

41 ウラン (U)

4 1 ウラン (U)

4 1. 1 マテリアルフロー分析

ウランは、極微量(300g 未満)のガラス用途以外は原子力発電用核燃料に用いられる。放射性物質であり、核兵器への転用など核拡散を防止する目的から、「保障措置」に係る核燃料物質の保有量と移動量について厳重な管理が行われている。

原料のウラン鉱石は全て海外に依存しており、原産国との長期契約等により安定調達に努めている。存在比の高い天然ウラン同位体 2 種類のうち、核分裂しやすいウラン 235 は 0.7%しかないため、これを 3~5%に濃縮して利用される(残りの殆どは核分裂しにくいウラン 238)。このため、鉱石製錬後に気体の六フッ化ウランへの転換が行われる。

精錬から原子炉で核燃料として使用されるまでの工程概要は以下の通りである。

鉱石→製錬:ウラン精鉱(イエローケーキ:重ウラン酸アンモニウム ADU)

→加工【転換(六フッ化ウランへ)→ウラン濃縮→再転換(粉末状の二酸化ウランへ)

→成型加工(二酸化ウランを焼結したペレットを燃料棒に詰めて束ねた燃料集合体へ)】

→原子炉(使用済み核燃料:核分裂生成物 3~5%、生成プルトニウム 1%、ウラン-235 1%)

→再処理施設(ウラン・プルトニウム回収、核分裂生成物分離)

このうち、製錬と転換工程は国内では現在実施しておらず海外に頼っている。即ち、国内にはウラン鉱石として入るのではなく、加工された六フッ化ウランや二酸化ウラン、或いは燃料集合体として輸入される。

原子炉等規制法上の規制区分別の核燃料物質保有量を表 1 に示す。

表 1 核燃料物質の保有と使用状況 (2006年12月31日現在)

物質区分 規制区分	天然ウラン (t)	劣化ウラン (t)	濃縮ウラン		トリウム (t)	プルトニウム (kg)
			U(t)	U-235(t)		
製錬	—	—	—	—	—	—
加工	514	11,047	1,327	54	0	—
原子炉	484	2,243	14,972	324	0	109,221
再処理	2	544	2,327	22	0	19,543
使用	78	44	35	1	2	3,917
合計	1,079	13,879	18,660	401	3	132,681

(出典: 文部科学省「わが国における保障措置に係る核燃料物質質量一覧」平成 19 年 9 月。ウラン物質区分は同位体ウラン 235 濃度に拠る。天然ウランは 0.7%、劣化ウラン(濃縮残)は 0.3%程度、濃縮ウランは 4%程度である)

最近 5 年間のウランの合計保有量と使用量の推移を表 2 に示した。

表 2 ウランの最近5年間の保有量と使用量 (2002年~2006年、単位:t)

規制区分	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
製錬	—	—	—	—	—
加工	11,662	12,371	12,395	12,588	12,942
原子炉	15,879	16,782	17,431	17,868	18,023

再処理	1,447	1,486	1,935	2,313	2,895
使用	344	341	159	157	158
合計	29,332	30,980	31,923	32,925	34,019

(出典:平成 15 年～19 年発表の前出。ウラン保有量は、天然ウラン、劣化ウラン、濃縮ウランの合計量とした)

ウランは地殻中に 4ppm、海水中に 0.002ppm 存在するとされ、鉱物は 150 種が知られている。2005 年 1 月現在の確認鉱石埋蔵量は 3,297 千tU で、推定埋蔵量も含めると 4,743 千tU となり、85 年程度の可採年数である。確認埋蔵量が最も多い国は、オーストラリア(747 千tU)で、次いでカザフスタン(514 千 tU)、カナダ(345 千tU)である。日本には高い探鉱コストを要す 7 千tU 弱が確認されているが、現在は探鉱していない(“Uranium 2005: Resources, Production and Demand”: OECD/NEA-IAEA)。

エネルギー自給率が僅かに 4% の日本(2004 年、“ENERGY BALANCES OF OECD COUNTRIES 2003-2004”)にとって、13%の一次エネルギー供給割合(2005 年、「BP 統計 2006」)と発電電力量の 26%を占める(2004 年 10,801 億 kwh、“Electricity Information 2006 Edition”: IEA)原子力発電の役割は大きい。石油天然ガスなどの資源価格高騰や地球温暖化対策の CO2 排出抑制義務もあり、今後さらに原子力発電の割合を拡大し、核燃料サイクルを実現させていくことを我が国は原子力政策大綱に謳っている。

日本のウラン原料は、2005 年 3 月現在、1)ナミビアや豪・加・英・南ア・仏・米国等との長短期契約や燃料製品購入による約 248 千tU、2)ニジェールや加・豪の鉱山開発権益分約 56 千tU、の計約 304 千tU を確保している(「原子力ポケットブック 2006 年版」)。これは 2005 年国内需要 9 千tU 弱の 35 年分に相当する。

