太陽電池(I)
～バックグランドと理論～

東京工業大学
電子物理工学専攻

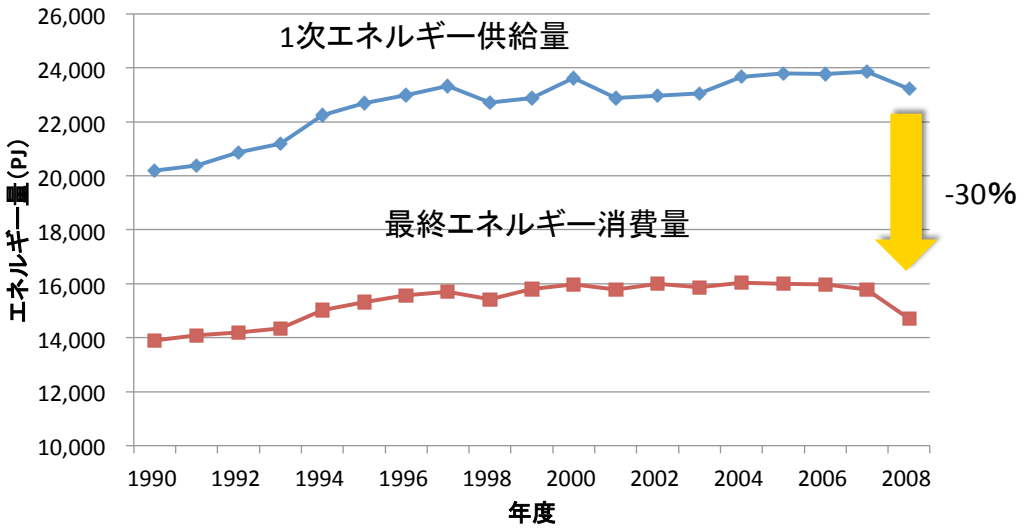
山田　明

発表の内容

- エネルギーと日本
- 太陽電池の原理
  - 半導体
  - pn接合
- エネルギーと電力
- 研究室での取り組み

エネルギーと日本
（赤木先生の講義に近い？）

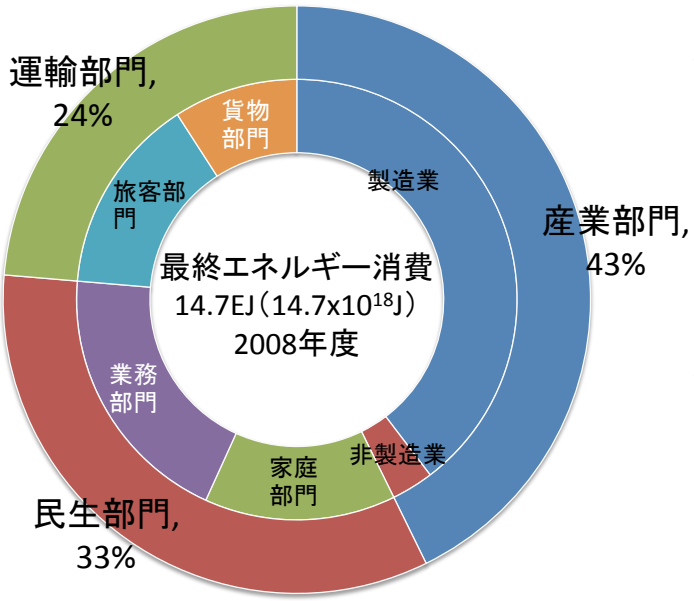
国内エネルギー消費の推移



資源エネルギー庁：平成20年度（2008年度）エネルギー需給実績（速報）

- 2008年度
  - 一次エネルギー供給量：23EJ（23×10^{18}J）
  - 最終エネルギー消費量：16EJ（16×10^{18}J）
  - 差分は、エネルギー転換の際のロス（転換損失）

