日本学術会議・JST研究開発戦略センター主催

東京電力福島原子力発電所事故への科学者の役割と責任について
ー　経済学分野からの貢献　ー

東北公益文科大学　学長
CRDS上席フェロー
黒田昌裕

2011年11月

東京電力福島原子力発電所事故への科学者の役割と責任について
ー　経済学分野からの貢献　ー

１．２０１０年６月のエネルギー基本計画の概要

・我が国のエネルギー事情

・３Ｅ（Energy-Economy-Environment) + Energy Security

２．福島原子力発電所事故からの教訓

・Risk Communication の重要性

・アカデミアの研究・行動規範の確立と役割の自覚

・文理融合の科学、省庁連携の行政システム

・産官学連携による「科学技術イノベーションのための科学」

３．日本国土・日本経済再生計画、総合エネルギー基本計画とその実施戦略の構築にむけて、科学者の総意の結集

４．学術レベルの深化、学術コミュニティーの形成に資する支援方策

５．学術の継続的発展と科学的根拠を有するエネルギー戦略の立案を担う人材育成方策

１．２０１０年６月のエネルギー基本計画の概要

・我が国のエネルギー事情

／低い自給率と高い中東依存度：原子力を輸入とした場合には、４％、純国産エネルギーとして含めて１８％、中東依存度は、２００７年で、約９０％.

／ 第２次石油ショック後、１次エネルギーに占める石油依存度は、８０％から５０％に低下、発電電力量でも７０％から１０％に低下.原子力は、１８７４年の３％から３０％に拡大。

／ 最終エネルギー消費は、１９７３年から２００７年までで、GDPが２．４倍に対して、産業部門は約１．０倍、民生部門約２．２倍、運輸部門約２．０倍。

・３Ｅ（Energy-Economy-Environment) + Energy Security

／２０３０年の目標：

・エネルギー自主開発率を含め、自主エネルギー比率７０％に拡大。

・ゼロ・エミッション電源比率を３４％から約７０％に拡大 。

・家庭部門のCO2排出量を半減。

・産業部門で世界最高のエネルギー利用効率の維持。

結果として、２０３０年に１９９０年比▲３０％程度のCO2削減を見込む。

エネルギー基本計画の概要（平成22年6月18日閣議決定）

基本的視点

○激化する資源獲得競争等に対応するため、**総合的なエネルギー安全保障を強化。**
○地球温暖化問題の解決に向け、**エネルギー需給構造の低炭素化に向けた施策を抜本的に強化。**
○環境エネルギー分野を基軸とした**経済成長の実現。（新成長戦略と一体的に推進）**

2030年に向けた目標

○**エネルギー自給率**及び**化石燃料の自主開発比率**を**倍増**　（※この結果、自主エネルギー比率は38%→70%程度まで向上）
○**ゼロ・エミッション電源比率**を34%→**約70%**に引き上げ
○**「暮らし」**(家庭部門)**のCO2を半減**
○**産業部門**において、**世界最高のエネルギー利用効率**の維持・強化
○**エネルギー製品等の国際市場**で我が国企業群が**トップクラスのシェア獲得**

目標実現のための取組

資源確保・安定供給強化への総合的取組

○官民一体となった資源国との戦略的関係の深化
○戦略レアメタルの自給率50%以上（リサイクル、代替材料開発も加味）
等

自立的かつ環境調和的なエネルギー供給構造の実現

○再生可能エネルギー固定価格買取制度の拡充、規制緩和
○原子力発電の推進（新増設2020年9基、2030年14基以上）
○石炭火力発電の高効率化
等

革新的なエネルギー技術の開発・普及拡大

低炭素型成長を可能とするエネルギー需要構造の実現

○世界最高水準の省エネ水準の維持・強化（産業部門）
○新築住宅・建築物を2030年までにネット・ゼロ・エネルギー化
○LED等の高効率照明を、2020年までに販売の100%シェア、2030年までに普及の100%シェア
○新車販売に占める次世代車の割合を2020年最大50%、2030年最大70%
等

新たなエネルギー社会の実現

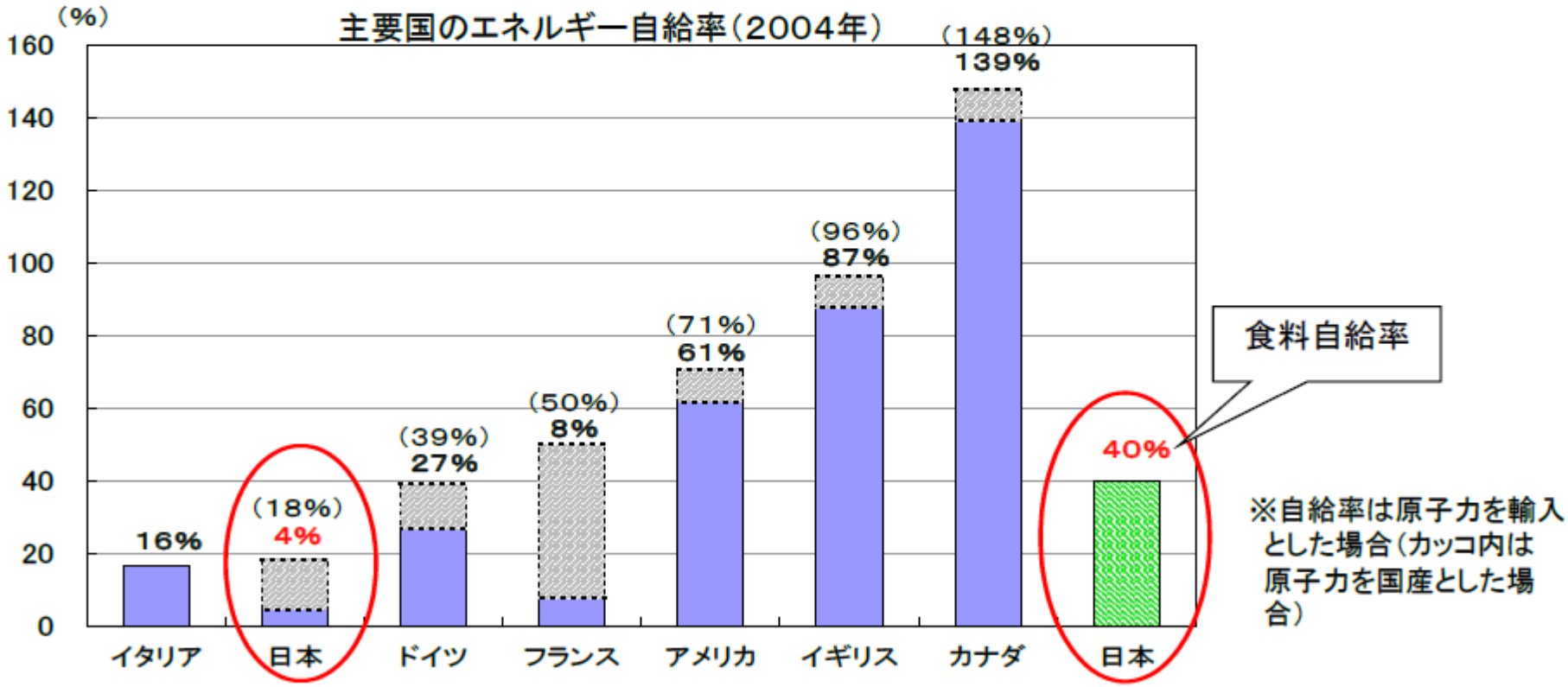
○スマートグリッドやスマートコミュニティーの国内外での実証
等

エネルギー・環境分野における国際展開の推進

➢以上の対策を強力に推進することで、エネルギー起源CO2排出量について、**2030年に90年比▲30%程度**もしくはそれ以上の削減を見込む。

我が国のエネルギー構造（低い自給率と高い中東依存度）

○我が国は主要先進国の中で自給率が最も低く、食糧自給率と比べても著しく低い状況
○また、石油の中東依存度は、オイルショック後低下したが、1990年代に入り、再度上昇。現在、約90%（2007年：86.7% ← 1987年：67.4%）。



