

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11329

研究課題名(和文)メッシュレス法による微小スケール領域での電磁波伝搬シミュレーション

研究課題名(英文)Electromagnetic Wave Propagation Simulations in Microscopic Scale Domains by Meshless Method

研究代表者

伊東 拓 (ITO, Taku)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号：80433853

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず、微小領域において精細なメッシュで電磁波伝搬解析を行うために、異なるメッシュサイズのFDTD計算領域をMTDMで繋ぐ方法を提案した。近接場電子顕微鏡プローブ近傍の領域に適用し、電磁波伝搬シミュレーションを行った結果、FDTDとMTDMの接続部においても滑らかに電磁波が伝搬しており、285万ステップ以上破綻せず安定的にシミュレーションできる例を確認した。また、解析領域外に仮想節点を配置する方法により、境界近傍でもIMLSで生成された形状関数の値が自然に変化する例を確認した。MTDMでは、IMLS形状関数の微分が計算に用いられるが、微分の値の分布は本方法で特に改善が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

FDTDにおいて使用されることのあるサブグリッド法では、異なるサイズのメッシュの繋ぎ目で計算が不安定になり、場合によってはシミュレーションが数千ステップで破綻してしまうことがある。一方、本研究で提案したFDTDとMTDMを用いる方法を、サブグリッド法を適用したいがその不安定性から適用されてこなかった問題等に適用することで、メモリコストや演算コストを抑えつつ、安定的にシミュレーションをすることができると考えられる。また、仮想節点による形状関数生成法は他のメッシュレス法にも適用でき、不安定性の要因になり得るものの1つを排除できるため、今後メッシュレス法を活用できる場面が増える可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, to stably execute electromagnetic wave propagation simulations containing a micro domain with fine mesh, we have proposed a method to combine different-mesh-size FDTD-calculation domains, through a domain calculated by MTDM. The strategy has been applied to simulations around a probe of near-field scanning optical microscopy. The simulation results show that the electromagnetic wave smoothly propagates between domains calculated by FDTD and MTDM at least while 2850000 time-steps. In addition, to generate IMLS shape functions with a natural distribution even near the boundaries, we have proposed a strategy by arranging virtual nodes near the outside of boundaries. Note that the differentials of IMLS shape functions are required in MTDM-calculation steps practically. By using the strategy, the distributions for differentials of IMLS shape functions are particularly improved.

研究分野：数値解析，コンピュータグラフィクス

キーワード：メッシュレス法 電磁波伝搬シミュレーション MTDM 形状関数 ハイブリッド法 仮想節点 電磁シールド 発泡金属

1. 研究開始当初の背景

電磁波伝搬シミュレーションでは、Finite-Difference Time-Domain method (FDTD)がしばしば用いられる。一方、FDTDでは直交メッシュが通常必要となるため、複雑領域(曲がった導波管等)でのシミュレーションをする際に、領域形状を精度よく表すことは難しい。仮にメッシュを非常に細かくすれば領域形状の近似精度は上がるが、同時にシミュレーションにおける演算量とメモリ使用量も増加してしまう。

FDTDにおける演算量の増加を抑えるための方法として、サブグリッド法が知られている。この方法では、大きさの異なる矩形メッシュを採用し、計算精度を高める必要のある領域でのみ細かいメッシュを使用する方法である。一方、サブグリッド法におけるシミュレーションにおいて、下記のことを判明している。

- (1) 大きさの異なる矩形メッシュの繋ぎ目で計算が不安定になり、シミュレーションが破綻することがある。
- (2) サブグリッド法を使っても、滑らかな境界を高精度に表せるわけではない。