2006 年世界のウラン産出量は 39.4 千tU で、カナダ 9.9 千tU(25%)、豪州 7.6(19%)、カザフスタン 5.3 千tU(13%)、ニジェール 3.4 千tU(9%)、ロシア 3.3 千tU(8%)、が上位を占める(World Nuclear Association, July 2007)。生産者は、Cameco(加、2006 年約 8 千tU)、ERA(豪、英国 Rio Tinto68%保有、同約 6 千tU)、AREVA NC(仏、同約 5 千tU)、など 8 社で約 8 割を占める。1990 年頃までは需要量以上の生産量が確保されていたが、その後の価格下落低迷による生産者撤退が相次ぎ、需要の半分程度にまで落ち込んだ。最近の価格上昇や原子力発電見直しの動きも、過去の探鉱投資不足から、2005 年需要の 65%までしか回復していない。不足分はロシアの解体核兵器からの高濃縮ウラン(HEU)や民間在庫の二次供給で補われているが、2014 年以降のロシア HEU の外国企業への供給は中止される見込みである。ウラン価格は 1980 年のスリーマイル島事故後に 40US\$/lbU3O8 から急落、1989 年頃から 2003 年初め頃まで 10US\$前後で低迷した。その後徐々に上昇し、2006 年最高値を更新後も鉱山事故による供給不安から 2007 年 6 月 136US\$にまで達した。以降は急降下し 10 月には 75US\$まで下げたものの、在庫減少から上昇に転じて 11 月現在 90\$となっている(The Ux Consulting)。

ウラン探鉱投資する日本企業には、海外ウラン資源開発や日豪ウラン資源開発、或いは 4 社(日豪ウラン、三菱商事、三菱マテリアル、伊藤忠商事)が 25%ずつ出資する日加ウランの専門開発会社のほか、三菱商事、三井物産、住友商事、丸紅、伊藤忠商事、出光興産、東京電力、関西電力、中部電力、東北電力、九州電力、東芝などがあり、各国鉱山(生産・開発・探査)の権益を得ている。世界 2 位の埋蔵量を誇りながら、日本への輸入実績が 1%未満であるカザフスタンに対して、2005 年より官民一体となった積極資源外交を展開した結果、2006 年 1 月に住友商事・関西電力が Kazatomprom(国営原子力事業会社)と合弁会社を設立、1 鉱区の 35%権益取得に成功したのを皮切りに、丸紅を中心とする電力会社や商社、メーカーのグループなどが、以降次々に同国鉱山権益等の獲得に成功している。これらは、ウランの加工製品化など付加価値を高めた同国希望に応え、原子力技術供与を含む総合的な協力を表明し、関連会社株式の持合にまで踏み込んだ日本側戦略の成果である。これにより、カザフスタンからのウラン供給を、2010 年には日本消費の約 4 割に相当する約 4 千tを見込むことができる。

ウラン精鉱であるイエローケーキから六フッ化ウランへの転換は、MINATOM(露原子力省、年間処理能力 24 千tU)、AREVA NC(仏、14.4 千tU)、ConverDyn(米、14 千 tU)、Cameco(加、10.5

千tU)、BNGS(英、6千tU)の5社で99%以上が賅われており、日本も依存している。CNNC(中国核工業集团公司、0.4千tU)とCNEA(アルゼンチン原子力委員会、0.1千tU未満)も有している(IAEA, April 2006)。

ウラン濃縮も、MINATOM(露原子力省、年間規模15千tSWU:仕事量単位)、エネルギー省(DOE)/USEC(米、11.3千tSWU)、Eurodif(仏含め5ヶ国、10.8千tSWU)、URENCO(英・蘭・独、8.7千tSWU)で95%以上を担っている。CNNC(中国、1千tSWU)とPAEC(パキスタン原子力委員会、5tSWU)にもある。日本原燃(JNFL、青森県六ヶ所村)の設備は約1千tSWU規模であるが、経年化が進んでいるため、新型遠心分離機の開発による量産を2010年から目指しており、1.5千tSWUまで順次増設予定である(IAEA, April 2006)。

