

## 世界のウラン濃縮事情

2006.2.23

日本原子力研究開発機構

戦略調査室 小林孝男

OECD/NEA の Nuclear Energy Data (フランクブック) 2005<sup>1)</sup> によると、西側世界のウラン濃縮需要と供給能力は、一見バランスしているように見える(表2)。しかし、西側世界の需要が約 30,000tSWU あるのに対し、西側企業からの実態上の供給能力は約 20,000tSWU しかなく、核解体 HEU からの LEU 供給や劣化ウランの再濃縮などを含め、実質 10,000tSWU 近くはロシアに依存しているのが実情である(表1)。ロシアからのこれらの濃縮役務の供給メカニズムと最近の西側企業の開発動向について報告する。

表1 世界のウラン濃縮の状況(能力は2003年末時点)

企業名	実動能力 tSWU	公称能力 tSWU	技術	現状
Rosatom (ロシア)	20,000	20,000	遠心	国内需要は能力の50%以下。 2020年までに30,000tSWUに拡大計画。
Areva (Cogema/EURO DIF)	8,000	10,800	ガス拡散	経済的な理由で公称能力の3/4で Georges Besse1を運転。 遠心法による Georges Besse 2を2008 年から立ち上げ、2015年までに 7,500tSWUの処理能力達成を計画。
Urenco 独:カウチ オランダ:アルメロ 英:カーペンハースト	7,300	7,300	遠心	毎年能力増強中。 Urencoと米国4企業合併のLESは米国 ニューメキシコに遠心機プラント建設(2013年に 3,000tSWU達成)を計画。
USEC	5,000	11,300	ガス拡散	経済的な理由で5,000tSWU規模で、ケン タッキー州のパテューカGDPを運転。 2010年に3,500tSWU達成を目指して、 米国遠心分離技術(ACT)を開発中。
CNNC(中国)	1,000	1,300	遠心 ガス拡散	ロシア設計の遠心機プラント(500tSWU×2) とガス拡散プラント(300tSWU)を保有。
日本原燃	<600	1,050	遠心	2010年運開を目指して経済的競争力を 有する新型遠心機プラント開発中。
合計	~42,000			

データ : WNA, 2005<sup>2)</sup>、USEC News Release, 2002, 2005 他

表2 OECD諸国のウラン濃縮の能力と需要量

出展：OECD/NEA Nuclear Energy Data,2005

Table 6.1 Enrichment Capacities

(tSW/year)

COUNTRY	Method	2003 (Actual/Réelles)	2004	2005	2010
<b>OECD America</b>		<b>11 300</b>	<b>11 300</b>	<b>11 300</b>	
United States	(a) Diffusion	11 300	11 300	11300	N/A
	(b) Centrifuge	0	0	0	N/A
<b>OECD Europe</b>		<b>17 300</b>	<b>18 100</b>		
France	Diffusion	10 800	10 800	10 800	10 800
	Centrifuge	0	0	0	0
Germany	(c)				
Netherlands	(c) Centrifuge	6 500	7 300	N/A	N/A
United Kingdom	(c)				
<b>OECD Pacific</b>		<b>1 150</b>	<b>1 150</b>	<b>1 150</b>	<b>1 050</b>
Japan	Centrifuge	1 150	1 150 (d)	1 150	1 050
<b>TOTAL</b>		<b>29 750</b>	<b>30 550</b>		

Table 6.2 Enrichment Requirements

(tSW/year)

