

ま え が き

大学の教育課程において、蒸気工学、内燃機関工学などのエネルギー変換等に熱機関分野の中でも特化した専門科目がなくなって久しい。一方で、資源エネルギー問題ならびにエネルギー変換技術は、社会・経済・環境問題とのかかわりを大きく保ちながらも、今後ますます重要になるだろう。

本書の執筆過程で勃発した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災、2011年3月11日）に伴う未曾有の津波によって福島第一原子力発電所では全電源喪失から冷却不能状態に陥り、水素爆発や炉心溶融を引き起こし、多量の放射性物質を周辺に拡散する事態となった。これによって、安定電源としての役割を果たしていた原子力発電の先行きが不透明になり、必然的に電力ネットワークの基幹部分を火力発電が担うことになった。

わが国政府を含め一部には原子力の代替として自然エネルギー利用の拡充が喧伝されてはいるが、低密度エネルギー利用の拡大は容易ではない。さらにはCO₂排出規制や地球温暖化問題もあり、エネルギーの高効率利用と省エネルギー技術の重要性はますます高まったといわざるをえない。

福島原発事故を受けて、1970年代初頭から東日本大震災まで拡大路線を維持してきた原子力を今後どう位置付け、どのような展開を図るのかは非常に難しい問題ではあるが、避けて通れない。その際には、エネルギー変換技術全体およびわが国のみならず、世界情勢をも視野に入れた社会・経済構造の展望が必要である。そうでなければわが国のエネルギー戦略を立てることは不可能である。特に原子力分野においては、事故を起こした原発の廃炉や高経年化対策なども喫緊の課題である。

機械工学分野の学生諸君には、これら原発問題も含めた次世代のエネルギー戦略を担う技術者としての期待が寄せられており、その意味でも動力・エネルギー

ギー技術，より広範にはエネルギー変換技術に関する教育体系は非常に重要であると考ええる。

1960年代から70年代までの教育課程に比べて大学工学部における卒業所要単位が大きく削減され，その一方でITやロボット関連など新分野の科目が増加した状況の中で，蒸気工学や内燃機関工学など専門に特化した講義を復活することは無理であろう。しかし，エネルギー利用全体を見渡した形でのエネルギー変換工学に関するテキストが講義用として，また自習用として必要であるとの認識から，本書においてはできるだけ数式を排し，イギリスにおける産業革命期に端を発し，その後の産業を牽引してきた動力技術の変遷やエネルギー資源，環境問題を俯瞰する形で，今日的なエネルギーシステム，エネルギー変換システムの全体像を理解できるように編集したつもりである。

本書のタイトルを「エネルギー変換論入門」としたのは，本書が今まで著者らが共同して執筆してきた「工業熱力学入門」，「熱移動論入門」に続くつぎのステップに位置付けられるものであるとの認識による。限られたページ数の中で，エネルギー変換論全体を詳細に記述するには無理があるのは当然である。エネルギー変換に関心をもつ学生諸君がさらに奥深く追求する際に，本「入門」が少しでも手助けになるとすれば，著者らにとってこれほどうれしいことはない。

最後に，コロナ社には原稿が出来上がるのを辛抱強く待っていただいた。心より感謝する次第である。

2013年3月

著 者

目 次

1 通 論

1.1 エネルギーの基礎	1
1.1.1 エネルギーの形態	2
1.1.2 エネルギー源とエネルギー媒体	3
1.1.3 再生可能エネルギーと再生不能エネルギー	3
1.2 エネルギー利用の推移	4
1.3 動力史から見た蒸気動力	6
1.3.1 ニューコメンの蒸気機関の出現からワットまで	6
1.3.2 1800年以降の単機出力の増加と蒸気圧力の増大	9
1.3.3 内燃機関の発展	11
1.3.4 技術発展の課題と最適規模および社会環境の変化	13
1.3.5 エネルギーシステムの今日的課題	17

2 火 力 発 電

2.1 蒸気の性質とランキンサイクル	19
2.2 効率改善方法	23
2.3 ボイラ技術の展開	27
2.3.1 ボイラの基本要因	27
2.3.2 自然循環ボイラにおける水循環	32
2.3.3 貫流ボイラにおける水循環	35
2.3.4 ボイラの相似則	36

