

英和対照「工学基礎テキスト」シリーズの刊行に寄せて

Preface for the publication of English-Japanese bilingual textbook series in fundamental engineering

People say that the best way to learn a foreign language is to marry a native speaker. While this is not practical for most people, it means that the important thing is to “live” the language.

This textbook series is designed for foreign students who wish to learn not only engineering subjects in Japan, but also the Japanese language and Japanese business customs in a short time. It is expected that this series can also be useful for Japanese students who wish to improve their English language skills.

This series focuses on the field of mechanical engineering since “Monodukuri” is a common fundamental subject for all students of engineering. The series deals only with the minimum requirements of each subject necessary in order to understand the content in both Japanese and English. For advanced levels of each subject, please refer to higher level Japanese or English textbooks on these fields.

In this project entitled “Education program for advanced and top-level production leaders in Asian countries”, Asian students invited by MEXT will take professional courses specially developed by Gunma University in cooperation with consortium companies. After completing the “production leadership course”, the students are expected to be hired by the consortium companies or their daughter companies in Asian countries.

The first edition of this textbook series for foreign students of Gunma University was published by the “Advanced education program for career development of foreign students from Asia at the Asian human resource fund” supported by METI: Ministry of Economy, Trade

昔から、外国語をマスターするには、目的とする言語を母国語とする人と結婚することが一番であるといわれています。しかし、実際にこれを実行することは現実的ではなく、本当の意味は「目的とする外国語の中で生活することが秘訣である」と理解されます。

このテキストシリーズは、日本で工学の専門分野を学び、さらに日本語と日本のビジネス習慣を短期間で修得しようとする外国人留学生を対象に企画されました。しかし、英語力を高めようとする日本人学生にも役立つものと期待しています。

本シリーズの各テキストの内容は、機械工学を中心としています。これは、工学部に所属するすべての学生にとって「ものづくり」が工学部の共通基礎科目であると考えたためです。しかし、日本語を学ぶのに最低限必要な専門分野のみを扱っていますので、より高度な内容はそれぞれの専門教科書を参照してください。

本学で実施している「先進・高度ものづくりリーダーの育成プロジェクト」は、アジア諸国から文部科学省国費留学生を募集し、コンソーシアム企業のご協力のもと、特別プログラムを提供しており、修了後はコンソーシアム企業および地域の日本企業に就職し、日本とアジア諸国をつなぐものづくりリーダーを育成することを目的としています。

本テキストシリーズの初版は、経済産業省と文部科学省の「アジア人財資金構想」高度専門留学生育成事業の支援を受け、本プロジェクトに所属する留学生向けのテキストとして制作されました。

and Industry and MEXT: Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology.

However, numerous comments were received suggesting the usefulness of this textbook series for all students of engineering in Japan including foreign students. The textbooks were then revised and published by Morikita Publishing Co., Ltd.

We hope the torchbearers of the next generation will find this series helpful. Lastly, we appreciate the contribution of the parties involved in this project.

Publication committee of the Asian Human Resource Project of Gunma University. Chairman: Tomio Obokata, Professor Emeritus

しかし、初版を印刷の後、本シリーズは留学生を含めて日本の工学系の学生にも役立つので、市販してはどうかと多くのご意見をいただきました。その結果、再編集のうえ、このたび森北出版より刊行されることになりました。

これからの時代を担う方々のお役に立つものと期待し、また、出版にご協力いただいた関係の皆様へ感謝し序とします。

群馬大学アジア人財出版委員会
委員長 小保方富夫（名誉教授）

Preface

Thermodynamics is one of the fundamental subjects of dynamics for scientists and mechanical engineers. The classical thermodynamics that had been developed during 18th century with the development of various kinds of heat engines is still fundamentals for all thermal scientific and engineering fields. The first and the second law of thermodynamics are the fundamental laws not only for the energy science but also for natural and social sciences for human being.

Deep understanding on the thermodynamics is then needed for all the scientists and engineers to establish their own professional achievement. Many scientists and engineers in various countries had been contributing to establish the thermodynamics as a professional subject of dynamics. Then the thermodynamics had been written down with many languages. Also it has been translated to other ones and worldwide standard for thermodynamics has been established.

To learn and to teach the professional subject such as thermodynamics, text written by native language is convenient. However there are another conveniences in a study of national science using the second or third language. Bilingual study on a professional subject of the science will bring us many merits. For example, a fundamental concept expressed with different languages will be received more deep understanding.

