

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760107

研究課題名(和文) ソリッド・メッシュ連携設計のためのパラメトリックメッシュモデリング

研究課題名(英文) Parametric mesh modeling for cooperation of solid and mesh models

研究代表者

伊達 宏昭 (DATE HIROAKI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：20374605

研究成果の概要(和文)：

本研究では、ものづくりにおける円滑な3次元形状モデル利用を目的として、スケッチ入力に基づく解析用四面体メッシュの形状モデリング手法、ならびに、寸法指定に基づく解析用四面体メッシュのパラメトリック変形手法を開発した。3次元CADシステムと同様の操作による、解析用四面体メッシュモデルの生成、ならびに、解析用四面体メッシュモデルの形状修正が実現され、CAD/CAEにおける設計用ソリッドモデルと解析用メッシュモデル連携の基礎技術が構築された。

研究成果の概要(英文)：

In this research, a sketch-based tetrahedral mesh modeling method and a tetrahedral mesh deformation method based on dimensions were developed for efficient use of 3D geometric models in the product development. Tetrahedral mesh generation and modification according to user's manipulations similar to the current 3D CAD systems were achieved, thus the basic technologies of cooperation between the solid and mesh models in CAD/CAE were developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：形状処理

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：CAD/CAE，ソリッドモデル，メッシュモデル，パラメトリックモデリング，スケッチベースモデリング，メッシュ変形，フィーチャ

1. 研究開始当初の背景

現在、点群モデル，ボクセルモデル，メッシュモデル，ソリッドモデルといった，同一対象の形状を表現できる様々な形状モデルが存在し，各アプリケーションにおいて適したモデルが利用されている。ものづくりにおいては，形状設計の中心においてソリッドモ

デルが使われており，有限要素解析を用いたCAE等のアプリケーションではソリッドモデルから生成されたメッシュモデルがよく用いられている。しかしながら，ソリッドモデルからアプリケーションに適したメッシュモデルの生成が難しい，また，アプリケーション利用の結果を反映したメッシュモデ

ル上での形状修正の結果がソリッドモデルに反映できないといった問題点があり、円滑な製品形状設計の妨げとなっている。このために、特に CAE において、ソリッドモデルとメッシュモデル間の連携手法が強く望まれている。

メッシュモデリング手法に関して、メッシュモデルの効率的な処理のための詳細度変更、意図した形状を得るためのメッシュモデル変形、ソリッドモデル生成のための形状特徴認識やセグメンテーション、ソリッドモデルからの解析メッシュ生成など、多くの研究がなされてきている。しかしながら、ソリッドモデルとメッシュモデルの連携を主題とした研究例は少なく、形状処理の結果はメッシュモデル内で閉じていたり、ソリッド・メッシュ間のデータ変換を行ったとしても、それは一方向となっており、両データの効果的な連携は実現されていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ソリッド・メッシュ連携による、ものづくりにおける形状モデル利用の効率化を実現するための、新たな形状モデリング手法を開発することである。特に、ソリッドモデルとメッシュモデルの両方を利用できるシームレスな形状設計の実現を目指し、現状の3次元 CAD システムでソリッドモデルに対して行われている、パラメトリックモデリングを、解析用四面体メッシュモデルで実現する手法を開発する。

3. 研究の方法

ソリッド・メッシュ連携を実現するための基本的な要求事項は、一方のモデルに対して行われた形状操作が、もう一方のモデルに対して同様に反映されることである。本研究では、これを形状生成段階と、形状修正段階の2つに分けて考え、以下の2つのサブテーマについて研究を実施した。

(1) スケッチ入力に基づく解析用四面体メッシュモデル生成手法の開発

形状生成段階における、ソリッド・メッシュ連携においては、形状操作の共有が有効である。本研究では、現状の3次元 CAD システムで良く用いられる、2次元スケッチの入力とその挿引に基づくフィーチャベースの形状モデリング（スケッチベースモデリング）を、解析用四面体メッシュモデルで実施する手法を開発した（図1）。

