

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2016

課題番号：24760062

研究課題名(和文) 超大規模有限要素解析の実用化に向けたヘテロジニアス型分散メモリ並列反復法の開発

研究課題名(英文) Development of a heterogeneous distributed-memory parallel iterative algorithm for practical use of ultra-large-scale finite element analysis

研究代表者

荻野 正雄(Ogino, Masao)

名古屋大学・情報基盤センター・准教授

研究者番号：00380593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：超大規模有限要素解析を実用化するために、ヘテロジニアス型分散メモリ並列処理に適した領域分割型反復法アルゴリズムの研究開発を行った。特に、GPGPUやメニーコアCPUに対する最適実装、複数材料モデルに有効なScaled-BDD法、電磁場解析における複素対称線形方程式に有効なMINRES-like_CS法などを提案した。これにより、数十億自由度規模モデルを用いた高周波電磁場解析の実用化に成功した。

研究成果の概要(英文)：For practical use of ultra-large-scale finite element analysis, a heterogeneous distributed-memory parallel iterative algorithm based on the domain decomposition method has been studied. In particular, an optimization implementation of the DDM on the GPGPU and a many-core processor, a Scaled-BDD method for multiple-material model, and a MINRES-like_CS method for solving complex symmetric linear systems arising from electromagnetic analysis have been developed. As the result, a high-frequency electromagnetic field analysis with tens of billions degrees of freedom model has been successfully solved within a practical time limit.

研究分野：計算力学

キーワード：領域分割法 並列有限要素法 ヘテロジニアスコンピューティング ハイパフォーマンスコンピューティング 超大規模計算 CPU-GPUハイブリッド並列処理

1. 研究開始当初の背景

2012年稼働予定の10ペタフロップス級スパコン「京」をはじめとして、今後は同規模のスパコンが国内外に多く設置される見込みであり、さらにエクサスケール級スパコンの開発も開始されている。これらのスパコンを構成する次世代計算機はメニーコア CPU や GPU などの拡張演算装置を含んだヘテロジニアス型分散メモリアーキテクチャになることが予想され、大規模解析を高効率に実現するためには、その計算機アーキテクチャに適した数値計算法アルゴリズムの開発が必要とされる。特にものづくり分野においては、偏微分方程式に有限要素法などを用いた際に現れる、大規模で疎な係数行列を持つ連立一次方程式向けに反復法並びに前処理法が重要となる。

しかし、大規模解析かつヘテロジニアス型分散メモリ並列環境では、従来の逐次処理、もしくは共有メモリ並列処理で開発されてきた不完全コレスキー分解法などの強力な前処理法をそのまま実装することは困難であり、そのような前処理法の利用を前提とした従来の反復法では収束解が得られない可能性がある。大規模解析に有効な手法として、マルチグリッド法などもあるが、数兆自由度規模解析や数十万並列処理においては、コースグリッド修正自体が困難になることが予想され、やはり従来通りの収束性や実行効率を得ることは困難であると考えられている。つまり、今後のエクサスケール級スパコン上において実用可能な反復法の見通しは立っていないのが現状である。さらに、国民を守る実用的な超大規模解析とは、強い地震動下において塑性が大きく進行していく非線形問題、医療用 MRI や携帯電話などにおいて磁場が生体に与える影響を評価する磁場解析で現れる非正則問題や複素数問題など、単純に線形方程式が超大規模になるだけではないため、それらを効率的に解くことも考慮した並列反復法アルゴリズムの開発が必要不可欠である。

2. 研究の目的

エクサスケール級の演算性能を持つ大型並列計算機システムで解決されるべき数兆から百兆自由度規模の超大規模解析を実用時間内で実現するために、ヘテロジニアス型分散メモリ並列処理に適した領域分割型反復法アルゴリズム及び前処理法を研究開発することで、超大規模数値解析の安定化と高速化を同時に実現するものである。

