

平成 22 年 5 月 25 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760096
 研究課題名 (和文) 産業用 X 線 CT からの大規模ボリュームデータ処理用クラスタ連成基盤の研究開発
 研究課題名 (英文) Research and Development of a framework for large volume processing for industrial X-ray CT images
 研究代表者
 氏名 (アルファベット) 道川隆士 (MICHIKAWA, Takashi)
 所属機関・所属部局名・職名 東京大学・先端科学技術研究センター・助教
 研究者番号 60435683

研究成果の概要：

大規模 CT データを処理するためのクラスタ連成基盤を C++ のプログラムとして開発した。また、大規模 CT データから中立面を計算する手法を考案し、クラスタ連成基盤上にプロトタイプを開発した。実際の機械部品の CT データに対して手法を適用した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 — 設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：形状モデリング、ボリュームグラフィックス

1. 研究開始当初の背景

対象物を内部まで非破壊で計測できる X 線 CT スキャナは、もともと医療分野での利用が行われていた。性能の向上にともない、金属部品も高性能で計測できるようになったことで、工業分野への応用が行われ始めた。医療分野では、可視化が重要な課題であったが、工業応用においては、それらに加えて、X 線 CT 画像から精度良く形状評価することが求められている。つまり、計算機上で厳密に形状を表現する必要がある。そのためには、以下に示す技術が必要となる。

- 薄板形状を現すボクセルから中心を通る面を計算する中立面抽出

- CT 画像を次元別 (点、線、面、立体) に分解する次元別分解

工業製品の X 線 CT 画像の解像度は高くなる一方であるにもかかわらず大規模化を考慮したアルゴリズムは皆無である。また、単純にメモリを増量したとしても、解像度の 3 乗に比例して増加するボリュームデータに対しては、根本的な解決策とはならない。

2. 研究の目的

工業製品を対象とした高解像度 X 線 CT 画像を用いた形状モデリングについて研究開発を行う。本研究課題では、以下の課題について明らかにすることを目的とする。

[課題1] 超大規模CTデータ処理のための枠組みに関する研究

メモリでは処理できないような巨大なサイズ(5000³)以上のボリュームデータを低メモリないしは並列環境で操作できるような枠組みを構築する。

[課題2] 超大規模CTデータに対するモデリング手法の開発

課題1で開発した枠組みを代表的なモデリング手法(MATなど)に適用して、従来不可能であった大規模データ処理を実現する。

[課題3] 超大規模CTデータ処理の応用に関する研究

1, 2で得られた成果をCTデータからのCADモデル生成など実際の問題に適用する。

3. 研究の方法

本研究では、課題にあわせて以下の3つのフェーズに分ける。

1、大規模CTデータ処理の枠組み「クラスタ連成データ構造」の構築

大規模なCTデータを扱うためのデータ構造を定義し、ライブラリとして提供する。既にいくつかの問題は解いているので、それらを元に汎用的なボリュームデータ処理のための枠組みを構築する。

2、大規模CTデータ処理に対する幾何処理

課題1で開発した、クラスタ練成データ構造を利用して、幾何処理問題を解く。

3、CTデータ処理の応用に関する研究

1, 2の成果を用いた応用事例としてCT画像からのCADモデル化に取り組む。

4. 研究成果

[課題1] 超大規模CTデータ処理のための枠組みに関する研究

○大規模CTデータ処理の枠組みの構築

ボリュームデータを処理するための枠組み「クラスタ連成データ構造」を構築してAPI(application programming interface)としてまとめた。

ボリュームデータは、分割統治法に基づくクラスタリングによって小領域のクラスタの集合に分解される。隣接クラスタは、重複部分を持ち、そこにインタフェースが定義される。インタフェースは、クラスタ間のデータの連絡に利用される(図1)。このデータ構造の特徴は、各クラスタが独立して処理ができる点にある。これは、(1)それぞれをファイルに保存できる(out-of-core化)、(2)並列計算が可能であることを意味する。クラスタのサイズは、ボリュームデータと比較して格段に小さくなることから、一般的なPCにおいても十分に動作する。またクラスタ間において、一貫性が損なわれたとしても、インタフェー

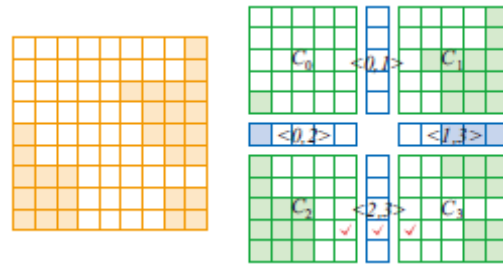


図1 クラスタ連成データ構造

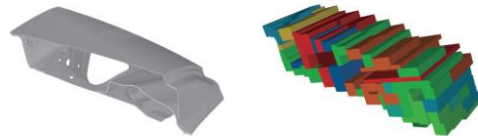


図2 ボリュームデータの非一様なクラスタリング

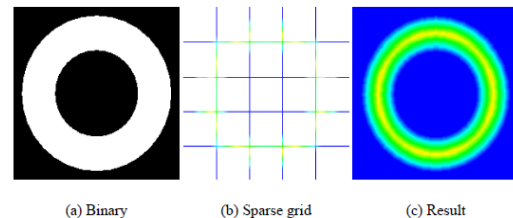


図3 クラスタ連成構造を利用したコンパクトな距離場計算手法

スを介した通信により、一貫性を回復できるようにする。また、クラスタリング方法についてもボリュームデータに応じた、非一様な分割方法を用いることで、規則的に分割するよりも高速(おおよそ2倍)に計算できることを示した(図2、文献11)。以上の結果、大規模ボリュームデータ処理問題について、本プログラムを用いることで効率的に開発できるようになった。本研究では、最短経路算出(文献7)、距離場計算(図3、文献1)などに手法を導入して大規模データに対して効率的に計算できることを示した。

[課題2] 超大規模CTデータに対するモデリング手法の開発

○大規模CTデータ処理に対する幾何処理(中立面抽出)

クラスタ連成データ構造のAPIを用いて中立面抽出(MAT)の大規模化を行った。中立面とは、物体の中心をとる面集合であり(図4)、車体のボディなど機械部品によく見られる薄板形状に対して適用される。中立面抽出自体は、研究されてきたテーマであるが、大規模化を考慮に入れたものはなかったため、本研究では、中立面抽出の大規模化に取

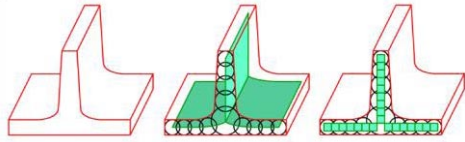


図4 等値面 (左)、中立面 (中) と中立ボクセル (右)

り組んだ。基本的なアプローチは、従来手法と同じであるが、各要素技術の大規模化を行った。特に、明らかに中立ボクセルであるまたはないセルを計算負荷の低い方法で前処理判定を行う手法を提案した (図5、文献4, 6, 13, 14)。これにより、大規模ボリュームデータであっても、現実的な時間で計算できることを示した。

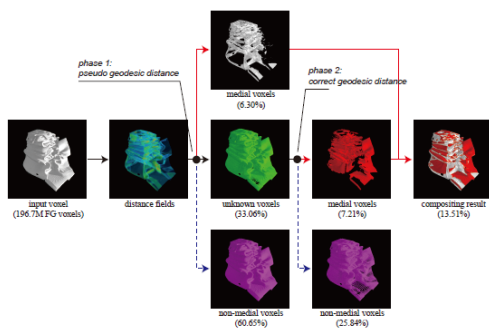


図5 多段階中立ボクセル抽出法の概要

次に、以上の手法で得られた中立ボクセルを用いて、中立面ポリゴンの生成を行った。中立ボクセルから中立面ポリゴン生成に関する最大の問題は、非多様体部分の制御である。このような特徴は、機械部品では一般的に見られる。一般的に、ボリュームデータからポリゴンを生成する手法として、マーチングキューブ法が知られているが、この手法の本質は、等値面抽出であり、本課題で扱う非多様体を含むポリゴン生成には向いていない。そこで、本研究では、サブサンプリングに基づく中立面生成手法を提案した (図6、文献2, 9)。中立ボクセルを入力として与えた時、ボクセルの位相を見積もり、複雑な部分 (ジャンクション、境界) を優先的にサンプリングする。得られたサンプリング結果を用いてポロノイ図を中立ボクセル上で計算し、その双対を取ることによって、ジャンクション部が正しく処理されたポリゴンを生成することができる。本研究では、実際の機械部品のCT画像から、中立面を計算できたことを示した (図7)。

