

2104 多人型VRシステムの有限要素法解析への適用

Development of Multi-Person VR Environment for Finite Element Analysis

○ 壱内 大輔 (産総研・慶大) 正 小木 哲朗 (慶大)

^{1,2}Daisuke Tsubouchi, ²Tetsuro Ogi

¹DHRC, AIST, 2-41-6, Aomi, Koto-ku, Tokyo 135-0064, JAPAN

²Keio University

In order to make industrial products that fit the human body, the intuitive evaluation method is necessary. The virtual reality technology has been used for intuitive evaluation in various fields. For the developers of such products, simultaneous utilization of the virtual reality system would be potential demand, because the sensitivity in individuals and the exchanges of opinions with other people are important. Therefore, we proposed a virtual reality system which can be manipulated simultaneously by multi-users by using the GUI interface of tablet PCs and the centered large screen. By using this proposed method, we developed the deformation analysis system of the human hand shape using the finite element method for the multiple users.

Key words : Finite Element Method, Multi-User VR

1. はじめに

近年の計算機性能の進歩に伴い、複雑な形状の工業製品の評価だけに留まらず、人体の有限要素モデルとのインタラクションも考慮した研究が行われている^[1]。工業製品のユニバーサルデザインを考えるのにあたって、今後は個人差を考慮した生体の数値シミュレーションが必要になると考えられる。

また、人間の感性に適した工業製品の開発を行うには、より直感的な評価を行うことが重要だと考えられる。直感性の高い視覚システムとして、近年では4Kディスプレイのような大画面高精細な立体視ディスプレイも導入されており、それらは大人数で鑑賞できるよう大型屋に設置されるケースが多い。大人数で使用する場合に、ただ一方的に視覚情報を受け取るだけではなく、もっと能動的に情報を発信したいというニーズがある。また、VRシステムの利用方法として、工業製品の開発の現場などでは、同時に利用したいというニーズも大きいと考えられる。VRシステム同士で遠隔通信する用途での研究例^[2]はあるものの、基本的に1つのVRシステムに対し1人で使用するものであり、同時複数人数で使用する用途にはあまり研究が進められてこなかった。多くの三次元立体視システムには、メインとなるユーザの視点位置に基づいて映像を生成しているため、各ユーザごとに異なる映像を提供するのは難しいという技術的課題がある。

本稿では、完全な同時利用とはならないものの、メインとなるVRシステムに加えて各ユーザが補助端末を使用することによって、スムーズな仮想物体に対する複数人同時操作を実現するシステム提案を行う。

また、複数のユーザが協調作業を行う解析モデルとして、人間の手のモデルを対象に選んだ。工業製品のユニバーサル

デザインを決める際には、何通りの人間の手の形状との組み合わせを考慮した解析を行う必要があり、有限要素法の接触等の境界条件についても柔軟な対応を行う必要がある。また人間の感性に適したデザインを行う必要があるため、直感性に優れたVRシステムを用い、開発者間で意見共有するとより円滑な開発を行うことができるとも考えられる。

本稿では、その基礎段階として複数のユーザによる協調作業を行う例として、有限要素法の境界条件設定を複数人数でフレキシブルに設定可能なシステムを構築し、そのシステムを使った簡単な解析例について報告する。

2. システム

2.1 全体概要

本システムの全体概要をFig.1に示す。本システムのメインの表示環境は4K解像度(4096×2160)をもつ立体視ディスプレイであり、サーバマシンにより出力された映像が4K解像度対応のプロジェクタを介してスクリーンに投影される。ユーザは端末を補助デバイスとして、端末とサーバマシン間の通信によりシステムを操作することができる。

サーバのマシンスペックは、CPU:Intel Xeon 3.2GHz×2, Memory:3GB, Graphic: NVIDIA Quadro FX 5600である。端末のマシンスペックは、CPU:Core2 Solo 1.2GHz, Memory:1GB, Graphic:Intel 945GMとなっている。サーバと端末間は100MbpsのLANを介して通信を行っている。

