

# 機能発揮・製造プロセス知識統合的記述枠組みに基づくナノテク材料設計支援システムの開発

## Development of a Design Supporting System for Nano-Materials based on a Framework for Integrated Knowledge of Functioning-Manufacturing Process

垂見 晋也

Shinya Tarumi

大阪大学産業科学研究所

I.S.I.R. Osaka University

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

古崎 晃司

Kouji Kozaki

(同 上)

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

來村 徳信

Yoshinobu Kitamuro

(同 上)

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

溝口 理一郎

Riichiro Mizoguchi

(同 上)

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

**keywords:** ontology, nano-material, design support system

### Summary

In the recent materials research, much work aims at realization of "functional materials" by changing structure and/or manufacturing process with nanotechnology. However, knowledge about the relationship among function, structure and manufacturing process is not well organized. So, material designers have to consider a lot of things at the same time. It would be very helpful for them to support their design process by a computer system. In this article, we discuss a conceptual design supporting system for nano-materials. Firstly, we consider a framework for representing functional structures and manufacturing processes of nano-materials with relationships among them. We expand our former framework for representing functional knowledge based on our investigation through discussion with experts of nano-materials. The extended framework has two features: 1) it represents functional structures and manufacturing processes comprehensively, 2) it expresses parameters of function and ways with their dependencies because they are important for material design. Next, we describe a conceptual design support system we developed based on the framework with its functionalities. Lastly, we evaluate the utility of our system in terms of functionality for design supports. For this purpose, we tried to represent two real examples of material design. And then we did an evaluation experiment on conceptual design of material using our system with the collaboration of domain experts.

### 1. はじめに

現在, 材料系分野ではナノテクノロジー技術によって「特定の機能を向上させた材料や, 複数の機能を持った材料を製造する」ことを目的とした研究が盛んに行われている. このような材料設計の際には「(その材料で) 目指す機能をどのように達成するか」, 「その機能で注目する属性 (パラメータ) がどのような属性と関係があるのか」, そして, 「そのような機能や属性を持つ材料を作るには, どのような製造プロセスを用いればよいか」など, 様々なことが同時に検討されている. また, その組み合わせは膨大な数になり, しかも各検討事項は密接に関連している.

筆者らはこのような材料設計を支援する計算機システムを開発するため, 材料分野の専門家へのインタビューを通して, 材料設計・開発者がどのような考えをもとに材料設計を行っているかを分析し, 設計者の思考過程モデルを構築した. その結果, 材料設計では特に, 材料が発揮する機能の性能とそれを作るための製造プロセスが密接に関連しており, 機能と製造プロセスの設計が同時に検討される点が, 機械などの一般的な設計と比べて非常に特殊な点であることが分かった. また, 材料が発揮する機能において注目する属性がその製造プロセスと密接に関連していることも指摘されており, これらのことが, 材料設計をさらに複雑なものにしているという意見も得た. このような材料設計における組合せや検討事項

を実験によって確かめる前に、計算機を用いて効率的に組合せの選択肢を絞り込むことができれば、材料開発の効率化に繋がり、新規材料の開発に貢献することが期待される。

本研究はこのような材料設計を概念レベルで支援するシステムの開発を目的としている。このようなシステムを実現するためには、材料の機能や製造プロセスに関する知識をシステムに体系的に格納し、それらの知識を効果的に利用して設計を行うことが重要となる。

そこで本研究では材料の機能や製造プロセスに関する知識を体系的に格納する知識の記述枠組みを開発し、それに基づく知識記述システム、並びに設計支援システムの開発を行う。

以下、2章では本研究で扱う概念設計について述べる。3章では本研究で開発した材料の機能・製造プロセス知識の記述枠組みについて述べる。4章では本研究で開発したシステムについて述べ、5章では本システムの評価・検証を行う。6章では関連研究との比較を述べ、最後に今後の検討課題を述べて本研究を総括する。

## 2. 機能分解木を用いた概念設計

本研究では材料の機能や製造プロセスの概念設計を、「機能的知識共有枠組み」[來村 02a, 來村 02b]を用いて行うシステムを開発する。まず、機能的知識共有枠組みの概要について述べる。

一般的にある機能は更に詳細なグレインサイズで捉えた部分機能の集合によって達成されている。機能を異なるグレインサイズで捉えた結果の機能達成階層は概念設計における機能分解 [Pahl 88] の結果を示しており、それをモデル化したものが機能分解木である。この枠組みでは人工物の機能発揮に関する知識を筆者らが開発した「機能概念オントロジー」に基づき「方式概念」を用いて機能分解木で記述する。楕円形のノードには機能が記述され、複数の部分機能の組み合わせである機能を達成する場合は、必要な部分機能への枝をくくり AND を表記する。その際、ある機能とそれを達成する部分機能系列間の枝には、部分機能系列がどのような背景知識によって達成関係を満たすかを概念化した「方式」を示す吹き出しに、用いられている方式名、原理等を明記する。また、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小さなグレインサイズの機能が現れる。例えば白熱電灯が「発光させる」という機能を達成するには「フィラメントに電流を流し」、それによって「抵抗を発熱させ」、「発光する」。これは輻射という原理を利用した「抵抗発熱方式」を用いて図1のような機能分解木で表すことができる。また、ある機能を達成する方式は通常複数考えることができる。例えば「発光させる」という機能の場合、LED 灯で用いられている「ルミネ

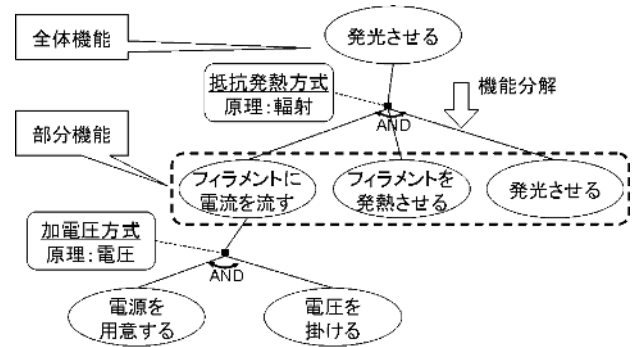


図1 機能分解木

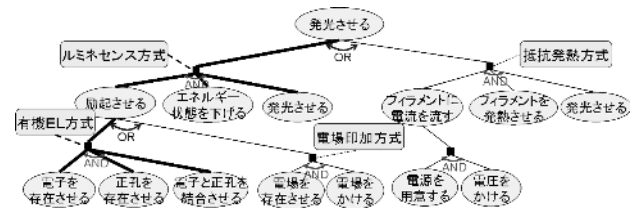


図2 汎用機能分解木

ンス方式」などがある。本枠組みではこのような方式選択の候補を機能分解木に OR 木として記述する。さらにルミネセンス方式の部分機能「励起させる」を達成する方式も「有機 EL 方式」と「電場印加方式」があり、方式選択の候補として OR 木として図2のように記述できる。このように1つの機能に対して複数の方式を残した機能分解木を特に「汎用機能分解木 [來村 02b]」と呼ぶ。

本研究が対象とする機能分解木を用いた概念設計とは、設計者がある機能を達成する複数の方式の中から設計する材料に適した方式を採用するというを繰り返して機能分解木を構築することを指す。例えば、図2では「発光させる」という機能を達成する方式として「ルミネセンス方式」を採用し、ルミネセンス方式の部分機能「励起させる」では、「有機 EL 方式」を採用していることが表されている。この「複数ある方式から1つの方式を採用する」という行為は概念設計段階における設計行為のひとつに相当し、本研究ではこのような機能分解木の構築過程を支援することで概念設計の支援を行う。

