機械系 教科書シリーズ 13

熱エネルギー・環境保全の工学

博士(工学) 井田 民男
工学博士 木本 恭司 共著
博士(工学) 山﨑 友紀

コロナ社

機械系 教科書シリーズ編集委員会

編集委員長	木本　恭司	(元大阪府立工業高等専門学校・工学博士)
幹　　事	平井　三友	(大阪府立工業高等専門学校・博士(工学))
編 集 委 員	青木　　繁	(東京都立産業技術高等専門学校・工学博士)
(五十音順)	阪部　俊也	(奈良工業高等専門学校・工学博士)
	丸茂　榮佑	(明石工業高等専門学校・工学博士)

(2007 年 3 月現在)

刊行のことば

大学・高専の機械系のカリキュラムは，時代の変化に伴い以前とはずいぶん変わってきました。

一番大きな理由は，機械工学がその裾野を他分野に広げていく中で境界領域に属する学問分野が急速に進展してきたという事情にあります。例えば，電子技術，情報技術，各種センサ類を組み込んだ自動工作機械，ロボットなど，この間のめざましい発展が現在の機械工学の基盤の一つになっています。また，エネルギー・資源の開発とともに，省エネルギーの徹底化が緊急の課題となっています。最近では新たに地球環境保全の問題が大きくクローズアップされ，機械工学もこれを従来にも増して精神的支柱にしなければならない時代になってきました。

このように学ぶべき内容が増えているにもかかわらず，他方では「ゆとりある教育」が叫ばれ，高専のみならず大学においても卒業までに修得すべき単位数が減ってきているのが現状です。

私は 1968 年に高専に赴任し，現在まで三十数年間教育現場に携わってまいりました。当初に比べて最近では機械工学を専攻しようとする学生の目的意識と力がじつにさまざまであることを痛感しております。こうした事情は，大学をはじめとする高等教育機関においても共通するのではないかと思います。

修得すべき内容が増える一方で単位数の削減と多様化する学生に対応できるように，「機械系教科書シリーズ」を以下の編集方針のもとで発刊することに致しました。

1. 機械工学の現分野を広く網羅し，シリーズの書目を現行のカリキュラムに則った構成にする。
2. 各書目においては基礎的な事項を精選し，図・表などを多用し，わかり

やすい教科書作りを心がける。

3. 執筆者は現場の先生方を中心とし，演習問題には詳しい解答を付け自習も可能なように配慮する。

現場の先生方を中心とした手作りの教科書として，本シリーズを高専はもとより，大学，短大，専門学校などで機械工学を志す方々に広くご活用いただけることを願っています。

最後になりましたが，本シリーズの企画段階からご協力いただいた，平井三友 幹事，阪部俊也，丸茂榮佑，青木繁の各委員および執筆を快く引き受けていただいた各執筆者の方々に心から感謝の意を表します。

2000年1月

編集委員長　木本　恭司

ま　え　が　き

私たちが営む社会はその生活や文明を維持，発展させるために多くのエネルギーを消費することによってまかなわれている。その大部分は化石燃料すなわち石油や石炭，天然ガスの燃焼反応により取り出された熱エネルギーの変換によっている。

しかし，私たちの社会を支えるための多量のエネルギー消費は，エネルギー資源の枯渇問題を浮上させると同時に，一方では自然が回復できる許容範囲を上回る廃棄を繰り返すことにより，規模の大小を問わず自然を汚染しつつ，さらには破壊に至っている。

一次エネルギー資源から得られる熱エネルギーの利用は幅が広い。身近なところでは，内燃機関にあるように機械的エネルギーに変換し動力源として，また都市ガスのような熱源として，あるいは電気エネルギーへ変換し電化製品の動力源などに利用されている。しかし，利用形態は変わっても，一次エネルギー資源から熱エネルギーへ変換する過程において，その際に生じる燃焼過程による CO_2 や核分裂反応による核廃棄物などの排出は避けては通れない。

エネルギーの消費に伴う CO_2 などによる温暖化対策が国際政治の場で初めて取り上げられたのは，1988 年のトロントサミットである。

1992 年の国連環境開発会議(地球サミット)でこれが具体化され，187 カ国により「環境と開発に関するリオ宣言」が発せられるまでに至った。その行動計画として，「アジェンダ 21」，「森林保全などに関する原則声明」，「気候変動枠組み条約」，「生物多様性条約」が採択された。

