

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 2 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K06650

研究課題名(和文)高精度電磁場解析統合システムによるミリ波伝送機器損失評価と最適化

研究課題名(英文) Loss analysis and optimization of millimeter wave transmission system by high precision electromagnetic field analysis integrated system

研究代表者

中村 浩章 (Nakamura, Hiroaki)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授

研究者番号：30311210

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ECH装置の伝送系における高次モードの発生状況の詳細説明、及び偏波状態の詳細説明を目的としてきた。導波管壁でのエネルギー損失を求めることができるシミュレーションコードを開発し、同コードを用いてマイターバンドにおける高次モードの発生状況説明、並びにマイターバンド型偏波器における偏波状態説明を行った。

次に、プラズマ壁相互作用の副産物として得られるタングステンファズ構造の光学応答もシミュレートした。これにより、タングステンの表面の凸凹度合いが強くなればなるほど、電磁波の吸収が進むことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

将来の効率的な核融合発電を目指すには、加熱システムの効率化が必要である。その最適化にはコンピュータシミュレーションが不可欠である。本研究では、導波管でのエネルギー損失を計算するためにドルーデローレンツモデルを組み込んだFDTDシミュレーションコードの開発を行い、さらにそのコードを用いて、実際のコルゲート導波管・マイターバンド偏波器での、電磁波計算を行うことで、このコードの適応性を確認することができるようになった。さらに同コードはタングステンファズ構造という複雑形状の電磁場応答にも使えることも証明した。このように、汎用性の高いコードの開発を行えたので、核融合以外の研究にも使える可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：Using FDTD simulation, we revealed the higher-order modes and the polarization states of electromagnetic wave in the transmission system of ECH devices. The FDTD simulation code was developed to estimate the energy loss in the waveguide wall in this research project. We also clarify the occurrence of higher-order modes in miter bends and to clarify the polarization state in miter bend polarizers by our FDTD code.

Next, we simulated the optical response of the tungsten fuzz structure obtained as a byproduct of plasma wall interaction by our FDTD code. As a result, it was found that the absorption of electromagnetic waves is getting larger as the surface of tungsten becomes more rough.

研究分野：核融合学

キーワード：FDTD 電磁波応答 ドルーデモデル ローレンツモデル ファズ構造 ECH コルゲート導波管

1. 研究開始当初の背景

プラズマの電子加熱では、サイクロトロン周波数(50~200GHz)のミリ波領域帯での高出力の電磁波の供給が必要となる。(例えば、現在建設中のITERでは170GHzのミリ波で一経路あたり約1MW(全体で20MW)をプラズマに供給する設計となっている。)この加熱装置システムは、ミリ波発生源のジャイロトロンから、ミリ波伝送系を経由して、プラズマ装置中のアンテナから照射する構成になっている。さらに、ミリ波伝送系は、以下のミリ波伝送素子で構成される。

- **コルゲート導波管**: 直線経路の構成素子
- **マイターバンド**: 90度伝送経路を曲げる素子
- **偏波器**: ミリ波の偏波方向を制御するための素子

この伝送系では、ジャイロトロンで発生する電磁波を「エネルギー損失を少なく伝送する(高効率化)」、かつ、「伝送されるミリ波の位相・偏波面やエネルギープロファイルが、プラズマ加熱に適した状態を維持(高品質化)する」ことが要求される。

現状では、ミリ波伝送の高効率化および高品質化のために、各素子の内壁面をコルゲート(櫛の歯)状に微細加工している。この形状は近似理論(J.L.Doane, Infrared and Millimeter Waves, 13(1985) p.123)による試作品の作成、そして実験測定 of 繰り返しを行い、改良されてきた。しかし、伝送モードの純度向上・伝送効率の改良という最終調整段階では、従来の近似理論や経験だけによる設計では不十分である。

そこで、本研究課題では、科研費挑戦的萌芽研究「ミリ波伝送素子最適構造設計用電磁波シミュレーション技法の開発」(H24-26年度)として、コルゲート導波管・マイターバンド用の時間領域空間差分(FDTD)法コードおよびその可視化ユーザインターフェース(Human Computer Interaction: HCI)の統合システム(以後、FDTD-HCIシステム)を開発し、試作版が完成した。この試作システムを用いて、「マイターバンドの接合部にコルゲート溝を刻んだ場合の方が、伝送効率が良い」という新たな設計指針の提案を行えるまでに至った。このFDTD-HCI試作版を拡張・改良し、さらなるミリ波伝送系の高効率化・高品質化に必要な伝送素子の改良を目指した。さらに、核融合研究で現れるナノ構造体への工学応答などのシミュレーション研究を進めることを目指し研究を行った。

