

Funnotation:技術文書共有のための機能アノテーションと その利用の枠組み

Funnotation: A framework of functional annotation for technical documents sharing

鷺尾 尚哉
Naoya Washio

小路 悠介
Yusuke Koji

來村 徳信
Yoshinobu Kitamura

溝口 理一郎
Riichiro Mizoguchi

大阪大学産業科学研究所

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

This paper proposes a metadata schema about functionality based on the Semantic Web technology for knowledge management of engineering design documents. It enables us to annotate web-documents with RDF metadata representing that devices mentioned in the document have specific functions. Such metadata provides functional terms in documents with clear and operational semantics. Moreover, the functional metadata schema is based on our functional ontologies, which have been developed in many years and deployed successfully in industry. The ontologies provide effective guidelines for consistent functional annotation. Next, a document search system using such metadata is demonstrated, which retrieves web-documents using not superficial terms but class-concepts and relationship defined in the schema. Such function-oriented management is especially useful in the conceptual design phase to find previous design cases for the same required function and to find patents related to the current design issues.

1. 序論

「エンジニアの時間の多くは、新しい問題を解決するために、過去の設計を探ること、そしてそれらを組み合わせることに費やされる」[1]と指摘されているように、設計業務における知識共有の重要性とその困難さは広く認められている。CAD 等で記述される構造についての知識と同様に、設計文書に自然言語で記述される設計意図(Design Rationale)[2]と呼ばれる設計者の意図に関する知識を共有することが重要である。この設計意図を表現するための一つの鍵が、装置の機能に注目することである[2][3]。装置とその部品が発揮する機能についてのモデル(機能モデル)を記述することで、設計者によって意図された装置や部品の果たす目標や役割が記述され、これにより設計意図[4]の一部が表現される。

本研究では、装置の発揮する機能という観点から Web システム上の設計文書を管理する統合的な枠組みを開発することを目標としている。ここでは以下の 2 つの研究課題に注目している。第一の課題は、文書中の機能語彙に明確で計算機処理可能なセマンティクスを与えることである。現在の文書管理システムは、キーワードやタクソミーまたは全文検索に基づくものが多く、文書中に現れる語句に依存している。しかし、多くの語彙(動詞など)が同じ機能を表すために用いられており、その語彙のセマンティクスは明確では無い。更に、機能の目標達成構造におけるコンテキストを考慮して、文書を検索することが困難である。例えば、機能を表すキーワードとして“切断”を用いた場合、“切断する機能を発揮する装置”だけではなく、“切断された何かを用いる装置”に関する文書を含む検索結果が得られる。

第二の課題は、機能モデルを表現する際の効果的なガイドラインを構築することである。機能表現について多くの研究が設計工学、価値工学等の分野で行われてきたが[2][4]、設計者にとって暗黙的な機能を明確に一貫した様式で表現することは困難である。例えば、溶接機械の機能は、価値工学的には「溶接

する」と表現されが、この概念は対象物同士を「一体化する」という「機能」と、それらの一部を溶け合わせる(溶融させる)という機能達成の「方式」の両方を意味している。このことは、何を達成するか(What)と、それをどう達成するか(How)の分離に失敗していることを表しており、機能を一貫性を持って記述するという問題が語彙的なものではなく、オントロジカルなものであることを表していると言える。

本研究では、第一の課題の解決のための基本的なアプローチとして、Semantic Web 技術に基づいて、機能についてのメタデータをウェブページに付与することを考える。機能という視点から記述されたメタデータが、計算機処理可能な形で、HTML 文書中に現れる人工物の発揮する機能や、その装置の持つ機能構造を表現する。

これらの標準技術を用いた上での、主たる問題は、第二の問題解決へ有効な機能に関するメタデータスキーマを開発することである。このため、筆者らが従来から開発してきた機能モデル表現の枠組み[5][6]における機能に関するオントロジーに基づいてスキーマを設計した。この枠組みは、階層化された機能的知識やオントロジーによって構成されており、モデル記述者へ、機能的知識を一般性・一貫性を持って記述するための語彙やガイドを提供する。この枠組みは、産業界において実用され、大きな成功を収めている[7]。

