

「核燃料サイクルの国際化：目標、戦略、課題」

米露科学アカデミー報告書の概要について

米国科学アカデミー（NAS）とロシア科学アカデミー（RAS）の合同委員会が9月30日、“核燃料サイクルの国際化：目標、戦略、課題”（Internationalization of the Nuclear Fuel Cycle: Goals, Strategies, and Challenges）と題する共同研究報告書を発表した。報告書は、核兵器の拡散を防ぐ手段としての核燃料保証に関する分析と提案、さらには再処理・リサイクルと新型炉の新しい技術について検討し、機微な原子力技術の広がりを読み止め、核兵器の拡散リスク低減に寄与することを目的として、米露両国政府ならびに他の原子力供給国へさまざまな提言を行っている。

合同委員会の米国側委員は、ジョン・F・エイハーン(委員長, Sigma XI)；ロバート・J・バドニッツ(ローレンス・バークレー国立研究所)；マシュー・バン(ハーバード大学)；ウィリアム・F・バーンズ(米退役少将)；スティーブ・フェッター(メリーランド大学)；ローズ・ゴッテモラー(カーネギー国際平和基金モスクワセンター)；ミルトン・レーベンソン(元ベクテル・インターナショナル)、ロシア側委員は、ニコライ・P・ラヴェロフ(委員長,ロシア科学アカデミー)；ヴァレリー・S・ベズブツェフ(連邦環境・技術・原子力監督庁：Rostekhnadzor)；アレキサンダー・V・ピチコフ(原子炉科学研究所：RIAR)；ヴァレンチン・B・イワノフ(RAS 鉱床地質学・岩石学・鉱物学・地球化学研究所：IGEM RAS)；ボリス・F・ミヤソドフ(RAS)；ヴラディ斯拉フ・A・ペトロフ(IGEM RAS)；ミハイル・I・ソロニン(TVEL 社技術革新センター)である。ジョン・D&キャサリン・T・マッカーサー財団とカーネギー・コーポレーション・オブ・ニューヨークが資金を提供した。

報告書の構成は以下の通り 3 つの章と 6 つの付録（150 ページ）からなる。報告書は米科学アカデミーのHPで閲覧可能である。（http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12477）

第 1 章序論

第 2 章国際核燃料サイクルセンター

第 3 章国際核燃料サイクルをサポートする燃料再生成オプション

付録 A:タスクステートメント

付録 B:核燃料サイクルの国際化に関する NAS-RAS ワークショップのサマリ

付録 C:ロシアにおける原子力開発戦略

付録 D:米露の原子力協力協定案

付録 E:委員会参加者及び発表者リスト

付録 F:合同委員会メンバーの略歴

Appendix A

Committee on Internationalization of the Civilian Nuclear Fuel Cycle

Statement of Task (作業明細)

米国科学アカデミーとロシア科学アカデミー（NAS/RAS）による共同研究は、国際核燃料サイクル（民生用）の敷衍に必要な技術、経済、法律・規制、不拡散のクライテリアの評価を提示することである。この研究は、上記の各項目に関して包括的に取り扱うことを目的としたものではなく、むしろ、これらの複雑な問題に関して、ハイレベルであるが最初の切口（first cut）を提供することを目的としている。具体的に言えば、NAS/RAS共同研究は、以下のAとBに記載した主要事項(primary issue)や質問への対応であり、それ以降の二次的事項（secondary issue）対応は予算や時間が許容する範囲で行う。

- A. すでに軽水炉を所有する、もしくは軽水炉の建設に関心を有している国（もし、これらの国が核燃料サイクルを開発していなかったのであれば）に対して燃料サービスを提供すること。

主要事項 (primary issue) :

1. 固有の濃縮施設を開発しない国へのインセンティブとして、国際核燃料供給センターを設立することは実現可能かつ効果的か？
2. 国際センターを設立すること、例えば燃料の搬出とテイク・バック、職員の訓練、燃料製造の観点からの利点と欠点は何か
3. 国際センターにおいて、誰が核物質や燃料を所有すべきか？
4. 政府が国際施設を所有すべきか、それとも民間企業がすべて、もしくは幾つかを所有すべきか？

二次的な事項 (secondary issue) :

5. 受領国は、安全及び保障措置の観点からのどんな規制が必要か？
6. 受領国が安全かつセキュアに原子炉を運転しているという十分な信頼を提供するために、訓練や人数の観点から、どんなレベルの技術職員が必要か？
7. 燃料の移転、使用、また/もしくは返還を監督するに際し、IAEA はどんな役割を果たすべきか？
8. この概念を敷衍するため、国家が使用済燃料を搬出し、消費し、受け入れる上で法律や規制をどのようにかえる必要があるか？

- B. 国際核燃料サイクルをサポートする上での燃料再生成オプション

主要事項 (primary issue) :

1. UREX+によるウランの回収プロセス、PUREXによるプルトニウムとウランの回収プロセス、使用済・照射済燃料から核分裂性物質や他の物質を分離するためにロシア原子力局で考えられている他のプロセスの比較

2. GNEP やロシアの BN-600、BN-800 で提案されている ABR 概念における許容できるアクチニドの崩壊レベルの達成に必要な燃焼度やサイクルの数の比較
3. 新しい技術がこれらの提案に与える影響

二次的な事項 (secondary issue) :

4. 上記 1. で精査されたプロセスで作られる燃料の炉 (LWR、高温ガス炉、高速炉) での使用の比較
5. GNEP で提案されたプロセスにより発生した廃棄物と PUREX やロシアの計画をベースとしたシステムにより発生した廃棄物の各々に要求される処分場の比較
6. 米国もしくはロシアの核燃料サイクルの国際化のアプローチにおいて新しい法律や規制が要求されるか? これらのアプローチは、既存の法律や規制の差し替えや変更を必要とするのか?

