



# 目 次

まえがき .....	1
第1章 流れの可視化の基礎 .....	5
1.1 流れの表し方 .....	5
1.2 粘性の効果 .....	7
1.2.1 流体の粘性 .....	7
1.2.2 境界層 .....	9
1.2.3 層流と乱流 .....	11
1.2.4 テイラー渦とゲルトラー渦 .....	13
1.3 三次元流の付着と剝離 .....	14
1.4 物体の後流 .....	18
1.4.1 二次元流 .....	18
1.4.2 三次元流 .....	19
1.5 圧縮性の効果 .....	20
1.5.1 圧縮性の目安と圧縮性流れの基礎 .....	20
1.5.2 等エントロピ流れ .....	22
1.5.3 亜音速流 .....	23
1.5.4 超音速流 .....	23
1.5.5 遷音速流 .....	25
1.5.6 水撃 .....	25
1.5.7 キャビテーション .....	26
1.6 自由表面を持つ流れ .....	26
1.6.1 定在波 .....	26
1.6.2 進行波 .....	27
1.6.3 表面張力の影響 .....	28
1.6.4 群波 .....	28
1.7 成層流 .....	29
1.8 熱または物質の移動を伴う流れ .....	32
1.8.1 移動現象 .....	32
1.8.2 熱の移動を伴う流れ .....	33
1.8.3 強制対流 .....	34

1.8.4	自然対流	35
1.8.5	物質の移動を伴う流れ	36
1.9	流れの相似則	37
1.10	流れの測定	39
1.10.1	流速の測定	39
1.10.2	流れの方向の測定	42
1.10.3	流量の測定	42
1.10.4	圧力の測定	43
<b>第2章</b>	<b>流れの可視化一般</b>	<b>46</b>
2.1	可視化法の種類	46
2.1.1	在来の可視化法	46
2.1.2	コンピュータ利用の可視化法	46
2.2	可視化実験のすすめ方	47
2.2.1	使用流体の選択	47
2.2.2	可視化実験装置の選択	54
2.2.3	供試模型の作成	56
2.2.4	可視化法の選択	56
2.2.5	可視化実験の注意	57
2.3	可視化の装置	57
2.4	画像記録装置	65
2.4.1	画像計測法の特徴	65
2.4.2	スティルカメラ	65
2.4.3	映像撮影機	67
2.4.4	高速度画像記録装置	68
2.4.5	照明光源および照明法	75
2.4.6	画像記録材料	79
2.4.7	記録画像の解析装置	82
2.5	記録と解析	84
2.5.1	写真記録上の注意	84
2.5.2	解析上の注意	86
<b>第3章</b>	<b>壁面トレース法</b>	<b>91</b>
3.1	概 要	91
3.2	油 膜 法	92
3.2.1	手 法	92

3.2.2	油膜のパターンの生成機構	95
3.2.3	パターンの解釈	97
3.2.4	適用例	101
3.3	油点法	112
3.3.1	手法	112
3.3.2	パターンの解釈と適用例	112
3.4	物質移動法	115
3.4.1	薬品塗膜溶解法	115
3.4.2	昇華法	119
3.4.3	蒸発法(乾燥法)	121
3.5	電解腐食法	122
3.6	感温液晶法	124
3.7	感圧紙法	128
<b>第4章</b>	<b>タフト法</b>	<b>135</b>
4.1	概要	135
4.2	タフトの材料と特性	136
4.2.1	タフトの材料	136
4.2.2	重力・遠心力などの影響	136
4.2.3	タフトの動的応答	139
4.3	パターンの観察および記録	141
4.4	表面タフト法	142
4.4.1	手法	142
4.4.2	パターンの解釈	144
4.4.3	適用例(気流)	144
4.5	タフトグリッド法	147
4.5.1	手法	147
4.5.2	パターンの記録と解釈	148
4.5.3	適用例	149
4.6	デプスタフト法	152
4.6.1	手法	152
4.6.2	パターンの記録と解釈	152
4.6.3	適用例	152
4.7	タフトスティック法	154
<b>第5章</b>	<b>注入トレーサ法</b>	<b>157</b>

