

エネルギー・ベストミックスと 総合的視点の必要性

2011 年 11 月 16 日 (水)

財団法人 日本エネルギー経済研究所

豊田正和

目 次

1. エネルギー・ベスト・ミックスと総合的視点
2. 総合的視点から見ると、完璧なエネルギーは存在しない
3. 短中期的視点から見たベスト・ミックスの課題
4. 中長期的視点から見たベスト・ミックスの課題

1. エネルギー・ベスト・ミックスと総合的視点

1. ベスト・ミックスの検討は、複数の変数のある連立方程式を解くようなもの。客観的・定量的分析が必要。

2. 以下の変数が重要

1) **S** (Safety : 安全性)

2) **3E**

①Energy Security : エネルギー安全保障

②Economic Efficiency : 経済性、特にコスト

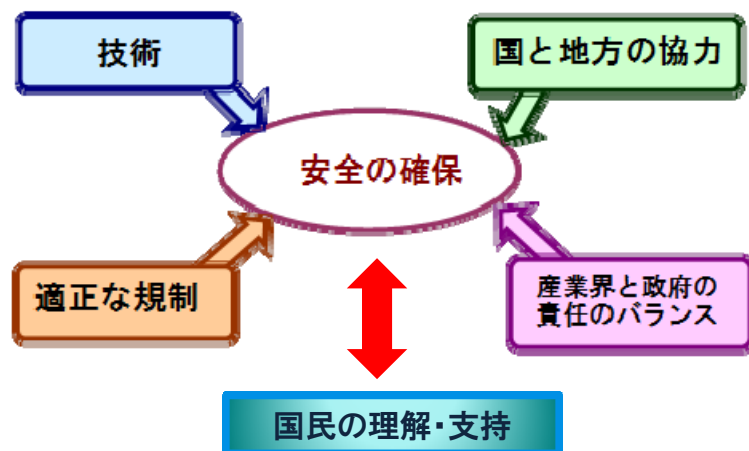
③Environment : 地球温暖化対策への適合性

3) **M** (マクロ経済へのインパクト)

1. エネルギー・ベスト・ミックスと総合的視点

1) S(Safety : 安全性)

- エネルギーの安全確保はエネルギー政策、エネルギー企業活動の根幹
- 安全は、「技術」「適切な規制」「国と地方の協力」「政府と事業者の責任分担」等総合力の反映
- 他のエネルギーも一長一短（安定供給、経済性、地球温暖化等への対応）であり、原子力をゼロとするリスクは大きい。国民の支持が得られる「より安全な原子力」を構築することがポイント。
- アジアでは、今後原子力発電所が3－4倍となる増加計画あり。日本による、安全な原子力技術移転への貢献に期待あり。



アジアの原子力導入見通し(GW)

	2009	2020		2030	
		レファレンス	技術進展	レファレンス	技術進展
中国	9	48	80	80	130
日本	49	62	62	68	68
台湾	8	8	8	6	8
韓国	18	27	32	30	46
ASEAN	0	0	0	4	18
インド	4	20	26	33	85
アジア	85	165	210	224	366

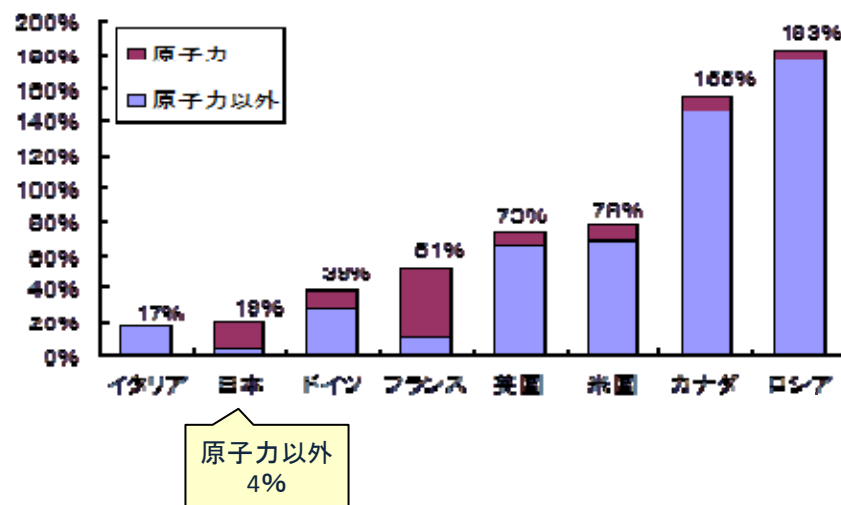
(出所)日本エネルギー経済研究所

1. エネルギー・ベスト・ミックスと総合的視点

2) 3E ①エネルギー安全保障

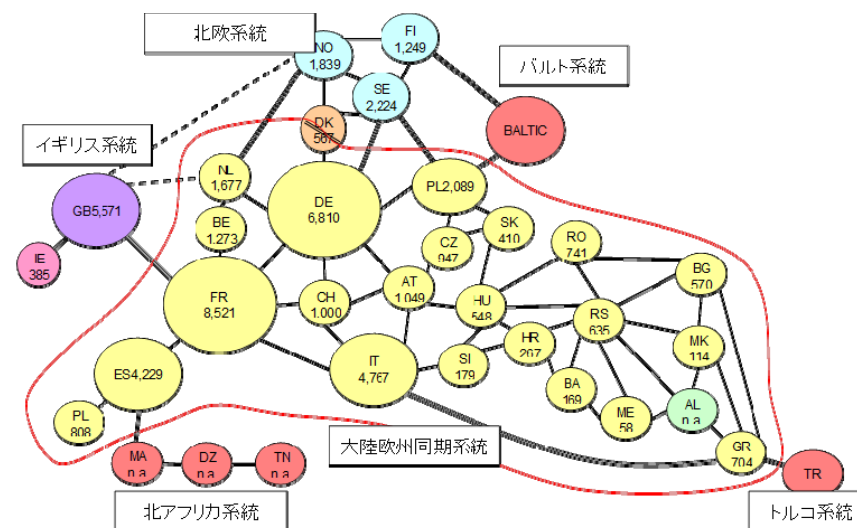
- 日本は、エネルギー安全保障上、2つの視点で最も脆弱な国の一つ
 ア。エネルギーの自給率は、G8で最低レベル（4%）
 イ。EUのような、北東アジアネットワーク（送電網、パイプライン）の確立は、重要だが、解決すべき問題も多く（地政学的不安定さ、価格政策・為替政策の相違等）短中期的実現は困難

主要国のエネルギー自給率(2010年)



(出所)国際エネルギー機関

欧州の国際連系状況

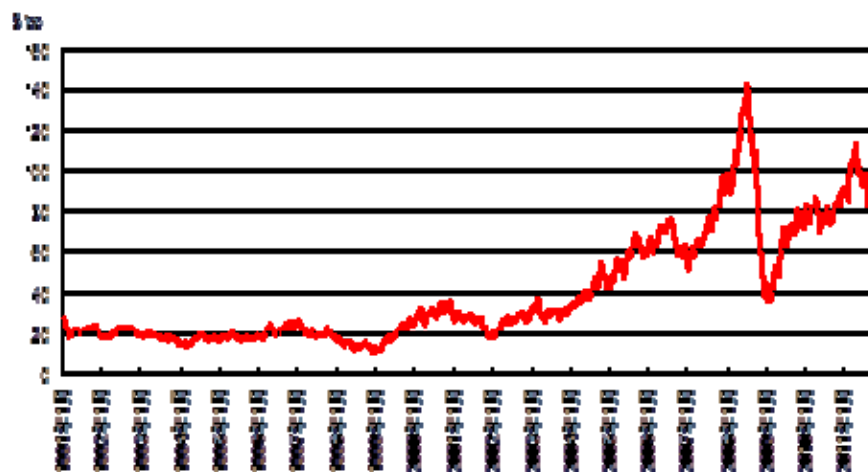


1. エネルギー・ベスト・ミックスと総合的視点

2) 3E ①エネルギー安全保障

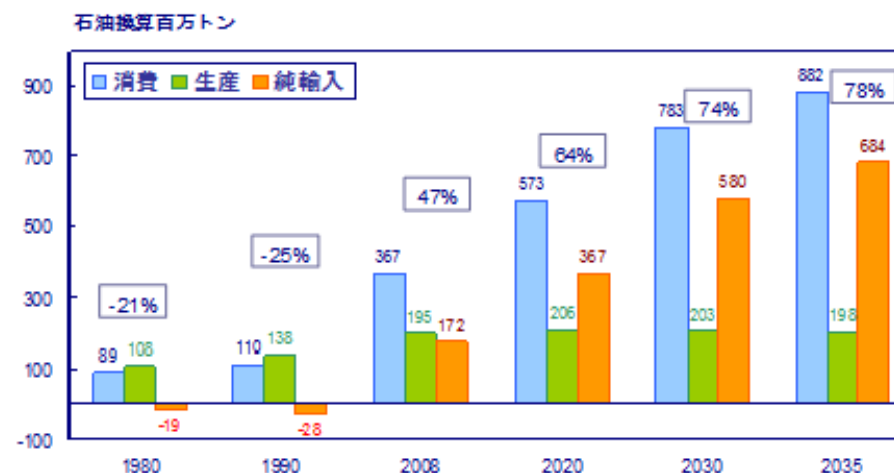
- エネルギー供給リスクは、過去十年間で、急速に深刻化
 - ア。新興国を中心とするエネルギー需要の急拡大と資源獲得競争
 - イ。「アラブの春（覚醒）」といわれる中東情勢の流動化とその長期化
 - ウ。米国の相対的な影響力の低下と国際ガバナンスの低下・欠如
 - エ。先物原油の「投機性」増大と、原油価格の乱高下の増幅。LNG価格は、原油価格連動。需要の拡大からスポットLNG価格も上昇傾向。

