

ものづくり技術虎の巻

“TORANOMAKI” The key to production engineering

堀江 和男¹ 菅野 孝彦¹ 山川 邦男¹ 室岡 俊雄¹

岩堀 明¹ 椎野 正元¹ 小出 誠二¹

Kazuo Horie¹, Takahiko Sugano¹, Kunio Yamakawa¹, Toshio Murooka¹, Akira Iwahori¹,

Masayoshi shiino¹ and Seiji Koide¹

¹株式会社 IHI 航空宇宙事業本部生産センター生産企画部

¹Production Planning Department Aero-Engine & Space Operations IHI corporation

Abstract: The retirement of baby boomers already started in IHI. Many of them have extremely sophisticated skill of production engineering and empirical knowledge based on long and ripe experience about engine development and repair. On the other hand, the many of younger generation have uncertain knowledge on production engineering. We have started the “TORANOMAKI” (the bible of arts) activities in order to improve this situation and pass on veteran’s knowledge to younger generation. We developed the “TORANOMAKI” system using “HOZO ontology building tool”, “Google earth”, “Magpie” and “Marginalia” to transfer the sophisticated production engineering and empirical knowledge to younger generation. The “TORANOMAKI” is the book in ancient China which describes the theory of strategy on war. The most of Japanese know this name as the key to their success.

1.はじめに

ものづくり技術虎の巻は、航空エンジン部品の生産技術（工程設計、治工具設計、NC プログラム、設備導入など）で使用されている形式知（技術資料、教育資料、マニュアルなど）および暗黙知（工程設計者、治工具設計者の経験則など）の見える化を実施し、ものづくりノウハウの消滅防止、生産技術の伝承を実現するためのものである。

航空エンジン部品製造の要である生産技術部門では他産業と同様に「ベテラン生産技術者の退職」（すなわち団塊の世代の退職）が起こりつつあり、早急に彼らの持っている技術を保存蓄積し、若い世代へ伝承していく必要がある。しかしながら、彼らの持っている技術は工程設計、治工具設計、NC プログラム、設備導入、段取り、製造立ち合い、不適合処理、改善など多岐に渡っている上、設計要求を具体的な部品に具現化するために必要とされる経験則や不適合に遭遇した経験の上に成立しており、形式知、暗黙知を問わず、これらの生産技術の明文化、見える化（可視化）、伝承は重要な課題である。

過去においても、航空エンジンの技術情報の明文化、見える化（可視化）、保存蓄積、伝承に関しては

その重要性が認識されており、ホストコンピュータおよびマイクロフィッシュを利用した検索システムやインターネット技術を用いたウェブページなどが作成され利用されてきた。しかしながら、これら従来のシステムは、保存される情報量の増加、利用期間の進展、維持作業の変更などに伴って利用勝手が悪くなる傾向（技術情報体系の乱れや矛盾、システムの複雑化や乱雑化など）があり、現時点では普遍的な技術の保存蓄積、伝承が可能なシステムに成り得ていない。このような状況に対応し、彼らの持っている生産技術を若い世代に伝承するためのシステムとしてもものづくり技術虎の巻を開発した。

ものづくり技術虎の巻の開発にあたり、生産技術の伝承および利用の観点から3つのコンセプトを考慮した。すなわち（1）社内のもので技術体系を構築して残す（2）新人からベテランまで業務を行う上で必要な知識が得られる（3）継続的に維持改良される、である。

システム開発の観点から以下の4つの技術を導入した。すなわち（1）体系化の技術としてオントロジー（2）見える化の技術としてグーグルアース（3）情報間のリンク技術としてマグパイ（4）利用者意見の収集技術としてマージナリア、である。

本報では、第2章においてものづくり技術虎の巻に関するベテラン生産技術者の技術情報、第3章において今までの伝承方法の問題点、第4章では伝承方法の検討、第5章で技術情報体系化手法の検討、第6章でものづくり技術虎の巻の仕様、第7章で技術情報の抽出方法、第8章で法造による虎の巻オンロジー、第9章ではグーグルアースを用いた技術情報の可視化について報告し、第10章においてものづくり技術虎の巻システムについて、第11章においてトップオンロジーYAMATO についての考察を行い、最後に今後の課題を述べる。

2. ベテラン生産技術者の技術情報

始めに「ベテラン生産技術者の持つ航空エンジン部品の生産技術に関する技術情報」(以下、技術情報と称する)について説明する。

2.1 技術情報の特徴

技術情報は工程設計、治工具設計、NC プログラム、設備導入、段取り、製造立ち合い、不適合処理、改善など多岐に渡っていると同時に設計要求を具体的な部品に具現化するために必要とされる経験則や不適合経験の上に成立している。技術情報は暗黙知または個人に帰属する形式知であることが多い。例えば治工具設計、工程設計などの分野では、現場での作業者との会話、準備工作作業での試行内容、公式な書類として記述することが難しいメモやポンチ絵などが頭の中、個人のノート、引き出しの中などに保存されている場合も多く、その利用も個人単位にとどまっている。生産技術に関する技術的な結論や思考結果は工程寸法を表した図面や作業方法を記述した作業指導書などに残されているが、その思考過程は残っていない。このため、若い世代がその思考過程を理解し、新しい部品の工程設計に応用することが難しい。また、部品の流用設計を行う場合には単なる過去の設計結果の模倣に陥る危険性が高くなっている。

2.2 技術情報の定義

技術情報は以下の3つと定義した。すなわち(1)業務フロー(2)業務フローを構成する個別業務のノウハウ(3)業務フローや個別業務のノウハウの元となっている思考過程(情報が生み出されるプロセス)、である。

3. 今までの伝承方法の問題点

技術情報の伝承方法に関して、利用者からの聞き取りなどにより以下に示すような問題点があること

がわかっている。

3.1 ウェブページによる可視化の限界

一般的に社内の各職場ではウェブページを作成し、技術情報を収集、整理、掲載して技術の伝承を図っている。しかしながら、膨大な量の技術情報を、文字や図表情報としてウェブ画面で可視化する場合、体系的に理解させ、それらの技術の思考過程を伝承させるためには、単なる項目別の文章や図表の羅列では不十分で、ウェブページによる可視化の限界があると認識されている。ものづくり技術虎の巻を利用すると想定される若い世代やマネージメント上層部との議論では、技術情報を共有化および見える化し、若い世代に伝承するためには従来のウェブ画面を主体としたユーザーインターフェースだけでは難しく、新しいユーザーインターフェースが必要との意見がある。