- 5.1 概 要.....157
- 5.2 トレーサの追従性.....158
  - 5.2.1 浮力による気泡の上昇.....159
  - 5.2.2 粒子の沈降速度.....159
  - 5.2.3 遠心力の作用.....160
  - 5.2.4 粒子に作用する揚力.....161
  - 5.2.5 粒子のブラウン運動.....161
  - 5.2.6 温度勾配による粒子の移動.....162
  - 5.2.7 粒子の加速.....162
  - 5.2.8 振動場における粒子の追従性.....163
  - 5.2.9 シュリーレンレンズ効果.....164
- 5.3 注入流脈法.....164
  - 5.3.1 原理と方法.....164
  - 5.3.2 煙 法.....165
  - 5.3.3 ミスト法.....167
  - 5.3.4 色素流脈法.....171
  - 5.3.5 ミルク法.....174
- 5.4 注入流跡法.....175
  - 5.4.1 流跡法の対象.....175
  - 5.4.2 流跡法における注意.....176
  - 5.4.3 トレーサの選択.....176
  - 5.4.4 速度計測.....179
  - 5.4.5 周期的流れへの適用例.....179
  - 5.4.6 カラースリット法.....180
- 5.5 注入タイムライン法.....182
  - 5.5.1 煙タイムライン法.....182
  - 5.5.2 色素タイムライン法.....183
  - 5.5.3 色素粒沈降タイムライン法.....184
- 5.6 懸濁法.....184
  - 5.6.1 流線, 流跡の観察.....184
  - 5.6.2 流向分布の観察.....197
- 5.7 表面浮遊法.....198

第6章 化学反応トレーサ法 .....207

- 6.1 概 要.....207
- 6.2 物体表面塗膜発色法.....208

6.2.1	原理と方法	208
6.2.2	パターンの解釈	212
6.2.3	適用例	213
6.3	物体表面トレーサ発生法	214
6.3.1	原理と方法	214
6.3.2	パターンの解釈	214
6.3.3	適用例	215
6.4	流体間反応発色法	215
6.4.1	原理と方法	215
6.4.2	パターンの解釈	217
6.4.3	適用例	217
6.5	液体間反応消色法	218
6.5.1	原理と方法	218
6.5.2	パターンの解釈	219
6.5.3	適用例	219
6.6	トレーサ内反応法（流体トレーサ遅延発色法）	220
6.6.1	原理と方法	220
6.6.2	パターンの解釈	220
6.7	電解微粒子発生法	220
6.7.1	電解沈殿法	220
6.7.2	テルル法	225
6.8	電解液発色法	226
6.8.1	電解 pH 指示薬法	226
6.8.2	電解ヨウ化カリデンブソ法	228
6.8.3	電解ルミノール反応法	230
<b>第7章</b>	<b>電気制御トレーサ法</b>	<b>234</b>
7.1	概 要	234
7.2	水素気泡法	236
7.2.1	原 理	236
7.2.2	手 法	240
7.2.3	パターンの解釈	243
7.2.4	適用例	247
7.3	火花追跡法	255
7.3.1	原 理	255
7.3.2	手 法	258

7.3.3	パターンの解釈	262
7.3.4	適用例	265
7.4	スモークワイヤ法	273
7.4.1	原理	273
7.4.2	手法	273
7.4.3	パターンの解釈	276
7.4.4	適用例	278
<b>第8章</b>	<b>光学的可視化法</b>	<b>291</b>
8.1	概要	291
8.1.1	光学的方法の基礎	291
8.1.2	光学部品の基礎知識	298
8.2	シャドウグラフ法	308
8.2.1	原理	308
8.2.2	装置	309
8.2.3	適用例	310
8.3	シュリーレン法	312
8.3.1	原理	312
8.3.2	装置	315
8.3.3	適用例	316
8.4	マッハツェンダ干渉法	318
8.4.1	原理	318
8.4.2	装置	318
8.4.3	調整法	320
8.4.4	干渉縞の解析	323
8.4.5	適用例	325
8.5	ホログラフ干渉法	327
8.5.1	レーザ光源	327
8.5.2	光検出系	329
8.5.3	ホログラフ	329
8.5.4	ホログラフ干渉法	332
8.6	レーザスペックル写真法	334
8.6.1	原理	334
8.6.2	装置	335
8.6.3	適用例	336
8.7	ステレオ写真法	339