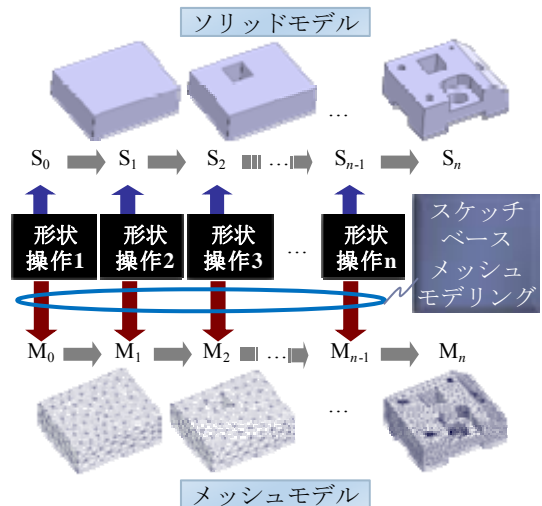


図1 スケッチベースメッシュモデリングによるソリッド・メッシュモデルの同時生成

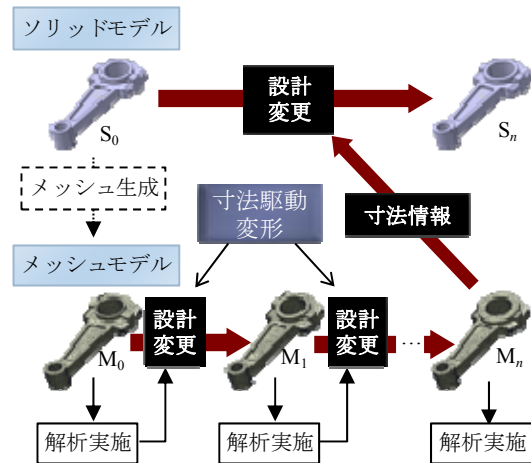


図2 寸法指定による解析用四面体メッシュ変形を用いたソリッド・メッシュ連携（パラメトリックサーベイの例）

(2) 解析用四面体メッシュモデルの寸法駆動変形手法の開発

形状修正段階におけるソリッド・メッシュ連携においても、上記と同様に形状操作の共有が有効である。現状、基本形状の設計が行われた後の解析を用いたソリッドモデルの形状修正（形状最適化）では、形状の寸法（フィーチャのパラメータに対応）を変更することが多い。そのため、本研究では、寸法指定に基づく解析用四面体メッシュモデルのパラメトリック変形手法（寸法駆動変形手法）を開発した。本手法は、メッシュベースのパラメトリックサーベイを可能にするものである（図2）。

4. 研究成果

3章で述べた各サブテーマの研究成果の概要を以下に記す。

(1) スケッチ入力に基づく解析用四面体

メッシュモデル生成手法の開発

現在の3次元 CAD システムで良く用いられるスケッチ入力とその挿引に基づくフィーチャベース形状モデリングを、解析用四面体メッシュモデルで実施する手法を開発した。本手法を用いることにより、設計者は、現在の3次元 CAD システムと同様に、2D スケッチの入力、フィーチャタイプ（付加型/除去型）の選択、ならびにフィーチャパラメータ（スケッチ挿引距離）の入力により、解析用四面体メッシュモデルを生成することができる。

本手法では、まず、入力の2D スケッチを多角形近似し、ユーザ指定の挿引距離に従って挿引することにより、スケッチ挿引形状の三角形メッシュモデルを得る。その後、現四面体メッシュモデルとスケッチ挿引形状との間の交差線導出し、部分的なメッシュ要素の除去を経て、新たなフィーチャ形状を生成するための空間（三角形メッシュで境界が表現されている）を求める。最後に、得られた空間を制約付き Delaunay 法によりメッシュ分割し、モデリング処理の結果の解析用四面体メッシュモデルを得る。モデリングの結果として、メッシュ品質の高い解析用四面体メッシュモデルが得られることを確認した（図3）。

本研究ではスケッチ入力に基づく形状モデリングのみを対象としたが、今後の課題として、3次元 CAD システムに実装されているフィレット生成や面取りなどの、より幅広いフィーチャ処理機能の実現が挙げられる。

また、本研究で開発したメッシュモデル間的高速な干渉検査・交差線抽出法を、複雑形状理解のための部分切断モデル生成へ応用した。これは、複雑な内部構造を持つ形状を表すメッシュモデルを、任意形状の切断空間（メッシュモデル）で分割して表示することにより、複雑形状の理解を助けるものである（図4）。

