

## まえがき

---

流体工学は実に多岐の分野にわたっているが、機械工学の分野では流体を圧送したり流体のエネルギーを有効利用するための流体機械が長年対象の中心であった。したがって、大学や高専の機械系工学科のカリキュラムでは「流体機械」は必須科目とされ、過去に多くの優れた教科書が出版されている。ところで、昨今のように機械工学における流体力学の問題が多様化してくると、大学では流体力学の基礎知識を身につければ十分で、「流体機械」は選択科目はおろかカリキュラムから外しても構わないという風潮も出始めている。メカトロニクスや CAE などの新科目の導入により時間割構成上やむを得ない面があるかもしれない。しかし、人類が流体を利用して文明生活を営んでいくかぎり流体機械が不要になることはない。それどころか技術の進歩とともに多様化の波は流体機械にも押し寄せ、今まで経験しなかったような新しい流体機械の設計製作や運転保守も必要になる。たとえば超高压、超真空、極低温、超小形など極限状態の流体機械、未知の流動特性を有する非ニュートン流体や相変化を伴う混相流を扱う流体機械などのニーズである。また、在来の流体機械の知能化（作動状態の変化をキャッチして自動的に最適運転状態になる）の問題もある。このような問題に対処するには流体機械固有の基礎知識が不可欠である。単に作動原理のみでなく、効率、相似性、作動特性に対する根本的な考え方を修得しておかなければならない。

本書では、上記の観点に立って、機械工学を学ぶ学生のみでなく他分野の技術者にも流体機械の本質が理解できるように基礎論に重点をおいた。1章では効率と損失の概念をできるだけ厳密に、しかも平易に記述し、2章では流体と機械との間のエネルギー伝達方式に基づいてなるべく多くの作動原理を紹介することに努め、3章では相似則に基づいた作動特性の記述法と作動時に生じる諸現象を説明した。特に機械のアセスメントに必要な騒音については系統的に

学ぶ機会が少ないので、かなりのページを割いた。また、5章では工業上重要な位置を占めるターボ機械について内部の流動現象の理解に努めるとともに数値流体力学による取扱いも理解できるように工夫した。したがって4章の流体機械の各論は従来の教科書に比べて簡略化し、さらに軸受や軸封装置などの機械要素についても省略せざるを得なかった。しかし、このことは流体機械においてこれらの機械要素の重要度が低いことを意味するわけではない。むしろ実際の流体機械では、振動、潤滑、シールなどの問題は流体力学的問題よりもはるかに多い。この点に関する基礎知識は機械要素や潤滑工学に関する別の教科書で系統的に修得しなければならない。流体機械が一つの完成した機械である以上、流体力学のみでなく機械力学、材料力学、熱力学、機械要素、工作法、制御工学などの総合的な知識が必要であることはいうまでもない。

本書は、機械工学の教科書の体系を考慮したうえで流体機械特有の基礎知識の修得ができるように、多くの優れた教科書、参考書、便覧を参考にし、引用させていただきながら記述した。

おわりに、本書執筆の機会を与えていただいた東京大学教授 大橋秀雄 先生と、貴重なご助言をいただいた早稲田大学教授 田嶋清瀬 先生に心から感謝の意を表します。また、記述の詳細と面倒な図面の作成に助言と助力をいただいた福岡大学助教授 山口住夫 氏、原稿を浄書された多田明子さん、出版に際してご尽力いただいた(株)コロナ社にお礼を申し上げます。

1989年10月

著者しるす

# 目 次

---

## **1** 流体機械の定義と仕事

---

1.1 緒 言 .....	1
1.2 流体のエネルギーと流体機械の定義 .....	2
1.3 流体機械の仕事と効率 .....	5
1.3.1 流 体 効 率 .....	5
1.3.2 液体を作用媒体とする流体機械の比仕事と効率 .....	6
1.3.3 気体を作用媒体とする流体機械の比仕事と効率 .....	7
1.3.4 流体機械の諸損失と全効率 .....	15

