JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	役に立つオントロジー工学
Author(s)	溝口，理一郎
Citation	PEN News Letter，4(6)：3-12
Issue Date	2013-09-05
Type	Others
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/12778
Rights	役に立つオントロジー工学，溝口理一郎，PEN News Letter，4(6)，2013，pp.3-12．本著作物は独立行政法人産業技術総合研究所 PEN編集室の許可のもとに掲載するものです。
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

寄稿

役に立つオントロジー工学

北陸先端科学技術大学院大学 サービスサイエンス研究センター
溝口理一郎

1. はじめに

1.1 最初の導入

世の中には解くべき問題が山積みである。できるだけ多くの問題を素早く、格好良く解きたいと思うのは研究者、技術者であれば誰でも思うことである。そのためには手段を選ばない、とまでは言わないとしても、使える物は何でも使いたいという思いは皆に共通であろう。筆者の分野はITであるので、そこに限定しても、最近使えそうな技術や理論は沢山ある。WWW、セマンティックWeb、Linked Open Data（LOD)、データマイニング、非構造化データからの学習、ベイジアンネット、類推、サポートベクターマシン、トピックモデリング、テキストマイニング、自然言語要約、等々。そして、本稿のテーマである、オントロジーやオントロジー工学である。

オントロジーはセマンティックWebで用いられるメタデータ、すなわちデータがどんなデータであるかを書き表したデータに現れる語彙に意味を付与する役割があり、近年注目を集めている。Artificial Intelligence（AI）という言葉が使い古されたきらいがあるので、Web情報処理の分野では、新しい言葉として、semantic technologyという言葉が使われるようにもなっている。Semantic technologyはもちろんAIより極めて狭い意味内容を持っている。セマンティックWebではWWWに存在する情報源の適切な場所にタグと言われるメタデータ情報を付加して、情報検索の性能を向上させようとする技術である。タグ付け操作全体はアノテーションとよばれる。そのタグとして用いられる情報（概念）を意味に着目して組織化しておくと、気の利いた検索が出来るというものである。Semantic technologyはそのような操作における意味処理技術全般を指す用語である。

例を挙げよう。今、バイオミメティクスへの人工知能技術の応用を扱っている文献を探しているとする。その時、ある論文にはバイオミメティクスとセマンティックWebというタグが付いていたとする。検索エンジンは通常は文字のマッチングを行い、一致するかどうかを調べる能力しかないので、検索キーワードがバイオミメティクスと人工知能技術であると、人工知能技術とセマンティックWeb技術は一致しないのでその文献は検索されない。しかし、semantic technologyの一つであるオントロジー技術を用

いて、セマンティック Web 技術は人工知能技術の一種であることが記述されていれば、検索エンジンはそれを参照して、その文献はバイオミメティクスと人工知能技術を論じていると判断できるので、無事検索されることになる。オントロジーはこのようなタグに用いられる概念／用語を沢山集めて、それをうまく組織化しておいて適切な意味情報を提供するものである。

実は、これはオントロジーの一番わかりやすい説明、応用例であり、実際、生物規範工学におけるデータベースとそのインテリジェント化の研究 [1] では図 1 に示すような研究が始められている。しかし、オントロジー、そしてオントロジー工学はさらに深く、有用な技術を提供している。本稿では、オントロジー技術の初歩から真髄までをわかりやすく解説する。

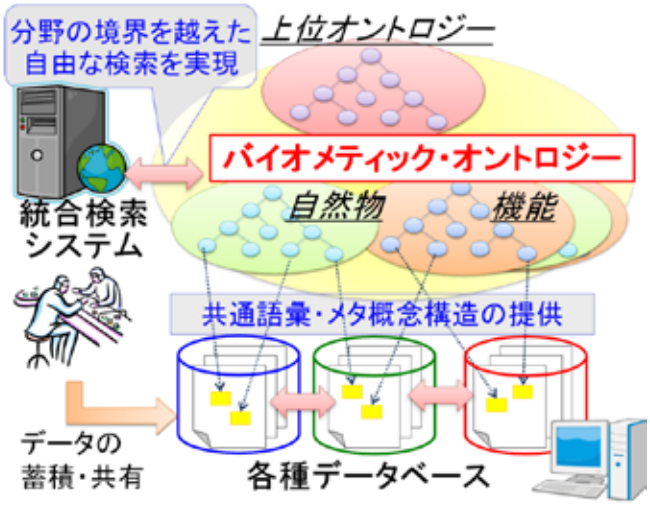

図 1　バイオミメティクス DB におけるオントロジー利用

1.2 もう少し導入

上の説明だけを聞くと、「わかりました、オントロジーって概念の一般・特殊関係に基づく階層構造なのですね？それは確かに情報検索では有用ですね。ですが、それってかなり古くから AI で使われていませんでした？オブジェクト指向言語でも使われていますし、たいして新しい技術ではないのでは？」という疑問が聞こえてきそうな気がする。そして、実はそのご意見はすべて当たっている。と言っても、「はい、その通りです。オントロジー技術はとってもわかりやすい、そして役に立つ技術なのです」といって本稿を終えることにはならない。筆者はその後に続けて、「でも、それはオントロジーの最初の一歩なのです。オントロジー工学はそれからさらに深化して、概念世界全般を扱う理論と技術を提供します。その方法論は名前が示すとおり、哲学に匹敵する深さがあります。それに加えて、工学が付いていることから分かるように実社会の問題への応用を意識した有用な技術でもあります。」と答える。本稿では、この「より深いオントロジー工学」をわかりやすく解説することを目的としている。