研究タスクのスケールは大きく、また提案されている燃料サイクル戦略の詳細は流動的であるため、研究は2つのフェーズで行われる。フェーズ1では、委員会は燃料サイクルオプションの範囲を表す明確な戦略を特定するとともに、これらのオプションを分析するために鍵となる技術的、法律・規制及びその他の情報を収集する。これらの情報収集ステージは、国際ワークショップで締めくくられる。フェーズ2において、委員会は、供給・消費サイドにとって便益があり、また国際的な核不拡散努力を支援する国際核燃料サイクルを達成するために必要なクライテリアに関する最終レポートで、分析及び意見の一致をみた **finding**(確認事項)の提示と **recommendations**(提言)を行う。最終レポートは、作業計画セクションの最後に記載された NAS/RAS レポートのレビュー・プロセスに従い、ロシア及び米国のレビュー者に送付される。

第1章 序論

1960年代に本格的な原子力発電の開始以降、多くの原子炉が建設され、いくつかの核燃料サイクル施設によりサービスが提供されてきた。1980年代、1990年代にはほとんどの国で原子力発電導入が鈍化した。現在、世界中で原子力発電所新規建設に興味を持たれている。米、露、英、仏、加だけでなく、市場規模の大きな発展途上国である中国、インドや小規模なエジプトやベラルーシなどである。比較的低成長であった時代に続く、現状の原子力発電に対する関心の高まりは、原子力カルネサンスと呼ばれており、原子力発電所を持っていない多くの国々はまずは1基建設したいと考え、原子力発電を既に行っている国々は、追加建設してこれらの原子力発電所を支える燃料加工、ウラン濃縮、再処理などの原子力事業を拡張したいと考えている。

2007年、原子力を導入しようとしている29カ国のエネルギー計画について、IAEAが調査検討した結果、

アルジェリア、ベラルーシ、エジプト、インドネシア、イラン、ヨルダン、リビア、ナイジェリア、タイ、トルコ、ベトナムとイエメンは原子力発電所を導入するためのインフラ整備をしている。アルゼンチン、ブルガリア、中国、フィンランド、フランス、インド、日本、北朝鮮、パキスタン、南ア、ロシア、米国は原子力発電所を追加建設する計画である、と述べている。

この原子力発電所の拡張は、核燃料物質の拡散につながり、他の国での核兵器製造の可能性につながる。原子力発電所用の核燃料を製造するためのウラン濃縮技術や、使用済燃料からプルトニウムを分離する技術は、核兵器のために核分裂性物質を製造するのと同じ技術が用いられる。原子力発電を指向している国で濃縮や再処理技術を自国内で開発しようとする国は、核兵器に直接利用可能な物質を製造する手段を獲得することにもなる。

IAEA事務局長、ロシアのプーチン前大統領、米国のブッシュ大統領、と少なくとも他の主要6カ国と組織・機関が国際（多国間）核燃料サイクル施設あるいは核燃料供給保証を提案した。その目的は、濃縮や再処理技術を獲得しようとする1つの動機を取り除くことにより、濃縮や再処理技術が他国へ拡散するのを防止あるいは減じることである。

多国間あるいは国際核燃料サイクル構想を提案する5つの主要動機

①核燃料供給と使用済燃料管理の保証

例えば、もし、その国が、多国間管理濃縮工場のパートナーの1人となる、あるいは、供給途絶が起きた場合に供給を保証する世界的なバックアップシステムがあれば、国々は、常に信頼性の高い燃料供給がなされている、と、より一層感じる（そうなれば独自に濃縮工場を持ちたいとのインセンティブが減る）。

使用済燃料の送り先があれば、再処理工場を建設したいというインセンティブを減じることができる。核燃料賃貸方式で、使用済燃料を引き取る約束付きの賃貸であれば、独自に使用済燃料管理施設や燃料製造施設を建設するために投資するよりも、国際核燃料供給を信頼することに強いインセンティブを与える。燃料賃貸構想の変形の1つとして、原子炉賃貸方式があり、これは長寿命燃料を装荷し封印された炉心を持ち、開けられることなく炉ごと返却されるものである。（構成などは本報に後述する）

②核燃料サイクルの運営や利益を共有する機会

他国にある多国間管理施設に参画し、濃縮や再処理から得られる利益を共有することができれば、自国に濃縮や再処理工場を建設したいというインセンティブを減じるであろう。例としては、ロシアのアンガルスクのIUEC（国際ウラン濃縮センター）に参画したカ

ザフスタンは、もはや自国内に濃縮工場を建設することはないと表明している。

③建設されるプラントから拡散する危険性を低減する

もし、濃縮や再処理工場が多国間管理や国際機関の所有であって、国際職員が運転するのであれば、ある国が所有し、その国が運転する施設に比べて、軍事目的での施設利用を検知し易くし、より高い国際的な透明性やそうすることに対する高い政治的障壁の両方を備えることができる。

国際運転員とホスト国の専門家との日常的な交流は、隠れた施設を検知されずに設立するためにそれらの専門家を使うことはより一層困難となる。一方、濃縮や再処理工場の建設や運転に関する情報が不法に（過度に）拡散することを避けるために注意深く組織構成しなければならない。多くの国々からの職員がいる機微な燃料施設は、機微技術に対する有効な管理をしなければ、技術漏洩の危険性が増す。

④資源を蓄える

問題に対処するために数カ国の資源を持ち寄る多国間アプローチを選択することもできる。例えば、ドイツ、オランダ、イギリスのウレンコ・コンソーシアム（事業遂行連合体）は、自国に濃縮工場を建設しようとする場合の負担を相当減じてきたように見える。同様に、多くの国が、それぞれに核燃料廃棄物処分場を持つ必要がなくなるように、国際核燃料廃棄物処分施設についてのいくつかの提案がある。

⑤拡散リスクを高める物質を除去する

最後に、近年、特定の場所にあった核物質が重大な拡散危険性のあることが分かり、除去された。北朝鮮のプルトニウムを域外に搬出することについて北朝鮮と話し合っている。国際的な使用済燃料あるいは核燃料廃棄物管理施設は、使用済燃料を受け入れることや、処理することを提案して、将来、多くの国々がより多く原子力発電をするようになって、プルトニウムを含む使用済燃料を大量に貯蔵することにならないように提案するものである。

本委員会に問われているのは、「核兵器を拡散させることなく原子力発電が世界的に拡大していくことができるか？」ということである。この報告では、これを評価し、可能性のあるいくつかの解決策を出している。しかし、これらの解決策のどれもが核拡散リスク低減のための広い戦略の一部過ぎない。

核兵器の拡散なしに原子力発電を進展させるためには、原子力発電に対する国々の必要性や希望、核不拡散システムに対する信頼を増したり減じたりする要因のみならず核兵器を開発し持つことを防ぐ要因は何かを理解することが必要である。ここで簡単に述べ、後で詳述する。

各国の意見に共通的に含まれる事項；

(a) 平和利用の技術を開発する主権的権利を保持し、それに対応して、ウラン濃縮や使用済燃料の再処理を決して行わない（その技術なしで済ませる）という協定に調印することを拒否する。

(b)ウラン、ウラン濃縮および燃料製造市場の機能を保護するよう要望

(c)供給国(あるいは別の国)による使用済燃料の引き取りは、核燃料供給の保証に比較してより大きなインセンティブがあるだろうという見方。

今、原子力発電への関心が高まっているのはなぜか？

原子力発電への関心を高めているいくつかの要因がある。

- ・ エネルギー需要の増加
- ・ 化石燃料の供給における限界とコスト増
- ・ 安全でより安くより効率的な原子力発電
- ・ 既存の原子力発電所のより高い稼働実績
- ・ 地球温暖化

