

# 論文審査の結果の要旨

氏名 安田 洋介

本論文は「高速多重極境界要素法による大規模音場予測に関する研究」と題し、7章から成る。計算力学分野の研究成果である高速多重極アルゴリズムを、従来の波動音場解析手法である境界要素法 (BEM) に適用することで、計算効率を飛躍的に向上させた「高速多重極境界要素法 (FMBEM)」を開発している。また同手法について、その汎用化のための適切な設定法の検討、及び音響問題における適用性向上のための検討を行っている。本手法により、従来計算機能力の制限から実質的に不可能であった大規模波動音場予測が大いに身近なものとなることから、本研究は各種の音響設計、環境評価を行う上で大いに有用と考えられる。

第1章「序」では、研究の背景、既往研究、研究の目的を述べた上で、本論文の構成について示している。

第2章「解析アルゴリズムの構築」では、本研究の基礎となる3次元音場のためのFMBEMの解析アルゴリズムを具体的に構築している。BEMによる音場の定式化の後、多重極展開の基礎理論と、これをBEMに多段階に適用するための階層セル構造について述べ、これらを基にFMBEMの具体的な数値計算アルゴリズムを提示している。定式化は通常使用される基本型のみならず、薄板解析に有用な法線方向微分型、外部問題の解の一意性を保証するBurton and Millerによる方法についても行っている。最後に、問題の自由度のオーダーで評価した計算効率の理論的概算を通して、従来のBEMに比べて大幅な効率化が実現可能なことを示している。

第3章「解析アルゴリズムの有効性の検証」では、前章で構築した解析アルゴリズムをコンピューターに実装し、理論解と比較可能な音響管解析に適用することで、アルゴリズムの有効性を計算精度及び計算効率の両観点から検証している。FMBEM解析が理論解、BEM解析と良く対応すること、FMBEMがBEMに比べて計算効率を大幅に向上できる手法であることを確認している。

第4章「多重極展開の設定条件に関する検討」では、FMBEMの計算精度に影響を及ぼす、多重極展開の数値的取り扱いのための各種計算パラメータについて検討している。まず、本手法の基礎となる3次元音場基本解の多重極展開について、厳密解との比較による精度の検討を通して、解析上意味を持つ無次元波数、及び本手法での計算単位であるセルの位置関係によらず高精度となる各種設定式を経験式の形で提案している。次にこれらの設定を用いたFMBEMにより数値解析を行い、計算効率の観点から設定条件の妥当性を検証している。

第 5 章「階層セル構造に関する検討」では、**FMBEM** の計算効率に影響を及ぼす階層セル構造の設定について、その影響の把握と適切な設定法の提案を行っている。はじめに、境界形状を考慮した階層セル構造の効率的な設定に関して検討している。解析対象の形状が 1 次元の場合 **FMBEM** による効率化が損ねられることを数値解析結果から示した後、理論的概算及び数値解析によるケーススタディを通して複数の設定を比較検討し、形状によらず有効な設定を提案している。次に **FMBEM** の計算効率を最適化するためのセル構造の階層化レベル設定法について検討している。最下位レベルセル内平均節点数に着目し、理論的考察及び数値解析から、計算量及び必要記憶容量を最適化する最下位レベルセル内平均節点数が問題の節点数によらず一定となることを示し、これにより最適階層化レベルの算出が可能であることを示している。最後に、階層セル構造の応用的な利用法として、音場解析においてしばしば扱われる、対称形となる音場に対する効率化手法を構築している。

第 6 章「反復解法の収束性に関する検討」は、**FMBEM** による解析を行う上で前提となる反復解法の収束性及びその収束改善法に関するものである。**FMBEM** による音響問題の解析に限定した上で、反復解法の種類・定式化・解析対象の形状及び境界条件・問題の自由度の影響、並びに前処理及び各種初期設定値による収束改善効果を数値解析を通して比較検討している。最終的に、個々の音響問題の解析に適した反復解法の選定と、収束改善のための適切な設定を行うための知見として整理されている。

第 7 章「総括」では、本論文の成果と共に今後の課題について述べている。

以上、本論文は、計算効率の大幅な向上を可能とする手法の構築に止まらず、その実用的な運用・設定までを詳細に検討した内容となっている。波動音場解析手法の適用対象の拡大に大きく寄与しており、音響設計・環境アセスメント・性能評価等、良好な音環境を追求・創出するための様々な場面で応用が期待され、環境学上貢献する所少なくない。

よって、本論文は、博士（環境学）の学位申請論文として合格と認められる。