

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 10 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06401

研究課題名（和文）複合物理計算を用いた電磁波によるスピン波制御の解明と次世代省電力素子の創生

研究課題名（英文）Multiphysics simulation for spin wave control by using electromagnetic waves and development of next-generation power-saving devices

研究代表者

大貫 進一郎 (OHNUKI, Shinichiro)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：80386002

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：電磁波によりスピン波を制御可能な次世代省電力デバイスの創生に向けて、磁化のダイナミクスを考慮した新規複合物理計算法を開発した。電磁波と磁性材料の相互作用を高速高精度かつロバストに扱うことが可能な提案手法は、電磁波の時間応答解析を行う電磁界ソルバーと、磁化のダイナミクスなどを扱う磁性ソルバーとを連成することで実現した。

開発した複合物理計算法を用いて、印加した電磁波によるスピン波の励起及び伝搬制御を解明し、散乱電磁波によるスピン波の非接触検出法を提案した。省電力デバイスは複合物理シミュレーションにより設計を行い、デバイスの基礎検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電磁波と磁性・スピン・熱などの複合物理現象を統一かつ高精度に扱うことが可能な計算法を開発した。本研究成果は、広帯域に渡る電磁波と物質の相互作用に対して、高速高精度かつロバスト性の高い複合物理シミュレーションが実現できる点に学術的意義がある。また開発した複合物理計算法を用いることで、電磁波によるスピン波励起・伝搬制御の解明、スピン波の非接触検出法の提案、次世代の省電力デバイスのシミュレーション設計を実現した。

本研究グループ内で複合物理計算法の開発、新規物理現象の解明、省電力デバイスの設計から基礎検証までを一貫して実施し、これらブレークスルー技術を開発した点に社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：A novel computational method has been developed for multiphysics simulation of designing next-generation power-saving devices controlled by spin wave and electromagnetic wave. Our computational method has been realized by the combination of electromagnetic and material solvers and the interaction between electromagnetic waves and magnetic material with magnetization dynamics can be considered.

To perform our multiphysics simulation, power-saving devices have been designed and verified. We have clarified excitation and propagation control of spin waves by using electromagnetic waves and established a new technique of non-contact spin-wave detection. Furthermore, a proposed magnetic device has been fabricated and fundamental verification has been performed.

研究分野：計算電磁気学

キーワード：複合物理計算 電磁波 スピン波 磁化のダイナミクス 有限差分法 時間応答解析 マックスウェル方程式 LLG方程式

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、電磁波をマックスウェル方程式、物質をシュレディンガー方程式により解析する複合物理計算を実現したが、電磁波と磁化のダイナミクスを統一かつ高精度に扱う複合物理計算手法は存在しなかった。電磁波と磁化との相互作用を応用した次世代省電力デバイスの実験的な研究が盛んに検討され始めた当時、デバイスの効率的な設計及び検証を行うために、複合物理計算によるシミュレーション法の開発が急務であった。それまでの電磁界解析における磁性材料の考慮は、ある一方向に対して磁化の定常回転を仮定し、テンソル表示を用いた透磁率変化として、その効果を組み込むことが一般的であった。このため、磁性体の飽和方向が時間的に変化する問題や磁化の非線形性を記述することは極めて困難であった。これらの状況を踏まえ、広帯域に渡る電磁場と磁性材料の相互作用に対して、高速高精度かつロバスト性の高い複合物理計算法の開発が望まれていた。本研究では、電磁波と磁化のダイナミクスを統一かつ高精度に扱う新規複合物理計算法の開発を目的とし、印加した電磁波によるスピン波の励起・伝搬制御を計算科学的に解明し、ジュール熱損失のない次世代省電力スピンデバイスの設計及び検証に向けて研究を開始した。

