

令和元年6月10日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06094

研究課題名(和文)滑らかな曲面を有する物体による散乱電磁界の新たな近似解と実験による検証

研究課題名(英文) Novel Asymptotic Solution for Scattered Electromagnetic Field from a Body with Smooth curved Surface and Its Experimental Verification

研究代表者

後藤 啓次 (GOTO, Keiji)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群)・電気情報学群
・教授

研究者番号：20531982

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)：研究課題『滑らかな曲面を有する物体による散乱電磁界の新たな近似解と実験による検証』を、(1)誘電体で覆われた導体円柱による散乱電磁界の新たな近似解と検証及び(2)開放円筒導体曲面による散乱電磁界の新たな近似解と実験による検証の2つの研究細目に分けて研究を行った。その結果、本研究で導出を行った新たな近似解は、(ア)厳密解(または参照解)あるいは実験結果と良く一致すること、および(イ)散乱現象を理解する上で有効であること、を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、周波数領域及び時間領域による2種類の近似解析法を用いて、滑らかな曲面を有する2次元物体からの散乱現象を伝搬経路の異なる散乱成分の重畳により解釈可能であることを明らかにした点である。本近似解析法は2次元物体からの散乱現象を詳細に解明できるため、コンクリート建造物内の円柱状鉄筋の腐食による鉄筋コンクリートの劣化度を診断する非破壊検査等、社会インフラの安全性の確保への応用が期待される。また、平板、凹面板、凸面板で形成される複雑な形状をした物体による散乱界の近似解析やレーダ断面積の計算分野において適用されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：We have investigated research by dividing the subject "novel asymptotic solution for scattered electromagnetic field from a body with smooth curved surface and its experimental verification" into two subtitles (1) novel asymptotic solution for scattered electromagnetic field from a coated conducting cylinder and its verification and (2) novel asymptotic solution for scattered electromagnetic field from a cylindrically curved conducting open sheet and its experimental verification. We clarified that each novel asymptotic solution derived in the above mentioned two subtitles agrees very well with an exact solution (or a reference solution) and/or experimental results, and is effective in understanding scattering phenomena.

研究分野：電磁波工学

キーワード：散乱電磁界 高周波 周波数領域 時間領域 近似解 コーティングされた導体円柱 開放円筒導体曲面

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 「誘電体で覆われた導体円柱」や「開放された円筒導体曲面」等の『滑らかな曲面を有する物体』による散乱電磁界の研究は、レーダ断面積の計算、高分解能レーダ、あるいは形状認識の分野において重要な研究課題となっている。

(2) しかしながら、『滑らかな曲面を有する物体』による散乱電磁界の研究は、周波数領域 (frequency-domain : FD) による近似解析で主体であり、時間領域 (time-domain) による近似解析については十分な研究がなされていない。

2. 研究の目的

本研究では、研究課題『滑らかな曲面を有する物体による散乱電磁界の新たな近似解と実験による検証』について検討を行い、新たに導出する散乱電磁界に対する周波数領域 (FD) 及び時間領域 (TD) における近似解は、

厳密解(または参照解)あるいは実験結果と精度良く一致すること

散乱現象を理解する上で有効であること

を目的として研究を行う。

3. 研究の方法

(1) 上記の2つの研究目的を達成するために、研究課題を

(A) 誘電体で覆われた導体円柱による散乱電磁界の新たな近似解と検証

(B) 開放円筒導体曲面による散乱電磁界の新たな近似解と実験による検証

の2つの研究細目に分割し、各研究細目に対して研究代表者1人及び研究協力者1人の2名からなる研究グループを2グループ構成する。

(2) 各研究細目を段階を追って着実に達成するために各細目の研究を、下記の(3)に示すように、～ までの5段階に分け1段ずつ問題解決を行い、最後の5段階目が解決できれば研究細目の研究目標は達成できるように研究を立案している。

