

γ 2 編 流 体 機 械

企画・編集	香川利春 長藤友建	黒川淳一 速水洋	後藤彰 松本洋一郎	辻本良信 山本和義
執筆者	青木素直 石井進 植村雄二 岡田美津雄 金高勇 神吉博 久保田信昭 小西義昭 清水幸丸 辻本良信 長藤友建 則次俊郎 松本貴与志 山本孝正	安藤嘉彦 井戸章雄 梅田時彦 岡村共由 川上幸男 菊山功嗣 黒川淳一 佐瀬敏次 高橋主人 鶴誠司 新倉和夫 福富純一郎 松本洋一郎 横田真一	池尾茂 井上淳 江尻英治 小山紀 川嶋健嗣 北川能 小嶋英一 眞田一志 田中豊 鳥取茂機 新美智秀 藤田壽憲 丸田芳幸 和田俊朗	井小萩利明 井上雅弘 岡田勝弘 香川利春 川田裕 木本裕 後藤正典 澤田雅寛 塚本寛 中川幸二 西田秀夫 古川明德 望月宣宏 渡辺啓悦

目 次

第 I 部 流体機械一般

第 1 章 流体機械の分類

1・1 流体機械の定義と範囲	1	1・4 容積形流体機械の分類	2
1・2 分類と名称	1	1・5 真空ポンプの分類	2
1・3 ターボ形流体機械の分類	1	1・6 その他の流体機械	2

第 2 章 流体機械によるエネルギー変換

2・1 流体のエネルギー	3	2・3・2 圧縮性流体の場合	4
2・1・1 流体が保有するエネルギー	3	2・4 効率の細分化	5
2・1・2 流体の伝達エネルギー	3	2・4・1 機械効率	5
2・1・3 全エンタルピー	3	2・4・2 体積効率	5
2・2 エネルギー変換の基本関係	3	2・4・3 流体効率	5
2・3 有効仕事の算定	3	2・4・4 要素効率と流体効率	6
2・3・1 非圧縮性流体の場合	3		

第 3 章 流体機械の作動原理と性能

3・1 ターボ形流体機械	7	3・1・1 基本構造とエネルギーの授受	7
--------------	---	---------------------	---

3・1・2 速度三角形とオイラーの法則……………7	3・2 容積形流体機械……………19
3・1・3 段全体の働きと反動度……………8	3・2・1 作動原理……………19
3・1・4 羽根車の働き……………9	3・2・2 吐出し流量……………20
3・1・5 ディフューザの働き……………12	3・2・3 インジケータ線図……………20
3・1・6 戻り流路と渦巻ケーシング……………13	3・2・4 効率……………20
3・1・7 翼の傾斜：スweepとダイヘドラル……………14	3・2・5 吐出し流量の脈動……………22
3・1・8 羽根車背面流れと円板摩擦，漏れ流れ……………17	3・3 真空ポンプの作動原理……………22
3・1・9 性能……………18	3・3・1 ターボ分子ポンプ……………22
	3・3・2 クライオポンプ……………23

第4章 流体機械の運転と不安定現象

4・1 負荷曲線と作動点……………24	4・3・2 サージ……………25
4・2 連合運転……………24	4・3・3 旋回失速……………27
4・3 不安定現象……………25	4・4 管路システムの動的解析……………27
4・3・1 作動点の静的安定性……………25	

第5章 流体機械の振動と騒音

5・1 振動……………29	5・2・1 騒音の発生機構……………32
5・1・1 流体機械の振動の分類……………29	5・2・2 騒音の伝搬……………33
5・1・2 翼，羽根車の振動……………29	5・2・3 騒音の暴露……………34
5・1・3 軸系の振動……………30	5・2・4 騒音計測と評価……………34
5・2 騒音……………32	5・2・5 予測と低減対策……………35

