

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25420325

研究課題名(和文)自動車衝突防止レーダ等のための精密な近傍レーダ断面積評価法の開発

研究課題名(英文)Precise evaluation method of near-field RCS for automobile collision avoidance radars

研究代表者

小林 弘一 (Kobayashi, Hirokazu)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：00588303

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、波長数ミリのレーダ電波に対して非常に大きな電気長をもつ自動車等の物体との距離が遠方から直前の近傍まで精度よく予測できる理論式を開発し、合わせて、近傍におけるレーダ断面積を実測と比較することを目的としている。このため、幾何光学的回折理論(GTD)および一様漸進理論(UAT)に基づき定式化した。最終的には、任意形状を意識した近傍散乱界計算コードを開発し、部分的に実験値と比較検証した。

本方法とモーメント法などの他の方法と比較し、ほぼ同等の計算結果を得ることができた。また、コーナーリフレクターおよびやや複雑な形状物体などによる実測値とも本研究の計算結果は良く一致していた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have developed the predicting code which calculates radar cross-section (RCS) from near to far-field for mil-meter wave automobile avoidance radar with very short wave-lengths. Geometrical theory of diffraction (GTD) and Uniform asymptotic theory (UAT) are employed for the developed calculation code. In addition, these calculation results are partially compared with other calculation code, for example Moment method for electrically small objects, and measurement results, which are almost agreed.

研究分野：電波工学

キーワード：レーダ断面積 近傍界 自動車衝突防止レーダ 近距離レーダ GTD UAT

1. 研究開始当初の背景

レーダ機器を開発する場合、目標(ターゲット)となる物体の電氣的な大きさ、いわゆるレーダ断面積(RCS: Radar Cross Section)を可能な限り詳しく知る必要がある。これはレーダから放射する電波がターゲットに照射し、その反射波をレーダが検出するからである。特に自動車衝突防止レーダでは、レーダ搭載車両と前後左右に位置する車両、自転車、その他のターゲットは遠方から近傍まで、様々な相対位置関係となる。ターゲットからの反射強度は、遠方領域といわれる距離では単純に距離の二乗に逆比例するだけであるが、フレネル領域を含む近傍領域では電磁界の線形関係が崩れ、かつ角度方向の依存性も観測座標に応じて様々なパターンを呈するようになる。この際、対象物も万別であるので、実測による評価では大きな傾向は知ることではできても、実測パラメータは膨大な量になり、時間的にも経費的にも効率の良い評価法とは言えない。

一方、電磁界を評価する様々な計算評価ソフトウェアが市販されているが、多くはモーメント法、有限要素法、あるいは時間軸有限差分法(FDTD)に基づく数値解法であり、ミリ波帯で数百波長以上にもなる大きな電気長をもつ車両に対しては膨大な行列演算が必要となり、事実上計算は困難となっている。これと対照的に波長よりも大きな物体で近似精度が高い計算法である高周波理論では、幾何光学的回折理論(GTD: Geometrical Theory of Diffraction)あるいは物理光学法(PO: Physical Optics)などが良く知られた評価解法であり、計算ソフトウェアも市販されている。しかし、これらは何れも遠領域でのレーダ断面積を評価しており、レーダとターゲット間の距離が近い近傍での精密な設計資料を提供することはできないという問題がある。

安心安全の一つの具現化として、自動車衝突防止センサの目覚しい発展がある。その中で電波を利用したミリ波帯レーダが代表的であるが、それらには接触直前までの精密な動作が要求されているにもかかわらず、レーダが検出する対象物の近傍での反射断面積は、粗い近似式を使ってレーダ機器を評価設計しているのが現状である。

2. 研究の目的

上記の研究背景に対し、本研究では、従来の遠方距離あるいは粗い近似式で近傍評価していたレーダ反射断面積を遠方から近傍まで評価できる精密な高周波計算法の確立とそのコード化を目的とする。

レーダの検出対象物は多くは前後に走行する車両であるが、大型車両、小型車両、オートバイ、あるいは道路わきのガードレール、歩行者などが正確に類識別できると安全性が飛躍的に増大する。このためには、レーダとの距離が近傍でもレーダに帰ってくる反

射強度等の精密な見積もりが必須であり、本高周波理論による評価法の確立が強く望まれる所以となっている。

本研究の目的は、レーダ電波に対して非常に大きな電気長をもつ車両等の物体との距離が遠方から直前の近傍まで変化する際の、RCS理論式とそのシミュレーションコードを開発することである。

3. 研究の方法

本研究では、非常に大きな電気長をもつ自動車等の物体のRCSを任意の距離で予測できる理論式を開発し、合わせて、近傍におけるレーダ断面積を実測し、妥当性を確認している。