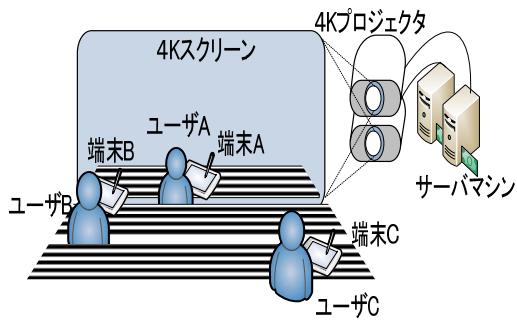


Fig.1 4K System configuration diagram

2.2 画面表示・視点操作

三次元形状を2次元のタブレット上で操作するため、本システムでは CAD などでよく用いられる正投影図に近い表示方法 (Fig.2) を採用している。画面を大きく4つに区切っており、左下が正面から見た平行投影図、左上が上から見た平行投影図、右下が右から見た平行投影図、そして右上が正面から見た透視投影図である。中央に位置しているのが目的に沿った操作を実現する GUI である。図中の青点で示されているのが視点位置であり、青線で示されているのがスクリーン位置である。

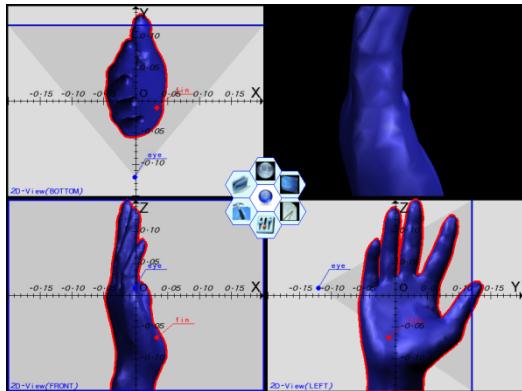


Fig.2 Projection method of the system

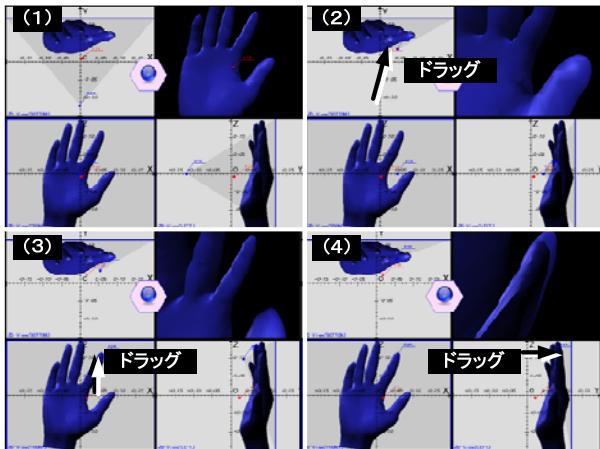


Fig.3 Movement of eye position

Fig.3 に視点位置の変更方法を示す。Fig.3 の青い点の視点位置はドラッグ&ドロップにより移動可能である。たとえば人差し指の細部を観察したい場合には、(1)～(4)のように視

点位置を移動させることにより、図中の右上エリアの透視投影図によって近くから観察することができる。

2.3 ハニカム式 GUI をを使った操作

1つのシステムで何通りもの目的に応じた操作を行う場合には GUI により処理を切り替えると利便性がよく、本システムでは、Fig.4 に示すハニカム状のアイコンが並んだ GUI を採用した。アイコンを四角ではなくハニカム形状にした理由として、本システムはペンタブレットによる操作を前提としており、ハニカムは四角形に比べ円に近い形状であり、アイコンの中心を選択する場合に上下左右にペン入力が多少ぶれても許される誤差が大きいことが理由の1つとして挙げられる。また、ペンタブレットは斜めに持つことも多く、ハニカム形状のアイコンの場合、四角形に比べ GUI の操作性がそれほど悪化しないこともメリットに挙げられる。



