

■
機械系コアテキストシリーズ C-2

流 体 力 学

鈴木 康方・関谷 直樹
彭 國義・松島 均
沖田 浩平

共著



■
コロナ社

機械系コアテキストシリーズ 編集委員会

編集委員長

工学博士 金子 成彦 (東京大学)

[B: 運動と振動分野 担当]

編集委員

博士 (工学) 渋谷 陽二 (大阪大学)

[A: 材料と構造分野 担当]

博士 (工学) 鹿園 直毅 (東京大学)

[C: エネルギーと流れ分野 担当]

工学博士 大森 浩充 (慶應義塾大学)

[D: 情報と計測・制御分野 担当]

工学博士 村上 存 (東京大学)

[E: 設計と生産・管理 (設計) 分野 担当]

工学博士 新野 秀憲 (東京工業大学)

[E: 設計と生産・管理 (生産・管理) 分野 担当]

このたび、新たに機械系の教科書シリーズを刊行することになった。

シリーズ名称は、機械系の学生にとって必要不可欠な内容を含む標準的な大学の教科書作りを目指すとの編集方針を表現する意図で「機械系コアテキストシリーズ」とした。本シリーズの読者対象は我が国の大学の学部生レベルを想定しているが、高等専門学校における機械系の専門教育にも使用していただけるものとなっている。

機械工学は、技術立国を目指してきた明治から昭和初期にかけては力学を中心とした知識体系であったが、高度成長期以降は、コンピュータや情報にも範囲を広げた知識体系となった。その後、地球温暖化対策に代表される環境保全やサステナビリティに関連する分野が加わることになった。

今日、機械工学には、個別領域における知識基盤の充実に加えて、個別領域をつなぎ、領域融合型イノベーションを生むことが強く求められている。本シリーズは、このような社会からの要請に応えられるような人材育成に資する企画である。

本シリーズは、以下の5分野で構成され、学部教育カリキュラムを構成している科目をほぼ網羅できるように刊行を予定している。

- A：「材料と構造」分野
- B：「運動と振動」分野
- C：「エネルギーと流れ」分野
- D：「情報と計測・制御」分野
- E：「設計と生産・管理」分野

また、各教科書の構成内容および分量は、半期2単位、15週間の90分授業を想定し、自己学習支援のための演習問題も各章に配置している。

工学分野の学問内容は、時代とともにつねに深化と拡大を遂げる。その深化と拡大する内容を、社会からの要請を反映しつつ高等教育機関において一定期間内で効率的に教授するには、周期的に教育項目の取捨選択と教育順序の再構成が必要であり、それを反映した教科書作りが必要である。そこで本シリーズでは、各巻の基本となる内容はしっかりと押さえたいうえで、将来的な方向性も見据えることを執筆・編集方針とし、時代の流れを反映させるため、目下、教育・研究の第一線で活躍しておられる先生方を執筆者に選び、執筆をお願いしている。

「機械系コアテキストシリーズ」が、多くの機械系の学科で採用され、将来のものづくりやシステム開発にかかわる有為な人材育成に貢献できることを編集委員一同願っている。

2017年3月

編集委員長 金子 成彦

流体力学は、機械系では、機械力学（工業力学）、材料力学、熱力学とともに基礎力学系科目の中核をなす学問であるが、分野が多岐にわたるだけでなく、現象をイメージしづらく理論と実現象との対応において理解が困難であることを多く耳にする。

そこで本書では、限られた時間で機械系の流体力学の初学者がその対応を付けられるようになり、基礎的かつ実用的な範囲を修得できるように配慮した。その内容は、非圧縮性流体と定常な現象を主としており、古典的なポテンシャル流れの理論についてはそのほとんどを他書に譲ることにした。また本書は全6章で構成されており、基本的には章の順番どおりに学んでもらうことを想定しているものの、分量が多すぎて読者が読み進めることを断念しないよう、応用的な内容は飛ばして読み進めても全体の流れには支障のないように配慮して構成されている。

第1章（担当：鈴木）は、流体力学を学ぶための導入であり、機械系分野を想定した有効数字や単位換算や流体の物性、流体力学での座標や物理量の表し方、また第2章以降では扱わない圧縮性流体などについてまとめている。