このような概念設計を行う際に、重要となるのは、機能や方式を領域に依存しない形で記述、蓄積することである。それにより、ある機能を達成する方式に囚われずに列挙でき、他の領域で用いられる方式で、ある領域では知られていなかった方式を適用することによって、今までに無い画期的な発想に繋がる可能性が期待される。本記述枠組みでは、機能概念オントロジーによって領域に依存しない形で定義された機能概念を用いて、機能や方式を記述する。

この枠組みを用いたシステムとしては、方式知識ペー

スを用いた方式探索システム [來村 02b] が開発されている。このシステムは設計対象の機能モデル (機能分解木) に対して、

- 対象において与えられた属性を持つ方式を検索することによって、不具合の直接的な原因となっている可能性のある機能達成方式を提示する。
- ある達成方式を代替できる方式群を提示する。その際に特定の視点から方式を分類することができる。
- 選択された方式で、対象の機能構造を変更する。
- 達成方式を代替したことにより生じる原理的レベルでの不整合や改善の余地を達成方式の制約を検索することで発見し、提示する。

といった機能を持つ。

このシステムは設計対象の機能構造が予め用意されており、その機能構造の改善を支援するシステムであり、新規の機能構造の概念設計は対象にしていない。また、この枠組みでは材料設計において特に重要とされている属性 (パラメータ) の概念を記述できないなど、材料系分野に適用するには枠組みの拡張が必要となる。よって本研究ではこの枠組みを材料設計に向けて拡張を行い、それに基づいた材料設計支援システムを開発する。次章では、材料設計支援に向けてこの枠組みを拡張する。

### 3. 機能・製造プロセス知識統合的記述枠組み

ここでは前章で述べた従来の枠組みを材料設計支援に向けて拡張した「機能・製造プロセス知識統合的記述枠組み (図 3)」について述べる。材料設計の際に材料系研究者が注目することが多いのは「その機能の注目する属性 (パラメータ) をどのように向上させるか」ということであり、注目する属性が別のどの属性と関係があり、影響を受けるのかということに関心がある。また、機能と製造プロセスを統合して材料設計を行っており、この際にも属性同士の関係に注目している。従来の枠組みではこれらのことに対応できないので、本研究では従来の枠組みに、

- (1) ナノテク材料の性質、属性、特性の峻別・定義 [垂

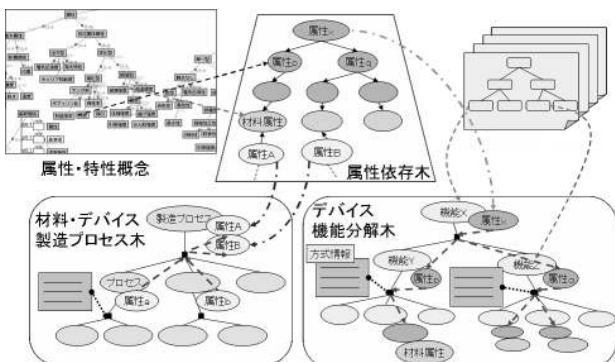


図 3 機能・製造プロセス知識統合的記述枠組み

見 04]

- (2) 属性とそれらの依存関係

- (3) 材料の機能と製造プロセスの統合的記述

を導入し、拡張を行った。以降、それぞれについて述べる。

#### 3.1 ナノテク材料の性質、属性、特性

材料系分野においては、「発光する」、「磁界を制御する」のように従来の枠組みが対象としていた機能のほかに、「高導電特性」など材料がある性質を持つことを「(電気伝導) 機能を持つ」という言葉で表現することが多く見られる。本研究では、材料のある特定の物理的観点における特徴を「性質」、その観点における特徴量を「性質量」と呼び、性質を「属性」と「特性」の 2 つに大別して扱う。

「属性」とは定量、定性を問わず、いわゆる値 (属性値) を性質量として持つ性質を指す。それに対し、「特性」とは「持つ・持たない」ということに関する性質値を取る性質を表し、ある属性とその属性値に対して、ある特定の値を閾値として「高い」「低い」といった定性化 (値定性化) を行ったのち、その定性化された値を持つという性質を概念化 (値・特性変換) した結果であると定義できる。これらの概念操作を加えることで、特性概念は「ある性質 (属性) がある値であること」という意味を含むことができ、その値は「持つ」「持たない」という意味を持つ Yes, No の 2 値になる。これらのことから「特性」とは「ある属性が特定の属性値であるかどうか」を表す性質であり、性質と性質値の組に関する性質であると言える。本研究では、次節に述べる枠組みで属性と特性を扱う、なお属性から特性を作る概念操作の詳細については本論文の範囲を超えるため [垂見 04] を参考にされたい。

#### 3.2 機能属性と属性間の依存関係

##### § 1 機能属性

「発光させる」は光を出すという機能を達成している。このとき、出てきた光の「輝度」や「波長」は、その光の性質を決める属性と考えられ、光を出すという機能達成の結果の属性と考えられる。一方、2 つの物体を「合わせる」という機能が達成される際、2 つ物体の「接近速度」は合わせるという機能の達成中の属性と考えることができる。このような、機能達成の結果の属性と、機能達成中の属性を併せて「機能属性」と呼ぶ。

##### § 2 機能属性の依存関係

図 4 のように機能分解木中で機能属性は機能ノードの下に表示される。全体機能の機能属性は部分機能の機能属性に依存している。図 4 ではそれらの依存関係を破線で表している。例えば、「発光させる」という機能の機能属性「輝度」は部分機能である「励起させる」の機能属性「励起分子数」に依存し、「波長」は「エネルギー状態



D) その他の情報 例)「良い材料があった」、「半導体的な考え方である」

これらの分類は、本研究で筆者らが 2 人の材料研究者の協力を得て、材料の機能や製造プロセスの機能分解木を構築した際に、方式を選んだ理由をインタビューした内容を分類したものである。方式情報では「再利用性のある方式の一般的な情報(「対象物の強度:3.0kg/mm<sup>2</sup>以上」、「入力物:金属不可」など)」だけではなく、「特定の設計事例における説明や相対的な記述(「増幅率:高い」、「出力物の表面:荒い」など)」も記述することを許している。ここでは両者を区別するために、後者のような特定事例における方式情報は\*印をつけて示している。なお、特定の設計事例における説明や相対的な記述は、適用するドメインによって解釈が異なる可能性があるため詳細設計時には注意が必要となるが、その方式が対象としているドメインが分かれば一般的な解釈は推測できるため、採用する方式を検討する判断材料の 1 つとしては有効であると思われる。特に、本研究では対象をナノテク材料に限定しているため、解釈が大きく異なることは少ないと考えられる。

3.3 製造プロセスへの適用と機能と製造プロセスの繋がり

§ 1 機能的知識共有枠組みの製造プロセスへの拡張

元来人工物の機能的知識を体系的に記述するために開発された機能的知識共有枠組み [來村 02a, 來村 02b] を対象となる材料・製品の製造プロセスも、製造プロセスの 1 工程を機能分解木の機能と考え、1 つ 1 つの工程のグレインサイズを小さくすることで機能分解木と同様に記述することができる。このように材料の製造プロセスを機能分解木で記述すると、1 つの材料の機能と製造プロセスを同じ構造で記述することができ、知識の共有・再利用が可能になると考えられる。本研究では機能分解木と区別するために機能分解木を記述する枠組みで、製造プロセスを記述したものを「製造プロセス木」と呼ぶ。有機 EL ディスプレイの製造プロセス木の一部を示す(図 6)。製造プロセスでも機能と同様に機能属性を考慮することができる。製造プロセスにおける機能達成の結果は製造した材料であるから、製造プロセスでの機能属性はできあがる材料の性質を表す。例えば、図 6 の「有機 ELD を製造する」という製造プロセスの出力物は製造された有機 ELD であり、その機能属性は有機 ELD の性質を表している。

