

エネルギーの安定供給と 地球温暖化対策に向けて

H22年11月5日

三菱重工業株式会社

佃 和夫

目次

1. 地球環境の科学的解明に向けて

2. エネルギーと地球温暖化問題についての俯瞰

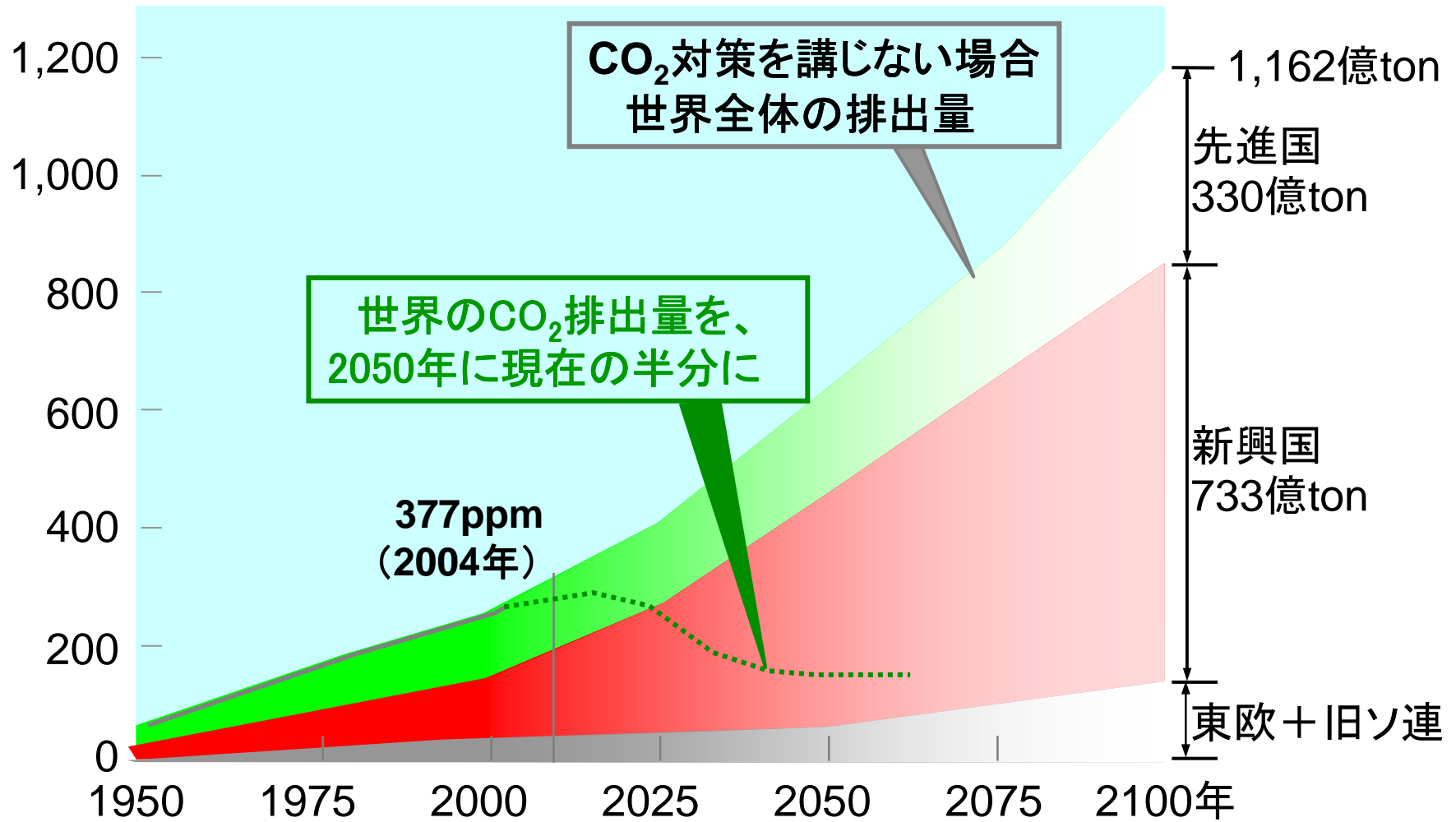
3. エネルギー安定供給と温暖化対策に向けた技術的取り組み

4. 統合最適化シミュレーション

5. 我が国技術の海外展開

世界のCO₂排出量の実績と見通し

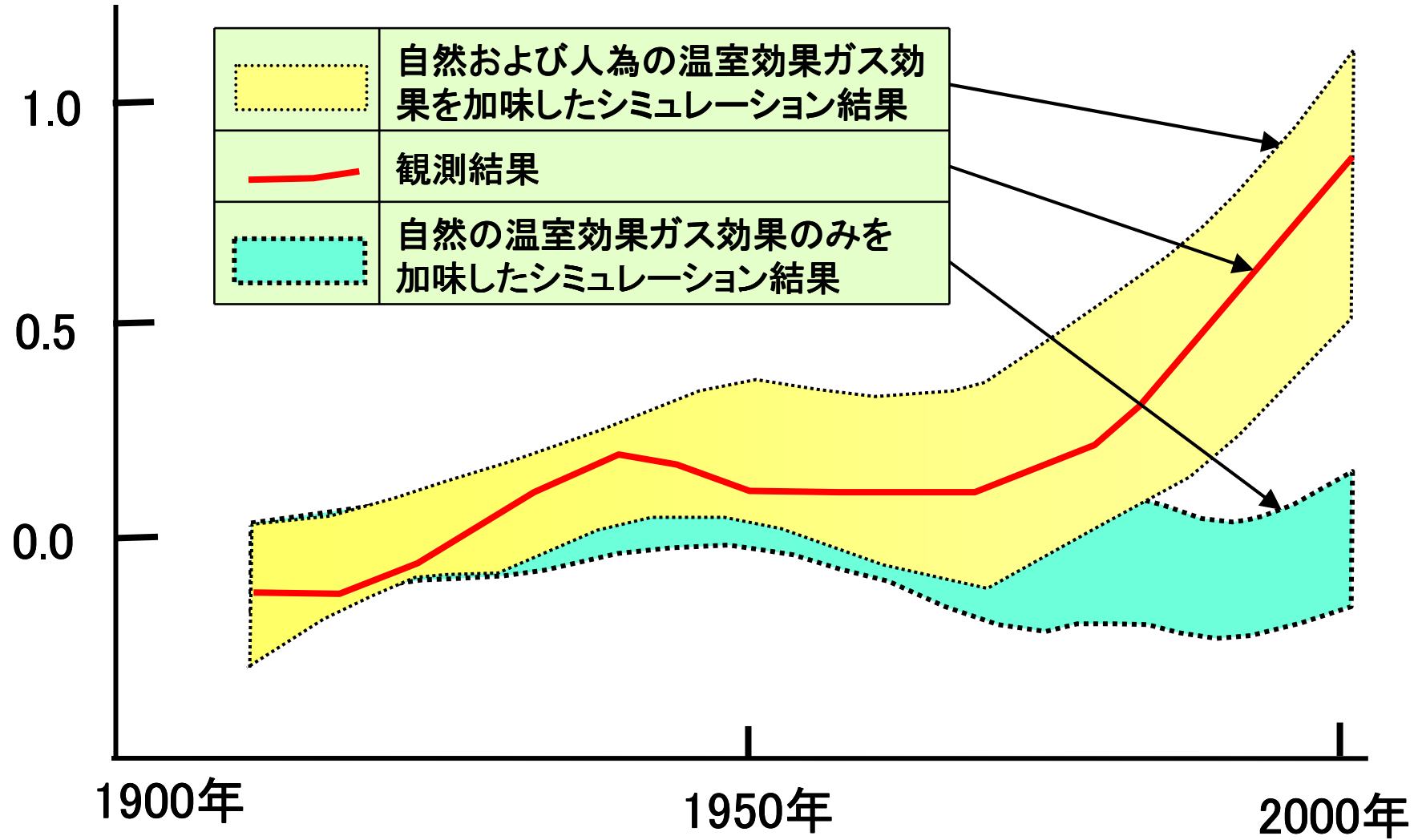
CO₂排出量(億トン)



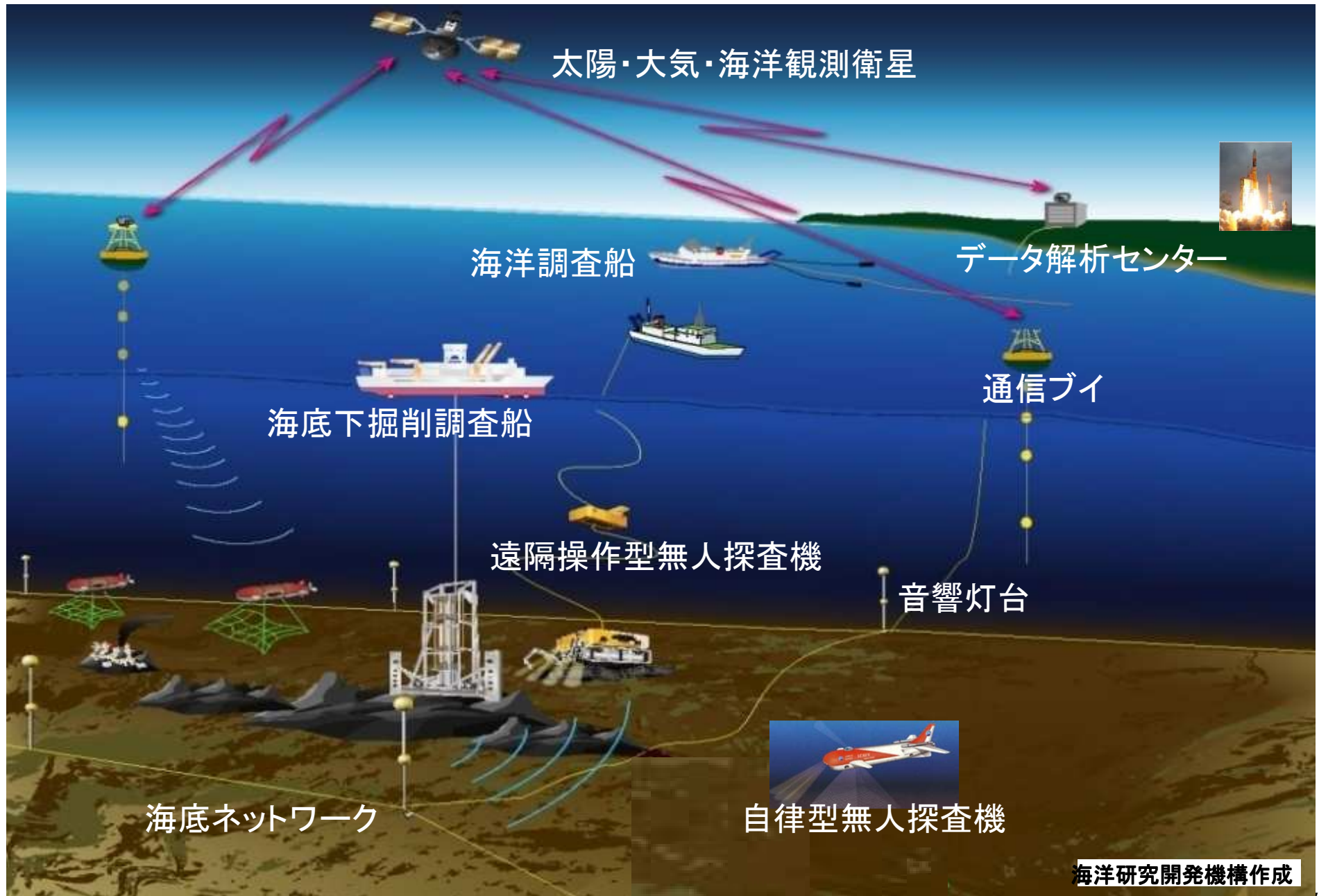
出典)IPCC (気候変動に関する政府間パネル)資料

世界の過去の気温変化



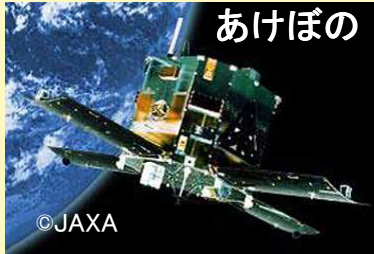
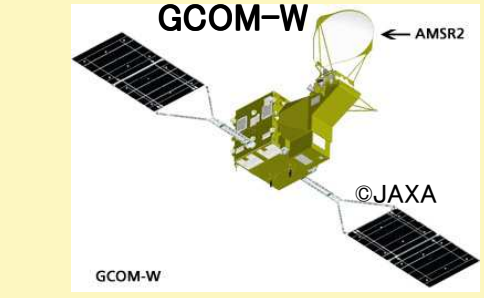
1900～1950年間の
平均気温との差(°C)



地球環境観測システム例



我が国の地球観測衛星

地球観測衛星	主な観測の目的	衛星写真例
《運用中》		
GEOTAIL	地球磁気圏への太陽エネルギーと物質流れ観測	 <p>だいち ©JAXA</p>
あけぼの	オーロラ粒子の加速と関係する磁気圏の観測	
TRMM	降水に関する様々な現象の高度観測	 <p>TRMM ©JAXA</p>
Aqua	複数衛星のデータを全球数値予報モデルに利用	
だいち (ALOS)	地図作成・地域観測、災害状況把握、資源調査	 <p>あけぼの ©JAXA</p>
ひまわり6、7	気象観測	
いぶき (GOSAT)	二酸化炭素やメタンなどの濃度分布を観測	 <p>GCOW-W ← AMSR2 ©JAXA GCOW-W</p>
《開発中》		
GPM	GPM主衛星と副衛星群で全球降水観測	
GCOM-W	降水量、水蒸気量、海洋上風速・水温等を観測	
GCOM-C	雲、エアロゾル、海色、植生、雪氷などを観測	
EarthCARE	雲などの全地球的観測	
ALOS-2	地図作成・地域観測、災害状況把握、資源探査	

地球環境観測に貢献する日本のロケット技術

打上げ直前のH-IIA



H-IIAによる地球観測衛星打上げ実績

号機	打上げ日時	衛星名	衛星質量
4	2002年12月14日	みどりII (ADEOS-II)	3,680 kg
7	2005年2月26日	ひまわり6号 (MTSAT-1)	3,300 kg
8	2006年1月24日	だいち (ALOS)	4,000 kg
9	2006年2月18日	ひまわり7号 (MTSAT-2)	4,650 kg
15	2009年1月23日	いぶき (GOSAT)	1,750 kg

運輸多目的衛星「ひまわり7号」



温室効果ガス観測技術衛星
「いぶき」



目次

1. 地球環境の科学的解明に向けて

2. エネルギーと地球温暖化問題についての俯瞰

3. エネルギー安定供給と温暖化対策に向けた技術的取り組み

4. 統合最適化シミュレーション

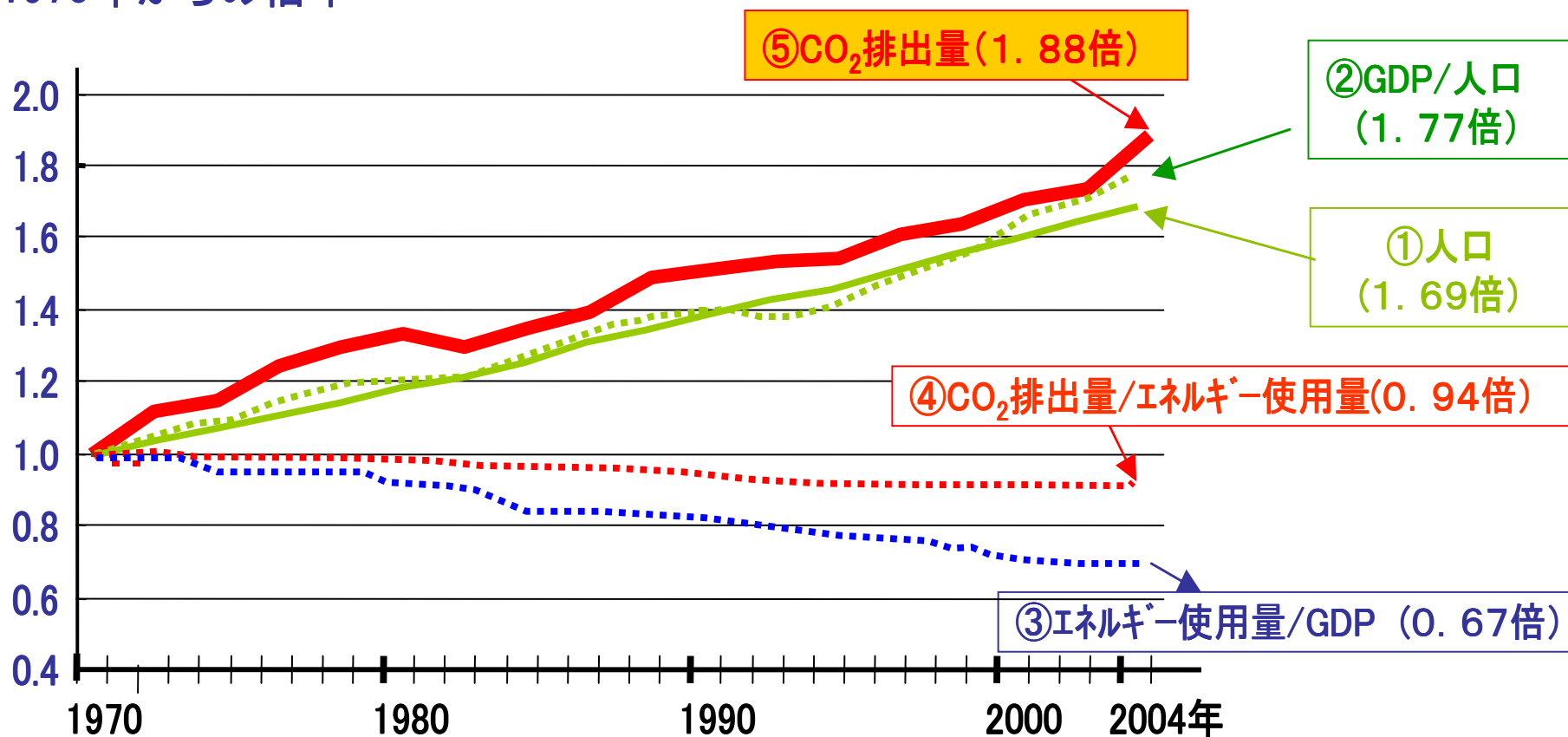
5. 我が国技術の海外展開

世界の人口・所得増加と共に、CO₂排出量が増加

①世界の人口	②一人あたりGDP	③エネルギー使用量/GDP	④CO ₂ 排出量/エネルギー使用量	⑤CO ₂ 排出量
1.69 ×	1.77 ×	0.67 ×	0.94 =	1.88

