

エネルギー・地球環境からみた中長期 VISION についてのコメント

2009年4月14日

(財)日本エネルギー経済研究所

内藤 正久

「エネルギー安全保障」と「地球温暖化」への対策を考えていく上で、時間軸を意識することが非常に重要である。例えば、2020年頃までであれば、技術開発、エネルギー構造等での変化は限定的となる。一方、今後の技術開発成果の現実的導入は2025年頃以降のタイムスパンで大きく効果を現していくため、2025～2030年頃以降の長期visionをあわせ考えることが求められる。その際の考慮事項は次の通りである。

1. 「地球温暖化」と「エネルギー安全保障」を一体的に捉えた議論の重要性

「地球温暖化」と、「エネルギー安全保障」は、一体的に考える必要がある。これまで、この委員会では「地球温暖化」を中心に議論が進められてきた。中長期visionを考える上で「エネルギー安全保障」の重要性にも留意した議論が必要である。

- a) この二つの問題を考えるにあたっては、「時間軸」および「ガバナンスの手法」の違いに留意すべきである。
 - 1) これまで、議論の中心であった地球温暖化問題は、
 - ①時間軸としては、中長期的に影響が顕在化する課題である。もちろん、早期からの対策・努力は重要であるが、技術革新・導入による効果が大きく影響するという点で、中長期的な視点が重要である。
 - ②温暖化問題は、地球上の全人類共通の問題である。そのため、世界的なガバナンスと取り組みが求められ、一国（日本だけ）の取り組みだけで解決できる問題ではない。
 - 2) 他方、これまで必ずしも焦点が当てられてこなかった、エネルギー安全保障問題については、まずエネルギーそのものの戦略性・重要性を認識する必要がある。すなわち、エネルギーは
 - ① 生活必需品であり、日々の生活に直結する日常的課題である。日々の節約にも限界あり、また、経済活動上の血液でもある。
 - ② 現在世界で使用されているエネルギーは埋蔵量の限界、資源の偏在から恒常的に地政学的リスクがある。その世界的管理（ガバナンス）には限界があり、二国間、地域間、多国間で、それぞれ焦点を絞った伝統的リスク管理システムで対応が進められている。すなわち、最終的には各

国政策に依存する。

このように、エネルギー安全保障は、技術開発・外交戦略等、中長期的な問題としての性質もあるが、日々・足元の問題としての重要性があり、その時間軸の違いを意識することが重要である。

【参考資料 I】時系列展開イメージのポイント

(別添参考資料 [以下別添] 2 頁)

- b) 従って、温暖化・エネルギー安全保障の二つの問題解決には、「常時」「継続的に」「問題克服の努力」を進めることが不可欠である。と同時に、問題の性質・特徴から現れる時間軸の差異に留意しなければならない。
- c) また、対応策としての焦点は、「研究開発」「供給体制の整備・充実」「需要者側の受け入れ」を実現することである。そのためには、各国政府による明確な戦略・政策目標の設定と実施が不可欠となる。

2. 「時間軸」を踏まえた技術選択オプション

- a) 再生可能エネルギーやクリーンエネルギーの開発は、「温暖化」「エネルギー安全保障」の同時解決に大きな役割を果たす。しかし、その開発が進み、エネルギー需給構造に大きな影響を与えるべく「花咲く」のは、2025～2030年頃からとなる可能性が高い。

なぜなら、それらのエネルギー技術について、すでに研究開発は多面的に進められているが、

研究開発 (R&D) → 成果開示 (demonstration) → 配備 (deployment)
→ 商用化 (commercialization)

の段階を経るので、最後の商用化に至るまでの **time-lag** が長い。場合によっては 50 年以上かかるケースもある。

(この点、IEA の「世界エネルギー見通し」や「エネルギー技術展望」等はこの **time-lag** の重要性を指摘した重要な参照文献である。)

【参考資料 II】2050 年に向けた技術開発計画 (別添 3～6 頁)

【参考資料 III】IEA：エネルギー技術展望 (別添 7～8 頁)

(Energy Technology Perspectives 2008)

炭素排出削減とエネルギー選択技術の見通し

【参考資料Ⅳ】 Alliance Bernstein：世界の電力構造の変化（別添 9 頁）

- b) なお、省エネのように、短期的効果が期待でき、かつ負の導入コスト（メリット発生）が期待できる分野については、短期回収型の技術・製品導入の手法が活用されるべきである。しかし、同時に、「超長期」を見据えた技術開発にも全力をあげてとりくんでいく必要がある。例えば、2050年頃の高速増殖炉（FBR）、それ以降の課題としての核融合、宇宙太陽光発電等は、世界のエネルギー・環境像を全面的に塗り替える可能性を持つ。現在、その研究（R&D）は国際的に進められつつあり、日本はこうした分野でもトップレベルの地位を確保するため、一貫した研究開発の推進体制と政策支援が必要である。

【参考資料Ⅴ】過去の燃料転換の歴史（別添 10 頁）

- c) 化石燃料資源は、「究極的には」有限であるが、その有効活用を図ることは、前述した対策の時間軸という視点からも、経済合理性・現実性といった視点からも、重要である。なお、資源の有限性については、採掘しやすい石油（easy oil）等の低廉な化石燃料の供給は 2030年頃にはピークを迎え、以後価格上昇期を迎える可能性が高い。この、化石燃料価格の高騰は、研究開発の進展に伴う新エネルギー技術などの活用・受入れを経済的にも、さらに促進する効果を持つ。

【参考資料Ⅵ】資源の有限性（別添 11～12 頁）

- d) 地球温暖化の対策としては、「最終的なCO₂排出削減の達成」、「世代間の負担の公平」という観点から、過度に急激でなく、着実な政策目標の設定が望ましい点は、RITE model分析でも示されている通りである。さらに、上述した、技術開発→投資→設備等の導入、の時間軸から見ても、着実な政策目標に沿った展開が現実的である。また、投資回収期間の短い技術・設備等を繰り返し新規導入するより、技術革新時の積極導入を図る方が経済的に有益であるという面もある。
- e) 従って、2030年頃までの間、「化石燃料」をクリーンで高効率な形で利用することは、「エネルギー安全保障」、「経済性」の確保の点で不可欠なシナリオであり、先進国のトレンドとも一致する。その意味で、電源構成面では、高効率化、二酸化炭素回収・貯留(CCS)の開発を進めることこそが本筋であり、石炭火力の過度な削減とLNGの過度の増加はエネルギー安全保障の観点から、問題といえる。更に、この時間軸の範囲において、新エネルギーの過大な導入は実

現困難である。

【参考資料Ⅶ】化石燃料の有効利用・新エネ導入ポテンシャル（別添 13 頁）

- ① 化石燃料の有効利用
- ② 電源構成における新エネルギーのポテンシャル

f) 国際的なエネルギー有識者間では「温暖化」「エネルギー安全保障」の二つを見据えて、様々な議論が交わされている。しかし、その議論において、ほぼ意見が一致する実現可能性のあるエネルギー・地球環境バランスのとれた 2030 年頃までのシナリオは次の通りである。

- ① 世界的に電化が進行する中で、原子力の重要性が再認識され、広く利用拡大が進む。
- ② 太陽光、風力、バイオ等には大きな期待があるが、過大な期待は「バブル」につながるので、着実なR&Dとの一体的推進が必要である。
- ③ 化石燃料のクリーンで高効率な利用が進む。特に石炭火力・ガス火力の高効率化とCO₂回収・貯留（CCS）の重要性が認識され、取り組みが進む。
- ④ プラグイン・ハイブリッド車、電気自動車が道路交通のエネルギーの将来像を革新的に変えていく。
- ⑤ 高効率蓄電池、蓄熱機器、パワーエレクトロニクス・半導体等の市場は拡大する。
- ⑥ スマートグリッド、スマートメーターの導入等インフラ投資も重要。

このシナリオにおいて、上記の有識者たちが共通して、強調していることは、『「過大な目標設定」と「政策のあいまいさ」は市場を混乱させ、効率的目標達成を阻害する。実現可能性のある明確な目標と明確な政策が不可欠である。』

（“Unrealistic political targets confuse markets as does policy ambiguity.”）
ということである。

[参考] なお、エネルギー有識者のシナリオ発表の一例として、Shell Energy Scenarios to 2050 を別添する。Blueprints Scenario は世界共通ガバナンスの採用で可能になるシナリオであり、地球温暖化対策に前向きに協力するシナリオである。

【参考資料 XI】Shell Energy Scenarios to 2050（別添 17～20 頁）

3. 日本が考えるべき留意点（産業構造、エネルギー自給率などの視点から）

- a) 温暖化・エネルギー安全保障対策にとって、低炭素技術の推進は不可欠である。その技術を担う産業としては、昨今の「グリーンニューディール」政策において脚光を浴びる「新しい産業」の活躍が期待されることはいうまでも無い。しかし、低炭素技術の開発には、化学、機械、珪素・金属系素材等、現在のエネルギー多消費型産業の低炭素化に資する要素技術の開発は不可欠であり、それも含め革新的な技術が横断的に結び付くことで初めて実現できる。

