

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04398

研究課題名（和文）大都市空間における電波伝搬推定とその可視化に関する研究

研究課題名（英文）A study on radio wave propagation estimation and its visualization in a large metropolitan area

研究代表者

白井 宏（SHIRAI, Hiroshi）

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：00196594

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：大都市にある高層建築物の壁やその壁にある窓開口による電波散乱を高速に把握するための解析手法を検討してきた。そのためには、高周波漸近解析手法であるキルヒホッフ近似（KA）が最適であると考え、既に求められている他解法との結果の比較を行うことにより、その解析手法の精度や計算速度について、近似精度を確かめた。その結果、開口が波長に比べて大きな高周波散乱を解析する場合には非常に精度よく計算できることが示された。次に2次元スリット形状から3次元形状に拡張して厚みのある導体平板上に方形窓が開いている場合の電波散乱解析の定式結果を基に、窓ガラスの有無、ガラスの厚みや材質の影響等を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スマートフォンに代表される移動無線通信の急速な需要増加に伴い、複雑な都市環境における効率の良い通信基地局の配置や通信電波の正確な伝搬予測が望まれている。本研究では、高周波の電波の解析に有効な光線近似理論を用いて、都市部の地理情報や建築材料情報を組み込んだ高層建築物の構造情報データベースを基に、建物内外の電波伝搬を高速に解析するプログラムを開発し、高層建築物で囲まれた複雑な電波伝搬環境における電波伝搬の予測を高速に行い、その解析結果を可視化表示するシステムを構築できた。この成果は、今後の移動体基地局の設置や電波の不感地域の解消のために役立たせることができる。

研究成果の概要（英文）：In this research, a fast analytical method has been devised to estimate radio wave scattering by walls of high-rise buildings in large cities and window openings in those walls. For this purpose, we considered that the Kirchhoff approximation (KA), one of the high-frequency asymptotic analysis method, is the most appropriate, and we confirmed the accuracy of the approximation and the calculation speed of the method by comparing the results with other solution methods that have already been obtained. As a result, it was shown that KA can be calculated very accurately when analyzing high-frequency scattering whose aperture is large compared to the wavelength. Next, based on the formulation results of the electromagnetic scattering analysis by a rectangular window on a thick conducting wall, the effect of the glass parameters, such as the thickness and the material was examined.

研究分野：電磁波工学

キーワード：電波伝搬推定 高周波解析 高周波漸近解法 回折界 キルヒホッフ近似 物理光学近似 Physical Optics

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

小型無線通信機器端末による移動通信が盛んになるにつれ、我々の生活環境の中には電波があふれ、それに伴って使用周波数の逼迫や他システムとの混信や干渉ならびに人体の影響を含めた環境問題等の社会問題も起きている。こうした背景において無線通信システムの設計・構築において、その使用周波数に応じた電波伝搬の特性を調べることは、いわゆる「不感地帯」をなくし効率のよい通信サービスを提供するために重要な要素となっている。

電波の伝搬は、その伝搬路付近の自然地形や人工建造物の影響を大きく受ける。そのため、通信障害の予測、あるいは生活環境における電波の強度分布推定には詳細な地理情報も必要となり、都市部における電波伝搬環境は、高層建築物の影響を受けて、ますます複雑なものになってきている[引用文献 ①、②]。特に高層ビルの内外で用いられる高速無線 LAN ネットワークシステムや種々の情報・サービスを統合した近未来のユビキタスネットワークの設計には、従来の平面的な通信回路設計手法をそのまま適用して解析できないので、ビルの多層構造や通信機器の位置関係を考慮した立体的な空間位置情報を基にした通信伝搬解析が必要となる。

近年、情報通信の高度化、大容量化に伴い、使用周波数が高くなり、波長が散乱体比べて相対的に小さくなると、以前にも増して物体の局所構造が電波の伝搬に強く影響するようになり、電波強度分布の予測は難しくなっている。安定した通信チャネルを確保し、移動体通信の不感地帯を減らすことは重要であるけれども、そのための不必要な過度の電波放射は、周りの生活環境や人体への影響も懸念されるため避けるべきである。加えて情報通信セキュリティ上からも不必要な場所への電波漏えいは避けるべきであり、今後は効率がよく、かつ安全な無線通信基地局の配置が望まれる。