1970年の値を1とした場合の指数

1970年からの倍率



3E同時実現が国際社会の重要課題

供給可能なエネルギー資源量

	石炭	ウラン	天然ガス	石油	(再生可能エネ)
可採年数	164年	85年(＊)	67年	41年	∞

＊ : もんじゅ型高速増殖炉で、副生プルトニウムの利用により、ウラン利用効率を約30倍に高められる。

データ出所: BP統計2004, URANIUM2003

エネルギー安定供給

*E*nergy Security

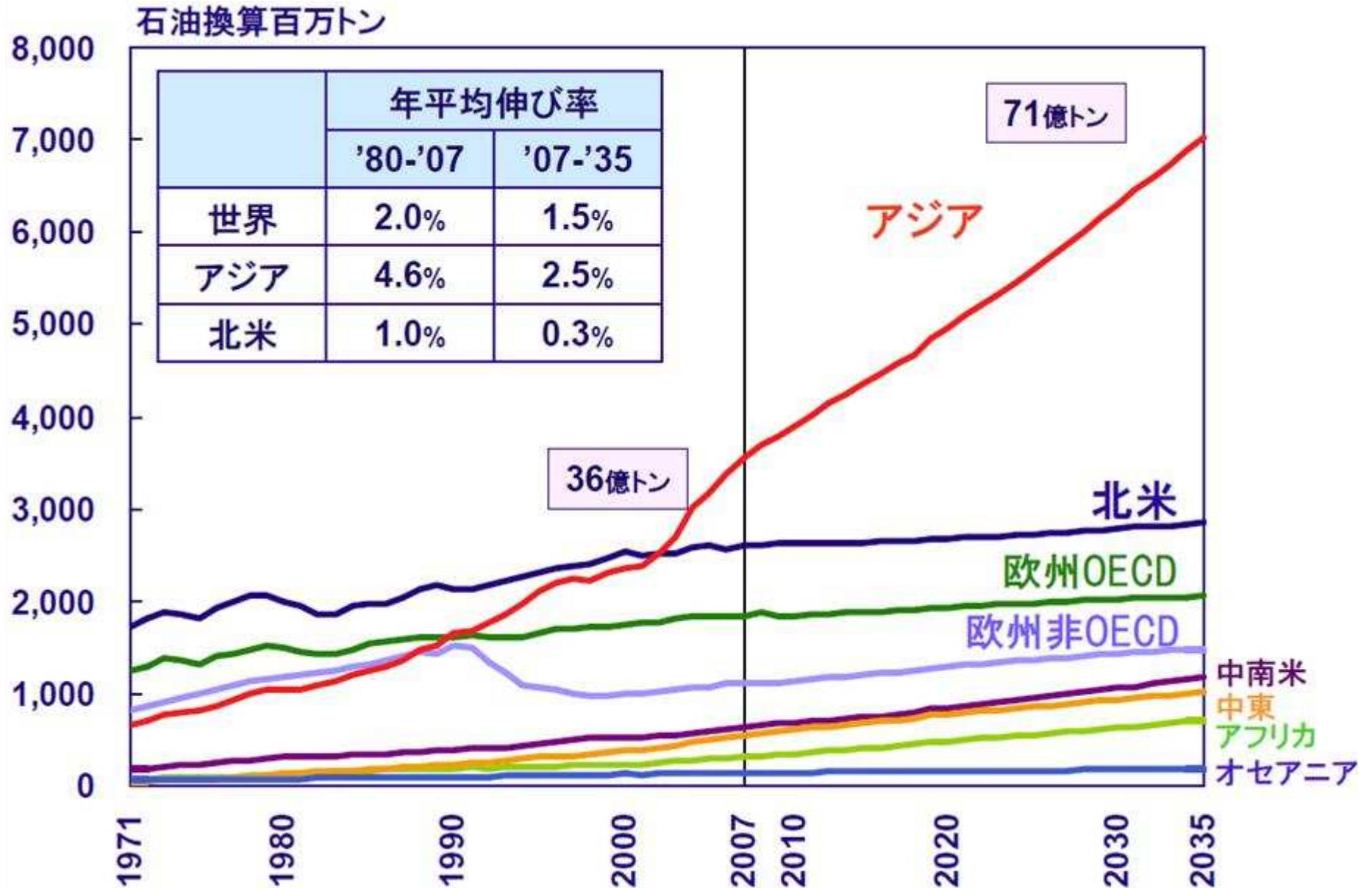
環境保全

*E*nvironment Protection

持続的経済発展

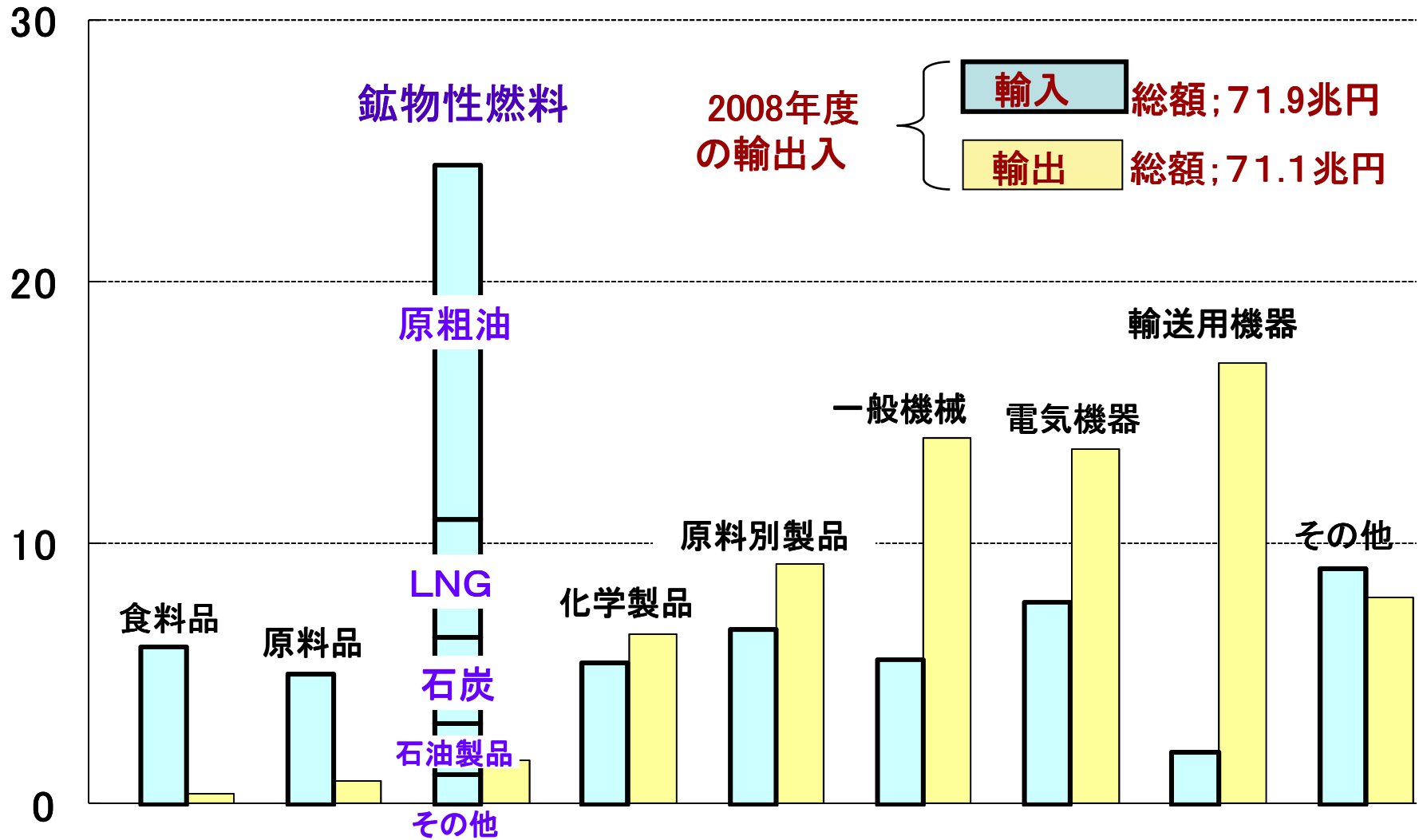
*E*conomic Sustainable Growth

世界のエネルギー消費(地域別)



我が国の品目別輸出入額(2008年度)

輸出入額(兆円)



