目　　次

1.　流体と基礎方程式

1.1　流体力学の対象 …… 1
1.2　流体運動のとらえ方 …… 2
　1.2.1　ラグランジェ的見方 …… 2
　1.2.2　オイラー的見方 …… 3
1.3　基礎方程式 …… 6
　1.3.1　ラグランジェ描像での完全流体の基礎方程式 …… 6
　1.3.2　オイラー描像での基礎方程式 …… 8
　1.3.3　ナビア–ストークス方程式 …… 9
　1.3.4　エネルギー流束方程式 …… 10
　1.3.5　バロトロピー流体 …… 12
　1.3.6　ラグランジェの渦不生不滅の法則 …… 13
章末問題 …… 15

2.　ポテンシャル流：非圧縮性

2.1　ベルヌーイの定理 …… 16
　2.1.1　さまざまなベルヌーイの定理の導出 …… 17
　2.1.2　水力学でのベルヌーイの定理の応用例 …… 19
2.2　ラプラス方程式 …… 22
2.3　2次元ポテンシャル流 …… 24
　2.3.1　典型的な解の例 …… 27
　2.3.2　静止流体中を一定速度で移動する円柱周りの流れ …… 37

　2.3.3　循環が寄与している一様流中の静止円柱周りの流れ …… 39
2.4　翼への適用と等角写像 …… 42
　2.4.1　基礎的な等角写像 …… 43
　2.4.2　ジューコフスキー変換 …… 44
　2.4.3　カルマン–トレフツ変換 …… 49
　2.4.4　翼周りの流れ …… 49
2.5　一般形状物体周りの流れ …… 53
2.6　3次元ポテンシャル流 …… 55
章末問題 …… 58

3.　ポテンシャル流：圧縮性

3.1　圧縮性ポテンシャル流の基礎方程式 …… 60
3.2　1次元圧縮性流れとラバール管 …… 61
3.3　圧縮性ポテンシャル流の定常解の例 …… 66
3.4　圧縮性ポテンシャル流の速度ポテンシャル方程式 …… 71
3.5　ホドグラフ法 …… 74
3.6　M^2 展開法 …… 76
3.7　薄翼理論 …… 84
章末問題 …… 87

4.　非圧縮性実在流体解析

4.1　ナビア–ストークス方程式 …… 88
4.2　平行平板間流れ …… 90
4.3　円筒座標系における層流解 …… 96
　4.3.1　ポアズイユ流れ …… 96
　4.3.2　強制渦と自由渦 …… 97
4.4　正三角形流路における解 …… 99
4.5　自由流れの解 …… 101

4.6 層流境界層 …… 104
章末問題 …… 109

5. 乱流の基礎

5.1 乱流遷移 …… 110
5.2 相似則 …… 113
5.3 相関 …… 115
5.4 スペクトル …… 119
5.5 間欠性 …… 122
章末問題 …… 124

6. 乱流数値解析

6.1 直接数値計算 …… 125
6.2 アンサンブル平均モデルシミュレーション …… 129
6.2.1 渦粘性型モデル …… 132
6.2.2 応力方程式モデル …… 145
6.2.3 代数応力モデル …… 149
6.2.4 RANS の結果の例 …… 150
6.3 ラージ・エディ・シミュレーション …… 152
6.3.1 フィルター関数 …… 155
6.3.2 SGS モデル …… 159
6.3.3 ダイナミック手法 …… 164
6.3.4 LES で必要となる数値計算処理 …… 168
6.3.5 LES における追加事項 …… 171
章末問題 …… 172

7. 数値スキーム：時間解析

7.1 時間発展法とは …… 173
7.2 時間発展法の 3 タイプ …… 174
7.2.1 Adams-Bashforth タイプ陽解法 …… 174
7.2.2 Adams-Moulton タイプ半陰解法 …… 176
7.2.3 Runge-Kutta タイプ陽解法 …… 178
7.2.4 一様せん断乱流での検証 …… 180
章末問題 …… 182

8. 数値スキーム：空間解析

8.1 擬スペクトル法 …… 183
8.2 有限差分法 …… 186
8.2.1 非保存型差分表現 …… 189
8.2.2 保存型差分表現 …… 191
8.2.3 コンパクト差分法 …… 194
8.2.4 FDM での圧力解法 …… 198
8.3 有限体積法 …… 203
8.3.1 補間法 …… 205
8.3.2 離散化方程式 …… 212
8.3.3 FVM での圧力解法 …… 213
8.3.4 FVM 計算結果の例 …… 220
8.4 有限要素法 …… 221
8.4.1 ポアソン方程式の FEM …… 221
8.4.2 ナビア–ストークス方程式の FEM …… 227
章末問題 …… 230

付 録 …… 231

A.1 流体力学で必要となる数学 …… 231

A.1.1 ベクトル代数 …… 231

A.1.2 テンソル代数 …… 234

A.1.3 複素関数論 …… 236

A.1.4 偏微分方程式の分類 …… 238

A.2 曲線直交座標系におけるナビア–ストークス方程式 …… 238

A.2.1 一般曲線直交座標系表現 …… 243

A.2.2 円筒座標系表現 …… 247

A.2.3 3 次元極座標系表現 …… 249

A.3 流体力学で必要となる熱力学 …… 251

A.4 参考プログラム …… 252

引用・参考文献 …… 253

索 引 …… 257