ま　え　が　き

本書は，大学における工学部機械工学系学科の標準的な流体力学の教科書として執筆されたものである。流体力学は，機械工学系学科の専門基礎科目の一つとして，近年，その重要性が指摘されている。専門科目を低学年の方へ楔形に配置するカリキュラムが最近の傾向として見られるが，多くの大学では工学部2年生から流体力学の入門的授業が始まり，4年生までにはそれに関する専門授業が終わるようである。上述のような背景から，本書では，学生諸君にとって流体力学の基礎が理解しやすいように，また，学年進行に伴って入門的内容から専門的知識の修得まで，その内容のレベルがなるべく直線的に上昇してゆくようにできる限り工夫がなされている。

特に近年，大学院への進学希望者が増加してきているが，そのような諸君にとっては，大学院における高度な学術的専門内容への橋渡しとして，流体力学の基礎学力を十分身に付けておく必要がある。いずれにせよ，流体力学における種々の基礎式を正しく理解し，流れの物理現象をこれと直接的に結び付けて理解できる力を養っておくことが，今後，実際の流体工学上の諸問題を解く上で非常に大切なことである。著者らは，学生諸君がこのような力を身に付けることが工学教育の最も重視すべき点であると考えている。

上述の観点から，本書では流体力学の基礎である流れの力学的概念をできるだけわかりやすく説明するため，扱った式は重要なもののみにとどめ，その力学的な意味と導出過程の説明にポイントを置いた。そして機械工学の立場から重要と考えられる項目を取り上げ，学年進行にあわせた順序で，できるだけ系統的に記述しようと努力した。内容として取り上げた項目には，著者らの独善と偏見があろうが，できる限り懇切丁寧な説明を行った。著者らは，幅広い知識を学ぶよりも，重要項目についての考え方，考察の仕方を十分深く理解することが何よりも大切であると考えている。また，講義の行いやすさや，独学で

でも理解できるように，重要な式については数式の展開を詳しく説明し，例題を適宜配置した。各章の順序もこのような考え方に基づいている。一応，1章～13章は必修とし，14章以降は選択科目の内容であると考えている。

本書を執筆するにあたり，内外の数多くの図書を参考にさせていただいた。これらの著者に感謝するしだいである。もとより著者らの浅学非才のため，内容の誤解や不十分なところがあると思うが，お許し願いたい。そして，お気付きの点はご指摘，ご教示いただければ幸いである。

終りに，本書の出版にあたり，いろいろご尽力下さったコロナ社の方々に感謝申し上げる。

1993年1月

著　　者

目　　次

1 流体の諸性質

1.1 はじめに …… 1
1.2 単位系 …… 2
1.2.1 国際単位系（SI） …… 2
1.2.2 工学単位系（重力単位系） …… 2
1.2.3 CGS 単位系 …… 2
1.3 密度と比体積 …… 3
1.4 圧縮性 …… 3
1.5 ニュートンの粘性法則 …… 4
1.6 表面張力 …… 7
1.6.1 表面張力による圧力差 …… 7
1.6.2 毛管現象 …… 8

2 静止流体の力学

2.1 圧力の等方性 …… 10
2.2 圧力分布 …… 12
2.3 液柱圧力計の原理 …… 14
2.4 静止流体中の壁面に働く力 …… 16
2.4.1 平面壁に働く力 …… 16
2.4.2 曲面壁に働く力 …… 18

2.5 浮揚体の安定 ……20
2.6 相対的静止状態の液面形状 ……22
2.6.1 等加速度直線運動 ……22
2.6.2 回転運動 ……23

3 定常1次元流れ

3.1 流線と流管 ……24
3.2 連続の式 ……25
3.3 運動方程式 ……26
3.4 ベルヌーイの定理 ……28
3.5 ベルヌーイの定理の応用例 ……29
3.5.1 タンクからの流出 ……29
3.5.2 断面積変化のある管路の流れ ……31
3.5.3 よどみ点近くの流れ ……31
3.6 回転場のエネルギー式 ……32

