

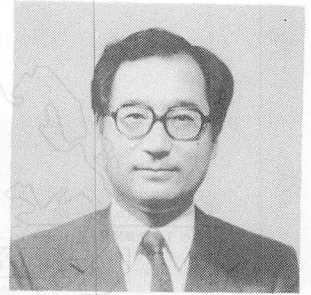
■ 展 望 ■

核燃料サイクル

Nuclear Fuel Cycle

石 田 寛 人*

Hiroto Ishida



1. はじめに

我が国の原子力発電は、昭和38年に日本原子力研究所の動力試験炉（JPDR）が初発電に成功して以来急速に発展し、今や全国で営業運転中の発電用原子炉は32基、設備容量では合計2452万kWに達し、我が国の電力供給の約26%を担う主要電源に成長している。

原子力発電は、経済性、エネルギーの大量供給性等に優れるばかりでなく、原子力発電所から生ずる使用済燃料を再処理し、それに含まれる燃え残りのウラン及び生成されたプルトニウムを取り出して再び利用できるという、化石燃料による火力発電とは異なる際立った特長を有している。

原子力発電の燃料となるウラン鉱石は、鉱山で採掘された後、製錬、転換、濃縮、再転換、成型加工の工程を経て燃料集合体に組み立てられる。この燃料集合体は、原子炉内で燃焼して熱エネルギーを放出した後使用済燃料として取り出され、これを再処理することによってプルトニウム及びウランが回収され、再び原子力発電の燃料として使用される。このような過程を経て核燃料は繰り返し利用することができるので、こ

の循環する一連の核燃料の流れを「核燃料サイクル」あるいは「原子燃料サイクル」と呼ぶ。（図-1参照）

我が国においてこの核燃料サイクルを確立することができれば、原子力発電に、国産エネルギーに準じた高い供給安定性を持たせることができるようになるのである。従って、我が国では、核燃料サイクルの早期確立を図るための諸般の施策が進められているところである。本稿においては、我が国における核燃料サイクルの現状と政府の施策の概要を紹介し、併せて今後の展望についてもできる限りまとめてみたいと思う。

2. ウラン資源

資源国である我が国においては、現在までに発見された国内のウラン資源量は約1万ショート・トンに過ぎず、今後も飛躍的な増加は期待できない。従って、必要なウラン資源は海外に求めねばならず、このため、我が国の電気事業者は、カナダ、オーストラリア等との間で約17万ショート・トンの天然ウラン購入契約を締結しているほか、さらに、ニジェールからの開発輸入により約2万ショート・トンの天然ウランを確保している。これにより、需給バランス上、我が国全

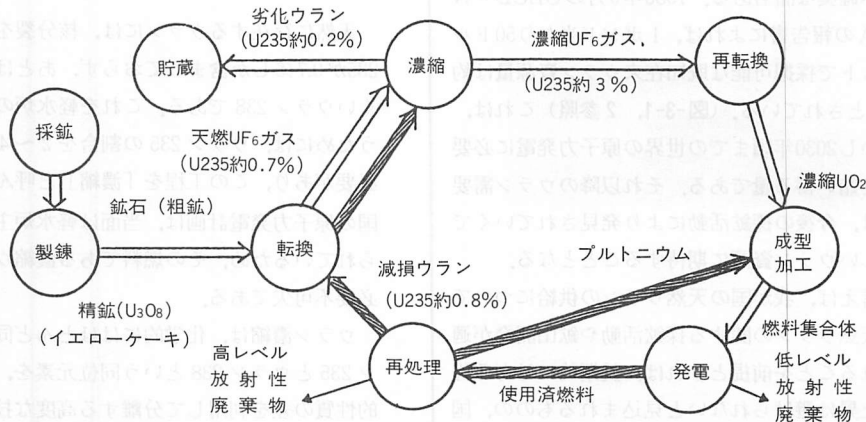


図-1 核燃料サイクル図(軽水炉体系)

