

機関番号：11201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500880

研究課題名（和文）埋蔵文化財の3次元計測技術と仮想環境での  
リアルタイム提示技術の研究研究課題名（英文）A Study of 3D measurement as cultural assets and real time  
display techniques in virtual environments

研究代表者

今野 晃市 (KOUICHI KONNO)

岩手大学・工学部・教授

研究者番号：90333476

研究成果の概要（和文）：

本課題では、遺跡から出土する大量の土器片を3次元計測機器で計測し、計測点群に幾何学的処理を施すことで、土器復元情報を提供する技術を開発した。また、計測データは、データ量が膨大になるため、PCクラスタを利用して形状を軽量化する手法を開発した。更に、バーチャルリアリティ用の力覚提示装置を利用して、仮想空間に生成した3次元モデルに触る感覚を提示するシステムを構築した。

研究成果の概要（英文）：

This study presents a new method to restore an earthenware from the fragments of cultural assets. The earthenware can be generated by new geometrical matching after the fragments are measured by our original 3D scanner. To reduce huge range data, we have studied new reduction method with a PC cluster environment. Moreover, a system of touching an object in a virtual environment is constructed with some haptic devices.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2008年度 | 1,300,000 | 390,000 | 1,690,000 |
| 2009年度 | 800,000   | 240,000 | 1,040,000 |
| 2010年度 | 900,000   | 270,000 | 1,170,000 |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 3,000,000 | 900,000 | 3,900,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：文化財科学・文化財科学

キーワード：保存科学，土器片組み立て支援，3次元計測，力覚提示装置

## 1. 研究開始当初の背景

3次元レンジスキャナーで得られた3次元モデルを様々な場面で活用する場合、データ量の膨大な形状モデルを、実時間で処理することが求められている。より精密な形状モデル生成や、大規模なアセンブリ技術、3次元計測技術などの進歩により、元になる3次元モデルのデータ量は、年を追うごとに巨大化し、形状モデリングや解析などのための

計算量やメモリ使用量なども増加の一途をたどっている。

3次元モデルを処理する場合、低価格で性能のよい Windows パソコンを用いて実施することが一般的である。しかし、1台のパソコンの処理能力には限界があり、膨大なデータ量の3次元モデルに対する処理をストレスなく実行するための技術基盤が必要である。パソコンに高性能の GPU(Graphics

Processing Unit) を追加し, GPUのプログラマブル機能を利用することで, 処理を高速化する手法がある. 例えば, 文献[1] では, GPUを利用して, 3次元モデル間の衝突検出を高速に実現した手法を提案している. しかし, 文献[1]で述べられているように, GPU を利用する手法では, 扱えるデータ量などの制約がある. また, GPU を用いたプログラミングは, GPUのプラットフォームに強く依存する.

一方, ネットワークに接続されたパソコンを束ねた PC クラスタは, パソコンの資源や, 処理能力を飛躍的に高める技術として, 対話性の高い 3次元形状処理には非常に有効である. PC クラスタを利用して, 3次元形状処理を実現している研究はいくつも提案されているが, その多くは, CAE ソルバーやデータの可視化である. 対話的な処理が重視される3次元形状モデリングや3次元データの流通技術へ適用した例はほとんどない. 最近では, 文献[2] で述べられているように, GPUとCPU は問題に応じて相互利用することが重要であり, 対話的な処理については, CPUの利用が効果的である.

[1] Yoo-Joo Choi, Young J. Kim, Myoung-Hee Kim, Rapid pairwise intersection tests using programmable GPUs, The Visual Computer, Vol. 22, No2, pp. 80-89, 2006.

[2] 新庄 ら, GPUの先駆的利用の研究動向と将来像, 芸術科学会論文誌, Vol. 6, No. 3 pp. 167-178, 2007.

