科研費

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4年 6月22日現在

機関番号: 53801

研究種目: 基盤研究(C)(一般)

研究期間: 2017~2021

課題番号: 17K05150

研究課題名(和文)導体のエッジ特性を考慮した超高精度三次元電磁波解析法の開発と応用

研究課題名(英文)Development and application of a super high-precision 3-D analytical method of an electromagnetic wave considering the edge property of the conductor

研究代表者

芹澤 弘秀 (Serizawa, Hirohide)

沼津工業高等専門学校・制御情報工学科・教授

研究者番号:70226687

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文):方形物体による電磁波散乱と放射の問題に対する高精度な解析方法(問題に付随する二重無限積分と二重無限級数を希望の精度で計算するための数値計算法を含む)を開発して、様々な方形物体(遮蔽板内の方形開口、フランジ付導波管、複数の開口等)に対する厳密解を導出し、それを応用することで電磁現象を正確に把握するとともに、汎用数値解法(有限要素法)の計算精度を定量的に評価した。さらに、解の収束性に対するエッジ特性組込の効果についても調査した。

研究成果の学術的意義や社会的意義 開発された三次元厳密解法は小林ポテンシャル法(KP法)を応用したものであり、特に従来手法が苦手とする共 振構造や微小開口を含む問題で威力を発揮する。種々の規範問題に対して得られた厳密解は、エッジ特性が組み 込まれているため少ない項数で高精度な数値結果を得ることができ、汎用的数値解法の精度を正しく評価するた めの基準解として使用できる。さらに、正確な電磁現象の把握が可能であるため、研究成果はメタマテリアル等 の電気的人工媒質や高性能アンテナ・新センサプローブ等の開発に役立てることができる。

研究成果の概要(英文): We developed a highly accurate analytical method for the problems of EM wave scattering and radiation from rectangular objects, which include the numerical technique for calculating the double infinite integral and the double infinite series associated with the problems with the desired accuracy, and we obtained the exact solutions for various rectangular objects such as a rectangular aperture in the screen, a flanged waveguide, and multiple apertures. By applying them, we made the exact understanding of the EM phenomenon, and quantitatively evaluated the calculation accuracy of the general-purpose numerical solution method (finite element method). In addition, we investigated the effect of incorporating edge properties on the convergence of the solutions.

研究分野: 電磁波工学

キーワード: 小林ポテンシャル 厳密解 方形開口 電磁波回折 エッジ特性 数値計算

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等に ついては、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1.研究開始当初の背景

・般に電磁界解析を行う場合、物体形状や媒質分布に左右されない汎用的数値解法(有限要素 法や時間領域差分法(FDTD法)等)が用いられるが、計算精度を高めるためにはメッシュやセ ルの細分化が必要となり、メモリサイズや計算時間の点で問題となる。特に金属のエッジを有す る物体ではその近傍で特定の電磁界成分が非常に大きくなる(この特異性はエッジ形状と周囲 の媒質に依存する)ことが知られており(文献) 状況はより深刻となる。汎用的数値解法は 複雑形状への適応度が非常に高く、実際の電磁システムの設計・解析に有用なため、金属エッジ 近傍の電磁界の計算誤差を正しく評価するための基準解が強く求められている。基準解として 電磁界に対する高精度な数値解を得るためにはこのエッジ特性(端点情報)を組み込んだ厳密な 定式化が不可欠であり、正しいエッジ特性を組み込むためには求めようとする電磁流分布をそ の特性に関係した特殊関数(一般的には完備な直交多項式)で展開する必要があるため、数学的 に高度な知識と技術が必要になる。さらに、定式化でもたらされる無限積分や級数を希望の精度 で計算するための数値計算法も重要となる。従来の方法でもごく限られた問題ではエッジ特性 を考慮した解析結果が報告されているが、主として電界のエッジ特性に注目した報告例が多い。 磁界の端点情報も解の収束に大きな影響を与えることが分かってきているが (文献 、 解明な点が多く、急務の課題となっている。また、物理現象に着目すると、例えばフォトニクス の分野では金属層に設けられた微小開口による電磁波(光波)透過現象が注目されているが、特 定のパラメータで透過量が増強される異常透過の原因についてはいまだ解明されていない。表 面プラズモンに基づく量子論的効果によるものと指摘する論文もあるが、申請者のこれまでの 研究において完全導体でも同様の現象が起こっており、早急な解明が必要とされている。