(3) 研究方法としては、

研究細目(A)及び(B)のそれぞれにおいて厳密解(あるいは参照解)のプログラム(FD及びTD)を作成し、数値計算データを取得する。計算データを用いて散乱現象(FD及びTD)についての概略の検討を行う。また、電波暗室における測定実験の準備を行う。

散乱電磁界(FD)及び過渡散乱界(TD)を表す積分に各種の解析法を適用することにより、新たな近似解(FD及びTD)の導出を行う。

で求めた厳密解(または参照解)あるいは電波暗室で測定した実験結果と比較することにより、で導出した近似解の有効性及びその解釈法について明らかにする。

超広帯域 (ultra-wideband : UWB) パルス波が滑らかな曲面を有する物体を照射する場合の過渡散乱電磁界に対する新たな近似解(TD)の導出を行う。

で求めた厳密解(または参照解)あるいは電波暗室で測定した実験結果と比較することにより、で導出した新たな近似解の有効性及びその解釈法について明らかにする。

以上の5段階に分けて研究を進める。

4. 研究成果

(1) 研究を効果的に進めるために、研究課題『滑らかな曲面を有する物体による散乱電磁界の新たな近似解と実験による検証』を3. 研究方法、において述べた研究細目(A)及び(B)に分け、2つの研究グループを組織して研究を実施した。その結果として、2. 研究目的の 及び で述べた2つの研究目的を達成できたことから、本研究においては、十分な研究成果を修めることができたものと自己評価を行っている。

(2) 研究成果は、他の学者・研究者からの評価を得るために、あるいは広く関係分野の研究・開発に供するために学術論文誌等において15件、また学会において17件の発表を行った。

(3) 具体的な研究成果、得られた成果の国内外における位置づけとインパクト、及び今後の展望は、以下ようになる。

(4) 研究細目(A)に関する研究成果

研究細目(A)では、図1に示す均質媒質2で覆われた半径 a の誘電体で覆われた導体円柱に点Qから円筒波あるいはパルス波が入射する場合の散乱界あるいは過渡散乱界について検討を行った。媒質1の周囲空間は、幾何光学境界 (geometrical boundaries : GBs) GB_p^n , $p = 0, 1, 2$, および遷移領域 (transition regions : TRs) TR_p^n , $p = 0, 1, 2$, により、多数の領域に分割される。本研究細目では、周波数領域 (FD) および時間領域 (TD) における近似解の導出を行った。具体的には、遷移領域 TR_p^n 外部の深い照射領域では多重反射を含む幾何光学波級数解、遷移領域 TR_p^n 内部では多重反射 - 表面回折波を含む拡張 UTD 級数解で表されることを明らかにした。

図2には、周波数領域(FD)における散乱磁界の計算例を示した。新たに導出した近似解(—)および(—)は従来の近似解(—)と比較して厳密解(—)と精度良く一致することを示した。

図3(a)には、時間領域(TD)における過渡散乱電界の計算例を示した。新たに導出した近似解(----)は、参照解(—)と精度良く一致することを示した。

図3(b)および(c)には、図3(a)の近似解(----)を構成する8個のパルス波成分(—)を示した。新たに導出した近似解は観測点に到達するパルス波成分を分離して観測できるため、散乱現象を理解する上で有効であることを明らかにした。