## **2** 流体機械の作用原理

---

2.1 流体機械の分類 .....	19
2.1.1 エネルギー伝達方向と作用流体による分類 .....	19
2.1.2 作用方式による分類 .....	21
2.2 容積形流体機械の作用原理 .....	22
2.2.1 往復式流体機械 .....	22
2.2.2 回転式流体機械 .....	29
2.3 ターボ機械の作用原理 .....	38
2.3.1 翼の作用とオイラーの比仕事 .....	38
2.3.2 軸 流 機 械 .....	42
2.3.3 遠 心 機 械 .....	45
2.3.4 斜 流 機 械 .....	48
2.3.5 横 流 機 械 .....	48

2.4	せん断応力を媒介とする作動方式	50
2.4.1	層流粘性形流体機械	50
2.4.2	乱流混合形流体機械	52
2.5	その他の作動方式	56

# 3

## 流体機械の特性と諸現象

3.1	相似則と比速度	61
3.1.1	次元解析	61
3.1.2	相似則	62
3.1.3	比速度	65
3.2	特性曲線	67
3.2.1	ターボ形ポンプ・送風機の特性	67
3.2.2	ターボ形圧縮機の特性	75
3.2.3	容積形ポンプ・圧縮機の特性	76
3.2.4	水車およびポンプ水車の特性	78
3.2.5	タービンの特性	82
3.3	キャビテーション	84
3.3.1	キャビテーション現象	84
3.3.2	ポンプのキャビテーション性能	87
3.3.3	水車のキャビテーション性能	91
3.4	水撃現象	92
3.5	騒音	99
3.5.1	騒音レベル	99
3.5.2	音響パワーレベル	103
3.5.3	騒音発生の原因	106
3.5.4	送風機の騒音	108
3.5.5	騒音防止対策	112

# 4 流体機械の種類と用途

4.1 ポンプ	114
4.1.1 ポンプの性能	114
4.1.2 ターボ形ポンプ	115
4.1.3 容積形ポンプ	124
4.1.4 その他のポンプ	125
4.2 送風機・圧縮機	126
4.2.1 ターボ形送風機・圧縮機	126
4.2.2 容積形送風機・圧縮機	134
4.2.3 真空ポンプ	136
4.3 水車・タービン	138
4.3.1 水車	138
4.3.2 風車	147
4.3.3 蒸気タービンとガスタービン	150
4.4 流体伝動装置	157
4.4.1 流体伝動装置の特徴	157
4.4.2 ターボ形流体伝動装置	158
4.4.3 油圧伝動装置	162
4.4.4 空気圧伝動装置	164

# 5 ターボ機械の流体力学

5.1 一次元流動解析	166
5.2 二次元流動解析	169
5.3 軸流機械	170
5.3.1 直線翼列	170
5.3.2 翼列理論	174
5.3.3 翼列資料	176
5.3.4 半径平衡条件と設計渦形式	181

5.3.5 動・静翼の三次元流れ .....	184
5.4 遠 心 機 械 .....	186
5.4.1 遠心羽根車の滑り係数 .....	186
5.4.2 遠心羽根車の諸損失 .....	189
5.4.3 円形翼列理論 .....	191
5.4.4 遠心羽根車の三次元流れ .....	193
5.4.5 羽根車以外の構成要素 .....	195
5.5 準三次元流動解析 .....	203
5.5.1 基 礎 式 .....	203
5.5.2 翼間流れ解析 .....	208
5.5.3 子午面流れ解析 .....	210
5.6 三次元流動解析——数値シミュレーション .....	213

## 参 考 文 献

## 索 引

# 1

## 流体機械の定義と仕事

### 1.1 緒言

空気や水に代表されるように、われわれ人間の生活は流体とは切っても切れない関係にある。したがって文明生活を営むうえで流体を取り扱う機械、すなわち流体機械の恩恵はきわめて大きい。

水道水および都市ガスはそれぞれポンプおよび圧縮機により適度の圧力に保たれて家庭に送られてくる。電気もまた多くの流体機械を介して作られる。火力発電では、送風機でボイラに空気を圧送して石油または石炭を燃焼させ、ポンプで給水した水を蒸気に変え、そのエネルギーでタービンを回転させる。原子力発電における蒸気タービン、給水ポンプ、冷却ファン、ガスタービン発電における圧縮機とタービン、揚水発電におけるポンプ水車など、大出力発電には流体機械が不可欠である。