詳細は後述するが、各国はそれぞれにエネルギー産業に対する需要と関心を持っている。

【米国】

米国は世界最大の原子力発電国であり、1970年代初め以降原子力発電所の建設はなかったが、この状況が変化してきた。米国では、原子力発電所の所有者は1970年代そして1980年代に相当の経済的損失を被った。その原因はいくつかあり、議論のあるところであるが、主な原因は、1970年代中頃の重油禁輸に続く電力需要の急落と高金利時期における資本の大きな施設の建設における誤った管理である。

米国では、原子力発電所は、大きな建設費を回収する必要があるのに、発電を始めるとしばしば設備容量より低い運転になり、石炭火力、水力、天然ガスよりもコスト競争力がなかった。

ある人々は、原子力発電は放射性廃棄物の出る環境面で良くないと見ており、処分場建設は困難となっている。

要因ごとに程度の差はあるが、これら全ての要因により、1960年代から1970年代初めにかけた原子力発電の成長予測よりも低いものとなった。

米国では1990年代になり、それらのいくつかの要因が変化を始めた。

- 1) 原子力発電所の建設期間が短い実績が、韓国、仏、日本で示された。
- 2) 原子力発電所の稼働率が上がり、多くの原子力発電所でその理論最大設備容量に近い運転を行った（初期には約60%であったが平均で90%を超えた）。
- 3) 多くの既存の原子力発電所の運転許可期間は40年であるが、20年延長されている。既に建設費の回収が済んでいる炉では20年延長することで経済的な魅力を増した。
- 4) 米国での新規発電所にとっては主要な競争相手である天然ガスのコストが上昇している。
- 5) スリーマイル島の事故は原子力災害ではなかった。これまでの20年間、原子力発電所は安全に運転した実績をあげ、安全に対する懸念を幾分軽減した。
- 6) 二酸化炭素による地球規模の温暖化により、米国での発電量の最も多い石炭火力が非常に多くの二酸化炭素を排出するのに比べて、二酸化炭素の排出が非常に少ない原子力発電が見直されている。

(原子力発電に対する) 需要はとどまることなく増加し続けている。

【ロシア】

崩壊する前のソ連邦は、相当数の原子力発電所を建設する計画を準備していた。1,000MWあるいは1,500MW級のLWRやBN-600型のFBRを含む20基を建設する計画であった。しかし、チェルノブイリ事故とソ連邦の崩壊に続く1990年代の経済危機により、この計画は終わった。

チェルノブイリ事故と化石燃料（重油と天然ガス）の低価格は1990年代に原子力発電に対するロシア国民の態度を劇的に変化させる主な要因となったことは疑いもない。1990年から2005年の間には、わずか3基の原子力発電所（VVER-1000型）が発注されたにとどまり、BN-800（FBR）の建設は資金が不足したためほとんど進展がなかった。

今日、ロシアの将来計画はまったく異なったものになった。

(a) VVER-1000型約20基を建設して旧型機と置き換える

(b) BN-800型FBRの建設を終了し、次世代のFBRに移行する

ロシアの国民のほとんどは原子力発電をさらに開発することに反対しない。現在、31基の原子力発電所で23.2GWの容量がある。総発電量のうち原子力発電が17%である。

ロシア政府は、新しい目標計画「2007年から2010年そして2015年までのロシア原子力発電産業開発」において、連邦予算から6,748億ルーブルを含む14,714億ルーブルを充当する。（Appendix C）

計画は9年間を2つのフェーズに分けて実施される。

この計画の主な目標は、原子力発電産業を作り上げ、5年の建設サイクルで年間2GW以上の設備容量の新たな標準型原子力発電所の運転を開始させることである。計画の終期には、10基の新しい原子力発電所の設備容量の合計が9.8GW以上運転開始し、その他、10基の原子力発電所が建設途中にある。800MWのFBRは運転開始し、使用済燃料を処理してU235とPu239を分離してリサイクルする技術開発に用いる計画である。さらに、ロシアの総発電量に占める原子力発電の割合を、2006年に15.9%であったのを約25%まで上げる。

【世界】

IAEAの分析によれば、世界の発電に占める原子力発電の割合は、毎年0.9～2.9%上昇している。世界の電力需要は、2006年で2.7MW-h/年であったものが、2020年には2.9～3.6MW-h/年に、2030年には3.2～4.8MW-h/年となる。この分析によれば、65億人の人口は2020年に75億人、2030年に81億人になる。電力需要は今後20年で倍になる（IAEA2007）。17,550TW-h/年から2020年には22,000～27,000TW-h/年に、2030年には26,000～39,000TW-h/年となる。

1基の代表的な原子力発電所は（1.25GWe、稼働率90%）年間10TW-hを発電する。

IAEAは、世界の原子力発電容量は、2006年に369.7GWeであったものが2030年には447～691GWeに増加すると推定している。

IAEAの分析によれば、原子力発電の急成長は天然ウランの需要を相当大きくする。

レッド・ブックの最新版によれば、現在、発見されているウラン資源量は、2007年に372GWeであったものが2030年に663GWeまで上昇しても不足は来たさない。

2020年のウラン需要を満たすためには、ウラン探鉱を相当強化して、2030年までに新たに10の鉱山が運転開始できるようにする必要がある。この問題の解決は可能である。

さらに天然ウランは兵器級核物質の拡散の問題と直接関係はしない。しかし、新燃料に対する相当な需要増加は、ウラン濃縮の増加と使用済燃料が相当増加（すべてがLWRであると仮定すれば2020年には年間約1,300～3,400tの増加）し、機微技術と兵器級核物質の不法な拡散の可能性が相当高まる。

現在の消費と今後の需要の増加は、どの国でも同じではない。

アフリカは、他の大陸に比べてより少ない消費（0.7～1.1MW-h/年）と見込まれ、北米では他より多くを消費（14.8～18MW-h/年）（IAEA2007）しているが、これら大陸の総電力消費量は急激には変化しない。

一方、東アジア、中東、南アジアは、1996年～2006年に年率5%で電力消費が増加して

いる。この成長を続けるためには、各国は、原子力発電を含めて可能なほとんど全ての電源を開発しなければならない。

米国の最近の調査によれば、以下の国々は今後 10 年間に原子力発電所を建設することを具体的に検討している；アゼルバイジャン、ベラルーシ、エジプト、インドネシア、カザフスタン、ノルウェー、ポーランド、エストニア、ラトビア、トルコ、ベトナム。

