

日本エネルギー学会 編

シリーズ 21世紀のエネルギー 14

# 大容量キャパシタ

— 電気を無駄なくためて賢く使う —

直井 勝彦 編著  
堀 洋一

青木 良康  
木下 繁則  
佐久間一浩 共著  
佐々木正和  
白石 壮志  
矢島 弘行

コ ロ ナ 社

---

日本エネルギー学会  
「シリーズ 21世紀のエネルギー」編集委員会

委員長 八木田浩史 (日本工業大学)  
副委員長 本藤 祐樹 (横浜国立大学)  
委員 市川 貴之 (広島大学)  
(五十音順) 日恵井佳子 (電力中央研究所)

---

(2018年10月現在)

〔執筆者一覧〕

さく ま かずひろ  
佐久間一浩 (東京農工大学：1章)  
きのした しげのり  
木下 繁則 (元 富士電機株式会社：2章)  
やじま ひろゆき  
矢島 弘行 (日本ケミコン株式会社：3章)  
さ さ き まさかず  
佐々木正和 (上智大学：4章)  
しらいし そうし  
白石 壮志 (群馬大学：5章)  
あお き よしやす  
青木 良康 (青木エナジーコンサルティング：6章)  
なおい かつひこ  
直井 勝彦 (東京農工大学：6章)  
ほり よういち  
堀 洋一 (東京大学：7章)

(2018年11月現在, 執筆順)

# 刊行のことば

本シリーズが初めて刊行されたのは、2001年4月11日のことである。21世紀に突入するにあたり、この世紀におけるエネルギーはどうなるのか、どうなるべきかをさまざまな角度から考えるという意味がタイトルに込められていた。第1弾は、小島紀徳先生の『21世紀が危ない—環境問題とエネルギー—』であった。当時の本シリーズ編集委員長は堀尾正韜先生であり、小島先生がその後を引き継がれた。ここでは堀尾先生、小島先生の「刊行のことば」を引きながら、シリーズのその後を振り返りつつ、将来に向けての展望を記す。

『科学技術文明の爆発的な展開が生み出した資源問題、人口問題、地球環境問題は21世紀にもさらに深刻化の一途をたどっており、人類が解決しなければならぬ大きな課題となっています。なかでも、私たちの生活に深くかかわっている「エネルギー問題」は上記三つのすべてを包括したきわめて大きな広がりや深さを持っているばかりでなく、景気変動や中東問題など、目まぐるしい変化の中にあり、電力規制緩和や炭素税問題、リサイクル論など毎日の新聞やテレビを賑わしています。』とまず書かれている。2007年から2008年にかけて起こったことは、京都議定書の約束期間への突入、その達成の難しさの中で当時の安倍総理による「美しい星50」提案、そして競うかのような世界中からのCO<sub>2</sub>削減提案。あの米国ですら2009年にはオバマ政権へ移行し、環境重視政策が打ち出された。このころのもう一つの流れは、原油価格高騰、それに伴うバイオ燃料ブーム。資源価格、廃棄物価格も高騰した。しかし米国を発端とする金融危機から世界規模の不況、そして2008年末には原油価格、資源価格は大暴落した。本稿をまとめているのは2009年2月であるが、たった数か月前には考えもつかなかった有様だ。嵐のような変動が、「エネルギー」を中心とした渦の中に、世界中をたたき込んでいく。

その後、2011年3月11日、東日本大震災が日本を揺らし、エネルギーをめぐる情勢も大きく揺られて、今日に至っている。原子力発電に対しては、安

全・安心といった面からの見直しが行われつつある。化石燃料から再生可能エネルギーへと舵を切るべく導入された固定価格買取制度は、再生可能エネルギーの導入に対しては大きな効果を上げてきたものの、電力の安定供給と費用負担という観点からは必ずしも十分な成果を上げているとは言い難く、制度の見直しが行われつつある。この間、長年の懸案とされてきた電力・ガスの自由化もスタートした。

