



# エネルギーセキュリティの視点

---

平成16年9月3日



## 新計画策定会議における委員からのご意見(1)

ウラン資源に係る世界の需給市場における日本の規模を明らかにすべき。また、需給を阻害する政治的な要因があることを考慮すべき。

地球上の資源はどこに偏在していて、誰が供給を支配していて、価格がどの程度操作されるのか、こういうことが非常に重要な課題となる。

ウラン資源が世界にどれだけあるかではなく、日本が利用可能な最小限の数量はどれだけかという計算も必要である。

新規ウラン鉱山の発見、世界的な需要増などのウラン資源の将来的な価格変動の可能性リスクを探ることが重要。我が国の原子力発電の維持を可能とするウラン価格の見通しをある程度設定した上で、この価格を超える可能性が発生する価格変動の時期を見通すことが重要である。

石油は2020年ぐらいに生産量のピークを迎えるが、石油の価格にウランのそれが連動することを考えると、2030年ごろには、ウラン価格大幅変動のリスクを考えざるを得ないが、その時期は、軽水炉の廃止措置及びそれに替わる新設が本格化する時期に重なってくるが、この時は安定的なウラン供給見通しが得られない時期であることを考慮すべき。



## 新計画策定会議における委員からのご意見(2)

世界のエネルギー需給見通しを考える上で、アジア、特に中国、インドの動向に留意すべき。

ウランの産出国ではウラン鉱さいの問題や採掘の労働者の被ばくの問題があり、石油と同じ次元では考慮できない。

プルトニウムの利用がウラン資源、つまりウランの価格に対するバーゲニングパワーになり得るのかどうか、というのは重要な問題である。

回収ウランの利用はどこまで考える必要があるのか見通しを付けなければならない。

ウラン資源に係る売買契約は、需給が逼迫した場合に備え、弾力的な条項を盛り込んだ契約になっているのか等、契約形態を明らかにすべき。

現在の軽水炉は技術的、商業的に完成されるまでには30～40年掛かっていることを考慮すると、原子力利用を進める上で開発のための人材や技術開発力、あるいは製造能力など我が国固有の資産をどのように活用し、培養していくかが重要である。



# エネルギーセキュリティ(1)概観

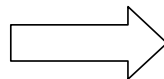
## エネルギーセキュリティとその阻害要因

- ・エネルギーセキュリティとは  
エネルギー安定供給確保を目指した総合的リスク管理
- ・エネルギー安定供給の阻害要因
  - 短期的な要因
    - 輸入エネルギーの不意の供給削減・中断  
(社会的情勢に伴う一時的供給途絶)
  - 長期的な要因
    - 資源制約
    - 環境制約 (地球温暖化問題に対応するための化石燃料使用抑制等)

## エネルギーセキュリティ上考慮すべき条件

- ・地政学条件
- ・エネルギー需給関係
- ・環境制約に起因する資源利用制約 等

国毎に状況は異なる



セキュリティ確保方策も異なる



## エネルギーセキュリティ(2) 確保策(例)

---

短期的セキュリティ確保（一時的騒乱に対する頑健性の確保）

- ・ エネルギー源の適切な組み合わせによる安定供給
- ・ 資源供給源の多様化
- ・ 政情が安定している地域からの輸入強化
- ・ 備蓄

長期的セキュリティ確保（将来の資源・環境制約に対する頑健性の確保）

- ・ 省資源（消費量削減&資源リサイクル：例えば、核燃料サイクル）
- ・ 選択肢開拓（新エネルギー技術開発）
- ・ エネルギー源の適切な組み合わせによるバランスの取れた消費
- ・ 国の技術力、経済力維持



# エネルギーセキュリティ（3）

## 基本的認識と検討課題

### 【基本的認識】

エネルギーセキュリティに係る基礎的データ（参考資料参照）に鑑みて、

- ・地政的条件（資源小国、島国であることによる送電網、パイプライン等の国際連携の困難さ）
- ・エネルギー需給（中国等の急速な経済成長を踏まえたエネルギー源の逼迫の可能性、新エネルギーのポテンシャル）
- ・環境制約（地球温暖化問題に対応するための化石燃料使用抑制に係る取り組み）

