

目次

第1章 圧縮性流れとは

1.1	さまざまな高速流れ	1
1.2	音速	3
1.3	流体の圧縮性とマッハ数	6
1.3.1	流体が静止している場合	6
1.3.2	流体が流動している場合	8
1.4	流れ中の微小じょう乱（音波）の伝ば挙動	9
1.4.1	静止流体中を微小物体（音源）が移動する場合	9
1.4.2	流れ中に微小物体（音源）がおかれた場合	11
	演習問題 1	13

第2章 熱力学の基礎概念と諸法則

2.1	熱平衡状態	14
2.2	状態量と状態方程式	15
2.3	理想気体	15
2.4	熱力学第一法則	17
2.5	内部エネルギーとエンタルピー	19
2.5.1	内部エネルギー	19
2.5.2	エンタルピー	20
2.6	比熱	22
2.6.1	定積比熱と定圧比熱	22
2.6.2	理想気体の比熱	23
2.7	系の状態変化とエントロピー	25
2.7.1	系と平衡状態	25
2.7.2	非可逆過程と可逆過程	25
2.7.3	非可逆過程と熱力学第二法則	26
2.7.4	エントロピーの導入と定義	27
2.7.5	系の状態変化とエントロピー変化	29
2.7.6	等エントロピー変化とその関係式	29
	演習問題 2	31

第3章 一次元圧縮性流れの基礎式

3.1 一次元流れの近似	32
3.2 一次元、非粘性、圧縮性流れの基礎方程式	34
3.2.1 連続の式	34
3.2.2 流体粒子の加速度	36
3.2.3 一次元、非粘性流れの運動方程式	38
3.2.4 運動量の式	40
3.2.5 エネルギーの式	43
3.2.6 流れ状態とよどみ点状態における流れの諸量の関係	46
演習問題3	48

第4章 一次元等エントロピー流れと応用

4.1 一次元等エントロピー流れの性質	50
4.2 等エントロピー流れにおける関係式	54
4.2.1 よどみ点状態、流れの諸量とマッハ数の関係、および臨界状態	54
4.2.2 流路断面積とマッハ数の関係	55
4.2.3 ラバルノズル内のマッハ数、圧力および温度分布	57
4.3 質量流量の式と流れのチョーク現象	58
4.4 ノズル流れに及ぼす背圧の影響	62
4.4.1 収縮ノズルの場合	62
4.4.2 収縮-拡大ノズル(ラバルノズル)の場合	64
4.5 ジェット推進	65
4.5.1 推力と衝撃関数	66
4.5.2 空気吸込み式エンジンの推力	67
4.5.3 ロケットエンジンの推力	70
演習問題4	73

第5章 垂直衝撃波

5.1 衝撃波の発生と衝撃波特性の概略	74
5.2 垂直衝撃波の基礎式	76
5.3 ランキン-ユゴニオの式	78
5.4 垂直衝撃波の関係式	80
5.5 垂直衝撃波を横切る流れのエントロピー変化と全圧変化	84
5.6 きわめて弱い衝撃波の場合の気体の状態変化	86
5.7 ビトー管による超音速流れの測定	88
5.8 鈍頭物体前方に発生するわん曲衝撃波	89

演習問題5	91
-------	----

第6章 一次元の波動

6.1 はじめに	92
6.2 一次元等エントロピー微小振幅波(音波)の伝ば	94
6.2.1 一次元等エントロピー波の基礎方程式	94
6.2.2 一次元等エントロピー微小振幅波(音波)の方程式	97
6.2.3 音波の波動方程式と解の物理的意味	98
6.2.4 音波における密度変動 $\Delta\rho$ 、圧力変動 Δp 、速度変動 Δu の間の関係	101
6.2.5 音波の方程式における特性曲線	103
6.3 一次元等エントロピー有限振幅波の伝ば	105
6.3.1 有限振幅波の伝ばの概要	105
6.3.2 有限振幅波の基礎方程式、および流体の密度変動 $d\rho$ 、圧力変動 dp 、速度変動 du の間の関係	108
6.3.3 有限振幅波の伝ばで保存される量(リーマンの不変量)	109
6.3.4 有限振幅波の伝ば速度	110
6.3.5 一次元有限振幅波の基礎方程式と特性曲線	113
6.4 ピストン運動により形成される圧縮波と膨張波	115
6.4.1 圧縮波	115
6.4.2 膨張波	116
6.5 衝撃波管	117
6.5.1 衝撃波管と衝撃波管内の流れの概要	117
6.5.2 一定速度で伝ばする衝撃波の関係式	119
6.5.3 衝撃波管流れの理論	121
演習問題6	123

第7章 斜め衝撃波と超音速流れの圧縮

7.1 斜め衝撃波	124
7.1.1 はじめに(斜め衝撃波の発生と重要性)	124
7.1.2 斜め衝撃波の基礎式	125
7.1.3 斜め衝撃波と垂直衝撃波の関係	128
7.1.4 斜め衝撃波の関係式	128
7.1.5 流れの転向角 θ と衝撃波角 β の関係	130
7.2 微弱な斜め衝撃波(流れの転向角 θ が微小な場合)	134
7.2.1 流れの微小転向角 θ と圧力変化(上昇)の関係	134
7.2.2 微弱な斜め衝撃波による流れのエントロピー変化	136
7.2.3 微弱な斜め衝撃波の場合の衝撃波角 β とマッハ角 μ の関係	137

