

平成17年度 冬期総合科目  
「エネルギー問題・地球環境問題を考える」

11回目「水素エネルギー最前線」

1月6日(金)5限

鈴木晶大

工学部システム創成学科E&Eコース

工学系研究科原子力国際専攻

工学系研究科原子力専攻

# 鈴木 晶大 助教授

## [原子力専攻](寺井・鈴木研究室)

[http:// www.nuclear.jp/~yunen  
suzuki@nuclear.jp](http://www.nuclear.jp/~yunen_suzuki@nuclear.jp)



- 1995. 3 東京大学工学部システム量子工学科卒業
- 1997. 3 東京大学大学院工学系研究科修士課程(システム量子工学専攻)修了
- 2000. 3 東京大学大学院工学系研究科博士課程(システム量子工学専攻)修了
- 2000. 4 核融合科学研究所助手(炉工学研究センター)に採用
- 2004. 3 東京大学工学部助教授(原子力専攻)に昇任

連絡先: 〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根2-22

東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設

電話番号: 029-287-8455 FAX: 029-287-8458

### 研究内容 (各種高機能性材料)

#### (1) 核融合炉ブランケットに関する研究

液体金属冷却システムにおけるMHDコーティングに関する研究、熔融塩冷却システムにおける不純物移行制御、耐照射材料表面の不純物移行に関する研究、など。

#### (2) 水素エネルギーシステムに関する研究

水素吸蔵材の安定性に関する研究、電解質膜の機能向上研究、各種被覆材及び界面における水素移行現象、など。

#### (3) 高機能コーティング作成手法の創成

高エネルギー粒子による作成法研究、液体金属を媒介した化学蒸着法研究、など。

～ 革新的技術は特殊素材から。 特殊素材の発見は想像力から。 最先端の材料を最先端の設備で。 ～

「水素エネルギー」と聞いて何をイメージしますか？

化石燃料の枯渇 - > 水素を使う。

地球温暖化ガス - > 放出ガスは水のみ

水素エネルギー社会

- > 持続可能な発展を可能にする。

水素エネルギーの技術開発項目のイメージは？

再生可能エネルギー

燃料電池

メタンハイドレード

水素供給ステーション

何を可能とするために、どんな技術を開発すべきなのか。  
その技術を開発するために何がネックとなっているのか。

# 水素燃料の担う役割

## 1次エネルギーと2次エネルギー

### 1次エネルギー(エネルギーの元々の形態)

(原油、天然ガス、LPガス、石炭)、水力、原子力、風力等

水素ガスは天然資源として存在しない。

### 2次エネルギー(1次エネルギーを転換したエネルギー)

(ガソリン、灯油、重油、都市ガス)、電力、熱等

化石燃料に換えて、2次エネルギーで水素ガスが主力となる。  
容易かつ安全に輸送、貯蔵する必要。

## 水素製造について

水素は2次エネルギーであり、1次エネルギーによって作らなければならない。

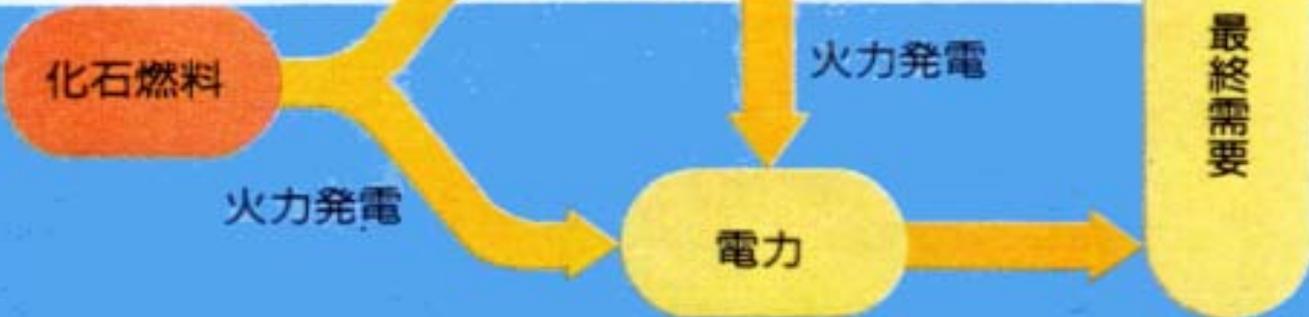
(現在)化石燃料からの取り出し

(将来)各種1次エネルギーからの生産

(未来)再生可能エネルギーによる生産

# 現在および将来のエネルギーシステム

現在のエネルギーシステム



現在のエネルギーシステムは化石燃料を主軸としているため二酸化炭素の排出はまぬかれない。将来的には水素を主軸としたクリーンなエネルギー形態にかわる。

将来のエネルギーシステム



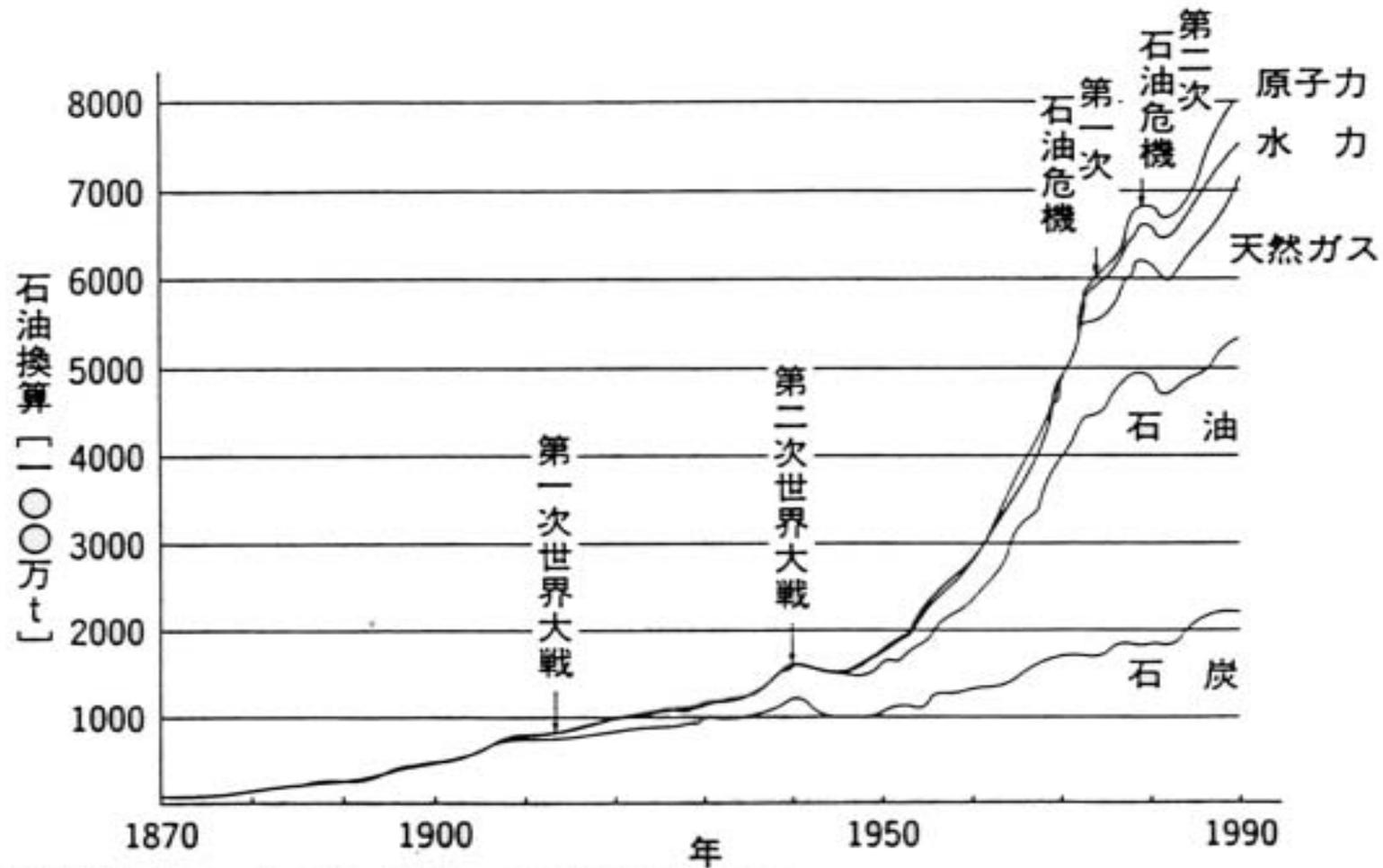
一次エネルギーを  
非化石エネルギーに

二次エネルギーを  
水素エネルギーと  
電気エネルギーに

## 水素エネルギーシステム

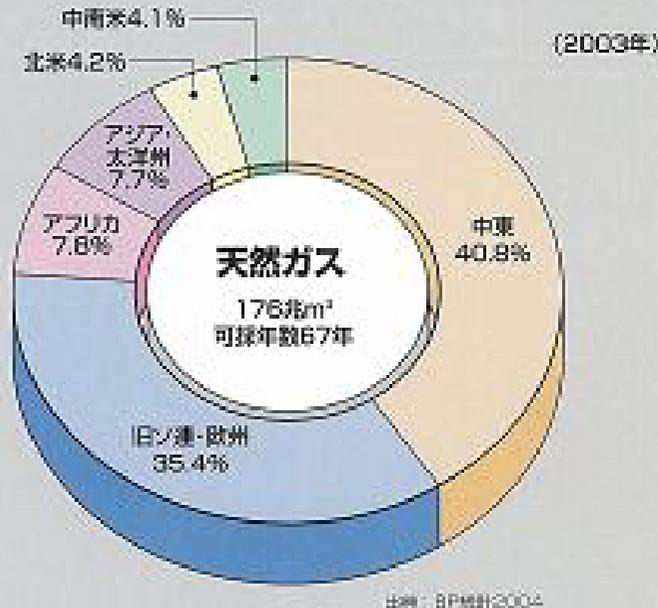
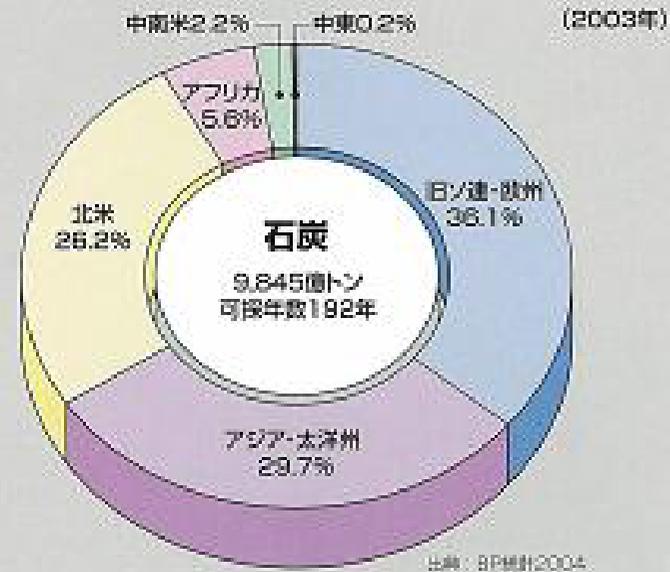
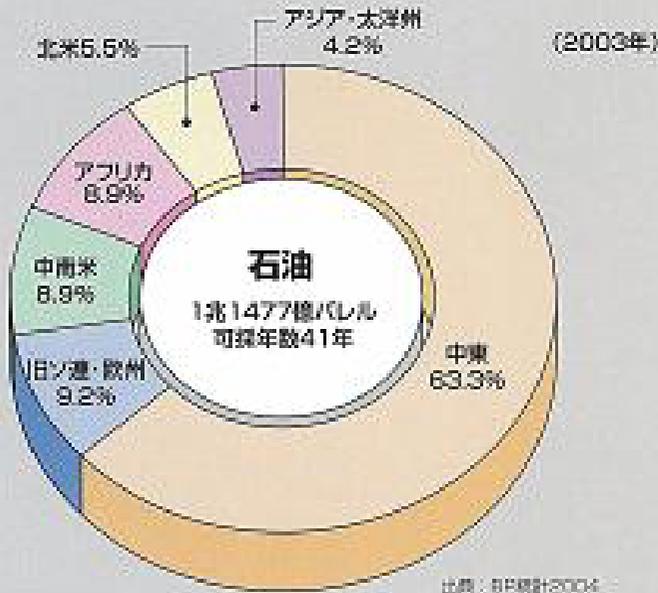
# 化石燃料の使用による問題点(1) 資源の枯渇

世界のエネルギー消費の推移



(出典) 国連エネルギー統計、BP統計等による

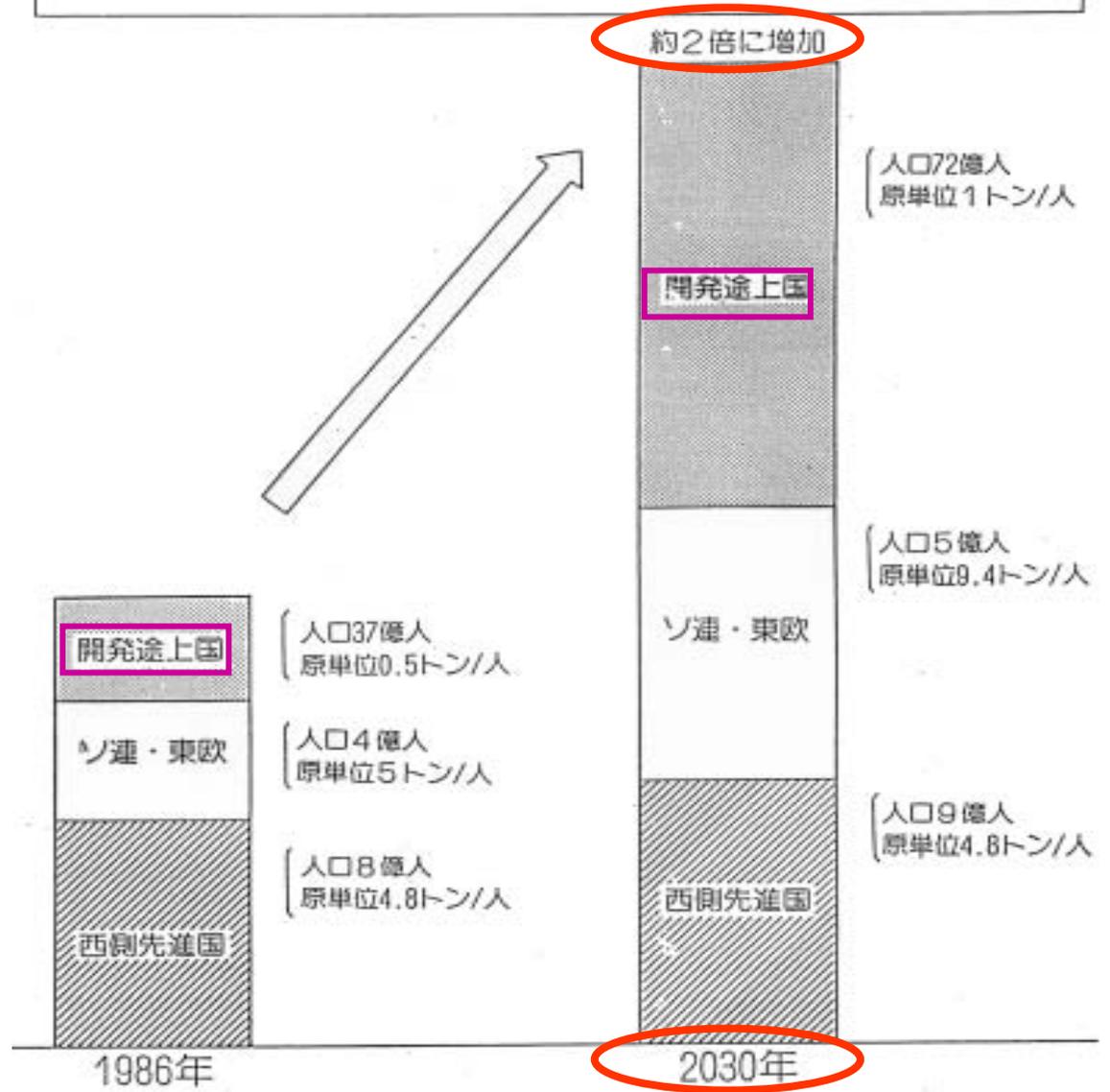
## エネルギー資源の確認可採埋蔵量



発展途上国の  
経済成長

価格の高騰

# 増大する世界のエネルギー消費量

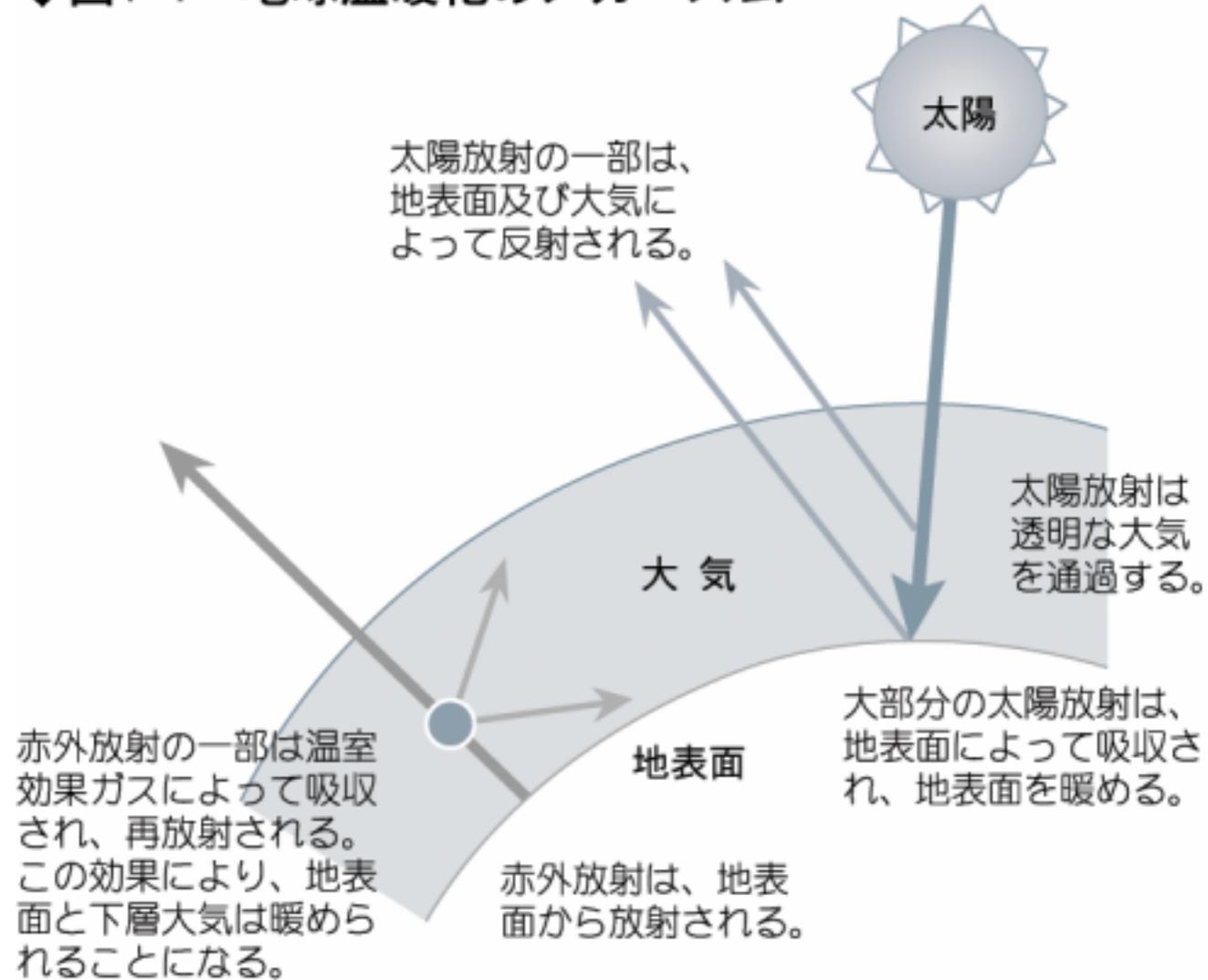


単位：石油換算トン

参考資料：「地球時代のエネルギー戦略」

# 化石燃料の使用による問題点(2)地球温暖化

◆図1-1 地球温暖化のメカニズム



## 地球の温暖化の影響



雨・雪など気候の変化

気温の上昇

山の氷河の融解

渇水・干ばつ

公害の加速

動植物の絶滅

農産物の減収

健康への影響

マラリアの流行

エネルギーの需要増加

草地の変化

食生活の変化

産業への影響

砂浜の消失

洪水の多発

港湾施設の水没

海面の上昇

高潮・台風の被害増加

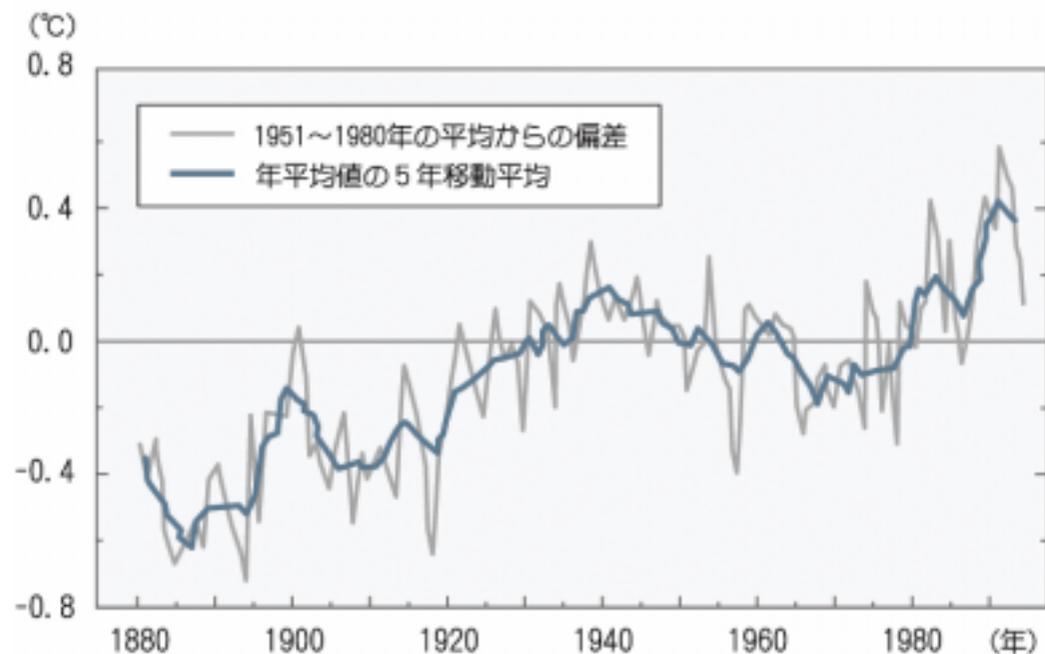
赤潮の発生

氷河の融解

## 温室効果ガス = 地球から放出される赤外線をよく吸収するガス 最強の温室効果ガスは水蒸気

温室効果ガス		地球温暖化計 数	性質	用途・排出源
二酸化炭素(CO <sub>2</sub> )		1	代表的な温室効果ガス	化石燃料の 燃焼など
メタン(CH <sub>4</sub> )		21	天然ガスの主成分で、常温で気体。よく燃える	燃料の漏洩、 農業など
一酸化二窒素(N <sub>2</sub> O)		310	数ある窒素酸化物の中で最も安定した物質。 他の窒素酸化物(例えば二酸化窒素)などのような害 はない	燃料の燃焼など (特に自動車)
オゾン層を 破壊するフ ロン類	CFC、 HCFC等	数千から1万程 度	塩素などを含むオゾン層破壊物質で、同時に強力な 温室効果ガス。モントリオール議定書で生産や消費を 規制。	化石燃料の 燃焼など
オゾン層を 破壊しない フロン類	HFC(ハイ ドロフルオ ロカーボン 類)	数百から1万程 度	塩素がなく、オゾン層を破壊しないフロン。強力な温 室効果ガス	スプレー、エアコ ン、冷蔵庫などの 冷媒、半導体洗 浄など
	PFC(パー フルオロ カーボン 類)	数千から1万程 度	水素もなく、炭素とフッ素だけからなるフロン。 強力な温室効果ガス	半導体洗浄など
	SF <sub>6</sub> (六フッ 化硫黄)	23900	硫黄とフッ素だけからなるフロンのなかま。強力な温 室効果ガス	半導体洗浄など

