

主題2 電気を届ける仕組み

－コンセントの向こう（2）－

2. 電気を届ける仕組み

コンセントの向こう（2）

どうして？ コンセントの電気は使う量とつくる量がぴったりに一致している。
テレビのスイッチを入れたことが、どうしてつくる所(発電所)でわかるのだろう。



まず、
予想しよう

1. 電力を安定して届ける仕組み

<電力のミックス>

右図は、1日の需要の変化（日負荷曲線）とそれに対応する発電電力の内訳である。様々な発電方法、エネルギー源の発電機を組み合わせ、それぞれの制御特性を生かして、需要量と発電量がいつもぴったりと合わせられている。

石炭火力、原子力及び流れ込み式水力発電は、昼夜を問わず安定して発電しており、その役割からベースロード電源と呼ばれる。

基底負荷（ベースロード）

<予備力>

当日の最大需要を予想し、最大需要が発生する時間帯にも確実にそれを上回る発電能力が準備される。この差が予備力である。予想のずれや突発的な設備の故障などに備えて、いつも一定の予備力を確保しておく必要がある。

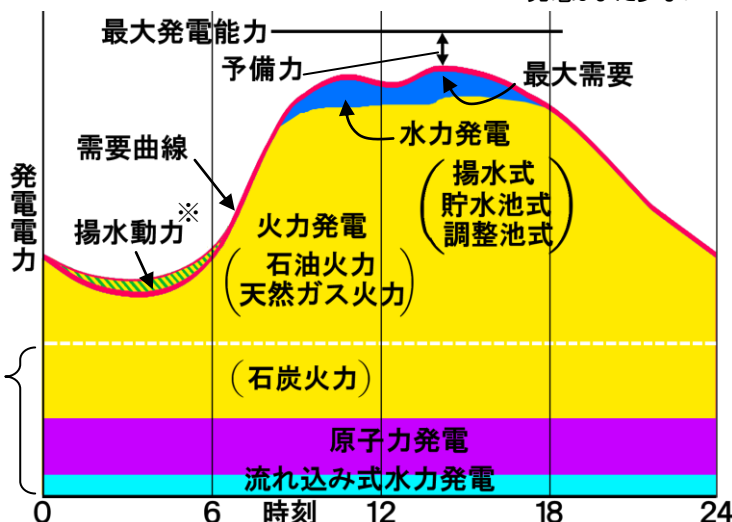
予備力＝最大発電能力－最大需要

<電力の品質>

電力の品質は主に次の三項目で表される。わが国の品質は国際的にも高い水準にある。

- ・ 停電時間が短い
- ・ 電圧が基準値内（ $101 \pm 5V$ ）
- ・ 周波数が基準値内（ $60 \pm 0.2Hz$ ）

（注）風力発電や太陽光発電はまだ少ない



※揚水動力とは、揚水発電所で発電用に水を汲み上げるために使われた電力のことである。

日負荷曲線に対応した発電の組み合わせ例

発電方法ごとの制御特性

発電方法	出力の制御特性
原子力発電	緩やかに調整可能、通常は一定運転
火力発電	燃焼量を調整し、速やかに調整可能
水力発電※	水量を調整し、急速に調整可能
風力発電	風の強さに従う
太陽光発電	光の強さに従う

※貯水池式、調整池式及び揚水式水力の場合、流れ込み式水力は河川からの水量に依存する。

<調整可能電源>

水力発電や火力発電は、電力需要の変化に応じて出力を簡単に調整することができるため、「調整可能電源」に分類される。分単位で変化する需要の変化にも対応し、周波数を一定に保っている。一方、原子力発電は通常、一定出力で運転され、負荷曲線の底の部分の電力（基底負荷：ベースロード）の供給を行っている。

これらの発電所が中央給電指令所の指令に従って出力を変化させるのに対して、太陽光発電や風力発電の出力は日射量や風速によって変化し、我々が簡単に調整できない。このため、これらの発電を大量に導入するには、蓄電池などによって一旦変動を吸収してから電力系統につなぐなどの対策が必要になる。

<揚水式水力発電>

夜間などの電力需要の少ない時間帯に、下部貯水池（下池）から上部貯水池（上池）へ水を汲みあげておく（ここで使う電力が上図に示す揚水動力である）、電力需要が多い時間帯に上池から下池へ水を流して発電する水力発電方式である。電気エネルギーを水の位置エネルギーで蓄える電池とみなすことができる。発電量は上池の水量で決まり、全出力運転すると6～10時間程度で空になるものが多い。水を汲みあげ再び発電する間の総合効率は約70%である。

発電時及び揚水時とも制御性に優れており、再生可能エネルギーによる発電の増加に伴い、影響を緩和する装置としての役割も期待されている。

消費（需要）と生産（発電）が一致していると周波数は変わらない。消費量が増減すると周波数が変化するので、周波数を元に戻すように発電量が調整される。この役割は主に貯水池式・揚水式の水力発電や一部の火力発電が担当している。

2. 今後の電力系統

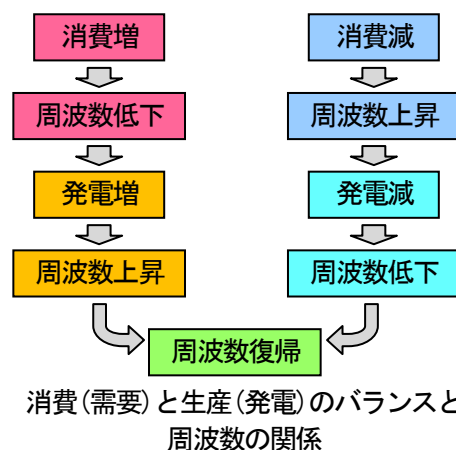
現在、今後の電気を届ける仕組みに関する制度改革の検討が進められており、一部は既に始まっている。

<固定価格買い取り制度>

平成24年7月、再生可能エネルギーで発電された電気を、市場価格より高い価格で、一定期間、電気事業者が買い取る制度が始まった。これによって再生可能エネルギーの導入が進むことが期待されている。但し、市場との価格差は電気料金に上乗せされる。

<小売りの全面自由化と送電分離>

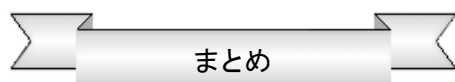
電力の購入先を自由に選べるのはこれまで大口の需要家だけであったが、2016年には一般家庭も含めて全面的に自由化される。また、一般商品の流通部門に当たる送電ネットワークを、現在の電力会社から分離する送電分離も、2018～20年頃までには実施される予定だ。



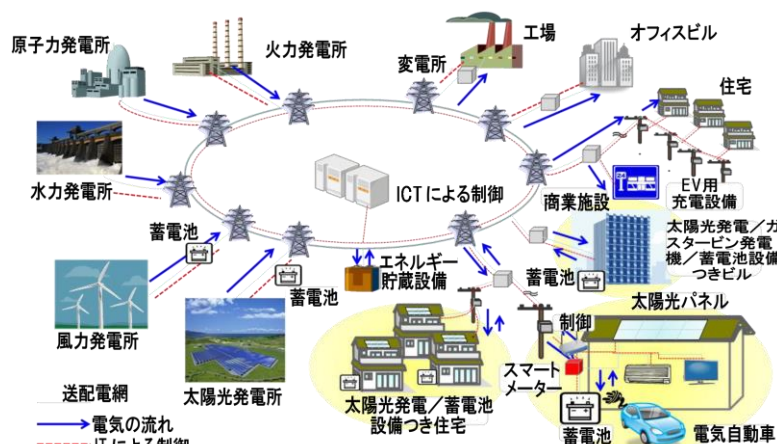
- ・電圧や周波数が変動すると、生活にどのような影響があるか調べてみよう。
- ・自由な発電で自分たちのスマートハウス、スマートグリッドを描いてみよう

<スマートグリッド>

再生可能エネルギーの導入を進めながら電力を安定して届けるため、送配電設備の増強や、次世代型の電力系統（スマートグリッド）の構築に向けた検討も進められている。



- ・需要と発電のバランスのとり方について、最初の予想と実際の方法を比較し、気付いたこと、印象に残ったことを振り返ろう。
- ・今後の電力系統について、電気を届けるために大事なポイントを自分の視点でまとめよう。