目次

1. 地球環境の科学的解明に向けて

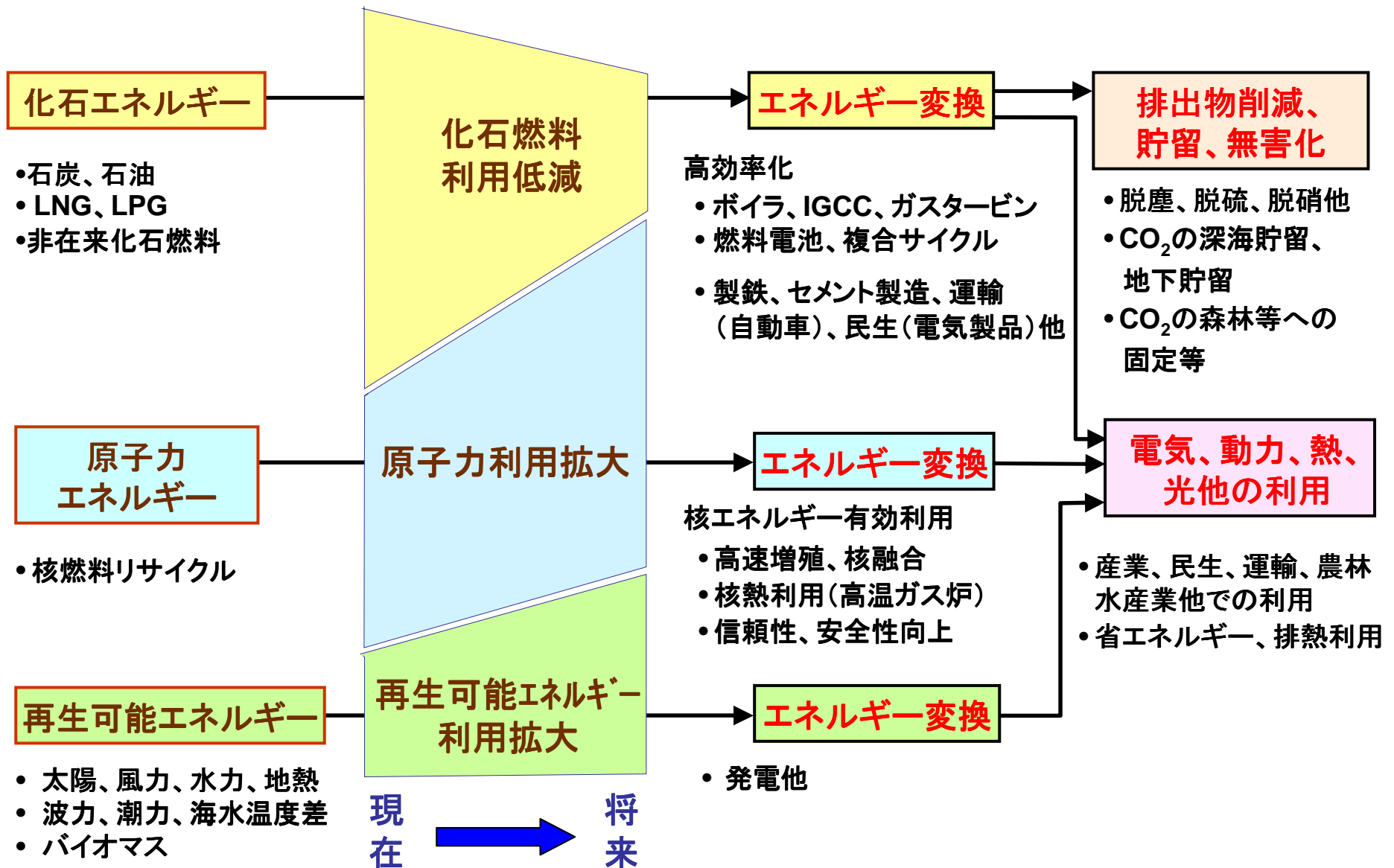
2. エネルギーと地球温暖化問題についての俯瞰

3. エネルギー安定供給と温暖化対策に向けた技術的取り組み

4. 統合最適化シミュレーション

5. 我が国技術の海外展開

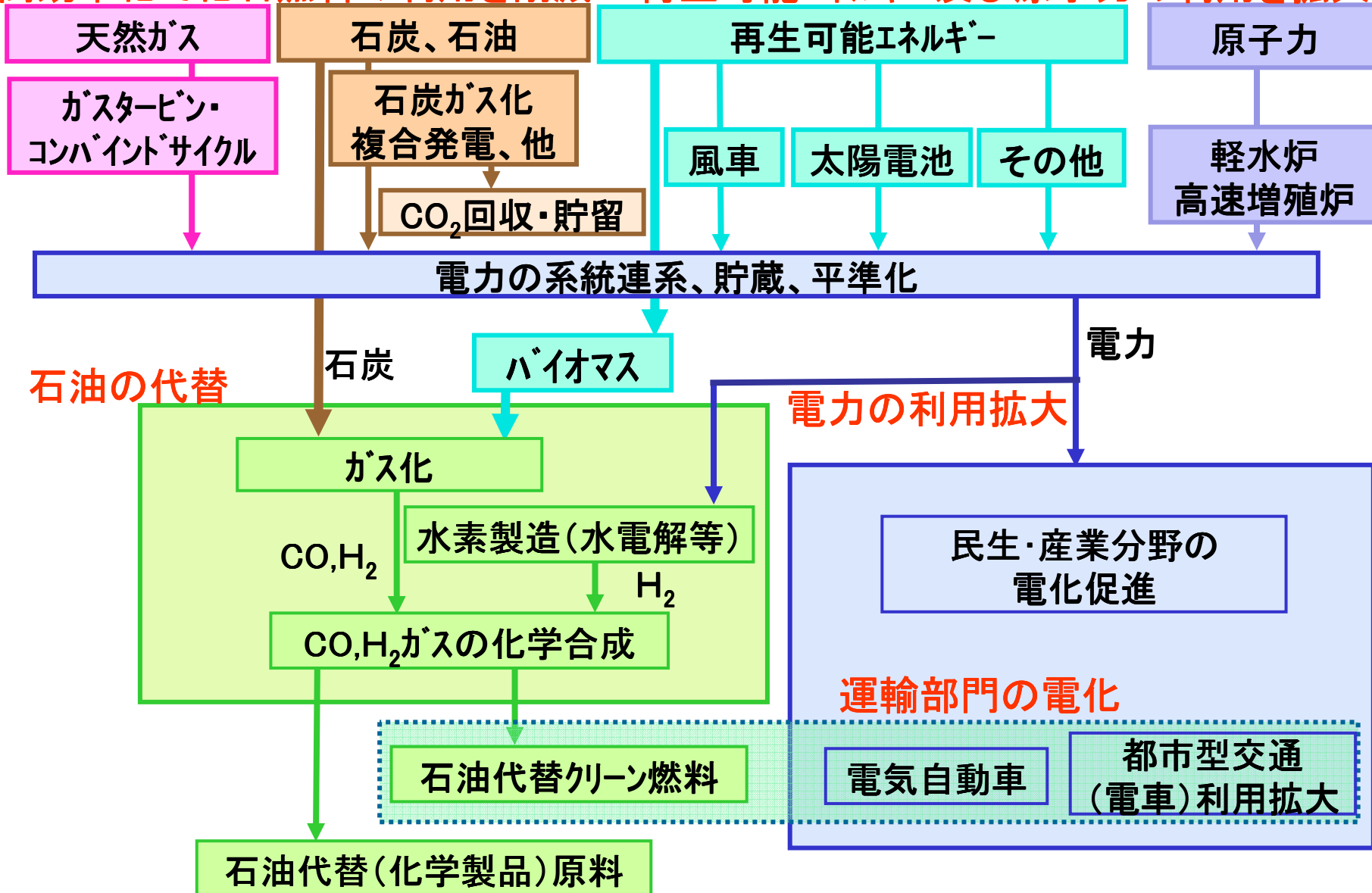
エネルギー安定供給と地球環境対策の統合的推進



エネルギー安定供給とCO₂排出削減に向けた基本的取組み

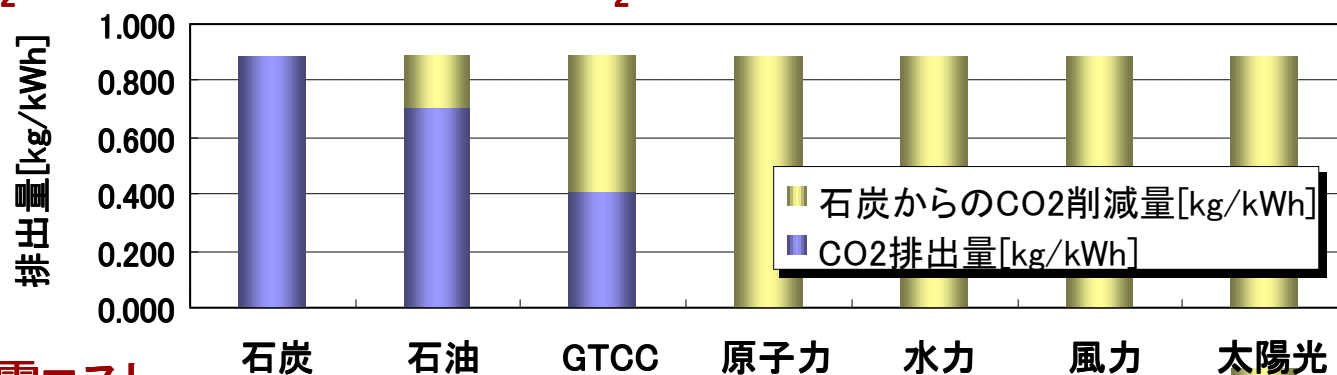
高効率化で化石燃料の利用を削減

再生可能エネルギー及び原子力の利用を拡大

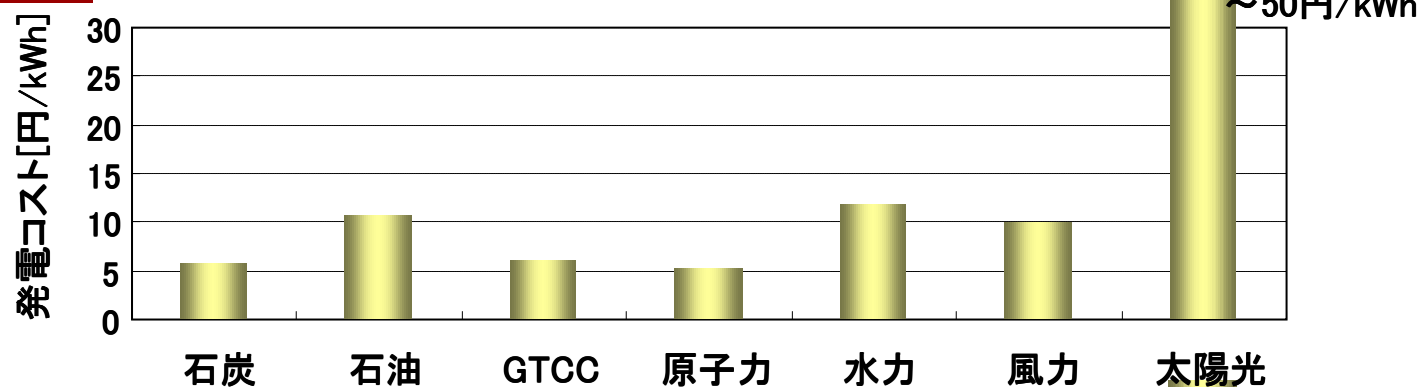


各電源のCO₂削減効果

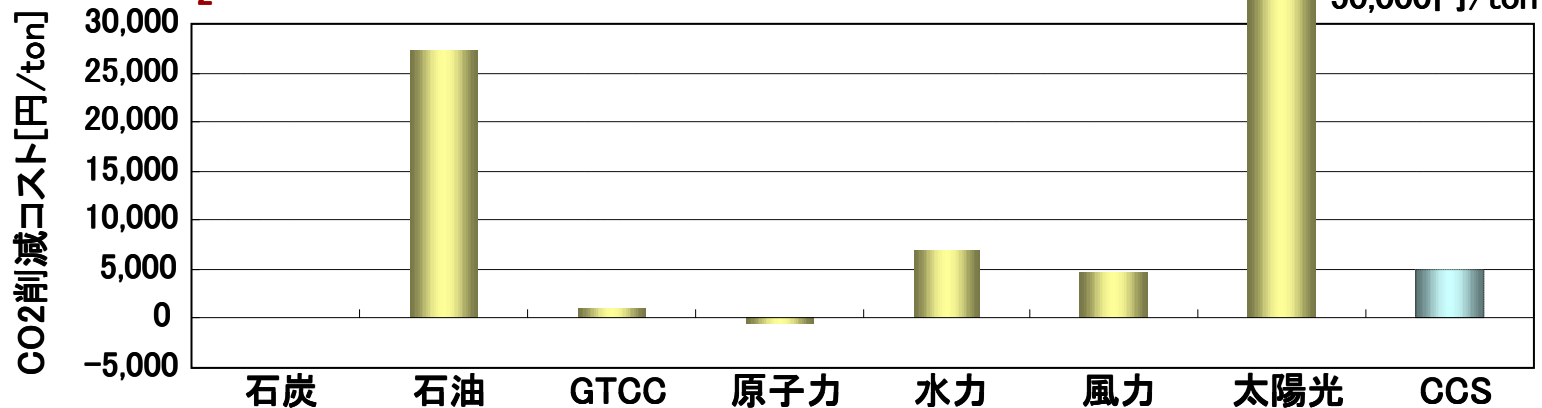
各電源のCO₂排出量と石炭を基準としたCO₂削減量



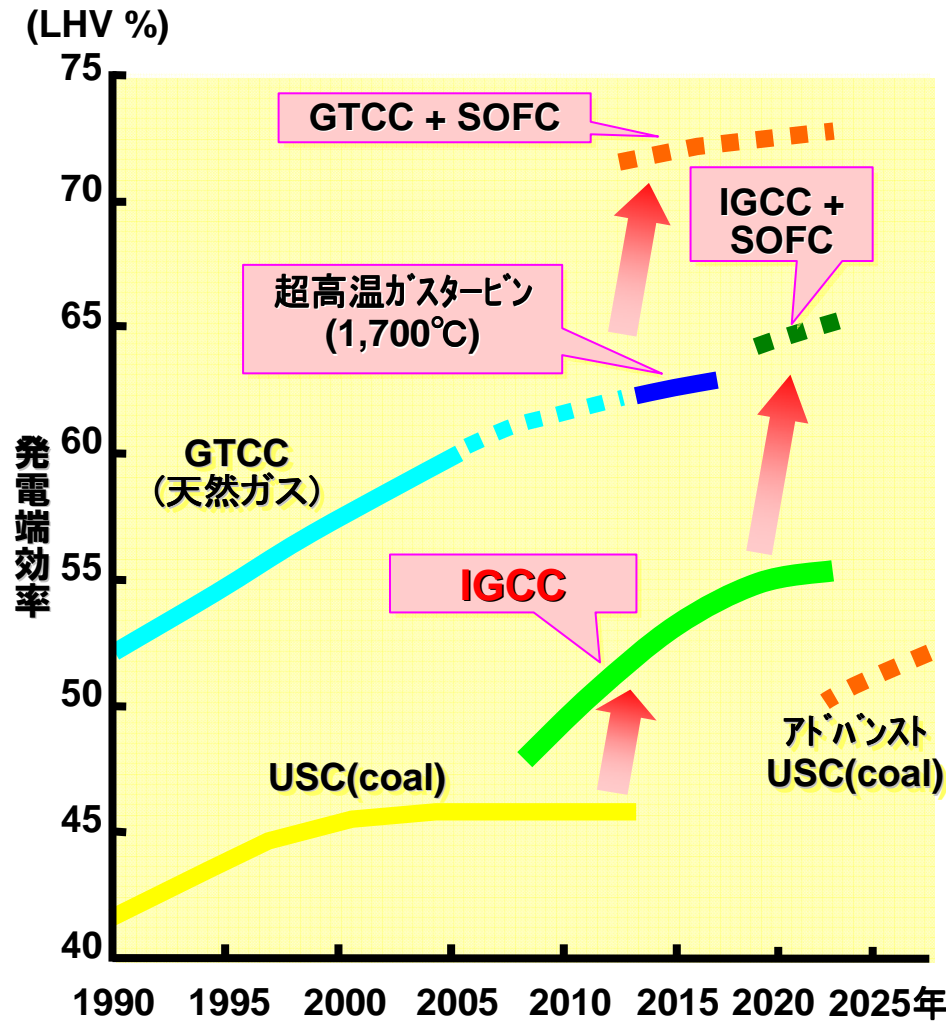
各電源の発電コスト



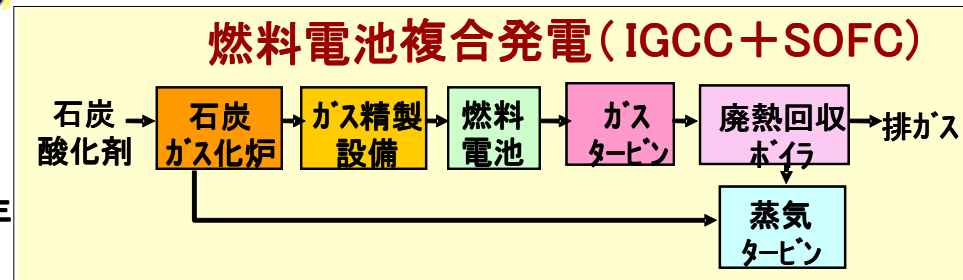
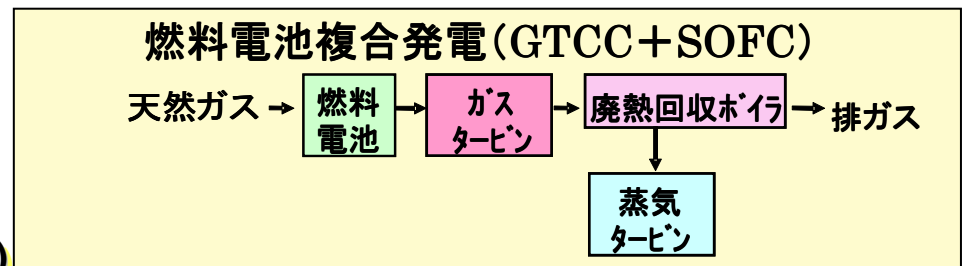
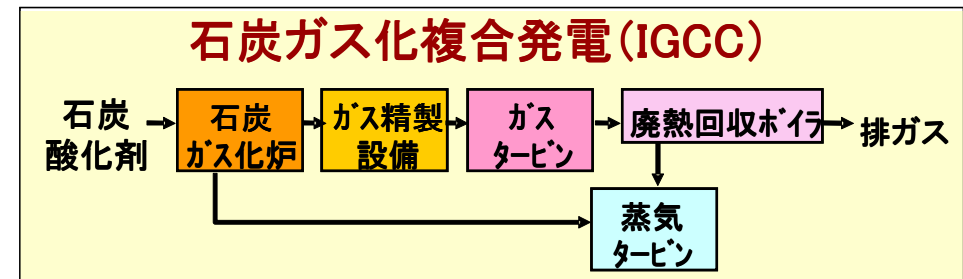
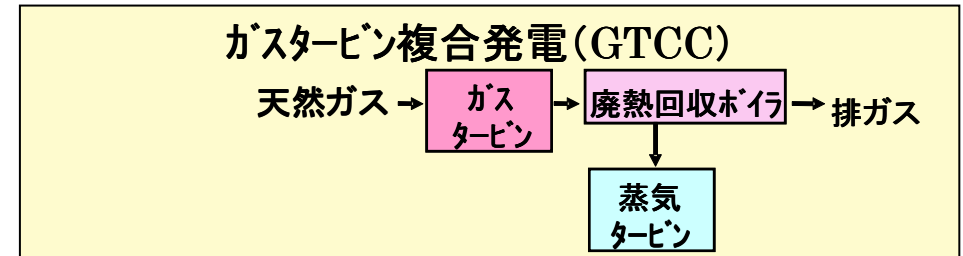
石炭を基準としたCO₂削減コスト



火力発電の高効率化



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



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

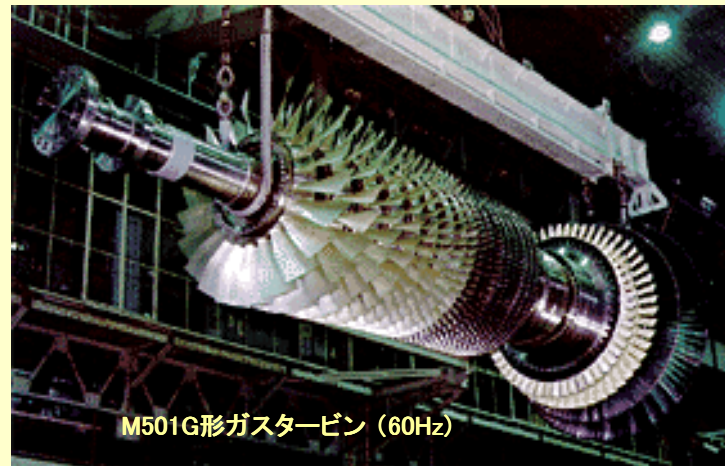
ガスタービン・コンバインドサイクル(GTCC)

東京電力殿川崎火力発電所で稼働中



M701G形ガスタービン (50Hz)

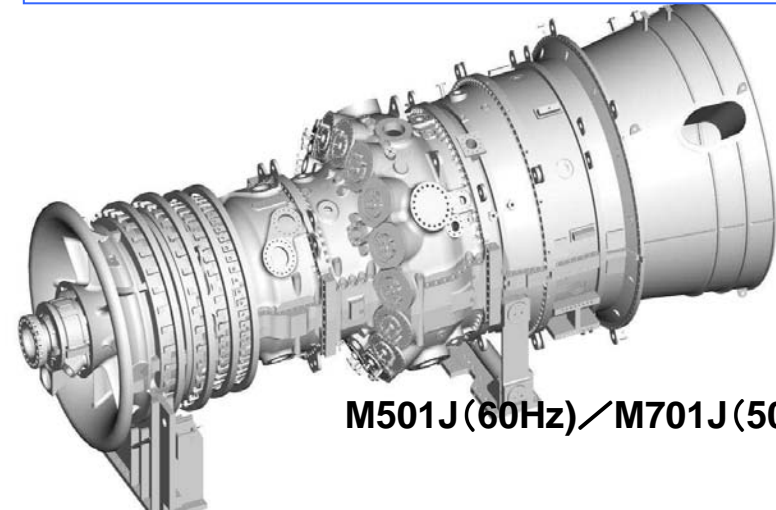
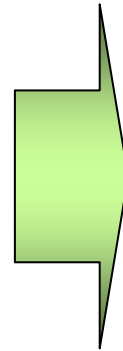
中部電力殿新名古屋発電所で稼働中



M501G形ガスタービン (60Hz)

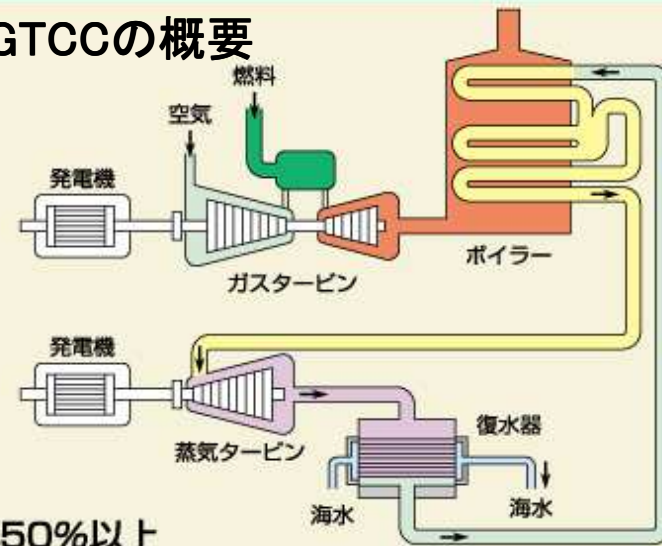
「**燃焼温度1600°C級**」へ

関西電力殿姫路第二発電所で採用
(2013年10月運転開始予定)



M501J (60Hz) / M701J (50Hz)

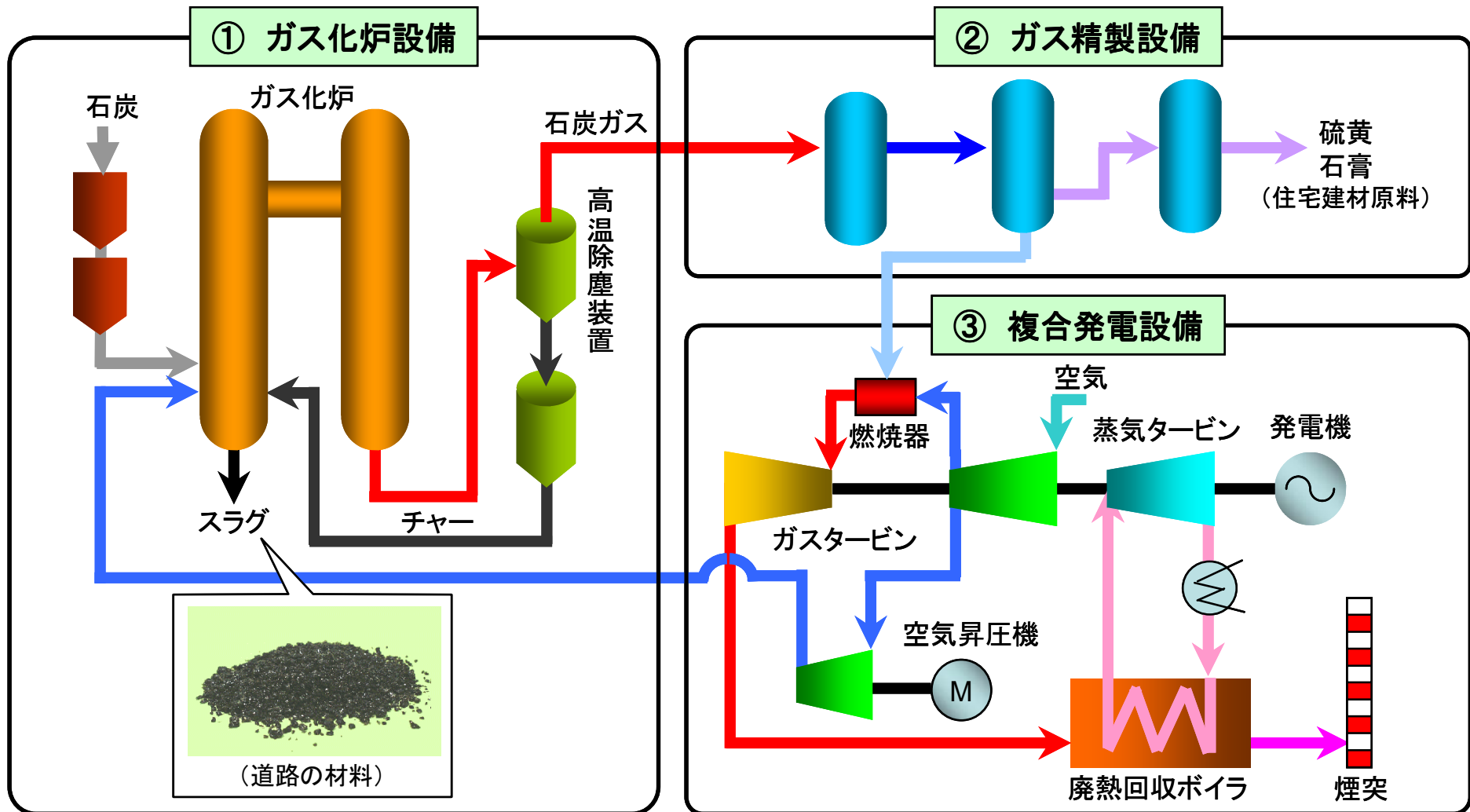
GTCCの概要



熱効率50%以上

石炭ガス化複合発電(IGCC)

- ・ ①ガス化炉設備, ②ガス精製設備で石炭からクリーンなガス燃料を製造
- ・ ガス燃料を使って, ③複合発電設備で効率よく発電
- ・ 電気以外にも有効な製品を副生 (スラグ:道路の材料, 石膏:住宅建材原料など)

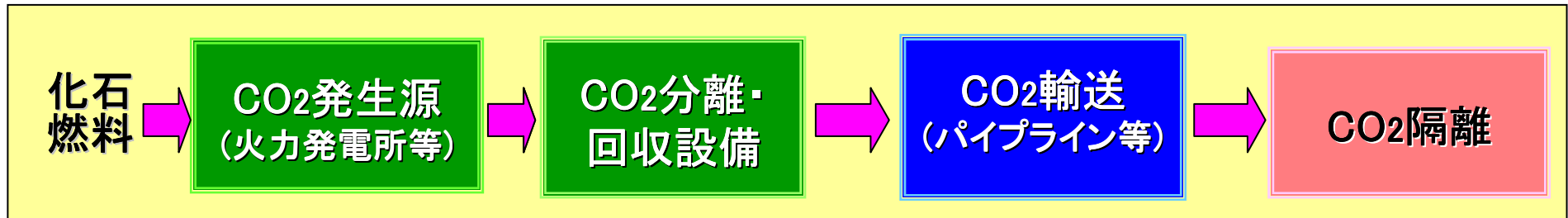


石炭火力発電に適用される主なCO₂回収技術

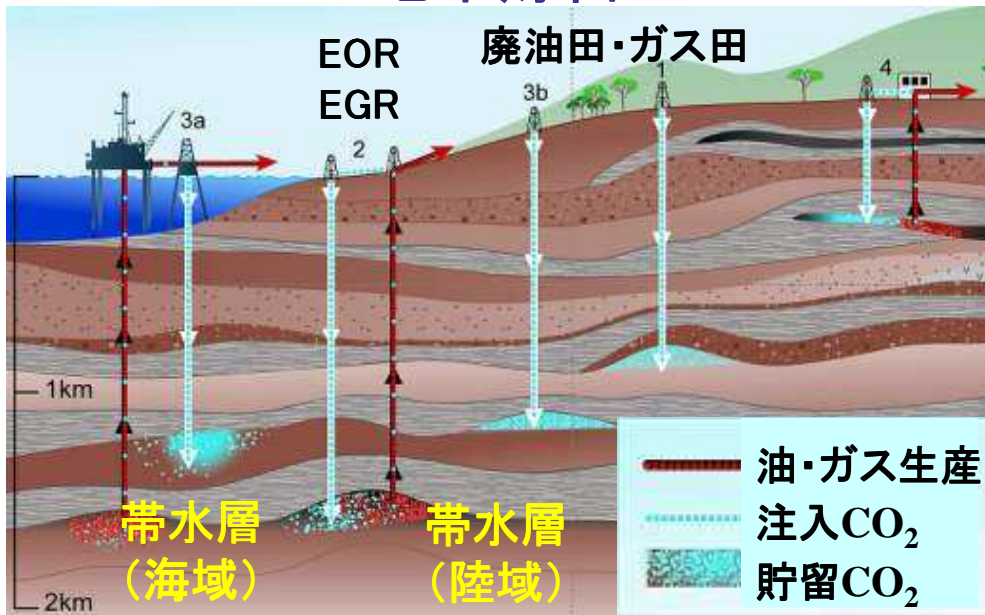
<p>ガス化ガスCO →CO₂変換回収 Pre Combustion</p>	<p>空気 石炭</p> <p>ガス化炉</p> <p>$CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$</p> <p>CO変換</p> <p>IGCC排ガス</p> <p>ガス精製</p> <p>加圧CO₂30~60%</p> <p>CO₂回収</p> <p>吸収液</p> <p>空気</p> <p>CO₂</p>	<p>ガス化した燃料を 燃焼する前にCO₂ を回収.</p> <p>化学用途ガス化炉 (酸素吹きガス化 炉)にも適用.</p>
<p>ボイラ排ガスCO₂ 回収 Post Combustion</p>	<p>空気 石炭</p> <p>ボイラ</p> <p>ボイラ排ガス</p> <p>EP脱硫</p> <p>常圧 CO₂15%</p> <p>CO₂回収</p> <p>吸収液</p> <p>CO₂</p>	<p>既設ボイラーの排 ガスからCO₂を回 収.</p> <p>既設プラントへの 追設が容易.</p>
<p>酸素燃焼 CO₂循環 Oxy-Fuel Combustion</p>	<p>空気分離装置</p> <p>酸素+CO₂</p> <p>石炭</p> <p>ボイラ</p> <p>EP脱硫</p> <p>冷却</p> <p>H₂O</p> <p>CO₂</p>	<p>酸素製造装置の設 備、動力が大きい</p> <p>既設火力の改造に 適用可能.</p>

