

2015年度

第4回

コロキウム講演録

機能オントロジーと

製造業の現場における

その応用と効果

## Topic

### 第1部 講演：P1-5

- ・機能とはなにか：  
機能概念の重要性について
- ・機能概念の曖昧さ・多様性について
- ・疑問解決のためのアプローチ：  
オントロジー工学
- ・デバイス機能オントロジー：概要
- ・デバイス機能オントロジー：  
産業界での活用
- ・機能に関する参照オントロジー：下位層
- ・機能に関する参照オントロジー：上位層

### 第2部 質疑応答：P5-6

講演者：來村 徳信

立命館大学  
情報理工学部

講演日2015/6/10

招聘者 林 良彦  
アーカイブ担当 齋藤 奨  
金田 健太郎

2015年度第4回 早稲田大学実体情報学博士プログラムのコロキウムでは、オントロジー工学の研究に20年以上従事し、現在立命館大学情報理工学部の教授を務める來村先生をお招きして、「機能オントロジーと製造業の現場におけるその応用と効果」と題し、機能とはなにか、そして機能概念を明らかにするアプローチとしてのオントロジーとその応用について、実例を交えてお話いただきました。

### 來村 徳信 (きたむら よしのぶ)



1993年大阪大学大学院基礎工学研究科前期課程修了。同大学産業科学研究所助手、准教授、スタンフォード大学客員准教授等を経て、現在、立命館大学情報理工学部 教授、博士（工学）、知識工学、オントロジー工学、物理的システムを中心としたそれらの応用等の研究に従事。人工知能学会論文賞(1996年、2013年)、日本機械学会設計工学システム部門フロンティア業績表彰(2009年)等を受賞。人工知能学会 理事・代議員、日本機械学会 設計工学・システム部門運営委員・代議員、人工知能学会 セマンティックウェブとオントロジー研究会 主査等を歴任。

## 第1部 講演

### ■機能とはなにか：機能概念の重要性について

本講演では、機能とはなにかということについて、皆さんと一緒に考えていきます。まず、機能という概念の重要性、曖昧さについて皆さんに理解していただきたいと思います。

機能(function/functionality)という単語を辞書で引いても曖昧ですが、ものによって発揮される「作用」「効果」、また設計者・使用者の「意図」「目的」に関連しているということが一般に言えそうです。また、ものの「価値」の一種であるということも言えそうです。

機能という概念の重要性については、特に工学設計という立場から見た時、概念設計フェイズで機能に関する操作が多々行われることから明らかでしょう。また、人工物は機能を発揮することが本質であるために、機能は人工物の価値の中核としても重要になるでしょう。

また、機能の重要性のもう一つの側面として、設計意図を表すというものが挙げられます。例として製造業における知識のコミュニケーションを挙げると、そのやりとりは設計図やレポートなどの物理レベル、データレベルで介されるのみで、「何をもってそういう設計にしたのか」という設計意図が暗黙的になりがちです。この暗黙性は、設計者の経験やノウハウの継承を難しくしてしまい、また設計や問題解決の思考の網羅性が低くなる可能性を高めてしまいます。そういった問題を解決するための、概念レベルの知識コミュニケーション手段として、「機能モデル」が使用されます。有名なものとしては、機能構造・機能分解木が挙げられます。機能モデルは設計者や使用者の思考を表します。このモデルを使用しても設計意図が暗黙的になってしまう場合もありますが、担当者がどの部品がどのような役割を持っているか知っているのと知らないのでは、製品の改良において大きな差がでます。