2. 二種類のオントロジー

オントロジーには前述の semantic technology で用いられる概念階層を指すオントロジーと、本稿でこれから解説するより高度なオントロジーの二種類のオントロジーがある。前者は light-weight ontology と呼ばれ、後者は heavy-weight ontology と呼ばれる。Light-weight ontology はその名の通り、概念の一般特殊階層以外の余計な物は何もなく身軽である。一方、後者の heavy-weight ontology は哲学まで関連しているので重たい。よく言えば重厚である。そして、応用も根本的なところまで及ぶ本質的な応用が可能となる。ところで、概念の一般特殊階層は、英語では “A tree is a plant” といわれることから、is-a 階層と呼ばれることが多い。＜A　is-a　B＞と言うとき、B が A より一般的な概念であることを指す。生物種の Taxonomy とほぼ同じ物構造を持っていると言える。

Heavy-weight ontology は is-a 階層の質自体を問う。概念の混同を避け、正しい概念分類の理論や技法を提供する。さらには、対象世界に潜んでいる基盤的な概念構造を明らかにする理論と技法も提供する。

3. なぜオントロジーなのか？

オントロジーは日本語では存在論となるが、哲学の存在論を参考にしつつ、対象とする領域の根底に潜んでいる概念構造をあぶり出し、それをコンピュータ上に記述したものである。その名称とこの説明が示唆するとおり、オントロジーは長い年月にわたって変化しない、安定した概念構造を具現化したものである。実は、そこに思わぬ優れた利点が隠されている。冒頭でも少し触れたが、多くの技術者は素早く問題を解きたがっている。そして、技術の最先端を極めたいと願っている。それ自体は決して悪いことでも何でもないが、それが行き過ぎたときには、速さと最先端技術が過剰に重用され、浮ついた時流に流されることが起こりえることである。まじめに言い直すと、速さよりは良い解が望まれるし、最先端技術は必須ではなく、問題に最も適した技術が重要となる。さらに強調するとすれば、新しさではなくより根源的な事柄に目を向けることが重要なのではないだろうか。新しさを重用しすぎると、古い物は皆良くない物と思う傾向が生まれてしまう。技術の進歩の大きな流れを掴むことは極めて重要であるが、物事の本質を

見るということもまた劣らず大切である。オントロジー工学は、物事の本質を見極めることを重要視することが大きな特徴なのである。

オントロジー工学的な問題解決は、与えられた問題をすぐに解こうとはせず、その問題自体を深く理解することから始まる。必要であれば問題の背景に隠れている領域全体に関わる理解を深めることが行われる。運が良ければではあるが、領域とその問題に関わる部分で曖昧にされていた概念構造を新たに掘り起こすことができて、その領域に根本的な刺激を与える可能性がある。実際、最近筆者等が行ったサービスに関する深い考察を行った結果、現存するほとんどすべてのサービスの定義が製品機能を含んでしまっていることを指摘し、少なくともその間違いを正した定義を与えることが出来た [2][注1]。また、少し古い成果ではあるが、人工物の機能構造を記述するシステムを開発した際に、機能に関して深い考察を行い、「人工物における機能」という極めて広い分野に関わる重要な概念に関する深い知見を機能オントロジー [3, 4] として得ることが出来た。そして、オントロジー「工学」の名の通り、それに基づいて任意の人工物の機能構造を記述するシステムを開発し、それをいくつかの企業の製造現場において実用に供してきた [5]。本稿では、このようなオントロジー工学の本質を見極めることそれ自体と、それによって得られる効果の両方を解説したい。

4. オントロジー工学の要素技術

4.1 理論

4.1.1 概念そのもの

この世に存在する物すべてを説明する概念体系を作ることがオントロジー工学の大きな目的となっている。通常、それは上位オントロジーの構築と言われる。これはよほどの自信と思い上がりがないと作れないが、しかも、すでに欧米のそうそうたる研究者が構築したいくつかの上位オントロジー、DOLCE[6] や BFO[7] が存在するなかで、筆者はアジアから初の貢献として独自のオントロジー YAMATO[8] を構築し公開している[注2]。詳細は省略するが、YAMATO は DOLCE や BFO の問題点を補強しつつ、新たな提案もしている強力な上位オントロジーである。

上位オントロジーを構築する上で必要なことの一つが概念の峻別である。典型的な例を図 2 に示す。存在物を理解するに当たって最低限、図に示した区別を意識することが必要である。属性は dependent continuant と呼ばれ、標高のように山なしでは存在できない。身長は値をとれるが、tall は属性に値を付け加えたものを概念化したものなので、もう値はとれない。そして、属性の値でもない。辺や穴は実体を持っていないので、存在を助けてくれる実体があって始めて存在できる。抽象物はその存在に時間も空間も必要ないものと定義することが出来る。生起物は時間空間に存在するものである。具体的持続物はその存在に 3 次元空間が必須である。本は情報を運ぶと言う変わった機能を持つものである。音楽なども同様である。200g の塩は極めて弱い存在物であって、それを構成している部分としての塩粒を特定する能力を持っていない。その中のいくつかの塩粒を入れ替えても重量さえ 200g であれば別の 200g の塩かどうかを判定できない性質のものである。しかし、机の上にある「一山の塩」はそれを持っている。プロセスは変化できるが、イベントは変化できない。夫や研究者は人間によって演じられるものであるが、人間はそのような演者（player）は持たない。ここに書いたことだけをしっかり理解することが出来たとすると、世にあふれているいくつかの本質的な誤解や問題を解くことに貢献する。例えば、大学や社会が具体物かどうか、川や竜巻がオブジェクトか生起物か、A さんが書いた本と A さんが本屋さんで買った本は「本」として同じ概念かどうか等の問題を見事に解決することが出来る。

もの vs. 属性	**例：山 vs. 標高**
属性 vs. 特性	**例：身長 vs. tall**
もの vs. 特徴	**例：机 vs. 頂点，辺，穴**
具体物 vs. 抽象物	**例：人間や講演 vs. 数や定理**
持続物 vs. 生起物	**例：机 vs. 講演**
情報物 vs. 非情報物	**例：本 vs. 車**
オブジェクト vs. 物質	**例：机 vs. 200g の塩**
プロセス vs. イベント	**例：講演する vs. 講演会**
基本概念 vs. ロール	**例：人間 vs. 夫や研究者**
etc.	

