

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360356

研究課題名(和文) 船舶初期設計を対象とした設計プロセス創成支援システムに関する研究

研究課題名(英文) A study on the design system for ship initial design to support the examination of design process

研究代表者

濱田 邦裕 (Hamada, Kunihiro)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40294540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、設計者による設計プロセスの検討を支援する設計支援環境を構築した。提案する設計支援環境では、製品設計は、設計プロセス計画、概略的製品設計、設計プロセスの評価・改善、および本格的製品設計の4つのステージにより構成されており、製品設計を実施する前に設計プロセスの特徴を把握し改善する機会が提供されている。本研究ではその実現のための情報処理手法を具体的に検討した。さらに構築したプロトタイプシステムを利用して設計のシミュレーションを実施することにより、本システムの利用による設計プロセス改善の可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, design system that supports examination of design process is discussed. In the proposed system, product design is composed of four stages, i.e. design process planning, simplified product design, evaluation and improvement of design process, and real product design. Therefore, the chance to understand the features of design process and to improve it is considered. Information processing methods to realize the proposed environment are examined in the present study. Moreover, the possibility of the design process improvement is shown by executing the design simulation using the proposed system.

研究分野：船舶設計生産システム

キーワード：船舶設計システム 船舶生産システム 設計プロセス 最適化 不確定性

1. 研究開始当初の背景

近年、設計工学の分野では、プロセス情報（意思決定の手順やその方法など）の重要性が認識されている。一般的に、熟練した設計者と新米の設計者とでは、意思決定の手順や意思決定の際に検討する項目・方法は異なっており、その相違が設計解の性能や設計時間に大きな影響を与えていると言われている。したがって、設計環境の変化や社会環境の変化を考慮しつつ、その時代の要求に合致した適切な設計プロセスを検討することは極めて重要である。

造船業においてもプロセス情報の重要性は認識されており、東大の大和、稗方、青山らによって、熟練者の設計プロセスを抽出する仕組みや、抽出された設計プロセスを計算機内部に記述し再利用する仕組みについて研究が進められている。また、研究代表者、研究分担者らも設計プロセスの相違が設計解に与える影響を評価するための設計支援環境について研究を進めてきた。しかしながら、これらの研究は設計者によって提案された設計プロセスの抽出・記述・再利用・評価を目的としており、新たな設計プロセスの創成については依然として設計者に依存している。

以上の経緯に基づくと、これまでの設計・生産プロセスに関する研究に立脚し、新たな設計プロセスの創成をも支援する設計支援環境の構築が急務と考えられる。

2. 研究の目的

本研究では船舶設計の更なる向上のために、設計者による設計プロセスの検討を支援する設計支援環境を構築する。具体的には、船舶設計を以下の4つの段階に分けて考える。

- 1) 設計プロセス計画(Plan)：設計手順や設計空間の情報など、設計の進め方に関する情報を入力する。
- 2) 概略的製品設計実施(Do)：対象となる設計領域の数点において概略的な製品設計を実施する。
- 3) 設計プロセス評価と設計知識の抽出(Check)：上記2)の結果に基づき、情報間の制約関係、依存関係および設計変数が制約条件等に与える影響度を抽出する。これに基づき、設計プロセスの特徴（早く解を得られる、最適解に到達しやすい、設計の手戻りの可能性が高い、など）を把握する。
- 4) 設計プロセスの改善と本格的製品設計の実施(Act)：上記3)の結果に基づき、設計ステージの構成や設計変数の決定順序を変更する。この新しい設計プロセスに基づき、本格的な製品設計を実施する。

つまり、製品設計を実施する前に、設計プロセスの特徴を把握し改善する機会を提供する。これにより、船舶設計プロセスの検討を

支援する設計支援環境を構築する。なお、対象船はハンディサイズのバルクキャリアとし、対象とする設計ステージは、主要目設計、概略一般配置設計および船体中央断面設計とする。