COUNTRY	2003 (Actual/Réelles)	2004	2005	2010
<b>OECD America</b>	<b>12 082</b>	<b>10 322</b>	<b>11 382</b>	<b>12 847 -</b>
Mexico	89	192	101	204 -
United States	11 993	10 130 (d)	11 281	12 643 -
<b>OECD Europe</b>	<b>11 228</b>	<b>11 301</b>	<b>11 319</b>	<b>12 183 -</b>
Belgium	460	660	960	755 -
Czech Republic	420	295	392	396 -
Finland	276	296	320	476 -
France	5 000	5 000	5 000	5 600 -
Germany	2 000	1 950	1 850	1 750 -
Hungary	211	293	215	215 -
Netherlands	54	54	53	53 -
Spain	912	1 225 (d)	700	940 -
Sweden	710	700	680	680 -
Switzerland	211 (d)	120 (d)	150 (d)	278 -
United Kingdom	973	708 (d)	999	1 040 -
<b>OECD Pacific</b>	<b>5 570</b>	<b>5 410</b>	<b>6 910</b>	<b>7 800 -</b>
Japan	4 170	3 810 (d)	5 210	6 000 -
Korea	1 400	1 600	1 700	1 800 -
<b>TOTAL</b>	<b>28 880</b>	<b>27 033</b>	<b>29 610</b>	<b>32 830 -</b>

Notes:

(a) Nameplate capacity.

(b) Two private sector projects are being undertaken aiming at commercial operation by 2010. The future enrichment capacity is not known with certainty at this time.

(c) Total for URENCO.

(d) Provisional data.

N/A Not available.

## 1. ロシアのウラン濃縮技術と能力

ロシア連邦の解体以前、ロシアの濃縮技術はガス拡散法しかない信じられていたが、1991年に多量の遠心分離能力を有していることが明らかとなり関係者を驚かせた。1995年にロシア原子力省（MINATOM；現 Rosatom）は、ウラン協会（現 WNA）に、ロシアは20,000tSWUの処理能力を有し、能力の半分しか活用していないことを明らかにした。

また、ロシアの遠心分離コストは西側のそれよりも安く、ガス拡散法のコストと比較すると格段に安いことが明らかとなった。ロシア最新の遠心機の電力消費量は50kWh/SWUと報告されており、ガス拡散法が消費する2,500kWh/SWUに比べると1/50である（Newkem, 2002/4<sup>3)</sup>）。

このような背景から、UrencoとAreva（Cogema/EURODIF）は、Rosatomと劣化ウランの再濃縮契約を結んだ。Rosatomは、ロシアのウラン濃縮能力の半分近くを使って、UrencoとArevaから供給されたテール濃度0.30～0.35%の劣化ウラン（最大20,000t/年）をテール濃度0.10%まで再濃縮し、回収される濃縮ウランの約半分（天然ウラン換算最大3,500tU/年）をロシアが得て、残りをUrencoとArevaに返還するものと推測されている（WNA, 2003<sup>4)</sup>、NUKEM, 2003<sup>5)</sup>；表3）。

UrencoとArevaにとっては、廃棄物となる劣化ウランを資産価値のあるウラン燃料に転換できるメリットが大きい。ロシアにとっては、今後増大する原子力発電計画の国内需要に対し国内ウラン生産が追いつかない見通しであり、余剰のSWU能力を活用してウラン不足を補充できるメリットは大きいと考えられる。

表3 Urenco/Arevaとロシアの劣化ウラン再濃縮契約

年	Urencoの劣化ウラン			Arevaの劣化ウラン			合計	
	劣化U供給量(tU)	Rosatomが得る天然U(tU)	濃縮役務量(tSWU)	劣化U供給量(tU)	Rosatomが得る天然U(tU)	濃縮役務量(tSWU)	Rosatomが得る総天然U(tU)	濃縮役務総量(tSWU)
2003	7,000	1,106	3,220	7,500	1,462	3,404	2,568	6,624
2005	8,000	1,264	3,680	8,500	1,658	3,857	2,922	7,537
2010-2020	10,100	1,596	4,646	10,000	1,950	4,538	3,546	9,184

