

フロントエンドの動向と需給見通し

平成 19 年 4 月 18 日

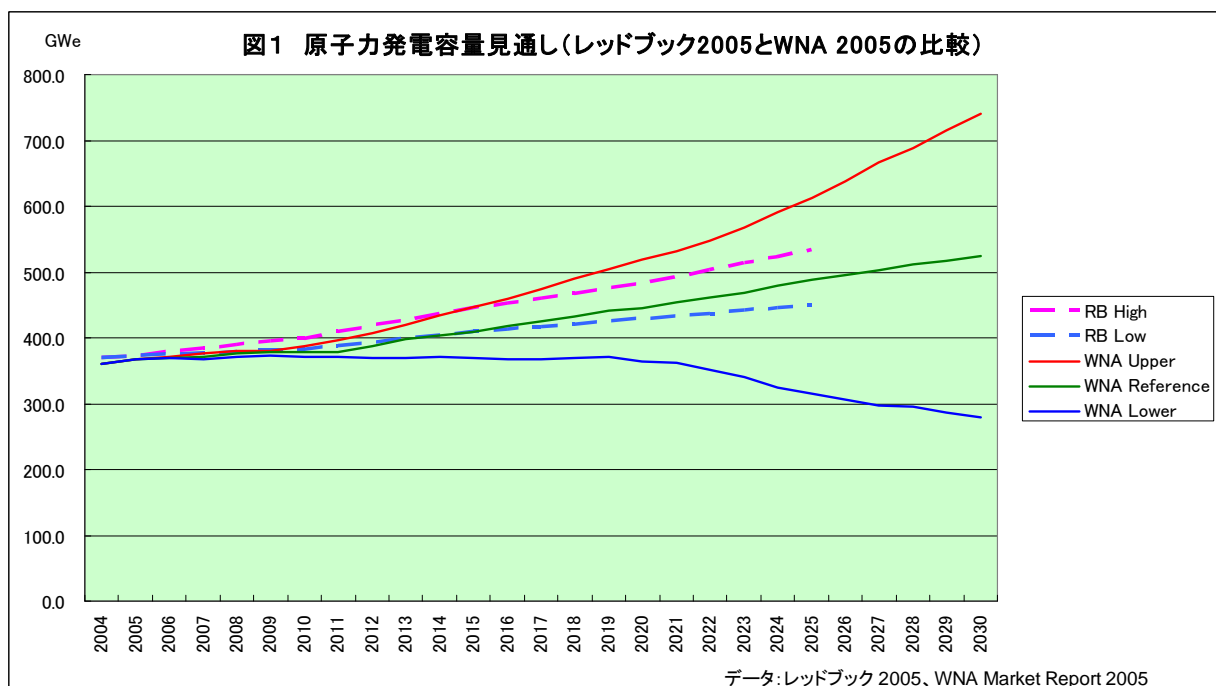
原子力研究開発機構

戦略調査室 小林孝男

核燃料サイクルのフロントエンド（ウラン、転換、濃縮および燃料製造）に係わる市場の動向と需要・供給の見通しについて、主に WNA の”The Global Nuclear Fuel Market” 2005 年版⁽¹⁾（以下、WNA 2005）や OECD/NEA-IAEA の Uranium 2005⁽²⁾（以下、レッドブック 2005）、さらに関係企業・機関の Web サイトなどの公開情報に基づき、以下、考察することにする。

1. 原子力発電容量の見通し

原子力発電容量の見通しは、すべての核燃料需要量予測のベースになるものである。レッドブック 2005 および WNA 2005 による原子力発電容量見通しを図 1 に示す。



レッドブック 2005の方が若干（半年程度）新しいこともあり、高予測、低予測とも容量見通しは右肩上がりになっており、また 2010 年代前半までの立ち上がりが早くなっている。しかし、2020 年以降をみると WNA 2005 の標準シナリオはレッドブック 2005 の高低両予測内に収まっており、レッドブックと WNA 両者の見通しを代表する中間見通しと考えて大きな問題はないと考えられる。WNA 2005 には濃縮需要のデータも示されていることから、本レポートでは WNA 2005 のデータ（特に標準シナリオ）を中心に検討を行うこととする。

WNA 2005 標準シナリオによる原子力発電容量は、2005 年の 366.7GWe から 2030 年の 524.2GWe へと 43%の伸びを示している。しかし、発電需要はさらに大きな伸び（2030 年まで

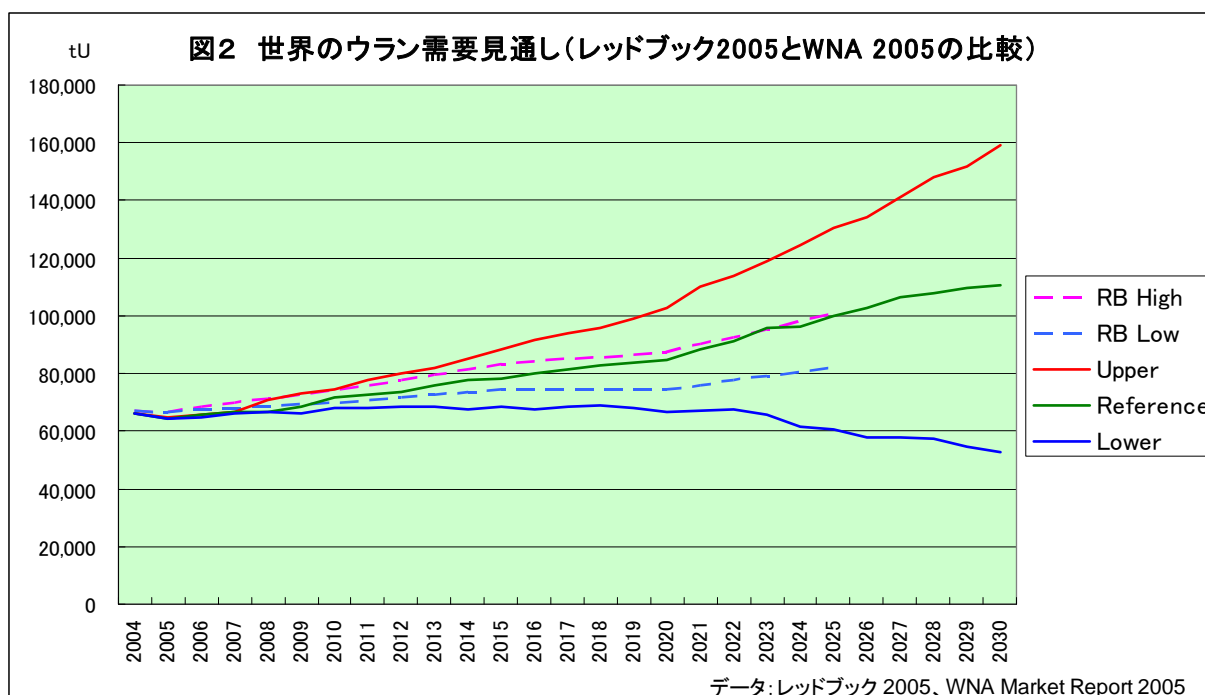
に約 2 倍) が予測されていることから、標準シナリオでは発電全体に占める原子力発電の割合は減少することになる。

2. ウラン

(1) ウラン需要

WNA のウラン需要予測は、発電容量予測をベースにして、燃料の濃縮度、原子炉の稼働率、燃焼度、運転サイクル期間および濃縮のテール濃度を考慮して計算されている。ウラン需要と濃縮需要との関係で言うと、テール濃度の設定は相互に反対方向に影響しあう密接な関係がある。WNA 2003 の需要予測では、世界の濃縮テール濃度は 0.3% に設定されていた（ロシア VVER 原子炉だけは 0.1%）が、WNA 2005 ではウラン価格が濃縮価格に比べて大きく上昇していることから、テール濃度は 2005～2030 年まで一律に 0.27% に変更された（ロシア VVER は 0.1% のまま）。このため、WNA 2005 のウラン需要予測は、WNA 2003 年の予測に比べて、2005 年時点で約 3,800tU/年（約 6%）減少した。

WNA 2005 標準シナリオのウラン需要は、2005 年の 64,548tU/年から 2030 年には 110,776tU/年へと増大し、発電需要の伸び率（43%）よりも高い約 72% の伸びが予測されている（図 2）。2020 年以降を見ると、WNA 2005 のウラン需要標準シナリオはレッドブック 2005 の高予測とほぼ同じになっているのは、図 1 と整合していないが理由は不明である。



(2) ウラン市場の動向

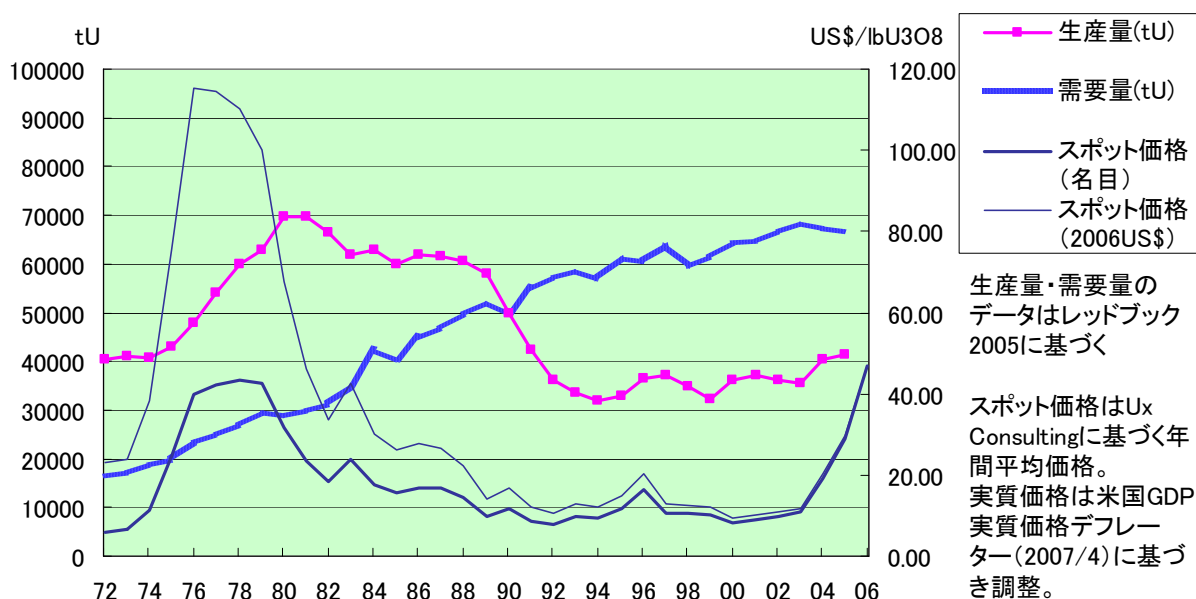
1973 年末の第一次オイルショック、また、オイルショックに先立ち米国原子力委員会の濃縮役務契約がフィードウランについて長期確定量方式となったことが重なり、1974 年以降ウラン価格は高騰し世界のウラン鉱山の生産規模は大幅に拡大した。しかし、1970 年代後半から米国での安全・環境論争の高まりと共に、原子力発電の新規建設は予想を大幅に下回り、さらに 1979

年のスリーマイルアイランド事故が決定的となり、原子力発電の早期回復の可能性はなくなった。この結果、軍事利用目的のウランを含め、ウランの余剰在庫が多量に蓄積されることとなり、1980年代に入ってから長期間にわたって、ウラン市場が低迷する原因となった（図3）。