日用品や食品の製造工程にも、圧入、乾燥、冷却、除じんなどの目的でさまざまな流体機械が活躍している。乗用車にも、燃料ポンプ、トルクコンバータ、ラジエータ冷却ファン、ターボチャージャ、カークーラ用圧縮機など多くの流体機械が付随している。そのほか、われわれが冷蔵庫の扉を開けたり空調機のスイッチを操作するような日常的行為のおかげで、圧縮機やファンなどの流体機械が人間の心臓のような役割を果たしていることに気づくであろう。

流体機械がいかに身近なものであり、どれほどその恩恵に浴しているかを十分認識したうえで、エンジニアとして流体機械の基礎をしっかりと身につける必要がある。

## 1.2 流体のエネルギーと流体機械の定義

「流体機械とは、流体と機械との間でエネルギー授受を行う機械類の総称である」という定義がしばしば使用される。この定義ははたして厳密であろうか。例えば、ピストンエンジンでは流体（燃料）の持つ化学的エネルギーから機械的エネルギーが取り出されるが、これを流体機械に分類するものはいないであろう。また蒸気タービンやガスタービンは流体の持つ熱エネルギーを膨張過程で力学的エネルギーに変えるので熱機関の要素として取り扱われることが多いが、後述するようにターボ圧縮機とエネルギー伝達の方向が変わるだけで、エネルギー伝達のメカニズムは同じであり、しかも現在では設計に際して高度な流体力学的手法を必要とする。したがって、熱交換器や燃焼器など流体に熱を与える要素を含めてサイクルとして考える場合には熱機関の範ちゅうに加えるべきであろうが、タービン単体として考えるときは流体機械に分類する方が適当であろう。

流体機械の定義を明確にする前に、まず、流体の保有するエネルギーについて考えよう。流体の持つおもなエネルギーはつぎのように分類される。

(A) 流体の内部に保有されるエネルギー

(i) 分子相互間のポテンシャルエネルギーと分子の不規則運動による運動エネルギーの和として定義される内部エネルギー（その変化は圧力、温度などの状態量の変化を伴う。また相変化を伴うこともある）

(ii) 分子を構成する原子の結合エネルギー（化学反応に伴って放出または吸収される化学的エネルギー）

(iii) 原子核を構成する素粒子の結合エネルギー（核融合や核分裂に伴って放出されるエネルギー）



- (B) 流体が流れることによる運動エネルギー
- (C) 流体が力の場に存在することによるエネルギー
  - (i) 重力場における位置エネルギー
  - (ii) 電界や磁界に電導性流体が存在するときの電磁気エネルギー

上述のエネルギーのうち、(A)-(ii)および(iii)はエネルギーの変化に伴って物質が変化するので流体機械が対象とするエネルギーから除外される。また、(C)-(ii)は特殊な流体機械においてのみ対象となる。

このことから、はじめに述べた流体機械の定義には少なくとも「流体の物質を変えることなしに……」の条件が必要である。しかし、これだけではまだ定義として不十分である。一般の流体機械では流体の保有するエネルギーとして、内部エネルギー、運動エネルギー、位置エネルギーの三つを考えればよいが、高圧ポンプでは入口と出口の流体でこの三つのエネルギーの変化がほとんど無視できるような場合も多い。すなわち、後述するように液体では内部エネルギーの変化はほとんど力学的エネルギーの変化に関与しないので、入口と出口の高さと流速がほぼ等しいポンプでは、流体の保有するエネルギーは入口と出口でほぼ同じということになる。

それでは「定義」で述べられたエネルギーとはどのような形態のエネルギーを指すのであろうか。このことを明らかにするために、図 1.1 に示すように外部から単位時間当たり  $W_i$  [J/s] の仕事と  $Q_i$  [J/s] の熱量が与えられる質量流量  $\dot{m}$  [kg/s] の流体機械に対してエネルギー保存則を適用しよう。外部に仕事をす機械では  $W_i$  を負、冷却される場合には  $Q_i$  を負の値と考えればよい。

