

【技術報告】



ウラン濃縮原型プラントにおける技術の 体系化(2) 支援技術

門 一実 中島 伸一 山崎 斉

人形峠環境技術センター 施設管理部

資料番号：10別冊 - 5

Systemization of Technology on the Uranium Enrichment
Demonstration Plants (Support Technology)

Kazumi KADO Shinichi NAKASHIMA Hitoshi YAMAZAKI

Facility Management Division, Ningyo-toge Environmental
Engineering Center

ウラン濃縮原型プラントの運転のなかで行った代表的な支援技術についてまとめた。
13年間という長期間にわたる、ウラン濃縮原型プラントの無停止連続運転や、この間に実施した約
2,000tSWUの役務生産を達成できた背景には、これら支援技術の確立と確実な業務への反映がある。
また、これらの支援技術の経験の多くはウラン濃縮原型プラントに続く、日本原燃(株)六ヶ所
濃縮工場に技術移転されている。

*The support technology systemized by operating a uranium enrichment demonstration plant.
This report describes typical support technology.
The uranium enrichment demonstration plant was able to achieve continuous operation of about
thirteen years and enrichment service of about 2000t SWU due to these technologies.
In addition, these support technologies have been transferred to Japan Nuclear Fuel Ltd.'s Rokkasho
uranium enrichment plant.*

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, 分析, 品質保証, 保障措置, 核物質
管理, 教育, 訓練

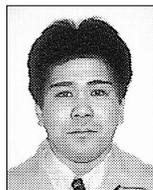
*Uranium Enrichment Business, Uranium Enrichment Demonstration Plant, Centrifuge Method,
Operation Record, Analysis, Quality Assurance, Safeguards, Nuclear Material Control, Education,
Training*



門 一実



中島 伸一



山崎 斉

1. はじめに

ウラン濃縮原型プラントは、ウラン濃縮の事業化につなげる最終段階と位置付けられ、事業化に向けての技術的、経済的見通しを得ることが役割であった。

このため、計画・設計段階で事業化に向けて実証すべき枢要技術の設定や経済性の目標が設定され、建設・運転を通して、これらの目標を実証してきた。

また、約13年にわたるウラン濃縮原型プラント運転の中では、プラントを運転し濃縮事業を行

うために必要な、様々な業務が行われ体系化されている。本報告では、これらの業務の中から支援業務と位置付けられる、以下の3点について紹介する。

製品品質保証技術
 保障措置技術
 教育システム

2. 製品品質保証技術¹⁾

ウラン濃縮原型プラントにおける分析業務は、製品品質分析と工程管理分析に大別できる。

製品品質分析は、顧客である電力会社との濃縮役務契約に基づいて生産された製品濃縮ウランについて、表1に示した米国エネルギー省（以下、DOE²⁾）の規格に沿った、ウラン含有率（純度）・濃縮度・不純物等について分析している。

製品品質分析は、品質保証が目的であることから信頼性が要求される。このため、使用する機器、機器の校正方法、標準試料、分析操作及び分析データの評価方法等に至るところまで、きめ細かく規定されている。中でも不純物分析等の湿式分析操作については、分析結果の信頼性を維持するために、試料間のバラツキの評価や検量線の作成、標準試料を添加しての化学収率の検定を同時に行う分析方法を採用している。

また、分析データについては、ISO等の規格³⁾に準拠した品質保証システムを確立し、これを適用している。

一方、工程管理分析は、カスケードで生産される製品濃縮度の確認等に代表される、ウラン濃縮原型プラントの運転と直結した分析で、精密分析である製品品質分析と比較すると、正確さよりも迅速な分析が優先される。仮に分析データにある程度の偏りがあっても、偏りの程度が明らかで、一定のスペックを満足していれば実用上は特に問題とはならない。ただし、これらは製品品質分析と比較した場合の相対的な特徴であり、工程管理分析といえども、分析結果に対する精度・正確さを保証するための厳しい管理体制の整備が求められている。