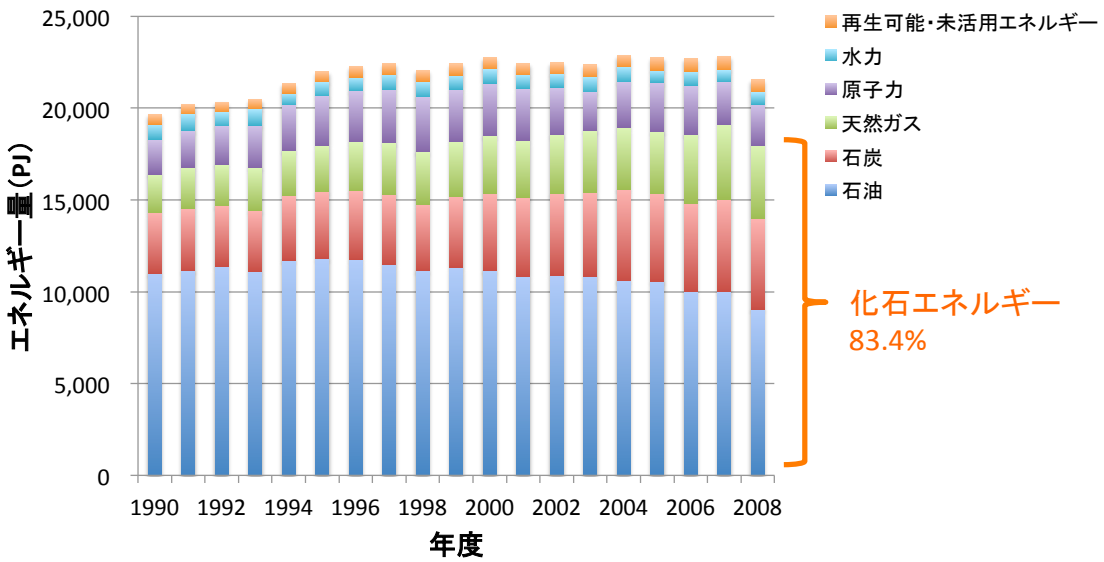
最終エネルギー消費の部門別内訳



- 産業、民生、運輸部門でほぼ1/3ずつエネルギーを消費している。
- 家庭部門での消費は、全体から見ると実は少ない。約14%である。

資源エネルギー庁：平成20年度（2008年度）エネルギー需給実績（速報）

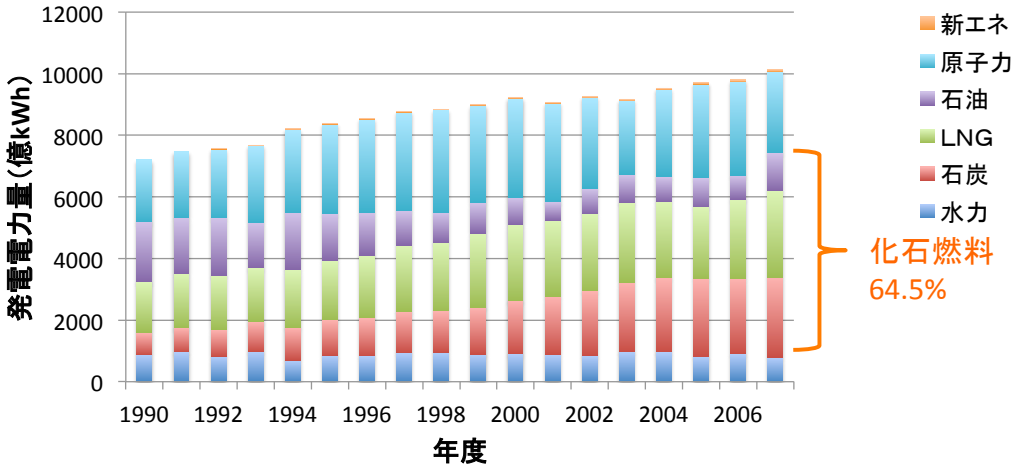
1次エネルギー国内供給量の推移



資源エネルギー庁：平成20年度（2008年度）エネルギー需給実績（速報）

- 1次エネルギーの化石エネルギーに対する依存度は高い。

日本の発電電力量推移



資源エネルギー庁「電源開発の概要」を元に作成

- 電源別発電量では、石炭とLNGの割合が多い。
- 年間の総発電量は、約10,000億kWh（3.6EJ）である。
- 最終エネルギー消費量に占める、電力量の割合は約23%である。

エネルギーのまとめ

- 1次エネルギー供給量は23EJ。そのうち、約30%を変換時にロスしている。
- 日本の年間発電量は3.6EJであり、最終エネルギー消費量の23%を電力として消費している。
- 1次エネルギー供給量の約83%が化石エネルギー、発電電力量の約65%が化石燃料。

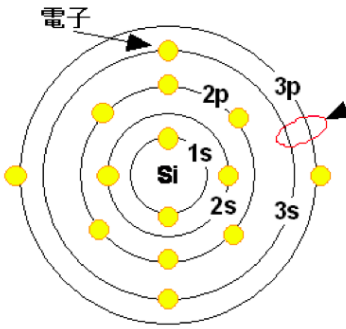
太陽電池の原理
（水本先生の講義に近い？）

半導体

量子力学を使わないので、必ずしも正確ではないが。
（2年生後期）

周期律表

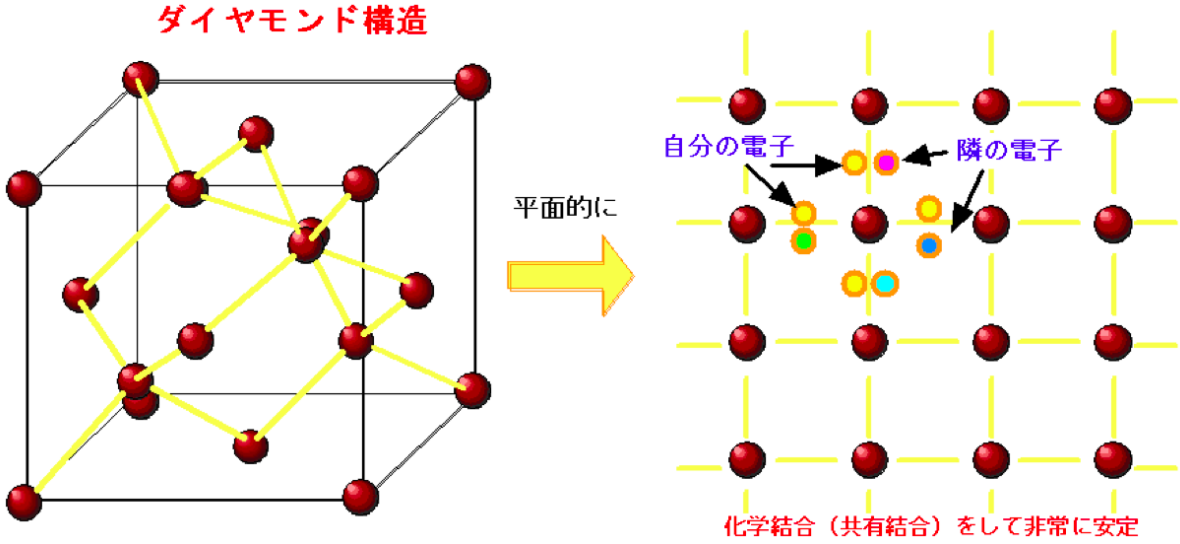
I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn



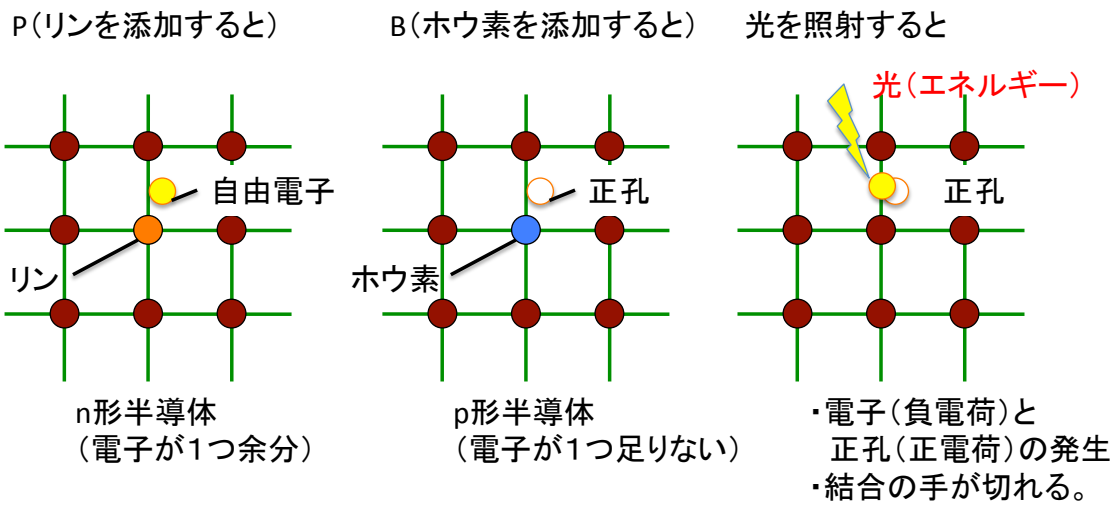
混成軌道

化学結合に寄与する電子の数は、4つ。

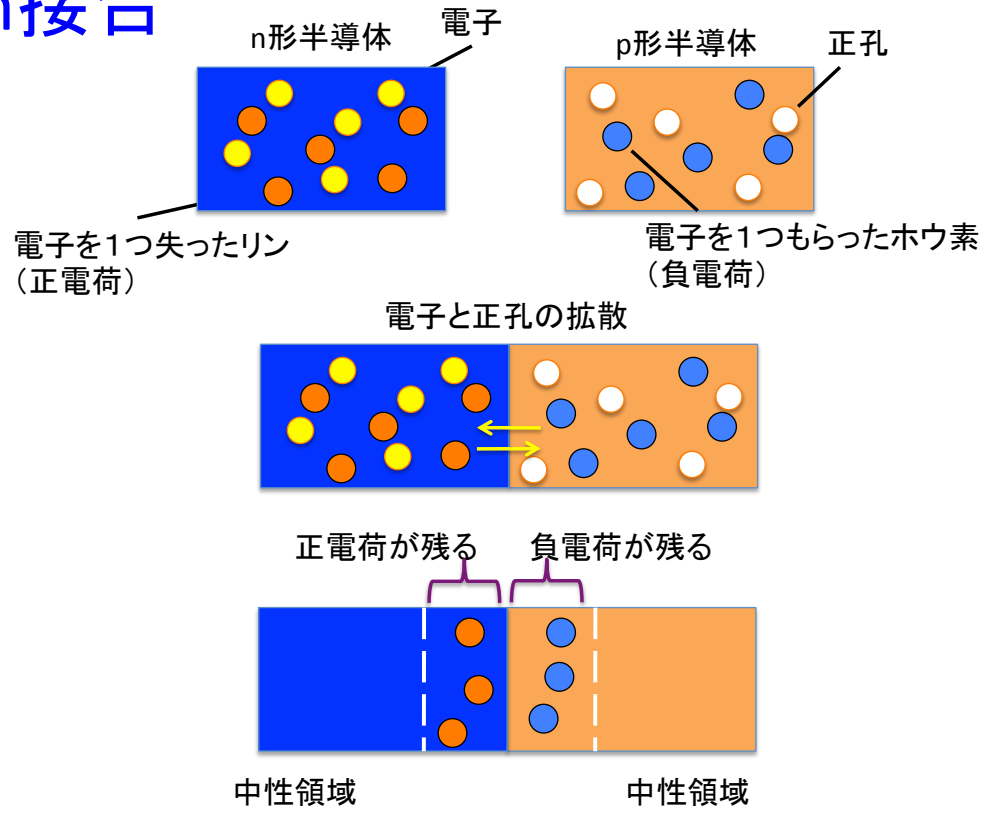
Siの結晶構造



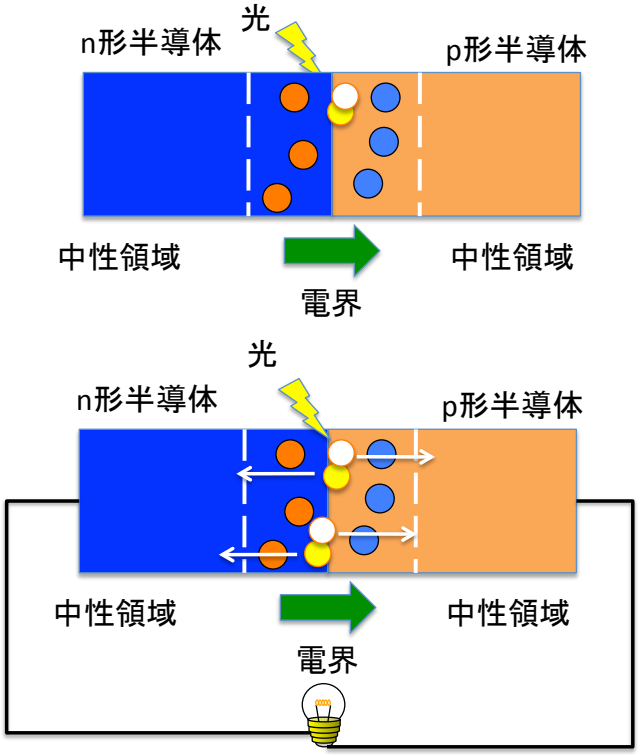
不純物の添加、光照射



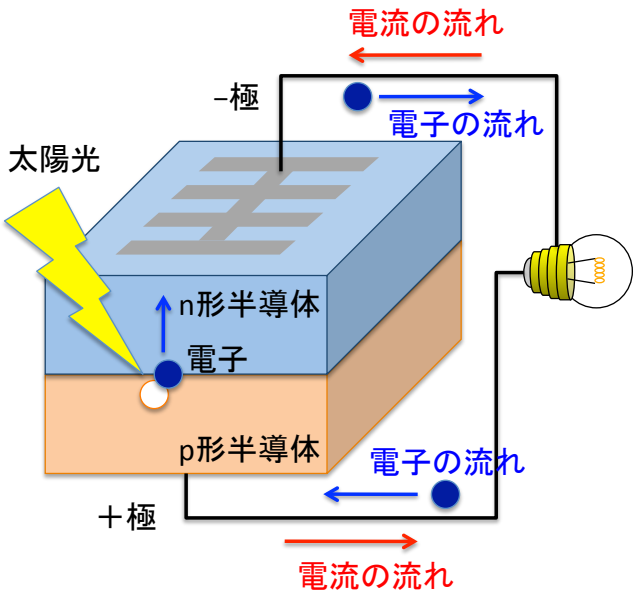
pn接合



光が照射されると



太陽電池の動作原理



- 太陽からの光を半導体（固体）が、吸収します。
- 太陽電池の中で、電子が発生します。（正孔も発生します。）
- 電子は、−の電極（n形半導体）に移動します。{正孔は、＋極（p形半導体）に移動します。}
- 外部回路を通して電子が移動します。
- 電子の流れの方向と、電流の方向は逆です。

- 太陽電池は、電流を発生させる装置です。

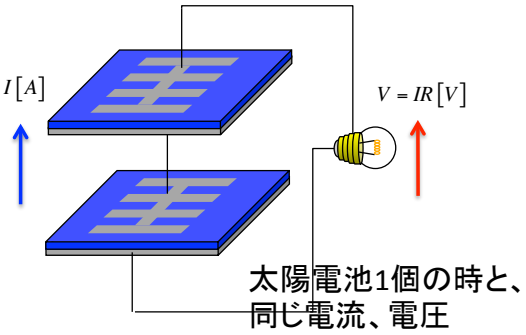