(2) 解析用四面体メッシュモデルの寸法

駆動変形手法の開発

寸法指定に基づく解析用四面体メッシュモデルのパラメトリック変形手法を開発した。変形手法は、重心座標補間と平均値座標補間を用いた空間埋め込み変形に基づいており、ソリッド (CAD) モデルのフィーチャパラ

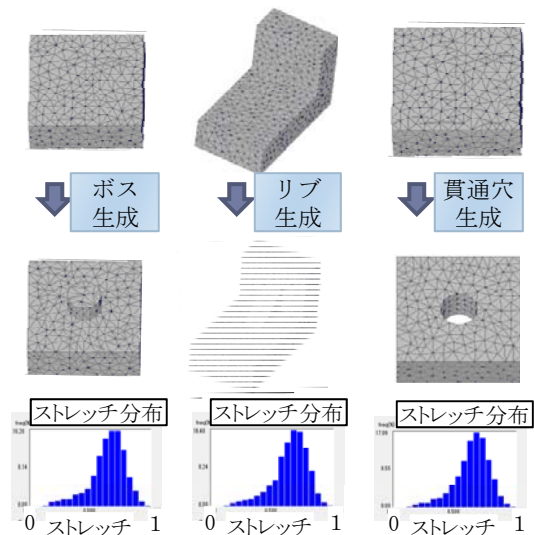


図3 スケッチベースモデリングによる解析用メッシュモデル生成の例とメッシュ品質評価結果

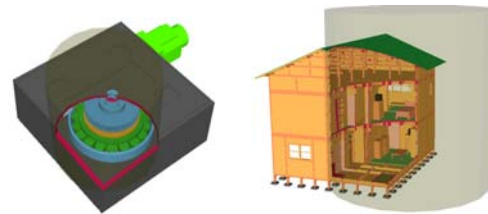


図4 メッシュ間の干渉・交差検出を応用した複雑形状理解のための部分切断モデル表示の例

メータの幾つかに対応する、2平面間距離、円筒径、平面上の物体位置に関する解析用四面体メッシュモデルの寸法を変更することが可能である。設計者は、変更したい寸法の種類を入力し、寸法を規定しているメッシュ上の領域（三角形集合）の対話的な選択を行い、目標寸法を入力することで、入力した寸法を満たす解析用四面体メッシュモデルを得ることができる（図5）。

本手法では、まず、四面体メッシュモデルの形状表面の三角形メッシュモデルの寸法駆動変形が行われる。表面三角形メッシュモデルは、三角柱の集合を変形ハンドルとする重心座標に基づく空間埋め込み変形手法により、目標寸法を満たすように変形される。その後、四面体メッシュモデルの内部頂点が、その隣接頂点に対する平均値座標表現を用いた空間埋め込み変形によって、表面形状の変形に追従して移動する。簡単な解析用四面体メッシュモデルに対し開発手法を適用した結果、指定した寸法を満たす解析用四面体メッシュモデルが得られることが確認できた（図6）。

本研究では、更に、形状変形で生じる四面

体要素の裏返りを，メッシュ品質に関する局所的な最適化問題を解くことにより修正する手法を開発した．手法は，変形により裏返りが生じた四面体要素の頂点を，裏返りを生じない空間内で最高のメッシュ品質を提供する位置へ繰り返し移動するものであり，実際の変形処理で生じた四面体要素の裏返りを本手法により修正できることを確認した(図7)．

今後の課題として，より柔軟な設計変更に対応するための変更可能な寸法の種類の拡張，ならびに，結果のメッシュモデルの有限要素解析応用のための大変形におけるメッシュ品質の改善が挙げられる．

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)

- ① Yuki Takano, Hiroaki Date, Masahiko Onosato, Dimension-driven deformation and untangling of tetrahedral meshes, Proc. of Asian Conference on Design and Digital Engineering 2010, 査読有り, 2010, 483-491.
- ② Hiroaki Date, Furukawa Hiromu, Onosato Masahiko, Efficient cutaway model generation for interactive cutaway viewing system, Proc. of IDMME - Virtual Concept 2010, 査読有り, 2010, VC-P156
- ③ Hiromu Furukawa, Hiroaki Date, Masahiko Onosato, An Interactive Cutaway Model Representation System using a Three-Dimensional User Interface, Proc. Design Engineering Workshop 2009, 査読有り, 2009, 138-142

