

## 【技術報告】



# ウラン濃縮原型プラントにおける経済性の実証

杉杖 典岳 宮川 洋\*

人形峠環境技術センター 施設管理部  
\*原子力システム株式会社

資料番号：10別冊-3

Evaluation of Economical at a Uranium Enrichment Demonstration Plant

Noritake SUGITSUE Hiroshi MIYAGAWA\*

Facility Management Division, Ningyo-toge Environmental Engineering Center

\*Nuclear Energy System Inc.

本報告では、ウラン濃縮原型プラントに適用している技術の経済性について評価した。その結果、原型プラントは商業プラントにつながる確かな経済的見通しを得るといふ、ウラン濃縮原型プラントに与えられた所期の目的を十分に果たしたものと評価できる。

これと併せて、約13年にわたるウラン濃縮原型プラントの運営を通して行った経済性解析により、ウラン濃縮事業の経済的特徴を明らかにした。

これらの知見から、ウラン濃縮事業では、遠心分離機の性能と価格、信頼性が事業全体の経済性を決める重要な要素になっており、開発費とのバランスを考慮しつつ、遠心分離機の継続的な開発とプラントへの導入の必要性を指摘した。

*In this report, the economy of technical achievement apply in the uranium enrichment demonstration plant is evaluated. From the evaluation, it can be concluded that the expected purpose was achieved because there was a definite economic prospect to commercial plant.*

*The benefit analysis of thirteen years operation of the uranium enrichment demonstration plant also provides a financial aspect of the uranium enrichment business.*

*Therefore, the performance, price and reliability of the centrifuge is an important factor in the uranium enrichment business. And the continuous development of a centrifuge while considering balance with the development cost is necessary for the business in the future.*

## キーワード

ウラン濃縮事業、ウラン濃縮原型プラント、遠心法、運転実績、技術の経済性、経済性解析、コスト解析

*Uranium Enrichment Business, Uranium Enrichment Demonstration Plant, Centrifuge Method, Operation Record, Economy of Technical Achievement, Economical Analysis, Cost Analysis*



杉杖 典岳



宮川 洋

## 1. はじめに

1982年に出された「原子力開発利用長期計画」では、ウラン濃縮原型プラントの建設・運転目的について次のように述べられている。

「ウラン濃縮事業の国産化を進めるため、遠心分離法ウラン濃縮技術について信頼性・経済性の向上に努め、国際競争力を持ったウラン濃縮事業の確立を図る。その中でウラン濃縮原型プラントの役割は、ウラン濃縮原型プラントを商業プラント

トに先立って建設することにより、遠心分離機量産技術を確立し、プラント設備の合理化を進め、濃縮プラントの信頼性・経済性の向上を図る。」

また、ウラン濃縮原型プラントに続く商業プラントのプラント能力についても触れており、「1995年頃に1,000tSWU/年、2000年頃に3,000tSWU/年」という数字が示されている。

このように、「原子力開発利用長期計画」では、ウラン濃縮原型プラントそのものに明示的な経済性の目標が設定されていたわけではないが、ここで示された、2000年頃に、3,000tSWU/年規模の商業プラントを実現するためには、少なくともウラン濃縮原型プラントの建設・運転を通じて、技術的見通しを得ることはもちろん、経済性についても、3,000tSWU/年程度の規模において、日本のウラン濃縮技術が国際競争力を持ち得る技術であるか否かの見極めが重要であり、これがウラン濃縮原型プラントに与えられた経済性面の課題であったと考えることができる。

本報告では、ウラン濃縮原型プラントの運転から得られたコストデータを使って、ウラン濃縮原型プラントに適用されている技術が、国際競争力を持ち得る技術か否かを経済性の視点で評価した結果を紹介する。

## 2. ウラン濃縮原型プラントに適用している技術の経済性<sup>1)</sup>

本章では、ウラン濃縮原型プラントに適用している技術の経済性評価を目的として、ウラン濃縮原型プラントのコスト実績から、まずウラン濃縮原型プラントのコスト構造及びウラン濃縮事業の経済的特徴を明らかにした。

