

多重解像度メッシュ上のフィーチャ除去・復元手法

北海道大学 ○伊達 宏昭, 金井 理, 岸浪 建史
日立製作所 機械研究所 西垣 一朗

要 旨

本論文では、メッシュ表示や有限要素解析効率化の為に、メッシュ領域分け手法に基づくメッシュ上のフィーチャ（穴、突起）認識・除去手法と、局所 LOD に基づく多重解像度メッシュ上のフィーチャ復元手法を提案する。これにより、任意フィーチャが除去された任意解像度のメッシュが効率良く生成可能となる。

1 はじめに

メッシュモデルの微小穴などのフィーチャは、メッシュ単純化における面分数削減の妨げになり、非効率なモデル表示や非効率な有限要素解析の原因となるといった問題をもつ。この問題を解決するためには、任意フィーチャが除去された任意解像度のメッシュを効率よく生成できる手法が必要である。メッシュモデルのフィーチャ除去に関する研究は幾つかなされているが¹⁾、これらの手法では、異なるフィーチャを含む任意解像度のメッシュを得ようとした際に、全てのフィーチャを含むオリジナルメッシュに対する再フィーチャ除去と再メッシュ単純化処理が必要となり非効率的である。

そこで本研究では、図1に示すように、初めに入力メッシュの全ての認識可能なフィーチャを除去し、次に、メッシュ単純化により多重解像度メッシュ (MRM) 生成を行い、最後にフィーチャ復元と LOD (Level-of-Detail) 変更を実施することによって、異なるフィーチャを含む任意解像度のメッシュを生成する手法を提案する。本手法は、稜線を1頂点に縮退する Edge Collapse (EC) を利用するどんなメッシュ単純化手法^{2,3)}にも適用でき、一度フィーチャ除去と単純化を行った後は、任意フィーチャを含む任意解像度のメッシュが高速に得られる。

2 提案手法

本研究で対象とするフィーチャは、表1に示すように、止まり穴（ポケット）、貫通穴、突起（ボス）である。また、フィーチャが定義されている基準面はほぼ平面に近いと仮定する。各フィーチャは、それぞれ除去・復元の対象選択に利用される寸法に関する管理属性と、フィーチャ構成面 (FCT) から成る。以下に図1のアルゴリズムの各ステップの詳細を述べる。

2.1 メッシュのフィーチャ認識・除去

FCTは、基準面内部の特徴稜線で境界付けられる領域とみなせる。このような領域（面分集合）を効率よく見つけるために、本手法はメッシュ領域分け処理を用いた。

以下にフィーチャ認識アルゴリズムを記す。

ステップ1: 基準面の抽出

初めに、隣接面分間の二面角に対する閾値処理による特徴稜線抽出 (図2(b)) と、特徴稜線に囲まれる領域の認識を行う。次に、面積が閾値より小さな領域内の三角形はどの領域にも属さないとする。以上の結果として得られる領域が基準面である (図2(c))。

ステップ2: 特徴稜線修正とフィーチャ構成面抽出

まず、どの領域（基準面）にも属さない三角形に挟まれる稜線を全て非特徴稜線とする (図2(d))。次に、各領域

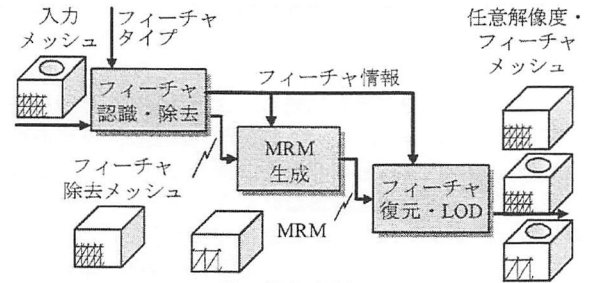


図1 提案手法概要

表1 本研究で対象とするフィーチャ

タイプ	止まり穴(ポケット)	貫通穴	突起(ボス)
例と基準面			
フィーチャ構成面(FCT)	側面と底面	側面	側面・上面
管理属性	幅(w)・深さ(d)	幅(w)・深さ(d)	幅(w)・高さ(h)