といった観点から、我が国では、引き続き、エネルギーセキュリティの確保に向けて取り組むことが重要である。

現行原子力長期計画において示されている「エネルギーベストミックス」及び、その一旦を担うものとして「基幹電源としての原子力」の推進の重要性は変わらない。

### 【検討課題】

基本シナリオ毎の評価を行って、核燃料サイクルのエネルギーセキュリティの効果について確認する。



# ウラン資源確保と核燃料サイクルの効用

---



# ウラン資源確保と核燃料サイクルの効用

---

## ウラン資源確保の見通し

### ウラン資源面での考慮事項

- ・ウラン資源量の不確定性
- ・ウラン資源の需給バランス
- ・ウラン供給不足への対応
- ・新たなウラン資源の需給逼迫要因

### ウラン市場面での考慮事項

- ・ウラン権益
- ・ウラン価格の変動

### 核燃料サイクルの効用

- ・エネルギーの国内確保効果（自給率向上）
- ・ウラン備蓄の効用
- ・資源制約への対応
- ・環境制約への対応



# ウラン資源確保の見通し(1) 手当ての状況

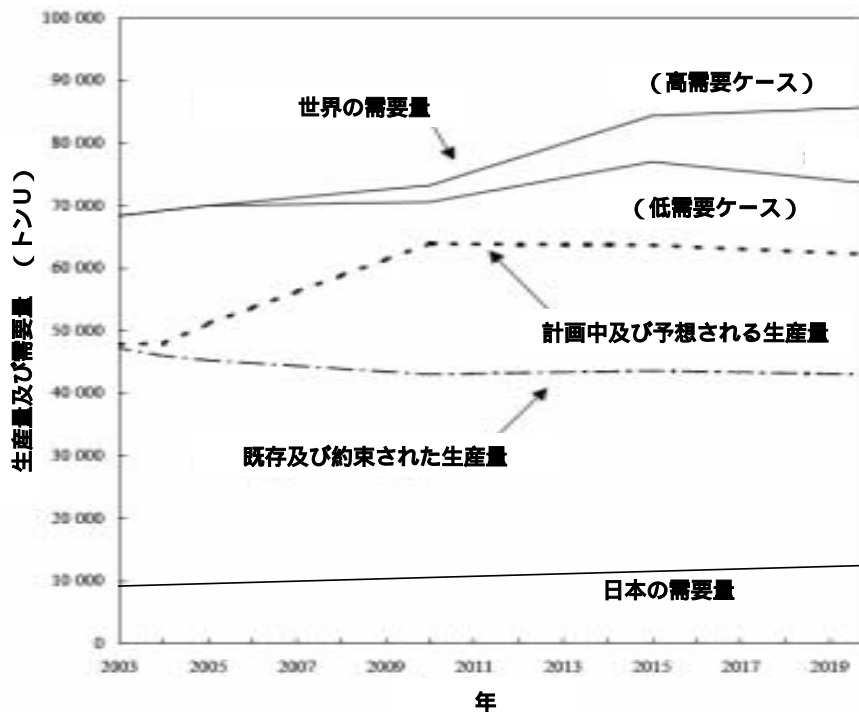
日本のウラン手当ては以下のような状況にあり、将来分については今後手当てを進める必要がある。

供給 累積契約量	需要		需給バランス
	年間消費量	累積消費量	
約24万トン (2002年3月時点)	約8,000トン	約18万トン	-  約6万トン契約残  2003年度の消費ペースでウラン消費が続くと仮定すると、2010年度中に、累積消費量が現在の契約量に達するので新規手当てが必要

出典：日本原子力産業会議，原子力ポケットブック2003年度  
(上記一覧表は、出典元の $U_3O_8$ ショートンをトンウランに換算している)

## ウラン資源確保の見通し(2) 世界の需給

世界需要量7～8万トンに対し生産量は4～6万トンと下回る。  
日本は世界需要量の1割強（生産量の2割程度）を占め、将来分の手当てといった日本の動向は、世界の市場動向に影響を与えうる。



新計画策定会議第5回  
資料第3号より抜粋  
出典：  
OECD/NEA&IAEA,  
Uranium2003 (2004)



## 資源面（１）資源量の不確定性（１）

ウラン資源量データは以下のような不確実性を内包していることに留意する必要がある

地質ウラン資源量（原位置資源量）は、探査データから鉱床の性状に応じた算定方法で算出される。探査の進展でデータが集積することにより、信頼性が向上し、データが変動する可能性がある。

可採ウラン量（採掘対象ウラン量）は、地質ウラン資源量の鉱床の形状等による採鉱損失を加味し、最大利益が得られるように設定されるものである。採掘コストの許容値により、データは変動する。