§ 2 機能と製造プロセスとの繋がり

図 4 の機能分解木において「発光させる」という機能はディスプレイがシステム全体として発揮している。最も下層の機能は電子輸送層や発光層などの材料が直接発揮している。このように機能分解木において機能を発揮している主体を材料、部品、システムなどの区別をせず「装置」と呼ぶ。一方、図 6 の製造プロセス木はそれら

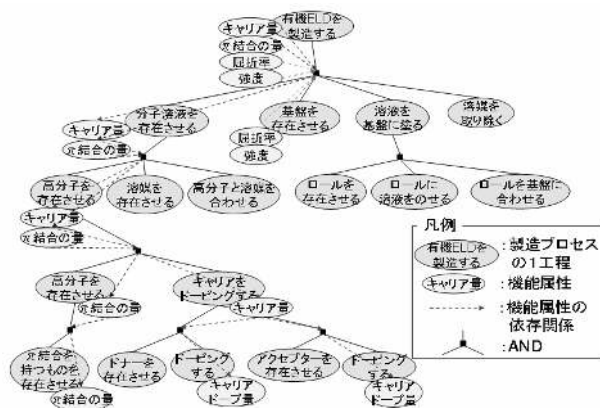


図 6 有機 EL ディスプレイの製造プロセス木

の装置のうち、機能分解木における最下層の主体である「材料」を製造する工程を表している。この機能と製造プロセスの関係は材料だけではなく、一般の人工物においても同様に記述することができる。

機能分解木において、機能属性の依存関係をたどっていくと、製品の機能を改善するためにはどのような属性を持つ材料を使用すれば良いかわかる。さらに、そのような属性を持つ材料を製造する方法は、製造プロセスの機能属性の依存関係をたどっていくことで、知ることができる。つまり、材料の機能分解木と製造プロセス木との関係と、それぞれの木の属性間の一貫したフレームワーク連続性をもって記述することができる。

ここまでで述べた内容、材料の機能と製造プロセスに関する知識を統合的に記述する枠組みの全体像は図 3 のようになる。これを「機能・製造プロセス知識統合的記述枠組み」と呼ぶ。

4. 設計支援システムの開発

4.1 システム構成

本システムは機能分解木や製造プロセス木の構築・編集を行う「機能・製造プロセス知識統合的記述システム」と、方式知識や本システムで構築された機能分解木・製造プロセス木を蓄積する「知識管理サーバ」の 2 つのシステムから構成される(図 7)。以降、それぞれのシステムについて概要を述べる。

§ 1 機能・製造プロセス知識統合的記述システム

本記述システムは前章で述べた機能・製造プロセス知識統合的記述枠組みに基づいて実装されており、機能分解木と製造プロセス木の間を管理し、統合的な知識を記述できる機能、拡張した機能分解木を記述する機能、構築した機能分解木から機能属性とその依存関係を自動的に抽出、表示する機能を有する。

本記述システムの画面構成は、機能属性と属性の依存関係を含む機能分解木を記述・編集するメイン画面、属性依存木を表示する属性依存木表示画面、新たに方式知

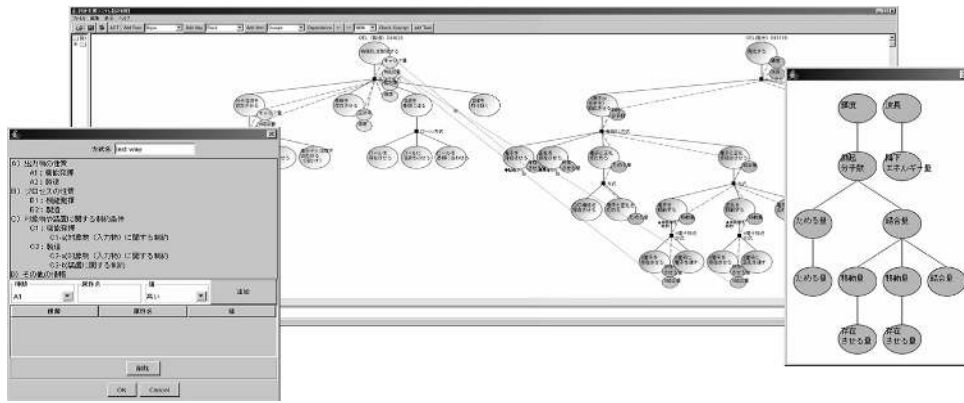


図 8 機能・製造プロセス知識統合的記述システム  
左：方式定義画面 中央：メイン画面 右：属性依存木表示画面

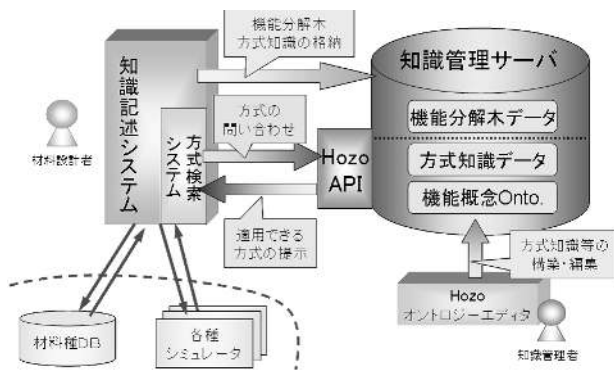


図 7 材料設計支援システムのシステム構成

識を定義し知識管理サーバに蓄積するための方式定義画面からなる(図8)。メイン画面では機能分解木ノードとリンクを用いてグラフィカルに表示・編集する。機能分解木は、機能を表す機能ノードと、方式を表す方式リンク、機能属性を表す機能属性ノード、属性間の依存関係を表すリンクで表示される。また、メイン画面では複数の機能分解木・製造プロセス木の記述・編集を行うことができ、材料の機能と製造プロセスを同時に編集し、機能分解木と製造プロセス木の間にかれる属性間の依存関係も記述することができる。属性依存木表示画面ではメイン画面で記述・編集された機能分解木の属性依存木を表示する。ここに表示される属性依存木は機能分解木から機能属性ノードと属性の依存関係のリンクをシステムが収集することで自動的に構築される。また、方式定義画面では、新規に記述した方式知識を、方式情報を添付して、方式知識を定義し知識管理サーバに蓄積することができる。

§ 2 知識管理サーバ

知識管理サーバには記述システムで構築された機能分解木や製造プロセス木、方式定義画面で定義された方式知識が蓄積されている。材料設計の際に、本サーバにアクセスし必要な情報を材料設計者に提示することで設計支援を行う。

4.2 システムの実装

本システムは機能分解木、方式知識、機能概念オントロジーの3種類のデータを用いている。方式知識は機能概念オントロジーに基づき記述されており、方式知識と機能概念オントロジーは、オントロジー構築・利用環境「法造」(<http://www.hozo.jp>)上で管理されている。このようにオントロジーに基づいて方式知識を記述、管理、蓄積することで、本システムは材料設計を行う際に、領域に囚われることなく方式を検索し、設計者に提示することができる。また、機能分解木は方式の組合せで構成されており、機能分解木中で用いられている方式とシステム内に蓄積されている方式知識をリンクさせることで、機能分解木中の方式情報を参照することができる。また、システム内の機能概念オントロジーを参照しながら機能分解木を構築することで、システム内の方式知識の検索を容易に行うことができる。

なお、機能・製造プロセス知識統合的記述システムはJavaで実装されており、ここで構築される機能分解木は独自のXML形式で蓄積される。また、知識管理サーバの実装には法造上のオントロジーやモデルを操作するためのAPIを用いている。

