

平成 22年 5月31日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008 ～2009

課題番号：20760556

研究課題名（和文） 生産工程を考慮した設計のための知識蓄積システムの開発

研究課題名（英文） Design Knowledge Accumulation System for Production Process

研究代表者

稗方 和夫 (HIEKATA KAZUO)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号： 80396770

研究成果の概要（和文）：

造船設計者は後工程である生産工程も考慮した設計を期待されているが、製品およびプロセスの大規模化・複雑化が設計知識習得の本質的な難しさとなっていると考えられ、その難しさ、知識習得の負荷を情報技術により軽減することが喫緊の課題である。本研究では、生産など下流工程に配慮した基本設計を支援するために、大規模かつ複雑な船舶の設計・生産に関する知識をオントロジー技術により蓄積・再利用するシステムを開発した。

開発したシステムの評価は、造船会社へのヒアリングを通じて得られた生産工程や設計工程でのケーススタディにより行い、船殻ブロックの製品モデルおよび組立工程のプロセスを一元化して記述できることを示した。開発したシステムは、製品モデルおよびプロセスの関係を記述、蓄積でき、記述されたモデルから部品のツリーや組立工程のフローダイアグラムといった複数の形式で知識を出力でき、知識の再利用に有効であることが示された。また、生産工程において設計形状と実際の部材を計測して得られたデータを比較することにより加工工程の知識の抽出を行うアプローチの提案も行った。

研究成果の概要（英文）：

Designers for shipbuilding should design products considering the manufacturing process, but the design process for huge products such as ships are getting more and more complicated. Accelerating the knowledge transfer to novices is the challenge for many shipyards.

The study proposed a method for describing and accumulating design and manufacturing knowledge based on ontology technology. For efficient knowledge accumulation, the study focuses on design process for ships. Design and manufacturing knowledge is described in the system and is represented both in tree view of bills of materials format and in flow diagram in a case study.

Knowledge articulation method by comparing the design and measured data is also proposed for acquiring manufacturing knowledge.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：設計工学，生産工程，造船，オントロジー，情報システム，設計プロセス

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的背景

製造業において **Design for Manufacturing** の考え方の普及が進んでおり、設計者は後工程である生産工程も考慮した設計を期待されているが、船舶等の複雑化・大規模化が進んだ製品では工程や部門を越えた幅広い知識を身につけることは困難である。エンジニアが持つべき知識を製品知識（製品に関する知識）とプロセス知識（設計や業務のプロセスに関する知識）に分類して考えた場合、航空産業分野のように大規模化した工業製品の持つ複雑性が製品知識の習得を妨げていることを明らかにし、プロセス知識よりも製品知識の習得に時間を要することを指摘した先行研究も存在する。プロセス知識については、考慮すべき項目が多岐にわたり標準化が行われていない業務が、最も重要かつ熟練に時間と経験が必要であることが従来から指摘されている。よって、製品およびプロセスの大規模化・複雑化が設計知識習得の本質的な難しさとなっていると考えられ、その難しさ、知識習得の負荷を情報技術により軽減することが喫緊の課題である。

(2) 技術的背景

設計知識を扱う技術としてはオントロジーの研究が多数存在するが、これまでオントロジーへの過大な期待によりライトウェイトオントロジーの機能の低さやヘビーウェイトオントロジー開発の負荷の大きさへの批判も見られた。一方で、活発な研究活動を通じたオントロジーの標準化が進みつつあり、利用目的を明確に定義し、目的にあった粒度のオントロジーの開発・適用を行うことが重要であると考えられる。例えば、オントロジーを用いて蓄積された知識が **FMEA** やワークフローに変換可能であることを示した研究も存在し、オントロジーの適用分野・目的を限定することで、効率的な知識の蓄積・再利用が可能になると考えられる。

オントロジー等の知識を記述するためのインフラ技術を有効活用して、製品知識およびプロセス知識を計算機中に記述し、その知識の再利用を行うシステムの開発を行う。ただし、「知識の記述」の定義は **RDF** や **OWL** などのオントロジー記述言語による製品知識とプロセス知識の記述とし、「知識の再利用」は **RDF** や **OWL** により記述された知識