### 2. 研究の目的

電磁波によりスピン波の励起及び伝搬を制御する次世代省電力デバイスの創生に向けて、新規複合物理計算法の開発、複合物理シミュレーションによる省電力デバイスの設計及びその検証を目的とした。電磁波と磁性材料の相互作用を高速高精度かつロバストに扱う提案手法は、電磁波の時間応答解析を行う電磁界ソルバーと、磁化のダイナミクスを考慮できる磁性ソルバーとを連成することで実現した。開発した複合物理計算法を用いて、電磁波によるスピン波の励起方法及び伝搬制御法を解明し、スピン波を利用する省電力デバイスの創生に向けた技術を確立した。

本研究では、主に3つの課題、(1) 広帯域複合物理計算法の開発、(2) 電磁波によるスピン波励起及び伝搬制御、(3) スピン波を利用する省電力デバイスの設計及び検証、に取り組むことで目的を達成した。

#### (1) 広帯域複合物理計算法の開発

本課題では、マイクロ波から可視光領域をカバーする広帯域な電磁界ソルバーと、物質の磁性・スピン・熱などを解析できる磁性ソルバーとを連成し、時空間同時解析可能な複合物理計算法の実現を目的とした。これにより、電磁波と磁性材料との様々な相互作用を考慮できる、高速高精度かつロバストな数値解析を実現した。また、本研究費で購入したクラスタコンピュータ用の並列計算手法を新たに開発し、計算の高速化も併せて実現した。

電磁界と磁化の相互作用を表現するために、電磁界の支配方程式であるマックスウェル方程式と磁化のダイナミクスを表現できる Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式の時空間同時解析を、差分法を適用して実現した。差分法では、時間離散間隔の上限が空間分解能に依存するため、数値的に安定な解析を行うためには時間離散間隔を制限する必要があった。磁性デバイスの詳細なモデル化に伴い、計算時間は膨大となるトレードオフが存在したため、磁性材料の空間離散間隔を徐々に変化させて電磁界ソルバーに接続するマルチスケールモデリングを提案し、計算時間の削減を図った。

#### (2) 電磁波によるスピン波励起及び伝搬制御

電磁波と磁性材料の相互作用を高速高精度かつロバストに扱うことが可能な提案手法は、電磁界の時間応答解析を行う電磁界ソルバーと、磁化のダイナミクス等を考慮できる磁性ソルバーとを連成することで実現した。この広帯域な複合物理計算法を用いて、電磁波によるスピン波励起及び伝搬制御の解明を目的とした。磁性材料の外部領域から電磁波の印加を想定し、入射する電磁波の周波数変化による磁性材料の特性、交換相互作用などを考慮して複合物理シミュレーションを行った。電磁波とスピン波の相互作用を、電磁パルス、磁化のダイナミクスの非線形性などの観点から検討し、電磁波入射によるスピン波の励起及び伝搬制御、散乱された電磁波による磁性材料内部のスピン波の非接触検出法を確立した。

#### (3) スピン波を利用する省電力デバイスの設計及び検証

スピン波を利用した、ジュール熱損失のない次世代省電力デバイスを複合物理計算法によりシミュレーション設計し、実験による基礎検証を行った。本研究で開発した複合物理シミュレーションを行うことで、磁性材料中におけるスピン波の励起、外部印加した電磁パルスによりスピン波の振幅及び位相を制御可能なデバイスを設計した。スピン波と電磁波との相互作用を複合物理解析することで、スピン波励起及び伝搬制御素子、非接触でのスピン波検出用素子のシミュレーション設計と実験による基礎検証を目的とした。

### 3. 研究の方法

広帯域複合物理計算法の開発、電磁波によるスピン波励起及び伝搬制御、スピン波を利用する省電力デバイスの設計及び検証、それぞれの研究課題に対して、次の方法により研究を行った。