本稿では、[8]で概要を述べた工学的装置の機能に関するメタデータスキーマに関して、その詳細と、技術文書共有のための技術文書検索システムについて述べる。本稿で提案する機能に関するメタデータの枠組みを、Funnotation(FUNCTIONal anNOTATION)と呼ぶ。次節で、Funnotation でメタデータを記述するために、我々の機能に関するオントロジーに基づいて開発した、メタデータスキーマ(Funnotation Schema)について述べる。次に、3節で、Funnotation Schema を用いて記述されたメタデータを利用した、文書検索システム(Funnotation Search System)について述べる。

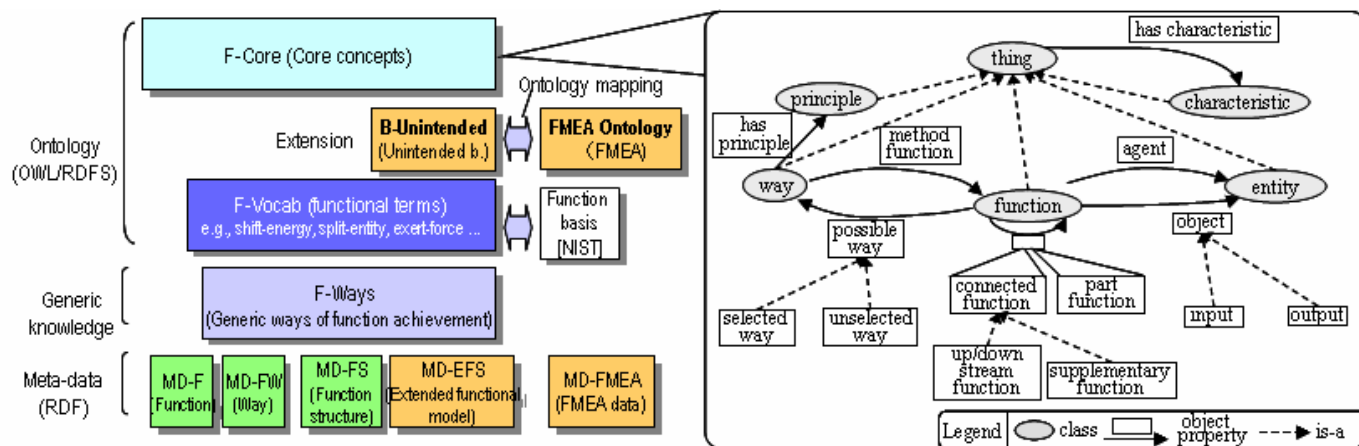


図 1. Funnotation Schema の階層構造と、F-Core のクラス・プロパティの概要

2. 機能に関するセマンティックアノテーション

2.1 Funnotation Schema の概要

Funnotation Schema は人工物について記述された文書へ機能に関するメタデータを付与するためのメタデータスキーマである。筆者らが開発を進めているオントロジー開発環境 Hozo¹を用いて開発しており、W3C の Semantic web における標準を採用して、スキーマ言語として OWL, メタデータ表現言語として RDF の XML 表記を用いている。図 1 で示すように Funnotation Schema は、F-Core, B-Unintended, F-Vocab, F-Ways の 4 つのレイヤから構成される。F-Core レイヤでは、“function(機能)”, “way(機能を達成するための方式)”, “entity(物理的存在物)”といった、中核概念がクラス・プロパティとして定義される。次に、F-Vocab レイヤでは、“function”クラスのサブクラスとして、“split (1つの物を 2 つに分ける)”, “heat(熱する)”などの、一般的な機能語彙が定義されている。この F-Vocab に表れる概念は、過去の研究成果である機能概念オントロジー[3]に基づいている。F-Ways レイヤでは、“way”クラスのサブクラスとして、“摩擦方式”などの一般的な機能達成方式が、機能達成の原理と、目標機能、部分機能によって定義されている。

これらを用いることで、機能メタデータを RDF で記述することができる。機能に関するメタデータとして(1)装置全体・サブシステム・部品の機能(MD-F), (2)用いられている方式(MD-FW), (3)機能達成関係を表す機能分解木モデル(MD-FS), (4)複数のあり得る機能構造を表す汎用機能分解木などがある。機能分解木とは、機能の達成関係を木形式で表現したものである[5]。(3), (4)が機能構造の全体を表すフルモデルであるのに比べて、(1), (2)はその一部を表すインデックス的なものである。