This bilingual text is edited for this purpose and readers can find different styles of expressions to explain a unique thermodynamic concept that has scientific nature independent from languages. For persons who will firstly lean the thermodynamics, a professional text written their native language is recommended to avoid miss understandings for fundamental terms. After leaning fundamentals, this text gives them a

序 文

熱力学は、科学者や機械技術者にとって基礎的な力学の領域の一つである。18世紀におけるさまざまな熱機関の開発とともに発展してきた古典熱力学は、熱に関するすべての科学と工学の領域にとって、依然としていまでも、その基礎となっている。熱力学の第一および第二法則は、熱に関する科学だけでなく、自然科学や人類のための社会科学についての基本法則である。

それゆえ、すべての科学者や技術者が自らの専門的知識を高めて完成させるためには、熱力学についての深い理解が必要である。力学の一専門領域として熱力学が完成されたが、そのためには異なる国々の多くの科学者や技術者の貢献が必要であった。その結果として、熱力学は多くの言語で記述されている。さらにまたそれは他の言語に翻訳され、熱力学のついての普遍的な内容の精選が行われてきた。

熱力学のような専門領域を学びかつ教えるためには、母国語で書かれた専門書が便利である。しかし、第二または第三言語を使って自然科学を学ぶことには別の都合のよいこともある。自然科学の専門領域についての2か国語学習には多くのメリットがある。たとえば、一つの基本概念が二つの異なる言語で表現されているので、その概念はより深く理解されるようになる。

この2か国語の本書は、このような深い理解を得るために編集されたものであり、言語自体とは無関係な科学的特性をもつ固有な基礎概念を説明するための異なった表現形式を読者は見いだすことが可能になる。熱力学を初めて学ぼうとする人達には、その人達の固有の言語で記述してある熱力学の専門書を、基礎的な内容における誤解を防ぐためにお勧めする。基礎を学んだあと、本書はさらに深い理解を得るためにたいへん役に立つことに

great contribution for deeper understanding. Also it is useful for Japanese readers to learn various ways of English expressions, and for other readers to learn Japanese expressions.

The contents of this text are limited within a part of the classical thermodynamic concerning energy balance, entropy change and efficiency of cycles, because of the high priority of them for the scientific and technical importance. The text is composed with 15 chapters corresponding with 15 lessons of 30 hours. It means that it is edited as a sub-text of university class level, and we believe that readers can learn both thermodynamics and professional expressions of Japanese or English.

Autumn 2008

English-Japanese Bilingual Textbook Series
of Fundamental Engineering
Thermodynamics
Authors
Masataka ARAI and Tomohiko FURUHATA

なる。さらに日本人の読者が英語の種々の表現を学ぶためにこれは有効であり、また他国の読者が日本語の表現を学ぶためにも有効である。

本書の内容は、古典熱力学の一部であり、科学技術における重要性が高いことから、内容はエネルギーバランス、エントロピー変化、サイクルの効率に限定されている。本書は、15回30時間の学習に対応した15章から成り立っている。このことは大学の講義水準の補助専門書として編集してあることを示している、読者が熱力学はもちろんであるが、それだけでなく日本語や英語による専門的な表現を学ぶことに役立つと考えている。

2008 年秋

英和対照「工学基礎テキスト」シリーズ
熱力学
著者
新井雅隆、古畑朋彦

Contents

目次

Chapter 1 Concept of Thermodynamics	1	第1章 熱力学の概念	1
1.1 Heat Engines and Thermodynamics	1	1.1 熱機関と熱力学	1
1.2 Temperature and Heat	3	1.2 温度と熱	3
1.3 Thermodynamic Quantity	5	1.3 熱力学的諸量	5
1.4 Thermodynamic Equilibrium and Quasi-Static Change	5	1.4 熱力学的平衡と準静的変化	5
1.5 Pressure balance for gas filled in a container	7	1.5 容器に充填されたガスの圧力バランス	7
Chapter 2 Work and Heat	10	第2章 仕事と熱	10
2.1 Energy and Work	10	2.1 エネルギーと仕事	10
2.2 Work by Thermal Expansion of Gaseous Substance	11	2.2 気体の膨張による仕事	11
2.3 Weight Work to Spring	12	2.3 ばねに対するおもりの仕事	12
2.4 Thermal Energy	14	2.4 熱エネルギー	14
Chapter 3 Nature of Gas and Ideal Gas	18	第3章 気体の性質と理想気体	18
3.1 States of Substance	18	3.1 物体の状態	18
3.2 Equation of State	20	3.2 状態方程式	20
3.3 Specific Heat	22	3.3 比熱	22
3.4 Other State Quantities of Gases	24	3.4 気体のその他の状態量	24
Chapter 4 The First Law of Thermodynamics	27	第4章 熱力学の第一法則	27
4.1 Expansion Work	27	4.1 膨張仕事	27
4.2 Internal Energy	29	4.2 内部エネルギー	29
4.3 Technical Work	31	4.3 工業仕事	31
4.4 Enthalpy	32	4.4 エンタルピー	32
4.5 The First Law of Thermodynamics	33	4.5 熱力学の第一法則	33
Chapter 5 Internal Energy and Enthalpy	36	第5章 内部エネルギーとエンタルピー	36
5.1 Internal Energy and Quantity of State	36	5.1 内部エネルギーと状態量	36
5.2 Pressure and Kinetic Energy of Molecules	37	5.2 圧力と分子の運動エネルギー	37
5.3 Charge Work and Enthalpy	40	5.3 充填仕事とエンタルピー	40
5.4 Enthalpy and Flow	41	5.4 エンタルピーと流れ	41
5.5 Bernoulli's Equation	43	5.5 ベルヌーイの式	43