○CT画像からのCADデータ生成

以上の手法で得られた中立面ポリゴンからリバースエンジニアリングを行いCADデータを生成した。このとき、非多様体メッシュ

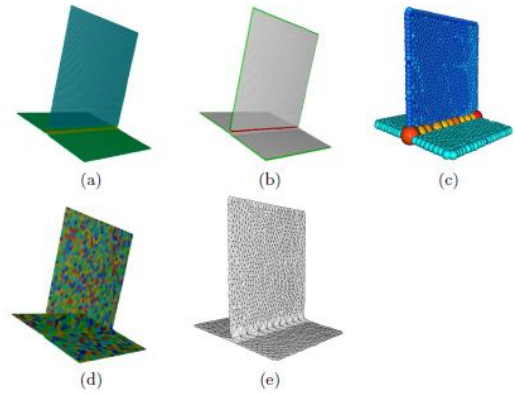


図6 サブサンプリングによる中立ボクセルからのポリゴン生成の概要

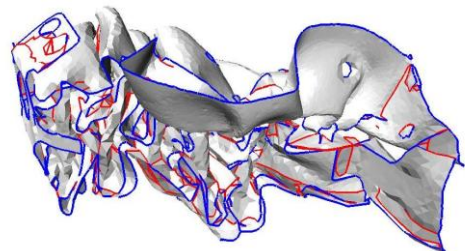


図7 CTデータからの中立面計算結果

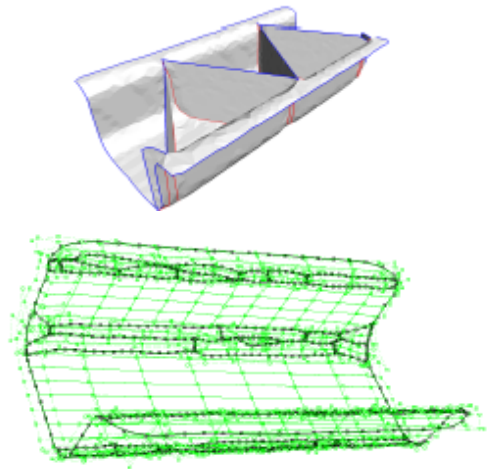


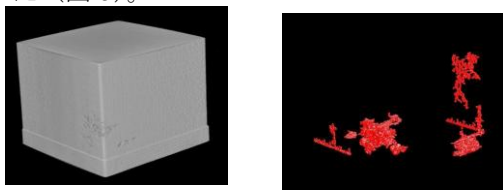
図8 中立面ポリゴン (上) からのCADデータ (下) 作成

をそのままCADデータ化することはできないため、多様体メッシュの集合に分割して、CADデータ化を行った。

○鋳造巣の体積算出 (文献3, 10)

鋳造品は、その製造過程で、空気が混入し、内部に気泡 (鋳造巣) として残る。この鋳造巣の存在は、製品の性能 (強度など) を低下させる要因の1つであるため、製造現場では、鋳造巣の体積を品質保証の基準の一つとして利用している。しかし、CTスキャンによ

る計測では、CT 画像の解像度よりも小さい
 鑄造巣については、原理上ボケた画像として
 検出されるため、単純な閾値処理で体積を精
 度よく見積もることが不可能であった。その
 結果、小さな鑄造巣は除外され、計算した体
 積の精度は非常に低いものであった。
 本研究では、非常に小さな鑄造巣について、
 CT 画像の原理に基づく数学モデルを導入し、
 その体積を見積もる手法を提案した。鑄造巣
 は、小さくなるにつれて球に近似するという
 観察に基づき、小さな鑄造巣が存在すると考
 えられる領域に対して、球を敷き詰めていく。
 球の中心は、領域の中で最も小さい CT 値を
 持つ位置であり、半径は、その CT 値から計
 算する。本手法を鑄造部品の CT 画像に適用
 した結果、従来無視されていた小さな鑄造巣
 を考慮に入れた体積を計算できるようにな
 った (図 9)。