更に付加的なレイヤとして、B-Unintended レイヤ(Unintended behavior layer)がある。これは機能の表現ではなく、設計者にとって意図されておらず、不具合として認識される事象に関する記述である[4]。不具合知識をアノテーションすることによって、そのドキュメントに記述されている改良設計が必要だった背景やその効果を記述することができる。B-Unintended は、機能モデル(MD-FS)に付与する形で記述する際に用いられ、そのメタデータは拡張機能モデル(MD-EFS)と呼ばれる。

このように多レイヤ化することで、アノテーターが必要とするオントロジーのレベルに応じてスキーマを選択することができる。また、F-Vocab は筆者らの開発した機能概念オントロジーに基づいているが、異なるオントロジーとの間にマッピング関係を定義

することで、代替として NIST の Functional Basis[10]を用いることもできる。このマッピングと変換については、別稿で議論している[9]。このように、異なるオントロジーに基づくメタデータ間の相互運用性を確保することもできる。

2.2 F-Core レイヤ

前述したように、F-Core レイヤでは、機能に関する知識をメタデータとして記述するための中核概念が定義されている。図 1 右側にその主要クラスとプロパティを示す。“function”クラスは、装置の振る舞いを、設計者の目的の元で解釈した概念を表す。そのため、その機能を発揮する対象としての“entity”クラス(物理的存在物である事を表す)との間に 2 つ以上の“agent”プロパティを持つ。また、“entity”クラスとの間には、機能の入・出力物となる関係として“input”, “output”プロパティを持つ。なお、この“entity”クラスはサブクラスとして“device”や“energy”クラスを持つ。

機能のインスタンスは、その目標を達成するために用いられる可能性がある方式(“way”)クラスのインスタンスとの間に、“possible_way”プロパティを持つ。また、このプロパティで示される、ある方式に基づいて達成される機能の事を目標機能という。

この“way”クラスのインスタンスは、目標機能を達成するための具体的な機能を表す部分機能と呼ばれる機能群、そしてこの方式の原理によって記述される。そのため、原理を表す“principle”クラスとの間に、“has_principle”プロパティを、部分機能となった“function”クラスとの間に“method_function”プロパティを持つ。

2.3 F-Vocab, F-Ways レイヤ

2.1 節で述べたように、F-Vocab, F-Ways レイヤでは、[6]の述べられる機能概念オントロジーを基盤として具体的な機能概念や、方式概念が定義されている。

例えば機能概念として、1 つの物を同種の 2 つに分割することを表す“split”クラスは、そのインスタンスが“input”プロパティを 1 つ、“output”プロパティを 2 つの“entity”クラスのインスタンスとの間に持つとして定義されている。

また、“frictional_way”方式クラスは、そのインスタンスが“possible_way”プロパティを用い目標機能として“split”, “method_function”プロパティを用い部分機能として“Make entity existent(ものを存在させる)”, “bring together (接触させる)”, “generate frictional force(摩擦力を生成する)”等、“has_principle”プロパティを用い原理として“frictional force(摩擦力)”の各クラスのインスタンスとの間の関係を持つものとして定義されている。

¹ <http://www.hozo.jp>

2.4 メタデータ記述

これまで述べてきたスキーマを用いて、メタデータを記述した例として、半導体インゴットを切断するための生産装置であるワイヤソーの説明文に対する機能メタデータを図 2 に示す。まず、ワイヤソーが装置(funnotation:device)のインスタンスであり、「分割する」(split)という機能クラスのインスタンスである機能を果していることが、「agent」プロパティを用いて表現されている。更に、その分割機能が、摩擦力方式を表す方式クラス("frictional_way")のインスタンスで達成されていることが"selected_way"プロパティを用いて記述されている。

3. Funnotation Search System

3.1 Funnotation Search System の概要

Funnotation Search System は、記述されたメタデータを検索して、文書へのリンクを表示する文書検索システムである。ユーザは Web ブラウザを用いて、達成する機能("goal_function")や入力物(処理対象物)などを検索条件として入力する。システムは、あらかじめクローリングされたメタデータレポジトリに格納されたメタデータのうち、条件に適合するものを抽出し、メタデータが付加されているドキュメントへのリンクとメタデータを表示する。

本システムは、Web ブラウザ上に表示されるユーザインターフェイスと、web サーバーモジュールから構成される。前者は、機能メタデータに特化した検索条件設定のためのインタフェースであり、Html, CSS, JavaScript を用いて実装されている。後者はレポジトリにクエリを送り、その結果を HTML 形式に変換するモジュールであり、HTTP サーバーサイドに JAVA Tomcat を、RDF レポジトリの操作などには Jena を、RDF クエリ言語として SPARQL を使用している。