図 2　基本概念の区別

ついでに述べると、我々研究者は「二つの異なる物は同時刻に同じ空間に存在することは出来ない」ことを強く信じている。この基本原理に反する例を挙げてみよう。机の上に粘土の塊があるとする。それはその時その空間を占めて

注 1）この論文は人工知能学会の 2013 年度論文賞を受賞している。
注 2）http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/hozo/onto_library/upperOnto.htm

いる。他の物はそこにはいない。そこで、その粘土を変形させて花瓶を作ったとする。何も付け加えずただ変形させただけである。さて、今度はそこに花瓶がある。では、先ほどの粘土は何処に行ってしまったのであろうか？粘土の塊が花瓶に「なった」ので、もう粘土の塊は存在していないのであろうか？そんなことはない、粘土の塊は形を変えても identity は失われないはずなのでそれは存在する。そうだとすると、同じ時刻に同じ空間を占める、花瓶と粘土の塊の二つの物が存在することになり先ほどの原理に反する事態となってしまう。原理を捨てるか、粘土の塊は消えたかどちらかしか選択肢はない様に見える。さて、読者はどう考えるのであろうか[注3]。

これらのことは多少面白くはあっても実践的な効果があまり感じられないかもしれないので、次節ではもう少し知識の表現に絡む話題を紹介する。

4.1.2 概念間の関係

（a）is-a 関係

まず、is-a 関係に注目する。二つの概念が与えられたときどちらが一般的で、どちらが特殊かの判定は容易であると思っている読者が多いと思われる。実際、多くの場合それは正しい。例えば、

机と家具、車と人工物、人間と動物、etc.

などはいずれも左が右の特殊形（右が左の一般形）である。では、次の例はどうであろうか？

＜会社と人の集まり、会社と組織＞
＜教師と職業、教師と人間＞

＜オミナエシと秋の七草＞
＜犬と日本に住む動物＞

先ほどよりは難しくなったのではないだろうか。一番上の行であるが、片方だけ正しい、あるいは両方とも正しいであろうか？両方とも正しいとすると、例えば、会社の一般化した概念として「人の集まり」という概念と「組織」という概念の両方が出来ることになる。実は、理論的なことを言えば、is-a 階層という物の特徴は下位の概念は上位の概念の性質をすべて継承するという性質がある。そうすると、会社は人の集まりが持つ性質と組織が持つ性質の両方の性質を継承する。ここまでは問題ない。実際多くの読者はそれを支持するであろう。問題はこの次である。性質の継承は「すべて」であるので、その概念がいつ変化するかという identity の概念も継承されることになる。人の集まりという概念の identity は、それを構成するメンバーが同じである間は同じと見なされ、一人でも異なれば別の集まりと見なされる。これも万人が認めるところである。そして、組織は政府機関に法人として登録することによって認定される概念であるが、これは登録が変更されない間はずっと同じ組織であり続ける。これも了解であろう。とすると、会社はこの両方の identity を継承することになるが、そうすると問題が発生する。会社は毎年、誰かは定年で退職し、新入社員が入ってくるが、人の集まりとしては毎年異なるものになるが、組織としてはずっと同じものであり続ける。もちろん会社は構成人員が変化したからと言ってその identity が変化していては成り立たない。従って、identity に関しては人の集まりから継承したら困ることになる。しかし、すべての is-a 階層表現言語（あるいは論理）では属性の継承を区別する機能はない。従って一つの概念に関して二つ以上の is-a 関係を結ぶと上述のようなおかしなことが起こり得る。会社の場合には二つ目の＜会社　is-a　組織＞のみが正しいと言うことになる。

次の教師の場合はもっとこみいっている。まず、教師という単語は一つであるが、それが指す意味が異なっており、そこには職業としての「教師」と人間が演じた結果できる「教師」という異なる概念がある。前者は職業の種類を指し、後者はようするに人間である。しかし、＜教師　is-a　人間＞かというと、それは一見正しそうであるが正しくはない。教師はロールと呼ばれる player が必要な概念なので、人間の様な「普通の」概念と同じ is-a 階層に置くことは許されない。理由の要約は、教師ロールは play することを止められるが、人間を止めることは死ぬ以外にできないからである。詳しくは拙著オントロジー工学 [4] の 175 ページ以降を参照いただきたい。

下の二行に移る。オミナエシは秋の七草の一種なのかそれを構成する部分なのかという疑問が湧いてくる。＜犬　is-a 動物＞は間違いなく正しいが、＜犬　is-a　日本に住む動物＞、すなわち、犬は日本に住む動物の「一種」かと問われると躊躇する。説明の詳細は同じくオントロジー工学の 181 ページ以降 [4] をご覧いただくこととして、結論だけ述べると、オミナエシは秋の七草の一種と見ることもでき、部分であることもできる。ひとえに秋の七草の概念をどうとらえるかに依存する。日本に住む動物の方はそれが集合概念であり、クラスとは呼べない物になっているの

注 3）この問題はすぐには答えずに、ここはこのまま通り過ぎることにする。詳細は資料 [8] の 11 ページを参照のこと。

で、is-a ではなく part-of 関係と見なすべきものである。

もう少し、工学的な例を出そう。発電所のようなプラントを思い浮かべていただきたい。発電プラントは大規模な動的システムでありその運転には熟練した運転員が必要であり、彼らは日夜プラント運転に従事している。プラント運転には少なくとも 2 種類の運転がある。日常的な正常時の運転と異常事態が起きたときに行われる復旧運転である。それらはいずれもプラント運転の一種なので、