地球環境問題に目を転じると、京都議定書から18年、パリ協定は採択からわずか1年足らずというきわめて短期間で発効に至った。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が、産業革命以後の気温上昇を1.5℃に抑えるべきと提言し、温室効果ガスの排出抑制への動きは、より一層高まりつつある。また持続可能な開発目標（SDGs）という将来のあるべき姿に向けて、環境以外の領域を含む目標設定もなされている。

エネルギーは、産業革命以後の人類の発展を支えてきた。21世紀においても、その重要性がなくなることはないであろう。いや、むしろ基本的なインフラとしてエネルギー供給の重要度が増すことは間違いない。

シリーズの発刊から20年近くの時を経て、これまで出版された本シリーズへのご意見やご批判もあろうかと思う。この間の状況の変化に伴い、内容が現在から見た将来とは必ずしも合致しない部分も生じているかもしれない。21世紀という長く、そしてエネルギーにとっては大きな変動の時期を見通すことは難しい。さらに、これからこのようなタイトルを取り上げて欲しいといったご提案もあるかと思う。さまざまなご意見・ご要望は、是非、日本エネルギー学会にお寄せいただければ幸甚である。

また、この場をお借りし、これまで多くの労力を割いていただいた歴代の本シリーズ編集委員各位、著者各位、学会事務局、コロナ社に心から御礼申し上げます。加えて現在、本シリーズは、日本エネルギー学会誌および機関誌「えねるみくす」の編集委員会の委員各位からさまざまなご意見を賜りながら編集を進めている。改めて関係者各位に御礼申し上げます次第である。

2018年11月

「シリーズ 21 世紀のエネルギー」 編集委員長 八木田 浩史

# はじめに

近年、環境汚染や地球温暖化などグローバルな環境問題解決のために、低炭素社会を目指したエネルギー革新が求められている。また、2011年の東日本大震災を契機に、これまで無批判に推進されてきた原発依存型エネルギー政策の盲点が明らかとなり、再生可能エネルギーを大幅に取り入れるなど、これまでとは異なった新体制への移行が急務となった。しかし、多くの問題が絡み合うエネルギー問題を一気に解決することは難しい。そこで、まずは利用可能な多種多様の資源を用途に最適な方法で生み出し、蓄電デバイスとの組合せによる効率的なエネルギーのやりくりをすることが重要となる。また、発電・蓄電デバイスは大容量化のみを追求するのではなく、高度に発展してきたIT技術や新半導体（SiC, GaN）を用いたパワーエレクトロニクス技術、革新的ナノテクノロジー材料創製技術を駆使し、それら異分野の技術や知識を融合させ、新しい価値を生み出していかなければならない。その上で、人や自然に対しての安全性を高め、環境負荷を軽減し、自然エネルギーの利用を促進して、持続可能な分散型エネルギーシステムを構築していく必要がある。いわゆるスマートエネルギー（創エネ・蓄エネ・省エネ）社会の確立である。このような背景の中で、太陽電池、燃料電池などを高効率化し、二次電池と組み合わせたハイブリッド電源により電池寿命を2倍以上に伸ばし、信頼性を高める蓄電デバイスとして“キャパシタ”が改めて注目されてきている。

蓄電デバイスは、その蓄電機構によりファラデー反応による電池と非ファラデー反応の電気二重層キャパシタ（EDLC）に大別される。携帯電話やデジタルカメラ、ノートPCなどの携帯機器用途から電気自動車やハイブリッド自動車などの大型用途にまで幅広く使用されているリチウムイオン電池（LIB）やニッケル水素電池、鉛蓄電池などは高エネルギー密度であるが、出力密度が小さい。一方、従来のEDLCはエネルギー密度が10 W・h/L程度と小さいため、メモリーバックアップなどの小・中型用途への利用に限られていた。しかし、高出力密度であることから、ハイブリッド自動車やトラックなどのパワーアシスト用途や、フォークリフトや港湾クレーンなどの大型用途においても利用される