これにより世界各国は「アジェンダ 21」などに織り込まれた 40 の項目について行動計画を着実に実行していくこととなっており，国際連合の Commission on Sustainable Development がこれを支援する形になっている。

日本では，1990年に環境と経済発展の両立を図るいわゆるSustainable development（***2.4***節で詳しく述べる）の理念に基づき，地球温暖化防止を目的とした地球再生計画（The New Earth 21）が初めて提唱された。これは五つの柱よりなっている。

1. 世界的な省エネルギーの推進
2. クリーンエネルギーの大幅導入
3. 革新的な環境技術の開発
4. CO_2吸収源の拡大
5. 次世代を担う革新的エネルギー関連技術の開発

これらはいずれも「熱エネルギー変換と環境保全」に関連した諸問題を解く鍵となるもので，その精神については各国で異存のないもののはずであるが，具体的な実施策となると，国家間で考えが異なり利害が対立したりする。例えば，1997年に開催された地球温暖化防止京都会議（COP 3）では，2000年以降の地球温暖化対策のあり方を規定する議定書が採択されたが，2001年11月に，ボンで行われたCOP 7では，その運用ルールが妥協の上採択されたが，一部の国が加わらず，実効性に問題を残している。

この背景にはエネルギーの安定供給（energy security）を確保し，一定の経済成長（economic growth）を見込みつつ，地球環境の保全（environmental protection）を図るという，いわゆる3Eをいかに同時達成するかについて，国家間の考えの違いがある。

本書では，これらの問題を考えていく手がかりとして，熱エネルギー源とその変換および地球環境保全のメカニズムとそれらに関連した諸問題について幅広く解説を試みた。浅学の著者らを超える最もホットな課題ではあるが，できるだけ客観的な解説を試みたつもりである。ご教示，ご意見など賜れば幸いである。

2002年9月

著　　者

目　　次

1.　緒　　論

1.1　エネルギーとは ……1
1.2　熱エネルギーと環境保全 ……3

2.　エネルギーを巡る諸問題

2.1　エネルギー資源とそのゆくえを巡って ……5
2.2　エネルギーと地球環境保全を巡って ……8
2.3　エネルギーと社会システムを巡って ……10
2.4　持続可能な発展を巡って ……14

3.　従来型の熱エネルギーとその資源

3.1　エネルギー資源量と各国のエネルギー構成 ……19
3.2　熱エネルギー資源とその特性 ……22
3.2.1　石油エネルギー ……22
3.2.2　石炭エネルギー ……27
3.2.3　天然ガスエネルギー ……30
3.2.4　原子力エネルギー ……31
3.2.5　自然エネルギー ……37
3.2.6　その他の熱エネルギー ……41
3.3　エネルギー消費の変化 ……41
3.3.1　最終エネルギー消費とエネルギー消費原単位 ……41
3.3.2　産業部門によるエネルギー消費 ……45
3.3.3　運輸部門によるエネルギー消費 ……46

3.3.4 民生部門によるエネルギー消費 ……49

4. 冷熱技術と空気調和

4.1 冷凍の方法 ……50
4.2 蒸気圧縮式冷凍サイクルの構成と標準冷凍サイクル ……51
4.3 多段圧縮サイクル ……54
4.4 冷媒について ……56
4.5 吸収式冷凍機と太陽熱冷房 ……61
4.5.1 吸収式冷凍機の原理 ……61
4.5.2 ガス冷蔵庫 ……63
4.5.3 臭化リチウム吸収式冷凍機と太陽熱冷房 ……64
4.5.4 吸収式冷凍機の性能評価 ……67
4.6 熱電冷凍機 ……68
4.7 空気調和の考え方と方法 ……69
4.7.1 空気調和 ……69
4.7.2 湿り空気の性質と湿り空気線図 ……70
4.7.3 湿り空気の状態変化と湿り空気線図の使い方 ……74
4.7.4 空気調和の熱負荷計算 ……79
演習問題 ……80

5. 省エネルギー技術と高効率技術

5.1 エクセルギー ……84
5.1.1 エクセルギーとは ……84
5.1.2 熱源のエクセルギー ……85
5.1.3 閉じた系のエクセルギー ……89
5.1.4 開いた系のエクセルギー ……90
5.1.5 定常流動系のエクセルギー ……91
5.1.6 熱効率とエクセルギー効率 ……91
5.2 コージェネレーションシステム ……92
5.2.1 コージェネレーションとは ……92
5.2.2 各種のコージェネレーションシステム ……95