3. 研究の方法

3.1 システムの全体構成

本研究のシステムの全体構成を図1に示す。図1に示すように、本研究のシステムは以下のサブシステムから構成されている。

(1) 設計プロセス定義支援システム

システムの利用者が設計プロセスを記述するためのインターフェースとなる部分であり、設計プロセスは本システムが管理する。システムの利用者は、このサブシステムを利用することにより、設計ステージの構成、各設計ステージにおける変数、制約条件や目的関数等の情報を入力する。

(2) 設計プロセス分析支援システム

定義された設計プロセスに基づき、実験計画法を利用した仮想的な設計実験を行う。さらに、情報間の関係情報を利用した分析を行い、情報間の定性的・定量的関係を抽出するとともに、設計手順や設計空間の相違が製品性能や設計における手戻り等にどのような影響を与えるかを分析する。

(3) 設計プロセス創成支援システム

上記(2)における分析結果に基づき、性能向上あるいはリードタイム短縮を実現する上でのボトルネックとなっている部分を明確化する。さらに製品性能の向上や設計におけるボトルネック改善のための設計プロセスの改善候補案を設計者に提示する。設計者はこれらの情報に基づき、設計プロセスの改善を検討する。

(4) 設計ツールのデータベース

最適化エンジン、船級協会規則、各種解析ツール、知識ベースカーネル等、バルクキャリアの初期設計に必要なツール群を管理する。

以上に示したシステム環境により、設計プロセスを計画し、評価・改善するためのPDCAサイクルを実現し、設計プロセスの創成を支援する。

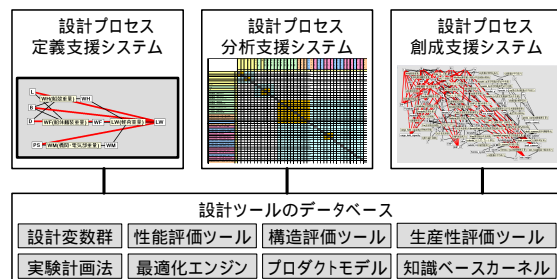


図1 システムの全体構成

3.2 プロトタイプシステムの概要

前節で述べたように本研究のシステムは4つのサブシステムから構成される。設計プロセス定義支援システムおよび設計ツールのデータベースについては、既往研究の成果や造船所等で一般的に利用されているツール群を利用して構築されている。そこで、ここでは設計プロセス分析支援システムおよび設計プロセス創成支援システムについて述べる。

(1) 設計プロセス分析支援システムの概要

本システムでは、設計者が事前に設計ステージの構成、各設計ステージにおける設計変数、制約条件、目的関数、および設計空間の設定を入力することを前提とする。その後、これらの入力情報を利用して、以下の情報を自動生成し、設計プロセスの分析を支援する。

- 設計変数の制約条件や目的関数への影響の算出
- 制約条件の有効度の算出
- 設計の進展に伴う制約条件や目的関数の変動領域の変化の算出

主要目設計において、設計変数の制約条件や目的関数に対する影響を算出した例を図2に示す。図2では左側のノードが設計変数を示しており、右側のノードが制約条件や目的関数を示している。また、リンク上の数値が感度の算出結果であり、感度の大きさによりリンクの太さが変更されている。また図2において制約条件を示すノードの横にある数値は、制約条件の有効度を示している。制約条件の有効度は、設計空間全体で各制約条件がどの程度の割合でアクティブな制約条件として作用するかを表現するものである。これらの結果から、この設計ではDW(載貨重量)が最も支配的な制約条件であり、DWに強い影響を与える変数がLであることなどが理解できる。

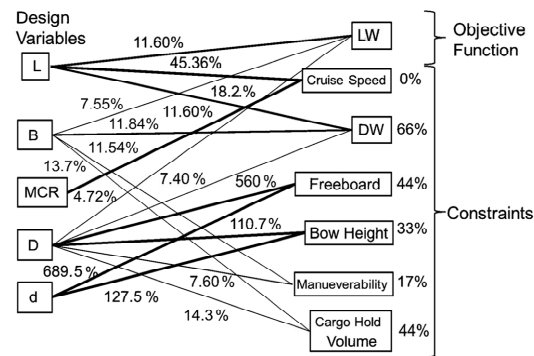


図2 設計変数の制約条件・目的関数への影響と有効度の算出結果

一方、設計の進展に伴う制約条件の変動領域の変化を算出した例を図3に示す。図3において横軸は設計の進展を示している。また、それぞれのグラフの上に記載されている数字は、その段階において対象となる制約条件

