

# 電気を貯める



電気の知識を深めようシリーズ Vol.6

# 電気を貯める

一般社団法人 電気学会

## まえがき

この冊子の主役は電池です。皆さんも知っているとおり、電気を貯めて使うのが「電池」です。電気技術の中では、かなり古くから使われている技術ですが、社会の中で生まれる新たな要求や、電池を必要とする技術の進歩とともに、常に進化していくことが望まれる技術でもあります。この冊子は、「電気を貯める」をテーマとして、3つの章で構成されています。

1つ目の「電気を貯めて使う」では、電池を使う用途や必要性から、貯める技術について利用者の視点で見えていきます。最初に、私たちの身の回りにある電気を持ち運んで使う技術、次に、環境問題の改善などのために、これからますます重要性が高まる電気自動車、そして、再生可能エネルギーなどを安定して利用するための蓄電技術、に着目してまとめています。

2つ目の「電気エネルギーを貯める技術」では、電気を貯める技術の根幹に迫ります。電池は、1回使ったらそれで終わりの一次電池と、充電することで繰り返し使える二次電池とに分類されます。これらの「電池」のしくみはどのようなようになって、どのような種類があり、それぞれにどのような特徴があるのかを紹介します。

3つ目の「電気を貯める技術」のこれからでは、未来に向けた電気を貯める技術への期待と課題を見ていきます。貯める技術の研究開発には、未解決な技術、だからこそ魅力的な課題がたくさんあります。この章を読んで、それらの課題を解決する方法を考えたり、ここに書かれてない新たな課題を見つけたり、未来を切り拓く「アイデア」を研いでください。

# 目次

まえがき	ii
1 電気を貯めて使う	1
電気を携帯して使う	1
据え置き家電から携帯して楽しむ家電へ	1
携帯家電から個人で楽しむ機器へ	4
繰り返し充電して利用する「二次電池」	5
最初の携帯電話は重かった・・・	6
スマートフォンのバッテリー容量の読み方	7
コラム：ポータブル機器用リチウムイオン電池の定格表示	8
ウェアラブル時代にも活躍する貯める技術	9
電気自動車に使う	10
100年以上前にも電気自動車は走っていた！	10
エジソンも二次電池を作っていた！	11
二次電池の技術が追いつかず、消えた電気自動車	12
ガソリン車とディーゼル車の特徴と課題	12
コラム：日本人が初めて運転した自動車	13
再び訪れた電気自動車の時代を支える技術躍進	17
コラム：北京オリンピックの青空	18
電気のでモーターを動かす自動車の特徴	19
システム技術として自動車を考える	25
据え置きの設備として使う	26
なぜ電気を貯めたいのか	26
再生可能エネルギーの利用促進	31
全国でのメガソーラーの建設拡大	33

大型発電設備との共存へ	36
スマートグリッドでの再生可能エネルギー利用	37
コラム：電気の供給と消費のバランス(同時同量)	<b>39</b>
2 電気エネルギーを貯める技術	40
電気を貯める電池	40
化学電池のしくみ	40
コラム：世界初の化学電池「ボルタ電池」	<b>41</b>
一次電池と二次電池	42
コラム：「一次」、「二次」ってなあに？	<b>44</b>
コラム：二次電池の容量	<b>45</b>
電気を貯める技術	46
電気を貯める難しさ	46
電気エネルギーに変換して使うエネルギーのいろいろ	47
揚水発電の特徴	49
ハイパワー用電力コンデンサーの特徴	50
フライホイールの特徴	52
超電導電力貯蔵装置の特徴	52
代表的な二次電池とその特徴	54
二次電池の種類	54
鉛蓄電池	54
ニッケル水素電池	55
リチウムイオン電池	57
ナトリウム硫黄 (NaS) 電池	57
レドックスフロー電池	59
二次電池はリサイクルへ！	59

コラム：意外と深い、日本と電池の関わり	60
3 「電気を貯める技術」のこれから	62
再生可能エネルギーの利用拡大	62
電力貯蔵の利用拡大に向けて	62
今よりさらに拡大した電力の運用システムへ	62
高機能な蓄電設備の開発から見える未来	63
電力貯蔵の技術開発	63
さらに高性能な「貯める技術」への期待	64
本冊子の企画趣旨について	66
電気の知識を深めようシリーズ	
刊行ワーキンググループメンバー	67

## 電気の知識を深めようシリーズについて

電気の知識を深めてもらうことを目的とした本シリーズには、以下の7つの小冊子が用意されています。併せて読むと「電気」がもっとおもしろくなりますので、是非お読み下さい。

- Vol. 1 電気とは何だろう
- Vol. 2 私たちの身近にある電気
- Vol. 3 電気の基本を考えてみよう
- Vol. 4 電気をつくる
- Vol. 5 電気を送る・配る
- Vol. 6 電気を貯める
- Vol. 7 スマートに安全・確実に電気を使う

# 1 電気を貯めて使う

スマートフォンや携帯電話のような小型で携帯して使うものには、充電して（電気を貯めて）繰り返し使える電池が使われています。乾電池として知られるマンガン電池やアルカリ電池は、充電して繰り返し使うことができません。このように一度切りしか使えない電池は「一次電池」と呼ばれています。一方、スマートフォンで使われているような充電して繰り返し使うことができる電池は、「二次電池（蓄電池、バッテリーなどとも呼ばれます）」と呼ばれています。

二次電池の用途は、大きく分けると3つに分類することができます。1つ目は、スマートフォンのような小型で携帯できる機器用のもの、2つ目は、自動車や飛行機用のある程度の電気が貯められて移動可能なもの、3つ目は、落雷による停電や災害時に電力を補う非常用電源として、あるいは、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギーを安定して利用するために、地上に据え置いて利用するものです。

ここでは、この3つの用途を中心にして「貯めて使う電気」について、歴史的な発見やイノベーション（技術革新）も振り返りながら見ていきましょう。

## 電気を携帯して使う

### 据え置き家電から携帯して楽しむ家電へ

携帯して使うものといえば、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、音楽プレイヤー、サウンドレコーダーといった、小型で一つの役割に特化したものや、ノート型パソコンや iPad

のようなタブレット型端末のように多機能なものなど、携帯電話やスマートフォン以外にもさまざまなものがあります。

現在のように、さまざまなものを携帯して使用する社会への発展に大きく貢献したと言われているのが、「トランジスタラジオ」です。

トランジスタは、1948年にアメリカのベル研究所で発明され<sup>1</sup>、その後の電気電子の世界に革命をもたらした半導体素子で、微小な信号を増幅して取り出すことができる非常に小型で軽量の電子部品です。

当時のラジオは、真空にしたガラス管（真空管）を複数並べた真空管ラジオと呼ばれるものでした。例えば、図1は、1951年に松下電器産業株式会社（現在のパナソニック株式会社）から発売された真空管ラジオ US-200 です。内部の写真から5本の真空管が並んでいることがわかります。

この US-200 型の真空管ラジオは、当時としては比較的小型だったと言われていますが、高さ約 25cm×幅 40cm×奥行き



図1 真空管ラジオ 正面（左）と内部（右）の写真  
（画像提供：日本ラジオ博物館）

---

<sup>1</sup> トランジスタは、ベル研究所の研究者だったウィリアム・ショックレー、ジョン・バーディーン、ウォルター・ブラッタン<sup>2</sup>の3名によって発明されました。3人はその榮譽を称えられ、1956年にノーベル物理学賞を受賞しました。

23cm で、重量は 6kg 程度だったため、家の中に据え置いて家族みんなで楽しむものでした。

そんな中、1954 年、世界初のトランジスタラジオがアメリカのリージェンシー社から発売され、翌年の 1955 年には、現在のソニー株式会社の前身である東京通信工業株式会社から、日本初のトランジスタラジオ TR-55 が発売されました<sup>2</sup>(図 2)。

内蔵されたトランジスタは、図 2 の右の写真にあるように非常に小さいため、TR-55 は、高さ約 9cm×幅 14cm×奥行き 4cm、重量 560g と真空管ラジオに比べて非常に小型で軽いものとなりました。さらに、トランジスタラジオは、乾電池を電源としているため、持ち運びが可能で、どこでも楽しめるようになりました。

こうして真空管ラジオは、ラジオ受信器としての主役の座をトランジスタラジオに譲りましたが、電源を入れるとほんのりオレンジ色に光る真空管の様子は美しく、現在もそれに魅了さ

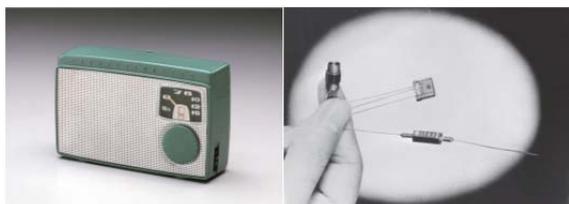


図 2 日本初のトランジスタラジオ TR-55 (左) と  
TR-55 に内蔵されたトランジスタ (右)  
(画像提供：ソニー株式会社)

---

<sup>2</sup> 世界初のトランジスタラジオを販売したリージェンシー社は、その商売に失敗しますが、ソニーは大成功しました。その違いはなんだったのでしょうか。イノベーションに興味がある人は調べてみてください。

れて、真空管を箱に収めずに飾りとして見せるラジオを自作したり、改良して音の変化を楽しむ「真空管ラジオファン」が少なくありません。

ラジオと同じように、家族みんなで楽しむ家電の一つだったのが、蓄音機やレコードプレイヤーなどの音楽を再生する機器です。1960年から1990年ころは、カセットテープと呼ばれる音楽の録音再生が可能なテープが広く一般に使われるようになり、「ラジカセ」と呼ばれる、カセットテープレコーダーにラジオ機能の付いた音楽プレイヤーがほとんどの家庭で使われるようになりました。

ラジカセは、据え置きで使用するレコードプレイヤーに比べて小型、軽量で、また、乾電池による利用が可能だったため、外出時に持ち歩いたり、路上で仲間とラジカセを囲み、音楽を聴いたり踊ったりする「竹の子族」の文化も生まれました。

### **携帯家電から個人で楽しむ機器へ**

1979年、世界で初めてのポータブルオーディオプレイヤーである「ウォークマン®」が、ソニー株式会社から発売されました。このウォークマンの特徴は、小型であったことだけではなく、スピーカーを使わず、当時開発されていた超軽量ヘッドフォンを採用したことが大きな特徴でした（図3）。

これによって、周りを気にせず、いつでもどこでも好きな曲を好きな時に個人（パーソナル）で楽しむ、という新しいライフスタイルが確立され、社会風景さえもガラリと変えるきっかけとなりました。現在では世界中で見られる当たり前の光景は、ウォークマンの登場がなければなかったとも言え、日本から生まれた画期的な商品企画の一つと言えます。



図3 世界初のポータブルオーディオプレイヤー“ウォークマン®”  
(画像提供：ソニー株式会社)

販売当初のウォークマンは、乾電池を使っていて、電池を取り替えて使う必要がありましたが、以降は充電して使える二次電池使用モデルも登場しました。

ウォークマンが作ったパーソナルに楽しむ、というライフスタイルは今、インターネットから音楽をダウンロードして、ウォークマンをはじめとする iPod などの携帯型音楽プレイヤーやスマートフォン、パーソナルコンピューター、iPad などのタブレット型端末などで楽しむという形に進化しています。

### 繰り返し充電して利用する「二次電池」

スマートフォンやデジタルカメラ、ノートパソコンなどは、家庭やオフィスに据え置いて使うような固定電話や冷蔵庫などと違って、常にコンセントにつないでいなくても使うことができます。

今私たちが、携帯電話やスマートフォンなどを電車の中でも、バスの中でも、家の中のどこでも、コンセントにつながず、手軽に使うことができるのは、繰り返し充電することが可能な電池、「二次電池」を利用しているからです。

世界で初めて開発された二次電池は、1859年にフランスの科学者だったガストン・プランテによって発明された鉛（なまり）蓄電池です（図4）。

鉛蓄電池から始まった二次電池の研究開発の歴史は、社会の

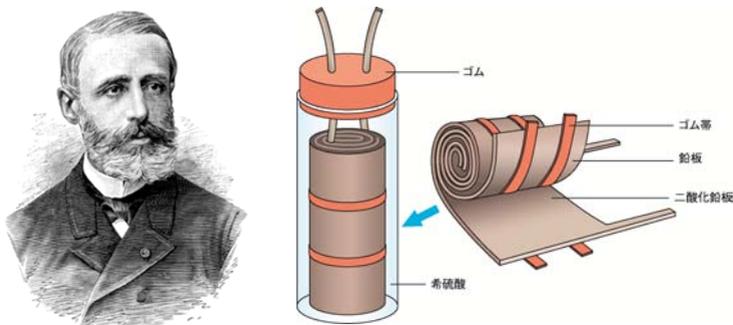


図4 プランテ (左)、プランテが発明した鉛蓄電池の構造 (右)

