

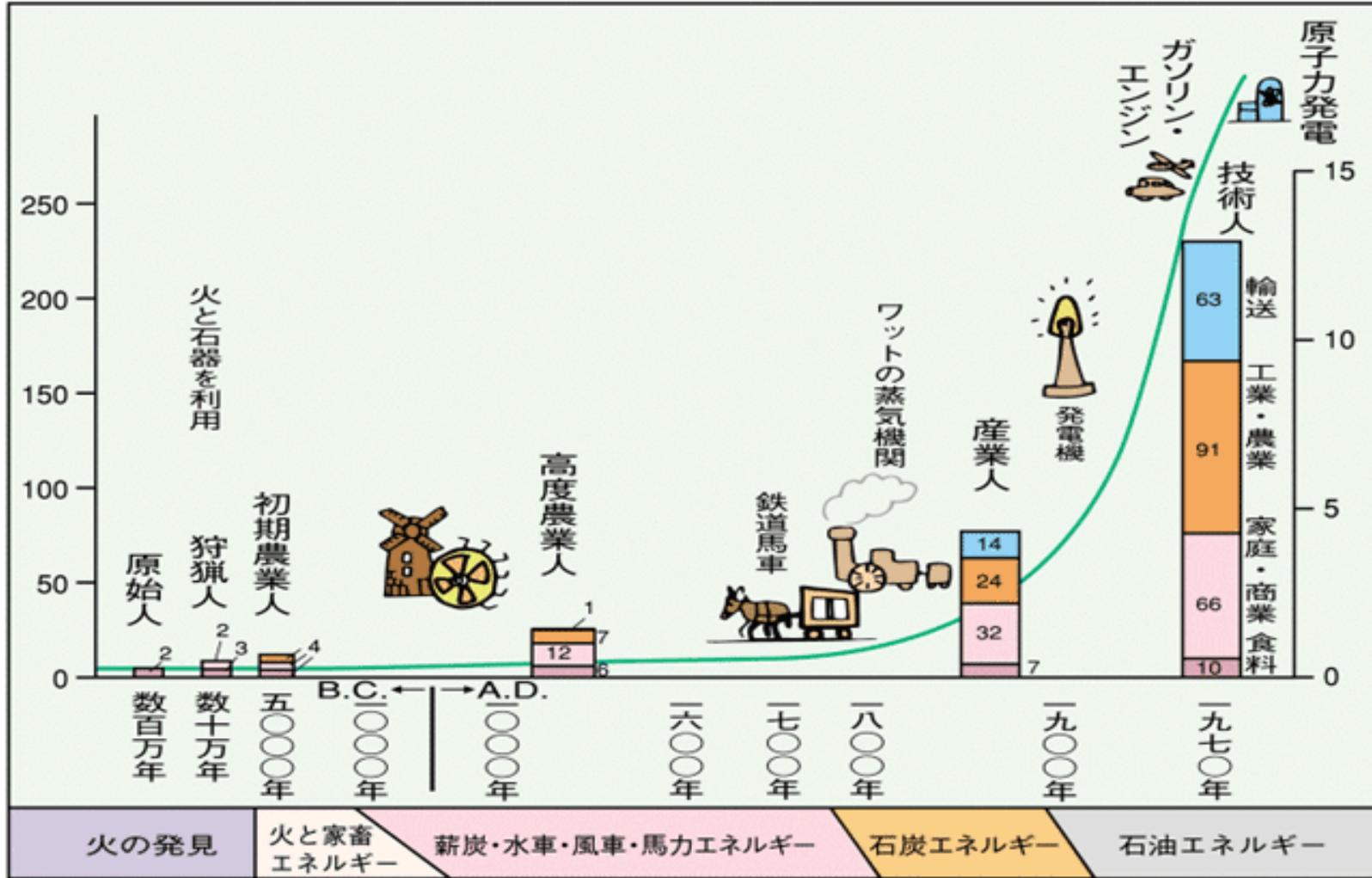
5. エネルギー

エネルギーとのかかわり

これからのエネルギー源: 太陽電池

人類とエネルギーのかかわり(1)

一人当たり消費量(二〇〇〇キロカロリー/日)・棒グラフ



石油換算消費量(二〇〇万キロリットル/日)・曲線グラフ

原始人
狩猟人
初期農業人

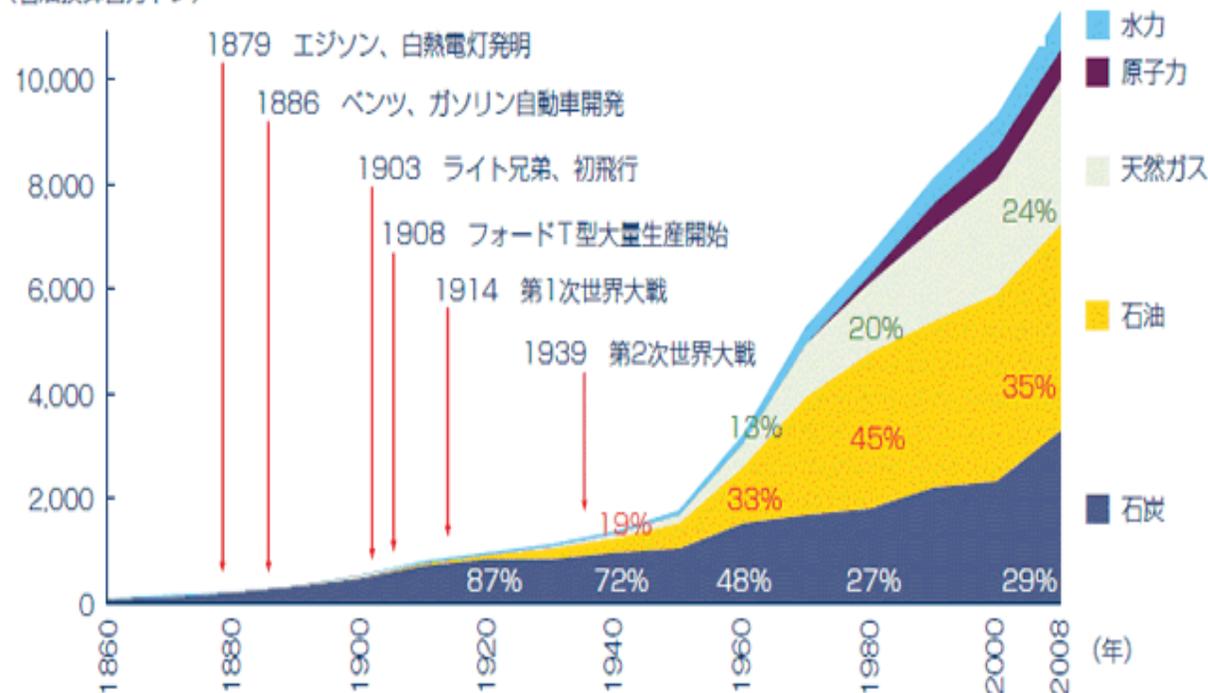
百万年前の東アフリカ、食料のみ。
十万年前のヨーロッパ、暖房と料理に薪を燃やした。
B.C.5000年の肥沃三角州地帯、穀物を栽培し家畜のエネルギーを使った。

高度農業人
産業人
技術人

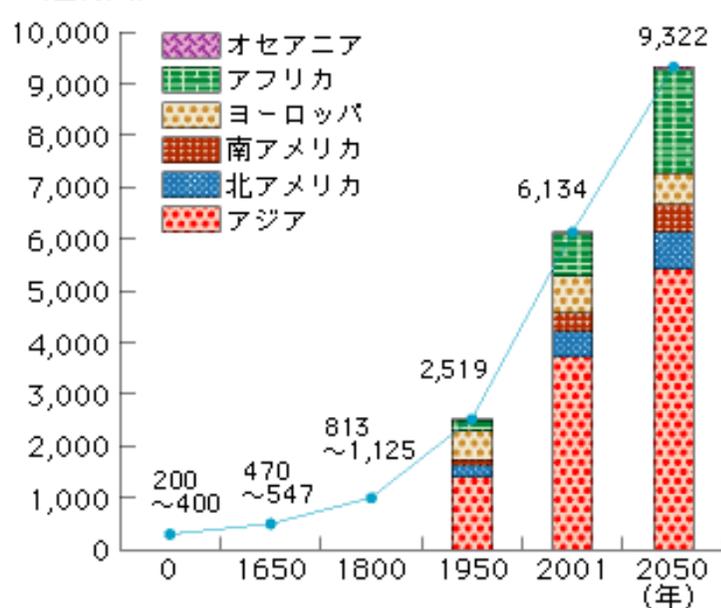
1400年の北西ヨーロッパ、暖房用石炭・水力・風力を使い、家畜を輸送に利用した。
1875年のイギリス、蒸気機関を使用していた。
1970年のアメリカ、電力を使用、食料は家畜用を含む。

近年の人類とエネルギーのかかわり(2)

(石油換算百万トン)



(百万人)



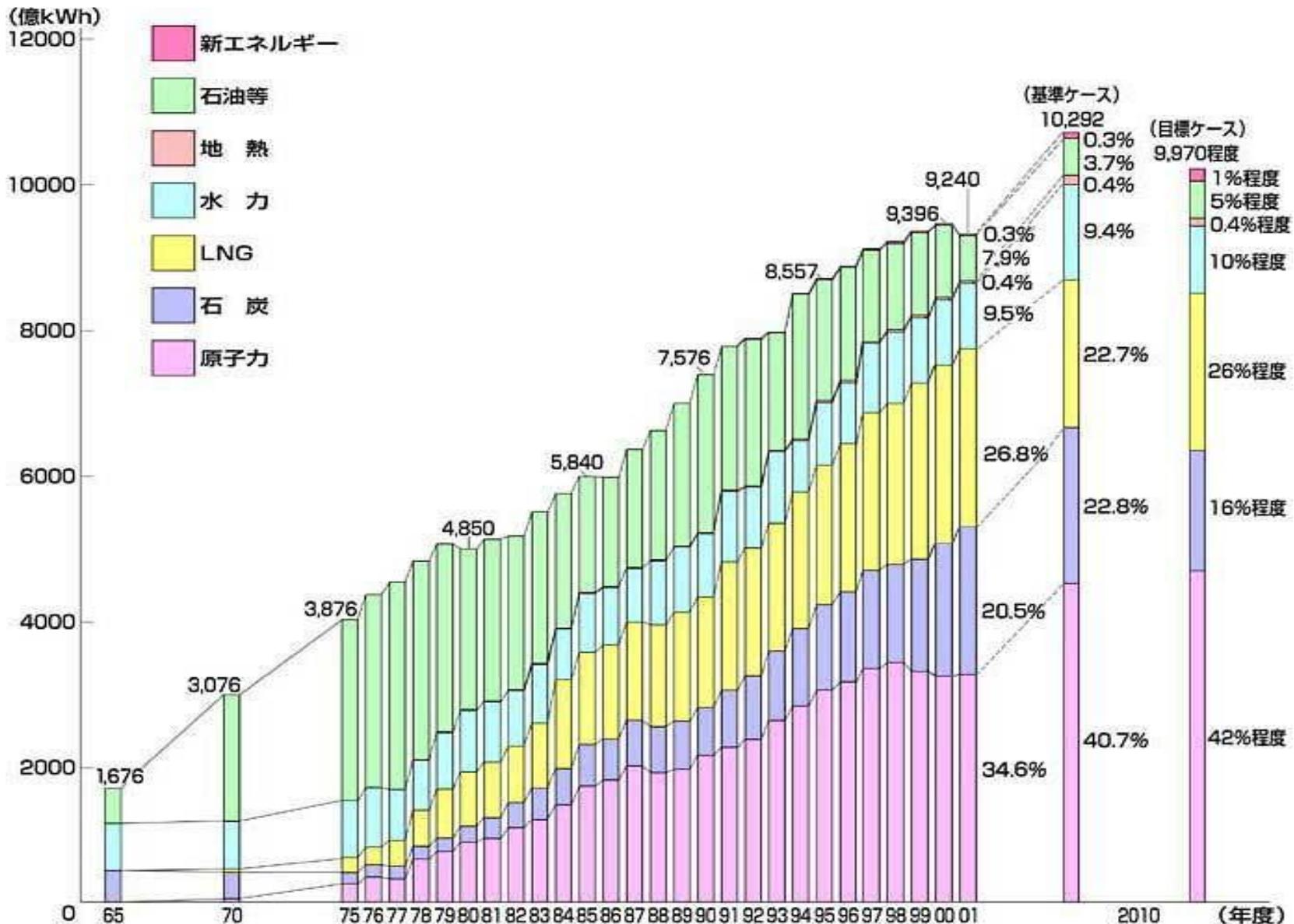
資料: United Nations

(出所) 財団法人エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」

【世界人口の地域別推移と見通し】

人口増加は確実にエネルギー消費の増加に結びついている

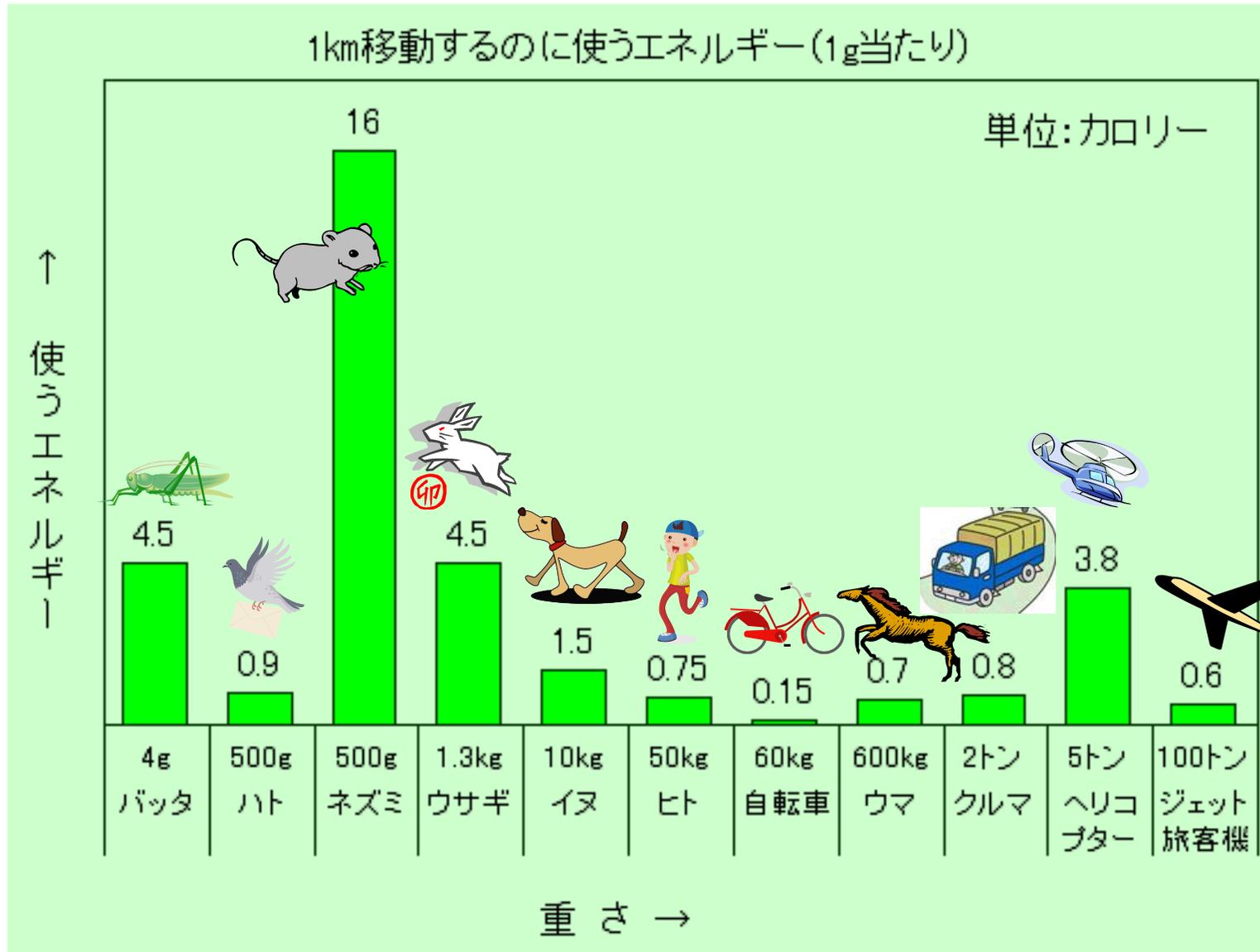
発電状況(日本)



生活用品の製造にかかる間接エネルギー

品 目	生産工程	投入エネルギー (原油換算)
米栽培(玄米1kg)	栽培 → 収穫 → 出荷 →	0.35ℓ
洋服(紳士ジャケット)1着 (600g)	素材 → 布地製造 → 縫製 →	7ℓ
自動車(1,800cc)	製鉄 → プレス(部品ごとの製造) → 加工・組立て →	1,442ℓ
住宅(戸建・床面積 100m ²)	製材 → 加工・組立て →	8,774ℓ
カラーテレビ(21型)	材料(樹脂・電子部品)製造 → 組立て → 輸送 →	38ℓ
図書1冊(300グラム)	製紙 → 印刷 → 製本 →	0.55ℓ

移動のエネルギー効率の比較(動物・乗物)