Fig.4 Honey comb icon's GUI

Fig.4において、中央のアイコンは、ドラッグすればパネル全体を移動し、クリックすると表示の邪魔にならないよう、中央のアイコンのみの表示に最小化する機能となっている。ハニカム GUI の操作例として、Fig.5 に表示の切り替え操作の例を示す。ハニカムの水色のアイコンをクリックすれば、ハニカムがさらに外側に広がり選択項目が増える。展開した水色のハニカムアイコンを再度クリックすると、元の非展開の状態に戻る操作体系となっている。

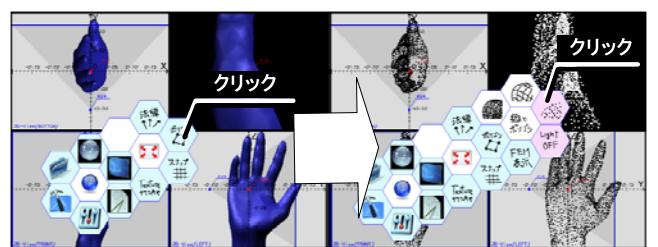


Fig.5 GUI control of position display

本システムでは、操作しやすいよういくつかオブジェクトの三次元座標変換用の操作体系を用意しており、その中の代表的な操作として、Fig.6 にオブジェクトの回転を示す。回転を指示するハニカムアイコンをクリックした後、オブジェクトの表面をドラッグすれば、オブジェクトが回転する。

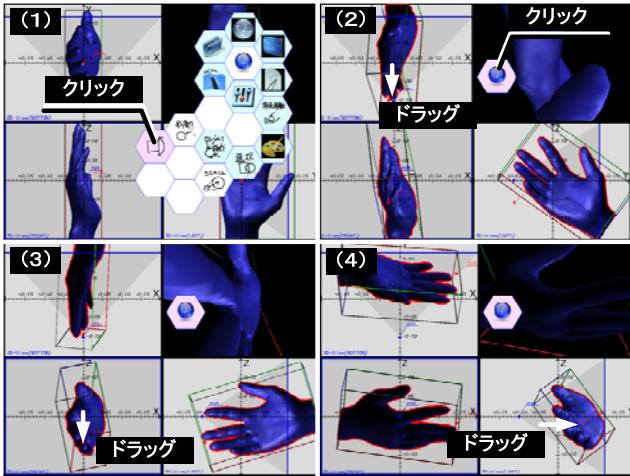


Fig.6 Rotating operation of object

本システムでは、有限要素法の解析の境界条件を設定する節点を指定するために、Fig. 7 にオブジェクトの部分的な範囲選択方法を示す。開始点と終了点の間をドラッグ&ドロップ操作により決定することにより、三次元空間上に範囲選択用の直方体を形成し、直方体の内部にある点を範囲選択用の点として判別する方法を使用している。図中の黄色の点が範囲選択の結果、選択された点である。本システムではこの選択点を全体移動することにより、有限要素法境界条件の強制変位方向を指定している。

