

4 1 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)のガラス用途のほかは、原子力発電用核燃料に用いられる。放射性物質であることや核兵器への転用など核拡散防止観点から、「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%しかいないため、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2005年末核燃料物質保有量を表1に示すと共に、最近5年間のウランの合計保有量推移を表2に示した。

表1 核燃料物質の保有と使用状況(2005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	549	10,721	1,267	51	0	—
原子炉	477	2,185	14,886	320	0	107,520
再処理	2	457	1,836	18	0	14,431
使用	80	42	34	1	2	3,802
合計	1,109	13,404	18,022	390	2	125,753

(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18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)

表2 ウランの最近5年間の保有と使用状況 (2001年～2005年、単位:t)

規制区分	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
製錬	—	—	—	—	—
加工	10,747	11,662	12,371	12,395	12,588
原子炉	15,415	15,879	16,782	17,431	17,868
再処理	1,059	1,447	1,486	1,935	2,313
使用	345	344	341	159	157
合計	27,567	29,332	30,980	31,923	32,925

(出典：平成14年～18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")。

エネルギー自給率が僅か6%の日本にとって、11%の一次エネルギー供給割合と発電電力量の29%を占める原子力発電の役割は大きい(「総合エネルギー統計」)。石油天然ガス等資源価格の高騰や地球温暖化対策のCO₂排出抑制もあり、今後さらに原子力の割合を拡大させ、核燃料サイクルを実現していくことを原子力政策大綱に謳っている。

日本のウラン原料は、2004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202千tUと、2) ニジェールや加・豪の鉱山開発権益分約47千tUとの、計約249千tUを確保している(「原子力・エネルギー図面集2005-2006」)。これは2005年国内需要9千tU弱の28年分に相当する。

世界のウラン鉱石産出は、Cameco(加)、AREVA NC(仏)、ERA(豪、英国 Rio Tinto68%保有)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。不足分はロシアなどからの解体核高濃縮ウランや民間在庫の二次供給で補われている。ウラン価格は、1989年頃より2003年初めまでは10US\$/lbU₃O₈前後で推移していたが、以降徐々に上昇、スリーマイル事故後急落した1980年以来の40US\$に達し、2006年10月現在も56US\$の最高値を更新中である。

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加ウラン、日豪ウランの専門社のほか、出光興産・東京電力、伊藤忠商事などがあり、権益を得ている。また、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積極的な資源外交を2005年より展開した結果、2006年1月に住友商事・関西電力がカザフスタン原子力公社と合弁会社を設立することに成功している。獲得した1鉱区35%権益から得られる年間最大生産量は、日本需要の1割に達する。

ウラン精鉱ともいえるイエローケーキから六フッ化ウランへの転換も、Rosatom（露）、COMURHEX/AREVA（仏）、ConverDyn（米）、Cameco（加）、NDA(BNFL）（英）の5社でほぼ100%が賄われており、日本も依存している。

ウラン濃縮も、Rosatom（露）、USEC（米）、Eurodif/AREVA（仏）、URENCO（英・蘭・独）で90%以上を担っている。日本原燃の設備は経年化が進み、能力の4割強しか稼動していないが、新型遠心分離機の開発による量産を2010年から目指している。日本原子力研究開発機構（人形峠）では、日本原燃の1割の能力の経年設備が運転中である。

二酸化ウランへの再転換工程は、世界では燃料加工施設の一部として位置付けられ、十分な能力がある。日本では、1999年のJCO事故以降は三菱原子燃料（三菱マテリアル／三菱重工）1社になり、国内需要の4割強を有する。六ヶ所村建設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、将来要する国内能力を考慮すると、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は充分にあり、世界ではAREVA NP（旧 Framatome ANP）、BNFL/WH、GNF（GE）の系列メーカーにて3分の2の能力を有する。日本でも、三菱原子燃料（PWR：加圧水型軽水炉用燃料）、グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン（GNF-J、BWR：沸騰水型軽水炉用）、原子燃料工業（住友電工／古河電工、PWR用・BWR用双方）の3社で十分な能力を有している。三菱は再転換から一貫加工が可能だが、原燃工業は再転換役務の殆どを海外から調達している。

燃料集合体が使用される実用発電用原子炉は、2005年12月末現在、54基が運転中（48,222千kW）で、3基（3,643千kW）が建設中、11基（14,945千kW）が着工準備中となっている。

さらに使用済み核燃料の再処理施設は、世界では7カ国19施設で稼動実績があり、特に英仏の処理能力が高く、日本も依存している。国内では原子力機構（東海）にて120tUの年間能力があり、1981年～2006年9月までに1,123tUの累積処理実績がある。核燃料リサイクル確立を目標とする根幹を成す商用規模の再処理施設の六ヶ所村建設が大詰めを向かえ、2007年操業開始を目標に、日本原燃が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（2001年～2005年、単位：t）

規制区分	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
アメリカ	13,396	14,193	15,077	15,806	16,310
イギリス	1,959	1,978	2,006	2,075	2,155
フランス	9,757	10,225	10,718	10,920	11,006
カナダ	7,891	8,471	8,922	9,243	9,690
オーストラリア	3,147	3,477	3,599	3,784	3,893
中国	299	298	347	421	476
IAEA	2	2	2	2	2
その他	2,376	2,623	2,671	2,499	2,563

(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量一覧」平成14年～18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。核燃料サイクルが確立すれば、現在のウラン鉱石確認埋蔵量は 4 千年以上の発電需要を満たすと試算されている。