2. 研究の目的

(1) モード変換損失およびオーミック損失の評価

ミリ波伝送素子の伝送損失として、素子の金属面での散乱にともなう入力波のモード変換損失と、その金属面で発生する渦電流によるオーミック損失の二つが考えられる。現状のFDTD-HCI試作版では、これらの評価が不十分である。そこで、二つの損失の評価を行えるようにFDTD-HCIシステム改良を行い、ミリ波伝送素子の損失評価を行う。

(2) 伝送素子最適形状探索のためのFDTD-HCIシステムの入力処理機能改良

ミリ波伝送の損失が少ない各素子形状の提案には、多数の形状計算を行う必要がある。FDTD-HCI試作版を用いた計算の経験から、三次元形状をプログラムに入力する作業時間が、計算時間よりはるかに長くなることが分かった。ゆえに、形状のプログラムへの入力作業の簡略化が、最適形状探索に不可避である。そこで、短時間で形状入力処理ができるようFDTD-HCIシステムの改良を行う。

3. 研究の方法

(1) モード変換損失評価およびオーミック損失評価の検討

- モード変換損失評価のための解析法検討
 - 出力波から、HE₁₁ モード以外の不要成分(モード変換損失)を抽出するための、計算解析法の確立をする。さらに、同手法を本グループで開発した FDTD-HCI 試作版 [H. Nakamura, et al., J. Phys. Conf., Vol. 410 (2013) 012046] に組み込む。
- FDTD-HCI 改良版による伝送素子の損失計算
 - 上記の手続きで改良した FDTD-HCI を用いて、コルゲート導波管やマイターバンドのモード変換損失を計算する。
- オーミック損失評価用物理モデル検討
 - FDTD-HCI 試作版では、素子の壁を完全導体として理想化しているため、原理的にジュール熱は発生しない。そこで、ミリ波伝送素子の壁(LHD ではアルミニウム、ITER では銅)で発生するオーミック損失を計算するために、金属の電磁波応答モデルを FDTD-HCI 試作版に組み込む。このモデルには、中村等がナノ光学研究で用いた Drude-Lorentz 理論を用いる [K.Sawada, H.Nakamura, et al., Plasma and Fusion Research, Vol.5 (2010) S2110]。

(2) 伝送素子最適形状探索のための FDTD-HCI システムの入力処理機能改良

- 伝送素子形状データ入力処理開発
 - FDTD 計算において複雑な形状を三次元(3D)差分格子に離散化しコードに入力する作業に莫大な時間がかかる。この作業の効率化のため、導波管加工に用いられる 3D CAD データを直接シミュレーションの入力コードに変換するシステムを開発する。
 - 3D CAD データは一般的には自由曲面等によって構成されている。FDTD コードでは直交座標系や円筒座標系での差分格子により分割されている。そのため、3D CAD データを差分格子に自動的に分割する処理コードの開発を行う。

4. 研究成果

ミリ波伝送素子の損失として、素子の表面(金属)での散乱に伴う入力波のモード変換損失と、その金属面で発生する渦電流によるオーミック損失の二つが考えられる。当初の FDTD コードでは、これらの評価が不十分であった。そこで、H27 年度は、モード変換損失の評価を行えるようにデータ解析部分の開発を行った。その結果、入力モードである HE₁₁ モードが、高次のモードに変換される割合を定量的に得ることができるようになった。

研究では電磁波伝播シミュレーションに Finite-Difference Time-Domain (FDTD) を使用した。FDTD 法では、電場と磁場の支配方程式として Maxwell 方程式を用いる。空間のメッシュには Yee 格子、時間には蛙跳び法を用いて離散化し、電場・磁場を交互に計算することで時間発展を追うことができる。先行研究では導波管の材料を完全導体として扱っていたため、導波管壁上でエネルギー損失は原理的に求められなかったが、本研究では導波管壁の材料(アルミニウム)を扱うため、媒質のパラメータを Drude - Lorentz モデルを用いて表現した。Drude -