第2章（担当：関谷）は、運動していない静止状態の流体の力学を対象としており、おもに圧力の定義や性質、壁面に働く流体力や浮力などの静止する流体における力の釣合いについて述べている。

第3章（担当：沖田）は、運動する流体の力学を対象としており、流体力学特有の、流体の捉え方や表し方、流体の運動と変形、流体力学における質量保存則やエネルギー保存則についてまとめている。

第4章（担当：松島）は、流体の運動方程式を対象としており、機械力学分野と流体力学分野でまったく別のように見えてしまう運動方程式について、

ニュートンの運動法則より機械力学分野と同様の手法により導出して説明している。このようなまとめ方は本書の大きな特徴となっている。また、それらをもとに、直線運動および回転運動における運動量の法則についてもまとめている。

第5章（担当：彭）は、内部流れの基礎であり、かつ工学的に重要なテーマである管内流れを対象としており、管内流れの層流や乱流の状態の予測や管路単体や管路系としてのエネルギー損失の見積もりなど、配管設計やポンプなどの選定にも役立つ内容の説明をしている。

第6章（担当：鈴木）は、外部流れの基礎として、一様流中に物体が置かれた場合の流体力や流れのパターンの特性、基本的形状物体である円柱、平板、翼周りの流れを対象としており、境界層厚さや抗力の予測式、流れの様子やそのメカニズムなどについてまとめている。

本書の内容は、執筆者である日本大学理工学部、工学部、生産工学部の機械工学科の教員がそれぞれの講義での経験をもとに何度も長時間にわたる議論を重ね、特に、大学に入学した初学者がゼロから流体力学を学ぶことを想定し、重要な内容を限られた時間で修得することに主眼を置いて内容を吟味して作り上げた。上記の各学部では、本書を共通して基礎科目の講義で使用することを念頭に置いているが、使用期間は半年から1年強の間で、それぞれ異なる。そこでこのような状況にも対応できるように、以下の点に留意した。

- ・全章を通しての説明の流れの順序に一貫性があること
- ・なるべく具体的かつ実用的な事例に即した数値を提示すること
- ・式の導出はなるべく避け、重要な式は例題で扱うこと。またその式を用いた具体的な計算は章末の演習問題とすること
- ・すべての演習問題の解答を略せずに掲載すること

本書を流体力学分野の導入として、より専門的な内容の修得に活用していただければ幸いである。

最後になりますが、本書執筆のきっかけとなった日本大学の学生諸君、詳細に査読してくださった編集委員の鹿園直毅 東京大学生産技術研究所教授、知識を若い世代に伝える貴重な機会を与えてくださったコロナ社に、心より謝意を表します。

2018年4月

執筆者を代表して 鈴木康方

1 章 流体の性質

- 1.1 流体とは 2
 - 1.1.1 流体とは 2
 - 1.1.2 流体工学とその利用 2
- 1.2 流体力学で扱う物理量と単位 6
 - 1.2.1 SI 単 位 6
 - 1.2.2 工 学 単 位 8
 - 1.2.3 有 効 数 字 8
- 1.3 流体の物性、圧縮性、表面張力 10
 - 1.3.1 密 度 と 比 重 10
 - 1.3.2 粘 性 12
 - 1.3.3 圧 縮 性 16
 - 1.3.4 表 面 張 力 19
- 1.4 本書で扱う「流体力学」の範囲 21
- 演 習 問 題 23

2 章 静止流体の力学

- 2.1 圧力の性質 25
- 2.2 圧力の単位と表示方法 27
- 2.3 静止流体中の圧力 28
- 2.4 圧 力 計 30
 - 2.4.1 マノメータ 30
 - 2.4.2 他 の 圧 力 計 34
- 2.5 壁面に働く流体力 35
 - 2.5.1 壁面に作用する圧力による力 35
 - 2.5.2 圧力による力の作用点 36

2.5.3	曲面に作用する圧力による力	39
2.6	浮力と浮揚体の安定性	41
2.6.1	浮力	41
2.6.2	浮揚体の安定性	43
2.7	容器とともに運動する液体中の圧力	44
2.7.1	直線運動をする場合	44
2.7.2	回転運動をする場合	46
	演習問題	48