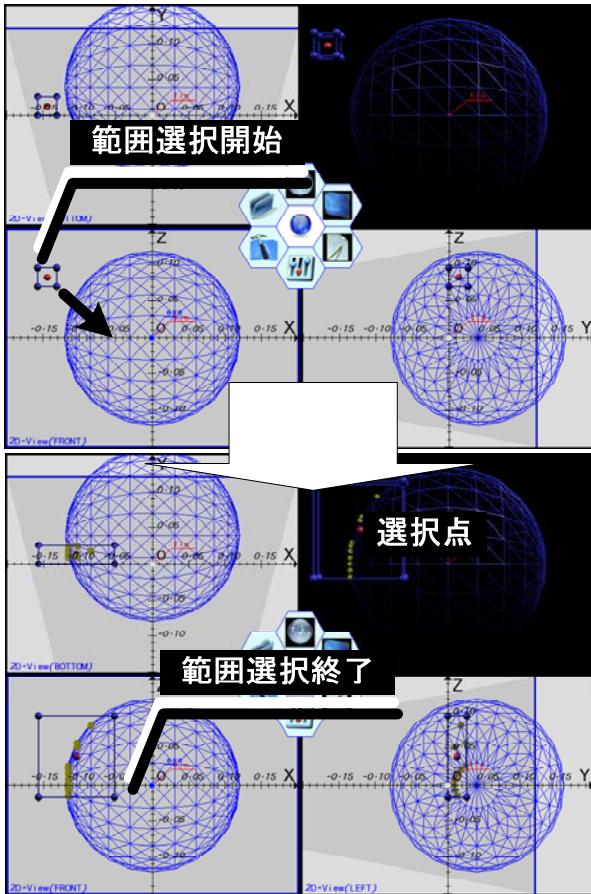


Fig. 7 Range selection of points of object

2.4 システムの通信方式

サーバと端末間の主な通信処理を Fig. 8 に示す。複数の端末があった場合に、通信をブロードキャストによって通信量を減らしている。通信のプロトコルとして UDP/IP を使用している。端末側からは視点位置や指先位置、そして GUI の操作情報などの命令を送信する。

サーバから端末間への三次元情報の送信方法には2種類の通信モードを用意した。

1つは、サーバによるスクリーン表示を画像情報として端末に転送する「画像配信モード」であり、4K スクリーンの表示と同じ画面がクライアントの画面に表示される。サーバと端末では画像解像度が異なるために、サーバ上で表示画像をキャプチャし、一度ダウンコンバートすることにより端末の解像度を落として使用している。端末の解像度が一定ならば、ブロードキャストすることができるため、5kHz 程度の更新レートで端末の画面を更新できることを確認している。だが、現在のシステムでは端末の解像度が混在する場合の状況については対応していない欠点がある。

もう1つは通信方法は、三次元データを端末に配信する「データ配信モード」である。データ配信モードでは、端末はサーバとは独立した三次元描画を行う。しかし、巨大な三次元データを送信する場合には通信が重くなり、端末マシンの三次元描画の負荷も大きくなる。

本稿で使用する人間の手のモデルは巨大な三次元モデルであり、データ配信モードで使用するには不向きであるため、画像配信モードのみを実験に使用した。

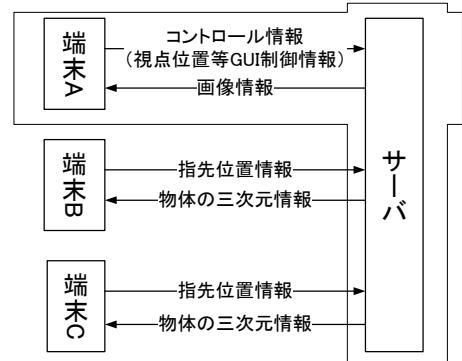


Fig. 8 Data transfer between server and clients

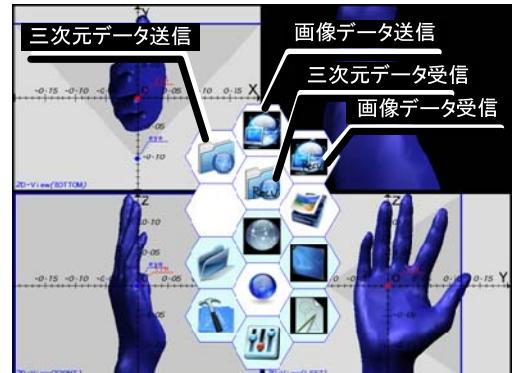


Fig. 9 configuration of transfer

3. 有限要素法による変形計算

3.1 解析モデル

今回の多人数による協調作業を行う解析対象として、産業総合研究所の多田充徳氏の手により実測された人間の手のモデルを使用した。元のデータが非常に高精細であったため、計算時間の兼ね合いから要素数を大きく減らした手の表皮の三次元形状のみを使用している。変形を含まない描画には要素数 10000 のモデルを使用しており、さらに有限要素法による変形計算を行う場合には要素数 1000 のモデルを使用している。

