

Refereed Conference paper

## ShareFast による設計業務支援と設計情報管理

稗方和夫<sup>\*1</sup>, 大和裕幸<sup>\*2</sup>, 尾石航<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>東京大学大学院工学系研究科

<sup>\*2</sup>東京大学大学院新領域創成科学研究科

hiekata@nak.tu-tokyo.ac.jp, {yamato, oishi}@is.ku-tokyo.ac.jp

製造業の設計業務において、過去の製品の設計事例に関する情報は重要である。ところが、実際の企業の設計部署において、これらの情報は厳密に記録・管理・共有されていないことが多い。本研究では、厳密な設計情報管理をねらいとする設計業務支援システムを開発した。本システムは知識管理ソフトウェア ShareFast を拡張する形で開発され、プロセスベースの業務支援、セマンティックウェブ技術を用いたクライアント・サーバ型システムによるデータ管理を特徴とする。本稿では、本システムを船舶設計の業務支援に適用した実験事例をあげ、厳密な設計情報管理機能を示した上で、蓄積された情報を可視化して知識伝承に活用する手法を提案する。

## Design Support and Data Management Using ShareFast

Kazu Hiekata<sup>\*3</sup>, Hiroyuki Yamato<sup>\*4</sup>, Wataru Oishi<sup>\*4</sup>

<sup>\*3</sup> School of Engineering, The University of Tokyo

<sup>\*4</sup> Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

hiekata@nak.tu-tokyo.ac.jp, {yamato, oishi}@is.ku-tokyo.ac.jp

In engineering design, data about previously designed products are significant. In many companies, however, design data are neither accurately recorded, managed, nor shared. Authors developed a design support system that manages the design data. The system was developed based on ShareFast, open source knowledge management software. It provides process-based design support, and manages the data over a server/client system using the Semantic Web technology. The system was experimented in ship design, and the results illustrate its advantage of accurate design data management. This paper also proposes a methodology of visualization of the recorded data for transferring design knowledge.

### 1. 緒言

製造業の設計業務において、過去の製品の設計事例に関するデータは企業の重要な知的資産であり、これを管理する手法が課題になっている。

過去の設計情報は、データの再利用に伴う設計品質の向上やリードタイムの短縮、設計技術の知識伝承の促進、製品の不具合発生時の問題の把握・分析などに役立つ。特に知識伝承の観点では、2007年問題と呼ばれる、団塊世代の熟練技術者の大量退職の懸念から、ますますその重要性が高まっている<sup>1)</sup>。

ところが、設計情報は組織内で厳密に記録、管理、共有されていないことが多く、散逸してしまっている。こうした背景で、設計の意図やノウハウを共有・伝承することをねらいとした情報システムに関する研究が多くなされている。CAD/CAEを文書管理ソフトと統合し、作業中に設計意図を記録できるシステム<sup>2)</sup>、オントロジー工学などに基づく語彙定義を用いた設計意図記述支援システム<sup>3)</sup>、設

計者の思考過程を表現する手法<sup>4)</sup>、メールや掲示板等のデータを用いた知識伝承手法<sup>5)</sup>などがその例である。

本研究は、厳密な設計情報の管理と設計の知識技術伝承を目的とする。対象として、数値計算を多く用いる、パラメトリックな要素の強い設計業務を扱う。

また、その支援ツールとして、設計業務支援システムを開発した。このシステムは、設計部署で既に使用されている、構造解析などの特性計算プログラムと連携する。その上で、要目検討段階において繰り返される計算の履歴データを記録する。

ソフトウェアは東京大学で開発されているオープンソースの知識文書管理ソフトウェア ShareFast をベースとし、これを拡張する形で行った。

### 2. 知識文書管理ソフトウェア ShareFast

ShareFast は、著者らが開発しているオープンソースの知識文書管理ソフトウェアである。プロセスベースの知識獲

得・業務支援モデル、サーバ・クライアント型システム、セマンティックウェブ技術を用いたデータ管理を特徴としている。ここでは、ShareFastのこれら3つの特徴について説明する。

## 2.1 プロセスベースの知識獲得・業務支援モデル

ShareFastは、業務における作業プロセスを「ワークフロー」と呼ばれる図式で表現する。ワークフローはFig. 1中央に示すように、複数のタスクによって構成され、フローチャート形式で業務の流れを図示し、プロセス全体の概観を助ける。個々のワークフローはFig. 1左部のような階層構造で保存されており、ユーザはどのプロセスについてのワークフローを見るかを選択することができる。