2.4	蒸気タービン	38
2.5	復水器	42
2.6	燃料と燃焼技術・環境技術	44

3 原子力発電

3.1	原子力の基礎	49
3.1.1	軽水炉炉心の概要	50
3.1.2	放射線の基礎	51
3.1.3	原子核物理の基礎	53
3.1.4	気液二相流の基礎	54
3.1.5	核融合・核分裂	57
3.1.6	中性子の連鎖反応	60
3.1.7	原子炉の臨界と制御	64
3.1.8	崩壊熱	67
3.2	原子炉の炉型	68
3.3	軽水炉	69
3.3.1	PWRの構造と安全装置	70
3.3.2	BWRの構造と安全装置	73
3.4	核燃料サイクル	75
3.4.1	軽水炉と高速増殖炉の核燃料サイクル	76
3.4.2	高速増殖炉	79
3.4.3	廃棄物	81
3.5	核融合炉	81
3.5.1	核融合反応	82
3.5.2	トカマク炉の原理	84
3.5.3	ITER計画	86
3.6	2011年福島原発事故までの原子力開発の推移	88
3.6.1	原子力黎明期（1953年～1973年）	88

3.6.2	原子力低迷期（1974年～2003年）	88
3.6.3	原子カルネッサンス期（2003年～2011年福島第一原発事故）	89

4 内 燃 機 関

4.1	往復動式内燃機関	91
4.2	往復動式内燃機関の分類	93
4.3	内燃機関の開発の歴史	95
4.4	内燃機関のサイクル	99
4.4.1	理想サイクル	99
4.4.2	オットーサイクル（定容サイクル）	100
4.4.3	ディーゼルサイクル（定圧サイクル）	101
4.4.4	サバテサイクル（複合サイクル）	102
4.4.5	各種サイクルの理論熱効率の比較	103
4.4.6	燃料空気サイクルと実サイクル	104
4.5	ガソリン機関の技術の展開	107
4.6	ディーゼル機関の技術の展開	111
4.6.1	高速ディーゼル機関	112
4.6.2	低速ディーゼル機関	116
4.7	ガ ス 機 関	118
4.8	ハイブリッドシステム	119

5 ガスタービンと複合発電

5.1	ガスタービン技術の変遷	123
5.2	ガスタービンの構成	130
5.3	可逆ブレイトンサイクル	132
5.4	断熱効率を考慮したブレイトンサイクル	133

5.5	ブレイトン再生サイクル	136
5.6	ガスタービンの燃焼器の展開	137
5.7	産業用ガスタービン産業の現状と主要なガスタービンの構造	140
5.8	航空機用ジェットエンジン	143
5.9	複合発電（コンバインドサイクル）	146
5.10	加圧流動層燃焼複合発電（PFBC）	148
5.11	石炭ガス化複合発電（IGCC）	151

6 ヒートポンプとエネルギーの高効率利用

6.1	ヒートポンプの原理と構造	153
6.2	冷凍機・ヒートポンプ技術の進展	158
6.3	蒸気圧縮式ヒートポンプ	163
6.4	吸収式ヒートポンプ	171

7 燃料電池・二次電池の展開

7.1	燃料電池の原理と分類	174
7.2	燃料電池の理論効率と理論起電力	178
7.3	移動体用燃料電池・定地用燃料電池の今後の展開	180
7.4	二次電池	182
7.5	熱電変換	183

8 再生可能エネルギー

8.1	再生可能エネルギー利用の現状	186
-----	----------------	-----

8.2 太陽エネルギー	187
8.2.1 太陽光発電	189
8.2.2 太陽熱発電	191
8.3 風力エネルギー	193
8.4 水力エネルギー	196
8.5 バイオマス	199
8.6 地熱エネルギー	201
8.7 海洋エネルギー	202

9 エネルギーシステム

9.1 エネルギーの量と質	204
9.2 コージェネレーションシステム	207
9.3 電力負荷平準化	213
9.4 スマートグリッド	216
参 考 文 献	218
索 引	220

1

通 論

エネルギー変換とは、エネルギーを異なった形態のエネルギーに変えることであり、形態が変わらない場合はエネルギー交換という。本書は、種々のエネルギー変換に関する技術と現在に至る展開について各章で解説するが、本章では通論として、エネルギーに関する基礎とエネルギー利用の推移、エネルギー変換技術、特に動力技術の史的展開とボイラ破裂に対する社会的制度設計、技術開発における諸問題、さらには技術を取り巻く経済的、環境的要因など、エネルギーシステムの今日的課題について解説する。