を、チェックリスト、ワークフロー、**FMEA** 等の形に変換して出力することとする。自動生成されたチェックリスト、ワークフロー、**FMEA** 等は設計者による評価で品質の検証を行う。実際の事例は過去の設計プロセスのインタビュー結果から適切な造船会社および設計プロセスを選定し、プロセス知識および製品知識の入力を行う。造船会社での調査を元に、例えば、基本計画の情報を用いた **FMEA** の自動生成、上流の船殻設計の情報から実際の構造部材の生産プロセス案の提示、などを表示するシステムの開発となる。

(3) 造船業ドメイン

次に、オントロジーによる造船設計の基本設計と生産の間の知識蓄積を考える。造船設計における知識を部品表(**BOM**)の観点から考えると、その設計知識は設計 **BOM** に近い役割を持つ上流設計モデルと製造 **BOM** に近い役割を持つ生産設計データに関するものに分割される。例えば船舶のブロックは親子関係を内包した製造 **BOM** のような意味合いを持つ。他の工業製品では設計 **BOM** と製造 **BOM** が同様の構造（モジュールのツリー）を持つが、造船業では上流のモデルと製造情報が異なる構造・モデルを持ち、この違いにより情報システムも異なるため、全体を見通した知識を身につけることをより困難にしていると考えられている。系統的で質の高い知識源として、製品知識については造船 **CIM** を通じて開発されたプロダクトモデル（≒製品オントロジー、製品知識）の利用が考えられるが、設計プロセスや製品とプロセスとの関係については **CIM** のプロセス表現を拡張して記述することが考えられる。

(4) 技術的課題と研究の意義

本研究で取り組む課題は、造船設計者による知識記述（オントロジー記述）の困難さである。この課題とは、人工知能分野では知識獲得のボトルネックと呼ばれ、ヘビーウェイトオントロジーでは開発負荷を指す。人工知能分野の従来研究では、製造業を代表とした実産業での知識記述の困難さを認識しつつも、主にインターネット等から得られるテキスト情報を用いた研究活動によりオントロジー利用の要素技術の発展を続けてきた。一方で本来オントロジーのユーザとなるべき産業ドメイン側のエンジニアにとってオントロジーは依然として扱いにくい技術であ

り、有効活用は出来ていない。そこで、本提案は、設計実務、設計プロセスの詳細な調査を背景に、オントロジーの考え方を造船設計に取り入れるアプローチで研究を進める。

これまで述べたように、本提案の中核となる技術はオントロジーである。オントロジー研究では対象物について計算機が理解できるように汎用的なモデリングを行うが、本研究では、オントロジーの利用を造船設計分野に限定することで実用性の高い知識再利用システムを開発する。また、オントロジーの開発をどの粒度に設定すれば造船設計分野に適用できるのか、造船設計の知識共有に適切なオントロジーとはどのようなものなのか明らかにし、同一コンセプトによる知識蓄積システムの他の工程や産業への横展開も期待できる。

本研究の達成により、**Design for Manufacturing** に基づいた設計品質の向上が期待できる造船向け知識管理システムが実現される。また、オントロジー応用研究の造船業における実例を示すことで、人工知能分野のオントロジー研究の発展に貢献できる。

2. 研究の目的

これらの背景から、生産など下流工程に配慮した基本設計を支援するために、近年発展の目覚ましいオントロジー研究の成果を利用し、大規模かつ複雑な船舶の設計・生産に関する知識をオントロジー技術により蓄積・再利用するシステムを開発することを本研究の目的とする。具体的には、設計プロセスと設計データの関連付けにオントロジーを利用した知識管理システム概念を導入し、大規模かつ複雑な設計プロセス知識、製品知識を統合管理できる知識蓄積システムを開発を目指す。

