

技術開発の状況等について

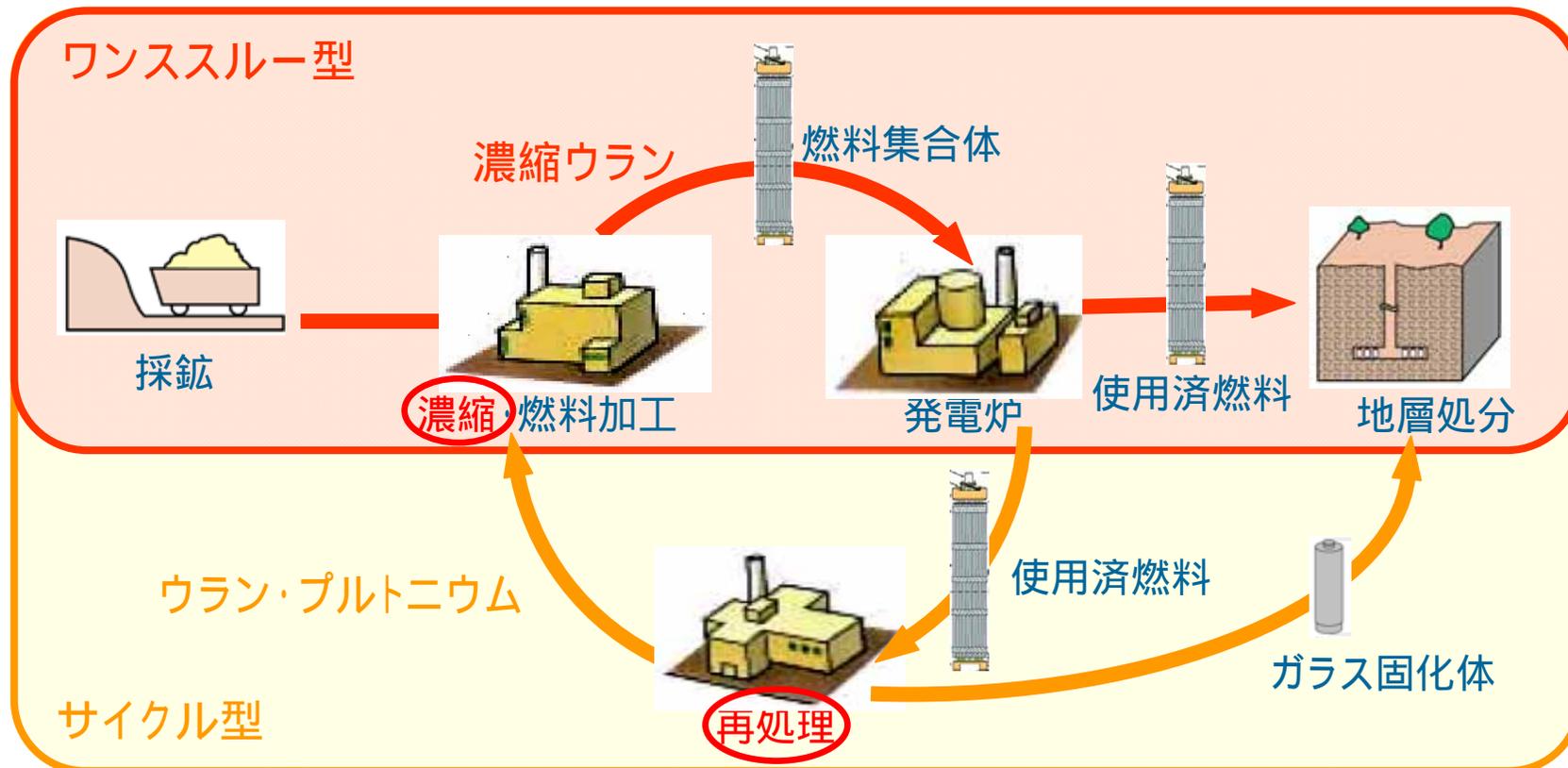
原子力委員会 国際専門部会 第4回

平成21年11月
内閣府 原子力政策担当室

1 . 技術開発の状況について (原子炉、濃縮、再処理)

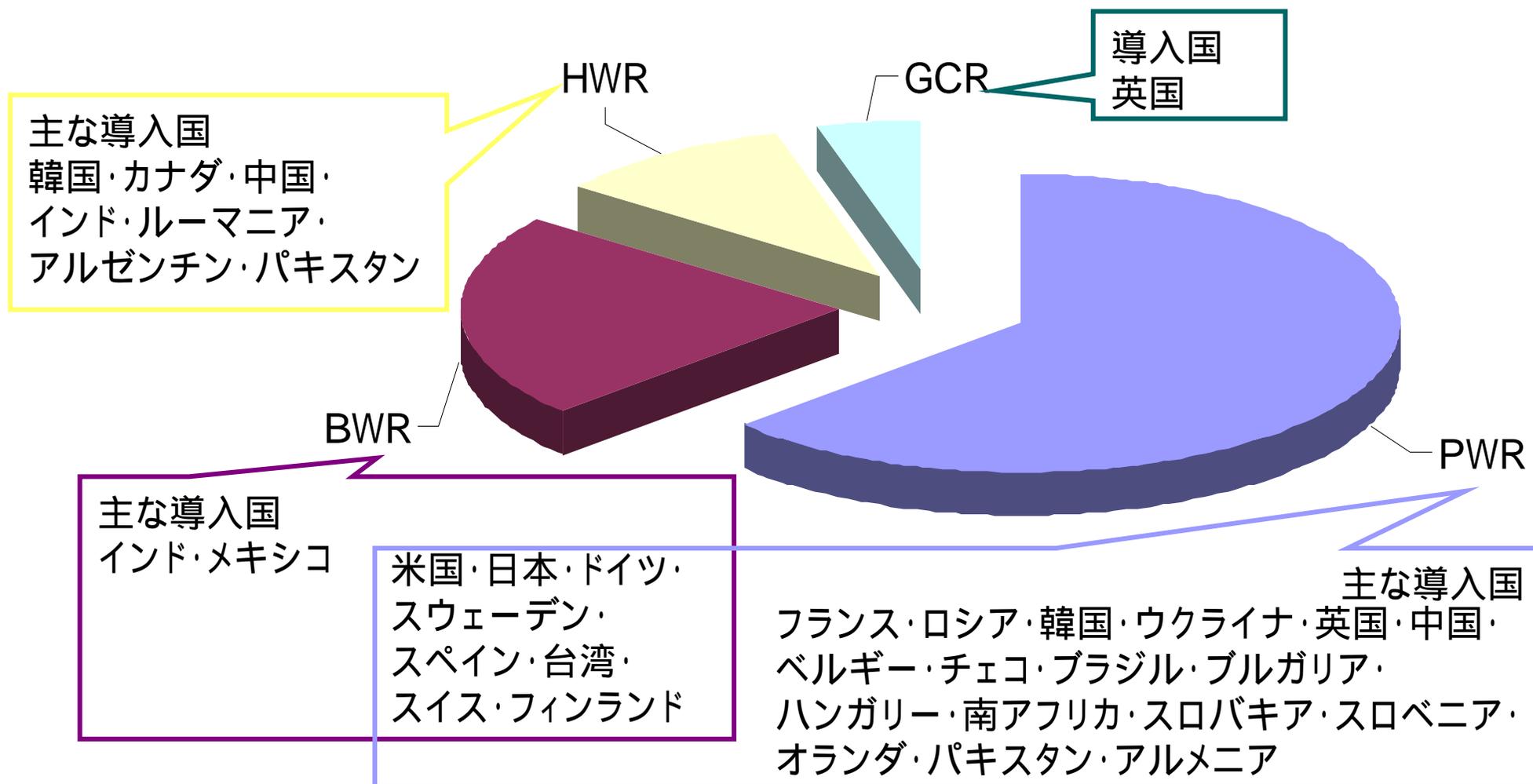
核燃料サイクルの仕組み

- ・原子力発電所だけではなく、核燃料サイクル(ウランの採掘、濃縮、燃料加工、放射性廃棄物の処理・処分)が必要。
- ・ウラン濃縮、再処理は、核兵器級のウランやプルトニウムの製造に転用可能な技術(機微技術)である。



1-1 世界の主な発電炉炉型のシェア

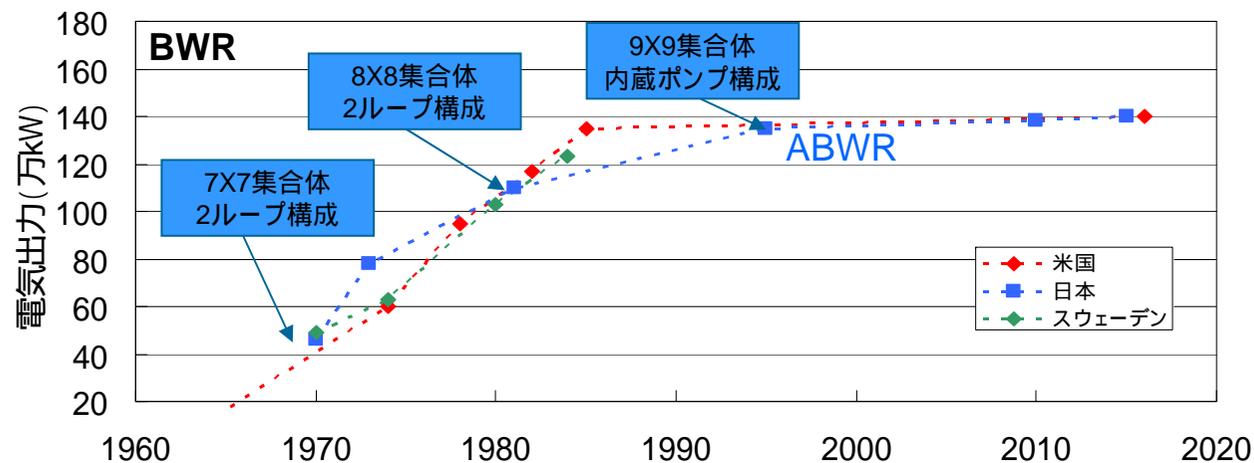
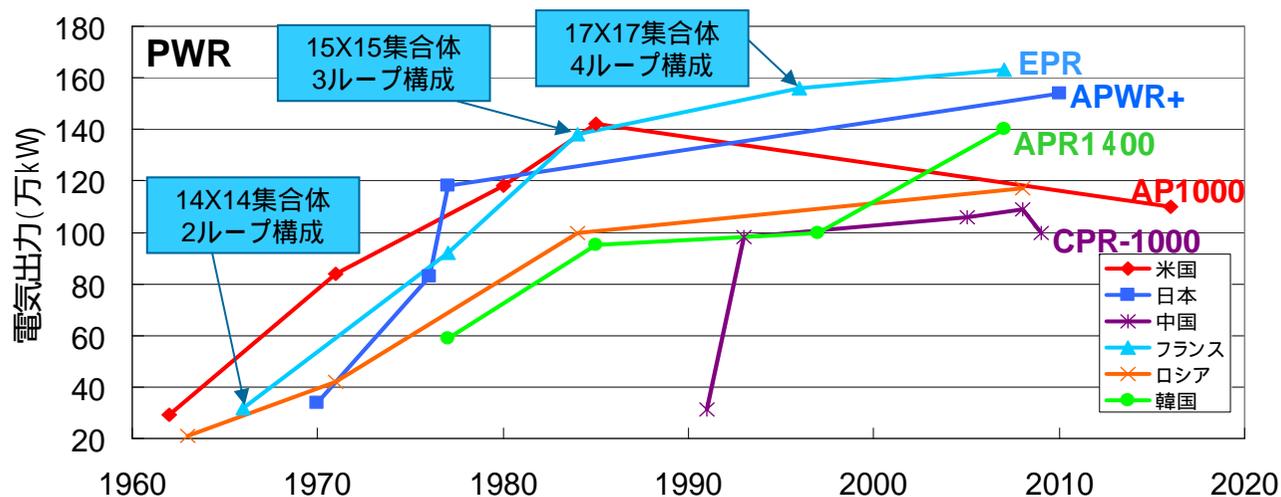
- ・発電炉は軽水炉 (PWR・BWR) が主流。
- ・ガス炉は英国のみで展開。



PWR : 加圧水型軽水炉 BWR : 沸騰水型軽水炉 HWR : 重水冷却炉 GCR : ガス冷却炉

1-2 発電用軽水炉開発の推移

- ・米、仏、露、日本、韓国、中国等で、軽水炉の改良・大型化が進められてきた。
- ・現在、建設・計画されている発電炉の多くは1GW級の大型炉。



建設中及び計画中のプラント

EPR(仏Framatome, 1500MW)
建設中:4基(フィンランド、仏国、中国)
計画中:9基(仏国、インド、英国)

APWR+(三菱, 1750MW)
建設中:0基、計画中:3基(日本)

AP1000(米WH - 東芝, 1090MW)
建設中:2基(中国)、計画中:16基(中国、米国)

US-APWR(三菱, 1700MW)
建設中0基、計画中2基(米国)

CPR-1000(中国, 1000MW)
建設中:13基(中国)、計画中:15基(中国)