そのためには、既存産業も自立した経済的主体として新製品の開発を進めることが不可欠である。その点において、例えば、高額の炭素税賦課等が行われるような場合、それらの重要産業が空洞化し、技術開発の実現が阻害されることになる点に特に留意する必要がある。

従って、日本の国家戦略、産業政策の長期目標が「低炭素技術産業の振興」と、「それを通じての国際貢献」であることを明確にし、ある程度の時間をかけて日本の産業構造・貿易構造をその方向に誘導することが必要である。そこで得られる日本の開発技術を世界に積極的に移転することで、地球温暖化の防止に大きく貢献することができる。

【参考資料Ⅷ-①】日本の国際貢献事例（別添 14 頁）

- b) 日本の現在のエネルギー自給率（4%、原子力込みで 18%）は、国際的常識（50%）からみて異常に低い、という事実を認識する必要がある。また、島国であることから、欧州で行われているように電力・ガス等のネットワーク連結を通じて、他国からの緊急時輸入・融通ができないという地理的・ロジスティック上の課題もある。こうした点を踏まえると、超長期（21世紀後半）に実用化が期待される宇宙太陽光発電や核融合などの革新的技術によって、「エネルギー安全保障」が根本的に解決されるまでは、この問題を、常に真剣に考え、取り組みを実施し続けることが、国民生活に不可欠である。

併せて、超長期にわたる国家的支援による技術開発も不可欠である。

【参考資料Ⅸ】エネルギー自給率の推移（別添 15 頁）

- c) なお、革新的な技術開発に加えて、先進的な技術の導入支援に関する短期的な対策のためにも、十分な財源確保が必要となる。その点において、Cap & Trade システムの導入についても、世界の潮流を見極めつつ、真剣な検討が必要である。また、枠組みそのものについても、マネーゲームにならないよう実のある制度を

構築すべきである。

d) 日本の対応も、EU 等の他の地域の実情を把握した上で、日本の目標値の公平性を実現することが不可欠である。例えば、EU は①EU27 に拡大することにより、過去東欧で実現した大幅な温室効果ガスの削減を合算できるようになること、②EU10 の第一約束期間の超過到達分が第二約束期間にキャリーオーバー出来ること等により、今後の CO₂ の削減が無くても 1990 年△20%を実現できる可能性が大きいこと等にも留意すべきである。

【参考資料X】 EU の 20%削減計画の実現パス（エネ研試算）（別添 16 頁）

以上

2009年4月14日
日本エネルギー経済研究所

【別添】 参考資料

- 【参考資料Ⅰ】 時系列展開イメージのポイント
- 【参考資料Ⅱ】 2050年に向けた技術開発計画
- 【参考資料Ⅲ】 IEA：エネルギー技術展望
(Energy Technology Perspectives 2008)
- 【参考資料Ⅳ】 Alliance Bernstein：世界の電力構造の変化
- 【参考資料Ⅴ】 過去の燃料転換の歴史
- 【参考資料Ⅵ】 資源の有限性
- 【参考資料Ⅶ】 ① 化石燃料の有効利用
② 電源構成における新エネルギーのポテンシャル
- 【参考資料Ⅷ】 日本の国際貢献事例
- 【参考資料Ⅸ】 エネルギー自給率の推移
- 【参考資料Ⅹ】 EUの20%削減計画の実現パス（エネ研試算）
- 【参考資料Ⅺ】 Shell Energy Scenarios to 2050

参考資料 I : 時系列展開イメージのポイント

2020年 2030年 2040年 2050年

4. 低炭素技術産業のエネルギー多消費産業が横断的に結びついた開発

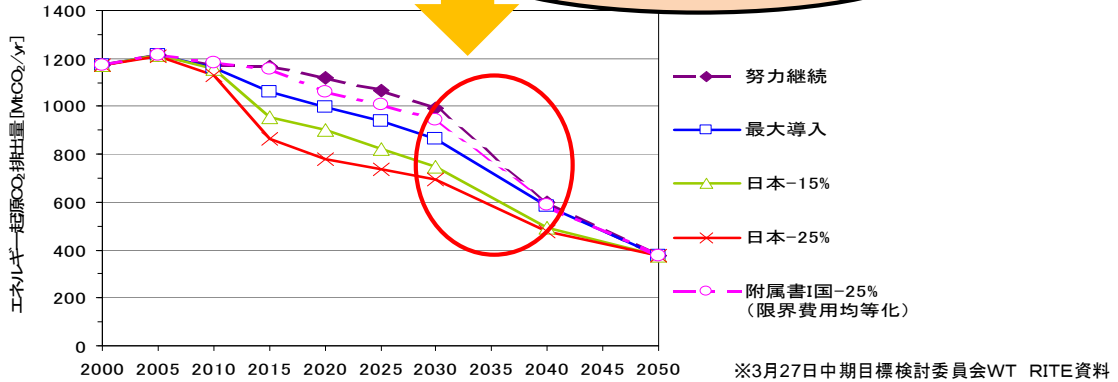
5. 我が国の技術を海外へ移転する国際貢献

3. 有限な化石燃料の有効利用

1. 革新的技術の実用化

2. 化石燃料の価格上昇による再生可能エネルギーの相対価格低下

1と2が相まって、2030年以降加速度的にCO2削減が進む (RITE結果とも整合)



参考資料Ⅱ-1 2050年に向けた技術開発

○2050年60%～80%の削減に向けて、長期的な視点で技術開発に取り組んでいくことが重要。

※Cool-Earth エネルギー革新技術計画(平成20年3月5日経済産業省)より作成

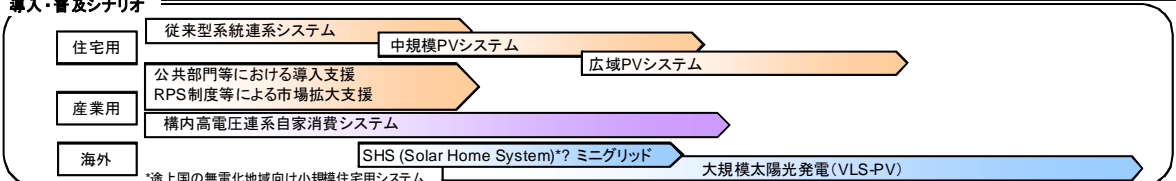
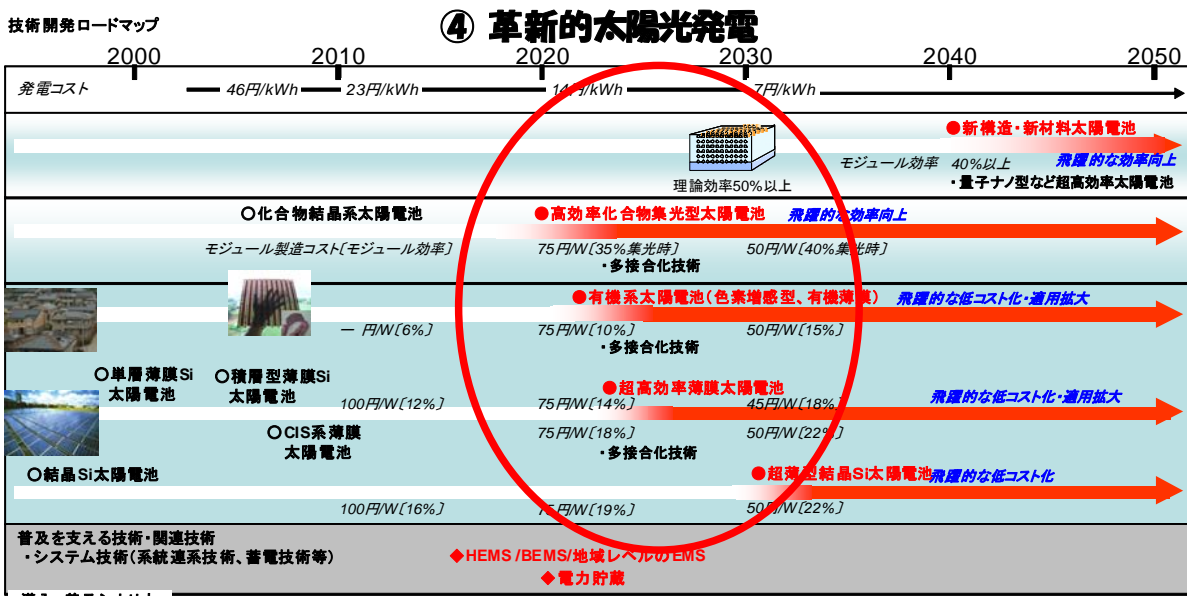
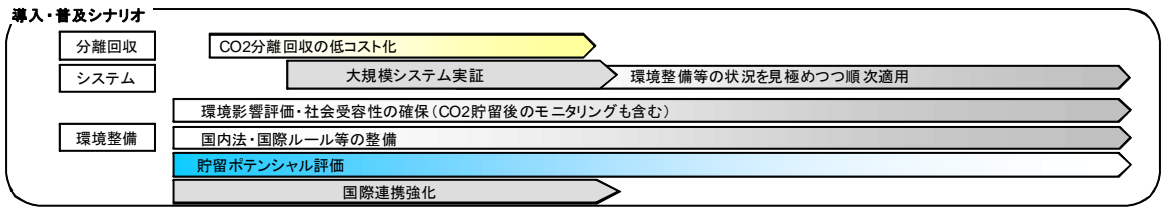
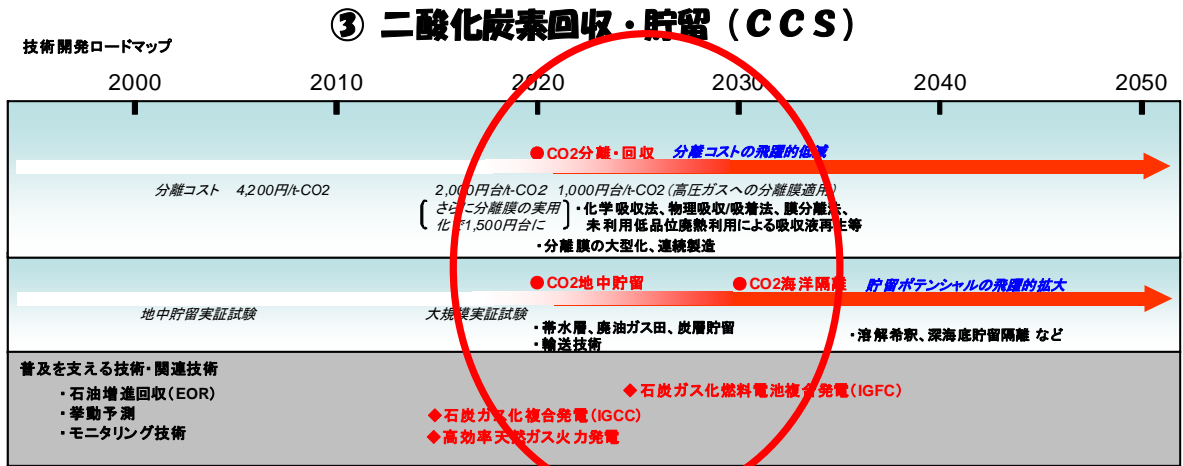


