

電気の基礎知識 及び 電気エネルギーの実験

2015-2-6

省エネ市民会議

春田育男

電気とは

電荷の移動や相互作用によって発生するさまざまな物理現象の総称である。

それには、雷、静電気といった容易に認識可能な現象も数多くあるが、電磁場や電磁誘導といったあまり日常的になじみのない概念も含まれる。



語源

電気を表す英単語 electricity はギリシア語の $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$ ([elektron], [琥珀](#)) に由来する。[古代ギリシア人](#) が琥珀をこする事により [静電気](#) が発生する事を発見した故事によるもので、そこから古典ラテン語で *electrum*、新ラテン語で *electricus* (琥珀のような) という言葉が生まれ、そこから electricity が派生した。

一方で漢語の「電気」の「[電](#)」は[雷](#)の別名であり、いわば「電気」というのは「雷の素」といった意味になる。[ベンジャミン・フランクリン](#) による研究はしばしば「雷の正体が電気である事」を発見した」と紹介されるが、この文章は字義的な矛盾を含む事になる。もちろん「電気」という漢語がフランクリンの時代以後に作られたからである。

電気の歴史

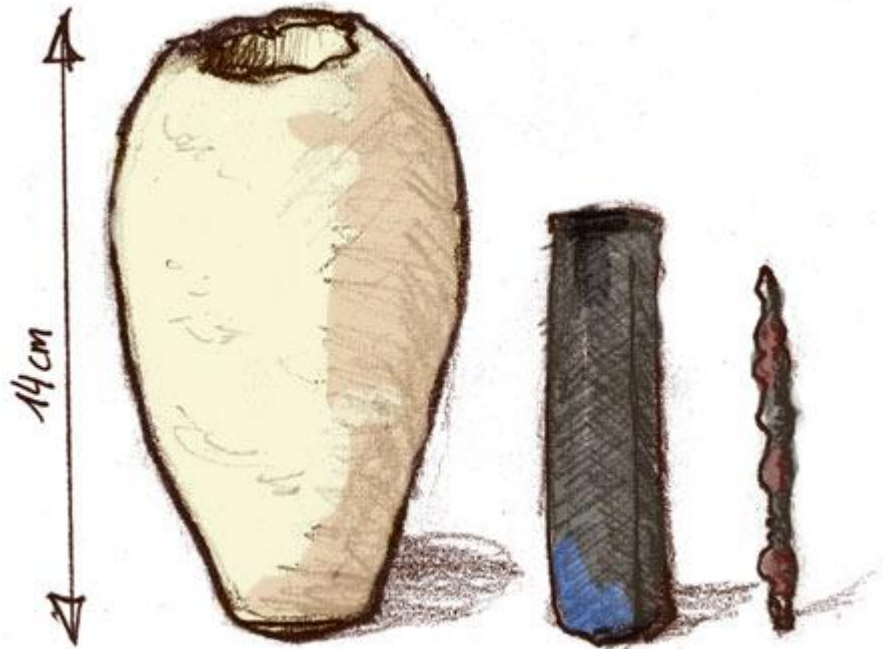
古代

電気について知識がなかったころにも、電気を発生させる魚類の電気ショックに気づいていた人々がいた。[紀元前2750年](#)ごろの[古代エジプト](#)の文献にそういった魚を「[ナイル川の雷神](#)」とする記述があり、全ての魚の守護神だと記している。そういった魚類についての記述は、千年以上後の[古代ギリシア](#)、[古代ローマ](#)、イスラムの学者らの文献にもある^[2]。[大プリニウス](#)や[スクリボニウス・ラルグス](#)といった古代の作家は、[デンキナマズ](#)や[シビレエイ](#)による[感電](#)の例をいくつか記しており、それらの電気ショックが[導体](#)を伝わることを知っていた^[3]。[痛風](#)や[頭痛](#)などの患者をそういった電気を発する魚に触れさせるという治療が行われたこともある^[4]。[雷](#)や他の自然界の電気が全て同じものだという発見は中世イスラムという可能性もあり、15世紀の[アラビア語](#)辞書で雷を意味する *raad* という言葉が[シビレエイ](#)も表すとされていた^[5]

古代の地中海周辺地域では、琥珀の棒を猫の毛皮でこすると羽根のような軽い物を引き付けるという性質が知られていた。紀元前600年ごろミレトスのタレスは一連の静電気についての記述を残しているが、彼は琥珀をこすって生じる力は磁力だと信じており、磁鉄鉱のような鉱物がこすらなくても発揮する力と同じものだと考えた^{[6][7]}。タレスがそれを磁力だと考えたことは間違っていたが、後に電気と磁気には密接な関連があることが判明している。古代ギリシア人は、琥珀のボタンが髪の毛のような小さい物を引きつけることや、十分に長い間琥珀をこすれば火花をとばせることも知っていた。イラクで1936年に発見された、紀元前250年頃のものとする、バグダッド電池なるものはガルバニ電池に似ている。バグダッド電池はパルティア人が電気めっきを知っていた証拠とする説もあるが、これを単に金属棒に巻物を巻いて収め地中に埋めた壺(つまり電池ではない)とする説もある^[8]。



古代の電気研究者[タレス](#)



バグダッド電池

近世

イタリアの物理学者カルダーノは、『*De Subtilitate*』（1550年）のなかで[9]、電気による力と磁力とをおそらくは初めて区別した。

1600年にイギリスの科学者ウィリアム・ギルバートは、『*De Magnete*』のなかでカルダーノの業績について詳細に述べ[6]、ギリシア語単語「琥珀」*elektron* からラテン語単語 *electricus* を作り出した[10][11]。

electricity という英単語の最初の使用は、トーマス・ブラウンの1646年の著作『*Pseudodoxia Epidemica*』の中にあるとされる[12]。

ギルバートに続いて、[1660年](#)に[ゲーリケ](#)は静電発電機を発明した。

[ロバート・ボイル](#)は[1675年](#)に、電気による牽引と反発は真空中で作用し得ると述べた。

[スティーヴン・グレイ](#)は[1729年](#)に、物質を[導体](#)と[絶縁体](#)とに分類した。

[デュ・フェ](#)は、のちに *positive* (陽)、*negative* (陰) と称ばれることになる、電気の2つの型を最初に同定した。

大量の電気エネルギーの蓄電器の一種である[ライデン瓶](#)は、[1745年ライデン大学](#)で、[ミュッセンブルーク](#)によって発明された。

ワトソン ([William Watson](#)) はライデン瓶で実験し、[1747年](#)に静電気の放電は電流に等しいことを発見した。

[平賀源内](#)は、[18世紀](#)半ばに[エレキテル](#)を発達させた。

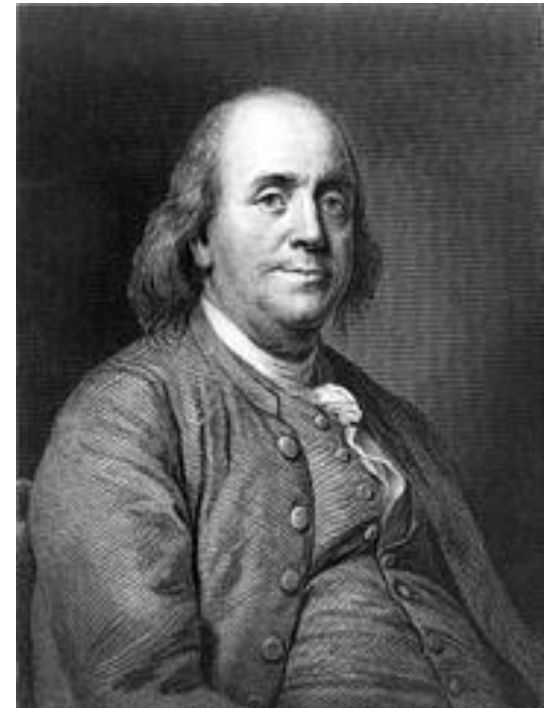


ライデン瓶、
Boerhaave博物館、
ライデン

18世紀中ごろ、[ベンジャミン・フランクリン](#)は私財を投じて電気の研究を行い、[1752年](#)6月、雷を伴う嵐のなか[凧](#)を揚げるという[実験](#)を行った[\[13\]](#)。

この実験で雷が電気であることを示し、それに基づいて[避雷針](#)を発明した[\[14\]](#)。

フランクリンは陽電気および陰電気の発明の確立者と見なされることが多い。



近代

1773年、ヘンリー・キャヴェンディッシュは荷電粒子間に働く力が電荷の積に比例し、距離の2乗に反比例することを実験で確認。

1785年にシャルル・ド・クーロンがクーロンの法則として定式化した。

1791年、ルイージ・ガルヴァーニは生体電気の発見を発表。神経細胞から筋肉に信号を伝える媒体が電気であることを示した^[15]。

1800年、アレッサンドロ・ボルタは亜鉛と銅を交互に重ねたボルタの電池を発明。それまでの静電発電機よりも安定的に動作する電源となった

1820年、ハンス・クリスティアン・エルステッドが電磁気学の基礎となる電流による磁気作用を発見。

アンドレ＝マリ・アンペールは現象を再現してさらに詳細な研究を行った。

ジャン＝バティスト・ビオとフェリックス・サバールは1820年、電流とその周囲に形成される磁場の関係を定式化（ビオ・サバールの法則）。

1821年、マイケル・ファラデーはその現象を応用した電動機を発明。

1830年、ファラデーとジョセフ・ヘンリーが電磁誘導現象を発見。

電気と磁気（と光）の関係を定式化したのはジェームズ・クラーク・マクスウェルで、1861年から1862年の論文 On Physical Lines of Force で発表した。

ゲオルク・オームは1827年、オームの法則を含む電気回路の数学的解析を発表した^[15]。

グスタフ・キルヒホフは1845年、キルヒホッフの法則を発見。

これらの成果を基にヘルマン・フォン・ヘルムホルツ（1853年）、シャルル・テブナン（1883年、再発見）、鳳秀太郎（?年）が電気回路に関する電圧、電流、電源の考え方を確立した

このように19世紀前半に電気の研究は大いに進展したが、19世紀後半には電気工学が急速に発展した。

ニコラ・テスラは交流を応用した電気機器（交流発電機ほか）を発明。後の電気の発電、送配電に大きな影響を与えた。また、蛍光灯や無線機の発明も行った。

トーマス・エジソンは蓄音機、電球などを発明。

イェドリック・アーニョシュはダイナモの原理を確立。

ジョージ・ウェスティングハウスはテスラの交流電動機の権利を取得し、交流発電・送電システムの確立に寄与した。

ヴェルナー・フォン・ジーメンスも電気産業の発展に貢献。

アレクサンダー・グラハム・ベルは電話を発明。

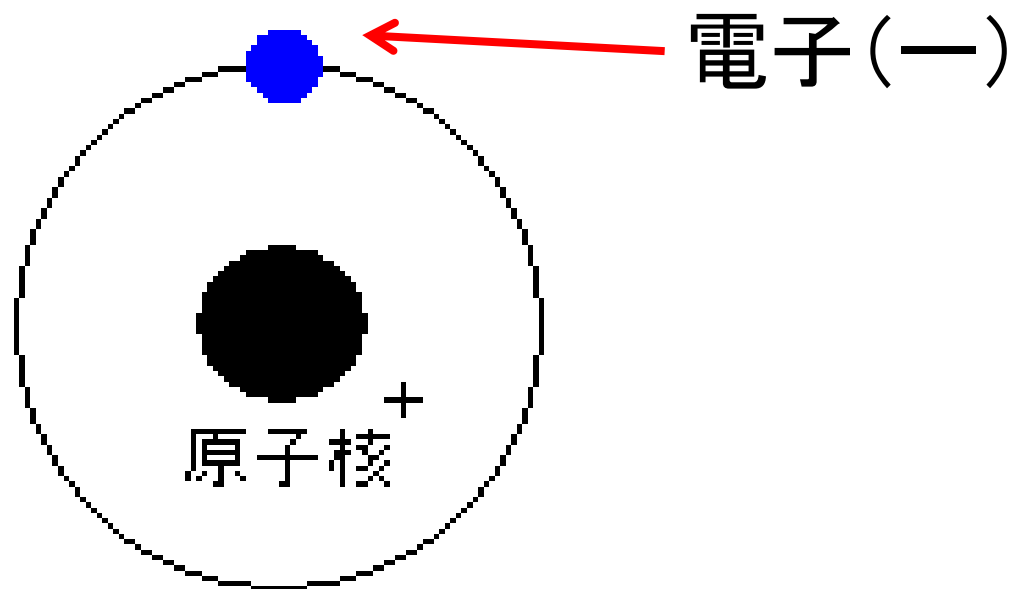
電気は科学的興味の対象から第二次産業革命の推進力となり、日常生活に欠かせないものへと変貌していった

電気とは

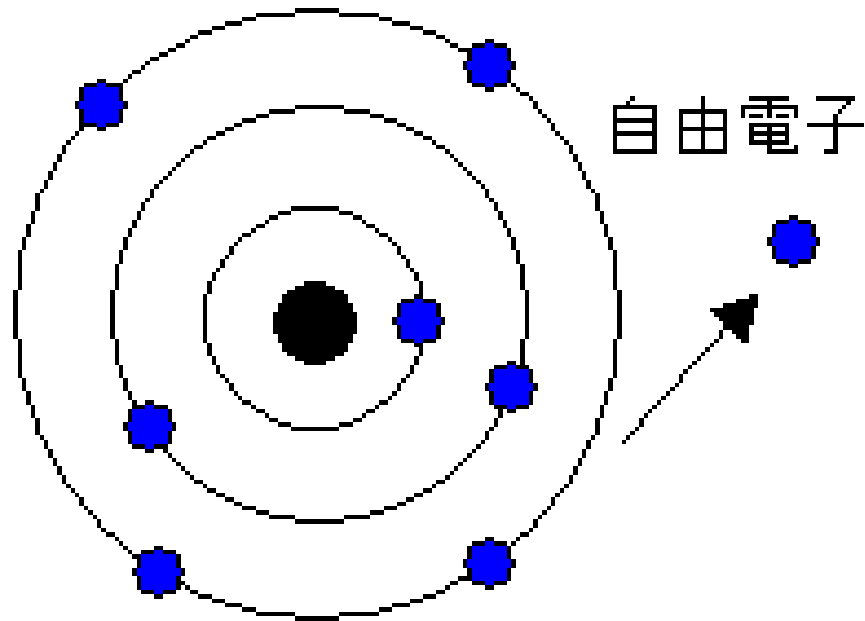
電子と電荷

電気を知るには、まず電子と電荷のことを説明しなくてはなりません。いきなり難しい話で恐縮です。

物質を構成する最小単位は原子ですが、原子は中心となる原子核と、その周囲を回転する電子から成ります。原子核の中にある陽子はプラス、電子はマイナスの電気を帯びています(帯電状態)。この帯電状態の物質は電荷(でんか)を持つといい、その大きさの単位はQ(クーロン)といいます

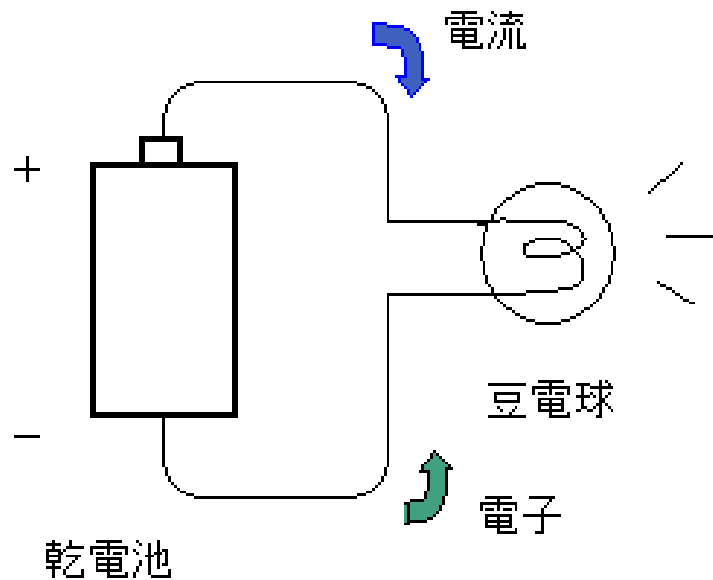


多くの物質では陽子も電子の数は一定で、電子は原子核の周囲を回転するだけですが、何かの拍子に軌道を離れる場合があります。この軌道を離れた電子を自由電子といいます。電気とはこの自由電子の動きをいうのです。例えば電線の中を自由電子が移動すれば、それが電気の流れ(電流)となるのです。電流とは電子の移動なのです。



しかし厳密に言えば電流と自由電子の流れは違うのです。
どう違うのかといえば……。

理科の実験で乾電池に豆電球をつないだことがあると思います。ここで青い矢印が電流の向きで、緑の矢印が電子の向きです。(この電子とは自由電子のことです。今後電子とは自由電子のことと考えてください)



電子はマイナスの電気を持ちますからプラスの電気の方に引き寄せられます。一方電流はプラスからマイナスへ流れます。

このように電子の流れと電流の流れは向きが逆なのです。

電流

電子1個の電荷は $1.6 \times 10^{-19} \text{Q}$ (クーロン)です。

電流とは電子の流れであると書きました。正確には電流の大きさとは、1秒あたりの電荷(電子)の移動量を指します。1秒間に1クーロンの電荷が移動する時、1A(アンペア)の電流が流れるといいます。

電気の流れは向きが逆とはいえ電子の流れですが、電流が生ずるためには電子を吸引する力が必要です。この力を電圧といいます。単位はV(ボルト)です。

電圧と電流の積(掛算)を電力といいます。単位はW(ワット)です。

電荷があっても移動することがない電気を静電気といいます。

水路に水が流れているとします

電流とは毎秒流れる水の量です

電圧とは水圧のことです

電力とは流れる水にできる仕事の大きさなのです
(例えば水車を回す)

水の量が多いほど、水圧が高いほど
大きい水車を回すことができます

電荷 : Q (クーロン)

電圧 : V (ボルト)

電流 : A (アンペア)

電力 : W (ワット)

電力(W) = 電圧(V) × 電流(A)

掃除機でもドライヤーでもいいですから、ちょっと取扱説明書を見てください。電圧100V、電力1000Wなどと書かれています。100Vで1000Wなら、10Aの電流が流れるのです。はい、一秒間にですよ。電力も一秒間に1000Wです。

どんな家にも積算電力計という物が取り付けられています。1カ月間の消費電力をカウントする機械です。そして1秒間に何アンペアの電流が流れたか休みなく監視しているのです。消費電力の単位は1秒では短すぎるので1時間あたりの消費電力を使います。Wh といいます。



発電とは

電力以外のエネルギーを、電気エネルギーに変換すること。

1, 発電器官(発電細胞)による発電

デンキウナギ、デンキナマズなど動物による。

2, 発電機による発電

a: 静電発電機(起電機)による発電

物理的な手段で電荷を移動することで高電位を発生させる。

静電誘導(誘導酒害)、摩擦帯電(放電: 雷)

b: 動電発電機による発電

電磁誘導の原理を利用して高電位を発生させる。火力、水力・・

3, 電池

可動部分を持たず、エネルギーを直接変換して直流を得る装置

電池とは

何らかのエネルギーによって直流の電力を生み出す装置を電池という。

1, 化学電池

物質自身が持つ化学的なエネルギーを化学反応によって電力に変換。

a: 1次電池: 充電出来ない乾電池(マンガンやアルカリ乾電池など)

b: 2次電池: 充電出来る電池(鉛電池、リチウムイオン電池など)

c: 燃料電池: メタノールや天然ガス、水素などの燃料から触媒を用いて発電。

2, 物理電池

光や熱などの物理的なエネルギーを電気エネルギーに変換。

a: 太陽電池

b: 熱電池

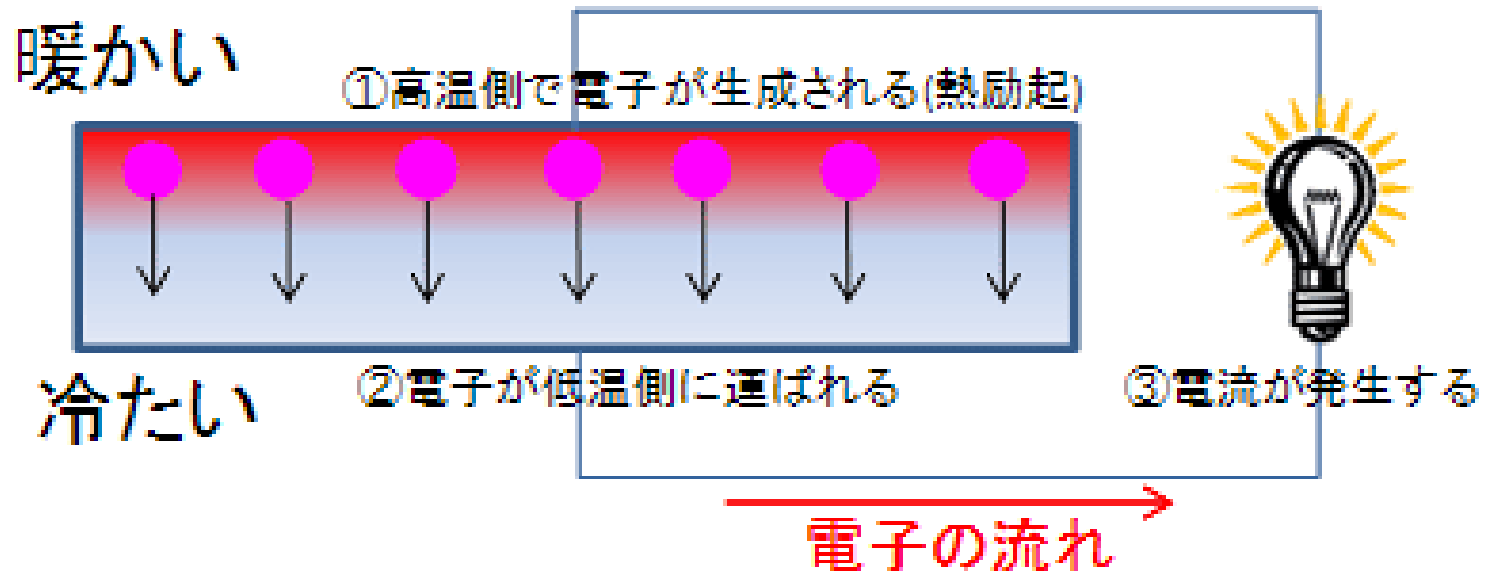
電気エネルギーの変換

①発電機（電磁石が回転すると発電する）
＝電動機（電気を供給すると回転する）

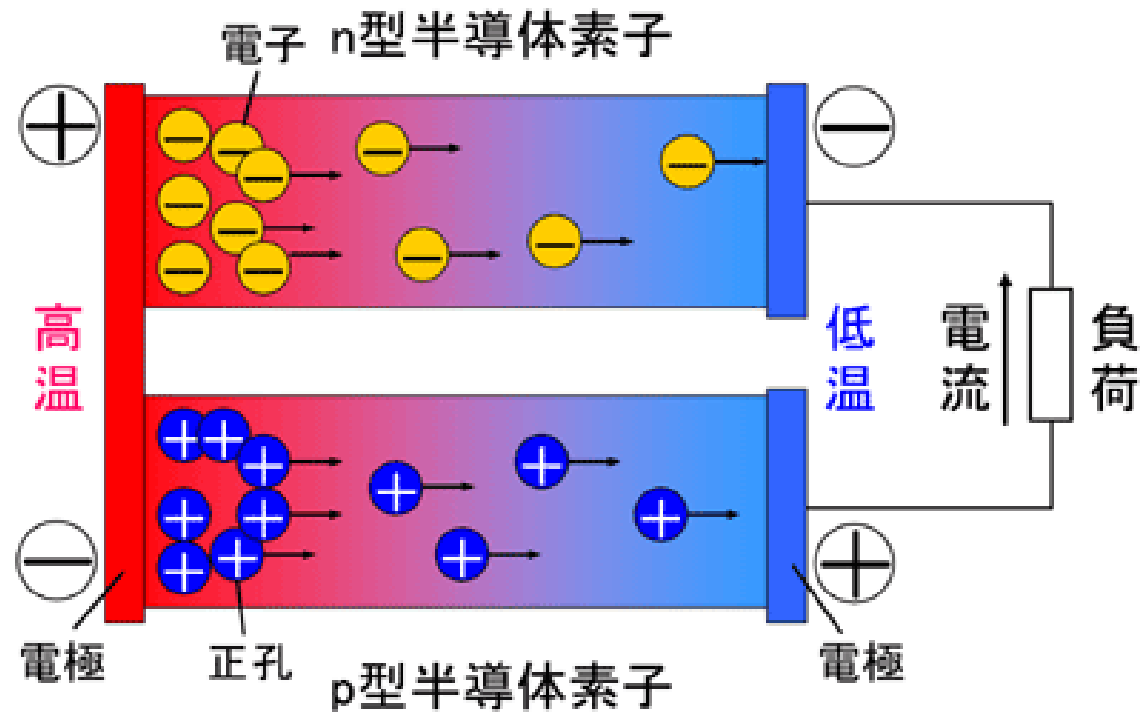
②マイクロホン（音声で振動すると発電する）
＝スピーカー（電気を供給すると振動する）

③ペルチェ素子に温度差を付けると発電する
（ゼーベック効果）
＝ペルチェ素子に電気を供給すると温度差が
（ペルチェ効果）

温度差発電(ペルチェ素子)



熱電発電モジュールはp型半導体とn型半導体の2種類の素子から構成される。熱電発電のメカニズムを図表4に示す¹⁾。加熱されたn型半導体素子(電子の数が正孔より多い材料)では高温領域の電子が活性化され(運動エネルギーが増え)、低温領域へ電子が伝導して熱起電力が発生して高温側が高電位になる。一方、p型半導体素子(正孔の数が電子よりも多い材料)では加熱されると高温領域の正孔が活性化され、低温領域に正孔が移動して熱起電力を発生して低温側が高電位となる。両半導体素子を図表4に示すように組み合わせると、n型とp型半導体素子間に電流が流れる(ゼーベック効果と呼ばれる)。熱電変換材料の発電性能は次式の指数 Z で表される^{6~8)}



ペルチェ素子の利用

＜ペリチェ効果＞

- 1, CPUの冷却
- 2, 小型冷蔵庫

＜ゼーベック効果＞

- 1, センシングデバイス分野
温度モニタリングする無線装置の電源。体温を利用した医療用機器、
- 2, 自動車の排熱利用。焼却炉、工業炉の排熱利用など
- 3, 地熱、温泉熱、太陽熱を利用した分野
95°Cの温泉水と10°Cの湧き水を使って100W発電
(草津温泉:2005年稼働)



ペルチェ式 小型電子冷蔵庫
グランペルチェ
Gran Peltier

静か たっぷり収納
 掃除もラク 高い保湿性

25L シンプル・コンパクトで
 どんな部屋にもマッチ

35,748円 (税込)

今なら
POINT 3倍

▶ 詳しく見る

41L 木目調デザインの
 ハイグレードタイプ

61,542円 (税込)

今なら
POINT 10倍

▶ 詳しく見る

ペルチェ素子...の Google



RAMASU ラマス
 ポータブル冷
 ￥10,270



TWINBIRD HR-
 D206P
 ￥6,350



USBCUPCW
 [USB温冷カップ
 ￥2,490



アズワン マイフ
 リッジ(低温恒温
 ￥45,252



USBホットして
 クールボックス ...
 ￥3,065

未利用熱を有効に活用する熱電発電システム

Thermoelectric generating system for effective use of unutilized energy

目的

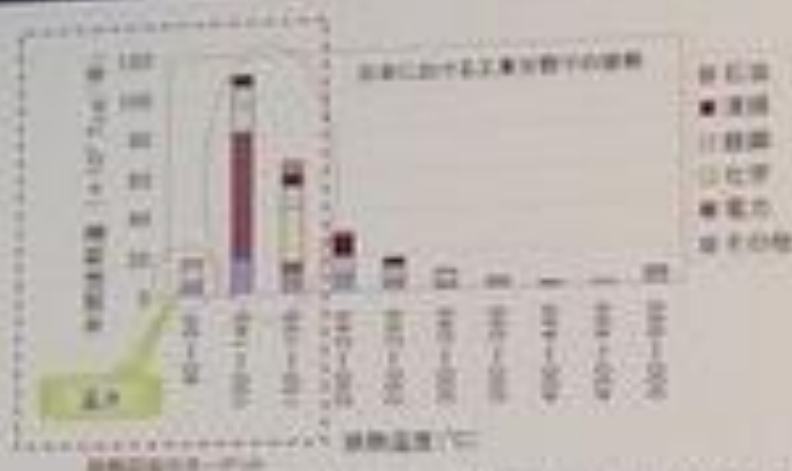
低炭素社会の実現を目指し、今まで使われていなかった産業排熱(40~200℃)への適用で、プラントの省エネ/高効率化に貢献する。

特徴

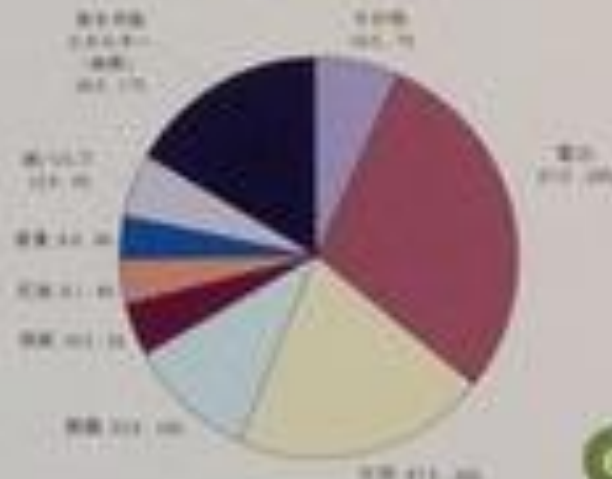
- 風力や太陽光と異なり、24時間、安定した出力を得ることが可能な独立型の電源システム
- 無振動・無騒音の定置型発電機

効果

単位設置面積当たりの発電量の一例:
熱源温度差65℃からモジュール間温度差30℃を作り出した場合 125kWh/m²/月
※効率15%の太陽光発電では約12kWh/m²/月



(100℃以上の排熱の施設数割合(単位: 100kWh/月))



ボルダ電池

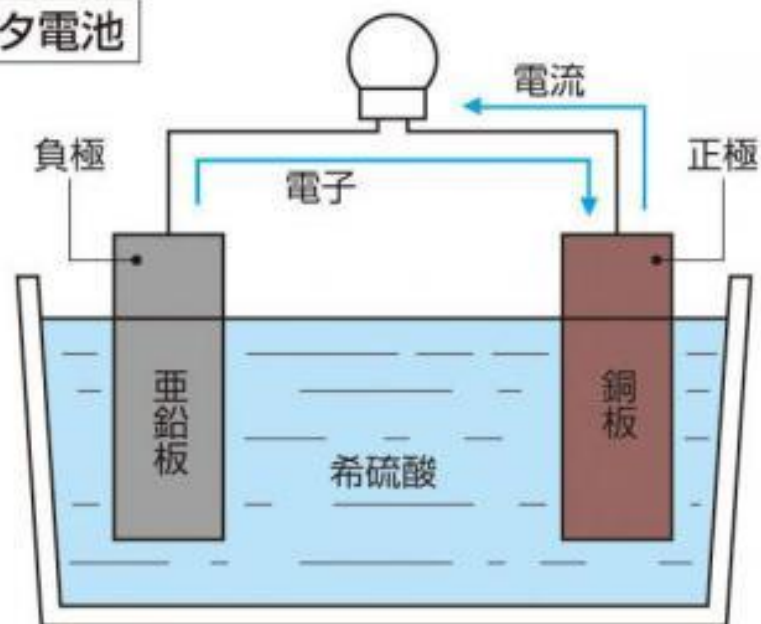


ボルタ
1745～1827
イタリアの
物理学者



ボルタの電堆

ボルタ電池



2 ●電子が銅板のほうに移動

銅板(プラス極)

亜鉛板(マイナス極)

電子

●水素イオンが
電子を受け取る

3

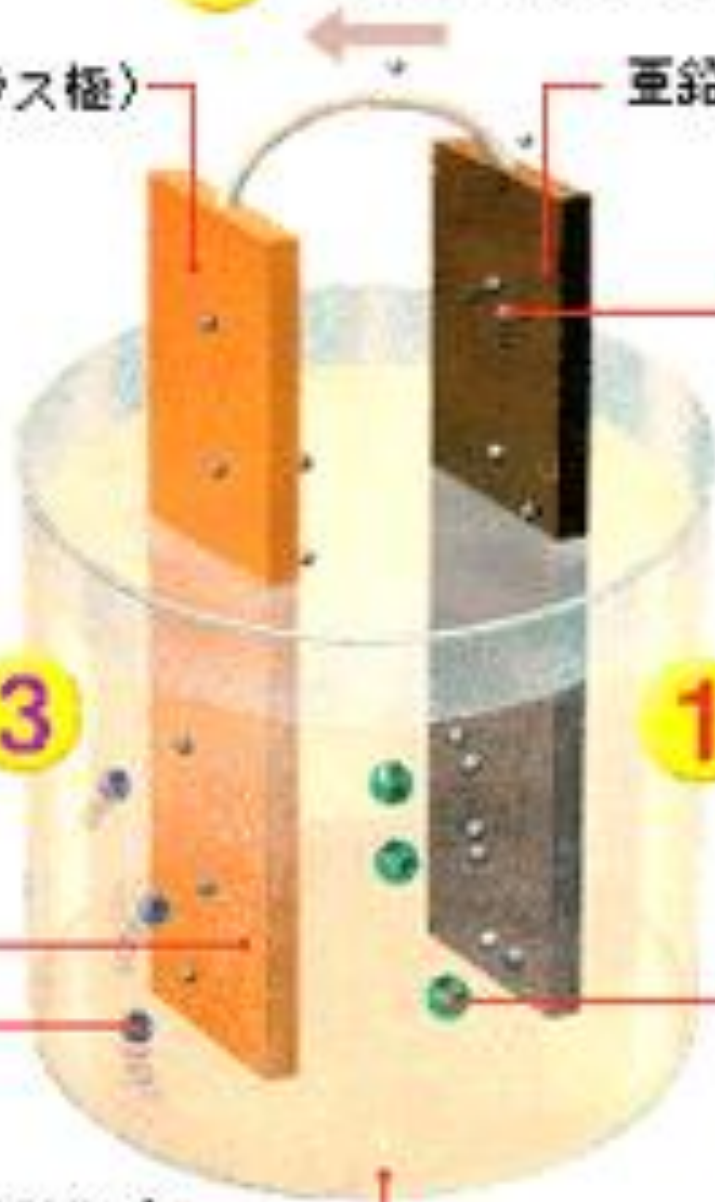
●亜鉛板で
電子が発生

1

水素ガス
水素イオン

亜鉛イオン

希硫酸(電解液)



1. 亜鉛板(あえんばん)で電子が発生

亜鉛板で電子ができます。

そして亜鉛板をつくっている亜鉛原子が、電子を残して亜鉛イオンになって電解液(でんかいえき)に溶けていきます。銅板(どうばん)の方はほとんど溶けません。

2. 亜鉛板の電子が大移動

亜鉛板では、亜鉛が溶けた分だけ電子の数が増えていきます。

そして、導線を伝ってプラス極の銅板の方へ移動していきます。

3. 水素イオンが電子を受け取る

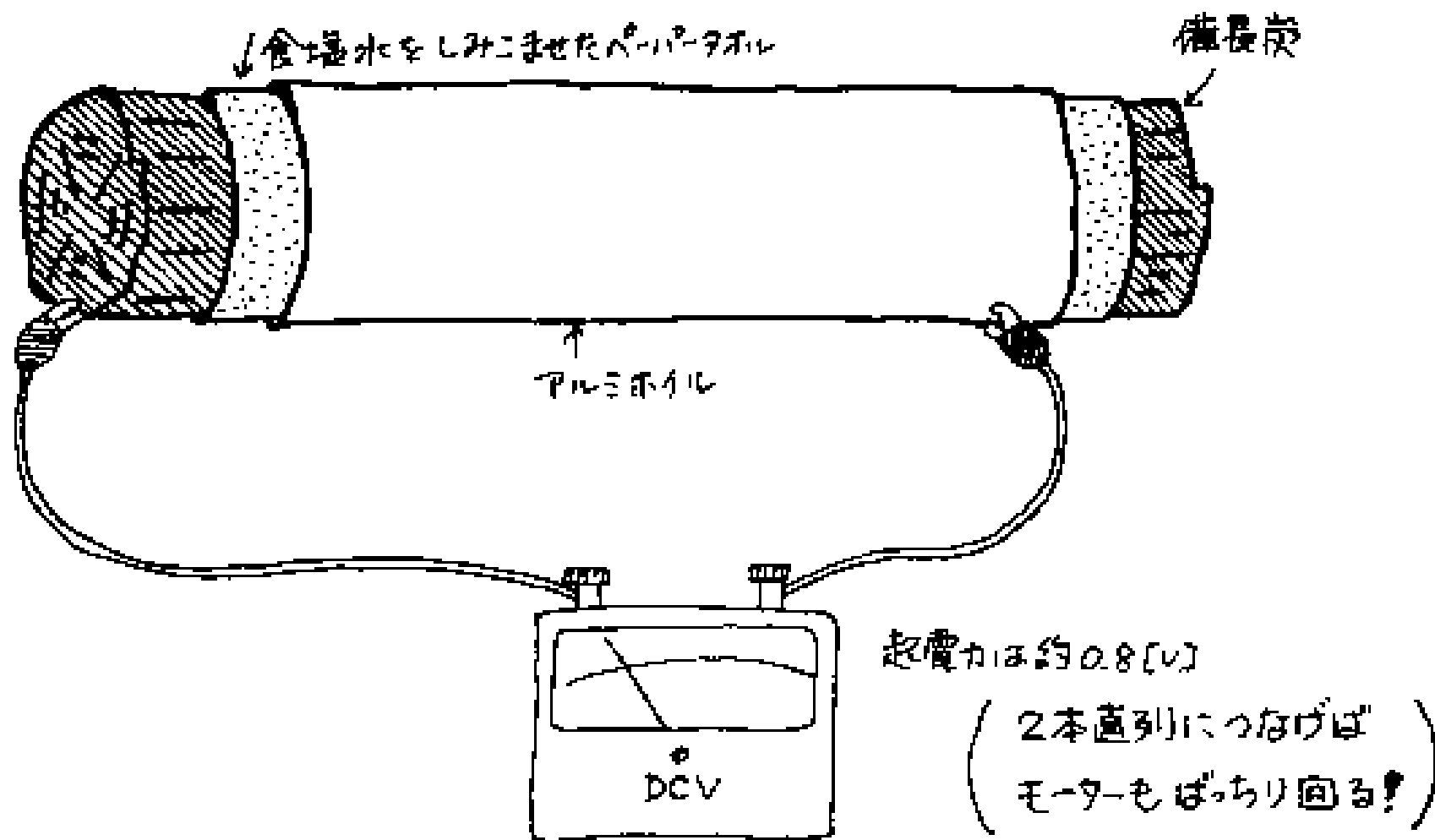
電解液の硫酸(りゅうさん)には水素イオンが含まれています。

ところが、同じ電解液の中に亜鉛イオンが生じてくると、水素は亜鉛よりもイオンになる力が弱いので、水素イオンは銅板に移動してきた電子とくっついて、水素ガスにもどります。

こうして電子が消費されると、また亜鉛板から電子が移動してきます。

それによって、電子の流れと反対に電流が流れて電気エネルギーが生まれるのです。

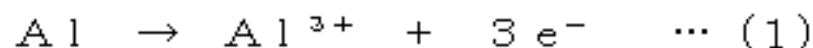
備長炭電池(空気電池)



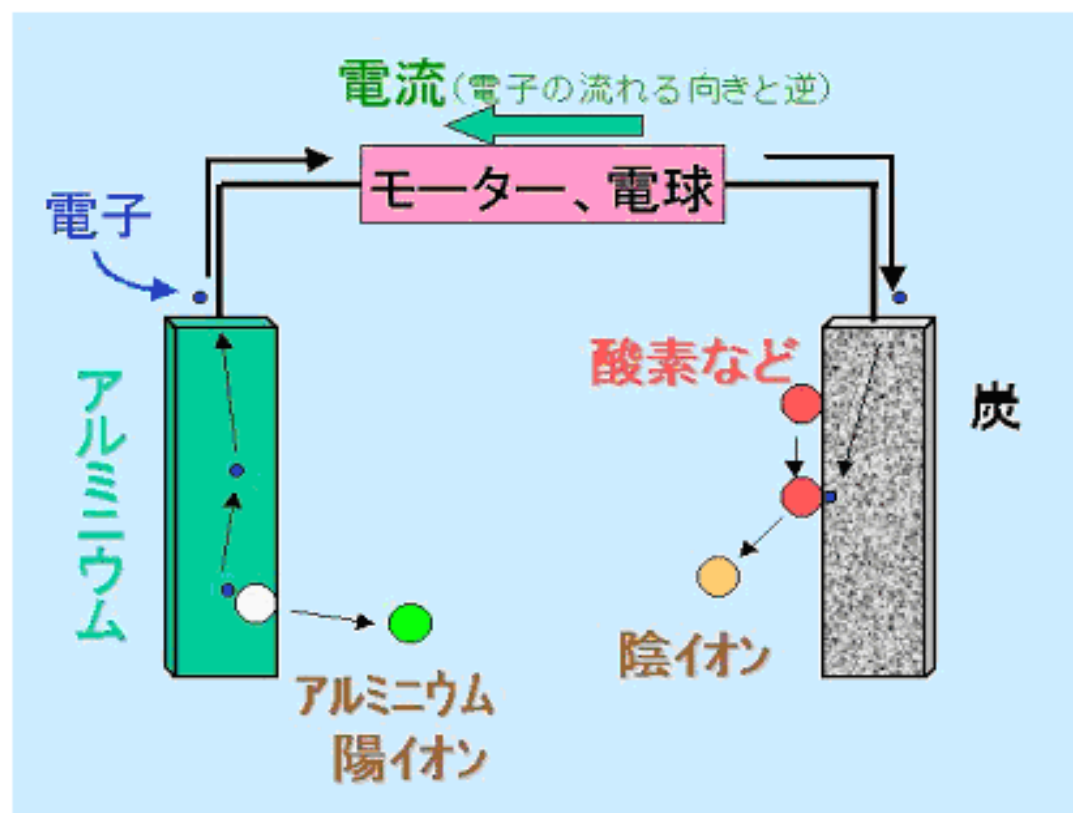
電池になるわけ

<詳しい説明>

アルミニウムは水の中で、(1)式のようにアルミニウム陽イオンを水中に溶かしだし、電子をアルミニウムから外部へ出そうとします。



一方、木炭の表面に吸着した酸素は、電子を取り込んで反応しようとしています。この電子を出したい反応と、電子を受け取りたい反応が同時に進行することで電子がアルミニウム側から木炭の側へ移動します。つまり、アルミニウムは、水中で酸化され、この時放出された電子(e^-)は、外部の電線を伝わり流れ(電流)木炭の表面に到達し、木炭の表面に吸着した酸素に電子を与え反応します。



コンデンサ(蓄電器、キャパシタ)とは

静電容量(キャパシタンス)により、電荷(電気エネルギー)を蓄えたり、放出したりする受動素子である。

静電容量の単位はF(ファラド)が使われる。

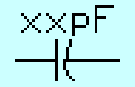
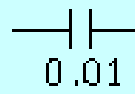
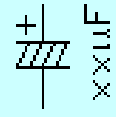
通常使われるコンデンサは数pF - 数万 μ F程度であるが、電気二重層コンデンサなどでは数千Fオーバーの大容量な物もある。

両端の端子に印加できる電圧(耐圧)は、2.5V - 10kV程度までさまざまである。

コンデンサとは、直流には電気を貯める働きを、交流には周波数により抵抗値の変わる「抵抗」として機能します。
 この貯められる量を「静電容量(略して「容量」)」といい、単位は、F(ファラド)です。
 しかし、1Fというのは膨大な量を貯えられる量で、電子回路ではこれほどの大きな容量のものはあまり使いません。通常は、

pF(ピコ(=10の12乗分の1)ファラド)
 μF(マイクロ(=10の6乗分の1)ファラド) をよく用います。

また、コンデンサの電極間にかけることのできる最大電圧を「定格電圧(耐電圧)」といい、これ以上の電圧を加えるとコンデンサがこわれます。

回路図記号	略号	名 称	機 能
	C	コンデンサ	小型の同調回路用
	C	バイパス コンデンサ	高周波バイパス用 単位はμF
	C	電解コンデンサ	低周波バイパス、平滑用 極性有り、耐電圧に注意

コンデンサには様々な用途がある。

- バッテリー
- 信号処理
- 電源供給
- 同調回路
- カップリング
- ノイズフィルター
- モーター始動
- 電撃防止
- 発振回路



車載用電気二重層
キャパシタ
「DXEシリーズ」
(日本ケミコン)



アテンザ(マツダ)の
i-ELOOPはキャパシタを使うこ
とで、併用する鉛バッテリーの
寿命を延ばすことにも成功



フィットに採用されるキャパシ
タは車体と同程度の寿命を誇
り、定期的な交換は不要だ

ル・マン疾走 トヨタ×日清紡、HVに新蓄電装置

2014/7/28 7:00

6月14日夕から15日夕までの24時間、フランスで繰り広げられた自動車耐久レース「ル・マン24」。一昨年から再参戦しているトヨタ自動車はまたしても独アウディに敗れ、初優勝はならなかった。しかしトヨタはこのレースで、ハイブリッド車（HV）の未来を見据えた戦いを続けている。「新たな蓄電装置」の開発だ。

■電池のないハイブリッド車

トヨタがル・マンに再参戦したのは、最上位カテゴリー、LMP1の参加資格がハイブリッド車になった2012年。トヨタがル・マン攻略の切り札として投入したマシンは、ハイブリッド車であるにもかかわらず、電池を積んでいない。

トヨタが電池の代わりに使っているのはキャパシターと呼ばれる蓄電装置だ。キャパシターはコンデンサーと同義で、テレビやパソコン、携帯電話といった電子機器の基板に実装され微弱な電気をためたり、放出したりする役目を果たしている。

蓄電について

- 1, 家庭用蓄電池
- 2, 産業用蓄電池
- 3, 系統安定化システム



太陽電池



風車(ウインドファーム)



系統安定化蓄電システム
(二次電池)



ガスタービン複合発電プラント
(GTCC)

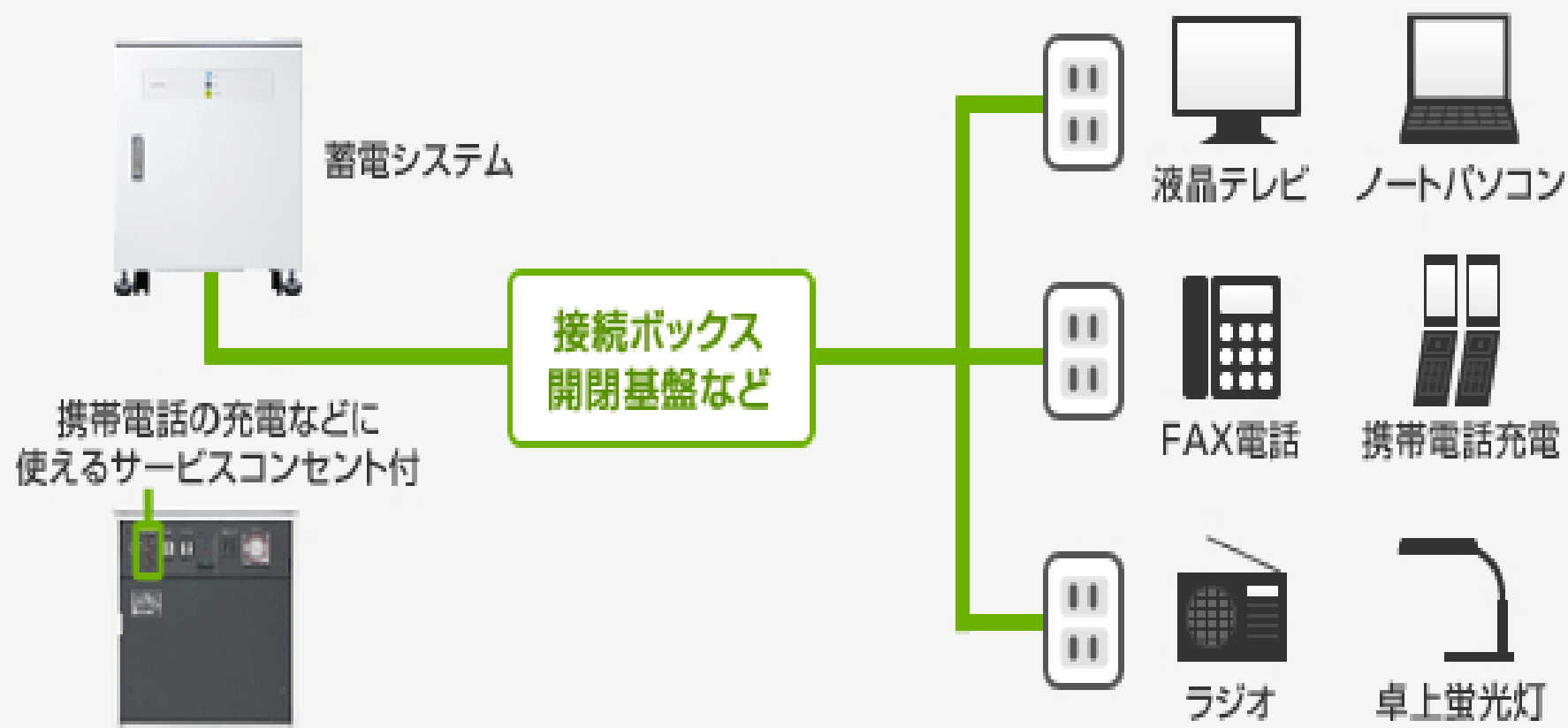


石炭ガス化複合発電プラント(IGCC)
燃料電池ガス化複合発電プラント(IGFC)
次世代超々臨界圧プラント(A-USC)



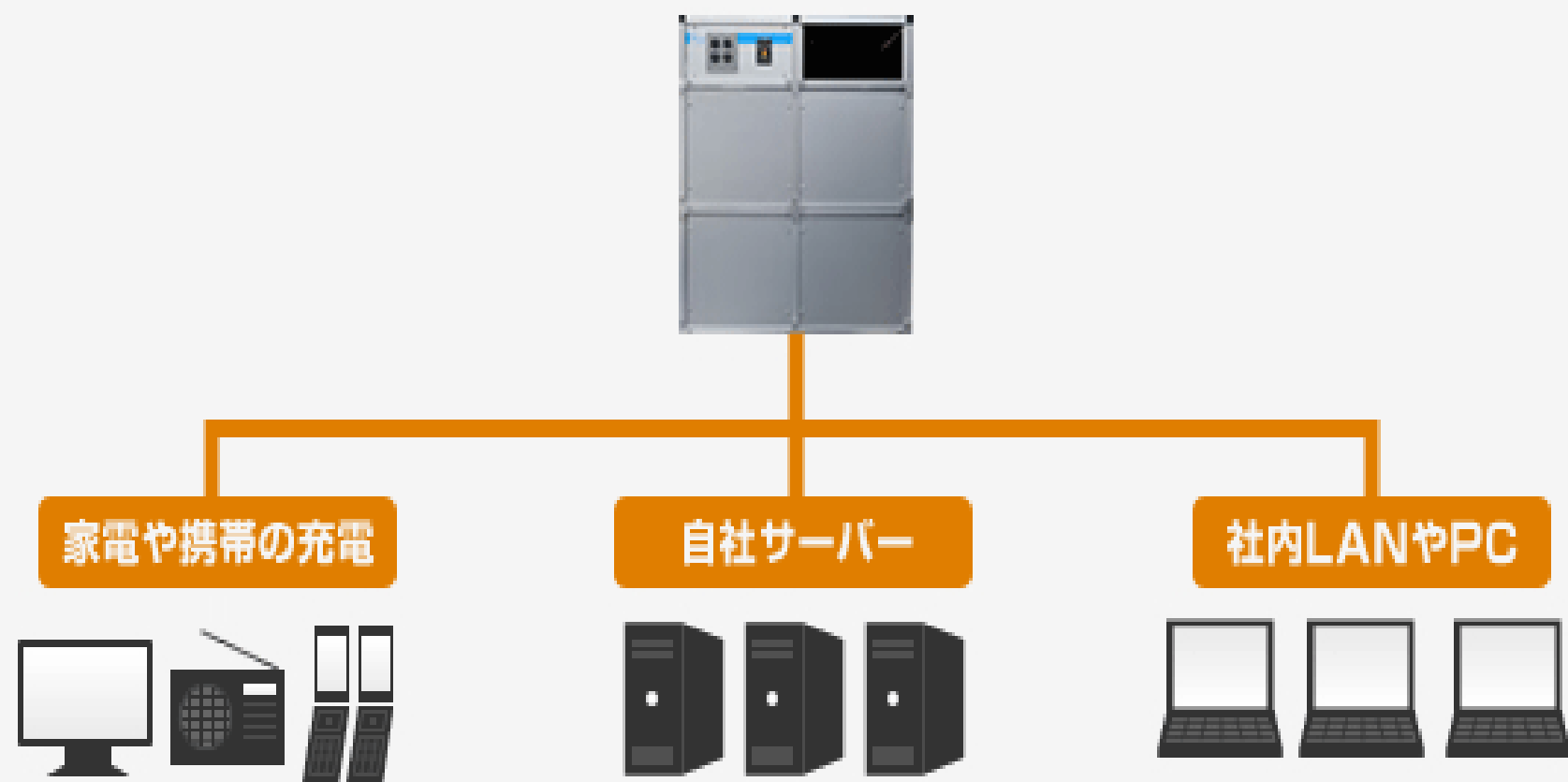
○ 家庭での停電対策・節電対策！小～中容量の家庭用蓄電池

一般家庭において、万が一の停電時の対策や、安い夜間電力を貯めて昼間に使用することによる節電等を目的とした家庭用の蓄電池です。家庭内の照明やテレビ、電話、パソコン等に使うことを想定しています。



○ オフィスや医療機関、店舗や工場などで活躍！大容量の産業用蓄電池

オフィスや店舗・工場などでのサーバ用UPSの大容量バックアップ、社内LAN・PC・レジ等の電源確保、診療所・介護施設等での医療機器・冷暖房等の電力確保などを主目的とした産業用の大容量蓄電池です。



3, 系統安定化の蓄電システム

a: 蓄電池の現状(資源エネルギー庁)

b: 蓄電システムの開発状況(三菱総研)

別の資料へ