

# 1 流動様式

1.1 序 言 .....	1
1.2 流動様式の定義 .....	2
1.2.1 垂直管中の二相流の基準流動様式 .....	2
1.2.2 水平管中の二相流の基準流動様式 .....	3
1.2.3 その他の流動様式の分類・呼称 .....	4
1.3 流動様式線図 .....	5
1.3.1 流動様式線図の概要 .....	5
1.3.2 断熱二成分系の流動様式線図—水平流 .....	5
1.3.3 断熱二成分系の流動様式線図—垂直流 .....	8
1.3.4 相変化を伴う場合の流動様式線図について .....	9
1.3.5 垂直上昇沸騰流の場合 .....	10
1.3.6 水平沸騰流の場合 .....	11
1.3.7 水平凝縮流の場合 .....	11
1.3.8 傾斜管内における流動様式 .....	12
1.3.9 微細流路（マイクロチャネル）の流動様式 .....	13
1.3.10 種々の異形流路の流動様式 .....	13
1.4 流動様式判定式と遷移機構 .....	14
1.4.1 流動様式判定式 .....	14
1.4.2 水平流の流動様式遷移機構 .....	17
1.4.3 垂直上昇流の流動様式遷移機構 .....	18
1.4.4 流動様式判定法についてのまとめ .....	19
参 考 文 献 .....	20

## 2 圧力損失・ボイド率

2.1 序 言 .....	24
2.2 一次元流れのパラメータと基礎方程式 .....	24
2.2.1 一次元流れの基礎方程式 .....	24
2.2.2 管路に沿う圧力分布・ボイド率分布 .....	27
2.3 圧力損失の推算方法 .....	31
2.3.1 均質流モデル .....	31
2.3.2 分離流モデル .....	34
2.3.3 圧力損失の計算例 .....	37
2.3.4 蒸発管系の圧力損失特性 .....	39
2.4 ボイド率の推算方法 .....	42
2.4.1 均質流モデル .....	42
2.4.2 スリップ流モデル .....	44
2.4.3 ドリフトフラックスモデル .....	44
2.4.4 分離流モデル .....	47
2.4.5 ボイド率の推算例 .....	48
2.4.6 サブクール沸騰域のモデル .....	51
参考 文 献 .....	60

## 3 基礎方程式

3.1 序 言 .....	63
3.2 基礎保存方程式 .....	67
3.2.1 二流体モデルに対する基礎方程式 .....	67
3.2.2 拡散モデルに対する基礎方程式 .....	70
3.3 構成方程式 .....	72
3.3.1 均質流モデルにおける構成方程式 .....	72
3.3.2 スリップ流モデルにおける構成方程式 .....	73
3.3.3 ドリフトフラックスモデル .....	73

3.3.4 二流体モデルにおける構成方程式 .....	74
3.3.5 適切性問題 .....	76
3.3.6 仮想質量 .....	78
3.4 数値解法 .....	80
3.4.1 連続体モデルの解法 .....	80
3.4.2 ラグランジュシミュレーション .....	82
3.4.3 界面追跡法 .....	85
3.4.4 格子ボルツマン法 (LBM) に基づく多相流体数値解析 .....	88
参考 文 献 .....	92

## 4 沸騰流

4.1 序 言 .....	102
4.2 蒸発管の伝熱流動様式 .....	102
4.3 沸騰流の熱伝達 .....	105
4.3.1 核沸騰および強制対流蒸発 .....	106
4.3.2 膜沸騰 .....	108
4.3.3 ポストドライアウト .....	109
4.4 限界熱流束 .....	111
4.4.1 限界熱流束の概要 .....	111
4.4.2 限界熱流束の発生機構とモデル .....	113
4.4.3 限界熱流束相関式 .....	119
参考 文 献 .....	124

## 5 凝縮流

5.1 序 言 .....	129
5.2 凝縮流の基礎 .....	129
5.2.1 単成分蒸気の凝縮流 .....	129
5.2.2 多成分蒸気の凝縮流 .....	132
5.2.3 凝縮伝熱促進 .....	133

5.3 管内凝縮流 .....	134
5.3.1 平滑管内の凝縮流 .....	135
5.3.2 伝熱促進管内の凝縮流 .....	139
5.4 管群内の凝縮流 .....	145
5.4.1 単一円管上における凝縮 .....	145
5.4.2 管群内凝縮二相流 .....	150
参考文献 .....	156