5.2.3 マイクロガスタービン ……97
5.3 エネルギーベストミックス ……98
5.4 複合発電システム ……101
演習問題 ……102

6. 将来型の熱エネルギーとそのシステム

6.1 再生可能エネルギー ……105
6.1.1 再生可能エネルギーとは ……106
6.1.2 再合成燃料を作るために必要な一次エネルギー源の開発 ……108
6.1.3 再合成燃料の技術開発 ……109
6.1.4 合成ガス（H_2, CO_2）の技術開発 ……109
6.1.5 合成燃料のエネルギーシステム ……111
6.2 バイオエネルギー ……112
6.2.1 バイオエネルギーとは ……112
6.2.2 森林系のバイオエネルギー ……114
6.2.3 光合成 ……115
6.3 メタンハイドレート ……116
6.3.1 メタンハイドレートとは ……116
6.3.2 メタンハイドレートの熱特性 ……119
6.4 クリーンコールテクノロジー ……121
6.4.1 クリーンコールテクノロジーとは ……121
6.4.2 石炭のガス化技術 ……123
6.5 水素循環型エネルギーシステム ……125
6.6 燃料電池 ……126
演習問題 ……129

7. エネルギー変換と環境保全

7.1 私たちを取り巻く地球環境の仕組み ……131
7.1.1 大気圏の仕組み ……132
7.1.2 水域圏の仕組み ……135

7.1.3 土壌圏の仕組み ……136
7.2 自然システムと熱エネルギーバランス ……140
7.2.1 地球上のエネルギーバランス ……140
7.2.2 地球環境の自己調整システム ……142
7.3 地球環境汚染とそのメカニズム ……143
7.3.1 大気圏での環境汚染 ……143
7.3.2 水域圏，土壌圏での環境汚染と放射能汚染 ……151
7.4 エネルギー変換と環境対策 ……155
7.4.1 従来型発電システムと環境対策 ……155
7.4.2 運輸・交通システムと環境対策 ……161
7.4.3 地域・生活における環境対策 ……162
演 習 問 題 ……163

8. 廃棄物と環境保全

8.1 化学物質による環境汚染 ……164
8.1.1 各種環境汚染の因果関係 ……165
8.1.2 有害化学物質の種類と排出の現状 ……167
8.1.3 化学物質の毒性・安全性と環境への影響評価 ……174
8.2 フロン，ダイオキシン類と環境ホルモン ……178
8.2.1 各物質の特性と汚染メカニズム ……178
8.2.2 環境や生体への影響 ……187
8.3 有害廃棄物の無害化技術とリサイクル技術 ……190
8.3.1 リサイクルの必要性 ……190
8.3.2 無害化・リサイクル技術 ……193
8.4 環境基準と環境保全 ……195
8.4.1 環 境 基 準 ……195
8.4.2 環境保全の方法―環境保全に関する法規など― ……196
8.4.3 環境負荷の低減に対する国内外での取組み ……199

付　　録 …… *201*

付 *1*　モリエ線図 …… *201*

付 *1.1*　冷媒 R 22 のモリエ線図 …… *201*

付 *1.2*　冷媒 R 134 a のモリエ線図 …… *202*

付 *1.3*　冷媒アンモニアのモリエ線図 …… *203*

付 *2*　湿り空気線図 …… *204*

付 *3*　地球再生計画 …… *205*

付 *4*　おもなエネルギー関連サイト …… *207*

付 *5*　関連単位 …… *208*

付 *5.1*　10^n の単位の SI 接頭語 …… *208*

付 *5.2*　化学物質や毒性・安全性などに関する単位 …… *208*

付 *5.3*　放射線に関わる単位 …… *209*

参考文献 …… *210*

演習問題解答 …… *214*

索　　引 …… *224*

1

緒　　論

エネルギー（energy）は，地球に住むすべての人々の生活を支えるのに必要な基である。特に，熱エネルギーは電気エネルギーなどに変換することにより伝送され，さまざまな形で消費される。その消費によりエネルギーは，最終的に地球へ戻されるわけであるが，その戻され方が問題となる。

また，私たちは**エネルギー消費**（energy consumption）によってその生命と生活を支え維持しているが，この生活を取り巻くすべてのことを**環境**（environment）と呼んでいる。このため，私たちの生活において，エネルギーが消費されることと，環境を保全することとが強く結びついている。

