

東京大学生産技術研究所 第1回技術フォーラム  
地球温暖化を克服するエネルギー戦略

# 環境と調和したエネルギー戦略



副社長執行役員  
福江一郎

2009年6月

# G8環境会議での議論(2009年4月22日@シラクーサ)

- 開発途上国への資金、技術援助の必要性。  
(技術はInclusiveであるべき)
- CO<sub>2</sub>ペナルティ導入の必要性。(排出権取引、炭素税)
- 技術はすでに実用域に入っている。あとは政策(政治)の決断。
- 開発途上国から先進国への批判。(義務を果たせと)
- 原子力の容認。



# グリーンエネルギー革命は、待ったなしの世界の潮流へ

各国・地域とも景気刺激対策として、“エネルギー・環境分野への社会投資”を柱として位置づけ



- 2020年に再生可能エネルギーを20%。
- グリーン経済に1,050億ユーロを投入。
- 環境対策で480億ユーロを割り当て。



- 洋上風力発電に1,000億ポンド以上の投資、16万人の新規雇用。
- 低炭素セクターに500億ポンドの投資促進。

- 総額4兆元(57兆円)の投入計画。

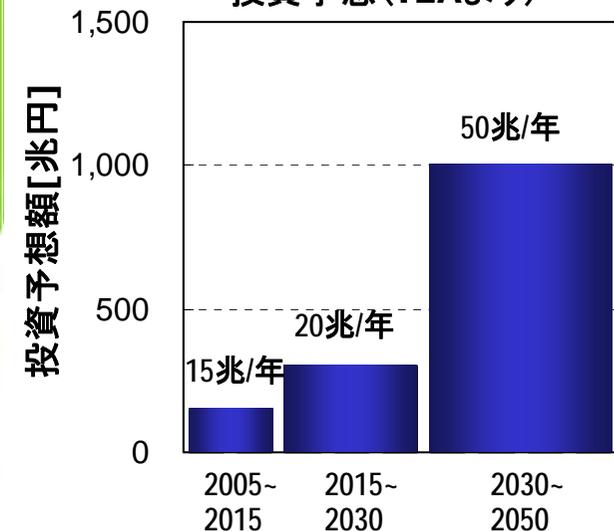


- 環境市場を120兆円規模。
- 280万人の雇用規模を創出。
- 太陽光発電量を2030年に40倍へ。
- 太陽光発電について、FIT導入。



- 1,500億ドルをクリーンエネルギーに投資、500万人の新規雇用を創出。
- 100万台のPHBD車を生産・導入。
- 再生可能エネルギー導入量を25%へ。

世界のエネルギー関連投資予想(IEAより)

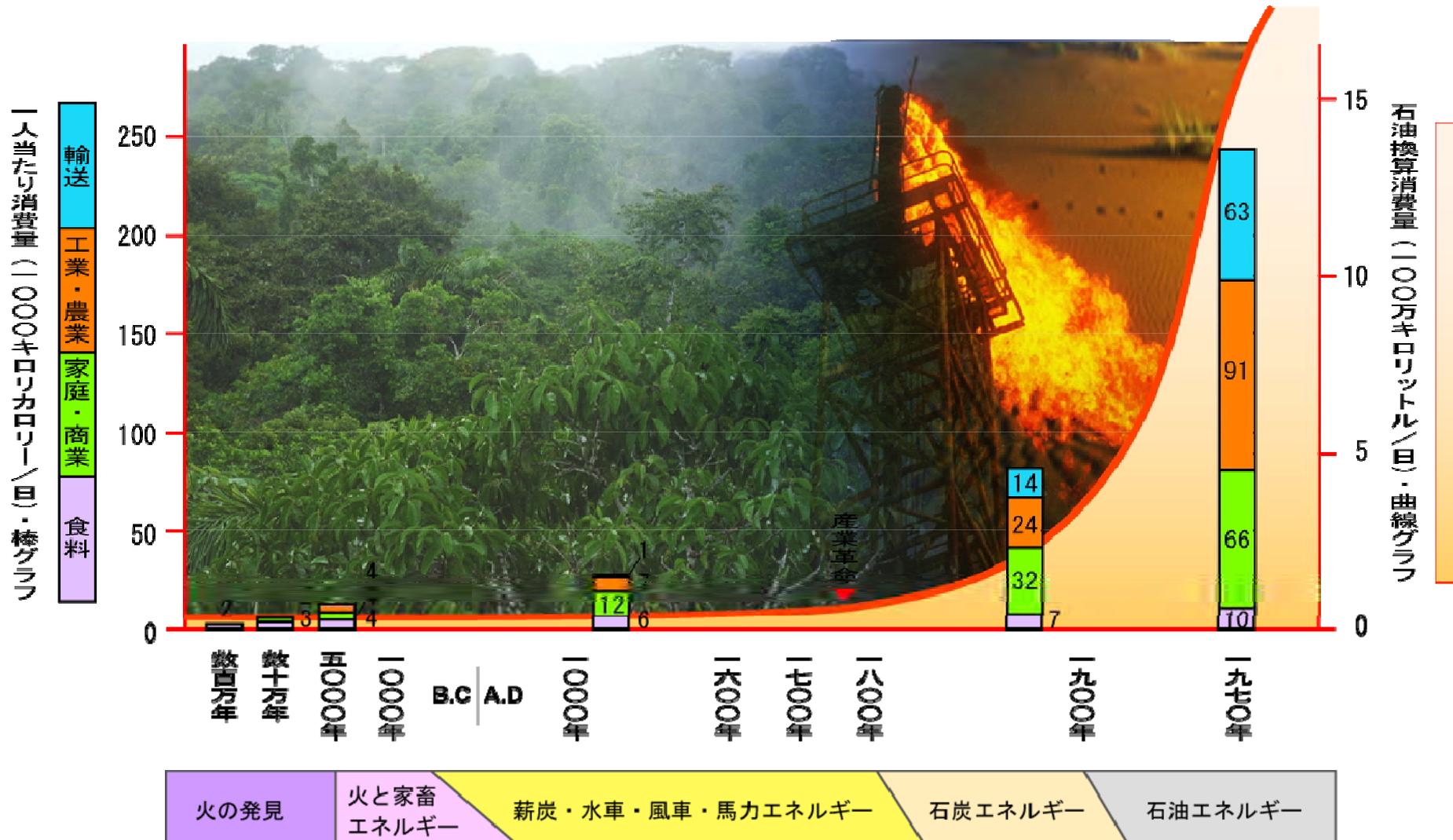


# 低炭素社会実現に向けて我々が考えるべきこと

- ① 古代より人類は「火」を燃やすことにより、文明を築いてきたが、その行為により引き起こされる環境への悪影響に気づいた今、我々は「非燃焼文明＝(低炭素文明)」の実現に向けて英知を集めるべき。  
(これは産業革命であると同時に文明の変革である。)
- ② CO<sub>2</sub>削減は経済、生産性に悪影響を及ぼす負の要因として考えられがちであるが、実際は、今後非OECD諸国の急速な経済発展で引き起こされる、世界の化石燃料の争奪戦、資源の有限性に起因する予測できない価格の高騰を考えると、出来るだけ早く脱石油社会＝低炭素社会へ転換し、化石燃料の趨勢に影響されないエネルギーインフラ形成に成功した社会(国)が勝者になるのは明白。
- ③ 上記理由により、COP15で採択されるCO<sub>2</sub>削減目標の数値がどのレベルに納まろうと、「今後の低炭素社会へ転換を図るドライバーである」とポジティブに考えるべき。
- ④ 「化石燃料文明」の次にくるのは、「より高度なIT」と「電気インフラ」を結合した全く新しい文明である。
- ⑤ この次世代の「IT／電気インフラ社会」は人々にとって快適で、且つより経済的な社会であることが証明できる。(エネルギー出費が少なくて済む)
- ⑥ 現在世界を支配している「炭素帝国」は強固な城(既存インフラ)と強大な軍団(権益団体)をもつ専制王国であるが、これを打ち破るには一種の「市民革命」的な仕掛けが必要。一旦打ち崩せれば、想像をこえる快適な社会が待っている。
- ⑦ この新しい社会インフラの再構築には、莫大な投資が必要であるが、政策と民間活力をうまく組み合わせることにより、経済原理のルールのもと、通常の経済活動の中で自然循環しながら無理なく達成できる可能性がある。
- ⑧ 当面、日本として集中すべきは、「EVの開発と普及」「太陽電池の低コスト化と普及」「電気インフラ再構築(スマートグリッド、DC送電)」である。

# 古代から現代へ至るエネルギー消費変遷

古代から中世は森林をエネルギー源とし、産業革命以降、石炭や石油等、高エネルギー密度の化石燃料によって、高度な文明を構築してきた。

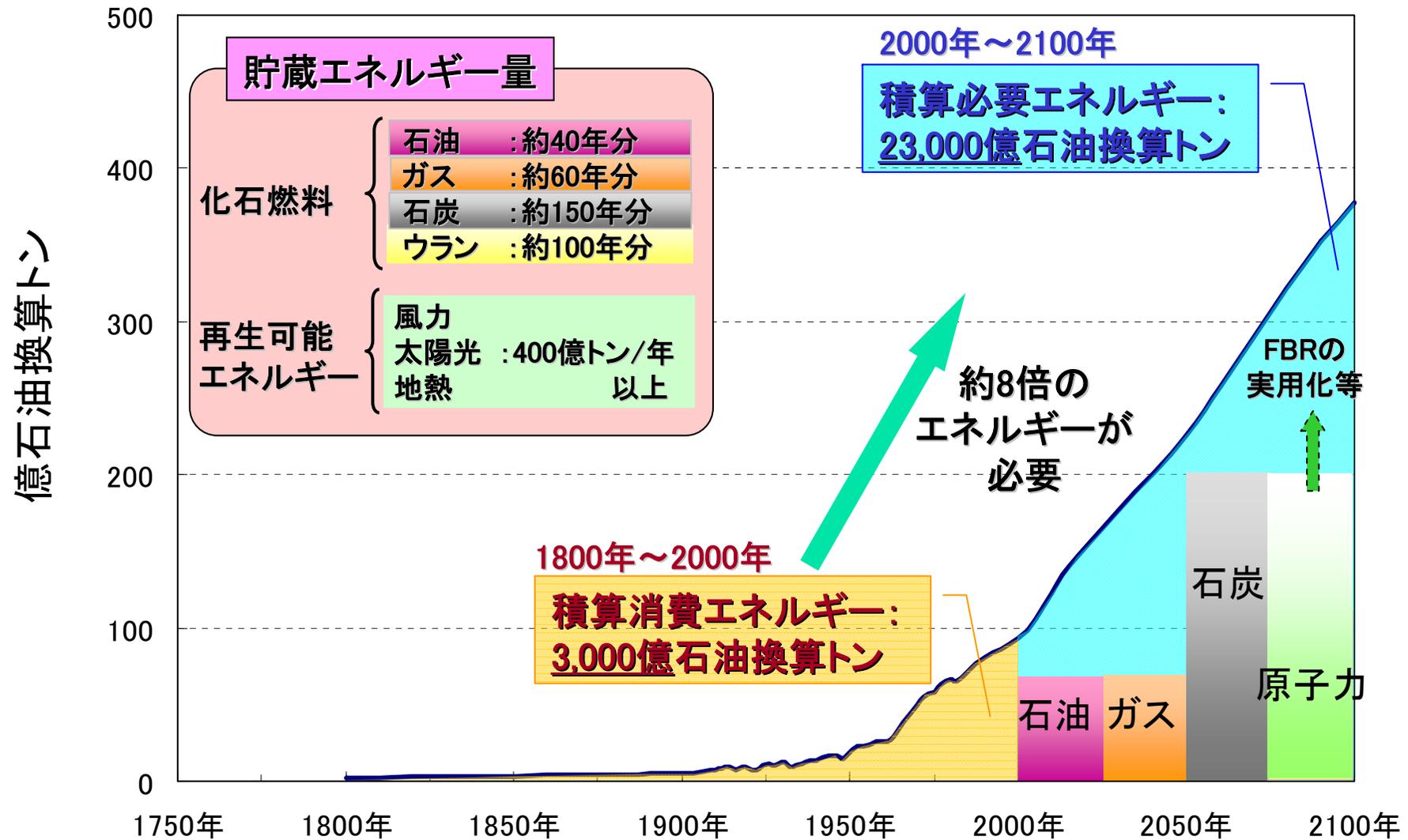


# 現在の地球上の樹木被覆図

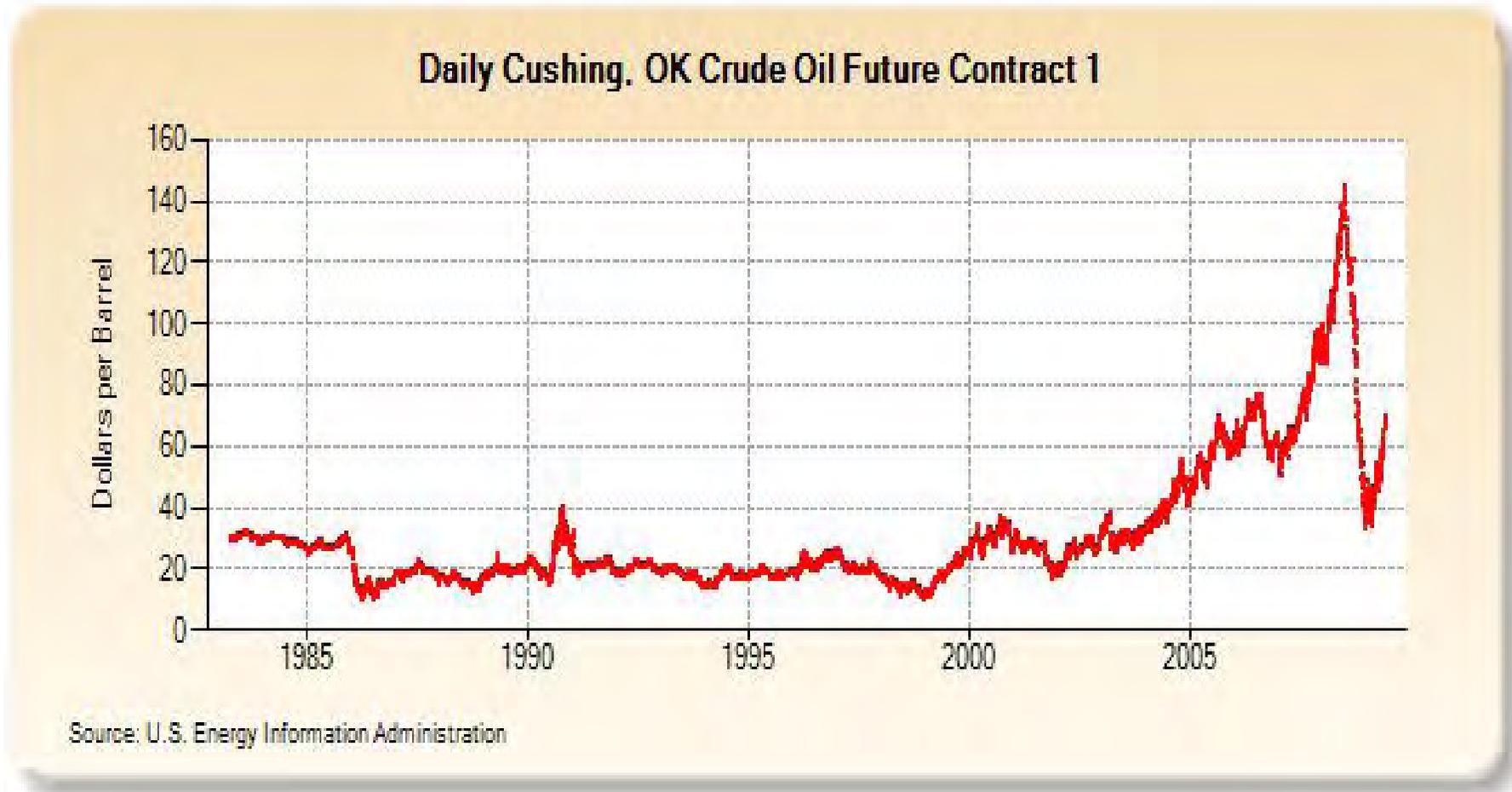


全地球樹木被覆図（国土地理院作成）

# 全世界エネルギー消費予想と資源埋蔵量



# 化石燃料の価格変遷



# 電気インフラ社会に進む必要性

環境からエネルギーを取り出す低炭素社会実現の為、高効率電気インフラ社会へ。



**森林**

古代の主燃料



**石炭**

大気汚染が進む



**石油コンビナート**

石油大消費時代で地球温暖化も  
加速

## 電力コンビナート

環境からのインパクトをミニマムに  
環境からエネルギーを取り出す



# 低炭素市民革命

地球温暖化の危機感と炭素弾圧の新ルール

再生可能エネルギー等の  
クリーンエネルギー

高エネルギー消費  
カーボンシンジケート

CO2削減  
価格高騰

富の集積 ⇒ 開発の追及

## 快適な社会

CO2

CO2

エネルギー分配

金銭貢献

エネルギー

金銭徴収

従来

便利、省エネ(低カーボン)

+

新しい価値

快適(クリーン、安心)、知的満足(貢献感)

