



遠心法ウラン濃縮施設における 計量管理手法の検討

秋葉 光徳 尾前 昌義

人形崎事業所ウラン濃縮試験工場

資料番号：56-11

A Study of the Material Accountancy Procedure
at the Gas Centrifuge Enrichment Plant

Mitsunori Akiba Masayoshi Omoe
(Uranium Enrichment Pilot Plant,
Ningyo Toge Works.)

遠心法ウラン濃縮施設の計量管理手法において、従来の ^{235}U に基づく物質収支（ ^{235}U バランス法）から U に基づく物質収支（ U バランス法）への変更について検討した。ヘキサバータイトセーフガードプロジェクトの結論、NPT保障措置協定、計量管理能力及び計量管理に伴う作業量等を考慮した時、 U バランス法が費用対効果の優れた計量管理手法となることが期待できる。

Key Words : IAEA, Safeguards, GCF, Uranium Enrichment, Material Accountancy, HSP, INF CIRC/153, MUF.

1. はじめに

ヘキサバータイトセーフガードプロジェクト（HSP）の結論を踏まえた、人形崎ウラン濃縮試験工場のFA（施設付属書）交渉は、1年余りの検討の後、昭和60年2月にその最終合意を見、同年9月よりカスケード室への頻度限定無通告立ち入りを含む通常査察が、同工場において実施されることとなった。

前記FA交渉において日本側は、IAEAの検出目標を満たすための計量管理手法として、従来の ^{235}U に基づく物質収支（ ^{235}U バランス法）から、費用対効果の優れた U に基づく物質収支（ U バランス法）への変更を提唱した。

この U バランス法は、全てのウランが申告された濃縮度の範囲内であることに着目した手法であり、この条件の下では、劣化・濃縮ウランを問わず、全てのウランの濃縮度の精密測定が不要となる可能性が考えられる。これは費用対効果の点で、極めて優れたアプローチとなることが明らかであるため、FA交渉において日本側は U バランス法を強く主張してきた。しかし、「現状のFAに記述された程度の査察活動では、 ^{235}U バランスをとること無しに長期

間に亘って、全てのウランが申告された濃縮度の範囲内であることを検認することは出来ない」とするIAEAの見解を尊重し、日本側は人形崎ウラン濃縮試験工場では ^{235}U バランス法を受け入れることで合意した。

しかしながら、将来の1500tswu/y程度の商業プラントにおいて ^{235}U バランス法を適用することは、多大の費用を伴うことが確実であることから費用対効果の優れた U バランス法の適用が強く望まれる。本報告は、保障措置上の有効性及び核燃料サイクル上の要件から、費用対効果を考慮し、 U バランス法適用の可能性を検討したものである。

2. IAEA探知目標

保障措置の手続きの目的に従い、IAEAは低濃縮ウラン及び高濃縮ウランに対して有意量、探知確率及び探知時間を表1の如く定量化し、目標としている。これらの目標は保障措置手法の設計及び査察目標の確立における指標として用いられている。

3. Uバランス法適用可能性についての検討

表1 探知目標

	低濃縮ウラン (<20%)	高濃縮ウラン (≥20%)
有 量	75 kg	25 kg
保 障 指 定 の 費 用 対 素	含有されているウラン 235	含有されているウラン 235
探 知 目 標	75kg ²³⁵ U又は1500kgU	25kgウラン又はウラン 235
探 知 確 率	第1種の過誤 $\alpha = 0.05$ 第2種の過誤 $\beta = 0.05$	同 左
探 知 時 間	1年のオーダ	1~3週間

これまで、有意量即ち含有される75kg²³⁵Uの検認は、²³⁵Uバランス法が一般的であった。しかしながら、

1. H S Pの結論

2. 計量管理能力

3. N P T 保障措置協定等

4. 計量管理に伴う作業量

等を考慮した時、Uバランス法が費用対効果の優れた計量管理手法となることが期待されるため、ここにその適用可能性について検討した。

3.1 H S Pの結論

H S Pで議論されて来た遠心法ウラン濃縮施設における査察活動は次の二つに分類できる。

1. 核物質が申告通りに流れ、在庫が申告通りであることの検認

2. 物質の生産が、申告された濃縮度の範囲であることの検認

即ち、カスケード室内に必要な回数、無通告に立ち入り必要な査察活動を行うことによって、すべてのウランは申告された濃縮度の範囲であることが検認されると考えられる。たとえ濃縮施設と言えども、申告値以上の濃縮ウランを生産することは、原理的には可能であっても実際には容易なことではないことは十分認識されるべきである。

3.2 計量管理能力

計量管理能力は、物質収支を閉じる際に期待される測定の不確かさ、 σ_{MUF} に関連する。ここでUバランス法と²³⁵Uバランス法との軽用探知能力を比較する。

%) 以内であるという条件の下では

i) $\sigma_{MUF} \times 0.05$ (Uバランス法)

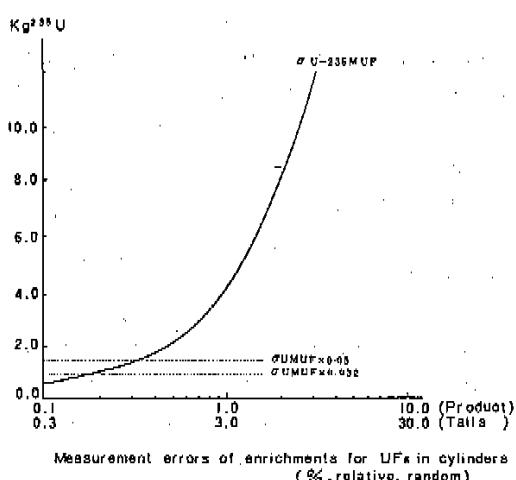
ii) $\sigma_{U-235MUF}$ (²³⁵Uバランス法)

