

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2007～2008

課題番号：19860050

研究課題名（和文） 形状モデルを用いた製品リデュース設計支援システムの研究

研究課題名（英文） Research on Lean Product Design Using Geometric Model

研究代表者

福重 真一（FUKUSHIGE SHINICHI）

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：10432527

研究成果の概要：本研究では、製品構造を合理化することによって資源投入量や廃棄物発生量を低減する環境配慮設計手法を提案した。本手法は、製品の CAD モデルを入力として、そこから理論上最小となる抽象構造を抽出し、これを元に設計者が再設計を行うことによって製品構造を簡略化するというものであり、種々の機構や接続関係を複合的に含む製品構造の単純化を可能とした。また、提案手法を設計支援システムとして実装し、実証実験を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	720,000	0	720,000
2008 年度	590,000	177,000	767,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,310,000	177,000	1,487,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：リサイクル工学

キーワード：環境配慮設計，CAD，リデュース設計

1. 研究開始当初の背景

近年、資源循環型社会実現への要請から、製品ライフサイクル全体を通じて、資源・エネルギー消費量、廃棄物量、および二酸化炭素排出量を最小化するような循環型製品ライフサイクル・システムの構築が求められている。特に、設計段階における省資源への取り組みはその後の製品ライフサイクルにおける環境負荷低減に大きく寄与するために重要な意味を持つ。中でも、製品の部品点数削減や減量化・軽量化を実現する「リデュース設計」はリサイクル設計、リユース設計と共に、資源投入量や廃棄物量を抑制するため

の環境配慮設計技術の一つとして注目されており、また、リデュースは材料コストや輸送コスト、製造工程なども同時に削減出来るなど多くの利点を有するため、最も効果的なライフサイクル・オプションである。

2. 研究の目的

リデュース設計には、製品の長寿命化や高付加価値化、アップグレード等によって長期間の使用を可能にし、間接的に廃棄物発生量を低減する方法もあるが、本研究では製品構造を合理化することによって資源投入量や廃棄物発生量を直接的に低減する方法を提

案する．一般にリデュース設計はノウハウに基づき各製品に対して個別に行われる傾向にあり，一般的な設計方法論が少ない．本提案手法では，より汎用的に適用可能な方法として，製品の機能，構造，幾何情報を用いて，製品が機能を維持するために最低限必要な構造を導出する．

構造の合理化，単純化については，力学的観点からのパラメトリックな最適化手法が提案されている．これらには，与えられた荷重や拘束条件の下で寸法や形状の最適化を行うものや位相構造の最適化を行うもの，またはそれらを組み合わせるものなどが存在するが，これらの手法は自動車のフレームやサスペンションの部品といった支持構造物の軽量化を主眼としており，必要な強度を保ちながら構造の最適化を行う場合などに用いられる．本研究では，種々の機能部品や可動部品を複合的に含んだ製品構造の包括的な単純化を目的としており，また，パラメトリックな最適化手法を用いるのではなく，製品の CAD モデルを入力として，そこから理論上最小となる構造を抽出し，その構造を元に設計者が再設計を行うことによって合理化を図る．

3．研究の方法

本研究では，製品の幾何形状および部品接続情報を用いて製品構造を合理化・簡略化するための方法論を提案し，これを再設計支援システムとして実装する．その後，実製品の CAD モデルを用いた実証実験を行い，提案手法および開発したシステムの有効性を検証する．

4．研究成果

- (1) 提案手法は以下の 4 つのステップより成る．
 - (a) 入力された CAD モデルから製品の重要な機能を担う部品（これを機能部品と呼ぶ）を選択する
 - (b) (a)において選択されなかった部品を節点として機能部品間の接続関係を表す製品のスケルトン構造を導出する
 - (c) (b)のスケルトン構造から理論上最小となる構造（これをミニマムストラクチャと呼ぶ）を生成する
 - (d) ミニマムストラクチャから製品の実体構造を復元する