近年では複雑な事象の記述を行うために **OWL** のようなオントロジー記述言語は高機能化が進んでいる。このため、設計の上流と下流で製品モデルや情報システムが異なるため知識の統合管理が難しい造船設計分野でも、オントロジー技術を適切に導入することで新しい知識蓄積システムの開発が可能である。高度な知識システムでは一般の設計エンジニアが知識を登録すること、すなわちオントロジーの整備が困難であることが主な課題であるが、フローダイアグラムや工程表の記述など設計者に理解しやすいユーザインタフェースを導入して知識の記述を行い、その内容をオントロジーに変換することで再利用可能な知識の効率的な知識蓄積を実現する。開発したシステムを図1に示す。蓄積された知識はシステムによりチェックリスト、ワークフロー、**FMEA** 等の形で出力され、設計エンジニアの協力により知識の再

利用についての評価を行う。

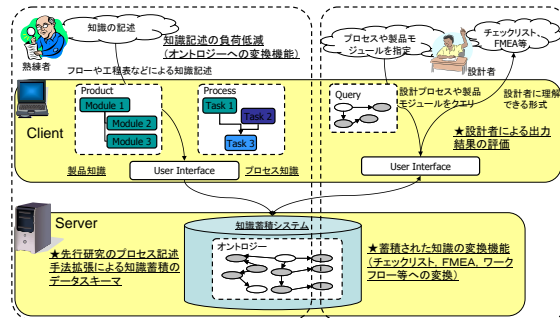


図1 システムの概要

3. 研究の方法

(1) システムの開発

オントロジーに関する知識をもたない造船設計エンジニアが自ら知識を記述することにより知識蓄積を行い、蓄積された知識を他の形式に変換して出力することが開発するシステムの基本的な利用シナリオである。ここでの課題は、本来オントロジーの専門家がかけて行うヘビーウェイトオントロジーの構築を、造船設計エンジニアが業務の合間に行うことである。ヘビーウェイトオントロジーは哲学的な考察に基づき対象世界を適切に捉えることを重視したオントロジーとも説明されており、ヘビーウェイトオントロジーは本来 **Protege** や法造のような高機能なオントロジーエディタによってのみ開発可能である。設計エンジニアが記述したフローダイアグラムを変換してアクティビティ間の関係を記述したオントロジーを構築した過去の研究例では、設計エンジニアが通常業務で利用しているシステムやツールをインタフェースとして知識獲得を行った。可能な範囲で業務への特化を進めることで設計エンジニアへの負荷をかけないヘビーウェイトオントロジーの構築方法を開発する。

システムの実装は、オントロジー記述言語でネットワーク上のリソース間の関係を記述できるセマンティックウェブを用いて、設計プロセスの記述を行った。プロセス中のアクティビティ単位に識別子を与え、識別子により特定される概念（プロセス中の作業、人工物等）の関係を記述した。基本的には同様の考え方で、ネスティング、**NCCAD** 図作成、と言った造船設計工程のすべての作業と、ロンジ、トランス、カラープレートなどすべての部材について識別子を与えてその関係を記述することで知識を蓄積する。なお、プロダクトモデルや部品表の情報などオントロジーと本質的には同じ意味を持つデータを変換することで、効率的な知識蓄積が可能となる。

(2) システムの評価

本手法の開発・検証には、複雑であるがパターン化の可能な業務が適していると考えられる。造船会社の設計部門でのアンケート結果から設計業務の重要度や難易度といった特徴を明らかにする方法が提案されているが、船殻設計を対象としたアンケートとその後のヒアリング結果から、例えば「鋼板ネスティング」が本手法の検証に適した設計作業として挙げられた。この業務は鋼板発注先の切断能力や海上輸送の可否など担当者の暗黙の了解となっている様々な制約条件を考慮して行われる複雑な業務であるが、パターン化も可能と考えられる。よって、先行研究の業務の重要度や難易度を明らかにするアンケート手法を拡張して本手法の対象として適した業務を抽出する手法の開発を行う必要がある。製品知識については過去の論文や CAD システムで利用されている既存の製品モデルを活用して、詳細なモデルの整備を行う。