3.2 Funnotation Search System の利用

検索条件は、図3で示すインタフェースの主に上部のグラフィカルなパターンを用いて入力される。上部では機能分解木を記述するような形で、「goal_function」や、「method_function」(目標機能を達成するための部分機能群)、input/output(各機能に対する入出力)を検索条件として設定する。左下部には、ユーザがどのような状況で検索を行っているかという観点に基づいて検索条件の設定を助ける「Search situation help」ボタンが配置されている。右下部には、上部のグラフィカルパターン図では条件設定が難しい検索条件を追加するためのチェックボックス(「Search output filter」)が配置されている。

このシステムを用いて、ユーザは様々なパターンの検索を行うことができる。最も典型的な検索パターンとして、ユーザが「goal_function」に特定の function クラスを指定すると、その機能を果たす装置に関する文書を得ることが出来る。例えば、半導体インゴットを切断するやりかたを調べているとする。最初に「Search situation help」中の「I'm looking for

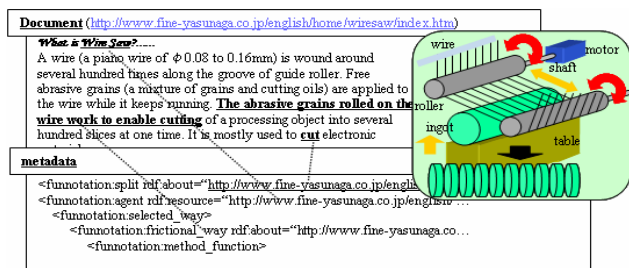


図 2. メタデータ記述例

ways to achieve a goal function”を入力する。次に、F-Vocab 中で定義される機能語彙リストから、「goal_function」として「separate」クラス(物質を二つ以上のものへと分断する事を表す)を選択し、入力、出力として entity クラス(物理的存在物であることを表す)を選ぶ。これらの結果、検索条件は図 3 で示すように設定され、検索結果が図4(1)の様に出力される。図4(1)中で、左端の「link」列は文書へのリンクを示し、「goal_function」列は「separate」を果たす「goal_function」であり、かつ、「selected_way」(または「possible_way」)プロパティのサブジェクトとしてマークアップされた文書中の語句が表示される。更に、右端は「way」としてマークアップされた語句が表示される。

この例は、機能概念を用いることで、ユーザが文書中の表層語彙に依存しない文書検索ができることを表している。例えば、図4(1)-(a)の半導体基板を切断する装置についての文書では、その機能が「分割する」と表記されている。文書(b)では、電気分解によって化学物質を「作製する」ことについて記述されている。(c)は、インゴットからシリコンウェーハを「切断する」装置についての文書であり、削りかすを「除去する」という部品の機能にも言及している。これらの機能は、機能概念オントロジーで定義される「separate」である。

一方で、「separate」が文中の記述へアノテートされていたとしても、「way」の目標機能としてアノテートされていない文書は、今回の検索では取り出されない。例えば、分割されたシリコンを用いた装置に関する文書は、その文中の「分割する」に関する記述が目標機能としてアノテートされないため、検索結果から除外される。

更に、機能概念の is-a 階層構造を利用することで、ユーザは検索条件の抽象度を変化させることができる。例えば、上記の例では、ユーザは検索条件の目標機能として「separate」クラスを設定している。そのため、検索結果に目標機能が「separate」であると記述された文書だけではなく、そのサブクラスの「split」や「take_out」等为目标機能として記述した文書も含まれている。しかし、ユーザが目標機能を「take_out」へ特殊化すると、検索