が満足される確率を示している。例えば DWに着目すると、設計の開始時において30000DWTから62000DWTの変動範囲があり、この制約条件を満足する可能性は44%であることが理解できる。図3からは、DW以外の制約条件を満足させることを目的に設計を進め、最終的にこの問題で最も厳しい制約条件であるDWを満足させるために、DWに最も影響の大きいLを決定していることが理解できる。

以上のように、設計プロセス分析支援システムを利用することにより、ある設計プロセスが与えられると、そのプロセスの特徴を分析することができる。

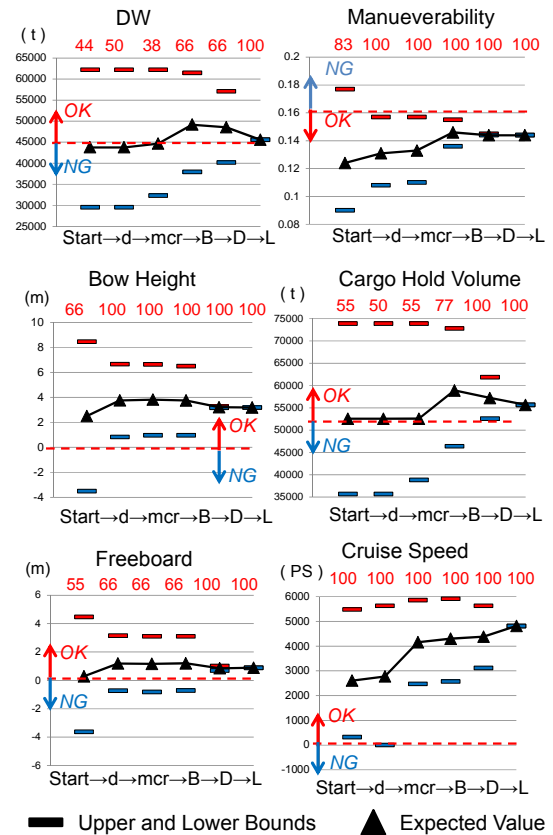


図3 設計の進展に伴う制約条件の変動領域の変化

(2) 設計プロセス創成支援システムの概要

設計プロセス創成支援システムの目的は、設計者に対して設計プロセスの改善候補を提示することである。ここでは本研究独自の手法であるワイルドカードGAを利用した設計プロセスの抽出方法の概要を述べる。

ワイルドカードGAでは、遺伝子列の表現に通常の0,1に加え、*(アスタリスク)を用いる。*の場合には、0と1及び中間値をとりうるものと認識する(図4)。つまり*が含まれる設計変数はその値が確定していない状態と考えることができ、設計途中段階の不確定な設計案を表現することが考慮されている。この特徴を利用して*の数を変更しつつ最適化を繰り返し実施すると、図5

に示すように設計変数を決定する順序を抽出することが可能となる。

なお本研究では、製品性能に加え、設計における手戻りの可能性を表現する実現可能性という目的関数を設定している。また両者を考慮した多目標最適化問題として船舶設計をモデル化しており、そのパレート最適解を抽出することが考慮されている。したがって、性能を重視する設計プロセスや設計における手戻りを削減する設計プロセスなど、特徴の異なる多様な設計プロセスを抽出することが可能である。