4.3 設計支援の流れ

本システムでは、新規材料の設計と既存材料の改良設計の両方を支援する。以下の部分では、それぞれの設計について、本システムがどのように支援を行うかを示す。本システムでの新規材料の設計は、

- (1) 材料の機能を設計(機能分解木の構築)
- (2) 選択した方式が適用できる材料の属性から、製造プロセスで注目する属性を決定
- (3) 決定した属性に注目して製造プロセスを設計(製造プロセス木の構築)
- (4) 必要に応じて改良設計を行う(機能分解木・製造プロセス木を変更する)

という4つの段階を用いて行う。

#### 4.4 実例を用いた設計支援例

材料設計の例として、新規磁気メモリ材料となるナノ薄膜の設計を具体事例 [Kanki 03] を用いて本システムの設計支援例を示す。磁気メモリは従来の半導体メモリや強誘電体メモリに比べて読み書き速度が速いという利点があるが、情報を書き込む際の消費電力が大きいという欠点があり集積化、省電力化に問題があった。しかし、この新材料を用いることでそれらを解決することが期待されている。

##### §1 材料の機能構造を設計

設計者は必要とする機能を達成する方式を「方式検索画面(図9)」を用いて検索する。この画面には知識管理サーバに蓄積された方式から、指定した機能を達成する方式がツリー形式で表示される(図9・1)。また、それぞれの方式の部分機能や機能属性、属性間の依存関係が前章で述べた形式で図9・2の部分に、この方式の方式情報が図9・3の部分にテーブル形式で表示される。

この例では「磁性を制御する」という機能を達成する方式として、材料内のスピン電子間の距離を変化させることで磁性を制御する「歪み効果方式」と、キャリア濃度を変化させることで磁性を制御する「キャリア制御方式」が知識管理サーバに蓄積されていることが分かる。

方式検索画面では「どの方式を採用するか」という設計行為は行わない。本画面はあくまで採用する方式の候補を「検討する」ためのものである。図9・2の部分に表示させた方式群が記述システムのメイン画面に反映される。そして、主画面でどの方式を採用するかを選択し、さらにそれぞれの方式の部分機能を達成する方式を検索・採用するという操作を繰り返すことで、図10のような結果を得る。このように設計者がある機能を達成する方式を検索し、本システムが提示した方式を機能分解木に追加する、という操作を繰り返すことで、材料の機能設計行為を進める。この過程において、システムが提示した方式の中から、1つの方式を適切に選択することが、本システムにおける設計において重要となる。その選択の指針を与えるために、本システムでは、前節で述べた属性間の依存関係、方式の性質や制約などを表す方式情報、その方式を用いている過去の設計事例の3種類の情報を提示する。ここで、これら3つが設計者にどのような方式選択の指針を与えているかを述べる。

##### 属性間の依存関係

属性間の依存関係をたどることで、設計する機能や製造プロセスで注目する機能属性(目的属性と呼ぶ)と依存関係にある部分機能の属性が分かる。ここで、属性間の依存関係は方式により異なるので、目的属性と依存関係にある部分機能の機能属性も異なる。よって、その部分機能の属性がその部分機能において変化させやすいかなどは、採用する方式を決める判断基準の一つとなる。例えば、図10で示したように、「キャリア濃度を制御する」の機能属性「キャリア濃度」は、機能を達成する方

式として、「キャリア注入方式」を採用した場合は「キャリア量」に依存し、「電界制御方式」の場合には「電界の強さ」に依存する。従って、「キャリア量」よりも「電界の強さ」の調整が容易な場合は、制御のしやすさを基準とすると「電界制御方式」を選択する方がよいと考えることができる。

また、この段階で判断が困難である場合は、提示されたそれぞれの方式の部分機能をさらに展開し、属性間の依存関係をたどっていくこともできる。

##### 方式情報

本システムでは、各方式の性質を、その方式の持つ属性を中心とした方式情報として提示する。設計者はそれぞれの方式の性質を比較することで、採用する方式を決める。例えば図10の例では、スピン間距離制御方式は「制御しやすさ:低い」ということが、キャリア濃度制御方式では「変化量:大」、「制御しやすさ:高い」の他に、「良い材料があった」ということが、方式情報のテーブルから分かる。この例では、目標としている「磁性を制御する」という機能において、制御のしやすさが高いという点から、「キャリア制御方式」を採用したと考えることができる。

このように、方式情報は方式選択において参考にされることが多く、サーバに蓄積する方式により適切な方式情報を記述することが重要である。そこで本システムでは、次のような方式知識の記述者が方式情報を記述するための枠組みを用意している。また、機能発揮と製造プロセスは同じ枠組みで記述できるため[垂見 03]、システムが提示する際には、区別せずに提示する。

##### 過去の設計事例

提示された方式が、「過去にどのような設計事例で検討されたか」ということを参照することで、その事例において、その方式がどのような理由で採用された(不採用になった)かが分かる。これにより、その方式が現在設計中の材料にも適用できるかどうかを判断することができる。

材料設計者は、属性間の依存関係や方式情報などを用いて、採用する方式に採用理由を記述する。

##### §2 材料の属性から製造プロセスの属性を決定

機能分解木の構築が終わると、その機能分解木において、属性間の依存関係を辿ることで、採用した方式で機能発揮ができる材料の属性を調べることができる。図10では最上位機能「磁性を制御する」の機能属性「磁性」に注目し、採用した方式における属性間の依存関係を辿っていくことで、「磁性」は最下層の機能の属性「電荷量」と「分極の大きさ」に依存することが分かる。

そして、これら2つの機能属性は、その機能を達成している材料の属性「(誘電体の)薄さ」と「キャリア量」に依存しており、製造プロセスではこの2つに注目して設計を行う。

なお、ここで具体的な材料種の選択は本システムでは



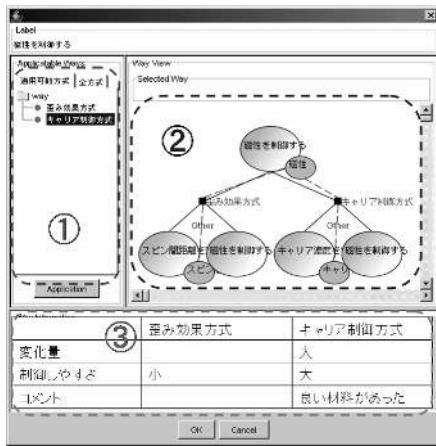


図 9 方式検索画面

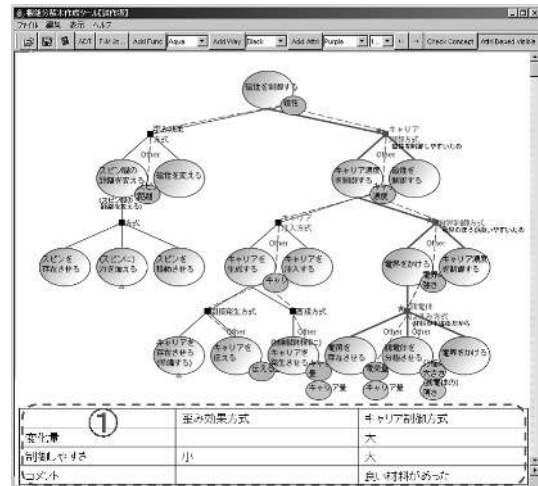


図 10 メイン画面での設計

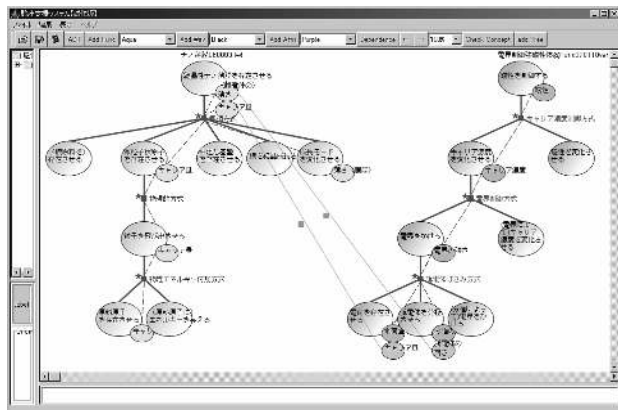


図 11 機能と製造プロセスを統合させたもの

行わず、本システムと外部のデータベースをリンクさせ、そこから本システムで提示する指針に沿って材料種を選択を行う。この際、必要となる材料種を決定するための枠組みが必要となるが、これは現在検討中である。