上記(a)で選択される機能部品とは「要求される機能を製品が発現するために不可欠な役割を直接担い，他の部品によって代替出来ない部品」とであると定義する．具体的には動力生成，発光，制御，送風，デザインなどの機能を有するモータ，電球，電子制御盤，ファン，筐体などが機能部品として選択される．逆に，部品間の支持固定，運動拘束，動力伝

達といった主に機械的機能を有するネジや止め具，軸や軸受，歯車といった部品はここで選択されずステップ(b)においてスケルトン構造の節点に変換される．ただし，実際の製品において何を機能部品とするかは，どの部品までを再設計の対象とし，最終的にどのレベルまでの構造簡略化を行うか，といった設計者の判断に委ねられる．

ここで「スケルトン構造」とは CAD モデル内における各部品間の接続関係をリンクによって表現したものであり，機能部品として選択されなかった部品はそれら接続線間の節点（ノード）として置き換えられる．部品間の接続関係は固定，運動伝達，運動拘束，電気的接続等に分けられ，それら接続情報は CAD モデルに対してあらかじめ与えられているものとし，スケルトンモデル上においてはその「骨」にあたる各接続線に接続情報が保持される．

図 1 にモータアセンブリの解体図，図 2 に選択された主要部品，図 3 にスケルトンモデルを示す．この例ではモータ，軸受けカバーが機能部品として選択されている．図 3 の点が節点となった非選択部品を表し，破線が各部品間の接続線（固定関係）を表す．

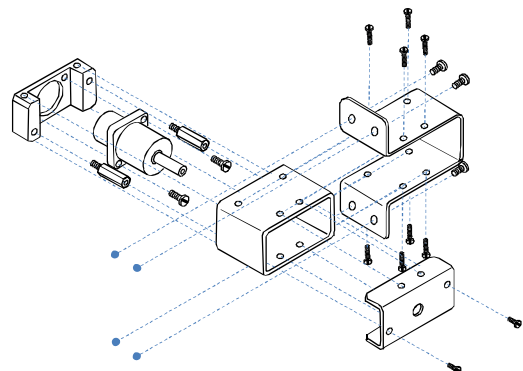


図 1．モータアセンブリ

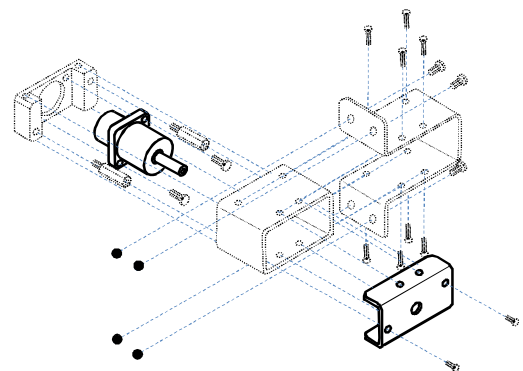


図 2．主要部品の選択

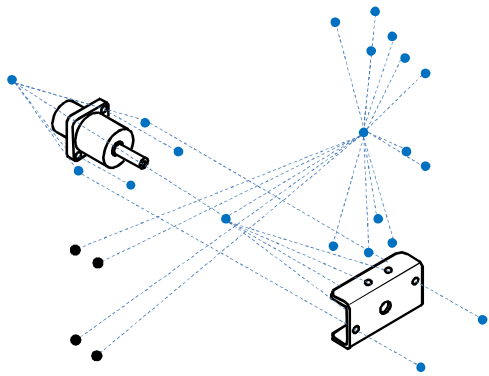


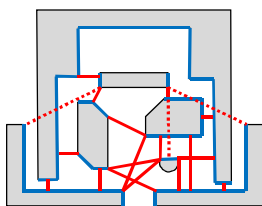
図3 . スケルトンモデル

ステップ(c)では,(b)で抽出されたスケルトン構造を用いて製品のミニマムストラクチャを生成する。「ミニマムストラクチャ」とは全ての機能部品を最短の接続線の組み合わせによって連結したものであり、製品全体の構造を最も単純化した抽象構造であると言える。仮に、それぞれの接続線が部品間の固定や運動伝達を実際に担うことが可能であるとするならば、ミニマムストラクチャは製品が機能を発現するための最小限の構造となり、最大限に軽量化、減容化を果たした製品と見なすことが出来る。ミニマムストラクチャは以下のアルゴリズムによって導出される。