ようになってきた。

最近では、スマートフォンにおける EDLC の利用が広がっており、月産 4000 万個以上が生産されている。米アップル社が、同社のスマートフォン「iPhone」シリーズで積極採用していることも、導入が広がるきっかけとなった。携帯電話機やスマートフォンには、1 台当たり 2～3 個、多い場合には 4 個以上の EDLC がバックアップ電源用途で搭載されている。最近のスマートフォンでは、瞬時に大電流を必要とするアプリや機能がある。こうした急峻な負荷変動に、主電源である LIB だけで対応しようとする、電池の出力変動が大きいため電池容量の減少や、充放電サイクル特性の劣化につながる。キャパシタを補助電源に用いることで、LIB の出力を安定化させ、スマートフォンの利用時間を大幅に延長できるという報告がある。また、従来用いられていたコイン形電池に比べて、リフローはんだ付けに対応できることや、充放電サイクル寿命がきわめて長いなどの理由から、ここに置換需要も高まりキャパシタメーカ（パナソニック、SII、太陽誘電）は生産設備の増強に追われている。このように小型用途において、高エネルギー密度を有した EDLC への要求が高まっている。

また、マツダは世界で初めて乗用車に EDLC を用いたエネルギー回生システム「i-ELOOP」を搭載した「アテンザ」を発売した。「i-ELOOP」は EDLC とオルタネータ、DC/DC コンバータを組み合わせており、減速時の回生エネルギーを EDLC に蓄電し、ヘッドライトやカーナビなど電装機器への供給、バッテリーの充電などを行う。それによりオルタネータの負荷が軽減され、ストロングハイブリッド車に匹敵する燃費性能を実現している。採用された EDLC は日本ケミコンが車載用途に開発したもので、同サイズの従来製品に比較して内部抵抗を約 1/3 に低減したほか、耐熱性も 70℃ 保証とすることでエンジンルーム内への搭載が可能である。さらに、耐久性・耐震性など環境性能も向上させ、2012 年春から生産が開始されている。このように自動車などへの用途が現実的に促進され始め、ますます高エネルギー密度が要求されるとともに、高効率で 10 年以上の長寿命かつ信頼性のある大容量キャパシタの開発が望まれている。

なお、第 3 章の執筆にあたっては日本ケミコン株式会社の宮川尊様に大変お世話になった。また本書編集時には東京農工大学の長野有紀助手に本書全体について表現や用語の入念な確認をしていただいた。ここに謝意を表します。

2018 年 11 月

直井勝彦・堀洋一

# 目 次

## 1 蓄電デバイスから見た現代社会

1.1 従来の蓄電デバイスの問題点：求められる大きな改善テーマ……………	3
1.2 大容量キャパシタとは ……………	5
1.2.1 キャパシタの技術動向 ……………	6
1.2.2 消費者ニーズ / 技術者と開発者との競争 ……………	7
1.2.3 蓄電デバイスの革新こそが世界を変える ……………	8

## 2 キャパシタの仕組み

2.1 電気エネルギーとは ……………	10
2.1.1 いろいろなエネルギーとエネルギーの流れ ……………	10
2.1.2 電気エネルギーの供給の特徴 ……………	11
2.1.3 電気エネルギーとは ……………	12
2.1.4 電 気 の 流 れ ……………	13
2.1.5 電気の粒“電子”とは ……………	14
2.2 電気エネルギーをためる仕組み ……………	16
2.2.1 電 気 の 素 ……………	16
2.2.2 電気の素“電子”をためる蓄電 —誘電体による蓄電— ……………	18
2.2.3 電気の素“イオン”をためる蓄電 ……………	20
2.2.4 化学電池の充放電メカニズム ……………	22

