



2020年3月1日

# 保障措置読本

菊地 昌廣



- ・ この読本は、理工学系の学生・院生が保障措置を体系的に理解することを目的に通読する書として編集されている。
- ・ すなわち、保障措置の発生から現在の活動に至る時間経過に伴う事象の流れを概説するものである。
- ・ 保障措置を支える技術の詳細は、「核物質管理学のすすめ」として技術的体系を整えて別途編集する予定である。

## 目 次

1. 核兵器不拡散条約（NPT）と国際原子力機関保障措置	1
1.1 マンハッタン計画	1
1.2 初期段階の核爆弾の構造	1
1.3 初期の米国の核政策	2
1.4 原子力平和利用と IAEA の創設	3
1.5 核兵器不拡散条約（NPT）の誕生	3
1.6 NPT の特徴	4
1.7 NPT に基づく保障措置	5
1.8 包括的保障措置協定の特徴	6
1.9 基本的な保障措置の技術	7
1.10 計量管理の手順	8
1.11 包括的保障措置協定の技術的な要件	9
1.12 IAEA を襲った深刻な事態	9
1.13 IAEA 保障措置の強化	12
1.14 包括的保障措置協定の追加議定書	13
1.15 追加議定書の主な特徴	13
1.16 情報への強化された接近	14
1.17 接近個所の拡大	14
1.18 包括的保障措置協定と追加議定書の最適な組み合わせ	15
2. 核物質の計量管理	16
2.1 包括的保障措置協定で要求されている技術	16
2.2 有意量と適時性目標量	16
2.3 物質収支計算の概念	18
2.4 核物質測定的事例	19

2.5	測定誤差の理解	20
2.6	工程内処理中の核物質測定の事例	21
(1)	槽内溶液量と密度の測定	21
(2)	均一性の保証	23
(3)	溶媒抽出器内在庫量の推定の事例	25
2.7	MUF 計算時の誤差の伝播	26
2.8	MUF 値の分散	27
2.9	$\sigma$ MUF の要素	28
2.10	物質収支の評価	29
2.11	$\sigma$ MUF 値の評価	30
2.12	MUF 評価の結果	31
3.	検証理論と活動	33
3.1	査察の定義	33
3.2	査察実施の範囲	34
3.3	包括的保障措置協定に基づく申告	35
3.4	査察データの評価	36
3.5	想定される偽造行為	36
3.6	MUF に含まれる転用 (Diversion into MUF)	37
3.7	D (査察者データと申告値間の差異) に含まれる 転用 (Diversion into D)	38
3.8	SRD (受払間差異) に含まれる転用 (Diversion into SRD)	38
3.9	発生する欠損の類型	39
3.10	転用経路分析	39
3.11	D に含まれる転用検知手段の事例	40
3.12	査察結果の仮説検定	42

3.13	適時性目標達成のための査察	44
3.14	査察結果の標記	47
3.15	想定される異常状態の種類	48
3.16	抑止効果を期待した査察（ランダム査察）	48
3.17	追加議定書に基づく申告	49
3.18	追加議定書下の検証活動	50
3.19	補完的なアクセスの活動	50
4.	国レベル保障措置概念/アプローチの構築	51
4.1	国レベル保障措置概念	51
4.2	国レベル保障措置の目標	51
4.3	国レベルアプローチ	52
4.4	国の原子力活動全体の絵図	53
4.5	取得経路分析	54
4.6	期待される良好な結論	55
4.7	国レベルアプローチの特徴	55
4.8	情報分析	56
4.9	国レベルアプローチ構築の手順	57
4.10	国レベルアプローチの実施	57
4.11	査察現場における検証活動	58
4.12	IAEA 本部における検証活動	58
4.13	結論の導出	59



## 1. 核兵器不拡散条約（NPT）と国際原子力機関保障措置

### 1.1 マンハッタン計画

第2次世界大戦中の1942年に米国のルーズベルト大統領が極秘に核爆弾の開発を命令した。この計画は、一部のプロジェクトメンバーが関与しただけで、当時副大統領であったトルーマンにも知らされていなかった。

ウラン-235を濃縮するガス拡散法によるウラン濃縮施設をテネシー州オークリッジに建設し、Puを生産するための照射炉とこれを抽出する再処理施設をワシントン州ハンフォードに建設した。更に爆弾の設計と製造を行うための研究所をニューメキシコ州ロスアラモスに建設した。

1945年7月に最初のプルトニウム型爆弾が製造され、ニューメキシコ州アラモゴート砂漠でトリニティと命名された最初の核実験が行われた。この時3発のプルトニウム型爆弾が製造されたといわれている。一つがこの実験で使用され、もう一つが長崎に投下された。ウラン型爆弾は、実験されなかった。

核爆弾の誕生については、リチャード・ローズ著「核爆弾の誕生」に詳述されている。

また、この当時、核分裂に伴い放出される大量の熱エネルギー利用の可能性については、ヨーロッパや日本においても物理学者を中心に研究されていた。

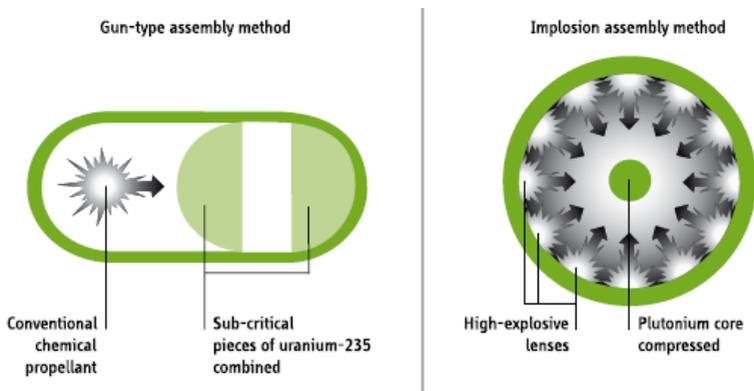
### 1.2 初期段階の核爆弾の構造

初期のウラン型爆弾は、大砲の砲身に臨界量のウラン-235金属を2分割して距離を置いて設置し、化学爆薬で一方のウランを他

のウランに衝突させることで臨界量を形成するように設計された。

プルトニウム型爆弾は、中心にプルトニウム金属を置き、これを取り巻くように臨界量に達する分割したプルトニウム金属を配置して、周辺から中心に向かって爆縮することにより臨界量を形成するように設計された。爆縮技術の確認が必要であったことから、トリニティが行われた。実験が失敗した時の予備として3発製造されたといわれている。

### 初期の核爆弾の構造概念図



ウラン爆弾(広島投下型)      プルトニウム爆弾(長崎投下型)

### 1.3 初期の米国の核政策

日本に核爆弾を投下した米国は、その威力に驚愕した。そして核爆弾の今後の取扱いについて第2次世界大戦で同盟国であった英国、カナダ、及び、ソビエト連邦と協議した。その結果、同盟国は、設立間もない国際連合(国連)で議論することとした。

1946年に米国は国連にバルークプランと称する提案書を提出

した。この提案には、原子力の平和利用に関する情報を世界各国が広く共有すること、平和利用に限ってのみ原子力を活用することを保証するための管理を行うこと、大規模な破壊を行う核爆弾やすべてのその他の主たる兵器を国家の軍備から排除すること、そして、各国の遵守を確実なものとするために査察やその他の方法による効果的な保障措置を確立することが含まれていた。

多くの提案は、現在の国際原子力機関（IAEA）の活動と酷似している。

#### 1.4 原子力平和利用と IAEA の創設

米国の提案に対し、ソビエトは、まず最初に米国が自ら保有した核兵器を廃棄すべきだと主張し、国連における議論は紛糾した。

一方、米国内においても、政府は国連で国際管理を提案したが、議会は一度保有した核兵器を独占すべきだとの決議を行い、意見が分かれた。このため、国連における原子力の取扱いに関する議論は停滞した。

1949年にソビエトも核実験を行い、引き続いて英国も核実験を行い、第2、第3の核保有国となった。これにより、米国議会の核独占の政策は破綻し、1952年12月に米国大統領アイゼンハワーが国連総会で原子力の平和利用のための国際管理機構創設の提案を行った。

この提案が基礎となって、1957年にIAEAが創設された。当初IAEAでは、憲章を制定し、憲章に基づく保障措置を実施していた。

#### 1.5 核兵器不拡散条約（NPT）の誕生

1960年の中盤までに、5か国が核実験を成功させ核爆弾を保有

した。

核実験を行った年代は、米国が 1945 年、英国とソビエトが 1949 年、フランスが 1960 年、中国が 1964 年である。

中国の核実験以降、国際社会にこれ以上核兵器保有国が増加するかもしれないという深い懸念が広まった。そこで、1960 年代の中盤以降、核兵器の拡散防止に関する国際条約の必要性が認識され、条約成立のための交渉が行われ、1970 年に核兵器不拡散条約（NPT）が成立し、発効した。

NPT では、1970 年以前に核実験を行った 5 か国は、核兵器国として定義され、それ以外の NPT 加盟国は、非核兵器国に分類された。NPT は成立時点から、核兵器国と非核兵器国間に不平等性を内在する条約である。

## 1.6 NPT の特徴

NPT は次のような特徴を持つ。

- ・ 核兵器国による核兵器等移譲の禁止、製造援助等の禁止（第 1 条）
- ・ 非核兵器国の核兵器等受領、製造の禁止（第 2 条）
- ・ 非核兵器国の保障措置の受諾、IAEA との保障措置協定締結の義務（第 3 条）
- ・ 平和利用設備、資材、情報の交換の加盟国の奪い得ない権利（第 4 条）
- ・ 平和的核爆発応用の利益の享受（第 5 条）
- ・ 核兵器国による核軍縮の誠実な交渉の約束（第 6 条）
- ・ 地域的非核条約締結の権利（第 7 条）

第 5 条は、NPT 成立のころに核爆発が大規模な土木工事の発破

としての利用の可能性も想定されていたことによる。しかし、1996年に国連で採択された包括的核実験禁止条約(CTBT)(ただし、2020年時点で条約の発効条件が満たされないことから未発効)の第1条で、いかなる場合においても核爆発が禁止されたことから、この条文は、死文化している。

非核兵器国はIAEAによる保障措置(核査察)を受ける義務があるが、核兵器国はこの義務が無く、単に核軍縮(核兵器を減らす)誠実な交渉を行うことの約束が規定されているだけである。

### 1.7 NPTに基づく保障措置

NPT第3条に基づき、NPTに加入した非核兵器国はNPT遵守の検証を受けるためにIAEAと保障措置協定を締結しなければならない。このためにIAEAは、1972年にNPTの規定と連動したINFCIRC/153(INFCIRCとはInformation Circularの略で、153とはIAEAの文書番号を指す)と称される保障措置協定のモデル文書を作成した。

このモデル文書に基づき、NPT加盟の非核兵器国とIAEAは個別に実効性のある現実的な協定を締結しなければならない。

保障措置協定は、締結した国の領域内に存在するすべての平和利用活動内のすべての原料物質及び特殊核分裂性物質に保障措置が適用されることを保証するためにIAEAと締約国にその権利と義務を提供する包括的な条文となっている。

ここで、「すべて」の意味は、締約国がIAEAに申告した核物質だけでなく、未申告の核物質がある場合には、それも保障措置適用の対象となることを明示している。それ故、INFCIRC/153は、包括的保障措置協定と呼ばれている。

「原料物質及び特殊核分裂性物質」は、IAEA 憲章第 20 条 3 で、次のように定義されている。

1 「特殊核分裂性物質」とは、プルトニウム 239、ウラン 233、同位元素ウラン 235 又は 233 の濃縮ウラン、前記のものの 1 又は 2 以上を含有している物質及び理事会が随時決定する他の核分裂性物質をいう。ただし、「特殊核分裂性物質」には、原料物質を含まない。