1.1 エネルギーの基礎

エネルギーという言葉は、現在では小学生でも知っているが、エネルギーの保存則である熱力学の第1法則が確立されたのは19世紀の後半である。熱は温感と冷感で感じるのに対し、運動や仕事は視覚や圧感で感じるため、熱エネルギーと力学エネルギーは、感覚的にはまったく別のものであった。熱は熱素という物質であり、その量により温度が決定され、熱素の移動によって熱量が移動するという考えもあった。力学エネルギーを無視すれば、熱量の保存式は物質の拡散方程式と同じ形をしている。

力学の第2法則を距離で積分すれば運動エネルギーと仕事の関係は容易に導けるが、ニュートンにはエネルギーの概念はなかった。また、その後のガリレオの時代にも、物体の運動や衝突によって交換される保存量について運動量と運動エネルギーが混同されていた。本節では、エネルギーの基礎的事項と現在に至るまでのエネルギー利用の推移について簡単に解説する。

1.1.1 エネルギーの形態

エネルギーの形態は力と運動に関連して分類することができる。

素粒子にはクォークとレプトンがあり、これらに働く力は、強い力、弱い力、電磁力、重力の4種類であることが知られている。

強い力はクォーク間で働いて核子や中間子を形成し、弱い力はクォークとレプトンやレプトン間で働き、これらの力をもとに中間子を介した核子間の核力による結合エネルギーや原子核の崩壊エネルギーに関連して、核分裂や核融合などの核反応によって生じるエネルギーを核エネルギーと呼ぶ。

電磁力は正負の電荷間に働く引力と斥力である。正の電荷をもつ陽子と中性子からなる原子核と負の電荷をもつ電子から原子は形成され、電磁力により原子が結合して分子が形成される。電子の移動による電力エネルギーが、また、電場と磁場が交互に変化して波動する電磁波により電磁波エネルギーが発生する。化学反応により分子の原子間の結合が変化するときのエネルギーが化学エネルギーであり、これも電磁力によるエネルギーである。生物にかかわるエネルギーを生物エネルギーというが、生物を構成する有機物の化学反応であり、これも電磁力による。

分子のランダムな運動エネルギーが熱エネルギーであり、流体では分子の並進や回転運動、固体では分子間の振動による。熱平衡であれば熱エネルギーに比例して温度が定義される。

重力は他の力に比べて小さく、天体における重力エネルギーや地上での位置エネルギーのようなマクロなエネルギーに関連している。物体の運動エネルギーとマクロな各種の力に対する仕事を含め、これらを総称して力学エネルギーと呼ぶ。

熱力学の第1法則は、熱機関を対象として、熱と仕事は等価であり保存されると表現されるが、この法則はすべてのエネルギーについて成立し、さらに、原子力エネルギーに関しては物質もエネルギーと等価であることが重要である。

1.1.2 エネルギー源とエネルギー媒体

エネルギーは、利用する観点からエネルギー源（一次エネルギー）とエネルギー媒体（二次エネルギー）に分類される。

エネルギー源とは、自然界から直接得られるエネルギーであり、化石燃料やウラン鉱物を採取して精製、精錬などを行って直接利用する。水力、地熱、太陽光、太陽熱、風力、波力などのエネルギーや、生物から製造されるバイオエネルギーも直接自然界から得られるエネルギー源である。ウランは、3章で解説するように、太陽系が形成されるときに地球に紛れ込んだ元素であり、地熱は地球が形成されたときに地中に蓄えられた熱エネルギーである。

化石燃料は、その名が示すように生物が変性したエネルギー源であり、過去の太陽エネルギーによる光合成によって成長した植物とそれらを食料とした動物に由来する。現在利用されている高品位の石炭は、約3億年前の古生代石炭紀のシダ類の化石であり、石油や天然ガスは、約1.5億年前の中生代ジュラ紀に海底に沈殿した動植物プランクトンが変性したものと考えられており、当時の気候や生態系とその後の地殻変動によって蓄えられたものである。これら以外のエネルギー源は、現在か最近に蓄えられた太陽エネルギーに由来する。