特に、有限変形構造問題で生じる強い非線形性や、磁場問題で生じる非正則や複素数問題などを対象とすることで超大規模解析の実用化研究に重点を置く。本研究の最終目標として、数兆自由度規模以上の磁場-構造連成解析を可能とする並列反復法解析システムの確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究は以下の項目に分けて実施した。項目 a) ヘテロジニアス型分散メモリ並列に適した領域分割型反復法の研究、項目 b) 非線形・非正則・複素対称に適した領域分割型反復法の研究、項目 c) 1兆自由度規模解析の実現研究、項目 d) ヘテロジニアス型分散メモリ並列に適した BDD 前処理の研究、並びに項目 e) 実用問題への適用による有用性評価である。特に前半2年間で a), b) の一部、及び c) を実施し、後半で b) の一部、d), 及び e) を実施する。研究前半期は小規模 PC クラスタや名古屋大学情報基盤センターのスパコンなどを利用して研究を進め、後半期は「京」やその他の最先端スパコンを利用して実施した。

4. 研究成果

(1) 平成 24 年度には以下の成果が得られた。

ヘテロジニアス型計算機アーキテクチャとして GPU を搭載した並列計算機を対象とし、領域分割型反復法の実装及び基礎的性能評価を行った。GPU 向けには、CUDA、CUBLAS 及び CUSPARSE を用いた共役勾配法の実装を行った。これにより、CPU1 コアに比べて6倍の高速化に成功した。また、OpenMP の動的スケジューリング機能を用いた CPU マルチコアと GPU に対する動的負荷分散に成功した。これにより、非構造格子 FEM の CPU-GPU ハイブリッド並列計算に成功し、マルチコア CPU のみに比べて、マルチコア CPU-GPU ハイブリッド計算によって約2倍の高速化に成功した。

次に、磁場解析を対象に、非正則や複素対称問題に対応した領域分割型反復法を開発した。大規模電磁界解析における反復法の収束性を数値実験で評価し、従来有効とされてきた CG 法系よりも CR 系に優位性がある知見が得られた。特に、非正則問題である非線形静磁場向けに DDM-MINRES 法アルゴリズムを整備し、さらに、複素対称問題である高周波電磁場向けに DDM-CSMINRES 法を開発し、それぞれにおいて収束性の改善と計算の高速化に成功した。

また、計算機開発動向について調査し、メモリバンド幅性能が演算性能に比べて相対的に低下する可能性が高いことが得られた。よって、提案手法の要求 B/F 値を求め、複数の計算機で性能測定を行うことで、理論演算性能とメモリスループット値を用いた計算時間の予測が可能となった。

さらに、100億自由度規模構造解析を目標として数値計算アルゴリズムを見直すことで、超大規模解析を実施した。特に、部分領域問題解析に Eisenstat 技法による SSOR 前処理付き反復法を適用するなど、省メモリ化及び実装最適化を行った。これにより、世界トップレベルとなる1,000億自由度規模解析に成功した。

(2) 平成 25 年度には以下の成果が得られ

た。

ヘテロジニアス型計算機アーキテクチャとしてメニーコアプロセッサを搭載した並列計算機を対象とし、領域分割型反復法の実装及び基礎的性能評価を行った。メニーコアプロセッサは Intel 社 Xeon Phi を対象とし、ネイティブ実行モデルによる有限要素解析の性能評価を行った。これにより、疎行列ベクトル積部分は非常に高い台数効果が得られ、4 コア CPU に比べて 3.5 倍の高速化が得られることが分かった。しかし、要素行列の重ね合わせ処理など並列化に適さない部分は計算時間が増加するため、計算全体としては 3 倍の高速化にとどまった。さらに、前年度構築した OpenMP 並列版領域分割法の性能評価を行った。これにより、メニーコアでは CPU に比べて計算時間が 1.5 倍に増加することが得られた。これは、メニーコアアーキテクチャではコアあたりのメモリバンド幅が CPU に比べて小さくなることが原因であり、アルゴリズムの変更を検討する必要があることが分かった。

次に、磁場解析向けに複素数演算の高速化を行った。従来の構造体配列 (AoS) 型から、C99 規格の complex 型に変更することで、コンパイラによる SIMD 化が促進され、複素数四則演算が Intel プロセッサにおいて 2~4 倍、SPARC64 プロセッサにおいて 5~10 倍の高速化が可能であることが得られた。

さらに、超大規模自由度解析として、1,000 億自由度規模解析の高速化を行い、約 11.6 時間で成功した。また、1 兆自由度解析の実現に向けたメッシュ規模の予測を行った。これにより、4 面体 2 次要素を用いた構造解析において約 3,500 億要素、4 面体辺要素を用いた磁場解析において約 5,200 億要素が必要となることが分かった。