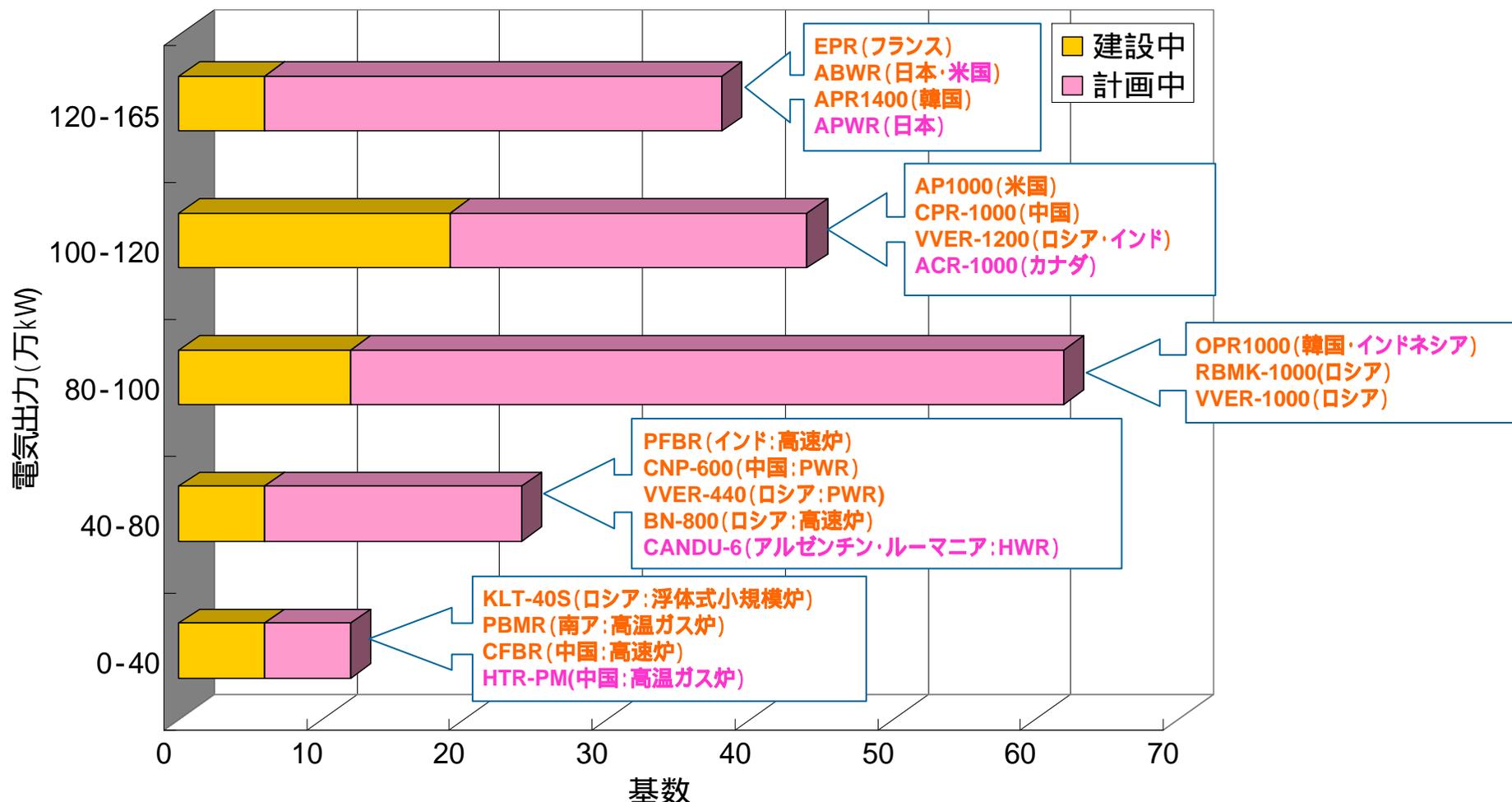
VVER-1000(露Atomenergoprojekt, 1500MW)
建設中:10基(インド、イラン、ロシア、スロバキア)
計画中:15基(中国、インド、ロシア)

OPR1000、APR1400(韓国)
建設中:6基(韓国)、計画中:8基(韓国、インドネシア)

ABWR(日立/東芝 - 米GE, 1500MW)
建設中:2基、計画中:10基(日本、米国)

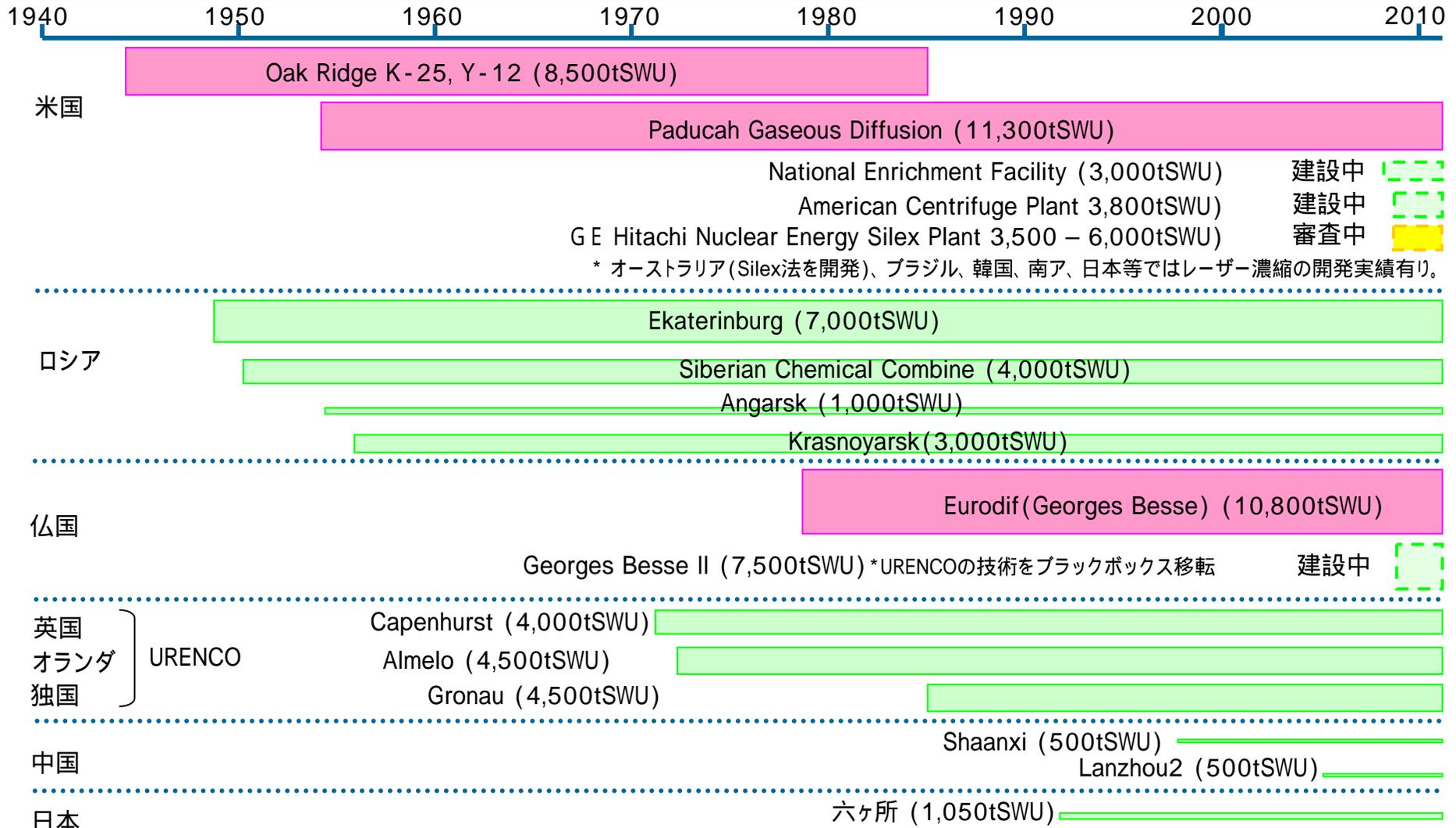
1-3 世界の小中規模発電炉の開発状況

- ・大型炉だけでなく、目的に応じた小中規模炉の需要も高い。
- ・小規模炉では、軽水炉以外の炉型も採用されている。



1-5 世界の主な濃縮施設

- ・初期のガス拡散法に代わり、経済性に優れる遠心分離法が主流となってきている。
- ・レーザーを使った濃縮技術の開発も進められおり、現在米国で商用施設建設について審査中。



* オーストラリア(Silex法を開発)、ブラジル、韓国、南ア、日本等ではレーザー濃縮の開発実績有り。

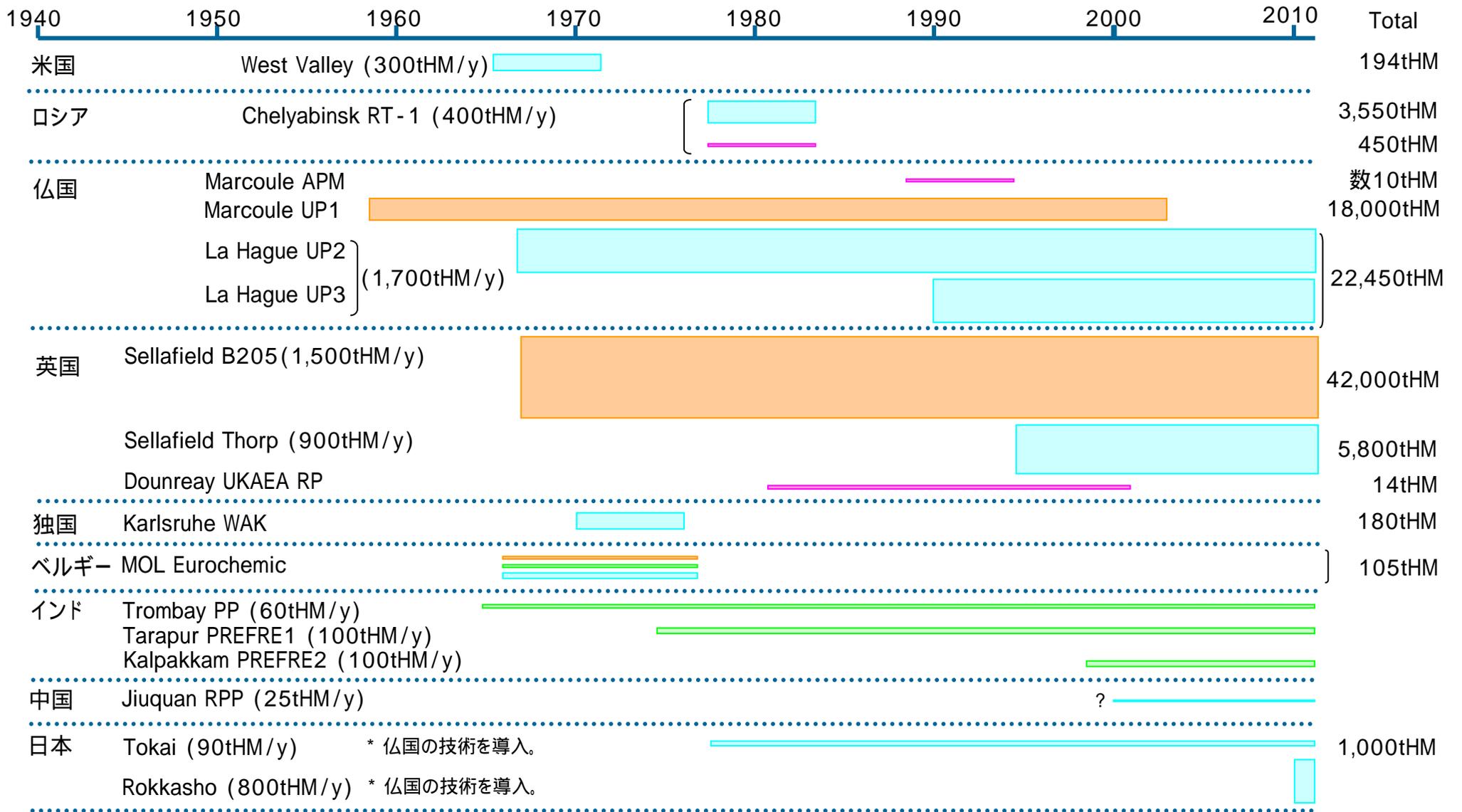
* 2010年度より既存の遠心分離機を新型機にリプレースし、10年程度で1500tSWUへの設備増強予定。

* 500tSWU以上の商用施設。過去に、ブラジル、南アフリカでも数100tSWU規模の商用施設もしくはパイロットプラントの稼働実績あり。

■ ガス拡散法濃縮施設 □ 遠心分離法濃縮施設 ■ レーザー濃縮施設

1-6 世界の主な民生再処理施設

各国でPUREX法による再処理工場が稼働し、様々な型の原子炉の燃料を再処理してきている。



■ ガス炉 ■ 軽水炉 ■ 重水炉 ■ 高速炉

1-7 世界の主な再処理研究開発

再処理技術		米	露	仏	英	中	印	韓	日
湿式再処理	従来法 (PUREX)		(L)	(L)	(L)		(D)		*1 (L)
	ウラン、プルトニウム共回収		(L)	(L,F)					(L,F)
	MA(マイナーアクチニド)分離	(L)		(L,F)	(L,F)	(L)			(F)
	トリウム燃料再処理 ₂						(T)		
乾式再処理		(F)	(F)	(F)				(F)	(F)

:商用規模プラントの運転, :パイロットプラントの運転, :実験室規模の試験, 概念検討、基礎研究

L:軽水炉, D:重水炉, F:高速炉, T:トリウム

*1 日本の再処理工場では、最終製品としてウラン・プルトニウム混合粉末(MOX)を回収しており、純粋なプルトニウムは回収していない。

*2 トリウムはそれ自体は核燃料として使えない。原子炉に装荷し、照射することで核燃料として使用できるウラン-233が生じる。将来的にトリウム資源を有効に利用できる技術として期待されている。