エネルギー媒体とは、これらのエネルギーをもとにエネルギー変換を行って利用しやすいエネルギー形態にしたものであり、電気エネルギーが現在利用されている典型的なエネルギー媒体である。燃料電池などに使用される水素は、資源としては自然界に存在せず、天然ガス、石油、アルコールなどのエネルギー源を化学反応で改質して得られるエネルギー媒体であり、エネルギー源ではない。

1.1.3 再生可能エネルギーと再生不能エネルギー

現在か最近に蓄えられた太陽エネルギーによるエネルギー源は、人類の時間スケールで考える限りは持続的な使用が可能なことから、再生可能エネルギーと呼ばれる。一方、良質な化石燃料の資源は、ある特定の時代に形成されており、有用な資源はいずれ枯渇すると考えられることから、再生不能エネルギー

と呼ばれる。現在までに利用されてきたエネルギーは、次節に示すように再生不能化石燃料に大きく依存している。

1.2 エネルギー利用の推移

図 1.1 に、1965 年度から 2009 年度までの一次エネルギーの国内供給量割合の推移を示す。石油、石炭、天然ガスが化石エネルギー源であり、水力、原子力、新エネルギー・地熱などが非化石エネルギー源である。戦後しばらくは国内炭と水力発電が主であったが、1960 年代に始まる高度成長とともに、石油に大きく依存するようになった。

1970 年頃から原子力発電の開発と液化天然ガスの輸入が始まり、1973 年の第一次オイルショックを経て石油への依存を減らすため、これらによる発電に加えて輸入炭による火力発電が行われてきた。しかし、電気自動車や燃料電池車の開発が行われているが、現在に至るまでも自動車の燃料は石油であり、運輸部門のエネルギー源は石油に大きく依存している。

水力発電量はこの期間ほぼ一定で、新エネルギー・地熱などは増加しているが、わずかである。天然ガス、石炭を増やすことで石油への依存は小さくなっ

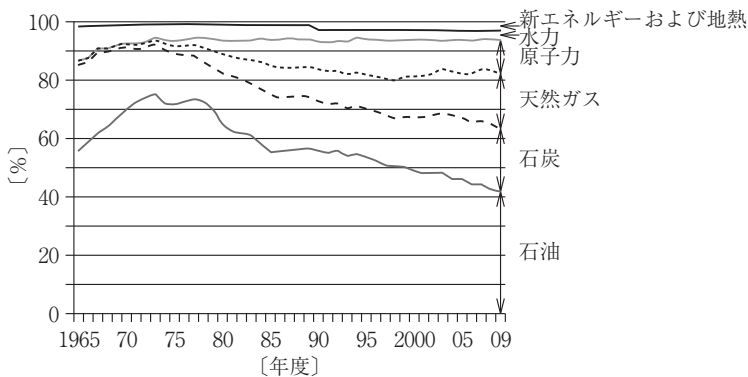


図 1.1 一次エネルギーの国内供給量割合の推移
 (「エネルギー白書 2011」をもとに作図)

てきているが、現在に至るまでエネルギー源の80%以上は化石燃料である。非化石エネルギーへの移行が模索されているが、化石燃料以外の大規模で安定したエネルギーは、現在のところ原子力発電に限られており、今後、環境、経済、社会を含めた広範囲な議論が必要である。

図1.2に、1952年度から2010年度までの国内発電量の発電方式割合の推移を示す。戦後の水力発電を主とし国内炭による火力発電を行う「水主火従」から高度成長時に石油火力を主とした「火主水従」に移行し、国内の発電は大きく石油に依存していたが、1973年の第一次オイルショック以降、原子力発電と天然ガス、輸入炭による火力発電による発電量を増やし、最近では石油への依存は10%以下になっている。

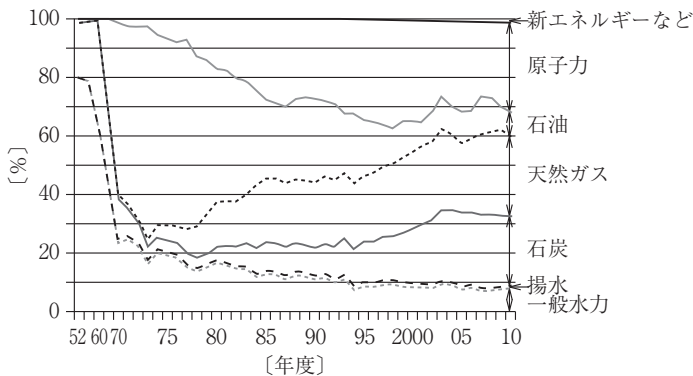


図1.2 国内発電量の発電方式量割合の推移
 (「エネルギー白書2011」をもとに作図)