1990年代に入ってから、東西の壁が崩壊し、旧ソ連の在庫が多量に西側市場に流入すると共に、核軍縮に伴うロシアの高濃縮ウラン（HEU）までが希釈されて発電用に転用されることとなり、年間ウラン需要の半分近くがこれらの二次供給ウランで賄われることとなった。この間、高コストのウラン鉱山は閉山に追い込まれ、鉱山会社の寡占化が進むとともに、探鉱開発活動は極端に低下することとなった。

ウラン市場の低迷は約20年間にわたって続いたが、2003年4月に起きたカナダ マッカーサーリバー鉱山の坑内出水事故をきっかけに様々な要因が重なりスポット価格が上昇し始めた。価格上昇の本質的な理由は、中国、インド、ロシアをはじめ世界的な原子力発電の伸びが予想される中、ロシア HEU からの供給契約が2013年に終了する見込みなど、在庫の減少による将来の供給不安によるところが大きい。ウラン価格の上昇にもかかわらずウラン鉱山の生産規模は目に見えて増加しない状況から2006年になっても価格は上昇し続けた。

図3 ウラン需給とスポットウラン価格

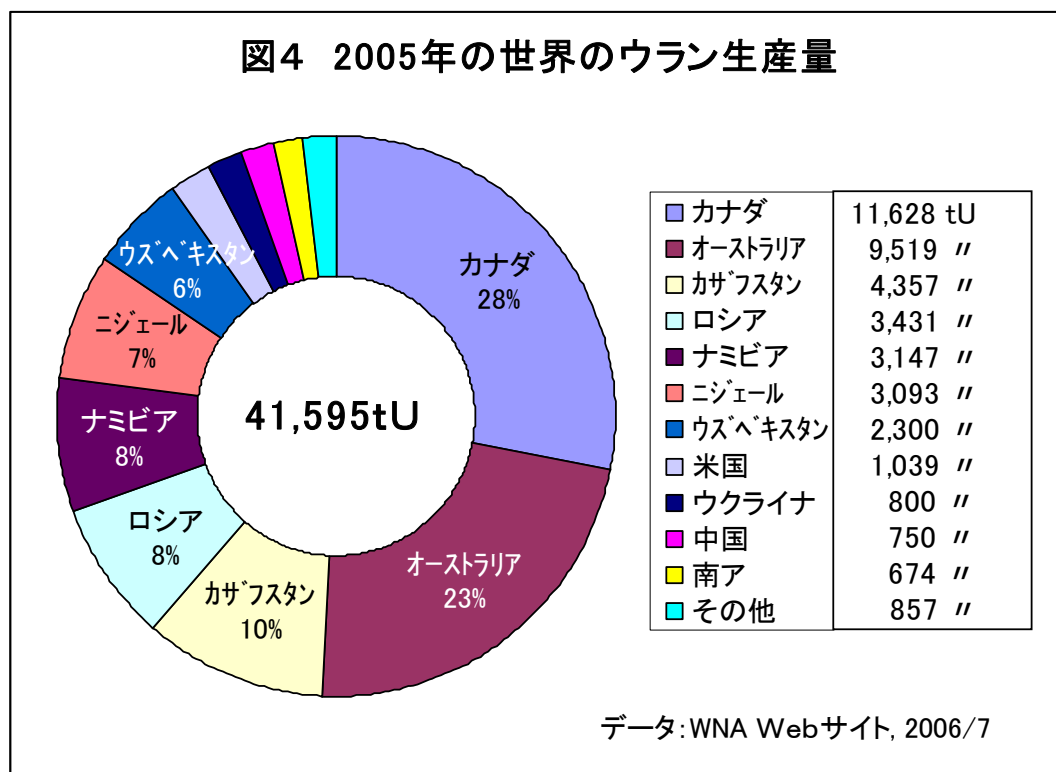


さらに、2006年10月にカナダで新規開発中のシガーレイク鉱山（6,920tU/年予定）の坑内出水事故が発生し、2008年から生産開始の予定が2年程度以上遅れる見通しから、ウラン価格はさらに高騰し、2007年4月9日のスポット価格はUS\$113.0/lbU3O8に達している（Ux Weekly, 2007/4/9）。最近2年間の年間スポット取引量がそれ以前に比べて約50%も増大している（Ux Weekly, 2007/2/5）ことから、投機筋によるスポットウラン購入量の増大も価格高騰に拍車をかけている可能性が高いと考えられる。

(3) ウラン鉱山の開発動向

2005年の国別のウラン生産量は図4に示すとおりである。依然として鉱山の生産量は世界の

需要量の 2/3 以下となっており、生産容量の拡張が市場の動向に追いついていないが、今後 2015 年までにかけて新規鉱山開発や既存鉱山の大幅拡張が進む見込みである。特に、資源量の豊富なオーストラリアとカザフスタンの生産規模が大きく拡大する見通しである。



主要各国の開発動向を以下に示す。

① カナダ

カナダは、世界で最も経済性の高い高品位のウラン資源を有しており、現在世界第 1 位の生産国であるが、資源量は世界第 3 位である。現在ウランを生産しているのは、サスカチワン州の 3 鉱山（3 製錬所）であるが、新たな開発作業が進行中である。

1) マッカーサーリバー鉱山

世界最大の生産規模を有するマッカーサーリバー鉱山（カメコ 70%、アレバ NC 30%の JV）は、2006 年に生産容量と同じ 7,185tU/年を生産した（Cameco News Release, 2007/2/7）。同鉱山のキーレイク製錬所の生産容量を 8,450tU/年へ拡張する許可申請について、カナダ原子力安全委員会（CNSC）は排水中のセレンとモリブデン濃度の更なる低減を求めていたが、カメコの改善提案に対する許可が 2007 年 3 月に決定された（CNSC Media Release, 2007/3/22）。

2) ラビットレイク鉱山

ラビットレイク鉱山（カメコ 100%）の生産容量は 4,610tU/年であるが、現状は半分の規模で生産を行っている。2006 年は鉱石の品位が予定より低かったため 1,960tU の生産であった。現在採掘中のイーグルポイント鉱床の埋蔵量を確定するための試錐結果が良好であったため、2006 年末の埋蔵量は約 7,350tU に増大した。カメコは少なくとも 2011 年までイーグルポイントの鉱石が給鉱できると見込んでいる（Cameco News Release, 2007/2/7）。

イーグルポイントの鉱石が枯渇したあとは、シガーレイクの鉱石の約半分がラビットレイク製

錬所で処理されることになっている。

3) マックリークレーク鉱山

マックリークレーク鉱山（アレバ NC 70%、デニソン 22.5%、海外ウラン資源開発 7.5%）は通常 2,300tU/年規模で生産を行ってきたが、2006 年は鉱石の品位が低下したことなどから 690tU の生産に留まった。シガーレーク鉱山の鉱石約半分を処理するのに備えて、2005 年中頃から JEB 製錬所の生産容量を現状の 3,070tU/年から 4,610tU/年に拡張する工事を行っており、2007 年の初期に完成する予定である（デニソン 2006 年報）。

4) シガーレーク鉱山開発

年産 6,920tU を計画するシガーレーク鉱山（カメコ 50%、アレバ NC 37.1%、出光 7.9%、東電 5%）の建設は、2004 年 12 月に着工し 3 年後に生産を開始する予定であったが、2006 年 4 月と 10 月に坑内出水事故が相次ぎ目下修復作業を行っているため、生産開始は 2010 年、フル操業は 2012 年になる予定である（Cameco 2006 年報, 2007/4/4）。本鉱山の鉱石は、マックリークレーク鉱山とラビットレーク鉱山とに分けて製錬されることになっている。

5) ミッドウエストプロジェクト

ミッドウエスト鉱床は露天掘りによる開発計画が進められており、2010 年の生産開始を予定している。ミッドウエスト鉱石を処理するため、マックリークレーク JEB 製錬所の更なる拡張（4,610⇒6,150tU/年）が計画されている（デニソン 2006 年報）。

②オーストラリア

オーストラリアは、世界第 1 位のウラン資源保有国であるが、目下のところウラン生産は、北部準州のレンジャー鉱山、南オーストラリア州のオリンピックダム鉱山およびビバリー鉱山の 3 鉱山に限られている。

1) レンジャー鉱山

リオ・チントが 68.4%の所有権（100%の販売権）を持つ ERA のレンジャー鉱山は 4,750tU/年の生産容量を有するが、2006 年の生産は熱帯低気圧の被害を受けて 3,990tU に減少した（2005 年は 5,000tU；リオ・チント Web サイト,2007/3）。レンジャー鉱山は、レンジャーNo.3 の採掘カットオフ品位を 0.12%U₃O₈ から 0.08%U₃O₈ に下げることにより資源量を見直し 69,700tU（2005 年末は 54,800tU）に増大させた（ERA Media Release, 2007/2/1）。これにより鉱山の寿命は 2010 年代末まで延長された。レンジャーNo.3 鉱石の枯渇後、ERA は近傍のジャビルカ鉱床を開発しその鉱石をレンジャー鉱山で製錬する計画であるが、現状では、ジャビルカ鉱床開発に対する先住民の同意が得られていない。

2) オリンピックダム鉱山

銅とウランを共産するオリンピックダム鉱山は、確度の高い資源量だけで約 75 万 tU を有する世界最大のウラン鉱床である。2006 年には 2,880tU を生産した（UIC Web サイト,2007/3）。

オリンピックダム鉱山の現在の生産容量は約 3,900tU/年と比較的大規模な鉱山にとどまっているが、2005 年に WMC から同鉱山を買収した BHP ビリトンは、同鉱山の大幅拡張（12,720tU/年）を計画しており、2006 年にはプレ FS を実施し、2009 年初期に FS を完了、建設は 2009～2013 に行われる見込みである（UIC Web サイト,2007/3）。

3) ビバレイ鉱山

米国 General Atomics の子会社である Heathgate Resources が所有するビバレイ鉱山は、生産容量 1,000tU/年の比較的小規模な ISL (インシチュ・リーチング) 鉱山である。2006 年には 700tU を生産した (UIC Web サイト, 2007/3)。

4) ハネムーンプロジェクト

カナダの SXR Uranium One (以下 Uranium One) が 2005 年に Southern Cross から取得したハネムーンプロジェクトの FS は 2006 年に終了し、8 月に開発が決定された。生産容量 340tU/年の ISL 鉱山開発は 2007 年から開始され、2008 年からの生産が予定されている (Uranium One, 2006 年報)。

③ カザフスタン

カザフスタンは、生産コストが比較的安い ISL 採鉱法で生産可能な資源量を豊富に有している (世界第 2 位)。2006 年は、2005 年の 4,346tU を上回る 5,279tU を生産した。このうちカザフスタン単独鉱山の生産は 3,010tU である (Kazatomprom News Release, 2007/1/26)。

国営会社である Kazatomprom が、カザフスタンのウラン生産・販売を一手に引き受けており、2005 年には約 4,300tU/年の生産規模を 2010 年には 15,000tU/年に拡大するとの野心的な計画を表明している。拡張計画の多くは、カメコ、アレバ NC、Rosatom (ロシア)、UrAsia (加)、住友商事・関西電力などとの共同開発 (JV) であり、海外からの開発資金も導入して拡張計画は比較的順調に進んでいる (表 1)。