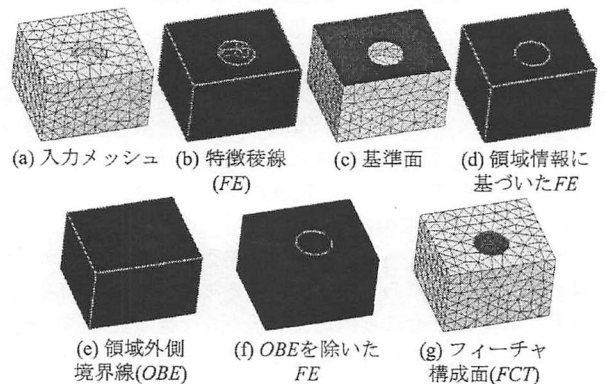


図2 フィーチャ構成面抽出手順

の外側境界線を抽出し (図2(e)), それを構成している全ての稜線を非特徴稜線とする (図2(f)). 最後に、現在残っている特徴稜線を用いてステップ1と同様の領域分けを行う。得られた領域のうち、基準面を含まない領域が FCT として抽出される (図2(g)).

ステップ3: フィーチャタイプの識別と管理属性値算出

2つの凸境界線を持つ領域は貫通穴、1つの凸/凹境界線を持つ領域を止まり穴/突起と識別する。貫通穴の深さは2つの境界線間の基準面垂直方向の距離、止まり穴の深さと突起の高さは、境界線と FCT 内の頂点間の基準面に対する最大垂直方向距離として算出される。

フィーチャ除去は、抽出した FCT をメッシュから除去し、生じた基準面上の穴を、単純な三角形分割により生じる新たな面分 (FRT) で埋めることにより行う (図 3(a)→(b))。

2.2 メッシュ単純化による MRM 生成

除去したフィーチャを粗いメッシュ上で適切な詳細度で復元可能にし、更に、微小な面分が粗いメッシュで残らないようにするため、初めはフィーチャ境界稜線 (FBE) の形状を考慮しながら単純化し、ある段階から FBE の考慮なしに単純化を行う。これらの間、 FCT も同時に単純化する。メッシュ単純化には EC を用い、上述の単純化は以下のように行う。

単純化の初期段階では、 FBE は、稜線形状に対する近似誤差の評価手法³⁾を用いて単純化における近似誤差を評価し、その誤差が指定したトレランスを満たす場合にのみ単純化する。一方、 FCT と FRT は、目的に合った単純化基準^{2,3)}に従って単純化する (図 3(b)→(c))。

FBE 上の全ての稜線単純化が、ユーザ指定の稜線に対するトレランス以上の近似誤差を生じるようになった段階で、 FBE を、目的に合った単純化基準^{2,3)}に従い単純化する (図 3(e)→(f))。これにより、フィーチャが存在していた部分に微小な面分が残らない、適切な単純化がなされる。以上の規則は、 EC を用いたどのようなメッシュ単純化手法にも導入することができる。

2.3 MRM 上のフィーチャ復元と LOD

フィーチャ復元処理では、最初に、復元したいフィーチャを管理属性値に対する閾値処理やフィーチャリストを用いて選択する。フィーチャ復元は FRT と FCT の置き換えで実現でき、その実行可能条件は、 FRT と除去した FCT との境界が一致していることである。そのため、選択したフィーチャの FBE 上の頂点 (FBV) が現在のメッシュ上に存在しないならば、頂点階層を用いた局所 LOD 手法⁴⁾を用いて FBV を現在のメッシュ上に復元する (図 3(f)→(e))。最後に、各フィーチャの FRT と FCT を交換する (図 3(e)→(d))。異なるフィーチャを含む任意解像度のメッシュは、最も粗いメッシュ上でのフィーチャ復元 (図 3(f)→(d)) と LOD 変更 (図 3(d)→(a)) によって得られる。

3 提案手法の適用結果とまとめ

図 4 に、複数の穴や突起を含む機械部品のメッシュモデルに提案手法を適用した結果を示す。同図(b)(c)より、止まり穴、貫通穴、突起が認識されている事、それらが除去されたメッシュが得られていることがわかる。また、自乗誤差距離に基づく単純化手法²⁾へ2.2節の規則を導入した手法をフィーチャ除去メッシュに適用した結果を同図(d)、異なる設定でフィーチャ復元・LOD を適用した結果を(e)(f)に示す。復元対象のフィーチャは、表 1 の管理属性値の閾値処理で選択した。一度フィーチャ除去とメッシュ単純化を適用した後は、任意のフィーチャが復元された任意解像度のメッシュがリアルタイムで得られる事が確認できた。