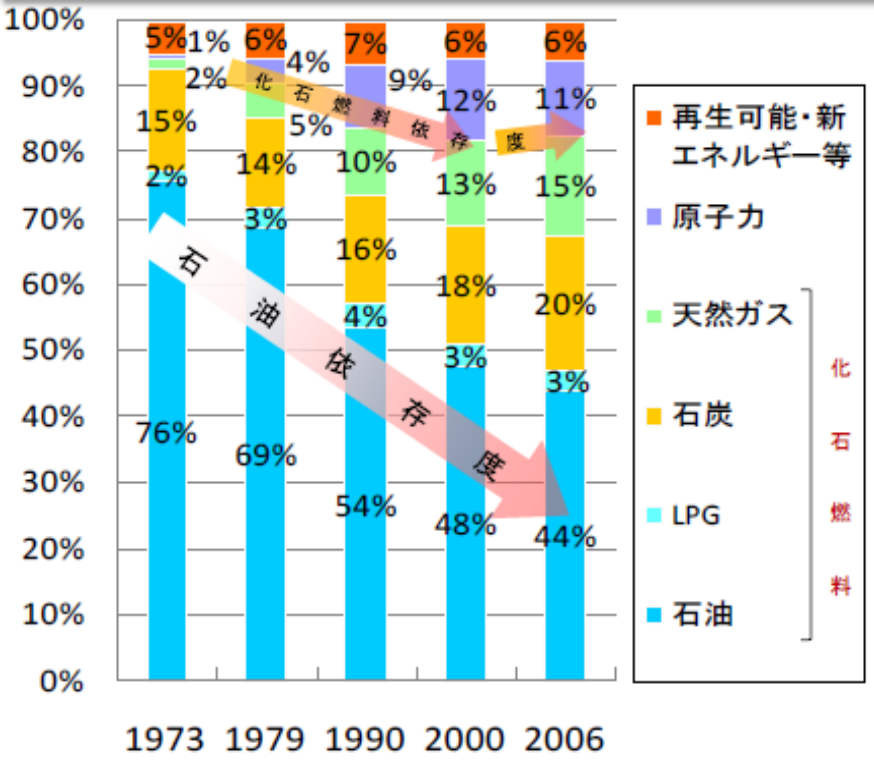
【出典：OECD/IEA "Energy Balances of OECD Countries 2003-2004"】

我が国のエネルギー供給の推移

○ 第二次オイルショック後の石油代替エネルギー政策推進の結果、一次エネルギーに占める石油の割合（8割→5割以下）、発電量に占める割合（7割→1割以下）ともに低下。

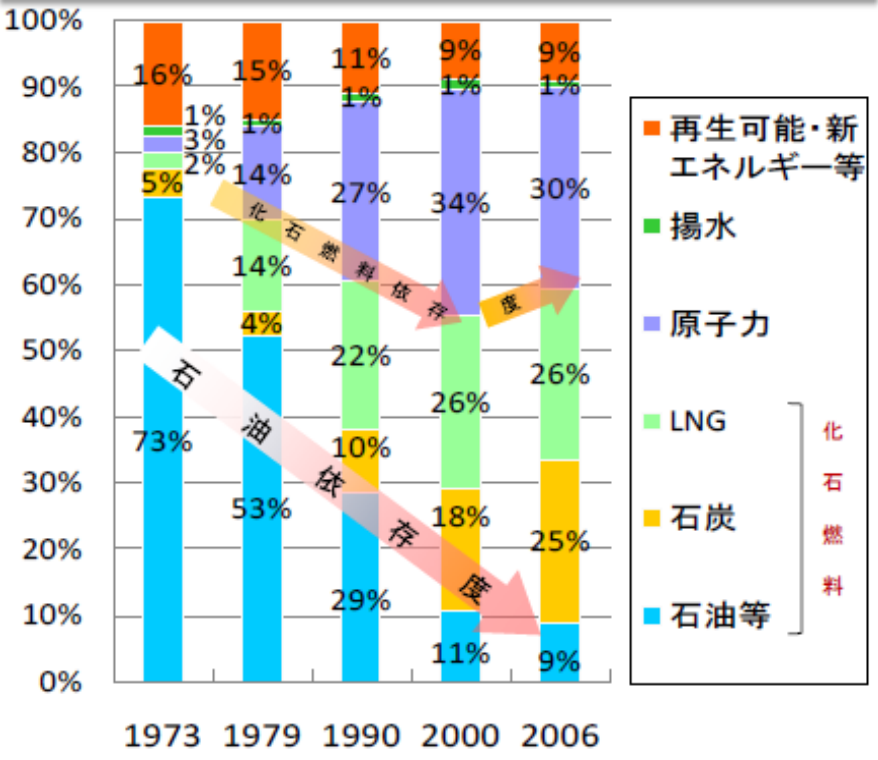
○ 他方、一次エネルギー・発電電力量に占める化石燃料全体の割合は、依然として高い比率を維持。