## 2. 研究の目的

本研究は、大都市空間における高速かつ高品質な情報通信サービスの提供に向けて、高層建築物で囲まれた複雑な電波伝搬環境における電波伝搬の予測を高速に行い、その解析結果を可視化表示するシステムの構築を目的とする。

研究代表者らは、以前から電波の周波数が高いことを念頭に置いた光線理論に基づいた高周波近似解析法について研究し、その適応性を種々の問題に対して調査してきた。光線理論は、電波の散乱現象を光線の反射、透過及び回折などの散乱過程を組み合わせて表すため、散乱の物理的なイメージをつかみやすい。また、光線の散乱は局所的な現象として取り扱うことができるために、大きな空間を対象とするときにも遠くにある物体の影響を無視して考えることができるため、計算時間を大幅に短縮できる。今回の研究は、いままでの成果を基に建造物とそれらの位置関係、内部構造ならびに建築材料を考慮して、さらに精度の高い電波伝搬環境の解析とその可視化を目指す。

## 3. 研究の方法

本研究では、電波伝搬シミュレーションのための光線追跡アルゴリズムの開発が主となる。以前の研究で更に検討が必要とされている建造物の建築材料の電気定数について、実際の建築材料による反射・透過特性の測定実験によって、その定数の適用性や精度を検討し、都市空間を模擬した建物や設置された基地局の空間位置情報を使って、光線追跡シミュレーションを行う。モデル環境における実験・解析の比較結果を整理し、モデルの妥当性、解析の精度や計算時間を検討する。こうして得られた結果を基に定量的かつ定性的な散乱反射量の把握のための効率のよい広域伝搬可視化図の作成を目指す。可視化プログラムについては、地理情報、都市データと伝搬解析結果を連携させて見やすくするアルゴリズムを検討する。

今回の申請研究は、先行研究で有効性が示された解析手法を、建造物や通信基地局等の立体的な空間位置情報を用いて、建物外部の電波伝搬の解析のみならず、建物内部から外部へ、あるいは外部から内部へ透過する電波伝搬の解析にも適用するものである。各観測領域において、直接波、反射波、回折波ならびに透過波のどれが主要となるかを見極め、主要な成分のみで表現することで解析時間を短縮することを考える。特に、室内外の主な伝搬経路となりうるガラス窓の構造や材質、建物壁の内部構造については、電波の減衰に大きく影響する可能性があるため、実際の構造や材質による影響も検討する。

## 4. 研究成果

地理情報を基に、ある特定地域の電波の伝搬分布を解析して、その結果を可視化するプログラムを開発した。その際、三次元的な構造を組み込んだが、窓開口はかなり複雑になるので、それを考慮しないで作成した。

高層ビル壁にある窓構造を無視してそのまま平面と近似すると、建物外部の散乱を扱うことが簡単にできる一方で、建物内への透過波の寄与や建物内外の通信を考える上では窓を通した通信路の確保が重要となる。そこで窓構造を模擬した散乱構造として、厚みのある導体壁に開け

られた二次元スリットから定式化をはじめ、三次元構造の方形孔による電磁波散乱問題、さらには窓ガラスを想定して誘電体層を挿入した場合の散乱について解析した。その結果以下のような結論が得られた。

- (ア) 建物外では壁による反射波の影響が強く、窓構造が及ぼす影響は比較的出にくく、主反射方向への反射が強く、その主反射方向近くに窓枠での回折による散乱干渉パターンが生じる。
- (イ) 窓構造における反射量は、建物壁の厚さの影響は出にくい。しかし窓を通した室内への透過波は、壁の厚みの影響で透過方向に変化が生じる。幾何光学的に追跡した光線の透過方向を中心にして回折波の干渉による散乱パターンが生じる。