(3) 平成 26 年度には以下の成果が得られた。

磁場構造連成解析に向けて、電磁界解析向けの領域分割型反復法の開発を行った。特に、収束性が悪いことで知られる Full-wave 電磁界解析を効率化するために、複素対称行列を係数に持つ連立 1 次方程式向け反復法として DDM-MINRES-like_CS 法を開発した。これにより、約 2 千万自由度規模の高周波電磁波解析において従来から用いられる DDM-COCG 法と比べて計算時間を 7 割削減することに成功した。

また、BDD 法の高速化に向けて、並列計算アルゴリズムの見直しを行った。数値実験を行った結果、coarse 問題解析がボトルネックである、そのためには領域分割法の多階層化が避けられないことが明らかになった。そこで、多階層領域分割法の有効性を確認するために、計算ノード 1 台によって BDD 法で解くことができる問題規模の限界を調査した。これにより、32GiB メモリを搭載した近年の計算ノード 1 台によって 1 千万自由度規模問題解析を約 2 分で完了できることが分かった。

さらに、超大規模自由度解析に向けて、ハイブリッド並列メッシュ細分割ツールの開発を行った。これにより、1 兆自由度規模メッシュの生成を行い、名古屋大学 FX10 を用いて 90 時間程度で成功した。一方で、その規模の入出力データをストレージに出力することが困難であることが分かった。そこで、1 兆自由度規模シミュレーションデータの操作を効率化するために、多階層精度圧縮数値記録を用いたデータ圧縮技法を実装した。これにより、有限要素解析データにも有効であることが分かり、1 兆自由度規模解析の準備が整った。

また、ヘテロジニアス型コンピューティングとして、x86 系 CPU と GPU の混在環境を対象とし、領域分割型反復法について、疎行列格納方式の違いによる計算時間を評価指標とし、性能評価を継続して実施した。

(4) 平成 27 年度には以下の成果が得られた。

電磁場解析の高速化として特に、A 法時間調和渦電流問題解析向けにクーロンゲージ条件を満たすよう Lagrange 乗数を導入した不定性のない定式化に反復型領域分割法を適用し、インターフェース問題の収束性を大幅に改善することに成功した。これにより、1 億自由度規模を超える大規模解析が可能となった。

また、E 法高周波電磁界解析向けに、異材境界の平滑化処理を伴ったボクセルデータの自動メッシュ分割技術を開発した。これにより、CT 等の医療画像から生成された 3 次元人体モデルのボクセルデータを用いた人体内電磁界解析において、骨や臓器などの異材境界付近における電界ノイズを低減し、高精度化することに成功した。

また、BDD 法の高速化として、複数材料向けアルゴリズムを整備した。地盤を含む RC 橋脚モデルや建屋を含む原子炉圧力容器モデルなどの重要構造物の有限要素解析に適用し、反復回数を大きく削減することに成功した。

また、1 兆自由度規模有限要素解析の実現には現在の計算機システムではストレージ容量不足が生じることが分かり、多階層精度圧縮数値記録の有限要素解析における性能評価を行った。変位や応力の圧縮率、圧縮された変位が応力の計算精度に与える影響などを評価した結果、可視化や分析に有用な情報を保持したままで 1/3 以下に圧縮できることが明らかになり、将来の超大規模自由度数値計算のデータ保存に有効な技術であることが示された。

さらに、近年のメニーコア型コンピューティングにおける反復型領域分割法として、部分領域ループと行列の行ループのそれぞれでスレッド並列化した場合の性能評価を実施し、将来の計算機には部分領域ループ並列が計算時間面で優れていることが分かった。また、ループラインに基づく性能予測と L2

キャッシュ容量を考慮した分析を行った結果、最適な領域分割数にはキャッシュメモリサイズが大きく影響してくることが分かった。

(5)平成28年度には以下の成果が得られた。

電磁場解析の高速化を継続して実施した。特に、準定常渦電流問題や高周波電磁界問題において辺要素有限要素法を適用した際に得られる複素対称線形方程式に対し、エルミート行列向け解法であるMINRES法を複素対称拡張したMINRES-like_CS法について、その有用性を評価した。TEAM29モデルを用いた高周波電磁界に関する数値実験により、共振周波数においてはCOCG法などでは収束性が悪化することが知られているが、提案するMINRES-like_CS法によってその影響を小さくすることに成功した。また、導電率の値も行列の性質に影響するが、MINRES-like_CS法を用いることで導電率の値に影響しない収束率を得ることに成功した。これにより、高周波電磁界解析分野においてロバストな収束性を持つ反復法が開発されたと言える。