<電気予報>

電力需要は様々な要因で変動するが、季節、曜日、気温、さらにイベントの有無などによって一定のパターンがあり、それらの実績を元に予測されている。一方、発電能力も、河川の流量の変化による水力発電の出力変動、気温変化に伴うコンバインドサイクル火力設備の出力変動（ガスタービン発電機の出力が空気圧縮機に流入する空気の密度変化で変動）、補修による火力発電所の停止、などによって日々変化する。

電気予報はこれら需要と供給の両方の条件を考慮して作成される。しかし、実際の需要は気温のずれなど様々な要因で予測通りとはならない。また、近年はさらに人々の節電効果をどこまで見込むか、実際にどこまで節電行動が行われるかも、予報の精度に影響する。

<スマートハウスとスマートグリッド>

将来の家庭では、省エネ家電だけでなく太陽光発電や蓄電池、さらに電気自動車などの導入が進むと考えられている。これらを ICT（情報技術）を使って組み合わせ、エネルギーを効率的に利用するのがスマートハウス（賢い住宅）である。

スマート（賢い）グリッド（電力網・電力系統）は、スマートハウスの考え方を電力系統全体にまで拡張したものと考えてよいだろう。最新の ICT 技術を活用して、再生可能エネルギー等の分散型電源の大規模導入を進めながら、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指すものとされる。太陽光発電や風力発電の増加に合わせて、負荷変動を吸収できる蓄電池や送電線の強化などのハード対策を同時に進める必要があるのは、スマートハウと同様である。

主題2「電気を届ける仕組み（コンセントの向こう（2））」の学習展開

授業のねらい：様々な形態のエネルギーを電気エネルギーに変換（発電）する仕組み、それを需要側に届ける電力輸送の仕組みを学ぶ。火力発電や原子力発電などでは元のエネルギーを発電機の回転エネルギーに変え、電磁誘導によって電気エネルギーに変えていること、並びに、電気を届けるため様々な電源を組み合わせ周波数を一定に保ちながら電力消費の増減に対応していること、更に再生可能エネルギーによる電気の大量導入に向けた対応など新たな取り組みが始まっていることを簡潔に説明できる。

所要時間：2時間（1と2あわせて）

学習の展開（2）

WS：ワークシート

学習項目	学習のポイント	教師用資料・WSとの関連等
＜問いかけ＞ 電気は生産と消費が同時に行われ、消費量にあわせて同量の電気エネルギーが瞬時に生産されている。ところで電力会社はどのようにして消費量の増減を把握しているだろう？ 1. 電力を安定して届ける仕組み 電力のミックス 予備力	家庭でのスイッチの ON-OFF がどのように把握されているかを予想させる。選択肢を示したワークシートを使用してもよい。 一日の電力消費の時間ごとの大まかな推移を知り、エネルギー源や特性の異なる様々な電源を多数組み合わせることで電力消費の増減に対応していることを押さえる。 - 家庭の電力消費と日本全体での電力消費のパターンは異なること、高温多湿の日本では全体のピークは真夏の昼下がりであることに気付かせる。 - 自分たちの生活パターンの連想から、日本全体でも夕方5時〜7時などに電力需要のピークがあると思っている生徒がいる。社会の電力の使い方の実態に眼を向けさせたい。 - 生徒の認識を確実に押さえるには電力の日負荷曲線を描かせるワークシートを使用するとよい。 - 使用量の変化にあわせて、エネルギー源や制御特性の異なる様々な電源の電気をミックスし、ぴったりと同じ量が発電されていることを伝える。 - エネルギー源及び発電方法に応じて、発電所には役割分担があることに気付かせる。 - 需要と発電を合わせる仕組みは、WS1 の後半の実験で確かめられる。 - コンセントの電気は実質的に貯められない。それを実感するには、家庭で使う電気を乾電池で賄なえるか計算してみるとよい。 - 電気は貯められないため、最大需要に対する余裕分として、予備力（万一に備える余力）が必要なことを押さえる。	WS1 「スイッチ「ON」がどうしてわかる」 教師用 Q1-Q5 WS2 「電力の日負荷曲線」 WS1 「スイッチ「ON」がどうしてわかる」 WS3 「家庭の電気を乾電池でまかなおう」

学習項目	学習のポイント	教師用資料・WSとの関連等
電力の品質	- 電圧や周波数だけでなく、空気のように思えること自体が「電力品質」の一つであることに気付かせる。 - 消費（需要）と生産（発電）のバランスと周波数の関係が「問いかけ」に対する答えである。	教師用 Q6、Q8 周波数変動の影響に触れる場合は Q7
2. 今後の電力系統 固定価格買い取り制度 小売りの全面自由化と発送電分離 スマートグリッド	現在、電気を届ける仕組みに関する制度改革が進められている。自らの生活や将来の日本社会に関わる課題として、今後も関心を持ち続けることが必要であることを伝える - 制度が導入され、再生可能エネルギー電気の急速な導入が進められていることを伝える。一方で、大量導入に伴い、電気料金の高騰、電力品質対策などの課題があることについても気付かせる。 - 電力制度改革の一環として進められていることを伝える。内容について深入りする必要はないが、関心を持ち続けていくことが大切であることを伝える。 - 再生可能エネルギーの導入や家庭の省エネ推進に向けた総合的な対策としてスマートグリッドの検討が進められている。但し、具体化はこれからであり、これで全てが解決するとの誤解を与えないように注意する。また、 <質問例 1> - 電圧や周波数が変動すると、生活にどのような影響があるか考えてみよう ー電圧に関しては電池の電圧で考えさせるとよい。周波数に関しては Q7 参照。 <質問例 2> - 自由な発想で自分たちのスマートハウス、スマートグリッドを描いてみよう ー全体を考察することは困難なので、電気を含めたエネルギーをスマートに使うために、わが家にあつたらいいなと思う装置や仕組み、できたらいいなと思う今までと違う暮らし方を考えさせる。 <まとめ> - 需要と発電のバランスのとり方について、最初の予想と実際の方法を比較し、気付いたこと、印象に残ったことを振り返ろう。 - 今後の電力系統について、電気を届けるために大事なポイントを自分の視点でまとめよう。 - 学習結果を予想と比較させ、消費量と発電量のバランスのもとに電気エネルギーが届けられることを再確認する。 - 電気の品質について振り返る。	教師用 Q9ーQ11 教師用 Q13ーQ14 教師用 Q12 教師用 Q7 WS4「スマートグリッドでわが家はどう変わる」

ワークシート1：スイッチ「ON」がどうしてわかる

質問：コンセントの電気は、使う量とつくる量がぴったり一致している。つくる所（発電所）では、どのようにして「テレビのスイッチを入れた」ことを知り、つくる量を増やしているのだろう。答えを下の選択肢の中から選び、番号と選んだ理由を次の表に記入しよう。

