

ウラン濃縮施設における保障措置手段としての 目視観察の有効性評価

大野 史*¹・岡本 毅*²・横地 明*³・仁平和夫*⁴

Assessment of the Effectiveness of Personal Visual Observation as a Safeguards Measure in a Uranium Enrichment Facility

by

Fubito OHNO, Tsuyoshi OKAMOTO, Akira YOKOCHI and Kazuo NIDAIRA

(Received on Sep. 30, 2002, accepted on Nov. 25, 2002)

Abstract

In a centrifuge enrichment facility, a cascade that produces low enriched uranium is composed of a large number of UF₆ gas centrifuges interconnected with pipes. It is possible to divert the cascade to the illegal production of highly enriched uranium (HEU) by changing the piping arrangement within the cascade. If integrated type centrifuges that contain a few tens of advanced centrifuges are introduced into the facility, the number of pipes will greatly decrease. The smaller the number of pipes, the less the labor required to change the piping arrangement. Because personal visual observation by an inspector is considered as one of measures against changing the piping arrangement, its effectiveness is assessed in this study.

First, a model centrifuge enrichment facility that has a capacity of 2,400 ton-SWU/y is designed. In this model facility, integrated type centrifuges that contain advanced centrifuges are installed. Second, the diversion path analysis is carried out for the model facility under the assumption that a facility operator's goal is to produce 75 kg of HEU with 20 % enrichment in a month. The analysis shows that, in our assumed diversion path, changes of the piping arrangement can be certainly detected by personal visual observation of a part of pipes connected with integrated type centrifuges that compose the cascade diverted to the HEU production. Finally, inspections in a cascade area are modeled as two-person noncooperative games between the inspector and the facility operator. As a result, it is found that all the cascades in the model facility will be investigated if the inspector can devote the inspection effort of 0.83 man-day per month to personal visual observation in the cascade area. Therefore, it is suggested that personal visual observation of the piping arrangement is worth carrying out in a uranium enrichment facility where integrated type centrifuges that contain advanced centrifuges are installed.

Keywords: Safeguards, Uranium enrichment facility, UF₆ gas centrifuge, Personal visual observation, Game theory

1. はじめに

UF₆ ガス遠心分離ウラン濃縮施設は潜在的に高濃縮ウランを生産することが可能であり、さらに商業的に機微な情報を含むため保障措置上重要な施設である¹⁻³⁾。低濃縮ウランを生産するカスケード1基においては、非常に多数のUF₆ガス遠心分離機が配管によって相互に接続されている。この配管の構成を変更することによって、当該カスケードで高濃縮ウランを生産することも可能になる^{2,4)}。現在使用されている向流型ガス遠心分離機⁵⁾よりもさらに分離能力の高い遠心分離機が開発され、これが濃縮施設に設置された場合、カスケードを構成する遠心分離機の数は大幅に減少する。これは遠心分離機間の配管の減少も意味している。また、経済的な理由から複数の遠心分離機を内蔵する集合型遠心分離機¹⁾が採用された場合には、配管の数は

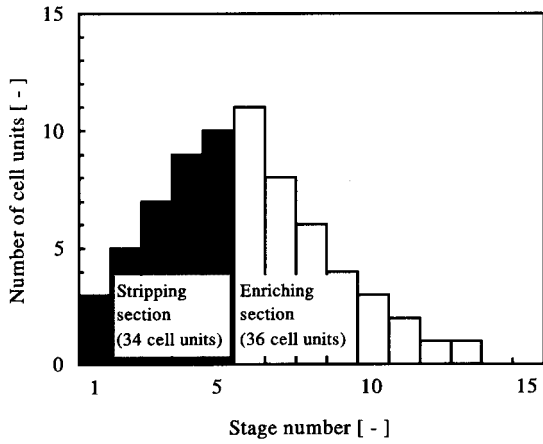
さらに減少する。配管が減少するほどカスケード内において配管構成を変更する労力は低下するため、今後、配管構成の変更によるカスケードの不正使用を考慮することが重要になると思われる。

査察官による目視観察は配管構成の変更に対抗する保障措置手段の1つと考えられるため、本研究ではその有効性について検討する。このために、まずモデル遠心分離ウラン濃縮施設を設計し、これに対して転用経路分析を行う。そして、このモデル施設での目視観察による査察について分析する。効率的な査察を実施するために、ゲーム理論的なアプローチによる検認理論⁶⁻⁸⁾が研究されており、その保障措置分野への応用も行われている^{9,10)}。ここでは、この理論に基づいてカスケード区域内における査察を2人非協力ゲームとしてモデル化し、目視観察について査察業務量を評価する。