1.1 エネルギーとは

まず，熱力学的な観点からエネルギーを考える。**熱力学第一法則**（first law of thermodynamics）では，量的なエネルギー保存則を表しており，物質の持つエネルギーの総和は一定であり，さまざまなエネルギーに変換された後，最終的にはすべてのエネルギーが熱として地球に戻される。

つぎに**熱力学第二法則**（second law of thermodynamics）では，熱エネルギーの自然な変化形態とそのときの制約事項，すなわち質的な側面を表しており，取り出された熱エネルギーは，さまざまなエネルギーに変換された後，最終的には地球の熱環境温度に近づくこととなる。

さらに，熱エネルギーでは量および質の両面において定量的な変化を表す**エントロピー**（entropy）が定義される。エントロピーは，熱エネルギーの変化がその経路によらず最初と最後の状態のみに関係し，エントロピーの増加に伴

って，熱エネルギーの質は低下する。

このように地球上に存在するエネルギー資源は，自然な状態では最終的に熱として消散されていくこととなるが，太陽エネルギーを起源とする太陽熱や太陽光および植物光合成などの自然システムでは，炭素を基に浄化作用を含んだ循環機能が働いている。一方，長い地球の歴史の中で作られた化石燃料などの**エネルギー資源**（energy resources）は，短い歴史の中では消費されるだけの再生されない貴重な資源として扱わざるをえない。

さらに，化石燃料などのエネルギー資源は，私たちの生活を支える目的で消費され，エネルギー変換後に熱エネルギーや排出物質として地球環境に戻される。地球は，循環と浄化作用による自己維持システムを本来有している。しかし，自然環境に合わない物質が入り込んだ際には，維持システムの一部が支障を来たしたり，別の方向へ維持システムが機能したりする。

エネルギー消費による環境変化は，地球が本来持っている回復機能の範囲内にあるのか，あるいは自己再生が不可能なのかが今後の大きな焦点となるであろう。

21 世紀を迎え，このような私たちの生活を支えるエネルギーと環境の関係について，従来型の**化石エネルギー**（fossil energy）を主体としたシステムと将来型の**再生可能エネルギー**（renewable energy）を基盤としたシステムを**図 *1.1*** に示す。

従来型エネルギーシステムでは，化石燃料と核燃料を主体として熱エネルギーが取り出されている。先に述べた理由からこれらの資源は，資源埋蔵量が有限であり回復することがなく，その枯渇がエネルギーの安定確保の面から問題となっている。

化石燃料では，燃料中に含まれる硫黄分や窒素分によって，自然の循環に適さない**環境汚染物質**（environmental contaminant）が排出されるため，地球規模での環境破壊にまで至っている。核燃料では，核分裂反応により人体に悪影響を与える廃棄物が作られるため，地中に埋蔵するか循環処理して再利用する方策がとられている。

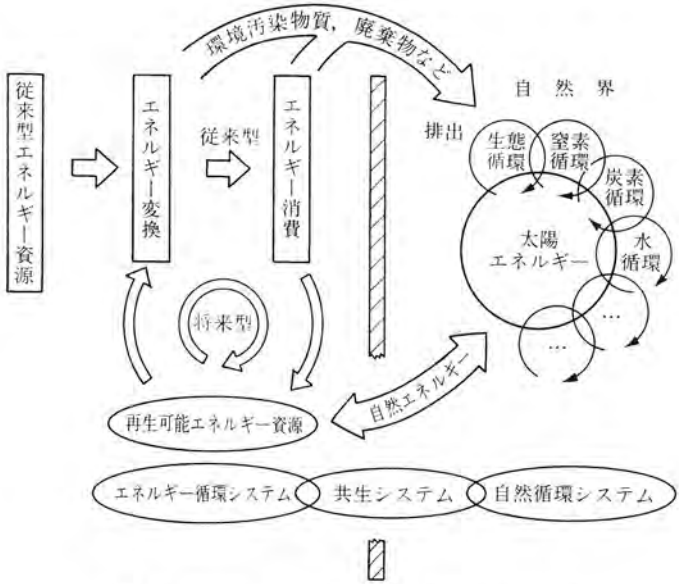

図 *1.1* 再生可能エネルギーを基盤としたシステム

1.2 熱エネルギーと環境保全

実際のエネルギー消費は，生活廃棄物の排出と連動しており，**ダイオキシン**（dioxin）**類**や**環境ホルモン**（environmental hormone）などの生態系への悪影響も懸念されている。これらの熱エネルギーを巡る諸問題と従来型の熱エネルギー源については，*2*，*3* 章で述べており，*7*，*8* 章では地球の自己維持システムの観点から環境保全について詳細に述べている。