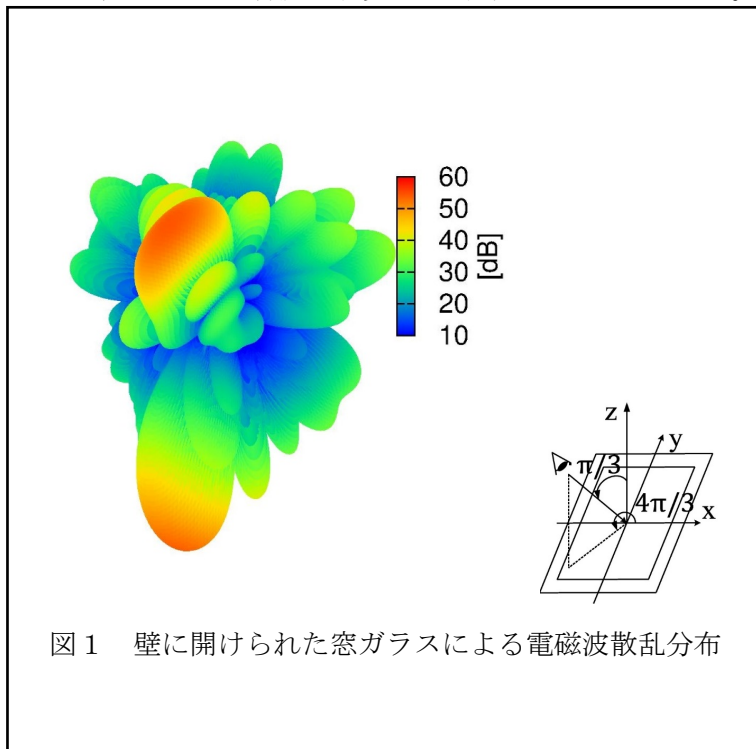


図1 壁に開けられた窓ガラスによる電磁波散乱分布

(ウ) 図1に厚みのある導体壁に開けられた方形孔に窓ガラスを想定した誘電体板を挿入した場合の電磁波の散乱パターンの分布を三次元的に表示した例である。ここで1 GHzの入射電磁波に対して窓の大きさは1.0 m×2.2 mの大きさで壁厚は15 cm、壁の中心に厚みは8 mm、比誘電率7.2 - j0.151のガラスを挿入している。幾何光学的な反射と透過方向を中心にして干渉パターンが生じていることがわかる。

(エ) 壁の厚みは1/5波長程度以内なら、厚みが理論的にゼロとなるような簡単な場合の解析から推定してもよい。

(オ) 窓ガラスを挿入すると、外部の壁には実質的に開口が塞がれた効果が生じ、反射方向の散乱は少し減少する。ガラスの電氣的な比誘電

率は4~8であり、厚みも波長に比べてそんなに大きくないので、ガラス層における屈折の影響はほとんど考えなくてもよい。またガラスの誘電体損も小さいので、ガラス層の透過による減衰は少ない。

今後研究課題としては、

- (ア) 窓構造を考慮する場合の解析プログラムへの組入れに対して、個々の窓構造に関する基礎的な散乱知識を基に、建築物全体に窓構造を入れ込んだ場合の計算量を晴らすための更なる工夫を考える必要があること。
- (イ) 建物の壁はコンクリートを想定すると、損失を持つ誘電体と考えられるので、電波の使用周波数を考慮すると、壁自体を透過する量は少ないと考えられるが、その量については今後再検討する必要があること。
- (ウ) 今後窓を通した電磁波の伝搬を制御して、ある周波数帯（例えば、一般携帯電話の周波数帯）は通すが、別の周波数帯（例えば、社内用無線LAN周波数帯）は、情報セキュリティ上遮断したい場合もある。こうした透過量を制御するような仕組みをうまく取り入れた安全で効率の良い通信システムの設計が重要となると考えられること。

等が考えられる。

以上のように、今回の研究で得られた研究成果は、今後も更に増えると思われる小型移動端末機器のための無線通信基地局の設置場所を決定する際の電波伝搬の予測や通信システムの設計に十分役立つ知見が得られた。

<引用文献>

- ① H. L. Bertoni, W. Honcharenko, L. R. Maciel, and H. H. Xia, "UHF propagation prediction for wireless personal communications," Proc. of the IEEE, 82(9), pp.1333-1359, 1994.
- ② H. L. Bertoni, Radio Propagation for Modern Wireless Systems, Prentice Hall, NJ, USA, 2000.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 16 件)

