

# 発変電工学

熊野 照久【著】

コロナ社

# まえがき

発電と変電では、電力を生み出し伝送に適した状態に調整する。発電所・変電所はネットワークを介して電力を放射状に送り出す拠点、つまり扇の要に相当し、電力系統全体において重要である。本書では、現在の大学学部での半年分の標準的な講義を想定して、発変電工学が説明されている。

まず発電について見てみよう。電気はほかのエネルギーと比較すると歴史が浅く、人類は長い間静電気、すなわち電荷の形でしか電気現象を知らなかった。静気は苦勞して蓄えても一瞬の放電で使い切ってしまう、連続的に使用できない。社会で電気を役立てるには電流という形態が必要であり、これが可能となったのは、1836年にジョン・フレデリック・ダニエルがボルタの電池の分極の問題を解決しダニエル電池を発明してからと思われる（直流電流の実用化）。一方、交流電流はマイケル・ファラデーによる電磁誘導の発見後も、長い間直流に整流して利用するのが主流であり、あまり使われなかった。その後、高圧長距離送電における優位性もあって、19世紀末、約50年遅れて交流電流は実用化される。このように、これまでわれわれが電気を実用に供するために用いられてきたのは、直流には電池、交流には発電機であり、これはいまもほぼ変わらない。両者に共通して、発電とは電気エネルギーを電気以外のエネルギーから生み出す技術である。

これに対して変電とは、電気エネルギーどうしのエネルギー変換である。例えば変圧器の場合、入力となるエネルギーも電気、出力も電気である。違いは入力と出力の電圧・電流であり、周波数は変わらない。一方、半導体電力変換では入力と出力の周波数が異なる場合があり、例えばインバータでは、直流の入力に対して出力される電力は交流である。

以上より、発変電工学とは電気エネルギー変換に関する工学であるといつてもよい。ただし、一口に電気エネルギー変換といつてもその内容は多種多様であ

り、大学の講義でそれらを網羅的に取り扱うことは不可能である。コロナ禍を経た現在、大学学部レベルの学習者にはインターネット動画投稿サイトをはじめ、多くの発変電技術に関する情報に触れる機会がある。したがって、本書のような書籍の役割は多くの知識を網羅するよりも、根底に流れる重要な概念を理解させることと考えられる。この観点より、本書では多くの発変電工学の教科書にあるような具体的な写真や図表の掲載ではなく、重要な概念と知識を深く理解させ、それらを実用に耐えるところまで演習等を通じて定着させることを主眼に置いた。ただし、発変電工学において大学の講義では、現実の電気所の機器の正確なイメージを持たせることが重要である。そこで現在、読者のほとんどすべてが身の周りにインターネット接続環境をお持ちであることを前提に、あらかじめインターネット上に公開した写真や図面、動画などと連携させて、こうした面を補完することにした。この新しい試みにより、読者が理解度に不足をきたすことがなくなるよう願っている。

また、本書は大学の講義で教科書として用いることを想定して執筆したので、標準的な使用法についても述べておきたい。本文をよく読んでいただくことに加えて、内容の理解を深めるため、専門用語の解説と動画・写真や精密な図を収集もしくは作成した。それらはQRコードから本書のサポートページにアクセスすることで閲覧できる。よって、本書はインターネットを利用可能な環境で読み進めていただきたい。加えて、各章末には簡単な演習問題が用意されている。これらについても上記サポートページより参考情報や解答・補足を利用できるため、ご活用願いたい。なお、インターネット上に掲出する情報は、読者の理解を図るうえで役立つと判断した際には更新する場合がありますので、ご了承ください。

2025年6月

熊野 照久

# 目 次

## 1 章 電力系統と発電・変電

1.1 電力系統	1
1.1.1 発電費用 1 / 1.1.2 電圧制御 4	
1.2 発電	4
1.3 変電	6
演習問題	7

## 2 章 水力発電

2.1 水力発電とは	8
2.2 水車と水路系	10
2.2.1 水路系 10 / 2.2.2 水車 18	
2.3 水車発電機	26
2.3.1 構造と基本的動作 26 / 2.3.2 水車発電機の特徴 28	
2.3.3 発電電動機と可変速揚水運転 29	
2.4 資源としての水	29
演習問題	30