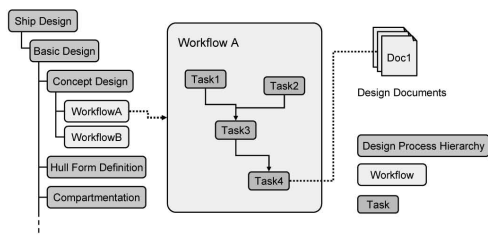


Fig. 1. Process-based document management

さらに、ワークフローを業務に必要な知識文書と関連付けることによって、従来のフォルダ構造による文書管理と比べて、より整理された形での知識獲得を可能にしている。具体的には、Fig. 2で示されるように、ワークフロー画面のタスクボックスをクリックすると、そのタスクに関連付けられた文書の一覧が表示される。その一覧から、作業者がそのタスクを行う上で必要な、マニュアルなどの文書を取得、閲覧することができる。

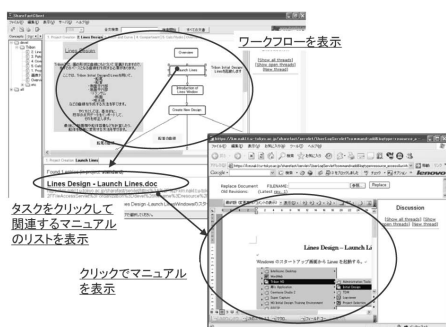


Fig. 2. Browsing document

以上の機能により、作業開始前にワークフローによりプロセス全体を概観し、作業を進めながら、詳細な知識文書をタスク毎に関連する文書として閲覧する、といった知識獲得モデルが実現される。著者らはこれまでに、このようなプロセスベースの

知識伝承手法を提案してきた<sup>9)</sup>。

さらに、文書閲覧をベースとした知識伝承手法だけではなく、外部プログラムと連携した形での業務支援手法についても提案してきた<sup>7)</sup>。タスクをクリックすると、ShareFastがCADなどのソフトウェアを起動し、必要な作業環境に遷移するといった機能である。

本稿では、コマンドライン上で動作する、特性解析などを目的とした計算プログラムを、ShareFastと連携させた業務支援手法を提案する。これについては3項で述べる。

## 2.2 サーバ・クライアント型システム

ShareFastはFig. 3で示されるようなサーバ・クライアント型システムである。サーバアプリケーションはJava言語とサーブレット技術で開発されており、ワークフローや文書などのデータを管理する。一方、クライアントアプリケーションはVisual C#.NETで開発されており、ユーザはクライアントを用いてワークフローの記述、文書のアップロード、またワークフローや文書の閲覧をする。

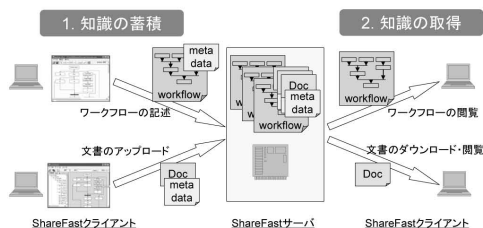


Fig. 3. Knowledge transfer model over server/client system

## 2.3 RDFを用いたデータ構造

それぞれの文書やワークフローにはメタデータが付加されている。メタデータには文書とタスクの関連などが記述されている。メタデータ記述には、セマンティックウェブ技術<sup>9)</sup>におけるデータ表現の枠組みであるRDF<sup>9)</sup>、および語彙定義の枠組みであるRDFスキーマ<sup>10)</sup>が用いられている。これらの枠組みは、Java言語用セマンティックウェブ・フレームワークJenaをサーバプログラムに組み込むことで実装されている。

文書、タスク、ワークフロー、およびワークフローの階層といったプロセスの要素は、全てRDFのリソースとして表現され、一意の識別子URIが割り振られる。要素間の関連はRDFトリプルで表現される。Fig. 4はワークフロー、タスク、文書の関連の表現例である。

文書などのリソースの検索・抽出は、RDFグラフのパターンマッチングによって行われる。RDQL (RDF Data Query Language)<sup>11)</sup>やSPARQL (Simple Protocol And RDF Query