3.2 ウェブページの陳腐化

技術情報は日々発生しており、更新される情報量が多い。これらの更新情報が全体の体系を考慮せずに追記されること(極端な場合はただ単に最後に追記されるといった無秩序な更新)などの要因から、当初考えられていたウェブページ全体の考え方やレイアウトに沿って内容を適切に更新できず、その内容が徐々に崩れていき、作成当初は利用できたものが、徐々に内容が陳腐化したり、ハイパーリンク関係が矛盾した状態となり、ウェブページの維持およびその利用が難しくなる。ウェブページの推奨構成を提示しているオープンディレクトリプロジェクト[3]によれば、「サブカテゴリーの作成は分類数が20サイトをこえた場合」となっているがこのような規則が満足されている例は少ない。タイトルに関しても、つけかたが体系的に統一されていることは少ない。

3.3 マクロとミクロの視点の不連続

ウェブページを利用して技術情報を公開し、その技術を伝承する場合、一つのウェブページにたくさんリンクが施されていると、探し始めたときに問題となっていた事項(マクロの視点の技術情報)と途中でリンク先から得られる細目情報(ミクロの視点の技術情報)の関連がわからなくなる場合がある。いわゆるネットサーフィンの状態である。このような状態になってしまうと伝承すべき事項と付随している情報が混合されてしまい、核となっている重要な技術情報の伝達が難しくなる。初期の調査項目(マクロの視点)と途中で得られる細目(ミクロの視点)の両方をバランスよく伝えることが必要であるが、

この要求をうまく解決できる手段が見つかっていない。

3.4 技術情報の量および階層

技術情報の語彙およびその階層に関して、(1) 技術情報の語彙は数万～数十万 (2) 業務フロー、ノウハウともに20階層程度の複数の階層構造と想定され、これらの技術情報はいままでのウェブページなどでは一目瞭然に見ることができず、円滑に必要な情報を探すことも難しい。

3.5 思考過程の伝わりにくさ

従来から技術情報の可視化は図面、作業指導書、仕様書などで行われており、ここに技術情報のすべてが書かれているとの見方がある。この見方はものを製造する観点では十分な見方である。一方で工程設計のような、ものを考える観点でみると、図面という表現方法は結果は書くことはできてもその過程を描く記述方法は規定されていないため、その見方は十分ではない。ここに思考過程が伝わりにくい根本的な原因が隠されている。このため、社内では各種の技術的な報告書などでこの不足部分を補ってきたが、昨今の開発期間短縮、多品種少量生産などの影響を受けて詳細な技術報告書を残すための時間の取得が難しくなっており、図面や作業指導書などに記述できない思考過程のポイント、気づき事項、キーワードなどが伝わりにくくなっている。

4. 伝承方法の検討

今までの伝承方法の問題点を踏まえ、ものづくり技術虎の巻の具体的なイメージ、利用者から見た伝承方法の要件を検討した。

4.1 「鳥の目」「虫の目」の共存

技術情報がミクロの目（虫の目；詳細担当者レベル）でもマクロの目（鳥の目；マネジメントレベル）でも見えること。ミクロの目で見ているときは全体の構成は必要ないのでマクロの状態は見えなくてよい。逆にマクロの目で見ているときは煩雑になるのでミクロの状態は見えなくてよい。鳥瞰図、俯瞰図両方の見方ができること。

4.2 自動車ナビゲーションのような誘導

技術情報は複雑であることから、自動車のナビゲーションシステムのようなイメージで細部の業務フローや思考過程が再現できること。業務フローが初めから終わりまで連続的に示され、途中で必要な情

報が提示され、必要に応じて計算やダウンロードができること、業務フローの実現時に過不足なく必要な情報が得られること。

4.3 自然語検索とキーワード絞込み

キーワードによる検索に比較し若い世代が利用しやすい自然語による検索ができること。ただし、機種、部品、材料などのキーワードによる絞込みもできること。利用者の利便性を考慮し、同音意義語（MIN;最小とMIN;機械名称）、異音同義語（HPC/HPコンプレッサー;共に高圧圧縮機）が違和感なく処理できること。

4.4 おすすめ情報の表示

技術情報の単語間の連想のようにひとつの項目に関連する重要な事項がわかること。たとえば、旋盤という言葉を探した人にはバイトという言葉がおすすめ情報として表示されること。言い換えれば、検索した言葉だけがヒットするだけでなく、関連付けられた用語も検索結果としてでてくること。おすすめ情報は体系化された技術情報データにしたがって表示されること。利用者あるいはシステム維持者などの勝手なリンクによるおすすめ情報ではないこと。

4.5 関係情報のリンク

検索された情報の親概念の情報や子供概念の情報などがひも付き（芋づる式）で出てくること。また、表示されたページ内にシステム内に保存されている情報がある場合はその情報へ移動できること。

4.6 継続的に更新されること

保存されている技術情報について利用者がコメントを作成でき継続的に最新情報に更新できること。コメントの入力は簡単にできること。

5. 技術情報体系化の手法検討

技術情報体系化の手法として、IDEF0/IDEF1X とオントロジーの手法の2種類について検討した。

5.1 IDEF0/IDEF1X による体系化

ベテラン生産技術者から抽出された技術情報の中で、特に業務フローを主体にした体系化を考える場合、IDEF0 による入力、出力、コントロール、メカニズムの記述とそれらをベースにした IDEF1X によるデータベース構造を作成することにより技術情報の体系化が可能と考えられる。過去において、航空エンジン部品のサプライチェーンでの業務フローお

よび知識の抽出とデータベース化をおこなった経験がありその有効性は認識されている。今回の技術情報の体系化においては、業務フローとともにノウハウの抽出が必要となっているが、ベテラン技術者の立場で考えると、比較的簡単な IDEF0 による業務フローの作成は可能であると考えられるが、IDEF1X による直接的なデータベース構造の作成は難しいと判断している。

IDEF0/IDEF1X : IDEF (Integration DEFinition) はシステム工学やソフトウェア工学分野における統合化定義のためのモデリング手法である。機能モデリングからデータ、シミュレーション、オブジェクト指向の分析/設計と知識獲得までの幅広い利用レンジをカバーしている。本 IDEF の説明はウィキペディア <http://ja.wikipedia.org/wiki/IDEF> から引用した。

5.2 オントロジーによる体系化

技術情報を体系的に整理する場合、従来から行われている担当者の直感や経験に基づくリンク関係を基本とした体系化では前述のように時間とともに破綻する確率が高い。直感や経験ではなく、一元的な階層構造で表し、かつ「一般-特殊」、「全体-部分」などの関係で明示的に技術情報を表すことができるオントロジーの考え方は今回のものづくり技術虎の巻システムの考え方に合致している。筆者らは過去にオントロジーを用いて技術情報を整理し体系化した経験がないが、「一般-特殊」、「全体-部分」の考え方は利用者との事前の打ち合わせでも理解が得られており、有効な手段と考えられる。

