

ナノテク材料技術の知識の構造化プロジェクトにおけるオントロジーの利用 The Use of Ontology in Systematization of Nanotechnology Materials Program Results Project

古崎 晃司^{1*}, 來村 徳信¹, 渡邊 英一², 山形 尚子², 溝口 理一郎¹
Kouji Kozaki, Yoshinobu Kitamura, Eiichi Watanabe, Naoko Yamagata, Riichiro Mizoguchi

¹大阪大学産業科学研究研究所 I.S.I.R., Osaka-University ²(社)化学工学会ナノマテリアセンター
The Society of Chemical Engineers

The research of nanotechnology is extended in various domains, and each domain intertwines with each other closely. Therefore, sharing the knowledge in common among different domains contributes to facilitate research in each domain through cross fertilization. In this background, the Structuring Nanotechnology Knowledge project, which is a NEDO (Japanese New Energy and Industrial Technology Development Organization) funded national project, has been carried out. The goal of the project is to build a material-independent platform for supporting development of innovative nano-materials. It is not a database, a set of simulation tools or a knowledge base, but is an integrated environment composed of structured knowledge supported by advanced IT.

Among many factors, the authors have been involved in building ontology of nanotechnology and its application to knowledge systematization. The key issues of knowledge structuring include how to harmonize different terminologies and viewpoints of the respective domains and how to interface end users with the platform. Ontology of nanotechnology plays a role of glue for seamless connection between different domains and between users and the platform, since it provides us with a conceptual infrastructure of nanotechnology and with a unified framework in which functional knowledge for conceptual design of nanotechnology-made materials and devices and their realization processes. In this paper, we outline the use of Ontology in this project.

1. はじめに

ナノテクノロジーに関する研究は多種多様な領域にまたがり、かつ、これらの領域は互いに密接に絡み合っている。このような多種多様な領域にまたがるナノテクノロジー研究に関する知識を異なる領域間で共有し、互いの研究領域の発展や新規分野の開拓を促進することを目的として、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による「材料技術の知識の構造化」プロジェクトが行われている。知識の構造化プロジェクトでは、ナノサイエンス／ナノテクノロジー／ナノマニュファクチャリングにわたる膨大な量の知識に対し、設計や製造のための「知識の構造化」を行い、*just in time* に使える、ナノ材料開発のための知識の構造化プラットフォームを構築することを目的としている[NMC]。このようなプラットフォームを実現する為には、材料種を限定しない複数領

域の材料知識を、領域を横断して体系化する必要がある。さらに、利用者の要求に十分応えるには、利用者とプラットフォームを「概念レベル」でつなぐインタフェースが不可欠となる。本研究は、オントロジー工学に基づき、これらの要求を満足した、材料知識の体系化を目指している。オントロジーは各領域に共通であるべきナノテク世界を構成する基盤概念を抽出し、構造化する。それと同時に、機能概念を組織化して、一般社会が要求する材料の機能概念を整理して、ナノテク基盤概念との関係を確認する。このことによって、利用者とナノテク材料知識が結合される。

本稿では本プロジェクトにおける、オントロジーの利用の枠組みについて述べる。2章では、知識の構造化プロジェクトで開発を目指しているプラットフォームの概要を述べ、プロジェクトにおけるオントロジーの位置づけを明確

*連絡先：大阪大学産業科学研究研究所 附属産業科学ナノテクノロジーセンター
ナノバイオ知能システム分野, TEL:06-6879-8416, FAX:06-6879-2123,
kozaki@ei.sanken.osaka-u.ac.jp, http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/~kozaki/

にする。3章および4章では、本プロジェクトにおけるオントロジーの大きな2つの役割である、ナノテクオントロジー構築による共通概念の提供、機能概念オントロジーに基づく知識共有枠組みを利用したユーザーの要求からプラットフォームまでのインタフェースの提供、についてそれぞれ述べる。5章では、これらの研究成果に基づき開発した発想支援システムの概要を述べ、6章で今後の課題および将来の展望と共に、本稿をまとめる。