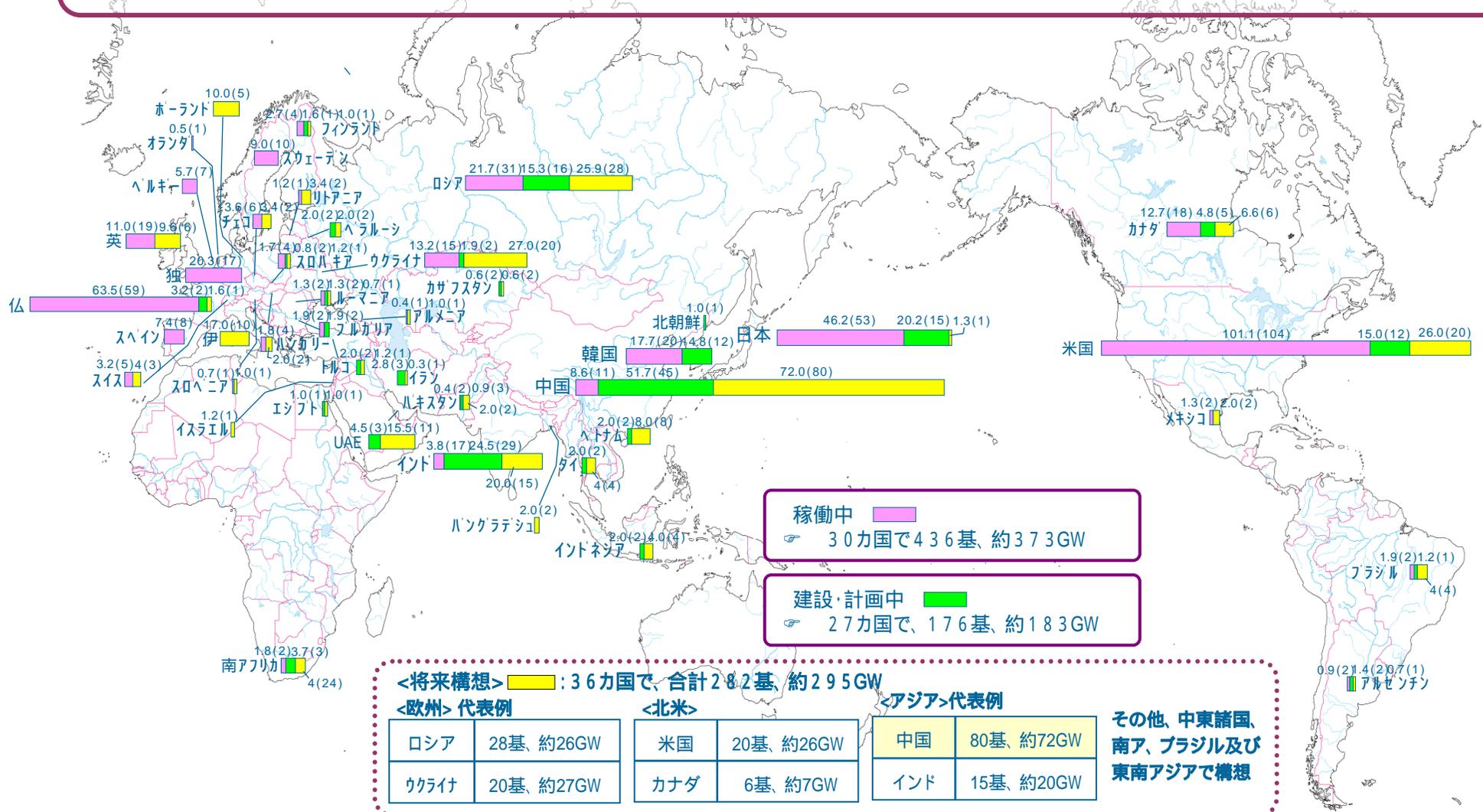
*3 基礎研究段階ではあるが、フッ化物揮発法、超臨界抽出法をロシア、日本で、イオン交換法、沈殿法を日本で開発している。

出典IAEA-TECDOC-1587 “Spent Fuel Reprocessing Options”, “核燃料サイクル分野の今後の展望について” (高速増殖炉サイクル実証プロセス研究会) 等をもとに事務局作成

2. アジア諸国の原子力計画等について

世界における原子力発電の拡大の動向

- ・1990年代以降、米欧では新設がなかったが、ここ数年、新設再開の動き。
- ・日米露中印等で大幅な増設が計画・構想されている。



数値は設備容量(カッコ内は基数)を示す。
 出典:世界原子力協会(WNA)2009年7月データより作成

2 - 1 各国の国情並びに原子力事情

アジアの国々では、地球温暖化対策と将来的なエネルギー安定供給の観点から、原子力発電の導入・拡大が計画されている。

アジア諸国等の経済状況・電力利用状況および原子力発電計画

	人口 ¹ (百万人)	GDP ² (USドル)	1人当りのGDP ² (USドル)	1人当りの消費電力量 ³ (kWh)	一人当たりの年間CO ₂ 排出量 ³ (トン)	エネルギー-自給率(%) ⁴ (原子力含む)	総発電電力量 ⁵ (kWh)	電源構成 ⁵ (%)	原子力発電計画
インドネシア	230	5,118億	2,239	530	2	171.8	13,311億	石油29、石炭44、ガス15 水力7、その他5	2019年までに原子力発電所の商業運転を開始する予定。
マレーシア	27	2,216億	8,118	3,388	9	143.3	9,156億	石油3、石炭25、ガス64 水力8	現時点では導入の計画はないが、2020年以降の導入を検討している。
フィリピン	92	1,670億	1,845	572	1	57.5	5,673億	石油8、石炭27、ガス29 水力18、その他18	バターン原子力発電所の運転開始可能性について調査を実施。
シンガポール	4.7	1,819億	39,972	8,520	13	0.0	3,944億	石油22、ガス78	現時点では導入の計画なし。
タイ	68	2,733億	4,116	1,984	4	54.4	13,874億	石油6、石炭18、ガス68 水力6、その他2	2021年までに4基を導入する計画。
ベトナム	88	898億	1,042	598	1	137.6	5,649億	石油4、石炭17、ガス37 水力42	2020年前後に原子力発電を導入することを計画。
カザフスタン	16	1,322億	8,719	4,293	12	213.2	716億	石油7、石炭70、ガス12 水力11	2015年までに原子力発電所を建設することを検討。
中国	1,345	43,275億	3,259	2,041	4	93.1	28,642億	石油2、石炭80、ガス1 水力15、原子力2	建設中17基、計画中34基
インド	1,198	12,067億	1,017	503	1	77.0	7,441億	石油4、石炭68、ガス8 水力15、原子力3	建設中6基、計画中24基
韓国	48	9,291億	19,136	8,063	9	20.2	4,040億	石油6、石炭38、ガス18 水力1、原子力37	建設中6基、計画中6基
パキスタン	181	1,646億	1,022	480	1	77.4	9,835億	石油29、石炭1、ガス36 水力32、原子力2	建設中1基、計画中2基
北朝鮮	24	262億	1,800	817	3	102.7	224億	石油3、石炭41、水力56	
米国	315	144,414億	47,439	13,582	20	71.3	42,996億	石油2、石炭49、ガス20 水力7、原子力19、他3	建設中1基、計画中34基
日本	127	49,107億	38,457	8,220	10	19.2	11,003億	石油11、石炭27、ガス23 水力9、原子力28、他2	建設中3基、計画中12基

出典) 1: United Nations, World Population Prospects The 2008 Revision, 2: International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, 2008, 3: The World Bank, World Development Indicators online (2005年データ)
4: OECD/IEAホームページ, Energy Balance Data, 2006, 5: OECD/IEAホームページ, Electricity/Heat Data 2006

2-2 新規導入国等の原子力人材育成に関する取組

・新規導入国等に対し人材育成に関する事業に実施している。

事業名 / 概要	対象国	実績	所管省庁・実施機関
国際原子力安全交流対策（技術者交流・講師育成） アジア諸国の技術者・研究者を対象として、原子力に関する技術・知識を育成を実施。	バングラディッシュ、インドネシア、ベトナム、マレーシア、フィリピン、スリランカ、中国、タイ、オーストラリア*、韓国*、カザフスタン、ウズベキスタン、ミャンマー、モンゴル、シンガポール （*自費参加）	実施期間：1985年から実施 累計人数：受入 - 計1705名 派遣 - 計 857名 2008年度末時点 関係予算：215,688千円（2009年度）	文部科学省 (財)原子力安全研究協会 (独)日本原子力研究開発機構
原子炉導入可能性調査支援 原子力発電を導入する可能性のある国を対象として、日本が培ってきた経験をもとに、原子力発電導入のために必要な核不拡散体制の整備、原子力安全規制体系の導入、原子力損害賠償制度の整備、人材育成等が適切に行われるよう支援を実施。	ベトナム、インドネシア、カザフスタン	実施期間：2006年から実施 累計人数：受入 - 計92名 派遣 - 計69名 2008年度末時点 関係予算：73,221千円（2008年度）	経済産業省 (独)日本貿易振興機構 日本原子力発電株式会社
原子力発電所運転管理等国際研修事業（千人研修） チェルノブイリ原子力発電所事故を受けて、旧ソ連、東欧諸国、中国の原子力関係者を対象として、原子力発電所の運転管理に関する研修を実施。	旧ソ連、東欧諸国、中国	実施期間：1992～2001年度 累計人数：1042名 2001年度時点 関係予算：300,000千円（2001年度）	経済産業省 (社)海外電力調査会
原子力発電所安全管理等国際研修事業 「千人研修」の成果を踏まえ、アジア、ロシア、東欧諸国の原子力関係者を対象として受入れ研修するとともに、専門家を派遣しセミナーを開催。	ロシア、東欧諸国、中国、ベトナム	実施期間：2002～2006年度 累計人数：235名 関係予算：235,988千円（2006年度）	経済産業省 (社)海外電力調査会
原子力発電所安全管理等人材育成 中国及びベトナムの原子力発電運転管理に携わる関係者を対象として、人材の育成を実施。	中国、ベトナム	実施期間：2006年から実施 累計人数：147名 関係予算：142,642千円（2009年度）	経済産業省 (社)海外電力調査会
原子力発電基盤整備計画 開発途上国から研修員を受入れ、原子力システムの概要や規制等に係る専門知識や技術の移転を実施。	タイ、インドネシア、フィリピン、チリ、カザフスタン	実施期間：2007年から実施 累計人数：21名 関係予算：10,053千円（2009年度）	外務省 (独)国際協力機構（交付金） (社)海外電力調査会 日本原子力発電株式会社

出典)原子力人材育成関係者協議会報告書「原子力人材育成に向けた取組」(原産協会)をもとに事務局作成

2-4 人材育成事業参加者のその後について

- ・我が国が実施している人材育成事業への参加者が、原子力関係機関の幹部を務めている国もある。

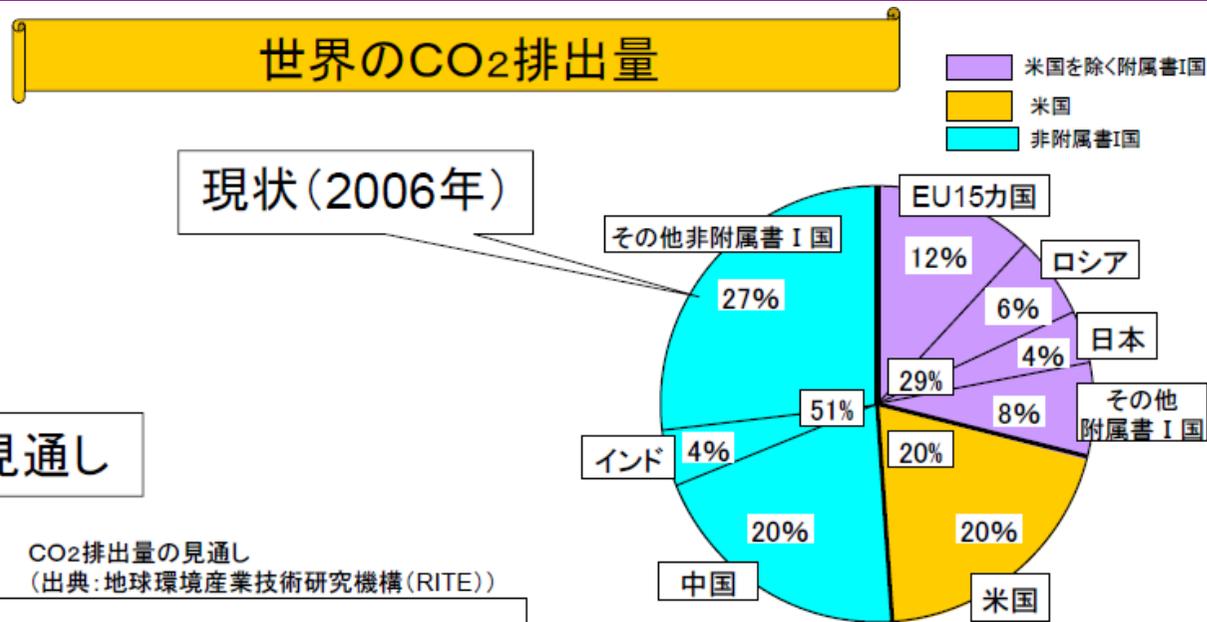
国	参加年度	受入れ先	平成21年4月調査時点の役職
a	H11	原研	原子力委員会 委員
b	H6	原研	核工程研究設計院 副理事長
c	H9	原研	原子力庁 次官
d	S62	原研	原子力庁 統括部長
e	S61	原研	原子力研究所 所長
f	H9	原研	大学 技術センター 所長
g	H5	原研	原子力技術研究所 放射性廃棄物管理センター 所長
h	H6	原研	原子力委員会 委員長
h	H8 H12	JNC 原研	原子力放射線・原子力安全規制局 副局長
h	H10	JNC	原子力委員会 原子力技術センター 理事長