(資料) 自転車博物館サイクルセンターHP

現在の発電方法

水力発電



落下する水の流れてタービンを回して発電

火力発電



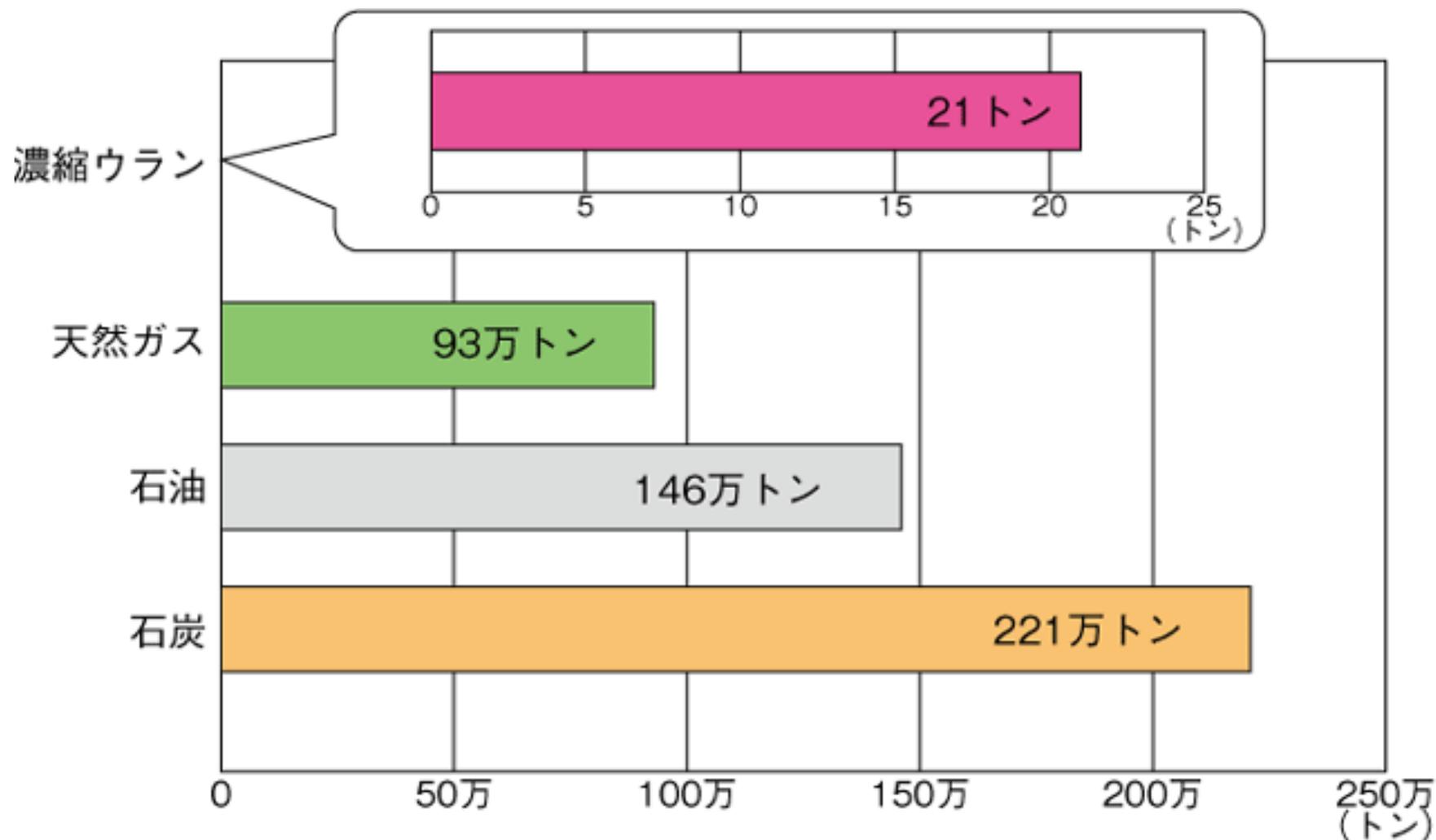
燃料を燃やして水蒸気をつくりタービンを回して発電

原子力発電

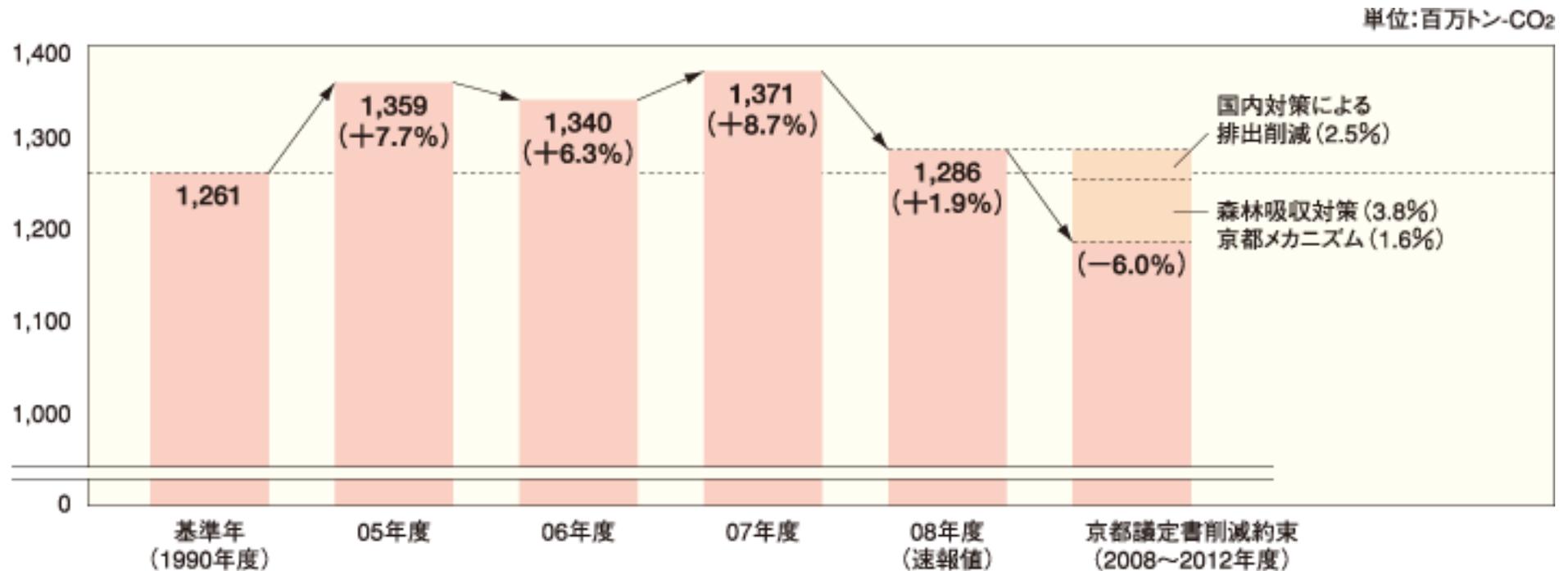


ウランが「核分裂」するとき放出する大きなエネルギーを利用して、水蒸気をつくりタービンを回して発電。高い放射能を持つ物質を管理・制御しながら運転。

100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料



京都議定書の6%削減約束とわが国の 温室効果ガス排出量

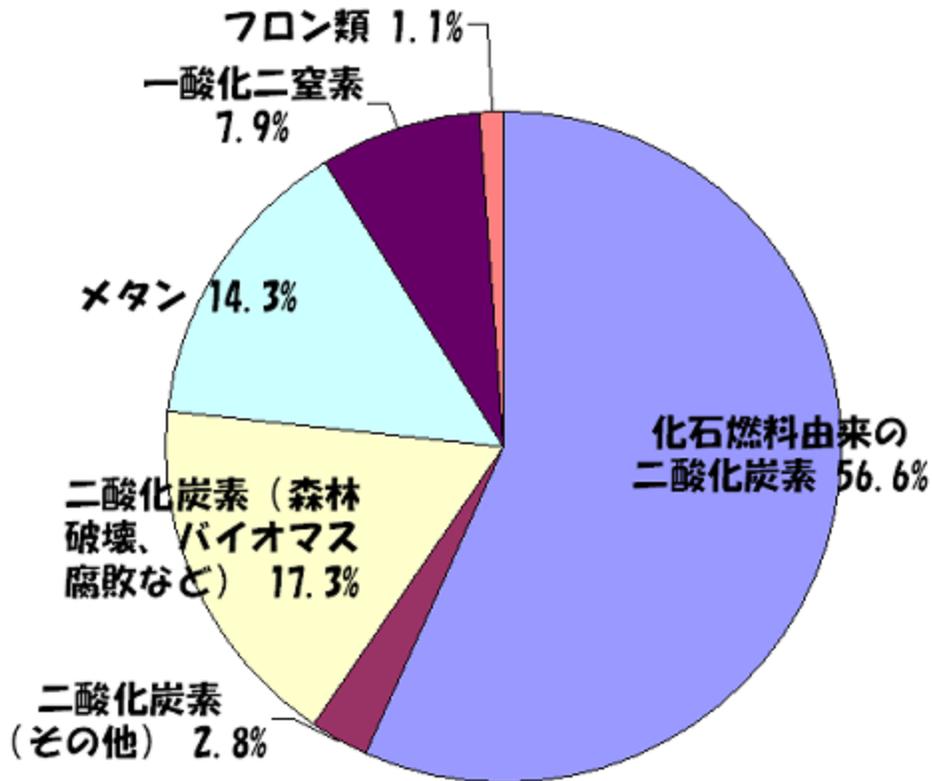


資料: 政府審議会資料

温室効果の模式図



人為起源の温室効果ガスの総排出量に占めるガスの種類別の割合

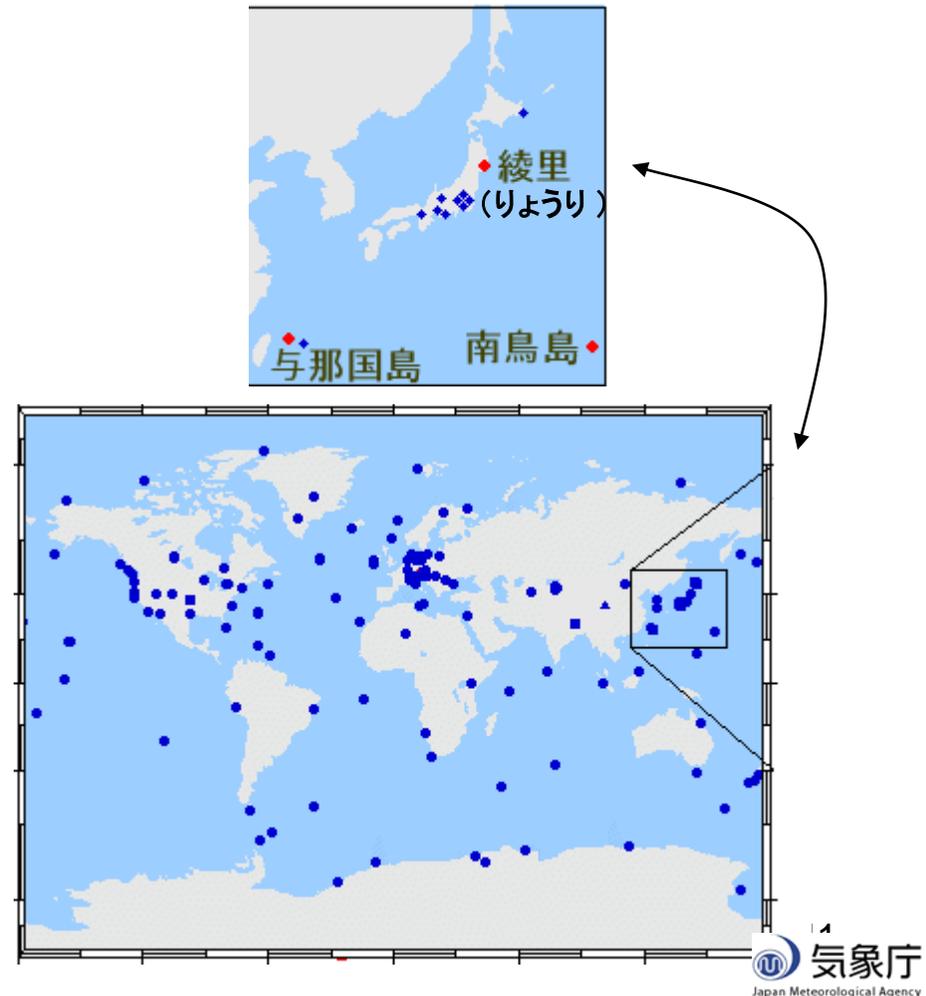


(2004年の数値 二酸化炭素換算量)

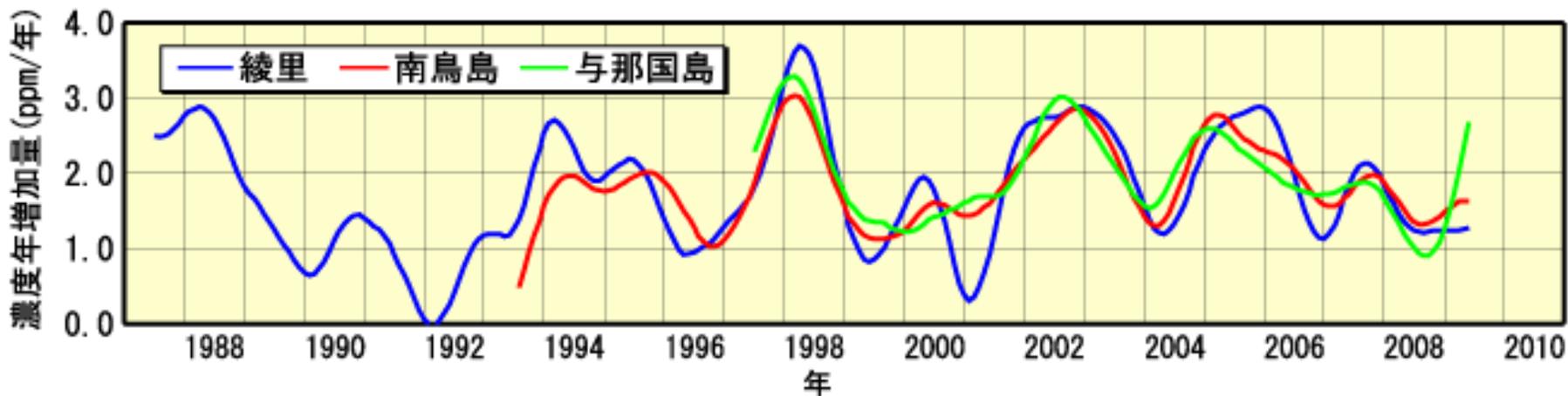
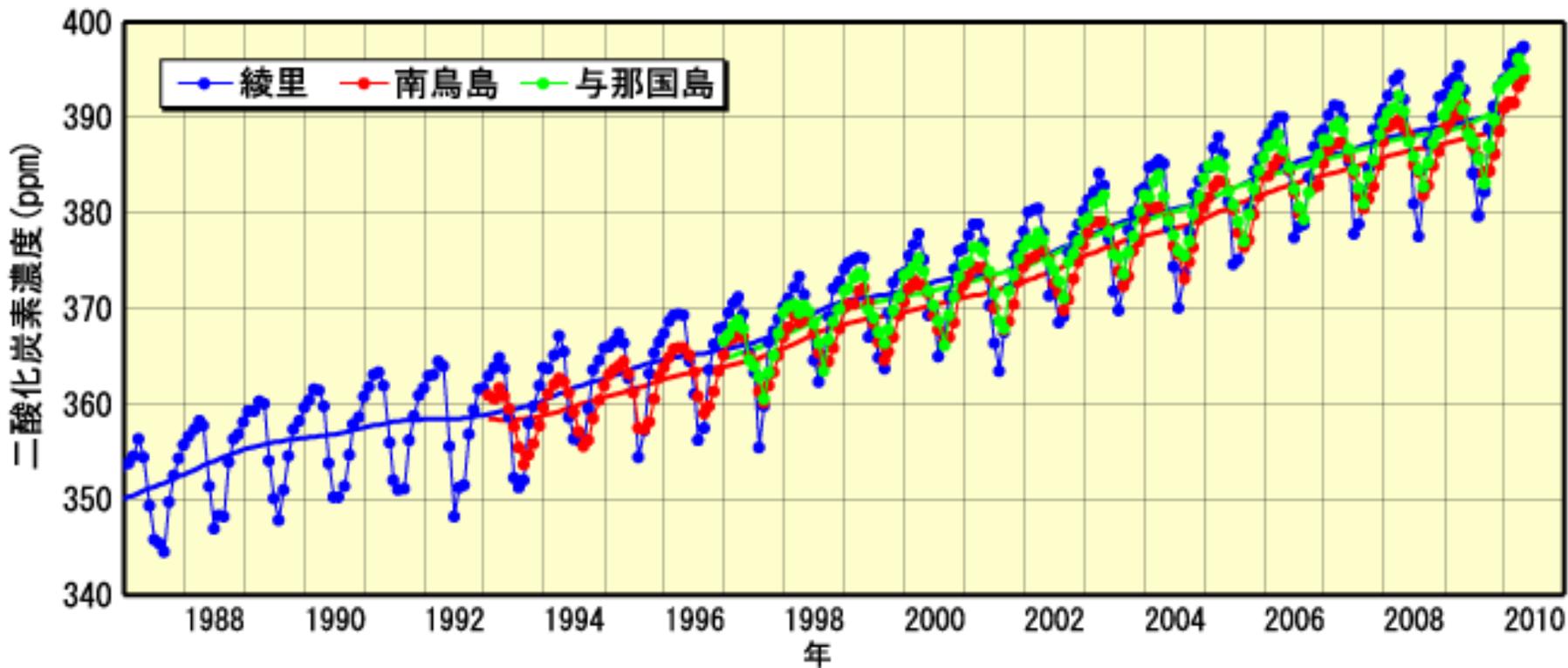
(IPCC第4次評価報告書 より)