出展：NUKEM, 2003<sup>5)</sup>の表を簡略化

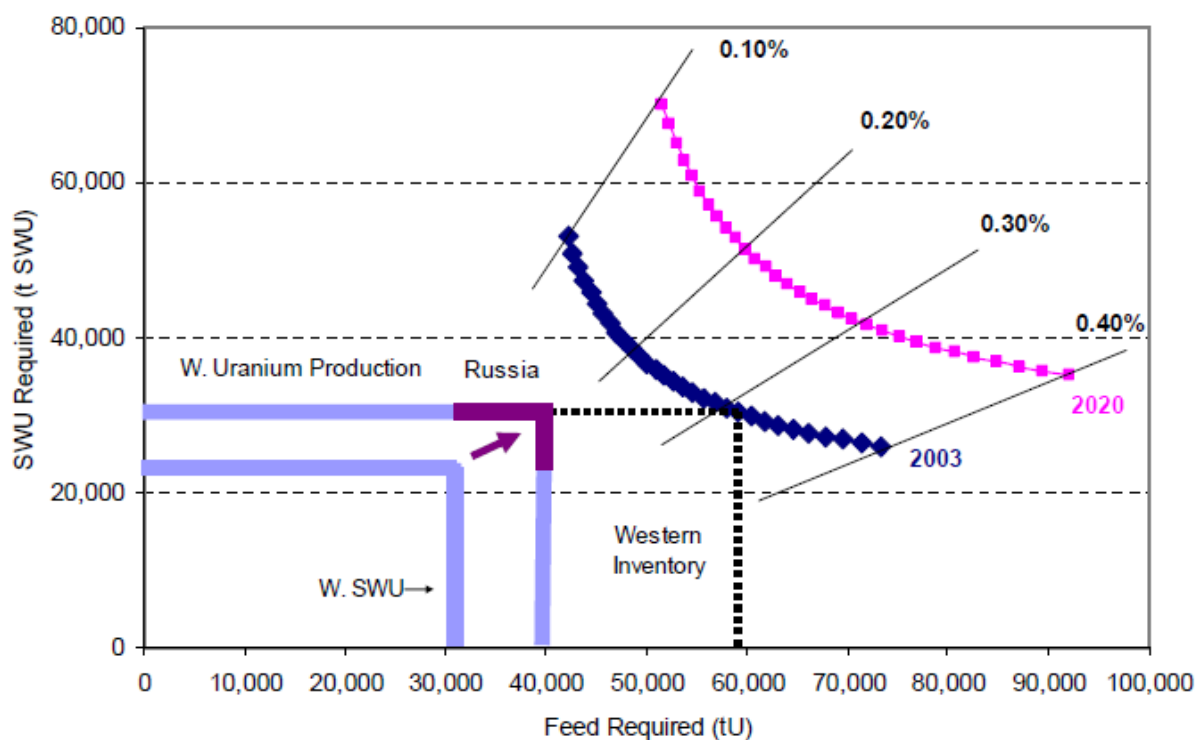
ロシアがテール濃度0.10%まで再濃縮し、得られる濃縮ウランの半分を得るものとして、表3から逆算すると、Urenco、Arevaのテール濃度はそれぞれ0.29%、0.34%となり、推測される範囲の妥当な数値になる。おそらく推測どおり、天然ウラン換算で3,000～3,500tUがUrenco、Arevaに返還されているものと思われる。

上記に加え、ロシアの核解体HEUから米国に供給される二次SWUは年間約5,500tSWUであり、さらに天然ウランコンポーネントとして約9,000tU/年がロシアおよびAreva、Cameco、NUKEMを通じて西側世界に供給されている（U.S. Department of State, 2005<sup>6)</sup>）。

Massachusetts Institute of Technology(MIT)のT.Neff教授（2004<sup>7)</sup>）は、西側世界の原子力発

