

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14260

研究課題名(和文)複数製品間と製品ライフサイクルにおける製品のコンフィギュレーション設計マネジメント

研究課題名(英文)Product configuration between multiple products and product life cycle Design management

研究代表者

青山 和浩 (Aoyama, Kazuhiro)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：80222488

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、製品ファミリ設計・アップグレード設計・設計変更をコンフィギュレーションマネジメントという共通の枠組みの中で考えることで、製品開発計画を広範に捉えた計画とマネジメントを実現することを目標としている。平成28年度は、前年度に提案した製品ファミリ設計における複数製品間のモジュールのコンフィギュレーションマネジメントのモデルと支援手法をもとに、アップグレード設計と設計変更への適応を検討した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aim to realize a plan and management that captures a wide range of product development plans by considering product family design, upgrade design, and design change in the common framework of configuration management. In FY2008, we examined the adaptation to upgrade design and design change based on the module configuration management model and support method among multiple products in the product family design proposed in the previous fiscal year.

研究分野：設計工学

キーワード：モジュール 製品系列設計 製品ファミリ 品質表 コンフィギュレーションマネジメント

1. 研究開始当初の背景

製造業には市場の変化や技術革新を的確に捉え、顧客が求める製品を適正に、安く、タイムリーに開発していくことが求められている。これを実現する方策として製品ファミリ化戦略や製品アップグレードなどが注目されている。また、古典的な方策としては改善設計なども挙げられる。

製品ファミリの構成に関する研究は多く行われ、Simpsonらは、製品間での部品の共有化の進展と、それに伴う性能面への影響との関係をバランスして、製品ファミリを構成するための手法を提案している。研究代表者らは、日本産業の特色である摺合せの視点を考慮し、競争優位性を担保するようにモジュール化した製品ファミリの構成手法を提案した。アップグレード設計に関してはIshiiらが部品ごとの物理寿命と価値寿命を考慮した製品のモジュール化・アップグレード特定方法を提案した。一方、今日の設計で大半を占める改善設計では既存製品の一部を踏襲し、他の部分の設計変更をすることで、新たな製品を構成する。Eckertらは、製品に対する変更が、他の部位へ伝播することから、変更伝播の様相を可視化する手法を提案した。また研究代表者らは、品質表から変更伝播の様相を把握する手法や、変更の計画を立てる手法を提案している。

こうした課題は、製品の構成の問題(コンフィグレーションマネジメント)であると考えられる。製品ファミリは複数製品間の部品構成の適正化を目指し、製品アップグレードや改善設計は製品の時系列での部品構成の適正化を目指しているものとも言える。従って、製品のコンフィグレーションマネジメントを論理的に支援する枠組みが実現すれば、製品開発計画の広範を包括的に高度化することができると考え、本研究を開始した。

2. 研究の目的

本研究では、製品の構成管理(コンフィグレーションマネジメント)のための方策を検討した。以下の3種の製品開発計画の策定を支援する包括的な考え方としてコンフィグレーションマネジメントの方策の提案を目指した。

- 製品ファミリの部品共通化
- アップグレード設計
- 設計変更

上記3点の研究項目それぞれの研究目的を以下に示す。

(1) 製品ファミリの部品共通化

本研究では、製品ファミリを構成する複数の製品間での、部品の共通化とそのための製品のモジュール構造の決定を支援する。モジュール分割と共有化の仕方を探索・評価可能な方法を提案し、設計者の意思決定を支援することを目的とする。

(2) アップグレード設計

本研究においては、製品及びそのライフサ

イクルをモデル化し、製品のアップグレード箇所の決定を支援する手法の確立を目指す。

(3) 設計変更

本研究においては、既存製品と次世代製品をモデル化し、製品の更新にあたって、変更箇所の特定とその変更内容の決定を支援する手法の確立を目指す。

3. 研究の方法

製品間の要求機能の差異に着目し、構成要素が機能の差異に大きく影響しない箇所を特定し、それを系列製品間・時系列・世代間で共通化する(図1)ことで、製品ファミリ設計・アップグレード設計・設計変更を支援する。設計された製品を見て共通化が可能であるかを検討することは、大量生産型の製品では一般的に行われているが、設計の前段階では人の認識に委ねられているのが現状である。本研究では、製品の機能と構成部位の影響関係を俯瞰的に把握し、機能と構成部位の関係の類似性によって、構成部位が共有化できるか否かの判断を行う。