2. 知識の構造化プロジェクト

2.1. 知識の構造化プラットフォーム

これまでの材料開発においては、材料毎の開発が主であり、材料種を越えた技術や知識の共有化が進んでいないために、効率的な研究開発が行われていない。このため、「材料技術の知識の構造化」プロジェクトでは、材料種を限定せずに、材料の合成プロセス、構造、機能およびそれらの関連という観点から、材料技術の知識を構造化し、材料開発の基盤として利用できる「知識の構造化プラットフォーム」の開発を目的している。

知識の構造化プラットフォームは、下記のよ
うな複数のモジュール群から構成される。

分野別知識の構造化システム

分野毎の材料知識を、理論、シミュレーション、評価・解析の3つのワールドに分け互いに自由に行き来することで、分子からマクロ機能までの階層構造を設計ができるように構造化されている。

機能－構造－プロセスの概念設計システム

目的とする基本機能を実現するための材料および構造の候補と、その材料構造を実現するための合成プロセスの候補を提案する。

要素モデルライブラリー

個々の知識を要素モデル化し、既存のシミュレーター等にリンクすることで実問題に対

応可能とした要素モデルライブラリー。

各種データベース群

文献・特許、実験データなどからプロセス－構造－機能の関連付け、不具合、トレードオフの抽出を行い、構造化された文献・特許データベース類。

これらのモジュール群は、「知識層」、「情報層」、「データ層」の3層から成り、Web ベースのシステムとして互いが接続される。ユーザーは各自の目的に応じて、プラットフォームの各モジュールから必要な知識を取得することができる。

2.2. オントロジーの役割

前節で述べた知識の構造化プラットフォームにおいて、本研究では、オントロジー工学を用いた知識の体系化を行い、異なる研究領域の知識の統合的利用を可能とすることを目的としている。本プロジェクトにおける、オントロジーは大別すると以下の2つの役割を持つ。

1) ナノテクオントロジーに基づく分野を横断した共通概念の提供:

複数の領域にまたがる材料知識を、分野を横断して体系化するための、共通概念を提供する。さらに、この共通概念を介して、プラットフォーム内の各モジュール群を互いに接続する枠組みを構築する。

2) 機能概念オントロジーに基づく知識共有の枠組みを用いた「概念レベル」のインタ

フェースの提供:ユーザーが材料に対して要求しているレベルの知識から、本プラットフォームで構造化された材料知識まで、一貫した枠組みを用いて「概念レベル」で接続するインタフェースを提供する。さらに、本枠組みを用いて、材料開発における発想支援システムを構築する。

以下の節では、それぞれの役割について詳しく述べる。

3. ナノテクオントロジーの構築

3.1. 共通概念の必要性

ナノテクノロジーに関する知識は様々な領域にまたがっており、しかも同じ言葉で表される概念であっても領域によってその意味が異なる場合がある。例えば、「ドーピング」という概念は、材料に添加物を加えて材料の特性を変えることを意味する。このドーピングという言葉は、金属やセラミックスの領域においては、全体の5%程度のナノ粒子を加える際に使われるのに対し、ナノ薄膜の分野では1%程度の添加元素を加え結晶構造をひずませる際に用いられる。さらに半導体分野では、0.01%以下の元素添加を意味しており、領域毎に概念のとらえ方が異なっていることが分かる。また、材料分野における「機能」という概念は、分野により強度、磁性、導電性など材料の物性を表す場合や、発光や伝熱変換といったその材料が発揮する現象を指す場合など、様々な意味が混同して用いられている。

領域を横断した知識の共有・構造化を行うには、全体の基準となる領域に共通する概念が必要となる。この共通概念を用いることで、上述のような領域毎の概念の差を明確にし、その差を吸収することができる。複数の領域を対象にして全体に共通する基盤概念を体系化したナノテクオントロジーは、このような共通概念を提供する役割を果たす。

3.2. ナノテクオントロジー

材料分野では、材料の「機能・物性」、材料の物性を決定する「構造」、そのような構造の材料を合成する為の「合成プロセス」という3つの概念が中心として議論されている。本プロジェクトにおいても、機能、構造、合成プロセスのそれぞれに関する材料知識の構造化、そしてこの3つの関連性に関する知識の構造化が中心に行われている。