表 1 カザフスタンのウラン鉱山開発

採鉱法	鉱山/鉱床名		現状・計画	2006年の生産容量 (tU/年)	2010~2013年の拡張見込容量 (tU/年)	
ISL	単独	Central-noye	Kanzhugan, Moinkum 1	ISL生産中。2006年はStepnogorskiと合わせた単独鉱山で3,010tUを生産	1,000	1,000
		Step-noye	Mynkuduk-Vostochny, Uvanas		1,000	1,300
		#6	North/south Karamurun		800	1,000
	JV	Akdala		UrAsia(加)(70%)とのJV。2006年から商業生産	1,000	1,000
		Moinkum 2,3, Tortuduk		アレバNC(51%)とのJV。2006年から商業生産	900	1,500
		Inkai-sites 1,2		カメコ(60%)とのJV。2007年から商業生産	300	2,000
		Zarechnoye		ロシアTenex他(50.7%)とのJV。2006年末から商業生産		1,000
		Budenovskoye		ロシア(50%)とのJV。2008年から商業生産		1,000
		West Mynkuduk		住友商事(25%)・関電(10%)とのJV。2010年頃までに1,000tU/yの商業生産		1,000
		Central Mynkuduk, Irkol Southern Inkai, Kharasan		JVを含む4件の計画でISL鉱山。2007~2008年に商業生産開始		4,750
従来型	単独	Stepnogorski	Vostoc他鉱脈型鉱床	坑内採掘。2008年拡張計画	250	600
合計				5,250	16,150	

データ：関係企業 Web サイト・ニュースリリース、レッドブック 2005、WNA Web サイト他

④ ロシア

ロシアの生産容量は現状 Priargunsky 鉱山を中心とした 3,500tU/年程度であるが、2012 年頃

までには Dalur および Khiagda の国内 ISL 生産センターでそれぞれ、800tU/年、1,000tU/年の増産を目指している（レッドブック 2005）。さらに、カザフスタンの 2 つの JV（表 1）で 2012 年までにロシアシェアとして 1,000tU/年の増産を計画している（Kazatomuprom 広報用 DVD, 2006）。

⑤ ナミビア

1) Rössing 鉱山

リオ・チントが 68.6%の所有権を所有する Rössing 鉱山は、公称生産容量は 4,000tU/年であるが、2006 年には 3,068tU を生産した（リオ・チント Web サイト, 2007/3）。リオ・チントは目下、鉱山の寿命を 2026 年まで 10 年間延長することを検討中との情報がある（UxWeekly, 2007/3/26）。

2) Langer Heinrich 鉱山

オーストラリアの Paladin が 100%所有する Langer Heinrich 鉱山は、2006 年末に鉱山建設が完成し 2007 年から生産を開始した。従来法の鉱山（ISL ではなく、鉱石を掘り出して製錬する鉱山）としては、今世紀初めての新規鉱山である。2007 年 6 月末から、生産容量 1,000tU/年のフル操業に入る予定である（Paladin News Release, 2007/3/29）。

Paladin は、マラウイにも Langer Heinrich と同様のカルクリート型の Kayelekera プロジェクトの権利 85%を所有している（残り 15%はマラウイ政府が所有）。2007 年 2 月に FS を終了し、生産容量 1,270tU/年（最初の 7 年間）の鉱山開発を決定した。2007 年に建設を開始し、2008 年後半から生産を開始する予定である（Paladin Web サイト, 2007/2）。

3) Trekkopje プロジェクト

英国に拠点を置く UraMin が 100%所有するカルクリート型の Trekkopje プロジェクトは、2007 年 2 月に FS を終了し、経済性のある開発であることが確認された。FS の開発モデルでは、2007 年から 2 年間は試験的生産を行い、残り 8 年間は 3,070tU/年規模の生産を行うこととなっている（UraMin News Release, 2007/2/19）。

⑥ ニジェール

ニジェールでは、生産容量 2,300tU/年のアクータ鉱山（アレバ NC 34%、ニジェール ONAREM 31%、海外ウラン資源開発 25%、スペイン ENUSA 10%）および生産容量 1,500tU/年のアーリット鉱山（アレバ NC 63.4%、ONAREM 36.6%）の両鉱山が、それぞれ 80%程度の稼働率で毎年安定的な生産を行っている。

⑦ ウズベキスタン

ウズベキスタンは国内に 3 つの ISL 生産センターを有し、合計の生産容量は現在 2,300tU/年であるが、2010 年までに 3,000tU/年への拡張を目指している（レッドブック 2005）。

⑧ 米国

2006 年に米国は、新たに生産を開始した Alta Mesa を加えた 5 つの ISL 鉱山とひとつの従来型製錬所（White Mesa）が合計 1,690tU を生産した。2005 年の 1,040tU に比べて 63%の増加である（UxWeekly, 2007/3/26）。

ISL 鉱山の生産内訳は、カメコ Smith Ranch-Hiland 鉱山：770tU、Mestena の Alta Mesa 鉱山：420tU、カメコ Crow Butte 鉱山：280tU、Uranium Resources Inc. (URI) の Vasquez 鉱山：63tU、

URI の Kingsville : 36tU である。5 つの生産中の ISL 鉱山の生産容量は 2,150tU/年であるが、この他生産容量 385tU/年の 2 鉱山がライセンス取得済みである (EIA Web サイト, 2007/2/13)。

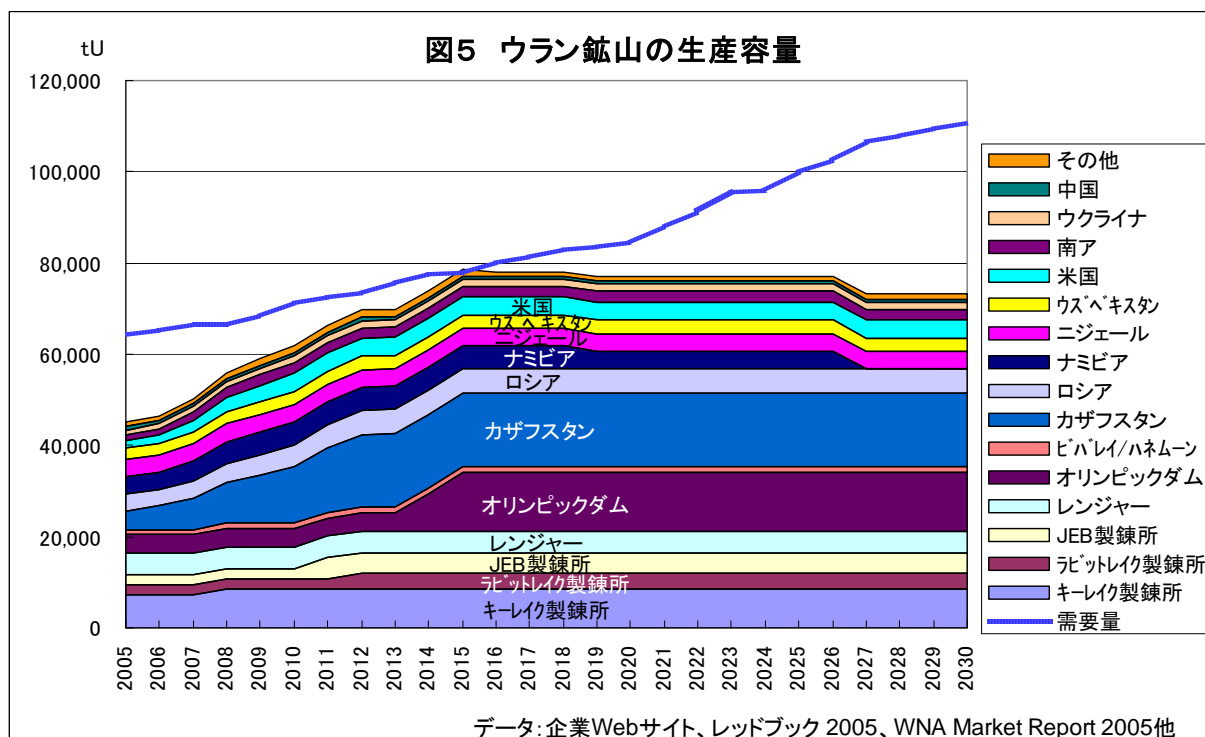
米国の 4 つの従来型製錬所のうち唯一稼働しているユタ州の White Mesa (2006 年 9 月にカナダのデニソンは米国 IUC と合併して取得) は、現在はウラン鉱石以外の代替フィード (政府のクリーンアップ物質等を含む) を処理しており、2006 年は 108tU を生産した。2008 年からはコロラドプラトー地域のウラン鉱山からの鉱石を製錬する計画である (デニソン 2006 年報)。

同じくユタ州の Shooting Canyon 製錬所に関しては、修理に US\$33m.を要するが、2007 年 2 月に前述の Uranium One (加) が、US Energy Corp.から製錬所権益とユタ・ワイオミング・アリゾナ・コロラドに存在するウラン探鉱権益とを合わせて取得することに最終合意しており、今後積極的に鉱山開発を進める計画である (Uranium One, 2006 年報)。

⑨ その他

同じく Uranium One は南アのドミニオン鉱山 (金を主産) のウラン鉱石処理を 3 月から開始した。第 1 フェーズの 11 年間で、12,040tU を生産 (年平均約 1,100tU) を生産し、第 2 フェーズと合わせて 30 年間の生産が可能としている (Uranium One News Release, 2006/11/14、2007/3/1)。

以上の鉱山開発動向を踏まえた世界の鉱山生産容量見通しは図 5 に示すとおりである。世界の生産容量は、2005 年の約 45,000tU/年から 2015 年には約 78,000tU/年へと急速に拡大する見込みである。2015 年以降も実際には新たな開発が加わるはずであるが、現状では開発計画が明らかになっていない。実際の生産量は図に示した公称容量の 80~90% であることに注意する必要がある。



注: レンジャー鉱山では 2020 年頃からジャビルカ鉱床が生産されると仮定

ナミビアでは、Rössing 鉱山が 2026 年まで生産と仮定。カナダ、ニジェール等、現存製錬所は原則的に近隣鉱床の開発により生産規模を維持するものと仮定。その他は、ブラジル、インド、チェコ（2007 年まで）、マラウイ（2008-2019 年）等。

(4) ウランの二次供給源

ウランの二次供給として、①民間ウラン在庫、②解体核高濃縮ウラン（HEU）、③DOE 在庫、④回収ウランおよび MOX 燃料、⑤劣化ウラン再濃縮が存在する。

① 民間ウラン在庫

民間ウラン在庫は、ユーティリティー、生産者（鉱山会社、濃縮・燃料製造会社等）およびその他の市場参加者（仲介業者、投資家等）によって所有されるものである（WNA 2005）。ユーティリティーの在庫は戦略在庫・工程内在庫・過剰在庫からなり、それぞれの量を正確に把握することは困難であるが、WNA 2005 は西側ユーティリティーへのアンケートを通じてかなりの回答率で 2004 年末の在庫量を明らかにした（表 2）。米国ユーティリティーの在庫量は表 2 に含まれていないが、これは米国 EIA が報告しているからである。EIA, 2005 が報告している 2004 年末の米国在庫量 21,680tU を加えた世界のユーティリティー在庫量は約 114,000tU である（WNA 2005）。WNA 2005 は、米国在庫のうち過剰在庫は多くないので、27,000tU が今後使用可能な過剰在庫と見ている。

ユーティリティーは 2005 年以降、長期契約購入ウランの年間契約量を 2004 年以前の 3 倍のレベル（約 3 万 tU から約 9 万 tU）に増大させており（Ux Weekly, 2007/1/22）、戦略在庫量をさらに増大させつつあるものと推定される。

表 2 2004 年末のユーティリティー保有在庫量（1,000t）

	Total	Strategic	Non-strategic
Europe	52	35	17
East Asia	40	30	10
Total	92	65	27

注：工程内在庫は戦略在庫に含まれる

出典：WNA 2005

ウラン生産者（鉱山会社）は、供給保証のためにウラン在庫を保有しているが、WNA 2005 は 2004 年末の在庫量を 10,000tU 程度と推定している。また、DOE は米国の転換・濃縮・燃料製造者の 2004 年末の在庫量を 14,600tU と報告している。WNA 2005 は、米国以外のこれら生産者の在庫量はせいぜい 5,000tU と推定している。