単位質量当りの流体の持つ内部エネルギーを  $e$  [J/kg]、流速を  $c$  [m/s]、基準位置からの高さを  $z$  [m]、重力加速度

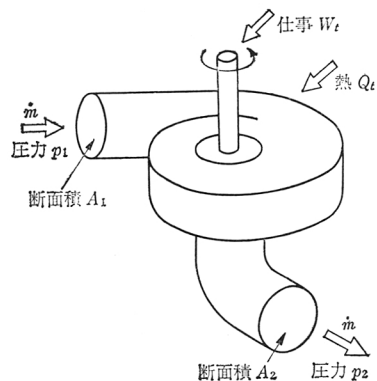


図 1.1 流体機械のエネルギーバランス

を  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とし、機械の入口および出口断面の値にそれぞれ添字 1 および 2 を付して表せば、入口および出口を単位時間を通して通過する流体が保有するエネルギーは  $\dot{m}(e_1 + c_1^2/2 + gz_1)$  および  $\dot{m}(e_2 + c_2^2/2 + gz_2)$  である。また入口および出口の断面積を  $A_1$  [m<sup>2</sup>] および  $A_2$  [m<sup>2</sup>]、断面に垂直な速度成分を  $c_{m1}$  [m/s] および  $c_{m2}$  [m/s]、圧力を  $p_1$  [N/m<sup>2</sup>] および  $p_2$  [N/m<sup>2</sup>] とすれば、流体が機械に流入するとき機械に対して単位時間当り  $p_1 A_1 c_{m1}$  の仕事をなし、機械から流出するとき外部に対して  $p_2 A_2 c_{m2}$  の仕事をなす。したがってエネルギー保存則より次式が成立する。

$$W_t + Q_t + p_1 A_1 c_{m1} - p_2 A_2 c_{m2} = \dot{m} \left( e_2 + \frac{1}{2} c_2^2 + gz_2 \right) - \dot{m} \left( e_1 + \frac{1}{2} c_1^2 + gz_1 \right) \quad (1.1)$$

流体の密度を  $\rho$  とすれば、 $\dot{m} = \rho_1 c_{m1} A_1 = \rho_2 c_{m2} A_2$  であるから、上式を  $\dot{m}$  で除し、さらに単位質量流量当りの仕事と熱量を  $w_t = W_t/\dot{m}$ 、 $q_t = Q_t/\dot{m}$  で表すと

$$w_t + q_t = \left( e_2 + \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{1}{2} c_2^2 + gz_2 \right) - \left( e_1 + \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{1}{2} c_1^2 + gz_1 \right) \quad (1.2)$$

上式は単位質量流量当りの流体について右辺第 2 項に相当するエネルギーが機械へ流入し、右辺第 1 項に相当するエネルギーが外部へ流出することを意味している。すなわち流体が出入りする流体機械（開いた系）では、流体が保有するエネルギーのほかに流路断面を通して伝達されるエネルギー  $p/\rho$  を加えることが必要であり、単位質量当りの流体について

$$e + \frac{p}{\rho} + \frac{1}{2} c^2 + gz \quad [\text{J/kg}] \quad (1.3)$$

のエネルギーを考えるべきである。

ところで、熱力学第一法則より

$$e_2 - e_1 = q_{12} - \int_1^2 p d\left(\frac{1}{\rho}\right) \quad (1.4)$$

ここに、 $q_{12}$  は内部エネルギーが  $e_1$  から  $e_2$  に変化する際に加えられる熱量であり、外部から加えられる熱  $q_t$  のほかに、内部で発生する熱、すなわち相変化によって放出される熱  $q_p$  (吸収の場合は負) や流体摩擦によって発生する熱

$q_f$  を含んでいる。

$$q_{12} = q_e + q_p + q_f \quad (1.5)$$

ところで、熱水タービンと呼ばれる特殊なタービンでは高圧の熱水が膨張して気体になる際に多くの気化熱 $-q_p$ を吸収するが、一般の流体機械では相変化による $q_p$ は無視できるので $q_p=0$ とおき、式(1.4)と(1.5)を式(1.2)に代入し、部分積分の公式を用いれば

$$w_t = \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_1) + q_f \quad (1.6)$$

上式は流体機械の単位質量流量当りの仕事を表し、 $w_t$ を比仕事(specific work)と呼ぶ。この式から流体機械の比仕事は、右辺第1～3項の力学的エネルギーの変化と右辺第4項の内部で発生する摩擦熱の和であることがわかる。外部からの加熱 $q_e$ (または冷却 $-q_e$ )は軸動力には陽的に関係せず、右辺第1項における圧縮または膨張過程を介して陰的に関与する。また摩擦熱 $q_f$ はあらゆる流体機械で発生するが、1.3節で述べるように機械の目的に対して消極的(または否定的)役割しか果たさない。したがって流体機械でおもな役割を果たすのは右辺第1～3項の力学的エネルギーの変化であり、この和を特に可逆的比仕事 $w_{rev}$ (specific reversible work)と呼ぶ。

$$w_{rev} = \int_1^2 \frac{dp}{\rho} + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + g(z_2 - z_1) \quad (1.7)$$