4 流量・流速測定の原理

4.1 流量の測定 ……35
4.1.1 オリフィスとノズル ……35
4.1.2 ベンチュリ管 ……40
4.1.3 せき ……41
4.2 流速の測定 ……42
4.2.1 ピトー管 ……42
4.2.2 熱線流速計 ……43
4.2.3 レーザ・ドップラー流速計 ……44

5 運動量理論

5.1 運動量の法則 ……46
5.2 運動量の法則の応用例 ……48
5.2.1 噴流による力 ……48
5.2.2 一定速度で運動する物体が受ける力 ……49
5.2.3 曲がり管に働く力 ……50
5.3 角運動量の法則とその応用例 ……51

6 次元解析と相似則

6.1 次元解析 ……54
6.2 次元解析の例 ……55
6.3 流れの相似則 ……58
6.4 力学的相似 ……58
6.4.1 流体の粘性が重要な流れ ……58
6.4.2 重力の影響が重要な流れ ……60
6.4.3 圧縮性の影響が重要な流れ ……60
6.4.4 表面張力が重要な流れ ……61

7 管路の流れ

7.1 管路のエネルギー式 ……63
7.1.1 1次元流れに対するエネルギー式 ……65
7.1.2 非圧縮性流体のエネルギー式 ……66
7.1.3 圧縮性流体に対するエネルギー式 ……69
7.2 流体摩擦と管摩擦係数 ……70

7.3 円管の管摩擦係数 ……73
7.4 非円形管の管摩擦係数 ……80
7.5 管路の諸損失 ……84
7.5.1 急拡大に伴う損失 ……84
7.5.2 急縮小に伴う損失 ……86
7.5.3 ゆるやかに拡大する管(ディフューザ)の損失 ……88
7.5.4 曲がり管の損失 ……90

8 流体力学の基礎式

8.1 速度と加速度の表示法 ……94
8.1.1 ラグランジュ表示 ……94
8.1.2 オイラー表示 ……95
8.2 流線の式 ……97
8.3 連続の式 ……99
8.4 理想流体の運動方程式とベルヌーイの定理 ……101
8.5 流体塊の変形と回転 ……106
8.5.1 平行な流れと伸縮のある流れ ……106
8.5.2 回転 ……108
8.5.3 せん断変形 ……110
8.5.4 流れ場と変形 ……110
8.6 循環と渦度 ……113
8.7 ナヴィエ-ストークスの式 ……116
8.8 理想流体と粘性流体の流れ解析における境界条件の相違 ……121

9 層流の理論的解析

9.1 2平板間のポアズイユ流れ ……122

9.2　平板が急に運動する場合の流れ ……124
9.3　お そ い 流 れ ……126
9.4　流体潤滑理論 ……127

10　2次元ポテンシャル流の基礎

10.1　速度ポテンシャル ……132
10.2　流　れ　関　数 ……134
10.3　等速度ポテンシャル線と流線 ……137
10.4　複素ポテンシャル ……138
10.5　簡単な流れの複素ポテンシャル ……142
10.5.1　平行な流れ ……142
10.5.2　原点からの吹き出し，または吸い込み ……143
10.5.3　自　由　渦 ……144
10.6　流れの重ね合せの原理 ……147
10.7　吹き出しと吸い込みの重ね合せ，および二重吹き出し ……148
10.8　鏡 像 の 方 法 ……152
10.9　平行流中におかれた円柱まわりの流れ ……154
10.10　円柱まわりに循環を加えた流れ ……157
10.11　等角写像とその応用 ……161
10.11.1　角をまわる流れ ……163
10.11.2　ジュウコフスキーの変換 ……164

参　考　文　献

索　　引

流体力学の基礎（2）

主　要　目　次

11. 渦　運　動

11.1　渦度，渦線，渦管
11.2　ケルビンの循環保存則
11.3　強　制　渦
11.4　渦対の運動
11.5　渦　層

12. 物体まわりの流れと抗力および揚力

12.1　抗力と揚力
12.2　円柱の抗力
12.3　翼に働く揚力とその発生メカニズム
12.4　有限幅翼の誘導抗力

13. 境界層理論

13.1　境界層の概念
13.2　境界層近似と境界層方程式
13.3　境界層の特性とはく離の条件
13.4　平板に沿う層流境界層の厳密解
13.5　圧力勾配がある場合の解法
13.6　境界層の制御