さらに、電磁場解析へのバランシング領域分割法の応用研究を継続して行った。静磁場問題向けのcoarse行列構築法を提案したが、数値実験の結果として簡易的な対角スケールリング前処理に対する優位性は得られなかった。本項目は研究期間終了後も継続しての研究開発が必要と言える。

また、超大規模解析におけるストレージ容量不足問題を解決するために、多階層精度圧縮数値記録の有限要素解析における性能評価を継続して行った。弾性解析に関する数値実験により、許容誤差が0.01より小さければ可視化画像に与える影響は無視できることを明らかにした。また、許容誤差と動解析におけるリスタート解析の影響についても調査し、許容誤差とリスタート間隔における関係性を明らかにし、動解析リスタートファイルに対してもデータ容量削減が可能であることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計23件)

- [1] 武居周, 水間健仁, 杉本振一郎, 梶井晃基, 荻野正雄, 部分領域反復法に疑似4倍精度を用いたfull-wave電磁界解析, 電子情報通信学会論文誌C, Vol. J100-C, No.5, pp.182-191, 2017(査読有)
- [2] Sugimoto, S., Takei, A., Ogino, M., Tens of billions complex finite element analysis in high frequency electromagnetics, Mech. Eng. Lett., Vol.3, p.16-0067, 2017(査読有)
- [3] Liu, L., Ogino, M., Hagita, K., Efficient Compression of Scientific Floating-Point Data and An Application in Structural Analysis Trans., JSCES, Vol.2017, p.20170002, 2017(査読有)
- [4] Kanayama, H., Ogino, M., Sugimoto, S., Yodo, K., Zheng, H., On the coarse matrix solver of preconditioners for magnetostatic domain decomposition analysis, 電気学会論文誌B, Vol. 137, No. 3, pp.179-185, 2017(査読有)
- [5] 杉本振一郎, 荻野正雄, 金山寛, 階層型領域分割法による回転機の解析, 電気学会論文誌B, Vol. 137, No. 3, pp.195-201, 2017(査読有)
- [6] Wada, Y., Murotani, K., Ogino, M., Kawai, H., Shioya, R., High resolution visualization library for exa-scale supercomputer, Mathe. Prog. Expressive Image Synth. III, Springer, pp.83-94, 2016(査読有)
- [7] Ogino, M., Takei, A., Sugimoto, S., Yoshimura, S., A numerical study of iterative substructuring method for finite element analysis of high frequency electromagnetic fields, Comput. Mathe. Appl., Vol. 72, Issue 8, pp.2020-2027, 2016(査読有)
- [8] 荻野正雄, 対角スケールリング前処理を伴ったバランシング領域分割法による複数材料モデルの有限要素解析, 日本機械学会論文集, Vol. 82, No. 833, p. 15-00325, 2016(査読有)
- [9] 河合浩志, 荻野正雄, 塩谷隆二, 山田知典, 吉村忍, 領域分割法におけるローカルSchur補元アプローチの性能評価, Transaction of JSCES, Vol. 2016, 20160006, 2016(査読有)
- [10] Lijun Liu and Masao Ogino, Performance evaluation of efficient data compression JHPCN-DF for large-scale structural analysis, Mechanical Engineering Letters, Vol. 2, p. 16-00119, 2016(査読有)
- [11] Amane Takei, Kohei Murotani, Shin-ichiro Sugimoto, Masao Ogino, and Hiroshi Kawai, High-accuracy electromagnetic field simulation using numerical human body models, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 52, No. 3, 2016(査読有)
- [12] 杉本振一郎, 田上大助, 荻野正雄, 武居周, 金山寛, 階層型領域分割法による時間調和渦電流解析の収束性改善, 日本シミュレーション学会論文誌, Vol. 7, No. 1, pp. 11-17, April 2015(査読有)
- [13] A.M.M. Mukaddes, Masao Ogino, Ryuji Shioya, The study of thermal-solid coupling problems using open source CAE software, Procedia Engineering, Vol. 90, pp. 147-153, 2014(査読有)
- [14] 荻野正雄, 武居周, 野津裕史, 杉本振

