

スマートに  
安全・確実に電気を使う



電気の知識を深めようシリーズ Vol.7

スマートに安全・確実に  
電気を使う

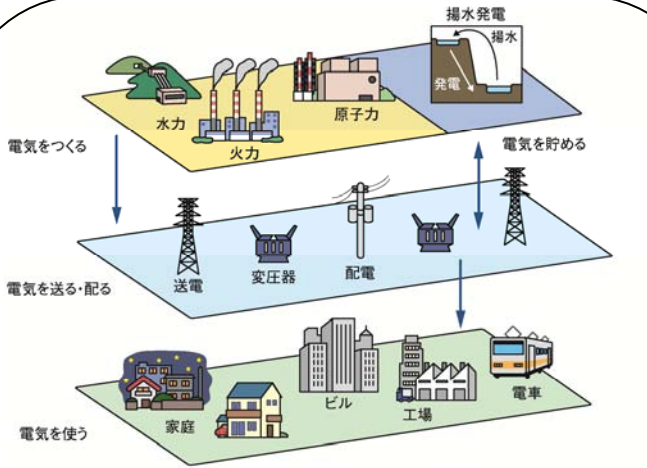
一般社団法人 電気学会

## まえがき

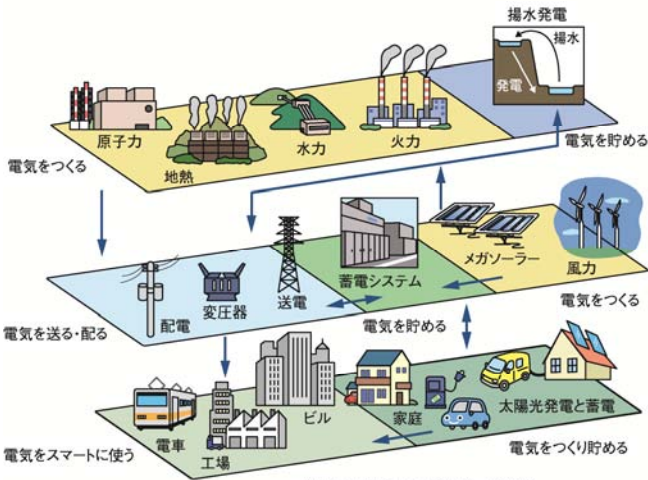
私たちは、電気をたいへん便利に使ってきています。その電気はどこで作られ、どのようにして私たちの手元まで送られてきているのでしょうか。これから、それはどのようになっていくのでしょうか。また、安全・確実に電気を使うにはどのようにすればよいのでしょうか。それがこの Vol.7 の主題です。

電気を巡る全体像が、今大きく変わってきているのです。図 1 を見てください。今までは、電気の流れは基本的に一方向でした。図 1(a)にあるように、火力、原子力、水力などの大規模な発電設備で電気を起こしました。それが第一層です。第一層で起こした電気を、電圧を上げて（昇圧して）遠くに送り、電圧を下げてきめ細かく配るために、第二層に流しました。第二層からは、一般家庭、事務所、工場などの電気を使う層（第三層）に電気を流しました。

この三層間の電気の流れ、各層内の電気の流れが大きく変わってきています。それを示したものが、図 1(b) です。火力、水力のような大規模発電設備に加えて、メガソーラーや風力などの中規模の発電設備が加わるとともに、家庭での太陽光発電設備などが設置され、従来、基本的に一方向だった電気の流れが双方向になっています。また、電気を蓄えるシステムがたいへん重要になってきています。



(a)これまでの電力エネルギーの供給



(b)これからの電力エネルギーの供給

図1 発電所から家庭までの電気の流れ

この電気学会の7冊の「電気の知識を深めよう」シリーズと、図1の三層の関係は次のようになっています。全体をVol.1で概観しました。使う立場での概観

が Vol.2 です。電気の来し方行く末を考えるため、その歴史を理解し、さらに科学的に理解するための理論を概観したのが Vol.3 です。以上が導入編と言えるでしょう。

そしてそれらの中で取り扱ったトピックスを発展させたのが、Vol.4～7 です。第一層について記述したのが Vol.4 です。第二層についての記事は Vol.5 を中心にして、Vol.6, 7 にもあります。第三層については Vol.7 を中心にして、Vol.6 でも説明しました。

さらに、このようにして送られてきた電気を上手にかつ安全に使うには、最新の技術に基づいた多くの工夫がなされています。また、電力自由化など、将来に向けて、電力システムは大きく変わろうとしています。さらに、地球温暖化など、エネルギー使用に関する地球規模の重要な問題もあります。

本冊子は 2 部構成となっています。第 1 部では、「スマートに電気を使う」というタイトルで、省エネルギーなどを中心に、電気を効率的に使う工夫と今後の電力システムの在り方について説明しています。第 2 部では、「安全・確実に電気を使う」というタイトルで、停電を防ぐさまざまな工夫や電気に関する安全について紹介しています。

これからの電気社会を考えるために、この Vol.7 を読んでみましょう。

# 目次

まえがき	ii
第1部 スマートに電気を使う	1
1 家の中の電気	1
家庭へ電気が来る道筋	1
大切な電気をうまく使うには	4
2 省エネルギー・省資源	7
我々ほどのくらいエネルギーを使っているか	7
どこにエネルギーは使われているのか	9
パワーエレクトロニクス技術による省エネルギー	10
電力損失を減らすには	12
家庭における省エネルギー	13
照明における省エネルギー	14
空調機器（エアコン）における省エネルギー	16
コラム：空調機（エアコン）の歴史と省エネ	19
熱の有効利用	22
省資源を考える	24
コラム：ヒートポンプ	25
3 直流電気を使った、電気の有効活用	27
交流 vs 直流	27
家の中の直流電気	30
直流技術の研究開発	37
交流中心のシステムから交流と直流が共存する社会へ	38
4 スマートグリッドとスマートコミュニティ	43
電気を使うには発電所が必要	44

再生可能エネルギーによる発電	45
太陽光や風力による発電の特徴～出力変動	47
電気の使い方と太陽光発電などによる 課題の解決に役立てる	48
スマートメーターとスマートハウス	50
電気を賢く使うスマートハウス	50
スマートグリッドからスマートコミュニティへ	54
情報通信の役割の重要性	56
5 電力自由化とは	58
日本の電力自由化の歴史	58
日本の電力システム改革の概要	59
自由化の対象となる電力システムの技術的特徴	61
電気という特殊な商品	61
コラム：樹木が引き起こした大停電	<b>63</b>
米国の電力自由化	64
英国の電力自由化	66
ドイツの電力自由化	68
日本の電力自由化の留意点	70
第2部 安全・確実に電気を使う	74
1 停電から暮らしを守る	74
クレーン船で大停電	74
停電はなぜ起こる	76
停電の起こる3つの理由	77
需要と供給のバランス	79
送電線は雷に弱い	81

誘導雷（電線に雷が落ちなくても事故になる）	84
停電を防ぐには	85
消費を予測し発電計画	85
雷を防ぐ架空地線	86
いったん切ってまたつなぐ	87
電力システムで停電を防ぐ	90
瞬時電圧低下	91
配電線事故時には？	93
開閉器で停電地域を最小化	94
ループにして停電を防ぐ	96
停電や瞬時電圧低下への使用者側での対策	98
自分の大切な設備は自分で守る	98
非常用電源設備のいろいろ	99
2 雷から建物や電気機器を守る	104
避雷器	104
避雷器は雷を避けるスイッチ	104
酸化亜鉛（ZnO）という奇妙な物質	105
送電線や配電線にも避雷器が	108
避雷針	110
避雷針の発明者は、あのフランクリン	111
コラム：日本で最初の避雷針	114
3 雷や感電から人を守る	115
雷から身を守るには	115
側撃（雷が鳴ったら、木の側は危険！）	116
足の間に発生する歩幅電圧	118
雷が鳴ったら、身に着けた金属は離すべき？	119



感電を防ぐには	120
接地（アース）は何のため？	121
コラム：接地はアース？ グランド？	<b>124</b>
危険な電流、安全な電流	125
通電火災	128
地震の後から起きる電気火災	129
本冊子の企画趣旨について	130
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	131

### 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

# 第 1 部 スマートに電気を使う

## 1 家の中の電気

### 家庭へ電気が来る道筋

図 2 にあるように、家庭への電気は、配電柱にある変圧器によって、交流の 6,600V(ボルト)の電圧を 100V または 200V に下げて使います。通常、家庭には単相 3 線式といって 3 本

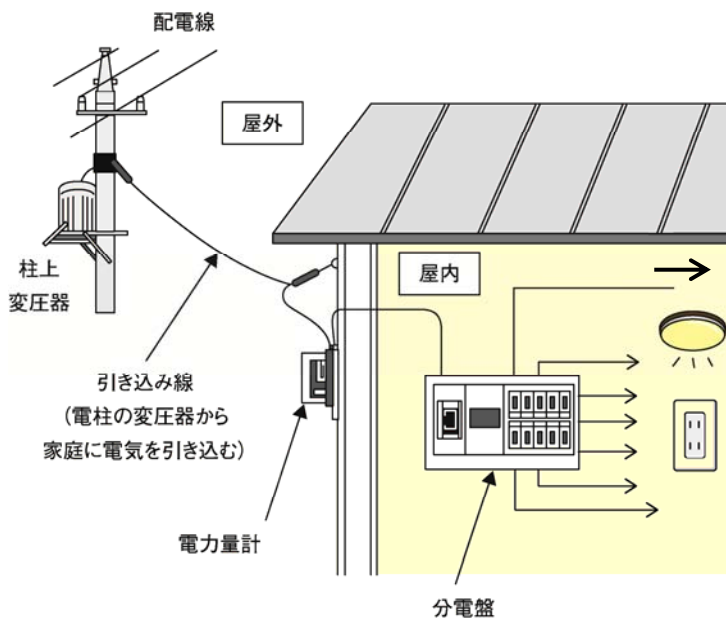


図 2 配電線から家の中に電気が来る道筋

ての線で電気が取り入れられています<sup>1</sup>。

柱上変圧器からの線は、まず電力量計につながります。電力量計は使用した電力量を測る装置です。これまでは、流れる電流に応じて機械的に円盤が回る図 3 のような回転型電力量計が使われていましたが、使われた電力量を電子回路によって測定する電子型電力量計、さらに通信機能などを付加し、種々の情報をやりとりできるようにしたスマートメーターと呼ばれる新型の電力量計も使われるようになりました。スマートメーターについては、第 1 部の 4 章で説明します。



図 3 回転円盤型電力量計

電力量計を出た線は、屋内の分電盤に入ります。分電盤では、電気の使い過ぎや事故などで予定外の大きな電流が流れた時に回路を切るための漏電ブレーカーや遮断器がついています。

この分電盤で電気を分けて、100V または 200V で照明や屋内のコンセントにつなげられています。クッキングヒーターや

---

<sup>1</sup> 詳しくは、本シリーズの Vol.3「電気の基本を考えてみよう」の「4. 電気を正しく使う」をご覧ください

エアコンなど、多量の電気を消費する機器は 200V で使われることもあります。テレビや冷蔵庫、洗濯機、電灯など多くの家電機器は 100V で使われます。

ちなみに日本では家電機器は 100V が一般的ですが、世界的にみると、むしろこれは例外的な電圧です。北アメリカや、ブラジルなど南アメリカの北部の国は 110～127V であり、ヨーロッパやアジア、アフリカなど、他のほとんどの国は 220～240V が使われています。

海外へ行くと、電圧の違う日本の電化製品はそのままでは使えませんので、昔は海外旅行をするときには小型の変圧器などを持っていく必要がありました。しかし、最近はパソコンや電気シェーバーなどは交流を直流に代えて使うようにしており、その変換器も交流の 100V から 240V まで使えるものが増えてきましたので、電圧の違いを気にする必要は少なくなりました。ただし、プラグの形は図 4 のように国内と海外ではかなり異なる場合がありますので、注意が必要です。



図 4 さまざまな形のプラグ

## 大切な電気をうまく使うには

家庭に入った電気は、電灯をはじめとして、テレビ、冷蔵庫、洗濯機、パソコンなどさまざまな用途に使われています。電灯というとエジソンの名前が思い浮かびますが、エジソンは直流の110Vで配電システムを作りました。交流システムはテスラという人が提案し、ウェスチングハウスという人が実用システムとして構築しましたが、テスラは240Vが最適と考えていたようです。エジソンは安全性を考えて110V程度の電圧にしたようですが、このあたりが、同じ交流でも100V系システムと200V系システムが生じた理由のようです。この時、電力システムとして、交流が良いか直流が良いかの大論争が起きました。現在は、世界的に交流で電気が送られる場合が多いですが、実際に使う時には直流の方が便利な場合も少なくありませんので、それについては、3章で説明します。

電気は限られたエネルギーですので、大切に使う必要があります。そのために家電機器の省エネルギー化が進められています。特に、照明は省エネルギー効果の高いLED<sup>2</sup>が多く使われるようになりました。また、日本の夏は蒸し暑いのでクーラーはかかせなくなっていますが、最近は冷やすばかりではなく、一台のエアコンで夏は涼しく、冬は暖かく、という快適な生活ができるようになってきました。このような空調機器でも省エネルギー化は著しく進んでいます。このような省エネルギーの話は2章で詳しく紹介します。

---

<sup>2</sup> Light Emitting Diode の略。詳しくは Vol.2 の p.22 を参照下さい。

また、さらに一歩進んで、家庭やビルで、エネルギーをうまく管理して電気の無駄遣いを省くということも進められています。これらは、家庭用エネルギー管理システム (HEMS)<sup>3</sup>、ビルエネルギー管理システム (BEMS)<sup>4</sup>などと呼ばれていますが、個別の家庭やビルのみならず、地域全体としてエネルギーを有効活用しようという、スマートコミュニティという考え方が進められています。かつては、電気は水力発電所、火力発電所、原子力発電所などの大規模の発電設備から、送電線や配電線を通して家庭まで電気が送られていましたが、最近では、太陽光発電設備や風力発電設備などの新しい発電設備も増えており、また一般家庭でも太陽光発電設備が使われることも増えています。さらに、電気自動車の普及に伴い、電気自動車に搭載されている電池を、蓄電装置として活用しようという考え方も生じてきました。

このような種々の異なった電源設備を社会全体として有効活用しようというのがスマートグリッドであり、さらにスマートコミュニティとは、電気エネルギーを中心に、ガス、鉄道、水道、産業など、非常に広範なレベルで社会全体としてエネルギーを有効活用し、快適な社会を構築しようとするものです。このような、社会としてのエネルギーの将来像については、4章で説明します。

最近の電気エネルギー分野のトピックとしては、何と云って

---

<sup>3</sup> HEMSはHome Energy Management Systemの略でへムスと読みます。

<sup>4</sup> BEMSはBuilding Energy Management SystemもしくはBuilding & Energy Management Systemの略でべムスと読みます。

も、2016年4月から始まった、電力自由化でしょう。電力自由化とは、電力会社以外の会社でも自由に電気を売ることができるようになったということですが、実は2016年以前からもこのようなことは一部認められていました。ただ、2016年4月からは、一般家庭についても電力の自由販売が認められ、誰でも電力を売ることができ、また好きな会社から電気を買うことができるようになったということです。このような電力自由化は海外ではすでに行われている国も多く、また電力自由化による弊害があることも分かってきました。各国、それぞれ置かれている状況が異なりますので、他国の例がそのまま日本にあてはまるとは限りません。「日本の電力システムはどうあるべきか」、これはかなり難しい問題ですので、5章で考えてみたいと思います。

## 2 省エネルギー・省資源

### 我々はどのくらいエネルギーを使っているか

電気もエネルギーのひとつの現れ方であって、便利で清潔で使いやすいことから、私たちは他のエネルギー源から電気エネルギーに変えて（エネルギー変換して）使っています。石油、石炭、ガスや水力などの一次エネルギーのうち、我が国ではその40%強を利用して電気に変換しています。60%弱の一次エネルギーは、熱源としてそのまま燃焼させて使ったり、自動車や船、飛行機などの燃料や、工業製品の原料となったりしています。

この一次エネルギー量を一人あたりの使用量としてみますと、2010年時点では、世界平均では2.5kW(キロワット)を、我が国では5kWを、アメリカでは10kWを常時使っていることとなります<sup>5</sup>。

一方、動物の一員としての人類を考えると、一日に必要なエネルギーは食品から得られ、約2,000kcal(キロカロリー)になります。これを上の数値に換算すると、約100W(ワット)となります<sup>6</sup>。この量は、体重でほとんど決まっていて、ハツカネズミ(体重約20g)では約0.15W、ゾウ(体重約4t)では

---

<sup>5</sup> 産業や運輸などにも使われているエネルギーも含んだ値です。石油に換算すると我が国では、一人あたり約4t/年の使用量になります。エネルギー量としては、 $5 \times 1000 \times 365(\text{日}) \times 24(\text{時間} \times 3600(\text{秒})) \text{J}$ となります。なお、電気として使っているのは、我が国では約1kW(常時)となります。

<sup>6</sup>  $2000 \text{ kcal/日} = 2000 \times 1000 \text{ cal/日} = 2000 \times 1000 \times 4.2 \text{ J/日}$   
 $= 2000 \times 1000 \times 4.2 \div 24 \text{ J/時} = 2000 \times 1000 \times 4.2 \div 24 \div 3600 \text{ J/秒}$   
 $= 97.2 \text{ J/秒} \approx 100 \text{ J/秒} = 100 \text{ W}$



2,000W(=2kW)程度になっていて、人間の100Wもこの線の上にあります<sup>7</sup>。

つまり、人間は他の動物に比べて、世界平均では25倍の、我が国での平均では50倍のエネルギーを使っていることになります<sup>8</sup>。

このように人間は、動物として生きていくのに必要なエネルギーの数十倍を使って、快適な生活を送っているわけです。

しかし、このエネルギーは無尽蔵にあるわけではありません。このまま使っていって何年使えるかを可採年数<sup>9</sup>と言いますが、石油やガスでは数十年、石炭でも百年ちょっとしかありません。石炭は地球温暖化の主要な要因である二酸化炭素の排出量も多いため、そのまま無制限、無制約<sup>10</sup>に使っていくのは困難になってきています。

このため、できるだけエネルギーを使わないで、快適な生活を享受できるように考えていく必要があります。産業界では製

---

<sup>7</sup> この関係は、標準代謝量(単位は[W]) $\approx 4.1 \times W^{3/4}$  (W: 体重[kg])で与えられます。例えば、本川達雄:「ゾウの時間ネズミの時間ーサイズの生物学」中公新書、1992 なお、これは哺乳類の例であり、例えば爬虫類では係数が若干小さくなります。

<sup>8</sup> これは一人あたりの数字ですので、人類全体としては原始時代に比べて人口も格段に増加していますので、人類が現在消費しているエネルギーの総量は膨大な量になっていることがわかります。

<sup>9</sup> 可採年数=確認埋蔵量/年間産出量。確認埋蔵量は、「存在している場所、質および量が工学的根拠から明らかにされており、現在の技術で経済的に採掘が可能な量(=可採埋蔵量)」です。このため、確認埋蔵量や可採年数は年ごとに変化していきます。

<sup>10</sup> 電気に変換する場合に二酸化炭素の相対的な排出量を少なくするには、発電効率を上げるのが効果的です。また、排出される二酸化炭素を集めて大気中に放出しないCCS(Carbon Capture and Storage)の技術も開発中です。

品製造でのエネルギー効率を高める工夫をさらに進めることが重要です。また分かりやすい例では、自動車の燃費の向上があります。

## どこにエネルギーは使われているのか

日本のエネルギー消費を、産業、運輸、業務、家庭の4部門に分けて、今と昔とを比べたものが図5です。産業部門が多額の割合を占めているのは、今も昔も変わりませんが、その割

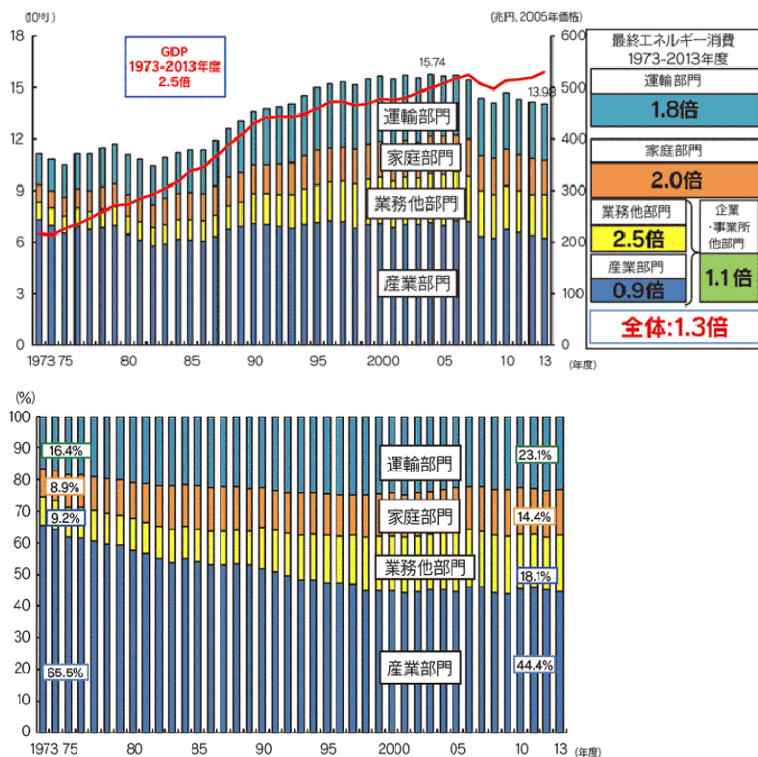


図5 最終エネルギー消費とGDPの変化

(出典:資源エネルギー庁HP「平成26年度エネルギーに関する年次報告」)

合は減ってきています。一方、業務と家庭部門は、石油ショック前の 1973 年から 2013 年までの間に、2.0 倍から 2.54 倍と大きく増加しています。

これからみても、家庭での省エネルギーが重要なことはよく分かりますが、個人としても、省エネルギーに貢献できることはたくさんあります。東日本大震災後は節電の意識がこれまで以上に高まりました。スマートメーターによる電気使用量の「見える化」によって、さらに効果的になることが期待されます<sup>11</sup>。

### **パワーエレクトロニクス技術による省エネルギー**

また最近ではパワーエレクトロニクスを使って、積極的に省エネルギーを行うことが進められています。パワーエレクトロニクスとは、スイッチとして動作させる半導体デバイスを用いた回路によって、電力変換を行う技術分野を指します。電力変換というのは、交流と直流の間の変換や、交流の場合はその周波数の調整、電圧や電流の大きさの調整などの電気の形態や大きさを変更することです。

家庭のコンセントの電気は 50Hz(ヘルツ)または 60Hz の交流ですが、実際の機器では直流や、数十 kHz(キロヘルツ)の高周波の交流の方が良い性能を発揮することが少なくありません。このため、機器の内部で交流から直流や高周波に電気を変換して使っている機器が、実はかなりあります。この変換を

---

<sup>11</sup> スマートメーターについては、第 1 部 4 章で紹介します。

する時に、エネルギーの損失をできるだけ発生しないことが、エネルギーの有効利用の点で重要です。

図 6 に、電力変換を行う回路と、その入力電力、出力電力、損失の関係を図示します。出力電力というのは、この電力変換回路が電力を供給する対象に与える電力です。身近な例で考えると、エアコンであれば圧縮機（コンプレッサー）やファンを回転させるためのモーター、照明器具であれば蛍光灯や発光ダイオード（LED）、電磁調理器であれば磁界を発生させるためのコイルに供給する電力にあたります。電力変換回路に電力の損失があると、電力変換器が電源から受け取る入力電力は、出力電力に損失電力を加えたものとなります。損失が大きければ、その分、電力変換器が電源から供給を受ける電力が増加し、エネルギーの有効利用の点で好ましくありません。また、この電力損失は熱となって回路の温度上昇を招くため、損失が大きいとその熱を逃がして温度を適切な範囲に保つことが大変になります。したがって、電力の損失を極力少なくすることが非常に重要です。

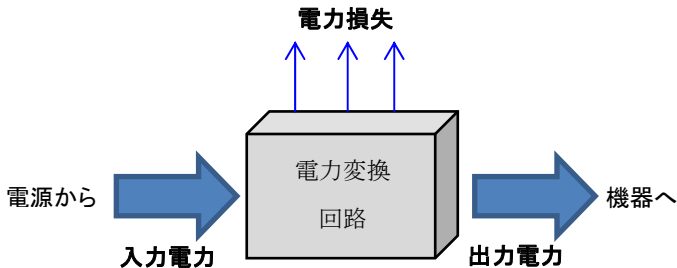


図 6 電力変換回路と入力電力、出力電力、電力損失

## 電力損失を減らすには

では、電力の損失をできるだけ少なくするにはどうしたらよいでしょうか。そのためには、電力の損失を発生しない構成部品のみで電力変換回路を構成すればよいことは明らかです。このため、電力変換回路の主要な構成要素としてスイッチとして動作する素子<sup>12</sup>を用います。スイッチは、図 7 に示すようにオンとオフの 2 つの状態しか持ちません。

オフのときはスイッチの両端に電圧がかかりますが通過する電流は 0 となります。また、オンのときは電流が流れますが、両端の電圧は 0 となります。電気回路の消費電力 ( $P$ ) は、そこにかかっている電圧 ( $V$ ) と流れている電流 ( $I$ ) の積 ( $P=V \times I$ ) ですので、スイッチとしてオンとオフの動作しか、させないとすると、常に電圧か電流の少なくともどちらか一方は 0 となるので、スイッチそのものの消費する電力は 0 となります。

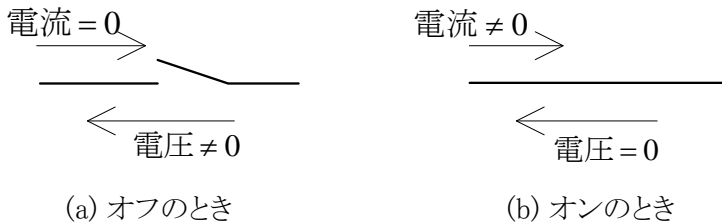


図 7 スイッチの動作状態と電圧と電流

<sup>12</sup> 現在では半導体デバイスが用いられています。後述するように、いくつかの損失を発生します。

さらに、実際の電力変換回路では、スイッチ動作により電流が不連続となることを補うために、コイルやコンデンサーを用います。これらの回路素子は、スイッチ動作に伴ってエネルギーの吸収と放出を繰り返して動作しますが、エネルギーを消費することはありません。

以上のように、電力変換回路を、スイッチとして動作させる半導体デバイスとコイルとコンデンサーから構成することにより、「理想的には」エネルギーの消費、すなわち電力の損失は発生しません。

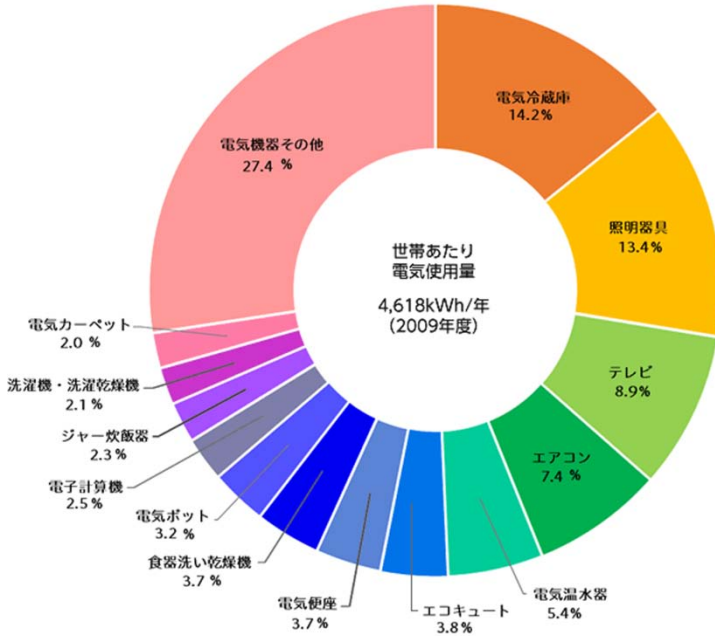
ただ、現実の半導体デバイスでは、オンのときに電圧降下を生じたり、スイッチングによってオンとオフの状態を行き来する際に電圧も電流も 0 でない状態を通過することによるスイッチング損失を発生したりします。また、コイルやコンデンサーも実際にはある程度の電力の損失を伴います。

とはいえ、これらの損失は、現状でも十分に小さく、電力変換装置は一般に高効率を達成しています。しかし、放熱器を小さくして小型化を目指す場合などでは、電力の損失をさらに減らすことが求められています。このような電力変換回路は、最近はいろいろの家電機器で使われています。

## 家庭における省エネルギー

図 8 は、家電機器でのエネルギー消費の内訳を示したのですが、冷蔵庫、照明、テレビ、エアコンなどの比率が大きいです。以下では、代表的な例として、照明とエアコンに関する省エネルギーについて紹介します。

## 家庭部門機器別電気使用量の内訳



総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会(第17回)  
資料「参考資料1」トップランナー基準の現状等について」より作成

図 8 家庭部門機器別の電力消費の内訳

(出典:資源エネルギー庁 HP「家庭のエネルギー消費の実態」)

## 照明における省エネルギー

パワーエレクトロニクスを利用した照明としては、インバーター蛍光灯や LED 照明が代表的です。蛍光灯は、電力会社から供給される 50Hz や 60Hz の交流電力でも点灯させることが可能であり、以前は電力変換回路を用いずに点灯させていました。これに対して、電力変換回路で数 10kHz(キロヘルツ)という高い周波数に変換することにより、同じ電力でより明るく点灯できるようになりました。これがインバーター蛍光灯と呼

ばれるものです。

インバーター蛍光灯は、蛍光灯が高い周波数の交流電力で効率よく発光する性質を活かしたものです。また、図9のような白熱電球とほぼ同じ形状の電球型のインバーター蛍光灯も開発されています。これは、口金の部分に非常に小型化した電力変換回路を内蔵しています。電球型蛍光灯は、白熱電球を用いていた照明器具でそのまま使用することができるため、明るさの割に消費電力が大きい白熱電球に比べて、格段に少ない消費電力で同じ明るさが実現できます。例えば、ある電球型蛍光灯では60Wの白熱電球と同等の明るさを12Wの消費電力で実現しています。

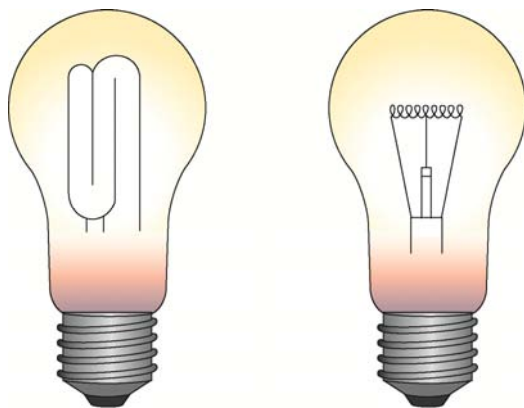


図9 電球型蛍光ランプ（左）と白熱電球（右）

さらに最近では、LED（発光ダイオード）を用いた照明が急速に普及しています。LEDは直流で点灯するので、電力会社から供給される電力を直流に変換する電力変換回路が必要



となります。LED は、それ自体が明るさの割に消費電力の少ない効率の高い光源ですが、以前は表示灯などに用途が限られていました。最近になって、照明として使えるような明るさのものが安価に入手できるようになりました。

また、改良が進められ消費電力あたりの明るさの改善も進みました。LED 専用の照明器具に加えて、従来の白熱電球や蛍光灯と同じ形状や接続端子のものが多数市販されており、従来の照明器具を用いたままでの置き換えが可能なものが数多く商品化されています。

これらの LED 電球では、取付け部の口金の中に非常に小型化された電力変換回路が組み込まれています。LED 照明は白熱電球に対してはもちろんのこと、蛍光灯やインバーター蛍光灯に対しても、同じ明るさあたりの消費電力が小さくできます。例えば、60W の白熱電球と同じ明るさのある LED 電球の消費電力は 7.8W しかありません。

以上のように、インバーター蛍光灯では高い周波数の交流電力を、LED 照明では直流電力を、電力変換回路によって得ており、パワーエレクトロニクス技術が、高効率の光源を容易に利用できるようにして、省エネルギー化に大いに役立っていると言えます。

### **空調機器（エアコン）における省エネルギー**

パワーエレクトロニクス技術によって省エネルギー化を達成しているもう一つの身近な例はエアコンです。このエアコンで消費する電力は、家庭での総消費電力の約 7.4%<sup>13</sup>を占めて

---

<sup>13</sup> 資源エネルギー庁資料

いるといわれています。エアコンは、冷房運転時には室内の熱を屋外に移動させ、暖房運転時には屋外の熱を屋内に移動させることによって、室内の温度を調整しています。いわば、熱をポンプで運んでいるようなもので、ヒートポンプ<sup>14</sup>といわれています。

この熱の移動は冷媒という熱を運ぶための媒体の圧縮と膨張によって行われ、その中心的な役割を果たしているのが圧縮機（コンプレッサー）であり、エアコンの消費電力の大半を消費しています。現在、日本で使われている多くのエアコンでは、周波数を自由に調整できる電力変換装置（インバーターといいます）を用いて圧縮機の回転数を調整しています。冷房運転時に、設定温度に対して室温が高く、その差が大きい場合は圧縮機の回転数を上げて熱の移動量を増やします。室温が設定温度に近づいてくると圧縮機の回転数を下げて熱の移動量を減らしていきます。圧縮機の回転数を下げると、圧縮機を回すために必要な電力は大幅に減少するので、エアコンの消費電力も大きく減少します。また、これに加えて、圧縮機の回転数を下げるとヒートポンプの効率が高くなるので消費電力の削減が可能です。これに対して、初期のエアコンでは、設定温度と室温

---

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

<sup>14</sup> 水は高いところから低いところには流れますが、低いところから高いところへは流れません。低いところから高いところに水を上げるためには、ポンプによる機械力が必要です。熱も温度の高いところから低いところへしか流れません。しかし、外部からの機械力を使うことで、温度の低いところから高いところへも熱を運ぶことができます。そのような装置をヒートポンプと言います。詳しくは、p.25 のコラムをご覧ください。

の高低によって単純にオンするかオフするかの動作をさせていました。この場合、オンの際には圧縮機を定速の回転数で運転し、設定温度に達すると圧縮機を止めるという動作を繰り返すようにしていたので、常に効率の良い条件で運転するというわけにはいかず、また起動停止時にも余計な電力を消費するため、結果的に電力消費が大きくならざるを得ませんでした。

これに対して、インバーターを用いて圧縮機の回転数を調整することにより、室温に応じて最適な動作状態で運転できるようになるため、無駄な電力消費を抑えることができ、省エネルギー化が実現できます。これを世界に先駆けて開発したのが東京芝浦電気（現東芝ライフスタイル(株)）です<sup>15</sup>。図 10 が、その第 1 号機の写真です。

また、圧縮機のモーターには、以前は誘導モーターが使われていましたが、最近では誘導モーターよりも効率の高い永久磁石同期モーターが使われるようになっていきます。永久磁石同期モーターはスタートの際に電源周波数を徐々に上げていく必要があるため、インバーターがなくては使うことができません。冷蔵庫についても、冷却するためのしくみの基本はエアコンと共通であり、インバーターを用いることによりエアコンと同様な省エネルギー化が進められています。

---

<sup>15</sup> インバーターエアコンは、第一回の電気学会「電気の礎」の顕彰を受けています。

<http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/30-foundation/data02/index01.php>



図 10 日本で開発された世界初のインバーターエアコン  
(画像提供：東芝ライフスタイル株式会社)

### コラム：空調機(エアコン)の歴史と省エネ

暑い時には冷たい物がほしいものです。古代エジプトの砂漠地方では素焼きの壺に水を入れて屋外に出しておき、水が蒸発した時に熱が奪われることを利用して水を冷たくして飲んだということが知られています。水が蒸発する時の冷却効果を使うのは、夏の打ち水などと同じです。また、日本では、自然の氷を氷室<sup>ひむろ</sup>に保存して夏季に使用したという記録が日本書紀にあり、江戸時代には将軍に氷<sup>こおりけんじょう</sup>献上がなされていたようです。中国では、周の時代に、山の雪で冷水を作って飲んだという記録もあるようです。

しかし、自然の氷や雪ではなく、季節に関係なく人工的に冷たさを作り出すことは人類の長年の夢でした。この実

現に大きく貢献したのが、フランスのカルノーによる熱機関サイクルの理論です。カルノーは、等温圧縮・断熱膨張・等温膨張・断熱圧縮というサイクル過程を用いれば、人工的に気体を冷やすことが可能であるという理論を1824年に打ち立てました。1834年には、英国のパーキンスが、エチルエーテルを用いた冷凍機を実現しています。

エアコンは、1902年に米国で印刷工場での問題を解決するために、ウィリスキャリアによって開発されました。これはクーラーであり、室内の温度を下げるるとともに、除湿機能を持ったものでした。国内においては、空気調整器として1935年に生産され始めています。1958年には、名称がルームクーラーに統一され、冷却方式として空冷式と水冷式が生産されるようになりました。1959年には室外機と室内機が分離したセパレート型が発売されています。1960年になると冷房専用型の冷媒ガスの流れを切り替え、冷房だけでなく暖房もできる機種が発売されるようになりました。1965年になるとルームクーラーがルームエアコンに名称変更され、1966年ごろから一般家庭に普及し始めています。

1973年ごろに第一次オイルショックがあり、ちょうどこのころに、エアコンの省エネ開発が大きく進み始めました。1977年には、マイコンやICなどによる電子制御機能の搭載、コンプレッサーや熱交換器の高効率化が導入されたエアコンが発売されました。そして、1980年には本文にもあるように、電力用半導体を利用したインバーターと、回転

数が変化しても高効率運転ができるコンプレッサーを開発し、マイクロコンピューターによりコンプレッサーの回転数を負荷状態に応じて最適に変化させるようにしたインバーターエアコンが世界に先駆けて発売されました。このインバーターエアコンにより、快適性と経済性が従来のものより格段に向上し、エアコンの技術史に大きな革命をもたらしたといっても過言ではありません。

このエアコンにおける省エネ効果については、例えば東芝は1993年から2000年の間に消費電力量を50%以上低減し、シャープは1998年から2008年の間に40%以上の低減を実現しています。エアコンは古くからさまざまな技術開発が行われ、現在でもその努力が続けられているのです。

参考までに、その他の家電機器についても注目してみると、例えば、冷蔵庫、照明器具、テレビなどについては、資源エネルギー庁で毎年、消費電力量などのデータを公開して省エネ努力をメーカーに促しています（これを「トップランナー制度」と言っています）。さらに一般の消費者に対しては、「省エネラベリング制度」によって、いろいろな家電品の省エネ性能を製品やカタログに表示して、買い替えや購入時の参考になるようにしています。

注) エアコンの歴史について、もっと詳しく知りたい方は以下のホームページをご覧ください。

(<http://www.kdb.or.jp/showaeacon.html>)

## 熱の有効利用

以上は、電力変換装置を用いた省エネルギーの例でしたが、照明として使おうと、エアコンの圧縮機などのモーターを回そうと、電力損失は最終的には熱の形で現れます。熱はエネルギーの最終形態で、いわば「エネルギーのなれの果て」ですが、この熱エネルギーが有効に使えれば、省エネルギーの効果は大きいものがあります。

例えば、家庭でのお湯の使い道は、入浴や食器洗浄などですが、40 数度と比較的低い温度のお湯で十分です。これらのお湯を沸かすのにヒートポンプを使うと、使った電気エネルギーの数倍のエネルギーを使うことができるので、エネルギー効率からはきわめて有効な手段になります。

また大きな工場、病院、ホテル、スポーツ施設などは、天然ガス、石油、LP ガスなどを燃料としたガスタービンやディーゼルエンジンなどの発電機を設置しているところもかなりあります。このような発電機では必ず熱が出るのですが、通常は捨ててしまうこの熱を、捨てないで利用しようとするのが、コージェネレーション (Cogeneration) です。日本語では「熱電併給」または「コージェネ」と言いますが、海外では CHP (Combined Heat and Power) と呼んでいます。

上記のような施設では、熱の利用もかなり多いので、発電のついでに発生する熱を利用できれば、全体の効率はかなり高くなります。実際、電気を使うだけでは燃料のもつエネルギーの半分程度しか有効に使えません (効率 50%) が、熱も使えると、総合的な効率は 75%~80%に向上します。2015 年度末で、約 16,000 台、総計約 1,000 万 kW のシステムが我が国で使わ

れています。

実際に熱を使う場合ですが、燃焼直後の高温は生産工程などに使用し、もう少し温度が低くなったら、吸収冷凍機<sup>16</sup>の熱源として冷房に、さらに温度が下がったら給湯や暖房にと、熱も無駄なく使い切ることが望まれます。

最近では、このような大型のものばかりでなく、都市ガスやLP ガスから水素ガスを作って燃料電池<sup>17</sup>で発電し、一方、その時に出る熱を用いてお湯を沸かしておくといった1kW級の家庭用コージェネシステムも多く使われるようになりました。また集合住宅でも、コージェネシステムを用いてエネルギー供給業者が熱と電気を合わせて供給するようなことも今後行われていくと思われます。コージェネシステムの経済性は燃料価格とともに、熱をどの程度まで有効活用できるかにかかっています。これには、電力会社からの電力と需要家で発電する電力との調整など、情報通信技術をうまく利用して、社会全体としてエネルギーの効率的利用を図るべきです。

世の中には、熱エネルギーに限らず、捨てられているエネルギーがたくさんあります。これらの未使用エネルギーが利用できれば省エネルギー、省資源に大きく役立ちますので、今後、技術の進歩により、これらのエネルギーのさらなる活用が期待されます。

---

<sup>16</sup> 熱を使って冷凍というと奇妙に聞こえますが、吸収冷凍機とは水滴が蒸発して濃い塩水に吸収されるとき気化熱で冷房するシステムです。塩水は水を吸収するのでだんだん薄くなっていきますが、その水分を蒸発させて再び濃い塩水にするために熱をつかうのです。

<sup>17</sup> Vol.4「電気をつくる」参照。



## 省資源を考える

ただ、省資源や省エネルギー、節電に意識を使いすぎて、自分たちにとっての快適さを大きく犠牲にはしてはなりませんので、自分たちにとって何が重要かを勘案しながら進めていくことが長続きするコツだろうと考えます<sup>18</sup>。

省資源には、エネルギー資源だけでなく、元素や物質としての資源もあります。例えば主要な金属である銅や鉛などの可採年数は50年以下ですし、地球上にはあまり存在しない元素（レアメタルやレアアース）も同様です<sup>19</sup>。

レアメタルやレアアースは、少量であってもこれを加えると性能が大幅に向上することがあります。例えば、磁石の力が200℃を超える高温でも強さを保つことができるなどの効果が得られます。しかし、これを電気自動車や燃料電池自動車のモーターに使うとすぐに枯渇してしまうとも言われています。そのためには、これらの希少な元素を使わなくても同等の能力を発揮できる元素の発見や製造方法を開発すること、さらには一度利用した希少資源を再利用するための資源の回収も重要となります。

---

<sup>18</sup> 次のサイトでは、環境を重視するタイプやコストを重視するタイプなど、ライフスタイルに応じた省エネルギーの方法を提案しています。[http://criepi.denken.or.jp/pieceeco/piece\\_eco/piece\\_eco.html](http://criepi.denken.or.jp/pieceeco/piece_eco/piece_eco.html)

<sup>19</sup> JOGMEC 「非鉄金属資源開発技術のしおり」、および環境省「平成23年版 環境・循環型社会・生物多様性白書」 p.17 など。

## コラム：ヒートポンプ

ヒートポンプは一見不思議な機械です。投入したエネルギーよりもたくさんのエネルギーを生み出すように見えます。例えば、電気エネルギーを 1kWh（キロワットアワー）使ったとしますと、6kWh 分の電力量を使ったのと同じだけの熱エネルギーが得られます。

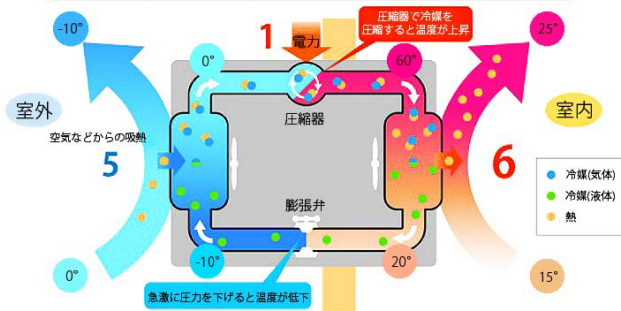
これは、周りの環境から熱エネルギーを集めているためで、集めることだけに電気エネルギーが使われているためです。また、この現象は、環境の温度とあまり温度が違わない物体の熱エネルギーはその質が低いことにも対応しています。

ヒートポンプの大まかな原理を図に示します。圧縮機で冷媒（冷たいという意味ではなくて、熱エネルギーを運ぶ媒体のことです）を圧縮しますと温度が上昇します。この上昇した冷媒を熱交換器で室内の空気に熱を移します。そうすると、冷媒の温度が下がります。この温度の下がった冷媒をさらに膨張弁という弁を通して急激に圧力を下げるとさらに温度が下がります。これをさらに室外の空気と熱交換器を通して熱交換させると、今度は熱をもらって温度を少し上昇させます。これを圧縮機に入れて、冷媒をこの順番でグルグル回していくのです。

冷媒を循環させるのにエネルギーが必要になりますが、室内へ入ってくる熱エネルギーは外気からも取り入れていますので、投入したエネルギーよりも大きなエネルギーが室内へ取り込まれます。

この冷媒の循環を逆に回すと、外気に熱を放出して、室内の

1の電力+ 5の大気熱 → 6の熱エネルギー (家庭用エアコン種類の一例)



(出典：一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センターHP「ヒートポンプとは」)

空気を冷やすことができます。このように、ヒートポンプを使ったエアコンでは、暖房と冷房が一台でできることとなります。

また、冷房と同じ原理で冷蔵庫を冷やすこともできます。暖房と同じ原理でお湯を温めることもできます。

投入したエネルギーを分母に、得られた熱エネルギーを分子にした値を成績係数 (COP: Coefficient Of Performance) といいます。COP は技術開発のおかげで、現在家庭用エアコンでは 6 程度までに (暖房時、冷房時には少し下がります) なっています。なお、この原理から分かるように、室外の温度が COP には大いに関係します。暖房時に室外の気温が低すぎれば COP は小さくなりますし、極端な場合にはちゃんと動作しなくなります。しかし、最近では寒冷地仕様のヒートポンプであれば、十分使えるようになっていきます。また、地中熱を使ったり、排水の熱を使ったりして、COP を高くするようにした例も増えてきています。

### 3 直流電気を使った、電気の有効活用

電気には交流と直流があります。私たちの社会の将来に向け、その直流電気の在り方を改めて考えてみましょう。

#### 交流 vs 直流

交流と直流のどちらが優れているのかについては、本シリーズの Vol.3 に以下のような記述があります。

『19世紀に一度は結論が出た交直論争ですが、もう一度考え直し、新しい技術を創り出す時期に来ていると言ってもよいのです。』(Vol.3 p.26)

現在では、世界的に交流を中心とした電力システム<sup>20</sup>が構築されています。それでは、何故、そのようになったのでしょうか。

歴史的にみると、電気の研究や利用は、もともとボルタによる直流の電池の発明から始まっています。そのため、最初は電灯なども直流が使われていました。しかし、電気は磁石が回転子として回転する発電機で作りますので、そのままでは交流の電気になります。これを直流にするため、整流子とブラシという装置で、交流から直流への変換をしていました。

交流をそのまま使えば、この変換装置は不要になります。また、電気を長距離に送電する時には、電圧を高くする方が電気的な損失を減らすことができるので有利です。交流の電気は、

---

<sup>20</sup> 電力システムあるいはそれに関連する用語としてのグリッドについては、本小冊子シリーズ Vol.5 の第一章を参照してください。

変圧器を用いて容易に電圧を上げ下げすることができるので、高電圧にすることは容易ですが、直流では電圧を換えるのは容易ではありません。これらの理由により、交流は直流よりも普及し、現在に至っています。

交流の電気と直流の電気の特性について、再度考えてみましょう。図 11 に交流と直流の特性を示します。同図に示すように、横軸を時間、縦軸を電圧値あるいは電流値とすると、交流の電気は正負が変化しますが、直流の電気は一定値です。

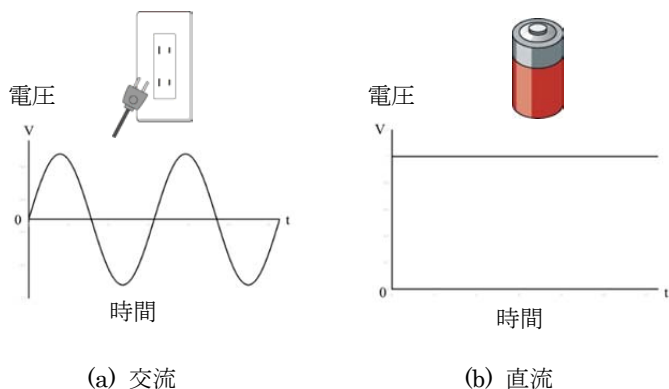


図 11 交流と直流に関する特性の違い

交流の電気と直流の電気の違いを電気工学的に比較してみたものが表 1 です。交流の場合、電力には有効電力、無効電力がありますが<sup>21</sup>、直流の電気は有効電力だけです。また、交流

---

<sup>21</sup> 交流の有効電力や無効電力、位相などについては Vol.5 「電気の性質を使ってうまく届ける」に詳しく述べられています。また、大量の電気を扱う場合の交流と直流の違いについては、同じく Vol.5 の p.93 「直流でつなぐのはどのような場合？」を参照ください。

の電気は、電圧波形と電流波形のタイミングの違い、いわゆる力率、位相という考えがあります。

表1 交流と直流の特徴比較

	送電・配電の特徴	発電機器同士の 接続の特徴	蓄電に関する特徴
交流	電圧波形と電流波形のタイミングの違いを考える必要がある。 変圧器により簡単に電圧変換可能。	電流と電圧の位相などを合わせる必要がある。(電気を使うだけなら問題なし)	電池を利用するときには直流への変換装置が必要。
直流	変換装置により電圧変換可能だが、やや面倒。	電流と電圧の位相を考慮する必要がない。	電池などにそのまま接続可能な場合もある。

そのため、電力系統へ無停電電源装置などを接続する場合、交流の電気では、接続する両端の電圧の位相を合わせる必要<sup>22</sup>が生じることがあります<sup>23</sup>が、直流の電気は一定値なので、位相、力率という概念がそもそもありませんので、このような配慮の必要はありません。また電気を電池などに蓄えることを考

<sup>22</sup> 交流の電源同士を接続する場合の注意点については、Vol.5 の p.74 からの「交流の電気とは」を参照ください。

<sup>23</sup> 家庭のコンセントに家電機器のプラグを差し込む時には、家電機器側に電源はないので、このようなことを気にする必要はありません。パソコンのように蓄電器があっても、直流側から交流側へは電気が流れないようにしているので、問題ありません。

えた場合、交流の電気は、直流に変換する必要がありますが、直流の電気は、電圧値を合わせるだけで蓄電することが可能だといえます。

この点が、直流の電気は、電池との親和性が高いといわれる点です。ただし、交流から直流へ変換する装置（整流器）と直流と直流間の電圧値を合わせる変換装置（コンバーター）<sup>24</sup>の電力変換効率が一緒であれば、直流の電気が交流よりも優れているとは言えません。

## 家の中の直流電気

私たちは、多くの家電製品に囲まれて生活しています<sup>25</sup>。例えば、LED 照明、デジタルテレビ、電話機、パソコン、プリンター、エアコン、スマートフォン、デジタルカメラ、ポータブルゲーム機などが身近なものとして思い浮かぶと思います。

このうち、みなさんがよく使用する家電製品の代表例である、スマートフォン、デジタルカメラ、ノートパソコンなどは、機器内部に搭載された蓄電池を充電してそれを直流電源として使っています。これらの機器を分解すると、電子回路が使われていることが分かりますが、その多くは、直流の電気で動いています。

---

<sup>24</sup> 本節では、交流から直流に変換するものを整流器、直流から交流に変換するものをインバーター、コンバーターは、直流の電圧値を変換するものを DC/DC コンバーターとしています。また、コンバーターとしては、マトリックスコンバーター、サイクロコンバーターなどもありますが、この章ではコンバーターとしては扱っていません。

<sup>25</sup> 例えば、この小冊子シリーズの次のところを見てください。

Vol.1 「電気とは何だろう」の「第 1 章 電気に囲まれて」の「家の中で」の項、Vol.2 「私たちの身近にある電気」

先ほどのスマートフォンやノートパソコンなどは、家の中のコンセントからの交流の電気を、ACアダプター<sup>26</sup>で直流に変換して、機器内部の電池に直流電気を供給していますが、LED照明やデジタルテレビなどは、コンセントからの交流の電気を、機器内部の整流器で直流に変換して使用しています。このように身近な家電製品も直流の電気をを用いているものが増えてきているため、住宅や建物内配線においても直流の使用が考えられています。

ところで、私たちの生活の中で使われている直流の電気は、図12のように直流の電圧値で分類することができます。

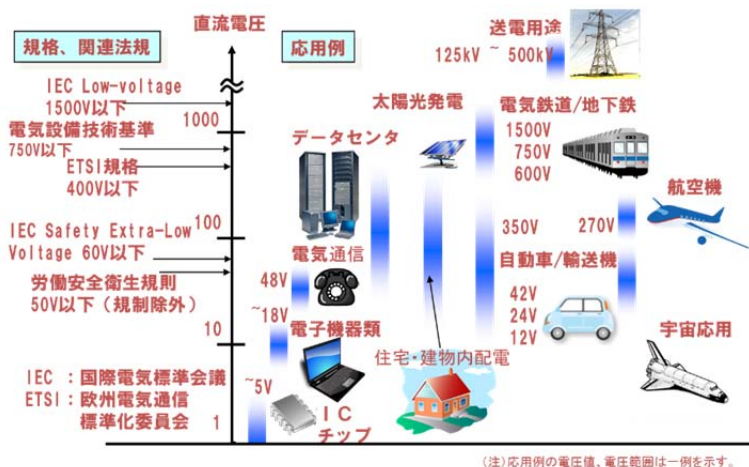


図12 現在使用されている直流電圧値  
(出典：廣瀬圭一「直流配電の現状と普及への可能性」電気設備学会中国支部講演会、2013年2月28日)

<sup>26</sup> ACアダプターとは、コンセントに接続して、交流の電気から、接続した機器を動作させる直流の電気を取り出す装置です。



同図に示すように、5V 程度の低い電圧値で電子回路が動作し、48V 程度で固定電話、12V/24V 程度で自動車、40V から 500V で住宅・建物内配電や太陽光発電装置、600V/750V/1,500V で鉄道<sup>27</sup>など、幅広い直流電圧が使用されています。このように現在も、直流の電気は私たちの生活に密着していることがわかります。

ただし、家電機器の中には、ドライヤーなどの熱電機器のように、主に交流電気を使用するものもあるので、直流の電気のみですべての家電機器が動いているわけではありません。

ここで、直流の電気による住宅の例を図 13 に示します。同図は、宅内直流給電アライアンスという組織が提唱しているもので、エネルギー創造機器・エネルギー蓄積機器として、電気自動車やプラグインハイブリット車、蓄電池、太陽光発電、家庭用燃料電池などの直流電気を出力するものは、電圧値を等しくすれば、直接接続できます。したがって、交流電気のように同期をとらないで<sup>28</sup>接続できることを示しています。

さらに、先ほど説明したように、デジタル家電などにおいても機器内部にて直流の電気を使用する場合、直流の電気を外部から供給することにより、整流器や DC/DC コンバーターを減らせることが期待されています。ただし、機器同士で使用して

---

<sup>27</sup> ここでいう鉄道は、直流の電気で動くものを対象としています。参考までに新幹線は交流の電気で動いています。

<sup>28</sup> 同期は交流電気の重要な概念の一つです。詳しくは、Vol.5 の第 4 章「電気の性質をうまく使って届ける」の「発電機が 2 台のとき一緒に回っているか？」の項を読んで下さい。なお、家庭用の交流 100V や 200V のコンセントを利用する時には、同期を考えることなく家電機器を接続できます。

いる直流電圧が同じならば直流電気の利点がありますが、使用している直流電圧が異なり、電圧を大きく変更するよう DC/DC コンバーターを用いなければならない場合には、直流の電気の利点が見いだせないこともあります。

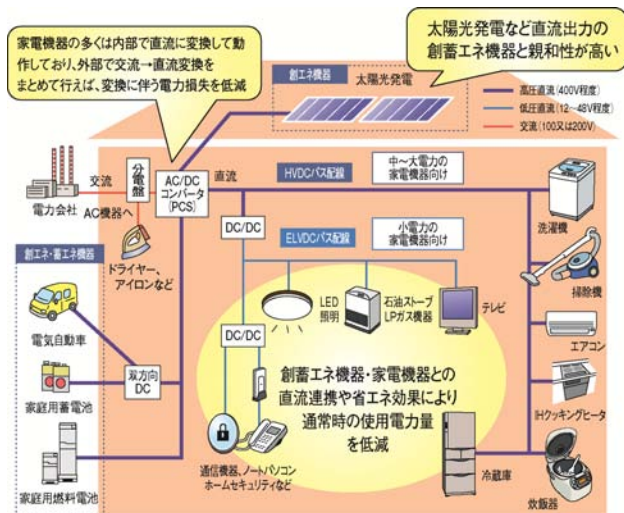


図 13 直流電気による住宅構成

住宅における直流電気の利点について、電気を比較的大量に消費する機器の代表としてエアコンを取り上げて説明しましょう。

このエアコンは、図 14 に示す DC ハイブリットエアコンで、これまでの交流電気のみでの使用だけでなく、蓄電池からの直流電気で動作するものとなっています。図 14 に示すように、交流のみで動作するエアコンは、蓄電池からの直流電気を変換装置にて交流電気に変換し、入力される交流電気が機器内部で直流電気に変換され消費されているのに対して、DC ハイブリッ

ドエアコンは、蓄電池からの直流電気をそのまま使用できる構造になっています。蓄電池からの電力をいったん交流に戻してから使うよりも、装置全体としての損失を約5%低減できると報告されています。



図 14 交流・直流ハイブリッドエアコン

(出典：シャープ株式会社 DC ハイブリッドエアコン HP)

このハイブリッドエアコンの住宅における構成を図 15 に示します。同図の蓄電池には、ハイブリッドパワーコンディショナ、太陽光発電装置が接続されています。これらエネルギーの制御には、住宅用のエネルギーマネジメントシステムである HEMS が導入されて計測と制御が実施されています。具体的

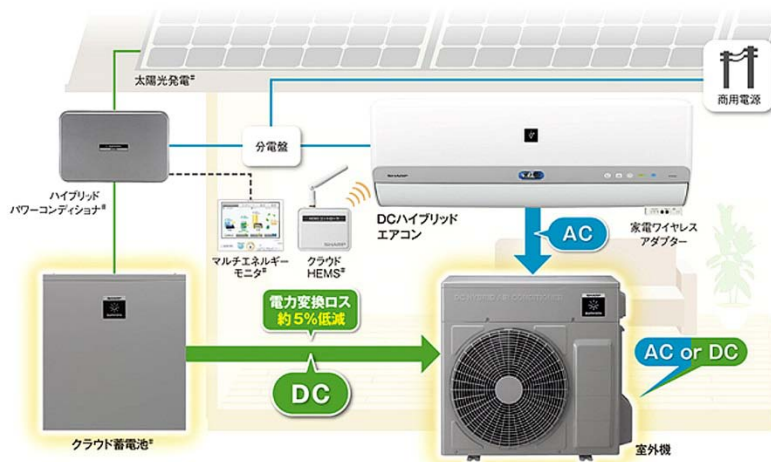


図 15 DC ハイブリッドエアコン

(出典：シャープ株式会社 DC ハイブリッドエアコンニュースリリース HP)

には、HEMS を用いて、太陽光発電で発電された電力を、住宅内の負荷での消費、蓄電池の充放電、電力系統への売電に合理的に配分するのに HEMS が使われています。このとき、ハイブリッドパワーコンディショナを用いることにより、蓄電池と太陽光発電装置のそれぞれ単独のシステムよりもパワーコンディショナの台数を 1 台削減できることとなります。

このシステムにおいては、蓄電池に十分電気がある場合は、直流で動作させ、蓄電池に十分な電気がない場合は、交流の電気で室外機が動く構成になっており、かならずしも直流電気のみ仕様になっていないことがわかります。

ここで、エアコンの室外機は、インバーターを用いたコンプレッサーが導入されています。このため、インバーター機器の交流—直流変換部分に外部から直流の電気を給電すれば、電気の交流—直流の変換回数を減らすことが可能となり、これまでの交流の電気だけ用いる方式よりも、省エネルギー化が期待できます。これは、私たちが使っているハイブリット車（HEV：Hybrid Electric Vehicle）<sup>29</sup>においても、起動時や低速走行時においてエンジンの燃費が悪い状態を改善する動作に似ていると言えます。

図 16 にハイブリット自動車の駆動構成を示します。同図には電気モーター、発電機、ニッケル水素電池、パワーコントロールユニットなどから構成されていることがわかります。

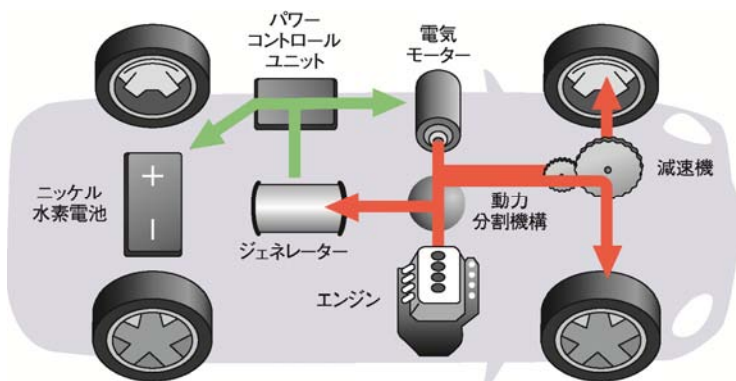


図 16 ハイブリッド車の駆動構成

<sup>29</sup> HEV の詳細については、本シリーズ Vol.6 p.19, 「電気の力でモーターを動かす自動車の特徴」を参照してください。

## 直流技術の研究開発

このように使い方によっては、交流の電気よりも利点がある直流電気ですが、技術的な問題や安全性に関する問題があります。技術的な問題として、接続するエネルギー創生機器、エネルギー蓄積機器などと機器装置の直流電圧値が等しいのであれば利点もありますが、使用する電圧値が異なる場合にはパワーエレクトロニクス技術を用いて、電圧値を合わせる必要があります。このとき、交流—直流あるいは直流—交流変換装置が、直流—直流変換装置と変換効率、装置の機器損失が同等であるのであれば、直流電気の利点が見えない場合があります。したがって、直流の電気の普及は、パワーエレクトロニクス技術に大きく依存しているとも言えます。

さらに、安全性に関しても、交流の電気の遮断技術、漏電検出技術などは確立されていますが、直流の電気の遮断技術、漏電検出技術、ノイズ抑制など解決しなくてはならない問題が多数あるのが現状です。

一例として、遮断技術について考えてみましょう。遮断技術に関係する分野は、電気を使う際のスイッチやコンセントです。図 11 に示したように、交流の電気は正極と負極が交互にかわります。しかし、直流の電気は正極側あるいは負極側で一定です。電気が流れている回路を考えたとき、交流の電気の場合は、電流が、“ゼロ”になるところで回路のスイッチを開けば遮断が可能です。直流の電気の場合は、“ゼロ”になる部分がないので、回路のスイッチを開くと、アーク放電が発生します。このアーク放電は、比較的電圧が低く電流が小さい場合には遮断が容易ですが、電圧が高い場合や電流が大きい場合などは遮

断が難しいという問題があります。現在、太陽光発電装置などの故障時の直流アーク検出、遮断が大きな課題となり、その解決策に関して多面的な研究がなされています。参考までに、図 17 に太陽光発電装置の太陽電池（PV）パネルが発電時に断線したときのアーク発生例を示します。

直流電気の遮断技術ですが、トヨタ自動車のプリウスが実用化されたのも 400V 級の直流の電気を入り切りできるスイッチが開発できたことによるとも言われています。



図 17 PV パネルを電源とした直流アークの発生

## 交流中心のシステムから交流と直流が共存する社会へ

交流一辺倒<sup>30</sup>だった電力システムが、未来社会に向けて大きく変わりつつあります。その中で直流電気が大きな役割を果たすようになります。情報化社会であるスマート社会における電

---

<sup>30</sup> 直流と交流の役割分担が大いに交流に傾いていたという意味であって、交流しかなかったというわけではありません。以前は電車や高級エレベーターのモーターは直流モーターでしたし、現在でも電力を送電線で送るとき、その距離が長い場合や、海底を送電する場合などには、直流送電はなくてはならない技術です。

気エネルギーを考えると、図 18 に示すように、太陽光発電所（メガソーラー）、蓄電池を併設した風力発電、家庭用の太陽光発電、燃料電池発電、蓄電池など直流電気を出力あるいは利用する装置が増加してきています。

このようなスマート社会においては、エネルギーの制御、計測には、ICT (Information and Communication Technology) と呼ばれる高度情報通信技術が用いられるため、各装置間や住宅、オフィスビル、工場間にも情報通信網が必要です。

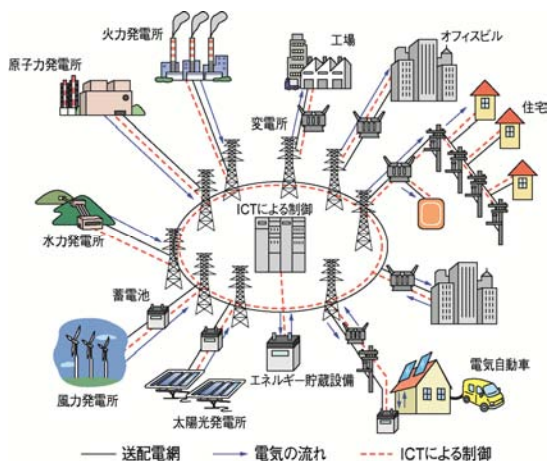


図 18 スマート社会における電気エネルギーと情報の流れ

また、私たちの身近にある家電製品を考えると前述したように、LED 照明、LED テレビ、パソコン、プリンターなど機器内部で直流変換して使用しているものが普及してきています。さらに自動車に関しても、プラグインハイブリッド車 (PHV)、電気自動車 (EV) は、交流の電気をを用いた普通充電だけでなく、直流の電気をを用いた急速充電や自動車からの住宅



への給電（V2H：Vehicle to Home）などに関しても研究がなされています。

図 18 に示すように、スマート社会においては、各発電装置の状態や機器の状態、昨今注目されている IoT（Internet of Things）は言うに及ばず、21 世紀の「情報化社会」に飛び交う情報の量は加速度的に増えています。この情報を構成するデータはほとんどが電気信号であり、そのデータはデータセンターなどに蓄積され、交換されています。このため、データセンターで消費される電力エネルギーの量が莫大になりつつあるという問題があります。そこで、データセンターで消費される電気エネルギーを削減するため、さまざまな取り組みがなされています。その一つに直流の電気の利用があります。ここでデータセンターとは、会社などの組織が自分で用意していた計算機を中心とするサーバーシステムを、そっくり外部で運用・保守できるようなサービスを提供する施設のことで<sup>31</sup>。

このようなシステムは、直流の電気を使用しているコンピューターが主になるため、図 19 に示すように、交流の電気を用いるよりも直流の電気を用いると、整流器や DC/DC コンバーターの数を削減できるため、省エネ化が期待されます。

データセンターは、住宅と異なり多くのコンピューターを使用するため、1 台での電力削減が大きな効果になります。また、データセンターでは発熱を抑えるために、冷却装置を稼働させ

---

<sup>31</sup> サーバーやネットワーク機器などの IT 機器、インターネットへの接続回線から構成され、セキュリティや災害対策などのメリットがあるため、近年急速に注目されるようになってきました。データセンターは計算機からの発熱などに配慮するため、空調と機器運転に膨大な電気が必要となっています。

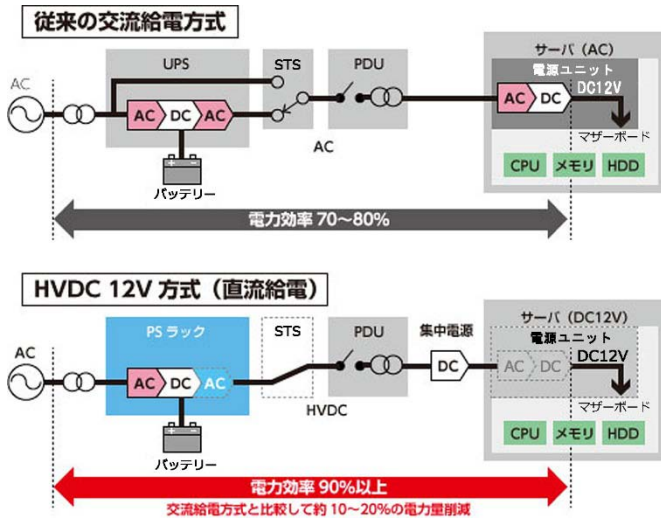


図 19 データセンターによる直流電気の使われ方

(出典：日経スマートシティコンソーシアム HP 2012年11/15 記事 技術サービス最前線 第6回『『直流給電』は効率的な電力利用の土台となるか』2012年11月15日)

ていますので、1台の消費電力が削減されると、冷却装置に使用する電気エネルギーも削減され、データセンター全体での省エネ化が期待できます。

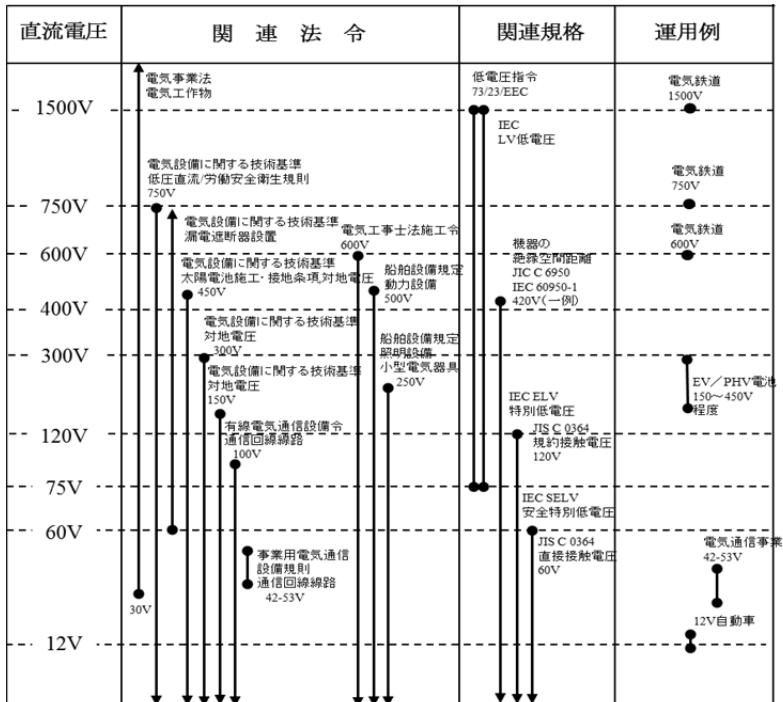
これからの技術として注目が集まる、有機 EL (エレクトロルミネッセンス)、エネルギーハーベスト<sup>32</sup>、次世代太陽電池パネルなどの次世代エネルギーデバイスや材料においても、直流の電気を使用するものが数多くあります。これらがより多く

<sup>32</sup> エネルギーハーベストとは、身の回りのわずかな未使用エネルギー(光、熱、電波、機械振動など)を採取(ハーベスト)して電力に変換し、活用しようとする技術のことを言います。

の役割を果たせるようにするために、直流電気に係る技術開発と標準化の重要性が、飛躍的に高まっています。

最後に、現在の直流の電気に関する関係法令と規格を表 2 にまとめます。同表に示すように、各技術基準においても直流の電圧値がばらついており、今後の直流の電気が社会に普及するにともない、このような関係法令と規格の整備も必要かもしれません。

表 2 直流の電気に関する関係法令・規格



注1: 図中の電圧範囲は、概ねの値(範囲)を示している。詳細は、各法令、規格、文献を参照のこと。  
注2: 法令、規格等は略号を用いている。

(出典：廣瀬圭一「直流電流の遮断・制御技術と国内外における直流規格」電気学会次世代電力システムにおける直流給配電の技術動向講習会 2012年12月22日)

## 4 スマートグリッドとスマートコミュニティ

電気は、電気事業としてエジソンが事業を開始した当初から、電気を使う量に応じて発電するようになってきました。また、発電所は大型化するほど、効率も向上し、環境対策もやりやすくなり、コストも低下してきました。一方、交流の電気では電圧を変圧器で容易に変えることができるので、遠隔地からの送電も可能になりました。このため、大型の発電所が消費地から離れた場所に建設され、これを大規模複雑な電力ネットワークで連系するようになってきました。

しかし、使う電気の量に応じて発電することは、電気の使用量が最大の時に備えて、発電設備や安定に送るための電力流通設備<sup>33</sup>を備えておく必要があります。電気の使用量が最大になるのは、我が国では、夏の暑い時期の短い時間帯に限られます。このため、この時間帯の電気の使用量を少なくすることができれば、これらの設備の建設をしなくてもよいこととなります。我が国では、夏に一斉休暇となる工場が多くありますが、この面からの効果もあることとなります。

この、電気がたくさん使われそうな時間帯に、使う量を積極的に少なくして、発電設備や流通設備の建設を抑え、結果として全体の電気代を安くしようとするのが、デマンドサイドマネジメント（DSM, Demand Side Management）やデマンドレスポンス（DR, Demand Response）と呼ばれる概念です。詳

---

<sup>33</sup> 電力流通設備とは、電力を送電し、変電（電圧を変えること）し、配電するのに必要な、情報通信設備も含めたすべての設備。送配変電設備ということもあります。

しくは後述しますが、これをさらにきめ細かく実行できるのが、スマートグリッドやスマートコミュニティになります。

一方、地球温暖化や資源枯渇の面から、再生可能エネルギーによる発電も注目され、風力発電や太陽光発電も増加してきています。これらで発電される電気の量は、風や日射量などの自然条件に支配されますので、電気の消費量に合わせて制御することもできませんし、突然大きくなったり小さくなったりすることもあります。これらの変動は、他の発電設備からの発電量の調整によって吸収する必要があります。このため、火力発電所や揚水発電所を含む水力発電所、さらには、量は少ないですが蓄電器による出力制御がなされます。また、これらの変動の吸収には、電力の消費量そのものを調整することでも効果が得られます。スマートグリッドやスマートコミュニティの DSM や DR では、このような目的にも役立つように考えられています。

本章では、再生可能エネルギーによる発電の特徴と、スマートグリッドやスマートコミュニティについて紹介します。

## **電気を使うには発電所が必要**

電気は、便利で清潔で線さえあればどこでも何にでも使える優れたエネルギーです。このため、広く使われてきました。しかし、現在の技術をもってしても、自然にある電気をそのまま使うことは残念ながらできません。例えば、雷は電気現象ですが、いつどこで発生するかわかりませんし、これを使えるようにする装置も現在の技術では不可能です。また、雷の電気を使えるようになったとしても、一回の落雷で得られるエネルギー

の量は、一軒の家庭で使う電気エネルギーのせいぜい一か月分程度しかありません。また、生物でも電気ウナギや電気ナマズなど、電気を発生することはできます。しかし、これらの生物の発生する電気は、電圧こそ、数百ボルトと高いのですが、電流は小さいので、これを私たちが普通に利用することはできません。

このため、私たちが使えるような電気は、発電所で人工的に作る必要があります。そのもとになるエネルギー（エネルギー源）には、水力、火力（石炭、石油、天然ガス）、原子力などがあります。しかし、これらのエネルギー源は、水力を除けば地球が長い年月をかけて蓄えてきたエネルギー源ですので、私たちが今後も使っていくと、だんだんと減っていき、永久に使えるというものではありません。いずれは、なくなってしまうかもしれない電気。これをできるだけ使えるようにするためには、二つの方法があります。

一つは、一度利用しても比較的短期間に再生が可能で、資源が無くならない（太陽が輝き続ける数十億年くらいの間は）、再生可能エネルギーで電気を起こすことです。もう一つは、できる限り電気を効率的に使うことで、電気の使用量を減らすことです。

### **再生可能エネルギーによる発電**

再生可能エネルギーには、太陽の恵みである、太陽光や風力、水力、バイオマスなどがあり、また地球内部のエネルギーである地熱などがあります



火力発電所



風力発電所



太陽光発電所

再生可能エネルギーは、エネルギーが無尽蔵にあること、地球温暖化の主要な原因物質である二酸化炭素を排出しないことから、最近では、太陽光発電を中心にその利用が増えてきています<sup>34</sup>。我が国では、太陽光発電の導入量が風力発電に比べて格段に多いのですが、世界的にみると、風力発電の導入量の方が太陽光発電の数倍もあります<sup>35</sup>。また、水力発電は雨水を利用するわけですが、雨などの気象現象は太陽のエネルギーで起こることなので、これも再生可能エネルギー電源と言えます。しかし、我が国では水力発電に適したところはほとんどが開発されてしまっているので、今後、水力発電を大幅に増やすことはあまり期待できません。一方、火山国である我が国では、地熱発電も早くから導入されていますが、その量は太陽光発電に比べるとわずかなものです。

---

<sup>34</sup> 我が国の場合、石炭、石油、天然ガスは100%近くが輸入ですが、再生可能エネルギーである太陽光や風力は国産エネルギーなので、エネルギーの自給率を上げることに貢献します。

<sup>35</sup> 我が国では、風が安定して吹く地域が限られていることと、過去の政策とから相まって、風力発電の導入は小規模にとどまっています。

そこで、太陽光発電や風力発電への期待が大きくなるわけですが、その導入を進めるため、発電した電気が余ったらそれを電力会社が買い取るという「固定価格買取制度」<sup>36</sup>が2012年に発足しました。それ以来、特に太陽光発電は急速に導入が進み、2015年11月には、運転中の容量は2,000万kWを超え、認定された容量は8,000万kWを超えています。これは我が国の太陽光発電を除く総電源容量の10%、40%程度になります<sup>37</sup>。

### 太陽光や風力による発電の特徴～出力変動

しかし、一見良さそうに見える太陽光発電や風力発電には、電力システムにとって困った問題を引き起こすことがあります。太陽光発電は太陽が照っていないと発電できません（あたりまえですが）し、雲がかかると出力が下がります。また風力発電では、風の強さによってその出力が大きく変動しますが、その出力の予測があまり正確にはできません。

しかし、このように発電量が勝手に増えたり減ったりすると、一般の家庭での電圧が大きく変動したり、周波数が変動したりします。

---

<sup>36</sup> フィット（FIT：Feed-in Tariff）と呼ばれます。再生可能エネルギーによる電力供給を、20年間などの長期に「固定」した価格で、電力会社に買い取れることを政府が義務づける制度。その費用は賦課金として電気料金に上乗せされ、一般家庭を含めた電気の利用者が負担しています。

<sup>37</sup> 容量と実際に発電する電力量とは比例関係にはありません。例えば、太陽光発電は、夜は発電できませんし、曇りや雨の日は発電量が減少します。設備がその容量の100%で常に発電したとする発電量を分母にとって、分子に実際に発電した電力量をとった割合を利用率といいます。我が国では、太陽光発電や風力発電の利用率は20～30%になります。燃料がありさえすれば発電できる火力発電などと比較する場合には注意が必要です。



このような課題を解決するためには、家庭までの配線に電圧を調整する機器を新たに設置したり、配線を太くしたりする対策が必要になります。

また、周波数の変動を抑制するためには、在来型電源である火力発電や水力発電で、電気が不足する場合には発電を増加し、余る場合には発電を減少させなければなりません。もちろん蓄電池があれば、発電と貯蔵ができますので、変動の抑制には効果的です。しかし、コストが高いためあまり大容量の設備は期待できません。したがって、このような対策でも課題が解決できない場合には、太陽光発電や風力発電の出力を減少させなければなりません<sup>38</sup>。

## **電気の使い方で太陽光発電などによる課題の解決に役立つ**

電気を使う方でも、これらの課題を解決する助けをすることができます。例えば、電気が不足する場合には電気の使用を控えたり、電気が余る場合には電気の使用を増やしたりすることで、発電量と消費量がアンバランスになる影響を緩和することができます。これはデマンドサイドマネジメント（DSM：Demand Side Management）やデマンドレスポンス（DR：Demand Response）<sup>39</sup>と呼ばれており、以前からある深夜電力

---

<sup>38</sup> 太陽光発電や風力発電では、最大出力がその時の日射量や風速で決まるので、出力を増やすことはできませんが、出力を減らすことはできます。

<sup>39</sup> Demand とは要求や電力需要（電気の使用量）、Response とは応答という意味ですが、ここでは電気を使う側で、電気の使用量を調整して対応する意味で使われます。

制料金<sup>40</sup>も広い意味では DR の一種になります。

DR には、大きく分けると 3 種類の方式があります。まず、東日本大震災時などの緊急時の発電不足を解消するため、需要（電気の使用量）を削減する方式です。これは容量プログラムと呼ばれます。

次に、平常時の経済プログラムで、時間帯（または時間）別に料金を変えることで、電気の使用者に自らの判断で、時間帯によって決められている電気料金に応じて、その使用時間帯をシフトするように促す方式です。これには、①1 日を時刻に応じて数段階の電気料金が設定された時間帯別料金 (TOU: Time Of Use)、②電気をたくさん使う時間帯だけ料金を高くする緊急ピーク時課金 (CPP: Critical Peak Pricing)、③30 分単位などで全体としての電気の使用量などで決まる料金を適用するリアルタイム料金 (RTP: Real Time Pricing) などがあります。なお、年間を通した電気料金は、どの料金方式を採用しても、ほとんど変わらないように設定されます。

また、周波数を一定に維持することを目的に、電気の使用量を数分単位で調整する方式もあります。

我が国でも、最初の容量プログラムに相当する方式は工場などに対してすでに実施されていますが、今後は家庭などへも広まっていくことが考えられます。また、経済プログラムや周波数維持のための方式は、米国などの一部で採用されていますが、我が国では一部の地域で実証研究がなされているところです。

---

<sup>40</sup> 深夜には一般に電気の利用が全体として少なくなるので、その間（一般には、毎日 23 時から翌日の午前 7 時）の電気料金を割り引く制度。

これら DR は、再生可能エネルギーによる発電量の不確実性や変動による電力システムへの悪影響を緩和するだけでなく、最初に述べたように、発電設備や電力流通設備の建設を抑制する効果も期待されます。

## スマートメーターとスマートハウス

上に述べた DR は、スマートメーターが導入されたスマートグリッドで初めて、これまでよりもっときめ細かな対応ができるようになります。スマートメーターとは、毎月の使用電力量の検針を自動化し、さらに 30 分単位での電力使用量を計測できる、高度化された電力量計です。図 20 にスマートメーターの例を示します。

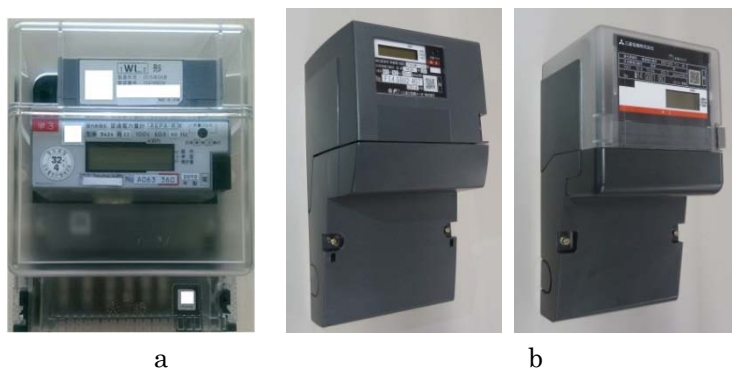


図 20 スマートメーターの例  
(画像提供：a 関西電力株式会社、b 東京電力株式会社)

## 電気を賢く使うスマートハウス

一方、家庭内でのエネルギーの有効活用を図るため、家庭でのエネルギーの使用状態を管理し適切な情報提供を行う、家庭

内エネルギー管理システムの検討も進められており、**HEMS**<sup>41</sup>と呼ばれています。**HEMS**の基本的な役割は主として以下の3つです。

- 1) エネルギー使用状況の見える化
- 2) 省エネルギーや快適性維持のための宅内制御
- 3) 電力システムへの貢献のための制御

スマートメーターは、情報通信機能を持っているので、図21に示すように、電気使用状況を、**HEMS**を通じて把握することができるようになってきました。さらに、設定によっては、冷蔵庫や洗濯機など、個々の家電機器ごとの電気使用状況の把握も可能になります。このような機能を有した家屋はスマートハウスと呼ばれています。

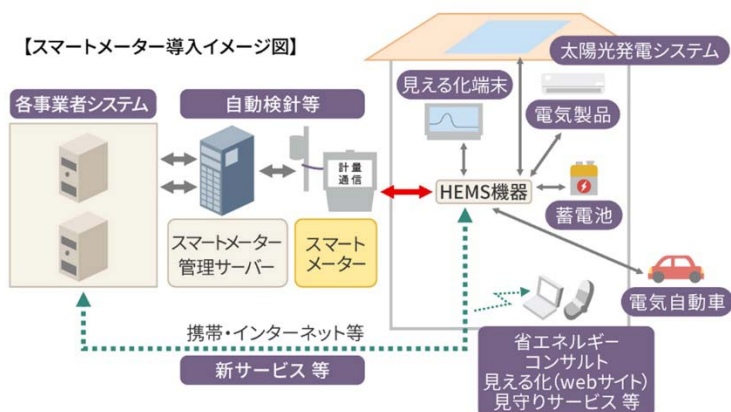


図21 スマートメーターを使ったサービス  
(出典：東京電力エナジーパートナー株式会社 HP)

<sup>41</sup> 脚注3 (p.5) 参照

スマートハウスでは、スマートメーターや HEMS を通じて、個々の家電機器をコントロールできるようになるので、例えば、発電量が不足している時には不急の機器を止めたり、夏では冷房の設定温度を少し上げたりして全体の消費電力を減らすことで、太陽光や風力発電の出力変動の緩和に役立てることができます。

さらに、ヒートポンプ<sup>42</sup>と組み合わせた給湯器やバッテリー、プラグイン電気自動車<sup>43</sup>などのエネルギー貯蔵ができる機器があれば、もっと効果的に、電気利用の便利さを損なうことなく、役立てることができます。

今後は、発電の不足や余剰に応じて電気料金も変わるような制度も取り入れられていくでしょう。一般的には、前の日に翌日の時間単位程度での料金が提示されることになるでしょう。

このような場合、前日に翌日の一日間の電気の使い方をうまく計画することが重要になります。この計画は家族の誰かが立てることもできますが、毎日いろいろ考えて計画を立てるのは面倒といえば面倒です。その場合には、スマートメーターや HEMS に自分の家族の省エネルギー優先か利便性優先か、何をどの順序でコントロールするか、などの好みをあらかじめ設

---

<sup>42</sup> p.25 のコラム参照

<sup>43</sup> 電気自動車には、家庭用の電気から充電（あるいは放電）できるプラグインのタイプと、自動車に別途搭載されている（ガソリン）エンジンだけで充電するプラグインでないハイブリッド電気自動車があります。我が国では、自動車の大半が、ほとんどの時間、駐車しています。この駐車中にプラグイン電気自動車のバッテリーを利用することが可能です。

定しておき、自動的に計画を立て、実行してくれるようにすることもできるようになるでしょう。

このように、スマートメーターは電気使用状況の「見える化」を可能にする電力量計ですので、その導入により、電気料金メニューの多様化や社会全体の省エネルギー化への寄与、電力供給における将来的な設備投資の抑制などが期待されています。我が国では、電力会社によっては 2011 年度から導入が開始され、全国的には 2023 年度ごろまでには全家庭への導入が完了する予定になっています。

さらにスマートメーターと HEMS や BEMS<sup>44</sup>とを活用することにより、住宅やビルなどの需要家サイドにおいても、快適な居住空間や省エネルギーの実現と並行して、需要家機器の運転制御や太陽光発電システムの出力制御、電気自動車への充電など、社会コストの最小化を目指すことができると考えられます。

---

<sup>44</sup> 脚注 4 (p.5) 参照。

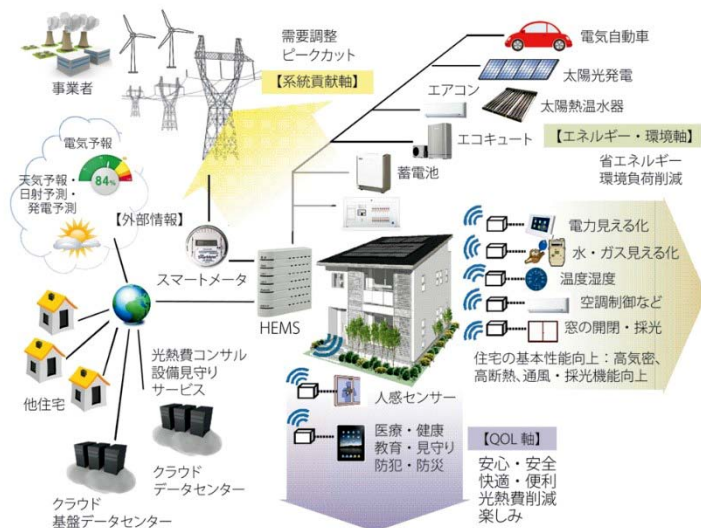


図 22 HEMS の役割

(出典：岩舟由美子「これからの HEMS」電気学会誌 Vol.133 No12 pp.809-812 (2013))

この意味で、スマートメーターとともに HEMS や BEMS のさらなる普及が望まれます。そのため、単にエネルギーの観点だけではなく、情報通信機能を活用した HEMS や BEMS の高付加価値化、高機能化が検討されています。その一例を図 22 に示しますが、HEMS はエネルギーのみならず、住まいの総合管理手法として、活用されることが期待されます。

## スマートグリッドからスマートコミュニティへ

これまで紹介してきたような電気のスマートな使い方と、電気を発電して送る全体の電力システムを組み合わせた電力シ

システムをスマートグリッドと言います。エネルギー貯蔵装置としては、各家庭で設置されている機器のほかに、ある程度のかたまりごとに大きめの貯蔵装置を設ける場合も多くあります。また当然、在来型の発電所や再生可能エネルギーを用いたある程度大きな発電所（例えば、メガソーラー<sup>45</sup>）も直接コントロールすることもあります。このように、電気を使う側と発電・送電する側が双方向に情報を連絡し合って、全体としてうまく働かせようとする仕組みがスマートグリッドと言えます。この概念を図に示したのが図 23 になります。

スマートコミュニティは、電気の他にもガスや交通、水道、情報通信などのインフラ設備や、家庭の他にもオフィスや商業施設なども含めた、地域としての全体としてエネルギーの総合的な最適運用を実現する地域のことを言います。さらに、住民のライフスタイルの変革までも複合的に組み合わせて、次世代のエネルギー・社会システムを表す概念とも言えます。このようにスマートコミュニティは、スマートグリッドも含んだ概念とも言えますが、市や区程度の限られた地域を対象とする点が、若干異なります。スマートグリッドでは、一般に電氣的につながれたすべての電力システムを指して使われる場合が多くあります。

---

<sup>45</sup> メガソーラーとは、1MW（メガワット）程度の規模以上の太陽光発電所のことを言います。1MW は 1,000kW になりますので、普通の家庭の屋根にある太陽光発電が 5kW 程度であることから、相当に大きな発電所になります。ただ、在来の発電所では数百万 kW の発電所も数多くありますので、こちらと比べれば随分小さな発電能力となっています。



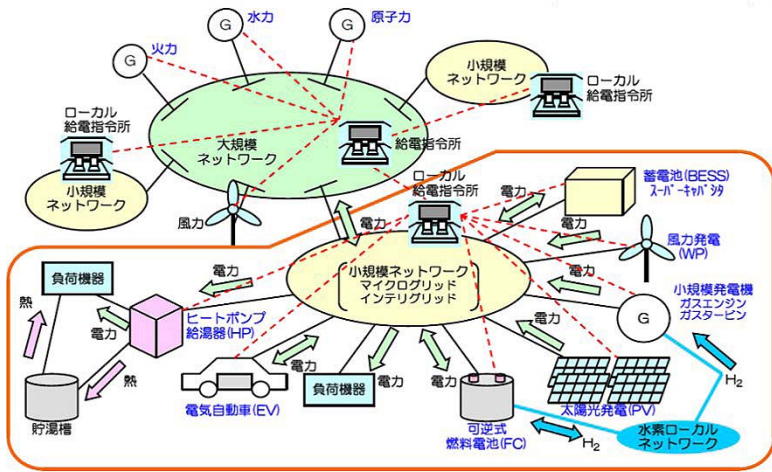


図 23 スマートグリッドの概念図

(出典：谷口治人 平成 21 年電気学会電力・エネルギー部門大会座談会「東大におけるユビキタスパワーネットワークの研究」配布資料)

## 情報通信の役割の重要性

スマートグリッドやスマートコミュニティでは、情報通信の役割が大変重要になります。家庭の中の家電機器の一つ一つの情報までは必要とはしませんが<sup>46</sup>、少なくとも家庭一軒ごとの電気の使用状況を 30 分単位で集め、また、30 分単位での翌日の電気料金を伝えたりすることが必要になります。スマートメーターの台数は一軒に一台は必要ですので、数千万台の情報を扱うことになります。

家庭の中でも、スマートメーターや HEMS を通して、一般

<sup>46</sup> 比較的容量の大きい、電気自動車のバッテリーや太陽光発電装置などは、直接コントロールの対象となることも考えられます。ただし、その場合も、数十軒から数万軒をまとめるアグリゲーターと呼ばれる中間段階を経由することになるでしょう。

には無線で家電機器と結ばれることになるでしょう。これを用いれば、外出先からでも照明や暖冷房のコントロールも可能となりますし、お年寄りなどの「見守り」にも活用されるでしょう。

このように、今後は情報通信の役割はますます大きくなっていきます。これに伴って、情報通信のセキュリティにも十分な注意がはらわれる必要があるのは当然のことです。

## 5 電力自由化とは

電力自由化という言葉を、テレビ新聞などでよく見聞きします。電力自由化は、公的には多くの場合、電力システム改革と呼称します。電力を供給する体制やその仕組みを改革しようとする動きなのです。

しかし、電力システム改革は電力システム技術や電力事業経営に密接に関係しています。そして海外諸国<sup>47</sup>に数多い先進事例もあります。この章ではこれらの関係を解きほぐします。日本の電力の市場や経営と技術の将来について考えてみましょう。

### 日本の電力自由化の歴史

日本では、図 24 にあるように 2000 年 3 月から電力の小売り自由化が開始されています。



図 24 電力の小売り自由化の歴史

(出典:資源エネルギー庁 HP 「電力の小売全面自由化って何?」)

<sup>47</sup> 欧州諸国 (英国、ドイツ、フランス、北欧諸国、スペイン、イタリア、など)、米国諸州 (カリフォルニア、テキサス、北東部諸州、など)、オーストラリア、ニュージーランド、韓国、など。

2000年の時点では、自由化されたのは大規模工場のみでしたが、その後、自由化の範囲が段階的に広げられ、2016年4月からは家庭への小売り参入も全面自由化されました。

これにより誰でもどこの電力会社からでも自由に電気が買えることになりました。これに先立ち多くの企業が新電力会社として名乗りを上げています。各社ともいろいろなメニューを用意してお客の確保に努めています。

それでは具体的に自由化の中身を見てみましょう。

## 日本の電力システム改革の概要<sup>48</sup>

現在（2016年4月時点）進行している電力システム改革の狙いは、日本の電力システムの改革によって私たちの生活や電力利用の姿を変えること、新しい産業や雇用を生み出すことです。そのために次の三つを目的としています。

### ①安定供給の確保

電気が足りない地域に柔軟に供給できるよう広域的な電力融通の促進。再エネや自家発電設備など多様な電源を供給力として活用

### ②電気料金の最大限の抑制

競争の促進と電気の生産や販売の創意工夫や経営努力による電気料金の抑制。

### ③電気利用の選択肢や企業の事業機会の拡大

---

<sup>48</sup> この節の記述は、経済産業省がウェブで公開している「電力システム改革が作り出す新しい生活とビジネスのかたち」([http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/electric/pdf/20140306.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/pdf/20140306.pdf)) に準拠しています。

どの電力会社からどのような電気を買うかをすべての電気の利用者が選べるようになり、企業のビジネスチャンスなどを促進。

これらの目的を達成するための柱としているものは、次の三つです。

#### ①地域を超えた電気のやり取りの拡大

地域を超えた電気のやり取りをしやすくすることによる災害時での停電の低減。その司令塔として「電力広域的運営推進機関」の創設。

#### ②電気の小売りの全面自由化

電気の小売販売ビジネスへの新規参入を解放解禁し、すべての電気利用者が料金メニューを自由に選択可能。

#### ③送配電ネットワークの利用しやすさの拡大

電力会社の送配電部門を別会社に分離することにより、誰でもがそのネットワークを公平に利用できるよう配慮。

これらの改革は次のようなスケジュールで進んでいます。

#### 第1段階 広域系統運用の拡大

電力 広域的運営推進機関の発足（2015年4月）

#### 第2段階 小売り参入の全面自由化

家庭でも電力会社や料金メニューを自由に選択可（2016年4月）

#### 第3段階 送配電部門の法的分離<sup>49</sup>と小売り料金規制の撤廃

電力会社送配電部門の法的分離、小売り料金規制の撤廃

---

<sup>49</sup> 法的分離とは、送配電部門を別会社化する方式。これに対し所有権分離とは、別会社化に加え、発電・小売会社との資本関係も解消する方式。

(2020年4月目途)

このように電力システム改革が進んでいますが、先に述べましたように海外諸国ではすでにいろいろな経験を積んでいるので、これらを可能にする技術は何なのか、諸外国が苦しんでいる問題を克服するための技術は何なのか、それらの技術の研究開発と維持、技術者の育成はどうしたらよいのかを考えてみましょう。

### **自由化の対象となる電力システムの技術的特徴**

このようにいろいろなメニューを選択出来、新電力を含むどこの電力会社からでも電気を買えることになったことで市場の活性化が期待されています。しかし、自由化の中でも電力システム自体の特性は何ら変わりがありません。従来は廉価で安定な電気を供給するために、それまでの電力会社が自身の努力で行ってきたことを、今後は新電力を含めて電力に携わるすべての企業・機関が行う必要があるのです。

また、電力の自由化はすでに多くの国々で実施され、いろいろな経験を積んでいます。そうした自由化先進国の動向をみると、競争が実現した・選択肢が増えたというメリットと同時に、いろいろな課題も見えてきました。

### **電気という特殊な商品**

それは、電力システムは他のエネルギーやインフラ設備と比べて大きく違う次のような特質を持っており、制度が変わっても、これらの特質に十分な配慮が払われないと、安定的に電気を使うことが出来なくなるからです。

①一つ目は、毎瞬時毎瞬時に使う量と発電する量が同じでなければならぬすなわち同時同量ということです。これは短期的にもそうですし、また、発電や送電設備の建設には時間が掛かるため、必要な設備を長期的に維持・建設していかないと、将来、需要と供給を合わせるために計画停電が必要になるかもしれません。これが失われると大停電になり得ます。

②二つ目は、電力システムの中の全設備は電氣的にすべて結合されていて、どこか1箇所のトラブルが直ぐに全設備に影響を与えるということです。いわば一心同体ですべての設備に慎重な扱いが必要ということです。

③三つ目は送電線で送れる電力量には許容限界があり、状況によっては需要に見合う供給量はあっても送れない場合があります。

④四つ目は送電線の長さとする量によっては需要側の電圧が下がって既定の電圧を維持できず、また同期<sup>50</sup>がとれずに系統全体が異常をきたす恐れがあることです。

⑤五つ目は、電力設備は常に適正な運用と適切なメンテナンスが必要で、これを怠ると大規模停電を誘発することがあり得ることです<sup>51</sup>。

電力自由化は諸外国に先例がありますので、具体的に海外の状況を見てみたいと思います。

---

<sup>50</sup> Vol.5 の4章「電気の性質をうまく使って届ける」を参照ください。

<sup>51</sup> これらを怠ったために実際に大停電になったのが2003年8月の北米大停電です。詳細は次ページのコラムを参照下さい。

## コラム：樹木が引き起こした大停電

2003年8月14日午後4時ごろ（米国東部時間）、米国中西部およびカナダ・オンタリオ州にわたる地域で大停電が発生しました。この大停電によって、北米では263もの発電所が停止し、その規模は約6,180万kWとほぼ当時の東京電力の最大需要に達し、ニューヨークをはじめとして米国8州およびカナダ・オンタリオ州の約5,000万人に影響を与えました。

きっかけはオハイオ州の比較的小規模の電力会社ファーストエナジー社の送電線が樹木に接触し停止したことです。この時、制御のコンピューターが故障していたこともあり、（問い合わせの連絡により認識する機会があったにもかかわらず）オペレーターがこの事故に気が付かず放置してしまいました。

その結果、この送電線に流れていた電気が他の送電線に流れ込み、その送電線の電流（潮流）が許容限界に達して遮断をしてしまい、それがさらに他の送電線にも波及するということが起こりました。

このため、連系していた複数のネットワークが幾つかに分断され、さらにそれぞれの部分で需給のアンバランスなどの異常が起こり、ニューヨークやトロントなど巨大なエリアで大停電が起こってしまったのです。



## 米国の電力自由化

まず電力自由化の先進国で、この国の現在の姿は10年～20年後の日本の姿ともいわれる米国の状況を見てみましょう。

米国はかつてジェネラル・エレクトリック（GE）やウェスティングハウス・エレクトリック（WH）などのメーカーや大手の電力会社が、電力技術やそのシステムで世界を指導して来ました。しかし、石油ショックなどで電力設備の投資が抑えられてきたのに加え、1992年のエネルギー政策法による電力卸売市場の自由化以来、電力の設備投資のさらなる削減などにより、米国の国内電力メーカーは衰退し、多くの事業が外国メーカーに売却されました<sup>52</sup>。

電力会社も世界に向かって技術を指導する余裕がない状況になっています。この状況を米国の電力技術の重鎮の一人であるカサツザ氏はその著書「忘れられたルーツ<sup>53</sup>」で次のような警鐘を鳴らしています。たいへん示唆に富む内容なので、少し長くなりますがその趣旨を以下に示します。

『電力会社の設備は「電力系統」というシステムの中で発電し・送電し、需要家に電気を届けている。そうした設備はすべて電氣的に結合されているので互いに勝手な振る舞いは許されず、所謂「同期したシステム」を構成している。同期したシ

---

<sup>52</sup> GEは選択経営によりガスタービン事業に特化、WHは次々と事業を切り売りする中で火力部門はジーメンスに、原子力部門は東芝に売却されました。ただしGEは現在電力流通分野にも再参入しています。

<sup>53</sup> ジャック・カサツザ（著）「忘れられたルーツ—電力産業120年の浮沈とこれからの100年」日本電気協会（2009）

システムの中ではどの電力会社、発電事業者、取引業者、送電業者でも何かをすればあるいは何かをしなければ、また時には事故が起こればそれがネットワーク内のすべてに影響してしまう。この「同期」を維持するために各瞬間での供給力と需要が等しいことが必須となる。この同時同量が電力システムの本質であり鉄道、電話、ガス、水道など他のインフラと大きく異なる点である。

また、電力システムを円滑に動かすためには、必要な設備の建設、燃料の確保、設備維持費用の確保、系統状況の常時把握などが必要となる。このため電力事業は電力設備自体のネットワークに加え、電力会社をコントロールしている政府の規制ネットワーク、事業自体を成り立たせるために必要な事業ネットワーク、燃料ネットワーク、マネーネットワークおよび監視制御のための情報通信ネットワーク、の六つのネットワークがすべて円滑に機能することも必須となる。こうしたことが十分に検討されないまま自由化に踏み切った結果次のようなことが起こってしまった。

- i) 電力価格が前例のないほど不安定になってしまった。日々猛烈に変動し前日比で百倍に上がることもあった。
- ii) この不安定さは電力ヘッジ取引を促進した。これはコストの不確かさを減らす保障にはなったが、電力にこれまでは無かったコストを加えることとなった。
- iii) 合併や会社売却を推進したり、必要な資金を供給したりするために投資銀行家と弁護士の役割が決定的に増大した。
- iv) 電気事業の経営基本方針は利益を最大化することとなり、電力コストを最小化することではなくなった。

v) 電力会社の取締役会は市場原理主義者が中心となり、その一方で電力システムを運用するスキルは弱体化した。

vi) 電力会社間の協力体制はこうして失われた。

加えて当時より米国国内に短期的利益追求の潮流があり、本来長期的視点に立った計画により設備を整備し、コスト削減に向けた技術開発を進めていくべき電力事業にもそれが蔓延した。その悪影響は大きく、本来公益事業である電力事業にこの短期的利益の追求を取り入れたことが最大の問題である。』

以上がその趣旨ですが、2000年夏に作為的に需給ひっ迫を作り出し電気料金を釣り上げて暴利を得たエンロン社の事件<sup>54</sup>もこの文脈にあります。この事件を契機に米国では電力自由化を実施している州は13州に留まっています。

また、カサッツ氏は、『電力に携わる技術者として「自分は一般大衆に職業上の責任を負っているとの自覚」をしっかりと持つことが極めて大事』との主張も、この本でされています。

## 英国の電力自由化

次に、自由化を最初に導入した英国の例を見てみましょう。世界で電力自由化の先頭を切ったのは英国です。サッチャー政権の1990年に国営のCEGB<sup>55</sup>が、発電会社3社と送電会社1社に分割民営化され、電力自由化がスタートしました。また、

---

<sup>54</sup> その後エンロン社は不正経理が露見し、翌年2001年12月に破綻しました。

<sup>55</sup> 発送電局。Central Electricity Generating Board. 発電と送電を独占していた国有の機関。

12の国有配電局も民営化され、配電会社になりました。1999年には小売りも全面自由化されました。

電気料金は自由化当初は低下しましたが、2005年ごろから元の水準を超えて上昇しています。

英国は北側に電源が多く南側に需要が多い構造になっていますが、南北間の送電線の建設が進んでいません。またCO<sub>2</sub>排出の問題から石炭火力を停止せざるを得ないこと、老朽化の問題から多くの原子力発電所の停止が進むことなどから電源が不足する一方、発電所の建設が進んでいません。こうした状況を打開し発電所の建設を進めるため、新規原子力発電所を含め、多くの電源に実質的な固定価格買取制度が導入されようとしています。

自由化の中で新規の大電源の建設が進まない、また、必要なのに作られないのは、市場に調達を委ねるところに原因があります。それは、従来は電源も送電線も一体であったため、大変であっても需要の多いところに送りやすい電源を作る、ということが当然視されていたのですが、別会社の電源会社にはそのような必然性は無く、作りやすいところに作るということになっていきます。また、ピークの時だけに運転する発電所も稼働率が低いということから、それをカバーする極めて高額で電気が売れば別ですが、建設には慎重になります。それに加えて自由化の中では自社が確保できる需要予測が難しいため、時間や費用の掛かる新規電源の建設に慎重にならざるを得ません。

また、発電所のコストは燃料費と固定費からなりますが、最新鋭の高効率電源は減価償却が進んでいないため固定費が高

くなります。そのためその発電電力は、償却が進んだ効率の悪い老朽火力よりもコストが高くなり、コストがすべての市場では最新鋭火力の電気が売れないという問題も起こってしまいます。このように電力会社は新規電源の建設に慎重になってしまい、建設を促すために英国では自由化とは相反する固定価格買取制度<sup>56</sup>を多くの電源に導入せざるを得ない状況となりました。自由市場ではどこでもこの問題が内在します。

英国は島国のため他国から容易に電気を買うことが難しいという背景もあり、現在では、長距離海底ケーブルを使用した他国との連系にも力を入れています。

なお、自由化の中で、英国の発電・小売り事業者は6つの大きなグループにほぼ統合され、その内4社が海外資本の会社となっています。

## ドイツの電力自由化

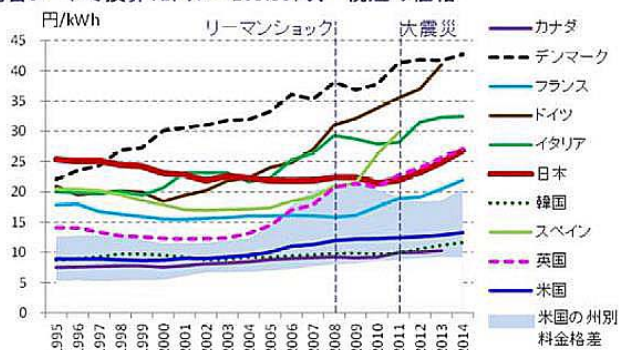
自由化・再生可能エネルギーの固定価格買取制度・脱原子力を並行して進めているドイツの例を見てみましょう。ドイツは1998年に電力ならびにガスの完全自由化が始まりました。その少し前の1990年から再生可能エネルギーの固定価格買取制度が始まっています。加えて原子力発電所は一部を停止し2022年までにすべて廃止することになっています。

---

<sup>56</sup> 脚注 36 (p.47) 参照

再生可能エネルギーの高額での固定価格買取制度を強力に進めた結果、ドイツの再生可能エネルギーは2015年に30%を超えるに至りました。一方その間、買取価格を電気料金に転嫁した結果、図25のように、家庭用の電気料金は約2倍となっています。

2014年為替レートで換算:1ドル=105.85円、税込み価格



出典: IEA Energy Prices and Taxes等を基に電力中央研究所にて作成

注1: 米国については、州ごとの料金格差が大きいため、EIAデータをもとに、割高な州の代表としてコネチカット州、割安な州の代表としてワシントン州をとり、その幅を水色で示している。

注2: カナダ、ドイツの2014年、スペインの2012,2013,2014年は欠損値。

図25 家庭用電気料金の国際比較

(出典: 電力中央研究所フリーディスカッションペーパー SERC 15003「電気料金の国際比較—2014年までのアップデート—」)

また、再生可能エネルギーの多いドイツ北側から需要の多いドイツ南側への送電線が不足しているため、隣国を經由して変動の大きい電気が流れ、隣国での電力系統の安定性に影響しているといわれています。現在南北を結ぶ送電線の計画はありますが、反対運動により建設が進んでいません。

また、ドイツでは2050年までに再生可能エネルギーの割合を80%にまで上げる計画であり、変動の激しい電源が大半に

なった時の系統の運用を安定的にするため、大量の蓄電装置の導入や予備電力、さらに制御技術の一層の高度化が必要と考えられますし、その通過地域で太陽光発電が使用できなくなった2015年3月20日の欧州の日食のときを上回るような日食対策も必要になると考えられます。

## **日本の電力自由化の留意点**

以上、自由化先進国の状況を見てきましたが、そこから浮かび上がるいくつかの問題について、日本が同じ問題を避けていくために留意すべき点を取り上げたいと思います。

### **①系統の安定**

先に取り上げたとおり、系統の安定な運転で必須なのは各瞬時の同時同量と電圧の維持であり、多少の変動であれば系統自身に吸収する力がありますが、許容限度を超えれば系統が崩壊します。この需給調整の最終責任は我が国では送配電会社が持ちますが、変動の大きな再生可能エネルギーが増えてきているので安定化が難しくなりつつあります。また、入札制度では減価償却費が大きい新規設備を作ることに慎重になり、長期的に発電設備の減少を起こしかねません。さらに設備維持、すなわちメンテナンスに投資する意欲も働きにくくなります。当面は電力会社の安定供給への責任感が維持され問題はないと思いますが、長期的にカサツザ氏が警告した短期利益至上主義に陥らないような施策が必要です。そうした諸施策と同時に、安定を維持するための設備の更新や、技術者の技術力維持向上に対する投資、ならびに技術者の公益に対する強い責任感が必須となります。

## ②無駄の排除

入札制度の場合、発電コストは主に燃料費と減価償却費からなるため、先に述べた通り減価償却費の大きい高効率の最新鋭火力よりも減価償却が進んだ効率の悪い老朽火力の方が安く、老朽火力が高稼働で新鋭火力が遊んでいるということがすでに英国やドイツで起きています。短期の市場原理には沿っているものの、長期の公益に反するこうした運用が起きないように制度的な工夫が必要です。

## ③料金の安定

### i) 入札制度の課題

電力の売買を仲介している取引所での 現在の入札制度では、その時点時点で低い値段のものから積み上げ、負荷に見合う合計量になった時点での発電設備の値段で、低い値段のものも同じ値段で買い取って供給します。そのため発電費用はその時点時点で発電している設備の最も高い料金がすべての発電に適用されます。これに対し、今までの料金算定はそれぞれの発電設備の発電にかかった費用を合算して計算するので、いわば平均値の費用で済んでおり、この差も電気料金を押し上げる要因となり得ます。

### ii) 再生可能エネルギー固定価格買取制度の課題

再生可能エネルギーの固定価格買取制度については平成 26 年度でその買取金額が 1 兆 86 億円とすでに 1 兆円を超えています。また 27 年度も 8 月までの 5 カ月分ですでに 6798 億円と前年の 5 割増し以上となっています。この金額はすべて電気料金に上乗せされます。今後これはさらに増加して 20 年間は続いてしまいます。ドイツではすでにこの問題が顕在化して電



気料金が2倍近くにもなり、2017年以降、再生エネルギー年間導入量の80%を競争入札により調達することとしています。

我が国でも、買取金額を長期的な経済原則に見合ったレベルに近づけるよう低減するなど、買取制度の見直しが行われています。なお、将来のことではありますが、固定価格での買取期間が終了した際の大量の太陽光発電設備の廃棄問題にも対処が必要です。また、買取期間の20年が終了した時点を考えて新たな課題も見えてきます。その時点で太陽光発電のコストが、火力などに比し技術の進歩で十分に低くなっていれば、買取制度の有無に関係なく再度建設して売電をする意欲が働きます。しかし火力などに比し経済性がなければ買取保証がない限り再建設する必然性はありません。発電専門の新電力としては赤字を出してでも発電するという義務が課せられない限り、買取期間が終了した時点ないしは設備の寿命が来た時点で発電を廃止してしまう可能性もあるわけです。

地球環境の関係から再生可能エネルギーの発電を維持するためには、国を挙げて再生可能エネルギー発電コストの大幅な低減を実現するか、または再度買取を保証するかを選択を迫られる可能性があります。こうしたことを考えれば、再生可能エネルギーの増強自体については、例えば各発電会社に対し10年計画で発電量の15%以上を再生可能エネルギーで発電するように求めるなどの措置で対応することも一つの方法と考えられます。もちろんそれ以外にもいろいろアイデアはあると思いますので、皆で考えていくことが大事です。

#### ④エネルギーセキュリティの確保

米国の歴史を通観すると制度の変更が産業を大きく変えてしまうことが良く解ります。エネルギー資源が貧弱な我が国としては、制度の変更でエネルギーセキュリティが失われないよう常に監視することが必要です。

#### ⑤すべては電気料金に反映

電気を作り、また送るために必要な資金はすべて電気料金に反映されます。先の買取制度の高い金額もそうですし、効率の悪さが残っていれば、結局その非効率のコストも料金に反映されてしまいます。今まで述べましたように自由化先進諸国の良さ・課題も見えています。

このような中、ここで取り上げたような課題を顕在化させないためには、電力供給にかかわるすべての事業者がこれまで以上に議論を重ね、協調して課題解決に取り組む必要があります。さらに、将来に亘り私たちの生活を支える電気を安価で安定的に利用していくためには、関係者だけでなく皆で考えて日本型の良い制度を構築していく必要があると思います。

## 第2部 安全・確実に電気を使う

### 1 停電から暮らしを守る

何の予告もなく、とつぜん電気が止まると、本当に困ってしまいます。明るかった部屋が真っ暗になり、テレビやパソコンも画面が見えなくなって、急に静まりかえります。外に出て見ると街灯も消えていて信号機も止まり、車のクラクションを鳴らす人もいるでしょう。

広い地域がまとまって停電になるのは、何か大きな事故がからんでいるのに違いありません。そんな例をあげますと、東京・江東区で起こったクレーン船による事故があります。

#### クレーン船で大停電

2006年8月14日の朝、クレーンを立てたまま東京の川を航行していたクレーン船が、クレーンの先端を送電線に接触させてしまったのです。

事故の発生は、7時35分ごろ。クレーン船はしゅんせつ工事の現場に向かうため、東京湾から旧江戸川をさかのぼっていました。航行中はクレーンのアーム（長さ約33m）は下げてありましたが、工事現場に近づいたので、アームを上げました。しかしそこには川をまたいで送電線が張られていて、接触事故を起こしてしまいました。幸い送電線は切れませんでした<sup>57</sup>、

---

<sup>57</sup> Vol.5 の図 13 の右側の図の、耐熱アルミ合金線（素線）の何本かは切断されましたが、垂れ下がりはありませんでした。

近所の人々は「バーン、バーン」と2回、爆発音に似た大きな音を聞いたとのことでした。

送電線の高さは約16mで、江戸川区と浦安市を結ぶ「江東線」と呼ばれる電圧275kV(27万5千V)の基幹送電線です。クレーンが送電線と地面(この場合は水面)をショートさせたので、送電線に大きな電流が流れ、「保護装置」が働いて、その送電線のスイッチ(専門用語では遮断器といいます)を切ったので、その送電線によって電力を供給されている地域全体が停電しました。

ちょうどお盆休みの時期で、停電が起きても会社などの仕事への影響は比較的少なかったようですが、一般の人々の生活には大きな影響が出ました。どのような影響だったか、くわしく見てみましょう。

鉄道では東京メトロと東京急行電鉄が、全線で運転を停止しました。東京メトロの場合、50数か所ある変電所の約4分の1で送電が止まりました。これが1か所くらいなら、近隣の変電所からのバックアップ(支援)によりほとんど影響は出ませんが、これだけ多くの変電所で止まってしまうと、それも無理でした。JRは、自社の発電所でかなりの電力をまかなっているため、全体的な影響は軽かったのですが、それでも京葉線では大きな遅れが発生しました。

道路の信号機も止まりました。都内の信号機は約15,100基ありましたが、そのうちの約1,160基(8%)が消えたそうです。自家発電装置付きの信号機もあるのですが、その数はわずかでした。羽田空港に着陸する飛行機を導くための誘導灯の一部も、

点灯できなくなりました。幸いなことに晴れて視界も良かったため、飛行機の運航に影響はでませんでした。

ビルのエレベーターも止まりました。ふつうビルには非常用電源があり、エレベーターには最寄階<sup>もよしかい</sup>までバッテリーで動かす装置がありますから、乗っている人は避難できますが、そのような装置を付けていないところで閉じ込められた事例が相次ぎました。

電話もガスも止まり、水道水に濁りが出た地域もありました。銀行のATM(現金自動預け払い機)も止まりました。百貨店やスーパーでも、開店時間が遅れたり、しばらく営業を見合わせたりしました。東京ディズニーランドでも開園が遅れ、株の取引状態を示す日経平均株価などの算出システムに障害が起きて、株価指数の表示ができなくなりました。

暑い日でしたから、クーラーが止まったところでは、ずいぶん苦しい思いをしたことでしょうね。代わりに扇風機を使おうと思っても、これも動きません。冷蔵庫は、扉を開けなければけっこう冷えたままでいられますが、3時間も止まると、きつと影響がでたことでしょう。

こうして大勢の記憶に残る夏の1日となったのです。

## 停電はなぜ起こる

このような大停電はなぜ起こるのでしょうか。その前に、まず、家庭で起きるミニ停電について考えましょう。

家庭でテレビゲームをしている時に、誰かが電源コードに足を引っ掛けてコードを外してしまい、折角のゲームがダメになってしまったことはありませんか。線がはずれてしまえば、電

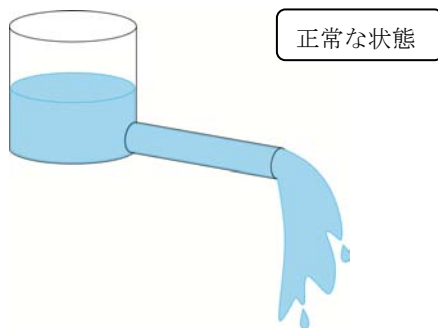
気が送れないのは当たり前ですね。また、エアコンや炊飯器、電子レンジなど多くの家電製品を同時に使ったりして、ブレーカーが落ちて家中が真っ暗になったことはありませんか？電気を使いすぎた場合も電気が切れて停電となります。これらは、家庭内で起きるミニ停電です。

### 停電の起こる3つの理由

さて、本題の広範囲にわたる大停電ですが、このようなことが起こる大きな理由は、大きく分けて、

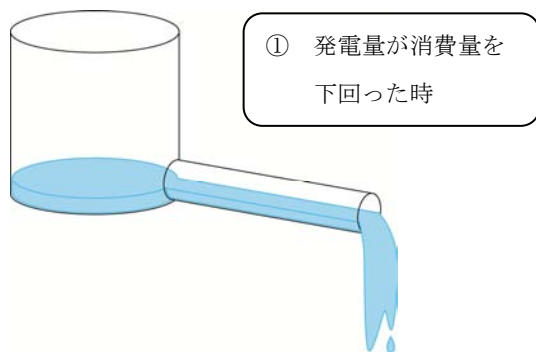
- ①発電量が消費量を下回った時、
- ②送電線が何かの原因でショートした時、
- ③送電線が送れないほどの電気を送らねばならなくなった時の三つになります<sup>58</sup>。

電気の流れ（電流）は水の流れに例えるとイメージがつかみやすいので、それで説明してみましょう。通常、電気が送られているというのは、水源からパイプを通して水が流れている状態です。



<sup>58</sup> 大きな停電の原因については、Vol.5「電気を送る・配る」の「4 電気の性質をうまく使って届ける」もご参照下さい。

①の「発電量が消費量を下回った時」というのは、水源の水が足りなくなった状態です。この場合には、それまで電気を送っていたところの全部に送る電気はないので、一部で停電が生じます。後で詳しく説明するように、東日本大震災の時に、計画停電といって、部分的に停電する地域がありました。これもももとの電気が足りなくなったためです。



②の「送電線が何かの原因でショートした時」というのは、パイプが途中で破れて、水が噴き出している状態です。この場合には、その送電線につながっているところ全部が停電となります。



③の「送電線が送れないほどの電気を送らねばならなくなった時」というのは、パイプの太さ以上の水を流さなければいけなくなった時で、無理に送ろうとするとパイプが壊れてしまいますので、水の流れを止めてしまうような状態です。具体的な例としては、発電所から工場や家庭まで、いくつかの送電線で並列に分担して電気を送っている時に、一つの送電線が何らかの理由で使えなくなり、その分の電気が他の送電線に流れ込んでしまった場合などです。この時は、過剰の電流が流れ込んだ送電線では電気が流れないように遮断器という装置で送電線を切り離します<sup>59</sup>。すると、行き場所の無くなった電流は、また別の送電線に流れ込み、またその送電線が切り離されるといったことが起こります。そのようなことがドミノ倒しの重なって、広い地域にわたる大停電になる場合もあります<sup>60</sup>。

ここで、基本的な最初の二つの原因について、もう少し詳しく説明しましょう。

## 需要と供給のバランス

### ①発電力量が消費電力量を下回った時

ほんの一瞬でも電気が止まると、私たちの暮らしは成り立ちません。だれもが電気を「いつでも」「好きなだけ」使いたいと思っています。そのためには、使われる電気の総量（需要）とぴったり同じだけの力で発電機を回していることが必要で

---

<sup>59</sup> 大きな電流を流し続けると、送電線の温度が高くなり、電線の弛み<sup>たる</sup>が大きくなって、送電線の下の木や枝などに電線が触れたり、極端な場合には電線が切れてしまったりします。

<sup>60</sup> これが、2003年の北米大停電です。詳しくは本 Vol の第1部5章のコラム「樹木が引き起こした大停電」をご覧ください。同様の停電は2006年に欧州でも起きています（Vol.5のp.96）。



す。この発電機を回す力をここでは発電力と言うことにしましょう。需要も発電力も刻々変化しますが、同じ時刻では両者は同じ量でなくてはならないということで、同時同量という言い方をすることもあります。

もし、使われる電気の量が大きいと、発電機の負担が大きくなり、発電機が通常の回転速度より遅くなり、送られている交流の電気の周波数が下がってしまいます（自転車で坂を上るようなもので、負荷が多いと、どうしても速度は落ちます）。逆に発電力量の方が大きいと、発電機が通常より速く回転し、周波数が上がってしまいます<sup>61</sup>。（自転車で下り坂を走るようなものです）。

それでは交流の周波数が変わると、何がいけないのでしょうか。一番良い例が電気で回るモーターです。モーターは交流の周波数に連動して回転しているので、交流の周波数が変わるとモーターの回転数も変わります。繊維業では糸を巻き取るモーターの速度が変わると糸切れや糸の太さの不揃いが起こることがあり、また製鉄業では、圧延機（ローラーに圧力をかけて鉄を一定の厚さにする機械）の動きが変わると鉄の厚みにむらが出るなど、周波数の変動は製品の品質に大きな影響を与えます。このように、周波数は非常に重要なものなのです。

このため、電力会社では使われる電気の量に応じて、常に発電量を調整しているのです。もし何かの理由で発電量が十分賄えなかった場合には、停電となるのです。

---

<sup>61</sup> 大まかには、発電機の回転数が電気の周波数です。毎分 3,000 回転（3,000rpm）している発電機による電力システムの周波数は、 $3,000/60$  秒=50Hz（ヘルツ）です。3,600rpm なら 60Hz です。

## 送電線は雷に弱い

②送電線が何かの原因でショートした時

送電線がショートする原因として、冒頭ではクレーン船が送電線に触れた例を紹介しましたが、実際に一番多いのは実は雷によるものです。

今では、雷は電気現象であることが分かっていますが、雷雲の電圧は約 1 億 V と言われており、さらに雷で流れる電流は平均で約 3 万 A（アンペア）という膨大なものです<sup>62</sup>。

今、日本では年間に 50 万発から 100 万発くらいの数の雷が落ちていますが、雷が送電線に落ちると、送電線がショートする場合があります。さらに、場合によれば送電線につながっている変圧器などの機器が壊れたりすることもあります。そのようなことになっては大変ですので、送電線がショートしたことが分かると、送電線の両端の変電所で送電線のスイッチ（遮断器）を切るのです、その区間は停電になります。



図 27 大地に落ちる雷  
(画像提供：一般財団法人電力中央研究所)

<sup>62</sup> 落雷現象は数 10～数 100  $\mu$ s（マイクロ秒）の現象ですので、3 万 A の電流といっても、それが流れている時間は非常に短いのです。

雷以外にも、台風や大雪など、過酷な自然条件で送電線がショートして停電となることもあります。図 28 は原因別の架空送電線事故率<sup>63</sup>を示したのですが、架空送電線の事故原因の約半分は雷によるものであることが分かります。図 29 は送電線の運転電圧別の雷事故率<sup>64</sup>です（送電線 100kmあたり年間に平均して何件の雷事故が起こっているか示したもの）。年によって雷の数も異なるので、事故率も年によってかなり違いますが、500kV（50 万 V）の送電線では年間 100km あたり平均 0.5 回程度ですが、66-77kV（6 万 6 千 V～7 万 7 千 V）級の送電線では、その 10 倍程度の雷事故が起こっていることが分かります<sup>65</sup>。

---

<sup>63</sup> 図 28 は、「供給支障」（停電のことです）になった件数と割合を示した図です。

<sup>64</sup> 図 29 での雷事故率は、落雷によって送電線の両端の遮断器を開いた回数でまとめています。したがって、雷が落ちてでも停電になっていない場合も数えられています。雷が落ちてでも停電にならない場合については、後述の「いったん切ってまたつなぐ」の最後の方をご覧ください。

<sup>65</sup> 電圧階級の低い方が、基本的な絶縁レベルが低いため、雷が落ちた時に事故になりやすいのです。

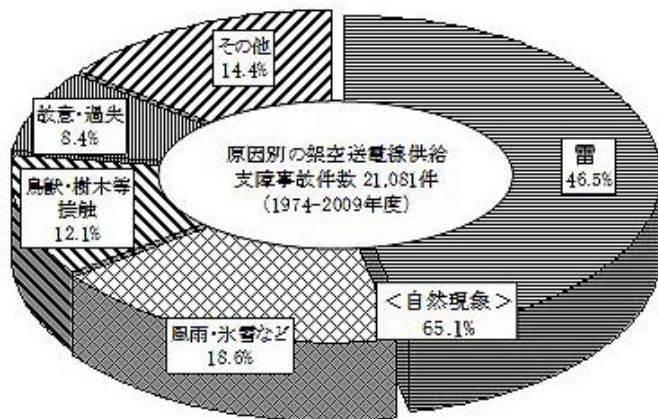


図 28 架空送電線の原因別事故比率

(出典:「送電線避雷装置適用ガイド」電力中央研究所総合報告 H07 2012)

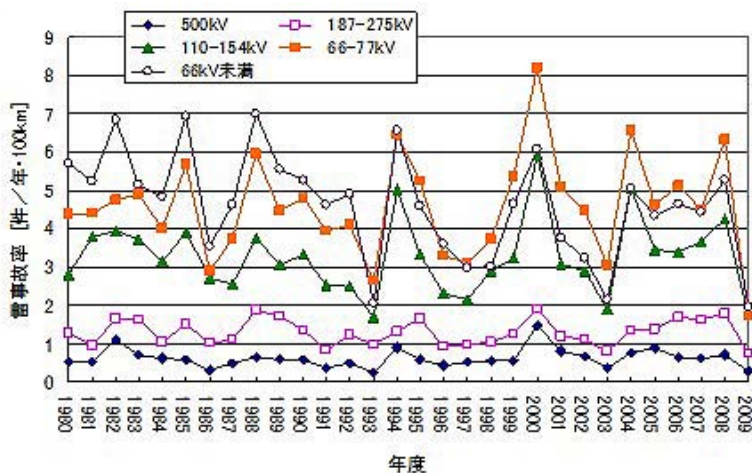


図 29 運転電圧別の送電線雷事故率

(出典:「送電線避雷装置適用ガイド」電力中央研究所総合報告 H07 2012)

## 誘導雷（電線に雷が落ちなくても事故になる）

これまでは、送電線への落雷の話ですが、配電線（街でよく見かける電柱についている電線のことです）にも落雷は起こります。一般に雷は高いところに落ちやすいので、送電線に比べて高さの低い配電線には雷は落ちにくいのですが、配電線に落雷することもあります（直撃雷）。また、雷が配電線の近くに落ちただけでも、電磁誘導によって配電線で通常使用している電圧よりも大きな電圧が発生し、事故になることもあります（誘導雷）。また送電線を人間の大動脈とすれば、配電線は毛細血管のようなものであり、至るところに広がっているため、どこかの配電線に落雷することは十分あり得ます。配電線への落雷では、広範囲にわたる停電になることは少ないにしても、停電の回数は決して少なくありません。

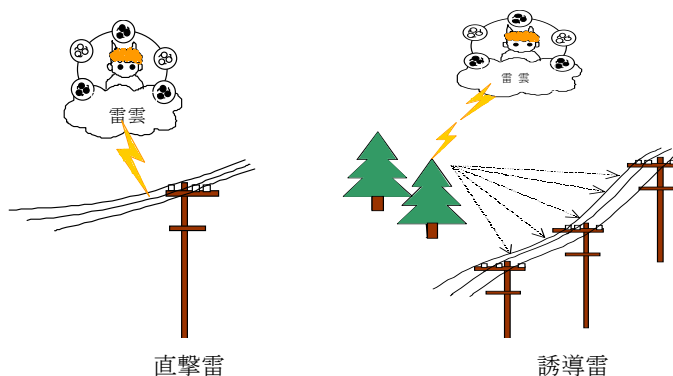


図 30 直撃雷と誘導雷

（画像提供：一般財団法人電力中央研究所）

図 31 は誘導雷が起こった時の写真です。民家に落雷があった時に、誘導雷のため、近くの配電線で火花放電が発生しています。



図 31 誘導雷の例

(画像提供：一般財団法人電力中央研究所)

## 停電を防ぐには

それでは、このような原因で起こる停電を防ぐにはどうすればよいのでしょうか。

## 消費を予測し発電計画

前の節で説明したように、停電は、発電する能力と送る能力の二つがそろわなかったときに起こります。

すでに説明したように、発電する量は使われる量を考える必要があります、勝手に発電すればよいというものではありません。例えば、夏は電力の消費量が多くなるので、それに間に合うように発電の計画を立てます。一つの発電所で発電する能力が足りなくなった時には、他の発電所での発電量を増加します。さらに電力会社同士でも、お互いに電力を送ったり受け取ったりし合って<sup>66</sup>発電量の不足を補いあいます。

---

<sup>66</sup> これを「電力融通」と言います。

東日本大震災のあと、東京電力は「計画停電」を実施しました。これは大震災の揺れや津波のために、福島第一原子力発電所および周辺の大規模な発電所も運転ができなくなり発電量が不足しました<sup>67</sup>。そのままだと、広い地域で停電が起きる恐れがあります。そこで発電できる電力に見合うように、計画的に一部の消費地を選び、一定の時間だけ停電させることにしました。普段は使う電気量に発電する量を合わせてバランスを取りますが、この時は、発電できる量に消費を合わせてバランスを取ったのです。

### **雷を防ぐ架空地線**

雷は自然現象ですので、その発生を防ぐことは困難です。また雷は高い物に落ちやすい性質があるので、高い送電線は雷の格好の目標になります。

送電線への落雷を防ぐためには、鉄塔ごとに避雷針を付けることがまず考えられます。鉄塔は鉄できていて、しかも地面につながっていますから、そこに落ちた雷はそのまま地面に流れるので避雷針としては最適です。

ただ高電圧の送電線となると、鉄塔と鉄塔の間隔はかなり長いので、鉄塔に避雷針を付けただけでは、その間の送電線に雷が落ちることを防ぎきれません。そのため、送電線では、電気を送っている線の上に鉄塔と鉄塔を繋ぐような線を張っています。この線を架空地線と言いますが、これによって送電線に

---

<sup>67</sup> 東日本大震災の地震発生前後の電力供給力ですが、東京電力管内では約 5,200 万 kW が約 3,100 万 kW に、約 4 割減りました。東北電力は約 1,430 万 kW が約 900 万 kW と、これも約 4 割減りました。

雷が落ちることを防ぎ、もしこの線に雷が落ちたとしても鉄塔を通じて大地に雷が流れるようにしています。「避雷針」ではなく、「避雷線」です。

### いったん切ってまたつなぐ

しかし、万が一、送電線に落雷したらどうするのでしょうか。

図 32 は、発電所からの電気の流れる道筋を表したものです。発電所で起こされた電気は、「変電所」「送電線」「配電線」を通じて消費者のもとに送られますが、これをまとめて「電力システム」といいます。送る部分を「送電系統」、配る部分を「配電系統」と分けて呼ぶこともあります。「電力システム」には、たくさんの遮断器があります。これは、大きなスイッチと考えて下さい。

送電線や送電鉄塔に大きな雷が落ちると、電気を送っている送電線と接地状態の鉄塔との間で放電が発生します。その一例を図 33 に示しますが、これは一回の雷撃によって 3 か所で放電が起こった学術的にも貴重な写真です。

このような放電が起こると電気が非常に流れやすい状態になります。雷の電流が流れ続ける時間は、普通は 1,000 分の 1 秒以下の非常に短いものなのですが、一旦このような放電が起きると雷の電流が流れ終わった後でもイオン化した空気を伝わって、通常の交流の電気が流れ続け（いわゆるショートした状態です）、そのままにしておけば、電流はいつまでも流れ続けます。そのため、一度回路を切って電気の流れ（電流）を止め、イオン化した空気が通常の状態に戻って、その絶縁性が回復するのを待つ必要があります。この作業を行うのが保護リレーと遮断器です。



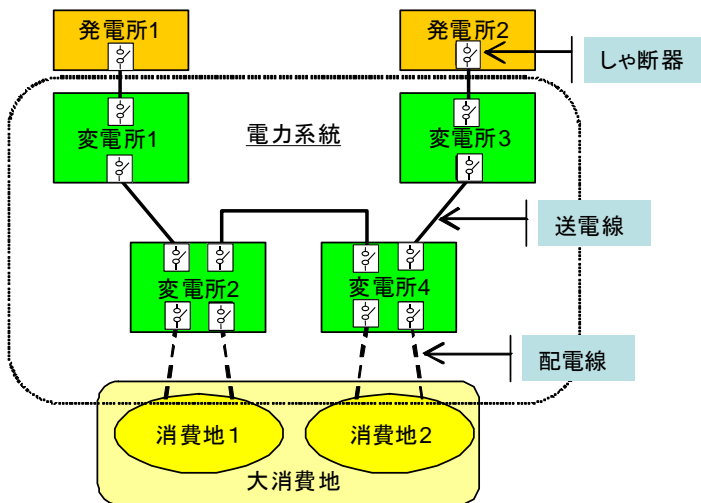


図 32 発電所から消費者までの電気の流れの道筋

例えば、図 32 の変電所 3 から変電所 4 への送電線で事故があったとします。図 34 にあるように、送電線に落雷が起こると①、雷によって送電線と鉄塔の間で放電(図 34 では「閃絡」)が起こり②、放電した道筋を通して大きな電流が流れ③、送電線の電圧が低下し④、各種の影響が発生します⑤。

一方、変電所では、いつも送電線に異常がないかどうか見張っています。落雷があつて送電線がショートしたと分かると、直ちに保護リレーという装置が働いて<sup>68</sup>、その両端の遮断器をオフにして回路を切り離しなさいという信号を遮断器に送り

<sup>68</sup> 保護リレーについては、Vol.5「電気を送る・配る」の巻の「保護リレーって何？」という節でも説明していますので、興味のある方はそちらもご覧下さい。



図 33 送電鉄塔への雷撃で放電が起こった写真  
(画像提供：北陸電力株式会社)

まず⑥。遮断器は、その信号をうけるとすぐに電気の流れ（電流）を切ります⑦。このオフにするまでの動作は、早いものでは 0.07 秒という時間で行えます。電流が切れれば、通常一秒程度以内にイオン化した空気が元の状態に戻るなので、オフにした遮断器を再びオンにして線路をつないで電圧をかけてもショートにはなりません。そこで、一つのルートに電気を送る線が二組設置してある場合には、ほとんどの場合、線路をつないでも問題ないので、一秒以内に送電を再開します<sup>69</sup>。このよう

---

<sup>69</sup> これを高速再開路と言います。Vol.5 の p.11 の脚注を参照下さい。なお、電圧が 220kV 以上の送電線では、ほとんどが 2 組の送電線の組になっています。また、線路をつなげない場合は、線路の両端の電圧の位相差が大きい場合です。この場合には、線路をつなぐと非常に大きな電流が流れて、発電機などに与えるショックも大きく、機器を壊す可能性があるからです。

に、送電の再開までの時間が短いので、何か起こったということは人間にはほとんど分かりません。ただ、いったんショートするので、0.07 秒程度と極めて短い時間ではあっても、場所によっては電圧が大きく低下しています。これは、「瞬時電圧低下」と言い、p.91 でもう少し詳しく説明しています<sup>70</sup>。

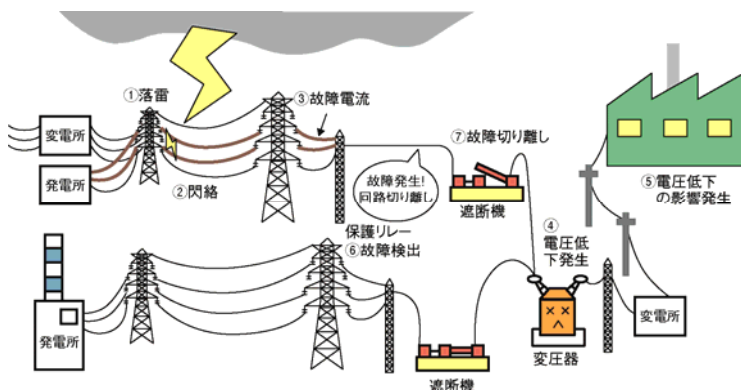


図 34 送電線に落雷があった時の状況

## 電力システムで停電を防ぐ

しかし、送電線の事故は、図 28 に示したように雷以外の原因でも起こります。送電線に雪や氷がついて事故になったり、台風で送電線の鉄塔が倒れたり、極端な場合には送電線が飛行機や船に切られたりもします。この場合には、雷とは違って、

<sup>70</sup> 停電や瞬時電圧低下の影響や対策については、p.98 からの「停電や瞬時電圧低下への使用者側での対策」を参照。また、蓄電池を使った対策については、Vol.6「電気を貯める」p.26 の「据え置き設備として使う」も参照ください。

ずっと事故の状態のままなので、遮断器をオンにして線路をつなぐことはできません。図 32 の変電所 3 から変電所 4 への送電線でそのような事故が起こると、発電所 2 から消費地 2 に電気を送る経路がなくなってしまいます。そのままでは、電気が不足しますので、発電所 1 の発電を増やして消費地 1、2 で必要な電気を発電します。このような工夫で停電を防いでいます。これが、「電力システム」が停電を防いでいる仕組みのひとつです。基本的にひとつのところに 2 つ以上の経路で電気を送れるようにし、ひとつの送電線が切れても、残った送電線で送れるようにしています。また、発電所も必要に応じて発電を増やせるように準備しています。

### **瞬時電圧低下**

これまでお話してきたのは、事故などで電圧がこなくなる、いわゆる停電の話でしたが、送電線に雷が落ちた場合、その影響で電圧が「一時的」に下がることもあります。これは瞬時電圧低下と呼ばれます。

例えば図 35 のように発電所から二つの送電線を使って、電気を送っている場合を考えましょう。2 号線に落雷があって送電線がショートすると、事故点に近いお客様 B では電圧が大きく低下します。さらに、お客様 A やお客様 C でも、それに引きずられて電圧が低下します。前に説明したように、そのような場合はリレーが働いて直ちに変電所で遮断器をオフにします。これで 2 号線は完全に切り離されますので、電圧は 0 になりお客様 B は完全な停電になります。

一方、お客様 A やお客様 C は事故が起こった送電線が切り離されると、本来の電圧に復帰します。しかし、リレーが事故を検知し、遮断器が働いて 2 号線が切り離されるまでの間は電圧が低下してしまいます。これが瞬時電圧低下（瞬低）です。通常は電圧が下がっている時間は 1 秒以内ですが、コンピューターなどはそのような短時間でも影響を受ける場合があります、もしそのコンピューターが工場をコントロールしている場合には、工場の製造ラインが止まるなどの被害がでる場合もあります。

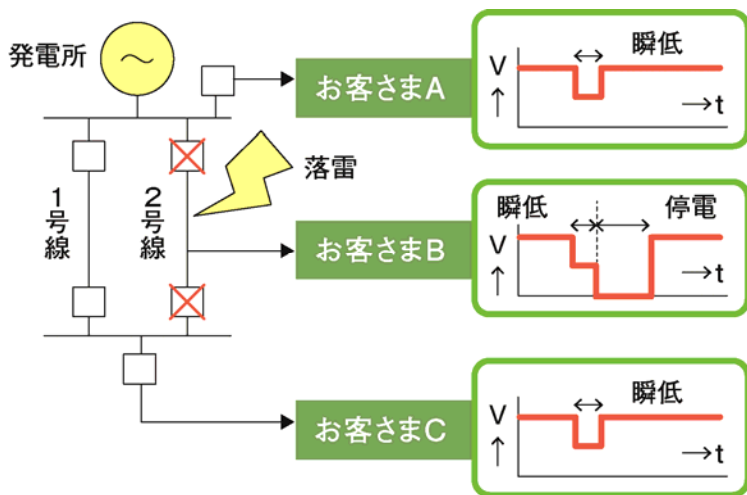


図 35 瞬時電圧低下

この瞬時電圧低下の大きさや起こりやすさは、電力システムの構成や、どこに雷が落ちたかなど、種々の要素が影響しますので一概には言えませんが、過去に調査された結果では、瞬時

電圧低下で20%以上の電圧が低下することは年間で10件から20件程度発生しているとのこと<sup>71</sup>。

### 配電線事故時には？

配電線で落雷などにより事故が起こった場合も、停電となるのは送電線と同じで、またそれをリレーで検知して変電所で回路を切り離すのも、送電線と同じです。しかし送電線では、原則として変電所でしか回路を切り離すことができませんが、配電線の場合には、電柱の上に開閉器と呼ばれるスイッチを設置している場合があります。



図 36 開閉器の例

(画像提供：一般財団法人電力中央研究所)

---

<sup>71</sup> 瞬時電圧低下については、電気共同研究会という団体が、平成 23 年に「電力系統瞬時電圧低下対策技術」という報告を出しています。(電気共同研究 第 67 巻 2 号)

## 開閉器で停電地域を最小化

開閉器の役割について、図 37 を使って説明します。これは配電用変電所から一本の配電線が出ているという単純な形ですが、No.1 から No.3 の配電柱には開閉器が設置されているとします。ここで No.2 と No.3 の間に落雷があつてショートしたとしましょう。この時には、送電線の場合と同じく、すぐにリレーが事故を検知し、まず配電用変電所の遮断器をオフにします<sup>72</sup>。

また、同時に開閉器もすべてオフ（切れた状態）にします。次に配電用変電所では、事故が解消されたかどうかをみるため、1 分程度時間が経った後、遮断器をオンにします。

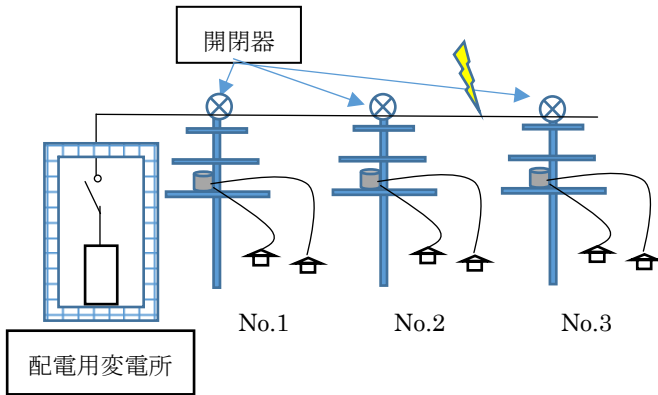


図 37 配電線と配電用変電所

この時点では、雷によるショート状態は解消されていますが、電柱の開閉器はまだオフのままですので、停電は続いています。

<sup>72</sup> ショートなどの事故が生じた場合には、大きな電流が流れるため、配電柱の開閉器ではその電流を切れないので、大きな電流でも電流を切ることができる、遮断器が、まず動作します。

次に、配電用変電所の近くの No.1 の電柱に設置された開閉器から 10 秒程度の時間間隔で順番にオンにしていきます。

しかし、落雷ではなく、クレーン車が配電線に触れてしまった場合など、ショートした状態が続いている場合はどうなるでしょうか。その時には、No.2 の開閉器をオンにした途端、大きな電流が流れることとなります。すると、また配電用変電所では遮断器をオフにし、すべての開閉器もオフにします。この場合には、No.1 の電柱から電気を引いている家では、いったん電気が来たにも関わらず、また停電することになりますが、これはしかたありません。

しかし、この結果、事故が起こっている場所が No.2 の先だということが分かりました。そこで、また配電用変電所で遮断器をオンにし、次に開閉器を順次オンにしていくわけですが、No.2 の開閉器はオフのままにして、No.3 の方には電気を送りません。したがって No.3 の電柱につながっている家では停電のままですが、少なくとも事故が起こっていない No.2 のところまでは無事に電気が送れて停電が解消したわけです。

読者の皆さんの中には、停電して、一度電気がついたけれど、またすぐに停電したとか、道路の向かいの家は灯りがついたけれど、自分の家では停電のままといったことを経験したことはありませんか。それは、ここで説明したようなことが起こったのだと考えて下さい。

最近では、開閉器にセンサを設置して事故の起こった区間を見つけて、配電用変電所で遮断器をオフにせず、必要な開閉器だけをオフして停電をできるだけ減らすような工夫もなされています。



## ループにして停電を防ぐ

現実の配電系統は図 37 のような単純な形でなく、もっと複雑な形をしています。事故が起こったら事故部分を切り離して、健全な地域は早く停電が復旧するようにしていることは変わりありません。さらに、配電線を網目のように構成し、そのどこかで雷による事故が起こっても、停電となる範囲をできるだけ小さくするように回路をつなぎ替えたり、また次章で説明する避雷器を電柱に取り付けて雷事故を防ぐなど、さまざまな工夫がなされています。

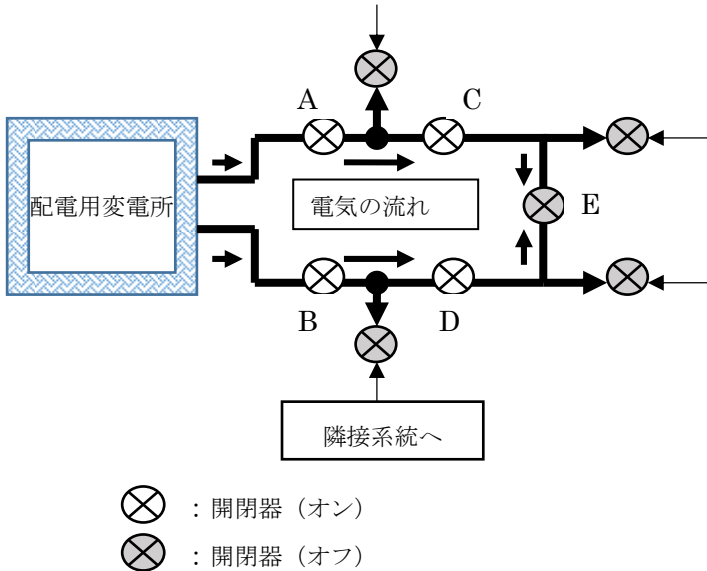
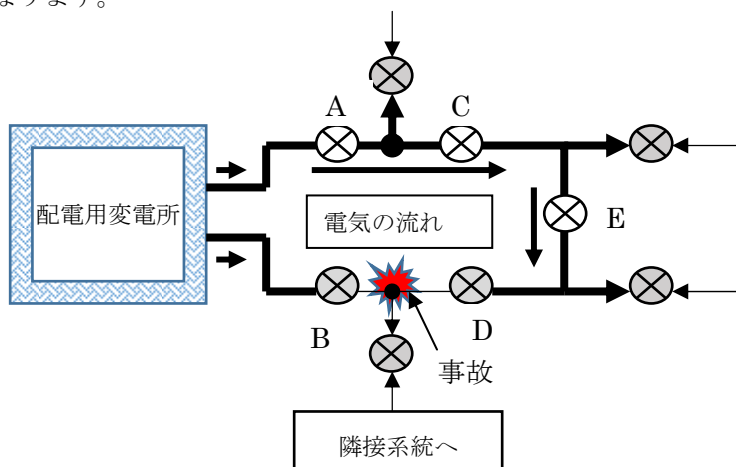


図 38 ループ方式の例

図 38 はループ方式と呼ばれる配電線の方式です。図の太い線の部分は電気が来ている電線です。この太い電線のあちこちからビルなどに電気が送られています。通常は、開閉器 A、C

および開閉器 B、D を通じて電気が送られています。しかし、例えば開閉器 B と D の間の電線で事故が起こった時には、まず開閉器 B、D をオフにしてショートしている電気の流れを止めます。そのままにしておくと、開閉器 D、E の間の太い電線から電気をひいているところは停電になったままです。そこで、常時はオフにしている開閉器 E をすぐにオンにして、図にあるような電気の流れを作り、開閉器 D、E の間の電線にも電気がいくようにしてやれば、その範囲は停電にはなりません。このようにして、停電の範囲を少なくするようにしているのです（図 39 参照）。なお、この場合は、開閉器 B、D の間は停電になっていますので、電力会社の人が駆けつけて対処することになります。



⊗ : 開閉器 (オン)

⊗ : 開閉器 (オフ)

図 39 事故が生じた時に回路を切り替えた例

これらの努力の結果、日本の高圧配電線の雷事故率は、平均して千 km あたり年間 0.5 件から 1 件程度になっています<sup>73</sup>。

## **停電や瞬時電圧低下への使用者側での対策**

これまで説明してきたように、仮に送電線や配電線などに雷があっても電気が送れなくならないように種々の対策がなされています。しかし、瞬時電圧低下を含めて、不測の停電を完全に避けることは困難です。

### **自分の大切な設備は自分で守る**

現在の日本では、あらゆる場所と言ってよいほど、電気が使われています。そのため、停電や瞬時電圧低下によって大きな損害が起こり得る設備も少なくありません。例えば、人命を預かる病院などの医療設備、大型ビルや地下街など多くの人が集まる設備での照明や防火設備、交通網を管理する交通管制センター、道路設備で重要な信号機やトンネル内の照明、空港、災害時の応急対策拠点となる官庁施設、水道関係施設、銀行などのオンラインシステム、電話の基地局などを考えてみてください。もし、これらの施設や設備が停電や瞬時電圧低下でその機能を停止したならば、社会に与える影響は極めて大きなものとなるでしょう。また、半導体製造工場やプラント制御設備などでも、

---

<sup>73</sup> 出典：電力中央研究所総合報告 No.T69「配電線耐雷設計ガイドブック」平成 14 年

なお、ここに示した値は、図 29 にある送電線の雷事故率よりかなり少なくなっています。この違いは、配電線では、雷事故を単に遮断器を開いた回数ではなく、p.87 の「いったん切ってまたつなぐ」にあるように、遮断器を開いて、少し時間が経ってから再度つないだ時に、引き続き放電が起って事故が継続した場合、つまり停電が発生した場合を、事故としているためです。

停電や瞬時電圧低下により大きな損害が生じる場合も少なくありません。

このような被害を防ぐために、これらの施設の多くには停電などが起こっても、それまでと変わらずに電気が使えるように非常用電源設備が設置されています。

### 非常用電源設備のいろいろ

主な非常用電源装置としては、以下のようなものがあります。

- 1) 無停電電源 (UPS : Uninterruptible Power Supply)
- 2) 非常用発電設備
- 3) 蓄電池設備

1)の無停電電源とは、蓄電池などに常時電気を貯めておき、停電などが起こった場合には、蓄電池から電気を供給するというものです。その例を図 40 に示します。

図 40 の太い線の部分は直流箇所です。図にあるように、常時は交流の入力を直流に変え、蓄電池を充電するとともに、直流を再び交流に戻して使用します。万一停電などが起こると、

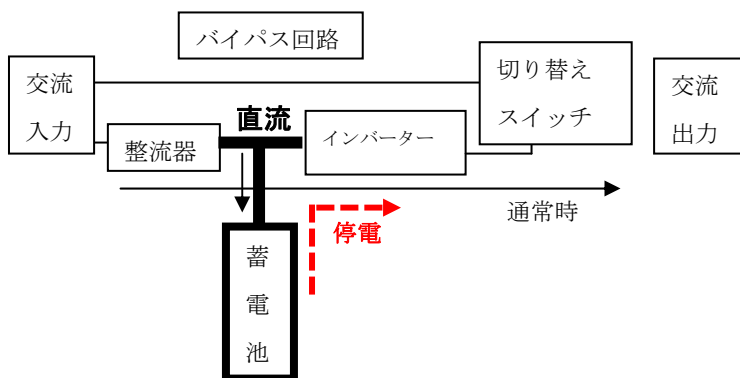


図 40 無停電電源装置の基本構成

交流入力は無くなるわけですが、その時は蓄電池に貯めておいた電気を交流に変えて出力します。

上部にあるバイパス回路はインバーター故障時などに使う他、常時はこちらを使っておいて電気を供給し、雷が発生して停電が起きそうな時だけ、下側の回路を使うという使い方もあります。しかし、長時間にわたり蓄電池から電気を供給し続けるためには蓄電池の容量をかなり大きくしておかねばならず、コストがかかります。

そこで、費用節約のため、このような無停電電源は重要な設備だけに設置し、あまり重要ではない設備は通常の交流電源を使うということも良くあります。

2) の非常用発電設備とは、ディーゼルエンジン発電機、ガスタービン発電機など、液体燃料による発電設備を用意しておき、停電時に稼働させて電気を供給するというものです。これ



図 41 空港に設置された非常用発電設備の例

(出典：国土交通省東京航空局空港部機械課－官庁業務合同説明会資料－「国土交通省航空局の業務概要（機械業務）」)

は、一般に蓄電池よりも長時間にわたって電気を供給することができます。図 41 に空港に設置されている非常用発電設備の例を示します。

しかし、このような発電機の始動には通常 10 秒～40 秒程度かかるので、停電が起こってからスイッチを入れたのでは、完全に停電時間をなくすわけにはいきません。そのため、停電が起こりそうな状況ではあらかじめ非常用発電設備を動かしておき、重要な設備は非常用発電設備からの電源に切り替えておいたり、非常用発電設備と通常の電源の両方を使っておいて、停電時には高速のスイッチで重要な設備だけ非常用発電設備に切り替えたりという方式が使われることもあります。

### 3) 蓄電池設備

建物のなかで、誘導灯、非常照明や非常警報設備などは短時間の停電も避ける必要があります。このため、停電時に瞬時に切り替えて給電を継続できる蓄電池設備が使われています。

最近是非常用発電装置として、燃料電池なども用いられるようになりました。また、大規模災害の時にはトラックなどに載せて運べる可搬型の発電設備を用いて、停電した地域に電気を供給することも行われます。

さらに、大きな施設では、電力会社からの電源線を 2 つの別の系統から取り入れて、停電の可能性を減らすような工夫もなされています。

いろいろな非常用電源設備を見てきましたが、ほとんどのものが目立たないところで働いています。身近なところで、消防用設備の例でどのように役立つのか考えてみましょう。



避難口誘導灯



屋内消火栓設備の外観と内部

図 42 さまざまな消防用設備

図 42 左側は、良く目にする避難口誘導灯です。ホテル、デパート、地下街、映画館など人が多く集まる場所で火災や事故などが発生した場合でも人々が速やか安全に避難できるように、非常用照明装置とともに設置が義務づけられています。停電時には瞬時に内蔵の電池などによる点灯に切り換えます。図 42 右側は、屋内消火栓設備の外観と内部の写真です。火災のときに人が操作して消火ポンプを起動させて貯水槽の水を放水し消火活動ができます。他に建物の種類や規模に応じて消防用設備や建築設備としてスプリンクラー設備、排煙設備、非常用エレベーター、自動火災報知設備、非常警報設備などが設置されています。これらは当然ながら停電時にも非常用電源設備により停電から瞬時または 40 秒以内に機能が維持できるように給電できるようになっています。これらの非常用電源設備や配線は火災時に機能を維持できるように電源設備は不燃材料で区画された専用の室などで、配線は耐火・耐熱配線で火災の熱から保護され機能の維持を図っています。

また、火災で多くの消防用設備が稼働中に停電し、始動した発電設備に切り替わるとき発電設備が過電流、過負荷で停止しないように負荷の始動順序をグループ分けするなどして発電設備の容量が決められています。この様に目に見えないところでさまざまな設備が人々を災害から守ろうとしていることを考えてみて下さい。



## 2 雷から建物や電気機器を守る

雷を全く落ちなくすることは現在の技術ではできませんが、雷が落ちた時の被害を減らすための装置が避雷器です。

### 避雷器

送電線に雷が落ちた場合には、送電線をショートさせるだけでなく、その雷が送電線を伝って変圧器などの機器まで来て、それらを壊してしまう可能性があります。また、一般家庭でもコンピューターやテレビ、ビデオなど電子機器が多く使われています。さらに最近では、電気炊飯器や洗濯機などもコンピューターで制御され、最高の条件で働くようになってきましたが、これらに使われているコンピューターも、電源線や信号線を通して外部から入ってくる過電圧には非常に脆弱です。

### 避雷器は雷を避けるスイッチ

このように雷が電線を伝わって来て機器を壊すのを防ぐには、雷が機器に届く前に雷を大地に逃がす必要があります。しかし、電線には機器を動かすための電圧が常にかかっているため、電線を直接大地につないでおくことはできません。避雷器は矛盾するこの二つの要求を満たすものです。

図 43 は避雷器の動作をイメージ化して表したものです。

避雷器は、通常は図 43(a)のようにスイッチが開いていて、大地とはつながっていない状態になっています。しかし雷が来た瞬間、避雷器は大地につながった状態になり、雷を大地に逃がします。そして、雷が通り過ぎると、すぐに最初の状態に戻ります。これで、雷が機器に入ることを防ぐのです。

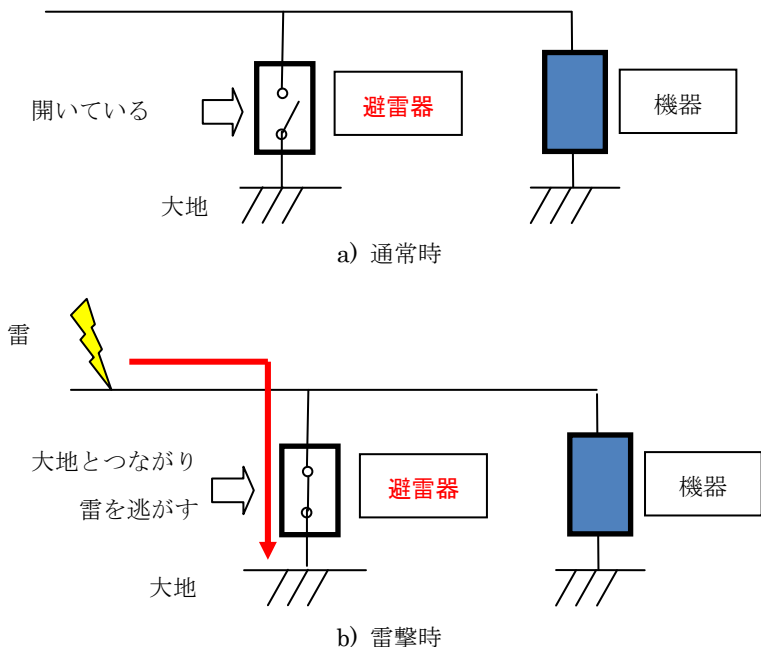


図 43 避雷器の動作 (イメージ)

## 酸化亜鉛 (ZnO) という奇妙な物質

図 43 はあくまでも説明用のイメージ図で、実際の避雷器にはこのような機械的なスイッチは入っていません。最初にエジソンが配電システムを作った時代には、適当なギャップを設置し、雷のような大きな電圧が入った場合には、そこが放電してショートすることで、一種のスイッチの役目を持たせていました。しかし、雷の過電圧がかかってからギャップが放電してショートするまでに時間がかかり、その間に機器が壊れる可能性があるなどの問題点がありました。

その後、単純なギャップの代わりになるいろいろな方式が検討されましたが、現在は酸化亜鉛（ZnO）という非常に特殊な素子が使われています。普通の物質では、かかっている電圧とそこに流れる電流は比例しています。しかし避雷器に用いる酸化亜鉛素子は、電圧が小さい時には、ほとんど電流を流しませんが、ある値以上の大きな電圧がかかると、電圧は一定に保ちつつ、いくらでも電流を流せるという、図 44 のような奇妙な特性を持っているのです。

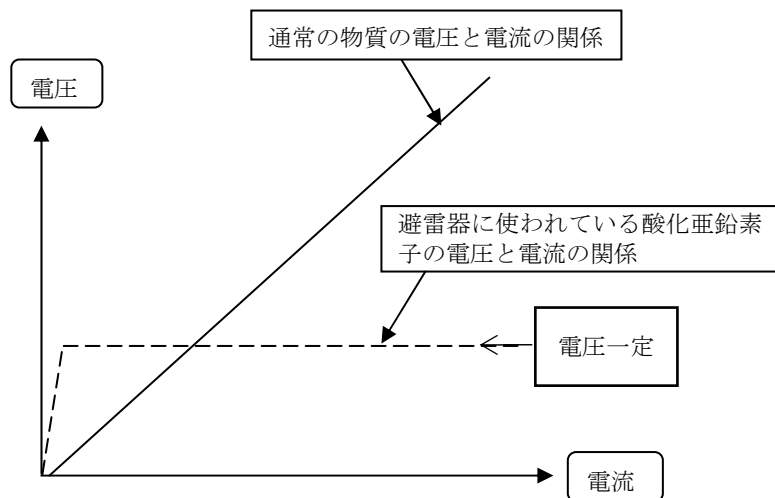


図 44 電圧と電流の関係を模式的に描いた図

このような特性を持っていると、ある電圧になると、図 43 にあるスイッチと同じように働きます。しかも、雷の電圧がなくなると、自動的に、電流をほとんど流さないという元の状態に戻りますので、普通の電気を送るのには、全く問題がないのです。

この酸化亜鉛素子は 1967 年に松下電器産業株式会社（現パナソニック株式会社）で発見され、株式会社明電舎によって電力設備用のものが開発された、まさに国産技術です。これは国際規格にも採用されており、現在、世界の電力用避雷器の主流になっています。また、実用化から 30 年以上を経過していますが、いまだにこれに替わる高性能な避雷器は開発されていません。

通常、変電所の入口には避雷器が設置されており（図 45）、送電線から変電所に雷が侵入してくるのを防ぐ働きをしています。

この避雷器の開発によって、落雷などにより発生する非常に大きな電圧を大地へ逃がし電力機器を確実に守れるようになり、停電事故の防止に大きく貢献しています。また、変電所の機器も小さい寸法でよくなり、経済的効果も大きいものがあります。

このような功績により、酸化亜鉛形避雷器は電気学会の認定する「でんきの<sup>いしずえ</sup>礎」の一つとして、平成 21 年に顕彰されています<sup>74</sup>。

---

<sup>74</sup> <http://www2.iee.or.jp/ver2/honbu/30-foundation/data02/ishi-02/ishi05.pdf>



図 45 変電所に設置された避雷器の例  
(出典：発明と発見のデジタル博物館<sup>75</sup>)

### 送電線や配電線にも避雷器が

避雷器は変電所だけではなく、送電線や配電線にも設置されており、送電線や配電線に雷撃が生じた時に、雷を安全に大地に逃がして、機器が破損したり、停電が起こったりするのを防いでいます。

図 46 に送電用避雷装置の例を、また図 47 には配電用避雷装置の例を示します。

---

<sup>75</sup> 発明と発見の博物館の URL は以下のとおりです。  
<http://dbnst.nii.ac.jp/>

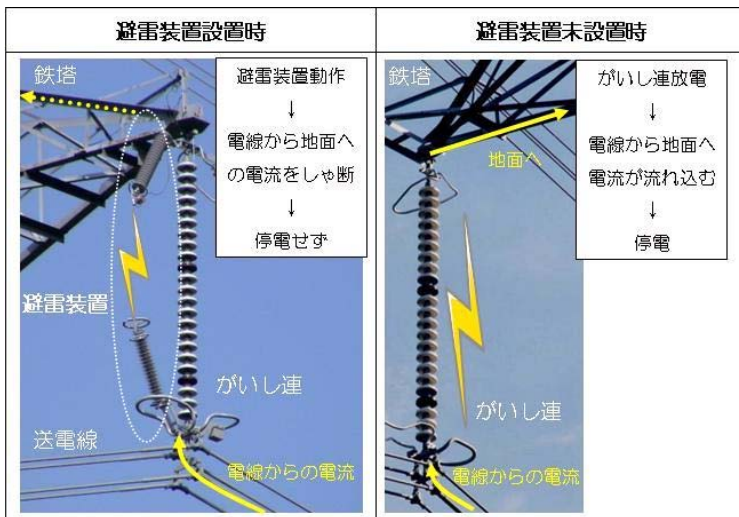


図 46 送電用避雷装置の例  
(出典：発明と発見のデジタル博物館)

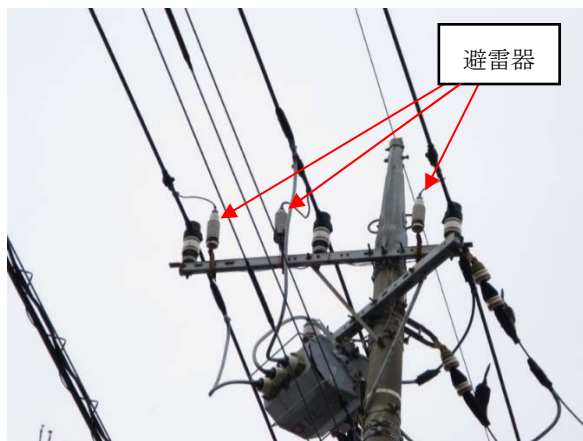


図 47 配電用避雷器の例  
(画像提供：一般財団法人電力中央研究所)

最近は、家庭のコンピューターなどを雷から守るために雷保護装置付きのコンセントなども販売されていますが、これにも避雷器が使われています。原理は全く同じですが、このような小型の避雷器は SPD (Surge Protective Device) と呼ばれています。

## 避雷針

送電線では、電線への雷の直撃を防ぐため、通常、架空地線という接地された線を、電気を送る電線の上に張っています。これは言わば「避雷線」ですが、発電所や一般の建物では、雷の被害を防ぐために建物の上に避雷針を設置します。建築基準法でも、20m 以上の高さの構造物には、原則として避雷設備を設置することが義務付けられています。

避雷針が発明される以前には、教会などが落雷によって大き

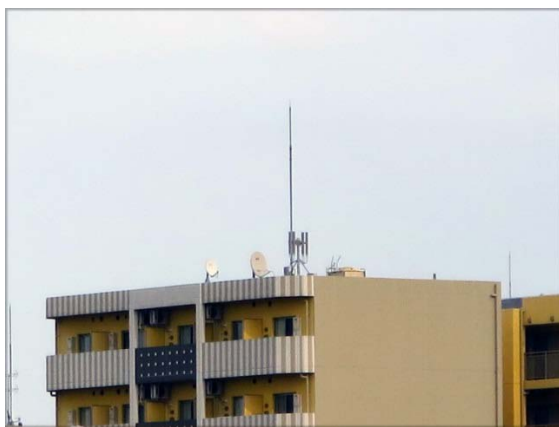


図 48 建物に設置された避雷針の例  
(画像提供：一般財団法人電力中央研究所)

な被害を受けるということが、ヨーロッパのいろいろな国で頻繁に起こっていたのです。日本でも、大阪城や二条城など、有名な建築物が落雷によって火事になった例が数多くあります。

### **避雷針の発明者は、あのフランクリン**

この避雷針を発明したのは、風をあげて雷が電気であることを発見した、あのベンジャミン・フランクリンです。それでも、最初にフランクリンが避雷針で雷の被害を防げるはずと言った時には、あまり信じてもらえなかったようです。神の御業<sup>みわざ</sup>である雷を、たかが数 m の棒を屋根の上を立てたところで防げるはずはないという、18 世紀の人々にとっては至極当然な議論でした。しかし、フランクリンの住んでいたフィラデルフィアのある家がフランクリンを信じて避雷針を立て、たまたまそこに雷が落ちた時に何の被害もなかったことが分かってからは、避雷針は世界的に広まりました。

建物に避雷針を付けると雷が落ちやすくなるから避雷針を付けたくないという人がいます。実際に避雷針の機能が良く理解されていなかった時代、フランスで避雷針を自分の家に付けようとした人が、隣家から危険だということで、訴訟を起こされたということもありました。しかし、それは誤解であって、避雷針を立てたからといって、立てない場合に比べて雷が落ちやすくなったり落ちにくくなったりすることは通常ありません。

それでは、なぜ避雷針を立てるかと言えば、その建物に雷が落ちかけた時に避雷針で雷を受け止め、安全に地中に雷の電気を逃がし、建物やその中にいる人や機械に被害が無いようにするためです。その意味では、避雷針と呼ぶよりは誘雷針と呼ぶ



方が良いかもしれません。ちなみに英語では、Franklin rod (フランクリンの棒) や Lightning rod (雷の棒) と呼ばれており、「避ける」という意味の単語は使われていません。

もし避雷針が無く、建物に直接雷撃した場合には、建物のどこに雷が落ちるか、また、落ちた雷の電気がその後、どこをどう通っていくか分からないので、大変危険です。木造の建物の場合には火事になる場合もあるでしょうし、鉄筋の建物でも電気設備などに被害が発生することも十分起こり得ます。また、もし建物内に火薬や石油などの可燃物があつた場合、落雷で発生した火花がそれらに引火して大惨事になる可能性もあります。

避雷針はこのような目的で設置されるものですので、避雷針は建物全体を保護できるように、建物上部に適切な高さで、場合によれば複数設置する必要があり、それらの条件は規格で細かく決められています<sup>76</sup>。

ちょっと話が横道にそれますが、昔、ある有名な大学の先生が、あるお寺の住職に、避雷針をお寺の軒下に外から見えないように取り付けられないかと相談されたことがあつたそうです。当然、そのような形では避雷針の効果がありませんので、屋根の上に付けなければダメだと言ったら、その住職はがっかりして帰っていったそうですが、後で話を聞いてみると、そのお寺では雷除けのお札を売っていたということです。

---

<sup>76</sup> 例えば、JIS Z 9290-3:2014 なお、規格では「避雷針」ではなく「雷保護システム」という名称を使用しています。

避雷針に話を戻しますが、避雷針は、単に金属の棒を建物の上に立てるだけでなく、雷の大電流に耐えられる太い金属線で地中に埋められた接地電極まで、しっかりとつなぐことになっており、これも規格で決められています。

このように、避雷針は建物を雷から守るのに必要不可欠のもので、自然現象である雷が相手ですから、避雷針を設置したからといって、絶対に雷の被害が無いとは言い切れません。事実、2003年に国会議事堂に落雷があり、御影石が破損・落下するということが起こっています。もちろん、国の立法の要である国会議事堂ですから、規格どおりに避雷設備は設置されていたのですが、それでもこのようなことも起こるわけです。しかし1936年の国会議事堂の竣工以来、初めてのことで、極めてまれな現象であるとは言えるでしょう。

## コラム：日本で最初の避雷針

明治時代になって、海外の技術や知識が日本に多く入ってくるようになりました。避雷針もその一つで、明治の初めに紹介されました。

日本で最も古い避雷針は、世界遺産にも指定された、群馬県の富岡製糸場に取り付けられたもので、当時は「除雷鍼（針）」と呼ばれていました。明治5年の創業時より建築物のほとんどに設置され、現在でも当時の姿をみることができます。



拡大



避雷針

東繭倉庫正面から見た避雷針（富岡商工会議所提供）

### 3 雷や感電から人を守る

#### 雷から身を守るには

雷に打たれて人が亡くなったというニュースを時々聞くことがあります。実際に、雷による人身被害はどのくらい起きているのでしょうか。

明治 20 年から明治 27 年の 8 年間のデータでは、雷による年間の平均死者は約 46 名、負傷者は約 22 名という報告があります。ただし、この値は官報からまとめたものですから、多少の記録漏れはあるかもしれません。さらに年によつての違いも大きく、明治 22 年の死者数は 6 名ですが、明治 27 年には 126 名と、約 20 倍の差があります。ちなみに、そのデータによれば、牛や馬も、年平均で約 6 頭が雷で死んでいます。

しかし最近では、救急救命装置に対する知識も進んだためか、雷による死者は昔に比べると少なくなっています。図 49 は、警察白書のデータをまとめた<sup>77</sup>ものです。年によつて雷の発生数自体が異なりますので、雷による死傷者数の年度変化も大きいのですが、1950 年代に比べて最近はかなり減少しており、雷による死者数は年間数名程度です。

このような雷による人身被害は、雷が人を直撃したというものもありますが、多くは「側撃」と「歩幅電圧」という二つの現象によるものです。以下、この二つについて説明します。

---

<sup>77</sup> 2008 年以降、警察白書には雷による死傷者の数が記載されなくなりました。

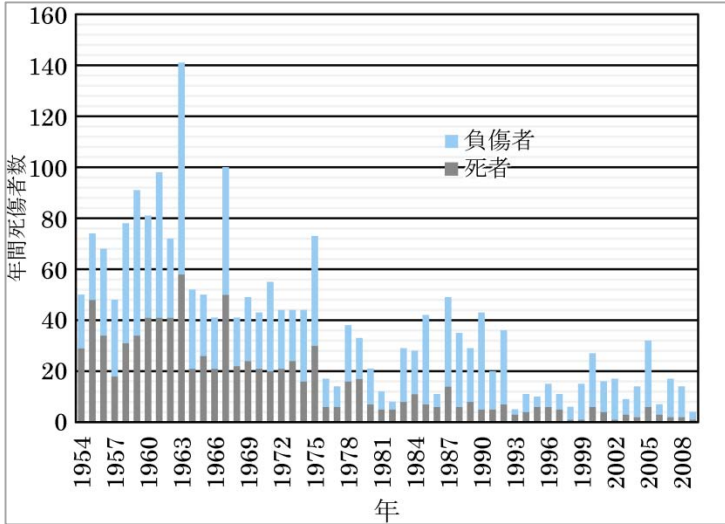


図 49 雷による人身被害者数の年度変化（警察白書のデータより）

### 側撃（雷が鳴ったら、木の側は危険！）

雷は高い物に落ちやすいもので、送電線などは格好の目標になります。しかし、近くに高い物がなければ、それほど高くない物にも落ちます。雷が落ちる物は、金属であるかどうかというよりは、むしろ周囲より高いかどうかによって左右されます。例えば、金属でない木にも雷が落ちることがあります。図 50 は雷が木に落ちて、木が二つに裂けた例です。

木に雷が落ちた時には、雷の電気は木を伝って大地に流れます。この時、木の側に人がいると、木から人に雷の電気が流れることがあります。この現象を、側方への雷撃という意味で、「側撃」と呼びます。図 51 は人工雷発生装置を使って、実際にこのような現象が起こるのかを確かめた実験の写真です。高い木の上部に高電圧を印加し、人間の代わりとして、木の近く



図 50 雷撃によって裂けた杉  
(画像提供：一般財団法人電力中央研究所)

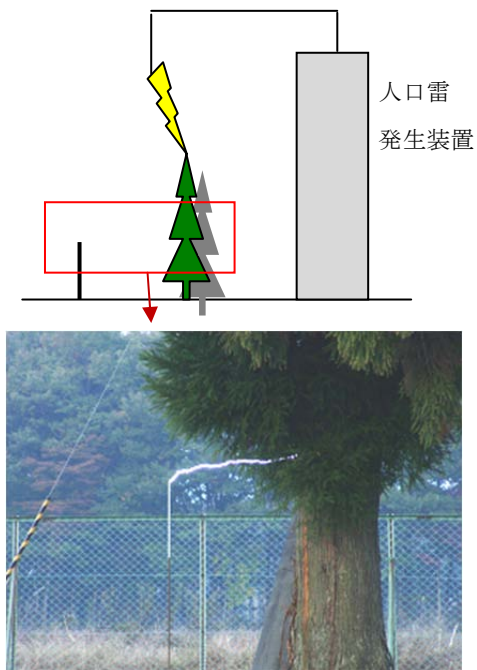


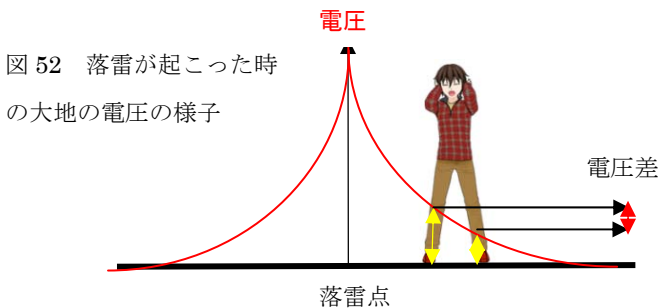
図 51 側撃のモデル実験

に接地された金属棒を置いて実験したのですが、木から接地電極へ放電が起こっていることが分かります。

なぜ、雷の電気が木を伝わって大地に流れず、木から側にいる人間に放電するかということですが、木は鉄塔などの金属ほど電気を通しやすくありません。一方、人間は水分が約 60%<sup>78</sup>で、しかも体液は生理的食塩水、つまり塩水ですから電気を通しやすいのです。そのため、雷の電気は木を伝って流れず、人に放電して人を通じて大地に流れることが起こると考えられています。必ずしも雷のすべての電気が木の近くにある人体を通じて流れるとは限りませんが、雷の電流は、通常数万 A という巨大なものですから、そのごく一部が人体に流れたとしても、人を死に至らしめるには十分です。

### 足の間に発生する歩幅電圧

雷による人身被害のもう一つの要因は歩幅電圧です。雷が地面に落ちると、雷の電流は落雷した点から大地に放射状に広がります。この電流によって大地には落雷点を中心に図 52 のように電圧が発生します。



<sup>78</sup> 人間の体の中の水の割合は、乳幼児は約 80%ですが、成人で 55～60%、60 歳以上では 50%台に落ちます。

落雷した点の近くに人が足を広げていると、右足の位置と左足の位置の電圧に差がある（この電圧差を歩幅電圧と言います）ので、電流が片方の足からもう一方の足に流れて、電気ショックを受けることがあります。ただ、この場合には、電流は片方の足から腰を経由してもう一方の足へ流れるので、心臓の近くに流れる電流は少なく、致命的なことになることは少ないようです。ある医師の発言を借りれば、「たかだか下半身麻痺でしょう」、ということです。

人間の場合はそのとおりかもしれませんが、牛や馬のような4つ足の動物の場合、足幅が広く（さらに付け加えれば、たいいてい靴も履かずに、ぬかるんでいる地面に立っています）、前足から後足に電流が流れると、その途中には心臓がありますので、致命傷になる場合があります。時折、牧場で雷雨の後に多くの牛や馬が倒れていたと報道されることがありますが、その一因は歩幅電圧かもしれません。

### **雷が鳴ったら、身に着けた金属は離すべき？**

雷で人身被害が起こるのは、ほとんどが屋外です。そのため、雷から身を守る一番の方法は安全な家屋に避難することです。安全な家屋とは、例えば鉄筋コンクリートの建物です。ハイキングコースによくある、木造で柱と屋根があるだけの、いわゆる<sup>あがまや</sup>東屋といったものは、雨宿りには使えますが、木の側にいるようなもので、側撃を受ける可能性があるので、安全とは言えません。

屋外で突然雷雨に遭って、近くに安全な建物が無い場合、大きな木の側で雨宿りするのは側撃の危険があるので、絶対に止めて下さい。



雷は金属に落ちやすいというので、雷が鳴ったら身に着けた金属（イヤリングやネックレス、腕時計など）をはずした方が安全と言われることがあります。それらは雷の落ちやすさには**全く関係ない**ので、それらを外す必要はありません。ただ、釣竿やゴルフクラブなどを高く掲げるのは、その分背が高くなったこととなりますので、危険が増えてしまいます。

もし、周りに何も無いところで雷雨に遭った場合には、身を低くして（雷は高い物に落ちやすい）、足を閉じて（歩幅電圧を小さくする）、耳をふさいで（雷鳴で鼓膜が破れるのを防ぐ）、しゃがむ姿勢がより安全とされています。

鉄筋コンクリートの建物の中は、鉄筋つまり金属に囲まれています。このような金属に囲まれた中では、仮に雷が落ちても金属を伝って雷の電気は流れ、中にいる人は安全です。このような金属の籠を「ファラデーケージ (Faraday Cage)」と呼びます。その意味では、ボディが金属である車の中も安全です。ただし、実際に車に雷が落ちると、強い光や音で運転を誤ったり、また車載の電子回路が故障したりする可能性もありますので、運転はすべきではありません。

## **感電を防ぐには**

雷だけでなく、私たちが日常使っている電気も正しく使わないと危険な場合があります。経済産業省の電気保安統計によれば、年間数十名の感電死傷者が出ています。

## 接地（アース）は何のため？

家庭では、電気の使い過ぎや、漏電を検知して、事故が起きないように電気を切るブレーカーがつけられています<sup>79</sup>。もし、家電機器が漏電していると、火事などの原因になるばかりでなく、人が触れた時に感電する場合があります。そのため、特に水を使う洗濯機などは接地（アース）をとる<sup>80</sup>ことが望まれます。また、柱上変圧器の低圧側も図 53 にあるように接地がとられています。ここで接地の役割について説明しましょう。

まず、柱上変圧器の一次側（6600V 側）と二次側（100V 側）の間が何らかの事故でつながってしまった場合（これを混触と言います）、接地が無い場合には二次側に 6600V がそのまま加わってしまい、大変危険です。接地があれば、電気は接地を通じて大地に流れるので安全です。

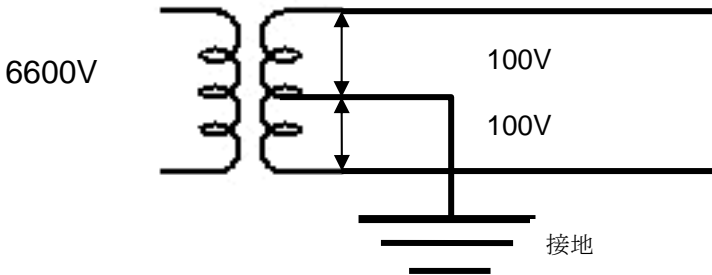


図 53 柱上変圧器の回路の例

<sup>79</sup> 詳しくは、Vol.3 の p.41～p.43 をご覧下さい。

<sup>80</sup> 「アースをとる」と言いますが、実際は機器のアース線をコンセントなどのアース端子につなげることです。

また、二次側で使っている機器の中で漏電が生じたとします。図 54(a)に示すように、機器に接地が無い場合には、機器に人が触れた場合、触れたところから人体を通して大地に電流が流れて感電する可能性があります。どのくらいの電流が流れるかは、漏電で発生した電圧と、人体の抵抗値(手が濡れているか、どのような靴を履いているかなど)によりますが、人体が危険であることは間違いありません。しかし、機器の接地をとった場合には、図 54(b)に示すように機器の接地を通じて大地に電流が流れるため、機器に触れても人体は安全です。

現在は、図 55 のようなアース端子付きのコンセントが増えましたが、昔は、アース線は水道管につながることが一般的でした。

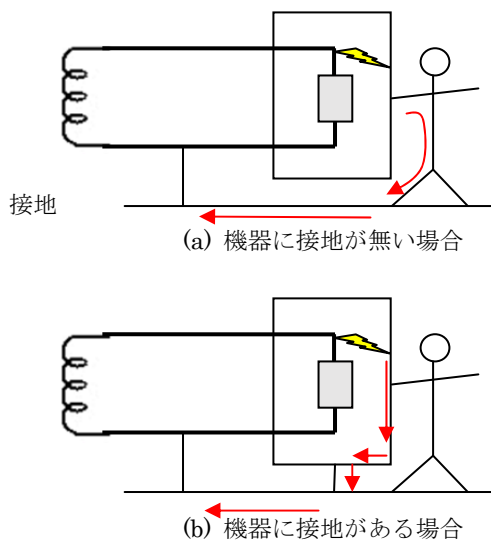


図 54 機器の接地の効果

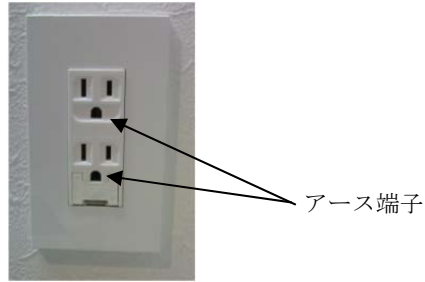


図 55 アース端子付きコンセント

もともとアース (earth) とは大地のことで、水道管は地面の中に埋められているので、水道管につなげば、大地に線をつないだのと同じ効果があるわけです。ただ、最近は水道管も金属ではなく、電気を通さないポリエチレンなどの樹脂も使われていますので、その場合には水道管につないでもアースの効果はありません。また、アースをとるといって部屋の中の植木鉢の土にアース端子を差し込んだ人がいますが、大地へ接続するのがアースの目的ですので、部屋の中の植木鉢ではアースをとったことにはなりません。

### コラム：接地はアース？ グランド？

日本の法律や規格では、接地のことを「接地」と称していますが、電力分野の技術者は「アース」を、また通信・エレクトロニクスの分野の技術者は「グランド」という言葉を使うことが多いようです。ちなみに英語では、一般的に、英語圏の人達は Earthing、米語圏の人達は Grounding を使います。

電気分野の国際規格に IEC というものがありますが、そこにも接地に関する規格があり、いくつかの接地方式が示されています。それらの接地方式は TT、TN などと記載されているのですが、この T という文字が接地を意味しています。なぜ Earthing や Grounding の頭文字である E や G ではなく T が使われているかということですが、IEC の国際会議において、英国は Earthing の E を、米国は Grounding の G を強く主張し、収拾がつかなくなったため、仲介役としてフランスが T という妥協案を出して決着したという経緯があるそうです。T はフランス語で接地を表す (Terre) の頭文字です。

## 危険な電流、安全な電流

ところで、どのくらいの電流が流れると、ビリビリ感じるのでしょうか。表3は、電流の大きさと感じ方を大まかにまとめたものですが、10mA（ミリアンペア）、つまり0.01A以上の電流が流れると、筋肉が自由に動かせなくなります。つまり、うっかり電気のきている線を握ってしまって、10mA以上の電流が流れると、自分の意思では握っている線を離すことができなくなってしまうということです。

表3 人体への通過電流とその影響

電流値	人体への影響
1mA	最小感知電流といって、ビリビリ感じる。人に危険はない。
5mA	生理的に悪影響を及ぼさない最大の許容電流値である。 危険性の始まりである。
10～20mA	不随意電流といって、離脱の限界である。 持続して筋肉の収縮が起こり、握った電線を離せなくなる。離脱の限界である。
50mA	痛み、気絶、疲労、人体構造損傷の可能性、心臓の律動異常の発生、呼吸系統への影響が出る。 心室細動電流の発生ともいわれ、心拍停止の可能性がある。
100mA～3A	心室細動の発生、心拍停止が現れ、極めて危険である。
6A以上	心筋は持続的に収縮し続ける。呼吸麻痺による窒息、火傷。

(出典:公益社団法人日本電気技術者協会 HP 電気技術解説講座「感電災害の防止対策」)

一般に、小さな電流であれば、長時間人体に流れてもその影響は少なく、逆に大きな電流であれば短時間でも人体にとって

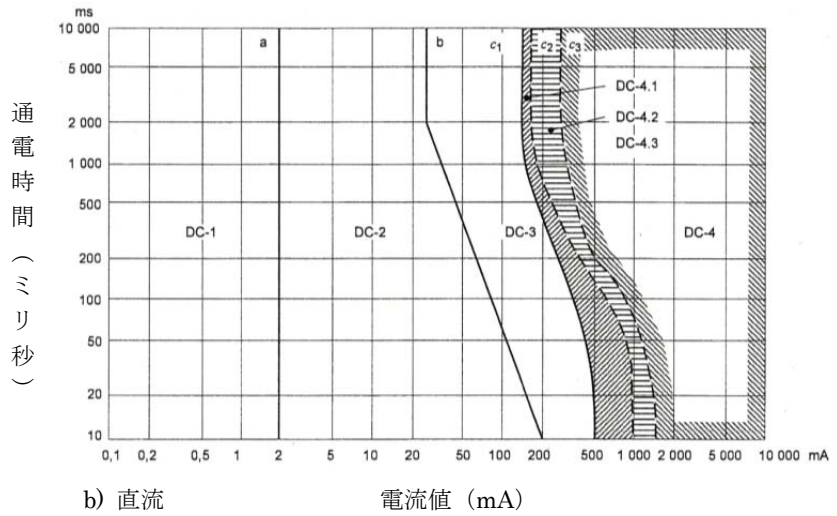
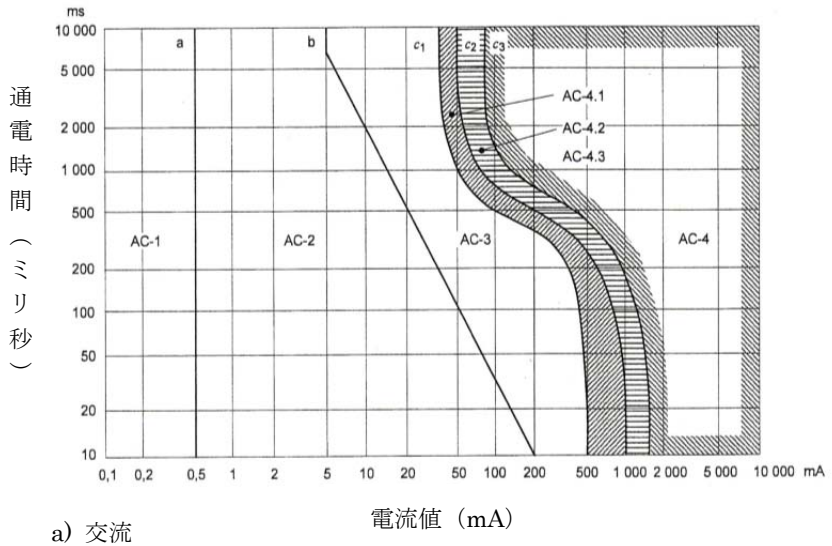


図 56 通過電流とその継続時間の人体への影響  
(出典 : IEC/TS 60479-1 Ed.4.0:2005)

は危険です。その関係を示したものが図 56 です。

図 56 は IEC という電気関係の国際規格で示されているもので、交流と直流の例が示されていますが、数字の意味は以下のとおりです。

- 1 : 知覚するレベル
- 2 : 不随意筋収縮が起こるレベル (一般的には害が無いレベル)
- 3 : 不随意筋収縮が起こり、呼吸困難が発生するレベル  
心臓の可逆的障害。
- 4 : 人体に異常をきたす可能性があるレベル。
  - 4-1 : 発生確率が 5%以下
  - 4-2 : 発生確率が約 50%以下
  - 4-3 : 発生確率が 50%以上

すなわち、AC3 や DC3 と書かれた領域から右の条件では、人体に大きな影響がでる可能性があります。このような特性を考えて、日本では、30mA・0.1 秒で漏電を検知し回路を遮断するようにしています<sup>81</sup>。

直流の場合も交流とほとんど同じですが、強いて言えば以下の違いがあります。

- 1) 知覚閾値は、交流の場合と同様に約 2mA のところにありますが、通電の開始と終端のみしか知覚されません。
- 2) 300mA 以下では本質的に離脱の閾値というものはなく、電流の投入と遮断の際に関節の痛みを感じ、また、100mA を超える場合には通電期間中に極端な熱さを感じます。300mA

---

<sup>81</sup> ここで示している交流の電流値は実効値です。実効値の説明は、Vol.5 の「もっと知りたいあなたに (その 5)」にあります。



を超える領域では数秒または数分の通電期間の後に初めて離脱を不可能にするような筋肉痙攣が起きる可能性があります。

3) 心室細動が発生する電流値は、電流の通電方向に顕著な影響を受けます。

家庭の感電を防ぐには必要なアースをとるとともに、ぬれた手で電気器具を取り扱わない、コンセントからコードを外す時にはコードを引っ張らず、コードが傷まないようにコンセントのところでプラグを外す、コードに裂け目や傷がついていたら、すぐに新品に交換する、などの注意が必要です。

また地震や台風の後など、電柱の電線が切れて下に垂れ下がっていることがあります。このような線は電気がきている可能性があるので近寄らず電力会社の人に連絡して、絶対に触ってはいけません。また凧が電線にひっかかった時にも、自分でとろうとせず、電力会社の人に連絡して下さい。

## **通電火災**

大地震に伴って火災が発生することがよくあります。阪神淡路大震災の時には、1万世帯あたりの出火率が2件～3件、東日本大震災の時には1万世帯あたりの出火率は約0.6件でした<sup>82</sup>。東日本大震災の時には津波によって石油タンクなどから流出した燃料に着火し、それが漂流することで火災の範囲を大きくする、いわゆる津波火災でしたが、阪神淡路大震災の時には、通電火災がかなり発生したようです。

---

<sup>82</sup> 1923年（大正12年）の関東大震災の時の出火率は阪神淡路大震災とほぼ同じですが、延焼面積は約50倍でした。

## 地震の後から起きる電気火災

通電火災では、家庭で使っていた電気ストーブ、白熱灯スタンド、オーブントースターなどの熱を出す機器が火元となります。しかし、なぜこのようなありふれた家電機器が火元となるかという疑問があるかもしれません。

大地震が起こると広範囲で停電が起こります。この時、機器のスイッチを切らず、ブレーカーも入れたままで避難してしまうと（そのようなことが実際は多いようですが）、停電が復旧して電気が再び来た時（通電時）には、このような発熱器具が再動作します。この時、地震で洗濯物がストーブにかかるなど、発熱器具の近くに可燃物があると、それに着火し、建物に火災が発生してしまうのです。また、地震で家電機器や屋内のコードが傷つき、通電時にショートして火花が発生し、それが火災の原因となることもあります。

そのため、地震が起こった時には、使用中の電気器具のスイッチを切り、電熱器具などの電源プラグを抜く、避難時には分電盤のブレーカーを切るなどの注意が必要です。しかし、大地震の最中、ブレーカーを落とすのは大変ですので、地震の揺れを感じて電気を切る、感振ブレーカーや感震コンセントの設置も推奨されています<sup>83</sup>。

---

<sup>83</sup> 地震時の電気火災防止対策については、消防防災博物館にある「地震時における出火防止対策のあり方に関する調査検討報告書」の3章に詳しく記載されています。

([http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index2.cgi?ac1=B208&ac2=B20801&ac3=2292&Page=hpd2\\_view](http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index2.cgi?ac1=B208&ac2=B20801&ac3=2292&Page=hpd2_view))

## 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 ※		

(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.7  
スマートに安全・確実に電気を使う

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