§ 3 材料の製造プロセスの設計

材料を製造するプロセスの設計は(1)で行った機能達成方式の選択と同様の方法で行う(1)では材料に持たせる機能の機能属性に注目して機能達成方式を採用したが、製造プロセスの設計では(2)で決定した属性に注目して製造プロセスの設計を行う。

§ 4 既存材料の改良設計

目的属性の値を改善したいという場合、必要ならば材料の機能や製造プロセスの改良設計を行う。材料が発揮する機能属性の値を改善させる方法は、

- a) その属性と依存関係にある部分機能の機能属性を調整する
- b) 材料の機能を達成している属性を別の方式と代替する

という2種類がある。例えば、図11において、機能属性「磁性」は「キャリア濃度制御方式」の部分機能「キャリア濃度を制御する」の機能属性「キャリア濃度」に依

存関係がある。また、「キャリア濃度」は「電界制御方式」の部分機能「電界をかける」の機能属性「電界の強さ」と依存関係がある。このように属性間の依存関係を再帰的に辿ることで『目的属性を変化させるためには、どの最下層機能の機能属性(例えば「電荷を存在させる」という機能の「電荷量」という属性)を変化させればよいか』ということが分かる。さらに、本システムでは、機能と製造プロセスの間の依存関係も扱っているので、機能属性とそれを達成している材料の属性の依存関係から機能と製造プロセスの依存関係を辿っていくことができる。依存関係で繋がった製造プロセスの属性を変化させることで、目的属性を変化させることができ、最終的に材料に持たせる機能の注目する部分機能の値を変化させることができる。

一方、属性の依存関係は方式により異なるので、方式を替えることで注目する機能属性と依存関係にある部分機能の機能属性が変わるため、方式を代替することで依存関係にある、目標とする機能属性の値を変化させるということもできる。図10で示したように、「キャリア濃度を制御する」の機能属性「キャリア濃度」は、機能を達成する方式として、「キャリア注入方式」を採用した場合は、「キャリア量」に依存し、「電界制御方式」の場合には「電界の強さ」に依存する。従って、電界制御方式で「キャリア濃度」の調整が困難であれば、キャリア注入方式に代替するということを考えることができる。

5. 評価

本章では、材料設計事例の追試的記述を通じた記述能力の検証と、設計支援能力の検証実験を通して、提案システムの有効性を検討する。

5.1 材料設計事例の追試的記述を通じた記述能力の検証  
本システムが提供する材料の機能・製造プロセス知識の記述枠組みの有効性を検証するために、材料系分野の



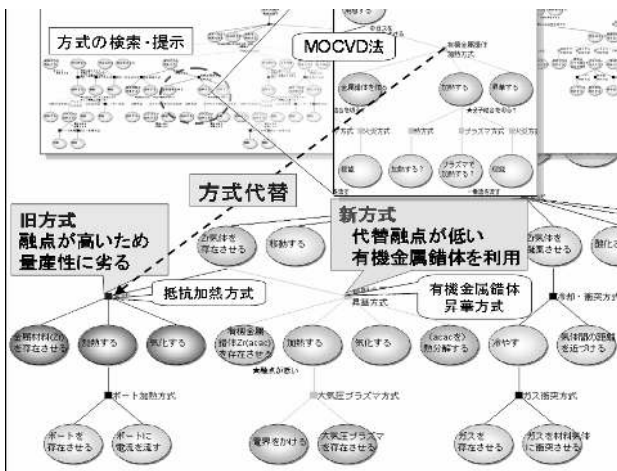


図 12 ナノ粒子合成プロセス改善例

専門家の協力を得て、実際の材料設計・開発の具体事例を、本システムを用いて追試的に記述することを試みた。そして、その記述過程を通して、本記述枠組み及び、本システムが提供する知識記述機能が、実際の材料設計結果を記述する際に必要な記述能力を有するか、またその有効性の検証を行った [垂見 05]。以下、その結果の概要を述べる。

対象として材料設計事例は、

- (1) ナノ粒子合成プロセスの改善例 [新原 07]
- (2) 電界制御強磁性体ナノ薄膜の設計事例

である。2. の記述内容に関しては 4.4 節での説明事例として既に述べたので、ここでは 1. についてのみ結果の概要を示す。

### § 1 ナノ粒子合成プロセスの改善例

図 12 にナノ粒子 (複合体) の合成プロセスの改善例を、本システムを用いて記述した例 (の一部) を示す。これは従来法では少量しか合成できなかったナノ粒子が、新手法を用いることにより低コストで大量生産することが可能になった、という合成プロセスの改善例である。また、新手法を用いて合成したナノ材料には新たな特性が見られ、新手法がコストの削減だけでなく品質の向上にも貢献することが確認された。この例では金属 Zr (ジルコニア) 気体を存在させるために、物理的手法 (PVD 法) である「抵抗発熱方式」から、化学的手法 (MOCVD 法) である「有機金属錯体昇華方式」に代替することで合成プロセスの改善ができたことを、本記述枠組みで記述することができた。なお、ここで代替として用いた「有機金属錯体昇華方式」は別の機能分解木として記述されている。このようにある機能 (製造プロセス) を達成する方式を、本システムに格納された知識の中から検索・提示し、より適切な方式に代替することで新たな製造プロセスの発想を支援することができると考えられる。

### § 2 専門家から得た評価

上述の具体事例をもとにした追試的記述を通して、知識記述の協力を得た材料分野の専門家より、本システム

について次のような評価を得た。

- 機能分解木を用いて、自分の持っている材料の機能や製造プロセスに関する知識を網羅性、一覧性を持って記述することができ、雑然としていた知識を整理することができた。
- ある機能 (製造プロセス) を達成する方式について、自分の専門分野だけでなく、少し離れた他分野の方式と比較して考えることが可能となり、今まで以上に発想の幅を広げることができた。
- この記述枠組みを用いることで、異分野の知識を理解することが容易になり、分野を越えた新材料の開発に役に立つであろう。

このように、人間の思考を外化することにより、設計者の発想に貢献することが確認でき、本システムの有用性が専門家により示唆された。

## 5.2 概念設計支援能力の検証実験

本システムが提供する設計支援機能 (方式データベースや属性間の依存関係、方式情報の提示機能) を評価するために、材料の機能構造を対象とした概念設計支援に関する実験を行った。本実験では、対象とする材料開発に携わっていない被験者が、専門家が行った材料の概念設計を本システムを用いてどの程度まで再現できるかということを通して、本システムの有用性を検証する。また、その設計過程や結果を通して、これらの機能が材料の概念設計にどのように貢献しうるのかを考察する。

なお、本実験で評価する範囲は材料の機能構造の概念設計を対象としているが、製造プロセスの概念設計は 4.4.3 節で述べたように、機能構造の設計と同様の枠組みで行われるので、本実験の結果を通して、その有用性を確認できる。また、材料種の選択支援は本システムではサポートしておらず、今後の課題としている。