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 1～2 割の資源効率が向上する。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 年得られた段階である。但し、当面は海外 (英仏) での加工 MOX 燃料利用予定としている。日本原燃が六ヶ所村建設予定の MOX 燃料加工工場は 2012 年操業開始の計画で、現在安全審査中である。

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。

高速増殖炉の原型である「もんじゅ」は将来を目指して、改造工事を実施後の 2008 年以降に試運転再開の計画に入っている。

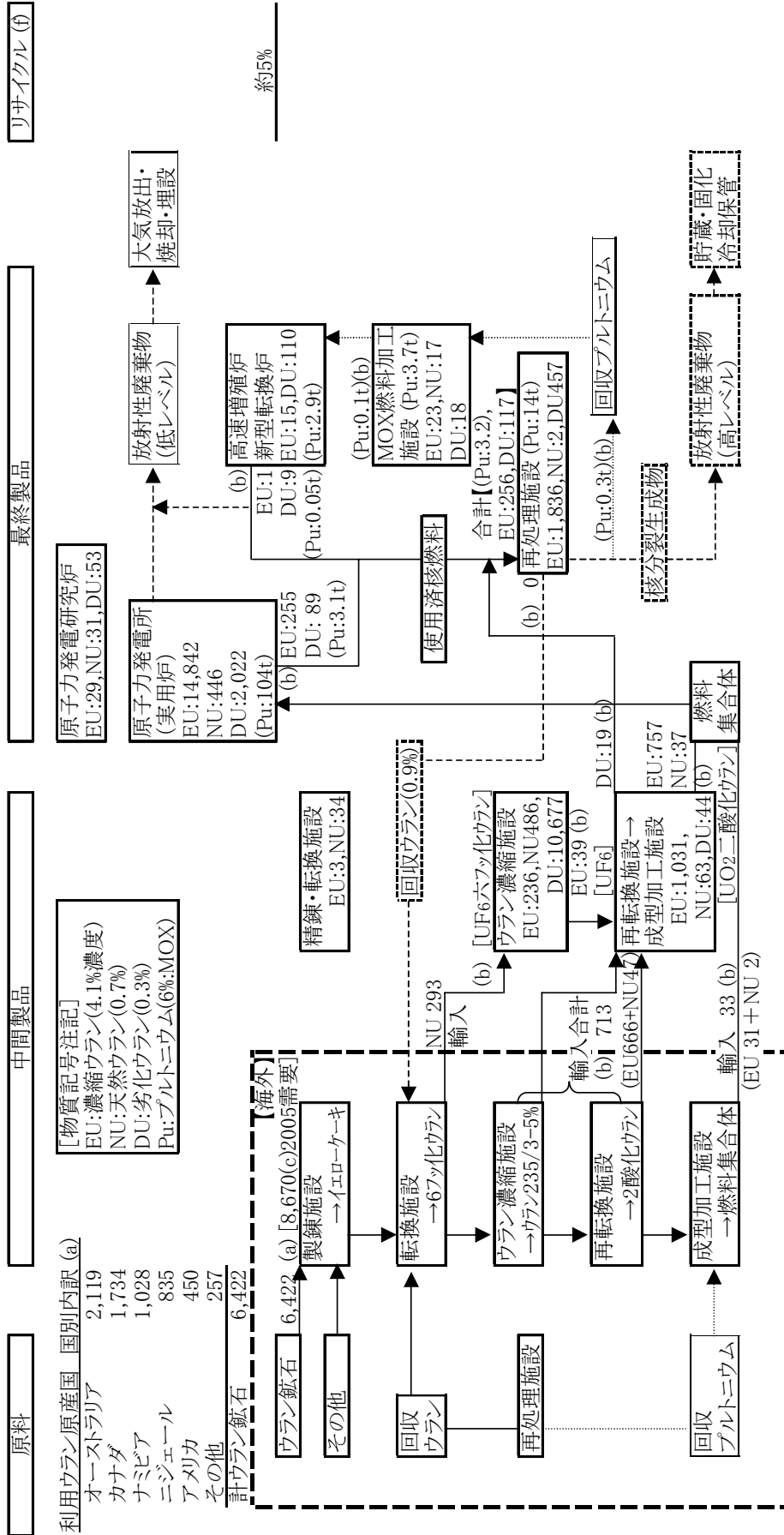
(出典：電気事業連合会「Energy Note No.11 (SEPTEMBER,2006)」、原子力委員会「核燃料サイクルを巡る最近の動き」(2006/10)、同委員会「平成 18 年版原子力白書」)

従って、リサイクルとしては、未だに殆ど成されていない段階であるが、約 5%ともいわれている。

ウラン (U)

2005年ベース

量の単位:tU(ウラン換算量)



図中にウラン(核)燃料物質名の記号を注記した。また、各施設枠内にあるウラン等の数値は在庫量である

出典 (a): 電気事業連合会(2004年度データ)

(b): 文部科学省平成18年9月5日「わが国における保障措置に係る核燃料物質質量一覧」

(c): OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY "Uranium 2005:Resources, Production and Demand"

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：373 (プルトウム：3.2) [再処理施設へ移動した量]	再処理施設 (原子力機構 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「プルサーマル」計画中。九州・四国電力で地元承認取得。実施により順次向上 リサイクル確立のための高速増殖炉導入予定は2050年。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. 効果的なり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