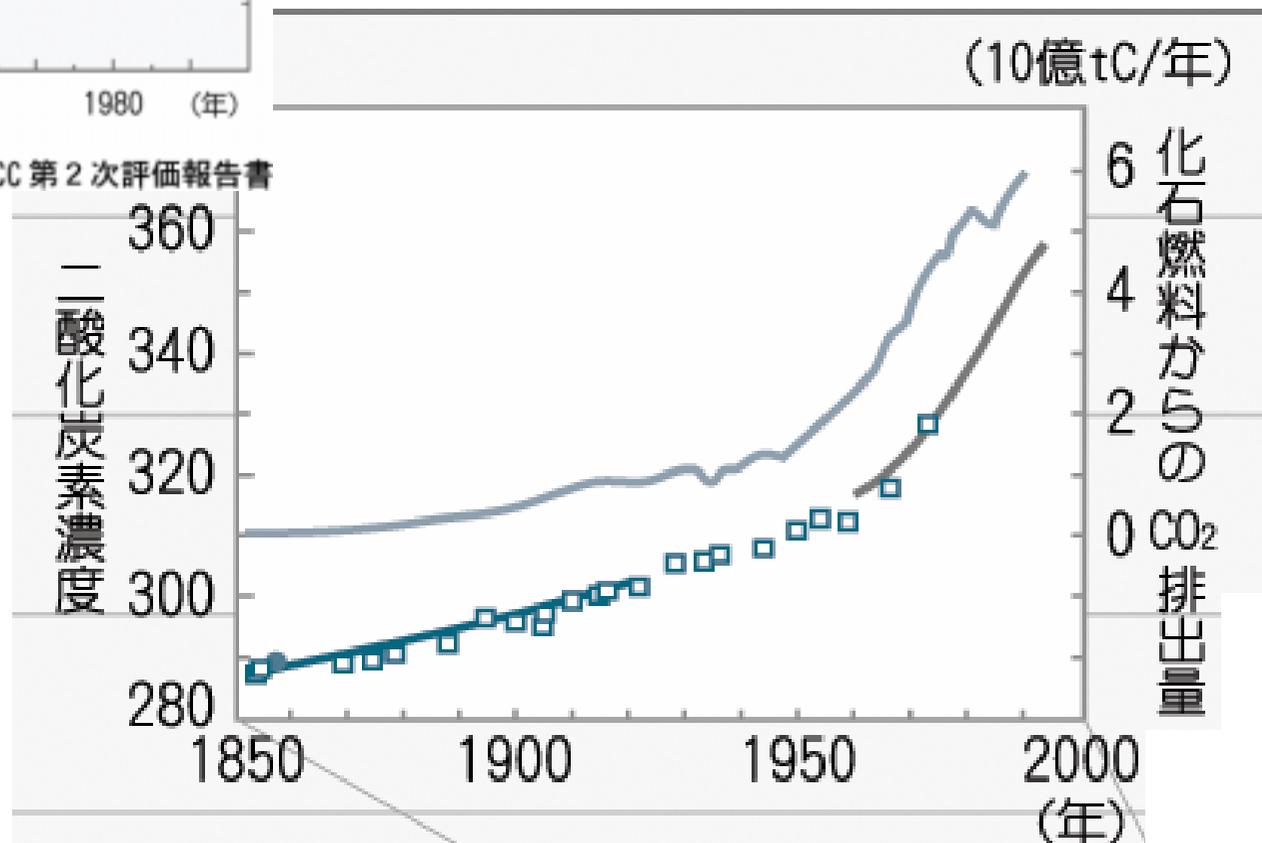
◆図 1-4 地球の平均気温の推移



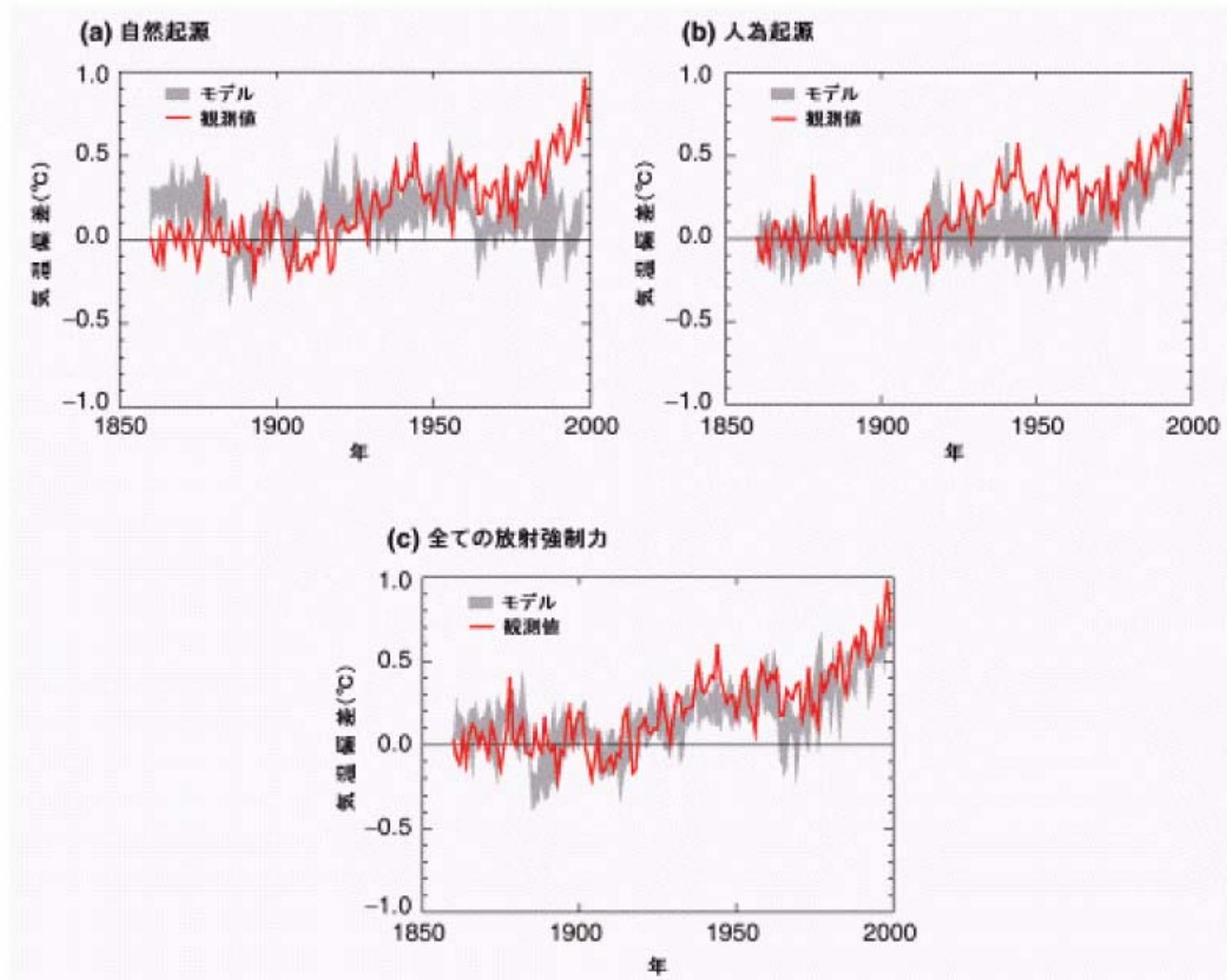
近年の急激な  
二酸化炭素の増加  
が地球の平均気温  
に影響しているか？  
人為的に増大してい  
るのか？

太陽活動  
火山  
水蒸気量  
等  
  
の影響

引用：IPCC 第2次評価報告書



# 過去の変動が再現できるか？



## 化石燃料の使用による問題点(3) 大気汚染

Air pollution in London kills -4000 in a few days.



写真2-2 ロンドンのスモッグ公害事件(1952)

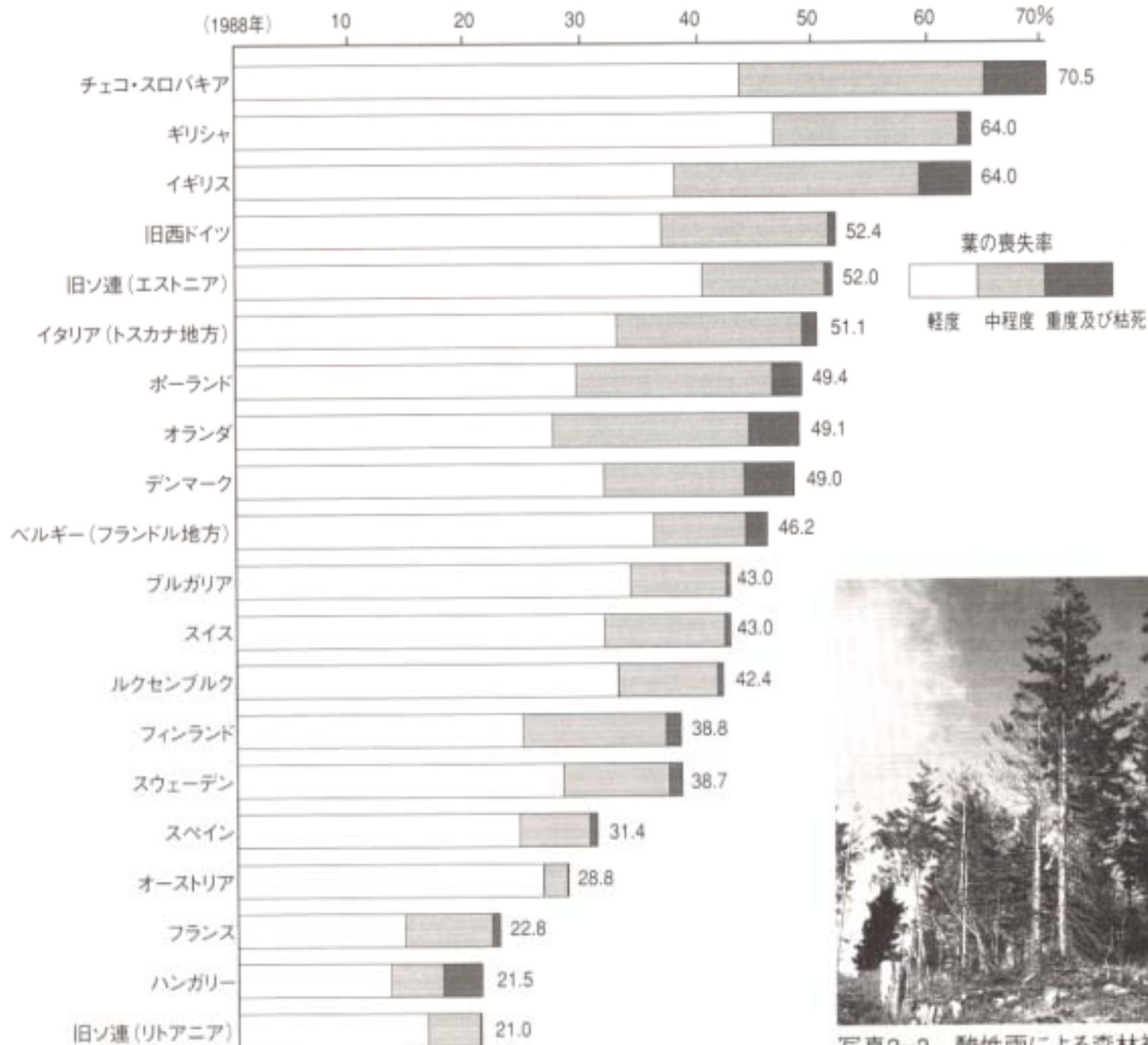


写真2-3 酸性雨による森林被害  
(ドイツ・シュバルツバルト)

図2-7 酸性雨の被害 出典:「平成6年環境白書(総説)」

## 粒子状物質

一般的にはミクロン単位の固体や液体の粒のことをいう。社会的に問題視されるものはディーゼルエンジンの排気ガス起源の粒子状物質である。これらの粒径は、 $10\ \mu\text{m}$ 以下の細かい粒子が多く、大気中に長く浮遊することから、浮遊粒子状物質 (SPM) と呼ばれ大気汚染の主要因とされる。浮遊粒子状物質は、人の気道や肺に沈着して健康を損ねる。このため、交通が集中する主要国道の周辺住民が相次いで国 (道路管理者) に対して訴訟を起こしている。

## 水素燃料の導入により何か改善されるのか。

### 1 次エネルギーとしての化石燃料の問題点

資源の枯渇(価格の高騰)

( - > 原子力/再生可能エネルギーへの転換)

### 2 次エネルギーとしての化石燃料の問題点

大気汚染( $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ 、粒子上物質等)

- > 水素を最終エネルギーとして使用する事により解決する。

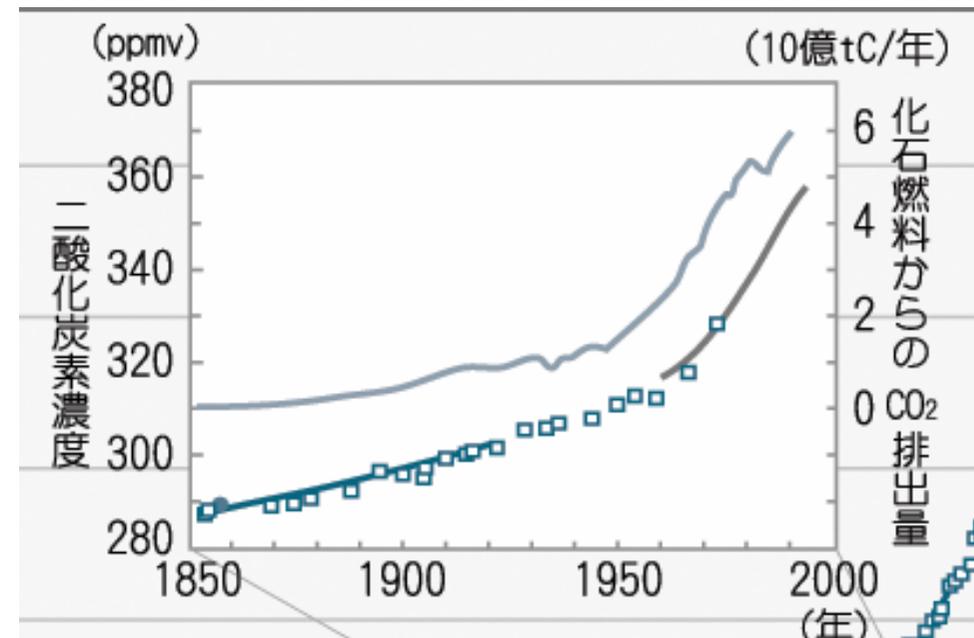
$\text{CO}_2$ 排出による地球温暖化

- >  $\text{H}_2\text{O}$ 放出の地球環境影響は小さい

## H<sub>2</sub>O放出の地球環境へのインパクト

	水素で代替する 最終エネルギー	自然蒸発量に対する 増加割合
日本	自動車用燃料	0.1%
	全エネルギー	0.6%
東京都 区部	自動車用燃料	3.4%
	全エネルギー	11.8%

自然蒸発量に比べ、極めて小さい。ただし、大気圏水循環を精度良く把握する必要がある。



## なぜ水素なのか？

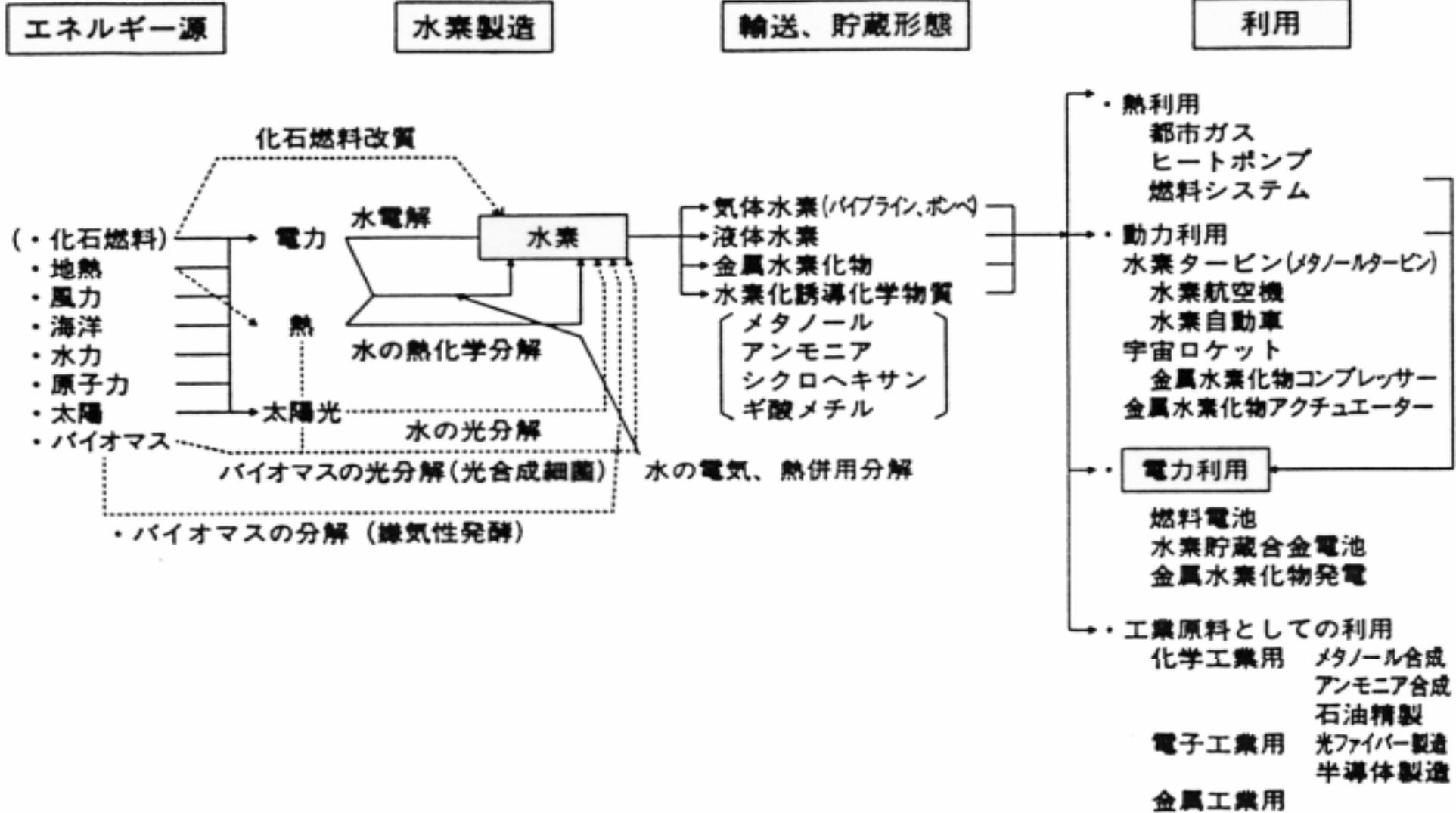
使用時に水しか発生しない。

水から生産でき、生成プロセスが単純、かつ不純物

混入が少ないと期待される。

現在高圧ボンベが必要 → メタノール等も  
CO<sub>2</sub>発生が少ない燃料として考えられている。メタノール用燃料電池など

# 水素エネルギーシステム



## 水素エネルギー社会を実現するための開発項目

### エネルギー源開発及び水素の効率的な製造

メタン資源の開発、高速炉開発、新エネルギー源開発

### 水素の輸送、貯蔵

高圧容器開発、溶媒や水素吸蔵合金の開発など

### 水素の効率的な利用

水素ガスタービン、燃料電池開発

## 水素エネルギー導入戦略

魅力的

理想的な水素エネルギー社会を実現するためには、  
再生可能エネルギーによる生産  
長距離輸送、効率的貯蔵  
高効率燃料電池

消費地における公害の低減(先進国側)

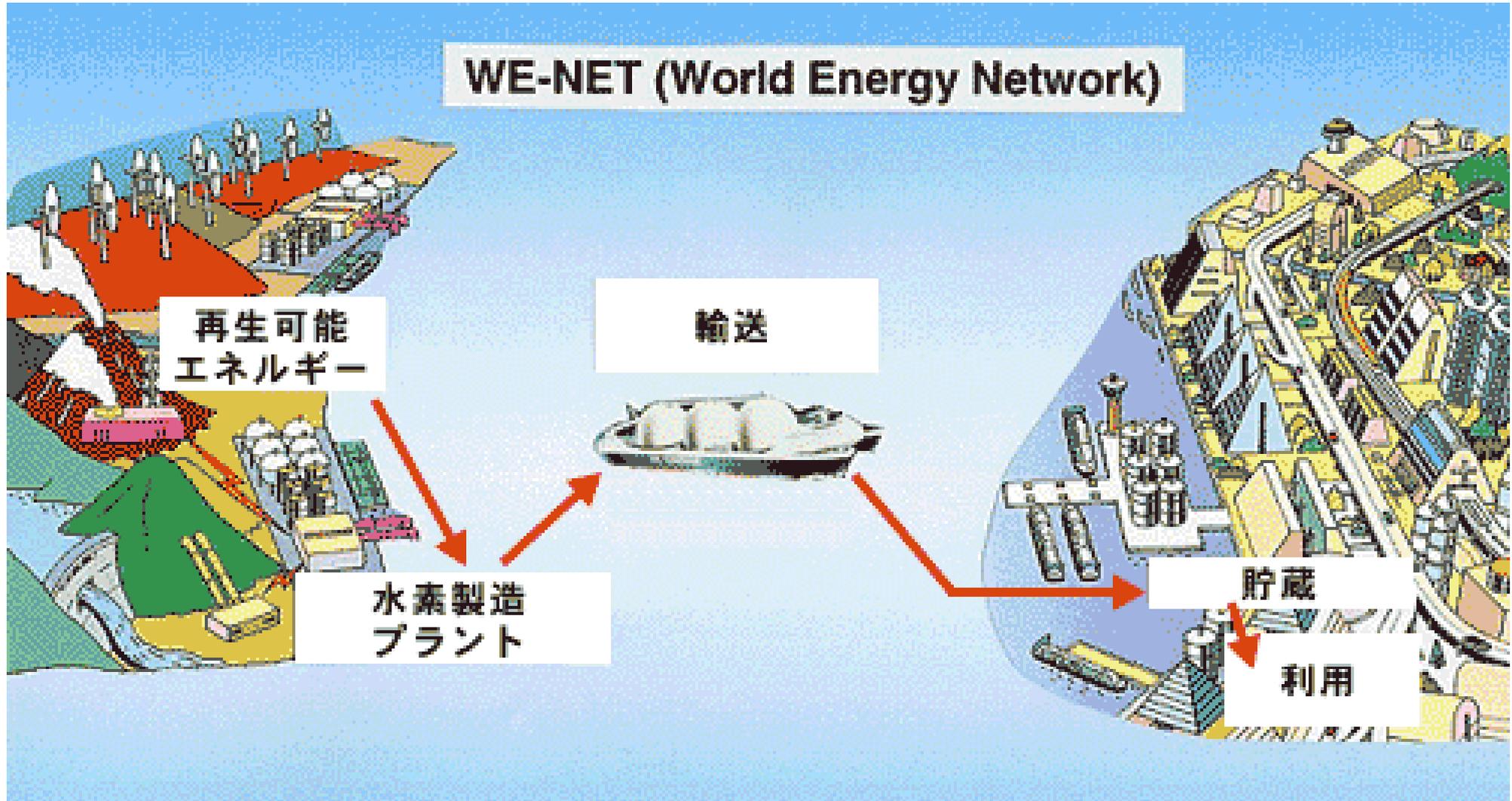
- (3) 原油及びメタンの産出国での水素製造、
- (1) 長距離輸送、効率的貯蔵、補給技術
- (2) 水素ガスタービン、燃料電池の開発