#### (1) 広帯域複合物理計算法の開発

磁化の歳差運動を表す Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) 方程式と、電磁波の支配方程式であるマックスウェル方程式を FDTD (Finite-Difference Time-Domain) スキームに組み込み、両者を連成することで時空間同時解析を実現した。FDTD スキームでは、解析領域全体を微小矩形セルに分割する。差分近似により得られる電界  $E$ 、磁界  $H$ 、磁束密度  $B$ 、および磁化  $M$  の各成分は、電磁界解析で広く用いられる FDTD 法と同様の Yee セルに配置した。中心差分の定式化を用いるため、電界  $E$  と磁化  $H$  は空間的に交互に配置し、マックスウェル方程式と LLG 方程式が同じ空間離散間隔で計算できるように磁化  $M$  を配置した。

磁化のダイナミクスを記述する LLG 方程式および電磁界の時間変化を記述するマックスウェル方程式において、複数のレイヤーに分割して空間離散間隔を徐々に変化させるマルチスケールモデリングを開発し、複合物理計算の高速化を実現した。開発手法を用いて電磁界と磁化の相互作用を計算することで、ナノスケールの磁性膜内部に生じる磁化のダイナミクスとそれによって生じる電磁界の複合解析を実現可能とした。また、電磁界解析ソルバー、熱解析ソルバーとして、複素周波数領域の有限差分法と数値逆ラプラス変換を併用する、高効率な並列計算法を併せて開発した。本研究費で購入したハイパフォーマンスコンピュータ用に開発コードを改良し、大規模な複合物理問題へ適用した。

#### (2) 電磁波によるスピン波励起及び伝搬制御

電磁波と磁性材料の相互作用を高速高精度かつロバストに扱うことが可能な複合物理解析を用いて、従来からのスピン偏極電流に代わる、電磁パルス印加によるスピン波励起方法を複合物理計算により解明した。電磁波のスペクトルが広帯域に渡る磁性材料の特性は、磁気共鳴、交換相互作用などの観点から考慮し、スピン波の励起及び伝搬制御法を検証した。具体的なシミュレーション設定として、磁性材料の外部領域からの電磁波印加を想定し、電磁波の周波数変化による磁性材料特性、磁化間の交換相互作用を考慮した。電磁波とスピン波の相互作用は、電磁パルスの形状、磁化のダイナミクスの非線形性などの観点から検討し、入射電磁波によるスピン波の励起及び伝搬制御、散乱電磁波による磁性材料内部を伝搬するスピン波の非接触検出法を検証した。

#### (3) スピン波を利用する省電力デバイスの設計及び検証

スピン波を利用する、ジュール熱損失のない次世代省電力デバイスを複合物理計算法によりシミュレーション設計及び検証した。外部からの電磁波印加によるスピン波の励起及び伝搬制御で得られた結果より、磁性材料中におけるスピン波の励起、印加する電磁パルスによるスピン波の振幅及び位相を制御可能なデバイスを設計した。次に、スピン波モードに対する干渉条件を確立し、複数のスピン波干渉を実現するデバイスをシミュレーション設計し、動作特性を検証した。また、磁性薄膜の磁気異方性および磁化のダイナミクス、シミュレーション設計した測定回路及びベクトルスペクトラムアナライザを用いた実験により、スピン波の基礎検証を試みた。

### 4. 研究成果

#### (1) 広帯域複合物理計算法の開発

磁化の歳差運動を表す LLG 方程式と電磁界の支配方程式であるマックスウェル方程式を差分法により時空間で同時解析する手法を開発した。開発法は、磁化のダイナミクスと電磁界との相互作用を考慮した複合物理計算が可能であり、複雑な磁化の挙動と電磁界との相互作用を考慮できる数値解析を実現した。また、電磁界解析及び熱解析用のソルバーには、複素周波数領域の有限差分法と数値逆ラプラス変換法を併用する、高効率な並列計算法を併せて開発した。本研究費で購入したハイパフォーマンスコンピュータ用に開発コードを改良し、大規模な複合物理問題に適用した。