※1:IGCC(石炭ガス化複合発電) ※2:IGFC(石炭ガス化燃料電池複合発電)
 ※3:HEMS(ホームエネルギーマネジメントシステム):BEMS(ビルディングエネルギーマネジメントシステム):EMS(エネルギーマネジメントシステム)

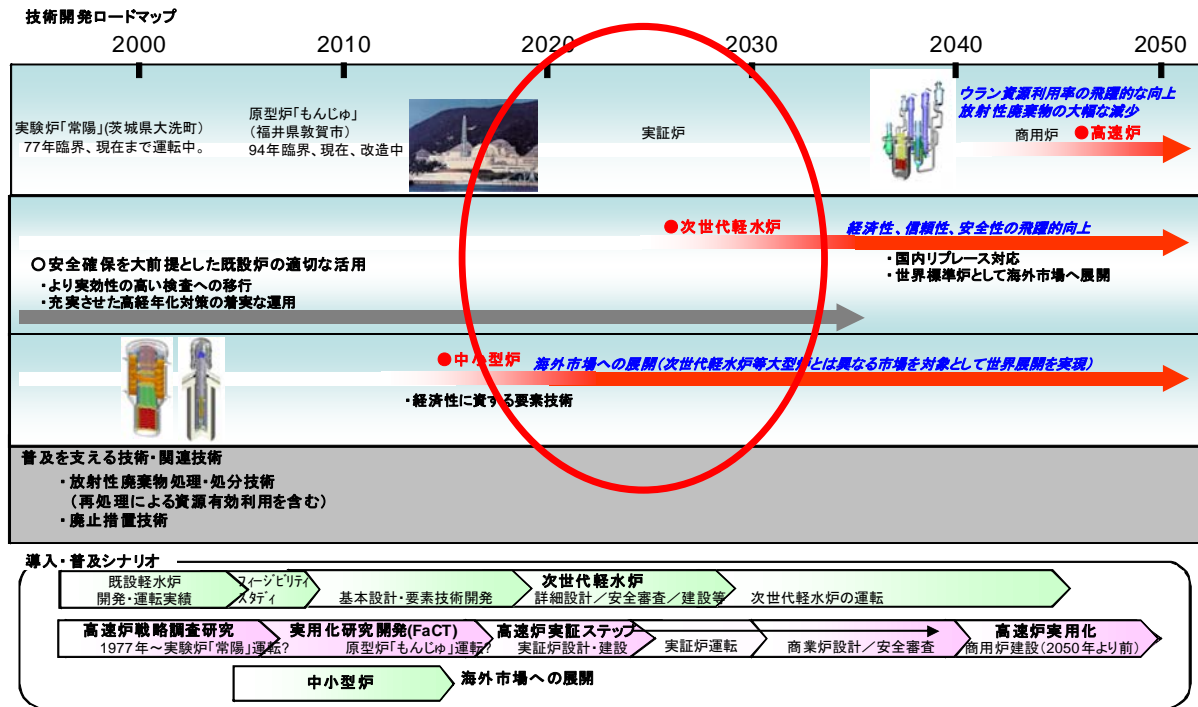
(出所) 経済産業省

参考資料Ⅱ-2 2050年に向けた技術開発

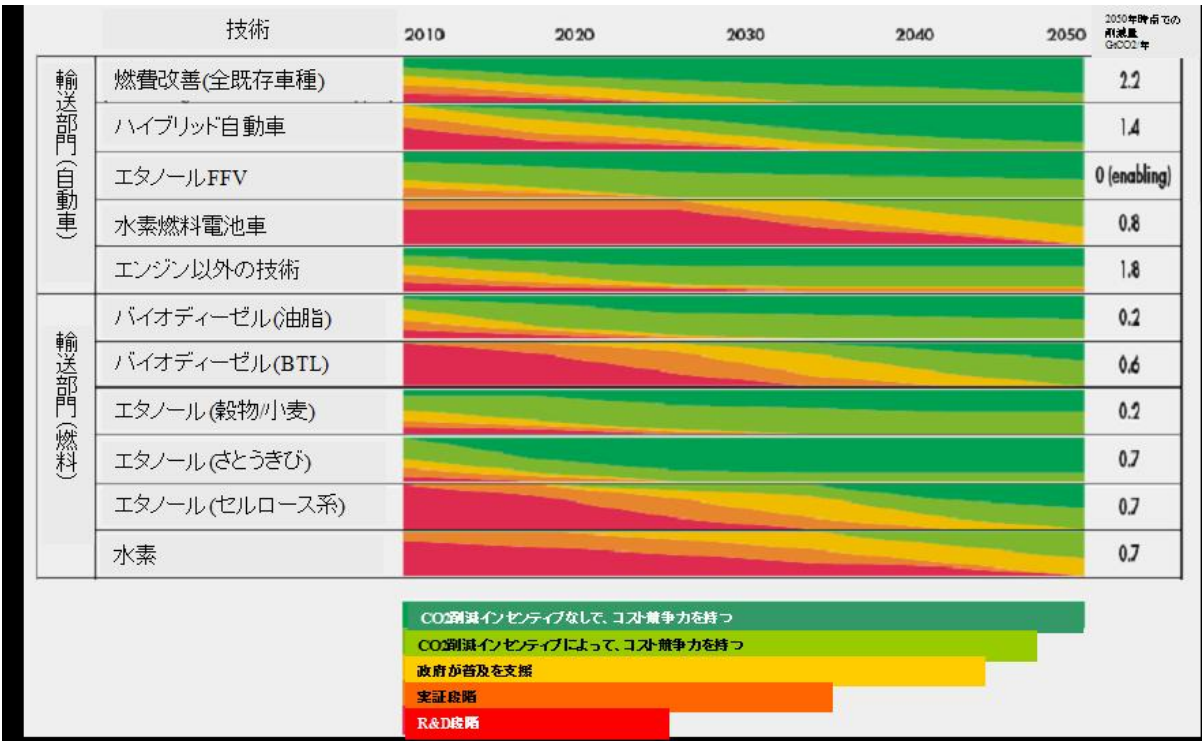
○長期的に開発される革新技術は、2020年以降に実用化される。
 ○2050年60～80%という目標を達成するためには、投資回収の短期の技術・設備等を繰り返し新規導入するより、技術の革新時の積極導入を図る方が経済的に有益。



