

目次

第1章 はじめに

第2章 差分法と有限体積法の基礎

2.1 偏微分方程式とその分類	6	2.7.3 ラックス・ベンドロフ法	17
2.1.1 偏微分方程式	6	2.7.4 代表的な方法 (波動方程式)	17
2.1.2 二階偏微分方程式の分類	6	2.8 安定性	19
2.2 偏微分方程式の解の性質	8	2.8.1 Lax の同等定理	19
2.2.1 だ円型偏微分方程式	8	2.8.2 固有値法	19
2.2.2 放物型方程式	8	2.8.3 フォンノイマンの方法	19
2.2.3 双曲型方程式	9	2.8.4 テイラー展開を利用する方法	20
2.3 初期・境界条件	10	2.9 曲線座標系	21
2.3.1 境界条件の種類	10	2.9.1 複雑な形状の取り扱い	21
2.3.2 偏微分方程式の型と境界条件	10	2.9.2 三次元座標変換	21
2.4 差分公式	11	2.9.3 二次元座標変換	22
2.4.1 差分公式の導き方	11	2.9.4 直交曲線座標系	23
2.5 だ円型方程式の差分法	13	2.9.5 ナビエ・ストークス方程式の円柱座標, 球座標での表式	24
2.5.1 標準的な手順	13	2.10 有限体積法	25
2.5.2 簡単な例	13	2.10.1 保存形方程式と有限体積法	25
2.6 放物型方程式の差分法	14	2.10.2 二階微分の取り扱い方	25
2.6.1 陽解法	14	2.11 連立一次方程式の反復解法	27
2.6.2 陰解法	14	2.11.1 反復法	27
2.6.3 ADI 法	15	2.11.2 ヤコビ法	27
2.6.4 代表的な方法 (拡散方程式)	15	2.11.3 ガウス・ザイデル法	27
2.6.5 トーマス法	15	2.11.4 SOR 法	28
2.6.6 だ円型方程式への応用	16	2.11.5 収束の速さ	28
2.7 双曲型方程式の差分法	17	2.11.6 共役勾配法	28
2.7.1 簡単な例	17	2.11.7 共役勾配法から発展した方法	29
2.7.2 上流差分法と人工粘性	17		

第3章 非圧縮性流れ

3.1 基本的な解法	32	3.4 浮力のある流れ場への適用	77
3.1.1 差分格子系と MAC 法系統の解法	33	3.4.1 圧縮性粘性流 (気体) の基礎式	77
3.1.2 フラクショナル・ステップ法	36	3.4.2 等圧密度変化を仮定した近似方程式	78
3.1.3 SIMPLE 法系統の解法	38	3.4.3 Boussinesq 近似	80
3.1.4 非圧縮性流れに対する対流項差分スキーム	41	3.4.4 非圧縮方程式と等圧密度変化仮定方程式	81
3.1.5 境界適合格子への拡張方法	45	3.4.5 浮力乱流に対する乱流モデル	82
3.2 乱流への適用	47	3.4.6 浮力流れ場の計算例	85
3.2.1 レイノルズ平均モデルを用いた非圧縮性乱流計算	47	3.5 流れ連成問題の解析	88
3.2.2 DNS, LES による非圧縮乱流解析	62	3.5.1 流れ連成問題の考え方	88
3.3 低レイノルズ数流れへの適用	74	3.5.2 物体と流体の連成運動	89
3.3.1 ストークス流れ ($Re \rightarrow 0$) の解析手法	74	3.5.3 外力による連成	90
3.3.2 レイノルズ数が 0 でない低レイノルズ数流れの解析手法	74	3.5.4 移動境界の取り扱い	91
3.3.3 計算を行う際に注意すべき点	75	3.5.5 トレーサ粒子の運動解析	93
3.3.4 計算例	75	3.5.6 低マッハ数における流体音の解析	93
3.3.5 応用分野	76		