2.2.5	物理電池の蓄電メカニズム	26
2.3	キャパシタが電気をためる仕組み	28
2.3.1	電気二重層の発見	28
2.3.2	電気二重層キャパシタ (EDLC) の蓄電原理	28
2.3.3	EDLC の充電メカニズム	29
2.3.4	EDLC 蓄電部の基本構成と形状	31
2.3.5	EDLC の等価回路	33
2.3.6	EDLC の特性 — $\Omega F$ とカテゴリー —	34
2.3.7	EDLC の電圧	36
2.4	電池との比較	37
2.4.1	エネルギー密度と出力密度	37
2.4.2	寿命	39
2.4.3	電圧の比較	43
2.4.4	温度特性	44
2.4.5	残容量の推定	45
2.4.6	コスト	46
2.4.7	総合比較	47
2.5	環境にやさしいキャパシタ	47
2.5.1	EDLC の構成材料	48
2.5.2	EDLC の安全性	49
2.5.3	耐用年数が長い	52
2.5.4	寿命限界まで使える	52

## 3 キャパシタの上手な使い方

3.1	キャパシタの魅力	53
3.2	エネルギー量の計算	54



3.3 充電の仕方, 放電の仕方 .....	55
3.4 エネルギー残量と電圧変化 .....	56
3.5 キャパシタの劣化と寿命 .....	57
3.5.1 EDLC の寿命 .....	57
3.5.2 劣化の進行 .....	59
3.5.3 劣化のメカニズム .....	61
3.6 冷却による効果 .....	62
3.7 直列接続と並列接続 .....	63
3.8 バランス回路 .....	64
3.8.1 回路の設計 .....	64
3.8.2 バランス抵抗 .....	67
3.8.3 バランス回路 .....	68
3.8.4 統合 IC .....	68
3.9 アプリケーション .....	69
3.9.1 単純並列 .....	69
3.9.2 エネルギーバッファ .....	70
3.9.3 上乘せ .....	71
3.10 使用上の注意 .....	72
3.10.1 過電圧 .....	72
3.10.2 過放電 .....	73
3.10.3 逆電圧 .....	74
3.10.4 過温度 .....	74
3.10.5 電圧ドロップ .....	75
3.10.6 二次電池との並列接続 .....	75
3.10.7 保管 .....	75
3.11 使うほどわかるキャパシタの魅力 .....	76

## 4 自動車を走らせるキャパシタ

4.1	これからの自動車はエンジン駆動から電気駆動に変わる .....	80
4.1.1	自動車の電動化 .....	80
4.1.2	近年における自動車の電動化の経緯 .....	82
4.2	マイクロ/マイルドハイブリッドなど電動補機・電装システムの 電源として .....	85
4.3	ハイブリッド自動車の蓄電源として .....	88
4.3.1	ハイブリッド自動車の仕組み .....	89
4.3.2	ハイブリッド車の省エネ効果要因 .....	91
4.3.3	エネルギー回生を重視する HV へのキャパシタ応用 .....	93
4.3.4	HV 用各種蓄電デバイスの比較 .....	97
4.3.5	HV 用各種蓄電デバイスの車載エネルギー容量 .....	98
4.3.6	HV 用各種蓄電デバイスの寿命比較 .....	100
4.4	EV/PHV の電源として .....	102
4.4.1	EV の電源として .....	102
4.4.2	短区間走行ごとに充電を繰り返す EV バスとキャパシタ .....	104
4.4.3	PHV の電源として .....	107
4.5	電動補機ならびに電子電装機器の電源として .....	108
4.6	蓄電源から見た自動車の電動化, キャパシタの可能性 .....	110

## 5 広がるキャパシタの用途

5.1	従来の使い方 .....	112
5.2	機器の省エネ用途 .....	113
5.3	電力の安定化用 — 瞬間電圧低下補償システム — .....	115