(1)については、場合によっては数千ステップで破綻してしまうため、長時間のシミュレーションにおいてサブグリッド法が採用されにくい要因となっている。すなわち、本来演算量やメモリ使用量が大きい大規模かつ長時間のシミュレーションで使用してこそ意味のあるサブグリッド法は、安定性の面で難があるため、実際には使用されるシーンは限られているのである。また、(2)については、サブグリッド法であってもあくまで矩形メッシュであるため、滑らかな境界形状に完全にフィットさせることはできない。したがって、複雑領域におけるFDTDを用いたシミュレーションでは、サブグリッド法を使っても使わなくても、境界形状が不完全であることから生じる離散化誤差が必ず含まれてしまうのである。

ここで、実際にサブグリッド法が適用されうる問題の例として、近接場電子顕微鏡における電磁波伝搬シミュレーションを説明する。近接場電子顕微鏡では、プローブ先端に非常に小さな穴が開いており、穴のサイズは $1\mu\text{m}$ 以下の場合が多い。高精度な計算が必要なプローブ先端部ではメッシュサイズを小さくし、プローブ上部に行くにつれて少し大きめのメッシュサイズにすることで、効率的なシミュレーションになる可能性はある。しかしながら、実際には全体のメッシュサイズをプローブ先端部で設定したサイズに合わせて全体で統一して計算を行っている[1]。これは、上記(1)で述べた不安定性を回避するためにサブグリッド法が採用されなかったと予想される。

研究代表者は、近接場電子顕微鏡におけるプローブのように、微小スケール(マイクロスケール以下を想定)の部品を含むようなデバイスにおけるシミュレーションに対して、サブグリッド法が本来適用されるべきであると考えている。しかしながら、実際には、演算量やメモリ使用量を削減できるというサブグリッド法の利点よりも不安定性の方が目立ってしまい、サブグリッド法の活躍の場は限定的になっているのである。

本研究では、「サブグリッド法によるFDTDよりも安定性と柔軟性が高く、長時間のシミュレーションに耐えうる方法」について調査を進める。近年、研究代表者らはメッシュレス法について研究を進めてきており、メッシュレス法に基づいた電磁波伝搬シミュレーション手法を我々はMeshless Time-Domain Method (MTDM)と呼んでいる。MTDMでは電場 E や磁場 H などの物理量を離散化する際、メッシュレス法で用いられる形状関数を使用することで直交メッシュを排除している。すなわち、メッシュレス法では、その名の通りそもそもメッシュという概念がなく、入力に節点のみであり、形状関数も節点のみから生成される。そのため、シミュレーションを行う領域の形状に沿って節点を配置可能であり、少ない節点数でも複雑領域を精度良く表せるのである。なお、節点は電場 E や磁場 H をそれぞれ展開するために、区別して配置される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、微小スケール領域における長時間の電磁波伝搬シミュレーションを安定的に行う数値計算手法を開発することである。本研究では主にMTDMを適用することを考えており、特に、サブグリッド法が適用されうる問題であったが、その不安定性から敬遠されてしまったような問題において、安定的にシミュレーションできるような手法を目指す。また、様々なシミュレーションへの展開も考慮し、微小領域を含む物体の形状モデリングについても検討する。

本研究の学術的独自性と独創性は、次の通りである。

- (1) 境界に沿って節点を配置可能なため、高精度に複雑な解析領域を表せる。
- (2) 複雑領域において、長時間のシミュレーションを安定的に実行可能である。

上記(1)をFDTDで実現するには、領域の複雑さにもよるものの、非常に細かいメッシュにする必要があり、爆発的な演算量とメモリ使用量の増加に繋がってしまう。一方、MTDMでは曲げ

のある導波管にフィットするように節点を配置可能であり、FDTD と比較して領域形状を高精度に再現できるのである。また、(2)については、MTDM では節点配置が柔軟にできるため、FDTD におけるサブグリッド法と同様の方針で、計算精度が必要なところの節点密度を高くし、その他では節点密度を低く抑えることで、演算量とメモリ使用量を抑えることもできると予想している。