Funnotation Search System

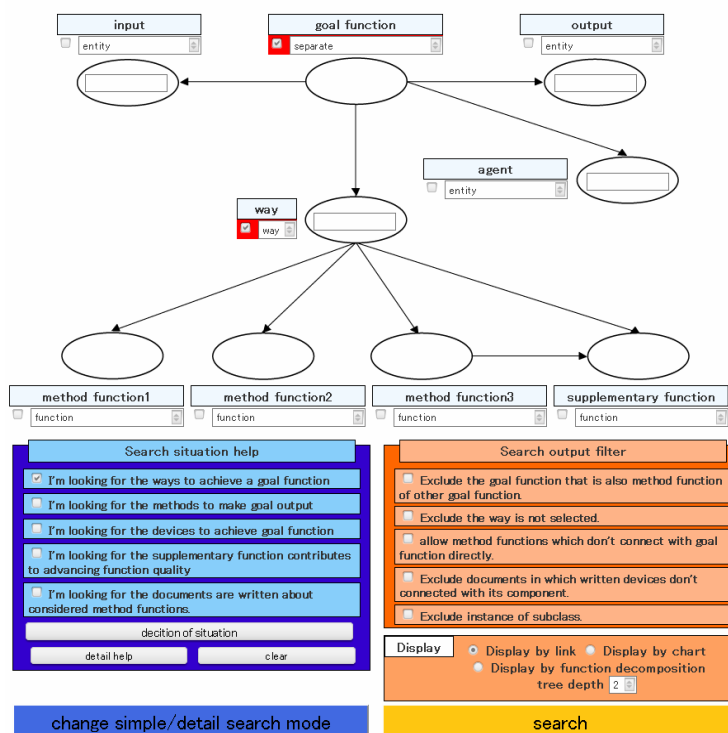


図 3. Funnotation Search System のインタフェース

結果は絞り込まれ、(b), (c)を含む図4(2)になる。(b)の“作製する”や(c)の“除去する”という記述が「主要部から特定の部分のみを取り出す(=“take_out”)」を意味しており、(a)の“分割する”という記述は「同じ物からその一部を得る事(=“split”)」を意味しているためである。また、図4(2)の結果は、部品が“take_out”という機能を発揮している装置に関する文書も含んでいる。もしユーザが全体としてこの機能を発揮している装置に関する文書のみを得たい場合には、“Search output filter”中の“exclude the goal function that is also a method function of other goal function”を検索条件に追加する事で、それらを検索結果から省くことができる。その時の検索結果が図4(3)である。この結果には“take_out”(“作製する”)を目標機能として達成する装置についての文書(b)しか含まれていない。一方で、(c)の文書中の“除去する”という記述が「部分機能として“take_out”を発揮している」ことを表しているために、検索結果から除去されている。

3.3 改良設計における利用例

ユーザが補助機能を検索に利用することができることも本システムの大きな特徴である。補助機能とは、特定の部分機能の機能特性の向上に貢献している部分機能を表す[6]。設計者がワイヤソーにおいて削りかすによって不具合が生じていることの改良設計を行おうとしてとしているとする。この時、この不具合解消へのヒントとなる過去の設計案を探す検索条件として、以下で述べる3種類がある。第一の条件は、設計者が現状の設計を抜本的に変化させる、つまり現状利用している方式を変更することを許容している状況で用いられるものであり、その検索条件は図3に、その結果は、図4(1)に示される様になる。この検索結果には「圧力で半導体を切断する」と同じ目的機能を果たしながら削り屑が発生しない代替方式について述べた文書が含まれている可能性がある。このような代替方式の候補は設計者の発想を刺激する役割を果たすと考えられる。

第二の手法では、設計者が現状の設計を出来るだけ活かして、不具合を引き起こす“separate”という部分機能へ補助機能を作用させることで、不具合を解決しようとしている状況で用いられる。設計者は上記の検索条件に加えて、“supplementary function”ボックスへチェックを入れ(クラス指定は“function”のまま)、その補助機能によって機能特性の向上を目指す部分機能として“separate”クラスを設定する。図4(4)は、この場合の検索結果を示しており、その中には、いくつかの“separate”の機能特性を向上させるような補助機能について記述された文書が含まれる。例えば、(4)(a)には、削りかすを発生させる部位を事前に紫外線で硬化させることで、その発生を防止する方法について記述がされている。また(b)は、切断された対象物を整列させるという補助機能について記述された文書である。

最後に、設計者が不具合解消への方針をすでに固めている状況を考える。例えば、発生するカスを分割時に取り除くことで問題解決しようと決めた状況の場合、検索条件は、上記の“supplementary function”として選択されるクラスを“function”から“take_out”へと変化させたものになり、その結果は図4(5)で示される。この結果には、補助機能として「流体を流す」ことで削りかすを取り除く切断装置について記述された文書である(c)のみが含まれる。