ウラン濃縮原型プラントにおける代表的な工程管理分析には、四重極型質量分析装置（以下、Qマス）を用いた濃縮度分析がある。この分析は、オンライン・リアルタイムでウラン同位体比を測定するもので、カスケード設備での濃縮度管理の基礎データとして使用される。

また、臨界管理、廃水管理等のための分析も工程管理分析に求められる重要な役割である。

表1 DOEのUF₆規格

分析項目	基準値	単位
UF ₆ 純度	99.5	Wt%
ハロゲン化合物	0.1	mol%
熱中性子吸収物ホウ素当量換算	8	μg/g U
不揮発性フッ化物	300	μg/g U
Al		
Cl		
Cu		
Fe		
Pb		
Mg		
Mn		
Ni		
Ag		
Sn		
Zn		
Ba		
Li		
Na		
K		
Ca		
Bi		
Sr		
Th		
Zr		
Sb	1	
Br	5	
Cl	100	
P	50	
Si	100	
Nb	1	
Ru	1	
Ta	1	
Tl	1	
Cr	(1500)	
Mo	(200)	
W	(200)	
V	(200)	
U234	—	
U235	—	
U236	—	
U238	—	
Uラン同位体		Wt%
B	—	
Co	—	
In	—	
Be	—	
Eu	—	
Gd	—	
Sm	—	
Dy	—	
その他の不純物		μg/g U

本章では、ウラン濃縮原型プラントで行っている分析業務の中から、製品品質分析を中心とした品質保証の取組について以下に紹介する。

2.1 分析手法の管理³⁾

ウラン濃縮原型プラントで生産された濃縮ウランは、表1に示すウラン含有率、濃縮度、不純物等の項目について分析を行っている。

(1) ウラン含有率分析

ウラン含有率は、UF₆を熱加水分解により八酸化三ウラン（以下、U₃O₈）に変換し、ウランとそれ以外の物質の重量から求められる。したがって、分析試料の管理と天秤の測定精度が直接分析値に影響を与えることから、システム誤差の低減対策として、分析試料の厳密な管理、天秤の校正を行っている。また、ランダム誤差対策としては、繰返し測定を行い、総合的信頼性を高めている。

(2) 濃縮度分析

濃縮度分析は、濃縮役務契約書に定める契約濃縮度を保証するためのものである。このためには、分析誤差が契約上で許される誤差範囲よりも十分小さい必要がある。このため、正確度 ±

0.02wt% (3) という厳しい自主管理基準値を設定し、この値を維持できるよう、日常の管理を行っている。

測定には、単収束磁場偏向型質量分析計(以下、ガスマス)を使用し、1試料当たり10回の繰返し測定を行い、その結果を統計処理し分析値を求めた。また、測定機器の校正についてはDOE及びIRMM等の公的機関で認定を受けたUF₆標準ガスを標準試料として使用している。

(3) 不純物分析

不純物分析は、イオン交換分離法、溶媒抽出法等の前処理によりウランと目的元素とを分離した後、高周波誘導結合型プラズマ発光分光分析装置(以下、ICP-AES)及び吸光光度計を用いて定量している。

本分析においても、米国環境保全庁(EPA)及び通商産業大臣の認定を受けた金属標準液を用いて機器の校正、検量線の作成を行い、信頼性を確保している。

不純物分析の品質管理では、サンプリング及び使用するガラス器具等からのクロスコンタミの防止が重要となる。このため、分析試料のサンプリングは均質設備において行われ、約2tの製品をシリンダ内で密封状態のまま加熱することによりウランを液化し、熱対流による均質化を行った後、約500g程度を専用のシリンダを介して、分析用のダイフロン製チューブに抜き取る。

使用するガラス器具等のクロスコンタミについては、酸洗浄 超音波洗浄 ブラッシング 純水洗浄の4段階の洗浄により防止している。

以上のように、分析値の信頼性を維持するために、分析手法だけでなく、サンプリング方法や使用する器具の管理等を含めた品質管理を行っている。

2.2 分析手法の改善

ここでは、製品品質分析である不純物分析手法の改善について示す。

不純物分析の分析対象元素は、不揮発性フッ化物や揮発性フッ化物等、42元素が対象となる。

ウラン濃縮原型プラントの運転開始当初の不純物分析手法は、原子吸光光度法、吸光光度法等を用いた単元素・単分析法を採用しており、分析対象元素ごとに異なった前処理操作が必要であった。このため、1試料当たりの分析所要時間が長く、コスト的な観点からも効率が悪かった。

