

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 10 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760109

研究課題名（和文） エージェント概念を導入した CAD, CAE, 知識に基づく異部門間
「すりあわせ」支援研究課題名（英文） Design Support for “*Suriawase*” among Several Teams
Based on CAD, CAE, Design Knowledge by Agent Technology

研究代表者

井上 全人（INOUE MASATO）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号：60365468

研究成果の概要（和文）：本研究では、異部門間の緊密な意思疎通によって、多目的性能を満足する製品を生み出す「すりあわせ」の効率化を図るべく、2つの Phase に基づく協調設計支援システムを開発した。Phase1 では、3D-CAD と CAE を自動連携させ、セットベース設計手法に基づき、多目的性能を満足する共通集合を求め、Phase2 では、Phase1 で得られた共通集合から設計解を求めるための設計指針を提示する。構築したシステムを実用的な事例に適用し、その有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：One of the features of Japanese product development is product integrity development which can obtain a multi-objective satisfactory design solution by *suriawase*: Japanese way for negotiation among several teams of engineers including design teams, production divisions, and suppliers from the initial design phase to the detail design phase concurrently. This study proposes a design support method for *suriawase* which consists of two phases. Phase I can obtain feasible multi-objective design domain under the uncertain design environment while incorporating all designers' preference by applying a preference set-based design method. The designers can visualize and share the feasible design domain each other for *suriawase* among several designers. Phase II can show the expanded design variables and possible design domain for function in case of the change of the design requirement domain from phase I by applying the quantitative dependency. This study provides a suggestion of the direction of design modification for *suriawase* among several teams. The designers can adapt the change of the design environment flexibly at the detail design phase.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：設計工学，設計支援システム，セットベース設計方法，エージェント技術，すりあわせ設計，CAD，CAE，設計知識

1. 研究開始当初の背景

日本の製品開発の強みは、異部門間の緊密な意思疎通によって、多目的性能を満足する製品を生み出す「すりあわせ」技術であり、これは日本独自の日本の文化に根ざした設

計方法といえる（藤本隆宏，MMRC Discussion Paper, 70, 1-39, 2006）。

しかし、この日本が誇る「すりあわせ」の製品開発そのものは人的貢献に頼るところが多く、現場では色々な歪みが生じている。

例えば自動車設計に関しては、設計者が詳細設計に着手する時期には、大まかな情報は提示されているものの、すぐに担当者が個別に詳細設計が行えるほど明確にはなっていないことが多い。そのため、関連する部門の設計者同士が集まって、実行できるレベルにまで「すりあわせ」を行うことになり、一度すりあわせても数日後には再修正が必要になることも少なくない。このため設計者は日々自部品の設計業務のみに追われることとなり、個人の知識吸収や協業者間の知識の共有化などが阻害されている。

また、異なる場所や国に分散する海外サプライヤーと業務分担を行う場合のように、日本的な「すりあわせ」文化を持っていない人達との協業では、「すりあわせ」そのものが理解されず、「すりあわせ」によって得られる効果はおろか、担当者の負担が増えてしまう例もある。

一方、近年、設計分野において3D-CADやCAEなどの設計解析ツールの導入が急速に進み、設計作業を行う上で不可欠な存在となっている。3D-CADは各種解析ツールとの連携により、多目的評価が可能であり、これらが自動連携されれば、3D-CADモデルの修正に伴う評価をすぐにフィードバックできるため、解探索の効率が上がる。しかし、これらのツールは明確な値を基に計算を行うため、あいまいな設計情報が含まれる場合には必ずしも適応していないことがある。

本研究の代表者は、「すりあわせ」の効率化には、あいまいな情報の取り扱い方が重要なカギであると捉え、大まかな情報をポイント値ではなく、妥協範囲（集合）で与え、多目的性能を満足する共通集合を求めることが必要であると考えた。さらに、共通集合から解析結果と設計知識に基づいて最終的な設計解を求めるための設計指針を設計者に提示することができれば「すりあわせ」に必要な時間を最小化し、試行錯誤の回数を削減することで効率化を図ることができると考えられる。

2. 研究の目的

従来の多目的最適化手法では、設計者の経験、勘やノウハウによりポイント値で既定された設計案を創出し、その案が全ての要求性能を満足するまで修正を繰り返すことが行われてきた（例えば、IPSJ Transactions on Mathematical Modeling and its Applications, 45, 1-11, 2004）。そのため、初期のポイント値によっては解の収束に多大な時間を要することや収束の保証が得られないために設計の後戻りが発生することがあった。それに対して、本研究では、あいまいで未確定な情報が含まれる環境下においてもロバストな多目的集合解を導出するとともに、設計知識やノ