出典：原子力人材育成関係者協議会報告書（H21.4）、社団法人日本原子力産業協会より一部抜粋
（提供：文部科学省）

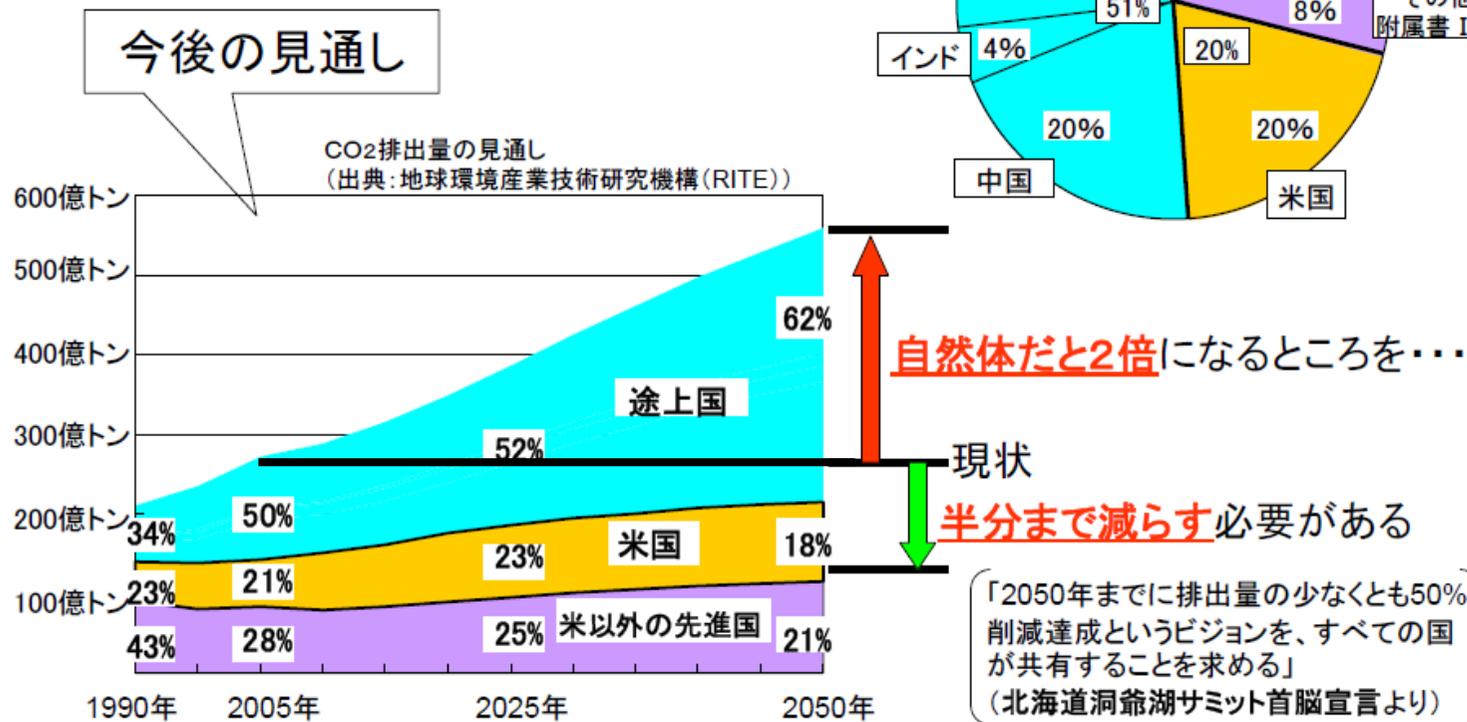
3 . 温暖化対策としての原子力について

二酸化炭素排出量の現状と予測(2)

- ・中国、インドを含む途上国による二酸化炭素排出量が大きな割合を占めている。
- ・途上国の二酸化炭素排出量は今後も増加する見通し。

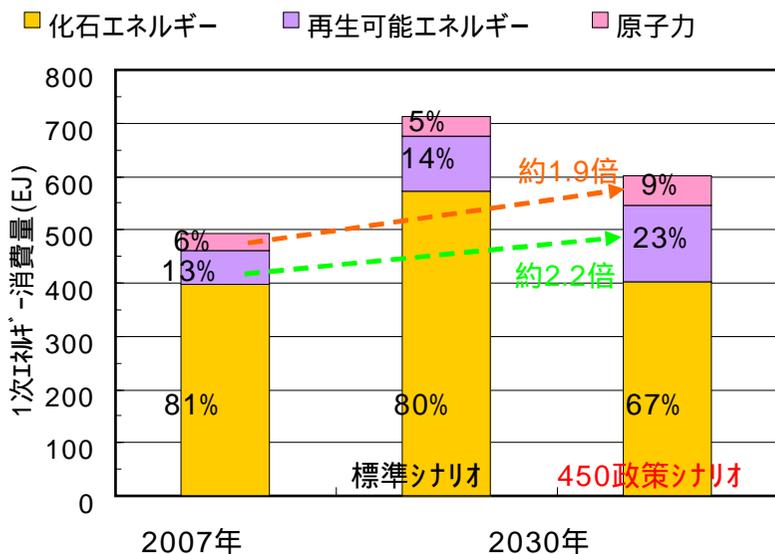


国連気候変動枠組条約
 附属書 国(41):削減義務を負う
 OECD+EC(24)、中東欧の市場経済
 移行国(14)、トルコ、モナコ、リテンシュタイン
 非附属書 国(151):削減義務なし
 京都議定書:187カ国
 附属書 国の数値約束(米・トルコは未締約)

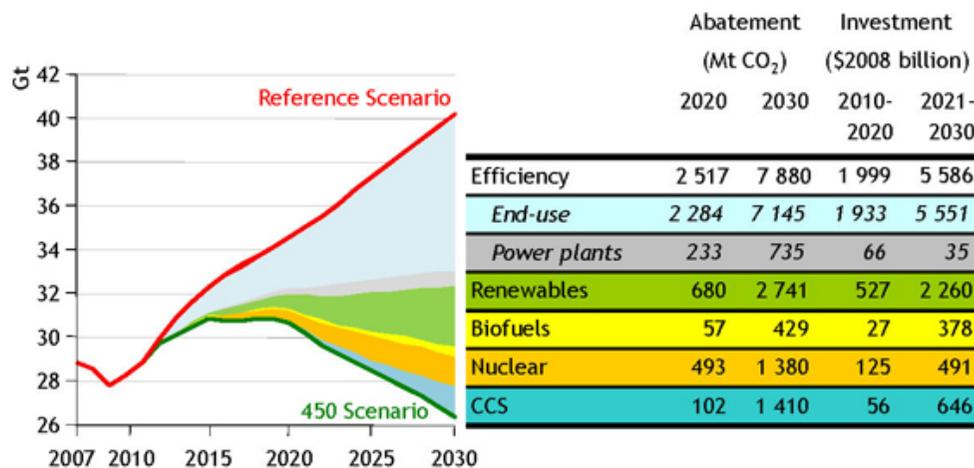


出典:地球温暖化問題に関する
 懇談会(第9回)参考資料

・2050年までに世界の二酸化炭素の排出量を半減するには、省エネ・効率化と並び、再生可能エネルギーや原子力の利用を2030年までに倍増するペースで推進し、従来型の化石エネルギー利用の比率を減らす必要がある。



世界の一次エネルギー消費試算



世界のCO₂排出量試算

標準シナリオ: 各国の現行政策、対策の継続を想定

550政策シナリオ: 温室効果ガスを550ppmで安定化し、気温上昇を3 程度に抑える

450政策シナリオ: 温室効果ガスを450ppmで安定化し、気温上昇を2 程度に抑える(2050年までに排出量半減)

3-1 国連気候変動枠組条約 - 京都メカニズム

・京都議定書で定められた温室効果ガス排出削減目標達成のための仕組みとして「京都メカニズム」が導入されたが、原子力による排出削減は含まれていない。

< 国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) > 1994年3月発効。締約国会議: COP。

- 大気中の温室効果ガス濃度の安定化を目的として、先進国が温室効果ガスの排出量を1990年レベルまで戻すこと等を定めた。

< 京都議定書 > 1997年12月COP3@京都で採択。2005年2月発効。締約国会議: CMP

- 先進国*の2008-12年の温室効果ガス排出量に対し、法的拘束力のある数値目標を国毎に設定。

* 附属書 国: OECD加盟国及び当時のEU加盟国(24)、中東欧の市場経済移行国(14)、トルコ、モナコ、リヒテンシュタイン。

(米国は未批准。非附属書 国である中国、ブラジルをはじめとする途上国、計152カ国には温室効果ガス排出量の削減義務がない。)

- 国際協調による目標達成のための仕組みとして市場原理を活用する「京都メカニズム」を導入。

クリーン開発メカニズム(CDM): 先進国が途上国で温室効果ガス削減事業に投資し、削減分を自国の目標達成に利用できる制度。

共同実施(JI): 先進国が他の先進国の温室効果ガス削減事業に投資し、削減分を自国の目標達成に利用できる制度。

排出量取引(ET): 先進国間で排出枠を取引できる制度。

< マラケシュ合意 > 2001年7月COP7で採択。

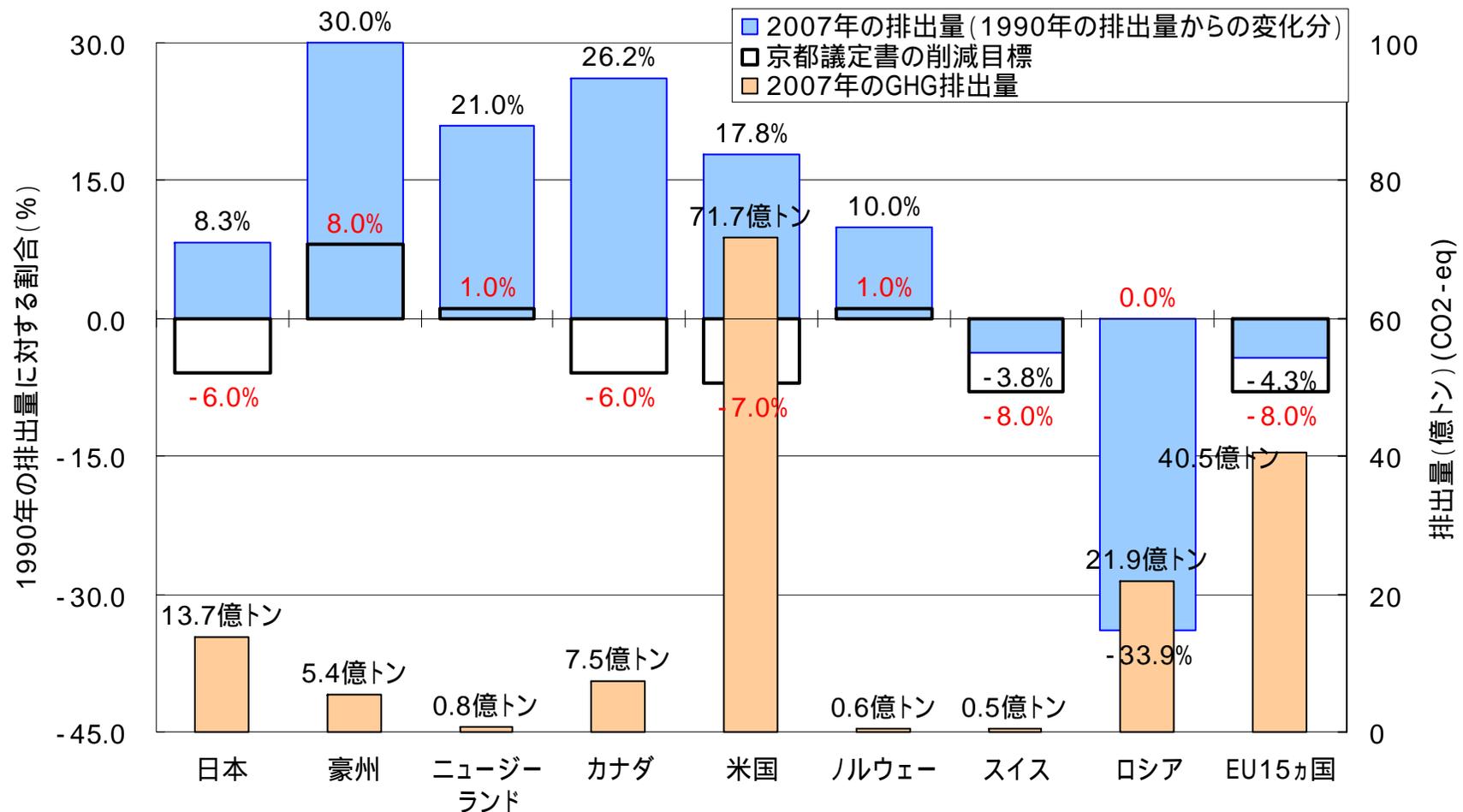
- 京都議定書の運用細則: 京都メカニズムの内容、削減目標量の割当量計算方法等。

