

キャノングローバル戦略研究所(CIGS)国内ワークショップ
「地球温暖化緩和における世界で共有できるエネルギー・
ビジョン」 2012年7月24日

エネルギービジョンの検討

(財)エネルギー総合工学研究所
都筑 和泰、新藤 紀一、黒沢 厚志

本発表の内容

- はじめに
- 計算の基本的な考え方
- エネルギービジョン
 - 社会・需要想定
 - BAUのエネルギー構成
 - Z650のエネルギー構成
- 原子力の導入が進展しない場合の影響評価
- まとめ

はじめに

- ・ 昨年6月の国内ワークショップでは、
 - ・ Z650が実現見通しのある技術の組み合わせで成立すること
 - ・ 投資と燃料節減がバランスしていることを示した。
- ・ 今回は下記の2点を中心に説明

「エネルギービジョン」の明確化

社会想定 の 提示

Z650を実現するための技術構成を、需要を含めて議論

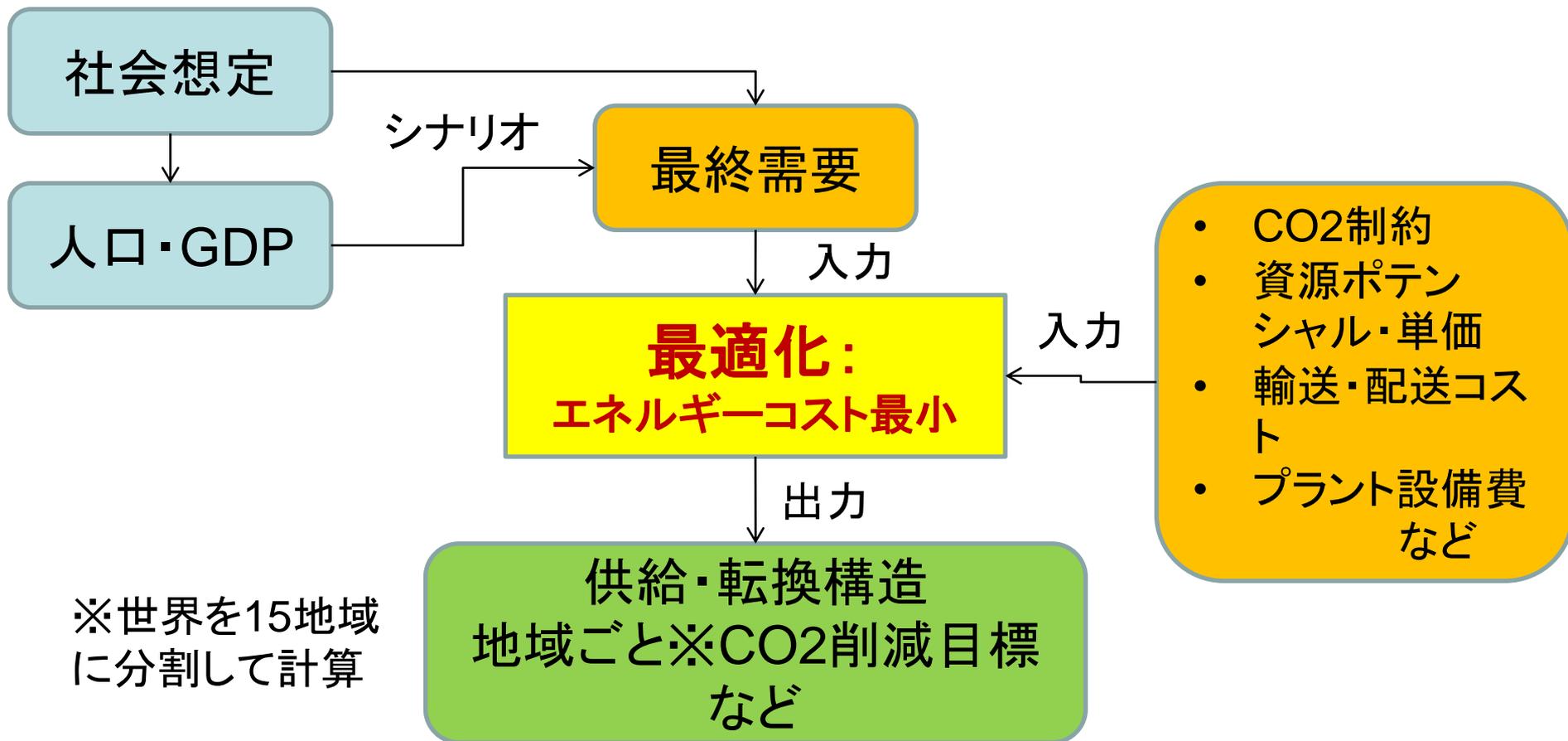
原子力の影響評価

原子力をフェーズアウトさせた場合の影響を分析

1. 計算の基本的な考え方

GRAPE (Global Relationship Assessment to Protect Environment)

エネルギーシステム最適化モデル



2. 社会・需要の想定

(1) 社会・経済想定

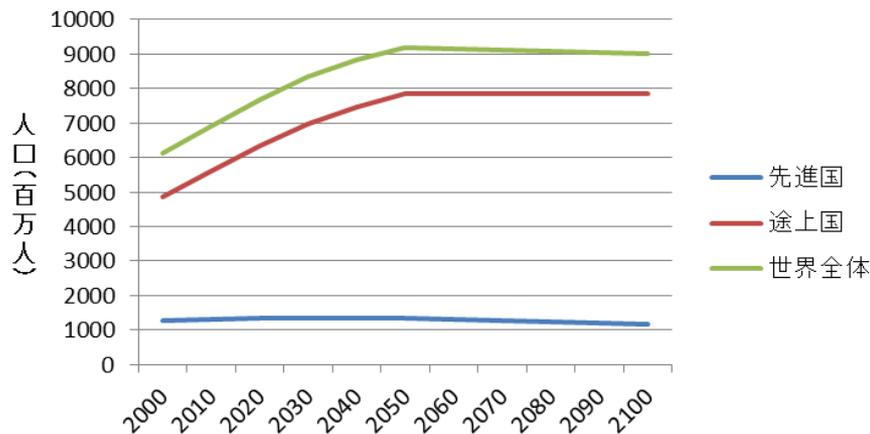
- 人口は国連の中位推計程度(2050年90億人)
- 世界全体が協調
- 先進国は着実に成長

(成長率は2010年頃は約2%/年、その後漸減し、2100年では約1.3%/年)

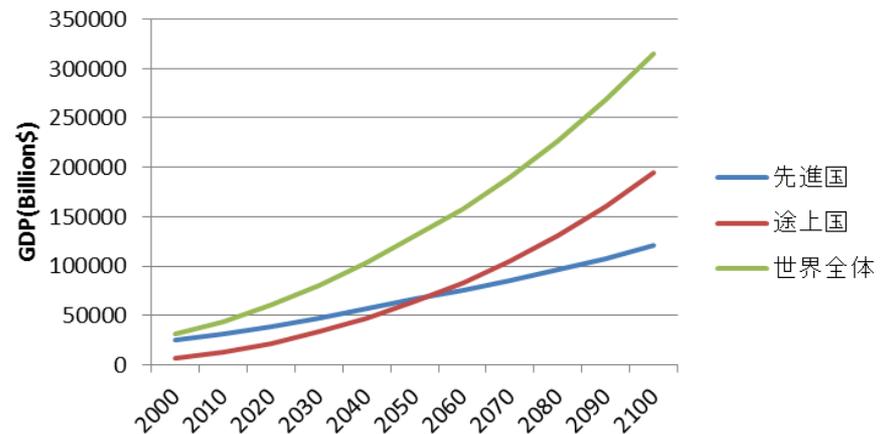
- 途上国は急速にキャッチアップ

(2010年頃は約5%/年程度、2050年で約2.5%、2100年では約2%)

人口の設定

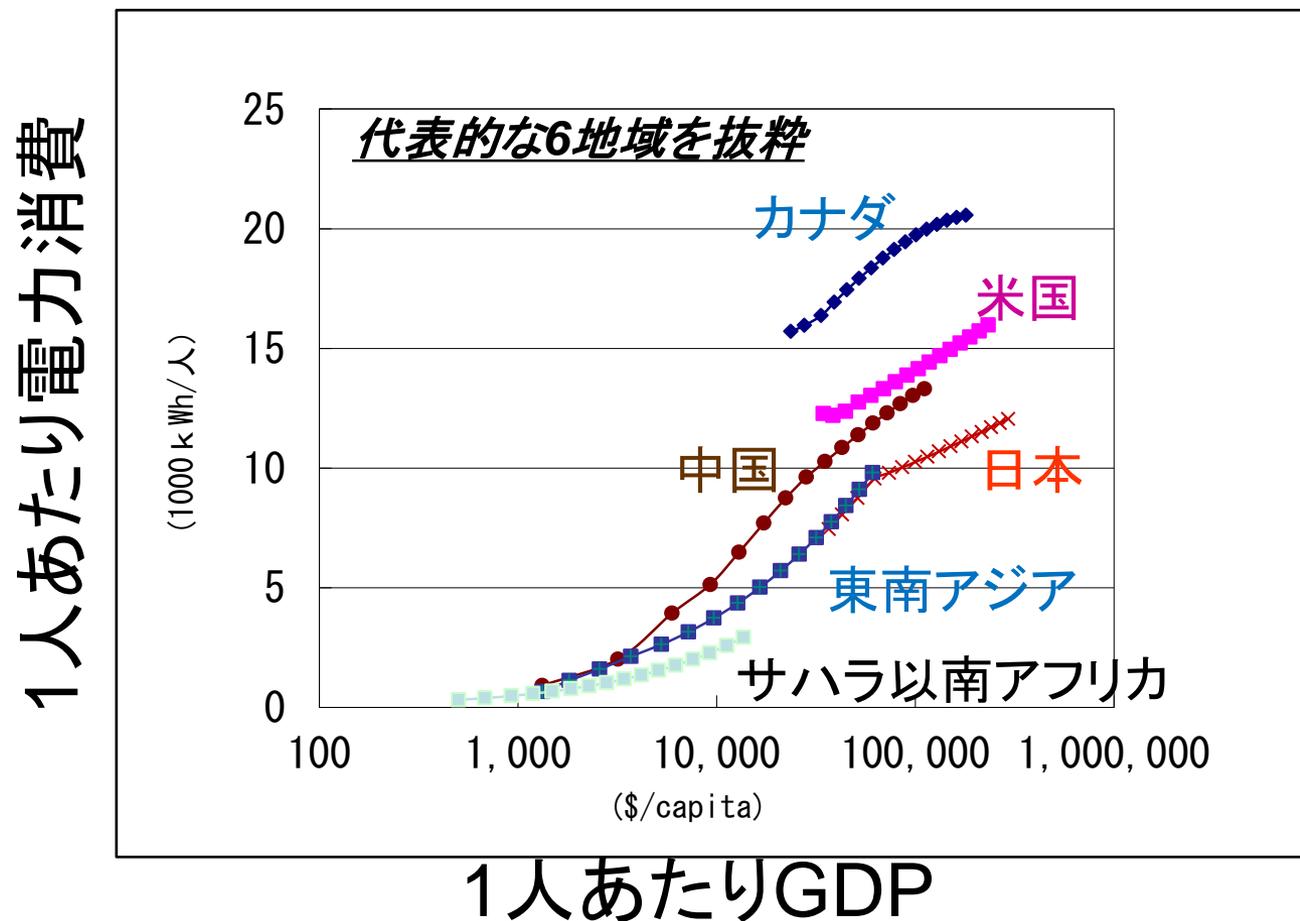


GDPの設定



(2) エネルギー消費の設定

- ◆ 一人あたりGDPの上昇とともに、エネルギー消費量も増加
- ◆ 一人あたりGDPの増加とともに、エネルギー効率も上昇
- ◆ 寒冷地はエネルギー消費が相対的に大きい



(3) 最終需要の想定

◆ 先進国は各部門ともほぼ横ばい:

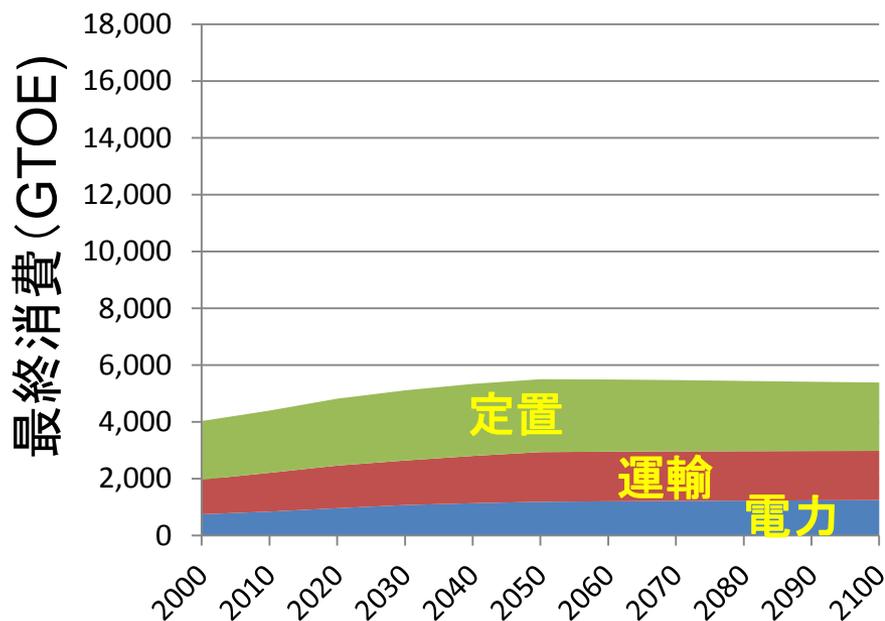
GDPは増加

効率向上、人口減

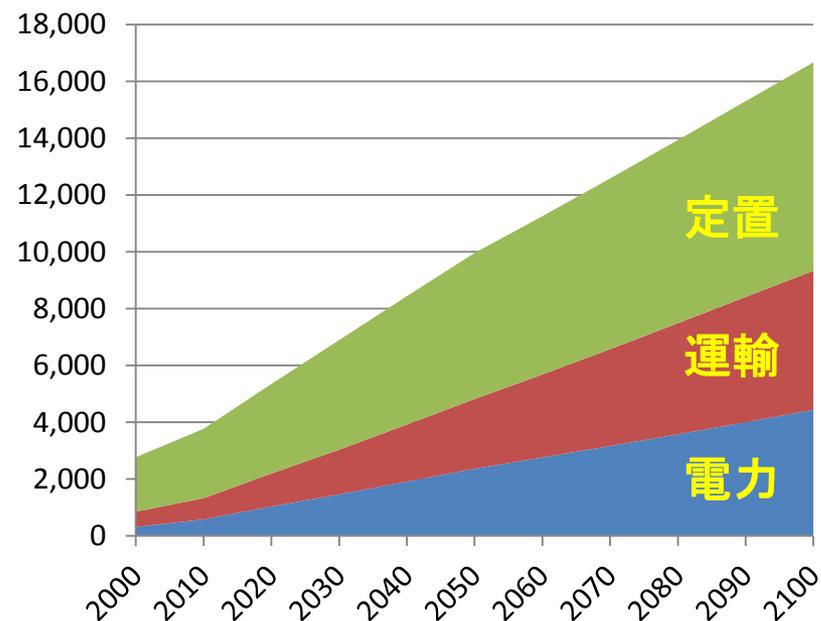
◆ 途上国の需要は各部門とも単調増加:

2050年には2000年の需要の約3倍

	電力	非電力
産業	電力	定置
民生	電力	定置
運輸	運輸	運輸



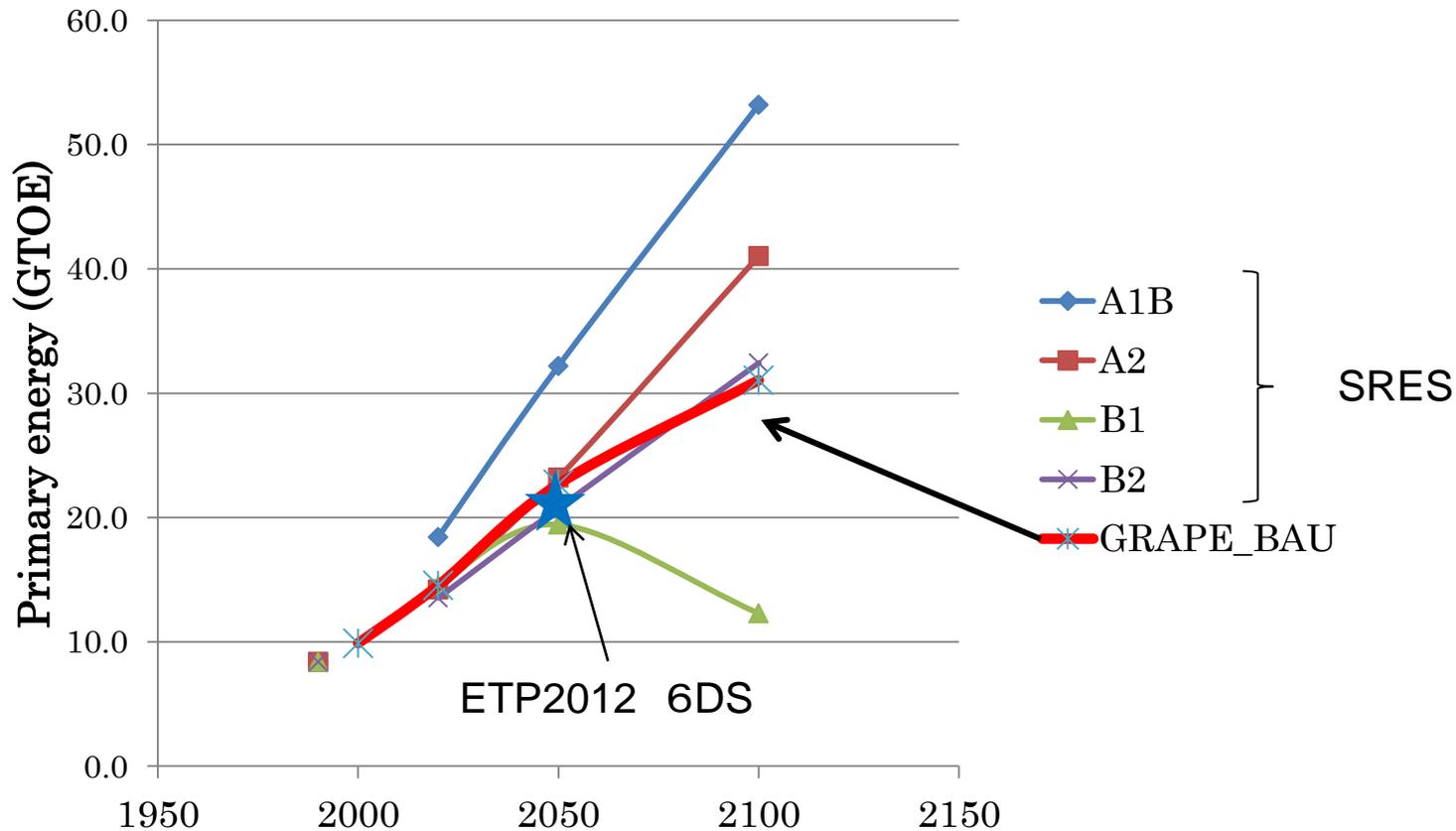
先進国



途上国

(4)他のモデルとの比較

GRAPEの総需要は中庸な設定である



・A1~B2: IPCCが2000年に発行した、SRES(Special Report on Emission Scenario)のシナリオ。グローバルor地域重視、経済重視or環境重視の組み合わせで4シナリオを提示

・ETP2012 6DS: IEAのEnergy Technology Perspective2012における、なりゆきシナリオ。この他に、よりCO2を削減する4DS、2DSシナリオがある。 ⁷

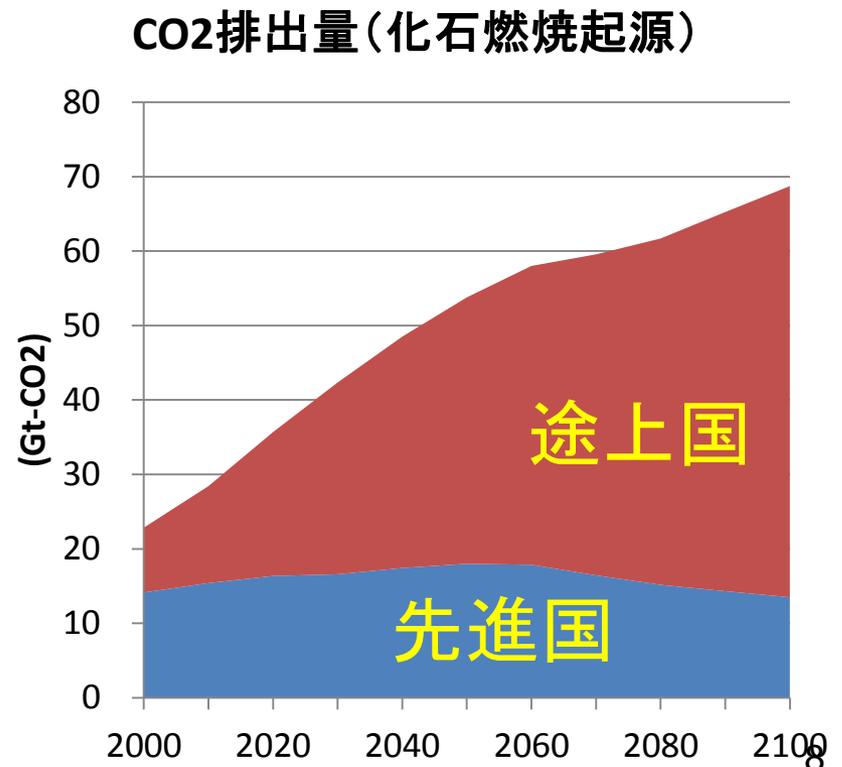
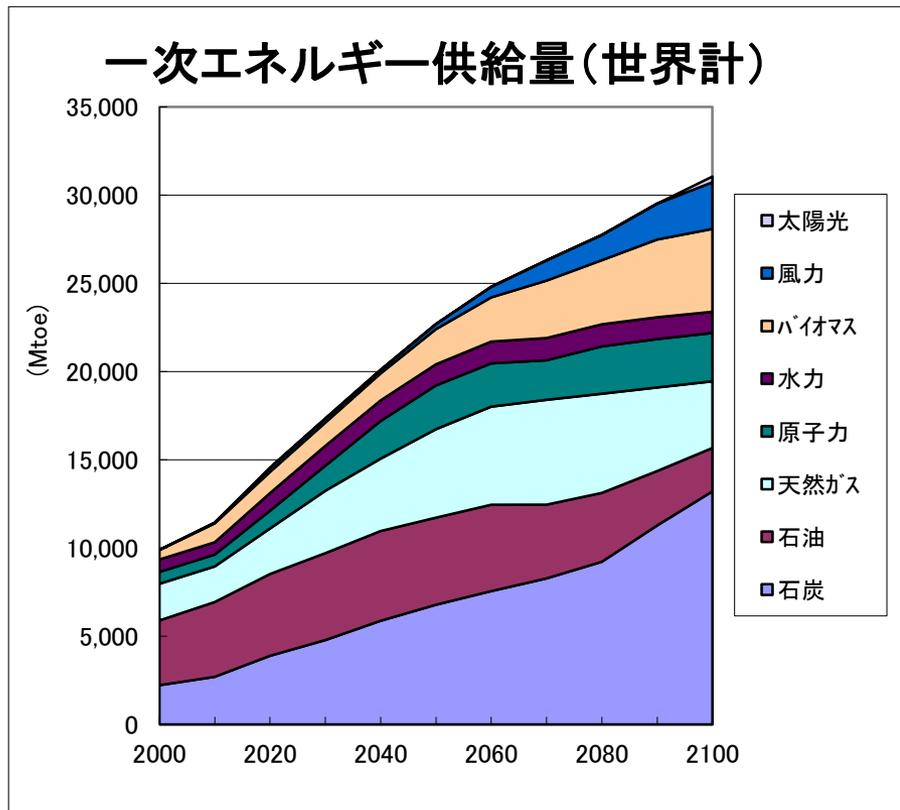
3. BAUのエネルギー構成

◆ 化石中心のエネルギー構成

今世紀は十分供給可能。ただし、2150年で総資源量の5～7割を消費
需給バランスの変化に関わる価格変動は考慮していない。

◆ CO2排出

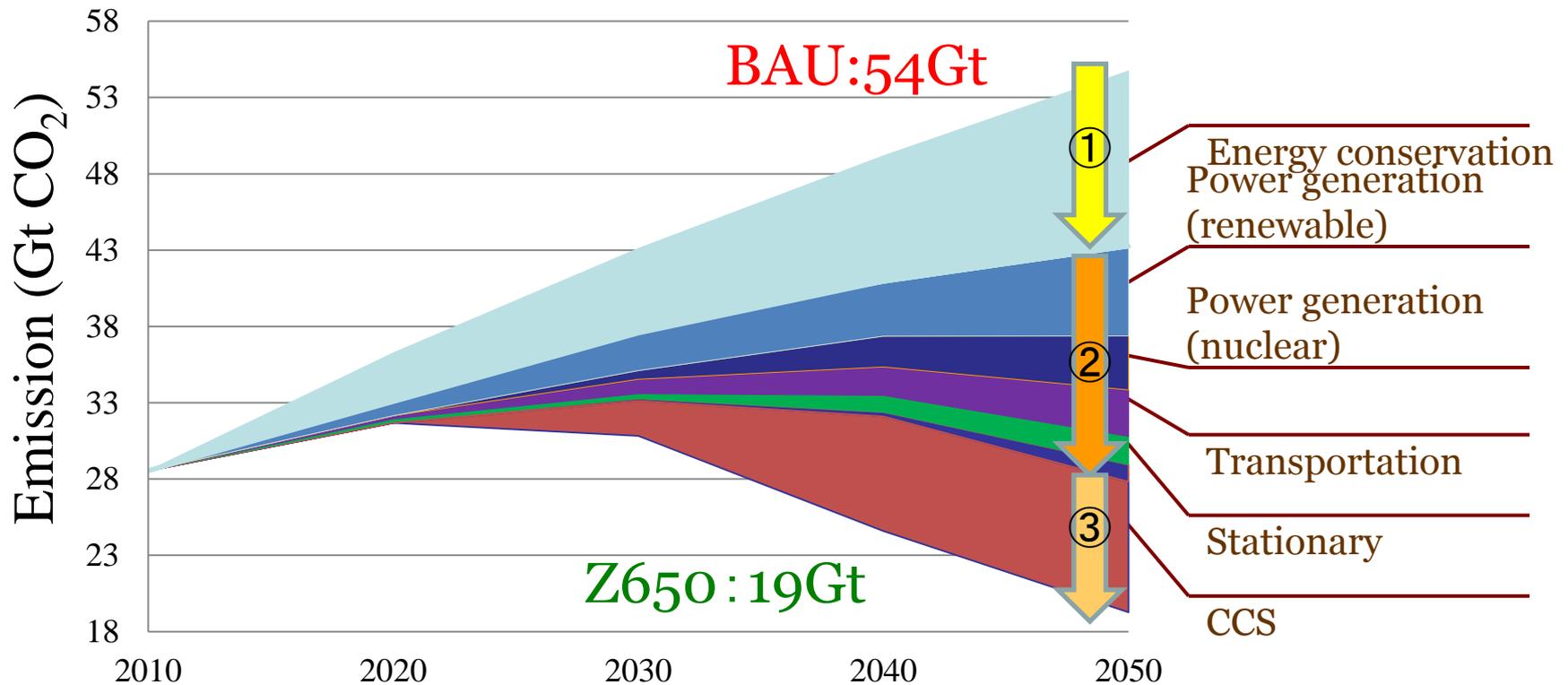
2050年54Gt(1990年の約2.5倍)。



4. Z650のエネルギー構成

CO₂制約を実現するためには、下記の3点が重要

- ① 消費エネルギーそのものの低減
- ② 非化石エネルギー(原子力、再生可能)のシェア向上
- ③ 二酸化炭素の回収・貯留



4. 1 省エネルギーシナリオ

(1) 基本的考え方

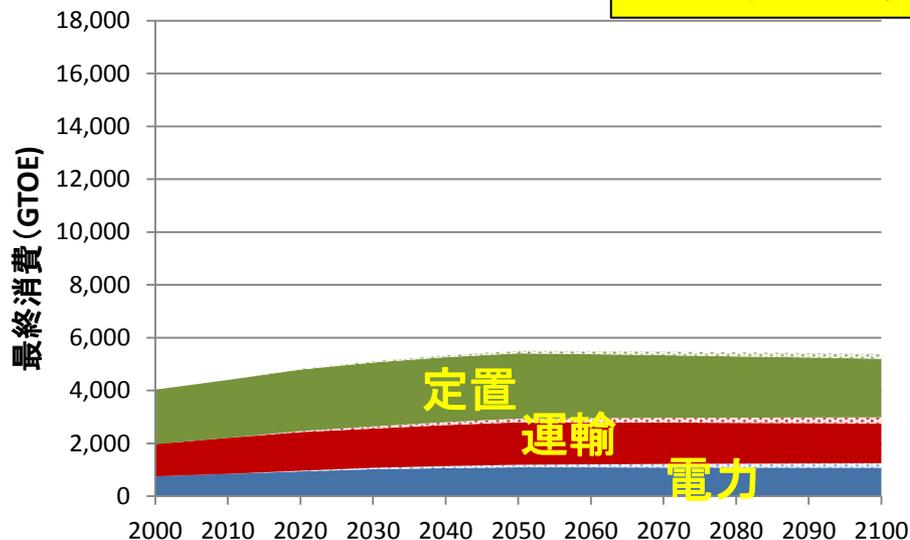
- 生産や消費者効用は保持しつつ、エネルギー効率を向上
- 機器の買い換え時に、高効率の機器が着実に普及。半強制的な措置・社会構造の変革は想定しない。