太陽電池と太陽光

- 太陽電池は、太陽光を吸収して、電流を発生させる装置です。
- 太陽光が強いければ強い程、その強度に比例して大きい電流が流れます。
- 太陽電池には、吸収できる波長と吸収できない波長があります。
- 吸収できない波長では、太陽電池は発電することができません。

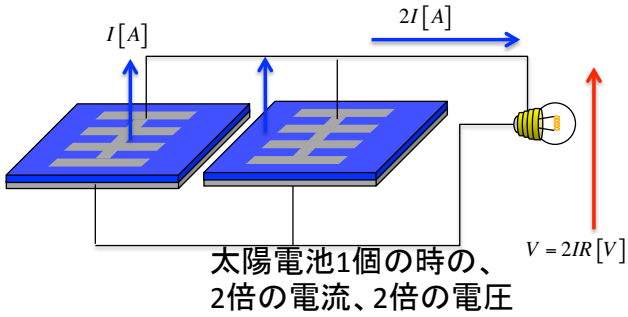
太陽電池とオームの法則

- 太陽電池の電極からは、一定の電流が流れます。このような装置を電流源と言います。
- 電極間の電圧は、オームの法則(V=IR)で決まります。
- 太陽電池（電流源）を並列に接続すると、電極を流れる電流は足し算されます。直列接続では、流れる電流は1個の時と同じです。

直列接続

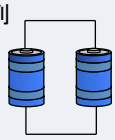
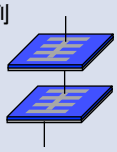
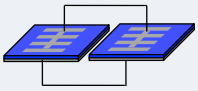