【世界と日本の温室効果ガス観測地点】

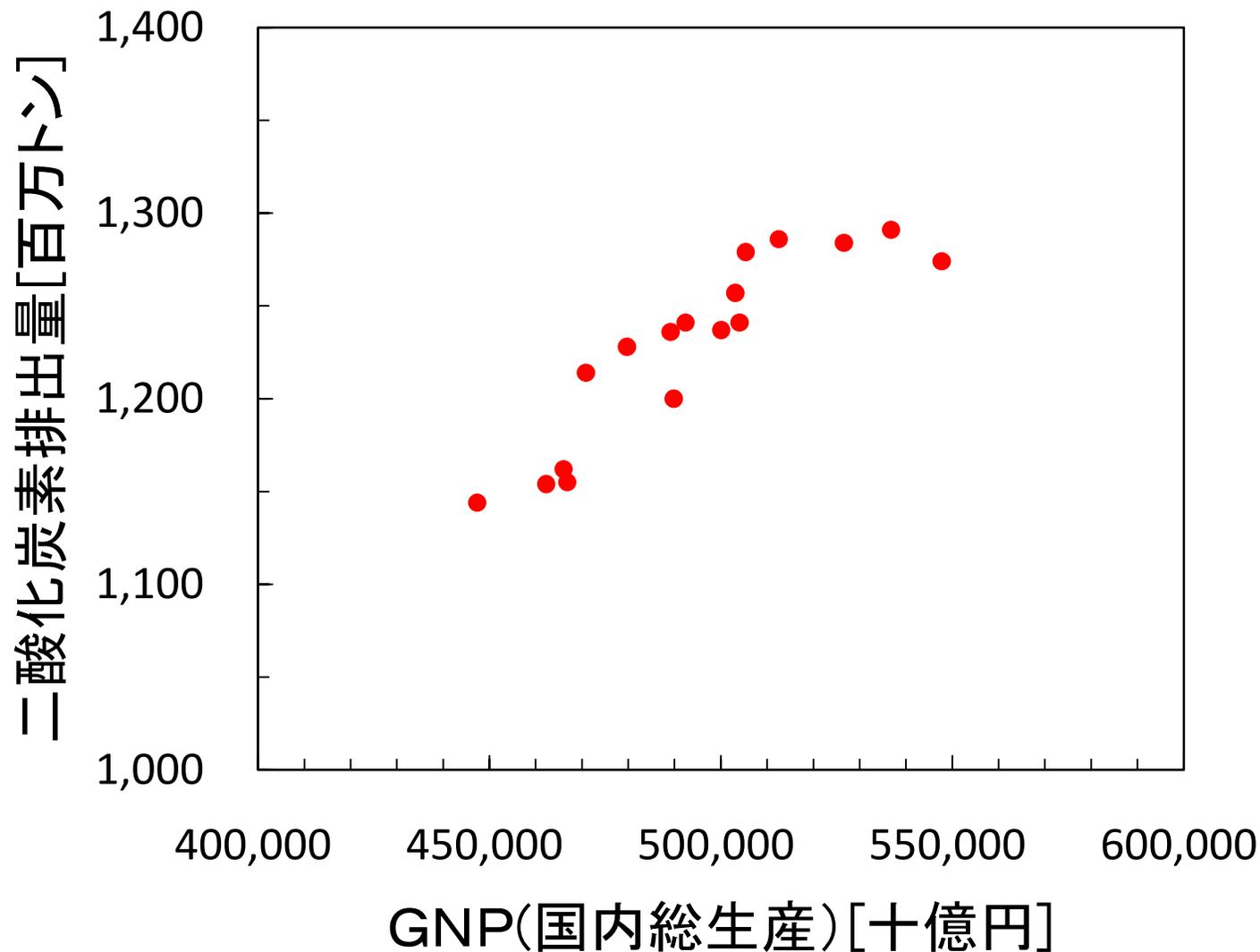
● : 気象庁観測所



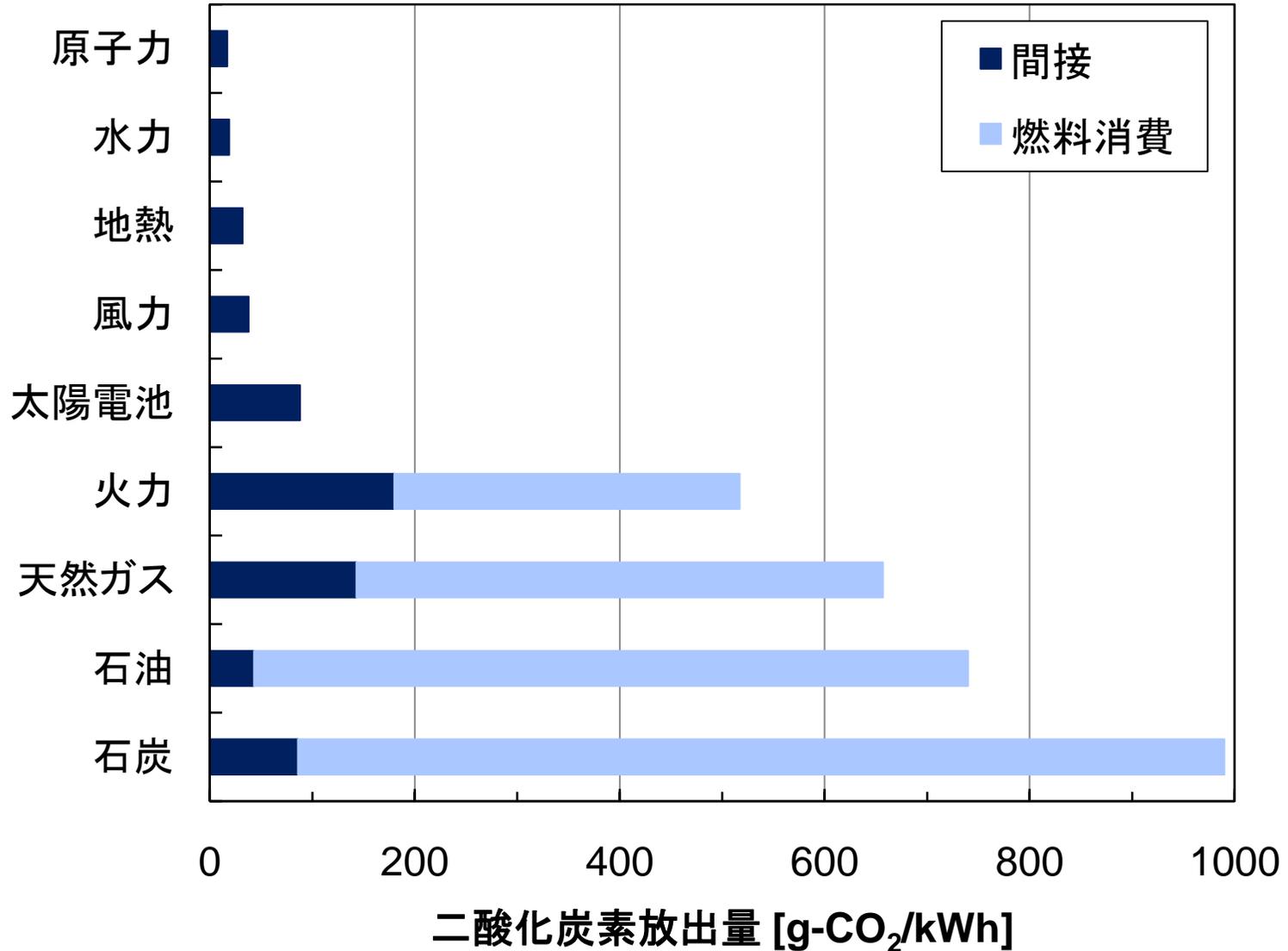
主な温室効果ガスの大気中の濃度変化



日本における年間二酸化炭素総排出量



生涯温室ガス放出量



呼吸に伴う二酸化炭素の排出量

肺活量 : 1 ℓ

呼吸 : 16回/分 1年間 : 8.4×10^6 回

($365 \times 24 \times 60 \times 16$)

呼吸 : 8.4×10^6 ℓ

そのうちCO₂(1モル(22.4ℓ:44g))の量を2%とすると

$$8.4 \times 10^6 \times 0.02 = 1.7 \times 10^5 \text{ ℓ/1人}$$

$$= 1.7 \times 10^5 / 22.4 \times 44 = 0.4 \text{ t}$$

日本の人口 1.2 億人 : $0.4 \times 1.2 \times 10^8 \doteq 0.5 \text{ 億トン}$
(50 Mt)

(日本のCO₂総排出量: 1214 Mt)

新エネルギー

地熱発電

地球内部の熱エネルギーで水を水蒸気にして、タービンを回して発電

太陽光発電

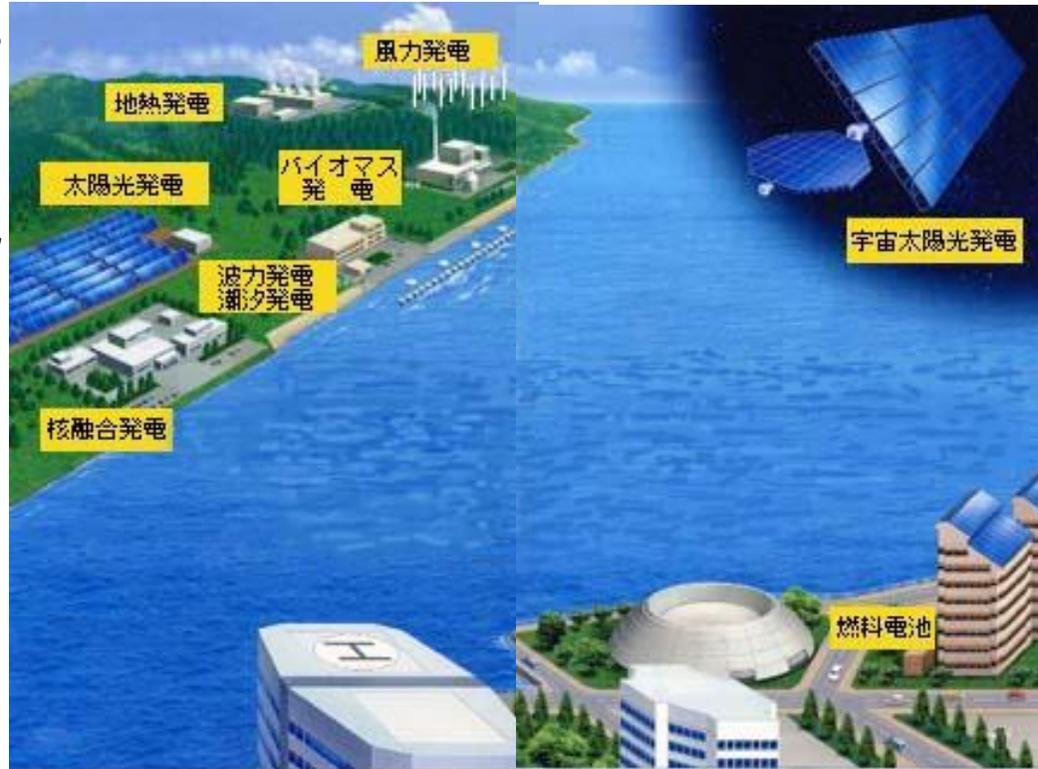
太陽の光が当たると電流が流れる性質を持った半導体を使って発電

波力発電・潮汐発電

海岸に打ち寄せる波や潮の満ち引きのエネルギーを電気にかえる。

核融合発電

水に含まれる水素の仲間(重水素など)を燃料に発電



風力発電

風を風車で回転のエネルギーにかえて、発電

バイオマス発電

木材を燃やしたり、微生物が出すガスを燃やして発電

宇宙太陽光発電

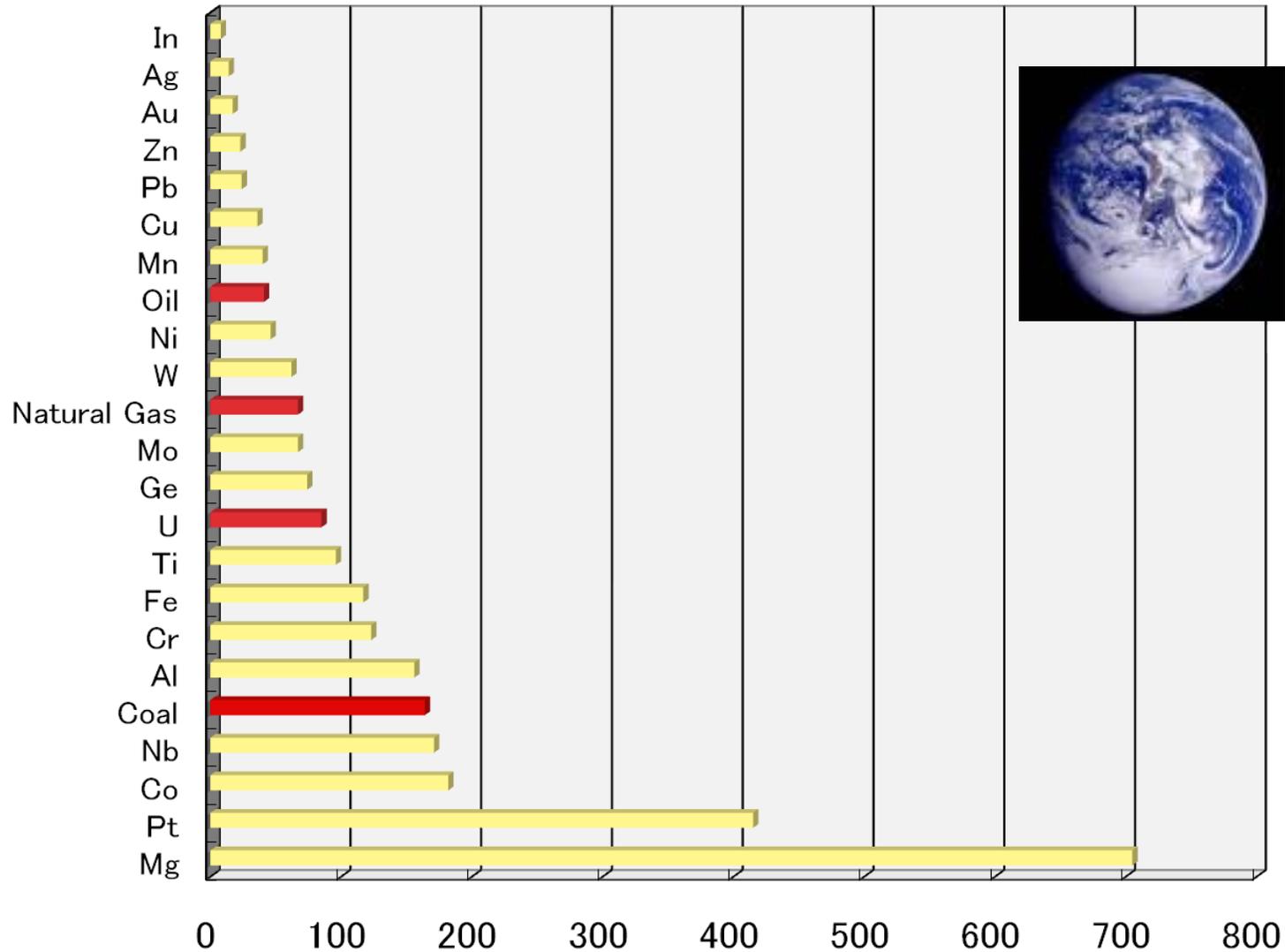
天候に左右されない宇宙で太陽光発電を行ない、地上にエネルギーを送る。

燃料電池

水素と酸素を反応させて、電気を取りだす。

Depleting world resources

Lifetime = Reserves/Production per year



エネルギーの単位

電力(単位時間になされた仕事)

$$1 \text{ W (watt)} = 1 \text{ volt} \cdot \text{amp} = 1 \text{ volt} \cdot \text{coul/sec} \\ = 1 \text{ J (joule)/sec}$$

1 cal = 4.186 J -----1gの水の温度を1度上げるエネルギー
積算電力(エネルギーの単位)

$$1 \text{ Wh} = 1 \times 60 \times 60 \text{ J (W} \times \text{sec} = \text{J)} = 3.6 \times 10^3 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

1kgの石油のエネルギー は 12.0 kWh

1 t の石炭のエネルギーは 8200 kWh

地表に到達する太陽光のエネルギーは 1 kW/m²

1日に平均8時間日照があり、曇りと朝夕の効果を考えて40%
日照があるとすると、1年間では

$$1 \times 10^3 \times 60 \times 60 \times 8 \times 0.4 \times 365 / 3.6 \times 10^3 \times 10^3 \text{ kWh/m}^2 \\ = 1168 \text{ kWh/m}^2$$

(日本で年間に一人当たり使うエネルギー: 4500 kWh)

For (6)