仲介業者（Trader, Broker）などの在庫保有量は極秘情報であり推定困難とされている（WNA 2005）。

② 解体核高濃縮ウラン

旧ソ連は濃縮度約 90%の高濃縮ウラン（HEU）を約 1,400 t 製造したと考えられている。このうち 500 t の HEU（約 152,000tU のウランコンポーネントと約 92,000tSWU の濃縮コンポー

メントからなる)は、1993年に締結された米ロ HEU 契約に基づき、1994~2013年までの20年間にロシアで平均4.4%の濃縮ウラン(LEU)に希釈され、米国に供給されることになった(WNA 2005、Bukharin,2004⁽³⁾)。1999年からは毎年30tのHEUが約950tのLEU(約9,000tU/年の天然ウランと5,500tSWU/年に相当)に希釈され、米国に供給されている。

SWUの対価は米国USECがロシアに支払っているが、1998年までのウランコンポーネント(フィードウラン)の大半はDOEが購入し、DOEの在庫となった。1999年からは、ウランコンポーネントは一旦ロシアに返還され、カメコ・アレバNC・Nukemの西側3社とロシアTENEXが一定比率で分担して購入・販売する契約が結ばれた。2004年6月に本契約は変更され、ロシアの年間取り分が1/4(6m.ポンドU3O8)から1/3(8m.ポンドU3O8)に増加した。さらに、2003年末時点でロシアに残っていたフィードウラン監視在庫16,900tU(44m.ポンドU3O8)についても、今後ロシアがブレンド用に使用することが決定された(Cameco News Release, 2004/6/16)。

また、ロシアは2006年6月に、現行の米ロHEU契約(2013年終了)に続く二次契約(HEU2)を行う意思がないことを表明し、市場にインパクトを与えた(Ux Weekly, 2006/5)。しかし、これはロシアにとって有利な形のHEU2(主導権、フィードウランの取り分、SWU販売価格等)を始めるための戦略との見方もある。WNA 2005は、二次供給のアップーシナリオで、現状の1/3規模でのHEU2を見込んでいるが、標準シナリオではHEU2を含めていない。

米国の核解体HEUは、2005年11月以前の過剰分(174t)と新たに追加発表された200tがある。2005年11月以前のHEUのうち、2005年までに72.9tは894.7tのLEUに希釈され、46t(647tのLEUに希釈予定)はUSECに移転された。また、39tはTVA炉用(特殊燃料)に希釈され、10tは研究炉用に利用、17.4tはDOEのスペック外LEUで希釈されReliable Fuel Supply Programに供されることになっている(レッドブック2005)。また、追加の200tのうち、160tは海軍の推進用に、20tは市場および研究用に、残り20tは宇宙研究用に使用されることになっている(レッドブック2005)。

これら核解体HEUのうち、市場で利用可能なLEUのDOE保有在庫量は、ウラン換算で21,474tUである(DOE, 2006/8/4⁽⁴⁾)。これらの一部は以下に述べるDOEの在庫販売戦略に含めて市場に供給されると推定されるが、大部分は米ロHEU2の取引が終了するまで市場に供給されないのではないかと推測されている(WNA 2005)。

③ DOE 在庫

DOEは米国が本来所有する天然UF6(5,517tU)とロシアHEUウランフィードのUF6(12,985tU)、Tc-99を含む規格外のウラン(2,900tU)および濃縮度0.4%の劣化ウランUF6(9,104tU)とを合わせ、合計30,506tUのウラン在庫を保有している(DOE, 2006/8/4)。DOEは2006年8月に、年間1,920tUを超えない範囲でこれらの在庫を2006年から10年間にかけて市場に売却する方針案を公開して事業者の意見を募集している(DOE, 2006/8/4)。売却方針はまだ決定されていないが、この方針案に沿った形で、今後在庫の処分が行われるものと予想される。

④回収ウランおよび MOX 燃料

軽水炉使用済燃料のリサイクルによる回収ウランと MOX 利用に関しては、WNA がクエスチヨネアーを通じてユーティリティーから得たデータ（WNA 2005；表 3）があり、2019 年までは年間で約 2,500tU 相当、2020 年以降は約 1,600tU 相当のウラン需要を削減すると予測されている。

表 3 回収ウランと MOX 利用によるウラン需要削減量

	Use of RepU	Use of Pu (MOX)	Total	MOX fuel fabrication capacity (upper case for Pu)
2005	1264	1556	2820	1764
2006	1230	1556	2786	2160
2007	675	1406	2081	2160
2008	558	1386	1945	2160
2009	947	1514	2461	2426
2010	947	1441	2388	2808
2015	804	1528	2264	3722
2020	804	830	1634	3096
2025	804	830	1634	3096
2030	804	830	1634	3096

出典：WNA 2005

また、2000 年に締結された米ロ核解体契約に基づく MOX 利用に関しては、米ロ合わせて 2010 年までは年間で 200tU 相当、2010 年以降は 800tU 相当の MOX 利用が推定されている（WNA 2005 の標準シナリオ）。

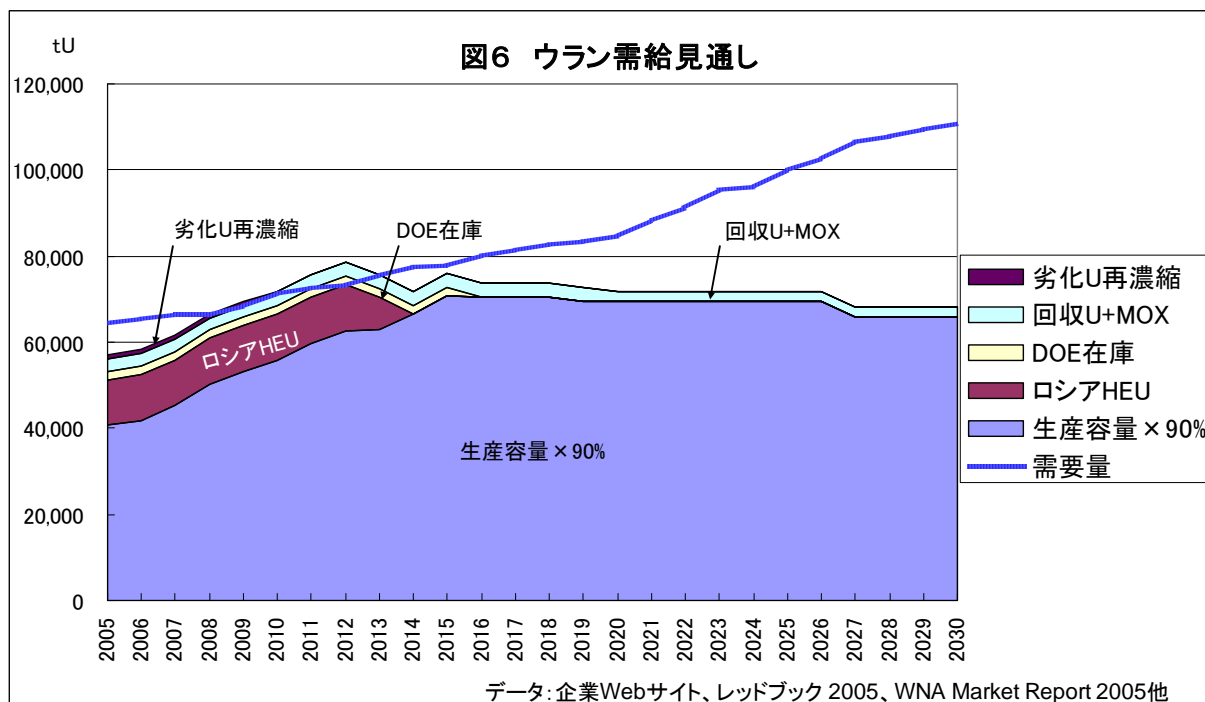
⑤劣化ウラン再濃縮

ロシアは、1997-1998 年以降、西側濃縮事業者からテール濃度 0.3～0.35%の劣化ウラン 10,000～15,000 t を輸入し、テール濃度 0.1%で再濃縮して数 1,000tU 相当の擬似ウランを生産し、およそ半分を国内需要に当て、残りをウラン生産物または LEU の形で西側濃縮事業者に返還していた（WNA 2005）。しかし、最近では Urenco からロシアに輸出できる（ロシアで濃縮可能な国籍の）劣化ウランがなくなって処理量が減少しているとの情報、また、ロシア政府筋では、現行契約終了後の西側劣化ウランの再濃縮は行わない意向との情報がある（Nuclear Fuel,2006/7/31）。

(5) ウラン需給見通し

一次供給は鉱山の供給容量の最大限の稼働率 90 %と仮定して、上記二次供給を考慮したウラン需給見通しを図 6 に示す。

鉱山の生産容量が計画通り拡張される場合、二次供給源を加えてかろうじて 2013 年までのウラン需給はバランスするものと予想される。当面の 2～3 年の間は民間在庫の取り崩しが必要なことからウラン市場は売り手市場が継続するものと思われる。さらに、米ロ HEU 契約が終了する 2014 年以降は、供給不足が将来的に拡大していくと予想されることから、HEU2 が継続される場合であっても、現在決定している開発計画以上の新規鉱山開発および生産容量の拡張が不可欠である。

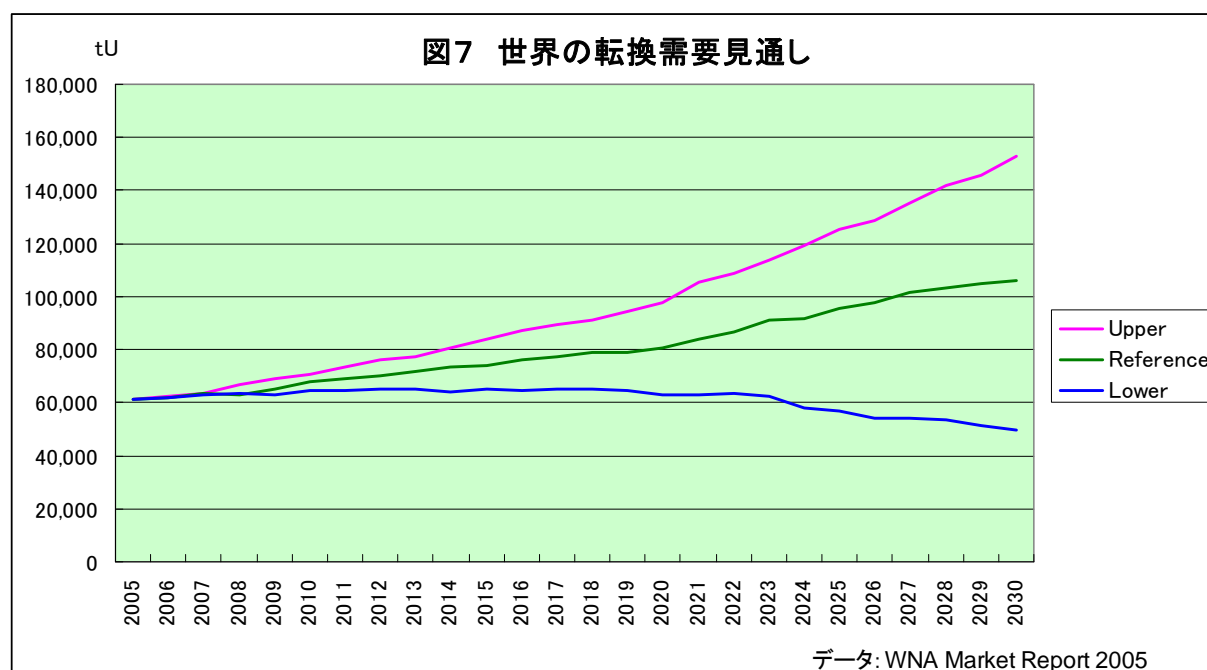


3. 転換

(1) 転換需要

WNA の転換需要予測は、図 7 に示すとおりである。ウランとほぼ同様の考え方で算定されていると推定される。

WNA 2005 標準シナリオの転換需要は、2005 年の 61,366tU/年から 2030 年には 105,877tU/年へと増大し、ウランと同じ約 72%の伸びが予測されている（図 7）。



