

電磁界解析問題における MTDM と Krylov 部分空間解法の高高速化 High-Performance Computing of MTDM and Krylov Subspace Methods in Electromagnetic Problems

伊東 拓

日本大学 生産工学部 数理情報工学科

1. 研究目的

- (1) Meshless Time-Domain Method (MTDM)を用いてコルゲート導波路内の電磁界解析用コードを開発し、同コードでコルゲート導波路内の電磁波伝播解析を行い、導波路壁に誘起される渦電流が伝播損失に及ぼす影響を数値的に調査する。
- (2) 電磁界解析および超電動内遮蔽電流密度解析で現れる連立1次方程式に対して有効な、高速 Krylov 部分空間解法を開発をする。特に、通信削減のために、Communication Avoiding Algorithm (CAA)を採用し、性能評価を行う。今年度は、Many Integrated Core アーキテクチャを備える COMA において高速に計算できるコードの開発を目指す。

2. 研究成果の内容

目的(1)における MTDM では、節点のみから形状関数を生成する必要がある。今年度は、形状関数生成法の1つである IIMLS について考え、Chebyshev 節点を間接的に使用することで、IIMLS に内在する不安定性を改良した Modified IIMLS (MIIMLS) を提案した。数値実験により、MIIMLS は特に節点間の微分近似が高精度であることが確認できた。

目的(2)では、CAA として k -skip CG 法を採用し、COMA において実装した。ただし、単純に実装しただけでは収束性が悪いため、反復毎に、CG 法の反復計算で得られる残差 \mathbf{r}_i と修正方向ベクトル \mathbf{p}_i を再設定する方法を提案した。具体的には、真の相対残差を $\mathbf{R}_i = \mathbf{b} - \mathbf{A}\mathbf{x}_i$ としたとき、 $\mathbf{r}_i = (1-s)\mathbf{r}_i + s\mathbf{R}_i$ 、および、 $\mathbf{p}_i = (1-s)\mathbf{p}_i + s\mathbf{R}_i$ のように再設定した。さらに、 m 回反復毎に一度、 \mathbf{r}_i を \mathbf{R}_i で置き換える方法も提案した。2つの提案法を組み合わせ、パラメータの s と m を適切に設定したとき、収束性が高まる例が確認できた。特に、Element-Free Galerkin 法によって得られた連立1次方程式に対して適用した際には、 $s = 0.95, m = 3$ のとき等に大幅に収束性が向上した。

3. 学際共同利用として実施した意義

スーパーコンピュータ (COMA 等) を使って様々な所属機関の研究者が連携して研究に取り組めることに意義があると考えている。また、強力な計算機資源を使用させて

いただくことで、1つの研究室では難しいレベルの大規模計算が実行可能なことにも意義があると考えている。

4. 今後の展望

MIIMLS は節点間の微分近似が高精度である一方で、Kronecker delta 関数特性が失われることが判明しており、単純に現状のMTDMに適用することは難しい。そのため、今後はMIIMLSを適用するためのアルゴリズム構築を検討している。また、 k -skip CG法の収束性に関するパラメータは、現状経験的に決定している。そのため、今後は自動的にパラメータを決定するための方法についても検討が必要であると考えている。

5. 成果発表

(1) 学術論文

[1] Y. Fujita, S. Ikuno, T. Itoh, and H. Nakamura, “Modified Improved Interpolating Moving Least Squares Method for Meshless Approaches,” IEEE Trans. on Magnetics, accepted.

[2] A. Matsumoto, Y. Fujita, T. Itoh, K. Abe, and S. Ikuno, “Improvement of Convergence Property of Communication Avoiding Conjugate Gradient Method for Linear System Obtained from Meshless Approaches,” Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 43-55, Mar. 2019.

(2) 学会発表

[1] T. Itoh, Y. Fujita, S. Ikuno and H. Nakamura, “Stable Simulation of Electromagnetic Wave Propagation in Tapered Waveguide by Meshless Time-Domain Method,” CEFC 2018, Hangzhou, China, Oct. 2018.

[2] A. Matsumoto, T. Itoh, Y. Fujita, H. Tadano, S. Ikuno and Y. Hanaoka, “Convergence Property Improvement and Evaluation of k -skip Conjugate Gradient Method,” 10th Symposium on “Discovery, Fusion, Creation of New knowledge by Interdisciplinary Computational Sciences,” Tsukuba, Oct. 2018.

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
COMA	○	4800	0
Oakforest-PACS			
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			