すなわち、可逆的比仕事は単位質量の流体について機械の仕事と流体力学的エネルギーが摩擦による損失なしに可逆的に変換される場合の比仕事である。

上述の議論により、「流体機械は流体の持つ力学的エネルギー(流体力学的エネルギー)と機械の仕事との変換機である」と定義できる。

### 1.3 流体機械の仕事と効率

#### 1.3.1 流体効率

流体機械には、ポンプ、送風機などのように機械の仕事を生じ流体力学的エネルギー

ギーに変換する被動形流体機械（被動機）と、水車などのように流体力学的エネルギーを機械の仕事に変換する原動形流体機械（原動機）がある。図 1.1 の定義に従えば被動機は機械的動力により流体にエネルギーを与えるので、 $w_t > 0$ ,  $w_{rev} > 0$  であり、原動機は流体のエネルギーより動力を抽出するので、 $w_t < 0$ ,  $w_{rev} < 0$  である。一方、流体摩擦による発熱  $q_f$  は、被動機、原動機によらずつねに正であるので、それぞれの場合について次式が成立する。

$$\text{被動機： } w_t = w_{rev} + q_f \quad (1.8)$$

$$\text{原動機： } |w_t| = |w_{rev}| - q_f \quad (1.9)$$

上式は、被動機ではつねに  $w_t > w_{rev}$  であって機械的仕事をすべて流体に有効に伝えることができず、原動機では  $|w_{rev}| > |w_t|$  であって有効な流体力学的エネルギーの変化のすべてを機械の仕事に変換できないことを示しており、 $q_f$  を損失 (loss) という。この損失の概念を導入することにより、被動機と原動機に対してそれぞれつぎの流体効率 (hydraulic efficiency) が定義される。

$$\text{被動機： } \eta_h = \frac{w_{rev}}{w_t} = 1 - \frac{q_f}{w_t} = \frac{w_{rev}}{w_{rev} + q_f} \quad (1.10)$$

$$\text{原動機： } \eta_h = \frac{|w_t|}{|w_{rev}|} = \frac{|w_t|}{|w_t| + q_f} = 1 - \frac{q_f}{|w_{rev}|} \quad (1.11)$$

### 1.3.2 液体を作動媒体とする流体機械の比仕事と効率

タンクに封入した高圧気体のエネルギーは噴流として利用できるが、高圧の水を充満したタンクのパルプを開いても水は外部に対してほとんど仕事をせず、すぐに圧力が低下する。この違いは液体では内部エネルギーの多くが分子相互間のポテンシャルエネルギーとして保有されるのに対し、気体では大部分（完全気体の場合は全部）が分子の不規則運動の形で保有されることによるもので、式 (1.4) を見ると理解しやすい。すなわち流体の圧縮性が無視できる液体では式 (1.4) の右辺第 2 項はゼロであるから、内部エネルギーは系に加えられる熱によって変化するのみで、力学的エネルギーには関与しない。別の見方をすると液体には力学的エネルギーを内部に保有する能力がない。タンクの耐圧試験を水で行うのはこの性質を利用したもので、空気を封入して試験を行う

# 索 引

## 【 A 】

A特性騒音レベル 103  
 Ackeret の換算式 64  
 油回転真空ポンプ 137  
 油拡散ポンプ 137  
 アクシアル多筒往復式 26  
 アキュムレータ 26  
 アクチュエータ 20, 164  
 案内羽根 123  
 アンローダ 77  
 暗騒音 103  
 後向きファン 126, 128  
 圧縮機 19  
 圧縮性補正係数 15  
 圧力回復係数 196  
 圧力係数 68  
 圧力騒音 108  
 圧力-流量特性 75

## 【 B 】

バケット 141  
 バランスピストン 130  
 馬てい形渦 185  
 バズ 107  
 ベクトル平均流れ角 172  
 ベクトル平均速度 172  
 ベーン式 134  
     —ポンプ 125  
 ベルトラミ流れ 208  
 ベツの簡易理論 148  
 ボルテックスポンプ 53  
 ボリュート 47, 201  
     —ポンプ 116  
 ブレードレスポンプ 120  
 ブロッキング係数 168