並列接続



豆電球の抵抗は小さく、値を$R[\Omega]$とする。

接続のまとめ

		電圧	電流
乾電池（電圧源）	直列	2	2
	並列 	1	1
太陽電池（電流源）	直列 	1	1
	並列 	2	2
		電圧	電流

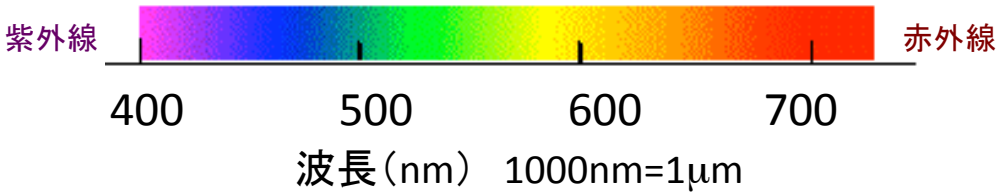
電圧源は、直列接続時に電圧が和となります。電流は、オームの法則で決まります。

電流源は、並列接続時に電流が和となります。電圧は、オームの法則で決まります。

1つの電池を基準に何倍かを示してます。
負荷抵抗の値は、小さいと考えてます。

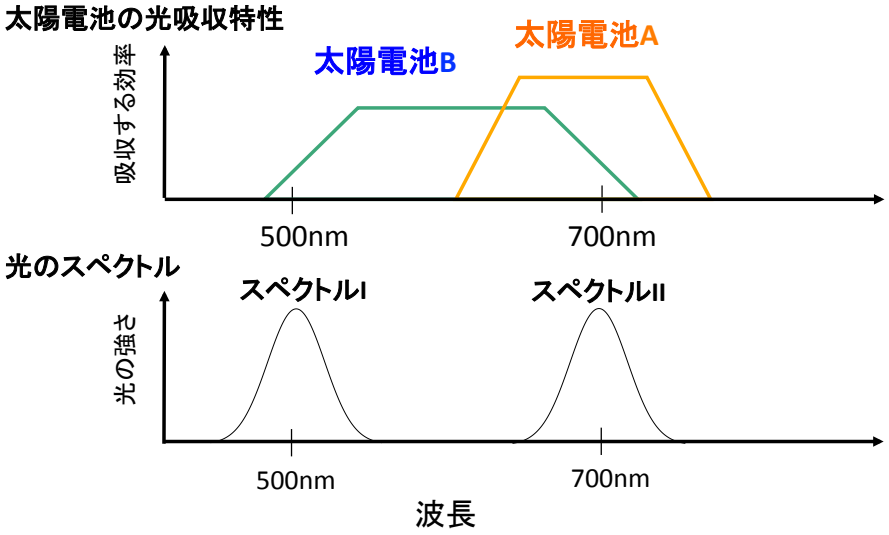
質問

- 赤色に見える光の波長はどれくらい？
- 青色に見える光の波長はどれくらい？
- 紫外線の波長は青色より長い？　それとも短い？
- 赤外線の波長は赤色より長い？　それとも短い？



問題：太陽電池の動作

- 太陽電池Aとスペクトル‍Iの組み合せの場合、太陽電池は発電しますか？
- IIのスペクトルを持った光源の場合、良く発電するのはAの太陽電池？それともBの太陽電池？