WTI原油価格の推移



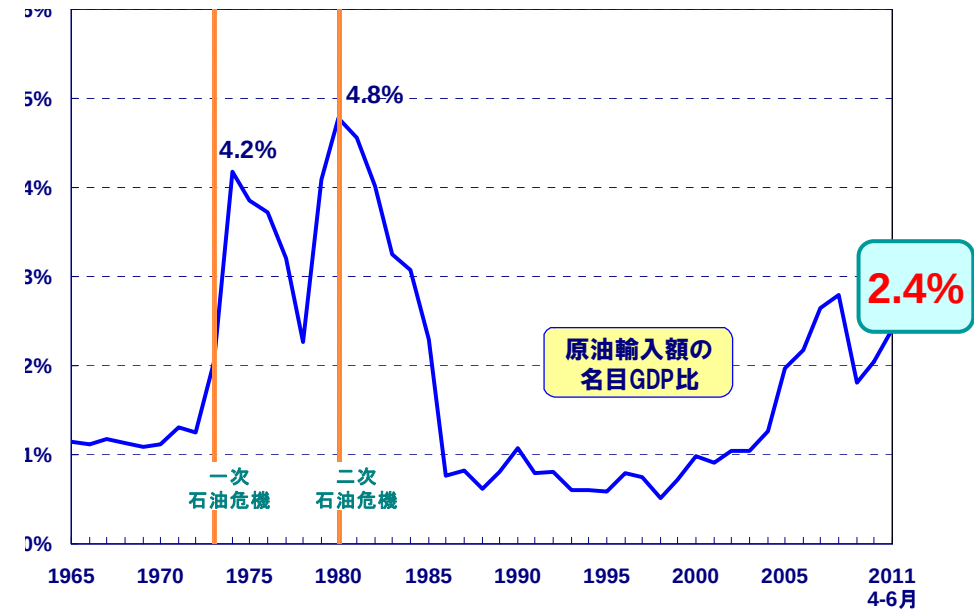
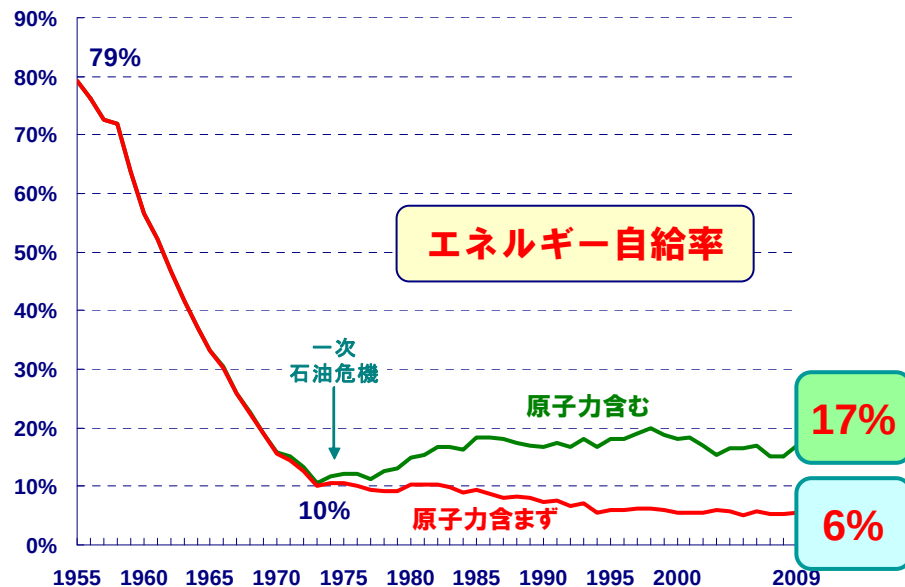
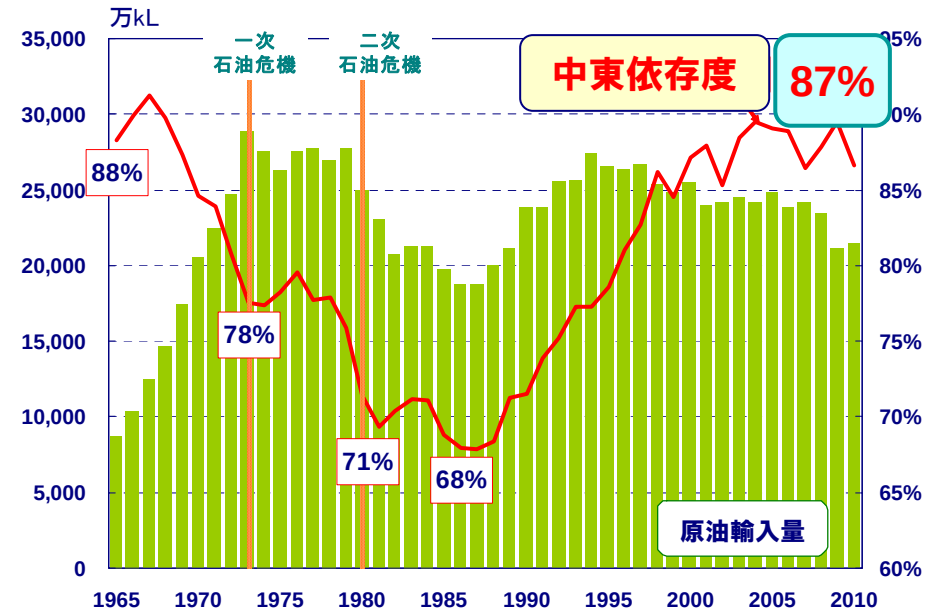
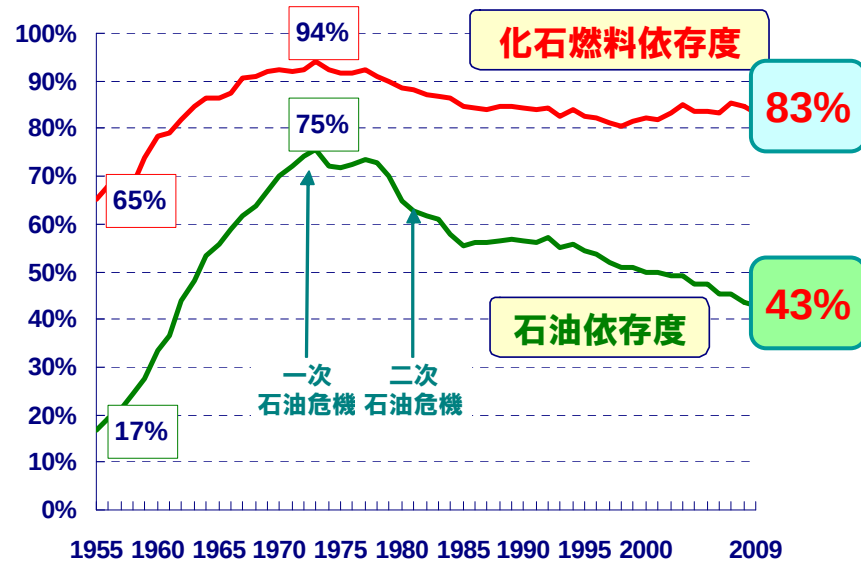
(出所) 米国エネルギー情報局