実現が容易

エネルギー源の確保と効率的な利用

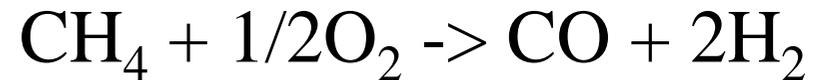
- (1) メタンハイドレード開発、高温ガス炉開発
- (2) 燃料電池開発
- (3) 長距離輸送、効率的貯蔵技術

# WE-NET (World Energy Network)



## 1 次エネルギーからの水素製造法

(1) メタン、メタノール、LPGの改質



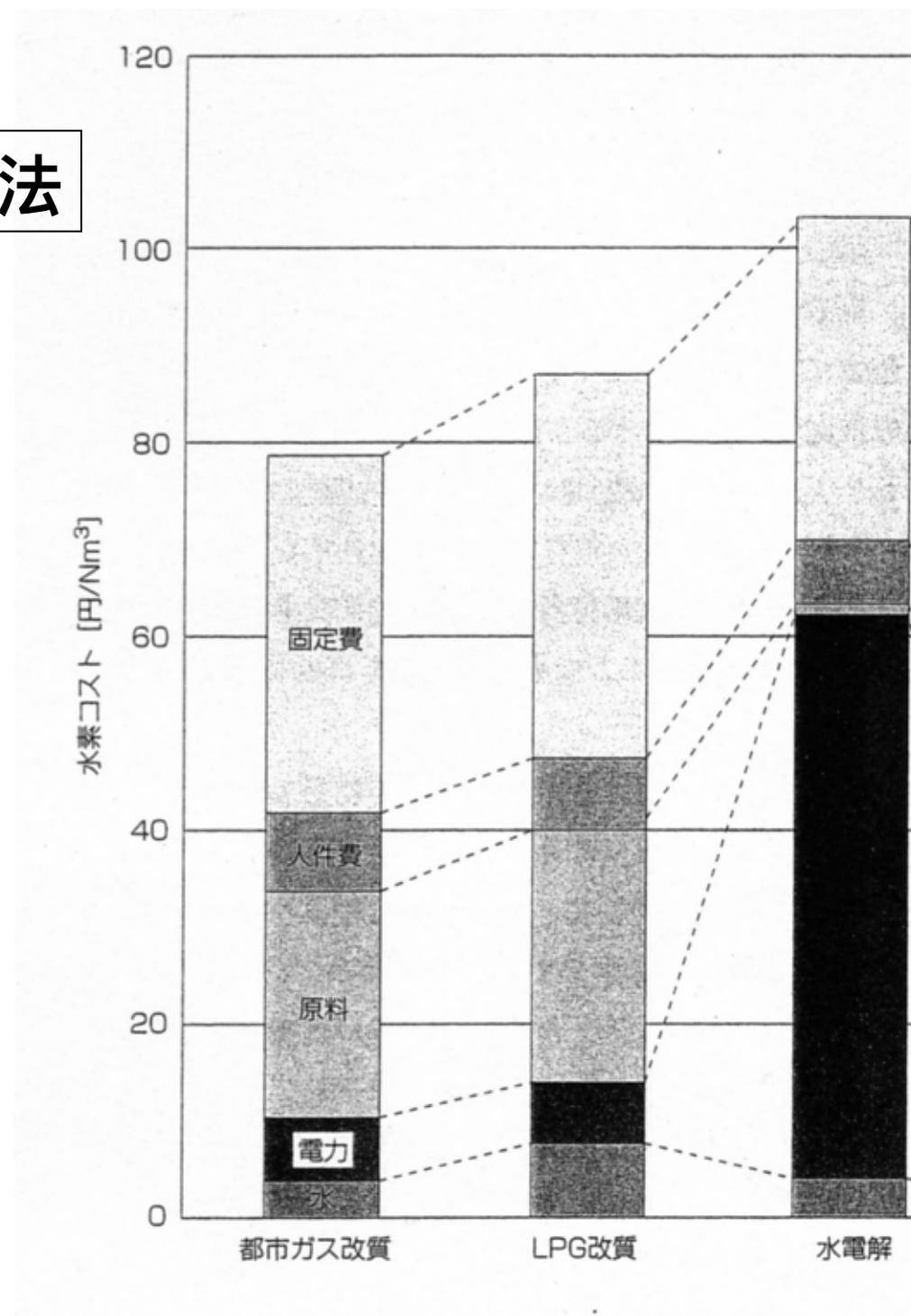
(2) 発生させた電力による水の電気分解  
→ 電力の貯蔵

(3) 高温熱源を利用した水の分解

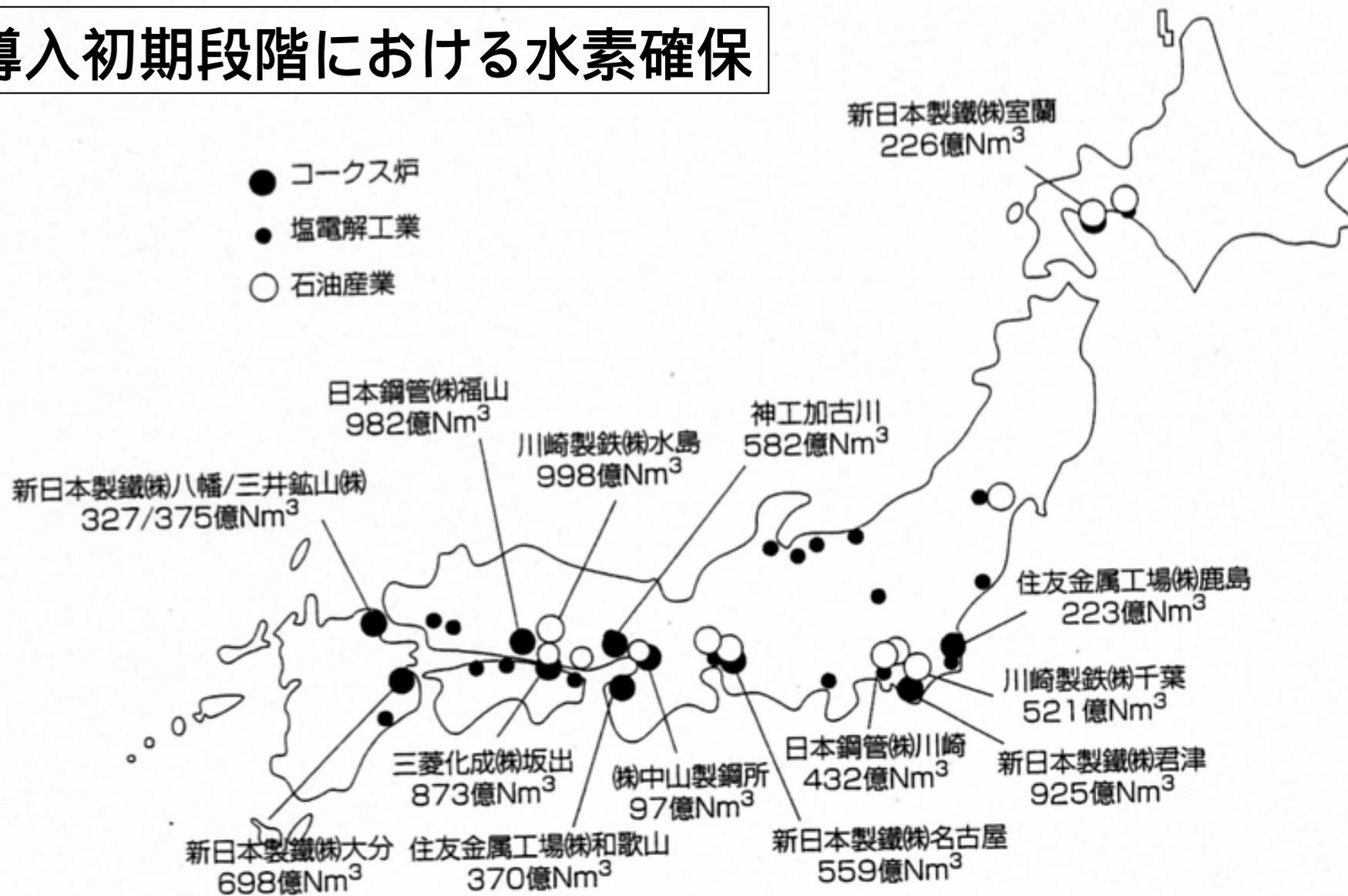
水の分解温度: 約3600K

さまざまな化学反応及び触媒を用いて  
低温でも分解を進行させる。

# 現在の水素製造法



# 導入初期段階における水素確保

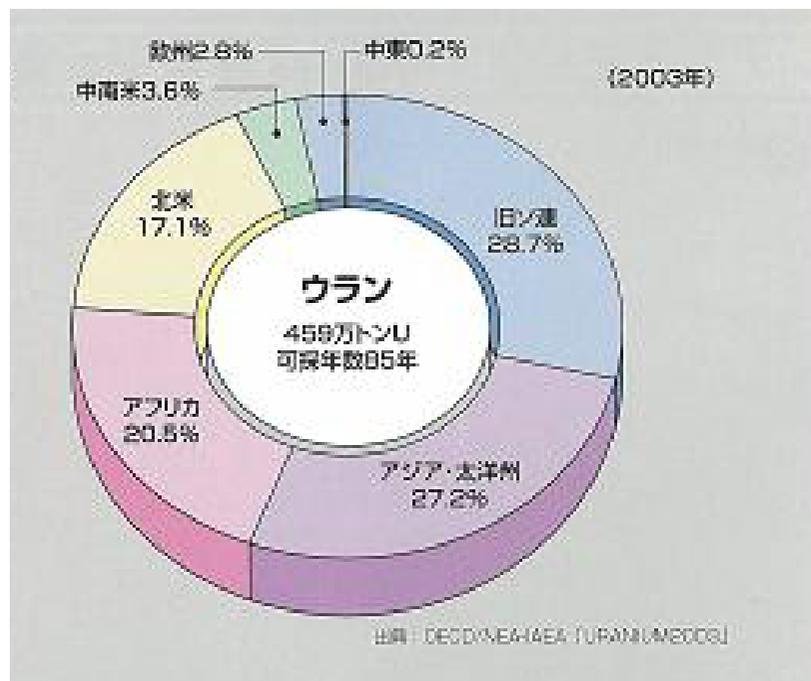


◎ 図2 オフサイト水素発生源分布

## エネルギー源開発

### 原子力発電：

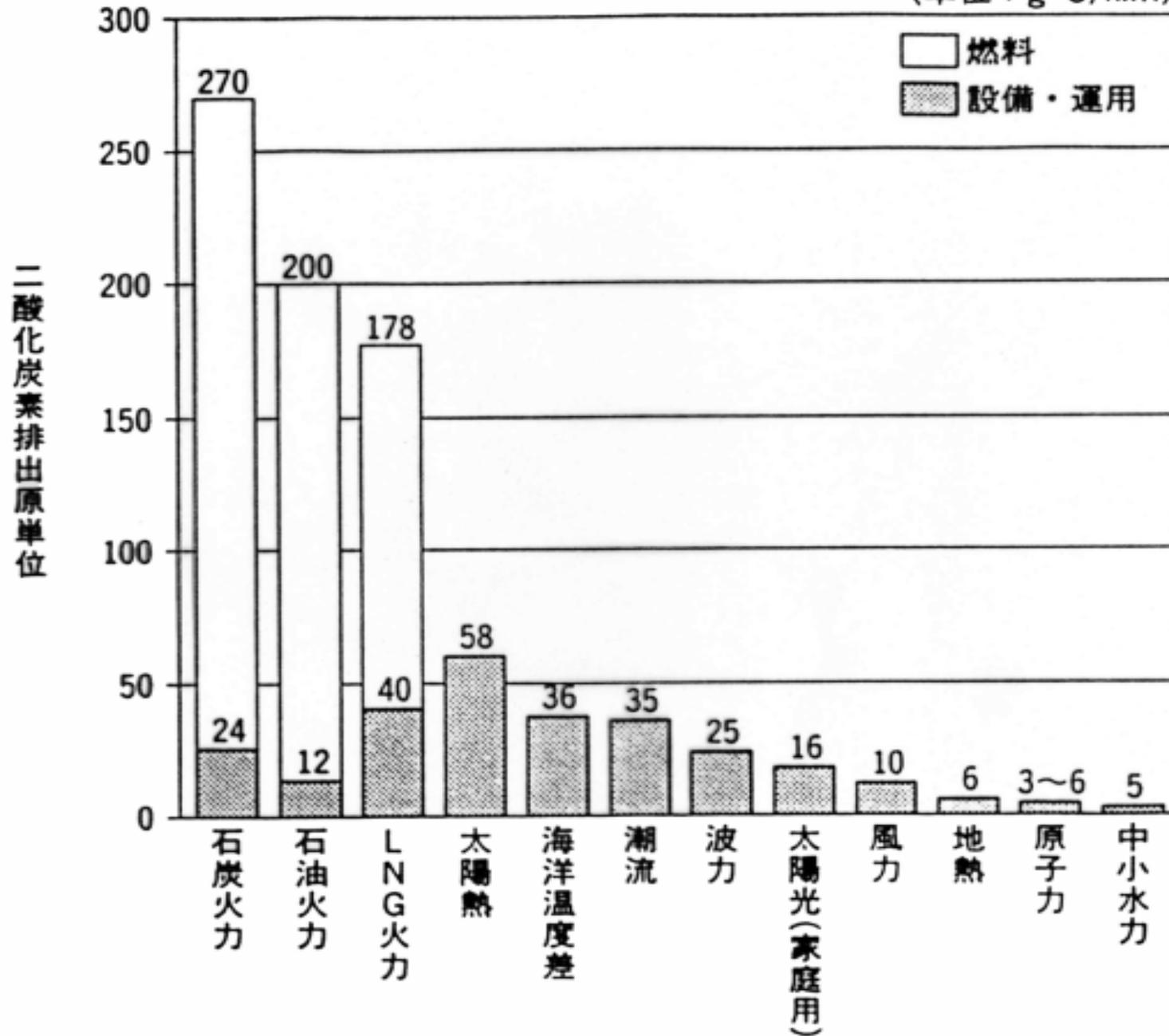
二酸化炭素を発生せず、廃棄物量も極めて少量  
電気への変換効率が低いことから、  
高温熱源による直接水素製造が比較検討されている。



現在はウラン中に0.7%しか  
含まれていないウラン235の  
みを燃料としている。  
高速増殖炉の導入により、残  
りの99%以上のウラン238を  
プルトニウムに核変換して使  
用する事ができる。

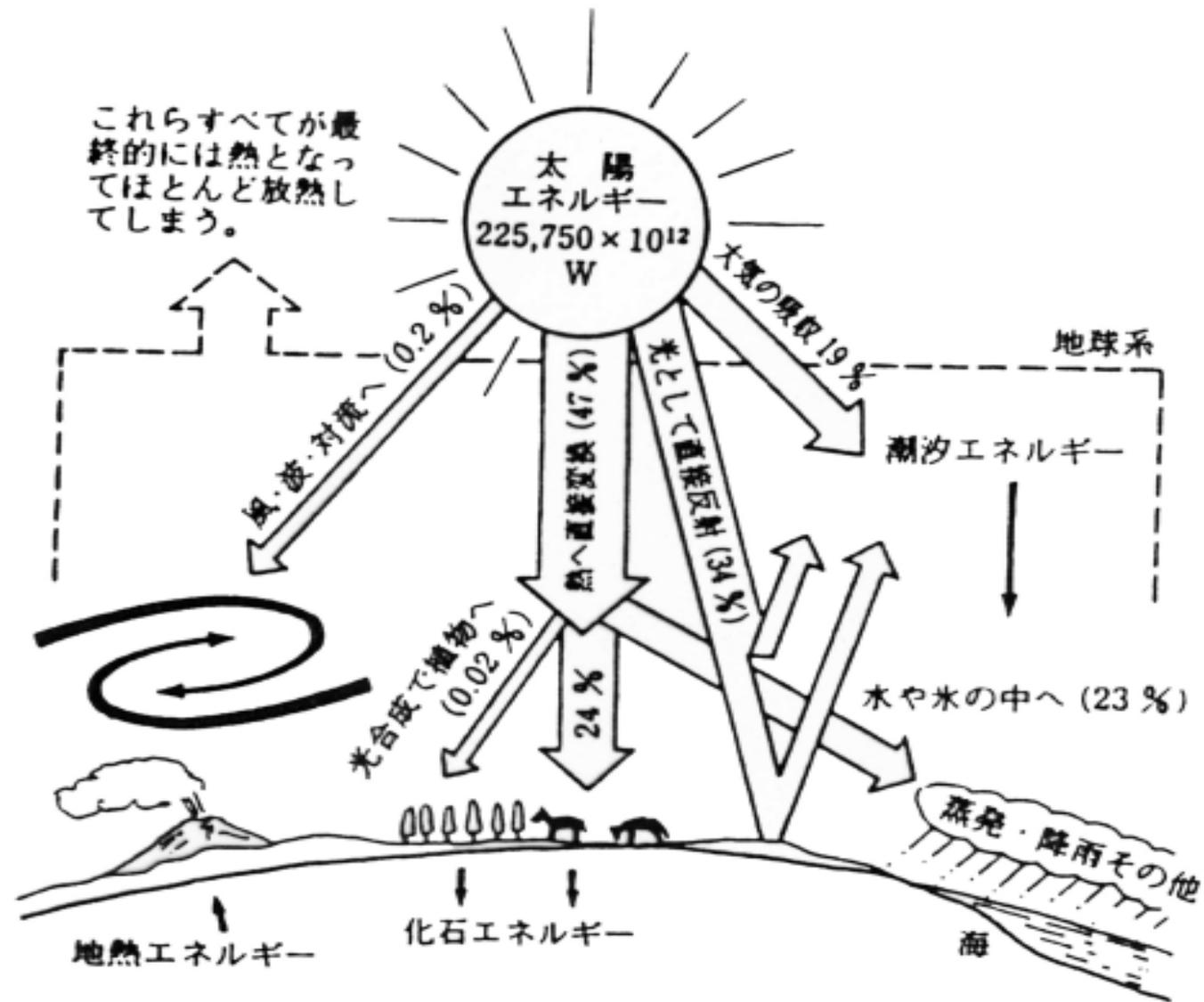
# 日本の電源別二酸化炭素排出原単位の比較

(単位：g-C/kWh)



# 再生可能エネルギー：太陽熱の入出力を使う。

地球規模で考えた太陽エネルギーの流れ



## さまざまな太陽エネルギーの利用

○太陽電池

○太陽熱発電

△水力発電：土地の水没、設置場所が限られる

△風力発電：設置場所が限られる

×バイオマス：光合成（効率1%）により得られた炭水化物からアルコール合成（変換にエネルギーを要する）

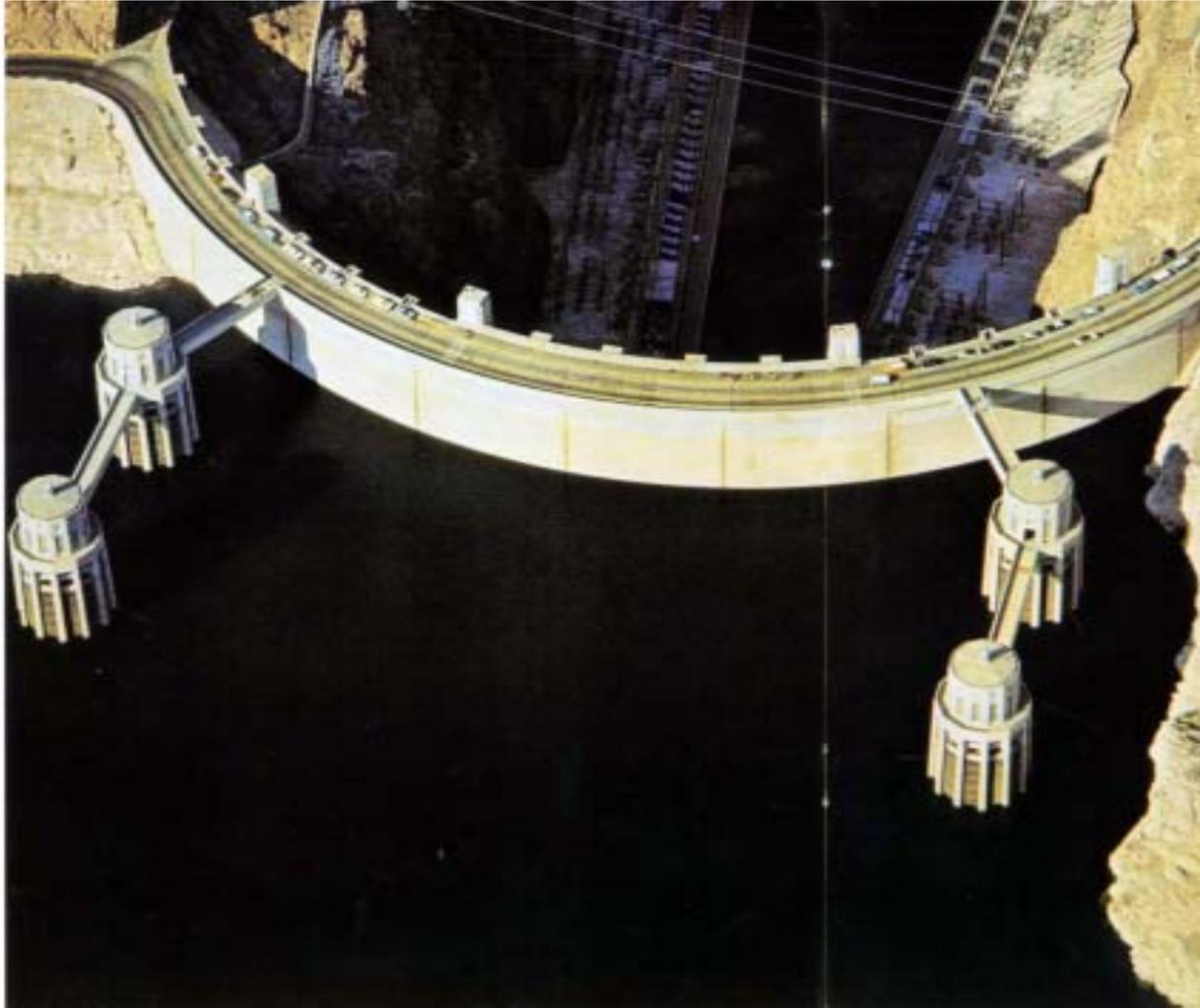
太陽エネルギーの大規模利用システム実現の課題は技術の問題（エネルギーペイバックタイムの減少）と土地の問題である。

太陽エネルギーの資源量は見積りの仕方に強く依存する  
人類の全エネルギー使用量は10、単位すべて  $10^{12}$  ワット

	利用可能量	最大資源量	備 考
地球への到達		173,000	
大気圏入射量		120,000	
水 力	2	680*	* 空全面にビニールをはったとき
風 力	1~3	230*	* 空気の全対流
太陽電池	420*		* 砂漠の半分利用
太陽熱発電	60*		* 極砂漠の半分利用
バイオマス	0.6*	30**	* 農地の10%の収穫を発電に ** 陸地の10%で直接燃焼