回収可能なウラン量（ウラン生産量）は、可採ウラン量に鉱石の性質による製錬回収率を加味して設定されるものである。製錬コストの許容値により、データは変動する。



## 資源面（２）資源量の不確定性（２）

ウラン資源量は探鉱の進展により上下に変動する

探査の進展に伴う地質ウラン資源量変動

・イーグルポイント鉱床（カナダ）

地表試錐で推定	54,300トU
坑内試錐を行った結果	24,100トU

・マッカーサーリバー鉱床（カナダ）

地表試錐で推定	99,000トU
坑内試錐を行った結果	159,000トU

地質ウラン資源量と可採ウラン量の差異

・ジャビルカNo. 2 鉱床（オーストラリア）

地質ウラン資源量	173,000トU
可採ウラン量	76,600トU（低品位部分を放棄）

地質ウラン資源量と回収可能ウラン量の差異

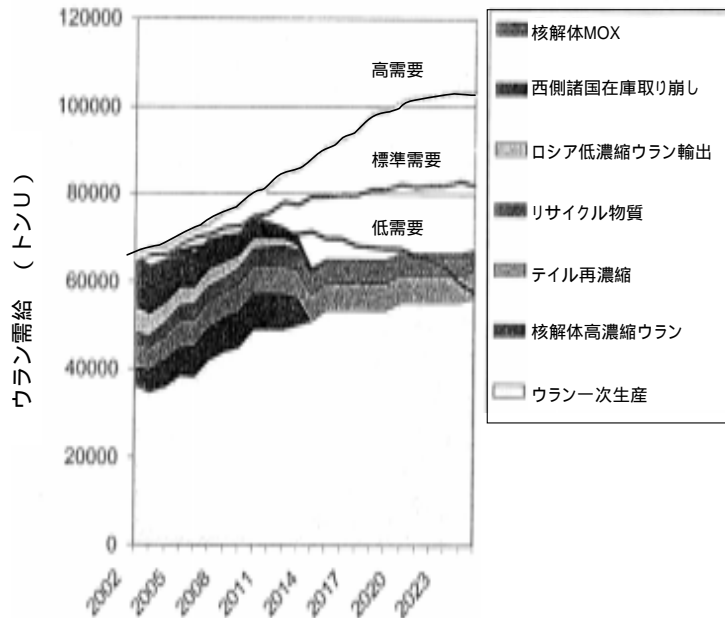
・ポソステカルダス鉱山（ブラジル）

地質ウラン資源量	23,000トU
ウラン生産量	約900トU

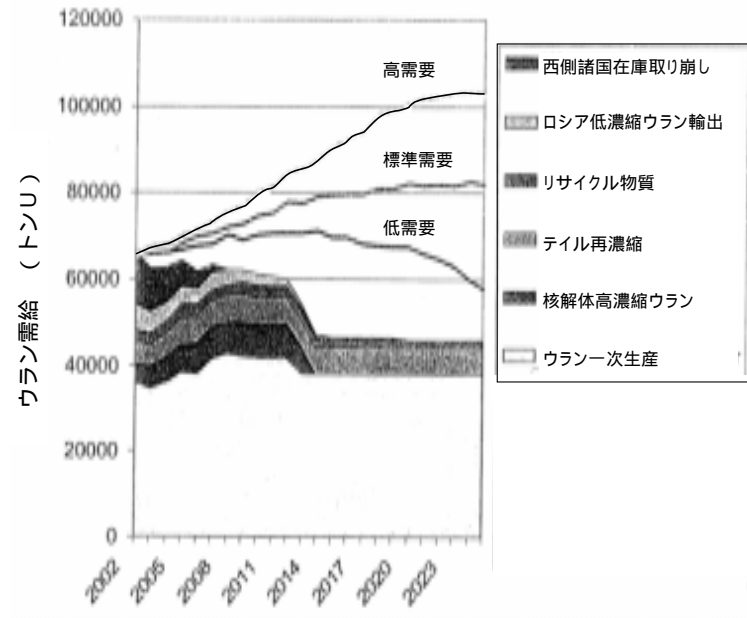
（難溶性ウラン鉱物であるため製錬コスト高となり操業中止）

# 資源面（3）需給バランス

現在、核解体高濃縮ウラン等により需給バランスが取られているが、今後10年間程度でそれらの供給が途絶え、供給不足に陥る可能性がある



高供給シナリオ



低供給シナリオ

新計画策定会議第5回資料第3号より抜粋

出典：世界原子力協会, The Global Nuclear Fuel Market(2003)

## 資源面（４）供給不足への対応

供給不足への対応策である鉱山開発は、採鉱から生産までにその状況に応じたリードタイムを要している。

鉱山	国	探鉱開始	鉱床発見	生産開始
Beverley	オーストラリア	1968	1970	2000
Honeymoon	オーストラリア	1968	1972	未定
Jabiluka	オーストラリア	1968	1971	未定
Olympic Dam	オーストラリア	1970	1976	1988
Lagoa Real	ブラジル	1974	1976	2000
Cigea Lake	カナダ	1969	1981	2006(予定)
Key Lake	カナダ	1968	1976	1989
McArthur River	カナダ	1981	1988	1999
McClellan Lake	カナダ	1974	1979	1995
Inkay	カザフスタン	1976	1979	2001
Mynkuduk	カザフスタン	1973	1975	1987

開発期間詳細（例）

Cigea Lake

1975年 広域探査開始

1981年 鉱床発見

1995年 環境影響調査  
報告書提出

1998年 環境影響調査  
報告書承認

2002年 建設許可申請

McArthur River

1975年 広域探査開始

1988年 鉱床発見

1995年 環境影響調査  
報告書提出

1997年 環境影響調査  
報告書承認

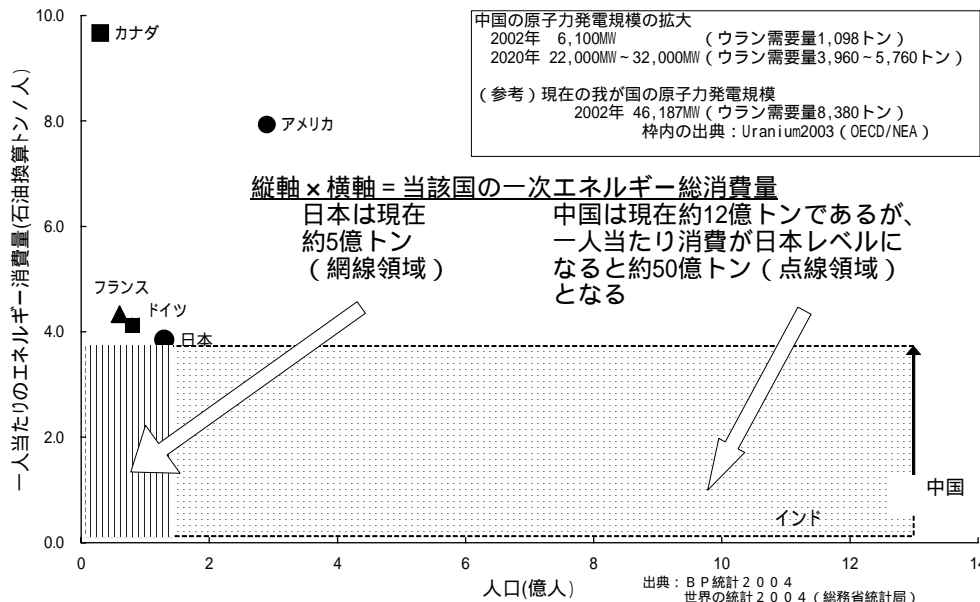
1997年 建設許可申請

1999年 生産開始

Olympic Damは生産開始までの期間が比較的短いですが、同鉱山は、銅が鉱床価値の約80%を占めており（ウランは副産物）、開発速度が加速された側面があると推定される。

# 資源面（5）新たな需給逼迫要因（1）

中国等で、エネルギー消費量が大幅に増加する可能性がある。  
 中国の一人当たりエネルギー消費量が日本レベルに達すると、年間石油換算で約50億トン（現在の日本の10倍規模）となる。また、中国のウラン需要について、2020年には4～6倍増になるとの予測（OECD/NEA）もある。



## 中国のケース

人口 約13億人  
 エネルギー消費量 約12億トン  
 一人あたりエネルギー消費量 約0.9トン/人

中国の一人当たりエネルギー消費が日本と同レベルとなると、中国のエネルギー消費は年間約50億トン（約38億トン増）に達する。

## アジア全体で見ると

人口 約37億人  
 エネルギー消費量 約33億トン  
 一人あたりエネルギー消費量 約0.9トン/人

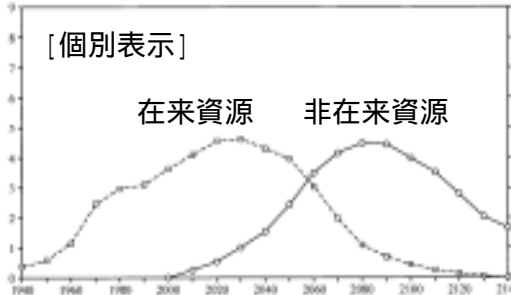
全アジアの一人当たりエネルギー消費が日本と同レベルとなると、全アジアのエネルギー消費は年間約143億トン（約110億トン増）に達する。