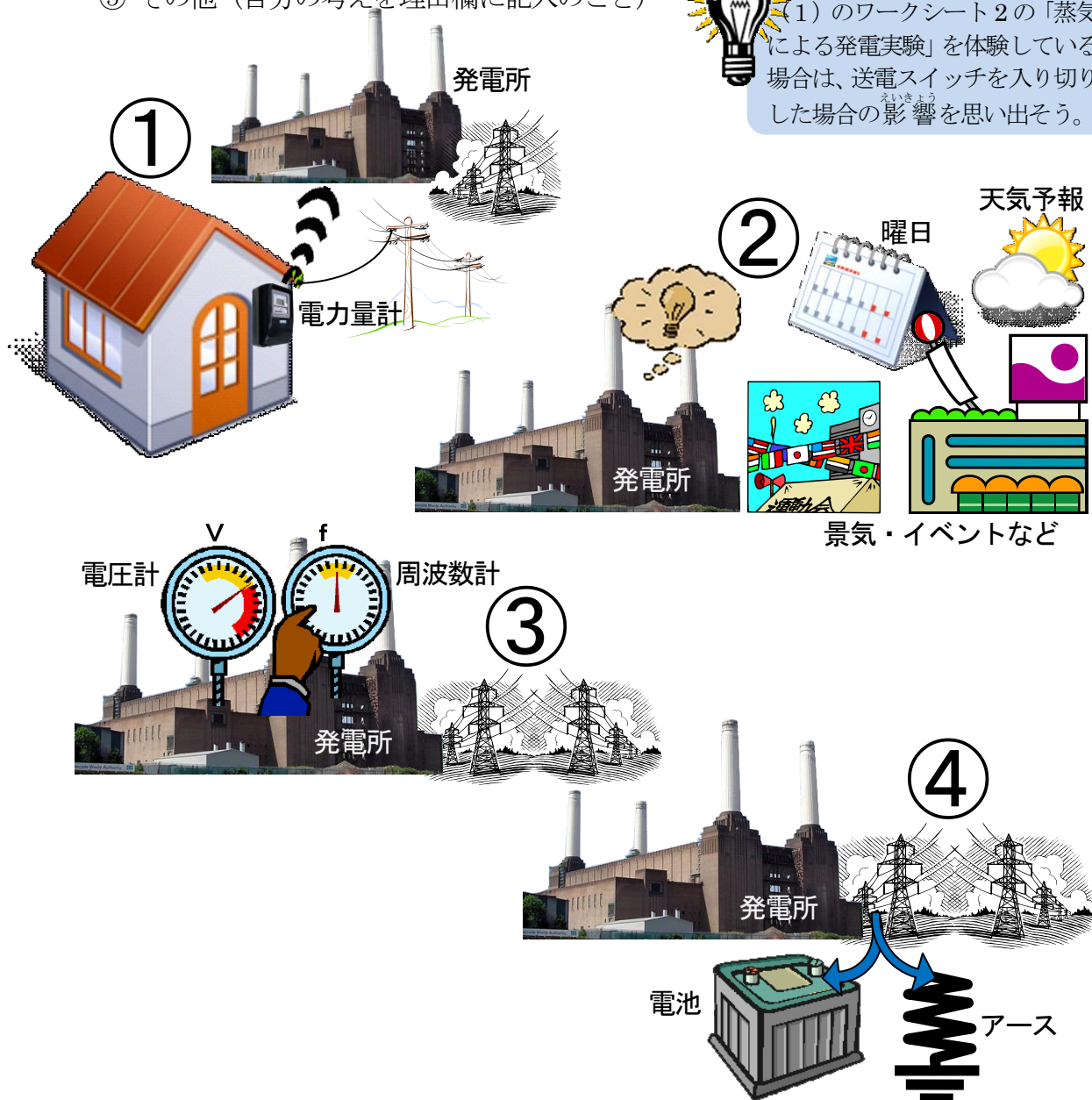
答え	理 由

<回答選択肢>

- ① 各家庭や会社の電力量計からの信号を受けて調整する。
- ② 長年の経験で、どのタイミングで調整すればよいかわかる。
- ③ 周波数に合わせて調整する。
- ④ 余ると勝手に電池に蓄えたり地面に捨てたりする。足りない時は逆に電池から勝手に補給される。
- ⑤ その他（自分の考えを理由欄に記入のこと）



①のワークシート2の「蒸気による発電実験」を体験している場合は、送電スイッチを入り切った場合の影響を思い出そう。



【解説】

質問：コンセントの電気は、使う量とつくる量がぴったり一致している。つくる所（発電所）では、どのようにして「テレビのスイッチを入れた」ことを知り、つくる量を増やしているのだろう。答えを下の選択肢の中から選び、番号と選んだ理由を次の表に記入しよう。

答え	理 由
③	スイッチを入れたことは周波数の変化でわかる。1 件の家のスイッチが入ったくらいでは周波数の変化はほとんどないが、それらが積み重なることによって顕著な変化となり、周波数を元に戻すように発電所の出力が調整される。

【回答選択肢】

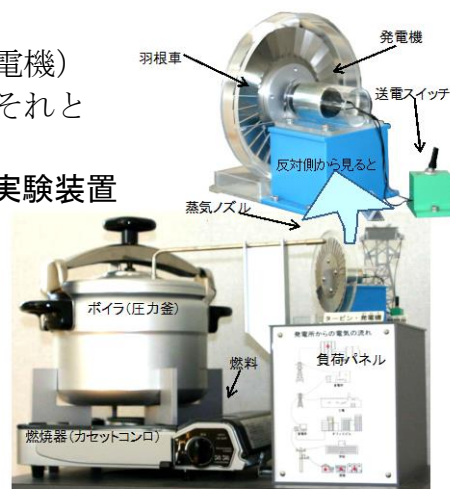
- ① 各家庭や会社の電力量計からの信号を受けて調整する。
これは今後の導入が検討されているスマートメータのイメージだ。スマートメータによって電力の使用状況を把握・管理できるだけでなく、発電能力が足りない時は送電を遮断することもできる。スマートメータは広い意味では需給調整に貢献できるが、「スイッチを入れた」時のようなリアルタイムのバランスは周波数でないと確認できない。
- ② 長年の経験で、どのタイミングで調整すればよいかわかる。
これまでの使用実績をもとに地域全体の需要予測がなされ、必要な発電能力が確保される。これまでの経験が予測に生かされているので広い意味では正解だが、スイッチを入れた時のようなリアルタイムのバランスは周波数でないと確認できない。
- ③ 周波数に合わせて調整する。
リアルタイムの需給バランスの調整は、周波数を常に基準の幅以内に維持するように、消費量の変化に応じて発電量を調整することで達成される。なお、電圧と需給バランスとの間に直接的な関係はない。
- ④ 余ると勝手に電池に蓄えたり地面に捨てたりする。足りない時は逆に電池から勝手に補給される。
発電能力に余裕ができた時に蓄えておくのは需給調整のために揚水発電（の揚水機能）や蓄電池に期待される役割であり、広い意味で正解としてもよい。近年の揚水発電には水を落して発電する時だけでなく、ポンプとして水を揚げるときにも周波数の調整機能をもたせたもの（周波数の変動を抑制するように揚水流量、すなわち電力消費を変化させる）が採用されている。この負荷側で周波数を調整する発想は、電気温水器のように加熱量（すなわち電力消費）を少し変動させても総合的な性能に影響しない機器にも適用することができ、検討が始まっている。また、発電した電気を捨てるわけではないが、太陽光発電や風力発電が大量に導入されると、「捨てる」事態が生じる可能性がある。急な日射や風量によって一時的に発電能力が過剰に増えると、電力系統の安定化のため、太陽光や風力による電力を系統に受け入れない措置（接続拒否など）が必要となることもあり得る。したがって、捨てるも広い意味ではいずれ正解となるかもしれない。
- ⑤ その他（自分の考えを理由欄に記入のこと）
生徒の自由な発想を期待したい。

【スイッチ「ON」で周波数がどうなるか確かめてみよう】

1. 主題2-(1)の「ワークシート2：蒸気による発電実験」を思い返してみよう

送電スイッチを「入り」「切り」すると、羽根車（発電機）の回転数はどうなったか（風切音は高音になった？ それとも低音になった？）。

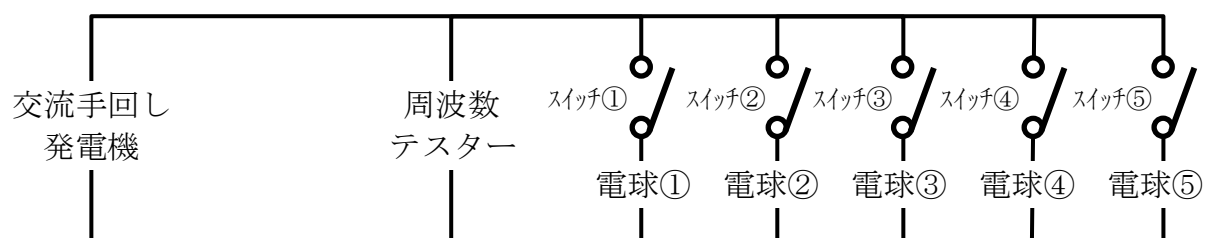
蒸気による発電実験装置



2. 周波数変化を調べてみよう

交流手回し発電機、周波数を測れるテスター、負荷（電球など）で電気を届ける仕組みを模擬し、負荷を増減した時の周波数変化や手回し発電機の手応えを確かめてみよう。

＜電気を届ける仕組みを模擬した回路図＞



「実験手順」

- スイッチ①を「入り」にして、交流手回し発電機を回し始める。徐々に回転数を上げ、電球①の明るさが適当なところで周波数を読み取り（なるべくきりのいい値とする）、以後、その後の実験中もこの周波数を保つように、力を加減しながら手回し発電機を回す。
- それぞれのスイッチを「入り」にしたり「切り」にしたりして、その時の周波数の動きや力の加減を次の表に記入する。

一定に保つ周波数		実験中、一定に保つ周波数を記入	
		周波数の動き	力の加減
スイッチ	「入り」		
	「切り」		

「結論」

空欄に言葉を記入しよう。

スイッチを入ると
（負荷が増えたと）



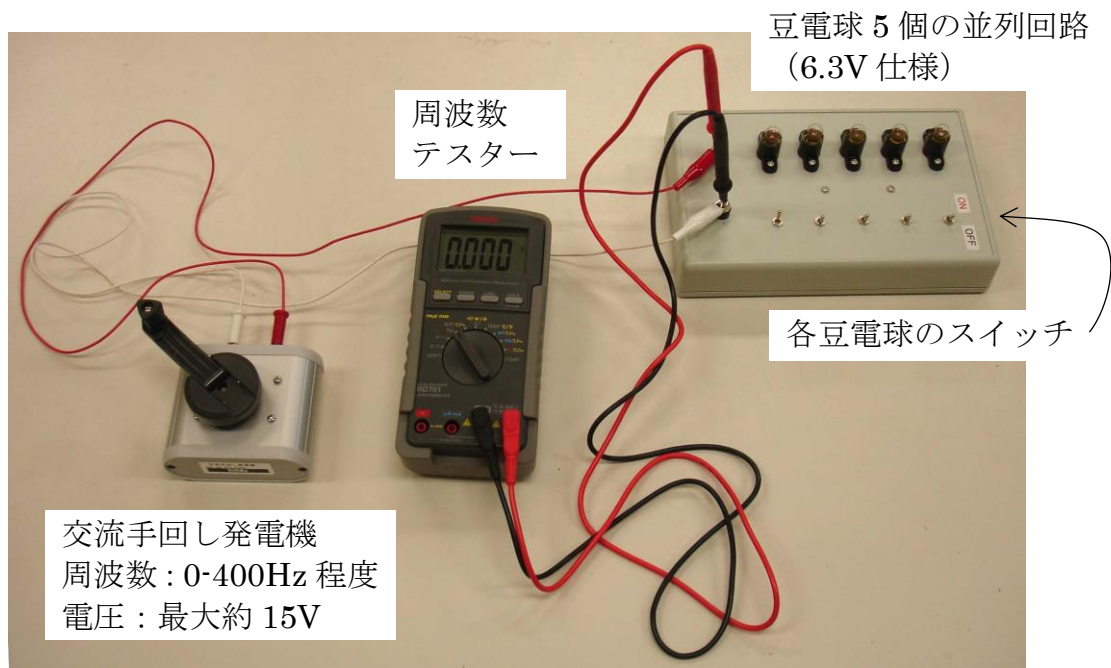
周波数が
下がり



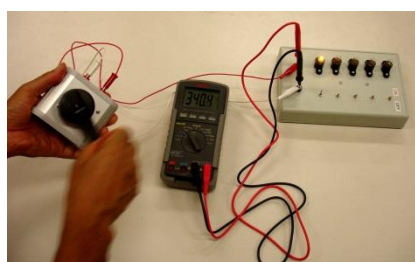
発電所は周波数を戻すために
発電量を

増やす

<実験例>



実験状況



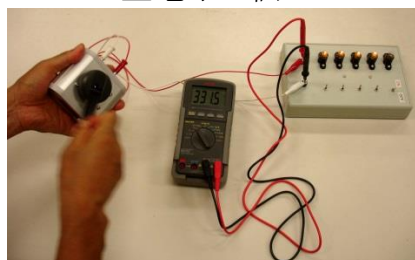
豆電球 1 個



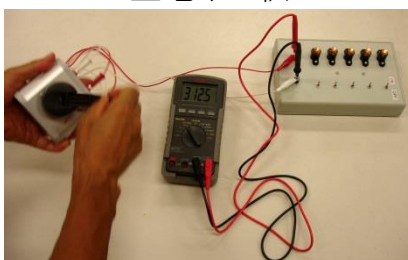
豆電球 2 個



豆電球 3 個



豆電球 4 個



豆電球 5 個

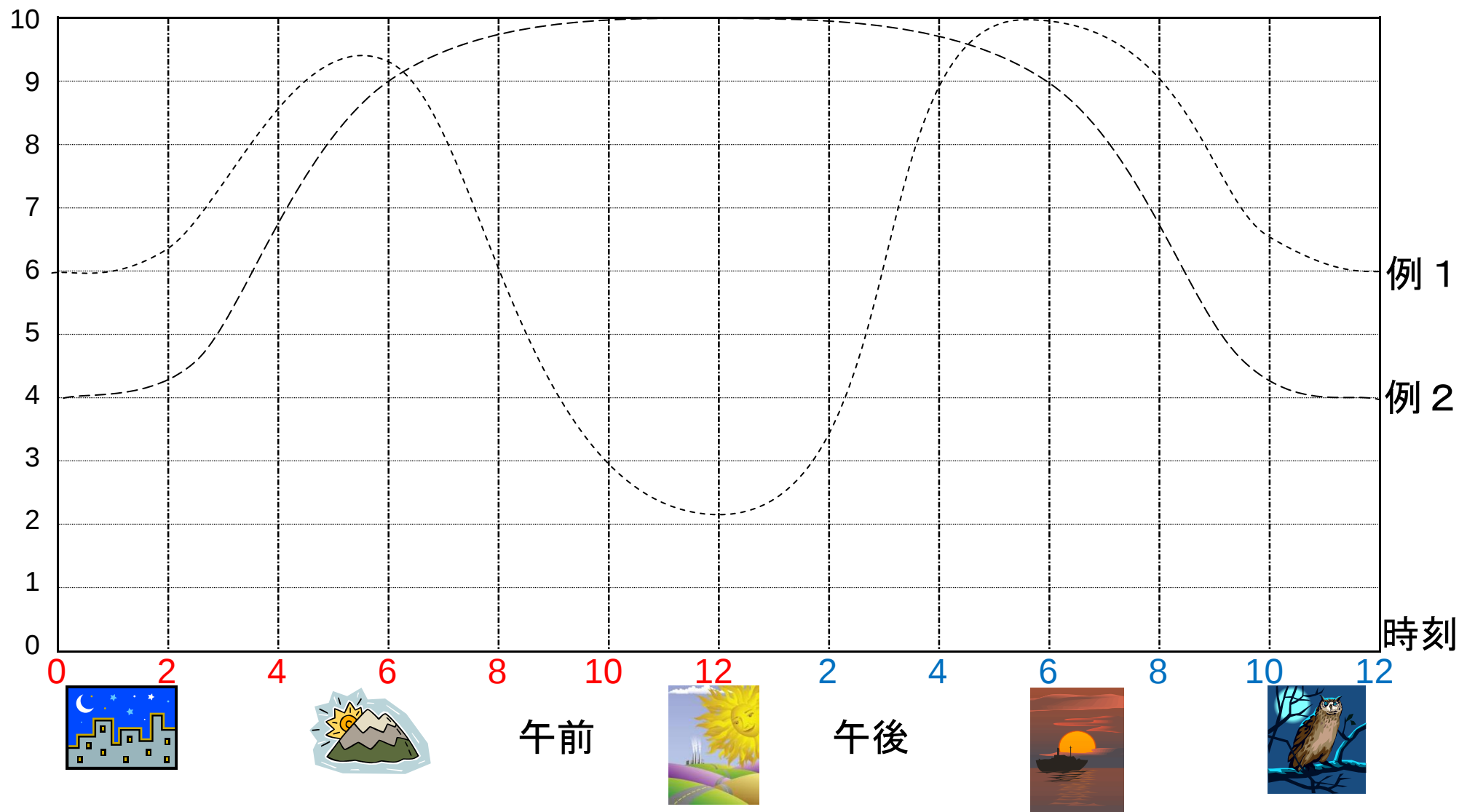
一定に保つ周波数		300Hz	
		周波数の動き	力の加減
スイッチ	「入り」	下がる	力を加えて周波数を 元の値に ^{もと} 戻した
	「切り」	上がる	力を減らして周波数を 元の値に ^{もと} 戻した

- ・ 負荷を減らす（スイッチを切る）方向の方が、分かりやすい感じがした。
- ・ 手応えだけで確認するのであれば直流の手回し発電機で行ってもよいが、回転数の変化を定量的に確認（直流の場合は周波数の代用として回転数を観察することになる）させたいのであれば、交流の手回し発電機の方がテスターで簡単に測定できる。

ワークシート 2 : 電力の日負荷曲線

夏の 1 日の電気消費量の変化をえがいてみよう。

(条件：夏の暑い日、平日、地域の電力会社における全電力消費量、最大値を 10 とする)



ワークシート2：電力の日負荷曲線

夏の1日の電気消費量の変化をえがいてみよう。

(条件：夏の暑い日、平日、地域の電力会社における全電力消費量、最大値を10とする)



ワークシート 3 : 家庭の電気を乾電池でまかなおう

1軒の家庭が使う電気を単3形乾電池でまかなうには、1日にどれくらいのアルカリ電池がいるか計算してみよう。次の図は、1世帯当たりの電力消費量が毎年どのように変化してきたかを示したものだ。



1軒の家庭（1世帯）が1ヶ月に使う電力消費量は、近年は約300kWhである。したがって、1ヶ月を30日間として、

1軒の家庭が1日に使う電力消費量 = kWh/日 = Wh/日

kは1000倍を意味する補助単位

電池の容量（取り出せる能力）は、mAhで表される。mAは「ミリアンペア」を、hは「時間」を意味する。例えば、電池に400mAが流れる電気製品をつないで5時間ずっと使い続けられたら、この電池の容量は両者を掛けあわせて、2000mAhとなる。実は、アルカリ電池の能力は使い方によって変化する。このため、市販アルカリ電池には容量が示されていないが、一般的には単3形乾電池で、2,000 ~ 2,700 mAh^{*}と言われる。

アルカリ電池の電圧は1.5Vなので、これをかけて電力量にすると、

$$1.5V \times 2,000mAh = 3000mWh = 3Wh$$

※wikipedia から

電圧(V)と電流(A)の積が電力(W)

mは1/1000倍を意味する補助単位

2700mAhも同じように変換して、1個の単3形乾電池の容量は、3 ~ 4Whとなる。

bの値を乾電池容量で割ると、 ~ 個/日

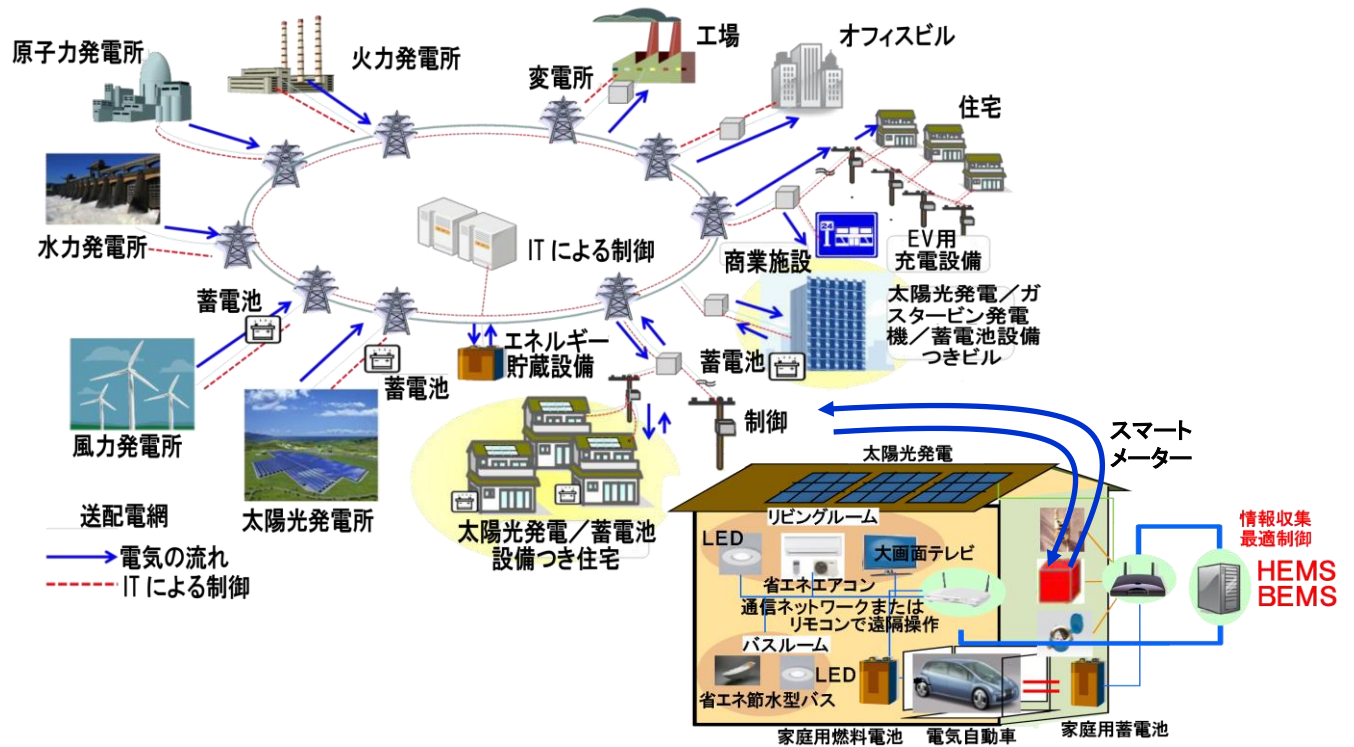
丸めて、少なくとも、毎日 個の乾電池がいる。

乾電池1個100円として、毎日買えるだろうか。

【補足】ある電気自動車の電池容量は24kWhだそう。満充電であれば標準家庭2.4日分の電力がまかなえることになる。維持費を別に、乾電池で10日間以上しのぐなら、この方が良さそう。

ワークシート4：スマートグリッドでわが家はどう変わる

次の図はスマートグリッドのイメージを示したものだ。その時、あなたの家はどのように変わっているだろう。電気などのエネルギーをスマートに使うために、わが家に取り入れたい装置や仕組み、今までと違う暮らし方^{ちが}を考えてみよう。



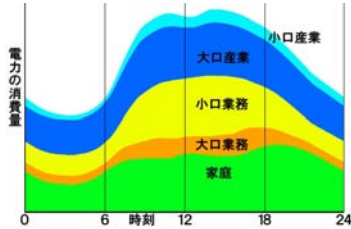
出所：次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会報告書（平成22年1月）
および次世代エネルギー・社会システム協議会中間とりまとめ案（平成22年1月）から

<わが家に取り入れたい装置や仕組み、今までと違う暮らし方^{ちが}>
(上図の家庭部分に追記してもよい)

<説明>

Q1 一日の電気の使い方はどうなっている？

夏の最大ピーク時の需要曲線

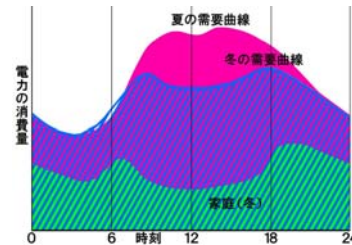


- ・家庭での使い方(夜間に増える)と社会や産業界での使い方(多くの人が働いている時間に増える)は異なっている。
- ・冷房需要(冷房機器は電気がほとんど)で、昼間の使用量が急増

出典: 経済産業省資料等から作成

冬はどうなのかな……

夏がひとこぶラクダなのに対し、
冬はふたこぶらくだ(最大値は夏より小さい)

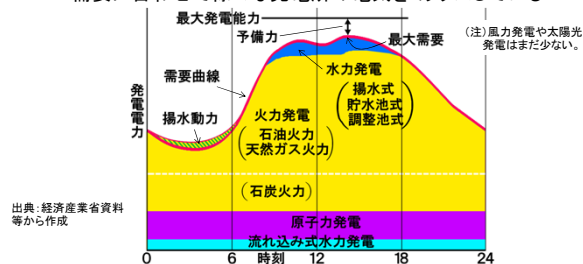


朝夕の日照時間の短縮→照明需要は電気がほとんど
気温の低下→暖房需要(但し暖房のエネルギー源は多様)

出典: 経済産業省資料等から作成

Q2 使用量の変化に対してどのように発電しているのだろう？

需要に合わせて様々な発電所の電気をミックスしている



出典: 経済産業省資料等から作成

電気は貯められないので、消費と同じ量を同時に発電しなければならない。
不足しないように発電能力は常に需要より多く確保する。

いつも発電能力が需要より多いということは余った分をどこかに捨てているということ……

そんなもったいないことはしない。
一部の発電機(水力や火力)は、その発電機の最大出力より低いところで運転しており、需要の変化に合わせて常に出力を調整している。

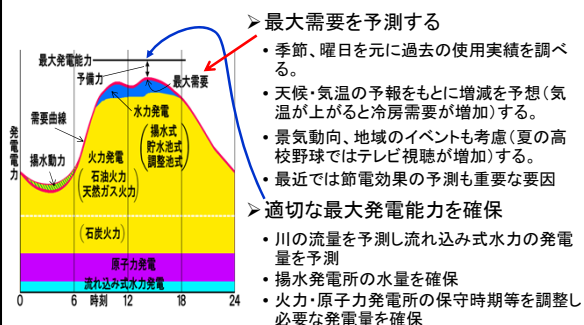
$$\text{予備力} = \text{最大発電能力} - \text{最大需要}$$

なお、電気予報では次の式で求めた予備率を使う

$$\text{予備率}(\%) = \frac{\text{予備力}}{\text{最大需要}} \times 100$$

- (注)
1. 予備率は、需要予測とのずれ(3%程度)、発電機の計画外停止等(5%程度)を考慮して、8~10%以上が適切なレベルと考えられている。
 2. 予備率の分母である最大需要は、大きさ及び発生時刻が地域によって異なる。したがって、複数の電力会社を含む地域全体の予備率を検討する場合は注意を要する。

Q3 電気予報はどのように予想？



➤ 最大需要を予測する

- ・季節・曜日を元に過去の使用実績を調べる。
- ・天候・気温の予報をもとに増減を予想(気温が上がると冷房需要が増加)する。
- ・景気動向、地域のイベントも考慮(夏の高校野球ではテレビ視聴が増加)する。
- ・最近では節電効果の予測も重要な要因

➤ 適切な最大発電能力を確保

- ・川の流量を予測し流れ込み式水力の発電量を予測
- ・揚水発電所の水量を確保
- ・火力・原子力発電所の保守時期等を調整し必要な発電量を確保

どれくらい当たるの……

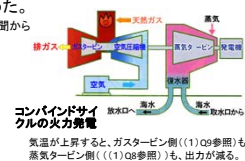
様々な要因の結果であり、ぴったりと一致させることは難しい

➤ 需要のずれ

- ・天気予報と実際の気温の差による需要のずれ
気温1℃の差で増減する電力需要量を「気温感応度」と呼ぶ。
東京電力では約170万kW/℃と言われる。
出所: 電気事業連合会ウェブサイトから
- ・人々の節電意識の変化
関西電力の気温感応度は2010年度で約110万kW/℃だったが、2012年度は約90万kW/℃だった。
出所: 2013年3月6日電気新聞から

➤ 供給のずれ

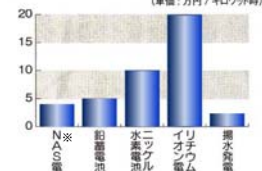
- ・天候によって川の水量が変化する。
気温はコンバインドサイクル火力などの発電に影響する。
- ・発電所などの計画外の補修停止



Q4 電池やコンデンサを使えば電気を貯められるのでは？

- 電池やコンデンサの蓄電能力はまだとても小さい。
- 揚水発電は比較的多くの電気を水の落差として貯められるが設置できる場所が限られている。

揚水発電と蓄電池の設置コストの比較



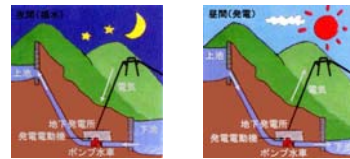
電池に対する期待は大きい。しかし、揚水発電と比べても高価で、まだまだ技術開発が必要だ。

(注) 専門的にするが、電力系統には多くのコンデンサが設置されている。しかし、これは調相用であって、蓄電用ではない。

※ナトリウム(Na)と硫黄(S)を使った高温作動型の電池大規模化が可能で、高速応答性に優れ、自己放電がない、充放電効率が高いなどの特性がある。

出所：第28回基本問題委員会での経済産業省資料から作成

揚水発電の仕組みは……

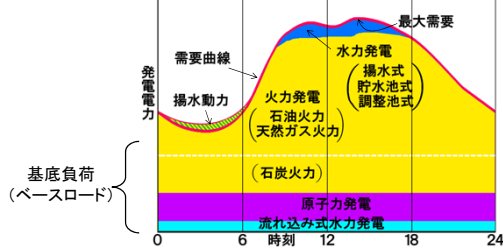


夜の余った電気で水をくみ上げ、昼のピーク時に発電
水力発電であり、機動性に富む

- 電気で水をくみ上げ再び発電する間の効率は約70% (約30%の電気が蓄電放電で失われる一種の電池)
- 発電量は上池の水量で決まり、全出力運転すると、6～10時間程度で空になるものが多い。

Q5 どうしていろんな発電方法の電気を組み合わせる？

- 制御性(需要変動に素早く応答して出力を変化できる発電方式(水力や火力)を絶えず組み合わせる)
- 経済性・環境性(低コスト・低環境影響のものを可能な限り優先)
- 安定供給(エネルギー源を多様化しリスクを低減)



発電方法ごとの特徴は……

発電方法ごとの制御性

発電方法	出力の制御特性
原子力発電	緩やかに調整可能、通常は一定運転
火力発電	燃焼量を調整し、速やかに調整可能
水力発電※	水量を調整し、急速に調整可能
風力発電	風の強さに従う
太陽光発電	光の強さに従う

※貯水池式、調整池式及び揚水式水力の場合、流れ込み式水力は河川からの水量に依存する。

出力変動が容易なことから調整可能(dispatchable)電源と呼ばれる
エネルギー源を自然エネルギーに依存しているので、出力が利用者の意図に関係なく、天候によって変動する。



2030年時点の発電コスト(上下限)
出所：コスト等検証委員会報告書から作成

ベースロード、ミドル、ピーク電源などの用語があったのでは……

- 平成26年改訂のエネルギー基本計画の最後に、今後の電源ベストミックスに関する考え方が、右図のように示されている。

- そこに、電力需要のどこを分担するかに応じて、おおまかに電源の性格が、これらの用語(次のスライド)で説明されている。



電源構成の考え方

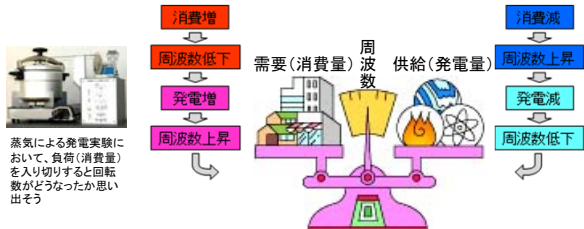
- あらゆる面(安定供給、コスト、環境負荷、安全性)で優れたエネルギー源はない。
- 電源構成については、エネルギー源ごとの特性を踏まえ、現実的かつバランスの取れた需給構造を構築する。
- そのためのベストミックスの目標をできる限り早く決定する。

電源の性格

- ベースロード電源**：発電コストが低廉で、昼夜を問わず安定的に稼働できる電源
- ミドル電源**：発電コストがベースロード電源に次いで安く、電力需要の変動に応じた出力変動が可能な電源
- ピーク電源**：発電コストは高いが電力需要の変動に応じた出力変動が容易な電源

Q6 どうして消費量に対してぴったりに合わせて発電できる？

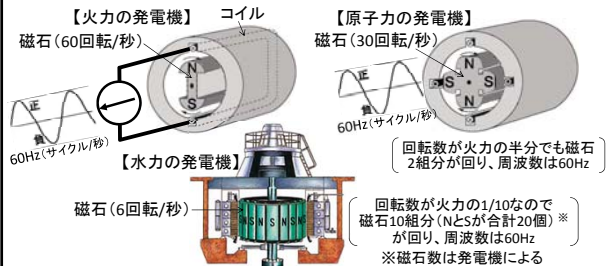
- ・需要(消費量)を予想し(天気、曜日、イベント等)に対する過去実績から、当日に必要な発電所を予備力分も含めて確保
- ・当日の一瞬一瞬のバランスは、周波数がパラメーター



回転数と周波数にはどんな関係が……

西日本の発電機は、

- ・火力発電は3600回転/分(60回転/秒)
- ・原子力発電は1800回転/分(30回転/秒)
- ・水力は例えば 黒四で360回転/分(6回転/秒)



Q7 周波数がずれると、私たちの生活の何が困る？

最近の家庭用の機械は影響を受けないものが多い
インバータ式※1のものは周波数変動の影響を受けない
回転系の機械や時計・タイマーに影響を受ける物がある

※1交流を一旦直流にし再び任意の周波数の交流にしているため、元の交流の周波数は影響しない。

産業機械は損失につながるものもある※2

ポンプ・ファンであれば流量変動

糸巻などは巻ムラ

※2誘導電動機を利用している機械は周波数の変動で回転数が変わる。

産業の場合、**停電がもっと怖い**(一瞬でも品質に大影響)

結果的に停電しなくても停電の可能性があるとな不良品のリスクが高まり生産計画が立てられない
(半導体や食品、医薬品等の製造など)

発電所は周波数がずれると何が困る……

周波数が上がり過ぎると、

原子力・火力発電所のタービンの羽根が遠心力で損傷するおそれ

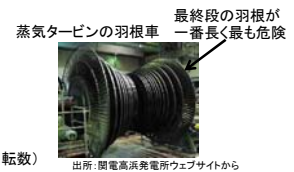
周波数が下がり過ぎると、

原子力・火力発電所のタービンの羽根が共振振動を起こす周波数(回転数)に近づき、振動で損傷するおそれ

(注)タービンの羽根のそれぞれに共振回転数があり、運転回転数(周波数)付近では共振しないように設計されているが、実はその上下に多くの共振回転数が存在する。タービン起動時、共振領域は速やかに通過するように運転される。

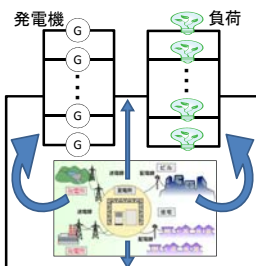
周波数がある幅を超えて上がったり、下がったりすると、保護装置が働き、タービンの運転が停止される。

→ 一つのタービンが止まると別のタービンの停止が続き、大停電につながる恐れがある。



Q8 いろんな電気を混ぜ合わせて問題はない？

電気の通り道を電気回路で表すと、並列回路の発電機と並列回路の負荷が接続されたものだ。



様々な出力・特性の発電機の電気を適切に混ぜ合わせるには、つぎの項目について協調をとる必要がある。

- ・電圧の協調
- ・回転(周波数)の協調(同期と呼ぶ)
- ・電圧波形の協調(正弦波)

(注)下の2項目は交流に伴う条件

これらを適正な範囲内に維持することによって、電気の品質を確保しながら安定的に送電することができる。

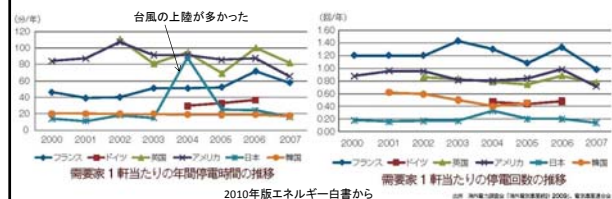
電気に品質があるの……

当然ある。一番の品質は停電しないことだが、次の3項目が代表的項目である。

- ・停電の頻度・時間が小
- ・電圧が基準値内(101±6V以内、202±20V)
- ・周波数が基準値内(標準周波数±0.2Hz以内※)

※北海道は±0.3Hz以内

我が国の品質は国際的に高い水準に維持されてきた。



平成24年7月から始まった「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」のことだ。電気事業者が全量を、**市場より高い価格で一定期間買い取る**ことが義務付けられた。

電源	調達区分	価格(円/kWh)	期間
太陽光	10kW以上 一般事業用(全額)	42 43	20年 10年

電源	調査区分	価格(円/kWh)	期間
太陽光	10kW以上	42	20年
	10kW未満(余剰)	42	10年
風力	20kW以上	23.1	20年
	20kW未満	57.75	
地熱	1.5万kW以上	27.3	15年
	1.5万kW未満	42	
中小	200kW未満	35.7	20年
水力	200kW以上1000kW未満	30.45	
	1000kW以上3000kW未満	25.2	

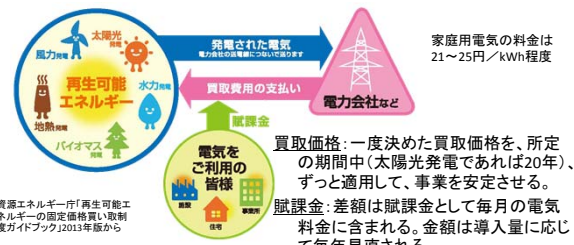
注1. バイオマスによる電気も対象
2. 価格・期間は平成24年度導入設備の値、年度ごとに見直される。

火力発電の燃料費との差額相当額が、電気料金に賦課金として上乗せされる。金額は導入量に応じて毎年見直される。

法律は「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」(平成23年8月) 調達価格の英語の呼称 Feed in Tariff から FIT と略称される

導入量の目標は
設定されていない

再生可能エネルギーの電気はまだ高価なので、市場原理に任せると導入が進まない。皆で痛みを少しずつ負担して、設備の設置を後押しする制度だ。



買取価格:一度決めた買取価格を、所定の期間中(太陽光発電であれば20年)、ずっと適用して、事業を安定させる。

賦課金:差額は賦課金として毎月の電気料金に含まれる。金額は導入量に応じて毎年見直される。

H25年度:0.35円/kWh
H26年度:0.75円/kWh

- ・買取価格が割高で簡単に始められる太陽光発電が急増しているが、風力や地熱などは、まだ増えていない(次頁スライド参照)。
- ・買取価格の高い太陽光発電に偏ると、同じ発電量でも賦課金が増える。今後の国民負担が過度にならないように、適切ななかじ取りが必要だ。

【ドイツ・スペインの状況】

- ・欧州連合(EU)には20-20-20※2と呼ばれる政策目標がある。ドイツ・スペインのFITもこの目標達成に向けたものだ。

※2 2020年までに、温室効果ガスを20%削減(1990年比)し、
全エネルギー消費の20%を再生エネルギーとする。

- ・両国とも近年再エネが一気に増加し、電気料金の高騰、安価な中国・台湾製製品の急増で国内メーカーが破たんなどの問題が起こり、買取価格の引き下げ、新規買い取りの凍結などを余儀なくされている。

	再エネの割合(%) (エネルギー消費全体/電力消費)		
	2006年	2010年	2020年(目標)
ドイツ	6.9/11.37	11.0/16.9	18/38.6
スペイン	9.0/17.58	13.8/33.06	20/40

出力 (万kW)

9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0

平成25年度末時点

H24.7からの認定設備の累積量
(約96%が太陽光発電)