中国の石油需給の実績と見通し



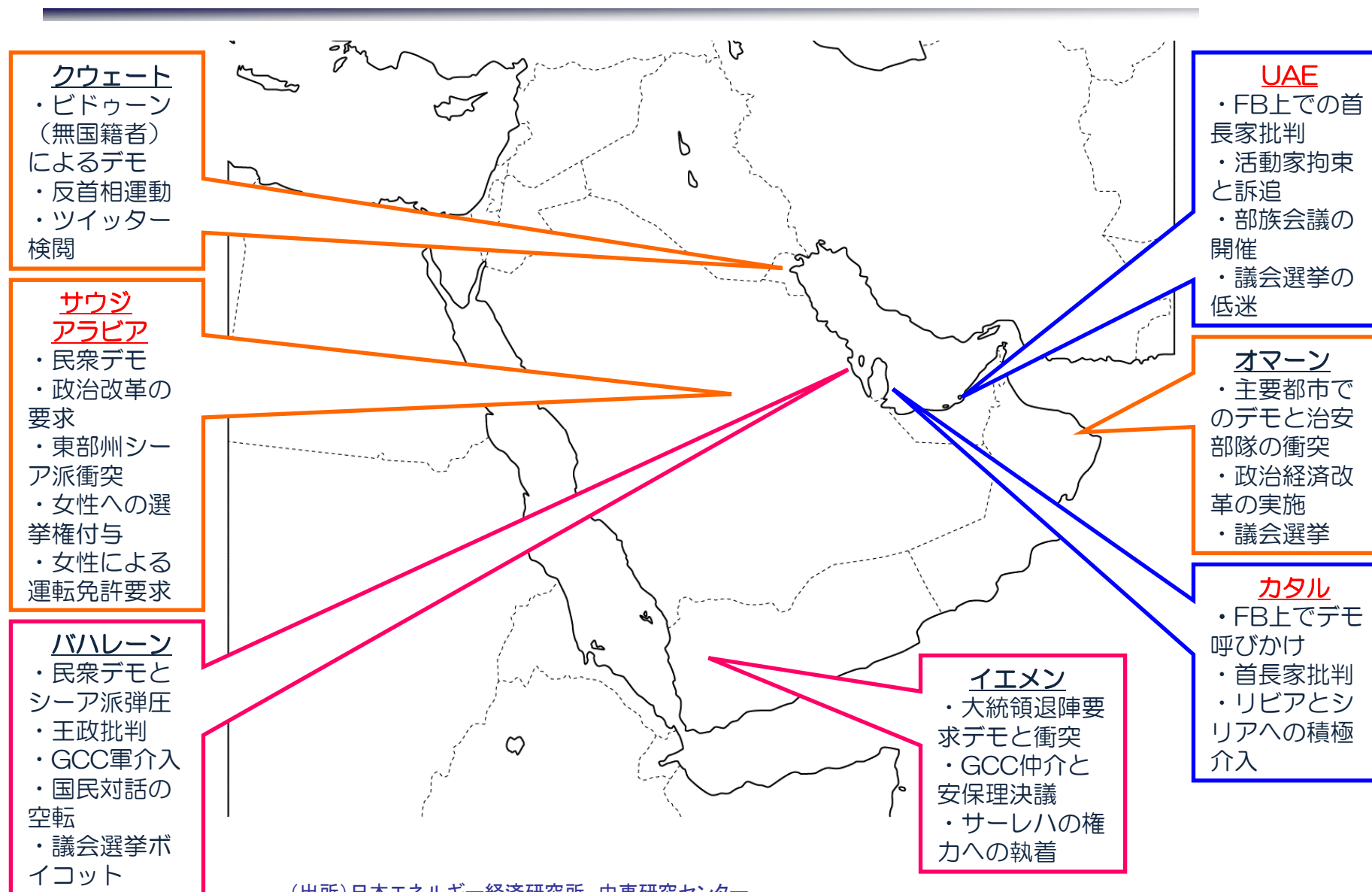
(出所) 日本エネルギー経済研究所

【参考】不十分なエネルギー安全保障



出所) 日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」など

【参考】「アラブの春（覚醒）」が意味するもの （湾岸諸国における中東情勢の流動化・長期化）

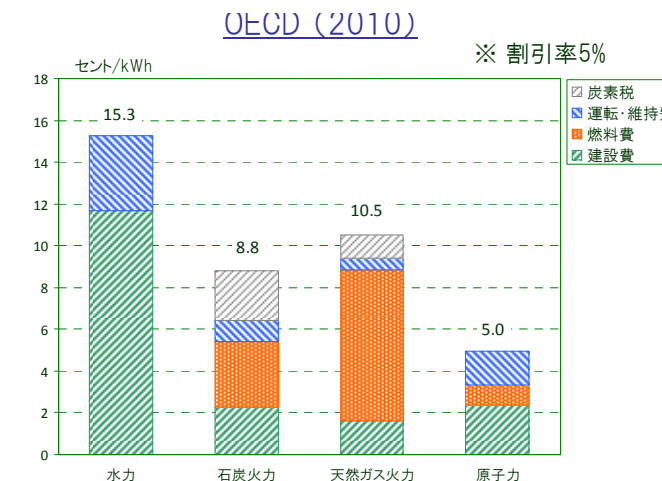
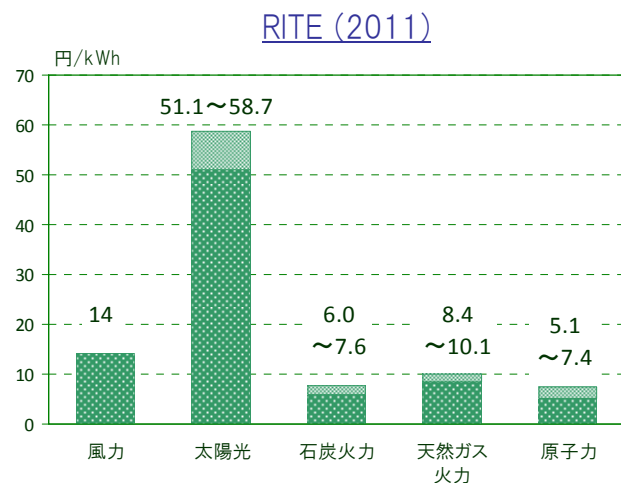
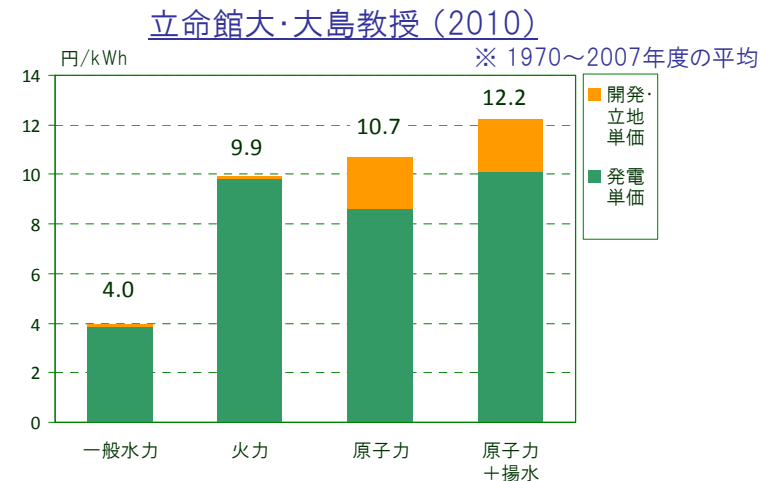
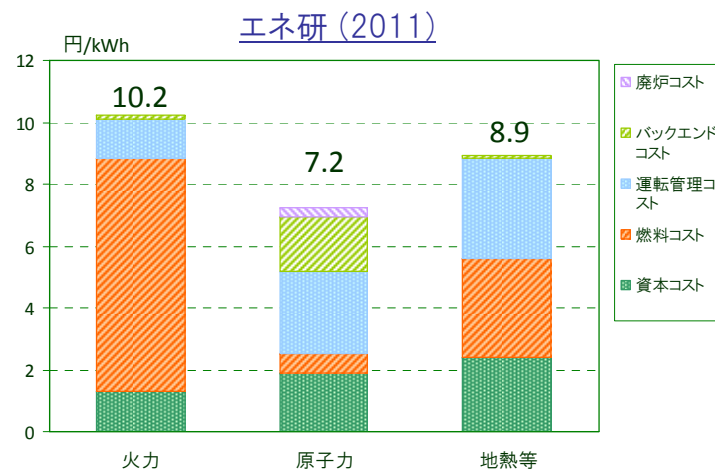


（出所）日本エネルギー経済研究所 中東研究センター

1. エネルギー・ベスト・ミックスと総合的視点

2) 3E ②Economic Efficiency (経済性、特にコスト)

●エネルギーコストの安定化は、国民生活の向上と経済発展の必要条件



(出所) RITE: 秋元圭吾『発電コストの推計』(2011)／大島堅一:『再生可能エネルギーの政治経済学』東洋経済新報社 (2010)

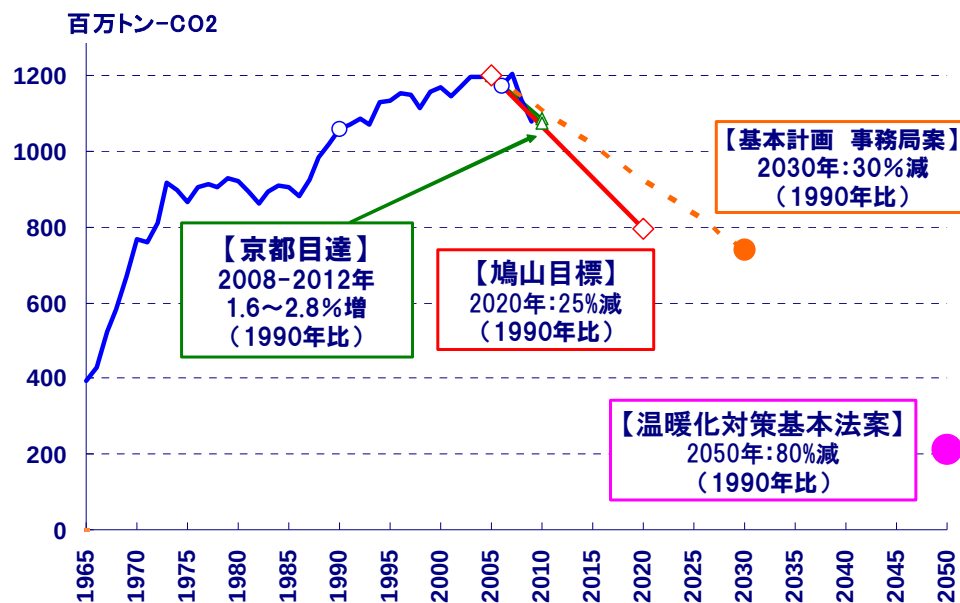
／OECD: "Projected Costs of Generating Electricity 2010 Edition" (2010),／エネ研『有価証券報告書を用いた火力・原子力発電のコスト評価』(2011)

1. エネルギー・ベスト・ミックスと総合的視点

2) 3E ③Environment (地球温暖化対策への適合性)