＜正常運転　is-a　プラント運転＞
＜復旧運転　is-a　プラント運転＞

が成り立つ。一方、プラント運転の実際を考えてみるとある時間帯は復旧運転をしていて、ある時間帯は正常運転をしているはずであり、そう考えると、

＜正常運転　part-of　プラント運転＞
＜復旧運転　part-of　プラント運転＞

も同時に言えそうに思える。さて、どちらが正しいのであろうか。同じ概念同士に is-a と part-of が同時に成り立つことは理論的にあり得ないので、ちょっとした問題となる。

この問題は「プラント運転」という単語が指す概念に二つの別の概念があると言うことに気づけば解決される。is-a が成り立つ場合のプラント運転はプロセスの一種としての運転であり、part-of が成り立つ場合はイベントの一種としての運転である。イベントはプロセスを材料として構成される。イベントは時間空間への展開が終了していることを前提にした概念であり、常に全体物として取り扱われるが、プロセスは本質的に ongoing な物として扱われる。プロセスとイベントの詳細は拙著「オントロジー工学の理論と実践」[8] の 4 章と 165 ページ [4] を参照されたい。

(b) part-of 関係

概念間の関係としては一般・特殊関係と同じくらい重要な関係に全体・部分関係がある。慣習として part-of 関係と呼ばれている。一例として＜エンジン　part-of　自動車＞と書ける。さて、is-a と同様、全体部分関係もわかりやすく、議論するほどの内容がないように思われる読者も多いと思うので、早速問題を出そう。part-of 関係は一般に推移律が成り立つと信じられている。上のエンジンの例を取る。エンジンは部品としてピストンを持っているので、＜ピストン　part-of　エンジン＞となる。これらを合わせると

＜ピストン　part-of　エンジン＞
＜エンジン　part-of　自動車＞

＜ピストン　part-of　自動車＞

と推論され、確かに推移律が成り立つことが確認される。これにはなんの疑問はなかろう。それでは以下の例はどうであろうか？

＜親指　part-of　人としての教授＞
＜人としての教授　part-of　教授会＞

＜親指　part-of　教授会＞

これは明らかにおかしい。従って、part-of 関係の中には推移律が成り立たない場合があると言うことである。さらに、以下の例を見てみよう。

＜エンジン　part-of　自動車＞
＜夫　part-of　夫婦＞
＜木　part-of　森＞
＜一切れのパイ　part-of　パイ＞

4 つとも part-of 関係であることに間違いない。今、部分を全体から取り除いて何が起こるか見てみよう。エンジンを自動車から取り除くとエンジンはエンジンのままであるが、自動車はもう自動車として機能しなくなり、自動車とは言えない物になる。夫婦から夫を取り除くと、夫はただのおじさんに戻り、夫婦は崩壊する。木を一本森から取り除くと、木は木のままであるし、森も森のままである。円形のパイから一切れを切り取っても、切り取った物も残った物もどちらもパイである。

このように、部分を取り除いた後に出来る結果はこの 4 つはすべて異なることが分かる。すなわち、全体部分関係を表す関係は大昔から part-of ただ一つが用いられてきたが、それが表すべき意味としては少なくともこれらの 4 つの意味があること、そして、先に述べた推移律が成り立つ関係と成り立たない関係がある。このように、全体部分関係は実に多様であるにも拘わらず、それを扱う知識表現技術は未熟であると言うことである。

ここまでで十分お分かりいただけたことと思うが、このような話題はこれまで何処にも議論されてこなかった。知識表現と言えば論理が大きな顔をしており、推論速度、推論の完全性、決定可能性などの形式的な側面ばかりが論じられてきた。オントロジー工学は形式ではなく、内容の理論

であり、内容を扱う技術であるという主張が少しは伝わったのではないかと考える。

4.2　技術

オントロジー工学は「内容の理論（theory of content)」と言う側面と「内容を扱う技術（content technology)」という側面がある。今まで少し理論的な側面を解説してきたが、ここでは技術的な面について述べよう。機能オントロジーを例にする。大阪大学産業科学研究所（阪大産研）の來村准教授と私とで 1993 年頃より行ってきた機能モデリングと機能オントロジーに関する研究の一部を、応用に重点を置いて紹介する。

4.2.1 機能オントロジーと機能分解木

この研究の最終目的は任意の人工物の機能構造を記述システムの開発であった。我々はすぐにシステム設計に取りかかるのではなく、機能に関するオントロジー工学的考察を深めることから研究を始めた。その結果、機能に関して良く分かっていないことが多くあることを見いだし、本質的な貢献をするべく問題に立ち向かった。図 3 はその結果得られたオントロジーの階層である。上位オントロジーは別として、主な成果としてデバイスオントロジーという人工物の振る舞いを考察する上で不可欠な概念的な計算モデルを開発し、その上で人工物の振る舞いを定義し、機能を定義した。そして、結果として約 90 個の機能概念を得た。その当時、機能に関する理解が今より進んでいなかったので、機械設計の専門家の間では、機能概念はこの世にはそれこそ無数にあり、機能のオントロジーを構築することは不可能であると思われていた。我々はそのような反対意見を物ともせず、果敢に挑戦して、90 個あまりの機能概念を抽出し、それで極めて多くの人工物の機能構造を記述できることを実証的に示した。言うまでも無く、このことは画期的な成果であり、機械設計の分野に大きな影響を与えた。