一般的な差分法においては、物理現象を安定的に解析するため、空間離散間隔に応じて時間離散間隔を制限する必要がある。電磁波とスピン波の複合物理解析においては、電磁界ソルバーに比べて磁性ソルバーでの空間離散間隔が一般的に小さくなる。これに伴い時間離散間隔が小さくなることで、結果として時間応答波形を求める計算コストが膨大となる問題に直面した。この問題を解決するために、磁性材料の空間離散間隔を段階的に変化させて電磁界ソルバーと連成し、磁化の相互作用を効率よく解析できる、マルチスケールモデリング法を新たに開発した。本手法を適用することで、時間離散間隔の制限が緩和され、計算コストの大幅な削減が可能となった。開発法は、計算精度を保ったまま、コンピュータ 1 台あたり、最大で 20 倍程度の高速化を実現した。併せて、数値逆ラプラス変換を用いて、磁化との相互作用を考慮した高精度な電磁波の時間応答参照界を導出した。この界を利用することで、様々な数値解析法の信頼性を検証することが可能となった。

開発手法の有用性を示すために、磁性膜に平面電磁波を入射し、透磁率をテンソル形式で考慮した従来法と、時空間での複合物理計算を実行する開発法とを比較した。磁化の非線形性が発現しない条件において両者の結果は一致した。これに対し、高強度な電磁波を入射した磁性体の非

線形性を発現するモデルでは、両者の結果に差異が確認され、開発法でのみ信頼性の高い結果が得られた。

### (2) 電磁波によるスピン波励起及び伝搬制御

開発した複合物理計算法を用いて、複雑な挙動を有する磁化のダイナミクスと電磁界との相互作用の解析を行い、外部からの印加磁界により、ある一方向に飽和した磁性薄膜のモデルに対する解析を検証した。磁性薄膜内の磁化にある初期分布を与えたところ、薄膜中では磁化間の相互作用により複数のスピン波モードの存在を明らかにした。

磁性薄膜内における磁化の過渡的な変化が外場である散乱電磁波に及ぼす影響を、複合物理解析により検証を行った。磁性薄膜と外部の観測点における磁界の時間応答解析より、スピン波の影響は散乱電磁波のひずみ波成分として検出できることを明らかにし、薄膜内部の磁化特性に対する新規非接触計測法を考案した。散乱電磁波の時間応答波形をフーリエ変換することで、磁性体内のスピン波成分を検出し、磁性膜内を伝搬するスピン波のモード分離を行った。また、磁性体内における磁化の初期分布を変化させることで、磁性薄膜中の磁化間の相互作用により支配的なスピン波モードに対応した定在波が生じることを明らかにした。

高速高精度な解析を可能とするマルチスケールモデリング法を用いて、より詳細な磁性モデリングが必要となる、ナノスケールの磁性体における電磁界との相互作用を検証した。磁化間の交換相互作用を考慮した解析により、電磁波照射によるスピン波励起、選択的なスピン波モード励起及び分離、磁性体内のスピン波伝搬など、新規複合物理解析の観点から明らかにした。