* 科学技術庁原子力局核燃料課長

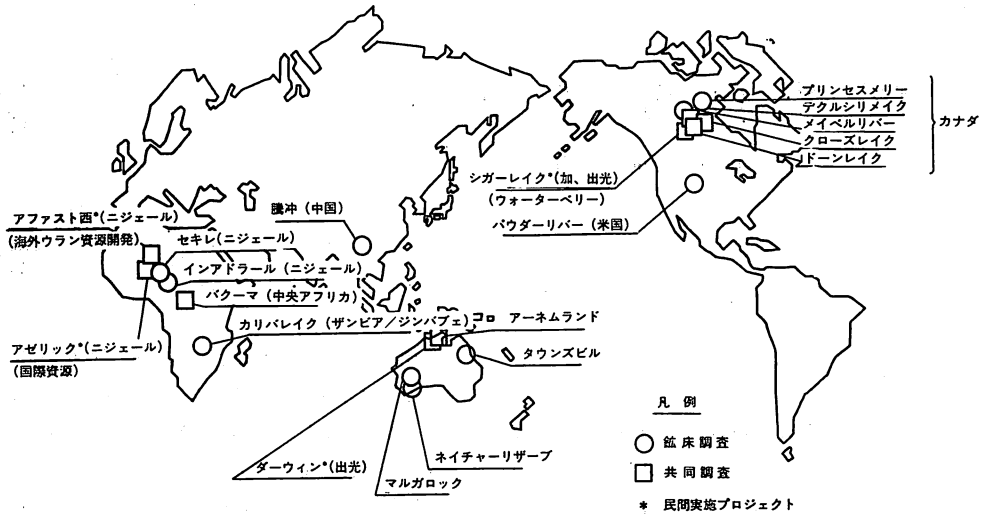


図-2 我が国の海外ウラン調査探鉱位置図 (1986)

体でみると昭和70年代前半頃までに必要な天然ウランは確保されていると言える。

それ以降に必要な天然ウランについては、海外ウランの長期購入契約を引き続き促進するとともに、自主的な探鉱活動を積極的に進め、それに基づく天然ウランの輸入割合を高めていくよう努めることとしている。このため、動力炉・核燃料開発事業団（以下「動燃事業団」という。）は、オーストラリア、カナダ、アフリカ諸国、中国等において単独又は海外機関との共同による鉱床調査、探鉱を実施しており、一方民間企業も、ニジェール、オーストラリア及びカナダにおいて探鉱活動を行っている。（図-2参照）

天然ウランの世界的な需給は、現在は緩和基調にあり、当面は安定的に推移するものと見込まれるが、長期的には不確実な面もある。1986年9月のOECD・N EA/IAEAの報告書によれば、1ポンド当たり50ドル以下のコストで採掘可能な既知在来ウラン資源量は約360万トンとされている。（図-3-1、2参照）これは、2015年ないし2030年頃までの世界の原子力発電に必要なウランを賄い得る量である。それ以降のウラン需要については、今後の探鉱活動により発見されていくであろう新しいウラン資源に期待することとなる。

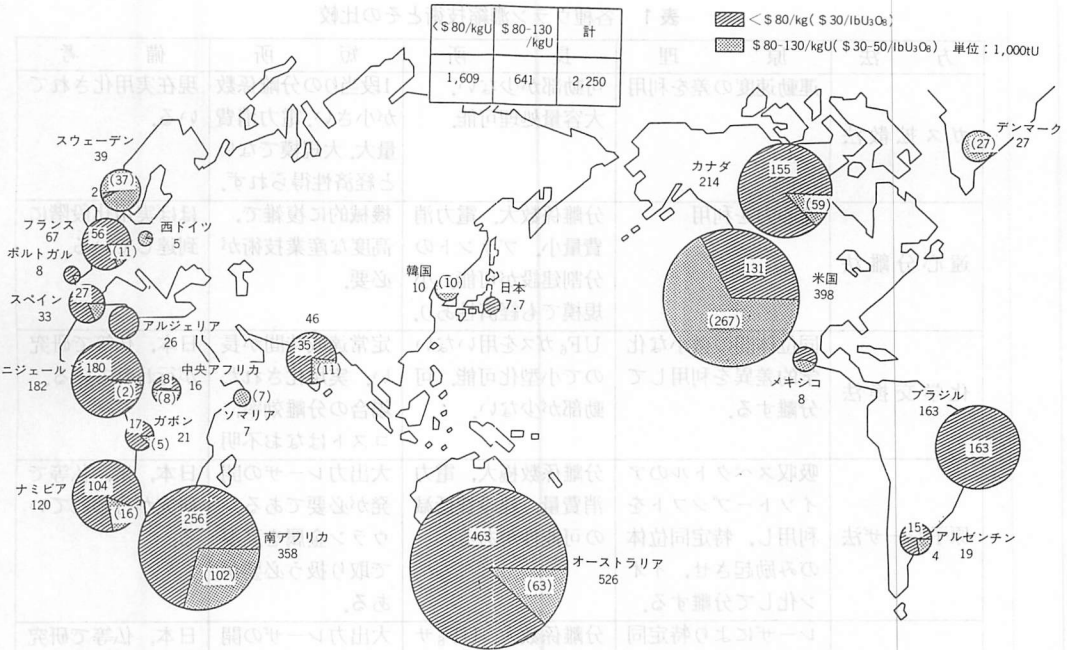
総じて言えば、我が国の天然ウランの供給については、今後天然ウランの関する探鉱活動や鉱山開発が適切になされることを前提とすれば、長期的にはある程度の価格上昇は避けられないと見込まれるものの、国際情勢の急変等のない限り、相当長期にわたって安定的に確保し得るものと予想される。