同調査によれば、長期計画が進行中の国々は；オーストラリア、アルジェリア、チリ、グルジア、ガーナ、ヨルダン、リビア、マレーシア、モロッコ、ナミビア、ナイジェリア、クウェート、バーレーン、オマーン、サウジ・アラビア、カタール、アラブ首長国連邦 (UAE)、シリア、ベネズエラ、イエメン。

Finding 1a

現在原子力発電所を持っていない多くの国々が、2020年までには、原子力発電所の建設のための国家のプログラムを開始するであろう。これらの国々には、現在、核燃料製造のためのウラン濃縮施設あるいは使用済燃料の再処理施設はない。

核拡散問題

【ウラン濃縮】

民生用原子炉燃料のためのウラン濃縮施設と、核兵器用 HEU 製造のためのウラン濃縮施設の間に、根本的かつ技術的な差異があるわけではない。濃縮施設の中には衛星からの探知や排出物、他の観察等での探知が難しいものもあり、濃縮技術が進展するにつれて施設の探知もより難しくなっている。

LEU それ自身が本質的に核拡散に関わるものではないが、天然ウラン(0.7%)を濃縮して濃縮度 5%のウラン 19kgU にする方(137kgSWU)が、濃縮度 5%のウラン 19kgU を濃縮度 90%の(核兵器級)ウラン 1 kgU にする(55 kg SWU)よりも時間とエネルギーを要し、5%濃縮ウランをフィードとして使用すれば天然ウランを使うよりも 1/4 の時間で HEU を作ることができる。

総じて、ウラン濃縮における核拡散の懸念は、

- ①HEUをベースにシンプルな爆弾を設計できること、
- ②濃縮施設を転用して秘密裡にHEUを製造することは、使用済燃料の再処理を秘密裡に行ってPuを製造するより検知するのが難しいこと、
- ③原子炉燃料製造にはウラン濃縮役務が必要であり、国家はウラン濃縮施設が民生用核燃料施設の一つであると容易に言えること、である。

【使用済燃料の再処理】

照射済燃料の再処理、またはプルトニウムの分離を目的とした施設は、民生用原子力プログラムにも、核兵器用プログラムにも役立つものである。分離プロセスのすべてが核兵器に直接利用できる物質を分離できるわけではないが、一つ、もしくはそれ以上の分離には寄与する。再処理施設に対する核拡散の懸念は、多様な種類のプルトニウム同位体組成もしくはマイナーアクチニドを含むプルトニウムでさえ、核爆発装置用の直接利用核物質(direct-use material)に容易になりえるということである。再処理施設を核拡散の観点から評価する上では、

- ①再処理施設の存在が、国家が違法に核兵器を作る時間とコストの低減にどう関係するか、

②その違法な行為を容易に探知できるか否か、がポイントとなる。

再処理活動の探知は濃縮活動のそれよりも容易であるが、秘密裡に使用済燃料や特別な照射体を再処理することは可能である。

【核不拡散の努力】

数十年の間に、核兵器の拡散を防止する組織的かつ技術的な方法が確立されてきた。核不拡散条約が世界的なレジームの根本であり、IAEAの保障措置がNPTの検証を行っている。NPT加盟国の非核兵器国は、核兵器を取得しないことをコミットし民生用原子力活動に関しIAEAの査察を受け入れ、一方で核兵器国は核軍縮に関して誠実に交渉することをコミットし、全てのNPT加盟国が原子力の平和利用を「奪い得ない権利」として保持している。核兵器技術の所有国においては国家の輸出管理システムがNPTを補完している。

【ロシア及び米国の努力】

米国及びロシアは、原子力の成長と普及を支持する一方で、核拡散のリスクを制限するための多大な努力を行ってきた。

ロシアにおいては、2000年にプーチン大統領が「核兵器の拡散を確実にブロックする方法」のためのステップを提唱し、昨今では核燃料サイクルの鍵となる側面を敷衍するために、一連の国際センターの設立を提案、ロシアアンガルススク IUEC はセンターのネットワークの一つである。また、使用済燃料の再処理及び高速炉でのリサイクル技術や、国家がみずから高度な原子力インフラを整備しないで済むよう長寿命燃料を装荷/封印した原子炉を供給/使用後に撤去する等の技術開発を行っている。

一方で米国は、2004年のブッシュ大統領の核拡散リスクを制限するとの演説に基づき、他の供給国とともに国家に自ら濃縮や再処理に投資するインセンティブを持たせないための「アトラクティブ・オファー」、原子炉初号機を建設する前に安全やセキュリティ、保障措置のインフラや核不拡散政策を保証する原子力プログラムを確立するための協力、GNEP、次世代保障措置イニシアティブの一つとしてIAEA保障措置システムの拡大の努力、核拡散抵抗性を向上させた次世代原子炉及び燃料サイクルの研究開発、等の努力を行っている。

【国際燃料バンクや国際核燃料センター】

自らの原子力産業の発展を迫及している国への核燃料供給保証は、自らのウラン濃縮技術開発のインセンティブを最小限にするという意図がある。それに加えて使用済燃料が引き取られる（テイク・バックされる）ということであれば国家が再処理を行ってプルトニウムを得ようとするリスクを減らすことができる。

しかしながら、核兵器国がウラン濃縮と再処理技術を有し、一方でそれらを保有することを制限される国があることで、「持つ国」と「持たざる国」の区別に異議を唱える国もある。

（これに対応して、）近年提案されている核燃料保証と国際イニシアティブは、国家が他の国の燃料供給を政治的な理由で途絶するリスクそのものを減らそうとしている。というのは、主要な供給者による共同の供給保証（joint supply assurance）は、主要な供給者が共同で供給しないことを決めない限りは供給が保証されるからである。ロシアが提唱しているIUECは、センターのメンバーが政府間の協定でロシアに政治的理由での供給の介入を禁止しているがゆえに、ロシアの濃縮業者との個別の契約に比べ政治的な途絶のリスクを減らすことができる。しかしながら、主権国家の世界の中で、供給国が、例えば石油から集積回路までの他の経済的に重要な製品との関係から、供給しないという決定をする可能性は否定できない。

旧ソ連邦で利用されていて、現在ロシアだけが燃料契約に従って行っているアプローチとして、核不拡散上利点があるのは、ウラン、濃縮、核燃料、そしてテイク・バックまで行いうるの燃料サービスを提供することである。これは、WNAのStephen Kiddにより詳述されたアレンジメントで、ロシアがこのアイディアを展開中である。