また、解析用 MRM 生成法³⁾に提案手法を適用した結果を図 5 に示す。この例題ではフィーチャ除去により生成された FRT に対し、局所的なメッシュ品質改善⁵⁾を行い、高品質なフィーチャ除去メッシュを得た。結果として、同図(c)に示すような、品質とフィーチャが管理された解析用メッシュを効率よく生成できることが確認された。

以上より、本報で提案したメッシュのフィーチャ除去と単純化、そして多重解像度メッシュ上のフィーチャ復元と

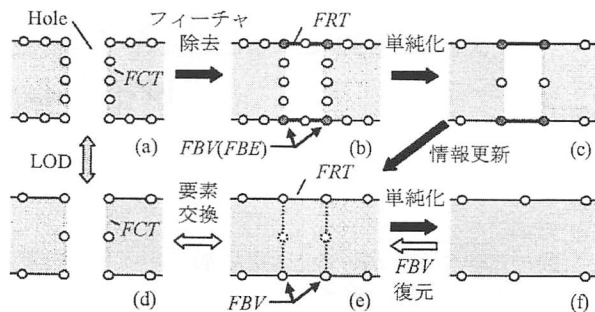


図3 フィーチャ除去・単純化・フィーチャ復元手順 (断面図)

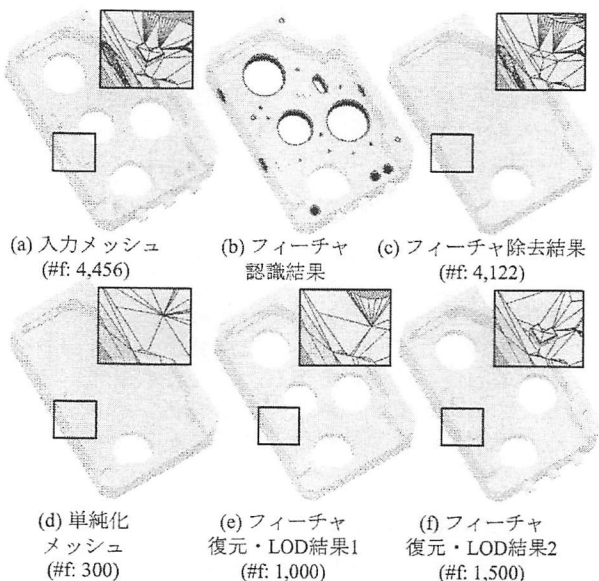


図4 提案手法の適用結果 (#fは面分数)

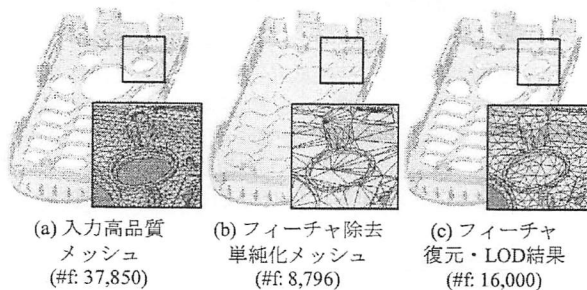


図5 解析用メッシュ生成への適用例 (#fは面分数)

LOD 変更により、異なるフィーチャを含む任意解像度のメッシュを効率良く生成できることがわかった。

[参考文献]

- 1) 例えば, Jihad El-Sana et al., Topology Simplification for Polygonal Virtual Environments, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 4(2), 133-144, 1998
- 2) 例えば, M. Garland et al., Surface Simplification Using Quadric Error Metrics, Proc. SIGGRAPH97, 209-216, 1997
- 3) H. Date et al., Multiresolution Finite Element Mesh Generation, Proc. ASME DETC&CIE2004, DETC2004-57663, 2004
- 4) 伊達他, 有限要素解析用多重解像度メッシュモデリングに関する研究, 2004年度精密工学会秋季大会講演論文集, 13-14, 2004
- 5) 伊達他, 細分化と簡略化に基づくメッシュ品質改善, 精密工学会誌, 71(2), 223-227, 2005