### ■機能概念の曖昧さ・多様性について

「機能に関する知識を書いて、技術者間で共有するといふことがある」ということが理解できても、それを実践するのは簡単ではありません。それはなぜかという、機能概念が曖昧であるために、「機能」という言葉が指し示すものが人によって全く異なってしまうためです。それを工学的な側面から言うと、一つの人工物に対しても、機能記述者や状況によって異なる機能が捉えられることが考えられてしまうということになります。例えば扇風機の機能を考えた時に、ある人は「風を起す機能」というかもしれませんし、別の人は「人間を涼しくする機能」というかもしれません。あるいはそのファンに注目し「CPUの熱暴走を防ぐ」という人もいるかもしれません。実際の例では、非常にシンプルな要素部品である油圧ポンプの機能を19人の技術者に聞いたところ、11個もの異なる機能が挙げられたということがありました。この違いがどのように現れるかは明確でなく、機能に統一性、一貫性がありません。そのために、相互運用性もありません。

一方で科学的な側面から考えた時、機能にはその重要性から多くの研究が行われ、多くの定義が存在します。例えば、設計工学、価値工学、人工知能、科学哲学の分野などでそれぞれ定義されています。しかしそれらの中に標準とな

る定義は存在しません。また、その一つ一つには本質的な違いがあり、互いの関連性が不明確となっています。

そういった状況を考えた時に、機能の定義に関する存在論的な疑問が現れます。ひとつは、機能はどこに存在するのかということ。哲学者は、機能はモノの性質としてそれに内在するとみなすことが多いです。一方で、工学者はモノ自身が果たすものであるとして、それに外在するとみなすことが多いです。両者の機能の捉え方には大きな異なりがあります。

また、機能は何に依存して、いつ存在するのかを考えた時、工学者はモノ自身、あるいは人間（設計者・使用者）の意図に依存すると見ることが多いです。一方で哲学者は、機能は過去や歴史に依存し、進化論的に決まったものであるとすることが多いです。この事についても、意見が定まっています。

いずれにせよ、工学的・哲学的どちらの観点からみても、機能とは何であるかということに多くの疑問が存在しています。

## ■ 疑問解決のためのアプローチ：オントロジー工学

これらの疑問を解決するためのアプローチとして、オントロジー工学があります。オントロジーとは知識の体系的表現のための基盤技術であり、簡単に言うと概念を定義した辞書のようなものです。オントロジーを導入することで得られる効果には、2つの側面があります。ひとつは知識記述者に記述の際の指針と共通語彙を与えるもので、これが Prescriptive（規約的）な側面です。もう一つは異なる知識の捉え方の相互運用を可能にするもので、Descriptiveな体系でいろいろな概念体系を関連付けます。

ここで、機能に対してそれぞれの効果に基づき2つのオントロジーを設定します。ひとつは**デバイス機能オントロジー**です。このオントロジーにより機能を捉える際に視点を固定する規範を与え、それによって一つのルールに従った「同じ機能」を、だれでも記述できるようにするのが目標です。もう一つは機能に関する**参照オントロジー**です。ここで多様な機能概念の包括的な体系を記述し、これを参照することで様々な機能概念を対応付けることが目標です。前者のオントロジーでは私の基準に従って機能を記述しましたが、それと他の人の定義した様々な機能を対応付けるために用意したものが後者となります。

## ■ デバイス機能オントロジー：概要

まずは前者のオントロジーを説明します。このオントロジーはオントロジーの階層構造を持ちます。最上層に上位レベルオントロジー、その下層に機能と装置に関するオントロジー、更にその下層に機能概念オントロジーを持ちます。装置と機能に関するオントロジーで機能や振る舞い、装置などの基本用語をまず定義し、機能概念オントロジーで一般的な機能を表す語彙（動詞）を定義します。この語彙を機能概念や機能語彙といいます。機能語彙として定義された動詞を用いて、装置の機能モデルを記述します。定義された動詞の数は約90個程度しかありませんが、これで機械に関する機能についてはおおそ書くことが可能です。

機能を記述する際には、まず対象となる世界をどう捉えるかが問題になります。それを記述したオントロジーとして、拡張デバイスオントロジーがあります。このオントロジーにより、対象となる世界を装置（デバイス）：主体と対象物：客体で分けて捉えるというのを基本とします。

