

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として用いられる。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供給に努めている。天然ウラン鉱石には、核分裂しやすいウラン 235 は 0.7%しか含有していないため、これを 3~5%に濃縮して利用される。このため、鉱石を酸化ウラン(イエローケーキ)に製錬し、これを気体の六フッ化ウランへ転換し、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、海外で行われている。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(2010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	559	11,393	1,423	58	0	-
原子炉	504	3,128	16,029	346	0	128,946
再処理	2	568	3,364	32	0	29,769
使用	78	42	38	1	2	3,444
合計	1,143	15,131	20,855	437	2	162,158

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」

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	2005	2006	2007	2008	2009	2010
製錬	-	-	-	-	-	-
加工	12,588	12,942	13,125	13,535	13,551	13,433
原子炉	17,868	17,868	18,446	18,868	19,288	20,007
再処理	2,313	2,313	3,185	3,550	3,837	3,966
使用	157	157	160	158	160	159
合計	32,925	32,925	34,916	36,111	36,836	37,566

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」

注)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 4 ppm、海水中に 0.002 ppm 存在するとされ、鉱物は 150 種が知られている。2009 年 1 月現在の確認鉱石埋蔵量(採掘費用<130US\$/kgU)は 3,524 千 tU で、推定埋蔵量(同)も含めると 5,404 千 tU となり、70 年(確認鉱量ベース)程度の可採年数である。

確認埋蔵量(<130US\$/kgU)が最も多い国はオーストラリア(1,176 千 tU)で、次いでカナダ(361 千 tU)、カザフスタン(336 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、現在は探鉱はされていない(ウラニウム 2009 資源、生産及び需給:JOGMEC)。エネルギー自給率が僅かに 4%の日本(エネルギー白書 2011)にとって、発電電力量の 26%を占める(原子力白書平成 21 年度版)原子力発電の役割は大きい。

日本のウラン原料は、2009年3月現在、1)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262.9千tU、2)ニジェールや加・豪の鉱山開発権益分約67.1千tU、の計約330千tUを確保している。これは2010年の国内需要6.7千tUの49年分に相当する。

2010年の世界のウラン生産量は、53.7千tで、カザフスタン17.8千t、カナダ9.8千t、豪州5.9千t、ナミビア4.5千t、ロシア3.6千t、ニジェール4.2千tなどが上位を占める。

ウラン価格は、長期契約、スポット市場など購入方法によるが、2007年6月のスポット市場価格が354US\$/kgUの高値をつけた後、2007年6月にスポット市場価格が221US\$/kgUまで下落した。2009年末には115.7US\$/kgUとなっている。(ウラニウム2009 資源、生産及び需給:JOGMEC)

ウラン探鉱に投資を行う日本企業には、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3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(露国家会社、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。

ウラン濃縮についても、ROSATOM(年間規模15千tSWU:仕事量単位)、米国エネルギー省(DOE)/USEC(米、11.3千tSWU)、Eurodif(仏含め5カ国、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(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。

燃料成型加工の供給能力も十分にあり、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tU)、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2010年12月現在、432基(389百万kW)が運転中である(原子力ポケットブック2011年版)。日本では2009年12月現在、54基(48.8百万kW)が運転中、2基(2.8百万kW)が建設中、12基(15.2百万kW)が着工準備中となっている(原子力白書平成21年版)。

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)、BNFS(英、0.9千t)、ROSATOM(露、0.4千t)の4工場が稼働しており、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、2012年1月現在で建設中である。

最近5年間の日本保有ウランの国籍区分別内訳を表3に示す。

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	2005	2006	2007	2008	2009	2010
アメリカ	16,310	16,858	17,588	18,121	18,678	19,212
フランス	11,006	11,026	11,096	11,686	11,788	11,938
カナダ	9,690	10,240	10,539	10,781	10,954	11,105
オーストラリア	3,893	4,064	4,347	4,532	4,663	4,932
イギリス	2,155	2,274	2,352	2,452	2,514	2,573
中国	476	482	500	499	563	565
IAEA	2	2	2	2	2	2
その他	2,563	2,591	2,600	2,593	2,591	2,588
2006/2 日・ユート		11,792	12,147	12,962	13,303	13,740

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」

注)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。

41.2 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。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)。

プルサーマルは、2009 年 12 月には九州電力玄海原子力発電所 3 号機で、また 2010 年 3 月四国電力伊方発電所 3 号機で開始された。

国内電力会社は、2015 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)。当面は海外(英仏)で加工した MOX 燃料を利用する予定である。アクティブ試験中の日本原燃設計中の六ヶ所村 MOX 燃料工場は 2010 年 10 月建設を開始した。

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、建設中であるが、2011 年 3 月に発生した東日本大震災以降、貯蔵建屋工事は休止している。なお、同年 4 月より貯蔵建屋以外の諸工事は再開している(リサイクル燃料貯蔵株式会社 HP)。

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かなどが原子力委員会等で議論がされており、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。

高速増殖原型炉「もんじゅ」は、ナトリウム漏えい対策工事が 2007 年完了、その工事確認試験が 2008 年 8 月終了した。その後 1 年間にわたるプラント全体の健全性確認試験を実施、これも 2009 年 8 月完了している。今後運転再開に向けた準備と地元の了解を得て運転再開を目指している。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実施していくことでリサイクル率を向上させる計画である。なお、現状段階のリサイクル率は、約 5%とも言われている(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)		
核燃料 原子力発電用	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：128 (プルニウム：1.303) [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2012年頃操業開始予定 稼動軽水炉への「プル サーマル」 2009年12月稼働 九州電力玄海3号 2010年3月稼働 四国電力伊方3号 2015年度までには 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