⑤ 先進的原子力発電

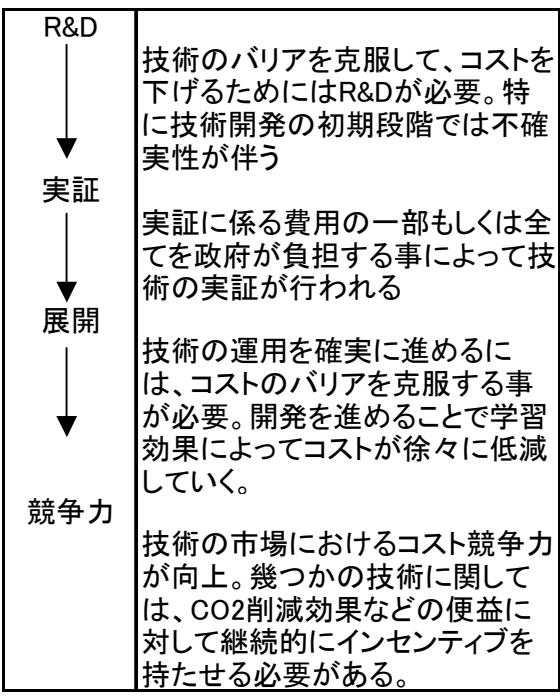


参考資料Ⅱ-3 (⑧、⑨、⑩) 運輸技術導入 timing の推計例

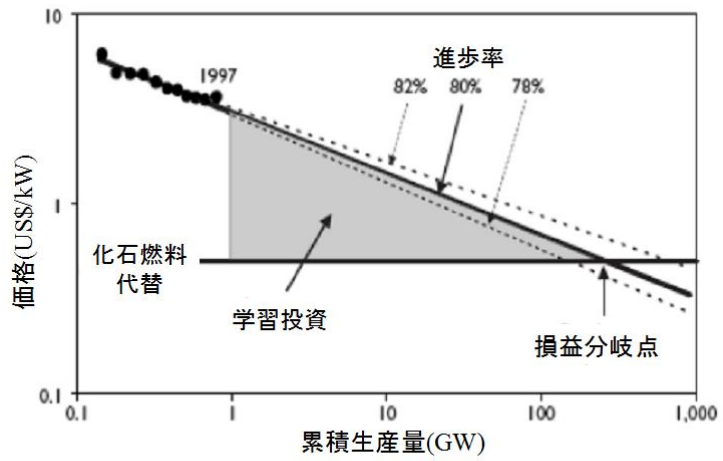


(出所) Technology Penetration and Capital Stock Turnover, Cédric Philibert, International Energy Agency, May 2007 発表資料に加筆

技術開発の段階



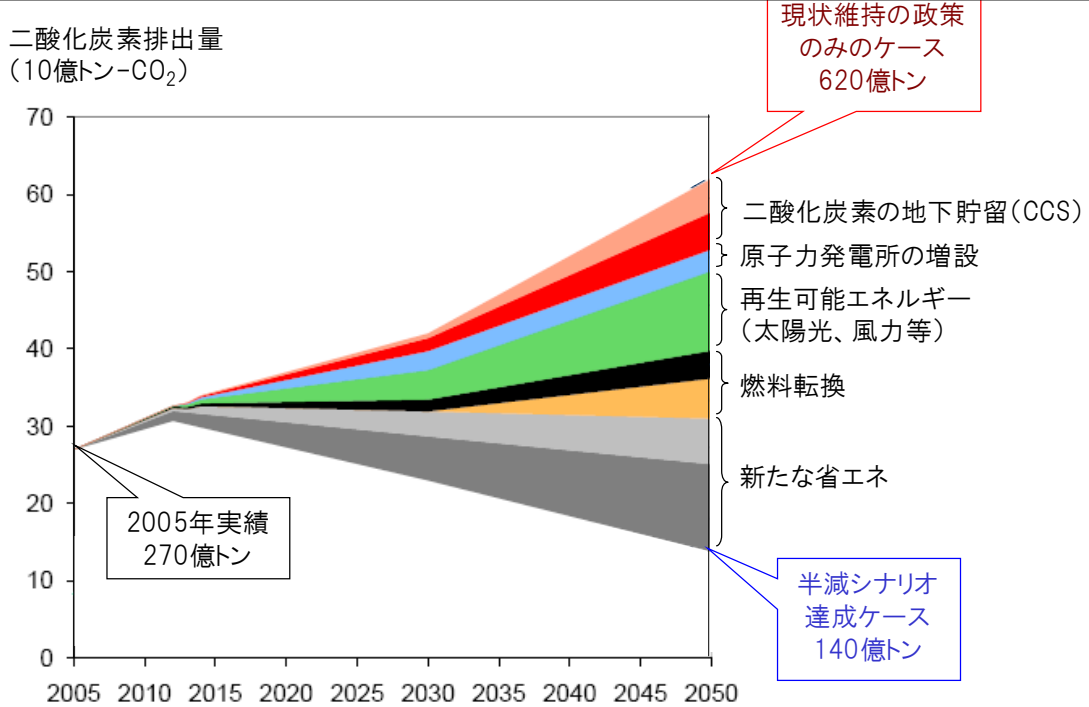
太陽光発電の損益分岐に至る学習曲線



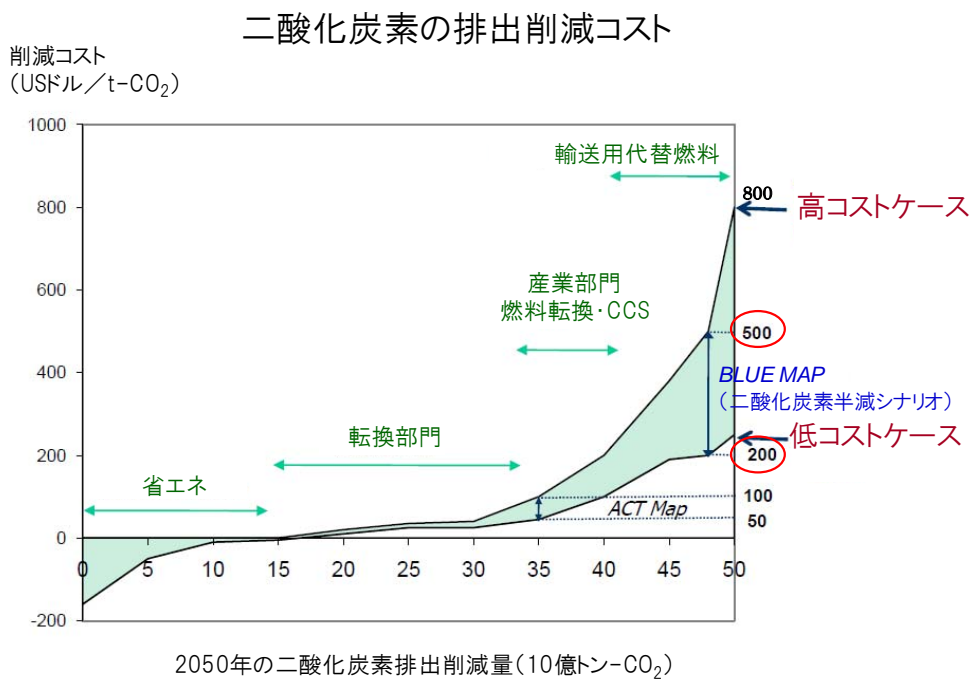
進歩率80%の太陽光発電モジュールの損益分岐点と学習曲線
影付きの範囲は、損益分岐点に至る学習投資額を示す。図は進歩率が78%、82%と変化することで損益分岐点に変化することも同時に示唆している。

