに支えられた強固な基盤
- (2) デバイスオントロジーによる「視点」の明示化による一貫した部品構造認識と機能解釈
- (3) 機能と方式概念の明確な分離
機能が達成すべきゴール概念(*what to achieve*)とそれを達成する方式(*how to achieve*)の峻別によって、機能概念が高い一般性を持って概念化することが可能になり、そのことによって、ドメインを越えた高い再利用性が得られた。
- (4) *is-a* 関係と *part-of(is-achieve-by)* 関係の峻別
 - ・機能概念と方式概念に関する二つの *is-a* 階層
 - ・*part-of(is-achieve-by)* 関係による機能分解階層
 - ・対象固有機能分解と一般的な機能分解の区別

今後は、機能構造モデル記述を支援するガイドラインの整備と支援システムの構築を行いながら、実用化研究を更に促進していきたいと考えている。

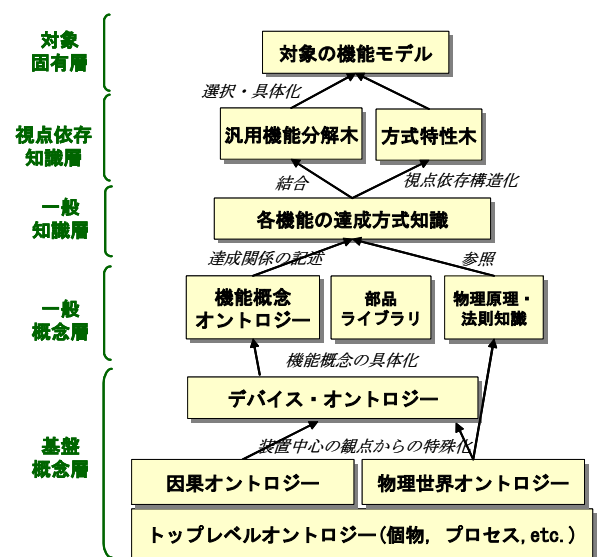


図 4 オントロジー・知識階層

参考文献

- [笹島 96] 笹島宗彦, 来村徳信, 池田満, 溝口理一郎: 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
- [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, 17(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, 17(1), pp.73-84, 2002.
- [Paul 88] Pahl, G. and Beitz, W.: Engineering Design - a systematic approach, The Design Council (1988) (工学設計, 設計工学研究グループ訳, 培風館, 1995)
- [武田 94] 武田英明, 富山哲男, 吉川弘之: 実験的手法に基づく設計知識とその利用に関する分析, 精密工学会誌, 60(3), 422-426 (1994).
- [高橋 02] 高橋知伸, 吉川真理子, 笠井俊信, 来村徳信, 布瀬雅義, 溝口理一郎, 異分野間共有を目指した機能的設計知識の組織化の枠組み, 第 16 回人工知能学会全国大会, 2002