前述のようにして選定された業務へのシステムの特化を進めることにより、設計エンジニアに大きな負荷をかけることなく知識記述を行う手法を開発する。また、設計エンジニアの協力を得て、開発した手法の検証を行う。具体的には、実務で使われている設計支援ソフトウェアあるいは汎用のソフトウェアにより、設計エンジニアが設計知識を記述し、記述された知識をオントロジーに変換して記録できることを確認する。システムの検証においては、設計エンジニアによる利用実験を行いシステムの問題点を抽出し、システムの実装面の工夫により設計エンジニアによる知識記述の負荷を低減する必要がある。

前述の仕組みにより、設計エンジニアが知識記述を行うとその知識はシステム上にオントロジー技術を利用して蓄積されるが、その知識が有効なものであるか検証を行う。例えば、上流の船殻設計で船体用の鋼材を変更すると、購買プロセスを通じてコストへの影響、溶接等の生産工程の作業への影響などが考えられるが、このような設計変更による影響を人間が理解できる形で出力し、その結果について設計エンジニアによる評価を行うことが期待される。

(3) 適用可能性評価

本研究の成果物はオントロジーを中核技術とした知識蓄積システムであり、システムのユーザである設計エンジニアには知識記述のインタフェースと蓄積された知識の出力結果が提供される。このため、本システムの適用可能性を評価するために、知識記述の作業負荷が本来の業務の負担にならない範囲であるか、蓄積された知識の出力結果の質が十分なものであるか、の二点について実務

担当者により評価を受ける必要がある。また、研究成果の実務への適用について、開発したシステムあるいはシステムのコンセプトが造船会社の現行システムに導入可能か造船会社のシステム担当者の協力による評価方法を検討する。

4. 研究成果

(1) 概要

造船所の生産工程の効率化や最適化の支援システムには様々な知識やノウハウが組み込まれているが、ブラックボックス化により今後その知識が伝承されないことが懸念される。そこで、高機能化が進んでいるオントロジー記述言語を利用して、造船 CIM などの業務プロセスに関する既存技術を実装し、単一のデータベースから複数の目的に利用できるデータの出力が可能な汎用の生産工程記述手法の開発を目的とする。開発した生産工程記述手法を仮想的な船殻ブロックの生産工程に適用し、パネルの板接ぎ溶接など詳細なレベルの記述により、各フェーズで費やされる工数等の入力、工程の依存関係などを表現できることを確認した。

(2) 開発した生産工程知識記述手法

RDFスキーマという計算機が解釈可能なオントロジー記述言語を用いて生産工程を記述する。具体的には生産工程を厳格に記述するために必要な語彙を複数定義し、それらの語彙を用いて工程や部材、中間アセンブリの関係を記述する。RDFスキーマにより語彙定義や定義した語彙による対象物のモデリングを実現する。生産工程を記述する語彙として、工程を示す"Operation"、分割不可能な基本的な部材を示す"Primitive"、2つ以上の"Primitive"を組み立てた部材"Assembly"を定義した。また、"Operation"は、その工程の材料として"input"という属性値に"Primitive"あるいは"Assembly"を持ち、工程の成果物"Assembly"を"output"という属性値に持ち、また、工数を"duration"という属性値に持つこととする。なお、これらの定義は IDEF によるプロセス記述を参考にした。「2つのプレートを板接溶接により接合し、アセンブリを作る。その工数が 10 である。」という工程を可読性の高い RDF グラフにより記述した例を図 2 に示す。図中の右側は実際の工程を記述した部分、左側が工程記述に使われる語彙の定義の部分である。語彙は必要に応じた拡張を行ったが、基本的なデータ構造は前述の 6 つの語彙により記述した。なお、工数については無次元化して単位を与えずに考えることとする。