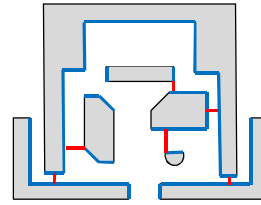
まず、2つの機能部品どうしの全ての組み合わせについて、それらを最短距離で接続し、各機能部品をノードとした完全グラフを作る(図4(A))。ただし接続線が他の機能部品と干渉する場合はこれを回避し、干渉することなしに接続線を引けない場合はこの接続線をグラフより除外する(図4(B)の赤い点線)。次に、任意の機能部品を一つ選択し、これを開始ノードとして全ての機能部品が選択されるまで次の操作を繰り返す。

まだ選択されていない機能部品のうち既に選択された機能部品のいずれかと距離が最も短いものを次に選択し、それらの部品間を結ぶ接続線も同時に選択する。

すべての機能部品が選択された時点で、未だ選択されていない接続線を消去したものがミニマムストラクチャとなる。尚、上記アルゴリズムは常に最小構造を導くことを保証しており、その計算量は機能部品数の二乗に比例する。



(a) 機能部品間の完全グラフ



(b) ミニマムストラクチャ

図4 . 機能部品から成るアセンブリの2次元図

図4では部品境界の青線は界面(他の部品と接続可能な面)を表す。

最後にステップ(d)において、ミニマムストラクチャから製品の実体構造を復元する。この操作はミニマムストラクチャの接続関係を参照しながら設計者によって以下の手順を用いて実行される。

- ・ ミニマムストラクチャの接続関係に従って機能部品を移動させ他の機能部品と直接接続する。
- ・ 機能部品の形状を変化させ接続を補間する。
- ・ 部品の挿入によって接続を補間する。相対運動のある機能部品間の接続には、その相対運動を実現する最もシンプルな機構部品を挿入する。

ただし、各接続において上記のいずれの操作を用いるかは設計者の判断に委ねられ、一つのミニマムストラクチャから一意に実体構造が復元されるのではなく設計の自由度が許容される。また、必要に応じて最小構造のみならず、2番目3番目に最小となる構造を設計者に提示することも可能である。

図5にモータアセンブリのミニマムストラクチャ、図6にミニマムストラクチャ再設計案を

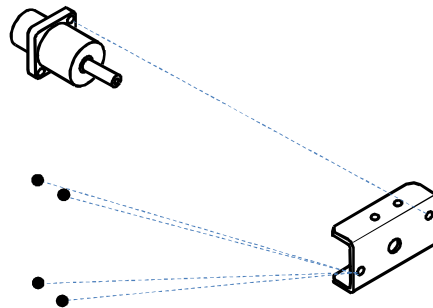


図5 . モータアセンブリのミニマムストラクチャ

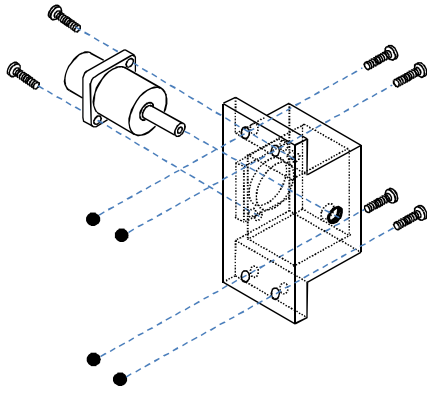


図6．再設計案

(2) 実証実験：本研究で提案した手法をリデュース設計支援システムとして実装した．ケーススタディとして図7に示す掃除機本体のCADモデルに対して提案手法を適用し，その有効性を検証した．

掃除機モデルの部品点数は61であり，うち43の部品を機能部品として選択した．次に，部品間の接続関係の情報を用いてスケルトン化された製品モデルに対して，本研究で提案した簡略化アルゴリズムを適用し，ミニマムストラクチャを導出した．図8に掃除機モデルのミニマムストラクチャを示す．赤線が機能部品間を結ぶ接続線を表す．