第4章 圧縮性流れ

4.1 圧縮性流れの基本的な解法	96	4.3.4 スケーリング	130
4.1.1 圧縮性解法の基本的な考え方	96	4.3.5 低マッハ数近似の積分制約条件	130
4.1.2 Godunov 法と一次風上差分法	97	4.3.6 低マッハ数近似の数値解法	131
4.1.3 風上法の高精度化と TVD 法	97	4.3.7 前処理付法	133
4.1.4 スカラ方程式における時間積分法	99	4.4 極超音速流への適用	135
4.1.5 スカラ方程式からシステム方程式	103	4.4.1 極超音速流非平衡反応流への拡張	135
4.1.6 多次元問題への拡張	107	4.4.2 極超音速流解析コードの検証	138
4.1.7 一次元システム方程式における時間積分法	110	4.4.3 ふく射流体力学の数値解法	140
4.1.8 多次元システム方程式への拡張	114	4.5 ジェットおよび空力音	144
4.1.9 一般座標系への適用	116	4.5.1 ジェット・空力音の解析的手法	144
4.1.10 非構造格子における時間積分法	117	4.5.2 ジェット・空力音の数値計算手法	146
4.1.11 その他の高次精度計算法	117	4.5.3 ジェット・空力音の数値計算で使用される方程式	148
4.2 圧縮性乱流モデル	120	4.5.4 境界条件	150
4.2.1 圧縮性乱流の数値計算	120	4.5.5 音波など微小な波の可視化	153
4.2.2 ファーブル平均と支配方程式	120	4.6 連成問題	155
4.2.3 レイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式のモデル化	120	4.6.1 連成手法について	155
4.2.4 エネルギー式のモデル化	125	4.6.2 連成問題におけるデータ変換方法	156
4.3 低マッハ数への適用	127	4.6.3 流れと剛体運動の連成解析	156
4.3.1 低マッハ数の圧縮性流れ	128	4.6.4 流れと弾性体の連成解析	159
4.3.2 圧縮性流れの基礎方程式	129	4.6.5 流れと熱応答連成解析	169
4.3.3 低マッハ数の近似	129		

第5章 統一解法

5.1 統一解法の必要性	174	5.4.4 多次元への拡張	183
5.2 保存系と非保存系	176	5.4.5 時間分割法と保存性	184
5.3 セミ・ラグランジュ法	178	5.4.6 完全保存 CIP 法への道	185
5.3.1 移流方程式及びラグランジュ解	178	5.5 圧力ベース解法による統一解法	187
5.3.2 Cubic-Spline	179	5.5.1 基礎方程式	187
5.3.3 ラグランジュ補間	179	5.5.2 圧力ベース解法	187
5.3.4 Hermite 補間	179	5.5.3 CCUP 法	189
5.3.5 CIP スキーム	180	5.6 応用例	190
5.4 CIP 法	181	5.6.1 ミルククラウン	190
5.4.1 CIP 法の基本スキーム	181	5.6.2 レーザと物質との相互作用	191
5.4.2 表面捕獲	181	5.6.3 プラズマ・希薄流体への応用	192
5.4.3 有理関数 CIP	182	5.7 将来への展望	195

第6章 燃焼流

6.1 燃焼流の基礎方程式	198	6.3.2 計算例	204
6.1.1 基礎方程式	198	6.4 乱流火炎の数値計算	205
6.1.2 熱および物質の拡散	198	6.4.1 乱流火炎の構造	205
6.1.3 輸送係数	199	6.4.2 乱流モデル	206
6.1.4 熱力学状態量および気体定数	199	6.4.3 平均反応速度モデル	206
6.1.5 化学反応	199	6.4.4 乱流火炎の直接数値計算	207
6.1.6 乱流燃焼の基礎方程式	200	6.5 超音速燃焼の数値計算	208
6.2 反応項の数値的取扱	201	6.5.1 超音速燃焼の特徴	208
6.2.1 スティフネス (Stiffness)	201	6.5.2 計算例	208
6.2.2 計算法	201		
6.3 層流火炎の数値計算	203		
6.3.1 層流火炎の構造	203		