上述のような検討を可能とするために製品の機能と構成部位の影響関係を表現した製品モデルを構築した。製品のモデル化については2通りのアプローチを試みる(図1)。機能と部品の関係を簡素に表現し、全体を俯瞰しやすいモデルとして品質表を用いたモデル化(図1(a))と、機能と部品との物理的な関係を説明したモデル化(図1(b))とを併用する。(図1(a))を機能構造モデル、図1(b))をパラメータ制約モデルと呼称する。両者を併用することによって、設計の段階に応じて適切なモデルを選択できる。

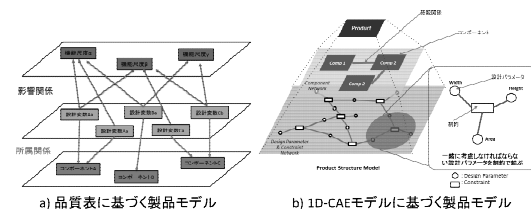


図1 2種類の製品モデル

- 機能尺度 (Functional metric) - 例, 最高速度, 高速時ロール安定性
製品の機能性の良しあしを計る尺度。製品企画において決定される製品の機能仕様であり、観測可能な尺度。テスト項目として評価されるもの。製品ごとにそれぞれの機能尺度に重要度が与えられる。後述の構成部位が有する設計変数を操作することによって、機能尺度が目標値に到達するように設計が行われるものとする。
- 構成部位 (Component) - 例, 主船体, 前翼, モータ
製品を構成する部位。機能のように製品の利用によりはじめて発現するのは含まず、物理的形質を有する実体。構成部位は複数の設計変数を有する。

- 設計変数 (Design parameter) - 例, 長さ, 剛性, トルク
構成部位の有する設計対象として操作可能な特性の仕様値. 各設計変数は必ずいずれか1つの構成部位に所属する. 構成部位間の関係を表す特性(e.g. クリアランス)等は, いずれかの構成部位に含むものとして扱う.
- 制約 (Constraint) - 例, 長さと剛性と重量の関係
複数変数間の影響関係. ある変数を変えたときに, 制約しあう変数群のいくつかを変更する必要があることを示す. 物理方程式や幾何制約などを表現することができる.

上記2種類のモデルを利用した上で、製品ファミリの部品共通化、アップグレード設計、設計変更のそれぞれに対してモデルの拡張を行った。以下にそれぞれの詳細を示す。

(1) 製品ファミリの部品共通化

機能構造モデルを製品系列の製品群モデルに拡張する。同時に扱う製品群は、モジュール共通化を検討できるということから、十分に製品構造が類似しているものと考えられる。そこで、製品系列の製品群の中では、製品の機能構造は同一であると仮定する。すなわち機能構造モデルでは、設計変数の機能尺度に対する影響関係は製品に拠らず同一であるという前提を置く。その上で、製品間の違いはそれぞれの製品に対する要求の違いによって与えられるものとし、各機能尺度に与える重要度の違いとして表現した(表 1)。

この製品群モデルに対して構成部位の共通化とモジュール化による影響を評価した。共通化する異なる製品の構成部位間での要求の差異とモジュール化に伴う構成部位間の調整の変化によってモジュール共通化の影響を定量化した。部品共通化率と対比することで、モジュール共通化の意思決定を支援する。