図7．掃除機本体の幾何モデル

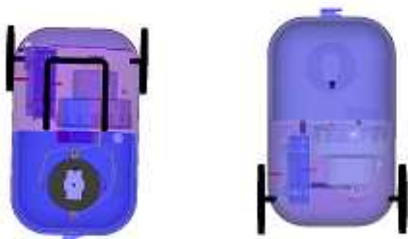


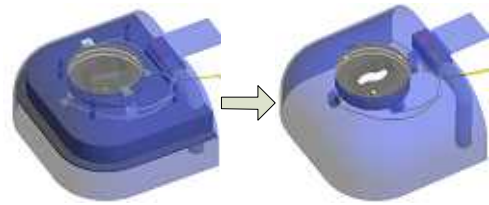
図8．ミニマムストラクチャ

また，開発したシステムでは機能部品を設計者が自由に移動させることが出来る．部品の配置変更即してミニマムストラクチャも逐次更新され常に設計者に対して最小構

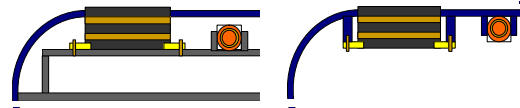
造となる接続関係が示される．

最後にミニマムストラクチャを用いて製品の実体化(CADモデルの復元)を行った．図9(a-1)に掃除機本体の蓋部分，図9(b-1)に電源コード巻き取り部分の入力CADモデルおよび本手法の適用による再設計案を示す．また図9の(a-2)と(b-2)はそれらの断面図である．

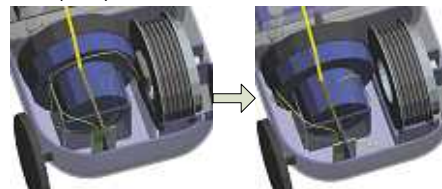
これらの図からも分かるように接続部品や筐体内部のフィーチャが削除，再構成され，製品構造の単純化がなされている．再設計により部品点数は50になり，部品重量合計の12%削減が実現された．



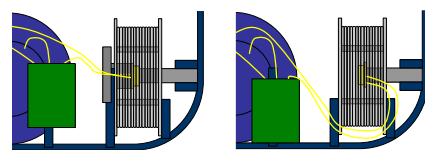
(a-1) 蓋部の再設計案



(a-2) 再設計案の2次元断面図



(b-1) 電源コード収納部の再設計案



(b-2) 再設計案の2次元断面図

図9．掃除機モデルの再設計案

(3) 本研究では，製品のCADモデルからそのスケルトン構造を求め，これを単純化することでミニマムストラクチャを導出し，このミニマムストラクチャを用いて再設計を行うリデュース設計支援手法を提案した．また，提案手法を掃除機のCADモデルに適用し，実際に部品点数および体積の削減を果たした再設計案を提示した．

ただし，実際の機械製品は製造性や信頼性などの観点から様々な設計根拠を持って設計されており，製品の構造や各部品の形状はそれらの設計意図を反映した結果である．本手法によって示される製品構造は必ずしもそれら設計意図のすべてを反映したもので

はないため、ミニマムストラクチャから実体モデルを復元する段階において設計者が種々の条件を考慮しながら再設計を行う必要がある。

しかし本手法は、製品の幾何形状や接続関係などの入力情報に対する理論上の最小構造を即座に設計者に提示し、また、再設計の過程においても常に最小構造を更新して示すことが可能であるため、リデュース設計を行おうとする設計者の設計作業を支援するための有効な方法であると言える。

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3件)

福重真一, 外池恵大, 梅田靖, 近藤伸亮, “ライフサイクル設計のための製品モジュール化設計手法の提案”, 精密工学会誌, Vol.75, No.5, 2009, 査読有.

Shinichi Fukushige, Yoichiro Inoue, Keita Tonoike and Yasushi Umeda, "Design Methodology for Modularity Based on Life Cycle Scenario", International Journal of Automation Technology (IJAT), Vol.3, No.1, pp. 40-48, 2009, 査読有.