CO₂回収・貯留技術

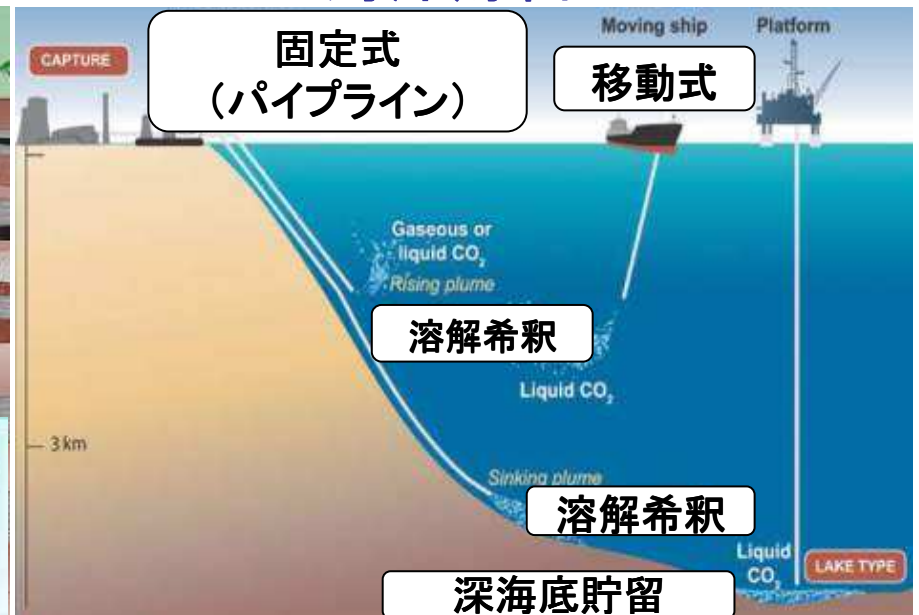
(CCS: Carbon-dioxide Capture and Storage)



地中貯留



海洋貯留



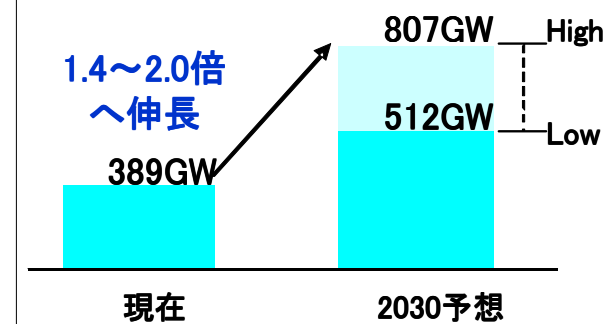
原子力の取組み

我が国の原子力発電推進行動計画

1. 原子力は供給安定性と経済性に優れた**低炭素電源**であり、**基幹電源として利用を着実に推進**
2. 「中長期的にブレない」確固たる国家戦略として、**原子燃料サイクル**を着実に推進
3. 世界のエネルギー安定供給等への貢献、技術、人材基盤の強化等の観点から**原子力産業の国際展開を推進**

出典：資源エネルギー庁資料

世界の原子力発電所需要予測



九電玄海3号で国内初のプルサーマル運転開始

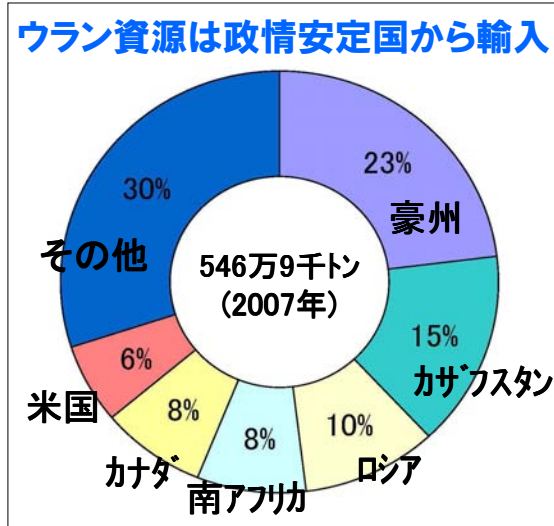


米国ドミニオン電力ノースアナ1, 2号 (3号増設予定)

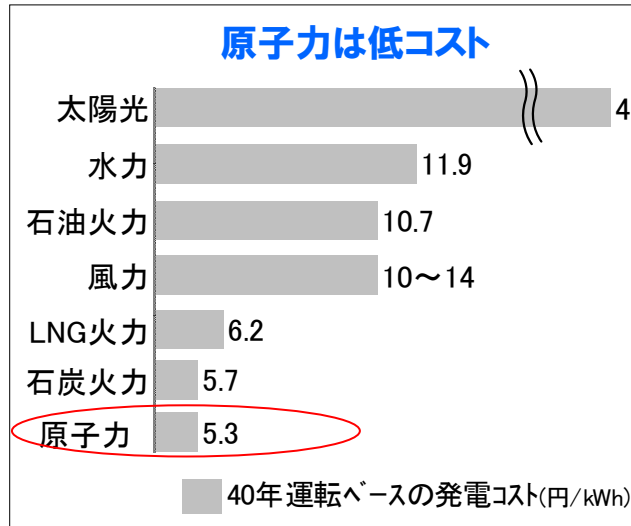
基幹電源としての原子力利用推進

1. 原子力発電の優れた特性

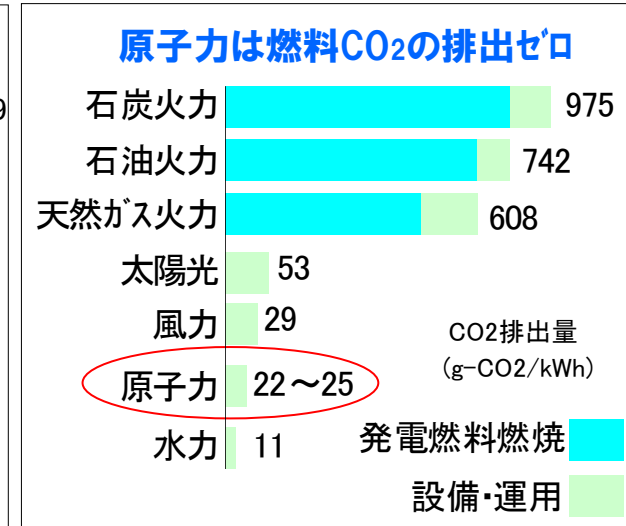
(1) 供給安定性



(2) 経済性

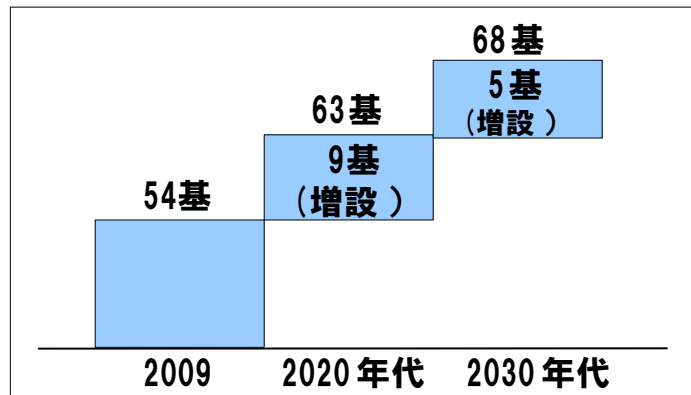


(3) CO₂削減効果

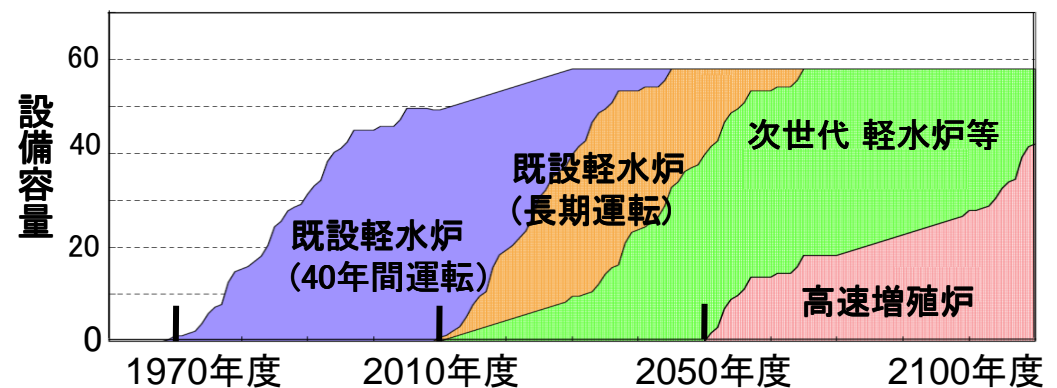


2. 国内プラントの動向

(1) 軽水炉建設計画



(2) 中長期的な商業炉の方向性



出典:「原子力・エネルギー」図面集2010より編集

原子燃料サイクルの確立

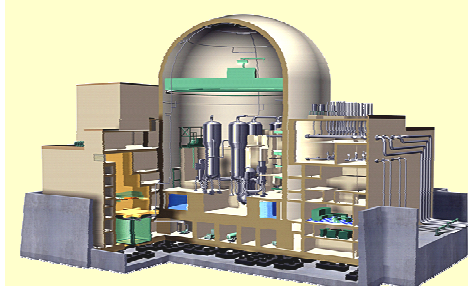
高速増殖炉



(出典: METI 原子力部会 第3回国際戦略検討小委員会 資料2-2)

- ・もんじゅ運転再開
- ・MFBRによる実証炉の開発推進

次世代軽水炉



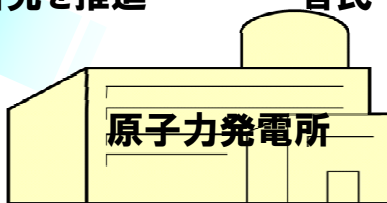
3S・3E自律型

3S	3E
Safety	Environment
Security	Efficiency
Safeguard	Economy
自律型	

事故時に外部支援不要

実用化研究を推進

官民一体で開発推進



原子力発電所

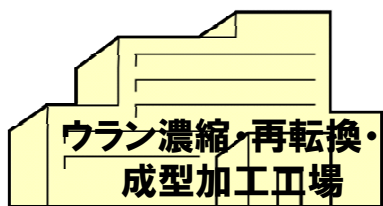
MOX燃料

使用済燃料

プルサーマル推進

燃料集合体

六ヶ所MOX燃料加工工場



ウラン濃縮・再転換・
成型加工工場

劣化ウラン



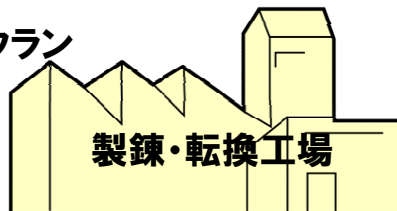
再利用

六ヶ所再処理工場



六フッ化ウラン

再利用



製錬・転換工場

ウラン鉱石

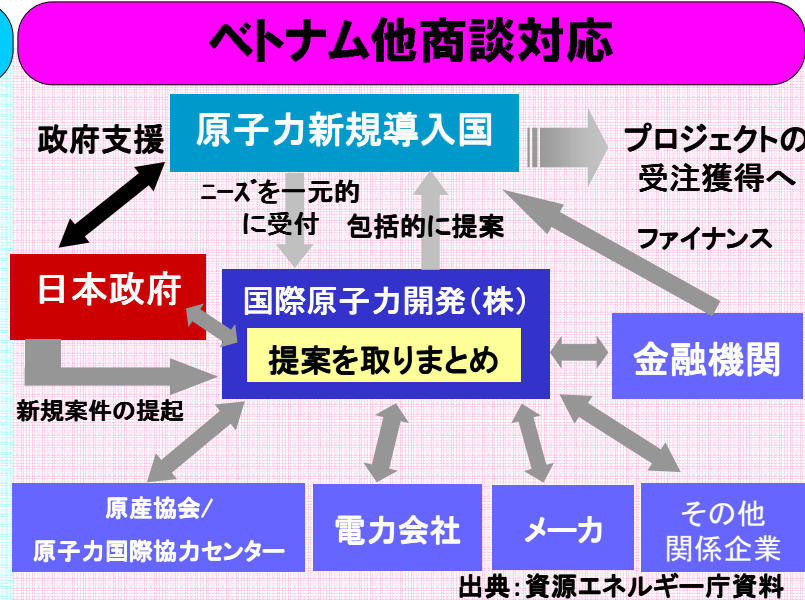
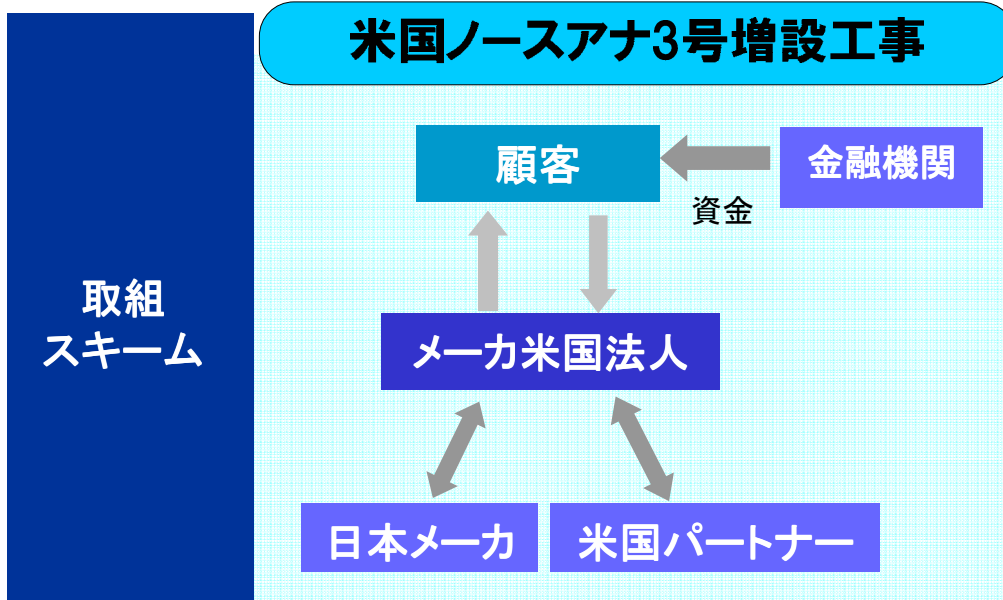
ウラン鉱山



注) MFBR: 三菱FBRシステムズ(株)
FBR開発の中核企業に選定された三菱重工が設立したFBRエンジニアリング会社

原子力の国際展開の推進

	先進国市場	新興国市場
法関係整備	<ul style="list-style-type: none"> 法規制、二国間協定は確立 	<ul style="list-style-type: none"> 法規制、二国間協定は整備途上
運転能力	<ul style="list-style-type: none"> 運転経験あり 	<ul style="list-style-type: none"> 運転経験なく人材育成要
入札範囲	<ul style="list-style-type: none"> プラント建設に限定 	<ul style="list-style-type: none"> 運転保守、フロントエンドが含まれるケース多し
国際展開	<p>メーカー主体でビジネス展開</p> <ul style="list-style-type: none"> 官：金融面の支援 (JBIC、NEXI等) メーカー：プラント輸出 	<p>官民一体で推進</p> <ul style="list-style-type: none"> 官：法整備・金融面での支援 電力：運転・保守の指導 メーカー：プラント輸出



出典：資源エネルギー庁資料

再生可能エネルギー利用技術

エネルギー源多様化、排出CO₂削減、産業活性化に向け活用



風力



バイオマス



太陽光



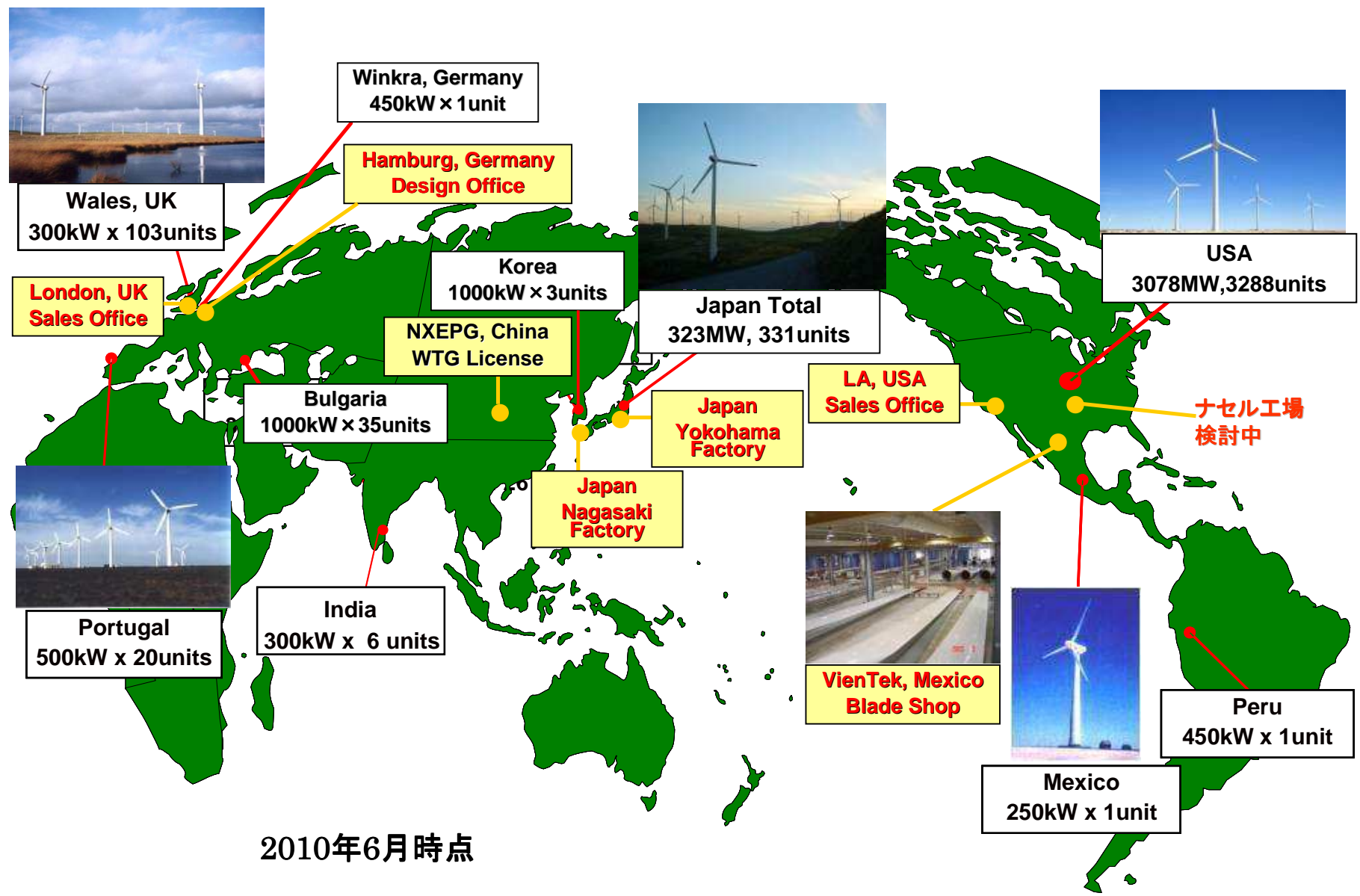
水力



地熱

三菱風車の納入実績

10ヶ国 / 3,282 MW / 3,705 台



MWT92/2.4 (世界初のClass J 対応機)