### (3) スピン波を利用する省電力デバイスの設計及び検証

開発した新規複合物理解析法にマルチスケールモデリングを併用して、スピン波励起素子を設計した。スピン波を効率よく励起できるアンテナ形状、磁性材料を数値実験により最適化を行った。研究協力者の下、磁性薄膜を作成し、磁気異方性および磁気ダイナミクスの測定から、実験的にスピン波励起の基礎検証を試みた。シミュレーション設計した測定回路及びベクトルスペクトラムアナライザを用いた実験により、磁性薄膜中のスピン波励起、スピン波伝搬の可能性を明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 大貫 進一郎	4. 巻 J103-C
2. 論文標題 高速逆ラプラス変換を用いた電磁界時間応答解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌 C	6. 最初と最後の頁 203-210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 S. Masuda, S. Kishimoto, and S. Ohnuki	4. 巻 8 (1)
2. 論文標題 Reference Solutions for Time Domain Electromagnetic Solvers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 44318-44324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.2977382	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. Ashizawa, K. Bando, S. Ohnuki, K. Nakagawa	4. 巻 59
2. 論文標題 Annealing temperature dependence of Ag-Co single layer films on magneto-plasmonic effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab6509	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 齊藤 日菜, 弘中 祐哉, 芦澤 好人, 中川 活二	4. 巻 140
2. 論文標題 有機金属分解法で作製した(YRb)3(FeGa)5O12磁性ガーネット膜の磁気異方性および磁気動特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A (基礎・材料・共通部門誌)	6. 最初と最後の頁 119-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.140.119	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 呉 迪, 浜島 功, 井上 修一郎, 大貫 進一郎	4. 巻 J103-C
2. 論文標題 複素周波数領域有限差分法によるプラズモニック導波路の設計及び特性検証	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌 C	6. 最初と最後の頁 69-77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 安田拓弥, 増田宗一郎, 田中和幸, 岸本誠也, 大貫進一郎	4. 巻 119
2. 論文標題 マルチスケールモデリングを用いた電磁界と磁化の高速複合解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 151-154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 安田拓弥, 田中和幸, 岸本誠也, 大貫進一郎	4. 巻 119
2. 論文標題 電磁界と磁化のダイナミクスのマルチスケール解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 201-204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 田丸幸寛, 呉迪, 岸本誠也, 芦澤好人, 中川活二, 大貫進一郎	4. 巻 119
2. 論文標題 混合薄膜の光学応答解析 - クレッチマン配置における 薄膜構造 とプラズモン励起	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 45-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 K. Nakagawa, K. Kimura, Y. Hayashi, K. Tamura, Y. Ashizawa, S. Ohnuki	4. 巻 57
2. 論文標題 Design for Cooling Near-Field Transducer Using Surface Plasmon Polariton Waveguide for Heat Assisted-Magnetic Recording	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Applied Physics	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.09TB01	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 S. Ohnuki, R. Ohnishi, D. Wu, T. Yamaguchi	4. 巻 30
2. 論文標題 Time-Division Parallel FDTD Algorithm	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Technology Letters	6. 最初と最後の頁 2143-2146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LPT.2018.2879365	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. Wu, R. Ohnishi, R. Uemura, T. Yamaguchi, S. Ohnuki	4. 巻 30
2. 論文標題 Finite-Difference Complex-Frequency-Domain Method for Optical and Plasmonic Analyses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Technology Letters	6. 最初と最後の頁 1024-1027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LPT.2018.2828167	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 種田亮太, 大貫進一郎	4. 巻 117(408)
2. 論文標題 マイクロマグネティクス計算によるMAMR多層記録の検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 89-92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 大西峻平, 呉 迪, 山口隆志, 大貫進一郎	4. 巻 118
2. 論文標題 FILT法による時間領域並列アルゴリズムの開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 81-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 呉 迪, 山口隆志, 大貫進一郎	4. 巻 118
2. 論文標題 複素周波数領域有限差分法による表面プラズモンの時間応答解析 - 光アンテナ・導波路設計への応用 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 119-122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 田中和幸, 大貫進一郎	4. 巻 117(289)
2. 論文標題 磁化のダイナミクスを考慮した電磁界解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 121-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 呉迪, 山口隆志, 大貫進一郎	4. 巻 117(37)
2. 論文標題 複素周波数領域有限差分法による電磁界散乱解析 - 数値逆ラプラス変換の併用及び時間応答 -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 5-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 大貫進一郎, 大西峻平, 立澤圭輔, 山口隆志, 芦澤好人, 中川活二	4. 巻 117(142)
2. 論文標題 プラズモニックアンテナによる局所偏光制御	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 101-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計73件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 31件)