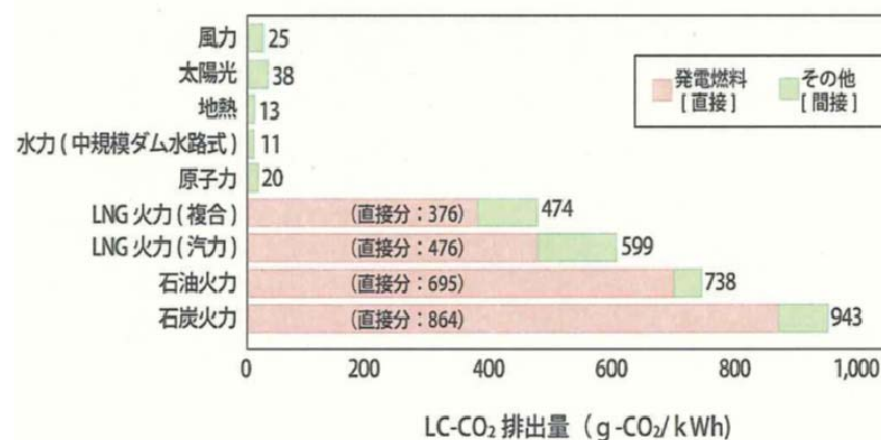
- 大震災後も、地球温暖化対策は、経済大国のひとつとして、重要性は不変。
- GHG排出量パスで見ると、基本計画（2030年までに1990年比▲30%）は、長期目標（2050年までに同▲80%）の道筋と整合的。
- 原子力と再生可能エネルギーは、地球温暖化対策に優れている。

長期的なGHG排出量のパス(イメージ)



出所) 日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」など

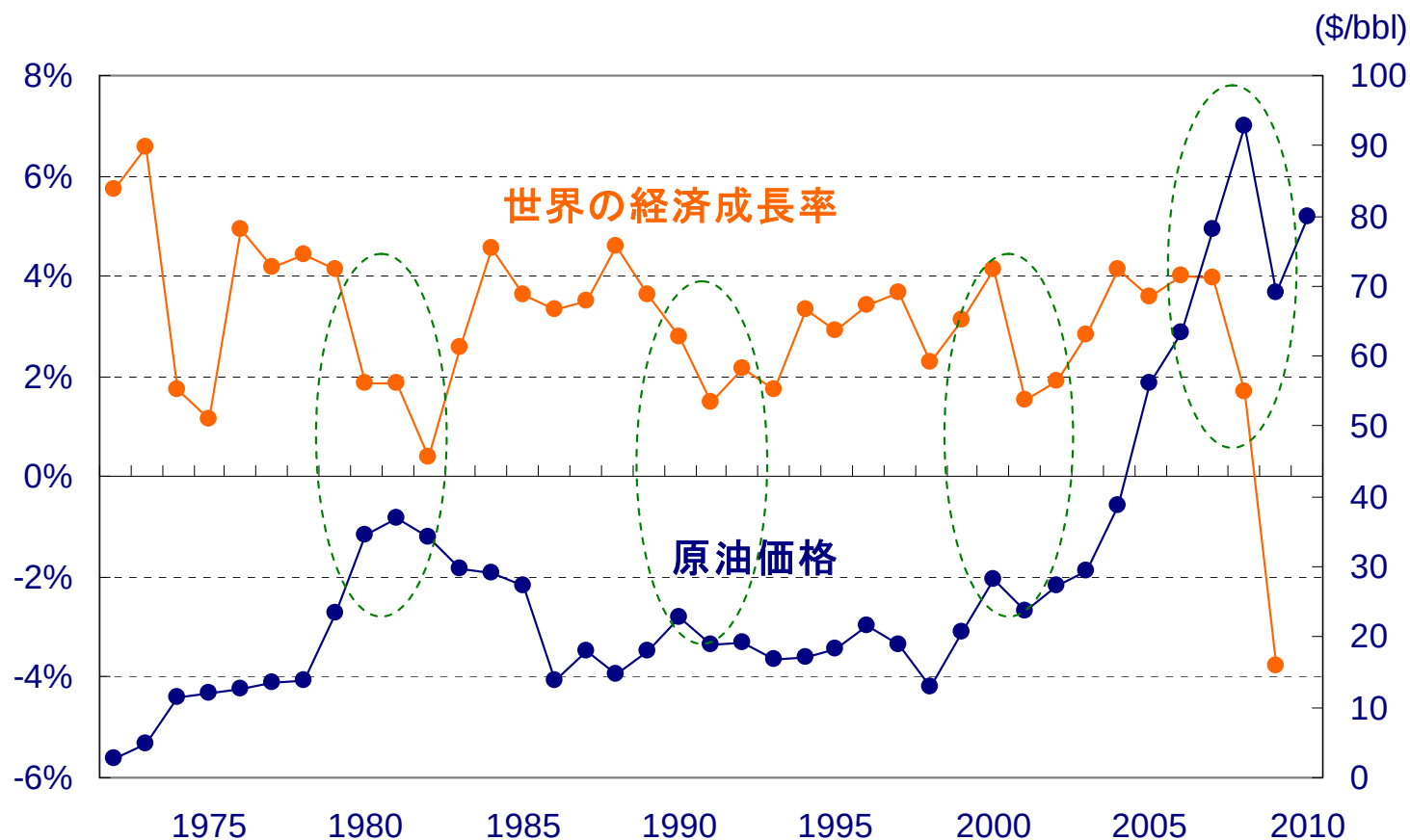
地球温暖化対策の視点



1. エネルギー・ベスト・ミックスと総合的視点

3) M (マクロ経済へのインパクト)

- エネルギー不足、エネルギー・コストの上昇・不安定化は、マクロ経済に悪影響（GDP成長、雇用確保等）



出所) 日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」など

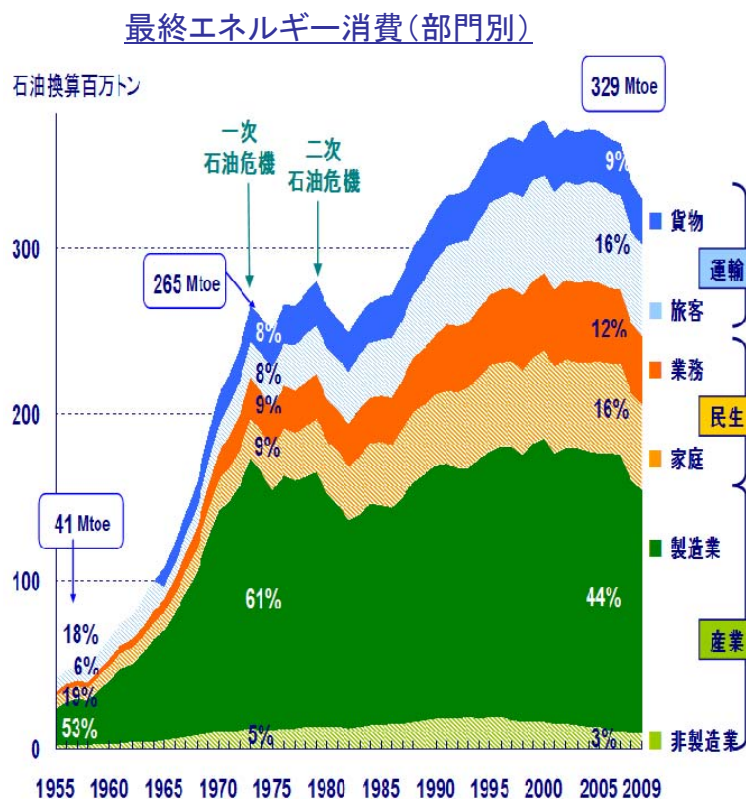
2. 総合的視点から見ると、完璧なエネルギーは存在しない

1) 省エネルギー

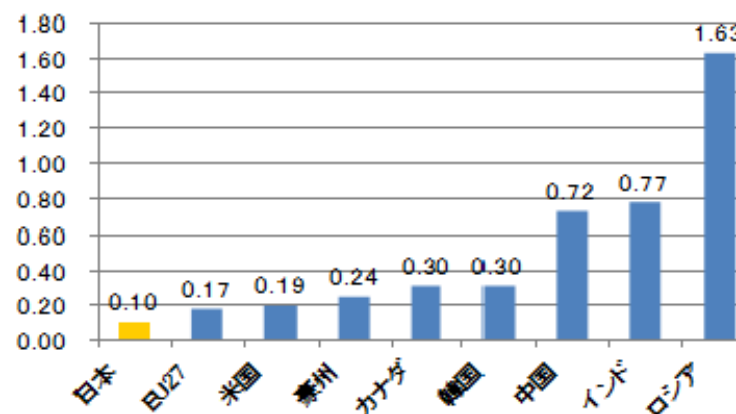
●省エネルギーは、更に強化すべきだが、**限り**はある

ア. 産業面への過大な要求は、競争力を低下させ、海外生産を余儀なくする

イ. 業務家庭面は、未だ余地があるが、限度もある



GDPあたりの一次エネルギー供給量(2009年)