太陽電池による発電原理

15cm角の太陽電池から、日中、3Wの電気が得られる。

3kWのシステムを設置するのに要する屋根の面積は、約30m^2

よくある間違い

太陽光発電
太陽からの光エネルギーを直接に電気エネルギーに変換する。

太陽熱温水器
太陽の熱エネルギーを使って、お湯を作る。

太陽光発電システムの実際

カネカホームページ（http://www.a-sic.kaneka.co.jp/j/index.html）より

家庭用

瓦一体型

据置型（スレートタイプ）

据置型（和瓦タイプ）

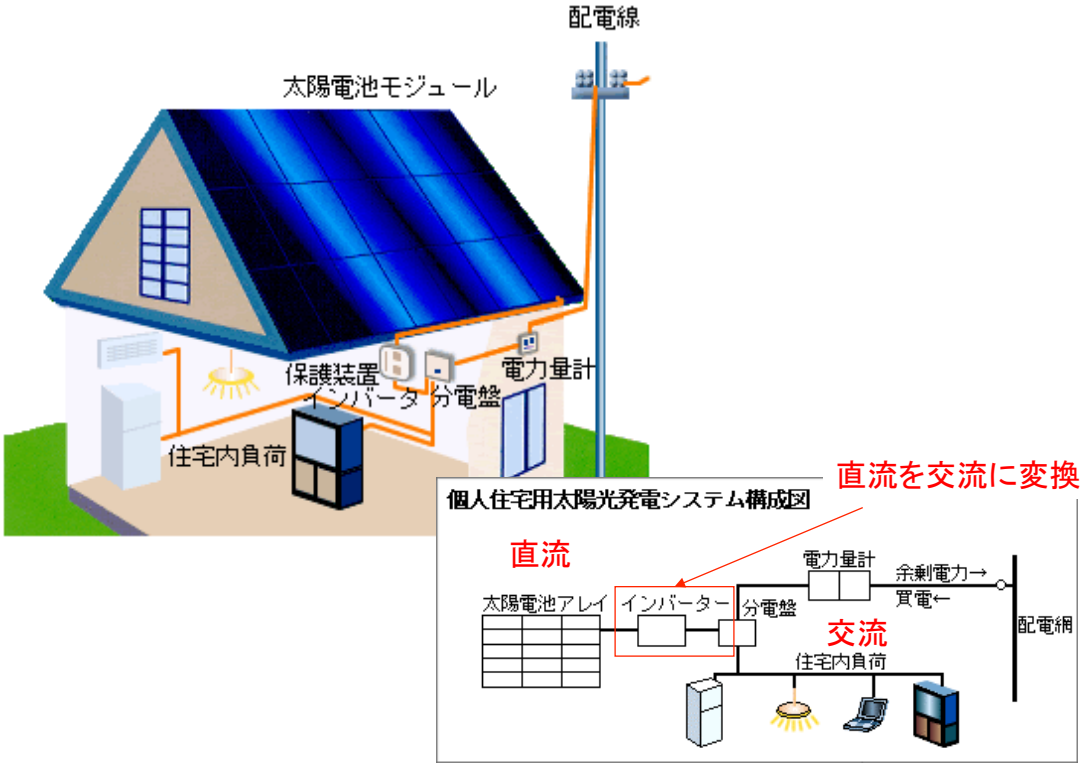
工場・大規模発電

大学の屋根:10kW

工場の屋根:50kW

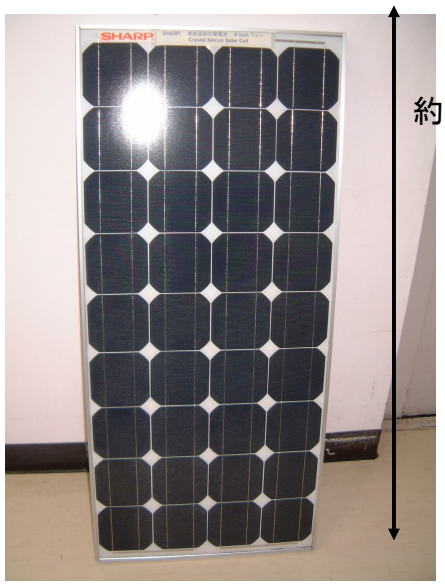
ビルの壁:20kW

太陽光発電のしくみ



単結晶Si太陽電池

SANYO 160W



SHARP 6’’ウェハ

どの位電力を消費している？

エアコン：8畳, 400W～500W

洗濯乾燥機：洗濯時250W,
乾燥時:850W

液晶テレビ：100W

掃除機：1000～150W

冷凍冷蔵庫：70W,
600kWh/年

コーヒーメーカ：600W

オーブン電子レンジ：1000W

IH炊飯器：1000W,
保温時25W

空気清浄機:20W

ビデオ：15W

ポット：湯沸時1000W,
保温時15W

蛍光灯:60W

合計電力

エアコン:	500W
洗濯機:	250W
液晶テレビ:	100W
掃除機:	500W
冷蔵庫:	70W
コーヒーメーカ:	600W
蛍光灯:	60W
合計:	2080W

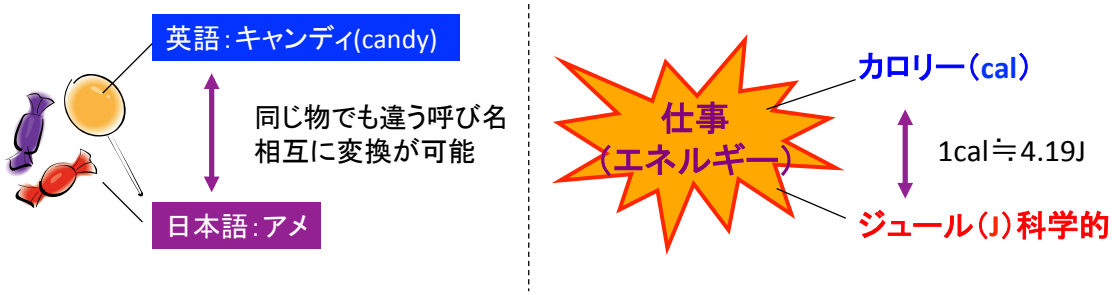
- 家のブレーカの契約Aは？
- そもそもWとは？

電力（W：ワット）と仕事

ワット（W）は，仕事率（単位時間にする仕事）を意味する.
→ワット（W）に時間（秒）をかけると，した（できる）仕事になる.

180ccの牛乳を0℃から沸騰させる（100℃）のに必要な仕事は？

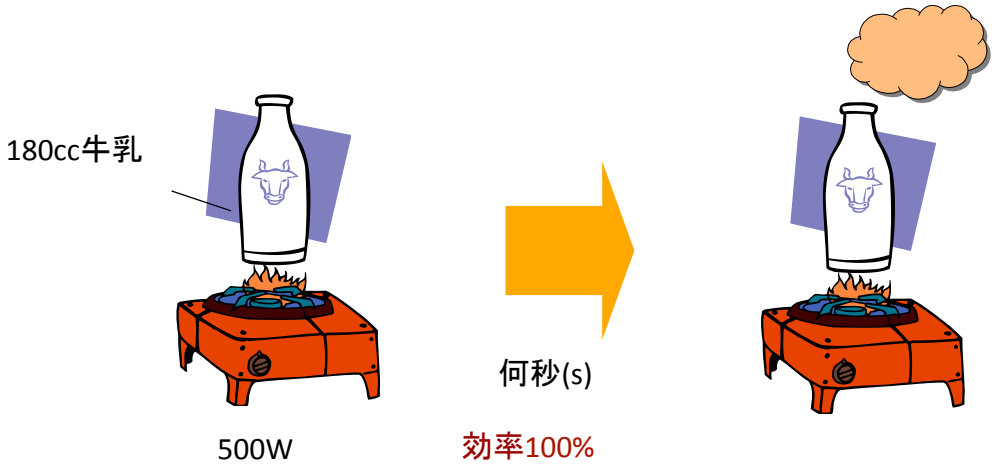
仕事の単位は,色々ある．1cal≒4.19J



電力と仕事

500Wのヒータで,180ccの牛乳を0℃から沸騰させると，何秒かかる？

ヒント：ワット（W）に秒（s）をかけると，ジュール（J）になる.



電力と仕事

先の2080W（約2000W=2kW）で1時間（アワー：hour）過ごすと,
何本の牛乳を沸かせる？

これだけの仕事をする電気をいくらで買っている?