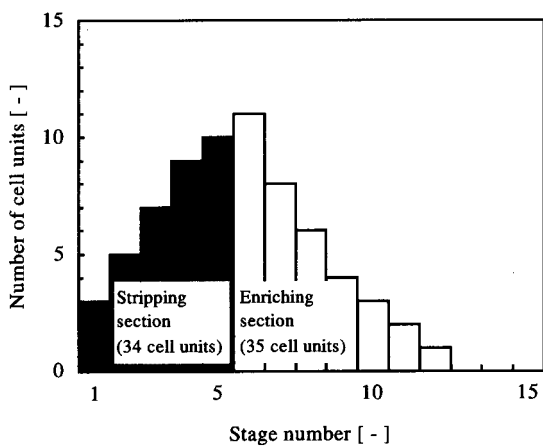
2. モデル遠心分離ウラン濃縮施設

様々な濃縮度の軽水炉燃料に対応するために、2種類のカス

*1 工学研究科応用理学専攻博士課程後期
*2 工学部応用理学科エネルギー工学専攻助教授
*3 工学部応用理学科エネルギー工学専攻教授
*4 (財)核物質管理センター



(a) 1st group



(b) 2nd group

Fig. 1 The number of cell units in each stage of a model cascade.

ケードを設計した。一方のカスケードは濃縮度 4%，他方は 3% のウランを生産する。モデル遠心分離ウラン濃縮施設には、前者のカスケードが 50 基、後者のカスケードが 30 基存在する。便宜上、濃縮度 4% のウランを生産するカスケードのグループを第 1 グループ、3% のウランを生産するカスケードのグループを第 2 グループと名づける。各カスケードの分離作業量を

30 ton-SWU/y としているため、モデル施設の総容量は 2,400 ton-SWU/y である。

カスケードの構成単位を集合型遠心分離機とする。集合型遠心分離機とは複数の遠心分離機を 1 つの容器の中に格納したものであり、ここではこれをセルユニットと呼ぶことにする。なお、セルユニットが内蔵する遠心分離機は既存のものよりも高性能である。カスケードの各段に流入する UF₆ ガスの流量を計算すると¹¹⁾、カスケードの各段におけるセルユニットの数は Fig. 1 のようになる。第 1 グループに属するカスケードでは、濃縮部の段数は 8、回収部の段数は 5 である。原料（天然ウラン）を第 6 段に供給し、製品（濃縮度 ~ 4%）を第 13 段（頂上段）から回収する。また、廃品（濃縮度 ~ 0.2%）については第 1 段から回収する。濃縮部は 36 のセルユニットから、回収部は 34 のセルユニットから構成され、セルユニットの総数は 70 となる。原料、製品、及び廃品の流量はそれぞれ 31.6 ton-U/y、4.2 ton-U/y、及び 27.4 ton-U/y である。また、第 2 グループに属するカスケードでは、濃縮部の段数は 7、回収部の段数は 5 となり、製品（濃縮度 ~ 3%）を第 12 段（頂上段）から回収する。濃縮部は 35 のセルユニットから、回収部は 34 のセルユニットから構成され、セルユニットの総数は 69 となる。原料、製品、及び廃品の流量はそれぞれ 34.1 ton-U/y、5.7 ton-U/y、及び 28.4 ton-U/y である。

Fig. 2 に、第 1 グループに属するカスケードにおける配管構成を示す。セルユニットは 2 列に配置されている。なお、カスケードヘッダーに設置されたバルブを閉めることにより、任意のカスケードを低濃縮ウラン生産工程から隔離することが可能である。

3. 転用経路分析

本研究では、施設運転者の目的は 1 ヶ月に濃縮度 20% の高濃縮ウランを 75 kg¹²⁾ 生産することであると仮定する。また、我々が設計したカスケード内において配管の構成を変更することは比較的容易なため、配管構成の変更を伴う転用経路について検討する。