## 6 気泡流

6.1 序 言 .....	163
6.2 単一気泡 .....	163
6.2.1 静止液中単一気泡運動の支配因子 .....	163
6.2.2 静止液中単一気泡の終端速度 .....	165
6.2.3 揚力係数 .....	167
6.2.4 非定常運動 .....	168
6.3 球形気泡界面を通した物質輸送 .....	169
6.4 鉛直管内気泡流 .....	173
6.4.1 液流中の気泡挙動 .....	174
6.4.2 相 分 布 .....	175
6.4.3 液相速度分布 .....	176
6.4.4 気泡乱流モデル .....	178
6.5 気泡噴流 .....	182
参考文献 .....	184

## 7 スラグ流・フロス流

7.1 序 言 .....	193
7.2 垂直管内一大気泡（静止液中） .....	193
7.2.1 上昇速度 .....	193

7.2.2 気泡形状 .....	197
7.2.3 液体の流れ .....	197
7.3 垂直管内スラグ・フロス流 .....	197
7.3.1 連続の関係 .....	198
7.3.2 大気泡の速度 .....	199
7.3.3 スラグの長さ .....	203
7.3.4 大気泡周囲の液膜 .....	207
7.3.5 特殊条件下の大気泡部の膜厚 .....	213
7.3.6 脈動現象 .....	214
7.3.7 未発達領域のスラグ流 .....	219
7.3.8 非円形管のスラグ流 .....	220
7.3.9 下降スラグ流 .....	221
7.3.10 フロス流 .....	222
7.4 水平管内大気泡 .....	223
7.4.1 静止液体中大気泡先端速度 .....	223
7.4.2 静止液体中大気泡形状 .....	225
7.4.3 静止液体中大気泡周囲の液体流速分布 .....	226
7.4.4 流動液体中の大気泡挙動 .....	226
7.5 水平管内スラグ流 .....	227
7.5.1 スラグの発生 .....	227
7.5.2 スラグ流モデル .....	232
7.5.3 スラグ速度 .....	235
7.5.4 スラグ長さ、大気泡長さ、および大気泡形状 .....	236
7.5.5 圧力損失およびボイド率 .....	236
7.5.6 非整定スラグ流 .....	236
7.5.7 過渡スラグ流 .....	236
7.5.8 傾斜管内スラグ流 .....	238
参考文献 .....	239

## 8 環状流・液膜流・噴霧流

8.1 序 言 .....	249
8.2 液膜流の基本的パラメータの定義 .....	250

8.3 垂直管内液膜流の特性 .....	254
8.3.1 上昇液膜流の発達 .....	254
8.3.2 平均液膜厚さ .....	255
8.3.3 界面および壁面のせん断応力 .....	258
8.4 気流と対向する流下液膜 .....	260
8.4.1 自由流下液膜 .....	260
8.4.2 気流と対向する流下液膜 .....	261
8.4.3 フラッディング .....	262
8.5 水平および傾斜管内液膜 .....	264
8.5.1 管周方向液膜厚さ分布 .....	264
8.5.2 界面摩擦係数 .....	266
8.6 気液界面の特性 .....	267
8.6.1 界面構造 .....	267
8.6.2 界面波動の発生条件 .....	273
8.6.3 水平環状流での液膜形成機構 .....	277
8.7 液滴流の特性 .....	283
8.7.1 液滴流量の測定法 .....	283
8.7.2 液滴発生限界および液滴発生率 .....	285
8.7.3 液滴伝達係数、液滴分布 .....	292
8.7.4 液滴径 .....	298
参考文献 .....	302

## 9 層状流・波状流

9.1 序 言 .....	313
9.2 圧力損失・ボイド率 .....	313
9.2.1 圧力損失 .....	313
9.2.2 ボイド率 .....	317
9.3 液膜挙動の理論解析 .....	318
9.3.1 等価直径法 .....	318
9.3.2 二次元流近似 .....	319

9.3.3 ナビエ-ストークス方程式の積分 .....	320
9.3.4 凝縮を伴う流れの解析 .....	322
9.3.5 蒸発を伴う流れの解析 .....	323
9.4 空調・冷凍機器への応用 .....	324
9.4.1 フロン系冷媒の物性的特徴 .....	325
9.4.2 流動様式(平滑円管内) .....	326
9.4.3 圧力損失 .....	328
9.4.4 热伝達 .....	328
9.4.5 各種伝熱促進管内の流れ .....	329
参考文献 .....	330

