

## 目次

|                                   |    |  |     |
|-----------------------------------|----|--|-----|
| 第 1 章 数値電磁力学の基礎                   | 1  | 2.2.1 2次元静磁場の境界要素解析                      | 90  |
| 1.1 電磁場の基本法則                      | 1  | 2.2.2 境界積分方程式と内点計算の正則化                   | 100 |
| 1.1.1 マクスウェル方程式と電荷・電流             | 1  | 2.3 有限要素法と境界要素法の比較                       | 107 |
| 1.1.2 マクスウェル方程式の物理的意味と近似          | 8  | 第 3 章 有限要素法の定式化                          | 110 |
| 1.1.3 ポテンシャル                      | 15 | 3.1 静磁場解析                                | 110 |
| 1.1.4 境界条件                        | 18 | 3.1.1 $\varphi$ による定式化                   | 110 |
| 1.1.5 クーロンの法則とビオ・サバールの法則          | 22 | 3.1.2 $\mathbf{A}$ による定式化                | 120 |
| 1.2 解析力学                          | 24 | 3.2 準定常電磁場                               | 126 |
| 1.2.1 ニュートン力学の一般化としての解析力学         | 24 | 3.2.1 $\mathbf{A}, \mathbf{V}$ 法         | 127 |
| 1.2.2 最小作用の原理                     | 26 | 3.2.2 $\mathbf{T}, \varphi$ 法            | 131 |
| 1.2.3 対称性と運動の積分                   | 28 | 第 4 章 境界要素法の定式化                          | 135 |
| 1.2.4 相対性原理                       | 32 | 4.1 静磁場解析                                | 135 |
| 1.2.5 正準形式 (ハミルトン形式)              | 34 | 4.1.1 $\mathbf{H}$ による定式化                | 136 |
| 1.2.6 電気力学 — 荷電粒子と場の方程式の統一された体系 — | 41 | 4.2 準定常電磁場                               | 142 |
| 1.3 微分形式による電磁力学                   | 48 | 4.2.1 $\mathbf{E}$ と $\mathbf{H}$ による定式化 | 142 |
| 1.3.1 ベクトル場からテンソル場へ               | 48 | 第 5 章 有限・境界要素法の離散化                       | 147 |
| 1.3.2 微分形式 (交代テンソル場)              | 51 | 5.1 微分形式とホイットニー要素                        | 147 |
| 1.3.3 電磁気学の微分形式                   | 59 | 5.1.1 ホイットニー要素の導入                        | 148 |
| 1.3.4 解析力学の微分形式                   | 63 | 5.1.2 ホイットニー要素の性質                        | 157 |
| 第 2 章 数値電磁力学入門                    | 68 | 5.2 有限要素法による離散化                          | 163 |
| 2.1 有限要素法入門                       | 68 | 5.2.1 単体節点要素                             | 164 |
| 2.1.1 有限要素法とは — 1次元の問題 —          | 68 | 5.2.2 アイソパラメトリック節点要素                     | 169 |
| 2.1.2 2次元静磁場の有限要素解析               | 76 | 5.2.3 辺有限要素                              | 174 |
| 2.1.3 ベクトル基底による有限要素定式化            | 82 | 5.3 有限要素行列の性質                            | 179 |
| 2.2 境界要素法入門                       | 89 | 5.3.1 静磁場解析と curl-curl 行列の性質             | 179 |
|                                   |    | 5.3.2 CG 法および ICCG 法の収束性                 | 182 |
|                                   |    | 5.3.3 木・補木ゲージと条件数                        | 184 |
|                                   |    | 5.3.4 数値計算結果                             | 187 |
|                                   |    | 5.3.5 渦電流場解析                             | 190 |
|                                   |    | 5.4 境界要素法による離散化                          | 193 |

|              |                                      |            |
|--------------|--------------------------------------|------------|
| 5.4.1        | ホイットニー形式に基づく離散化 . . . . .            | 193        |
| <b>第 6 章</b> | <b>時間領域の電磁場解析</b>                    | <b>197</b> |
| 6.1          | マクスウェル方程式の時間領域差分法: FDTD 法 . . . . .  | 197        |
| 6.2          | 有限積分法: FIT . . . . .                 | 201        |
| 6.2.1        | 二重グリッド構造とグリッド空間でのマクスウェル方程式           | 202        |
| 6.2.2        | FIT の代数的性質 . . . . .                 | 206        |
| 6.3          | 実用面で必要な諸技術 . . . . .                 | 208        |
| 6.3.1        | 境界条件 . . . . .                       | 208        |
| 6.3.2        | 誘電体 . . . . .                        | 213        |
| 6.3.3        | 計算時間/メモリ削減技術 (サブグリッドテクニック) . . . . . | 215        |
| <b>第 7 章</b> | <b>数値電磁力学の諸技術</b>                    | <b>218</b> |
| 7.1          | 粒子軌道解析 . . . . .                     | 218        |
| 7.1.1        | 連立 1 次常微分方程式とルンゲ・クッタ法 . . . . .      | 219        |
| 7.1.2        | ハミルトン系の数値積分とシンプレクティック積分法 . . . . .   | 222        |
| 7.2          | ヒステリシスの数理モデル . . . . .               | 229        |
| 7.2.1        | プライザッハモデル . . . . .                  | 229        |
| 7.2.2        | 初期曲線の考慮 . . . . .                    | 234        |
| <b>付録 A</b>  | <b>ベクトル公式</b>                        | <b>237</b> |
| <b>付録 B</b>  | <b>基本解</b>                           | <b>238</b> |
| <b>付録 C</b>  | <b>ガウス積分</b>                         | <b>240</b> |
| <b>参考文献</b>  |                                      | <b>241</b> |
| <b>索引</b>    |                                      | <b>247</b> |