(2) 想定技術

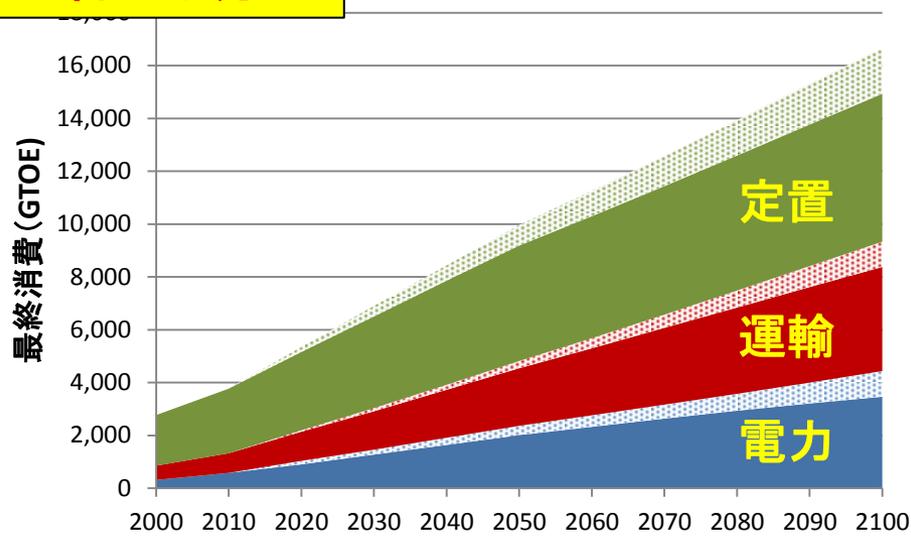
- 産業
 - 高効率プロセス(鉄鋼、化学、セメントなど)
- 民生
 - トップランナー家電、住宅断熱、LED照明、BEMS、HEMS など
- 運輸。
 - 燃費向上、ハイブリッド など。

(2) 省エネ率とその位置づけ

※ハッチングが省エネ分※



先進国



途上国

- 途上国は、新規導入機器が中心になる分、省エネ率が高い。
先進国: 約6%、途上国: 約14% @2050年
- 世界の省エネはWEOのNew Policyシナリオ(現在予定されている政策・計画(未実施を含む)が着実に履行されることを想定)と同程度
- 日本の省エネは、中環審の低位シナリオと同程度。すなわち、現行ですすでに取り組み、あるいは想定されている対策・施策を継続

4. 2 供給側の低炭素技術（CCSを含む）

供給側の主要な技術は下記の通り

これらのうち、割安なもの（コスト増加に対するCO₂削減量が大きいもの）から導入が進む

（1）電力

- 原子力
- 風力・太陽光
- 火力+CCS

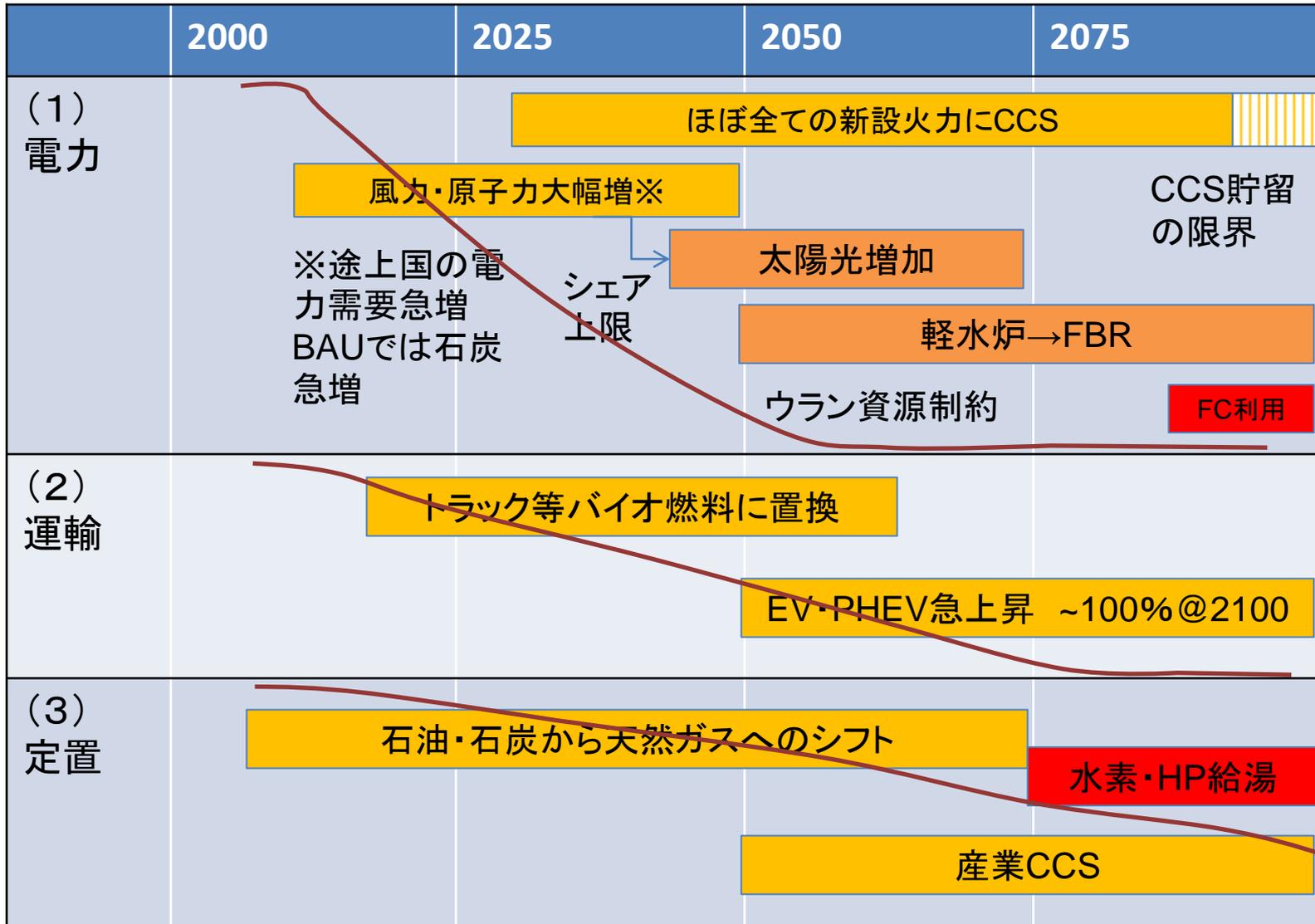
（2）運輸

- プラグインハイブリッド、電気自動車
- バイオ燃料

（3）定置＝産業・民生の熱源

- 燃料シフト（天然ガスの利用）
- バイオマス
- 水素利用
- 産業CCS

4.3 CO2対策技術概観



図中の曲線はCO2削減率（Z650の排出/BAUの排出）のイメージ

4. 4 主要技術の評価

1) 風力と原子力の急増

2050年までの平均増加量

原子力:36GW/年(稼働率85%)

風力:90GW/年(稼働率25%)

これらは原子力の導入期の50GW/年(1980年代前半)、最近の風力の導入速度40GW/年と比べ、桁違いに大きい値ではない。

2) CCSの実用化

- ◆ 欧米でそれぞれ10程度の実証プロジェクトが進行中(2011.7現在)
- ◆ CCSプラントの発電コストはもとのプラントの4割~5割増しとされており、炭素価格の状況によっては十分な競争力をもち得る
- ◆ 欧米のロードマップでは、2015年頃に回収の商用化、貯留の実規模試験を想定(2011.7現在)

3) バイオ燃料

- ◆ 残渣とエネルギー作物だけでもポテンシャルは十分
- ◆ トラックや航空は電気への移行は困難であり、バイオ燃料によるCO2削減に期待。

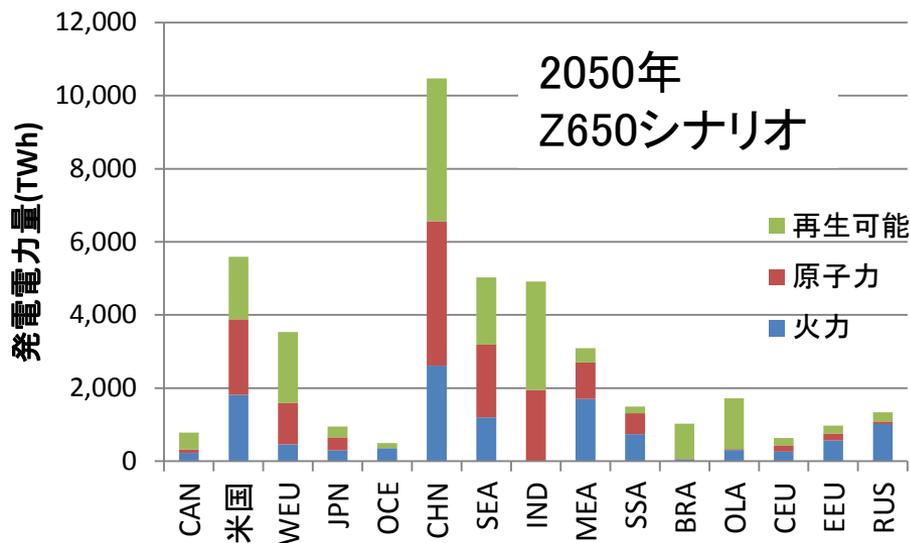
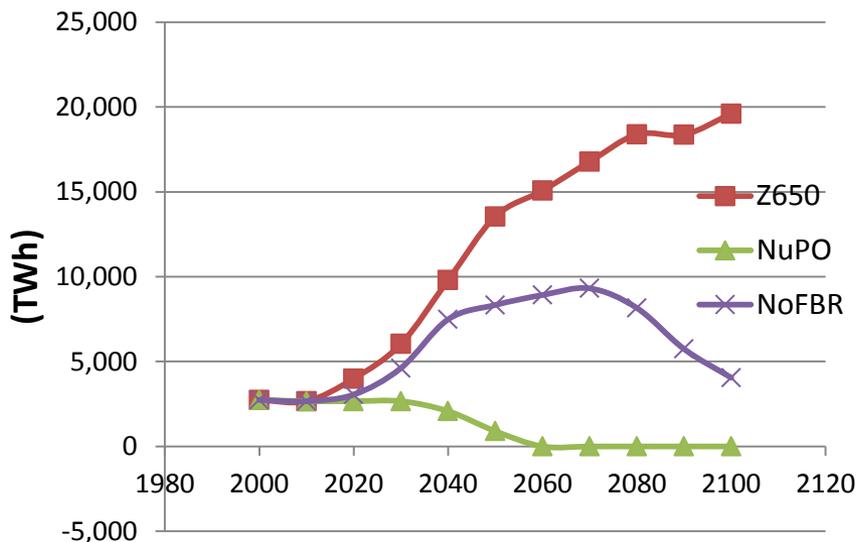
5. 原子力の導入が進展しない場合の影響評価

- 福島第一原子力発電所の事故により、世界の原子力の導入に何らかの影響が生じる可能性がある。
- ケーススタディ※として、原子力フェーズアウトケース（2010年以降世界全体で新設無し、既設炉50寿命について検討
- 同様に高速増殖炉（FBR）の導入が全く進まない場合についても評価。

※震災後の各国の反応を見ると、世界の原子力計画にはそれほど大きな変動はないようではあるが、極端ケースとして検討を進めることとした。

5.1 原子力発電量の概況

世界の原子力発電電力量



<原子力制限なし>

- 2030年までの増設速度は現状の新設計画と同等
- 2030年以降、原子力導入速度が加速。
- 増設が大きいのは、主に中、印、東南アジアなど

<原子力フェーズアウト>

- 既設炉の寿命は50年に設定されており、原子力の発電規模が顕著に下がるのは2030年頃

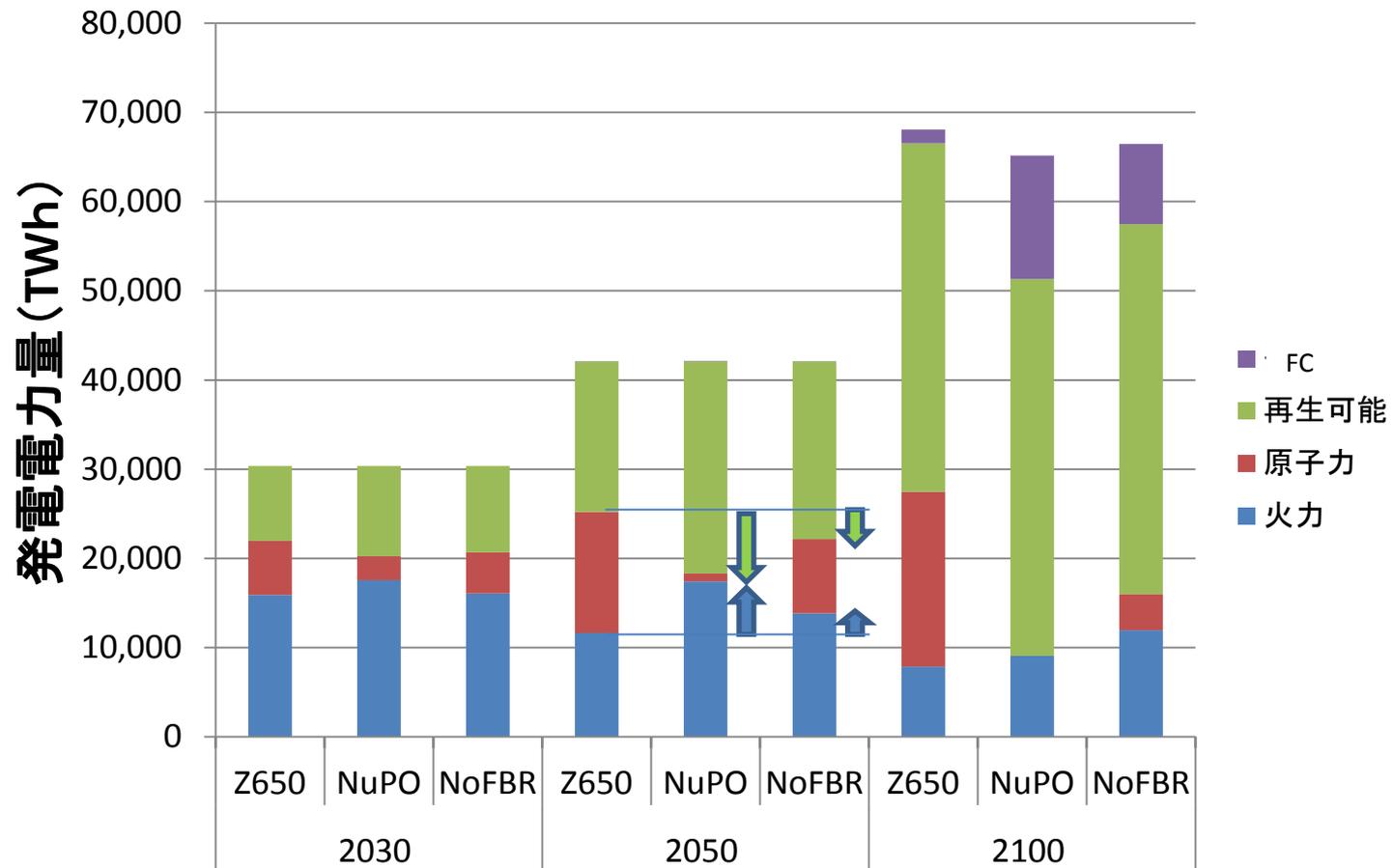
<FBRなし>

- 2050年頃は約4割減
- 2080年以降急減

5.2 発電構成への影響

2050年前後：原子力の減少分は火力と再生可能(主に太陽光)で代替

2100年前後：再生可能や火力の伸びしろは小さい。
原子力の減少分は、主に燃料電池(FC)で代替



5.3 コスト評価

GRAPEの設定では 原子力~CCS火力<太陽光<<FC

◆ 中期的(~2050年前後):

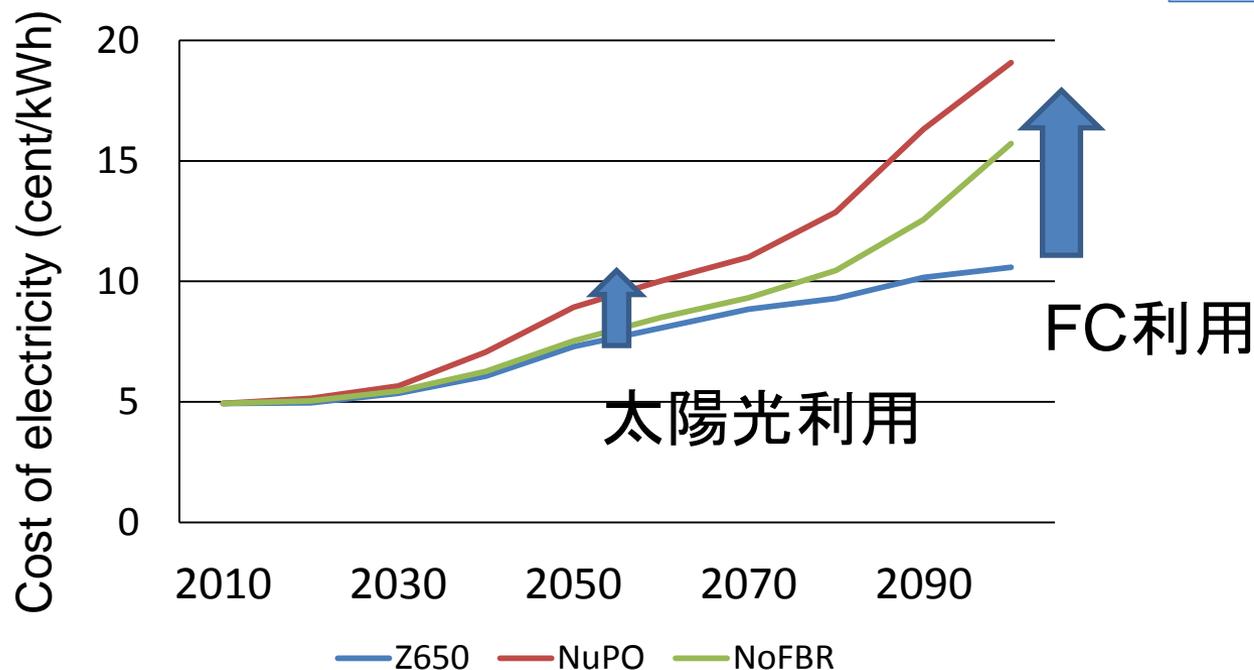
✓ 主に太陽光の増加により約10%コスト増

◆ 長期的(~2100年):

✓ FCの大規模利用による、コスト大幅増

太陽光のコスト低減
化石燃料の調達
CCSの実施

再生可能エネルギー
大規模利用に関わる
技術・経済的不確定性

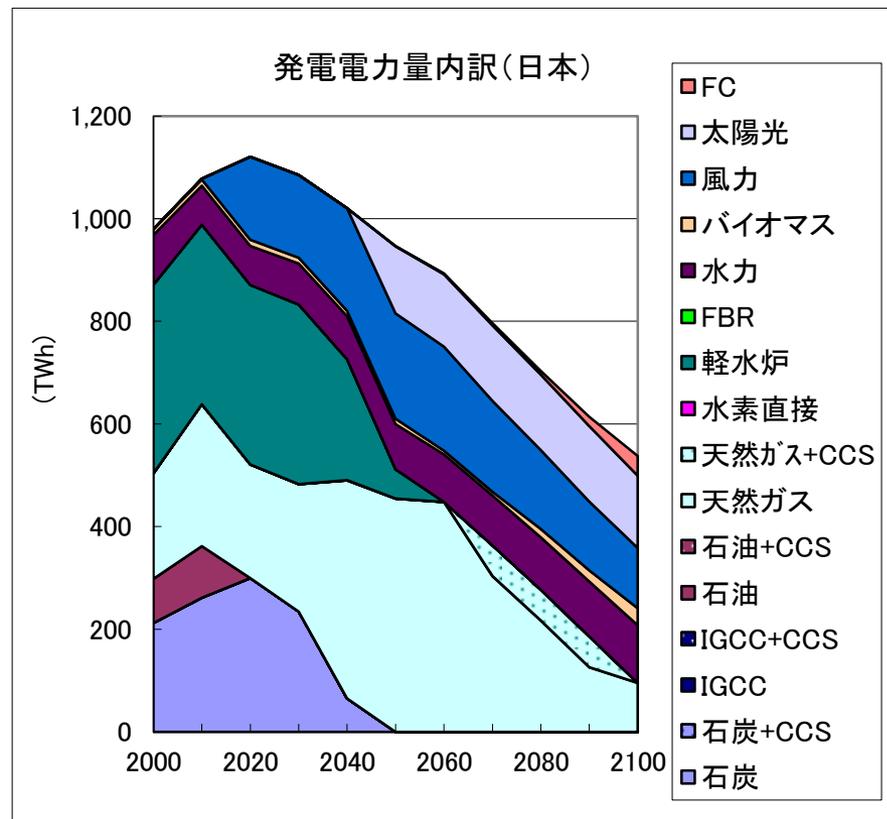
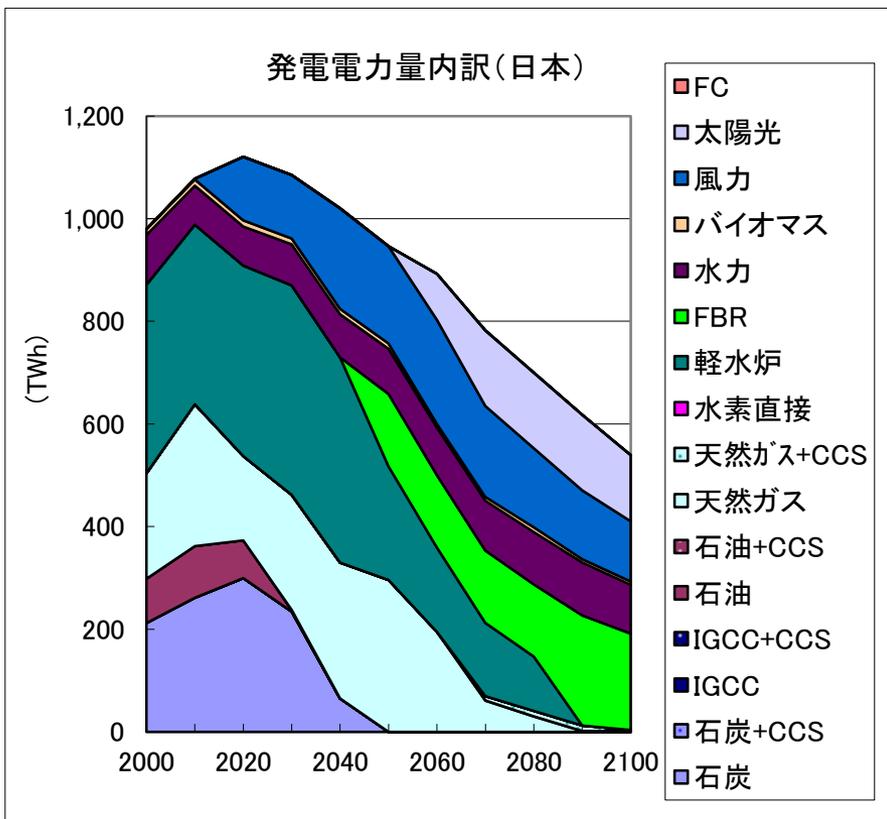


5.4 日本への影響

天然ガス火力の大幅増

太陽光の導入時期が2050年に前倒し

世界全体最適化の中で、日本の排出制限が若干緩和



コスト影響は限定的であるが、天然ガス消費増や、電源多様性低下に伴うリスクは増加

まとめ

- ◆ BAUシナリオは、途上国の急速な成長を化石燃料を中心に実現すること想定している。エネルギー消費量は中庸。
- ◆ Z650を実現するための当面の主要課題は、途上国の急増する需要への対応
 - ◆ 高性能機器の普及
 - ◆ 風力、原子力の急増
- ◆ 2030年以降に新設するほとんど全ての火力にCCSを設置することを想定。早期実用化に向けた研究開発が必要。
- ◆ 原子力をフェーズアウトさせると、2050年では10%程度の電力コスト増となる。ただし、化石燃料の高騰、CCSや太陽光の技術開発の停滞があれば、影響は大幅に増加。
- ◆ 長期的にCO₂削減を行うためには、原子力は重要なオプション。原子力フェーズアウト、高速増殖炉なしシナリオとも、大幅なコスト増につながる。

ご静聴ありがとうございました

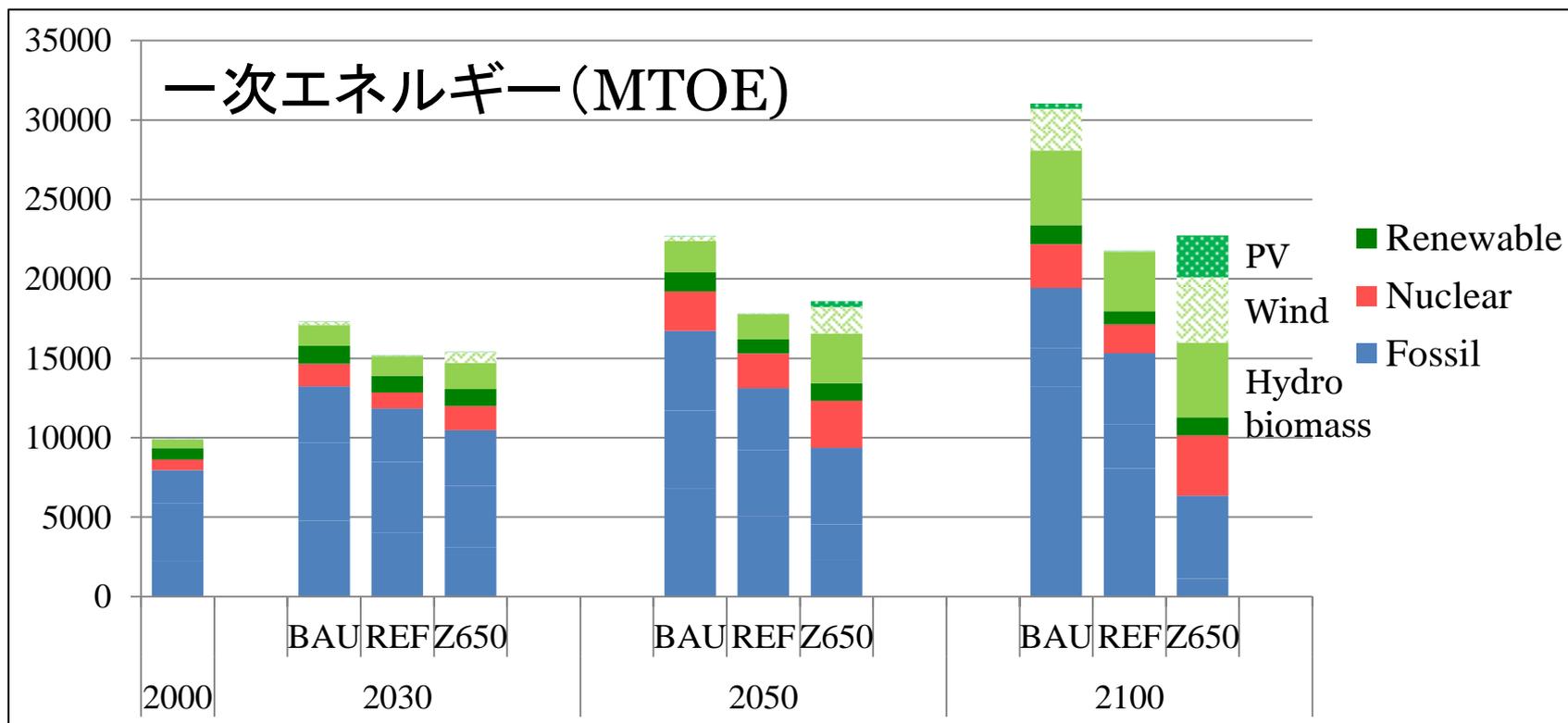
計算結果詳細

2. Z650を実現するための技術構成

CO₂制約を実現するためには、下記の2点が重要

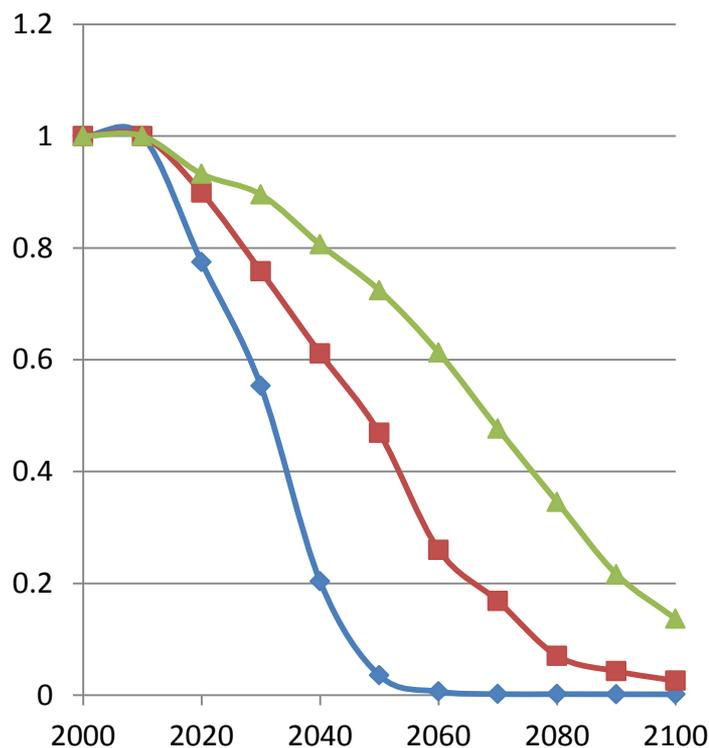
- 消費エネルギーそのものの低減
- 非化石エネルギー（原子力、再生可能）のシェア向上

	2030年	2050年	2100年
再生可能	20%	35%	55%
原子力	10%	15%	15%
化石燃料	70%	50%	30%

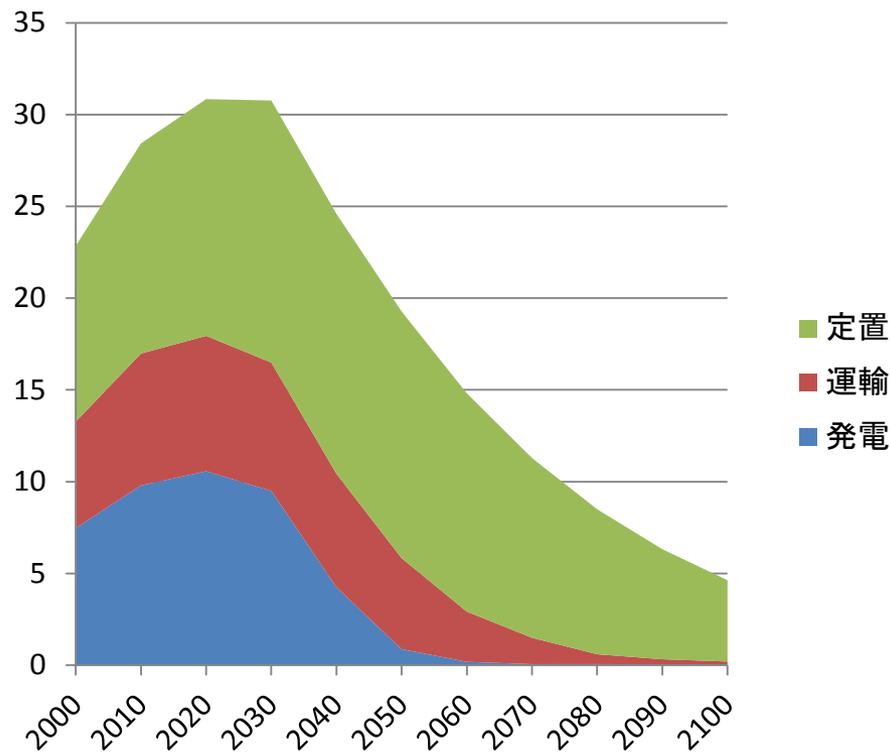


2. 1 部門毎のCO2対策とその時期

- (1) 電力は2050年ころにゼロエミッションを達成。これを保持
- (2) 運輸は2080年頃にゼロエミッション達成
- (3) 定置 (= 産業・民生の熱源) のCO2低減が最も困難



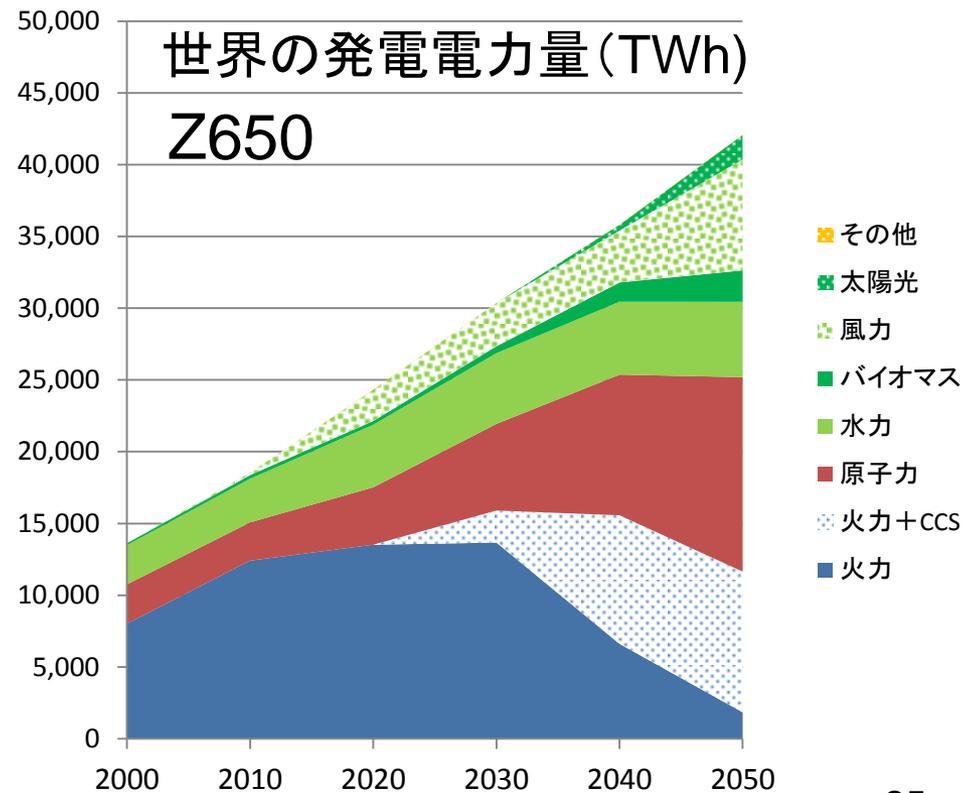
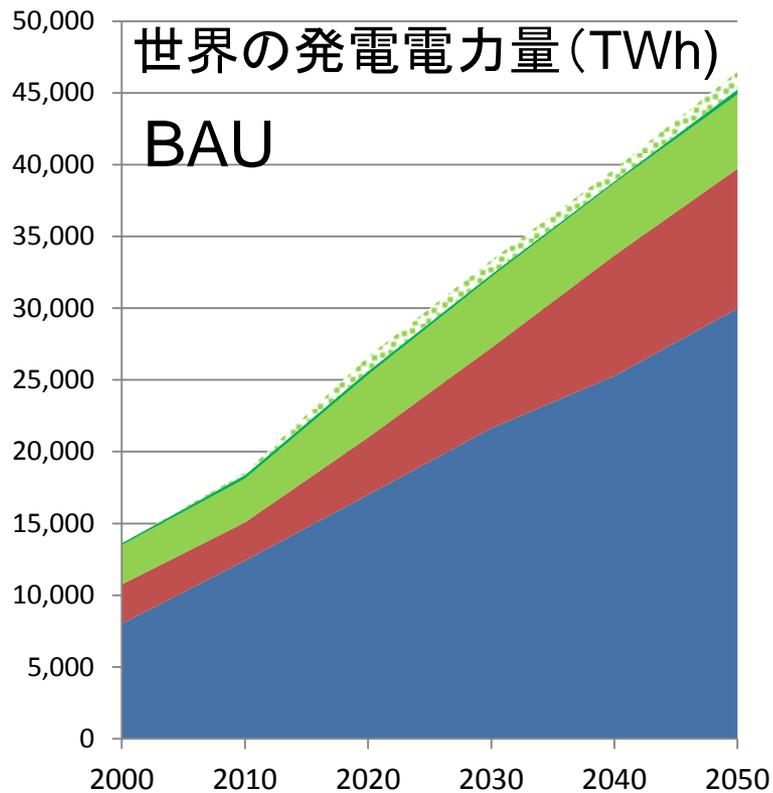
Z650の排出量/BAUの排出量



Z650部門毎排出量Gt-CO2 24

(2) 電力の中短期対策

- BAUでは火力が急増(主に途上国の石炭火力増)
- Z650では火力は2010年以降ほとんど横ばい
- 代替は主に原子力と風力と電力消費低減
- 2030年以降はCCS火力が急増、通常の火力は急減



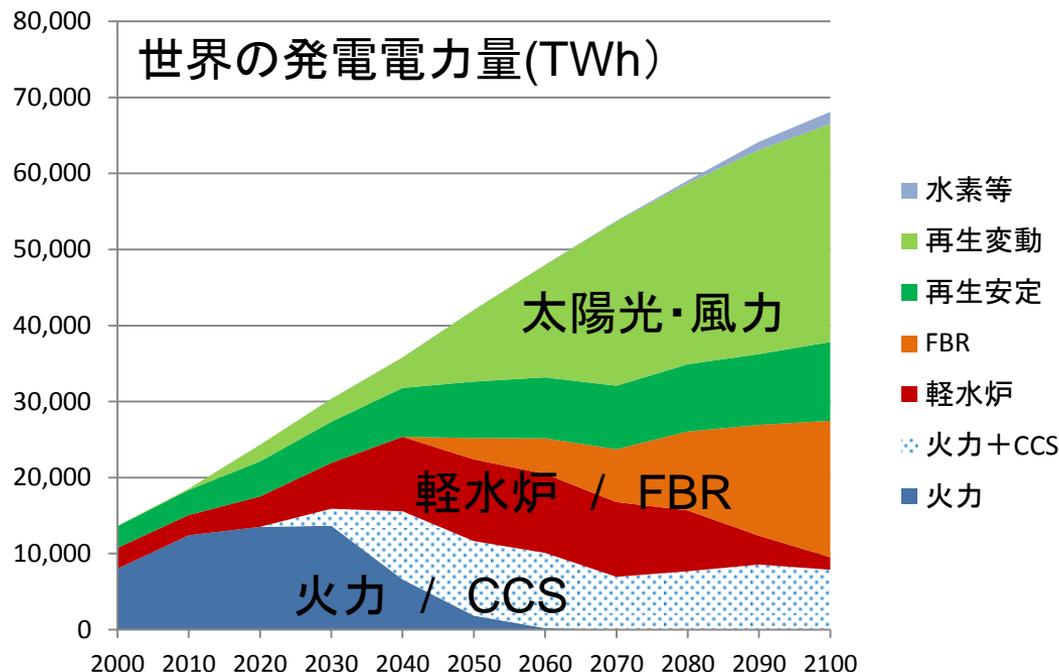
(3) 電力長期対策(～2100年)

ゼロエミッションの持続は簡単ではない。

- 電力需要はさらに伸びる
- CCSは持続的ではないため、火力の寄与は減少傾向
- 原子力高成長シナリオでは、今世紀中にウラン資源制約が顕在化

GRAPEは、下記によりゼロエミッションを保持(注)

- 高速増殖炉技術によりウラン資源問題を解決。
- 太陽光・風力のシェア上限は保持。余剰電力を水素化して蓄積



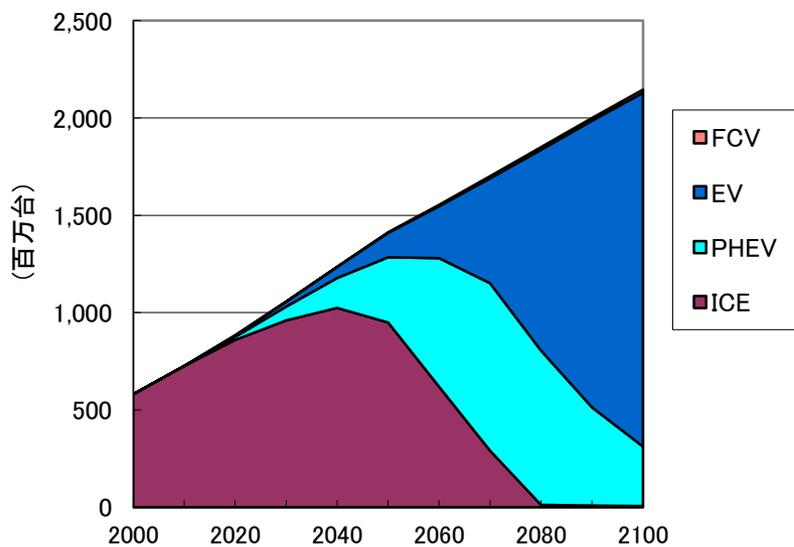
注 長期対策としては下記のような選択肢もありえるが、GRAPEでは考慮されていない

- 海水ウラン等の資源開発
- 大規模蓄電とスマートネットワーク
- 炭素貯留技術

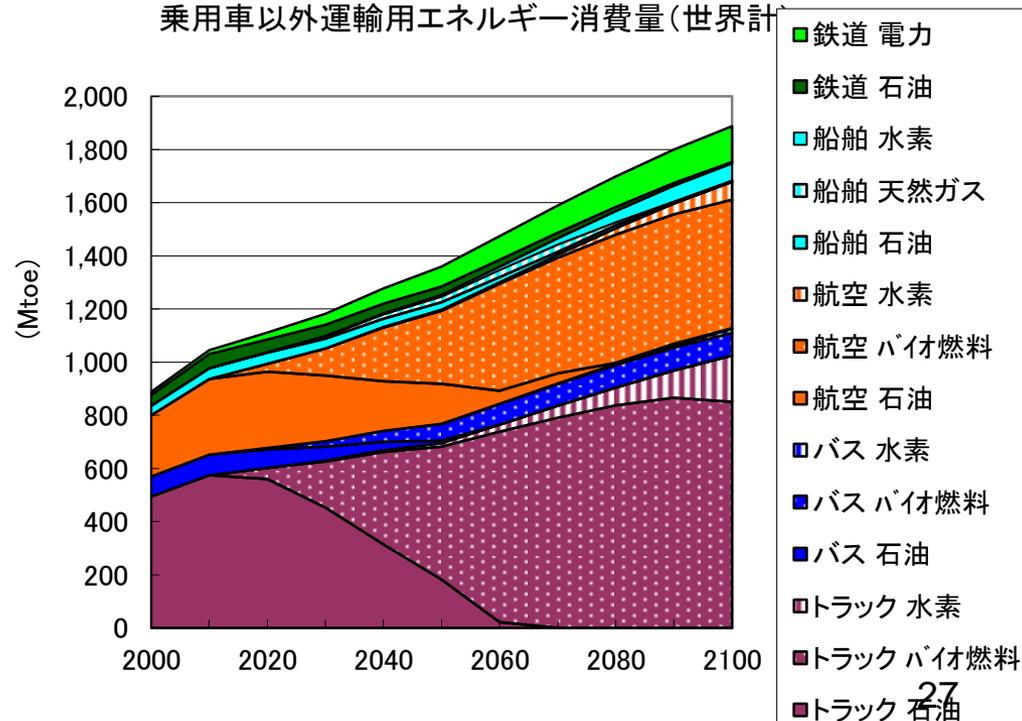
(2) 運輸

- 乗用車については、プラグインハイブリッドが2050年、電気自動車^{EV}が2060年ころから急速に普及
- トラック・航空については、2020年ころからバイオ燃料が普及

乗用車保有台数(世界計)

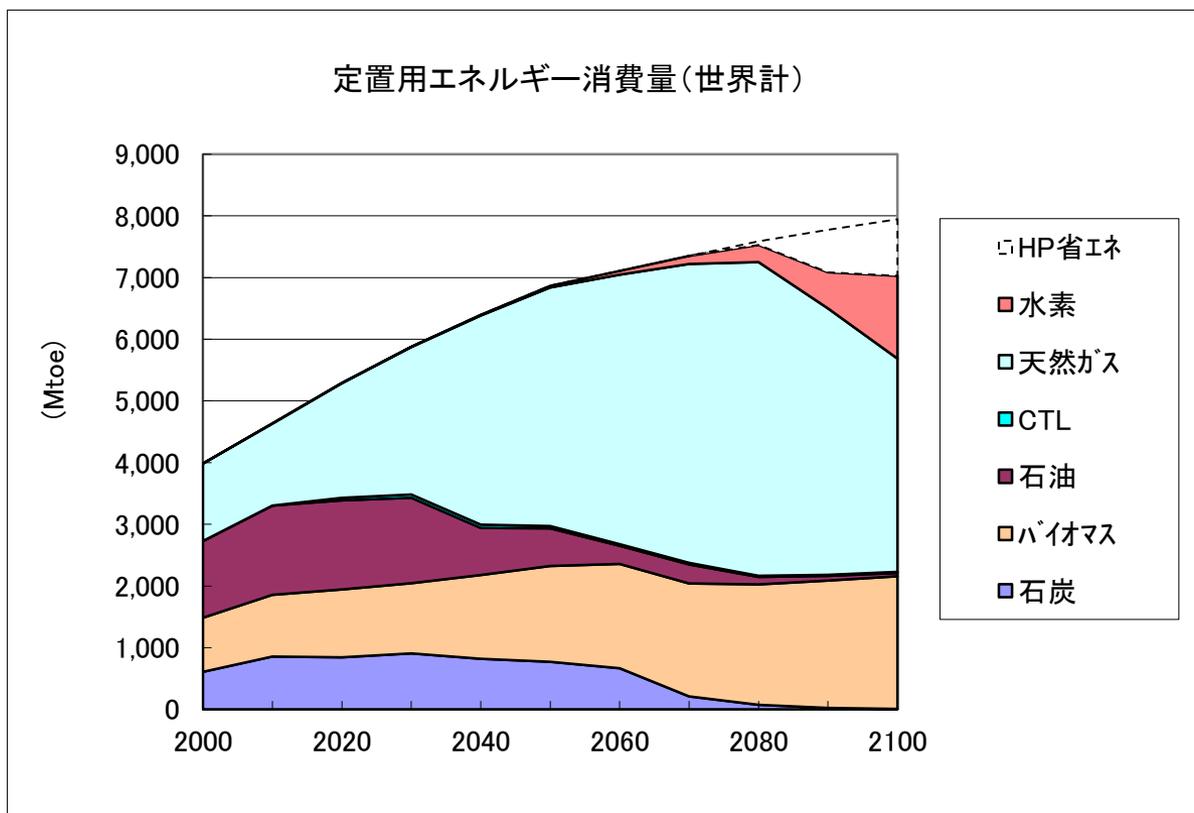


乗用車以外運輸用エネルギー消費量(世界計)



(3) 定置の長期対応

- 2070年ころまでは、天然ガスへのシフトと、バイオマスの増加が緩やかに進む程度
- 2080年以降、水素利用とヒートポンプ利用(HP省エネ)が急速に進展。

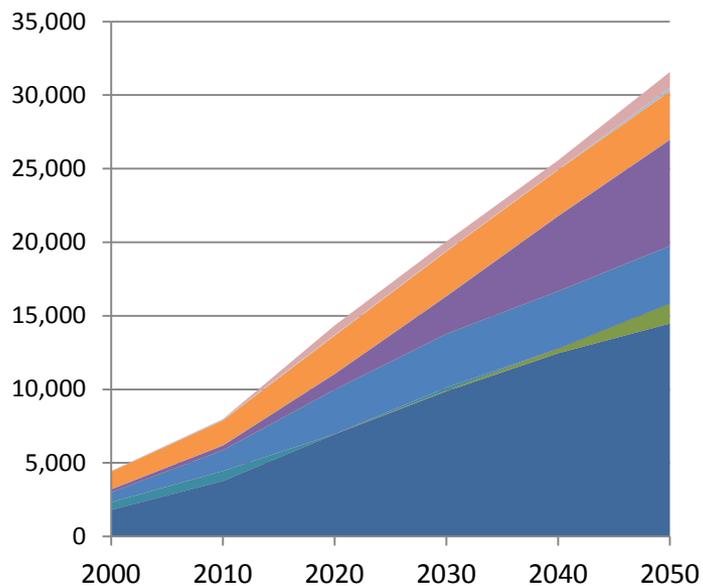


途上国の発電概況(2030年ころ)

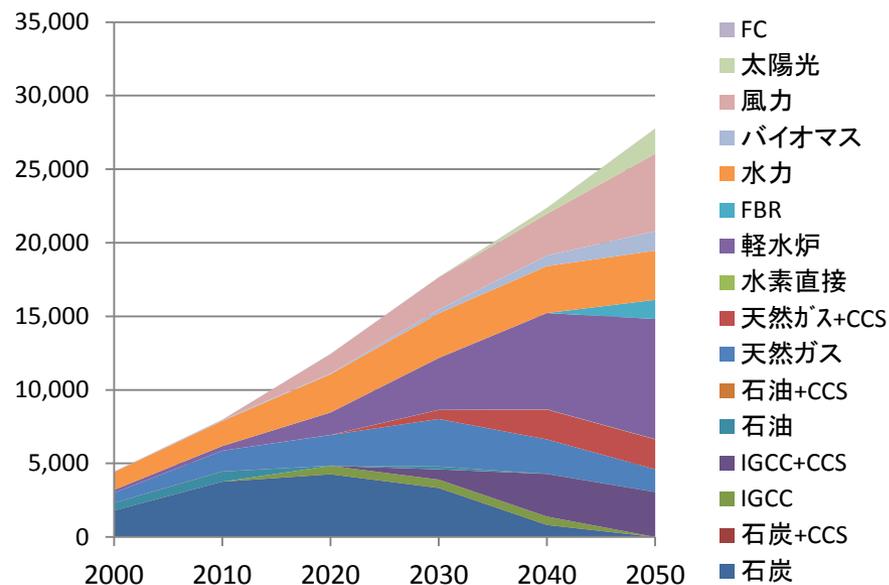
BAU: 石炭火力及び原子力の着実な増加

Z650: 15%程度の節電

原子力の導入加速、風力の大規模導入、
石炭の伸び鈍化、石炭のうち3割程度はIGCC



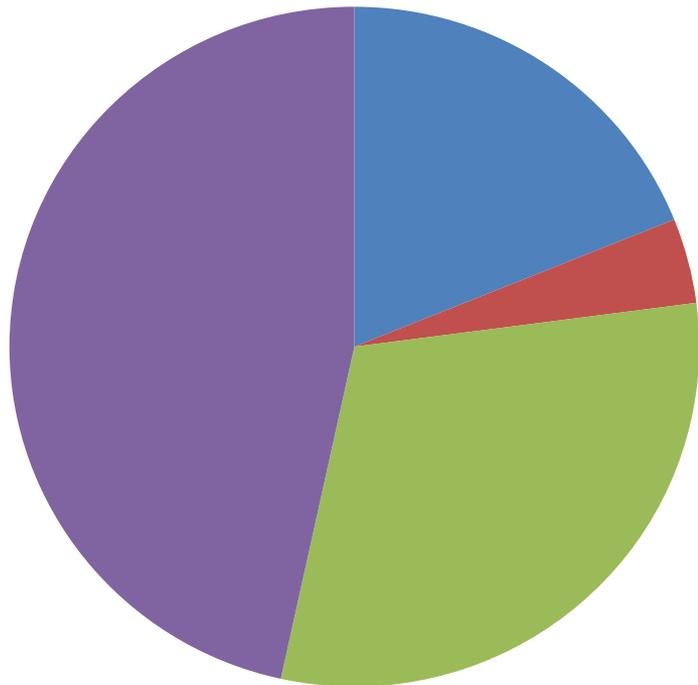
BAU



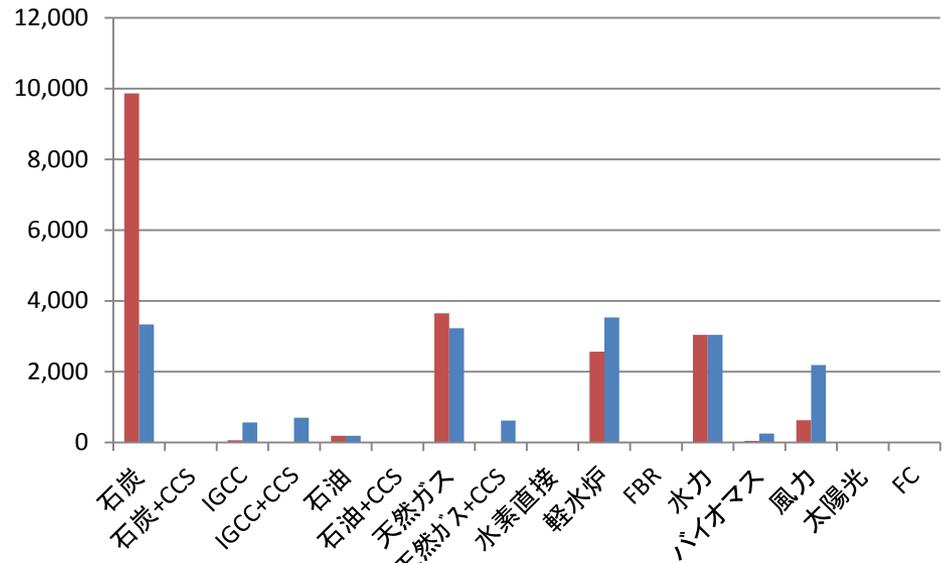
Z650

2030年途上国の分析

火力発電量は5135TWh
減少。その代替手法の
内訳は下記の通り。



2030年火力減少分の代替内訳



2030年発電内訳TWh 赤BAU 青Z650

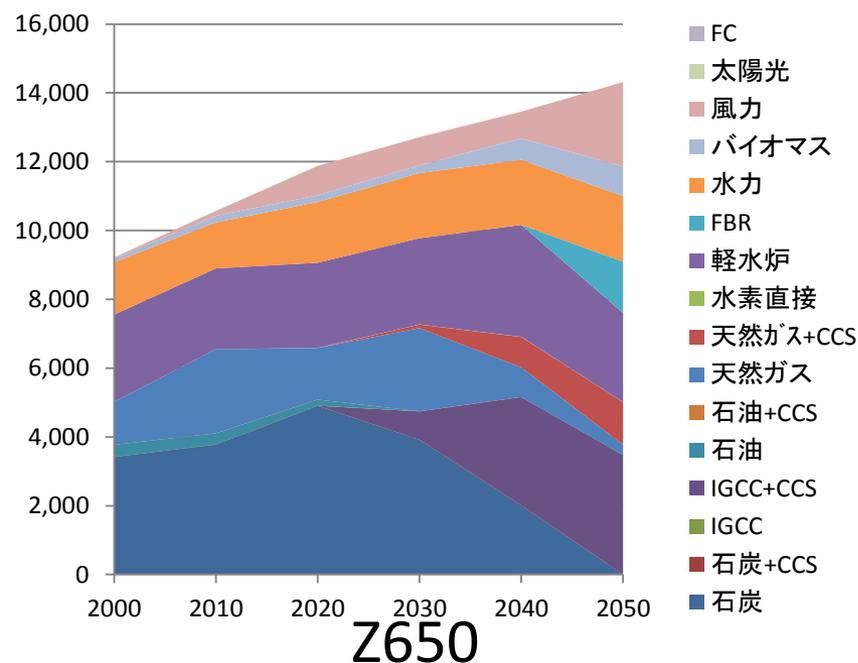
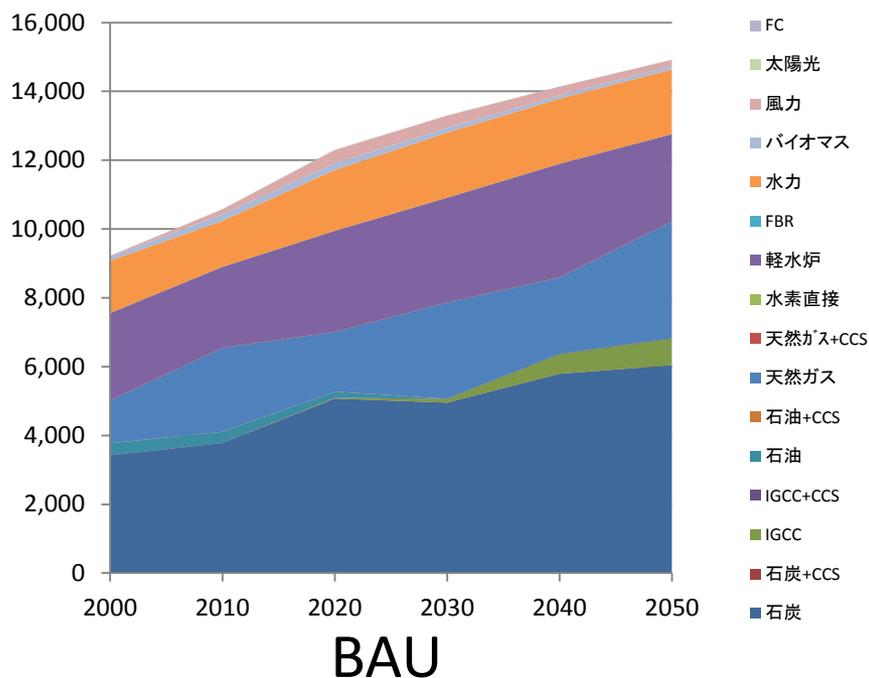
- 省エネの寄与が最も大きい
- 次いで、風力と原子力
- バイオは微増、水力は変化無し
- 太陽光は2030年ではほとんど普及しない。

先進国の発電概況(2030年ころ)

BAU: エネルギー構成をほぼ保持しつつ緩やかに増加

Z650: 5%程度の節電

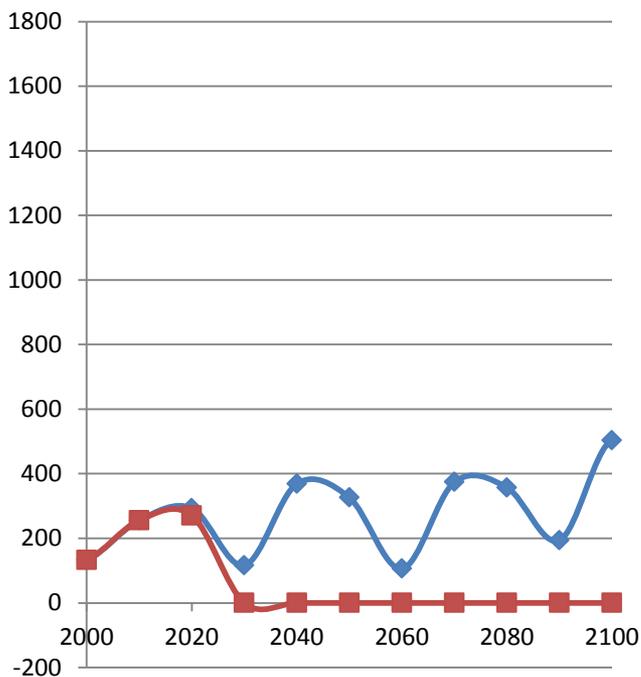
石炭の伸びがやや鈍化、IGCC+CCS導入開始
風力の導入が加速



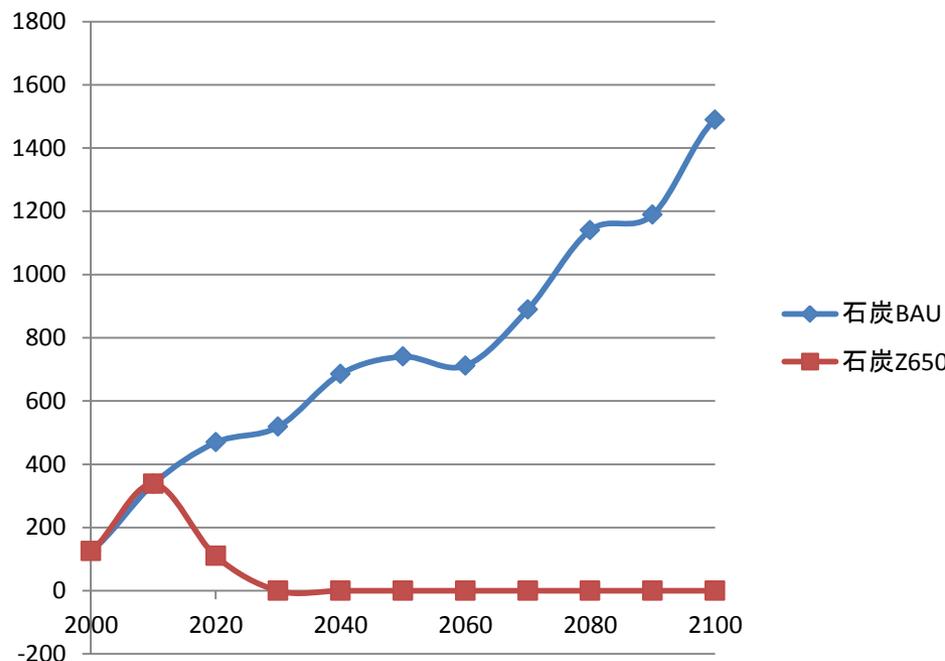
石炭火力新設・リプレイス(GW)

石炭火力(IGCC含む)は30年寿命を想定
先進国のBAUはほぼリプレイス需要のみ

先進国



途上国



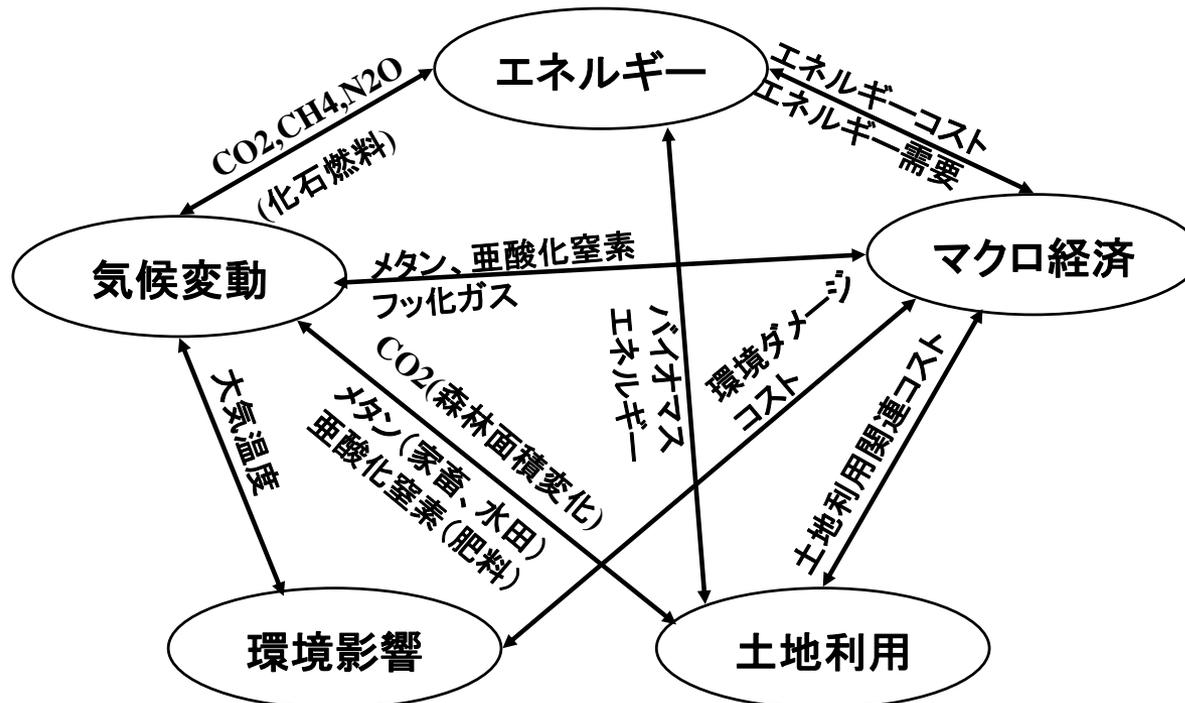
計算コード

1. 計算の基本的な考え方

1.1 計算コード

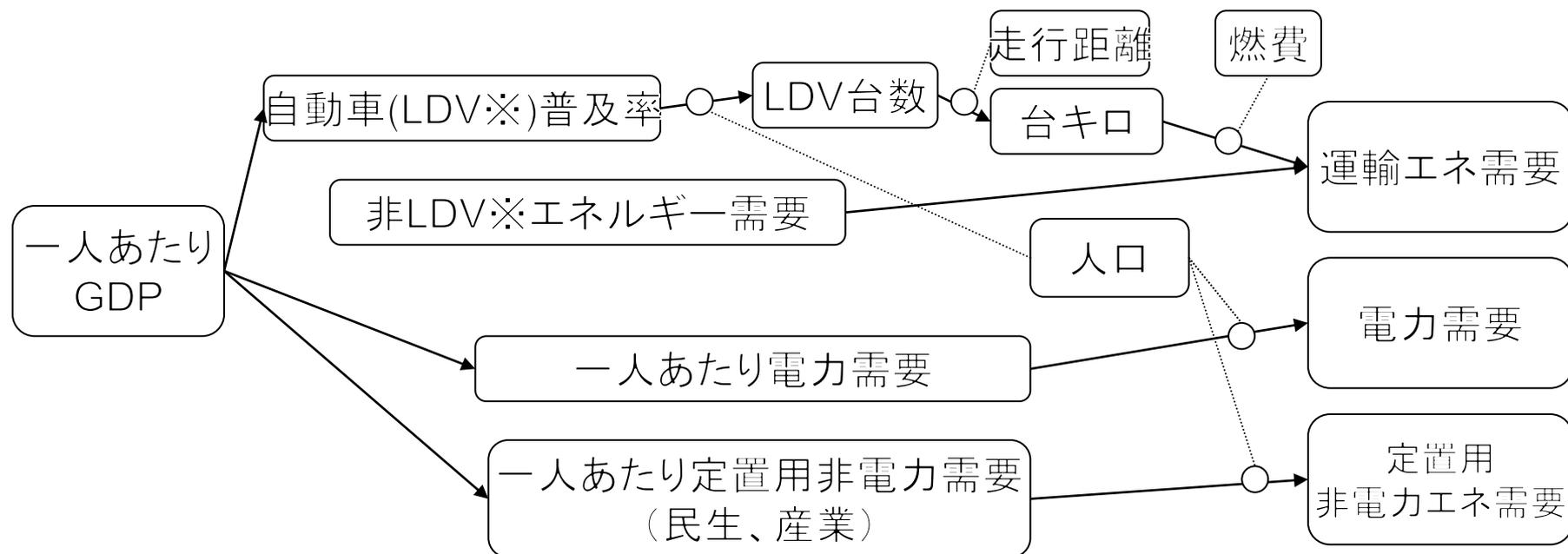
GRAPE (Global Relationship Assessment to Protect Environment)

- GRAPEとは気候変動、エネルギー、マクロ経済、土地利用、環境影響をリンクした統合評価モデル
- Cool Earthの検討や、IPCCに利用された実績あり
- 本検討ではエネルギーモジュールのみを利用



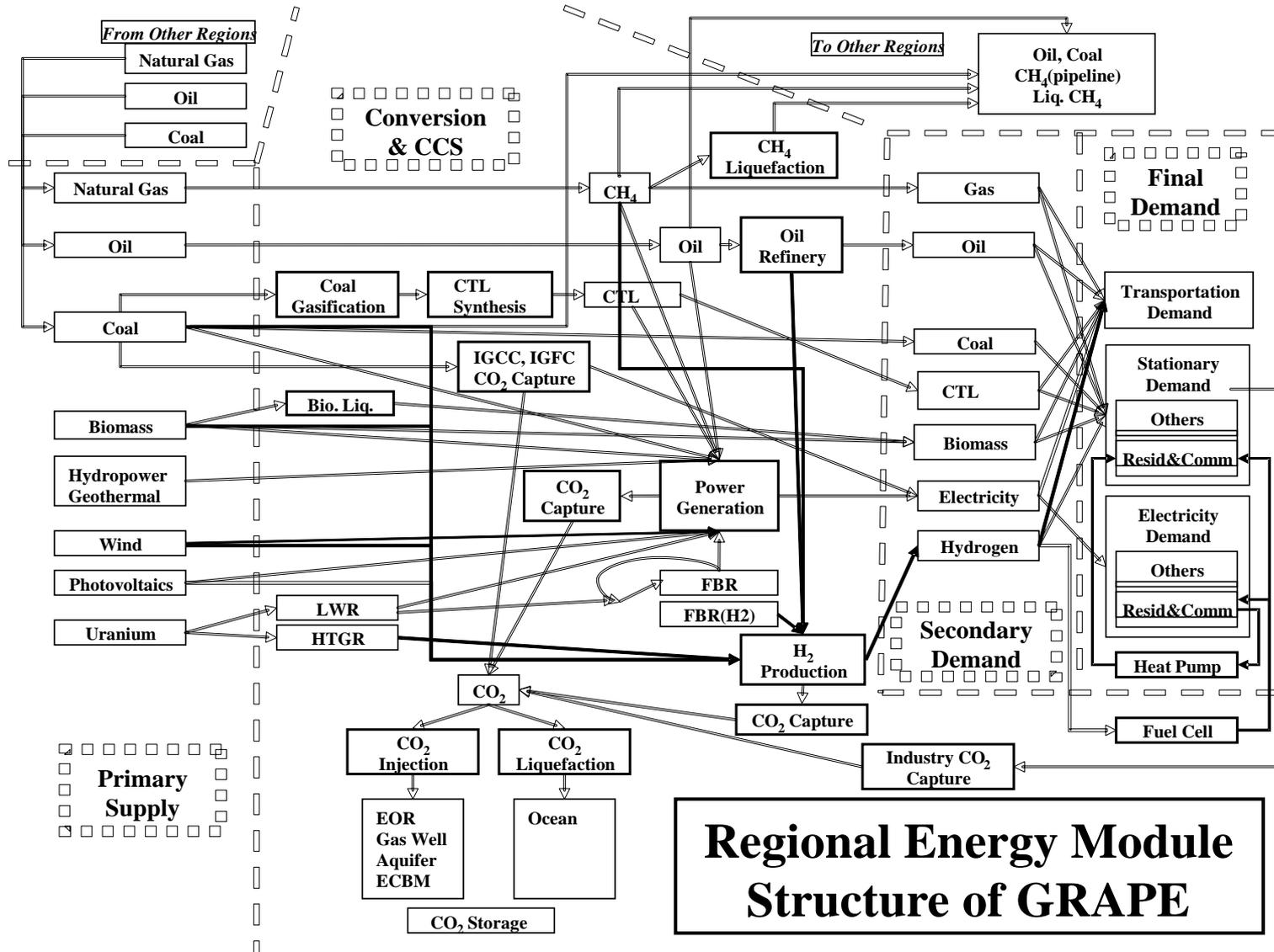
3.4 最終需要シナリオの考え方

- 人口は所与
- グローバル化により世界各地の一人あたりGDP格差は縮小、一人あたりGDPは徐々に収束すると想定(所与)
- 一人あたりエネルギー(またはエネルギーサービス)需要は一人あたりGDPの関数として与える。運輸の乗用車以外(トラック、バス、航空機、船舶、電車;非LDV)エネルギー需要は所与



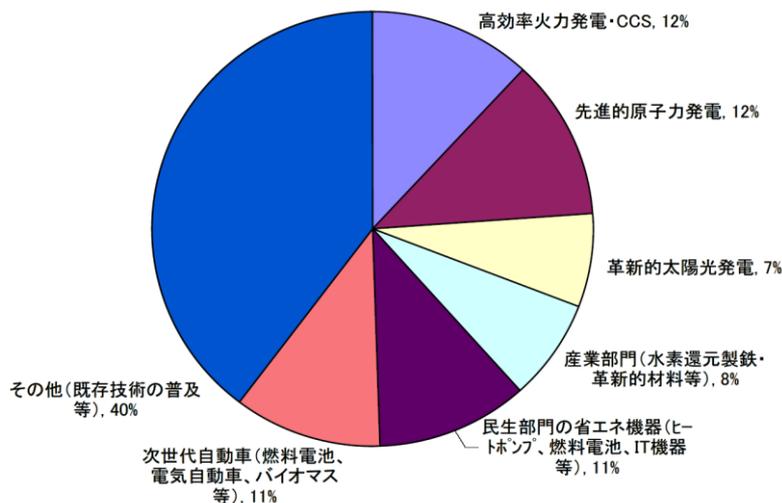
※ LDV:Light Duty Vehicle

エネルギー需給フロー

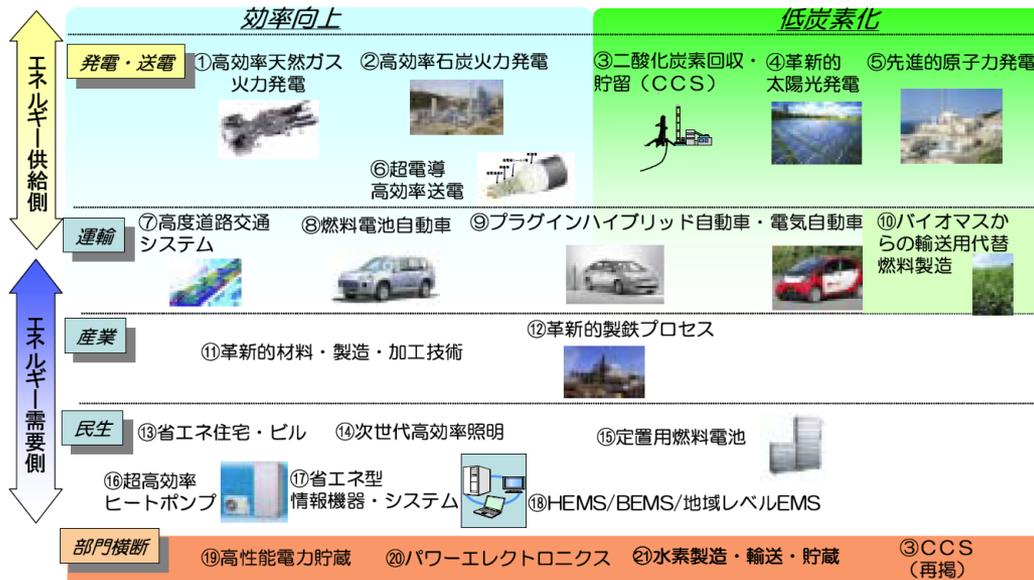


3.2 エネルギー起源CO2の削減

Cool Earth エネルギー革新技術計画

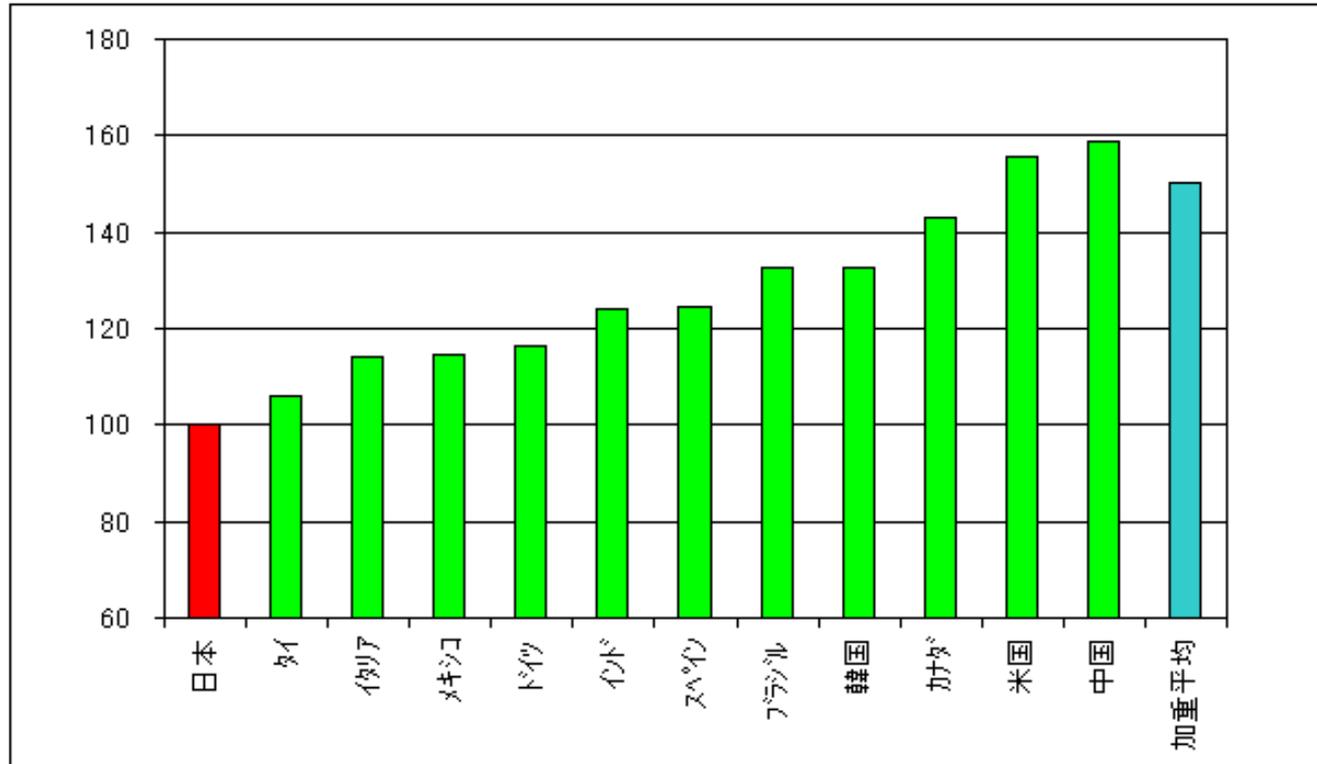


革新技術大幅導入なしで
世界CO2半減は達成不可



産業省エネバックデータ

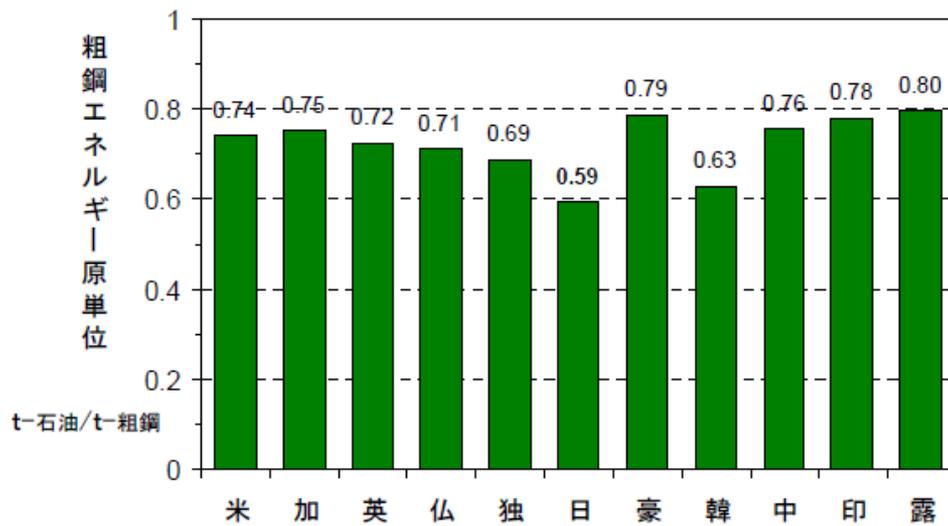
図-20 クリンカ t 当たり エネルギー消費量指数比較(2003年)
(日本=100)



出所: The International Energy Agency (IEA)「Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency 2008」
より作成

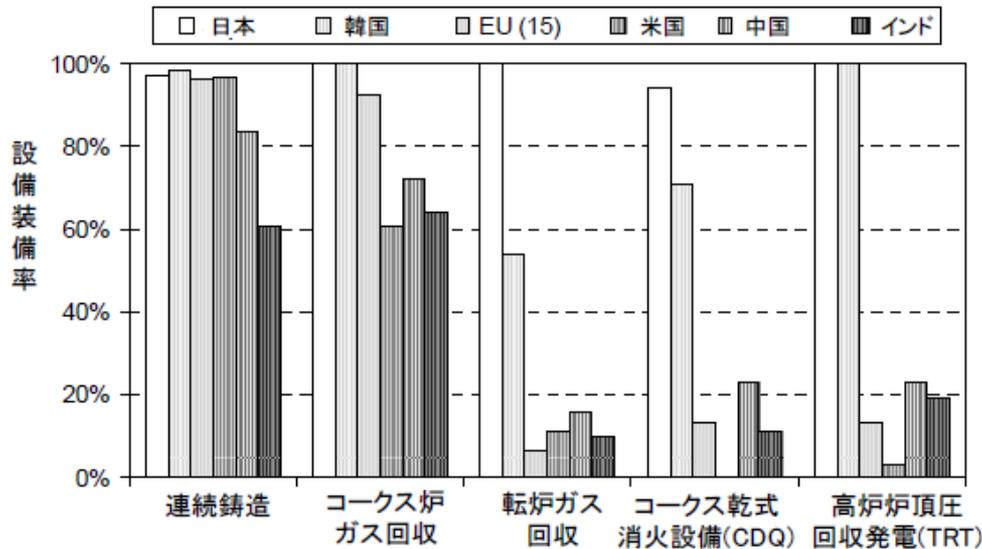
注: バウンダリーはそれぞれの国の間で異なる。

セメント協会ホームページより



一貫製鉄所のエネルギー効率比較において、日本は英独仏を始め世界を凌駕している。排熱回収設備率、副生ガスの利用率の差が大きく影響している。

出典：「エネルギー効率の国際比較(発電、鉄鋼、セメント部門)」RITE、2008（日訳・数値記載は当連盟）



排熱回収設備(CDQ、TRT)の日本の普及率が欧米を圧倒していることと、副生ガス(コークス炉ガス、転炉ガス)の回収についても日本の優位性が明らかとなっている。

出典：Diffusion of energy efficient technologies and CO₂ emission reductions in iron and steel sector (Oda et al. Energy Economics, Vol.29, No.4, pp.868-888, 2007)（日訳は当連盟）

熱回収設備

高温高圧型回収ボイラー

黒液の燃焼で発生する熱の回収効率を高め、エネルギー効率を向上。

抄紙設備

面圧脱水設備

抄かれた紙に幅広くに圧力をかけ、効率的に水を絞り乾燥で使用するエネルギーを削減。

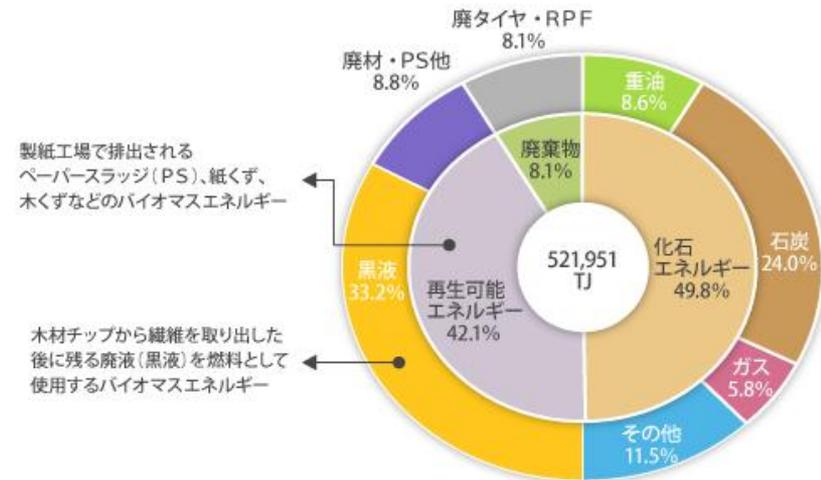
高露点ドライヤーフード

紙の乾燥工程を密閉することで、熱や蒸気の流出を防ぎ電力と蒸気の消費量を削減。

高濃度サイズプレス

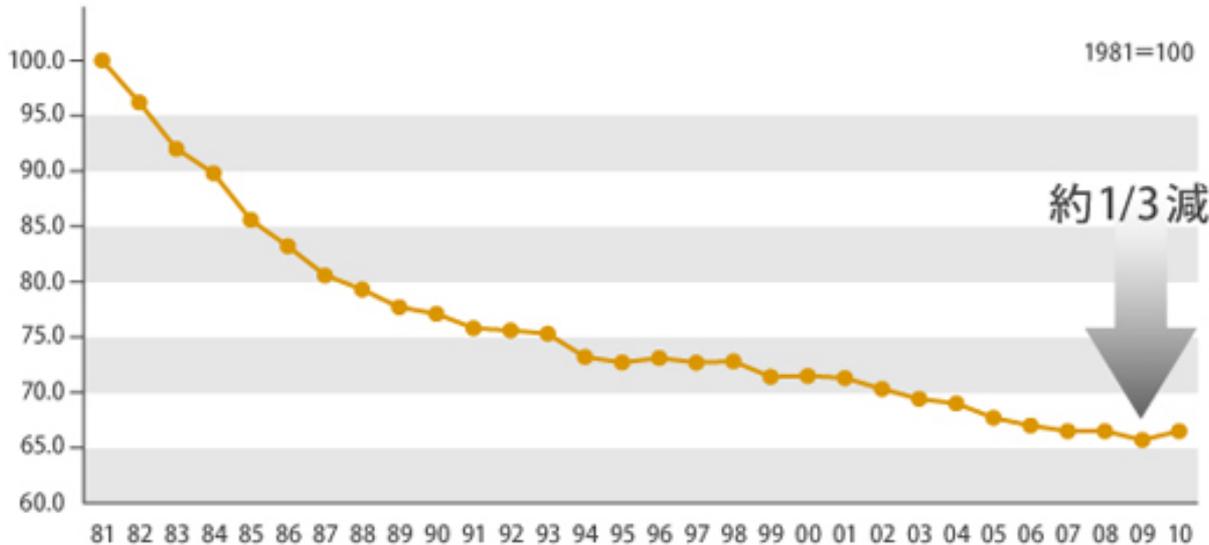
印刷適性向上のために、塗料の濃度を高め、乾燥に使用するエネルギーを削減。

図2 製紙産業における使用エネルギーの構成比〈2010年度〉



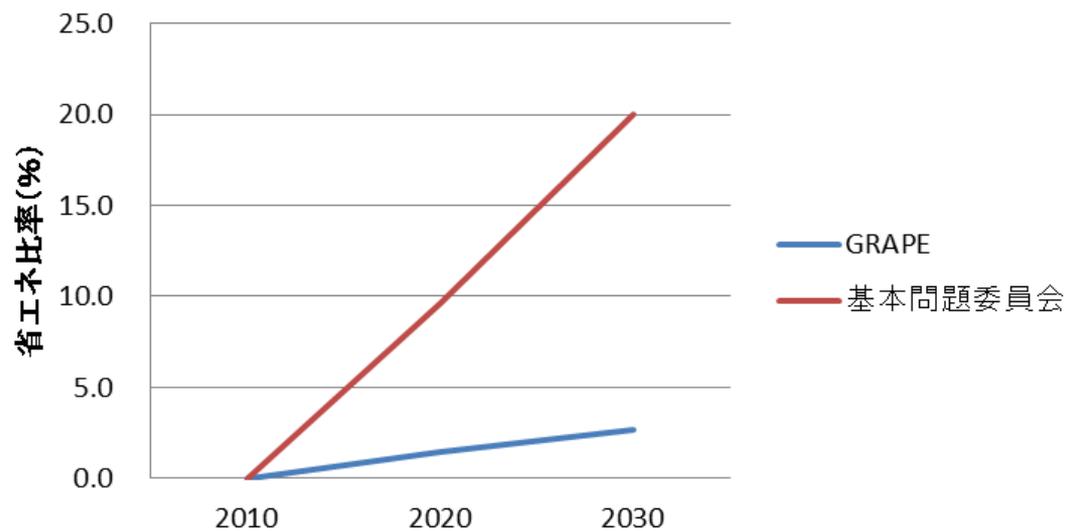
資料：日本製紙連合会 第14回(2011年度)環境に関する自主行動計画フォローアップ調査結果