5.4 再生可能エネルギーの蓄電源として	
— 風力発電・太陽光発電など —	116
5.5 その他の用途	118
5.5.1 電動式フォークリフト	118
5.5.2 パワーショベル	119
5.5.3 トランスファークレーン	120
5.5.4 エレベーター	121
5.5.5 旅客機	123
5.5.6 小惑星探査用移動ロボット	123
5.5.7 風力発電バックアップシステム	124
5.6 ユビキタスとなるキャパシタ	125

## 6 キャパシタの進化

6.1 リチウムイオンキャパシタ	128
6.1.1 LiCの原理と特徴	130
6.1.2 リチウムプレドープ技術	131
6.1.3 LiCの特性	134
6.1.4 LiCの寿命	136
6.1.5 LiCの安全性	137
6.1.6 LiCに期待される用途	139
6.2 ナノハイブリッドキャパシタ	148
6.3 第三世代キャパシタの展開	155
6.4 キャパシタの進化によるエネルギー事情の改善	159

## 7 キャパシタが支える21世紀の社会

7.1 ガソリンと電気	163
-------------	-----

7.2	モータ / キャパシタ / ワイヤレス .....	163
7.2.1	モータ — モーション制御 — .....	164
7.2.2	キャパシタ — ちょこちょこ充電 — .....	164
7.2.3	ワイヤレス — だらだら給電 — .....	166
7.3	100年ごとのパラダイムシフト .....	168
7.4	キャパシタは「エネルギーと知恵の缶詰」 .....	170
	<b>引用・参考文献</b> .....	<b>173</b>

# 1

## 蓄電デバイスから見た 現代社会

近年の電子技術の急速な進展により、電子機器を駆動するための蓄電デバイスの需要が大幅に拡大している。特にスマートフォンの商品化により「リチウムイオン電池の蓄電量」は消費者から非常に期待を集めるようになった。

例えば、アップル社製スマートフォンの電池容量は2007年の初代iPhoneでは1400 mA・hだったが、2016年モデルのiPhone 7では1960 mA・hとなり、9年間で約40%も増加している。さらにアップル社は、電池容量の増量だけでなく、消費電力を考慮したiOSソフトウェアの最適化も進めている。電池容量を増量しても、スマートフォンに搭載可能な「電池容量に限界」があるからである。このようにアップル社をはじめスマートフォン各社は、液晶パネルや電子部品などの周辺デバイスの消費電力を抑える設計に努力をしている。

それでも私たちは「電池切れの不安」から、どこへ行くにもパソコンやスマートフォン用の数種類の充電アダプタ、ケーブル、外部バッテリーなどを持ち歩いている。読者の皆さんも、電池については「充電時間の短縮」「充電量を大きくしたい」「バッテリーの交換時期は長く」と思っているのではないだろうか。

しかし、このあたりで、使用する分の容量の電池を持ち運ぶという発想を変えてみてはいかがだろうか。例えば、鉄道やバスなどで利用するICカードのことを思い出してみよう（JR東日本のSuicaや、JR西日本のIcoca、JR東海のManaca、首都圏などで使えるPasmoなど）。使いたい分だけを入金し、不足したら、使いたい分だけを追加で入金するシステムである。これと同じよう

## 2 1. 蓄電デバイスから見た現代社会

に、電池も使いたいときに使いたい分だけ充電するようにできれば、補助電池を持ち歩く必要はなくなる。

ただし、従来の電池で上記のことを行うには下記の問題点がある。

① 現在のリチウムイオン電池では充電時間がかかる。

→ お茶する時間、買い物する時間内に充電を完了したい。

② 充電する場所が限られる。

→ ショッピングセンターやカフェに常備してほしい。

これらの問題は、急速に充電できる電池が実現すれば、解決できるかもしれない。じつは、本書のテーマである「大容量キャパシタ」がその「急速に充電できる電池」なのである。

話は変わるが、近年は「原子力エネルギー・環境・資源」などの問題が地球規模で問題提起され

- 原子力エネルギー → 自然エネルギー
- ガソリン車 → 脱ガソリン車
- 希少金属資源の有効利用 → 非希少金属の利用

の早期の実現が緊急な課題となっている。そして、これらの課題を解決・実現するために、産業機器用の最新の蓄電デバイスへの需要が高まっている。それは、これらの解決・実現に電気自動車の普及の取組みが関わっているからである。

