

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	電気電子工学	専攻	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 (工学) Doctor of
学生氏名： Student's Name	小濱 臣将		指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	安藤 真 教授
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)	広川 二郎 教授

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

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 (GTD) 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、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と定め、それ以外の領域を切り取ると同時に、これに伴い発生する非物理的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している。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する方法を検討した場合の解の誤差について検討している。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) における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 (PO) 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る。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-Dimensional Scattering Problems」では、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、窓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た。計算精度が良好となる窓関数の組み合わせとして、両者に第 2 章で提案した関数の 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。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。  
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 電気電子工学 専攻  
Department of  
学生氏名： 小濱 臣将  
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of

指導教員 (主)： 安藤 真 教授  
Academic Advisor(main)

指導教員 (副)： 広川 二郎 教授  
Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

Computational costs for electromagnetic scattering analyses by the Physical Optics (PO) or the Method of Moments (MoM) become extremely heavier in higher frequency. In this dissertation, some techniques to embed the high frequency locality of scattering phenomena into PO or MoM, named "Localization method," are studied for the reduction of the computational loads. The scatterer surface is localized and truncated according to the Fresnel zone number criteria and the localization leads to suppression of frequency dependence of computational costs without degradation of computational accuracy. In Chapter 2, the fundamental property of Fresnel zone localization is investigated. In order to suppress the truncation error, a raised cosine function, named "EYE function," whose argument is also the Fresnel zone number is introduced. From Chapter 3 to Chapter 5, some specific localization methods are presented and numerically examined for 3-dimensional scattering analysis of simple structures such as a rectangular plate or a part of sphere. In Chapter 3, localization of radiation integral is discussed. In order to define the local area around edge diffraction points, the modified surface-normal vector is adopted. In Chapter 4, frequency-independent segmentation in PO radiation integral, which consists of the localization method and the adaptive sampling, is discussed. This technique is at first applied to 2-D problem, and then, the expansion to 3-D problem is examined. In Chapter 5, MoM analysis of the localized scatterer, named "Local-MoM," is discussed. It is proposed that the square root of EYE function should be applied to a source side and an observer side. Local-MoM enables a MoM analysis for very large scatterer with  $112\lambda \times 112\lambda$  which cannot be analyzed by the standard MoM due to the memory capacity of 32GB. In Chapter 6, the summary and future works are presented.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).