

平成 23 年 6 月 6 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20760059

研究課題名 (和文) 並列分散環境を前提とした完全メッシュレス法の開発

研究課題名 (英文) Development of Complete Meshless Method under Assumption of Parallel Computing

研究代表者

齋藤 歩 (SAITOH AYUMU)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：20400533

研究成果の概要 (和文)：

本研究では積分セルを必要としない領域型及び境界型メッシュレス法を再定式化し、従来法と比較することによって、同法の性能を評価した。従来のメッシュレス法では、領域積分や境界積分を計算するため、領域や境界を積分セルに分割する必要がある。これに対して、提案法では境界のベクトル方程式を用いることによって、積分を直接計算している。数値計算の結果、従来法に内在する欠点はある程度解決することができた。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, both region-type and boundary-type meshless methods have been reformulated without using any integration cells. Moreover, The performance of proposed methods have been numerically investigated by comparing with conventional methods. In conventional meshless methods, a region or a boundary must be divided into a set of integration cells to calculating the integrals. In contrast, in proposed methods, they are directly calculated by use of the vector equation of the boundary. The results of computations show that the demerit of conventional meshless methods is partly resolved.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：数値解析学，シミュレーション工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎/工学基礎

キーワード：境界要素法，有限要素法，境界節点法，element-free Galerkin 法，メッシュレス法，陰関数曲面

## 1. 研究開始当初の背景

一般に、自然界や工学的分野に現れる現象

は複雑であるため、同現象を解明し、再現することは大変困難である。それ故、一般化や

単純化することにより、現象を数値モデルに置き換えることが重要である。この数値モデルの多くは偏微分方程式の初期値・境界値問題で記述されるが、解析的に解くことができる問題はほんの一部でしかない。したがって、計算機を用いることによって同問題を数値的に解く方法がこれまで提案されてきた。代表的な解法として有限要素法 (FEM) や境界要素法 (BEM) が挙げられる。

このように、FEM 及び BEM は共に大変有益な方法として広く用いられているが、共通の解法自体に内包している問題点がある。それは FEM や BEM を用いた解析で必要不可欠となる対象領域の要素分割が、支配方程式を離散化して解を求めることよりもマンパワーと CPU 時間を浪費することである。このような状況下において、多少計算時間が浪費したとしても予め準備するデータを簡略化できる解法が望まれてきたのである。

近年、FEM や BEM に内包する問題のある程度まで克服した方法としてメッシュレス法が提案され、様々な分野へ応用されている。メッシュレス法は節点や境界情報のみ必要であり、幾何学的な情報は全く必要なく、さらに、数値解に任意の連続微分可能性を仮定できるため、数値解の分布を従来の FEM や BEM で得られてきた結果より滑らかにすることができる。しかしながら、積分領域を仮定する場合、メッシュレス法では要素のようなセルを必要とする。結局、従来通りのメッシュレス法では完全に要素の概念を取り除くことはできないのである。さらに、ある程度の数値解の精度を得るには多数の節点が必要となり、メッシュレス法において支配方程式を離散化して解を求めるまでに要する CPU 時間は FEM や BEM に要する CPU 時間に比べて遙かに膨大になってしまう。したがって、上記問題点を取り除くアプローチが構築されない限り、今後 FEM 及び BEM に代わる新たな数値解法としてメッシュレス法が発展することは期待できない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的はメッシュレス法に内包する問題点を克服することにより、完全メッシュレス法の基礎理論を構築し、数値シミュレーションを通して完全メッシュレス法の工学的問題への適用可能性を検討することである。研究期間内に達成する目標として、具体的に3つの段階を考えている。

- (1) 積分領域を仮定する場合、要素のようなセルを必要としないメッシュレス法の基礎理論の構築する。
- (2) 構築した完全メッシュレス法を用いて2次元または3次元の簡単な偏微分方程式