3章 流体の運動と保存則

3.1	流れの捉え方	54
3.1.1	流体の運動の捉え方	54
3.1.2	定常流・非定常流	54
3.1.3	流線・流跡線・流脈線	55
3.1.4	一様流・非一様流	55
3.2	流体の運動と渦	56
3.2.1	流体の運動・変形	56
3.2.2	渦と渦度	56
3.3	流れの形態	58
3.3.1	層流・乱流	58
3.3.2	レイノルズ数	59
3.4	連続の式	60
3.5	ベルヌーイの式	62
3.6	ベルヌーイの式の応用	66
3.6.1	ピトー管	66
3.6.2	ベンチュリ管	68
3.6.3	エネルギーの増減を伴う場合のエネルギーの保存	70
	演習問題	71

4章 流体の運動方程式と運動量の法則

4.1	流体の運動方程式	75
4.2	運動量の法則	79
4.2.1	運動量の法則	79

4.2.2	管路系に対する運動量の法則の一般式	80
4.3	運動量の法則の応用	82
4.3.1	曲面板に衝突する自由噴流	83
4.3.2	タンクからの自由噴流	86
4.3.3	航空宇宙推進機器の推力	87
4.4	角運動量の法則	89
	演習問題	91

5章 管内流れと損失

5.1	管内流れの特性	95
5.1.1	層流と乱流および流れの遷移	95
5.1.2	助走区間と助走距離	97
5.1.3	流体摩擦とせん断応力	98
5.1.4	摩擦抵抗と圧力損失	100
5.2	発達した円管内層流	102
5.2.1	速度分布	102
5.2.2	圧力損失	104
5.3	発達した円管内乱流	106
5.3.1	円管内乱流の構造と速度プロファイル	106
5.3.2	圧力損失	108
5.4	管摩擦損失と流量の計算	113
5.4.1	円管における圧力損失	113
5.4.2	円管流量の計算	114
5.4.3	非円形断面管路の摩擦損失	115
5.5	管路系における諸損失	117
5.5.1	断面積が急変する場合の損失	118
5.5.2	断面積が緩やかに広がる管の損失	120
5.5.3	流れ方向が変化する場合の損失	122
5.5.4	バルブの損失	124
5.5.5	分岐管と合流管の損失	125
5.6	管路系の総損失とエネルギーの保存	126
5.6.1	管路系の総損失	126
5.6.2	修正ベルヌーイの式	126

5.6.3	管路の流量公式	127
5.6.4	流体の輸送と水動力	130
5.6.5	管路網の流量配分	131
	演習問題	134

6章 物体周りの流れ

6.1	相似則	138
6.2	物体に働く抗力と揚力	139
6.2.1	揚力係数と抗力係数	139
6.2.2	抗力の種類	140
6.2.3	物体形状と抗力係数	140
6.3	円柱周りの流れ	146
6.3.1	レイノルズ数と流れのパターン	146
6.3.2	カルマン渦列とストローハル数	147
6.3.3	はく離と圧力分布, 抗力係数の特性	148
6.4	翼周りの流れ	154
6.4.1	翼形と各部の名称と主要なパラメータ	154
6.4.2	翼の周りの流れと圧力分布	158
6.4.3	翼周りの流れと翼性能	160
6.5	境界層	163
6.5.1	境界層の発達と摩擦抗力	163
6.5.2	境界層厚さと形状係数	164
6.5.3	平板上に発達する境界層流れ	165
6.5.4	境界層のはく離と再付着	176
6.5.5	境界層の制御	177
6.6	噴流と後流	179
6.6.1	噴流と後流の構造	179
6.6.2	流速分布と流れの幅の拡大	181
	演習問題	182

引用・参考文献 185

演習問題解答 187

索引 207

1 章

流体の性質

◆本章のテーマ

本章では、流体の定義や性質から始まり、流体力学の幅広い内容の概略を学習する。流体の表現の仕方を学び、空気の流れなど通常は目に見えずに想像しづらい流体の状態に対して具体的なイメージを持てるようにすることと、工業的によく使われる流体に関わる物性値とその物理的な意味を知り、数値の大きさの持つ意味を感覚的にも判断できるようにすることを目指す。