天然ガス

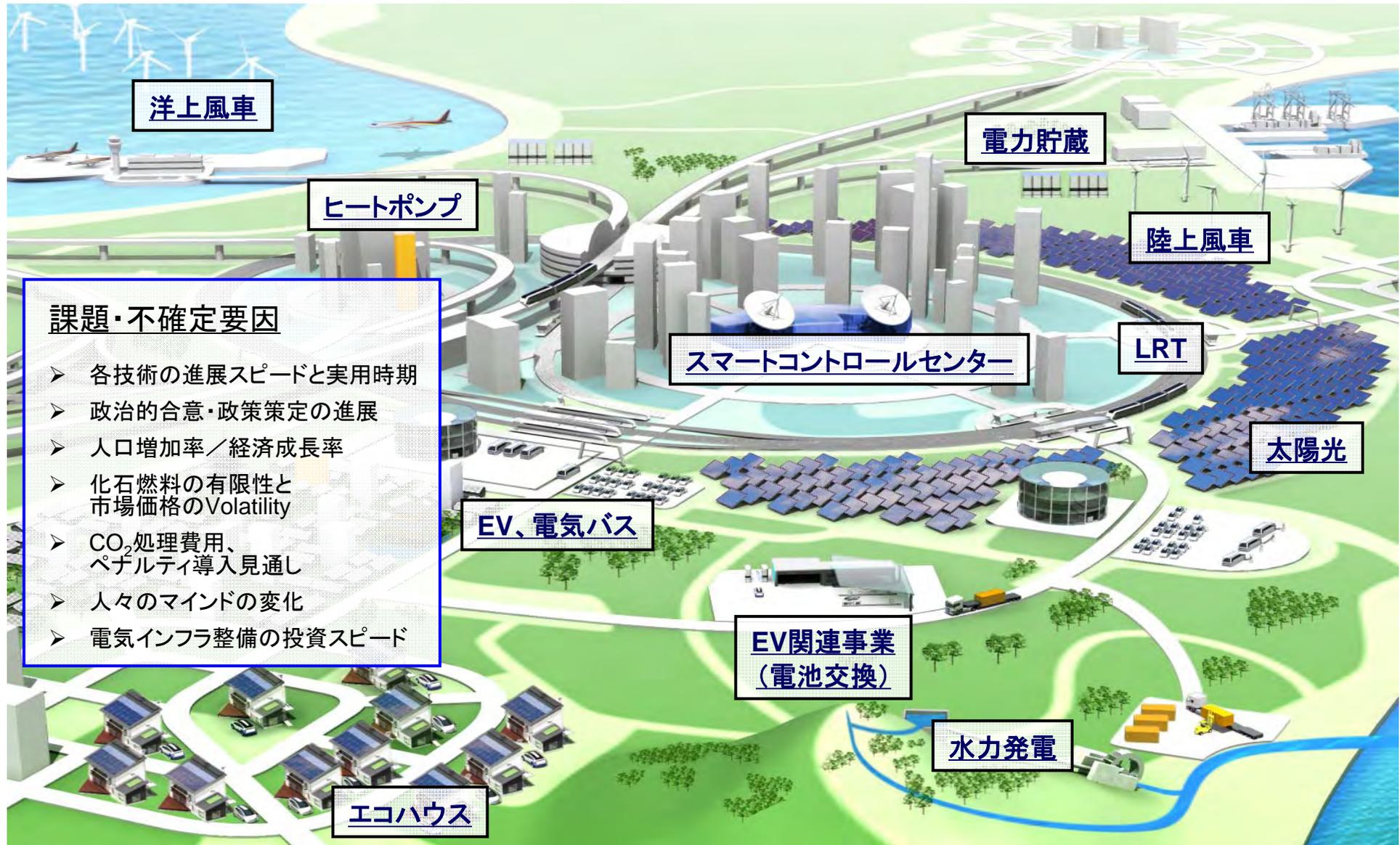
石炭

石油



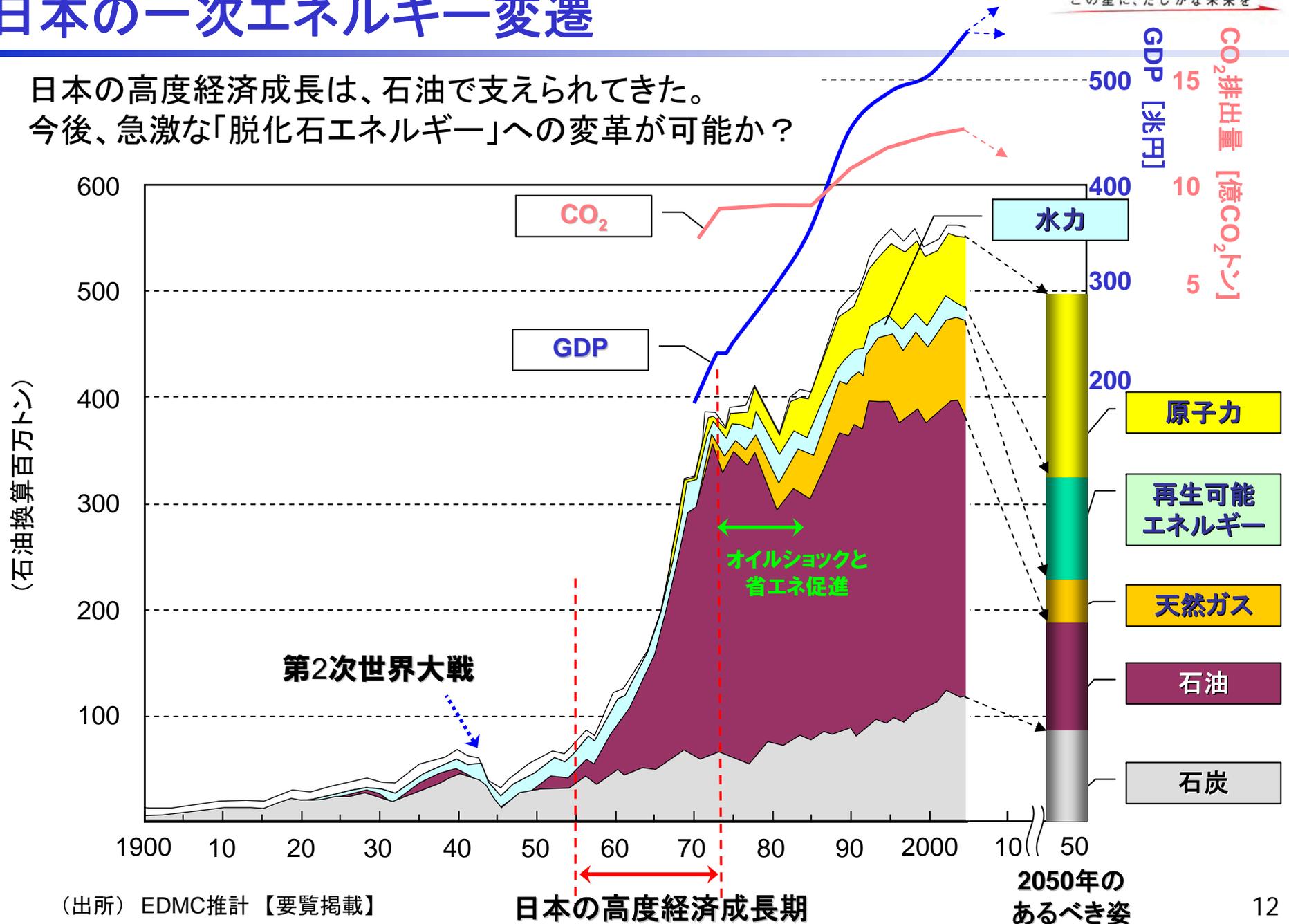
# 低炭素社会への勇躍

窒息しそうな炭素インフラから思い切ってジャンプ



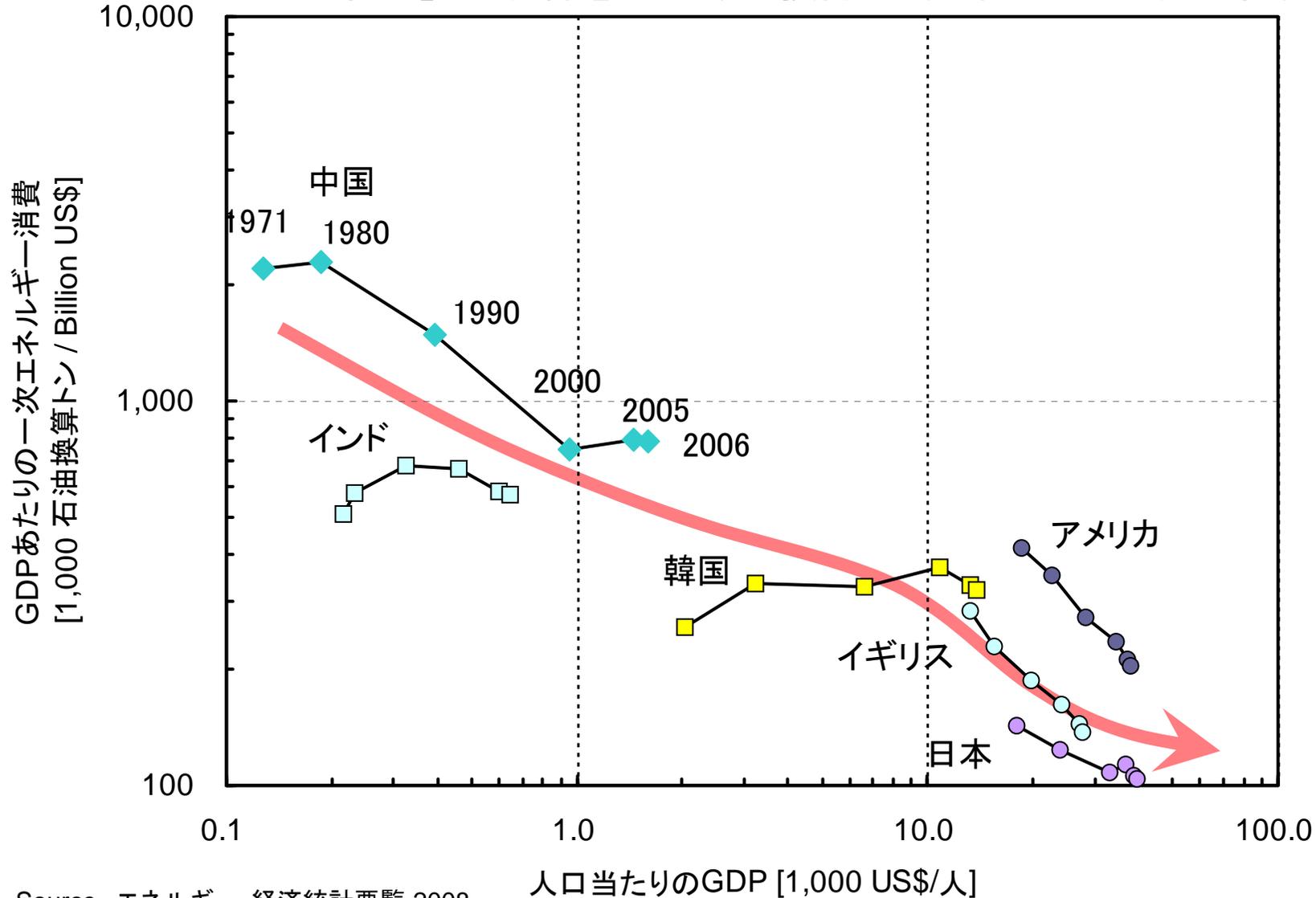
# 日本の一次エネルギー変遷

日本の高度経済成長は、石油で支えられてきた。  
今後、急激な「脱化石エネルギー」への変革が可能か？



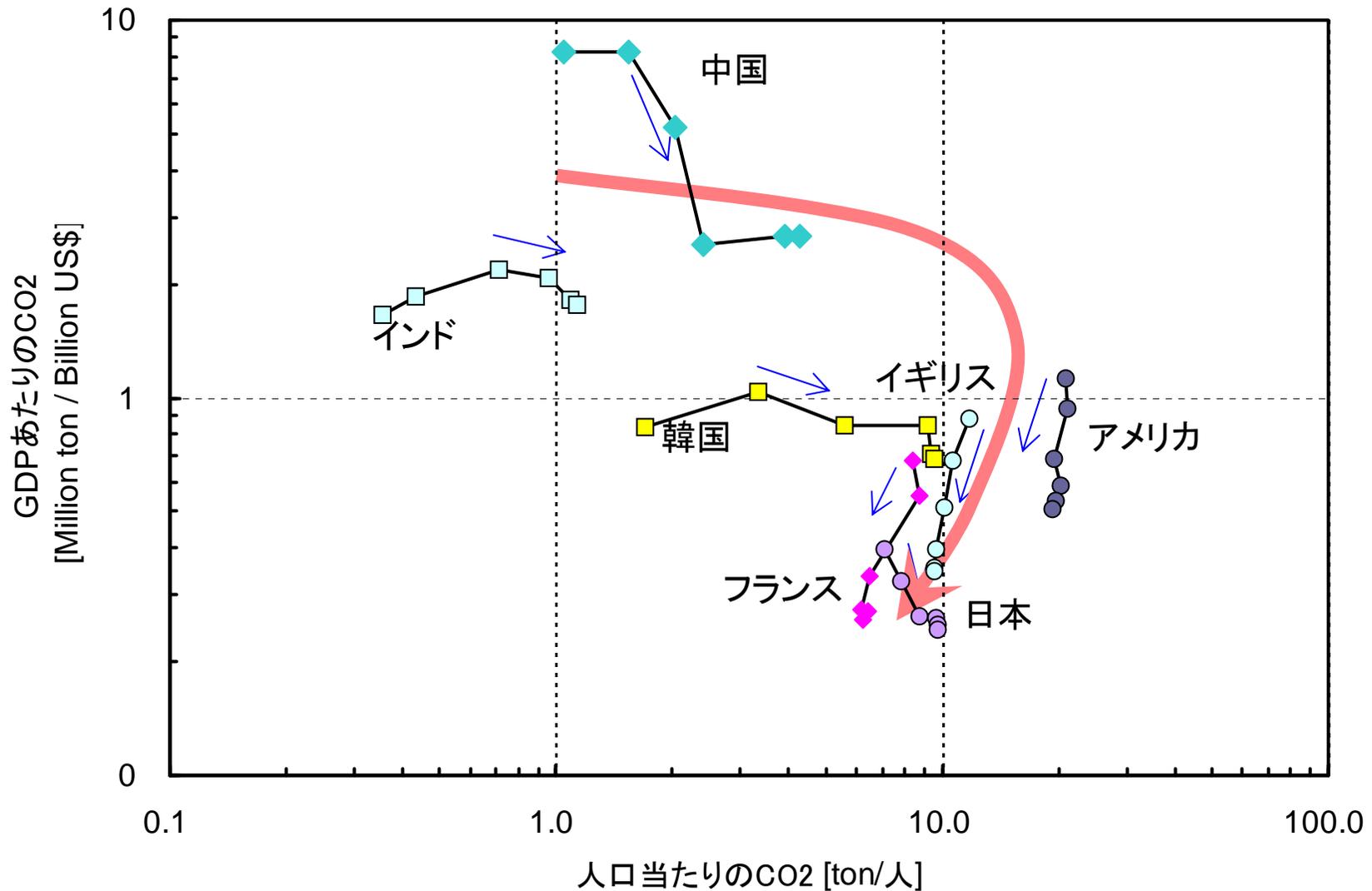
# GDPと一次エネルギー消費の関係

日本はこれまで、「化石エネルギー社会」での効率改善競争で世界の先頭を走ってきた。  
次の「脱カーボン社会」でも世界をリードする技術力と産業基盤は十分に有する。



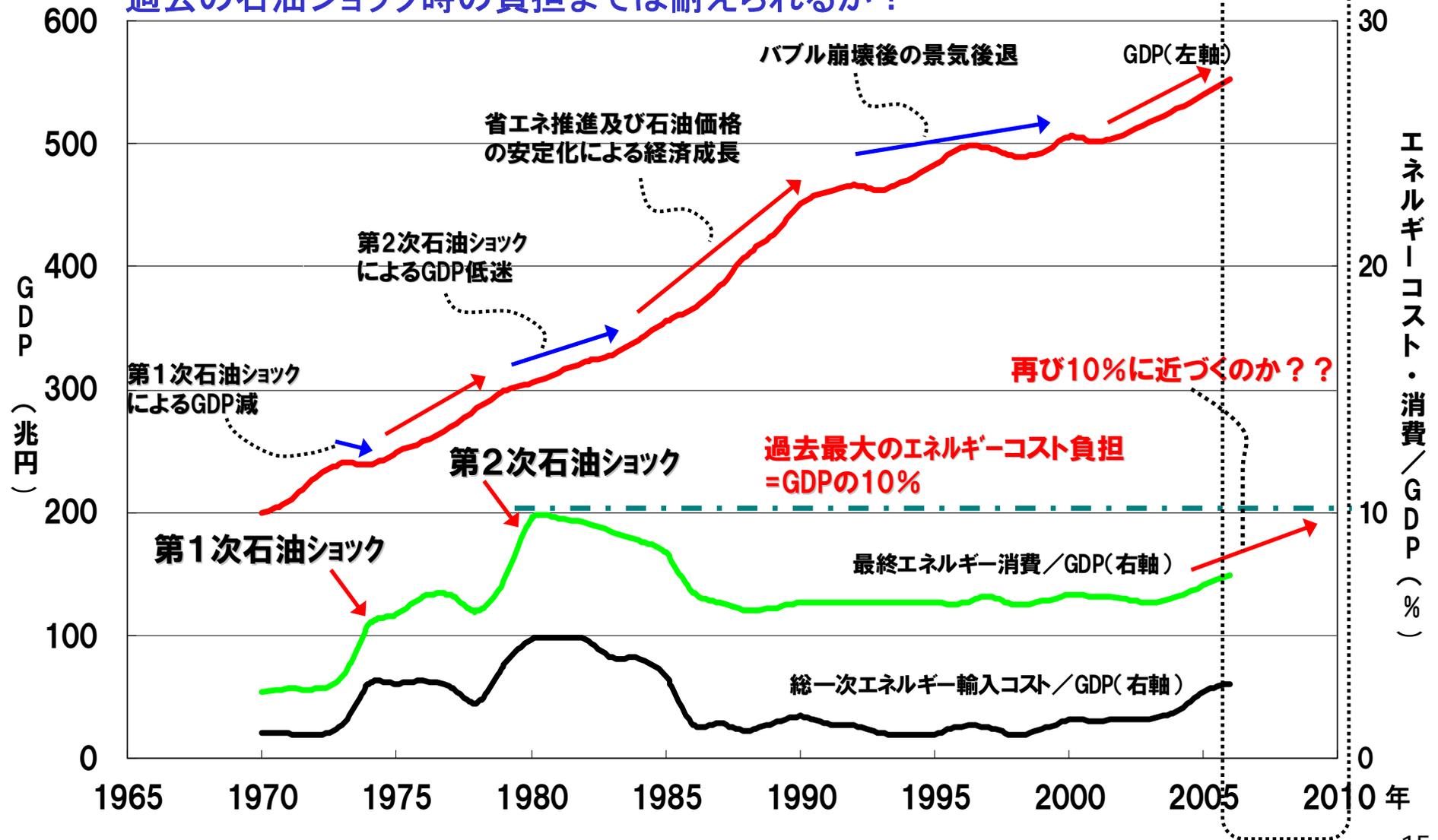
# 一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量は頭打ち