1. 発表者名 安田拓弥, 田中和幸, 岸本誠也, 大貫進一郎
2. 発表標題 電磁界と磁化の高速複合解析法を用いた磁化特性解析
3. 学会等名 2020電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田丸幸寛, 呉迪, 岸本誠也, 芦澤好人, 中川活二, 大貫進一郎
2. 発表標題 表面プラズモンを用いた磁気センサ開発に向けた光学応答
3. 学会等名 2020電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 東貴範, 岸本誠也, 大貫進一郎
2. 発表標題 磁性剛体球の回転軸制御に向けた基礎検討
3. 学会等名 2020電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中沢佑, 大西峻平, 呉迪, 岸本誠也, 柴山純, 山内潤治, 大貫進一郎
2. 発表標題 陰解法を用いた時間分割並列計算による電磁界解析
3. 学会等名 2020電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田宗一郎, 岸本誠也, 大貫進一郎
2. 発表標題 高速逆ラプラス変換法による電磁界分布の参照解 -FDTD法の精度検証
3. 学会等名 2020電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西野将平, 岸本誠也, 大貫進一郎
2. 発表標題 熱伝導解析における時分割並列計算の基礎検討
3. 学会等名 2020電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朱権, 田丸幸寛, 呉迪, 岸本誠也, 大貫進一郎
2. 発表標題 表面プラズモンの解析画像を用いた金属材料推定-CNNによる画像認識
3. 学会等名 2020電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田拓弥, 田中和幸, 岸本誠也, 大貫進一郎
2. 発表標題 Analysis of Electromagnetic Field Combined with Magnetization Dynamics; Acceleration Using Multiscale Modeling
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Yasuda, K. Tanaka, S. Kishimoto, S. Ohnuki
2. 発表標題 Multiscale Modeling for Electromagnetic Field and Magnetization Dynamics Analysis
3. 学会等名 2019 URSI-Japan Radio Science Meeting (URSI-JRSM 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nakagawa, and Y. Ashizawa
2. 発表標題 Surface Plasmon for Magnetic Devices
3. 学会等名 The 3rd International Baltic Conference on Magnetism (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村鴻介, 芦澤好人, 中川活二
2. 発表標題 スピン波の伝搬方向制御に向けた金属周期凹凸構造による表面プラズモン集光器の構造検討
3. 学会等名 電気学会マグネティクス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宇田川嵩登、芦澤好人、中川活二
2. 発表標題 磁気表面プラズモン効果用Ag/Fe <sub>100-x</sub> -Gdx/Ag 三層薄膜構造の設計
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Hamashima, D. Wu, S. Kishimoto, S. Inoue, and S. Ohnuki
2. 発表標題 Investigation of Plasmon Modes for a Thin-metal Waveguide Using Grating Structure
3. 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Nishino, S. Masuda, S. Kishimoto, and S. Ohnuki
2. 発表標題 Time-domain Analysis of Heat Conduction Using Fast Inverse Laplace Transform
3. 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Masuda, S. Kishimoto, and S. Ohnuki
2. 発表標題 Reference Solutions of Time-domain Electromagnetic Responses - Accuracy Verification of Finite-difference Methods
3. 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Ohnuki, D. Wu, S. Masuda, S. Kishimoto
2 . 発表標題 Frequency and Time Analysis of Electromagnetic Waves Based on Complex-Frequency-Domain Techniques
3 . 学会等名 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Wu, T. Yamaguchi, S. Inoue, and S. Ohnuki
2 . 発表標題 Time-division Efficient Parallel Algorithm for Designing Metallic Slabs for Quantum Walk
3 . 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Wu, K. Hamashima, N. Namekata, S. Inoue, and S. Ohnuki
2 . 発表標題 Design of Plasmonic Devices by a Time-frequency Domain Analysis Using the FDCFD-FILT Method