この前提に基づき、機能は「コンテキスト」に依存し、装置の振る舞いによって果たされる役割であると捉えます。例えば装置として熱交換器を挙げると、その振る舞いは温度変化となります。しかしこれが組み込まれるシステムによって、熱交換器は異なる機能を発揮します。例えばエンジンに組み込まれれば熱を「除く」機能を果たすラジエーターとなり、一方でボイラーに組み込まれれば、熱を「加える」ヒーターとしての機能を果たします。この組み込まれるシステムの構成や、あるいは使用者の意図が機能コンテキストと呼ばれます。このように装置は機能コンテキストによって異なる機能を発揮し、その際に装置が担うものを機能ロールといいます。

デバイス機能オントロジーでは機能と方式を明確に区別しているということが、もう一つ重要な点として挙げられます。例えば溶接機械を考えた時、その機能は「溶接する」ではなく、「一体化する」という機能を「溶融方式」で達成している、と捉えます。一般に動詞がすべて機能となるかといえばそうではなく、多くの動詞では機能と方式が同時に表現されています。このように機能と方式を分離することが、機能語彙の少なさにつながっています。

## ■ デバイス機能オントロジー：産業界での活用

ではこのオントロジーの産業界における活用例についてお話しします。まず、このような機能モデルを記述するためのソフトウェア(SOFAST,OntoloGear)を開発し、それを十数社に実際使ってもらった際の効果を確認します。

具体的には、このソフトウェアを用いて技術者に対象となる機械の技術的知識を書いてもらいました。その際の効用として、理解や設計知識の組織内共有・継承に役立ったということが挙げられました。例えば設計レビューや特許申請などがそれに当たります。また、改良設計や問題解決をする際の思考の外在化に役立ったということも挙げられました。数値を出した例としては、従来3~4週間かかっていた特許申請の際の明細書作成期間が1週間に短縮され、またその明細項が4項目から7項目まで拡大したことが挙げられます。また、開発業務の生産性をみると、ソフトウェア運用開始から2年で2倍まで向上しています。この生産性は(年間開発テーマ数)/[(人数)\*(平均経験年数)]という式から算出しており、経験年数が少ない人でも多くの仕事が達成できるようになったことがわかります。

では、実際にOntoloGearでどのように機能モデルが記述されているかを見てみます。このソフトウェアでは装置の機能分解木を書きます。使用できる機能語彙の木構造では、最上層に全体機能が位置し、そこから下るに従い細分化されるように部分機能が配置されています。技術者は、ここに配置された語彙を用いて機能モデルを記述します。また、機能概念と達成方式は峻別されます。これにより機能概念の数を減らし、共通の達成方式を書式化することが可能になります。製造現場で使われる専門用語（表層語彙）については、コーパスから抜き出された1000語ほどについて機能語彙と対応付けがなされ、それらの用語を使っても、内部でそれを翻訳することで概念モデルを作ることが可能になっています。

このように記述された他機器の概念モデルの共通機能を参照することで、暗黙的機能の発見を促すような発想支援も行うことが可能です。事例として、シリコンウエハーの研磨機械のガイドリングの暗黙的機能を、他人の記述した半導体インゴットを切断するワイヤソーの機能を参照することで発見することができたということがあります。このようにOntoloGearの効果としては技術者に気付きを与えるだけで、それ自体が自動的に暗黙的機能を検出するわけではありませんが、その気付きを与える効果が重要となります。

機能分解木とフローチャートなどのプロセスモデルの構造の違いも重要です。後者は時間経過に沿った処理を記述していますが、前者では装置の目的に沿って階層化しています。プロセスというのは均一でないために、分解木においてそれを表す機能はしばしば階層中にばらけて位置します。このように目的階層に沿って機能を考えた方が新たなことを思い出すチャンスが増えます。

動詞を機能語彙で表す際に分離された機能達成方式は、それぞれどういう時に適用可能であるかを示す適用条件を持ちます。実際にどの方式を選ぶかは、その方式の適用条件・能力/属性、起こりうる不具合などを考慮して技術者自身が決定しなくてはなりません。この機能は特許の分析の際、先行特許を回避するために利用されます。また、この機能を用いることで方式自体の分類も可能になります。