MWT92/2.4 の仕様 (世界初のClass J 対応機)



- ・定格出力: 2400 kW
- ・ロータ直径: 92m
- ・翼: GFRP製44.7m
- ・回転数: 9.0~16.9 rpm
(定格15.0 rpm)
- ・ハブ高さ: 70m
- ・発電機形式:
二次巻線誘導発電機
- ・出力制御:
3翼独立ピッチ制御
- ・設計条件: IEC Class II A
+ 極値風速70m/s
- ・初号機運開: 2006年1月
- ・非台風地域向け姉妹機
MWT95/2.4: 2007年8月
- ・MWT92&95の納入実績
342台(+建設中267台)

更なる大型風車開発に伴う課題

- ・新材料(炭素繊維)や制御など、より高度な技術開発が必要。
- ・主要機器の試験装置の巨大化。
特に、ブレード、増速機、電力品質など。
- ・初号機(プロトタイプ)の実証試験
(設置の許認可、十分な風況、広大な平坦地)

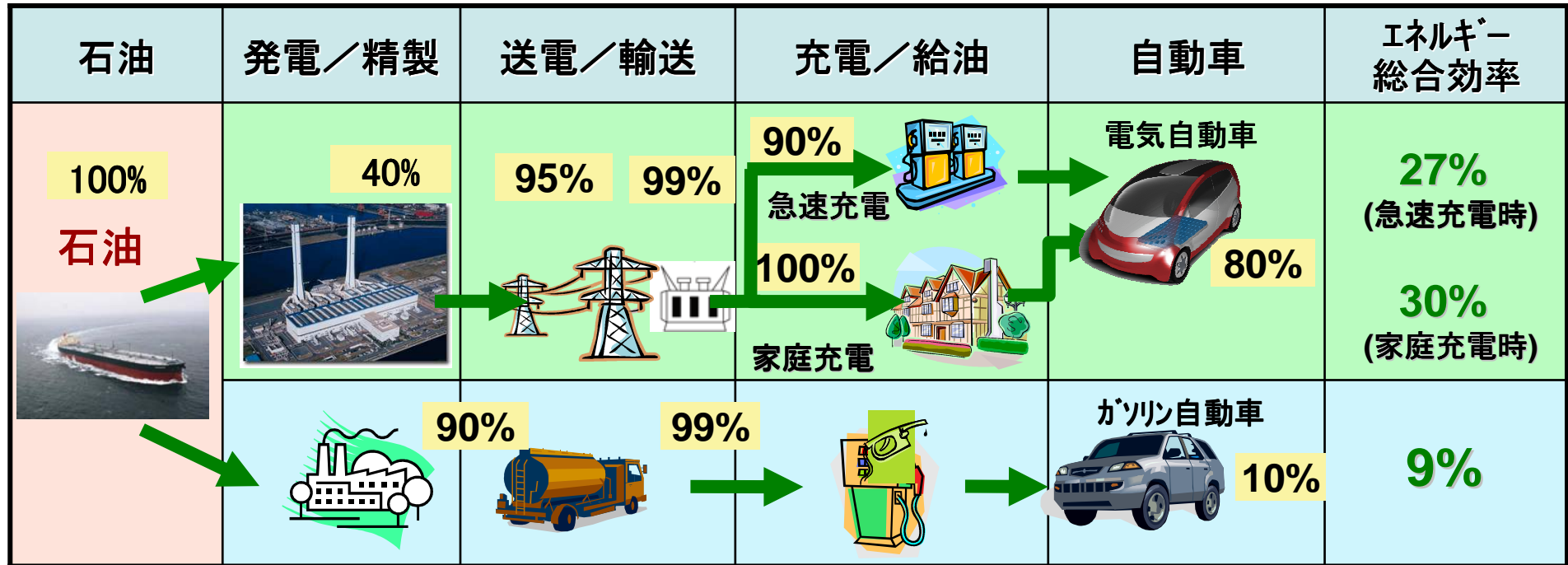
洋上風力市場への進出

- ・英国が33GW、ドイツが30GWなど、欧州では大規模な洋上風力導入が本格化。
- ・洋上は風況がよく、陸上より高い設備利用率(より多い発電量)が期待できる。
- ・経済性から洋上では超大型風車が求められる。
- ・造船・海洋機器の技術と経験を活用。
- ・5MW級洋上風車を開発中。

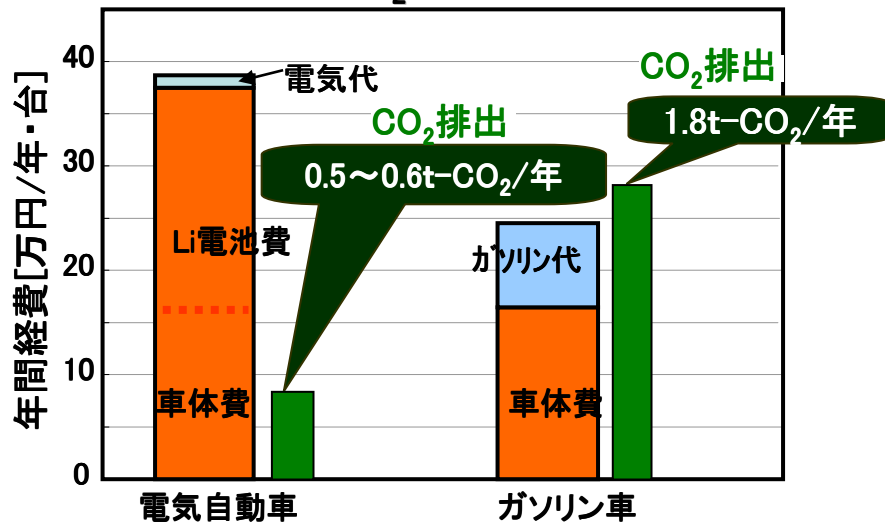
最終エネルギー消費部門の低炭素化

分野	技術オプション	技術のポイント	製品例
運輸	車の燃費向上	車体軽量化、エンジン効率化 ハイブリット化	<p>電気自動車 ハイブリットフォーク リチウムイオン電池</p>  <p>都市内交通(LRT) 交通制御システム</p> 
	代替燃料	石油代替燃料(ガス、石炭、バイオ等) 電気自動車	
	モーダルシフト	公共旅客輸送機関 海上新幹線、貨物鉄道輸送	
	IT活用	交通制御システム高度化 トラック輸送効率化	
民生	冷暖房	高効率電動ヒートポンプ 高性能断熱、自然エネ導入	<p>省エネ運搬船 次世代のリージョナルジェット機</p>  <p>有機EL</p>  <p>廃熱回収 温水ヒートポンプ</p>  <p>ターボ冷凍機</p> 
	照明	高効率光変換、 太陽光の活用	
	電化製品	電気の高度利用 深夜電力利用(原子力需要拡大)	
	地域冷暖房	河川・工場・焼却等の低温熱利用 熱の輸送・貯蔵・利用	
産業	廃熱回収利用	産業用ヒートポンプ 低温廃熱利用発電	
	低炭素型製造	産業機械の省エネ 低炭素燃料への転換	

電気自動車とガソリン車の比較



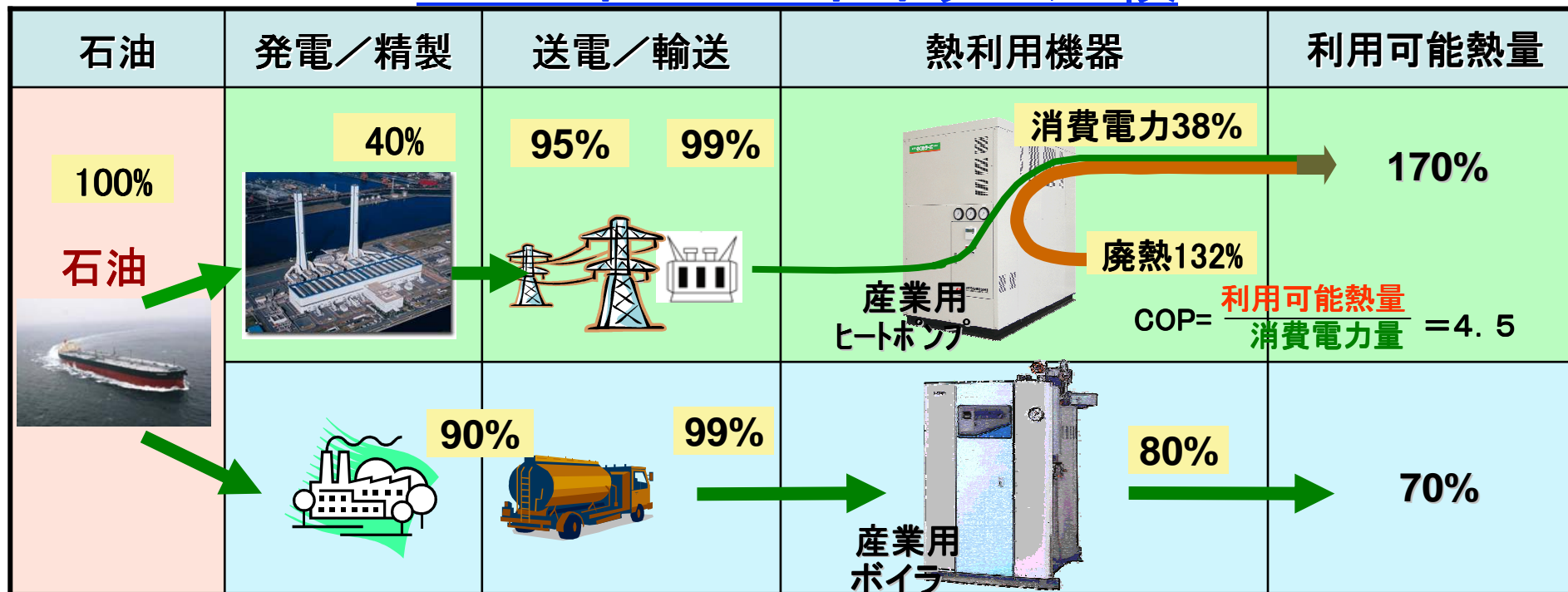
年間経費・CO₂排出量の試算例



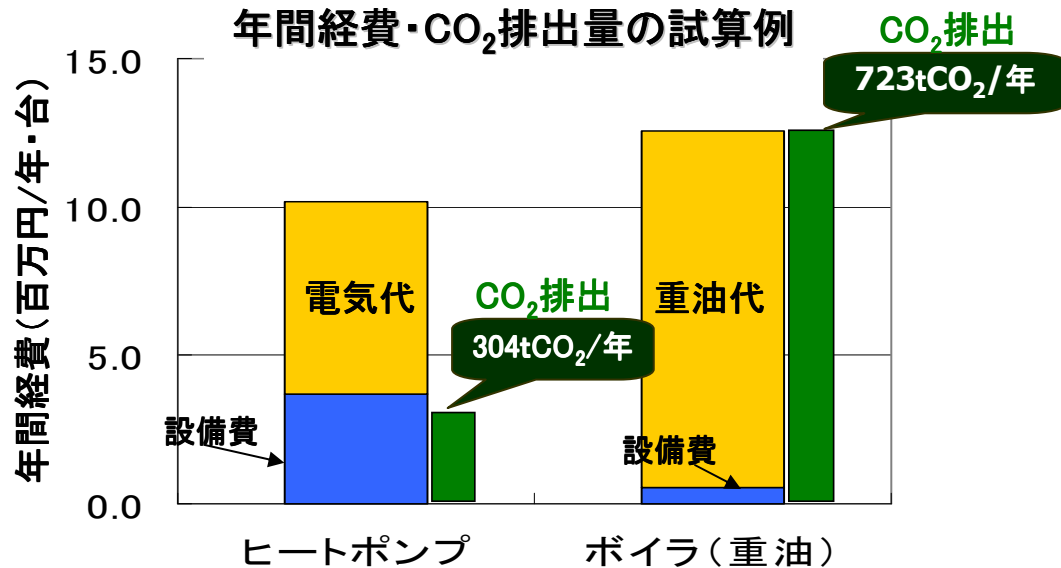
— 試算条件 —

方式	電気自動車	ガソリン車
年間走行距離	10,000km	
走行距離/エネルギー	13km/kWh	15km/ℓ
電気・ガソリン代	14円/kWh	120円/ℓ
車両費	320万円	140万円
	耐用年数10年、割引率3%	

ヒートポンプとボイラの比較



年間経費・CO₂排出量の試算例



— 試算条件 —

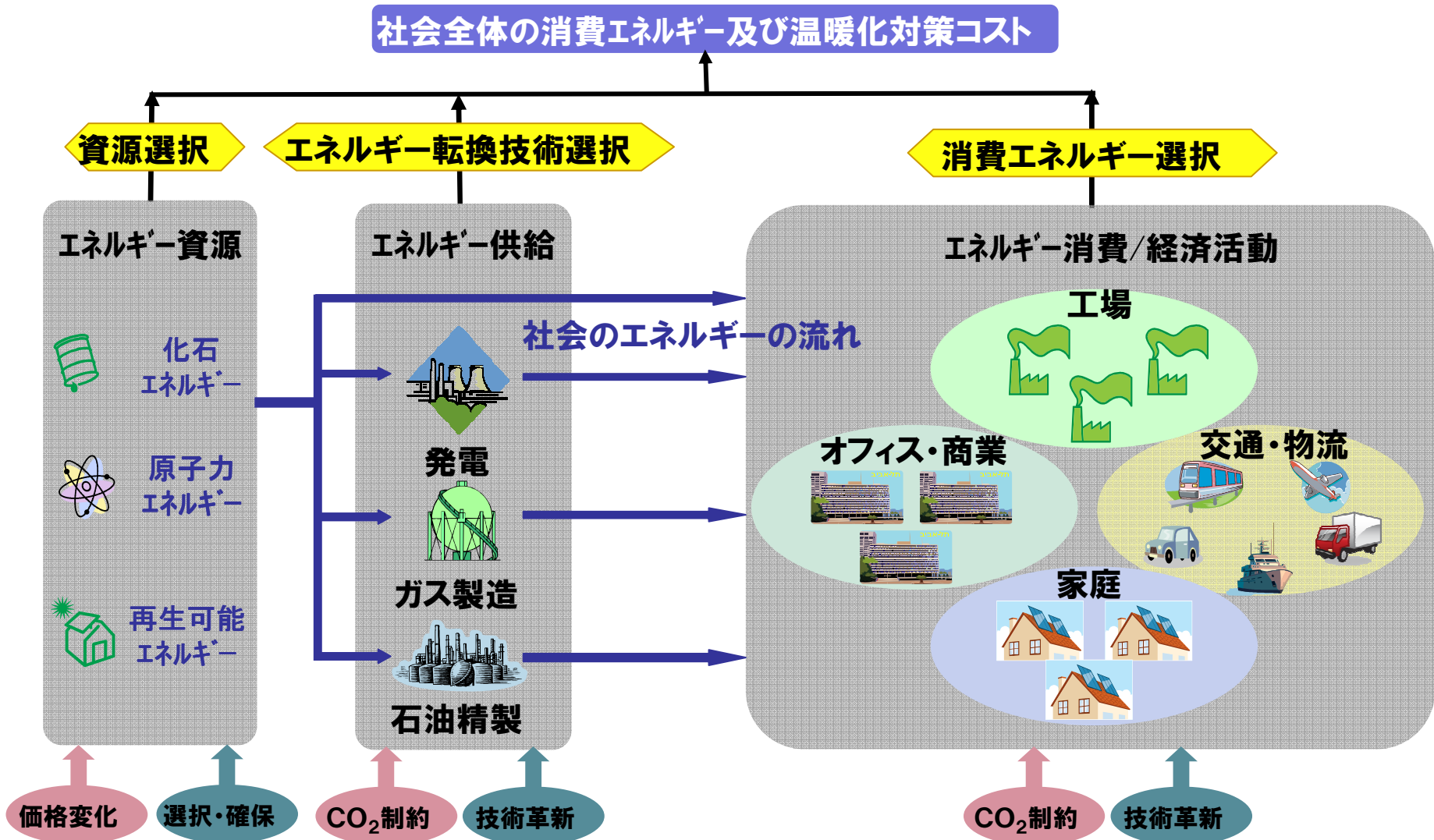
方式	ヒートポンプ	ボイラ(重油)
運転時間	3330h/年	
電気・重油代	14 円/kWh	50 円/ℓ
設備費	30百万円	3百万円
	耐用年数15年、割引率3%	