原子力発電は1986年に約30%に達し、その後30%前後で推移してきたが、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)以降、原子力を今後どのように利用するかについての議論は始まったばかりである。

化石燃料や原子力発電以外の太陽光や風力による再生可能な自然エネルギーに期待が寄せられているが、現在では利用はわずかであり、今後ともに急激な増加は困難であって、当分は化石エネルギーに頼らざるをえない。新たなエネルギー源の開発も重要であるが、従来の化石燃料をエネルギー源とするエネルギー

ギー機器のさらなる高効率化と、エネルギー有効利用の技術開発が必要であり、技術者には、個々のエネルギー機器の要素技術開発能力だけではなく、システム全体の動作原理と技術開発の歴史的推移についての深い知識と理解力が求められている。

1.3 動力史から見た蒸気動力

1.3.1 ニューコメンの蒸気機関の出現からワットまで

われわれが自然の中から動力を取り出す手段として、人類が最初に用いたのは人力で、おのずとそれには容量において限界があり、せいぜい 100 ~ 150 W であった。ついで牛、馬などの畜力が利用されるようになった。さらに大きな動力源に対する要望と、昼夜を通して 24 時間運転可能なものとして風車、水車が出現した。これがおおよそ 1700 年代の前半まで続くことになる。しかし、単機出力としてはせいぜい 8 kW どまりであった。

一方で、調理用の鍋、釜やヤカンでも明らかなように、水を入れて加熱すると、加熱量に応じて発生蒸気量が増加し、蓋に開けられた穴から噴出する蒸気量よりも大きく蒸気が発生する場合には、蓋が持ち上がることを長らく経験していたはずである。しかし、蒸気の力を利用するすなわち火を用いて動力を取り出して利用することに思いが至るのにはそれ相応の社会インフラの整備が必要であり、1700 年代初頭まで待たなければならなかった。もちろん紀元前 100 年頃にはヘロン (Heron of Alexandria) の反動タービンが考案され、1629 年にはブランカ (G. Branca) のタービンも考案されたが、動力史的に意味のある形になるにはそれ相応の時間が必要であり、社会における要請、産業分野における需要が必要であった。

蒸気を用いた実用揚水機関を開発したのはセバリー (T. Savery) であるが、外部加熱、外部冷却とはいえ、水の相変化とシリンダおよびピストンを用いてシリンダ内に真空を実現し、ピストン前後の圧力差 (大気圧との差) で動力を取り出そうとした点において、蒸気機関の祖形とも位置付けられるのはパパン

索引

【あ】	オートーサイクル	94, 100	カソード	175	
アイドリングストップ	120	温度係数	67	ガソリン機関	11, 94
圧縮点火機関	93	【か】		活性化エネルギー	176
圧縮比	91	加圧器	71	カットアウト風速	196
アップウィンド方式	195	加圧水型	50	カットイン風速	196
アニュラ形	138	加圧水型軽水炉	17	過電圧	179
アノード	175	加圧流動層燃焼複合発電		過熱器	20
			148	カーボンニュートラル	199
【い】		加圧流動層複合発電	148	カルノーサイクル	23
一重効用サイクル	155	回転数制御	9	カルノーの定理	206
		回転翼（動翼）	39	かん形燃焼器	138
【う】		外燃式	124	貫流ボイラ	32
ヴェロックスボイラ	126	海洋温度差発電	203	【き】	
宇宙太陽光発電システム	193	改良型ガス冷却炉	17	気液二相流	54
ウラン		化学電池	174	キセノン	61, 66
50, 52, 57, 61, 63, 75, 77		可逆ブレイトンサイクル		希薄燃焼	110
			132	希薄燃焼ガス機関	118
【え】		過給機	126	希薄予混合燃焼	139
液滴モデル	58	核子	2, 58	ギブス自由エネルギー	178
エクセルギー	206	核分裂	57, 63	気泡流動層	46
エタノール発酵	200	核分裂生成物	61	キャニュラ形	138
エネルギー回生	119	核融合	57	吸収式ヒートポンプ	171
エネルギー源	3, 5	核力	58	吸収線量	52
エネルギー収率	199	過酷事故	70, 89	凝縮	8
エネルギー貯蔵装置	119	ガスエンジン	209	強制循環ボイラ	32
エネルギー媒体	3	ガス化炉	151	強制流動沸騰	27
		ガス機関	94, 118	京都議定書	18
【お】		ガス交換	11	共鳴領域	63, 64
オイルショック	17	ガス精製器	151	緊急炉心冷却システム	70
往復動蒸気機関	9	ガスタービン	147, 151, 209	【く】	
オクタン価	110	ガスタービンサイクル	123	空気極	175
オゾン層破壊	18	化石燃料	3, 4, 5	空気標準サイクル	99
		仮想事故	70		

