

# 目 次

はじめに

|     |                             |    |
|-----|-----------------------------|----|
| 1   | 電磁現象                        | 1  |
| 1.1 | 電場と磁場                       | 1  |
| 1.2 | 渦電流と電磁応用機器                  | 2  |
| 1.3 | 電磁波と超伝導                     | 2  |
| 1.4 | 本書を読む前に                     | 3  |
|     | (a) 本書の概要                   | 3  |
|     | (b) 領域についての注意               | 3  |
|     | (c) ベクトル演算の復習               | 4  |
|     | (d) 有限要素法の概略                | 5  |
| 2   | 数学的定式化                      | 11 |
| 2.1 | マクスウェル方程式                   | 11 |
| 2.2 | 静電場の定式化                     | 13 |
| 2.3 | 線形静磁場における2つの定式化             | 15 |
|     | (a) H法                      | 15 |
|     | (b) A法                      | 17 |
| 2.4 | 渦電流問題の定式化                   | 18 |
|     | (a) H-J法による渦電流問題の定式化        | 18 |
|     | (b) A- $\phi$ 法による渦電流問題の定式化 | 22 |
| 2.5 | B-H特性を考慮した非線形静磁場            | 23 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| (a) H 法                  | 24        |
| (b) A 法                  | 25        |
| 2.6 その他の問題               | 26        |
| <b>3 近似解法(その I)</b>      | <b>27</b> |
| 3.1 代表的な有限要素             | 27        |
| (a) 3 角形 1 次要素           | 27        |
| (b) 4 面体 1 次要素           | 28        |
| (c) 4 面体 2 次要素           | 30        |
| (d) ネデレック要素              | 31        |
| 3.2 静電場における有限要素法近似       | 33        |
| 3.3 線形静磁場における有限要素法近似     | 35        |
| 3.4 渦電流問題における有限要素法近似     | 36        |
| 3.5 非線形静磁場における有限要素法近似    | 37        |
| (a) ピカールの逐次近似法           | 38        |
| (b) ニュートン法               | 38        |
| <b>4 連立 1 次方程式の解法</b>    | <b>41</b> |
| 4.1 ガウスの消去法と LU 分解定理     | 41        |
| 4.2 ウェーブフロント法の基礎         | 42        |
| (a) 数値例                  | 42        |
| (b) アルゴリズム               | 44        |
| (c) 静磁場問題の場合に対する注意       | 45        |
| 4.3 スカイライン法の基礎           | 47        |
| 4.4 対称正定値行列に対する修正コレスキー分解 | 53        |
| 4.5 共役勾配法の基礎             | 55        |
| (a) 共役勾配法のアルゴリズム         | 55        |

|     |                       |    |
|-----|-----------------------|----|
| (b) | 前処理付きの共役勾配法           | 56 |
| (c) | いくつかの注意               | 57 |
| 4.6 | 非対称行列用反復法             | 57 |
| (a) | 一般化最小残差法(GMRES)       | 57 |
| (b) | 前処理行列                 | 58 |
| (c) | 前処理付き GMRES(m)のアルゴリズム | 59 |
| 5   | 解析事例                  | 63 |
| 5.1 | 静電場                   | 63 |
| (a) | 解析モデル                 | 63 |
| (b) | 解析結果                  | 64 |
| 5.2 | 線形静磁場                 | 65 |
| (a) | 解析モデル                 | 65 |
| (b) | 解析結果                  | 66 |
| (c) | H法とA法の比較              | 69 |
| 5.3 | 渦電流                   | 69 |
| (a) | 解析モデル                 | 69 |
| (b) | 解析結果                  | 71 |
| (c) | H-J法とA- $\phi$ 法の比較   | 72 |
| 5.4 | 非線形静磁場                | 73 |
| (a) | B-H曲線の使い方             | 73 |
| (b) | 解析モデル                 | 73 |
| (c) | 解析結果                  | 75 |
| 6   | 近似解法(その2)             | 79 |
| 6.1 | 線形静磁場                 | 79 |
| (a) | iH法                   | 79 |
| (b) | iA法                   | 82 |

|     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| (c) | 数値例                | 84  |
| 6.2 | 渦電流(その1)           | 85  |
| (a) | iH-J法              | 85  |
| (b) | 数値例                | 91  |
| 6.3 | 渦電流(その2)           | 92  |
| (a) | iA- $\phi$ 法       | 92  |
| (b) | miA- $\phi$ 法      | 96  |
| (c) | 数値例                | 97  |
| (d) | 複素対称行列としての扱い       | 100 |
| (e) | いくつかの注意            | 101 |
| 7   | 大規模解析と設計           | 103 |
| 7.1 | 並列処理               | 103 |
| (a) | コンピュータ環境の最近の動向     | 103 |
| (b) | コンピュータ環境と関連した今後の展開 | 104 |
| (c) | 領域分割法とくに部分構造法      | 106 |
| (d) | テストモデルとその結果        | 107 |
| (e) | 反復型領域分割法           | 110 |
| 7.2 | モデリング              | 114 |
| (a) | 物性値の与え方            | 114 |
| (b) | メッシュの作り方           | 115 |
| (c) | CADとの連携            | 118 |
|     | さらに勉強するために         | 121 |
|     | 参考文献               | 122 |
|     | 索引                 | 129 |