

## <概要>

ウラン濃縮法は、天然ウラン中の燃えるウラン（ウラン-235）が0.7%と燃えないウラン（ウラン-238）が99.3%の比率から、燃えるウラン（ウラン-235）の含有率を高めるために行う方法をいう。ウラン-235とウラン-238は、物理的にも化学的にもほとんど同じ性質を持ち、わずかの性質の差、すなわち、質量の差、あるいは酸化還元時の化学的な差などにより、できるだけ電力消費量が小さく、低コストで濃縮できる技術の開発が進められている。

## <更新年月>

2009年01月

## <本文>

天然ウラン中には燃えるウラン（ウラン-235）が0.7%、燃えないウラン（ウラン-238）が99.3%、その他の微量の同位体で構成されている。この同位体である燃えるウラン（ウラン-235）の比率を天然のものより高めることを「ウラン濃縮」といい、その高める方法を「ウラン濃縮法」という。

これらウラン同位体は、物理的にも化学的にもほとんど同じ性質を持っているが、わずかな違いを見出して、ウラン濃縮法が開発がなされてきた。すなわち、ウラン同位体であるウラン-235とウラン-238との質量差を利用する方法として、微細穴を透過するときの拡散速度の違いを用いる「ガス拡散法」、遠心力の場で質量差による違いを用いる「遠心分離法」、電磁場で質量差による違いを用いる「電磁法」、およびノズルから吹き出す速度差を利用する「ノズル法」等が考え出された。また化学的に酸化還元時の反応差を利用した「イオン交換法」、光化学反応速度差を利用した「光化学的分離法」等がある。これらの方法は、すでに第二次世界大戦以前から原理的に可能であることが知られていたが、1960年に米国のメイマンがレーザーを発明すると、レーザー光線を照射して分離する「レーザー法」が提案され、1970年代から世界各国でガス拡散法および遠心分離法に代わる次世代のウラン濃縮法として研究開発が行われた。レーザー法には、ガス拡散法、遠心分離法等で利用される六フッ化ウランを使用する「分子レーザー法」と「サイレックス法」、金属ウランを高温にして発生させたウラン蒸気を使用する「原子レーザー法」がある。また、塩酸ウラン溶液を使用するイオン交換法についても次世代濃縮法として開発が行われた。各種のウラン濃縮法を表1に示す。

現在、商業用ウラン濃縮工場に採用されているのはガス拡散法と遠心分離法であり、ガス拡散法については、米国とフランスに、遠心分離法については、英国、オランダ、ドイツ、中国、ロシア、日本に商業用ウラン濃縮工場がある。他の方法については、実験室規模からパイロットプラントに至る色々な段階まで研究開発が行われたが、サイレックス法を除いて全て開発は中止された。開発内容については機密措置が取られていて不明である。

商業用のウラン濃縮技術としては、電力消費量がガス拡散法の約1/50と大幅に少ない遠心分離法が主流となりつつあり、米国とフランスも商業用の遠心分離法ウラン濃縮工場を建設中で、2010年代にはガス拡散法による既存の商業用ウラン濃縮工場は全てなくなると予想されている。

これらウラン濃縮法については、原理は判っているが、濃縮に用いる微細な穴のあいた隔膜や遠心分離機、作業物質として用いる腐食性の高い六フッ化ウランガスを取り扱うための機器等を含めたシステムには各国の独自の技術が利用され、核拡散防止上および商業上の両方の観点から厳重な機密保持が行われている。したがって、技術交流はなく、他国へ技術導入を行う場合でも、濃縮用機器は輸入国が一切内部の構造を見ることができないブラック・ボックスとすることで技術の流出を防いでいる。このため、商業ウラン濃縮技術の主流になりつつある遠心分離法に