## 10 流動の安定性

10.1 序 言 .....	336
10.1.1 はじめに .....	336
10.1.2 今日までの研究の推移 .....	336
10.2 発生機構による分類 .....	338
10.3 発生機構別の各不安定流動 .....	340
10.3.1 圧力損失-流量の静特性に起因する不安定流動—Ledinegg形 不安定流動 .....	340
10.3.2 伝熱形態の遷移に起因する不安定流動 .....	347
10.3.3 フローパターン遷移に起因する不安定流動 .....	352
10.3.4 動的フィードバック効果に起因する不安定流動—密度波振動 .....	355
10.4 不安定流動の解析の基礎 .....	358
10.4.1 基礎方程式と構成方程式 .....	358
10.4.2 線形解析と非線形解析の一般論 .....	360
10.5 安定性解析 .....	361
10.5.1 線形解析 .....	361
10.5.2 非線形解析 .....	367
参考文献 .....	369

# 11 圧力波・衝撃

11.1 序 言	374
11.2 音波(微小振幅圧力波)	375
11.2.1 均質流モデル	376
11.2.2 気泡流様式	379
11.2.3 噴霧流様式	381
11.2.4 層状流様式	382
11.2.5 スラグ流様式	383
11.3 衝撃波(有限振幅圧力波)	387
11.3.1 ミスト流中の衝撃波	388
11.3.2 気泡流中の衝撃波	390
11.3.3 スラグ流中の衝撃波	392
11.4 衝撃作用	393
11.4.1 二成分二相流の弁急閉鎖に伴う衝撃現象	393
11.4.2 一成分二相流の弁急閉鎖に伴う衝撃現象	399
11.4.3 液单相流の水柱分離に伴う水撃現象および コンデンセーションショック	402
11.4.4 衝撃波による気泡・液滴の挙動	403
11.4.5 膨張波による気泡・液滴の発生	408
11.5 蒸気爆発	409
11.5.1 蒸気爆発現象と素過程	409
11.5.2 蒸気爆発の発生条件	410
11.5.3 蒸気爆発のモデル	413
11.5.4 シビアアクシデントと蒸気爆発	419
参考文献	420

# 12 臨界流

12.1 序 言	430
12.2 モデリング	430

12.2.1 臨界流量とモデルの分類	430
12.2.2 均質流モデル	432
12.2.3 二流体モデル(分離流モデル)	433
12.2.4 二流体モデル(双曲形モデル)	435
12.2.5 環状噴霧流モデル	437
12.2.6 気泡流モデル	438
12.3 一様断面流れ	438
12.4 非一様断面流れ	443
12.4.1 層状流および環状噴霧流	444
12.4.2 気泡流	445
12.4.3 液体の放出	447
12.4.4 その他の	448
12.5 高速噴流・フラッシング	449
12.5.1 LOCA/ECCS 解析	450
12.5.2 き裂からの漏えい(LBB漏えい流量評価)	451
12.5.3 毛細管内臨界流	452
12.5.4 高速二相噴流を利用した機器	457
参考文献	460

# 13 各種二相流

13.1 序 言	466
13.2 液体金属二相流	467
13.2.1 はじめに	467
13.2.2 基礎方程式	470
13.2.3 流動様式	471
13.2.4 ボイド率	474
13.2.5 圧力損失	477
13.2.6 気泡・気液界面挙動と流れの特性	483
13.2.7 流体加速	486
13.3 低温流体二相流	487
13.3.1 はじめに	487
13.3.2 低温流体の物性的特徴	488

xx 目 次

13.3.3 流動様式	489
13.3.4 ボイド率	489
13.3.5 圧力損失	490
13.3.6 臨界流	491
13.3.7 実用機器でみられる諸現象	492
13.4 多成分二相流	495
13.4.1 はじめに	495
13.4.2 多成分系の物性値	496
13.4.3 基礎方程式	498
13.4.4 流動様式	500
13.4.5 圧力損失	502
13.4.6 ボイド率と相分布	504
13.5 非ニュートン流体の二相流	510
13.5.1 非ニュートン流体の概説	510
13.5.2 管内気液二相流	511
13.5.3 容器内気液二相流	514
13.6 微小重力場気液二相流	514
13.6.1 はじめに	514
13.6.2 流動様式	515
13.6.3 ボイド率	516
13.6.4 圧力損失	517
13.6.5 微視的構造	518
13.6.6 強制流動沸騰二相流	519
13.7 各種流路内二相流	522
13.7.1 気液二相垂直下降流	522
13.7.2 マイクロチャネル内気液二相流	523
13.7.3 大口径管内気液二相流	533
13.7.4 管群内気液二相流	542
13.7.5 気液二相流の分岐	547
参考文献	551
索引	575