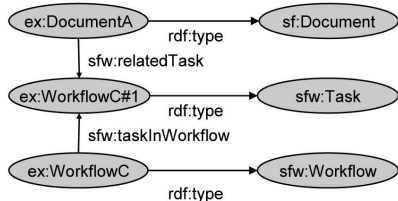


Fig. 4. RDF description of workflow, task and document

Language)<sup>12)</sup>によるクエリをソフトウェア内で生成し、必要なリソースを抽出する。

RDF を用いたデータ構造により、文書やタスクなど同名のインスタンスの識別、ワークフロー、タスク、文書などの間の複雑な包含関係などの記述、文書など各要素の検索・抽出、といったことを容易にしている。

### 3. ShareFast による設計業務支援

本研究では ShareFast を拡張することで、設計情報管理のための設計業務支援システムを開発した。ShareFast を特性計算プログラムと連携させ、計算試行ごとの入出力データを記録させる機能を追加した。

#### 3.1 計算プログラムを用いた設計業務とその問題点

今日、製造業の設計の現場では、構造解析などの特性計算や最適化のプログラムが多く使われている。

CAD については、既製のパッケージソフトウェアが広く用いられている一方で、このような特性計算プログラムについては内製の割合が高い。ソフトウェアを内製することの大きな利点としては、技術流出の防止があげられる。一方で、内製ソフトウェアは独自のインターフェースやデータ形式を用いていることが多いため、業務アプリケーションとの連携が難しい。

事例として、Fig. 5 で示されるよう計算プログラムを使用する設計業務を想定する。このプログラムは MS-DOS などのコマンドラインで動作する。設計者は一度の計算を行う際、まず要求仕様や製品形状といった入力データをテキストファイルに打ち込む。その上で、コマンドラインから計算プログラムを実行し、入力ファイルのパスを引数として与える。計算プログラムは入力データを読み取って所定の計算を行い、結果を出力ファイルに書き出す。

入力データや出力データのテキストファイルの形式は、Fig. 6 のようなものを想定する。特徴として、スペースやタブで区切った数字の羅列になっていて、各カラム位置に入力すべき値がプログラム毎に取り決められている。

以上のような特徴を持つ計算プログラムは、特に重工業や造船業などの設計部署で多く存在する。これらのプログ



Fig. 5. I/O of command-line calculation program

```

0
2
10 1
20 -5 1 70 -3750 750
20 71 1 102 55300 2800
20 103 1 151 142850 750
30 0 1 1 0 500
30 2 1 20 1200 700
40 21 1 23 1500 650
40 24 1 34 3500 700
40 35 1 40 11200 800
  
```

Fig. 6. Example of input data file

ラムの中には、情報技術が発達する以前の 70~80 年代に内製されたものも多い<sup>13)</sup>。

ところが、上で述べたような作業には、情報共有や知識伝承の観点で多くの問題点がある。まず、入出力データは当事者以外の人間には読みにくく、設計案ごとの比較もしづらい。また、それらのデータは作業者のローカルの計算機上で繰り返し書きかえられ、その変更履歴が残ることはほとんどない。「一番うまくいった」採用データしか保存・管理されず、それ以前の試行の記録は残らない。結果として、製品設計サイクルをどれだけ回しても、1 項で述べたような設計品質の向上、知識伝承、不具合発生時の問題把握に結びつかない。

#### 3.2 ShareFast と計算プログラムの連携

以上のような問題を解決するために、内製による計算プログラムと ShareFast を連携させ、各計算試行のデータを ShareFast で保存・管理するしくみを開発した。

Fig. 7 のように、ワークフロー上で計算を行うタスクをクリックすると、文書の一覧表示に加え、そのタスクに関連づけられた計算プログラムを実行するためのランチャー画面を表示する。ランチャー画面は、関連づけられた計算プログラムのパスを保持している。

このランチャー画面の動作の流れを Fig. 8 に示す。作業者がこの画面で「実行」ボタンを押すと、作業者が用意した入力ファイルを計算プログラムが読み取って計算し、結果を出力ファイルに書き出す。

入力ファイルは、設計部署が従来用いていた形式を使うことができる。ただし、これらのファイルが持つ各種変数の値を ShareFast に保存するため、Fig. 8 の Parser.exe のような解析プログラムが必要になる。解析プログラムは、入出力ファイルのテキストを解析して記録する変数の値