燃料集合体の加工原料である二酸化ウランへの再転換工程は、世界で十分な能力を有している。海外では、Cameco(加、年間処理能力2.8千tU)、BNGS(英、0.55千tU)、DAE(インド原子力省、0.45千tU)、AREVA NC(仏、0.35千tU)、CNEA(アルゼンチン原子力委員会、0.15千tU)、INB(ブラジル原子力工業、0.12千tU)の6社であり、日本では1999年のJCO事故以降1社となった三菱原子燃料(三菱マテリアル/三菱重工、0.45千tU)である(IAEA, April 2006)。三菱原燃には国内需要の約半分の能力があるが、六ヶ所村に計画の日本原燃濃縮事業規模やMOX(Mixed Oxide:ウランとプルトニウム混合酸化物)燃料加工用劣化ウラン再転換量などの将来需要を考慮すると、第二の再転換設備が必要になる。

燃料成型加工の供給能力も充分にあり、世界の軽水炉燃料加工工場は多数ある。AREVA NC(仏=PWR:加圧水型軽水炉用燃料年間製造能力1.4千t、米=PWR用0.4千t)、AREVA NP(独=PWR・BWR:沸騰水型軽水炉用0.65千t、米国=PWR・BWR用0.7千t)、GE Nuclear Energy(米、BWR用1.2千t)、WH/東芝(米=PWR用1.15千t、スウェーデン=PWR・BWR用0.6千t)、JSC-TVEL(露核燃料会社、VVER:旧ソ連製PWR・PWR用1.62千t)、FBFC(ベルギー、PWR用0.5千t)、韓国電力会社(PWR用0.4千t)、SEPI/CIEMAT(スペイン、PWR・BWR・VVER用0.4千t)、BNGS(英、PWR・BWR・VVER用0.33千t)、INB(ブラジル、PWR用0.24千t)、CNNC(中国、PWR用0.2千t)、DAE(インド、BWR用24t)。日本では、グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン(GNF-J、BWR用0.75千t)、原子燃料工業(住友電工/古河電工、PWR用0.284千t・BWR用0.25千t)、三菱原子燃料(PWR用0.44千t)の3社で十分な能力を有している(IAEA, June 2006)。三菱は再転換からの一貫加工であるが、原燃工業は再転換役務の殆どを海外から調達している。

燃料集合体を使用される実用発電用原子炉は、世界で2005年12月末現在、439基(385百万kW)が運転中、75基(71百万kW)が計画中であり(日本原子力産業会議「世界の原子力発電開発の動向2005年次報告」)、日本では2006年12月末現在、55基(50百万kW)が運転中、2基(2百万kW)が建設中、11基(15百万kW)が着工準備中となっている(電機事業連合会「原子力・エネルギー図面集2007年版」)。

使用済み核燃料の再処理施設は、世界では7カ国19施設で稼働実績があるが、2006年4月現在では、AREVA NC(仏、2工場年間処理能力2千tU)、BNGS(英、0.9千t)、MINATOM(露、0.4千t)のほぼ4工場だけとなっており、日本は仏に依存している。国内では原子力研究開発機構(JAEA、東海村)に120tU/年能力(0.7tU/日)があり、1981年～2006年9月までに1,123tUの累積処理実績がある。核燃料サイクル確立目標の根幹を成す0.8千tU/年能力の再処理施設建設が大詰めを向かえ、2007年操業開始を目標に、日本原燃(JNFL、青森県六ヶ所村)が2006年3月より実際の使用済み核燃料を用いた最終試験に入っている。

最近5年間の日本保有ウランの国籍区分別内訳を表3に示した。

表3 最近5年間の保有ウランの国籍区分別内訳 (2002年～2006年、単位:t)

規制区分	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年
アメリカ	14,193	15,077	15,806	16,310	16,858
フランス	10,225	10,718	10,920	11,006	11,026
カナダ	8,471	8,922	9,243	9,690	10,240

オーストラリア	3,477	3,599	3,784	3,893	4,064
イギリス	1,978	2,006	2,075	2,155	2,274
中国	298	347	421	476	482
IAEA	2	2	2	2	2
その他	2,623	2,671	2,499	2,563	2,591
EURATOM(欧州原子力共同体、2006/2 日・ユーラトム原子力協定)					11,792

(出典: 文部科学省「わが国における保障措置に係る核燃料物質質量一覧」平成 15 年～19 年発表分。保有ウランは、天然ウラン、劣化ウラン、濃縮ウランの合計量とした。二国間原子力協定の対象となる量を計上しているが、複数国籍による重複計上あり)

4.1.2 リサイクルの現状と評価

使用済み核燃料は、3～5%の核分裂生成物を分離し、高レベル放射性廃棄物(HLW)として一時冷却した後、容量圧縮目的のガラス固化状態で 30～50 年間冷却保管される。その他の発電所から出る低レベル放射性廃棄物(LLW)は、揮発による大気放出や焼却、埋設管理される。他方、使用済み核燃料の 95～97%(この内、ウラン 235 と新たな生成プルトニウムが各 1%)は、核燃料として再利用可能な物質であり、これを再処理施設で抽出回収し、MOX 燃料やウラン燃料等として加工することで、発電前の 2～4 割相当を再び核燃料としてリサイクル使用することが可能になる。