7.2.4 微弱な斜め衝撃波の場合の速度変化と轉向角 θ の関係	138
7.3 曲面壁（凹面壁）による超音速流れの圧縮	139
7.4 斜め衝撃波の反射と交差	142
7.4.1 固体壁面での反射	142
7.4.2 自由境界面での反射	144
7.4.3 斜め衝撃波の交差	144
7.5 超音速ダクト内の衝撃波と境界層の干渉	145
7.6 超音速インテークによる流れの圧縮	148
7.6.1 はじめに（超音速インテークとは）	148
7.6.2 圧縮方法	148
7.6.3 二重ランプをもつ超音速インテーク内の流れ模様と流れの圧縮	149
演習問題 7	151

第 8 章 膨張波と衝撃波 - 膨張波理論の応用

8.1 ゆるやかな凸形曲面壁に沿う超音速流れと膨張波	153
8.2 凸形角部（コーナー）を過ぎる超音速流れと有心膨張波	154
8.3 プラントル-マイヤー膨張波	155
8.3.1 超音速流れにおける微小な流れの轉向角 $d\theta$ と速度変化 dV の関係	155
8.3.2 プラントル-マイヤー膨張波を表す関数	157
8.3.3 プラントル-マイヤー流れにおける最大轉向角 ν_{\max}	161
8.4 衝撃波-膨張波理論とその応用	162
8.4.1 超音速翼	162
8.4.2 迎え角をもつ平板翼を過ぎる超音速流れ	163
8.4.3 ダイヤモンド（菱形）翼を過ぎる超音速流れ	165
8.4.4 プーゼマン翼を過ぎる超音速流れ	167
演習問題 8	170

第 9 章 二次元圧縮性流れの基礎式

9.1 はじめに	172
9.2 流れ場の記述方法と流体の速度	172
9.3 流体の加速度	173
9.4 連続の式	175
9.5 運動方程式	176
9.6 流体粒子の回転と渦	178
9.7 渦度と循環	181
9.8 基本的な渦モデル	184
9.8.1 強制渦	184

9.8.2 自由渦	185
9.8.3 ランキンの組合せ渦	185
9.9 渦なし流れと速度ポテンシャル	186
9.10 流れ関数	188
9.11 運動方程式の積分	189
9.11.1 流線に沿ってのオイラーの運動方程式の積分	189
9.11.2 渦なし流れの場合のオイラーの運動方程式の積分	191
9.12 エネルギー式	192
9.13 クロッコの渦定理	194
演習問題 9	197

第 10 章 微小変動理論と翼まわりの亜音速流れ

10.1 速度ポテンシャルで表した圧縮性流れの基礎方程式	198
10.2 速度ポテンシャル方程式の線形化（微小変動理論）	201
10.3 圧力係数	206
10.4 二次元翼を過ぎる亜音速流れ	207
10.4.1 (x, y) 平面における基礎方程式と境界条件	207
10.4.2 (ξ, η) 面における基礎方程式と境界条件	208
10.4.3 プラントル-グラワートの法則	211
10.4.4 変動速度に及ぼす圧縮性の効果	214
10.5 二次元翼まわりの遷音速流れと抗力	215
10.5.1 二次元翼まわりの遷音速流れ	215
10.5.2 遷音速流れの中におかれた二次元翼の抗力	216
10.5.3 エリアルールとスーパークリティカル翼	217
演習問題 10	219

第 11 章 超音速薄翼理論と翼まわりの超音速流れ

11.1 はじめに	220
11.2 超音速流れの線形変動速度ポテンシャル方程式と解の物理的意味	221
11.3 薄翼まわりの二次元線形超音速流れ	223
11.3.1 速度ポテンシャル関数	223
11.3.2 翼の圧力係数	223
11.3.3 翼表面の傾き	226
11.3.4 揚力と揚力係数	227
11.3.5 抗力と抗力係数	229
演習問題 11	232

第 12 章 極超音速流れ

12.1	はじめに	234
12.1.1	大気と大気圏再突入	234
12.1.2	極超音速飛行物体の形状と流れの概要	236
12.2	極超音速物体まわりの流れ	237
12.2.1	極超音速物体まわりの流れの一般的特性	237
12.2.2	極超音速物体まわりの流れの四つの特徴・特性	239
12.3	ニュートン流理論 (Newtonian Theory)	241
12.4	極超音速衝撃波関係式	243
12.5	極超音速衝撃波関係式によるニュートン流理論の評価	246
12.6	修正ニュートン流理論	249
12.7	超音速および極超音速流れの中におかれた鈍頭物体まわりの流れの実験結果と数値解析結果	251
	演習問題 12	254
	演習問題解答	255
	参考文献	278
	索引	284