一次エネルギー供給シェアの推移



（出典）資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」より作成

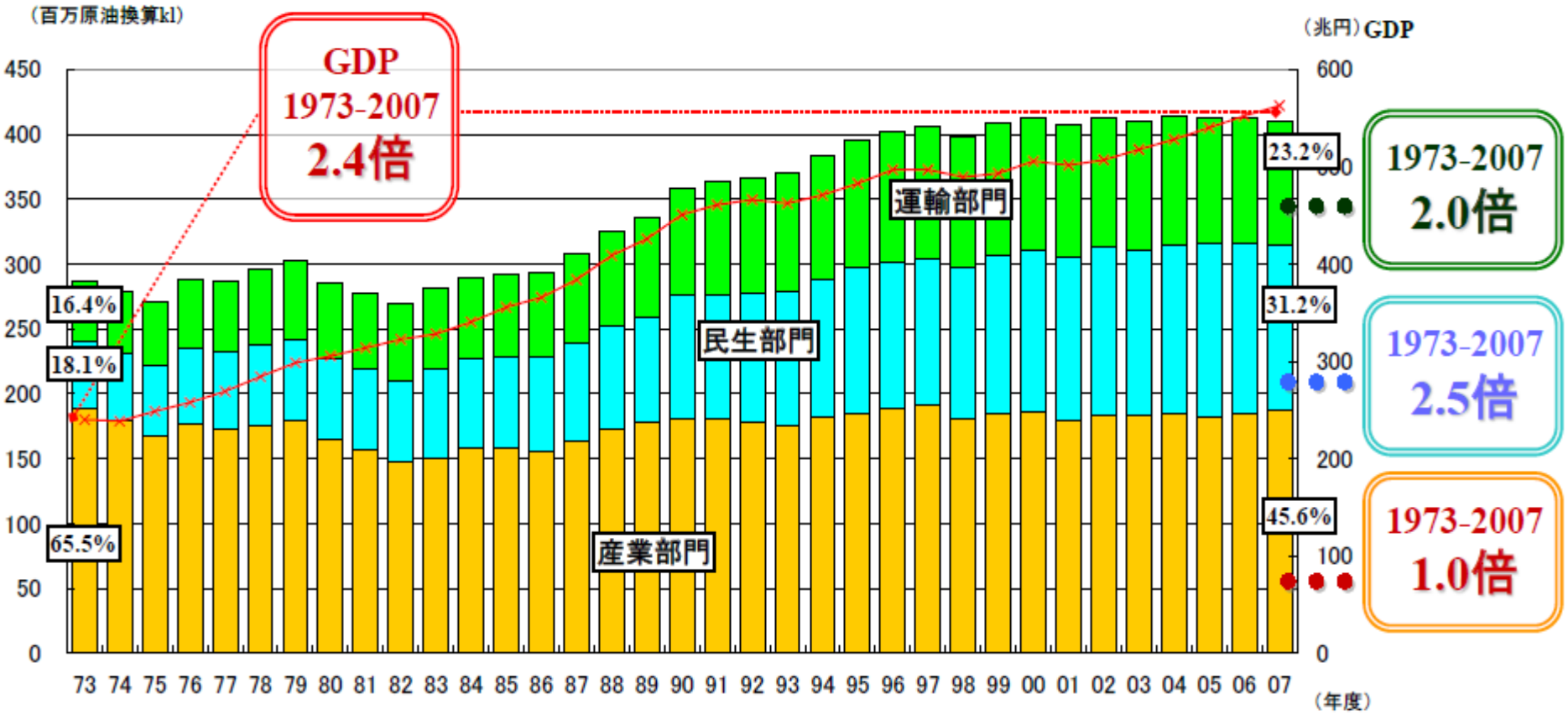
発電電力量シェアの推移



（出典）資源エネルギー庁「電源開発の概要」

最終エネルギー消費の推移

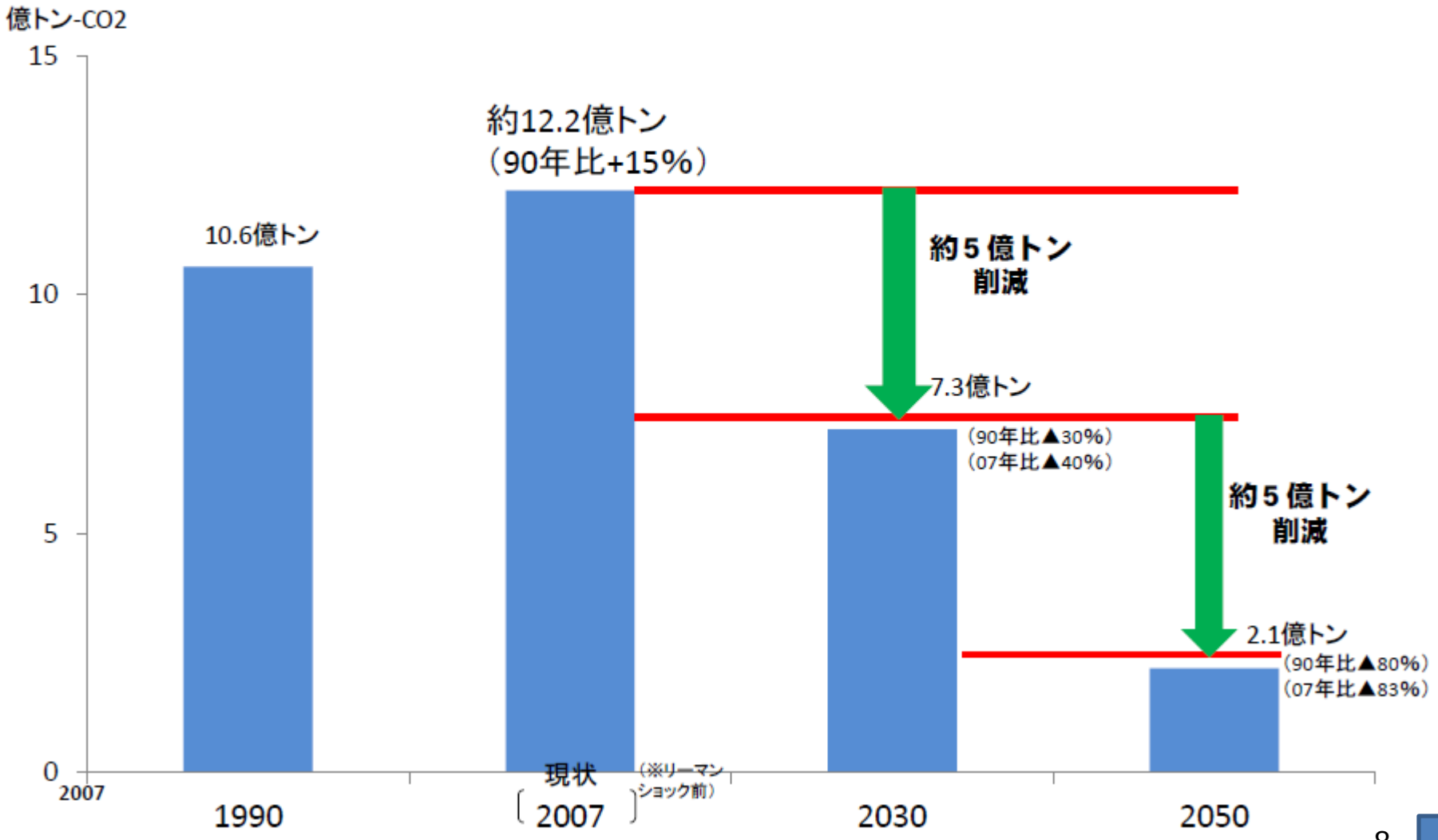
○我が国の最終エネルギー消費は、二度の石油危機後や近年の不況時を除いて、ほぼ一貫して増加。
○1973年から2007年までに、GDPは約2.4倍に増加。各部門におけるエネルギー消費量は、産業部門が約1.0倍のところ、民生部門は約2.5倍、運輸部門は約2.0倍と大幅に増加。



（出所）総合エネルギー統計、国民経済計算年報

長期的なCO2排出量のパス（イメージ）

○長期的なCO2排出量パスとの関係では、2030年までの約20年間で、現状から約5億トンが削減され、2050年（90年比▲80%）までの削減量のうち、ほぼ半分が実現されるイメージとなる。