2. 研究の目的

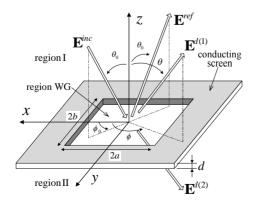
方形構造の物体による電磁波散乱と放射の問題を超高精度で解析することが可能な方法を開発して様々な方形物体に対する厳密解を導出し、それを応用して電磁現象を正確に把握し、汎用的数値解法の計算精度を定量的に評価することを目的とする。特に、物理量の評価に不可欠な数値計算法の開発も行う。本研究の遂行により、現在主流の汎用的数値解法の高精度な適用法(特にメッシュの細分化方法等)を確立できるだけでなく、メタマテリアル等の電気的人工媒質や高性能アンテナ・新センサプローブ等の開発に役立つ電磁現象に関する多くの知見を得ることが期待できる。

3.研究の方法

研究の骨格は端点情報(電界のみならず磁界も)を組み込んだ厳密解を得るための理論計算と物理量に対する数値結果を得るための計算コードの開発(数値計算法のアルゴリズム開発も含む)から成り、数理解析的方法に基づく定式化、計算コードの開発、およびコンピュータを利用した数値実験が中心となる。対象とする物体の形状は過去に取り扱ったものと類似または複雑化したものであるため、定式化と数値計算法の開発で過去の資産の有効活用が期待され、効率的かつ段階的に研究を遂行する。今回は汎用数値解法の一つである有限要素法(FEM)の精度評価とその高効率な運用法についての検討を行うため、汎用工学シミュレーションソフトウェアを導入する。数値実験では高性能コンピュータとバックアップ用の大規模記憶装置を導入する。

4. 研究成果

(1) 厚い遮蔽板内の方形開口による回折



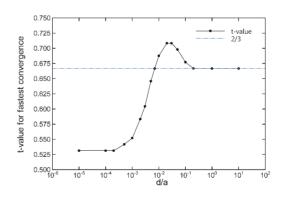


図1 問題の構成(左)と端点情報の板厚依存性(右)

図 1 (左)は、厚さd の完全導体遮蔽板に設けられた2a imes 2b の方形開口に平面電磁波が入射

したとき、反射波(平面電磁波)と回折波の関係を示している(反射波は開口を完全にふさいだ ときのものであり、領域 II の回折波は透過波を意味している) 厳密解法に基づく回折波の表示 式(ただし、任意の端点情報を組み込み可能)を用いて、これまで不十分であった近傍電磁界と 解の収束性について詳しく調査した。図1(右)は、高速収束解をもたらすエッジ特性(端点情 報)に対する板厚依存性を示したものであり、板厚が薄い場合は、直角のエッジ特性よりも平板 の特性を組み込んだ方が解の収束が速くなることを確認した。一方、特定の板厚では開口端部で の界の特異性が直角楔のものより弱くなることを示唆する新たな知見が得られた。現在、この原 因を明らかにするための検討を継続中であるが、3次元構造に起因する様々な問題を排除する 必要があることがわかっている。汎用的数値解法の一つである有限要素法(FEM)の精度を確認 するために有限要素解析ソフトウェア(RF モジュール)を導入し、代表的な構造パラメータお よび垂直入射に対して開口上の電界分布を FEM で求め、その計算精度を部分的に評価した。特 に、エッジ近傍でのメッシュの細分化方法に対する計算精度の依存性について詳しく調査し、開 口上の電界分布が最も急激に変化する方向に関してメッシュを細分化すれば計算精度が向上す ること、そして計算精度はメッシュの細分化だけでなく解析領域の大きさにも関係することを 明らかにした(データ数が不十分なため一部の結果は未発表)。また、KP法による厳密式を用い て、様々な開口アスペクト比と幾つかの入射角に対して透過係数を計算し、開口形状と板厚、お よび入射波の偏波が透過特性に与える影響についても調べた。さらに、構造パラメータの違いに よって透過電力量が増減する仕組みを解明する目的で、導波管モードの平面波分解および穴内 部での平面波の多重反射に基づく解析法を適用して、大きな電力透過を引き起こす板厚を予測 する近似式を導出した。しかし、板厚が小さい場合には適用できないことが分かり、透過電力量 が増加する仕組みの解明にはさらなる調査が必要であることが分かった。

