

音波伝搬シミュレーション

土屋 隆生

抄 録

計算機環境の発達や FDTD (Finite Difference-Time Domain) 法などの簡便なアルゴリズムの普及により、音波伝搬シミュレーションが身近になってきた。本稿では、音場を解析するときの基礎理論を解説し、FDTD 法による離散化手法や境界条件の取り扱いについて解説する。特に、FDTD 法の高精度版である CE-FDTD 法について詳述する。また、音波伝搬シミュレーションの可聴化への応用として、波動性を考慮した 3 次元音場計算により聴取位置での音圧波形を数値的に計算した上で、立体音響技術などで 3 次元的に可聴化する音空間レンダリングについても解説する。

Numerical simulations of sound propagation

Takao TSUCHIYA

Abstract

Simulation of sound wave propagation is widely used thanks to advances in the computing environment and the spread of simple simulation algorithms such as the finite difference-time domain (FDTD) method. In this paper, the theoretical basis for the analysis of sound wave propagation is described, after which discretization using the FDTD method and the boundary conditions are described. The compact explicit-FDTD (CE-FDTD) method, which is a highly accurate version of the FDTD method, is also described. For application of simulation of sound wave propagation to auralization, sound field rendering, which is a technique for 3-D auralization on the basis of computerized 3-D numerical models, is also described.

Keywords

simulation of sound wave propagation, CE-FDTD method, sound field rendering

1. はじめに

音場の数値解析手法は、様々な分野で様々な手法が提案されているが、大きく分けて定常解析手法と非定常解析手法に分けられる。定常解析手法は、音場を単一周波数の連続正弦波で駆動したときなどのように、音波の振幅や位相が時間に依存しない定常状態の場を計算する手法である。1つの計算点の影響が場全体に広がるため、一般的に連立1次方程式を解く必要がある。代表的な手法に有限要素法^{1,2)}などがあるが、プログラミングがかなり難しく、初心者向けではない。

一方、音波伝搬や時間応答を解析したい場合、非定常解析手法を用いることになる。非定常解析手法は、音圧などの物理量が時間的に変化する場を扱う

ため、波形などの計算が得意である。偏微分方程式で表される支配方程式を差分法系の離散化手法で離散化すれば、比較的単純な代数式に変換できるため、プログラミングが容易になることから、初心者向けと言える。

本解説は、音波伝搬を非定常の数値シミュレーションにより解析する場合の基礎的な取り扱いから、先端の解析法までを取り扱う。解析手法は、差分法を基にした非定常解析手法に限定して解説する。解析対象は必ずしも超音波に限っていないが、取り扱いはほぼ同じであるためご容赦願いたい。また、手法解説を中心としているため、やや理論に偏っている感があるが、その点もご容赦願いたい。

同志社大学理工学部

Faculty of Science and Engineering, Department of Information Systems Design, Doshisha University, 1-3 Tatara Miyakodani, Kyotanabe, Kyoto 610-0394, Japan

Received on April 2, 2016; Accepted on October 31, 2016 J-STAGE. Advanced published. date: February 10, 2017