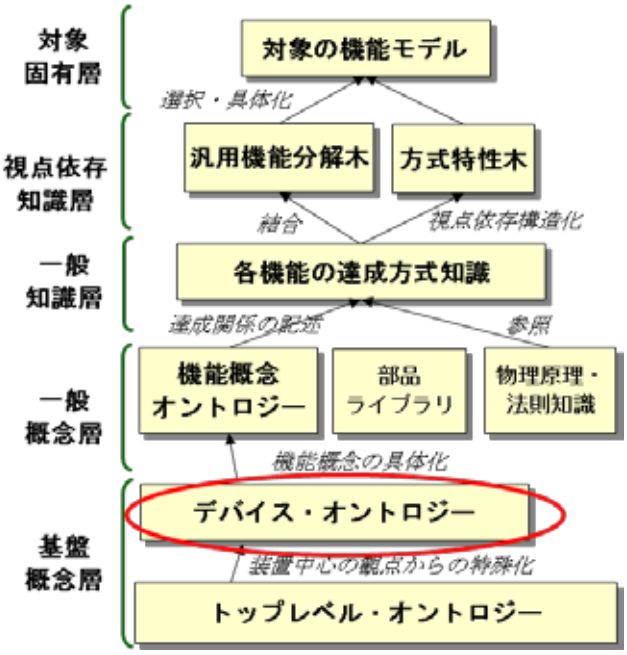

図 3　機能オントロジーの階層

理論的なことは一切省略して、実用的な観点から技術の核になるところを紹介する。溶接機械があるとする。その機能は「溶接する」であると多くの研究者、技術者は信じていた。我々はその常識を覆したのである。「溶接する」は何を達成したいのかということ（what to achieve）と、それをどのようにして達成するのか (how to achieve) という二つの概念から構成されている複合概念であると主張したのである（図 4 を参照)。すなわち、

溶接する　＝　接合する　＋　溶融方式
のり付けする　＝　接合する　＋　糊方式

と言うわけである。もちろんこれは一般化すると以下の様になる。

旧機能概念＝ What to achieve（新機能概念）+ How to achieve

方式は達成方式を概念化したものであり、図 4 に示したとおり、達成するための部分機能列で構成されている。その部分機能の各々が更に別の方式で分解される。この分解を繰り返していくことによって、当初のゴールとも言える最上位の機能を達成するための機能分解木を作ることが出来る。図 4 に示したように、方式が複数ある場合にはそのうちのどれかを選択して機能の分解を進めるので、一つの方式は選択肢の一つとなる。このように機能を分解すると、物を接合するには溶接以外にも「糊方式」と言うやり方があることが分かり、「接合する」という一つの機能に二つの（実際には多数の）達成方式を紐づけることが出来る。

機能概念のことを暗黙的に扱ってしまったが、図 4 に示したように、ノードが機能概念に対応するが、従来の複合概念を分解して生まれた what to achieve に対応する概念を新しい機能と定義したのである。従って上の例では「接合する」が新しく生まれた機能概念である。そして、それは達成方式から独立した概念であるため領域独立性が高いという顕著な特徴を持つ。言い換えれば、これまで無限にあると思われていた理由は、機能概念が領域固有性を併せ

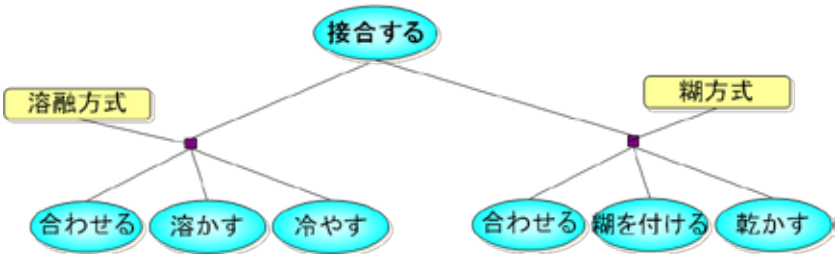

図 4　機能分解の例

持っていたためであり、領域固有性の原因である達成方式を除いた残りの機能概念は領域独立性が高くなると言うわけである。

機能の新しい概念化と同程度に重要な概念が「方式」概念である。方式は機能の達成方式が基づく「原理」や用いられる「主道具・材料」などを概念化したものであり、単なる部分機能列ではないことも重要である。

機能を粒度の大きな機能から小さな部分機能の組み合わせに分解するという、機能分解というアイデア自体は目新しい物ではない。我々の機能分解の新規性は分解自体にはなく、分解の際に用いられた方式という新しい概念と、それを機能から取り除くという二つの概念に新規性と独創性がある。従来の分解は単に粒度を小さくするだけであった。ここに内容を扱う技術としてのオントロジー工学の真価が見て取れるであろう。

筆者等は約 90 の機能概念の意味定義をコンピュータ理解可能な形で実装した機能分解木構築支援ツール SOFAST[5] を住友電工（株）と協力して開発し、同社生産技術部で実用に供した [5]。図 5 に SOFAST 導入の効果をまとめている。中でも最も特筆すべき成果としては、生産技術部の一年間の一人あたり課題処理量が導入前に比べて倍増したことを上げることが出来る。導入の初期の 4 年間の統計データに基づくものであり、定量データとして信頼できる精度での成果である。

SOFAST による機能分解木の最大の特徴は設計図のように設計結果のみを表した物とは異なり、設計者の設計意図を粒度の異なるゴール（達成すべき機能）のゴール階層で表していることに加えて、採用しなかった設計方式をも各 decision point において残せていることにある。これは設計意図の情報としては極めて有用であり、設計図には全く無い機能として重宝された。さらに、現在進行中の共同研究先では、各部署において機能分解した結果の分解木は当然として、それに用いられている方式を蓄積して組織化することによって、各部署における実現方式の Know How 集として体系化するという作業が行われているが、これは新しい機能分解木の利用法としての効果が実証されつつある。