(2) 異種媒質境界面に接する方形開口(板厚を無視した開口とフランジ付き方形導波管) 異種媒質に面した方形開口(板厚を無視)と図2(左)のフランジ付き方形導波管の研究については計算コードの修正と拡張を行い、開口でのエネルギー透過量(フランジ付導波管は反射量

いては計算コードの修正と拡張を行い、開口でのエネルギー透過量(フランジ付達も)を様々な媒質パラメータに対して計算した。

薄い開口の問題では、開口寸法が波長に比べて著しく小さい場合は外部の誘電体の存在がエネルギー透過を促進すること、および、開口が大きくなると誘電率が大きくなるにつれてエネルギー透過量が減少していくことを確認した。厚い開口の問題と同様に FEM の計算精度を開口電界分布に基づいて評価した。さらに開口でのエネルギー透過量等を様々な媒質パラメータ(誘電率および透磁率)に対して計算した。特に、様々な入射角に対して透過特性を調査した。様々な開口寸法や媒質パラメータの組み合わせに対して開口分布と透過係数の収束性を調査し、Meixner の理論から導かれる端点情報を組み込んだ場合が最も収束が速いことを確認した(結果は未発表)。

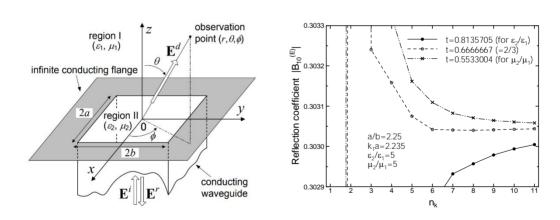


図2 導波管と座標系(左)および反射係数の収束性(右)

フランジ付き導波管の問題については、特に媒質パラメータの違いによって解の収束性が異なるのかを調査し、Meixnerの理論の妥当性について一部検証した。これまで不十分であった開口近傍界を様々な媒質パラメータに対して計算し、開口分布については解の収束性も詳しく調べた。その結果、Meixnerの理論の解釈について再検討が必要であることが分かった。有限要素法 (FEM)の計算精度を開口電界分布と透過電力に基づいて評価し、メッシュの細分化だけなく解析空間の寸法の影響についても詳しく調査し、計算誤差がその寸法に関して周期的に変動することを明らかにした。しかし、メッシュ細分化を行っても精度が向上しない場合があり、さらなる調査が必要となった。異種媒質において電力流の不連続が生じている原因については特定でき、計算コードの修正によって境界面で電力が連続することを確認した。

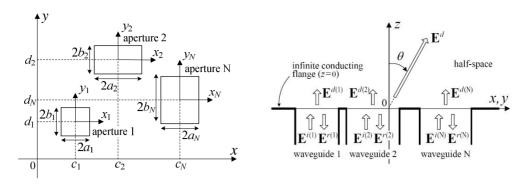


図3 N個の開口の結合問題(左:薄い平板内の開口、右:フランジ付き方形導波管アレー)

図3のような複数の開口の結合問題は、アレーアンテナの設計や電磁結合を利用したセンシングデバイスの開発、さらには複数の窓からの電磁波漏洩の正確な予測という観点から非常に重要であるが、端点情報まで含んだ厳密解に基づく数値結果はこれまでに得られていない。薄い平板内の複数の開口については、定式化は完了していたため、式に含まれる二重無限積分(4個のベッセル関数と2個の三角関数を被積分関数に含む)を希望の精度で計算するためのアルゴリズムと計算コードの開発を実施したが、一部の無限積分のアルゴリズム開発に予想以上の時間を要してしまい、研究期間内では計算コード開発が終了しなかった(進捗度は9割程度)。一方、方形導波管アレーについては定式化を行い、端点情報を組み込んだ厳密式の導出は完了した(等価磁流源を用いた別の方法でも厳密な定式化を行って両者が完全に一致することを確認済み)。しかし、求められた表示式には複数の開口と同じ二重無限積分が含まれていて、その計算コードが開発途上であることから、数値結果を得るまでには至らなかった。

(4) 二次元スリットによる平面電磁波回折

3次元問題を取り扱う中で様々な問題が発生し、三次元構造に起因する問題を排除して類似した二次元構造の研究を行う必要が生じたため、最も基本的な二次元のスリット回折問題(ただし、E偏波入射のみ)の定式化と計算コードの開発を行い、エッジ特性が解の収束性に与える影響を詳しく調べた。これは本来予定していなかった内容である。特に、高速収束解を得るためには正確なエッジ特性の組込が不可欠であることを理論式および数値結果から明らかにした。図4は研究成果の一例であり、正しいエッジ特性($t_e=0.5$)以外では展開係数の減少傾向がある値を境に鈍化に転じ、係数の符号が交互に反転することが確認できた。