(出所) 国際エネルギー機関

出所) 日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」など

2. 総合的視点から見ると、完璧なエネルギーは存在しない

1) 省エネルギー

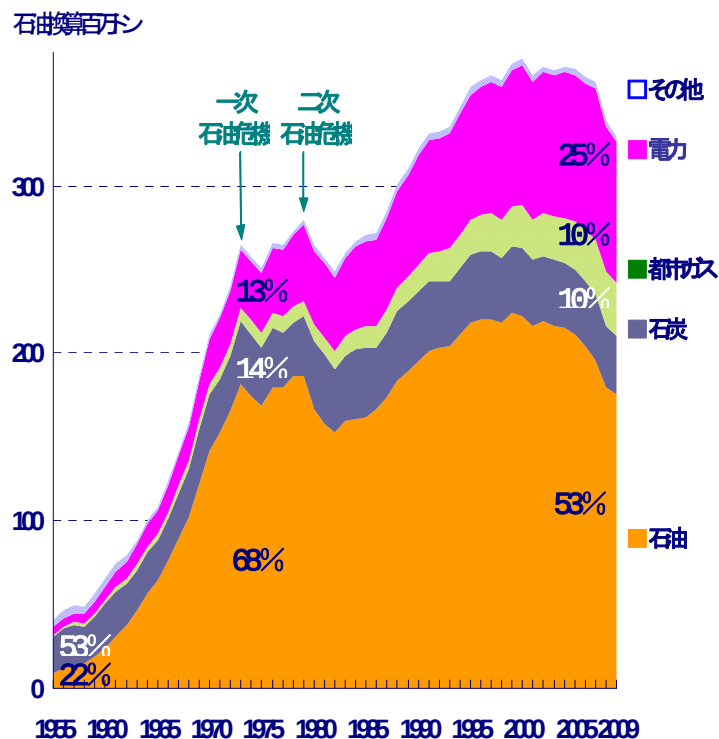
●増大してきた電力需要の省エネも、限界がある

ア. 利便性の高い電力への需要は増大してきた

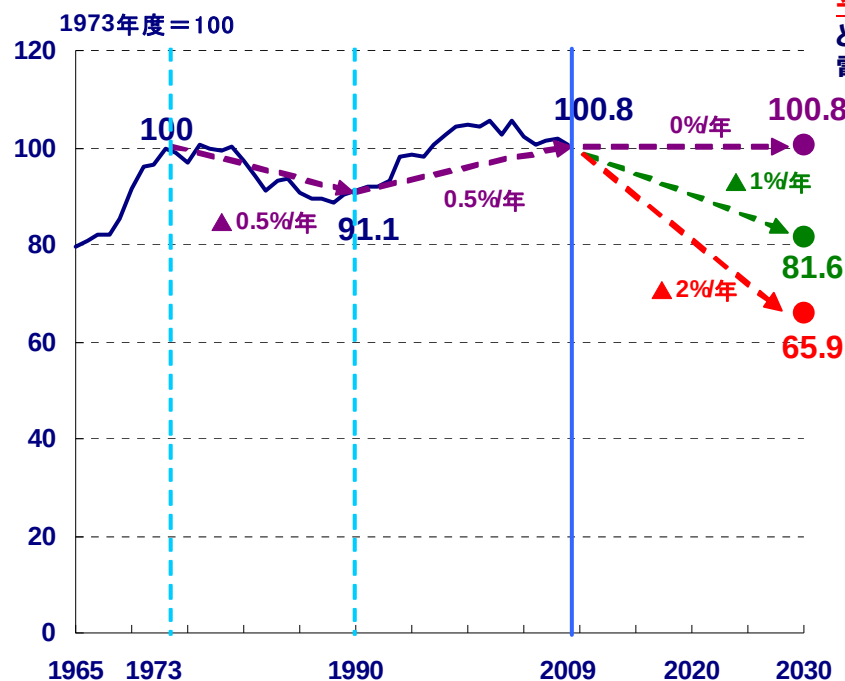
イ. 成長率以上の省エネを進めないと、電力需要は減少しない

(注) スマートメーターによる「見える化」、価格型需要管理方式は重要

最終エネルギー消費(エネルギー源別)



電力需要のGDP原単位



2030年までの
平均経済成長率を1%
とすると、
電力需要は現在より

23%増

0%

19%減

出所) 日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」など

2. 総合的視点から見ると、完璧なエネルギーは存在しない

2) 再生可能エネルギー

- 温暖化対応性は良いが、**コスト、安定性、立地制約に課題あり**
 - ア. 太陽光は稼働率低く、コスト低減と（郊外）広大な敷地の確保が必要
 - イ. 風力も、稼働率が低く、太陽光よりコストは低いが、一層広大な敷地が必要。洋上風力は、土地の問題はないが、コスト面、漁業権調整あり。
 - ウ. 地熱は、安定性高いが賦存量の大きな国立公園立地に大きな制約がある。

		設備 利用率 (%)	発電量 (億kWh)	原子力100万kWの 代替に必要な	
				設備容量 (万kW)	用地面積
太陽光	100万kW	12	10.5	667	山手線内
風力(陸上)	//	20	17.5	400	山手線の3.5倍
風力(洋上)	//	30	26.3	267	
小水力	//	80	70.1	100	
地熱	//	70	61.3	114	
原子力	//	80	70.1	100	

需要面の対応を考えると

省エネルギー（10%省電力）
 原子力：1425万kW
 太陽光：9500万kW に相当

【参考】その他の再生可能エネルギー発電

◎ 小水力発電

- ・ 未利用の落差や水路等を利用し、小規模の水力発電設備を設置。
- ・ 規模・コストは地点によって大きく異なる。
- ・ 一般的にはkW当り160万円程度と、大規模な発電設備に比べて高コスト。
- ・ 発電単価12円/kWhまでの水力発電導入ポテンシャルは132万kW、20円/kWhまででは615万kW。

熊本県上益城郡の
小水力発電所

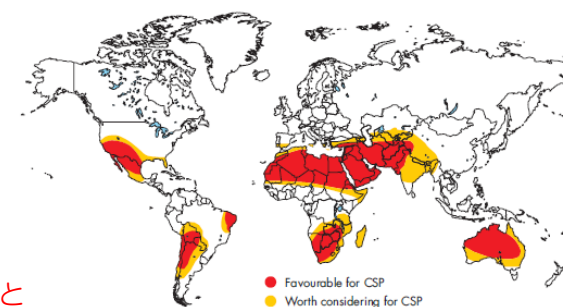


出所：新エネルギー財団

◎ 太陽熱(Concentrated Solar Power : CSP)

- ・ 太陽光を集光して熱エネルギーとし、タービンを回して発電する技術。
- ・ 世界的に適地は限られているが、米国・スペイン等では既に商用発電設備も稼働中。
- ・ アフリカ北部に大規模な太陽熱発電設備を作り、欧州まで送電することも計画されている。
- ・ 直達日射のみを利用することから日照条件が厳しい。

太陽熱発電の適地



出所：IEA “Energy Technology Perspectives 2008”

◎ バイオマス発電

- ・ バイオマスのみによる発電形式（専焼）と、石炭火力等に数%程度バイオマスを混ぜて発電を行う形式（混焼）とがある。
- ・ 地域の活性化にもつながる一方で、種類・利用方法等によりコスト・燃料供給量が大きく異なる。
- ・ ポテンシャルは原油換算1,400万kL。全て発電に利用されたとしても300億kWh（現在の総電力需要の3%）

秋田県能代市のバイオマス発電所



出所：ソニーHP

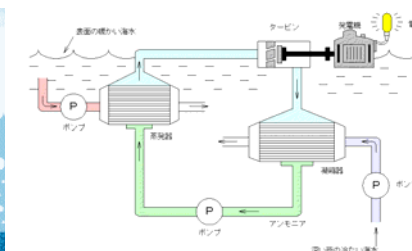
◎ 海洋エネルギー等

- ・ 潮汐、潮力、海流、温度勾配、塩濃度勾配など様々な方法が研究されている。
- ・ 他の技術に比べて、まだ開発初期の段階にある。

潮汐発電のイメージ



海洋温度差発電の原理



出所：中部電力㈱、佐賀大学資料

2. 総合的視点から見ると、完璧なエネルギーは存在しない

3) 化石燃料（石炭、石油、天然ガス）

●化石燃料は、程度に差はあるが、CO₂を発生（スライド10参照）

ア. 石炭は、コストと価格安定性は魅力だが、CO₂が最大

イ. 石油は、利便性に優れるが価格・供給安定性に課題

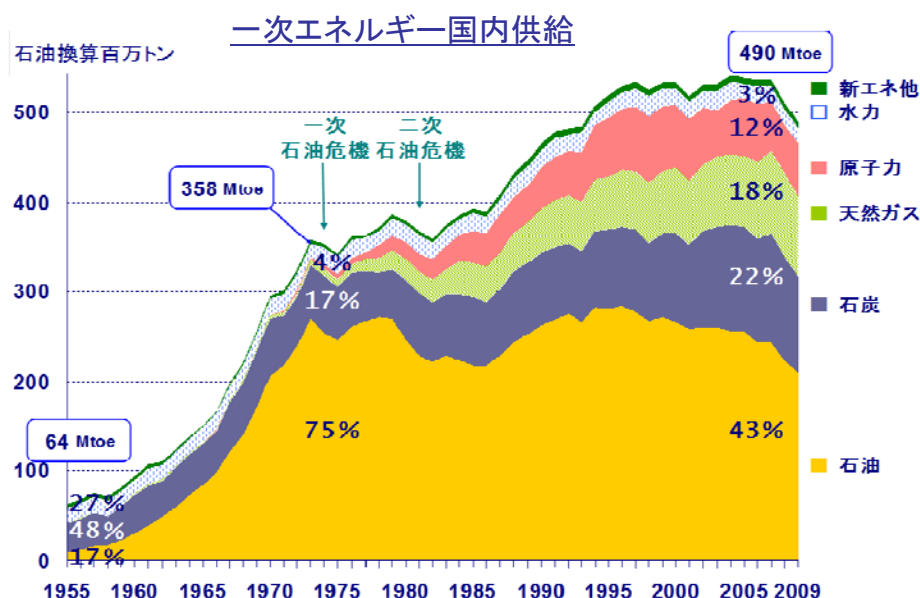
ウ. 天然ガスは、相対的な供給安定性とクリーンさが魅力だが、
価格はアジア独歩高