## 【 D 】

段 (段落) 43  
 段効率 173  
 断熱比仕事 9  
 断熱効率 10  
 ダリウス風車 148  
 電磁ポンプ 59  
 伝達効率 158, 161, 163  
 デリア水車 139, 145  
 ディフューザ 42, 47, 196  
     —ポンプ 117  
 ディスク 45  
 ドラパルタービン 151  
 ドラッグトルク 159  
 動翼列 42

## 【 E 】

エアフォイルファン 129  
 エアリフトポンプ 59  
 液柱分離 93  
 エクスデューサ 48  
 円板摩擦損失 16  
 円板摩擦損失動力 190  
 円形ノズル 199  
 円形翼列 45  
 円形翼列理論 191  
 遠心圧縮機 130  
 遠心プロワ 129  
 遠心ファン 126  
 遠心機械 45  
 遠心ポンプ 116  
 遠心力 194  
 エゼクタ 56

## 【 G 】

外部冷却器 131

ガイドベーン 123  
 ガスタービン 150, 154  
 ガスリフトポンプ 59  
 原動形流体機械 6  
 原動機 6  
 弦節比 172  
 減速翼列 43  
 50%反動度形 43  
 50%反動度渦形式 183  
 逆問題 176

## 【 H 】

歯車ポンプ 125  
 歯車式 31  
 排風機 19  
 排気速度 77  
 反動度 41, 173  
 反動形 41, 139  
 半自由音場 104  
 半径平衡条件 181  
 半径流タービン 150, 152  
 半強制渦形式 183  
 羽根車 38  
 羽根なしディフューザ 196  
 羽根付ディフューザ 198  
 並列運転 73  
 偏位騒音 108  
 偏差角 170  
 ヘリカルインデューサ 118  
 ヘロータービン 57  
 被動形流体機械 6  
 被動機 6  
 比音響パワーレベル 111  
 比仕事 5  
 比速度 65  
 比騒音レベル 111  
 必要有効吸込ヘッド 88  
 比直径 65  
 負荷限界 181

負荷特性 69  
 噴流ポンプ 55  
 フランシス水車 139, 142  
 フラッタ 107  
 振り子式 35  
 フローバタン 182  
 風車 20, 147

## 【 I 】

イモ (IMO) ポンプ 33  
 インデューサ 47, 194  
 インゼクタ 56  
 一次元流動解析 167  
 一定反動度形式 183

## 【 K 】

可動案内羽根 142  
 可動翼式 34  
 可動翼式ポンプ 125  
 可逆の比仕事 5  
 回転圧縮機 134  
 回転音 109  
 回転ピストン式 34, 134  
 回転ポンプ 125  
 回転流面 169, 208  
 回転送風機 134  
 回転式流体機械 29  
 かき上げ渦 185  
 拡散音場法 104  
 過給機 157  
 貫流機械 49  
 干渉係数 175  
 完全特性 81  
 環状壁効果 185  
 渦流ポンプ 53  
 渦流式流体機械 52  
 カプラン水車 139, 144  
 カスケードポンプ 53  
 カーチスタービン 151  
 計算問題 176  
 気泡ポンプ 59  
 機械効率 16  
 機械マッハ数 62  
 機械レイノルズ数 62, 64  
 機械損失 16

キニー式 35  
 混流羽根車 47  
 後縁騒音 110  
 後置静翼形 43  
 コリオリ力 193  
 抗力係数 172  
 抗力式タービン 53  
 広帯域周波数騒音 108  
 抗揚比 172  
 食違い角 170  
 クインビー式 33  
 空気圧伝動装置 164  
 空気圧モータ 20, 164  
 空気タービン 154  
 クライオポンプ 137  
 クラッチ点 162  
 クロスフロー風車 148  
 クローズド羽根車 45  
 キャビテーション 85  
 — 壊食 87  
 — 係数 85  
 キャンドモータポンプ 121  
 吸音率 105  
 強制渦形式 183