Yasushi Umeda, Shinichi Fukushige, Keita Tonoike and Shinsuke Kondoh, "Product Modularity for Life Cycle Design", Cirp Annals - Manufacturing Technology, Vol.57(1), pp. 13-16, 2008, 査読有.

[学会発表](計16件)

Shinichi Fukushige, Yasutake Kawada and Yasushi Umeda, “Lean Product Redesigning by Extracting Minimum Structure”, Proc. of LCE 2009: 16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, pp. 112-117, Cairo, 2009, 査読有.

Shinichi Fukushige, Keita Tonoike and Yasushi Umeda, "A Design Methodology for Mass Reduction of a Mechanical Product by Extracting a Minimum Structure", Proc. of The 4th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century(LEM21), Fukuoka, Japan, 2007, 査読有.

Keita Tonoike, Yasushi Umeda and Shinichi Fukushige, "Proposal of a Design Methodology for Modularity Using Geometric Information", Proc. of The 4th International Conference

on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21), Fukuoka, Japan, 2007, 査読有.

Shinichi Fukushige, Keita Tonoike and Yasushi Umeda, "Research on Design Methodology for Modularity that Considers Geometric Information", Proc. of 5th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2007), Tokyo, Japan, 2007, Abstract 査読有.

福重真一, 川田康毅, 梅田靖, “環境に配慮した製品設計のためのライフサイクルCAD”, 日本機械学会関西支部第84期定時総会講演会講演論文集, WS-1, p. 706, 大阪, 2009, 査読無.

外池恵大, 井上洋一郎, 福重真一, 梅田靖, “ライフサイクル・シナリオに基づいたモジュール化設計とその評価手法の提案” 精密工学会春季大会講演論文集, 164, pp. 661-662, 東京, 2009, 査読無.

福重真一, 外池恵大, 井上洋一郎, 川田康毅, 梅田靖, “ライフサイクル設計のための製品モデリング環境の構築”, エコデザインジャパンシンポジウム2008講演論文集(CD-ROM), A13-1, 東京, 2008, 査読無.

福重真一, 外池恵大, 井上洋一郎, 川田康毅, 梅田靖, “ライフサイクル設計のための統合設計環境”, デザインシンポジウム2008講演論文集, pp.483-486, 横浜, 2008, 査読無.

井上洋一郎, 外池恵大, 福重真一, 梅田靖, “ライフサイクル・シナリオと幾何情報に基づいたモジュール化設計手法の提案”, 第18回設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp. 310-313, 京都, 2008, 査読無.

福重真一, 川田康毅, 梅田靖, “製品のリデュース設計支援に向けた部品間接続構造の簡略化手法”, 精密工学会秋季大会講演論文集, H69, pp. 631-632, 仙台, 2008, 査読無.

川田康毅, 福重真一, 梅田靖, “部品間構造の簡略化によるリデュース設計支援手法の提案”, 日本機械学会2008年度年次大会講演論文集, 横浜, 2008, 査読無.

福重真一, 外池恵大, 梅田靖, “ライフサイクル設計のための製品モジュール化”, 日本機械学会関西支部第83期定時総会講演会講演論文集, 大阪, pp 1-17, 2008, 査読無.

井上洋一郎, 外池恵大, 梅田靖, 福重真一, “ライフサイクルシナリオと幾

何情報に基づいたモジュール化設計手法の提案”，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，川崎，J74，pp. 875-876，2008，査読無.

福重真一，外池恵大，梅田靖，「循環型製品ライフサイクル実現のためのモジュール設計支援手法の提案」，第17回設計工学・システム部門講演会講演論文集，仙台，pp. 272-275，2007，査読無.

福重真一，谷山信悟，梅田靖，「ミニマムストラクチャの抽出によるリデュース設計支援手法の提案」，精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，G45，pp. 507-508，旭川，2007，査読無.

外池恵大，福重真一，梅田靖，「幾何情報を用いたモジュール設計手法の提案」，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，M68，pp. 1181-1182，東京，2007，査読無.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

福重 真一 (FUKUSHIGE SHINICHI)
大阪大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：10432527

(2)研究分担者

(3)連携研究者