〔出典〕 複数資料より作成(たとえば、佐野ら『エネルギー・資源』1992年498ページ、など)。

# 水力発電



高いダムに落ちたためらわれてある水は、位置エネルギーの豊庫である。

われわれはエネルギーを消費して生活している。生活していくために必要なエネルギーの源が太陽であることも知っている。それに、われわれは日常よくエネルギーという言葉を使う。その場合、活力とか運動あるいは能力といった意味で使うことが多い。では、正確にいうとエネルギーとは何なのだろうか。

たとえば、自動車を動かすにはガソリンが必要である。ガソリンがシリンダーの中で燃焼すると熱を発生し、高温のガスとなってその圧力でピストンを動かす。これを車輪の回転運動にかえて自動車を走らせる。電灯も、電線の中の電子を流して熱を発生させたり、モーターを回らせて電扇を動かす。このようにエネルギーとは、ある物体が、仕事を発生する、ほかの物体を動かす、ことができることをいい、そしてそれ自身はエネルギーをもらっているといえる。

つまり、エネルギーは物体あるいは物質とともに存在しており、運動のような物理的な変化や燃焼のような化学的な変化のもとでも、物質が変化すれば必ずエネルギーの入りがあるわけである。

ところで、ひと口にエネルギーといっても、いつでもどこでも同じ形態としてみえるわけではない。エネルギーはいろいろな形態をとってあらわれる。太陽の光のエネルギーは、原子核の反応による熱エネルギーが源であるし、石油が燃焼するときに生じるエネルギー(内部エネルギー)や電圧、電子・光子の化学結合が変化する際に放出する化学エネルギーによる。日常よく利用する電気は、電気エネルギーといわれる。走っている自動車のように、運動している物体のもつエネルギーを運動エネルギーという。この運動エネルギーと密接な関係にあるエネルギーに、位置エネルギーというものがある。

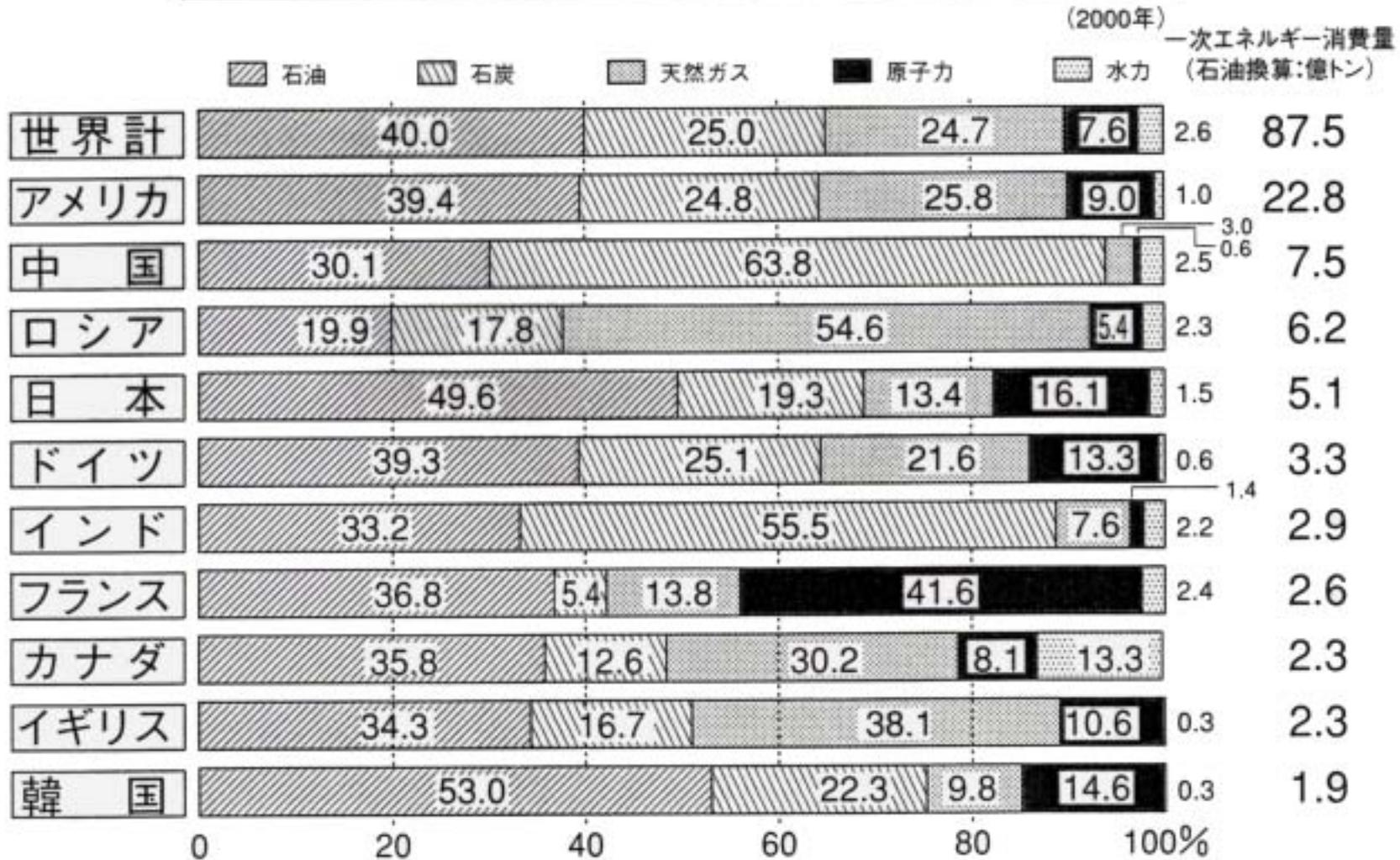
一般に、どんな物体でも上へ持ち上げられておさまると落ちる。すなわち運動エネルギーが働く。たとえば、水を100メートルの高さから落とすと衝突させると、水温が約0.2度上昇する。つまり、高い所に置かれた水はエネルギーをもらっていることになる。このように高い所にある物体がもつエネルギーを、重力による位置エネルギーという。

位置エネルギーに由来する熱で水は空中に蒸発し、雲々となって山の頂上に落ちる。その水が溜まって河となり、山間部を流れ落ちていく途中にダムをつくる。このダムにあめである水は、たいへん豊かな位置エネルギーをもらっているわけである。この水の位置エネルギーは、水の落下によって運動エネルギーにかわり、タービンをまわす。タービンがまわり発電機が駆動されて電気、つまり電気エネルギーになるのである。

コロラド州のフリスカム217メートルの高さで水がエネルギーハーブム(アメリ)の、発電機が134,000キロワット。

安定供給、供給速度調整が可能。容量が限られる。  
高効率で電気に変換可能。

# 主要国の一次エネルギー構成



(注) 四捨五入のため合計は100%にならない場合がある。  
出典: B P 統計(2001)

我が国には今後開発できる場所がほとんどない

# 風力発電

エネルギー密度が低く、間欠的ではあるものの、枯渇の恐れがなく、クリーンなエネルギーです。

しかし、風力発電で、原子力発電所1基相当分(約100万kW)の電力を得るためには、竜飛ウィンドパークの風車が約3,700基、これを仮に海岸沿に直線に風車を並べると、長さは200km以上になります。わが国では、人口密度が高く、土地利用も高度に行われていることから、わずかでも分散しながら設置して火力発電所などの燃料費を節約したり、離島などのエネルギーコストの高い地域における電源として期待されています。

**安定供給ができず、  
水素による貯蔵が望まれる。  
電気に高効率で変換可能。**

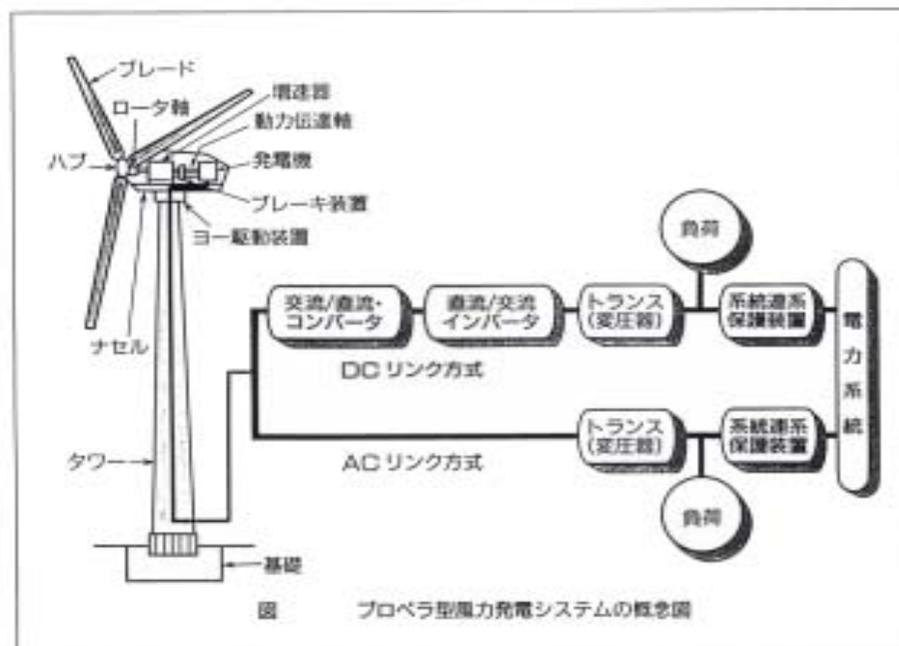


表 風車の種類

風車の種類	多翼型	オランダ型	セイルウィング型	プロペラ型
<b>水平軸型風車</b> ○構造が比較的簡単 ○効率が高く、大型化が容易 ○現在の主流タイプ ●国内の依存性がある ●設置物(ブレード、発電機)はタワー上部に設置				
<b>垂直軸型風車</b> ○風向の依存性がない ○設置物はタワーの下部に設置が可能 ●水平軸に比べ効率が劣り、設置面積も大きい ●起動時に大きなトルクが必要 ●回転軸に強い曲げモーメントが加わる				

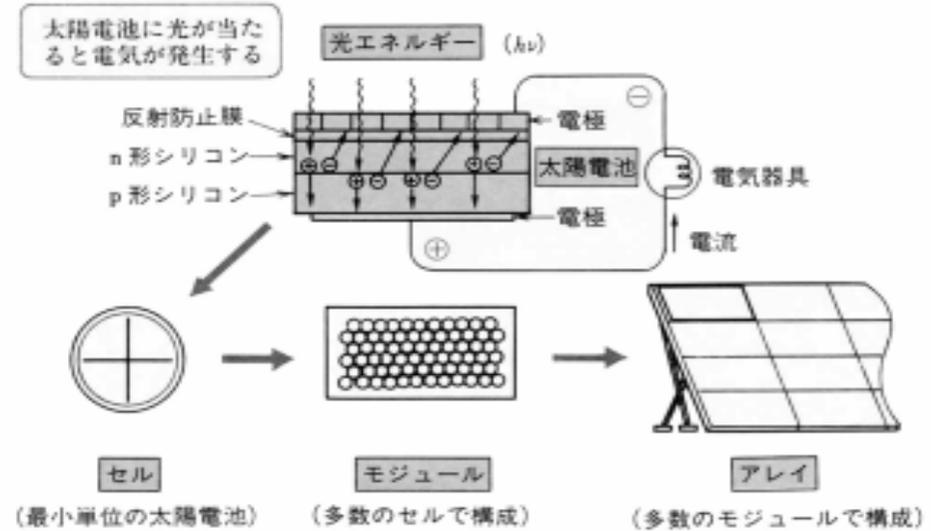
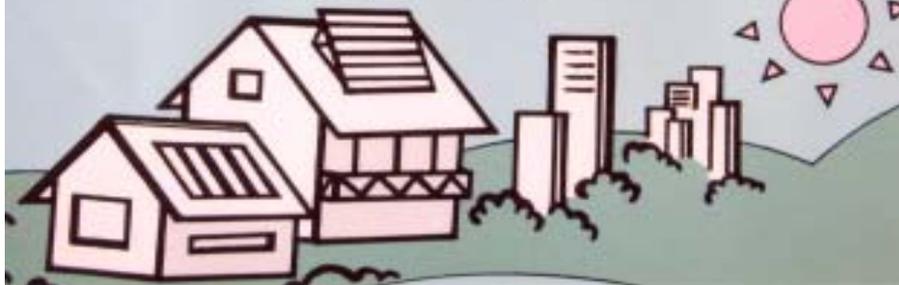


**ウインドファーム** このカリフォルニア州の風車農場にある風車群は、その地方の電力網と接続されている。1982年以來、カリフォルニア州では、

1万3000基以上の風車が建設された。それらは、1985年の夏までに、石油100万バレルに相当するエネルギーを生産した。

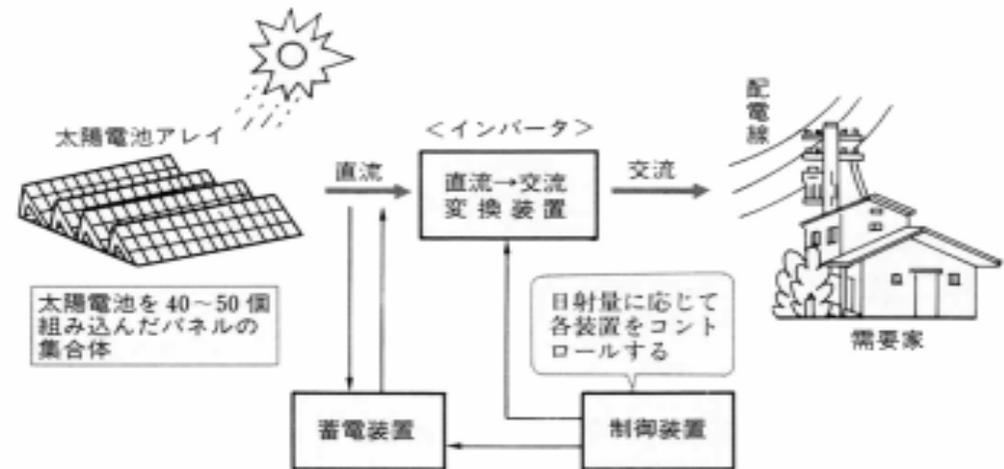
# 太陽光発電

太陽エネルギーはクリーンで枯渇のおそれがなく、地域的偏在性がないなどの特長を持ったエネルギーですが、エネルギー密度が小さく、天候条件による動が大きいなどの制約があります。



太陽電池の発電原理

## ◆太陽電池の種類



太陽光発電システムの構成例

## 太陽熱発電は、太陽エネルギーを濃縮して電気エネルギーにかえる。

太陽エネルギーを熱のエネルギーにかえ、さらに電気エネルギーに変換するのが太陽熱発電である。低い太陽エネルギーを、効率よく集光・濃縮して別のエネルギーにかえる必要があるため、多数の平面鏡によって反射光を集熱器に集めて、高温の熱媒液(水蒸気)を生じさせている。その蒸気によって蒸気タービンをまわし発電機を駆動させる。

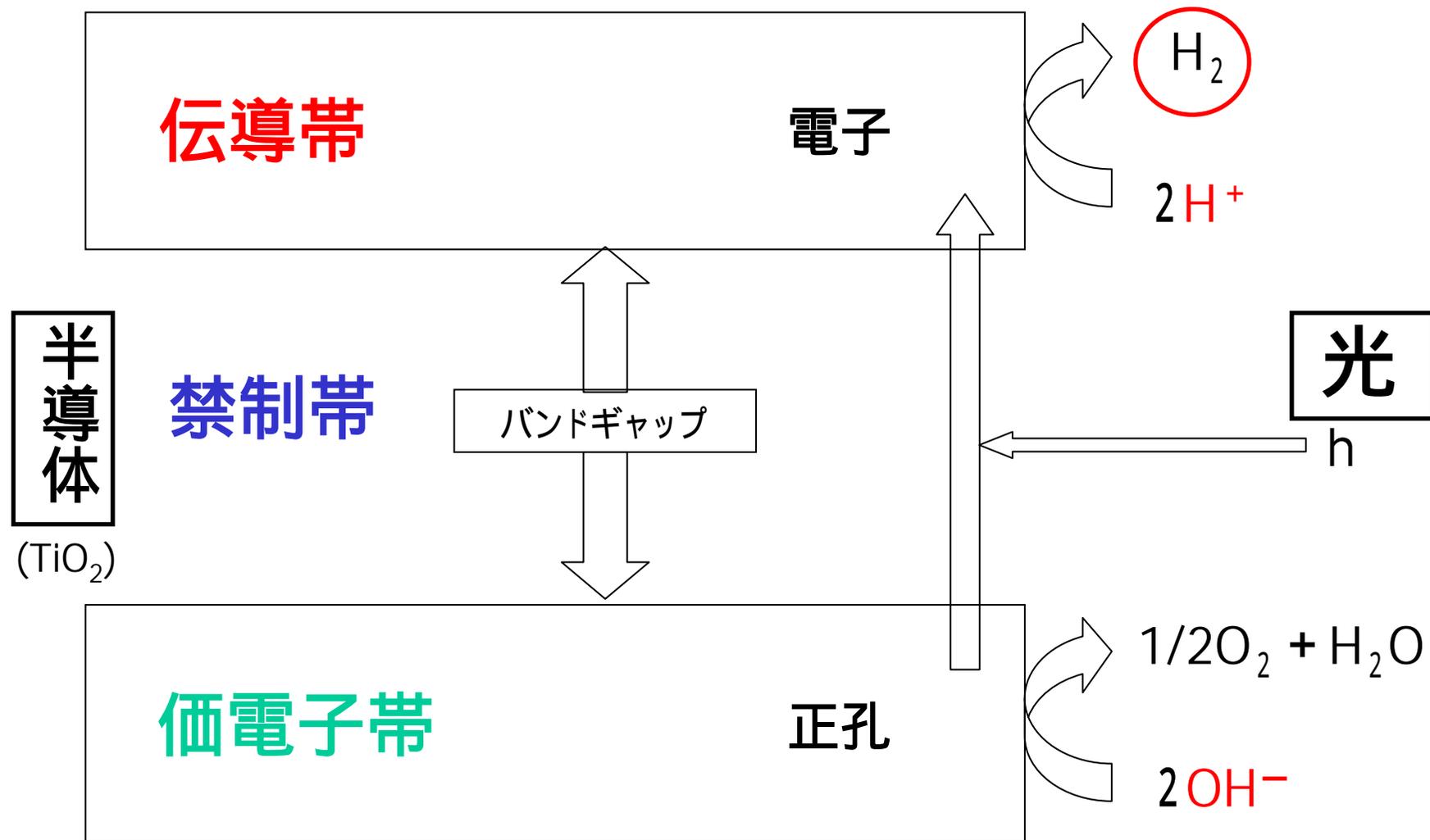
太陽熱発電では、昼夜のサイクルや気候の変化などで日射量が変動するので、発電量を安定させるため、熱のエネルギーを高効率で長時間貯蔵できる蓄熱器が必要である。わが国では世界ではじめて、香川県に属するタワー集光方式と平鏡・曲鏡方式(平面鏡による反射光を曲面鏡に集めて、それを再度曲面鏡の焦点に配置された集熱管に集光させる方式)による、1000キロワットの発電・送電にそれぞれ成功している。

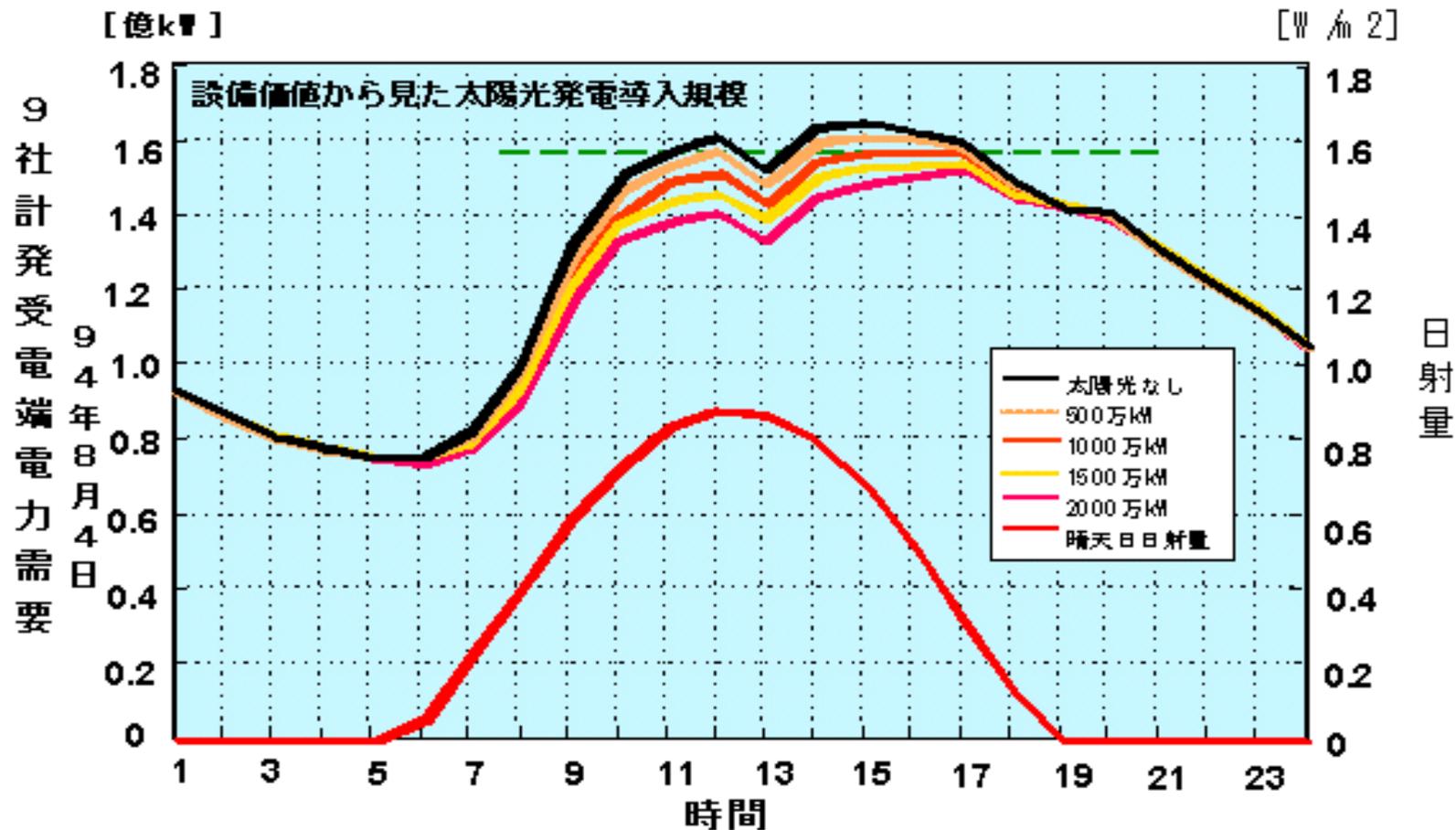


### タワー集光方式による太陽熱発電

発電所内の敷地に設置された407面の平面鏡(ヘリオスタット)で反射させた太陽光を、集熱器の中央に設置された塔の頂上にある集熱器(受熱器)へ集めさせる。それぞれの平面鏡は、うつりかわる太陽の位置に合わせて、つねに反射光が集熱器に当たるように動いている。日本製からポンプでシステムに送られた水は、集熱器を形成している集熱管パイプに加熱され、高温の蒸気となって発電システムにもどる。システム内の蒸気を集熱器を通して、熱のエネルギーを安定して発電機へ送る蓄熱器へ送って貯蔵し、さらにその蒸気を蒸気タービンへ送って回転させ、出力1000キロワットの発電機をまわす。そのうち蒸気は冷却器を通して冷却され、システムへ戻される。