そこで本研究では、教科書や関連論文を参照しつつ、基本的な用語を抽出し、それらを機能、構造、合成プロセスのそれぞれに分類して、予備的なオントロジーを構築した[NEDO 02]。オントロジーの構築には筆者らが開発したオントロジー構築利用環境「法造」のオントロジーエディタを使用した[古崎 02b]。構築したナノテクオントロジーは、プラットフォームにおける共通概念を提供しモジュール間の連結に利用されると共に、4章で述べる機能概念オントロジーに基づく知識共有枠組みにおいても利用される。

3.3. モジュール間連携の枠組み

2章で述べたように、知識の構造化プラットフォームは、分野別知識の構造化システム、機能-構造-プロセスの概念設計システムをはじめ、シミュレーター、電子教科書、データベース群など、複数のモジュール群から構成される。これらのモジュール群は、それぞれが、材料の機能、構造、合成プロセスに関する知識を構造化している。しかしモジュール毎に、機能、構造、合成プロセスのいずれの知識を扱うかという対象範囲や、実験データから得られた経験的な相関関係から、既に理論から定式化された知識まで、構造化されている知識の粒度などが異なる。よって、それぞれのモジュールで構造化されている知識を関連づけ、プラットフォームとして統合するには、これらのモジュール間を互いに連携させる枠組みが必要となる。

本プロジェクトでは、各モジュールに現れる語彙を、プラットフォームにおける共通語彙に対応づけることで、モジュール間の連携を行う。以下にその概要を示す。

- 1) 文献から抽出したキーワード群や材料に関するシソーラスを用いて、ナノテクオントロジーおよびプラットフォームで用いる共通

語彙を構築する。

- 2) 各モジュールのコンテンツに現れる語彙を共通語彙と対応づけることで、それぞれの共通語彙が表す概念に関する材料知識が含まれるコンテンツへのリンク集を作成する。
- 3) 共通語彙を介して各コンテンツへのリンクを辿ることで、各モジュールを横断した材料知識の検索や、関連するコンテンツへの相互移動を行う。

3.4. モジュール間連携の実現

本研究では、前節で述べたモジュール間連携の枠組みを実現するにあたり、共通語彙と各コンテンツへのリンク情報を一括して管理するシステムを開発した。

プラットフォームにおける共通語彙としては、本プロジェクトで構築が進められている General Index (仮称) を用いている。General Index は、予備的に構築したナノテクオントロジー、特許情報から統計的処理を用いて抽出した重要語、ナノテクの教科書の目次情報などを参照し、各モジュールのコンテンツに現れる語彙をトップダウン的な手法で階層化して構築されている。

この General Index を法造のオントロジーエディタに入力し、オントロジーサーバーを用いてネットワークを介した共通アクセスを可能な状態にした。続いてオントロジーエディタを拡張することで、General Index の各語彙に対応するコンテンツへのリンク情報を付加する為のシステムを作成した。ユーザーがオントロジーエディタを用いて General Index 中の共通語彙を選択すると、その語彙に対応づけられたリンク情報の一覧を参照・編集するためのウィンドウが表示される。そこで入力したリンク情報は、オントロジーサーバーで一括管理される。このシステムで構築した共通語彙のリンク情報は、プラットフォーム内の各モジュール

を横断した検索などに利用される。

現在、語彙数約 2300 の General Index を用いてコンテンツへのリンク付け作業が進められており、モジュールを横断した検索システムのプロトタイプがプラットフォームで運用されている。

今後は、このシステムを用いて、共通語彙に関連づけられたコンテンツの内容を分析して、各語彙が表している概念の体系化を行い、ナノテクオントロジーの構築・洗練に利用する。

また現在の General Index は、ある 1 つの視点からトップダウンに構築されているが、対象領域や視点が異なれば、同じ共通語彙を別の形の General Index として階層化することができる。今後の 1 つとして、このような階層化の視点を整理することで、ナノテクオントロジーに基づき様々な視点で General Index を半自動的に生成することも検討している。