# 資源面（6）新たな需給逼迫要因（2）

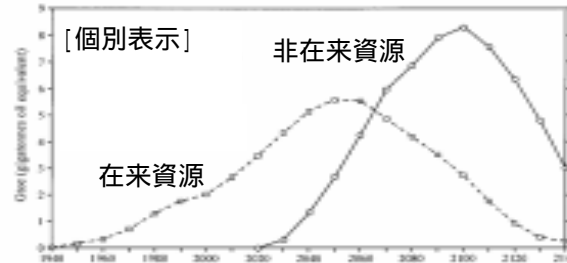
化石燃料の生産ピークは今世紀中であり、ウラン需要が拡大する可能性がある

## 石油の年間生産量

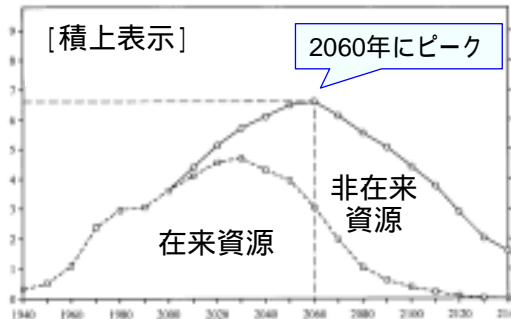
10億トン(石油換算)



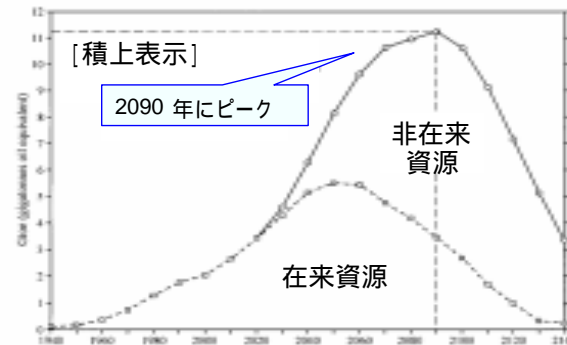
## 天然ガスの年間生産量 10億トン(石油換算)



10億トン(石油換算)



10億トン(石油換算)



新計画策定会議  
（第5回）  
資料第2号  
より抜粋



# 市場面（1）ウラン権益の状況

米英豪加仏ブラジルなどの特定国による権益の寡占化が進んでいる

国	状況	鉱山名	資本			比率	鉱量(ktU)
カナダ	計画中	シガーレイク	CAMECO	加	50%	89,200	
			COGEMA Resources Canada	仏	37%		
			出光カナダ	日	8%		
			TEPCO Resources Inc.	日	5%		
	操業中	ラビットレイク	CAMECO	加	100%	4,800	
			マッカーサーリバー	COGEMA Resources Canada	仏	30%	168,000
	計画中	ミッドウエスト	COGEMA Resources Canada	仏	55%	13,900	
			デニソン	加	20%		
			Redstone Resources Inc.	加	21%		
			OURD-Canada	日	5%		
操業中	マクリンレイク	COGEMA Resources Canada	仏	70%	16,000		
		デニソン	加	23%			
探査中	プリンセスメリー・シッソズ地区	COGEMA	仏	50%	30,700		
		JCU(日加ウラン)	日本	48%			
		大宇	韓	2%			
探査中	ドーンレイク	CAMECO	加	57%	8,570		
		COGEMA	仏	23%			
		JCU(日加ウラン)	日	19%			
探査中	クリスティーレイク	JCU(日加ウラン)	日	100%	8,000		
オーストラリア	操業中	レンジャー	Rio Tinto Group	英	68%	41,674	
			日豪ウラン資源開発(株)	日	11%		
			CAMECO Austraria	加	6%		
			ウランゲゼルシャフト	独	4%		
			COGEMA Austraria	仏	1%		
			豪州一般株主	豪	7%		
			Rio Tinto Group	英	68%		
	日豪ウラン資源開発(株)	日	11%				
	計画中	ジャビルカ	CAMECO Austraria	加	6%	60,200	
			ウランゲゼルシャフト	独	4%		
			COGEMA Austraria	仏	1%		
			豪州一般株主	豪	7%		
			Rio Tinto Group	英	68%		
			日豪ウラン資源開発(株)	日	11%		
CAMECO Austraria			加	6%			
ウランゲゼルシャフト	独	4%					
COGEMA Austraria	仏	1%					
豪州一般株主	豪	7%					
オーストラリア	計画中	クーンガラ	COGEMA Austraria	仏	100%	12,330	
			イーリリー	豪	100%		
			キンタイヤ	英	100%		
			オリビック・ダム	豪	100%		
			ハネームーン	サザンクロス・リソース	加		100%
	操業中	ビバリー	ヒースゲイト・リソース	豪	100%	15,100	
			COGEMA	仏	34%		46,000
	操業中	アークータ	ONAREM	ニジェール	31%		
			OURD	日	25%		
			ENUSA	西	10%		
			COGEMA	仏	63%	19,500	
	操業中	アーリット	ONAREM	ニジェール	37%		
			操業中	ロッシング	Rio Tinto	英	69%
	IDC	(不明)			10%		
その他		18%					
南アフリカ	操業中	パールリーフ	アングロゴールド	南ア	100%	不明	
			ウエスタンエリア	ウエスタンエリア・ゴールドマイニング	南ア	100%	不明
	操業中	ハービーストフォンティン	DRD.Ltd	南ア	100%	不明	
			スミスランチ	CAMECO	加	100%	7,500
米国	操業中	チャークロック	Hydro Resources, Inc	米	100%	7,350	
			クラウンポイント	Hydro Resources, Inc	米	100%	15,000
	計画中	ロコ・ボンダ	ストラスモア・ミネラルズ	米	100%	4,616	
			タイラー山	Rio Grande Resources (GA)	米	100%	38,500
			シュワルツホルダー	Cotter Corp (GA)	米	100%	6,150
操業中	ラゴア・レアル	Industrias Nucleares do Brasil	ブラジル	100%	79,712		
		イタタイ・プロジェクト	Industrias Nucleares do Brasil	ブラジル	100%	77,337	
操業中	相山(リアンシャン)	中国核工業総公司(CNNC)	中	100%	未公表		
		下庄(シアジュアン)	中国核工業総公司(CNNC)	中	100%	未公表	
カザフスタン	操業中	Inkay Project	CAMECO	加	60%	55,000	
			Kazatomprom	カザフ	40%		
	操業中	Muyunkum	CAMECO	仏	51%	44,000	
			Kazatomprom	カザフ	49%		