- 原子力について: 附属書 国が共同実施(JI)やクリーン開発メカニズム(CDM)の原子力事業で得た排出削減量を数値目標の達成に使うことは「差し控える」。

3-2 京都議定書の排出削減目標の達成状況

- ・2008-2012年(第1約束期間)の削減目標は、1990年比±数%程度。
- ・ロシア以外は、追加の対策が実施されない限り達成が困難となる見込み。

主要国の温室効果ガス排出量実績と削減目標

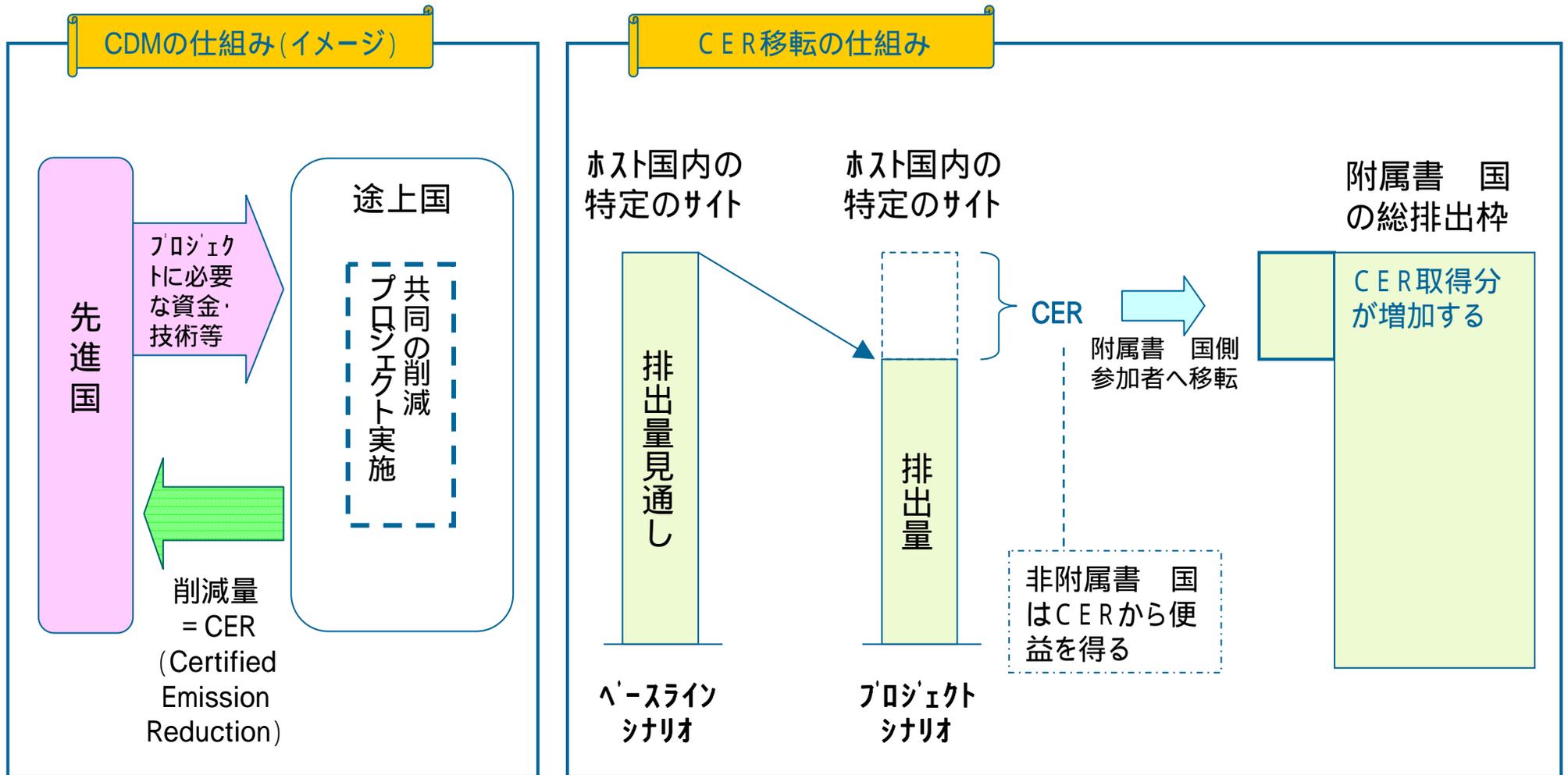


出典) National greenhouse gas inventory data for the period 1990-2007 and status of reporting, UNFCCC

(土地利用、植林等の変化を除く。)

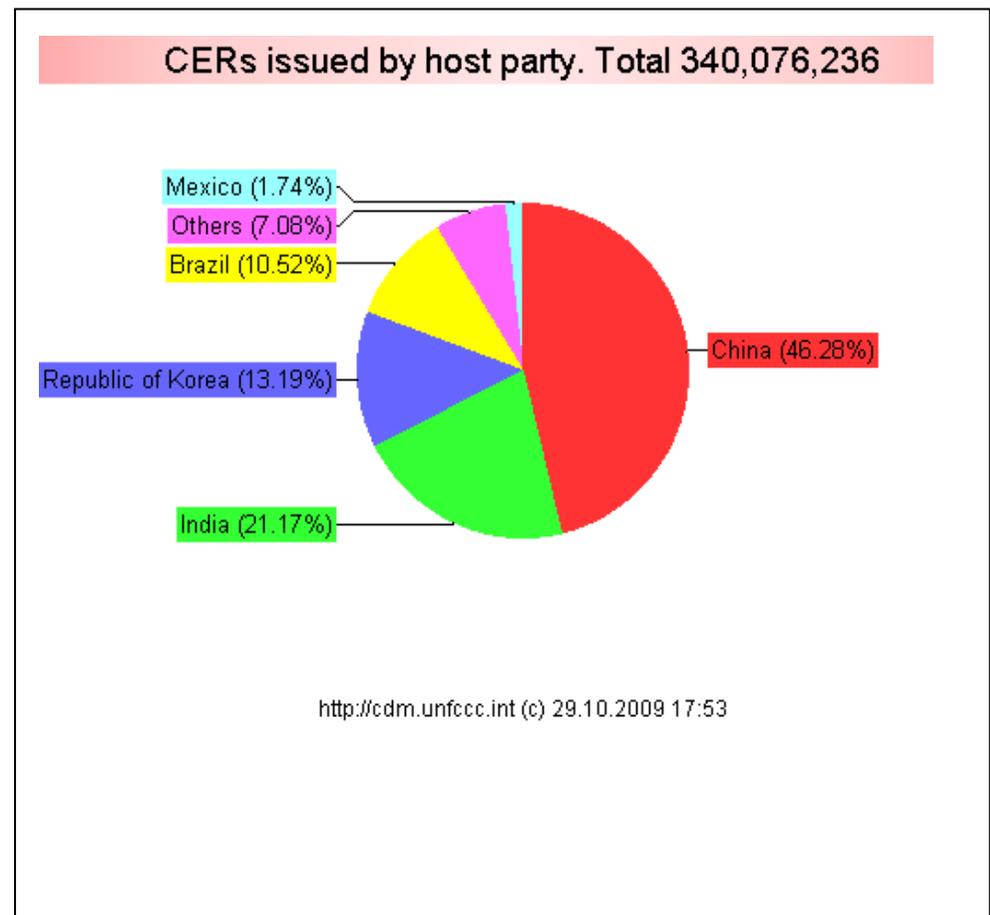
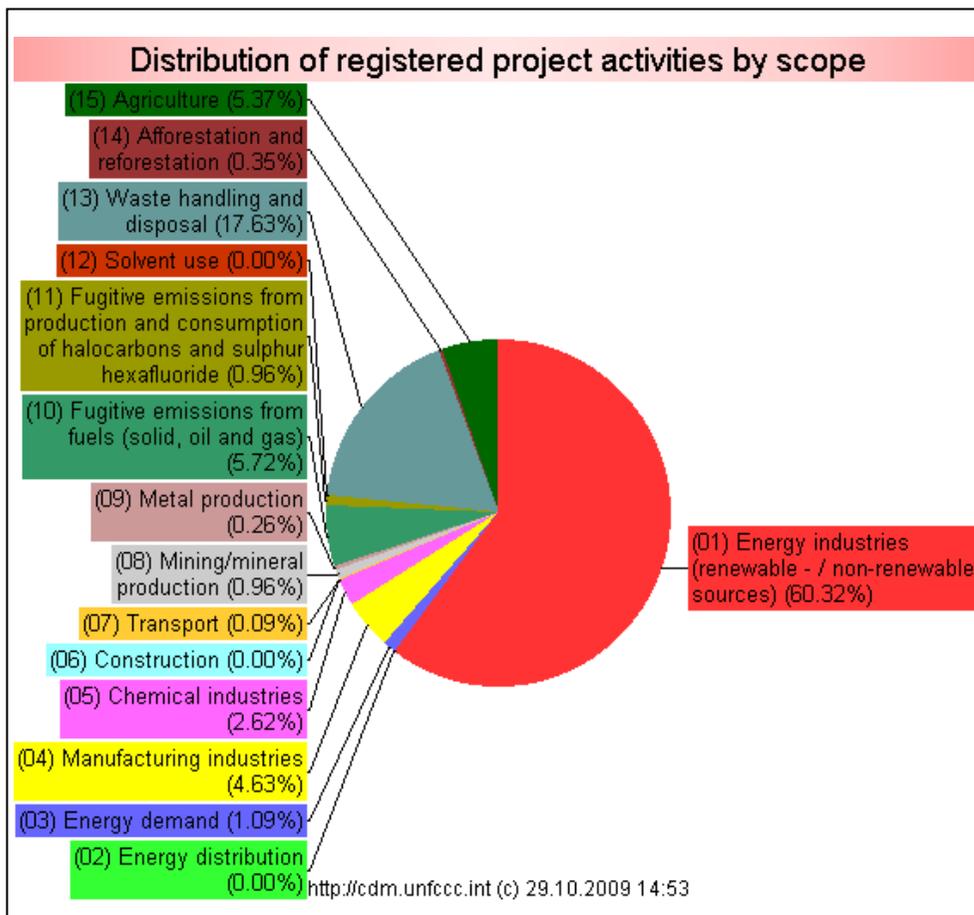
3-3 クリーン開発メカニズム (CDM) の概要

- ・ CDM: 先進国 (附属書 国) と途上国 (非附属書 国) が共同で実施したプロジェクトの温室効果ガス排出削減量 (CER) を、先進国が目標達成に利用できる制度。
- ・ CERの移転により、附属書 国の総排出枠の量は増大する。



3-4 CDMによる温室効果ガス削減量

- ・2008年までのCDMによる累積温室効果ガス排出削減量は約3億4千万トンであり、世界の総排出量約273億トン(2006年)の1%程度に相当。
- ・分野別ではエネルギー産業や廃棄物処理の事業が、国別では中国、インド等が大きな割合を占める。



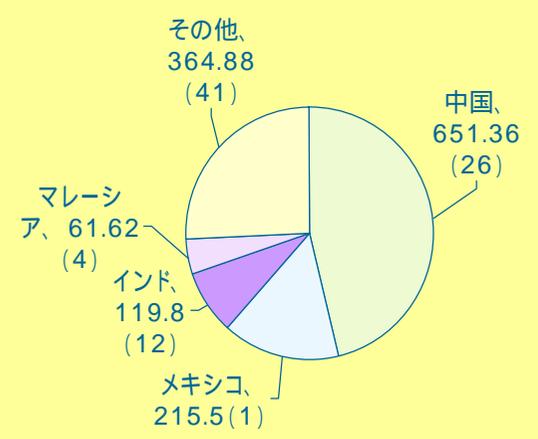
3-5 日本政府承認済CDM案件

・我が国は数千万トン/年のCDM案件を承認(国内排出量の数%に相当)。

2006年度

件数 84 件数
 総排出削減量 1413.16万トン/年
 1件あたり削減量 16.8万トン/件

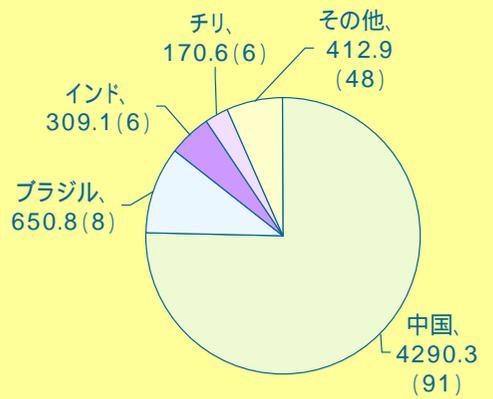
【排出削減量(tCO₂/年)、件数】



2007年度

件数 177 件数
 総排出削減量 6222.67万トン/年
 1件あたり削減量 35.2万トン/件

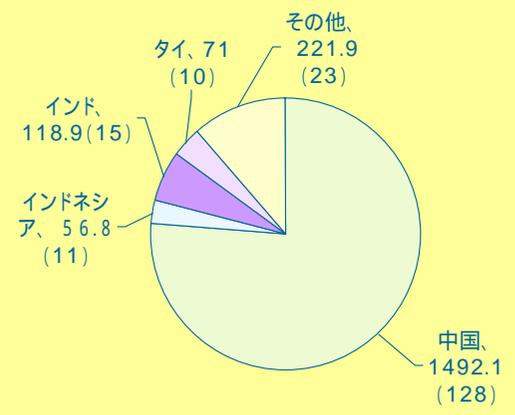
【排出削減量(tCO₂/年)、件数】



2008年度

件数 187 件数
 総排出削減量 1960.7万トン/年
 1件あたり削減量 10.5万トン/件

【排出削減量(tCO₂/年)、件数】



3-6 原子力発電によるCDMの効果の試算

・100万kW級の原子力発電所の建設によって数百万トン/年程度の排出削減が可能。

(1) 原子力発電所プロジェクトの試算の前提

100万kWの原子力発電所(稼働率80%)の建設を想定。

プロジェクトを実施する宿主国の電力会社の排出係数は600 tCO₂e/GWhと仮定。*1

原子力発電所の排出係数は15 tCO₂e/GWhと仮定。*2

クレジットの値段は1,000円/tCO₂eと仮定。

*1 ASEAN諸国のデータを参考に仮定。

*2 World Energy Council “ Comparison of Energy System Using Life Cycle Assessment ” のデータを参考に仮定。