空気分離装置	152	酸化触媒	113		
空塔速度	46	産業革命	9	【す】	
空燃比	105	三元触媒	109	水管ボイラ	31
クオリティ	33			水力発電	196
クランク室圧縮法	94	【し】		スコッチボイラ	30
グレイ	52	ジェットエンジン	11	図示仕事	106
		CO ₂ 排出規制	18	図示熱効率	106
【け】		軸流圧縮機	124	ストイキ燃焼ガス機関	118
結合エネルギー	2, 58	軸流タービン	38, 124	ストーカ燃焼	45
限界熱流束	37, 56	自然循環ボイラ	31	ストール制御	196
原子炉隔離時冷却系	75	自然冷媒	163	ストロンチウム	61
減衰係数	54	質量欠損	58	スペクトル分布	191
減速材	62, 63, 64, 67	シビアアクシデント	70	スマートグリッド	216
		シーベルト	52		
【こ】		締切比	101	【せ】	
高位発熱量	179	周速比	195	静止翼（静翼）	39
公害対策基本法	47	集熱面	191	成長の限界	17
高速増殖炉	76, 79	周辺効率	42	石炭	44
行程	91	シュラウド	73	石炭ガス化複合発電	15, 151
好適範囲	43	循環流動層	46	セシウム	52, 61
国際水・蒸気性質会議	19	循環力	31	節炭器	34
コージェネレーション		省エネルギー技術	17	セバリー	6
	176, 181	蒸気圧縮式ヒートポンプ		ゼーベック効果	183
コージェネレーション			163	ゼロエミッション	90
システム	207	蒸気機関	6	線集光型	191
固体高分子型燃料電池	175	蒸気原動機	19	選択還元触媒	115
固体酸化物型燃料電池	176	蒸気タービン	9, 147, 151	選択吸収面	191
コモンレール式燃料噴射		蒸気動力	6	全米ボイラ圧力容器検査	
システム	113	蒸気発生器	71	官協会	16
コールドレグ	72	蒸気表	19	線量当量	52
コルニッシュボイラ	30	蒸気流量調節	9		
		使用済み燃料	75	【そ】	
【さ】		衝動タービン	39	掃気	94
再生可能	3, 5	正味熱効率	106	増倍率	64
再生可能エネルギー	186	シリコン系太陽電池	189	即発中性子	61, 65, 66
再生器	136	シリーズ HEV	120	即発臨界	66, 67
再生サイクル	24	シリーズ・パラレル HEV			
再熱サイクル	25		120	【た】	
サバテサイクル	102	シリーズフロー	173	第1種ヒートポンプ	155
サーマル NO _x	48	ジルカロイ	50	大気圧機関	7