◆本章の構成（キーワード）

1.1 流体とは

気体、液体、流れの可視化、力の釣合い

1.2 流体力学で扱う物理量と単位

SI単位、工学単位、有効数字

1.3 流体の物性、圧縮性、表面張力

密度、クエット流れ、粘性、粘度、動粘度、ニュートン流体、体積弾性係数、マッハ数、表面張力、毛管現象

1.4 本書で扱う「流体力学」の範囲

理想流体、一様流、境界層、座標・流速の記号

◆本章を学ぶと以下の内容をマスターできます

- ☞ 流体力学で使用するおもな物理量と単位、有効数字の扱い方
- ☞ よく使われる流体の物性値
- ☞ 粘性流体と非粘性流体の違い
- ☞ 音速、マッハ数の算出方法と流体の圧縮性の定義
- ☞ 表面張力と力の釣合い
- ☞ 流体力学における座標と流速の表し方

1.1 流体とは

1.1.1 流体とは

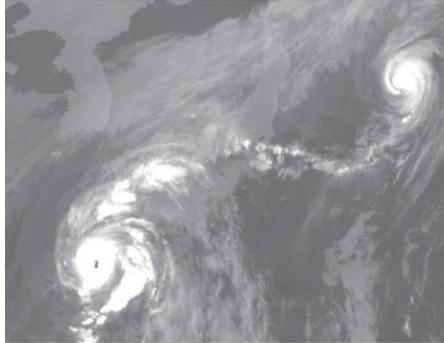
流体という呼び名は、容易に形状を変えることができる気体および液体の総称である。流体は容易に変形することができるため、隣り合った液体と混ざり合うこともある。ただし、海中の海流やエアコンから出る風のように境界面が見えない場合は流体がどの方向に流れているか、流れの様子がどのようになっているかを把握するのはそのままでは困難である。これは流体が目に見えにくく、また複雑なフローパターンになっており、イメージしにくいことに起因する。これらを知るには、人間の目に見える煙などを流れに混入させて追跡する方法（流れの可視化という）や、風見鶏の向く方向や風車^{かざぐるま}の回転する速さから知る方法などの特殊な方法を用いなければならない。また、流体とは細かい渦粒子（流体粒子[†]）を指すこともあれば、それらの塊を指すこともある。球場の応援団のウェーブを、波が徐々に伝わっていくとする見方もあれば、一人ひとりが時間差で立ち上がったたり座ったりしているとする見方もあり、液体の運動をどのように捉えるかの考え方や見方は唯一ではない。このような一見捉えどころのない印象を与える流体を知るには、流れの構造をイメージすることや、物理量の数値が持つ大きさや意味を感覚的に判断できるようにすることが最初の一步である。

1.1.2 流体工学とその利用

流体力学、とりわけ流体工学は、身の回りの流れの現象を解明して、それを実生活に効率よく利用するための学問である。

台風（図 1.1）を含む天気の子報では、昨今は雲を介して気流の流れが鮮明に可視化されており、流れの様子がよくわかるようになっている。渦の挙動や強さを知ることにより、その移動先や悪天候の程度などを予測することができ、日々私たちの生活の役に立っている。また、天気の子報は災害の防止にも必須である。台風や竜巻の渦は風呂の湯を抜く際にも観察できるものと同様の

† 3.1 節を参照。

図 1.1 台風の様子^{1)†}

ものであり，身近で確認することができる。

航空機が墜落せずに安全に飛行したり離着陸するための装置や方法も流体力学によるものである。巡航状態における航空機に働く力の釣合いを図 1.2 に示す。航空機の揚力 L は対気速度の 2 乗に比例して増大するため，離着陸時には速度の低下とともに揚力の大きな低下が起こり，危険である。主翼単体では揚力の性能が限られるので，それを高めるためにフラップなどの補助翼が活用されている。そのほか，近年では軽量化や空気抵抗の低い形状による低燃費化など，高効率化が追及されている。