初年度(H25)は、それまでの研究成果を早急に整理し、かつ公表文献を調査しつつ、近傍界に対する理論表示式の見通しを開発し、数値シミュレーションを実施した。実測の方は、平板あるいは立方体を実際に作成し、理論式の結果と比較分析する。初年度はこれを繰り返し、理論の骨子を構築した。

次年度以降(H26-28)には、複雑な形状物体を想定した計算評価プログラムの開発と実際に近いモデルでの実測に重点をおいた。この際、開発した理論式を再びマイナーチェンジすることも考えられるので、プログラム開発構造に十分注意を要する。実測は可能な限り実際の自動車に近いモデルにて実施することとし、既にある設備を最大限利用して、理論評価式の妥当性と普遍性を確認した。

具体的な研究方法は以下のとおりである：

- (1) 先ず、平板をターゲットにして、幾何光学的アプローチ(GTD/UAT)の定式化を3次元の近傍でも精度よく計算できるように、ターゲットとの距離に応じて可変できるように行う。
- (2) 上記を完全導体(金属)および誘電体装荷の場合にも可能となるよう改良する。
- (3) 平板を組み合わせて、自動車後部等のモデリングでの断面積の定式化とコードを作成する。
- (4) 同時に上記モデルを実際に試作し、複数の近傍距離での反射断面積を実測し、理論値との比較評価を行う。
- (5) 必要に応じて繰り返し改善し、理論の妥当性および普遍性を確認する。

4. 研究成果

本研究の成果として、電気長の小さい物体に本方法とモーメント法などの他の方法と比較し、ほぼ同等の計算結果を得ることができている。また、コーナーリフレクターおよびやや複雑な形状物体などによる実測値とも本研究の計算値は良く一致していることを確認した。

本研究では、当初、幾何光学的計算法と物理光学的なアプローチで比較した。この結果、波源と観測点と同じ位置となるモノスタティックレーダを想定すると、散乱体の近傍で

(2) コーナーリフレクターの近傍界

図3はストリップを2枚組み合わせたコーナーリフレクター(C/R)の近傍 RCS である。縦方向のパラメータはC/R頂点からの送信点(波源)距離、横方向は観測点距離である。同図より送信と受信に相反性があることがわかる。通常のレーダは送信と受信点は同じ位置に配置される。同図で右下になるほど、レーダが散乱体(C/R)より遠方にあることになり、これが近傍になるにつれ、RCSのパターンは距離に依存して大きく変化することがわかる。

(3) 平板分割のアルゴリズム

GTD/UAT等の光線理論で電磁界を計算する場

合、散乱体に電磁波が照射しているかどうかの陰影処理、これと併せて多重の反射・透過・回折波の処理が必要となる。この際の重要なコンピュータモデル処理が散乱体の平板分割である。

分割処理の如何が計算精度と計算時間に大きく影響を与える。細かく分割すると、それなりの精度向上が期待できるが、膨大な多重反射、回折計算が必要となる。そこで、散乱体形状の曲率に応じて、分割サイズを柔軟に行うアダプティブ分割処理を考案した。図4にその処理例を示す。同図(a)は分割処理前、(b)はアダプティブ分割処理後の散乱体である($\theta_0 = \phi_0 = 55$ 度)。