14. 流れの不安定性と乱流の発生

14.1　流れの安定性理論の基礎
14.2　線形安定性理論
14.3　層流から乱流への遷移

14.4　乱流遷移に影響を及ぼす諸因子

15.　乱流理論の基礎

15.1　乱流を表す特性量
15.2　乱流のせん断応力
15.3　レイノルズ方程式

16.　壁　乱　流

16.1　平板上の乱流境界層
16.2　平板乱流境界層の速度分布
16.3　平板の乱流摩擦抗力
16.4　円管内の乱流

17.　自　由　乱　流

17.1　噴　　流
17.2　後　　流

18.　圧 縮 性 流 れ

18.1　圧縮性とマッハ数
18.2　音　　速
18.3　基　礎　式
18.4　断面積変化と速度変化
18.5　貯気槽からの等エントロピー流れ
18.6　先細ノズルとラバール管
18.7　圧縮波と膨張波の伝播
18.8　垂直衝撃波

19.　ポテンシャル流理論の応用

19.1　ベクトルポテンシャルとビオ・サバールの法則
19.2　ブラジウスの公式
19.3　翼　理　論

19.4 仮 想 質 量
19.5 軸対称ポテンシャル流

20. 数値流体力学

20.1 差 分 法
20.2 基 礎 方 程 式
20.3 ポアソン方程式
20.4 時間発展対流拡散方程式
20.5 MAC 法

付録A ポアソン方程式の解
付録B 留数の定理

1

流体の諸性質

1.1 はじめに

物質の状態は固体，液体，気体の三つに分類される。このうち液体と気体はそれ自身固有の形を持たず，“水は方円の器に従う”といわれるように，それを入れる容器の形状に応じて自在に変形する。われわれはこのような性質を持つ物質（液体と気体）を総称して**流体**（fluid）と呼んでいる。すなわち流体とは，わずかな力によって自由自在に変形しうる物質である。これに対して固体は，それぞれ固有の形を持ち，それを変形させるには変形量に応じた大きさの力を必要とする。

さて，すべての物質は微視的に見れば分子あるいは原子から構成されている。しかし，流体の運動を調べる場合，そのような微視的構造にまで立ち入る必要はなく，流体を空間的に連続な物質（**連続体**，continuum）とみなして取り扱うのが普通である。ただし，真空装置内や超高空などのように，気体の密度がきわめて低い場合には，流体を連続体として扱うことができない。いま，分子の平均自由行程を λ，物体の代表長さを L とすると，連続体の仮定が許されるのはおよそ

$$Kn \equiv \frac{\lambda}{L} < 0.01$$

の範囲である。ここで，Kn は**クヌーセン数**（Knudsen number）と呼ばれている。$Kn>0.01$ の場合については，希薄気体力学（rarefied gas dynamics）の分野で扱われている。

1.2 単　位　系

物理量を表すために種々の単位系が用いられている。工学の分野では従来，工学単位系（重力単位系）が用いられていたが，最近では国際単位系（SI と略記）が用いられるようになってきた。以下におのおのの単位系について簡単に説明するが，本書では国際単位系を用いて諸量を表すことにする。

1.2.1 国際単位系（SI）

長さ〔m〕（メートル），質量〔kg〕（キログラム），時間〔s〕（秒），電流〔A〕（アンペア），熱力学温度〔K〕（ケルビン），物質量〔mol〕（モル），光度〔cd〕（カンデラ）の七つの**基本単位**から構成されている単位系であり，このうち流体力学においてよく使用される単位は，長さ〔m〕，質量〔kg〕，時間〔s〕の三つである。この単位系において力は組立単位（二つ以上の単位を組み合わせた単位）の一つであり，N（ニュートン）で表される。すなわち，質量 1 kg の物体に 1 m/s^2 の加速度を与える力の大きさを 1 N と定義している。