従来型のエネルギー資源の枯渇や地球環境保全の必要性が視野に入ってくるに従い，環境保全を取り込んだ新しいエネルギーシステムへの移行が望まれる。特に将来型エネルギーでは，再生可能なエネルギー資源の開発と確保が大切であり，その中に環境保全の考えを組み入れたグローバルなエネルギーシステムの構築が期待される。

先の熱力学第一，第二法則からわかるようにエネルギー資源の循環や回復の

ためには，別のエネルギー源からのエネルギーの注入が必要である。これはいうまでもなく太陽エネルギーが源となる。太陽エネルギーを源とすることによって，エネルギー循環システムと自然循環システムが共生されたシステムの構築が可能であり，私たちの人間活動そのものが自然システムの中に帰る可能性を秘めている。しかし，これらの再生可能エネルギーは，従来型エネルギーに比べて，特に資源の質の面から私たちの生活を支えるには数多くの課題がある。

なかでも**バイオマス**（biomass）エネルギーは，有効な資源量の推定および質の検討，変換技術の開発が期待される。これらのエネルギー資源確保に関する問題については，***6*** 章で述べられており，エネルギーの有効利用については ***5*** 章で述べている。また，***7***，***8*** 章ではエネルギー変換および各種廃棄物に対する環境保全の問題をとり上げている。

さらに，***4*** 章では，動力を熱エネルギーの輸送，貯蔵に利用し，私たちの生活環境を維持する**冷熱技術**（cooling technology）と**空気調和**（air conditioning）の扱いについて必要な事項を述べている。

21 世紀に入り，各方面でエネルギーおよび環境保全にかかわる問題について活発に議論される土壌ができつつある。本書が「熱エネルギーと環境保全」に興味を持つ学生諸君に，これからの技術者や研究者として自ら考えるための基盤作りに役立つことを願っている。

2

エネルギーを巡る諸問題

21 世紀に入りエネルギーの多量消費とともに，エネルギー資源の枯渇や地球環境の保全の問題が現実のものとなってきている。その背景には，経済活動の活発化と開発途上国における予想を上回る人口増加がある。

エネルギーを巡る問題は，文明社会を維持し，発展し続ける国々が抱える共通の課題である。本章では，従来型のエネルギー資源である化石燃料，非化石燃料および自然エネルギーの資源量と消費の動向などについて現在までの状況を述べ，将来に向けての方向性についても学習する。

2.1 エネルギー資源とそのゆくえを巡って

エネルギー資源は，化石燃料，非化石燃料，自然エネルギーの大きく三つに分けられる。**表 *2.1*** に従来型のエネルギー資源とその埋蔵量を示す[1)†]。石油，石炭，天然ガスの**化石燃料**（fossil fuel）と，ウランの**非化石燃料**（non-fossil fuel）は，地球創造約 45 億年にわたる地球の歴史の中で作られた貴重な資源であり，人類に平等に与えられたエネルギー源である。風力，水力，地熱などの**自然エネルギー**（natural energy）は，地理的あるいは気象の条件などを利用して，取り出されるエネルギー源であり，地球規模での地域的な特徴に影響される。これらのエネルギー資源は，最終的には主として液体燃料（石油精製）や電力などに変換されて消費される。

化石燃料は，初期の相状態（固体，液体，気体）は異なっても，最終的には気相の燃焼反応により熱エネルギーを発生する。熱機関ではその熱量や爆発過

† 肩付番号は巻末の参考文献番号を示す。

索　　引

【あ】

亜酸化窒素 28,144
圧縮機 51
アネルギー 85
アルベド 141

【い】

硫黄酸化物 28,143,147
一次エネルギー 41
一酸化炭素 143
インフラストラクチャー 112
インベントリー分析 197

【う】

ウェットバイオマス 113
ウラン 32
運輸部門 41

【え】

影響分析 198
営　力 137
エクセルギー 85
エクセルギー効率 91
エコケーブル 160
エネルギー 1
エネルギー安定供給 7,14
エネルギー消費原単位 41
エネルギー備蓄 40
エネルギーベストミックス 98
塩化フッ化炭化水素類 56
塩化フッ化炭素類 56
塩素系有機化合物 169,181