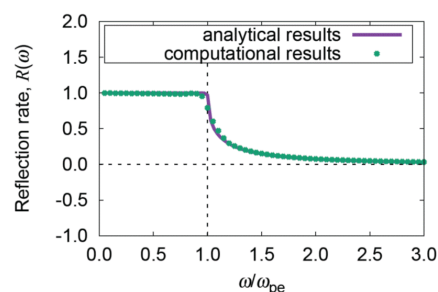


図1. 周波数と反射率の関係

Lorentz モデルでは、荷電粒子の運動方程式を解く。この改良より、導波管壁でのエネルギー損失を含め、伝送系内でおこる電磁場解析をより正確に扱うことができるようになった。

本研究で開発したシミュレーションコードの有効性を示すため、金属平面に平面波を入射し、振幅反射率の理論値と比較を行った結果より非常に一致していることを確認した(図1)。

さらに、直線円筒コルゲート導波管内の電磁波伝播シミュレーションを行った。長さが 108mm 内径が 15.9mm コルゲート溝のピッチ 1.4mm、幅が 1mm、深さが 0.8mm の円筒コルゲート導波管に周波数が 84 GHz、振幅が 10V/m の HE11 モードの電磁波が入力した場合の電磁場の空間分布を図2と図3に示す。これより入射した HE11 モードが崩れることなく伝播することを確認した。

電磁場の入出力面でのエネルギーの時間発展を図4に示す。これより入力波が出力面に到達後すぐに定常状態に達していることが分かる。

直線導波管での開発した FDTD 法を、次にマイターバンド(図5)のシミュレーションを行った。導波管両端には吸収境界条件として Perfect Matched Layer (PML)吸収境界条件が設置されている。導波管はアルミニウムで作られている。導波管内部は真空である。入力モードは HE11 モードであり周波数は 84 GHz、波長は 3.6mm、振幅は 10V/m である。上記条件のもとマイターバンド内の電磁波伝播シミュレーションを行い、得られた電場強度分布を図6に示す。この図より、波管軸中心に電場強度が集中していることから、主要なモードは入力モードと同じ HE11 モードであるが、入射時の電場分布が歪み、周期的に高度の濃淡が現れている。これは、マイターバンド反射板での反射に起因する回折により高次モードが発生しているためだと考えられる。濃淡の間隔を 1 周期と考えるとビート長は約 60mm であることが確認できる。また、濃淡は 1 つおきに同じ形状が現れており、同形状の濃淡を 1 周期と考えるとビート長は約 120mm である。理論的考察により約 60 mm のビート長は HE22 モードまたは EH23 モード、約 120 mm のビート長は HE42 モード、TE02 モード、または、TM03 モードに相当する。これより、マイターバンドにより発生する高次モードの推定を行うことができた。

