

# 41 ウラン (U)

## 41 ウラン(U)

### 41.1 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、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。

我が国では、原料のウラン鉱石を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。天然ウラン鉱石には、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。このため、鉱石製錬後に気体の六フッ化ウランへの転換し、これを濃縮して粉末状の二酸化ウランとし、さらにこれ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にして原子炉で用いられる。

これらの工程のうち、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。すなわち、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、ある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、最近 6 年間のウランの合計保有量と使用量の推移を表 2 に示す。

表 1 核燃料物質の保有と使用状況(2008 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	680	11,296	1,499	60	0	—
原子炉	479	2,609	15,444	336	0	117,167
再処理	2	544	2,976	28	0	25,527
使用	79	43	35	1	2	3,695
合計	1,241	14,492	19,954	425	2	146,390

出典:原子力白書 平成 21 年版

表 2 ウランの最近 6 年間の保有量と使用量

単位:t

規制区分	2003	2004	2005	2006	2007	2008
製錬	—	—	—	—		
加工	12,371	12,395	12,588	12,942	13,125	13,535
原子炉	16,782	17,431	17,868	18,023	18,446	18,868
再処理	1,486	1,935	2,313	2,895	3,185	3,550
使用	341	159	157	158	160	158
合計	30,980	31,923	32,925	34,019	34,916	36,111

出典:平成 15 年~21 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。2007 年 1 月現在の確認鉱石埋蔵量は 3,338 千tU で、推定埋蔵量(採掘費用 130 米ドル/kgU)も含めると 5,469 千tU となり、77 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(725 千tU)で、次いでカザフスタン(378 千tU)、カナダ(329 千tU)である。日本には高い探鉱コストを要する 7 千tU 弱の埋蔵量が確認されているが、探鉱はされていない(ウラニウム 2007 資源、生産及び需給、JOGMEC)。

エネルギー自給率が僅かに6.6%の日本(エネルギー白書2009)にとって、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CO<sub>2</sub>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、2007年3月現在、1)ナミビアや豪・加・英・南ア・仏・米等国等との長短期契約や燃料製品購入による約315.9千tU、2)ニジェールや加・豪の鉱山開発権益分約82.3千tU、の計約398.2千tUを確保している(「原子力ポケットブック2009年版」)。これは2009年国内需要10.1千tU弱の39年分に相当する。

2007年の世界のウラン産出量は41.3千tUで、カナダ9.5千tU(22%)、豪州8.6(21%)、カザフスタン6.6千tU(16%)、ニジェール3.2千tU(8%)、ロシア3.4千tU(8%)が上位を占める(ウラン・ハンドブック2008、JOGMEC)。

ウラン価格は1989年頃から2003年初め頃まで10US\$/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>前後で推移した。その後徐々に上昇し、2007年6月136US\$にまで達した。以降は急落し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2007年12月90\$となっている。2009年3月現在約40US\$/lbU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>(ウラニウム2007資源、生産及び需給、JOGMEC、ウラン・ハンドブック2008)。

ウラン探鉱に投資をする日本企業には、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位の埋蔵量を持ちながら、日本への輸入実績が1%未満であった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、2010年には日本のウラン消費の約4割に相当する約4千tの権益を獲得した。

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、ROSATOM(露原子力省、年間処理能力15千tU)、AREVA NC(仏、14.4千tU)、ConverDyn(米、14千tU)、Cameco(加、12.5千tU)、NDA(英、6千tU)の5社で99%以上が賄われており、日本はこれら各社に依存している。

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、8.1千tSWU)で95%以上を担っている。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まで順次増設する計画である(原子力白書平成19年度版)。

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。日本では三菱原子燃料(三菱マテリアル/三菱重工、0.45千tU)のみが実施している。一部を海外で再転換した後に輸入している。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。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)。

燃料集合体で使用される実用発電用原子炉は、世界で2008年1月現在、435基(392百万kW)が運転中である(原子力ポケットブック2008年版)。日本では2009年2月末現在、53基(48.1百万kW)が運転中、3基(3.7百万kW)が建設中、10基(13.6百万kW)が着工準備中となっている(原子力白書平成20年度版)。

使用済み核燃料の再処理施設は、2006年4月現在、AREVA NC(仏、2工場年間処理能力1.6千tU)、BNGS(英、0.9千t)、MINATOM(露、0.4千t)の4工場稼働しており、日本は英、仏に依存している。国内では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が2007年12月現在99%進捗しており、2008年の本格操業に向け準備中である。

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内訳

単位:t

規制区分	2004	2005	2006	2007	2008
アメリカ	15,806	16,310	16,858	17,588	18,121
フランス	10,920	11,006	11,026	11,096	11,686
カナダ	9,243	9,690	10,240	10,539	10,781
オーストラリア	3,784	3,893	4,064	4,347	4,532
イギリス	2,075	2,155	2,274	2,352	2,452
中国	421	476	482	500	499
IAEA	2	2	2	2	2
その他	2,499	2,563	2,591	2,600	2,593
2006/2 日・ユーラトム原子力協定			11,792	12,147	12,962

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。発電所から出るその他の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。

我が国は、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)。

2006年3月に九州電力の玄海原子力発電所3号機で実施したいとの電力会社からの申し入れに、佐賀県知事は事前了解を出した。また2008年1月には福井県知事が高浜原子力発電所の3、4号機で2010年までにプルサーマル発電を実施する計画に事前了解を、静岡県知事が浜岡原子力発電所でのプルサーマル発電に事前了解を出すなど、地元の同意も背景に、プルサーマル発電計画は着実に実施に向かって進んでいる。

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。なお、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リサイクル率を向上させる必要がある。なお、現状段階のリサイクル率は、約 5%ともいわれている(電気事業連合会、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)		
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：362 [ウルトニウム：3.39] [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	約5%	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「プル 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t  
その他は発生量純分t

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.効果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