# 光触媒反応

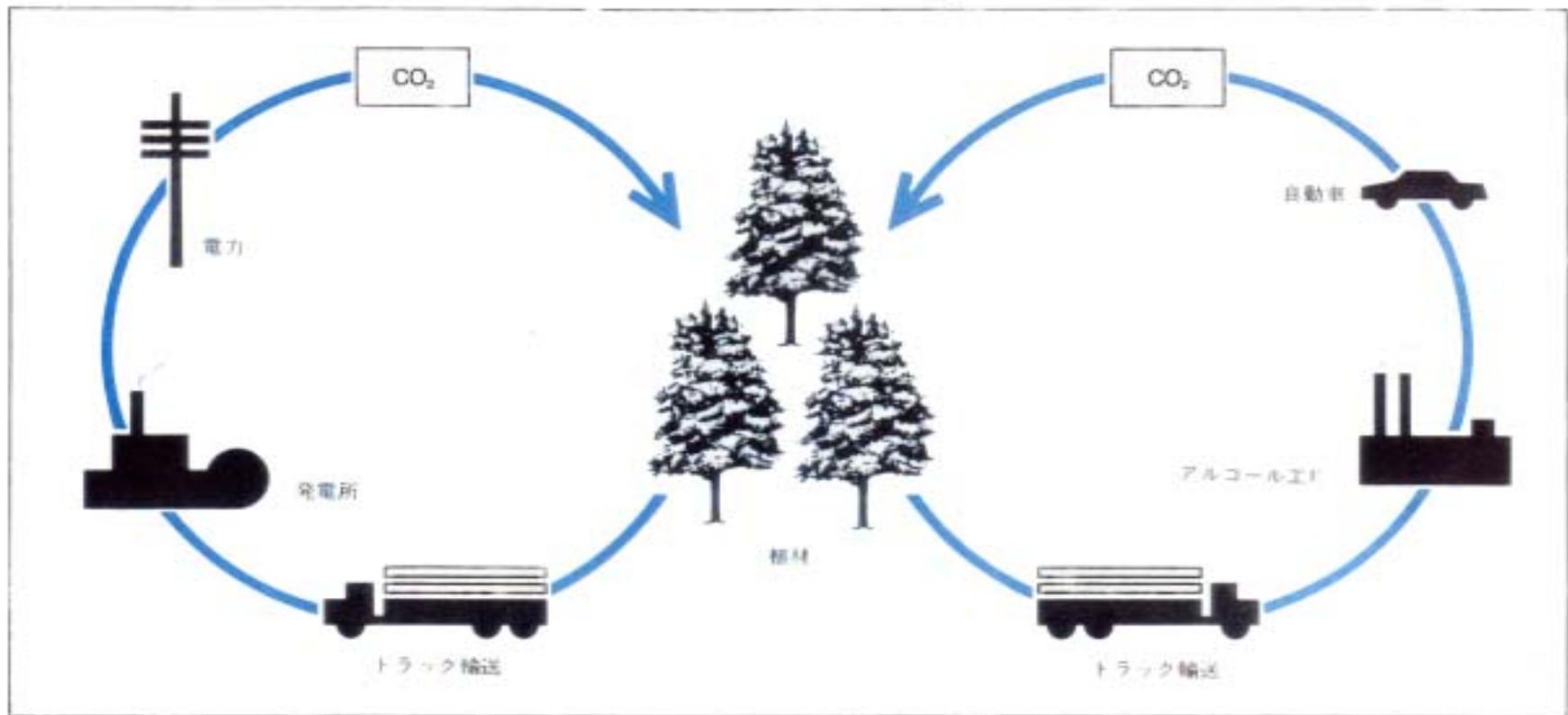




電力需要と晴天日の太陽光日射量の日負荷曲線と、500万kW～2000万kWの太陽光発電設備導入によるピーク電力負荷の低減効果

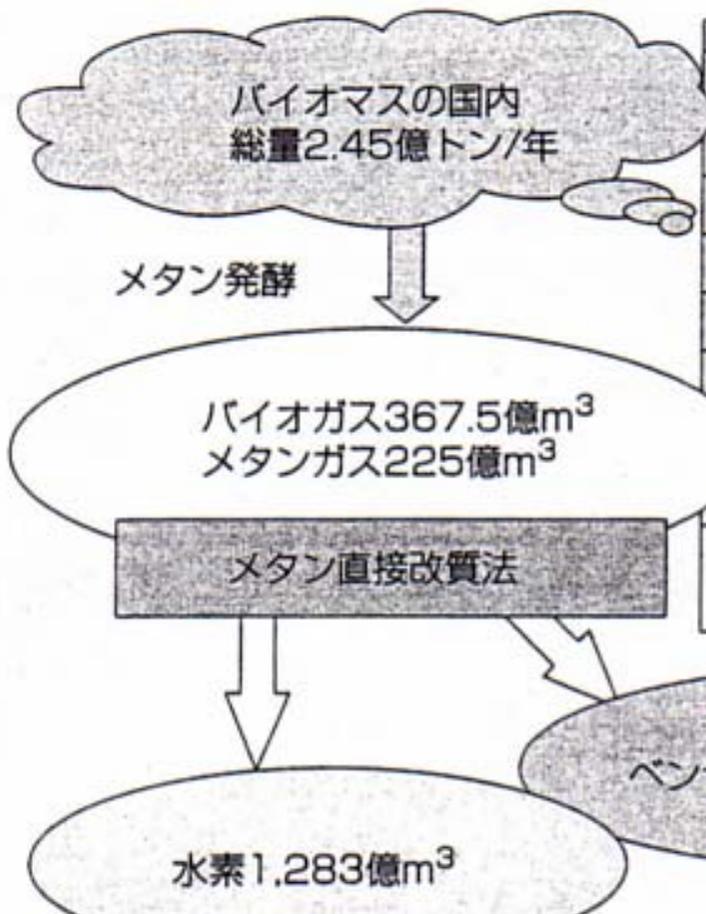
水素製造工場を併設し、貯蔵する事が重要。

# バイオマス



**バイオマス** 木材その他の植物性物質からアルコール燃料と電力を作ることができる。燃やすと二酸化炭素が出るが、バイオマスが継続的に育て

られ全体量が減らなければ、排出される二酸化炭素量は光合成で取り込まれる量と均衡する。つまり、上手に管理すれば地球温暖化を促進することはない。

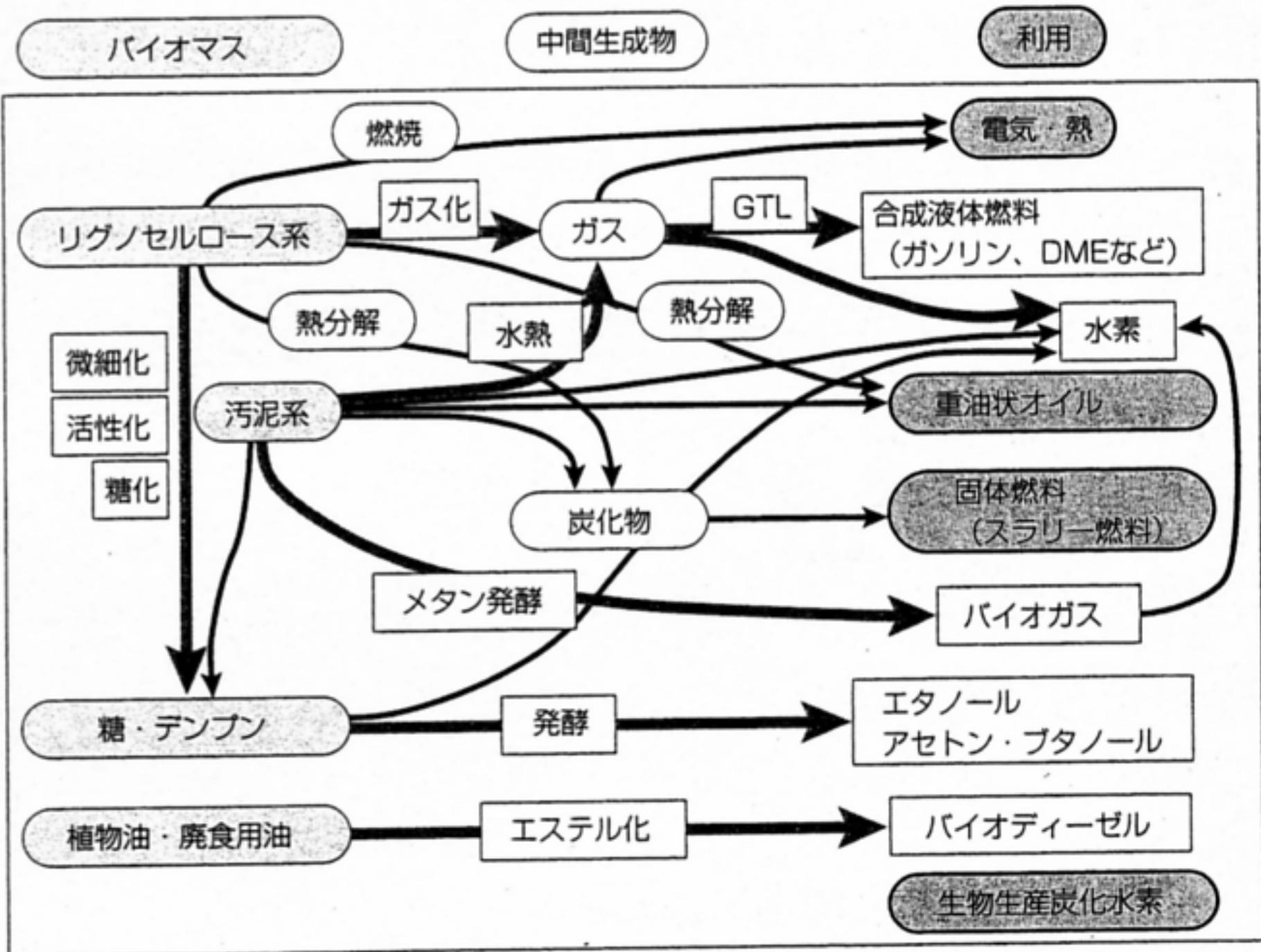


バイオマスの賦存量と利活用状況

対象バイオマス	年間発生量	バイオマスの利活用の状況
家畜排せつ物	約3,100万トン	未利用約20%
食品廃棄物	約2,200万トン	肥料材料利用10%未満 焼却・埋却処理90%以上
廃棄物	約1,400万トン	古紙として回収されず、その大半が焼却
パルプ廃液（乾燥重量）	約1,400万トン	
製材工場など残材	約 610万トン	未利用約10%
建設発生木材	約 480万トン	製紙原料、ボード原料、家畜飼料への利用約40% 未利用約60%
林地残材	約 390万トン	ほとんど未利用
下水汚泥（濃縮汚泥ベース）	約7,600万トン	埋め立て約40%
農作物非食用部 （稲わら、もみがらなど）	約1,300万トン	たい肥、飼料家畜飼料などへの利用約30% 未利用約70%

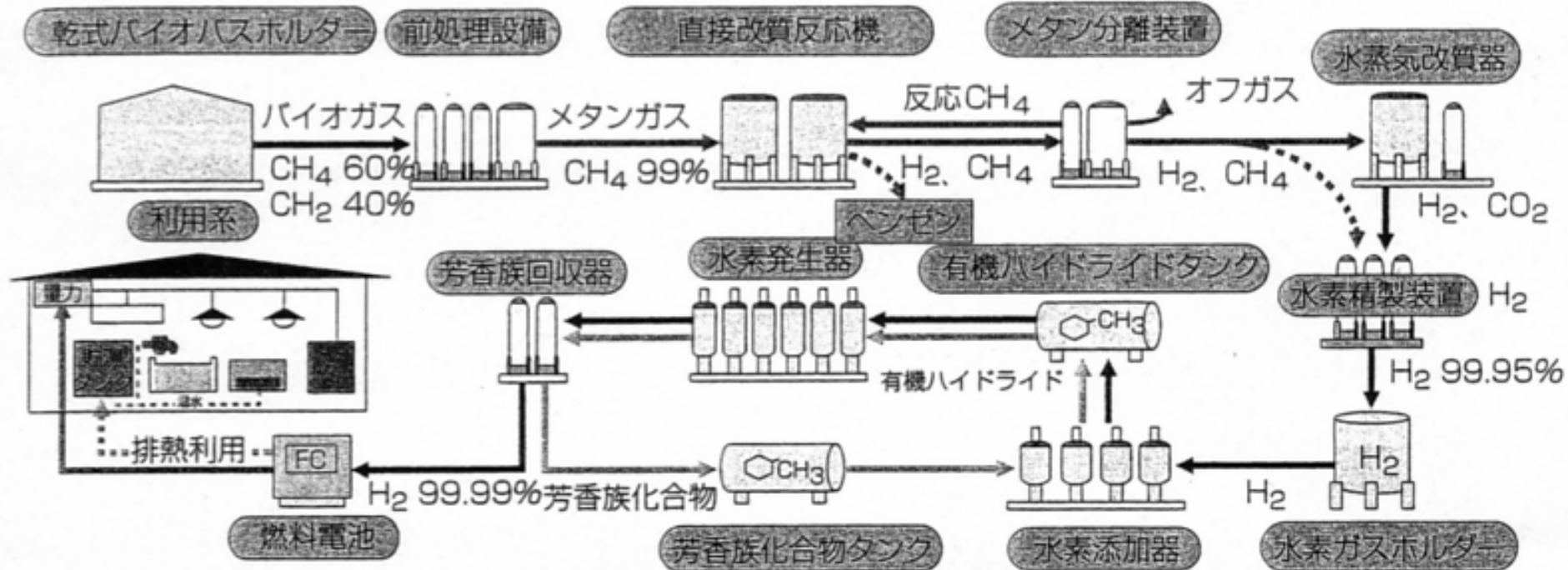
(出典：バイオマス・ニッポン総合戦略など)



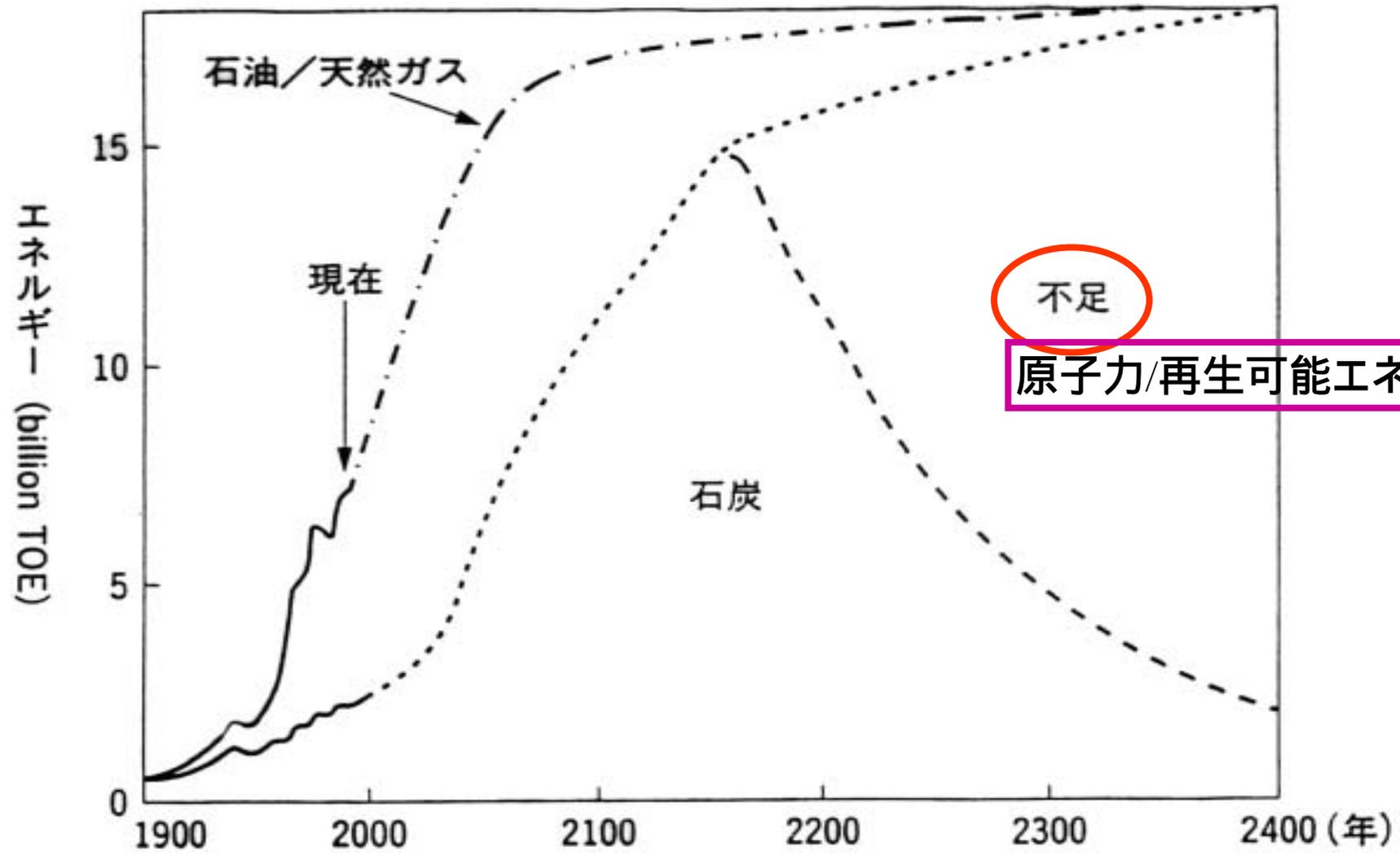




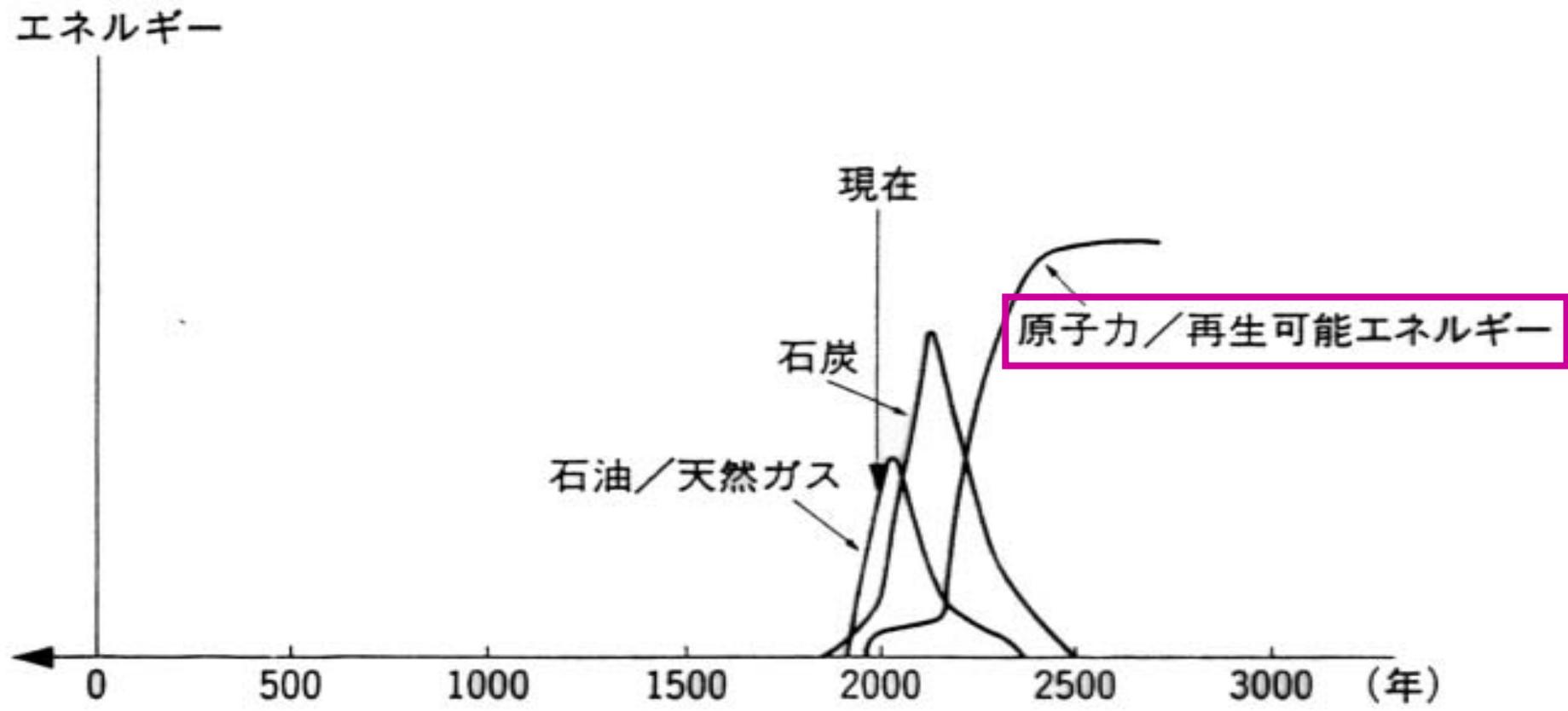
改質バイオガス量	200Nm <sup>3</sup> /日 (最大500Nm <sup>3</sup> /日)	水素添加方式	Wet-Dry多相反応 (固定床)
前処理設備	脱流反応・吸収装置 脱酸素装置 二酸化炭素分離装置	有機ハイドライド による水素貯蔵量	最大120Nm <sup>3</sup> /日
メタン改質方式	直接改質(固定床多管流通式)ベンゼン水素製造 水蒸気改質・水素製造	水素添加方式	Wet-Dry多相反応
生成水素・ベンゼン量	120Nm <sup>3</sup> /日 (最大240Nm <sup>3</sup> /日) ベンゼン60L/日	有機ハイドライド からの水素貯蔵量	最大240Nm <sup>3</sup> /日
		燃料電池形式	固体高分子形
		燃料電池出力	10Kw



# 超長期の化石燃料の需要と供給

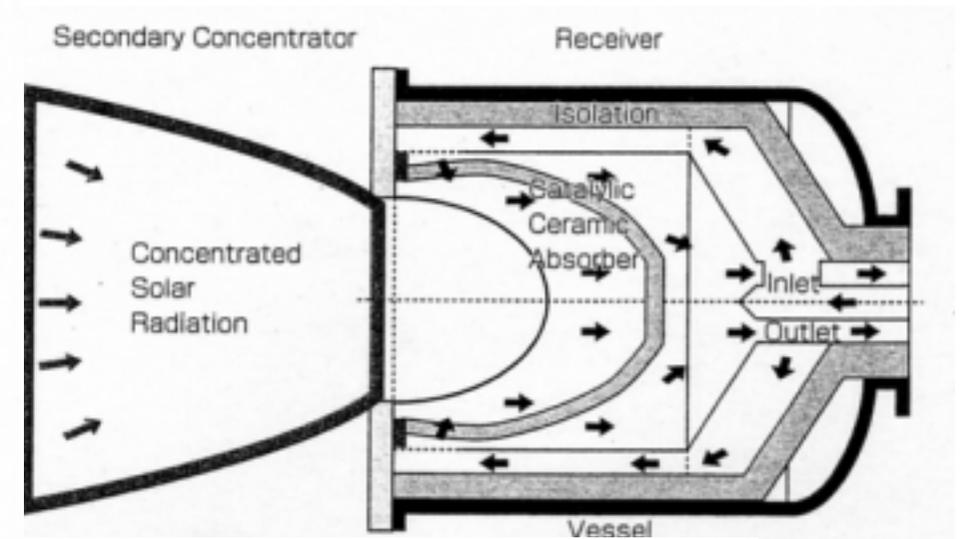
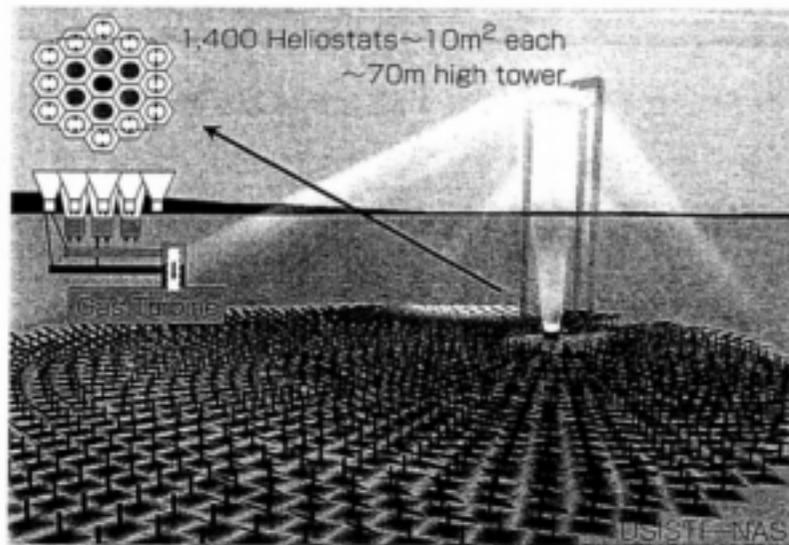