【お】

オゾン層 133
——の破壊 56
オゾン破壊指数 58
温室効果 143

【か】

加圧水型原子炉 34
ガイア 142
快感用空気調和 70
海洋エネルギー 40
化学物質過敏症 190
拡散吸収式冷凍機 63,64
確認可採埋蔵量 20
核燃料サイクル 35
核分裂 32
核放射性物質 33
核融合 32
可採年数 20
加水分解 174
ガス冷蔵庫 63
ガス冷房 64
化石エネルギー 2
化石燃料 5,22
過熱度 54
カーボン・ニュートラル 114
カーボンリサイクル 113
過冷却度 54
乾球温度 71
環　境 1,131
環境影響評価 197
環境汚染 165
環境汚染物質 2
環境基準 195
環境ホルモン 3,184

【き】

気候変動枠組条約締結国会議 15
規制フロン 56,58
揮発性有機化合物 169
キャピラリチューブ 51
吸収液 61
吸収器 64
吸収式冷凍機 61
吸着式冷凍機 67
凝縮器 51,64
共　生 137
京都議定書 17
京都メカニズム 18

【く】

グイ・ストドラの公式 86
空気調和 4,50
クラーク数 137
クリーンコールテクノロジー 27,122

【け】

経済成長 7,14
ケミカルリサイクル 192
原子核の結合エネルギー 32
原子力エネルギー 31
減速材 33
減速棒 33
顕熱比 75
原　油 23

【こ】

公　害 165

光化学スモッグ 150
高効率技術 84
高速増殖炉 36
国際標準化機構 200
コージェネレーション 92
国家備蓄 26
ごみ 41
コンバインドサイクル 101

【さ】

最終エネルギー消費 41
再生可能エネルギー 2,7,105
再生器 63
サイバネティック 142
サーマルリサイクル 192
産業廃棄物 190
産業部門 41
産業用空気調和 70
三重点 135
酸性雨 147
残留性有機汚染物質 175
残留量 182

【し】

紫外線 133
磁気冷却 50
自己調整 142
自然エネルギー 5
持続可能な発展 14
湿球温度 71
シックハウス症候群 190
実効線量当量 154
質量欠損 32
脂肪族炭化水素 174
ジメチルエーテル合成 107
湿り空気 69
臭化リチウム 64
受液器 51
省エネルギー 84
蒸気圧縮式冷凍機 51
状態線 76
蒸　発 135
蒸発器 51,64
触媒作用 181
食物連鎖 175

【す】

水域圏 131
水質汚濁 151
水素結合 135
水力発電 40
3E 7

【せ】

成層圏 133
生態系 131
生物濃縮 175
生分解 174
赤外線 143
石炭エネルギー 28
石炭資源 27
石油危機 26
石油資源 22
石油代替エネルギー 28
絶対湿度 71
ゼーベック効果 68
ゼロ・エミッション 163,193

【そ】

総合効率 93
層状構造 137
相対湿度 72
ソーラーシステム 39

【た】

ダイオキシン類 3,136,159
大気圏 131
代替エネルギー 23
代替冷媒 59
太陽エネルギー 8,37
太陽光発電 108
太陽光発電衛星 40
太陽光発電システム 38
太陽熱エネルギー 39
太陽熱発電 108
対流圏 132
脱　硫 157
炭化水素 143,150
炭素基金 18
断熱飽和温度 71
タンパク質合成 189
団粒構造 137

【ち】

地球温暖化 56,143
地球温暖化指数 58,144
地球温暖化防止京都会議 17
地球環境保全 7,14
窒素酸化物 28,143,147
地熱エネルギー 41
中間圏 134
中間冷却器 54
中東依存度 21

【て】

デューリング線図 64
電気二重層 127
天然ウラン 32
天然ガス 30
電離圏 134

【と】

動作係数 52,68
毒　性 174,182
毒性等量 184
特定フロン 56
土壌圏 131
トップ・ランナー方式 45
ドライバイオマス 113
トリクレン 169
トリハロメタン 159,166
トリレンマ 14

【な】

内分泌かく乱物質 185
なすび伐り 114

【に】
二段圧縮サイクル 54
ニューサンシャイン計画 126

【ね】
熱 圏 134
熱水分比 76
熱電比 93
熱電冷却 50
熱電冷凍機 69
熱負荷 79
熱力学第一法則 1
熱力学第二法則 1
熱量比 68
燃料電池 126