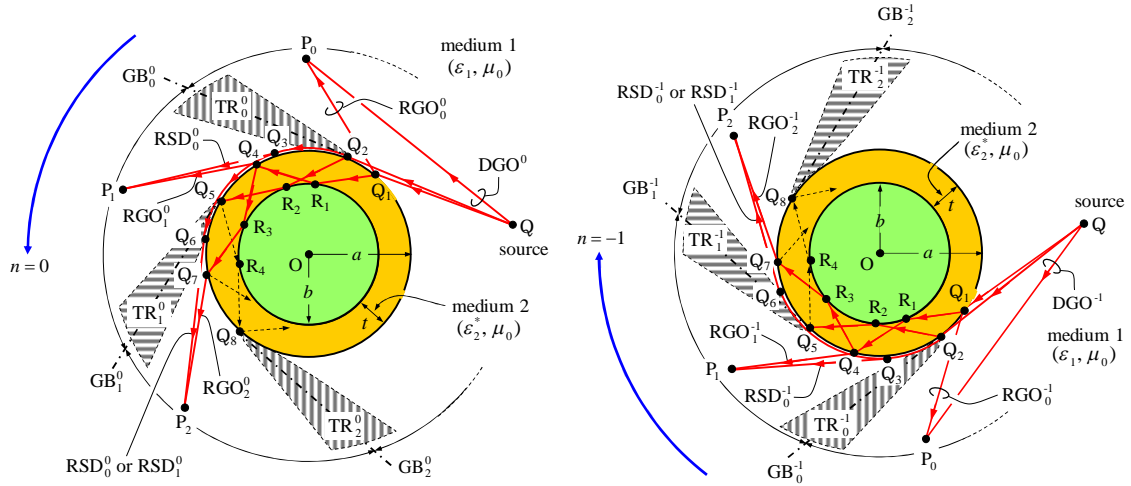


図1 誘電体で覆われた導体円柱及び反時計方向 ($n=0$) および時計方向 ($n=-1$) から形成される幾何光学境界 GB_p^n , $p=0, 1, 2$ 、遷移領域 TR_p^n , $p=0, 1, 2$ 、並びに散乱現象。

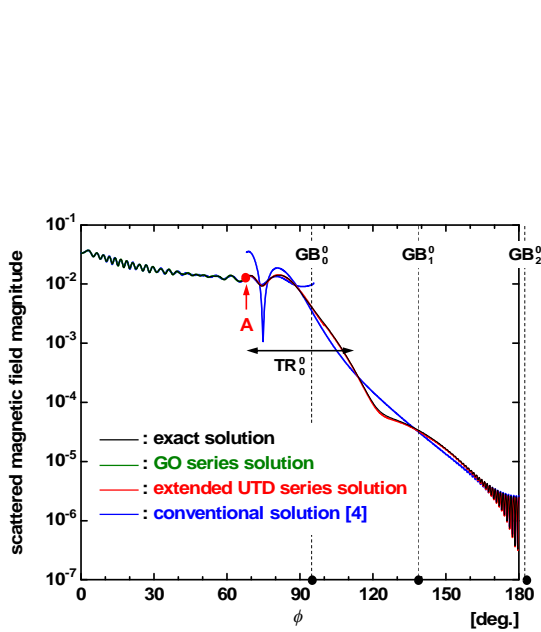


図2 散乱磁界振幅の計算例。

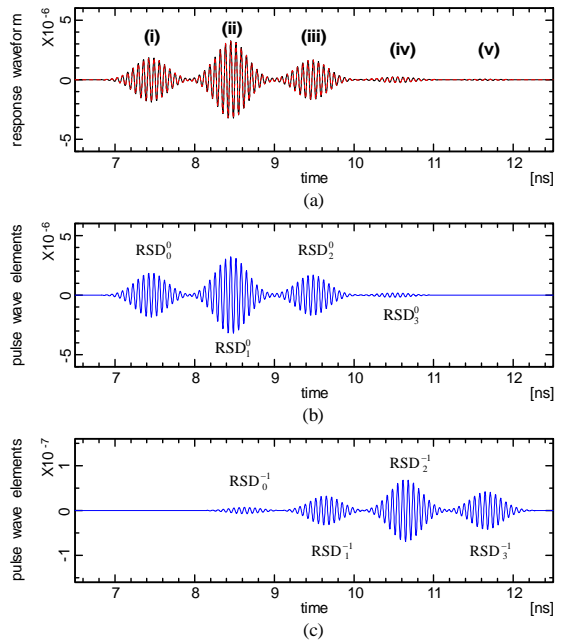


図3(a) 過渡散乱磁界の応答波形。

図3(b), (c) パルス波成分。

(5) 研究細目(B)に関する研究成果

研究細目(B)では、図4に示す両端にエッジAおよびBを有する2次元開放円筒導体曲面からの散乱界について検討を行った。過渡散乱磁界は、エッジAで励振される過渡散乱界、エッジBで励振される過渡散乱界、及び曲面部表面での反射波界の組合せで表される。本研究細目では、周波数領域(FD)および時間領域(TD)における近似解の導出を行った。