また、研究代表者らは、近年、MTDM で使用する形状関数を従来のものから変更することで、MTDM の安定性を向上させることに成功している[2]。文献[2]において安定性の検証を行ったのはメートルスケールのシミュレーションであるものの、筆者は、本研究で対象とする微小スケールのシミュレーションにおいても、サブグリッド法と比較して安定性を高めることは可能であると予想している。なお、FDTD を活かせる場面も考えられるため、MTDM と FDTD の両方を用いる方法も視野に入れる。

3. 研究の方法

(1) MTDM で使用される形状関数生成についての検討

本研究でメッシュレス法として採用する MTDM では、形状関数生成が必須である。これまで、我々は **Interpolating Moving Least-Squares method (IMLS)** を使って形状関数生成することで、従来の方法よりも安定性を高めてきた[2]。これにより、シミュレーション領域形状が複雑な場合等において、従来よりも長時間のシミュレーションができることが多くなったものの、解析条件によってはしばらくしてから不安定になってしまう場合もあるため、MTDM の安定性をさらに高められるかについて検討を行う。その際、新しい形状関数生成方法について考えるだけでなく、MTDM において必要になる節点の配置が形状関数生成結果に影響を与えるため、適切な節点配置についても検討を行う。また、解析領域内部に節点を配置しただけでは、どのようにしても境界近傍における形状関数の分布が不自然になってしまうと考えられるため、解析領域外への節点配置についても検討する。

(2) 微小領域を含む領域におけるシミュレーションとその安定化

本研究では、近接場電子顕微鏡におけるプローブのように、微小スケールの部品を含むようなデバイス等におけるシミュレーションを主に想定し、安定的な電磁波伝搬シミュレーションを目指す。MTDM における適切な節点配置はあまり分かっていないため、第1段階としては、比較的単純な領域で FDTD のサブグリッド法に近い節点配置でシミュレーションを行い、安定的に計算できるか、反射が生じるか等について調査を行う。第2段階としては、MTDM では比較的柔軟な節点配置ができるため、計算精度が必要な領域、すなわち、解析領域の中でも特に微小な領域では節点密度を高くし、その他の領域では節点密度を低くしてシミュレーションを行うが、(1)に記載の通り、節点配置が形状関数生成結果にも影響を与えるため、出来るだけ急激な密度変化が生じないように少しずつ密度を変化させるようにし、第1段階と同様の調査を行う。

一方、MTDM は FDTD と比較して計算コストが高い傾向があるため、従来我々が提案してきた FDTD とメッシュレス法のハイブリッド法[2]を本研究に応用することも考える。FDTD で計算する部分では MTDM と比較して演算コストを抑えることができるため、全体としてシミュレーションの高速化も期待できるが、従来ハイブリッド法を適用してきた領域形状とは異なるため、FDTD 領域以外の MTDM 領域での節点配置をする際には、前述の第2段階における節点密度変化に関する調査を活用する。

加えて、上記デバイスとは別の視点での微小領域として、例えば、発泡金属における薄い壁等も挙げられる。発泡金属をシミュレーションに用いる場合、3D モデリング手法の検討も必要になることから、様々なシミュレーションへの展開も考慮して、発泡金属の主要な状態を表すことのできる方法についても考える。また、発泡金属は電磁シールドとして用いられることもあるため、同モデルを電磁シールドとして使用した際のシミュレーションも行う。

4. 研究成果

(1) MTDM で使用される形状関数生成について

MTDM では、節点から形状関数を生成する必要がある。また、生成された形状関数は MTDM の安定性に影響を及ぼす可能性がある。形状関数生成法として、本研究において主に使用している IMLS では、注目している節点とその近傍節点を使って形状関数を生成する。そのため、節点分布が一様でない場合、不自然な形状関数の値の分布になってしまう場合がある。具体的には、解析領域の境界近傍の節点に注目した場合、領域外には節点が存在しないため、近傍節点は片側に偏って存在することになる。本研究では、境界近傍の節点に注目し自然な値の分布の形状関数を生成するために、形状関数生成時のみ使用する仮想節点を境界近傍の領域外側に配置し、境界近傍でない節点に注目したときの形状関数と同様の分布にすることを目指した。