【制度的な取り決め】

上述したように、IAEAのエルバラダイ事務局長、ロシアのプーチン大統領、米国のブッシュ大統領は、原子力発電所を有している国、もしくは計画している国に対して、核燃料の供給を保証することができる制度的な取り決め（institutional arrangement）を提案してきた。これらのアレンジは、国家に自ら濃縮施設を持つというインセンティブを削ぐことや、その他の核不拡散目標を追求するものである。これは、新しい概念でなく、機微な原子力施設の国際所有と管理は、第二次世界大戦後のバルク・プランから始まり、国際燃料バンクや国際核燃料センター等の種々のオプションが数十年間も議論されている。後述するように、幾つかの多国籍核燃料サイクル企業がすでに設立されており、多国籍、もしくは国際核燃料サイクルセンターは実現可能であるということを示している。

【国際核燃料供給センター】

本委員会は、国際核燃料供給センターに焦点を置いているが、これはプーチン大統領が提案しているアプローチである。核燃料サイクルセンターに係る質問が以下に議論されているが、このアプローチの強みや弱点を特定、また分析も行っている。委員会は、また既存の核燃料供給システムや、そのほかのアプローチについても詳述及び精査している。

Finding 1b

ウラン濃縮と使用済燃料再処理は、国家が核兵器を製造するための直接利用核物質（direct-use material）の製造を可能にする鍵となる技術である。

より多くの国に技術(濃縮あるいは処理)が広まるほど、拡散リスクは大きくなる。

現在、これらの技術を持っていない多くの国は、使用済燃料再処理技術よりウラン濃縮技術を確立したいとしており、濃縮技術の拡散が核拡散に繋がる。

しかし、使用済燃料再処理能力を取得するという意志は、1970年代の拡散に関わる主な焦点であったが、再びそうなり得る。

Finding 1c

核セキュリティ環境に対する要求、保障措置とセキュリティを提供することの困難さ、そして、核燃料サイクルサービスに対する要求、これらは時間の経過とともに変化し、技術は時間と共に進歩する。

国際燃料サイクルが拡散防止を強化する上でのどのような側面もその時代の拡散防止の必要性に対応した段階になければならない。

今日、自ら濃縮工場を設立する必要はないということに関係国に納得させることに対して焦点が当てられ、それが濃縮問題に対する国家と国際機関の努力を動機づけるものとなっている。

同様の努力が、彼らが自身の再処理施設を必要としないと国に納得させるのに必要である。

また、同様に必要であるのは、不法あるいは不十分な規制をくぐった輸出であり、これらの技術の拡散を防ぐための努力を強化し、ウラン濃縮と使用済燃料再処理施設の両方に

対する改良された保障措置が、施設の重要な変更が検知されるという国際的な信用を増すことと、隠された施設と活動に関してタイミング良く警告する能力を強化するように設計されている。

Recommendation 1a

現在、核燃料サービスを提供する国は、現在濃縮技術を持っていない国が自国にウラン濃縮施設を建設するインセンティブを減少させるために、核燃料の供給に対する信頼性をさらに向上するためのメカニズムを確立するために他国とIAEAと共に努力を強化すべきである。

Recommendation 1b

国際社会は、その国が自ら再処理施設を建設しようとするインセンティブを減じるために、(その国内か他の場所に)国が使用済燃料を安全に貯蔵するための適当な設備容量を提供すること、あるいは、既存の(再処理役務)供給(事業)者からの信頼できる再処理役務を提供することを援助すべきである。

分離プルトニウムあるいは加工されたプルトニウム燃料は、以前に、そのような物質を受けたことがない国、また、再処理能力を持っていない国に送るべきではない。そのような国への分離プルトニウムの拡散は、再処理能力の拡散によって引き起こされるリスクと同じ拡散リスクの多くを引き起こす。

Recommendation 1c

同様の理由で、炉心に封入されるものを除いて、(拡散リスクを引き起こす)HEUの移転と取引を、合衆国と他の国が減少して最小にするべきである。

第2段階のFinding:

- a. 核燃料の信頼できる供給を確実にするために、ウランの、そして、濃縮役務の信頼すべき供給元を必要とするのと同じに、国は信頼できる燃料加工役務を必要とする。
- b. 国際的な燃料保証プログラムを助けるために、燃料加工施設がある国が利用可能なそれらを作れば、助かるであろう。
- c. 低濃縮ウランで酸化ウラン燃料を製造する技術は、拡散の見地から敏感ではない。

したがって、例えば、韓国がしたように、ウラン濃縮や使用済燃料再処理能力を確立しないで、その国が、自国の原子力発電所のための燃料集合体を製造する能力を確立するのを選ぶなら、これは重要な国際的に注目されるものではない。

Finding 2

供給保証に関して、NAS-RAS Workshopとウィーンでの他の最近の議論によって、いくつかのメッセージが明確である:

- a. わずかな国しか、将来いつまでもウラン濃縮あるいは再処理技術を開発する権利を放棄するという宣言をしていない。核燃料あるいは低濃縮ウランを供給保証する条件として、濃縮と再処理技術の開発を差し控えることが必要であるという事に対して、いくつかの国が断固反対を表明した。
- b. ウラン濃縮、原子力発電所用の燃料集合体製造、使用済燃料貯蔵、および再処理は、国際市場で機能を続けている。

- c. 核燃料供給保証のためのただ一つのメカニズムあるいはどんな戦略も、国の正当な権利と要求を抑えることはできない。国あるいは地域によって必要性和要件は異なっているかもしれない。
- d. 核燃料供給保証の為の新しいメカニズムは、濃縮工場を建設しようとする国のインセンティブを控えめに変えるだけかもしれない、既存の国際市場が強い供給保証を提供しても、国々には自らの濃縮工場を設立する多様な理由がある。その理由は、濃縮の利益に参加する願望、国家のプライド、および未来の核兵器オプションを確立する願望などである。

国々が、新しく濃縮技術を確立する可能性を広げるのを避けるために、慎重に濃縮(そして、再処理)施設の拡散を禁止するか、または制限するために、管理ベースの、または、技術ベースのメカニズムを紹介しなければならない。

濃縮技術にアクセスすることを制限する議論は、国際的な燃料供給地があっても、より多くの国々(少なくない国々)がそれらの国内に濃縮工場を建設することへの彼らの関心を宣言することにつながった。

Recommendation 2a

合衆国とロシア政府は、核燃料供給保証を強化するアプローチの幅広いメニューを支持し続けるべきである。

核燃料供給保証のためのメカニズムの様々な提案がなされているが、それは、仮想の、または、実際の燃料バンクを創設すること、濃縮ボンド及び様々な長期契約から国際的な燃料センターまであり、それらのいくつかは既に存在している。