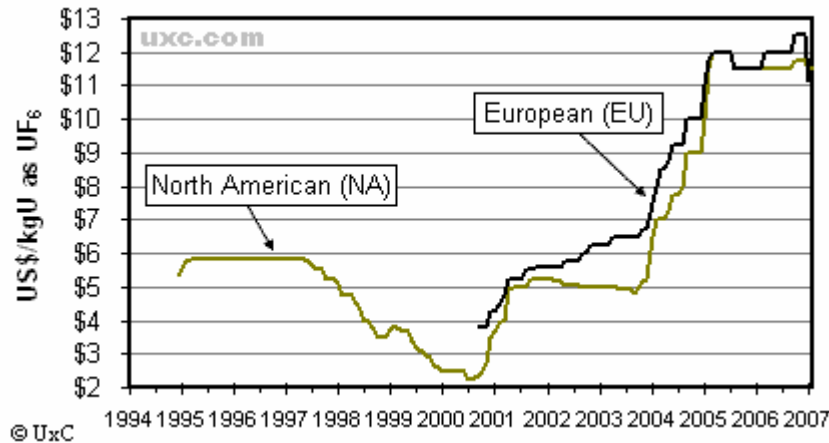
(2) 転換市場の動向

2000 年以降の転換市場には大きな変動があった(図 8)。2001 年 2 月に Westinghouse (BNFL) が、2006 年 3 月に UF6 の生産を中止すると発表してから北米の転換スポット価格は US\$3/KgU 近く上昇し US\$5/KgU に達した。2003 年 12 月には米国 ConverDyn のメトロポリス転換プラントが UF6 放出事故で 3 ヶ月中断し、価格は再び急上昇、さらに 2004 年 7 月からカメコのポート・ホープ転換施設が労働争議のため 2 ヶ月中断し、転換価格は US\$10/KgU 近くまで上昇した。2005 年に入ってから、スポット価格は US\$12/KgU 前後での安定状態となっている (Ux Weekly, 2007/3/19)。

2001 年以降の転換価格の上昇は、もちろん上記の出来事に起因するところが多いが、最近の為替動向の影響も無視できない。西側転換需要の約 70%はカナダとフランスから供給されていることから、2001 年から 2005 年の間に米ドルがカナダドルおよびユーロに対しそれぞれ、3 割近く弱くなったことによる影響が大きい。

転換価格の動向が、ウラン価格や濃縮価格の動向とほとんどリンクしていないことも注目値する。

図8 転換スポット価格の推移



出展 : Ux Consulting Website, 2007/3/23

(3) 世界の転換事業者の動向

世界的には、カメコ、Comurhex（アレバ NC）、ConverDyn、Rosatom（ロシア）および Westinghouse（BNFL）の5事業者がほとんどの転換供給を行っており、世界の総公称生産容量は約 62,500tU/年である（表4；WNA 2005）。

表4 世界の転換容量

企業名（国名）	所在地	公称容量 tU
カメコ（カナダ）	Port Hope	12,500
Comurhex〔アレバ NC〕（仏）	Pierrelatte	14,000
ConverDyn（米国）	Metropolis	14,000
Westinghouse〔BNFL〕（英国）	Springfields	6,000
Rosatom（ロシア）	Angarsk、Seversk	15,000
CNNC（中国）	蘭州 Lanzhou	1,000
IPEN（ブラジル）	Sao Paulo	90
合計		62,590

データ：WNA 2005

①カメコ

カメは、Blind River 精錬施設と Port Hope 転換施設を操業している。Port Hope 転換施設は国内 CANDU 炉への供給のため UO₂ 転換も行っており、その公称生産容量は 2,800tU/年である（WNA 2005）。

2005 年 3 月に、カメコは、BNFL と賃転換の契約を締結し、2006 年途中から 2015 年まで 5,000tU/年の転換供給を受けることになった。カメコが施設整備に必要な投資を行い、2006 年 3 月に中止予定であった BNFL のスプリングフィールドプラントは最低 10 年間の運転を継続することになった（Cameco News Release, 2005/3/16）。

②Comurhex（アレバ NC）

アレバ NC は最近設備改造を行い、2004 年から公称容量 14,000tU/年どおりの生産が可能になった。また、最近、アレバ NC は市場の安定化を図るため、生産容量を 15,000~20,000tU/年に拡大する COMURHEX2 詳細設計の検討を開始した (WNA 2005)。

③ConverDyn

ConverDyn は、メトロポリスの実質生産容量を現状の 12,000tU/年から 2007 年途中から 15,000tU/年に拡張する計画である (Graham [Converdyn] , 2006/4/6⁽⁵⁾)。

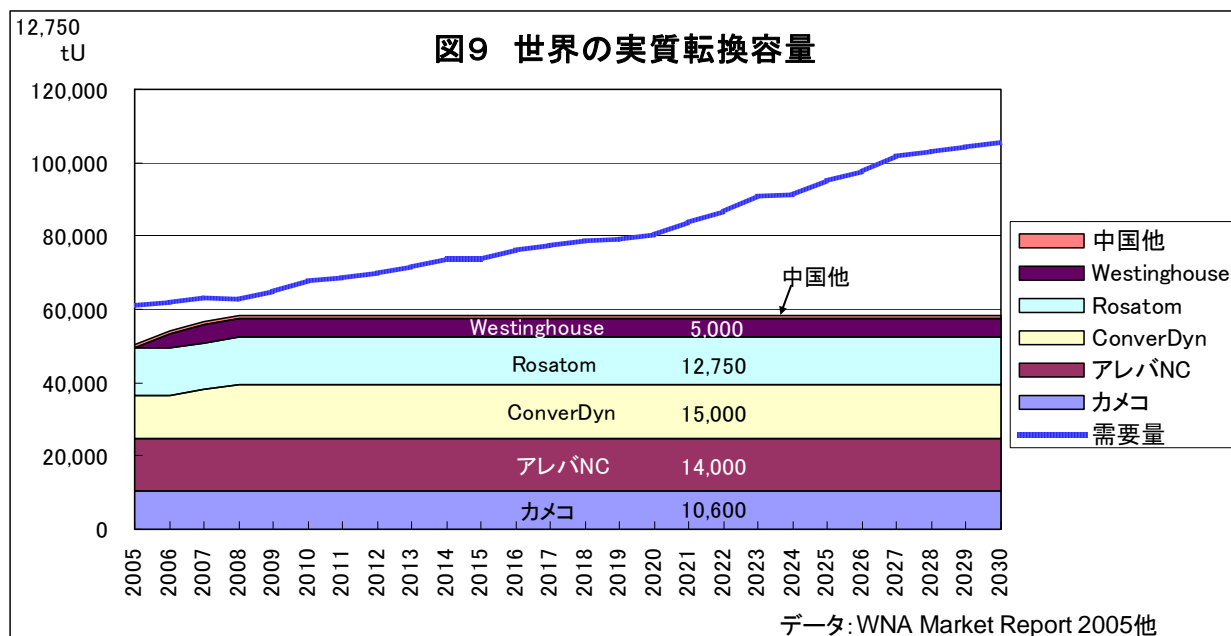
④ロシア (Rosatom)

ロシアは、Angarsk と Seversk の 2 つの転換プラントを有しているが、これらの施設はロシアおよび旧ソ連諸国などロシア型原子炉用の燃料サイクルに必須であって、西側ユーティリティーに供給できる余剰はほとんどないのが現状である (WNA 2005)。

⑤Westinghouse (BNFL)

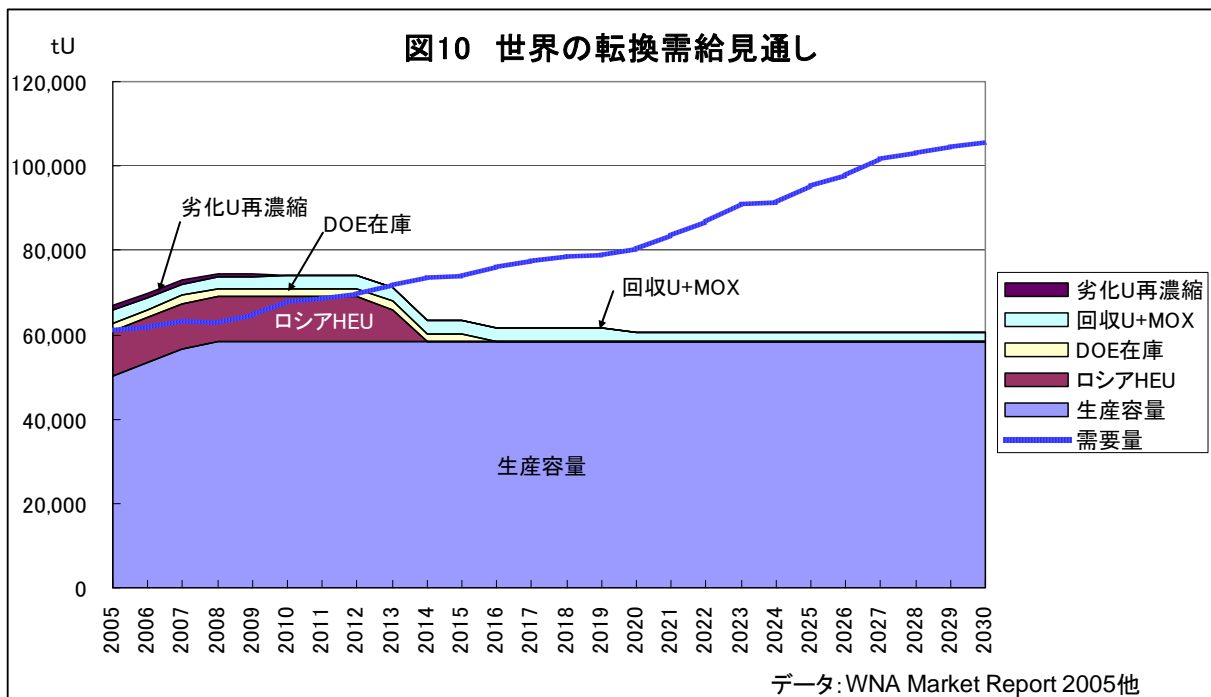
上述のとおり、BNFL のスプリングフィールド転換プラントは、2006 年から最低 10 年間の運転を継続し、カメコに 5,000tU/年 as UF6 を供給することになった。

Comurhex を除くプラントの実質的な生産容量は公称容量の 85%程度と予想されるので (WNA2005)、世界の実質転換容量の見通しは図 9 のとおりとなる。ただし、2016 年以降もカメコと Westinghouse の賃転換契約は継続されるものと仮定している。