図1 紙生産トン当たり総エネルギー原単位指数の推移

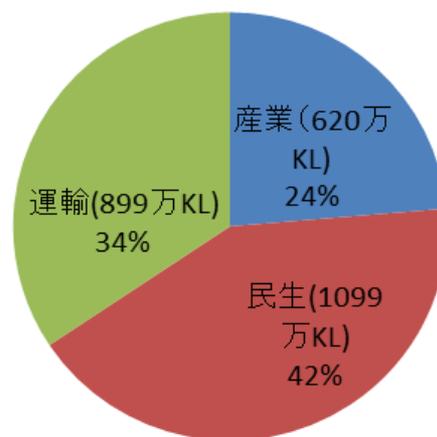


日本製紙連合会HPより

2010年度比省工ネ比率



省工ネ量(万KL) 2020FY



1. 産業・転換部門①

業種	対策・製品名	技術概要	導入・普及実績	導入・普及見通し		省エネ量 万kL		電気の省エネ 億kWh	
			2010FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY
鉄鋼業	電力需要設備効率の改善	製鉄所で電力を消費する設備について、高効率な設備に更新する(酸素プラント高効率化更新、ミルモータC化、送風機・ファン・ポンプ動力削減対策、高効率照明の導入、電動機・変圧器の高効率化更新)。2010年の粗鋼生産量あたり電力消費量は607[kWh/t-steel]	—	粗鋼生産量あたり電力消費2010年比1.3%改善	粗鋼生産量あたり電力消費2010年比2.5%改善	8	17	9	18
	廃プラスチックの製鉄所でのケミカルサイクル拡大	容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律(平成7年法律第112号)に基づき回収された廃プラスチック等をコークス炉で熱分解すること等により有効活用を図り、石炭の使用量を削減する。	廃プラ利用量 42万t	廃プラ利用量 100万t	廃プラ利用量 150万t	49	92	0	0
	次世代コークス製造技術(SCOPE21)の導入	コークス製造プロセスにおいて、石炭事前処理工程等を導入することによりコークス製造に係るエネルギー消費量等を削減する。	1基	6基	13基	26	62	0	0
	発電効率の改善	自家発電(自家発)及び共同火力(共火)における発電設備を高効率な設備に更新する。	共火:12% 自家発:19%	共火:40% 自家発:51%	共火:72% 自家発:86%	41	75	0	0
	省エネ設備の増強 低圧損TRT 高効率CDQ 低圧蒸気回収	高炉炉頂圧の圧力回収発電、コークス炉における顕熱回収といった廃熱活用等の省エネ設備の増強を図る。	—	90% 96% 86%	100% 100% 100%	33	65	1	3
	革新的製鉄プロセス(フェロークス)	低品位石炭と低品位鉄鉱石を原料とした革新的なコークス代替還元剤(フェロークス)を用い、高炉内還元反応の高速化・低温化することで、高炉のエネルギー消費を約10%削減する。	0基	0基	5基	0	19	0	0
	環境調和型製鉄プロセス(COURSE50)	製鉄プロセスにおいて、高炉ガスCO2分離回収、未利用中低温熱回収、コークス改良、水素増幅、鉄鉱石水素還元といった技術を統合しCO2排出量を抑制する革新的製鉄プロセス。	0基	0基	1基	0	5	0	0

1. 産業・転換部門②

業種	対策・製品名	技術概要	導入・普及実績	導入・普及見通し		省エネ量 万kL		電気の省エネ 億kWh	
			2010FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY
化学工業	石油化学の省エネプロセス技術 エチレンクラッカー	エチレンを生産する分解炉等の石油化学分野において、世界最高水準であるBPT(Best Practice Technologies)の普及により、エネルギー効率を向上。普及率欄については、エチレンクラッカーの省エネポテンシャル達成率。	0%	100%	100%	15	15	0	0
	その他化学製品の省エネプロセス技術 苛性ソーダ蒸気発生施設 その他化学の効率向上	エチレン等の石油化学を除く化学分野において、排出エネルギーの回収技術、設備・機器効率の改善、プロセス合理化等による省エネを達成する。普及率欄については、各技術の省エネポテンシャル達成率。	0%	100%	100%	35	35	0	0
			0%	100%	100%				
			50%	100%	100%				
	ナフサ接触分解技術	エチレン、プロピレンを、新規な触媒を用いた接触分解により、ナフサクラッキングを従来の800℃から650℃まで下げ、ナフサ分解炉の省エネを図る。	0%	0%	12%	0	8.8	0	0
	バイオマスコンビナート	エチレン、プロピレンをバイオマス由来のエタノール(バイオエタノール)から、触媒を用いた化学変換により製造する技術。	0基	0基	2基	0	23	0	0
膜による蒸留プロセスの省エネルギー化技術	蒸留プロセスに「膜分離技術」を導入することにより、石油化学基礎製品等の収率を向上し、省エネ化を図る技術。	0%	0%	3%	0	12	0	0	
密閉型植物工場【新規】	密閉型遺伝子組換え植物工場において、医薬品原料・ワケゲン・機能性食品等の高付加価値な有用物質を高効率に生産することにより、植物機能を活用した生産効率の高い省エネルギー型物質生産技術を確立。	0%	20%	30%	0.4	0.9	0.4	1.0	

1. 産業・転換部門③

業種	対策・製品名	技術概要	導入・普及実績	導入・普及見通し		省エネ量 万kL		電気の省エネ 億kWh	
			2010FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY
窯業・土石製品製造業	従来型省エネルギー技術 排熱発電 スラグ粉砕 エアヒーム式クーラ セパレータ改善 堅型石炭ミル	粉砕効率を向上させる設備(堅型ミルによるスラグ粉砕、セパレータの改善、堅型石炭ミル)、エアヒーム式クーラ、排熱発電の導入。	60%	68%	68%				
			73%	78%	78%				
			50%	57%	58%	1.7	1.7	1.1	1.0
			53%	53%	53%				
			90%	96%	98%				
	熱エネルギー代替廃棄物(廃プラ等)利用技術	従来の設備を用いて熱エネルギー代替として廃棄物を利用する技術。	熱エネルギー代替廃棄物使用量159万t	熱エネルギー代替廃棄物使用量165万t	熱エネルギー代替廃棄物使用量167万t	4.0	5.5	-0.4	-0.5
	革新的セメント製造プロセス	セメント製造プロセスで最もエネルギーを消費するクリンカ(セメントの中間製品)の焼成工程において、焼成温度低下等を可能とする革新的な製造プロセス技術。	0%	6%	69%	2.4	25	0	0
	ガラス溶融プロセス	プラズマ等による高温を利用し、瞬時にガラス原料をガラス化することで効率的にガラスを気中で溶融し、省エネを図るプロセス技術。	0%	30%	44%	22	33	-0.5	-0.7
	革新的省エネセラミックス製造技術【新規】	小型設備で生産可能なセラミックスブロックの組合せ・接合による大型部材等の製作に対して、省エネかつ形状自由度の高い革新的なセラミックス製造基盤技術を基にして、各製品特性に合わせた製造プロセスを開発する。	0%	13%	20%	1.4	2.2	0	0
パルプ・紙・紙加工品製造業	高効率古紙パルプ製造技術	古紙パルプ工程において、古紙と水の攪拌・古紙の離解を従来型よりも効率的に進めるパルパーを導入し、稼働エネルギー使用量を削減する。導入・普及見通しは2009年度から2020年度の省エネ量に対する達成率。	15%	40%	40%	2.1	2.1	2.2	2.2
	高温高圧型黒液回収ボイラ	濃縮した黒液(パルプ廃液)を噴射燃焼して蒸気を発生させる単胴ボイラ(黒液回収ボイラ)で、従来型よりも高温高圧型で効率が高いものを追加導入する。	47%	51%	51%	4.1	4.1	0	0
	廃材、パーク等利用技術	代替エネルギー源として廃材、パーク、廃棄物等を利用し、化石エネルギー使用量を削減する。導入・普及見通しは2009年度から2020年度の省エネ量に対する達成率。	廃材利用量189万絶乾t	廃材利用量214万絶乾t	廃材利用量214万絶乾t	10	10	0	0

1. 産業・転換部門④

業種	対策・製品名	技術概要	導入・普及実績	導入・普及見通し		省エネ量 万kL		電気の省エネ 億kWh	
			2010FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY
建設業	ハイブリッド建機【新規】	エネルギー回生システムや充電システムにより電力を蓄え、油圧ショベル、建設用クレーンなどの大型建機のハイブリッド化を行い省エネを図る。	0%	5%	15%	11	44	0	0
石油製品・石炭製品製造業	廃熱回収最大化技術	高効率熱交換を導入するなどして、加熱炉のエネルギー消費を削減する。 普及・導入率は2020年度の省エネ量に対する達成率	4%	100%	100%	53	53	0	0
	水素利用最適化技術	未利用低濃度水素を回収・再利用するなどして新たな水素製造量を削減する。 普及・導入率は2020年度の省エネ量に対する達成率	0%	100%	100%				
	プロセス運用最適化技術	熱媒体による未利用低位廃熱の回収、排ガスエネルギーの動力回収など、プロセスの最適化をはかりエネルギー消費量を削減する。 普及・導入率は2020年度の省エネ量に対する達成率	17%	100%	100%				
電力業	大容量送電	超電導技術を用いて、大容量型ケーブル・高電圧ケーブルを開発し、電力供給の高効率化を図る。	0%	10%	40%	1.9	7.5	2.1	8.1
	省エネトランス	・高効率送電(省エネトランス):超電導技術を用いて、高効率変圧器を開発して電力供給の高効率化 ・柱状変圧器:高性能トランスコア用材料を開発し柱上トランスにおける損失(鉄損)を従来トランスの1/10に低減	0%	10%	40%	2.1	8.5	2.3	9.1

1. 産業・転換部門⑤

業種	対策・製品名	技術概要	導入・普及実績	導入・普及見通し		省エネ量 万kL		電気の省エネ 億kWh	
			2010FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY
その他、業種横断等	高効率空調	工場内の空調に関して、燃焼式で供給を行っているもの高効率化を図るとともに、高効率のヒートポンプで代替する。	9%	8%	19%	4.5	21	0.2	0.1
	産業HP(加温・乾燥)	食料品製造業等で行われている加温・乾燥プロセスについて、その熱を高効率のヒートポンプで供給する。	0%	6%	26%	47	189	-11	-40
	産業用照明【新規】	LED・有機ELを用いた、高輝度な照明技術により省エネを図る。	1%	66%	100%	38	106	41	114
	低炭素工業炉	従来の工業炉に比較して熱効率が向上した工業炉を導入。	7%	14%	21%	99	258	28	59
	産業用モータ【新規】	トップランナー制度への追加等により性能向上を図る。	0%	14%	71%	12	62	13	67
	高性能ボイラ	従来のボイラと比較して熱効率が向上したボイラを導入。	—	63%	81%	96	144	0	0

2. 業務部門他

用途	対策・製品名	技術概要	導入・普及実績	導入・普及見通し		省エネ量 万kL		電気の省エネ 億kWh	
			2010FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY
空調	建築物の断熱化	新築・既築の建築物の断熱性能、動力性能等を向上させ、建築物の省エネ性能向上を図る。 (普及率は断熱性能等のH11基準以上の導入割合)	20%	42%	62%	147	311	37	78
給湯	業務用給湯器【新規】	ヒートポンプ式給湯機、潜熱回収型給湯器、といった高効率な給湯設備の導入を推進する。	4%	42%	73%	108	203	-22	-33
照明	LED照明・有機EL	LED・有機ELを用いた、高輝度な照明技術により省エネを図る。	22%	78%	100%	134	267	144	288
動力その他	トップランナー制度等による機器の省エネ性能向上	トップランナー基準等により、以下の製品を引き続き性能向上を図る。 電子計算機(サーバ含む)、磁気ディスク装置、複写機・プリンタ、電気冷蔵庫、冷凍・冷蔵ショーケース、自動販売機、変圧器、ルータを想定。	—	—	—	142	304	152	318
	BEMS	建築物内の空調や照明等に関するデータを常時モニタリングし、需要に応じた最適運転を行うことで省エネを図る技術。	20%	45%	49%	214	235	230	253
	エネルギーの面的利用【新規】	未利用エネルギーを複数の事業所等で活用することによりエネルギー利用率を向上させる。	—	—	—	4	9	1	2

3. 家庭部門・運輸部門

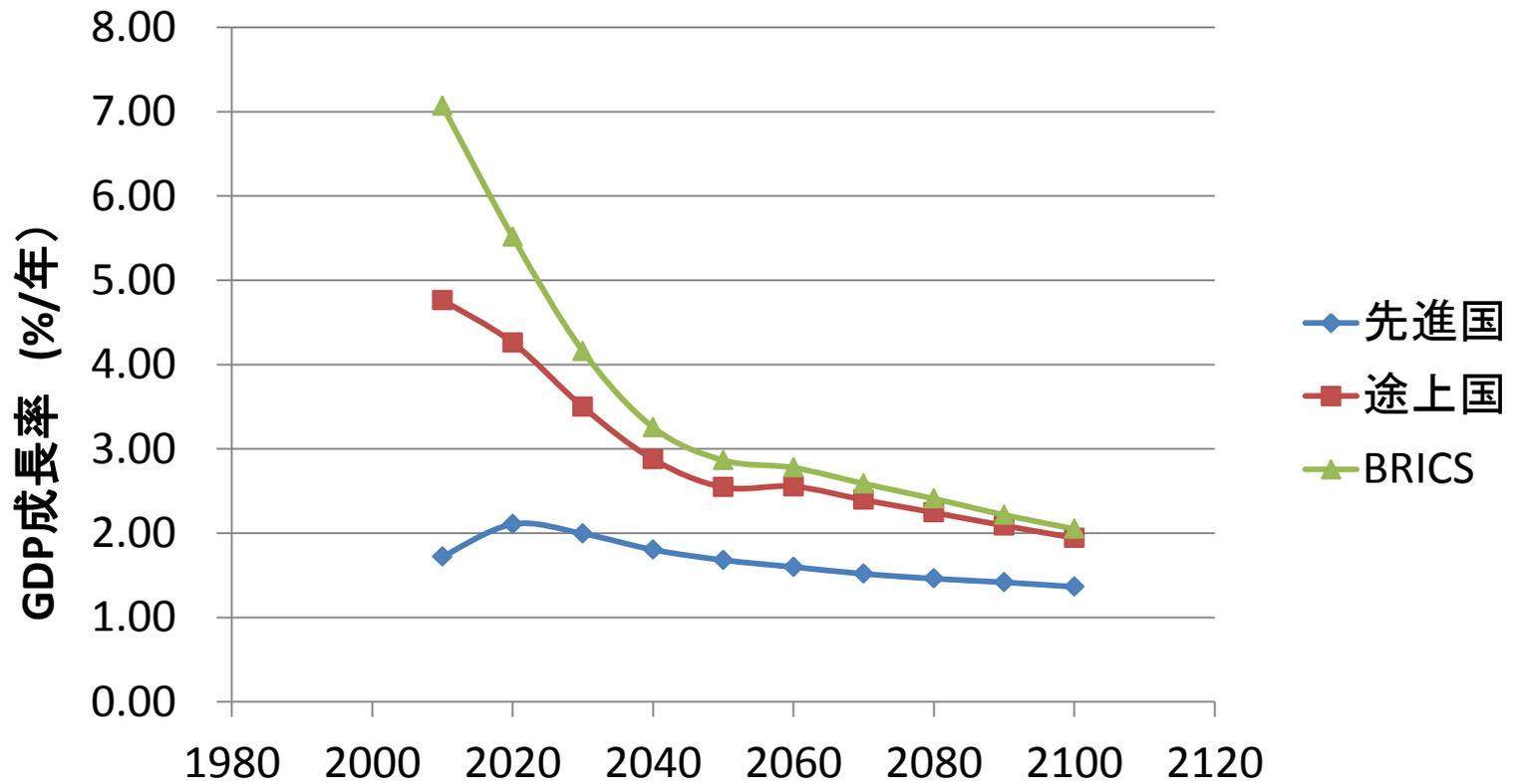
用途	対策・製品名	技術概要	導入・普及実績		導入・普及見通し		省エネ量 万kL		電気の省エネ 億kWh	
			2010FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY	
空調	住宅の断熱化	新築・既築の住宅の断熱性能を向上させ、省エネを図るとともに、トップランナー基準等により、製品(エアコン、ガス・石油ストーブ)の性能向上を引き続き図る。 (普及率は断熱性能のH11基準以上の導入割合)	4%	16%	33%	43	178	15	61	
			200万台	1,900万台	2,500万台					
給湯	高効率給湯器	ヒートポンプ式給湯機、潜熱回収型給湯器、家庭用燃料電池といった高効率な給湯設備の導入を推進する。	300万台	1,100万台	1,600万台	87	158	-11	-2	
			1万台	140万台	530万台					
照明	LED照明・有機EL	LED・有機ELを用いた、高輝度な照明技術により省エネを図る。	22%	78%	100%	133	270	143	291	
動力その他	トップランナー制度等による機器の省エネ性能向上	トップランナー基準等により、以下の製品を引き続き性能向上を図る。 電子レンジ、ジャー炊飯器、冷蔵庫、VTR・DVDレコーダ、電子計算機、磁気ディスク装置、液晶テレビ、プラステレビ、ガスコンロ、温水便座、ルータを想定。	—	—	—	61	157	66	169	
	HEMS・スマートメーター【新規】	住宅内の空調や照明等に関するデータを常時モニタリング、見える化するると同時に、需要に応じた最適運転を行うHEMS(Home Energy Management System)の導入によりエネルギー消費量を削減	0%	18%	100%	26	142	28	152	

分類	対策・製品名	技術概要	導入・普及実績		導入・普及見通し		省エネ量 万kL		電気の省エネ 億kWh	
			2010FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY	2020FY	2030FY	
単体対策	燃費改善 次世代自動車	エネルギー効率に優れた次世代自動車(ハイブリッド自動車(HEV)、電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド自動車(PHEV)、燃料電池自動車(FCV)、クリーンディーゼル自動車(CDV))等の導入を支援し普及拡大を促進する。また、燃費基準(トップランナー基準)等により、引き続き車両の性能向上を図る。	HEV 2%	15%	29%	453	1,224	-22	-105	
			EV/PHEV 0%	4%	19%					
			FCV 0%	0%	3%					
			CDV 0%	2%	6%					
その他	交通流対策等	公共交通の利用促進、モーダルシフト、トラック輸送の効率化、鉄道・船舶・航空のエネルギー消費効率の向上、エコドライブの推進、カーシェアリング等により省エネを図る。	—	—	—	446	564	-1.0	0.5	

注1 各々の省エネ効果は現在調査中のため、必ずしも断定的、四捨五入の関係で合計が一致しない場合もある

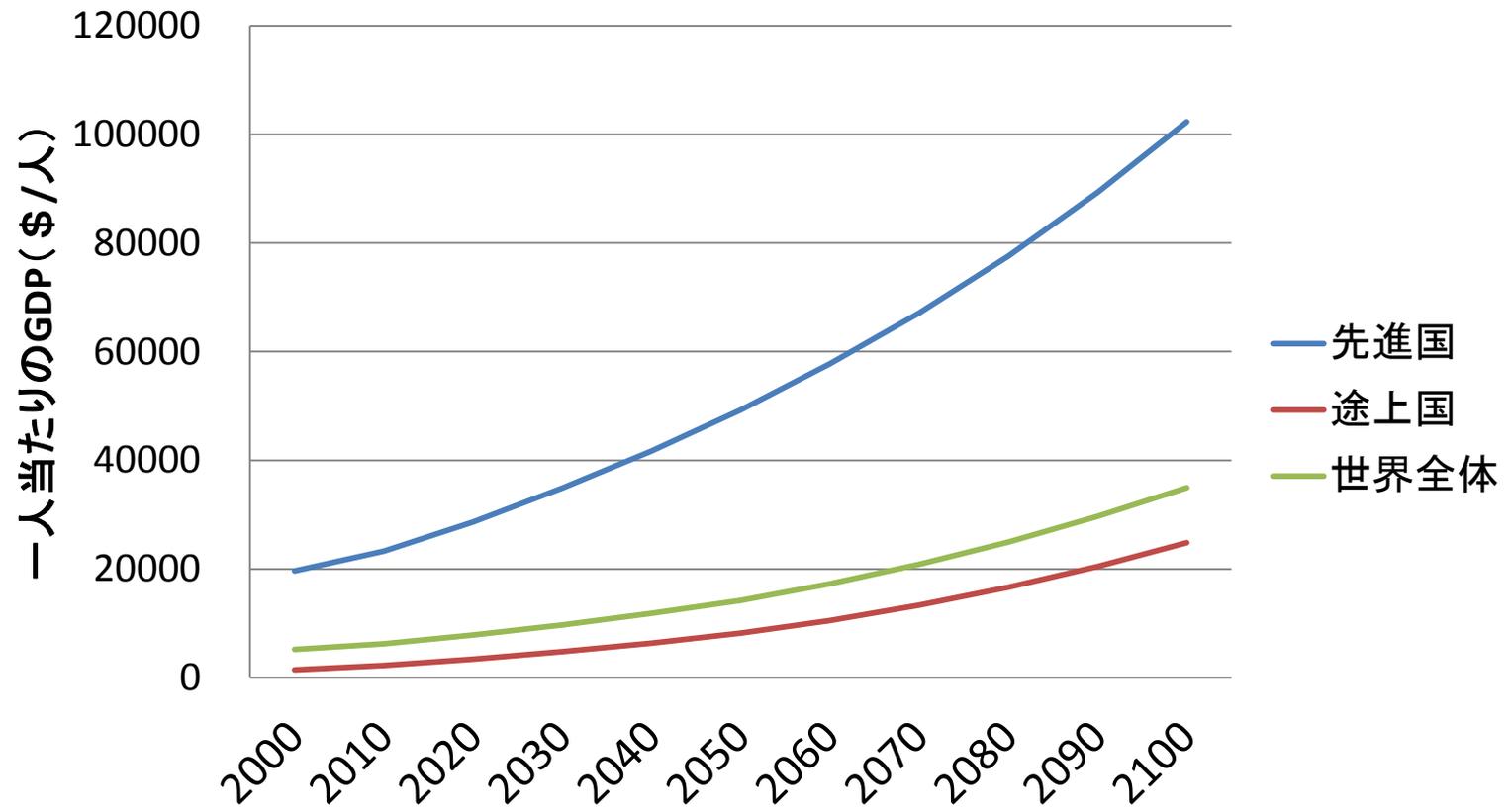
キャッチアップの実態

GDP成長率



今世紀末、一人あたりGDPはまた4倍程度の開きがある

一人当たりのGDPの設定

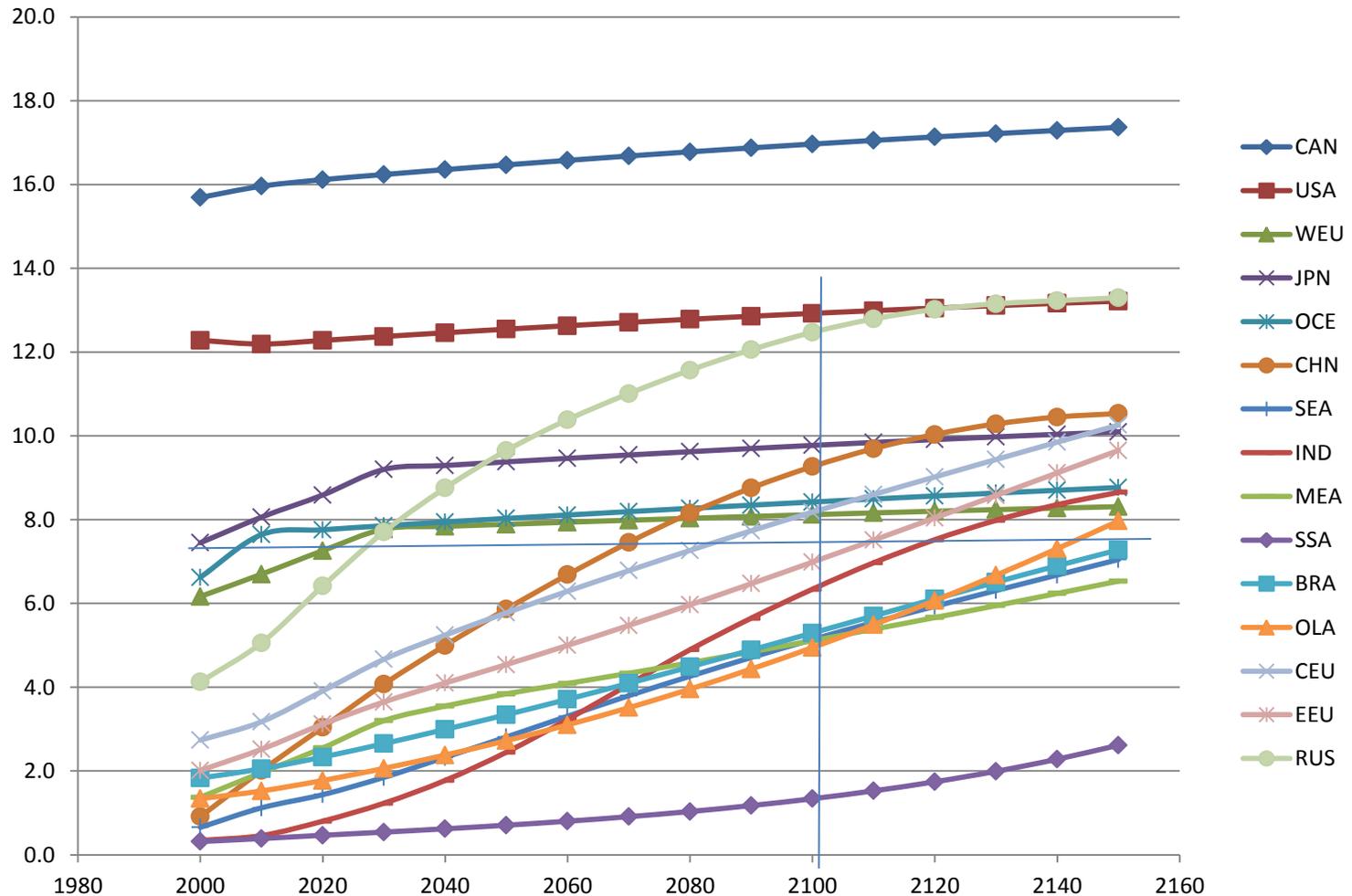


省エネシナリオ1人あたりの電力消費(1000kWh/capita)

先進国のエネルギー消費はほぼ横ばい(微増)

2100年において多くの地域は日本の水準を超えない

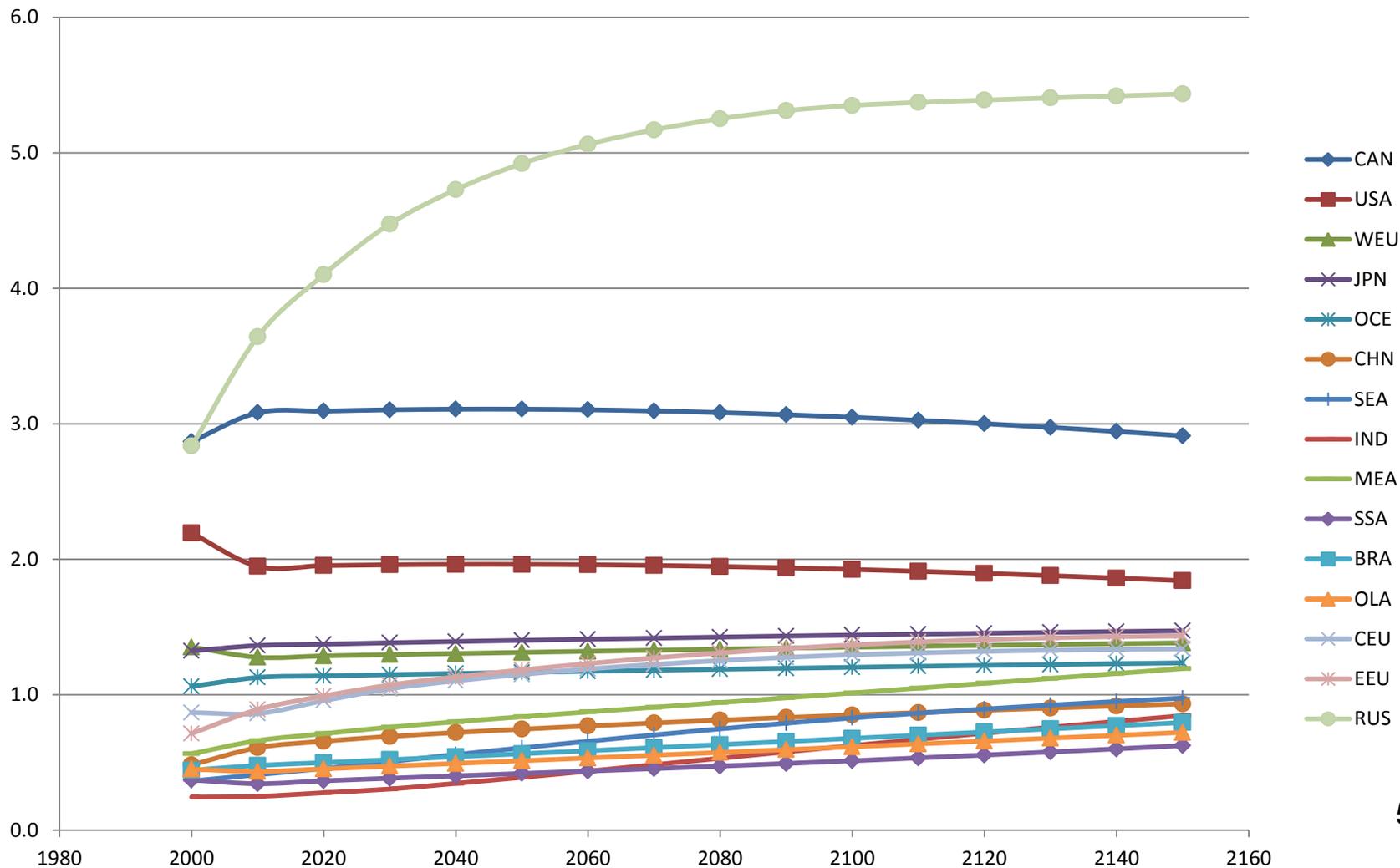
最貧:サブサハラ、貧:ラテン、ブラジル、MENA、東南アジア

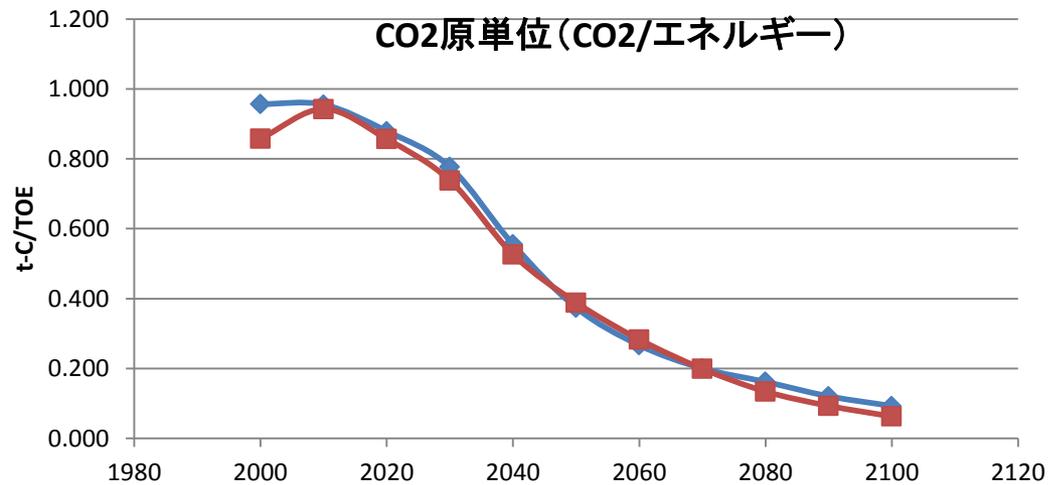
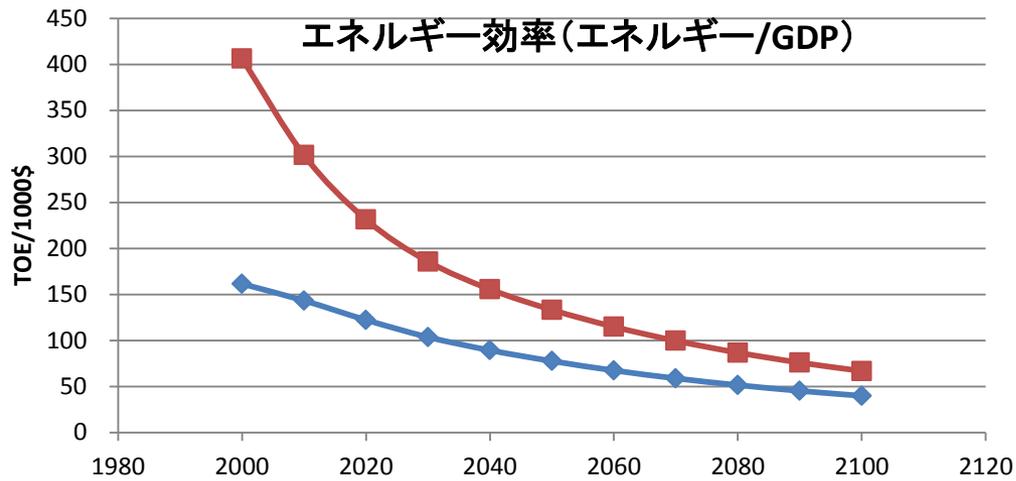
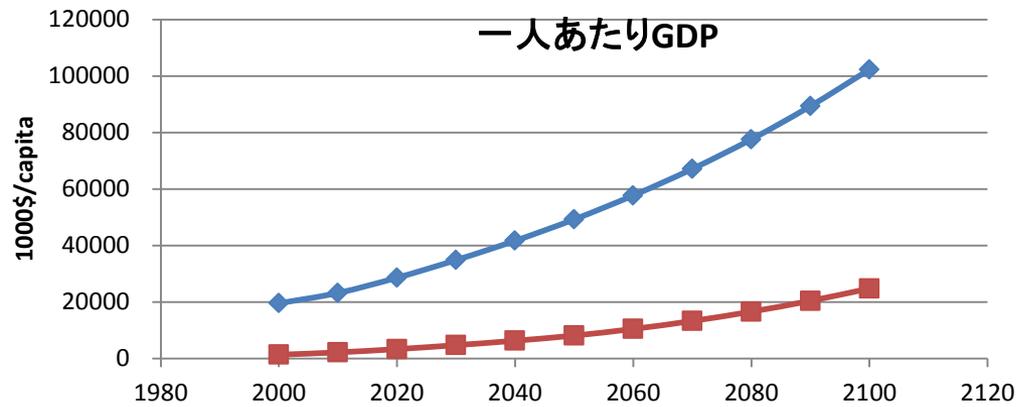


省エネシナリオ1人あたりの定置消費 (TOE/capita)

先進国はほぼ横ばい

途上国は緩やかに成長するものの、追いつかない。

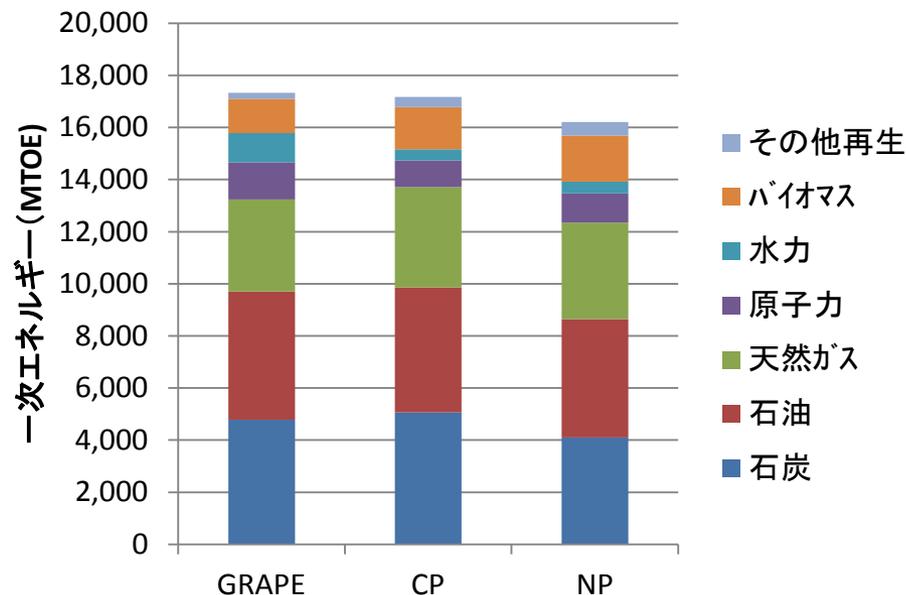




他のモデルとの比較

2.3 BAUの一次エネルギー構成

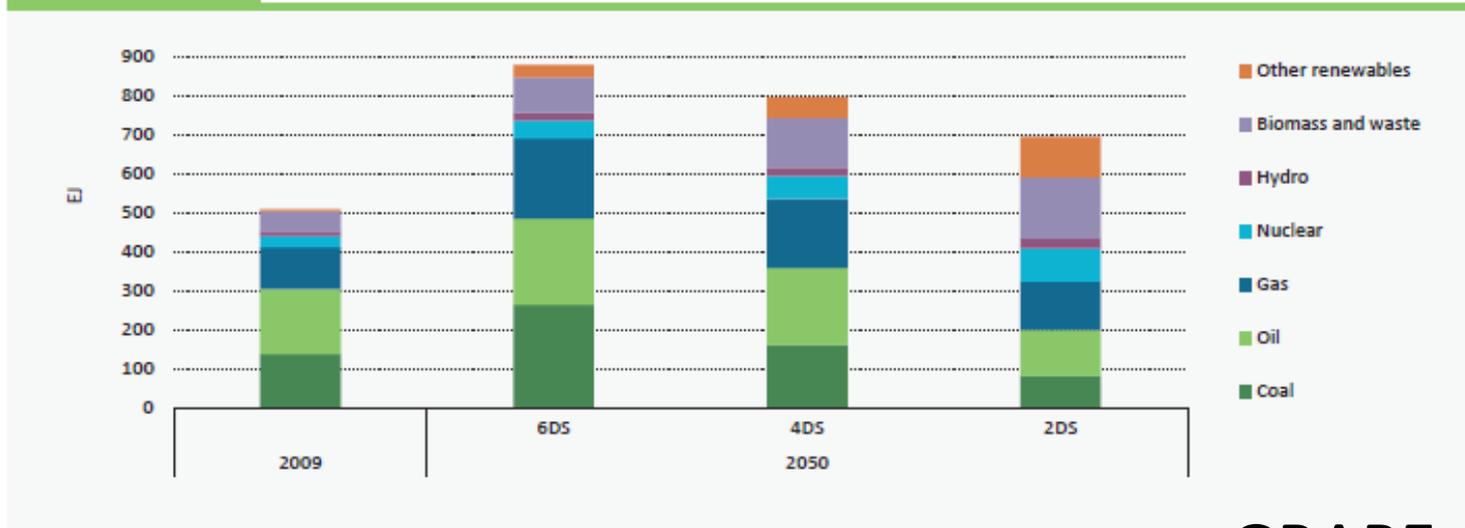
- ◆ CO2制限がなければ化石燃料中心の社会が続く
- ◆ エネルギー構成はIEAの報告(World Energy Outlook 2011(Current policy scenario), Energy Technology Perspectives2012(6DS))と同等。



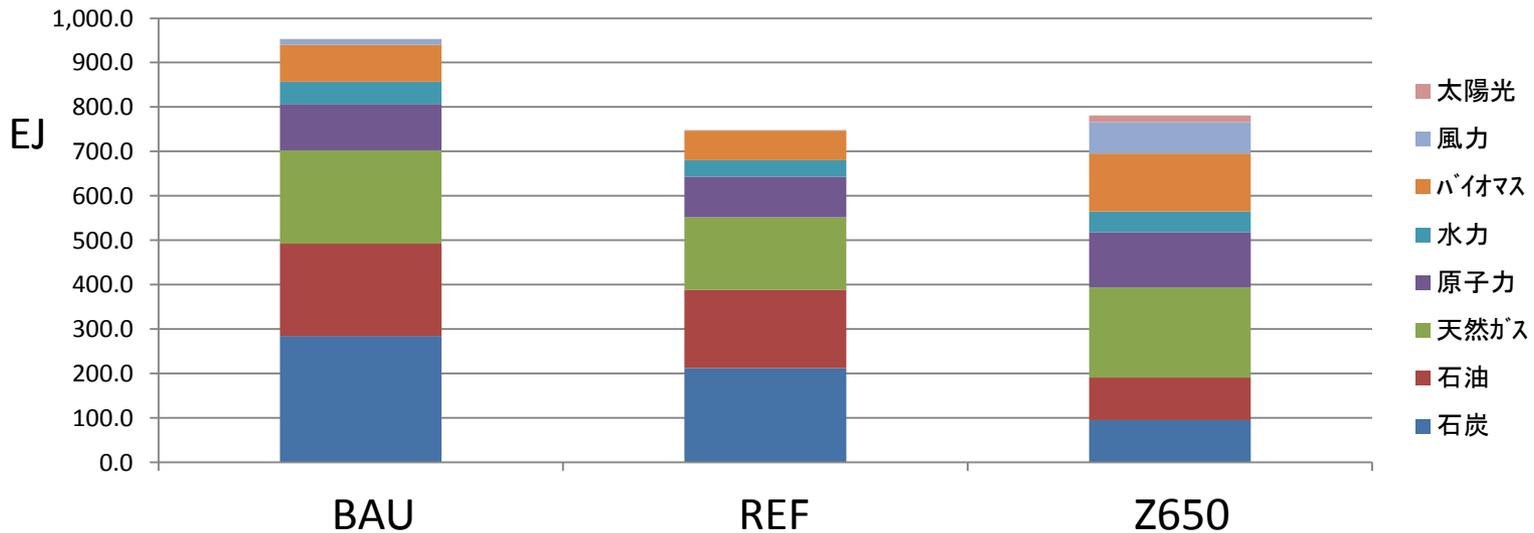
World Energy Outlook 2030年

Figure 1.4

Total primary energy supply

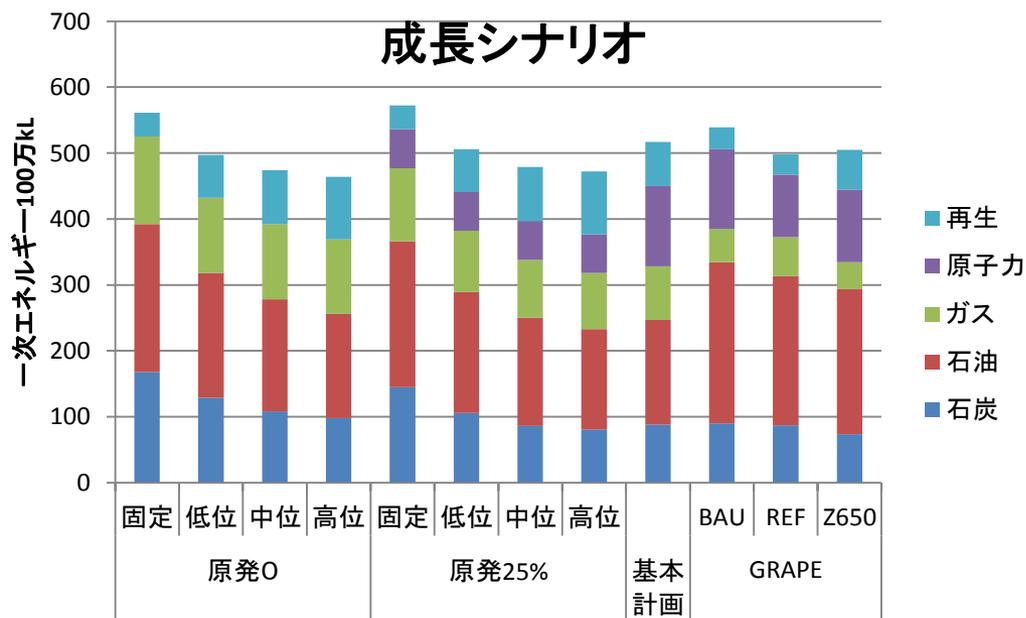
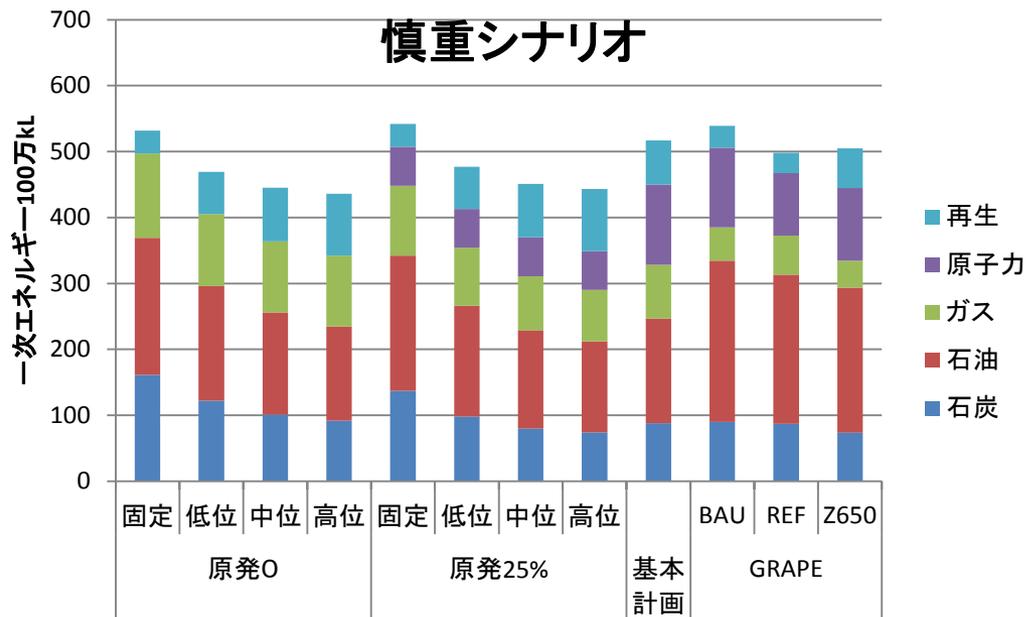


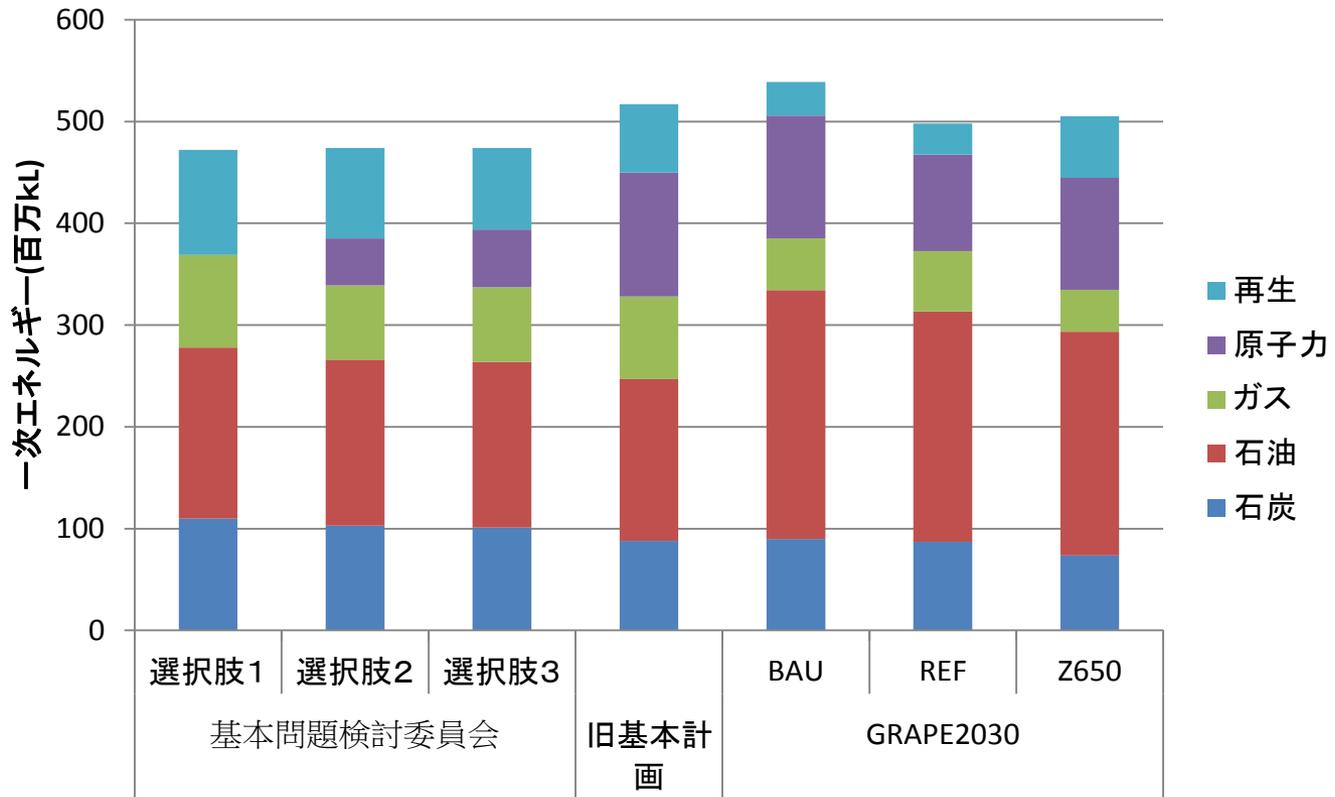
GRAPE



GRAPE 2050年

GRAPEの省エネ は中環審の成長・ 低位シナリオ程度

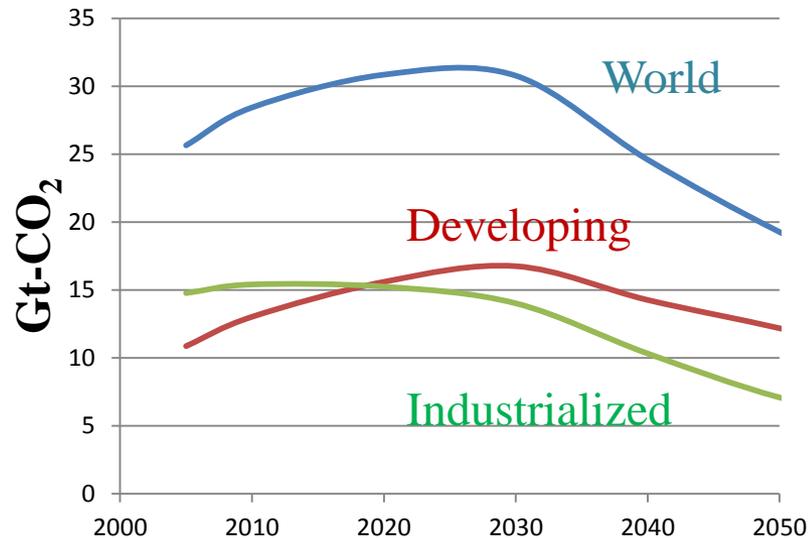




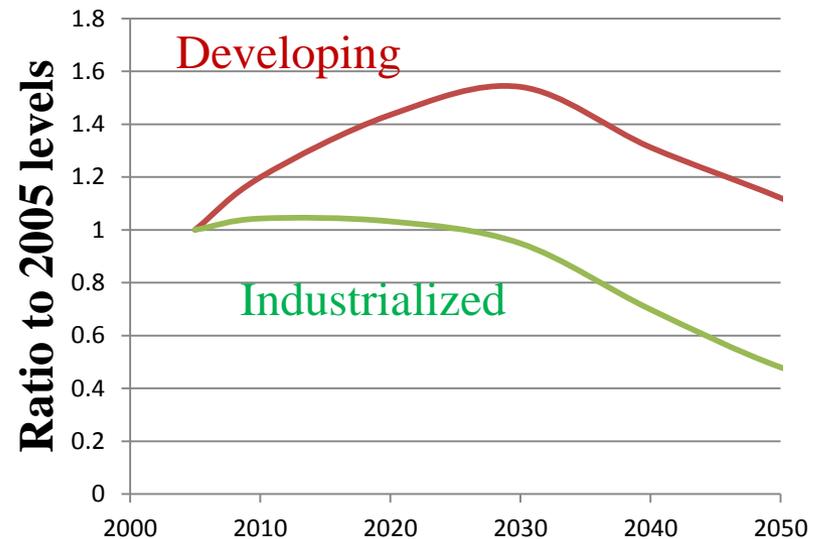
CO₂排出

3. CO₂排出の地域分担

本計算においては、世界協調してCO₂削減に取り組むことを想定し、削減目標は内生的に算出される。



Amount of CO₂ emission



Ratio to 2005 levels

Industrialized countries peak out in 2010, and reduce their emissions **by 50% in 2050 compared to the 2005 levels**.
Developing countries **peak out in 2030**, and their emissions **increase by 10% in 2050 compared to the 2005 levels**.