## 3 章 火力発電

3.1 燃焼とエネルギー	31
3.2 熱力学	32

3.2.1	ボイル・シャルルの法則と気体の状態方程式	33	/	3.2.2	熱機関	35	
3.2.3	熱力学第一法則と内部エネルギー	37	/	3.2.4	熱力学的過程	38	
3.2.5	カルノーサイクル	40	/	3.2.6	定圧・定積過程とランキンサイクル	41	
3.2.7	再生サイクル・再熱サイクル	45	/	3.2.8	ブレイトンサイクル	47	
3.3	タービンと発電機						49
3.3.1	衝動タービンと反動タービン	49	/	3.3.2	火力発電ユニットの軸系	51	
3.3.3	発電機						52
3.4	そのほかの火力発電設備						57
3.4.1	ボイラ	57	/	3.4.2	復水器	59	
			/	3.4.3	給水ポンプ	59	
3.4.4	給水加熱器	60	/	3.4.5	節炭器	60	
			/	3.4.6	空気予熱器	60	
3.4.7	集塵機	61	/	3.4.8	コンバインドサイクル関連設備	61	
3.5	火力発電所の運転						63
3.5.1	起動・停止操作	63	/	3.5.2	出力の調整と過負荷・最低出力運転	64	
3.5.3	電圧と無効電力の調整	64	/	3.5.4	事故時解列	64	
演習問題						65	

## 4章 原子力発電

4.1	質量欠損						66
4.2	核分裂と連鎖反応						69
4.3	原子力発電所の基本的な構造						71
4.4	原子力発電において鍵となる技術						72
4.4.1	中性子反応断面積と中性子束	72	/	4.4.2	減速材	74	
4.4.3	制御材	74	/	4.4.4	冷却材	74	
			/	4.4.5	反射材	75	
4.4.6	燃料	75	/	4.4.7	毒作用とキセノンオーバーライド	75	
4.5	加圧水型原子炉						76
4.6	沸騰水型原子炉						78
4.7	そのほかの原子力発電設備						79
4.7.1	発電ユニット	79	/	4.7.2	原子炉圧力容器と原子炉格納容器	79	

4.7.3 非常用炉心冷却システム：ECCS	80
4.8 事故と不具合事象	80
演習問題	81

## 5章 発電機とその制御系

5.1 発電機の形態と構造	82
5.2 出力と安定性	86
5.3 励磁制御	91
5.3.1 励磁制御系の構造	91
5.3.2 AVRによる効果と電力動揺への影響	93
5.3.3 励磁制御における電力動揺の安定化	95
5.4 調速機	96
5.4.1 調速機の構造	96
5.4.2 調速機の効果とその限界	98
5.4.3 負荷周波数制御	99
5.4.4 発電機の慣性とRoCoF	99
演習問題	100

## 6章 太陽光発電

6.1 光起電力効果	101
6.2 太陽光発電システム	105
6.2.1 太陽光発電システムの構造	105
6.2.2 昇圧チョップアの動作	106
6.2.3 インバータの動作	108
6.3 太陽光発電の独立運転	109
6.3.1 蓄電池の必要性	109
6.3.2 蓄電池の容量	110
6.4 太陽光発電の系統連系	111
6.4.1 パワーコンディショナ	111
6.4.2 保護機能	111
6.4.3 単独運転検出	112
6.4.4 太陽光発電連系に関わる技術的課題	113
演習問題	114

## 7章 風 力 発 電

7.1 風 車	116
7.1.1 風車の概要	116 / 7.1.2 種々の風車 118
7.1.3 風車の特性	119
7.2 風 力 発 電 機	126
7.2.1 定速型	126 / 7.2.2 DFIG型 127 / 7.2.3 PMSG型 127
7.3 風力発電の系統連系	129
7.3.1 太陽光発電との相違点	129 / 7.3.2 計算例 130
演 習 問 題	131

## 8章 変 電

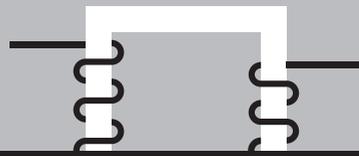
8.1 変 電 の 役 割	132
8.1.1 変電の持つ意義	132 / 8.1.2 変電所の構成 133
8.1.3 変電所の機能	134
8.2 変 圧 器	135
8.2.1 主要変圧器の概要	135 / 8.2.2 変圧器の動作原理と簡易等価回路 137
8.2.3 実際の変圧器の特性	138
8.3 変 圧 器 の 試 験	139
8.3.1 無負荷飽和特性	139 / 8.3.2 短絡特性 140
8.4 計 器 用 変 成 器	142
8.4.1 本書で述べる範囲	142 / 8.4.2 計器用変圧器：VT 142
8.4.3 計器用変流器：CT	143
8.5 負 荷 時 タ ッ プ 切 替 器	144
8.5.1 負荷時タップ切替器の概要	144 / 8.5.2 負荷時タップ切替器の構造 144
8.5.3 特性と現象	145