5.3 オントロジーツールの選定

ものづくり虎の巻をオントロジーを利用して作成する場合、(1) ベテラン生産技術者などの生産技術部門の担当者が直接オントロジーを作成すること (2) 日本語の環境で使用できること (2) 利用方法について国内で支援をうけることが可能であることなどの理由からオントロジー作成ツールは海外のものではなく、また国内の他のプロジェクトでも利用実績のある大阪大学溝口研究室で開発された「法造」を使用することとした。[1][2][10]

6. ものづくり技術虎の巻の仕様

6.1 全体仕様

伝承方法の検討および技術情報体系化の手法検討に基づいて、ものづくり技術虎の巻システムの仕様を設定した。ものづくり技術虎の巻システムは二つ

の部分で構成される。

(1) 体系化された技術情報のデータベース
技術情報を整理した「ものづくり技術虎の巻オントロジー」(8章で説明する)

(2) 利用者画面

技術情報を「ものづくり技術虎の巻オントロジー」をベースにグーグルアース、マグパイ、マージナリア、ウェブ画面を用いて見える化(可視化)したものの。業務フローの表示画面とノウハウの表示画面で構成されている。図1にものづくり技術虎の巻全体仕様を示す。

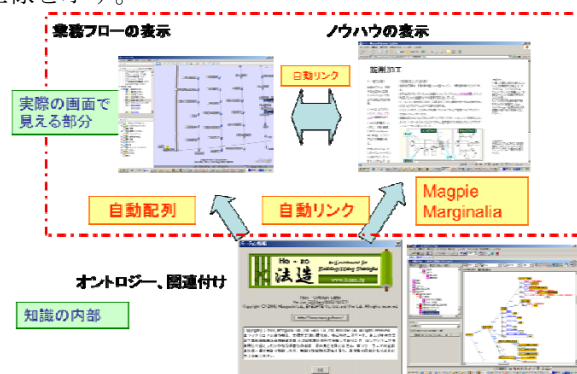


図1 ものづくり技術虎の巻全体仕様

6.2 業務フローの画面仕様

業務フローの表示画面では大きな業務の流れ(マクロの目;鳥の目)から詳細業務の流れ(ミクロの目;虫の目)までを体系的かつシームレスに表示することができる。表示される業務をクリックすることでノウハウを表示することが可能とすること。図2に業務フローの表示画面のイメージを示す。

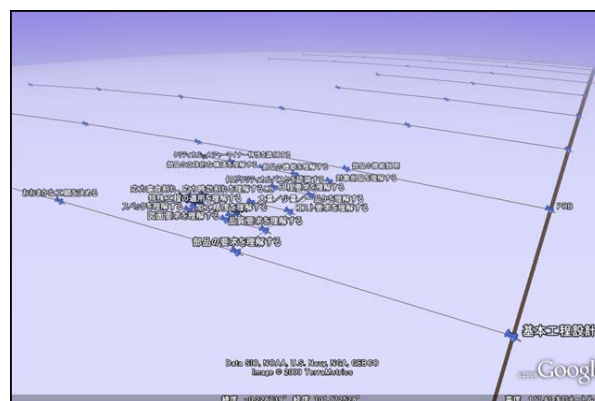


図2 業務フローの表示画面

6.3 ノウハウ表示の画面仕様

業務フローの表示画面で個別の業務をクリックす

ることで技術情報を表示すること。技術情報はひも付き（芋づる式）で次々として出てくること。また、技術情報表示画面では業務遂行に必要な入出力情報、考え方、必要な技術知識、周辺知識などを表示すること。図3に技術情報の表示画面を示す。



図3 技術情報の表示画面

6.4 システム開発の流れ

ものづくり技術虎の巻システムは以下の順序にしたがって開発する。(1) ベテラン技術者の持つ技術情報の抽出 (2) 虎の巻オントロジーの作成 (3) 可視化システムの開発 以下に開発作業の概要を示す。

7. 技術情報の抽出

ものづくり技術虎の巻システム開発の第1ステップとして、次に示す五つの方法により技術情報を抽出した。これらの抽出方法には一長一短があり一概にどれが最良ということではない。今回の場合はベテラン生産技術者の気質、聞き出す内容、時間的な制限、地理的な制限などに応じてこれら五つの抽出方法を適宜取捨選択して生産技術情報の抽出を行った。どの抽出方法であっても、技術情報の抽出作業は法造によるオントロジー作成を考慮して、2段階に分けて行った。まずはじめに、技術情報の全体を把握するために、(1) どのような業務フローになっているか (2) どのような技術が存在しているか (3) どのように分類できるかなどを聞き出した。この抽出結果は主として法造によるオントロジーの業務フロー体系および知識体系の作成に使用される。次に、聞き出した個別の技術について (4) それはどのような技術か (5) 何がノウハウかといった技術の内容について抽出をおこなった。この抽出結果は主としてノウハウの詳細を記述したウェブページの作成に使用される。

7.1 本人による技術情報の書き出し

本人自身で自分の持つ業務フロー、個別業務のノウハウ、思考過程を書き出す場合、本人自身では何が自分自身の持っている暗黙知や形式知なのか認識できない状況に陥ることも多い。このため、自分自身で重要な暗黙知や形式知と認識できたものであれば詳細な技術が書き出せるが、認識できずになかなか自分自身から拾い出せない場合が多い。

7.2 対面インタビューによる聞き出し

対面インタビューにより技術情報を聞き出す場合、対面インタビューを行う人の特質/能力によるところが大きい。忍耐強く相手との会話を進める能力や相手が憤慨した場合でもうまくかわす能力などが求められる。ベテラン生産技術者から技術情報を根気よく引き出すには相手との会話の中からキーとなる文章や言葉を聞き出したうえで5W1H、5S、4M、「なぜなぜ分析」などを意識しながら「なぜそれを行うのか」、「それは何なのか」、「次は何をやるのか」、「誰がやるのか」といったような情報を引き出していく必要がある。

- ・5W1H : What, Why, Where, When, Who, How
- ・5S : 整理、整頓、清掃、清潔、躰
- ・4M : Man, Machine, Material, Method
- ・なぜなぜ分析 : なぜなぜの質問を繰り返す

対面インタビューにより聞き出す場合は本人の負荷は本人一人で書き出す場合より軽減され、引き出される内容も多くなるが、聞き出した情報は比較的長い文章で表される場合が多く、後述する法造による体系化において文章の解体（主語、述語、形容詞などの分解）が必要となる。間接的な要素であるが、インタビューの頻度については、すくなくとも二人による会議を複数回行う場合が多く、頻繁な打ち合わせ日程の調整などが必要となる。