Chapter 6 The Second Law of Thermodynamics	46	第 6 章 熱力学の第二法則	46
6.1 Concept of Entropy	46	6.1 エントロピーの概念	46
6.2 Entropy Change	48	6.2 エントロピーの変化	48
6.3 The Second Law of Thermodynamics	50	6.3 熱力学の第二法則	50
6.4 Free Energy	51	6.4 自由エネルギー	51
Chapter 7 Chart of Thermodynamic Processes	54	第 7 章 熱力学的変化過程の線図	54
7.1 P - v Chart	54	7.1 P - v 線図	54
7.2 T - s Chart	55	7.2 T - s 線図	55
7.3 Specific Heat and Entropy Change	56	7.3 比熱とエントロピー変化	56
7.4 Other Useful Charts for Thermodynamics	57	7.4 熱力学上の他の有用な線図	57
Chapter 8 Thermodynamic Process of Ideal Gas	60	第 8 章 理想気体の状態変化	60
8.1 Isothermal Change	60	8.1 等温変化	60
8.2 Isobaric Change	61	8.2 等圧変化	61
8.3 Isochoric Change	62	8.3 等容変化	62
8.4 Adiabatic Change	63	8.4 断熱変化	63
8.5 Polytropic Change	64	8.5 ポリトロップ変化	64
Chapter 9 Reversible and Irreversible Changes	69	第 9 章 可逆変化と非可逆変化	69
9.1 Reversible and Irreversible Changes	69	9.1 可逆変化と非可逆変化	69
9.2 Forward and Backward Changes	71	9.2 順方向変化と逆方向変化	71
9.3 Heat Transfer Phenomena and Irreversible Process	73	9.3 熱伝達現象と非可逆変化	73
Chapter 10 Mixing, Throttling and Filling	76	第 10 章 混合と絞りと充填	76
10.1 Mixing and Dalton's Law of Partial Pressure	76	10.1 混合とドルトンの分圧の法則	76
10.2 Steady Flow Throttling	78	10.2 定常流における絞り	78
10.3 Unsteady Throttling	79	10.3 非定常絞り	79
10.4 Filling	80	10.4 充 填	80
10.5 Discharge and Filling	82	10.5 放出と充填	82
Chapter 11 Nozzle Flow	85	第 11 章 ノズル流れ	85
11.1 Fundamental Equations of Flow	85	11.1 流れの基礎方程式	85
11.2 Sound Velocity	86	11.2 音 速	86
11.3 Nozzle Flow	88	11.3 ノズル流れ	88

11.4 Nozzle Flow with Energy Loss	89	11.4 エネルギーの損失をとまなう ノズル流れ	89
11.5 Critical Pressure for Nozzle Flow	90	11.5 ノズル流れとその臨界圧力	90
11.6 Supersonic Flow	91	11.6 超音速流	91
Chapter 12 Thermodynamic Cycle and Entropy	94	第 12 章 熱力学的サイクルと エントロピー	94
12.1 Thermodynamic Cycle	94	12.1 熱力学的サイクル	94
12.2 Cycle and Entropy Change	96	12.2 サイクルとエントロピー変化	96
12.3 Forward and Reverse Cycles	98	12.3 順サイクルと逆サイクル	98
12.4 Reversible and Irreversible Cycles	100	12.4 可逆および非可逆サイクル	100
Chapter 13 Carnot Cycle and Entropy Change in Isolated System	103	第 13 章 カルノーサイクルと孤立系の エントロピー変化	103
13.1 Carnot Cycle	103	13.1 カルノーサイクル	103
13.2 Thermal Efficiency of Carnot Cycle	104	13.2 カルノーサイクルの熱効率	104
13.3 Maximum Thermal Efficiency of Heat Engines	105	13.3 熱機関の最大効率	105
13.4 Clausius' Integral	106	13.4 クラウジウスの積分	106
13.5 Entropy Change for an Isolated System	108	13.5 孤立系のエントロピー変化	108
13.6 Exergy	111	13.6 エクセルギー	111
Chapter 14 Gas Cycle and Heat Engine	115	第 14 章 ガスサイクルと熱機関	115
14.1 Stirling Cycle	115	14.1 スターリングサイクル	115
14.2 Internal Combustion Engine	116	14.2 内燃機関	116
14.3 Constant Volume Cycle	119	14.3 定容サイクル	119
14.4 Constant Pressure Cycle	121	14.4 定圧サイクル	121
14.5 Combined Cycle	122	14.5 合成サイクル	122
14.6 Joule Cycle	124	14.6 ジュールサイクル	124
Chapter 15 Steam and Steam Cycle	127	第 15 章 蒸気と蒸気サイクル	127
15.1 Steam	127	15.1 蒸気	127
15.2 Equation of State for Real Gas	128	15.2 実存気体の状態方程式	128
15.3 Wet Saturated Vapor	131	15.3 湿り蒸気	131
15.4 Thermodynamic State Change of Water Vapor	132	15.4 水蒸気の熱力学的状態変化	132
15.5 Rankine Cycle	136	15.5 ランキンサイクル	136
Solutions	139	解答	139
Index	151	索引	151