17aC4

形状パラメータ付き境界要素法を用いたサブ波長光学素子の光伝播解析
Optical propagation analysis in sub-wavelength structure based on the boundary element method involving analytical structural parameters

○茨田大輔 [1,2,3]，福田隆史 [3]

○Daisuke Barada[1,2] and Takashi Fukuda[3]

宇都宮大学工学部 [1] 宇都宮大学オプティクス教育研究センター[2]，
産業技術総合研究所 センシングシステム研究センター[3]

Faculty of Engineering, Utsunomiya University[1], Center for Optical Research and Education (CORE), Utsunomiya University[2], Sensing System Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)[3]

E-mail: barada@cc.utsunomiya-u.ac.jp

In this paper, optical propagation in sub-wavelength structure is numerically calculated by boundary element method involving analytical structural parameters. In the method, boundary shape and electromagnetic field are locally expressed by a polynomial function using structural parameters. Then, the sampling points can be decreased although sequential calculations are necessary. As a result, calculation cost can be reduced by decreasing the size of a matrix for simultaneous equations.

1. はじめに

光の波長より微細な構造を有するサブ波長光学素子は，特殊な光機能を有することが知られている．例えば, 光の波長より十分小さい周期をもつ周期構造は, 構成する物質が等方性であっても複屈折が生じる．しかし，周期が波長に近い場合は，複雑な振る舞いをする．これは，非伝播光成分の影響が無視できなくなるためであると考えられる．このような場合，モデル化が難しいため，数値計算による光伝播解析が行われる．一般的に，数値計算では離散化が必要なため，構造の表面形状は二次元解析なら多角形，三次元解析なら多面体で表現される．十分な精度を得るために，サンプリング点を増やさなければならないが，連立サンプリング点における値を連立して求める場合，計算コストが非常に高くなる．本研究では連立方程式に使用する行列のサイズを小さくする手法によって，計算コストを下げることを検討する．

2. 形状パラメータ付き境界要素法

これまで形状パラメータを用いた境界要素法を提案してきた [1,2]．この方法では構造物の表面形状を，形状パラメータpを用いて表現し，電場を

$$\boldsymbol{E}(\boldsymbol{x};p)=\boldsymbol{E}(\boldsymbol{x};0)+\frac{\partial \boldsymbol{E}(\boldsymbol{x};0)}{\partial p}p+\frac{1}{2!}\frac{\partial^2 \boldsymbol{E}(\boldsymbol{x};0)}{\partial p^2}p^2+\frac{1}{3!}\frac{\partial^3 \boldsymbol{E}(\boldsymbol{x};0)}{\partial p^3}p^3+\cdots \tag{1}$$

のように表現する．ここで$\boldsymbol{x}$は位置ベクトルである．このとき，境界要素法によって右辺は第 1 項から逐次的に求められるので，電磁場の形状依存性が求められることになる．これまでは光散乱シミュレーションにおいて，楕円筒の楕円率依存性や，二つの円筒の距離依存性などを表現することに成功している．本研究では，(1)の右辺が逐次的に求められることに注目し，局所的な曲面を形状パラメータで表現する．例えば，サブ波長光学素子のような，ある高さが二次元座標(x,y)の関数として表現できる場合は，サンプリング点(x_i,y_i)周辺で，曲面上のz座標を

$$z(x_i,y_i;p)=z(x_i,y_i;0)+\frac{\partial z(x_i,y_i;0)}{\partial p}p+\frac{1}{2!}\frac{\partial^2 z(x_i,y_i;0)}{\partial p^2}p^2+\frac{1}{3!}\frac{\partial^3 z(x_i,y_i;0)}{\partial p^3}p^3+\cdots \tag{2}$$

のように表現すればよい．このように表現すると，$z(x,y)$がわかっていれば適当なサンプリング間隔を指定することによって式(2)を生成できる．また，$x=x^1$, $y=x^2$, $z=z(x^1,x^2)+x^3$という座標系を用いれば，表面における接線ベクトルと法線ベクトルも形状パラメータで表現でき，それを用いて境界要素法における積分方程式を立てることができる．この方法では，サンプリング間隔を粗くしても，式(2)を用いることによって，サンプリング点周辺での曲面形状が精度よく表現できる．パラメータでの偏微分係数を用いることでサンプリング点数を増やすことに相当させるが，式(1)のすべての項を一度に求める必要がないので，計算コストを減らすことができる．本研究発表では，簡単のために二次元系で原理検証を行う．

参考文献

1) 永山，茨田，福田，東口：第 79 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集 (2018) 03-048.
2) 茨田，福田：第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集 (2019) 03-012.