Fig. 3 に、高濃縮ウラン生産に転用されたカスケードの各段におけるセルユニットの数を示す。なお、転用カスケードは、

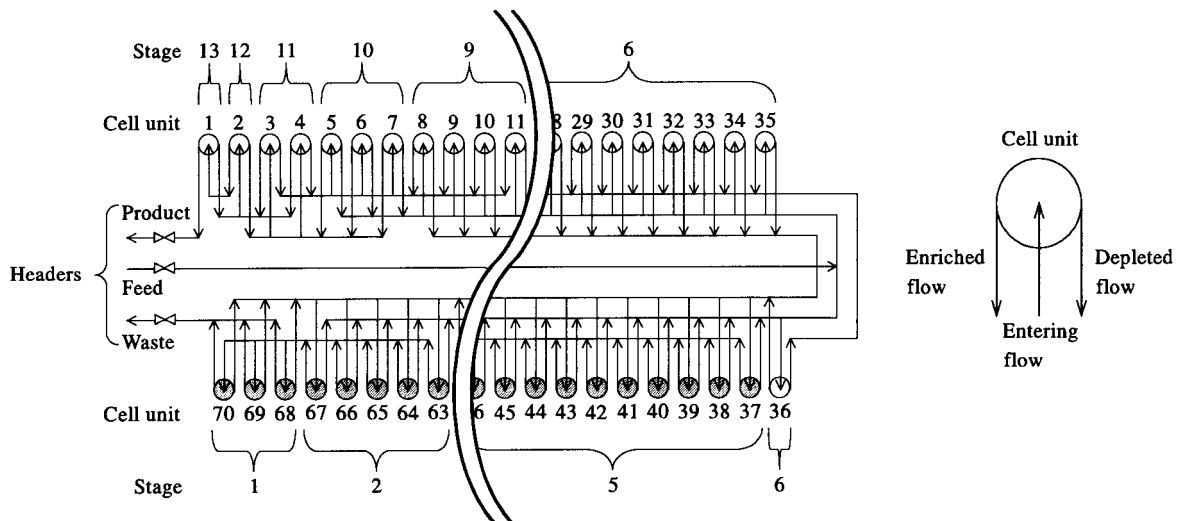


Fig. 2 The piping arrangement within a model cascade in the 1st group.

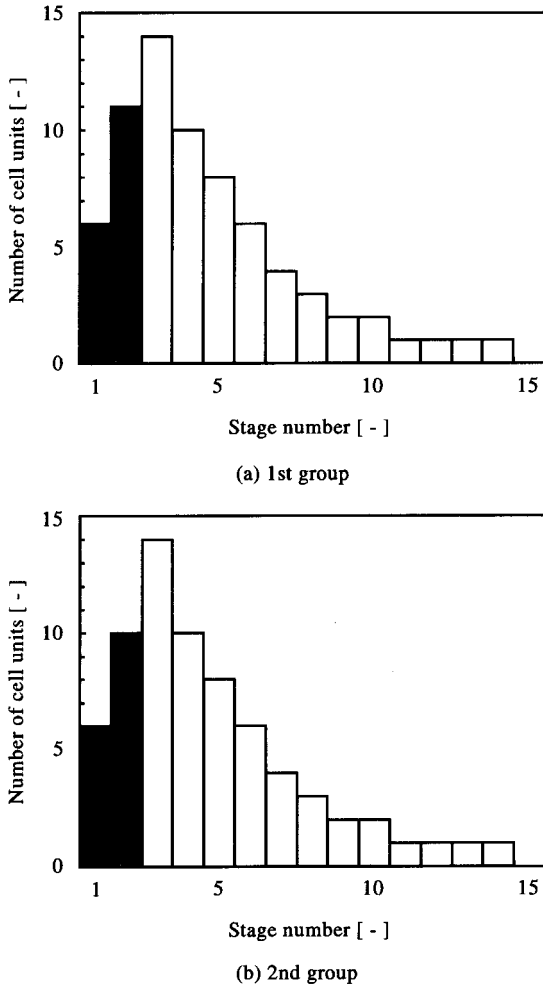


Fig. 3 The number of cell units in each stage of a diverted cascade.

その原料及び廃品の流量が通常運転時とほぼ等しくなるように設計されている。第1グループに属する転用カスケードでは、原料、製品、及び廃品の流量はそれぞれ 29.6 ton-U/y, 0.7 ton-U/y, 及び 28.9 ton-U/y である。また、第2グループの場合には、それぞれ 29.1 ton-U/y, 0.7 ton-U/y, 及び 28.4 ton-U/y となる。

1ヶ月で 75 kg の高濃縮ウランを生産するには 0.9 ton-U/y という転用速度を要するが、転用カスケードの製品流量は第1グループ及び第2グループの両方において 0.7 ton-U/y に過ぎない。このため、施設運転者は2基以上のカスケードを高濃縮ウラン生産に転用する必要がある。