電が必要とする濃縮役務量と天然ウラン量の関係をうまく表現している（図1）。WNA, 2003は2003年標準ケースの西側世界のウラン需要を59,000tUとしているが、この場合のテール濃度は0.31%で、濃縮必要量は30,500tSWUである。西側世界と中央アジア（カザフスタン、ウズベキスタン）の2003年のウラン生産量は31,000tUであった。Neff, 2004は、ロシアから9,000tUのウランと7,500tSWUが供給され、不足分の約20,000tU相当が西側の在庫等から供給されたと述べている。上述のUrenco、Arevaに返還された濃縮ウラン（天然ウラン換算2,500tU+換算約1,500tSWU）を考慮すると、さらに多くがロシアから供給されたものと考えられる。

図1 需要に合致する濃縮役務量と天然ウラン量の相関曲線  
 SWU & Uranium Needed to Reach Requirements Curve  
 ©Neff, MIT 2004



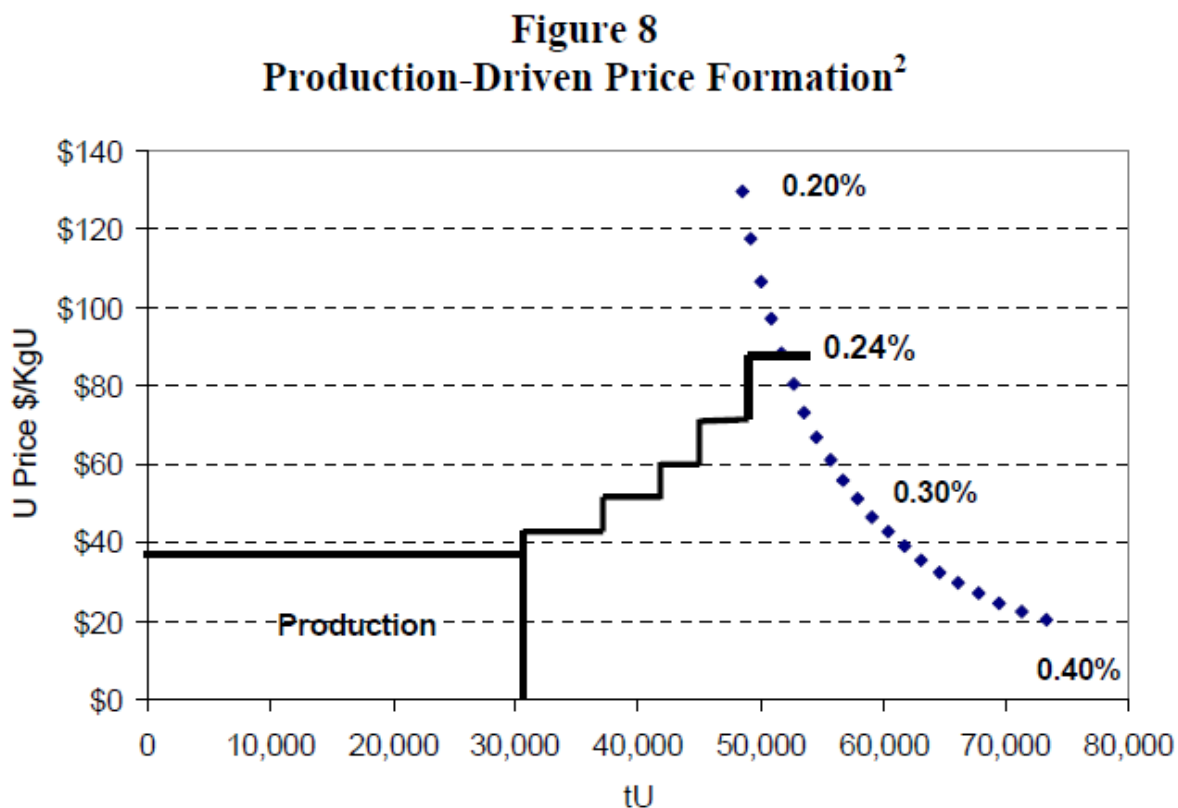
出展： Neff, 2004

Neff 教授（2004）によると、濃縮の最適テール濃度は、SWU と天然ウランの販売価格によって決まる。例えば、2003年当時のSWU と天然ウランのそれぞれの販売価格を\$100/SWU、\$35/kgU（\$12.8/ポンド U3O8）としたときの最適テール濃度は0.34%であるが、SWU 価格を固定してウラン価格がおよそ\$90/kgU（\$35/ポンド U3O8）になった時の最適テール濃度は0.24%となる（図2）。