代表的な地域のCO₂排出

Region	CO ₂ Emissions			
	2030		2050	
	Ratio to 1990 levels	Ratio to 2005 levels	Ratio to 1990 levels	Ratio to 2005 levels
World	1.60	1.20	1.00	0.75
Industrialized countries	1.05	0.95	0.53	0.48
USA	1.16	0.96	0.57	0.47
EU15	0.89	0.86	0.46	0.45
Japan	0.93	0.79	0.55	0.47
Developing countries	2.82	1.54	2.05	1.12
China	2.77	1.48	1.53	0.82
India	3.42	1.91	2.83	1.57
ASEAN	3.74	1.64	3.41	1.50

感度解析

5.3 感度解析と結果の分析

- 感度解析の内容

- 再生可能上限増(シェア上限30%→50%)
- バイオポテンシャル増(4GTOE→9GTOE)
- CCSポテンシャル増(409Gt-C→818Gt-C)

- 結果と解釈

- 標準ケースでは、CO₂累積貯留量がポテンシャル上限に達しているため、若干のコスト高であれば、太陽光、風力、原子力の方が、火力+CCSより優先される。
- 上記感度解析は、いずれもCO₂貯留ポテンシャルに対して、相対的に発生量を小さくするものであり、いずれのケースにおいても2050年前後の火力発電(CCSつき)が増加した。
- 再生可能(太陽光、風力)の導入開始時期は、コスト低下と上記全体バランスに強く依存する。
- 価格がある程度以下になれば、導入ポテンシャル(シェア上限を含む)の設定値を上限として急速に導入が進む。

5.4 感度解析に関するまとめ

- Z650ケースを中心にした感度解析から、CO₂制約のもとでは、以下の技術オプションの組み合わせが重要であることがわかった。
 - 再生可能エネルギー導入の促進
 - 社会合意のもとでの軽水炉導入促進と、適切なタイミングでのFBRサイクル確立
 - 天然ガスの導入促進
 - CO₂貯留ポテンシャルの評価と量的確保
- 計算結果に影響を与え得る下記パラメータについては、今後も慎重に値を設定していく必要がある
 - CO₂貯留のポテンシャル
 - 太陽光・風力のポテンシャル
 - バイオエネルギーポテンシャル。
 - 原子力の動向とFBRサイクル移行の方

4. 経済性評価(2050年までの累積コスト)

追加投資 : 11 trillion \$

原子カプラント 建設

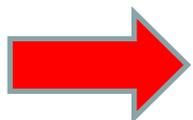
再生可能エネルギー設置

CCS設備の付設

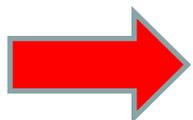
など

燃料コスト低減 : 14 trillion \$

火力プラントの寄与低下による燃料節減



投資と燃料削減は概ねバランスしている。



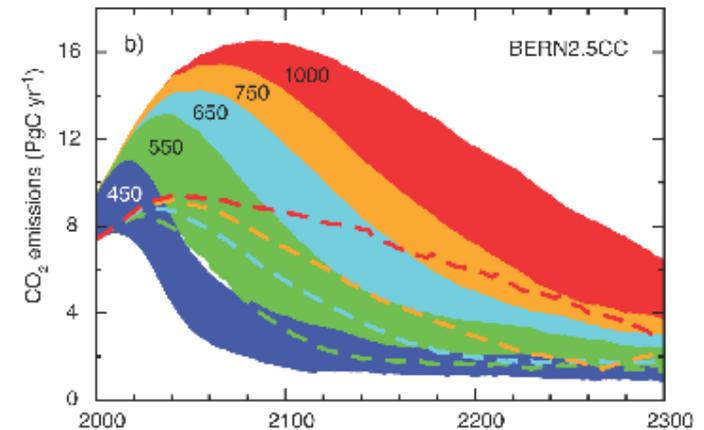
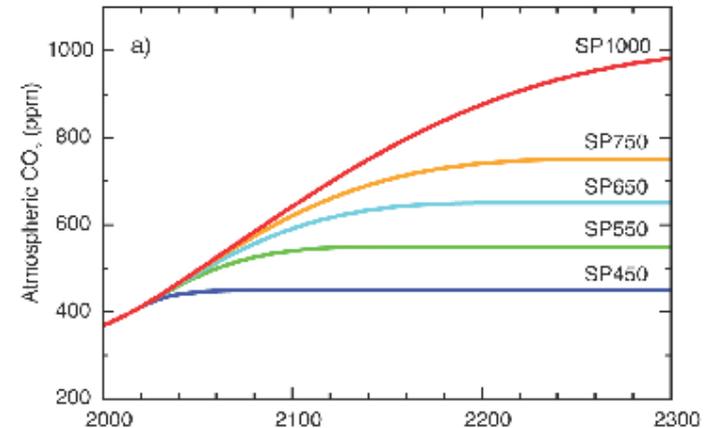
Z650は2050年までは経済的にも有望。

(詳細は経済モデル分析にて)

2. CO₂排出のオーバーシュートシナリオ

2.1 CO₂制限シナリオの概況:

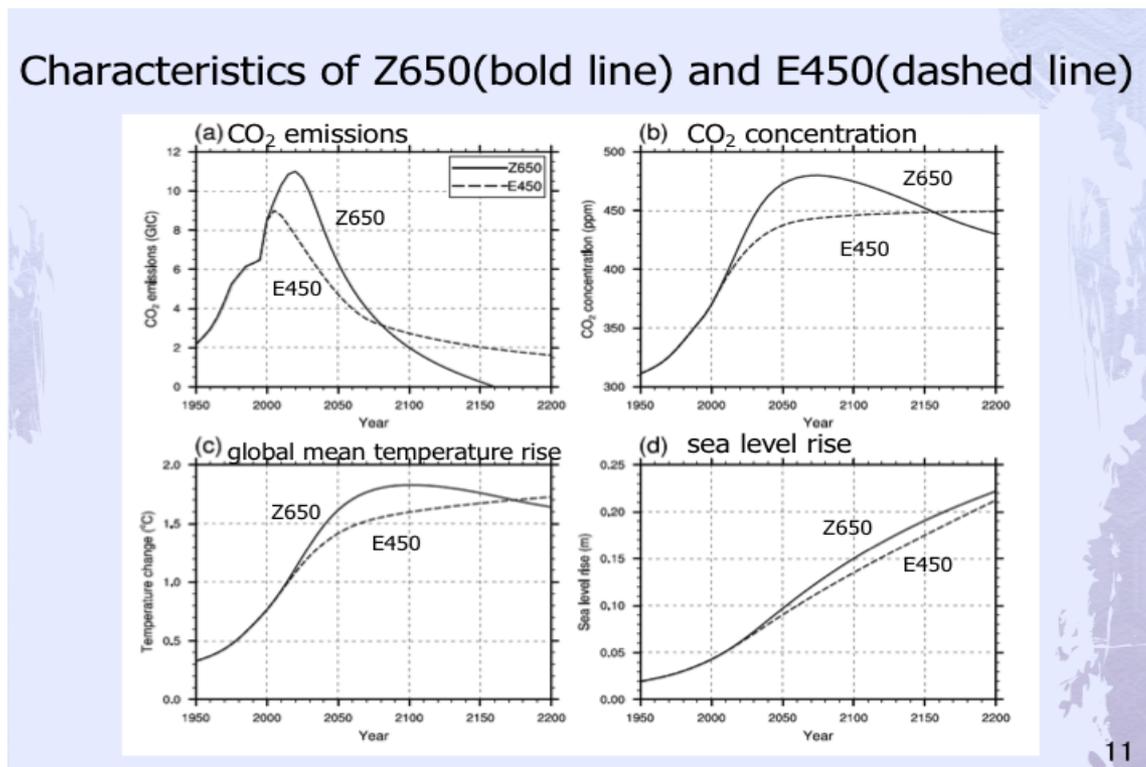
- ① 気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)の報告によると、温室効果ガスによる温度上昇を産業革命前の2°C程度以下にするためには、大気中のCO₂濃度を450~550ppm程度に抑える必要があり、そのためには2050年でCO₂を約半減にする必要がある。
- ② IEA Energy Technology Perspectives(2010)においては、世界のCO₂排出量を2005年比で半減し、今世紀末までの気温を2~3度の上昇にとどめようとする「ブルーマップシナリオ」が提示された。



IPCC報告より

2.2 より現実的なシナリオ: Z650

- ① 温度上昇は2100年で 2°C 以内とする。
- ② 2030年あたりまでの排出増は許容。
- ③ 21世紀後半から、より厳しい CO_2 制限を実施することで、排出の積分量を450シナリオと等価にする。

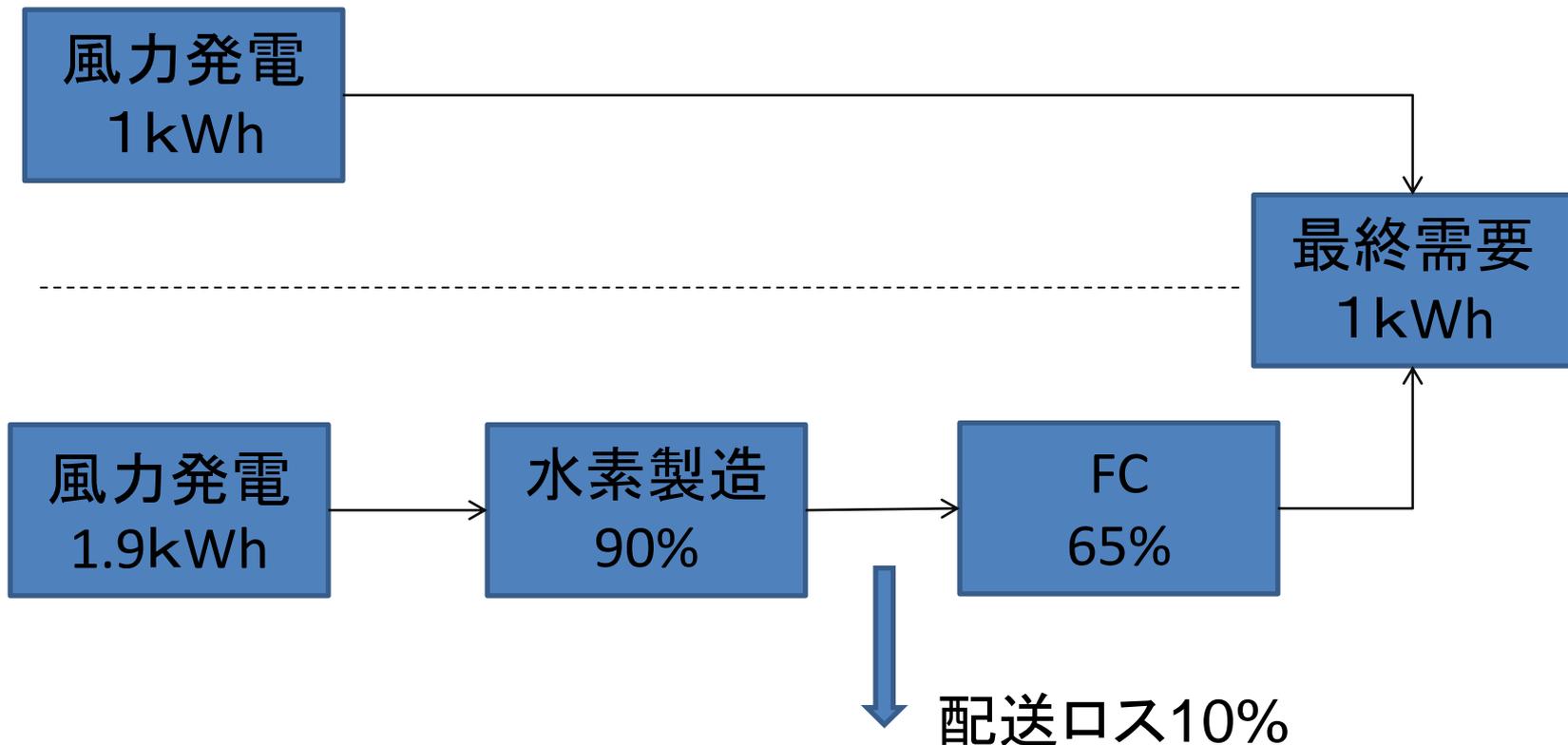


T.Matsuno, K.Maruyama, J.Tsutsui "Stabilization of the CO_2 concentration via zero-emission in the next century- Possibility of new emission pathway to stable climate" 26 Nov.2009 #1 CIGS Symposium

来世紀ゼロエミッションによる CO_2 濃度安定化-気候安定化への新しい排出シナリオの可能性-
松野太郎 丸山康樹 筒井純 #1 Canon Institute for Global Studies Symposium 27 October 2009

再生コスト

再生可能水素のイメージ

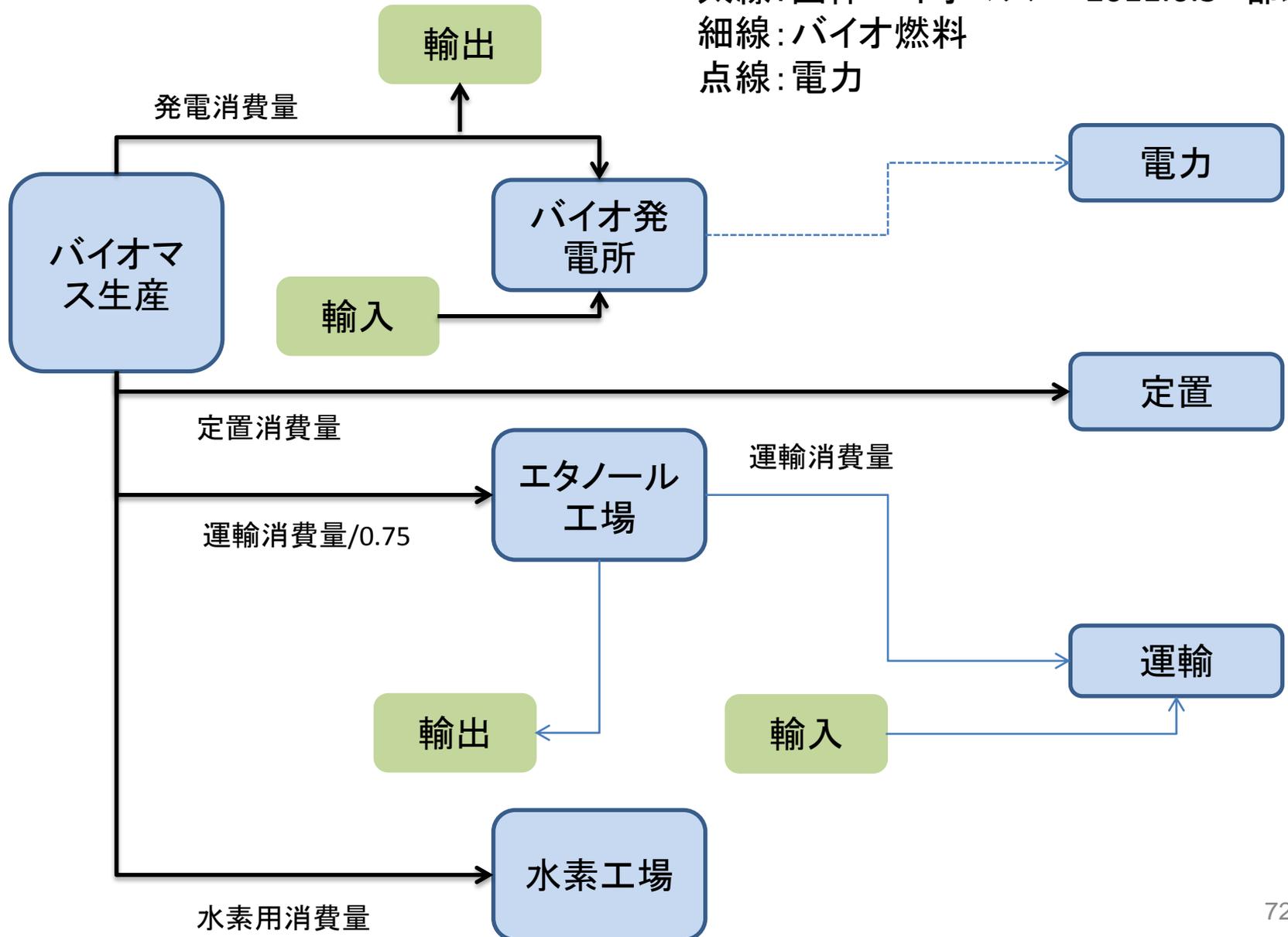


- 大規模な再生可能を水素によって蓄積する場合、発電単価は数倍になる。
- ただし、水素を介さない場合でも、大規模蓄電等高コスト技術による対応は必要

GRAPEにおけるバイオマスフロー概要

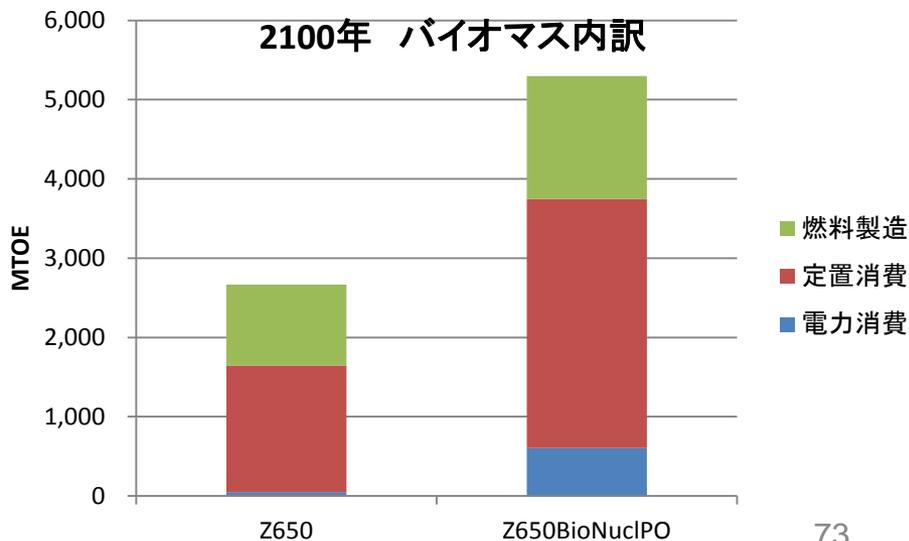
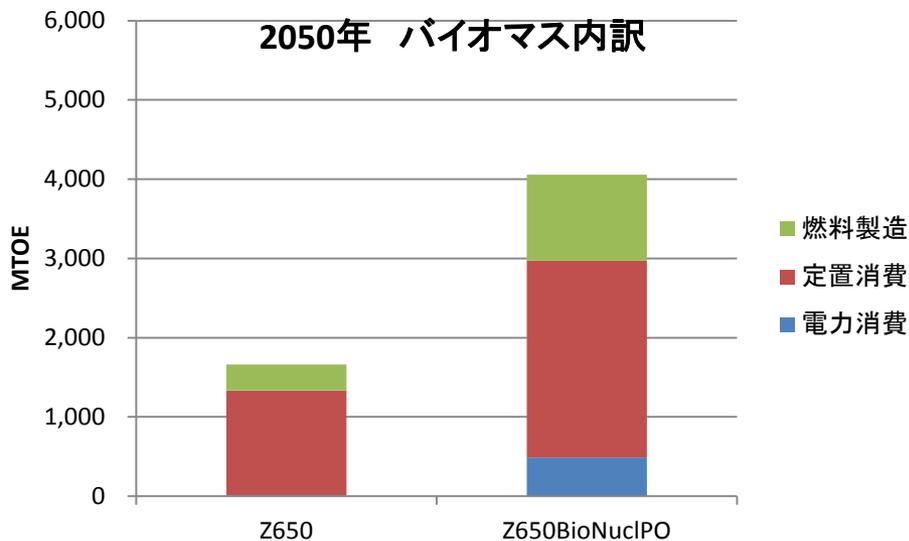
太線: 固体バイオマス
細線: バイオ燃料
点線: 電力

2011.6.3 都筑



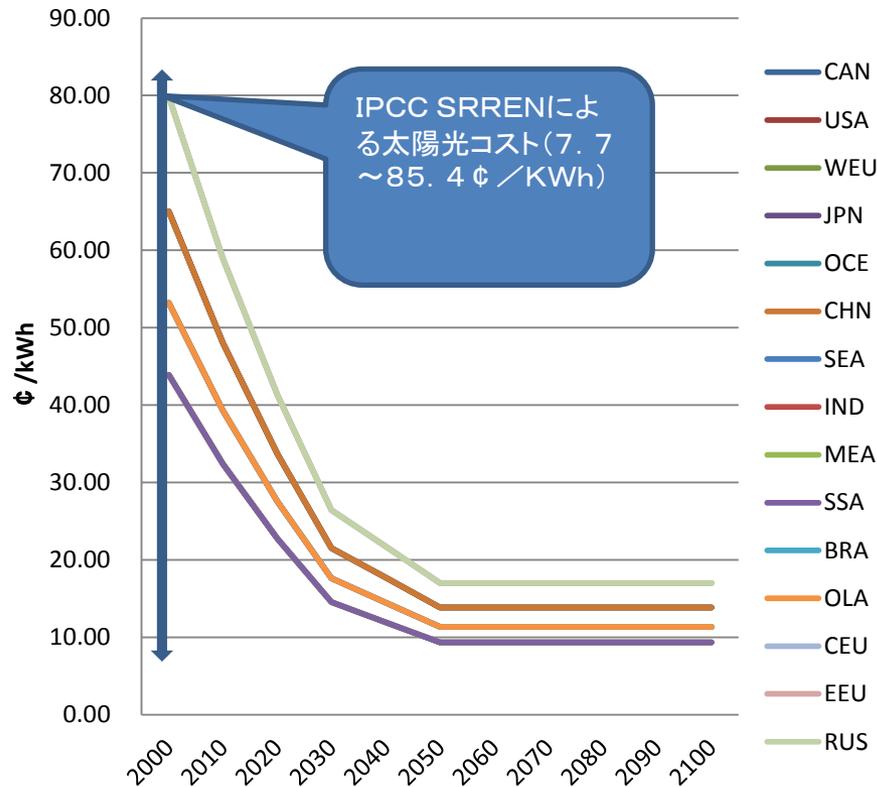
主要な計算ケースにおけるバイオマスバランス

- バイオマスは定置の熱需要に優先的に投入される。
- 2100年になると、燃料製造（＝運輸用バイオエタノール）の比率があがる。
- 新型燃料丸太を加えた場合には、依然として定置用が主であるが、燃料製造や電力にも利用されるようになる。



太陽光コストのGRAPE設定とIPCC SRREN報告比較

GRAPE設定とIPCC SRREN報告比較



GRAPE設定

- 太陽光は、WEC2007から日射量グレードを読み取り、地域の代表値を設定後、発電コストは日射量に反比例すると仮定して日本の発電コストに対する比率を設定して、地域別2000年コストを算出。2000年の日本の発電コストは、現状の値46円/kWhを2000年基準ドル換算した47.02 ¥/kWhに、さらに蓄電池分18 ¥/kWhを上乗せした。

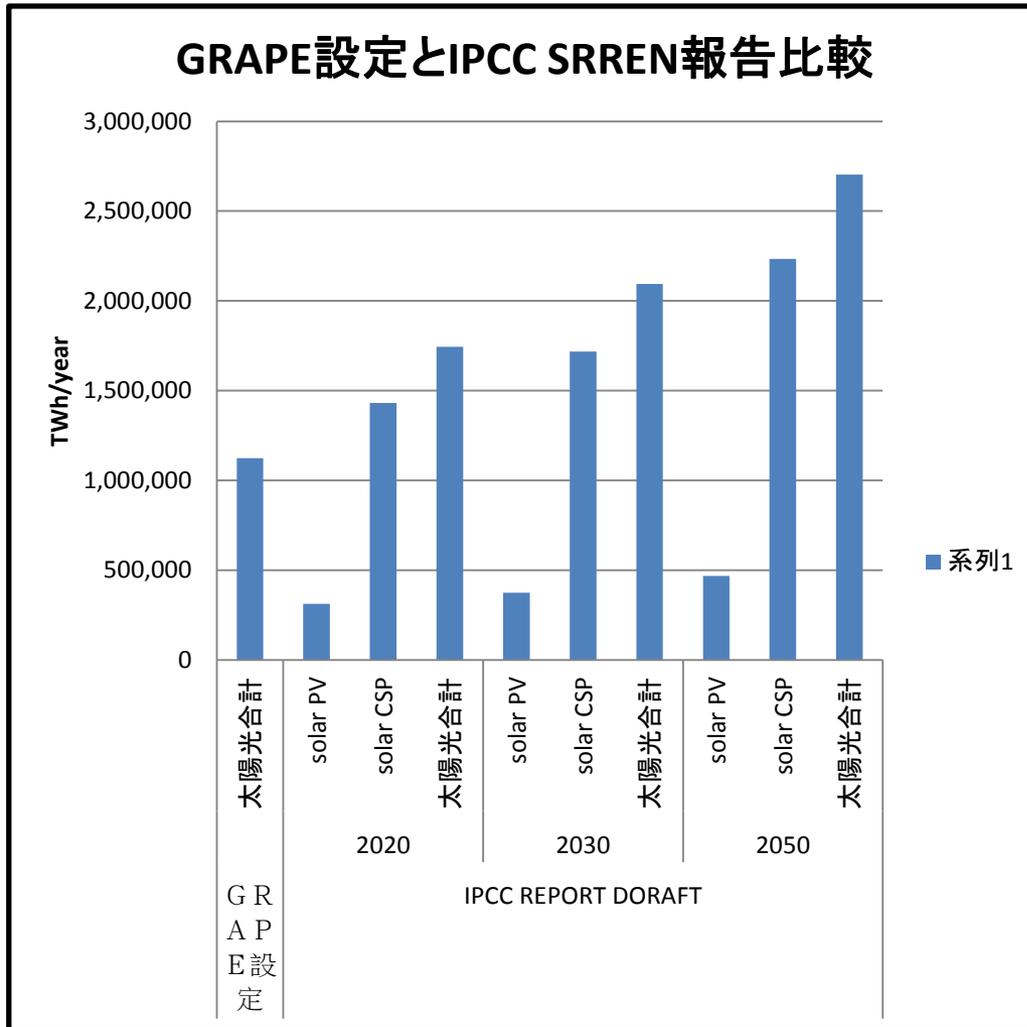
IPCC SRREN報告

- 2005年UScent

IPCC SRREN:

The Working Group III
Special Report on Renewable
Energy Sources and Climate
Change Mitigation

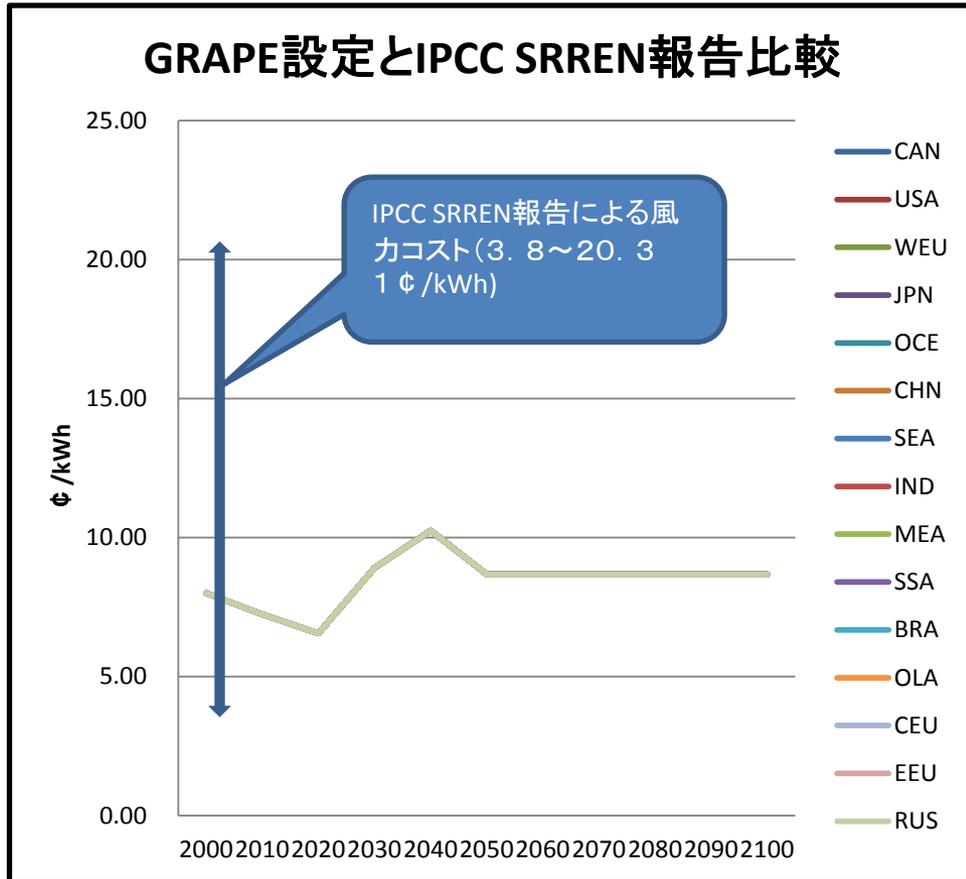
太陽光ポテンシャルのGRAPE設定とIPCC SRREN報告比較



GRAPE設定

・太陽光はNEDO報告[平成15年下期／2013年以降の温暖化方策に関する調査研究平成16年3月]の太陽光発電ポテンシャルのGrade1からGrade3の合計

風力コストのGRAPE設定とIPCC SRREN報告比較



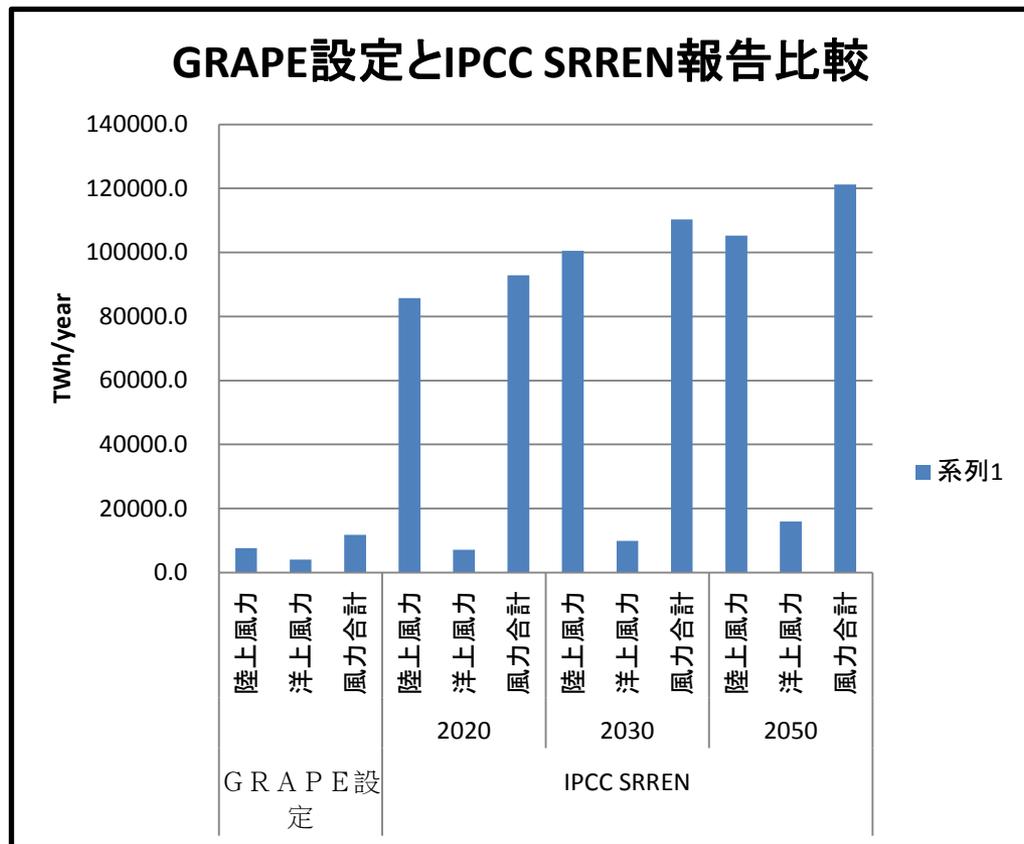
GRAPE設定

・2000年を基準として、年率1%でコストが減少すると仮定。但し、2030年以降蓄電池分を1/2、2040年、2050年は蓄電池分を1追加。それ以降は一定としている。

IPCC SRREN:

The Working Group III
Special Report on Renewable
Energy Sources and Climate
Change Mitigation