3 . 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Masuda, S. Kishimoto, and S. Ohnuki
2 . 発表標題 Time-Domain Reference Solutions of Electromagnetic Responses for Dielectric Spheres
3 . 学会等名 2019 URSI-Japan Radio Science Meeting (URSI-JRSM 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Tamaru, S. Kishimoto, Y. Ashizawa, and K. Nakagawa, and S. Ohnuki
2 . 発表標題 Analysis of Surface Plasmons in Kretschmann Configuration -Influence of Structure and Composition Ratio
3 . 学会等名 2019 URSI-Japan Radio Science Meeting (URSI-JRSM 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Nishino, S. Masuda, S. Kishimoto, and S. Ohnuki
2 . 発表標題 Heat Conduction Analysis Using Fast Inverse Laplace Transform Method
3 . 学会等名 2019 URSI-Japan Radio Science Meeting (URSI-JRSM 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Ohnuki, R. Ohnishi, D. Wu, T. Yamaguchi
2 . 発表標題 Novel Parallel Finite-Difference Method for Designing Plasmonic Devices
3 . 学会等名 URSI Commission B International Symposium on Electromagnetic Theory (EMTS 2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 D. Wu, Y. Ando, S. Masuda, S. Nishino, R. Ohnishi, T. Yasuda, S. Ohnuki
2 . 発表標題 Complex-Frequency-Domain Analysis of Electromagnetic Waves
3 . 学会等名 URSI Commission B International Symposium on Electromagnetic Theory (EMTS 2019) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 西野将平, 増田宗一郎, 岸本誠也, 大貫進一郎
2. 発表標題 FILT 法による熱伝導解析の計算精度
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田丸幸寛, 岸本誠也, 芦澤好人, 中川活二, 大貫進一郎
2. 発表標題 クレッチマン配置を用いた表面プラズモン解析-組成比と構造による励起強度の関係
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Ohnuki, M. Endo, K. Hamashima, R. Ohnishi, N. Taniguchi, T. Tamaru, D. Wu, R. Ozaki, S. Inoue,
2. 発表標題 Efficient Finite Difference Schemes for Designing Electromagnetic Devices
3. 学会等名 International Union of Radio Science, Asia Pacific Radio Science Conference (URSI AP-RASC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Ohnuki
2. 発表標題 Time-Division Parallel Algorithm for Electromagnetic Wave Analysis
3. 学会等名 International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Yasuda, K. Tanaka, S. Ohnuki
2 . 発表標題 Analysis of Electromagnetic Fields Combined with Magnetization Dynamics
3 . 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2018) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 R. Ohnishi, D.Wu, T. Yamaguchi, S. Ohnuki
2 . 発表標題 Numerical Accuracy of Finite Difference Methods
3 . 学会等名 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2018) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 D. Wu, R. Ohnishi, T. Yamaguchi, S. Ohnuki
2 . 発表標題 Time-Frequency Analysis of Electromagnetic Wave Using a Perfectly Parallel Algorithm
3 . 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2018) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 D. Wu, T. Yamaguchi, S. Ohnuki
2 . 発表標題 EM Analysis of Electromagnetic Devices Using Finite-Difference Complex-Frequency-Domain Method
3 . 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2018) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年