SWU 価格が比較的安定している（現状\$115/SWU 前後）のに対し、ウラン価格の上昇率が格段に高い状況では、テール濃度を0.2%台前半までアップグレードしてウラン消費を節約する方が経済的であり、西側世界の濃縮能力は現状よりも数千 t SWU（2020年までには

20,000tSWU 程度) 拡大されることが理想的である (図 1)。しかし、これは、西側世界のウラン濃縮容量が低コストの遠心分離技術に置き換わって拡大されることを前提としている。それがなされない場合は、ロシアへの依存がさらに加速されることになる。

図 2 ウラン価格とテール濃度の関係 (\$100/SWU は固定)



出展 : Neff, 2004

## 2. 米国およびフランスの遠心機技術開発

### (1) 米国

米国では、USEC (米国濃縮公社) と LES (Louisiana Energy Services) の 2 つの遠心機プラントの開発 (計画) が進められているが、現在のところ米国政府は、米国内の SWU 能力拡大のため、あらゆる新規事業を対等に支援するとの姿勢を示している。

#### ① USEC の遠心分離技術開発

USEC は 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た。この覚書において、「USEC は 2010 年までに能力 3,500tSWU の新型遠心分離プラントを開発し、それまでは最低 3,500tSWU 規模 (現状 5,000tSWU 規模) でパデューカのガス拡散プラント (GDP) を運転すること、USEC は 2013 年まで米ロ HEU 協定に基づいてロシアから米国へ提供される LEU の国内販売指定エージェントとなること」などが取り決められた。ロシア核解体 HEU から供給される SWU 単価は市場価格よりも安価 (\$90/SWU 前後) であり、この取引によって USEC は当面の財政基盤を確立

し、技術開発の体制を整えることができた。

ACT の開発は、2005 年の前半に構成部品の技術的課題を解決するため遅れが生じたが、USEC は、課題は克服され、DOE との覚書で定めた目標は達成できるとしている (USEC News Release, 2005/12)。USEC の開発目標は以下のとおりである。

- ・ 2006 年前半：オハイオ州パイクストー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：オハイオ州パイクストンの ACT プラント建設開始
- ・ 2010-2011 年：ACT プラントの 3,500tSWU のフル操業達成

2006 年は、USEC にとって技術的に極めて重大な年となるが、一方、パデューカ GDP 運転のための電力価格の更新交渉（値上げ）を迎え、財政的にも非常に厳しい年になる。USEC は今年 2 月に、株主への配当を 2007-2011 年までの 5 年間で中止することを決定した。この 5 年間の配当総額は約 \$250m. (300 億円) と見込まれており、全額が ACT プラントの建設費に充当される (USEC News Release, 2006/2)。

## ②LES の遠心機プラント建設

Urenco は、2002 年に米国の 4 企業 (Westinghouse, Duke Power, Entergy, Exelon) との合弁で LES を再建し、Urenco の遠心分離技術を用いて米国内濃縮施設 (NEF ; National Energy Facility) の建設に乗り出した。当初、LES はテネシー州の Hartsville 近郊に NEF の建設を予定したが地元の激しい反対にあい計画変更を余儀なくされた。

2003 年に LES は、ニューメキシコ州の Eunice に NEF を建設することを決定し、同年 12 月に連邦政府の許可を求めて NRC (原子力安全審査会) に申請書を提出した。LES は 2006 年 5 月に NRC 指定の公聴ヒアリングを受けることになっている。現サイトでは地元の反対がほとんど予定されておらず、LES は建設許可が今年 6 月に得られる見込みと期待している。