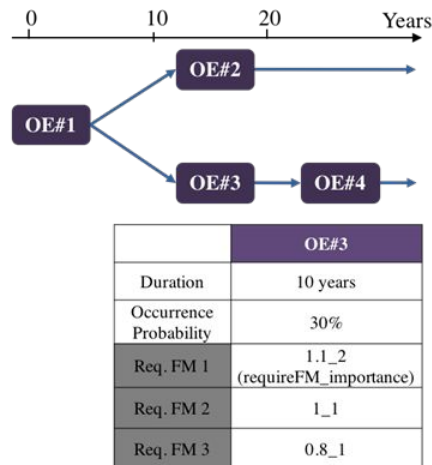
表 1 異なる重要度による製品群の表現

Functional metric		Product 1	Product 2	Product 3	Product 4
(Fm1)	Maximum speed	9	1	1	1
(Fm2)	Acceleration	9	1	1	1
(Fm3)	Role stability in high speed	5	9	5	5
(Fm4)	Role stability in low speed	5	9	5	5
(Fm5)	Yaw stability in high speed	5	9	5	5
(Fm6)	Yaw stability in low speed	5	9	5	5
(Fm7)	Reachable Distance in low speed	1	1	9	1
(Fm8)	Reachable Distance in high speed	1	1	9	1
(Fm9)	Reachable Distance in low speed (cloudy)	1	1	9	1
(Fm10)	Reachable Distance in high speed (cloudy)	1	1	9	1
(Fm11)	Minimum turning radius in low speed	1	5	1	9
(Fm12)	Minimum turning radius in high speed	1	5	1	9

(2) アップグレード設計

製品の使用中のアップグレードを検討するにあたって、製品の使用状況の変化による要求の変化を表す必要がある。この使用状況の変化をライフサイクルシナリオと呼称する。ライフサイクルシナリオは図2に表す様に複数の使用環境 (Operational environment) とその前後関係からなる。この使用環境とは製品の置かれる環境や使われ方などを複合的に表した概念である。使用環境の変化は製品に対する機能要求の変化

をもたらす。従って使用環境の変化は機能尺度の要求値と重要度の変化として表される。さらに、使用環境にはその期間と生起確率が与えられる。異なる使用環境への分岐を異なる生起確率で与えることで、将来の不確実性を与えることができる。



FM 1 is required 20% more under the OE#3.
And FM 1 is more importance than FM2 and FM3.

図 2 使用環境の変化するライフサイクルシナリオ

(3) 設計変更

設計変更を考えるにあたっては、変更の影響範囲を考慮することが重要である。パラメータ制約モデルを用いることで、設計変更の影響範囲を表現した。図3に示す様に製品のいずれかのパラメータに変更がなされると、そのパラメータが関係する制約が成立しなくなる。制約を再度成立させるためには、他の関係するパラメータを変更する必要がある。するとまた別の制約が不成立になるため更なる変更が必要になる。このように変更が伝播していく様を変更伝播という。パラメータ制約モデル上での変更伝播のパスを探索し、変更範囲を探索することで、設計変更の際に構成を変更する箇所を決定するための意思決定を支援する。

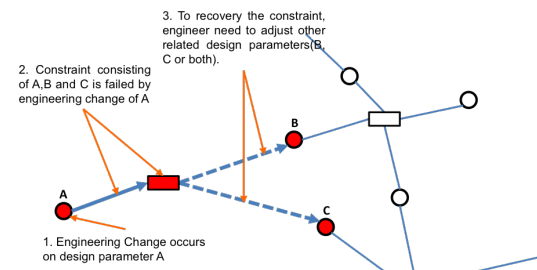


図 3 変更伝播

4. 研究成果

以下にそれぞれの研究項目において得られた研究結果を示す。

(1) 製品ファミリの部品共通化

本研究項目では4艇の異なるソーラーボートの設計における部品共通化を検討した。上

記の機能構造モデルに基づいて部品共通化した際の製品の機能面への影響の評価指標である総妥協度と、 조합せへの影響の評価指標である調整阻害度、共通化の進展度を示す部品共通化率と構造共通化率の4指標を定義した。部品共通化の仕方を探索し、上記4指標による共通化の複数案を評価するシステムを開発した。

以下に評価値のよいモジュール共通化案の例2案を比較する。比較するモジュール共通化案2案を図4に示す。a), b)の表はそれぞれ各製品の各構成部位がどのようにモジュール化され、製品間でどのように共通化されているかを表している。各製品の行内で、複数の構成部位に跨って同一色で塗られている部分はこれらの構成部位が一つのモジュールを構成していることを表している。また、数字はそのモジュールがどの製品間で共通化されるかを表している。

a) Coordination inclined plan					b) Less compromise plan				
	Product 1	Product 2	Product 3	Product 4	Product 1	Product 2	Product 3	Product 4	
Height sensor	1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4	1,2,3,4	
Side hull	1,4	2		1,4					
Screw						2,3,4	2,3,4	2,3,4	
Main wing									
Front wing					1				
Main hull			3			2,4		2,4	
Solar panel	1,2,4	1,2,4		1,2,4			3		
Battery					1,2,4	1,2,4		1,2,4	
Motor									
Rudder									