数千万から数億のポリゴンで構成される 3次元モデルは, Out-of-Core モデルと呼ばれ, 通常 1 台のパソコンでは扱うことが非常に困難な規模の 3次元モデルである. Out-of-Core モデルをストレスなく扱えるようにするためには, 大容量のメモリと高速な CPU が必要であるが, 1 台の PC で実現することは難しい. そこで, 複数台のパソコンの資源を束ねた PC クラスタ環境は, Out-of-Core モデルを扱うのに非常に有効であると代表者は考えている.

## 2. 研究の目的

本研究は, 主に遺跡から出土する大量の土器片を対象として, それらを3次元レンジスキャナーで計測して得られた大量の計測点群から土器を復元し, 仮想環境にて提示するシステムを構築することが主な目的である.

具体的には, 大量の計測点群で表現された土器片に関して, (1)大量の土器片の組み立て自動化支援技術開発, (2)大規模形状モデルの軽量化手法, (3)仮想組み立てによる土器へのバーチャルタッチングシステム構築の3つの課題について, PC クラスタを用いた並列・分散処理手法を取り入れて仮想環境を構築する手法を確立する.

## 3. 研究の方法

(1) 大量の土器片の組み立て自動化支援技術開発

本課題では, 土器片の表面を 3次元レンジスキャナーで計測した点群を, 次に示す方法で処理し, 土器片を組み立てるアルゴリズムを開発した. 詳細は, [学会発表①, ③, ⑦, ⑧, ⑩]にて公開された.

① 点群から輪郭線を抽出し, 特徴的な箇所を検出し, その箇所を端点として輪郭線を分割する.

② 土器片に文様が存在する場合, 2面角に基づく手法により文様の箇所を検出し, 輪郭線上に属性情報として付加する.

③ 輪郭線と文様点をマッチングして, 隣接する土器片を探索する.

④ 隣接土器片の輪郭線近傍にあるポリゴン法線ベクトルを用いて, 土器片の空間姿勢を最適化する.

(2) 大規模形状モデルの軽量化手法

本課題では, 8 台の PC をネットワークで連結した PC クラスタを用いて, 大規模な形状モデルを分散して読み込み, 申請者が別途提案している分散環境での軽量化アルゴリズムを適用するための, 領域分割処理を実現した. 領域分割処理は, 次のようなアルゴリズムで実現した. 詳細は, [学会発表⑤, ⑪]にて公開された.

① 読み込むデータ量が均等になるように形状データを読み込む. この段階では, 読み込んだ形状データは, ポリゴン間の隣接関係は考慮されていない.

② 読み込んだデータの境界箱を算出する.

③ 各サーバーが算出した境界箱のデータから, 形状を含む最大領域を得る.

④ 最大領域をひとつの軸をキーとして輪切りにして, 各副領域に含まれるポリゴンを, それぞれのサーバーに読み込む.

⑤ 軽量化の前処理となるポリゴン頂点でのコスト値を計算する.

⑥ 軽量化を行う.

(3) 仮想組み立てによる土器へのバーチャルタッチングシステム構築

(1) の手法により復元された土器片を仮想空間に配置し, 力覚提示装置により触るための

システムを構築した。接触は、3本指で行うため、3台の力覚提示装置を適切に配置する必要がある。そこで、力覚提示装置の形状モデルを仮想空間に構築し、モデル間の干渉と装置の稼動範囲を考慮したシミュレータを開発した。また、図1に示すように、実際の力覚提示装置3台を空間に配置するための装置を試作した。詳細は、[雑誌論文①, 学会発表②, ④, ⑨]にて公開された。



図1 3台の装置からなる本システム

#### 4. 研究成果

##### (1) 大量の土器片の組み立て自動化支援技術開発

図2は、本手法を5つの土器片(模造品)に適用した結果である。この図の左側が計測に利用した土器片である。また、右側の上側の図が、復元された様子を示している。この図からわかるように、隣接する土器片が得られている。また、右下の図は、復元した土器片を横から見た図である。この図のように、土器片の空間的な姿勢も得られていることから、本手法の有効性が示された。