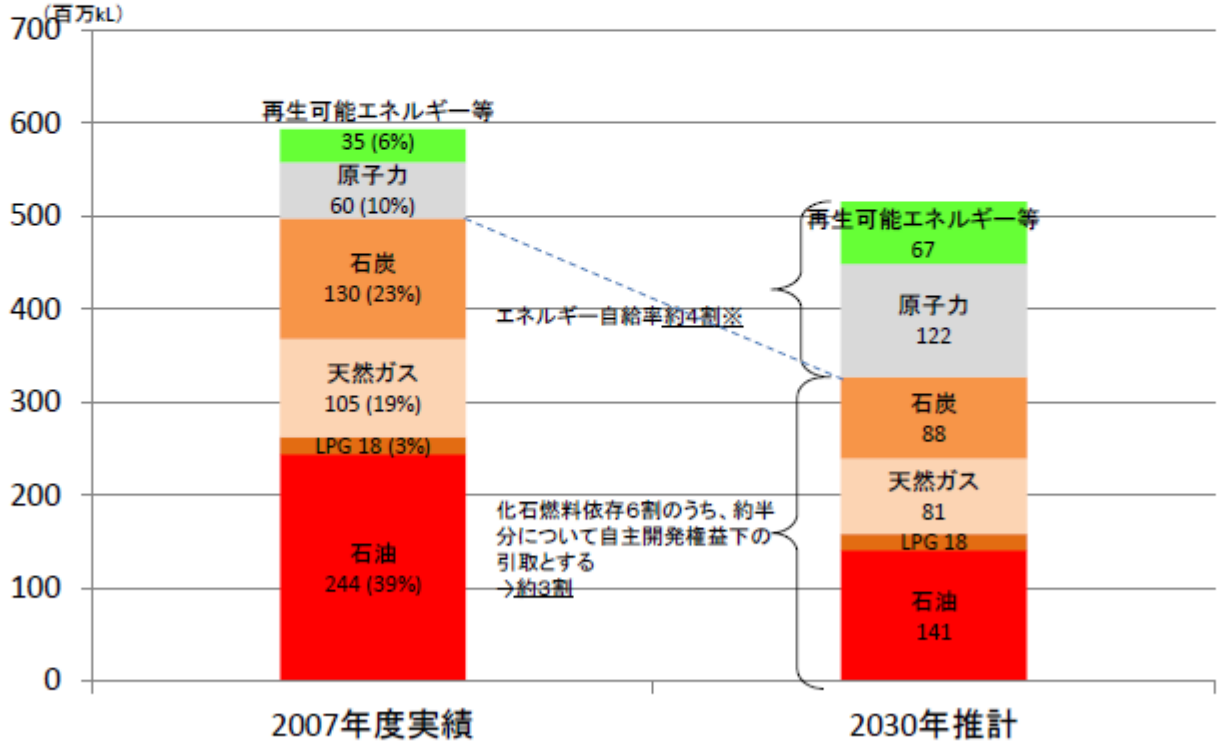
供給側の絵姿①（一次エネルギー供給）

転換部門

○再生可能エネルギー	全量買取制度の実施（制度設計に依存）
○原子力	新増設14基、設備利用率90%

（試算結果）

○従来のエネルギー自給率（現状18%）が倍増する。加えて、自主開発権益下の化石燃料の引取量（現状26%）を倍増させることにより、自主エネルギー比率は約70%（現状38%）となる。



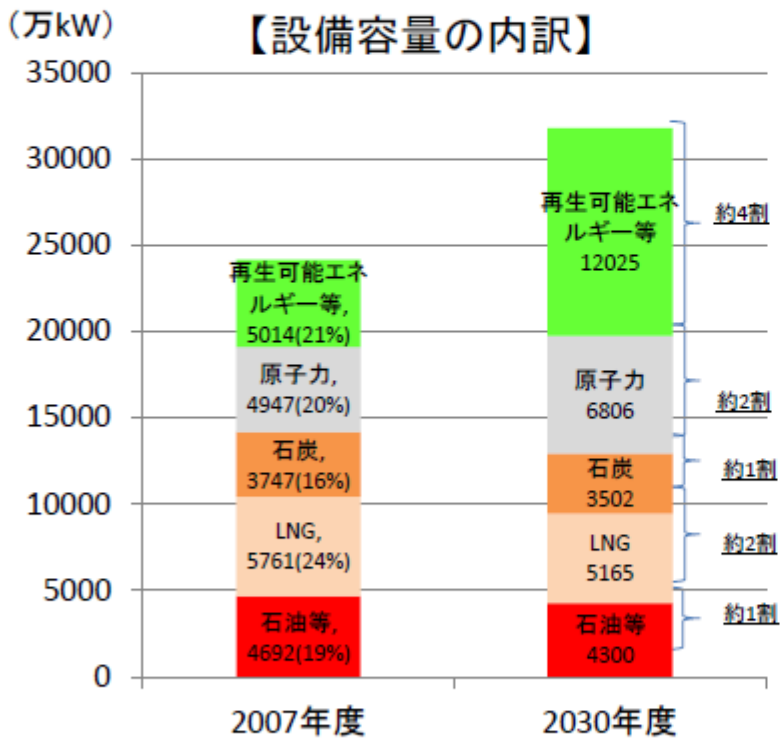
エネルギー自給率 約4割 ＋ 化石燃料の自主開発権益下の引取 約3割 ＝自主エネルギー比率 約70%

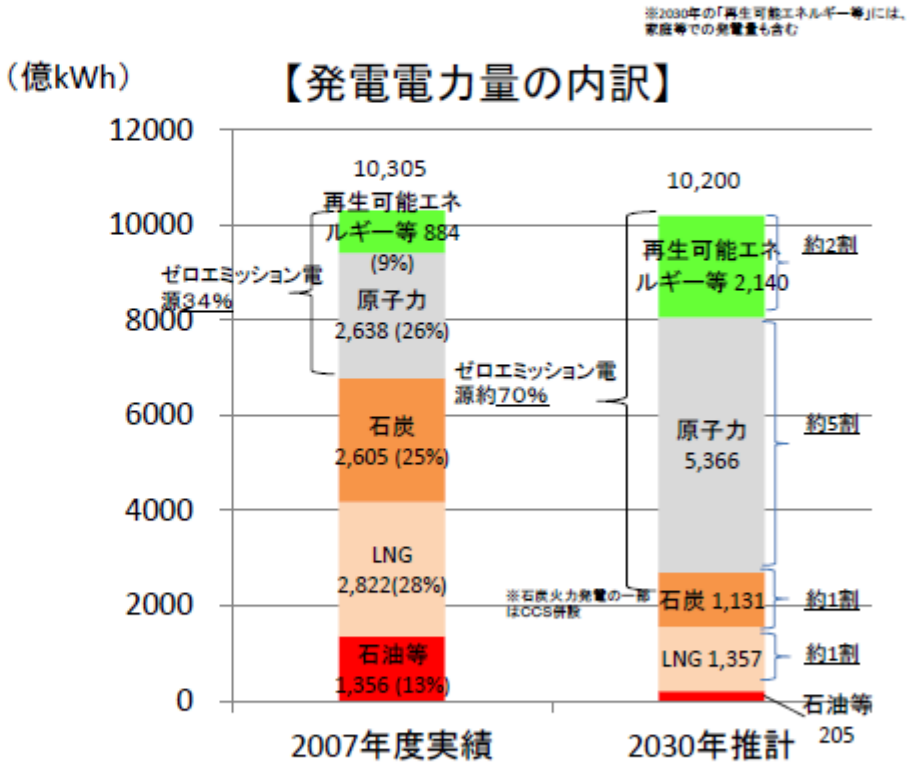
※エネルギー自給率には、再生可能エネルギー等、原子力の他、国内で産出される化石燃料も含む
※「再生エネ等」には、給湯・空調等による空気熱は含んでいない。