上記手法により抽出された設計プロセスと、設計者が経験的に用いている設計プロセスを比較し、その妥当性を検証している。

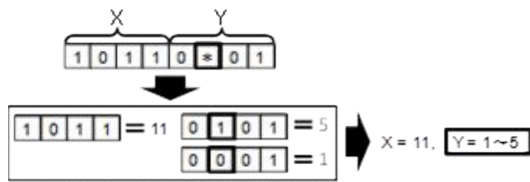


図4 ワイルドカード GA における設計案の表現

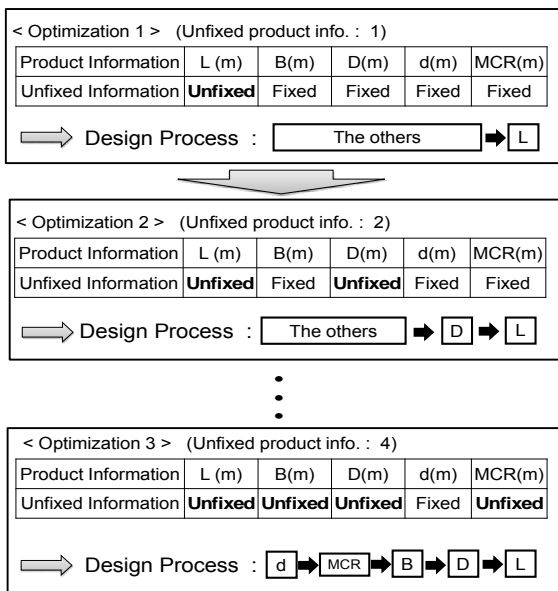


図5 ワイルドカード GA を利用した設計プロセスの抽出

3.3 システムを用いた設計プロセスのシミュレーション

(1) 設計プロセス計画

設計ステージの構成、各ステージにおける設計変数、制約条件、目的関数および設計空間の情報など、対象問題の問題設定を入力する。合わせて、設計変数の決定順序の候補を入力する。

(2) 概略的製品設計の実施

上述の設計プロセス計画に基づき、ある設計変数が指定された際の制約条件値や目的関数値が算出される。これらの算出ポイント

は設計空間の情報に基づき、実験計画法を利用して決定される。

(3) 設計プロセス評価と設計知識の抽出

概略的製品設計の結果に基づき、3.2節に示したように、以下に示す分析のための情報が生成される。

- 設計変数の制約条件や目的関数への影響の算出
- 制約条件の有効度の算出
- 設計の進展に伴う制約条件や目的関数の変動領域の変化の算出

図6は船舶主要目設計において、設計プロセスの相違が目的関数に与える影響を検討したものである。図6の例では、性能を重視する場合と、設計の手戻りの削減を重視する場合で設計手順や、目的関数の変動領域が異なっていることなどが理解できる。

一方、表1は設計空間の相違が設計手順や製品性能に与える影響を検討したものである。この例では、幅Bと深さDの設計空間の中央値を変化させた際に、軽荷重量や最後に決定すべき変数がどのように変化するかを示している。これらの情報を利用することにより、設計手順や設計空間が設計に与える影響を検討する。

(4) 本格的製品設計の実施

以上の結果に基づき、設計空間や設計手順を決定し、本格的な製品設計を実施する。

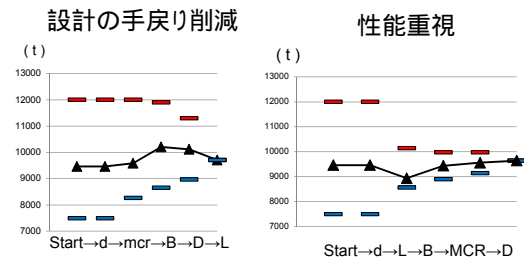


図6 設計プロセスの相違が目的関数に与える影響

表1 設計空間の影響

		D				
		15	16	17.5	20	25
B	26	-	-	9633.8 D	9634.1 B or D	9636.4 L
	29	9635.5 D	9636.1 D	9635.3 D	9635.5 B	9635.4 L
	32	9635.5 D	9635.3 B	9635.3 B	9635.0 B	9635.8 L
	38	9636.0 B	9636.3 B	9636.1 L	9635.4 L	9636.8 L

4. 研究成果

本研究では船舶設計の更なる向上のために、設計者による設計プロセスの検討を支援する設計支援環境について検討した。本研究の実施によって得られた主要な成果を以下に示す。