ある機能が果たされる際に不具合が発生することはよくあります。これを防ぐために、装置に予め補助機能が付いていることが多くあります。こういった補助機能の表現も非常に重要です。ある機能にどんな故障モードが起こりうるか、またその推定される原因としては何があるかなどを表形式で記述したFEMAという分析手法がありますが、OntoloGearは機能モデルを使用することでそれを半自動生成することが可能です。人為的に生成したFEMAと機能モデルを用いて機械的に生成したものを比較したところ、人間の見落とししていた故障モードを発見することができたという例もあります。

## 機能に関する参照オントロジー：下位層

ここからは、機能というものについてもう少し深く考えていきます。先ほど定義した機能以外にも、異なる捉え方によって定義された機能が多く存在します。それらを説明するために定義されたのが参照オントロジーです。

参照オントロジーによる概念体系の下位層では、例えばC軸という観点からは、5つの視点（装置の注目点）に基づく分類(C1~5)が行われます。C1からC5に向かうに従い、装置を見る範囲が広がっていきます。C3が私の定義した機能の視点に当たります。扇風機の機能を例に出すと、それぞれの視点による機能は次のように表されます。

- C1.局所的要素（トルクを生成する）
- C2.非局所的参照（羽を回す）
- C3.装置の入り口・出口（空気を動かす）
- C4.ユーザーの物理状態（人体を冷やす）
- C5.人体の精神状態（ユーザを快適にする）

このように、見る範囲を変えることで機能が変わってくると説明できます。冒頭で説明した油圧ポンプに対して11の機能が挙げられた例も、視点のように機能を説明する軸を組み合わせることですべてうまく説明できます。

下位層の他の使い方としては語彙セットのマッピングというものが挙げられます。私達が定義した約90個の機能語彙

セットと似た別の語彙セットが他者によっても定義されておりますが、それらに対応付けようとした時にうまくマッピングできない機能語彙が出てきます。そういった時に参照オントロジーを見て、その機能語彙がデバイス機能オントロジー外のオントロジーにより定義されているものと分かれば取り除く、という操作を行うことで語彙セット同士を対応付けることができます。

## ■機能に関する参照オントロジー：上位層

しかし機能は前章で述べられたものの他にも様々な使い方をされます。これらを定義するのが上位層です。ここでは、存在論的差異 (distinction) に基づく「機能の種類」を、機能のフェイズモデルにより定義します。

フェイズモデルは設計要求、設計、製造、使用という時間軸にもとづいています。そのうち使用フェイズにおいて、私の定義における機能はコンテキスト依存に決定されます。つまり、同じドライバーを取り上げた時でも、それをユーザーがねじ回しとして使う場合と、その柄を使って釘を打つ場合とではその機能（使用機能）は異なり、同じ熱交換位を取り上げた時でも、それをエンジンに組み込む場合と、ボイラーに組み込む場合とでその機能（システム機能）は異なります。

工学者はこのように、使用フェイズにおける作用そのものを機能とすることが多くあります（実行的機能）。一方で哲学者は、ある装置が作られた瞬間に持っている能力（属性）を指して機能ということが多くあります（能力的機能）。この機能は製造後フェイズにおいて定義されます。例えばドライバーであるならば、それが製造された瞬間にネジを回す機能を持っているとします。前者の機能は「果たす」もの、後者の機能は「持つ」ものであるというのが明確な違いとなります。

また、設計フェイズと使用フェイズにおいて、本質的な機能と偶発的な機能という区分もなされます。設計者の意図である設計機能コンテキストにより定まる機能を本質的機能と言い、使用者の意図である偶発的仕様コンテキストにより定まる機能を偶発的な機能と呼びます。前者は設計前の設計時要求機能、設計後の仕様の機能に一致します。

講演の最初に機能はいつどこに存在するのか・何に依存して存在するのかという話をしました。そこには様々な捉え方があると紹介しましたが、答えとしましては、それらすべては間違いではありません。その差異は考え方の違いによるものなのです。