またまた別名：1kWで1時間仕事をすることを1kWhの仕事と呼ぶ.

上の仕事は, 約2kWhの仕事と呼ぶ.
東京電力では,家庭用として25円/kWhで売電している.
従って今の場合,25円/kWh x 2kWh = **50円**のコスト

4人家族の年間電力消費量

- **約3720kWh/年**：約93,000円/年=約7,800円/月
  - 2kWhで牛乳96本なので,牛乳178,560本を沸かすことに相当.
    - 約32t（トン）の水を沸騰させることに相当（25mプール　(25x13x1m^3)10分の1相当）
  - 電力全体の平均のCO_2排出量：約360g-CO_2/kWh
    - 約1300kg=1.3t（トン）のCO_2排出量に相当

地球温暖化の一因

  - 太陽光発電の平均のCO_2排出量：約40g-CO_2/kWh（寿命20年）
    - 150kgのCO_2排出量に相当
    - **約1100kg=約1.1t（トン）のCO_2削減効果**

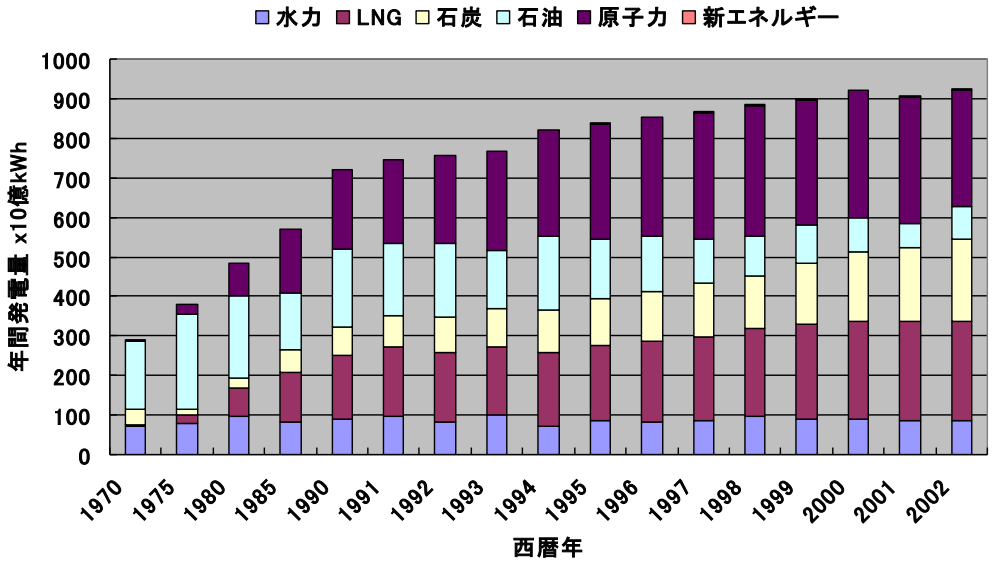
CO_2排出原単位は，AISTホームページ（http://unit.aist.go.jp/rcpv/）より

太陽電池

- そもそも，太陽のエネルギーは，地上でどの程度か?
  - 1kW/m^2，1m^{2}当たり1kWのエネルギーが到達している.
- 太陽エネルギーを100%変換できたら,3m^{2}で3kWとなり，先の約2kWが全てまかなえる.
- 残念ながら,現在の太陽電池の変換効率は15%位.
  - 従って, 3 ÷ 0.15 = 20m^{2}位の面積が住宅用には必要.
  - 20m^{2}は，4m x 5mの大きさ.普通の1軒屋なら十分可能.

日本の年間総発電量

- 日本の年間総発電量：約1兆kWh=10^{12}kWh
  - CO_2排出量（石油火力発電換算）：3.6億t=36,000万t（トン）
  - 日本の1戸建て戸数：約2600万戸
    - 約1割に太陽電池を導入すると,約290万t（トン）のCO_2削減効果