図5には、UWBパルス波による過渡散乱磁界の計算例を示した。図5(a)および図5(b)より、新たに導出した近似数値解(—)は、参照解(---)および実験結果()と精度良く一致することを示した。

図5(c)には、図4(a)または図4(b)の近似解(—)を構成する12個のパルス波成分(—)を示した。新たに導出した近似解は観測点に到達するパルス波成分を分離して観測できるため、散乱現象を理解する上で有効であることを明らかにした。

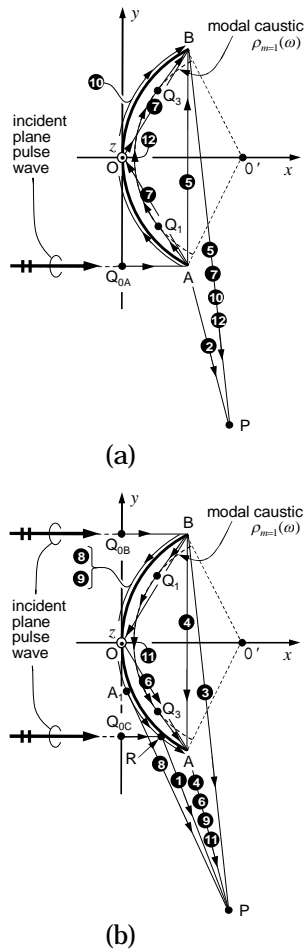


図4 開放円筒導体曲面及び散乱現象 .

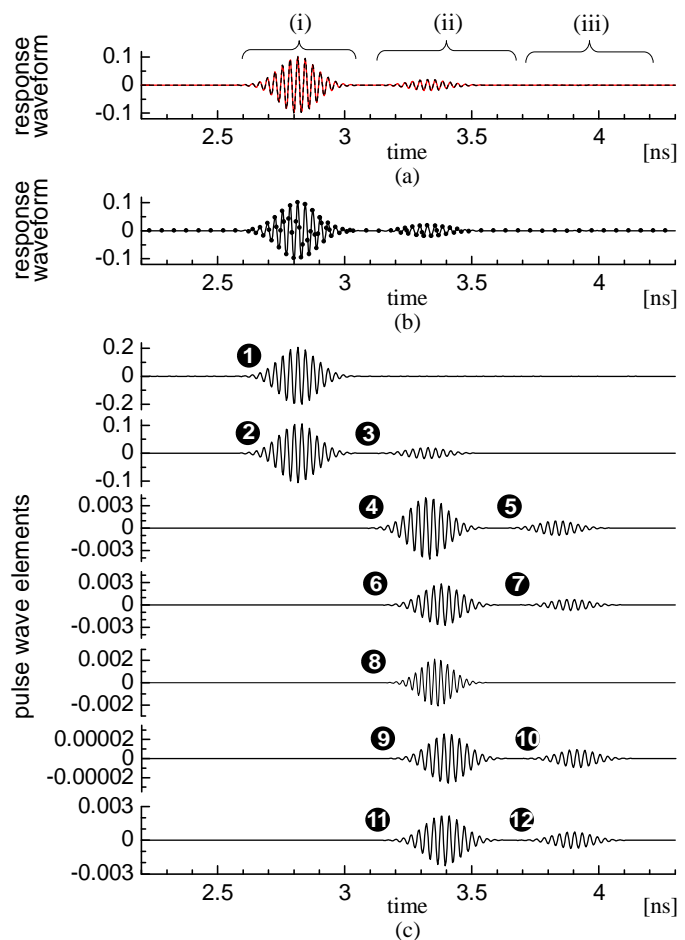


図5 (a)及び(b) 応答波形 .

図5 (b) パルス波成分 .

(3) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

研究細目(1)の誘電体で覆われた導体円柱による散乱電磁界の新たな近似解と検証、及び研究細目(2)の開放円筒導体曲面による散乱電磁界の新たな近似解と実験による検証については、これまで十分な発表がなされておらず、レーダ断面積の解析、コンフォーマルアンテナの解析、非破壊検査などの分野において重要な研究課題であることから、国内外の発表において注目され、大きなインパクトを与えた。

(4) 今後の展望

研究細目(1)の研究成果は、鉄筋コンクリートの劣化度を診断する非破壊検査等の社会インフラの安全性の確保への応用が期待される。

研究細目(2)の研究成果は、平板、凹面板、凸面板で形成される複雑な形状をした物体による散乱界の近似解析、レーダ断面積の計算、高分解能レーダ、及び形状認識等の分野において適用されることが期待される。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計15件)

K. Goto, R. Takahashi, R. Manabe, and Y. Egashira, Asymptotic Analysis for Transient Scattered Magnetic Field from a Conducting Cylinder Coated with a Thin Dielectric Layer, Proc. of the AT-RASC 2018, 査読有, pp. 1-3, Gran Canaria, Spain, 2018. DOI: [10.23919/URSI-AT-RASC.2018.8471453](https://doi.org/10.23919/URSI-AT-RASC.2018.8471453)

K. Goto, R. Manabe, Y. Egashira, and R. Takahashi, Asymptotic Analysis for Transient Scattered Electric Field from a Conducting Cylinder Coated with a Thin Dielectric Layer, Proc. of the AT-RASC 2018, 査読有, pp. 1-3, Gran Canaria, Spain, 2018. DOI: [10.23919/URSI-AT-RASC.2018.8471595](https://doi.org/10.23919/URSI-AT-RASC.2018.8471595)

K. Goto, R. Takahashi, R. Manabe, and Y. Egashira, Time-Domain Uniform Asymptotic Solution for Transient Scattered Electric Field from a Conducting Cylinder Coated with a Thin Dielectric Layer, Proc. of the ICEAA 2017, 査読有, pp. 1861-1862, Verona, Italy, 2017. DOI: [10.1109/ICEAA.2017.8065667](https://doi.org/10.1109/ICEAA.2017.8065667)

K. Goto, Y. Egashira, R. Takahashi, and R. Manabe, Time-Domain Asymptotic-

Numerical Solutions for Transient Scattered Electric Field from a Conducting Cylinder Coated with a Thick Dielectric Layer, Proc. of the ICEAA 2017, 査読有, pp. 549-550, Verona, Italy, 2017. DOI: [10.1109/ICEAA.2017.8065303](https://doi.org/10.1109/ICEAA.2017.8065303)

K. Hagiwara, K. Goto, S. Tokumaru, L. Okada, and Y. Takeno, Novel time-domain asymptotic-numerical solutions for transient scattered electric field from a coated cylinder covered with a thick dielectric medium, IEICE Electronics Express, 査読有, vol. 14, no. 5, 20170085 pp. 1-10, 2017. DOI: [10.1587/elex.14.20170085](https://doi.org/10.1587/elex.14.20170085)

K. Hagiwara, K. Goto, S. Tokumaru, L. Okada, and Y. Takeno, High-frequency asymptotic solutions for scattered electric field by a 2-D coated conducting cylinder covered with a thick dielectric medium, Proc. of the ICEAA 2016, 査読有, pp.366-367, Cairns, Australia, 2016. DOI: [10.1109/ICEAA.2016.7731400](https://doi.org/10.1109/ICEAA.2016.7731400)