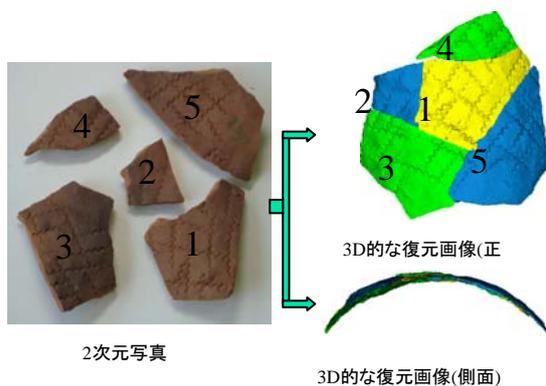


図2 5つの土器片の3次元的な復元結果

##### (2) 大規模形状モデルの軽量化手法

図3は、10万ポリゴン程度の馬モデルを本手法で領域分割した例である。同一の領域を

同じ色で示している。この図からわかるように、意図する領域分割ができていていることが分かる。それぞれの領域をPCクラスタに読み込むことで、軽量化を実現できる。また、図4は、約1600万ポリゴンの地形モデルである。このモデルは、通常利用している1台のPCへデータを取り込むことは難しいため、データ軽量化が困難な例である。しかし、こちら本手法により、領域分割が可能となり、軽量化することができる。

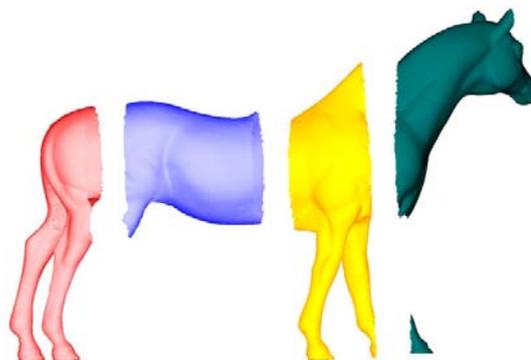


図3 ポリゴンモデルの領域分割例(馬モデル)

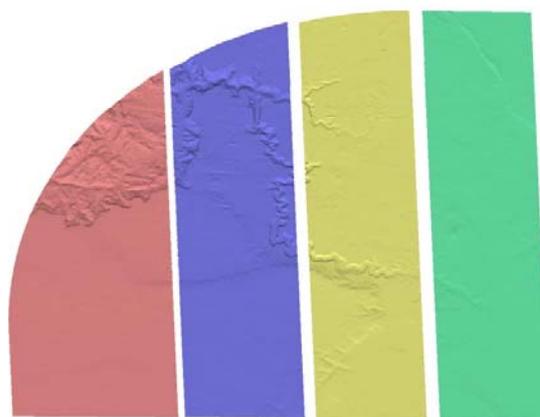


図4 ポリゴンモデルの領域分割例(地形モデル)

##### (3) 仮想組み立てによる土器へのバーチャルタッチングシステム構築

図1のシステムは、3台の力覚提示装置を3台のPCへそれぞれ接続して、PC間で分散・協調しながら、把持するシステムである。図5は、システムアーキテクチャを示す。各PCは、サーバーとなり力覚提示装置を制御し、実際の力を出す。また、クライアントは、ハプティック Proxy の位置を把握し、対象物を描画する役割を持つ。現在は、本システムを用いて、実際に把持するシステムを開発中である。