4. 機能概念オントロジーに基づく知識共有枠組みの利用

4.1. 機能概念オントロジーに基づく知識共有の枠組み

機能概念オントロジーに基づく知識共有の枠組みは、分野にまたがる一般性を持った設計者の意図を表す知識として機能に関する知識に注目し、知識に対して規約を与えるオントロジーを提供する[来村 02a]。この枠組みはすでに半導体などの生産装置・工程を主な対象として民間企業において実用されており、設計者・現場オペレータ・特許弁理士などの視点の異なる技術者間の知識共有を促進する効果が確認されている。ここでは、本枠組みの概要を説明する。

4.1.1. 機能分解木

一般に、ある機能は、複数の部分機能を実現することによって達成される。例えば、白熱灯が「発光する」機能は、「フィラメントに電流を流す」「抵抗が発熱する」「発光する」という

部分機能によって達成される。機能達成には、対象の構造や物理原理などの背景(この例では材料が持つ「輻射」という性質)があり、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」と呼ぶ。そして、ある機能(全体機能)を分析し、ある方式に基づいて部分機能の列に分解することを「機能分解」と呼び、これらの関係を木構造で図示したものを「機能分解木」と呼ぶ(図1)。部分機能はさらに機能分解することが可能で、機能分解木は複数の階層を持つ木構造となり、木構造の葉に近い部分により基本的な機能が現れる。このような機能分解をユーザーの要求機能に対して繰り返し適用することで、要求機能から材料設計の領域となる基本機能まで繋げることが出来る。

4.1.2. 方式代替による発想支援

一つの機能を達成する方式は複数存在し、ある方式を新しい方式に代替することで発想がなされる。例えば、上述の「発光する」という機能を達成する為の方式として白熱灯で用いられている「抵抗発熱方式」の代わりに、放電により放出された熱電子を水素原子に衝突させることで発光させる「放電発光方式」が、蛍光灯に用いられている。このとき、様々な方式をデータベースとして蓄えておき、必要に応じてユーザーに提示することで、発想支援を行うことが出来る。その際に重要となるのは、機能や方式を領域に依存しない形で概念化することである。そうすることで、ある領域ではこれまで用いられていなかった方式を、他の領域の

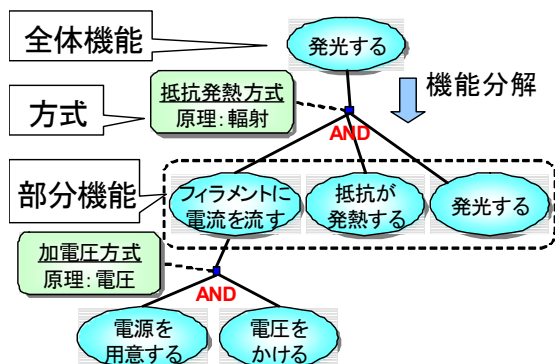


図1：機能分解木の例

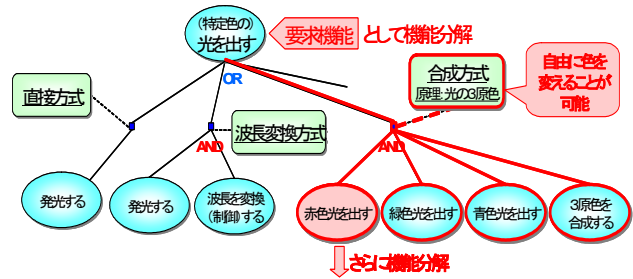


図2：「(特定色の)光を出す」方式

方式において適用し今までに無い画期的な発想がなされることが期待される。

また機能分解木には、設計者の設計意図が、どの方式を選択したかという形で明示される。このような設計者の意図は、複雑なシステムになるほど暗黙的となり他者と共有することは難しい。しかし、機能分解木を用いることで、過去の成功事例や失敗事例において「なぜ特定の方式を選択したのか」という理由を設計意図として明示することが可能となる。さらに、何か不具合が生じたときには、「どの方式が原因か」を分析することで、解決法を効率的に提案することが出来る。また、機能分解木において選択されている方式の組み合わせを比較することで、複数の事例間の相違点が明示化される。このような利点は、特許情報の記述形式として用いると、過去の特許事例の分析や、新しい特許を申請する際の既存方法との差別化に効果を発揮する。