●CCS等の加速的開発が必要

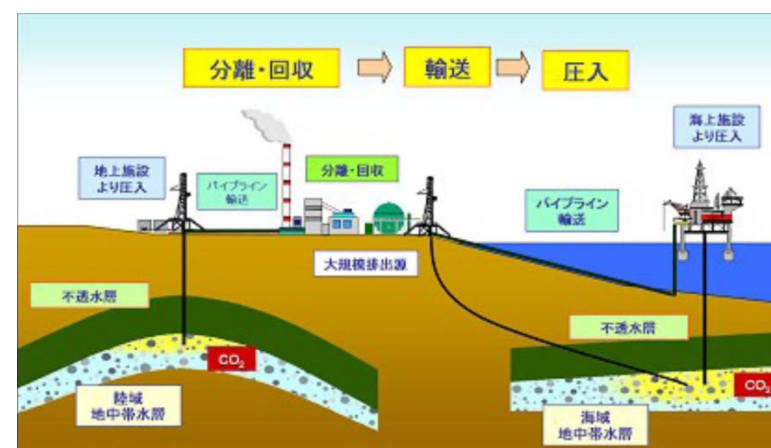
（注）経済合理性のある適切なサイトが、日本国内・周辺に十分に存在するかは不明。

現時点でのCCSコストは80-100ドル/トン-CO₂。

貯留地まで運ぶために船での輸送が必要となると、更に高コストに。



CCSのイメージ



出所)「CCS2020 二酸化炭素の分離回収・地中貯留技術の現状と実用化の方向について」平成18年5月17日 経済産業省産業技術環境局

2. 総合的視点から見ると、完璧なエネルギーは存在しない

4) 原子力

- 原子力は、Energy Security, Environment で優れ、
コスト面でも、2円/kWh程度の上昇なら、優位性あり（スライド9参照）。
- ウラン燃料は供給安定性が高く、備蓄も容易（再処理を行えば、
資源の有効活用が可能。）
- 廃棄物処分技術は確立、国民の理解が課題
（注）諸外国では、フォルスマルク（スウェーデン）
及びオルキルト（フィンランド）を
既に地層処分場の建設予定地として選定。

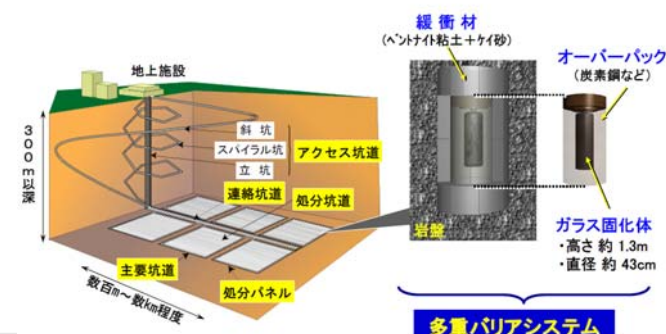
ウラン燃料の供給安定性・備蓄の容易さ

燃料の供給安定性

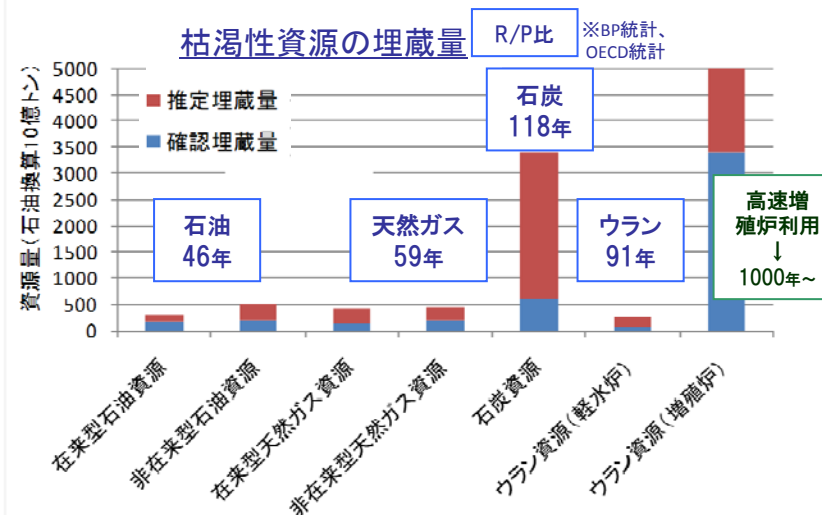
- 燃料のウランは、政情の比較的安定した国々に分布
- オーストラリア、カナダ、カザフスタン等
- 通常は長期契約（通常10年程度）により購入
- ウラン購入後、原子炉装荷まで約2年の工程あり
- ウラン燃料は通常4-5年原子炉に装荷

万が一供給途絶しても6-7年程度は運転継続が可能

地層処分システムの基本概念



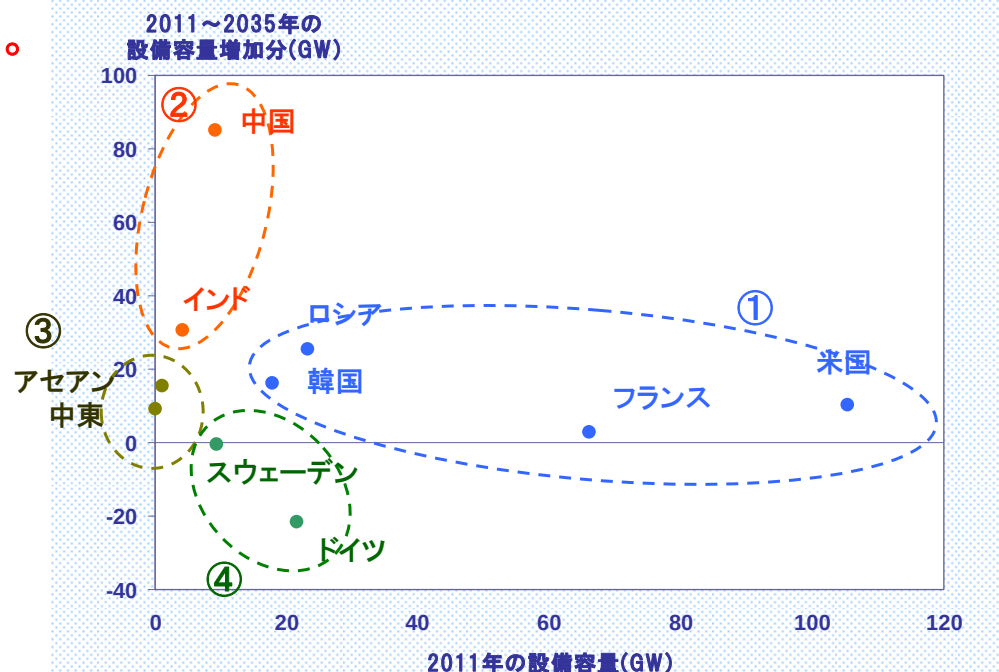
多重バリアシステム



データ出典: Dr. Hans Holger Rogner

【参考】 3 / 1 1 後の各国の原子力政策

●一部を除き、推進国は、安全確保策を強化しつつも、推進政策に大きな変化は見られない。



- ① 原子力利用・推進国：エネルギー自給率向上あるいは戦略的産業成長戦略の観点から、原子力発電を国内で積極的に開発推進し、海外への展開も積極的に行ってきた国。国内での新設必要数は国により差があるが、原子力産業を戦略的産業とする位置づけは不変。
- ② 原子力高成長国：エネルギー需要増に応じて今後大規模な増設を必要とする国。
- ③ 新規導入検討国：これまではエネルギー事情の上で特に原子力に頼らずとも成立したが、今後はエネルギー需要増・化石燃料資源の温存等から、原子力開発を計画中の国。
- ④ 脱原子力傾向国：既に原子力をエネルギー・ポートフォリオとして有しており、これ以上の拡大を差し当たりさほど必要としていない国。英国は、ブレア政権の原子力推進政策を維持。

出所)2011年の設備容量:「世界の原子力発電開発の動向」2011年版、日本原子力産業協会

2035年までの追加設備容量(予測):「アジア/世界エネルギーアウトルック2011」、2011年10月、(財)日本エネルギー経済研究所

2. 総合的視点から見ると、完璧なエネルギーは存在しない

5) 望ましいのは、バランスある組み合わせ

●各エネルギーにはメリット・デメリットがある。原子力コストの見直し等を踏まえつつ、**バランス**のとれたエネルギーミックスを考える必要がある

		安全保障	経済性	環境性	安定性	社会問題
		燃料 自給率	発電費用 円/kWh	発電時CO ₂ gCO ₂ /kWh	設備 利用率	
火力	石油	0.4%	10.0-17.3	679	30-80%	-
	石炭	0%	7.8	815	70-80%	-
	LNG	4%	9.3	423	60-80%	-
原子力		0~100%	4.4	0	70%	放射能リスク
自然エネ	水力	100%	13.5	0	45%	環境破壊
	太陽光	100%	37-46	0	12%	日照権など
	風力	100%	11-26	0	20%	低周波音など
	地熱	100%	12-24	0	70%	国立公園など