次に、ウラン濃縮事業の構造的特徴を解析し、事業規模拡大のための係数設定と濃縮事業のモデ

ル化を行った。このモデルとコスト実績データを使って、プラント規模及び運転年数をパラメータとした検討を行った。

併せて、ウラン濃縮事業の構造的特徴と経済的特徴を基に、役務生産コスト低減の方策について検討を行った。

### 2.1 ウラン濃縮事業のコスト構造と経済的特徴

ウラン濃縮事業の経済的特徴を評価するためには、まずウラン濃縮事業の構造と、それに係るコスト構成を明らかにする必要がある。そこで、ウラン濃縮原型プラントを独立した事業と捉え、表1に示した決算科目に従って収集したデータから、年度単位で決算処理を行い、この決算結果をに実績生産コストを詳細に分析し、ウラン濃縮事業の構造的特徴を明らかにした。

図1及び図2にウラン濃縮原型プラントの当初計画10年間の決算データから求めた生産コスト構成比率とその年度推移を示す。また、それぞれのコスト項目がどのような費用項目で構成されているかを以下に示す。

#### 運転費中の直接経費

- ・ 労務費 = 職員人件費
- ・ 動力費 = 電力・重油料金
- ・ 修繕費 = 定期検査費・修繕費
- ・ 委託費 = 運転・研究委託費等
- ・ 諸税 = 固定資産税

#### 間接経費

- ・ 間接経費 = 事業所の管理部門経費
- ・ 一般管理費 = 本社部門の管理経費
- 減価償却費
- ・ 遠心分離機 = ウラン濃縮機械装置の内、遠心分離機本体のみ

表1 原型プラント決算科目

目	節	目	節		
01	人件費	6 節	11	保険料	4 節
02	厚生費	3 節	12	諸税	9 節
03	雑給	2 節	13	広報費	2 節
06	動力費	2 節	14	採用・研修費	2 節
07	修繕費	2 節	15	補償費	2 節
08	委託費	10節	16	原料費	3 節
09	消耗品費	9 節	17	諸費	10節
10	賃借料	4 節			