$$1\,〔\mathrm{N}〕 \equiv 1\,〔\mathrm{kg}〕\times 1\,〔\mathrm{m/s^2}〕$$

1.2.2 工学単位系（重力単位系）

長さ，力，時間の三つの量を基本量として用いる単位系で，力の単位を単位質量の物体に働く重力という形で定義するところに特徴がある。すなわち，質量 1 kg の物体に働く重力の大きさを 1 kgf（重量キログラム）と定め，これを一つの基本単位として用いている。したがって，1 kgf の力は SI 単位で表すとつぎのようになる。

$$1\,〔\mathrm{kgf}〕=1\,〔\mathrm{kg}〕\times 9.8\,〔\mathrm{m/s^2}〕=9.8\,〔\mathrm{N}〕$$

1.2.3 CGS 単位系

長さ，質量，時間の単位にそれぞれ〔cm〕，〔g〕，〔s〕を用いる単位系で，物

理学でよく用いられる。

1.3 密度と比体積

単位体積当りの質量を**密度**(density)といい，記号 ρ を用いる。SI では密度の単位は〔kg/m^3〕である。工学単位系では，単位体積の物体の重量を**比重量**(γ)と呼び〔kgf/m^3〕の単位を用いる。すなわち，重力加速度を g とすれば

$$\gamma=\rho g$$

の関係がある。

単位質量の物体の体積は**比体積**(specific volume)といい，これを v で表すと比体積と密度の関係は

$$v=\frac{1}{\rho}$$

である。

1.4 圧　縮　性

実在の流体は，それに作用する圧力の増減に応じて収縮または膨張する。このような性質を流体の圧縮性と呼ぶ。

いま，圧力が dp だけ変化したとき，体積 v の流体が dv の体積変化を起こしたとする。このとき，次式で表される量 K を**体積弾性係数**(bulk modulus of elasticity)と呼ぶ。

$$K\equiv-\frac{dp}{\left(\dfrac{dv}{v}\right)}=\frac{dp}{\left(\dfrac{d\rho}{\rho}\right)} \tag{1.1}$$

上式の分母は無次元であるので，K の単位は圧力 p と同じで〔N/m^2〕=〔Pa〕(パスカル)である。K の値が大きいほど，同じ圧力変化に対して体積変化は小さいことになる。

圧縮率 β は体積弾性係数 K の逆数で，次式で定義される。

$$\beta \equiv \frac{1}{K} = -\frac{\left(\frac{dv}{v}\right)}{dp}$$

液体は圧力変化による体積変化がきわめて小さいので，多くの場合圧縮性を無視して，非圧縮性流体として扱うことができる。一方，気体は圧力変化に応じて容易に体積変化を生じるが，気体の流れを調べる場合に圧縮性の影響を考慮する必要があるかどうかは，下巻の *18* 章で詳しく述べるように，流れのマッハ数によって決められる。

1.5　ニュートンの粘性法則

あらゆる流体には変形に対して抵抗を示す性質があり，これを流体の粘性と呼ぶ。この性質は，例えば水あめやグリセリンなどでは非常に強く，水や空気などではきわめて弱い。

いま**図 *1.1*** に示すように，平行な 2 枚の平板間に油やグリセリンなどの流体を満たし，下の平板を固定して上の平板を一定の速度 U で平行に動かすとしよう。この場合の平板間の流れは**クエット流れ**（Couette flow）と呼ばれており，流速が遅い場合，流速 u の y 方向分布は，固定壁面（$y=0$）における $u=0$ から移動壁面（$y=h$）における $u=U$ まで直線的に変化する分布となる。このとき板を動かすのに必要な力 F の大きさは，板の面積 A と速度 U に比例し，平板間の距離 h に反比例する。