先進諸国は一人当たりのCO<sub>2</sub>は頭打ちであり、人口減に伴いCO<sub>2</sub>排出量は低下。



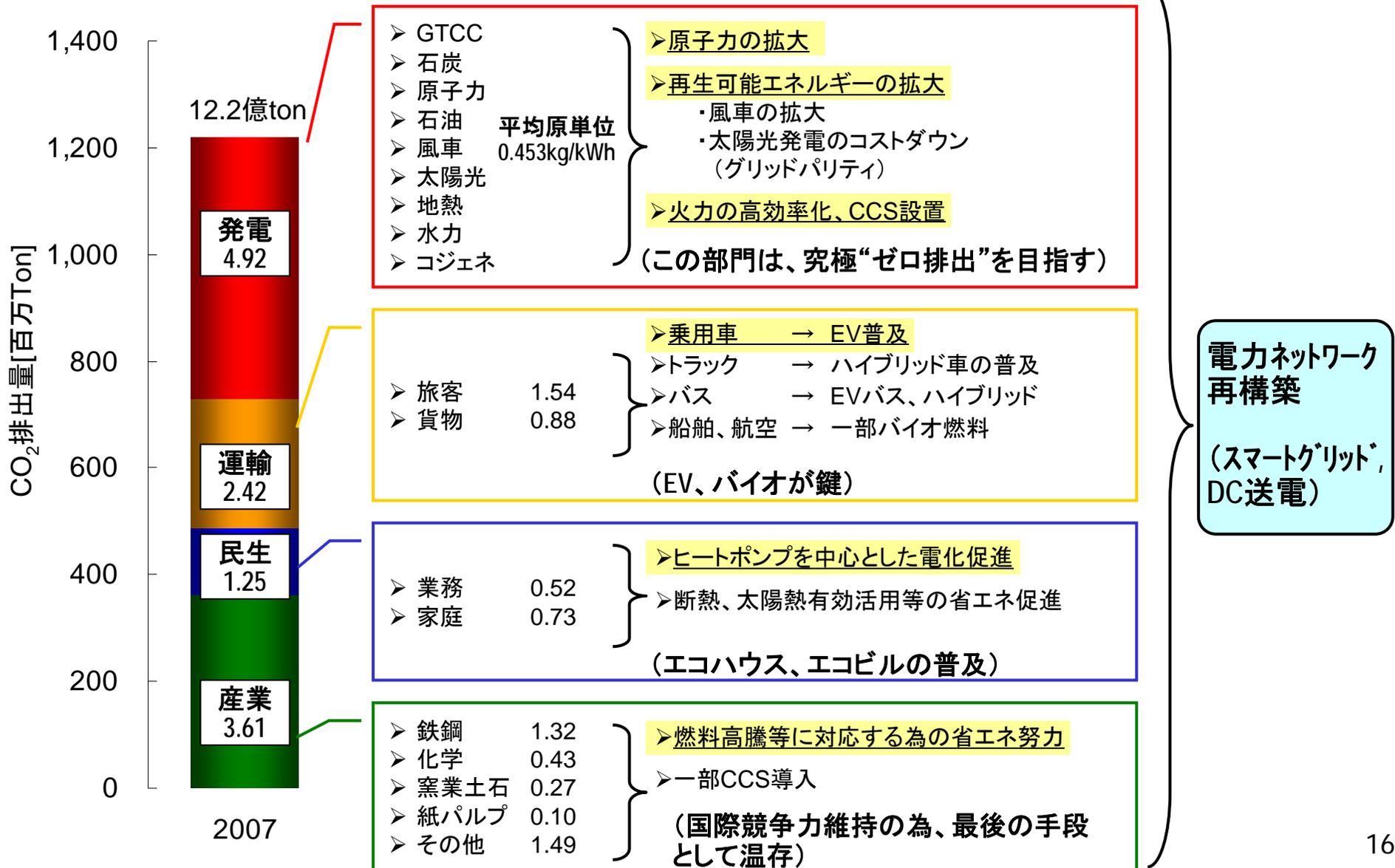
# 日本の過去のGDPとエネルギーコストの変遷

安いエネルギーコストは経済成長の原動力であるが、今後上昇要因有り。  
過去の石油ショック時の負担までは耐えられるか？

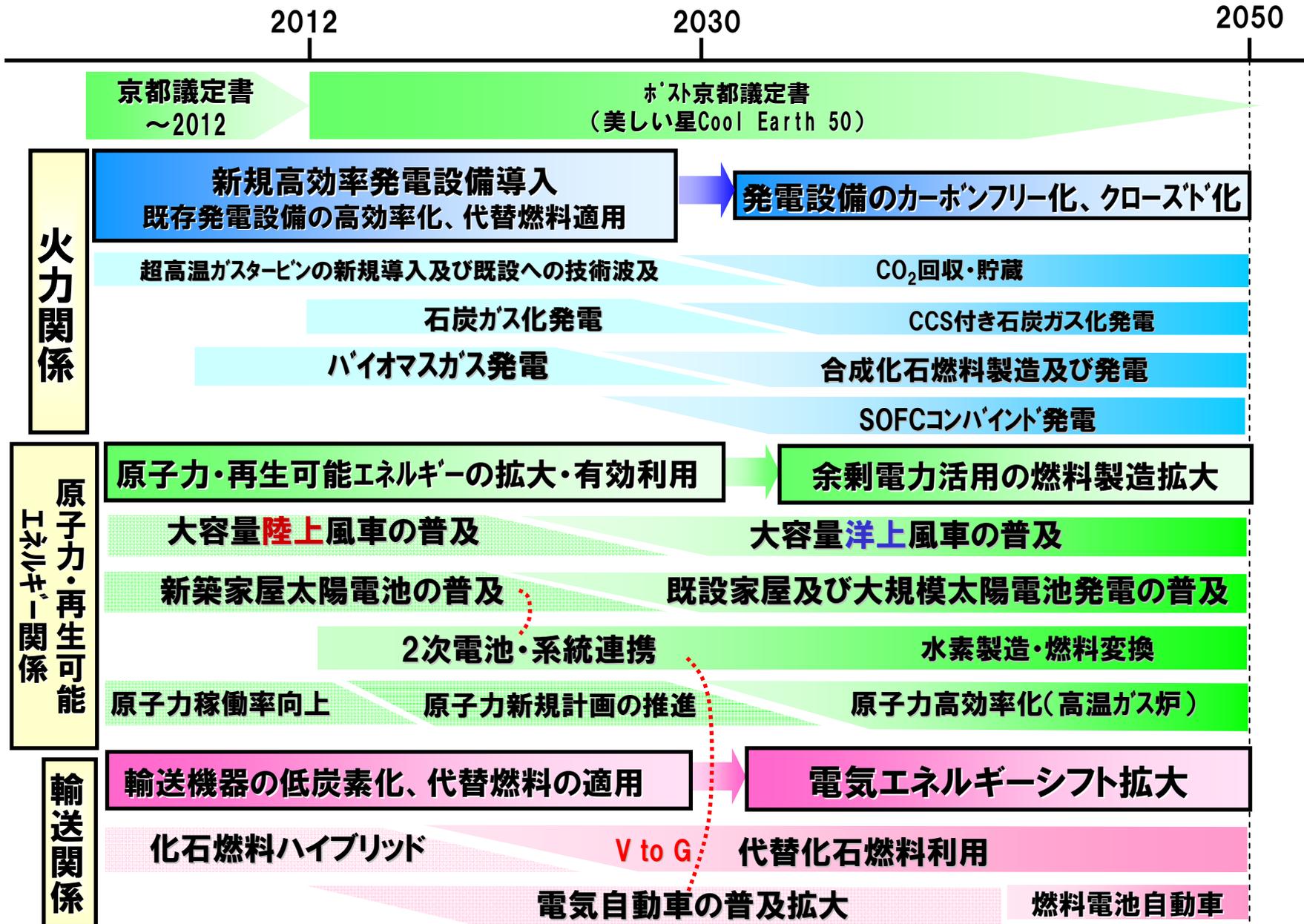


# 2007年の日本のCO<sub>2</sub>排出量内訳と、今後の打ち手

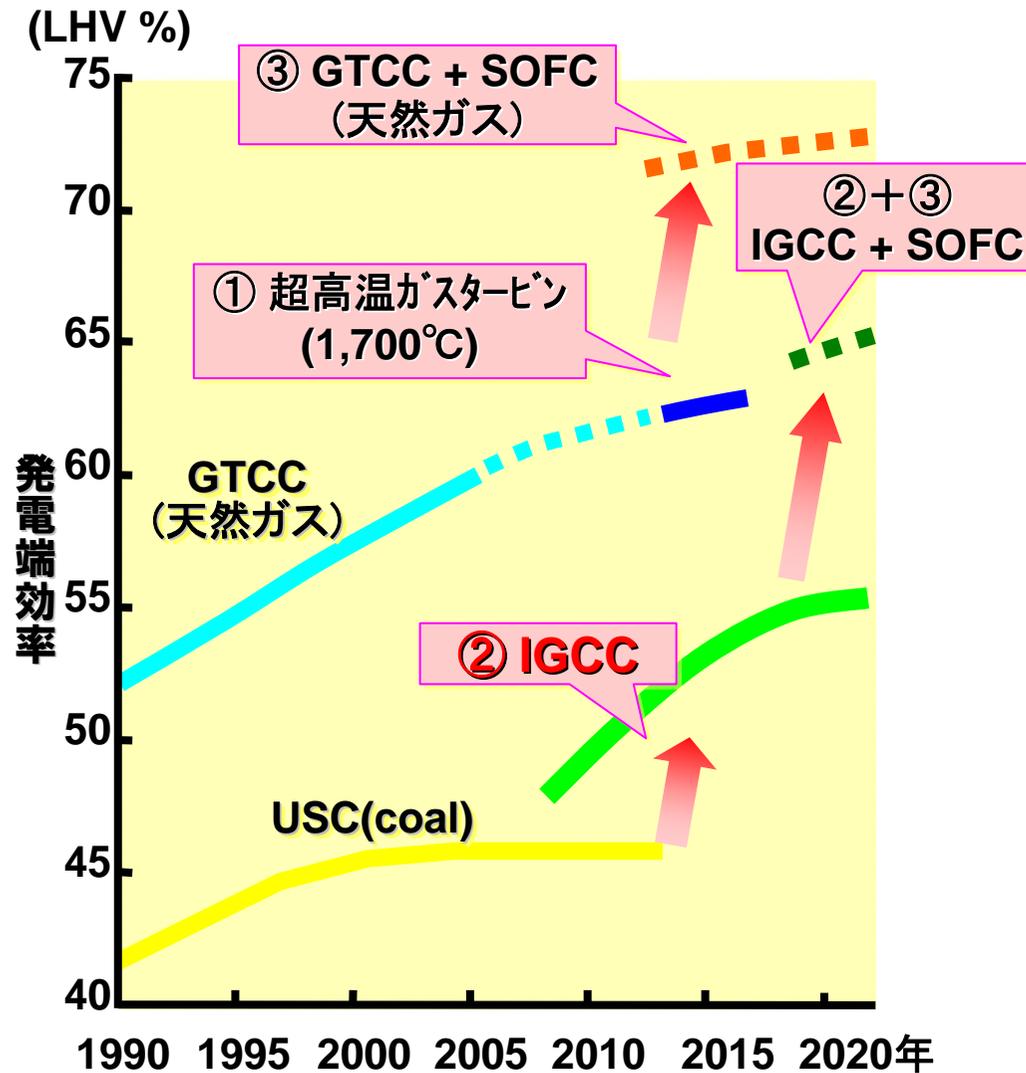
60%削減を達成する為には、各部門でのCO<sub>2</sub>削減努力が必要。



# 技術の進展と普及見通し



# 火力発電の高効率化



J形の開発完了  
→更なる高効率化へ

① 超高温ガスタービン  
適用GTCC (1,700 °C級)

② IGCC (石炭ガス化)

③ GTCC + SOFC  
(ハイブリッドサイクル)

IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle  
SOFC: Solid Oxide Fuel Cell

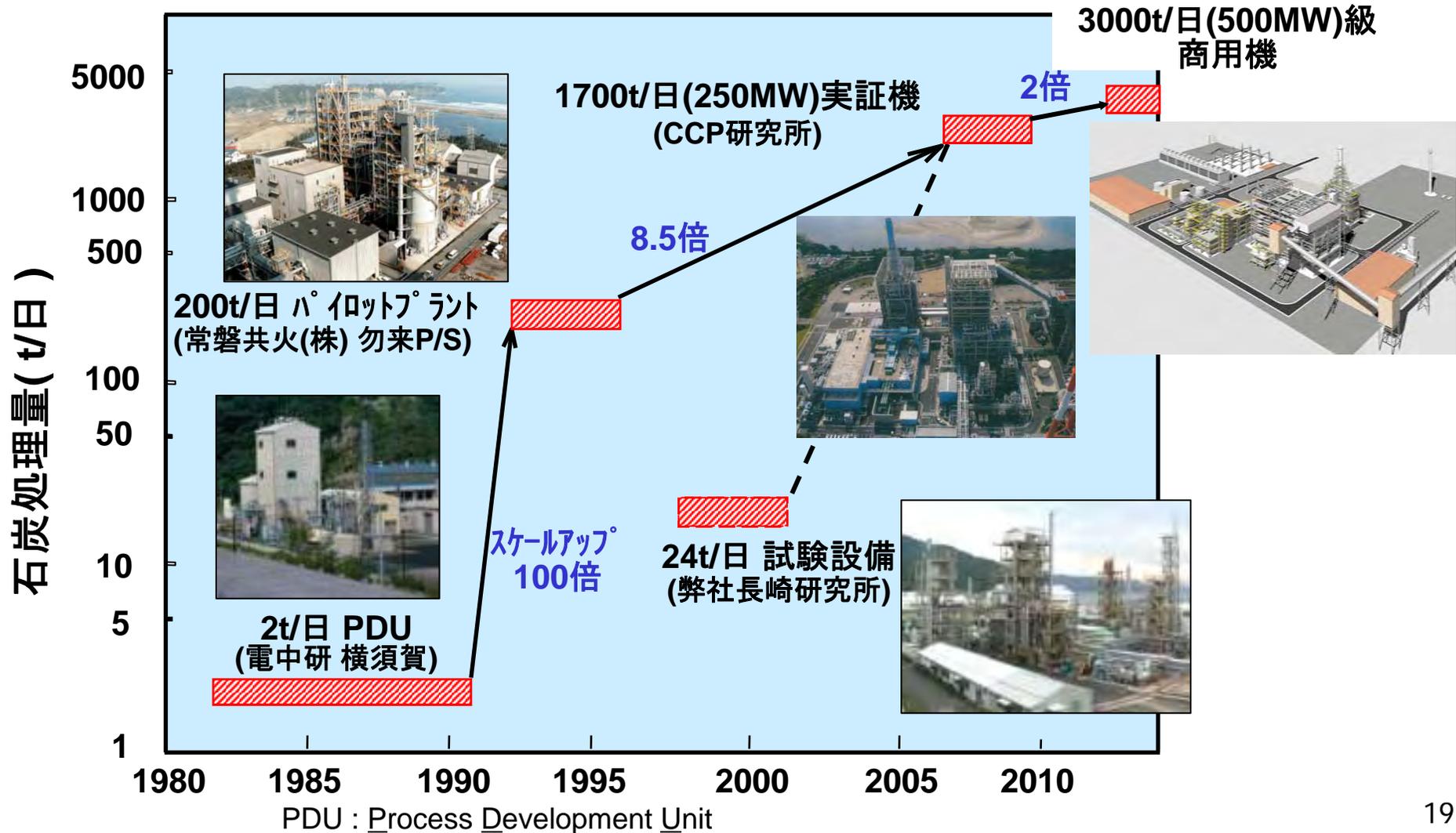
GTCC: Gas Turbine Combined Cycle  
USC: Ultra Super Critical pressure Coal-fired plant