(4) 二次供給源を踏まえた転換需給見通し

転換の二次供給は、前述のウラン二次供給とまったく同様に考えることができるので、二次供給源を踏まえた世界の転換需給見通しは、図 10 のとおりとなる。



二次供給源を加えた場合、当面の間転換供給量には余裕があるが、ウラン需給と同様、米ロHEU 契約が終了する2014年以降は、継続的な供給不足が予想される。

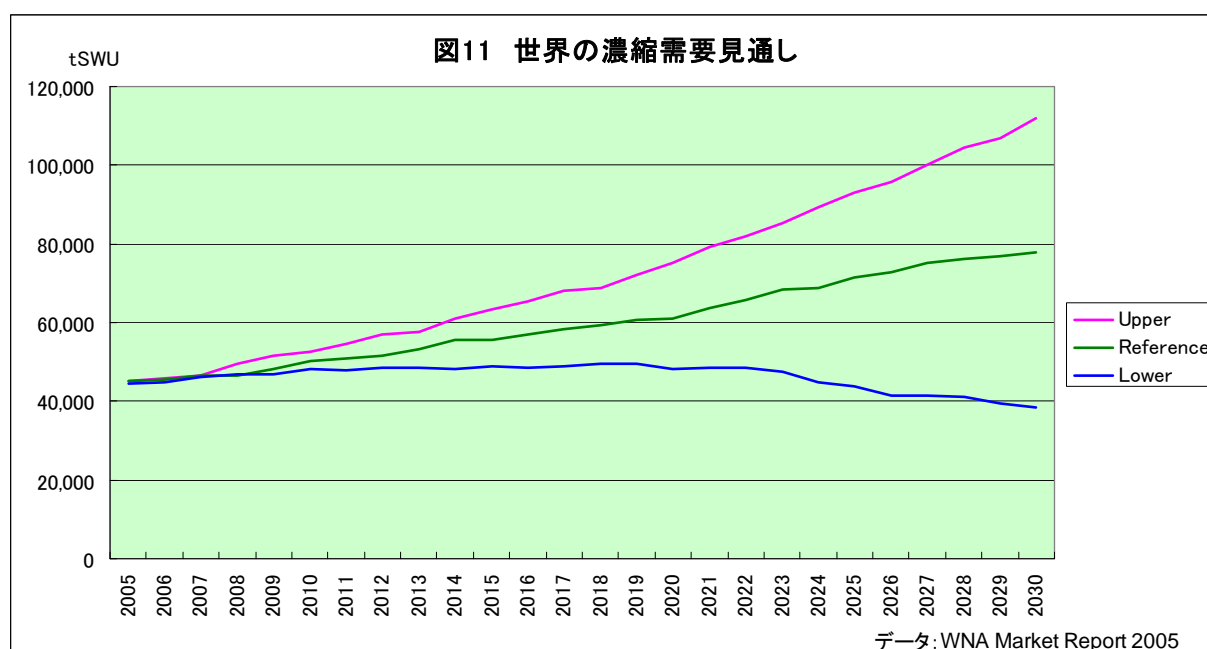
転換施設の生産容量拡張は、濃縮施設の拡張に比べると技術的・資金的な問題が小さく、また、既存施設の拡張が主となるためウラン鉱山の開発のように自然条件や環境問題(ライセンス取得など)に左右されることも少ないので、将来の生産容量拡張に大きな障害はないと考えられる。しかし、これまでの市場が示すように、転換はウランのように在庫で多くをカバーできないだけに、小さなトラブルでも供給不足が生じ価格が高騰するリスクもある。施設拡張の判断のタイミングを間違わないことが重要である。

4. 濃縮需要見通し

(1) 濃縮需要

濃縮需要予測も、発電需要予測に基づきウランとほぼ同様の条件で算定されていると推定される。WNA の濃縮需要予測は、ロシア VVER 原子炉用のテール濃度を 0.1%と設定しているため、ロシア VVER 用の濃縮需要量が西側濃縮需要に対し、単位発電容量当たり約 60%高く見積もられていることは留意に値する。

WNA 2005 標準シナリオの濃縮需要は、2005 年の 45,093tSWU から 2030 年には 77,756tSWU へと増大し、72%の伸びが予測されている。



(2) 濃縮市場の動向

米国によるロシアへの貿易制限となる Suspension Agreement (The Agreement Suspending the Antidumping Investigation on Uranium from Russian Federation ; Spetrini, 2004⁽⁶⁾ ; 米ロ HEU 契約に基づく LEU 以外の米国へのウラン輸出を制限) が 1994 年に締結されてから、濃縮スポット市場は米国における公式的な制限市場とヨーロッパにおける非公式なロシア SWU 市場が並存するようになり、1990 年には US\$50/SWU まで下落していた濃縮スポット価格が 1990 年代半ば過ぎには US\$100/SWU 近くまで回復した (図 12)。しかし、今度はヨーロッパの強力な濃縮事業者 (Urenco、Eurodif) が米国市場におけるシェアを拡大し、スポット価格は再び低落した。ヨーロッパ事業者に有利だったのは、第一に当時の米ドル為替高が挙げられる。さらに、最新の遠心分離技術を開発した Urenco が、より大きな利益を得て容量拡大を図ったことである。これに反発した米国 USEC は、2000 年 12 月に Eurodif (アレバ NC) と Urenco の濃縮価格は不当であるとの訴訟を起こし、アンチダンピング税と相殺税が課せられる見通しとなり濃縮価格は急上昇した。

2001 年以降、米ドルの為替安によりしばらくスポット価格が安定したが、2006 年に米国およびフランスのガス拡散プラントのコストの大部分を占める電力価格の大幅値上げ契約更改が行

われたこと、ウラン価格急上昇を受けたテール濃度最適化により濃縮需要が高まったことなどから、2007年3月末現在で濃縮スポット価格はUS\$138/SWUまで上昇している（Ux Weekly,2007/3/12）。

図 12 濃縮スポット価格の推移



出展：Ux Consulting Website, 2007/3/15

ロシアは、世界最大の濃縮容量を有しながら、上述の Suspension Agreement によって西側への輸出が制限されており、現状はその余剰容量を西側からの輸入を含む劣化ウランの再濃縮や経済性を度外視した最適テール濃度以下での濃縮などにあてている。

Suspension Agreement は、5年毎に終了の審査（Sunset Review）を行うことと決められている（Spetrini, 2004）。5年毎に米国商業省（DOC）は本契約がなくなってもダンピングの継続もしくは再発の恐れがないかどうか審査を行い、それを受けて、国際貿易委員会（ITC）が最終的な決定を行うことになっている。最初の Sunset Review は 2000 年 8 月に完了し、契約の継続が決定された。2 回目の Sunset Review は、2005 年 7 月に開始され 2006 年 7 月 18 日に、再び継続の決定がなされた（USITC News release, 2006/7/18）。この動きに対し、ロシアは貿易制限廃止を求める動きを強め（RIA Novosti, 2006/7/25）、また、将来の濃縮供給に不安を感じている米国のユーティリティーも制限の撤廃を求めている（UxWeekly, 2006/7/17）。

後述するように、現状の米ロ HEU 契約が 2013 年で終了すれば、西側の濃縮容量は絶対的に不足するので、ロシアに対する貿易制限の緩和は避けられないと予想される。しかし、貿易制限が完全になくなり、US\$20/SWU のオーダーと言われるロシアの安い生産コスト（Bukharin,2004）の濃縮が無制限に西側市場に流入すると、濃縮価格は下落し、これから施設を開発・拡張しようとしている西側濃縮企業は完全に太刀打ちできなくなるのは明らかである。貿易制限が何らかの形で緩和されることはあっても完全に撤廃されることはないと予想される。

(3) 濃縮企業の開発動向と供給見通し

世界の公称濃縮容量は約 52,000tSWU で、6 つの主要な濃縮供給者が 99%以上の容量を保有している（WNA 2005；表 5）。

表5 世界の濃縮容量と濃縮技術

企業名（国名）	公称容量 tSWU	実質容量 tSWU	技術
Rosatom（ロシア）	20,000	20,000	遠心分離
USEC（米国）	11,300	5,000	ガス拡散
Areva NC [Eurodif]（フランス）	10,800	8,000	ガス拡散
Urenco（イギリス・オランダ・独）	7,300	8,100	遠心分離
日本原燃（日本）	1,050	300	遠心分離
CNNC（中国）	1,000	1,000	遠心分離
その他（アルゼンチン・ブラジル・インド・パキスタン）	300	300	遠心分離
合計	51,750	~43,000	

データ：公称容量は WNA 2005、実質容量は各社公表資料他

しかし、最近の電力コスト上昇は、ガス拡散技術の競争力を低下させ、ガス拡散技術しか持っていないアレバ NC および USEC の実質的な生産容量は、公称容量の約 80%もしくはそれ以下となっている（WNA 2005）。このような事情からアレバ NC および USEC は、2010 年代前半の運転開始を目指して、遠心分離プラントの開発に取り組んでいる。また、既に遠心分離技術を有しているロシア、Urenco は着実に容量拡張を進めている。

① Rosatom（ロシア）

1990 年代後半からロシアの濃縮プラントでは遠心機の新型世代機への交換プログラムが実行されており、2010 年までに生産容量は 25,000~27,000tSWU/年へと拡大する見込みとしている（Bukharin,2004）。

ロシアの現在の濃縮容量はおよそ 20,000tSWU/年とされているが、ロシア型原子炉の濃縮需要はその約 1/3 であり、余剰の容量の約 1/4 は米ロ HEU 契約に基づきロシア HEU を希釈するための濃縮度 1.5%のブレンドストック生産用に使用され（結果として、ほぼ等量の 5,500tSWU を有する LEU を米国に供給）、残りの余剰容量が劣化ウランの再濃縮および西側ユーティリティーへの輸出用に使用されているとされている（Tenex, WNF 2006/6）。

② USEC（米国）

2001 年にレーザー法の技術開発を中止し、2002 年 6 月に DOE と米国遠心分離技術（ACT）の開発に関する覚書を締結し、遠心分離技術の開発に着手した。この覚書では以下の目標が定められていた（USEC News Release,2002/6/18）。

- ・ 2006 年前半：オハイオ州パイクトンにおけるデモ施設へのリードカスケード組み立て・運転と性能データの取得
- ・ 2007 年：パイクトンにおける米国遠心分離プラント（ACP）の建設開始
- ・ 2009 年：ACP における生産開始

- ・ 2010-2011年：ACPの3,500tSWUのフル操業達成

しかし、2005年に遠心機構成部品の技術的課題が発生し、2006年8月にUSECは、技術課題は解決されたが、遠心機の最適化のため開発計画は1年遅れることを発表した（USEC News Release, 2006/8/2）。さらにUSECは、開発計画遅延のため、当初予定の建設総額US\$1.7bはUS\$2.3b（約2,700億円）に増大する見込みであるが、一方、開発遠心機の性能アップのためプラントの容量は3,800tSWU/年に増加すると発表した（USEC News Release, 2007/2/12）。

ACPの建設・運転に関するNRCのライセンスは2007年5月に発行される予定であったが、予定より早く4月13日に発行された。USECはこれを受けて直ちにACPの建設を開始し、リードカスケードの試験運転を2007年中頃までに開始し、生産開始は2009年、フル操業は2012年中に達成する見込みとしている（USEC News Release, 2007/4/13）。

USECは現在、唯一パデューカのガス拡散プラント（GDP）を操業しており、その公称容量は8,000tSWU/年であるが、ACPがフル操業に達するまで5,000tSWU/年規模で操業するとしている（USEC News Release, 2002/6/18）。

③ アレバNC〔Eurodif〕（フランス）

アレバNCのガス拡散プラントGeorges Besse I（GB I）の公称容量は、10,800tSWU/年であるが、EDFとの電力消費契約レベルでは9,500tSWU/年以下であり、最近の生産実績は6,000～8,000tSWUとされている（Trade Tech, 2006/6⁽⁷⁾）。

アレバNCは、ガス拡散法に代わる技術としてこれまで進めていたレーザー法の開発を断念し、2002年にUrencoの遠心分離技術を導入することを決定し、2003年11月にUrencoの子会社ETCの50%所有権を獲得する契約に合意した。Urencoはイギリス、オランダ、ドイツの多国籍企業であるため契約成立が遅れていたが、2006年7月3日に同契約は発効した（Areva NC Press Release, 2006/7/3）。

2つのユニットからなる総建設費€3.0bの遠心分離プラント（Georges Besse II ; GB II）の建設許可は2007年2月に取得された。2009年から第1ユニットの運転を開始し、2014年に第1ユニットのフル操業を達成、さらに4年間で第2ユニットを立ち上げ、2018年に7,500tSWUの計画容量を達成するとされている（WNA Web Site, 2007/3）。GB Iはこの間に停止すると予想される。また、GB IIのライセンス規格容量は11,000tSWUであることから、さらに4年間後の2022年までに11,000tSWU/年に拡張する可能性もある（Trade Tech, 2006/6）。

④ Urenco（イギリス、オランダ、ドイツ）

Urencoは、イギリス（カーペンハースト）、オランダ（アルメロ）およびドイツ（グロナウ）の3カ国にプラントを有しており、合計の生産容量は2005年末時点で8,100tSWU/年であるが、2010年には11,000tSWUに拡張すると発表した（Schnoebelen〔Urenco〕, 2006/6⁽⁸⁾）。Urencoには、世界で最も信頼性の高いといわれる30年間の遠心分離技術の商業運転実績があり、需要が拡大すればさらなる容量拡張が予想され、計画は未定であるが本レポートでは2015年まで一定の比率で容量が拡大し14,000tSWUに達するものと仮定している。

⑤ LES (Urenco/米国)

Urenco と米国の 4 ユーティリティーの合弁企業である LES は、米国ニューメキシコ州の Eunice に Urenco の遠心分離技術を導入した National Enrichment Facility (NEF) の建設を進めている。米国原子力規制委員会 (NRC) の NRC 建設操業ライセンス (COL) は計画通り 2006 年 6 月に発行され、建設が開始された (LES News Release, 2006/6/23)。総額 US\$1.5b の NEF プロジェクトは、2009 年から生産が開始され、2013 年に計画の 3,000tSWU/年に達する計画である。

⑥ 日本原燃 (日本)

日本原燃は、六ヶ所濃縮工場で遠心分離プラントを運転しているが、既存の遠心分離機は経年化が進み、公称容量 1,050tSWU/年のうち、現在は 2 系統 300tSWU/年しか稼動していない (日本原燃プレスリリース, 2006/11/29)。

現在日本原燃は、より経済性の高い新型遠心分離機を開発中で、2010 年から新型機によるリプレースを開始し最終的には 1,500tSWU/年を計画している (資源エネルギー庁, 2006/9)

⑦ CNNC (中国)

ロシアデザインの生産容量 500tSWU/年の遠心分離プラントが、甘粛省の蘭州 Lanzhou および陝西省南部の漢中 Hanzhong に存在する。さらなる遠心分離プラント建設の計画もある (WNA Web Site, 2007/3)。

(4) 濃縮の二次供給の現状と見通し

WNA 2005 は、濃縮の主な二次供給として、① 米ロ HEU 契約に基づくロシア HEU、② MOX 利用および③ 政府による追加の HEU 在庫の市場への放出を挙げている。

① 米ロ HEU 契約に基づくロシア HEU

ウランの二次供給源で述べたとおり、1999 年から 2013 年までは年間 30 t ずつの HEU が LEU に希釈されることになっており、年間平均で 5,500tSWU が米国ユーティリティーに供給される。ここで注意すべきことは、5,500tSWU は世界の濃縮容量に追加されるのではなく、HEU を希釈するためのブレンドストック生産 (劣化ウランをテール濃度 0.1% で再濃縮し、濃縮度 1.5% のブレンドストック生産) のためにほぼ同量の濃縮作業量を消費することである。しかし、これはロシアの余剰濃縮容量を消費するので、西側世界にとっては追加と言える。

② MOX 利用

MOX 利用には軽水炉使用済燃料のリサイクル MOX と 2000 年に締結された米ロ契約に基づく核解体 MOX がある。

リサイクル MOX 利用に関しては、WNA がクエスチョネアーを通じてユーティリティーから得たデータ (WNA 2005 ; 表 6) があり、2020 年までは少なくとも 1,000tSWU/年の濃縮需要を削減すると予測されている。

核解体 MOX に関しては、米ロ合わせて 2010 年までは 200 t /年、2010 年以降は 800 t /年

の MOX 利用が推定されており（WNA 2005 の標準シナリオ）、濃縮需要を 2010 年までは約 125tSWU、2010 年以降は約 500tSWU/年減ずることになる。

表 6 回収ウランと Pu の使用による濃縮作業量（tSWU）の削減量

	Use of RepU	Use of Pu (MOX)	Total	MOX fuel fabrication capacity (upper case for Pu)
2005	70	994	1064	1127
2006	68	994	1063	1380
2007	38	898	936	1380
2008	31	886	917	1380
2009	53	967	1020	1550
2010	53	921	973	1794
2015	45	933	977	2378
2020	45	530	575	1978
2025	45	530	575	1978
2030	45	530	575	1978

データ：WNA 2005

③ 政府 HEU 在庫の放出

政府の HEU 在庫を軽水炉用 LWU に希釈して利用する計画を有するのは米国とロシアのみであるが、両者とも放出計画のデータが公表されていない。

(5) 濃縮需給見通し

濃縮事業者による一次供給と二次供給を考慮した濃縮需給見通しを図 13 に示す。

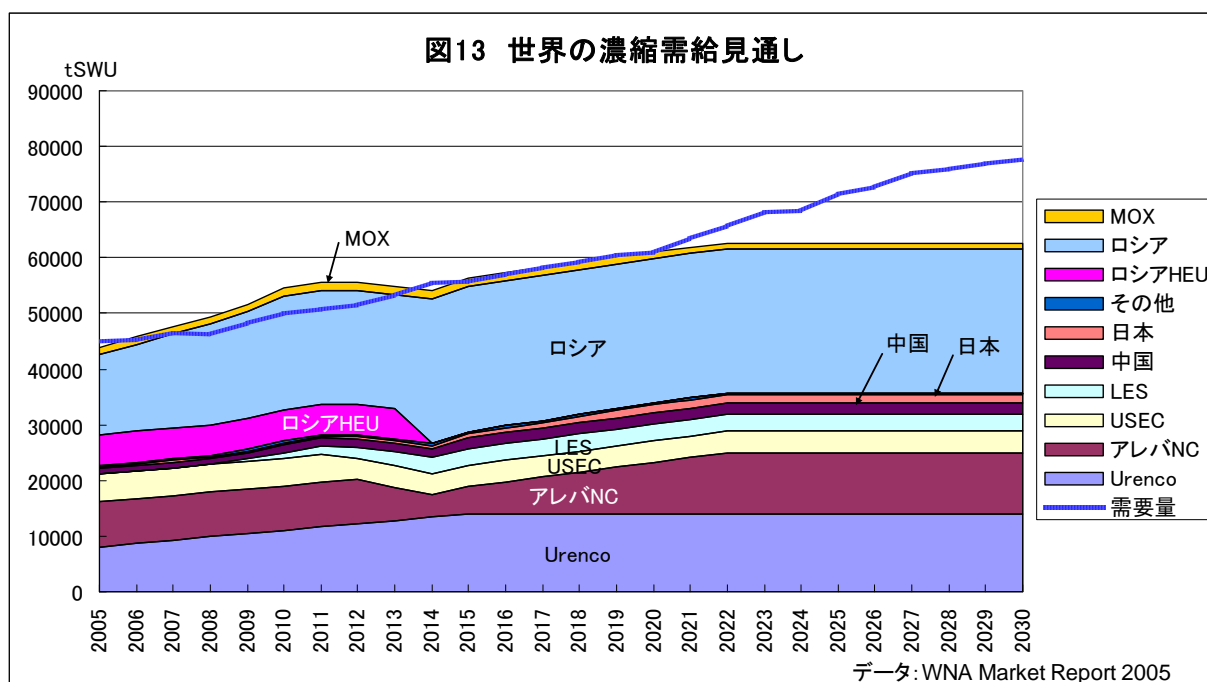
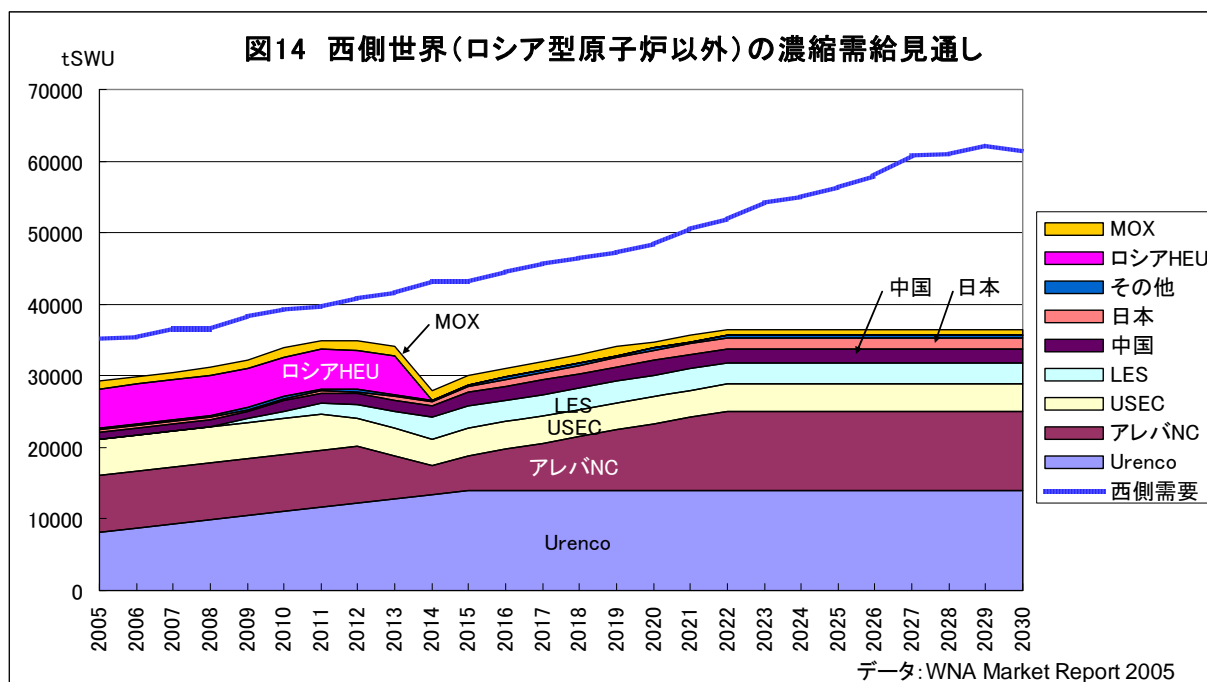


図 13 を見る限り、世界の濃縮需給は 2020 年ごろまでバランスしているように見えるが、注意しなければならないのは、ロシア HEU を希釈して米国に供給される 5,500tSWU を除くロシアの濃縮容量は、米欧による貿易制限が存在するため、すべてが濃縮市場に開かれているわけではないことである。より正確な状況を分析するため、ロシア型原子炉の需要を除く西側世界の需給見通しを図 14 に示す。



西側世界の需給は、現状 5,500tSWU/年のロシア HEU とさらにロシアから西欧、アジア等に約 5,000tSWU/年が供給され、かろうじてバランスがとれていると推定される。しかし、アレバ NC と USEC のガス拡散プラントが閉鎖され、ロシア HEU が終了する 2013～2014 年以降、西側では年間約 15,000tSWU の深刻な供給不足が予想される。