比較的簡易な例として直線導波管における電磁波伝搬解析を考え、境界近傍の外側に、境界線に対して内側の節点を対象に仮想節点を配置した。仮想節点により、形状関数生成時に節点分布が全方向に一様になり、境界近傍であっても、領域内部の節点に付随する形状関数と同様の分布になる例を確認した。MTDM では、シミュレーションを進める際に実際には形状関数の微分が必要になるが、微分の値は特に改善が見られた。仮想節点を使った場合でもシミュレーションは安定しており、数千万ステップ経過しても破綻なく計算できることも確認した。

(2) 微小領域を含む領域におけるシミュレーションとその安定化について

FDTD 法において使用されることのあるサブグリッド法では、異なるサイズのメッシュの繋ぎ目で計算が不安定になり、場合によってはシミュレーションが数千ステップで破綻してしまうことがある。一方、従来我々が提案していた FDTD と MTDM のハイブリッド法を応用し、異なるサイズの FDTD メッシュをメッシュレス法によって接続する方法を示した。本方法は、シミュレーション領域として、幅が一定でない導波路において、局所的に見ると矩形領域になるような部分が複数存在する場合に適用可能である。サブグリッド法との違いは、サイズの異なる FDTD メッシュを直接接続するのではなく、メッシュ間に MTDM での計算領域を設けていることである。近接場電子顕微鏡プローブ近傍の領域において、プローブ先端部の幅が $0.35\mu\text{m}$ 、プローブの上部の幅が $2\mu\text{m}$ の場合を想定し、プローブ先端部及び上部を矩形領域として本方法を適用した。その際、FDTD メッシュの分割数を、プローブ先端部及び上部の矩形領域において揃えた。また、MTDM による計算領域においても、横方向の節点数を FDTD メッシュの分割数と同数とし、MTDM の節点配置の柔軟性を活かし、先端部から上部に向かって領域形状に合わせて節点幅を少しずつ変更することで、2つの矩形領域のメッシュが自然に結合されるようにした。本方法による電磁波伝搬シミュレーションの結果、FDTD と MTDM の接続部においても視覚的には滑らかに電磁波が伝搬しており、285 万ステップ以上破綻せず安定的にシミュレーションできる例を確認した。

3次元問題への取り組みとしては、薄い壁面を微小領域として考えることのできる発泡金属の 3D モデリングについても検討し、主な 2つの状態である Closed-cell と Open-cell だけでなく、これらの中間形態も表すことのできる方法を提案した。また、発泡金属を電磁シールドとして使った際の 3次元シミュレーションも行った。評価実験では、球関数を用いた Open-cell の発泡金属モデルを電磁シールドとして採用し、2つのホーンアンテナの間に同モデルを配置して電磁波を発生させた。また、Open-cell の発泡金属モデルには穴が空いているが、本研究ではこの穴の直径が 2.5mm と 5mm の 2種類の場合で数値実験を行い、両方のモデルで 3-13GHz の範囲の電磁波が大幅に減衰されることを確認した。

