

FDTD 導波管解析におけるカットオフ周波数近傍での 吸収境界条件構造

Absorbing Boundary Condition Structures for FDTD Waveguide Analysis Near the Cutoff Frequency

白沢 秀明
Hideaki SHIRASAWA

柏 達也
Tatsuya KASHIWA

北見工大
Kitami Institute of Technology

1. はじめに

FDTD 導波管解析における吸収境界条件として Perfectly Matched Layer (PML) [1] が広く使用されている。PML は入射波の角度や周波数に依存せず高精度な吸収をする事ができる。しかし、カットオフ周波数近傍の伝搬波に対しては伝搬波の波長が非常に大きくなるために、等価的に PML 層が薄い層に見え吸収特性が悪くなる。PML の吸収特性には角度特性があり、管軸方向にほぼ垂直に反射しながら進むカットオフ周波数近傍の伝搬波に対しては PML の導電率を非常に大きくしなければならない。を非常に大きくすると薄い PML 層では隣接する節点間での離散誤差が大きくなる。従って、吸収特性を良くするために PML の層数を非常に厚くしなければならない。この問題の解決のために PML 媒質条件を変える方法と構造条件を変える方法の二つが考えられる。構造条件を変える方法として Absorbing Boundary Condition Structure(ABCS)[2]が考案されている。本報告では FDTD 導波管解析用の吸収境界条件として 3 通りの ABCS 構造について調べた。

2. Absorbing Boundary Condition Structure

2.1 ABCS-A

図 1 に文献[2]で提案されている ABCS の構造を示す。ABCS は図に示すように、導波管の終端を Mur 吸収境界条件で囲む構造をしている。カットオフ周波数近傍の伝搬波の性質を考慮して、管軸方向に垂直な伝搬波は z 軸方向に平行な Mur 吸収境界条件で吸収しようという方法である。

2.2 ABCS-B

図 2 に吸収体として PML 媒質を使用した新しい構造の ABCS を示す。この構造の場合、管軸方向に平行な伝搬波に対しても、カットオフ周波数近傍の伝搬波に対しても伝搬波の角度は PML に対して約 45°となる。このため、様々な角度の伝搬波に効果があると考えられる。

2.3 ABCS-C

図 3 に PML 層中に散乱体として三角形の金属板を配置した構造を示す。散乱体を配置することによりカットオフ周波数近傍の伝搬波を散乱させ、伝搬方向を

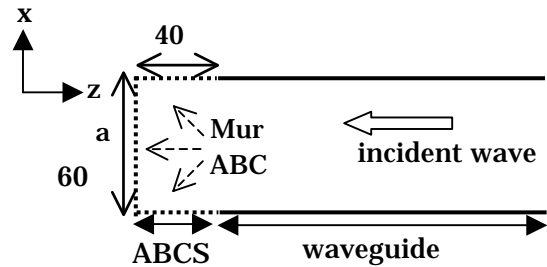


図 1 ABCS-A

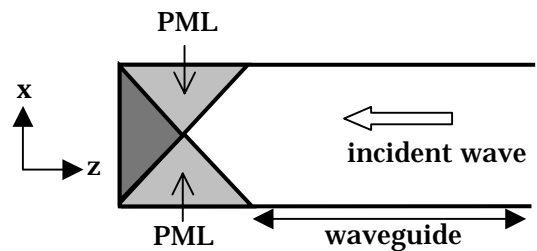


図 2 ABCS-B

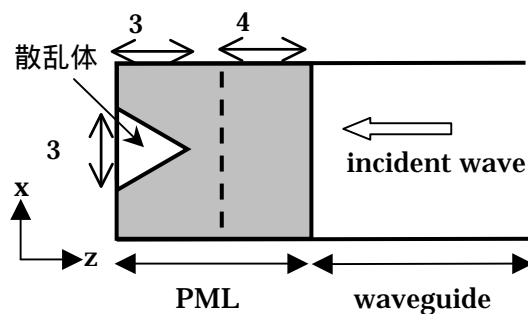


図 3 ABCS-C

変えて PML で吸収しようという方法である。管軸方向に平行に進む伝搬波を吸収するために、散乱体の前に 4 層で理論的に吸収できる PML 層を配置してある。

4. 結果

以下に、ABCS を使用した導波管解析結果を示す。解析を行った導波管は両端を ABCS で終端されている。正弦波を中央から励振している。a=0.02286(m)、空間離散間隔 =3.81 × 10⁻⁴(m)である。

ABCS-A の電界分布のエンベロープを図4に示す。励振周波数は 9.0(GHz) である。Mur 吸収境界条件の位相速度は光速に合せている。z 軸方向の ABCS の長さは 40 である。図4に示されるように定在波が観測され反射があることが分かる。これは導波管の終端から ABCS を見たとき導波管が続いているとみなされず、空気領域が広がっているとみなされるためであると考えられる。

図5に ABCS-B の電界分布のエンベロープを示す。励振周波数は 9.0(GHz) である。プログラムの都合上、ABCS-B の座標は ABCS-A 及び ABCS-C とは異なっており、z 軸のプロットの大きさが違う。図より定在波が観測され反射があることが分かる。