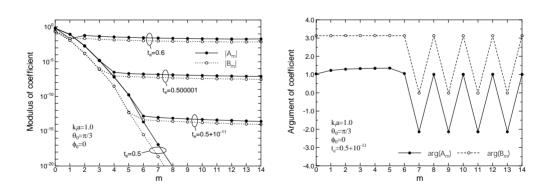


図4 展開係数 A_m , B_m の絶対値(左)と偏角(右: t_e = 0.5 + 10 $^{-11}$ のみ)

< 引用文献 >

J. Meixner, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.AP-20, pp.442-446, 1972. 芹澤弘秀 他, 電子情報通信学会 2011 年総合大会講演論文集, C-1-7, p.7, 2011. 芹澤弘秀 他, Proc. of the ISAP2011, FrP2-46, 2011.

5 . 主な発表論文等

「雑誌論文〕 計9件(うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件)

〔雑誌論文〕 計9件(うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件)	
1.著者名 芹澤弘秀、高階未来翔	4 .巻 122
2.論文標題 薄い導体平板内のスリットによるE偏波平面波の回折 ~ 任意のエッジ特性を組み込んだ解の導出 ~	5 . 発行年 2022年
3.雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6.最初と最後の頁 13-18
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 岩垣侑,芹澤弘秀	4.巻 121(no. 33)
2.論文標題 開口の結合問題に現れる二重無限積分に対する高精度数値計算法の開発	5.発行年 2021年
3.雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6.最初と最後の頁 19-24
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 Khanh Nam Nguyen, Hiroshi Shirai, and Hirohide Serizawa	4.巻 E104-C
2.論文標題 Electromagnetic scattering analysis from a rectangular hole in a thick conducting screen	5.発行年 2021年
3.雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6.最初と最後の頁 134-143
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2020REP0001	 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 Hirohide Serizawa, Hananosuke Ono, and Akihiro Yamada	4.巻 120(no. 33)
2.論文標題 Diffraction of an EM plane wave by a rectangular hole in a thick screen Evaluation of the solution convergence and transmission property	5 . 発行年 2020年
3.雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6.最初と最後の頁 1-6
 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 Hirohide Serizawa and Yu Iwagaki 2 . 論文標題 High-precision calculation method of double infinite integrals appearing in the coupling problem of rectangular apertures 3 . 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし 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	4 . 巻 120(no. 100) 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁 71-76 査読の有無 無
2.論文標題 High-precision calculation method of double infinite integrals appearing in the coupling problem of rectangular apertures 3.雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 掲載論文のDOI(デジタルオプジェクト識別子)なし 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	5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁 71-76 査読の有無
High-precision calculation method of double infinite integrals appearing in the coupling problem of rectangular apertures 3.雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 掲載論文のDOI(デジタルオプジェクト識別子) なし 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	2020年 6.最初と最後の頁 71-76 査読の有無 無
High-precision calculation method of double infinite integrals appearing in the coupling problem of rectangular apertures 3.雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 掲載論文のDOI(デジタルオプジェクト識別子) なし 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	2020年 6.最初と最後の頁 71-76 査読の有無 無
High-precision calculation method of double infinite integrals appearing in the coupling problem of rectangular apertures 3.雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 掲載論文のDOI(デジタルオプジェクト識別子) なし 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	2020年 6.最初と最後の頁 71-76 査読の有無 無
problem of rectangular apertures 3.雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 掲載論文のDOI (デジタルオプジェクト識別子) なし 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 1.著者名	6.最初と最後の頁 71-76 査読の有無 無
3.雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 掲載論文のDOI (デジタルオプジェクト識別子) なし 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	71-76 査読の有無 無
電子情報通信学会技術研究報告 掲載論文のDOI (デジタルオプジェクト識別子) なし 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	71-76 査読の有無 無
掲載論文のDOI (デジタルオプジェクト識別子) なし 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	査読の有無無
掲載論文のDOI (デジタルオプジェクト識別子) なし 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	無
なし 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 1 . 著者名	無
なし 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 1 . 著者名	無
なし 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 1 . 著者名	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 1.著者名	
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 1.著者名	国際共著
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 1.著者名	国除共者
1 . 著者名	
	-
	4 . 巻
Hirohide Serizawa and Satoshi Tsukii	119
infolitide del izawa and datosiii isukii	110
2. 金砂 桶 陌	F 整仁在
2 . 論文標題	5 . 発行年
Diffraction of an EM wave by a rectangular hole in a thick conducting screen Examination of	2019年
the transmission property for various aspect ratios	
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
電子情報通信学会技術研究報告	17-22
も」は我必由于公式的例えれない。	11-44
	