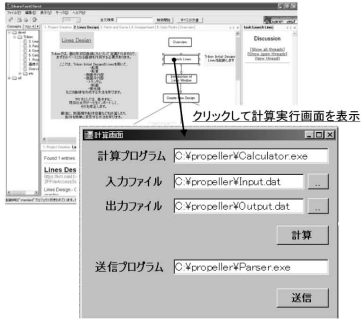


Fig. 7. Calculation program launcher

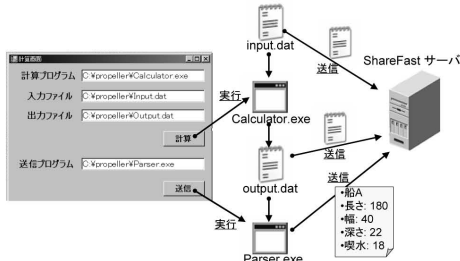


Fig. 8. Schematic of transferring design data

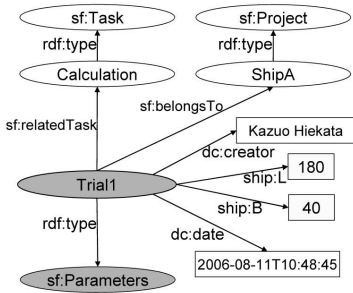


Fig. 9. RDF graph of calculation data

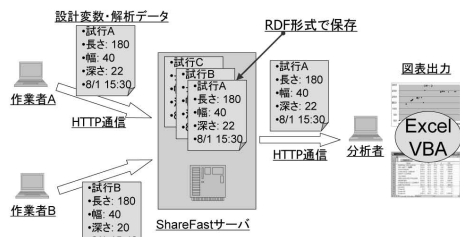


Fig. 10. Schematic of design data management

を取り出し、HTTPのPOSTメソッドでShareFastサーバに送信する。解析プログラムは、計算プログラムごとに作成する必要があるが、その工数は少ない。後述の実験では、解析プログラムのコードはわずか約100行であった。

### 3.3 試行履歴の記録手法

サーバ側での計算データの管理にも、セマンティックウェブ技術が用いられている。HTTPで送られる計算データはRDFに整形され、保存される。このRDFの例をFig.9に示す。sf.Parametersというクラスのインスタンスが、計算試行1回分のデータを表す。各変数はship:L(船体の長さ)やship:B(船の幅)といったプロパティの値として表現される。これらのプロパティの定義は、そのためのRDFスキーマを作成することで行う。

### 3.4 試行履歴の可視化手法

サーバにRDF形式で蓄えられた試行履歴データは、HTTP通信とXML解析によって取得することができる。

Fig.10はExcel VBAのマクロによって結果の一覧を取得し、図や表の形に整理する例をあらわしている。このようなくみで、例えば作業員ごと、プロジェクトごとの結果を比較したり、特定の作業員の時系列作業履歴を分析したりすることができる。

## 4. 船舶設計への適用実験

ShareFastに新たに実装した以上のような設計業務支援、設計情報管理の機能を、学生の船舶設計演習で使用する実験を行った。

実験用の例題として、レース用ボートの設計問題を単純化したものを用いた。ボートの種類は、Fig.11に示すようなSES(Surface Effect Ship)と呼ばれる、ホバークラフトのような浮上船の模型を設定した。これは、双胴船(左右対称の2つの胴体からなる船)の前後に気密用のスカートを取り付けて船底と水面の間の空間(エアークッション)を密閉し、取り付けられたファンによってクッション内部の気圧を高め、船体を浮上させることで抵抗を減少させ、高速化した船である。

本実験では、このSESの静水中の船速計算プログラムを設計者である学生に配布し、模型船の要目を決定させた。設計変数として、「船体の長さ」、「クッション幅」(二胴の船体間の距離)、「ファンへ流す電気出力」の3つが設定されている。他の要目、例えば船体の高さなどは、簡単のため適当な値に固定されている。目的関数は、「静水



Fig. 11. SES model boat

中の船速」(最大化)のみが設定されている。問題の分類としては多変量単目的関数の最適化問題である。

本問題には複数の制約条件やトレードオフがあり、それらを考慮した上で、各要素が最適にバランスする箇所を探す必要がある。例えばファン出力を上げることは、船体により浮上するため加速要因になる一方で、プロペラへ伝達される出力は減少するため、推進力が減少するという減速要因も持つ。またクッション幅を広げることは、クッション面積の増加に伴い、同じクッション圧力(つまり同じファン出力)のもとで浮力が増すため加速要因になる一方で、スカート部の摩擦抵抗が増加するという減速要因も持つ。