また、本システムは、サーバーシステムを追加することで、容易にシステムを拡張でき

る利点がある。複数台の力覚提示装置を束ねて、より大きな力を提示するための手法について研究を実施している。この結果は、学会発表②で公開している。

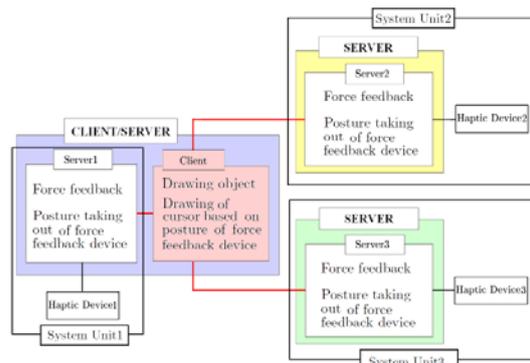


図5 タッチングシステムのアーキテクチャ

## 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1件)

①高橋哲也, 今野晃市, 曾根順治, 徳山喜政, 原美オサマ: 分散型衝突検出手法に基づく局所領域の力覚提示システム, 査読有, 芸術科学会論文誌, Vol.9, No.2, pp.38-48, (2010).

[学会発表] (計11件)

① K. Shoji, K. Konno, T. Konno, F. Chiba: An Algorithm of Fracture Matching Based on Measured Point Set of Fragment Surface, International Workshop on Advanced Image Technology 2011, 2011年1月7, 8日, インドネシア, (2011).

② J. Maesawa, K. Konno, Y. Tokuyama, O. Harabi: Examination of Cooperative System in Multiple Haptic Devices, International Workshop on Advanced Image Technology 2011, 2011年1月7, 8日, インドネシア, (2011).

③ 木下勉, 今野晃市: 土器片復元のための欠落部分補完手法の検討, 2010年冬季大会, 映像情報メディア学会, 東京都 工学院大学, 2010年12月14-15日, (2010).

④ 三上洋資, 今野晃市, 徳山喜政, 原美オサマ: 3本指把持システム構築のための力覚提示デバイスの空間姿勢最適化に関する検討, 2010年冬季大会, 映像情報メディア学会, 東京都 工学院大学, 2010年12月14-15日, (2010).

⑤ 塩谷大樹, 今野晃市, 徳山喜政: PCクラスタによるポリゴンモデルの領域分割並列化手法, 第26回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, 岩手県盛岡市・アイーナ, 2010年9月24-25日, (2010).

⑥ T. Takahashi, K. Konno, O. Harabi, and Y. Tokuyama: Study on Force Feedback Rendering Technique for Local Domain Using Pressure-Sensor Device, International Workshop on Advanced Image Technology 2010, 2010年1月11, 12日, マレーシア, (2010).

⑦ 李春元, 今野晃市, 千葉史: 計測点群から得られた土器片の文様抽出法に関する検討, 21年度東北支部研究会, 岩手県盛岡市 岩手大学, (社)情報処理学会東北支部, 2009年12月25日, (2009).

⑧ T. Takahashi, K. Wada, K. Konno, J. Sone, and Y. Tokuyama: A Study on Force Feedback Presentation System for Local Domain Based on Distributed Collision Detection, International Workshop on Advanced Image Technology 2009, 2009年1月12, 13日, 韓国, (2009).

⑨ 高橋大祐, 今野晃市: 土器片組み立てのためのジグソーパズルの自動解法に関する検討, 20年度東北支部研究会, 岩手県盛岡市 岩手大学, (社)情報処理学会東北支部, 2009年1月6日, (2009).

⑩ 黄海浪, 今野晃市, 金野哲士, 千葉史: 3次元座標点群を用いた土器片マッチングと姿勢最適化アルゴリズム, 第24回 NICOGRAPH 論文コンテスト, 優秀論文賞受賞, 2008年10月22-23日, 北海道大学.

⑪ 東祐太朗, 今野晃市, 徳山喜政: 分散環境における形状参照操作を用いた大規模ポリゴンモデルの領域分割についての検討, 第24回 NICOGRAPH 論文コンテスト, 審査員特別賞受賞, 2008年10月22-23日, 北海道大学.

[その他]

ホームページ

<http://gmhost.lk.cis.iwate-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

今野 晃市 (KONNO KOUICHI)  
岩手大学・工学部・教授  
研究者番号: 90333476