課　題	通常業務の進め方に対する適用効果
1. 特許明細書の作成 請求項の広範囲化	◆特許明細書の請求項が4項→7項に広範囲化
2. 明細書作成期間短縮	◆従来 3～4週間→ ﾊﾟﾃﾝﾄﾏｯﾌﾟ化 1週間
3. 品質不良問題解決	◆4ヶ月間 原因不明の問題を2週間で究明でき解決
	◆5ヶ月間 長大ﾗｲﾝで未解決品質問題が3週間で解決
4. 設備故障原因究明	◆毎回発生していたﾄﾗﾌﾞﾙが3ヶ月経っても解決せず 機能分解木により原因究明し5日間で解決
5. 外観検査画像処理の 開発期間短縮	◆ベテラン技術者の蓄積したﾃﾞｰﾀﾍﾞｰｽにより、 新人技術者が方式選択してソフト開発が完了 通常2週間→新人でも3日間で完了
6. 設備開発の方針決定	◆ﾃﾞｻﾞｲﾝﾚﾋﾞｭｰ実施回数の低減 通常3回→1回で決定
7. 検査装置の性能向上	◆過去の方式ｻｰﾊﾞから改善案 誤検出率 1／10
8. 作業時間分析	◆要素作業時間の組み合わせから最短作業方法決定
9. 設備費低減	◆設備を機能分解し要素部品、構造の価格を積算 価格最小の組み合わせ案を抽出
10. 新構造・機構の開発	◆人の動作を機能分解して自動機を検討することで 自動化開発に成功
11. ラインの改善	◆ 社長賞を受賞（競争率1/8000）

図 5　SOFAST 適用の効果

4.2.2 行為分解木

機能分解の要点は方式概念の導入による機能分解と機能概念の方式独立化にある。この考えを機能以外の行為に当てはめてみよう。機能も行為も何かを達成しようとしている意味では同じであるというずいぶん乱暴な発想である。機能は人工物がすることで行為は人間がすることなのでずいぶん異なる様に見えはするが、本質はゴールを達成することなので共通点はある。機能分解における新しい機能を概念的に表現すると「状態変化だけを概念化したもの」と言うことが出来る。「溶接」も「のり付け」も、機能が発揮し終わってみれば、「以前離れていた二つの物が一体化された状態」になっている。「暖める」にはいろいろな方式があるが、暖め終わったら前より対象物の温度が上がっている。この「状態変化の概念化」という考えは極めて強力である。これに従うと機能分解を行為分解へと容易に一般化することが出来る。

例を挙げる。「歩く」と言う行為を分解できるであろうか？「歩く」は「溶接する」のように他動詞ではなく自動詞であり、処理の対象を持っていないで、機能分解の方法が適用できないように思える。「走る」も同様である。しかし、先ほどの「状態変化の概念化」の方針に従うと、歩くと走るに共通な状態は.... そう、実行後には共に行為者の居場所が変わっている。従って、

歩く ＝ 場所移動する ＋ 歩行方式
走る ＝ 場所移動する ＋ 走行方式

と行為分解することが出来ることが分かる。この例題一つで示唆するところは小さくない。まず、歩くという通常、行為と理解されている概念が我々の行為分解木の理論に従うと行為ではなくなり、むしろ方式と理解され、行為は抽象的とも思える「場所移動する」という状態変化としてとらえられるのである。さらに一般化して言えば、すべて行為からその達成方式概念を取り除いて、残りを方式に依存しない状態変化として概念化すると言うこととなる。いくつか例を挙げると以下の様になる。

切る ＝ 離す ＋ 鋭利刃物方式
洗う ＝ 綺麗にする ＋ 洗浄方式
払う ＝ お金の所有権移転 ＋ カード方式／現金方式／付け方式／等々

実は、非公式な予備的な実験であるが、約 2 万語の動詞を分析してこのような分解の可能性を検討した結果、多くとも 500 個以下の状態変化のみの概念化に対応する動詞（行為）に縮約可能であることが確かめられている。