供給側の絵姿②（電源構成）

○電源構成の内訳は以下の通り。

○ゼロ・エミッション電源比率は約70%程度となる※。（現状34%）





※大幅な省エネルギーや、立地地域を始めとした国民の理解及び信頼を得つつ、安全の確保を大前提とした原子力の新増設（少なくとも14基以上）及び設備利用率の引き上げ（約90%）、並びに再生可能エネルギーの最大限の導入が前提であり、電力系統の安定度については別途の検討が必要である。

※石炭火力については、商用化を受けて、リプレース時には全てCCSを併設すると想定。今後の技術開発やCO2の貯留地点の確保等によって変動しうる点に留意が必要。

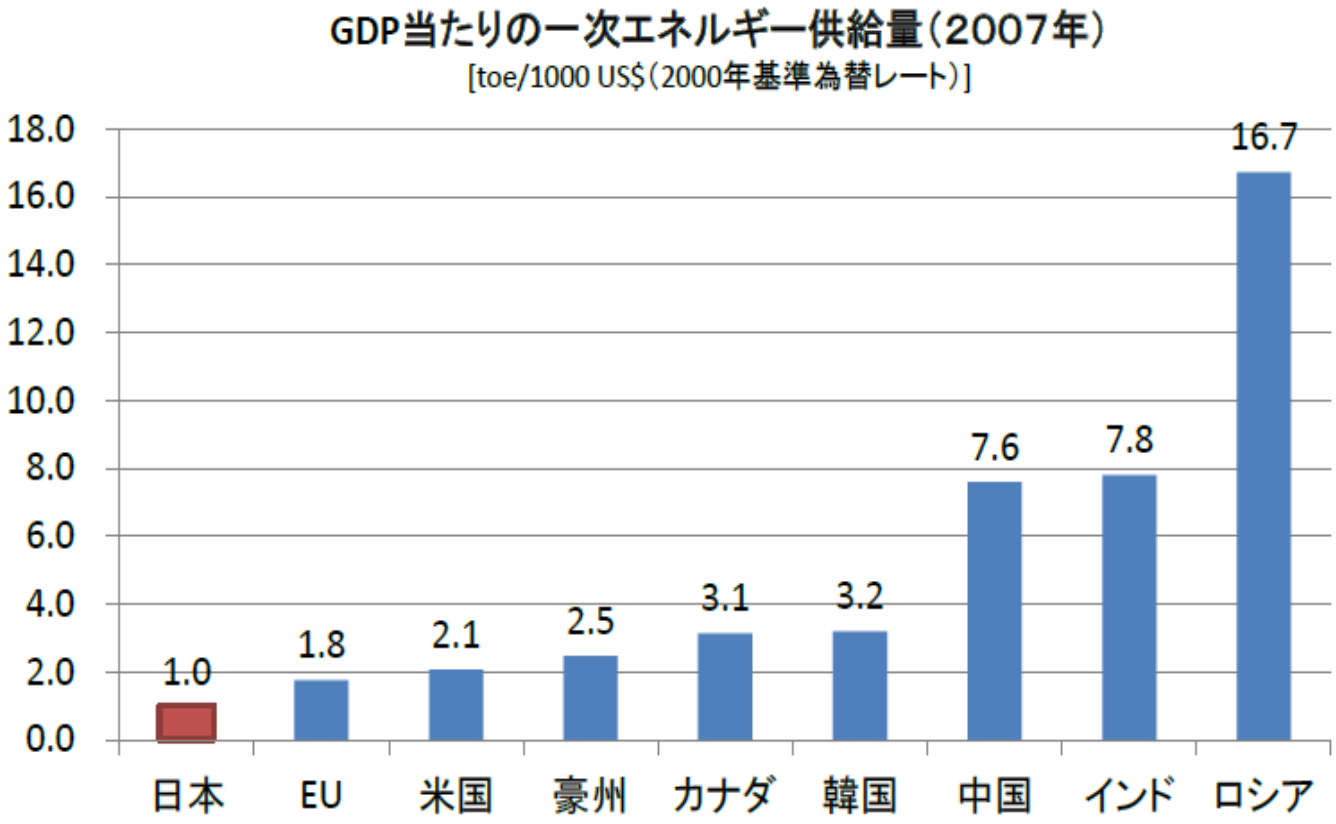
※ゼロエミッション電源約70%には、再生可能エネルギー等のうち、廃棄物発電及び揚水発電を除く。