2 「同位元素ウラン 235 又は 233 の濃縮ウラン」とは、同位元素ウラン 235 若しくは 233 又はその双方を、同位元素ウラン 238 に対するそれらの 2 同位元素の合計の含有率が、天然ウランにおける同位元素ウラン 238 に対する同位元素ウラン 235 の率より大きくなる量だけ含有しているウランをいう。

3 「原料物質」とは、次のものをいう。ウランの同位元素の天然の混合率からなるウラン、同位元素ウラン 235 の劣化ウラン、トリウム 金属、合金、化合物又は高含有物の形状において前掲のいずれかの物質を含有する物質 他の物質で理事会が随時決定する含有率において前掲の物質の 1 又は 2 以上を含有するもの 理事会が随時決定するその他の物質

## 1.8 包括的保障措置協定の特徴

包括的保障措置協定では、締結した国は国内の計量管理システム(SSAC; State System of material accounting for and control of nuclear material)を構築することが求められる。SSACは、国内の核物質の計量及び管理に関する独自の目的のための、及び、国際的には保障措置に関連する情報を IAEA に提供する(申告する)責任を履行するための国レベルの計量管理体制である。

IAEA は、独立した手段によって、申告された計量管理情報の正確性を確認するために、核物質の計量管理を保障措置の重要な手段として、封じ込め及び監視を補完的な手段として適用する。

IAEA 保障措置の枠組み内での核物質の計量管理は、施設の事業者及び国による核物質の計量管理が含まれる。ゆえに SSAC には、事業者レベルの機能と、国レベルの機能が要求される。

重要なことは、保障措置協定によって、核物質の計量管理と封じ込め監視が保障措置の基本的な手段として使用すると規定されていることである。

包括的保障措置協定で計量管理手法が保障措置手段の中心に据えられたのは、先行事例として 1959 年にユーラトムがヨーロッパ域内で取扱う核物質を計量管理する法令を定めていたこと、及び、1960 年代の初頭に米国が計量管理 (MC&A: Material Control & Accountancy) による特殊核分裂性物質の管理を規制法 10CFR Part 74 の中で規定していたことによる。

## 1.9 基本的な保障措置の技術

核物質計量の様式は、長期にわたって造幣やアルコールの製造管理に使用された考え方と同じである。質量保存の法則は、連続方程式と呼ばれる式で記載される。原因もなく物質が突然消えたり現れたりすることは無いとの原理による。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

ここで

$\rho$  は流体密度

$t$  は時間

u はベクトル場の流体速度

ある領域（例えば物質収支区域）において、この領域に一定の時間内に入量するあるいは出量する核物質の合計及び収支期間（一定の時間）の期首と期末に在庫される核物質質量の変動の合計は、相殺されるはずである。

#### 1.10 計量管理の手順

核物質の計量管理は次のような手順で行われる。

- ① 対象となる核物質取扱い施設内に適切な物質収支区域（MBA: Material Balance Area）を設定する。
- ② この区域で受入れた及び払出した、並びに在庫するすべての核物質を把握する。
- ③ 計量対象となるこれら核物質をすべて測定する。
- ④ この時の測定の不確かさ（測定誤差）を推定する。
- ⑤ それぞれの測定結果が、それぞれの不確かさの限界内にある（許容される精度内の測定が行われている）ことを確認する。
- ⑥ 物質収支期間を設定する。
- ⑦ 対象となる物質収支期間内の収支を計算し、その結果を説明できない量（MUF: Material Unaccounted For）として算出する。⇒原理的には物質収支結果はゼロであるが、ゼロとならない場合があるので、これを MUF としている。
- ⑧ それぞれの測定誤差を統合し、物質収支全体の不確かさとして  $\sigma_{MUF}$  を計算して、この誤差の限界との比較で MUF 値の妥当性を評価する。
- ⑨ 施設の帳簿に記載し、IAEA へ（国経由で）報告する。

物質収支計算の概念は第 2 章で詳述する。

### 1.11 包括的保障措置協定の技術的な要件

包括的保障措置協定の技術的な要件をまとめると、以下のようになる。

- ・ 包括的保障措置協定を締結した国は、その国の領域内に存在するすべての核物質を計量測定し、その結果を定期的に国を經由して IAEA へ申告する。
- ・ 核物質の申告は、核物質の計量測定結果及びその結果に基づく物質収支計算であり定量性が求められる。
- ・ 計量管理の結果は定期的（月ごと）に、物質収支計算の結果は施設の棚卸ごとに国を經由して IAEA に申告する。
- ・ IAEA は、独立した査察により、国からの申告内容の正確性を定量的に確認する。これを検証行為（verification）という。

### 1.12 IAEA を襲った深刻な事態

包括的保障措置協定に基づく活動は、協定が発効した 1972 年から 1990 年代初頭まで、改善されながら良好に実施された。この間 IAEA では、保障措置活動を標準化するために（実施する締約国間で不均一（不平等）が生じないようにするために）適用される技術と実施手順を定型化した保障措置クライテリアも策定された。このクライテリアに従って査察活動が実施されていた。

IAEA 保障措置用語集では、クライテリアは以下のように解説されている。

包括的保障措置協定に基づく責任の遂行に必要と IAEA が考える核物質検認活動のセット。施設及び施設外の場所 (LOF) のタイプごとに定められており、施設及び LOF における対象範囲、並びに査察目標の量的要素及び適時性要素を達成するのに必要な検認活動の通常の頻度及び程度を規定している。また、一つの国のあらゆるところで、調整された方法で実施される検認活動についても規定している。加えて、検認活動実施の計画作成及びその実施から得られた結果の評価の両方で用いられる。

ここで、保障措置上の施設とは、「原子炉、臨界実験施設、転換工場、加工工場、再処理工場、同位体分離工場又は独立の貯蔵施設。あるいは、1 実効キログラムを超える量の核物質が通常使用される場所」、施設外の場所とは、「1 実効キログラム以下の量の核物質が通常使用される構造物又は場所であって施設に当たらない箇所」を指す。

1991 年にイラクが秘密裏に核兵器開発を企てた。イラクに対する包括的保障措置協定下の申告された核物質を対象とした検証では、IAEA は、この秘密裏の開発を認知できなかった。たとえ IAEA がイラクが申告した箇所に立ち入ったとしても、イラク政府が申告していない場所で秘密裏にこのような活動を行っていたのでは、IAEA はこの核兵器開発計画を検知できない。湾岸戦争後 UNSCOM と IAEA の合同チームが行った広範な国連の検証活動の一環としてこの計画を発見することができた。

一方、1992 年に北朝鮮の保障措置協定違反を検知した。これは、北朝鮮が保障措置協定を批准した直後に実施された特定査察時に検知したものである。IAEA は、この協定違反を検知するために、環境サンプリング (ES: Environmental Sampling) や環境分析及

び IAEA が入手可能な情報の分析など新しい検証技術を導入した。

これにより、ヨンビョンに建設されている放射化学研究所を、使用済燃料を再処理しプルトニウムを精製する施設であると断定した。北朝鮮は、冒頭報告の中で当該施設を再処理施設であると申告していなかった。

IAEA 保障措置用語集では、環境サンプリングや環境分析を以下のように解説している。

核物質の取扱又は活動の実施に関する情報を明らかにすることのできる物質の痕跡を分析することを目的とした、環境からのサンプルの収集。試料採取される媒体には、各種の（例えば、設備及び建家構造の）表面、空気、水、沈降物、植物、土壌及び生物体が含まれる。ES の適用には通常 2 つの段階がある。基準「環境値」を確定するために、ベースライン試料採取が行われ、そして、その後、その確定されたベースライン環境特徴と申告された運転との整合性を比較することのできるデータを得るために、通常試料採取が行われる。追加議定書では、査察員が保障措置協定に基づく査察又は訪問のためにアクセスするものを超えた場所での IAEA 査察員による環境試料の収集が規定されている。

1990 年代の初めに、南アフリカが核兵器開発計画を断念し、NPT に加盟し、IAEA と包括的保障措置協定を締結した。これを受けて IAEA は、南アフリカに対する検証活動を開始した。この時、南アフリカ政府は、IAEA に対して協力的であった。

1989 年代の後半までに、南アフリカは 6 発のウラン型原爆と 1 発の仕掛品を保有していた。IAEA の検証活動は成功し、核兵器の軍縮と廃棄の検証に関する知見を得るための新たな経験を得た。

### 1.13 IAEA 保障措置の強化

イラクの核兵器開発計画は包括的保障措置協定下の検証活動の限界を露呈した。イラクは、秘密裏の核兵器開発計画を申告された核物質を検証するために施設に立ち入った IAEA の鼻先（保障措置の対象と申告され IAEA が査察を実施していた施設の近傍）で実施していた。

この当時、包括的保障措置協定下では、IAEA の査察官は、国が申告した施設でのみ査察を実施することができるだけで、イラクは申告した施設がある同じサイト内の未申告の施設においてこのような活動を実施していた。

イラクの事例以前は、IAEA を含む国際社会は、NPT に加盟し、IAEA と保障措置協定を締結している国は、善良であり、その国の領域内にある平和利用下のすべての原料物質と特殊核分裂性物質は申告されていることを前提としていた。しかし、イラクや北朝鮮の事例で、包括的保障措置協定締約国は必ずしも善良であるとは限らず、秘密裏の核爆発装置製造に至る原子力活動を行っている可能性を排除できないという新たな可能性が認識された。

1993 年までに、包括的保障措置協定下で実施可能な強化策を策定した。すなわち新規の施設に関する設計情報を早期に提供するように補助取極（保障措置協定の下部規定）を改定し、同時に機微な資機材や技術の輸出入に関連する国際的な報告制度（ユニバーサルレポーティング制度）を構築した。

秘密裏の核物質や施設を発見するための特別査察の具体的な実施取極に関して、IAEA は、公開情報や衛星監視情報、及び、加盟国の諜報活動からの情報等を活用する新たな権利を IAEA 理事会の勧告によって獲得した。

IAEA は独自に保障措置強化策（93+2 計画）を検討した。イラクや北朝鮮の事例のような未申告の核物質や原子力活動を検知するための検証活動として、活用する情報の拡大や検証のための接近個所の拡大を意図した強化策を策定した。しかし、この活動は包括的保障措置協定の法的権限を越えるものも含まれ、協定に追加する新たな法的権限の開発に迫られた。

#### 1.14 包括的保障措置協定の追加議定書

未申告問題を検知するための検証活動に関する追加的な権利を取得するために、IAEA 事務局は、法的な文書を草稿した。草案は二つの主な特徴を有する。一つ目は、計量管理データ以外の幅広い情報の報告の要求であり、二つ目はいつでも国の領域内のすべての場所に接近できる広範な権利である。

この草案に従って、IAEA は理事会において加盟国と最終文案を設定するための交渉を開始した。1996 年に理事会の下、公開かつ無期限の特別委員会 (Committee 24 と称された) を設置した。1997 年 4 月に理事会は、包括的保障措置協定のモデル追加議定書を了承した。(追加議定書と称される)

#### 1.15 追加議定書の主な特徴

締約国の申告の完全性を確認することを通して、未申告の核物質や原子力活動を検知するために、追加議定書に新たな検証手続きを規定した。追加議定書では、国の核燃料サイクル内の原子力開発や原子力活動に関連する様々な情報の提供を要求している。

IAEA は、国からの申告内容と実際の原子力活動との整合性を、時間的及び空間的な観点から確認するための、広範な検証活動の

実施権限を獲得した。

ここで、時間的確認とは、核開発の履歴と今後 10 年先の核開発計画の整合を意味し、空間的確認とは、従来の保障措置協定で IAEA 査察官の接近箇所として規定されていた申告されている施設の主要測定点以外の国内のすべての箇所での確認を意味する。

#### 1.16 情報への強化された接近

追加議定書では、締約国は、その国の核燃料サイクルに関する広範な情報の提供が求められる。追加議定書による申告された情報には、核爆発装置を製造するために必須なウラン濃縮施設及び再処理施設を含む原子力設備と能力に関する全般的な情報が含まれる。

情報にはまた核燃料サイクルに関連する研究開発活動の広範な内容も含まれる。核燃料サイクル開発に関する今後 10 年先までの一般的な計画の提供は、現時点の原子力活動と将来のスケジュールとの整合性の確認のために使用される。

#### 1.17 接近個所の拡大

追加議定書では、国からの申告内容を確認するために、追加議定書に従って提供された情報に関連する箇所へ接近する権利が認められている。

接近に関する権利は、補完的なアクセス（CA : complementary access）として定義され、補完的なアクセスは、開始の少なくとも 24 時間前、あるいは通常査察で査察員が既に原子力サイトを訪問している場合には 2 時間前の短期通告で実施される。

補完的なアクセスの実施目的は、以下の通り。

- ① 未申告の核物質や原子力活動が存在しないことを保証する。
- ② 申告された情報の正確性や完全性に関する疑問を解消する。
- ③ 廃棄された施設あるいは施設外の場所の解体状況に関する申告内容確認

③については、施設の廃棄段階になり、その施設から核物質が撤去されると、解体中の施設への査察活動ができなくなる（包括的保障措置協定では、査察の対象は核物質に限定されている）。解体中といえども、施設の機能（functionality）が残存している場合、未申告核物質を持ち込んで秘密裏に処理することが可能かもしれないとの懸念による。

#### 1.18 包括的保障措置協定と追加議定書の最適な組み合わせ

以前から包括的保障措置協定を受諾し、新たに追加議定書を発効させた国に対しては、IAEAはこの2つの法的権限による検証活動を実施できることになった。この2つの権限を組み合わせた効率的な保障措置を統合保障措置（integrated safeguards）という。

現在 IAEA は、国全体の原子力活動に関する様々な情報を入手する権利を有している。これら情報に基づき、IAEAは、国のプロフィールと呼ばれる各原子力施設が保有する核物質の総量を含む国全体の原子力活動の俯瞰図を描くことが可能である。国のプロフィールは、実際に行う検証活動の優先度を設定するために極めて有用である。

この議論は、第4章の国レベル保障措置概念（SLC）や国レベル保障措置アプローチ（SLA）で詳説する。

## 2. 核物質の計量管理

包括的保障措置協定では定量性 (quantification) が求められており、核物質の計量管理技術は、主に核物質を取扱う事業者に求められる。

### 2.1 包括的保障措置協定で要求されている技術

包括的保障措置協定は 2 部構成であり第 1 部には IAEA と締約国との権利義務が記載されており、第 2 部に保障措置を運用するために必要な技術的要求事項が記載されている。

包括的保障措置協定による技術的要素には、次の 3 つの基本原則がある。

- ① 保障措置の目的は、有意量の核物質の転用を適時に検知すること、及び、無通告査察やリモートモニタリング適用を通して、このような転用が早期に検知される危惧を与えることにより転用を抑止すること。
- ② 計量管理は、重要な補完手段である封じ込め及び監視とともに、基本的に重要な保障措置手段であること。
- ③ 検証活動の技術的な結論は、それぞれの物質収支区域における規定された期間の MUF の総量とその量の不確かさ ( $\sigma_{MUF}$ ) の限界とによって表明されること。

### 2.2 有意量と適時性目標

このように IAEA は基本的に重要な手段として計量管理を使用することになったことから、目標となる定量的指標が必要となった。

検知目標量としての有意量と検知までの時間的な目標としての

適時性目標である。INFCIRC/153 が成立した後、IAEA の事務局は、保障措置の実施に関わる常設諮問委員会 (SAGSI) に適時検知目標と有意量について検討するように諮問した。

有意量は、核爆発装置一発の製造の可能性を排除できないおおよその核物質量として以下のように設定された。

有意量 significant quantity	
直接利用物質 (直接核爆発装置に転換できる物質)	
Pu	→ 8kg ( $^{238}\text{Pu}$ の含有量が 80%未満の Pu)
$^{233}\text{U}$	→ 8kg
HEU	→ 25kg ( $^{235}\text{U}$ 量) ( $^{235}\text{U}$ の濃縮度が 20%以上)
間接利用物質 (核爆発装置用に転換前に更なる処理が必要な物質)	
LEU	→ 75kg ( $^{235}\text{U}$ 量) ( $^{235}\text{U}$ の濃縮度が 20%未満)
NU	→ 10t
DU	→ 20t

適時性目標は、様々な形態の核物質を、核爆発装置に使用する金属形態に転換するために必要とされる時間 (転換時間) を参照して決められる。この転換時間以内に、核物質の転用は検知されるべきである

適時性目標 : timeliness detection goal	
未照射 Pu、(MOX)、HEU	→ 1 ヶ月
未照射 LEU、NU、DU	→ 12 ヶ月
照射済燃料	→ 3 ヶ月*
*統合保障措置に移行後は 12 ヶ月 (再処理施設を除く)	
間接利用物質	→ 1 年

### 2.3 物質収支計算の概念

物質収支計算の概念は質量保存の法則に従っている。原因もなく核物質が突然消えたり現れたりすることは無いとの原理に基づき、ある概念的な区域（物質収支区域）へ出入りする物質と区域内の存在量は収支が取れている（合計でゼロ）との原則に従う。

物質収支区域設定の概念図



物質収支は以下の式で計算される。

$$\text{MUF} = \text{期首在庫 (PB)} + \text{受入れ (X)} - \text{払出し (Y)} - \text{期末在庫 (PE)}$$

(元 金 + 入 金 - つり 銭 - 残 金)

- 期首在庫 (PB) : 収支期間の最初に存在する量
- 期末在庫 (PE) : 収支期間の最後に存在する量
- 受入れ X : 収支期間に搬入口①を通過した量の合計
- 払出し Y : 収支期間に搬出口②を通過した量の合計

右辺の第1項から第3項までは、帳簿在庫（存在すると見込まれる量）で第4項が実際に測定した実在庫。MUF (Material Unaccounted For: 不明物質) は、帳簿在庫と実在庫との差を意味する。MUF の期待値はゼロである。しかし、なかなかゼロにはならない。MUF を構成する各要素（例えば上式の受入れ、払出し及び在庫の各量）はすべて測定値ないしは推定値であり、それぞれの量は測定の不確かさを持ち、その合算値である MUF にはそれぞれの測定誤差が伝播されるからである。



つ誤差の種類と大きさを正確に推定し把握することが求められるだけでなく、測定の品質保証が求められる。

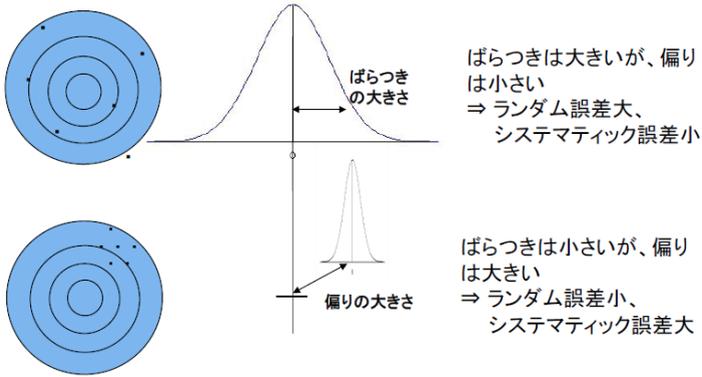
## 2.5 測定誤差の理解

一般に測定誤差はランダム誤差（偶然誤差）とシステマティック誤差（系統誤差）に分類される。

ランダム誤差とは、測定誤差の1成分で、同じ量を多数回測定する過程において、ある確率分布に従ってランダムに「真の」値からプラス側及びマイナス側の両方の偏りを持って生じる誤差をいう。測定回数が増加すると、このランダムな偏りの平均はゼロに近づく。その結果、このランダム誤差の影響は測定を繰り返すことによって低減できる。ランダム誤差は、測定精度とも呼ばれる。精度が高ければ高いほど、ランダム誤差は小さくなる。

システマティック誤差とは、一連の繰返し測定にわたって定数のまま残るような測定誤差の1成分を指す。この「真の」値からの系統的な偏りの平均はゼロ以外のある値である。その結果、この系統誤差の影響は、測定を繰り返しても小さくすることができない。系統誤差は、その測定が「真の」値にどれほど近いかの特性を示しているため、時として、測定の正確さと呼ばれる。その正確さが高ければ高いほど、その系統誤差は小さくなる。系統誤差は、しばしば、標準の測定から推定される。系統誤差を調整するため、時にバイアス補正が行われる。

## 測定誤差の概念図



凄腕の狙撃者はどちら？

## 2.6 工程内処理中の核物質測定の実例

### (1) 槽内溶液量と密度の測定

核物質を溶液で取扱う再処理施設の槽内の核物質量を測定する方法には、①溶液の重量を直接測定する方法と②溶液量とその密度を測定し、重量に換算する方法とがある。

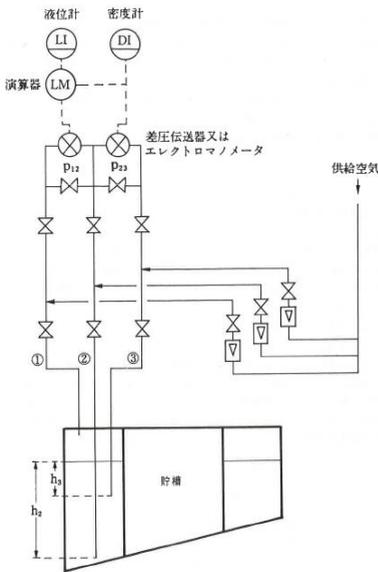
①の方法は、英国で採用されており、測定時に槽全体を懸架し、重量を測定する方法で、測定値から風体重量（槽自体の重量）を差し引いて内部の核物質溶液の重量を測定する。この方法は、測定時に一時的に槽を支持系から切り離すことから、日本では安全規制上受け入れられなかった。

②の方法は、多くの施設で採用されており、槽内に存在する溶液量とその時の液位（液面の高さ）との関係を、事前に測定しておいて較正式を作成しておき、実際に液位を測定してこの較正式から液量を読み解く方法である。

多く採用されている液位を測定する方法として、ディップチューブと差圧計との組み合わせによる方法がある。その他、この方法だけでなく槽内上部から液面に超音波を発信し、反射波の到達時間から液位を測定する方法や、既知量のトレーサを溶液内に投下し十分に攪拌溶解した後、溶液のトレーサ密度を測定することによって溶液量を知る方法などがある。

日本においては、ディップチューブと差圧計との組み合わせによる方法による液位と溶液密度測定法が採用されている。

### 容量測定概念図



溶液量は差圧計によって液位（槽の液面の高さ）を知ることによって測定する。

ベルヌーイの定理を使用して、

$$p/\rho - gz = C \text{ (一定)} \quad (1)$$

ここで  $p$  は圧力、 $\rho$  は溶液の密度、 $g$  は重力加速度、 $z$  は最長ディップチューブの先端から液面までの高さ（左図では  $h_2$ ）