1人1年

地球に残されたエネルギー資源の埋蔵量

1. 石油



1.7×10^6 TWh

2. 天然ガス



1.3×10^6 TWh

3. 石炭



5.4×10^6 TWh

合 計

8.4×10^6 TWh

2002年1年間の全世界エネルギー消費量

$30 \text{ TW} = 30 \times 60 \times 60 = 1.08 \times 10^5 \text{ TWh}$

$(8.4 \times 10^6) / (1.08 \times 10^5) = 78 \text{ 年}$ で枯渇

太陽のもたらすエネルギー

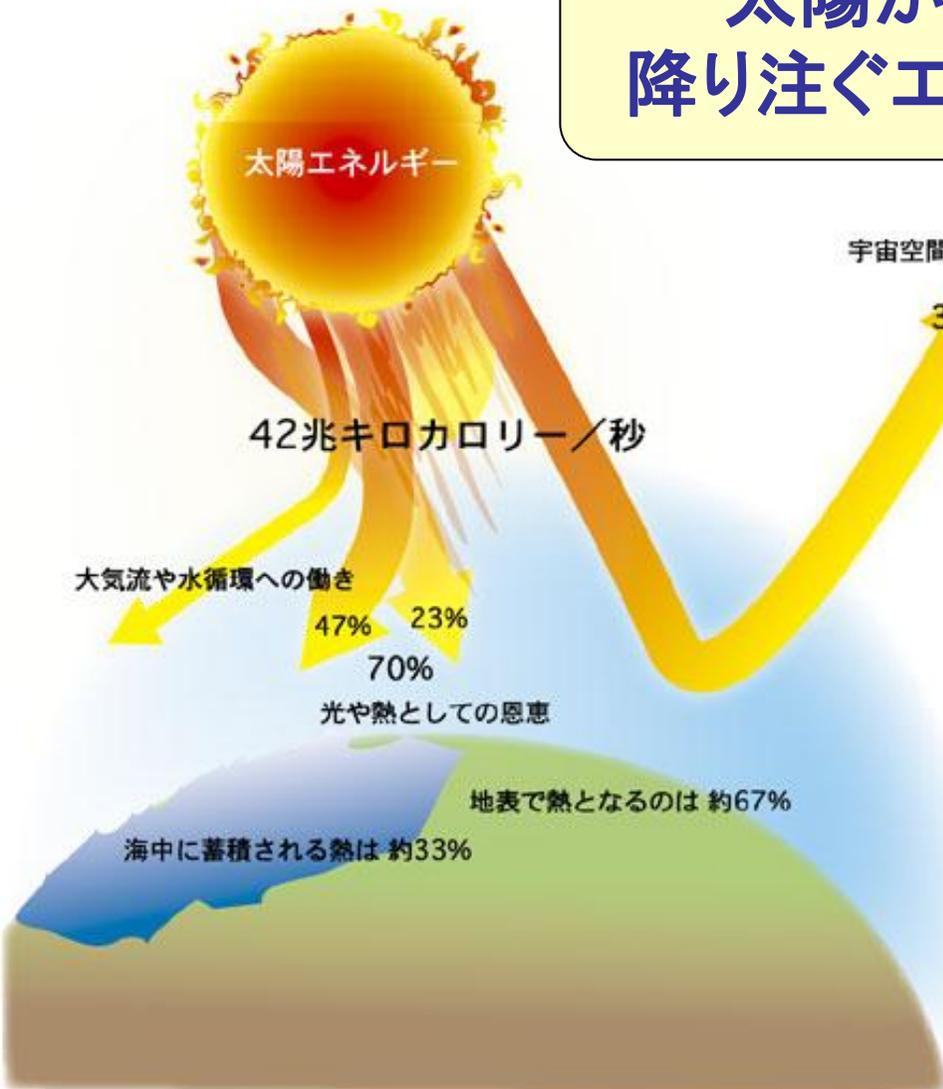
太陽が地球に
降り注ぐエネルギー



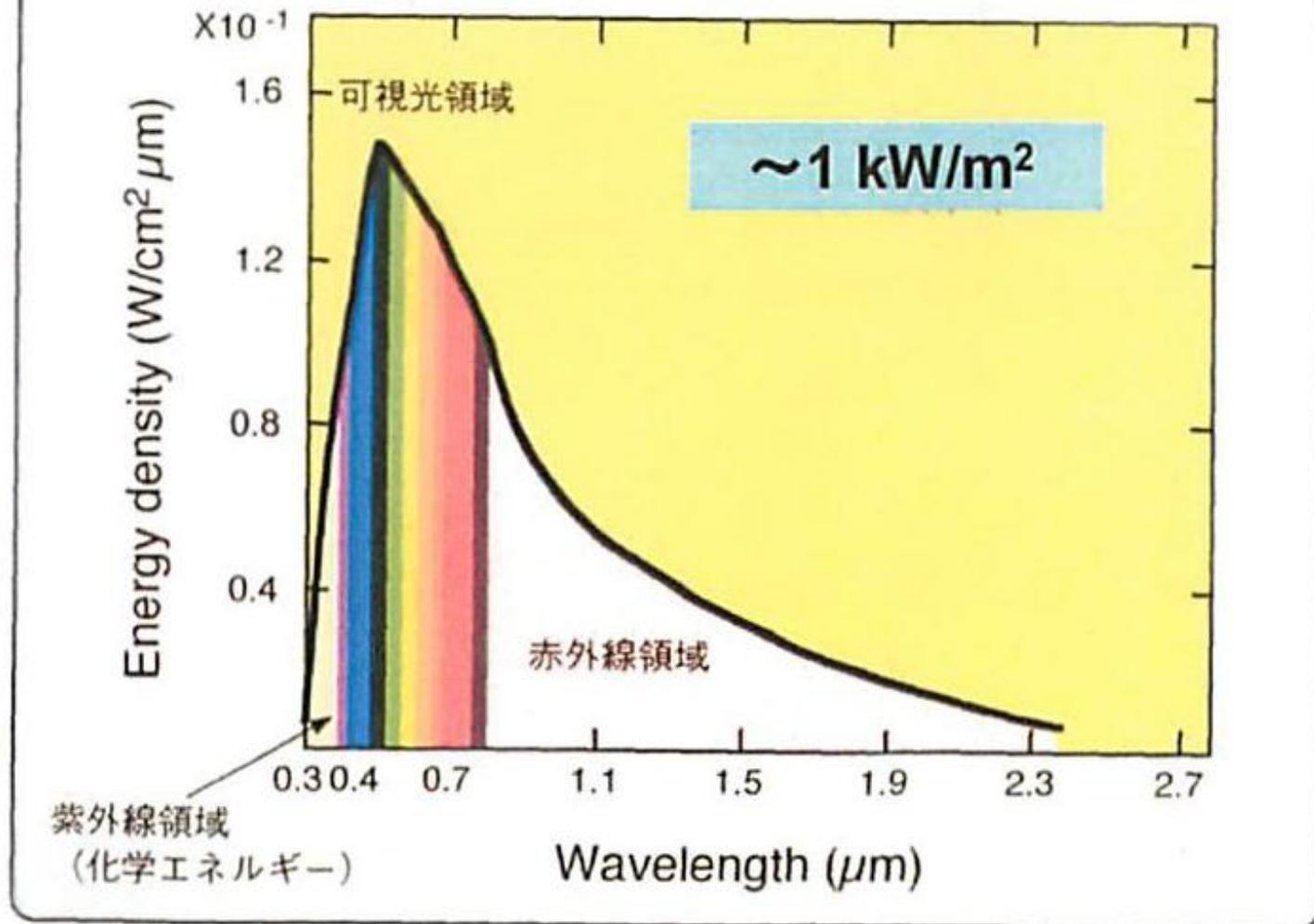
42兆Kcal/秒



- ☀ 人類の消費全エネルギーの約20,000倍
- ☀ 地球に降り注ぐ太陽エネルギーの60分間分
- ☀ 世界の年間エネルギー消費量



太陽光のエネルギー・スペクトル



太陽の放射スペクトル: 単位波長当たり単位面積当たりのエネルギー
大気に対して透明な0.5 μmで最大値をとる

大気通過量

太陽光は大気を通過するとき部分的に吸収される

- ・赤外領域では: H_2O , CO_2 , N_2O , CH_4 , フッ化炭化水素など
- ・紫外領域では: O_3 , O_2

大気の厚さを l_0 とし、角度 α で入射する

太陽光の光路長は $l = l_0 / \cos \alpha$

比率 l/l_0 : 大気通過量 (air mass coefficient, AM)

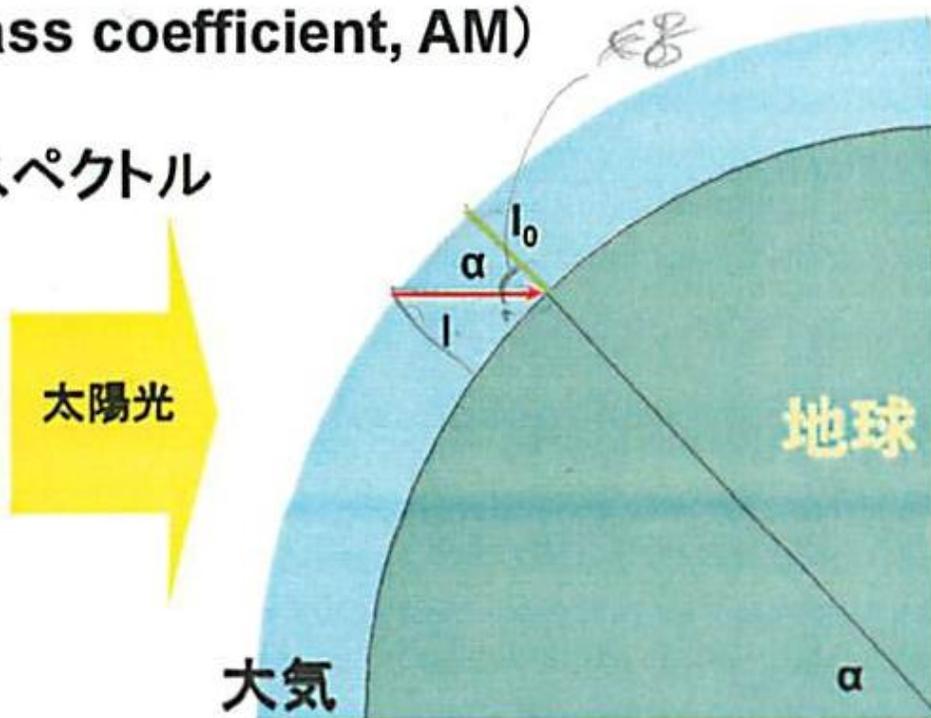
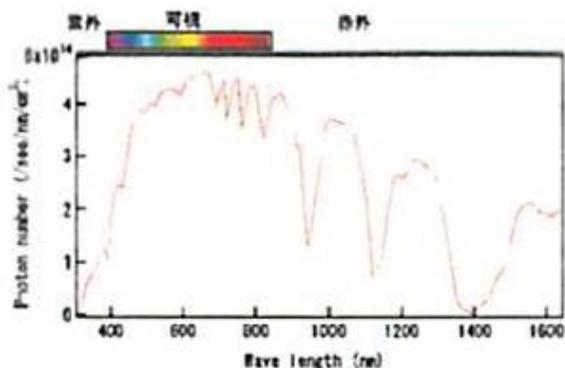
AM0: 大気外のスペクトル

AM1: 垂直入射した地表のスペクトル

AM1.5: $\alpha = 48$ 度に入射した

スペクトルに相当し、

光路長は $1.5 \times l_0$



$\frac{1}{\cos 48^\circ} \approx 1.5$

太陽電池とは



- ☀ 電池ではない
- ☀ 光のエネルギーを電気のエネルギーに変換するもの
- ☀ リアルタイムで使用する。蓄積ができない。

太陽電池はどの程度のエネルギーを賄えるか

1. 全世界のエネルギー消費量を賄うに必要な太陽電池の面積

- ・太陽光: 1 kW/m²

- ・太陽電池の変換効率: 15%

- ・全世界のエネルギー消費量: 30 TW at 2006

$$30 \times 10^9 / 1 \times 0.15 = 2 \times 10^{11} \text{ m}^2 = 2 \times 10^5 \text{ km}^2$$

(約450 km四方の面積となる、その10%では約140 km
($2 \times 10^4 \text{ km}^2$)四方の面積となる)

- ・30 TWは $30 \times 60 \times 60 = 1.08 \times 10^5$ TWhに相当し、石炭換算量では $1.08 \times 10^5 \times 10^9 / 8200 = 13.2 \times 10^9$ トンに相当する。

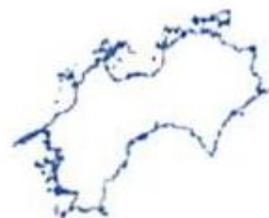
**全世界のエネルギー消費量を賅う
に必要な太陽電池の面積**

$2 \times 10^5 \text{ km}^2 \div \text{本州} (2.28 \times 10^5 \text{ km}^2)$



**全世界のエネルギー消費量の10%を賅う
に必要な太陽電池の面積**

$2 \times 10^4 \text{ km}^2 \div \text{四国} (1.88 \times 10^4 \text{ km}^2)$



日本のエネルギー消費を太陽電池で賄うとすると -1

1. 我が国の2008年度の最終エネルギー消費は

1.4726×10^{19} J (経済産業省)

1 Wh = 3.6×10^3 Jなので、これは

4.09×10^{15} Wh (4.09×10^3 TWh) となる

(これは世界のエネルギー消費 1.08×10^5 TWhの約4%に相当する)

2. この数値には、工場等で使うエネルギーも入っているので、実際に家庭で使用するエネルギーはその、14%なので(経済産業省)

$4.09 \times 10^{15} \times 0.14 = 0.57 \times 10^{15}$ Wh となる

3. 我が国の2008年の人口は12770万人なので (総務省)

一人当たりの家庭エネルギー消費は

$0.57 \times 10^{15} / 1.277 \times 10^8 = 4.5 \times 10^6$ Wh/人

$= 4.5 \times 10^3$ kWh/人

日本の家庭エネルギー消費を太陽電池で賄うとすると -2

4. 太陽光は1年間に 1168 kWh/m^2 地表に降り注ぐので、太陽電池の変換効率を15%とすると、
 $4.5 \times 10^3 / (1.168 \times 10^3 \times 0.15) = 25 \text{ m}^2/\text{人}$ (7.6坪/人)の面積が必要である。
太陽電池の変換効率を20%にすると、
 $4.5 \times 10^3 / (1,168 \times 10^3 \times 0.20) = 19 \text{ m}^2/\text{人}$ (5.7坪/人)となる。
5. 我が国の一般家屋が面積50坪 ($3.3 \times 50 = 165 \text{ m}^2$)の面積に建坪40%で建っているとすると、その屋根面積は少なくとも、 $165 \times 0.4 = 66 \text{ m}^2$ となり、この面積に太陽電池を敷くと、 $66/19 = 3.5$ 人分の1年間の家庭のエネルギーを賄える。

日本のエネルギー消費量を賅うに 必要な太陽電池の面積

$8 \times 10^3 \text{ km}^2$ ≡ 京都府 + 滋賀県 - 琵琶湖 ($7.96 \times 10^3 \text{ km}^2$)

日本の10%のエネルギー消費量を
賅うに必要な太陽電池の面積

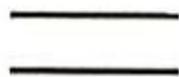
$8 \times 10^2 \text{ km}^2$ ≡ 京都市 ($8.28 \times 10^2 \text{ km}^2$)

日本の10%のエネルギー消費量の14%
を賅うに必要な太陽電池の面積

$1.12 \times 10^2 \text{ km}^2$ ≡ 北区 + 上京区 + 中京区 ($1.09 \times 10^2 \text{ km}^2$)



日本の平均的な家屋の屋根面積
66 m²



2.6人分の消費エネルギー

太陽電池の変換効率が15%の場合

日本の平均的な家屋の屋根面積
66 m²



3.5人分の消費エネルギー

太陽電池の変換効率が20%の場合

太陽電池の変換効率が**20%**になると、家屋の屋根に太陽電池を設置するだけで、標準的な世帯の全エネルギーを賄える



太陽電池を家庭で導入すると割に合うのか

A社のSi多結晶太陽電池の例

システム容量: 3kW (モジュール変換効率: 14.4%)