(2) クレジットの算出

プロジェクトの年間出力 = $365 \times 24 \times 0.80 \times 1,000,000,000 = 7,008 \text{ GWh}$

年間削減量 = $7,008 \times (600 - 15) = 4,099,680 \text{ tCO}_2\text{e}$ (約400万トン)

年間のクレジット発生量 = $4,099,680 \times 1,000 = \text{約40億円}$

(3) 原子力発電をCDMの対象とすることによる効果

原発1基分の削減量(400万トン)は、2007年の日本政府承認CDM削減量の約7%に相当。

CDMの適用により、宿主国における原子力発電プロジェクトの収益性が大幅に改善され得る。

地球温暖化対策のプロジェクトベースの枠組に原子力発電を組み込むことは有効。

3-7 UNFCCCの会合におけるCDMの検討状況

・我が国は、2013年以降のポスト京都議定書の枠組検討において、原子力をはじめとするすべての低炭素技術を含めることを主張。

「京都議定書の下での附属書 国の更なる約束に関するアドホック・ワーキング・グループ(AWG-KP)」

第1回京都議定書締約国会議(CMP1、2005年モントリオール)で設置。

本年12月コペンハーゲンで開催予定のCMP5に報告するべく、下記の議論を実施中。

- 2013年以降における京都議定書附属書 国の温室効果ガス排出削減義務量
- その他課題; プロジェクトベースメカニズム(CDM、JI)と排出量取引の改善、等

プロジェクトベースメカニズムについて、我が国は原子力をはじめとするすべての低炭素技術を含めることを主張している。

「国連気候変動枠組条約の下での長期的協力行動に関するアドホック・ワーキング・グループ(AWG-LCA)」

COP13(2007年バリ島)で設置。

現在から2013年以降までを含む長期的な協力行動により、条約の全面的、効果的、かつ持続的な実施を図る総合プロセスの立ち上げを図るもの。

本年12月までに結論を出し、コペンハーゲンで開催のCOP15に報告する予定。

3-8 原子力発電のCO₂排出低減への寄与

100万kWの発電所を1年間運転した場合(稼働率80%)、

CO ₂ 発生量	日本の総発生量(1,275百万t、2006年)に対する割合	
原子力	15.1万t ₃	0.01%
LNG複合	303.8万t ₃	0.24%
石炭	651.7万t ₃	0.51%

「各電源のCO₂排出特性」図の中間値を用い試算

2006年の、世界の原子力発電量2658TWh(435基・約370GW、総発電量の約16%)

出典:世界原子力協会(WNA)

これを化石電源に置換えた場合のCO₂排出量増加は、

LNG複合サイクル火力発電比で11億t₃ (2005年世界総排出量の約4%)

石炭火力発電比で24億t₃ (同、約9%)

「各電源のCO₂排出特性」図の中間値を用い試算

今後世界の発電量が増加する中で、原子力発電比率の確保による、排出抑制が必要

現在、世界各国が今後10 - 20年で建設を計画・構想中の原子力発電は合計約330GW

これが実現され、合計700GWとなれば、化石電源を使う場合に比較した排出量抑制効果は、

LNG複合サイクル火力発電比で20億t₃ (2005年世界総排出量の約7%)

石炭火力発電比で45億t₃ (同、約16%)

「各電源のCO₂排出特性」図の中間値を用い、稼働率80%と仮定して試算

3-9 世界の二酸化炭素排出量削減の取組み(1)

・世界各国で、雇用・産業・経済対策と一体的に、二酸化炭素排出削減に向けた取組みが行われている。

世界のグリーン・ニューディール政策(温暖化対策を経済成長の原動力に)

かつての大恐慌期の「ニューディール政策(米・ルーズベルト大統領)」の手法にならい、一般の金融危機に対する経済対策として、環境・エネルギー関連の公共投資を大々的に行うことにより、雇用・産業・経済対策とするのみならず、温暖化・エネルギー対策の解決も一体的に目指す政策パッケージ

○アメリカ



- ・オバマ新大統領は、「グリーン・ジョブ」と題し、再生可能エネルギー等に1,500億ドルを投資し、500万人の雇用を創出することを提示。
- ・再生可能エネルギーの投資額当たりの雇用創出は化石燃料の3-5倍と試算

○イギリス



- ・2020年までに、1,000億ドルの投資により、風力発電7,000機を建設し、16万人の雇用創出を計画。

○ドイツ



- ・現在、再生可能エネルギー分野での雇用は25万人(2004年比で55%増)。2020年には自動車産業を上回ると予測。

○フランス



- ・環境分野の雇用創出計画を法律に位置付け、今後50万人の雇用を創出。

○中国



- ・景気対策として、今後2年間で5,860億ドルの資金を環境、エネルギー等の分野に投入。

○韓国

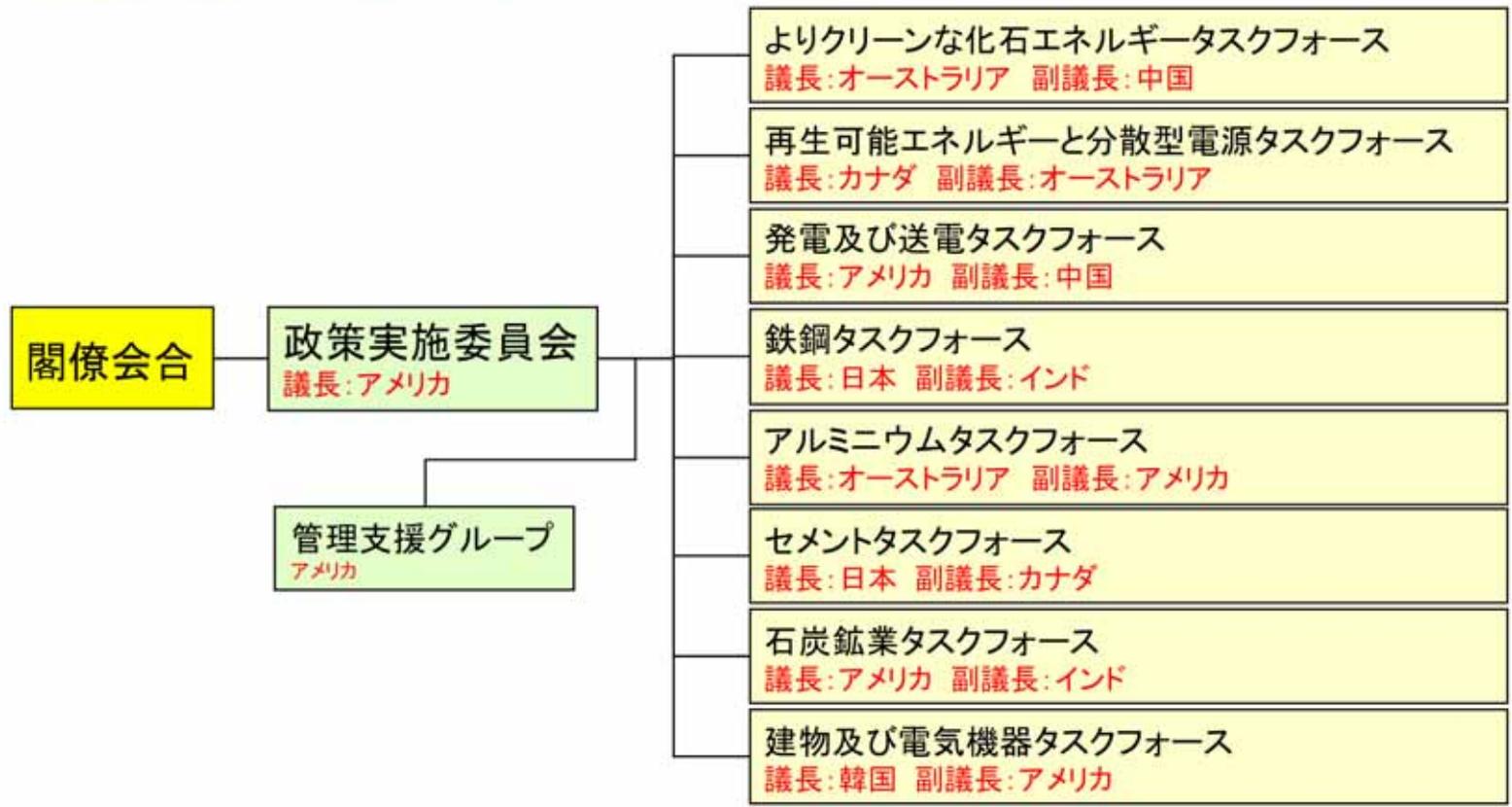


- ・環境分野の技術開発や再生可能エネルギーへの大規模投資を行い、経済危機の打開を目指す。

3-10 世界の二酸化炭素排出量削減の取組み(2)

・アジア太平洋地域の主要国が参加して、クリーンで効率的な技術の開発、普及、移転を行うことによってGHG排出削減等を効果的に実施するため、官民による8つの部門別タスクフォースを通じた様々な協力を推進。

クリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ(APP)



・原子力に適用できる国際的な支援の枠組みはほとんどない。

< 輸出信用機関 >

- 米国輸出入銀行をはじめ、原子力輸出国の信用機関で融資の対象とされている。

< 国際金融機関 >

- 世界銀行：1959年に伊の原子力発電所(150MWe)に\$4Mを融資した実績のみ。
- アジア開発銀行(ADB)：原子力への融資実績なし。
- 欧州原子力共同体(EURATOM)、欧州投資銀行(EIB)：20年ぶりに原子力施設新設融資再開の見込(対象国；ブルガリア、リトアニア)。
- 欧州復興開発銀行(EBRD)：東欧諸国原発のうち安全性に問題があるものに対処するための原子力安全基金の実績あり。

< 政府開発援助(ODA) >

- OECD公的輸出信用ガイドライン取決めで、原子力に関しては援助(aid support)を提供してはならないとされている。

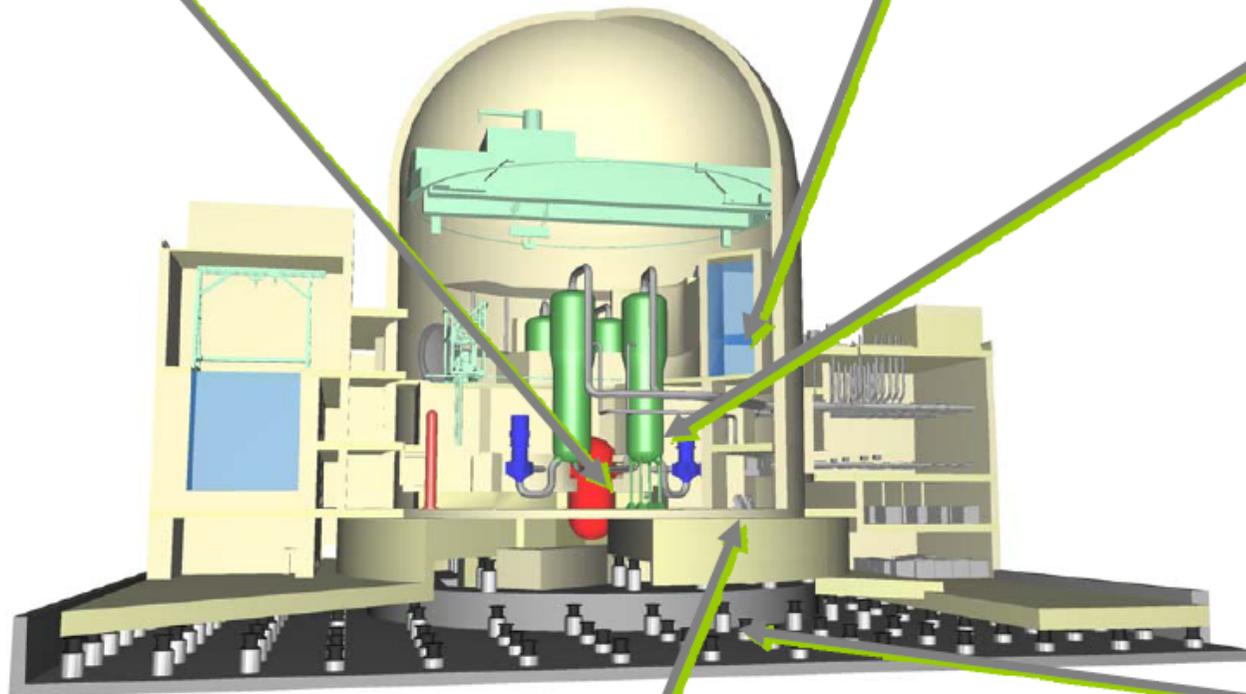
(参考)