転用カスケードにおいては様々な配管構成が原理的には可能であるが、ここでは配管構成について2つの制約を設ける。すなわち、(i) 転用カスケードのいかなる段も隣接するセルユニットから構成され、さらに (ii) 全ての段が番号順に配置されるように配管を構成する。ただし、施設運転者は転用カスケードの頂上段として任意のセルユニットを選択することができるものとする。上記2つの制約が満たされない場合には、配管構成は極めて複雑になり、その変更作業には膨大な労力が必要となる。

Fig. 4 に、第1グループに属する転用カスケードにおける配管構成の一例を示す。この例では、67番目のセルユニットが頂上段として選択されている。また、28本の配管が新たに追加され、27ヶ所で配管が遮断される（この配管構成において、追加配管及び遮断箇所数は最小となる）。カスケードヘッダーの付近で、セルユニットの2つの列にまたがるようにして2本の配管が追加されているのがわかる。これらの内の1本は第10段からの濃縮流を第11段に供給している。この配管の一端は1番目のセルユニットの濃縮流用配管に接続されているが、第10段は1番目及び2番目のセルユニットから構成されるため、これを2番目のセルユニットの濃縮流用配管に接続することもできる。

1番目以外のセルユニットが頂上段として選択されるときには、セルユニットの2つの列にまたがる配管は常に追加される。Fig. 5 (a) に示すように1番目及び70番目のセルユニットが異なる段に属している（すなわち、1番目のセルユニットが第*i*段、70番目のセルユニットが第*i*+1段に属する）場合には、第*i*段からの濃縮流を第*i*+1段に供給する配管を追加する必要がある。この配管の一端は、第*i*段を構成するセルユニットの濃縮流用配管のいずれかに接続される。一方、Fig. 5 (b) のように1番目及び70番目のセルユニットが同一の段に属している場合、これら両セルユニットからの濃縮流を合流させる配管を追加しなければならない。この配管の一端が接続されるのは、当該段

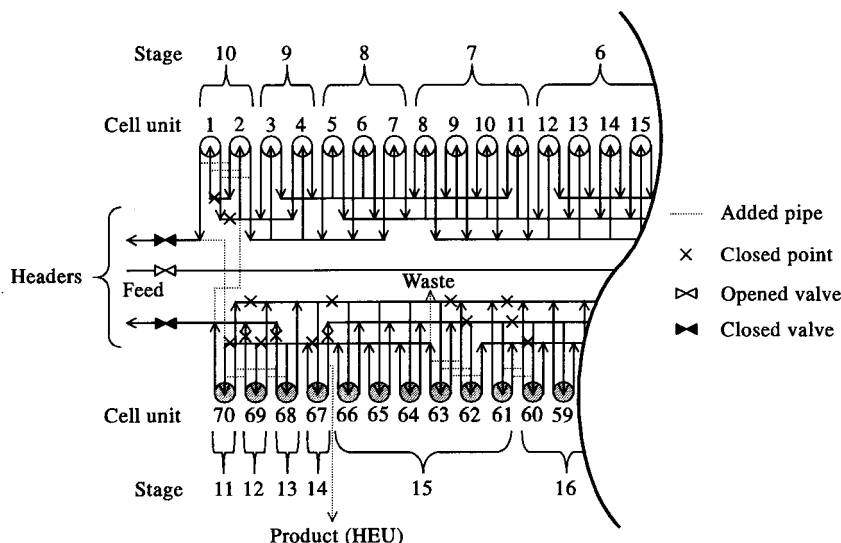
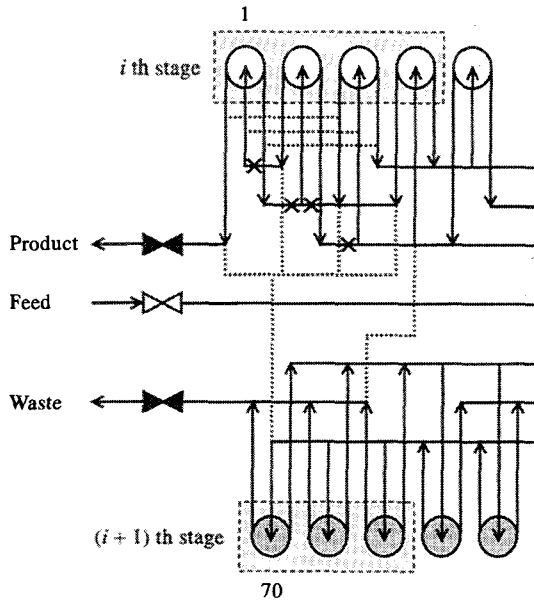
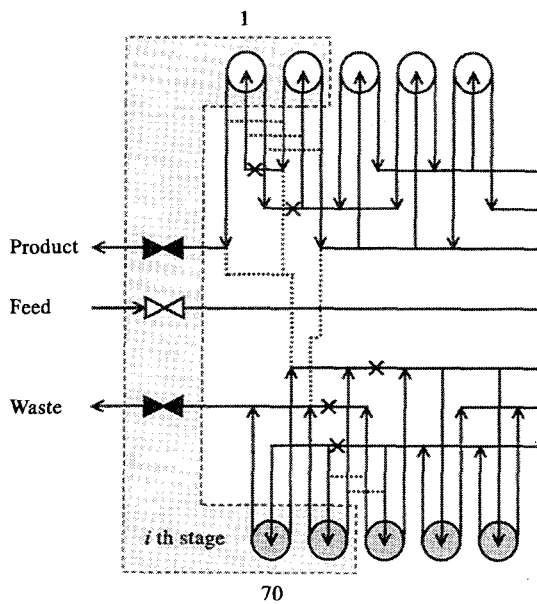