(出所) IEA 2000 資料に加筆

参考資料Ⅲ： IEA エネルギー技術見通し



(出所) IEA: Energy Technology Perspectives 2008



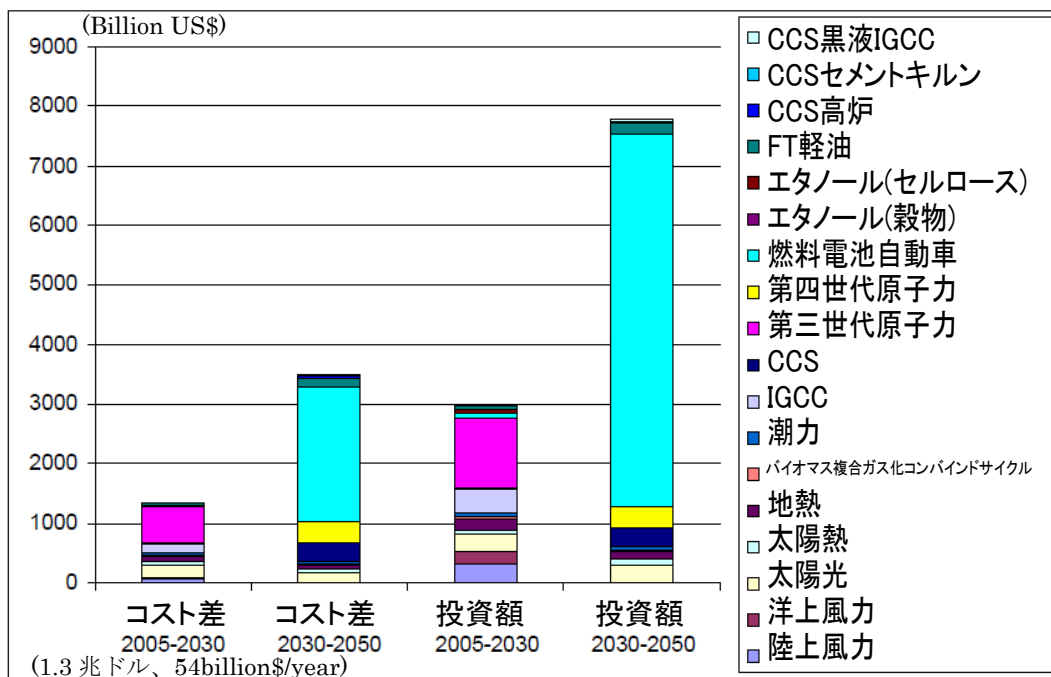
(出所) IEA “Energy Technology Perspectives 2008” より作成

Undiscounted deployment investments

	累積容量 (2005年時点)	現状の投資費用 (\$)	学習率 (%)	損益分岐期日 試算値	合計開発費用 (\$)
陸上風力	44.1 GW	\$ 935/kW	7	2025-2030	\$ 311 bn
洋上風力	3.7 GW	\$ 1570 / kW	9	2030-2035	\$ 202 bn
太陽光	2.9 GW	\$ 4.5 / kW	18	2040-2045	\$ 644 bn
太陽熱	1.6 GW	\$ 2.3 / kW	5	?	?
バイオマス複合ガス化 コンバインドサイクル	0 GW	\$ 2500 / kW (2010 E)	5	?	?
地熱	21 GW	\$ 1600 / kW	5	?	?
潮力	1.0 GW	\$ 2900 / kW	5	?	?
IGCC	1 GW	\$ 1800 / kW	3	2030-2035	\$ 410 bn
CCS	0 GW	\$ 750 / kW (2010 E)	3	Post 2050	\$ 400 bn +
第三世代原子力	0	\$ 2600 / kW	3	2025	\$ 890 bn
第四世代原子力	0	\$ 2500 / kW (2030 E)	5	Post 2050	\$ 400 bn +
燃料電池自動車	0	\$ 570 / kW	15	Post 2050	\$ 6000 bn +
エタノール(穀物)	0	\$ 0.75 / litre	8	2015	\$ 17 bn
エタノール(セルロース)	0	\$ 1 / litre (2020 E)	2	2030	\$ 60 bn
FT軽油	0	\$ 1 / litre (2010 E)	5	2050	\$ 55 bn
CCS高炉	0	\$ 50 / t CO2 (2030 E)	5	?	?
CCSセメントキルン	0	\$ 75 / t CO2 (2030 E)	5	?	?
CCS黒液IGCC	0	\$ 1500 / kW (2030 E)		5 2050	\$ 30 bn

出所:IEA 試算

Estimated Deployment Investments and Cost Gap based on ACT Map



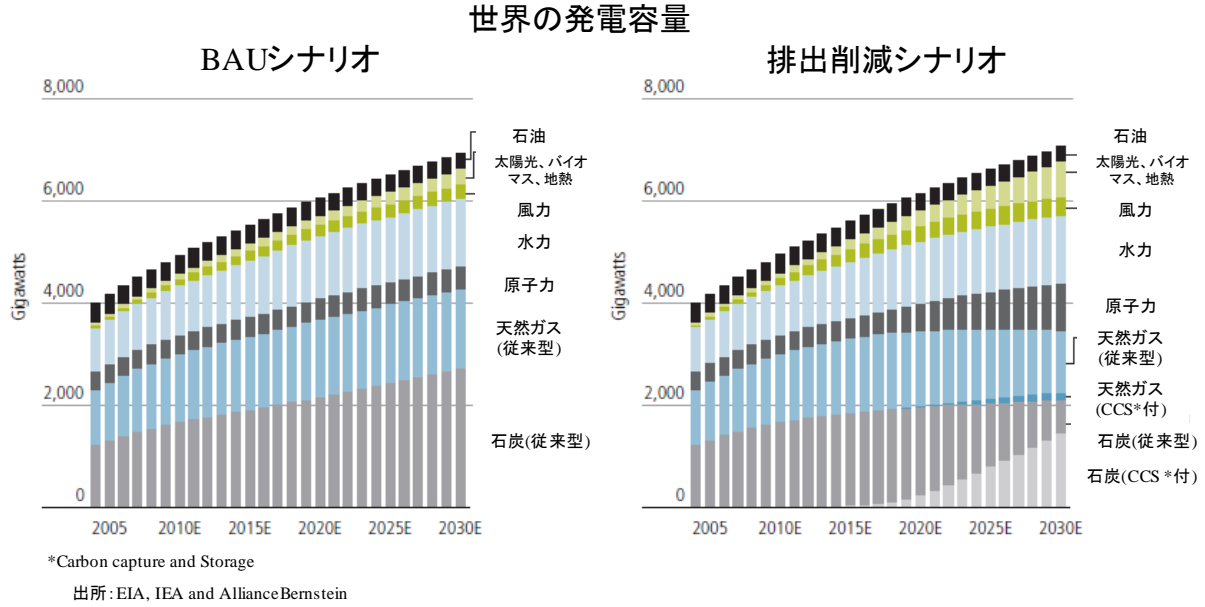
出所:IEA 試算

注:数字は割引前

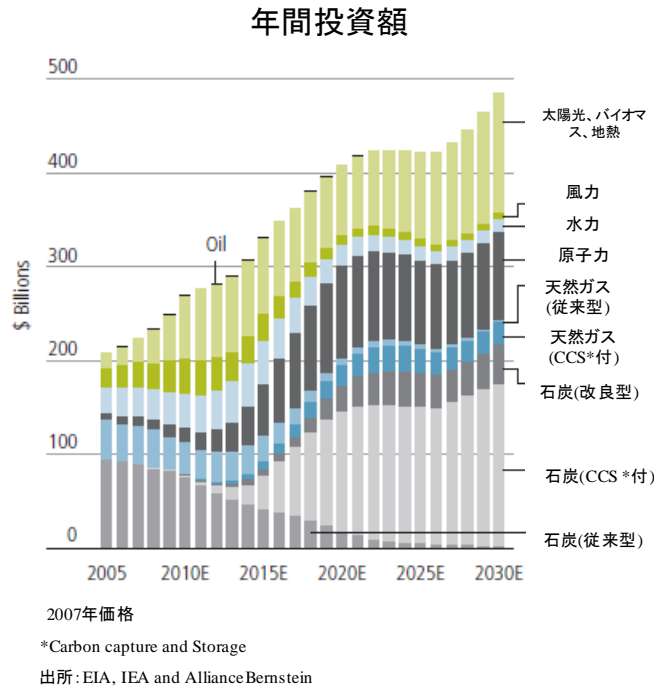
IEA 資料に加筆

参考資料Ⅳ 世界の電力構造の変化

電源構成の違いに拠る気候変動への影響の違い

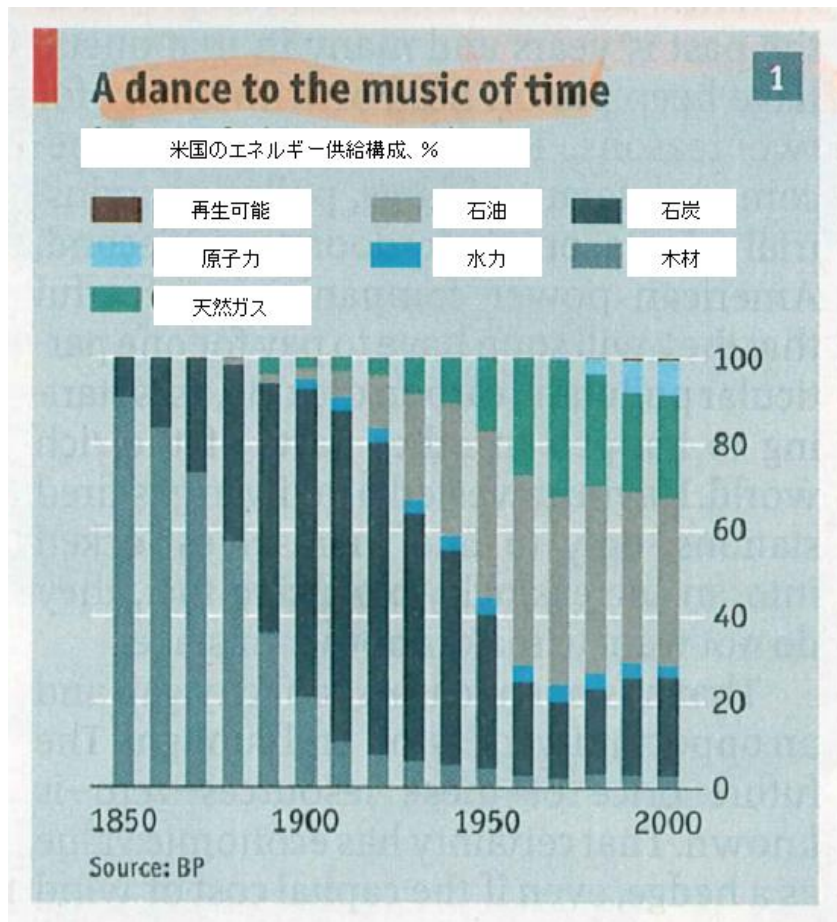


削減努力に伴って、石炭と原子力が増加



(出所) Abating Climate Change, What Will Be Done and the Consequences for Investors, Alliance Bernstein, (2008)に加筆

参考資料V 過去の燃料転換の歴史

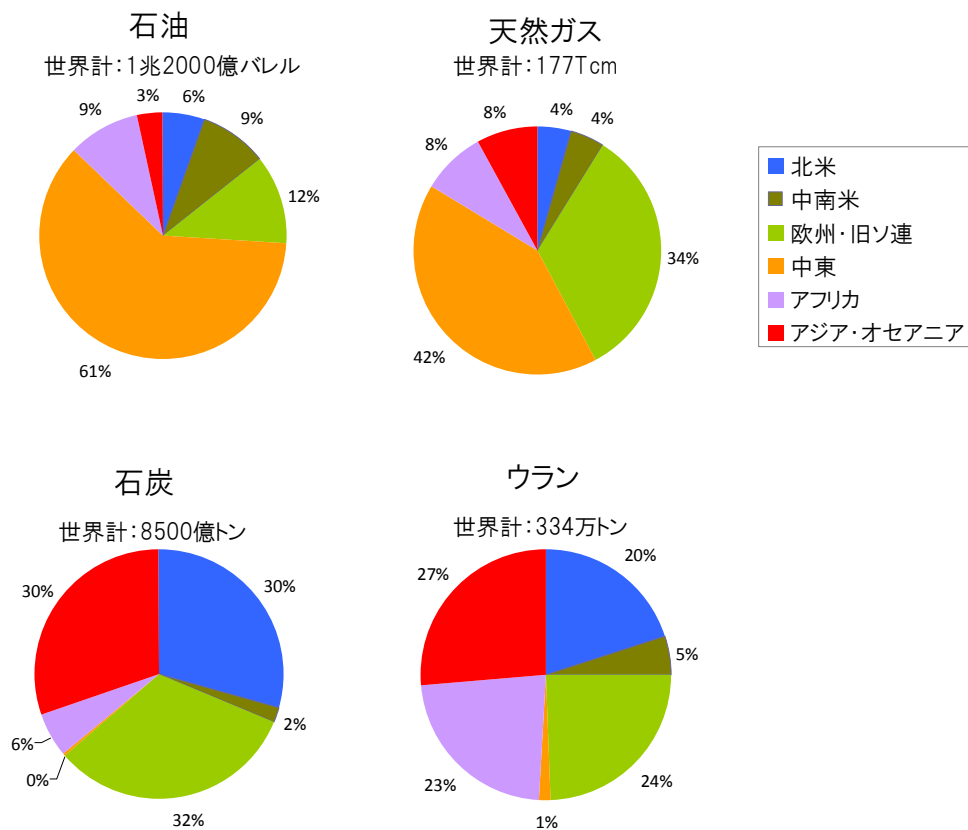


(出所) The Economist (2008年6月21日号)に加筆

(参考資料VI) 資源の有限性

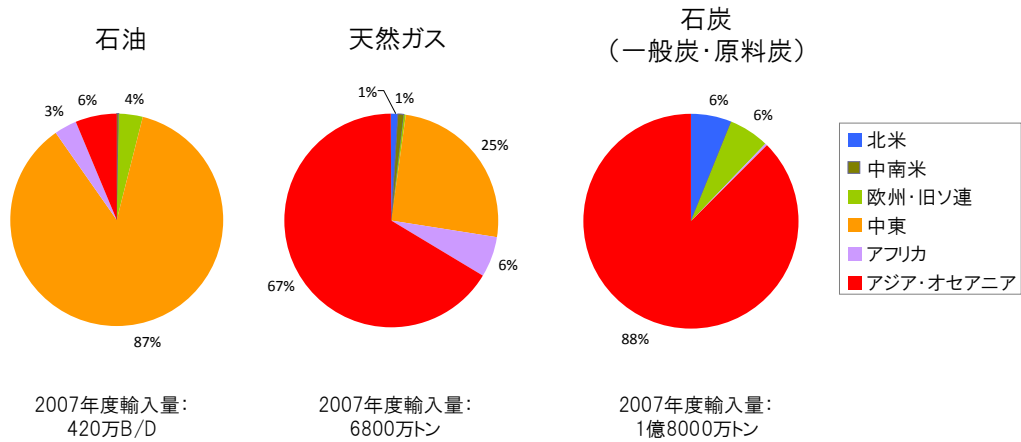
- 化石資源の埋蔵量には究極的には限界がある。BP統計によるR/P比:石油 42年、石炭 133年、天然ガス 60年
- しかし、これは現在の生産量をベースとしての計算。仮に年率2%で生産(=需要)が増加すると(※過去10年の伸び率;石油 1.2%、石炭 3.2%、ガス 2.8%)、R/P比はそれぞれ、石油 30年、石炭 65年、天然ガス 39年となる。
- 2030年までにイージーオイル(採掘しやすい石油)は限界へ。その後も、その8倍近い非在来型オイルはあるが、EORや精製処理で高炭素化、高コスト化が問題。
- 炭化水素系エネルギー資源は地域的にも偏在している。

地域別確認埋蔵量 (2007年)



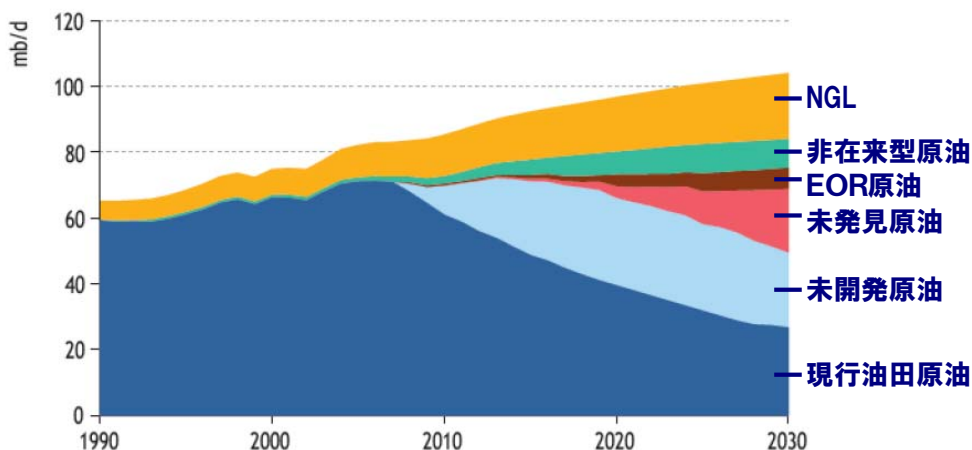
(BP 統計、Uranium 2007)

日本の地域別輸入シェア（2007年度）



(資源・エネルギー統計年報、日本貿易月表)

- ・資源問題という地下のリスクに加えて、投資のタイムリーで十分な確保、投資のアクセス、資源賦存の偏在に伴う地政学リスク、マーケットパワー問題など、地上のリスクもある。
- ・2020～2030年以降、化石資源の価格は高騰へ。→ エネルギーの非化石化を促進することは、長期的には大事。
- ・しかし、先に述べた技術ロードマップにある通り、高度で新しい技術が本格展開し、世界の需給に影響を及ぼしていくのは2030年以降。
- ・それまでの期間は、少なくとも利用可能で経済性のあるエネルギーを高度利用することがエネルギーセキュリティ上、非常に大事。

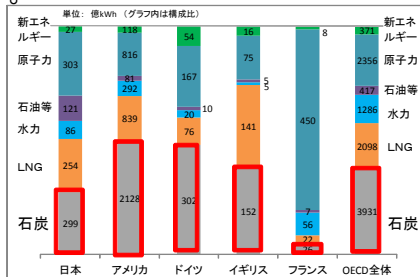


(石油供給見通し：IEA WEO2008)