価格: 2,000,000円

大阪地区の年間発電量: 1083 kWh/kW

システムの年間発電量: $1083 \times 3 = 3249$ kWh

電気料金: 24円/kWh

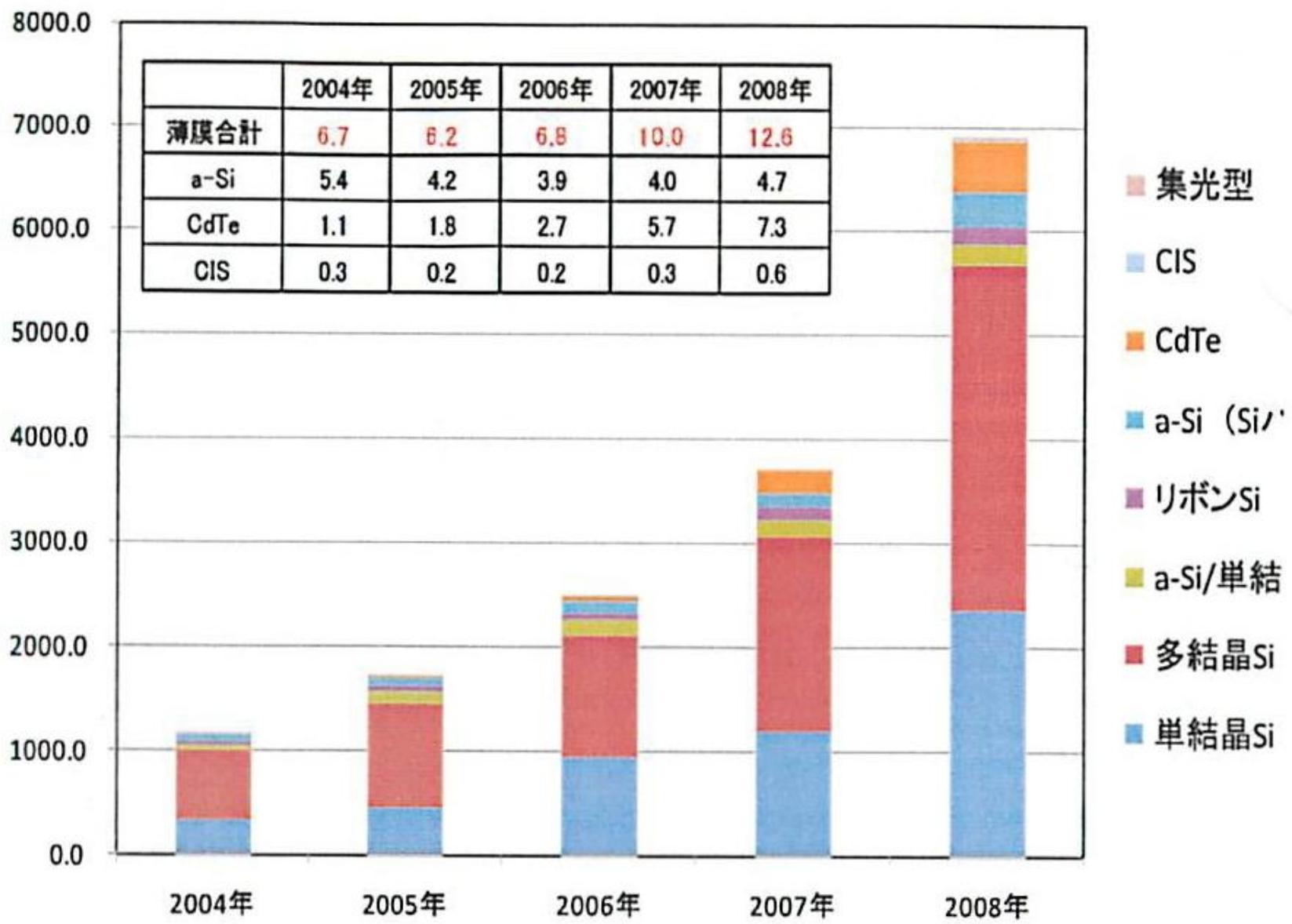
とすると、

太陽電池の設置で得る電気料金: $24 \times 3249 = 77,976$ 円

購入費を取り戻せる年: $2,000,000 / 77,976 = 25.6$ 年

現在は補助金が出て倍額での買取なので、**12.8年**となります。

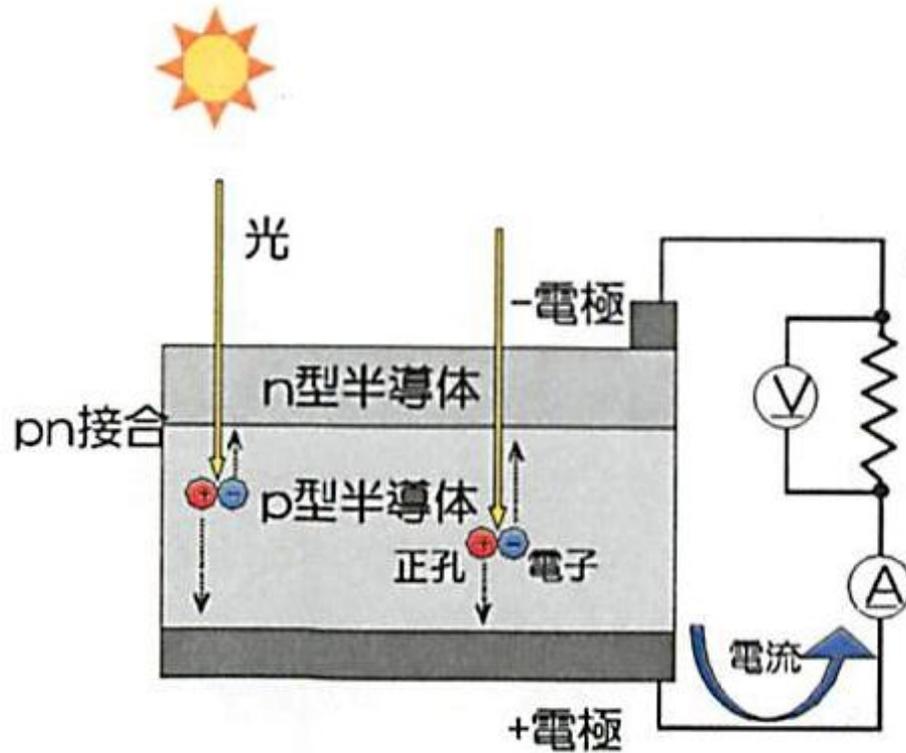
モジュール変換効率が19.4%となると、19.2年となり、
倍額買取で**9.6年**となる。



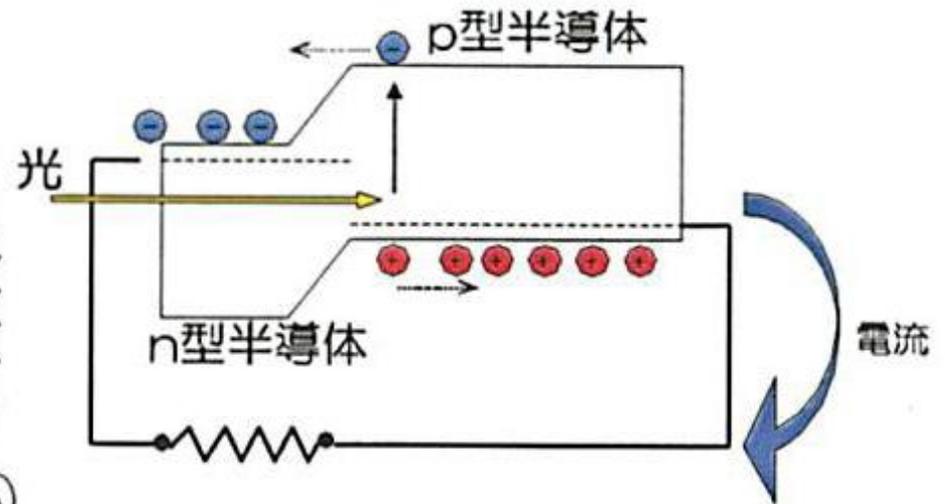
出典：PV News および資源総合センター資料をもとにマーク・イノベーション作成

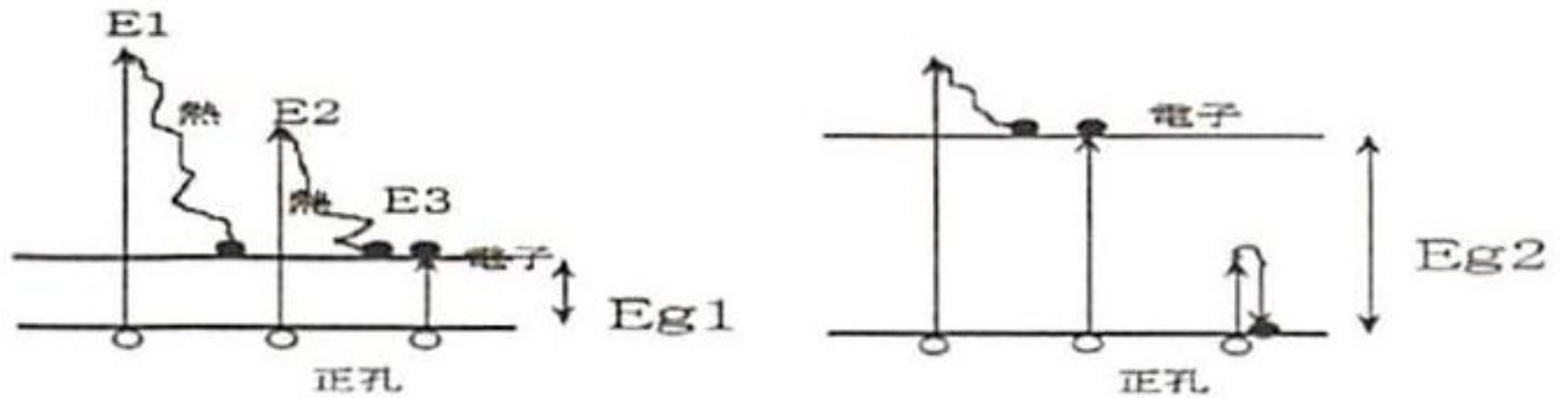
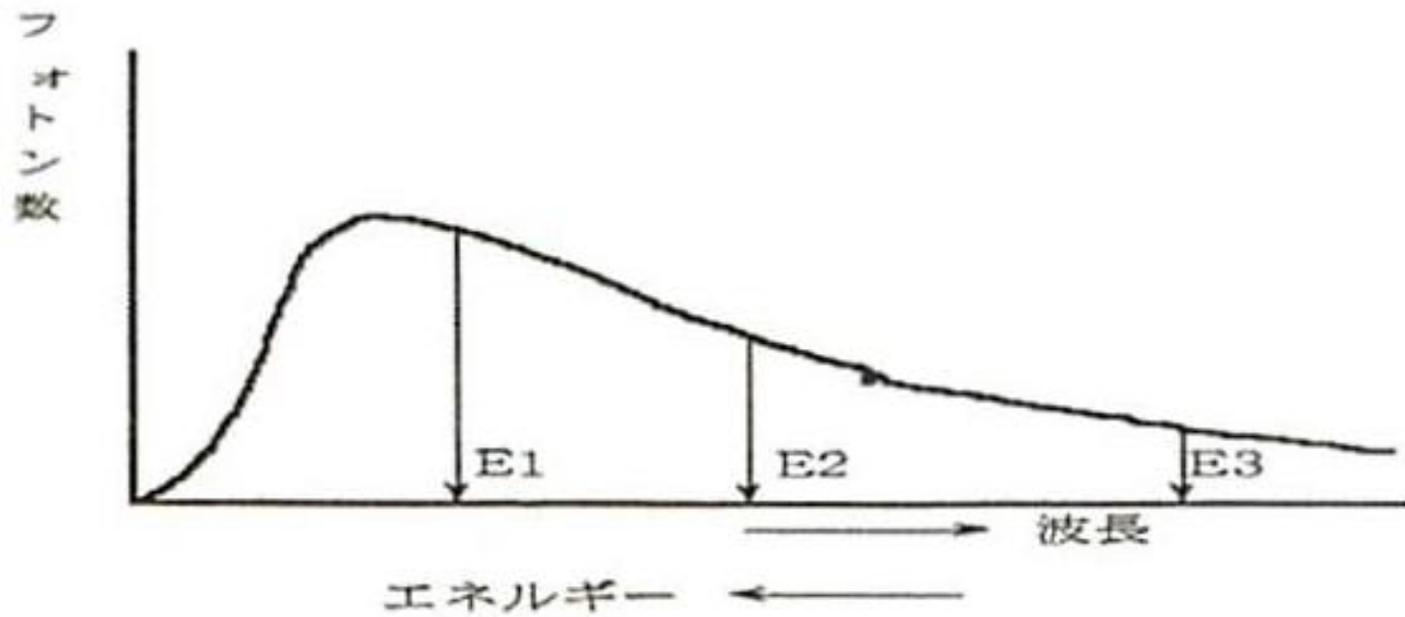
太陽電池の動作原理

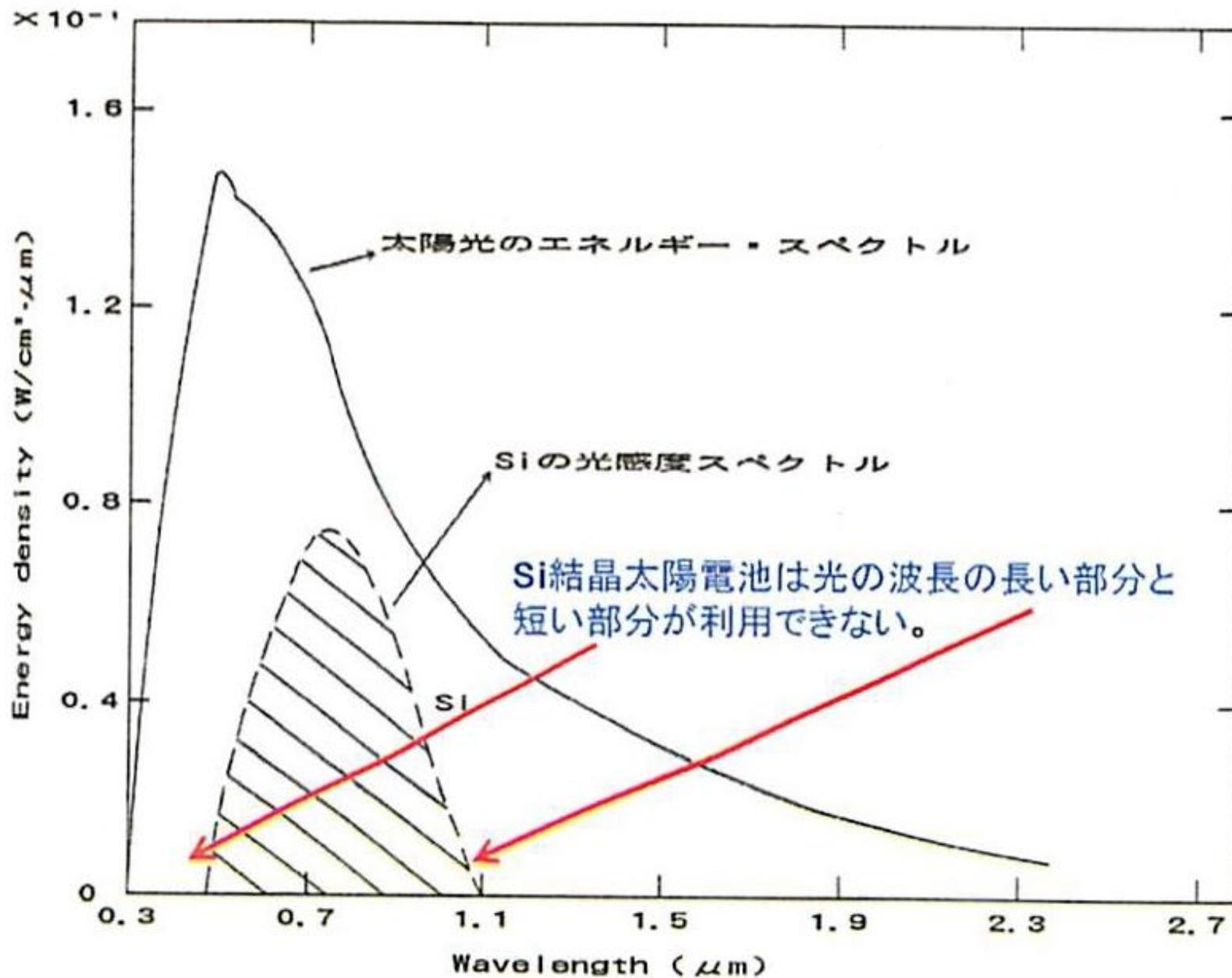
太陽電池の基本構造



太陽電池のバンド図







太陽電池の研究の背景

温暖化防止に果たす太陽電池の役割は大きい 太陽電池で全エネルギーの10%を担うためには



地表の太陽光のエネルギー密度は
~ 1kW/m²

太陽光の 0.02%
で全世界のエネルギーを担える。



2050年に世界の総エネルギー消費量の10%を太陽電池で担うためには、現在0.1%の太陽電池の普及率を160倍以上に大幅に高めなければならない。

安全で、生産性が高く、低コストで、高効率で、現実的な太陽電池とその材料を開発する必要がある。

1位	2位	3位	4位
酸素 49.5	Si:25.8	Al 7.56	Fe 4.7
			...