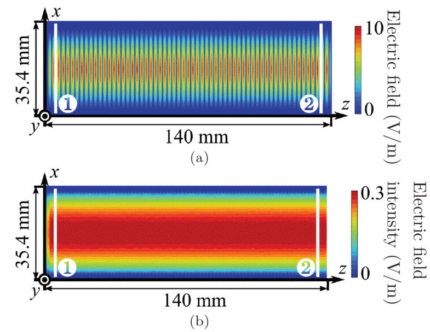


図2 導波管軸断面における電場の空間分布。(a) ある時間における電場強度の時間分布。(b) 電場強度の時間平均。

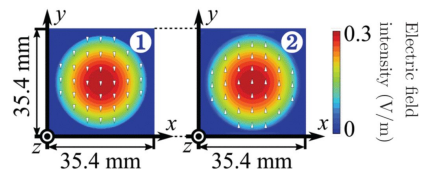


図3 入出力断面における電場強度分布。

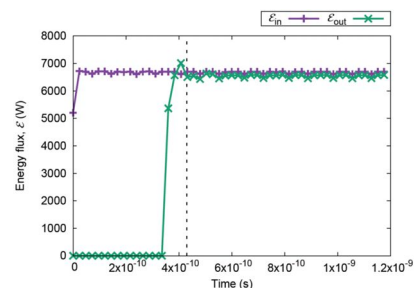


図4 入出力断面におけるエネルギーの時間発展。

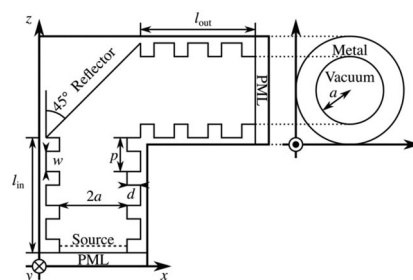


図5.マイターバンドの概略図

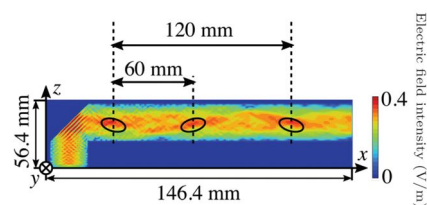


図6 .マイターバンド断面における電場強度の空間分布 .

さらに、マイターバンド型偏波器を取り扱った。マイターバンド型偏波器はマイターバンドの反射板にコルゲート構造を付けることにより実現することができる。本研究では溝の深さが1/4波長のマイターバンド型偏波器における偏波特性を数値シミュレーションにより明らかにした。上記のシミュレーションに使用したマイターバンドの反射板に周期 18mm、幅 1mm 深さ 0.8mm のコルゲート溝の付いた1/4波長のマイターバンド型偏波器内の電磁波伝播シミュレーションを行った結果を図7に示す。これより、マイターバンド型偏波器においてもマイターバンドと同様にビートが確認できた。やはりコルゲート構造をもったマイターバンド型偏波器でも反射の影響により高次モードが誘起されていることが確認できた。さらに、両者のビート長が定性的に等しいことから同じ高次モードが発生していると考えられる。

さて、上記計算に続けて、メッシュ幅を小さくすることによりシミュレーション精度を向上させた。それに伴い、導波管サイズを小さくし入力波の振幅を 1V/m とした。この条件のもとマイターバンド型偏波器内の電磁波伝播シミュレーションを行い、出力面における導波管軸で観測された偏波特性を図8に示す。この図より、理論的に予想される偏波状態がシミュレーションにおいて再現されていることを確認できた。また、シミュレーション結果と平面波を用いた偏波の理論計算との比較を行った結果、図9に示す通り両者の偏波特性は導波管軸付近で非常に一致していることが分かった。

以上のとおり、本研究では、数値シミュレーションを用いてECH装置の伝送系における高次モードの発生状況の詳細説明、及び偏波状態の詳細説明を目的としてきた。具体的には、導波管壁でのエネルギー損失を求めることができるシミュレーションコードを開発し、同コードを用いてマイターバンドにおける高次モードの発生状況説明、並びにマイターバンド型偏波器における偏波状態説明を行えるようになった。

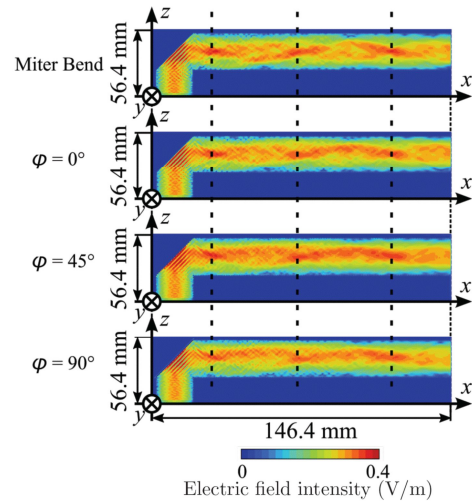


図7 .マイターバンド及びマイターバンド型偏波器における導波管軸断面の電場強度分布 .