8.6 調相設備と同期調相機	147
8.6.1 調相設備と同期調相機の概要	147 / 8.6.2 系統電圧特性 147
8.6.3 調相設備投入時の系統状態の簡易計算法	149
8.7 避雷器・遮断器・断路器	149
8.7.1 避雷器・遮断器・断路器の概要	149 / 8.7.2 避雷器 150
8.7.3 遮断器	150 / 8.7.4 断路器 152
8.8 ガス絶縁開閉装置	152
8.8.1 ガス絶縁開閉装置の概要	152 / 8.8.2 気体の絶縁特性 153
8.9 保護リレー	154
8.9.1 電力系統の外乱とその対処	154
8.9.2 過電流リレーと過電圧リレー	155 / 8.9.3 距離リレー 156
8.9.4 回線選択リレー	156 / 8.9.5 電流差動リレー 157
8.9.6 系統安定化装置	158 / 8.9.7 変圧器保護 159
演習問題	159

## 9章 電力貯蔵

9.1 揚水発電所	160
9.1.1 エネルギー保存則と電力貯蔵	160 / 9.1.2 揚水発電所の構成 161
9.1.3 揚水発電所における電力貯蔵	162
9.2 電池電力貯蔵	163
9.2.1 蓄電池の概要	163 / 9.2.2 各種の蓄電池の原理と特徴 163
9.2.3 系統連系システム	164
9.3 電気自動車	165
9.3.1 電気自動車の概要	165
9.3.2 電気自動車のエネルギー収支と環境負荷	166
9.3.3 V2G : vehicle-to-grid	166 / 9.3.4 系統貢献 167
9.4 フライホイール	168
9.4.1 フライホイールの概要	168 / 9.4.2 フライホイールの特徴 168
9.4.3 系統連系システム	169

9.5 超電導磁気エネルギー貯蔵：SMES	170
9.5.1 SMES の概要	170
9.5.2 SMES の構造と特性	171
9.5.3 SMES の系統特性	173
9.6 圧縮空気エネルギー貯蔵：CAES	174
9.6.1 CAES の概要	174
9.6.2 CAES の特性	174
演習問題	175
<b>引用・参考文献</b>	<b>176</b>
<b>あとがき</b>	<b>178</b>
<b>索引</b>	<b>179</b>



# 1 章 電力系統と発電・変電

## 1.1 電力系統

**電力系統** (power system) とは発電, 送電, 変電, 配電などの機能を有し, 電気を発生して必要としているところへ送るさまざまな機器の集合体である。原語の power system を電力システムあるいは電力系統と和訳したのである以上, その意味は本来欧米諸国の電力系統ではあるが, わが国においても基本的構成はさほど変わることなく, 特段の注意は不要である。電力系統は, 数多くの種々の電力機器が有機的につながりあって構成され, 動作しているシステムを意味する。

本書では, おもに発電・変電について述べる。発電・変電は**エネルギー変換** (energy conversion) であり, 変換された電気エネルギーを伝送するのが送電・配電である。これらを組み合わせ電力系統として運用することで初めて電気の供給がなしとげられるのであって, 発電電だけでは電気の供給はなしえない。

### 1.1.1 発電費用

発電は, 従来より**水力** (hydro power), **火力** (thermal power), **原子力** (nuclear power) の3方式を中心に行われてきた。このほか, 近年わが国では**太陽光発電** (solar power) の比重が急激に高まっており, これら4種の発電が国全体で使う電力の98%以上を賄っている<sup>1)†</sup>。それぞれの発電方式には独自

<sup>†</sup> 肩付きの数字は, 巻末の引用・参考文献の番号を示す。

## 2 1. 電力系統と発電・変電

の特徴があり、具体的な内容はこれから述べていくことになるが、これらをシステムとして（すなわち相互補完的に、かつ協調して）動かす面については、各章の細かい記述に入る前にここで概略を述べておくことにする。

多くの要素に共通して重要で、電力系統の運用を考えるうえでも必須の要素として**発電費用**（generation cost）がある。また、最近では**電力市場**（power market）が整えられつつあるが、従来どおりの電気供給約款により供給される部分も多く、これは総括原価方式に基づいている。これに限らず原則として、電気料金は発電費用によって大きく左右される。