参考資料Ⅶ：化石燃料の有効利用・新エネ導入ポテンシャル

(参考資料Ⅶ-①) 化石燃料の有効利用

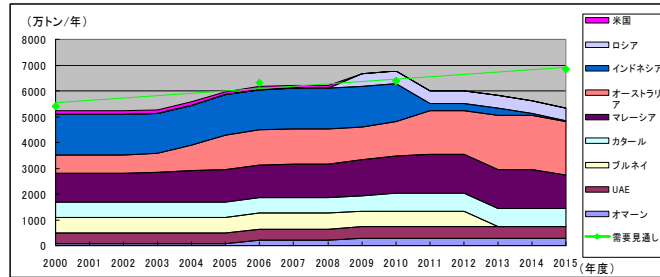
- 自給率向上には、化石燃料を特性に応じて有効利用することが不可欠。
- 石炭は、エネルギーセキュリティ上重要な資源。
- クリーンコールテクノロジー(IGCC、CCS)等の技術開発を加速化し、石炭を有効活用していくことが重要。
- 米国や欧州では、石炭火力発電の新設計画が盛んであり、これが先進国のトレンド。これは、石炭火力発電がエネルギーセキュリティ上、核となるものであるため。
- 一方、LNGは、アジアの産ガス国の需要増加で、我が国へのLNG供給の大幅な増加は見込めない。



国	計画数
米国	110基
ドイツ	26基 (2018年まで)
イギリス	11基 (2020年まで)
日本	4基 (2020年まで)

主要国の電源別発電電力量の構成

各国の石炭火力建設計画

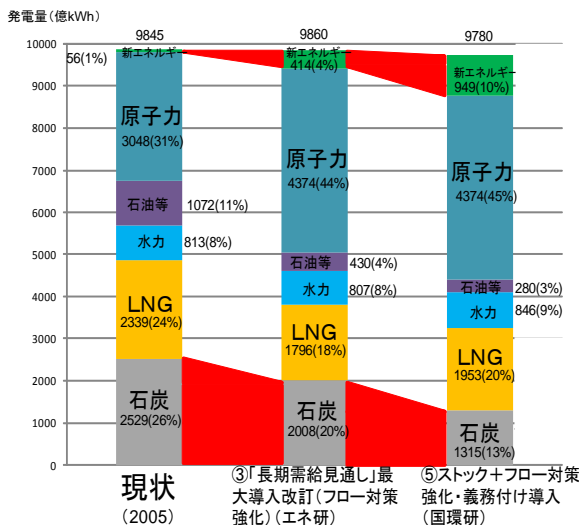


日本のLNG長期契約量の推移

出典: 各社プレスリリース等より資源エネルギー庁作成
日本エネルギー経済研究所「世界のLNG市場の現状と展望」

(Ⅶ-②) 電源構成における新エネのポテンシャル

- 石炭火力の過度な減少とLNGの増加はエネルギーセキュリティ上問題。
- 新エネルギーのポテンシャルを超えた導入は実現困難。



電源別発電電力量の構成

太陽光	大量導入時の系統不安定化等が課題
風力	国立公園利用許可の大幅拡大、洋上風力発電設置のための漁業権問題解決等の課題あり
地熱	経済性、地元温泉業者との関係、自然公園等を考慮するとポテンシャル想定が過大
小水力	経済性、農業の既得水利権や自然公園等を考慮するとポテンシャル想定が過大
バイオマス	石炭火力との混焼によるが、最大導入で既に上限の3%を超過しているため、これ以上の導入は非現実的

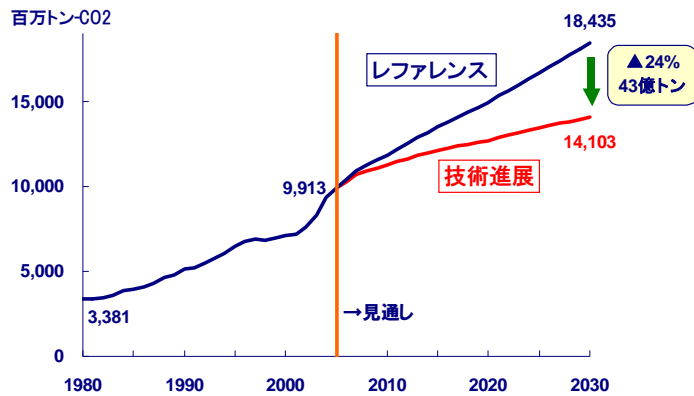
新エネルギーの課題

参考資料Ⅷ 日本の国際貢献事例

Ⅷ-① 日本の省エネ技術移転による国際貢献例（特にアジアへ）

地球温暖化は世界の問題。日本省エネ技術を途上国への移転、普及が必要。

- ・ 今後 2030 年までのアジア（日本を除く）の CO₂ 増加は 87 億トン。現在の日本の排出量 12 億トンの 7 倍に相当。
- ・ 日本の現在の省エネ技術をアジア途上国に適用しただけでも、日本の排出量の 3.5 倍に相当する削減効果。



(アジアの CO₂ 排出見通し：エネ研 アジア/世界アウトルック 2007)

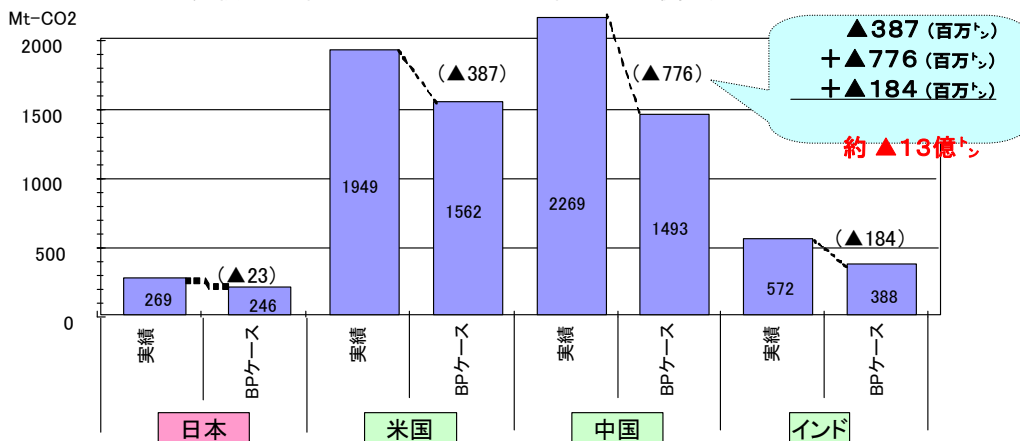
Ⅷ-② 高効率石炭火力技術の移転

アジアを中心とした国際協力

○日本で運転中の最新式の石炭火力発電の効率を米、中、インドの石炭火力発電に適用すると、CO₂削減効果は、約13億トン。

○これは、日本一国のCO₂排出量に相当。

図11 石炭火力発電からのCO₂排出量（2004年）
-実績 vs 日本のベスト・プラクティス(商業中の最高効率)適用ケース-



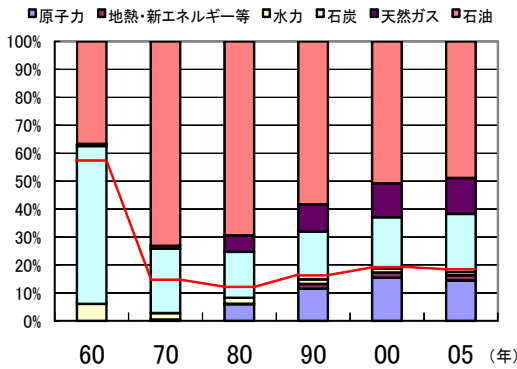
「BPケース」：日本のベスト・プラクティス(商業中発電所の最高効率)を適用した場合の試算。
「実績」データの出典：IEA "World Energy Outlook 2006"