## 【 M 】

摩擦ポンプ 53  
 目玉比 46, 186  
 目玉曲線 79  
 水動力 115  
 水噴射ポンプ 55  
 戻り案内羽根 202  
 戻り流路 202  
 漏れ効率 16  
 漏れ損失 16  
 漏れ損失動力 190  
 迎え角 170  
 無拘束速度 79  
 無響室 104  
 脈動キャビテーション 90

## 【 N 】

NACA 65系翼形 177  
 部内冷却器 131  
 ナッシュポンプ 36

粘性ポンプ 50, 51  
 粘性継手 160  
 ねじポンプ 125  
 ねじ式 32, 134  
 ニードル弁 141  
 二葉式 31, 134  
 二次流れ 184, 194, 202  
 ノンクログポンプ 119  
 ノズル 42, 140  
 入射角 170

## 【 O 】

オイラーヘッド 40  
 オイラーの比仕事 40, 167  
 オイルインジェクション式 32  
 音圧レベル 100  
 音響パワーレベル 103  
 オープン羽根車 45  
 オランダ風車 148  
 押しのけ量 23, 29  
 押しのけ容積 23, 29  
 往復圧縮機 134  
 往復ポンプ 124  
 往復式 (流体) 機械 22  
 横流機械 48

## 【 P 】

パドルファン 129  
 パーソンスタービン 152  
 ペンストック 139  
 ベルトン水車 139, 140  
 ビターポンプ 57  
 ポンプ 19  
 ポンプ水車 20, 80, 145  
 ポリトロープ比仕事 12  
 ポリトロープ効率 13  
 プランジャポンプ 124  
 プロペラ風車 148  
 プロペラ水車 139, 144

## 【 R 】

落差 138  
 乱流騒音 108  
 ラタータービン 151

ラジアルファン 126, 129  
 ラジアルタービン 150  
 ラジアル多筒往復式 27  
 冷却率 12  
 レンブロピストン式 26  
 リミットロード特性 68, 129  
 臨界キャピテーション係数  
 86, 91  
 離散周波数騒音 108  
 ロータルビー 206  
 ロタスコ形圧縮機 135  
 ルーツ式 31, 134  
 両吸込ポンプ 118  
 流入角 170  
 流線曲率法 213  
 流出角 170  
 流量係数 68, 78  
 流量特性 79  
 流体伝動装置 21, 157  
 流体効率 6, 40, 167  
 流体継手 158

## 【 S 】

サボニウス風車 148  
 作動範囲 67, 177  
 作動係数 167  
 作動点 69  
 再生ポンプ 53  
 三葉式 32  
 三次元流動解析 214  
 サージタンク 99, 139  
 サージング 71  
 サージング線 75  
 性能換算式 63  
 静翼列 42  
 旋回失速 70, 198  
 センコ形 35  
 遷音速軸流圧縮機 134  
 設計カーベット線図 178  
 設計問題 176  
 設計渦形式 182  
 子午面流線 169, 211  
 子午面流れ問題 169, 211  
 真空ポンプ 19, 136  
 シロコファン 128  
 失速セル 70

失速点 67, 177  
 速度比 159, 161, 163  
 速度係数 78  
 速度三角形 40, 171  
 速度特性 79  
 損失 6  
 ソリディティ 172  
 反り角 170  
 送風機 19  
 双極子音源 106  
 騒音 99  
 騒音パワーレベル 104  
 相当拡散比 178  
 相似則 62  
 滑り係数 186  
 滑り速度 188  
 吸出し管 138, 143  
 吸込比速度 89  
 吸込効率 23  
 水車 20, 138  
 水車効率 139  
 水撃現象 58, 92  
 水撃ポンプ 58  
 水封式 36  
 水中モータポンプ 120  
 スクロール 47, 201  
 スクロール式 36  
 スクリュー圧縮機 135  
 スネークポンプ 32  
 寸法効果 64  
 スーパーキャピテーション 87  
 スプリングラ 57  
 数値シミュレーション 213  
 スタッグ角 170  
 斜流羽根車 48  
 斜流機械 48  
 斜流ポンプ 121  
 斜流水車 144  
 斜流送風機 134  
 衝動形 41, 139  
 初生キャピテーション係数 86  
 シュラウド 45  
 出力係数 149  
 修正回転数 75, 82  
 修正流量 75, 82