### § 1 実験の概要

本実験では、被験者に材料設計の要求仕様を与え、本システムを用いた機能構造の概念設計を行わせる。被験者はシステムから提示された方式知識を、方式情報や属性間の依存関係を参照にしつつ順次選択し機能分解木を構築する。その結果と、4.4 節で示した専門家が構築した機能分解木を比較し、方式選択の結果が一致していれば正解、すなわち専門家が行った材料の概念設計を再現できたとする。設計終了後には、構築させた機能分解木を専門家に見せ、設計した機能構造の正当性を検討した。

### § 2 被験者

実験は 4.4 節の材料の材料設計を行った専門家の研究チームに所属する材料系の研究者 (学生を含む) 3 名 (被験者 A, B, C) と、材料に関する一般的な大学の講義を受けたことがある電子工学科出身の学生 5 名 (同 D, E, F, G, H) の合計 8 名を対象として行った。

### § 3 用いたデータ

実験に用いた方式知識は、4.4 節で述べた磁性体の設計過程の記述時に専門家が検討した機能構造や他の研究グループが採用している手法の機能構造を専門家と共に構築することで獲得したものに、Web 上のドキュメント等を参考に一般的に考えられる機能構造を追加した。さらに、これらの方式知識や被験者に出题する問題が妥当なものかを検証するために、専門家の協力の下で予備実験を行った。予備実験ではその専門家の研究グループの材料研究者を被験者として、本実験と同様（実験方法は後述）に本システムを用いて機能分解木を構築させ、その結果や予備実験終了後のインタビューを基に方式データの拡充・整備を行った。それらの方式の総数は 78 個であり、組合せ可能な方式のパターンは全部で 53 通りである。これらは設計対象の分野全ての方式を網羅しているとは言えないが、専門家との議論を通して通常検討される代表的な方式は十分にカバーしていることを確認しており、本実験を行う上では十分な数であると思われる。

### § 4 実験方法

実験に先立ち、被験者に対して本研究で開発した機能・製造プロセス知識統合的記述枠組みと本枠組みを用いた機能構造の概念設計についての説明を行った。その後、本システムの操作説明をした後、操作慣熟のために例題を用いた操作練習を行った。その後、要求仕様として「電気的な手法を用いて磁性を動的に制御する材料を作りたい」、「磁気メモリに用いたいので、半導体を主な材料にしたい」という 2 つの条件を被験者に与え、本システムに格納された方式データとそれに付随する方式情報や属性間の依存関係のみを用いて磁性体の機能構造の概念設計を行わせた。設計結果は、提示した条件に対して「最善」および「次善」と思う 2 つの機能分解木として提出させた。これらの機能分解木は、考慮に入れた方式をそのまま残し、最終的に採用した方式とその採用理由が分かる形の汎用機能分解木である。一例を図 13 に示す。太線で示された方式が採用方式であり、方式名の下に記述されている文章が「採用理由」である。また、本システムの使用感や、設計対象とした磁性体に関する事前知識などを調査するため、設計終了後にアンケートとインタビューを約 1 時間行った。

### § 5 実験結果

#### 設計結果

被験者に構築させた 2 つの汎用機能分解木に関するデータを表 1 に示す。各項目について簡略に述べる。

- 事前知識：被験者の設計対象に関する事前知識。実験終了後のアンケートの「設計対象の磁性体材料について、どの程度知っていたか」という項目への回答から事前知識の多い順に I~IV とした。選択項目（複数選択可）は以下の通りである。
  - (1) 直接説明してもらったことがある
  - (2) この磁性体材料に関する論文を読んだことが

ある

- (3) この磁性体材料に関する発表を聞いたことがある
  - (4) 詳しくは知らないが、概要だけ知っている
  - (5) 全く知らなかった
- 正誤：専門家の設計案を基に用意した正解の機能分解木との一致具合。□：最善案が一致，□：次善案が一致，□：全て一致せず，で表記。
  - 表示パス数：提出された汎用機能分解木において、（OR 木の部分で）選択可能な方式の組合せ数。設計に際し検討した組合せの数と考えられる（図 13 の例では 7）
  - 設計時間：2 つの設計案を決定するまでに要した時間。
  - 採用方式数：構築した 2 つの機能分解木それぞれに含まれる方式の数。
  - 方式の採用基準：被験者がそれぞれの方式を採用した際の判断基準。被験者が採用理由として記述した文章の内容を分析し、以下の 5 つに分類し、それぞれの数を示す。
    - 方式情報：方式情報の内容に関する記述がある（例：当該方式の方式情報に「制御精度：大」があり、採用理由に「制御精度が大きいため」と記述）
    - 依存関係：属性間の依存関係に関する記述がある（例：当該方式に「輝度」□「電流量」という属性間の依存関係があり、採用理由に「電氣的制御が行えるから」と記述）
    - 方式名：方式名から類推したと考えられる理由が記述されている（例：当該方式が「キャリア制御方式」であり、採用理由に「キャリア制御がしやすいから」と記述）
    - 下位にある方式：下位にある方式の内容に関する記述がある（例：当該方式の下位の方式の方式情報に「制御の種類：動的」があり、採用理由に「動的制御が行える方式が下位にあるから」と記述）
    - 事前知識：上記の 4 つに当てはまらないもの
- なお、採用理由として記述されている内容が 2 つ以上あり、それぞれが別の採用基準に分類される場合は、両方の基準にカウントする。

### § 6 考察

#### 設計結果の分析

設計結果を分析するにあたり、被験者を設計対象となった磁性体について専門家から直接説明を受けたことのあるグループ（グループ 1 と呼ぶ）とそうでないグループ（グループ 2 と呼ぶ）の 2 つに分ける。グループごとにまとめた結果が表 2 である。各項目について述べる。

正解率 提出した 2 つの回答のいずれかが設定した正解と一致（表 1 の正誤の項では □，□ となる）すれば正答とし、被験者全体における割合を表記している。

平均表示パス数 表 1 での表示パス数の平均

平均設計時間 表 1 での設計時間の平均

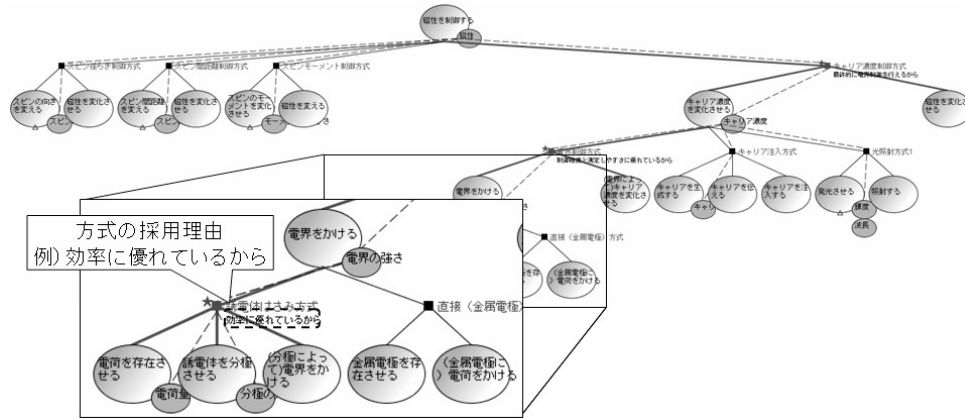


図 13 提出させた汎用機能分解木

表 1 設計結果のデータ

被験者	事前知識	正誤	表示パス数	設計時間(分)	採用方式数	採用基準となったもの					
						方式情報	依存関係	下位の方式	方式名	事前知識	
材料系の 専門家	A	I 123	□	2	9	5	0	0	1	2	2
	B	I 123	□	18	18	6	5	0	2	0	3
	C	II 124	□	8	14.5	4	0	0	2	0	2
電子 工学科の 大学生	D	III 4	□	22	15	6	1	0	2	2	0
	E	III 4	□	23	22.5	6	4	2	0	0	0
	F	IV 5	□	26	22.5	8	5	0	1	2	0
	G	IV 5	□	17	27.67	6	3	0	1	2	2
	H	IV 5	□	14	22	6	4	1	1	0	0