第II部 水力機械

第1章 水力機械一般

1・1 水力機械の特徴……………38	1・3・3 模型試験……………48
1・2 ターボ形水力機械の流れと性能……………38	1・3・4 実物試験……………49
1・2・1 用語の説明……………38	1・3・5 寸法効果と性能換算……………49
1・2・2 羽根車の流れと性能……………39	1・4 キャビテーション……………50
1・2・3 水力損失および漏れ……………41	1・4・1 キャビテーションとNPSH……………50
1・2・4 相似則と比速度……………43	1・4・2 キャビテーションの相似則……………51
1・2・5 羽根車に働く力……………44	1・4・3 キャビテーション損傷……………53
1・2・6 材料……………46	1・5 解析技術と性能予測……………53
1・2・7 シール……………46	1・5・1 過渡現象解析……………53
1・3 性能試験と寸法効果……………46	1・5・2 流れ解析……………55
1・3・1 性能・特性の表示……………46	1・5・3 性能予測……………56
1・3・2 性能試験……………48	

第2章 水車およびポンプ水車

2・1 形式と選定……………60	2・2・1 水の作用……………61
2・1・1 比速度と形式……………60	2・2・2 構造……………61
2・1・2 形式の選定……………60	2・2・3 特性……………62
2・2 ペルトン水車……………61	2・3 フランシス水車……………63

2・3・1 水の作用	63	2・7・3 マイクロ水車	73
2・3・2 構造	63	2・8 付属装置	73
2・3・3 特性	64	2・8・1 調速機	73
2・4 斜流水車とプロペラ水車	65	2・8・2 入口弁	74
2・4・1 水の作用	65	2・8・3 制圧機	75
2・4・2 構造	66	2・9 運転と制御	75
2・4・3 特性	67	2・9・1 運転モード	75
2・5 フランス形ポンプ水車	67	2・9・2 起動・停止	75
2・5・1 水の作用	67	2・9・3 過渡現象	75
2・5・2 構造	68	2・9・4 振動・脈動	76
2・5・3 特性	69	2・9・5 可変速ポンプ水車	76
2・6 斜流形およびプロペラ形ポンプ水車	71	2・10 水力発電設備	77
2・6・1 構造	71	2・10・1 貯水池, 調整池, 逆調整池	77
2・6・2 特性	71	2・10・2 発電方式	77
2・7 小型水車	72	2・10・3 導水設備	77
2・7・1 S形チューブラ水車	72	2・10・4 発電所の形式	78
2・7・2 貫流水車	72		

第 3 章 ターボポンプ

3・1 分類と選定	79	3・3・3 性能	93
3・1・1 分類	79	3・3・4 実例	93
3・1・2 仕様	79	3・4 軸流ポンプ	93
3・1・3 形式の選定	80	3・4・1 特徴	93
3・1・4 キャビテーション	81	3・4・2 設計	94
3・2 遠心ポンプ	82	3・4・3 性能	94
3・2・1 構成	82	3・4・4 実例	95
3・2・2 形式	82	3・5 ポンプ運転とポンプ設備	96
3・2・3 設計	83	3・5・1 ポンプ運転点	96
3・2・4 性能	86	3・5・2 運転制御	96
3・2・5 実例	89	3・5・3 吸込水槽	98
3・3 斜流ポンプ	90	3・5・4 低騒音化技術	100
3・3・1 特徴	90	3・5・5 ポンプの据付けと配管	102
3・3・2 設計	90	3・5・6 ポンプの過渡現象	103

第 4 章 容積形ポンプおよび特殊ポンプ

4・1 往復ポンプ	107	4・2・2 スクリュー形ポンプ	111
4・1・1 形式, 特徴, 用途	107	4・3 その他のポンプ	111
4・1・2 設計	107	4・3・1 渦流ポンプ (再生ポンプ, 渦ポン プ)	111
4・1・3 性能	109	4・3・2 噴流ポンプ	113
4・2 回転容積形ポンプ	110	4・3・3 特殊ポンプ	114
4・2・1 ロータリ形ポンプ	110		