じつは、電気自動車は国が進める「スマートグリッド構想」の一部なのだ。経済産業省はスマートグリッドを「家庭やビル、交通システムをITネットワークで連携し地域でエネルギーを有効活用する次世代の社会システムのキーデバイス」と定義している。そしてそのメリットとして、「自然を利用した発電は天候により発電量は変化します。一方で電力の消費量も朝・昼・夜と変化します。スマート社会では変化する電力の需要と供給をITネットワークでコントロールし、無駄なく安定した電力を活用します」と説明している。このシステムの中で最も重要になるのが大容量電池を搭載する電気自動車なのである。

この自動車用電池には、問題点として下記の4点が挙げられる。

- ① 大容量リチウムイオン電池は工場での生産工程で「温室効果ガス」の排出量が多い。
- ② 大容量リチウムイオン電池は使用済みを処分するときに多くの重金属を含んでいるだけでなく、解体時の取扱いによっては爆発や炎上の危険がある。
- ③ 希少金属を使用するため、地球環境の親和性には適さない。
- ④ 寿命が短い。したがって、リユースの仕組みを整えなければならない。

以上、スマートフォンなどに使う民生用電池や電気自動車用電池の問題点を述べてきたが、本章ではそれらの問題点について詳しく考えてみる。

## 1.1 従来の蓄電デバイスの問題点： 求められる大きな改善テーマ

これまで蓄電デバイスに求められたのは、以下の4点であった。

- **エネルギー密度が高いこと** エネルギー密度とは、どれだけエネルギーを貯蔵できるかということである。つまり、この数値が大きければ大きいほど長い時間スマートフォンを使うことができることになる。ここで注目していただきたいのは、エネルギー密度を表す「Wh/kg」という単位である。これは、重量当りのエネルギー量ということを表している。いくら「エネルギー量が大きく」ても、「蓄電デバイス自体が重く」ては用途によっては使うことができない。実際、スマートフォンでも自動車でも、重量と容積に制限がある。つまり、蓄電デバイス自体が「軽い」「エネルギー量が大きい」そして「的確な価格」の三拍子が揃わないと用途と合わないのである。
- **使用できる寿命が長いこと** 寿命の長さは、1回の充放電を1サイクルとして、何サイクル充放電できるかで表される。寿命には、「消費者が期待する寿命」というものがあるが、用途やコストによってその長さは違ってくる。通常の電池は3年くらいで交換だが、用途によっては5年から10年以上の場合もある。

#### 4 1. 蓄電デバイスから見た現代社会

• **充放電効率が低いこと** 充放電効率とは、充電量 100% のエネルギーを基準として、充電で蓄えたエネルギーをどのくらい放電できるかの割合である。つまり放電効率である。100% 充電できても、放電が半分しかできなければ、放電効率は 50% となる。どのような使用状況でも期待値は 90% 以上である。

• **コストが安いこと** 蓄電デバイスに限らず大切なことである。

しかし、駆動させる応用分野が「携帯端末」のような小型モジュールから、「電気自動車」「太陽光・風力などの自然エネルギー充電システム」など大型化するに従って、これまでの蓄電デバイスでは「役割」を果たせなくなっている。これからの蓄電デバイスに要求される改善テーマは

- パワー密度
- 使用環境温度差の拡大
- 安全性の担保
- 希少金属を使用しない

である。これらのテーマについて、以下で簡単に紹介しよう。

① **パワー密度** 瞬間的に最大限に出力できるエネルギー量のことである。パワー密度の単位は W/L もしくは W/kg で表す。つまり、単位体積または単位重量当りに出入りすることのできるエネルギーの量である。この数値が大きければ充電・放電するエネルギーの量が増える。エネルギー密度をパワー密度で割ると、時間単位の充放電特性を評価することができる。