鉱山で採掘されたウラン鉱石は、製錬施設において不純物を取り除かれてイエローケーキという黄色の粉末状固体にされ、さらに、次の濃縮工程に備えるために転換施設において六フッ化ウラン（ UF_6 ）にされる。製錬・転換技術に関しては、動燃事業団において我が国独自のウラン製錬法である一貫製錬法の技術開発に成功している。これは、ウラン鉱石からイエローケーキを経ずに一挙に四フッ化ウランに製錬し、さらにこれに続けて六フッ化ウランにまで転換する技術で、イエローケーキからの転換にも応用できるものであり、現在、岡山県人形峠において、製錬転換パイロットプラント（ウラン製造能力200トンU/年）が運転されている。

3. 濃 縮

天然に存在するウランには、核分裂を起こすウラン235が0.7%しか含まれておらず、あとは核分裂をしにくいウラン238である。これを軽水炉の燃料として使うためには、ウラン235の割合を2～4%まで高める必要があり、この工程を「濃縮」と呼んでいる。我が国の原子力発電計画は、当面は軽水炉主体として進められているため、その燃料である濃縮ウランの確保が必要不可欠である。

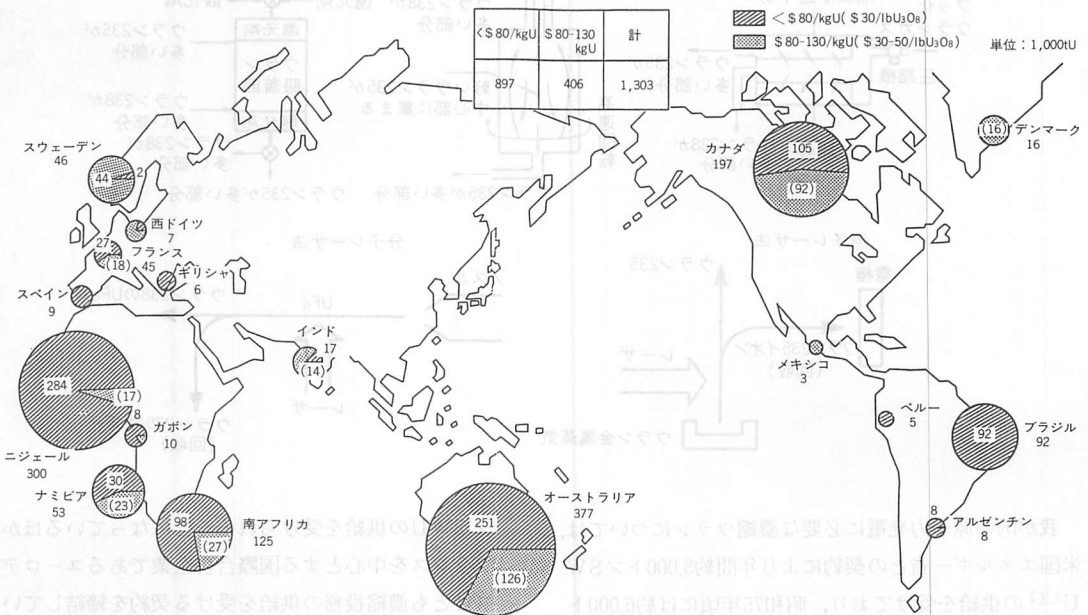
ウラン濃縮は、化学的にはほとんど同じ性質のウラン235とウラン238という同位元素を、わずかな物理的性質の差を利用して分離する高度な技術であり、その方法にはいくつかあるが、現在実用化されているのは、ガス拡散法及び遠心分離法である。（表1参照）