8.7.1 概 要	339
8.7.2 原 理	339
8.7.3 適 用 例	342
8.8 モアレ法	344
8.8.1 原 理	344
8.8.2 装 置	346
8.8.3 手 法	346
8.8.4 適 用 例	347
8.9 ミラージュ法	348
8.10 流動複屈折法	349
8.10.1 歴 史	349
8.10.2 原 理	350
8.10.3 透過光流動複屈折法	350
8.10.4 散乱光流動複屈折法	353
8.10.5 ゲル複屈折法	355
8.11 放 電 法	356
8.12 光化学反応法	357
8.12.1 光ルミネッセンス法	357
8.12.2 レーザ発色法	360
8.12.3 オゾンによる紫外線吸収法	361
<b>第9章 流れに伴う物理量の可視化</b>	<b>368</b>
9.1 概 要	368
9.2 サーマグラフィ法	369
9.2.1 原 理	369
9.2.2 手 法	369
9.2.3 適 用 例	372
9.3 コンピュータトモグラフィ (CT)	372
9.3.1 原 理	373
9.3.2 適 用 例	375
9.4 音響インテンシティ法	377
9.4.1 音響インテンシティの表現式	378
9.4.2 測 定 系	379
9.4.3 測定誤差と測定限界	380
9.4.4 音場のエネルギー流れの可視化	381



<b>第 10 章 コンピュータ利用の可視化</b> .....	385
10.1 流れの可視化と画像処理 .....	385
10.2 画像処理用システム .....	388
10.2.1 画像処理のためのソフトウェア .....	388
10.2.2 画像処理のためのハードウェア .....	391
10.3 デジタル画像処理手法 .....	393
10.3.1 デジタル画像処理について .....	394
10.3.2 デジタル画像処理の基本的な手法 .....	395
10.3.3 流れの可視化画像の処理例 .....	400
10.4 画像の生成と表示 .....	402
10.4.1 画像の生成 .....	402
10.4.2 図形処理の概略 .....	403
10.4.3 図形データベース .....	404
10.4.4 基本的な図形画像処理機能 .....	405
10.4.5 図形表示システム .....	410
10.5 流れ場の解析への適用 .....	411
10.5.1 濃淡・カラー分布画像の処理 .....	411
10.5.2 イメージセンサによる流れ場の解析 .....	414
10.5.3 油膜筋・油膜限界線の自動計測例 .....	416
10.5.4 乱流噴流の瞬間的形狀 .....	418
10.5.5 速度場の画像処理の基本と処理例 .....	419
10.5.6 三次元解析 (ステレオ).....	425
10.5.7 縞画像の解析処理 .....	427
10.5.8 非定常解析 .....	429
10.6 流れ場の可視化表示 .....	432
10.6.1 発光ダイオードを用いる方法 .....	432
10.6.2 レーザドブライメージ法 (LDI).....	433
10.6.3 計算結果・実験結果の画像表示例 .....	434
<b>第 11 章 可視化法の選択と組合せ</b> .....	440
11.1 概 要 .....	440
11.2 可視化法の選択 .....	441
11.2.1 考慮すべき要因 .....	441
11.2.2 適する可視化法が見当たらなかった場合 .....	442
11.2.3 可視化実験後の処置 .....	442
11.3 可視化法選択の代表例 .....	443

11.3.1	同一現象の可視化法選択例	443
11.3.2	同一対象の可視化法選択例	446
11.4	可視化法の組合せ	451
11.4.1	可視化法の組合せの種類	451
11.4.2	可視化法の組合せ方	452
11.5	可視化法組合せの代表例	454
11.5.1	異なる可視化法間の組合せ	454
11.5.2	同一可視化法中の異なる手法間の組合せ	465
11.5.3	可視化法の併用（同時組合せ）	468
11.5.4	異なる使用流体の組合せ	473
11.6	可視化法と流れの計測法の組合せ例	473
付 表		
付表 1	わが国の煙風洞一覧	480
付表 2	わが国の水槽一覧	486
付表 3	カメラの種類と仕様	490
付表 4	フィルムの種類と仕様	496
付表 5	印画紙の種類と仕様	500
付表 6	画像処理装置メーカーおよび製品名	502
付表 7	水素気泡法・火花追跡法・スモークワイヤ法などに用いる金属細線一覧表	502
付表 8	電気制御トレーサ法用装置一覧表	503
付表 9	光学部品および関連機器	504
付表10	紫外線光源メーカー	506
付表11	超音波機器メーカー	506
付表12	音響インテンシティ法のプローブ，計測器メーカー	506
付表13	レーザー一覧	507
索 引		509
写真索引		516