ロシアと米国政府はこれらのアプローチの広いメニューを支援し、これらが互いをひそかに妨害しないようにすべきである。

Recommendation 2b

合衆国とロシア政府は、ウラン濃縮と使用済燃料再処理施設を確立しないことを選ぶ国に対して、原子力エネルギーの安全で確実な利用のために必要なインフラ整備に対する支援を含む付加的な利益とインセンティブを与えるべきである。

Recommendation 2c

核不拡散の目標を支持するために、現在核燃料を供給する国は、今日それらを持っていない国が建設する新しい原子力発電所に対して、利用可能な主要な燃料供給保証について、迅速に他国とIAEAと共に取り組むべきである。

第2章 国際核燃料サイクルセンター (International Nuclear Fuel Cycle Centers)

- 国際核燃料供給センター：国際核燃料供給センターの設立が、国家に固有の濃縮施設を開発させないというインセンティブを与えることができるか？ ロシアアンガスクのウラン国際ウラン濃縮センター (IUEC) や URENCO のように、国際濃縮センターを創設することは実現可能である。URENCO は、英独蘭のウラン濃縮コンソーシアムで、各々の国に濃縮施設があり各国が遠心分離技術を共有する。しかし新しいパートナー国である米国や仏国は遠心分離技術にアクセスできない (米国 NEF (National Enrichment Facility) や仏国 George Besse II の例)。Eurodif は仏国、ベルギー、スペイン、Sofidif (仏国とイランのジョイント・ベンチャー) の共同出資会社であり、仏国で濃縮施設を運転しているが仏国以外の国は濃縮施設の運転に関与せず、濃縮技術にもアクセスできない。

2006年露国のプーチン大統領は、IAEAの管理下で差別のない濃縮を含む核燃料サイクル役務を提供する国際核燃料サイクルセンターのネットワークの創設を提案した。この提案を敷衍するため、IUECが設立された。IUECの基本原則は以下の通りである。

- ✓ IUECは営利団体 (commercial organization) であり、オープンな共同出資の株式会社として運営され、(IAEAの代表を含む) 共同諮問委員会 (joint advisory committee) が監督 (supervise) する
- ✓ 核兵器に関連する機微技術の開発を追及せず、核不拡散の要求に応える国は平等、差別なく IUEC のメンバーになることができる
- ✓ ロシアは核物質に関して管理権を有し、ロシアの輸出規制は IUEC のメンバー国や IAEA から要請があった国に対する核物質の発送を保証する
- ✓ AECC (Angarsk Electrolysis Chemical Complex、IUEC の設置サイト) の製造施設の一部は IAEA のボランティア保障措置を受ける
- ✓ メンバー国はロシアのウラン濃縮技術にアクセスできない
- ✓ 濃縮ウランは、メンバー国の原子炉用燃料の要求に相応するものである
- ✓ IUEC のメンバー国になることは、核燃料サイクル開発を自ら行うことより、政治的、経済的及び技術的にメリットがある

現在、カザフスタンが最初のメンバー国となり、アルメニアとウクライナが参加に興味を示している¹。将来的には、使用済燃料の管理 (長期貯蔵、再処理及び将来的に革新的高速炉での利用を含む)、革新炉や核燃料サイクル技術の開発や人材トレーニングを行う国際センターに発展するかもしれない。

ロシアは現在、IAEAからの要請に応じてロシアからの核物質の輸送を可能にするメカニズムをIAEAと協議中である。

- 核不拡散へのインパクト： 国家/多国籍/国際、のいずれの管理下に置かれる施設においても、そのようなセンターは国際市場に影響を及ぼすものではない。国家の施設を、核不拡散等の理由で多国籍/国際管理化に置く場合は、まず

¹JAEA注：2008年9月のIAEA総会でのキリエニコ氏の言及によれば、アルメニアとウクライナはIUECへの加盟を決定した旨。

その施設が既存の市場の他のプレーヤーにどう関連することになるかを考慮する必要がある。

現在検討されている核燃料供給保証メカニズムは、国家が自ら濃縮技術や施設を追求しない代わりに、核燃料の供給が途絶された際には代替燃料の供給を保証するというものであり、核燃料供給センターは、2007年6月のIAEA事務局長報告書に記載されている供給保証のオプションの一つである。供給保証メカニズムは、国家が濃縮開発を行うことなく原子力利用を行うことができるというインセンティブを与える。このインセンティブは国家の威信や核兵器開発を理由に自国の濃縮開発を行う国のリスクを消し去ることはできないが、低減させることはできる。信頼できる燃料供給保証のオファーを国家が拒否すれば、その国が必ずしも核兵器オプションを追求しようという目的ではないにしろ、拒否した理由に国際社会が注目する結果となる。

しかしながら、核燃料の供給保証よりも、使用済燃料のテイク・バックを含む核燃料リーシングのほうが、国家が濃縮技術や施設を開発しないというインセンティブになる。米国とロシアは、国家が濃縮開発を行わないようにするため、インフラ計画/開発、財政、原子炉の供給とのリンケージ等に関する支援の形態について検討している。現にロシアはイランの原子炉に燃料を供給しているが使用済燃料はロシアにテイク・バックされるという条件がついている²。

2007年6月のIAEA事務局長報告は、既存の市場、仮想の燃料備蓄/濃縮バンド、現物の核燃料バンクからなる三層の供給保証を提案している。また、可能性のある4つのクライテリアとして、①供給途絶が政治的なものであること、②受領国が保障措置協定を締結していること、③受領国が保障措置規範を遵守し、IAEA理事会においても問題とされていないこと、④受領国はIAEA理事会によるその他のクライテリアに従っていること（例：追加議定書の発効）を挙げている。追加的なクライテリアとしては、主要な供給者からの提案において議論されていたもので、受領国が現在のところは（currently）濃縮活動を行っていないこと、がある。

しかしながら、我々（米露科学アカデミー合同委員会）は、上記とは若干異なったアプローチをとる。つまり、受領国による核不拡散や機微技術のコミットメントのレベルに応じた保証を行うというものである。例えば、受領国が濃縮開発を行わない（永遠でなく、多分10～20年）との取り決めに合意したなら、あらゆる供給途絶（例えば法外なウラン価格の急上昇）でも燃料の供給が受けられるなど、濃縮や再処理に対するコミットメントのレベルに応じて供給保証のクライテリアや、条件及び支払等を勘案するというアプローチである。

NAM諸国は供給保証に慎重であり、追加的なクライテリアに批判的である。彼らの見方によれば、核燃料バンクによってどんな便益が提供されようと、供給者がそれを拒否すれば便益が得られなくなる、つまり、IAEAの核燃料バンクとしても、実際のLEUの供給にはロシアや米国の許可を必要とし、主要な供給者はIAEA核燃料バンクを通じてもお核燃料をコントロールするだろう、というものである。そもそも核燃料の供給保証は、ウラン濃縮役務、濃縮ウラン、燃料製造役務、ウランや、UF₆、U308の備蓄へのアクセスを保証するというものである。しかし、国際核燃料供給センターは、これらの仮想の燃料備蓄や現物の燃料バンクとは異