また、一部の元素については機器の測定感度が低い等の理由から、必要な分析試料量が多く廃棄物発生量の増加等の問題があった。

そこで、従前の分析手法で問題となっていた点を改善し、前処理が簡便で分析時間が短い分析手法の検討を行った。その結果、分析手法の改善に当たっては、以下の特徴を有するICP-AESを選定した。

多元素同時定量が可能である。

高感度測定が可能で測定精度が高い。

高分解能で妨害元素(主にウラン)の影響が少ない。

ICP-AESの運用に当たっては、高周波出力、トーチ高さ、キャリアガス流量等のパラメータについて、元素ごとに測定条件を設定し、得られた測定条件を基に、測定対象元素ごとの測定波長及び妨害元素の影響を確認しつつ、最適条件を決定した。

このような事前検討結果に基づき、測定時の最適条件を設定することができ、実際の分析では測定波長のみを任意に変換することで、一つの試料から多元素同時定量を行うことが可能となった。

前処理としては、ウランを分離することは無論、処理過程において分離効率を低下させるフッ素の除去が必要となる。

前処理方法として一般的に用いられる、イオン交換分離法、溶媒抽出法及び沈殿分離法について、分析対象元素の特性を生かした分離法の適用性を確認するとともに、操作性、分離効率、廃棄物発生量等を総合的に評価し、イオン交換分離法を選定した。

イオン交換分離法は溶媒抽出法に比べ、多少分離時間が長くなるが、操作が簡便で一回の操作で多元素を分離ができるという特徴を有している。分離時の酸濃度、流速及び液量を確認する程度で、ほとんどの元素について8割以上の回収率を得ることができた。

ICP-AESを採用したことにより、従来、原子吸光光度法等により定量していたNa等のアルカリ金属をはじめとする28元素の同時定量が可能となったほか、表2に示すように、定量下限値、分析精度も向上した。

また、分析時間及び試料量は従来 $1/3$ 程度に、廃棄物発生量は $1/3$ 程度に低減でき、表3に示した当初の目的を満足できる分析手法の改善が図られた。

2.3 その他の分析手法の開発

(1) 製品品質分析

1996年から実施された回収ウラン実用化試験に対応する必要性から、回収ウラン特有の不純物である、U₂₃₂・核分裂生成物(以下、FP)、超ウラ

表2 定量下限値と分析精度の比較

元素名	改善前		改善後	
	定量下限値 (mg/ml)	分析精度 (C.V.%)	定量下限値 (mg/ml)	分析精度 (C.V.%)
B i	2.5	16	0.1	3
T h	1.0	15	0.1	4
B a	2.5	10	0.1	2
C a	2.5	12	0.5	3
N a	2.5	13	0.5	2

C.V.% = 変動係数

表3 分析時間, 試料及び廃棄物発生量の比較

項目	改善前	改善後
分析時間	350時間/件	210時間/件
試料量	150gU/件	50gU/件
廃棄物発生量	3.50/件	1.50/件

ン元素（以下、TRU）の分析手法の開発を行った。

回収ウラン中のFP・TRU等の不純物は、その含有率が極めて微量であるため、分析感度の高い放射能分析法により定量する方法を採用した。分析においては、信頼性を保証するための対策として、分析試料とあらかじめトレーサを添加した標準試料とを同時に並行分析することで、その都度分析操作の回収率を補正する方法を採った。

(2) 工程管理分析

カスケード設備での製品濃縮度管理を円滑かつ効率的に行うため、Qマス装置に、自己診断型自動測定シーケンスを導入し、夜間・休日等の無人運転時の測定値の信頼性向上を図った。また、系統内のHF濃度測定法の開発を行い、臨界管理上重要なH/U235について核的制限値の確認を行った。