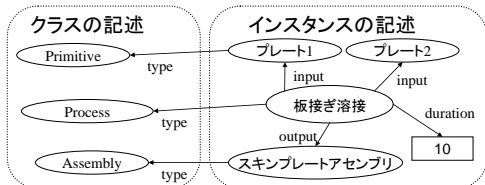


図2 RDFグラフによるプロセス記述

(3) 情報システムの開発

本研究では、RDFスキーマにより提案手法に基づいて生産工程の記述を支援するための情報システムを開発した。生産工程の記述は、すべての工程について図2の右側部分を定義することである。実際のRDFのデータはすべてXMLで記述されるため、右側部分の記述を支援するプログラムが必要となる。図3に図2の工程(Operation)の定義を行うための入力画面を示す。①は定義する工程の名称、②はこの工程の入力となる部材(Primitive)のリスト、③はこの工程で出来上がるアセンブリ(Output)の名称、④は必要な工数(duration)を記述する。このように定義された部材情報を含む工程は、一般的な部品表システムに近い形のツリー形式で図4のように表示される。定義した部材情報はツリー中のAssemblyのノードをドラッグアンドドロップにより移動して編集できる。

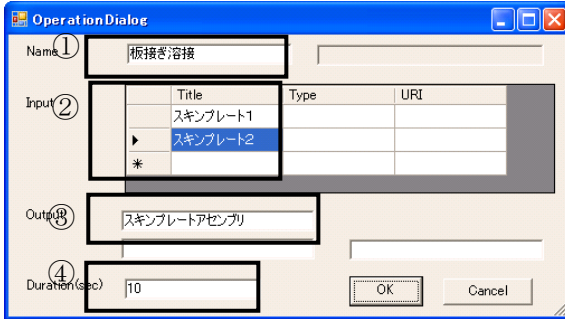


図3 ユーザインタフェース

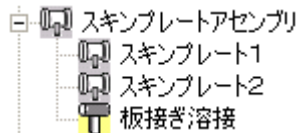


図4 生産工程のツリー形式記述例

(4) 工程記述によるシステムの検証

提案手法の評価のため、図5のような2つのプレートを接合し、ロンジ4、トランス1を取り付ける仮想的なブロックの2種類の生産工程の記述を行った。図5の上段はロンジを先にプレートに取り付けてからトランスを取り付ける方式で、下段はロンジとトランスの枠組を先に作り、昇目溶接でプレートに取り付ける方式を示している。システムの

説明上、それぞれの作業の工数を括弧内に示す。この2つの方式を対象とする。

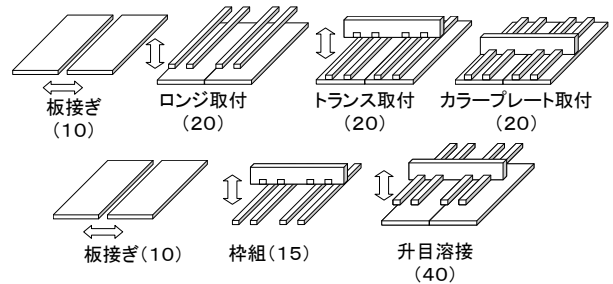


図5 ブロック組立方式の例

開発したプログラムで前述の2つの生産工程の記述を行った。図6に記述した工程を示す。上側はロンジ先付けの方式、下側が枠組方式を記述した例である。①②③の三箇所について説明する。①はトランスを取り付けるために開けたスリットを閉じるためのカラープレートを取り付ける工程である。この工程の入力としては、プレート、ロンジ、トランスを組み上げたパネルアセンブリと4つのカラープレートが定義されている。また、この工程のoutputはパネルアセンブリの完成品である。①の工程ではパネルアセンブリが入力として使われているが、このアセンブリはどのような部材をどんな手順で組み立てられたものかという情報は②に示されている。③は枠組方式でパネルアセンブリを完成させる手順を記述している。この場合、最終的な昇目溶接のinputはスキンプレートアセンブリと枠組アセンブリであり、ツリーの階層が浅くなっている。

記述された生産工程は、部品表システムと同様にツリー上に記述されているため各工程の依存関係も含んでいる。また、工程を示すOperationについては工数が定義されており、この2つの情報から図7のようなPERT図の生成が可能である。また、各アセンブリ単位で構成する部材のリストなど、部品表システムに近い情報の取得も可能である。

