

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 12 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700122

研究課題名（和文）CGと融合したメッシュフリー法による複雑形状を対象とした時間発展問題の解析

研究課題名（英文）Numerical Analysis for Time-evolution Problem Using of Mesh-free Method Fused Computer Graphics

研究代表者

長谷川 恭子（HASEGAWA KYOKO）

立命館大学・衣笠総合研究機構・ポスドクトラルフェロー

研究者番号：00388109

研究成果の概要（和文）：

本研究では、メッシュフリー法による数値解析技術と曲面モデルによる曲面生成技術を用いて、複雑形状を対象とした構造解析技術を開発した。解析対象としては特に、時間発展問題として熱伝導解析を実現した。さらに、数値解の精度向上のため、適応的な要素生成手法として有限要素法で用いられている技術を、メッシュフリー法に適用した。それにより、適応的に接点および数値積分のための部分領域を適応的に生成し、高精度な数値解を求めることができた。解析結果の可視化手法としては、一旦曲面モデルと解析結果をポリウムデータに変換する事により、ポリウム可視化技術を適用し2つの異なるデータを同時することができた。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of our study is to solve the three-dimensional (3D) structural analysis problem using the meshfree method based on the surface model. We have applied modified Radial Point Interpolation Method (RPIM) to three-dimensional heat transfer problems. Furthermore, in order to improve the accuracy of numerical solution, we propose the method of posteriori error estimate same as that of the finite element method and to develop the adaptive technique for modified RPIM. For visualizing of the numerical result and surface model, we can simultaneously render the numerical result and surface model by creating the volume data sets from these functions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
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：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：グラフィックス

## 1. 研究開始当初の背景

CGの分野では複雑な形状を忠実にデジタル化する技術が発展している。その要因の1つとして3次元形状計測装置の精度向上が挙

げられ、美術品などの表面上の点群座標を精密に取得しデジタル化することが可能となった。もう一つの大きな要因は点群座標から曲面モデルを生成する技術の発展である。現

在では数万～数百万の点群からの曲面生成も可能となっており、その可視化技術の研究も進められている。一方数値解析の分野では、有限要素法が広く採用されており、様々な工学的応用が行われている。特に有限要素法による構造解析の歴史は古く、現在では建造物の耐震性の評価などで広く利用され、欠かせない技術となっている。また近年では有限要素法に代わる新しい手法として点群情報を基にした解析を行うメッシュフリー法が提案されている。いずれも解析の対象とする形状は比較的単純な要素で構成されるものが多く、複雑な曲面などを対象とすることは少ない。上述の2分野において、点の接続情報を必要とする手法から点群データを使った分布関数を必要とする手法へと遷移している。

## 2. 研究の目的

本研究ではCG分野における曲面生成技術と数値解析分野におけるメッシュフリー解析技術は親和性が高いと考え、2分野の技術を融合した以下の技術の開発を行うことを目的とする。

(1)メッシュフリー法を用いた3次元数値解析手法の動解析への適用

メッシュフリー解析技術としては、複雑形状を対称としたメッシュフリー法の時間発展問題の実現およびメッシュフリー動解析手法の精度向上をめざす。

(2)数値解析結果の可視化

曲面モデル及び数値解析結果が関数として表現されているため、ボリュームデータの作成が容易となり、ボリュームによる表現が考えられる。そこで、曲面モデルと数値解析結果の2つのデータを重ね合わせて表現することで直感的な可視化をめざす。

## 3. 研究の方法

メッシュフリー法は様々な種類の手法が開発されており、本研究ではその1つである修正 Radial Point Method を複雑形状を対象としたメッシュフリー法による動解析のために用いる。この手法は複雑形状に対する解析手法として大変有効な手法であるため、本研究課題では同手法に対して以下を行う。

(1)複雑形状を対称としたメッシュフリー法の時間発展問題の実現

修正 RPIM を用いて、複雑形状に対する時間発展問題の数値解法を実現する。

(2)メッシュフリー動解析の精度向上

曲面モデルの特徴を用いて、形状の複雑さに依存した節点や小領域の生成を行うことにより、精度向上を行う。

(3)解析結果の可視化

ボリュームレンダリング手法を利用して

曲面モデルと解析結果の直感的な可視化を行う。

## 4. 研究成果

(1)複雑形状を対称としたメッシュフリー法の時間発展問題の実現

メッシュフリー法の1つである修正 RPIM は複雑形状を対象とした解析に有効であり、さらに高速に分布関数の評価を行うことができる。本年度は、この修正 RPIM を用いて曲面モデルを基にした3次元複雑形状の熱伝導解析を実現した。本研究で用いる曲面モデルは分布関数で表されており、任意の点で形状の内外を判定することが容易である。この曲面モデルの情報を参照することで、図1のように複雑形状内部のみの熱伝導解析を実現することができた。