地球に存在する元素の埋蔵量 (クラーク数)

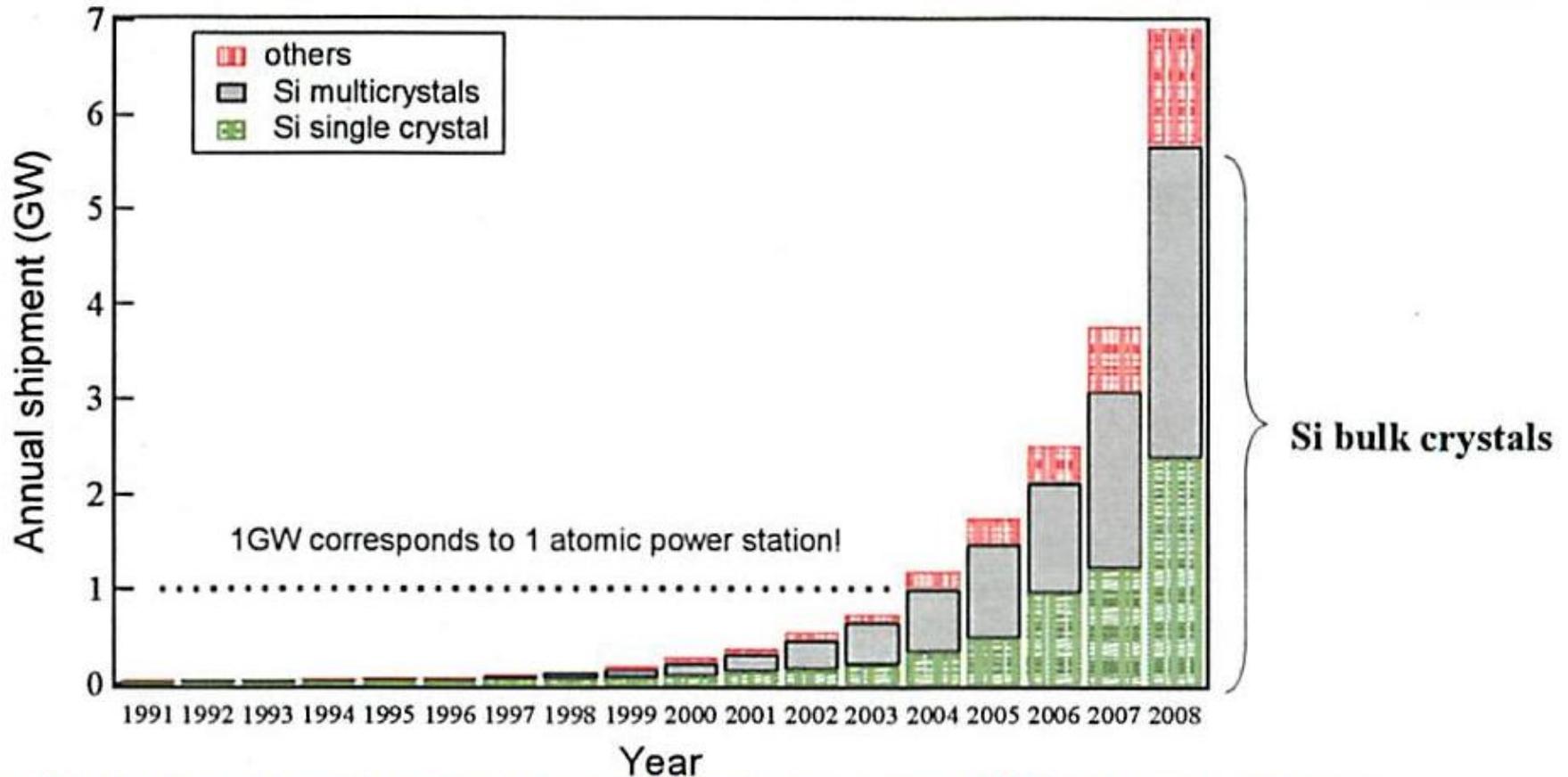


資源が豊富で安全で実績のあるシリコン結晶の太陽電池を主体にするのが現実的

太陽電池の80-90%はSi結晶

Si結晶系で目標を達成できる革新的な技術開発が必要

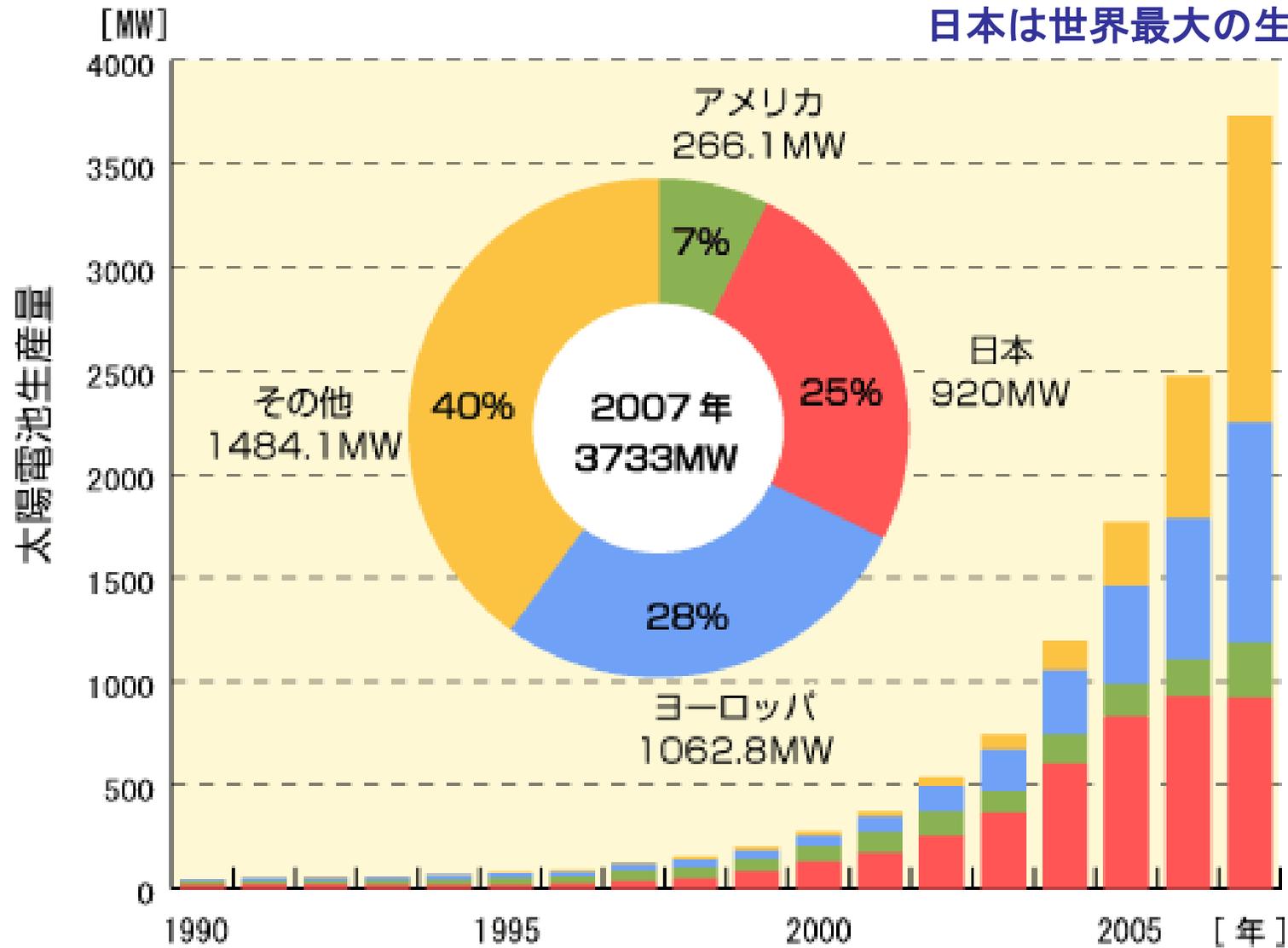
Shipped total power of solar cells in the world



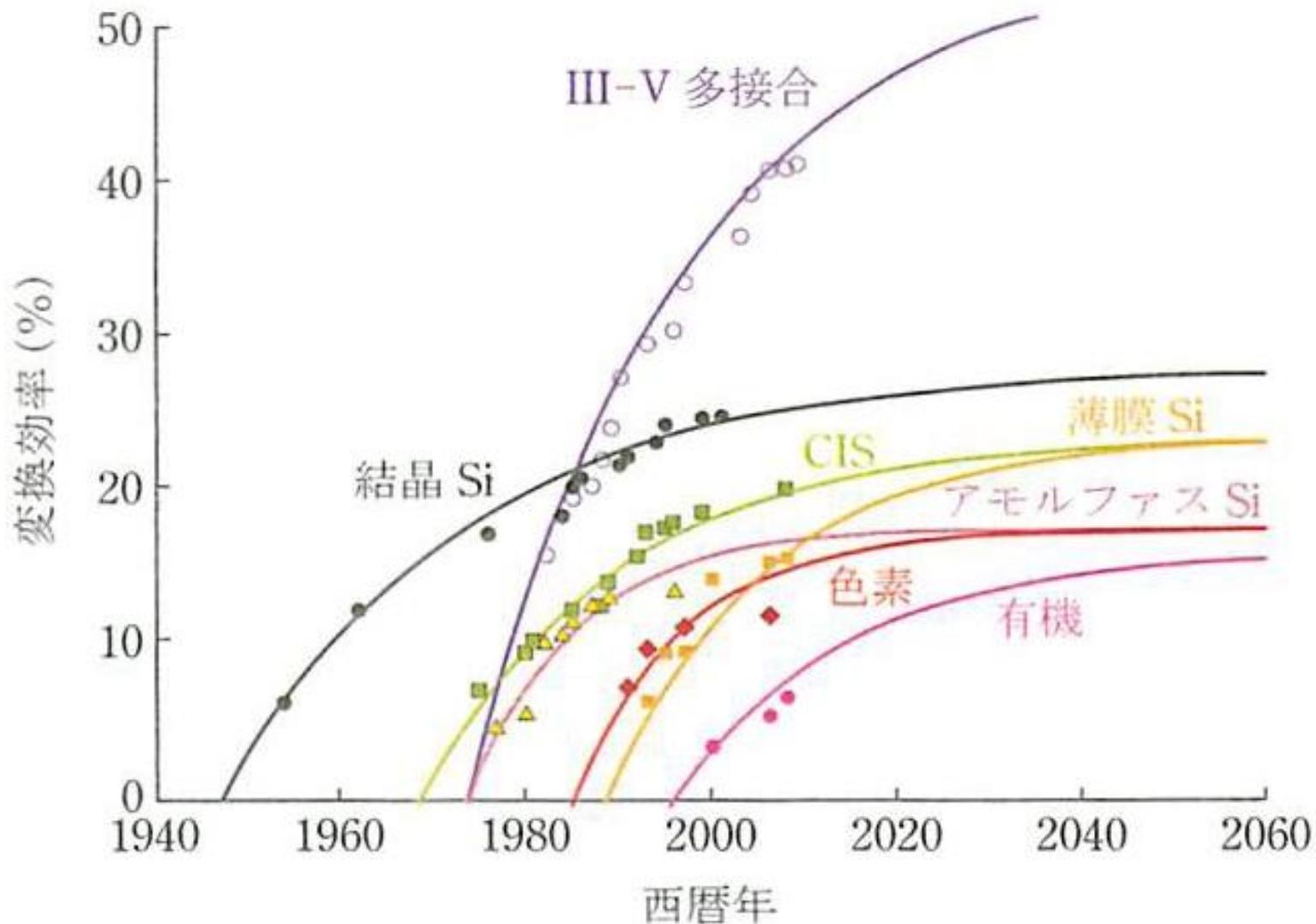
- Si single and multi-crystals contribute to about **85 %** of each annual shipment of solar cells.
- The share of Si multicrystal solar cells is the largest in all types of solar cell.

世界の太陽電池生産量推移

日本は世界最大の生産国

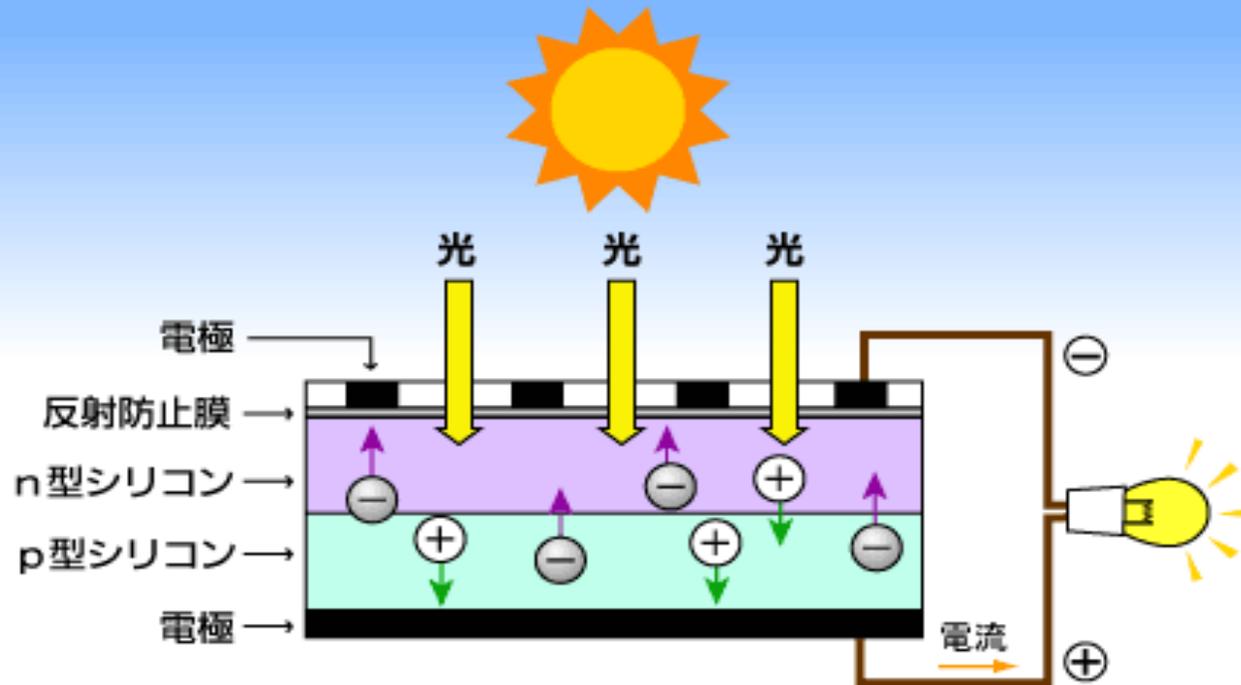


各種太陽電池の光電変換効率向上の変遷と今後の予想曲線



太陽電池

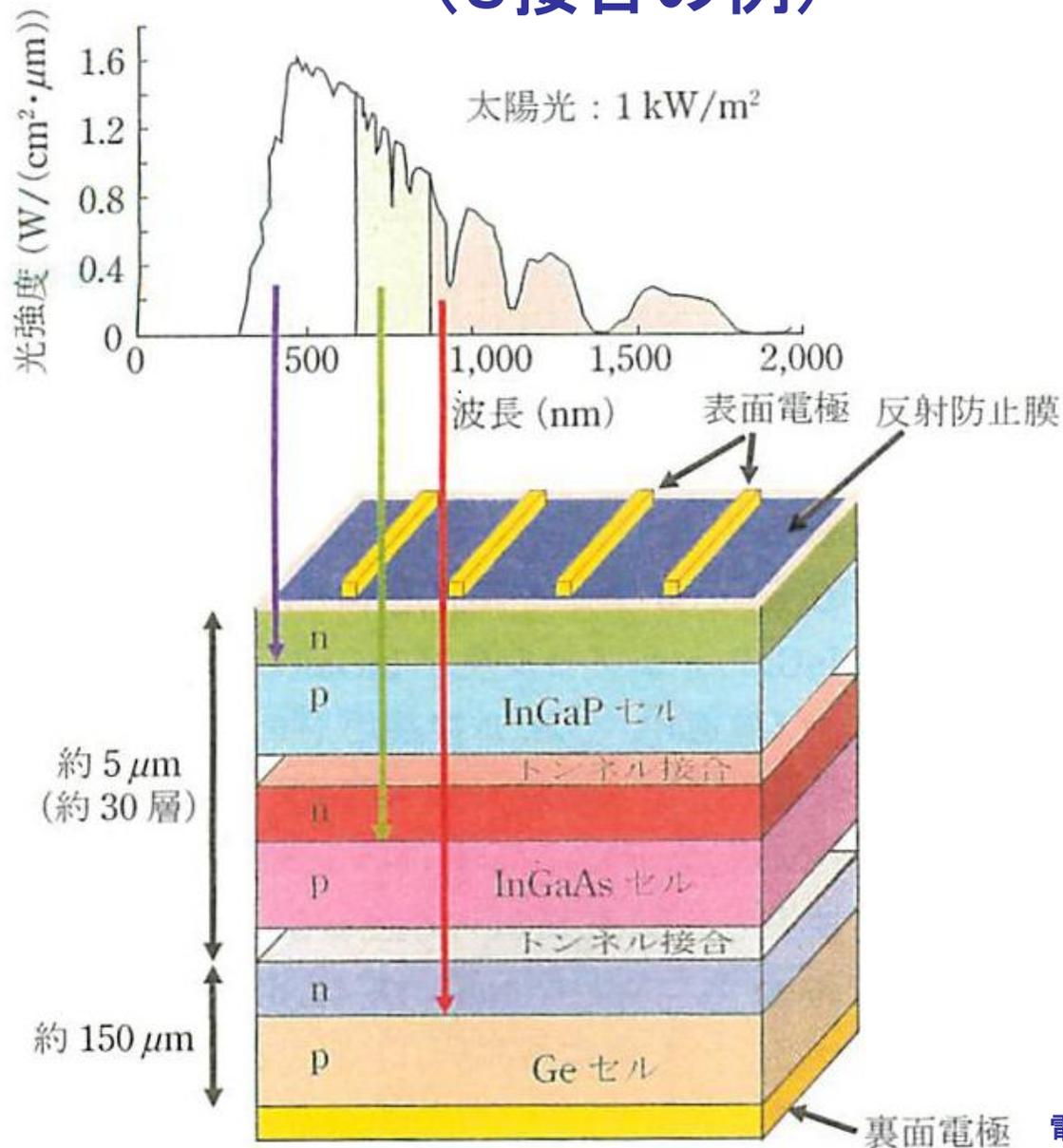
太陽電池の原理



太陽電池に光があたると、プラスとマイナスを持った粒子（正孔と電子）が生まれ、マイナスの電気はn型シリコンの方へ、プラスの電気はp型シリコンの方へ集まります。その結果、電極に電球などをつなぐと電流が流れます。これが太陽電池の原理です。

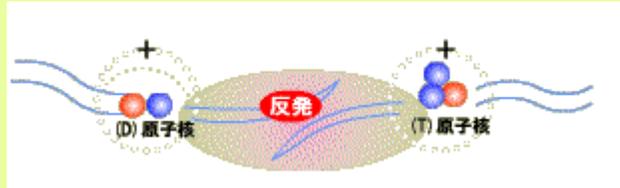
現在最も多く使われている太陽電池はシリコン太陽電池である。この太陽電池では発電のために性質の異なるn型シリコンとp型シリコンの2つのシリコン半導体を重ね合わせて使用している。

太陽電池の多接合化による太陽光スペクトルの有効利用 (3接合の例)