このように、本システムでは、方式や補助機能を検索条件として用いることで、ユーザの設計コンテキストに応じた文書検索を行うことができる。また、上記で、簡単に触れたが、ユーザが機能と機能を達成する方式[6]を分離して検索することが出来ることも大きな特徴である。例えば、石油プラントやコーヒーメカ等に関する文書についてのメタデータがレポジトリに蓄えられてお

り、ユーザがある物質から特定の物質を取り出す(“take_out”)ための方法を探している状況であった場合、ユーザは、現状で提示される“電気分解方式”以外にも、“フィルター方式”や“蒸留方式”について記述された文書を見つけることができる。本研究が提案するシステムがユーザへ目標を達成する可能性のある方式を提供することで、設計者が概念設計の段階で可能性のある代替設計案を見つける事を助けることができる。

4. 結論

本稿では、今まで我々が研究してきた、機能的知識表現のためのオントロジーに基づいて記述されたメタデータスキーマ: Funnotation Schema を示した。また、このスキーマを用いて記述される機能についてのメタデータを処理することで、設計者が機能に基づいた検索が可能になる、文書検索システム: Funnotation Search System の概要、及び動作例について示した。今後は、他の機能表現研究や設計実務に現れる様々な機能概念の意味の違いを明確にすることで、相互運用性の高い検索システムの構築を目指したい。

参考文献

- [1] Ullman, D. G The Mechanical Design Process 1997 McGraw-Hill.
- [2] Chandrasekaran, B.; Goel, A. K.; and Iwasaki, Y, 1993, “Functional representation as design rationale” *Computer*, **26**(1), pp. 48-56.
- [3] Lee, J., 1997, “Design Rationale Systems: Understanding the Issues”, *IEEE Expert* **12**(3), pp. 78-85.
- [4] Hubka, V., Eder, W.E., 1988, *Theory of Technical Systems*, Berlin: Springer-Verlag.
- [5] 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の枠組み, 人工知能学会論文誌, 17(3) 196-208, 2002
- [6] 小路悠介, 来村徳信, 溝口理一郎: オントロジーに基づく統合機能モデルとその知識変換, ~FMEA シートへの変換~, 第 18 回人工知能学会全国大会, 1H2-03, 2004.
- [7] Kitamura, Y., Kashiwase, M., Fuse, M., Mizoguchi, R., 2004, “Deployment of an Ontological Framework of Functional Design Knowledge”, *Advanced Engineering Informatics*, **18**(2), 115-127
- [8] 来村徳信, 鷲尾尚哉, 小路悠介, 溝口理一郎: 技術知識管理のための機能に関するオントロジーとセマンティックアノテーション, 第 19 回人工知能学会全国大会, 2D1-03, 2005
- [9] 大久保公則, 小路悠介, 来村徳信, 溝口理一郎, 異なる機能語彙体系間の相互運用性に関する検討~Functional basis を例として~, 第 20 回人工知能学会全国大会, 3B2-02, 2006.
- [10] Hirtz J, et al. A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts. *Research in Engineering Design* 2002;13:65-82.

	link	goal_function	way	
(1)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2004-31638	分割する	回転摩擦方式	
(a)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2003-318138	切断時	研削	
	http://www.fine-yasunaga.co.jp/english/home/wiresaw/indexc.htm	cut	frictional cutting way	
	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2004-221464	作製する	製造方法	
(b)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2004-76053	作製する。	電解	
(c)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=H08-298250	切断する	回転摩擦方式	
	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=H08-298250	除去する	噴射洗浄法	
	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2005-153005	除去する	排屑して	
	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2005-153005	切断	切断	
(2)				
(b)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2004-76053	作製する。	電解	
(c)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=H08-298250	除去する	噴射洗浄法	
	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2005-153005	除去する	排屑して	
(3)				
(b)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2004-76053	作製する。	電解	
(4)				
(a)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2004-31638	分割する	回転摩擦方式	硬化させる。
	http://www.fine-yasunaga.co.jp/english/home/wiresaw/indexc.htm	cut	frictional cutting way	applied to the wire
	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2004-221464	作製する	製造方法	届かされる
(b)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=2004-76053	作製する。	電解	沿って
(c)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=H08-298250	切断する	回転摩擦方式	除去する
(5)				
(c)	http://pc411.8083/search/c.vbs?t=A&n=H08-298250	切断する	回転摩擦方式	除去する

図 4. 検索結果例