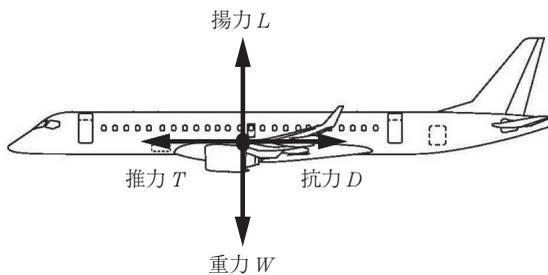


図 1.2 巡航状態における航空機に働く力の釣合い

翼周り流れの理論は，風車（図 1.3）や扇風機などの流体機械の羽根車にも応用されている。流体機械でも，抗力は小さく揚力は大きくなるように設計さ

† 肩付き番号は巻末の引用・参考文献の番号を示す。



図 1.3 風力発電のサボニウス型風車

れており、風量の強弱によってはその効率がある程度低下する。航空機の墜落につながる失速状態が羽根車で起きると、羽根車は回転しているのに風がまったく来ないという状態になり、エネルギーを浪費してしまう。

自動車における空気抵抗は車体の形状と燃費に直結するものであり（図 1.4）、斬新なデザインと低燃費を両立するのは意外と難しい。また、自動車では抗力の重要性は一般に認知されているものの、揚力の重要性は知られにくい。揚力は特にタイヤのグリップの良し悪しに関係し、鉛直下向きに生じるような車体の場合はよいが、鉛直上向きに生じると自動車が飛ぶことはないもの



図 1.4 オープンカーの車体周りの流れの可視化実験
（日本大学理工学部機械工学科鈴木研究室提供）

の、ポンポン跳ねやすく乗り心地にも強く影響してくるので、自動車開発には揚力もきちんと評価されている。

広大な工場（プラント）内では液体や固体などの物体をあるセクションからつぎのセクションへと輸送する際にパイプラインが使われており、ここでも流体力学が活用されている。管内の流れは粘性による抵抗が生じるので、直管、拡大・縮小管、曲り管などの流体設計の方法が古くから研究され、確立されている。エアコンの配管もこれと同様であるが、管路の抵抗に流体を押し込む力が負けてしまうと風が流れていかなかったり、物体が輸送できないといった問題が生じてしまう。近年では、管壁を振動させて管内の物体を管壁から浮かし、摩擦抵抗を減らして輸送するなどの技術も研究されている。エアコンや送風機の場合、単体では設計した性能が出せても、その先に配管が接続されると、設計通りの性能が出なくなることもよくあるので、配管設計や送風機の選定が重要である。

血流においては、流れがよどむ場所には血栓ができやすく、人工臓器などで血流に高いせん断力を負荷させてしまう場合には赤血球が破壊されて酸素を各所にいきわたらせることができなくなってしまう。したがって、医学の分野でも古くから流体力学が活用されており、医師はそれを学んでいる。近年では血管のCT スキャン画像からの血流予測や血液ポンプ内の血流の正確な把握などが行われている。図 1.5 に遠心型血液ポンプの例を示す。



図 1.5 遠心型血液ポンプ
(日本大学理工学部機械工学科鈴木研究室提供)