資源の無い日本は、再処理施設と MOX 燃料加工施設の本格稼働、並びに高速増殖炉(または新型転換炉)による核燃料リサイクルの確立を目指しており、2050 年の高速増殖炉導入を計画している。核燃料サイクルを確立すれば、現在のウラン鉱石確認埋蔵量は約 2,570 年の発電需要を満たすとされている(前出「URANIUM2005」)。

高速増殖炉導入にまで至らなくとも、現在稼働中の軽水炉への MOX 加工燃料再利用「プルサーマル」の場合でも 18%の資源効率が向上する(「URANIUM2003」: IAEA-OECD/NEA)。九州電力と四国電力において、プルサーマル実施に向けた発電所の地元了解が 2006 年得られ、使用する MOX 燃料加工供給契約締結(三菱重工業/AREVA、加工は仏 MELOX 工場)がなされた。2007 年 9 月輸入燃料体検査の申請がなされ、10 月から燃料加工に入った段階である。国内電力会社は、2010 年度までに 16～18 基の原子炉でのプルサーマル実施を目指している(電機事業連合会「原子力発電四季報」)。当面は海外(英仏)での加工 MOX 燃料利用の予定であるが、アクティブ試験中の日本原燃六ヶ所再処理工場から回収され始めているプルトニウムを用いた、日本原燃設計中の六ヶ所村 MOX 燃料工場操業開始(2012 年予定、安全審査中)後の、電気事業者による MOX 燃料利用計画が、2007 年 2 月明らかになっている。

また、使用済み燃料の発電所内での中間貯蔵が認可され、リサイクル燃料貯蔵施設(東京電力/日本原子力発電)も青森県むつ市が立地を受け入れ、2010 年操業予定である。

他方、放射性廃棄物の蓄積も進んでおり、今後の原子力発電の拡充に伴ない益々処分量が増えていく。放射性廃棄物対策や処分事業の制度化などが原子力安全委員会等で議論されており、基本的な対策から着実に推進、確立していく必要がある。尚、低レベル廃棄物には、発電所廃棄物、長半減期低発熱放射性廃棄物(TRU 廃棄物)、ウラン廃棄物、RI・研究所等廃棄物の 4 区分がある。燃料加工 3 社には、ドラム缶 1 万缶相当のウラン廃棄物が現在貯蔵され、今後 10 数年で貯蔵庫も満杯になる見込みであるが、処分方策の具体化は未定である。また、高レベル廃棄物(核分裂生成物)の最終処分施設候補地の公募を実施し、複数の地域が照会している段階にある。

高速増殖原型炉「もんじゅ」は、ナトリウム漏えい対策工事と、その工事確認試験が 2007 年 8 月終了、1 年間に亘るプラント全体の健全性確認試験に入っており、2008 年 10 月以降の性能試験開始を目指している。核燃料のリサイクル比率が飛躍的に高まる商用高速増殖炉運転開始は 40 年以上先であり、当面はプルサーマル計画を着実に実施していくことで向上させる必要がある。未だ殆ど成されていない現状段階のリサイクル率は、約 5%ともいわれている(電機事業連合会、原子力委員会資料、原子力白書)。

ウラン(U)

リサイクルの現状

主な応用製品	利用形態	使用済みの存在形態		リサイクル形態		リサイクルの現状 評価(A~G) (注③)	備考 (注④)
		形態	量(注①) (t)	リサイクルの実態 リサイクルの サイクル(注②)	リサイクル率 %		
原子力発電用 核燃料	燃料集合体： 二酸化ウランの 焼結ペレットを 金属製チューブ に入れた燃料棒 を束ねた集合体	同左	ウラン：580 (プルニウム：5.3) 〔再処理施設へ 移動した量〕	再処理施設 (原子力研開機構 または海外依頼)	5年以上	G	商用レベル再処理施設 の2007年操業開始予定 稼動軽水炉への「ブル サーマル」計画中。九州・ 四国電力で使用予定の MOX燃料を'07/'10より 製造加工中。2010年度 には16~18基実施計画 リサイクル確立のための 高速増殖炉導入目標は 2050年頃。20~40%目標

注 ①の量の単位：

()は使用量純分
その他は発生量純分

②サイクル：

()内は推定耐用年数
その他は実リサイクル年数

③現状評価

- A.応用製品が消耗品である
- B.添加物として使用されている
- C.リサイクルの流通システムがない
- D.効率的なリサイクル技術がない
- E.経済性がない
- F.需要開発が十分にされていない
- G.その他

④リサイクルのボトルネック

と、解決の難易度
毒性、保管の危険性の有無等