- 設計プロセスの検討支援のために、設計プロセス定義支援システム、設計プロセ

ス分析支援システム,設計プロセス創成支援システムおよび設計ツールのデータベースからなる設計支援環境を提案し,各サブシステムに求められる要件を検討した。

- 設計プロセス分析支援システムにおいては,設計者の入力情報に基づき,設計空間の数点において仮想的な設計実験を実施し,設計変数の制約条件や目的関数への影響,制約条件の有効度,および設計の進展に伴う制約条件や目的関数の変動領域の変化を自動的に算出する仕組みを構築した。
- 設計プロセス創成支援システムにおいては,ワイルドカード GA を利用した設計プロセスの抽出方法を提案した。
- 構築したプロトタイプシステムを利用して設計シミュレーションを実施することにより,設計プロセスの計画,仮実施,評価,改善からなる PDCA サイクルを構成できることを示し,本システムの利用による設計プロセス改善の可能性を示した。

なお,本システムの開発において(株)名村造船所の VISION を無償で利用させていただいた。ここに記し御礼申し上げます。

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)

[雑誌論文](計 13 件)

1. 瀧田邦裕,藤井亮,弘中睦己,平田法隆,北村充:ワイルドカード GA を利用した船舶設計プロセスの最適化に関する研究,日本船舶海洋工学学会論文集,査読有 Vol. 20, 2014, pp.231-242.
2. Cucuk Nur Rosyidi, Dradjad Irianto, Andi Cakravastia and Kunihiro Hamada. : Optimization Models for Deriving Optimum Target of Key Characteristics, Journal of Advanced Manufacturing Systems, 査読有, Vol. 13, No. 2 (2014) 89-101.
3. 平川真一,北村充,野波涼太,牧美津栄:制約条件に対する影響度を考慮した設計変数の分類と構造最適設計,日本船舶海洋工学学会論文集,査読有,Vol. 20, 2014, pp.149-157
4. Masafumi Daifuku, Takafumi Nishizu, Akihiro Takezawa, Mitsuru Kitamura, Haruki Terashita, Yasuaki Ohtsuki : Design methodology using topology optimization for anti-vibration reinforcement of generators in a ship's engine room, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, in press, 査読有,印刷中.
5. Takafumi Nishizu, Akihiro Takezawa, Mitsuru Kitamura : Damage detection method by topology optimization based on eigenvalue analysis, Proceedings of ISOPE 2014, 査読有, 2014, CD-ROM .
6. Hamada, K., Fujii, R., Hironaka, Y., Kitamura, M. : A Study on the Optimization of Ship Design Process using WildCard GA, Proceedings of ICCAS 2013, 査読有, 2013, pp.73-82.
7. 西津卓史,竹澤晃弘,北村充:トポロジー最適化と固有振動数解析に基づく非破壊検査での損傷同定手法,日本船舶海洋工学学会論文集,査読有,Vol.18, 2013, pp.73-80 .
8. Masafumi Daifuku, Kouhei Kawasaki, Akihiro Takezawa, Mitsuru Kitamura, Haruki Terashita, Yasuaki Ohtsuki : Anti-vibration reinforcement design methodology of ship engine room using topology optimization, Proceedings of ICCAS 2013, 査読有, 2013, pp.175-179 .
9. 瀧田邦裕:次世代造船システムの構想設計,日本船舶海洋工学学会誌,査読有,第46号, 2013, pp.4-5 .
10. 瀧田邦裕:製品情報の不確定性を考慮した船舶主要目設計支援システムに関する研究,日本船舶海洋工学学会誌,査読有,第43号, 2012, pp.4 .
11. Hironaka, Y., Muta, K., and Hamada, K. : Development of the design support system for ship principal particulars with interface information, Proceedings of the 26th Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structure, 査読有, 2012, pp.245-250 .
12. Ueshige Y., Tanimine T., Kitamura M., Takezawa A., et.al : A Study on Finite Element Analysis and Stress Evaluation in Consideration of a Design, Proceedings of the 26th Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structure, 査読有, 2012, pp.95-98 .
13. Nonami R., Kitamura M., Takezawa A., et.al. : A Study on Optimization of Ship Structure and Reducing Computational Effort, Proceedings of the 26th Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structure, 査読有, 2012, pp. 99-102

