核物質管理技術と保障措置

—平和利用核燃料サイクルからの軍事転用防止—

■ I. 保障措置技術の現状と問題点

大 島 恵 一 (東京大学工学部原子力工学科)

■ II. 再処理施設の核物質管理

中島健太郎 (動力炉・核燃料開発事業団再処理部)

■ III. 保障措置システム

鈴木 篤 之 (東京大学工学部原子力工学研究施設)

I. 保障措置技術の現状と問題点*

大 島 恵 一**

核燃料物質の非平和利用目的への転用を防止するための保障措置については、核兵器不拡散条約 (Non-Proliferation Treaty of Nuclear Weapons=NPT) を巡る新聞・テレビなどの論議を通じて、いまや原子力界以外の人達にも知られるようになった。NPT に査察条項があり、それに伴う国際原子力機関による保障措置制度如何によっては、産業機密の漏洩等により原子力産業の健全な活動・発展が阻害されるかも知れないという危惧が免れなかったからである。特に、非核保有国の中で最大の原子力産業規模を誇る日本にとって、保障措置制度による監視の眼が最も厳しいものになることは、当然予想された。

このため、日本は、条約署名当初から、保障措置の平等、核保有国への適用、費用対効果の原則による合理性、各国核物質管理制度の活用、産業機密の漏洩その他産業活動の阻害の防止などを、条約批准の実質的前提条件として要求し、その後も、これらの要求を国際原子力

機関における 10 数回の専門家会議や保障措置委員会を通じて繰り返し主張してきた。その結果、現在の保障措置モデル協定において、原則的にはこれらの主張がほとんど盛り込まれるに到っている。産業機密にかかわる分野への立ち入り拒否、査察頻度の制約、核物質国内管理制度の優先、査察における統計的手法の適用等の原則が協定案にいれられているのは、これらの主張が認められた結果である。

しかしながら、実際の保障措置の適用に当って、このような原則が守られるかどうかは、協定の細目取決めにおける具体的な実施要綱の内容による。しかも、過去における国際原子力機関の査察は、多分にこれを損なう恐れがある。従って、これらの原則の裏付けとなる合理的保障措置技術の開発、および日本における核物質国内管理制度の確立が緊要な課題である。

ここでは上述の意味で、保障措置技術の基本的考え方および各原子力施設における計量管理技術の現状について概説を行なうことにする。

* 昭和 47 年 6 月 23 日受理

** Keichi Oshima 東京大学工学部原子力工学科

1. 保障措置技術

保障措置の適用上の目的は、平和的な原子力活動から核兵器その他の核爆発装置または不明用途への転用を時宜にかなって検知すること、逆に言えば、もしそのような転用を行なえば、それは速やかに検知されるであろうというリスクを被査者に与えることによって、転用を未然に防止しようとするものである。

この目的のための手段は、次の3種に大別される。

- (1) 核物質計量管理 (Material Balance Accountancy)
- (2) 封じ込め (Containment or Physical Protection)
- (3) 監視 (Surveillance)

核物質計量管理は、核物質の流れをある特定の区域に区切り、その区域 (物質収支区域, Material Balance Area=MBA) の入力および出力を計量することにより、その MBA での不明損失量 (Material Unaccounted For=MUF) を推定しようとするものである。封じ込めは、物理的手段によって核物質を封じ込め、これによって核物質の転用を防止しようとするもので、囲繞、錠、封印等がこれに対応する。監視は、物理的または人間による監視をいい、たとえば、カメラ等のモニター装置が考えられている。

いずれの手段が適用されるべきかは、個々の MBA の特質により判断されるが、その MBA は、物質管理上、次の3種に分けられる。

- (1) 帳簿在庫 MBA (Book Inventory MBA)
- (2) 受払い間差異 MBA (Shipper and Receiver Difference MBA)
- (3) 不明損失量 MBA (MUF MBA)