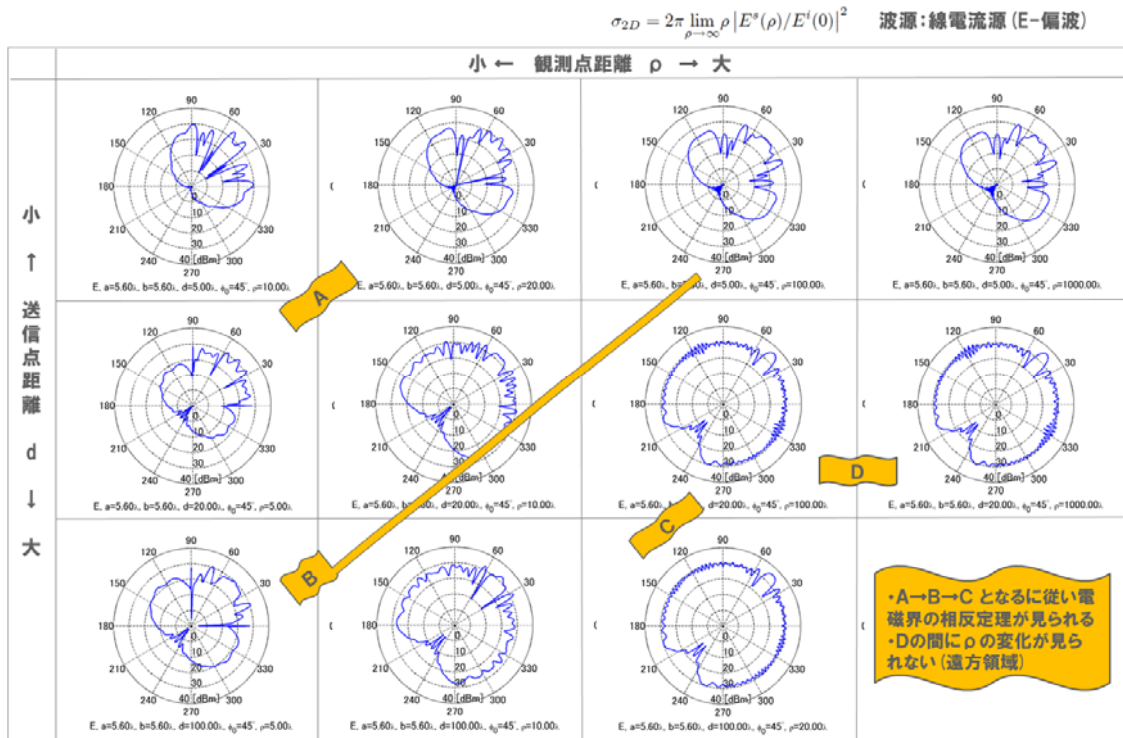


図3 観測点距離の違いによるコーナーリフレクター(C/R)のレーダ断面積(RCS)

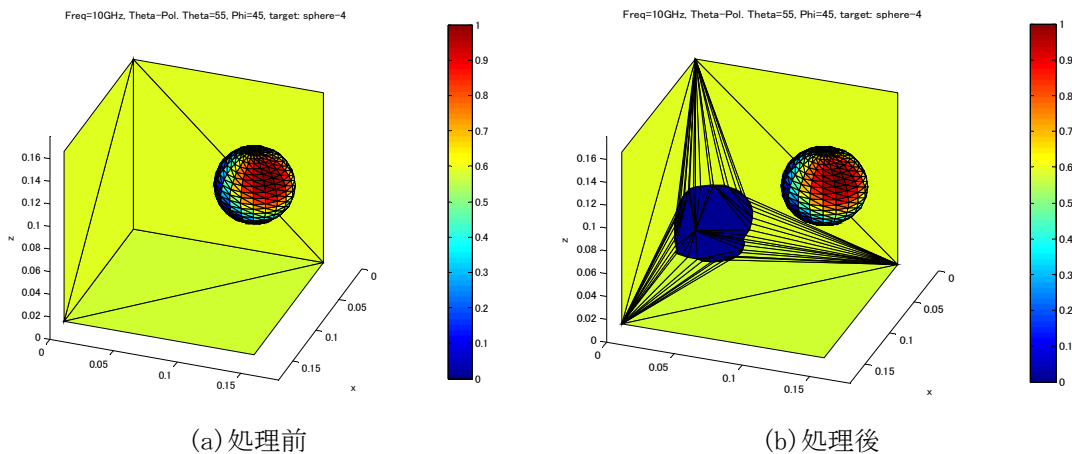


図4 陰影処理での曲率に応じた最適な平板分割処理

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)

[学会発表] (計4件)

①小林弘一, アレーファクター理論を応用した近傍界の遠方変換とレーダイメージング, 査読無, 電子情報通信学会技術研究報告, SANE2015-38((pp. 25-30)および AP2015-76(pp. 89-94), 茨城大学水戸キャンパス(水戸市), 2015年8月28日.

②Hirokazu Kobayashi, Measurement for Permittivity and Thickness of Multilayered Dielectric Plate by Wall-through Radar, 査読有, International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2013 (ICSANE2013), pp.01-06, ハノイ市(ベトナム), 2013年12月2日.

③S. Shi, H. Li, W. Pei, H. Gao and Hirokazu Kobayashi, An Adaptive Facet Subdivision Scheme for the Shadowing Culling of Large and Complex Targets, 査読有, 2013 IEEE 4th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC 2013), pp. 256-259, 北京市(中国), 2013年11月16日.

④M. Inami, Hirokazu Kobayashi, Y. Yamaguchi, H. Yamada, Wall-through Radar Modeling by Applying Array-factor and GTD Near-field, 査読有, 2013 International Symposium on Electromagnetic Theory (URSI Commission B EMTS 2013), pp. 589-592, 広島国際会議場(広島市). 2013年5月23日.

[その他]

ホームページ等

<http://www.oit.ac.jp/cgi-bin/japanese/eng/detail.cgi?id=201604005>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 弘一 (KOBAYASHI, Hirokazu)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：00588303