

VR 技術を用いた 3 次元メッシュ修正システムの適用性の向上

中央大学大学院 学生員 田中 智
中央大学 正会員 檜山 和男

1. はじめに

近年、コンピュータ性能の急速な発展により、三次元数値解析が一般的に行われている。しかし、三次元数値解析においては、自動要素生成ソフトにより作成されたメッシュ形状に不具合が見つかった場合、それを適切に修正することは困難となる場合が多い。著者らは、この問題点を解決するために、VR 技術を用いて立体視表示し、節点移動法によりメッシュの修正を行うことを可能とする 3 次元メッシュ修正システム¹⁾の構築を行った。

その後、著者らはメッシュの品質向上を目的とし、新たに要素細分化手法²⁾による修正方法を実装した。これらにより、効率的なメッシュの修正を行うことが可能となったが、節点移動法における節点制御が柱体形状のみに適用可能であり、適用性に問題があった。また、境界上の節点については節点の種類に応じて色分け分類がされていなかったために、システム使用にあたっての利便性が低かった。

そこで本研究では、システムの適用性の向上を目的として、任意形状のメッシュに対して節点移動制御データを生成できるアルゴリズムの開発を行った。また、境界上の節点の種類別に節点の色分けを行い、表示を行うことによりシステムの利便性の向上を図った。

2. 3 次元メッシュ修正システムの概要

本システムは、3 次元メッシュを VR 空間に立体視表示し、利用者がコントローラのボタン操作によりメッシュの品質を修正するものである。要素としては、四面体一次要素を対象としている。

図 1 は、本システムを使用する際のフローを示したものである。まず、対象のメッシュデータを読み込み、設定されている要素の品質評価式³⁾に基づいて、要素の品質評価を行う。この品質評価値は、正四面体の時に最小値の 1 となり、歪みが大きくなるにつれて増大するものである。

品質評価を行った後に、VR 空間においてメッシュの描画を行う。この際、品質評価値が悪い要素は、要素の辺が赤色で表示され、利用者はこの情報を基にコントローラを用いてボタン操作によりメッシュの修正を行っていく。メッシュ修正の方法には、1) 節点移動法、2) 要素細分化手法、の 2 種類がある。また、要素細分化機能は、図 2 に示すように 2 種類のパターンが存在する。全ての要素の修正が完了すると、メッシュデータを新たにファイル出力してシステムの終了となる。

3. 任意形状に対する節点移動制御データ

節点移動機能によりメッシュ修正を行う際、節点の移動に伴い、計算領域の幾何学的形状を壊さないように、境界面上の節点移動に制御を施すために節点移動制御データを作成して用いる。これは、物体境界面上の節点を分類し、そ

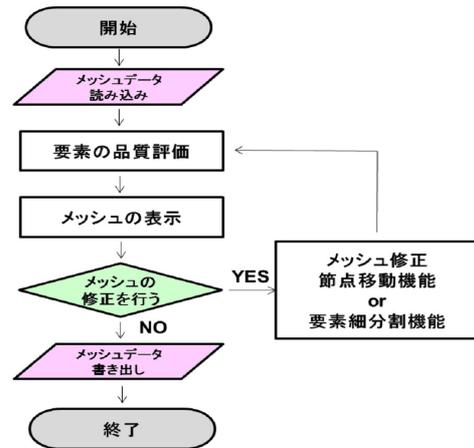


図-1 本システムのフロー図

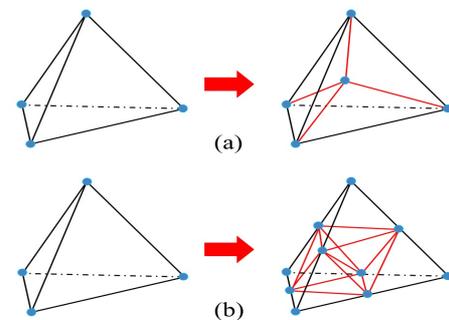


図-2 二種類の細分割パターン

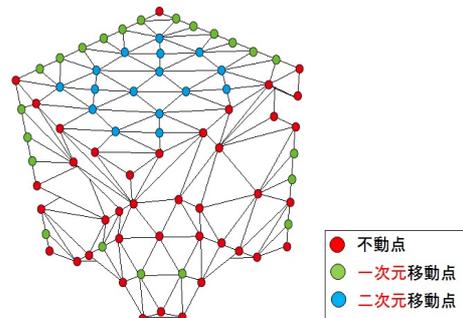


図-3 境界上の節点の種類

れぞれに応じた節点移動制御データを与える必要がある。

節点移動の観点から、表面上の節点を幾何学的性質により以下の 3 種類に分類する。1) 不動点、2) 一次元移動点、3) 二次元移動点。図 3 に示す形状を考えると、1) に該当する節点は物体の頂点や曲面上の点、2) に該当する節点は物体の辺上の節点、3) に該当する節点は物体の平面上の節点となっている。節点移動制御データの生成方法は図

4 のフローチャートの通りである。このアルゴリズムによって任意形状のメッシュの境界上の節点を分類することが可能となる。これは既往の研究¹⁾において高田、檜山らによって提案された柱体形状のメッシュに対する節点移動