東京電力調べ

## 市場面（２）ウラン権益の状況（日本）

日本は資本参加により数年分のウラン権益を確保

日本法人が所有している海外権益は以下の通り。

国名	鉱山名	状況	推定埋蔵量	所有者	出資比率	数量
カナダ	シガレイク	計画中	142,000tU	出光カナダ テフコリソース	約8% 5%	約11,000tU 約7,000tU
	ミッドウエスト	計画中	13,800tU	OURD-CANADA	約5%	約700tU
	マクレーンレイク	操業中	16,000tU	OURD-CANADA	約8%	約1,300tU
	プリンセスメリー	探査中	30,700tU	日加ウラン	48%	約15,000tU
	ドーンレイク	探査中	8,570tU	日加ウラン	約20%	約2,000tU
	クリスティーレイク	探査中	8,000tU	日加ウラン	100%	約8,000tU
	ウォーリー-他 10 権益	探査中	未定	日加ウラン	12～100%	未定
豪州	レンジャー	操業中	63,600tU	日豪ウラン	約11%	約7,000tU
ニジェール	アケータ	操業中	46,000tU	OURD	引受比率 約43%	約20,000tU
合 計						約72,000tU

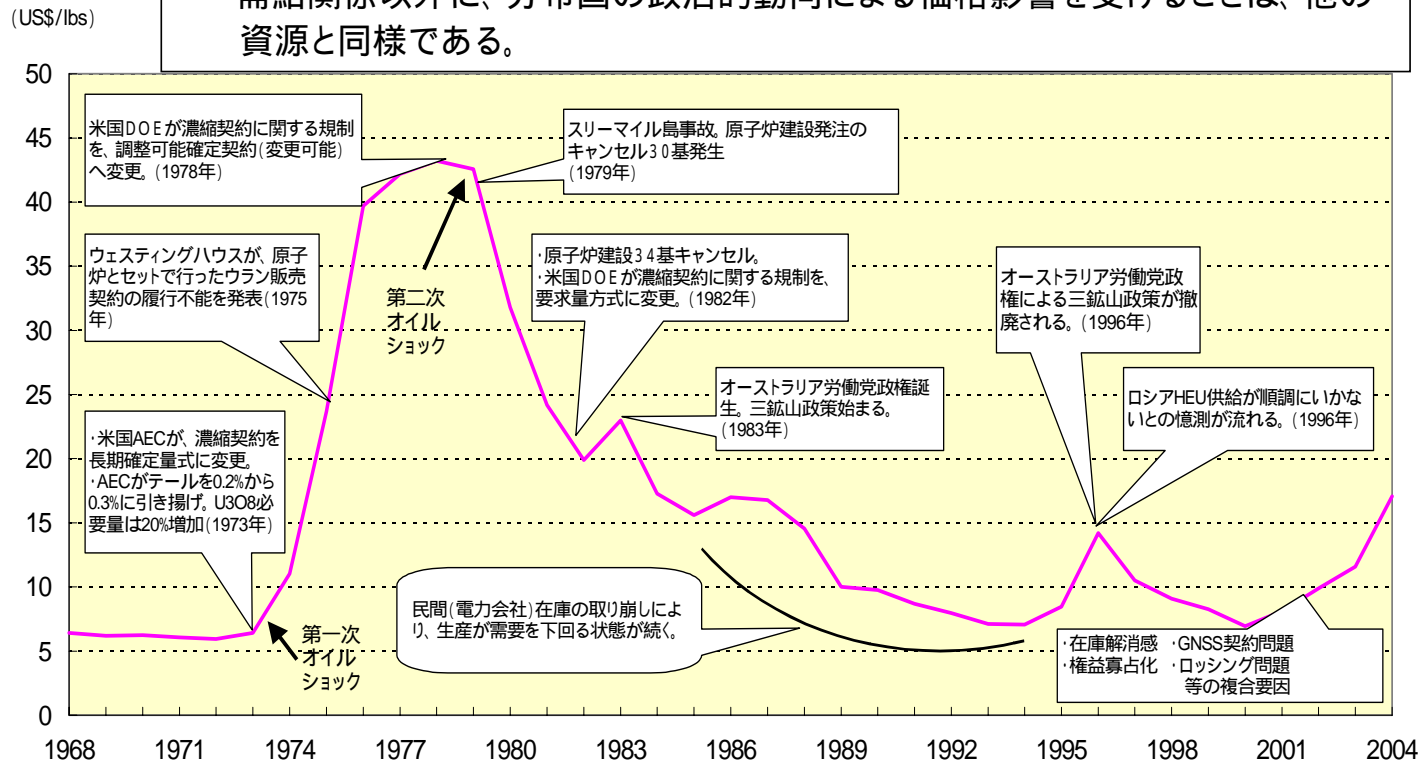
日加ウラン： 旧動燃がカナダに保有していたウラン権益の探査・開発を動燃に代わり実施することを目的として、2000年に設立された。伊藤忠商事、海外ウラン資源開発(OURD)、三菱商事、三菱マテリアルが各25%を保有している。

合計値を扱う際は、推定埋蔵量の信頼性に差があることに留意が必要

# 市場面 (3) ウラン価格の変動要因

第1次オイルショック後、ウラン価格が急上昇した

需給関係以外に、分布国の政治的動向による価格影響を受けることは、他の資源と同様である。



(出典: TRADE-TECH Exchange Value)

(暦年)



# 核燃料サイクルの効用（１）

## エネルギーの国内確保効果

核燃料サイクルは、エネルギーの国内確保という面では、国内在庫による確保に、更に上乘せとなる存在である。  
年間800トン再処理に伴い製造されるMOX燃料と回収ウラン燃料による発電電力量は年間発電電力量の20%に達する。