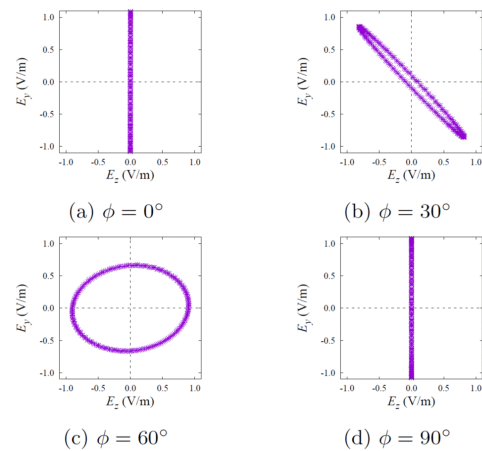


図8 .出力面における導波管軸で観測された偏波

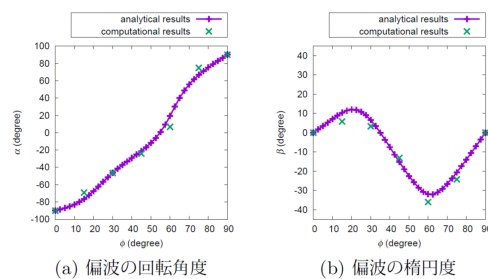


図9 .マイターバンド型偏波器のシミュレーション結果と偏波の理論計算結果との比較 .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Fujita Yoshihisa, Ikuno Soichiro, Itoh Taku, Nakamura Hiroaki	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 1~4
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 Nakamura Hiroaki, Miyanishi Hisanori, Yasunaga Takuo, Fujiwara Susumu, Mizuguchi Tomoko, Nakata Ayako, Miyazaki Tsuyoshi, Otsuka Takao, Kenmotsu Takahiro, Hatano Yuji, Saito Shinji	4. 巻 59
2. 論文標題 Molecular dynamics study on DNA damage by tritium disintegration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SAAE01 (5pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab460d	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 Kawaguchi Hideki, Nakamura Hiroaki	4. 巻 29
2. 論文標題 Evaluation of Mechanical Torque Acting on Scatterer in Microwave Vortex Fields	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Microwave and Wireless Components Letters	6. 最初と最後の頁 504 ~ 506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LMWC.2019.2919902	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 TAKAYAMA Teruo, YAMAGUCHI Takazumi, SAITOH Ayumu, KAMITANI Atsushi, NAKAMURA Hiroaki	4. 巻 14
2. 論文標題 FEM Simulation of Axisymmetric Pellet Injection System Using HTS Linear Acceleration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3401077(4pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.3401077	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 TAMURA Yuichi, KOBAYASHI Masahiro, KOBAYASHI Taisuke, OMORI Wataru, NAKAMURA Hiroaki, OHTANI Hiroaki, FUJIWARA Susumu, the LHD Experimental Group	4. 巻 14
2. 論文標題 Volume Rendering Method Applied to 3D Edge Impurity Emission in LHD to Produce Projection Image in Arbitrary Plane	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3406084(4pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.3406084	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 H. Nakamura, S. Saito and A. M. Ito	4. 巻 -
2. 論文標題 Binary-collision-approximation simulation on sputtering phenomena of nano-structured tungsten	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 2017 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM)	6. 最初と最後の頁 23-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/COMPEN.2017.7912738	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 Saito, Hiroaki Nakamura, S Yooyen, N Ashikawa, K Katayama	4. 巻 57
2. 論文標題 Effect of polycrystalline structure on helium plasma irradiation of tungsten materials	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 01AB06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.01AB06	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 and H. Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Investigation of higher-order mode proportions in propagation mode in miter bend	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 2017 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM)	6. 最初と最後の頁 159-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/COMPEN.2017.7912809	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 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Atsushi M. Ito, and Arimichi Takayama	4. 巻 11
2. 論文標題 Tungsten-surface-structure Dependence of Sputtering Yield for a Noble Gas	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2401080-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.11.2401080	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 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, and Atsushi M. Ito	4. 巻 3
2. 論文標題 Sputtering Yield of Noble Gas Irradiation onto Tungsten Surface	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 165-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.3.165	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 Seiki Saito, Hiroaki Nakamura, and Masayuki Tokitani	4. 巻 56
2. 論文標題 Comparison of induced damage, range, reflection, and sputtering yield between amorphous, bcc crystalline, and bubble-containing tungsten materials under hydrogen isotope and noble gas plasma irradiations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 01AF04(9 pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.01AF04	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 Soichiro Ikuno, Gong Chen, Susumu Yamamoto, Taku Itoh, Kuniyoshi Abe and Hiroaki Nakamura	4. 巻 11
2. 論文標題 Krylov Subspace Method with Communication Avoiding Technique for Linear System Obtained from Electromagnetic Analysis	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2406021(4pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.11.2406021	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 Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno, Shin Kubo, and Hiroaki Nakamura	4. 巻 55
2. 論文標題 Finite-difference time-domain analysis of electromagnetic wave propagation in corrugated waveguide: Effect of miter bend/polarizer miter bend	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 01AH06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.55.01AH06	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 NAKAMURA Hiroaki, SAITO Seiki, ITO Atsushi M., TAKAYAMA Arimichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Tungsten-Surface-Structure Dependence of Sputtering Yield for a Noble Gas	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2401080(4pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.11.2401080	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 Nakamura Hiroaki, Saito Seiki, Ito Atsushi M.	4. 巻 3
2. 論文標題 Sputtering Yield of Noble Gas Irradiation onto Tungsten Surface	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 165-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.3.165	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49件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 44件)