目次

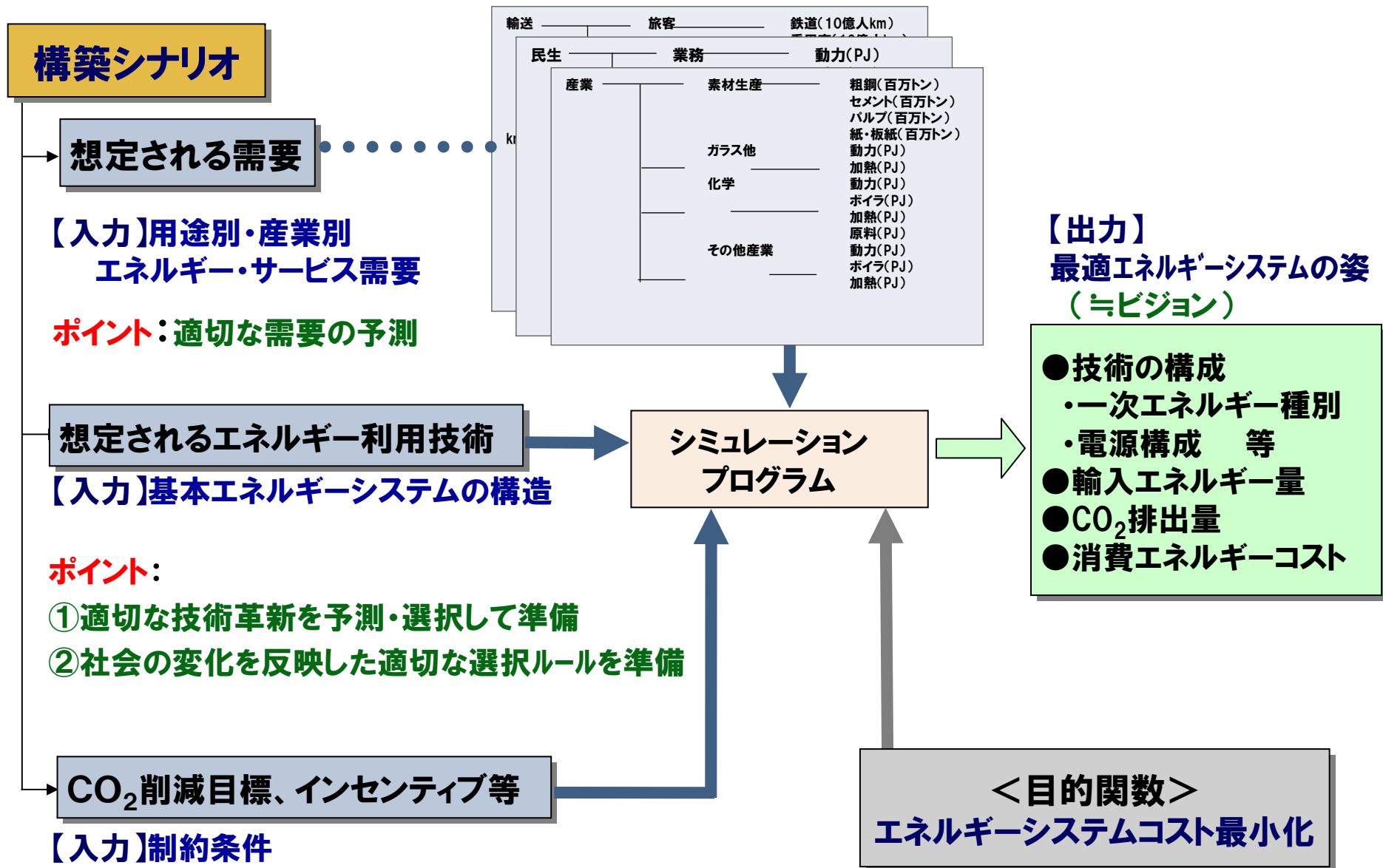
1. 地球環境の科学的解明に向けて
2. エネルギーと地球温暖化問題についての俯瞰
3. エネルギー安定供給と温暖化対策に向けた技術的取り組み
4. 統合最適化シミュレーション
5. 我が国技術の海外展開

統合最適化シミュレーションモデルで温暖化対策を検討

- ・社会全体の消費エネルギー及び温暖化対策コストが小さいことが必要
- ・資源価格変化・環境制約のもと、資源・技術・設備の最適な組合せに向け、解析が必要



統合最適化シミュレーションモデルの概要



シミュレーションの条件設定

- ・対策なしケース: 社会全体のエネルギーシステムコストを最小化し、CO₂の排出は成行きとしたケース
- ・CO₂削減ケース: 社会全体のエネルギーシステムコストを最小化し、CO₂の排出を削減するケース

注・エネルギーシステムコスト=燃料調達コスト+運転コスト+設備投資コスト(割引率3%で年経費化)

GHG; 温室効果ガス

・民主党政権の中期目標GHG▲25%(1990年比)は、エネルギー起源CO₂で▲36%(2005年比)相当

自民政権の中期目標GHG▲15%(2005年比)は、GHG▲8.5%(1990年比)相当、エネルギー起源CO₂で▲19%(2005年比)相当

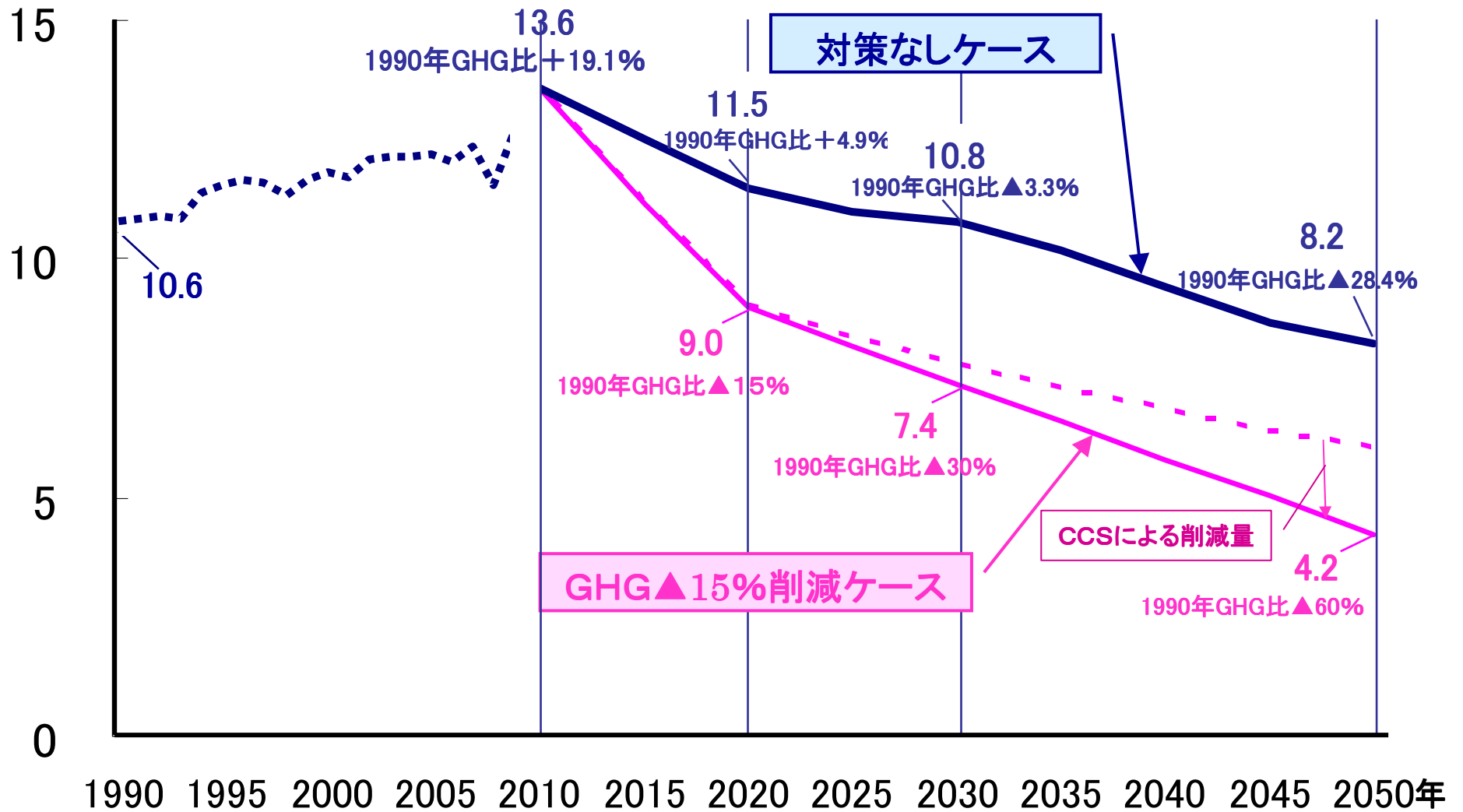
主な設定条件

- ・発電/産業/民生/運輸分野で、進化していくエネルギー革新技術と効率向上を想定。
- ・エネルギー利用機器の初期コスト及び普及に沿ったコスト低減を想定。
- ・2005年のGDPは540兆円、その後、2020年まで1.0%で成長、2050年に680兆円とした。
- ・原油価格は2020年に85ドル/バレル、2050年に100ドル/バレルへ上昇し、他燃料も上昇するとした。

上限設備量	2020年	2050年	<h3>下限設備量の想定</h3> <ul style="list-style-type: none"> ・2010年時点に存在する設備の平均設備効率等を設定。 ・2010年以降に残り続ける設備については、想定寿命で設備が廃棄される。 ・発電設備等で将来の建設計画が存在するものは、当該計画についても考慮。 ・エネルギー基本計画の想定に基づき、石炭火力は既存+2025年までに建設される発電所の設備利用率の下限値を30%とした。
太陽光発電	79.0GW	101.9GW	
風力発電	20.0GW	25.0GW	
原子力発電	67GW	91GW	
	稼働率は81.0%を想定。 2030年までの建設計画(14基)は全て運開され、さらにリプレースに際して、新規大型化軽水炉が建設されると仮定。		
CCS	500万トン (2020年に開始)	28億トン (累積)	

エネルギー起源のCO₂排出量

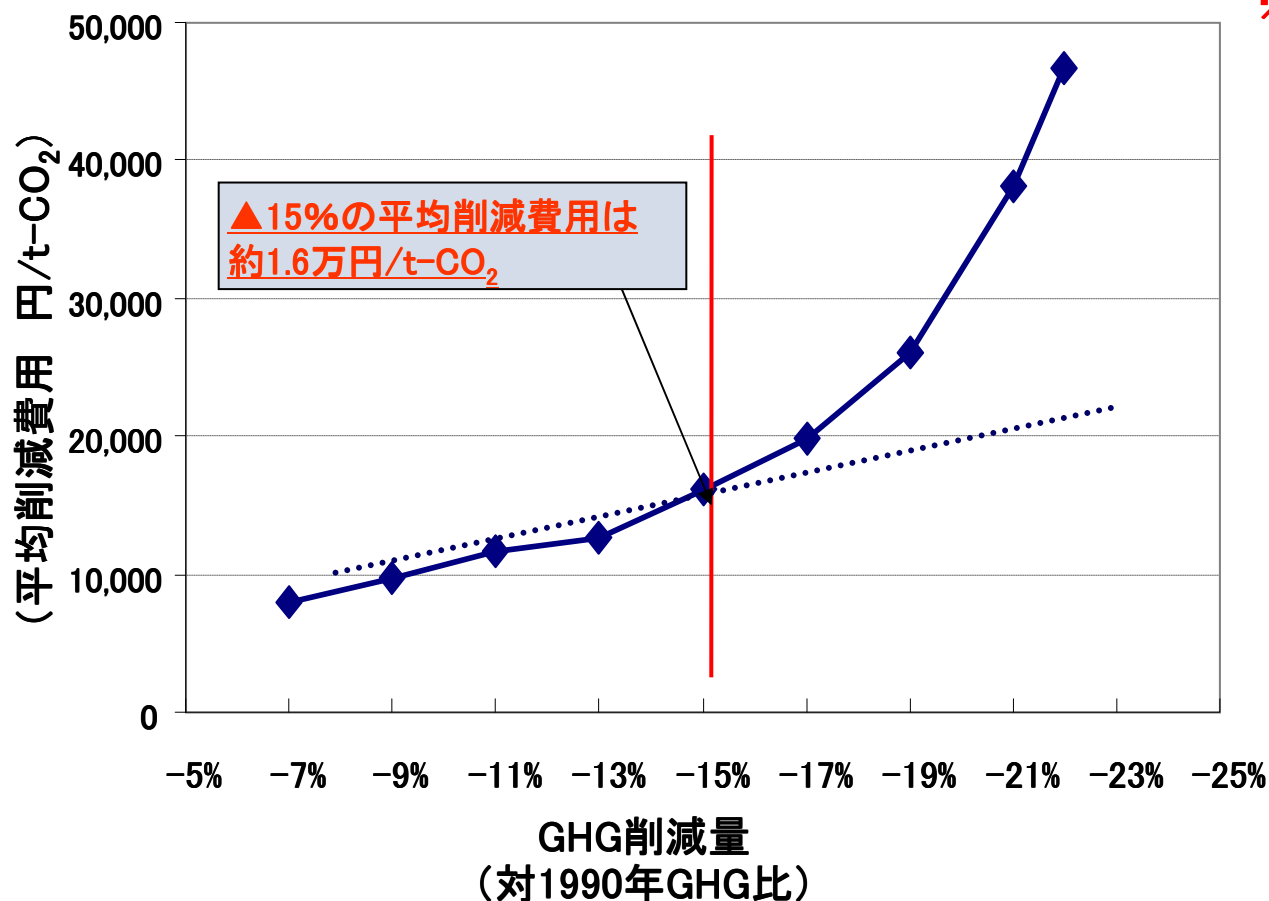
エネルギー起源のCO₂排出量(億トン)



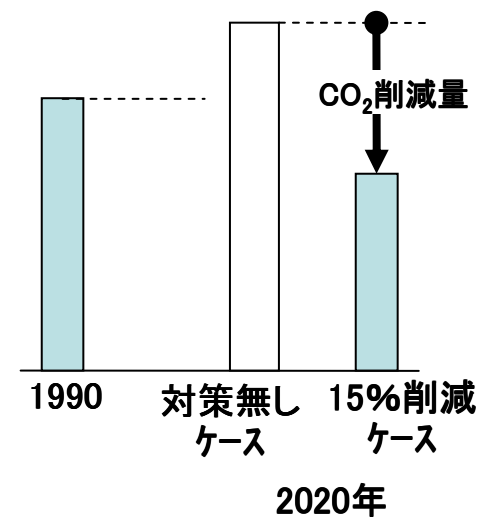
CO₂排出制約分析 (平均削減費用)

- ・2020年までに、国内対策(真水)で温室効果ガス(GHG)を15%削減すると、対策なしケースに比較して4兆円/年の追加費用と、CO₂で2.5億tの削減が必要。
- ・このときの平均削減費用は1.6万円/t-CO₂

2020年断面のGHG削減量と平均削減費用*の関係



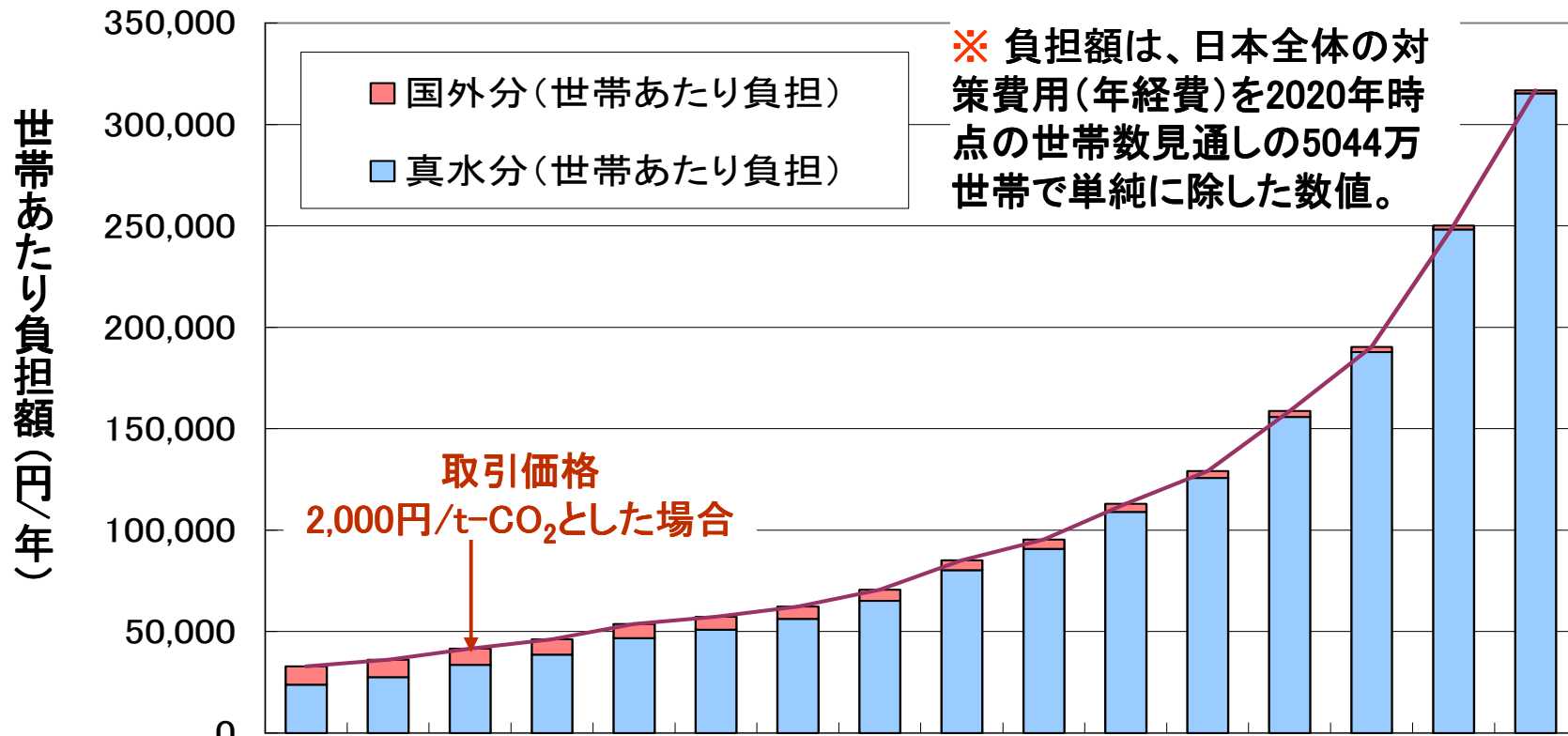
※平均削減費用; 2020年において、対策無しケースから、当該削減レベルまでCO₂を削減するために必要な費用増分を、そのCO₂削減量で除した値。