$$F \propto \frac{AU}{h}$$

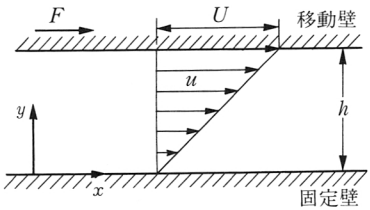

図 *1.1*　クエット流れ

板の単位面積当りに作用する摩擦抗力（せん断応力）を τ とすると

$$\tau=\frac{F}{A}\propto\frac{U}{h}=\frac{du}{dy}$$

の関係が得られる。上式における比例定数を μ とおけば

$$\tau=\mu\frac{du}{dy} \tag{1.2}$$

と表される。ここで μ は**粘度**（dynamic viscosity）と呼ばれる流体固有の物性値である。式(*1.2*)の関係は**ニュートンの粘性法則**(Newton's law of viscosity)と呼ばれ，この関係が成り立つ流体を**ニュートン流体**（Newtonian fluid）と呼ぶ。空気，水，グリセリン，油など多くの流体は，ニュートン流体として取り扱うことができる。この場合，“せん断応力は速度勾配に比例する”という関係が成り立つ。

粘度 μ の単位は SI では〔N•s/m^2〕=〔Pa•s〕である。CGS 単位系では粘度の単位は〔g/(cm•s)〕であり，これをポアズ〔P〕と呼び，この単位も広く用いられている。ポアズの 1/100 をセンチポアズ〔cP〕といい，20°C における水の粘度は約 1 cP である。

流体の運動を調べるには，粘度 μ そのものよりもこれを密度 ρ で割った値を用いると便利な場合が多い。これは**動粘度**（kinematic viscosity）と呼ばれ，記号 ν が用いられる。すなわち，ν は次式で定義される。

$$\nu\equiv\frac{\mu}{\rho}$$

動粘度 ν の単位は SI では〔m^2/s〕である。CGS 単位系では〔cm^2/s〕であり，これをストークス〔St〕と呼び，この単位も広く使用されている。水の動粘度は 20°C において約 1 センチストークス〔cSt〕である。

表 *1.1* に水と空気の粘度および動粘度を示す。粘度の値は温度上昇により気体の場合は増大するのに対して，液体の場合には減少するが，その理由は気体と液体では粘性を生じる主原因が異なるためである。すなわち，気体の粘性はおもに分子運動に伴う運動量交換によって生じるので，温度上昇により分子運動が活発になれば運動量交換が増大して粘度が大きくなる。

表 1.1　標準大気圧における水と空気の粘度 μ，動粘度 ν

温度 〔°C〕	水		空　気	
	μ 〔Pa・s〕	ν 〔m²/s〕	μ 〔Pa・s〕	ν 〔m²/s〕
0	1.792×10^{-3}	1.792×10^{-6}	1.724×10^{-5}	13.33×10^{-6}
10	1.307×10^{-3}	1.307×10^{-6}	1.773×10^{-5}	14.21×10^{-6}
20	1.002×10^{-3}	1.004×10^{-6}	1.822×10^{-5}	15.12×10^{-6}
30	0.797×10^{-3}	0.801×10^{-6}	1.869×10^{-5}	16.04×10^{-6}
40	0.653×10^{-3}	0.658×10^{-6}	1.915×10^{-5}	16.98×10^{-6}

一方，液体については，粘性を生じるメカニズムは充分に解明されていないが，液体中では分子が集団を作り，この分子集団が変形に対して抵抗することにより粘性を生じるものと考えられている。したがって，温度が上昇すると分子の揺動が激しくなるため分子集団は分裂して小さくなり，その結果変形に対する抵抗は弱くなって粘度が小さくなると考えられる。

ところで，流体の中には高分子の溶液や融液，ペンキ，粘土泥しょうなどニュートンの粘性法則に従わないものも多く，このような流体を総称して**非ニュートン流体**（non-Newtonian fluid）と呼ぶ。いま，せん断応力 τ と速度勾配 du/dy の関係を各種流体について示すと，ニュートン流体の場合は τ が du/dy に比例するので，**図 1.2** にみられるように原点Oを通る直線によってその関係が示される。