風力ポテンシャルのGRAPE設定とIPCC SRREN報告比較



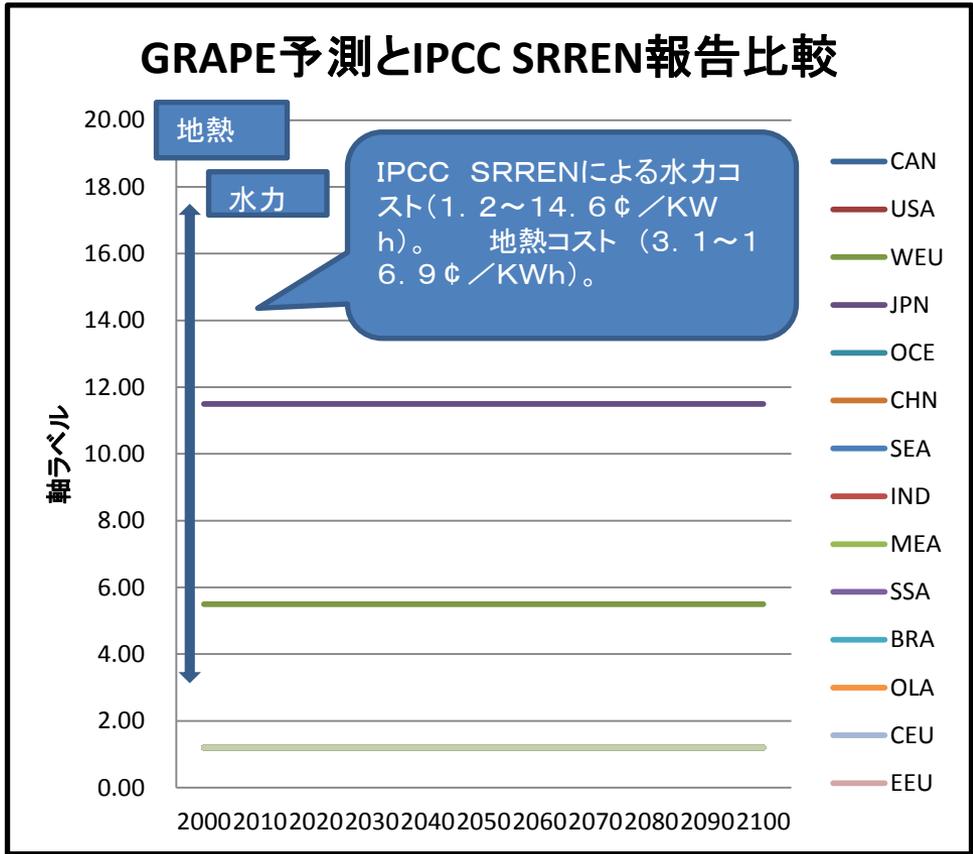
GRAPE設定

- ・陸上風力: NEDO報告の風力発電ポテンシャルのGrade1からGrade3の合計。但し、日本の陸上風力の従来のGRAPEの値34.1TWh/yearを使用。また、インドの陸上風力は、Grade3でのポテンシャル3TWhは、2010年の固定値3.2TWhを下回るので、Grade4までとした。
- ・洋上風力: CIA The World Factbook 2006[15]の海岸線の長さの対日本比率と、日本の洋上風力402.7TWh/yearから設定した 洋上風力ポテンシャルに対して、海岸近くの電力グリッドの発達度合いを先進地域0.7、途上地域0.5としてポテンシャルを設定。

GRAPE設定風力ポテンシャルについて

GRAPEでは発電シェア上限を設定している。風力の発電シェア上限を2030年以前15%、2040年20%、2050年以降25%としている。但し、Z650 2100年で14000TWh/h導入されている。

水力地熱コストのGRAPE予測とIPCC SRREN報告比較

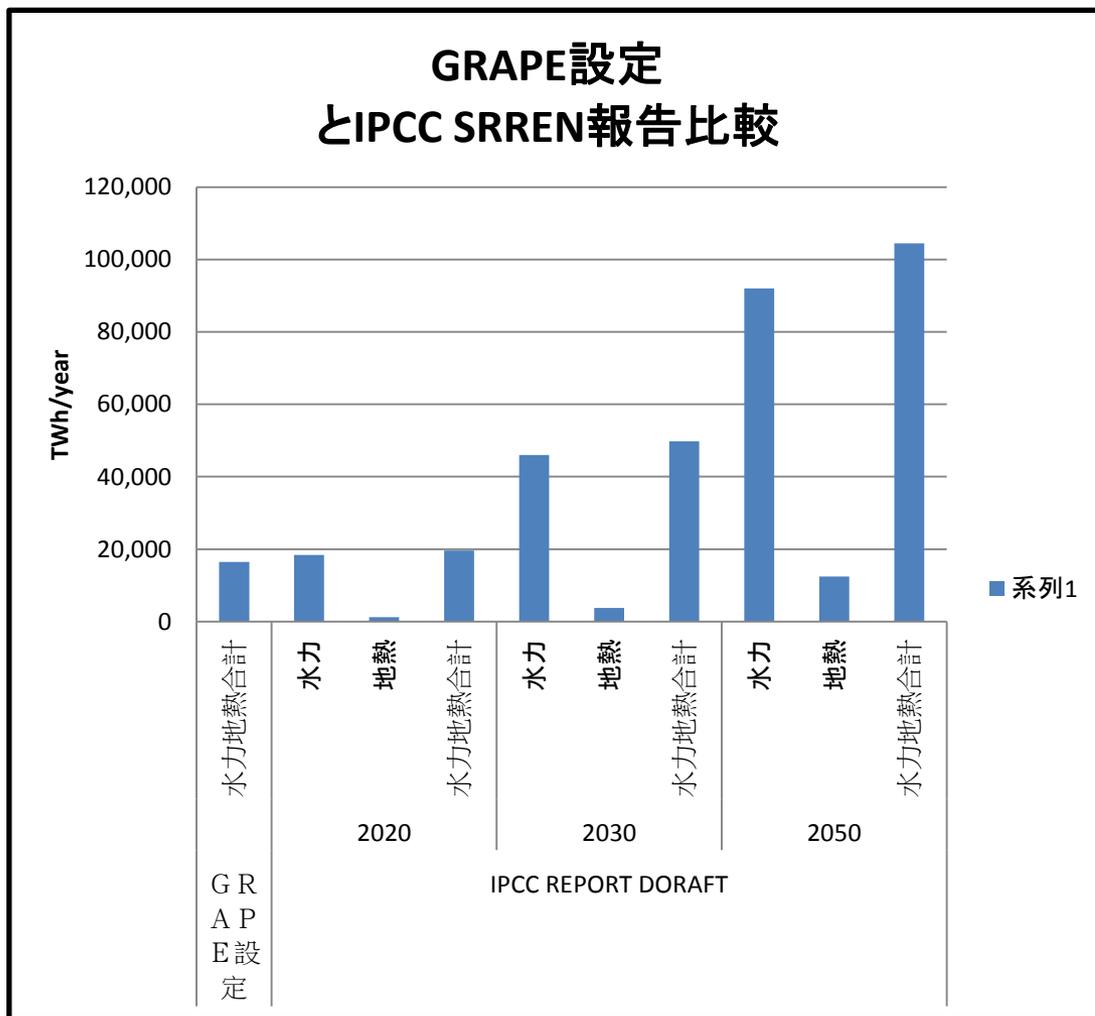


GRAPE予測
・水力はポテンシャルのグレードに応じたコスト。

IPCC SRREN:

The Working Group III
Special Report on Renewable
Energy Sources and Climate
Change Mitigation

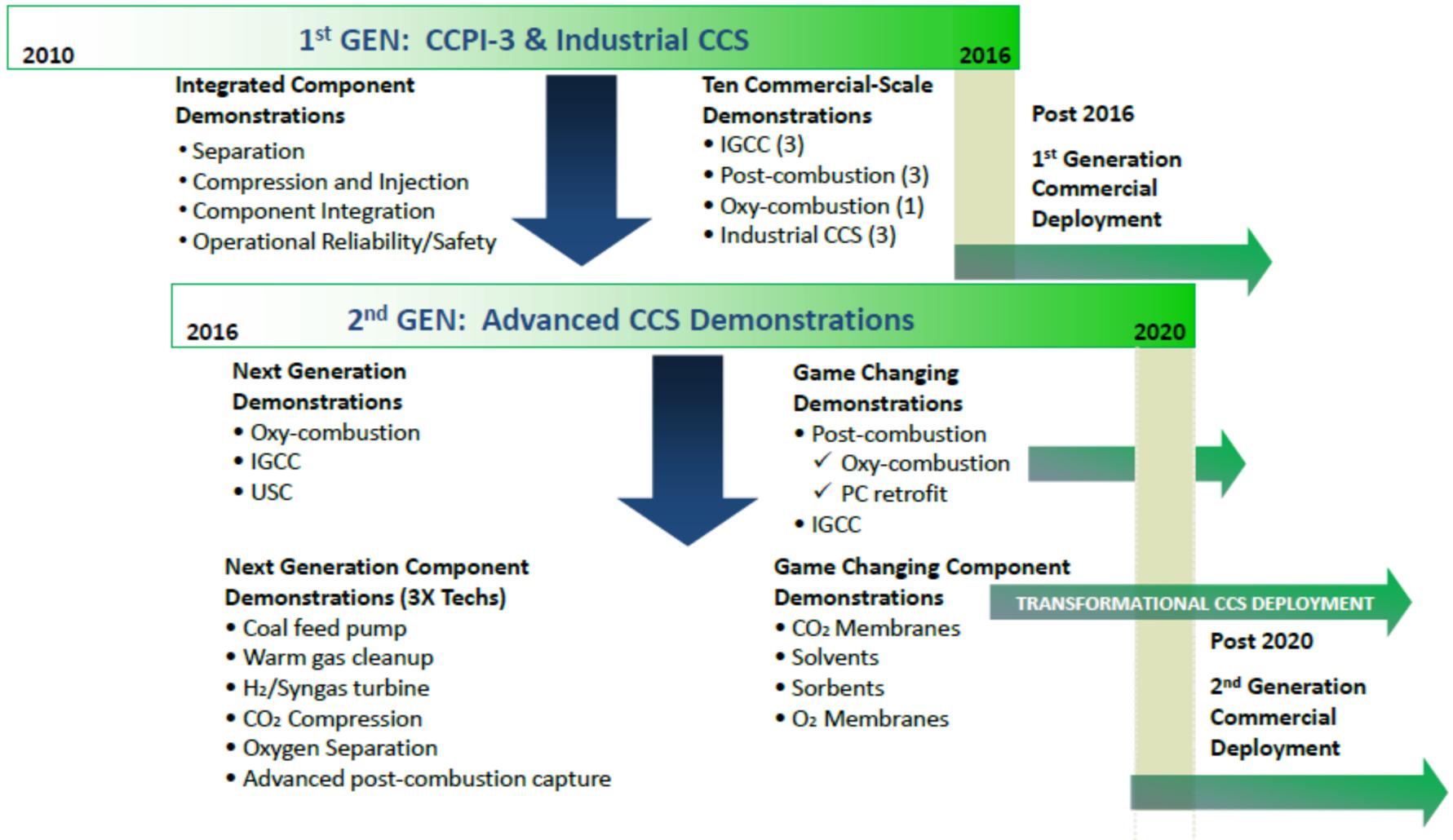
水力地熱ポテンシャルのGRAPE設定とIPCC SRREN報告比較



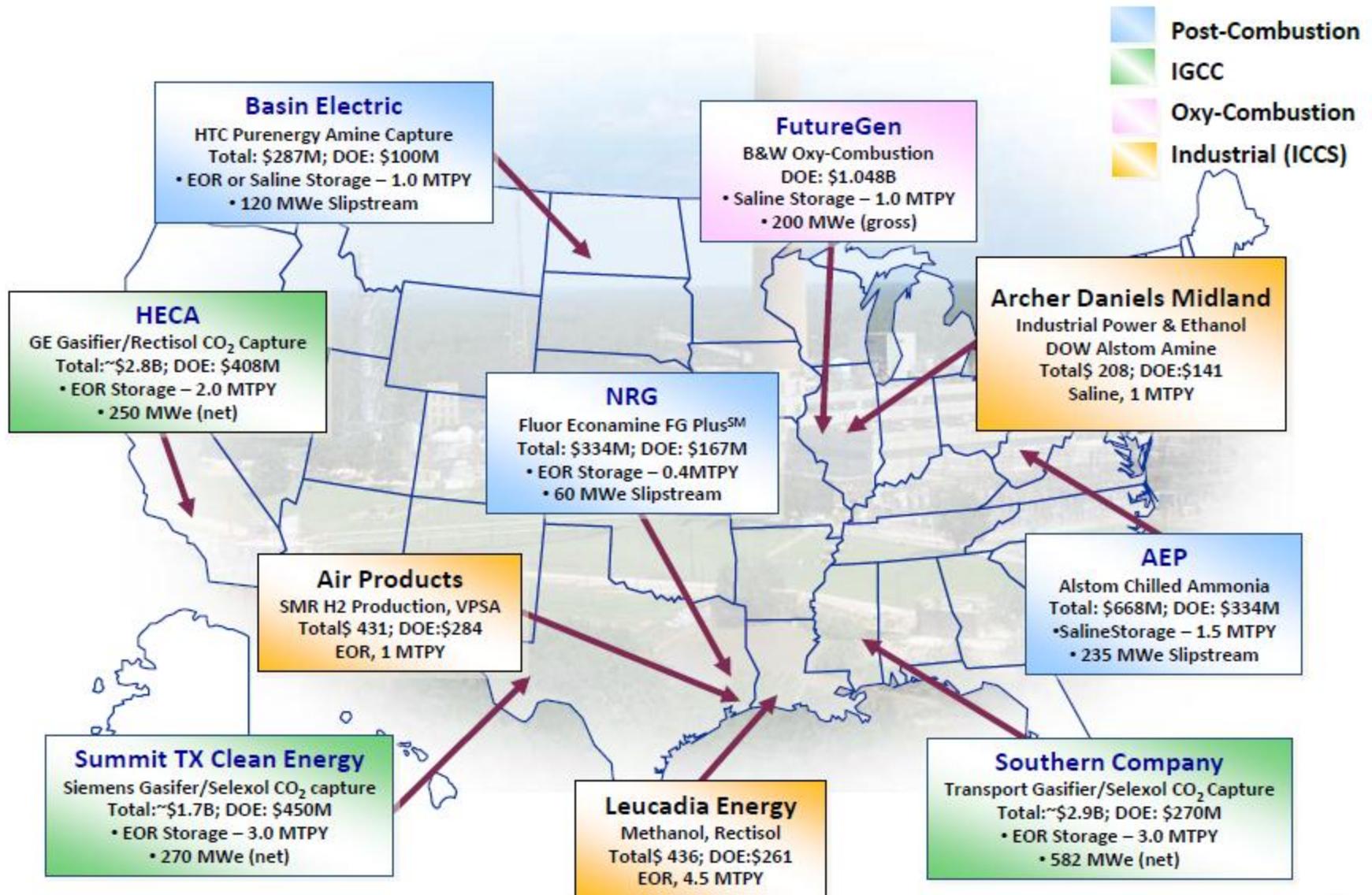
GRAPE設定
 ・水力地熱: WEC 2007[12] Table 7-1 Hydropower: Technically exploitable capabilityを集約

CCS

CCS Technology Deployment Roadmap



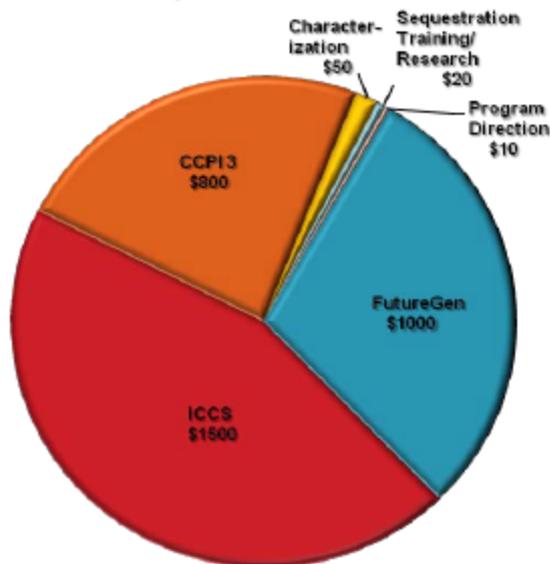
Major CCS Demonstration Projects



Investment to Accelerate CCS

*ARRA Funding + Appropriations + Industry Investment
Focused on 2020 Deployment*

**Recovery Act:
\$3.4 Billion**



Amounts in \$ millions

DOE accelerated R&D on advanced CCS through Industrial CCS Program + two new simulation initiatives: \$635 million investment toward post-2020 deployment

PLUS

**FE investment to Date,
2000 – 2010: nearly \$4B in
Coal RD&D program**

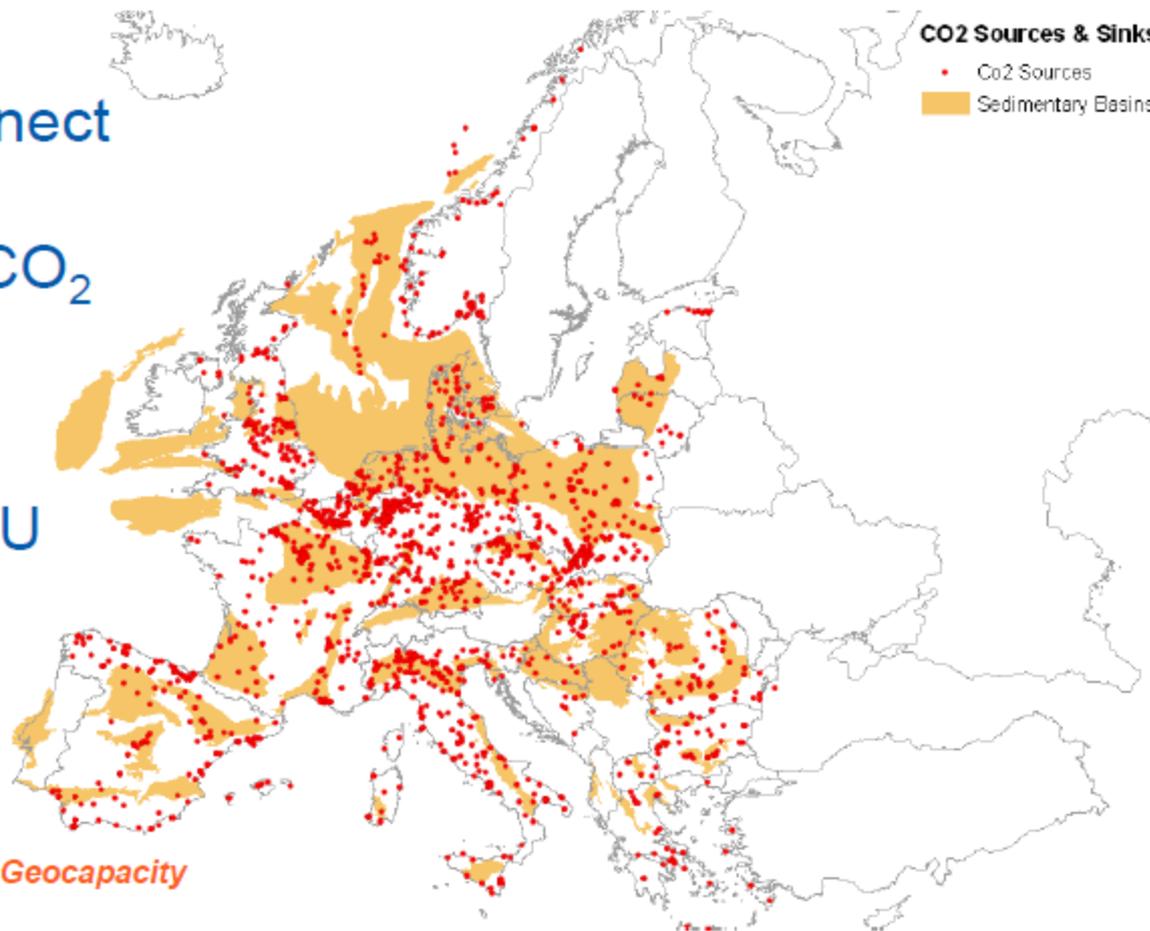
**ARRA \$3.4B leveraging up to
\$7 billion of industry funds**

**Sum total is the largest
financial investment in CCS
by any country**

Infrastructure

How to connect
emission
sources & CO₂
sinks?

Is this a EU
problem?



Source: Geocapacity

Directorate-General
for Energy



CCS DEMONSTRATION



17

EEPR projects - locations

- PC
- IGCC
- OXY

European Energy Programme for Recovery



Hatfield, UK
900 MW

Rotterdam, NL
250 MW

Compostilla, ES
323 MW

Porto Tolle, IT
250 MW

Janschwalde, DE
300 MW

Bełchatów, PL
250 MW



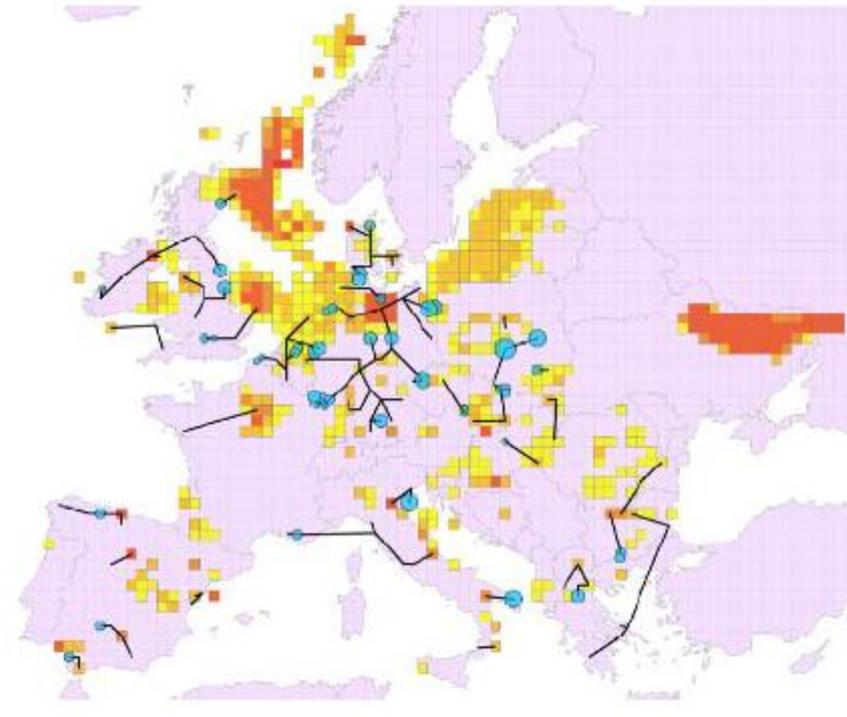
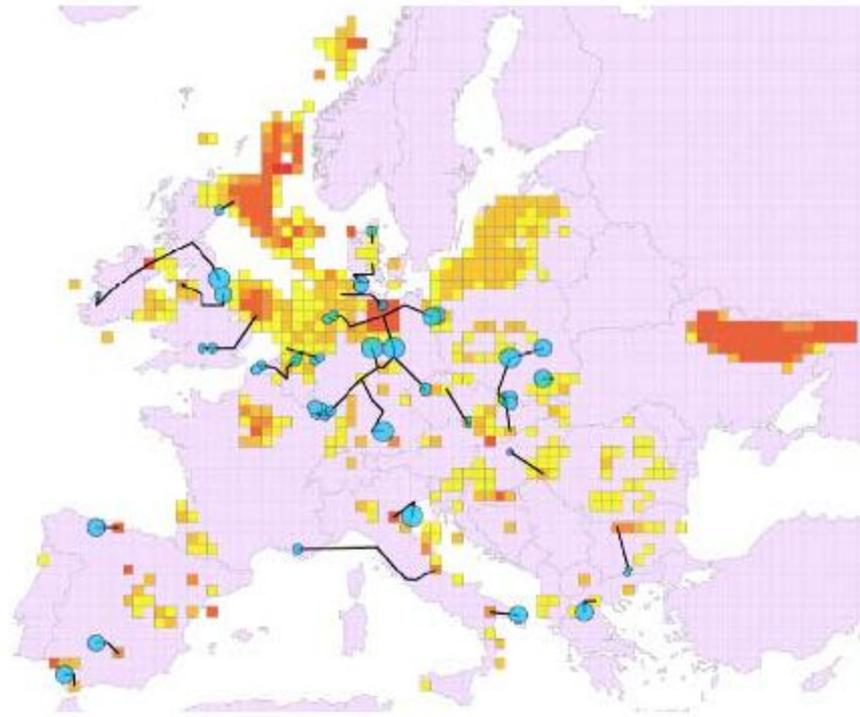
Directorate-General for Energy



CCS DEMONSTRATION



2030 Low - All Storage Available – 2030 Hi



CCS roadmap: time-to market

Alstom is working towards full-scale commercialisation of Carbon Capture technologies that will be available to the market in 2015.

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Capture						
Oxy-Comb.	Pilot / Demo			Commercialisation		
Post-Comb.	Pilot / Demo			Commercialisation		
Transport						
EU, US, Australia	Local, EOR* + demo			Progressive pipeline deployment, depending on validated storage sites**		
Storage						
EU, US, Australia	EOR* + validation of storage sites			Ramp-up to full-scale saline aquifer storage and EOR**		

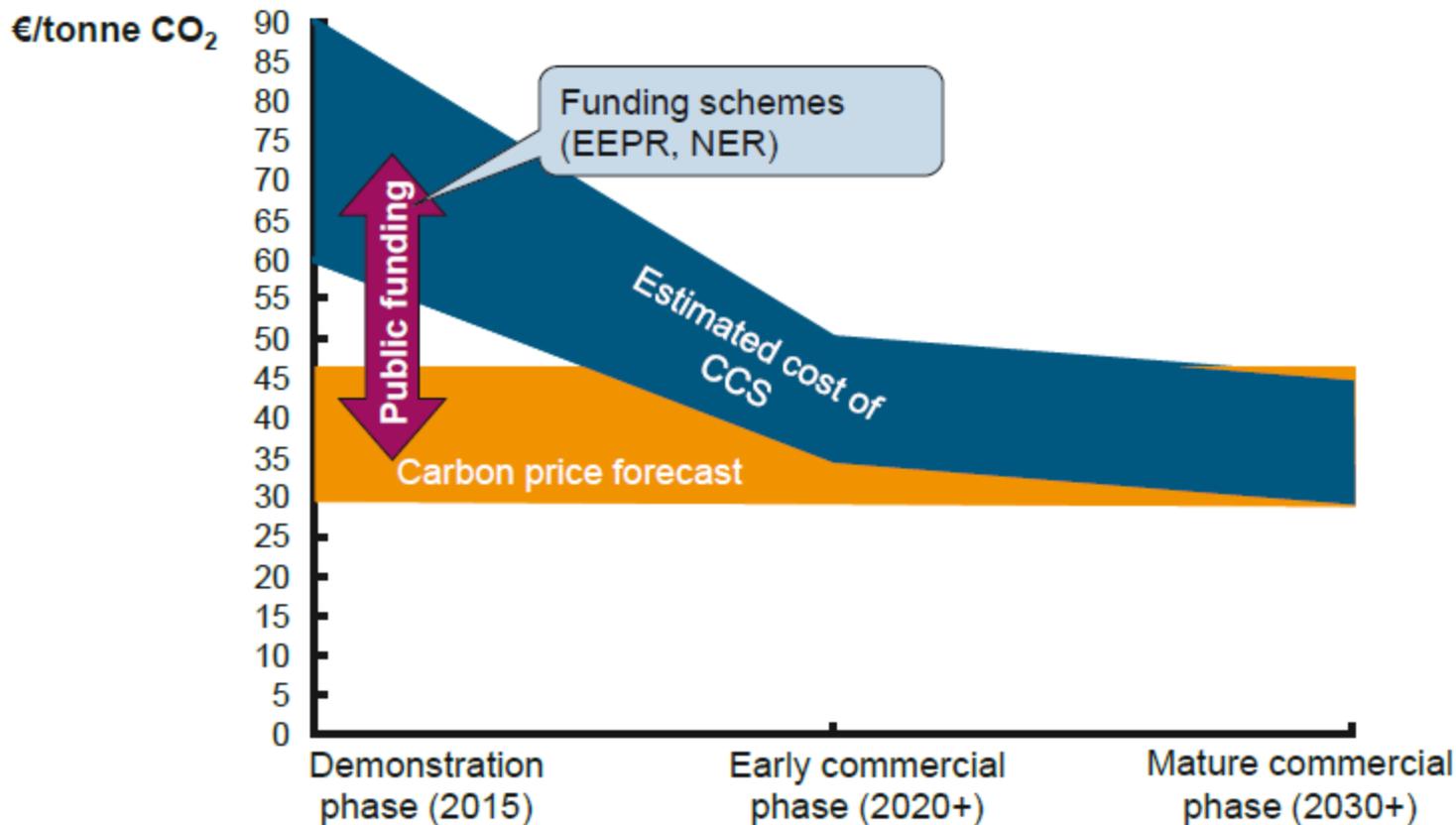
* Enhanced Oil Recovery

** Potential for early EOR projects where infrastructure already exists

Commitment made in 2005 to be ready before 2015

Financial challenges

Economics of Carbon Capture and Storage



Source: McKinsey & Company "CCS – assessing the economics" for the cost numbers; policy implications drawn by ZEP

Public funding required at demo phase and early commercial deployment