4.2. 材料分野への適用

本枠組みを材料分野に適用するに当たり、材料が持つ「機能」および、材料を合成する「プロセス」を対象として、テストケースとなる機能分解木を構築した。

4.2.1. 材料機能への適当

ここでは「色を自由に変えられる省エネ照明」の開発を目標とした発想支援の例を示す。この目標に対する要求機能は「(特定色)の光を出す」と考えられるので、この機能を全体機

4.2.2. 合成プロセスへの適用

機能オントロジーに基づく知識共有の枠組みを、ナノ薄膜およびナノ粒子の合成プロセスに関する材料知識に適用し、方法論の検証を行うと同時に、両領域にまたがるオントロジーのテストケースを構築した。

本枠組みを材料合成プロセスに適応するにあたり、合成プロセスにおける単位操作の達成関係を基に、機能分解木を構築した。機能分解木の構築には古崎が開発した専用ツールを使用し、ナノ粒子合成プロセスに関する機能分解木(図4)と、ナノ薄膜合成プロセスに関する機能分解木(図5)の構築を、それぞれの分野の研究者にインタビューを通して行った。共に、気相法による合成プロセスを中心に構築し、単位プロセスを表すノードの数はナノ粒子が72、ナノ薄膜が128、各単位プロセスの達成方式を表すリンクの数はナノ粒子が46、ナノ薄膜が92ある。

両者の機能分解木を比較することで、それぞれの合成プロセスの共通点・相違点が明示され、知識の共有・再利用が促進される。例えば、2つの機能分解木から、以下のような点に分かる。

- 1) ナノ粒子・ナノ薄膜の合成プロセスにおいて、最初に行われる「原料となる気体原子を用意する」プロセスは共通しており、それを実現するための部分機能や方式も共通している。

- 2) しかし、その共通部分においても、ナノ薄膜生成においては“薄膜の組成を厳密に制御する為、レーザーアブレーション方式がよく使用される”といった領域毎に特徴が現れている。

- 3) ナノ粒子の合成においては、「凝集制御や合成後の後処理」が重要となるため、それらに関するプロセスが多く見られるのに対し、ナノ薄膜合成においては「基盤の平坦さ」が重要となるため基盤を平坦にするプロセスが加わっている。

このようなテストケースの構築から、本枠組みを用いて材料の合成に関する知識の体系化が行えることを確認できた[垂見 03]。

5. 発想支援システムの実装

5.1. オントロジーサーバーへの知識の格納・共有化

構築された機能分解木やオントロジーに基づいて小規模な知識の共通化をはかり、オントロジーサーバー[古崎 02b]に格納し、その性能を確認すると共に問題点を改善した。オントロジーサーバーには、オントロジーエディタ[古崎 02a]を用いて構築した「機能オントロジー」および「方式知識」を格納した。機能オントロジーは、機械分野を対象に構築したものに、4章で述べた例題に必要な化学系分野の機能を追加して利用した。機能オントロジーで定義される機能概念の多くは対象とする領域に

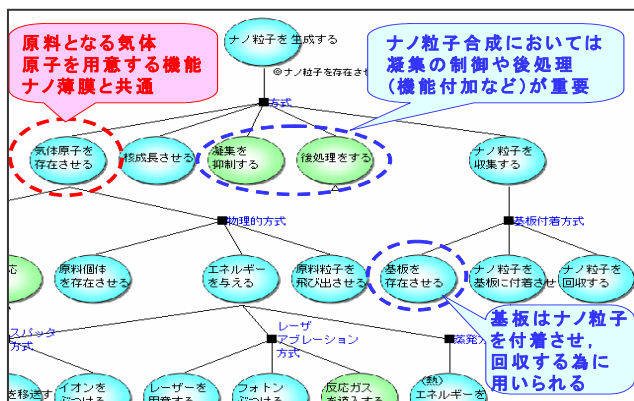


図4：ナノ粒子合成プロセスの機能分解木(一部)

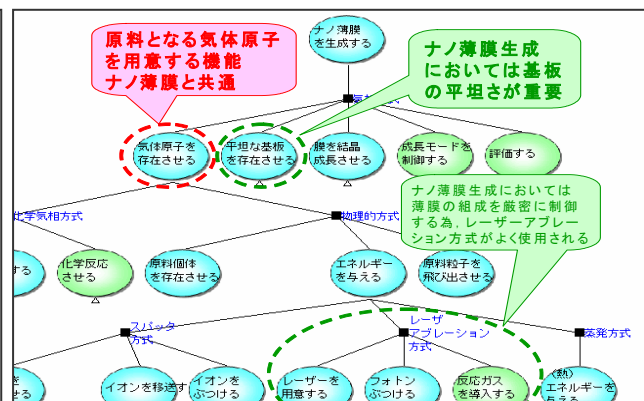


図5：ナノ薄膜合成プロセスの機能分解木(一部)

依存せず、複数の領域で共通して利用することができると考えられている。現在、物質・力・運動・エネルギーに対して機能する機能概念がオントロジーとして定義されており[來村02a]、今回対象として例題においてもこれらのオントロジーで定義されている機能概念を利用することができた。しかし、化学反応に関する機能や、光に関する機能など、従来の機能オントロジーの拡張についても、今後の検討が必要と思われる。

方式知識に関しては、機能分解木を記述する際に現れる「方式」を is-a (上位-下位) 関係で整理した「方式 is-a 木」を構築し、オントロジーサーバーに格納した。機能分解木は、この方式 is-a 木から、全体機能を達成する方式を繰り返し選択することで構築される。例えば「発光する」機能を達成する方式には、図6で示すような5つの方式が定義されており、こ

でルミネセンス方式を選択したとすると、次にその部分機能（例えば「励起させる」機能）を達成する方式を方式 is-a 木から選択し、機能分解木を動的に構築していくことができる。

5.2. 発想支援システムの試作

続いて、オントロジーサーバーに格納したこれらの知識を用いて動作する、発想支援システムの基本設計を行い、「方式知識に基づくナノテク材料開発発想支援システム」の簡単なプロトタイプシステムを開発した。オントロジーサーバーには、先に述べたオントロジーと方式知識が格納され、これらに基づいて様々なプロジェクトの成果として得られた材料知識が構造化される。実社会からの要求機能は、基本機能へ分解されシステムに入力される。材料設計者は、発想支援システムを介してオントロジーサーバーに格納された方式知識から要求機能を