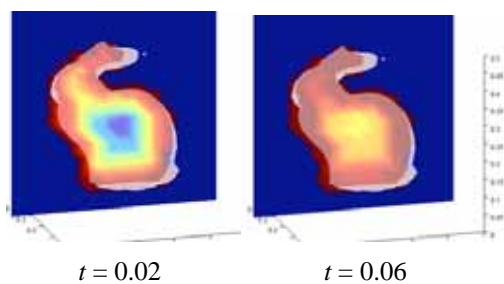
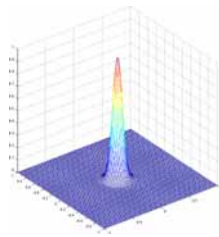


図1 形状内部の温度

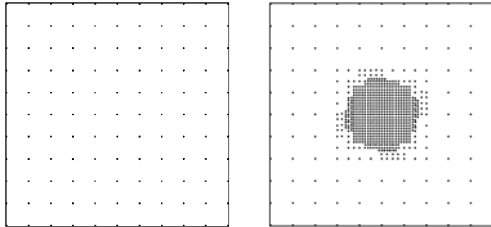
(2)メッシュフリー動解析の精度向上

高精度な数値解を得るためにはアダプティブ法による解の精度保証が考えられる。アダプティブ法を実現するためには数値解の事後誤差評価が必要となり、従来有限要素法では、Zienkiewicz-Zhuの方法を適用した誤差ノルムが広く用いられている。また、メッシュフリー法の1つである Element-free Galerkin method (EFGM)に対してもアダプティブ法の開発がすすめられている。本研究では、修正 RPIM を対象とした事後誤差評価手法を提案し、それに基づいて節点を適応的に生成する手法を開発した。

本研究では誤差ノルムを求めるための数値積分に用いる積分領域として修正 RPIM で用いている部分領域を適用し、誤差ノルムを有限要素法と同様の評価式を用いた。本手法では図2に示すように、誤差ノルムの値が与えた閾値より大きくなった場合には節点を追加し、かつ部分領域を分割することで適応的に節点および分領域を作成する。その結果、図3に示すように節点の増加に伴って相対誤差が小さくなり、高精度な数値解が得られることが分かった。



(a) 解析解



(b)初期点 (c)適応的節点生成

図2 適応的な節点生成結果

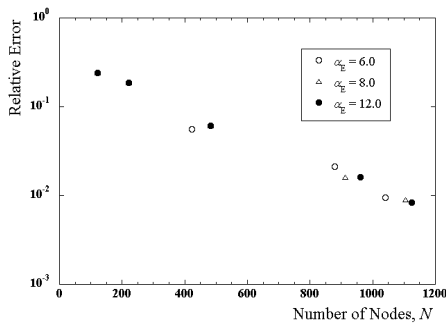
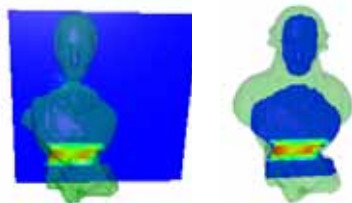


図3 解析結果の相対誤差

### (3)解析結果の可視化

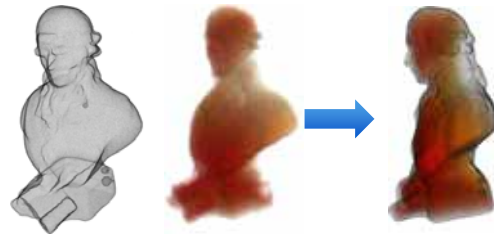
本研究では、曲面モデル及び数値解析結果が関数として表現されているため、ボリュームデータをそれぞれ作成し同時に可視化することで直感的な可視化を行っている。一旦ボリュームデータに変換することによって、CG技術として従来開発が進められてきた様々なボリュームレンダリング手法が適用可能になる。本研究では特に、単純なボリューム可視化手法では、解析対象形状外まで描画してしまうのに対して曲面モデルの特徴から（曲面を定義する関数の値が正か負かで内外判定が容易に行える）解析対象形状内部のみを描画することができる。図4は曲面情報を用いて解析結果を可視化した結果である。解析結果をスライス面で描画し、曲面モデルを等値面で描画している。