① と②の圧力  $p_1$  と  $p_2$  は、

$$p_1 = C\rho \quad (2)$$

$$p_2 = C\rho + g\rho h_2 \quad (3)$$

$$p_{21} = p_2 - p_1 = g\rho h_2 \quad (4)$$

$$p_{23} = p_2 - p_3 = g\rho(h_2 - h_3) \quad (5)$$

から、 $(h_2 - h_3)$ （最長チューブと中間チューブの長さの差）がわかれば溶液密度は計算できる。

この $\rho$ の値を(4)式に代入することによって $h_2$ がわかる。この差圧から求められた液位と槽内の溶液量との関係を事前に較正しておけば、槽内溶液の液位を知ることによって逆に溶液量を知ることができ、合わせて溶液密度も知ることができる。

重要なことは、液位と溶液量の関係を示す精度の高い較正曲線を事前に作成しておくことである。

## (2) 均一性の保証

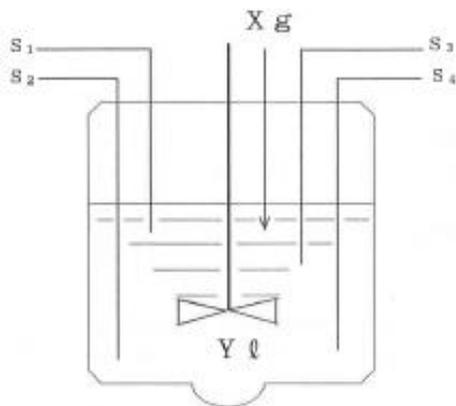
使用済燃料の溶解液は、高濃度の硝酸であり、U/Pu 及びその他の核分裂生成物という重金属を溶解したものであることから、その比重は大きい。このために長時間溶解液を放置すると、重金属成分が槽下方に降下していく。

槽内の溶液から化学分析試料を採取する際には、槽内溶液の均一性を保証するために溶液の攪拌が必要となる。入量計量槽の場合、高さ方向は、槽底部からのバブリングで、径方向は、スターラの回転で攪拌する。

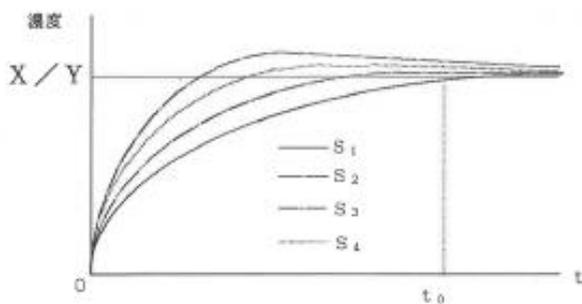
槽内溶液の均一性は、槽から化学分析のために採取される試料の代表性を保証するために重要である。一般に試料採取前に一定時間槽内溶液をスターラやバブリングにて攪拌するが、その攪拌時間の目安を知ることにより、均一性が保証できる。

均一性保証のための試験として、槽内にYリットルの溶液を注入しておき、Xグラムの溶剤(トレーサ)を挿入して理論密度が $X/Y$ となるまでの攪拌時間を測定する。試料を採取する可能性のあるチューブから、一定の攪拌時間ごとに試料を採取し、その試料の密度を分析してグラフ化すると次図のようになることが期待される。

ほぼ均一となるまでの攪拌時間を把握しておくことが重要である。



入量計量槽のサンプリングラインの概念図



採取したサンプルの攪拌による濃度変化概念

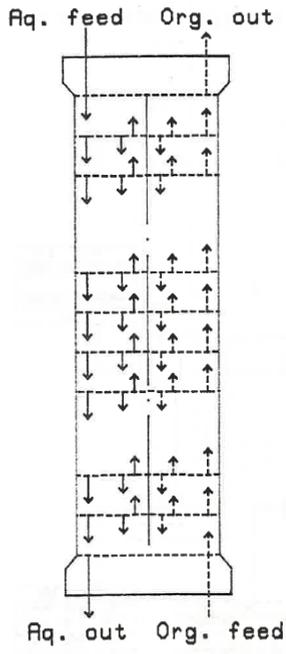
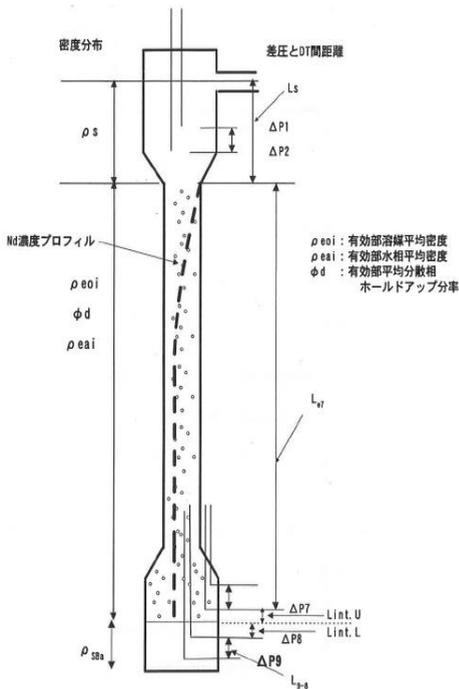
### (3) 溶媒抽出器内在庫量の推定の事例

再処理工程には多くの溶媒抽出器（パルスカラム）が採用されており、運転中の抽出器内核物質は、推定在庫量として物質収支に計上される。

推定法の代表的なものとして①指数関数モデルと②理想段モデルがある。推定式に入力するデータとして運転のパラメータ（溶液の流量、カラム内流束、溶液温度、パルス周期、パルス高）などが必要である。そこで、実施設においては、これら運転パラメータを監視し、一定の運転条件の時の在庫量を運転試験時に確認しておく必要がある。

#### パルスカラム内核物質の推定事例

- パルスカラム内核物質の高さ方向の濃度分布を、指数関数として近似する方法（指数関数法）と高さを複数段に分割して、複数段間の溶媒抽出反応の相互作用を計算して各段の溶液濃度を求め、段数分合計する方法（理想段法）とがある。
- すべてのパルスカラムに対して在庫量を推定する必要がある。
- 推定に当たっては、当然不確かさが伴う。
- これらの推定方法において必要な工程運転データを計算パラメータとして収集する必要がある。
- 安定した運転時の在庫量とこれを推定するための運転パラメータとの関係は、複数回の実験を経て取得すべきである。



パルスカラムの高さ方向の溶液濃度を指数関数で近似する方法のイメージ図

カラムを複数の段に分け、各段の化学反応と前後の段のインターアクションを計算するイメージ図

### 2.7 MUF 計算時の誤差の伝播

MUF 計算式に計上される物理量は、核物質量であり、これはそれぞれの計量単位ごとの①重量ないしは容量と密度の積によるいわゆるバルク量と②計量単位ごとの核物質の濃度との積で求められ、それらにはそれぞれ計量測定誤差が同伴する。

バルク物質とは、液体、気体あるいは粉体のような不定形の物

質をいい容量や重量は、計量単位ごとに計量測定される。その核物質濃度は、計量測定対象物からサンプリングにより少数の濃度測定対象物が選ばれることから、選択されたサンプルの母集団の代表性を考慮する。

すなわち、想定される誤差要因は、以下のとおりである。

- ① バルク測定誤差
- ② 濃度測定/分析誤差
- ③ サンプリング誤差（採取したサンプルの代表性）

これらの誤差要因は、MUF 値に伝播する。これらの誤差を構成する要素は、ランダム誤差とシステムティック誤差である。

## 2.8 MUF 値の分散

MUF 値の分散を説明するために、簡単化して核物質量はバルク測定値と濃度測定値の積で求められると考える。(サンプルの代表性問題はとりあえず考えない。)

物質収支の結果である MUF は、バルク測定値（重量値： $x$ ）と濃度（分析値： $y$ ）との関数  $f(x, y)$  で表すことができる。MUF の真値（誤差成分を除いたもの）を  $f(x_0, y_0)$ （ここで、 $x_0$  はバルク測定の真値、 $y_0$  は濃度測定の真値）とし、 $f(x, y)$  を、微小変化  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  に対して Taylor 展開する。

MUF の値を示す  $f(x, y)$  を Taylor 展開した第 1 次近似の項（下式  $\Delta f$ ）が、MUF の不確かさ（ $\sigma_{MUF}$ ）である。

$$\begin{aligned}
 f(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y) &= \sum_{r=0}^{\infty} \frac{1}{r!} \left( \Delta x \frac{\partial}{\partial x} + \Delta y \frac{\partial}{\partial y} \right)^r f(x, y) \\
 &= f(x_0, y_0) + \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} (\Delta x)^2 + \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \Delta x \Delta y + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} (\Delta y)^2 + \dots
 \end{aligned}$$

1次近似までとると、

$$\begin{aligned}
 \Delta f &= f(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y) - f(x_0, y_0) \\
 &= \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y
 \end{aligned}$$

サンプリング誤差まで含めると (z とする)。

$$\Delta f = \sigma_{MUF} = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial f}{\partial z} \Delta z$$

$\Delta x$ 、 $\Delta y$ 、 $\Delta z$  の正負は分からない。最大誤差 (最悪の場合) を考える。

$$\begin{aligned}
 |\Delta f| = \sigma_{MUF} &= \left| \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial z} \Delta z \right| \\
 V_{MUF} = \Delta f^2 &= \sigma_{MUF}^2 = \left( \frac{\partial f}{\partial x} \right)^2_{x=x_0} \Delta x_0^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial y} \right)^2_{y=y_0} \Delta y_0^2 + \left( \frac{\partial f}{\partial z} \right)^2_{z=z_0} \Delta z_0^2
 \end{aligned}$$

## 2.9 $\sigma_{MUF}$ の要素

$\sigma_{MUF}$  は、バルク測定、サンプリング、化学分析や非破壊測定のそれぞれのランダム誤差とシステムティック誤差から構成される。それぞれの誤差 ( $\sigma$ ) は、独自に計算され合算される。

合算した表を次ページに示す。この表は、縦軸方向に、それぞれの誤差要因 (受け入れ測定、払い出し測定、在庫測定) の大きさを分解し、横軸方向に、それぞれの誤差要因の誤差成分 (バルク測定、サンプリング、化学分析や非破壊測定のそれぞれのランダム誤差とシステムティック誤差) を配置したものである。表の右下の合計が分散  $V_{MUF} = \sigma_{MUF}^2$  である。

測定結果と誤差要因を時系列にモニタリングすると、どの測定のどの誤差要因が変動しているかを知ることができ、変動要因を管理・是正することができるのでこの表示は活用できる。

	バルク測定		サンプリング		濃度測定		小計
	ランダム誤差成分	システマティック誤差成分	ランダム誤差成分	システマティック誤差成分	ランダム誤差成分	システマティック誤差成分	
BI=ΣIb (期首在庫合計)	$\sum Ib^2 \times \frac{\delta_{rq}^2}{N_k \times M_k}$	$\sum Ib^2 \times \delta_{sq}^2$	$\sum Ib^2 \times \frac{\delta_{rp}^2}{M_k \times R_k}$	$\sum Ib^2 \times \delta_{sp}^2$	$\sum Ib^2 \times \frac{\delta_{rc}^2}{M_k \times R_k \times C_k}$	$\sum Ib^2 \times \delta_{sc}^2$	
R=Σr (受入れ単位体合計)	$\sum r^2 \times \frac{\delta_{rq}^2}{N_k \times M_k}$	$\sum r^2 \times \delta_{sq}^2$	$\sum r^2 \times \frac{\delta_{rp}^2}{M_k \times R_k}$	$\sum r^2 \times \delta_{sp}^2$	$\sum r^2 \times \frac{\delta_{rc}^2}{M_k \times R_k \times C_k}$	$\sum r^2 \times \delta_{sc}^2$	
S=Σs (払出し単位体合計)	$\sum s^2 \times \frac{\delta_{rq}^2}{N_k \times M_k}$	$\sum s^2 \times \delta_{sq}^2$	$\sum s^2 \times \frac{\delta_{rp}^2}{M_k \times R_k}$	$\sum s^2 \times \delta_{sp}^2$	$\sum s^2 \times \frac{\delta_{rc}^2}{M_k \times R_k \times C_k}$	$\sum s^2 \times \delta_{sc}^2$	
EI=ΣIe (期末在庫合計)	$\sum I_e^2 \times \frac{\delta_{rq}^2}{N_k \times M_k}$	$\sum I_e^2 \times \delta_{sq}^2$	$\sum I_e^2 \times \frac{\delta_{rp}^2}{M_k \times R_k}$	$\sum I_e^2 \times \delta_{sp}^2$	$\sum I_e^2 \times \frac{\delta_{rc}^2}{M_k \times R_k \times C_k}$	$\sum I_e^2 \times \delta_{sc}^2$	
小計							合計

$N_k$ : バッチを構成する単位体数

$M_k$ : ストラータを形成するバッチ数

$R_k$ : バッチの中から採取されるサンプル数

$C_k$ : サンプルの分析回数

$\delta_{r'q}$ : バルク測定法 q のランダム誤差

$\delta_{s'q}$ : バルク測定法 q のシステマティック誤差

$\delta_{r'p}$ : サンプリング法 p のランダム誤差

$\delta_{s'p}$ : サンプリング法 p のシステマティック誤差

$\delta_{r't}$ : 分析法 t のランダム誤差

$\delta_{s't}$ : 分析法 t のシステマティック誤差

## 2.10 物質収支の評価

物質収支の評価（MUF 値の評価）は、物質収支が閉じられた時に保障措置の結論導出のために行われる。

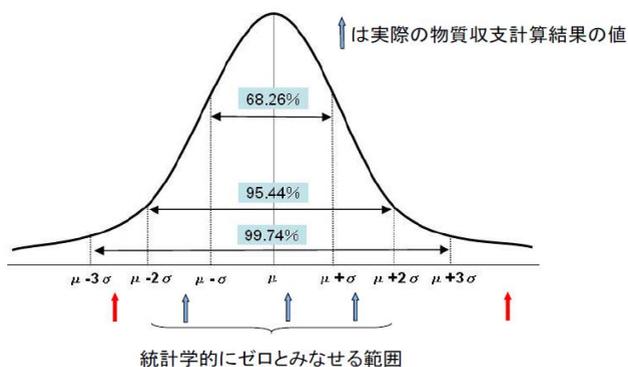
申告された核物質の量を決定する測定システムに付帯した不確かさが、物質収支を構成するそれぞれの要素について計算される。

$\sigma_{MUF}$  は、それぞれの測定値及び推定値を合算した MUF の不確かさである。各測定値は測定誤差を標準偏差とした正規分布に従う

と考えられ、その合算値である MUF も正規分布に従うと仮定する。

MUF の期待値は、質量保存の法則が成立していると仮定するとゼロである。MUF の標準偏差は  $\sigma_{MUF}$  であるから、統計学的に許容される信頼区間を 95% とすると、観測された（合算された）MUF 値は期待値ゼロの周りに標準偏差  $\pm 1.96 \sigma_{MUF}$  の間に分布すると期待される。（信頼区間を 95.44% とすると期待される分布範囲は、 $\pm 2 \sigma_{MUF}$  となる。）

### 物質収支結果評価のイメージ



物質収支の結果(MUF)は、期待値ゼロの周りにMUFを構成するそれぞれの測定値の測定誤差が起因して正規分布すると仮定する。ここで、 $\mu = E(MUF) = 0$ 、 $\sigma = \sigma_{MUF}$

#### 2.11 $\sigma_{MUF}$ 値の評価

$\sigma_{MUF}$  は、測定対象となる核物質の量とその時の測定の不確かさの積である。算出された  $\sigma_{MUF}$  の値が大きいということは、精緻な計量管理がされていないことを意味し、次の要因が考えられる。

- ① 測定システムの誤差成分が大きい（不確かさが大きい）

② 測定対象となる核物質の総量が大きい

③ 計量管理システムの設計が不適切

①、②及び③のいずれの場合にも測定システムの設計を見直す必要がある。

見直しには、単位体あるいは測定対象の計量区分であるバッチの個々の大きさの見直しが必要となる。単位体あるいはバッチを大きく設定すると、測定対象となる回数が小さく設定できるので、システムティック誤差要因を小さく管理することは可能となる。しかし、その分測定回数が減少することからランダム誤差要因を小さく管理することは困難となる。逆に単位体あるいはバッチを小さく設定すると、管理の視点は逆転する。

すなわち、ランダム誤差要因とシステムティック誤差要因とを相対的に小さく管理することが可能な収益漸近点を、測定システムを設計する段階で配慮することが必要となる。

$\sigma_{MUF}$  の値は、MBA の適切な設定、適切な測定及び推定システム、測定を管理できる適切な計量手順によって小さく管理することができる。

## 2.12 MUF 評価の結果

算出された MUF 値が  $\pm 2\sigma_{MUF}$  を超えた場合、次のような事象が発生していると考えられる。

- ・ 測定誤差以外の要因が、MUF 値に影響している。
  - ⇒ MUF 値の実際の構成要素（核物質の欠損、予測不能な大きな測定バイアスなど）を調査すべきである。
- ・ 大きな不確かさを含む不適切な測定が行われた。
  - ⇒ 測定システム、ないしは、測定手順を見直すべきである。

MUF 値は、測定の不確かさを含む事業者の計量管理に準拠しており、MUF 値評価の結果は、厳密に定量的な客観性を持つ。

次の段階として、査察者は査察活動を介した独立測定により、事業者の計量管理の正確さを確認することになる。

### 3. 検証理論と活動

保障措置における査察/検証活動は、犯罪捜査と理解してはいけない。NPT 下の保障措置は、NPT 及び保障措置協定・追加議定書を締約した国の原子力活動の平和利用に関する表明の正確性と完全性を確認するための行為である。あくまでも先に申告があつて、この申告内容の確認行為であると考えるべきである。

#### 3.1 査察の定義

査察とは、申告され保障措置の下に置かれている核物質が平和的原子力活動の中に留まっているか、あるいは適切に計量及び管理されていることを確認するために、施設又は施設外の場所で IAEA 査察員によって行われる一連の活動である。

査察活動を行うときの技術的な目的は、①有意量の核物質の転用を適時に検知することと②ランダム査察のようないつ査察されるかわからないという予測困難性を活用して、転用の試みを抑止することである。

活動内容及びその結果は、技術的に説明可能なものでなければならない。(恣意的であってはならない。)

包括的保障措置協定の下では次の3種類の査察が行われる。

- 特定査察：保障措置協定締結直後、具体的な運用を取決めた補助取極が発効する前に施設又は施設外の場所で行われる査察。
- 通常査察：保障措置協定及び補助取極が発効した後、以下の目的のため、施設又は施設外の場所で通常、継続的に行われる査察。(a) 報告が記録に合致していることを検認すること。(b) その協定に基づく保障措置の対象となるすべての核物質

の所在箇所、同一性、量及び組成を検認すること。(c)不明物質質量及び受払間差異の発生原因と考えられるもの並びに帳簿在庫の不確かさの発生原因と考えられる情報を検認すること。

- 特別査察：通常査察業務に追加されるもの、保障措置協定の76項で規定されているアクセス以外の別の情報又は場所へのアクセスを含む、特別と見なされる査察。実施内容は国とIAEAとの間の協議が必要である。特別報告に含まれる情報の検認を目的とする場合、または、国が提供した情報及び通常査察から得られた情報がその協定に基づくIAEAの責任を遂行するために十分でないとしてIAEAが判断した場合に国との協議を経て実施される。

過去にIAEAは北朝鮮に対して特別査察を発動したことがあった。しかし、実施に関する北朝鮮との協議が不備に終わった（北朝鮮が特別査察実施を受諾しなかった）ことから、実施されることは無かった。北朝鮮の不受諾は、理事会報告を経て国連安全保障理事会に通報された。

### 3.2 査察実施の範囲

包括的保障措置協定では、査察実施の範囲を次のように規定している。

- a. 保持される記録を検討すること。
- b. 協定に基づく保障措置の対象となるすべての核物質について独立の測定を行うこと。
- c. 計測器及び計測制御装置の作動及び較正状況を確認すること。
- d. 監視及び封じ込めの手段を適用し、及び利用すること。
- e. 技術的に可能であることが証明されたその他の客観的な方法

を用いること。

IAEA が実施可能な活動は、保障措置協定の補助取極（施設附属書：Facility Attachment）で具体的に規定される。補助取極は、総論部（General part）と施設附属書から構成されている。総論部は、締約国が IAEA に行う申告の手続きや様式など運用に必要な手続きが記載されており、施設附属書は、締約国内の保障措置対象施設ごとにその固有の査察実施内容や手続きが記載されている。

### 3.3 包括的保障措置協定に基づく申告

SSAC を介して以下の情報が申告される。

- a. 受け入れられ若しくは生産され、又は払い出され、減損し若しくはその他の原因によって在庫から除かれた核物質の量及び在庫に係る核物質の量を確定するための測定の体系
- b. 測定の精密さ及び正確さの評価並びに測定の不確かさの推定
- c. 払出し側の測定値と受入れ側の測定値との差を算定し、検討し及び評価するための手続
- d. 実在庫を確認するための手続
- e. 測定されない在庫及び測定されない損失の累積を評価するための手続
- f. 物質収支区域ごとに、核物質の在庫及びその変動（その物質収支区域への受入れ及びその物質収支区域からの移転を含む。）を示す記録及び報告の制度
- g. 計量の手続及び規則が正確に運用されることを確保するための規定
- h. IAEA への報告の提出に関する手続

事業者のこれらの情報の提出は、国内法（原子炉等規制法及び関係法令）によって、義務化されている。

### 3.4 査察データの評価

IAEAによる査察データの評価は以下の事項が含まれる。

- a. 事業者が申告した MUF（物質収支の結果）の評価及び過去の複数の物質収支期間の MUF の累積値の評価
- b. IAEA によって独立測定された核物質の測定値と事業者の申告値の差異 (D) 及び IAEA が推定した物質収支の結果 (IMUF: Independent MUF) と申告された MUF との差異の評価
- c. MUF-D（事業者が算出した MUF を D で補正した査察者 MUF 値）の評価
- d. 受払間差異 (SRD: shipper/receiver differences) 及び累積 SRD の評価
- e. 事業者の測定システムが保障措置目的の国際標準に合致するものであるかどうかを判断するための  $\sigma$  MUF の評価

### 3.5 想定される偽造行為

査察者は被査察者が必ずしも善良であるとは限らないとの前提に立ち偽造行為や隠ぺい行為を想定し、対抗する査察戦略を立案する。

転用をもくろむ者は、IAEA 保障措置活動による転用検知の可能性を小さくするために特定の隠ぺい行為を行うと想定する。これらの行為は、物質が持ち出される前から始まり、かなりの時間継続する可能性がある。その例としては次のものが挙げられる。

- a. IAEA が設置した封じ込め及び監視手段の不正変更、又は核物

質計量管理システムへの不当な干渉。

- b. 在庫減少の過大申告（例えば、払出、測定済廃棄）又は在庫増加の過少申告（例えば、受入又は生産）又は虚偽の施設運転データの提示による、記録、報告及びその他の文書の改ざん。
- c. バルク取扱施設の場合、MUFに含まれる転用、Dに含まれる転用またはSRDに含まれる転用
- d. IAEAの査察が行われている間、転用した核物質の代わりに国内の他の施設から核物質を借用し、置き換えること。
- e. 転用した核物質又はその他の無くなっている品物をそれらより戦略的に価値の低い品物（例えば、ダミーの燃料集合体又は燃料要素）で置き換えること。
- f. 核物質の転用が検知される可能性を小さくするために、IAEA査察員によるアクセスへの妨害工作。

