

二次元電磁波散乱問題への CIP 法の適用
-時間領域厳密解との比較-

Application of CIP Method to 2D Electromagnetic Scattering Problems
-Comparison with Exact Solution in Time Domain-

○谷口宣明¹, 山口隆志², 大貫進一郎³

*Nobuaki Taniguchi¹, Takashi Yamaguchi², Shinichiro Ohnuki³

Abstract: The constrained interpolatoin profile method is expected as a reliable computational technique for studying electromagnetic waves. In this paper, we will investigate electromagnetic scattering using the constrained interpolatoin profile method and computational accuracy will be discussed.

1. はじめに

CIP (Constrained Interpolatoin Profile) 法は、電磁界解析において数値誤差の少ない計算手法として期待されている^[1]。本報告では、CIP 法を用いて移流方程式を解析し、完全導体円柱及び誘電体円柱からの電磁パルスの散乱シミュレーションを行う。また、結果を時間領域の厳密解と比較することにより、その有用性を検討する。

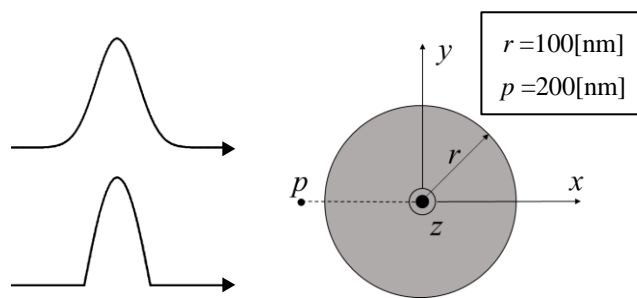


図1 解析モデル

2. 解析手法

CIP 法とは、次式に示す移流方程式の数値解法である^[2]。

$$\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

ここで、 f は移流する物理量、 u は x 方向に対する移流速度を表している。電磁界解析で現在主流となっている FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法では格子点間を差分して近似する^[3]のに対し、CIP 法は格子点ごとの微分係数を考慮することで、より高精度な計算を行うことが可能である^[4]。

CIP 法を電磁界解析に適用する際は、次式に示す Maxwell 方程式の電界 \mathbf{E} 及び磁界 \mathbf{H} を移流方程式の形に変形して計算を行う。

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (3)$$

x 方向に伝播する電磁波の移流方程式は波動インピーダンス Z を用いて以下のように表せる。

$$\frac{\partial(E_x \pm ZH_y)}{\partial t} \pm c \frac{\partial(E_x \pm ZH_y)}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

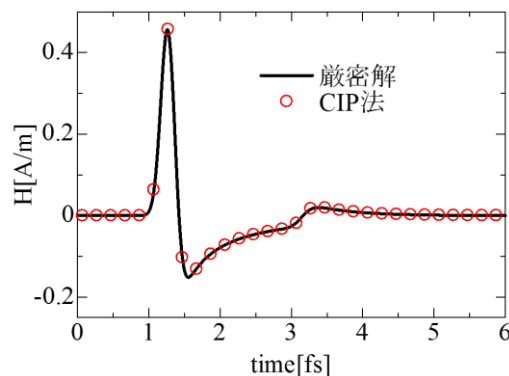


図2 完全導体の散乱磁界：ガウシアンパルス

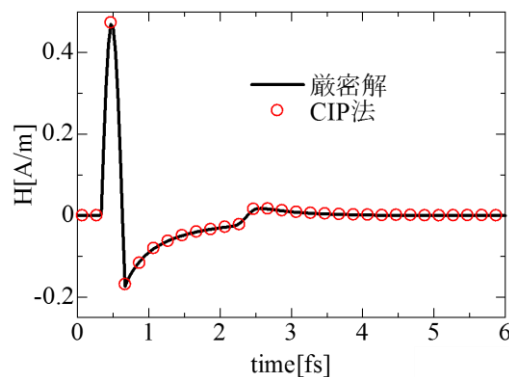


図3 完全導体の散乱磁界：サイン半波パルス

1：日大理工・院(前)・電気 2：(地独)東京都立産業技術研究センター 3：日大理工・教員・電気

3. 数値結果

本報告の解析モデルを図 1 に示す。半径 100nm の完全導体円柱及び誘電体円柱に H 波を入射し、散乱磁界を円柱後方 200nm の地点で観測する。入射波形は、ガウシアンパルスとサイン半波パルスの 2 種類とする。