第 5 章 流体伝動装置

5・1 流体による動力伝達の分類と特徴	116	5・2・2 特性	117
5・1・1 分類	116	5・2・3 補助機構	118
5・1・2 特徴	116	5・3 トルクコンバータ	119
5・2 流体継手	116	5・3・1 構造および作用	119
5・2・1 構造および作用	116	5・3・2 特性と設計	120

5・3・3 補助機構	124	5・4・1 自動変速機	126
5・4 歯車装置などと組合わせた流体伝動装置	126	5・4・2 油圧-機械式伝動装置	126

第Ⅲ部 気体機械

第 1 章 気体機械一般

1・1 気体機械の分類と選定	129	1・2・4 軸受	134
1・1・1 分類	129	1・3 性能試験と性能換算	134
1・1・2 選定	130	1・3・1 相似条件と相似パラメータ	134
1・1・3 比速度と機械の形式	130	1・3・2 性能換算	134
1・2 ターボ圧縮機の軸系	131	1・3・3 比熱比 κ が異なるガスによる性能試験	135
1・2・1 軸系の危険速度	131	1・3・4 寸法効果	135
1・2・2 漏れ止め装置	131		
1・2・3 推力釣合い	133		

第 2 章 容積形送風機および圧縮機

2・1 回転送風機および圧縮機	136	2・2・4 フレーム構造と材質	146
2・1・1 種類および使用範囲	136	2・2・5 シリンダ構造と材質	148
2・1・2 二葉形	136	2・2・6 吸入弁, 吐出し弁	150
2・1・3 ベーン形	136	2・2・7 潤滑	152
2・1・4 ローリングピストン形	137	2・2・8 圧縮機付属機器	153
2・1・5 ねじ形 (二軸形)	137	2・2・9 実例	155
2・1・6 スクロール形	139	2・3 据付け, 運転, 振動とその防止法	158
2・2 往復圧縮機	139	2・3・1 据付け, 運転および保守	158
2・2・1 種類と特徴	139	2・3・2 振動とその防止法	158
2・2・2 圧縮機の理論と実際	141	2・3・3 圧縮機管路の共振とその防止法	160
2・2・3 吐出しガス量の容量調整	144		

第 3 章 ターボ形送風機および圧縮機

3・1 遠心・斜流送風機および圧縮機の設計	163	3・3・2 羽根車の固有振動数	171
3・1・1 特徴と適用範囲	163	3・4 軸流送風機および圧縮機の設計	172
3・1・2 全体設計	163	3・4・1 特徴と適用範囲	172
3・1・3 羽根車の設計	164	3・4・2 子午面流れと動翼・静翼の設計	173
3・1・4 ディフューザの設計	165	3・4・3 旋回失速, サージングおよびフラッタに対する配慮	174
3・1・5 旋回失速およびサージング	166	3・5 軸流送風機および圧縮機の構造と特性	174
3・2 遠心送風機および圧縮機各論	166	3・5・1 軸流送風機	174
3・2・1 多翼ファン	166	3・5・2 軸流圧縮機	175
3・2・2 ラジアルファン	167	3・6 軸流圧縮機の強度	176
3・2・3 後向き羽根ファン	167	3・6・1 動翼および静翼の構造と強度	176
3・2・4 遠心ブロウ	168	3・6・2 ロータおよびケーシングの構造と強度	176
3・2・5 斜流送風機および圧縮機	169	3・7 特殊送風機	177
3・2・6 遠心圧縮機	169	3・7・1 横流送風機	177
3・3 遠心圧縮機羽根車の強度	171		
3・3・1 羽根車の応力	171		

3・7・2 渦流送風機	178	3・8・1 据付け, 運転および保守	178
3・8 据付け, 運転, 振動および保守	178	3・8・2 振動, 騒音	179

第4章 軸流タービンおよびラジアルタービン

4・1 形式と選定	181	4・2・2 構造	184
4・1・1 形式	181	4・3 ラジアルタービン	185
4・1・2 選定	181	4・3・1 性能	185
4・2 軸流タービン	182	4・3・2 構造	187
4・2・1 性能	182		