- ① K. N. Nguyen and H. Shirai, “High Frequency Diffraction by Rectangular Hole in a Thick Conducting Screen -H Polarization Case-,” Proc. of 2019 PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium, CDROM.  
DOI: 10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017710
- ② K. N. Nguyen and H. Shirai, “High Frequency Diffraction by Thick Loaded Conducting Slits -H Polarization Case-,” Proc. of 2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APS/URSI 2019), CDROM.  
DOI: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2019.8888920
- ③ T. Q. Ngoc and H. Shirai, “High Frequency Asymptotic Evaluation of PO Integral for EM Scattering from PEC Circular Cylinder,” Proc. of 2019 International Conference on Electromagnetics and Advanced Applications, CDROM.  
DOI: 10.1109/ICEAA.2019.8879334
- ④ R. Sato and H. Shirai, “Fundamental Analysis of Electromagnetic Wave Scattering from Multi-layered Window Glass in Multi-frequency Band,” Proc. of 2019 International Conference on Electromagnetics and Advanced Applications, CDROM.  
DOI: 10.1109/ICEAA.2019.8879383
- ⑤ 佐藤 亮一, 白井 宏, “導体平板上の 2 つのクラックからの電磁波散乱に関する基礎研究,” 電子情報通信学会 電磁界理論研究会, 研究会資料, EMT2019-49, pp.261-264.
- ⑥ M. D. Nguyen and H. Shirai, “Uniform Asymptotic Solution For Conducting Wedge Diffraction Based On Physical Optics Current,” Proc. of 2020 IEICE General Conference, C-1-1, CDROM.
- ⑦ N. Q. Ta and H. Shirai, “A Field Equivalence between Physical Optics and GO-Based Equivalent Current Methods for Scattering from Circular Conducting Cylinders” IEICE Trans. Electron., Vol.E103-C, No.9, pp.382-387, 2020.  
DOI: 10.1587/transele.2019ECP5048
- ⑧ K. N. Nguyen and H. Shirai, “High Frequency Diffraction by a Rectangular Hole in a Thick Conducting Screen —E Polarization Case—,” Proc. of 2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, CDROM.  
DOI: 10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017710
- ⑨ K. N. Nguyen and H. Shirai, “E Plane Wave Diffraction by Window Aperture on a Thick Conducting Wall,” Proc. of 2020 IEEE International Conference on Advanced Technologies for Communications, CDROM.  
DOI: 10.1109/ATC50776.2020.9255450
- ⑩ R. Sato and H. Shirai, “Approximate analysis of EM wave scattering from two cracks on a ground plane,” Proc. of 2020 ISAP International Symposium on Antennas and Propagation, CDROM.  
DOI: 10.23919/ISAP47053.2021.9391425
- ⑪ K. N. Nguyen, H. Shirai and H. Serizawa, “Electromagnetic Scattering Analysis from a Rectangular Hole in a Thick Conducting Screen,” IEICE Trans. Electron., Vol. 104-C, No. 4, pp.134-143.  
DOI: 10.1587/transele.2020REP0001
- ⑫ N. Q. Ta and H. Shirai, “High Frequency Asymptotic Evaluation for Electromagnetic Scattering from a Circular Conducting Cylinder —E Polarization—,” Proc. of 2020 International Conference on Communications and Electronics, CDROM.  
DOI: 10.1109/ICCE48956.2021.9352043
- ⑬ N. Q. Ta and H. Shirai, “GO-Based Equivalent Current Formulation for Scattering from Circular Conducting Cylinders and Strips,” Proc. of 2021 International Conference on Electromagnetics and Advanced Applications, CDROM.  
DOI: 10.1109/ICEAA52647.2021.9539677
- ⑭ H. Shirai, “Extended Physical Optics Approximation for Electromagnetic Wave Scattering from Penetrable Objects,” Proc. of XXXIV General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science, CDROM.
- ⑮ D. M. Nguyen, H. Shirai and S.-Y. Kim, “Uniform Asymptotic Solution for Dielectric Wedge Diffraction Based on Equivalent Currents,” Proc. of XXXIV General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science, CDROM.  
DOI: 10.23919/URSIGASS51995.2021.9560354
- ⑯ 佐藤 亮一, 白井 宏, “導体平板上に設けられた隣接するスリットと方形溝からの平面電磁波の散乱 - E 偏波入射の場合-,” 電子情報通信学会 電磁界理論研究会, 研究会資料, EMT2021-6(2021-05), pp.31-34.