② **使用環境温度差の拡大** 使われる最終製品やモジュールがどのような「環境温度」で使用されるかということである。携帯端末は人間が耐えられる環境で使用されることが多い。しかし、自動車や特殊車両（建設機械など）、自然エネルギー発電所などでは砂漠から極寒冷地まで極限の使用環境温度で使用される。従来の蓄電デバイスの使用環境温度は  $-10 \sim +40^{\circ}\text{C}$  であったが、これからの応用分野では  $-40 \sim +70^{\circ}\text{C}$  までが求められている。過酷な環境で 10 年以上の寿命が求められる分野では、従来の電池を使用することはできない。



③ **安全性の担保** 近年は飛行機のメインの駆動デバイスにリチウムイオン電池が採用されるようになった。以前、パソコンで電池の発火が問題になったが、材料や構造は違っても、同じ原理のリチウムイオン電池が今も使用されている。また、人間の命を預かる応用分野でも蓄電デバイスが積極的に採用され始めている。したがって、どのような使われ方をしても、「燃えない」「爆発しない」「事前に劣化診断ができる」などの安全性が担保されなければならないようになった。

④ **希少金属を使用しない** 現在の電池の主材料であるリチウム、ニッケル、マンガン、チタンなどは希少な金属である。電池の需要が増大することは良いことだが、地球の希少な資源を際限なしに使用することは未来の地球にとって避けなければならない課題である。

## 1.2 大容量キャパシタとは

従来の蓄電デバイスの問題点を克服した蓄電デバイスが「大容量キャパシタ」であると述べたが、通常の「キャパシタ＝コンデンサ」と大容量キャパシタとの違いは、図 1.1 に示すように、蓄えられる電気容量（2章参照）の大きさの違いである。

日本では電気を蓄える電子部品を「コンデンサ」と呼称しているが、英語での呼称は「capacitor（キャパシタ）」である。図 1.1 ではあえてフィルムコン

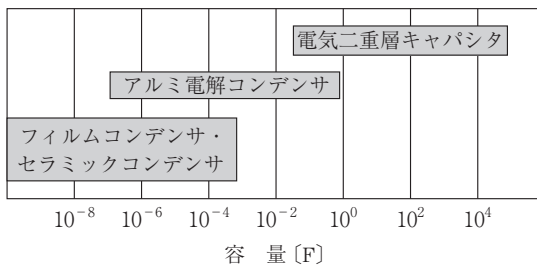


図 1.1 キャパシタ（コンデンサ）の種類と容量範囲

— 編著者略歴 —

<b>直井 勝彦</b> (なおい かつひこ)	<b>堀 洋一</b> (ほり よういち)
1980年 早稲田大学理工学部応用化学科卒業	1978年 東京大学工学部電気工学科卒業
1982年 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了(応用化学専攻)	1983年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了(電子工学専攻), 工学博士
1982年 ドイツ BASF 社 (Ludwigshafen) 応用技術研究所	1983年 東京大学助手
1988年 早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了(応用化学専攻) 工学博士	1984年 東京大学講師
1988年 米国ミネソタ大学博士研究員	1988年 東京大学助教授
1990年 東京農工大学講師	1991年 米国カリフォルニア大学バークレー校客員研究員
1995年 東京農工大学助教授	2000年 東京大学教授
2001年 東京農工大学教授	現在に至る
現在に至る	

## 大容量キャパシタ

— 電気を無駄なくためて賢く使う —

© 一般社団法人 日本エネルギー学会 2019

2019年1月7日 初版第1刷発行

検印省略

編者	一般社団法人 日本エネルギー学会 ホームページ <a href="http://www.jie.or.jp">http://www.jie.or.jp</a>
編著者	直井 勝彦 堀 洋一
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
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 978-4-339-06834-4 C3354 Printed in Japan

(柏原)



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。