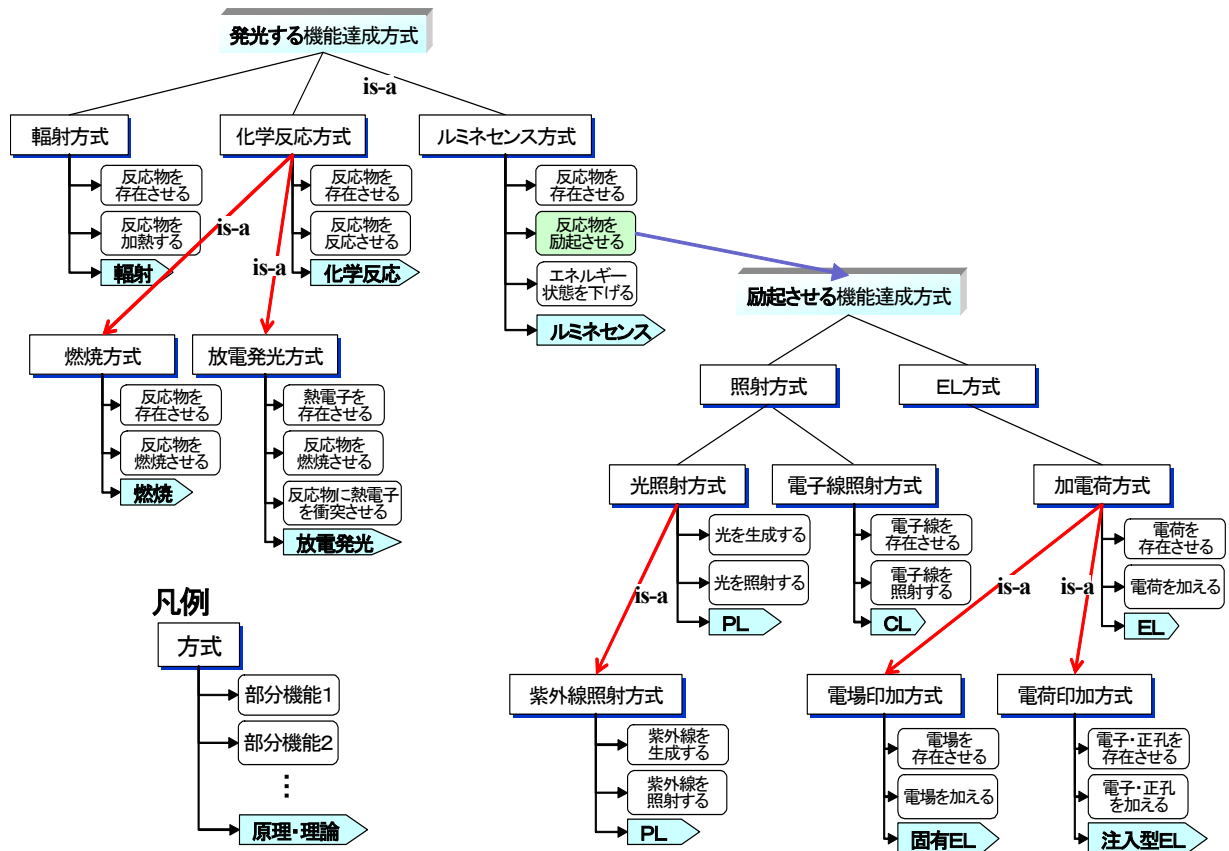


図6: 「発光する」に関する方式 is-a 木

達成する方式を検索・選択し、機能分解木を構築することで材料の設計を進める。その際、オントロジーサーバーは必要に応じて、知識の構造化プロジェクトで開発が進められているナノテクプラットフォーム上のシミュレーターやデータベースなどの他のシステムに接続し、そこで得られた結果から材料設計に必要な情報をユーザーに提示する。

図7に本システムの画面を示す。ユーザーが機能一覧から要求機能を選択する(①)と、その機能を達成する為の方式をデータベースから検索し、結果の方式一覧を表示する(②)。その際、方式は is-a (上位-下位) 関係を用いて階層的に表示され、ユーザーの選択を容易にする。次にユーザーが適用する方式を選択する(③)と、要求機能の機能分解が行われ、その結果を機能分解木として表示する(④)。なお、機能や方式の定義内容の詳細に関しては、別の箇所に表示される(⑤、⑥)。これらの画面には、「構造設計システム」や各種シミュレーターなど、知識基盤プラットフォーム内の他のシステムとリンクが表示される。例えば「ルミネセンス方式」を用いる際に、どのような材料が使用できるかを調べて実現可能性を検証する際には、「機能-構造の概念設計システム」に

ジャンプして、その結果を基に方式の選択を再考することができる。以下、同様の作業を繰り返すことで、ユーザーの設計意図を機能分解木として管理しながら、ユーザーの発想を支援する。システムの実装には Java 言語を使用し、web ページ上から利用可能な Java アプレットとして開発した。

6. まとめ

本論文では、NEDO による材料技術の知識の構造化プロジェクトにおけるオントロジーの利用について概要を述べた。本プロジェクトにおいてオントロジーは、ナノテクオントロジーによる共通概念の提供、機能概念オントロジーに基づく知識共有枠組みを利用した発想支援、という2つの役割を持つ。

ナノテクオントロジーに関しては、機能、構造、合成プロセスを中心に準備的な構築を行った。この過程で、材料の「機能」に関しては従来の枠組みにおける「機能」に加えて、材料の性質や物性を表す「機能」を峻別して扱う必要があるという知見が得られ、今後検討を進めていく。また、「構造」については、原子・分子レベルの結晶構造から、ナノ単位の構造、さらにそれらが集まった材料全体の構造など、様々なレベルがあり、これらの扱いは検討課題の1つである。今後は、プラットフォームの共通語彙に対応づけられたコンテンツ類の分析を通して、ナノテクオントロジーの構築・洗練を行う。