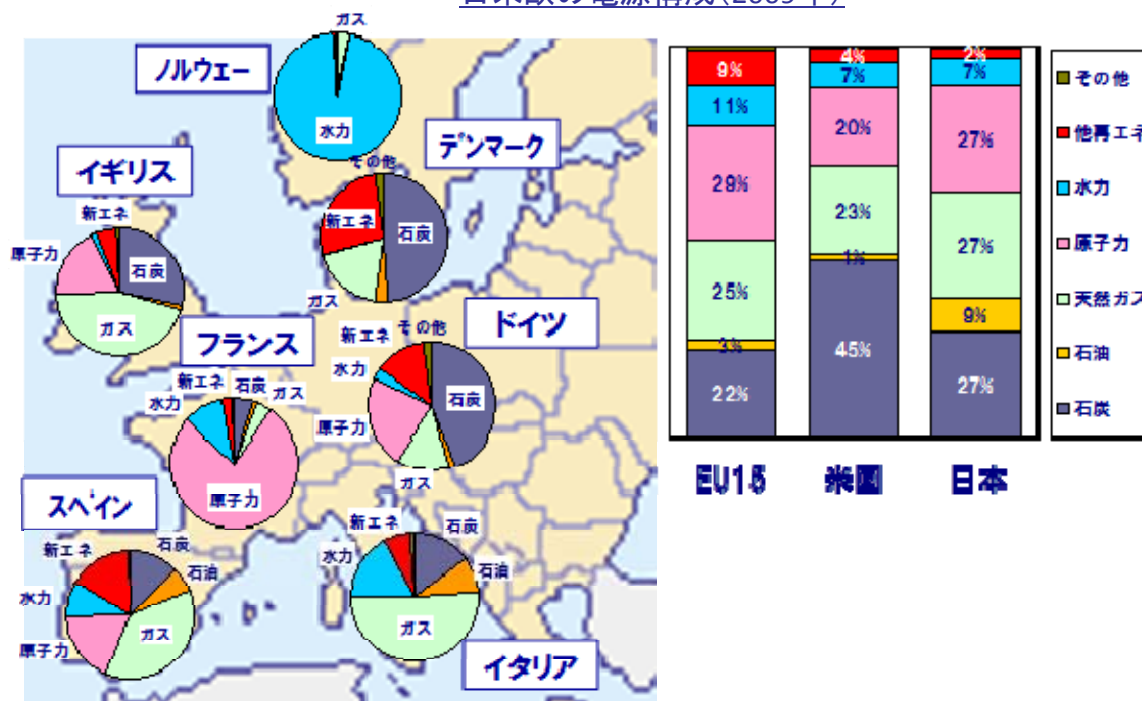
(出所) OECD : "Projected Costs of Generating Electricity 2010 Edition" (2010)
 再生可能エネルギーの全量買取に関するプロジェクトチーム: 第4回会合資料,
 コスト等検討小委員会(2004)など

2. 総合的視点から見ると、完璧なエネルギーは存在しない

5) 望ましいのは、バランスある組み合わせ

- 完璧なエネルギーがない以上、4つの組み合わせが望ましい。
 - ①より快適な省エネルギー、②より低コストの再生可能エネルギー、
 - ③よりクリーンな化石燃料、④より安全な原子力
- EUも、域内全体でみると、省エネを、別として、「再生可能エネルギー」「化石燃料」「原子力」「省エネ」の組み合わせ

日米欧の電源構成(2009年)

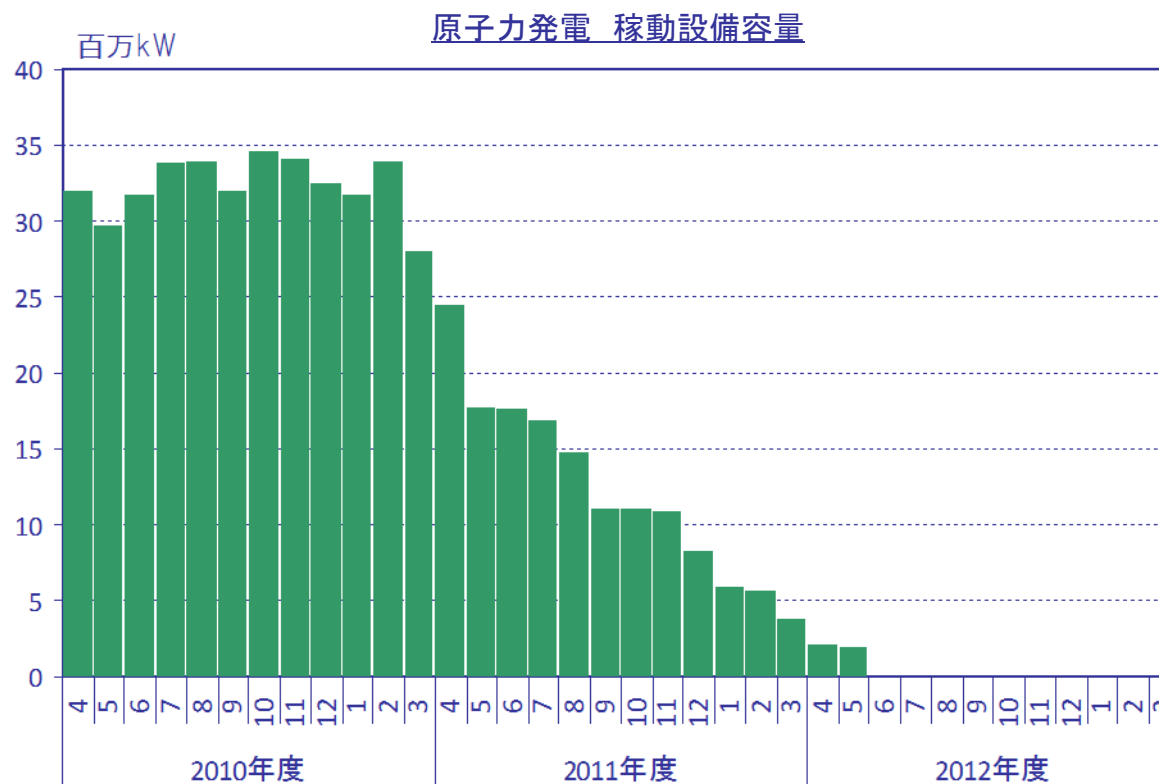


(出所) 国際エネルギー機関

3. 短中期的視点から見たベスト・ミックスの課題

1) 原子力発電所の稼働見通し

- 定期検査後の再起動が大幅に遅れた場合、最悪のケースでは、
2012年夏のピーク時まで、十分な発電が確保されず、産業活動等に、
深刻な影響を与える
- 安全性の確保できた既存原子力の再稼働を進める必要あり



3. 短中期的視点から見たベスト・ミックスの課題

2) 電力不足、燃料費増加、CO₂排出増加への影響

- 原子力発電の代わりに、最大限石油、天然ガス火力を稼働
- LNG火力への依存が急増する中で、LNGスポット価格が、震災以降約8割上昇している
- 安全性の確保のうえで、早急な再稼働が喫緊の課題

現在停止中及び今後定期検査入りする原子力発電の再稼働なき場合の影響（エネ研試算）

(1) 2012年夏季の電力需給は極めて厳しい・・・雇用問題へ

*全国総計で見て、電気事業者の総発電能力が最大電力需要を、7.8%程度下回る。最低限5%程度の予備率確保が必要とすると、全国にわたり12.4%の大幅な節電が必要。

(2) 燃料費は大幅増加・・・工場海外移転へ

*火力発電の高稼働で対応すると、石炭・LNG・石油合計で、対2010年比3.5兆円増加見通し。そのまま、料金引き上げにつながるとすると、3.7円/kWh。標準的家庭で、電力料金は、1,049円/月（18%）増加。産業用は、36%上昇。

(3) エネルギー起源CO₂排出量も大幅増加・・・約束未達へ

*化石燃料の消費により、2012年のCO₂排出量は、12.6億トンと、1990年比18%増加

注1) 節電対策を行った場合には、上記の影響は緩和されることに留意。

注2) エネルギー環境会議では、(1)2012年夏期の電力需給について、▲9.2%～4.1%、(2)原子力の停止の影響を約3兆円と見込んでいる

出所) 日本エネルギー経済研究所

3. 短中期的視点から見たベスト・ミックスの課題

3) マクロ経済への影響

- 原子力発電所が、再稼働せずに、すべて停止した時には、マクロ経済に、大きな影響を及ぼす恐れ大。

電力不足によるマクロ経済への影響

(原発再稼働がない場合:基本ケースは、GDP2.8%成長)

		2012年7-9月 夏だけの影響	2012年度計	
			秋以降回復	継続的に影響
経済影響	実質GDP	-5.6%	-1.6%	-3.6%
	実質GDP (兆円)	(-7.7)	(-9.1)	(-20.2)
	製造業 (IIP)	-8.2%	-2.2%	-4.8%
	サービス業 (ITA)	-5.9%	-1.6%	-2.2%
	失業者数 (万人)	+4.9	+9.8	+19.7

注) 経済活動に影響を及ぼさない節電対策を行った場合には、上記の影響は緩和されることに留意。

出所) 日本エネルギー経済研究所

4. 中長期的視点から見たベスト・ミックスの課題

1) 複数のシナリオの定量的、客観的分析（発電量ベース）

- ベスト・エネルギー・ミックスは、複数の変数を有する連立方程式を解くようなもの。
- 総合的視点から、4～5つのシナリオについて、定量的に、客観的に、少なくとも、コスト、環境、安全保障の三つの視点から、実現可能な解答を見出す必要がある。