第5章 風車

5・1 風の特徴	189	5・3 性能と出力の算定	193
5・1・1 風のエネルギー	189	5・3・1 風車の性能	193
5・1・2 風の変化	189	5・3・2 変動荷重	195
5・2 種類・構造および特徴	190	5・4 風車の強度	195
5・2・1 発電用風車の歴史と技術革新	190	5・4・1 静的強度	195
5・2・2 風車の種類	192	5・4・2 動的強度	195
5・2・3 構造および風力発電関連技術	193	5・5 風車の制御	196
5・2・4 諸外国の実例	193	5・5・1 トルク制御	196
5・2・5 日本の実例	193	5・5・2 偏揺角制御	196

第IV部 真空機器

第1章 真空機器一般

1・1 気体分子の運動	198	1・3・2 コンダクタンスの合成	199
1・1・1 希薄気体流	198	1・3・3 オリフィスの自由分子流コンダクタンス	200
1・1・2 速度分布関数	198	1・3・4 長い円管の自由分子流コンダクタンス	200
1・2 固体表面と気体分子の相互作用	198	1・3・5 短い円管の自由分子流コンダクタンス	200
1・2・1 固体表面から散乱する気体分子の 流束強度・速度分布	198	1・3・6 種々の断面形状配管の自由分子流 コンダクタンス	201
1・2・2 適応係数	199		
1・2・3 速度スリップと温度飛躍	199		
1・3 コンダクタンス	199		
1・3・1 コンダクタンスの定義	199		

第2章 真空計測

2・1 真空度	202	2・3 質量分析器	203
2・2 真空計の構造および特徴	202	2・4 分子流れの可視化	203
2・2・1 マクラウド真空計	202	2・4・1 アフタグローおよびグロー放電法	204
2・2・2 隔膜真空計	202	2・4・2 電子線蛍光法	204
2・2・3 ピラニ真空計	202	2・4・3 レーザ誘起蛍光法	204
2・2・4 スピニングロータ真空計	203		
2・2・5 熱陰極電離真空計	203		

第 3 章 真空ポンプ

3・1 真空ポンプの性能の表し方	206	3・4・2 水封式ポンプ	207
3・1・1 到達圧力	206	3・4・3 ドライポンプ	207
3・1・2 流量	206	3・4・4 蒸気噴射ポンプ	209
3・1・3 排気速度	206	3・4・5 ターボ分子ポンプ	210
3・2 実効排気速度	206	3・4・6 ゲッタポンプ	210
3・3 真空ポンプの分類	207	3・4・7 スパッタイオンポンプ	210
3・4 真空ポンプの構造と特徴	207	3・4・8 クライオポンプ	210
3・4・1 油回転ポンプ	207	3・4・9 ソープションポンプ	211

第 4 章 真空システム

4・1 真空装置の設計	212	4・2 排気システムの設計	215
4・1・1 設計項目	212	4・2・1 到達圧力	215
4・1・2 真空排気過程	212	4・2・2 真空ポンプの選定と排気システム の設計	215
4・1・3 ガス放出量	213	4・2・3 真空配管の設計	217
4・1・4 真空材料	213	4・3 極高・超高真空システム	218
4・1・5 真空計測	214	4・3・1 吸着ガスの挙動と脱ガス処理	218
4・1・6 真空シール	215	4・3・2 真空排気過程	218
4・1・7 駆動機構および真空部品	215		