また本論文では、機能概念オントロジーに基づく知識共有枠組みを材料分野に適用し、それを利用した発想支援システムの概要を述べた。本システムは、様々な領域における材料知識を、「機能概念」と「方式」に分離して体系化することによって、異分野間における知識を共有し、それを用いてユーザーの発想を支援することが出来る。現在、特許情報の分析を始め、様々

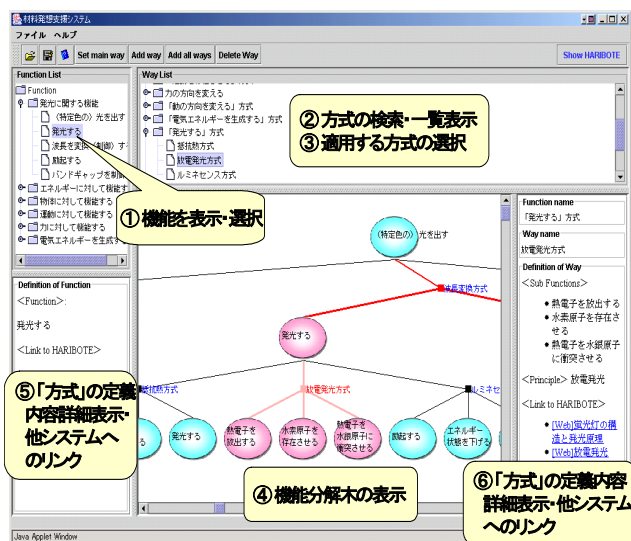


図7：発想支援システムの画面例

な情報をもとに方式知識の収集と体系化を進めている。

今後は、これらの研究を進めていくことで、様々な領域を横断した知識の体系化を目指す。

謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による「材料技術の知識の構造化」プロジェクトの一環として、(社)化学工学会との共同研究として行われている。

また本研究の遂行にあたり、材料分野に関する専門知識の提供をして下された、大阪大学産業科学研究所の田中秀和氏、および中山忠親氏に感謝致します。

参考文献

- [NMC] 「材料技術の知識の構造化」プロジェクト
Webs サイト, 東京大学工学部総合研究機構
(社)化学工学会 ナノマテリアセンター,
<http://nmat.t.u-tokyo.ac.jp/>
- [NEDO 02] NEDO 材料ナノテクノロジープログラム 材料技術の知識の構造化プロジェクト 報告書, 2002
- [小路 03] 小路悠介, 来村徳信, 溝口理一郎, 機能モデルにおける補助機能の分類とその設計意図の明示化について, 第17回人工知能学会全国大会, 1E1-05, 2003
- [古崎 02a] 古崎晃司, 来村徳信, 佐野年伸, 本松慎一郎, 石川誠一, 溝口理一郎, オントロジー構築・利用環境「法造」の開発と利用－実規模プラントのオントロジーを例として, 人工知能学会論文誌, Vol.17(4), pp. 407-419, 2002
- [古崎 02b] 古崎晃司, 来村徳信, 池田満, 溝口理一郎: “「ロール」および「関係」に関する基礎的考察に基づくオントロジー記述環境の開発”, 人工知能学会論文誌, Vol.17(3), pp.196-208, 2002
- [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, 人工知能学会誌, 17(1), pp61-72, 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支援における利用, 人工知能学会誌, 17(1), pp.73-84, 2002

[来村 03] 来村徳信, 小路悠介, 高橋知伸, 吉川真理子, 柏瀬雅一, 布瀬雅義, 溝口理一郎: 機能的設計知識記述・共有の枠組みとその実用展開, 第17回人工知能学会全国大会, 1E1-04, 2003.

[垂見 03] 垂見晋也, 古崎晃司, 来村徳信, 渡邊英一, 溝口理一郎, ナノテクノロジー材料合成プロセスに関する機能的知識の体系的記述の試み, 第17回人工知能学会全国大会, 1G2-04, 2003