7.3 電話、テレビ会議による聞き出し

ベテラン生産技術者が地理的に離れている場合に有効な手段であり、基本的には対面インタビューと同じ手法で聞き出しが可能である。直接相手の顔が見えない分、対面の場合に比べ相手との会話が途切れがちになることがあり、その分インタビュワー側の負担が大きくなる。対面インタビューに比べ1回で聞き出せる情報量は少なくなるので打ち合わせの回数は増加する。会議の席上では聞き出した情報について書きなぐることが多いため、会議後に聞き出した情報の整理、文章化、図表追加などの作業が発生する場合が多い。

7.4 送受信されたメールからの文章抽出

ベテラン生産技術者が現場作業、製品設計者などとやり取りしたメールには技術情報が含まれている場合が多い。したがって特定の事項について送受信された一連のメールを抽出し、その中から技術情報の文章を抽出することは効率的にベテラン生産技術者の技術情報を収集することになる。メールに記述される文章は口語的に書かれたものや、同音異義語、異音同義語などを多く含んでいる場合がある。したがって法造による体系化においては前述の文章の解体と同時にこれらの整理が必要となる。

7.5 教育用資料からの文章抽出

ベテラン生産技術者により教育用に編集された資料にはメールと同様に技術情報が含まれている場合が多い。特に教育用と銘打っている場合には初心者にはわかるように図表が添付されている場合が多く非常に有効である。複数回の教育に使用されたものについては少しずつ内容の異なる版が多く、重複を避けて体系化するためには抽出した文章および図表の整理が必要となる。

8. 法造による虎の巻オントロジー

インタビューなどにより抽出した技術情報について、法造を用いて整理と体系化を実施した。法造を用いたものづくり技術虎の巻オントロジーの作成方法について述べる。

図4に法造を使用したものづくり技術虎の巻オントロジーの作成方法を示す。

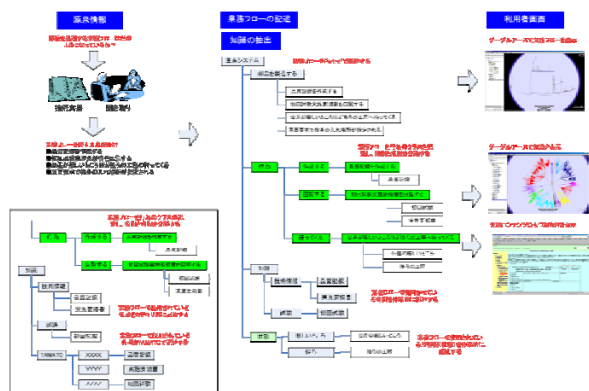


図4 法造を使用したオントロジーの作成方法

8.1 虎の巻オントロジーの基本構成

技術情報を記述するため、オントロジーの第1階層に「部品製造」「知識」および「行為」の三つのクラスを配置した。「部品製造」は技術情報の中の業務

フローおよび思考過程を表す。「行為」は業務フローに含まれる個別行為を表す。「知識」は個別行為の中に含まれる業務情報を表す名詞、形容詞、副詞を表す。

8.2 業務フローの記述

技術情報のうち、業務フローおよび思考過程に関する情報は「部品製造」の partOf として記述した。ある部品を製造するための業務フローはその部品を製造するために必要な一つの部分と解釈し、全体部分の考え方 (partOf) で記述するのが適切であると考えた。業務フローはその業務の詳細作業フローを階層的に持っており、その階層構造はそのまま partOf の階層構造とした。思考過程についても業務フローと同様の扱いとした。

業務フローを表す技術情報は比較的長い文章で表されるがそのまま記述した。たとえば次のような例である。「図面要求で検査の入れ場所が指定される」

ここで作成された partOf の情報が後述のグーグルアースを用いて見える化され、ベテラン生産技術者の持つ業務フローが形式知化されたことになり、若い世代への伝承が可能となる。

8.3 行為の記述

「部品製造」の partOf で記述された業務フローの文章は「行為」クラスの配下のサブクラスとして定義した。業務フローをあらわす文章の基本形式は「何々を何々する」という形をとっているため、この文章の中から業務行為を表す述語「何々する」に着目し業務フローの整理を行った。行為の体系化とその利用方法についてはまだ結論が出ておらず引き続き検討する。

8.4 ひも付きとなる単語の抽出

「行為」のサブクラスとして記述された文章は前述のとおり「何々を何々する」をいう基本形式をもっており、この中にはベテラン生産技術者が使用しているノウハウを含む技術的な単語が含まれている。たとえば前述の「図面要求で検査の入れ場所が指定される」の場合、この文章の中には以下に示すようなノウハウを含むいくつかの技術的な単語が含まれている。図面、図面要求、検査、検査の入れ場所。

これらの技術的な単語は「図面要求で検査の入れ場所が指定される」という行為を実現するために必要な部分を構成していると考え、このサブクラスの partOf で記述することとした。このサブクラスを構成する技術的な単語がおすすめ情報やひも付き情報として形式知化されたことになり、ウェブ画面やマグパイで利用する。

8.5 ひも付きとなる単語の体系化

「行為」のサブクラスで partOf として定義された技術的な単語は「知識」クラスの配下でクラスを作成し整理体系化した。体系化にあたっては次項に示すような階層構造を用いた。ここで作成されたクラスの情報がグーグルアースおよびマグパイで見える化され、ベテラン生産技術者の持つ単語間の連想関係が形式知化されたことになる。

8.6 体系化の階層構造

技術情報の体系化は以下の5層により行った。図5に法造を使用したものづくり技術虎の巻オントロジーの階層を示す。

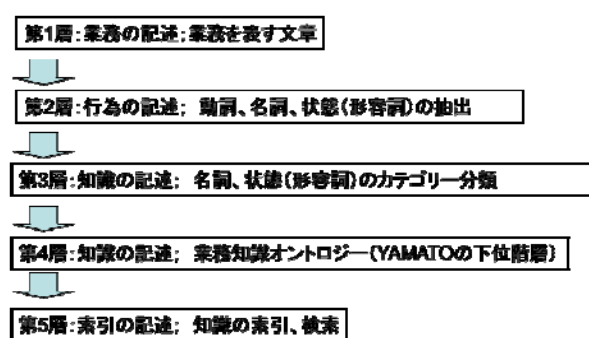


図5 法造を使用したオントロジーの階層構造

(1) 第1階層；業務フロー、思考過程の記述

第1階層はベテラン生産技術者から抽出した技術情報（業務フロー、思考過程）を記述する層で、抽出した文章は「部品製造」クラスの partOf として記述した。

(2) 第2階層；行為の記述

第2階層は「部品製造」クラスの partOf で記述した技術情報を業務行為の体系として定義する層で、「行為」配下のサブクラスとして記述した。この層で業務フローを表す「述語」（動詞）、業務フローを成立させている情報を表す「主語」（名詞）、業務フローの性質を表している形容詞や副詞を分離し、ひも付き情報として次の層で体系化した。

(3) 第3階層；技術的な単語の体系化（その1）

第3階層は「行為」配下の partOf で記述した技術的な単語を「知識」クラスのサブクラスまたは partOf として記述した。この層は形式的にはオントロジーの表現を利用しているが本質分類に従っておらずオントロジーにはなっていない。現時点では国会図書館分類に近い構成となっている。一見すると見慣れた構成になっており、利用者が情報を掴み取るためのはじめの見え方としては捨てがたい魅力がある。

(4) 第4階層；技術的な単語の体系化（その2）

第4階層は第3階層と同様に「行為」配下の partOf で記述した技術的な単語を「知識」クラスのサブクラスまたは partOf として記述する。この層は本質分類にしたがって体系化したオントロジーを表している。YAMATO をベースに作成中であるがトップオントロジーで定義されているクラスとものづくり技術虎の巻で扱う技術的な単語の間には隔たりがあり作成に時間を要している。YAMATO へ割り付けの検討については11項で述べる。

(5) 第5階層；索引

第5層はすべての階層にあるクラスを検索するための索引の層である。「索引」クラスに配下にすべてのクラスを partOf の階層で記述している。索引はアルファベット順とあいうえお順で構成されている。

9. 技術情報の可視化

オントロジーにより体系化された技術情報を見える化（可視化）し、若い世代に理解させ伝承するために、グーグルアース、マグパイ、マージナリアを利用したユーザーインターフェースを開発した。

9.1 地理体系の応用

オントロジーにより体系化された技術情報の構造を、利用者にとってなじみ深くかつ理解の容易な地球上の位置体系（経度、緯度、高度）および地理情報体系（国、住所、大陸、国境などの概念）に写像し、利用者の利便性を向上させるとともに伝承を可能とする手法を開発した。

9.2 自己相似形式による表現

オントロジーにより体系化された技術情報を理解する場合、広範囲の情報に基づく「概要把握；鳥の目」の場合と細部を理解する「詳細把握；虫の目」とでその思考パターンが同様であることに着目し、体系化された情報の表現には重畳的（自己相似的、再帰的）な数学モデル（たとえばフラクタルモデルなど）を適用させる手法を開発した。重畳的な数学モデルの表現は9.1項で記述した位置体系、地理情報体系とも親和性がよく、利用者の理解を容易にさせることに寄与している。

9.3 グーグルアースによる表現

オントロジーにより体系化された技術情報を、利用者が間違いなく利用できるように誘導するために、これらの技術情報をグーグルアースの3次元空間構造に写像し、各項目の視認性および特定項目への誘導方法（鳥瞰図的な誘導、俯瞰的な誘導、マクロ的な誘導、ミクロ的な誘導、道路ナビゲーション的な

誘導、フライスルー的な誘導など)を可能とする手法を開発した。グーグルアースの3次元空間構造での表現は9.1項で記述した位置体系、地理情報体系とも親和性がよく、利用者の理解を容易にさせることに寄与している。[5][6][9]

9.4 マグパイによるハイパーリンク更新

オントロジーにより体系化された技術情報を、ウェブ技術に基づいた表現(たとえばHTMLなど)に加工して利用し、更新するが、情報間相互のハイパーリンクの陳腐化を回避するために、法造、マグパイおよび虎の巻オントロジーを利用して適切にハイパーリンクを再作成する手法を開発した。[7]

9.5 マージナリアによる意見収集

オントロジーにより体系化された技術情報を、ウェブ技術に基づいた表現(たとえばHTMLなど)に加工して利用し、これらの情報に対して意見を収集する場合、従来の方法では一定の言語形式で意見を書き入れることが要求されており、一定の言語形式の習得がむずかしく、現場で作業者が直接意見を書き入れることが困難であった。これらの問題を回避するため、マージナリアを利用して、利用者の使用する画面の一部分に自然語でそのまま書き入れることを可能とする手法を開発した。[4][8]

10.ものづくり技術虎の巻システム

6項のものづくり技術虎の巻の仕様、7項の技術情報抽出作業、8項の法造による虎の巻オントロジーに基づいて開発したものづくり技術虎の巻システムの概要を以下に示す。

10.1 グーグルアースでの業務フロー表示

グーグルアースを利用した業務フローの表示画面を以下に示す。赤道線を東に向かってに生産技術に関する主たる業務フローが示される。その業務フロー上にある個別の業務から北に向かってその業務の詳細業務フローが示される。さらにまたその詳細業務フロー上にある個別の業務から東に向かってさらに詳細な業務フローが示される。すなわち、東→北→東→北と辿ることにより業務フローが「鳥の目」から「虫の目」まで誘導できる。図6に業務フロー画面を示す。

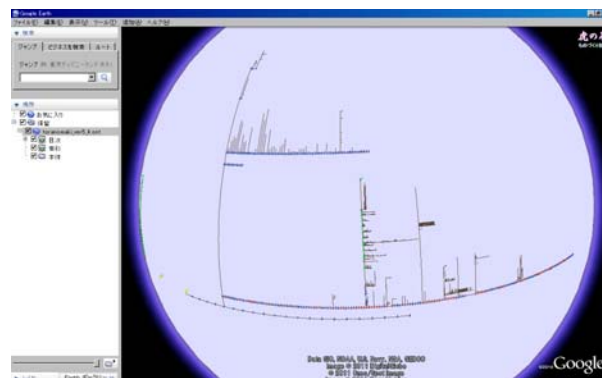


図6 業務フロー画面

10.2 グーグルアースでの知識表示

グーグルアースを利用した知識の体系画面を以下に示す。南極点を中心として生産技術に関する行為、名詞、形容詞などの技術情報が樹木状に展開される。技術情報は階層構造となっており北極点から赤道へ向かうにつれて階層が深くなり、詳細な技術情報が示される。図7に知識体系画面を示す。

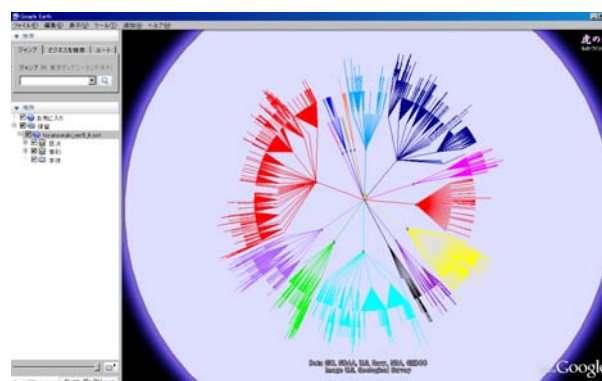


図7 知識体系画面

10.3 ウェブによる思考過程表示画面

ウェブを利用した思考過程の表示画面を以下に示す。右側のフレームには思考過程を記述した文章および図が示されている。左側のフレームにはおすすめ情報が示される。図8に思考過程表示画面を示す。

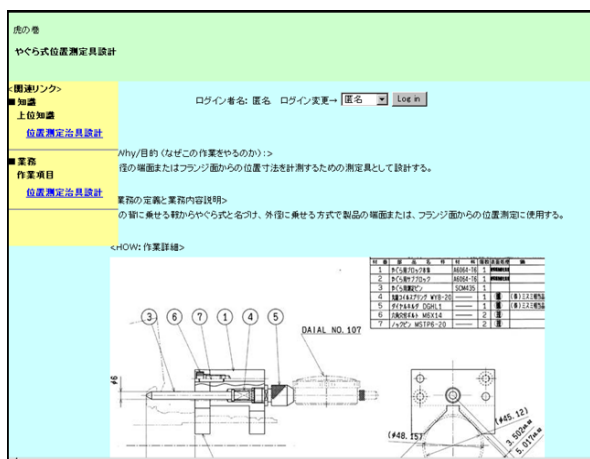


図8 ノウハウ表示画面

対象業務フロー(3500個)中の動詞分類

物理/認知区分	ボトムアップ分類	
製造物具現化行為	現物製作行為	124
	現物移動行為	16
	現物調達行為	14
	安全衛生行為	4
	保管行為	2
製造物認知行為	設計検討行為	85
	マネジメント行為	63
	情報作成編集行為	35
	情報授受行為	28
	確認行為	19
	意思疎通行為	18
	情報検索行為	8
	要求行為	6
	理解行為	5
	認定行為	1

動詞数合計 428

図9 動詞分類

11. YAMATO への割り付け

現在虎の巻オントロジーを YAMATO に準拠して作成中であるが、その一部を以下に記述する。今後、割り付け部分の妥当性については議論を行う予定である。

11.1 行為を表す動詞

技術情報のうち、業務フローとして抽出された文章から行為を表す動詞を抽出し、業務の観点からみた分類にしたがってボトムアップ的に 15 種類に類別した。抽出した 15 種類の行為は、直接部品に関する作業を遂行する行為「製造物具現化行為」と、直接、部品に関する作業ではなく、設計業務、マネジメント業務などの紙の上の行為「製造物認知行為」に分けることができる。それぞれの構成比率を見ると、「製造物具現化行為」と「製造物認知行為」の割合は約 4:6 でやや認知行為の比率が大きい。「製造物具現化行為」は「現物製作行為」に関する動詞で約 8 割を占めているが、「製造物認知行為」では「設計検討行為」、「マネジメント行為」、「情報作成編集行為」、「情報授受行為」などの多岐に渡った動詞が使用されていることがわかる。このことはベテラン生産技術者の業務フローが複数の視点で捉えられていることを示しており技術情報の伝承の観点からは重要な点であると考えられる。図 9 に動詞分類を示す。

11.2 国会図書館分類と YAMATO

図 10 に虎の巻の技術情報と国会図書館分類と YAMATO の関係を示す。国会図書館分類に比べて YAMATO の階層は深く直観的には位置づけを把握することが難しいことがわかる。両者をどのように使い分けるかについては今後検討をする。

11.3 「部品製造」の割り付け

8.1 項に示したオントロジーの第 1 階層にある「部品製造」(たとえば「ディスク製造」、「治工具製造」、「設備工事」など)は複数の人が 3 次元空間で、ある時間を費やして行う複数の行為と考えられるので、YAMATO の composite_action (複合行為)に割り当てた。「部品製造」の詳細業務フロー、思考過程はこの composite_action(複合行為)の配下で記述する。図 10 に YAMATO の部品製造および行為割り付けを示す。

```

action/behavio/motion_行為・挙動・動作
├─action/behavior_行為・振る舞い
│   └─action_行為
│       └─simple action_単純行為
│           └─single actor action_単独行為者行為
│               └─physical action_物理的的行為
│                   └─object action_オブジェクトレベル行為
│                       └─achievement action 1_達成型行為1
│                           └─object achievement_対象物達成型行為
│                               └─★製造物具現化行為
│               └─cognitive action_認知行為
│                   └─★製造物認知行為
│       └─composite action_複合行為
│           └─★部品製造
    
```

図 10 YAMATO 部品製造および行為割り付け

11.4 「行為」の割り付け

8.1 項に示したオントロジーの第1階層にある「行為」は一人の業務担当者が3次元空間である時間を費やして行う物理的な行為である。したがって、直接部品を扱う行為すなわち「製造物具現化行為」は YAMATO の `object_achievement` (対象物達成型行為) に、直接部品を扱わない設計などの行為すなわち「製造物認知行為」は YAMATO の `cognitive_action`(認知行為)に割り当てた。図1 1に YAMATO の部品製造および行為割り付けを示す。

11.5 「知識」の割り付け

「知識」は概念が多岐に渡っているため YAMATO のいくつかの部分に割り付けることになる。ここではいくつかの例を示す。

11.5.1 設計、製造技術関連

8.1 項に示したオントロジーの第1階層にある「知識」のうち、「設計」、「製造技術」関連は具体的なものであり、通常は継続的な業務の中で使用されると同時にその定義が時間とともに変化するものなので、YAMATO の `designed_prpposition` (設計型命題)に割り当てた。図1 1に YAMATO での「設計」、「製造技術」割り付け部分を示す。

```
entity_実在物
|-physical_具体物
|-abstract_抽象物
|-semi abstract_準抽象物
|-mind_精神
|-content_内容
|-prpposition_命題
|-representation-secondary_表現-secondary
|-representation-primary_表現-primary
|-designed prpposition_設計型命題
|-plan_計画
|-specification_仕様
|-★知識
|-★設計
|-★製造技術
```

図1 1 「設計」、「製造技術」割り付け

11.5.2 製造物関連

8.1 項に示したオントロジーの第1階層にある「知識」のうち、「航空原動機製品」、「部品」、「治工具」、「設備」関連は具体的なものであり、通常は継続的な業務の中で空間におかれて使用されるものなので、YAMATO の `non-representationg thing` (非表現物)に割り当てた。図1 2に YAMATO での「航空原動機製品」、「部品」、「治工具」、「設備」割り付け部分を示す。

す。

```
entity_実在物
|-physical_具体物
|-occurrent_生起物
|-continuant_もの
|-object_オブジェクト
|-functional_機能物
|-living organism_生命体
|-artifact_人工物
|-non-representating thing_非表現物
|-paper_紙
|-automobile_自動車
|-★航空原動機製品
|-★部品
|-★治工具
|-★設備
```

図1 2 「航空原動機製品」などの割り付け

11.5.3 材質関連

8.1 項に示したオントロジーの第1階層にある「知識」のうち、「材質」関連は基本的な概念なので、YAMATO の `substance` (物質)に割り当てた。図1 3に YAMATO での「材質」割り付け部分を示す。

```
particular
|-substrate_基盤
|-space_空間
|-time_時間
|-substance_物質
|-★材質
|-★チタン合金
|-★ニッケル合金
```

図1 3 「材質」の割り付け

11.5.4 加工時間

8.1 項に示したオントロジーの第1階層にある「知識」のうち、「加工時間」関連は基本的な概念なので、YAMATO の `time duration` (時間長)に割り当てた。図1 4に YAMATO での「加工時間」割り付け部分を示す。

```
particular
|-substrate_基盤
|-space_空間
|-time_時間
|-time duration_時間長
|-★加工時間
|-★作業時間
```

図1 4 「加工時間」の割り付け

11.5.5 図面、作業指導書関連

8.1 項に示したオントロジーの第1階層にある「知識」のうち、「図面」、「作業指導書」などの技術文書関連は設計結果などの情報を紙や電子ファイルなどの媒体に表現したものなので、YAMATOの composite representation (複合表現)に割り当てた。図15にYAMATOでの「図面」、「作業指導書」割り付け部分を示す。

```

semi abstract_準抽象物
|-mind_精神
|-content_内容
|-representation_表現関連
  |-composite representation_複合表現
    |-★図面
    |-★作業指導書
  
```

図15 「図面」の割り付け

11.6 形容詞の割り付け

個別の業務フローから抜き出される形容詞にはベテラン生産技術者の思考過程で用いられる判断基準が含まれていると考えられる。この形容詞は「知識」クラスに attributeOf または partOf で付属して存在するものなので、YAMATOの dependent entity_依存性実在物に割り当てりこととした。形容詞は種類が多岐に渡っているため詳細は検討中であるが、以下に「よい」の例を示す。ベテラン生産技術者が製造物あるいはその製造過程などの評価をする場合に「XXXはよい」あるいは「XXXはよいか」といった表現がでてくる。例えば、「ヘリカルギアのアッシー状態はよいか」、「精度はよいか」、「セットブロックなどの位置はよいか」などである。この「よい」という状態を表す形容詞はYAMATOの good_bad value (良悪)に割り付けた。図16にYAMATOでの「よい」割り付け部分を示す。

```

dependent entity_依存性実在物
|-quality value
  |-categorical_カテゴリーカル
  |-quantity_量
    |-quantitative quantity_定量値
    |-qualitative quantity_定性値
      |-attribute_independent_属性中立
        |-meta attribute value_メタ属性値
        |-non-meta value_Nonメタ属性値
          |-binary_value_2値
            |-quantity quality value_値量定性値
            |-good_bad value_良悪
              |-★よい
            
```

図16に「よい」割り付け

12 今後の課題

ものづくり技術虎の巻システム開発を通して得られた課題を以下に示す。

12.1 YAMATO への割り付け

現在まだYAMATOへの割り付けは完了していない。今後YAMATOへの割り付けを行い本質分類による体系化をすすめ、ベテラン生産技術者の思考過程の形式知化の深度を進める。国会図書館分類のようななじみ深い分類体系とどのように共存させるかについても今後検討する。

12.2 分類軸の異なるものの表現

一つの技術的な単語を特殊化する場合、数種類の分類軸がある場合があり、どのように表現するか難しい。例えば、「部品」を特殊化する場合、以下のようになくさんの分類軸がある。

(1) 部品の種類によって分類する(ディスク、シャフト、フレームなど) (2) 部品の新旧の状態でも分類する(旧部品、新部品など) (3) 部品の大きさでも分類する(大物部品、小物部品) (4) 部品の構成でも分類する(組立部品、子部品、親部品)

図17に分類軸の異なるものの表現を示す。

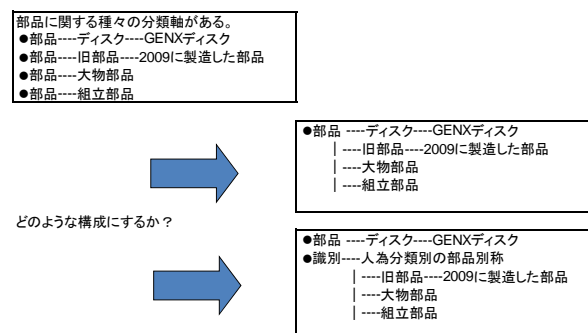


図17 分類軸の異なるものの表現

12.3 同音異義と同義異音

ベテラン生産技術者の技術情報の中には同音異義や同義異音の単語が存在している。これらの単語の辞書の作成が必要である。

同音異義語「MIN」(最小、機器名称)

同義異音語「高圧圧縮機」(高圧コンプレッサー、HPC、HP コンプレッサ、HP コンプ)

図18に同音異義と同義異音を示す

●同音異義

MIN (最小) vs MIN (機器名称)

●同義異音

HPC (高圧圧縮機) HPコンプレッサー (高圧圧縮機)

図 1 8 同音異義と同義異音

12.4 業務のテンプレート

ベテラン生産技術者の技術情報を包括的に扱うためのクラスと partOf のテンプレートを使用している。技術情報の種類の増大に対応してこのテンプレートの改良が必要である。図 1 9 に業務のテンプレートを示す。

部品製造
p/o 業務の定義と業務内容説明:業務の定義と業務内容説明
p/o Why/目的 (なぜこの作業をやるのか) ::Why/目的 (なぜこの作業をやるのか) :
p/o 入力:入力
p/o 出力:出力
p/o HOW : 作業詳細:部品製造
p/o 該当機種:製品
p/o 該当部品:部品
p/o 該当材料:材質
p/o 必要な知識:知識
p/o 必要な規定:規定
p/o 使用ツール/テンプレート:知識
p/o 生産技術的観点からの確認:知識
p/o 不適合:不適合
a/o 識別:識別
a/o セキュリティ項目:セキュリティ項目
a/o 虎の巻書誌項目:虎の巻書誌項目
p/o 根拠 : この作業が実現できる技術的な根拠 : :知識
p/o 根拠 : この作業が実現できる品質保証的な根拠 : :知識
p/o 工事形態:工事形態
p/o 構成品:部品
p/o 工程:工程確立
p/o 仕様書:仕様書
p/o 参考図面:図面
p/o 担当者:担当者
p/o コスト:コスト
p/o 日付:日付