大気汚染防止法	47, 139	2サイクル低速ディーゼル		二重効用サイクル	172
第2種ヒートポンプ	157	機関	12	ニューコメン	7
ダイバータ	86, 87			ニュートリノ	63
太陽光発電	189	【て】		尿素 SCR 触媒	115
太陽定数	187	低位発熱量	179	【ね】	
太陽熱発電	191	定格風速	196	熱解離	104
滞留時間	36	ディーゼルエンジン	209	熱起電力	183
対流伝熱部	34	ディーゼル機関	11, 94	熱空気タービン	124
ダイレクトドライブ方式		ディーゼルサイクル	101	熱交換器	151
	196	ディーゼル微粒子捕集		熱電可変型サイクル	210
ダウンウィンド方式	195	フィルタ	113	熱電変換	183
タービン	20	D-T 反応	82	熱落差	41
タービン入口温度	128	D-D 反応	82	燃焼型タービン	124
タービン翼	125	定容サイクル	94	燃焼器	147, 151
ターボ圧縮機	125	定容燃焼圧力比	103	燃焼室熱負荷	36
ターボジェットエンジン		デューリング線図	155	燃焼制御	11
	143	電気集塵機	47	燃料極	175
ターボシャフトエンジン		電子ボルト	53	燃料空気サイクル	104
	144	点集光型	191	燃料消費率	106
ターボファンエンジン	144	伝熱面熱負荷	36	燃料電池	209
ターボプロップエンジン		電力負荷平準化	213	燃料ペレット	50
	144	【と】		【の】	
タワー型	192	同位体	58, 61	ノック	109
単機出力	9	東北地方太平洋沖地震	18	【は】	
断熱温度比	134	トカマク	82, 84	バイオエタノール	199
断熱効率	133	トムソン効果	183	バイオディーゼル	199
断熱膨張	22	ドライアウト	55	バイオマス	199
断面積	54	ド・ラヴァル	9	排ガス再循環	109
【ち】		トラフ型	191	排出微粒子	111
チェンサイクル	210	トリジェネレーション		バイナリー方式	201
地球温暖化係数	163	システム	208	バイパス比	145
地熱発電	201	トリチウム	83	ハイブリッド電気自動車	
遅発中性子	65	【な】			119
中間子	2	内燃機関	11	爆発型タービン	124
調整池式	197	流れ込み式	197	バグフィルタ	47
超臨界圧変圧運転ボイラ	25	【に】		バパン	6
【つ】		二次電池	182	パラボラディッシュ型	192
2サイクル機関	93				

パラレル HEV	120	フランシス水車	198		
パラレルフロー	173	ブルサーマル	77	【み】	
バーン	54	ブルトニウム	52, 57, 75, 77	水循環	28, 31
半減期	52	プール沸騰	27	ミラーサイクル	212
反動タービン	6, 39	ブレイトンサイクル		【む】	
反応度	66		123, 130	無効エネルギー	206
【ひ】		ブレイトン再生サイクル		無循環水管ボイラ	31
BTL 技術	201		136	【め】	
比エンタルピー	20	分 極	179	【も】	
比エントロピー	19	【へ】		メタン発酵	200
ピークカット方式	215	平均有効圧力	100	【も】	
ピークシフト方式	215	米国機械学会	16	モックス燃料	77
ピッチ制御	196	ヘリオスタット	192	MOX 燃料	77
ヒートトランスフォーマ		ペルチェ効果	183	モリエル線図	154
	157	ペルチェ素子	184	もんじゅ	80
ヒートポンプ	153	ペルトン水車	198	モントリオール議定書	18, 162
火花点火機関	93	変圧運転	25	【ゆ】	
微粉炭火力	15	【ほ】		ユニフロー掃気	116
微粉炭燃焼	45	ボイズン	66	【よ】	
微粉炭燃焼ボイラ	46	ボイド係数	67		
表面復水器	42	ボイド率	32, 56, 67	【ら】	
【ふ】		ボイラ	14, 20	揚水機関	6
風力発電	193	ボイラ蒸発量	36	揚水式水力	197, 215
4 サイクル機関	93	ボイラ破裂事故	15	ヨウ素	52, 61
4 サイクル高速機関	12	崩壊エネルギー	2	4 因子公式	64
福島第一原子力発電所	18	崩壊定数	51	【り】	
復水器	20, 42, 151	崩壊熱	68	ランキンサイクル	20, 49, 69, 88
沸騰水型	50	放射線	51	【り】	
沸騰水型軽水炉	17	放射能	51	リオデジャネイロ宣言	18
沸騰遷移	55	ホットレグ	72	リバースフロー	173
物理的バーンアウト	29	ボトムアップ方式	215	流動層燃焼	45
フューエル NO _x	48	【ま】		流動層ボイラ	29
フライアッシュ	47	マイクロガスタービン	211	流動脈動	33
プラグイン HEV	120	マイナーアクチナイド	81	理論熱効率	106
プラズマ	81, 84	膜電極接合体	177		
フラッシュ方式	201	摩擦損失	33		
フランクリン協会	15	丸ボイラ	27		
ブランケット	76, 87				