〔1〕 **発電方式と発電費用** 従来型の発電のうち、水力発電には流れ込み式、調整池式、貯水池式などがある。水力発電においては高所に貯まった水の持つ位置エネルギーを使って発電をしているが、水を高所までくみ上げる仕事は不要であり、地球の持つ作用の一つである水の**大循環**（general circulation）が利用されている。このため、水力発電には燃料費に相当するものは存在しない。ただし、水力発電所の建設には大規模な堤体の構築や周辺生態系の保全などで、莫大な費用が必要となる。

火力発電の場合は、発電所の建設に費用を要するばかりでなく、日々の運用においても石炭・石油等の**化石燃料**（fossil fuel）の調達が必要であり、加えて大規模システムならではのメンテナンスその他で多くの費用が生じる。原子力発電においても、発電所の建設費と維持管理費が必要なのは火力発電と同様であり、さらに**使用済燃料**（spent fuel）の管理ではきわめて重い負担が生じる。

一方、わが国の再生可能エネルギーの中で最も普及しているのは、太陽光発電である。太陽光発電は化石燃料発電と違って燃料費は不要であるが、単位出力電力当りの設備費が高いうえに、従来型発電所と比べて耐用年数が短いと見込まれ、総合的に見た発電費用は高価といえる。

〔2〕 **需給制御** 一般電気事業者の運用する電力系統においては、必要となる**総需要**（total demand）を多種多様な電源を組み合わせで賄うことが必要である。現在、すべての需要家は自身が選択した小売事業者から電力の供給を受けることができるが、どこからも供給が受けられなくなることはないよ

う、セーフティネットとして最終的な電力の供給を行う義務（最終保障供給義務：last resort supply obligation）が一般電気事業者に課されている。これにより、万が一の小売電気事業者の機能に支障をきたした場合でも、一般電気事業者から電力の供給を受けることができる。

電源種別のうち、流れ込み式水力発電や原子力発電は点検時等を除き、一定の運転状態を継続することが基本である。これらは供給力の基盤を形作っており、ベース供給力と呼ばれる。一方、火力発電所や貯水池式水力発電所は必ずしも24時間連続で運転されているわけではなく、時々刻々の需要の変動に合わせて、給電指令に基づいて起動、並列、出力変化、解列、停止を行っている。どの発電機をいつ動かし停めるかは、大きく**発電機起動停止**（unit commitment）と呼ばれる問題であり、経済性だけではなく、万一の停止時に系統に与える影響や、起動・停止の際に必要な手順などを総合的に勘案して決定されている。

**例題 1.1** 1日の間の電力系統の需給運用について考える。図 1.1 に示す需要変動に対応するには、6種の電源（水力、石炭火力、石油火力、ガス火力、原子力、太陽光）をどのように運用すればよいか説明せよ。

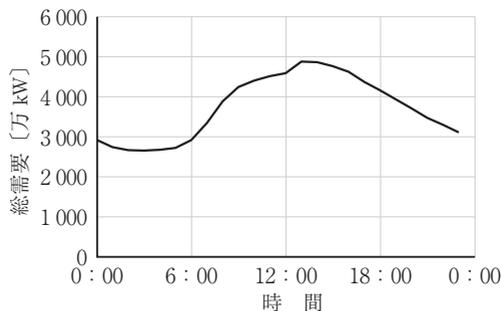


図 1.1 需要の変動例

**【解答例】** 水力発電、太陽光発電は発電原価に占める運用費の割合が低いので、基本的には発電可能な最大出力で運転する。一方、原子力発電では一定運転が必要である。一般に、発電出力の変化には熱出力の変動が必要で、原子力発電

## 4 1. 電力系統と発電・変電

の場合は燃料棒に温度変化を発生させるが、これが大きいと熱疲労を生み出し燃料集合体の破損につながる恐れがある、とされているからである。したがって、日間の需要変動に合わせて起動・停止あるいは出力変化させるのはおもに火力発電であり、ピーク時間帯では貯水池式水力発電などで対応する。こうした水力発電はある程度の出力調整が可能であるが、貯水する水量には限りがあるため、運転できる時間も限られている。◆