1. 発表者名 K. Sawada, H. Nakamura, S. Saito, M. Kobayashi, G. Kawamura, K. Haga, and M. Hasuo
2. 発表標題 Neutral-Transport Code for Rovibrational Population Calculation of Molecular Hydrogen in LHD Plasmas
3. 学会等名 17th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Shu Habu, Seiki Saito and Shin Kubo
2. 発表標題 Molecular dynamics simulation on structural formation of chiral nanoneedle by optical vortex
3. 学会等名 The 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Takumi Sawada, Keiji Sawada, Gakushi Kawamura, Masahiro Kobayashi and Masahiro Hasuo
2. 発表標題 Hydrogen Isotopes Atoms and Molecules Desorbed from Amorphous Carbon
3. 学会等名 12th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials 13th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno, Hiroaki Nakamura and Susumu Nakata
2. 発表標題 Geometric Modeling of Tungsten Fuzz using Fractal Structure
3. 学会等名 The 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田宜久、浅野恵吾、尾碇真志、梶田信、大野哲靖、安永卓生、吉田直亮、中村浩章
2. 発表標題 タングステンファズ構造の幾何学構造によるモデル化とFDTD法を用いた電磁場解析
3. 学会等名 第36回 プラズマ・核融合学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 [1] Hiroaki Nakamura, Masayuki Osaki, Keigo Asano, Miyuki Yajima, Seiki Saito, Naomichi Hatano, Takuo Yasunaga, Shin Kajita and Noriyasu Ohno
2. 発表標題 Optical Property of Nanostructured Tungsten for Plasma Emission Light
3. 学会等名 International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-23) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Naomichi Hatano, Shin Kubo and Tomio Petrosky
2. 発表標題 Orbital Angular Momentum of Electromagnetic Wave in Waveguide
3. 学会等名 Proceedings of The 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Naomichi Hatano, Yuk Goto, Tomio Petrosky and Shin Kubo
2. 発表標題 Rotational-symmetry dependence of orbital angular momentum in waveguide
3. 学会等名 The 27th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research & The 13th Asia Pacific Plasma Theory Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ibuki Kawata, Hiroaki Nakamura, Yoshihisa Fujita, Seiki Saito
2. 発表標題 Electromagnetic field analysis of microwave jet plasma generator using the FDTD method
3. 学会等名 The 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keigo Asano, Hiroaki Nakamura, Shin Kajita, Noriyasu Ohno, Takuo Yasunaga, Naoaki Yoshida
2. 発表標題 FDTD Simulation of Optical Properties of Tungsten Fuzz Structure
3. 学会等名 The 27th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research & The 13th Asia Pacific Plasma Theory Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno, Taku Itoh and Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Modified Improved Interpolating Moving Least Squares Approximation for Element-free Galerkin Methods
3. 学会等名 The 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology, Muroran Institute of Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno, Taku Itoh and Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Modified Improved Interpolating Moving Least Squares Method for Meshless Approaches
3. 学会等名 The Eighteenth Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村浩章, 浅野恵吾, 安永卓生, 梶田信, 大野哲靖, 吉田直亮
2. 発表標題 タングステンフラクタル構造の光学応答シミュレーション
3. 学会等名 日本応用数理学会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村浩章, 浅野恵吾, 安永卓生, 梶田信, 大野哲靖, 吉田直亮
2. 発表標題 タングステンナノ構造化による光学特性の変化
3. 学会等名 第27回日本AEM学会MAGDAコンファレンス(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村浩章, 浅野恵吾, 安永卓生, 梶田信, 大野哲靖, 吉田直亮
2. 発表標題 ファス構造タングステンへの電磁波応答の FDTD シミュレーション
3. 学会等名 プラズマシミュレータシンポジウム2018(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田宜久, 生野壮一郎, 辻村亨, 久保伸, 中村浩章
2. 発表標題 FDTD 法を用いたマイターバンド内の大規模電磁場
3. 学会等名 プラズマシミュレータシンポジウム2018(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Atsushi M. Ito, and Masayuki Tokitani
2. 発表標題 Sputtering Yield's Dependence on Structure of Tungsten Irradiated by Hydrogen and Argon
3. 学会等名 16th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Keiji Sawada, Seiki Saito, Masahiro Hasuo, Gakushi Kawamura, Masahiro Kobayashi
2. 発表標題 Population Distribution of Molecular Hydrogen at Plasma-Facing Material