第7章 自由界面流れ

7.1 移動境界問題と自由界面流れ	212	7.3.4 気液界面の曲率の計算法	216
7.2 自由界面流れ数値計算手法の分類	213	7.4 有限差分(体積)法を用いた各種数値計算手法	218
7.3 境界条件の数学的定式化	215	7.4.1 固定矩形格子型	218
7.3.1 界面追跡の方法について	215	7.4.2 境界適合格子型	220
7.3.2 運動学的条件(Kinematic Condition)	215	7.5 各種手法の比較	222
7.3.3 動力学的条件(Dynamic Condition)	216		

第8章 解法の選択

8.1 まえがき	224	8.2.3 直交格子型解法	227
8.2 計算空間の取り扱い方法の分類	224	8.2.4 解適合型解法	228
8.2.1 構造格子型解法	225	8.3 選択のポイント	229
8.2.2 非構造格子型解法と構造-非構造ハイブリッド型解法	226	8.3.1 物理的側面からのポイント	229
		8.3.2 使い方の側面からのポイント	229

第9章 格子形成

9.1 計算格子	232	9.2.6 双曲型偏微分方程式による格子形成法	240
9.1.1 格子形成手順	232	9.3 非構造格子	243
9.1.2 格子の種類	232	9.3.1 非構造格子のデータ	243
9.1.3 格子と計算精度	235	9.3.2 デローニー三角形分割法	244
9.2 境界適合格子の形成法	236	9.3.3 前進先端法	247
9.2.1 境界適合格子と座標変換	236	9.4 工学的手法	249
9.2.2 格子トポロジ	237	9.4.1 物体モデリングと表面格子	249
9.2.3 格子形成法の分類	237	9.4.2 複雑形状への対応	249
9.2.4 代数式による格子形成法	238	9.4.3 解適合格子法	249
9.2.5 だ円型偏微分方程式による格子形成法	239		

第10章 可視化

10.1 可視化とは	254	10.3.4 ベクトル図	264
10.1.1 可視化の目的と意義	254	10.3.5 可視化手法の選択	265
10.1.2 可視化の流れ	255	10.3.6 流線と表面流線	265
10.2 三次元CGの基礎	256	10.3.7 可視化実験との比較	267
10.2.1 プリミティブ	256	10.3.8 その他の方法	269
10.2.2 ビューイング	256	10.3.9 アニメーション	269
10.2.3 色	257	10.4 ハードウェア	271
10.2.4 ライティングとシェーディング	258	10.4.1 GWSとPC	271
10.2.5 隠面処理とピクセル変換	259	10.4.2 周辺装置	271
10.2.6 画像ファイル	259	10.5 ソフトウェア	273
10.2.7 インタラクティブ	259	10.5.1 市販ソフトウェア	273
10.3 流れの可視化手法	261	10.5.2 無償ソフトウェア	273
10.3.1 メッシュ図	261	10.5.3 グラフィックス・ライブラリ	275
10.3.2 等高線と面塗り	262	10.5.4 インターネットの利用	275
10.3.3 等値面	264	10.5.5 画像とアニメーション	275

第11章 最適化と設計

11.1 流体問題と最適化	278	11.1.4 最適化問題の定式化について	280
11.1.1 流体と制御・最適化	278	11.1.5 決定論的最適化アルゴリズム	280
11.1.2 最適化問題について	278	11.1.6 確率論的最適化アルゴリズム	281
11.1.3 最適設計の目的とは	279	11.1.7 応答局面法	282
		11.1.8 逆解法とその展開	282

11.2 空力問題における最適化法の比較.....283	11.2.3 遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA)287
11.2.1 勾配法 (Gradient-based Method, GM)283	
11.2.2 焼きなまし法 (Simulated Annealing, SA)285	11.2.4 高揚力翼型の最適化289