



戦略調査セミナー

研究会資料

06-10

レッドブック 2005年版の概要

平成18年 7月 26日

経営企画部戦略調査室

小林 孝男

OECD/NEA事務局の見出し

電気新聞(7/10)の見出し




PRESS COMMUNIQUÉ

Paris, 1 June 2006



Uranium resources: plenty to sustain growth of nuclear power

Global uranium resources are more than adequate to meet projected requirements, says the latest edition of the recognised world reference on uranium published today.

Uranium 2005: Resources, Production and Demand, also known as the Red Book, estimates the identified amount of conventional uranium resources which can be mined for less than USD 130/kg, just above the current spot price, to be about 4.7 million tonnes.

Based on the 2004 nuclear electricity generation rate this amount is sufficient for 85 years. However, total world uranium resources which could be available at market price are much higher. Based on geological evidence and knowledge of uranium in phosphates, the study estimates that more than 35 million tonnes are available for exploitation.

2015年以降

ウラン供給不足懸念

NEC AD 「サイクル導入必要」

資源のひっ迫や地球温暖化防止の観点から原子力発電への再評価が世界的に進むなか、2015年以降、発電に使うウランの供給が不足する可能性が出てきた。経済協力開発機構・原子力司(〇

降には低下すると予測。使用済み核燃料の再処理による原料ウラン生産、タイムリーな鉱山開発が進まなければ、供給不足と価格上昇圧力が続くと警鐘を鳴らしている。

原子力発電の復興を見

は、02年に100万tを下回っていた探鉱費が04年は10倍超の約1千万t。ウラン生産量も世界全体で02年の3万6050tが04年には4万263tに増加した。

るウラン、民間余剰在庫の取り崩し—などの2次供給でまかなわれないのが現状。

ただ、15年以降はウラン需要に対応してきた2次供給の重要性が低下すると分析。鉱山開発の

レッドブック2005年の要点

1. **資源量**：資源量再評価により若干増加（459⇒474万tU）
2. **探鉱活動**：規模の拡大：2002年 US\$95m.⇒2004年 US\$133m.（40%増）
⇒2005年 US\$195m.（倍増）
3. **生産**：ウラン価格の上昇により、世界の主要生産センターの開発計画は大幅に拡大
4. **需要**：東アジア地域の需要増加等により、
2025年のウラン需要量は**82,000tU～100,000tU**に拡大と予想
5. **2004年の需給**：生産量40,263tUは、世界の需要量67,320tUの約**60%**、
残り40%は二次供給源（余剰在庫、核軍縮HEU、DepU再濃縮、RepU）
6. **在庫**：鉱山のタイムリーな開発には、余剰在庫の正確な情報が不可欠
7. **需給将来見通し**：鉱山開発計画拡大により大幅改善がみられたが、二次供給源の量は減少し続け、特に**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核燃料サイクルの導入が必要。
8. **長期見通し**：長期間にわたる原子力の成長を支えるウラン資源は十分に存在
（燐酸塩鉱床中のウラン2,200万tUは利用期間をさらに延長？）
さらに、先進炉と燃料サイクルの技術開発は、エネルギー利用期間を大幅（**30倍以上**）に延長可能

世界のウラン資源量

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)			

注:()内の数字はレッドブック 2003

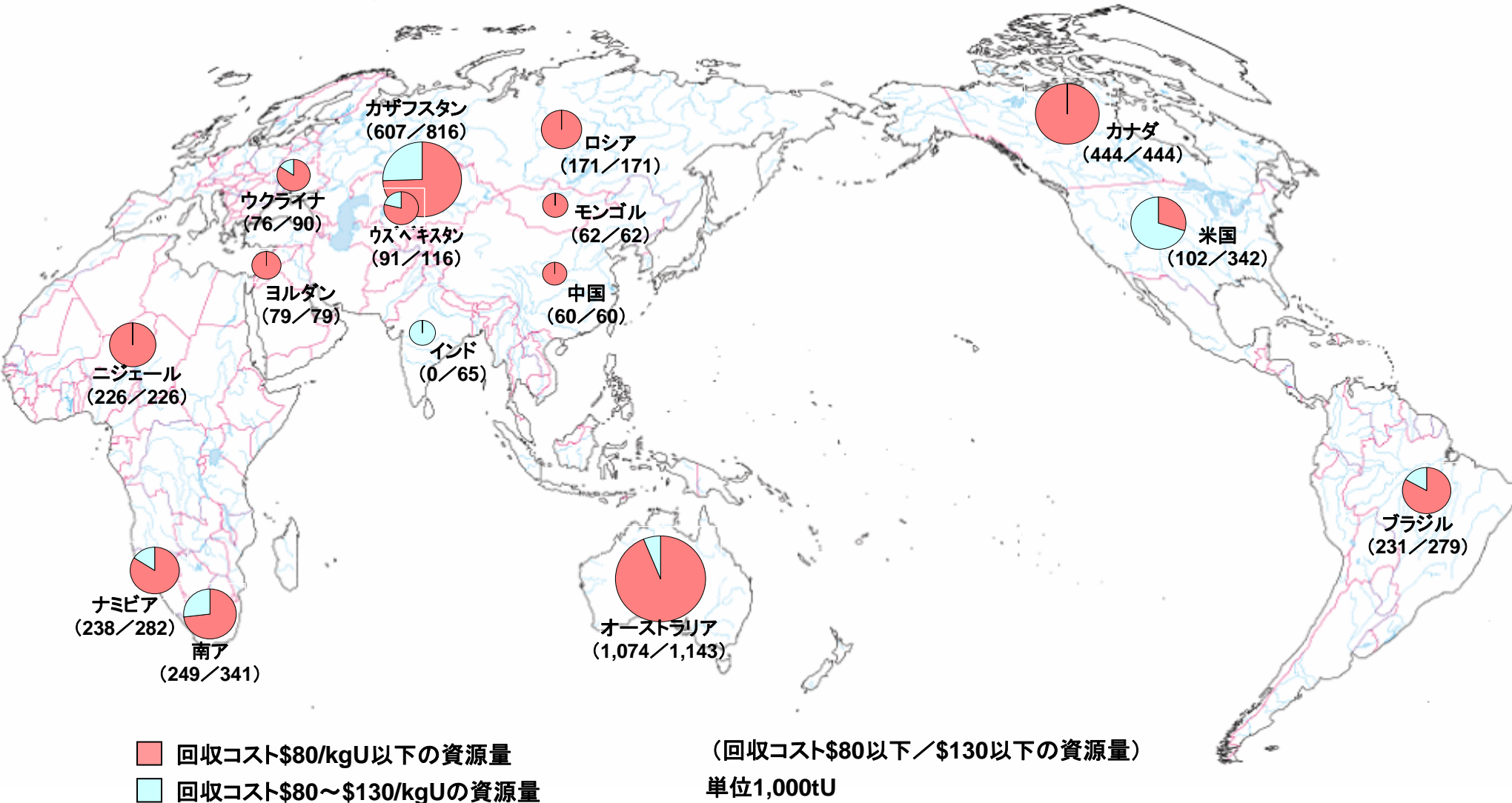
低コスト区分の資源量(<US\$80/kgU, <US\$40/kgU)は高コスト区分の資源量の内数

発見資源: 発見済みの資源であり、規模・品位・形状が明らかな鉱床中に存在する「確認資源」と
鉱床の規模・特性に関するデータが不十分な「推定資源」に区分される。

予測資源: 既存鉱床の地質的延長に、存在が間接的事実を基に推定される未発見資源をいう。

期待資源: 特定の地質鉱床地帯の中に期待される未発見資源をいう。

世界のウラン資源分布(在来型発見資源)



データ: OECD/NEA-IAEA, 2006 (レッドブック 2005)

主要資源保有国の発見資源一覧表

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。

在来型資源と非在来型資源

在来型資源：「ウランが主要な生産物か共産物あるいは重要な副産物である資源」

- ・不整合関連型鉱床、砂岩型鉱床：ウランが主産物
- ・オリンピックダム鉱床：銅とウランが共産物、金が副産物
- ・南アの石英礫岩型鉱床：金が主産物、ウランが副産物

非在来型資源：「非常に品位の低いウラン資源や、ウランが副産物として回収可能ではあるが、ウランが占める経済的重要性の低い資源。」

- ・フォスフェイト（海成燐酸塩鉱床 2,200万tU）、カーボナタイト（火成炭酸塩岩）、ブラックシェール（黒色頁岩）中のウランなどがある。
- ・海水ウランも広義の非在来型資源に属するが通例、別の項目として扱われる。

トリウム資源：450万tの資源量（埋蔵量＋追加資源）が存在

- ・西ヨーロッパ 132万t、中南米 131万t、北米 66万t、太平洋沿岸OECD 34万t
中東・北アフリカ、南アジア（インド）32万t他〔中国、旧ソ連など除く〕



磷酸塩鉱床中のウランについて(コメント)

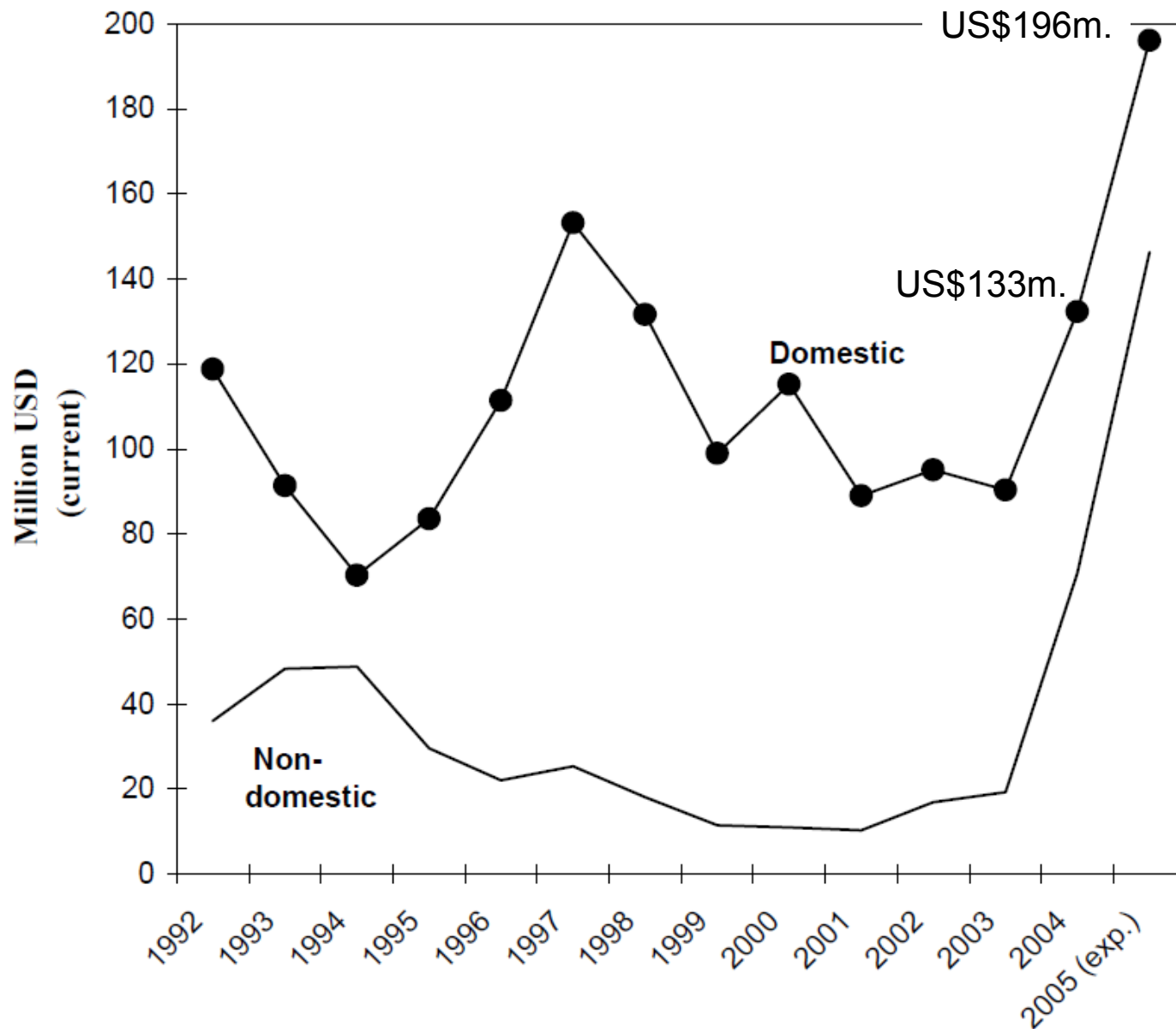
磷酸塩鉱床中のウラン資源量

- ・レッドブック 2005は、Barthel (2005, IAEA技術会議)の論文(未公開)を引用し、磷酸塩鉱床中のウラン資源量を 2,200万tUと報告。
- ・海成磷酸塩鉱床中の磷鉱石中には、ウランが 6~120ppmU(平均60ppmU程度)含有。IAEA,2001は、世界の海成磷酸塩鉱床中のウラン量を 900万tUと試算
- ・USGSによる世界の磷酸塩鉱石埋蔵量は、50b.トン(内、経済性を有するもの18b.トン)[モロッコ 21b.トン、中国13b.トン、米国3.4b.トン、南ア2.5b.トン他]
海成磷酸塩資源は全体の約80%であるが、仮に磷鉱石が一律に100ppmU含有されるとすると、ウラン資源量は 500万tU(経済性を有するもの 180万tU)

磷酸塩鉱床からのウラン生産

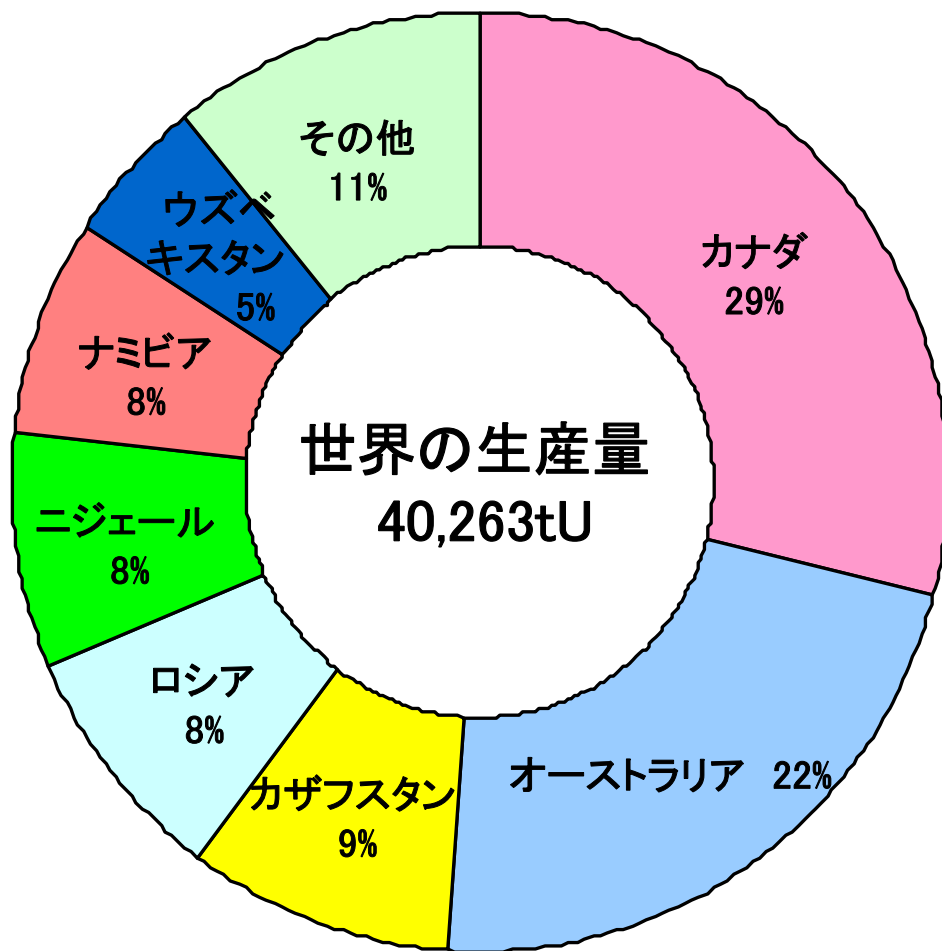
- ・米国では数100tU/年の規模で生産実績。1999年以降生産中止。
- ・磷酸塩肥料の副産物としてのみ生産可能。⇒生産量が数1,000tU/年に限定
この場合のウラン回収工程のみのコストは US\$60~100/kgU。
- ・磷酸塩の生産コストは、数10 US\$ /鉱石トンであるが、鉱石1トンから回収できるウランは、鉱石品位を100ppmUと仮定しても70g程度であり、ウランのみで回収可能とするためには、US\$500/kgU程度以上のウラン価格が必要。

探鉱活動予算の推移



注: Non-domestic(海外探鉱)は、Domestic(国内探鉱)の内数

2004年の世界の国別ウラン生産量



■ カナダ	11,597 tU
■ オーストラリア	8,982 //
■ カザフスタン	3,719 //
■ ロシア	3,280 //
■ ニジェール	3,245 //
■ ナミビア	3,039 //
■ ウズベキスタン	2,087 //
■ その他	4,314 //

データ: OECD/NEA-IAEA, 2006



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

A- II : 既存・開発決定済み鉱山の生産能力

B- II : A- II に開発計画・見込みを加えた生産能力

* : 事務局推定



2025年までの主要国の原子力発電容量の見通し

主要国	2004	2010		2015		2020		2025		伸び率 (%)
		Low	High	Low	High	Low	High	Low	High	
米国	99.7	100.6	100.6	102.2	102.2	102.7	108.9	102.7	127.8	3~28
カナダ	12.0	13.6	15.1	13.6	15.1	13.6	15.1	13.6	15.1	13~26
中南米	4.2	4.2	6.2	4.2	6.2	5.1	5.8	5.1	7.0	21~66
フランス	63.3	63.0	63.0	64.5	64.5	64.5	64.5	67.7	72.5	7~15
ドイツ	20.6	12.5	14.5	8.0	12.0	1.3	2.5	0.0	0.0	-100
イギリス	11.9	8.5	8.5	3.7	3.7	3.7	3.7	1.2	1.2	-90
スペイン	7.6	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.1	7.5	-7~-1
スウェーデン	9.4	8.8	9.6	8.8	9.6	8.8	9.6	8.8	9.6	-6~-2
その他 EU	26.7	24.7	24.9	24.5	27.4	23.4	29.9	21.6	29.9	-19~12
日本	43.9	48.5	48.5	49.2	53.1	58.6	66.9	64.7	75.1	47~71
韓国	16.7	17.7	18.7	24.9	26.3	24.9	26.3	24.9	26.3	49~57
中国	6.7	13.0	20.0	25.0	35.0	30.0	40.0	40.0	45.0	6~6.7倍
インド	2.6	6.2	6.6	9.5	13.1	13.9	19.4	14.1	25.1	5.4~9.7倍
イラン	0.0	0.9	0.9	5.5	5.5	6.4	6.4	9.2	9.2	—
その他アジア	0.4	0.7	0.7	0.6	0.7	2.8	4.6	3.5	8.0	7.8~18倍
ロシア	23.2	27.0	29.0	33.0	38.6	37.0	41.4	38.6	44.2	66~90
ウクライナ	13.1	14.8	14.8	15.2	15.6	14.0	15.2	15.0	15.0	15
世界合計	369.1	382.0	399.0	409.2	444.9	428.2	482.5	449.0	533.3	22~44

単位:GWe

データ:レッドブック 2005



2025年までの主要国のウラン需要の見通し

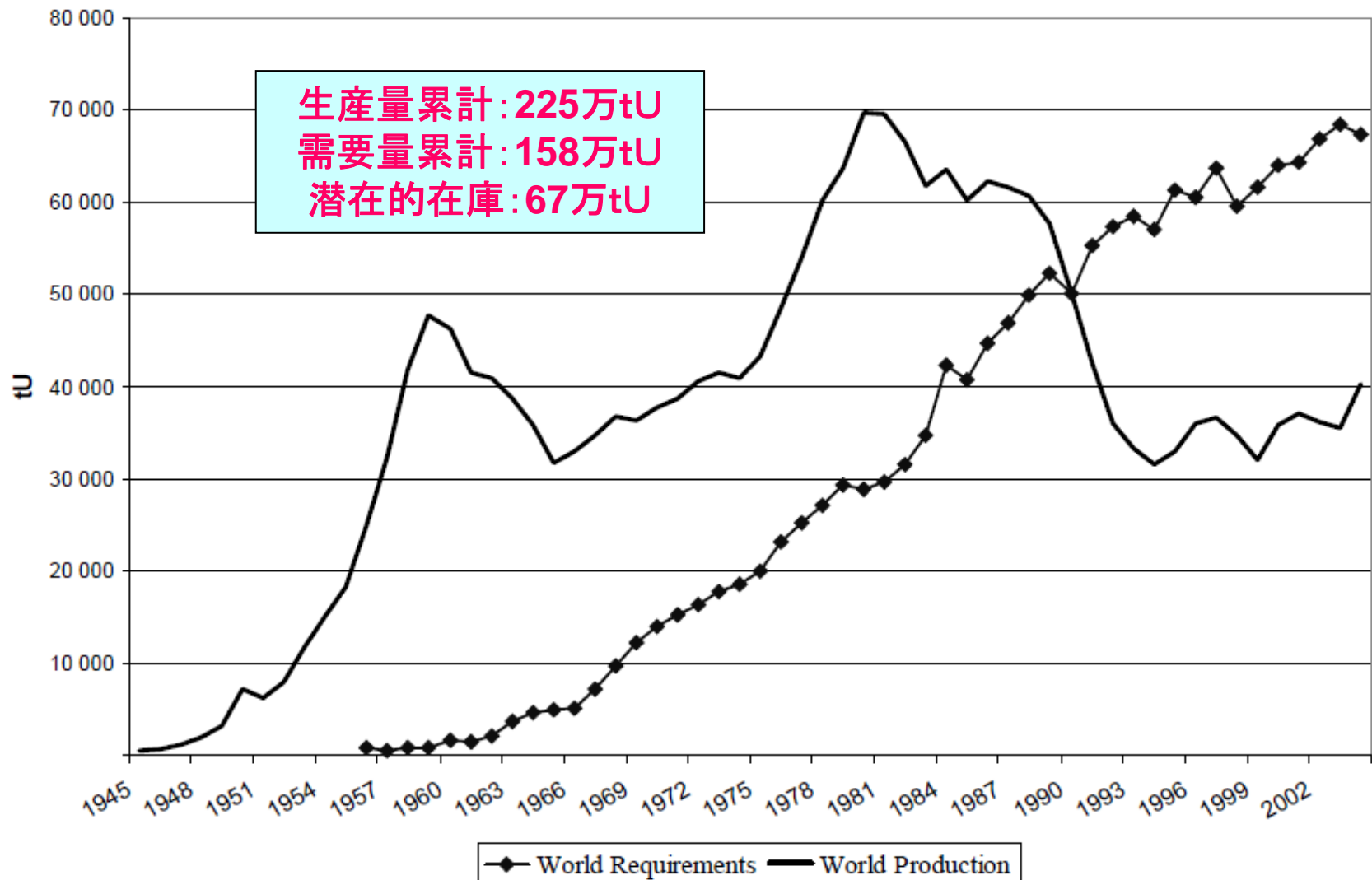
主要国	2004	2005	2010		2015		2020		2025	
			Low	High	Low	High	Low	High	Low	High
米国	24,145	22,875	21,035	21,035	22,210	22,210	18,555	19,595	22,090	27,060
カナダ	1,700	1,700	2,000	2,300	2,000	2,300	2,000	2,300	2,000	2,300
中南米	750	925	720	1,235	725	1,240	1,225	1,370	1,190	1,500
フランス	7,185	7,185	7,350	7,650	7,350	7,780	7,350	7,780	7,715	8,745
ドイツ	3,000	2,900	1,800	2,000	1,100	1,500	200	350	0	0
イギリス	1,910	1,500	1,700	1,700	800	1,000	400	500	300	400
スペイン	2,040	1,140	1,560	1,560	1,560	1,560	1,560	1,560	1,465	1,560
スウェーデン	1,600	1,400	1,400	1,800	1,400	1,800	1,400	1,800	1,400	1,800
その他 EU	4,925	5,120	4,370	4,465	4,170	5,105	4,280	5,565	3,975	5,565
日本	7,140	8,670	11,130	11,130	10,900	11,785	13,010	14,855	14,360	16,680
韓国	3,200	3,400	3,600	4,300	5,300	6,400	5,300	6,400	5,300	6,400
中国	1,260	1,565	2,340	3,600	4,500	6,300	5,400	7,200	7,200	8,100
インド	240	380	880	880	1,380	1,380	1,460	2,825	1,480	3,690
イラン	0	0	250	250	1,490	1,490	1,740	1,740	2,480	2,480
その他アジア	425	425	725	725	600	725	2,800	4,625	3,500	7,950
ロシア	4,740	4,465	5,500	5,750	6,200	7,000	6,500	7,500	7,000	8,000
ウクライナ	2,220	2,350	2,500	2,650	1,950	2,600	1,950	2,600	1,950	2,600
世界合計	67,320	66,840	69,910	74,130	74,685	83,375	74,485	87,340	82,275	100,760

単位:tU

データ:レッドブック 2005

- ・2004年のウラン需要67,320tUに対し、
 鉱山の生産量は約60%の40,260tU。
- ・残り40%の約27,000tUは、以下の二次供給源から供給された。
 - (1) 天然ウラン・濃縮ウラン余剰在庫
 - ① 商業用余剰在庫
 - ② 軍事用余剰在庫(内、ロシアHEUからの供給約9,000tU)
 - (2) 使用済み燃料再処理Pu(EUで、約1,420tU相当のMOX燃料を使用)
 - (3) 劣化ウランの再濃縮
 - ・ロシアはEUのエンドユーザーに900tU相当を供給
(この他、ロシアはUrenco、Arevaから劣化ウラン約15,000tUを引き取り、
天然ウラン相当約5,000tUに再濃縮。半分をUrenco、Arevaに返還。)

年間ウラン生産量と需要量の推移



注: 生産量は軍事目的の生産を含む

出典: レッドブック 2005

(1) 天然ウラン・濃縮ウラン余剰在庫(67万tUの潜在在庫)

① 商業用余剰在庫(戦略在庫+パイプライン在庫+過剰在庫)

・守秘義務の観点から詳細情報不明⇒市場の不透明性

② 軍事用余剰在庫

1) 軍事用確保量は不明

2) 米ロHEU協定に基づくロシアHEU500トン(153,000tU+92,000tSWU)

・1994~2013年の20年間で、ロシアTENEXが米国USECに希釈LWUを供給

・1999年からは年間30トン(9,000tU/年)を希釈。2005/9に250トン希釈完了

3) 米国HEU174トンの処分(商業用利用は12,690tU+8,000tSWU)

(2) 使用済み燃料再処理回収Puおよび軍事用余剰Pu

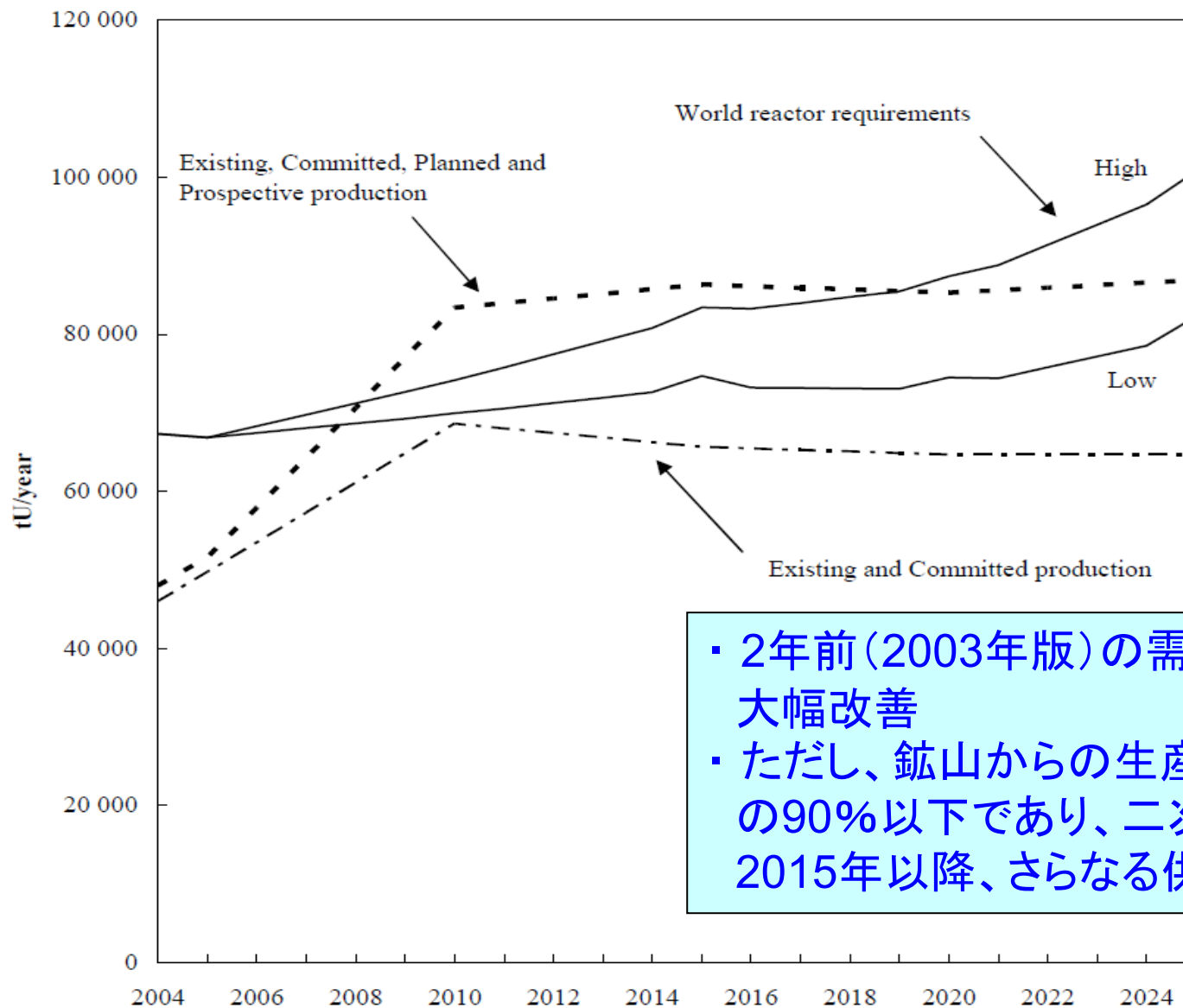
① 回収Puは現在MOX使用許可を得ている35基(仏20、独9、印3、スイス2、ベルギー2)の原子炉で燃焼。EUで、年間約1,400tU相当の利用。

② 軍事用Pu:2000/9米ロ協定に基づき合計68トン(7,000~8,000tU)をMOX利用

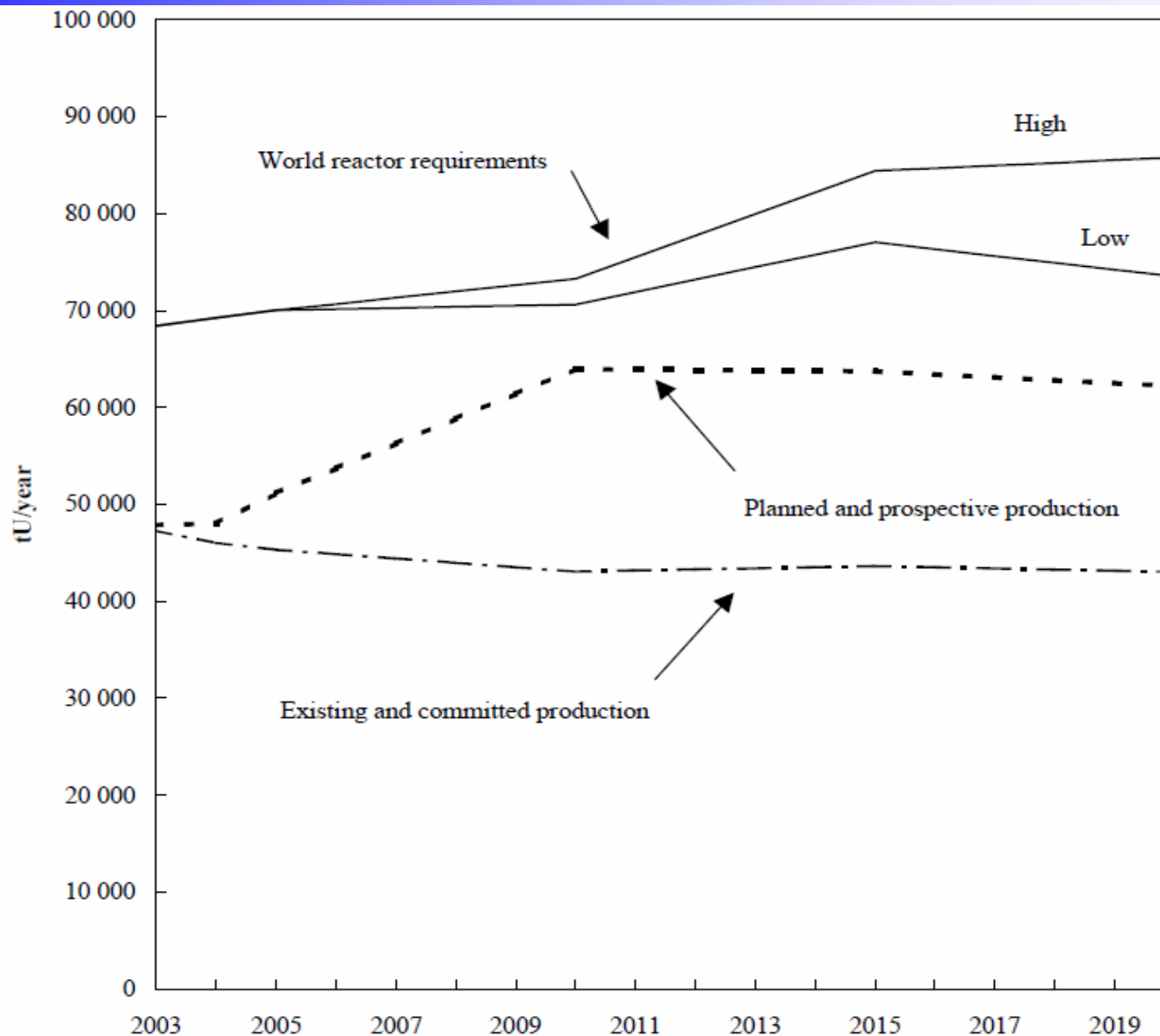
(3) 劣化ウランの再濃縮

・2005/1現在150万トンの劣化ウラン在庫⇒再濃縮により40万tU相当が利用可能

2025年までの世界のウラン生産容量と需要見通し



・ 2年前(2003年版)の需給見通しに比べ大幅改善
 ・ ただし、鉱山からの生産は公称供給能力の90%以下であり、二次供給の減少する2015年以降、さらなる供給源が必要



ウラン資源の利用可能年数

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⁾	在来型資源と燐酸塩鉱 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

データ: OECD/NEA-IAEA, 2006 (レッドブック 2005)

* 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	—

燐酸塩中のウランは燐酸肥料の副産物としてのみ生産可能。
燐酸肥料消費量に見合うウランの年間生産量は数千tUに限定され、世界の原子力発電(10万tU/年)を支えることは不可能。

* 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

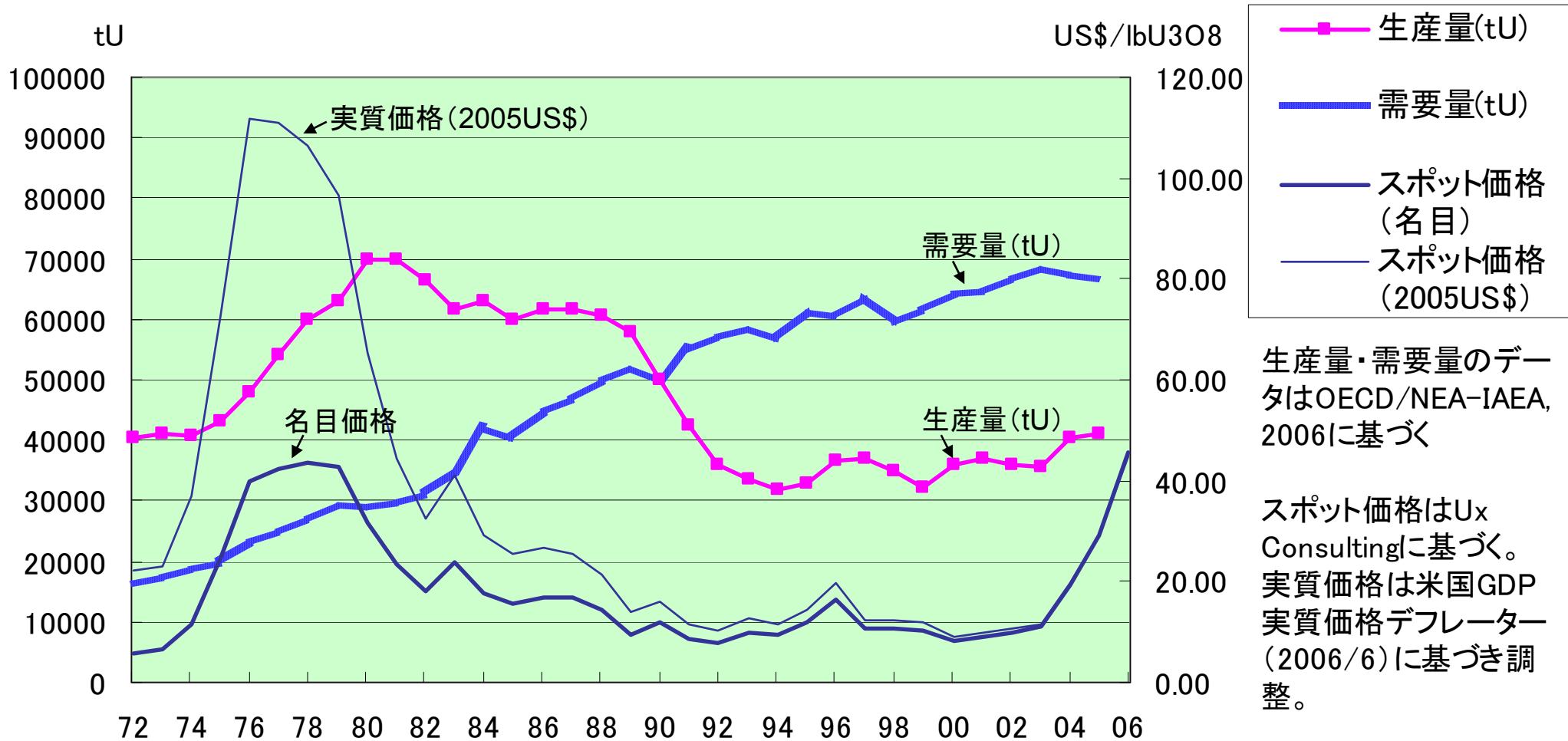
* 3: 在来型発見資源量474.3万tU、* 4: 在来型資源合計量1,480万tU

* 5: 在来型資源合計量に燐酸塩鉱床中の推定ウラン量2,200万tUを加えた値

- ◆ 長期間にわたる原子力の成長を支えるウラン資源は十分に存在する。
- ◆ ただし、その可能性を十分に引き出すためには、十分なウラン探鉱と（原子炉および燃料サイクル技術の）研究およびタイムリーな鉱山開発・技術開発を促進させる十分な投資が必要である。

參考資料

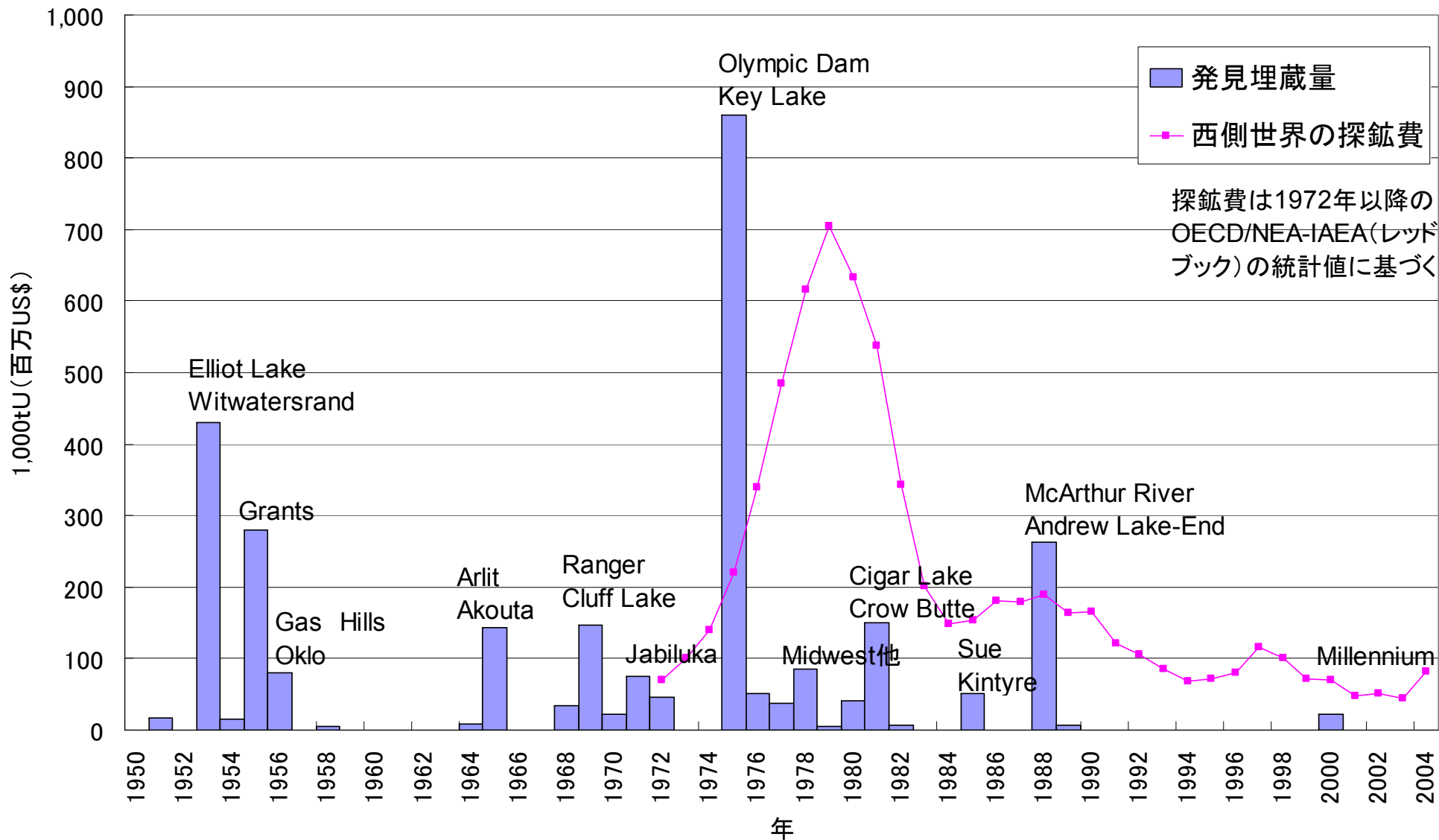
ウランの生産量・需要とスポット価格の推移



生産量・需要量のデータはOECD/NEA-IAEA, 2006に基づく

スポット価格はUx Consultingに基づく。
 実質価格は米国GDP実質価格デフレーター(2006/6)に基づき調整。

西側世界のウラン資源発見量と発見年および探鉱費





主要鉱床の探鉱～生産リードタイム

国名	鉱床／鉱山名	探鉱開始年	発見年	生産開始年	リードタイム：年 ()内は発見時から
オーストラリア	Beverley (ISL)	1968	1970	2000	32 (30)
オーストラリア	Honeymoon (ISL)	1968	1972	未定	>38 (>34)
オーストラリア	Jabiluka (UG)	1968	1971	未定	>38 (>35)
オーストラリア	Olympic Dam (UG)	1970' s初期	1976	1988	18 (12)
オーストラリア	Ranger (OP)	1968	1969	1981	13 (12)
ブラジル	Lagoa Real	1974	1976	2000	26 (24)
カナダ	Cigar Lake	1969	1981	2007 (予定)	38 (26)
カナダ	Key Lake	1968	1975	1983	15 (8)
カナダ	McArthur River	1981	1988	1999	18 (11)
カナダ	McClellan Lake	1974	1979	1999	25 (20)
カナダ	Inkay (ISL)	1976	1979	2001	25 (22)
カナダ	Kanzhugan (ISL)	1972	1974	1982	10 (8)
カナダ	Mynkuduk (ISL)	1973	1975	1987	14 (12)
カナダ	Uvanas	1963	1969	1977	14 (8)
ニジェール	Akouta	1956	1972	1978	22 (6)
ニジェール	Arlit	1956	1965	1970	14 (5)
平均					22.5 (17)

ウラン資源発見コスト

西側世界の発見コスト(1972～2004)

	探鉱費*(百万US\$)	発見埋蔵量(万t U)	発見コスト(US\$/kg U)
過去33年間(1972-2004)	6,788	162.9	4.17
過去20年間(1985-2004)	2,151	34.3	6.27
過去10年間(1995-2004)	736	2.2	33.62

* :探鉱費のデータはOECD/NEA-IAEA レッドブック 1974～2006に基づく

オーストラリアとカナダの発見コスト(～1998)

探鉱史上累計	1998年までの探鉱費総額 (百万 US \$)	既知資源総計 (万t U)	発見コスト (US\$/kg U)
オーストラリア	492	98.8* ¹	0.50
カナダ	1,185	75.5* ²	1.57

1989年からの 10年間	1989-1998年までの探鉱費 (百万 US \$)	1989-1998の追加 既知資源(万 t U)	発見コスト (US\$/kg U)
オーストラリア	109	1.58	6.89
カナダ	369	9.54	3.87