採用基準の割合 表 1 での (採用基準となったものの総和) / (採用方式数の総和)

まず、グループ 1 は全員が最善案で正解となり、また、グループ 2 でも 60 % の被験者が次善案までに正解となった。このことから、設計対象の材料に関する事前知識が無くても材料に関する一般的な知識を持っていれば、与えられた条件を基に機能構造を設計できたと言える。

次に平均設計時間と平均表示パス数を比較すると、グループ 1 と 2 の平均設計時間の差は表示させたパス数の差と考えられる。これは設計中の被験者の様子に現れており、事前知識のあるグループ 1 の被験者、特に被験者 A は採用する方式のみを表示して採用し、他の方式を全く表示させなかったため、他の被験者に比べかなり早い時間で設計を終えている。なお、被験者 B は A, C に比べて設計時間が長い(表 1)が、これは「正解のパスの他に使えるものが無いか」と思い、色々方式を探していた(実験後のインタビューより)ためである。一方、事前知識のないグループ 2 の被験者は、正解・不正解にかかわらず表示できる方式を全て表示させ、その中から採用する方式を吟味していたと思われるため、設計時間が長くなったと考えられる。

また方式の採用基準の割合を見ると、グループ 1 では事前知識が 5 割弱であるのに対し、グループ 2 では 5 割以上が方式情報を採用基準としている。これは本システムが提供する方式選択の指針が、事前知識が少ない初心者にとっても材料の機能概念設計に貢献できたこと示す

表 3 アンケートの回答結果

被験者	評価	材料設計への貢献度				
		機能分解木	機能属性	依存関係	方式情報	
1	A	5	4	5	5	3
	B	4	4	5	5	5
	C	3	5	4	5	5
	Z	5	4	4	5	5

と考えられる。

また、全設計結果 16 個のうち、設定した正解に一致しなかったもの 10 個の機能構造を専門家の協力を得て分析したところ、設定した正解には一致しなかったが条件を満たしており実現可能性があるものが 6 個、提示した条件は満たしていないが十分に実現可能なものが 3 個あり、これらは実現可能性という点からは正解と見なすことができる。設定した正解と一致しなかった被験者 E, F の設計結果には、これらに当てはまるものが含まれており、材料に関する一般的な大学の講義を受けた学生でも、専門家から見て妥当な機能構造を設計することができることが分かった。さらに、その内の 1 つが専門家も思いつかなかった機能構造であることが指摘された。この機能構造の実現可能性は専門家によって現在検討中であり、この指摘から本システムが斬新な発想に貢献する可能性があることが示唆された。

表 2 グループごとのデータ

グループ	正解率	平均表示 パス数	平均設計 時間(分)	採用基準の割合				
				方式情報	依存関係	下位の方式	方式名	事前知識
1	100%(3/3)	9.33	13.83	33%(5/15)	0%(0/15)	33%(5/15)	13%(2/15)	46.7%(7/15)
2	60%(3/5)	20.4	21.93	53.1%(17/32)	9.3%(3/32)	15.6%(5/32)	18.8%(6/32)	6.25%(2/32)

### アンケート回答結果

実験後に行った本システムの有効性に関するアンケートの回答結果を表 3 に示す。なお、設問の性格上、本システムのユーザーとして想定している材料系研究者である被験者 A,B,C の回答結果のみ表記している。また、予備実験の協力者である材料研究者(Zと表記)の回答も含めている。アンケートの各項目は、

評価 「システム内に十分に方式が蓄積されていれば、今後このシステムを自分の研究に使ってみたいと思えますか？」

材料設計への貢献度 「本システムで用いる記述枠組みの要素(機能分解木・機能属性・属性間の依存関係・方式情報)について、材料の機能設計に役立つと思いますか？」

で、回答はすべて 5 段階評価(5 が最良)および、その理由の自由記述で行った。

評価の設問に対しては、概ね高評価を得ている。その理由として「機能分解木を見ることによって、自分の専門外の研究分野の基礎が理解できる」や「異なる材料系間の比較が難しく、どのような材料が最適なものの指針になるから」という回答があり、方式データを設計者に提示することが、材料設計に貢献しうることが確認できた。また、「方式の選択肢が増えて、より具体的になればさらに魅力的なシステムになると思う」のように、方式データを十分に蓄積することの有用性に関する意見もあった。

また、本記述枠組みの要素ごとの材料設計への貢献度では、全員が属性間の依存関係に 5 点をつけた。表 2 の採用基準の割合では、グループ 1 の属性間の依存関係は 0% であるが、本実験で対象とした材料の機能設計には属性間の依存関係が使われなかっただけであり、他の材料の機能設計では役に立つと思ったのではないかと考えられる。

## 6. 関連研究との比較

本章では、材料分野でオントロジーを利用した研究や、設計支援を目指した研究と本研究との比較を行う。

まず、材料分野でオントロジーを利用した研究として、芳須らは材料分野の問題解決支援システムの開発を進めている[芳須 05]。このシステムではユーザーからの問い合わせに対して、構築した材料オントロジーを用いて材料の特性データやデータ解析ツールなどの情報源を連結させ、必要な情報を自動的に検索してユーザーに提示することで問題解決支援を行う。このシステムにおける材

料オントロジーとは、材料に関係する問題の「問い合わせ」に必要なとされる語彙間の関係を記述したものであり、システムはこの関係に基づいて問い合わせの解決に必要な情報源にアクセスして、ユーザーに情報を提示する。よって、材料オントロジーは解決する問題ごとに異なったものが用意されている。また、解決する問題は「材料 A と材料 B とではどちらの強度が高いか?」や「ある装置に最適な材料は何か?」のような、材料の特性に関するものである。一方、本研究では「目的とする機能ではどのような属性を考慮に入れるべきか(機能属性)」、「その機能を達成するための方式にはどのような性質があるのか(方式情報)」、「他の属性との関係がどうなっているか(属性間の依存関係)」という、設計する材料の機能を中心として、機能属性や方式情報を設計者に提示している。また、本システムは材料の機能構造や製造プロセスの概念設計を支援するものであり、芳須らのシステムとは支援する対象が全く異なる。

設計支援を目指した研究は国内外に数多くあるが、間瀬らは思考展開図に基づく機械設計支援システムの開発を進めている[間瀬 02]。このシステムでは、設計者に思考展開図を記述させて設計者の思考を整理し、シソーラスを用いて設計者の発想を支援している。また、アノテーションされたドキュメントや CAD データを設計者に提示して、設計中に発生した制約の解決を支援している。さらに、記述した思考展開図内のノードやリンクに生成順序やメモ、イラスト、設計知識のアドレスを添付することで、設計方法の知識伝承支援も行っている。このシステムと本システムとの違いは、設計対象が異なる点以外に設計支援のアプローチが異なっている。間瀬らのシステムでは設計者に知識を提示する際に基となっているものは技術用語シソーラスなどのシソーラスである。技術用語はドメインによって異なるため、間瀬らのシステムで提示される知識であるアノテーションされたドキュメントや CAD データは、設計対象と提示されたデータとのドメインが少し異なるだけで、設計者が理解できないという問題がある。それに対し、本システムで知識を提示する際に基となっているものはドメインに依存しない機能概念オントロジーであり、提示する知識は機能概念オントロジーに基づく方式知識と付加情報である。これらはなるべく一般的な語彙を用いて記述されているので、異なるドメインの知識であっても設計者が理解しやすくなっている。また、異なるドメインの知識が設計者に理解しやすい形で提示されることで、斬新な発想支援