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
なし	無
オープンアクセス	国際共著
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	
カープラブラとれてはない。 大はカープラブラとスが四世	
# 12 E	
1.著者名	4 . 巻
Hirohide Serizawa	118
2.論文標題	5 . 発行年
	2018年
Radiation from a flanged rectangular waveguide. In the case of different media	2016 年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
電子情報通信学会技術研究報告	11-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
	++++
なし	無
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセス	
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
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 1 . 著者名	国際共著 - 4.巻
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
オープンアクセス	国際共著 - 4.巻 117
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 1 . 著者名	国際共著 - 4.巻 117
オープンアクセス	国際共著 - 4.巻 117 5.発行年
オープンアクセス	国際共著 - 4.巻 117
オープンアクセス	国際共著 - 4.巻 117 5.発行年 2017年
オープンアクセス	国際共著 - 4 . 巻 117 5 . 発行年 2017年 6 . 最初と最後の頁
オープンアクセス	国際共著 - 4.巻 117 5.発行年 2017年
オープンアクセス	国際共著 - 4 . 巻 117 5 . 発行年 2017年 6 . 最初と最後の頁
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 1 . 著者名 Hirohide Serizawa 2 . 論文標題 On the EM transmission property of a rectangular hole in a thick conducting screen Calculation of the transmission coefficient and power flow distributions 3 . 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	国際共著 - 4 . 巻 117 5 . 発行年 2017年 6 . 最初と最後の頁 41-46
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 1 . 著者名 Hirohide Serizawa 2 . 論文標題 On the EM transmission property of a rectangular hole in a thick conducting screen Calculation of the transmission coefficient and power flow distributions 3 . 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	国際共著 - 4 . 巻 117 5 . 発行年 2017年 6 . 最初と最後の頁 41-46
オープンアクセス	国際共著 - 4 . 巻 117 5 . 発行年 2017年 6 . 最初と最後の頁 41-46
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 1 . 著者名 Hirohide Serizawa 2 . 論文標題 On the EM transmission property of a rectangular hole in a thick conducting screen Calculation of the transmission coefficient and power flow distributions 3 . 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	国際共著 - 4 . 巻 117 5 . 発行年 2017年 6 . 最初と最後の頁 41-46
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 1 . 著者名 Hirohide Serizawa 2 . 論文標題 On the EM transmission property of a rectangular hole in a thick conducting screen Calculation of the transmission coefficient and power flow distributions 3 . 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	国際共著 - 4 . 巻 117 5 . 発行年 2017年 6 . 最初と最後の頁 41-46 査読の有無 無
オープンアクセス	国際共著 - 4 . 巻 117 5 . 発行年 2017年 6 . 最初と最後の頁 41-46

1.著者名	4 . 巻
Hirohide Serizawa	-
2.論文標題	5 . 発行年
Plane wave diffraction by a large rectangular aperture in a thick conducting screen	2017年
3.雑誌名 Proceedings of the 2017 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA '17)	6.最初と最後の頁 1612-1615
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
10.1109/ICEAA.2017.8065597	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

〔学会発表〕 計13件(うち招待講演 0件/うち国際学会 6件)

1.発表者名

岩垣侑, 芹澤弘秀

2 . 発表標題

開口の結合問題に現れる二重無限積分に対する高精度数値計算法の開発

3 . 学会等名

電子情報通信学会電磁界理論研究会

4.発表年 2021年

1.発表者名

Hirohide Serizawa

2 . 発表標題

Evaluation of the solution convergence for rectangular hole diffraction problems

3 . 学会等名

2021 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 2021)(国際学会)

4.発表年

2021年

1.発表者名

Yu Iwagaki and Hirohide Serizawa

2 . 発表標題

Development of high-precision numerical calculation method for matrix elements of an aperture coupling problem

3.学会等名

2021 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 2021)(国際学会)