1 . 発表者名 S. Masuda, M. Endo, R. Ohnishi, S. Ohnuki
2 . 発表標題 Time-Domain Reference Solutions of Near-Field EM Waves Using Fast Inverse Laplace Transform
3 . 学会等名 Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 D. Wu, T. Yamaguchi, S. Ohnuki
2 . 発表標題 Efficient Near-Field Analysis Based on Finite-Difference Scheme and Fast Inverse Laplace Transform
3 . 学会等名 URSI Atlantic Radio Science Conference (ATRASC 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Ohnuki, S. Masuda, M. Endo, R. Ohnishi
2 . 発表標題 Precise Time-Domain Electromagnetic Responses Using Fast Inverse Laplace Transform
3 . 学会等名 URSI Atlantic Radio Science Conference (ATRASC 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Kimura, Y. Hayashi, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, K. Nakagawa
2 . 発表標題 Influence of Optical Parameters of Protection Layers on Heating Process in Heat Assisted Magnetic Recording
3 . 学会等名 Magnetics and Optics Research International Symposium 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 安田拓弥, 田中和幸, 大貫進一郎
2. 発表標題 磁化のダイナミクスを考慮した電磁界解析による磁化の影響
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田丸幸寛, 大西峻平, 大貫進一郎
2. 発表標題 クレッチマン配置での表面プラズモンの解析－反射率の評価方法－
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西野将平, 大貫進一郎
2. 発表標題 高速逆ラプラス変換法による2次元熱伝導解析 計算精度の検討
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中和幸, 大貫進一郎
2. 発表標題 磁化のダイナミクスを考慮した電磁界解析 - 非線形性を有した磁性体モデル
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 種田亮太, 大貫進一郎
2. 発表標題 粒子状媒体を用いたマイクロ波アシスト磁気記録の検証-媒体の多層化による高密度化
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Saito, Y. Kasatani, K. Shibata, H. Hashiba, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, A. Tsukamoto, and K. Nakagawa
2. 発表標題 Magnetic Resonance of Garnet Film Fabricated by Metal Organic Decomposition Method
3. 学会等名 Magnetics and Optics Research International Symposium 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中和幸, 大貫進一郎
2. 発表標題 磁化のダイナミクスを考慮したFDTD法による電磁界解析
3. 学会等名 2017年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 種田亮太, 大貫進一郎
2. 発表標題 粒子状記録媒体を用いたマイクロ波アシスト磁気記録の検証- 2層記録における反転制御のロバスト性
3. 学会等名 2017年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大西峻平, 立澤圭輔, 山口隆志, 大貫進一郎, 芦澤好人, 中川活二
2. 発表標題 プラズモニックアンテナの局所偏光解析 - 入射光による偏光制御
3. 学会等名 2017年電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K.Tanaka and S.Ohnuki
2. 発表標題 Time-Domain Analysis of Spin Waves Using the FDTD Scheme
3. 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 R. Oida, S. Ohnuki
2. 発表標題 Numerical Verification of a Novel High-density Magnetic Recording Method Hybrid Technique of MAMR with BPM
3. 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 D. Wu, T. Yamaguchi, and S. Ohnuki
2. 発表標題 A Novel Algorithm for Electromagnetic Problems in Time and Frequency Domains
3. 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Kimura, Y. Hayashi, Y. Ashizawa, S. Ohnuki, and K. Nakagawa
2. 発表標題 Influence of Protection Layers on Local Heating in Heat Assisted Magnetic Recording
3. 学会等名 The 28th Magnetic Recording Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大貫進一郎, 山口隆志, 呉迪	4. 発行年 2018年
2. 出版社 (株)技術情報協会	5. 総ページ数 572 (168 - 174)
3. 書名 磁性材料の最新開発事例と応用技術、FDFD法(周波数領域差分法)による電磁界解析とその応用	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 演算装置、演算管理装置及びプログラム	発明者 大貫進一郎, 山口隆志, 呉迪, 大西峻平	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、J15584A1	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p> <a href="http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/65/0006410/profile.html">http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/65/0006410/profile.html</a>            日本大学理工学部ホームページ  <a href="https://www.cst.nihon-u.ac.jp/department/ele/research.html">https://www.cst.nihon-u.ac.jp/department/ele/research.html</a>            日本大学理工学部電気工学科ホームページ  <a href="https://www.ele.cst.nihon-u.ac.jp/teaching_staff/">https://www.ele.cst.nihon-u.ac.jp/teaching_staff/</a>            波動信号処理研究室ホームページ  <a href="https://www.ele.cst.nihon-u.ac.jp/ohnuki_lab/">https://www.ele.cst.nihon-u.ac.jp/ohnuki_lab/</a> </p>
---

## 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
研究 分担者	山口 隆志  (YAMAGUCHI Takashi)  (30560130)	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・開発本部 開発第三部生活技術開発セクター・副主任研究員   (82670)	
研究 協力者	佐甲 徳栄  (SAKO Tokuei)  (60361565)	日本大学・理工学部・准教授   (32665)	
研究 協力者	中川 活二  (NAKAGAWA Katsuji)  (20221442)	日本大学・理工学部・教授   (32665)	