の初期値・境界値問題を解くための数値シミュレーション・コードを開発する。さらに、並列分散環境を用いることによって完全メッシュレス法の高速化手法を確立する。

- (3) 従来メッシュレス法が適用されてきた工学的問題に対して、完全メッシュレス法の性能を定量的に評価する。

## 3. 研究の方法

本研究では、完全メッシュレス法の基礎理論の構築、同法の高速化及びその工学的問題への応用を目標とする。具体的な研究方法は以下に示す。

- (1) 従来のメッシュレス法の詳細な分析  
従来提案されてきたメッシュレス法の詳細な分析を行い、完全メッシュレス法を開発する意義を明確にする。
- (2) 完全メッシュレス法の理論を構築  
境界節点法と Element-Free Galerkin 法の完全メッシュレス化をはかる。
- (3) 陰関数曲面構成法による境界生成するアプローチの検討  
完全メッシュレス法には、陰関数曲面を生成することは必要不可欠である。それ故、最近の陰関数曲面構成法を詳細に調査する。さらに、効率的な陰関数曲面生成法に関して検討を行う。
- (4) 完全メッシュレス法の検証  
(3)で構築された理論を基に数値シミュレーションコードを開発する。さらに、同コードを用いて2次元及び3次元偏微分方程式の初期値・境界値問題を解析することによって、完全メッシュレス法の妥当性を検証してゆく。必要に応じて、理論の改良も行う。
- (5) 並列分散環境を用いた完全メッシュレス法の高速手法の確立  
MPI環境を用いて完全メッシュレス法の高速手法を確立する。特に、節点の配置に多大な時間を浪費するため、効率的な節点の配置するアプローチを検討する。
- (6) 完全メッシュレス法の工学的問題への応用  
完全メッシュレス法の工学的問題への適用可能性を検討する。具体的には、構造解析や電磁界解析に現れる偏微分方程式の初期値・境界値問題に対する完全メッシュレス法の性能を評価する。こ

の結果を受けて、必要であるならば完全メッシュレス法の改良も行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) 拡張境界節点法の開発

積分セルを用いないで二重相反境界節点法を再定式化し、二重相反法(DRM)と比較することによって、その性能を評価した。従来の境界節点法では、影響係数の計算する場合、境界をセルの集合に分割する必要があった。これに対して、提案法では、境界のベクトル方程式を用いて影響係数を直接計算している。計算結果によれば、境界節点数、境界条件、境界形状に依存することなく、提案法は DRM よりも高い性能を示した。さらに、提案法は DRM とほとんど同じ計算速度を示すことが判明した。この結果を踏まえて、境界型メッシュレス法の欠点はある程度解決できた。

##### (2) 拡張 Element-Free Galerkin 法の開発

(1)と同様に、領域型のメッシュレス法の一つである Element-Free Galerkin 法にも領域をセルの集合に分割しなければならない欠点が存在する。そこで、境界のベクトル方程式を用いて領域積分を計算する方法を提案した。数値計算の結果、提案法は従来法とほとんど変わらない精度で計算できることが判明した。すなわち、解の精度を低下させることなく、Element-Free Galerkin 法の問題点をある程度克服できることが示された。

#### 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 11 件)

- ① A. Saitoh, T. Itoh, A. Kamitani, N. Matsui and H. Nakamura, New Implementation Method for Essential Boundary Condition to Extended Element-Free Galerkin Method: Application to Nonlinear Problem, Plasma and Fusion Research, 査読有, 印刷中.
- ② T. Itoh, A. Saitoh, A. Kamitani and H. Nakamura, Efficient Evaluation of Influence Coefficients in Three-Dimensional Extended Boundary-Node Method for Potential Problems, Plasma and Fusion Research, 査読有, 印刷中.
- ③ H. Maruo, A. Saitoh, T. Ishibashi and Y. Tamura, Smoothing method of shape measurement for low-cost 3D-scanner,

Plasma and Fusion Research, 査読有, 印刷中.