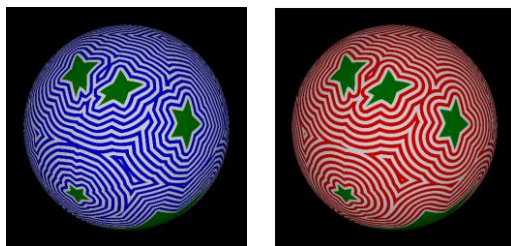


ボリュウムデータ 抽出した鑄造巣

図 9 鑄造機械部品の体積算出

○球面空間における幾何処理アルゴリズム
 の研究開発 (文献 5, 8)

提案したボリュウム処理のうち、距離変換ア
 ルゴリズムを球面に拡張した手法を提案し
 た。従来手法では、多角形集合に離散化し
 たうえでの近似計算であったが、本手法では、
 四元数などを利用することで、正確な距離場
 を球面で計算できるようになった (図 10)。



近似手法

提案手法

図 10 球面上での距離場計算

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 5 件)

1. Takashi Michikawa and Hiromasa Suzuki, Sparse Grid Distance Transforms, Graphical Models, accepted, 2010 (査読有)
2. Takashi Michikawa and Hiromasa Suzuki, Non-manifold Medial Surface

Reconstruction from Volumetric Data, Lecture Notes in Computer Science, No.6130, pp. 124--136, 2010 (査読有)

3. 菱田寛之, 道川隆士, 鈴木宏正, 大竹豊, X線 CT データを用いた鑄造部品の鑄巣体積算出法, 精密工学会誌, 採録決定, 2010(査読有)
4. 道川隆士, 中崎瞬, 鈴木宏正, 大規模 CT データからの中立ボクセル抽出法, 日本機械学会論文集 C 編 Vol. 75, 2165 - 2170, 2009 (査読有)
5. Takashi Michikawa and Hiromasa Suzuki, Spherical Distance Transforms, Journal of Computer Science and Software Technology, vol 2, no.2, 69-75, 2009(査読有)
 [学会発表] (計 9 件)
6. Takashi Michikawa, Shun Nakazaki and Hiromasa Suzuki, Efficient Medial Voxel Extraction for Large Volumetric Models, Proc. WSCG09, 189-196, 2009 (査読有)
7. Takashi Michikawa and Hiromasa Suzuki, An Out-of-Core Framework for Volume Processing and Its Applications, Proc. Korea-Japan Design Engineering Workshop 2008, (2008), 13-16(査読無)
8. Takashi Michikawa, Hiromasa Suzuki, Spherical Distance Transforms, Proc. The 2008 International Conference on Computational Science and its Applications (ICCSA 2008), (2008), 405-412 (査読有)
9. 道川隆士, 鈴木宏正 CT 画像を用いた薄板機械部品の非多様体メッシュ生成 精密工学会学術講演会 2010 (査読無)
10. 菱田寛之, 道川隆士, 鈴木宏正, 大竹豊, X線 CT データを用いた鑄造部品の鑄巣体積算出法, 第 19 回設計工学・システム部門講演会, 2009 (査読無)
11. 道川隆士, 鈴木宏正, 大規模 CT 画像の非一様クラスタリングとボリュウム処理への応用 精密工学会学術講演会 2009(査読無)
12. 中崎 瞬, 道川隆士, 鈴木宏正, 距離変換を用いたアセンブリーの隙間解析, (社) 精密工学会 2009 年春季大会(査読無)
13. 道川隆士, 中崎 瞬, 鈴木宏正, 大規模ボリュウム処理に関する研究(第 5 報)-大規模ボリュウムデータからの中立ボクセル抽出法の最適化-, (社) 精密工学会 2009 年春季大会(査読無)

14. 道川隆士, 中崎 瞬, 鈴木宏正、大規模
CT データからの中立ボクセル抽出法、
社団法人 日本機械学会 設計工学・シス
テム部門、第 18 回 設計工学・システム
部門講演会論文集、p.157, 2008 (査読無)
〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

該当なし

○取得状況 (計 0 件)

該当なし

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

道川隆士 (MICHIKAWA, TAKASHI)

東京大学・先端科学技術研究センター・助教
研究者番号 60435683

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし

以上