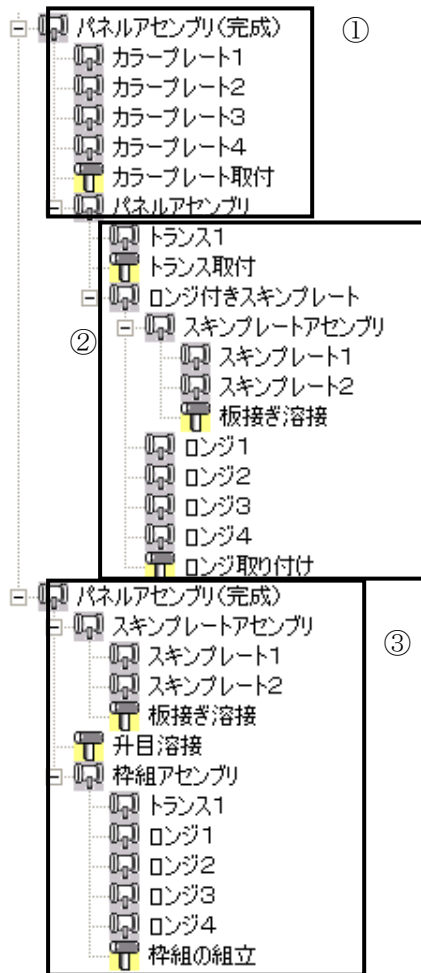


図6 ツリー形式のブロック組立プロセス記述

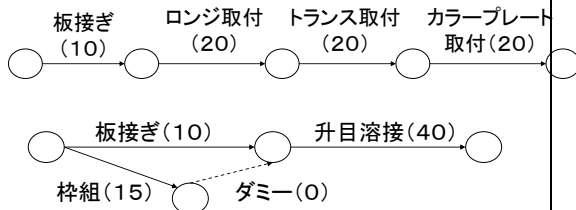


図7 PERT形式のブロック組立プロセス記述

(5) 結論

オントロジーを利用した造船の生産工程記述システムを開発し、仮想的なブロックの生産工程の記述を行った。記述した工程から、PERT図を生成できること、各アセンブリの構成要素を得られることを示し、複数の形式での出力が可能であることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計8件)

- ① Kazuo Hiekata, Hiroyuki Yamato, Piroon Rojanakamolsan, CAD Education Support System Based on

Workflow, Proceedings of 15th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, pp. 461-468, 2008.8, 査読有

- ② 稗方和夫, 大和裕幸, 辻本翔, オントロジーを用いた製造現場の不具合情報検索手法に関する研究, 人工知能学会第2種研究会資料, SIG-KST-2008-01-02, 2008.9, 査読無
- ③ 大和裕幸, 稗方和夫, 辻本翔, オントロジーを用いた類似不具合事例の収集システムに関する研究, 日本機械学会第18回設計工学・システム部門講演会, 1105, 2008.9, 査読無
- ④ 大和裕幸, 稗方和夫, 松野二郎, 辻本翔, オントロジーを用いた駐在監督報告書中の不具合情報検索手法に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, pp. 127-130, 2008.11, 査読無
- ⑤ 稗方和夫, 大和裕幸, オントロジーを利用した生産工程記述手法に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, pp. 131-132, 2008.11, 査読無
- ⑥ Kazuo Hiekata, Hiroyuki Yamato, A Study on Process Description Method for DFM Using Ontology, Competitive Design Proceedings of the 19th CIRP Design Conference, pp. 210-215, 2009.3, 査読無
- ⑦ 稗方和夫, 大和裕幸, ワークフローを用いた知識記述手法に関する研究, 情報処理学会研究報告, Vol.2009-DD-72 No.4, 2009.7, 査読無
- ⑧ 稗方和夫, 大和裕幸, 満行泰河, CAD操作ナビゲーションシステムの開発と実証, 人工知能学会第2種研究会(SIG-KST), SIG-KST-2009-02-04, 2009.10, 査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稗方 和夫 (HIEKATA KAZUO)
 東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授
 研究者番号： 80396770

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし