

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：82723

研究種目：基礎研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560424

研究課題名（和文）高周波電磁波の散乱及び伝搬に関する研究

研究課題名（英文）Studies on the Scattering and the Propagation of High-Frequency Electromagnetic Waves

研究代表者

石原 豊彦（ISHIHARA TOYOHICO）

防衛大学校・電気情報学群・教授

研究者番号：10531981

研究成果の概要（和文）：研究課題「高周波電磁波の散乱及び伝搬に関する研究」を、2つの研究細目(1)複雑な形状の物体による散乱界の近似解析及び実験、及び(2)陸海混合経路上の地表波伝搬の近似解析及び実験、に分けて研究を進めた。その結果、本研究で新たに提案を行った近似解は、(ア)基準の解または実験結果と精度よく一致すること、(イ)物理現象の理解が容易であること、及び(ウ)複雑な形状の物体による散乱界または複雑な伝搬経路上の電波伝搬の近似解析へ比較的容易に拡張可能であること、が明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：We have performed the research by dividing the subject 「Studies on the Scattering and the Propagation of High-Frequency Electromagnetic(EM) Waves」 into two subtitles (1)Asymptotic Analysis and Experiment on the Scattering of EM waves by the Complex Objects and (2) Asymptotic Analysis and Experiment of Ground Wave Propagation along the Land-to-Sea Mixed-Path. We have clarified that the novel asymptotic solutions proposed in this research (a) agree very well with the reference solutions and the experimental results, (b) are easy to understand the physical phenomena, and (3) are expanded relatively easily to more complex problems on the scattering of EM waves by the objects and on the propagation of the EM waves along the mixed-path.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	0	1,400,000
2010年度	1,000,000	0	1,000,000
2011年度	1,200,000	0	1,200,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	0	3,600,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、通信・ネットワーク工学

キーワード：アンテナ、高周波電磁界、電波伝搬、散乱電磁界

1. 研究開始当初の背景

複雑な形状の物体による散乱界の近似解析、及び伝搬経路が陸上と海上からなる陸海混合経路上の地表波伝搬の近似解析及び実験に関する研究は、アンテナ、レーダ、電波伝搬、及び波動の伝搬・散乱など広範な分野に

おいて重要な研究課題となっている。

しかしながら、これまで滑らかな凹形境界面あるいは凸形境界面に高周波の変調パルス波が入射する場合の高周波近似解析法については、十分な研究がなされていなかった。また、送受信アンテナが地表面から十分に高

い位置に設置される場合の陸海混合経路上の電波伝搬に対する近似解については、十分な研究がなされていなかった。

このような研究状況及び研究の重要性から、本研究においては、より複雑な形状の物体による散乱電磁界及び任意の高さに送受信アンテナが設置された場合の電波伝搬、の高周波近似解析及び実験について検討を行う。

2. 研究の目的

上記1.の研究開始当初の背景で述べた研究状況及び研究の重要性・必要性の中で、本研究においては、研究課題「高周波電磁波の散乱及び伝搬に関する研究」について検討を行い、新たに提案する電磁界を表す近似解は、(ア) 数値的に求める基準解及び実験結果と精度良く一致し有効であることを明らかにすること、

(イ) 散乱現象及び伝搬現象を物理的に理解する上において有効であること、

(ウ) より複雑な形状の物体による散乱界の近似解析あるいは複雑な伝搬路上の電波伝搬の近似解析へ比較的容易に拡張可能であることを明らかにすること、を目的として研究を行う。

3. 研究の方法

上記の3つの研究目的を達成するために、研究課題を、

(1) 複雑な形状の物体による散乱界の近似解析及び実験

(2) 陸海混合経路上の地表波伝搬の近似解析及び実験

の2つの研究細目に分割し、それぞれの研究細目に対して研究代表者1人及び研究分担者1人の2人からなる研究グループを2グループ構成し、研究目的の達成を目指して研究を進める。それぞれのグループの研究の結果から得られる成果について、他の学者・研究者からのコメントあるいは評価を得るために、学会発表及び雑誌論文の発表を行う。

研究方法としては、

(イ) 研究細目(1)及び(2)のそれぞれにおいて電磁界を表す新たな近似解の導出を行う。

(ロ) 近似解を評価するための基準解を求めるための数値解析プログラムを作成する。

(ハ) 近似解析の有効性を実験的にも確認するための実験方法について検討を行う。

(ニ) 近似解の物理的解釈法について明らかにする。

(ホ) より複雑な散乱問題及び伝搬問題の近似解析に拡張する方法について検討を行う。

以上の5段階に分けて研究を進める。

4. 研究成果

研究を効果的に進めるために、研究課題「高周波電磁波の散乱及び伝搬に関する研究」を3. 研究方法、において述べた研究細目(1)及び(2)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(ア)～(ウ)で述べた3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。

研究成果は、他の科学者・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雑誌論文等において17件、また学会において29件の発表を行った。

具体的な研究成果、得られた成果の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。

(1) 研究細目(1)に関する研究成果

①研究細目(1)においては、図1に示す開放円筒導体曲面に対して凸面側からガウス形の変調パルス波が入射する場合の散乱電磁界について検討を行い、 $P_1 \sim P_3$ の観測点において、過渡ウイスパリングギャラリ(WG)モード放射界(図1の㉑及び㉒参照)、エッジ表面回折波(㉓)、エッジ回折波(㉔)、及びエッジ回折—凹面上反射幾何光学波(㉕)が励振されることを明らかにした。

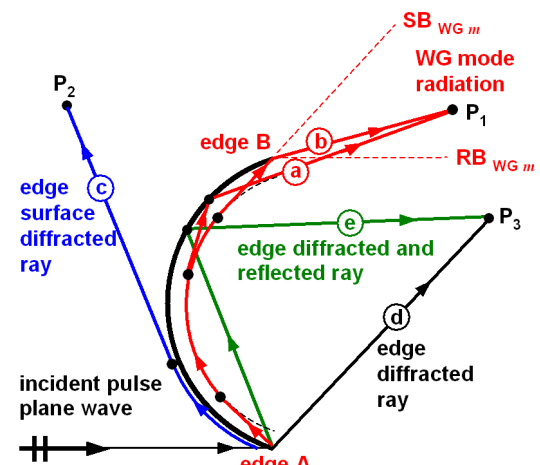


図1 開放円筒導体曲面及びエッジによる各種散乱波の伝搬経路。

㉑及び㉒：過渡WGモード放射界、㉓：エッジ表面回折波、㉔：エッジ回折波、㉕：エッジ回折—凹面上反射幾何光学波。

②上記の㉑～㉕の放射界、散乱波、あるいは反射幾何光学波に対する高周波近似解の導出を行い、数値的に求めた参照解と比較することにより新たに提案を行った近似解の有効性を明らかにした。図2には、一例として、新たに提案を行った近似解(—)は、従来の近似解(—)と比較して参照解(●●●)と良く一致することを示した。

③提案を行った近似解は、放射、散乱、及び反射等の物理現象を容易に理解することが可能であることを明らかにするとともに、開放導体曲面の曲率半径が位置とともに緩やかに変化する複雑な形状の滑らかな導体曲面による反射・散乱界を表す近似解への拡張方法を明らかにした。

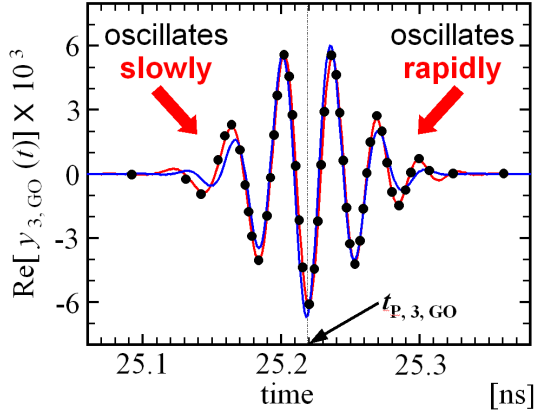


図2 近似解と参照解の比較。過渡1次WGモード放射界を構成する過渡幾何光学波(図1の④参照)の応答波形。—: 近似解、●●●: 参照解、—: 従来の近似解。

(2) 研究細目(2)に関する研究成果

①研究細目(2)においては、図3に示す2つの異なる表面インピーダンス値 Z_a 及び Z_b からなる不連続インピーダンス境界面による反射・散乱界について開口面法を用いて近似的に解析を行い、反射・散乱界は、境界面による反射波、境界面に沿って伝搬する地表波、及び不連続点における散乱界を用いて近似可能であることを明らかにした。②上記の反射・散乱界を表す新たな近似解の導出を行った。図4には、Helmholtz-Kirchhoff法を用いて計算を行った基準解との比較を行い、近似解の有効性及び高次

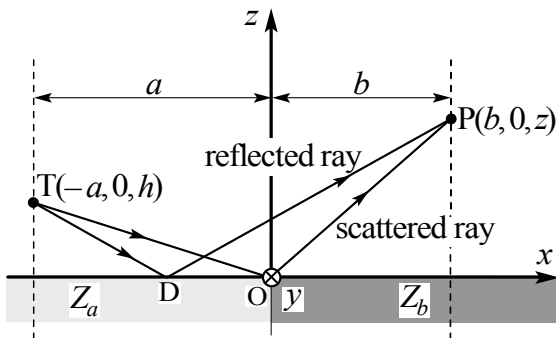


図3 表面インピーダンス値が Z_a 及び Z_b からなる不連続インピーダンス境界面上の電波伝搬及び解析で用いる座標系 (x, y, z) 。波源 T、観測点 P、点 P で観測される反射幾何光学波 $T \rightarrow D \rightarrow P$ 、及び不連続点 O における散乱波 $T \rightarrow O \rightarrow P$ 。

項の重要性を数値的に示した。③上記で導出を行った近似解は、物理的な解釈が容易であること、及びより複雑な不連続境界面による反射・散乱問題の近似解析へ拡張可能であること、について明らかにした。

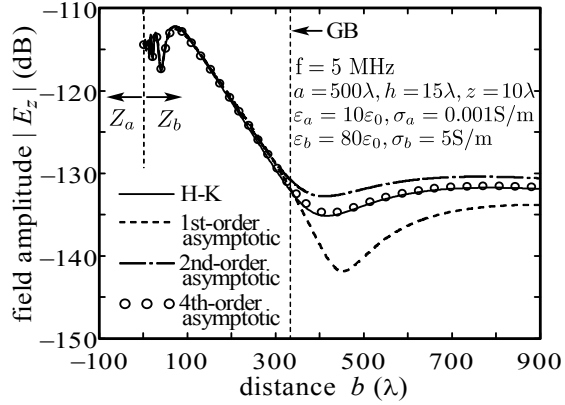


図4 開口面法による近似解と基準解の比較。

---: 1次近似解、- · -: 2次近似解、○○○: 4次近似解、及び —: H-K法による基準解。

(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)の過渡WGモード放射界及び過渡エッジ表面回折波の近似解析法、及び研究細目(2)の不連続インピーダンス境界面上の高周波電磁波伝搬の近似解析法については、これまで十分な発表がなされておらず、また、アンテナ・伝搬の研究・開発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

①研究細目(1)の研究成果は、これまで発表がなされている他の形状の物体による散乱界に対する近似解と組み合わせることにより、航空機、船舶、あるいは車両等複雑な形状の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。②研究細目(2)の研究成果は、地表波伝搬、インピーダンス値が異なる物質からなる物体によるレーダ断面積の計算等の分野において応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17件)

- ① Dinh Trong Quang, Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, A uniform asymptotic solution for transmitted waves through a plane dielectric

- interface from a denser to a rarer mediums by using parabolic cylinder functions, Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, 査読有, vol.12, no.1, 2012, pp.45-54,
DOI:<http://dx.doi.org/10.5515/JKIEES.2012.12.1.45>
- ② Dinh Trong Quang, Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, A uniform asymptotic solution for reflection and beam shift of a Gaussian beam at a plane dielectric interface, IEICE Transactions on Electronics, 査読有, vol.E95-C, no.1, 2012, pp.16-26,
DOI: 10.1587/transele.E95.C.16
- ③ Dinh Trong Quang, Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, A novel uniform asymptotic solution for transmitted wave through a plane dielectric interface, IEICE Electronics Express, 査読有, vol.8, no.23, 2011, pp.1989-1995,
DOI: 10.1587/elex.8.1989
- ④ Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, Time-domain asymptotic solution for edge-surface diffracted ray, Proceedings of 2011 International Symposium on Antennas and Propagation, 査読有, Jeju, Korea, Session ThF2-4, 2011, (本論文は CD-ROM に掲載, ISBN: 978-89-5708-211-9)
[http://ap-s.ei.tuat.ac.jp/isapx/2011/pdf/\[ThF2-4\]%20C07_1002.pdf](http://ap-s.ei.tuat.ac.jp/isapx/2011/pdf/[ThF2-4]%20C07_1002.pdf)
- ⑤ Toru Kawano, Keiji Goto, and Toyohiko Ishihara, High-frequency asymptotic solution with higher-order terms for scattered fields by an impedance discontinuity of a planar impedance surface, Proceedings of 2011 International Symposium on Antennas and Propagation, 査読有, Jeju, Korea, Session ThE2-1, 2011, (本論文は CD-ROM に掲載, ISBN: 978-89-5708-211-9)
[http://ap-s.ei.tuat.ac.jp/isapx/2011/pdf/\[ThE2-1\]%20B04_1001.pdf](http://ap-s.ei.tuat.ac.jp/isapx/2011/pdf/[ThE2-1]%20B04_1001.pdf)
- ⑥ Dinh Trong Quang, Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, A uniform asymptotic solution for transmitted waves through a plane dielectric interface from a denser to a rarer mediums, Proceedings of 2011 International Symposium on Antennas and Propagation, 査読有, Jeju, Korea, Session WeF1-2, 2011, (本論文は CD-ROM に掲載, ISBN: 978-89-5708-211-9)
[http://ap-s.ei.tuat.ac.jp/isapx/2011/pdf/\[WeF1-2\]%20C04_1001.pdf](http://ap-s.ei.tuat.ac.jp/isapx/2011/pdf/[WeF1-2]%20C04_1001.pdf)
- ⑦ Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, Time-domain asymptotic analysis of transient whispering-gallery mode radiation excited by a UWB pulse source, Proceedings of 2011 IEEE Antennas and Propag. Society International Symposium, 査読有, Spokane, Washington, USA, Session 411.5, 2011, (本論文は CD-ROM に掲載, ISBN: 978-1-4244-9561-0)
DOI: 10.1109/APS.2011.5997036
- ⑧ Dinh Trong Quang, Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, Novel asymptotic solution in the transition region for transmitted wave through a plane dielectric interface, Proceedings of 2011 IEEE Antennas and Propag. Society International Symposium, 査読有, Spokane, Washington, USA, Session 411.3, 2011, (本論文は CD-ROM に掲載, ISBN: 978-1-4244-9561-0)
DOI: 10.1109/APS.2011.5997034
- ⑨ Toru Kawano, Keiji Goto, and Toyohiko Ishihara, Asymptotic solution with higher-order terms for scattered fields by an impedance discontinuity of a planar impedance surface, Proceedings of 2011 IEEE Antennas and Propag. Society International Symposium, 査読有, Spokane, Washington, USA, Session 411.1, 2011 (本論文は CD-ROM に掲載, ISBN: 978-1-4244-9561-0)
DOI: 10.1109/APS.2011.5997032
- ⑩ Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, Asymptotic solution with higher-order approximation for transient whispering gallery mode radiation field excited by a UWB pulse source, IEICE Electronics Express, 査読有, vol.8, no.8, 2011, pp.561-567,
DOI: 10.1587/elex.8.561
- ⑪ Dinh Trong Quang, Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, A novel uniform asymptotic solution for reflection of a Gaussian beam at a dielectric interface, IEICE Electronics Express, 査読有, vol.8, no.6, 2011, pp.397-403,
DOI: 10.1587/elex.8.397
- ⑫ Toru Kawano, Keiji Goto, and Toyohiko Ishihara, Analysis method of ground wave propagation over land-to-sea mixed-path by using Helmholtz-Kirchhoff integral theorem, IEICE Transactions on Electronics, 査読有, vol.E94-C, no.1, 2011, pp.10-17,

DOI: 10.1587/transele.E94.C.10

- ⑬ Toru Kawano, Keiji Goto, and Toyohiko Ishihara, High-frequency asymptotic solution for scattered fields by a junction of planar impedance surfaces, IEICE Electronics Express, 査読有, vol.7, no.14, 2010, pp.1072-1078, DOI: 10.1587/elex.7.1072
- ⑭ Toru Kawano, Keiji Goto, and Toyohiko Ishihara, High-frequency asymptotic solution for scattered fields by a discontinuity of a planar impedance surface, Proceedings of IEEE Antennas and Propag. Society International Symposium, 査読有, Toronto, Ontario, Canada, Session 333, 2010, (本論文は CD-ROM に掲載, ISBN: 978-1-4244-4968-2) DOI: 10.1109/APS.2010.5560957
- ⑮ Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, A new time-domain asymptotic solution for transient WG mode radiation fields excited by a pulse source, Proceedings of IEEE Antennas and Propag. Society International Symposium, 査読有, Toronto, Ontario, Canada, Session IF416, 2010, (本論文は CD-ROM に掲載, ISBN: 978-1-4244-4968-2) DOI: 10.1109/APS.2010.5562148
- ⑯ Toru Kawano, Keiji Goto, and Toyohiko Ishihara, Analysis of ground wave diffraction by a discontinuity of a planar impedance surface, Proceedings of IEEE Antennas and Propag. Society International Symposium, 査読有, Charleston, South Carolina, USA, Session 329, 2009, (本論文は CD-ROM に掲載, ISBN 978-1-4244-3647-7) DOI: 10.1109/APS.2009.5172088
- ⑰ Keiji Goto, Toru Kawano, and Toyohiko Ishihara, Asymptotic solution for transient scattered field by a cylindrically curved conducting surface, Proceedings of IEEE Antennas and Propag. Society International Symposium, 査読有, Charleston, South Carolina, USA, Session 405, 2009, (本論文は CD-ROM に掲載, ISBN 978-1-4244-3647-7) DOI: 10.1109/APS.2009.5172138

[学会発表] (計 29 件)

- ① 河野徹、後藤啓次、石原豊彦, Helmholtz-Kirchhoff 法を用いた不連続インピーダンス表面による反射・散乱界と開口面法を用いた近似解の比較、電子情報通信学会総合大会講演論文集、エレクトロニクス 1、C-1-28、2012 年 3 月 23 日、p.28、岡山大学 (岡山県)

- ② ディン・チョング・クアン、後藤啓次、河野徹、石原豊彦, 誘電体境界面における透過・散乱波の放物柱関数を用いた近似解、電子情報通信学会総合大会講演論文集、エレクトロニクス 1、C-1-29、2012 年 3 月 23 日、p.29、岡山大学 (岡山県)
- ③ レ・ホアン・ロク、後藤啓次、河野徹、石原豊彦, 無損失誘電体でコーティングされた導体円柱による散乱界の拡張 UTD 解、電子情報通信学会総合大会講演論文集、エレクトロニクス 1、C-1-30、2012 年 3 月 23 日、p.30、岡山大学 (岡山県)
- ④ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦, 導体曲面のエッジによる過渡散乱界の近似解析、電子情報通信学会総合大会講演論文集、エレクトロニクス 1、C-1-31、2012 年 3 月 23 日、p.31、岡山大学 (岡山県)
- ⑤ レ・ホアン・ロク、後藤啓次、河野徹、石原豊彦, コーティングされた導体円柱による高周波散乱界の拡張 UTD 解、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-12-18、2012 年 1 月 26 日、pp.73-78、大阪大学 (大阪府)
- ⑥ 後藤啓次、レ・ホアン・ロク、河野徹、石原豊彦, コーティングされた導体円柱による高周波散乱界の近似解析、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-11-128、2011 年 11 月 18 日、pp.1-6、礪波 (富山県)
- ⑦ ディン・チョング・クアン、後藤啓次、河野徹、石原豊彦, 平面誘電体境界面における透過波の放物柱関数を用いた近似解析、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-11-130、2011 年 11 月 18 日、pp.13-19、礪波 (富山県)
- ⑧ 河野徹、後藤啓次、石原豊彦, 不連続インピーダンス表面による反射・散乱界の近似解析、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-11-154、2011 年 11 月 19 日、pp.25-30、礪波 (富山県)
- ⑨ 河野徹、後藤啓次、石原豊彦, Metamaterial 平面における散乱界の高周波近似解析、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、講演論文集 1、C-1-20、2011 年 9 月 16 日、p.20、北海道大学 (北海道)
- ⑩ ディン・チョング・クアン、後藤啓次、河野徹、石原豊彦, 誘電体境界面におけるラテラル波振幅を持つ透過波の近似解析、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集 1、C-1-21、2011 年 9 月 16 日、p.21、北海道大学 (北海道)
- ⑪ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦, 凸形導体曲面からの過渡表面回折波の高周波近似解析、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集 1、C-1-22、2011 年 9 月 16 日、p.22、北海道大学 (北海道)
- ⑫ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦, 開放円筒導体曲面のエッジによる過渡表面回折波の

- 近似解析、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-11-61、2011年7月21日、pp. 21-26、北見工業大学（北海道）
- ⑬ ディン・チョング・クアン、後藤啓次、河野徹、石原豊彦、平面誘電体境界面における透過波に対する新近似解、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-11-055、2011年5月28日、pp. 57-62、中央大学（東京都）
- ⑭ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦、過渡ウィスパリングギャラリモード放射の近似解析法と近似精度、電子情報通信学会、総合大会講演論文集1、CS-1-8、2011年3月15日、p. S-14-p. S-15、東京都市大学（東京都）
- ⑮ 河野徹、後藤啓次、石原豊彦、Metamaterial 平面上の散乱電界の近似解析、電子情報通信学会、総合大会講演論文集1、CS-1-7、2011年3月15日、p. S-12-p. S-13、東京都市大学（東京都）
- ⑯ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦、過渡ウィスパリングギャラリモード放射の近似解析法、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-11-6、2011年1月27日、pp. 29-34、大阪大学（大阪府）
- ⑰ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦、過渡 WG モード放射積分の近似解析、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-10-128、2010年11月11日、pp. 147-152、ホテルリステル猪苗代（福島県）
- ⑱ 河野徹、後藤啓次、石原豊彦、半無限 Metamaterial 平面上の散乱界の高周波近似解析、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-10-131、2010年11月11日、pp. 165-170、ホテルリステル猪苗代（福島県）
- ⑲ 河野徹、後藤啓次、石原豊彦、表面インピーダンス値の不連続点における散乱界の高周波近似解析、電子情報通信学会、エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集1、C-1-16、2010年9月17日、p. 16、大阪府立大学（大阪府）
- ⑳ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦、UWB パルス波源によって励振される過渡 WG モード放射の近似解析、電子情報通信学会、エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集1、C-1-17、2010年9月17日、p. 17、大阪府立大学（大阪府）
- ㉑ 河野徹、後藤啓次、石原豊彦、不連続インピーダンス表面上の散乱界の高次項を考慮した高周波近似解析、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-10-90、2010年7月30日、pp. 159-164、北海道大学（北海道）
- ㉒ 河野徹、後藤啓次、石原豊彦、不連続インピーダンス表面による散乱界の高次項を含む近似解析、電子情報通信学会、総合大会講演論文集、C-1-31、2010年3月18日、p. 31、東北大学（宮城県）
- ㉓ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦、円筒状凹形導体曲面からの過渡 WG モード放射界の近似解析、電子情報通信学会、総合大会講演論文集、C-1-35、2010年3月18日、p. 35、東北大学（宮城県）
- ㉔ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦、曲率半径が変化する凹形導体曲面からの過渡 WG モード放射界の近似解析、電子情報通信学会、技術研究報告、PN2009-82、OPE2009-220、LQE2009-202(2010-01)、2010年1月29日、pp. 257-262、京都大学（京都府）
- ㉕ 河野徹、後藤啓次、石原豊彦、不連続インピーダンス表面による高周波散乱界の近似解析、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-09-108、2009年11月26日、pp. 37-42、男女共同参画センター（沖縄県）
- ㉖ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦、パルス波源によって励振される過渡 WG モード放射界の近似解析、電気学会、電磁界理論研究会資料、EMT-09-114、2009年11月26日、pp. 71-76、男女共同参画センター（沖縄県）
- ㉗ 河野徹、後藤啓次、石原豊彦、不連続インピーダンス表面による散乱電磁界の近似解析、電子情報通信学会、エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集1、C-1-2、2009年9月17日、p. 2、新潟大学（新潟県）
- ㉘ 後藤啓次、河野徹、石原豊彦、曲率半径が変化する凹形導体曲面から放射される過渡 WG モード放射界、電子情報通信学会、エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集1、C-1-11、2009年9月17日、p. 11、新潟大学（新潟県）
- ㉙ 河野徹、後藤啓次、石原豊彦、不連続インピーダンス表面上の電波伝搬の高周波近似解析、電子情報通信学会、技術研究報告、MW2009-46、OPE2009-46(2009-07)、2009年7月30日、pp. 87-92、旭川市民文化会館（北海道）

〔その他〕

ホームページ等：

<http://www.nda.ac.jp/cc/com/denjiha/seika.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石原 豊彦 (ISHIHARA TOYOHICO)
防衛大学校・電気情報学群・教授
研究者番号：10531981

(2) 研究分担者

後藤 啓次 (GOTO KEIJI)
防衛大学校・電気情報学群・准教授
研究者番号：20531982

(3) 研究分担者

河野 徹 (KAWANO TORU)
防衛大学校・電気情報学群・講師
研究者番号：30531983