## 【 T 】

ターボファン 128  
 ターボ形流体伝動装置 158  
 ターボ機械 38, 166  
 タービン 20  
 —ポンプ 117  
 多段ブロワ 130  
 多段ポンプ 118  
 体積効率 24  
 単位回転数 78  
 単位流量 78  
 単位出力 78  
 単筒複動式 26  
 単極子音源 106  
 単葉式 32  
 単純半径平衡条件式 182  
 多筒往復式 26  
 たわみ式 35  
 多翼ファン 126  
 多翼形風車 148  
 多葉式 31  
 抵抗曲線 69  
 低流量域特性 67  
 転向角 170  
 テリータービン 53  
 テスラタービン 52  
 置換法 (騒音の) 105  
 チョーキング 76, 83  
 直列運転 73  
 直線翼列 43, 170  
 直接問題 176  
 チューブラ水車 140, 144  
 中間冷却 11, 130  
 —器 130  
 特異点法 175  
 特性曲線 67  
 特性曲線法 95  
 トルク比 161, 163  
 トルク係数 149  
 トルクコンバータ 161  
 トルク効率 24  
 トーマ (Thoma) の  
 キャピテーション係数 89, 91  
 等角写像法 175  
 等価騒音レベル 103

等温圧縮機 11  
 等温比仕事 11  
 等温効率 11  
 通り抜け流れ問題 169  
 到達真空度 77  
 等聴感曲線 101

---

【U】

ウェーク 195  
 ウェスコポンプ 53  
 渦巻ポンプ 116  
 渦巻室 47, 201

---

【W】

ワークダンファクタ 167

---

【Y】

翼間流れ問題 169, 208  
 翼形ファン 129  
 翼列流れ問題 169  
 翼列理論 174  
 翼列性能 177  
 翼列試験装置 176

翼列資料 177  
 翼力 211  
 翼素 43  
 翼通過周波数 109  
 4極子音源 106  
 予旋回 46  
 揺動ピストン式 35  
 揚力係数 172  
 容積形流体機械 22  
 揚水発電 145  
 油圧伝動装置 157, 162  
 油圧モータ 20, 164  
 油圧ポンプ 164  
 油撃現象 93  
 ユングストローム式 153  
 有効吸込ヘッド 87

---

【Z】

残響時間 105  
 全圧損失係数 172  
 前置静翼形 43  
 全断熱効率 18  
 全効率 17, 115  
 全ポリトロープ効率 18  
 全揚程 114

次元解析 61  
 軸動力係数 68  
 軸方向流入形 43  
 軸方向流出形 44  
 軸流圧縮機 133  
 軸流分子ポンプ 137  
 軸流ブロウ 132  
 軸流ファン 131  
 軸流機械 42  
 軸流ポンプ 121  
 軸流送風機 131  
 軸流タービン 150  
 軸推力 118, 130  
 自吸式ポンプ 118  
 実揚程 114  
 自由渦形式 183  
 自由音場法 104  
 増速翼列 43  
 ジェットファン 131  
 ジェットポンプ 55  
 ジェットスクリーチ 107  
 蒸気タービン 150, 153  
 準三次元流動解析 204  
 準直交線 211



— 著 者 略 歴 —

いの うえ まさ ひろ  
井 上 雅 弘

1964年 九州大学工学部機械工学科卒業  
1969年 九州大学大学院工学研究科博士課程単位取得  
(機械工学専攻)  
1969年 九州大学講師  
1971年 工学博士(九州大学)  
1972年 九州大学助教授  
1983年 九州大学教授  
2004年 九州大学名誉教授  
2004年 佐世保工業高等専門学校長  
2010年 退職

かま だ よし ひさ  
鎌 田 好 久

1947年 九州大学工学部機械工学科卒業  
1950年  
~63年 高等学校教諭  
1963年 九州大学助手  
1965年 福岡大学助教授  
1976年 福岡大学教授  
1977年 工学博士(九州大学)  
1994年 福岡大学名誉教授

流体機械の基礎

Introduction to Fluid Machinery © Inoue, Kamada 1989

1989年11月20日 初版第1刷発行  
2010年10月10日 初版第19刷発行

検印省略

著 者 井 上 雅 弘

鎌 田 好 久

発行者 牛 来 真 也

印刷所 壮光舎印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コ ロ ナ 社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替00140-8-14844 電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04049-4  
Printed in Japan

(新日本印刷, 愛千製本所)



無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替いたします