# 空気吹きIGCC開発の歴史

## 勿来での250MW IGCC実証試験の成功

- 3月初旬に100%負荷到達。
- 9月に2,000時間の連続運転達成。

石炭ガス化複合発電(IGCC)技術は、実証段階を終えて、次期商用機を計画中。

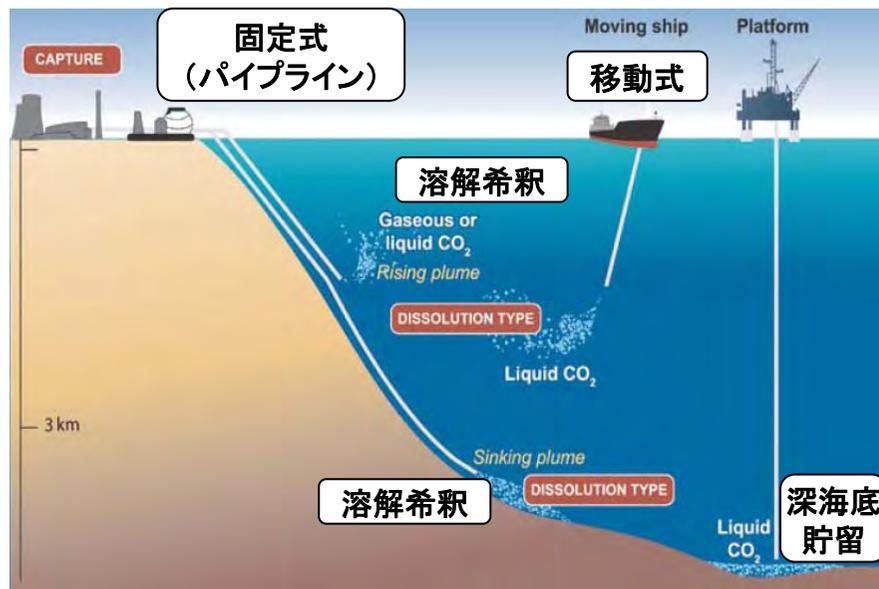


# CCS (Carbon dioxide Capture & Storage)

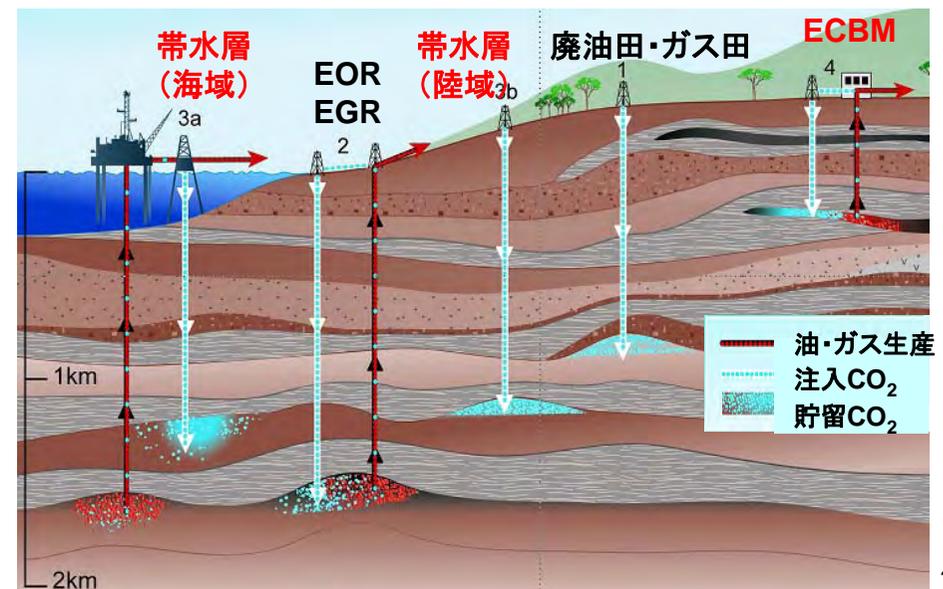


## CO<sub>2</sub>の貯留方法

海洋隔離 検討中



地中貯留 実用化中



# 世界のIGCCプロジェクト

**Puertollano(スペイン)**  
318MW 1997運開



**Buggenum (オランダ)**  
284MW 1994運開



**Wabash River(米国)**  
296MW 1995運開



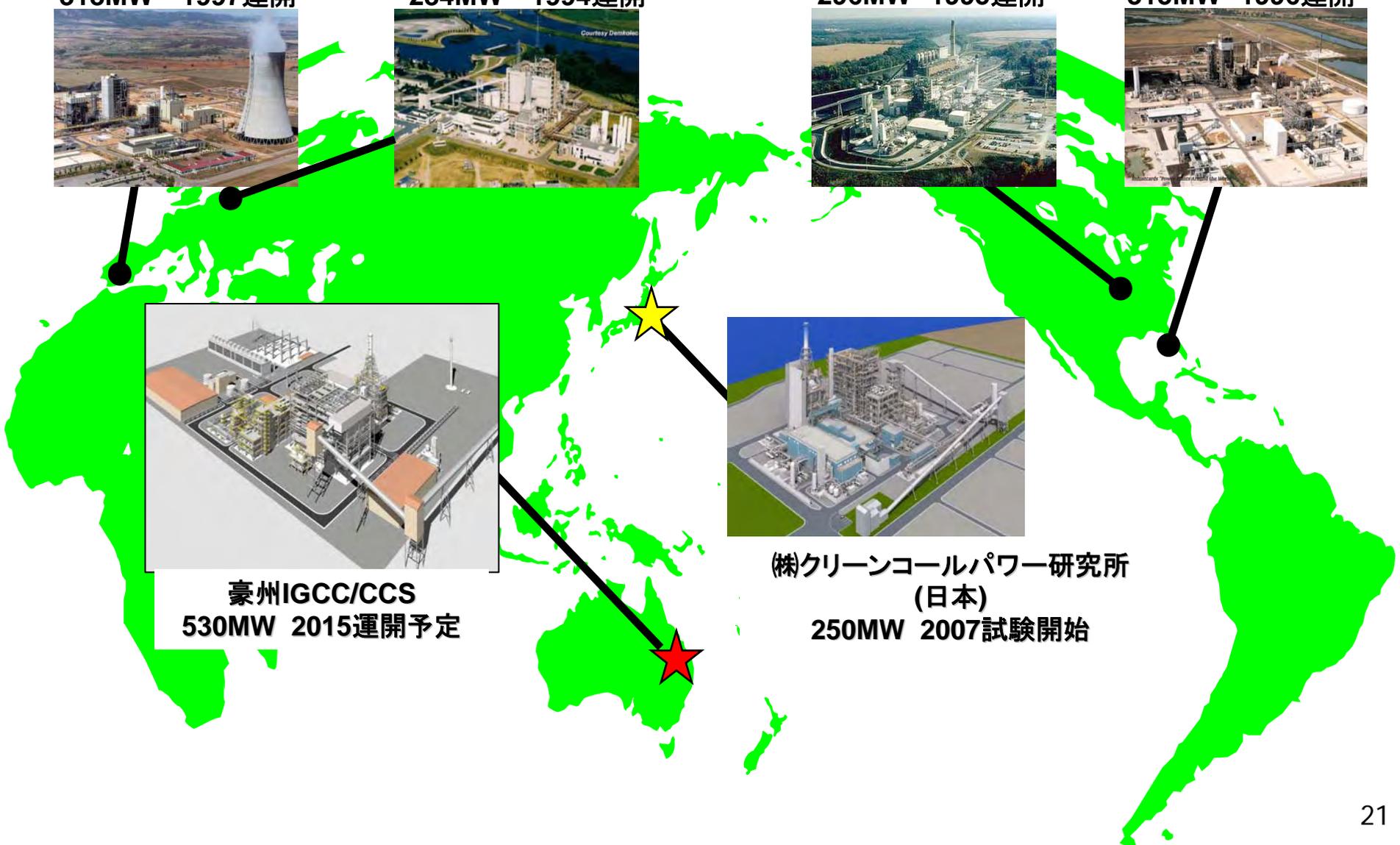
**Tampa(米国)**  
315MW 1996運開



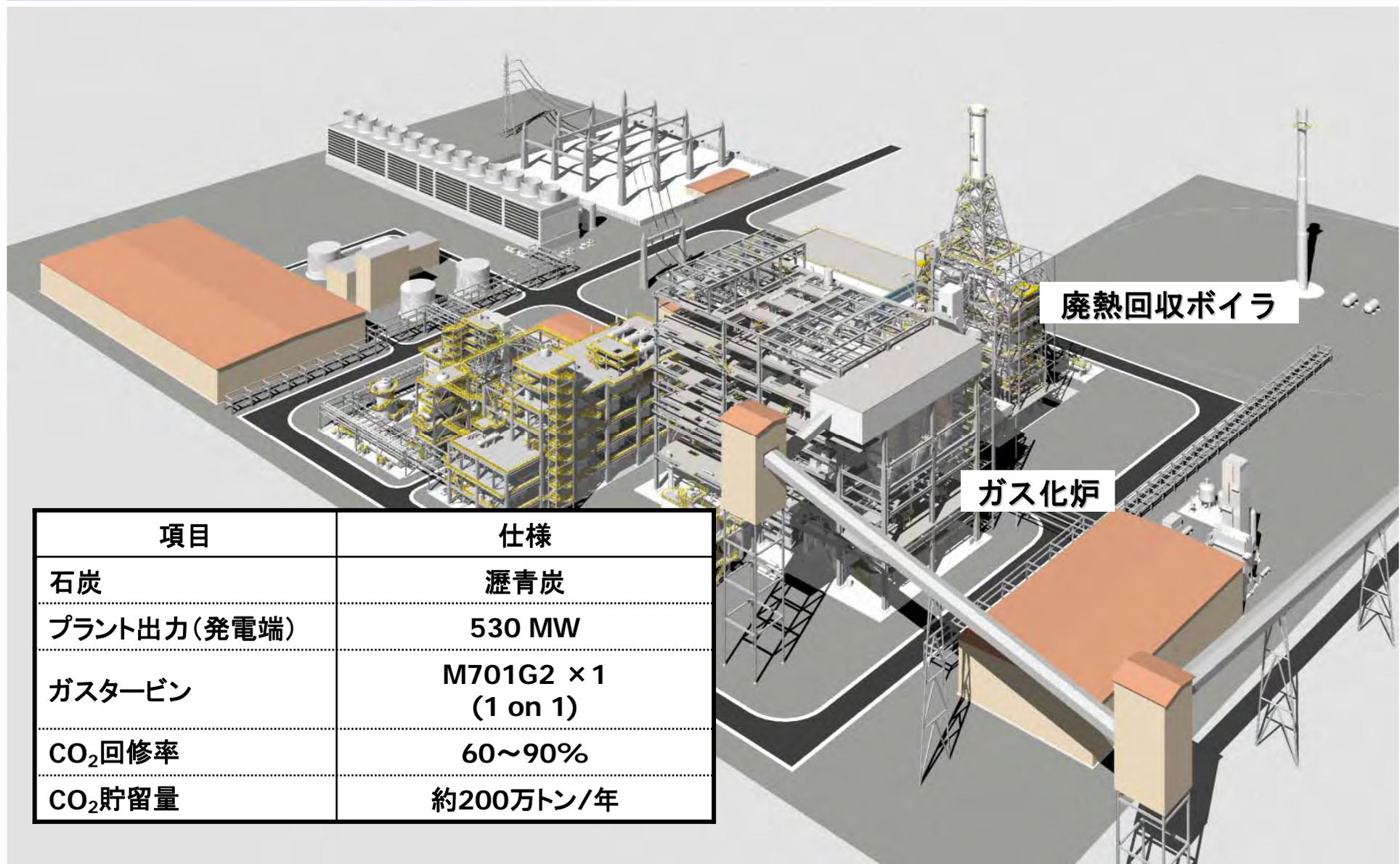
**豪州IGCC/CCS**  
530MW 2015運開予定



**(株)クリーンコールパワー研究所 (日本)**  
250MW 2007試験開始

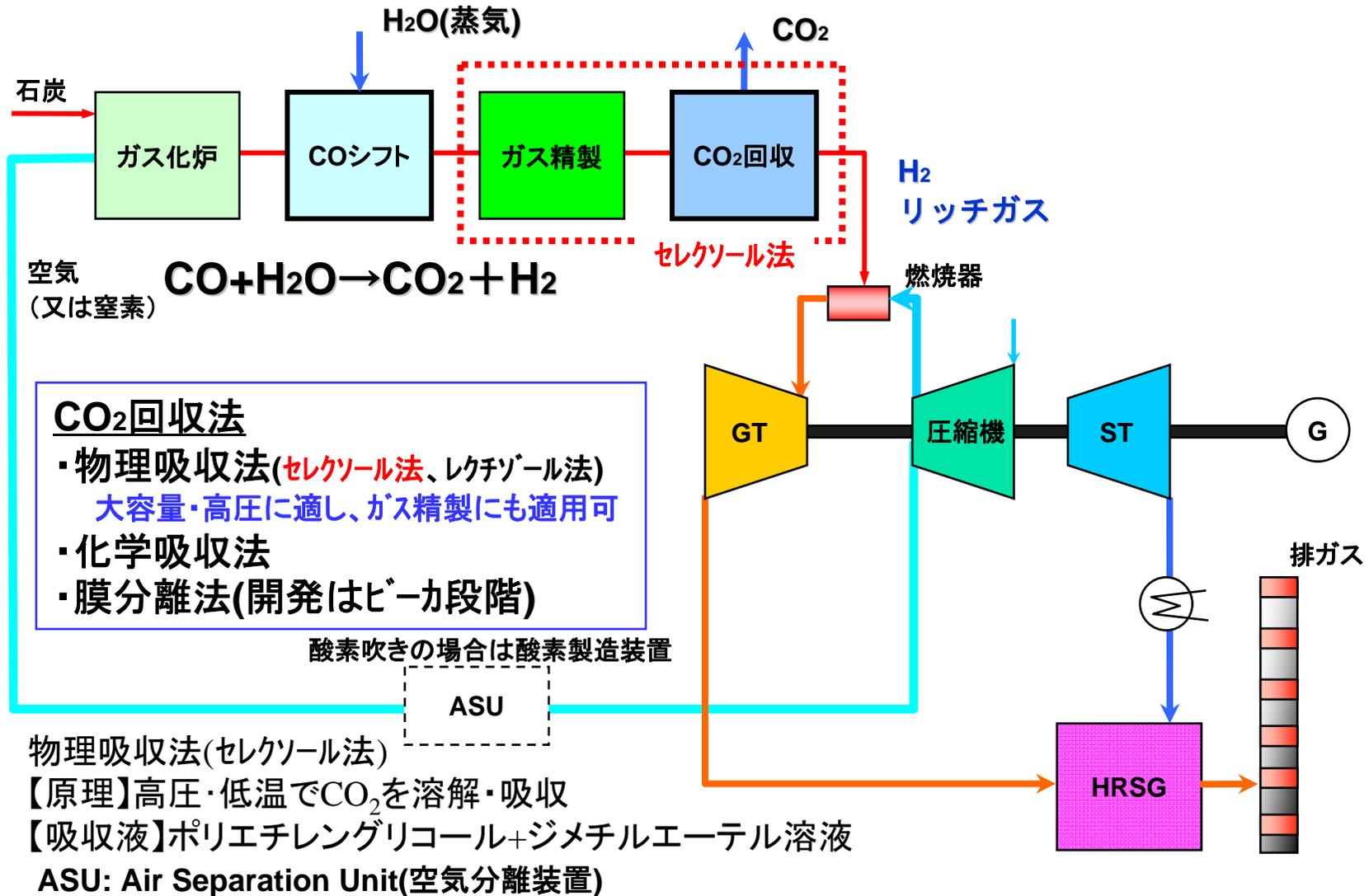


# 豪州 IGCC/CCS プロジェクト



項目	仕様
石炭	瀝青炭
プラント出力(発電端)	530 MW
ガスタービン	M701G2 × 1 (1 on 1)
CO <sub>2</sub> 回収率	60~90%
CO <sub>2</sub> 貯留量	約200万トン/年

# CO<sub>2</sub>回収型IGCCシステム例



# 原子力発電技術開発(1/2)

## ■ US/EU-APWR



### 世界最大出力 大型軽水炉 (170万kW級)

#### US-APWR

1. 2007年 ルミナント社から炉型内定 (2基)
2. 米国DC・COL申請完了

#### EU-APWR

1. 欧州電力要求への適合性認証申請

DC : 型式認証  
COL : 建設運転一括許可

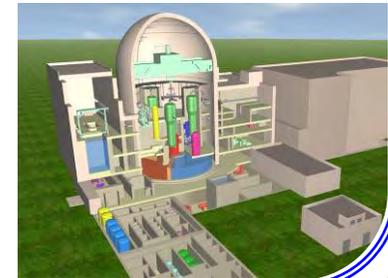


## ■ ATMEA1



### 全世界対応 中型軽水炉 (110万kW級)

1. 2007年 AREVA社とJV設立
2. 両社の世界最高水準の技術を結集
3. 2009年 基本設計完了 販売開始



フルラインアップ

## ■ 国内新設プラント

### 国内向け軽水炉

1. 北電泊3号機建設完了 (最新第3世代炉)



国内24基目のPWR  
本年3月初臨界  
12月運転開始予定

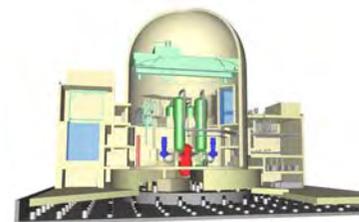
2. 日本原電敦賀3/4号機 (国内最大級APWR)  
安全審査中、2016/2017年運転開始予定

## ■ 将来炉



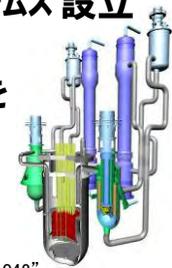
### 次世代軽水炉

国家プロジェクトに参画



### 高速増殖炉 (FBR)

三菱FBRシステムズ設立  
(2007年)  
日本の技術を  
世界標準へ



出典: "JAEA-Research 2006-042",  
図 2.1.1-4, p. 69 (2006)

# 原子力発電技術開発(2/2)

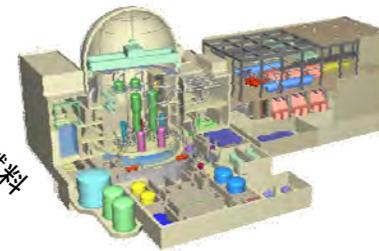
既設原子力プラントの有効活用、新・増設の着実な実施、原燃サイクルの確立

## 国内軽水炉プラント



- 既設プラントのAS
- 泊3号機、敦賀3/4号機
- 次期新設プラント

## 海外軽水炉プラント



- US/EU-APWR
- ATMEA1
- 海外AS

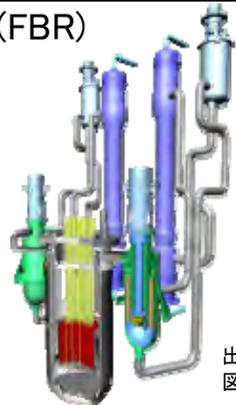
## 燃料



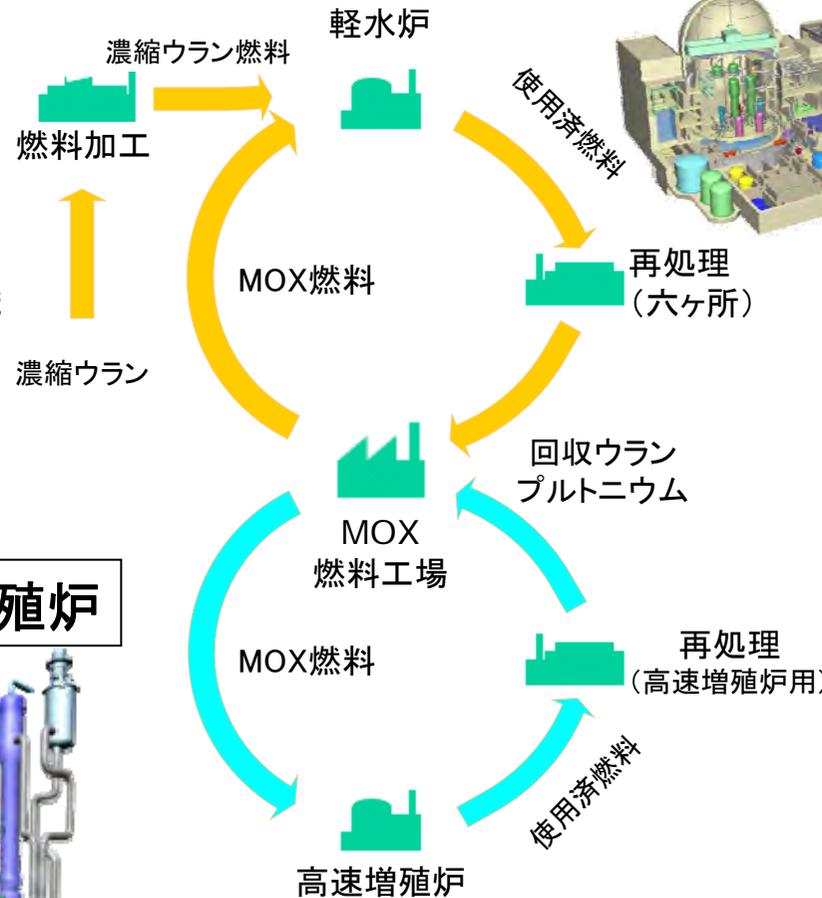
三菱原子燃料(株)