3. 学会等名 The 36th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Keiji Sawada, Masahiro Hasuo, Gakushi Kawamura, Masahiro Kobayashi:
2. 発表標題 Population Distribution of Molecular Hydrogen Desorbed from Plasma-Facing Material
3. 学会等名 The 26th International Toki Conference (ITC-26) &The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference(APFA-11) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Masayuki Osaki, Keigo Asano, Seiki Saito, Shin Kajita and Noriyasu Ohno
2. 発表標題 FDTD Simulation on Absorption of Electromagnetic Waves in Tungsten Photonic-Fractals
3. 学会等名 10th international Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, 11th International Conference on Plasma-Nano Technology and Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masayuki OSAKI, Hiroaki Nakamura, Keigo ASANO, Seiki SAITO, Shin KAJITA, Noriyasu Ohno
2. 発表標題 Optical Reflectance of nano-structured Tungsten using FDTD simulation
3. 学会等名 The 26th International Toki Conference (ITC-26) &The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference(APFA-11) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Seiki Saito, Hiroaki Nakamura, Keiji Sawada, K. Fujii, Masahiro, Hasuo Gakushi Kawamura, Masahiro Kobyashi
2 . 発表標題 Development of a Model for Hydrogen Recycling on Carbon Divertor by Molecular Dynamics Simulation
3 . 学会等名 16th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Fujita, S. Ikuno, T. Tsujimura, S. Kubo and H. Nakamura
2 . 発表標題 Numerical Investigation of Higher-Order Mode Characteristics in Polarizer Miter Bend
3 . 学会等名 Compumag2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Itoh, S. Ikuno, and H. Nakamura
2 . 発表標題 Electromagnetic Wave Propagation Simulation in Tapered Waveguide by Meshless Time-Domain Method
3 . 学会等名 Proc. ISEM 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Seiki Saito, Hiroaki Nakamura
2 . 発表標題 Energy absorption on the surface of bubble formed tungsten materials under plasma irradiation
3 . 学会等名 The 36th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno and Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Electromagnetic Wave Propagation Simulation using Meshless Approaches
3. 学会等名 The 36th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ayumu Saitoh, Teruo Takayama, Atsushi Kamitani, Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Numerical Method for Electromagnetic Wave Scattering Problem of 2D Object with Fuzz-Like Structure
3. 学会等名 The 26th International Toki Conference (ITC-26) &The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno, Toru Tsujimura, Shin Kubu and Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Large Scale Simulation of Electromagnetic Wave Propagation Phenomena in Miter Bend using Parallelized FDTD
3. 学会等名 The 26th International Toki Conference (ITC-26) &The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taku Itoh, Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno and Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Speed-up of Meshless Time-Domain Method for Three-Dimensional Electromagnetic Wave Propagation Simulation
3. 学会等名 The 26th International Toki Conference (ITC-26) &The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kota Yanagihara, Shin Kubo, Ilya Dodin, Hiroaki Nakamura, Toru Tsujimura
2. 発表標題 Extension of ray tracing for a description of electron cyclotron wave beams in inhomogeneous magnetized plasma
3. 学会等名 The 26th International Toki Conference (ITC-26) &The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Soichiro Ikuno, Taku Itoh, Yoshihisa Fujita and Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Speed-up of Meshless Time-Domain Method for Three-Dimensional Electromagnetic Wave Propagation Simulation
3. 学会等名 The 26th International Toki Conference (ITC-26) &The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Susumu Fujiwara, Atsushi M. Ito and Seiki Saito
2. 発表標題 Molecular simulation for soft and hard matters