CO₂排出制約分析（国外削減による負担減）

- ・国際排出権取引等の国外削減も実施すれば、削減に係る負担を軽減できる。
- ・真水でGHG削減率15%での、世帯あたり負担額※は年間で平均8.5万円増加。

2020年のGHG削減率(1990年比)と世帯あたり負担額※

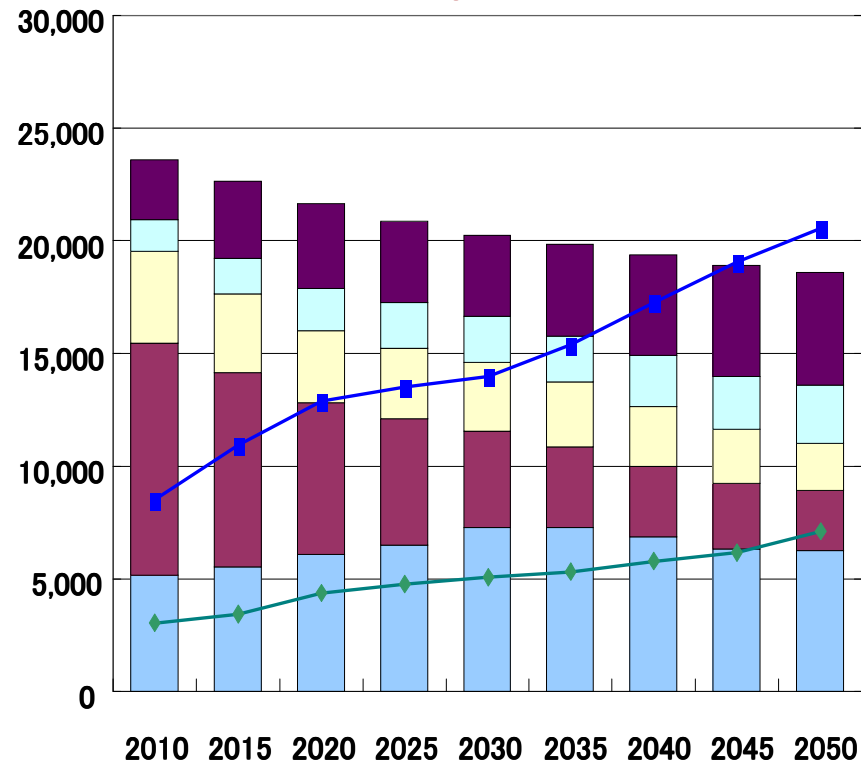


国外削減率	18%	15%	10%	5%	3%
真水削減率	7%	10%	15%	20%	22%
合計削減率	←..... 25%→				

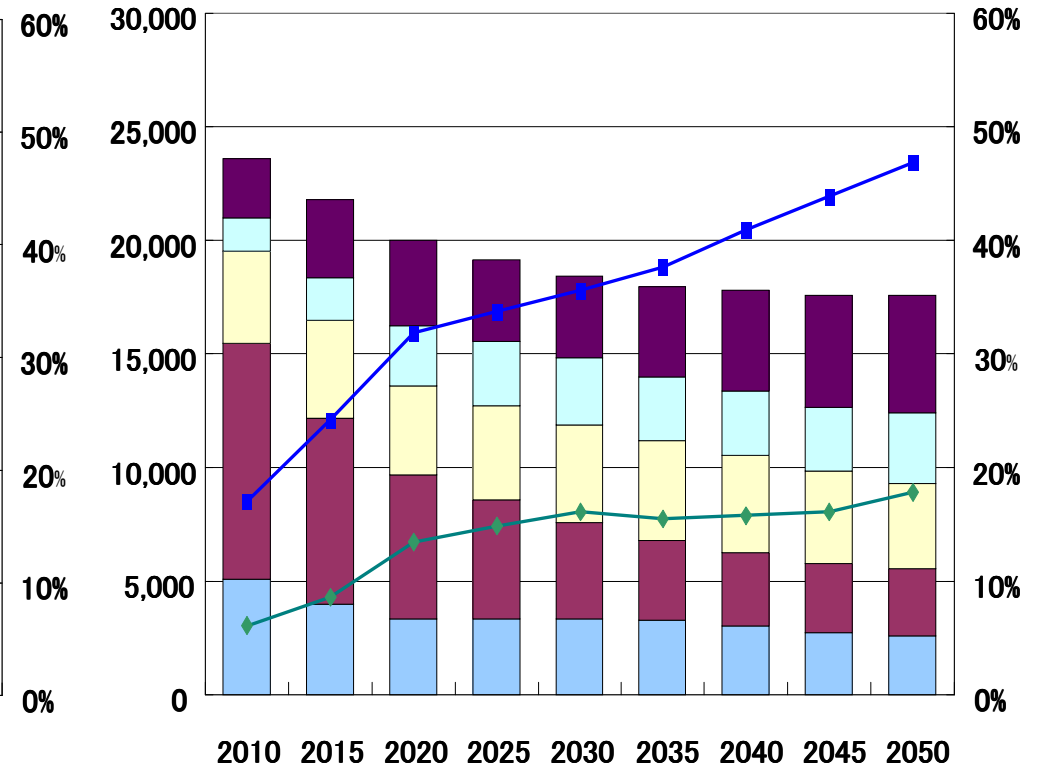
15%削減ケースの姿(一次エネルギー構成と自給率)

- ・対策なしケース、15%削減ケースとも、一次エネルギー供給は2050年まで約20%低下。
- ・原子力は経済性にも環境性にも優れるため、両ケースともほぼ上限まで導入される。
- ・石炭は、対策なしケースでは増加するが、15%削減ケースでは可能なCCSの量に上限が有るため徐々に低下し、これを補うべく、天然ガスや再生可能エネルギーが徐々に増加。
- ・再生可能エネルギーが増加した分、エネルギー自給率も向上。

一次エネルギー供給(PJ) **対策なしケース**



一次エネルギー供給(PJ) **15%削減ケース**

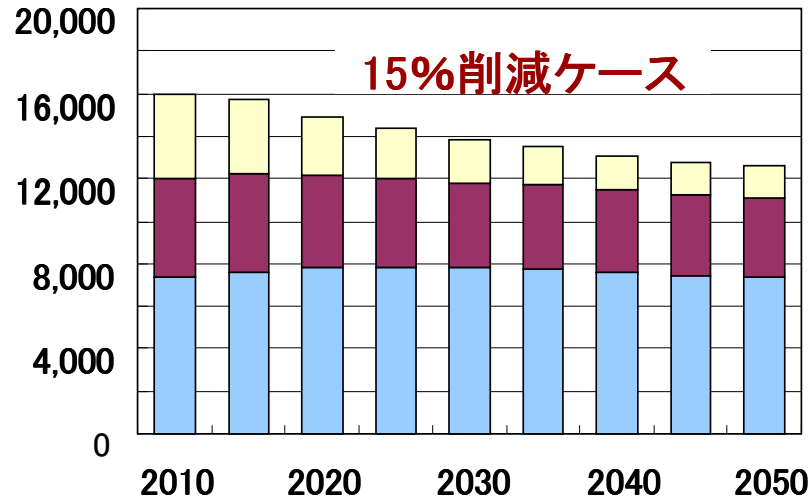


■ 石炭
 ■ 石油
 ■ 天然ガス
 ■ 再生可能エネ
 ■ 原子力
 ◆ 再生可能エネルギー比率
 ■ 自給率(原子力含む)

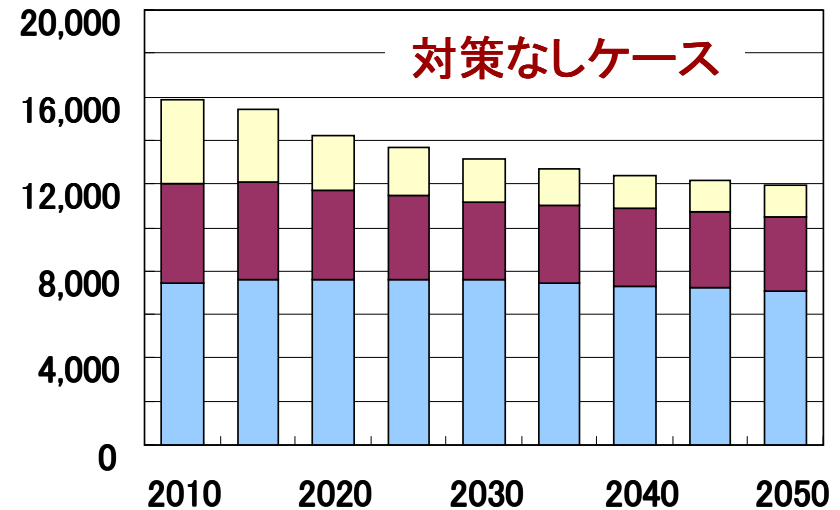
15%削減ケースの姿(最終エネルギー消費)

・2050年の最終エネルギー消費量は、2010年に比べ、対策なしケースで80%程度、15%削減ケースで75%程度にまで低下。

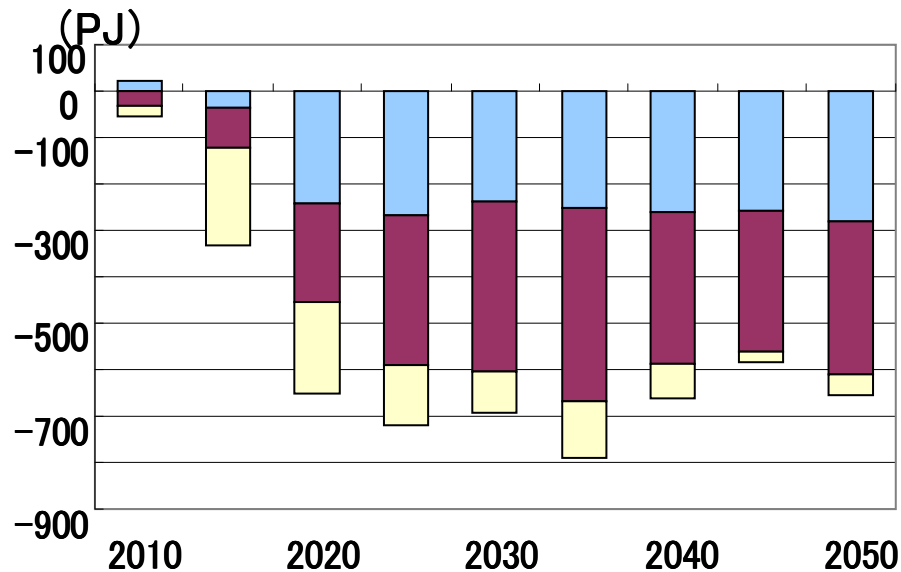
最終エネルギー消費量(PJ)



最終エネルギー消費量(PJ)



▲ 15%削減ケースと対策なしケースの差分



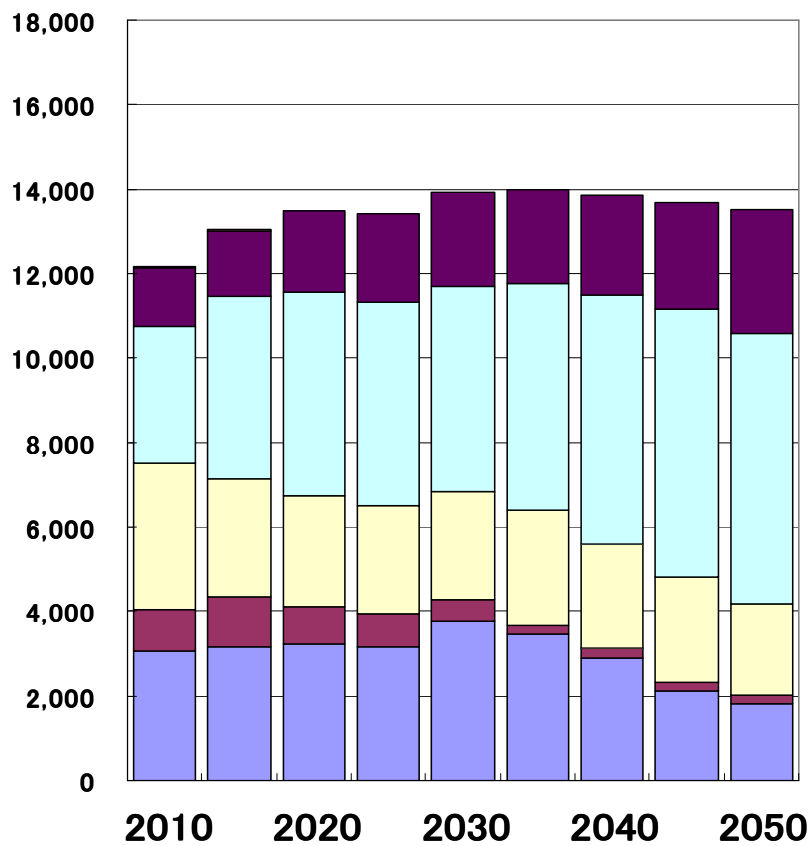
運輸
民生
産業

15%削減ケースの姿（発電技術の構成）

- ・対策なしケース及び15%削減ケースとも、原子力を最大活用。
- ・対策なしケースでは石炭を活用。
- ・15%削減ケースでも、石炭の残存設備量に対して稼働率下限30%の設定により石炭火力の稼働が残る。一方、LNG火力や再生可能エネルギーを積極活用することで排出原単位を低減。

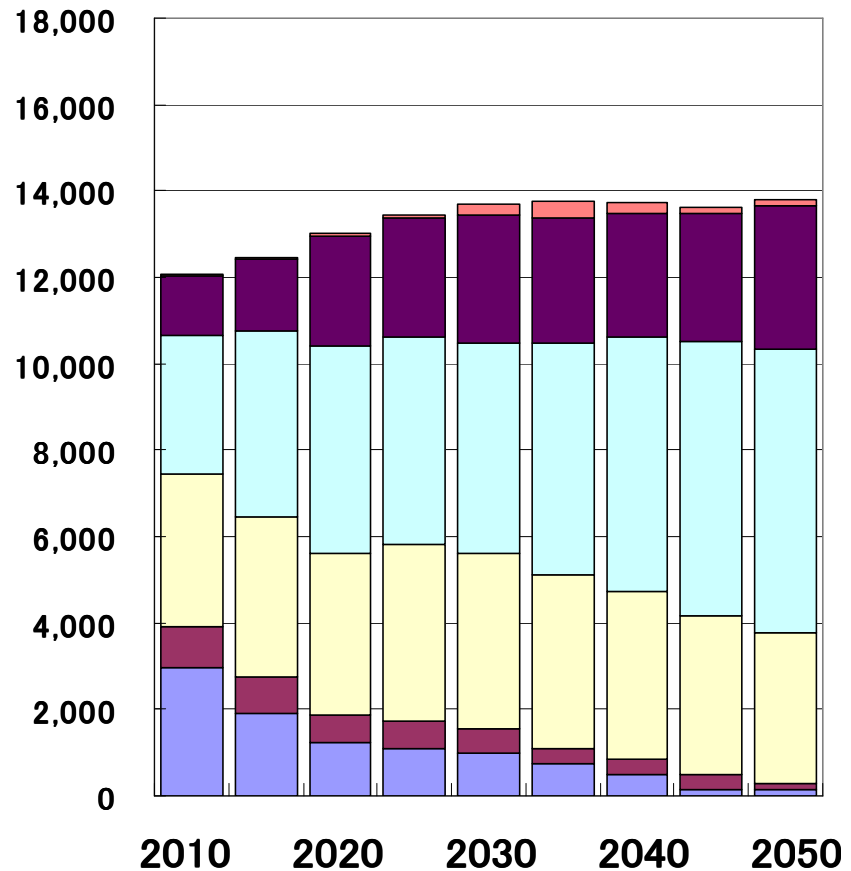
発電電力量
(億kWh)

対策なしケース



発電電力量
(億kWh)

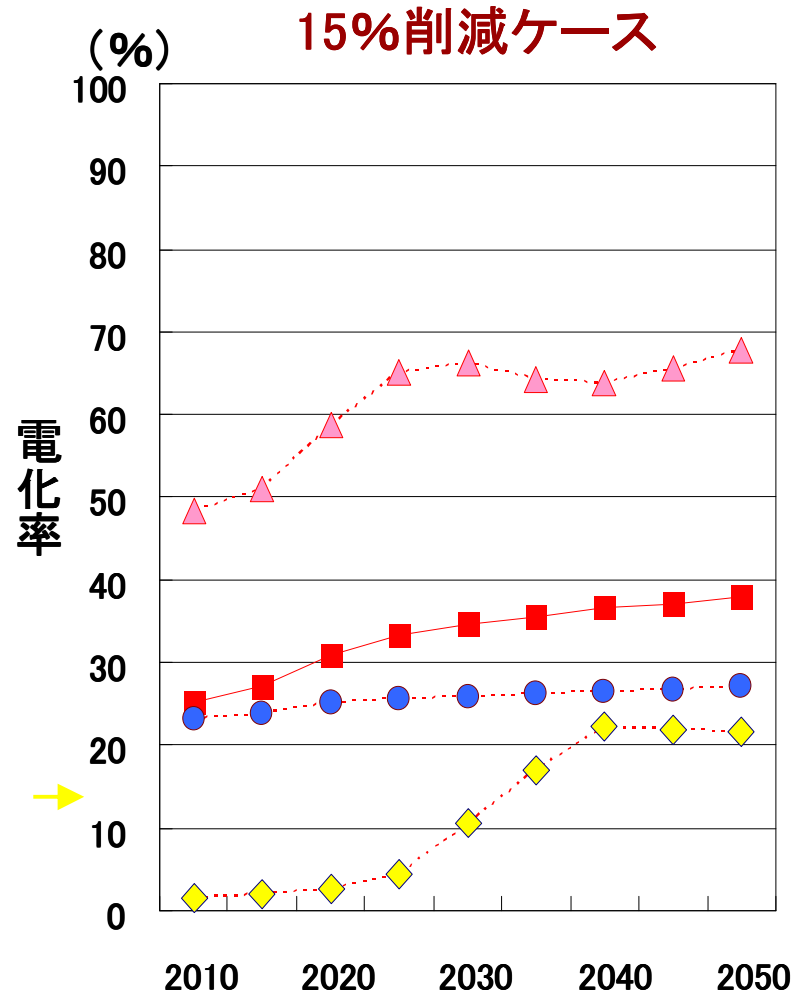
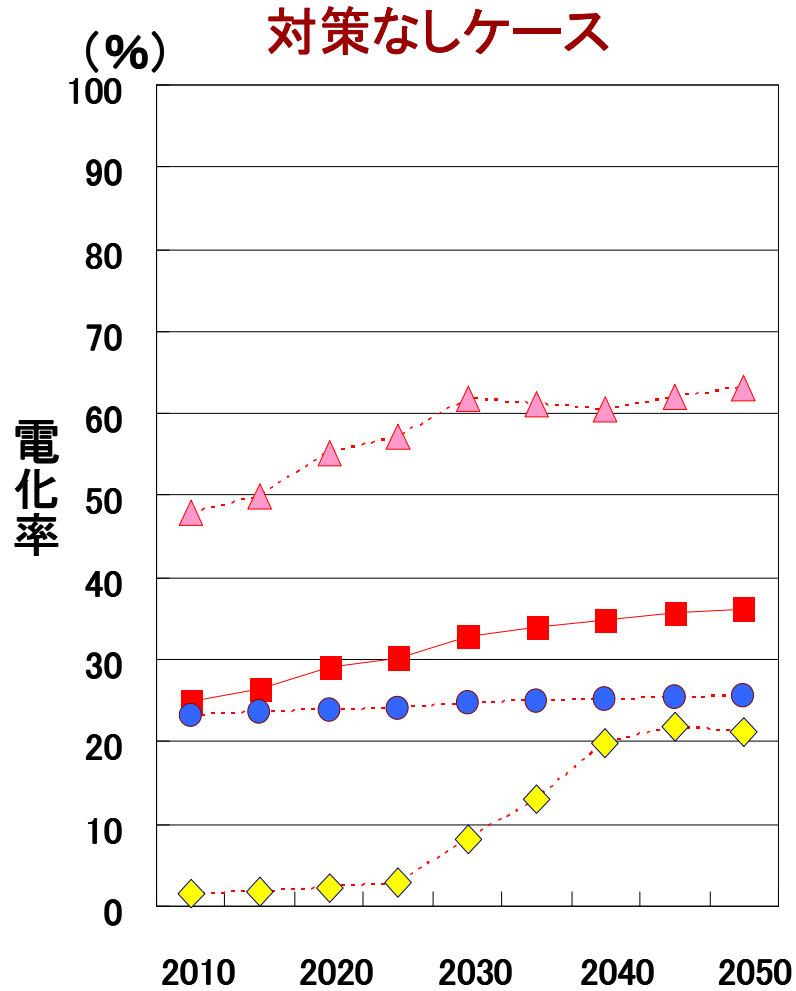
15%削減ケース



■ 石炭 ■ 石油 □ 天然ガス □ 原子力 ■ 再生エネ ■ 民生用コジェネ

15%削減ケースの姿(電化の推進)

