

レッドブック 2005 の概要

2006.6.6

日本原子力研究開発機構

戦略調査室 小林孝男

OECD/NEA-IAEA の Uranium 2005 (レッドブック 2005) が 2006 年 6 月 1 日付けで発行された。以下に、その概要を紹介する。

レッドブック 2005 サマリー

〈探鉱〉

世界の 2004 年のウラン探鉱規模は、2002 年に比べて約 40% 増加し、US\$133m. であった。特に際立った例は米国で、2002 年の US\$1m. 以下から US\$10m. 以上に急増した。探鉱地域としては、不整合関連型と ISL 探鉱が可能な砂岩型の鉱床分布地域への集中は従来どおりであるが、ウラン価格の上昇により、過去の調査で有望性が知られていた地域やグラスルートの探鉱も活発になり始めた。2004 年の探鉱費の約 50% は国内探鉱にあてられ、残りの US\$70m. (2002 年の 4 倍増) は海外探鉱に当てられた。2005 年の探鉱費は US\$195m. への増加が見込まれる。

〈資源〉

在来型ウラン資源の発見資源 (従来の既知資源) は、コスト <US\$80(354⇒380 万 tU) と <US\$130(459⇒474 万 tU) の両カテゴリーとも、2003 年レベルよりも資源量が若干増加した。しかし、この増加の大部分は新発見によるものではなく、ウラン価格の上昇を考慮してウラン鉱石のカットオフ品位を下げ、以前の発見資源を再評価した結果によるものである*¹。<US\$40 の発見資源は、2003 年レベルよりも約 13% 増加した。これは主に、このカテゴリーのオーストラリア、ブラジル、ニジェールの報告によるものである。2005 年の未発見資源合計は約 1,000 万 tU で 2003 年のレベルとほぼ同じである。

* 1 : カットオフ品位を下げると鉱石全体の平均品位が下がり生産コストが高くなるが、回収ウラン量が増加し、総売上高は増加する。最も高い収益を得るための適切なカットオフ品位は、ウランの販売価格によって変化する。

〈生産〉

2004 年のウラン生産は 40,263tU で、2002 年の 36,050tU、主要鉱山の予期せぬトラブルで生産が減少した 2003 年の 35,492tU よりも増加した。2004 年の生産報告国は 19 カ国で、2003 年に生産中止したスペインが減少した。2002 年に比べ 30% 以上増加したのは、オーストラリア、カザフスタン、ナミビアで、5~15% 増加したのは、ブラジル、ニジェール、ロシア、ウズベキスタンである。10% 以上減少したのはチェコと南アのみである。鉱山回復作業に伴いウランを回収した国は、フランス、ドイツ、ハンガリーである。2004 年の生産方法別では、坑内採掘が 39%、露天採掘が 28%、ISL 探鉱が 20%、銅との共産・金の副産およびその他の非

在来型生産の合計が13%であった。2005年の生産は、41,250 t Uに増加すると推定される。

〈環境面とウラン生産〉

ウラン生産サイクルの環境上の側面が、今回再び取りあげられた。多くの国別レポートは、製錬サイトの鉱滓と廃棄物の長期管理、生産センターの跡地回復活動、生産地域および廃棄物管理地域の環境評価情報更新とモニタリング研究について記述している。鉱山地域の水質防護策の開発情報とともに、活動を終えたサイトの廃止措置と回復活動および閉山した国の雇用喪失に関する取扱いについても、記述された。

〈ウラン需要〉

2004年末時点で、440の商業原子炉が運転し、発電容量は369GWe、ウラン需要は67,320tUであった。2025年までに世界の原子力発電湯量は、449Gwe（低需要ケース）～533GWe（高需要ケース）に成長すると予想される。したがって、世界の2025年の年間ウラン需要は、82,275tU～100,760tUと予想される。

この成長予想値には大きな地域差が存在する。原子力発電容量とそのウラン需要は、東アジア地域（90～115%）と中央・東・南東ヨーロッパ地域（34～53%）で大きく成長すると予想される。北米では若干の伸び（4～27%）が予想されるが、原子力のフェーズアウト計画が進む西ヨーロッパでは、16～26%の減少が予想される。しかし、原子力が将来のエネルギー需要に果たす役割については進行中の論争があり、これらの予測には大きな不確実性がある。将来の原子力の伸びに影響する主要要因として、原子力発電プラントと燃料の経済競争力、電力需要の伸び、および原子力と廃棄物管理方策に対するパブリック・アクセプタンスが挙げられる。化石燃料の長期供給保障上の懸念と原子力が温暖化ガスの削減目標に寄与する役割がどれだけ評価されるかによって、将来のウラン需要が左右される可能性もある。

〈供給と需要の関係〉

2004年の世界のウラン生産は40,263tUで、世界の原子力発電需要67,320tUの約60%を供給し、残りは二次供給（商業在庫、核軍縮HEU、劣化ウラン再濃縮、回収ウラン等）で賄われた

US\$80/kgU以下の発見資源を有する操業中・開発決定済、計画・見込みの生産センターのウラン生産能力は、もし全ての拡張および開発が計画通りに実行され、フル能力で生産されれば、2010年までの需要を満たすことが可能である。全てのプロジェクトが予定通りにフル能力で生産できるとは考えにくいだが、ウラン産業は明らかに活性化しており、生産能力はこの2～3年のうちにかなり増加すると期待される。しかし、フル能力での生産の困難さゆえ、二次供給は当面必要となり続けるであろう。

しかしながら、二次供給の供給量は減少し続け、特に2015年以降、原子力発電需要を満たすためには、既存の生産センターの拡張とともに、新規の生産センターもしくは核燃料サイクルの導入が必要になると思われる。新しい資源を発見し生産に至るまでには10年オーダーもしくはそれ以上の長いリードタイムを要するため、発見資源のタイムリーな開発を促すために

は、二次供給の減少によるウラン供給不足の潜在性とウラン価格上昇圧力が常に存在し続けることが必要である。長いリードタイムは、経営者のタイムリーな決定を遅らせてしまいがちである。世界のウラン余剰在庫とその他の二次供給資源の性状・量に関する正確な情報が把握できれば、よりタイムリーな生産決定を行うことが可能になるであろう。

〈結論〉

世界の電力需要は、人口増加と経済成長を支えるため、今後数 10 年間は成長し続けることが予想される。その中で原子力発電は、規模は依然不確定であるものの、重要な役割を担い続けるであろう。

原子力が最終的に果たす役割の大きさにかかわらず、本書に報告されたウラン資源は、将来の需要を十分満たす量が存在する。しかし、必要とされる時にタイムリーに資源が開発されるためには、強い市場と高価格が持続することが必要である。

1. ウラン供給

(1) ウラン資源

在来型ウラン資源の 2005 年版と 2003 年版の比較および世界の資源分布は、表 1、図 1 に示すとおりである。

サマリーで紹介したとおり、ウラン価格の上昇を踏まえた新たな基準による資源再評価などにより、2005 年版の在来型発見資源は、2003 年版に比較して 25 万 tU 増加し 474 万 tU となった。

表 1 世界の在来型ウラン資源量 (OECD/NEA-IAEA, 2006 に基づく)

コスト区分	発見資源(万tU)		未発見資源(万tU)		在来型資源 総計(万tU)
	確認資源	推定資源 (推定追加 資源Ⅰ)	予測資源 (推定追加 資源Ⅱ)	期待資源	
コスト区分なし	—	—	—	298(310)	1,480 (1,438)
<US\$130/kgU (<US\$50/ポンドU3O8)	474(459)		252(225)	456(444)	
	330(317)	145(142)			
<US\$80/kgU (<US\$30/ポンドU3O8)	380(354)		170(147)		
	264(246)	116(108)			
<US\$40/kgU (<US\$15/ポンドU3O8)	275(252)				
	195(173)	80(79)			

() 内の数字はレッドブック 2003 年

注: 低コスト区分(<US\$80/kgU, <US\$40/kgU)の資源量は高コスト区分の資源量の内数である。

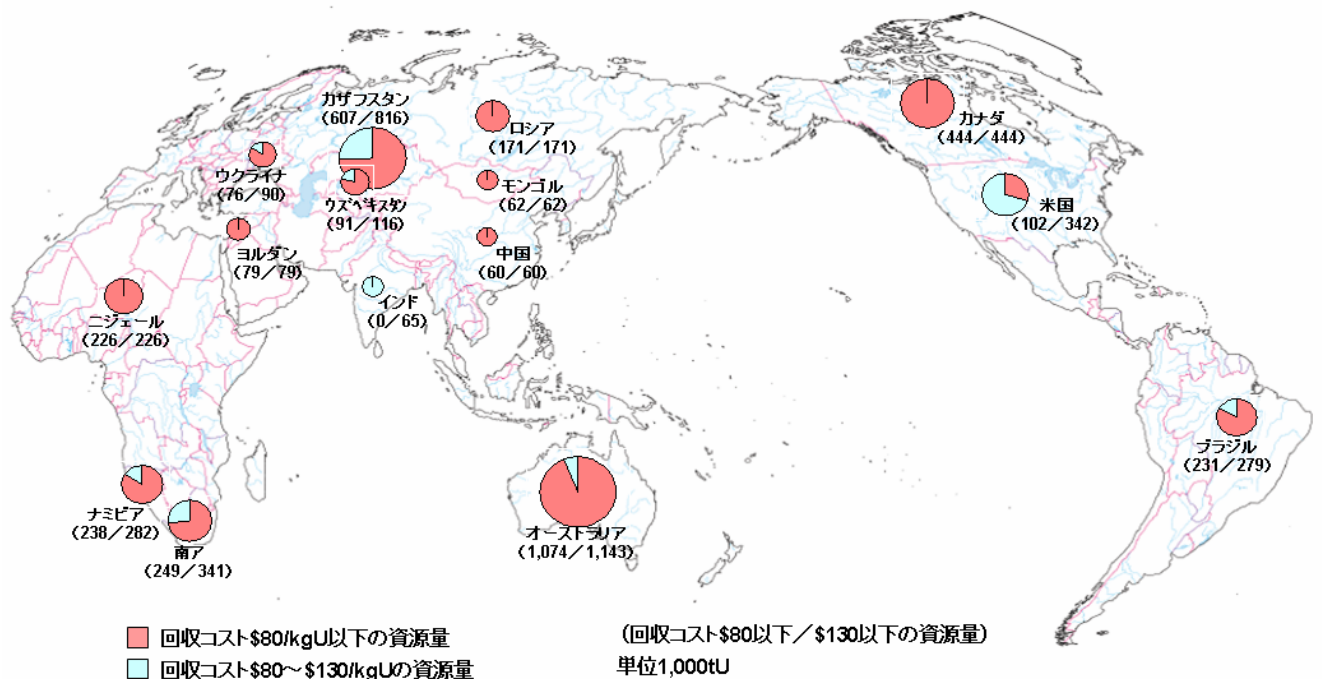


図1 在来型発見資源の分布 (OECD/NEA-IAEA, 2006 に基づく)

その他、ウラン資源に関して紹介すべき事項は、以下のとおりである。

- ① 区分名の変更：以下のとおりカテゴリーの名称が若干変更された。
 - 既知資源 (Known Resources) ⇒ 発見資源 (Identified Resources)
 - 推定追加資源 I (Estimated Additional Resources I)
 - ⇒ 推定資源 (Inferred Resources)
 - 推定追加資源 II (Estimated Additional Resources II)
 - ⇒ 予測資源 (Prognosticated Resources)

② 主要資源国の発見資源量

発見資源量を国別にみると、オーストラリア、カザフスタン、カナダ、米国、南ア、ナミビア、ブラジル、ニジェールの順に資源量が多く、この8ヶ国で全体の約82%を占めた。この主要8カ国の資源量は表2に示すとおりである。

オーストラリアでは、オリンピックダム鉱床の南部で追加の確認資源が発見されるなどして、8.5万tU 発見資源が増加した。南アでは、少なくとも3つの金鉱山(ウラン含有)が閉山したことによるウラン資源抹消により、5.5万tUの発見資源が減少し順位を下げた。ブラジルでは、Lagoa Real 鉱床のコストカテゴリーを見直した結果、全てがUS\$40/kgU 以下の確認資源に変更された。また、Itataia 鉱床、Pitinga 鉱床(ウランは副産物)の再評価等も行った結果、発見資源が約14万tU 増加し順位を上げた。一方、予測資源(従来のEAR II)は18万tU 減少した。ニジェールでは、Ebba 鉱床(Cominakの鉱区)の企業化調査(FS)等の資源再評価により、約8万tUの推定資源が確認資源に移動した。しかし、合計資源量の変化はない。

表2 主要資源保有国の発見資源一覧表（OECD/NEA-IAEA, 2006に基づく）

順位	国名	コスト区分	2005年版(1,000tU)			2003年版(1,000tU)			2003年版との主な違い
			確認資源	推定資源	発見資源	確認資源	推定資源	発見資源	
1位	オーストラリア	<130	747	396	1143	735	323	1058	オリンピックダム鉱床の追加資源発見等による増加(+8.5万tU)
		<80	714	360	1074	702	287	989	
		<40	701	343	1044	689	276	965	
2位	カザフスタン	<130	514	302	816	530	317	848	ISL採鉱テストに基づく再評価により、若干減少(-3万tU)
		<80	378	228	607	385	238	622	
		<40	279	129	408	281	131	412	
3位	カナダ	<130	345	99	444	334	105	439	ほとんど変化なし
		<80	345	99	444	334	105	439	
		<40	287	85	372	297	87	384	
4位	米国	<130	342		342	345		345	ほとんど変化なし
		<80	102		102	102		102	
		<40							
5位	南ア	<130	256	85	341	315	80	396	金鉱山閉山に伴う資源再評価による減少(-5.5万tU)
		<80	177	72	249	232	67	299	
		<40	89	55	143	119	49	168	
6位	ナミビア	<130	183	100	282	171	87	258	資源再評価による増加(+2万tU)
		<80	151	86	238	139	74	213	
		<40	62	61	123	57	57	114	
7位	ブラジル	<130	158	121	279	86	57	143	資源再評価により発見資源は14万tU増加。予測資源は18万tU減少
		<80	158	74	231	86	57	143	
		<40	139	0	139	26	0	26	
8位	ニジェール	<130	180	45	225	102	125	228	資源再評価により、推定資源から確認資源に移動。資源量は変化なし
		<80	180	45	225	102	125	228	
		<40	173	0	173	90	125	215	

注：低コスト区分(<US\$80/kgU, <US\$40/kgU)の資源量は高コスト区分の資源量の内数である。

③その他の資源

1) 非在来型資源

ウラン品位が非常に低いかウランがマイナーな副産物としてのみ回収可能である資源を非在来型資源と称しているが、その中で最も主要なものとして、燐酸塩鉱床中のウラン資源 2,200 万 tU がある*²。燐酸塩からのウラン回収技術は実用化されており、かつて、ベルギーや米国で回収されていたが、高い回収コストのため利用は制限されている（現在は生産されていない）。200~300tU/年規模の生産コストは、初期投資を含み US\$60~100/kgU と推定される*³。

* 2：2,200 万 tU の数字について、根拠となる文献が確認できていないが、燐酸塩鉱床中のウランの大部分は現市場では経済性を有さない資源であり、世界全体の燐酸塩鉱床についてウラン品位等の詳しいデータは存在しないものと推定される。したがって、外挿法に基づく確度の低い資源量と推察される。

米国地質調査所（USGS,2006）によると、2005 年の世界の燐酸塩鉱石（以下、燐鉱石）の埋蔵量は 500 億トン（内、経済性を有するものは 180 億トン）である。ウラン品位を一律に 100ppmU（実際はもっと低い）と仮定すると、ウラン資源量は 500 万 tU（経済性を有する燐鉱石に限れば 180 万 tU）と試算される。

また、IAEA,2001 は、同様の外挿法により、燐酸塩鉱床中のウラン量を（標準の資源カテゴリーというよりは鉱物存在量として）900 万 tU と推定している

- * 3 : US\$60~100/kgU は、燐酸溶液からウランを溶媒抽出して精鉱を生産するプロセス（ウラン回収プラント建設を含む）のコストである。燐鉱石を採掘して粉碎して燐酸溶液を回収するまでのプロセスは燐酸塩回収コストに頼っている。ウラン価格が US\$80/kgU（US\$30/ポンド U₃O₈）前後で、ウランが副産物として回収可能かどうかの境界となる。

仮に、燐酸塩の副産物としてではなく、燐酸塩を生産せずウランのみを生産する場合の生産コストを以下検討してみた。

FAO（Food and Agriculture Organization）は、USGS の燐酸塩埋蔵量のうち、経済性を有する埋蔵量を区分する 2001 年の生産限界コスト（資本費、操業費、税金、ロイヤルティ、15%収益含む）を US\$40/トンとしている。US\$40/トン以下の燐酸塩鉱石中のウランはせいぜい 180 万 tU しかないので、燐酸塩鉱床中のウラン資源全体を利用するためには、最低 40\$/トンの生産コストがかかると考えることができる（ただし、不要となる「燐酸溶液から燐酸塩精鉱を製造するコスト」は、新たに必要となる「燐酸溶液からウランを溶媒抽出してウラン精鉱を製造するコスト」と相殺できると仮定）。燐鉱石中のウラン品位を仮に 100ppmU、回収率を 70%（IAEA,2001）と仮定すると、燐鉱石 1 トンから回収できるウラン量は 70g である。したがって、US\$40/トンの生産コストをウランのみで稼ぎ出すためには、US\$570/kgU のウラン価値が必要である。非常に荒っぽい試算ではあるが、燐酸塩鉱床からウランを単独で生産するためには US\$500/kgU 以上のオーダーのウラン価格が必要となる。

2) トリウム資源

中国、中央・東ヨーロッパおよび旧ソ連諸国を除く資源量（埋蔵量+追加資源）として、450 万 tTh が報告（World Energy Assessment,2000）されている。

（2）探鉱

全体については、サマリーで紹介したとおりであるが、ここでは国別の特記事項を示す。

① カナダ

カナダでの探鉱規模は、2001 年の US\$16.2m. から、2002 年 US\$22.9m.、2004 年 US\$32.4m. と拡大した。2005 年はさらに拡大して US\$41m.が見込まれる。最近までの探鉱費は既発見鉱床の坑内探鉱や鉱床評価、鉱区維持に多く使われていたが、2004 年にはグラスルートの探鉱費が US\$25m.（内、アサバスカ地域が US\$21m.）に達した。

カナダによる海外探鉱は、2003 年の US\$2.5m.から 2004 年には US\$9.6m.に増加した。活動の中心はオーストラリアとカザフスタンである。

② 米国

2002 年には US\$0.35m.しかなかった探鉱費（2003 年は報告なし）が、2004 年には US\$10.8m.へと飛躍的に規模が増大した。

③ 西ヨーロッパ

2002年、2003年と探鉱費は報告されなかったが、2004年からフィンランドでの探鉱が開始された。

フランスは、海外探鉱費の飛躍的な増大（2003年 US\$16.7m.⇒2004年 US\$60m.⇒2005年 US\$127m.）を報告した。対象国は、オーストラリア、カナダ、フィンランド、カザフスタン、モンゴル、ニジェールおよびロシアとしている。

④ ロシア

ロシアは、ISL 探鉱法が可能な砂岩型とシベリアの不整合関連型に的を絞って探鉱を行った。2004年の探鉱費は US\$10.2m.で、2005年には US\$23.8m.への増加を見込んでいる。

⑤ ニジェール

既存鉱山サイトでの鉱量増加のための探鉱が行われており、探鉱費は2002年の US\$3.1m.から2004年 US\$4.2m.に増大した。

⑥ インド

原生代の堆積盆地や白亜紀の砂岩等を対象に積極的な探鉱を実施し、2003年に US\$14.2m.、2004年に US\$14.3m.を支出した。2005年はさらに拡大して US\$20.1m.を見込んでいる。

⑦ カザフスタン

探鉱費は2002年の US\$11.8m.から、2003年には US\$4.4m.に減少し、2004年には US\$11.4m.へと増大した。2005年は Inkai 鉱床の試錐プログラムの実施などのため US\$37.4m.への増大を見込んでいる。

⑧ ウズベキスタン

主に既存鉱床地域の資源評価のため、2003年、2004年にそれぞれ US\$13.9m.、US\$17m.の探鉱費を支出した。2005年は US\$22.1m.への増加を見込んでいる。

⑨ 中国

主に新疆地域の伊犁(Yili)盆地や内モンゴルの Erdos 盆地での ISL 探鉱が可能な砂岩型鉱床を対象として、2003年 US\$7.6m.、2004年に US\$8.2m.の探鉱費を支出した。2005年は US\$8.6m.を見込んでいる。

⑩ オーストラリア

北部準州のアーネムランド地域での不整合関連型、南オーストラリア州 Gawler Craton/Stuart Shelf 地域の赤鉄鉱角礫複合岩型（オリンピックダムタイプ）等を対象として精力的な探鉱が実施され、探鉱費は2003年の US\$4.1m.から2004年には US\$10.8m.に増加した。2005年はさらに US\$21.7m.への倍増を見込んでいる。

オーストラリアによる海外探鉱としては、主にナミビアの Langer Heinrich 鉱床の試錐計画を中心に、2004年に US\$1.6m.を支出、2005年には US\$2.3m.の支出を見込んでいる。

（3）ウラン生産

2004年の国別のウラン生産状況は、図2に示すとおりである。カナダとオーストラリアで世界全体の51%を生産し、続くカザフスタン、ロシア、ニジェール、ナミビア、ウズベキス

タンの5カ国を合わせ、世界の9割近くを生産した。

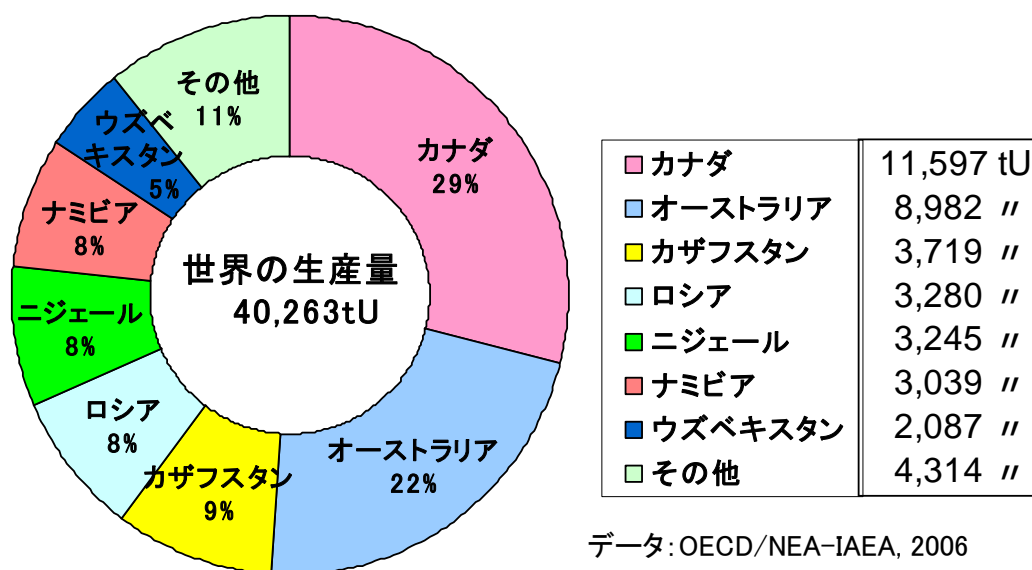


図2 2004年の世界の国別ウラン生産量

① 将来のウラン生産能力の見通し

2025年までのウラン生産能力の見通しについて、各国からの報告をまとめた結果が表3に示されている。既存・開発決定済み鉱山の生産能力がA-IIとして、さらに開発計画・見込みを加えた生産能力がB-IIとして示されている。

表3に示された生産能力は、公称能力であり、実際にはこの80%前後が実際に生産されることになる(例: 2005年の既存・決定済み生産能力49,720/年に対して、2005年の生産見込みは41,250tU/年)。

表3 2025年までの世界のウラン生産能力見通し

COUNTRY	2005		2010		2015		2020		2025	
	A-II	B-II	A-II	B-II	A-II	B-II	A-II	B-II	A-II	B-II
Argentina	500	500	500	500	500	500	NA	NA	NA	NA
Australia	9 900	9 900	10 200	19 000	5 500	17 700	5 500	17 700	5 500	17 700
Brazil	340	340	1 100	1 100	1 100	1 100	NA	NA	NA	NA
Canada	14 990	14 990	15 430	17 730	15 430	18 730	15 430	17 430	15 430	17 430
China *	540	540	740	740	840	840	840	840	840	840
Czech Republic	250	250	50	50	60	60	50	50	40	40
India	365	510	510	880	510	1 200	510	1 600	510 *	2 000 *
Kazakhstan	4 200	4 200	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000 *	15 000 *	15 000 *	15 000 *
Mongolia *	0	0	150	500	150	500	150	500	150	500
Namibia *	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Niger	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800
Pakistan * (a)	65	65	65	110	90	110	235	380	360	530
Romania * (a)	100	100	200	200	200	200	300	300	300	300
Russian Federation	3 200	3 200	4 300	4 500	5 500	6 300	5 500	7 500	5 500	9 000
South Africa (b)	1 270	1 270	4 660	4 660	4 660	4 660	4 660	4 660	4 660	4 660
Ukraine	1 000	1 000	1 500	1 500	1 500	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
United States	2 900	4 600	3 400	6 100	3 800	6 600	3 700	6 500	3 100	5 600
Uzbekistan	2 300	2 300	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 500	3 500
TOTAL	49 720	51 565	68 605	83 370	65 640	86 300	64 675	85 260	64 690	86 900

* 事務局推定

出典: OECD/NEA-IAEA, 2006

② 将来数年間の鉱山拡張・開発計画

2001年から2005年までの、既存・決定済み生産能力の増加は比較的ゆっくりであった(2001年：45,310/年⇒2003年：47,170/年⇒2005年：49,720/年)。しかし、数年後までの近い将来には、既存鉱山の拡張と新規鉱山の開発によるかなりの量の生産能力の拡大が計画されている。

<既存鉱山の再開・拡張計画>

2006年：中国 撫州(Fuzhou)鉱山拡張 300t⇒500tU/年
2007年：インド Banduhurang 鉱山(砂岩型)生産
インド Bagjata 鉱山(鉱脈型)生産
2010年：オーストラリア オリンピックダム鉱山拡張計画 3,900⇒12,720tU/年

<最近開発された鉱山>

2001年：カザフスタン JV Betpak Dala (UrAsia との JV) 700tU/年
カザフスタン JV Inkai (Cameco との JV) 700tU/年
カザフスタン JV KATCO-Moinkum 鉱床 (COGEMA との JV) 700tU/年
ロシア Dalmatovskoe, 700tU/年
2003年：インド Turamdih, 40tU/年
カザフスタン Zarechnoye (ロシア TENEX との JV) 1,000tU/年

<開発計画>

2005年：イラン Bandar Abbas, 21tU/年
ロシア Khiagda, 1,000tU/年
2006年：インド Banduhuran, 150tU/年、Lambapur, 130tU/年
ナミビア Langer Heinrich, 1,000tU/年
ニジェール Ebba, 2,000tU/年
カザフスタン JV KATCO-Tortkuduk (COGEMA との JV) 1,000tU/年
2007年：ブラジル Itataia, 680tU/年
カナダ Cigar Lake, 6,900tU/年
イラン Ardakan, 50tU/年
カザフスタン JV Kendala-Central Mynkuduk, 2,000tU/年
2008年：カザフスタン LLP Stepnogorsky MCC-Semizbai, 400tU/年
カザフスタン LLP Kyzylkum-Kharasan-1 (UrAsia, 中国との JV : 見込み)
1,000tU/年
カザフスタン Southern Inkai, 1,000tU/年
カザフスタン Irkol, 750tU/年
カザフスタン JV Karatau-Budenovskoye2 (韓国との JV : 見込み)
2010年：カナダ Midwest, 2,300tU/年

2010-2030 年

カザフスタン Central Moinkum

カザフスタン Kharasan-2

カザフスタン Zhalpak

カザフスタン Budenovskoye-1

時期未確定：オーストラリア Honeymoon, 340tU/年

2. ウラン需要

(1) 現在の商業用原子力発電容量と原子力発電用ウラン需要

2005年1月1日現在、世界では440基(369.2GWe)の商業用原子炉が30ヶ国で運転されており、27基(19.3GWe)が建設中である。2003~2004年に、7基(6.4GWe)が配電網に接続され、11基(2.4GWe)が廃炉となった。これらの原子炉は、2003年に2,524TWh、2004年に2,638TWhを発電した。

2004年の世界のウラン需要は67,320tUであった。2005年は66,840tUの需要が見込まれる。このうち日本のウラン需要は、2004年7,140tU(10.6%)、2005年8,670tU(13.0%)である。

(2) 2025年までの原子力発電容量*4とウラン需要量の見通し

原子力発電容量は、現在の369GWeから2025年には、低予想ケースで449GWe(22%)、高予想ケースで533GWe(44%)まで成長が予想されている(表4)。

*4：原子力発電容量の見通しは、メンバー各国からの公式報告と報告のない国に対する事務局予想(IAEAの"Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030", 2005に基づく)に基づく。

原子力発電容量の見通しは、地域によって相当の開きがある。東アジア地域は、最大の増加が予想されており、2025年までに65~83GWeの増大(現在の90~115%増)である。中央・東・南東ヨーロッパでも、17~27GWeの増大(現在の34~53%増)が見込まれている。この他に増加が見込まれている地域は、中東・南アジア、中・南米、アフリカおよび東南アジアである。北米の増加率は低予想ケースの4%から高予想ケースの28%と開きが大きい。これらに対し西ヨーロッパでは、フィンランドとフランスは新規建設が計画されているものの、ベルギー、ドイツ、スウェーデンでフェーズアウト計画が表明されているため、16~26%のかなりの減少が予想されている。

世界の原子炉関連のウラン需要は、現在の67,320tU/年から2025年には、低予想ケースで82,275tU/年(22%)、高予想ケースで100,760tU/年(50%)までの増加が予想されている(表5)。原子力発電容量の見通しと同様、ウラン需要の見通しも地域によって大きな開きがあり、東アジア地域では2004年の2倍以上の増加が予想されている。

表4 2025年までの世界の原子力発電容量の見通し（2005年1月1日現在のMWe）

COUNTRY	2004	2005	2010		2015		2020		2025	
			Low	High	Low	High	Low	High	Low	High
Argentina	940	940	940	1 630	940	1 630	600	1 290	1 290*	1 290*
Armenia	375	375	375	375	0	375	590	1 180	1 180	1 180
Belgium	5 800	5 800	5 800	5 800	5 800	5 800	4 015	5 800	2 000	5 800
Brazil	1 875	1 875	1 875	3 120	1 875	3 120	3 120*	3 120*	3 120*	4 320*
Bulgaria*	2 720	2 720	1 910	1 910	1 910	2 860	2 860	3 810	3 810	3 810
Canada	12 000	12 500	13 600	15 100	13 600	15 100	13 600	15 100	13 600*	15 100*
China ^a	6 700	8 700	13 000	20 000	25 000	35 000	30 000	40 000	40 000	45 000
Czech Republic	3 510	3 510	3 605	3 605	3 690	3 690	3 690	3 690	3 690	3 690
Finland	2 680	2 680	4 280	4 280	4 280	4 280	4 280	4 280	4 280	4 280
France	63 300	63 300	63 000	63 000	64 500	64 500	64 500	64 500*	67 700*	72 500*
Germany	20 600+	20 500+	12 500+	14 500+	8 000+	10 000+	1 300+	2 500+	0+	0+
Hungary	1 800	1 800	1 800	2 000*	2 000*	2 000*	2 000*	2 000*	2 000*	2 000*
India	2 550	3 040	6 170	6 640	9 465	13 130	13 885	19 385	14 080*	25 130*
Indonesia*	0	0	0	0	0	0	900	900	900	1 800
Iran, Islamic Rep. of	0	0	920	920	5 520	5 520	6 440	6 440	9 200	9 200
Japan	43 910 ^b	45 235 ^b	48 470 ^b	48 470 ^b	49 105*	53 085*	58 605*	66 905*	64 680*	75 130*
Kazakhstan*	0	0	0	0	0	0	0	950	0	950
Korea, Republic of	16 715	17 715	17 715	18 715	24 915	26 315	24 915	26 315	24 915	26 315
Lithuania	2 760	1 380	0	0*	0	0*	0	1 500*	0	1 500*
Mexico	1 400+	1 400+	1 400+	1 400+	1 400+	1 400+	1 400+	1 400+	1 400+	1 400+
Netherlands	450+	450+	450+	450+	0+	450*	0+	450*	0+	450*
Pakistan*	425	425	725	725	600	725	1 300	2 125	2 000	2 950
Romania*	655	655	1 305	1 305	1 305	1 955	1 955	1 955	1 955	1 955
Russian Federation	23 240	23 000	27 000	29 000	33 000	38 600	37 000	41 400	38 600	44 200
Slovak Republic	2 460	2 460	1 640	1 640	1 640	2 460	1 640	2 460	1 640	2 460
Slovenia	675	675	695	700	695	700	695	700	695	700
South Africa	1 800	1 800	1 800	1 910	1 800	2 830	1 800	3 750	1 800	3 750
Spain	7 600	7 600	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500	7 050*	7 500*
Sweden	9 400	8 800	8 800	9 600	8 800	9 600	8 800	9 600	8 800	9 600
Switzerland	3 220	3 220	3 220	3 220	3 220	3 220	2 250	3 220	1 520	3 220
Turkey*	0	0	0	0	0	0	0	1 000	0	2 000
Ukraine	13 100	13 800	14 800	14 800	15 200	15 600	14 000	15 200	15 000	15 000
United Kingdom	11 900	11 900	8 500	8 500	3 700	3 700	3 700	3 700	1 190	1 190
United States	99 700	99 700	100 600	100 600	102 200	102 200	102 700	108 900	102 700	127 800
Vietnam*	0	0	0	0	0	0	600	600	600	1 200
OECD TOTAL	306 445	308 570	302 880	308 380	304 350	315 300	304 895	329 320	307 165	360 435
WORLD TOTAL	369 145	372 840	381 980	399 000	409 245	444 930	428 225	482 510	448 980	533 255

* 事務局推定

出典：OECD/NEA-IAEA,

2006

(a) 台湾（2004年4,885MWe、2025年8,885MWe）は世界合計に含まれるが、中国には含まれない。

表5 2025年までの世界の原子力発電用ウラン需要の見通し (tU)

COUNTRY	2004	2005	2010		2015		2020		2025	
			Low	High	Low	High	Low	High	Low	High
Argentina	120	120	95	250	95	250	60	205	205*	205*
Armenia	90	90	90	90	0	90	90	300	180	180
Belgium	1 125	1 455	1 075	1 075	750	1 075	750	1 075	375	1 075
Brazil	450	450	450	810	450	810	810*	810*	810*	1 120*
Bulgaria*	840	840	380	380	380	570	570	760	760	760
Canada	1 700	1 700	2 000	2 300	2 000	2 300	2 000	2 300	2 000*	2 300*
China ^a	1 260	1 565	2 340	3 600	4 500	6 300	5 400	7 200	7 200	8 100
Czech Republic	600	700	690	695	690	700	690	700	690	700
Finland	535	520	690	760	690	760	690	760	690	760
France	7 185	7 185	7 350	7 650	7 350	7 780	7 350	7 780*	7 715*	8 745*
Germany	3 000+	2 900+	1 800+	2 000+	1 100+	1 500+	200+	350+	0+	0+
Hungary	370	370	370	410*	410*	410*	410*	410*	410*	410*
India	240	380	880	880	1 380	1 380	1 460*	2 825*	1 480*	3 690*
Indonesia*	0	0	0	0	0	0	160	160	160	325
Iran, Islamic Rep. of	0	0	250	250	1 490	1 490	1 740	1 740	2 480	2 480
Japan	7 140	8 670	11 130	11 130	10 900*	11 785*	13 010*	14 855*	14 360*	16 680*
Kazakhstan*	0	0	0	0	0	0	0	170	0	170
Korea, Republic of	3 200	3 400	3 600	4 300	5 300	6 400	5 300	6 400	5 300	6 400
Lithuania	315	190	0	0*	0	0*	0	270*	0	270*
Mexico	180+	355+	175+	175+	180+	180+	355+	355+	175+	175+
Netherlands	65+	65+	65+	65+	0+	65*	0+	65*	0+	65*
Pakistan*	65	65	155	155	90	110	235	380	360	530
Romania*	100	100	200	200	200	300	300	300	300	300
Russian Federation	4 740	4 465	5 500	5 750	6 200	7 000	6 500	7 500	7 000	8 000
Slovak Republic	500	450	335	335	335	500	335	500	335	500
Slovenia ^b	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
South Africa	280	280	280	300	280	445	280	590	280	590
Spain	2 040	1 140	1 560	1 560	1 560	1 560	1 560	1 560	1 465*	1 560*
Sweden	1 600	1 400	1 400	1 800	1 400	1 800	1 400	1 800	1 400	1 800
Switzerland	315	270	375	385	555	565	375	565	255	565
Turkey*	0	0	0	0	0	0	0	180	0	360
Ukraine	2 220	2 350	2 500	2 650	1 950	2 600	1 950	2 600	1 950	2 600
United Kingdom	1 910	1 500	1 700	1 700	800	1 000	400	500	300	400
United States	24 145	22 875	21 035	21 035	22 210	22 210	18 555	19 595	22 090	27 060
Vietnam*	0	0	0	0	0	0	110	110	110	215
OECD TOTAL	55 610	54 955	55 350	57 375	56 230	60 590	53 380	59 750	57 560	69 555
WORLD TOTAL	67 320	66 840	69 910	74 130	74 685	83 375	74 485	87 340	82 275	100 760

* 事務局推定

出典：OECD/NEA-IAEA, 2006

(a) 台湾(2004年830tU/y、2025年1,510tU/y)は世界合計に含まれるが、中国には含まれない。

(3) ウラン需要と供給の関係

① ウランの二次供給源

サマリーで述べたように2004年の世界のウラン需要67,320tUに対して、一次供給源である鉱山からのウラン生産は、約60%の40,263tUであり、残りの約27,000tUは、1)商業用および軍事用のウラン在庫、2)使用済み燃料再処理および軍事用Puからの核燃料、3)劣化ウラ

ンの再濃縮によって生産されるウランによって賄われた。

1) 商業用および軍事用の天然ウラン・濃縮ウラン在庫

1950年代後半の商業原子力発電開始から1990年までの間、ウラン生産量は常に商業用ウラン需要量を上回ってきた(図3)。

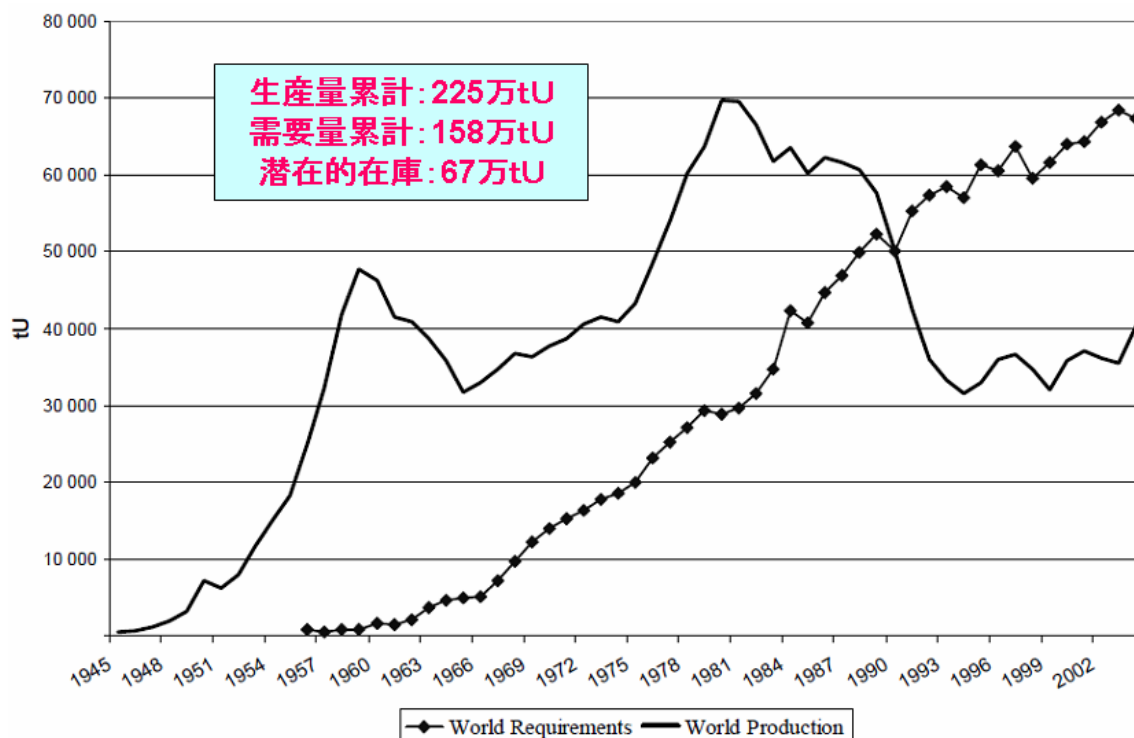


図3 年間ウラン生産量と需要量の推移(1945-2004年)

注: 生産量は軍事目的のウラン生産を含む

出典: OECD/NEA-IAEA, 2006

1990年代初期に東西の壁が崩壊しウラン市場が統合された結果、旧ソ連諸国、特にカザフスタン、ロシア、ウズベキスタンから多量のウランが供給されるようになり、また、旧ソ連のウラン生産と使用に関する情報も入ってきた。ウラン在庫量に関する情報は増えたが、在庫の重要度やその他のウランの利用度に関する不確かさは残されており、これらの不確かさが、ウラン市場に重要な影響を与え続けている。

しかし、これまで蓄えたデータとメンバー各国から新たに提供された情報から、商業的に利用可能な在庫の上限を示すことはできる。2004年までの累積ウラン生産量は224.5万tUであり、原子炉の累積需要量は157.9万tUと推定されるので、残りの66.6万tUが、潜在的に利用可能な在庫量と推定される。採掘されたウランは、軍事用と商業用に区分保管されている。冷戦終了以来、軍事用のウランの多くが商業用に開放されるようになってきたが、一定の量は軍事用に保持され続けることになる。

商業用在庫には、戦略在庫とパイプラインインベントリーと市場取引用の過剰在庫がある。

この二次供給源の情報は市場を見通すために非常に重要であるが、利用可能な在庫量に関してはほとんど知られていない。なぜなら、ほとんどの国は守秘義務の観点から、在庫に関する詳細情報を提供できない（しない）からである。

<ロシアからの核解体高濃縮ウラン>

1993年に米国政府とロシア政府は、核兵器解体に関する協定を締結し、ロシアの高濃縮ウラン（HEU）500トン*⁵を低濃縮ウラン（LWU）に希釈し、20年間にかけて米国に供給する契約を締結した。USEC（米国濃縮会社）が米国の独占エージェントとしてLEUの濃縮コンポーネントを原子力プラントに売却することとなり、天然ウランコンポーネントの商用化に関しては、Cameco、COGEMA、Nukemの西側3社とロシアのTENEXとの間で別の契約が結ばれた。米国に輸入できる天然ウランコンポーネントは、USEC民営化の法律で規制されており、2004年は5,400tUで2009年には7,700tUまで徐々に拡大する。

2005年9月に、米国、ロシア両政府は、HEU500トンの半分を処理したとの共同声明を発表した。

* 5 : 天然ウラン約 15 万 tU および濃縮役務作業量約 9 万 t SWU に相当

<米国の核解体高濃縮ウラン>

米国は、174トンのHEUを解体し、151トンは商業のLWEに希釈、23トンは廃棄物処分すると約束した。

2005年までに、72.9トンのHEUが894.7トンのLEU燃料に希釈された。また、46トンのHEU（647トンのLEUに相当）が希釈のためUSECに移転されることになり、輸送は1999年に開始、2005年に完了した。いずれの希釈も、IAEAによって監視されている。

2001年に、DOEとTVA（Tennessee Valley Authority）は、34トン（2004年に39トンに変更）のHEUをLEUに希釈し、TVAが利用する契約を結んだ。このLWUは、U236を含有する規格外LEUとして取り扱われ、2016年までにTVA炉の燃料として使用される予定である。

また、10トンのHEUは低濃縮研究炉用燃料に希釈され、2016年までに使用される。加えて、17.4トンのHEUは、2006～2009年間にLEU燃料に希釈され、DOEが2005年9月に発表したReliable Fuel Supplyイニシアチブ（市場混乱時における濃縮・再処理非保有国への燃料供給保障策）の一部として保管される。

2005年11月にDOEは、当初の174トン以外の追加の200トンのHEUについても、永久に核兵器利用から取り除くことを発表した。そのうち160トンは海軍の推進用に、20トンはLEUに希釈され、発電用または研究炉用に使用される。残りの20トンは、HEUとして使用する宇宙および研究炉用に保管される。

2) 使用済み燃料再処理および軍事用Puからの核燃料

使用済み燃料の構成物は、潜在的にはウランの一次生産に取って代わることができる重要な核分裂物質である。使用済み燃料には元の核分裂物質の96%が残されている。回収されたPu

は、MOX 燃料の使用許可が得られた原子炉で再使用できる。回収ウラン (RepU) は、通常、リサイクルされずに将来の再利用のため貯蔵されている。

MOX 燃料の使用は、利用できる原子炉の数が少ないため、世界のウラン需要に影響するほどには至っていない。加えて、リサイクルを重ねると、軽水炉の熱中性子速度では核分裂しない Pu 同位体と好ましくない元素 (特にキュリウム) を生み出すため、リサイクルの回数が限定される。

2005 年 1 月現在、MOX 使用許可を得ている原子炉は 35 基 (フランス 20 基、ドイツ 9 基、インド 3 基、スイス 2 基、ベルギー 1 基) である。Euratom Supply Agency (ESA) は、2003 年、2004 年の MOX 使用は、EU 内のウラン需要をそれぞれ、1,450tU、1,420tU 減少させたと報告している。また、ESA は、1996 年以来、MOX 中の 77.2t の Pu を使用して、9,280tU のウラン需要を減じたと推定している。

2000 年 9 月に、米国とロシアは、余剰軍事 Pu を処分する契約を締結した。両国は双方 34t の Pu を、施設完成後、最低 2tPu/年の割合で MOX 燃料に加工し、原子炉で照射する。余剰 Pu を容易には原子力兵器に使えない形に変換する計画である。

米国では、サウスキャロライナ州の DOE Savannah River サイトに MOX 燃料加工施設を建設し、2015 年から商業原子炉用 MOX 燃料を製造する計画である。

68t の軍事用 Pu は、7,000~8,000tU のウラン需要を減少させることになる。

3) 劣化ウランの再濃縮によって生産されるウラン

2005 年 1 月現在、世界には約 150 万 tU の劣化ウラン在庫が存在すると推定され、毎年 6 万 tU 弱の劣化ウランが増え続けている。劣化ウランの U^{235} 含有率 (テール濃度) が平均 0.3% とすると、150 万 tU の劣化ウランは、42 万 tU の天然ウラン相当量とテール濃度 0.14% の 108 万 tU の劣化ウランを生産することが可能である。

ロシアからの再濃縮ウランの供給は重要であり、ESA によると、1999 年以降 EU 諸国の 6~8% の天然ウラン相当量 (平均 1,100tU/年) が供給されている。

② ウラン価格の上昇

2001 年の初めに、1980 年以降のウラン価格の最安値から上昇に転じた。スポット価格で見ると、2001 年 1 月の US\$6.6/ポンド U₃O₈ (US\$16.64/kgU) から、2005 年 11 月には US\$33.5/ポンド U₃O₈ (US\$87.10/kgU) に上昇した。

この上昇のきっかけとして以下の要因が挙げられる。

- ・ 2001 年 10 月のオリンピックダム鉱山の火災事故
- ・ 2003 年夏、マッカーサーリバー鉱山の坑内洪水で 3 ヶ月間操業停止
- ・ ナミビア Rössing 鉱山閉山の懸念
- ・ 米国 Metropolis 転換工場の 2003 年 12 月から数ヶ月の操業停止
- ・ 2002 年に始まる米ドルの弱化

上記の要因はどれも単独では価格上昇の原因とは言えないが、これらが重なって供給の不安を醸成し、本質的には一次供給と需要の大きなギャップをもたらす将来の不安が、堅調な価格上昇を支えた。最近の市場の投機的要因も、発電産業外からの需要の参入によりウラン価格に影響していると思われる。しかし、この物質はある時点で市場に戻ってくるので、投機的需要は恒久的な上昇圧力にはなりえない。

③ 2025 年までの供給と需要

ウラン価格の上昇と価格上昇が持続するとの期待感から、特にオーストラリア、カナダ、カザフスタンをはじめとするメンバー各国から、かなりの量の新規ウラン生産計画が報告された。この生産能力の増加は、二次供給が減少すると予想される時期に間に合うように計画されている（図4）。

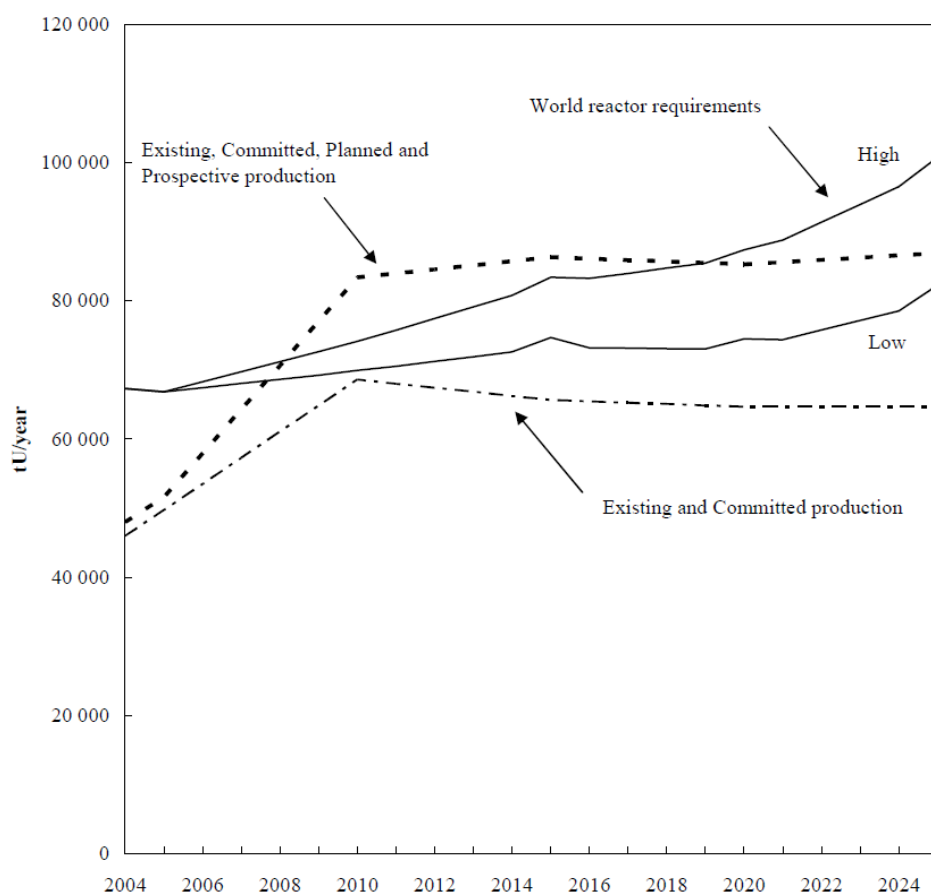


図4 2025 年までの世界のウラン需要とウラン生産能力の関係

出典：OECD/NEA-IAEA, 2006

生産能力と需要の間に大きな差が存在した2年前と比べ、図4に示す2025年までの需給関係は、劇的な変化が見られる。このダイナミックな生産能力の拡大は、もし計画通りに鉱山の開発が進めば、最近まで続いた需給関係を大きく変えることになる。しかし、開発計画・見込みまでを含めた全ての拡張が達成されたとしても、鉱山の生産は未だかつてフル容量で行われ

たことがない（過去最大 89%）ので、特に二次供給が減少する 2015 年以降の需要を満たすためには、さらなる生産容量の拡張もしくは二次供給の追加が必要である。

（４）長期見通し

ウラン需要は、基本的に原子炉の数、究極的には電力需要によって決まる。世界の電力需要は、人口増加と持続的な経済成長を支えるため 2002 年から 2030 年までに倍増（4,800GWe 増）すると推定されている（IEA,2004）。将来の発電に原子力が果たす役割の大きさは、原子力のパブリック・アクセプタンスをはじめ多くの課題（経済性、安全性、持続性、廃棄物、環境問題）について、いかに説得力のある答が示されるかにかかっている。

温暖化ガスの削減に対する原子力の重要性が理解されれば、将来の電力に占める原子力の役割はもっと大きくなる可能性がある。最近の化石燃料の上昇は、相対的に原子力の経済的競争力を高め、この点でも注目が高まってきている。しかし、パブリック・アクセプタンスが十分に得られていない国においては、電力構成に占める原子力の貢献は限定されている。

水素製造、海水の淡水化、熱利用などに原子力が併用されれば、原子力の役割をさらに高める可能性がある。特に、急速な成長が予想されている輸送用エネルギーは、主要な温室ガス放出源である。高温原子炉による高温水蒸気電解や熱化学法のプロセスを用いた水素製造技術が開発されれば、さらに原子力利用の役割が高まる。例えば米国の 1 年間の自動車燃料をすべて水素に置き換える場合、136.5m. トンの水素が必要である。電気分解の効率を 75% と仮定すると、1 トンの水素製造に 52MWh を要するので、年間約 7,100TWh の電力を要することになる。これを軽水炉ワンス・スルー燃料サイクルで供給すると年間 145,000tU 以上のウランが必要となるが、技術の革新により、同じ水素量を高温熱化学法により 565 基の専用高温ガス炉で生産することが可能である。もしこれらの先進炉を完全燃料サイクルと組み合わせれば、年間のウラン消費量はたった 4,000tU 程度で足りることになる。ただし、経済性を有する燃料サイクル実現までには、今後相当の技術開発が不可欠であるが。

このように、原子力エネルギーとウラン需要の長期将来を決める上で、技術の発展は大きなファクターである。原子炉と燃料サイクル技術の発展は、経済性、持続性、核不拡散性および廃棄物問題に関する課題を解決するとともにウラン利用効率を革新的に増加させることが可能である。

十分な資源が存在することは、発電その他の利用のため、長期間にわたる原子力の十分な成長を支えることを可能にする。発見資源は、現状の発電規模で今後数 10 年間利用できる十分な量が存在する（表 6）未発見資源の発見・開発は、これをさらに数百年間に引き伸ばすことが可能である。未発見資源を利用可能な資源に変えるためには、相当の探鉱・開発努力が不可欠であるが、世界の探鉱は時間的にも地理的にも十分カバーされたとは言えないので、経済性ある新資源発見の可能性は十分にある。

燐酸塩鉱床を含む相当量の非在来型資源も存在する。これらは現状の技術を使って原子力の利用期間を相当引き伸ばすことができる^{*6}。さらに、先進炉と燃料サイクルの開発は、エネルギー利用期間を大幅に延長することが可能である。

* 6 : この表現は正しくない。前述したように (p.6 * 3)、磷酸塩鉱床中のウランは磷酸の副産物としてのみ経済的に回収可能であり、ウランの生産規模は磷酸の需要量に制限され、年間では数 1,000tU の生産が限度である (IAEA,2001)。また、ウランのみで回収可能になるためには、ウラン価格が実質価格で US\$500/kgU 以上のオーダーに上昇する必要があり、現実的ではない。

表 6 原子力技術の違いが資源耐用年数に及ぼす効果

炉/燃料サイクル ⁽¹⁾	在来型発見資源 ⁽³⁾ の耐用年数 ⁽²⁾	在来型資源 ⁽⁴⁾ の耐用年数 ⁽²⁾	在来型資源と磷酸塩鉱床中のU ⁽⁵⁾ を合わせた耐用年数 ⁽²⁾
現在の燃料サイクル (軽水炉、ワンス・スルー)	85	270	675
高速炉燃料サイクル (完全リサイクル)	2, 570	8, 015	19, 930

出典 : OECD/NEA-IAEA, 2006

(1) : 燃料サイクルの条件特性 : OECD/NEA, Trends in the Nuclear Fuel Cycle,2003 より抜粋

	LWR ワンス・スルー	FR完全リサイクル
燃焼度 (GWd/tHM)	60	123
濃縮度 (%)	4.9	—
天然U (t/TWh)	20.7	0.7 (depl.)
濃縮作業量 SWU	15,825	—

- (2) : 2004 年の原子力発電量 2,638TWh net をベースとした利用可能年数
 (3) : 在来型発見資源量 474.3 万 tU
 (4) : 在来型資源合計量 1,480 万 tU
 (5) : 在来型資源合計量に磷酸塩鉱床中の推定ウラン量 2,200 万 tU を加えた値

このように、エネルギーの需要をかなりの長期間にわたって賄える十分な資源量は存在する。しかし、可能性を十分に引き出すためには、十分な探鉱と研究およびタイムリーな新規鉱山開発と技術開発を促進させる十分な投資が必要である

以上