一方，非ニュートン流体においては τ と du/dy の関係が，図に示すように原

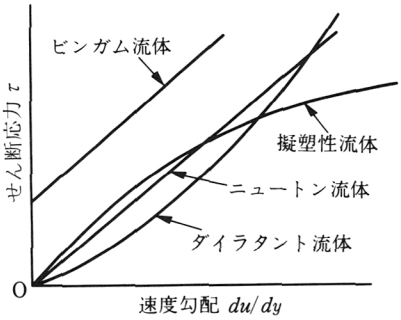

図 1.2　せん断応力と速度勾配の関係

索　　引

〖A〗

圧縮性　*3,60*
圧　力　*10*
圧力分布　*12*
圧力ヘッド　*28*
圧力回復効率　*90*
圧力の中心　*17*

〖B〗

Bernoulli の定理　*28,101,104*
Borda の口金　*87*
Buckingham の *Π* 定理　*56*
ベンド　*90*
物質微分　*96*
物質座標　*94*

〖C〗

Cauchy-Riemann の方程式　*140*
CGS 単位系　*2*
Couette 流れ　*4*
クリーピング流れ　*127*

〖D〗

d'Alembert の背理　*157*
デカルト座標系　*94*
ディフューザ　*89,90*
動　圧　*32*
動粘度　*5*
動温度　*69*

〖E〗

Euler 表示　*94,95*
Euler の運動方程式　*27,103*
液柱圧力計　*14*
エネルギー線　*71*
エネルギー式　*32,63,66,69*
エンタルピー　*69*
円　柱　*158,160*
エルボウ　*90*

〖F〗

Froude 数　*60*
フロー　*133*

〖G〗

ゲージ圧　*10*

〖H〗

Hagen-Poiseuille の式　*75*
排棄損失　*86*
発　散　*100*
ヘッド　*67*
平面 Couette 流　*129*
平面 Poiseuille 流　*123*
壁面の粗滑に対する遷移領域　*76*
偏　角　*139*
変形速度　*110*
非圧縮性流れ　*25*
非円形管　*80*
非ニュートン流体　*6*
比体積　*3*
非定常流　*97,104*
比重量　*3*
負荷能力　*130*
吹き出し　*143*
複素ポテンシャル　*140*
複素速度　*140*
浮　心　*20*
浮揚体　*20*
表面力　*12*
表面張力　*7*

〖I〗

入口損失　*86*
位置ヘッド　*28*
1次元流れ　*25*

〖J〗

Joukowsky の変換　*164*
Joukowsky 翼　*166*
次元解析　*54*
実質微分　*96*
自由渦　*145*
助走区間　*70*
助走距離　*70*
循　環　*113*
重　力　*60*
重力単位系　*2*

〖K〗

Kutta-Joukowsky の定理　*160*
回　転　*108*
回転場　*32*
回転運動　*23*
角運動量　*51*
角運動量の法則　*52*
管摩擦　*71*
管摩擦係数　*72*
管オリフィス　*38*
管　路　*84*
慣性力　*58*
完全発達領域　*70*
完全に粗い　*76*
重ね合せの原理　*147*
検査面　*47*

検査体積 47
基本単位 2
幾何学的相似 58
国際単位系 2
工学単位系 2
抗 力 159
抗力係数 57
クヌーセン数 2
共役複素速度 140
境界条件 121
極形式 139
局所壁面摩擦係数 72
局所損失 84
鏡像の方法 152
急拡大管 84

〖L〗

Lagrange 表示 94
Laplace の方程式 133
レーザ・ドップラー流速計 44

〖M〗

Mach 数 60
Magnus 効果 160
Moody 線図 80
曲がり管 84
マノメータ 14
メタセンター 20
密 度 3
模型試験 58
毛管現象 8

〖N〗

Navier-Stokes の式 116,120
Newton の粘性法則 5
Newton 流体 5,119
NS 式 120
流れ関数 134
粘 度 5
粘性力 58
粘性底層 78
粘着条件 121
熱膜プローブ 44
熱線流速計 43
二次流れ 91
二重吹き出し 149
ノズル 35
濡れ縁長さ 82