<引用文献>

- [1] H. Nakamura et al., T. Saiki, H. Kambe, and K. Sawada, *Computer Physics Communications*, Vol. 142, pp. 464—467, 2001.
- [2] T. Itoh and S. Ikuno, *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 52, No. 3, 2016, Art. no. 7207404.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Y. Hanaoka, T. Itoh, K. Tateyama, S. Nakata, and K. Watanabe	4. 巻 132
2. 論文標題 Performance Evaluation of Electromagnetic Shield Constructed from Open-Cell Metal Foam Based on Sphere Functions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computer Modeling in Engineering & Sciences	6. 最初と最後の頁 43-53
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32604/cmescs.2022.016831	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Y. Hanaoka, T. Itoh, K. Tateyama, S. Nakata, and K. Watanabe	4. 巻 8
2. 論文標題 Shape Modelling of Metal Foams of Open/Closed States and their Intermediates by Implicit Function	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 143-153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15748/jasse.8.143	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 D. Takada, T. Itoh, M. Kobayashi, and H. Nakamura	4. 巻 16
2. 論文標題 A Mesh-Generation Scheme for the Large Helical Device Based on the Structure of Magnetic-Field Lines	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 Art.no. 2401086
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1585/pfr.16.2401086	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Y. Hanaoka, T. Itoh, S. Nakata, and K. Watanabe	4. 巻 7
2. 論文標題 Sphere-Function-Based Shape Modelling of Open Cell Metal Foam with Plateau Borders	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 89-101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15748/jasse.7.89	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Y. Hanaoka, M. Nojiri, T. Itoh, S. Nakata, and K. Watanabe	4. 巻 6
2. 論文標題 Three-Dimensional Shape Modelling of Metal Foam with Rounded Cells by Implicit Surfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 195-214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.6.195	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Fujita, S. Ikuno, T. Itoh, and H. Nakamura	4. 巻 55
2. 論文標題 Modified Improved Interpolating Moving Least Squares Method for Meshless Approaches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 Art.no. 7203204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2019.2900374	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Matsumoto, Y. Fujita, T. Itoh, K. Abe, and S. Ikuno	4. 巻 6
2. 論文標題 Improvement of Convergence Property of Communication Avoiding Conjugate Gradient Method for Linear System Obtained from Meshless Approaches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 43-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.6.43	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 T. Yamashita, T. Itoh, and H. Tadano
2. 発表標題 A Parallelization Strategy for Incomplete Decomposition-based Preconditioning for Solving Linear Systems
3. 学会等名 JSST 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 花岡佑哉, 伊東拓, 立山耕平, 仲田晋, 渡辺佳子
2. 発表標題 陰関数を用いたopen-cellの発泡金属の形状モデリング及び電磁シールドへの応用
3. 学会等名 2020年度非線形問題の解法と可視化に関する研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Fujita, T. Itoh, S. Ikuno, and S. Nakata
2. 発表標題 Moving Least Squares Approximation with Chebyshev Nodes for Meshless Approaches
3. 学会等名 ICCES 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Fujita, S. Ikuno, T. Itoh, and S. Nakata
2. 発表標題 Condition Number Reduction for An Eigenvalue Problem using Meshless Approach
3. 学会等名 CEFC 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Morishita, A. Matsumoto, Y. Fujita, T. Itoh, K. Abe, and S. Ikuno
2. 発表標題 Numerical Evaluations of Adaptive k-skip Mister R for Linear System Obtained from Electromagnetic Analysis
3. 学会等名 CEFC 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. Itoh, Y. Hanaoka, Y. Fujita, S. Ikuno, and H. Nakamura
2 . 発表標題 Virtual Nodes for Generating Natural Shape Functions for Electromagnetic Wave Propagation Simulation by Meshless Time-Domain Method
3 . 学会等名 CEFC 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Hanaoka, T. Itoh, S. Nakata, and K. Watanabe
2 . 発表標題 Modelling of Open Cell Metal Foam with Plateau Borders by Implicit Surfaces