K. Goto, O. Okawa, and N. Kishimoto, High-frequency asymptotic solutions for scattered magnetic field by a coated cylinder, Proc. of the 2016 IEEE AP-S, 査読有, pp. 1497-1498, Fajardo, Puerto Rico, 2016. DOI: [10.1109/APS.2016.7696455](https://doi.org/10.1109/APS.2016.7696455)

K. Goto, N. Kishimoto, and O. Okawa, Time-domain asymptotic numerical solution for transient scattered field from a cylindrically curved conducting open sheet excited by UWB pulse wave, IEICE Electronics Express, 査読有, vol. 13, no. 3, 20161041 pp. 1-9, 2016. DOI: [10.1587/elex.13.20151041](https://doi.org/10.1587/elex.13.20151041)

K. Goto, N. Sumikawa, R. Asai, and T. Santikul, Frequency-domain uniform asymptotic solution for scattered field by a coated cylinder with a thin lossy medium, IEICE Trans. on Electronics, 査読有, vol. E99-C, no. 1, pp. 18-27, 2016. DOI: [10.1587/transele.E99.C.18](https://doi.org/10.1587/transele.E99.C.18)

K. Goto, T. Santikul, R. Asai, and N. Sumikawa, Study on transient scattered electric field from a coated conducting cylinder covered with a thin lossy dielectric material excited by UWB pulse wave, Proc. of the ICEAA 2015, 査読有, pp. 231-234, Torino, Italy, 2015. DOI: [10.1109/ICEAA.2015.7297110](https://doi.org/10.1109/ICEAA.2015.7297110)

他 5 件

[学会発表](計 17 件)

後藤啓次, 井上真奈美, 北原尚希, 福村友梨, 鞍部点法を用いたコーティング導体円柱からの過渡散乱電界の近似解析法, 電気学会電磁界理論研究会資料, EMT-19-21, pp. 101-106, 2019 年.

後藤啓次, 福村友梨, 井上真奈美, 北原尚希, 鞍部点法を用いたコーティング導体円柱からの過渡散乱磁界の近似解析法, 電気学会電磁界理論研究会資料, EMT-18-134, pp. 151-156, 2018 年.

K. Goto, T. Kawano, H. Kitahara, Y. Fukumura, and M. Inoue, Asymptotic Analysis for Transient Scattered Magnetic Field from a Coated Conducting Cylinder by Using Saddle Point Technique, Proc. of the 2018 PIERS 2018, 査読有, p. 1305, Toyama, Japan 2018.

K. Goto, T. Kawano, M. Inoue, H. Kitahara, and Y. Fukumura, Analytical-Numerical Method for Transient Scattered Magnetic Field from a Coated Conducting Cylinder Excited by UWB Pulse Wave, Proc. of the PIERS 2018, 査読有, p. 68, Toyama, Japan 2018.

後藤 啓次, 江頭 義満, 高橋 良, 眞鍋 遼太郎, フーリエ変換の方法を用いたコーティング導体円柱からの過渡散乱電界の近似解析, 電気学会電磁界理論研究会資料, EMT-17-148, pp. 247~252, 2017 年.

後藤 啓次, 萩原啓司, 嶽野佑太, 徳丸翔平, 岡田怜蘭, 厚さの厚い誘電体媒質で覆われたコーティング導体円柱による過渡散乱電界に関する近似 - 数値解, 電気学会電磁界理論研究会資料, EMT-16-107, pp. 93~96, 2016 年.

後藤 啓次, 岸本 尚己, 大川 沖, UWB パルス波による厚さの薄いコーティング導体円柱からの過渡散乱磁界に対する近似数値解, 電気学会電磁界理論研究会資料, EMT-15-162, pp. 35-40, 2015 年.

K. Goto, O. Okawa, and N. Kishimoto, Asymptotic-numerical analysis for transient scattered field by a coated cylinder with a thin lossy medium excited by a UWB pulse wave, Proc. of the URSI-JRSM 2015, 査読有, p. 40, Tokyo, Japan, 2015.

他 9 件

[その他]

Researchmap : https://researchmap.jp/kei_G/