〖O〗

オリフィス 35

〖P〗

Π パラメータ 56
Pitot 管 42
Pitot 静圧管 42
ピエゾメータ 14
ポテンシャル流 131

〖R〗

Rayleigh の問題 124
Reynolds 数 37,60
乱 流 73
連続の式 25,99,100
連続体 1
力学的相似 58
理想流体 101
流 管 24
流脈線 73
流量係数 37
流 線 24,97
流線関数 135
流 体 1
流体潤滑理論 127

〖S〗

SI 2
Stokes 近似 126
Stokes の定理 115
三角せき 41
静 圧 32
静圧管 42
静温度 69
正則関数 139
せ き 41
せん断変形 110
遷 移 74
接触角 8
四角せき 41
伸 縮 106
示差圧力計 16
質量保存則 25
質量流量 25
速度ヘッド 28
速度係数 37
速度ポテンシャル 132
損失ヘッド 67,84
損失係数 84
層 流 73
相対粗さ 72,76
相対的静止 22
吸い込み 144
水力学的に滑らか 76
水力勾配線 71
消散関数 121
縮 流 36
縮流部 36
収縮係数 37,87

〖T〗

Torricelli の定理 30
対流項 97
体積弾性係数 3
体積力 12
体積流量 25
単位系 2
定常流 97
特異点 133,144
等価相対砂粒粗さ 79
等角写像 161
等価直径 83
等速度ポテンシャル線 137
調和関数 133

〖U〗

U 字管マノメータ 15
運動エネルギー補正係数 66
運動学的相似 58
運動方程式 26
運動量 46
運動量の法則 47
渦 度 110,113,115

渦なし流れ　*131*

〖 *V* 〗

Venturi 管　*40*

〖 *W* 〗

Weber 数　*61*

〖 *Y* 〗

よどみ点　*32,155,157*
よどみ点圧力　*32*
揚　力　*159*

〖 *Z* 〗

全　圧　*32*
全圧管　*42*
全圧力　*16*
全ヘッド　*28*
全幅せき　*41*
全温度　*69*
絶対圧　*10*

── 著 者 略 歴 ──

中林功一（なかばやし こういち）

1961年　名古屋工業大学工学部機械工学科卒業
1961年～62年　トヨタ自動車工業株式会社勤務
1964年　大阪大学大学院修士課程修了
1967年　名古屋工業大学講師
1970年　工学博士（名古屋大学）
1970年　名古屋工業大学助教授
1980年　名古屋工業大学教授
2002年　名古屋工業大学名誉教授
2002年　愛知工科大学教授
2009年　愛知工科大学名誉教授

伊藤基之（いとう もとゆき）

1968年　名古屋工業大学工学部機械工学科卒業
1970年　名古屋工業大学大学院修士課程修了
1978年　工学博士（名古屋大学）
1979年　名古屋工業大学助教授
1992年　名古屋工業大学教授
2009年　名古屋工業大学名誉教授
2009年　愛知工科大学教授
現在に至る

鬼頭修己（きとう おさみ）

1970年　名古屋大学工学部機械工学科卒業
1975年　名古屋大学大学院博士課程修了
1975年　名古屋大学助手
1978年　工学博士（名古屋大学）
1978年　名古屋工業大学講師
1981年　名古屋工業大学助教授
1994年　名古屋工業大学教授
現在に至る

流体力学の基礎（1）
Fundamentals of Hydrodynamics（1）

© 中林，伊藤，鬼頭　1993

1993年 3月25日　初版第 1 刷発行
2009年12月20日　初版第16刷発行

検印省略

著者　中林功一
伊藤基之
鬼頭修己
発行者　株式会社コロナ社
代表者　牛来真也
印刷所　新日本印刷株式会社

発行所　株式会社　コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo　Japan
112-0011　東京都文京区千石 4-46-10
電話（03）3941-3131（代）　振替 00140-8-14844
ホームページ　http://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-04047-0　（新日本印刷，愛千製本所）
Printed in Japan

無断複写・転載を禁ずる
落丁・乱丁本はお取替えいたします