3.2 有限要素モデル

表皮のモデルには、MITC3 シェル要素^[3]を用いて計算を行った。MITC3 要素の模式図を Fig. 10 に示す。

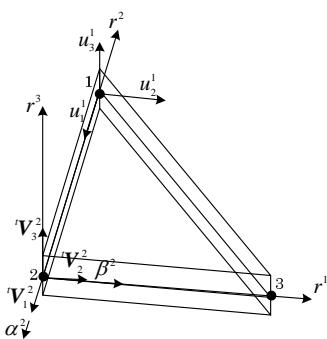


Fig. 10 MITC3 finite element

3.3 リアルタイム有限要素変形

一般に、有限要素法の静解析を用いて複雑なモデルの変形計算を行うには多大な計算コストを必要とし、前処理なしでリアルタイム計算を行うことは計算コストの面から困難である。有限要素法でも線形性と固定境界条件が変わらないという制約のもとでは、全体剛性マトリクスが変形の状態に依存しないことから、この逆行列をあらかじめ求めておくことで、力から変形を比較的容易に計算することが可能である。本稿では、広田らにより提案された逆行列をあらかじめ求めておく手法^[4]によって、変形のリアルタイム処理を行う。広田らの手法を本システムに適用した計算の手順を Fig. 11 に示す。

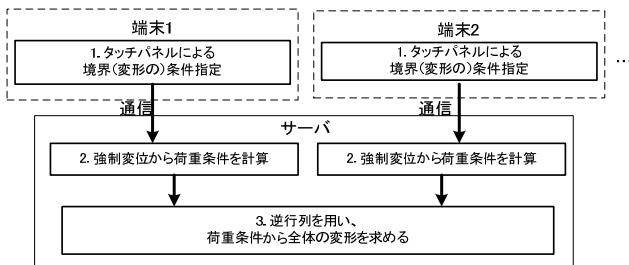


Fig. 11 Calculation of unified deformation by multi clients

4. 表示例

4.1 4K システムによる表示例

本システムで用いる 4K ディスプレイの外観を Fig.12-13 に示す。



Fig. 12 Appearance of 4K display 1



Fig. 13 Appearance of 4K display 2

また、Fig.14 に 4K ディスプレイとタブレット PC の両方に表示した状態を示す。

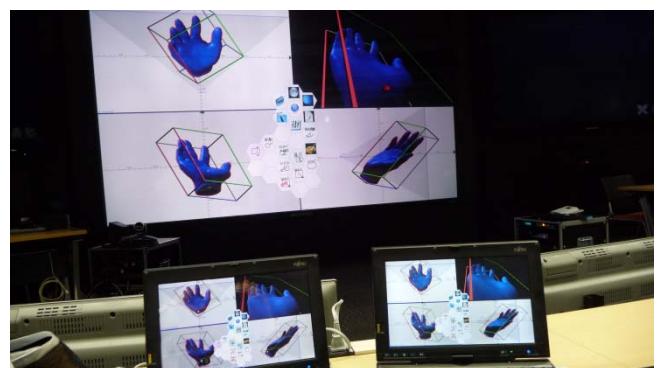


Fig. 14 4K display and clients

Fig.15 に端末上のペン操作により、4K ディスプレイに表示したモデルの回転処理を行う様子を示す。タブレット PC の画面上では解像度の関係から細部潰れてしまうモデルが、4K ディスプレイ上では細部まで表示できていることが観察できた。

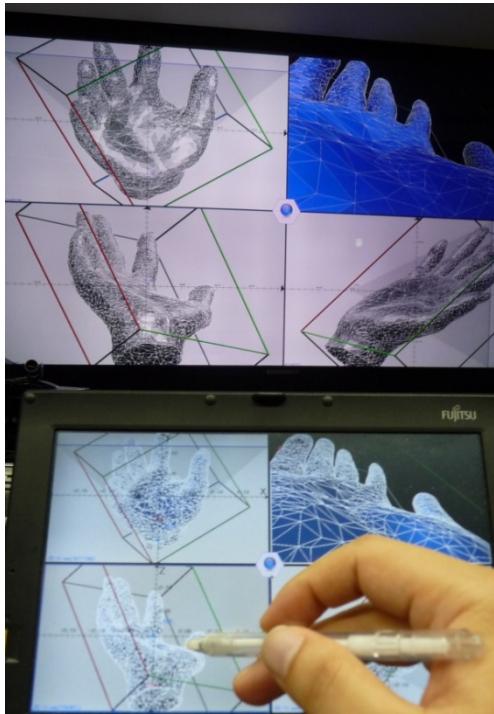


Fig.15 Rotating operation by using touch panel

4.2 シングルユーザの場合の有限要素変形

2章で示した範囲選択によって強制変位を与える点を選択し、3章に示した有限要素法のアルゴリズムによって、Fig. 16のように手のモデルの形状変形を行うことができた。