- 一郎, 吉村忍, 高周波電磁界シミュレーションにおける複素対称行列向け反復法の性能評価, Transaction of JSCES, Vol. 2014, p. 20140017, 2014 (査読有)
- [15] Amane Takei, Kouhei Murotani, Shin-ichiro Sugimoto, Masao Ogino, Tomonori Yamada, Shinobu Yoshimura, Performance Evaluation of Parallel Finite Element Electromagnetic Field Analysis using Numerical Human Models, Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 127-140, 2014 (査読有)
- [16] Shin-ichiro Sugimoto, Masao Ogino, Amane Takei, Implementation and Acceleration of the HDDM for the Electromagnetic Field Problem, The 14th Asia Simulation Conference & The 33rd JSST Annual Conference: International Conference on Simulation Technology, 2pages, 2014 (査読有)
- [17] A.M.M. Mukaddes, Masao Ogino, Ryuji Shioya, Performance evaluation of domain decomposition method with sparse storage schemes in modern supercomputer, International Journal of Computational Methods, Vol. 11, Issue sup01, 2014 (査読有)
- [18] Amane Takei, Shin-ichiro Sugimoto, Masao Ogino, Shinobu Yoshimura, Hiroshi Kanayama, EMC analysis in a living environment by parallel finite element method based on the iterative domain decomposition method, Theoretical and Applied Mechanics Japan, Vol. 62, pp. 237-245, 2014 (査読有)
- [19] Amane Takei, Kohei Murotani, Shin-ichiro Sugimoto, Masao Ogino, Hiroshi Kawai, Performance Evaluation of Parallel Finite Element Electromagnetic Field Analysis using Numerical Human Models in HPCI, Proceedings of IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation 2014, 1pages, 2014 (査読有)
- [20] 荻野正雄, 領域分割法の対角スケールング前処理に関する考察, Transaction of JSCES, Vol. 2013, 20130013, 2013 (査読有)
- [21] Hiroshi Kanayama, Masao Ogino, Shin-ichiro Sugimoto, and Seigo Terada, Large-Scale Magnetostatic Domain Decomposition Analysis Based on the MINRES Method, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 49, No. 5, pp. 1565-1568, 2013 (査読有)
- [22] Masao Ogino, Amane Takei, Hirofumi Notsu, Shin-ichiro Sugimoto, Shinobu Yoshimura, Finite Element Analysis of High Frequency Electromagnetic Fields using a Domain Decomposition Method based on the COCR method, Theoretical and Applied Mechanics Japan, Vol. 61, pp.173-181, 2012 (査読有)
- [23] Masao Ogino, Shin-ichiro Sugimoto, Seigo Terada, Yanqing Bao, and Hiroshi Kanayama, A Large-scale Magnetostatic Analysis Using an Iterative Domain Decomposition Method Based on the Minimal Residual Method, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 16, No. 4, pp.496-502, 2012 (査読有)
- [学会発表](計133件)
- [1] Ogino, M., Takei, A., Sugimoto, S., A Domain Decomposition Method Based on an Algorithm of the MINRES method for High-Frequency Electromagnetic Field Analysis, CEFC2016, 2016, 米国・Hilton Miami Downtown hotel
- [2] Ogino, M., An Efficient Implementation of Parallel Scaled-BDD Method for Large-scale Structural Analysis, ICCM2016, 2016, 米国・UCバークレー
- [3] Ogino, M., Performance Evaluation of a Scaled-BDD on Distributed-Memory Parallel Computers, WCCM & APCOM 2016, 2016, 韓国・Coex Convention & Exhibition Center
- [4] 荻野正雄, 武居周, 杉本振一郎, MINRES-like_CS法を用いた高周波電磁界有限要素解析の収束性評価, 静止器/回転機合同研究会(電磁界数値計算技術), 2016, 石垣市商工会館
- [5] 荻野正雄, 榭井晃基, 倍々精度演算を用いた電磁界シミュレーションにおけるCOCG法の収束性改善, 第28回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 2016, 慶應義塾大学
- [6] Masao Ogino and Ryuji Shioya, Development of a library of iterative solvers based on the domain decomposition method, ICCM2015, 2015, ニュージーランド・Pullman Hotel
- [7] Masao Ogino, A Scaled-BDD Preconditioner for the Schur Complement Equation, USNCCM13, 2015, 米国・Manchester Grand Hyatt
- [8] Masao Ogino, Amane Takei, Hirofumi Notsu, Shin-ichiro Sugimoto, Shinobu Yoshimura, Development of an Iterative Method for Finite Element Analysis of High Frequency Electromagnetic Fields, FEF2015, 2015, 台湾・Regent Taipei
- [9] Masao Ogino, A Balancing Domain