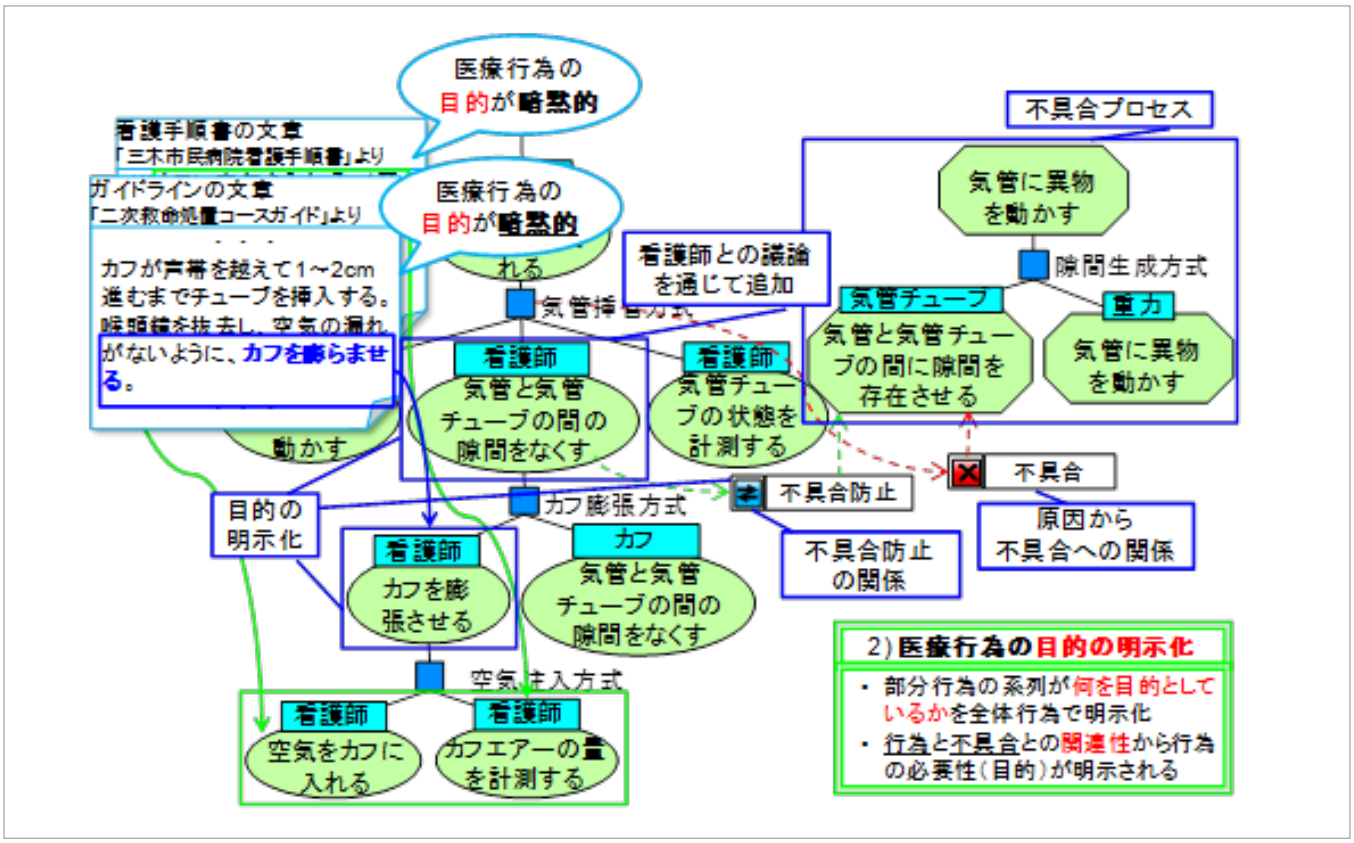

図 6　CHARM-Pad の一部

4.2.3 行為分解木の実用例

上述の行為分解木を医療行為におけるガイドラインに対して適用して、大阪厚生年金病院における看護師の研修に実用されている例を紹介する [9]。機能オントロジーに関して現時点では、90 個の機能概念を拡張しないでそのままを用いて、医療・看護行為の記述ができることを確認しているが、そのことは特筆に値する。我々は医療機関における医療行為ガイドラインに行為分解木の方法を適用して構築したモデルを CHARM モデル、それに基づいて作った分解木を CHARM 木、それをタブレットコンピュータに実装した物を CHARM-Pad と呼んでいる。

大阪厚生年金病院では、半年間かけて行う ICU 研修で CHARM-Pad を正規の教材として用いている。ICU 研修の全てで指導内容項目数は約 30 であるが、これは、厚生労働省の定める新人看護師が基本的に備えるべき技能を示した新人看護職員研修ガイドラインの半分をカバーするものとなっており、規模としては実規模のものである。構築した CHARM 木は 54 個、行為数にして約 3000、方式数は 1300 で、構築に要した工数は約 3.2 人月であった。この全ての CHARM 木に関して教育担当看護師らによる内容確認は終了している。CHARM-Pad は現在、iPad やアンドロイドタブレット端末に実装されている。行為分解木の一部を図 6 に示す。

CHARM-Pad の看護師研修上の最大のメリットは、看護行為がゴール指向で組織化されてグラフィックに表示されることにある。現在の看護行為マニュアルは自然言語で書かれているかフローチャート記述であり、各行為や行為列が持つ意味（達成すべき中間ゴールなど）は暗黙的である。さらに、Alternative としての方式の一覧性が全く無く、同じゴールを達成する際にどの方式が選択肢として存在するかも暗黙的である。CHARM-Pad はこの二つの点に関して明示的に表示してフレンドリーなインタフェースで操作可能な上に、写真や動画を行為に関連して貼り付けてあるので各行為の実行コンテキストの中で実物や先輩看護師の実行ビデオを見ることが出来る先進的な電子化教材となっている。[9]

5. バイオミメティクスでの応用例

理論から始めて、徐々に具体的な応用事例へと進んできた。深い考察が現実の問題解決に貢献していることを読み取っていただけたのではないかと思う。最後の応用として、バイオミメティクスとネイチャー・テクノロジー活用というコンテキストにおける、2030 年を見据えたライフスタイルバックキャスティングに関する研究へのオントロジー工学の適用例を紹介する。これは、東北大学下村政嗣教授をリーダーとする新学術領域研究「生物規範工学」プロジェクトにおいて、東北大学の石田教授、並びに古川准教授と北陸先端科学技術大学院大学（JAIST）の溝口、及び阪大産研の古崎、來村准教授等との共同研究の一環として行われているものである。

2030 年のライフスタイルのひな型は石田教授等の努力によって 1000 を超す候補から優れたライフスタイルが 50 あまりに絞り込まれて検討の対象となっている [10]。ライフスタイル研究の目的の一つに、バックキャスティング方を用いて、現在我々を取り巻いている環境と折り合いをつけつつ、対象とするライフスタイルをどのようにして実現すれば良いかと言うことに関する示唆を与えることにある。安易な言い方をすれば、ライフスタイルが描く未来の生活と現在の技術、社会制度、価値観、生き方などとの橋渡しをすることにあると言える。

そこで再び、行為分解木構築技術の登場である。機能分解木から行為分解木に進化したときには、解釈を少し緩めて機能から行為へ一般化したが、ここで行為分解木の意味を更に緩める。それはゴール分解木という考えである。とにかく、達成したいゴールを方式概念を用いつつ分解するのである。この拡大解釈と同時に、行為分解木を以下の様に拡張した。これまでは、各ノードの親は一つに限られていた、しかし、ライフスタイルの分解の場合、どうしても 2 種類のゴールが存在するのである。一つは、これまで通りのゴールで通常達成したいと考える具体的な状態変化である。あと一つは人間の満足というような精神的なゴールである。いくら、自然エネルギーを有効活用したエコな生活を送ったとしても、心が豊かな生活が出来ていなければそのライフスタイルは正しいとは言えない。この考えに基づいて、行為分解木を Dual-goal のゴール分解木として定式化し直して、2030 年ライフスタイルの分解木を構築し、そこに現れる方式知識、基盤となる語彙／概念を収集・体系化して、理論的な側面と実用的な側面の両面で貢献しようとするものである。

図 7 に電柱を木に似せて作ってエコ発電もするようにして、景観を損なわず、街角の至る所でエコエネルギーの利用者が集い、小さな社交の場となっていると言うようなライフスタイルを分解する木の一部を図示している。青のノードがこれまで議論してきた通常のゴールであり、緑のノードが今回拡張した精神面のゴールである。明示的には青色のゴール達成が分解されていくのであるが、それと並行して常に心の豊かさを意識してそれが暗黙的にせよ、ど

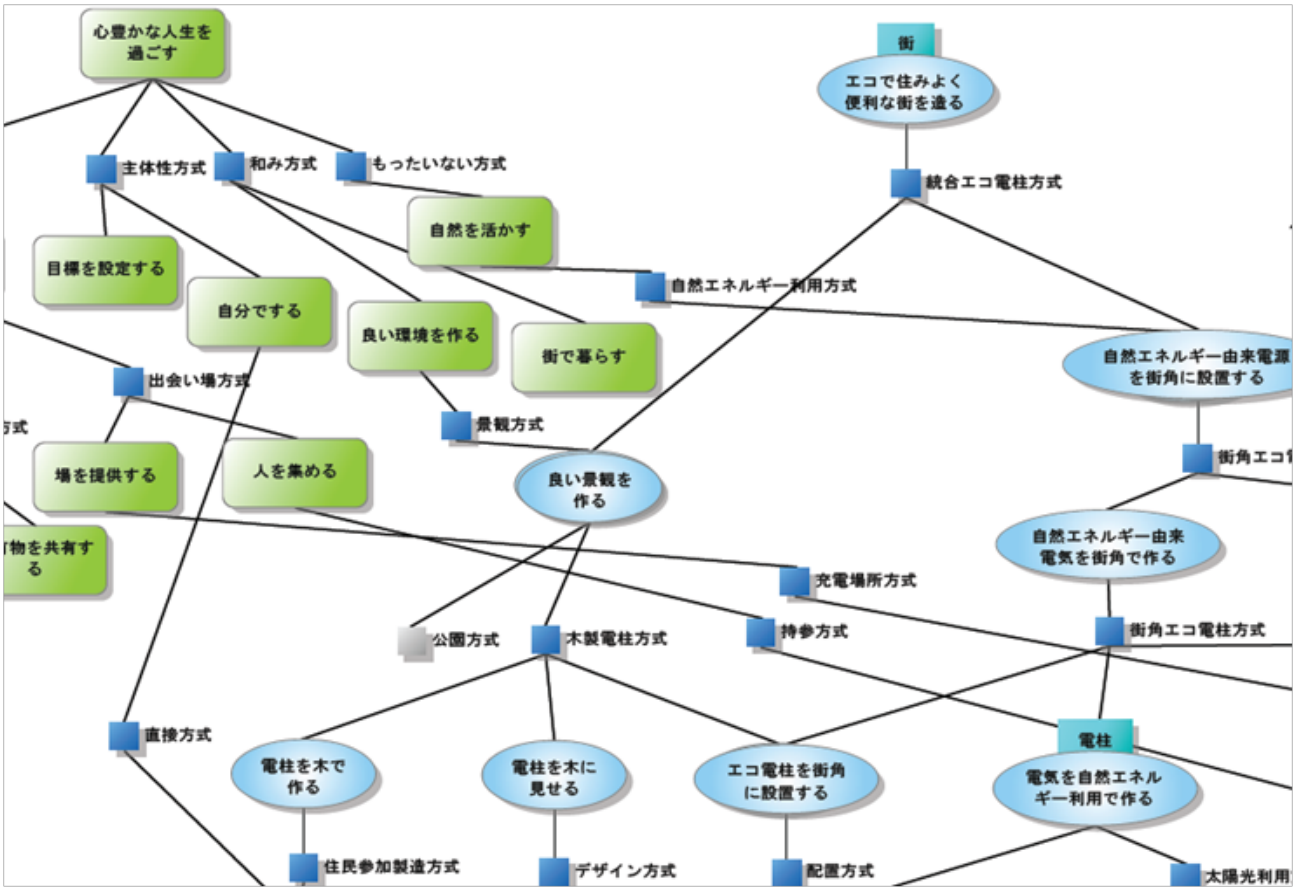

図 7　ライフスタイル分解木

のように達成されているかを明示する。そして、いずれの場合においても、ゴールがどのように達成されるのかという方式概念の抽出に気を配りつつ分解を行い、最終的には現行の技術、開発すべき技術、取るべき政策／施策、なすべき行為などへと分解して行く。このようにして、ライフスタイルを分解する方法論も確立することが出来れば、一定の貢献になると思われる。

6. むすび

オントロジー工学の入門として、基礎理論から具体的な応用までを概観した。オントロジー工学は成熟期にあり、具体的な問題解決を深いところから行うことで本質的な貢献をすることができる大きな可能性を持っている。今後の発展に期待していただきたい。

References：

[1] 下村、次世代バイオミメティクス研究の最前線 - 生物多様性に学ぶ、シーエムシー出版、2011 年 8 月

[2] 住田他、オントロジー工学に基づくサービスの本質的性質の考察、人工知能学会論文誌、Vol. 27, No. 3, pp.176-192 (2012)

[3] 來村、溝口、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

[4] 溝口、オントロジー工学、オーム社、2005

[5] 柏瀬他、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

[6] DOLCE：http://www.loa.istc.cnr.it/DOLCE.html

[7] BFO：http://www.ifomis.org/bfo

[8] 溝口、オントロジー工学の理論と実践、オーム社、2012

[9] 西村他、「ポケットプリセプター」を目指した構造化看護手順ブラウザ CHARM Pad、第 16 回日本医療情報学会秋期学術大会、2-J2-3-8, 2012

[10] 石田他、ネイチャー・テクノロジー、milsil, Vol.4, No.2, 2011