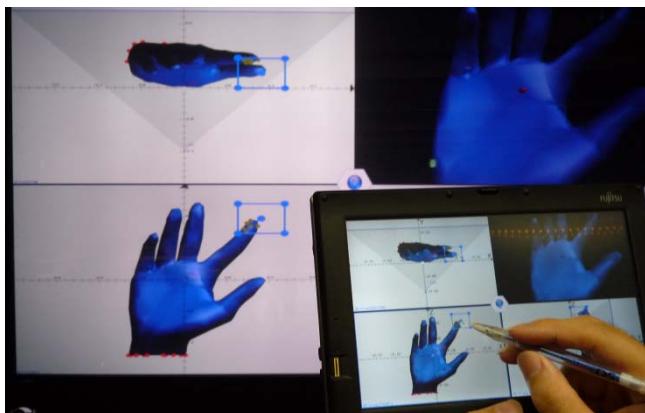


Fig. 16 FEM operation by using touch panel

4.3 複数ユーザの場合の有限要素変形

Fig.17 に複数のユーザによる変形計算の様子を示す。一番目のユーザが親指の変形を実行し、二番目のユーザが人差し指の変形を実行した。簡単な例ではあるが、補助端末を使用することにより、複数のユーザによる有限要素変形が実現できた。

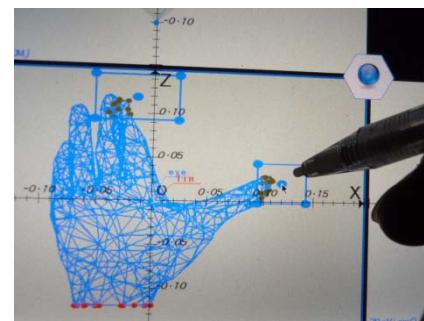


Fig.17 Deformation by the second user

5. おわりに

本稿では、手の形状データの有限要素解析を題材に、教室型のVRシステムにおける複数のユーザによる協調作業を行った例について示した。

また同時に、VRシステムを複数のユーザで使用するためのGUIの提案も行った。GUIインターフェースのより詳細な評価検討は今後の課題としたい。

今回はインターフェース面が主眼であったため、人間の手の表皮のみのモデルを使用する解析となつたが、今後はより実用的な解析を行っていきたい。また、境界条件についても簡単なものしか設定しなかつたが、実用的な生体の解析を行うためには様々なケースの境界条件をより適切に設定できることが重要だと考えており、境界条件をできるだけ簡単に設定できるGUI機能の検討も行っていきたい。

謝辞

本稿の人間の手の三次元形状モデルは産業技術総合研究所の多田充徳氏によりご提供頂いた実測データを使用した。謝意を表したい。

参考文献

- [1] 多田充徳, 指機能シミュレーション: 使い心地がよく安全な製品を設計するために, 計測自動制御学会, **47**, No.7, pp. 587-592, 2008.
- [2] Tetsuro Ogi, Toshio Yamada, Ken Tamagawa, Makoto Kano, Michitaka Hirose, Immersive Telecommunication Using Stereo Video Avatar, Proceedings of IEEE VR2001, pp.45-51, 2001.
- [3] P.S., Lee, K.J., Bathe, Development of MITC Isotropic Triangular Shell Finite Elements, *Computer & Structures*, **82**, pp.945-962, 2005.
- [4] 広田光一, 金子豊久, 柔らかい仮想物体の力覚表現, 情報処理学会論文誌, **39**, No.12, pp.3261-3268, 1998.