## 高速増殖炉

(FBR)



出典：“JAEA-Research 2006-042”，  
図 2.1.1-4, p. 69 (2006)



## 原燃サイクル



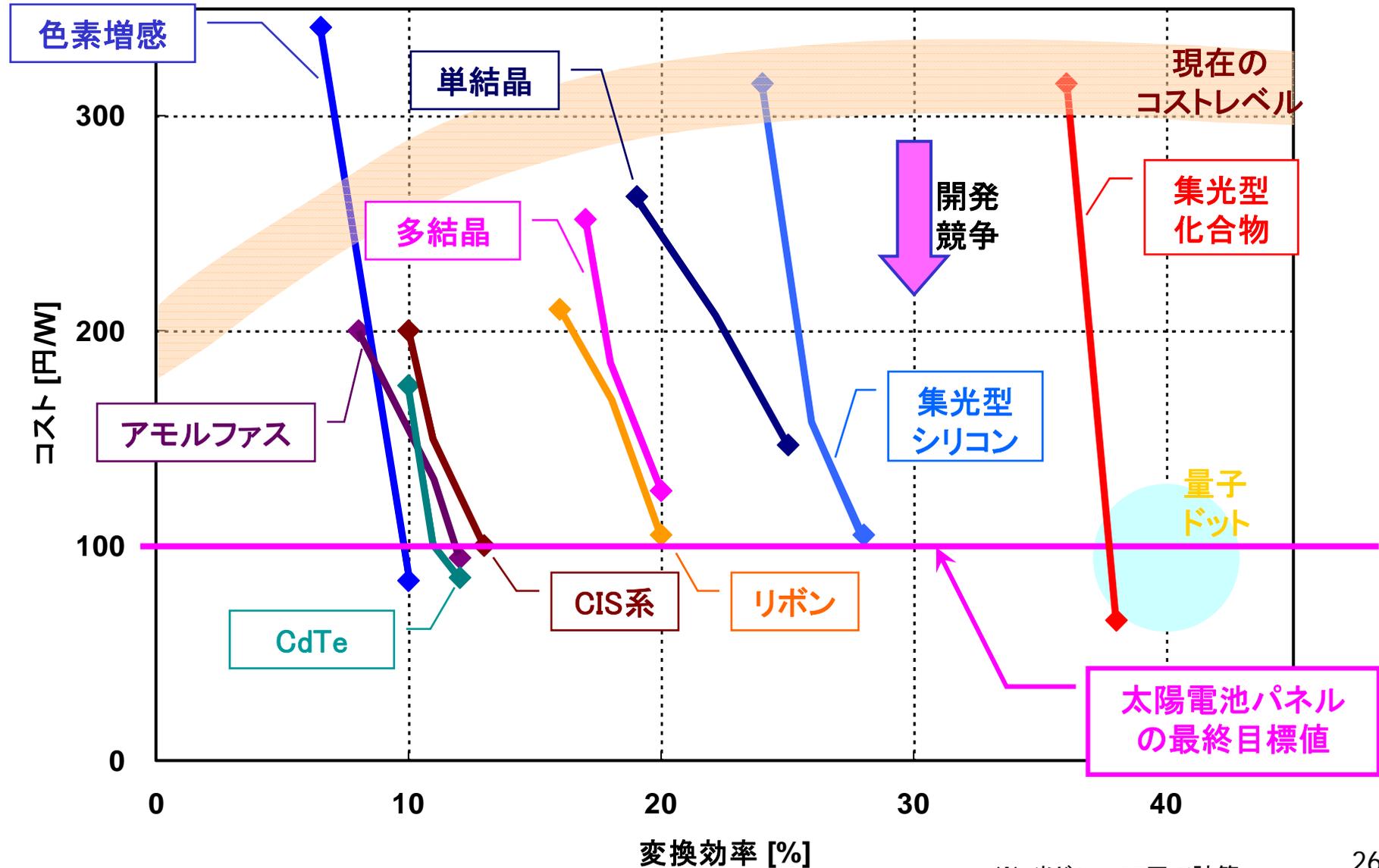
- 再処理工場



- MOX燃料工場

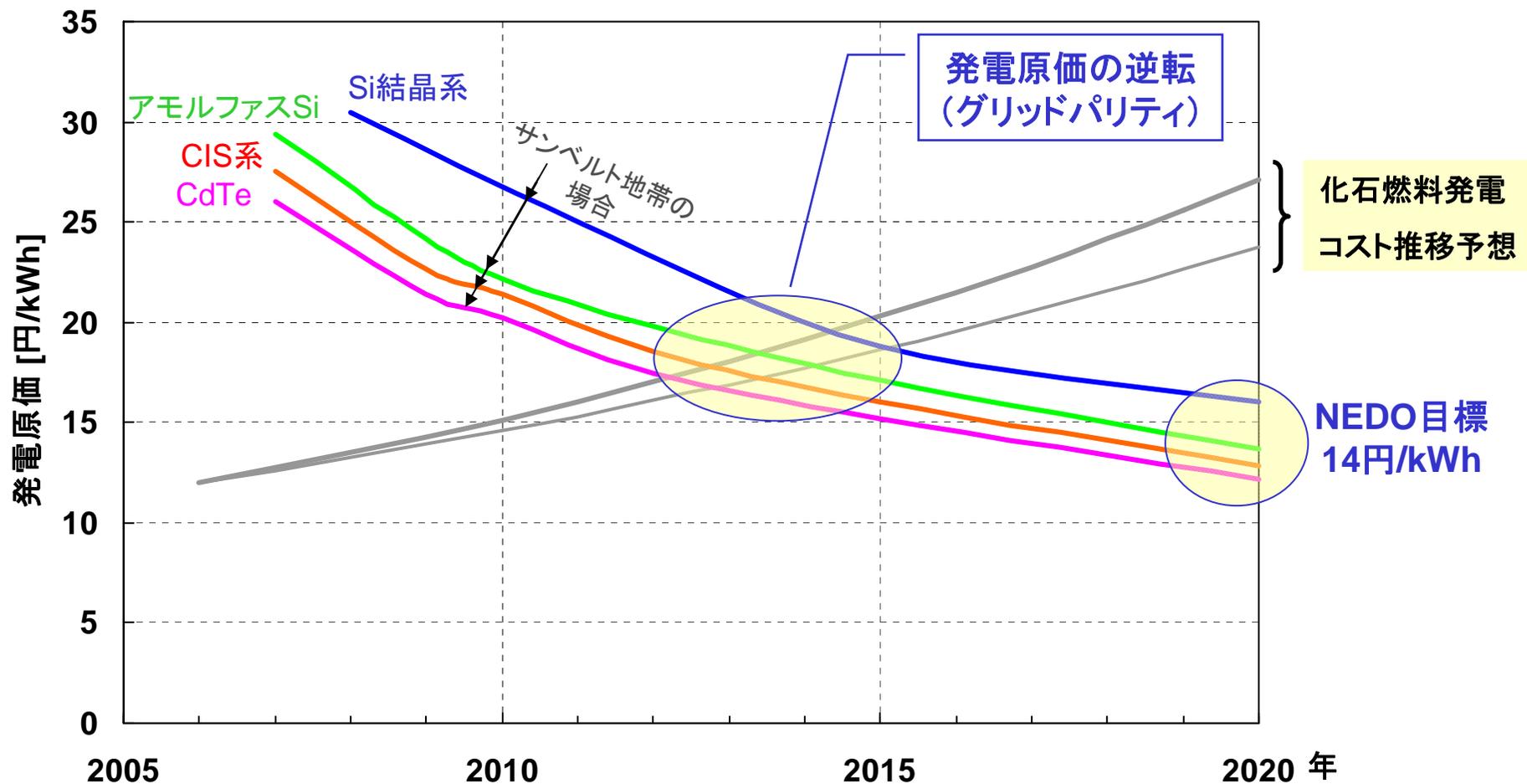
# 太陽電池の技術革新

100円/W(パネル単体)を最終目標として、各タイプの開発競争が激化している。



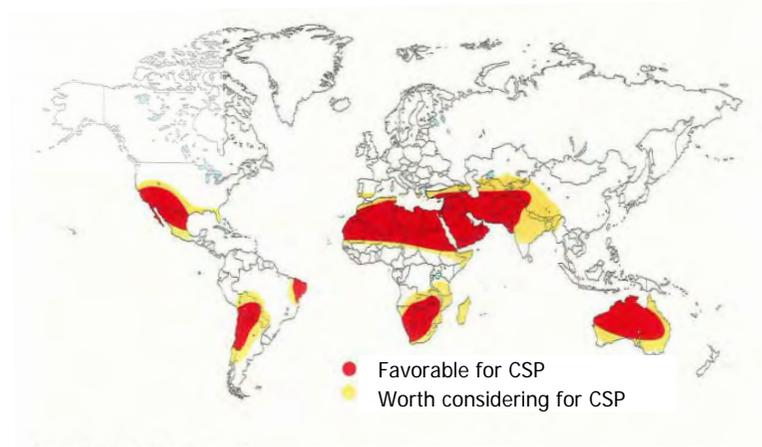
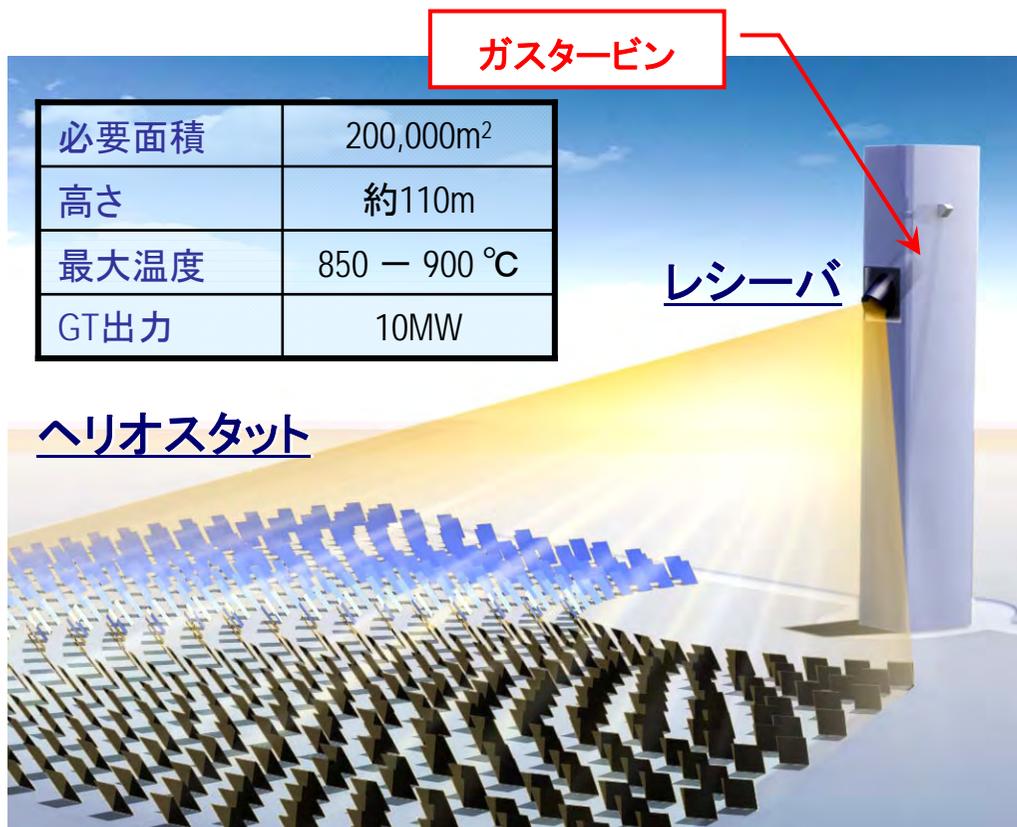
# 太陽電池の発電コスト予想

太陽光発電のコスト低減が急速に進んでおり、2015年以降、太陽光発電の原価が商用グリッド電源の原価を下回る可能有り。



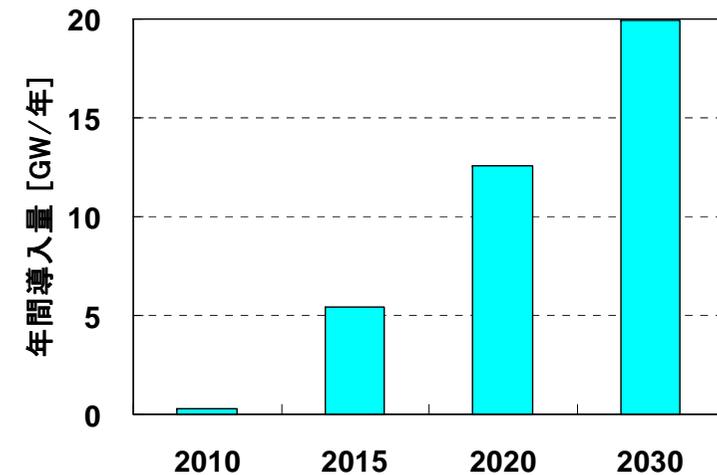
# 太陽熱GT発電の開発

- 太陽熱GT発電は太陽電池より高効率
- 発電に際し、水が不要。



太陽熱発電のターゲット市場

(出展) Pharabod and Philibert, 1991.

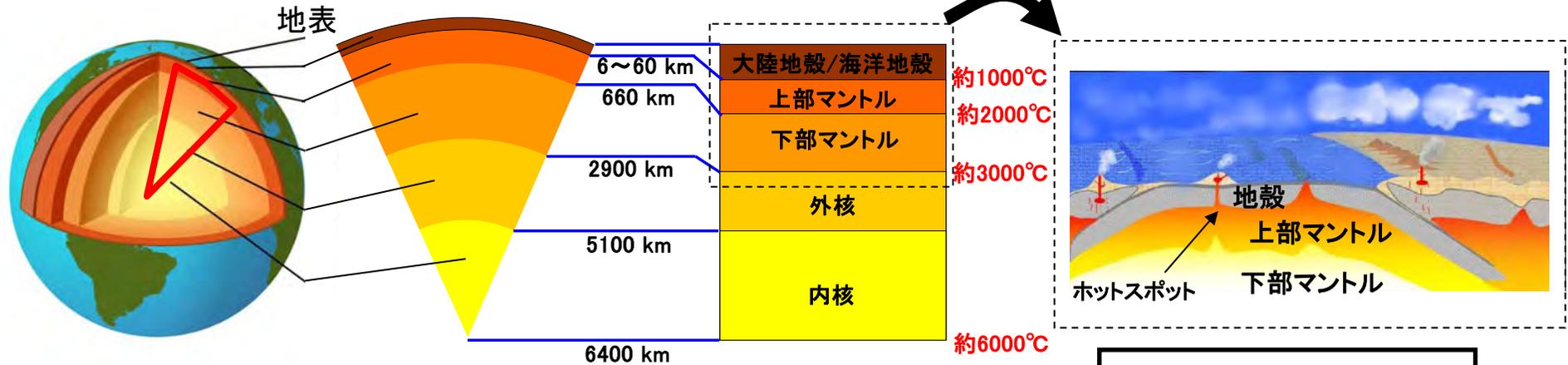


太陽熱発電の年間需要量予測

(出展) ESTIA and Greenpeace, Concentrating Solar Power Outlook 2009

# 地熱エネルギーの利用

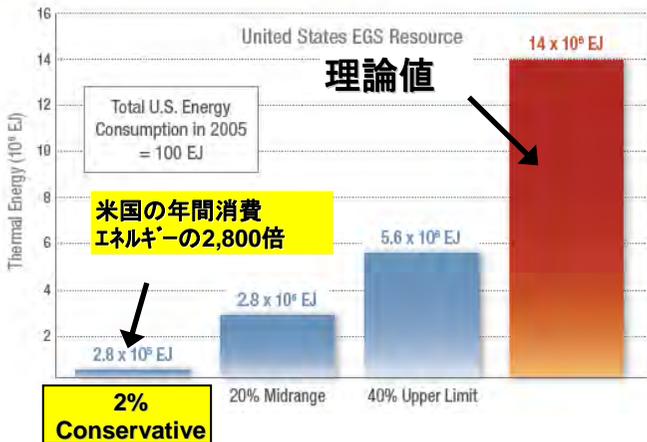
地球はそれ自身が熱を持った天体。熱エネルギー利用のポテンシャルは大きい。



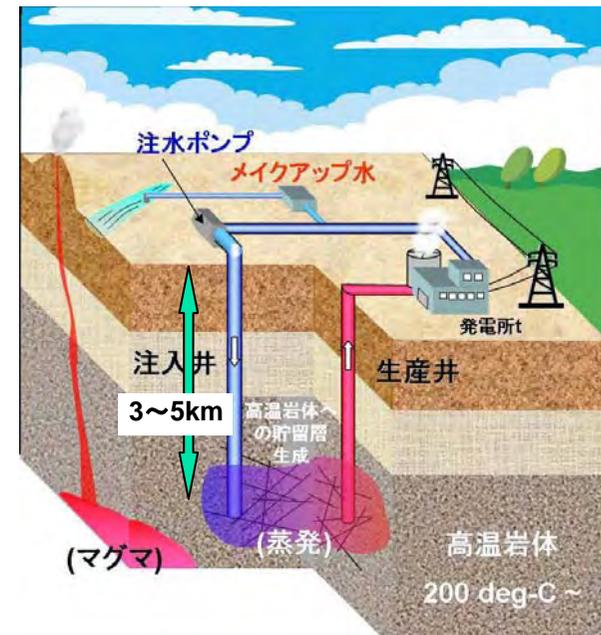
## 高温岩体発電の概念

## 米国でのエネルギーポテンシャル予想例

Figure 1. EGS Development Potential Shown



マグマそばの高温岩体で蒸気発生させる



# 森林バイオマスの促進

原子力及び再生可能エネルギーを活用し、無公害な石油代替品の国内製造、CO<sub>2</sub>ゼロエミッション、そしてエネルギー自給率向上による地域経済活性化を実現。



# バイオマスエネルギー開発

地球上、樹木で被覆されている場所は限定されているが、日本は険しい山に手付かずの樹木が存在する有数の森林国。

全地球樹木被覆図（国土地理院作成）



## 効果

- ・ 森林CO<sub>2</sub>吸収量の増加  
（日本のCO<sub>2</sub>排出低減枠の確保）
- ・ 高品位の水資源の維持
- ・ 地方経済の活性化