3. 学会等名 The 35th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Atsushi M. Ito
2. 発表標題 Binary-collision-approximation Simulation on Argon Irradiation onto Nano-structured Tungsten
3. 学会等名 the 1st Japan-Thailand Workshop on Numerical and Experimental Approaches to Nonlinear Problems (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Keiji Sawada, Masahiro Hasuo, Seiki Saito
2. 発表標題 Angular Distribution of Hydrogen Generated from Plasma-Facing Material
3. 学会等名 The 18th International Congress on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Atsushi M. Ito
2. 発表標題 Influence of Shape of Tungsten Nanostructures on Sputtering Yield and Retention of Noble Gas
3. 学会等名 22nd International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Atsushi M. Ito
2. 発表標題 Roughness Dependence of Noble Gas Sputtering Yield of Nano-structured Tungsten
3. 学会等名 9th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials / 10th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Atsushi M. Ito
2. 発表標題 binary-collision-approximation Simulation on Sputtering Phenomena of Nano-structured Tungsten
3. 学会等名 2017 IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Atsushi M. Ito, Arimichi Takayama
2. 発表標題 Dependence of Noble Gas Sputtering Yield upon Surface Structure of Tungsten
3. 学会等名 8th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials / 9th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Atsushi M. Itoh, Arimichi Takayama
2. 発表標題 Dependence of Noble Gas Absorption upon Crystal Orientation of Tungsten
3. 学会等名 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Atsushi M. Itoh, Arimichi Takayama
2. 発表標題 Tungsten-surfaces-structure Dependence of Sputtering Yield for Noble Gas
3. 学会等名 25th International Toki Conference (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Sputtering yield of argon irradiation onto tungsten nano-structure
3. 学会等名 The 34th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno, Shin Kubo, Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Electromagnetic Wave Propagation Simulation in Corrugated Waveguide with Miter Bend by FDTD: Influence of Induced Current Density
3. 学会等名 The 20th International Conference on the Computation of Electromagnetic fields (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno, Shin Kubo, Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Investigation of the Influence of the Polarization on the Polarizer Miter Bend
3. 学会等名 The 17th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno, Shin Kubo, Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Electromagnetic wave propagation simulation in corrugated waveguide - Influence of miter bend on transmission mode-
3. 学会等名 The 34th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yoshihisa Fujita, Soichiro Ikuno, Shin Kubo, Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Transmission Mode Analysis in Polarizer Miter Bend
3. 学会等名 25th International Toki Conference (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 中村浩章, 斎藤誠紀, 高山有道, 伊藤篤史
2. 発表標題 タングステンナノ構造表面によるスパッタリング収量の依存性
3. 学会等名 日本物理学会 2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 中村浩章, 斎藤誠紀, 高山有道, 伊藤篤史
2. 発表標題 タングステンにヘリウムを入射した際のスパッタリング現象
3. 学会等名 プラズマシミュレータシンポジウム2015
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 中村浩章, 斎藤誠紀, 高山有道, 伊藤篤史
2. 発表標題 アルゴンガス照射時のタングステンのスパッタリング収量の表面依存性
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第32回年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 中村浩章, 斎藤誠紀, 高山有道, 伊藤篤史
2. 発表標題 タングステンナノ構造表面によるスパッタリング収量の依存性II
3. 学会等名 日本物理学会第71回年次大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

プラズマ加熱用の電磁波を高効率・高品質で伝送する - 導波管中の電磁波伝搬の計算機シミュレーション -
http://www.nifs.ac.jp/lhdreport/mailinfo_265.html
誘起電流を考慮した FDTD 法によるコルゲート導波管の伝送効率検証
<http://www.r2.div.jps.or.jp/pdf2/2015/fujita.pdf>

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	田村 祐一 (Tamura Yuichi) (50311212)	甲南大学・知能情報学部・教授 (34506)	
研究分担者	久保 伸 (Shin Kubo) (80170025)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授 (63902)	