注1) 確認資源: 探鉱作業を終了し、鉱床規模・品位・形状等が確定されたもので、これにはほぼ生産中もしくは開発待機中の鉱床が一般的には該当する。

出典: OECD・NEA/IAEA「URANIUM-RESOURCES, PRODUCTION AND DEMAND」(1986.9)

図-3-1 世界のウラン資源(ソ連, 東欧諸国, 中国を除く) \$130/kgU (\$50/lbU₃O₈)以下の推定追加資源注1)



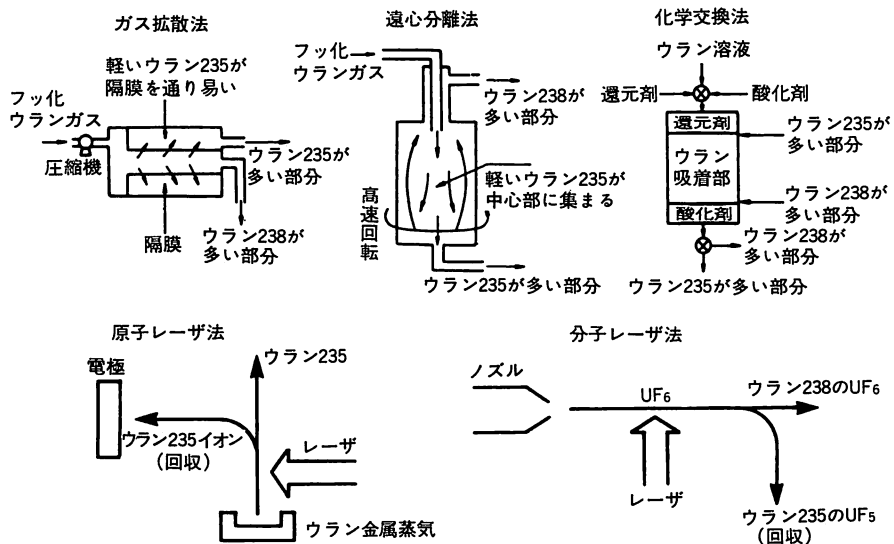
注2) 推定追加資源I: ある程度の探鉱により一応の確度で鉱量等が推測されるが、鉱床の特性等まだ十分にデータが得られていないものであり、今後の探鉱(企業化探鉱)によって確認資源となる鉱床に該当する。

出典: OECD・NEA/IAEA「URANIUM-RESOURCES, PRODUCTION AND DEMAND」(1986.9)

図-3-2 世界のウラン資源(ソ連, 東欧諸国, 中国を除く) \$130/kgU (\$50/lbU₃O₈)以下の推定追加資源注2)

表1 各種ウラン濃縮技術とその比較

方法	原理	長所	短所	備考
ガス拡散法	運動速度の差を利用	可動部が少ない。 大容量処理可能。	1段当りの分離係数が小さい、電力消費量大、大規模でないと経済性得られず。	現在実用化されている。
遠心分離法	遠心力を利用	分離係数大、電力消費量小、プラントの分割建設が可能、小規模でも経済性あり。	機械的に複雑で、高度な産業技術が必要。	ほぼ実用化段階に到達している。
化学交換法	同位体間の微小な化学的差異を利用して分離する。	UF ₆ ガスを用いないので小型化可能、可動部が少ない。	定常達成時間が長い。実用化された場合の分離効率、コストはなお不明	日本、仏等で研究が行われている。
原子レーザー法	吸収スペクトルのアイソトープシフトを利用し、特定同位体のみ励起させ、イオン化して分離する。	分離係数極大、電力消費量、建設費低減の可能性ある。	大出力レーザーの開発が必要である。ウラン金属を高温で取り扱う必要がある。	日本、米、仏等で研究が行われている。
分子レーザー法	レーザーにより特定同位体を励起させ化学反応を起こしやすくして分離する。	分離係数大、UF ₆ サイクルと整合する。電力消費量低減の可能性ある。	大出力レーザーの開発が必要。	日本、仏等で研究が行われている。