- Decomposition Method Combined with a Diagonal-Scaling Preconditioning for Multi-Materials, ICCM2014, 2014, イギリス・Fitzwilliam Collegge
- [10] Masao Ogino, Balancing Neumann-Neumann preconditioner for a diagonal-scaled Schur complement equation, WCCM XI, 2014, スペイン・Palau de Congressos de Catalunya
- [11] 荻野正雄, 屋雄介, 坂将, 領域分割法ライブラリを用いたSchur補元方程式の収束性評価, 第19回計算工学講演会, 2014, 広島大学
- [12] Masao Ogino, Ryuji Shioya, Scalable Non-overlapping Domain Decomposition Method for Finite Element Simulations with 100 Billion Degrees of Freedom Model, COMPSAFE2014, 2014, Sendai International Center
- [13] 荻野正雄, Diagonal-scaled BDD法を用いた複合材料の並列有限要素解析, 日本機械学会第26回計算力学講演会, 2013, 佐賀大学
- [14] 荻野正雄, 塩谷隆二, 階層型領域分割法による1000億自由度並列有限要素解析, 第18回計算工学講演会, 2013, 東京大学
- [15] 荻野正雄, 屋雄介, 電磁場の有限要素解析におけるSchur補元方程式の収束性について, 第25回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 2013, 箱根ホテル小涌園
- [16] Masao Ogino, A Balancing Domain Decomposition Method Combined with Diagonal Scaling Preconditioner for Multi-materials, APCOM2013 & ISCM2013, 2013, シンガポール・IntreContinental Hotel
- [17] Masao Ogino, Ryuji Shioya, A Scalable and High Performance Implementation of the Domain Decomposition Method, ICCM2012, 2012, オーストラリア・Crowne Plaza Surfers Paradise
- [18] Masao Ogino, A Hybrid CPU-GPU Implementation of Finite Element Method based on the Domain Decomposition Method, PUCDIP2012, 2012, 西新プラザ
- [19] Masao Ogino, Shin-ichiro Sugimoto, Hiroshi Kanayama, Iterative domain decomposition solvers for 3D magnetostatic filed problems, KSME-JSME Joint Symposium on CM & CAE 2012, 2012, 金沢大学
- [20] Masao Ogino, Amane Takei, Hirofumi Notsu, Shin-ichiro Sugimoto, Shinobu Yoshimura, An iterative method based on the domain decomposition method for large-scale complex symmetric linear systems, WCCM2012, 2012, ブラジル・

- Hotel Transamerica Sao Paulo
- [21] 荻野正雄, 武居周, 杉本振一郎, 金山寛, 大規模電磁場解析に対する反復型領域分割法の収束性に関する数値的検討, 第62回理論応用力学講演会, 2013, 東京工業大学
- [22] 荻野正雄, 杉本振一郎, 金山寛, DDM-MINRES法による大規模非線形静磁場解析, 日本機械学会第25回計算力学講演会, 2012, 神戸ポートアイランド南地区
- [23] 荻野正雄, 塩谷隆二, MPI-OpenMPハイブリッド並列領域分割法による100億自由度規模有限要素解析, 日本機械学会第25回計算力学講演会, 2012, 神戸ポートアイランド南地区
- [24] 荻野正雄, 藤瀬遼平, 金山寛, 領域分割型有限要素法による線形弾性解析のGPU実装, 日本機械学会第25回計算力学講演会, 2012, 神戸ポートアイランド南地区
- [25] 荻野正雄, 武居周, 野津裕史, 杉本振一郎, 吉村忍, 大規模複素対称問題に適した反復型領域分割法の検討, 第17回計算工学講演会, 2012, 京都教育文化センター

〔図書〕(計1件)

- [1] High-Performance Computing for Structural Mechanics and Earthquake/Tsunami Engineering, Springer, 2015. (第1章を共同執筆)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.hpc.itc.nagoya-u.ac.jp/ogino/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荻野正雄 (OGINO MASAO)

名古屋大学・情報基盤センター・准教授
 研究者番号: 00380593

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし