

政策選択肢の重要課題： エネルギー安全保障について

原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会

平成24年2月23日
内閣府 原子力政策担当室

「エネルギー安全保障」とは

2010年版「エネルギー白書(平成22年6月1日閣議決定)」より引用

近年、エネルギーをめぐる諸情勢は劇的に変化しています。2000年代に入り、BRICs等の新興国の顕著な経済発展に伴い世界的にエネルギー需要が急増するとともに需給が多極化し、また、米ソ冷戦の終結後、新たな、そして多様な地政学リスクの存在が指摘されるようになりました。

さらに、自国のエネルギー資源を活用した経済発展を目指す資源国の間では資源ナショナリズムが高揚し、これまで資源開発に重要な役割を果たしてきた資源メジャーといわれる国際エネルギー企業等による資源権益へのアクセスが一層困難なものとなっています。一方で新興経済国を含む消費国の間では、資源争奪競争が激化し、こうしたことを背景として2008年末に一旦下落したエネルギー価格は、再び高い水準で推移しています。

「エネルギー安全保障」は、消費国、生産国、輸送ルートにあたる通過国それぞれにおいて、自国の置かれている地理的条件、地政学的状況、経済発展の度合い等によりその意義、戦略的重要性は異なり、また、時代の変遷に合わせてその意義を変えて来たということもできますが、各国のエネルギー政策において、最重要テーマとして常にその中心に据えられてきたことは大変重要です。

現在の「エネルギー安全保障」概念の意義は、「国民生活、経済・社会活動、国防等に必要な『量』^①のエネルギーを、受容可能な『価格』^②で確保できる^③こと」と考えられます。

エネルギー安全保障を強化するためには、エネルギー自給率等の改善を図ることによりエネルギー安全保障そのものを向上させるとともに、エネルギー安全保障を脅かしうる「リスク」を低減することを目指していくことが基本となります。

出典：総合資源エネルギー調査会 第12回基本問題委員会(H24.2.14)資料より

エネルギー安全保障を脅かしている主要なリスク

2010年版「エネルギー白書(平成22年6月1日閣議決定)」より引用

1. 地政学的リスク

- (1) 各国（産資源国及び近隣国＋輸送経路近隣国）の政治・軍事情勢（戦争、内戦、禁輸等）
- (2) 国際関係
- (3) 外交ツールとしての利用（原油禁輸、パイプラインの送ガス停止等）
- (4) 資源ナショナリズム（接收・国有化、課税引上げ、輸出規制等）
- (5) 消費国間の資源争奪（資源権益獲得競争、領土紛争等）
- (6) テロ、海賊等のリスクが顕在化
- (7) その他の地政学的リスク

2. 地質学的リスク

- (1) 埋蔵量の減少
- (2) 資源の偏在

3. 国内供給体制リスク

- (1) 設備投資減退（設備老朽化）
- (2) 技術開発停滞

4. 需給逼迫リスク

5. 市場価格リスク（需給ファンダメンタルズ＋投機プレミアム）

6. 天災・事故・ストライキ・パンデミック等のリスク

出典：総合資源エネルギー調査会 第12回基本問題委員会(H24.2.14)資料より

世界における資源供給の主な途絶事例

中東・北アフリカにおける紛争及び政変

第一次石油危機(1973年10月)

OAPECが原油の生産削減および一部非友好国への石油禁輸(6ヶ月間)を実施。最大430万b/dの原油供給が途絶。原油価格が4倍に急騰(\$3→\$12)。

第二次石油危機(1978年11月)

イラン革命で最大560万b/dの原油供給が途絶。原油価格は1978年11月の\$13から1979年4月には\$15に上昇。イラン・イラク戦争(1980年9月～1988年8月)では、最大410万b/dの原油供給が途絶。OPECは基準価格を徐々に引き上げ、1981年1月には\$34に。

湾岸戦争(1990年8月)

イラクによるクウェート侵攻により、両国合計で最大430万b/dの原油供給が途絶。クウェートの原油生産回復に3年を要した。イラクの原油生産は経済制裁により50万b/dに減少(1999年から200万b/d)。WTI原油価格は開戦前の\$21から10月には\$40に。

イラク戦争(2003年3月)

イラク原油において、最大230万b/dの供給が途絶(1～2ヶ月)。12月には回復。WTI原油はベネズエラのゼネストを受けて2002年12月後半から\$30を超えて上昇を続けていたが、3月初めには\$38まで上昇。

リビア、イエメンにおける政変(2010年12月)

両国合計で最大170万b/dの原油供給が途絶。WTI原油価格は2011年1月の\$89から4月末には\$114に。

その他の地域の民族紛争、国内政治対立等

ベネズエラの反大統領派ゼネスト(2002年12月)

ストが4ヶ月続き、最大260万b/dの原油供給が途絶。WTI原油価格は、11月の\$26から2003年3月初めには\$38に。

インドネシアのアルンLNG停止(2001年3月)

ゲリラ自由アチェ運動の脅迫によりExxonMobilが操業を停止し、液化基地への1.44bcf/dのガス供給が途絶(5ヶ月)。月間10カーゴのLNG輸出が停止。

自然災害

メキシコ湾ハリケーン(2005年8月)

原油生産140万b/d、天然ガス生産8bcf/dが停止(メキシコ湾生産量のそれぞれ9割、8割)。WTI原油価格は\$65から\$70(8月末)に、天然ガス価格は2倍の\$15/Mbtuに上昇。

オーストラリア洪水(2010年11月)(石炭関係)

豪州原料炭生産の9割を占めるクイーンズランド州の洪水で8割以上の炭鉱が浸水、鉄道も被害。3月頃には回復。豪州一般炭スポット成約価格は8月最安値の\$87/tから2011年1月初めには\$144/tに上昇。

パイプライン通過国リスク

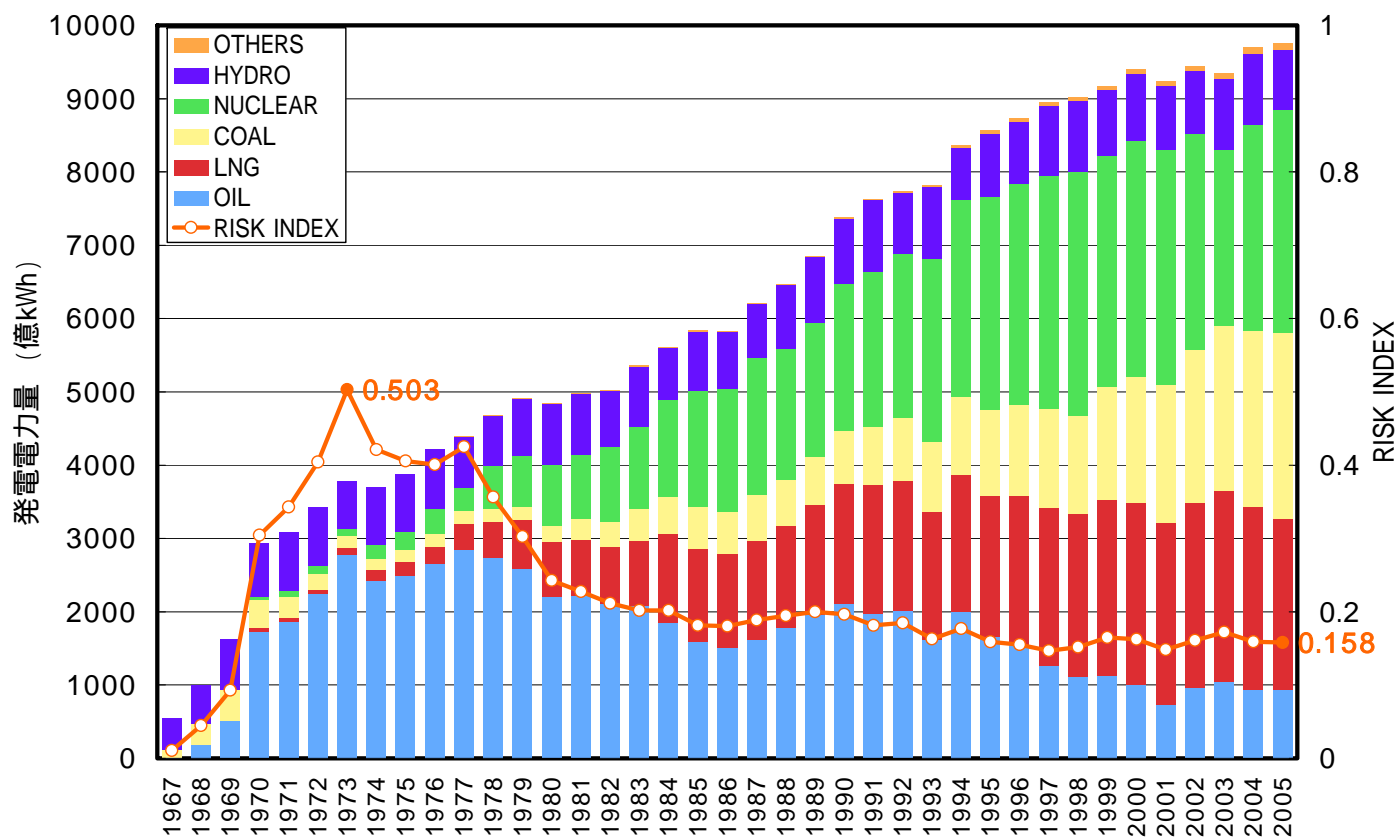
ロシアによるウクライナへのガス供給停止(2009年1月)

EUがロシアから輸入する天然ガスの8割を占める、ウクライナ経由のガスが停止。300-350百万立方メートル/dのガス供給が2週間停止。

出典: 総合資源エネルギー調査会 第12回基本問題委員会(H24.2.14)資料より

日本の発電電力量とリスク指標※

- 1970年代は中東への石油依存度が高く、エネルギー供給リスクが高い状態にあった。
- その後1980年代には、石油輸入相手国の多様化、エネルギー源の多様化等により、大幅にリスクは低下した。



(*)リスク指標
世界のエネルギー資源確保の難しさ度合い、日本の輸入相手先の違いによる資源確保の難しさ度合いを指標化したもの

(出典) 電力中央研究所「原子力の燃料供給安定性の定量的評価」(平成20年4月)

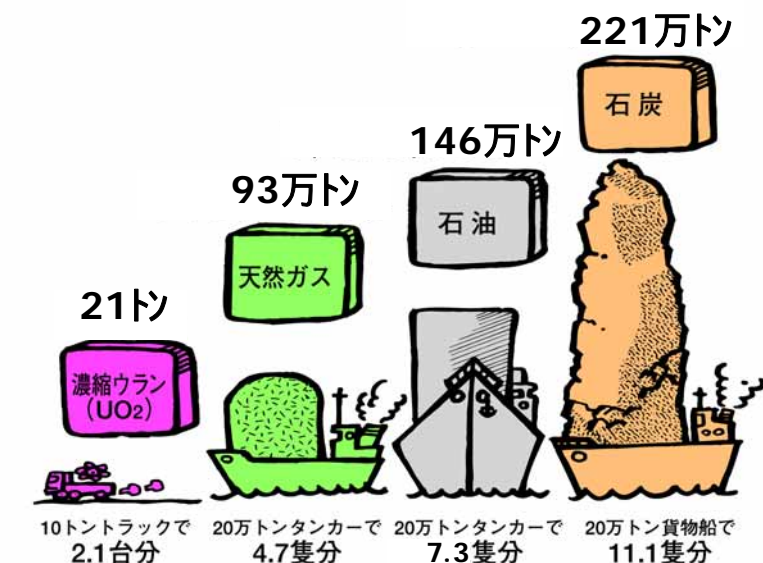
必要な『量』

100万kWの発電を1年間運転するために必要な燃料

- 濃縮ウランは厳重な管理を必要とするが、同じ量の電力を発電するための物量は化石燃料の数万分の1であり、備蓄性が高い。

手法	1 kg の燃料による発電量 (kWh)	100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料
木炭	~ 1	
石炭	3	221万トン 石炭
石油	4	146万トン 石油
天然ウラン	50,000	93万トン 天然ガス
プルトニウム	6,000,000	21トン 濃縮ウラン (UO ₂)

(出典) Vattenfall Fuel, IC on Innovative Nuclear Power, Vienna, 2003 & H.Blix, World Nuclear Association Annual Symposium, London, 2001



(出典) 電気事業連合会「原子力・エネルギー」図面集2007の数値を同図面集2010の数値に変更

必要な『量』

潜在的備蓄効果

- 原子力発電では、燃料交換後1～2年間は発電を継続できることに加え、燃料の加工過程にウランなどの燃料物質がランニングストックとして一定量滞留しているなど、潜在的な備蓄性能が備わっており、海外からの燃料物質の供給が遮断されても一定期間のエネルギー生産の継続が可能。

原子力の潜在的備蓄効果

	石油備蓄	石油ガス備蓄	原子力(潜在備蓄)
備蓄量(日量換算)	8,480万kl(172日)	299万t(95日)	2.35年分

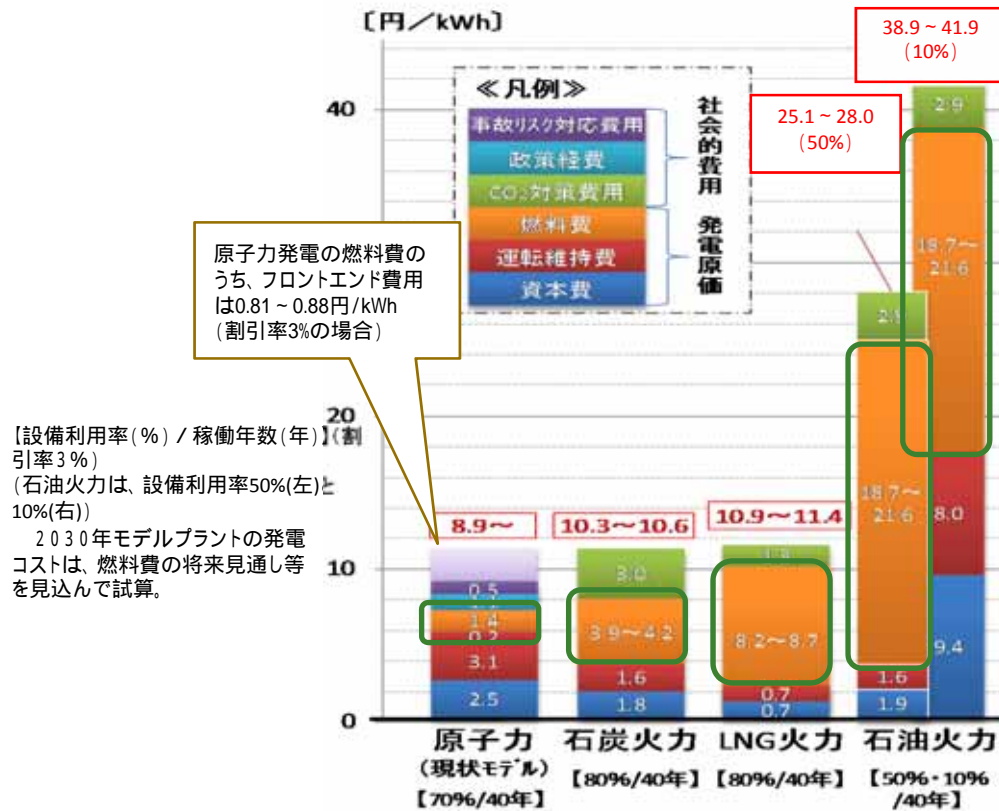
原子力については、外部からの燃料供給遮断時に1年間の運転継続が可能なものとして仮定。また、2006年末時点で、国内の濃縮ウラン1,327tU、天然ウラン514tUが存在していることを踏まえ(文科省2007)、国内に100万kW級の原発が50基存在し、100万kW級の原発の年間所要量を濃縮ウランで20.5tU、天然ウラン換算で177.5tUとして潜在備蓄を算出。石油備蓄及び石油ガス備蓄は、2011年11月末時点の国家備蓄と民間備蓄の合計額を活用(ただし、石油は製品換算)

出典: 総合資源エネルギー調査会 第12回基本問題委員会(H24.2.14)資料より

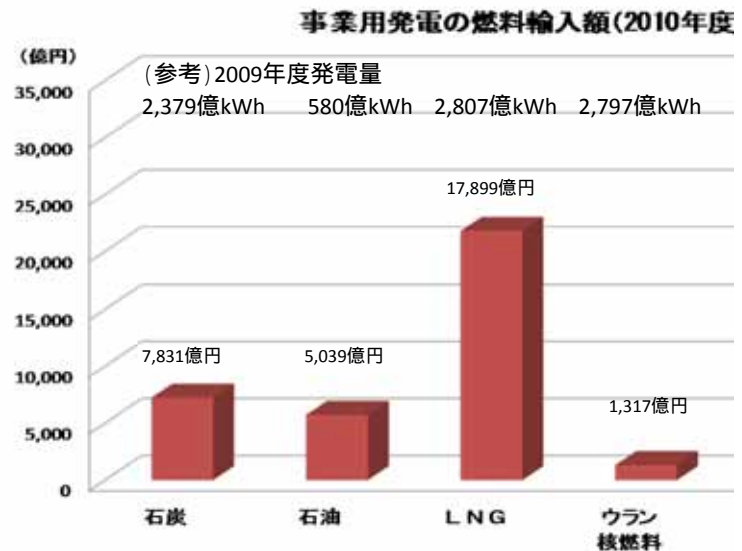
受容可能な『価格』 燃料費

- 原子力は、石油、天然ガス、石炭と比較して、発電コストに占める燃料費(フロントエンド)が1割以下と極めて小さく、国際的な燃料の価格変動による発電コストへの影響が小さい。

発電コストに占める燃料費の割合(2030年モデルプラント)



事業用発電の燃料輸入額(2010年度推計)