面白いのは生体の機能を考えた時です。例えば心臓の機能を考えます。それを私達は「血液を送り出す機能」といいますが、設計者がいないにも関わらずこのような定義をすることは奇妙です。目的がなければ機能は存在し得ないという考えの人にとっては、設計者がいない心臓は機能を持たないこととなります。しかし、意図とは独立な仮定によって心臓の機能を考えることができます。例えば循環器全体が血液を循環させるという機能を持っているのであれば、そのコンテキストの中で心臓は血液を送り出す機能を発揮します。あるいは、医者が心音を聞くというコンテキストにおいては、心臓は心音を発生させるという機能を発揮します。つまり、心臓の果たす機能というの、コンテキストに依存しているのです。私達が生体を考えた時、普通は生体がうまく機能していることをコンテキストとして捉えるために、心臓は血液を送り出す機能を持つ、と答えるだけなのです。

また、自然物に対しても機能を考えることができます。ある小石を拾い、それをそのまま文鎮などとして使用した場合、そこで果たす機能は「偶発的機能」となります。これは設計者がおらず、仕様者の意図により用いられるためです。この例において、安定のために小石の底を削り、平らにしたことを考えます。そうすると小石は使用を意図して変形（≒製造）された人工物とみなされ、この時の文鎮機能は小石の「本質的機能」となります。また、底が平らな小石を選んで文鎮とした場合、これは「偶発的実行的機能」となります。小石をそのまま生け花の部分として使った場合、生け花は人工物ですが、これは「偶発的部品機能」となります。

これらの自然物の機能は、人間の進化に沿って考えることができます。人類が生まれる前（道具を使う動物が存在する前）を考えると、生体機能しか存在しません。ここでは、能力的機能が最重要視されがちです。人類が生まれた時点（道具を使う動物が存在した時点）で意図に基づいた自然物の外部使用が行われ、実行的機能が重要になります。更に設計意図に基づき自然物の加工（製造）ができるようになった時、初めて人工物機能が現れ、設計に基づく本質的機能（設計時要求機能）が生じます。人類の歴史に沿って機能という概念は成長してきたという観点から、このような進化的なモデルも考えることができます。

このように機能に対しては様々な側面から考えることができますが、私達は工学的なバイアスに沿ってデバイス機能オントロジーを定義しました。これが唯一解だとはもちろん言いませんが、工学的には有用な定義であると言えます。

## ■まとめ

機能という概念を明確にしようと思った時、そのやり方は2つあります。ひとつはデバイス機能オントロジーのようにそれに対して一つの捉え方をちゃんと示すというやり方です。もう一つは機能に関する参照オントロジーのよう

に、多様な捉え方を包含するような参照オントロジーを考え、そのうちどこに当てはまるかを明確にするやり方です。一般に「機能」のような曖昧な概念があった時、まずはそれをどのように使うかを宣言することが大事です。しかしそれだけでは合意できない場合も多いため、そういった時に備えて相手の考える概念を説明するような参照オントロジーを用意するとお互いの意思疎通を図ることが可能です。

これから皆さんもいろいろなディスカッションをすることがあるでしょう。特に他の領域の方とお話をするときに話が合わないということがよくあると思います。その原因としては、言葉の意味が合っていないということがありえます。そのような自体を避けるために、まずすべきことは言葉の意味を明確にすることです。その上、相手方の概念を含むようなものを考え、自分の定義との差異を指摘できるようになれば、互いを分かり合うことができるかもしれません。

## 第2部 質疑応答

■Q. 機能語彙数はなぜ約90個になったのか。どのようにして決定したのか。

■A. 経験則。

ここで定義した機能語彙はすべて物理現象に限ったもので、精神的なものなどは入っていない。物理属性は限られているので、それを変換するようなものに絞って語彙をトップダウンに作成。それを実際に適用してみて、足りなかったものを足していくという操作を行った結果約90個になった。