我が国の森林資源のうち、天然林の30%、人工林の100%の年間生長分をエネルギーに変換、利用できると仮定すると、貨物自動車燃料の約65%に相当するエネルギーが得られる。

CO<sub>2</sub>吸収と証明, 認証取得

CO<sub>2</sub>吸収量計測

保水機能向上

森林管理

CO<sub>2</sub>削減システムとして新たな事業創生

CO<sub>2</sub>吸収

木材生産林

間伐材等

木材

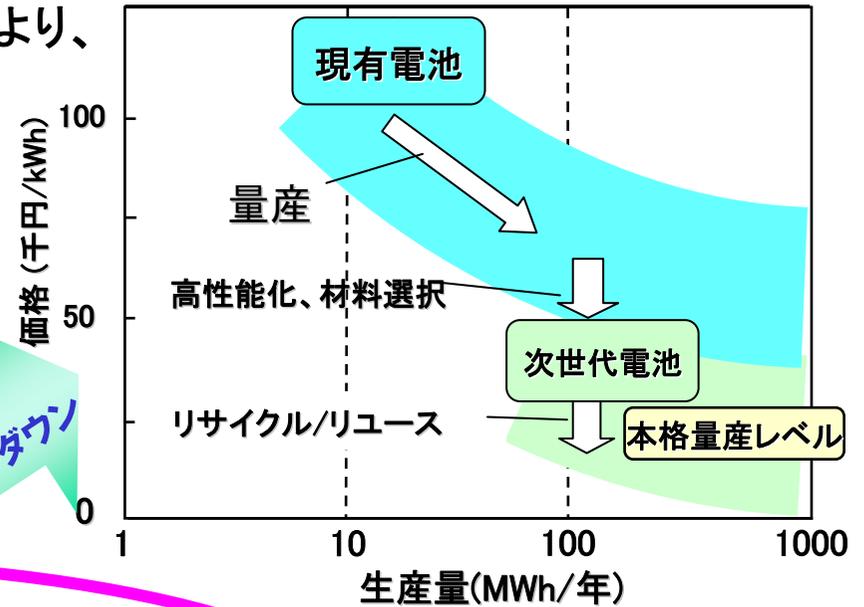
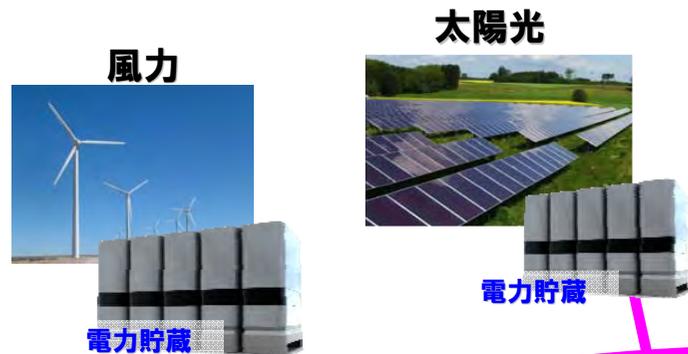
燃料, 電気, 炭化物等

バイオマスエネルギー製造

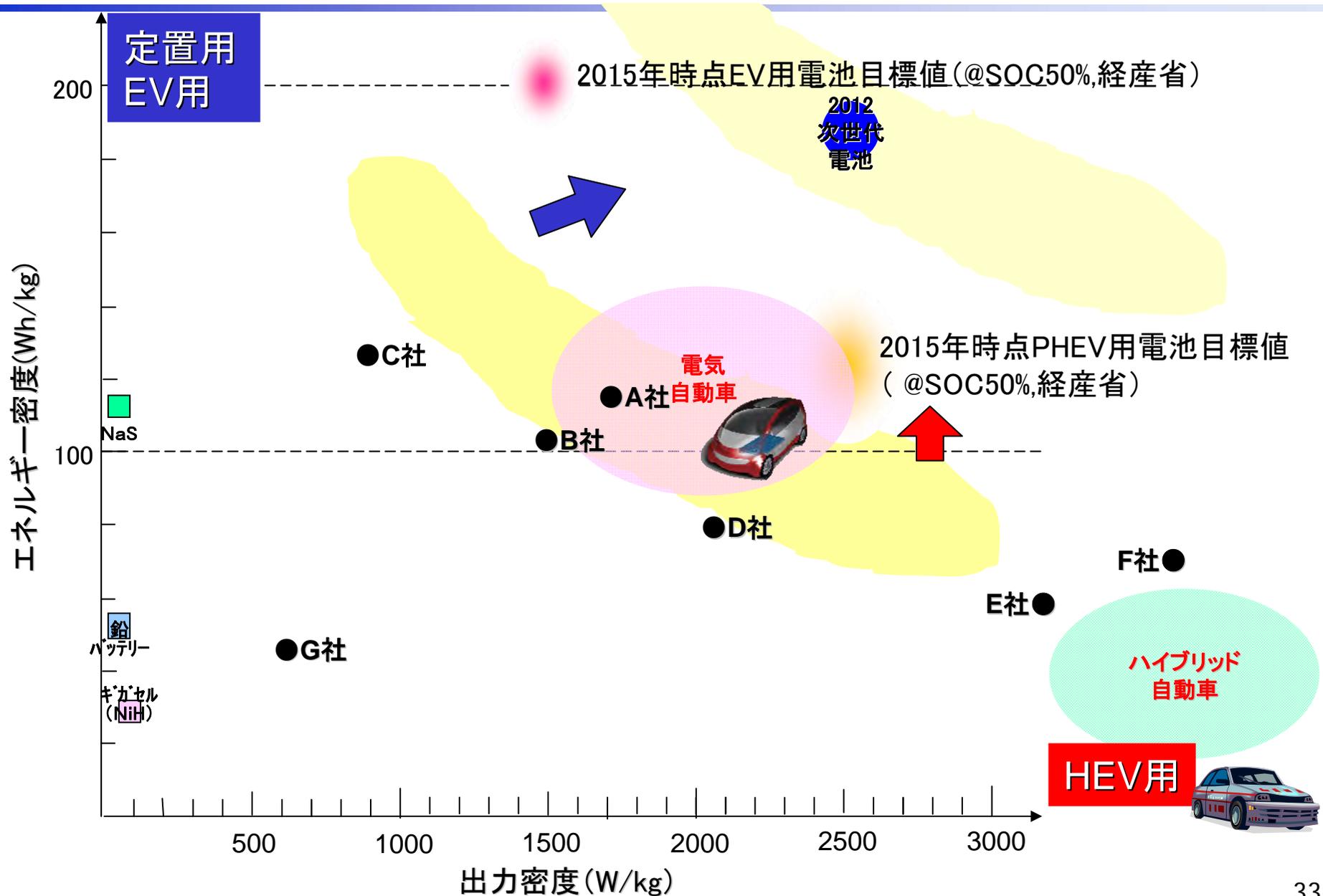
CO<sub>2</sub>排出をカウントされない持続的燃料

# リチウム電池の開発

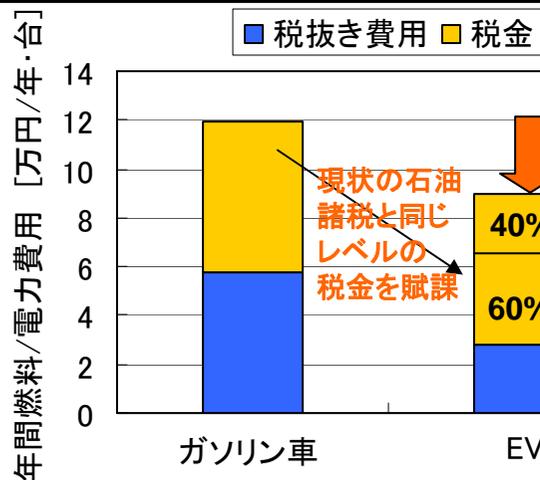
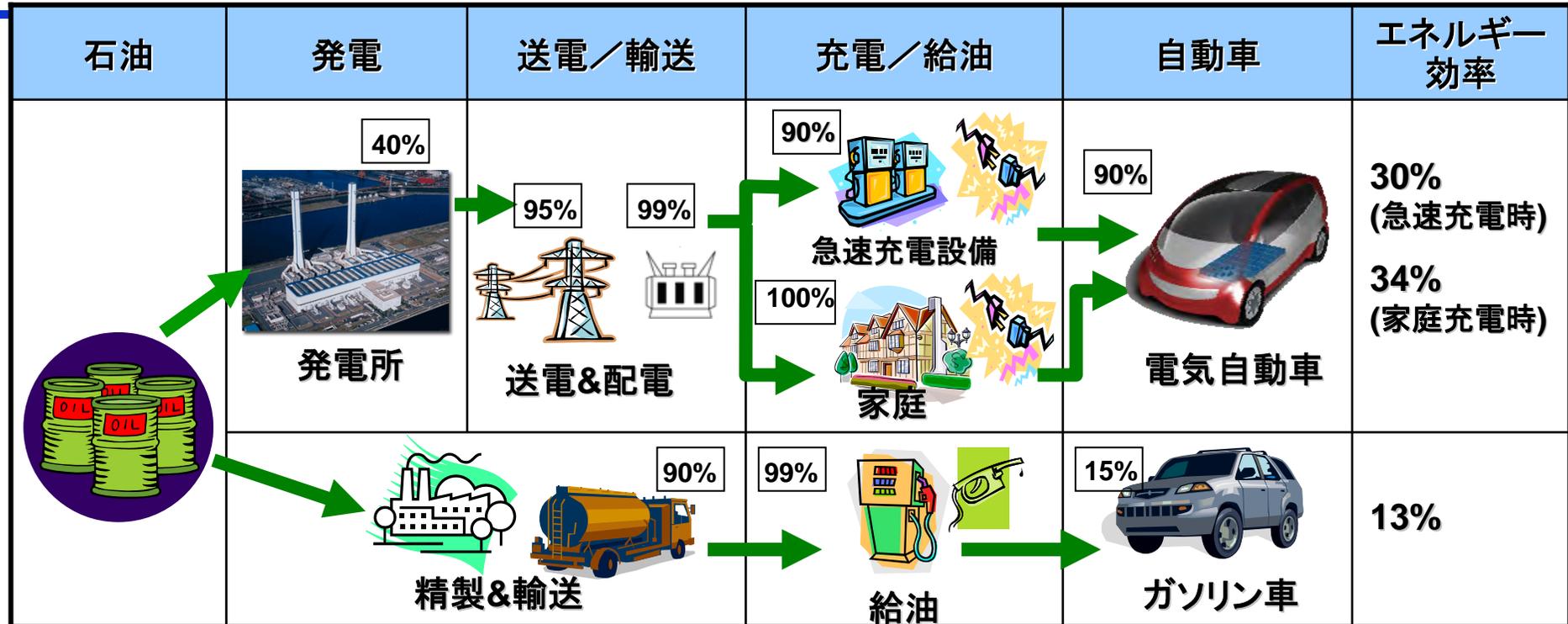
大型リチウム電池の実用化と急速なコストダウンにより、電気自動車、電車、電力貯蔵へ適用が進む



# リチウムイオン電池の性能改善



# 電気自動車の経済性

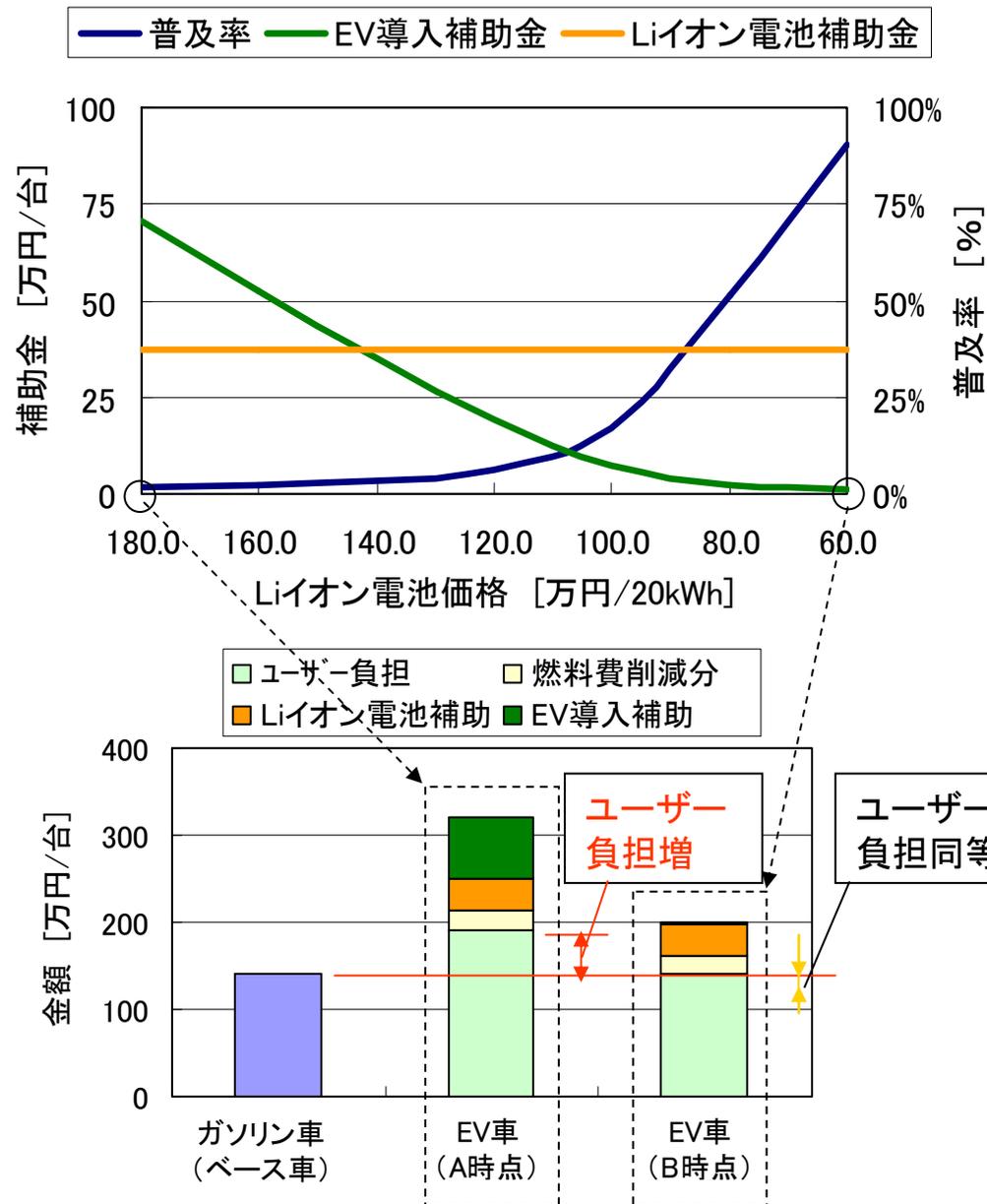


## — 試算条件 —

年間走行距離	10,000km
満充電時走行距離	100km/20kWh (エアコン考慮)
税込ガソリン料金	120円/ℓ
電気料金	14円/kWh

乗用車における年間エネルギーコスト試算例

# EV導入モデルと課題



リチウムイオン電池が100万円 (20kWh)を切ると急速に普及

【導入モデル試算仮定】

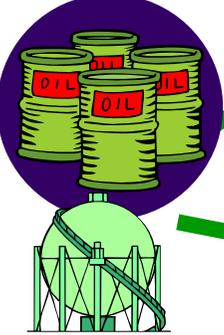
EV導入補助金総額 : 500億円/年  
 Liイオン電池補助金 : EV税(仮称)の60%  
 ベース車価格 : 140万円  
 年間乗用車登録車数 : 400万台

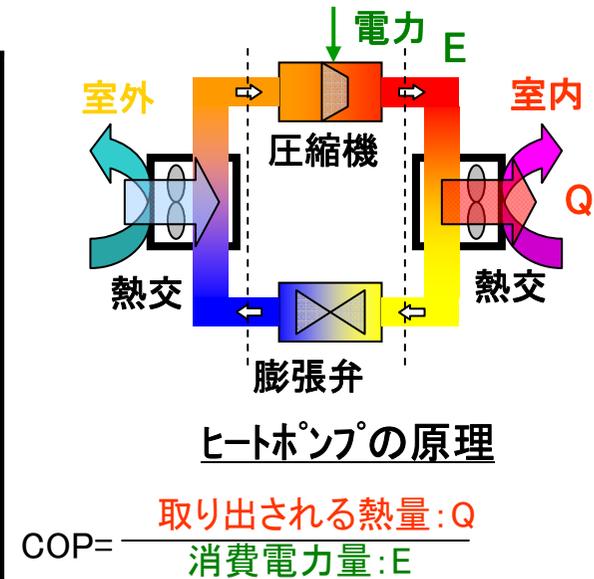
## EV普及のための課題

- 電気充電ステーションの普及 (急速充電/カセット式交換)
- Liイオン電池の初期コスト補助 (EV税の一部流用)
- 長距離走行、大型車への適用 (バイオ燃料、補助発電機搭載)