を比較すれば良い。

ウラン濃縮試験工場は1979年より I A E A 特定査察を受け入れている。この間に経験した計量管理に関する測定技術の精度を表2に整理した。これらのデータに基づいて σ_{MUF} を計算したものが図1である。明らかに次のことが言える「計量管理能力は高精度に濃縮度を測定して²³⁵Uのマスバランスを計算しても、Uバランス法の倍程度にしか上がらない。」又、Uバランス法であっても1500tswu/y程度までは1 SQ以下の²³⁵U探知が可能であろう。

表2 計量管理に関する測定精度

シ リ ン ダ	供給シリンドラ数 = 60本		
	平均 値	ランダム誤差	系 統 誤 差
全 量	2800.0 (kg)	0.500(kg)	0.250(kg)
風 袋 量	640.0 (kg)	0.500(kg)	0.250(kg)
純 度	67.585(%)	0.030(%)	0.015(%)
	濃 縮 度 (%)	ランダム誤差 (% ,Relative)	系 統 誤 差 (% ,Relative)
供給シリンドラ	0.7110	0.1000	0.0500
製品シリンドラ	3.2000	変 数	変 数
廃品シリンドラ	0.2500	変 数	変 数
そ の 他		全 誤 差	全 誤 差
		(kg-U)	(kg- ²³⁵ U)
	期 初 在 庫	6.6	0.06
	期 末 在 庫	6.6	0.06
測 定 清 廃 累	6.2	0.10	



3.3 NPT保障措置協定等

NPT保障措置協定第98条の「バッチ・データ」の定義に於いて、劣化ウランは総重量のみを計量するところである。従ってこの場合は²³⁵Uのマスバランスは計算不可能である。これからすべての施設に対して必ずしも²³⁵Uバランス法が要求されているわけではないことが伺える。

ただし、補助取扱には統一ウランのコードがある。必要に応じて、統一ウランコードを使用した場合には、劣化ウランと併せて²³⁵U量を計量することとなり、²³⁵Uバランス法が可能となる。

一方国内の国際規制物質の使用に関する規則によれば在庫変動報告書に記載すべき量として劣化ウランは総重量のみであり、統一ウランコードは規定されていない。この場合、²³⁵Uバランス法は適用できない。

3.4 計量管理に伴う作業量

Uバランス法と²³⁵Uバランス法の測定上の著しい相違はウランの濃縮度測定精度にある。特に大量に発生する廃品シリンダ内UF₆の濃縮度測定方法が作業量を最も大きく左右するものである。従って、廃品シリンダ内UF₆の濃縮度測定方法について検討すると、

- ・平均濃縮度 …… 0.25 (%)
- ・濃縮度の変動幅 …… 約±10% (relative)
- ・²³⁵Uバランスにおける必要な濃縮度測定精度 …… ±1%

(製品、供給シリンダの濃縮度測定精度を
0.1%と仮定した場合)

であることから、考えられる濃縮度測定方法として

- ① 廃品シリンダ内UF₆を液化均一化後、サンプリングをして質量分析器にて測定する。
- ② コールドトラップよりシリンダへUF₆を回収する時に適宜ガスサンプリングし質量分析器にて測定する。
- ③ コールドトラップへUF₆を捕集中、その前より適宜ガスサンプリングをし質量分析器にて測定する。

があるが、いずれにおいてもそれぞれ、以下の問題点を含んでいる。

- ① プロセス管理上日本の将来プラントに於いて、廃品シリンダ内UF₆を均一化し、サンプリングを行う計画は考えられない。

② 未だテスト段階であり、多くの技術的難しさがあることが分かっている。又将来プラントにおいてはコールドトラップは省略されて、UF₆は直接シリングへ回収されることとなろう。その場合この方法は適用できない。

- ③ 1シリングを代表する濃縮度のサンプルを取る頻度が重要である。仮にMUFが大きく発生した場合を考慮し、再測定が可能な技術的手段でなければならない。

以上のように、廃品シリンダ内UF₆の濃縮度を1%又はそれ以上の精度で測定することは、多大の作業及びそれに伴う設備を必要とする。又、プロセス管理上からこれだけの精度で廃品濃縮度管理を行う必要性はほとんど考えられない。

現状では天然ウランのみが供給されている。しかしながら将来プラントにおいては、天然以外のウランが供給される可能性は十分ある。この場合供給シリンダ内UF₆の濃縮度もすべて0.1%程度で検認することが不可欠であり、これは大変な作業量を必要とする。

製品シリンダ内UF₆の濃縮度にしても、燃料加工工場側の要求精度は1%前後であろう。将来の商業プラントにおいて、プラント管理、製品管理上0.1%の高精度を要求があるとは考え難い。

一方Uバランスにおけるシリンダ内UF₆濃縮度測定作業は、申告値5%以下であることを検認すれば良く、これはGe検出器を用いたNDA技術で十分である。測定は極めて迅速且つ安価である。

4. 結論

計量管理能力、費用対効果等を考慮した場合、1500 tswu/y程度までの低濃縮ウラン施設における核物質計量管理はウランを基本としたもので十分保障措置上の目的が達成できると判断される。この時すべてのウランが申告された濃縮度の範囲内であることの検認が非常に重要な要素となる。従って本要件をより効率的に検認できる技術的手段の開発が強く望まれるところである。HSPの技術レポートによれば“HSPの結論が出た後で、技術保有国が提供する追加情報又はデモンストレーションを考慮して更に練り直す必要があるかもしれない。”とある。今後は技術開発状況と合わせて計量管理手法の検討を進めていく必要があろう。