- | | | | | | |
|-------------------------------|-----|-------------------------------|---------|----------------------------|--------|
| ゲージ圧力 | | 修正ベルヌーイの式 | | 全 圧 | |
| gauge pressure | 27 | modified Bernoulli's equation | 127 | total pressure | 67 |
| 検査体積 | | 出発渦 | | 全圧力 | |
| control volume | 60 | starting vortex | 162 | total pressure force | 35 |
| 【こ】 | | 助走距離 | | 遷 移 | |
| 工学単位 | | inlet length | 97 | transition | 165 |
| gravitational units | 8 | 助走区間 | | 遷移層 | |
| 効 率 | | inlet region | 97 | transition layer | 106 |
| efficiency | 122 | 真空ゲージ圧力 | | 遷移領域 | |
| 後 流 | | vacuum gauge pressure | | transition region | 110 |
| wake | 180 | | | せん断層 | |
| 合流管 | | 真の値 | | shear layer | 179 |
| combining junction | 125 | true value | 9 | 全ヘッド | |
| 抗 力 | | 【す】 | | total head | 63 |
| drag | 139 | 水 頭 | | 全揚程 | |
| 国際単位系 | | hydraulic head | 63 | total head | 130 |
| International System of Units | 6 | 水動力 | | 【そ】 | |
| Colebrook's formula | 110 | water power | 131 | 相対的静止 | |
| 【さ】 | | 推 力 | | relative stationary | 44 |
| 最大揚力係数 | | thrust | 88 | 層 流 | |
| maximum lift coefficient | 160 | 水力勾配線 | | laminar flow | 58, 95 |
| | | hydraulic grade line | 65, 127 | 速度ヘッド | |
| サクシオンピーク | | 水力直径 | | velocity head | 63 |
| suction peak | 158 | hydraulic diameter | 116 | 速度ポテンシャル | |
| 【し】 | | 水力平均深さ | | velocity potential | 153 |
| 指数法則 | | hydraulic mean depth | 115 | 束縛渦 | |
| power law | 107 | ストークス近似 | | bound vortex | 162 |
| 失 速 | | Stokes' approximation | 151 | 損失係数 | |
| stall | 160 | ストークスの式 | | coefficient of head loss | 118 |
| 失速角 | | Stokes' equation | 151 | 【た】 | |
| stall angle | 160 | ストークスの流れ | | 体積弾性係数 | |
| 質 量 | | Stokes' flow | 151 | bulk modulus of elasticity | 16 |
| mass | 10 | ストローハル数 | | 体積流量 | |
| 質量流量 | | Strouhal number | 147 | volumetric flow rate | 61 |
| mass flow rate | 61 | 【せ】 | | ダルシー・ワイスバッハの式 | |
| 自由渦 | | 静 圧 | | Darcy-Weisbach's equation | 101 |
| free vortex | 56 | static pressure | 67 | 断面積が緩やかに広がる管 | |
| | | 絶対圧力 | | divergent pipe | 120 |
| | | absolute pressure | 27 | | |