B. I.-MBA は、たとえば原子炉施設のように核物質の計量管理が秤量管理ではなく員数管理 (Item Accounting) によってなされ、その在庫量 (燃料組成) の変動が計算によって推定されるような区域をいう。S/R. D.-MBA は、貯蔵庫のように誤差が払い出し側の計量値と受け取り側の計量値の相異によって生じるような区域を意味する。一方、MUF-MBA は、いわゆるプロセスエリアであって、加工施設、再処理施設等の処理工程区域がこれに当る。この場合、帳簿上の在庫量と実在庫量 (Physical Inventory) の間には、核物質の化学的・機械的処理等に伴う各種の測定誤差および損失によって、記録上の値に差を生じ、これが MUF となって表われてくる。

上記 MBA と保障措置適用上の手段を対照すれば、B. I.-MBA と S/R. D.-MBA は、主として、封じ込め、監視の手段が、MUF-MBA は、主として、核物質計量管理の手段が適用されることになる。

2. 核物質計量管理と MUF

普通、B. I.-MBA、S/R. D.-MBA においては、その性格から判断して、使途不明量の生起する可能性は少ない。なぜならば、たとえば、原子炉施設において燃料集合体の数が一致しない場合、あるいは、貯蔵庫において受払い間計量データに有意の差が生じた場合、それを看過することは、その施設が商業ベースで計量管理されている以上、考えられないからである。

他方、MUF-MBA においても、当然、異常に大きな MUF が生起する可能性は、施設の生産・工程管理上抑えられている。しかし、MUF そのものがプロセスエリア固有の統計量である限り、僅少の MUF であってもそれが累積し有意の量に達する可能性があり、また多くの場合、プラントの洗流しによる実在庫量の測定には、プラント稼働率・労力からいって多大の費用を要し、これを頻繁に行なうことは、経済上考えられない。

従って、MUF-MBA に対し、いかなる核物質計量管理手段の適用によって MUF を推定するかが、保障措置上最も重要な課題の1つとされている。

概念として考えられる MUF 生起要因を列挙すると、

- (1) Normal Operation Loss (通常の操作に伴う損失)
- (2) Historical Loss (長期間にわたり蓄積された損失)
- (3) Systematic Error (計量の系統的誤差)
- (4) Random Error (計量のランダムな誤差)
- (5) Measured Discards (測定されうる廃棄分)
- (6) Unmeasured Unidentified Loss (測定されえない不明の損失)
- (7) Diversion (故意の横流し)

などが考えられるが、相互に判然と区別できないものが含まれている。MUF という言葉の意味から言えば、むしろ、各種の要因が混然と絡み合っていると考えるべきかも知れない。

しかし少なくとも、要因の一つである横流し (Diversion) と、その他の要因とを識別することが、計量管理手段の眼目である。このような要因分析の手法としては、理論的に、統計的検定論の適用が考えられるが、原子力施設の場合、再処理施設のように、この種の要因分析に必要なデータの蓄積がなされていない場合があり、またデータ自体も個々のプラントの特性に強く依存するので、未だ統一的方法是は確立していない。

図1は国際原子力機関 (IAEA) 案による MUF 検定評価手順である¹⁾。予め、各 MBA に対する MUF の許容限界値 (Threshold Amount, LOA) が決められ、それと査察によって検証されたデータに基づく MUF との比較を行なおうとするものである。MUF 生起要因のうち、(1)、(2)、(5)、(6) を除けば、MUF の平均値は零である。図1は、まず、(1)、(2) をバイアスとして MUF から差し引き、それが LOA よりも大きければ、更に、

図1 国際原子力機関案によるMUF検定評価手順¹⁾

(3), (4) を施設のより詳しい記録データから検証し, その結果によって横流しの可能性を間接的に評価するものである。

3. 各原子力施設の計量管理技術

今後の10年間ぐらいの日本の原子力産業では, 加工施設, 軽水型動力炉施設, 再処理施設がその主要施設ということになる。

加工施設においては, 原料粉の混合・造粒・焼結に到るまでの処理工程と, 機械的組立工程とに分けることができる。処理工程では秤量あるいはサンプルの分析によって計量管理がされ, 組立工程では燃料棒の数を計ることによって計量記録が作成される。従って保障措置適用上の手段として, 核物質計量管理手段の外に, 封じ込め, 監視による手段の適用も考えられている。特にプルトニウムあるいは高濃縮ウランを取り扱う場合には, それが核兵器への近接時間からいって重要であるため, たとえばガンマ・ロックのような物理的防護手段の利用も検討されている。低濃縮ウラン加工施設の場合でも, 高精度・高効率の計量管理技術の必要性から, 破壊・非破壊