# 一瞬としての化石エネルギー時代



# 太陽光集光による高温を用いた水素製造

The Next Step... 10Mwe, 10 MW Solar, High Concentration Solar Power Station



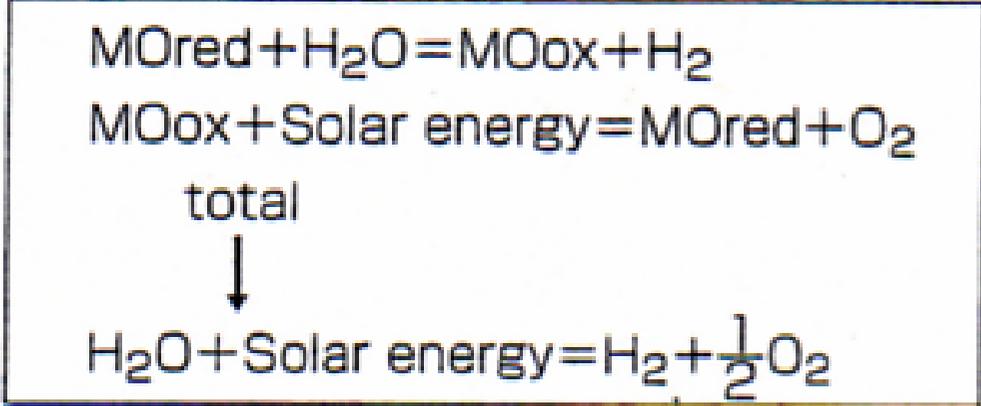
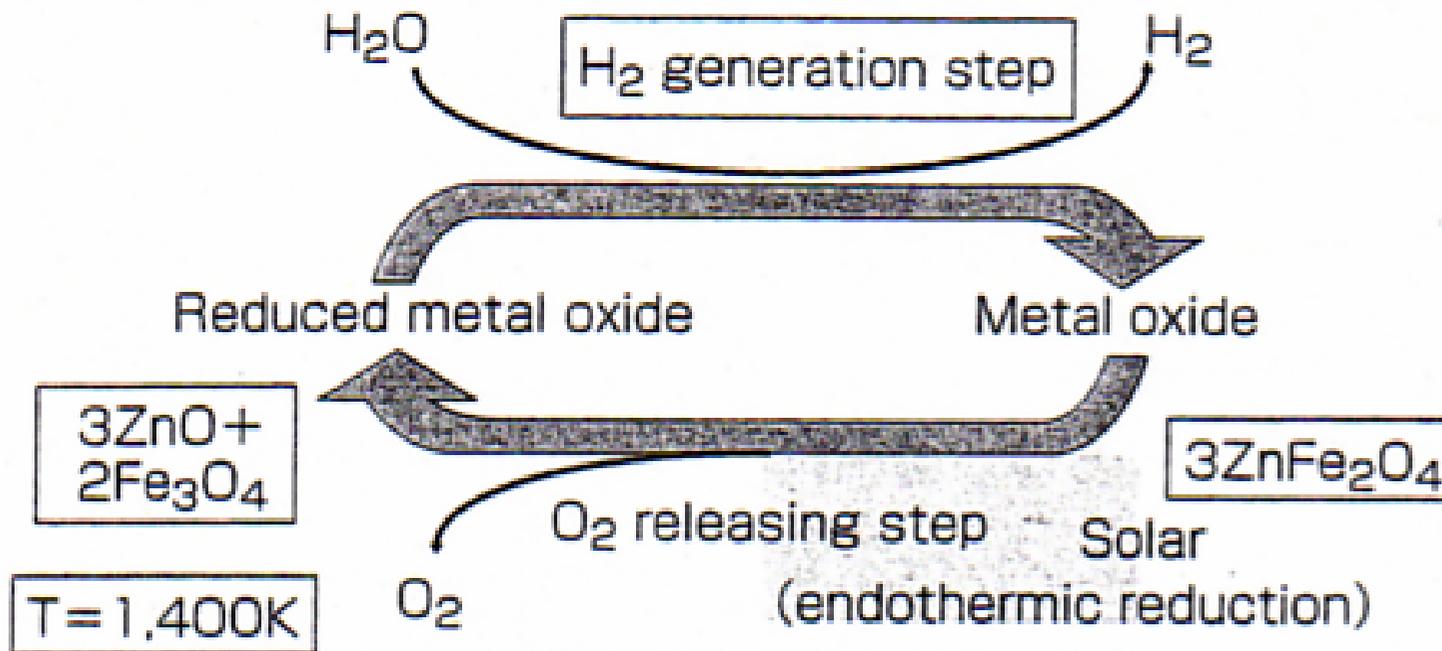
solar energy process (天然ガス)



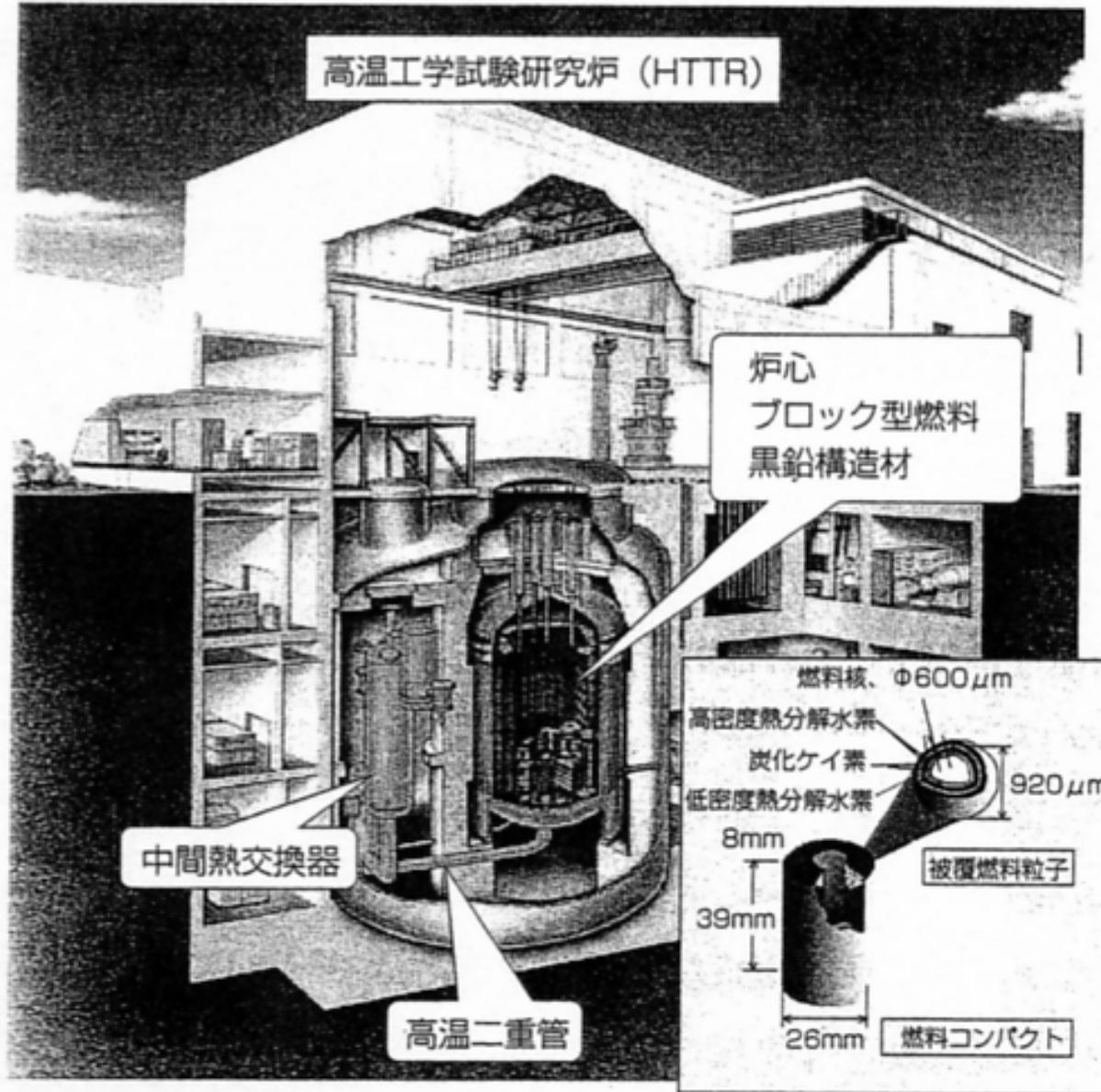
solar energy process (石炭)

さらに高温では、触媒を用いて水を分解

Two-step water splitting reaction



# より温度の低い熱源：高温ガス炉での直接製造

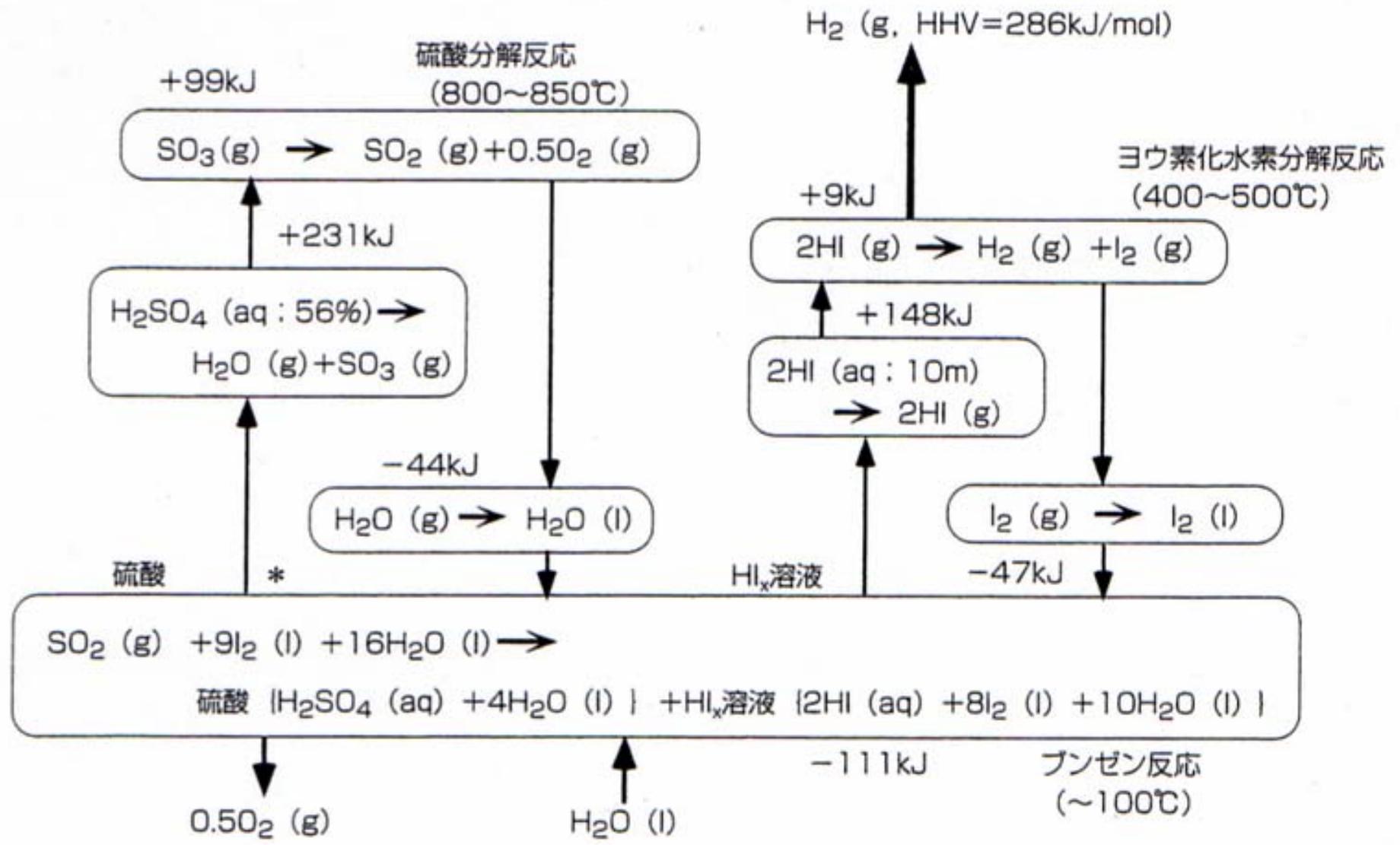


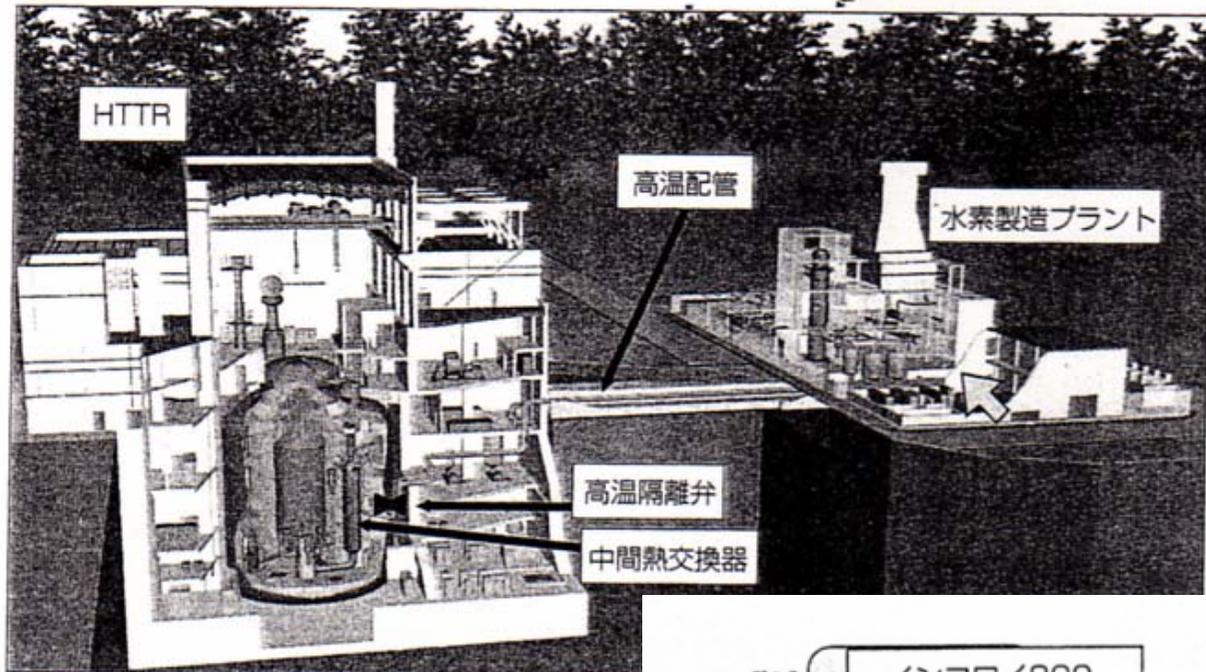
出力	30MW
燃料	被覆粒子 ブロック型
炉心構造材	黒鉛
冷却材	ヘリウムガス
入口温度	395℃
最高出口温度	950℃
圧力	40気圧

1998年 初臨界達成  
 2001年 30MW、850℃達成  
 2003年 安全性実証試験開始  
 2004年 950℃達成

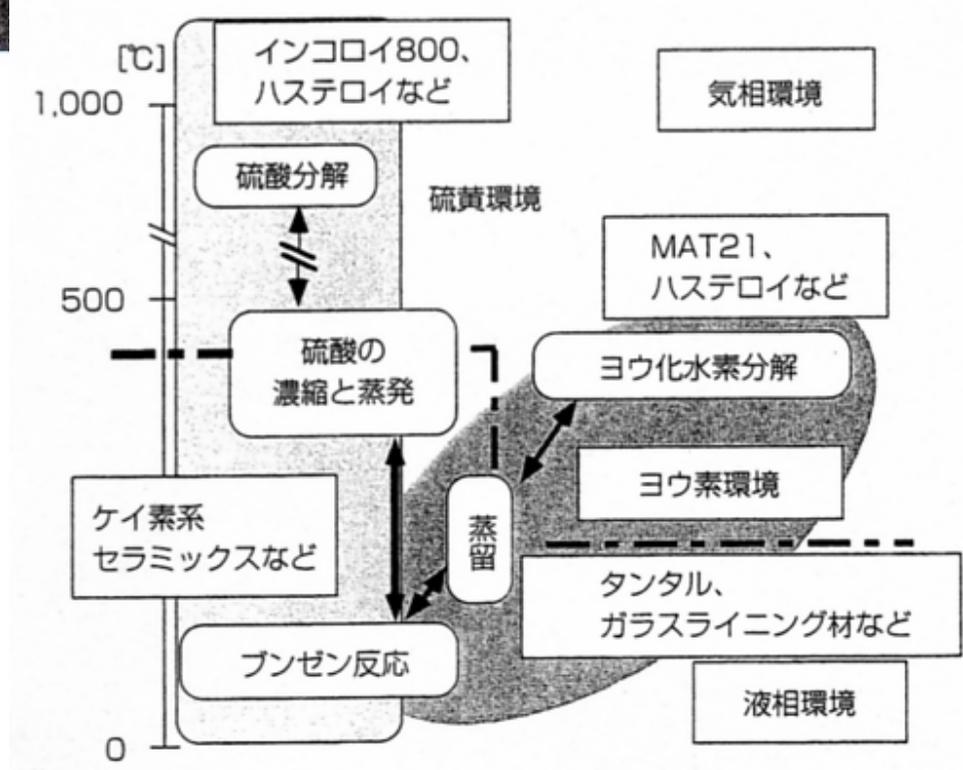
軽水炉300  
 高速炉550

# ISプロセス





# 実際の試験炉 で水素を製造



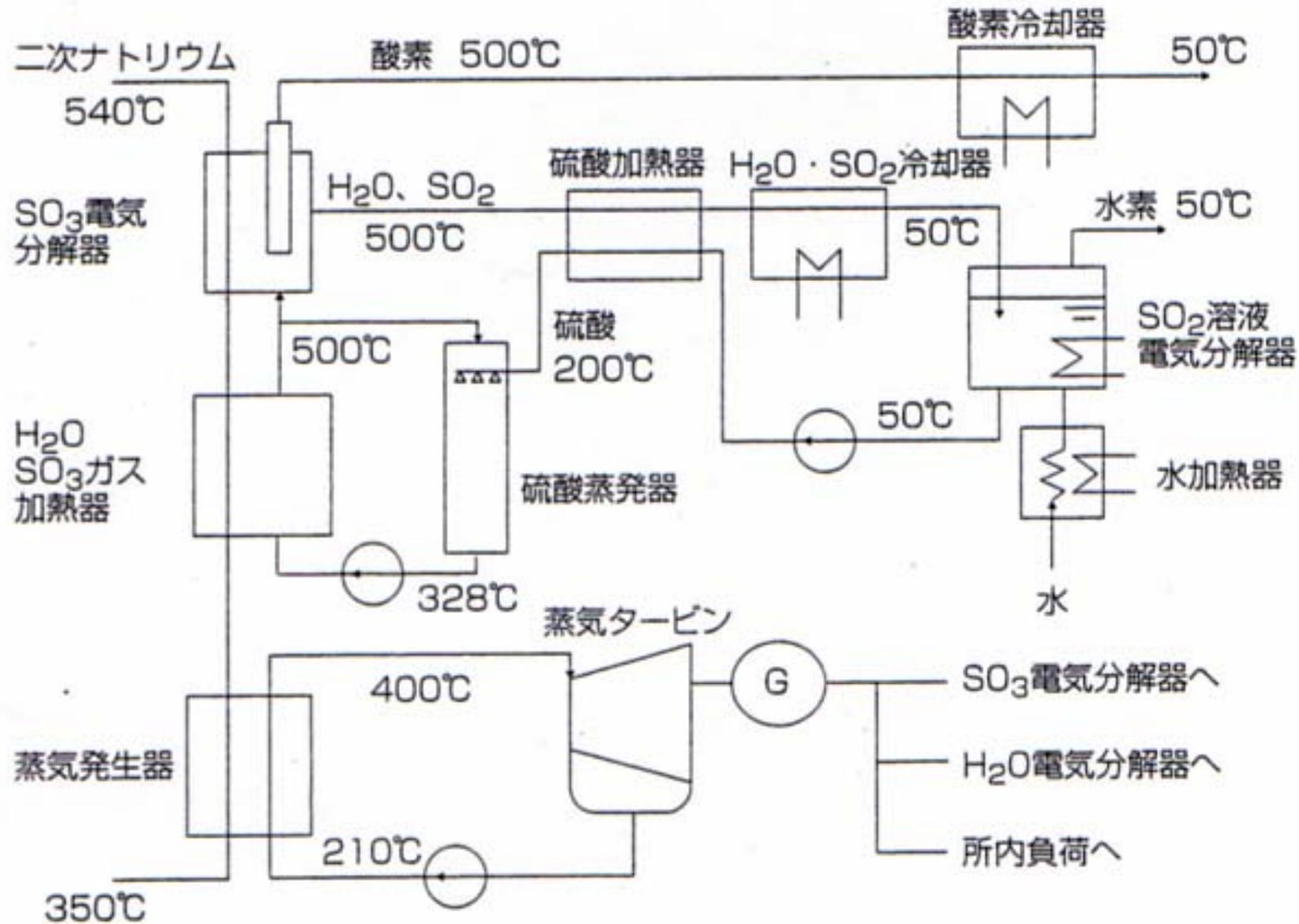
硫黄環境：  
 ・気相環境  
 $\text{SO}_3$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$   
 最高850°C

・液相環境  
 $50 \sim 96 \text{ wt\% H}_2\text{SO}_4$   
 $90 \sim 500^\circ\text{C}$

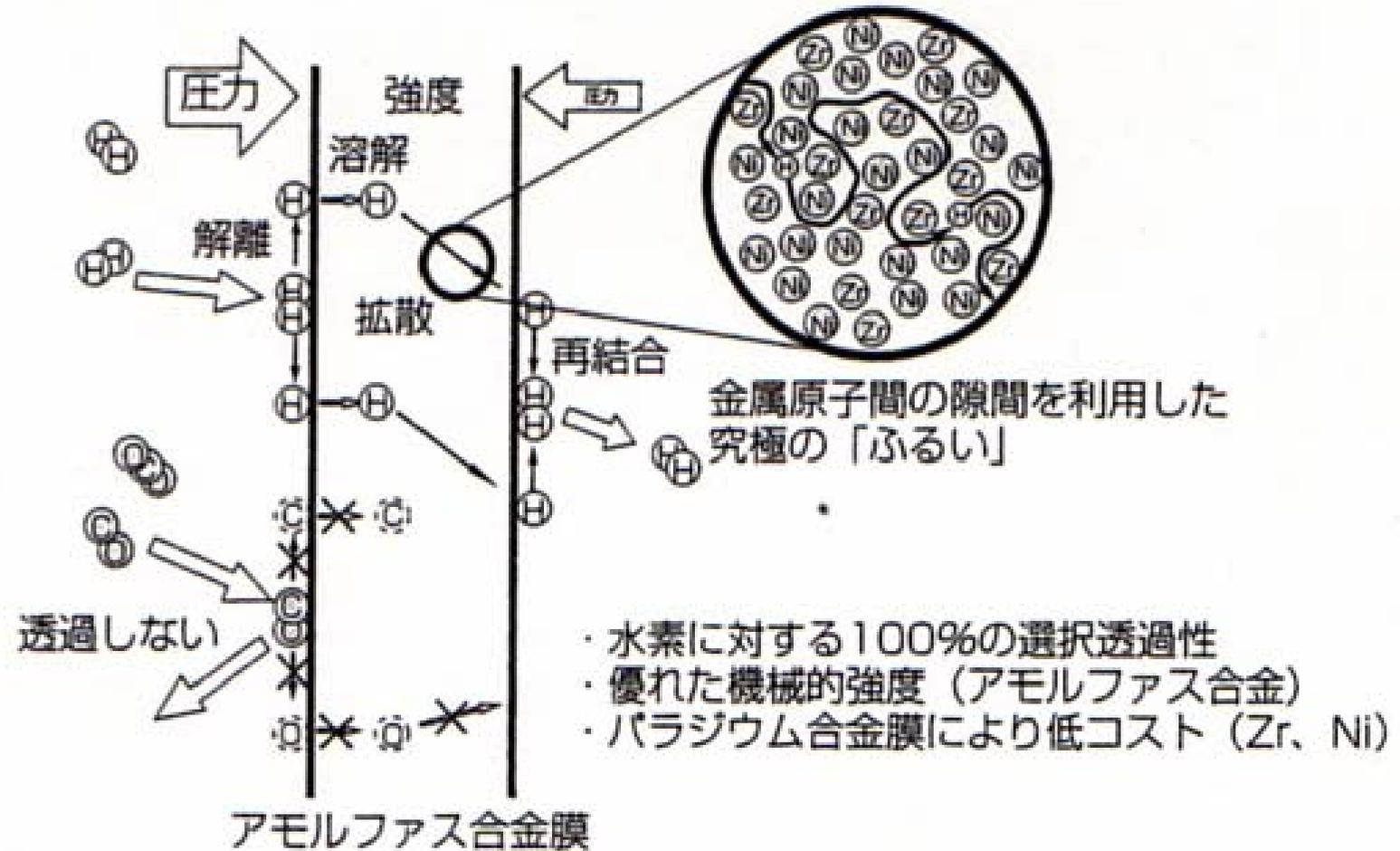
ヨウ素環境：  
 ・気相環境  
 $\text{HI}$ 、 $\text{I}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$   
 最高500°C

・液相環境  
 $\text{HI}-\text{I}_2-\text{H}_2\text{O}$ 混合溶液  
 $90 \sim 300^\circ\text{C}$

# 電気分解を併用した高速炉(550 )における水素製造概念



# 精製

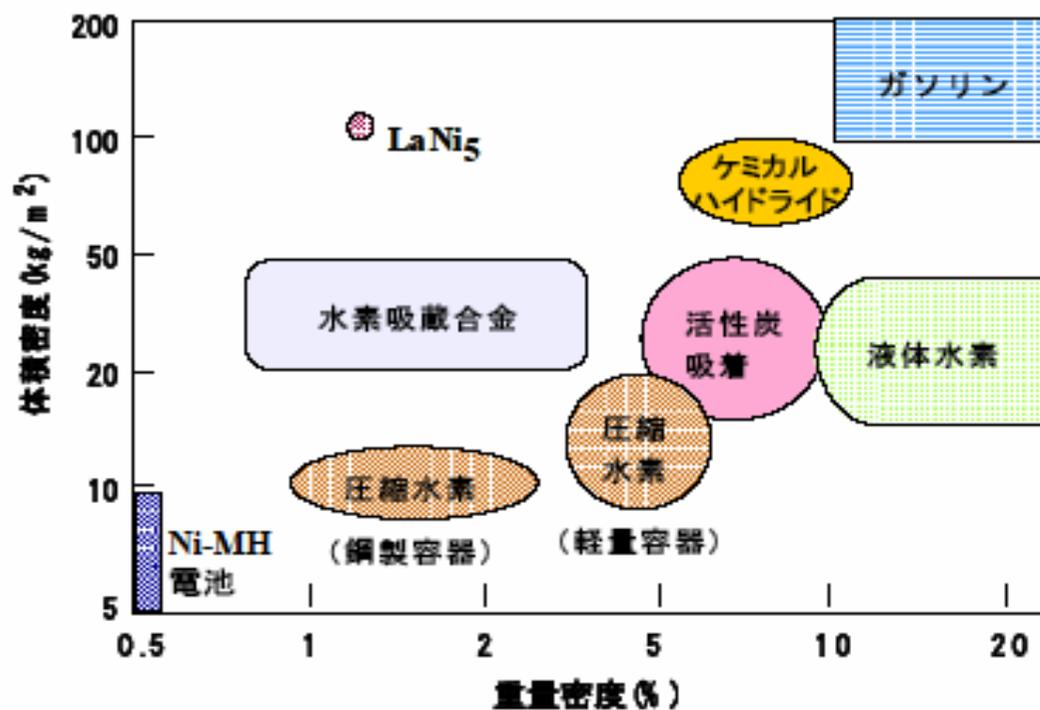


# 水素の貯蔵・輸送

気体水素 高压ポンベ [ ~ 35MPa ]
液体水素 冷却 液化 [ B.P. 約20K ]

水素吸蔵合金 $M + H_2 \rightarrow MH (+ Heat)$
有機ハイドライド $C_6H_6 + 3H_2 \rightarrow C_6H_{12}$ 等

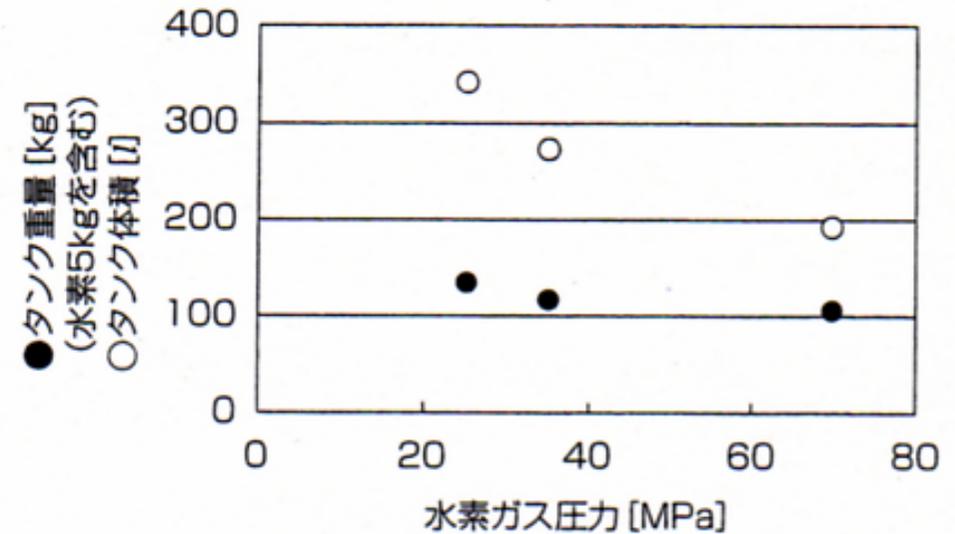
水素充填密度の比較



~ のいずれの貯蔵方式も、体積エネルギー密度 [J/m<sup>3</sup>] はガソリンより小さい

# 高压タンクは現在350気圧 程度が限界

→ 750気圧程度で  
扱うための材料開発



◎表1 高压水素タンクの種類

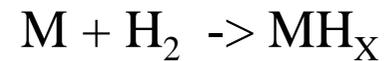
型	構成する材料	単位内容積あたりの容器重量
Type1	鋼鉄	1.2~1.5kg/l
Type2	鋼鉄ライナの胴部をガラス繊維で強化	0.7~1.4kg/l
Type3	金属製ライナの全体を炭素繊維で強化	0.3~0.4kg/l
Type4	プラスチック製ライナの全体をガラス/炭素繊維で強化	0.35~0.5kg/l

# 水素吸蔵合金

## [水素吸蔵合金の特徴]

高い体積密度での貯蔵

常温・大気圧付近の水素と反応し、貯蔵



## [合金の種類を選ぶ際に重要なパラメータ]

水素吸蔵量 [wt%]

吸蔵・放出速度

コスト、耐久性 etc.

## [主な水素吸蔵合金]

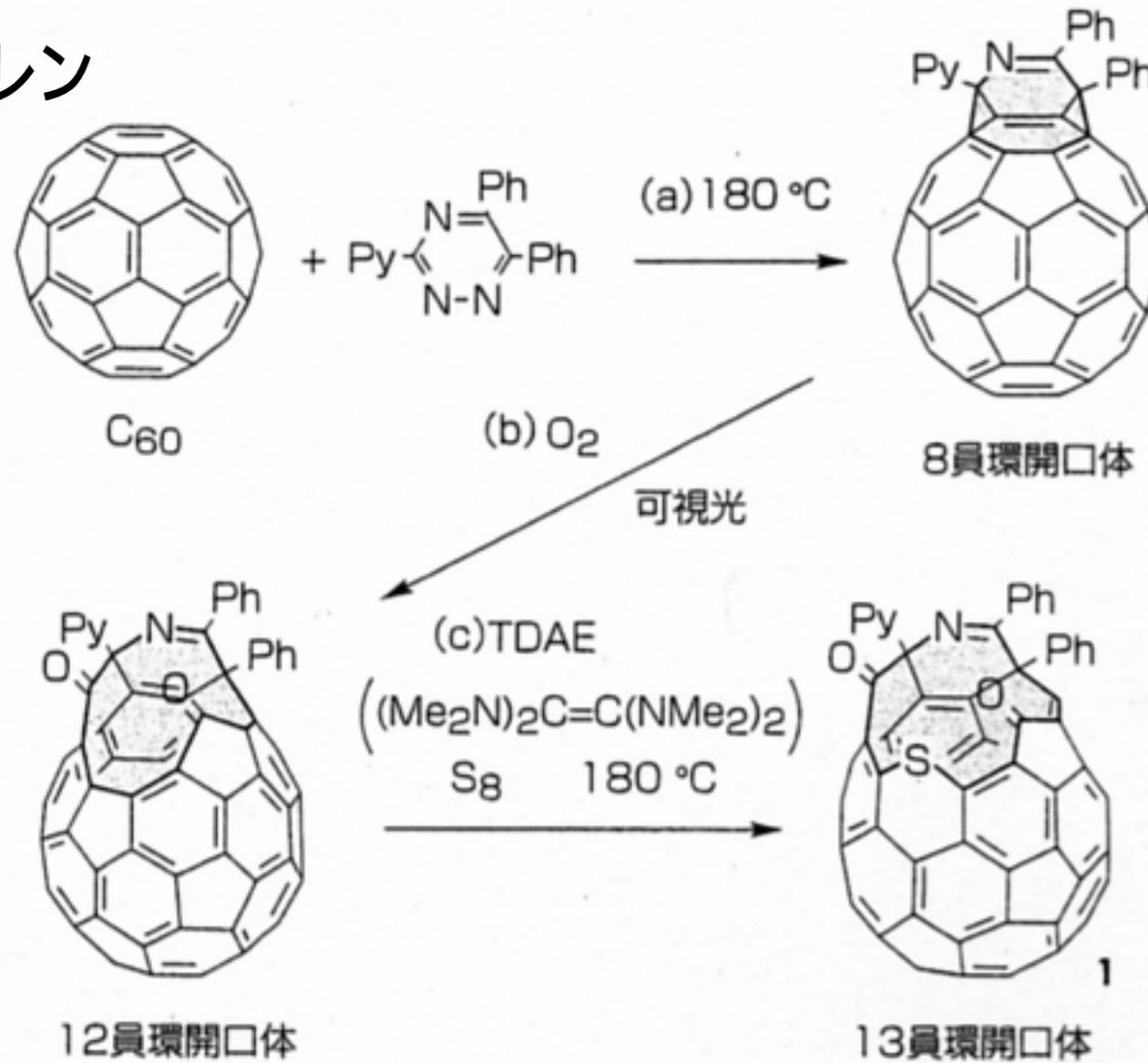
- Mg系 軽量で吸蔵量が大きく、安価
- 希土類系 (LaNi<sub>5</sub>など) 初期活性化が容易、吸蔵・放出速度が速い etc.



水素を吸蔵した合金

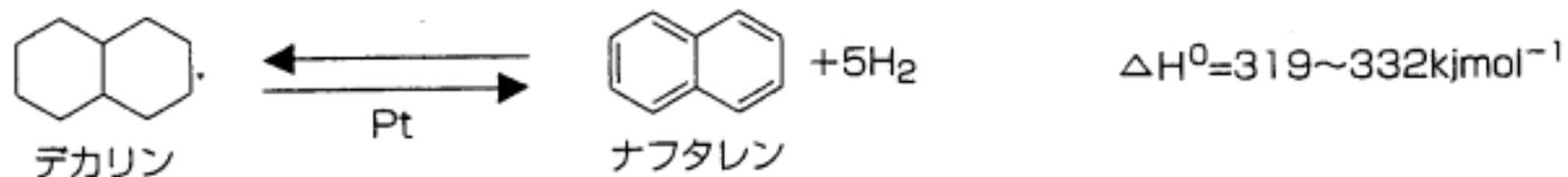
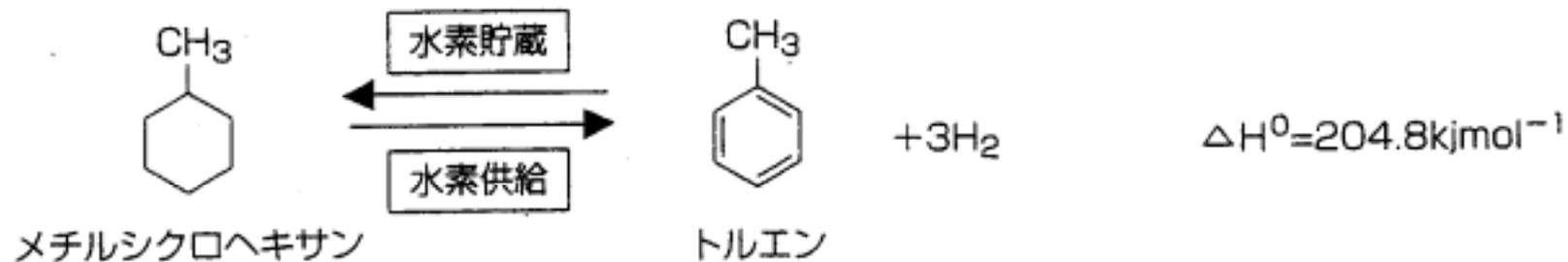
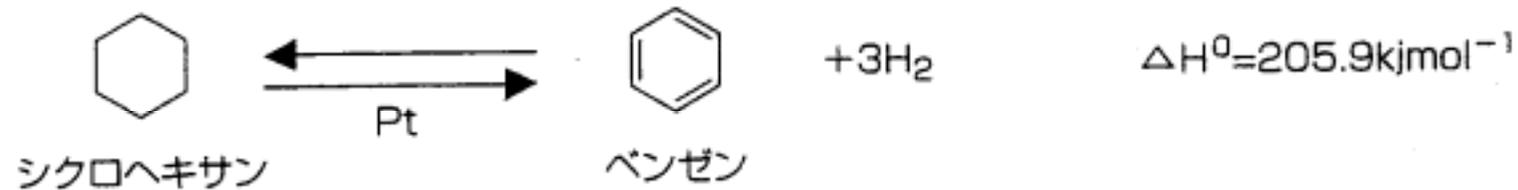
# カーボン材料(カーボンナノチューブ、フラーレン)

## 開口フラーレン



# ケミカルハイドライド

- ・水素化、脱水素化反応が容易に進行する。(温和な反応)
- ・反応複製生物がない。(リサイクル可能)
- ・水素含有量が多い。エネルギー消費が少ない。(高エネルギー密度)
- ・既存の貯蔵、運搬インフラを利用できる。(普及性、少ない施設投資)

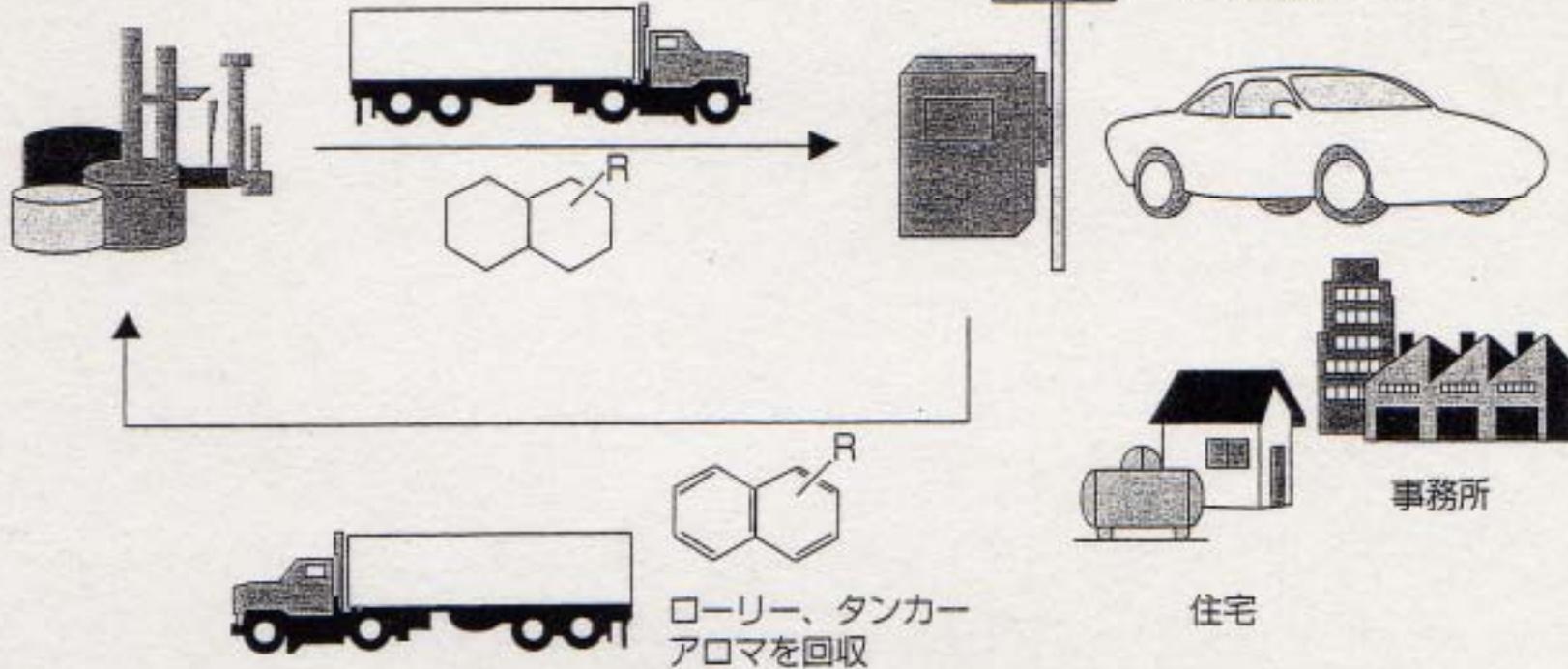


製油所、製鉄所  
アロマ製造  
水素製造  
水素貯蔵

ローリー、鉄道貨物車、タンカー  
有機ハイドライドとして水素運搬

水素ステーション  
水素発生・供給

H<sub>2</sub>  
燃料電池ユーザー



# 現在の水素ステーション

今現在、導入が進められている容易な方法

## 燃料電池自動車の構造



## ・水素ステーションの種類

水素源	シェア	選択利用
アルカリ水電解式	42% (米国、カナダ、EUに多い)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・商用電力と太陽/風力との連携利用。</li> <li>・電気料金が安い。</li> <li>・実績豊富、運転が容易、設備が安価。</li> <li>・配電網が広く整備され設置が容易。</li> </ul>
液体水素輸送	30% (米国に多い)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・近くに液体水素工場がある。</li> <li>・液体と圧縮水素車の両方に充填可能。</li> </ul>
圧縮水素輸送	15%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・近くに副生水素工場または石油精製工場がある。</li> </ul>
天然ガス改質	11%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料電池と連携運転をする。</li> <li>・都市ガスインフラを利用する。</li> </ul>

(JHFCプロジェクトホームページより)

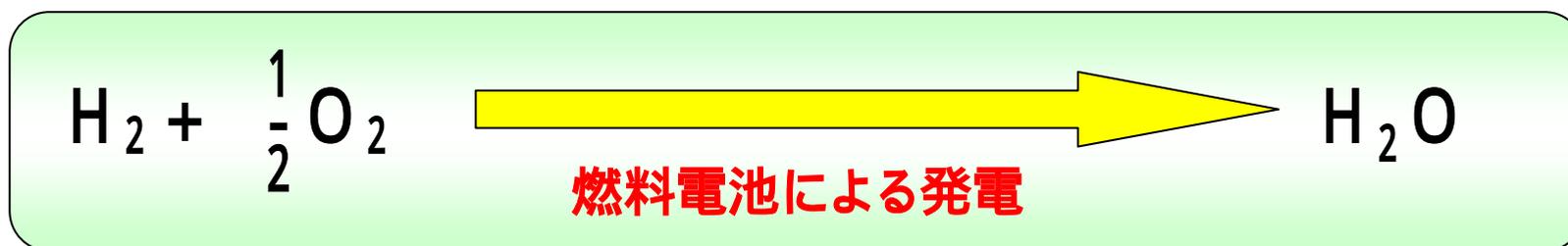
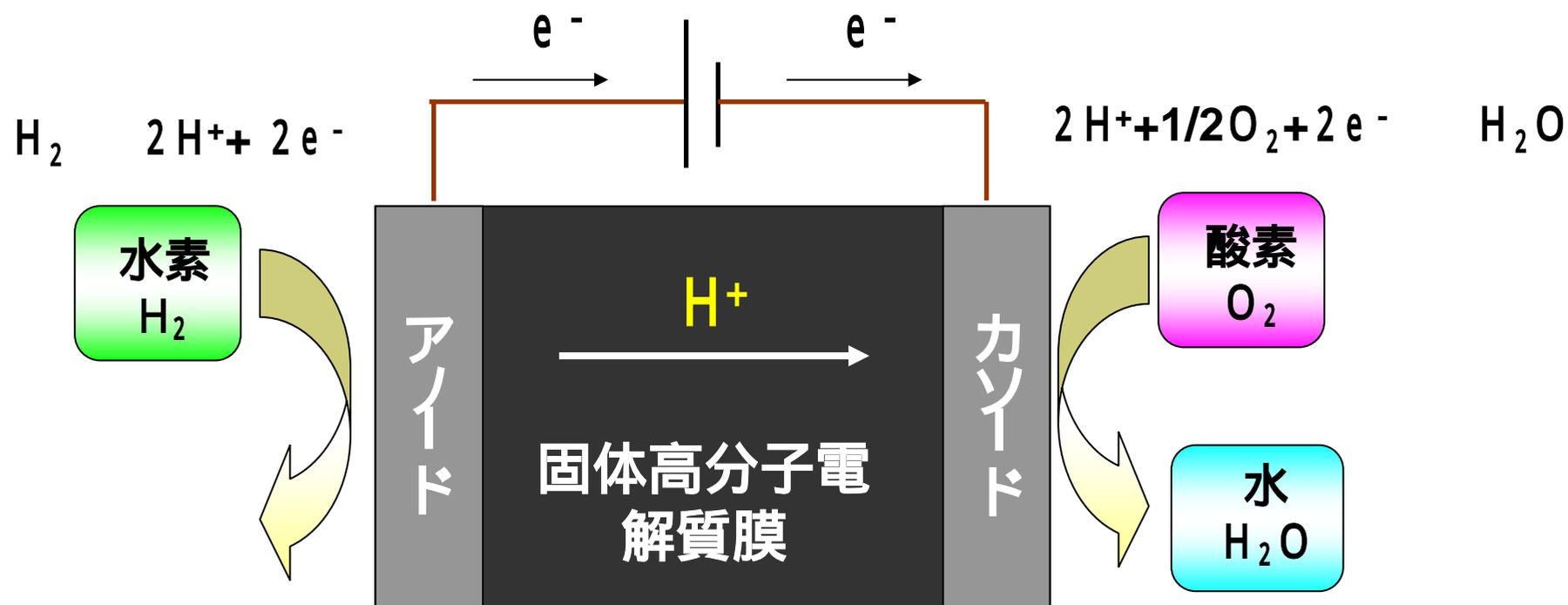
# 水素の利用