### 3.6 MUFに含まれる転用（Diversion into MUF）

MUFに含まれる転用は、申告した物質のある量  $M$  を物質収支区域から抜き取り、抜き取った量  $M$  を反映するように計量管理記録を調整してしまうことで隠ぺいする。施設者の計量管理記録には  $M$  の抜き取りが反映されているため、これらの記録には偽造はない。

この転用戦略は MUF の収支に不均衡を生じさせ、転用量  $M$  はゼロでない MUF の一部分として表象する。転用者は、MUF の不確かさ ( $\sigma_{MUF}$ ) がこの抜き取りを隠すのに充分なほど大きいであろうと仮定している。（広範の  $\pm 2\sigma_{MUF}$  の間に  $M$  が入ってしまえば統計学的にはゼロと判定されてしまう。）

このタイプの転用は、予想以上に大きな MUF 値が観察された場

合に検知される可能性がある。しかし、測定品質が粗末なため、又は適切に計量及び管理されず、推定による物質量が不正確などにより $\sigma_{MUF}$ が大きい場合には、Mの転用は隠ぺいされうることになる。

### 3.7 D（査察者データと申告値間の差異）に含まれる転用 (Diversion into D)

転用者は申告した物質からある量Mを抜き取るが、その転用を隠すために施設者の計量管理記録には手を加えないという隠ぺい法を採る。そのため、大きなDが検知された時はこの計量管理記録は間違っている（その結果偽造されていると判断される）。

この転用は、存在していると申告された物質量と実際に存在する物質量との間に不一致（即ち、欠損）が表象する。この転用を検知する唯一の方法は、査察員がそのMが抜き取られた容器を独立に測定し、その測定値と施設者の申告値とを比較すること（二者比較検定）である。

この方式は、突然大きなD統計量が観察されることからDに含まれる転用といわれている。Dに含まれる転用は、査察者の測定の品質が悪くDの分散（ $\sigma_D$ ）が大きい場合には、隠ぺいされうる（検知されない）。

### 3.8 SRD（受払間差異）に含まれる転用（Diversion into SRD）

MUFへの転用に類似している。保障措置対象物質収支区域間の核物質の移転間に転用される。転用は、受払間差異の統計的評価によって検知することができる。

SRDは、バッチ単位の核物質の量について、払出し側物質収支

区域から通報された値(S)と受入れ側物質収支区域で測定された値(R)との間の差である。同一物質を異なる事業者(払出し事業者と受入れ事業者)が測定する。測定対象物に欠損がない場合は、差異は両者の測定の不確かさにのみ起因するはずである。

### 3.9 発生する欠損の種類

欠損とは、申告された核物質質量と実際に存在するその物質の量との間の差を指す。すなわち転用を試みる時の量的方法である。

IAEAでは、次の3つの欠損レベルを考えている。

- a. 大量欠損とは、最大限度まで偽造された1個のアイテム又はバッチで、そのため申告された物質のすべて又は大部分が失われている。
- b. 部分欠損とは、申告された物質質量の一部は実際に存在するように偽造された1個のアイテム又はバッチをいう。すなわちアイテムあるいはバッチの一部が欠損している場合を指す。
- c. バイアス欠損とは、僅かに偽造された1個のアイテム又はバッチであり、そのため申告された物質質量の僅かの部分しか失われていない。

41 ページの欠損と採用されるサンプル数の概念図を参照のこと。

### 3.10 転用経路分析

査察対象となる施設から転用目的で有意量の核物質を不法移転(欠損)させる方法の分析を転用経路分析という。転用経路分析の目的は、対象施設固有の転用経路(不法移転の経路)や転用戦

略（核物質持出しのパターン）に対して、実施される査察活動が十分な検知能力を発揮できるかどうか判定することである。

不法移転の経路に対して、損失のパターンを大量欠損、部分欠損、バイアス欠損に分けて検知の可能性を検討する。

### 3.11 Dに含まれる転用検知手段の事例

査察の対象となった核物質の母集団（ストラータ）の中から独立した測定を行うべき核物質の単位体（アイテム）をランダムにサンプリング（抽出）する。この抽出された単位体を査察者が独立に測定し、その結果と非査察者が申告した内容とを比較し、同一性を認定する（値が各々の測定誤差を配慮しても統計学的に同じ値であると判断する）。

サンプリングの考え方は、それぞれの欠損パターンによって異なる。大量欠損の場合は、有意量を一括して欠損させ、代替物で置き換えるために、欠損単位体の正常単位体に対する比率は小さい。このために数多くの単位体を測定する必要がある。しかし、正常単位体と欠損単位体の属性は大きく異なることから、簡易な測定法で属性検定（アトリビュート検定）することができる。

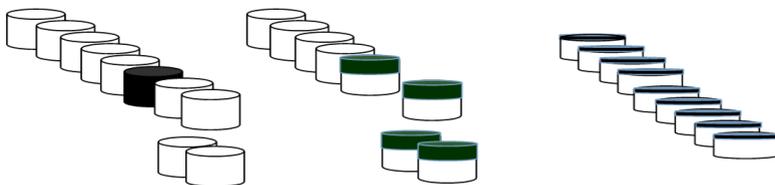
一方、バイアス欠損の場合は、すべての単位体から微量ずつ欠損させ総量として1有意量とするために、欠損単位体の正常単位体に対する比率は大きい。このために独立測定する個数が少量であったとしても、容易に欠損単位体めぐり合うことができるため、申告値との不一致を検知することが可能である。しかし、単位体当たりの欠損量は微量であることから、正常単位体との差異を検知するためには、高精度の計量測定法（化学分析）が必要となる。少量のサンプル(十分に単位体内の核物質の代表性が保証された)

を採取し、保障措置分析所に輸送して、そこで化学分析される。

部分欠損は、この中間に位置されるもので、想定する欠損のパターンに従って、欠損量を検知できる精度の測定装置を準備し、査察現場で独立した計量検定（バリエブル検定）をすることになる。

### 欠損と採取されるサンプル数の概念図

Black indication means defected part totally 1 SQ



Gloss defect case

Partial defect case

Bias defect case

The numbers of taking sample;  
Large samples for attribute test  
Medium samples for variable test  
Small sample for bias test

### 属性検定時のサンプリング計算法の事例

母集団アイテム：○が  $N-r$  個、●が  $r$  個

○○○○○●●●○○○…○○●○…○○○○●○

サンプルサイズ： $n$  個

○○○●○○○○

未検知確率  $\beta = \text{Prob}(\text{サンプル中に●がゼロ個} \mid \text{母集団中に●が } r \text{ 個})$

$$= \frac{\binom{r}{0} \binom{N-r}{n}}{\binom{N}{n}} \quad \text{:超分布幾何}$$

これを  $n$  で整理して、

$$n = N (1 - \beta^{1/d})$$

ここで、

$N$ : そのストラータ中のアイテムの数

$\beta$ : 検知されない確率

$d$ :  $[M/x]$ 、次の整数に切り上げたストラータ中の欠損数

$M$ : 目標量

$x$ : そのストラータ中の 1 アイテムの平均核物質重量

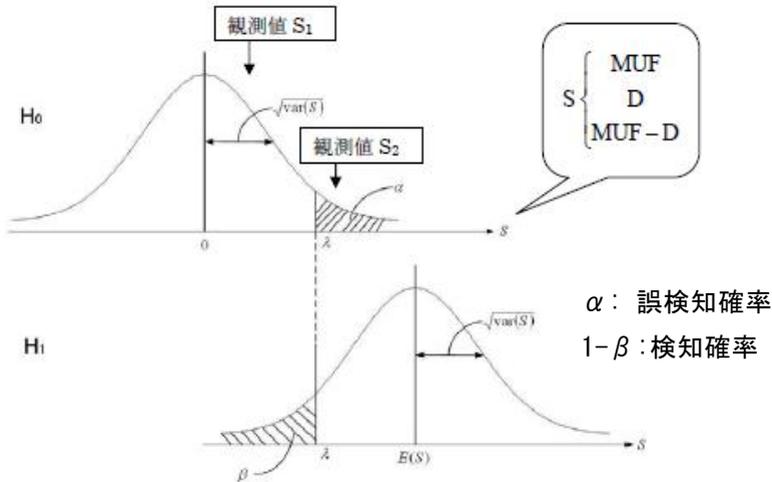
### 3.12 査察結果の仮説検定

仮説検定とは、仮定したパラメータ値が妥当であるか否かを判断するための検定である。仮説検定は、MUF、SRD、D の観測統計量に対して実施される。

この検定は、両側区間又は片側区間（例えば、過小報告）のい

ずれかに関連している。対象となる観測量の母集団は正規分布に適合していると仮定し、帰無仮説 (Null hypothesis) を期待値がゼロ、対立仮説 (Alternative hypothesis) を期待値が  $M$  として、検定する。検定の区間を確定するために、誤差限界をそれぞれの期待値の両側を取らなければならない。この区間内の領域は採択領域、区間を超える領域は棄却領域と呼ばれる。

MUF 値の場合、観測量  $S_1$  の領域にあった場合、統計学的に MUF はゼロ (帰無仮説を採択) であり、 $M$  の転用は発生していない (対立仮説を棄却) と判断される。しかし、 $S_2$  の領域にあった場合には、統計学的には、MUF はゼロでなく (帰無仮説を棄却)、 $M$  の欠損が発生している可能性がある (対立仮説を採択) と判断される。



帰無仮説  $H_0 : E(S) = 0$

対立仮説  $H_1 : E(S) \neq 0 = M$

$M$  は、1 有意量とされる。

### 3.13 適時性目標達成のための査察

これまでは量的な目標、すなわち有意量の欠損を、物質収支期間における MUF の大きさや、非査察者の申告と査察者の独立測定結果との差 (D) の大きさによって検知する方法について議論してきた。これらは、適時性目標が比較的長い核物質（例えば低濃縮ウラン）を取扱う施設に有効である。しかし、保障措置の目的には、この量的な目標だけでなく有意量の核物質の転用を適時に検知すること、すなわち時間的な検知機能も要請される。

プルトニウムや MOX のような適時性目標が 1 ヶ月と猶予期間が短い核物質を取扱う施設に対して量的方法をそのまま適用すると、1 ヶ月毎の棚卸とその結果の物質収支の計算が求められ、商業施設の場合には、事業者の運転を阻害することになる。このために、棚卸（在庫測定）を行わずに工程を運転した状態で工程内在庫量を測定ないしは推定し、高頻度で物質収支を確定することにより、欠損が発生した場合にこれを検知するという方法が開発された。これをニア・リアルタイム計量管理（NRTA：near real time material accountancy）と称している。