新エネルギー：核融合

原子核どうしの反発



スピードが遅いと

重水素(D)と
リチウム(Li)
は海にある



重水素、リチウムは海から取り出す



重水素

猛スピードの衝突



核融合

1億度以上の超高温プラズマ

トリチウム
(三重水素)

エネルギー

中性子

ヘリウム



「水の惑星」の水から
資源をとり出す



地球の理想的なエネルギー

太陽電池の将来に向けて

エネルギー変換効率の向上

大面積化

低コスト化

新材料の開発

有機半導体が有望

有機半導体について

特徴

- 軽量
- フレキシブル性
- 常温・簡易な方法で大面積素子化

問題点

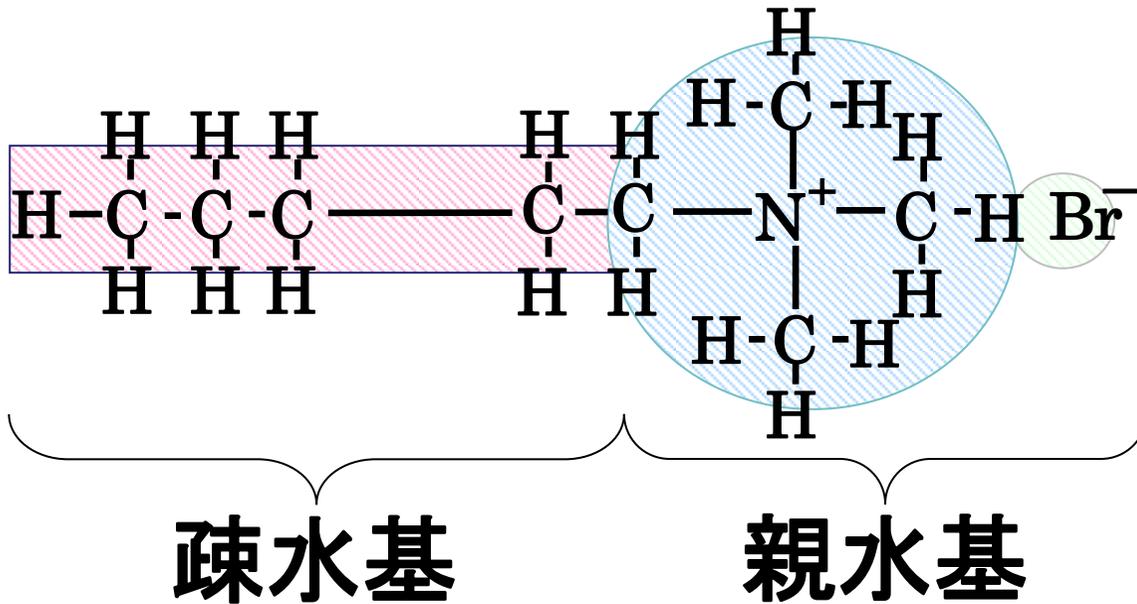
- 移動度が小さい
- 同一材料でのp型・n型半導体の作製が困難



同一材料でのp型・n型有機半導体の作製を目指す

材 料

有機物: n-Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide
(C₁₆TAB)



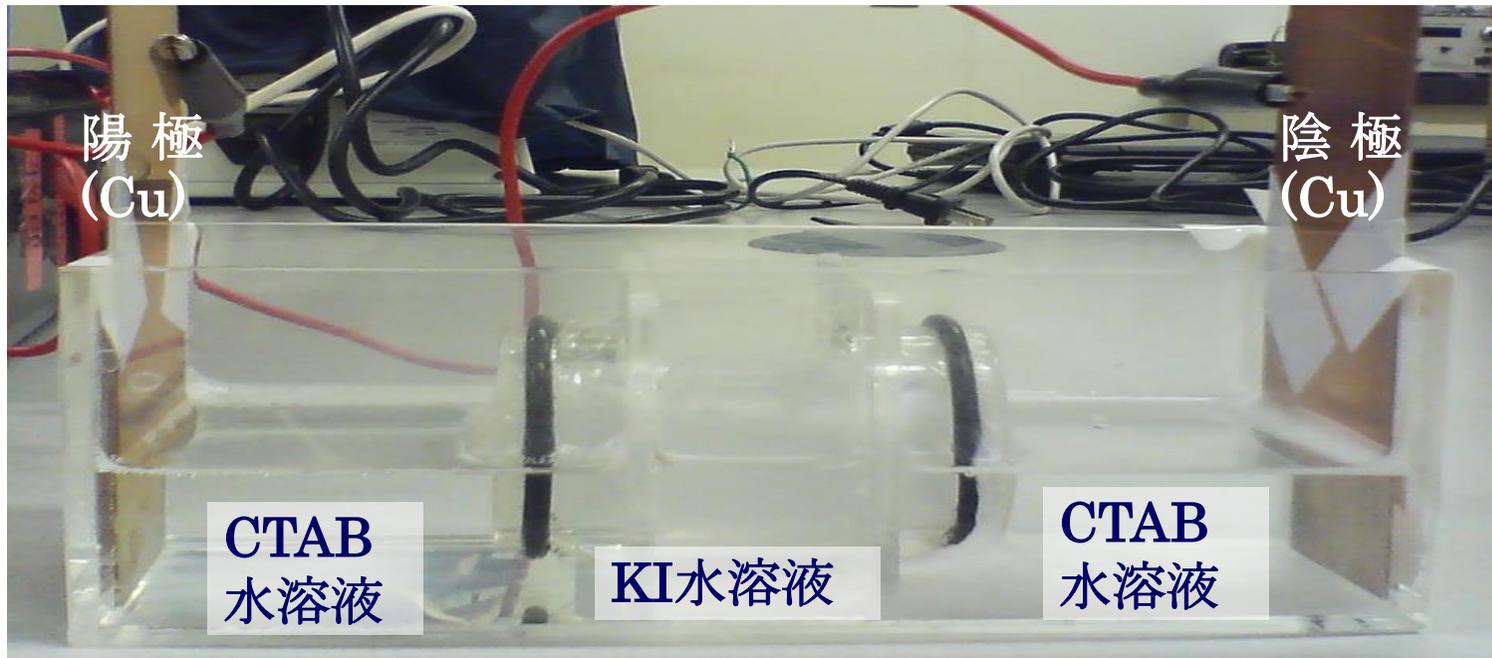
- 陽イオン性 界面活性剤
- 白色
- 単斜晶

不純物: ヨウ化カリウム (KI)

- 水溶性

試料作製-1

1. C_{16} TAB、KIの水溶液を作製
2. 水溶液に電圧を印加し、両電極付近の溶液を採取



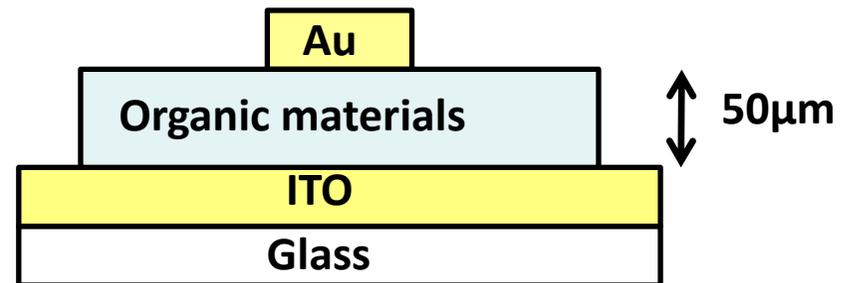
試料作製-2

3. 採取した溶液をガラスに滴下
4. 80°C、15分で乾燥

試料の写真

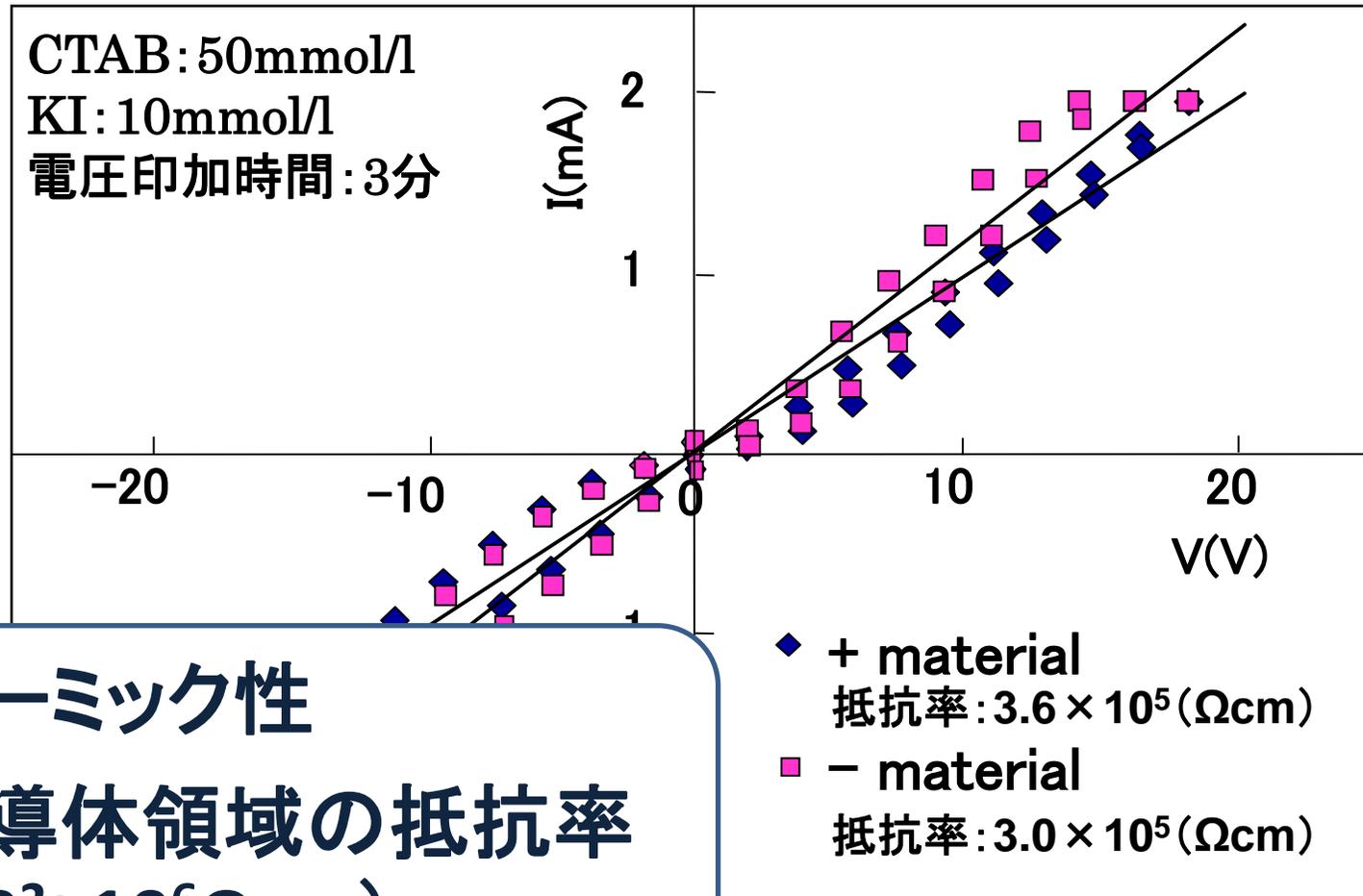


試料の模式図



C₁₆TAB試料の特性

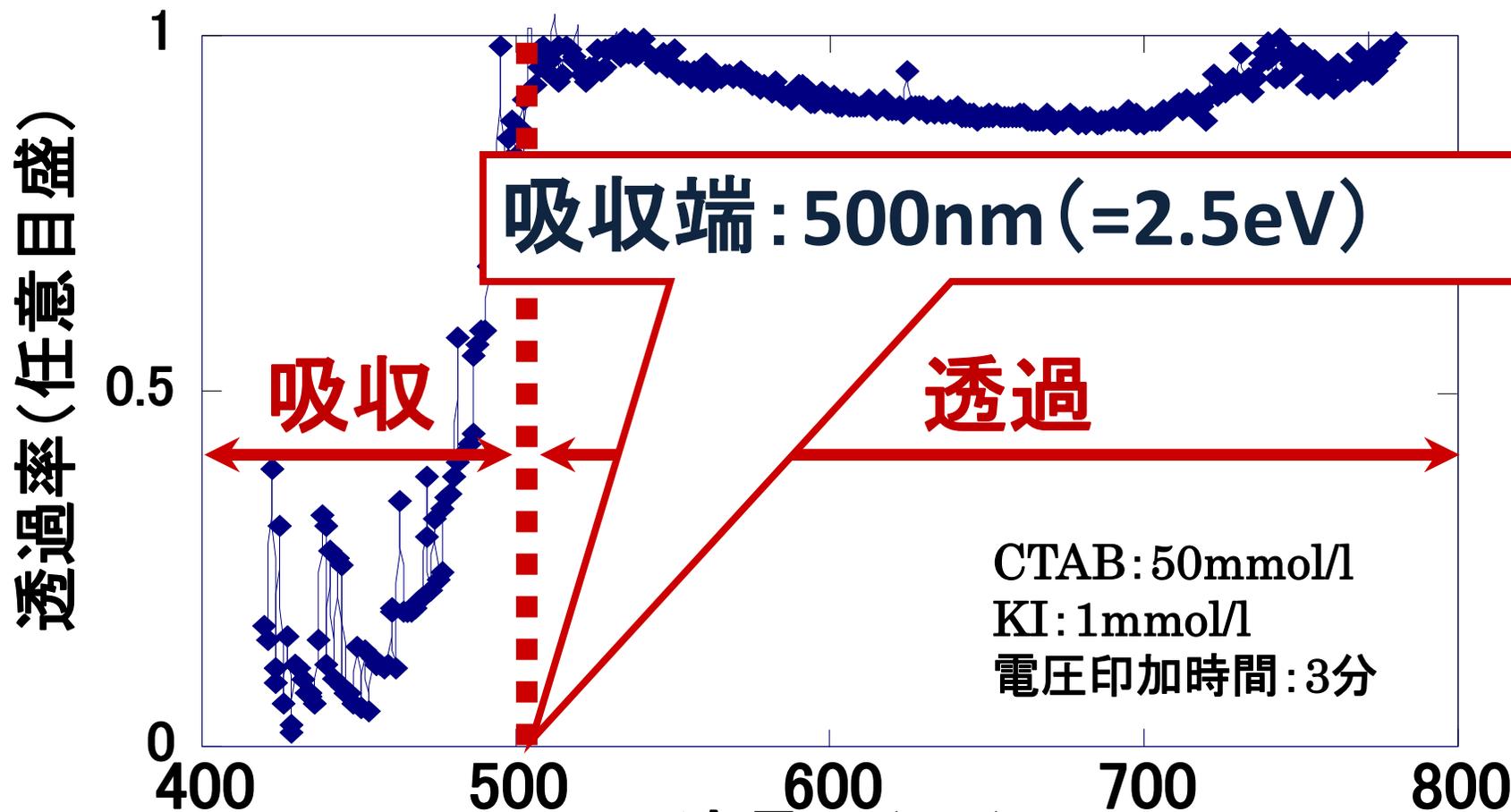
I-V特性



- オーミック性
- 半導体領域の抵抗率 ($10^2 \sim 10^6 \Omega\text{cm}$)

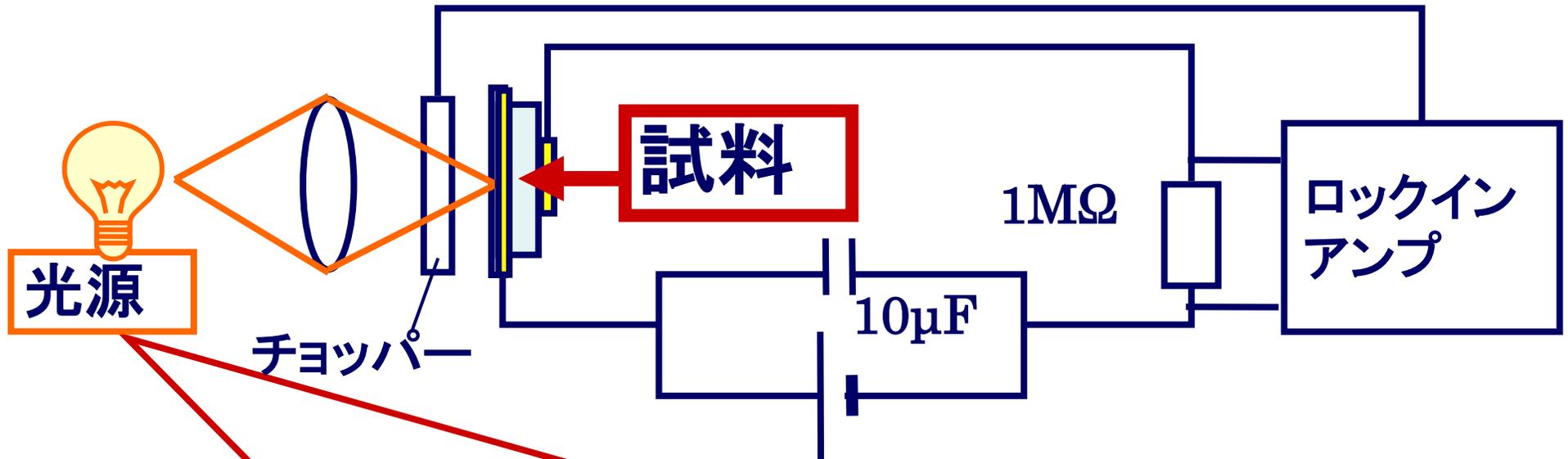
C₁₆TAB試料の特性2

透過スペクトル測定



バンドギャップが2.5eVと推定

光導電の測定系

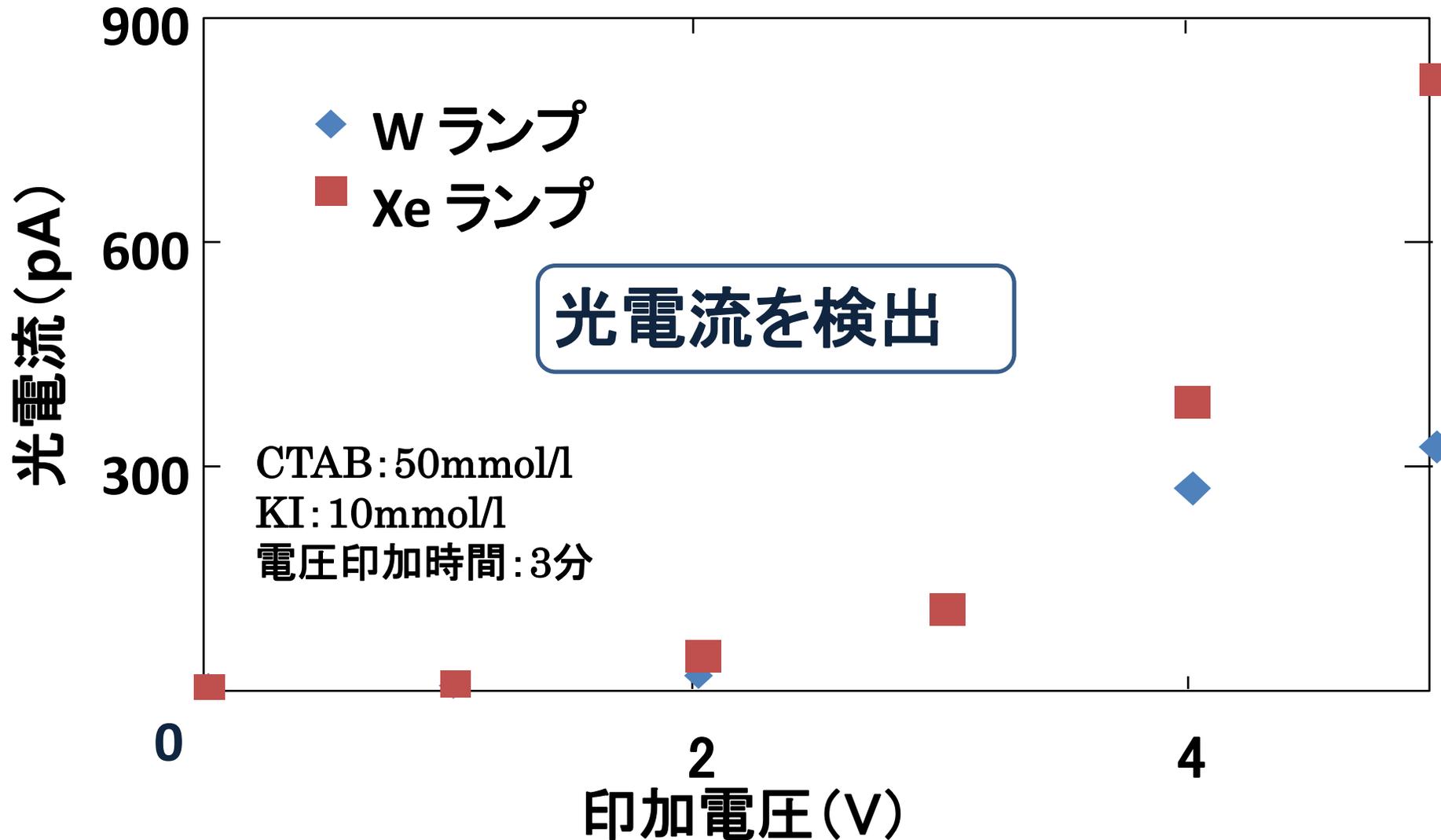


Wランプ (波長域: 380~880nm、出力: 65W)

Xeランプ (波長域: 200~2000nm、出力: 75W)

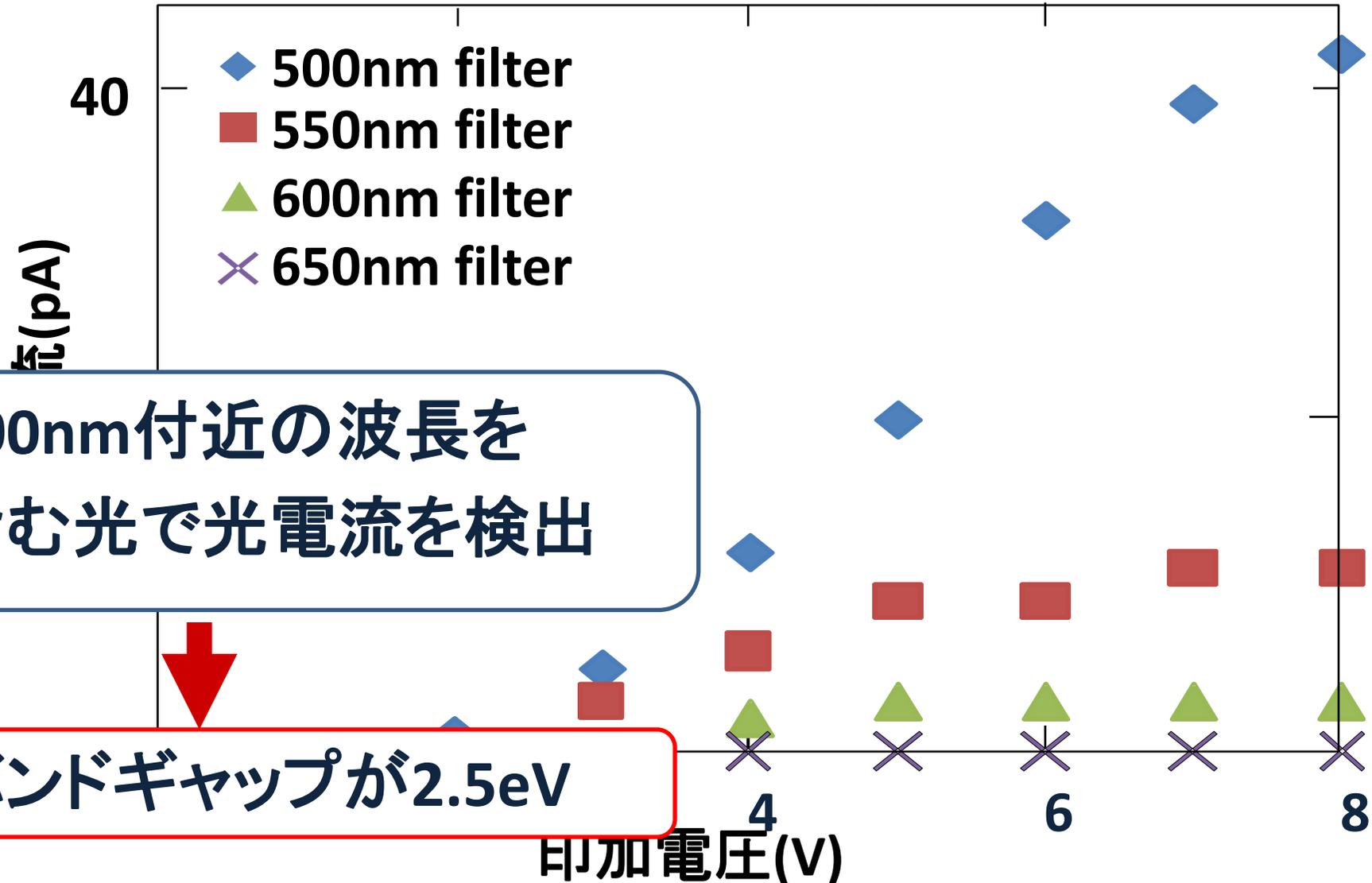
光導電特性結果-1

赤外吸収フィルター使用

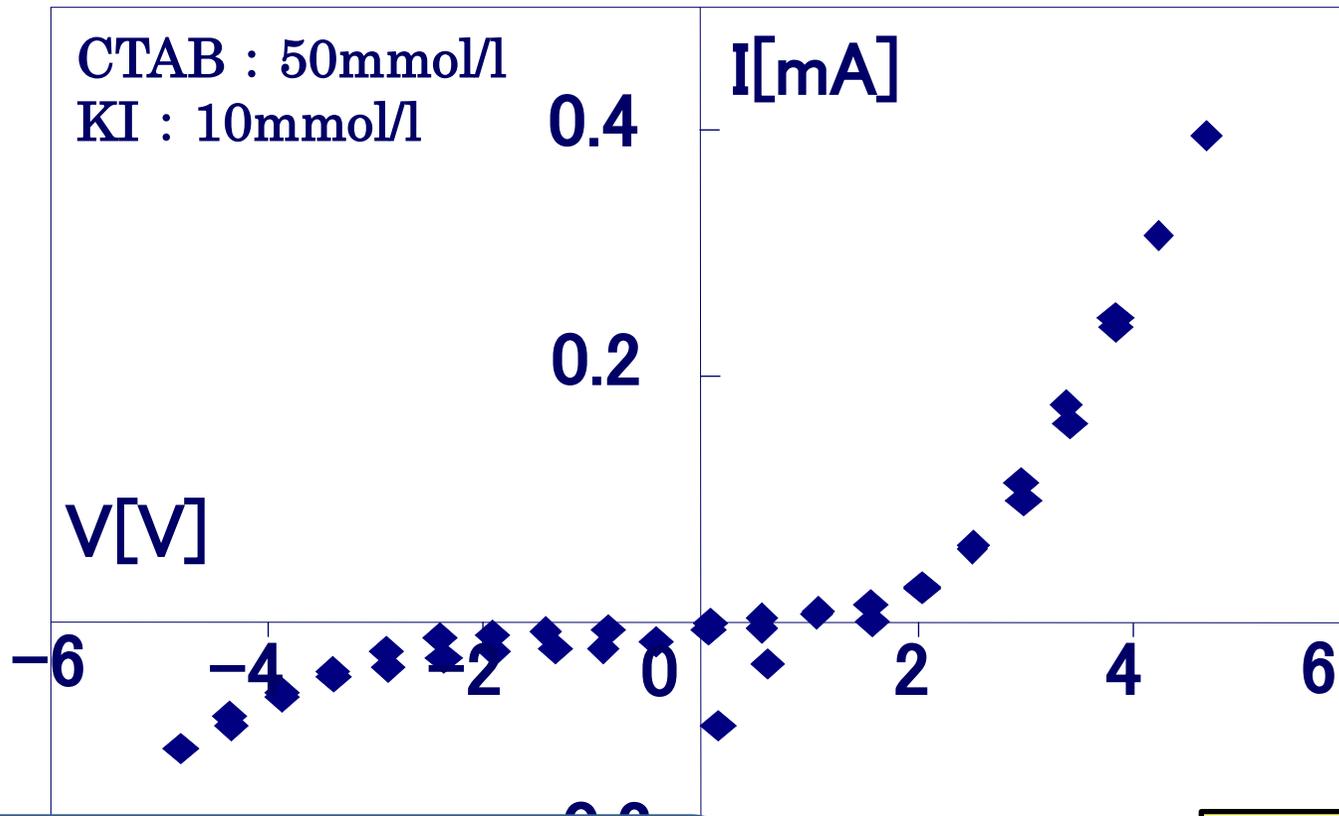


光導電特性結果-2

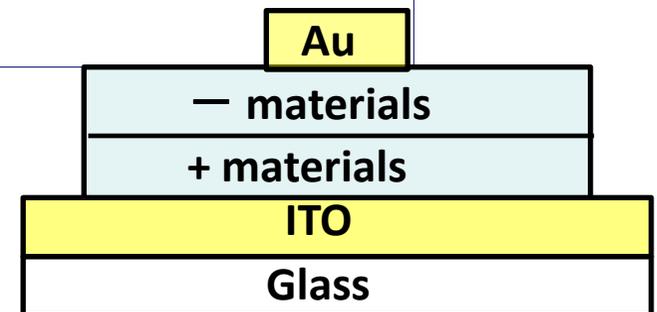
干渉フィルター使用



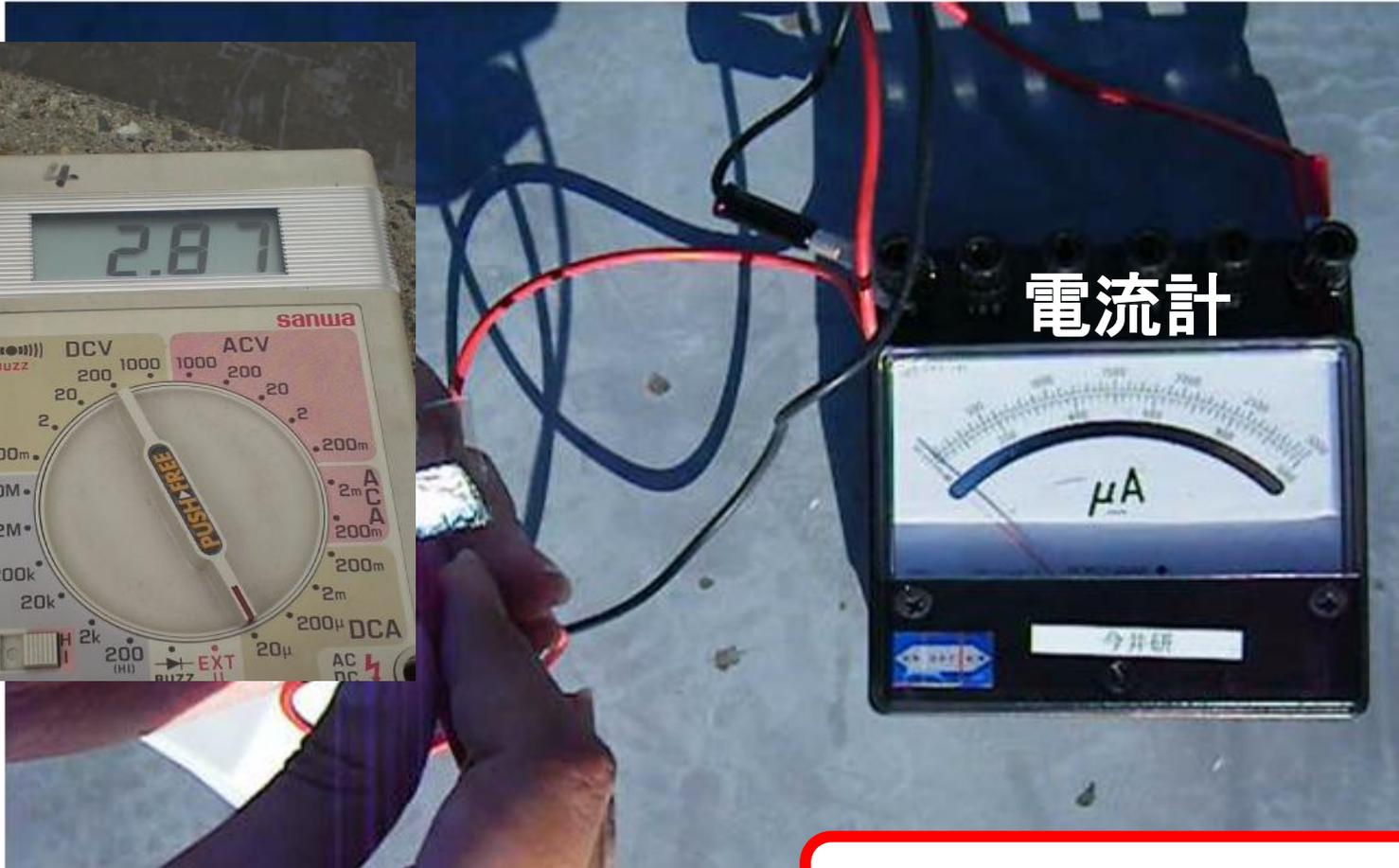
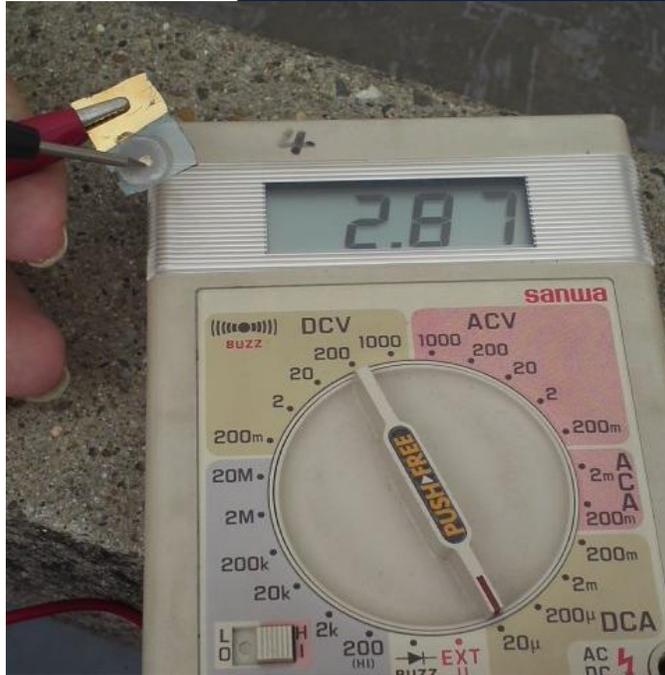
2種類の有機材料の接合特性



ダイオード特性と
同様の特性が得られた



光起電力効果



電流計

光起電力を確認

30分