さらに、フッ化ナトリウム（NaF）等のウラン吸着剤について、核燃料物質の計量管理及び臨界管理等を適正に行うため、放射能分析法を用いて濃縮度測定を行う方法を開発した。

2.4 分析保証システム

試料を分析した結果が、濃縮役務契約書により定められているスペックを満足しているか否かは、一連の分析工程が適正に行われたことが保証されて初めて判定することができる。

このことを保証するためのシステムが図1に示す分析保証システムである。このシステムは、校正等により定められた精度が保証されている分析機器により分析された値を、図2に示すX-R管理図により管理し、異常が認められた場合は、図1の分析保証システムのフロー全体を調査し、分析結果の妥当性を総合的に保障するという考え方で構築されている。ウラン濃縮原型プラントでは、

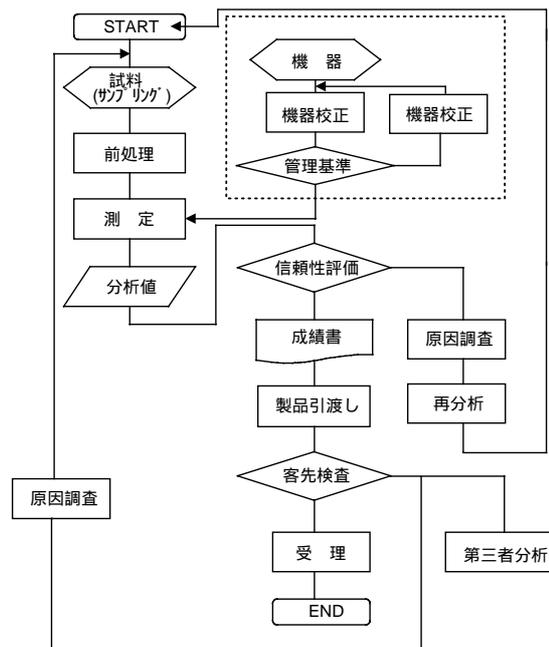


図1 分析保証システム

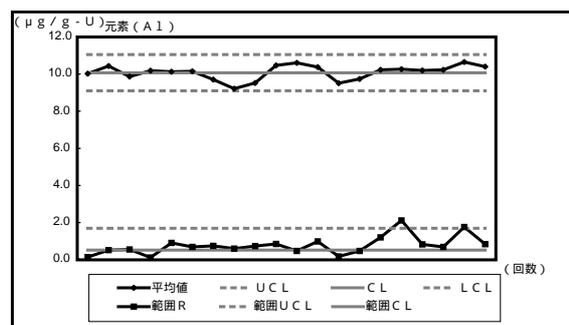


図2 X-R管理図

この分析保証システムをすべての分析に適用している。

2.5 品質保証技術の評価

ウラン濃縮原型プラント約13年間の運転の中で生産されたすべての製品について、前述したすべての分析を行っている。この実績と、この間の経験を集約した分析技術の体系は、サイクル機構内外で高い評価を得ている。

3. 保障措置技術⁴⁾

ウラン濃縮施設は核兵器転用の可能性の高い施設であることから、保障措置上重要な位置を占めている。一方、核不拡散条約(NPT)発足当時、世界中の遠心法ウラン濃縮施設は、機微情報の拡散防止の観点から、IAEAの査察に対して査察活動場所を限定し、遠心分離機が設置された場所（以下、カスケード設備）への立ち入りを拒否していた。このため、カスケード設備の改造行為等の未

申告活動を監視・防止できないことが問題視されていた。

この状態を解消させるため、1980年から2年間にわたり、遠心法ウラン濃縮に関する6団体〔日本、米国、オーストラリア、トロイカ（英、独、蘭）、IAEA、ユーラトム〕による協議（以下、HSP）が行われ、遠心法ウラン濃縮施設に適用できる査察手法が考えられた⁵⁾。