※2007年度実績の発電電力量は、卸売電力取引所における取引等の電源」種別が不明な▲66億kwhを差し引いていない値

日本は世界トップレベルの低炭素経済

○日本は、世界トップレベルの低炭素経済を実現。

○更なる削減には他国に比べてより多くの費用が必要となる。

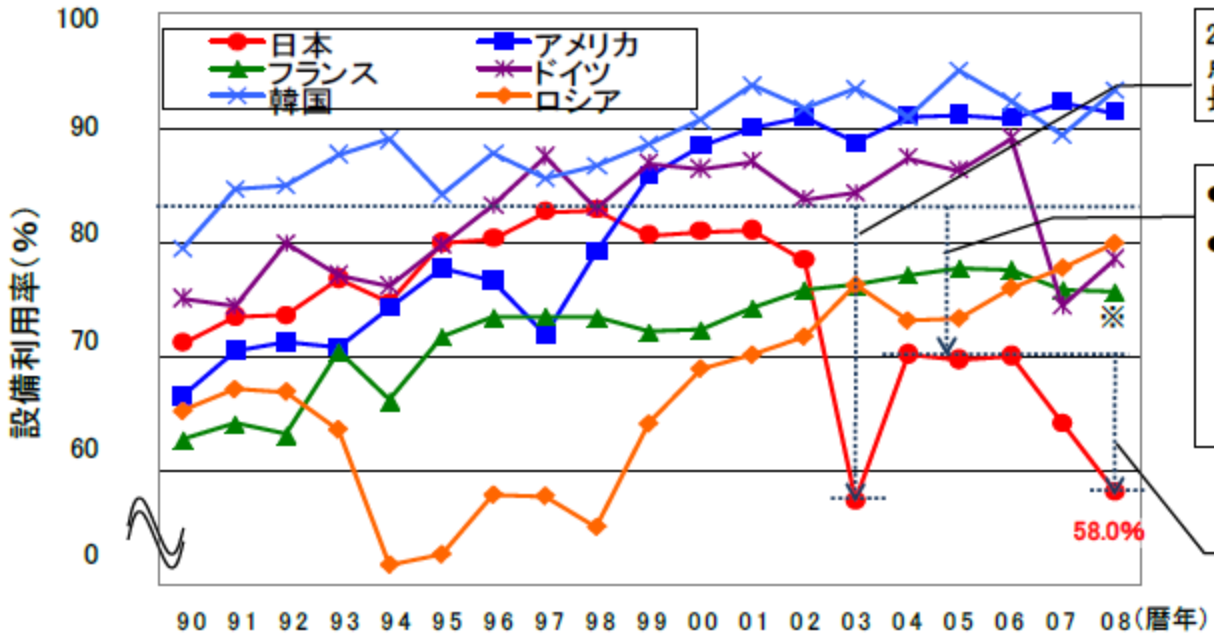


出典：IEA Energy Balance OECD 2009, Energy Balance Non OECD 2009

原子力発電の設備利用率

○日本の原子力発電所の設備利用率は近年低迷（2008年58.0%）。

世界の設備利用率との比較



出典：IAEAホームページPRIS

2002年8月の電気事業者の不正に起因する点検等のため、定検前倒し及び定検期間延長。

●予防保全による定期検査期間長期化、

●トラブル・自然災害等。
04年：美浜3号機二次系配管破断
05年：宮城沖地震(女川1～3号機)
06年：志賀1号機臨界事故隠蔽問題、浜岡5号機、志賀2号機蒸気タービン損傷 等

2007年7月の中越沖地震による柏崎刈羽原発の運転停止等。

※：フランスでは、電力需要に応じて出力を低下させる負荷追従運転が取り入れられているため、設備利用率が相対的に低い。

（参考）設備利用率向上のCO2排出削減効果

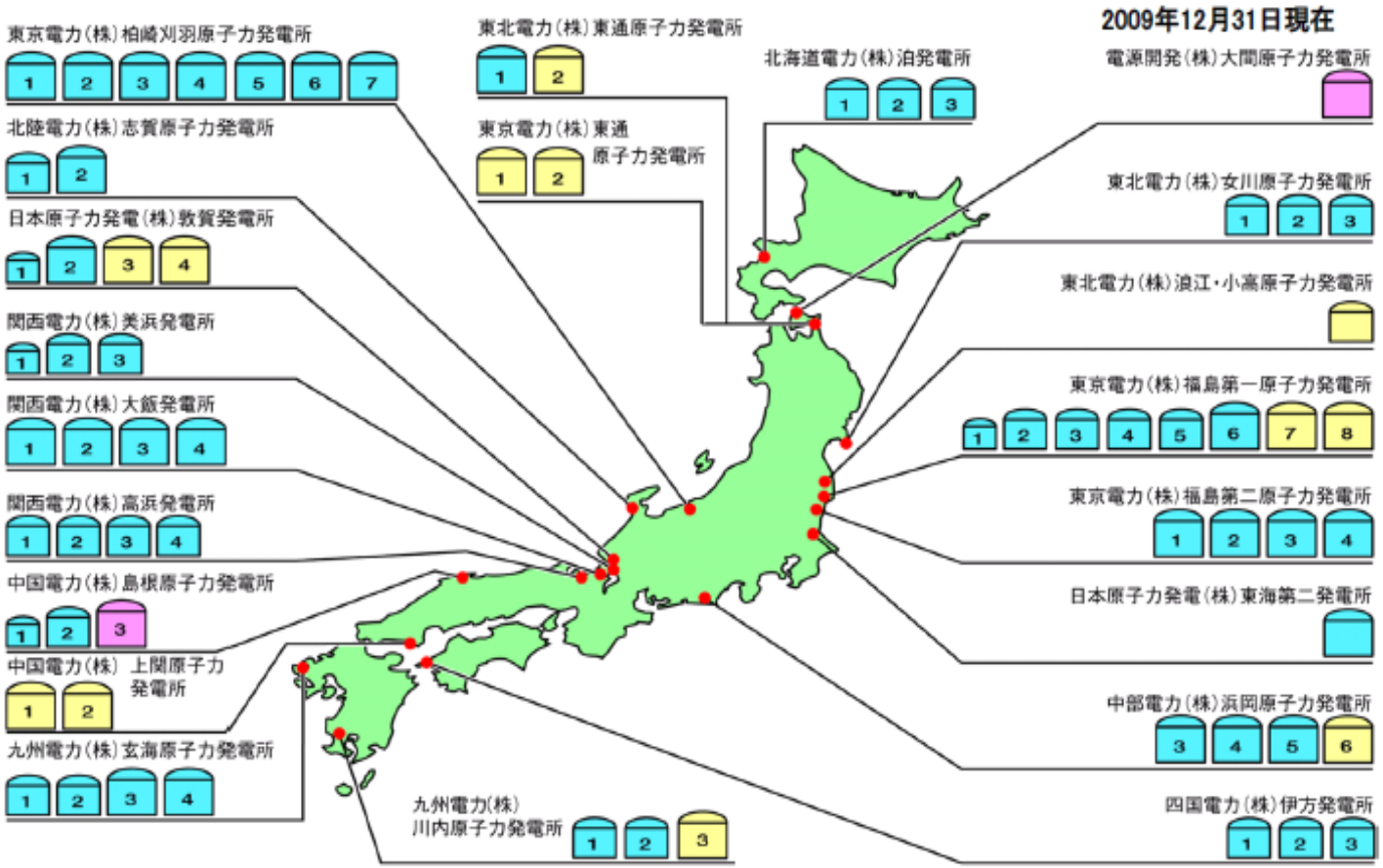
2007年度CO2排出量（実績）　：13億7,400万トン（90年比＋9.0%）

設備利用率が98年水準（84.2%）と仮定　：13億1,100万トン　（90年比＋4.0%）

90年比5%分改善（6,300万トン）

我が国の原子力発電の現状と目標

○現在、54基が運転中。14基の新設が予定（建設中2基）。
→エネルギー基本計画では、2020年までに9基、2030年までに少なくとも14基以上の新増設を目標



出力規模
50万kW未満　100万kW未満　100万kW以上

運転中
建設中
着工準備中

	基数	合計出力(万kW)
運転中	54	4884.7
建設中	2	275.6
着工準備中	12	1655.2
合計	68	6815.5

最近の動き

➢北海道電力
泊3号機（PWR, 91.2万kW）が2009年12月営業運転開始。

➢中国電力
上関1号機（ABWR, 137.3万kW）新設について、2009年12月原子炉設置許可申請書を提出。2012年6月の着工を計画。

➢九州電力
川内3号機（APWR, 159万kW）増設について、2009年1月に地元申入れ。2009年10月、環境影響評価準備書に対して経済産業大臣が勧告。

2010年エネルギー基本計画で想定していた原子力発電所の新増設

○エネルギー基本計画において新増設が計画されている原子力発電所14基のうち、建設がほぼ完了しているものが2基、2020年度までに運転開始予定で東京電力以外のものも含めると6基、2020年度以降に運転開始予定のものも含めると9基となる。