- 燃料電池

種類	略称	電解質	作動温度
固体高分子型	PEFC	高分子イオン交換膜	室温 ~ 150
リン酸型	PAFC	リン酸 $H_3PO_4$	150 ~ 220
熔融炭酸塩型	MCFC	熔融炭酸リチウム・カリウム	600 ~ 700
固体酸化物型	SOFC	安定化ジルコニア $ZrO_2+Y_2O_3$	900 ~ 1000

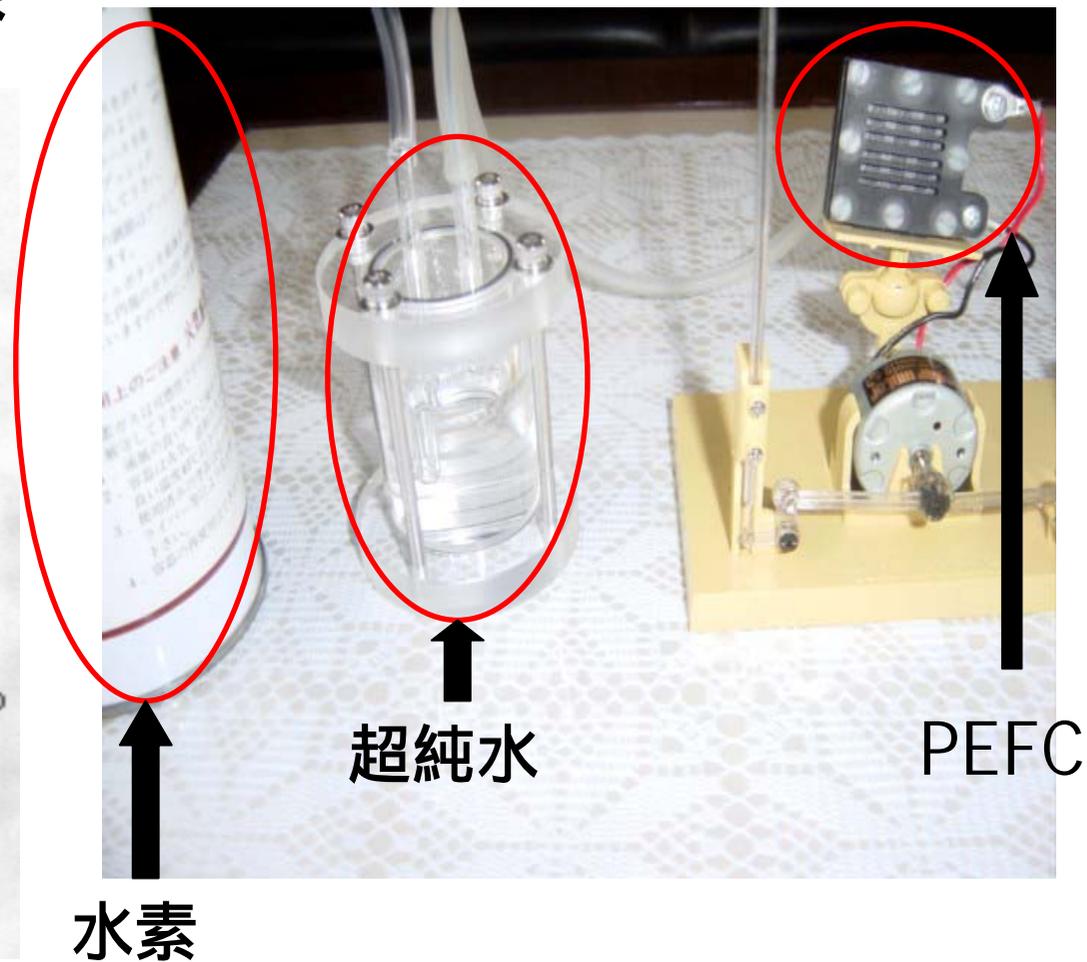
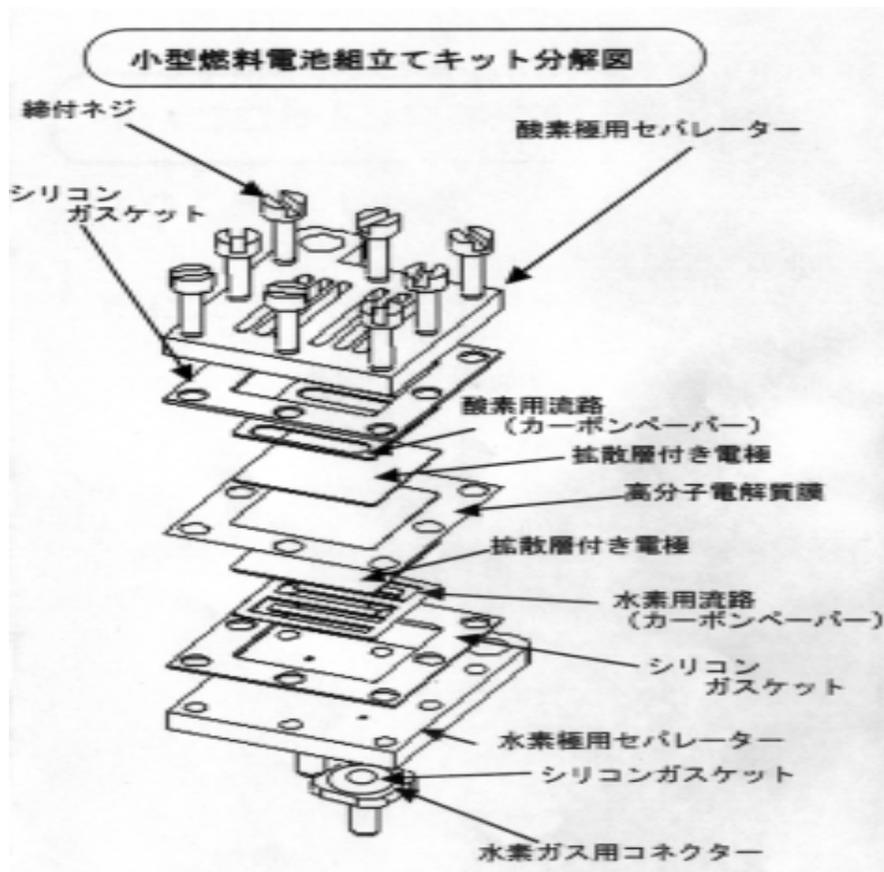
- 水素エンジン(水素の燃焼 動力)
- 水素を用いた二次電池(ニッケル水素電池)
- MHヒートポンプ(MHに圧力差 熱交換)
- MHアクチュエータ(MHに熱 動力)

# 固体高分子型燃料電池の原理



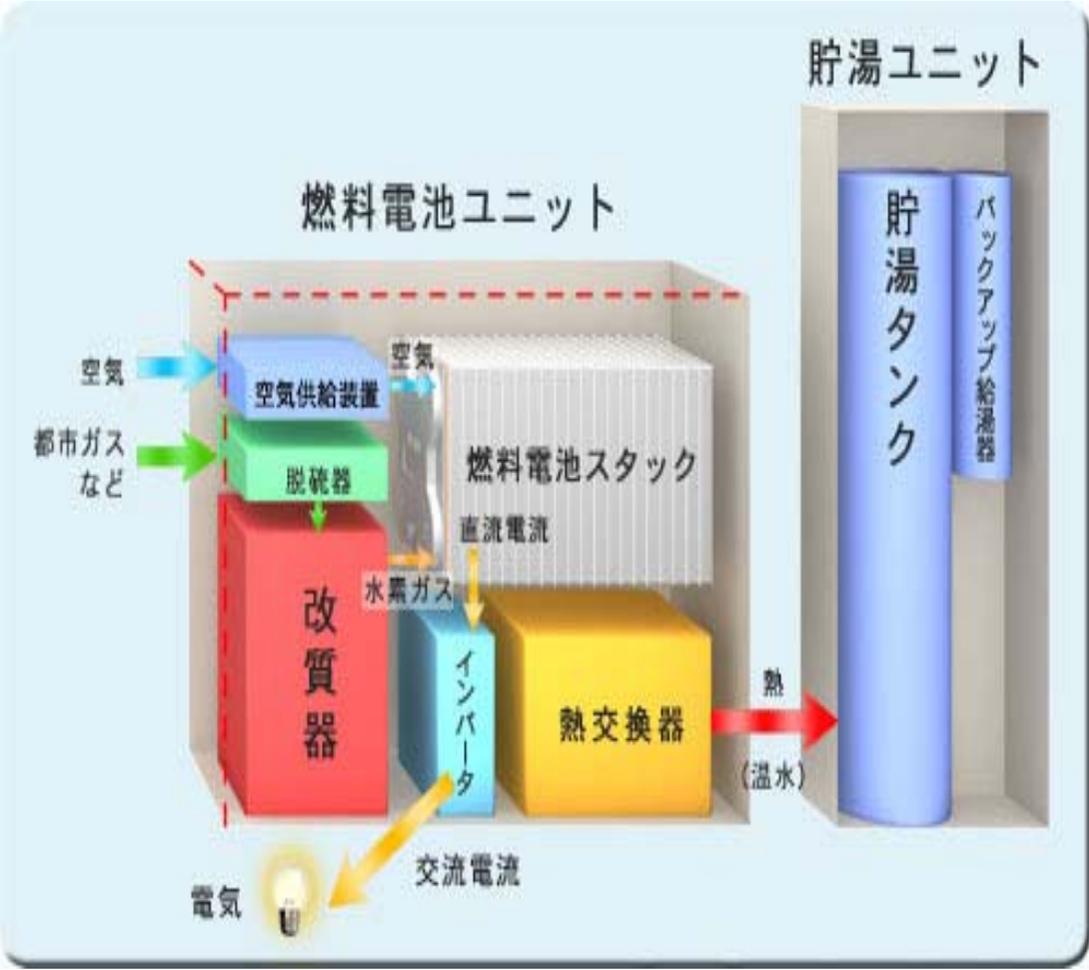
# 固体高分子型燃料電池(1)

## 簡易燃料電池の製作実験



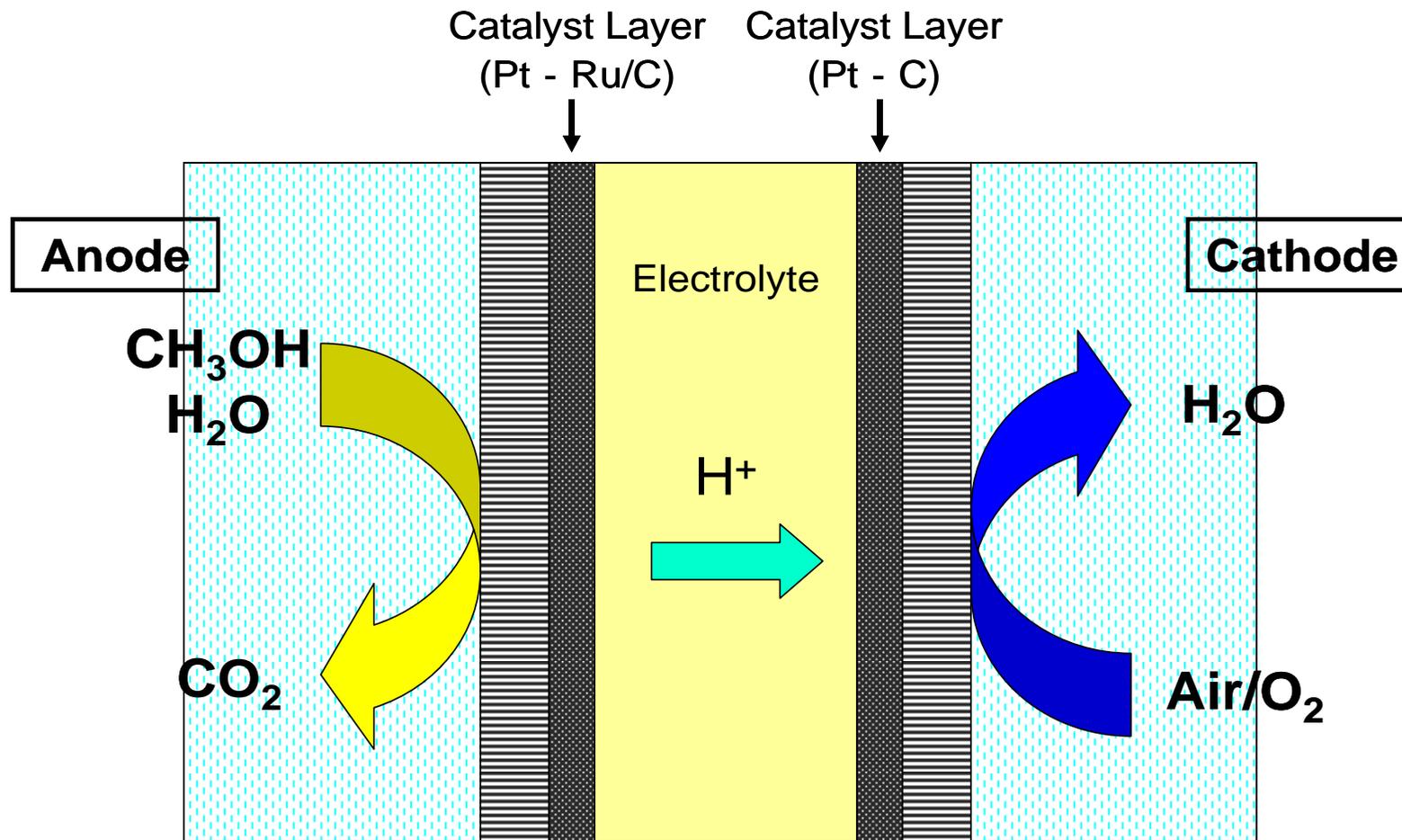
# 固体高分子型燃料電池(2)

## 家庭用燃料電池



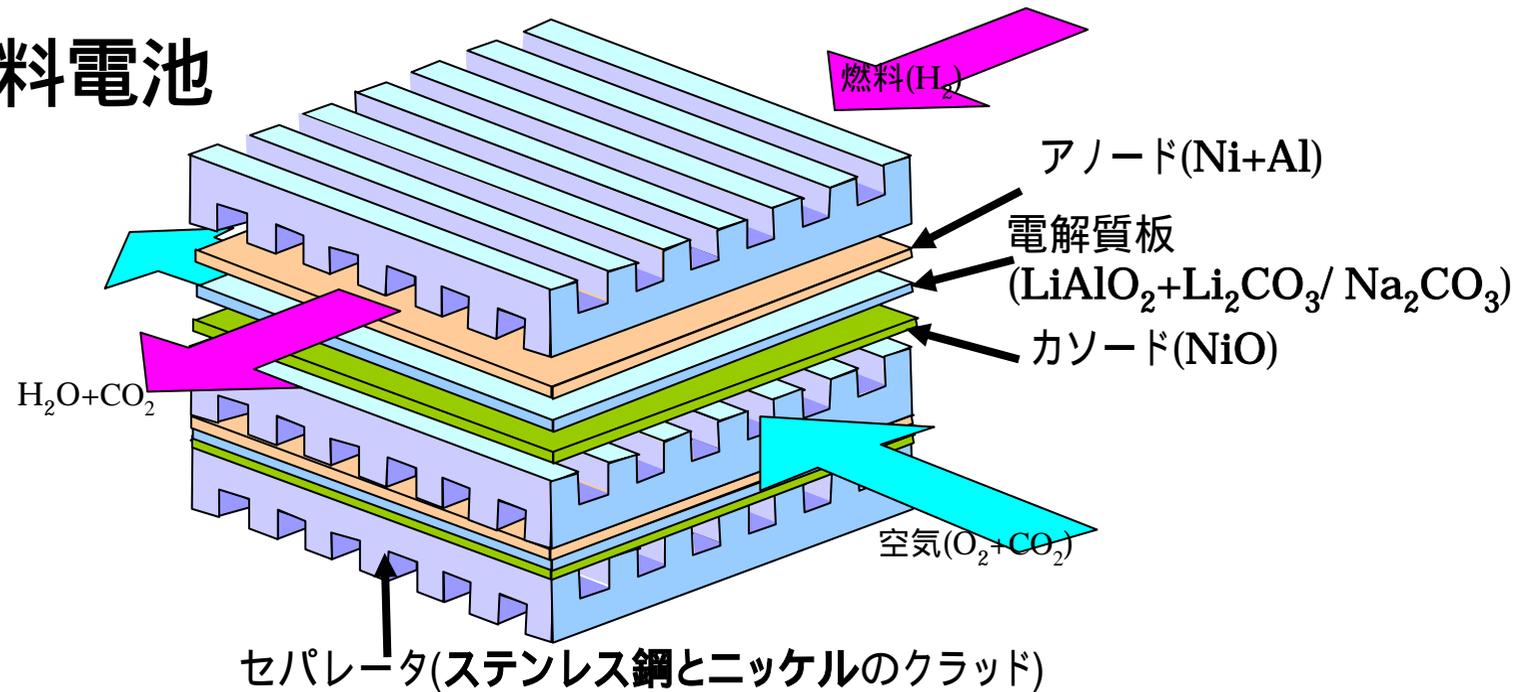
(荏原巴拉ード株式会社、東京ガスホームページより)

# 直接メタノール型燃料電池(DMFC)



PC、携帯電話などモバイル用途

# 熔融炭酸塩形燃料電池



部品 (コンポーネント)	材料	備考
アノード	ニッケルアルミ合金	アルミは酸化物となってアノードの多孔質構造を支えている。
電解質板	リチウムアルミネート (LiAlO <sub>2</sub> ) に炭酸リチウムと炭酸ナトリウムの混合物を含ませたもの。	電解質には、(Li <sub>0.52</sub> Na <sub>0.48</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> で表される組成の炭酸塩を用いている。
カソード	酸化ニッケル (NiO)	Liイオンが侵入することで導電性が高まる。
セパレータ	カソード側：ステンレス鋼 (SUS310S、SUS316L等) アノード側：ニッケル	2種の金属板を貼り合わせて用いている。

## エネルギー効率

### 高級エネルギー

(原理的に損失無しで他のエネルギーへ変換可能)

力学的エネルギー  
化学エネルギー  
電気エネルギー  
など

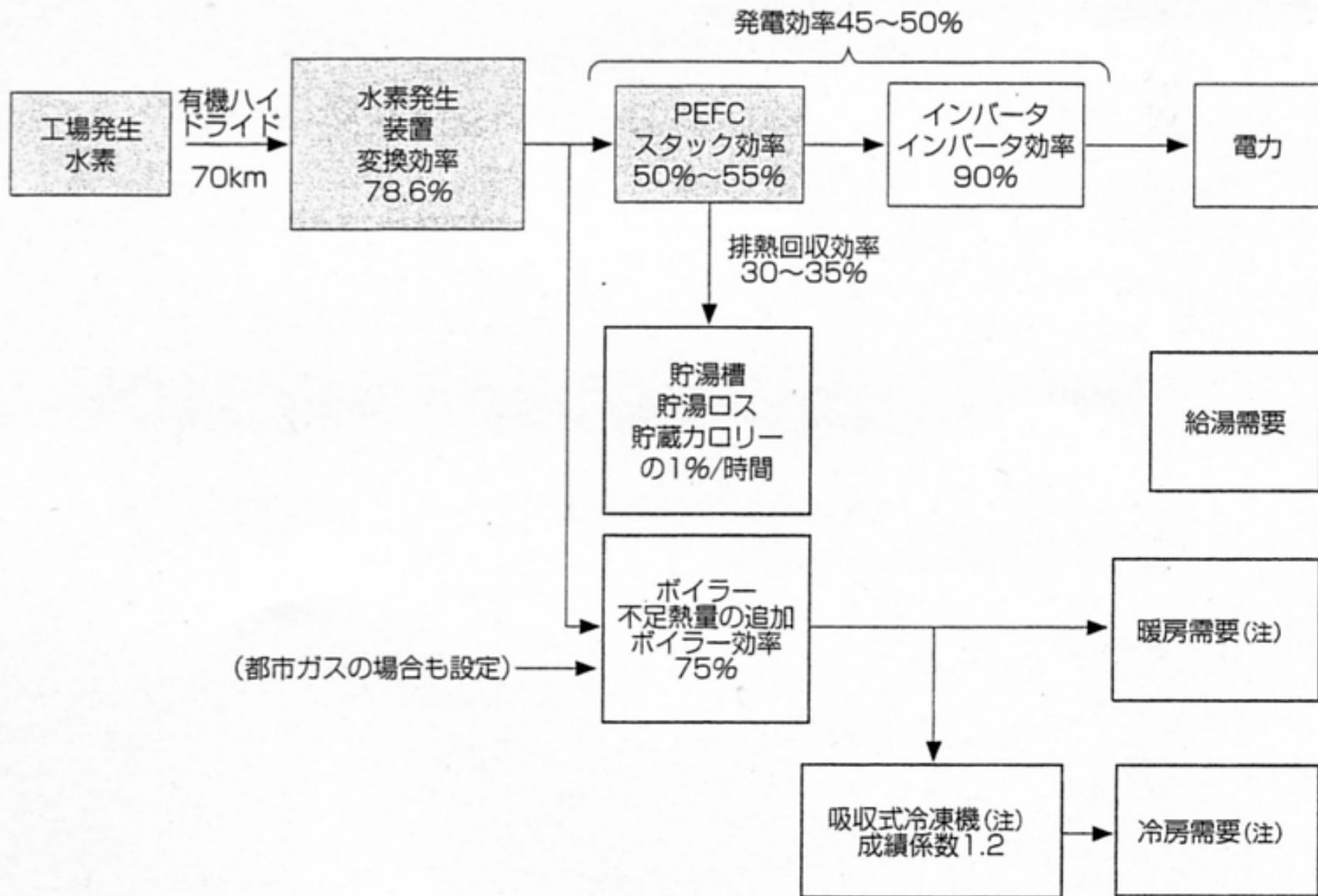
### 低級エネルギー

(原理的に損失無しで他のエネルギーへは変換不可能)

熱

熱効率: 熱エネルギーの何%を他のエネルギーへ変換可能か

実際にはさまざまな要因により損失が発生する。



凡例： □ 水素・燃料電池関連 □ 電力関連 □ 熱関連

(注) 集合住宅の場合は、暖房は床暖房で、吸収式冷凍機による冷房供給は行わない。

水素エネルギーの「製造」、「貯蔵・輸送」、「利用」のそれぞれの候補技術の中から1つずつ選び、それらを開発する意義及び開発上の課題について説明せよ。また、それらを組み合わせた水素エネルギーシステムの特徴を述べよ。