現状（フロントエンド及び発電所における在庫）

- ・例えば東京電力の場合、国内の濃縮、成型加工等の工程途中にあるもの、及び完成燃料体として発電所に保管されているものを合わせると、発電所で利用するウラン量の2～3年分の在庫が存在し、日本全国で一定量のエネルギー資源確保がなされていると考えられる。

核燃料サイクルの効用の付加（プルサーマルによるエネルギー発生）

- ・使用済燃料1トンの再処理で130kgのMOX燃料と130kgの回収ウラン燃料が製造される。
- ・年間800トン再処理に伴い製造される、MOX燃料と回収ウラン燃料による発電電力量は年間約700億kWhに達する。これらを利用することにより、年間必要量（H10～H14年平均：3,200億kWh）の約20%は海外のウラン資源に頼らずにエネルギー確保できる。



## 核燃料サイクルの効用（２） ウラン備蓄の効用

ウラン備蓄は、エネルギーの国内確保という面では、国内在庫による確保を補強する存在である。

しかしながら、資源リサイクルによる資源節約効果ではないため、長期的セキュリティ（資源制約、環境制約への対応）という面では効果はない。

- ・我が国はウラン生産量（既知及び約束された量）の２割程度を消費しているため（９ページ参照）、ウランの備蓄を目的とする大量のウラン調達には市場を攪乱する可能性がある。このため、価格の高騰を招かないような調達方法が必要であるが、その実現性は不明。
- ・また、備蓄効果を発揮するためには、要請に応じて燃料集合体に加工して原子炉に装荷することができる体制を確立しておくことが必要となる。例えば、天然ウランでの備蓄であれば、転換・濃縮・再転換・成型加工及びプロセス間輸送といった工程の整備、維持が必要となる。



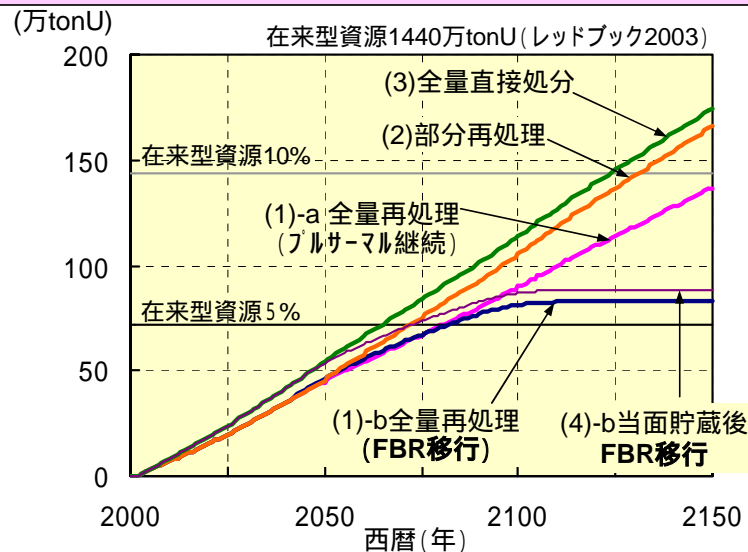
## 核燃料サイクルの効用（3） 資源制約への対応（1）

核燃料サイクルのうち、プルサーマルの実施により、一定の資源節約効果を得られる。

- 例えば2046年までに使用済燃料は6.6万トン発生（電気事業分科会）し、このうち、3.2万トン（800トンで40年間）まで再処理した時点で考えると、プルトニウム、ウランのリサイクルにより製造されるMOX燃料及び回収ウラン燃料は約2.8兆kWh（現在の原子力発電電力量の約10年分に相当）のエネルギーを発生する。
- これら燃料の利用で、ウラン資源の消費を節約し、資源枯渇が延伸できる可能性がある。

# 核燃料サイクルの効用（４） 資源制約への対応（２）

高速増殖炉（FBR）サイクルは、ウラン資源の利用効率を飛躍的に高めることができる。将来、完全なFBRサイクルに移行すれば、天然ウランの累積需要量は飽和し、その後は海外から調達が必要にできる可能性がある。

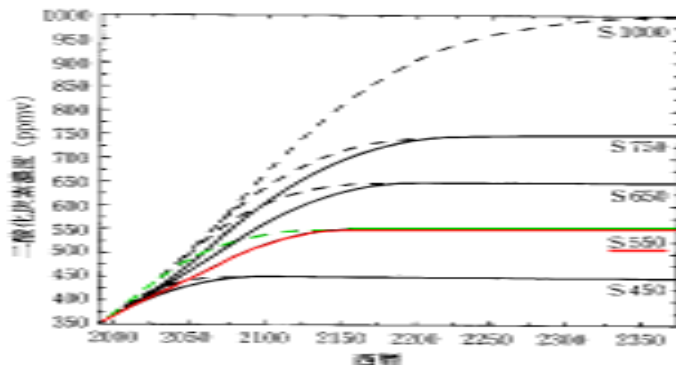


(新計画策定会議(第6回)資料第4号より)

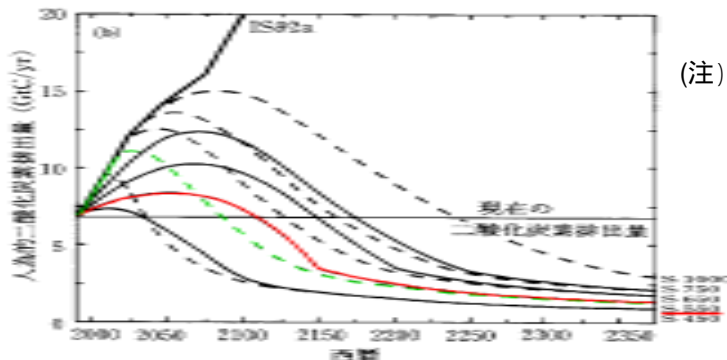
# 核燃料サイクルの効用 (5)