[学会発表] (計 14 件)

- ① K. N. Nguyen and H. Shirai, “High Frequency Diffraction by Rectangular Hole in a Thick

- Conducting Screen -H Polarization Case-,”2019 PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium, Rome, Italy.
- ② K. N. Nguyen and H. Shirai, “High Frequency Diffraction by Thick Loaded Conducting Slits -H Polarization Case-,” 2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, Atlanta, USA.
  - ③ T. Q. Ngoc and H. Shirai, “High Frequency Asymptotic Evaluation of PO Integral for EM Scattering from PEC Circular Cylinder,” 2019 International Conference on Electromagnetics and Advanced Applications, Granada, Spain.
  - ④ R. Sato and H. Shirai, “Fundamental Analysis of Electromagnetic Wave Scattering from Multi-layered Window Glass in Multi-frequency Band,” 2019 International Conference on Electromagnetics and Advanced Applications, Granada, Spain.
  - ⑤ 佐藤 亮一, 白井 宏, “導体平板上の2つのクラックからの電磁波散乱に関する基礎研究,” 電子情報通信学会 電磁界理論研究会.
  - ⑥ M. D. Nguyen and H. Shirai, “Uniform Asymptotic Solution For Conducting Wedge Diffraction Based On Physical Optics Current,” 2020 IEICE General Conference.
  - ⑦ K. N. Nguyen and H. Shirai, “High Frequency Diffraction by a Rectangular Hole in a Thick Conducting Screen -E Polarization Case-,” 2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, Montreal, Canada.
  - ⑧ K. N. Nguyen and H. Shirai, “TE Plane Wave Diffraction by Window Aperture on a Thick Conducting Wall,” 2020 IEEE International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC 2020), Nha Trang, Vietnam.
  - ⑨ R. Sato and H. Shirai, “Approximate analysis of EM wave scattering from two cracks on a ground plane,” 2020 ISAP International Symposium on Antennas and Propagation, Osaka, Japan.
  - ⑩ N. Q. Ta and H. Shirai, “High Frequency Asymptotic Evaluation for Electromagnetic Scattering from a Circular Conducting Cylinder -E Polarization-,”2020 International Conference on Communications and Electronics.
  - ⑪ N. Q. Ta and H. Shirai, “GO-Based Equivalent Current Formulation for Scattering from Circular Conducting Cylinders and Strips,”2021 International Conference on Electromagnetics and Advanced Applications.
  - ⑫ H. Shirai, “Extended Physical Optics Approximation for Electromagnetic Wave Scattering from Penetrable Objects,” XXXIV General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science.
  - ⑬ D. M. Nguyen, H. Shirai and S.-Y. Kim, “Uniform Asymptotic Solution for Dielectric Wedge Diffraction Based on Equivalent Currents,” XXXIV General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science.
  - ⑭ 佐藤 亮一, 白井 宏, “導体平板上に設けられた隣接するスリットと方形溝からの平面電磁波の散乱 -E 偏波入射の場合-, ” 電子情報通信学会 電磁界理論研究会.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