■Q. モノの機能はコンテキストに依存するということが、コンテキストが分からないときにそれはどうなるのか。

■A. コンテキストが決まらなると機能も決まらな

い。コンテキストが決まった時にこういう機能が発揮されていると判断できるのみで、それが決まらなると機能も決めようがない。

■Q. 動詞から機能語彙を抽出する方法はどうしているのか。「走る」を「速く移動する」と表現

し、その副詞を除くような方法でやっているのか、それとも別の方法なのか。

■A. どういった変化が本質的であるかに注目して抽出している。

副詞で表されるのは動作中の様子であって、注目するのは最終的に起こる変化。それが「どこかへ向かうこと」であるなら、「歩く」も「走る」も機能としては「移動する」を表す。しかし、仮に動作主がダイエットをしていて、カロリーを消費する目的で「走る」ならば、その機能は「カロリーを消費する」になる。つまり、動作の本質がどこにあるかによって、その動詞に当てられる機能語彙は変化する。

■Q. 機能に何らかの条件が課せられている場合、例えば「美味しい」コーヒーを作るという目的が与えられた場合に、この条件はどこで記述されるのか。

■A. 機能を複数の機能の複合形と見るか、あるいは片方を方式の属性と見るかで異なる。

前者の場合、「美味しいコーヒーを作る」を「コーヒーを作る」という機能と、「美味しくする」という機能を同時に表現したものと見て、条件は機能として記述される。後者の場合、「美味しい」を副詞的なもの、つまり達成方式の属性であると見る。同じ「コーヒーを作る」という動作にも、エスプレッソ方式やフィルター方式など複数の方式が存在する。そのうち、例えばエスプレッソ方式の方が美味しいとしたら、エスプレッソ方式の属性として「美味しい」が記述される。

■Q. 方式の比較は記述として入りうるのか。

■A. 方式ごとに特性があり、その特性に応じて設

計者が適切なものを選ぶ。

コーヒーの作成方式で言うなら、エスプレッソ方式だと沸騰水に加えられた気圧は何Paで、抽出されるカフェイン量は何mgで...といったことが記述されており、設計者が条件に応じてその中から適切なものを選ぶことになる。



■Q. 機能オントロジーで記述する世界はどのレベルまでをターゲットとしているのか。

■A. 大域的に機能を捉えた時、そのすべてが覆えるレベル。

現時点で機能を記述するための語彙は約90個とは言ったが、これが完全だとは言わない。勿論これから語彙が増えることはあると思っている。ただ、そうやって増える語彙が上層に位置することがないようなレベル、すなわち大きく機能を捉えた時にそれを覆えるレベルまでをターゲットとしている。

■Q. 人間の感性に関わるような語彙は含まれないのか。

■A. 含まれない。

現時点で機能を記述するための語彙はすべて物理的な変化に限っている。「安心する」などの精神的な変化については含まない。

■Q. アカデミックな場でのオントロジー活用はあり得るか。

■A. 学問領域を超えての対話においては、あり得るだろう。

工学者と哲学者が機能概念について議論をする

際に、先に述べた2種類のオントロジーが有用であった。これと同様に、異なる学問分野の人々がある概念について対話する際にはオントロジーが有用になるだろう。今回の講演ではその適用範囲を機能という概念に限っているが、他にも曖昧な概念は多々ありうる。それがあある領域とある領域で違うものを指していると明示化することは重要である。



## 実体情報学博士プログラム

<http://www.leading-sn.waseda.ac.jp/>

早稲田大学実体情報学博士プログラム総合窓口

〒169-8555

東京都新宿区大久保3-4-1

早稲田大学西早稲田キャンパス51号館1階08A室

MAIL: [leading-sn-info@list.waseda.jp](mailto:leading-sn-info@list.waseda.jp)

TEL: 03-5286-2836

FAX: 03-5286-2847

実体情報学博士プログラム「工房」

〒169-0072

東京都新宿区大久保2-4-12 新宿ラムダックスビル3F