に貢献する可能性も考えられる。

また、本システムは設計者に方式知識を提示することで発想支援の可能性が材料系の専門家により示唆されたが、発想支援を行う代表的なソフトウェアとして TechOptimizer [Inv 99] が挙げられる。これは TRIZ 理論に基づいたソフトウェアであり、目標機能とそれを実現させる方法を指定すると、その方法を使った事例のリストが表示され、その事例における発明原理の説明が表示される。しかし、発明原理は非常に抽象度が高く、設計対象を的確にモデル化しそれに発明原理を適用することは設計者に任されている。また、TRIZ 理論では主にトレードオフを解消するための発明原理を提示しているが、本システムは設計者の視点で機能を中心とした設計支援を行っているため、TechOptimizer のようなトレードオフの解消は対象としていない。

本システムと同様に標準的な機能語彙を用いた概念設計を目指している研究として、Stone らが開発を進めているものがある [Bryant 05]。これは Functional Basis という標準的な機能語彙とを用いて既存製品の機能モデルを記述し、その機能モデルと別に用意されたレポジトリから、機能・部品間の繋がりと部品・部品間の繋がりの行列を構築し、その行列をもとに概念設計のパリエーションを自動的に生成するアルゴリズムである。しかし、このアルゴリズムでは既存物のアナロジーの設計にとどまっており、新規設計を行うことができないことが著者によって指摘されている。一方、本システムでは既存知識を組み合わせて新規材料の設計の可能性が示唆されている。

## 7. ま と め

本論文では、材料設計を概念レベルで支援するシステムの開発について述べた。まず、機械系分野で行ってきた先行研究の枠組みをベースとして、材料開発の専門家が材料の概念設計を行う際の思考をモデルについて考察し、それに基づいて材料の機能や製造プロセスに関する知識を体系的に記述する「機能・製造プロセス知識統合的記述枠組み」を開発した。そして、この枠組みに基づいて設計支援システムを開発した。本システムは、材料設計の際に重要となる属性に注目した設計支援や、材料設計に特有の機能と製造プロセスの統合的に扱った設計支援を行える。これらの設計支援に用いる知識は、オントロジーに基づいた記述されており、対象領域を横断した知識共有が可能になる。

さらに、材料分野の専門家の協力の下で彼らが実際に開発した材料の機能や製造プロセスを具体事例として、本システムの記述能力の検証や、設計支援機能の有用性についての検証を行った。その過程を通して専門家からは「機能分解木を用いて知識を記述することで、知識を整理することができた」、「この記述枠組みを用いること

で、分野を超えた新材料の開発に役立つであろう」、「機能分解木を見ることで専門外の研究分野の基礎を理解できる」、「どのような材料が最適なのかの指針になる」といった、本システムが材料設計に貢献するというコメントを得た。

今後は、専門家とのインタビューや材料の機能分解木、製造プロセス木の構築を通して、方式知識の拡充をしていくとともに、本システムの機能の充実を進めていく。また、材料開発において重要なものの1つである材料種選択について検討し、本システムで支援するための枠組みの開発を進めていく。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、ナノ材料の機能発揮や製造プロセス設計の知識記述にご協力いただいた、大阪大学産業科学研究所 田中秀和氏、中山忠親氏（現在、長岡科学技術大学）に感謝します。

## ◇ 参 考 文 献 ◇

- [Bryant 05] Bryant, C. R., Stone, R. B., McAdams, D. A., Kurtoglu, T., and Campbell, M. I.: Concept Generation from the Functional Basis of Design, in *Proc. International Conference on Engineering Design* (2005)
- [Inv 99] Invention Machine Corp., TechOptimizer (1999), <http://www.invention-machine.com>
- [Kanki 03] Kanki, T., Park, Y.-G., Tanaka, H., and Kawai, T.: Electrical-field control of metal-insulator transition at room temperature in  $Pb(Zr_{0.2}Ti_{0.8})O_3/La_{1-x}Ba_xMnO_3$  field-effect transistor, *Applied Physics Letters*, Vol. 83, No. 23, pp. 4860-4862 (2003)
- [來村 02a] 來村 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*, Vol. 17, No. 1, pp. 61-72 (2002)
- [來村 02b] 來村 徳信, 他: 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, *人工知能学会誌*, Vol. 17, No. 1, pp. 73-84 (2002)
- [間瀬 02] 間瀬 久雄, 絹川 博之, 森井 洋, 中尾 政之, 畑村 洋太郎: 思考過程の思考展開図表現に基づく機械設計支援システム, *人工知能学会誌*, Vol. 17, No. 1, pp. 94-103 (2002)
- [新原 07] 新原 皓一, 中山 忠親 他: 触媒体およびその製造方法, 公開特許公報 (A) 特許公開 2007-105652 (2007)
- [Pahl 88] Pahl, G. and Beitz, W. eds.: *Engineering Design - a Systematic Approach*, The Design Council (1988)
- [垂見 03] 垂見 晋也, 古崎 晃司, 來村 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化の試み, *人工知能学会全国大会論文集 (第 17 回)*, 1G2-04 (2003)
- [垂見 04] 垂見 晋也, 古崎 晃司, 來村 徳信, 渡邊 英一, 溝口 理一郎: 知識構造化のためのナノテク材料の特性と機能に関するオントロジー的考察, *人工知能学会全国大会論文集 (第 18 回)*, 1G3-02 (2004)
- [垂見 05] 垂見 晋也 他: オントロジー工学に基づくナノテク材料の機能・製造プロセス知識統合的記述システムの開発, *情報処理学会研究報告*, pp. 151-156 (2005)
- [芳須 05] 芳須 弘, 藤田 充苗, 原田幸明, 芦野 俊宏: 材料分野の問題解決支援システムの概念設計, 第 2 回情報プロフェッショナルシンポジウム予稿集, pp. 147-151 (2005)

[担当委員: 原島 一郎]

2007年5月10日 受理

## —— 著 者 紹 介 ——



垂見 晋也(学生会員)

2003年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2005年同大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。現在、同大学院電気電子情報工学専攻博士後期課程に在学中。材料設計に関するオントロジー工学的考察とそれに基づく材料知識の共有に興味を持つ。



古崎 晃司(正会員)

1997年大阪大学工学部電子工学科卒業。2002年同大学院工学研究科博士後期課程修了。同年、化学工学会嘱託研究員、同年12月大阪大学産業科学研究所附属産業科学ナノテクノロジーセンター助手、現在に至る。博士(工学)。オントロジー構築・利用環境の設計・開発,セマンティックWeb,医療,ナノテクノロジー分野などのオントロジー開発・応用に関する研究に従事。情報処理学会,電子情報通信学会,化学工学会,各会員。



來村 徳信(正会員)

1991年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1993年同大学院基礎工学研究科前期課程修了。同年、同大学産業科学研究所技官,1994年同助手,2003年同助教授,2007年同准教授。現在に至る。博士(工学)。物理的システムに関するオントロジー工学的考察と、それに基づいたモデル化と推論に関する研究に従事。1996年人工知能学会創立10周年記念論文賞受賞。情報処理学会会員。



溝口 理一朗(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,ICCE2006 Best Paper Award受賞。本会理事,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。