## 環境制約への対応(1) 世界的状況

今後、世界全体でのCO<sub>2</sub>濃度を一定に保つには、CO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減していかなければならない。  
 今後、発展途上国のエネルギー利用が急速に伸びることを考慮すると、我が国は、より一層の二酸化炭素の排出削減に取り組まなければならない。



(注)達成される濃度安定化レベル550ppmは産業革命以前のレベル280ppmのおよそ2倍に相当する。(2000年から2100年までの気温変化は1.5~3 上昇)



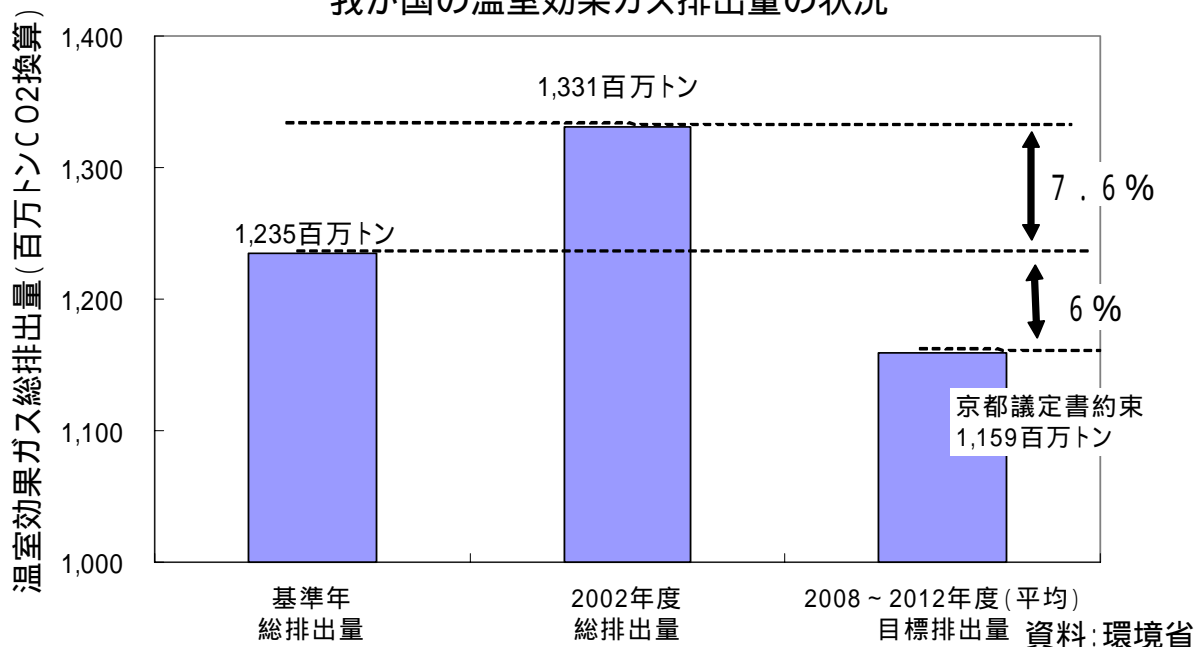
(注)IS92a: 気候変動対策を行わなかった場合  
 実線 : 全期間を通じて緩やかな排出抑制を行う場合。  
 点線 : 初期に排出削減をせず、しばらくしてから急激な排出削減を行う場合。



# 核燃料サイクルの効用（6） 環境制約への対応（2）国内状況

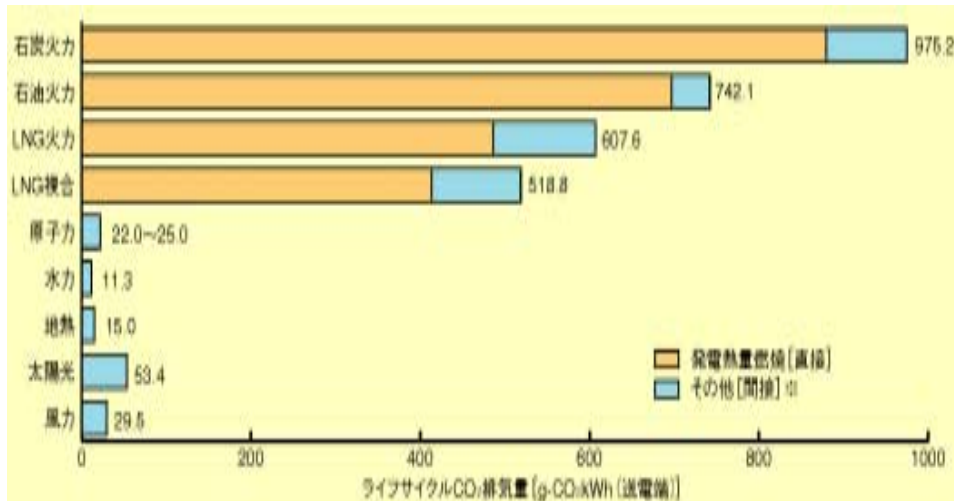
京都議定書における基準年からの6%削減約束に対し、2002年度総排出量は基準年比約7.6%増となっており、約束達成には、2002年度から約13.6%相当分（135万kW級原子力発電所約20基が石炭火力発電所に代替した場合に相当）の排出削減が必要である。

我が国の温室効果ガス排出量の状況



# 核燃料サイクルの効用（8） 環境制約への対応(3) サイクルの効用

核燃料サイクルは、化石資源の消費を抑制することにつながるの  
で、原子力発電のCO<sub>2</sub>発生量の抑制効果を更に持続させることが  
できる。



※原料の採掘から建設・輸送・精製・運用(実際の発電)・保守などのために消費されるすべてのエネルギーを対象としてCO<sub>2</sub>排出量を算定。

〈例〉石炭 採掘 → 選炭 → 輸送 → 発電 → 灰捨  
原子力はガス拡散、ワンスルーを前提として算定(遠心分離、サイクルの場合は2.3g-CO<sub>2</sub>/kWh)

出所:電力中央研究所「ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量による発電技術の評価(平成12年3月)」