発展とともに進んでいき、二次電池はどんどん小型で、長時間使うことができる大容量なものに進化していきました。この二次電池のおかげで、コンセントがなくても、電気を便利に利用することができる社会が実現されたのです。

この冊子の最後に紹介するように、その研究開発は現在も活発に進められ、新しい二次電池を生み出し続けています。

### 最初の携帯電話は重かった・・・

本シリーズ Vol.2 の「私たちの身近にある電気」でも紹介されているように、1979年に開始された自動車電話サービスや、1985年に販売された「ショルダーホン」から携帯電話の歴史は始まりますが、ショルダーホンの重さは3kgもありました。

ショルダーホンにも、もちろん二次電池が使われていましたが、この二次電池が大きくて重かったため、ショルダーホンはどうしても重くなってしまったのです。しかも、フル充電（電池が貯めることができる最大まで電気を貯めた状態）までに約8時間かかり、最長でも40分しか通話ができませんでした。

2016年現在市販されているスマートフォンの重さは150g

前後ですから、ショルダーホンの重さは約 20 倍もあります。

## スマートフォンのバッテリー容量の読み方

1 回の充電でできるだけ長く使うことができるスマートフォンを選ぶとしたら、スマートフォンに内蔵されている二次電池、バッテリーの容量を調べる必要があります。

スマートフォンのカタログには、それぞれの機種を紹介するページに、図 5 のようにバッテリー容量が必ず載っています。この図では、2200mAh と書かれていますが、この数字が大きければ大きいほど、電気を多く貯めておけるというわけです。「mAh」は、「ミリアンペアアワー（または、ミリアンペア時）」と読み、バッテリーに蓄えられる電気の量を表す単位です。

この単位は、mA（電流の大きさ）×h（電流を流す時間）を意味していて、ある電流の量で何時間電気を使うことができるかを表しています。例えば、200mA 消費するアプリを使っているとしたら、2200mAh のバッテリーを何時間使うことができるでしょうか。2200mAh を 200mA で割ると「11」なので、11 時間は使うことができるという計算ができます。

実際には、ディスプレイの大きさなどによって、また使用しているアプリによって電流の消費量が異なるので、バッテリー容量が大きいから長持ちする、と決めつけることはできませんが、目安にはなります。



図 5  
スマートフォンの  
バッテリー容量の  
表記例

## コラム：ポータブル機器用リチウムイオン電池の定格表示

リチウムイオン電池に記載されているmAh(またはAh)の数字は、電池に貯えられたエネルギーのうち外部に有効に取り出せる電気量を表しています。従来は公称容量や定格容量で表示されていましたが、欧州電池指令以降は、定格容量表示に統一されました。定格容量は、規定された方法によって電池を充電及び休止後に、5時間で放電終了する電流値によって放電したときの容量mAh(またはAh)で表示されます。

電池に2200mAhと表示されていれば、440mAで5時間使用できる容量になります。一般にこれより小さい電流で使用すれば、2200mAhより大きな容量まで使用できます。なお、電池の種類によって定格容量の表示方法が異なる場合があるので注意が必要です。

※公称容量 (nominal capacity) :

電池の製造者が指定する設計上の中心容量。

※定格容量 (rated capacity) :

電池の製造者が保証する最低容量 (mAh または Ah)。

電圧値は公称電圧 (nominal voltage) で表示される。

※欧州電池指令 :

2008年に施行され、欧州地域での電池の有害物質の含有規制、リサイクルを要求する規制。この規制の中で容量表示の不統一を無くすために国際規格での表示が統一化された。

## ウェアラブル時代にも活躍する貯める技術

最近、スマートウォッチ、スマートグラスなど、腕時計やリストバンド、メガネのような形状で、身につけて利用する（着ることができる＝ウェアラブル）電子機器の開発、販売が進められています。

例えば、メガネ型のスマートグラスでは、見ている景色をそのまま、視線の動きの通りに録画、撮影できるなど、その娯楽性や利便性が広がります。スマートグラスを使うと、旅行先で自分が見ている風景を、インターネットを通じて、家族や友達に送ることもできるようになるのです。

さらに、ウェアラブルであるためにその利用が期待され、開発が進められている分野に医療、福祉の分野があります。

これらの機器は、身につけている人の心拍数や脳波などを本人の不快感や違和感なく記録、分析し、健康管理や運動トレーニングをサポートすることを目的としていて、スマートフォンなどのアプリと連動させてグラフ化して確認することもできます（図6）。

このように、自身の健康管理ができることはもちろんですが、



図6 心拍センサー搭載 SmartBand 2  
(画像提供：ソニー株式会社)

離れて暮らす両親の健康状態を毎日チェックすることも可能となるため、見守り機能の一つとしても有効です。

ウェアラブル機器は、重くしては使えませんし、すぐに充電が切れてしまっても、継続したデータを記録することができないため、超小型で長時間利用可能な二次電池が利用され、これからもそれに特化した二次電池の開発が必要となるでしょう。

## **電気自動車に使う**

自動車は、私たちの生活に大きな便益をもたらしています。国の産業としても大きく、化石燃料を中心とするエネルギー消費の面でも大きな存在です。その自動車技術が、電池の進歩によって大きく変わりつつあります。

### **100 年以上前にも電気自動車は走っていた！**

電気自動車は、その名の通り電気の力でモーターを動かすことで走る車です。現在は、国内や海外のいくつかの自動車メーカーによって電気自動車が発売されていて、町中でも普通に見かけるようになっていますが、「最近の車」という印象のほうが強いでしょう。

ところが実は、ガソリン車も開発途上だった 1870 年代にイギリスの発明家だったロバート・ダビットソンによって世界で最初の電気自動車が実用化されています。ただし、ダビットソンが実用化した電気自動車では、充電することのできない一次電池を使っていました。

1881 年には、電気自動車用に改良されたガストン・プランテの鉛蓄電池(図 4)が電気自動車の電池として採用され、1900 年ころまでの電気自動車に使われていました。

当時の鉛蓄電池は、重くて持続時間の短い電池で、1回の充電での走行距離は80kmだったものの、欧米では電気自動車の最盛期を迎えました。

この当時は、町中を馬車や蒸気自動車が走り、ガソリン車の販売も始まっていましたが、騒音や振動が少なく、運転が簡単で、排気ガスも出ないことから、当時の貴婦人たちにもとても人気があったといえます。

### エジソンも二次電池を作っていた！

1909年には、白熱電球の発明などで有名なエジソンが「エジソン電池（ニッケル・アルカリ蓄電池）」と呼ばれる二次電池を発明し、電気自動車を走らせることに成功しています。「エジソン電池」は、鉛蓄電池よりも軽量、大容量で、電気自動車の走行距離を2倍に延ばす画期的なものでした。エジソンはこの車で、アメリカのニューヨークとニューハンプシャー間の1,000マイル（約1,600km）を、途中で何度も充電しながら走りきりました。この走破を達成し、誇らしげに電気自動車脇に立つ、下のようなエジソンの写真が残されています（図7）。

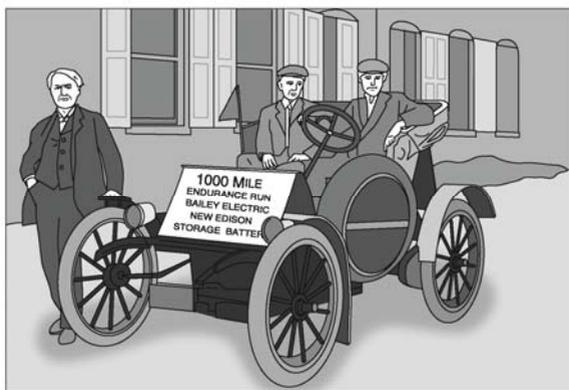


図7 1,000マイル走破した電気自動車とエジソン（左端）

## 二次電池の技術が追いつかず、消えた電気自動車

ところが、この当時の電気自動車の時代は、そう長くは続きませんでした。当時の二次電池は、非常に重く、貯められる電気の量にも限界があったため、長距離を走るためには何回も何回も途中で充電する必要がありました。

エジソンは、1903年に自動車メーカーのフォードモーター社を創業したヘンリー・フォードとともに、充電なしで長距離を走行できる軽量の蓄電池を開発するためのプロジェクトを立ち上げ、その実現を目指しましたが、思うように性能を上げることができず、その開発を断念しています。

そして、エジソンが電気自動車で1,000マイル走破した前年の1908年に、フォードモーター社から発売されたガソリン車「T型フォード」が、電気自動車の時代からガソリン車の時代へと変わる大きな起点となりました。

T型フォードは、大量生産可能な体制を整えることで低価格で大衆向けの自動車の販売を実現し、かつ全米規模でのアフターサービス体制を整えて維持費を抑えるなど、現在の自動車製造販売スタイルを作り出した最初の自動車と言われ、これによって自動車産業は巨大なものになり、ガソリンスタンドの整備なども進んだことから、1920年を過ぎた頃には、ほとんどの車がガソリン車となりました。

電気自動車は、蓄電池が重い上に電池容量が限られていたため持続時間が短く、長距離走行ができないという欠点をどうしても克服できず、消えていくこととなったのです。

## ガソリン車とディーゼル車の特徴と課題

では、なぜ今、電気自動車が改めて注目され、一般にも利用

できるようになったのでしょうか。その話をする前に、自動車として一般的な、ガソリン車とディーゼル（軽油）車の特徴と課題を整理しておきましょう。

ガソリン車とディーゼル車は、エンジン内部で燃料（ガソリンまたは軽油）を燃焼、爆発させることで膨張した燃料ガスが押し出される力を動力とする自動車です。

ガソリンは、火花があればすぐに燃え始める性質があり、軽油は、高温で高い圧力を受けると発火する性質があります。

そのためガソリン車は、ライターを着火するときのように火花を起こすことで着火する構造となっていて、すぐに動力部分

### コラム：日本人が初めて運転した自動車

1900年、当時の皇太子（後の大正天皇）の成婚記念に、アメリカのウッズ社製の電気自動車が献上されました。皇太子を乗せる前に試運転を任された、後に東京電機大学の創設者となる廣田清一が、初めて自動車を運転した日本人とされています。

しかし残念ながら、この車に大正天皇が乗ったという記録はありません。実は、試運転中に（日本初の）自動車事故が起きてしまい、危険な乗り物と思われる、乗ることができなかったと言われています。



献上された電気自動車

（東京日日新聞 1900年9月8日）

\*参考資料：森本雅之「我が国で最初に走った電気自動車」, 電気学会半導体電力変換研究会資料（2012）

の回転数を上げることができるのが特徴で、一般的な乗用車など比較的小さい自動車に利用されます。

一方のディーゼル車は、エンジン内部の空気を圧縮して圧力と温度を上げ、そこに燃料である軽油を霧状にして噴射することによって発火、燃焼させていて、速い回転は苦手ですが、力強く、燃費も良いため、大型トラックやバスなど大きくて重い自動車に使われます。

燃料を使う自動車は、一度の給油で長距離走行することができるため、非常に便利な乗り物です。しかし、このようなエンジンを用いる自動車には、2つの大きな問題があることに、我々人間は気づき始めました。

一つは、地球の地下に眠っている化石燃料と呼ばれる資源を掘り起こし、燃やして使用するため、いつかはそれらの資源が地球上からなくなってしまうという問題です。

そしてもう一つは、燃料を「燃焼する」ことで発生する排気ガスによる環境汚染です。ガソリン車が普及しはじめたころは、ほとんど意識されていませんでしたが、1950年代以降、自動車の排気ガスによる環境汚染の問題が深刻となり、対策の検討や法律による規制が始まりました。

排気ガスに含まれる二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) が地球温暖化<sup>3</sup>の原因を作ること、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>、ソックス)、窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>、

---

<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>、メタン、水蒸気などは、地上から出た赤外線を吸収し、再び放出する性質を持っているので、温室効果ガスと呼ばれます。温室効果ガスによる地球温暖化も重要な問題ですが、私たちの住む地球が、非常に長い時間をかけて作ってきた化石資源を、私たちの世代が気ままに使ってよいのだろうか、また後の世代にどれだけ残すことができるのだろうかという問題も、同時に考えていく必要がありますね。

ノックス)、微粒子状物質 (PM、ピーエム) によって大気が汚染され、光化学スモッグや酸性雨<sup>4</sup>が発生し、これらの汚染物質がぜんそくやがんの発症の原因となることがわかったのです。

特に、粒子サイズが 2.5 $\mu\text{m}$  (マイクロメートル) 以下の PM は PM2.5 と呼ばれ、図 8 で見ても分かるように、髪の毛よりも、スギ花粉よりもずっと小さい粒子なので、呼吸器や循環器に入り込んで人体に大きな影響を与えます。

1950 年代のイギリスのロンドン<sup>5</sup>、アメリカのロサンゼルス、日本の工業地帯や大都市部でも、近くの景色も霞むほどの大気汚染に悩まされたことがありましたが、現在はさまざまな排気ガスの規制などによって改善されています。しかし、法的な規制が十分に行われていない国では、PM2.5 による深刻な大気汚染が続いています。

2015 年現在、PM2.5 の年間平均濃度が世界で最も高い都市は、インドのニューデリー市で、日本で定められている基準値の約 10 倍もの濃度の PM2.5 が大気中に広がっています。

2015 年 12 月に、インドの公的調査機関である科学環境センターが公表した報告書によると、ニューデリー市では、大気汚染が原因とみられる肺疾患などの病気によって年間 1 万人を

---

<sup>4</sup> 酸性雨は、河川や土壌を酸性化して、生態系に影響を与えたり、建造物の錆や劣化の原因ともなります。もっと詳しく知りたい場合には、酸性雨に関する知識を紹介している気象庁のホームページ ([http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/acid/info\\_acid.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/acid/info_acid.html)) などを参照してみてください。

<sup>5</sup> 特に、1952 年 12 月に発生した大気汚染は「ロンドンスモッグ (London Smog)」と呼ばれ、この月だけで 4,000 人以上のロンドン在住者が亡くなるという史上最悪の健康被害をもたらした事件として語り継がれています。

超える死者が出ており、車両の利用を制限する通行規制が試行されています。

東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県の一都三県などでは、黒い煙を排出しながら走るディーゼル車は、**NOx** や **PM2.5** をばらまいている、として、**PM** 排出基準を満たしていないすべてのディーゼル車の走行が禁止されています。

ただし最近では、クリーンディーゼル車と呼ばれる、排気ガスによる大気汚染を最小限に抑えた、クリーンで新しいディーゼル車が開発され、その良さが認められるようになってきました。

日本各地や日本に近いアジアの都市の **PM2.5** の濃度は、環境省のインターネットサイト「そらまめ君（そらをマメに監視します）」(<http://soramame.taiki.go.jp/>) で公開されているので、たまに覗いてみると良いでしょう（図9）。

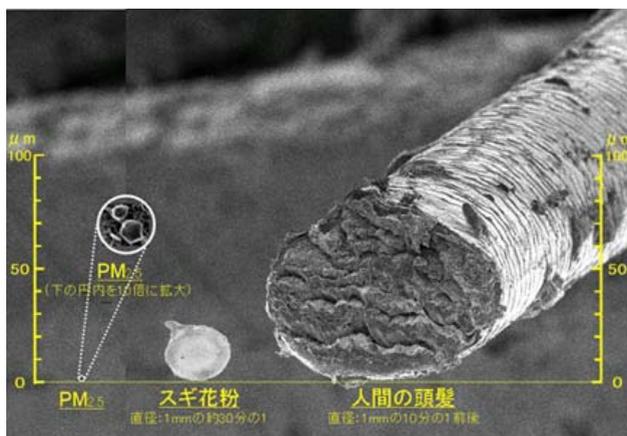


図8 PM2.5の大きさの比較

(出典：東京都環境局 HP「微小粒子状物質（PM2.5）対策」)



図9 「そらまめ君」によるPM2.5観測データ表示例（左）と  
海外都市のモニタリング（右）  
（出典：環境省大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」）

## 再び訪れた電気自動車の時代を支える技術躍進

ガソリン車の普及によって、一斉に姿を消し、研究開発すらされなくなった電気自動車でしたが、大気を汚染しない、クリーンな自動車として再び注目されるようになり、1965年ころから研究開発が再開されるようになりました。

一方で、ガソリン車、ディーゼル車の排出ガスを浄化する技術も進歩していったため、すぐに電気自動車が実用化されることはありませんでした。

しかし、大気汚染の問題は深刻さを増すばかりだったことから、各国で電気自動車の販売を促進する法律が定められるようになり、1990年頃、電気自動車の開発が改めて本格化していきました。一度は普及が進められたにもかかわらず、消えていった電気自動車でしたが、沈黙の70年あまりの間に劇的に変化し、発展したものがありました。

それは、1900年代初頭に多くの科学者や技術者たちが開発、改良に取り組むものの、どうしても解決することができなかった二次電池の技術の大きな躍進です。1990年代の後半から、

## コラム：北京オリンピックの青空

PM2.5 と聞くと、中国の大気汚染をイメージする方も多  
いかもしれません。2008 年に開催された北京オリンピッ  
クの際には、開催の数ヶ月前から国を挙げた環境改善対策  
が行われ、数千もの工場の運転や、建設現場の作業を停止  
したり、車両の走行を制限したりすることで、一時的に「北  
京の青空」を取り戻したことが話題となりました。しかし、  
2009 年には、元の大気汚染状態に戻ってしまいました。

環境汚染や健康に関する調査を行っている、アメリカと  
中国の研究機関による共同研究によって、北京五輪開催中  
に生まれた新生児の体重は、2007 年や 09 年の同じ時期  
に生まれた新生児に比べて、平均 23g 重く、PM2.5 など  
の大気汚染の影響が新生児の体重に表れた、という研究結  
果が発表\*されていることから、PM2.5 が人体へ与える  
影響の大きさや怖さが伺えます。

\*参考資料：David Q. Rich et al. “Differences in Birth Weight  
Associated with the 2008 Beijing Olympics Air Pollution  
Reduction: Results from a Natural Experiment”, Environ-  
mental Health Perspectives, Vol. 123, no. 9, pp. 880-887  
(2015).

ノートパソコンや携帯電話が急速に普及し、それらに使用され  
る二次電池の小型化、軽量化が飛躍的に進んでいたのです。

電気自動車がガソリン車に敗れて消えてから、およそ 100 年  
の時を経て、大気汚染の早期解決と、科学技術の発展による二  
次電池の劇的な進歩という条件が重なり、いよいよ電気自動車  
の時代が到来したと言えます。

新たに開発が進められた二次電池の中でも、特にリチウムイオン電池は、小型軽量であるにも関わらず容量が大きいこと、充電と放電を繰り返して行ってもバッテリー容量の低下が少ないことなどのメリットがあり、電気自動車用としての応用はもちろん、次に紹介する再生可能エネルギーによって作られた電力の貯蔵用としても利用されていて、さまざまな場所で利用できる革新的な二次電池です。

現在、リチウムイオン電池以外にも、次世代の二次電池となる技術の開発は進められています。リチウムイオン電池の性能が非常に良いため、しばらくはリチウムイオン電池の時代が続くと考えられますが、さらに大容量なものや、充電速度の速いものなど、リチウムイオン電池の性能を超える、次世代の二次電池の研究開発も世界的に重要なテーマとなっています。

### **電気力でモーターを動かす自動車の特徴**

電気力でモーターを動かす自動車には、主に表 1 にまとめた 4 種類があります。

いずれも電気でモーターを動かすことに変わりはありませんが、燃料とその補給方法が異なり、求められる性能が変わるため、搭載するバッテリーやモーターの大きさや重さが変わります。

まずは、1997 年にトヨタ自動車の世界で初めて発売したプリウス（図 10）を代表とするハイブリッド車（HEV : Hybrid Electric Vehicle）です。ハイブリッドとは、動物で言えば雑種を意味する言葉です。つまり、複数の仕組みを組み合わせることで、モーターと、ガソリンや天然ガスを燃料とするエンジンの両方を搭載しています。

次に、プラグイン・ハイブリッド車 (PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle) も、ハイブリッド車と同じようにモーターとエンジンを搭載した車です。Plug-in (プラグイン) とは、プラグ (コンセント) を差して充電できることを意味していて、家庭のコンセントや、電気自動車専用の充電ステーションなどから直接充電することが可能です。PHEV 車が充電している様子を図 11 に示します。

表 1 モーターを使う自動車の特徴

	ハイブリッド	プラグイン ハイブリッド	電気自動車	燃料電池車
略称	HEV	PHEV	EV	FCV
搭載物	小バッテリー モーター エンジン	大バッテリー モーター エンジン	大バッテリー モーター	燃料電池 小バッテリー モーター
燃料	ガソリン	電力 ガソリン	電力	水素
燃料補給	ガソリンスタンド	コンセント ガソリンスタンド	コンセント 充電ステーション	水素ステーション
CO <sub>2</sub>	排出する	EV 時は排出 しない	排出しない	排出しない
航続距離 (燃費) *	900km (30km/l)	1,000km EV: 25km (30km/l)	230km	700km

\*航続距離：各自動車の違いをイメージしやすくするために記載した一例です。運転条件や技術進歩で大きく変化する場合があります。

そして、電気自動車（EV：Electric Vehicle）は、エンジンを搭載せず、電気の力のみで動かす車で、こちらも家庭のコンセントなどで充電することが可能です（図 12）。

最後に、次世代の車とも言える、燃料電池車（FCV：Fuel Cell Vehicle）は、水素と酸素の化学反応によって電気を作る燃料電池の仕組みを利用してモーターを動かします。どの自動車も電気でモーターを動かすことには変わりはありませんが、燃料とその補給方法が異なることから、バッテリーやモーターに求められる性能が異なります。

例えば、ハイブリッド車では、加速や減速のときに大きな電力が必要ですが、走り始めればガソリンを使って走行することができるため、軽量小型で高出力の電池が使われます。

一方、エンジンを持たない電気自動車では、携帯電話と同じように 1 回の充電で走行できる距離ができる限り長いことが求められるため、大容量の電池が必要不可欠です。大容量の電池を載せるということは、大きな電池を載せる必要があるということなので、車両全体は重くなります。

燃料電池車でも、燃料電池で作った電気をそのままモーターにつないで使えばよいのですが、燃料電池だけでは加速と減速のときに必要な大きな電力を得ることが難しいため、ハイブリッド車と同じように小型バッテリーが必要となります。また、水素を貯めておく重いタンクを搭載しているため、燃料電池車の車両も重くなります。

表 1 のとおり、電気自動車と燃料電池車では、走行時に CO<sub>2</sub> を排出しません。そのため、この 2 つの自動車の普及が進むことは、大気汚染の改善へとつながります。それでも、爆発的に



図 10 プリウス（2015年モデル）  
（画像提供：トヨタ自動車株式会社）



図 11 充電中の PHEV 車



図 12 充電中の EV 車

普及していない原因は、車体価格が高いことと、充電ステーションと水素ステーションの整備が必要なことです。

電気自動車用の充電ステーションに関しては、かなりのスピードで設置が進められており、県庁や市役所などの公的機関の駐車場や高速道路ではほとんどのサービスエリア（SA）で設置されるようになってきていますし（図 13）、町中でも見かけるようになってきました。

2016 年 8 月現在、充電ステーションの検索サイト GoGoEV (<http://ev.gogo.gs/>) の登録充電ステーションの数は、普通充電が 13,588 カ所、急速充電が、6,947 カ所となっています。



図 13 高速道路の SA に設置された充電ステーション



図 14 水素ステーションの設置例

燃料電池車については、2015年に販売が開始されたものの、2016年4月現在の水素（H<sub>2</sub>）ステーション（図14）の設置数は、19都府県に約70箇所あるのみです。また、水素タンクの軽量化、安全性の向上など、車体価格と水素ステーションの整備以外の課題もあるため、実際の普及はまだ先になりそうです。

ここまで読んで気がついた方がいるかもしれませんが、電気自動車と燃料電池車は、「走行時にCO<sub>2</sub>を排出しない」、という説明は、正確に言えば正しくありません。実は、充電に使う電気が、燃料を燃焼させて電気を作る（CO<sub>2</sub>を排出する）火力発電所などから供給される電気だったり、燃料電池に使われる水素の製造段階では、CO<sub>2</sub>が排出されていたりするため、これらの自動車に乗ることで、完全にCO<sub>2</sub>が排出されなくなったわけではないのです。

それでは実際に、どの自動車がどの程度、CO<sub>2</sub>を排出しているのでしょうか。これを比較するために「Well to Wheel（井戸（油田）から車輪まで）」という用語があります。

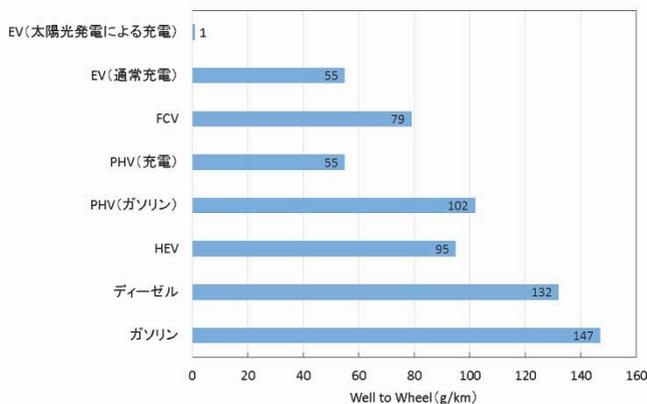


図15 各自動車のWell to Wheelの比較  
(日本自動車研究所「総合効率とGHG排出分析」を基に作成)

これは、原油の採掘、精製、運搬から自動車の走行までに使用される全エネルギーから CO<sub>2</sub> がどのくらい排出されているのかを表すものです。

Well to Wheel では、太陽光発電で電気自動車を 1km 走らせた場合に排出される CO<sub>2</sub> の量を、各自動車の値と比較します。その結果を図 15 に示します。

この結果から、明らかにガソリン車とディーゼル車の値が高いことと、電気自動車や燃料電池車の利用で CO<sub>2</sub> の排出量は抑えられるものの、完全に排出されないわけではないことがよく分かります。これらの事実も意識して、これからも環境に配慮しながら快適な自動車での走行を可能とする関連技術の開発を進めていくことがとても大切です。

## システム技術として自動車を考える

これまでの説明では、自動車を動かす技術の中でも、電気を貯めてモーターを回す技術を中心に見てきました。しかし、貯めた電気はモーター以外にも使われています。ヘッドライトも電気で光りますし、カーナビも電気で動きます。窓の開閉にも、パーキングブレーキにも、最近では電気が使われています。

自動車におけるエネルギー消費量の大きさを考えた場合、モーターを回すことに次いで重要なのは、空調です。凍てつく吹雪の中では暖房をきかせ、灼熱の太陽の下では冷房をきかせて、乗っている人に快適な空間を提供する必要があります。

まず、暖房を考えてみましょう。ガソリン車やディーゼル車、さらには燃料電池車では、エンジンや燃料電池から多量の熱が発生するため、暖房にはその熱を使うことができます。電気自動車では、二次電池に蓄えられたエネルギーを暖房用に使えば

よいのですが、暖房に電気を使うと、電気自動車の弱点である航続距離を、さらに短くすることにつながります。

冷房も重要です。真夏の昼下がりには冷房をガンガン入れながらガソリン車を運転すると、燃費がかなり悪くなります。これは、冷房用にガソリンが使われた結果です。二次電池を用いてモーターを回して走る自動車でも、同じようなことが起きます。

冷暖房のために二次電池の電気を消耗し、そのために航続距離が落ちるということは、電気自動車が高効率であることの裏返しの現象でもあります。

今でも十分便利に使うことができる自動車ですが、未来の自動車、自動車交通システム、人や貨物の移動システムについては、これからも解決する必要がある興味深い課題が山積です。

## **据え置き設備として使う**

今、据え置き設備として電池を使う技術が脚光を浴びています。なぜでしょうか。また、誰が使うのでしょうか。さらに、電池が脚光を浴びる前はどのようにしていたのでしょうか。

### **なぜ電気を貯めたいのか**

なぜ電気を貯めたいのか、主なメリットは次の4項目です。

- (1) 停電対策
- (2) 瞬時電圧低下に対する対策
- (3) 電力需要の負荷平準化
- (4) 発電所出力の安定化

これらは二つに分けることができます。(1)と(2)は電気を利用する側にとってのメリット、(3)と(4)は電気を供給する側のメリットです(図16)。それぞれについて見ていきましょう。

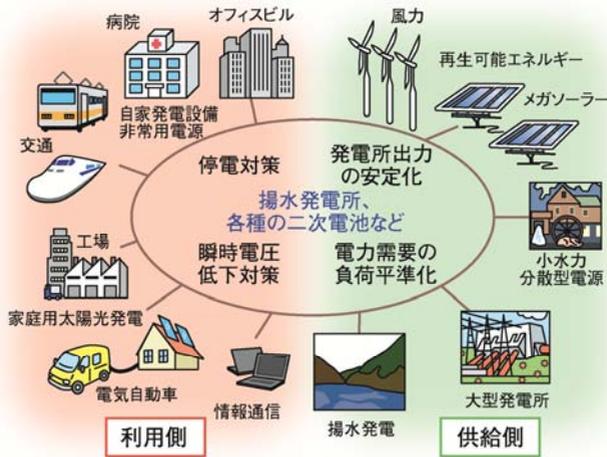


図 16 大型蓄電技術導入のメリット

### (1) 停電対策

一般の家庭であれば、停電したら回復するまで待っているのが普通でしょう。しかし、人工透析をしたり、人工呼吸器を使っていたりする場合には、停電の回復を待っている訳にはいきません。対策するにはお金がかかりますが、それでも停電対策をしておくことは大切です。

オフィスビル、ホテル、デパート、病院などには、一般に非常用電源の設置が法令で義務づけられています。オフィスビルやホテル、マンションなどのビルでは、非常用のエレベータを動かす必要があるかもしれませんし、最低でも最寄りの階まで動いて扉を開けるようにしてくれないと、狭いスペースに閉じ込められて、場合によっては深刻な事態になってしまいます。また、病院での停電はまさに命取りとなります。

このように、施設内の電気設備の機能がある程度維持するた

めの保安用電源、火事が起きたときのスプリンクラーや排煙設備を動かすための非常用電源、地震や火事などの災害時に停電したときの非常用照明など、考えておかなければならない場合はたくさんあります。

そのために、従来からいろいろな電源設備が用いられてきました。例えば、非常用ディーゼル発電機を備えついたり、重くて広いスペースが必要となる鉛蓄電池を大量に用意して、常時充電しておき、非常時に備えている場合もあります。

最近では、例えば、太陽光発電設備によって昼間に作られた電気を大型の二次電池に蓄電しておくことで、夜間に災害が発生して停電した場合などの緊急時にも、電気を使えるようにしているところもあります。

## (2) 瞬時電圧低下（瞬低）に対する対策

送電線や配電線への落雷や事故が起こった時、短い時間の電圧低下（瞬時電圧低下）が発生します。パソコンが使われ出した初期には、瞬時電圧低下によって急にパソコンの電源が落ち、それまでの作業がすべて消えてしまって、ガッカリしたことを覚えている方がいることでしょう。今は、パソコン側での対策も進んでいて、そのような事態はまず発生しなくなりました。

現在は、このような瞬時電圧低下が起こったとしても、生活面ではほとんど支障を感じることはありませんが、半導体の製造設備や精密機器などの工場が、瞬時電圧低下の影響を受けると、大きな損害となることがあります。そのため、これらの設備では二次電池に電気を貯めて、瞬時電圧低下が起こらないような対策がとられています。

このほかにも、業務用のコンピューターや通信機器などの設

備は、基本的に停めることができませんし、やむを得ず停める場合でも、正しい手順で停止操作を行わないと、データがなくなってしまうなどの不都合が生じる場合があります。そのため業務用の設備では、商用電源と機器の間に無停電電源装置 (UPS : Uninterruptible Power Supply) を設置するのが一般的です。

### (3) 電力需要の負荷平準化

図 17 に示す一日の変化を見ても分かるように、電力需要は昼間多く、夜間には少なくなり、夜明け前にはさらに少なくなります。発電所では、このように変動する需要に合わせて発電量を調節する必要があり、発電所の経済運用のためには、電力需要の山 (ピーク) と谷 (ボトム) との差を縮める対策が必要となります。これが、電力需要の負荷平準化です。

火力発電所や原子力発電所は、定格出力付近の一定出力で運転したとき、最も経済的で、熱的なストレスも少なくなるため、供給が必要な発電量の多くは、このような大型発電所によって発電されています。

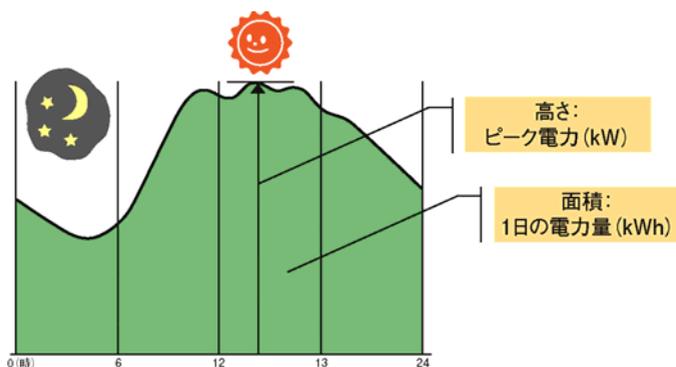


図 17 一日の電力需要の変化 (日負荷曲線)

これまで、電力需要に合わせた大型発電所の発電量の調整には、対応の早さや経済面から、水力発電所による発電が使われるのが一般的でしたが、近年、変動する負荷が水力発電による調整力を超えるようになりました。

そこで、位置エネルギーとして電気を貯めておくことのできる揚水発電所が大規模に用いられるようになったり、二次電池の利用が進められるようになったりしてきました。

#### (4) 発電所出力の安定化

2011年3月に起こった東日本大震災のあと、さまざまな分野で省エネルギー化を進めながら、原子力発電および化石燃料による発電に依存する割合を下げるとともに、再生可能エネルギーの利用促進が進められています。

しかし、太陽光発電や、風力発電によって発電される電気は、そのときの天候次第で大きく変動します。太陽に雲がかかれば太陽光発電によって作られる電気は減りますし(図18)、風力発電では、風が吹かなければ回らないことはもちろんのこと、風速や風向によっても出力が変動します(図19)。

さらに、強風による風車の回りすぎによって設備が破壊されることなどを考慮し、定められた風速以上の強風が吹いた場合には、自動的にストップさせるように設計されているため、発電量が突然、ゼロになってしまう場合があります。

そこで、太陽光や風力などの自然エネルギーによって発電した電気を二次電池などの蓄電設備に電気を貯えておけば、太陽のない時間帯でも、風が吹いていなくても、必要なときに、より安定な電源として使えるようになります。

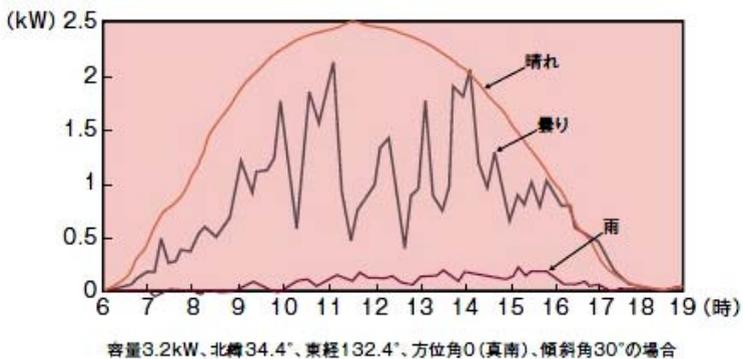


図 18 太陽光発電の出力変動例

(出典：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

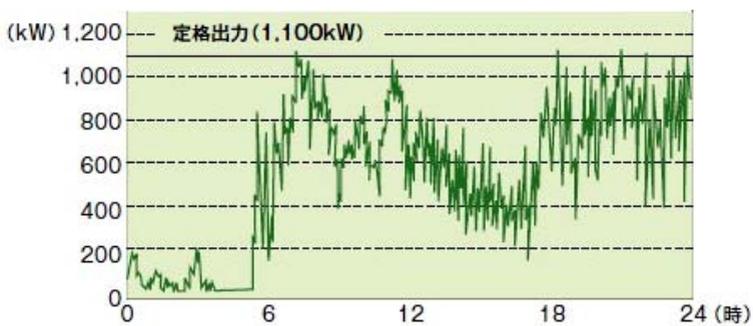


図 19 風力発電の出力変動例

(出典：電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2015」)

## 再生可能エネルギーの利用促進

電気を大量に安価に貯えられれば、再生可能エネルギーの導入が促進され、環境にやさしく安全・安心な社会作りに貢献することになります。

太陽光発電システムは、一般家庭の屋根に設置され、利用される実用例が増えています。図 20 は、日本における太陽光発電システムを設置している住宅数の変化を表しています。この図から、2008 年から 5 年間でおよそ 3 倍の住宅で太陽光発電システムが設置されていることがわかります。

さらに、2011 年の東日本大震災を機に、設置数は伸び続け、2014 年時点での 2 人以上の世帯における全国平均普及率は 6.6%となっています。図 21 は、都道府県別の普及率を表したもので、1 位の宮崎県で 14.3%、2 位の佐賀県で 13.9%となっていて、特に日照量の多い地域での導入が積極的に進められています。

これまでは、発電所で作られた電気が電線を伝わって各家庭に送られていましたが、このように、消費者のすぐ近くに分散して置かれ、言わば地産地消が可能な分散型電源として再生可能エネルギーの利用が進められています。

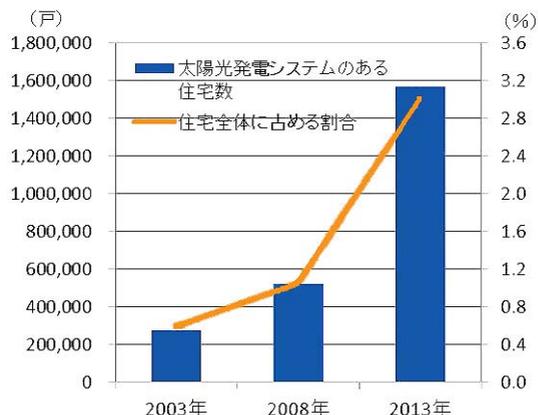


図 20 太陽光発電システムが設置されている住宅数  
〔「平 15、20、25 年住宅・土地統計調査結果」(総務省統計局)

<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001051892> を加工して作成]

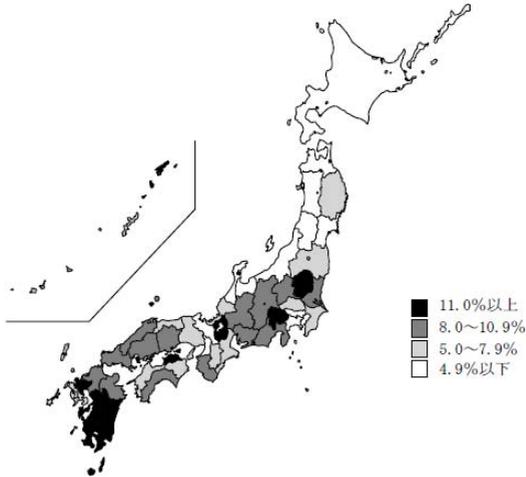


図 21 住宅  
への太陽光  
発電システ  
ムの普及  
(2014 年)  
〔「平成 26  
年全国消費  
実態調査」  
(総務省統  
計局)

<http://www.stat.go.jp/data/zensho/2014/pdf/gaiyo.pdf> (2016/6/1 利用)]

2012 年より、再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で買い取る<sup>6</sup>ことを国が約束する「再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT、フィット)」が実施されているため、太陽光発電システムで発電して家庭内で使わなかった電気は収入源にもなるというメリットも打ち出されるなど、さらなる利用促進も進められています。

### 全国でのメガソーラーの建設拡大

広大な敷地に何千枚もの太陽光発電パネルを敷き詰め、1,000kW(キロワット) [=1MW (メガワット)] 以上の出力を得ようとする大型太陽光発電システムは、メガソーラーと呼ば

<sup>6</sup> 電力会社が買い取る費用は、電気の利用者からの賦課金<sup>ふかきん</sup>という形で集められています。

れます。メガソーラーでは、一般世帯に換算すると 250 世帯程度<sup>7</sup>の電力をまかなうことができます。

2012 年に FIT が開始されて以降、最初は、遊休地や学校の屋根に数百枚のパネルを置き、10kW～500kW の出力を得る中規模太陽光発電設備の導入が進み、最近では、メガソーラー規模の発電設備の建設が全国で拡大されつつあります。

2015 年 10 月より営業運転を開始した、日本最大規模とされるユーラス六カ所ソーラーパーク（青森県、図 22）では、東京ドーム約 50 個分（2.53 平方キロメートル）の土地に敷き詰められた約 51 万枚のソーラーパネルによって、最大で 148,000kW 出力することが可能です。

メガソーラーによって、その日の発電量などの情報をインターネット上で公開しているところもあります（図 23）。

また、例えば川崎市にある浮島太陽光発電所では、「かわさきエコ暮らし未来館」が併設されていて、展望スペースからメガソーラーが眺められ、ガイドによる案内も行われています。FIT で認定された再生可能エネルギー発電設備は、毎月増え続けており、設備の数や買取電力量、買取金額などは、経済産業省の資源エネルギー庁が運営する

「なっとく！再生可能エネルギー」

([http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/))

---

<sup>7</sup> 太陽光発電は、雨天や曇りでは設備分だけの発電はできませんし、もちろん夜は発電できません。我が国では、年間平均で設備の 10%強の発電が可能となっています。つまり、1MW の太陽光発電では、平均 100kW 強発電されます。一方、単身世帯を含む一般世帯の電気の使用量は、平均すると 1 世帯あたり 400W 程度ですから、250 世帯程度の電力をまかなえることとなります。



図 22 ユーラス六カ所ソーラーパーク（千歳平北地区）  
（画像©2016Google）



図 23 メガソーラー設備での発電量等情報公開サイトの例

saiene/index.html) というサイトで確認することができます。

ちなみに、2015 年現在の世界の様子に目を向けてみると、広大な敷地を持つアメリカでは、200MW を超える出力を持つメガソーラーが 8 つもあり、カリフォルニア州にあるアメリカ最大のものは、世界で 2 番目に大きい 579MW の出力、インド

にある世界最大のメガソーラーでは、600MW の出力が可能となっています。(世界のメガソーラーの写真を掲載しても、敷地が広大すぎてパネルが見えませんが、掲載していません。)

## 大型発電設備との共存へ

電気が地産地消できることは大変良いことなのですが、一方で、再生可能エネルギーによる分散型電源が増え、これらの設備が、電力会社の管理する電力系統に接続されることによって困ったことが起こる可能性があります。

火力発電などの大型発電設備が安定して電力を供給し続けるためには、電気の生産量と消費量が同時同量であることが重要です。生産量と消費量のバランスが崩れると、電力系統に送られる電気の周波数が変化してしまうためです。

出力が不安定な再生可能エネルギーが電力系統に接続されると、それまで保つことができていた電気の生産量と消費量のバランスを取ることがとても難しくなります (p.39 コラム参照)。特に、メガソーラーが電力系統につながり、消費量よりも発電量が上回ってしまう事態が起こると、電力の安定供給ができなくなることが心配されています。

実際に、2014年9月以降には全国の電力会社が次々に、太陽光発電について、新規の設備設置や売電申請の受付を中断することを発表しました。発電量が上回った場合には、二次電池に電気を貯めておけばよいではないか、ということなのですが、貯めておくことができる電気の量には限界があり、これ以上設備が増えると、電力の安定化が保てなくなることから、各電力会社は、買取を中断せざるを得なくなったのです。

2016年1月時点では、条件付きで買取が再開されています

が、電力会社は再生可能エネルギー事業者に年間の時間を決めて出力抑制を要請することができるようになっていきます。

大型発電設備が増えていけば、出力抑制が要請されることがさらに多くなる可能性があり、メガソーラー設備を稼働中、あるいは建設中の再生可能エネルギー事業者などにとっては大きな損失を負うことになりかねません。

この状況の解決のためにも、二次電池のさらなる大容量化など、性能の向上が期待されます。

### **スマートグリッドでの再生可能エネルギー利用**

今までの電力システムでは、大規模発電所を中心として、起こした電力を長距離の送電網で必要な場所に送っていました。大規模化によって、安定化とコスト低減を実現してきたのです。

しかし、これまで説明してきたように、太陽光、風力などの再生可能エネルギーの利用が大幅に拡大してきています。一般家庭の屋根は、ミニ太陽光発電所になりますし、プラグイン電気自動車も、時にはミニ発電所としての機能を発揮するようになります。そのため、これからは大小規模の数多い発電所を、時々刻々と変化する電力需要に合わせて運用する技術が必要になります。電力需要そのものを、利用者の利便性を大きく損なわない範囲で制御する<sup>8</sup>ことも必要になるかもしれません。

このような電力システムで、決定的に重要な役割を果たす技

---

<sup>8</sup> たとえば、家庭の電力需要で、冷蔵庫消費電力が占める割合は大きなものですが、住民が留守をしている時間帯、つまり冷蔵庫の扉の開閉をすることが無い時間帯に、多少の時間冷蔵庫のモーターを止めても、生活に支障は起きないでしょうし、電力のピークカットには役立ちることになります。将来のスマートグリッドでは情報通信技術の助けを借りて、そのような制御も行われることになるかもしれません。(実証実験はすでに行われています。)

術が、情報通信技術（ICT : Information and Communication Technology）であり、据え置き型の蓄電技術です。電気の供給側と需要側の状況に応じて、賢く電力の流れを制御して最適化することで、再生可能エネルギーによって発電された電気を有効に活用し、省エネルギー効果を高めるとともに、停電対策などの電力の安定供給を図ることができます。

そのような賢い送配電網のことを、スマートグリッドと呼び、世界中で注目が集まり、技術開発がすすめられています。

スマートグリッドについては、本シリーズ Vol.7「スマートに安全・確実に電気を使う」で詳しく紹介していますので、是非そちらも読んでみてください。

## コラム：電気の供給と消費のバランス（同時同量）

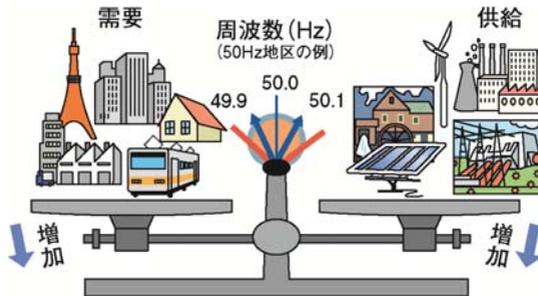
電気は、供給される量と消費される量が同時同量で、ある地域内で一致するよう（電気の周波数が常に一定の範囲を保つよう）に電力会社によって常に制御されています（図）。

なぜ周波数を一定に保たなければならないのでしょうか。

工場などで利用される電動機や発電機の多くは、系統周波数に連動して回転しています。周波数の変動は、繊維、製紙業における巻き取り機や、製鉄、アルミニウム業における圧延工程（ローラーで圧力をかけて鉄やアルミニウムなどを一定の厚さにする工程）など、製品の品質に影響を与える場合があります。また、周波数の変動範囲を小さくすることで、効率の高い発電所を作ることができます。

時々刻々と変化する電気の需要に対して供給する電力を完全に追従させることは不可能なため、平常時には標準値からの周波数のずれ（周波数偏差）がある範囲内（日本では、 $\pm 0.1 \sim 0.3\text{Hz}$ ）に収まるように制御されています。

電気の周波数や同期のしくみについては、本シリーズのVol.5 の中で詳しく説明していますので、参考にしてください。



## 2 電気エネルギーを貯める技術

電気は大変便利に使えるエネルギーですが、本シリーズのVol.4、5でも紹介されているように、通常は、使われる分だけ発電して送られるもので、大量に貯めておくことはとても難しいという特徴があります。

ここでは、古くから用いられてきた電池についての一般的な説明と、電池以外も含めたさまざま電気を貯める技術の紹介の後、現在大いに注目されている二次電池について説明します。

### 電気を貯める電池

#### 化学電池のしくみ

電気を貯める電池には、電気を「使い捨て」する一次電池と、充電して繰り返し使う二次電池があります。一次電池も二次電池も、化学エネルギーを電気エネルギーに換えて使うもので、化学電池と呼ばれる種類に分類されます。

電気が流れることは、物質内を電子が流れることを意味していて、化学電池内には、電子を受け取る「還元反応」を起こす場所（正極）と、電子を放出する「酸化反応」を起こす場所（負極）があり、この二つの場所は、電気を通さない物質（絶縁体）で仕切られています。化学電池では、その二つの場所を外側から導線でつなぐことで電気を流すことができます。

電池に使われる金属の性質によって、電子を受け取りやすいのか、放出しやすいのかが決まり、この性質によって電池の電圧も決まります（図24）。

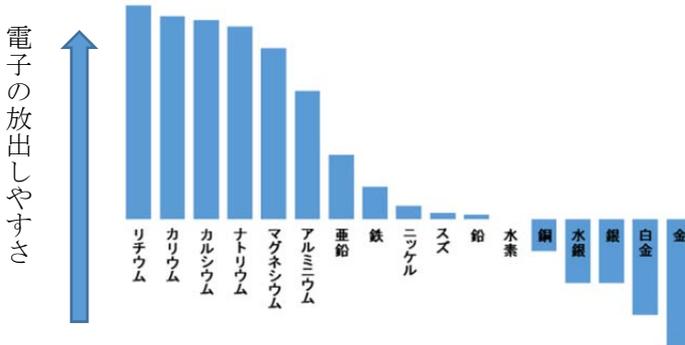


図 24 電池の性能に関わる金属の電子の放出しやすさ

### コラム：世界初の化学電池「ボルタ電池」

世界で初めての化学電池は、1800年にイタリアの自然哲学者で物理学者だったボルタによって発明されました。ボルタ電池は、銅板と亜鉛板を用いて作られていて、1.1Vの電圧を持つ一次電池でした。

ナポレオンの敬意も受けていたボルタの名前は、電圧の単位であるV（ボルト）の由来にもなっており、ユーロが導入される前の10,000リラ紙幣には、ボルタの肖像とボルタ電池が描かれていました。化学電池を発明したボルタは、イタリアの英雄なのです。



ボルタとボルタ電池が描かれた紙幣

\*参考資料：前島正裕・一原嘉昭「紙幣になった科学者・技術者」  
電気学会誌（1994）

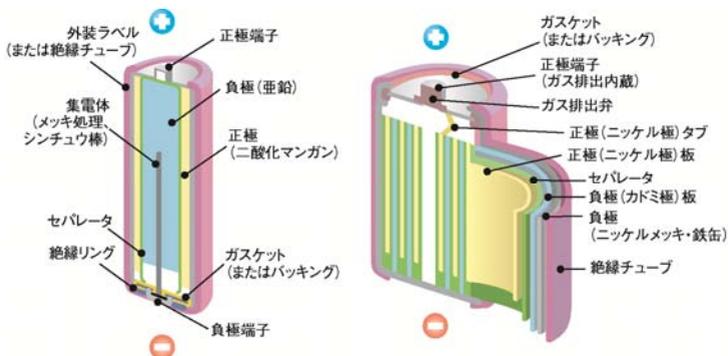


図 25 アルカリ電池 (左) とニカド電池 (右) の構造

## 一次電池と二次電池

代表的な一次電池には、一般に乾電池として使われるマンガン電池、アルカリ電池 (図 25 (左)) などがあります。

実は、マンガン電池とアルカリ電池に使われている材料は全く同じで、電圧も 1.5V と同じですが、酸化反応を起こす負極の材料の加工方法と電解質が工夫されているアルカリ電池のほうが、大きな電流を効率的に取り出すことができ、電池の持ちも良いという特徴があります。

二次電池は、鉛蓄電池、ニッケルカドミウム (ニカド) 電池 (図 25 (右))、ニッケル水素 (Ni-MH) 電池、そしてリチウムイオン電池という順番で開発されました。ニッケル水素電池の電圧は 1.2V で、ニカド電池と同じながら、ニカド電池の 2 倍の容量を持ち、毒性の強いカドミウムを使わなくて済むという利点とともに、一次電池である乾電池と共通で利用できる標準化されたサイズで販売されているため、アルカリ電池などの



図 26 市販のニッケル水素電池の例

代わりとして一般的に用いられるようになっていきます(図 26)。

そして、ニッケル水素電池よりもさらに小型で容量が大きく、電圧も 3.7V と非常に高いリチウムイオン電池が開発され、携帯機器などに使われるようになっていきます。

二次電池では、2つの金属の間を、電子を運ぶイオンが行ったり来たりすることができます。つまり、電子を放出する反応と、そのまったく逆の、電子を受け取る反応を一つの電池の中で行うことができるので、充電が可能なのです。

ではなぜ、マンガン電池やアルカリ電池などの一次電池は充電できないのでしょうか。実際には、全く充電できないわけではありませんが、充電してもう一度電気を作り出せるようにするためには、放電する前と全く同じ状態に戻さなければなりません。一次電池では、充電する反応の過程で水素などのガスが発生してしまうため、完全に元の状態に戻すことはできません。

また、発生したガスの圧力に耐えられる構造になっていないため、無理に充電すると熱を持つことや、最悪の場合には爆発する危険があります。世の中には、一次電池を充電できることを売り文句にした充電器が売られていることがありますが、大変危険なことなので、一次電池は充電しないもの、と覚えておきましょう。

### コラム：「一次」、「二次」？ってなあに？

使い切りの電池は「一次電池」、繰り返し充電可能な電池は「二次電池」と呼ばれていますが、「一次」と「二次」とは、なにを意味しているのでしょうか。

繰り返し充電できる二次電池が開発された 19 世紀には、今のように、電力会社があったわけでも、コンセントがあったわけでもありません。では、どのように充電していたのでしょうか。

実は、化学反応によって電気を作り出すことのできる電池、つまり現在「一次電池」と呼ばれている電池を使って充電していました。

そのため、電気を供給する側の電池は「一次電池」、その電池から充電される側の電池は「二次電池」と呼ばれるようになったのです。

ちなみに、本シリーズの別の冊子の中では、「一次エネルギー」と「二次エネルギー」という言葉も出てきますが、この場合は、自然にあるものをそのままエネルギーにしているものが「一次エネルギー」で、天然ガス、石油、石炭、そして、太陽光や水力などがそれにあたります。

一方、「二次エネルギー」は、一次エネルギーを変換して、都市ガスや電気、ガソリンなど、使いやすい形にしたもののことを指します。

## コラム：二次電池の容量

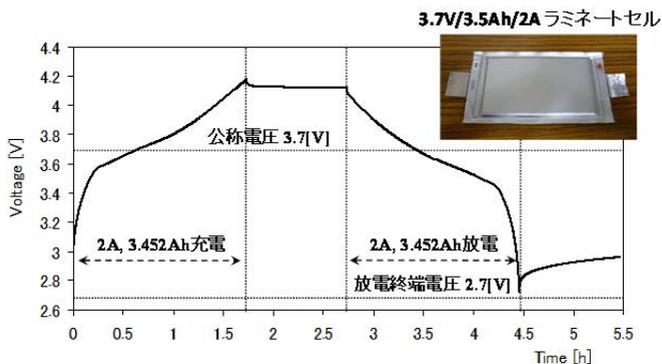
電気の大きさを表すのに、電圧（単位はV：ボルト）、電流（A：アンペア）、電力（W：ワット）、電力量（Wh：ワットアワー、またはワット時）があることは、良く知られています。このうち、電気がする仕事\*の大きさを表すものが電力量（Wh）です。しかし、二次電池の容量は、本小冊子 p.8 の「スマートフォンのバッテリー容量の読み方」にあるように、Ah（アンペアアワー、またはアンペア時）が使われることが多いようです。これは、電池の内部で進む化学反応が、電子が何個動いた（電流の積算）かによって決まっている面が強いからです。

しかし、単位が Ah では、電池でどれだけの仕事ができるか、瞬発力はどれぐらい出せるかなどが良くわかりません。つまり、実際に電池を使う上では、WやWhの単位ではどうなっているかが重要になります。

図に、リチウムイオン電池の充電・放電特性の例を示します。充電と放電は、2A の一定で行っています。この図にあるように、電圧は充電や放電に伴って上昇、下降します。そのため、使える最大の電力は、公称電圧と最大の電流の掛け算で与えることになっています。この時、最大の電流の大きさは、電池に悪い影響（内部発熱による寿命の低下など）を与えない限度として決められます。

また、Wh としての容量は、満充電から放電終端電圧までに流れた電流の積算（これが Ah に相当します）と公称電圧を掛け算して与えられます。

しかし、厳密にいうと、流す電流の大きさによって電圧が変わるので、電池の容量を表す W や Wh、Ah の値を求めするには、電流の大きさを決めておく必要があります。



リチウムイオン電池の充電・放電特性の例

\*仕事とは、エネルギーのことで、その大きさはジュール (J) やワットアワー (Wh) という単位で表され、 $1[J] = 1[W \times s ; \text{ワット} \times \text{秒}]$ 、 $1[Wh] = 1[W] \times 1[\text{時間}] = 1[W] \times 3600[\text{秒}] = 3600[J]$ の関係があります。詳しくは、Vol.3 の pp.38-39 を参照してください。

## 電気を貯める技術

### 電気を貯める難しさ

例えば、再生可能エネルギーなどで発電しすぎて使われなかった電気は貯蔵しておいて、電気の供給が不足した時にその電気を使えば、同時同量の条件を満たすことができます。

言葉にすると簡単なことのようにですが、充電して使える二次電池は、電気を化学エネルギーに変えて貯え、使うときに再び電気エネルギーに戻す仕組みになっているため、瞬時に大きな電気を供給することが苦手です。また大量の電気の貯蔵には大きなスペースと費用が必要になります。だから、電気を貯めるのは難しく、これを解決する技術開発が進められています。

## 電気エネルギーに変換して使うエネルギーのいろいろ

現在電気は、位置、化学、電気、磁気、運動エネルギーとして貯めることができます。

位置エネルギーを利用した揚水発電は、設置場所に制約があるものの、大量の電気が貯められ、電力需要の平準化、周波数変化の抑制用に長年貢献し使われてきた電力貯蔵設備です。

電気エネルギーを利用した電力コンデンサーは、二次電池に比べて瞬時に大量の電気の充電、放電が可能で、パワー半導体素子の大容量化・高電圧化と制御技術の進歩に伴い利用が拡大してきました。

電気化学エネルギーを利用した二次電池には、鉛蓄電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池の他に、ナトリウム硫黄(NaS)電池、レドックスフロー電池などがあります。二次電池は、機能の向上、小形軽量化、価格の低減化などに伴い、小規模なものから大規模なものまで、さまざまな用途での利用が広がり、さらに、全く新しい電池材料についての検討も進められています。

運動エネルギーを利用したフライホイールは、瞬時の停電対策用、鉄道の列車減速エネルギーの貯蔵などとして古くから利用されています。

磁気エネルギーを利用した超電導<sup>9</sup>電力貯蔵装置は、電気の出し入れ速度が速いことから瞬時の停電対策用、電力の安定化用として開発され利用されています。

表2に、電気を貯めるさまざまな方法について、その特徴と用途を簡単にまとめます。

---

<sup>9</sup> 超電導は超伝導とも書きます。同じ意味です。

表 2 電気を貯める形態とその特徴

貯めるエネルギー	貯める方法	特徴、用途
位置エネルギー	揚水発電所	負荷の平準化として大電力を貯蔵できる。大きなものは、470MW (470,000kW) /台、6台で発電所出力2、820MW (282,000kW) になる。
電気エネルギー	電力コンデンサー	瞬時に大きな電力の出し入れができる。瞬時電圧低下補償装置用。10MVA・秒 (10,000kVA・秒) 等。IT 機器、HEV 車等。
電気化学エネルギー (二次電池)	ナトリウム硫黄電池	負荷平準化、非常用電源として比較的大きな電力貯蔵ができる。34MW (34,000kW) ・244.8MWh (244、800kWh) 等。
	レドックスフロー電池	負荷平準化や停電対策として比較的大きな電力貯蔵ができる。太陽光、風力発電出力変動抑制用。15MW (15,000kW) ・60MWh (60,000kWh) 等。
	リチウムイオン電池	単位重量あたり大きな電力が貯められる。太陽光・風力変動抑制用。20MW (20,000kW) ・20MWh (20,000kWh)、EV 用 25kWh 等。
	ニッケル水素電池	単位重量あたり大きな電力が貯められる。鉄道用バッテリーパワーシステム (地上設備)、IT 機器、EV 車用など。約 3MW (3,000kW) ・420kWh 等。
	鉛蓄電池	歴史が長く性能が安定している。風力変動抑制用、産業用、自動車用など。10.4MWh (10,400kWh)。
運動エネルギー	フライホイール	短時間で電力貯蔵ができる。電車線の回生電力貯蔵。瞬時停電対策用など。3MW (3,000kW) ・25kWh 等。
磁気エネルギー	超電導電力貯蔵装置	高効率、高速応答。瞬時電圧低下補償装置用など。5MW (5 千 kW) ・1 秒等。

MWh : メガ (1,000 キロ) ワットアワーを表す単位

フライホイール : 回転部分に運動エネルギーを貯めるはずみ車

個人個人が電気の供給者にもなり、いろいろな用途でこれらの蓄電設備が分散して設置されるなか、これからは、これらの設備が単独で機能するのではなく、スマートグリッド技術のように、多数の分散型電源や負荷と連動して、全体的なシステム制御のしくみが構築されることも求められます。

## 揚水発電の特徴

本シリーズの Vol.4 でも紹介しているように、揚水発電は、長年にわたり利用されてきた電力貯蔵設備です。

揚水発電は、高さに違いのある上部と下部に調整池（ダム）をそれぞれ作り、水力発電と同じように上部から下部に流す水の流れで水車と発電機を回して発電します（図 27）。

水力発電とは異なる揚水発電の特徴は、電力需要の少ない時間帯に、発電機をモーターとして、水車をポンプとして下部ダムの水を上部ダムに汲み上げて貯めることで、電気を水の位置エネルギーとして貯め、これを効率よく繰り返し使うことができることです。

東日本大震災のあと、ほとんどの原子力発電所が停止し、夜間の原子力発電による余剰電力が利用できない状況が続いていましたが、揚水発電は、夏の暑い時期の昼間の電力ピーク対策の貴重な電力供給源になっていました。



図 27 揚水発電所の概要

最近では、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの導入が進められ、その出力が大きくなっていることから、発電したものの使われなかった余剰電力を揚水発電所の汲み上げに使用することで、短時間の出力変化を安定させるなどの、新しい役割があります。

特に、可変速揚水発電（揚水時にポンプの回転数を変えて電気の使用量を調整できる発電）は、揚水運転時にも短時間で電気の使用量を調整することが可能で高付加価値化、多機能化の傾向にあります。

### ハイパワー用電力コンデンサーの特徴

コンデンサー<sup>10)</sup>は、従来から電子回路用や電力用として使われてきましたが、最近の性能向上や大容量化に伴い、産業用、電力用にも用途が広がって来ました。

容量は少ないけれど短時間で充電、放電ができるコンデンサーは、無酸素運動で瞬発力の高い短距離ランナーに、充電に時間がかかるけれど、容量が大きい蓄電池は、有酸素運動の長距離ランナーにたとえることができます（図 28）。

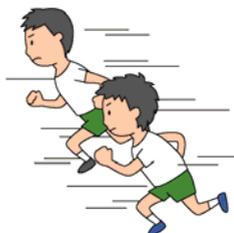
つまり、蓄電池はコンデンサーに比べて体積、重量あたりに貯められる電気の量が多く、コンデンサーは瞬時にらせる電気の量が大きいのが特長です。ここでは、代表的なハイパワー用電力コンデンサー技術を 2 つ紹介します。

---

<sup>10</sup> 電池を発明したボルタは、検電器を強く働かせるための仕組みとして、薄い絶縁体を 2 枚の金属ではさむことにより、多くの電荷を貯められることを利用した器具などを考案し、その仕組みからこれらを Condenser（コンデンサー）と名づけました。ちなみに condense には濃縮する、凝縮するという意味があります。今では一般的に、電気を貯める容量（Capacity（キャパシティ））を持つ素子という意味で「Capacitor（キャパシタ）」とも呼ばれています。



有酸素運動(蓄電池)



無酸素運動(コンデンサー)

図 28 蓄電池とコンデンサー

### (1) 電気二重層コンデンサー (EDLC)

電気二重層コンデンサー (Electric double-layer capacitor : EDLC) は、電気二重層 (溶媒分子などの層とイオン層の二重の層) という物理現象を利用して直接電気を貯めることで、効率を高めたコンデンサーです。1980 年代から主に電子回路用として実用化され、その後、高機能材料の開発による大型化が進み蓄電設備としての用途が拡大しつつあります。

電気二重層コンデンサーの特長は、大きな静電容量 (電荷を蓄える量) が得られ、急速な充放電ができることなどです。そのため、瞬間的に起こる電圧低下を避けるための装置 (瞬時電圧低下補償装置) や、電車減速時の短時間のエネルギーを貯蔵する装置 (電気鉄道用電力貯蔵装置) などに使用されています。

### (2) リチウムイオンキャパシタ (LIC)

リチウムイオンキャパシタ (Lithium ion capacitor : LIC) は、電気二重層コンデンサーとリチウムイオン電池の短所を補い合うような特徴を持つキャパシタ (コンデンサー) です。

リチウムイオンキャパシタの特長は、キャパシタの短所であるエネルギー密度を高めたことと、一つの電池の電圧を高めて

大容量化を可能にしたことなどです。

リチウムイオンキャパシタは、瞬時電圧低下補償、無停電電源、太陽光・風力発電の安定化、車のアイドリングストップ用などの用途で利用されています。

### **フライホイールの特徴**

フライホイールは、電気エネルギーを高速で回転する独楽のような構造のフライホイールの回転運動エネルギーに換えて貯蔵する装置です。高速での電力制御が可能であること、寿命が長いことなどから、核融合や粒子加速器のように瞬間的に大きな電力が必要な用途や、太陽光発電や風力発電設備での発電電力の変動を緩和する用途などに使用されています。

大容量化の限界と、長時間運転の場合にエネルギーの損失が大きいという短所があるため用途が限られていましたが、超電導技術などを応用したこれらの改善によって、次世代の蓄電設備となることが期待されています。

2015年には、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」助成事業として世界最大級の実証機が完成し、本格的な実証試験が始まっています(図29)。

### **超電導電力貯蔵装置の特徴**

磁気エネルギーを利用した超電導電力貯蔵装置は、超低温(液体窒素： $-196^{\circ}\text{C}$ 、液体ヘリウム： $-269^{\circ}\text{C}$ など)下に置いたコイル(リング)に電流を流すと抵抗がゼロになり、電流が減衰せずに流れ続け、一定の磁場を発生し続ける現象を利用して、電気エネルギーを磁気エネルギーとして貯める装置です。

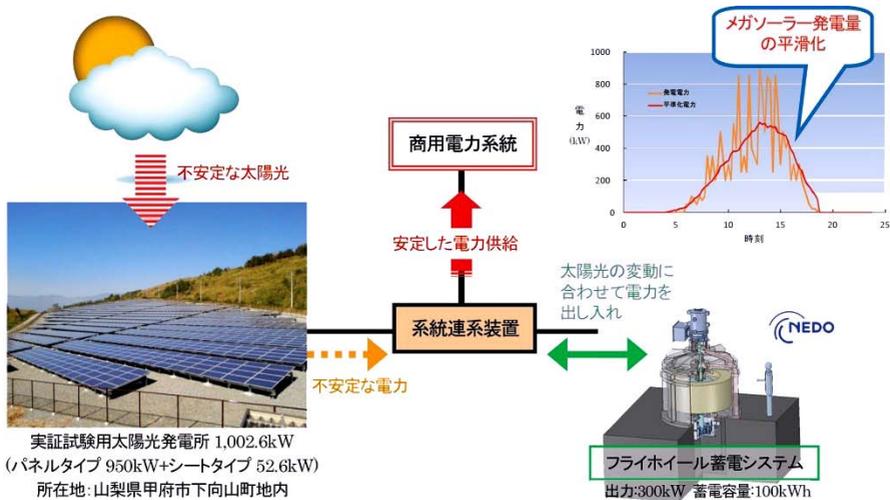


図 29 フライホイール蓄電システムによる太陽光発電の変動補償  
 (画像提供：公益財団法人鉄道総合技術研究所)

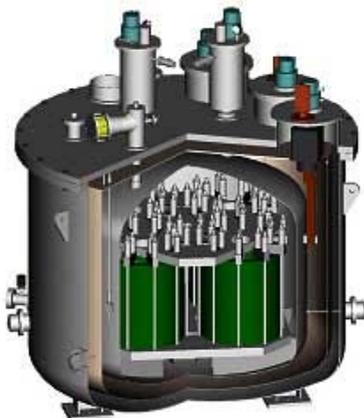


図 30 5,000kW・1秒補償級 超電導電力貯蔵装置  
 (出典：中部電力株式会社 HP プレスリリースバックナンバー  
 「超電導電力貯蔵システム SMES のフィールド試験の実施について」)

この装置は、通称スメス (SMES: Superconducting Magnetic Energy Storage) と呼ばれ、電力の出し入れ速度が速く、エネルギー貯蔵効率が良いことから、瞬時の電圧低下対策用や変化する電力の安定化用として利用されています (図 30)。

## 代表的な二次電池とその特徴

### 二次電池の種類

化学エネルギーとして電気を貯める二次電池の種類を表 3 に示します。二次電池は、できるだけ小型、軽量で、貯蔵できるエネルギーが大きいほうが望ましいので、二次電池の性能は、電池の重量あたりの貯蔵エネルギーを表す「重量エネルギー密度 (Wh/kg、ワットアワーパーキログラム)」、または電池出力を表す「重量出力密度 (W/kg、ワットパーキログラム)」で表されます。

また、電池の体積に対するエネルギー密度あるいは出力密度として、「体積エネルギー密度 (Wh/l、ワットアワーパーリットル)」、「体積出力密度 (W/l、ワットパーリットル)」で表される場合もあります。エネルギー密度は、どのくらい貯められるか、出力密度は、瞬時にらせる電力の大きさを表しているといえます。

### 鉛蓄電池

鉛蓄電池は、1859 年にプランテがプランテ式蓄電池を発明して以来 160 年近い歴史をもち、今でも経済性、信頼性、安全性から主要な二次電池として産業用、自動車用、非常用電源などに広く利用されています。また、電力貯蔵用としては、数 MW 程度の中規模までのものに使われています。

表3 化学エネルギーによる二次電池の種類

	鉛	ニッケル 水素	リチウム イオン	ナトリウム 硫黄	レドックス フロー
エネルギー 密度 (Wh/kg)	35	60	200	130	10
大容量化	○ ~MW	○ ~MW	○ MW	◎ MW以上	◎ MW以上
充電状態の 計測・監視	△	△	△	△	◎
安全性	○	○	△	△	◎
資源量	○	△	○	◎	△
加温	なし	なし	なし	>300℃	なし
寿命 (サイクル数)	17年 (3,150)	5-7年 (2,000)	6-10年 (3,500)	15年 (4,500)	6-10年 (制限なし)

(経済産業省蓄電池戦略プロジェクトチーム平成「蓄電池戦略」平成24年7月より作成)

鉛蓄電池は、他の蓄電池と比べて重量あたりの価格が安く、電圧が2Vと比較的高い特長があります。欠点として、エネルギー密度が小さく、大きい設置スペースを要すること、設置する床への荷重を考慮する必要があることが挙げられます。

一般的には、充電時に電池内で発生したガスを内部吸収し、電解液が減らないように密閉化したもの(「制御弁式」と言い、補水の必要がない)が用いられますが、風力発電の出力変動の制御用には、寿命を高めた長寿命のものが製作され、使用されています。

### ニッケル水素電池

ニッケル水素電池が開発されるまでは、ニッケルカドミウム

電池が使われていましたが、毒性のあるカドミウムを使わなくて良いこと、ニッケルカドミウム電池や鉛蓄電池の約2倍のエネルギー密度を持つことから、携帯用のものから、自動車用や定置用のものまで幅広く開発が進められました。

ニッケル水素電池の特徴は、電池内の電極板サイズや枚数を増やすことで大容量化が容易になること、危険物を含まないため安全性が高く、高速な充放電が可能であることなどが挙げられます。

川崎重工工業株式会社が開発した「ギガセル」は、従来円筒型だったニッケル水素電池をバイポーラ構造と呼ばれる構造に改良し、放熱効果を高めることで、大容量、高速充放電可能で、しかも、温度上昇の少ない安全な電池として、鉄道システム用蓄電設備や再生可能エネルギーによる発電の安定化にも寄与しています（図31）。

リチウムイオン電池が登場するまでは、ワイヤレスで利用される電話や掃除機などにも利用されていましたが、小型化や軽量化などの性能が求められるビデオカメラやノートパソコンなどの電池は、リチウムイオン電池に置き換わっています。

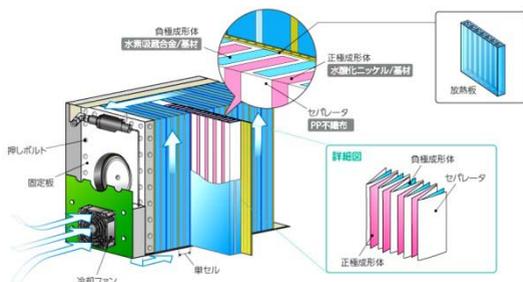


図 31  
ギガセルの  
構造図  
(画像提供：  
川崎重工株  
式会社)

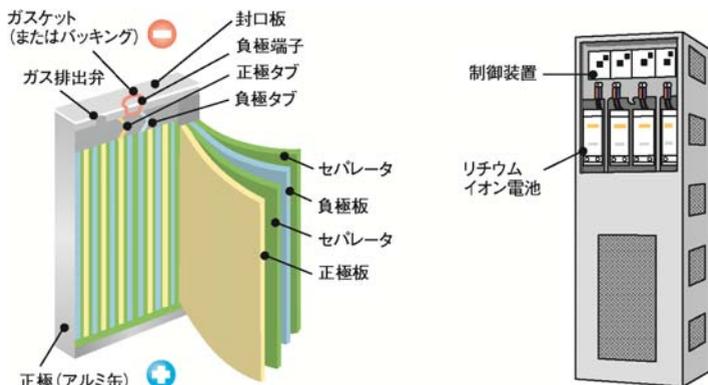


図 32 リチウムイオン電池の構造 (左) と蓄電システム例 (右)

## リチウムイオン電池

携帯電話やノートパソコンなどの携帯機器の高性能化により、小形軽量で高性能な二次電池の要求が高まりリチウムイオン電池の開発が進み、同時に自動車用、産業用、大規模電力貯蔵用にもその利用が広がっています。

リチウムイオン電池の特長としては、単電池の電圧が 3~4V と高いこと、エネルギー密度が高く、軽量、小形化ができることなどが挙げられます。図 32 にリチウムイオン電池の構造図と蓄電システムの例を示します。

電力用リチウムイオン電池は、自然エネルギー発電による電力変動の安定化などに、小形リチウムイオン電池は、家庭用・業務用電力貯蔵設備、無停電電源装置のバックアップ用、医療機関の停電対策用など、さまざまところで使われています。

## ナトリウム硫黄 (NaS) 電池

NaS 電池は、他の二次電池に比べて大容量であることが大きな特徴で、応答速度も速いことから、停電や短時間停電対策用

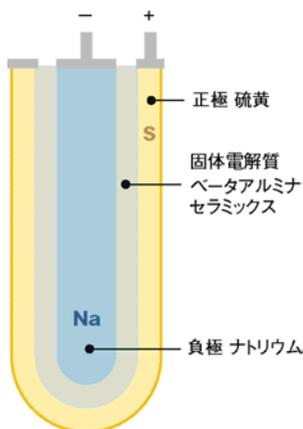


図 33 ナトリウム硫黄 (NaS) 電池の構造

の電池として利用されているほか、消防法に基づく消防用設備の非常用電源としても設置されています。

NaS 電池は、その名の通り、ナトリウムと硫黄を材料とした電池で、ナトリウムを通す性質を持つ固定電解質「ベータアルミナセラミックス」が使われていて、ナトリウムが正極と負極を行ったり来たりできるため、充電と放電を繰り返し行うことができます (図 33)。

二次電池の中でもエネルギー密度が比較的高く、長寿命であることが特徴の一つです。また、自然界に豊富にある材料を使用しているため、量産化することでコストを下げられることも大きなメリットです。

ただし、NaS 電池は高温 (300°C 以上) 下で使うことで初めて電池の役割を果たすことから、使っていないときにも常に加熱しておかなければいけないこと、一方で材料であるナトリウムと硫黄は燃えやすいことから、取扱には注意が必要です。

## レドックスフロー電池

レドックス(redox)とは、還元(reduction)と酸化(oxidation)を合成した用語で、酸化還元という意味です。電池反応を行うセル(単電池)、活物質(電子の受け渡しを行う物質)の溶液を貯蔵する正負極のタンク、溶液循環用ポンプなどで構成され、交直変換(交流と直流を変換)装置を介して交流電源回路に接続されます。

レドックスフロー電池の特長は、出力(kW)<sup>11</sup>を決定する単電池(セル)と、充電容量(kWh)を決定する容量部(タンク)が独立しているため、用途に応じて出力と充電容量の適切な配分の設計や配置が可能となることです。また、応答性が良いので、電力などの不安定な短い周期変動の吸収用途に適しています。

## 二次電池はリサイクルへ！

スマートフォンなどに使われている二次電池は、繰り返し利用できることはもちろん、使い捨てではなくリサイクルすることができます。それぞれ、電池にはリサイクルのマークが付けられていますので(図 34)、大切な資源を無駄にしないよう、リサイクルすることを心がけましょう。



(a) ニカド (b) ニッケル水素 (c) リチウムイオン

図 34 二次電池に表記されているリサイクルマーク

<sup>11</sup> p. 45 のコラム「二次電池の容量」を参照してください。

## コラム：意外と深い、日本と電池の関わり

手軽に持ち運べることで、電池の使い勝手が飛躍的に良くなったのは「乾電池」のおかげです。この乾電池、実は、1887年に日本人の屋井先蔵<sup>やいさきぞう</sup>という方が、世界で初めて実用化に成功し、「乾電池」と名付けたと伝えられています。屋井はその後、「屋井乾電池」を創業しています（特許や世界的な業績は、1888年にドイツのカール・ガスナーが発明したのが最初です）。

また、現在二次電池の中でも主流となっているニッケル水素電池やリチウムイオン電池の先駆けともいえるニッケルカドニウム電池を開発し、業界で初めて充電式ラジオに搭載したのは、日本の電機メーカーである三洋電機（現パナソニック）です。この電池は「カドニカ」の愛称で親しまれ、これによって、携帯機器の小型化が急速に進み、二次電池の存在意義が大きく変わるきっかけとなりました。

そして、現在二次電池の代表格としていろいろな用途で使われているリチウムイオン電池は、当時別々のところで研究開発に取り組んでいた二人の日本人研究者による成果から誕生しました。

本文の図 24 で紹介されているように、リチウムは非常に陽イオンになりやすく、また軽量であるため、大容量化、小型軽量化に最も適した負極元素になることは分かっていたため、金属のリチウムを負極とした一次電池は早くから開発、市販されていました。しかし、これを二次電池として充電して利用しようとすると、金属リチウムの表面にリチウムの結晶ができてしまい、絶縁されていなければならない正極と、負極にできた結晶が接触し、発熱発火するという大変危険な現象が起こることから、長年、リチウムを利用した二次電池の開発は難しいとされていました。

1980年頃、企業の研究者として新材料の利用について検討していた吉野彰博士は、それまでの発想を転換し、リチウムを含む材料を正極に使う、リチウムイオン電池の原型を考案しました。そしてちょうど同じ頃、イギリスに留学していた水島公一博士が、1982年にリチウム入りの正極材料の開発に成功したことを発表したのです。

この発表記事をたまたま読んだ吉野博士が、すぐに自分のところで開発していた材料と水島博士の材料を組み合わせることで電池を作成したところ、充電と放電が可能な二次電池として動作する電池ができました。

その後、さらに小型化が可能な負極の材料についての検討が進められ、小型で大容量で、しかも安全性も考慮された現在のリチウムイオン電池が誕生しました。

吉野博士と水島博士の発明によって、リチウムイオン電池が実用化されたことから、二人の博士には、ノーベル化学賞受賞も期待されています。



屋井乾電池



'カドニカ'電池

(画像提供 左：一般社団法人電池工業会 右：パナソニック株式会社)

### 3 「電気を貯める技術」のこれから

#### 再生可能エネルギーの利用拡大

##### 電力貯蔵の利用拡大に向けて

東日本大震災のあと、さまざまな分野で省エネルギー化を進めながら化石燃料に依存する割合を下げるとともに、再生可能エネルギーの利用促進、系統の広域的な運用、蓄電システムの利用などが進められています。

本冊子で説明したように、太陽光、風力発電のような出力変動の大きな電源が大量に電力系統に接続されると、需要と供給のバランスが崩れ、系統を安全に使用するための制約が出てきます。今後、電気の供給者が、従来の電力会社や自家発電事業者などに加えて、自治体、企業、個人などに拡大し、電気の使用面では、電気の貯蔵や電気自動車の導入がさらに進められていきます。

社会全体で、安全に安心して電気を利用するためには、ICT技術（情報通信技術）を活用した最適な電力の貯蔵の形やその使い方について検討を進める必要があります。

##### 今よりさらに拡大した電力の運用システムへ

近年、我々一人ひとりが電力の利用者であると同時に、再生可能エネルギーによる電気の生産者として重要な役割を担うことが可能となってきました。

従来の「大規模集中型エネルギーシステム」（電力会社による大規模発電、長距離送配電）に、再生可能エネルギーや蓄電システム技術による「分散型エネルギーシステム」を加えて、安全でより効率の良いシステムを構築しようとする取り組み

が行われつつあります。

これまで、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー用設備の多くは、電気を使う場所で電気を作る、いわば地産地消で利用されてきましたが、その設置による経済性は、地域によって大きく異なります。

最近では、日本全体で見た時のエネルギーの有効活用を考え、再生可能エネルギーの広域的な活用に必要な送配電網の整備や、定常時、緊急時ともに効率よく、経済的に安定して電気を供給するための蓄電設備の設置が進められるなど、再生可能エネルギーを、地域を越えてより広域的に活用するための計画も進められています。

## **高機能な蓄電設備の開発から見える未来**

### **電力貯蔵の技術開発**

電池は、1800年にボルタによって初めて電池が開発されてから、多くの学者や技術者たちの手によって着実にその可能性を広げ、1859年にプランテが二次電池を開発したことで、新たな世界が開くといった歴史を着々と進んできました。

さらに、時代の流れに合わせて、さまざまな材料と構造の研究開発が進められたことによって、現代社会を支えるすばらしい技術が生み出し続けられています。

次世代を支える高機能蓄電池の開発には、新材料の評価、開発が重要なポイントになり、その組み合わせや可能性は無限にあるといっても過言ではありません。

1878年に銀座木挽町で日本最初の電灯（アーク灯）がイギリス人 W.E.エアトンにより点灯されてから 140 年近くたった

今、電力技術の進歩は社会を大きく変えて利用者の生活を豊かにしてきました。いまや電気は、社会を動かす頭脳であり、血液であり、その活力そのものとなっています。

これからも、「電気を貯める」技術に求められるハードルは上がっていくばかりで、化学、物理、生物などの分野を超えた、広範囲な技術開発が必要になります。

今後も、携帯用、電気自動車用、再生可能エネルギー用、さらにはまだ見ぬ未来を支えるための激しい開発競争が国内でも海外でも繰り広げられていくことでしょう。

### **さらに高性能な「貯める技術」への期待**

多くの機器、設備の利用者や社会が、さらに高機能、小型、軽量、安価な蓄電池、蓄電設備の出現を待っています。

携帯電話・スマートフォン、ノートパソコン、デジカメが「10秒で充電を終わらせてほしい。もっと長時間使えるようにしてほしい」と言っています。

電気自動車が「もっと長距離走りたい。走りながら充電したい。車に貯めた電気を家のなかでも使ってほしい」、電車が「停電のとき、せめて駅までたどり着きたい」と言っています。

太陽光発電が「夜でも使えるようにしてほしい」、風力発電が「風のないときにも役立ちたい」、高層ビルが「安価な夜間電力をもっと利用したい」、病院が「災害時でも安定した電力の供給を確保したい」、家庭や学校が「クリーンな電気をもっと使いたい」と言っています。

そして、電池自身が「古くなっても再利用してほしい。廃棄物となった時にも問題が起きないようにしてほしい。」と言っています。

10年後、20年後、そして100年後、これらの声はどこまで実現されているでしょうか。一つずつ実現されていく中で、また新たな声も続々と生まれていることでしょう。

これらの声の実現に、個人として、家族や社会の一員として、あなたにはどんなことができるでしょうか。そんなことを意識して、これからも電気のある暮らしを楽しんでいきましょう。

## 本冊子の企画趣旨について

2011年3月11日に発生した東日本大震災で、多くの発電所や変電所の運転が止まり、電気が供給されなくなる事態が発生しました。電気は、スイッチを入れればいつでも、どこでも、欲しいだけ使える状態が当たり前になっていましたので、市民生活にも社会活動にも大きく影響しましたが、その一方で人々の電気に対する関心が高まりました。

電気は便利なものですが、エネルギー資源が有限であるという制約の中で、正しく、賢く使うべきものでもあります。電気学会は、電気に対する理解を広く一般の皆様に深めていただくことが、重要で有用なことと考えます。この「電気の知識を深めようシリーズ」は、電気をやさしく、かつ正しい内容で理解いただき、電気に対する知識を深め、親しみをさらに増していただくために発行するものです。

2016年8月

電気の知識を深めようシリーズ刊行ワーキンググループ

## 電気の知識を深めようシリーズ

### 刊行ワーキンググループメンバー

主査 石井 彰三

副主査 大来 雄二 ※

副主査 新藤 孝敏 ※

委員 伊与田 功 ※

委員 臼田 誠次郎

委員 桂井 誠

委員 亀田 秀之

委員 神津 薫

委員 酒井 祐之

委員 佐藤 之彦

委員 塩原 亮一

委員 高田 達雄

委員 高橋 一弘

委員 谷口 元 ※

委員 谷口 治人 ※

委員 長谷川 有貴 ※

委員 前島 正裕

委員 雪田 和人

外部協力者 廣田 幸嗣 氏 ※

(名前の後の※は本冊子担当者を示す)

電気の知識を深めようシリーズ Vol. 6

## 電気を貯める

2016年9月30日 初版発行

非売品

---

編集者 一般社団法人 電気学会  
電気の知識を深めようシリーズ  
刊行ワーキンググループ

発行者 一般社団法人 電気学会  
代表者 酒井祐之  
〒102-0076 東京都千代田区五番町 6-2  
Tel 03-3221-7312 Fax 03-3221-3704  
<http://www.iee.jp>

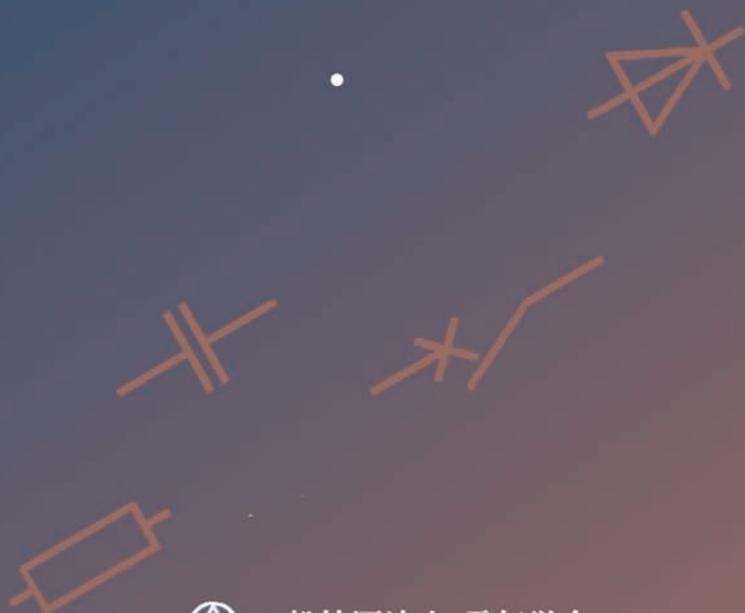
印刷所 株式会社 太平印刷社

---

落丁・乱丁はお取替いたします。

©2016 Japan by Denki-gakkai

Printed in Japan



一般社団法人 電気学会