NRTA の物質収支（MUFd）は在来型の MUF と同じように以下の式に基づいて計算される。（ただし、d は、dynamic の意。）これは、計量管理を主体とした保障措置手段とするとした包括的保障措置協定の原則による。

$$\text{MUFd}_i = \text{IVd}_{i-1} + \text{Rd}_i - \text{Sd}_i - \text{IVd}_i$$

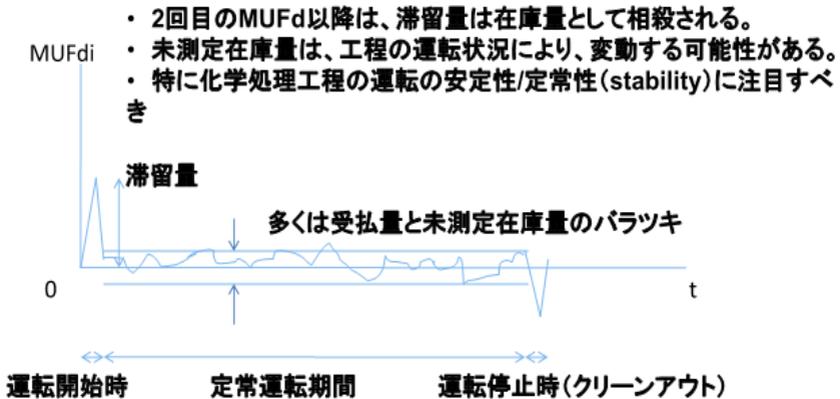
ここで、

$\text{IVd}_{i-1}$ ：期間  $i$  に対する期首在庫であって、時間  $i-1$  の実在庫に等しい。

- Rdi : 期間 i における在庫に対する総増加量（受入れ、核的生成、免除の取消し、受入れの修正、などの適宜あるもの）
- Sdi : 期間 i における在庫に対する総減少量（払出し、放射線崩壊ないしは燃焼に伴う核的損耗、免除、測定済廃棄、事故損失、など）
- IVdi : 期間 i に対する期末在庫であって、時間 i+1 の期首在庫となる。
- MUFdi : 期間 i の期末における在庫差

NRTA の特徴は、クリーンアウトを伴う棚卸を要請されないことであって、一定量の定常的な工程内未測定在庫量の存在（滞留量）を前提として、高頻度で物質収支（MUFd）を確定することである。

#### 欠損等が発生していないときの MUFd の挙動の概念図

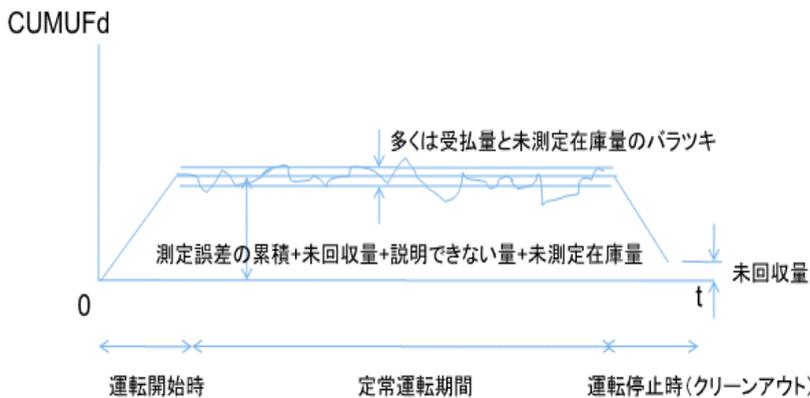


そして、この MUFd の時系列な変化を MUFd の累積である CUMUFd を指標として逐次検定する。

欠損ないしは測定されずに工程内に不用意に滞留する在庫、及

び、測定バイアス（システマティック誤差）が徐々に発生してきたときは、定常運転期間の CUMUFd は正の方向に徐々に増加する。

### 欠損等が発生していないときの CUMUFd の挙動の概念図



このような時系列の変化を尤度比検定で検知する。すなわち欠損などが発生していないときの CUMUFd とこの時の CUMUFd から欠損発生などによる変化（増加傾向）がみられる CUMUFd との比率を逐次算定し、ある一定の大きさを超えたときに異常が発生していると判断する。

このような方法は、適時性目標の達成が厳に求められる再処理施設や MOX 燃料加工施設に対して適用される。この方法を適用するにあたっては、工程内に未測定状態で在庫する滞留量の推定法や、発生する欠損のパターンに対応する最適な尤度比検定に使用する指標の選定など多くの検討事項がある。

プルトニウム及び MOX 燃料取扱い施設に対しても、NRTA のような適時性目標達成のための手段だけでなく、量的目標達成のため

の精緻な計量管理は従前通り求められる。

### 3.14 査察結果の標記

査察結果は IAEA の年報や必要に応じて IAEA 理事会で報告される。そこで保障措置協定違反を意味する用語として不遵守 (non-compliance) と不履行 (failure) という用語が使用される。これらは IAEA 憲章第 12 条 A 項第 7 で規定されている。不遵守は国がその保障措置協定等に記載されている事項を意図して遵守しなかった時に使用される。また、不履行は締約国が有する義務を過失または故意に履行しなかった時、例えば、申告の義務を怠った時に使用される。

不遵守と判断される要素として、

- ① 申告された核物質の転用 (diversion)
- ② 合意されている記録・報告制度の違反 (violation)
- ③ 査察活動への妨害 (obstruction)
- ④ 適用されている保障措置機器への不当干渉 (interference)
- ⑤ 検証活動の阻止 (prevention)

がある。

この内、核物質の転用につながる定量的な検証に関する系譜としては、

- ⑥ 施設の記録と報告 (申告) 事項間の不一致 (discrepancy)、
- ⑦ 申告された核物質質量と実際に検証された核物質質量間の差異 (defect)、
- ⑧ 検証活動によって差異が解決されない場合は損失 (missing) とみなされ、その量が 1 有意量を超える場合には転用あるいは不正使用の恐れがある異常 (anomaly)

がある。IAEA の報告書では、このような用語を違反の各段階で

使い分けている。

### 3.15 想定される異常状態の類型

最大の違反状態は異常(anomaly)である。異常状態は次の通り。

- 査察のための IAEA 査察員のアクセスの拒否又は制限
- 施設設計又は運転条件の保障措置上有意な変更の未報告
- 1 SQ 以上の核物質の関係する不一致
- 合意された記録及び報告システムからの著しい逸脱
- 合意された標準試料による較正又はサンプリング法に施設運転者が従わないこと
- (バルク取扱施設の場合) MUF、D、または SRD その他の統計の評価結果からの否定的結論
- IAEA 職員でない者により取り外されたり、紛失、又は不正変更を示す信号を発している機器に施された IAEA シール
- IAEA 機器不正変更の証拠

### 3.16 抑止効果を期待した査察（ランダム査察）

ランダム査察は、施設(facility)あるいは施設外の場所(LOFs)に対して査察を実施する日をランダムに選択して実施する査察形式である。ランダム査察は、無通告あるいは短期通告で実施される。無通告あるいは短期通告のランダム査察は、転用者が査察の対象となる施設や査察が実施される時期を知ることが困難であることから、抑止効果を持つと考えられている。しかし、その抑止効果を定量的に評価する手法は開発中である。IAEA では、ドイツ等からの支援を受けて、ゲーム理論を使った無通告査察の有効性を評価する方法を開発している。

無通告査察は、国に対する事前の通告を行わずに、施設あるい

は施設外の場所に対して実施する査察形式である。包括的保障措置協定では、「IAEA は、補完的手段として、ランダムサンプリングの原則に従って、通常査察の一環として事前通告なしに査察を実施する。」と記載されている。しかし、日本の場合は国の査察官ないしは検査員の同伴が必要とされているため、無通告では実施の調整が困難であることから実施されていない。その代わりに、短期事前通告（例えば、JNC-1 や低濃縮ウラン加工施設の中間査察については、2 時間前の事前通告）による査察（短期通告査察）が実施されている。この短い期間内に査察実施を調整している。

包括的保障措置協定と追加議定書を発効させた良好な保障措置結論が導出されている国に対しては、統合保障措置下で査察の効率を向上させることを目的として、通常査察は、ランダムベースで行われている。

### 3.16 追加議定書に基づく申告

提供情報の種類（追加議定書第 2 条による申告）

- 核燃料サイクル関連研究活動情報（核物質取扱施設は除く）
- サイト内建屋の説明
- 特定された核燃料サイクル活動操業内容の説明
- 原料物質の生産及び加工に関する情報
- 保障措置が免除された及び終了した物質の情報
- 関連資機材の輸出（入）情報
- 将来 10 年間の原子力開発計画

この他、国は、提供した情報への IAEA からの質問に対して回答する義務を有する。（amplifications or clarifications）

一般に、追加議定書に基づき提供される情報は保障措置協定に

基づき提供される定量的な情報と違って定性的な情報である。

### 3.17 追加議定書下の検証活動

補完的なアクセスは、未申告の原子力活動や核物質が存在しないことを確認するため、IAEA が提供を受けた情報の正確性や完全性に関する疑義を解決や、関連する情報の不一致を解決するため、及び、施設や施設外の場所の廃止措置状況の申告内容を確認するために実施される。

補完的なアクセスは、実施開始の 24 時間以前ないしは 2 時間以前の短期通告で実施される。24 時間前通告の補完的なアクセスはサイトとして定義されていない締約国内のすべての場所に対して実施する場合、2 時間前通告の補完的なアクセスはサイトとして申告されている場所への通常査察実施に同期して実施される。

### 3.18 補完的なアクセスの活動

締約国からの申告の完全性を確認するために（申告されていない情報が無いことを確認するために）、補完的なアクセスにおいて以下のような内容の活動を行う。

- 目視確認
- 環境サンプルの収集
- 放射線検知あるいは測定
- 封印あるいは補助取極で特定された妨害防止機能付きの監視装置の適用
- 核物質の量やその起源、廃棄状況等に関する記録の検査
- 技術的に利用可能とされたその他の手段で理事会で了解され IAEA と締約国間で協議された技術の適用

補完的なアクセス活動の評価は、査察に比べて一般的に定性的

である。

## 4. 国レベル保障措置概念/アプローチの構築

### 4.1 国レベル保障措置概念

包括的保障措置協定に基づく保障措置は、核物質を取扱う施設毎に設計され、実施され、各々結果が良好であるとの結論を集約して締約国の保障措置遵守状況を確認していた。

追加議定書成立により、締約国内の核燃料サイクル施設やこれに関連する原子力活動全般の情報により、締約国内のすべての原子力活動を俯瞰した保障措置活動を設計し実施することができるようになった。

締約国がその保障措置義務を履行しているとの結論を継続して導出するため、また、その信頼性のレベルを向上させるために、IAEAは、現在の法的枠組みの中で国レベル概念と称する保障措置実施の概念を開発し適用している。

国レベル概念は国全体の原子力活動及び原子力に関連する活動と能力を対象とした保障措置を実施するという理解である。

国レベル概念は、保障措置協定を発効しているすべての国に対して適用される。

### 4.2 国レベル保障措置の目標

国レベル保障措置の目標は、「一般的な目標」と「技術的な目標」から構成されている。

「一般的な目標」は、国が締約している協定やそれにかかわる目標の充足状況を検証し結論を導出するために、IAEAによって構築され、実行される。

「一般的な目標」は、次の通り。

- ① 申告されている施設及び施設外の場所における申告された核物質の転用の検知
- ② 申告されている施設及び施設外の場所における核物質の未申告の生産及び処理の検知
- ③ 国全体を対象とした未申告の核物質及び活動の検知

「技術的な目標」は、保障措置活動の計画、実施及び評価の基本的な指標となる取得経路分析あるいは転用経路分析を通して、国内の施設別に構築される。

#### 4.3 国レベルアプローチ

国レベル概念の確実な要素は、程度に応じて適用されている。実際は、個々の国を対象とした状況に応じた国レベルの保障措置アプローチが統合保障措置（包括的保障措置協定と追加議定書が発効し、拡大結論が導出されている国で、必要な取極が終了している国に対して実施される）下で実施されている。

国レベルのアプローチを設計するときに、以下のようなその国固有の要素（ファクター）を考慮することになっている。

- ① 国が締約している保障措置協定のタイプと IAEA によって導出された保障措置結論の本質、
- ② 国の核燃料サイクルと関連能力、
- ③ 国内及び地域計量管理システム (SSAC/RSAC) の技術的な能力、
- ④ 国における一定の保障措置手段、
- ⑤ 保障措置実施のための国と IAEA の間の協力の性格と範囲、

