T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	フレネルゾーン数を指標として高周波の局所性を組み込んだ電磁波散乱問題の数値解析法に関する研究
Title(English)	Numerical Analyses of Electromagnetic Scattering Considering High Frequency Locality in Terms of Fresnel Zone Number Criteria
著者(和文)	小濱臣将
Author(English)	Takayuki Kohama
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10149号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:安藤 真,廣川 二郎,高田 潤一,西方 敦博,阪口 啓,Matteo Albani
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10149号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号		学位申請者氏名		小濱 臣将	
論文審査 審査員		氏　名	職　名		氏　名	職　名
	主査	安藤　真	教授	審査員	阪口　啓	准教授
	審査員	広川　二郎	教授		Matteo Albani	イタリア　シエナ大学　准教授
		高田　潤一	教授			
		西方　敦博	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「Numerical Analyses of Electromagnetic Scattering Considering High Frequency Locality in Terms of Fresnel Zone Number Criteria（和訳：フレネルゾーン数を指標として高周波の局所性を組み込んだ電磁波散乱問題の数値解析法に関する研究）」と題し、英文 6 章から構成されている．

第 1 章「Introduction」では、代表的な電磁波散乱解析法を比較し、本論文で検討する局所性を用いた散乱解析法の位置づけを明確にしている．本論文の目的を、高周波電磁界の性質の一つである「局所性」を誘起電流の解析法であるモーメント法（MoM）に組み込んだ、新たな算法を提案することとしている．新たな算法は計算負荷の周波数依存性が小さく、光線解析法である幾何光学的回折理論のように物理的解釈が可能でありながら解の発散はないこと、またフレネルゾーン数を指標とすることで、相反性を含んだ形で一般的な波源や観測点の位置・周波数・散乱体形状に対応する近似解法となることを示唆している．

第 2 章「Fundamental Theory of Fresnel Zone Localization」ではフレネルゾーン数を指標とした局所化手法の基礎検討として、放射積分における局所化手法の物理的意味を停留位相法と比較して明確にし、具体的な局所化手法の手順を示している．フレネルゾーン数の差が 3 以下となる領域を散乱体の局所化領域を定め、それ以外の領域を切り取りと同時に、これに伴い発生する非物理な回折波を抑制するため、放射積分に窓関数で重み付けを適用している．この窓関数の引数もフレネルゾーン数とすることを提案し、誤差がほぼゼロとできることを規範問題で明らかにている．また、その誤差を解析的に表現し、高々0.13%の相対誤差となることを示した．

第 3 章「Fresnel Zone Localization of Radiation Integrals」では、既知の誘起電流が与えられているとして、放射積分に局所化手法を適用した場合の界の誤差について検討している．まず修正法線ベクトルを導入することで相反性を反映しつつ 3 次元問題（矩形平板および曲面散乱体）へ放射積分の局所化に成功している．複数の散乱中心点が近づいた際の窓関数の補正項も提案し、精度向上を確かめている．次に既知電流として物理光学近似や MoM の解を用いた場合にも、局所化が有効であることを確認している．

第 4 章「Physical Optics Radiation Integrals with Frequency-Independent Number of Division utilizing Fresnel Zone Number Localization and Adaptive Sampling Method」では、第 3 章で確立した局所化手法に、積分の分割法の一つである Adaptive Sampling を組み合わせ、計算負荷を周波数無依存にする手法を示している．通常の波長に対して一定の分割を行う Nyquist Sampling では周波数に応じて計算時間が増大する一方、被積分関数の一定の位相変化毎に分割する Adaptive Sampling では計算時間が一定となり、ストリップ導体・角柱導体といった 2 次元問題にまず適用したところ平均二乗誤差も周波数無依存となることを示している．3 次元問題では修正エッジ法で光路長によって定義される座標系を用いることを提案している．

第 5 章「Implementation of High Frequency Locality in the Method of Moments for 3-Dimensiona Scattering Problems」では、第 4 章までに確立された積分の局所化手法を活用し、散乱体そのものを局所化し、これを MoM により解析する局所モーメント法（Local-MoM）を提案している．3 次元問題に適用するにあたり、重み関数を放射積分だけではなく入射波にも掛けることを提案し、計算精度が良好となる重み関数として、両者に第 2 章で定義した重み関数の 0.5 乗をそれぞれに適用すべきという結論を得ている．矩形平板および非照射領域付き曲面散乱体へ適用し、計算精度が良好であること、特に影領域にて高周波近似法以上の精度が得られることを確認している．計算に必要なメモリ量の周波数特性が抑えられるため、例えば 32GB のメモリで解ける散乱体サイズを 40 波長四方から 112 波長四方まで拡張できるとしている．また Local-MoM は既存の MoM ベースの汎用電磁界シミュレータにも用意に組み込むことができ、その意味で実用性に優れている．ここでは例として WIPL-D へ組み込んでいる．

第 6 章「Conclusions」では、本論文を総括し、今後の課題と展望を述べている．

以上を要するに、本論文は誘起電流に対する散乱解析法に局所化を適用し、これを 2 次元から 3 次元へと拡張するとともに、計算負荷と計算精度が両立し、相反性も陰に含み、電磁界の物理解釈も与える新たな汎用電磁界解析法を確立したものであり、工学上、工業上貢献するところが大きい．よって我々は本論文が博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと認める．

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。