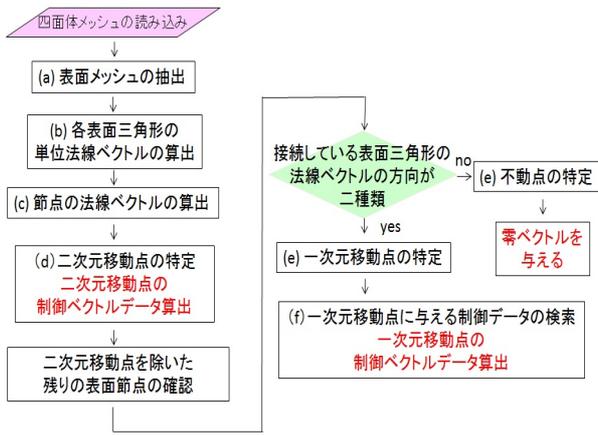


図-4 節点移動制御データの生成フロー

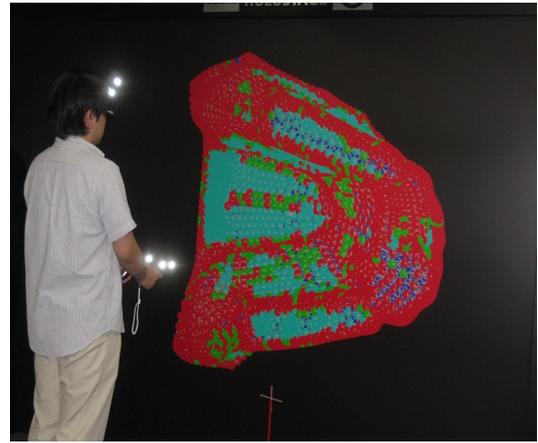


図-5 投影した様子

制御データの生成アルゴリズムを基に改良したものである。具体的には、一次元移動点と不動点の特定方法に変更を加えた。従来のアルゴリズムでは、特徴線を構成する節点のラインコネクティビティを構築することで物体頂点とそれ以外の特徴線上の点に分離を行い、それぞれを不動点、一次元移動点としていた。本アルゴリズムでは、各節点に接続されている表面三角形の法線ベクトルの方向の種類の違いに着目し、法線ベクトルの種類が二種類であれば一次元移動点、三種類以上であれば不動点としている。

4. メッシュ表示機能の改良について

本研究では、システムの利便性の向上のため、メッシュ表示機能の改良を行った。具体的には節点の表示を行う際の節点移動制御データ別の色分けの機能の実装を試みた。節点毎に制御の種類を示す変数を設定できるようにし、制御データの読み込みの際に変数の値を更新することによって、制御の種類別に節点の座標、色、表示上の大きさの管理が可能となった。

本システムは不動点を赤色、一次元移動点を緑色、二次元移動点を水色、制限のかかっていない点を青色として表示を行っている。色分けが行われたことにより、利用者は制御データが適切か否かを視覚的に判断できるようになった。

5. 適用例

本システムの適用性の向上を検討するため、図 5 に示すように、複雑な形状を有するインプラント-下顎骨のメッシュに制御データを適用した。その結果、適切な節点制御が行われていることが確認でき、適用性の向上が示された。さらに、システムの有効性を検討するためメッシュの修正を行った。図 6 は、品質評価値の修正前と修正後の分布の比較を示したものである。図より、メッシュの品質が大幅に改善されたことがわかり、システムの有効性が示された。

また、色分けの有無で、修正時間を比較した結果、図 7 に示すように修正に要する時間を約 13 % 短縮することができ、利便性の向上を確認することができた。これは不動点が視覚的に表示されるようになったことで、不動点に対して節点移動を試みるのがなくなり、節点移動機能の試行回数が減少したことが要因であると考えられる。

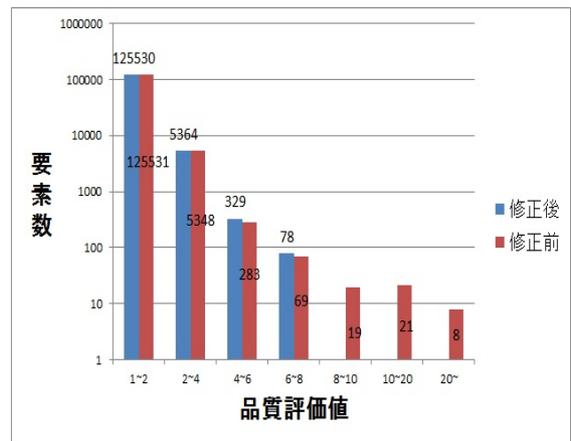


図-6 修正前後の品質評価分布図

	色分け無し	色分け有り
修正時間	25分33秒	22分18秒

図-7 修正時間の比較

6. おわりに

本研究では、VR 技術を用いた 3 次元メッシュ修正システムの適用性の向上のため、節点移動制御データの生成とメッシュ表示機能の改良を行い、以下の結論を得た。

- ・複雑な形状を有するインプラント-下顎骨のメッシュに適用した結果、適切なメッシュ修正を行うことができ、適用性の向上が示された。
- ・節点の色分け機能を実装した結果、修正時間の短縮が確認でき、利便性の向上が示された。

今後の課題としては、実際問題への適用があげられる。

参考文献

- 1) 高田知学, 櫻山和男, 林田憲治, 陰山聡, 大野暢亮: パーチャルリアリティ技術を用いた有限要素メッシュの対話的修正システムの構築: 応用力学論文集, Vol.15, 2012.
- 2) 田中智, 櫻山和男: VR 技術を用いた 3 次元メッシュ修正システムの構築: 土木学会全国大会第 67 回年次学術講演会, 2012.
- 3) Lori A. Freitag, Patric M. Knuapp: Tetrahedral mesh improvement via optimization of the element condition number, Int. J. Number. Methods. Eng., Vol.53, pp.1377-1391, 2002.