

## SI 法による高精度音散乱シミュレーション High-Accuracy Simulation for Acoustic Scattering Using SI Method

○長田至穂<sup>1</sup>, 岸本誠也<sup>2</sup>, 大貫進一郎<sup>2</sup>

\*Shion Osada<sup>1</sup>, Seiya Kishimoto<sup>2</sup>, Shinichiro Ohnuki<sup>2</sup>

Abstract: In recent years, acoustic analysis has been increasingly utilized in the design of various acoustic environments. The Finite-Difference Time-Domain (FDTD) method is widely used as one of the standard numerical methods; however, it suffers from numerical dispersion errors that depend on the spatial and temporal discretization, significantly affecting the accuracy in long-term simulations. To address this issue, the Symplectic Integrator (SI) method is known as an effective approach for reducing numerical dispersion errors. The authors have previously applied the SI method to electromagnetic field analysis and confirmed its superiority over the FDTD method in terms of reduced dispersion errors and improved accuracy. Based on these findings, the present study investigates the application of the SI method to acoustic analysis, with the aim of developing a numerically stable and high-accuracy acoustic simulation method for long-duration computations.

近年、音響解析は様々な音響空間の設計において活用されている。解析手法の一つとして広く用いられている FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法は、空間刻み幅および時間刻み幅に依存する数値分散誤差が多ステップの計算において精度に大きな影響を及ぼすという問題がある。これに対し、数値分散誤差の抑制に有効な計算手法として、量子力学分野や天体力学分野で用いられているシンプレクティック数値積分 (SI: Symplectic Integrator) 法がある。著者らはこれまでに、SI 法を電磁界解析に適用することで FDTD 法と比較して数値分散誤差の低減および解析精度の向上を確認してきた<sup>[1,2]</sup>。これらの成果を踏まえ、本研究では SI 法を音響解析に応用した長時間にわたって数値的に安定な高精度音響解析手法の開発を検討している。本報告では、実空間における重要な現象である物体による音の散乱現象を一次元及び二次元領域においてシミュレーションし SI 法の妥当性を示す。計算には音圧の連続式と運動方程式をシンプレクティック形式で表した以下の式を用いる。

$$\begin{pmatrix} \mathbf{u}^{n+1} \\ \mathbf{p}^{n+1} \end{pmatrix} = \exp \left\{ \Delta t \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{\rho} \nabla \\ -\frac{1}{\kappa} \nabla \cdot & 0 \end{pmatrix} \right\} \begin{pmatrix} \mathbf{u}^n \\ \mathbf{p}^n \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{u}$ は粒子速度、 $\mathbf{p}$ は音圧、 $\kappa$ は体積弾性率、 $\rho$ は密度である。行列指数関数は直接計算することが困難であるため、本解析では、2次の指数分解公式を用いて行列積へと変形し数値計算を行う。

図1に解析モデルを示す。空気で満たされた空間の一部に異なる媒質を挿入し、波源からガウシアンパルスを入射する。媒質による反射波を観測点における時間応答として取得し、SI法及びFDTD法の結果を比較することでSI法の有用性を示す。

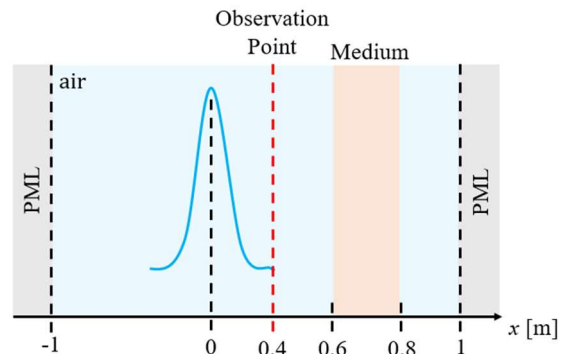


Figure 1. 解析モデル

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21K17753, JP23K03961, JP25K15151 の援助を受けて行われた。

参考文献

[1] K. Miyamoto, S. Kishimoto, T. Sako, and S. Ohnuki, "Electromagnetic field analysis by the symplectic integrator method", IEICE Electronics Express, Vol.21, No.17, pp.1-5, 2024.

[2] K. Miyamoto, S. Kishimoto, T. Sako, and S. Ohnuki, "Electromagnetic field analysis of dispersive media using frequency-dependent symplectic integrator", IEICE Electronics Express, Vol.21, No.1, pp.1-6, 2025.

1: 日大理工・院 (前)・電気 2: 日大理工・教員・電気