²JAEA注：ロシアは、核燃料がブシェール原子炉に貯まらぬよう、運転直前の新燃料の供給や使用済燃料の返還に関する規定を2005年のロシア・イラン間の協定の中に記載。2008年1月、ロシアの原子力関連企業「アトムストロイエクスポート」はイランへの核燃料の供給完了を発表。

なり、既存の濃縮市場の中で運営され、共同株主のみが途絶に際して保証を受けられ、濃縮や再処理を行わないというインセンティブはこのような株主にのみが有する。センターの契約当事者 (contracting parties) にも供給が保証されるかもしれない、これはセンターの潜在的効果を拡張させることにもなる。いずれにせよ、このようなセンターの設立に関して多くの法的問題を解決する必要がある。センターへの他のアプローチとしては、価格変動に影響を受けない共同株主とセンターの間の長期契約があるが、これはセンターの活動に拠るところであり、センター参加へのインセンティブを維持するためには、参加国が供給保証から享受できる便益を考慮に入れつつ、センターが経済的に競争力を有している必要がある。

➤ 核燃料サイクルの経済的側面：

- ✓ 新燃料の供給：新燃料は通常、原子力発電コスト (nuclear-generated electricity) の 10% 以下である。原子力発電コストや燃料供給市場に影響を与えず、また供給者に受領者にも不利益とならない供給保証を確立することは可能であり、例えば米国やロシアなどの供給国の寄付により LEU の国際ストア (international store of low-enriched uranium) を作ることも可能であろう。国家や原子炉の運転者はこのストアから合意されたルールに基づき、市場価格や LEU ストックを補充するに足る価格で LEU を購入することも可能だろう。
- ✓ 使用済燃料のテイク・バック：使用済燃料処分にはいくつかのオプションがあり、核燃料サイクルのバックエンドは競争市場がないため、夫々のオプションに必要な費用は不明確である。使用済燃料の輸送と貯蔵：使用済燃料のトラックもしくは鉄道による大陸横断の輸送費用は \$70-100/kg、船舶による大陸間の輸送費用は \$200/kg である。50 年間の乾式貯蔵コストは \$100-300/kg である。総じて 長期貯蔵のための使用済燃料テイク・バックのコストは、新燃料コストの 10% のオーダー、もしくは原子力発電コストの 1~2% である。直接処分：使用済燃料の地層処分はフィンランドや米国、スウェーデンで検討されているが、いずれも使用済燃料を受け入れていない。値引き前の地層処分コストは \$400-900/kg と評価されている。米国のユッカマウンテン処分場の総発電コストの 2% 以下である。軽水炉でのリサイクル：使用済燃料は再処理後、MOX 燃料として軽水炉で再利用するオプションがある。仏国と英国が日本、独国、スイス及びベルギー等の使用済燃料を再処理している。再処理の結果として生じるプルトニウムと高レベル廃棄物は使用済燃料の所有者の所有物であり、MOX 燃料としてのリサイクル及び廃棄物として所有者に返還される。MOX 燃料の製造コストは明らかではないが \$1,200-4,000/kg とされている。この価格帯のもっとも低い価格でさえ、MOX 燃料のコスト (プルトニウムの回収費用は無視する) は、新しい低濃縮ウランのコスト (天然ウランや濃縮役務のコストを含む) よりも廉価である。不確定要素は多いが軽水炉による使用済燃料のリサイクルの純コストは \$百万 -2 百万/Wh で、これは発電コストの 2-4% である。プルトニウム貯蔵：ソ連 (現ロシア) はアルメニア、ブルガリア、フィンランド等の使用済燃料を再処理しており、ソ連時代の協定ではプルトニウムと再処理により発生した廃棄物を含む燃料はロシアの所有物であり、ロシアは将来の高速炉利用のためにこれらのプルトニウムを利用予定である。安全で確実なプルトニウム貯蔵は高額である。施設の寿命を 50 年とすると単純合計ライフサイクル・コスト (JAEA 注: 金利などを考慮せずに単純にコストを産出したもの) は \$12,000、

\$100,000/kg である。使用済燃料は 1%のプルトニウムを含んでいるため、これは\$120-1,000/kg の使用済燃料に匹敵し、この数字は上述の使用済燃料の長期貯蔵コストの\$100-300/kg と比較できる。使用済燃料の貯蔵コストは再処理を数十年延期させることができ\$300-400/kg の節約に匹敵する。核変換：核変換の経済的評価は種々のパラメーターが絡む詳細なモデルの開発を必要とするが、殆どのすべてのことが現時点では不確実である。特に、原子力発電コストにおける核変換の効果は、軽水炉と比較した高速炉の初期投資と運転費用に依拠し、高速炉が軽水炉に比較して高額か低額かにせよ、システム構成要素が高額である。

- 経済的理由以外に濃縮や再処理を追及する要素：国家に濃縮や再処理を追及しないよう説得するのに役立つものは、それらの経済性であるが、歴史的経緯を考えると、それは必ずしも決定的な要素ではない。アルゼンチン、ブラジル、独国、日本、中国、インド、南アフリカ等は自ら核燃料サイクル施設を開発した。日本は天然資源に乏しくエネルギー・セキュリティ確保の観点から核燃料サイクル施設を有しているが、昨今は他の国が同様のパスを選択する機会を減らす試みがなされている。したがって、原子力産業を発達させた国は彼らの原子力技術と市場におけるリーダーシップを核不拡散体制強化の下に独占しようとしているとの疑念や懸念を払拭する手段を講じる必要がある。この点において、すべての国に多国籍/国際センターによる便益を享受する機会を与えられるということは、商業上の利益に関する彼らの懸念を払拭できるだろう。

これまで燃料の途絶により、原子炉の運転が止められた例はなく、このことは既存の市場メカニズムが信頼できる核燃料の供給を行っていることを証明している。従って新しい供給保証メカニズムは市場を妨害するものであってはならない。過去においては、核燃料供給の信頼性を揺るがす事態もあった。1960-70年代の米国原子力委員会（AEC）の濃縮運転管理問題、1974年のインド核実験に端を発した1978年米国核不拡散法(NNPA)の制定、1979年のイラン革命、等に起因するものである。