ウラン濃縮原型プラントに対する保障措置は、HSPの結論に基づき、将来の大型濃縮施設に適用できる保障措置システムの確立を念頭に置いて、1988年のDP運転開始から導入された。

本章では、ここに至る簡単な経緯と、ウラン濃縮原型プラントに適用されている保障措置システムの概要について紹介する。

3.1 HSPの結論

HSPは遠心法ウラン濃縮施設の保障措置システムとして、以下の2項目を目的とした検認が必要であるとの結論を出した。

申告値どおりに核物質が移動し、また在庫が存在することの検認

施設が申告した最高濃縮度（ウラン濃縮原型プラントの場合は5%）の範囲内で核物質を生産していることの検認

これらの具体的な査察検認手法として、前者については従来型の核物質の在庫及び移動の検認手法を適用し、後者については新たに以下に示す手法が考案された。

3.2 新査察検認手法

(1) 頻度限定無通告査察（以下、LFUA）

査察官が無通告でカスケード設備に立ち入り、目視検認により、配管組替え等の改造の有無を検認する査察手法で、査察官をHSP参加国出身者に限定することにより機微情報の拡散防止を図る。

(2) 配管濃縮度モニタによる最高濃縮度の検認⁶⁾

配管濃縮度モニタは、カスケード設備から製品濃縮ウランを抜き出す配管内を流れるUF₆の濃縮度を計測するもので、計測原理を図3に示す。配管内部を流れるUF₆からはウラン同位体に対応した固有のエネルギーを持つ線が放射されており、この線を半導体（Ge）検出器により計測し、線エネルギーを解析することにより濃縮度を求めるものである。

測定装置は図4に示すとおり、Ge検出器、マルチチャンネル波高解析装置、データ処理用パソコンにより構成されている。

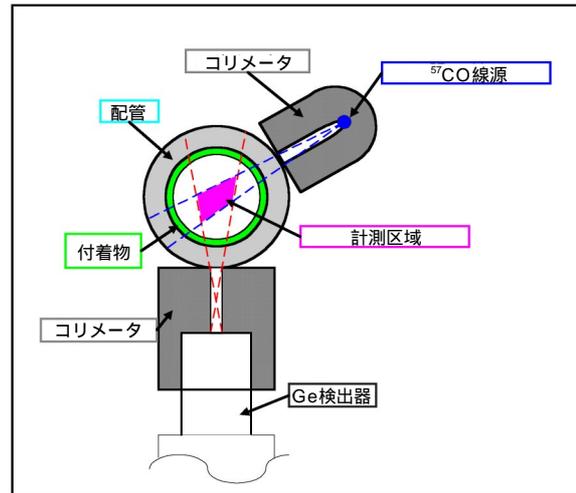


図3 配管濃縮度モニタの計測原理

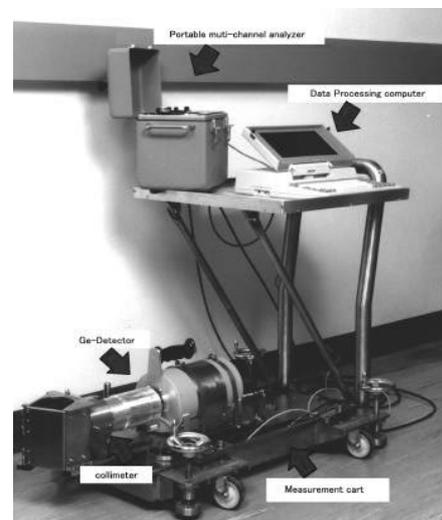


図4 配管濃縮度モニタ構成図

3.3 ウラン濃縮原型プラントにおける保障措置システムの特徴

ウラン濃縮原型プラントにおける保障措置システムは、HSPの結論に基づき、LFUA及び配管濃縮度モニタによる最高濃縮度の検認手法を導入するとともに新たに、費用対効果の優れた以下に示す新手法を取り入れて設計された。