[学会発表](計 15 件)

1. 中野陽平:エネルギー回生式セミアクティブ振動制御法の海洋構造物への適用に関する研究,日本船舶海洋工学学会平成26年秋季講演会,2014年11月20日,長崎ブリックホール(長崎県長崎市)。

2. 西津卓史：溶接残留応力の低減に向けたトポロジー最適化の活用に関する研究，日本船舶海洋工学会平成 26 年秋季講演会，2014 年 11 月 20 日，長崎ブリックホール（長崎県長崎市）。
 3. 野波諒太：遺伝的アルゴリズムによる大型構造物の補強材レイアウト最適化に関する研究，第 19 回計算工学講演会，2014 年 6 月 13 日，広島国際会議場（広島県，広島市）。
 4. R.Nonami：A Study on Optimization the Structure of Ship in Consideration of Layout of the Stiffeners，24th International Ocean and Polar Engineering Conference，2014 年 6 月 17 日，Seoul(Korea)。
 5. R.Nonami：Stress evaluation method for a partially changed structure and optimization method for the number and position of stiffeners，8th China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and Mechanical Systems 2014 年 5 月 28 日，Seoul (Korea)。
 6. 能勢統章：調和 CSR 対応直接計算ソフトウェアの防振最適設計への活用に関する研究，日本船舶海洋工学会平成 25 年秋季講演会，2013 年 11 月 22 日，大阪府立大学 I-site なんば（大阪府大阪市）。
 7. 西津卓史：振動解析に基づくトポロジー最適化による非破壊検査での損傷特定手法，日本船舶海洋工学会平成 25 年秋季講演会，2013 年 11 月 22 日，大阪府立大学 I-site なんば，（大阪府大阪市）。
 8. 藤井亮：ワイルドカード GA を利用した船舶設計プロセスの最適化に関する研究，日本船舶海洋工学会平成 25 年春季講演会，2013 年 5 月 27，28 日，広島国際会議場（広島県広島市）。
 9. R.Nonami：A Study on Optimizing the Structures which Set the Number of Member Subjects and Plate Thickness to the Design Variable，World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization，2013 年 5 月 23 日，Orlando(USA)。
 10. Yoshifumi Ueshige：High-precision of the stress evaluation of the joint of each structural component，Asia Conference on Design and Digital Engineering，2012 年 12 月 7 日，ヒルトンニセコビレッジ（北海道虻田郡）。
 11. R. Nonami：A Study on Optimizing the Ship Structures which Enabled Change of the Number of Stiffeners，Asia Conference on Design and Digital Engineering，2012 年 12 月 7 日，ヒルトンニセコビレッジ（北海道虻田郡）。
 12. Takafumi Nishizu：Damage detection method in structural health monitoring using topology optimization，Asia Conference on Design and Digital Engineering，2012 年 12 月 7 日，ヒルトンニセコビレッジ（北海道虻田郡）。
 13. 弘中睦己：関係情報を利用した船舶初期設計支援システムに関する研究，日本船舶海洋工学会平成 24 年秋季講演会 2012 年 11 月 27 日，東京大学柏キャンパス（千葉県柏市）。
 14. 西津卓史：トポロジー最適化を用いた構造ヘルスマonitoringでの損害検出方法，第 17 回計算工学講演会，2012 年 5 月 31 日，京都教育文化センター（京都府京都市）。
 15. 濱田邦裕：製品情報の不確定性を考慮した船舶初期設計支援システムに関する研究，日本船舶海洋工学会平成 24 年春季講演会（招待講演）。2012 年 5 月 17 日，神戸市産業振興センター（兵庫県神戸市）。
6. 研究組織
- (1)研究代表者
濱田 邦裕 (HAMADA KUNIHICO)
広島大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：40294540
- (2)研究分担者
北村 充 (KITAMURA MITSURU)
広島大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：40195293
- 平田 法隆 (HIRATA NORITAKA)
広島大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：80181163
- 竹澤 晃弘 (TAKEZAWA AKIHIRO)
広島大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：10452608

以上