[学会発表] (計 5 件)

- ① 高野由希, 伊達宏昭, 小野里雅彦, ソリッド・メッシュ連携のための四面体メッシュのパラメトリックモデリングに関する研究, 2011年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 603-604, 2011.3.1(講演論文集公開日), 東洋大学(文京区)
- ② 高野由希, 伊達宏昭, 小野里雅彦, ソリッド・メッシュ連携のための四面体メッシュのパラメトリックモデリングに関する研究, 2010年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 205-206, 2010.9.27, 名古屋大学(名古屋市)
- ③ 古川比呂武, 伊達宏昭, 小野里雅彦, 大規模・複雑形状モデルの効率的な認識に関

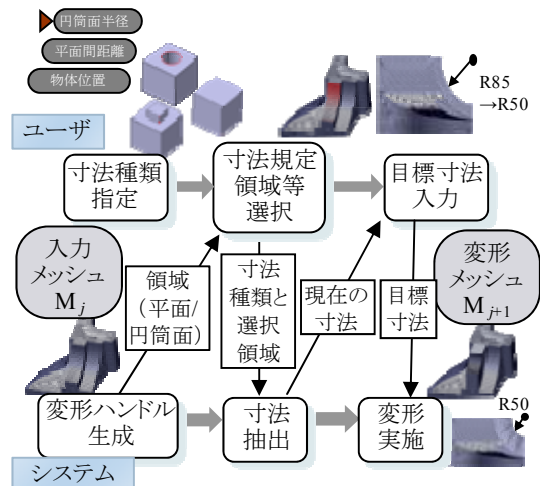


図5 寸法駆動によるメッシュ変形の手順

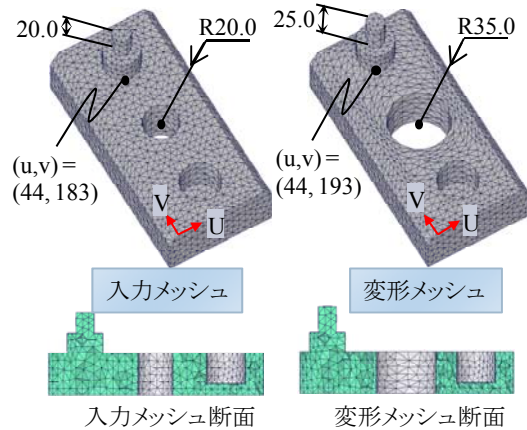


図6 寸法駆動による解析用四面体メッシュ変形の例

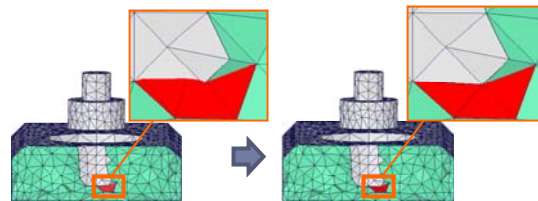


図7 変形により生じた四面体要素の裏返り修正の例

する研究—モデル単純化と時間コヒーレンスを用いた部分切断モデル生成の効率化—, 2010年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 135-136, 2010.3.17, 埼玉大学(さいたま市)

- ④ 古川比呂武, 伊達宏昭, 小野里雅彦, 大規模・複雑形状モデルの効率的な認識に関する研究—複数物体からなる対象のリアルタイムな部分切断モデル生成手法—, 2009年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 939-934, 2009.9.10, 神戸大

学（神戸市）

- ⑤ 高野由希, 伊達宏昭, 小野里雅彦, 空間埋込みを用いた四面体メッシュモデルの寸法駆動変形, 精密工学会北海道支部 50 周年記念学術講演会講演論文集, 19-20, 2009.9.6, 釧路工業高等専門学校（釧路市）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

- 出願状況（計 0 件）
○取得状況（計 0 件）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊達 宏昭 (DATE HIROAKI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：20374605

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし