



岡山大学
OKAYAMA UNIVERSITY



J-Physics
多様子伝導系の物理

科研費
KAKENHI

JST 国立研究開発法人
科学技術振興機構
科学先取りグローバルキャンパス岡山
2017年10月29日
理学部 Day 特別講義

体温で発電出来るか？

岡山大学
理学部物理学科・異分野基礎科学研究所
野原 実

どんな「発電」を知っていますか？

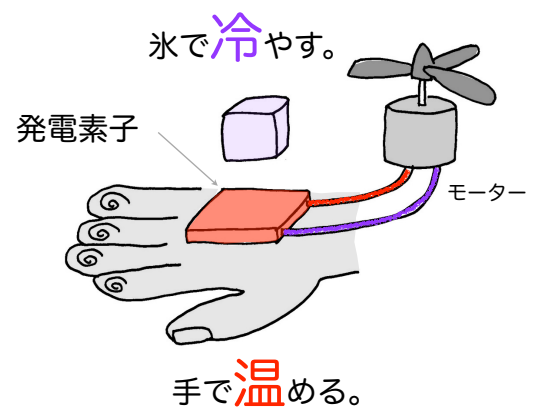
風力 発電
発電
発電
発電



今日は、「熱電」発電を紹介します。

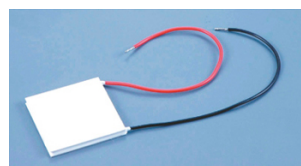
コンセントは何ボルト？

体温で発電できるか？



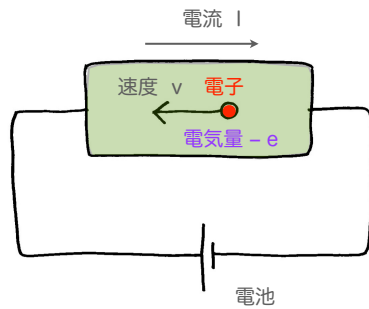
発電の仕組み

これが熱電発電の部品です。



「ペルチェ素子」ともいいます。

電流の正体は「電子」の流れです。



電子は、負の電気量 $-e$ を持っています。

「電流」の本当の正体は電子の持つ「電気量」の流れです。

電子は3つの固有の性質を持っています。

電気 量 の流れが 電 流

量 の流れが 流

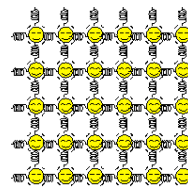
量 の流れが 流

$$\text{電気量 } e = 1.6021773 \times 10^{-19} \text{ C}$$

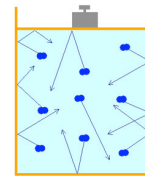
熱の正体

「熱」の正体は「質量」の運動です。

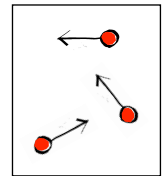
質量 m 速度 v



固体中の原子



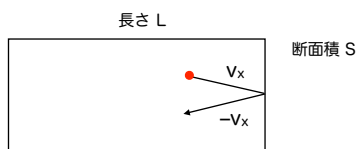
気体分子



電子

「熱エネルギー」の正体は「運動エネルギー」です。

高校の「物理」と「化学」の知識で、考えてみましょう。



物理の法則を用いて、電子が壁面に与える力を計算します。

壁に衝突したときの、速度変化は $\Delta v_x = 2v_x$

衝突の時間間隔は $\Delta t = \frac{2L}{v_x}$

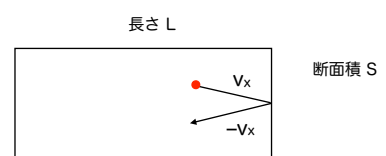
加速度は $\alpha = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = 2v_x \frac{v_x}{2L} = \frac{v_x^2}{L}$

単位時間あたりの速度変化

$$\text{力は } f = m\alpha = \frac{mv_x^2}{L}$$

ニュートンの運動方程式

壁面に衝突する電子の圧力を求めます。



電子が N ヶあるので、力は N 倍になります。

速度は N ヶの電子の平均値になります。

$$F = Nf = \frac{Nm\langle v_x^2 \rangle}{L}$$

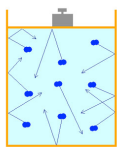
$$\text{電子が壁面に及ぼす圧力は } P = \frac{F}{S} = \frac{Nm\langle v_x^2 \rangle}{SL}$$

単位面積あたりの力

$$\text{体積 } V = SL \text{ を用いて、 } PV = Nm\langle v_x^2 \rangle \quad (\text{赤は物理の式です})$$

熱エネルギーの正体が運動エネルギーであることが分かります。

今度は、化学の法則を用いて電子が壁面に与える圧力を計算します。



ボイル - シャルルの法則

ガス定数は $R = N_A k_B$ なので、

電子の総数 $N = nN_A$ を用いて

前ページの最後の式は、

(1)化学の式 と (2)物理の式 を比較すると、

整理して、結局

$$\frac{1}{2} m \langle v_x^2 \rangle = \frac{1}{2} k_B T$$

「運動エネルギーの平均値は、熱エネルギーに等しい」ことが示せました。

$$PV = nRT$$

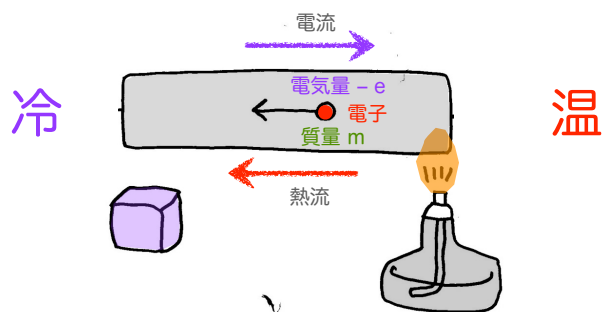
$$PV = nN_A k_B T$$

$$PV = N k_B T \quad (1)$$

$$PV = Nm \langle v_x^2 \rangle \quad (2)$$

$$Nm \langle v_x^2 \rangle = N k_B T$$

「熱」が流れれば「電気」も流れる？



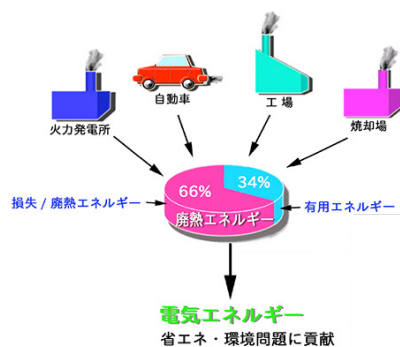
電子は「電気」と「熱」を運びます。
これを利用したのが、熱電発電です。

電気が良く流れる金属が、熱を良く伝えるのは、このためです。

余った熱が少しでもあれば、発電できます。
これが「熱電発電」の特徴です。

効率

私たちは、多くの熱をムダに捨てています。



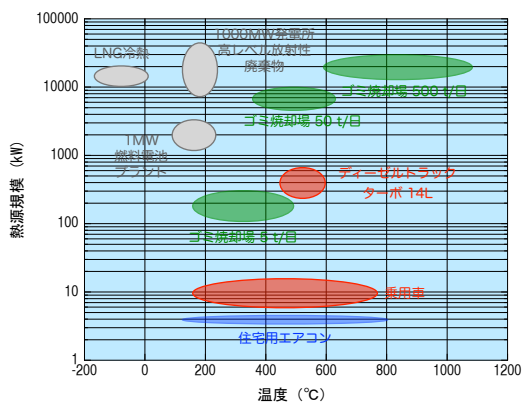
余った熱を利用するひとつの方法が **熱電発電** です。

みなさんの周りには、どのような余った熱がありますか？

お風呂の残り湯



世の中には、こんなに余った熱があります。

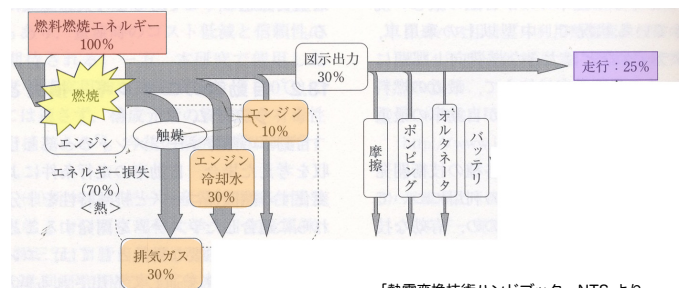


リアライズ社「熱発電工学」より

乗用車



ガソリンの燃焼エネルギーの70%を、廃熱として捨てています。

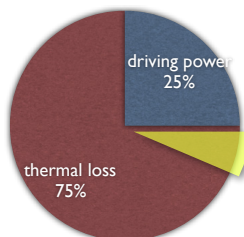


「熱電変換技術ハンドブック」NTS より



日本には約 1 千万台の自動車があり、年間 約 6 千万キロリットルのガソリンを消費しています。

石油連盟ホームページより



もし、5%節約できたら、300万キロリットルのガソリンを節約できます。

ガソリン価格がリッター 160 円なら 4,800 億円の節約です。

CO₂ 換算で、700 万トン です。

1 リットル (ガソリン) = 2.322 kg (CO₂)
環境省地球環境局ホームページより

(5) 温室効果ガス削減

鳩山首相が国連で「温室効果ガス25%削減」を表明 (1/2ページ)

2009.9.22 23:33

このニュースのトピックス：温暖化

【ニューヨーク＝今堀守通】世界90カ国以上の指導者が出席した国連気候変動首脳会合が22日午前(日本時間同夜)に開かれ、鳩山由紀夫首相が演説した。首相は、**温室効果ガス削減の中期目標**について、主要国の参加による「意欲的な目標の合意」を前提に「1990年比で2020年までに25%削減を目指す」と表明した。

約 3.2 億トン



国連気候変動首脳会合で演説する鳩山首相＝22日、ニューヨークの

ガソリン 5% の節約で、700 万トン = 0.07 億トン
全てのガソリン自動車を廃止して、1.4 億トン



首相官邸

Prime Minister of Japan and His Cabinet

平成28年11月8日

「パリ協定」の受諾に関する内閣総理大臣の談話

本日、「パリ協定」を受諾することを決定しました。この協定は、歴史上はじめて、国連気候変動枠組条約の締約国である197カ国が全て参加する、公平かつ実効的な気候変動対策のための協定です。新しい枠組みには全ての国が参加しなければならない、これが日本の熱望した主張であり、それが実現しました。政府としては、8日に国連事務総長宛に受諾書を寄託する予定です。

我が国は、地球温暖化対策に、内閣の最重要課題として、引き続き全力を挙げて取り組みます。本年5月には、「地球温暖化対策計画」を策定し、パリ協定の長期目標を見据えた戦略的な取組を明確にするとともに、2030年度に温室効果ガスを26%削減するという我が国の目標達成に向けた道筋を付けました。

BMWに搭載された熱発電システム（試験段階）

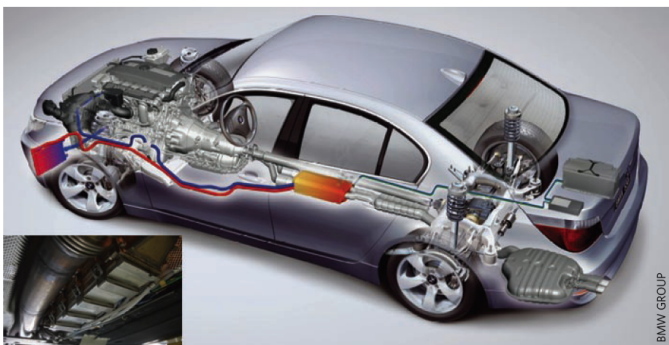
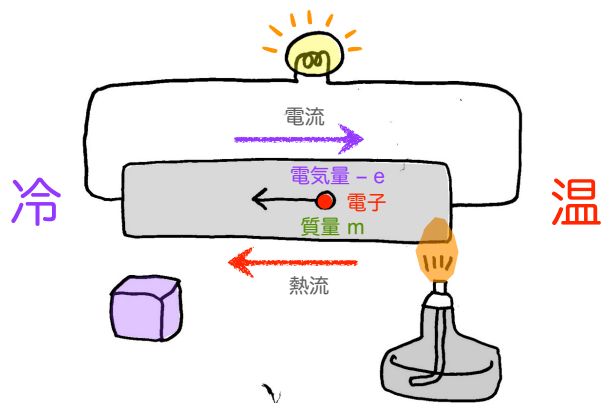


Figure 1 | Integrating thermoelectrics into vehicles for improved fuel efficiency. Shown is a BMW 530i concept car with a thermoelectric generator (yellow; and inset) and radiator (red/blue).

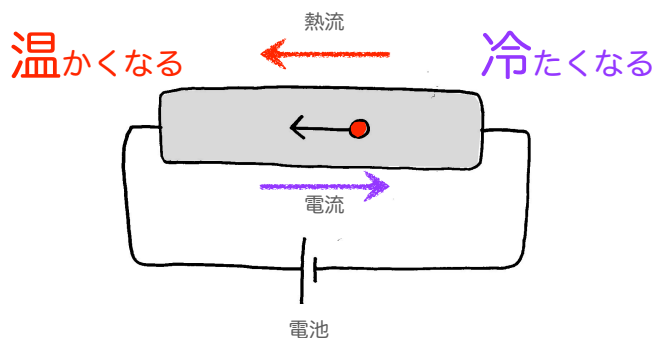
NATURE MATERIALS | VOL 8 | FEBRUARY 2009 | www.nature.com/naturematerials

逆もできませんか？

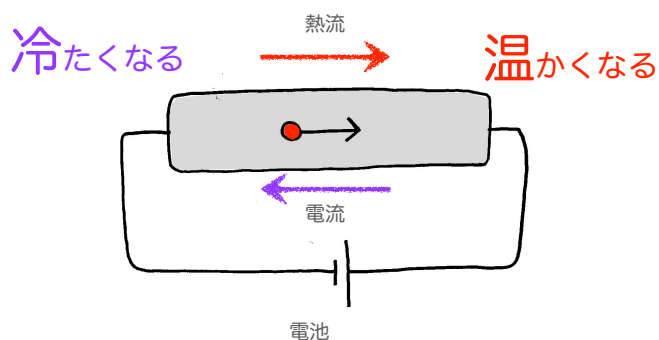
「熱」が流れれば、「電気」も流れます。



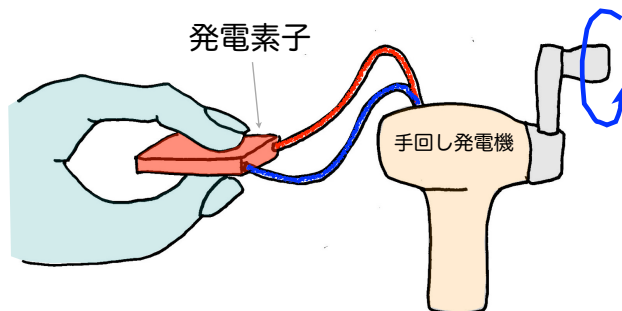
「電気」を流せば「熱」も流れます。



電流の向きを変えると、熱流の向きも変わります



熱流を、指先で感じてみましょう。

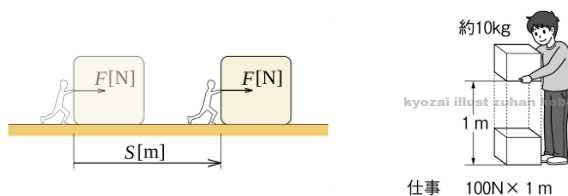


回す方向を変えると、電流の向きが変わります。
熱流の向きも変わりましたか？

もう一つ、実験

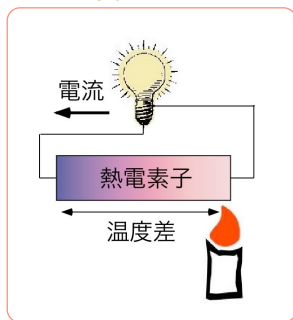
なにも、つながずに、発電機を回すと
どうなりますか？

$$\text{仕事} = \text{力} \times \text{距離}$$



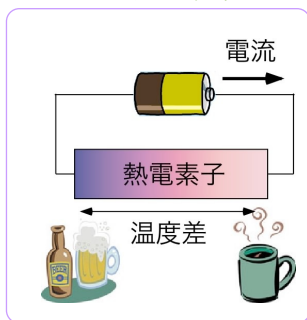
二つ合わせて「熱電効果」と呼びます。

温度差で発電



ゼーベック効果
1821年

電流で冷却



ペルチェ効果
1834年

熱電冷却は実用化されています。

パナソニック ワインセラー

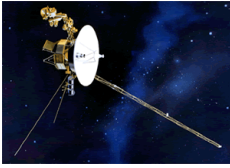
- ・ポータブル冷蔵庫
- ・無音・無振動冷蔵庫
- ・半導体レーザー
- ・赤外線検出器
- ・半導体プロセスの温度管理
- ・ゲノムシーケンサー



24本収納 家庭用ワインセラー
NR-EW10D24BM

▶ 振動がほとんどない、「ペルチェ冷却方式」採用
▶ ワイン貯蔵に理想的な温度と湿度を安定保持
▶ ビンが互いに触れあわない寝かせて貯蔵できる棚設計
本体希望小売価格：231,000円（税抜220,000円）

熱電発電は、まだ限られています。



惑星間探査機の電源



ろうそくラジオ



心臓ペースメーカー



腕時計

鳥取県湯梨浜町の東郷温泉で、熱電発電をしています。

東郷に温度差発電を利用した「めぐみのゆ公園」開園 / 山陰中央新報より
2004.09.27 Monday

「鳥取県東郷町長和田に二十五日、東郷温泉のわき湯を利用した『めぐみのゆ公園』がオープンした。

温度差発電は、熱電半導体によるエネルギー変換装置を使用。源泉から引いた六七・五度の温泉と、二六・三度の地下水の温度差により、一時間当たり三三ワットの電力を生み出す。」



どの元素の組み合わせが良いのか？

1																18																																															
1 H 1.0079																2 He 4.0026																																															
3 Li 6.941		4 Be 9.012														5 B 10.811		6 C 12.011		7 N 14.007		8 O 15.999		9 F 18.998		10 Ne 20.180																																					
11 Na 22.990		12 Mg 24.305		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13 Al 26.981		14 Si 28.086		15 P 30.974		16 S 32.065		17 Cl 35.453		18 Ar 39.948																													
19 K 39.098		20 Ca 40.078		21 Sc 44.956		22 Ti 47.867		23 V 50.942		24 Cr 51.996		25 Mn 54.938		26 Fe 55.845		27 Co 58.933		28 Ni 58.693		29 Cu 63.546		30 Zn 65.409		31 Ga 69.723		32 Ge 72.64		33 As 74.921		34 Se 78.96		35 Br 79.904		36 Kr 83.798																													
37 Rb 85.468		38 Sr 87.62		39 Y 88.906		40 Zr 91.224		41 Nb 92.906		42 Mo 95.94		43 Tc (98)		44 Ru 101.07		45 Rh 102.91		46 Pd 106.42		47 Ag 107.87		48 Cd 112.41		49 In 114.82		50 Sn 118.71		51 Sb 121.76		52 Te 127.60		53 I 126.90		54 Xe 131.29																													
55 Cs 132.91		56 Ba 137.33		57 La 138.905		58 Ce 140.908		59 Pr 140.908		60 Nd 144.24		61 Pm (145)		62 Sm 150.36		63 Eu 151.96		64 Gd 157.25		65 Tb 158.93		66 Dy 162.50		67 Ho 164.93		68 Er 167.26		69 Tm 168.93		70 Yb 173.05		71 Lu 174.967		72 Hf 178.49		73 Ta 180.948		74 W 183.84		75 Re 186.21		76 Os 190.23		77 Ir 192.22		78 Pt 195.08		79 Au 196.97		80 Hg 200.59		81 Tl 204.38		82 Pb 207.2		83 Bi 208.98		84 Po (209)		85 At (210)		86 Rn (222)	

* Lanthanide series

57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

Actinide
series

89 Ac (227)	90 Th (232.04)	91 Pa (231.04)	92 U (238.03)	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)
--------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