ウハウを有効に利用した効率的な「すりあわせ」の実現を目指す。

3. 研究の方法

本研究は、以下の2つのPhaseにわけて研究を遂行した。

- Phase1: セットベース設計手法による多目的性能を満足する共通集合を求めるシステムの提案と実装
- Phase2: 設計解を求めるための設計指針提示システムの提案と実装

(1) Phase1: セットベース設計手法による多目的性能を満足する共通集合を求めるシステムの提案と実装

- ① 設計者間で明確にポイント値として決定できないあいまいな情報を妥協範囲（集合）として捉え、設計者の設計意図を選好度と呼ばれる0から1までの値で表現する。
- ② 個別の性能ごとの設計解を選好度付きの集合で与え、その共通集合の絞込みから多目的満足解集合するセットベース設計手法を適用することにより、設計者の設計意図を満足した設計解集合を導出する。
- ③ 得られた解集合を3D-CADモデルに渡すことにより、得られた解を立体形状として理解できるようにする。
- ④ 3D-CADのアドイン機能を利用することにより、3D-CADとCAEを自動連携させる。

(2) Phase2: 設計解を求めるための設計指針提示システムの提案と実装

- ① 設計プロセスの進行とともに発生する新たな要求性能を満足する設計解を設計者に提示する。
- ② Quantitative Dependencyの理論(Kusiak A., Wang J., IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 25, 9, 1301-1313, 1995)を適用することで、設計修正により他の設計者が関与する要求性能にどの程度影響を及ぼし、多目的性能を満足させるためには設計変数をどの程度変更したらよいかを複数設計者間で共有させる。

4. 研究成果

(1) 多目的性能を満足する共通集合の導出

自動車車体構造の公開モデル（排気量2.0L）から、フロントサイドメンバ部を抜き出し、構築したシステムを適用した。このとき、設計者の設計意図を反映した設計解集合が得られているかどうかを確認するために、フレーム幅や厚さなどの設計変数を小さければ小さいほど望ましいとする選好度を付

与した「コスト重視」の設計者と、これらの設計変数を大きければ大きいほど望ましいとする「性能重視」の設計者の2ケースで設計解集合の導出を行った。図1に質量と平均圧壊荷重の関係について、定義した要求性能の許容範囲（選好度0の範囲）と絞り込みにより得られた設計解集合が達成する性能の可能性分布を示す。また、図2にフロントサイドメンバのフレーム幅と厚さに関する設計解集合を示す。その結果、すべての要求性能を満足する共通集合が導出された。さらに、図1および図2に示されるように、コスト重視の方が、フレームの幅や厚さなどが性能重視の場合と比較して、より小さく、より軽量化された設計解集合が導出されており、設計者の設計意図が反映された設計解集合が得られることが確認された。

得られた設計解集合の範囲内であれば、必ずすべての性能を満足することが保証されているため、選好度の最も大きい値の設計値を暫定解とするなどして、暫定解を効率的に導出することが可能となる。

(2) 設計解を求めるための設計指針の提示

設計プロセスの進行とともに、要求性能の仕様が変更されたり、新たな要求性能が追加されたりした結果、Phase1で得られた設計解集合が要求性能を満足しない場合には、設計解集合を修正する必要がある。また、設計変数には、性能に対して感度の高い設計変数や、あまり設計修正を望まない設計変数が存在する。そこで、Quantitative Dependencyの理論を導入し、設計変数の感度と重要度を同時に考慮した設計変数の修正幅を提示するシステムを構築した。

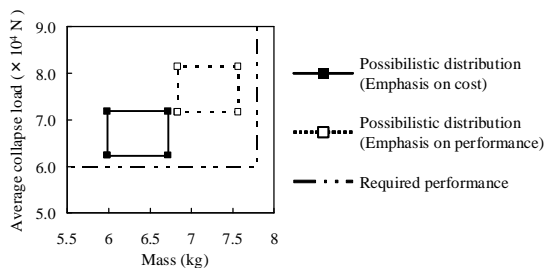


図1 可能性分布

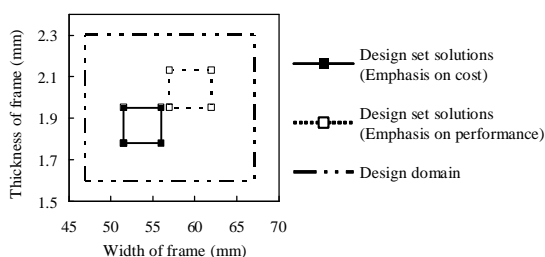


図2 設計解集合

(1)および(2)により構築したシステムを自動車の触媒マフラ構造および車体骨格構造へ適用した。その結果、設計思想の異なる複数の設計者の設計意図を反映した多目的満足解集合を導出するとともに、得られた解集合から要求性能を満足する設計解を導出することが可能となった。

本システムは、設計者に設計改良案や次にしなければならないアクションを提示することを可能とするだけでなく、最先端の技術者たちによるハイレベルな「すりあわせ」から、部門の垣根を越えたモノづくりの強みを生み出すと考える。さらに日本の優れたモノづくりを支え、環境問題への対応、開発期間の短縮、高品質、低コストのモノづくりに貢献し、グローバルな競争で勝ち抜くことができる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ① Masato Inoue, Yoon-Eui Nahm and Haruo Ishikawa, Application of Preference Set-Based Design Method to Multilayer Porous Materials for Sound Absorbency and Insulation, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 査読有, Available online (2011.9), doi: 10.1080/0951192X.2011.60236, in press
- ② 岸亮介, 井上全人, 石川晴雄, 戸部邦治, 樋口和宏, 山根正敬, セットベース設計手法による触媒マフラの最適構造設計, 自動車技術会論文集, 査読有, Vol. 43, No. 2, 2012, in press
- ③ Kenji Tanaka, Hiromichi Akimoto and Masato Inoue, Production Risk Management System with Demand Probability Distribution, Advanced Engineering Informatics, 査読有, Vol. 26, Issue 1, 2012, pp. 46-54, doi:10.1016/j.aei.2011.07.002
- ④ Masato Inoue, Yoon-Eui Nahm, Soshi Okawa and Haruo Ishikawa, Design Support System by Combination of 3D-CAD and CAE with Preference Set-Based Design Method, Concurrent Engineering: Research and Applications, 査読有, Vol. 18, No. 1, 2010, pp. 41-53, doi:10.1177/1063293X09360833
- ⑤ 井上全人, 花ヶ崎宣人, 塩崎弘隆, 石川晴雄, セットベース設計手法による多孔質積層材の吸音/遮音性能予測, 自動車技術会論文集, 査読有, Vol. 40, No. 3, 2009, pp. 699-704
- ⑥ 井上全人, 磯江裕加里, 石川晴雄, ネットワーク分散環境下における異種3D-CADの相互運用性と異部門間の協調設計支援, 日本機械学会論文集(C編),

査読有, Vol. 75, No. 752, 2009, pp. 1179-1186

[学会発表] (計 19 件)

- ① Masato Inoue, Design Methodology for the Early Phase of Design and Japanese Product Development, Lecture on “Product Development; Basics of Machine Elements; Construction methodology”, Universität Wuppertal (Invited lecture), 2011 年 11 月 9 日, Wuppertal, GERMANY
- ② 井上全人, 秋山智宏, 石川晴雄, セットベース設計手法を用いた 3D-CAD に基づくライフサイクル設計支援システム, 第 21 回日本機械学会 設計工学・システム部門講演会, 2011 年 10 月 22 日, 山形大学, 山形
- ③ 菊池隆, 井上全人, 山田哲男, 由良憲二, 石川晴雄, サブアセンブリを含む製品に対応する 3D-CAD ベース分解性評価設計支援システム, 日本設計工学会 2011 年度秋季研究発表講演会, 2011 年 10 月 22 日, 大阪電気通信大学, 大阪
- ④ 岸亮介, 井上全人, 石川晴雄, 樋口和宏, 戸部邦治, 山根正敬, セットベース設計手法による触媒マフラの最適構造設計, 自動車技術会 2011 年秋季大会, 2011 年 10 月 12 日, 札幌, 北海道
- ⑤ 藤田光伸, 森孝男, 井上全人, 東海林了, 片桐知克, 橋本幸作, ユーザ価値を含む自動車の多面的評価, 日本機械学会 M&M2011 材料力学カンファレンス, 2011 年 7 月 16 日, 九州工業大学, 福岡
- ⑥ 大給博之, 石川晴雄, 石灰伸好, 井上全人, 岩瀬亘, 于強, 大橋吉明, ジ明, 西垣英一, 宮地岳彦, 吉田夕貴夫, 吉原篤, 日本の自動車開発プロセスについて, 日本機械学会 M&M2011 材料力学カンファレンス, 2011 年 7 月 16 日, 九州工業大学, 福岡
- ⑦ 井上全人, 石川晴雄, 日本型すりあわせ製品開発における設計ノウハウの継承支援方法, 第 3 回技術継承フォーラム「ものづくり技能継承の現状と展望」(招待講演), 2011 年 1 月 25 日, 理化学研究所, 和光市
- ⑧ Masato Inoue, Yutaka Hattori and Haruo Ishikawa, Set-Based Design Method for the Early Phase Design of Structures with Uncertainties, 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 2010 年 11 月 18 日, Vancouver, CANADA
- ⑨ 井上全人, 秋山智宏, 石川晴雄, 3D-CAD モデルのエージェント化によるライフサイクル設計支援システム, 第 20 回日本機械学会 設計工学・システム部門講演会, 2010 年 10 月 28 日, 産業技術研究所, 東京
- ⑩ 秋山智宏, 井上全人, 石川晴雄, 3D-CAD ソリッドモデルを用いた環境適合設計支援システム, 日本設計工学会 2010 年度秋季研究発表講演会, 2010 年 10 月 22 日, 高知工科大, 高知
- ⑪ Masato Inoue, Product Design Method for the Early Phase of Design, Seminar on Seoul National University (Invited lecture), 2010 年 8 月 23 日, Seoul, KOREA
- ⑫ 藤田光伸, 森孝男, 井上全人, 東海林了, 片桐知克, 橋本幸作, トータルパフォーマンス評価の自動車への適用, 自動車技術会シンポジウム—車体構造形成における CO2 削減の新展開, 2010 年 7 月 21 日, 市ヶ谷, 東京
- ⑬ Masato Inoue, Kai Lindow, Rainer Stark and Haruo Ishikawa, Application of Sustainable Aspects to the Set-Based Design Method, Design Conference 2010, 2010 年 5 月 17 日, Dubrovnik, Croatia
- ⑭ 村田潤一, 山田哲男, 井上全人, 石川晴雄, 由良憲二, 製品と分解システム設計間の協働に関する一考察, 日本経営工学会平成 22 年度春季大会, 2010 年 5 月 15 日, 日本大学, 東京
- ⑮ Tetsuo Yamada, Masato Inoue, Haruo Ishikawa and Kenji Yura, Collaborative Disassembly Evaluation by Product and System Design with PLM, 7th CIRP Conference on Sustainable Manufacturing, 2009 年 12 月 3 日, Chennai, INDIA
- ⑯ Haruo Ishikawa and Masato Inoue, Set-Based FEM for Product Design with Uncertainties, 2009 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 2009 年 11 月 16 日, Florida, USA
- ⑰ 井上全人, 石川晴雄, すりあわせ型製品開発における設計支援方法, 第 19 回日本機械学会 設計工学・システム部門講演会, 2009 年 10 月 28 日, 読谷村, 沖縄
- ⑱ 服部完, 石川晴雄, 井上全人, 領域分割法によるセットベース有限要素法の提案 (トラス構造解析への適用), 日本設計工学会 2009 年度秋季研究発表講演会, 2009 年 10 月 24 日, 広島国際大, 広島
- ⑲ 萩原貴也, 井上全人, 石川晴雄, エージェント技術を用いた 3D-CAD と CAE の連携による設計支援システム, 日本設計工学会 2009 年度秋季研究発表講演会, 2009 年 10 月 24 日, 広島国際大, 広島

[図書] (計 5 件)

- ① 石川晴雄, 中山良一, 井上全人, コロナ社, “現代設計工学”, 第 6 章: 設計と解

析 , 2012 , pp. 128-144, ISBN 978-4-339-04625-0

- ② Tetsu Murakami, Masato Inoue, Yoon-Eui Nahm and Haruo Ishikawa, (Edited by Mitsutaka Matsumoto, Yasushi Umeda, Shinichi Fukushige), Springer-Verlag, “An Upgrade Design Method for Environmental Issues Based on the Concept of Set-Based Design”, Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society, 2011, pp. 500-505, ISBN 978-94-007-3010-6
- ③ Masato Inoue, Reona Mogi, Yoon-Eui Nahm and Haruo Ishikawa, (Edited by Dan Frey, Shuichi Fukuda and Georg Rock), Springer-Verlag, “Design Support for “*Suriawase*”: Japanese Way for Negotiation among Several Teams”, Improving Complex Systems Today, 2011, pp. 385-392, ISBN 0-85729-798-8
- ④ Masato Inoue, Kai Lindow, Rainer Stark and Haruo Ishikawa, (Edited by Jerzy Polojnski, Shuichi Fukuda and Jozef Salwinski), Springer-Verlag, “Preference Set-Based Design Method for Sustainable Product Creation”, New World Situation: New Directions in Concurrent Engineering, 2010, pp. 387-394, ISBN 0-85729-023-6
- ⑤ Masato Inoue, Yoon-Eui Nahm and Haruo Ishikawa, (Edited by Shuo-Yan Chou, Amy Trappey, Jerzy Polojnski and Shana Smith), Springer-Verlag, “The Set-Based Multi-Objective Satisfactory Design for the Initial Design with Uncertainties in Collaborative Engineering”, Global Perspective for Competitive Enterprise, Economy and Ecology, 2009, pp. 381-388, ISBN 1-84882-761-5

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 全人 (INOUE MASATO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・

助教

研究者番号 : 60365468