- ④ A. Saitoh, N. Matsui, T. Itoh and A. Kamitani, Development of Two-Dimensional Meshless Approaches without Using Integration Cells, IEEE Trans. Magn., 査読有, Vol. 47, No. 5, 2011, 1222-1225.
- ⑤ A. Saitoh, T. Itoh, N. Matsui and A. Kamitani, New Method for Implementing Essential Boundary Condition to Element-Free Galerkin Method, AIP Conference Proceedings, 査読有, Vol. 1281, 2010, 2053-2056.
- ⑥ T. Itoh, A. Saitoh, and A. Kamitani, Generation of a Smooth Implicit Function Distributed Over the Entire Domain from Large Scattered Point Data, AIP Conference Proceedings, 査読有, Vol. 1281, 2010, 2188-2191.
- ⑦ A. Saitoh, T. Itoh, A. Kamitani, N. Matsui and H. Nakamura, Application of Two Dimensional Extended Boundary Node Method to Potential Problem, Plasma and Fusion Research, 査読有, Vol. 5, 2010, S2108.
- ⑧ T. Itoh, A. Saitoh, A. Kamitani and H. Nakamura, Three Dimensional Extended Boundary Node Method to Potential Problem, Plasma and Fusion Research, 査読有, Vol. 5, 2010, S2111.
- ⑨ A. Saitoh, T. Itoh, and A. Kamitani, Development of Dual-Reciprocal Extended Boundary-Node Method, AIP Conference Proceedings, 査読有, Vol. 1168, 2009, 350-353.
- ⑩ 齋藤 歩, 仲田 晋, 田中 覚, 神谷 淳, 積分セル非依存型二重相反境界節点法の開発, Information, 査読有, Vol.12, No.5, 2009, 973-984.
- ⑪ 木村 彰徳, 齋藤 歩, 長谷川 恭子, 田中 覚, 放射線治療シミュレーションにおける可視化の役割と可視化ソフトウェア, 日本シミュレーション学会誌, 査読有, Vol.28, No.1, 2009, 27-33.

[学会発表] (計 57 件)

- ① 齋藤 歩他, 領域型メッシュレス法の拡張 II -非線形問題への適用-, 2010 年度第 2 回非線形問題の解法と可視化に関する研究会, 2011 年 3 月 2 日, 核融合科学研究所.
- ② A. Saitoh et al., New Implementation Method for Essential Boundary Condition to Extended Element-Free Galerkin Method: Application to Nonlinear Problem, 20th International Toki Conference, 2010

- 年 12 月 7 日, セラトピア土岐.
- ③ A. Saitoh et al., Generation of a Smooth Implicit Function Distributed Over the Entire Domain from Large Scattered Point Data, 8th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, 2010 年 9 月 21 日, Greece.
- ④ 齋藤歩他, 領域型メッシュレス法の拡張 -基本境界条件の新たな組み込み方法-, 第 4 回シミュレーション科学シンポジウム, 2010 年 9 月 14 日, 核融合科学研究所.
- ⑤ 齋藤歩他, 領域型メッシュレス法の拡張 -基本境界条件の新たな組み込み方法-, 2010 年度第 1 回非線形問題の解法と可視化に関する研究会, 2010 年 9 月 13 日, 核融合科学研究所.
- ⑥ 齋藤歩他, 2 次元領域型及び境界型拡張メッシュレス法の開発, 日本応用数理学会 2010 年度年会, 2010 年 9 月 6 日, 明治大学駿河台キャンパス.
- ⑦ A. Saitoh et al., Development of Two-Dimensional Meshless Approaches without Using Integration Cells, 14th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation, 2010 年 5 月 11 日, USA.
- ⑧ A. Saitoh et al., Application of Two Dimensional Extended Boundary Node Method to Potential Problem, 19th International Toki Conference, 2009 年 12 月 8 日, セラトピア土岐.
- ⑨ A. Saitoh et al., Extended Boundary-Node Method: Application to Potential Problem, 17th Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, 2009 年 11 月 25 日, Brazil.
- ⑩ 齋藤歩他, 2 次元拡張境界節点法の開発, 日本応用数理学会 2009 年度年会, 2009 年 9 月 30 日, 大阪大学豊中キャンパス.
- ⑪ A. Saitoh et al., Development of Dual-Reciprocal Extended Boundary-Node Method, 7th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, 2009 年 9 月 22 日, Greece.
- ⑫ 齋藤歩他, セル無し二重相反境界節点法の開発, 日本応用数理学会環瀬戸内応用数理研究部会第 12 回シンポジウム, 2008 年 10 月 12 日, 山形大学小白川キャンパス.
- ⑬ A. Saitoh et al., Two-Dimensional Boundary Node Method without Cells: Application to Potential Problem, 13th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation, 2008 年 5 月 14 日, Greece.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
 発明者 :  
 権利者 :  
 種類 :  
 番号 :  
 出願年月日 :  
 国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
 発明者 :  
 権利者 :  
 種類 :  
 番号 :  
 取得年月日 :  
 国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

- (1) [http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/eecs/eecs12/publications\\_i.html](http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/eecs/eecs12/publications_i.html)
- (2) [http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/eecs/eecs12/publications\\_j.html](http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/eecs/eecs12/publications_j.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋藤 歩 (SAITOH AYUMU)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号 : 20400533

(2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者

( )

研究者番号 :