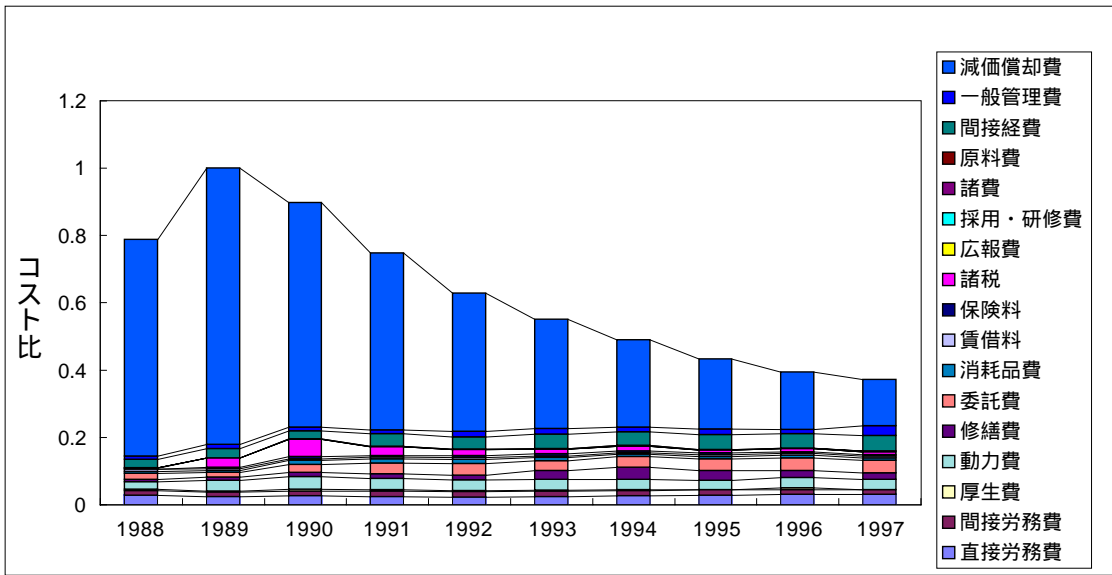


図2 生産コスト年度推移

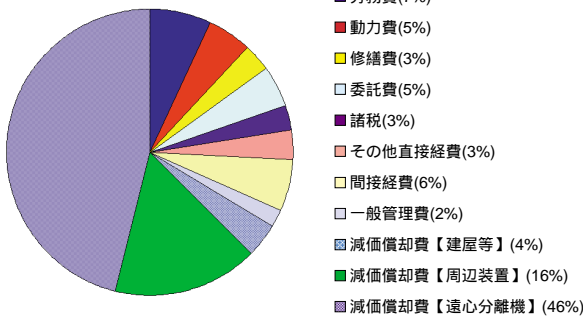


図1 原型プラントコスト構成

表2 主要産業コスト構成

	ウラン濃縮 原型プラント	電気業	ガス業	鉄道業	倉庫・ 港湾運送業
材料費	0.0	23.3	66.6	13.3	0.0
労務費	6.3	8.0	6.7	37.5	9.9
経費	93.7	68.8	27.3	49.2	90.0

- ・ 周辺装置 = 遠心分離機本体を除くUF<sub>6</sub>処理系等の装置
- ・ 建屋等 = ウラン濃縮機械装置以外の固定資産

本報告では借入金金利等の資金調達コストや、立地自治体によって課税の有無及び税率が異なる核燃料税等の諸税等は経営環境に影響されることから、評価の対象とせず、純粋な生産コストに着目した評価を行っている。

これらのコスト構成要素等の分析結果から、経済面から見たウラン濃縮事業には以下のような特徴がある。

ウラン濃縮原型プラントのコスト実績では、コストの大部分が減価償却費であり、全体の約

2 / 3 を占めている。減価償却費中で最も大きいものは、遠心分離機で、本体が46%、周辺装置が16%、計62%を占める。このことは、ウラン濃縮事業が、役務を提供するサービス業でありながら典型的な装置（設備）産業のコスト的特徴を備えていることを示している。参考として、表2に代表的な産業におけるコスト構成を示す<sup>2)</sup>。一般に装置産業の事業では、初期の設備投資額の大きさが事業期間内のコストに大きく影響することから、ウラン濃縮事業においても減価償却費が役務生産コストに及ぼす影響は非常に大きい。

ウラン濃縮原型プラントコスト実績で変動費とされるコストは、動力費のみである。また、コスト全体に占める割合は5%であり、変動費比率は非常に少ない。したがって、ウラン濃縮事業ではプラントの稼働状態の如何にかかわらず、ほぼ一定額の固定的運転費が発生することを示している。

このことは、プラントの稼働率が向上しても運転費はほとんど変わらないことを意味しており、稼働率向上による役務生産量の増加分がそのまま収入となり、単位濃縮役務量当たりの役務生産コスト低減に大きく寄与するというウラン濃縮事業の重要な特徴となっている。

図3に示したように、減価償却費を除く運転費は、当初計画10年間の運転期間中安定して推移している。ウラン濃縮原型プラントコスト実績の特色として、修繕費及び動力費以外の運転費は、人件費とそれに付随するコストのみから構成されていることが挙げられる。これは、ウラン濃縮事業が、濃縮役務を提供するサービス業であること

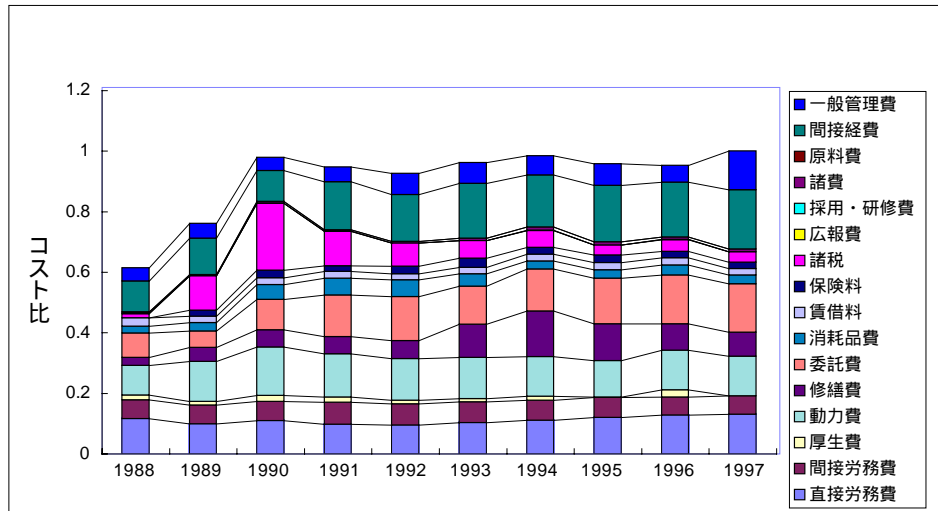


図3 運転費年度推移 (減価償却費をのぞく)

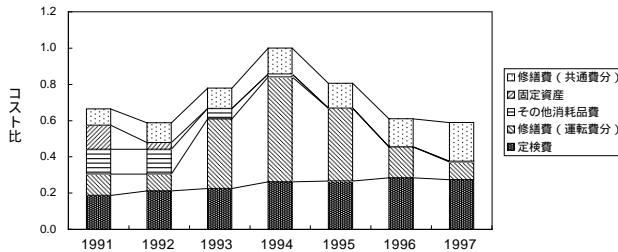


図4 保守・修繕費年度推移

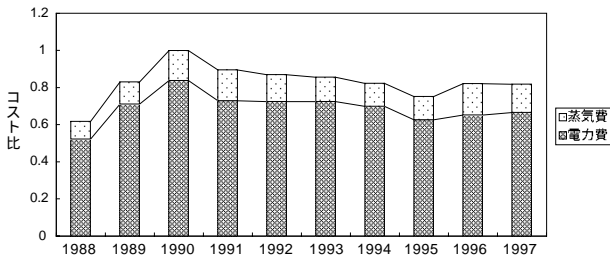


図5 動力費年度推移

を反映したものである。このため運転コストは事業を運営する人員規模で決まってしまう。

図4に示したように、修繕費については、年度により若干の変動はあるものの、全体としては安定している。一般に保守・修繕経費は機械装置投資額に対する一定のパーセンテージで表現されることが多い。その割合は業種によって異なるが、一般的に、プラントを所有して事業を行うような産業では、3～4%程度が一般的値とされている。ウラン濃縮原型プラントの修繕費は、保守対象機器の設備投資額の3%以内に収まっており、一般的な数値の範囲内であるといえる。また、修

繕費は経年劣化により次第に増加する傾向を示すが、ウラン濃縮原型プラント当初計画10年間の期間においては、コスト削減努力もあり、年度による変動はあるもの、明らかな増加傾向は見られない。このことは、ウラン濃縮原型プラントの主要な機器が少なくとも10年以上は使用可能であることを示している。

図5に示したように、動力費は、主に電力及び重油料金から構成される。これらの調達コストは、ウラン濃縮原型プラント運転期間中安定して推移しているが、本質的には、海外から輸入される原料重油の価格に影響されるコストである。原料重油の海外市場価格と為替レート変動は、円建の原料重油の価格に影響を及ぼし、結果として、電力及び重油料金の変化をもたらす。ただし、ウラン濃縮原型プラントのコスト構造の中で、動力費の占める割合は、約5%程度である。

## 2.2 ウラン濃縮原型プラント技術の経済性

ここでは前節で分析した、ウラン濃縮原型プラントコスト実績データから検討した、ウラン濃縮事業のコスト構成の特徴を基に、役務生産コストへの影響が大きいプラント規模と運転期間をパラメータとして、これらが、役務生産コストとどのような関係にあるのかを明らかにした。

検討範囲については、ウラン濃縮原型プラントの設備能力である200tSWU/年、運転期間10年に対して、プラント規模を500tSWU/年～3,000tSWU/年、運転期間を最大15年程度とした。ここで、プラント規模の最大値を、3,000tSWU/年としたのは、1982年の原子力開発利用長期計画において、2000年頃に期待されていた商業プラント

表3 スケールアップファクタ

コスト項目	DP実績 コスト比率 (%)	プラント規模		運転期間 比率
		生産量(t-SWU)比 3000 /	スケール ファクタ	
動力費	4.92	15	1.000	1.0
労務費	7.05	15	0.445	1.0
委託費	4.69	15	0.445	1.0
その他直接経費	3.27	15	0.445	1.0
間接経費	5.80	15	0.445	1.0
一般管理費	2.12	15	0.445	1.0
減価償却(遠心機)	46.18	15	0.700	1.0
減価償却(周辺装置)	16.45	15	0.700	1.0
減価償却(建屋等)	3.71	15	0.700	1.0
修繕費	2.97	15	0.700	1.0
諸税	2.83	15	0.700	1.0
計	100.00			

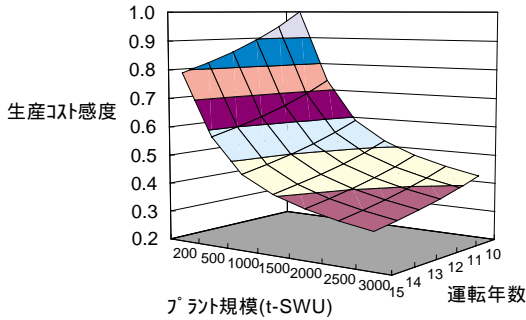


図6 プラント規模と運転期間をパラメータにした濃縮役務価格

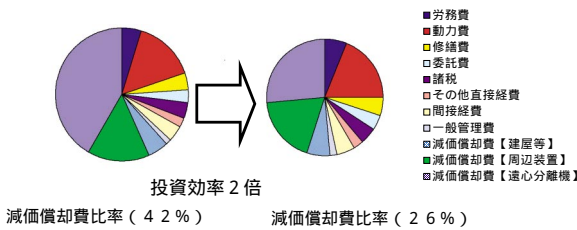


図7 役務コスト低減の方策

の規模を用いた。運転期間の最大値15年については、ウラン濃縮原型プラントの技術実証での評価結果を基に設定した。また、ここでの評価は以下のとおりである。

プラント規模拡大時のスケールアップファクタ及びプラント稼働率は固定値とした。

設備投資に対するスケールアップファクタは、化学プラントにおける一般的な値である0.7乗則を用いた。

人員数については、ウラン濃縮原型プラントの作業分析に基づき3,000tSWU/年規模のプラントを300名の運転員で操業するとの仮定を基に、ウラン濃縮原型プラントの運転人員90名との比から0.445乗則を設定した。

動力費については、プラント規模に依存することから、スケールアップファクタを1とした。

稼働率については、ウラン濃縮原型プラントの実績値を用いた。

以上のスケールアップファクタについてまとめ

た結果を表3に示す。また、この考え方を基にして、設備規模と運転期間をパラメータとした評価結果を図6に示す。検討結果は、ウラン濃縮原型プラントでの役務生産コストを1としてこれに対する比率で表した。

プラント規模を500tSWU/年とした評価では、10年運転で、ウラン濃縮原型プラントコストの0.74倍、15年運転で、0.58倍となる。プラント規模を3,000tSWU/年にした場合、10年運転で、0.42倍、15年運転で、0.33倍という結果が得られた。

このサーベイ結果は、ウラン濃縮原型プラントに実現されている技術を用いて、プラント規模を3,000tSWU/年プラントに拡大することにより、濃縮役務生産コストは、200tSWU/年規模のウラン濃縮原型プラントでの役務生産コストの、約0.4~0.3倍になることを示している。ただし、この評価はあくまでも役務生産コストの評価であり、実際の事業では、事業形態によっては、ここでの評価で考慮していない資金調達コストや利益等の考慮が必要であることから、直接的な比較はできないが、この値は国際市場での濃縮役務価格とほぼ同等な値となっている。

次に、この評価結果の特徴について分析した結果を示す。

全体の傾向として、プラント規模と運転期間の延長により役務生産コストは低下する。ウラン濃縮事業は設備投資が大きな事業であることから、事業規模の拡大により生産コストの低減を図ることができる。この点から3,000tSWU/年を超えてプラント規模を拡大することにより、役務生産コストは更に低下する。また、運転期間延長もコスト低減に寄与するが、パラメータとして採用するためには遠心分離機の寿命に対する技術的確認を得ることが必要である。

コストの構造的な特色として、減価償却費割合に着目した評価では、3,000tSWU/年規模のプラントのウラン濃縮機械装置減価償却費の割合は、10年運転時66%、15年運転時56%であった。この割合は200tSWU/年規模のウラン濃縮原型プラントと大差がない。このことからウラン濃縮事業では、プラント規模の拡大や運転期間を延長した場合でも、装置産業的構造が変わらず、この特色が、事業規模拡大が濃縮役務生産コスト低減に大きく寄与するという、ウラン濃縮事業の特性を形成している。

### 2.3 役務生産コスト低減の方策

これまでに述べてきたようなウラン濃縮事業の特徴から、役務生産コストを低減するためには、プラント規模の拡大と、役務生産コストの6割程度を占める減価償却費の低減が最も効果的であることが分かる。中でも、減価償却の大部分を占める遠心分離機導入コストの削減は、役務生産コストの削減のための最重要課題である。

例えば、図7の3,000tSWU/年プラント15年運転のケースを例にとりて考えると、遠心分離機の性能を変えずに取得価格が1/2になるか、逆に、取得価格はそのままで性能が2倍になった場合、遠心分離機の役務生産コストにおける減価償却比率が42%から26%に半減し、役務生産コスト総額は、0.33倍から0.26倍に低下する。

### 2.4 経済性の評価

以上のことから、ウラン濃縮原型プラントに実現している技術の経済性は、次のように評価することができる。

ウラン濃縮原型プラントでの役務生産コストは国際価格と比較して割高となっている。この背景には、ウラン濃縮原型プラント計画時点と比較した時の、近年のウラン濃縮国際市場における濃縮役務価格の低下及び為替市場における円高の進行等の、ウラン濃縮市場を取り巻く外部の経済環境に大きな変化が生じたことを挙げることができる。

例えば、ウラン濃縮原型プラントが計画された1984年と現在を比較すると、濃縮役務市場価格は、135ドル/Kg-SWU<sup>3)</sup>から115ドル/Kg-SWU<sup>4)</sup>と、約20ドル/Kg-SWU、率にして約15%の低下となっている。また、為替レートは、230円/ドル台から110円/ドル台へと大幅な円高に移行している<sup>5)</sup>。その結果、円建ての濃縮役務市場価格は、30,000円/Kg-SWU台から10,000円/Kg-SWU台へと半額から1/3以下に低下している。

ウラン濃縮産業は、装置産業的特色を色濃く持っており、役務生産コストと事業規模(役務処理能力)とは密接に関係している。

このため、ウラン濃縮原型プラントに実現している技術の商業段階における経済性を評価する場合、商業規模の役務処理能力での役務生産コスト

を評価する必要がある。

ウラン濃縮原型プラントに実現している技術を用いて、3,000tSWU/年規模のプラントにより事業を行った場合の役務生産コストは、ウラン濃縮原型プラントの役務生産コストに比べ約0.4~0.3倍程度と推定できる。これは、現状の国際市場における役務処理価格とほぼ同等な値である。

ウラン濃縮原型プラントの運転実績を基にした一連の経済性評価は、役務生産コストに着目した評価であり、資本調達コストや利益等、ウラン濃縮事業の採算性を考えるために必要不可欠な要素を考慮していない。この点から、この評価結果をもってウラン濃縮原型プラントに適用している技術が、現時点において経済的に国際競争力を持っていると評価することはできないが、ウラン濃縮原型プラントの実績により、商業プラントにつながる確かな経済の見通しを得るといふ所期の目的は達成することができたと評価できる。

### 3. おわりに

本報告では、ウラン濃縮原型プラントに適用している技術の経済性について評価した。その結果商業プラントにつながる経済の見通しを得るといふ、ウラン濃縮原型プラントに与えられた所期の目的は果たしたものと評価できる。

これと併せて、約13年にわたるウラン濃縮原型プラントの運営を通して行った経済解析により、ウラン濃縮事業の経済的特徴を明らかにした。

これらの知見から、ウラン濃縮事業では、遠心分離機の性能と価格、信頼性が事業全体の経済性を決める重要な要素になっており、開発費とのバランスを考慮しつつ、遠心分離機の継続的な開発とプラントへの導入の必要性を指摘した。

#### 参考文献

- 1) 杉杖典岳、根本憲伯 他：“ウラン濃縮原型プラントの経済性”，原子力学会「1999春の大会」要旨集
- 2) 日本銀行調査統計局：“主要企業経営分析 平成5年度”日本銀行(1994)。
- 3) 日本原子力産業会議：“原子力ポケットブック1998/99年版”，p.176(1999)。
- 4) Energy Resources International：“原子燃料サイクル供給・価格レポート”，Nuclear Fuel 6, June(1994)。
- 5) 日本銀行金融経済統計資料：“外国為替相場(1)インターバンク相場(東京市場)(米ドル)”(2001)。