	原子力	再生可能 エネルギー	注 省エネ +コジェネ	ゼロ エミッション
基本計画	約50%	約20%	0%※	70%
シナリオ1	30%	25%	15%	70%
シナリオ2	25%	30%	15%	70%
シナリオ3	15%	30%	15%	60%
シナリオ4	0%	40%	15%	55%

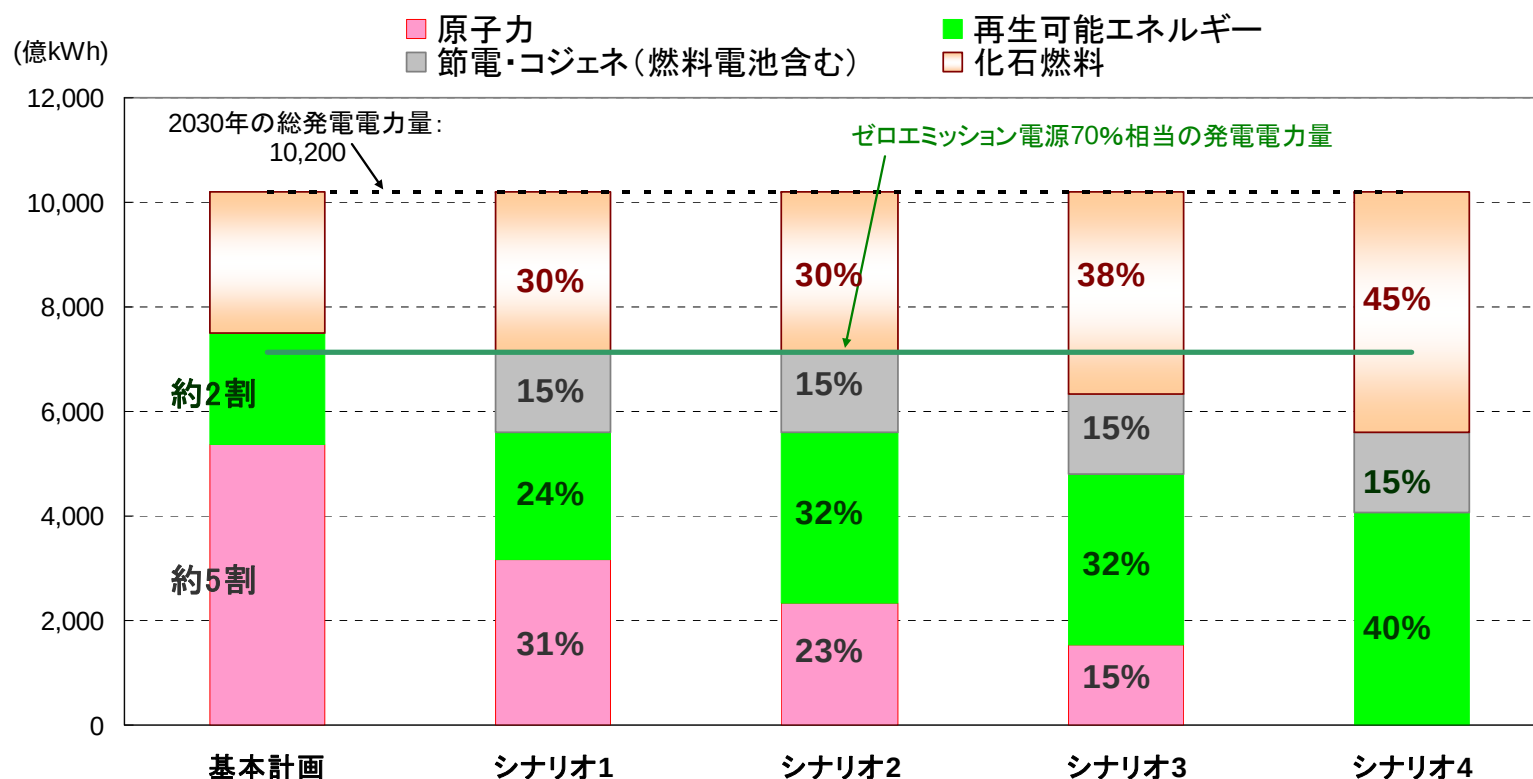
注) 正確には「省エネ・コジェネ」はゼロエミッションの内訳として分子に計上されるものではなく、発電量の分母から控除されるべきものであるが、ここでは基本計画と比較する上での分かりやすさから、分子として表現する。

4. 中長期的視点から見たベスト・ミックスの課題

1) 複数のシナリオの定量的、客観的分析（発電量ベース）

- シナリオ1、2は、2030年に発電電力量の約7割をゼロエミッション電源でまかなうことができるが、シナリオ3、4ではできない。

発電電力量の内訳:2030年



※ 仮にコジェネ分を5%とし、総合効率(発電・熱を含む)を通常火力の倍程度とすると、2.5%分(50%)に相当するCO₂を排出。

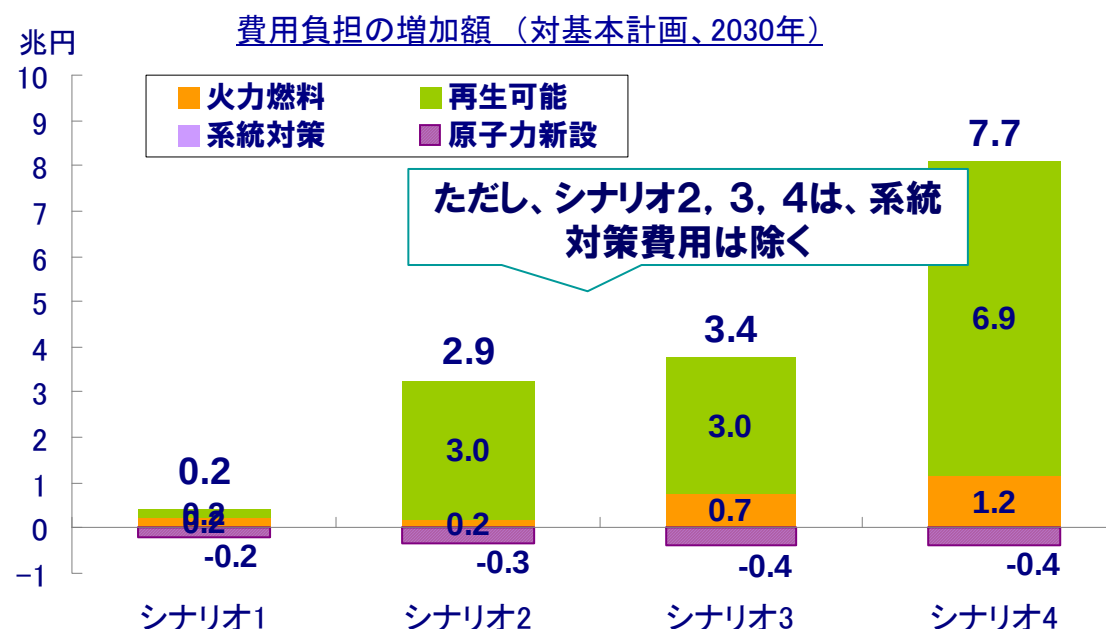
節電分12.5%とコジェネによるCO₂削減分2.5%を合せて15%として試算。

注) 正確には「節電・コジェネ」はゼロエミッションの内訳として分子に計上されるものではなく、発電量の分母から控除されるべきものであるが、ここでは基本計画と比較する上での分かりやすさから、分子として表現する。

4. 中長期的視点から見たベスト・ミックスの課題

3) 各シナリオの費用負担・CO₂排出試算 (対基本計画、2030年)

- シナリオ3、4は、コスト面、環境面から、現実性に欠く。
シナリオ1は、コスト面、環境面に優れるが、福島の影響で原子力発電所の立地地点の確保が困難。



Economic efficiency	電力コストの増分	0.2	2.8	3.3	7.6	円/kWh
	※1標準世帯の電気代増分	(65円) 1%	(852円) 13%	(997円) 15%	(2269円) 35%	円/月、%
	※1産業用電力価格上昇率	2%	28%	33%	74%	
Environment	※21990年比CO ₂ 排出量	-28%	-28%	-23%	-20%	
	Energy security	電源自給率	70%	70%	62%	55%

※1: 仮に電力コストをすべて小売価格に転嫁した場合。※2: CO₂排出量は、コジェネ増加分を含む。

注) 2030年の燃料価格(輸入CIF、2009年価格): 原油価格110\$/bは石炭は110\$/t、LNGは845\$/tと想定(エネ研「アジア/世界アウトルック2010」を参照)

原子力発電については、建設単価を40万円/kWとし、新設回避分のコスト減少を計上。

再生可能エネルギーは、買取価格は太陽光は42→24円/kWh、その他は30円/kWh、補助金は太陽光は0～4.8万円/kW、地熱と中小水力は建設費の20%。

4. 中長期的視点から見たベスト・ミックスの課題

4) 電源構成（発電量ベース）のシナリオの評価（試案）

- 4つのシナリオを、S確保を前提に、例えば、コスト、環境、安全保障の側面から、客観的・定量的に評価することが重要。
- 今後、原子力発電のコストが明らかになった時点で、系統接続費用も含め、精緻な定量的検討をする必要がある

	コスト	CO ₂	安全保障 (自給率)	実現可能性
シナリオ1	○	○	○	△△
シナリオ2	△	○	○	△
シナリオ3	△ △	△	△	△ △ △
シナリオ4	△ △ △	△ △	△ △	△ △ △ △

御清聴ありがとうございました