以下のホームページ：

<http://www.elect.chuo-u.ac.jp/shirai/>

に研究業績を含めた研究紹介を掲載している。

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：佐藤 亮一

ローマ字氏名：SATO Ryoichi

所属研究機関名：新潟大学

部局名：人文社会科学系

職名：教授

研究者番号 (8 桁)：00293184

※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、研究者個人に帰属されます。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10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 TA Ngoc Quang, SHIRAI Hiroshi	4. 巻 E103.C
2. 論文標題 A Field Equivalence between Physical Optics and GO-Based Equivalent Current Methods for Scattering from Circular Conducting Cylinders	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Electronics	6. 最初と最後の頁 382 ~ 387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2019ECP5048	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 NGUYEN Nam Khanh, SHIRAI Hiroshi	4. 巻 -
2. 論文標題 High Frequency Diffraction by a Rectangular Hole in a Thick Conducting Screen -E Polarization Case-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of 2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation	6. 最初と最後の頁 -
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 NGUYEN Nam Khanh, SHIRAI Hiroshi	4. 巻 -
2. 論文標題 TE Plane Wave Diffraction by Window Aperture on a Thick Conducting Wall	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 TE Plane Wave Diffraction by Window Proc. of 2020 IEEE International Conference on Advanced Technologies for Communications	6. 最初と最後の頁 -
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 TA Ngoc Quang, SHIRAI Hiroshi	4. 巻 -
2. 論文標題 High Frequency Asymptotic Evaluation for Electromagnetic Scattering from a Circular Conducting Cylinder -E Polarization-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High Frequency Asymptotic Evaluation for Electromagnetic Scattering from a Circular Conductin Proc. of 2020 International Conference on Communications and Electronics	6. 最初と最後の頁 -
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 NGUYEN Khanh Nam, SHIRAI Hiroshi, SERIZAWA Hirohide	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 SATO Ryoichi, SHIRAI Hiroshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Approximate Analysis of EM Wave Scattering From Two Cracks on a Ground Plane	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 2020 ISAP International Symposium on Antennas and Propagation	6. 最初と最後の頁 657-658
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. N. Nguyen and H. Shirai	4. 巻 -
2. 論文標題 High Frequency Diffraction by Rectangular Hole in a Thick Conducting Screen -H Polarization Case-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium	6. 最初と最後の頁 -
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. N. Nguyen and H. Shirai	4. 巻 -
2. 論文標題 High Frequency Diffraction by Thick Loaded Conducting Slits -H Polarization Case-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation	6. 最初と最後の頁 -
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 T. Q. Ngoc and H. Shirai	4. 巻 -
2. 論文標題 High Frequency Asymptotic Evaluation of PO Integral for EM Scattering from PEC Circular Cylinder	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 International Conference on Electromagnetics and Advanced Applications	6. 最初と最後の頁 -
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 R. Sato and H. Shirai	4. 巻 -
2. 論文標題 Fundamental Analysis of Electromagnetic Wave Scattering from Multi-layered Window Glass in Multi-frequency Band	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 International Conference on Electromagnetics and Advanced Applications	6. 最初と最後の頁 -
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 佐藤 亮一, 白井 宏	4. 巻 EMT2019-49
2. 論文標題 導体平板上の2つのクラックからの電磁波散乱に関する基礎研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 電磁界理論研究会, 研究会資料	6. 最初と最後の頁 261-264
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 M. D. Nguyen and H. Shirai	4. 巻 -
2. 論文標題 Uniform Asymptotic Solution For Conducting Wedge Diffraction Based On Physical Optics Current	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 電子情報通信学会 全国大会 講演論文集	6. 最初と最後の頁 -
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9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 NGUYEN Nam Khanh, SHIRAI Hiroshi
2. 発表標題 High Frequency Diffraction by a Rectangular Hole in a Thick Conducting Screen -E Polarization Case-
3. 学会等名 2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 NGUYEN Nam Khanh, SHIRAI Hiroshi
2. 発表標題 TE Plane Wave Diffraction by Window Aperture on a Thick Conducting Wall
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Advanced Technologies for Communications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 TA Ngoc Quang, SHIRAI Hiroshi
2. 発表標題 High Frequency Asymptotic Evaluation for Electromagnetic Scattering from a Circular Conducting Cylinder -E Polarization-
3. 学会等名 2020 International Conference on Communications and Electronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 SATO Ryoichi, SHIRAI Hiroshi
2. 発表標題 Approximate Analysis of EM Wave Scattering from Two Cracks on a Ground Plane
3. 学会等名 2020 ISAP International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. N. Nguyen and H. Shirai
2. 発表標題 High Frequency Diffraction by Rectangular Hole in a Thick Conducting Screen -H Polarization Case-
3. 学会等名 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. N. Nguyen and H. Shirai
2. 発表標題 High Frequency Diffraction by Thick Loaded Conducting Slits -H Polarization Case-
3. 学会等名 2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Q. Ngoc and H. Shirai
2. 発表標題 High Frequency Asymptotic Evaluation of PO Integral for EM Scattering from PEC Circular Cylinder
3. 学会等名 2019 International Conference on Electromagnetics and Advanced Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sato and H. Shirai
2. 発表標題 Fundamental Analysis of Electromagnetic Wave Scattering from Multi-layered Window Glass in Multi-frequency Band
3. 学会等名 2019 International Conference on Electromagnetics and Advanced Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 亮一, 白井 宏
2. 発表標題 導体平板上の2つのクラックからの電磁波散乱に関する基礎研究
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 2019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
研究分担者	佐藤 亮一  (Sato Ryoichi)  (00293184)	新潟大学・人文社会科学系・教授    (13101)	

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
---------	---------