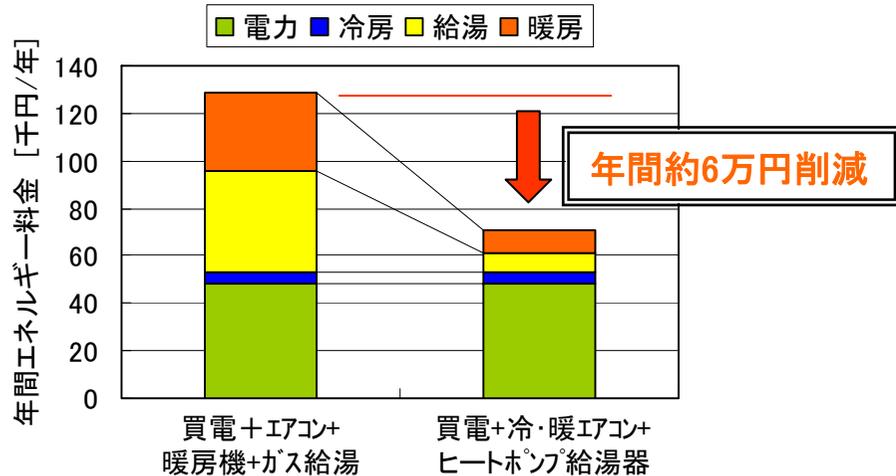
# ビル・家庭へのヒートポンプ普及

高性能ヒートポンプの適用により、エネルギーコストは大きく削減される

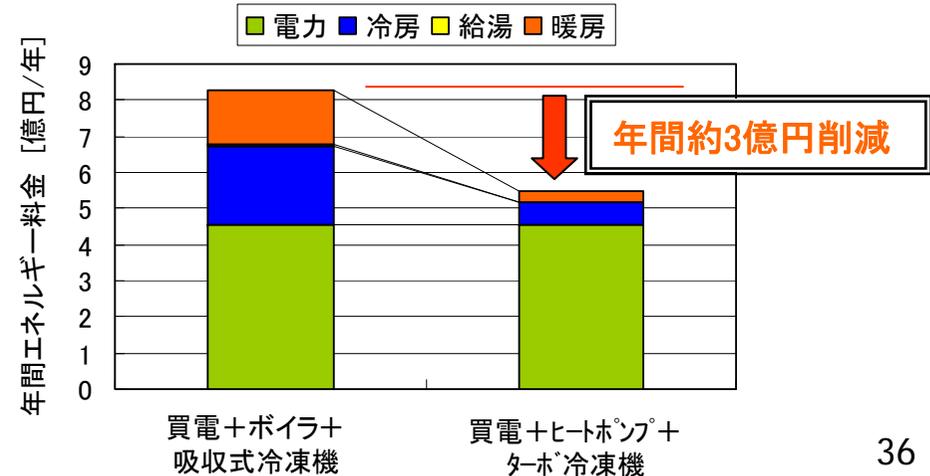
一次エネルギー	エネルギー変換	熱源機器	エネルギー効率
 石油、ガス	 発電 40%	 ヒートポンプ、 冷凍機 COP = 5	200%
		 ボイラ 80%	80%



家庭における年間エネルギーコスト試算例

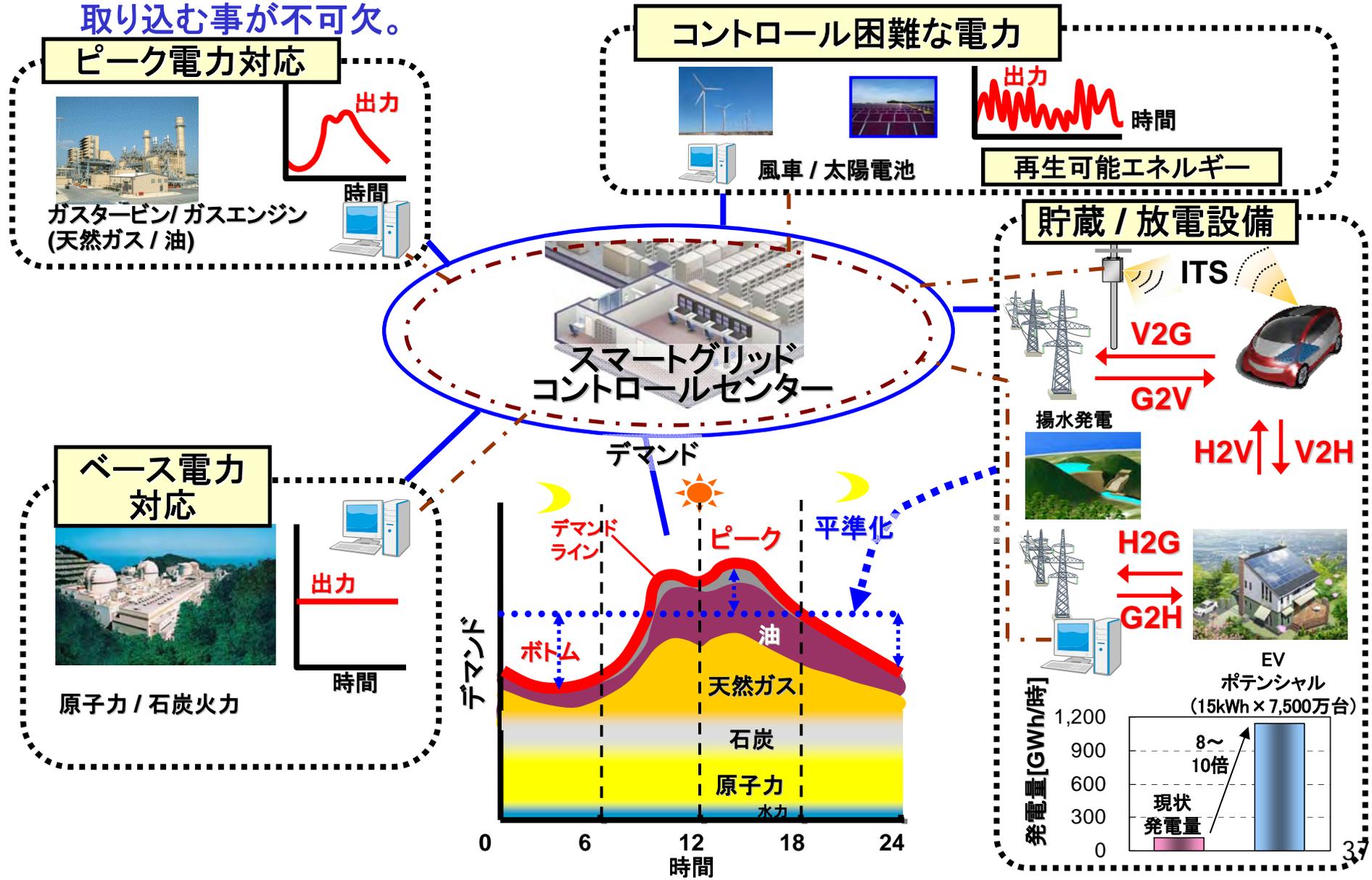


OAビルにおける年間エネルギーコスト試算例



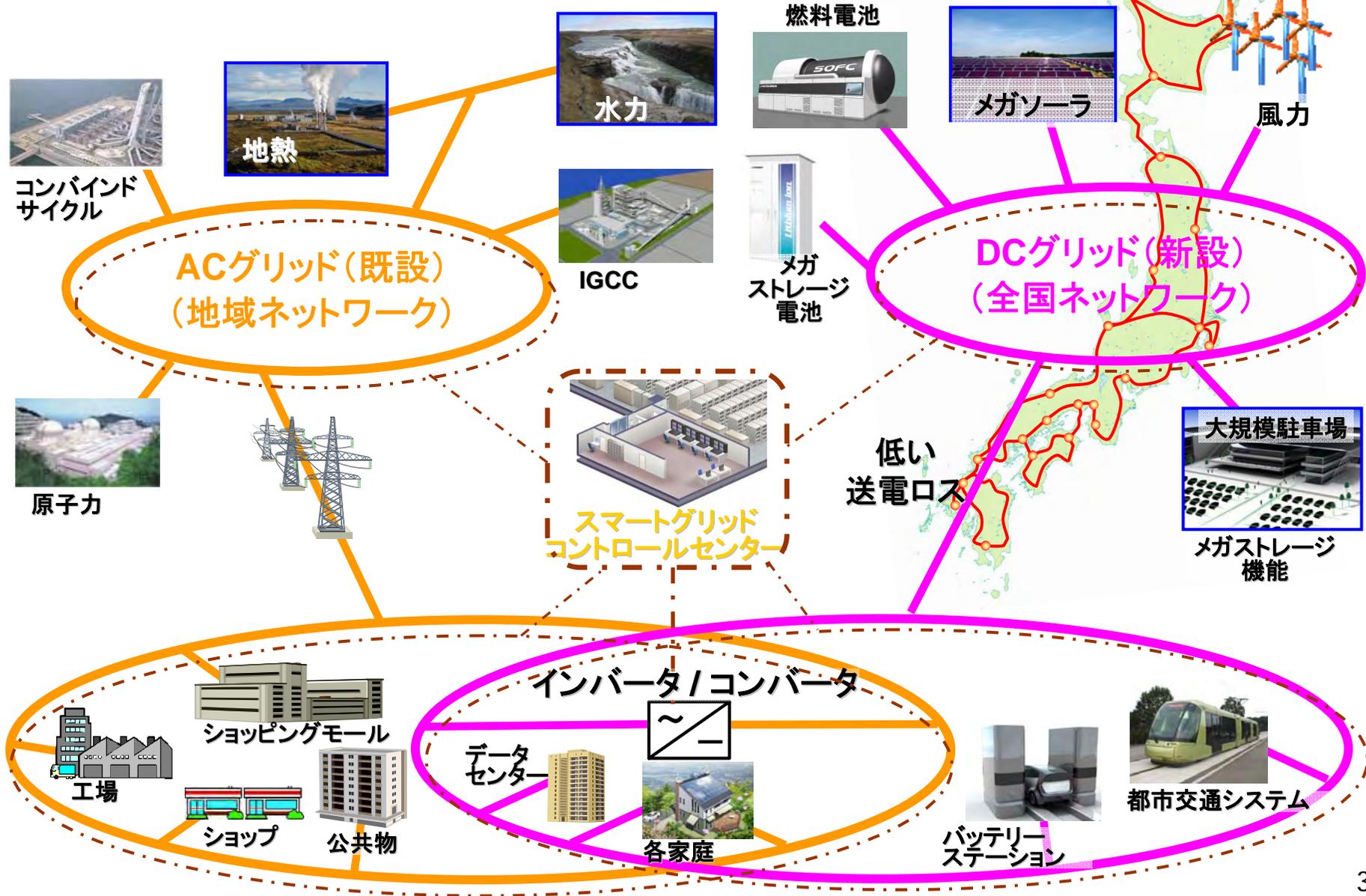
# 電力ネットワークでのスマートグリッドのコンセプト

自然エネルギーの負荷変動を吸収する為に、電気自動車を電気インフラの中に  
取り込む事が不可欠。



# 先進的電力ネットワーク構築を目指す

(AC グリッド+ DC グリッド + スマートグリッド)



# エネルギーインフラの再構築構想

## エネルギー供給構造の変革

火力発電設備の高効率化



原子力発電設備の高効率化



石炭のクリーン利用



既存発電設備との協調



系統連系円滑化蓄電装置



再生可能エネルギーの拡大

小規模水力発電設備による電気バス蓄電



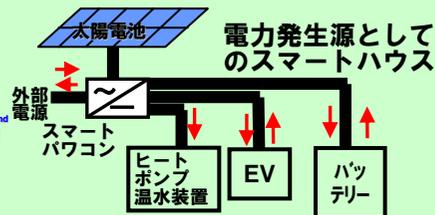
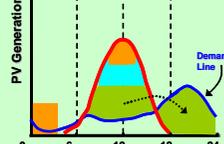
## エネルギー消費構造の変革

エコスカイハウス（横浜）居住実験・検証

ヒートポンプ給湯・空調



蓄電池によるPV電力時間差利用



## 蓄電技術

## スマートグリッド構想

電気バス



駐車場



電池交換ステーション  
(都市内非常電源)



EV普及実験



産業用車両



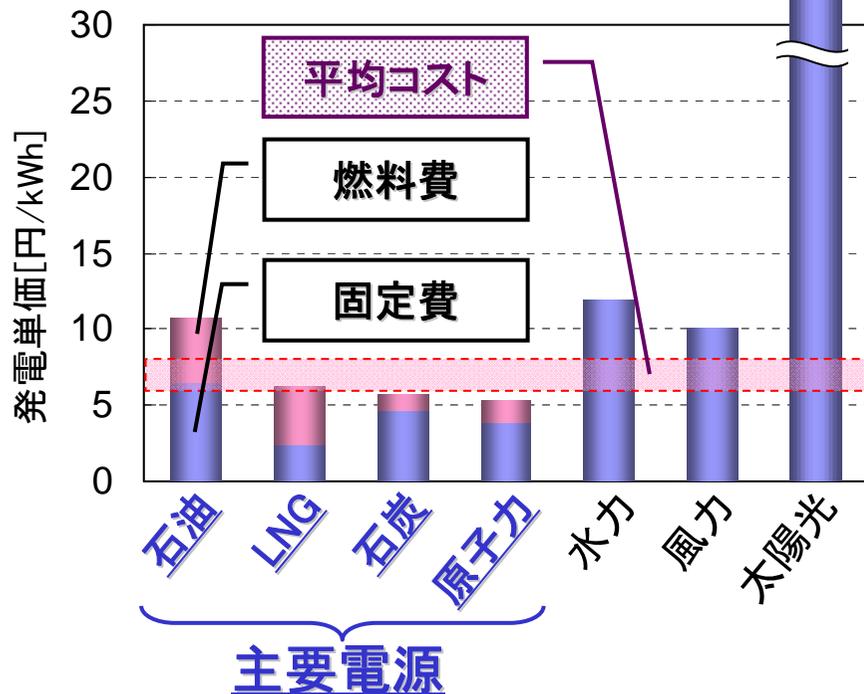
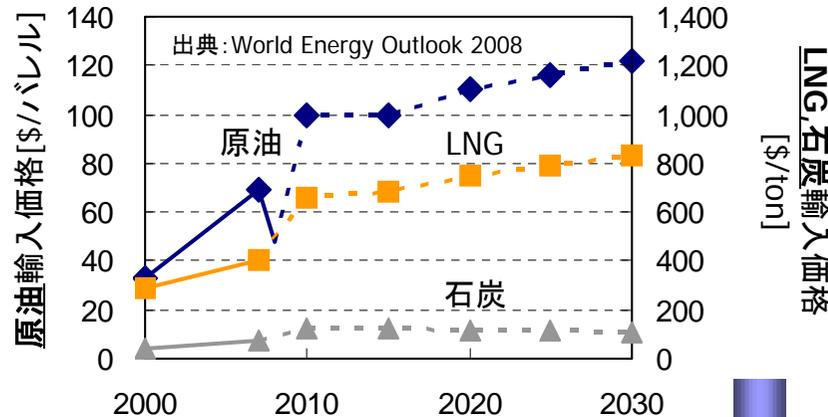
都市交通インフラの見直し



# 将来のエネルギーコスト試算

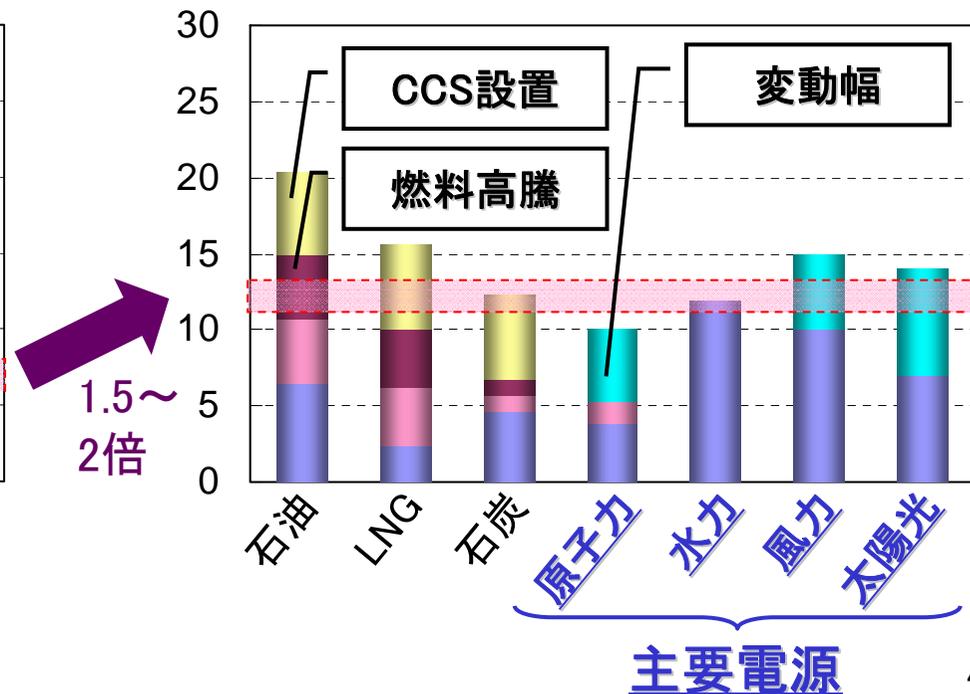
## (A)化石エネルギー

将来の価格予想は困難 (Volatile性有り)



## (B)電力コスト

化石燃料コストの高騰と、CCS設置の義務化を考慮すると、**1.5~2倍のコスト上昇**は避けられない。その場合、**燃料コストのVolatile性に依存しない再生可能エネルギー**が競争力を持ち、**主要電源の一翼を担う可能性**がある。

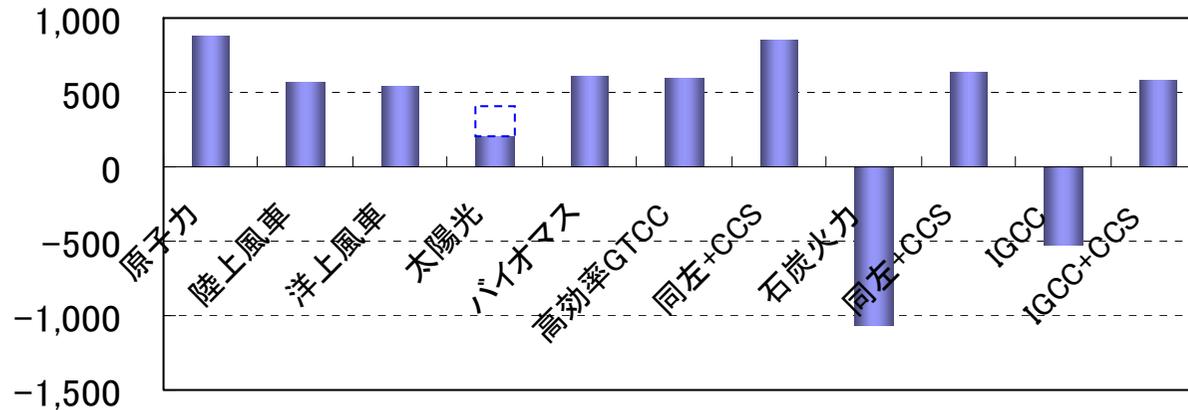


# CO<sub>2</sub>削減のシナリオ

## 投資効率を考慮した削減案の導入

原子力、風車、IGCC+CCS等が、CO<sub>2</sub>削減の投資効率が高い。

1億円投資した場合のCO<sub>2</sub>低減量

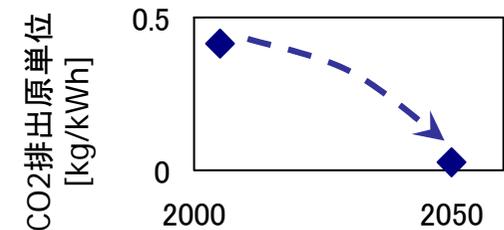


電事連公表の2007年の排出原単位(0.453kg/kWh)との比較。

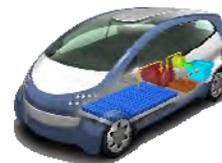
- 原子力発電の拡大
- 自然エネルギーへの転換
- 火力設備の高効率化、CCS適用