#### ⑥ その国における保障措置実施の IAEA の経験

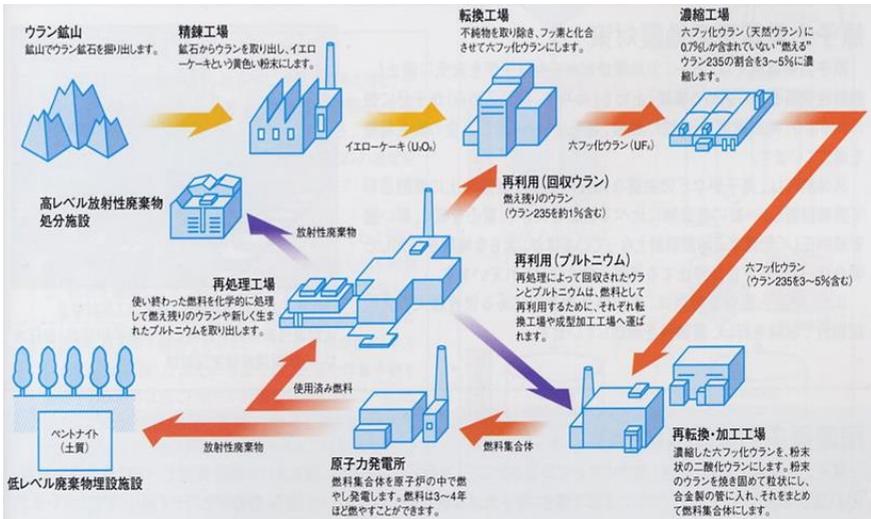
国レベルアプローチは、事務局で開発された保障措置関連文書に詳細に記載されている。これは、適用される国の保障措置目的と査察現場及び本部において IAEA によって実施される保障措置手段から構成されている。

#### 4.4 国の原子力活動全体の絵図

国レベルアプローチを構築するにあたって、まず最初に、IAEA が利用可能なすべての情報に基づいて、国に存在する施設や施設外の場所をふくむ原子力活動の俯瞰図（国のプロフィール）を描くことが必要である。このプロフィールは、国の核拡散の懸念に関連する機微な施設や機微な活動を特定することができる。

また、この全容は、核物質の取得経路を特定するための基本的な情報となる。

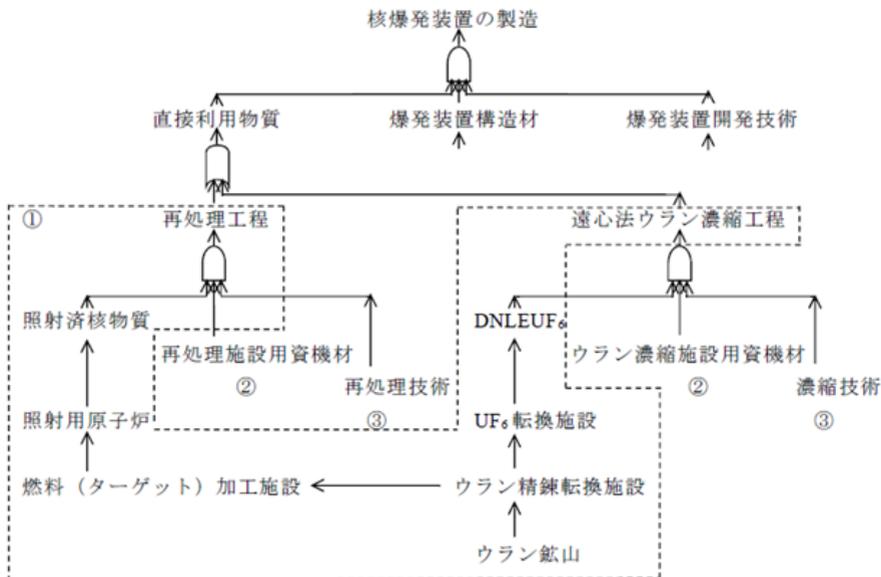
すべての要素施設をもつ核燃料サイクル図



#### 4.5 取得経路分析

取得経路分析とは、国が核爆発装置の製造に使用可能な核物質を入手するために使用できそうなすべての入手経路又は入手戦略を特定するための分析活動である。入手経路分析は、国レベル保障措置アプローチ開発の一部である。入手経路分析の目的は、IAEAが実施を計画している保障措置手段が、特定された入手経路又は入手戦略に関して十分な検知能力を有するかどうかを判定することである。

核爆発装置製造に至る一般的な経路



- ① 原子力活動
- ② 機微な資機材
- ③ 機微な技術

取得経路を分析するときの代表的な視点は以下の通り。

- ・ 軽水炉の場合は、精錬、転換、ウラン濃縮、再転換・燃料加工が必須
- ・ 黒鉛炉、CANDU 炉にはウラン濃縮は不要
- ・ 新型転換炉、高速炉には再処理は必須
- ・ 高レベル放射性廃棄物施設があればどこかに再処理施設があることは自明
- ・ 燃料調達の国際依存性、国内供給可能性が重要
- ・ 整合性の無い組合せは不可解 ⇒ 他の目的の疑い

#### 4.6 期待される良好な結論

国レベルアプローチによる活動を通して、期待される最良の結論は、以下の通り。これは、国レベル保障措置目標の「一般的な目標」が達成されたことを意味する。

- ① 申告されている施設及び施設外の場所における申告された核物質の転用が検知されなかった。(包括的保障措置協定下の活動で対応)
- ② 申告されている施設及び施設外の場所における核物質の未申告の生産及び処理が検知されなかった。(包括的保障措置協定下の活動及び一部追加議定書下の活動で対応)
- ③ 国全体を対象とした未申告の核物質及び活動が検知されなかった。(追加議定書下の活動で対応)

#### 4.7 国レベルアプローチの特徴

国レベルアプローチには「一般的な目標」と「技術的な目標」が含まれる。「技術的な目標」はすべての締約国共通の「一般的な目標」と異なって、各国あるいは対象施設ごとに異なる。

「技術的な目標」は、取得経路分析あるいは転用経路分析の実施結果による分析法を基礎として系統的かつ技術的に構築される。

「技術的な目標」は、個々の施設あるいは施設外の場所に適用される保障措置手段や保障措置実施手順に完全に連動している。技術的目標の達成に焦点を当てると、保障措置の実施は、より実効性のある対応となる。

IAEAは、各々の国に適用する保障措置アプローチは公開していない。

#### 4.8 情報分析

保障措置活動に利用できるすべての情報は、内部整合の評価を通してその有効性（真正性）確認が行われる。IAEA で収集した情報に真偽が疑われる情報が含まれるかもしれないからである。評価の視点は、すべての情報の整合性の確認である。

IAEA は、公開情報、第三者から提供を受けた情報及び必要に応じて国の疑義に対する質問への国からの回答の確認事項を含むすべての情報等の厳密な再確認と正確性の確認を、継続して実施する。多様な情報と取得経路分析結果から、核爆発装置製造に至る未申告活動の存在の疑義を特定する。

情報分析の方法には2つある。取得経路分析から未申告の核開発の可能性を推定し、その可能性を裏付けるような情報を収集し、特定に至る方法と、公開情報や輸出入情報、その他研究開発状況など多種多様な情報（ビッグデータ）から未申告の核開発の可能性を見出そうとする方法である。前者は、既に IAEA で実施されているが、後者については今後開発の余地が残されている。

#### 4.9 国レベルアプローチ構築の手順

国レベルアプローチは次のような手順で確立される。

1. 対象国の保障措置に関連するすべての情報を収集する。
2. 対象国内の核燃料サイクル及び原子力関連施設の全容を把握する。
3. 対象国の技術的能力を特定する。
4. 取得経路分析を行う。
  - 4-1 必要に応じて未申告施設や活動に関連する更なる情報を収集する。

4-2 もし未申告の施設や活動を発見した時は、ステップ2に戻る。

5. 注目すべき施設と検証の強度の優先度を割り当てる。
6. 各施設の転用分析を行う。
7. 個々の施設に対する保障措置アプローチと査察実施手順を構築する。

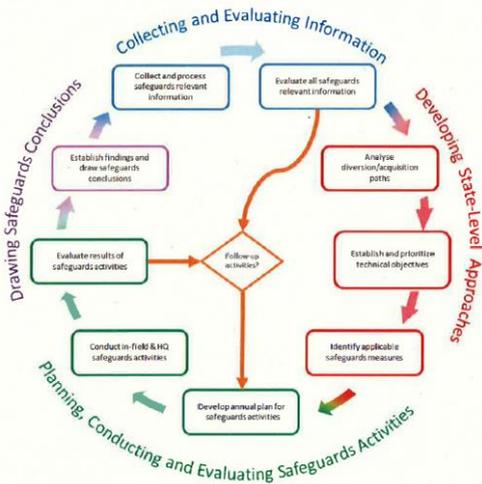
#### 4.10 国レベルアプローチの実施

国レベルアプローチは、年間査察実施計画に従って実施される。この年間査察実施計画は、技術目標に対応するために当該年内に実施する保障措置活動の予定を示す。

国レベルアプローチは現在実施可能な保障措置手段の実施の頻度と強度の可能性のある調整も含んでいる。

IAEA は、核燃料サイクルの機微な場所や核兵器や核爆発装置を容易に製造可能な核物質へ検証労力の集中を継続する。

IAEA が示している国レベルアプローチ運用の手順



#### 4.11 査察現場における検証活動

査察現場での実施のレベルは、査察活動の頻度と強度として表現される。

- 査察活動の頻度：年間に実施される査察の回数
- 査察の強度：査察時に実施される活動の程度

IAEA は、核物質の量や種類（属性）、施設の種類及び運転状況（例えば、建設中、運転中、停止中、廃止措置中）、及び、対象国の核燃料サイクルや関連する技術の能力を配慮する。

#### 4.12 IAEA 本部における検証活動

IAEA 本部においては、国から提出された査察現場で収集された原子力活動や機器に関する情報、その他 IAEA が活用可能な公開情報等の情報の処理、見直し、及び、真正性の確認が行われる。

すべての国に対し、IAEA は以下の情報を収集し処理する。

- ① 国そのものから提供されたすべての情報（例えば、追加的な詳細又は明確な説明や自発的に提供された情報を含む申告や報告）
- ② 査察現場で査察官の保障措置活動から収集された情報（例えば、設計情報の検認や物質収支評価に関する情報）
- ③ その他の情報（例えば、公開情報あるいは第三者から提供された情報）

#### 4.13 結論の導出

IAEA は、保障措置の効果を損なうことなく保障措置実施の効率性を保障するために可能な限り努力する。

保障措置実施の効果の評価は、計画された保障措置活動が実施されたかどうか、計画されたレベルの「技術的な目標」を達成できるような活動がされたかどうかなどが考慮される。

その他の要素として、IAEA が活用可能な保障措置に関するすべての情報に対する包括的な評価がある。

IAEA は、十分なレベルの保障措置活動を実施し、検証活動の結果を含むすべての情報の包括的な評価を行う必要がある。かつ、保障措置の懸念につながる表象であるかどうか、特定されたすべての異常、疑義及び不一致に対処する必要がある。

保障措置の良好な結論は、必要とされる保障措置活動がすべて実施された時、そして、保障措置の懸念をもたれるような表象が発見されなかった時に導出される。

以上

本読本内容への質問、意見等がある時、以下まで連絡ください。

電話：090-9365-3282

メール：[kikurin8@aol.com](mailto:kikurin8@aol.com)