図4 部品共通化案の比較(1)

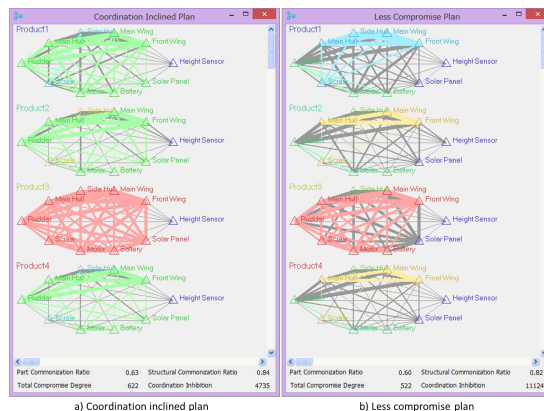


図5 部品共通化案の比較(2)

次に調整阻害について比較する。図5は2案の調整関係をネットワーク状に表示し、調整阻害の状況を比較したものである。図5中では、各ノードが製品の構成部位を表し、ノード間のリンクは調整を表している。また、リンクの太さによって調整の重要度が表されている。複数のノードが同じ色のリンクで結ばれたものはモジュールを表しており、色分けは表5と同様になっている。この調整ネットワーク上で調整阻害は、モジュール間を跨ぐ調整として確認することができる。つまり、モジュール間を跨ぐ太いリンクが多いほど調整阻害が大きく生じていることとなる。a)の調整重視案とb)の低妥協案とを比較すると、特に製品1と2(Product 1, 2)で調整阻害に大きな違いがあるのが判る。調整重視案では重要な調整を表す太いリンクの大

半が、緑のモジュール(駆動系+構造系)内に収まっている。一方で低妥協案では多くの太いリンクが青緑(駆動系)と青または黄のモジュール(構造系)を跨いでいる。つまり、駆動系と構造系を別モジュールに分割したことで、速度(製品1が重視)や安定性(製品2が重視)に関する組み合わせの機会が大きく失われたことが示された。

このように部品共通化の検討を支援する手法を提案することができた。

(2) アップグレード設計

本研究項目ではFPSOの設計において、5つの異なる使用環境を想定したアップグレード設計の検討を行った。上記の機能構造モデルに基づいてアップグレードや、上位部品を使うことによる機能面とコスト面への評価をライフサイクル性能指標とライフサイクルコスト指標を定義した。ライフサイクル中の部品の流用・交換の仕方を探索し、上記2指標によって複数の設計案を評価するシステムを開発した。

使用環境は以下の5つとした。

使用環境1: 初期要求

使用環境2: 少量生産・深度のある海域

使用環境3: より大きな生産量

使用環境4: 大きな生産量深度のある海域

使用環境5: 少量生産・深度の浅い海域

初期は使用環境1でその後使用環境2か3に変化し、使用環境3になった場合には、その後使用環境4か5に変化する。

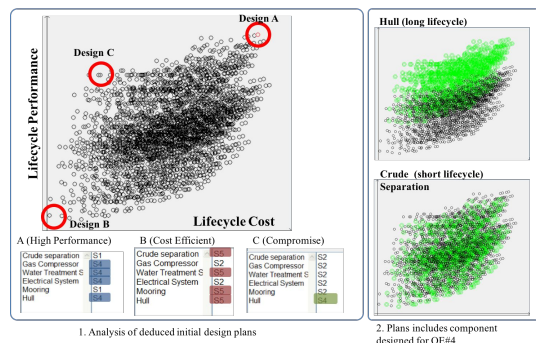


図6 FPSOの初期設計案の探索

図6はFPSOの初期設計案を探索した結果を示したものである。設計案Aはライフサイクル性能指標が最大となる設計で、最も要求水準の高い使用環境4に合わせて設計したFPSOになる。一方、設計案Bは最もライフサイクルコスト指標が小さくなる設計案で最も要求水準の低い使用環境5に合わせて設計されている。設計案Cはコストと性能の折衷案で、耐用年数の長い部品は高い要求水準に合わせて設計され、耐用年数の短い部品は比較的低い要求水準に合わせて設計されたものとなっている。図6の右のグラフは、部品ごとにどのような初期設計を採っているかによって結果をソートしたものである。船殻に関して使用環境4を対象に設計することで、評価値が高くなる傾向が読み取れる。