第 V 部 フルードパワーシステム

第 1 章 フルードパワーシステムの特徴

1・1 油圧システム	221	1・2 空気圧システム	221
------------	-----	-------------	-----

第 2 章 油圧システム

2・1 油圧作動油	222	2・3・2 揺動形アクチュエータ	235
2・1・1 作動油の種類	222	2・4 油圧制御弁	236
2・1・2 作動油の性状	222	2・4・1 分類と機能	236
2・1・3 鉱油系作動油	223	2・4・2 弁に働く力	237
2・1・4 難燃性作動液	223	2・4・3 制御弁の特性	238
2・1・5 生分解性作動油	223	2・4・4 圧力制御弁	238
2・1・6 汚染管理	223	2・4・5 流量制御弁	239
2・2 油圧ポンプ・モータ	223	2・4・6 方向制御弁	240
2・2・1 分類と特徴	223	2・4・7 電気操作弁（電気-油圧制御弁）	240
2・2・2 歯車ポンプ・モータ	223	2・4・8 その他のバルブ	241
2・2・3 ベーンポンプ・モータ	226	2・5 油圧付属機器	241
2・2・4 ピストンポンプ・モータ	227	2・5・1 油圧用フィルタ	241
2・2・5 ねじポンプ・モータ	229	2・5・2 アキュムレータ	241
2・2・6 低速高トルクモータ	230	2・5・3 熱交換器	242
2・2・7 油圧ポンプ・モータの騒音	231	2・5・4 オイルリザーバ	242
2・2・8 油圧ポンプのキャビテーション	233	2・5・5 油圧用継手・配管	242
2・3 油圧シリンダおよび揺動形アクチュエ ータ	233	2・6 油圧回路	242
2・3・1 油圧シリンダ	233	2・6・1 油圧源回路	242

2・6・2 圧力制御回路	243	2・6・4 同期制御回路	244
2・6・3 速度制御回路	244	2・6・5 シーケンス回路	245

第3章 空気圧システム

3・1 空気圧システムの基本特性	246	3・4 付属機器・その他	255
3・1・1 絞り要素を通過する流量	246	3・4・1 フィルタ	255
3・1・2 空気圧容器への充てんと放出	246	3・4・2 エアドライヤ	256
3・1・3 空気圧シリンダシステムの特徴	247	3・4・3 ルブリケータ	256
3・1・4 空気圧シリンダシステムの設計法	248	3・4・4 消音器	257
3・1・5 合成有効断面積	249	3・4・5 配管および継手	257
3・1・6 アクチュエータの理論動力、空気消費量および効率	249	3・4・6 シールパッキン	258
3・1・7 エジェクタ	258	3・4・7 エジェクタ	258
3・2 空気圧アクチュエータ	249	3・5 空気圧回路	258
3・2・1 分類	249	3・5・1 圧力源回路	258
3・2・2 空気圧シリンダ	250	3・5・2 方向制御回路	259
3・2・3 空気圧モータ	250	3・5・3 速度制御回路	259
3・2・4 空気圧揺動形アクチュエータ	251	3・5・4 同期制御回路	260
3・2・5 エアチャック	252	3・5・5 圧力（出力）制御回路	260
3・3 空気圧制御弁	253	3・5・6 シーケンス回路	261
3・3・1 分類	253	3・5・7 油圧を併用した回路	262
3・3・2 方向制御弁	253	3・5・8 シリンダ以外の回路	262
3・3・3 流量制御弁	254	3・6 空気圧サーボシステム	262
3・3・4 圧力制御弁	255	3・6・1 空気圧サーボ弁	262
		3・6・2 サーボシステムと応用	263

第4章 水圧システム

4・1 水圧システムの特徴	266	4・2 水圧回路	268
4・1・1 概説	266	4・2・1 水圧回路構成上の留意点	268
4・1・2 水圧機器	267	4・2・2 応用回路	269

第VI部 流体の物性値

第1章 主要液体の物性値

1・1 水	271	1・3 その他の液体	274
1・2 油	271		

第2章 主要気体の物性値

2・1 空気	276	2・2 その他の気体	279
2・1・1 標準大気	276	2・2・1 各種気体の物性値	279
2・1・2 乾き空気の物性と状態式	276	2・2・2 実在気体の状態式と圧縮係数	282
2・1・3 湿り空気の物性	276	2・2・3 混合ガス	283

索引（日本語・英語）	巻末
------------	----