Fig. 4 The piping arrangement within a diverted cascade in the 1st group.



(a) The 1st and the 70th cell units are in different stages.



(b) The 1st and the 70th cell units are in the same stage.

Fig. 5 Added pipes between two rows of cell units.

を構成し、さらに製品用ヘッダー側の列に属するセルユニットの濃縮流用配管のいずれかである。ところで、転用カスケードの各段におけるセルユニット数は第3段（原料供給段）で最大になり、第3段は14のセルユニットから構成される（Fig. 3 (a) 参照）。従って、1番目以外のどのセルユニットが頂上段に割り当てられようとも、セルユニットの2つの列にまたがるようにして追加される配管の内の1本は、1~14番目のセルユニットの濃縮流用配管のいずれかに接続されることになる。このため、査察官は1~14番目のセルユニットについて濃縮流用配管を目視観察すれば、追加された配管の内の1本を確実に探知することができる。なお、1番目のセルユニットが頂上段として選択された場合には、新たに追加された配管がセルユニットの2つ

の列にまたがることはない。ただし、1番目のセルユニットの濃縮流用配管には、製品回収用のミニコールドトラップが接続される。従って、どのセルユニットが頂上段として選択されようとも、査察官は最初の14のセルユニットについて濃縮流用配管を目視観察すれば、配管構成の変更を必ず探知できることがわかる。

同様な議論により、第2グループに属するカスケードが転用された場合にも、査察官は1~14番目のセルユニットについて濃縮流用配管を目視観察すればよいことが示される。

4. ゲーム理論の適用

転用経路分析から、目標量の高濃縮ウランを生産するには2基のカスケードを転用すれば十分であることが示された。ここでは、施設運転者は自らの労力を最低限に抑えるために、2基のカスケードのみを高濃縮ウラン生産に転用しようと意図していると仮定する。また、2基のカスケードが同時に転用される場合、75 kgの高濃縮ウランを生産するには約20日間かかる。そして、施設運転者は高濃縮ウラン生産が完了した後、転用カスケードを元の状態に戻す必要がある。このため、転用カスケードにおいて配管が違法に変更された状態は約1ヶ月間継続するものとする。このとき、査察官は無通告査察を月に1度実施すれば、高濃縮ウラン生産中にカスケード区域を査察する機会を必ず得ることができる。従って、高濃縮ウラン生産時の目視観察について検討する。

カスケード区域における査察を、査察官及び施設運転者をプレイヤーとする2人非協力ゲームとしてモデル化する。検認理論では、クラス、アイテム、及びデータといった査察用語が導入されている⁶⁾。クラスは同様な性質を持つアイテムから構成され、アイテムは内にデータを含んでいる。ここでは2つのクラスが存在し、それぞれのクラスは2種類あるカスケードのグループに対応する。すなわち、1つ目のクラスはカスケードの第1グループに、2つ目のクラスは第2グループに相当する。また、アイテムはカスケードとして定義され、データはカスケード内における配管の構成を意味する。 i 番目のクラスに含まれるアイテムの数をそのクラスのサイズと呼び、これを N_i ($i=1, 2$) で表す。第1グループ及び第2グループにはそれぞれ50基及び30基のカスケードが含まれているため、 $N_1=50$ 及び $N_2=30$ となる。

査察官の戦略集合は次式で定義される。

$$X_\varepsilon = \{ \mathbf{n} = (n_1, n_2) \mid \varepsilon_1 n_1 + \varepsilon_2 n_2 = \varepsilon \} \quad (1)$$

ここで、 n_i ($i=1, 2$) は i 番目のクラスにおけるサンプルサイズである。これは、査察官が i 番目のクラスにおいてデータを検認するためにランダムに選択するアイテムの数を意味する。 ε_i ($i=1, 2$) は、 i 番目のクラスのアイテム1つに含まれるデータを目視観察によって検認するために要する査察業務量である。 ε は、査察官が1ヶ月間に目視観察に対して投入できる全査察業務量である。

施設運転者の戦略集合は次式で与えられる。

$$Y_\mu = \{ \mathbf{r} = (r_1, r_2) \mid \mu_1 r_1 + \mu_2 r_2 = \mu \} \quad (2)$$

ここで、 r_i ($i=1, 2$) は i 番目のクラスにおける改ざんサイズである。これは、施設運転者が i 番目のクラスにおいてデータを改ざんするためにランダムに選択するアイテムの数を意味する。なお、データの改ざんとは、配管構成の変更に相当する。 μ_i ($i=1, 2$) は、 i 番目のクラスのアイテム 1 つに含まれる改ざんデータの量である。カスケード内において配管の構成を変更することにより、通常運転時とは異なる配管構成がもう 1 つ作り出されるため、 $\mu_1 = \mu_2 = 1$ となる。また、 μ は改ざんデータの総量であり、2 基のカスケードが転用されるという仮定から $\mu = 2$ となる。

査察官及び施設運転者の利得は未探知確率 β 、すなわち査察官が改ざんデータを含むアイテムを 1 つも発見しない確率で表現される。未探知確率は次式で与えられる。

$$\beta = \prod_{i=1}^2 \prod_{j=0}^{n_i-1} \left(1 - \frac{r_i}{N_i - j}\right) \quad (3)$$

$n_i \ll N_i$ のとき、未探知確率は次のように近似される。

$$\beta \approx \prod_{i=1}^2 \left(1 - \frac{r_i}{N_i}\right)^{n_i} \quad (4)$$

査察官は未探知確率の最小化を望み、一方、施設運転者はこれを最大化したいため、戦略の連結空間 $X_\varepsilon \otimes Y_\mu$ において未探知確率の鞍点が存在するのであれば、これがゲームの解となる。鞍点を $(\mathbf{n}^*, \mathbf{r}^*)$ で表すと、これは次式で定義される。

$$\beta(\mathbf{n}^*, \mathbf{r}) \leq \beta(\mathbf{n}^*, \mathbf{r}^*) \leq \beta(\mathbf{n}, \mathbf{r}^*) \quad (5)$$

(i) ε , μ , ε_i 、及び μ_i の値は査察官及び施設運転者にとって既知であり、(ii) 未探知確率を式 (4) で近似することができ、

(iii) サンプルサイズ n_i 及び改ざんサイズ r_i を連続変数として取り扱うことができると仮定すると、クラスの数 K の場合に対して、唯一の鞍点 $(\mathbf{n}^*, \mathbf{r}^*)$ 及びこれに対応する未探知確率の値 $\beta^* = \beta(\mathbf{n}^*, \mathbf{r}^*)$ は以下の式で与えられる⁶⁾。

$$n_i^* = \frac{\mu_i N_i}{\sum_{j=1}^K \mu_j \varepsilon_j N_j \exp(-\kappa \varepsilon_j)} \mu_i N_i \exp(-\kappa \varepsilon_i) \quad (6)$$

$$r_i^* = N_i \left\{ 1 - \exp(-\kappa \varepsilon_i) \right\} \quad (7)$$

$$\beta^* = \exp(-\kappa \varepsilon) \quad (8)$$

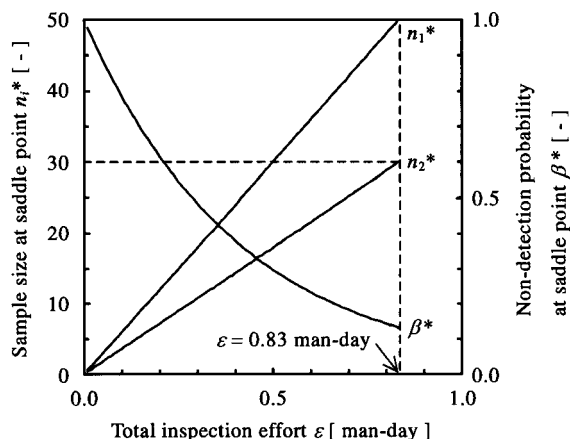
ここで、パラメータ κ は次式によって一意的に決定される。

$$\sum_{i=1}^K \mu_i N_i \exp(-\kappa \varepsilon_i) = \sum_{i=1}^K \mu_i N_i - \mu \quad (9)$$