### 1.1.2 電圧制御

発電においては、単に必要な有効電力を供給できればよいわけではなく、その品質にも留意が必要である。**電力品質**（power quality）には電圧の大きさ、周波数、相不平衡度ならびに波形歪（高調波）などが関係しており、これらを需要側から要求される水準以上に維持する必要がある。1日の間に需要が変動して送電網を流れる電流が変化すれば、インピーダンスとの積で決まる電圧降下も変化する。したがって、系統側で操作をしなければ需要地点の電圧にも変動が現れ、極端な場合には安全・安定な範囲を逸脱する。

このため、電力系統においては有効電力のみならず無効電力と電圧の面にも気を配り、適切に対処（制御）する必要がある。具体的には、調相設備の投入解列や発電機・調相機等での電圧の調整などがこれにあたり、詳細は5.3節や8.5、8.6節で述べることとする。

## 1.2 発 電

すでに述べたとおり、電力系統は電力の発生、伝達、供給に関係する機器の集合体である。これらが有機的に結合し、おたがいに補い合って動作調整する。発電要素は燃料種別も動作特性もそれぞれ異なり、環境要因の変化によって、ある発電要素に不具合が発生しても、いろいろな種類の発電要素があればほかの発電要素がこれを補い、供給に影響が出ることを防ぐ。発電要素はそれら自身の挙動もさることながら、相互にさまざまな影響を及ぼし合っている。こうした相互作用について述べていきたい。

まず水力発電の特性として、高所にある水の位置エネルギーをもとにしていため、その水をどのように使うのかという点が重要であり、いったん使用した水は当該水系の下流側でしか利用できない。また、上流側で水を使用してから下流側で使用できるようになるには水の流速に関連する遅れ時間を見込む必要がある。想定される需要に対してどのように水力発電所を運用するかは、難しい問題の一つとされている。

水力発電のもう一つの特性として水路系への影響が挙げられる。エネルギーを介して結合している電力系統においては、その一部で生じたエネルギー流の変化が隣接する要素にも影響し、けっしてほかから独立していない。典型的には**水撃**（water hammer）現象が挙げられるが、詳細は2章に譲る。

一方、火力発電や原子力発電の特性は水力発電とは異なる。より多くの要素から構成されているため、水力発電にもまして複雑かつ多様である。しかし、火力・原子力発電機器は、水力発電機器とは異なり一定出力で発電を継続するために、電力系統に与える影響は通常、限定的である。むろん温排水や**ばいじん**煤塵は出てくるが、電力系統へはほとんど影響を与えない。前者については海へ排出する際の、後者においては煙突から出ていく際の温度や濃度は的確に管理されており、周囲環境に過大な影響を与えない。温水は近隣工場へ温水供給されるなど有効に利用されている。これらの因果関係においては周囲へ影響する速度が電氣的システムと比べてきわめて遅いため、相互に影響し合うシステムとして取り扱う必要性は通常低い。

太陽光発電は日射量によって発電可能な電力が決まる。太陽光発電装置には最大電力点追従制御機能が備わっており、つねに最大の発電になるようパワーコンディショナが調整を行っている。条件のよい日中の時間帯に過大な電力を発生しないよう出力を絞ったり、あらかじめ定められたカレンダー機能によって特に軽負荷かつ日射条件のよいときに発電を絞る場合もある。これらは当該太陽光発電装置が配電線のどこに接続されているかによって大きく事情が異なり、配電線末端近くでは電圧上昇の影響が深刻である。

なお、2025年現在のわが国の電力系統において供給の骨組みを形作るのは

# 索引

<b>【あ】</b>	過渡安定性	89	<b>【さ】</b>	最終保障供給義務	3
圧縮空気エネルギー貯蔵	過渡安定度	89	再生サイクル	45	
圧力水頭	過渡リアクタンス	91	最大電力点追従	108	
案内軸受	可変速揚水機	25	再熱サイクル	46	
<b>【い】</b>	火力	1	サイリスタ	92	
位置水頭	カルノーサイクル	40	サージタンク	15	
<b>【う】</b>	完全流体	14	作動流体	32	
運動量	貫流ボイラ	58	<b>【し】</b>		
<b>【え】</b>	<b>【き】</b>		ジェット	19	
エネルギーハーベスティング	機械式調速機	97	次過渡リアクタンス	91	
	機械的共振	52	磁気抵抗	27	
エネルギー変換	汽水分離器	58	磁気飽和	140	
遠隔監視	キセノンオーバーライド	76	磁極	27	
遠隔計測	キセノン毒作用	76	質量欠損	66	
遠心力	逆動作現象	145	自動電圧調整装置	87	
エンタルピー	キャピテーション	24	シャルルの法則	33	
<b>【お】</b>	給水加熱器	60	集塵機	61	
オリフィス	給水ポンプ	60	周波数制御	29	
<b>【か】</b>	汽水発電	32	主要変圧器	133	
加圧水炉	<b>【&lt;】</b>		ジュール発熱	56	
界磁	空気予熱器	61	準静的過程	39	
塊状構造	<b>【け】</b>		小信号安定性	89	
回転界磁形	ゲージ圧	12	使用済燃料	2	
回転子	原子力	1	状態方程式	34	
回転整流器	<b>【こ】</b>		衝動水車	18	
回転電機子形	効率	36	初期過渡リアクタンス	91	
核分裂	固定子	27	所内単独運転機能	65	
ガス絶縁開閉装置	固有安定性	89	<b>【す】</b>		
化石燃料	固有安定度	89	水撃	5	
仮想同期発電機	コンバインドサイクル	47	水撃作用	16	
			水車	8	
			水力	1	