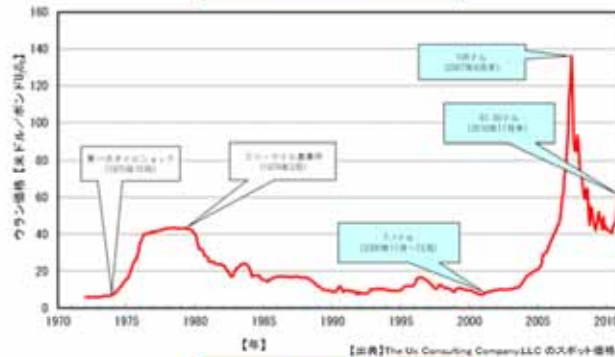
出典: 総合資源エネルギー調査会 第12回基本問題委員会(H24.2.14)資料より

受容可能な『価格』

燃料費の変動と発電単価に占める割合

- 過去、どのエネルギー資源も価格が変動している。
- 原子力発電は、発電原価に占める燃料費の割合が小さいので、資源価格が大きく変動しても発電コストはあまり変わらない

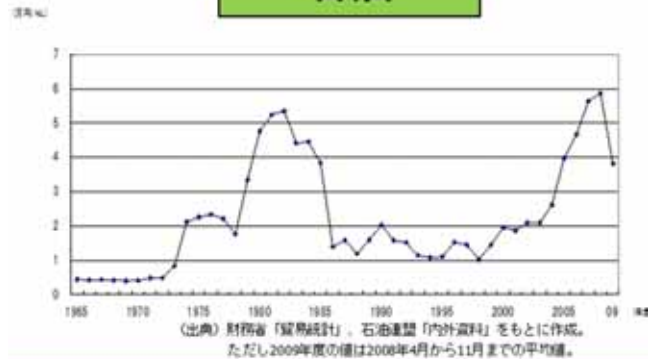
ウラン



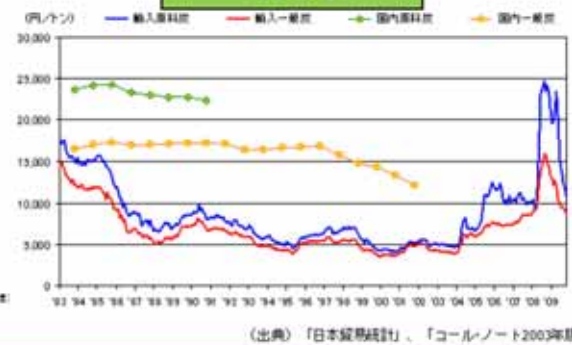
天然ガス



石油



石炭



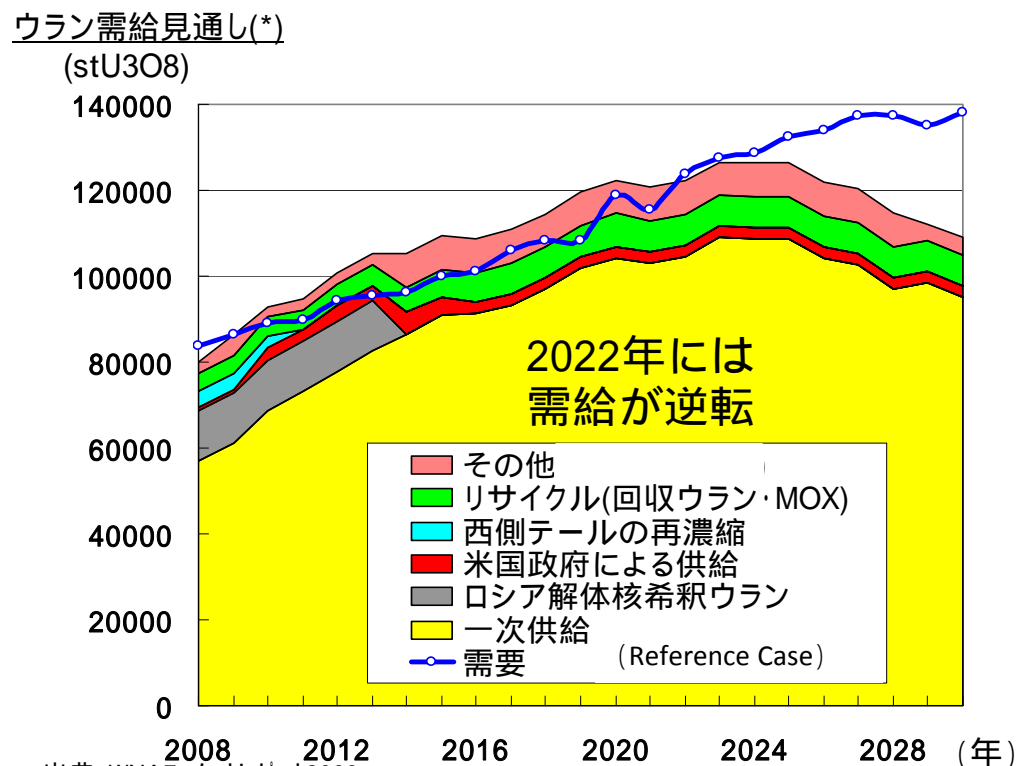
各発電方式毎の
燃料費の割合

原子力: 1割程度
天然ガス: 6割程度
石油: 6割程度
石炭: 4割程度

(出典)
原子力: 総合資源エネルギー調査会
電気事業分科会コスト等検討
小委員会 (平成16年1月)
原子力以外: 資源エネルギー庁総合
エネルギー調査会第70回原子
力部会 (平成11年12月)

確保できること ウランの需給見通しについて

- 需要拡大にともない、短期的な天然ウラン市場の需給は2020年以降ややタイトになるとみられている。
- 2020年以降は生産も増強すると考えられるが、費用は増加するものと予想される。



出典: WNAマーケットレポート2009

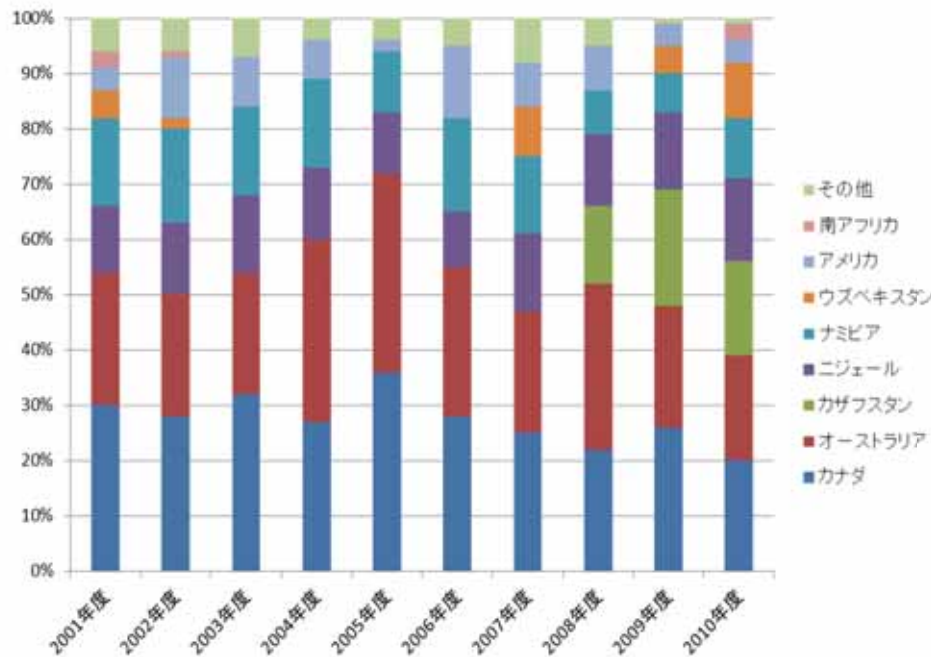
(*)同レポートのReference Caseによる
st(ショート・トン): 主にアメリカで使われてきた重さの単位で、
1stU₃O₈とは0.769tUに相当する。

確保できること

現在進めている取組: 我が国のウラン確保の状況

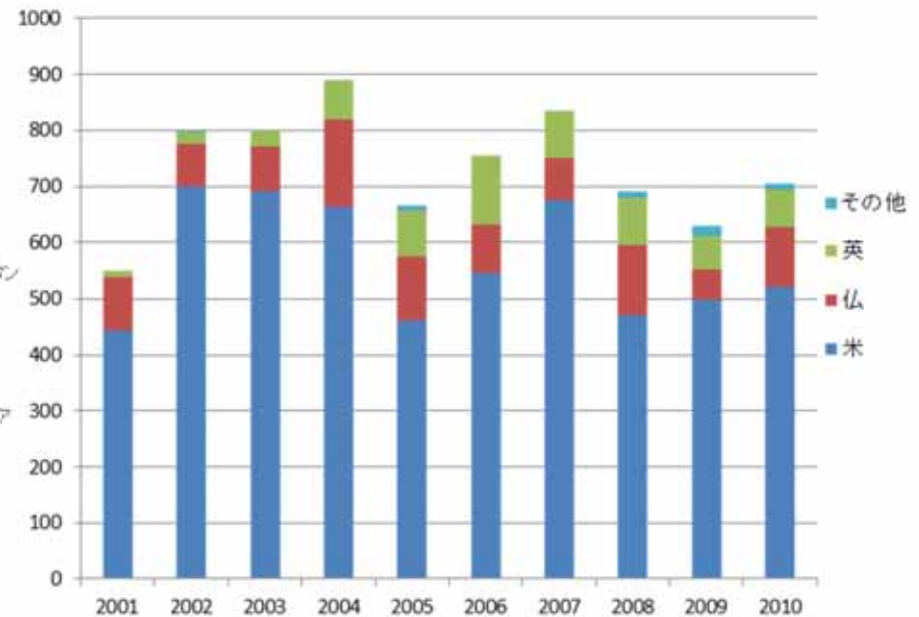
- ウラン資源に乏しい我が国は、カナダ、オーストラリア、カザフスタン、ニジェール等、調達先の多様化によって、天然ウランを確保している。
- 確保した天然ウランは、米国、フランス、イギリス、カナダ等を通じて、濃縮ウラン、天然ウランとして輸入している。

我が国の天然ウラン原産国別シェア



出典：電気事業連合会資料をもとに内閣府作成

我が国の国別濃縮ウラン輸入量の推移



出典：文科省保障措置活動(主な核燃料物質移動量)をもとに内閣府作成

確保できること

現在進めている取組: 主なウラン鉱山開発

- ウラン燃料の安定確保の観点から、比較的情勢が安定しているカナダやオーストラリアに加え、中央アジアやアフリカへの参画を支援するとともに、我が国が調達するウラン燃料を自主権益からのものに置き換えていくなど調達の多様化を支援。
- また、ウラン鉱山開発のみならず、不測の供給途絶に備えるという観点から、輸送ルートの多様化や、国内に一定程度のウラン燃料を確保していくなどの取組を支援していくことが必要。

< 取組の例 >

中央アジア

対象国のウランに関する状況

・カザフスタン(生産量1位(33%)、我が国調達先3位(17%))、ウズベキスタン(生産量7位(5%)、我が国調達先6位(10%))、モンゴル(現在生産無し。推定埋蔵量は世界有数。)

権益獲得に向けた我が国の取組の現状

・日本企業(電力、商社、メーカー)がハラサンプロジェクト(カザフスタン)の権益を獲得。JBICが開発資金を融資。
・日・ウズベキスタン首脳間で合意した新規プロジェクトについて、JOGMECが、ウズベキスタン政府と共同探鉱の実施に向け調整中。