完全導体円柱にガウシアンパルスを入射した際の時間応答波形を図 2 に示す。実線は時間領域での厳密解、赤丸は CIP 法による計算結果を示しており、2 つの波形は図上で一致している。応答波形の波頭部分は円柱表面からの鏡面反射、3fs 付近のピークは円柱表面を沿って伝播するクリーピング波である。

完全導体円柱にサイン半波パルスを入射した際の時間応答波形を図 3 に示す。CIP 法の計算結果は厳密解と図上で完全に一致することが確認できる。

誘電体円柱にガウシアンパルスを入射した際の時間応答波形を図 4 に示す。実線は時間領域での厳密解、赤丸は CIP 法による計算結果を示しており、2 つの波形は図上で一致している。誘電体円柱の応答波形では、鏡面反射、クリーピング波に加えて円柱内部の反射波が観測できる。図 5 に厳密解との相対誤差を示す。観測時間に関わらず CIP 法は厳密解に対して 0.1% 程度の相対誤差となり高精度に解析できていることが分かる。

誘電体円柱にサイン半波パルスを入射した際の時間応答波形を図 6 に示す。ガウシアンパルスの結果と同様に 2 つの波形は図上で一致している。

4. まとめ

本報告では、CIP 法を用いて完全導体円柱及び誘電体円柱からの散乱磁界を解析した。時間領域の厳密解と比較し、CIP 法の計算精度は 0.1% 程度となり、電磁界解析における有用性を検証した。

5. 謝辞

本研究の一部は、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の援助を受けて行われた。

参考文献

- [1] 矢部孝, 内海隆行, 尾形陽一, "CIP 法", 森北出版, 2003.
- [2] 矢部孝, 尾形陽一, 滝沢研二, "CIP 法と Java による CG シミュレーション", 森北出版, 2010.
- [3] 宇野亨, "FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析", コロナ社, 2002.
- [4] 谷口宣明, 山口隆志, 大貫進一郎, 2017 IEICE OPE 4 月研究会, P-1-11.
- [5] 谷口宣明, 増田宗一郎, 山口隆志, 大貫進一郎, 2017 IEICE ソサイエティ大会, C-15-12.

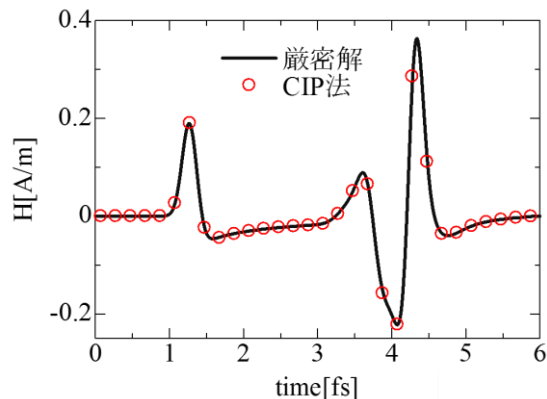


図 4 誘電体の散乱磁界：ガウシアンパルス

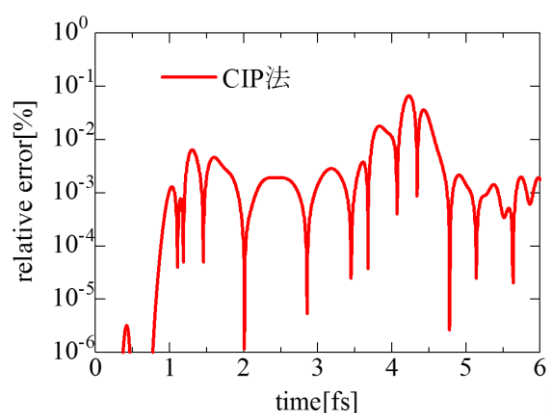


図 5 厳密解との相対誤差

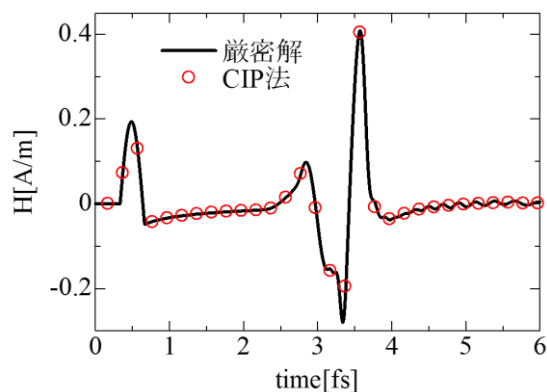


図 6 誘電体の散乱磁界：サイン半波パルス