——発電	8	定温過程	39		
——発電所	26	定積過程	39	<b>【は】</b>	
水路系	9	定態安定性	89	バケット	19
ストール	122	鉄 損	84	バスカルの原理	12
スラスト軸受	27	デューティ比	106	発電機	82
スリップリング	83	電圧型インバータ	108	発電機起動停止	3
<b>【せ】</b>		電機子	82	発電費用	2
制御棒	74	電気式調速機	97	パワーコンディショナ	111
静水力学	12	電機子導体	28	反動水車	18
制動巻線	85	電 費	89	<b>【ひ】</b>	
積層構造	28	電力系統	166	光起電力効果	102
積層鋼板	84	電力系統安定化装置	1	非常用炉心冷却システム	80
絶対圧	11	電力市場	2	ヒステリシス	140
節炭器	60	電力動揺	87	ヒステリシスループ	140
せん断力	11	電力品質	4	ピッチ角	122
<b>【そ】</b>				比熱比	36
総需要	2	<b>【と】</b>		<b>【ふ】</b>	
送電限界	87	同期機	82	風 損	85
速度水頭	13	同期発電機	26	負荷時タップ切替器	144
速度調定率	98	同期リアクタンス	91	復水器	59
<b>【た】</b>		銅 損	84	沸騰水型原子炉	78
大循環	2	動態安定性	89	ブラシレス形	84
太陽光発電	1	動態安定度	89	フランシス水車	18
太陽電池	101	突 極	26	ブレイトンサイクル	48
卓越風向	118	突入電流	26		
脱 調	89	トリチェリーの定理	15	<b>【へ】</b>	
立 軸	26			ペルトン水車	18
ダ ム	11	<b>【な】</b>		ベルヌーイの定理	14
断熱過程	39	内部エネルギー	37	<b>【ほ】</b>	
ダンパバー	85	<b>【ね】</b>		ボイラ	57
短絡比	55	熱機関	35	ボイルの法則	33
<b>【ち】</b>		熱サイクル	35	保持環	85
蓄電池電力貯蔵システム	163	熱的特性	84	<b>【む】</b>	
調 相	147	熱伝達率	85	無停電電源装置	168
超電導磁気エネルギー貯蔵	170	熱ポンプ	38	無負荷飽和特性	139
<b>【て】</b>		熱力学	32	<b>【め】</b>	
定圧過程	39	——温度	33	面 圧	83
		——第一法則	37		
		——的過程	37		
		粘 性	14		
		燃料棒	75		



— 著者略歴 —

- 1985年 東京大学工学部電気工学科卒業  
1987年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了（電気工学専攻）  
1990年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了（電気工学専攻）  
工学博士  
1990年 電力中央研究所担当研究員  
1992年 電力中央研究所主査研究員  
1994年 テキサス大学アーリントン校客員研究員（1995年まで）  
1995年 電力中央研究所主任研究員（2004年まで）  
1998年 超電導発電関連機器・材料技術研究組合主査（2000年まで）  
2004年 明治大学助教授  
2010年 明治大学教授  
現在に至る

## 発変電工学

Electrical Power Generation and Transformation

© Teruhisa Kumano 2025

2025年8月25日 初版第1刷発行



検印省略

著者 くまのてるひさ  
熊野 照久  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 壮光舎印刷株式会社  
製本所 株式会社 グリーン

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 978-4-339-00997-2 C3054 Printed in Japan

(西村)



**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。