については、遠心分離機の開発に各国ともしのぎを削っており、英国、オランダ、ドイツの国際共同企業体ウレンコ（URENCO）、ロシアの国営企業ロスアトム（ROSATOM）、米国のUSEC、わが国の日本原燃はそれぞれ低コストでかつ高性能、長寿命な新型遠心機の開発を継続している。フランスについては独自開発をあきらめ、ウレンコの子会社の遠心分離機等製造会社に資本参加し、ウレンコの技術を導入し商業用ウラン濃縮工場を建設中である。

---

#### <関連タイトル>

濃縮ウラン (04-05-01-01)

分離作業量（SWU） (04-05-01-03)

---

#### <参考文献>

- （１）三島良績（編著）：核燃料工学、同文書院（昭和47年10月）
  - （２）火力原子力発電協会（編）：原子燃料サイクルと廃棄物処理、昭和61年6月
  - （３）火力原子力発電協会（編）：やさしい原子力発電、平成2年6月
  - （４）USEC：
  - （５）URENCO：<http://www.urengo.com/>
  - （６）AREVA：
  - （７）AREVA Reference Document 2007：， 89/425-92/425
  - （８）Silex：<http://www.silex.com.au/>
  - （９）Nuclear Information World Nuclear Association：
  - （10）Oleg Bukharin, “Understanding Russia’s Uranium enrichment Complex”, Science and Global Security, Princeton University, January 12, 2004
  - （11）World Nuclear Association:The Global Nuclear Fuel Market Supply and Demand 2007-2030
  - （12）日本原燃（株）：新型遠心機の開発状況について
-

# 表1 各種のウラン濃縮法

	ガス拡散法	遠心分離法	レーザー法(原子法)	レーザー法(分子法)	化学法
濃縮原理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 235UF6と238UF6の質量差に基づく運動速度の差を利用する。</li> <li>・ UF6ガスを圧縮機により加圧し、多孔質膜を利用して235UF6を分離し回収する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 235UF6と238UF6の質量差を利用する。</li> <li>・ 常温UF6ガスを遠心分離機により遠心力を作用させて235UF6を分離し回収する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 235Uと238Uの電子エネルギー準位の差を利用する。</li> <li>・ レーザー光を高温U蒸気に照射し235Uを励起、イオン化し電磁界を用いて分離回収する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 235UF6と238UF6の赤外線吸収スペクトルの差を利用する。</li> <li>・ レーザー光を低温UF6蒸気に照射し235UF6を励起、解離させ、反応生成した235UF5を分離し回収する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 235Uイオンと238Uイオンで化学反応速度が異なることを利用する。</li> <li>・ U+6を吸着する濃縮塔に酸化剤、U+6 + U+4混合液、還元剤の順番で液を注入すると塔上部に235Uが濃縮される。</li> </ul>
分離係数	約1.003	約1.4	>10	<10	約1.001
分離段数	約1,000段	約10段	1段	1段	約1,000段(濃縮塔は1本)
消費電力	2,400kWh/SWU ※1	～100kWh/SWU ※1	～100kWh/SWU ※1	～100kWh/SWU ※2	130kWh/SWU ※3
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 消費電力が大きい</li> <li>・ 設備が大規模</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 可動部が多い</li> <li>・ ガス拡散法より経済的</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 可動部が少なく設備がコンパクトである。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 取扱実績の多いUF6を使う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 濃縮に時間がかかる</li> <li>・ 装置が簡単</li> </ul>
原料ウラン	UF6	UF6	金属U(単体)	UF6	ウラン溶液
参照図	<04-05-01-05>図1参照	<04-05-01-04>図1参照	<04-05-01-06>図1参照	<04-05-01-06>図2参照	<04-05-01-11>図2参照

注) ※1 原子力工業第33巻第4号(1987)「レーザーによるウラン濃縮」  
 ※2 原子力工業第32巻第6号(1986)「レーザーウラン濃縮法の研究の現状とその評価」  
 ※3 原子力学会(1988年3月)「原子燃料サイクル技術の現状と将来」