認定設備として国に認められた設備。買取価格は毎年低下する傾向にあるが、認定を受ける、発電開始が遅れても認定時の買取価格で売ることができる。

■ 太陽光 (非住宅)
■ 太陽光 (住宅)
■ バイオマス
■ 風力
■ 地熱
■ 中小水力

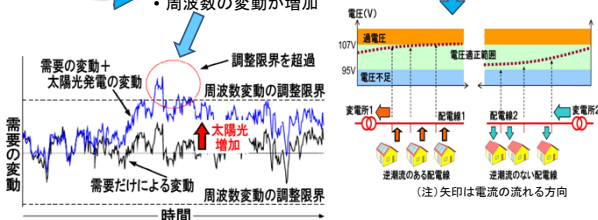
出所：資源エネルギー庁プレスリリースのデータから作図

(注)実際の発電量は稼働率による。地熱は高い稼働率が期待できるが、太陽光発電は12%程度、風力発電は20%程度にとどまる。

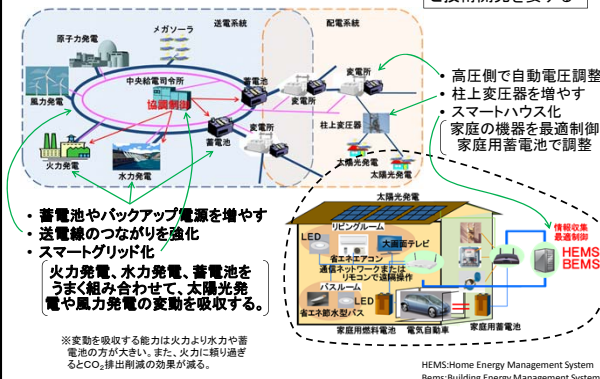
- ① 発電方法に固有の課題(広大な土地を占拠・騒音など)
- ② 電力系統における技術的課題
- ③ コストなどの社会的課題(費用負担)ーQ9参照

電の仕組みからの課題

- 配電網(家庭などの)の電圧が上昇
- 周波数の変動が増加



いずれの対策も費用と技術開発を要する



HEMS: Home Energy Management System
BEMS: Building Energy Management System

Q11 地熱や中小水力の課題？

②の問題は比較的小さい。①と③が課題だ(番号はQ10)

＜利点は共通＞

- 大きな潜在力
- 地熱は世界3位の潜在量、小水力も多くの未開発地点
- 年間を通して安定した発電が可能
- 地域起こしへの活用可能性



上流に降った雨が山が一旦貯め込み、徐々に下流に流れてくると変動が少ない(山が太陽光や風力で必要となる蓄電池の役割をしている)。

＜地熱の課題＞

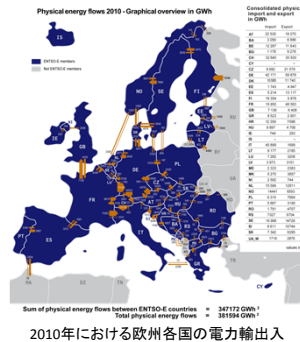
- 開発のリスク(事前に綿密な調査、それでも蒸気量が不足するリスク)
- 地域との調整(温泉地帯と重なる)
- 候補地のほとんどが自然公園内

地熱発電の仕組みは(1)Q6参照)

＜中小水力の課題＞

- 建設地点の奥地化、小規模化で高コスト
- 農業用水や水道用水との調整(水利権)

欧州では問題は出ていないの……



再生エネ導入の意思と課題克服に向けた投資

- 長年の議論で培われた導入への意思と着実な計画的な取り組み。
- 揚水発電増設や送電線強化などの関連施設へのEU全体での投資。

一量の拡大とともに、電気料金が上昇しており、導入量制限などの対応が行われている。

欧州各国は周波数が等しく(50Hz)、相互につながっている(一連運用は大きく過ぎ、5エリアで分割運用)。

・北欧の豊富な水力発電を再生エネ発電の負荷変動緩和に活用するなどの柔軟な運用が可能。

一量の拡大とともに、送電線の混雑、電圧変動などの課題が顕在化しており、対策が急がれている。

Q12 スマートグリッドとは何？

従来のグリッド(電力系統)

smart: 賢い grid: 電力網・電力系統



ICT: 情報通信技術 (Information and Communication Technology)

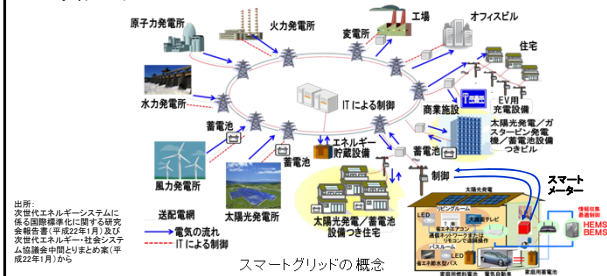
出所: 低炭素電力供給システム研究会資料から

- 需給状況を踏まえて、発電・消費・貯蔵をICTで自律的分散的に管理(情報の流れは双方向)
- 分散型電源が増えた状況でも、高効率、高品質、高信頼度の電力系統の実現を目指すもの

- 欧州は再生可能エネルギーの大量導入とのマッチングを目指す。
- 米国は老朽化した送電網の更新と信頼性向上を目指す。

何がスマート……

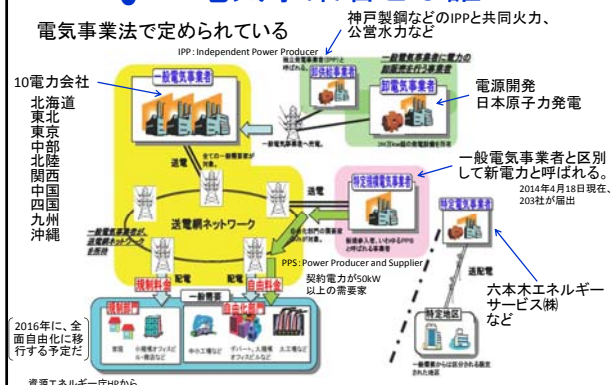
- 系統全体では、天候の変動による電力の変動を、蓄電池の活用、地域間の電力輸送、水力、火力発電所の効率的運用などで抑制し、最小限の追加費用で再生可能エネルギーの増加、電源の低炭素化を実現させることが期待されている。
- 家庭では、エネルギーの使い方の見える化、マネジメントシステムの導入などによって、住まいの快適性を高めながら、省エネの実施、省エネを可能とするライフスタイルへの転換を促進することが期待されている。



スマートグリッドの概念

Q13 電気事業者とは誰？

電気事業法で定められている



2016年に、全面自由化に移行する予定だ

資源エネルギー庁から

「固定価格買取制度」との関係は……

Q9で言うところの電気事業者とは

- 一般電気事業者
- 特定規模電気事業者
- 特定電気事業者

のことだ。再生可能エネルギー電気の発電事業をする者は「特定供給者」と呼ばれ、電気事業者を通して需要家に電気を届ける



再生エネ電気
お金

Q14 発送電分離とは？

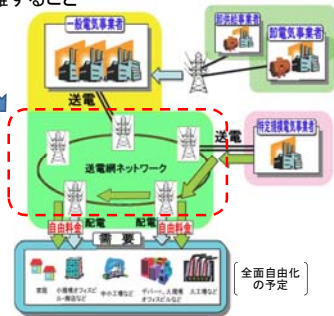
発電事業と送電事業を分離すること

この部分を一般電気事業者から、法的に分離する。
(2018～20年頃までに)

次のような分離の形態がある

- 発電と送電を別会社とする(所有分離型)
- 発電事業と送電事業を持ち株会社下で別会社とする(法的分離型)
- 電気事業者が設備を所有したまま独立系統運用者にまかせる(機能分離型)
- 電気事業者の中で会計を部門ごとに分ける(会計分離型)

いずれの方式も、中立性・公平性の確保が大事



発送電分離はなんのため……

電力自由化にあわせて、送電網を全事業者に開放すると、消費者が自由に電気を購入する事業者を選択でき、

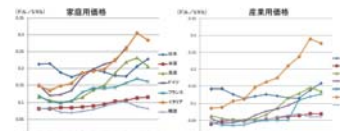
- 電気料金が下がる(競争的市場によって)
- 再生可能エネルギーの導入が伸びる(消費者の意思で)

との期待がある。一方で、消費者の視点からは、

- 電力供給の安定性が向上、確保される(送配電系統への投資)

ことも必要だ。

欧米の先行例をみると、これらの達成には、綿密な制度設計、社会の努力が必要なが伺える。みんなでよく考えていかなければならない課題だ。



【欧米では】

国際的には欧州で先行して進められてきた。

米国は発送配電を一貫して行う州と分離した州が混在している。

分離形態は、欧州では所有分離型が好まれ、米国では機能分離が選択される傾向にある。

エネ庁HPから