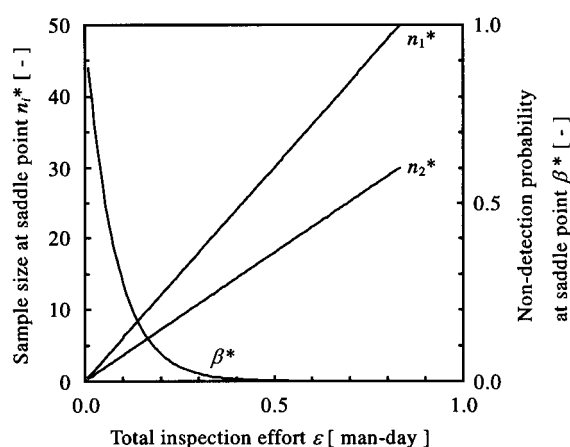
本研究では $K=2$ であり、 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ とすると、式 (6) ~ (9) は次のように整理される。

$$n_i^* = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_i} \frac{\mu_i N_i}{\mu_1 N_1 + \mu_2 N_2} \quad (10)$$

$$r_i^* = \frac{\mu N_i}{\mu_1 N_1 + \mu_2 N_2} \quad (11)$$



(a) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.01$ man-day and $\mu = 2$.



(b) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.01$ man-day and $\mu = 10$.

Fig. 6 The sample size and the non-detection probability at the saddle point as a function of the total inspection effort.

$$\beta^* = \left(1 - \frac{\mu}{\mu_1 N_1 + \mu_2 N_2}\right)^{\varepsilon / \varepsilon_i}, \quad i=1, 2 \quad (12)$$

式 (11) によると $r_1^* = 1.25$ 及び $r_2^* = 0.75$ であるが、これらの値は四捨五入によりそれぞれ 1 となる。従って、施設運転者の最適な戦略は、各クラスにおいて 1 基のカスケードを高濃縮ウラン生産に転用することである。

Fig. 6 (a) に、鞍点におけるサンプルサイズ及び未探知確率を全査察業務量の関数として示す。査察官は転用カスケードにおいて最初の 14 のセルユニットについて濃縮流用配管を目視観察すれば配管構成の変更を探知できるため、ここでは 1 基のカスケードを検認するには 1 人の査察官が 5 分間の目視観察をすれば十分である、すなわち $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.01$ 人・日と仮定している。全査察業務量の増加によりサンプルサイズが増加する一方、未探知確率は減少していることがわかる。 $\varepsilon = 0.83$ 人・日のとき $n_1^* = 50$ 及び $n_2^* = 30$ となり、施設内の全てのカスケードが検認される。従って、査察官が 1 ヶ月に 0.83 人・日という査察業務量をカスケード区域における目視観察に投入できるのであれば、カスケードの転用を確実に探知できる。なお、全カスケードが検認されるのにもかかわらず未探知確率がゼロにならないのは、未探知確率を式 (4) で近似したためである。

以上では施設運転者は 2 基のカスケードのみを転用すると仮定したが、実際には 3 基以上を転用する ($\mu \geq 3$) 可能性もある。

例えば $\mu = 10$ の場合には、鞍点におけるサンプルサイズ及び未探知確率は Fig. 6 (b) のようになる。未探知確率は $\mu = 2$ の場合よりも大幅に低下しており、査察官に有利なように思われる。しかしながら、このときには約 4 日間で 75 kg の高濃縮ウランを生産できてしまうため、月に 1 度の無通告査察では不十分である。従って、より一般性をもって目視観察の有効性を評価するには、査察時の未探知確率に加え、査察官が高濃縮ウラン生産時以外に査察を実施してしまう確率を考慮したモデルについて検討する必要がある。

5. まとめ

モデル遠心分離ウラン濃縮施設では、複数の高性能遠心分離機を内蔵するセルユニットの採用によってカスケード内の配管の数が大幅に減少するため、配管構成を変更してカスケードを高濃縮ウラン生産に転用することは比較的容易になる。しかしながら、本研究で想定した転用経路の場合、転用カスケードにおいて 1~14 番目のセルユニットに接続する濃縮流用配管のいずれかに必ず変更が加えられる。このため、査察官は転用カスケード内の全てのセルユニットについて配管を検査せずとも、配管構成の変更を目視観察によって確実に探知できる。また、目視観察によって施設内の全てのカスケードを検査するには、0.83 人・日という査察業務量で十分であることが明らかになった。従って、高性能遠心分離機及びセルユニットを用いたウラン濃縮施設を対象にした場合、無通告査察時のカスケード区域における目視観察は実施する価値のある有用な査察手法であることが示唆される。