図2 アメリカにおける核物質管理情報計算機システム²⁾

分析機器の開発が行なわれている。特に崩壊熱モニターや中性子モニターなどによる非破壊迅速分析技術が注目

されている。

動力炉施設においては、燃料体の流れで区分すると、新燃料倉庫、原子炉、冷却池に分けられる。いずれも員数管理による外なく、封じ込め・監視の手段として、炉蓋開閉如何を示す封印やタンパープルーフ化されたカメラなどの応用が考えられている。

再処理施設においては使用済燃料冷却池、製品貯蔵庫を除けば、固体燃料を切断・溶解する前処理段階と、ウラン、プルトニウムを核分裂生成物から分離抽出する化学的処理段階に分けられる。前処理段階では計量が困難で計数を主とした管理に頼らざるを得ない。化学的処理段階ではサンプルの分析を主とする計量管理技術が応用されている。再処理施設は、保障措置上重視されるプルトニウムを取り扱い、また使用済燃料が搬入された段階では、そのプルトニウム含有量の推定を計算に頼る外ないという点で特徴的である。プルトニウム含有量の測定方法として、破壊・非破壊分析機器の開発が行なわれているが、半実験的推定方法として、MIST (Minor Isotopes Safeguards Techniques) の有用性が注目されている。

4. 保障措置システムと核物質国内計量管理制度

周知のように、前述の3種の原子力施設は、今後その規模において幾何級数的に増大して行く。しかもこれら

が核燃料サイクルを形成し、個々の核物質がサイクルの中を時間的にも空間的にも多岐多様に流れることを考えると、各施設についての上記のような研究開発課題に取り組むと同時に、保障措置の平等の原則に立った合理的保障措置システムの開発が必要である。

またこのような保障措置システムが十分な機能を果たすためには、当然のことながらその前提として各施設の報告データを収集・整理する中央情報システムが完備されねばならない。既に日本においてもそのためのモデル設計がなされつつあるが、参考のためにアメリカで開発されているシステムの例を図2に示す²⁾。

以上、保障措置技術および核物質計量管理技術の現状と問題点について簡単に述べたが、NPTの批准、従ってNPT下の保障措置の適用は近い将来に予想されている。原子力産業の健全な活動と発展を維持するためには、原子力界はもとより他の分野での技術者の協力と理解が望まれる。

引用文献

- 1) W. Gme'in, et al.: "A Technical Basis for International Safeguards", 4th International Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, A/CONF. 49/P. 773 (Geneva, Sept., 1971)
- 2) T. J. Haycock, et al.: "Experience with a Nuclear Materials Information System", 4th International Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, A/CONF. 49/P. 101 (Geneva, Sept., 1971)

II. 再処理施設の核物質管理*

中 島 健 太 郎**

原子炉から排出された使用済燃料を再処理する際の核物質管理について、軽水炉の場合を例にとって述べる。

再処理は表1に示すような組成の燃料を処理してウランとプルトニウムを回収し、核燃料サイクルに戻すことを目的とするが、 ^{235}U 、 ^{239}Pu および ^{241}Pu は核分裂性であり、また1グラム当り約10ドルと高価なため、これらの物質の管理は臨界安全上、経済上および保障措置上、重要な意義を持っている。

1. 再処理プロセスの概要と核物質管理上の特殊性

軽水炉燃料の再処理には、前処理にチョップ・リーチ法を用い、それ以後の化学工程には TBP 溶媒による抽出を主体としたピュレックス法を採用するのが通常である。

(1) 前処理工程

使用済燃料は冷却池で所定時間冷却貯蔵され、放射能を壊変減少させたのち、せん断され(チョッピング)、ついで硝酸により浸出溶解される(リーチング)。

* 昭和47年6月19日受理

** Kentaro Nakajima 動力炉・核燃料開発事業団