臨 界	64	連鎖反応	60, 64	炉 筒	30
リンバーン	212			炉筒煙管ボイラ	30
	【れ】		【ろ】		【わ】
		炉周期	65		
冷熱供給	208	ローソン条件	86	ワット	7

	【A】	DPF	113		【P】
ABWR	14			PEFC	175
APF	169	ECCS	70, 73, 75	PFBC	148, 150
A-USC	14	EMS	217	PM	112
	【B】		【F】	PWR	17, 50
BEMS	217	FEMS	217		【R】
BT	55	FP	61	RDF	200
BWR	17, 50, 55			recuperator	136
	【C】		【H】	RESS	119
		HEMS	217	RPF	200
CEMS	217	HEV	119		【S】
CHF	56			SG	71
CHP	208		【I】	SOFC	176
COP	163	IGCC	15		【T】
	【D】		【L】		
DNB	56	LNG	17	TIT	128
DOC	113				

— 著者略歴 —

小澤 守 (おざわ まもる)

1972年 神戸大学工学部機械工学科卒業
1977年 大阪大学大学院工学研究科博士課程
修了(機械工学専攻), 工学博士
1977年 大阪大学助手
1979年 神戸大学助手, アレキサンダー・フォ
ン・フンボルト財団奨学研究員
1985年 神戸大学助教授
1991年 関西大学助教授
1994年 関西大学教授
現在に至る

梅川 尚嗣 (うめかわ ひさし)

1986年 関西大学工学部機械工学第二学科
卒業
1988年 関西大学大学院工学研究科博士前期
課程修了(機械工学専攻)
1988年 ダイキン工業株式会社勤務
1991年 関西大学助手
1998年 博士(工学)(関西大学)
1999年 関西大学専任講師, アレキサンダー・
フォン・フンボルト財団奨学研究員
2002年 関西大学助教授
2007年 関西大学准教授
2009年 関西大学教授
現在に至る

松本 亮介 (まつもと りょうすけ)

1992年 同志社大学工学部機械工学科卒業
1994年 同志社大学大学院工学研究科博士前
期課程修了(機械工学専攻)
1994年 関西大学助手
2001年 博士(工学)(同志社大学)
2002年 関西大学専任講師, アレキサンダー・
フォン・フンボルト財団奨学研究員
2007年 関西大学准教授
現在に至る

竹中 信幸 (たけなか のぶゆき)

1977年 京都大学工学部原子核工学科卒業
1983年 京都大学大学院工学研究科博士課程
修了(原子核工学専攻)
1984年 神戸大学助手
1984年 工学博士(京都大学)
1989年 神戸大学助教授, レンスラー工科大
学客員研究員
2001年 神戸大学教授
現在に至る

浅野 等 (あさの ひとし)

1988年 神戸大学工学部機械工学科卒業
1990年 神戸大学大学院工学研究科修士課程
修了(機械工学専攻)
1990年 ダイキン工業株式会社勤務
1993年 神戸大学助手
2000年 博士(工学)(神戸大学)
2001年 神戸大学助教授
2002年 アレキサンダー・フォン・フンボルト
財団奨学研究員
2007年 神戸大学准教授
現在に至る

村川 英樹 (むらかわ ひでき)

2001年 東京工業大学工学部機械科学科卒業
2006年 東京工業大学大学院理工学研究科博
士後期課程修了(原子核工学専攻),
博士(工学)
2006年 日本学術振興会特別研究員(PD),
レンスラー工科大学客員研究員
2007年 神戸大学助教
現在に至る

エネルギー変換論入門

Introduction to Energy Conversion Technologies

© Ozawa, Takenaka, Umekawa, Asano, Matsumoto, Murakawa 2013

2013年5月2日 初版第1刷発行



検印省略

著者 小澤 守
竹中 信幸
梅川 尚嗣
浅野 等
松本 亮介
村川 英樹
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 萩原印刷株式会社

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 978-4-339-04623-6 (高橋) (製本: 愛千製本所)

Printed in Japan



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おりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします