

第3回 電力とは何か？発電・送電のしくみと電力システム

2016 年 6 月 21 日

長野県地球温暖化防止活動推進員・気象予報士）宮澤

電気は、エネルギーの中でもちょっと異質でわかりにくいものです。しかしながら、私たちが使うエネルギーの中で、かなりの部分を電気に依存しており、その割合は、ますます大きくなりつつあります。日頃は、コンセントに差し込めばいつでも電気が来るので、その元にあるものを知らなくても困りません。

ところが、3.11 の大震災と原発事故による電力危機で、私たち、電気を使う側も、電気の元を考えざるを得なくなりました。その後、化石燃料の乱高下、原発の再稼働問題、自然エネルギーの普及と買取拒否問題、電力小売りの全面自由化等、電気の基に関する問題が目白押しです。

先月は電力自由化について議論しましたが、その基となる電力と電力システムについて、知っておいた方が、議論を深めることができます。

<エネルギーとは>

エネルギーとは： 一般的な概念は、仕事をする能力のことであるが、熱、光（電磁波）、電気もエネルギーであり、アインシュタインによって、質量そのものもエネルギー（原子力）であることが明らかにされ、範囲は幅広い。

ただし、原子力を科学的に扱うとき以外は、「質量＝エネルギー」という概念は考えなくて良いと思います。

また、エネルギーは、その姿・形が変化します。以下のように、それぞれに、名前がつけられています。（分類に厳密な定義があるわけではなく、慣用的な面が大きい。）

・**力学的エネルギー（運動エネルギー、位置エネルギー）**： 物体の速度を変化させるためのエネルギー。物体がその位置にあることで持っているエネルギー。（通常は、地球の重力に対して）

・**化学エネルギー**： 原子や分子の化学結合の状態が変化すると、熱エネルギーの出入りが発生します。（化石燃料の燃焼等）

・**熱エネルギー**： 物体が内部に持っているエネルギー。エンタルピーという。温度がイメージしやすいが、同じ温度でも、個体・液体・気体のように状態が変わると、もっている熱エネルギーが変わる。

・**電気エネルギー**： 電子などの電荷の移動や相互作用によって生ずるエネルギー。

・**光エネルギー**： 素粒子の1つである光子（光子）が持つエネルギー。照明など。

<電気と電気エネルギー>

電気の状態を表現することば：電流と電圧

・**電流**： 電子が動く＝電流が流れる

・**電圧**： 電流を流そうとする力

導体（金属等）： 電流が流れやすい。＝電子が動きやすい。（自由電子といいます。）

絶縁体： 電流が流れにくい。＝電子がほとんど動かない。＝自由電子がほとんどない。

抵抗（電気抵抗）： 導体は電流が流れやすいと言っても、電流の流れを妨げようとする作用があります。

たとえば、金属などでは、電子が動きやすいので、電流が流れますが、電子は、金属の原子に衝突しながら進むので、電子の動きを制限されることになります。

そのような電気をながれにくさを数値で表すのが電気抵抗です。

電気抵抗＝電圧÷電流＝電圧／電流

導体の中を電流が流れると、電気抵抗により、熱が発生します。これは、電気エネルギーが、熱エネルギーに変化したということです。

エネルギーは増えたり減ったりしません。（エネルギー保存の法則）

したがって、発生した熱エネルギーを測れば、もとの電気エネルギーの大きさが分かります。

電気エネルギー＝電流×電圧＝（電圧の2乗）／抵抗＝（電流の2乗）×抵抗

<エネルギーの単位と電気の単位>

1. エネルギーの単位：

カロリー： 水1gの温度を1℃上げるエネルギー＝1カロリー(cal)。昔は、幅広く使われましたが、現在は特殊な分野以外は使えません。(計量法)

ジュール(J)： SI 単位系におけるエネルギー、仕事、熱量、電力量の単位 (計量法による正式な単位です。)

定義：1 ジュール = 1 N · 1 m = 1 ニュートン・メートル

1 ニュートンの力が力の方向に物体を 1 メートル動かすときの仕事

102 グラム(小さなリンゴくらいの重さ)の物体を 1 メートル持ち上げる時の仕事

1 ジュール = 1 C · 1 V = 1 クーロン・ボルト

1 ボルトの電位差の中で 1 クーロンの電荷を動かすのに必要な仕事

1 ジュール = 1 W · 1 s = 1 ワット秒

1ジュールは、1ワットの仕事率を1秒間行ったときの仕事

電力関係では、ワット秒の 3 600 000 (= 60 × 60 × 1,000)倍の**キロワット時**が用いられる。

日本の計量法ではジュールとともにワット秒、ワット時の使用が認められている。

<電力の基本単位:電力「W」「kW」と電力量「Wh」「kWh」>

・電力「W(ワット)」「kW(キロワット)」: 瞬間的な電気の量を表す。

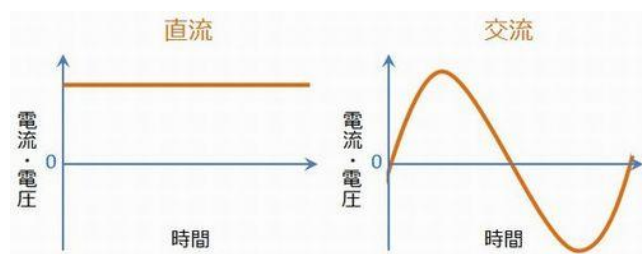
電力(W) = 電流(A) × 電圧(V)

電化製品や太陽光発電などの設備容量で使われる。

・電力量「Wh」「kWh」: 一定の時間に流れた(使われた)電気の量＝エネルギー

電力量(Wh) = 電力(W) × 時間(h)

<直流と交流>



・全国のほとんどの送電線が、「交流」です。特に、需要家、消費者に供給されるのは「交流」です。

理由:

発電は、発電機によるものが大部分です。発電機は、電磁誘導の原理で、交流の電気を発生させます。

電圧を上げたり下げたりするのも、交流ですと簡単です。変圧器も、電磁誘導の原理です。

※) 太陽光発電は、直流が発生します。セットとなっているパワーコンディショナーが、直流を交流に変換しているので、送電線につなげられるわけです。

使う側は？

家庭に供給される電気は交流ですが、直流を使う電気製品が増えています。

スマートフォンやパソコンに付属でついている「AC アダプター」が、交流を直流に変換しています。テレビ・冷蔵庫等の大型家電でも、制御部分は直流を使いますので、製品の内部で、交流を直流に変換しています。

<電磁誘導>

電流が変化すると、磁場ができます。磁場が変化すると、電流が流れます。これを電磁誘導といいます。

ですから、交流を使えば、磁場を仲介にして、電気を自由に変化させることができます。

<電気エネルギーを使うには・・・>

電気エネルギーは、電流が流れることによって、はじめて使うことができるのです。

⇒電流を流すための閉じた回路が必要となります。

また、電気エネルギーをコントロールするためには、電圧や電流をコントロールする必要があります。

⇒ところが、電流と電圧は比例しますので、電圧を一定に、安定した状態を保つことができれば、電気エネルギーを使いやすくなります。それが、電力システムです。

<電力システム>

電力を安定供給するために、発電～送電・配電(変電)～供給(小売)～ユーザー のネットワークが、ほぼ日本中に構築されています。

そして、大部分は、交流で送電されています。

理由は、前述したように、交流は、電磁誘導で、容易に、自在に、電圧を変えることができるからです。

<同時同量の原則>

これが、電力がほかのエネルギーと決定的に違うところであり、やっかいな問題でもあります。

○瞬時の同時同量: 電力システムの中では、電気の需要と供給を、瞬時瞬時で、常に、合わせていく必要があります。その責任を担うのは、送配電を行っている電力会社であり、全国 10 社の従来からある主要電力会社です。そして、電力の小売りが完全自由化された現在でも、送配電の部分だけは、規制部門として残っています。

○30 分同時同量: 自由化により、発電や小売に多くの事業者が参入し、送配電を行う電力会社の送電線網を利用しています。(託送と言います。)その際に、需要と発電(供給)の計画を送配電事業者に提出し、30 分単位で、需要と供給を合わせる義務を負っています。

★なぜ、合わせる必要があるのか？

<<例>>

たとえば、発電(供給)が 1000W(100V×10A) で、消費電力1000W の電子レンジを使っている場合：
発電が800W に落ちてしまうと・・・

電子レンジの抵抗 $R = V/A = 10$ オームなので、(電圧の2乗) = 電力 × 抵抗 = $800W \times 10 \Omega$ (オーム)

⇒ここから、電圧を計算すると、

電圧 = 約90V となり、約10%も落ちてします。電気製品の種類によっては、動かなくなってしまう。交流の場合には、供給が不足すると、電圧だけでなく、周波数も低下します。

※)電気事業法施行規則で、100V の供給は、95V～107V と決められています。(供給側責任)

<参入障壁>

全面自由化と言いながら、30 分単位で、需要と供給を合わせるのは、小さい事業者や、自然エネルギーを主体としている事業者は、困難です。そのため、過不足の電気を売買する卸電力市場があるのですが、まだまだ規模が小さく、十分に機能しているとは言えません。

そのため、同時同量の原則は、自然エネルギー事業者にとって、大きな参入障壁となっています。

※)需給の変動の調整義務は、送配電事業者が負うべきと考えます。なぜなら、今後も、自由化されず、規制部門として地域独占の状態が続くわけですから、変動の大きい自然エネルギーを受け入れる体制を構築できる立場にあります。スマートメーター等により、電力システムを改革していくこともできるはずです。

<ベース電源と需給変動調整>

日本のエネルギーミックスの計画は、原発を、電力安定供給のためのベース電源と位置づけて、原発が必要な理由としています。そして、揚水発電とセットにして、夜間に余った電気で、揚水を行い、昼のピーク時に、揚水した水で水力発電を行い、ピーク需要に対応するという説明です。そして、一方では、自然エネルギーは天候まかせで変動が大きく、電力の安定供給を阻害する要因として、導入量には限度があるとしています。

本当にそうでしょうか？

2011 年の 3.11 大震災・原発事故以来、ほとんどの原発が止まっています。そのため、揚水発電も、ほとんど使われていません。

本当のところは、ベース電源が必要なのではなく、変動に対して追従できない原発を、止むを得ずベース電源に位置付けているということです。

電力システムとして必要なのは、むしろ、需要変動に追従できる電源です。種類も多い方が良いでしょう。

現在、日本の発電の90%は火力発電であり、火力発電は、変動追従可能な発電ですので、ベース用と変動追従用に使い分けています。

<自然エネルギーの発電を考える:電力安定供給の視点から>

○水力発電

・貯水池式: 既存の巨大ダムが発電所が代表的。貯めた水の位置エネルギーを利用するので、ほしいときに発電できる。需要変動への対応が可能。

・**流れ込み式**：河川等の水路内あるいは分岐して水を引き込んで発電機を回します。水のエネルギーを貯めることができないので、流れている限り、発電を続けるのが基本。**需要変動への対応はむずかしい。**

・**揚水式**：上流と下流の2カ所に貯水池を設置し、電力が余剰のときは、下流から上流へ水を揚水します。このことは、水の位置エネルギーを蓄えることを意味します。上流の貯水は、必要なときはいつでも発電可能となります。**需要変動の調整に適しています。**

○**太陽光発電**：お天気まかせで不安定な電源であり、**需要に対する調整も現実的でない**ことは確かですが、利点も少なくない。

・送電線網の充実している市街地で、家庭の屋根等へ分散型で設置されており、送電線への負荷が小さい。晴れた昼間の発電量が多いので、需要のピークとうまく重なってきます。⇒夏の需要ピーク対策に大きな貢献をしているはずですね。

○**風力発電**：太陽光以上に不安定であり、**需要変動への対応には不適**ですが、世界では、急速に普及が進んでおり、設備容量では、原発を超えています。中小の発電事業者では、同時同量への対応が困難ですが、たくさん集まれば、変動は緩和されますので、送電事業者側で対応した方が、総合的には合理的なはず。送電線の少ない地域が、風力発電では適地となるケースも多いことから、今後の普及のためには、送電線網の整備も、送電事業者が主体に対応する方向が良いと考えられます。

○**バイオマス発電**：燃料が、化石燃料から、再生可能なバイオマスに変わるだけですから、**需要の変動に対しては、対応に適する**発電です。発電効率が低いのが難点で、原料の調達とコストが厳しいと言えます。

○**地熱発電**：地熱による熱水や蒸気でタービンを回しますので、発電の原理は、火力発電と同じです。**需要変動への対応も可能**です。ただし、火山列島の日本では、地熱資源量は世界3位の大資源国であり、大規模な発電も可能ですので、運転時の電力単価はかなり安くなります。ベース電源として、安定的に発電した方が得策と言えます。

○**海洋の活用**：**海流発電、潮汐発電、波力発電**等、いろいろな方式が研究されています。経済水域の面積が世界6位の日本としては、重要な資源です。

実証プラントが稼働している「**海洋温度差発電**」を紹介します。

海面近くと深海の海水温の温度差を利用してタービンを回して発電するものです。水蒸気かわりに、低温で気化するアンモニアを媒体にしてタービンを回します。海水温の高い黒潮や、小笠原等の亜熱帯地域では、莫大な資源量があります。

＜需給変動調整の今後の方向＞

○化石燃料の火力発電⇒置き換え：

自然エネルギーでも、変動追従可能なものはたくさんあります。バイオマス発電、地熱発電、水力発電（貯水池式）などです。化石燃料の火力発電を、これらの変動追従型自然エネルギーに置き換えていくことが1つの大きな柱です。日本の資源量が莫大な地熱発電が一番有力と考えます。

○お天気まかせの自然エネルギー対策⇒揚水発電（水力）の活用：

現状の普及率では全く問題ない。将来、需要に匹敵するくらいに普及した場合は、原発停止で出番のなくなった揚水発電が有効です。

エネルギーは変換する度に目減りしていきますので、不用意に使うべきではありませんが、本当に余剰になった場合には、低コストな「**位置エネルギーの蓄電池**」となります。

○蓄電池はコストが合わない⇒電気のエネルギーを貯める工夫：

・プラグインのハイブリッド車（HV車）、電気自動車（EV車）のネットワーク化。（スマートメーターを介して、蓄電のタイミング等を制御する。）

・電気分解による水素の製造。水素社会は、未来の提案の1つとなっています。電気の欠点を補う有力な方法と考えられます。