3 . 学会等名 CEFC 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 D. Takada, T. Itoh, M. Kobayashi, and H. Nakamura
2 . 発表標題 Study on Mesh Generation Scheme Based on Structure of Magnetic Field Lines for Large Helical Device
3 . 学会等名 ITC-29 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Hanaoka, T. Itoh, S. Nakata and K. Watanabe
2 . 発表標題 Shape Modelling of Plateau Borders of Metal Foam by Implicit Surface
3 . 学会等名 JSST 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Yagi, Y. Hanaoka, D. Takada and T. Itoh
2 . 発表標題 Implicit Function Generated by Piecewise Polynomial and Radial Basis Function
3 . 学会等名 JSST 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 A. Matsumoto, Y. Fujita, T. Itoh, K. Abe and S. Ikuno
2 . 発表標題 Numerical Evaluations of Variable k-skip MrR Method
3 . 学会等名 JSST 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 A. Matsumoto, S. Ikuno, T. Itoh, Y. Hanaoka, Y. Fujita, and H. Tadano
2 . 発表標題 Numerical Evaluation of Communication Avoiding CG and MrR
3 . 学会等名 11th Symposium on ``Discovery, Fusion, Creation of New knowledge by Interdisciplinary Computational Sciences'' (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Fujita, T. Itoh, H. Nakamura, and S. Ikuno
2 . 発表標題 Numerical Evaluations of Meshless Time-Domain Method for Electromagnetic Analysis using Various Shape Functions
3 . 学会等名 ISEM 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Itoh, Y. Fujita, S. Ikuno, and H. Nakamura
2. 発表標題 Electromagnetic Wave Propagation Simulation in a Domain Containing Different Size FDTD Meshes by Connection Strategy Using MTDM
3. 学会等名 ISEM 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松元朗, 藤田宜久, 伊東拓, 阿部邦美, 生野壮一郎
2. 発表標題 並列処理を前提とした通信回避Krylov部分空間解法の収束特性と性能評価
3. 学会等名 日本応用数学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 花岡佑哉, 伊東拓, 仲田晋, 渡辺圭子
2. 発表標題 陰関数曲面による発泡金属のソリッドモデル生成
3. 学会等名 日本応用数学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Matsumoto, Y. Fujita, T. Itoh, K. Abe, and S. Ikuno
2. 発表標題 Variable Preconditioned Mister R for Linear System Obtained by Edge Element Premise on Parallelization
3. 学会等名 Compumag 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Matsumoto, T. Itoh, and S. Ikuno
2. 発表標題 Numerical Evaluations of Parallelization Efficiencies of Communication Avoiding Krylov Subspace Method for Large Sparse Linear System
3. 学会等名 ICCES 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Itoh and S. Ikuno
2. 発表標題 Investigation of Block Krylov Subspace Methods with Dummy Right-hand Sides for Solving Linear Systems Obtained by Extended Element-Free Galerkin Method
3. 学会等名 ICCES 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田宜久, 伊東拓, 生野壮一郎, 中村浩章
2. 発表標題 メッシュレス法を用いた2次元の電磁場解析
3. 学会等名 【非線形問題の解法と可視化に関する研究会】 2018 年度第 2 回研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Itoh, Y. Fujita, S. Ikuno, and H. Nakamura
2. 発表標題 Stable Simulation of Electromagnetic Wave Propagation in Tapered Waveguide by Meshless Time-Domain Method
3. 学会等名 CEFC 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Matsumoto, T. Itoh, Y. Fujita, H. Tadano, S. Ikuno and Y. Hanaoka
2 . 発表標題 Convergence Property Improvement and Evaluation of k-skip Conjugate Gradient Method
3 . 学会等名 10th Symposium on “Discovery, Fusion, Creation of New knowledge by Interdisciplinary Computational Sciences” (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Hanaoka, M. Nojiri, T. Itoh, S. Nakata, and K. Watanabe
2 . 発表標題 Three-Dimensional Shape Modelling of Metal Foam with Rounded Cells by Implicit Surfaces
3 . 学会等名 JSST 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Fujita, S. Ikuno, T. Itoh and H. Nakamura
2 . 発表標題 Modified Improved Interpolating Moving Least Squares Approximation for Element-free Galerkin Methods
3 . 学会等名 JSST 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Ikuno, A. Matsumoto, Y. Fujita and T. Itoh
2 . 発表標題 Improvement of Convergence Property of Communication Avoiding Krylov Subspace Method
3 . 学会等名 JSST 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 松元朗, 藤田宜久, 伊東拓, 生野壮一郎
2. 発表標題 通信回避アルゴリズム付き共役勾配法の収束改善
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊東拓, 藤田宜久, 生野壮一郎, 中村浩章
2. 発表標題 微小スケール領域における電磁波伝搬解析へのメッシュレス法の適用
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関