この設計問題について、設計者は入力データファイル上で3つの設計変数の値を書き換えながら計算プログラムを繰り返し実行し、最適な変数の組み合わせを探索した。計算プログラムの一度の実行を一度の試行とみなし、各設計者の全ての試行履歴を記録することができた。記録されたデータには、入力される設計変数の値や目的関数である船速だけでなく、フルード数、レイノルズ数、摩擦抵抗といった、計算過程で導出される特性値も記録されている。

これらのデータを可視化・分析することで、設計の知識伝承支援が可能だと考える。可視化の例として、Fig. 12はそれぞれの設計者が計算した船速値の時系列をプロットしたものである。実際の設計業務においても、このようなグラフを用いて、最適解にたどり着くのが早い熟練者と遅い若手との間で、時系列で計算品質の推移を比較することができる。また、試行と試行の間の空白時間が長い場合は、その間にどのような行動を取っていたのかを知る糸口にすることができる。つまり、結果をもとに設計者へのインタビューを行い、空白時間は文献を調べていたのか、電卓や手計算などで何かを見積もっていたのか、あるいは単に思考をめぐらせていたのか、などを聞けばよい。

続いて、設計者1名についての、より詳細な作業分析の

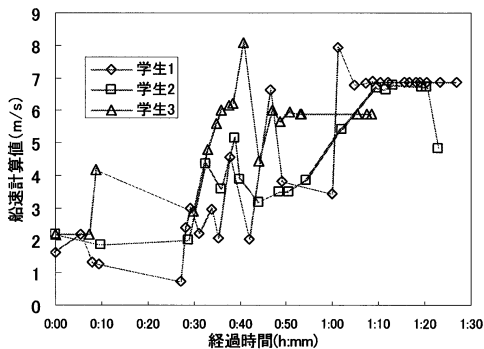


Fig. 12. Time series analysis of design improvement

例を示す。Fig. 13は、Fig. 12の学生3について、3つの変数値と船速を一つのグラフにまとめたものである。船速については、○でプロットされた太線が制約条件を満たす結果、×のプロットが制約条件を満たさない結果をあらわす。

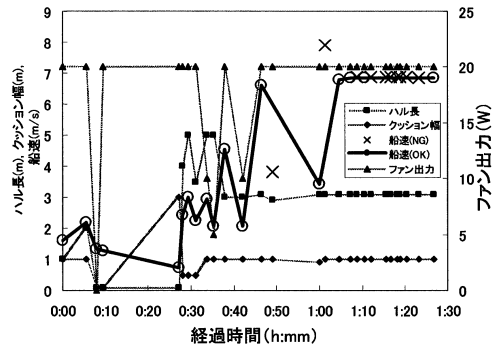


Fig. 13. Time series analysis of continuous trials

このようなグラフによって、より詳細な設計ノウハウを抽出することができる。例えば、学生3は、作業開始から約1時間の間は、パラメータを比較的大きく変更し、大域的な探索をしていたことがわかる。その後、船速7m/s弱と、ある程度満足のいく解が得られた後は局所的な探索をし、パラメータをわずかに調整させながら、制約条件を満たす最適解を探している様子が見て取れる。

加えて、学生3は1:20付近において、制約条件を満たさない試行を繰り返していたことがわかる。記録された詳細データを見ると、この付近で守られていない制約条件は、空気支持率と呼ばれる値であることがわかった。空気支持率とは、船体の総重量のうち、浮上時にクッション部が支持している割合のことである。本実験の制約条件としてこの値の上限を0.99と定めていたが、1:20付近の試行ではこれをわずかに上回ってしまっていた。学生3はこの値を下回る結果が出るまで、船体長さをわずかに縮めながら試行を繰り返したのである。以上のようにして、設計品質改善のノウハウを抽出することができる。具体的には、計算結果を要求性能や制約条件と照らし合わせ、どの変数をどのように変更すべきか、といったノウハウである。

## 5. 考察

開発したシステムによって、詳細な計算試行履歴のデータを記録することができた。また、記録されたデータを分析することで、熟練設計者のノウハウを抽出できる、あるいはノウハウ抽出の支援になると考えられる。

上記のような設計の情報管理・知識伝承の手法は、パラメトリックな設計業務に対しては汎用的に有効だと考え

られる。計算プログラムとの連携により、厳密なデータ記録を可能にしているためである。図面設計などについても、CADの形状データをシステムで記録することができれば、同様のことが可能だと考えられる。

ただし、実験で扱った設計問題は、ただ一つの計算プログラムを用いた単目的関数最適化問題という、単純なものである。実際の設計業務で扱うのは、ほとんどの場合、複数の計算プログラムを用いた多目的関数最適化問題である。しかし、このような複雑な設計業務についても、同じように設計情報管理・知識伝承支援ができると考える。

複数の計算プログラムに対応させるには、ワークフロー上で複数の計算タスクを用意し、個々のタスクに対して計算プログラムを関連づければよい。個々の計算結果には製品名のメタデータが付加されるので、異なるプログラムの計算データも製品ごとに管理することができる。

多目的関数問題の場合は、作業分析の際に、作業者がどの性能(目的関数)に注目して変数を修正したのか、ということも調べる必要がある。これについては、計算の出力データである性能値を、前後の試行計算のものと比較すれば、その試行で設計者が注目していた性能を特定することができると考えられる。

## 6. 結 言

厳密な設計情報管理を可能とするシステムの開発について報告し、その上で、システムに蓄積されたデータを知識管理のために可視化する手法を提案した。

具体的には、知識管理ソフトウェア ShareFast を拡張したシステムを開発し、計算プログラムをプロセスベースの設計業務支援システムと連動させた。その上で、繰り返される計算試行のそれぞれについての詳細データを、セマンティックウェブ技術を用いて管理し、それを Excel VBA マクロを用いて HTTP 通信で受信し、図や表に自動出力するようにした。

開発したシステムを、船舶設計業務に適用することを想定し、学生的设计演習で使用する実験を行った。設計者である学生の作業履歴を、図や表の形に可視化して分析し、作業者の設計ノウハウを抽出する例を示した。とりわけ、計算結果を目標性能や制約条件と照らし合わせ、設計品質をどのように改善していくかといったノウハウが伝承できる点が特異である。

本システムを企業の設計部署に導入することで、厳密な設計情報管理を実現し、熟練者の設計技術の伝承を促進することが期待される。

## 謝 辞

システム開発は情報処理推進機構の未踏ソフトウェア創成事業の支援を受けている。開発の助言を頂いた静岡大学の竹林洋一教授に厚く御礼申し上げる。実験に協力下さった学生各位に厚く御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 経済産業省、2006年版ものづくり白書(ものづくり基盤技術振興基本法第8条に基づく年次報告), 2006
- 2) 野間口大, 下村芳樹, 富山哲男, 設計者の思考過程のモデルを利用した設計知識管理システム, 人工知能学会論文誌, 20 卷 1 号, pp11-24, 2005
- 3) 妻屋彰, 永江政郎, 若松栄史, 白瀬敬一, 荒井栄司, 共有と再利用を考慮した設計情報の統合表現, 人工知能学会論文誌 17 卷 1 号, pp53-60, 2002
- 4) 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, 人工知能学会論文誌 17 卷 1 号, pp94-103, 2002
- 5) 阿部真美子, 梅木秀雄, 中山康子, コミュニケーション情報を活用した設計知識継承手法の提案, 情報処理学会研究報告, 2005-GN-55, pp13-18, 2005
- 6) 稗方和夫, 内藤紀彦, 大和裕幸, 安藤英幸, 中澤崇, 造船業における知識伝承システムに関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.2, pp131-137, 2006
- 7) 大和裕幸, 安藤英幸, 唐澤武郎, 内藤紀彦, セマンティックウェブとワークフローを用いた造船設計 CAD システム, 日本造船学会論文集, Vol.195, pp111-122, 2004
- 8) World Wide Web Consortium, Semantic Web, <http://www.w3.org/2001/sw>, 2004.
- 9) Graham Klyne, Jeremy J. Carroll, Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax, <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-concepts-20040210/>, 2004
- 10) Dan Brickley, R.V. Guha (eds.): RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema, <http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>, 2004
- 11) Andy Seaborne, RDQL - A Query Language for RDF, <http://www.w3.org/Submission/RDQL/>, 2004
- 12) World Wide Web Consortium, SPARQL Query Language for RDF, <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>, 2006
- 13) 経済産業省, 情報化関連投資における内製ソフトの推計と日米比較, 平成 12 年 1-3 月期 鉱工業生産活動分析, pp24-27, 2000