

# VR技術を用いた三次元非構造メッシュ修正システム

中央大学大学院 学生員 田中 智  
中央大学 正会員 櫻山 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、三次元有限要素解析が一般的に行われている。しかし、三次元解析においては、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、二次元表示媒体を用いて、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、CAVEに代表される立体視可能な没入型VR空間でメッシュの修正を行うシステム<sup>1)</sup>の構築を行ってきた。

本システムは、非構造格子である四面体一次要素、四面体二次要素を対象としているが、要素細分化<sup>2)</sup>による修正機能は四面体二次要素には適用可能でなかった。四面体二次要素は、固体解析の分野において頻繁に用いられるため、四面体二次要素に適用可能とすることは重要と言える。そこで、本研究ではメッシュ修正システムの適用性の向上を目的として、要素細分化機能を改良し、四面体二次要素においても適用可能とした。また、利便性の向上を目的として、メッシュ表示機能の改良を行い、節点制御ベクトルデータ<sup>1)</sup>別の節点の色分け機能、四面体二次要素の中間節点の表示、非表示を任意で切り替える機能を実装した。

## 2. 3次元メッシュ修正システムの概要

本システムは、三次元メッシュをVR空間に立体表示し、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。対象とする要素は、図1に示す非構造格子である4節点四面体一次要素および10節点四面体二次要素である。

本システムを使用する際の流れを以下に示す。まず、対象のメッシュデータを読み込み、次にあらかじめ設定している品質評価式<sup>3)</sup>に基づいて、品質評価値を算出し、全ての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、要素の辺へ色づけ表示され、利用者はこの情報を基にコントローラの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) 節点を移動する方法、2) 要素を細分化する方法、の2種類がある。節点移動法によるメッシュ修正を行う際は、計算領域の幾何学的形状の破壊を防止するために、計算領域表面上の節点を3種類(不動点、一次元移動点、二次元移動点)に分類して、節点制御ベクトルデータを用いて、節点の動きに制限をかけている。詳細については参考文献<sup>1)</sup>を参照されたい。なお、節点移動法を四面体二次要素に適用する場合は、要素の頂点の主節点のみを移動させ、辺上の中間節点の座標位置は補間に

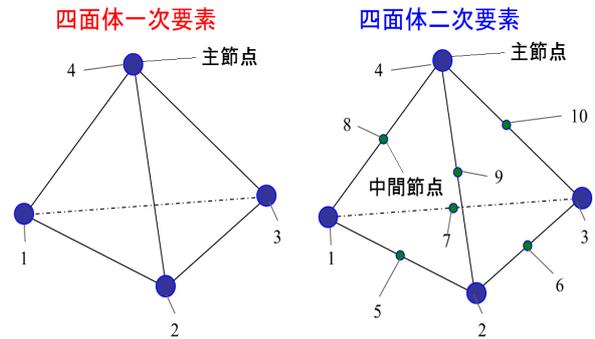


図-1 四面体要素

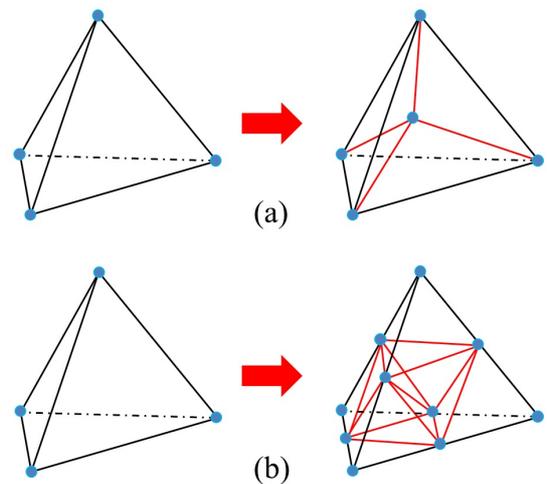


図-2 二種類の細分割パターン

より決定する。要素の細分化機能は、図2に示すように2種類の方法がある。(a)は要素の重心に新たな節点を生成して細分化を行うパターン、(b)は要素の各辺の中点に新たな節点を生成して細分化するパターンとなっている。しかし、これまでは、四面体二次要素においては適用可能でなかったため、本論文にて改良を行った。

## 3. 四面体二次要素への適用

### (1) 要素捕捉機能の改良について

細分化を行う要素を選択するために、利用者はコントローラから発するビーム先端をその要素内に移動させて、その位置を決定する。この際、メッシュの全要素に対して決定した点がどの要素内に含まれているかどうかの内外判定を行う。

この内外判定では、一般化座標に基づく方法<sup>4)</sup>による判定手法を採用している。この方法を四面体二次要素に適用させるには、二次要素の中間節点を考慮せずに計算を行うようにプログラムを変更することで対応可能となる。

