

目次

1章 はじめに	1
1.1 数値流体力学とは何か	1
1.2 数値流体力学プログラムはどのようなものか	3
1.3 数値流体力学を用いた問題解決	5
1.4 本書の範囲	8
2章 流体運動の保存則と境界条件	10
2.1 流体の流れと熱移動の基礎式	10
2.2 状態方程式	22
2.3 ニュートン流体に対するナビエ-ストークス式	23
2.4 流体の流れの基礎式の保存型	26
2.5 一般輸送方程式の差分形と積分形	26
2.6 物理現象の分類	28
2.7 双曲型方程式での特性線の役割	32
2.8 簡単な偏微分方程式の分類	34
2.9 流体の流れの方程式の分類	36
2.10 粘性流体の流れの方程式に対する補助条件	38
2.11 遷音速や超音速の圧縮性流体の問題	40
2.12 まとめ	41
3章 乱流とそのモデリング	43
3.1 乱流とは何か	43
3.2 層流から乱流流れへの遷移	47
3.3 乱流流れの記述子	52
3.4 単純な乱流流れの特徴	55
3.5 乱流変動が平均流れの性質に及ぼす影響	64
3.6 乱流流れの計算	68
3.7 レイノルズ平均ナビエ-ストークス式と古典的な乱流モデル	69

3.8	ラージエディシミュレーション	104
3.9	直接数値シミュレーション	118
3.10	まとめ	122
4 章	拡散問題に対する有限体積法	124
4.1	はじめに	124
4.2	定常状態における 1 次元拡散に対する有限体積法	124
4.3	例題：1 次元定常拡散問題	127
4.4	2 次元拡散問題に対する有限体積法	139
4.5	3 次元拡散問題に対する有限体積法	141
4.6	まとめ	142
5 章	対流 - 拡散問題に対する有限体積法	144
5.1	はじめに	144
5.2	定常 1 次元対流および拡散	145
5.3	中心差分法	146
5.4	離散化スキームの性質	151
5.5	対流 - 拡散問題に対する中心差分法の評価	155
5.6	風上差分法	156
5.7	ハイブリッド法	162
5.8	べき乗法	166
5.9	対流 - 拡散問題に対する高次精度差分スキーム	167
5.10	TVD スキーム	176
5.11	まとめ	189
6 章	定常流れにおける圧力場と速度場	192
6.1	はじめに	192
6.2	スタッガード格子	193
6.3	運動量保存式	196
6.4	SIMPLE アルゴリズム	199
6.5	SIMPLE のまとめ	203
6.6	SIMPLER アルゴリズム	204
6.7	SIMPLEC アルゴリズム	207
6.8	PISO アルゴリズム	207
6.9	SIMPLE, SIMPLER, SIMPLEC および PISO に対する 一般的なコメント	211

6.10	SIMPLE アルゴリズムの例題	212
6.11	まとめ	230
7 章	離散化方程式の解法	232
7.1	はじめに	232
7.2	TDMA	233
7.3	2 次元問題に対する TDMA の適用	235
7.4	3 次元問題に対する TDMA の適用	236
7.5	例題	237
7.6	点反復法	244
7.7	マルチグリッド法	250
7.8	まとめ	265
8 章	非定常流れに対する有限体積法	266
8.1	はじめに	266
8.2	1 次元非定常熱伝導	266
8.3	例題	272
8.4	2 次元および 3 次元問題に対する陰解法	279
8.5	非定常対流 - 拡散方程式の離散化	280
8.6	QUICK スキームを用いた非定常対流 - 拡散の例題	281
8.7	非定常流計算に対する解析手法	286
8.8	擬定常スキームを用いた定常状態計算	288
8.9	ほかの非定常スキームの概要	289
8.10	まとめ	289
9 章	境界条件の適用	291
9.1	はじめに	291
9.2	流入境界条件	293
9.3	流出境界条件	294
9.4	壁境界条件	296
9.5	定圧境界条件	301
9.6	対称境界条件	302
9.7	周期境界条件	303
9.8	落とし穴の可能性とまとめ	304