遠心分離プラントの開発、拡張には巨額の投資（2,000～4,000 億円 / 3,000～8,000tSWU/年規模のプラント）と技術開発・許認可・建設に一定の時間（10 年オーダー）が必要であることから、2014 年から 2020 年過ぎまでの供給不足の解決のためには、米欧によるロシアへの貿易制限の緩和または米ロ HEU2 の再契約（もしくはガス拡散プラントの継続操業）が不可欠と推測される。2020 以降、更なる濃縮容量の拡大が必要なことは言うまでもない。

5. 燃料製造

燃料製造に関する以下の記述はすべて WNA 2005 に基づく。

(1) 燃料製造需要

現在の軽水炉用の燃料製造需要は、年間およそ 7,000 t の濃縮ウラン（7,000tHM ; tons heavy metal）である。軽水炉用の燃料は、濃縮のテールウランを除いているので、年間ウラン需要の一部のウランしかんでいない。一方、CANDU 炉やその他の天然ウランを使う炉の燃料需要は天

然ウラン需要と同じで、年間需要量は 2,000～3,000tHM である。

燃料製造需要は、一般的には原子力発電容量の見通しに沿って成長する。しかし、燃料製造需要はユーティリティーの原子炉運転および燃料管理戦略の変化にも影響され、そこには燃料製造自体の技術改良も含まれる。例えば、燃料設計が改良され、軽水炉の燃焼度は着実に増加し続けているが、これに伴って、燃料需要は減少する傾向にあり、燃料が炉内に留まる期間も長くなりつつある。燃料交換サイクルの長期化もまた燃料製造需要を減少させることができる。燃料製造事業者は、これらの変化に適応していかなばならず、軽水炉燃料製造市場は常に競争圧力に支配され続けてきた。

(2) 燃料製造者の動向と供給容量

転換や濃縮の市場と燃料製造市場にはほとんど共通性が存在しない。燃料集合体はそれぞれの顧客の個々の仕様に合わせて作られた高度な技術製品で、統一的な規格や価格を有するものではない。

多くの燃料製造者は同時に原子炉製造者でもあり、通常、初装荷燃料や初期の燃料は原子炉の設計に合わせて原子炉製造者が供給することになっている。しかし、それ以降は、各燃料製造者は競争相手の原子炉設計に合わせて交換燃料製造の売込みを始めるので、軽水炉燃料市場はますます激しい競争の場に置かれている。

伝統的に、BWR の燃料市場は PWR の市場ほどには細分化されておらず、競争も激しくなかった。しかし、燃料製造者は更なる市場シェアを獲得する手段として、競争の激しくない市場にもより注意を向けるようになってきているので状況は変わりつつある。

現在、世界のすべてのタイプの軽水炉燃料製造容量(表 7)は、需要をはるかに上回っている。

軽水炉燃料製造は、再転換、ペレット製造、ロッド/集合体加工の 3 種に分類される。この中で、再転換容量は特に不均等に分布しており、ある燃料製造者にとっては、ボトルネックになっており、その他の事業者は逆に UO₂ パウダーの輸出者となっている。

表 7 の容量は、設備容量と認可容量との正しい区別はされていない。また、報告された容量のうち、カザフスタンの生産容量 2,000tHM のように、ずっと昔に設備化された数字は適切でないかもしれない。年間 300tHM のペレットがカザフスタンからロシアに供給されているが、フル操業で使用されていないため、修理なしに容量どおりの処理はできない可能性が高い。

軽水炉燃料以外では、燃料製造需要はひとつの特殊な燃料設計に限定された施設によって満たされる傾向が強く、通常自国内の供給者によって操業されている。例えば、英国の AGR および Magnox 炉の燃料は、英国内の施設で製造されている。CANDU 炉燃料もまた、ほとんど例外なく原子炉が存在する国の施設によって、燃料供給が行われている。

軽水炉燃料製造市場の非常に厳しい競争と供給過剰の状況下で、燃料製造産業は大規模な企業統合によって再編されつつある。BNFL は 1998 年に米国の Westinghouse Electric を買収し、燃料製造を含む原子力事業を獲得したが、2006 年 10 月に東芝が BNFL から Westinghouse を買収した。Framatome と Siemens を統合した Framatome ANP は、2006 年 3 月にアレバ NP と社

名変更した。General Electric は、2000 年に東芝と日立との合併により、GNF (General Nuclear Fuel) を設立した。世界の燃料製造市場は、今後この Westinghouse、アレバ NP および GNF の 3 者を中心に、販売シェア獲得競争が繰り広げられると予想される。

表 7 世界の軽水炉燃料製造容量 (tHM)

Country	Fabricator	Conversion	Pelletizing	Rod/Assembly
Belgium	Framatome-FBFC/Dessel		750	750
Brazil	INB/Resende	160	120	200
China	CNNC/Yibin	270	200	200
France	Framatome-FBFC/Romans	1200	1000	1000
Germany	Framatome-ANF/Lingen	650	650	650
Japan	NFI/Kumatori (PWR)		284	284
	NFI/Tokai-Mura (BWR)		200	200
	Mitsubishi Nuclear Fuel	450	440	440
	GNF-J/Kurihama (BWR)	750	750	750
Kazakhstan	ULBA/Ust Kamenogorsk	2000	2000	
Korea, South	KNFC	400	300	300
Russia	MSZ/Elekrostal*	1450	1200	1200
	NCCP/Novosibirsk	250	200	400
Spain	ENUSA/Juzbado		300	300
Sweden	Wesinghouse/Vasteras	600	600	400
UK	Westinghouse/Springfields**	950	600	860
USA	Framatome/Richland (BWR)	1200	500	500
	Framatome/Lynchburg (PWR)		400	400
	GNF/Wilmington	1200	1200	750
	Westinghouse (Columbia)	1200	1200	1200
Total		12730	12894	10784

出典：WNA 2005

(3) 二次供給源

HEU、汚染された UF6 在庫、回収ウランおよび Pu の利用など、伝統的でない二次供給源の市場への流入により、燃料製造産業もこれらの影響を受けることになる。二次供給源をいかに効果的に燃料製造プロセスの材料として取り扱えるかの能力が、長期的には競争に勝ち残るための大きな要因となる。

(4) 燃料製造需給見通し

西側世界だけで見ると、燃料製造の生産容量は需要を 40%上回っている。予測期間を通じてどのような原子力発電需要シナリオにおいても、燃料製造の容量は需要を満たす余裕があると推定される。

現状の再編や統合が進む産業構造の中で、ある操業はより効果的にあるものは閉鎖され、市場の需給バランスは今後より平衡状態に近づいていくものと予想される。しかし、今後とも、LWR 燃料市場での厳しい競争は続き、BWR 燃料市場においても競争が増えるものと予想される。

燃料製造市場の中で今後成長が持続する可能性の高い分野は、MOX 燃料製造である。アンケートで得られた現状の MOX 利用計画は MOX 燃料製造施設の拡張を必要としている。しかし、軽水炉市場における変更の決定は通常は経済性に基づいて行われる傾向が強い中、MOX 燃料に

関する将来の決定は経済性というよりはより政治的な要因に影響されることに注意する必要がある。

6. まとめ

石油・天然ガスを中心とする化石資源の埋蔵量はウランに比べるとはるかに有限で持続性に乏しく、価格は上昇傾向にあること、さらに地球温暖化の原因と考えられる CO2 の排出制限が国際的に強まると予想される中、原子力発電の需要は今後着実に拡大するものと予想される。

原子力発電の需要が拡大する前提で、天然ウラン、転換、濃縮および燃料製造の将来需給を見通した場合、1980 年以来ウラン過剰の市場が 20 年間以上継続してきた結果として、天然ウラン、転換および濃縮の供給容量は絶対的に不足しているのが現状であり、原子力発電の発展にとっての大きな不安要因となっている。

その不安要因の最大のキーとなっているのが、2013 年で終了するとされている米ロ HEU 契約である。米ロ HEU 契約に基づくロシア HEU が、現状の天然ウラン、転換および濃縮の需給をバランスさせているのは事実であるが、一方、ロシア HEU の継続（米ロ HEU2）があるのか否かの不確定要因が、それぞれの生産者の開発意思決定を遅らせているのも事実である。米ロ HEU2 が完全にはない場合には、天然ウランも転換も大規模な生産容量拡張が不可欠である。濃縮の場合はさらに複雑で、米欧によるロシア濃縮の貿易制限がどの程度緩和されるかによって、西側生産者の意思決定が左右されることになる。米ロ HEU2 が存続する場合であっても、ウラン鉱山の更なる開発・拡張が必要であることに変わりはないが、コスト的にマージナルな鉱山の開発は難しくなるし、転換施設の大幅拡張もリスクが大きくなる。

結論的に言うと、ロシア HEU の放出の加減はロシアが鍵を握っており、今後 10 年内の核燃料市場はロシアの判断によって大きく左右されることが予想される。ただし、燃料製造に関しては、ロシア HEU の影響はほとんどなく、また、燃料製造容量に関しても需給見通しに大きな問題はないと考えられる。

天然ウランに関しては、現状の鉱山の供給能力が需要の 2/3 程度しかないので、カナダ、オーストラリア、カザフスタンをはじめとする今後の鉱山開発動向が重要である。特に、今後 10 年内を見た場合、カザフスタンとオーストラリアの大幅な拡張計画が順調に進むかどうか鍵を握っている。ロシア自身はウラン生産容量が自国の需要量よりも小さく（埋蔵量も世界第 9 位と豊富でない）、濃縮と合わせて核燃料市場の主導的地位を確立するためには、ウラン資源の豊富なカザフスタンとの協力・提携およびカナダ、オーストラリアとの原子力平和利用に関する二国間協定（両国籍のウランをロシア国内で濃縮するため）を締結することが不可欠である。

濃縮に関しては、ロシアが圧倒的生産容量とコスト的優位を誇っているが、米ロによる貿易制限がネックとなって、現状は微妙な需給バランス状態となっている。ロシアとしては、貿易制限廃止に向けて努力するとともに、アジアを中心とした核燃料市場シェアの拡大を目指すものと予想される。米欧においては、ガス拡散プラントの閉鎖時期と米ロ HEU 終了の時期が重なるので、

近い将来、ロシアへの貿易制限のある程度の緩和は避けられないものと予想される。貿易制限が緩和されない場合はガス拡散プラントの運転継続が不可欠となるが、この場合、濃縮価格が高騰する可能性がある。米国にとっては、USECが進める遠心分離プラントの成否が特に重要である。

転換に関しては、現状の市場における需給バランスは比較的良好（一次供給は需要の80%以上）で、ロシア HEU2 の行方が定まり、施設拡張の規模とタイミングさえ決まれば需給上の問題は生じないと考えられる。しかし、そのタイミングが遅れば、転換価格高騰などの懸念があり、予断は許さない。

燃料製造市場における供給者と需要者の関係は、原子炉型もしくは原子炉建設の発注・受注関係と密接に結びついており、前3者とは大きく異なっている。現状および近い将来において、供給容量には余裕があり、主要燃料製造事業者はそれぞれのシェア拡大に向けてしのぎを削りあっている状態であり、需給見通しに大きな不安はないと考えられる。

以上

参考文献・資料（News Release や Website 情報は本文中に記してあるので省略）

- 1) WNA, 2005, The Global Nuclear Fuel Market
- 2) OECD/NEA-IAEA, 2006/6, Uranium 2005
- 3) Bukharin, 2004, Understanding Russia's Uranium Enrichment Complex
- 4) DOE, 2006/8/4, Proposed Long-Term Uranium Sales Strategy
- 5) Graham [Converdyn] , 2006/4/6, Trends in the Conversion Market:: Opportunity for Growth
- 6) Spetrini, 2004, Fact Sheet on Russian Uranium Suspension Agreement
- 7) Trade Tech, 2006/6, The World Uranium Enrichment Industry and Market
- 8) Schnoebelen, 2006/6, WNFMA Annual Meeting, Urenco-Setting the Pace