【の】
濃縮性 174

【は】
バイオエネルギー 8,39,112
バイオマス 4,112
廃棄物 41
排熱回収ボイラ 101
灰 分 28
パークレン 169
発電効率 93
ハロン 181

【ひ】
非化石燃料 5
微生物 137
ヒートポンプ 53
飛 灰 183
被ばく 152
微粉炭燃焼 29
標準冷凍サイクル 51
微粒化 29

【ふ】
風力エネルギー 8
風力発電 39
富栄養化 152
複合発電システム 84,101
フッ化炭化水素類 56
フッ化炭素類 56
沸騰水型原子炉 34
浮遊粒子状物質 143,150
プルサーマル計画 35
プルトニウム 35
フロン 134
フロン規制 58
分離器 54,63

【へ】
平衡状態 140
ペルチエ効果 50

【ほ】
放射性廃棄物 191
放射線 154
膨張弁 51
飽和度 72
保健用空気調和 70
ホメオスタシス 142
ポリ塩化ビニル 160
ポリクロロジベンゾ パラ-ジオキシン 182
ホルモン 185

【ま】
マイクロ水力発電 40
マテリアルリサイクル 192

【み】
ミッシングシンク 113
ミランコビッチ 142
民間備蓄 26
民生部門 41

【む】
無効エネルギー 85

【め】
メタノール合成 107
メタンハイドレート 116

【も】
モントリオール議定書 58

【ゆ】
有効エネルギー 85
有効比 88

【よ】
揚水発電所 98

【ら】
ラヴロック 142
ラジカル 133,181

【れ】
冷却材 33
冷凍機 50
冷凍効果 53
冷熱技術 4,50
冷 媒 50,61
レセプター 185
連鎖反応 33

【ろ】
露点温度 72

【B】

BOD　152

【C】

CFC 特定フロン　58
COD　152
COP　15, 52

【D】

DME 合成　107
DNA　189

【F】

Fuel NO_x　148

【G】

GDP　46
GWP　58, 144, 180

【I】

IPCC　146
ISO　200

【L】

LCA　197
LNG　30

【M】

MOX 燃料　35

【O】

OAPEC　24
ODP　58, 180
OECD　174
O 157　172

【P】

PAN　150
PCB　159, 170
pH　147
POP_s　176
P_{ow}　176
PRTR　198

【S】

S. I. 機関　161
SPS　40

【T】

TEQ　184
Thermal NO_x　148

【V】

VOC　169

【W】

WE-NET　126

―著者略歴―

井田　民男（いだ　たみお）

1985年　豊橋技術科学大学工学部エネルギー工学課程卒業
1987年　豊橋技術科学大学大学院修士課程修了（エネルギー工学専攻）
1989年　近畿大学熊野工業高等専門学校助手
1995年　博士（工学）（豊橋技術科学大学）
2000年　近畿大学講師
2008年　近畿大学准教授
2013年　近畿大学バイオコークス研究所所長
2014年　近畿大学教授
現在に至る

木本　恭司（きもと　きょうじ）

1965年　神戸大学工学部機械工学科卒業
1965年　神戸大学助手
1968年　大阪府立工業高等専門学校講師
1972年　大阪府立工業高等専門学校助教授
1978年　工学博士（京都大学）
1984年　大阪府立工業高等専門学校教授
2006年　大阪府立工業高等専門学校名誉教授

山﨑　友紀（やまさき　ゆき）

1993年　京都大学工学部工業化学科卒業
1995年　京都大学大学院工学研究科修士課程修了（物質エネルギー化学専攻）
1998年　東北大学大学院工学研究科博士課程修了（資源工学専攻），博士（工学）
1998年　大阪府立工業高等専門学校講師
2006年　大阪府立工業高等専門学校助教授
2007年　法政大学教授
現在に至る

熱エネルギー・環境保全の工学

Engineering of Thermal Energy and Environment Conservation

© T. Ida, K. Kimoto, Y. Yamasaki　2002

2002年11月28日　初版第1刷発行
2021年3月30日　初版第9刷発行

検印省略

著　者　井田民男
木本恭司
山崎友紀
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
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　https://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-04463-8　C3353　Printed in Japan　（阿部）

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 03-5244-5088，FAX 03-5244-5089，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。