

A study on diffraction of electromagnetic wave by dielectric wedges

NGUYEN Minh Duc

(論文の内容の要旨)

本論文では、高周波散乱電磁界を解析するための手法について、従来知られている解析手法を拡張し、適用範囲を誘電体物体にまで適用できるように工夫している。

無線通信の需要が増大し、通信に使用する電磁波の周波数は益々高くなっている。こうした高周波数の電磁波の伝搬・散乱解析には、一般的に電磁界シミュレータといった数値解法が用いられることが多いが、多大な計算時間と大きな記憶量を必要とするため、それに代わる高速で精度の高い近似解析手法が望まれている。本論文はこうした高周波の電磁波の散乱解析に対して有効な手法の開発を目指したものである。

従来から高周波の散乱解析に提案されている手法に物理光学近似 (Physical Optics ; PO) があるが、その適用は導体の場合に限られている。そこで誘電体で構成された物体による散乱解析に適用する手法として幾何光学波から導出した等価波源を用いて計算する手法を提案した。

最初に角をもつ散乱体の規範形状となる楔形状に入射したエッジ回折波について、既に知られている導体楔による解析界を物理光学手法によって求め、他の解法と比較してその精度や適用範囲を検討した。物理光学手法は、導体表面に入射波によって作られた等価電磁流を基に散乱波を計算する手法であるが、従来入射角によって照射される境界面が異なるために散乱波は場合分けをして表現される。この不便さを解消するために、任意の入射方向に対して適用できる統一的な表現法を求めている。

次に導体楔状物体の表面に励起される散乱波のための等価電流の表現を拡張して、誘電体物体の境界表面の上下に等価電磁流をおいて散乱体境界内外の散乱波を定式化する方法を提案している。誘電体境界へ電磁波が入射した場合には、反射と透過が起きるので、入射電磁波から求めた幾何光学的な反射波、透過波を用いて等価電磁流を求め、それらの放射積分から高周波漸近解を求めている

提案された定式化による散乱電磁界の解の精度を確かめるために、既に知られている近似法や数値シミュレーションによって求めた結果を数値計算し、それらとの比較によって、本解析手法の妥当性を示している。

A study on diffraction of electromagnetic wave by dielectric wedges

NGUYEN Minh Duc

(論文審査の結果の要旨)

・論文の主題 (テーマ)

誘電体でできた楔状物体による高周波電磁波の散乱問題に関して、等価電磁流を幾何光学波から導出することによって散乱界を求める手法を提案し、その精度について検討している。ここで用いる手法は従来提案されている導体でできた楔状物体による回折界を計算するときに使われていた物理光学近似手法を拡張し、誘電体で作られた物体による散乱問題に適用できるようにした。また定式化した散乱界の精度について、他解法による結果と比較することによって、本解析法の妥当性を示した。

・当該研究分野における位置づけ

電磁波の散乱解析問題は、古くから行われてきた問題の一つであるが、散乱体の大きさが波長に比べて大きくなると、高速に精度よく計算できる解析手法が少なく、一般的には数値解析のような手法に頼ることになり、高速で信頼性の高い散乱解析手法が望まれている。本論文で提案された解析手法は、散乱体の表面に誘起される等価電磁波源を用いた散乱波の表現に着目し、従来から知られている完全導体でできた物体による散乱解析手法を、誘電体でできた物体による散乱解析にも適用できるように工夫している。この提案手法は、幾何光学的に求められた波動表現を用いて解析できるので、高速な解析に適しており、今後の散乱解析分野の研究に大きな期待が持たれる。

・論文の構成

第1章 Introduction

最初に研究背景として一般的な電磁波散乱解析問題の歴史、波長に比べて大きな物体による解析手法について概説した上で、本研究の目的について説明し、本論文の構成を示している。

第2章 PO for PEC Wedge

ここで提案する解析手法の基礎となる物理光学手法を導体楔状物体に平面電磁波が入射したときの回折問題について、散乱体の表面上に置いた等価電磁波源による放射積分の表現を求め、波長が物体に比べて十分大きなときに有効となる高周波漸近解を求め、その精度を検討している。この解法は入射した電磁波の入射角によって、励振される等価電磁波源が異なるため使いにくい。そこで任意の入射角に対して使える表現を新たに導出している。

／

(中央大学論文審査報告書)

第3章 Extended PO for Dielectric Wedge

この章では、前章で取り上げた物理光学手法を、誘電体楔状物体に入射する電磁波の回折問題に適用するように拡張している。導体平面上の等価波源は電流源だけであるが、誘電体境界面の上下に入射波によって作られた幾何光学的な反射、透過波を基にして等価電磁流源を置いて、誘電体内外の散乱界を定式化し、高周波漸近解を求めている。

第4章 Numerical results and discussion

第2章、第3章で求められた手法の妥当性を示すために、比較可能な参照解を求め、数値計算によって、精度を検討している。導体物体に適用した場合には、任意の入射角で適用可能なことを確認し、導出した回折界が境界条件や端点条件を満足していないことを指摘している。また誘電体に適用した場合に導出した散乱波についても、導体の場合以上に精度よく物体内外の電磁界を表現できることを示している。さらに誘電体内部には角で励振されたエッジ回折波が励振する側面波 (Lateral Waves) の存在を指摘し、更なる解の精度を向上させるためにはその寄与を加える必要があることを示している。

第5章 Conclusion

前章までの研究内容を総括し、今後の課題について述べている。

・論文の独自性や成果および課題

本論文では、従来波長に比べて大きな導体散乱問題に効果的であると知られていた物理光学手法を、誘電体でできた散乱体に対しても適用できるような解析手法に拡張させた点に新規性がある。また平面電磁波が誘電体楔状物体に入射した場合の回折波を求め、他の解析手法による計算結果との比較によって、その解析の妥当性と示していることも評価できる。今後はこの解析手法を用いてさらに複雑な誘電体形状物体による散乱解析の精度や損失のある誘電体の場合への拡張を検証することが課題として残っており、さらなる研究が期待される。

・論文の評価

以上、本論文で得られた知見は、高周波電磁波の散乱解析に重要なものであり、今後の電磁界の理論解析手法の発展に貢献するものと考えられる。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと認める。