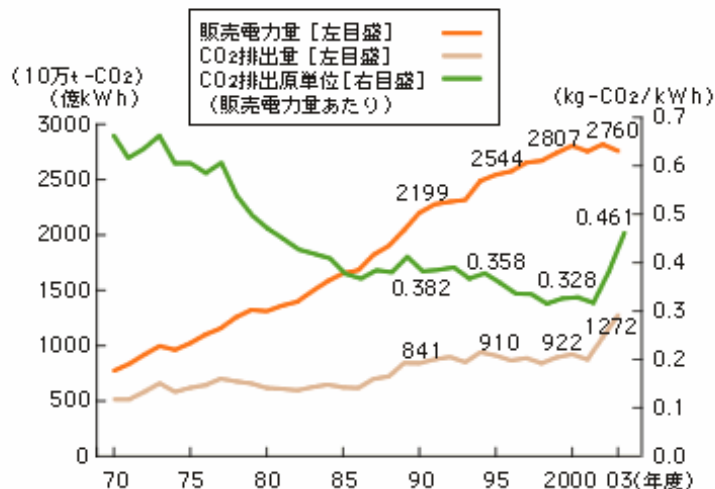


# 核燃料サイクルの効用 (7)

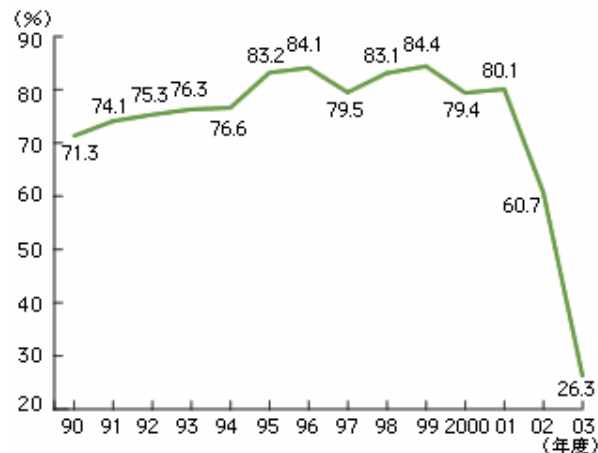
## 環境制約への対応(4) 参考

東京電力(株)の原子力発電所の運転停止により減少した発電電力量を火力発電により補った結果、2003年度のCO<sub>2</sub>排出量は1億2720万t - CO<sub>2</sub>となり、2002年度と比べて約2,000万t - CO<sub>2</sub> (18%)増加、原子力発電所運転停止がなかった2001年度比では約4,000万t - CO<sub>2</sub> (46%)という大幅な増加となった。4,000万t - CO<sub>2</sub>は、1990年の我が国の温室効果ガスの排出量の約3%に相当する。

CO<sub>2</sub>排出量・排出原単位



原子力発電所の設備利用率

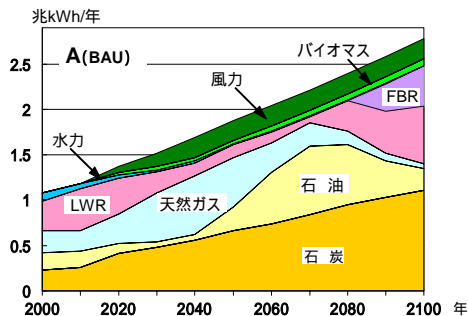


(出典: TEPCO環境行動レポート(東京電力(株)))

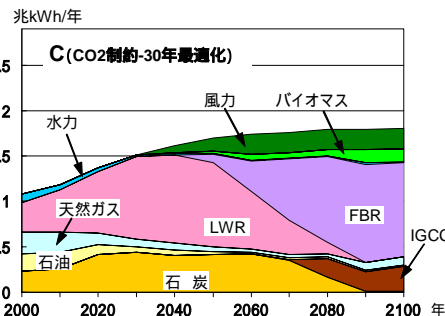
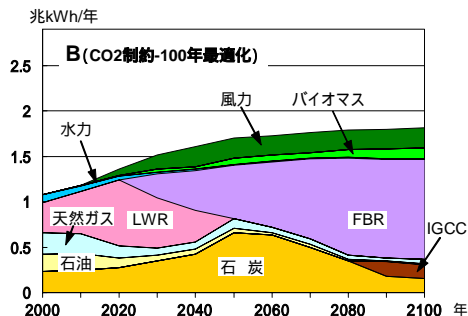
# 核燃料サイクルの効用（8） 長期的モデルシミュレーション例

（財）エネルギー総合工学研究所の需給シナリオ評価では、資源制約及びCO2制約を考慮した場合、当面、軽水炉（LWR）が、将来は高速増殖炉（FBR）が、将来、大きな役割を担う必要があることが示されている。

IAE



日本の発電電力量



新計画策定会議（第5回）  
資料第2号より抜粋



## 基本シナリオの評価(試案)

---

# 基本シナリオの評価(試案)

資源制約対応(資源枯渇延伸)等につながる核燃料サイクル

長期的セキュリティの確保に極めて有効

核燃料サイクルにおけるプルサーマルは、エネルギー確保(ウラン燃料

の一種の備蓄)という面もある 短期的セキュリティの確保に有効

(シナリオ3を基準0とした)

	長期的セキュリティ (将来の資源・環境制約に対する 頑健性の確保)	短期的セキュリティ (一時的騒乱に対する頑健性の確保)
シナリオ1 (全量再処理)	++ 選択肢であるFBRを考慮した場合、 更に効果拡大(+++)	++ 国内に一定量の資源を確保していること になる
シナリオ2 (部分再処理)	0 長期的にみると、一時的な 再処理は効果なし	++ サイクル実施期間中は、国内に一定量の資 源を確保していることになる
シナリオ3 (全量直接処分)	0	0
シナリオ4 (当面貯蔵)	当面貯蔵後の選択(技術の 維持が前提)により、 0, (++, +++)になりうる	0

ウラン備蓄は、各シナリオに付加することで、短期セキュリティの評価に+を付加する効果があるが、ウラン市場攪乱の可能性、原子炉装荷に至るまでの工程の整備、維持が必要という課題が存在する