・対策なしケース、15%削減ケースとも電化が進展、CO₂排出制約下では民生の電化率が更に向上

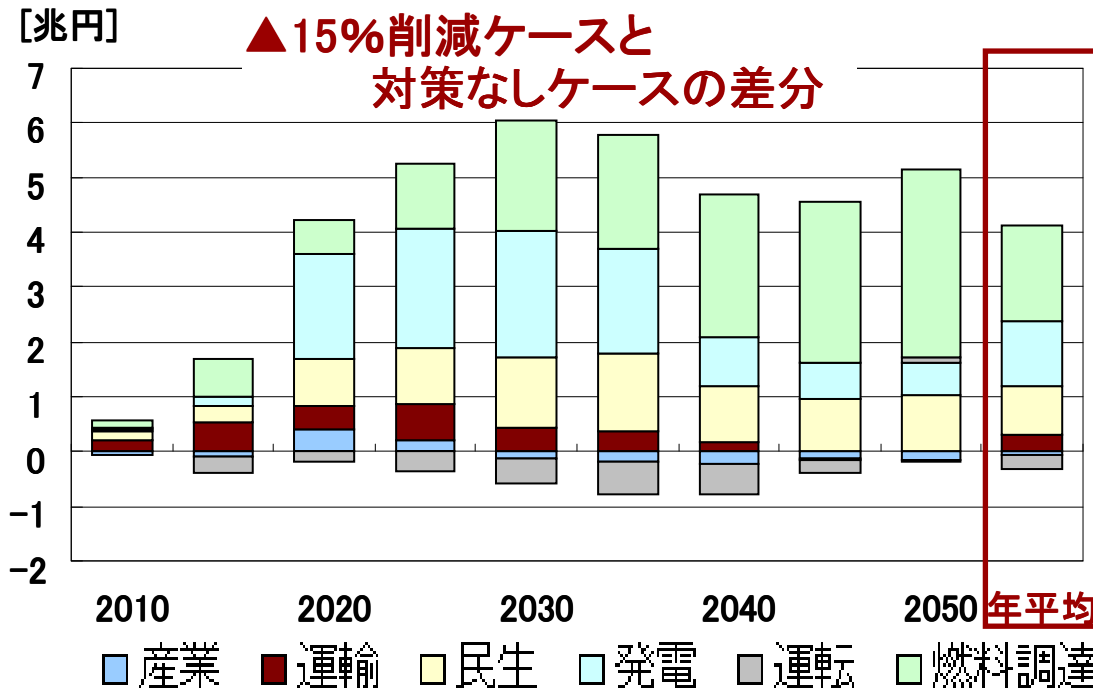
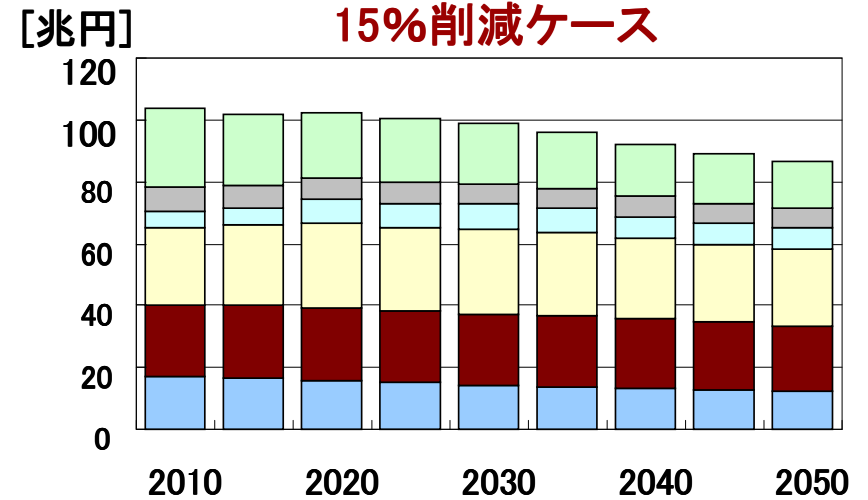
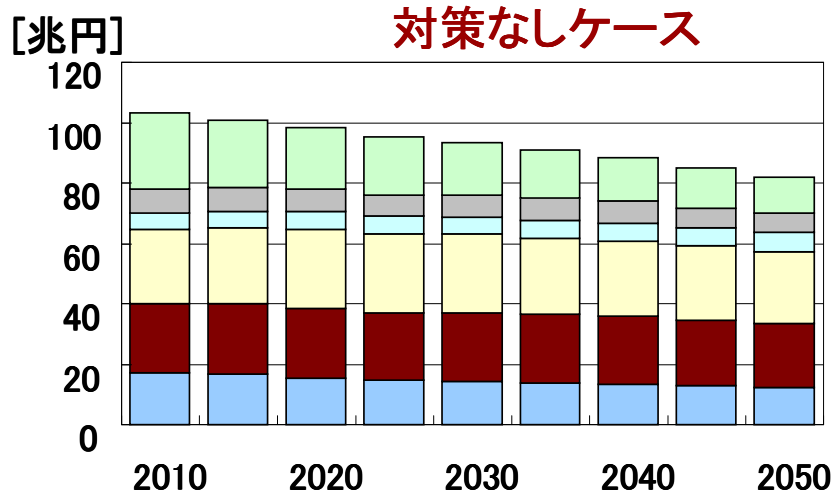


電化率 (全体) 電化率 (民生) 電化率 (産業) 電化率 (運輸)

—■— -▲- -●- -◇-

15%削減ケースの姿(トータルコスト(年経費化))

・対策なしケースに比べ、15%削減ケースの「トータルコスト」は、約3.8兆円/年増加



年平均

- ・対策なしケースと15%削減ケースのトータルコストの差は約3.8兆円/年
- ・燃料調達;約1.7兆円/年(LNG輸入拡大)
- ・発電部門;約1.2兆円/年(原子力発電の安定的稼働、再生エネ発電、最新鋭LNG火力発電の導入)
- ・民生部門;約0.9兆円/年(高効率ヒートポンプの普及拡大、コージェネ導入)
- ・運輸部門と産業部門;両者の差は小さい

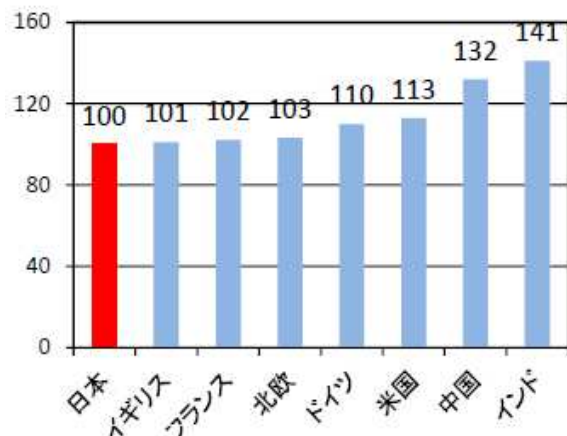
目次

1. 地球環境の科学的解明に向けて
2. エネルギーと地球温暖化問題についての俯瞰
3. エネルギー安定供給と温暖化対策に向けた技術的取り組み
4. 統合最適化シミュレーション
5. 我が国技術の海外展開

主要産業セクター別のエネルギー効率の国際比較

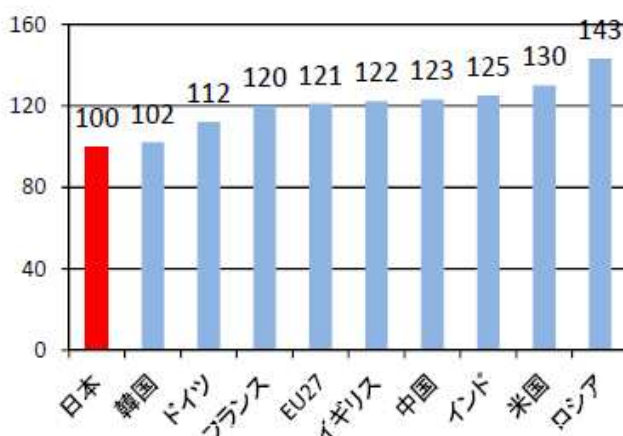
※日本を100とした場合の指数比較

①火力発電所の熱効率(発電量に対する投入熱量)の比較(2006年)



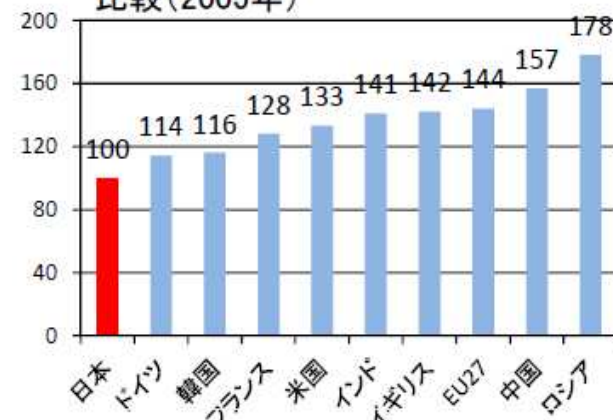
<出典: Ecofys, International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO2 Intensity (2009年)>

②粗鋼1トンを製造するのに必要なエネルギーの比較(2005年)



<出典: (財)地球環境産業技術研究機構(RITE)による推計 2009年>

③セメントの中間製品(クリンカ)1トン製造するのに必要なエネルギーの比較(2005年)



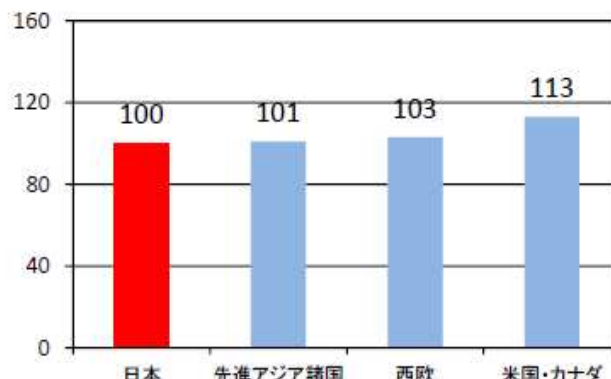
<出典: (財)地球環境産業技術研究機構(RITE)による試算 2009年>

④紙・板紙1トン製造するのに必要なエネルギーの比較(2004-2005年)



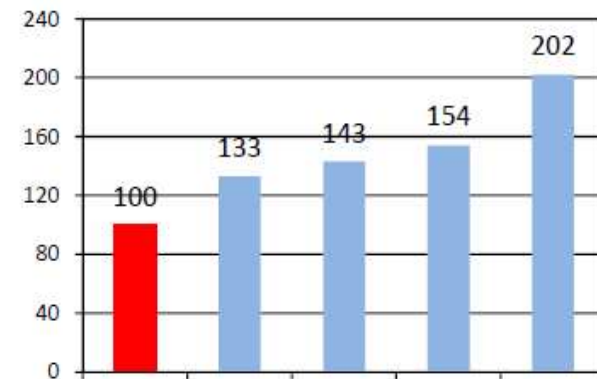
<出典: (財)日本エネルギー経済研究所、平成19年度製造業技術対策調査(製紙業の環境エネルギー分野に関する調査)報告書> ※バイオマスエネルギーを含む

⑤石油製品1kl製造するのに必要なエネルギーの比較(2004年)



<出典: Solomom associates社による調査 2005年>

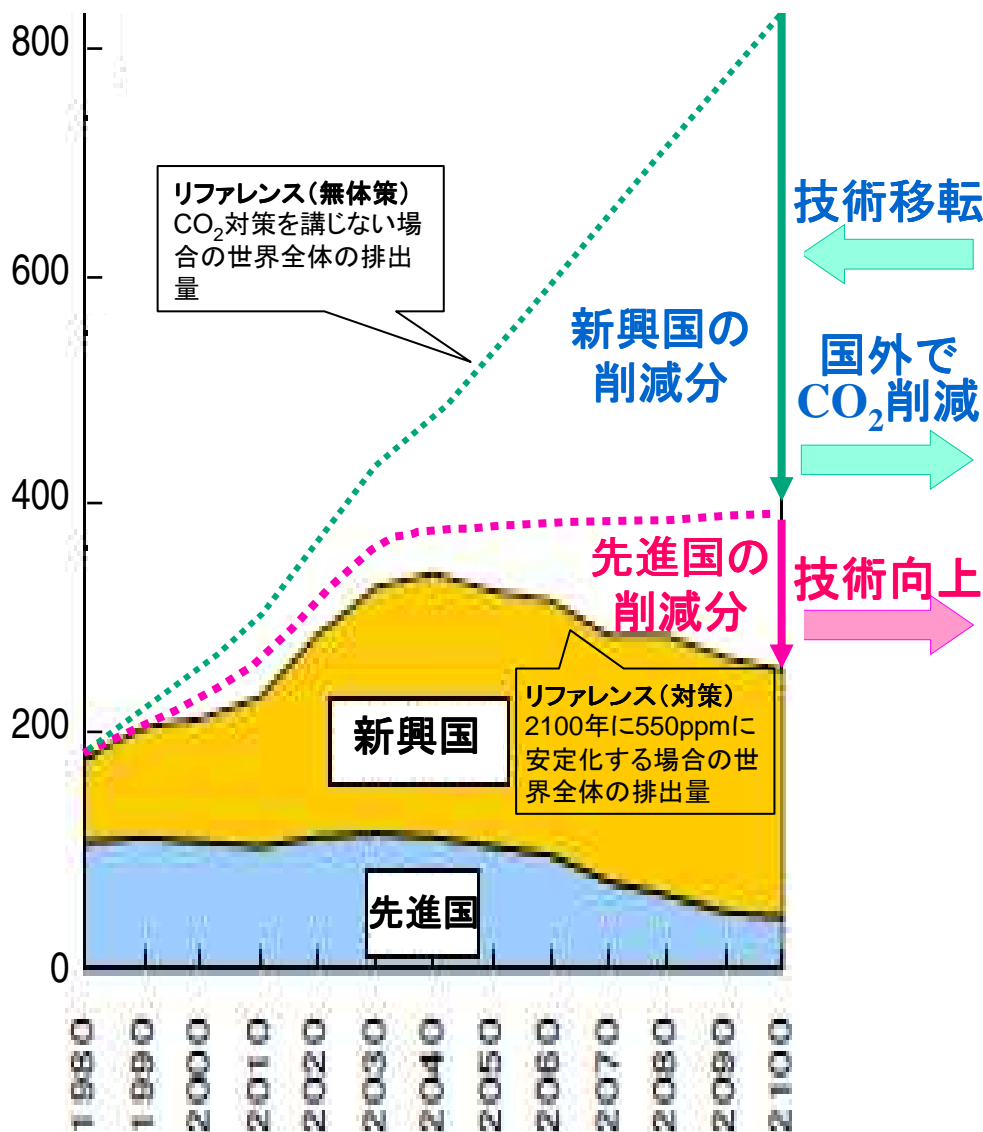
⑥銅の精錬に必要なエネルギーの比較(2000年)



<出典: 日本鉱業協会による調査 2000年>

我国の技術による新興国の温暖化対策支援

CO₂換算億トン

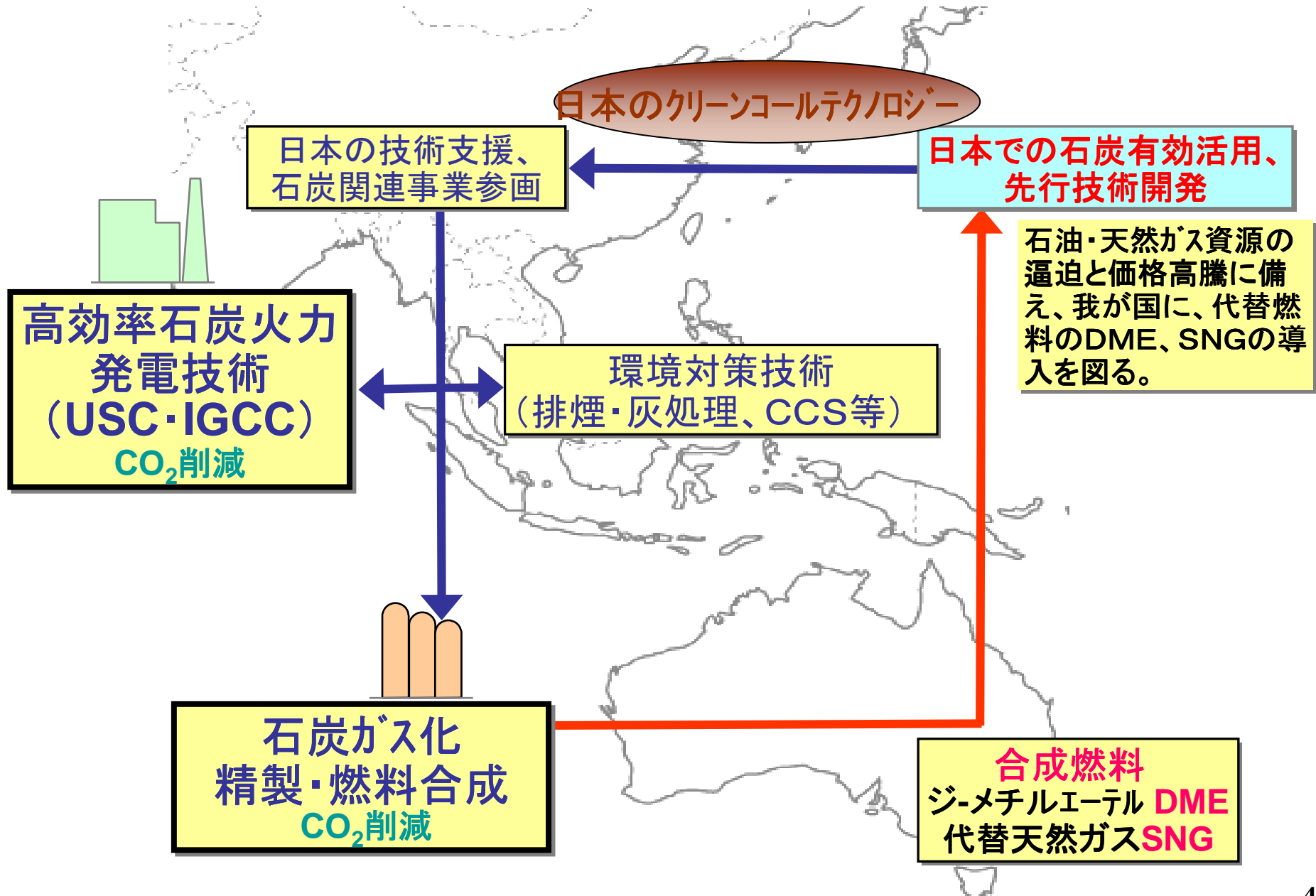


分類	対策技術・製品の活用事業例
エコエナジー技術・製品の供給	<ul style="list-style-type: none"> 原子力, 火力, 再生可能エネ技術 設備の提供, 維持・管理. 石油代替燃料の製造・活用.
エコエナジーサービス供給	<ul style="list-style-type: none"> 省エネ及びCO₂削減の「提案, 設備提供, 維持」サービス
環境対策支援	<ul style="list-style-type: none"> 先進国の制度・規格、技術を活用

・国外CO₂削減分を、新条約で、自国削減分に反映。
 ・アジア域内のエネルギー供給事業者と連携

分類	主な対策技術・製品例
省エネ推進	<ul style="list-style-type: none"> 高効率発電, 省エネ, 資源循環 都市内交通システム, モーダルシフト
低炭素発電電化促進	<ul style="list-style-type: none"> 原子力, 再生可能エネ ハイブリット自動車, 電気自動車 ヒートポンプ
天然ガスの利用拡大	高効率ガスタービン, 複合発電, 自動車代替燃料合成(GTL, DME等)
クリーンコール推進	石炭のガス化複合発電, 超臨界発電, ガス化による石油代替品製造

日本CCTの海外での普及にむけて





この星に、たしかな未来を