アフリカ

対象国のウランに関する状況

・ナミビア(生産量4位(8%)、我が国調達先5位(11%))、ニジェール(生産量5位(8%)、我が国調達先4位(15%))。

権益獲得に向けた我が国の取組の現状

・海外ウラン資源開発(電力各社、商社等の合弁会社)がアークータ鉱山(ニジェール)の権益を取得。
・伊藤忠商事がフッサブ鉱山(ナミビア)の権益を取得。

カナダ

ウランに関する状況

・生産量2位(20%)、日本調達先1位(26%)。

権益獲得に向けた我が国の取組の現状

・東京電力、出光興産、海外ウラン資源開発ほか、シガーレイク鉱山、ミッドウエスト鉱山等に参画。
・JOGMECが探鉱支援を実施。

オーストラリア

ウランに関する状況

・生産量3位(16%)、日本調達先2位(19%)。

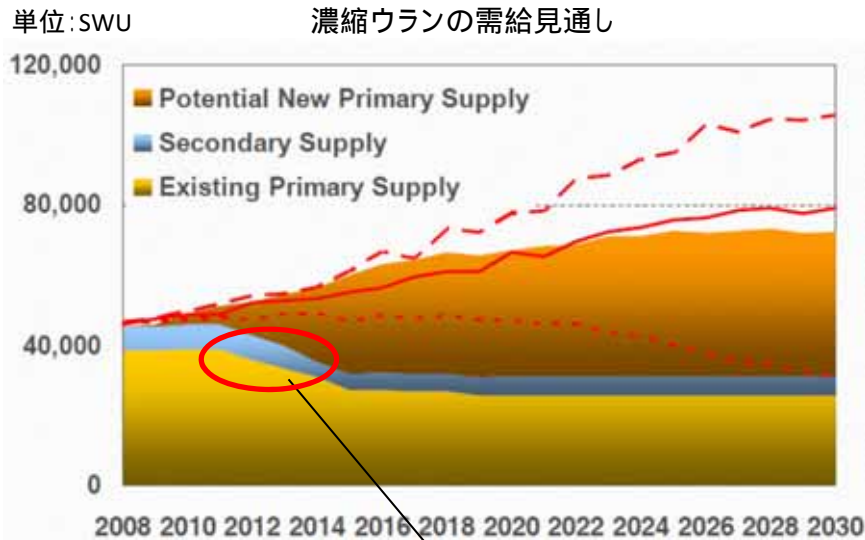
権益獲得に向けた我が国の取組の現状

・伊藤忠、日豪ウラン(電力、商社の合弁企業)、三菱商事がレイクメイトランド鉱山、キンタイア鉱山に参画。
・JOGMECが探鉱支援を実施。

確保できること

現在進めている取組：我が国の濃縮ウランの確保状況

- 我が国のウラン濃縮需要量は、2010年度で約5,700tSWU。
- 我が国では現在、米国濃縮会社(USEC社)、仏国核燃料会社(AREVA社)、英国、ドイツ、オランダ3カ国の合弁企業(ウレンコ社)、ロシア(TENEX社)、日本原燃(株)等から濃縮ウランを入手している。

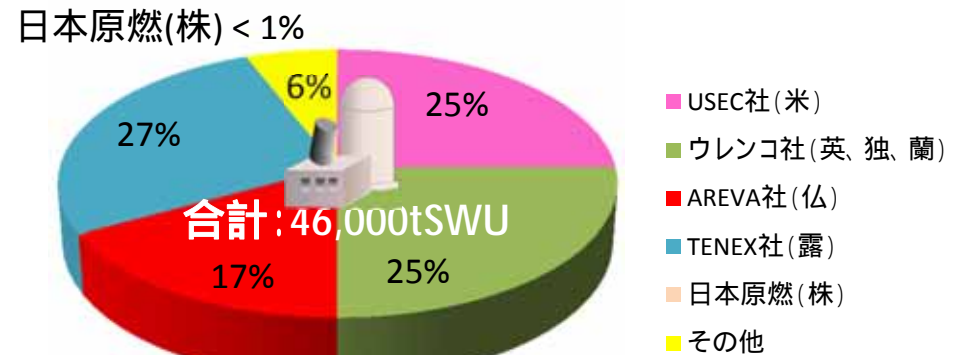


出典: WNA Market Report

2013年頃にはロシアの解体核希釈ウランがなくなる。

— : Reference Case
- - : Upper Case
... : Lower Case

2009年 濃縮役務供給量(全世界)



出典: ウレンコ社HP "Investor update on 2009", URENCO, 8 April 2010

SWU: 天然ウランを濃縮する際に必要になる仕事量を表し、濃縮度を高めるほど大きくなる。

確保できること

現在進めている取組: プルサーマルの推進

- プルサーマルの実施により、一定の資源節約効果が得られる。

- 海外で再処理されたプルトニウムについてはMOX燃料に加工し、現在一部の原子力発電所にて使用を開始している。
- また、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、ウラン資源節約効果はLWRワンスルーより30%程度増加(ウラン利用効率0.6%→0.8%)し、資源枯渇が延伸できる可能性がある。

出典:平成16年新大綱策定会議(7回)資料第1号を一部引用

確保できること

将来に向けた取組：高速増殖炉サイクル技術の研究開発

- 長期的にもウランの需要は増えるものと見込まれているが、ウラン資源開発等により2050年頃まではウランの供給量は確保できる見通しが得られている。
- 核燃料資源を合理的に達成できる限りにおいて有効利用することの基本方針に基づき、長期的なエネルギー安定供給に貢献できる可能性を有する高速増殖炉サイクル技術の研究開発の推進している。

ウラン資源量の推移

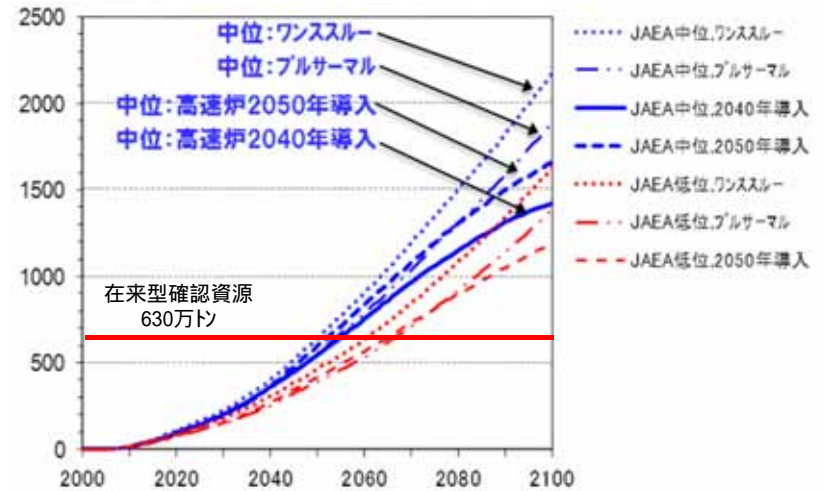
単位：1,000tU

資源分類	2003年評価	2005年評価	2007年評価	2009年評価
発見資源(確認+推定)				
< 260ドル/kgU	-	-	-	> 6306
< 130ドル/kgU	4588	4743	5469	5404
< 80ドル/kgU	3537	3804	> 4456	3742
< 40ドル/kgU	> 2523	> 2749	2970	> 796
確認資源				
< 260ドル/kgU	-	-	-	> 4004
< 130ドル/kgU	3169	3297	> 3338	3525
< 80ドル/kgU	2458	2643	2598	> 2516
< 40ドル/kgU	> 1730	> 1947	> 1766	570
推定資源				
< 260ドル/kgU	-	-	-	2302
< 130ドル/kgU	1419	1446	> 2130	> 1879
< 80ドル/kgU	1079	1161	> 1858	1226
< 40ドル/kgU	> 793	> 799	1204	> 226

出典：Uranium 2009

出典：原子力委員会 新大綱策定会議 資料2-1号(2011)

中位：原子力総発電容量 2,440GWe
 低位：原子力総発電容量 2,020GWe



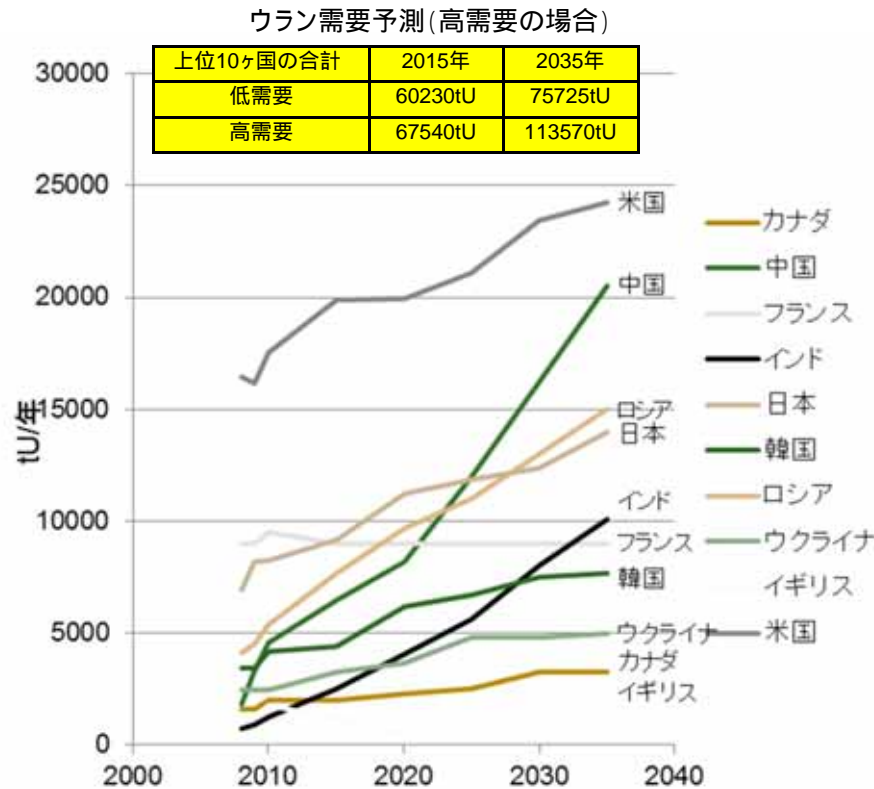
天然ウラン累積需要量の推移（高速炉導入と軽水炉ワンスルー）

（出典）日本原子力研究開発機構試算

確保できること

将来に向けた取組：ウラン需要予測とFBR利用の効果

- ウラン産出国でない中国やインドの需要の急激な伸びが予想されている。
- 日本の長期的なウラン確保が困難となる可能性があり、将来の選択肢として高速増殖炉サイクルの活用は大きな効果を有する。



エネルギー資源の可採年数等

	石炭	石油	天然ガス	原子力		
				ワンスルー	ブルサーマル	高速炉サイクル
可採年数	124年 ^{*1}	47年 ^{*1}	64年 ^{*1}	100年 ^{*3}	130年 ^{*3}	>3000年 ^{*3}
確認埋蔵量	8260億 t ^{*2}	1817億 t ^{*2}	187.5兆 m ^{3*2}	630万 t ^{*4}		
生産量	69.4億 t ^{*2}	38.2億 t ^{*2}	2.99兆 m ^{3*2}	4.4万 t ^{*4}		
備考	-	-	-	海水中に含まれるウラン(総量45億t)の回収技術開発も実施中。 ^{*5} トリウムはウランの約3倍ある。 ^{*6}		

*1 確認埋蔵量を現在の消費量で割った値をいう。

*2 BP(beyond petroleum) Statistical Review of World Energy 2010(2009年末データ)