ABCS-C の電界分布のエンベロープを図6、図7に示す。図6は 9.0GHz の正弦波を励振した場合であり、図7は 6.8GHz の正弦波を励振した場合である。散乱体の寸法は底辺 3、高さ 3 である。図6の波形より 9.0GHz の正弦波を励振した場合は反射がないことが観測される。これは、散乱体の前にある4層の PML 層で伝搬波が吸収されているためと考えられる。しかし、図7のように 6.8GHz の正弦波を励振した場合、定在波が観測され反射があることが分かる。励振周波数がカットオフ周波数に近づくと、散乱体の前にある4層の PML 層で伝搬波が吸収できなくなってくる。この伝搬波を散乱体で散乱させることにより、伝搬方向を変えて PML 層で吸収しようとした。しかしながら、このモデルでは若干反射が起こっていることが分かる。

5. むすび

現段階では ABCS を使用した FDTD 導波管解析用の吸収境界条件は所望の結果が得られていない。カットオフ周波数近傍の伝搬波の吸収を実現するため、更なる媒質条件、構造条件に関する研究が必要とされる。

今後は、エバネッセント波も吸収出来る PML-D[3]、Complex Frequency Shifted PML (CFS-PML) [4]も含めて導波管解析用吸収境界条件の広帯域化について研究を行う予定である。

謝辞

本研究に際しご協力頂きました北見工大修士1年 田口健治氏に深謝致します。

参考文献

- [1] J. P. Berenger, "A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves," J. Comput. Phys., vol. 114, no. 2, pp. 185-200, Oct. 1994.
- [2] K. Naishadham, Z. Lin, "A New Absorbing Boundary Condition Structure for Waveguide Analysis," IEEE Trans. MTT, vol. 48, no. 1, pp. 147-152, Jan. 2000.
- [3] J. P. Berenger, "Improved PML for the FDTD solution of wave-structure interaction problems," IEEE Trans. A.P., vol. 45, pp. 466-473, Mar. 1997.
- [4] J. A. Roden, S. D. Gedney, "Convolution PML (CPML): An efficient FDTD implementation of the CFS-PML for arbitrary media," Microwave and optical technology letters, vol. 27, no. 5, Dec. 2000.

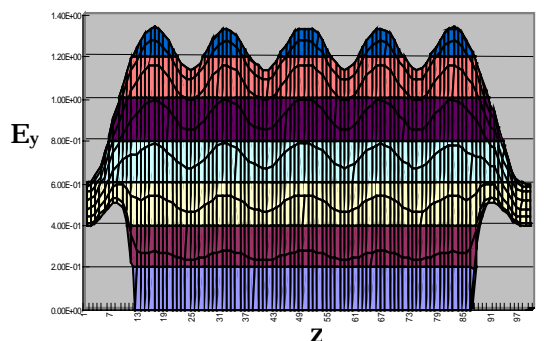


図4 ABCS-A の電界分布 (励振周波数 9.0[GHz]、エンベロープ)

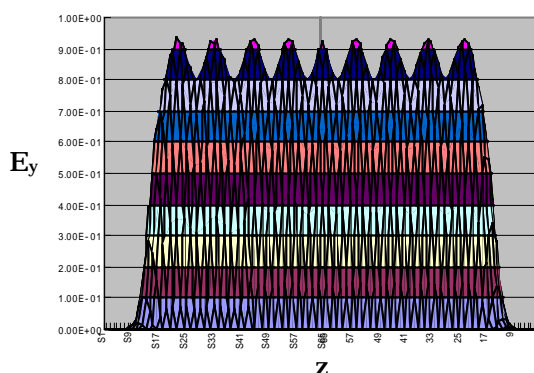


図5 ABCS-B の電界分布 (励振周波数 9.0[GHz]、エンベロープ)

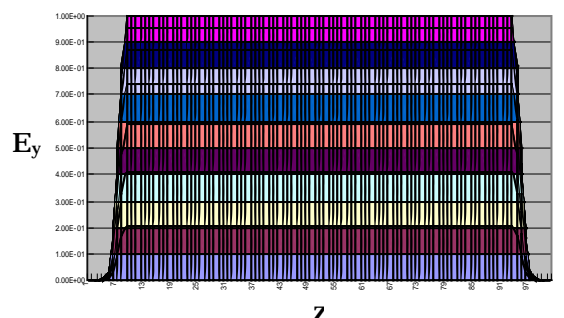


図6 ABCS-C の電界分布 (励振周波数 9.0[GHz]、エンベロープ)

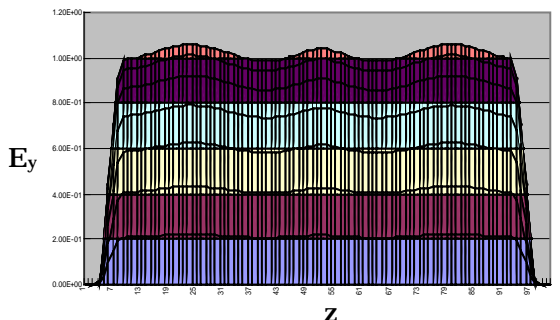


図7 ABCS-C の電界分布 (励振周波数 6.8[GHz]、エンベロープ)