※経済産業省資料より抜粋

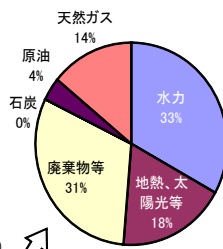
(参考資料Ⅹ) 我が国の自給率の推移

- 我が国の自給率は、現在約4%(原子力を含めて18%)。
- エネルギーセキュリティの観点からは、今後これを向上させていくことが重要。

我が国の一次エネルギー構成と自給率の推移



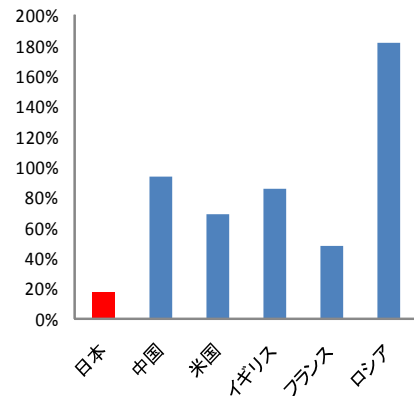
<エネルギー自給率4%の内訳>



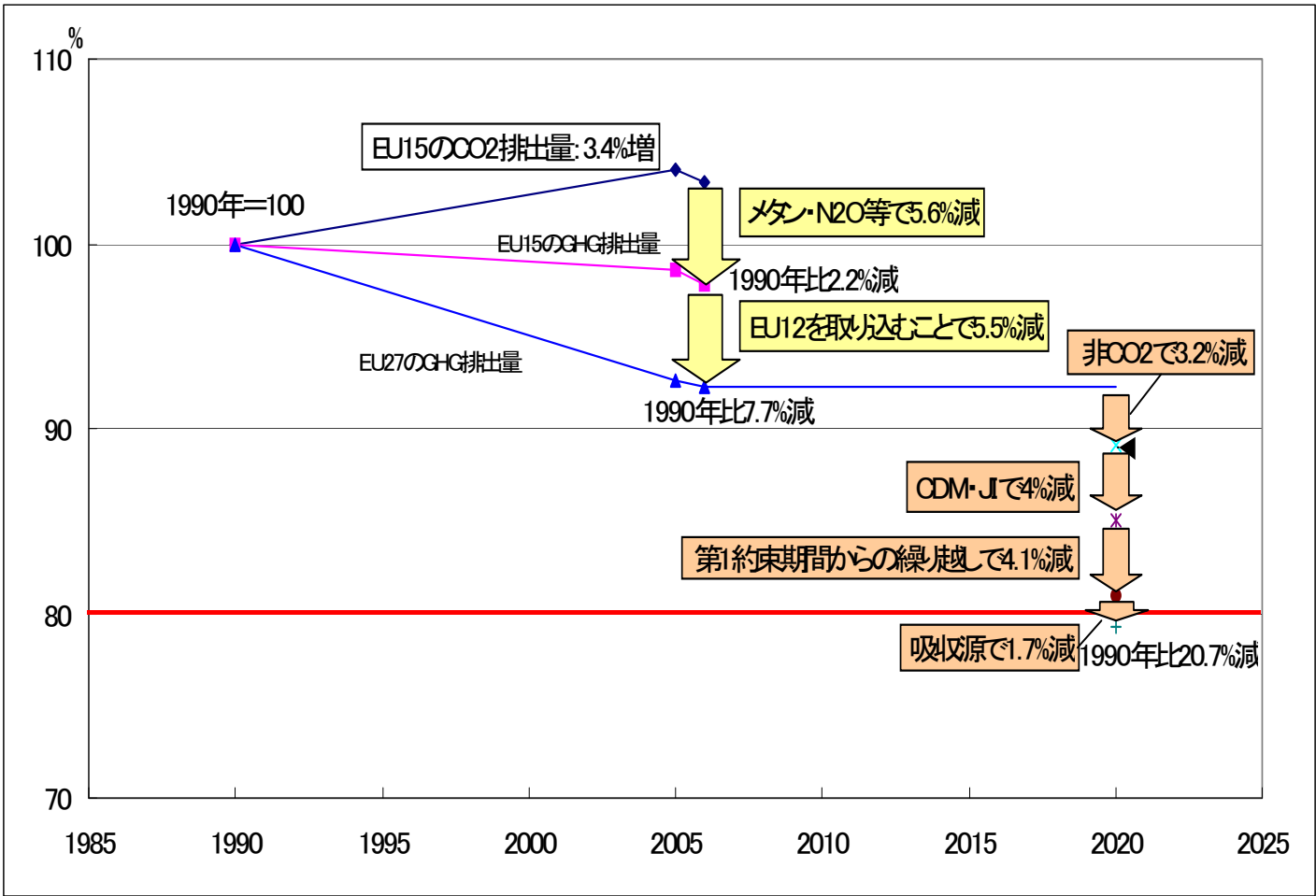
エネルギー自給率	57%	14%	12%	16%	19%	18%
(原子力除く)	57%	14%	6%	5%	4%	4%

資料:IEA「Energy Balances of OECD Countries 2004-2005」

各国の自給率



参考資料X EUの20%削減計画の実現パス（エネ研試算）



Drivers



Scramble



Blueprints



Choice
Prices
Efficiency technology
Efficiency behaviour

- Mandates
- Externalities not included
- Mandates
- Necessity

- Market driven but incentivised
- Externalities included
- Economic incentives & standards
- Designed in

Oil & gas
Coal
Nuclear
Electric renewables
Biomass

- Constrained growth
- Flight into coal
- Modest uptake
- Sequential - wind, solar
- Strong growth

- Long plateau
- Coal not wanted unless "clean"
- Continued growth
- Incentivise early stage technologies
- Complements alternative fuel mix

Innovation
Implementation
Mobility
Power
IT

- Strongly guarded
- National "docking points"
- Hybrids & downsizing
- Efficiency
- Supply optimisation

- Extensively shared
- International "tipping points"
- Hybrids & electrification
- Carbon capture & storage
- Demand load management systems

Land use
Pollution
Climate / Biodiversity
Water

- Energy vs. food principle
- Important locally
- Background global concern
- Energy production & climate change impact

- Sustainability principle
- Important
- Prominent local & global concern
- Factored into development frameworks

Three Hard Truths

1 Step-change in energy use

2 Supply will struggle to keep pace

3 Environmental stresses are increasing

4

Scenario timeline

Blueprints



Worldwide emission trading scheme evolving post Kyoto

Nuclear slowdown



Global CO₂ trading scheme

CCS deployed commercially

Electric vehicles enter mass market



Nuclear revival



Centralised solar PV

Non-OECD reaches two-thirds of world primary energy demand

A fifth of all coal and gas fired power generation equipped with CCS



2015



2020

2030



China over takes U.S. as major CO₂ emitter

Flight into coal

Strong growth in CO₂ emissions

Wind takes off

Mandated biofuels

Strong growth in unconventional

Modest nuclear growth

Coal hits constraints

CO₂ emissions moderate

Further rise in biofuels



CO₂ emissions on the rise again

Solar expansion



Scramble

What can we expect from the future?



The present
to 2015



Turbulence
2015-2030



The future
2030-2055

50% of all new vehicles sales are electric or hydrogen

Moderate uptake in unconventional

Electrification of the transport sector

Decoupling of world GDP & energy growth

Continued growth in unconventional



30% of transportation needs are met by alternative fuels



2040



World population passes 9 billion

2050

Blueprints need 13% less primary energy than Scramble

2055



Nuclear comeback

India overtakes U.S. as major CO₂ emitter

Slowdown in unconventional

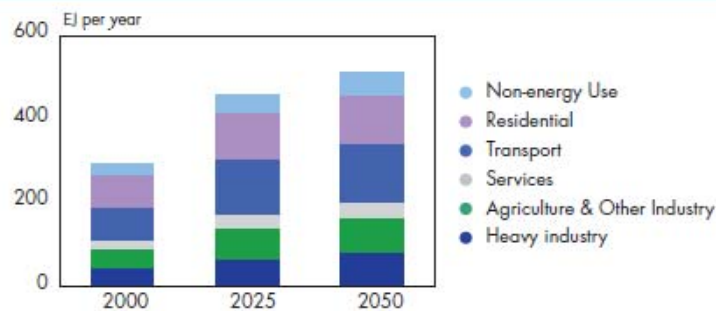
Energy related CO₂ emissions decline but atmospheric concentrations continue to rise

Climate adaption measures begin

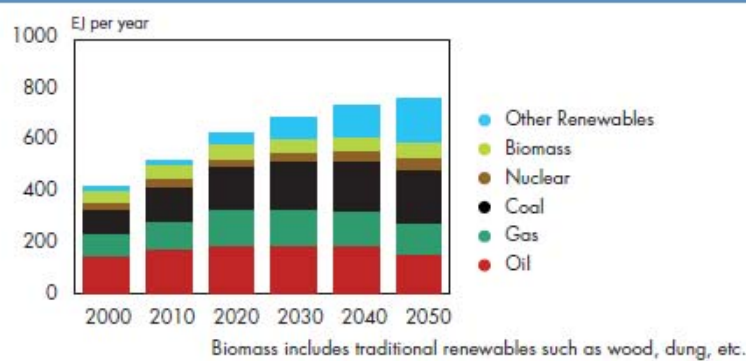
Biofuels ~30% of liquid fuels

Meaningful CO₂ pricing stimulates energy efficiency and electrification of the energy system, reducing the demand on conventional hydrocarbon resources.

Final energy consumption by sector



Primary energy by source



Concerted global efforts reduce CO₂ emissions but do not prevent economic growth. Nevertheless, stabilising GHG levels in the atmosphere at or below 450 ppm of CO₂-equivalent - a level scientific evidence suggests is necessary to significantly reduce the risks of climate change - remains a significant challenge.

Direct CO₂ emissions from energy