## 発電由来CO<sub>2</sub>の低減



## 補助やインセンティブ適用による省エネの促進



## 消費エネルギーの電化率向上



# インフラ普及モデル

インフラ投資額約150兆円は電力、非電力燃料価格に対して一定金額の費用を上乗せさせる事で賄う事が可能となる。一方、電化の推進、再生可能エネルギーの導入量増加による一次化石燃料の輸入コスト削減分を還元する事で、将来的に費用負担分を上回るメリットが得られ、経済原理に則った社会インフラの再構築が可能となる。

## 【2010年】

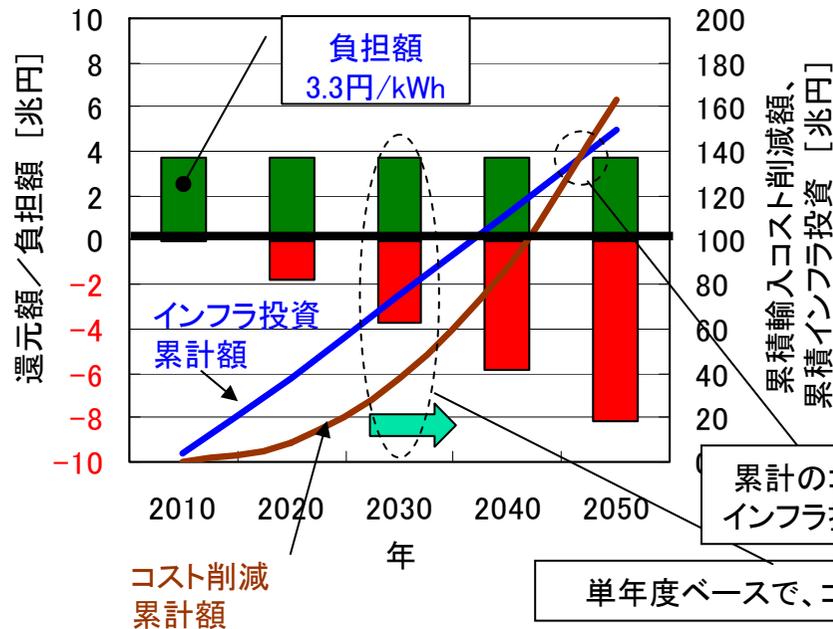
- ・電力消費量: 400万TJ
- ・非電力消費量: 1200万TJ
- ・一次化石燃料消費量: 1800万TJ

## 【2050年】

- ・電化消費量: 500万TJ
- ・非電力消費量: 1070万TJ
- ・一次化石燃料消費量: 1800万TJ
- ・化石燃料価格上昇率: 1.25倍 (2010年比)

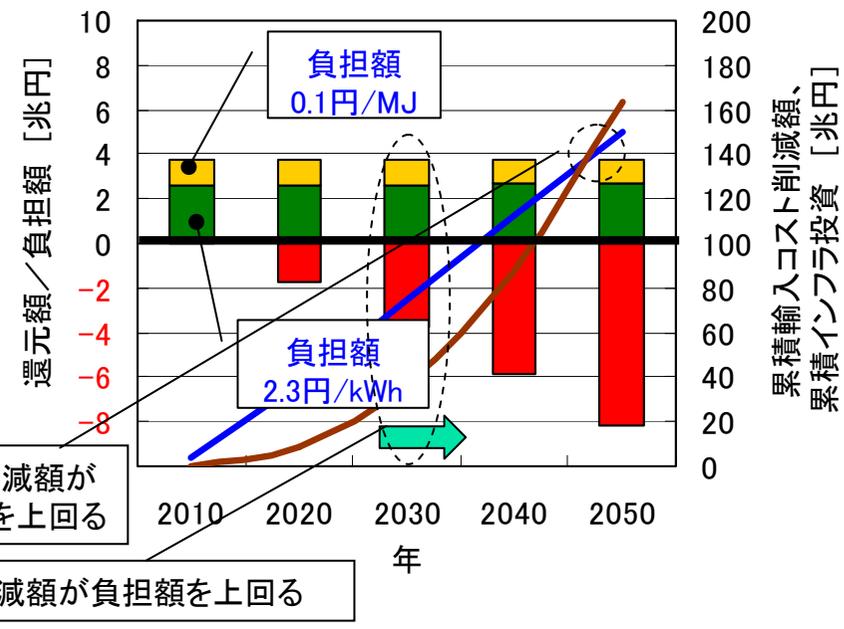
### ①電力負担のみで賄うケース

■ 電力負担額 ■ 非電力負担額 ■ 化石燃料輸入コスト削減額



### ②電力と非電力の負担で賄うケース

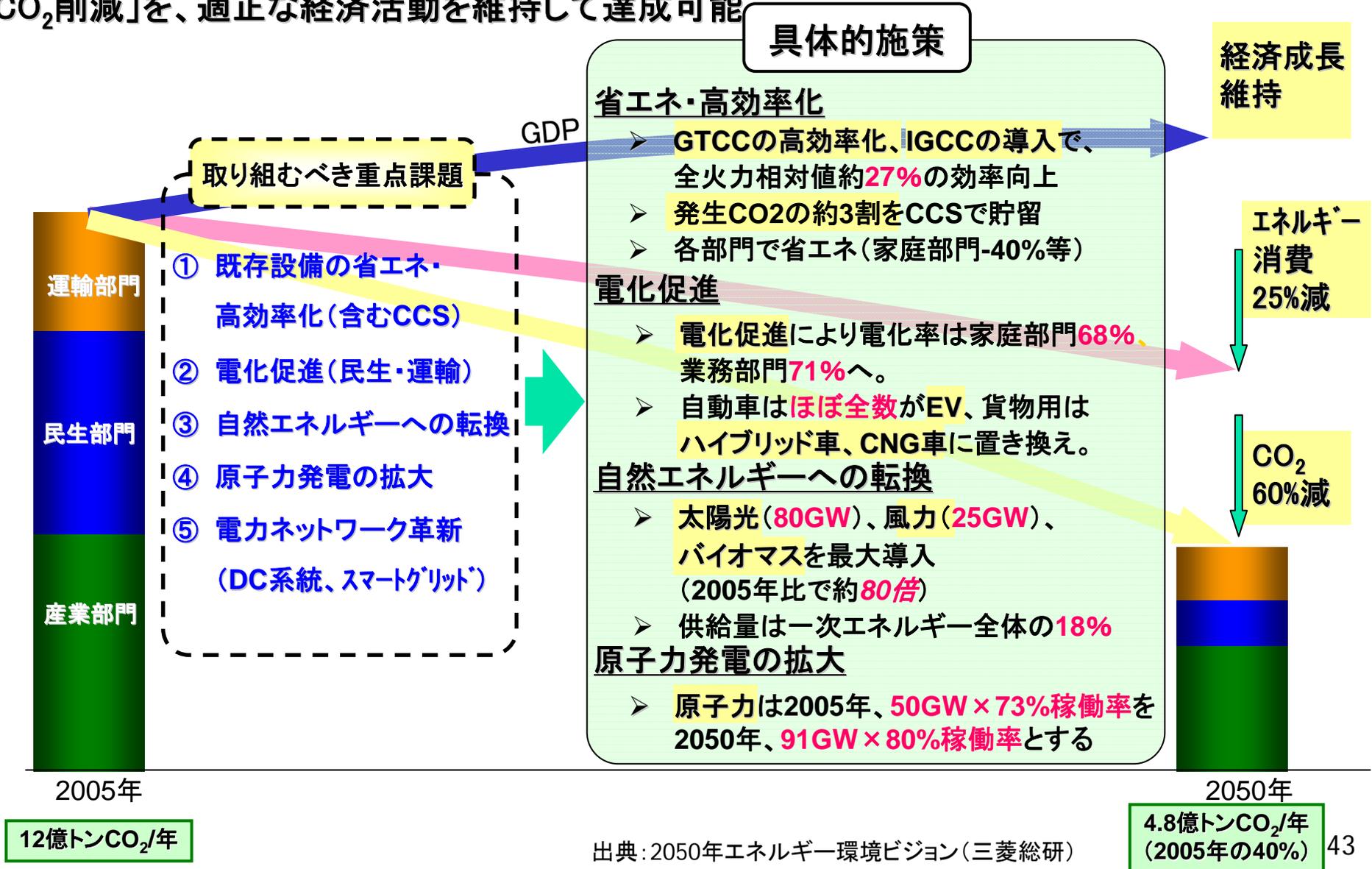
■ 電力負担額 ■ 非電力負担額 ■ 化石燃料輸入コスト削減額



## インフラ投資モデルの試算例

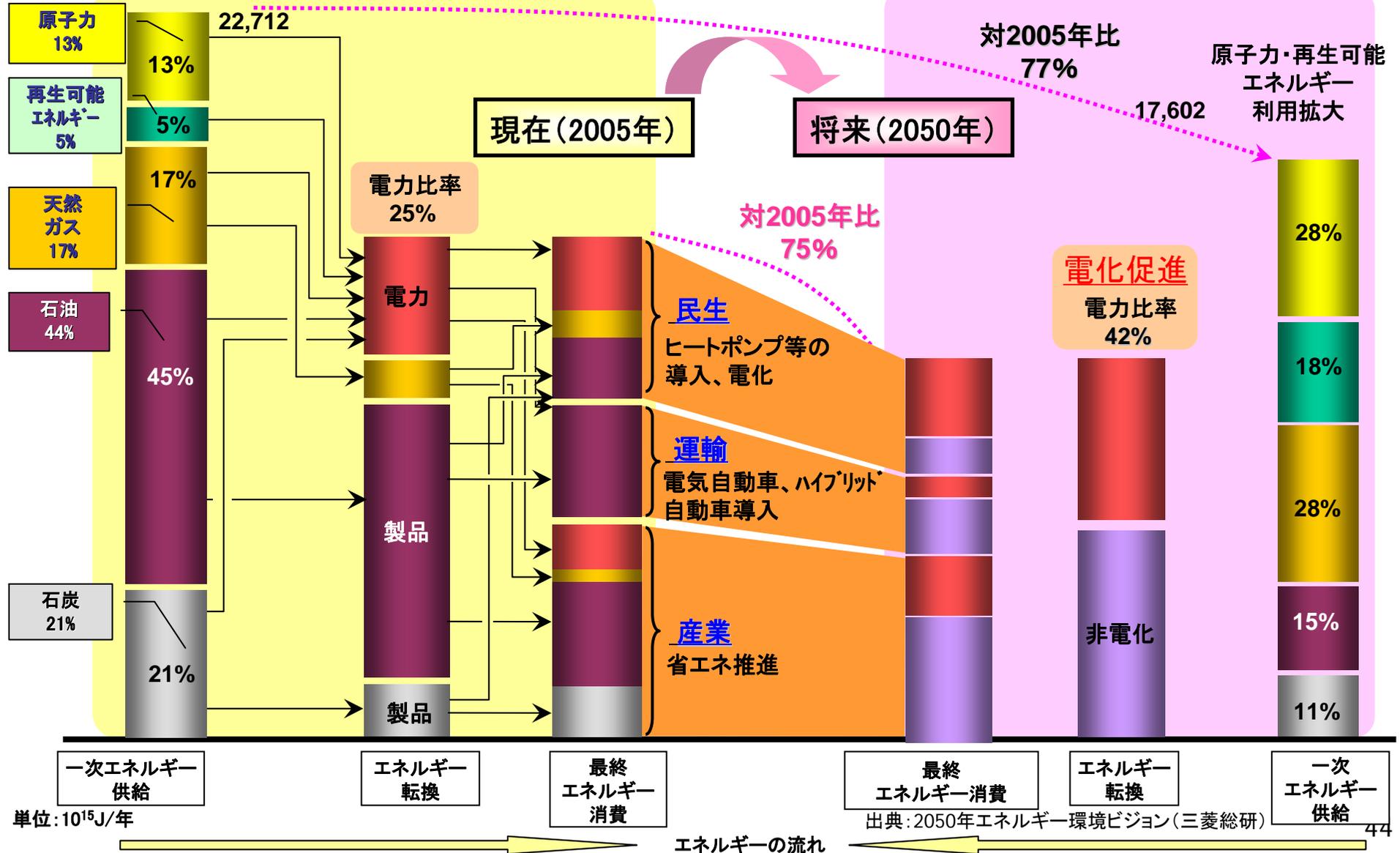
# 日本のエネルギーバランス変革の提言

先見性のある国家戦略により、2050年までに「脱化石燃料」「総エネルギー削減」「CO<sub>2</sub>削減」を、適正な経済活動を維持して達成可能



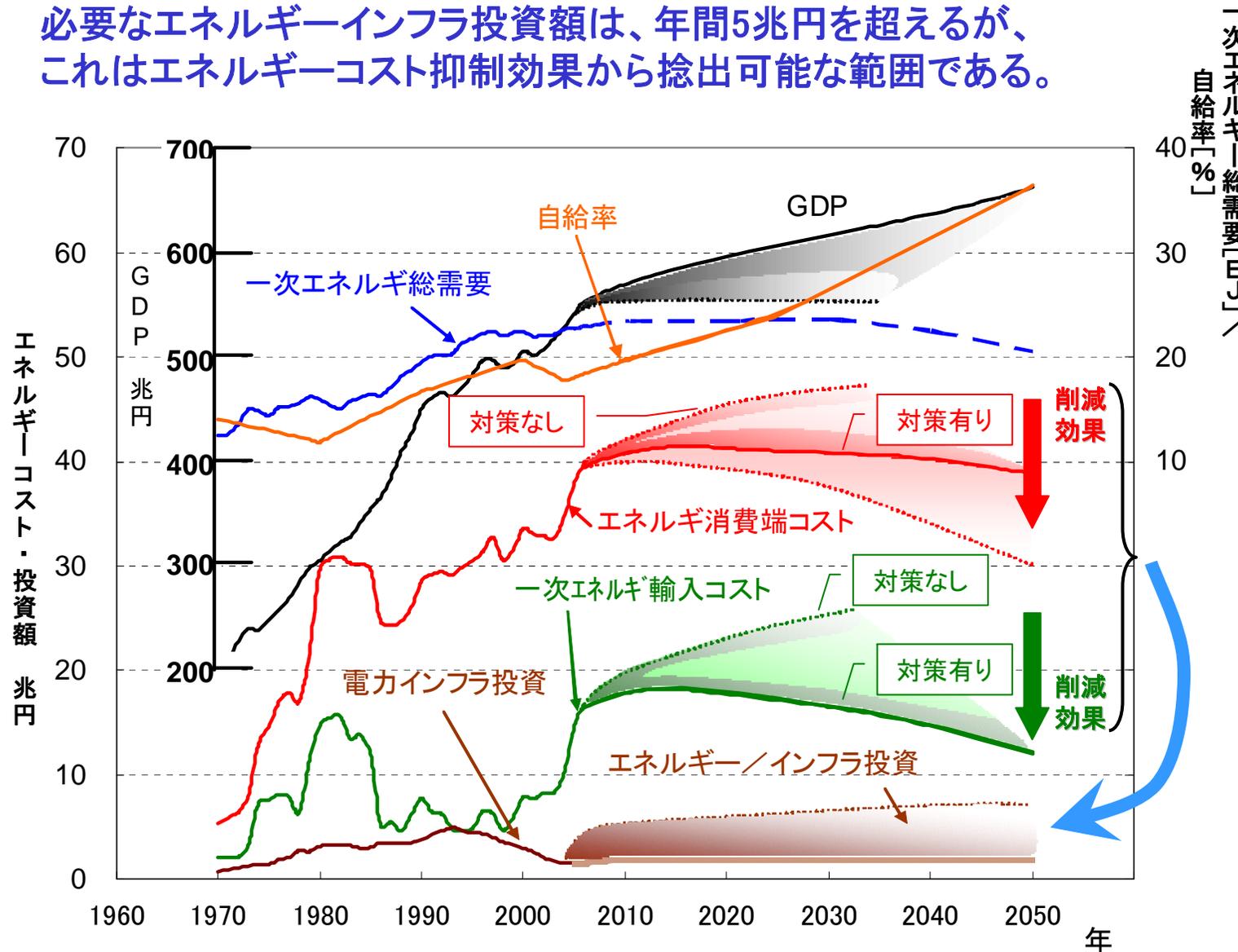
# 日本のエネルギーバランス変革シナリオ

2次(消費)エネルギーのコストは、①各分野での省エネ努力(20~30%低減)と、②電化促進による効率改善により、燃料/電力コストの上昇を仮定しても、現状並に抑える事が出来る。



# エネルギーコスト／電力インフラ投資の予測

脱化石燃料社会の構築により、将来のエネルギーコスト上昇はかなり抑える事が可能。  
必要なエネルギーインフラ投資額は、年間5兆円を超えるが、  
これはエネルギーコスト抑制効果から捻出可能な範囲である。



**主なインフラ投資予測**  
年間5兆円+α

- ▶ 電力系統更新 (DC、スマートグリッド)
- ▶ 太陽光発電
- ▶ 原子力増設
- ▶ 火力高効率化 + CCS
- ▶ 風力
- ▶ 電気自動車
- ▶ ヒートポンプ
- ▶ 省エネ対策

## 結論と提言

- ▶ 低炭素社会の実現は「夢物語の世界」ではなく、正しい社会システム（政策・国民のコンセンサス）の導入により、技術的にも、資金的にも実現可能な世界である。
- ▶ ITと電気インフラを結合したエネルギーインフラの構築が低炭素社会の目指すべき姿であり、この社会は快適で経済的な生活を保障する。
- ▶ 炭素社会からの脱出／低炭素社会への飛躍は、将来の化石燃料の枯渇、高騰、争奪戦を考えると、正しい選択であり、早く始動した国が勝者となる。
- ▶ 低炭素社会への転換は、経済・生活に痛みを伴うものではなく、むしろ経済活性化、雇用創出、新産業創出等のプラスの面が大きく、積極的に推進すべき。
- ▶ 日本は幸いにも低炭素社会への転換で世界をリードできる産業基盤と技術を持っており、これを武器に世界経済の中での地盤沈下に歯止めをかけるべき。



この星に、たしかな未来を