このようにアップグレード設計の検討を支援する手法を提案することができた。

(3) 設計変更

本研究項目ではソーラーボートに対する設計変更に対応した変更箇所の検討を行った。上記のパラメータ制約モデルを基に、設計変更に必要な設計リソースの量と設計変更に伴う調整の難しさを指標化した。そして設計の変更範囲を探索し上記2指標を評価するシステムを開発した。

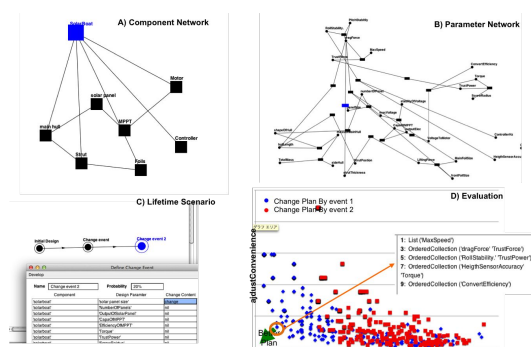


図7 設計変更箇所の探索

図7はシステムによる設計変更案の探索を行った結果を表したものである。Aのコンポーネントネットワークに応じて、Bのパラメータ制約ネットワークを作成した。その上でCに示したように製品の更新シナリオを記述した。このモデルに対して設計変更範囲の探索を行った結果、Dのグラフを得た。この中からパレート面にある案を一個選択し、確認した。その変更案では、最大速度の向上のため、トルク変換効率が高い新しいモータを投入し、推進力を上げる。また、姿勢を制御するためのハイトセンサの精度を向上し、走行中の着水による摩擦抵抗を減らしている。船体や水中翼など、全面的な改装を行なう案に比べて妥当な案が導出された。

このように設計変更の検討を支援する手法を提案することができた。

<引用文献>

Simpson, T., W., Seepersad, C., C., and Mistree, F., "Balancing Commonality and Performance within the Concurrent Design of Multiple Products in a Product Family" Concurrent Engineering, Vol. 9, 3, 2001, pp. 177-190.

大泉和也, 有賀啓介, 青山和浩, "摺り合せによる品質向上を考慮した製品モジュール化の検討", 第23回設計工学・システム部門講演会

Ishii K., and Martin M. V., "Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures", Research in Engineering Design, Vol. 13, 2002, pp 213-235.

Eckert, C. M., Keller, R., Earl, C., & Clarkson, P. J. (2006). Supporting change processes in design: complexity, prediction and reliability. Reliability Engineering and System Safety, 91, 1521-1534.

Oizumi, K., Aoyama, K., "Functional structure based change assessment in product design", 14th International DSM Conference

鄭斗碩, 大泉和也, 青山和浩, "設計変更による影響の伝播を考慮した製品構造の設計に関する研究", 第24回設計工学・システム部門講演会

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 1件)

大泉 和也, 有賀 啓介, 青山 和浩, "摺り合せを考慮した製品系列におけるモジュール共通化検討方法の提案", 機械学会論文集, 査読有, Vol. 82 (2016) No. 843 p. 16-00071

(学会発表)(計 3件)

Duseok JEONG, Yasushi UEDA, Kazuya OIZUMI and Kazuhiro AOYAMA, "Configuration Design Method for FPSO to maximize Life Cycle Value at the Initial Design Stage", The 7th Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies, 査読有, 2016/10/13, Hong Kong

Duseok Jeong, Yasushi Ueda, Kazuya Oizumi, Kazuhiro Aoyama, "Conceptual Design System for FPSO with Consideration of Lifecycle Scenario", International Conference on Computer Application in Shipbuilding, ICCAS2015, Bremen (Germany), 査読無, 2015/09/30

Duseok Jeong, Kazuya Oizumi, Kazuhiro Aoyama, "Design of changeable product structure with the consideration future changes scenario", International Marine Design Conference, IMDC2015, Kaiun Club Tokyo (Japan), 査読有, 2015/05/12

6. 研究組織

(1)研究代表者

青山 和浩 (AOYAMA Kazuhiro)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 80222488

(2)研究分担者

大泉 和也 (OIZUMI Kazuya)
東京大学・大学院工学系研究科・助教
研究者番号: 70749689