(a) 従来の結果 (b) 提案手法

図4 曲面モデルと解析結果の可視化

ボリュームレンダリングでは、2つのボリュームデータを融合して可視化する事は困難である。図4ではボリュームデータからポリゴンデータを作成しポリゴンレンダリングすることで描画することで実現を行っている。一方、点群を基にした可視化技術として粒子ベースレンダリング手法を開発した。本手法は可視化したい領域に大量のサンプル点群を生成して可視化するため、従来のポリゴンレンダリングのようにソートがいらず、複数のデータや可視化手法を融合することが容易になる。図5は構造解析結果をボリュームレンダリング（レイキャスティングと同様のもの）し、解析形状をサーフェスレンダリング（等値面上にのみ点群を生成）した結果を融合して可視化した結果である。このように異なるボリュームデータ/可視化手法を同時に可視化する事ができた。



(a)形状 (b)解析結果 (c)融合結果

図5 粒子ベースレンダリングによる解析形状と結果の融合可視化

### 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3件)

著者名：Kyoko Hasegawa, Susumu Nakata, Satoshi Tanaka, 論題：Meshfree Elastodynamic Analysis of Three-dimensional Solids Using Radial Point Interpolation Method, 雑誌名：International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 査読：有, 巻：2(1), 発行年：2011, ページ：83-95

著者名：Yuusuke Tsukamoto, Shuhei Kawashima, Seiji Inoue, Shin Ito, Shinji Kataoka, Kazuyuki Kojima, Kyoko Hasegawa, Susumu Nakata, Satoshi Tanaka, 論題：Data Fitting Independent of Grid Structure Using a Volumic Version of MPU” 雑誌名：Journal of Visualization, 査読：有, 巻：14(2), 発行年：2011, ページ：161-170

著者名 : Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa, Susumu Nakata, Hideo Nakajima, Takuya Hatta, Frederika Rambu Ngana, Takuma Kawamura, Naohisa Sakamoto, Koji Koyamada, 論 題 : Grid-Independent Metropolis Sampling for Volume Visualization 雑誌名 : International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 査読:有,巻:1(2), 発行年 : 2010, ページ : 119 218

[学会発表](計 37 件)

発表者名 : Kyoko Hasegawa, 発表標題 : Volume-Surface Fused Visualization Applied to Medical Data Based on Particle-Based Rendering, 学会名等 : Asia Simulation Conference 2011, 発表年月日 : 2011 年 11 月 17 日, 発表場所 : ソウル (韓国)

発表者名 : Kyoko Hasegawa, 発表題目 : 3D fused visualization based on the particle-based volume/surface rendering, 学会名等 : 30th JSST Annual Conference (JSST 2011), 発表年月日 : 2011 年 10 月 22 日, 発表場所 : 東海大学 (東京都)

発表者名 : 長谷川 恭子, 発表題目 : CT データを基にした肝臓のメッシュフリー構造解析, 学会名等 : 電子情報通信学会 2010 年総合大会, 発表年月日 : 2010 年 3 月 16 日, 発表場所 : 東北大学 (宮城県)

発表者名 : Kyoko Hasegawa, 発表題目 : Heat Transfer Analysis Using Modified Radial Point Interpolation Method, 学会名等 : Asia Simulation Conference 2009 JSST2009, 発表年月日 : 2009 年 10 月 8 日, 発表場所 : 立命館大学 (滋賀県)

発表者名 : 長谷川 恭子, 発表題目 : 修正 RPIM のための適応的手法の開発, 学会名等 : 第 14 回計算工学講演会, 発表年月日 : 2009 年 5 月 14 日, 発表場所 : 東京大学生産技術研究所 (東京都)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

長谷川 恭子 (HASEGAWA KYOKO)

立命館大学・衣笠総合研究機構・ポストド  
クトラルフェロー

研究者番号 : 00388109