10 章 数値流体力学モデリングにおける誤差と不確かさ	307
10.1 数値流体力学の誤差と不確かさ	307
10.2 数値誤差	309
10.3 入力の不確かさ	312
10.4 物理モデルの不確かさ	314
10.5 確認と検証	316
10.6 数値流体力学を最善に実施するための指針	322
10.7 数値流体シミュレーションの入力と結果の説明と文書化	324
10.8 まとめ	327
11 章 複雑な形状を取り扱う方法	329
11.1 はじめに	329
11.2 複雑な形状に対する境界適合格子	330
11.3 直交格子 vs. 曲線格子の例	331
11.4 曲線格子の難しさ	333
11.5 ブロック構造格子	335
11.6 非構造格子	336
11.7 非構造格子の離散化	338
11.8 拡散項の離散化	341
11.9 対流項の離散化	345
11.10 生成項の取扱い	350
11.11 離散化方程式のまとめ	351
11.12 非構造格子を用いた計算例題	356
11.13 非構造格子における圧力-速度の結合	363
11.14 スタッガード vs. コロケート格子	364
11.15 界面速度の補間方法の非構造格子への拡張	368
11.16 まとめ	369
12 章 燃焼の数値流体力学モデリング	371
12.1 はじめに	371
12.2 熱力学第 1 法則の燃焼系への適用	372
12.3 生成エンタルピー	374
12.4 混合ガスの重要な関係と性質	374
12.5 化学量論	377
12.6 当量比	378
12.7 断熱火炎温度	378

12.8 平衡と解離	380
12.9 燃焼と化学反応速度論	385
12.10 総括反応と中間反応	386
12.11 反応速度	387
12.12 詳細機構	392
12.13 簡略化機構	393
12.14 燃焼流れの基礎式	394
12.15 Simple Chemical Reaction System (SCRS)	399
12.16 例：層流拡散火炎のモデル化	402
12.17 非予混合乱流燃焼の数値流体力学の計算	408
12.18 乱流燃焼に対する SCRS モデル	412
12.19 確率密度関数によるアプローチ	413
12.20 ベータ pdf	415
12.21 化学平衡モデル	417
12.22 渦崩壊モデル	418
12.23 渦消散モデル	421
12.24 層流火炎片モデル	421
12.25 層流火炎片ライブラリの生成	423
12.26 非平衡パラメータの統計	432
12.27 燃焼の汚染物質生成	433
12.28 燃焼の thermal NO のモデリング	435
12.29 火炎片に基づく NO モデリング	436
12.30 乱流火炎の層流火炎片モデルおよび NO モデルを 説明するための例	436
12.31 非予混合燃焼に対するほかのモデル	444
12.32 予混合燃焼のモデリング	444
12.33 まとめ	445

13 章 ふく射伝熱の数値計算	446
13.1 はじめに	446
13.2 ふく射伝熱の基礎式	453
13.3 解法	455
13.4 数値流体力学に適した有名な四つのふく射の計算方法	456
13.5 例題	467
13.6 混合ガスのふく射物性の計算	472
13.7 まとめ	473

付録 A	流体解析の精度	475
付録 B	不等間隔格子	478
付録 C	生成項の計算	480
付録 D	第 5 章で用いる制限関数	482
D.1	Van Leer 制限関数	482
D.2	Van Albada 制限関数	482
D.3	Min-Mod 制限関数	483
D.4	Roe の SUPERBEE 制限関数	483
D.5	Sweby 制限関数	483
D.6	Leonard の QUICK 制限関数	484
D.7	UMIST 制限関数	484
付録 E	平面ノズルを通過する定常非圧縮流れの 1 次元基礎式の導出	485
付録 F	第 11 章における $n \cdot \text{grad } \phi A_i$ の導出	488
付録 G	例題	491
G.1	応用例	491
G.2	円管内急縮小流れ	491
G.3	試験室内の火炎のモデリング	493
G.4	周期的な圧力変化による円管内層流流れ	495
参考文献		500
索引		523