KeyWords: バーチャルリアリティ, CAVE, メッシュ修正, 四面体二次要素

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

(2) 要素細分化機能の改良について

要素細分化機能は2通りの細分化パターンを有しているが、図2(a)のパターンに関しては、四面体一次要素の場合とアルゴリズムに大きな変更はないため、詳細は省略する。図3は図2(b)のパターンの改良後のアルゴリズムを示したフローチャートである。具体的な変更点は、要素細分化に伴って中間節点から主節点に変更される節点に対する処理の追加、新たに生成される節点の数・座標の計算方法の変更があげられる。この改良により、四面体二次要素において、要素細分化機能による修正が可能となる。

4. メッシュ表示機能の改良について

本論文では、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、中間節点の表示を任意で切り替える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。これにより、ユーザーは誤った節点移動を行うことを回避できることが期待できる。

図4は四面体二次要素である、インプラント-下顎骨<sup>5)</sup>のメッシュにおいて、それぞれの機能をON/OFFしたときのメッシュ表示の状態を比較した表である。なお、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、中間節点を青色として表示を行っている。

5. 適用例

本システムの利便性の向上を検討するため、図4に示す、インプラント-下顎骨のメッシュに対して節点移動法による修正を行い、色分けの有無によって、修正時間を比較した。なお、品質評価値の閾値は10とした。その結果、図5に示すように修正に要する時間を約10%弱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ものがなくなり、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いえる。

6. おわりに

本論文では、VR技術を用いた三次元メッシュ修正システムの適用性、利便性の向上のため、要素細分化機能の四面体二次要素への適用、メッシュ表示機能の改良を行い、以下の結論を得た。

- 要素細分化機能を四面体二次要素に対して適用可能としたことで、システムの適用性が向上した。
- 中間節点の表示の切り替えを可能にしたことで、メッシュの形状などの確認が容易になった。
- 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、システムの利便性の向上が示された。

今後は、実際問題への適用によるシステムの有効性の確認を行う予定である。

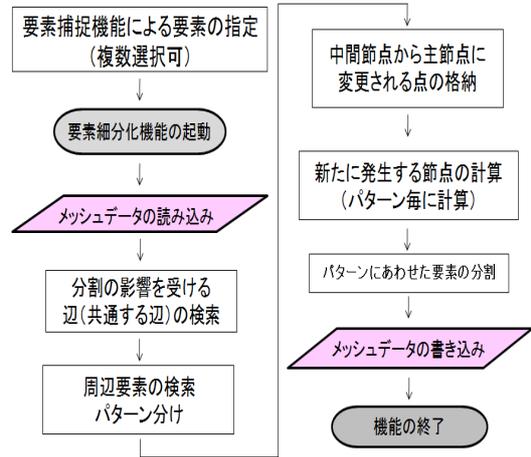


図-3 改良後の要素細分化機能のフロー

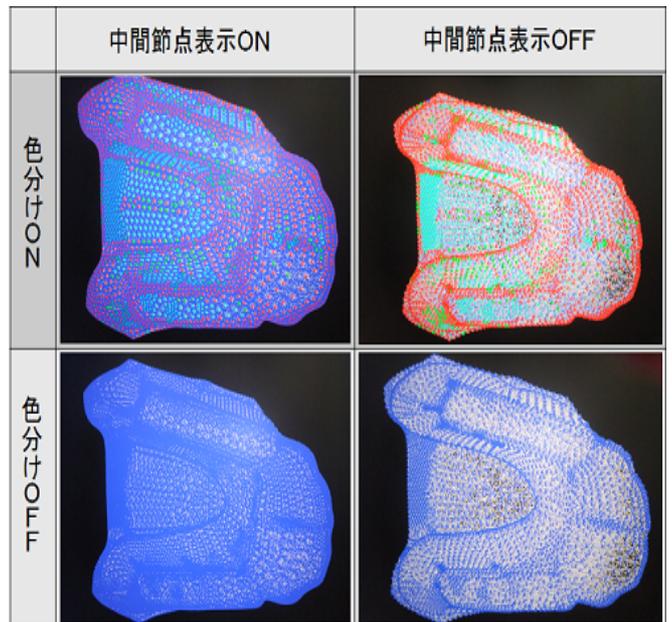


図-4 メッシュ表示

	色分け無し	色分け有り
修正時間	8分40秒	7分55秒

図-5 色分けの有無による修正時間の比較

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, I.217-I.225, 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) L.A.Freitag, P.M.Knupp: Tetrahedral mesh improvement via optimization of the element condition number, Int.J. Number. Methods. Eng., Vol.53, pp.1377-1391, 2002.
- 4) 白山 晋, 日本計算工学会 編: 計算力学レクチャーシリーズ® 知的可視化: 丸善株式会社, 206p, 2006.
- 5) 平野 喜一, 長嶋 利夫, 松下 恭之, 東藤 貢: インプラントオーバーデンチャーの3次元FEA, 第21回計算力学講演会 CD-ROM 論文集 08-33, 日本機械学会, pp.624-625, 2008.