エネルギー基本計画で新増設を予定している原子力発電所（全14基）

設置者名	発電所名（設備番号）	炉型	出力（MW）	運転開始年月日	備考
電源開発（株）	大間原子力	ABWR	1,383	2014年11月	現在、実質的に建設がほぼ完了しているもの
中国電力（株）	島根（3号）	ABWR	1,373	2011年12月	
	上関（1号）	〃	1,373	2018年3月	14基のうち、建設が始まっておらず、東京電力以外のもので、2020年までに運転開始予定のもの
九州電力（株）	川内（3号）	APWR	1,590	2019年度	
日本原子力発電（株）	敦賀（3号）	APWR	1,538	2016年3月	
	〃（4号）	〃	1,538	2017年3月	
中部電力（株）	浜岡（6号）	ABWR	1,400	2020年度以降	14基のうち、建設が始まっておらず、東京電力以外のもので、2020年度以降に運転開始予定のもの
中国電力（株）	上関（2号）	〃	1,373	2022年度	
東北電力（株）	東通2号	ABWR	1,385	2021年度以降	
	浪江・小高	BWR	825	2021年度	福島県内での建設予定
東京電力（株）	東通1号	〃	1,385	2017年3月	福島第一原子力発電所以外で、東京電力の新増設
	〃（2号）	〃	1,385	2020年以降	
	福島第一（7号）	ABWR	1,380	2016年10月	今回の震災で大きな被害を受けた東京電力福島第一原子力発電所での、新増設。
	〃（8号）	〃	1,380	2017年10月	

2基

6基

9基

［参考］ 原子力発電所リスト

設置者名	発電所名（設備番号）	出力（MW）	運転開始年	耐用年数を40年とした場合	耐用年数を50年とした場合	耐用年数を60年とした場合
東京電力（株）	福島第一原子力（1号）	460	1971	福島第一、第二は2010年以降運転しないと仮定		
東京電力（株）	〃（2号）	784	1974			
東京電力（株）	〃（3号）	784	1976			
東京電力（株）	〃（4号）	784	1978			
東京電力（株）	〃（5号）	784	1978			
東京電力（株）	〃（6号）	1,100	1979			
東京電力（株）	福島第二原子力（1号）	1,100	1982			
東京電力（株）	〃（2号）	1,100	1984			
東京電力（株）	〃（3号）	1,100	1985			
東京電力（株）	〃（4号）	1,100	1987			
日本原子力発電（株）	敦賀（1号）	357	1970	二〇二〇年まで	二〇三〇年まで	二〇三〇年以降
関西電力（株）	美浜（1号）	340	1970			
関西電力（株）	〃（2号）	500	1972			
関西電力（株）	高浜（1号）	826	1974			
中国電力（株）	島根原子力（1号）	460	1974			
関西電力（株）	〃（2号）	826	1975			
九州電力（株）	玄海原子力（1号）	559	1975			
関西電力（株）	美浜（3号）	826	1976			
四国電力（株）	伊方（1号）	566	1977			
日本原子力発電（株）	東海第二	1,100	1978			
関西電力（株）	大飯（1号）	1,175	1979			
関西電力（株）	〃（2号）	1,175	1979			
九州電力（株）	玄海（2号）	559	1981	二〇三〇年まで	二〇三〇年以降	
四国電力（株）	伊方（2号）	566	1982			
東北電力（株）	女川原子力（1号）	524	1984			
九州電力（株）	川内原子力（1号）	890	1984			
東京電力（株）	柏崎刈羽原子力（1号）	1,100	1985			
関西電力（株）	高浜（3号）	870	1985			
関西電力（株）	高浜（4号）	870	1985			
九州電力（株）	川内（2号）	890	1985			
日本原子力発電（株）	敦賀（2号）	1,160	1987			
中部電力（株）	浜岡原子力（3号）	1,100	1987			
北海道電力（株）	泊（1号）	579	1989			
中国電力（株）	島根（2号）	820	1989			
東京電力（株）	柏崎刈羽（2号）	1,100	1990			
東京電力（株）	柏崎刈羽（5号）	1,100	1990			
北海道電力（株）	泊（2号）	579	1991			
関西電力（株）	大飯（3号）	1,180	1991			
東京電力（株）	柏崎刈羽（3号）	1,100	1993			
中部電力（株）	浜岡（4号）	1,137	1993			
北陸電力（株）	志賀原子力（1号）	540	1993			
関西電力（株）	大飯（4号）	1,180	1993			
東京電力（株）	柏崎刈羽（4号）	1,100	1994			
四国電力（株）	伊方（3号）	890	1994			
九州電力（株）	玄海（3号）	1,180	1994			
東北電力（株）	女川（2号）	825	1995			
東京電力（株）	柏崎刈羽（6号）	1,356	1996			
東京電力（株）	柏崎刈羽（7号）	1,356	1997			
九州電力（株）	玄海（4号）	1,180	1997			
東北電力（株）	女川（3号）	825	2002			
東北電力（株）	東通原子力（1号）	1,100	2005			
中部電力（株）	浜岡（5号）	1,380	2005			
北陸電力（株）	志賀（2号）	1,206	2006			
北海道電力（株）	泊（3号）	912	2009			
合計		68,268	－		－	

２. 福島原子力発電所事故からの教訓

・Risk Communication の重要性

/ 3Eの目標設定の中で地球的課題としての温暖化ガス削減の目標が突出したこと。その目標設定そのものがエビデンスベースの科学的根拠を明確に持たなかったこと。

/ 結果として、エネルギーの資源確保という観点からの自主開発エネルギーの確保というSecurityの目標が加わったものの、原子力依存の安全性への配慮が欠けてしまった。

/ 自然科学者、技術者、そして人文社会科学者間で原子力エネルギーの安全性への知見の共有化が不足。

/ 審議会形式での議論の集約化の限界と政策決定プロセスにおける国民合意の形成の再構築。

・研究者、行政、政治の活動・行動規範の確立と役割の自覚

・文理融合の科学、省庁連携の行政システム

・産官学連携による「科学技術イノベーションのための科学」の構築と人材の育成

１）　社会的期待の発見：現代社会が抱える科学が解決すべき課題の発見とその課題の解決に対する科学への社会的期待を科学者自身が発見し、それを科学技術イノベーションの課題とすることが求められている。この科学が解決すべき課題には現実社会においてすでに顕在化している課題のみならず、現代に科学技術の発展に伴う潜在的な課題の発見をも含む。それを科学者自身が発見し、その課題の解決にむけた科学技術の知見の蓄積が、科学者の研究者としての研究動機を高め、社会の科学研究への要請からの科学者の中立性を担保することとなる。

２）　科学技術の現状の水準と将来の可能性に関する情報の共有：科学者は、科学技術の知見が現代の様々の課題への対処の可能性と限界について、社会を啓蒙し、説明する責任を負っている。たとえば、電力の安定供給の期待への国民の要求に応える責任と多様な代替的エネルギーの利用の可能性とコスト、安定供給の機会費用の選択肢を国民に示して、合意形成を行うことが重要である。そうした議論の場の形成と情報の透明性、政策的選択肢の提示という科学技術イノベーション政策を科学的に進めることが不可欠である。

３）自然科学者と人文社会科学者の融合の場の形成：科学技術への社会的期待の発見と科学技術の現状と将来の可能性を国民に啓蒙するとこと合わせて、国民の政策選択に重要な要素は、そうした科学技術政策の実装がもたらす社会的、経済的影響の事前的な予測、ならびに政策が採用による事後的評価の手法の開発も不可欠である。自然科学者の科学技術水準の現状把握と将来の発展の潜在的可能性にかかわる知見の集積と人文社会学者の現実の社会の動学的構造の把握と政策ﾒﾆｭｰの実装による社会的影響評価に関する知見とを整合的に総合化する合意形成の場が作られなければならない。

４）科学技術イノベーション政策の科学性を高め、政策決定のプロセスの科学的進化をもたらすために、情報の体系的な構造化の手法の開発とその情報の質の高度化への科学的精査が不可欠である。

５）政策担当者、科学研究者、そして国民の政策選択の合意形成の場が、新しい民主主義のルールのもとで形成されること。

意義・目的

○　経済・社会の変化に適切に対応し、社会的問題を解決するための科学技術イノベーションへの期待の高まり。

経済・社会等の状況、社会における課題、その解決に必要な科学技術の現状と可能性等を多面的な視点から把握・分析。

客観的根拠（エビデンス）に基づき、合理的なプロセスによる政策の形成が必要。

○　科学技術とイノベーションの関係やそのプロセスに対する理解を深め、科学技術イノベーション政策の経済・社会への影響を可視化。
　その結果を、政策形成の実践の場で適用し、政策決定における透明性を確保することで、国民への説明責任を果たすことが必要。

○　客観的根拠とそれに基づく政策形成の成果を社会の共有資産として活用。それが、国民の政策形成への参加の基盤となる。

客観的根拠に基づく政策形成を目指して、「科学技術イノベーション政策のための科学」を構築する。

19

意義・目的（続）

東日本大震災を受けて

○　安全・安心な社会の実現、エネルギーの安定供給、再生可能エネルギーの普及等に向けた政策の見直しへの要求。

○　科学技術の限界を再認識し、これまでの政策を検証することが必要。

○　災害対応や復興・再生、社会経済の持続的成長・発展を進めるに当たり、我が国の直面する様々な問題の解決に向けた科学技術の貢献、期待される役割も極めて大きい。

○これまでの政策や取組を真摯な姿勢で客観的に振り返り、果たすべき役割を改めて見直し、科学技術がどのように貢献しうるかについてビジョンと戦略を示していくことが必要。

復興や将来の国家戦略・対応策の検討をすべき今こそ、客観的根拠に基づき政策形成を進めるため、「政策のための科学」を推進しなければならない。

３．日本国土・日本経済再生計画、総合エネルギー基本計画とその実施戦略の構築にむけて、科学者の総意の結集

基礎研究課題

1.エネルギー技術の発展と経済社会の構造変化を歴史的に（過去、現在、未来）できる構造俯瞰図の構築：

科学技術情報、特にエネルギー技術情報が経済社会の構造にどのように内蔵されているかに関して、構造俯瞰図を作成すること。過去、現在、将来にわたるエネルギー技術の発展の系譜の中で経済社会構造の中で、それぞれの時代の科学技術の知見がエネルギー技術にどのように反映され、それが経済社会に導入される姿を俯瞰することによって、エネルギー科学技術と経済社会構造との構造的結びつきを実証的に明らかにする基礎研究。

２．技術と経済社会構造の変化を生成したメカニズム解明のための実験計画のデザイン設計：

上記の歴史的な技術と経済社会構造の変移に関する基礎研究にもとづき、その変化の構造を生成したメカニズムを明らかにするための実験計画をデザインする基礎研究。

基礎研究課題（続き）

3. 実験計画のデザインにもとづくデータ・ベースの構築:

上記の実験計画にもとづくエネルギー技術情報の定量的把握と経済社会構造の変異を記述できるデータ・ベースの構築にむけた基礎研究。エネルギー技術の投入、産出のフロー構造、その導入に関わる投資構造、資本ストックの構造、さらにはそのエネルギー技術実現の材料技術、要素技術の特性と他の技術への波及の構造を明示的把握できるデータ・ベースが必要。

4. データにもとづくEvidenceの集積と技術・経済社会構造リンク・モデルの構築のための基礎研究:

新しい技術の経済社会への導入、市場構造のシステムの構造変化のメカニズムの解明し、それを促進した政策的なツール、規制、法的措置等の関連を明らかにすることを目的とする。

基礎研究課題（続き）

5.エネルギー技術と経済構造の変化を結びつけた自律的経済モデルの構築。:エネルギー転換・投入部門の要素技術／物質循環構造と経済循環構造の接合モデル

多部門／多地域間多部門／多国間多部門

6. エネルギー技術開発に向けたR&D投資による成果予測とそのロードマップ創りにむけた基礎研究。

7. 将来技術予測にもとづく経済構造の変化、経済成長の予測、エネルギー需給の予測、選択的政策変数によるシミュレーション実験と政策メニューの作成。

社会システムの構造変化の追跡

8. 政策選択のための合意形成モデルの作成。

4. 学術レベルの深化、学術コミュニティーの形成に資する<u>支援方策</u>

・ 基礎研究促進のための人文社会ならびに自然科学者、工学技術者の学術コミュニテー形成への支援。

・ それぞれの基礎研究の段階的発展のための基礎研究費の充実。

・ エネルギー政策担当省庁の再編によるInter-Agencyのエネルギー政策所管の公的シンクタンクの構築。そこが、自律的な実験計画にもとづくデータ・ベース構築もになう。

・ 国際的な情報発信ならびに交流の場の形成への支援。

５．学術の継続的発展と科学的根拠を有するエネルギー戦略の立案を担う<u>人材育成方策</u>

- 研究者の行動規範の徹底と科学者としての真摯な議論の場の形成。
- エネルギー関連の自然科学者、技術者、人文社会学者の経常的な交流の場の形成と若手研究者の養成。
- 「科学技術政策のための科学」の人材育成プログラムの中での国際的人材育成。
- Inter-Agencyの行政人材の育成とコミュニケーションの場の形成。
- Evidence-based Policyの構築による国民合意形成の場の構築。

「米国のOMBによる関係機関の連携による課題解決型の行政組織、エネルギー政策に関していえば、Inter-agency組織と連動したDOEによるエネルギー開発戦略の体系的な推進、その推進方策にもとづく大学、アカデミアへの支援とネットワーク構築の支援」といった国家的なエネルギー政策推進の組織体系の構築が急務である。行政、アカデミア、産業のすべての縦割り構造に徹底的な改革によるOpen Innovation 喚起の社会システムの構築が不可欠である。

　エネルギー政策分野のみに関わることではないが、震災、原発事故を機に、社会経済基盤インフラ構築の長期Vision構築とその実現戦略をたてて、国土建設をおこうよい機会であると考えている。