図 1 9 業務のテンプレート

謝辞

ものづくり技術虎の巻プロジェクトに対する大阪大学産業科学研究所知識システム分野溝口理一郎先生および古崎晃司先生の多大なるご支援に感謝いたします。

参考文献

- [1] 溝口理一郎, 来村徳信 (大阪大学 産業科学研究所) 布瀬雅義 (住友電気工業 (株) 生産技術部) 「オントロジー工学の成功事例～機能オントロジーに基づく生産技術知識の共有・再利用～」人工知能学会・知識ベースシステム研究会 (第 57 回) 特別講演 2002 年 9 月 10 日
- [2] 高藤淳、来村徳信、溝口理一郎 (大阪大学産業科学研究所)、「オントロジー工学と XML 技術に基づく技術知識統合管理プラットフォームの構築 人工知能学会論文誌 23 巻 6 号 SP-F (2008 年)

参考 URL

- [3] Open Directory Project <http://www.dmoz.org> The Open Directory Project is the largest, most comprehensive human-edited directory of the Web. It is constructed and maintained by a vast, global community of volunteer editors.
- [4] SIGWP Special Internet Group on Wikipedia Research <http://wikipedia-lab.org/> Wikipedia 研究所は、Wikipedia のダイナミクスの解析やコンテンツ解析を行う研究グループ
- [5] The Open Geospatial Consortium, Inc.® (OGC) <http://www.opengeospatial.org/> The Open Geospatial Consortium, Inc.® (OGC) is a non-profit, international, voluntary consensus standards organization that is leading the development of standards for geospatial and location based services (KML 規格)
- [6] Google Earth <http://www.google.com/earth/index.html> グーグルアースホーム
- [7] Magpie The Semantic Filter <http://projects.kmi.open.ac.uk/magpie/main.html> マグパイホーム
- [8] Marginalia Web Annotation <http://www.geof.net/code/annotation/> マージナリアホーム
- [9] KML リファレンス <http://code.google.com/intl/ja/apis/kml/documentation/kmlreference.html> KML 言語説明サイト
- [10] 法造 <http://www.hozo.jp> 日本図書館研究会 整理技

術研究グループ月例研究会 オントロジー構築入門よ
りよいオントロジー構築のための考え方と指針 大阪
大学産業科学研究所 溝口研究室 古崎晃司

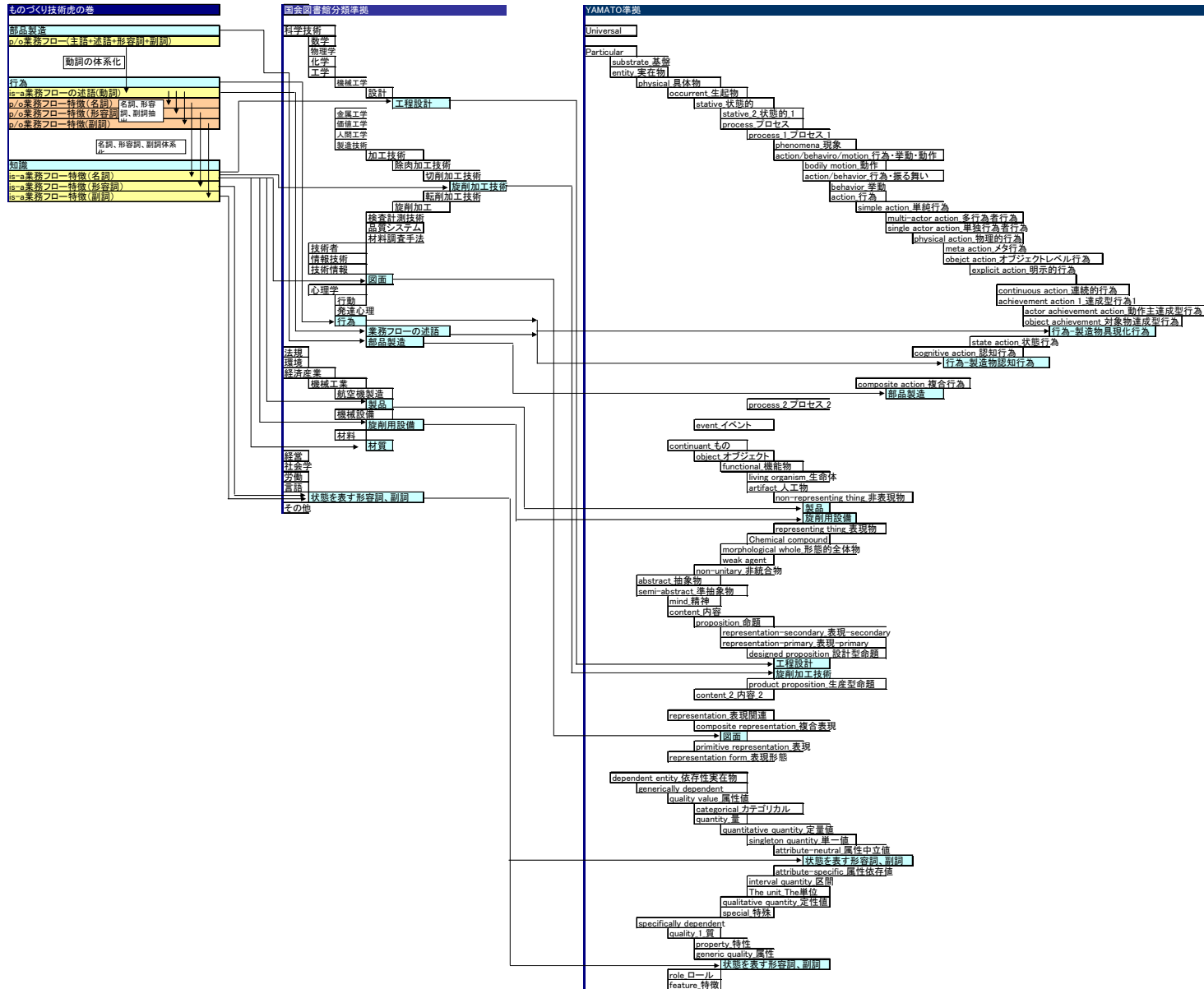


図 10 虎の巻の技術情報、国会図書館分類、YAMATO の関係