次世代軽水炉の開発に関する取組

世界初の濃縮度5%超燃料を用いた原子炉系の開発による、使用済燃料の大幅削減と世界最高の稼働率実現

パッシブ系、アクティブ系を組合せた先進安全システムによる、世界最高水準の安全性・経済性の同時実現

プラント寿命80年とメンテナンス時の被ばく線量の大幅低減を目指した、新材料と水化学技術の融合



電気出力
1,700–1,800 MWe
炉型
PWR / BWR各1炉型

図は設計イメージの例

稼働率と安全性を同時に向上させる、世界最先端のプラントデジタル化技術

斬新な建設技術の採用による、建設工期の大幅短縮

免震技術の採用による、立地条件によらない標準化プラントの実現

1. 高速増殖炉サイクルとは

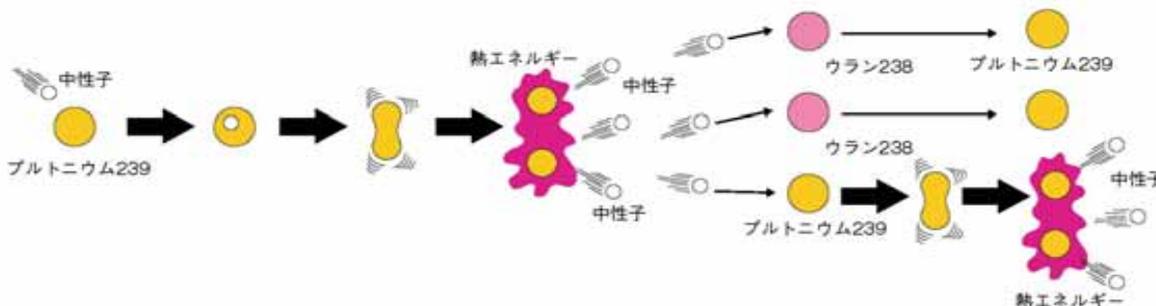
- 高速増殖炉でウラン・プルトニウム混合燃料を使用し、燃えにくいウランをプルトニウムに変換し、消費した以上の燃料を生み出し(増殖)、ウランの利用効率を高めたサイクル
- ウランのみを燃料とする場合に比べ、数十倍以上にウラン資源を活用
- 2050年頃から高速増殖炉の商用ベースでの導入を目指す。高速増殖炉サイクルの実用化に向けて、日本原子力研究機構を中核に研究開発を推進。(原子力政策大綱)
- 高速増殖炉サイクルは「国家基幹技術」と位置づけ(第三期科学技術基本計画の分野別推進戦略)

2. 高速増殖炉の原理

プルトニウムが高速中性子を1個吸収して核分裂し、2～3個の新しい高速中性子が発生
(冷却材として、高速中性子が得られ、熱伝達特性に優れるナトリウムを使用)

そのうちの1個は核分裂連鎖反応に、残りの1～2個は燃えないウラン(ウラン238)に吸収され、新しい燃料(プルトニウム239)を作り出す(増殖)

●高速増殖炉の核分裂とプルトニウムの生成(増殖)



天然ウラン利用効率

原子炉	ウラン利用効率
軽水炉(再処理しない場合)	0.5%
高速増殖炉	60%

出典:鈴木篤之編著「プルトニウム」より抜粋

我が国における高速増殖炉サイクルの実用化に向けて

高速増殖炉サイクル技術は、「国家基幹技術」（第3期科学技術基本計画の分野別推進戦略）
高速増殖原型炉「もんじゅ」は、その研究開発の場の中核（原子力政策大綱）

高速増殖炉は、
発電しながら消費した以上の燃料を生産
エネルギー安定供給に大きく貢献
2050年頃から運転を終える軽水炉を順次リプレースすれば、
2100年過ぎには新たなウラン資源の輸入が不要
放射性廃棄物中のマイナーアクチニドを燃料として再利用
環境負荷を低減
高レベル放射性廃棄物の発生量を7割程度に削減

2009年度中に運転を再開し、
10年程度以内を目途に
発電プラントとしての信頼性の実証
ナトリウム取扱技術の確立

高速増殖原型炉もんじゅ
(28万kW)



1977年に
初臨界

高速実験炉「常陽」



実用化研究開発
革新的な技術の研究開発
実証炉等の設計研究

2025年に
実現

実証炉
(50~75万kW)
実証炉の経済性の実証
技術的諸性能の実証

2050年頃から
商業ベースで導入

実用炉（商業炉）
(150万kW)
経済性、安全性
資源有効利用性
環境負荷低減性
核拡散抵抗性



「常陽」(ナトリウム冷却高速炉)について

- 「常陽」の役割は、「高速炉実用化のためのナトリウム利用技術等の研究開発」、「運転試験を通じての技術の高度化」、「燃料・材料の照射」
- 1984年に、「常陽」の使用済燃料を再処理して回収したプルトニウムを再び常陽で燃料として使用し、高速増殖炉サイクルを実現

【運転実績】(1977年4月~2007年5月)

- 積算運転時間:70,798時間
- 積算熱出力:6,244GWh

高速増殖原型炉「もんじゅ」の概要

実験炉と実用炉をつなぐ中間段階の原子炉であり、高速増殖炉の実用化のためには必要不可欠。

施設概要

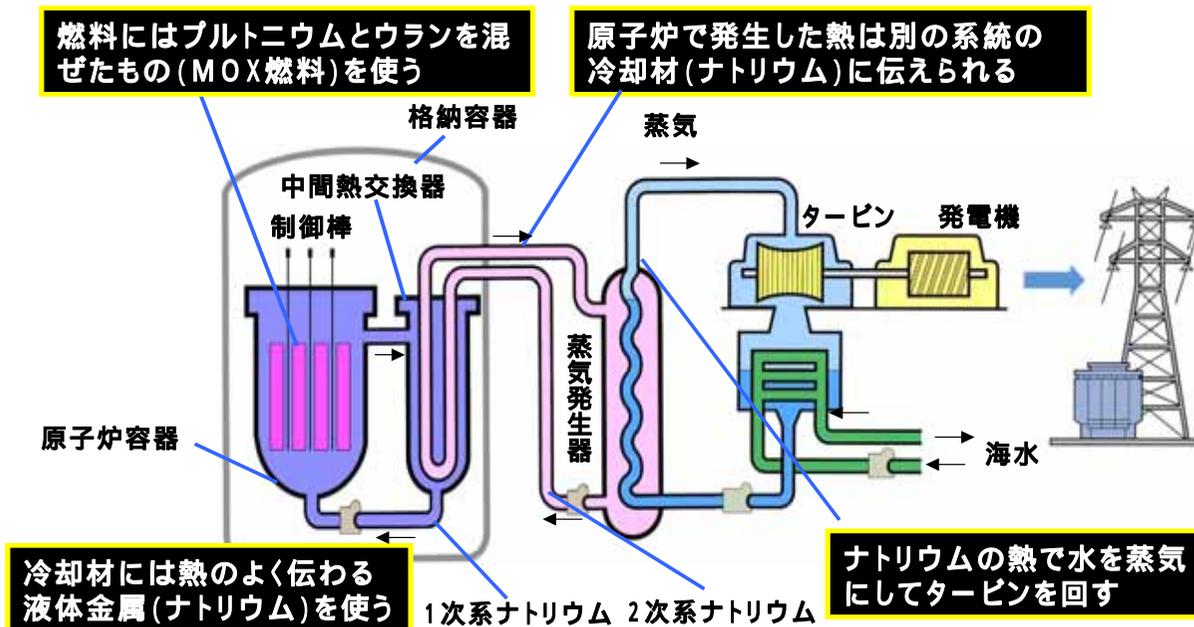
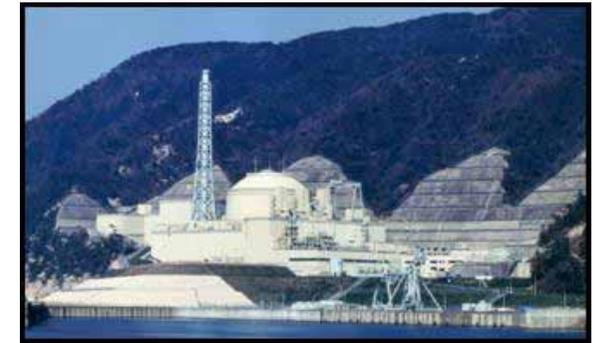
場所：福井県敦賀市

電気出力：28万KW

(一般の原子力発電所は約100万KW)

○設置者：独立行政法人日本原子力研究開発機構 (JAEA)

年間維持費：204億円(平成21年度)



原子力政策大綱における「もんじゅ」の位置づけ

研究開発の中核と位置付けられる「もんじゅ」の運転を早期に再開し、10年程度以内を目途に「発電プラントとしての信頼性の実証」と「運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立」という所期の目的を達成することに優先して取り組むべきである。

高速増殖炉の実用化に向けた研究開発等の場として活用・利用することが期待される。

「もんじゅ」及びその周辺施設を国際的な研究開発協力の拠点として整備し、国内外に開かれた研究開発を実施し、その成果を国内外に発信していくべきである。

(平成17年10月閣議決定)

高速炉開発の国際協力枠組み

- これを受け、高速炉開発に向けた国際的な枠組みが次々に開始されている。
- 日米仏露等の主要先進国は、これらの活動を積極的に主導している。

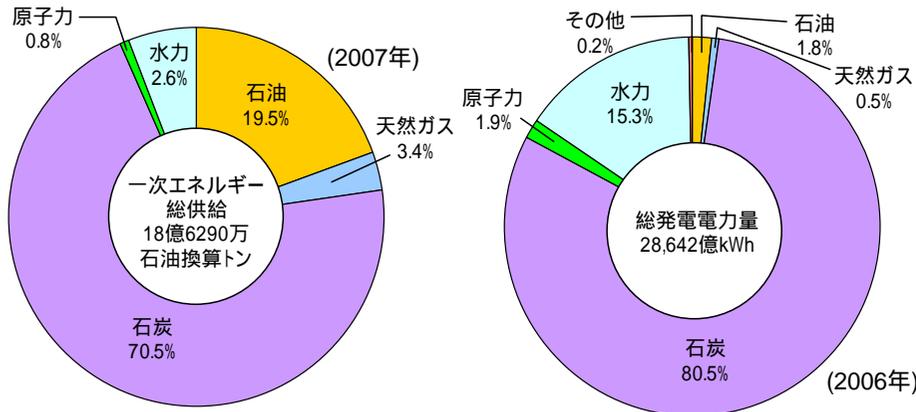
<主な国際協力の枠組み>

	開始年	目的と高速炉開発への取組	参加国
GIF (第4世代原子カシステム 国際フォーラム)	2001	・次世代原子カシステム(第四世代炉)の開発とその実証を目的 ・検討対象としている6概念のうち5つが高速炉概念	日米仏露 他13カ国 1機関
GNEP (国際原子カエネルギー・ パートナーシップ)	2006	・核拡散の脅威を削減し、環境に優しいエネルギーを世界中に広めることを目的	日米仏露 他25カ国 3機関
INPRO (革新的原子炉及び核燃料 サイクルに関する国際 プロジェクト)	2001	・革新的原子カシステムを導入するための評価手法や制度の整備を目的 ・高速炉を用いた閉燃料サイクルの評価、世界的原子カビジョン共同研究等を実施	日米仏露 他21カ国

【中国】

1. エネルギー事情

- 1990年代前半から南東部の沿岸地域を中心に急速な経済成長が持続しており、2008年GDP成長率は10.5%。第11期五カ年計画(2006~2010年)では、年間の実質GDP成長率の目標が7.5%。
- 世界人口の約1/5を占め、米国に次ぐ世界第2位のエネルギー消費国。
- 一次エネルギー自給率は90%以上。



(注) バイオマスなど商業取引されないエネルギーを含まない
 【出展】BP Statistical Review of World Energy June 2009

【出展】OECD/IEAホームページ、Electricity/Heat Data in People's Republic of China, in 2006

中国の原子力発電所

	運転中	建設中	計画中
原子炉基数	11基	17基	34基
出力	859万kW	1734万kW	3638万kW

2. 原子力の現状

- 2007年10月の「原子力発電中長期発展規則」は、原子力発電の総設備容量を2020年までに4000万kWとする数値目標を規定。
- 国内での燃料サイクル(再処理、FBR開発)を推進。軍事用の再処理工場(酒泉)は1970年から操業中。民生用の再処理パイロットプラント(蘭州)が2006年より運転中。商業用再処理施設が2020年に完成予定。
- 中・低レベル放射性廃棄物の処分施設が大亜湾、蘭州に完成。高レベル放射性廃棄物は、地層処分に向けた研究開発やサイト選定等を1985年より実施中。
 高速実験炉(CEFR)の建設を進めており、2010年に運転開始を予定。また、高温ガス実験炉(HTR-10)が2000年より運転中。高温ガス実証炉(HTR-PM)を建設予定。

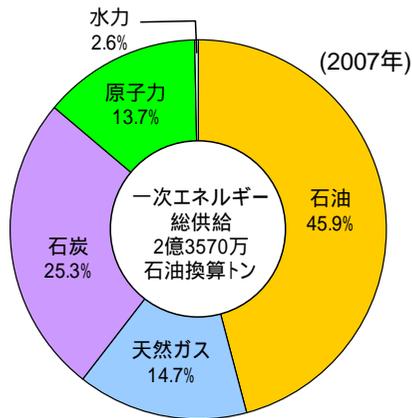
3. 原子力推進体制

- 国家発展改革委員会(NDRC)の下に国家エネルギー局が設置され、民生用原子力発電部門を管轄。
- 国家環境保護部の下に国家核安全局が設置され、原子力安全と放射線安全の両方を管轄。