*3 OECD/NEA, Nuclear Energy Outlook 2008

*4 Uranium2009

*5 海水ウランの捕集技術, 原子力委員会 定例会 2009年 第20回, 資料第1-1号

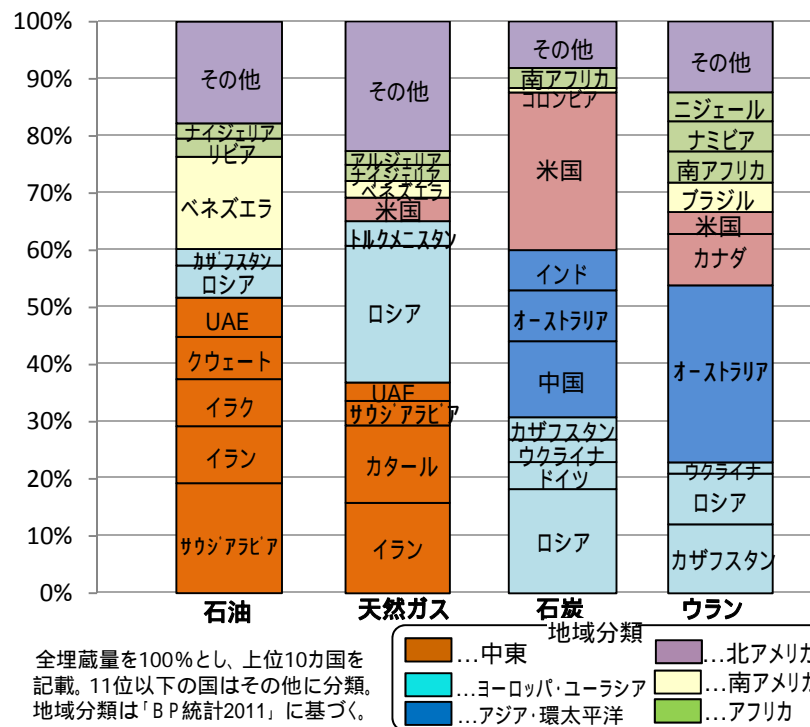
*6 IAEA TECDOC-1450

出典: OECD/NEA&IAEA, Uranium2009 をもとに内閣府で作成

参考

(参考) 国別ウラン埋蔵量

● ウラン燃料は特定地域への強い偏在が少ない。



出典：原油・天然ガス・石炭：「BP統計2011」、ウラン：OECD/NEA&IAEA, Uranium2009

出典：総合資源エネルギー調査会 第12回基本問題委員会 (H24.2.14) 資料より

(参考) 事業者による天然ウラン調達状況(1/2)

- 協働開発探鉱については、事業者は国の支援の下、ウラン鉱山の探鉱及び開発プロジェクトに参画し、権益の確保を進めている。

日本企業が権益を持つ主なウラン鉱山

	国名	鉱山名	参加年度	参加企業	出資比率 (%)
生産中 (試験生産を含む)	ニジェール	アクータ	1974	海外ウラン資源開発	25%
				SOPAMIN(ニジェール国営地下資源関連事業会社)	31%
				AREVA(仏)	34%
				ENUSA(スペインウラン公社)	10%
	カナダ	マックリーンレイク	1992	海外ウラン資源開発(OURD Canada)	約8%
				AREVA (AREVA Resources Canada)	70%
				DENISON Mines(カナダ)	約23%
	カザフスタン	ウェストムインク デュック	2005	住友商事	25%
				関西電力	10%
		ハラサン	2007	カザトムプロム(カザフスタン)	65%
丸紅					
東京電力					
東芝					
中部電力					
東北電力					
九州電力					
カザトムプロム(カザフスタン)					
ウラニウムワン(カナダ)					

出典：平成23年新大綱策定会議(4回)再掲

(参考) 事業者による天然ウラン調達状況(2/2)

開発中	カナダ	シガーレイク	1997	出光興産(Idemitsu Canada Resources)	約8%
				東京電力(Tepco Resources)	約5%
	ミッドウェスト	1991	Cameco(カナダ)	約50%	
			AREVA(AREVA Resources Canada)	約37%	
豪州	キンタイア	2008	海外ウラン資源開発(OURD Canada)	約6%	
	ハネムーン	2008	AREVA(AREVA Resources Canada)	約69%	
F/S中	カナダ	キガビック・シッソ ンズ	2000	DENISON Mines(カナダ)	約25%
				三菱商事(Mitsubishi Development Pty Ltd)	30%
	アメリカ	ロカホンダ	2007	Cameco(カナダ)	70%
				三井物産(Mitsui & Co. Uranium Australia)	49%
	豪州	レイクメイトランド (西豪州)	2009	ウラニウムワン(カナダ)	51%
				JCU(Canada) Exploration Co., Ltd.	約34%
	カナダ	クリーエクステン ション	2000	AREVA(AREVA Resources Canada)	約65%
				住友商事グループ	40%
	ナミビア	ロッシングサウス	2009	ストラスモア(Strathmore Minerals Corporation)	60%
				日豪ウラン(JAURD International Pty Ltd)	30%
豪州	クリーエクステン ション	2000	伊藤忠商事(ITOCHU Minerals & Energy of Australia Pty Ltd)	5%	
			メガウラニウム(カナダ)	65%	
ナミビア	ロッシングサウス	2009	JCU(Canada) Exploration Co., Ltd.	約30%	
			伊藤忠商事(Nippon Uranium Resources)	約16%	
ナミビア	ロッシングサウス	2009	Cameco(カナダ)	約42%	
			AREVA(AREVA Resources Canada)	約28%	
ナミビア	ロッシングサウス	2009	Extract Resources(豪)	約36%	
			Kalahari Minerals(英)	約29%	
ナミビア	ロッシングサウス	2009	Rio Tinto(英)	約19%	

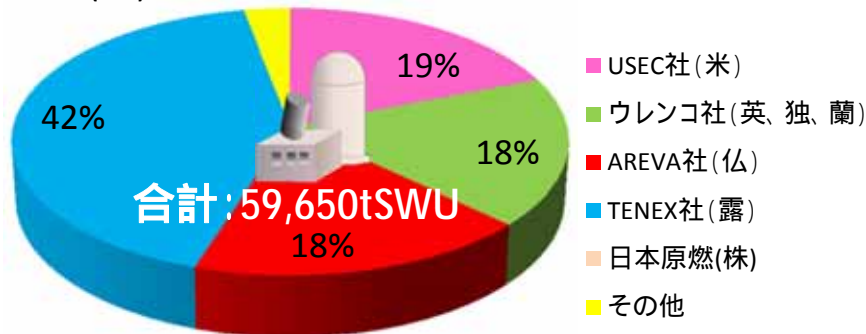
出典:平成23年新大綱策定会議(4回)再掲

(参考)ウランの濃縮シェア

- 濃縮ウランは米国、ロシア、仏国、英国・ドイツ・オランダを中心とした供給体制がシェアのほとんどを占めている状況にある。
- 我が国では濃縮ウランの安定確保のため、1970年代より自国でのウラン濃縮技術の確立を目指して研究が行われ、1990年代初頭より民間による濃縮事業が開始された。

世界のウラン濃縮施設(規模)

日本原燃(株) 0% 3%



日本原燃(株): 新型機更新中
(最終的には1,500tSWUを計画)

出典: OECD NEA(2006)Nuclear Energy Data, WNA Market Report 2009

SWU: 天然ウランを濃縮する際に必要になる仕事量を表し、濃縮度を高めるほど大きくなる。

日本の遠心機開発



出典: 日本原子力研究開発機構HPより

六ヶ所ウラン濃縮工場これまで使用していた遠心機と同型