我が国の原子力発電に必要な濃縮ウランについては、米国エネルギー省との契約により年間約3,000トンSWU^(注)の供給を受けており、昭和75年頃には約6,000ト

(注) 天然ウランを濃縮する際に必要となる仕事量を表わす単位。例えば、100万キロワットの原子力発電所が一年間に必要とする約30トンの濃縮ウランを作るためには、濃縮工程において約120トンSWUの仕事量が必要となる。

ンSWUの供給を受けられることになっているほか、フランスを中心とする国際合併企業であるユーロディップ社とも濃縮役務の供給を受ける契約を締結している。これにより、昭和60年代後半頃までの必要量が確保されていることになる。(表2)

このように、濃縮ウランについては、現在のところ全面的に海外からの供給に依存しているが、我が国における原子力発電の自主性の確保、濃縮ウランの安定

表2 主要国のウラン濃縮工場一覧

設置者(国名)	濃縮法	工場所在地	規模
DOE (米 国)	ガス拡散法	オークリッジ ポーツマス パデューカ	27,300 tSWU/年 (3工場合計) オークリッジはスタンバイ状態
	遠心分離法	ポーツマス	昭和60年5月建設中止
ユーロディフ (仏を含め 5ヶ国)	ガス拡散法	トリカスタン (仏)	10,800 tSWU/年
BNFL (英 国)	ガス拡散法	カーペンハースト (英国)	約 400 tSWU/年 (昭和57年 運転停止)
ウレンコ { 英 国 オランダ } { 西 独 }	遠心分離法	カーペンハースト (英国)	部分運転中 昭和60年末 約 600 tSWU/年
		アルメロ (オランダ)	昭和60年末 925 tSWU/年
		グロナウ (西 独)	昭和60年末 100 tSWU/年
動力炉・核燃料開発事業団 (日 本)	遠心分離法	岡山県人形峠	パイロットプラントが運転中
		同 上	原型プラント (200 tSWU/年) が昭和62年から部分運転開始予定。
日本原燃産業 ㈱ (日本)	遠心分離法	青森県 六ヶ所村	昭和66年頃、部分運転開始予定、その後、逐次増設し、1,500 tSWU/年にする予定

供給の確保等の観点から、2000年頃には3,000トンSWU/年程度の濃縮設備需要は国内で賄うことを目標として、自主技術による国産濃縮工場を稼働させるべく技術開発を促進している。

動燃事業団では、昭和48年度から国のプロジェクトとして遠心分離法によるウラン濃縮技術を開発しており、昭和54年からは、岡山県の人形峠に建設した遠心分離法によるウラン濃縮パイロットプラントの運転に入っている。動燃事業団では、さらにプラントの信頼性、経済性の向上を図るため年間200トンSWU規模の原型プラントを同じく人形峠に建設しており、昭和63年度の全面運転開始をめざして昭和60年11月より工事と機器製造が進められている。

また、同事業団では、現在の金属銅遠心機の性能を大幅に上回る性能を発揮することが期待される複合材料を用いた遠心分離機についても、民間との共同研究により技術開発を進めている。また、民間においても、ウラン濃縮遠心分離機の量産技術の確立をめざした技術開発が進められている。

商業プラントの建設・運転に関しては、昭和60年3月、電気事業者を中心に日本原燃産業㈱が事業主体として設立されている。同社は、動燃事業団による遠心分離法ウラン濃縮技術の開発成果を受けて、同事業団

の協力の下に青森県六ヶ所村にウラン濃縮の商業プラント（昭和66年頃運転開始予定。最終規模1,500トンSWU）を建設する計画であり、現在そのための準備が進められている。