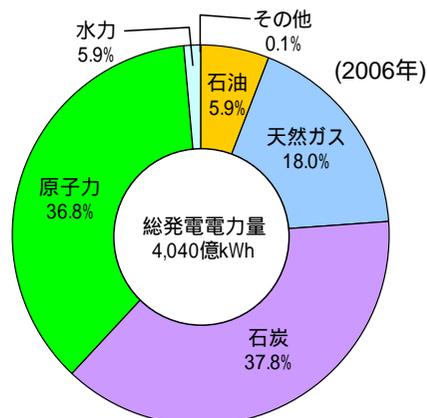
【韓国】

1. エネルギー事情

- 1970年以降エネルギー消費量が飛躍的に増加し、高度成長を遂げた後、1997年にOECDに加盟。
- エネルギー供給は殆どを輸入に頼り、年々輸入依存度は増加の傾向。2007年の輸入依存度は約85%。
- エネルギー源の多様化と石油依存からの脱却にエネルギー政策の重点を置く。



(注) バイオマスなど商業取引されないエネルギーを含まない
 【出展】BP Statistical Review of World Energy June 2009



【出展】OECD/IEAホームページ, Electricity/Heat Data in Republic of Korea, in 2006

韓国の原子力発電所

	運転中	建設中	計画中
原子炉基数	20基	6基	6基
出力	1772万kW	670万kW	810万kW

2. 原子力の現状

- 石油危機の経験から、原子力の開発を積極的に推進。原子力技術の国産化、次世代炉の開発を進め、現在は国産炉の海外輸出を目指している。
- 1991年の「朝鮮半島の非核化と平和構築のための宣言」で再処理施設の所有を放棄したが、PWRの使用済燃料をCANDU炉でリサイクルする研究を行っている。

教育科学技術部(MEST)が作成したロードマップにおいて、2028年を目処にナトリウム冷却高速炉の実用化および乾式再処理を中心とした核燃料サイクルの構築を目指す意向を示す。

- 使用済燃料は各発電所サイトにて貯蔵。

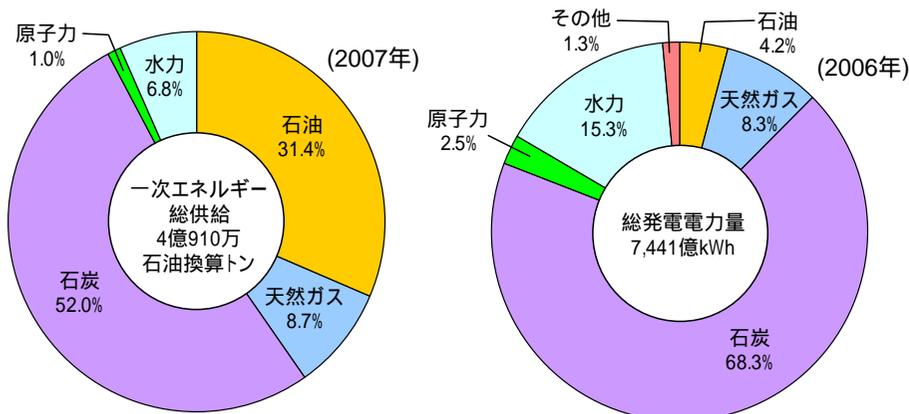
3. 原子力推進体制

- 教育科学技術部(MEST)が原子力研究開発の政策・立案、および原子力設備の許認可等の安全規制を所管。
- 韓国原子力安全技術院(KINS)が原子力施設の安全規制を管轄。

【インド】

1. エネルギー事情

- 1991年以降、年間5%以上のGDP成長率を示しており、2008年は6.7%。
- 電力の供給不足による深刻な停電も発生しており、電力の設備容量の拡大が急務。
- 水力発電の開発に力を入れており、水力発電設備容量の更なる増加が計画されている。



(注) バイオマスなど商業取引されないエネルギーを含まない
 【出展】BP Statistical Review of World Energy June 2009

【出展】OECD/IEAホームページ, Electricity/Heat Data in India, in 2006

インドの原子力発電所

	運転中	建設中	計画中
原子炉基数	17基	6基	24基
出力	378万kW	298万kW	2350万kW

2. 原子力の現状

- 2008年10月に米印原子力協力協定が調印された後、仏・露との原子力協力協定が相次いで署名された。
 新たな原子力市場として、各国が注目している。仏アレバ社が民生用原子炉向けウラン燃料の供給契約を締結。露によるクダンクラム発電所への原子炉2機の増設が決定。米は大規模な原子力産業代表団をインドに派遣。
- プルトニウムを抽出するため、3つの再処理施設(トロンベイ、タラプール、カルパッカム)を有する。

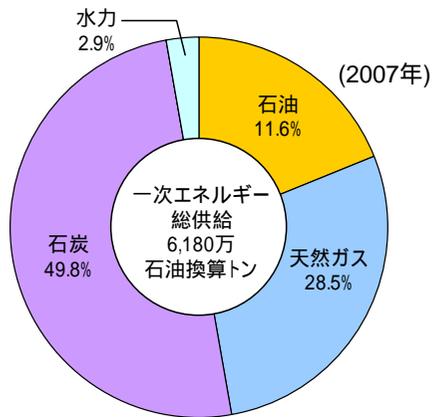
3. 原子力推進体制

- 原子力政策は原子力委員会(AEC)が策定し、原子力省(DAE)が実施。
- 原子力規制委員会(AERB)が原子力施設と放射性物質・放射線源の利用に関する許認可・安全規制を実施。
- 国有企業であるインド原子力発電公社(NPCIL)が加圧重水炉(PHWR)の設計・建設・運転保守を行っている。

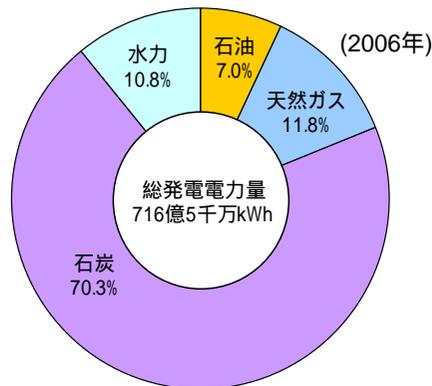
【カザフスタン】

1. エネルギー事情

- 1991年のソ連解体以降、早期から市場経済の基盤作りに取り組み、順調な経済成長を遂げた。2000～2006年のGDPの年平均実質成長率は10.2%。
- 世界第2位のウラン生産国(1位カナダ、3位オーストラリア)。ウランの確認資源量は世界全体の17%を占め、オーストラリアに次ぎ世界第2位。
- 1973～1999年まで高速増殖炉原型炉(BN-350)が運転していたが、経済性を理由に閉鎖。2009年現在、運転中の原子力発電所は無し。



(注) バイオマスなど商業取引されないエネルギーを含まない
 【出展】BP Statistical Review of World Energy June 2009



【出展】OECD/IEAホームページ, Electricity/Heat Data in Kazakhstan

2. 原子力の現状

○1993年に原子力の基礎研究、産業応用開発、核実験等による放射性汚染への対処、環境モニタリング等を目的とした国立原子力センター(NNC)を設立。

2006年にアフメトフ首相(当時)が原子力発電所の必要性を改めて強調し、エネルギー・鉱物資源省が原子力エネルギー発展プログラムの作成を開始。同年3月には同首相の主導する作業部会が2015年までの原子力発電所建設を示唆。

○2006年、ロシアとの間で、両国企業での中小型炉、ウラン産地開発、ウラン濃縮に関する合弁企業の設立に関する文書に調印し、国際ウラン濃縮センターを設立。また、中国、インドとも原子力協力に関する文書に署名。

日本とは2006年に原子力平和利用の分野における協力促進に関する覚書に署名。原子力協力協定の締結に向け活動中。

2008年、国営企業カザトムプロムが仏アレバ社とウラン燃料生産に関する合弁企業を設立。また、加カメコ社と合弁会社を設立。

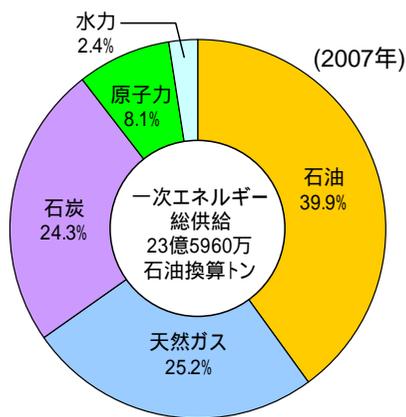
3. 原子力推進体制

○原子力庁が原子力政策の策定、原子力計画の推進、輸出入規制等を行っている。

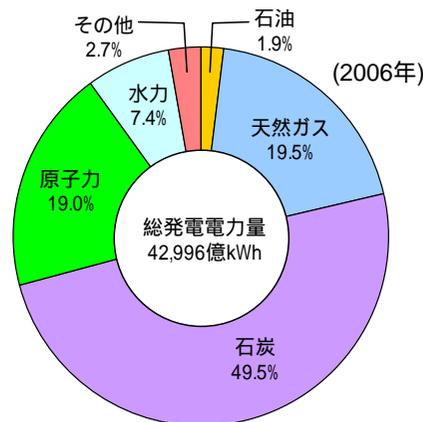
【米国】

1. エネルギー事情

- 2008年のGDP成長率は1.3%。金融不安や原油高等の影響による景気後退が深刻化。
- 世界一のエネルギー消費国であり、エネルギー自給率は73%。
- 外国石油への依存脱却、再生可能エネルギーの利用拡大を推進している。



(注) バイオマスなど商業取引されないエネルギーを含まない
 【出展】BP Statistical Review of World Energy June 2009



【出展】OECD/IEAホームページ, Electricity/Heat Data in United States, in 2006

米国の原子力発電所

	運転中	建設中	計画中
原子炉基数	104基	1基	34基
出力	10574万kW	122万kW	4600万kW

2. 原子力の現状

- 1985年より運転を停止していたブラウズフェリー1号機が2007年5月に運転再開。同年12月にワッツバー2号機の建設が再開。
 事業者より原子力規制委員会に対して、17件26基の建設運転認可(COL)申請が提出されている。
- オバマ政権では、ブッシュ政権下で進められてきた短期的な商業実証施設(再処理施設・FBR等)の建設は行わず、再処理や放射性廃棄物管理に関する長期的な研究開発プログラムを継続して実施すると表明。
- 高レベル放射性廃棄物処分場として申請中であったユッカマウンテン計画は中止すると表明(NRCでの審査は継続中)。使用済燃料は各発電所サイトに貯蔵。

3. 原子力推進体制

- エネルギー省(DOE)が原子力技術の開発、エネルギー源の安定確保及び関連する先端技術の開発について所管。また、核兵器の製造と管理についてもDOEが所管。
- 原子力規制委員会(NRC)が原子炉の許認可、放射線防護、放射性物質利用の安全と保安を所管。

【その他、アジア諸国】

フィリピン

○2006年の実質GDP成長率は5.4%であり、今後もエネルギー消費の増大が予想される。一次エネルギー自給率は2004年に53.4%。2010年には約60%まで引上げること目標としている。

現在のアロヨ大統領は2010年までの任期中には原子力発電所を建設しないことを明言。

フィリピン政府の依頼により、IAEAは2008年に停止中のバターン原子力発電所の再開可能性に関する調査を実施。IAEAは政府に対して、原子力の再開を決める前に、綿密なFSを行うよう勧告を出した。

タイ

○2006年の実質GDP成長率は5.1%であり、今後もエネルギー消費の増大が予想される。1997～2006年にかけての発電電力量の伸びは4.9%であったが、2007～2021年にかけて5.7%で伸びる見通し。

2007年に政府は、2020年までに原子力発電を導入することを盛り込んだ「15ヵ年電力開発計画(PDP 2007)」を策定。原子力導入に向けた原子力制度準備委員会(NPIPC)が任命され、原子力制度準備計画(NPIEP)を策定。

PDP2007では2021年までに100万kW×4機を導入する計画であり、海外の民間企業に対してFSへの入札を呼びかけている。

インドネシア

○2006年の実質GDP成長率は5.5%であり、東南アジア地域第1位の一次エネルギー消費国。2030年までに発電電力量は年率5.8%で増大する見通し。

石油・ガス・石炭といった資源が豊富であるが、生産量の減少に伴い、2004年に石油の純輸入国に転じた。

急増する電力需要への対応のため、政府は2004年に発表した国家エネルギー政策で、原子力をエネルギーミックスの一つと位置付けることを明確化。2007年作成のロードマップでは、1基目を2017年までに稼働し、計4基を2020年前後に稼働させる予定。

ベトナム

○2006年の実質GDP成長率は8.2%であり、今後も8%前後の高い経済成長が予想される。

石炭・ガス資源が豊富であり、資源輸入国となっている訳ではないが、中長期的な将来の電源構成の中に原子力を位置付け、原子力発電所の導入検討を実施

1996～2000年にかけて原子力発電導入に関する調査が実施され、その結果を受けて2002年からプレFSが開始。日本を始めとする原子力先進国が協力を行った。同時に政府は「2020年までの原子力平和利用戦略」を策定し、2020年前後に原子力発電を導入することを目標としている。