(1) 「ウランバランス法」によるMUF評価

核物質の隠匿、盗取等による転用の有無を検認する方法として、核物質の実在庫調査により得られる実在庫量と帳簿在庫量の在庫差（以下、MUF）を評価する。

MUFは核分裂性物質質量で評価されるため、ウラン取扱施設の場合、ウランの同位体の中のU²³⁵量を個々の測定対象物ごとに測定し、U²³⁵量の物質収支を取り、MUF評価を実施することが一般的である。このため、U²³⁵量の把握に当

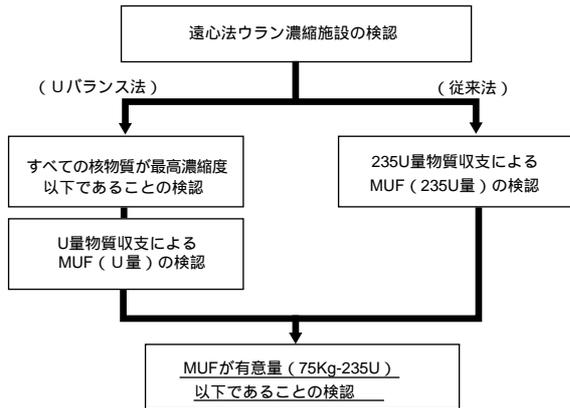


図5 Uバランス法と従来法

表4 DP査察実績

実施年	1988	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000	平均
通常査察	10	10	11	10	10	10	11	12	10	10	10	11	11	10.5
LFUA	5	5	6	6	7	6	6	6	7	5	5	6	6	5.8
PIT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
その他	8	1	5	4	5	1	1	2	4	3	5	9	6	4.2

その他：配管モニタ，DAサンプリング等による最高濃度の検認 単位：回

たっては精度の高い測定が要求される。

また、大量に核物質を取扱う大型施設の場合、劣化ウラン中に含まれるU235量測定精度によりMUFが大きく変動する可能性がある。

これらの問題点を改善する方法として「ウランバランス法」を考案した。これは、施設で使用される核物質がすべて申告された最高濃縮度以下であることを、非破壊検査（以下、NDA）等の方法により検認しておくことを前提とし、MUFの評価は、ウラン全体のバランスから求める。こうして求めたウラン全体のMUFに申告した最高濃縮度を乗ずることにより、U235量を求める手法である。

「ウランバランス法」はU235量の把握を測定対象物ごとに実施する必要がないことから、設備・運転の効率化が図れるという利点を有する。従来のMUF評価手法と「ウランバランス法」による手法との比較図を図5に示す。

(2) 「操作中の在庫調査」による在庫調査

ウラン濃縮施設では、1年に1回の頻度で核燃料物質の在庫調査（以下、PIT）を実施することが必要がある。

ウラン濃縮原型プラント以前の施設では、施設の運転を停止してPITを実施し、すべての核物質を計量し在庫量を確定していた。

しかし、ウラン濃縮原型プラントは「連続無停止運転」の実証を目的としていたことから、運転を停止せずに在庫調査を実施する方法の確立が

求められていた。

このため、ウラン濃縮原型プラントでは、ウランの発生から回収までの一連のプロセス機器を評価時点で一斉に切替え、それぞれの機器に存在するウラン量を評価する「操作中のPIT」手法を適用した。

「操作中のPIT」では、PITに際してIAEA及び国による検認（以下、PIV）が必要であり、具体的には以下の検認を受けている。

事前検認(Pre - PIV)

一斉切替後に使用する供給原料UF₆の重量等を検認する。

PIV

一斉切替状況を検認する。

事後検認(Post - PIV)

一斉切替後、回収したUF₆及びPIV時に検認できないUF₆を検認する。

3.4 保障措置実績

ウラン濃縮原型プラントで実施された査察実績を表4に示す。ウラン濃縮原型プラントでは以下の4種類の査察が行われた。

通常査察：平均10回/年

月ごとの核物質の移動，生産を検認する。

LFUA：平均6回/年

頻度限定無通告査察

PIV：平均1回/年

核物質の在庫検認

配管濃縮度モニタによる最高濃縮度検認

平均3.5回/年

3.5 査察の有効性評価

ここでは、HSPの結論に基づいて導入されたウラン濃縮原型プラントの保障措置システムが、遠心法ウラン濃縮施設における、核兵器への核物質の転用活動の監視及び防止手法として、十分な適応性を有しているか評価した。

(1) 評価の前提条件

転用活動に対する査察の有効性を評価するため、ウラン濃縮原型プラントにおける核兵器への核物質の転用シナリオを以下のように設定した。

シナリオ1：カスケード改造

配管を組替える等の改造をカスケード設備に施して、高濃縮ウランを生産する。

シナリオ2：繰返し濃縮

カスケードを改造せずに、一定量の濃縮ウランが生産できたところで、この濃縮ウランを原料ウランとして再度供給する。これを繰り

返すことで高濃縮ウランを生産する。

(2) 転用期間のシミュレーション

上記のシナリオに対し、ウラン濃縮原型プラントのプラント規模及び遠心分離機的能力から、核兵器に転用可能な高濃縮ウラン25kgU235が生産可能かをシミュレーションにより求めた。

その結果、両シナリオとも、ウラン濃縮原型プラントを使って高濃縮ウランの生産が理論的には可能であるとの結果が得られた。

(3) 有効性評価

ウラン濃縮原型プラントで実施された転用活動に対する査察手法の中で、LFUAは上記のシナリオ1に対し、また配管濃縮度モニタはシナリオ2を防止するための手段として導入された。

それぞれの実施実績は、表4に示すとおり、LFUAが平均6回/年、配管濃縮度モニタによる検認が平均3.5回/年であるが、LFUAは未通告査察であること、また、配管濃縮度モニタによる検認の機会、すべての査察実施時(平均21回/年)に与えられていることから、これらの手法により、ウラン濃縮原型プラントにおける転用活動抑止効果は十分であったことが評価できる。

3.6 保障措置技術の評価

HSPにより開発された遠心法ウラン濃縮施設に対する保障措置手法は、ウラン濃縮原型プラントに最初に導入された。現在では、HSPに参加したすべての国の商業濃縮プラントにおいても適用されており、核不拡散を担う査察手法として評価されている。

国内においても、日本原燃(株)六ヶ所商業プラントの操業に際して、ウラン濃縮原型プラントに適用した保障措置手法を基本としたシステムが導入された。

この点から、ウラン濃縮原型プラントにおいて保障措置技術の実用性と信頼性が実証されたことは、遠心法ウラン濃縮施設の核拡散防止に大きく貢献している。

4. 教育システム

ウラン濃縮原型プラントが約13年間の連続無停止運転を達成できた背景については、設計段階での様々な工夫や、運転段階での改善、新技術の導入等と併せて、プラント運転や保守、支援業務に携わった組織と要員の資質が寄与している。

本章では、この組織と要員の資質の向上に重要な役割を果たした、教育システムについて紹介する。

4.1 運転教育の必要性

ウラン濃縮原型プラントが運転を開始した、1988年当時の運転体制は、職員3名、業務協力員2名、日本原燃(株)の研修生1名の計6名を1班とした、三交替勤務体制であった。この時の職員の多くは、先行するパイロットプラントの運転経験とウラン濃縮原型プラントの建設業務経験を有していた。この経験から、運転開始前には運転マニュアルを自ら作成することができる程度の技術レベルにあった。

一方、2名の業務協力員については、2年程度の従事要員が入れ替わっており、随時、運転教育を行う必要があった。また、日本原燃(株)の研修生についても、ウラン濃縮プラントの運転経験が少ないことから、運転教育が必要であった。