なお、日本国内では現在、商用ウラン濃縮工場で稼働中の遠心分離機の 4~5 倍の分離能力を持つ新型遠心分離機の開発が進められている。分離能力を向上させる主な方法は、回転胴の高周速化及び長胴化である。このため、新型遠心分離機は大型になり、集合化されずに単機で工場に設置されると予想される。そこで、本研究で想定した高性能遠心分離機の数倍の分離能力を持つ遠心分離機単機を構成単位として 30 ton-SWU/y のカスケードを設計し、これに対して転用経路分析を行った。その結果、カスケードを構成する遠心分離機の全台数は 302 となった。そして、このカスケード内で配管構成を変更し、濃縮度 20% の高濃縮ウランを生産できる新たなカスケードを構成した場合、その原料供給段における遠心分離機の数倍の分離能力が明らかになった。すなわち、査察官が当該カスケードで配管構成の変更を確実に探知するためには、73 台もの遠心分離機について濃縮流用配管を目視観察しなければならない ($\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0.05$ 人・日と仮定すると、全カスケードの検認に必要な査察業務量は $\epsilon = 4.3$ 人・日となる)。しかしながら、このときにはカスケード内の配管の数がセルユニット使用時よりも増加するため、配管構成の変更を伴う転用経路を施設運転者が採用する可能性は低いと思われる。従って、新型機遠心分離機が実用化された場合、これが設置されたカスケード区域において目視観察を実施する必要性は、従来のカスケード区域と比較して減少するだろう。

参考文献

- 1) H. Murata, T. Minato, Y. Iwamatsu, H. Nishimura, H. Akiyama and T. Okamoto, "A Safeguards System for a Commercial Uranium Enrichment Facility", Proceedings of an International Symposium on Nuclear Material Safeguards, Vienna, Austria, November 1986, Nuclear Safeguards Technology 1986 Vol. 1.
- 2) H. Nishimura and T. Okamoto, "Effectiveness of Safeguards in a Centrifuge Enrichment Plant", Proceedings of INMM 31st Annual Meeting, Los Angeles, U. S. A., July 1990, Nuclear Material Management Vol. 19.
- 3) 岡本 毅, 西村秀雄, "分子法レーザーウラン濃縮施設における転用経路の特異性", 東海大学紀要工学部 Vol. 37, No. 1, 1997, pp. 59-67.
- 4) 岡本 毅, 西村秀雄, "保障措置システムの有効性評価に関するシミュレーション研究—遠心分離法ウラン濃縮カスケードの転用操作解析—", 第 10 回核物質管理学会年次大会論文集, 1989, pp. 54-61.
- 5) D. G. Avery and E. Davies, "Uranium Enrichment by Gas Centrifuge", Mills & Boom Ltd., 1973.
- 6) R. Avenhaus and M. J. Canty, "Compliance Quantified: An Introduction to Data Verification", Cambridge University Press, 1996.
- 7) R. Avenhaus and M. J. Canty, "Multi-level Attribute Sampling in the Attribute Mode", Journal of Nuclear Materials Management, Vol. XXIX (1), Fall 2000, pp. 28-34.
- 8) M. J. Canty, D. Rothenstein and R. Avenhaus, "Timely Inspection and Deterrence", European Journal of Operational Research 131 (1), 2001, pp. 208-223.
- 9) K. Nidaira and T. Osabe, "Case Study of Effective Safeguards Approach Using Unannounced/Random Inspection for Uranium Fuels", 42nd Meeting of INMM, Arizona, U. S. A., July 2001.
- 10) F. Ohno, T. Okamoto, A. Yokochi and K. Nidaira, "An Assessment of Inspection Effort in a Uranium Enrichment Facility Composed of Advanced UF₆ Gas Centrifuges by Game Theory", 43rd Meeting of the INMM, Florida, U. S. A., June 2002.
- 11) S. Yamashita and T. Okamoto, "Effect of Separation Factors on Product Assay of an Ideal Cascade Composed of UF₆ Centrifuges", Nuclear Technology, Vol. 26, June 1975, pp. 215-223.
- 12) IAEA Safeguards Glossary 1987 edition, IAEA/SG/INF/1 (Rev. 1), IAEA, 1987.