【て】

定常流
steady flow 55

ディフューザ
diffuser 120

低臨界レイノルズ数
lower critical Reynolds number 97

【と】

動 圧
dynamic pressure 67

等エントロピー流れ
isentropic flow 63

等価直径
equivalent diameter 116

動粘性係数
kinematic viscosity 15

動粘度
kinematic viscosity 15

トリチェリの定理
Torricelli's theorem 66

トリッピングワイヤ
tripping wire 177

【な】

内部摩擦
internal friction 98

流れ関数
flow function 153

流れの遷移
transition 96

流れ場
flow field 54

ナビエ・ストークス方程式
Navier-Stokes equations 78

滑らかな管
smooth pipe 108

【に】

ニクラゼの式
Nikuradse's formula 109

二次流れ
secondary flow 123

ニュートンの粘性法則
Newton's law of friction 14, 98

ニュートン流体
Newtonian fluid 14

【ぬ】

ぬれ縁長さ
wet perimeter 115

【ね】

粘 性
viscosity 13

粘性係数
viscosity 12

粘性底層
viscos sublayer 106

粘性流体
viscous fluid 13

粘 度
coefficient of viscosity 12

【の】

のど部
throat 68

【は】

排除厚さ
displacement thickness 164

ハーゲン・ポアズイユの式
Hagen-Poiseuille's equation 105

ハーゲン・ポアズイユの流れ
Hagen-Poiseuille's flow 103

パスカルの原理
Pascal's law 25

【ひ】

非一様流
nonuniform flow 56

比 重
specific gravity 11

非定常流
unsteady flow 55

ピトー管
pitot tube 66

非ニュートン流体
non-Newtonian fluid 14

非粘性流体
inviscid fluid 13

標準大気圧
standard atmospheric pressure 27

表面張力
surface tension 19

【ふ】

負 圧
negative pressure 27

複素ポテンシャル
complex potential 153

浮 体
floating body 43

浮揚体
floating body 43

ブラジウスの式
Blasius's formula 109

プラントル・カルマンの式
Prandtl-Karman's formula 109

浮 力
buoyancy 41

分岐管
dividing junction 125

噴 流
jet 179

		ムーディ線図 Moody diagram	110		
	【へ】				【り】
平均翼弦長				理想流体	
mean chord	155	【め】		ideal fluid	22
ヘッド		メタセンタ		流管	
head	63	metacenter	44	stream tube	60
ベルヌーイの式		【ゆ】		流跡線	
Bernoulli's equation	63	有効数字		path line	55
ベンチュリ管		significant figures	8	流線	
venturi tube	68	【よ】		stream line	55
ベンド		揚抗比		流体摩擦	
bend	122	lift/drag ratio	161	fluid friction	98
	【ほ】	揚力		流脈線	
ポテンシャルコア		lift	139	streak line	55
potential core	180	翼弦長		流量	
ポテンシャル流れ		chord	155	flow rate	61
potential flow	153	翼端渦		流路縮小係数	
	【ま】	wing-tip vortex	162	coefficient of contraction	119
摩擦速度		翼幅		臨界速度	
friction velocity	170	wing span	155	critical velocity	96
マッハ数		翼面積		臨界レイノルズ数	
Mach number	17	wing area	155	critical Reynolds number	59, 96
マノメータ		よどみ点			
manometer	30	stagnation point	66	【れ】	
丸め誤差		【ら】		レイノルズ応力	
round-off error	9	ランキン渦		Reynolds stress	98
	【み】	Rankine vortex	56	レイノルズ数	
密度		乱流		Reynolds number	59, 96
density	10	turbulent flow	58, 96	連続の式	
	【む】	乱流層		continuity equation	61
迎角		turbulent layer	106		
angle of attack	156				

【S】

SI 単位
International System of
Units

6

【数字】

~~~~~  
1/7 乗則  
one-seventh law

107

— 著者略歴 —

鈴木 康方 (すずき やすまさ)

- 1999年 日本大学理工学部機械工学科卒業  
2001年 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程修了 (機械工学専攻)  
2006年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了 (機械工学専攻)  
博士 (工学)  
2006年 日本大学理工学部助手  
2008年 日本大学理工学部専任講師  
2015年 日本大学理工学部准教授  
現在に至る

関谷 直樹 (せきや なおき)

- 2003年 日本大学理工学部機械工学科卒業  
2005年 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程修了 (機械工学専攻)  
2007年 日本大学理工学部助手  
2011年 博士 (工学) (日本大学)  
2012年 日本大学理工学部助教  
現在に至る

彭 國義 (ほう こくぎ)

- 1996年 清華大学大学院理工学研究科博士後期課程修了 (機械工学専攻) (中国)  
工学博士  
1997年 富山県立大学助手  
2008年 日本大学工学部准教授  
2013年 日本大学工学部教授  
現在に至る

松島 均 (まつしま ひとし)

- 1979年 慶應義塾大学工学部機械工学科卒業  
1981年 慶應義塾大学大学院理工学研究科博士前期課程修了 (機械工学専攻)  
1981年 株式会社日立製作所勤務  
1987年 工学博士 (慶應義塾大学)  
2008年 日本大学生産工学部教授  
現在に至る

沖田 浩平 (おきた こうへい)

- 1996年 大阪大学工学部機械工学科卒業  
1998年 大阪大学大学院理工学研究科博士前期課程修了 (機械物理工学専攻)  
2002年 大阪大学大学院理工学研究科博士後期課程修了 (機械物理工学専攻)  
博士 (工学)  
2002年 東京大学研究員  
2006年 理化学研究所研究員  
2007年 理化学研究所上級研究員  
2011年 日本大学生産工学部准教授  
現在に至る

# 流体力学

Fluid Dynamics

© Suzuki, Sekiya, Peng, Matsushima, Okita 2018

2018年6月15日 初版第1刷発行

検印省略

著者 鈴木 康 方  
関谷 直 樹  
彭 國 義  
松島 均  
沖田 浩 平  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来 真也  
印刷所 三美印刷株式会社  
製本所 有限会社 愛千製本所

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 978-4-339-04535-2 C3353 Printed in Japan

(柏原)



JCOPY

<出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。