4.2 原型プラントの運転教育

ウラン濃縮原型プラントの運転教育は、OJT教育を中心として、これに運転教育用シミュレータを使った教育を加えて体系化している。

(1) OJT教育

OJT教育は、ウラン濃縮原型プラントの概要や関連法規・基準等の説明と、定常運転時の基本的な操作方法の指導を中心として実施した。

OJTの実施は、教育を受ける側の運転技術の向上と併せて、指導員である運転主任者の知識の再確認という副次的な効果をもたらした。

(2) 運転教育用シミュレータによる教育訓練

運転教育用シミュレータによる教育は、OJTでは経験することが難しい停電等の異常事態への対処訓練を中心として実施した。

また、運転教育用シミュレータは実際のウラン濃縮原型プラントの中央操作室を模擬して作られていることから、定常的な運転業務の多くを疑似体験できる。このような特性を生かして、運転教育用シミュレータによる運転教育は、新人コースと既従事者コースに分け、次のようなカリキュラムにより行った。

新人コース1：初心者を対象にした2週間教育

- ・ プラントの構成、用語と実物との対応
- ・ 機器単位での基本運転操作の習得
- ・ 計測器の取扱方法の習得

新人コース2：新人コース1終了後に半年間の運転業務に従事した者を対象にした2週間教育

- ・ 設備単位での基礎運転操作の習得
- ・ 異常時の対処操作の習得

既従事者コース：運転班単位で2日間教育(5カ月に1回)



図6 運転教育用シミュレータによる教育

- ・ 異常時における役割別対処操作の習得
- ・ 運転監視設備の保守点検技術の習得

図6に運転教育用シミュレータによる教育の様子を示す。

4.3 運転教育の効果

プラントが安定して運転されている状態の時運転員が行う操作は、定常的に行う極一部の操作に限られる。このような状態が長期間継続すると、頻度の少ない操作やプラントに異常が発生した場合の対処に対して、運転員は不安を持つようになる。運転教育用シミュレータを使用した定期的な運転教育は、このような運転員の精神的負担を軽減する上で、極めて有効な手段であった。

また、ウラン濃縮原型プラントでは、運転実績から得られた機器やプラントの特性解析結果を基に、運転操作方法の改善を随時行っている。

このような改善活動の中で、プラントの運転マニュアルの見直しは、ウラン濃縮原型プラントの設備に直接影響を及ぼすことから、安全で確実な方法であることが十分に確認されなければ実施することはできない。そこで、運転教育用シミュレータを使って、操作の安全性と確実性を確認し、

併せて、新しいマニュアルについて十分な事前教育訓練を行った後、実際にプラントに適用している。

教育・訓練は、基本的に運転班単位で実施しており、これにより、グループ員の運転技術レベルを運転主任者が把握できるほか、班員の役割分担が明確になり、実際の運転業務での作業指示がより適切にできるという効果が得られた。

運転員を中心とした教育訓練が、ウラン濃縮原型プラントの連続無停止運転達成に大きな役割を果たしたといえる。

5. おわりに

本報告では、ウラン濃縮原型プラントの運転の中で行った代表的な支援技術について紹介した。

約13年間という長期間にわたる、ウラン濃縮原型プラントの無停止連続運転や、この間に実施した約2,000tSWUの役務生産を達成できた背景には、これら支援技術の確立と確実な業務への反映がある。

また、これらの支援技術の多くは、ウラン濃縮原型プラントに続く日本原燃(株)六ヶ所濃縮工場に技術移転されている。

参考文献

- 1) 山崎 育, 塚根健一 他: “ウラン濃縮原型プラントの製品品質保証システムの確立”, 原子力学会「1999春の大会」要旨集
- 2) ANNUAL BOOK of ASTM STANDARDS, Vol.12.01, Nuclear Energy, ASTM, C761-95, C787-90JIS Z8402
- 3) JIS Z8402 分析・試験の許容差通則, 日本規格協会 JISZ9041 測定値の処理方法, 日本規格協会 ISO9001(1994). ISO9003(1994).
- 4) 中島伸一, 山本文雄 他: “ウラン濃縮原型プラントにおける保障措置手法の実証”, 原子力学会「1999春の大会」要旨集
- 5) 諸根正年 他: “工場別の考慮を含む遠心法濃縮工場に適應されるLFUAモデルの査察活動”, HSP(1983).
- 6) 秋葉光徳 他: “Development of the Enrichment Monitor on UF₆ Pipelines”, JASPAS support program for Agency safeguards, Task No.6 (A-315)(1995).