4.発表年

2021年

1.発表者名 芹澤弘秀,髙階未来翔
2 . 発表標題 薄い導体平板内のスリットによるE偏波平面波の回折~任意のエッジ特性を組み込んだ解の導出~
3.学会等名 電子情報通信学会電磁界理論研究会
4 . 発表年 2022年
1.発表者名 Hirohide Serizawa, Hananosuke Ono, and Akihiro Yamada
2. 発表標題 Diffraction of an EM plane wave by a rectangular hole in a thick screen Evaluation of the solution convergence and transmission property
3.学会等名 電子情報通信学会電磁界理論研究会
4.発表年 2020年
1 . 発表者名 Hirohide Serizawa and Yu Iwagaki
2. 発表標題 High-precision calculation method of double infinite integrals appearing in the coupling problem of rectangular apertures
3.学会等名 電子情報通信学会電磁界理論研究会
4 . 発表年 2020年
1 . 発表者名 Hirohide Serizawa and Satoshi Tsukii

Diffraction of an EM wave by a rectangular hole in a thick conducting screen Examination of the transmission property for various aspect ratios

2 . 発表標題

3 . 学会等名

4 . 発表年 2019年

電子情報通信学会電磁界理論研究会

1.発表者名	
Hirohide Serizawa	
2 改善 1 振 1 5	
2 . 発表標題 Podiation from a floored rectangular varieties. In the case of different modic	
Radiation from a flanged rectangular waveguide. In the case of different media	
3.学会等名	
電子情報通信学会電磁界理論研究会	
も」自我心口ナムも極いた時間ルム	
4 . 発表年	
2018年	
2010-	
1. 発表者名	
Hirohide Serizawa and Kaisei Okawa	
nifonide Serizawa and Karser Okawa	
2 . 発表標題	
Diffraction by a rectangular hole in a thick conducting screen Calculation of aperture fields	
bilifiaction by a rectangular note in a tillox conducting screen calculation of aperture fields	
3. 学会等名	
Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018)(国際学会)	
Trogroup III Processing Recognition Research Symposium (File Recognition) (Engress)	
4 . 発表年	
2018年	
20.01	
1	
1. 発表者名 Hirohide Serizawa and Yukito Takabashi	
1.発表者名 Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会)	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会)	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年 2018年	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年 2018年	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年 2018年	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年 2018年	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年 2018年	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2. 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3. 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4. 発表年 2018年 1. 発表者名 Hirohide Serizawa	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年 2018年 1 . 発表者名 Hirohide Serizawa	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2. 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3. 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4. 発表年 2018年 1. 発表者名 Hirohide Serizawa	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年 2018年 1 . 発表者名 Hirohide Serizawa	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年 2018年 1 . 発表者名 Hirohide Serizawa	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年 2018年 1 . 発表者名 Hirohide Serizawa	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2.発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3.学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4.発表年 2018年 1.発表者名 Hirohide Serizawa 2.発表標題 EM transmission through an aperture in a thin conducting screen separating two half spaces of different properties 3.学会等名	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2 . 発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3 . 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4 . 発表年 2018年 1 . 発表者名 Hirohide Serizawa 2 . 発表標題 EM transmission through an aperture in a thin conducting screen separating two half spaces of different properties	
Hirohide Serizawa and Yukito Takahashi 2.発表標題 Diffraction by multiple rectangular holes in a thin conducting screen Calculation of double infinite integrals for the Bessel functions 3.学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS2018) (国際学会) 4.発表年 2018年 1.発表者名 Hirohide Serizawa 2.発表標題 EM transmission through an aperture in a thin conducting screen separating two half spaces of different properties 3.学会等名	

1.発表者名 Hirohide Serizawa 2.発表標題	
On the EM transmission property of a rectangular hole in a thick conducting screen Ca coefficient and power flow distributions	Iculation of the transmission
3.学会等名 電子情報通信学会電磁界理論研究会	
4 . 発表年 2017年	
1.発表者名 Hirohide Serizawa	
2. 発表標題 Plane wave diffraction by a large rectangular aperture in a thick conducting screen	
3.学会等名 2017 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA '17)	(国際学会)
4. 発表年 2017年	
〔図書〕 計1件	4 38/-7-
1.著者名 Hirohide Serizawa	4 . 発行年 2020年
2.出版社 IntechOpen	5.総ページ数 -
3.書名 Novel Imaging and Spectroscopy (Diffraction by a rectangular hole in a thick conductinの章を執筆)	g screen
〔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) (研究者番号)	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	

相手方研究機関

共同研究相手国