NEF は Urenco のオランダ Almelo の最新型プラント SP5 のデザインを採用し、\$1,400m. の建設費を投入する予定としている。2009 年までに 1,000tSWU、2013 年までに 3,000tSWU の運転能力達成を計画している (NEI International Uranium Fuel Seminar, 2005/10、NEF Website, 2006/2)。

## (2) フランス Areva の遠心分離技術開発

Areva (Cogema/EURODIF) も USEC と同様に、2001 年の初期にレーザー法による商業化を断念し、遠心分離技術の開発に方向転換した。当初は、Urenco、ロシア、日本に接触し、どの遠心分離技術を導入するか迷っていたが、最終的に Urenco の技術を導入することとした。その結果 Areva は、2003 年 11 月に Urenco の子会社 ETC の 50%所有権を獲得する契約を締結し、Urenco の遠心機技術導入を行うこととなった。ETC の所有権獲得額を含め、新濃縮プラントへの投資総額は 30 億ユーロ (約 4,000 億円) を見込んでいる (Le Monde, 2003/11)。

Areva は、Urenco の遠心分離技術を導入した濃縮施設 Georges Besse II を 2008 年から立ち上げ、2015 年までに 7,500tSWU の処理能力を達成することを計画している。一方、Georges Besse I については、USEC と同様、アレバも 2006 年に電力価格の更新 (値上げ) が予定さ

れており、ガス拡散プラントの操業はますます厳しくなる。

### 3. 最後に

世界のウラン濃縮能力は現在約 42,000tSWU であるが、2013 年には米ロ SWU 協定に基づく 5,500tSWU の供給が終了すること、最適テール濃度が低くアップグレードされることなどを考慮すると、2020 年のウラン濃縮能力は 60,000tSWU 規模に拡大されることが予想される (WNA, 2005)。濃縮事業者にとって将来は明るい状況であるが、ガス拡散プラントを操業する企業にとっては、遠心機プラント開発の成否が濃縮事業存続の命運を握っていると言って過言でない。

ロシアは、原子力発電プラントのアジア諸国への売り込みと併せ、核燃料（濃縮役務含む）供給国としての勢力拡大に向け、戦略的に動きつつある。ウラン資源の確保には苦勞しているが、豊富なウラン資源を有するカザフスタンとの原子力統合体制を模索している模様である (Nuclear Ru, 2006/1)。世界の東西の壁はなくなりつつあり、ロシア、カザフスタンを筆頭に旧ソ連諸国が世界の核燃料市場に一層進出してくることは自然の流れであるが、一方、今年 1 月 1 日に起こったロシアによるウクライナへの天然ガス供給カットの例があるように、過剰にロシアに依存することは避けなければならない。

このような状況から、USEC、LES、Areva の遠心機プラント開発の成否は企業の生存競争の問題だけではなくて、世界全体にとってもエネルギー安全保障上の重要問題である。我が国としても、日本原燃(株)が六ヶ所で進めている新型遠心機の開発は、是非とも成功させなければならない重要プロジェクトと言えるのではなかろうか。

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) OECD/NEA, 2005, Nuclear Energy Data 2005
- 2) WNA, 2005, The Global Nuclear Fuel Market
- 3) NUKEM Monthly Report, 2002/4, MINATOM Rising
- 4) WNA, 2003, The Global Nuclear Fuel Market
- 5) NUKEM, 2003, The End of the Mystery...Nuclear Fuel Supply and Demand in the CIS and Eastern Europe
- 6) U.S.Department of State, 2005, Midpoint of The Successful Implementation of The Highly Enriched Uranium Agreement Between The United States And Russia
- 7) Neff, 2004, Insight into the Future:Uranium Prices and Price Formation 1947-2004