また、重電メーカー3社によって、ウラン濃縮原型プラント及び商業プラントに設置される遠心分離機を量産するためのメーカーとして、ウラン濃縮機器㈱が昭和59年12月に設立されている。

一方、我が国のウラン濃縮事業が将来にわたって国際競争力を維持していくためには、一層経済性に優れた技術の開発が不可欠である。このため、将来のウラン濃縮技術として有望視されているレーザー法についても、原子法については日本原子力研究所で、分子法については理化学研究所でこれまで研究を進めてきている。

原子法については、昭和57年に日本原子力研究所が原理実証に成功し、現在は、同研究所が基礎プロセスデータの収集、整備を進めており、また、電気事業者を中心とする民間においても、研究組合方式により原子法によるウラン濃縮に必要な機器開発等を実施する計画で、現在組合発足のための準備が進められているところである。

分子法については、理化学研究所が昭和60年度より

一方、再処理施設において分離される「高レベル放射性廃棄物」については、安定した形態に固化処理し、30年間から50年間程度冷却のための貯蔵を行い、その後、地下数百メートルより深い地層又は岩体の中に処分すること（地層処分）を基本方針としている。固化処理については、ホウケイ酸ガラスと共に固めてしまうガラス固化が世界的な主流となっている。我が国でも、動燃事業団が中心となってホウケイ酸ガラスによる高レベル放射性廃棄物のガラス固化の技術の開発が進められており、現在、東海再処理工場に貯蔵されている高レベル放射性廃棄物をガラス固化することによりガラス固化技術の実証を行うことを目的として、ガラス固化技術開発施設の建設準備が進められている。

また、高レベル放射性廃棄物の地層処分については、動燃事業団を中心として国の重要プロジェクトとして推進されており、現在、地層処分技術の確立を目指した研究開発及び全国的な視野に立った処分予定地選定のための調査が進められているところである。

また、動燃事業団は、高レベル放射性廃棄物等の貯蔵や処分に関する試験研究を行う貯蔵工学センターの建設計画を進めており、現在、北海道幌延町を立地の有望な候補地と考えて、昭和60年から立地調査を実施しているところである。

8. 青森県六ヶ所村の核燃料サイクル施設建設計画

ウラン濃縮、再処理等の我が国の核燃料サイクルは、これまでの動燃事業団を中心とする技術開発等の結果により、現在実用化段階を迎えつつある。今や、これまで大部分を海外に依存していたウラン濃縮役務や使

用済燃料再処理を国内で行い、原子力を準国産エネルギーとすべく自主的な核燃料サイクルを確立することが急務となっている。

電気事業者は、ウラン濃縮、再処理及び低レベル放射性廃棄物最終貯蔵の核燃料サイクル三施設を青森県六ヶ所村に建設することを計画し、昭和59年7月、青森県及び六ヶ所村に立地協力要請を行い、昭和60年4月には青森県から要請を受諾する者の回答がなされ、青森県、六ヶ所村、日本原燃サービス㈱及び日本原燃産業㈱の間で電気事業連合会立合のもとに「原子燃料サイクル施設の立地への協力に関する基本協定書」が締結されたところである。これを受けて、同地に再処理施設を建設する予定の日本原燃サービス㈱とウラン濃縮施設及び低レベル放射性廃棄物最終貯蔵施設を建設する予定の日本原燃産業㈱により、昭和60年6月から立地調査が開始され、昭和61年8月からは用地造成工事が開始されるなど、上記核燃料サイクル三施設の建設準備が着々と進められているところである。

このように、現在、我が国は、自主的な核燃料サイクルの確立に向けて大きな一歩を踏み出したところである。また、現在の軽水炉を中心とする核燃料サイクルの要である再処理技術やプルトニウム利用体系の確立は、将来我が国において基本的に自立し得る原子力発電体系を構築する可能性を有するFBRの実用化を促進するものであり、この意味からも、ウラン資源に乏しい我が国としては、核燃料サイクルの確立は積極的に取り組むべき課題と考えられる。このような観点からも、我が国における核燃料サイクル確立についての今後の進展が大いに期待される。