太陽光発電システムの利点

CO_2を排出しない

太陽エネルギーは無尽蔵

寿命は20年以上（動く部分がない）

大きいものから小さいものまでできる

太陽光発電システムの課題

夜は発電しない → 系統連系

エネルギー密度が低い → 大面積が必要

まだ発電コストが高い → 産学連携で取り組むべき最重要課題

太陽電池は，もうかるか？

- 3kWの太陽電池のシステム価格
  - 約200万円

- 3kWシステムの発電量
  - 太陽電池の寿命20年（半導体は壊れない）
  - 東京の1年間の日射量1200時間

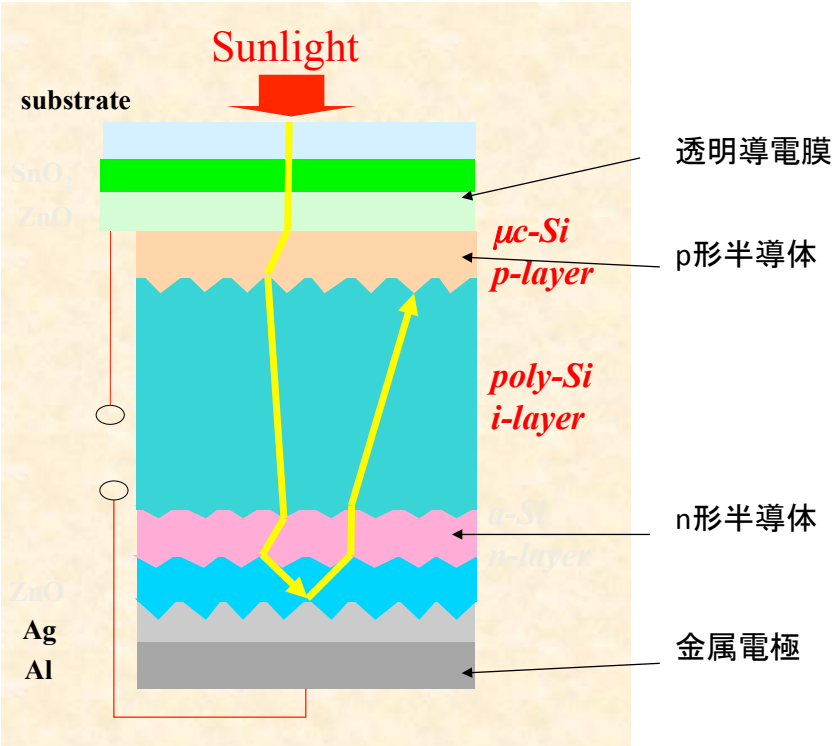
3kWシステム価格，90万円が当面の開発目標

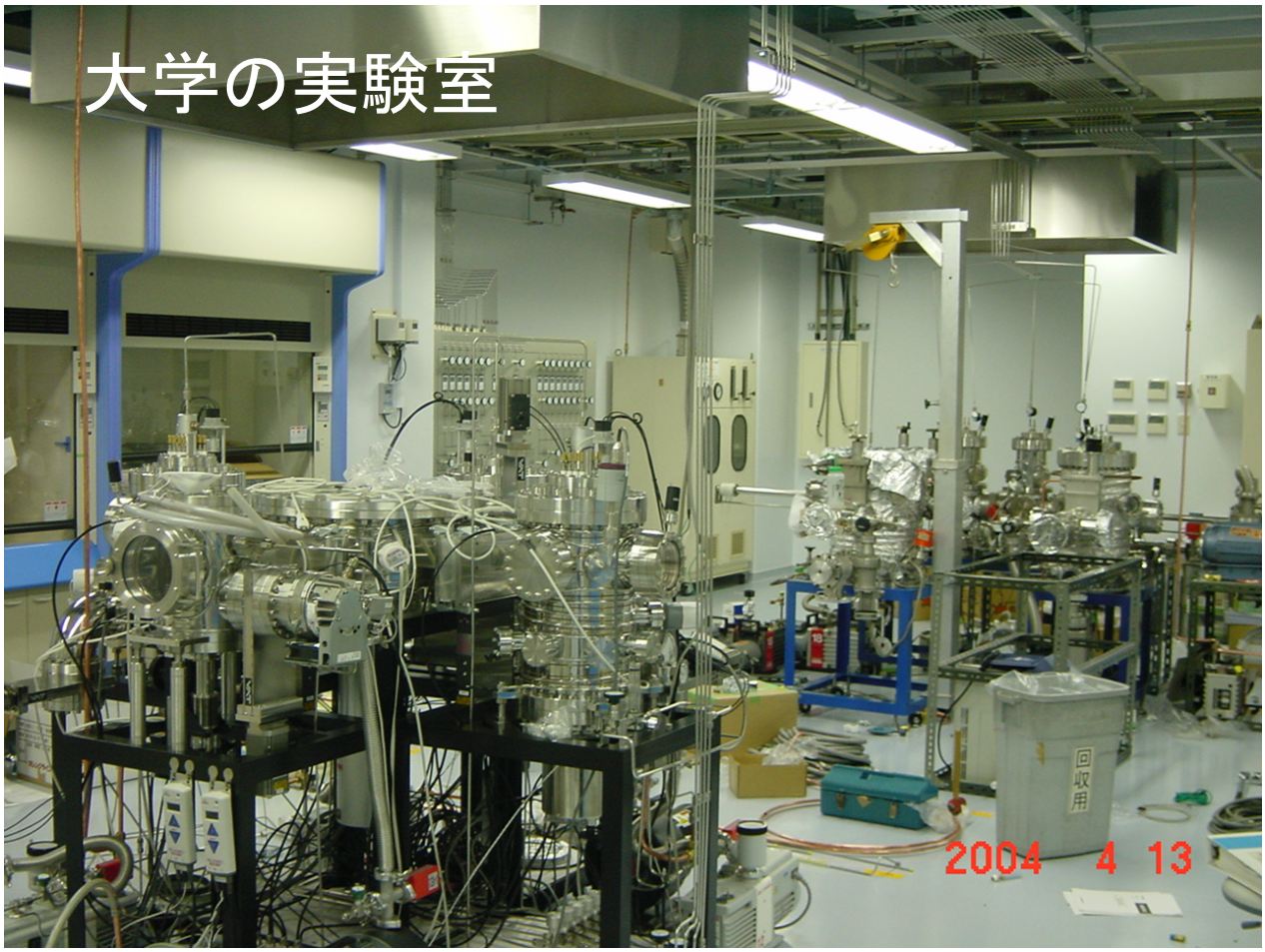
太陽電池と私

太陽電池と私（その2）

研究室で作製している太陽電池

太陽電池構造


Sunlight
substrate
SnO
ZnO
μc-Si
p-layer
poly-Si
i-layer
a-Si
n-layer
ZnO
Ag
Al
透明導電膜
p形半導体
n形半導体
金属電極


大学の実験室
2004 4 13

まとめ

- 太陽電池：
  - 日本の家庭の約1割に設置すると、約290万t（トン）のCO_2削減効果がある。
  - まだ、設置価格と売電価格は同じ程度
    - 低コスト化、高効率化が重要
  - 日本のエネルギー事情、電気、半導体物性などの知識が必要。基礎が重要。