インドのタラプール炉など、NPT未加盟国（IAEA保障措置を受けていない）への供給途絶は、政治的動機に基づく途絶というよりも、核拡散への懸念による途絶である。核不拡散が燃料供給保証の条件であることは幅広く受け入れられており、現在提案されているメカニズムも核不拡散義務を遵守した国にのみ可能であるとされている。一方で、イラン革命後の供給途絶は明らかな政治的理由によるものである。独国はプシャール炉の建設を中止し、米国はテヘラン研究炉用のHEU供給をやめ、原子炉は一時の間、閉鎖を余儀なくされた（その後、アルゼンチンが原子炉をLEU仕様にかえる支援を行った）。供給の中断(interruption)の殆どは、既存の施設への燃料の途絶ではなく、新しい施設の供給を行うということをやめたというケースが多い。1960年にソ連は中国への原子力の供給をやめたこと³、1976年にフランスがパキスタンに再処理プラントの供給をやめたこと⁴、複数国が1990年代にイランへの原子力供給をやめたこと等である。これらの多くは核拡散懸念

³JAEA 注：中国の原子力開発は 1955 年に中ソ原子力協力協定の締結で始まったが、中ソ対立のため、ソ連は 1960 年に中国から引き上げた。これを契機に中国は独力で原爆開発を進め、原子力の軍事利用技術を確立した。

⁴JAEA 注：パキスタンは、プルトニウム回収に向けてフランスと契約して 1970 年代に再処理工場の建設を始めたが、1976 年に米国の圧力（1974 年のインドの平和的核爆発でおこった核不拡散の高まり）で、フランスとの協定の破棄に追い込まれ、再処理工場建設を断念した。

に起因するもので、一部は米国のプレッシャーの産物であり、これらは燃料自体の供給途絶ではないが、外国による燃料供給は潜在的に中断される得るものだ、との概念を与えたようである。

供給保証や地域核燃料サイクルセンターや核燃料バンクに関しては、1970年代に米国主導で国際核燃料サイクル評価（INFCE：International Nuclear Fuel Cycle Evaluation）が行われ、供給保証検討WGは、現在議論されているように、主要な供給者間のバックアップ・アレンジメントと濃縮ウランの国際バンクを含む更なる保証が必要であると報告している。1975年には、IAEAによる地域核燃料サイクルセンターに関するスタディがなされており、その中でセンターは、国家の施設よりも経済的、環境面及び核不拡散面から利点があると結論付けられている。さらに、米国ではNNPAで核燃料バンク及び燃料供給の保証に関して責任を有するINFA(International Nuclear Fuel Authority)の創設を提起している。1980年代にはIAEAによりINFCEに続き供給保証委員会（CAS: Committee of Assurance of Supply）が設立されたが合意に至らずに終わった。昨今ではエルバラダイ事務局長が（MNA：Multilateral Nuclear Approach）を提起している。また、国際センターではないが、ブラジルとアルゼンチンが、Eurodifモデルに習い、ガス遠心分離法とガス拡散法の技術を共有せず、二国間で濃縮会社を設立するとの共同声明が出されている⁵。

- **Finding 3a: 多国籍センターに参加する限り濃縮施設の開発を行わないとする国に対して、濃縮技術を提供せずに濃縮役務を提供する多国籍センターの創設は実現可能であり、ロシアアンガルスクの国際ウラン濃縮センター（IUEC）は、そのようなセンターの一つである。国際機関の下でこのようなセンターを設立する提案もなされており、多国籍センターを国際管理下の一つのセンターで補完することのプラスとマイナス面を関係国が評価するために国際的な対話が必要である。欧州では、Eurodif と URENCO が 20 年間余り濃縮役務を提供している。前者は、IUEC のようにパートナー国と技術を共有しておらず、URENCO は 3 つのパートナー国しかないが、技術を共有している。**

➤ 「原子力カルネサンス」に伴う濃縮や再処理能力の拡大に対処するためには、多国籍の地域大規模プラント（multinational regional large-scale plant）を設立することかもしれない。そのような施設は、各国が固有の小規模のプラントを設立する技術的知識の拡散を防ぎつつ、新興の原子力発電国にビジネスや運転管理等を提供することである。これらのセンターは、南アメリカのブラジルやアルゼンチンのような地域の力により先導され、核兵器国外に設置されるかもしれない。

- **Finding 3b: 核不拡散の観点からは、少数の国が自国の支配する施設ですべての濃縮や再処理役務を行うことが望ましいが、それは段々と難しくなる。これらの技術からの恩恵をうける機会を提供することは、これらの技術へのアクセスを抑制する努力を不公平なものとする見込みを減少させる。**

➤ ロシアアンガルスクの施設のように、多国籍/国際センターの設立に関しては、多くの問題がある。それらは、誰が技術を保有するのか、センターと顧客との間でどんな協定が必要か、どのような経営を行う、等である。

⁵JAEA注：NTIホームページより（http://www.nti.org/e_research/profiles/brazil/index.html） In February 2008 Brazil and Argentina signed a nuclear cooperation agreement that envisages a joint project of a nuclear reactor and the creation of a bi-national company to enrich uranium. Because both countries use different enrichment technology (Argentina uses gas diffusion while Brazil uses gas centrifuge technology) Argentina and Brazil will initially work on uranium enrichment independently.

- **Recommendation 3:** 政府コンソーシアムや国際機関が所有・運転・管理し（ただし関連技術は既存の所有国以外には広めない）、核燃料サイクルの機微な段階（特に濃縮と貯蔵/再処理/処分を含む使用済燃料管理）を担う少数のセンターをめざす世界的なシステムを構築するために米国、ロシア及びその他の国が尽力すべきである。このような世界的なシステムは、多くの国に事業への参加・共有の機会を与えることができ、濃縮・再処理施設を少数の国に制限することにつき、公平かつ長期的に持続可能な基礎となるだろう。

➤ 原子炉燃料に関しては、新興の原子力発電国に国際規格により承認された燃料を使用するよう主張すべきと試みる必要があるかもしれない。

➤ 燃料の供給、使用済燃料の引き取り、人員の訓練及び燃料の製造を行う国際センターを創設することの利点と弱点：

✓ 使用済燃料の国際管理の利点と欠点： このようなセンターの利点は、国家が自ら濃縮施設を保有する必要がないこと、使用済燃料の保管や再処理が必要ないことであり、これらは経済的利点、リスク削減（供給の保証）、ユニークなサービス（使用済燃料の引き取り）に繋がる。昨今の核燃料供給保証に係る議論では、核燃料サイクルのフロントエンドが議論されているが、新興の原子力発電国にとって濃縮施設を所有しないことを促す最も強力なインセンティブは、燃料製造国か第三国がその使用済燃料を引き取るということである。核燃料リーシングは、自らが廃棄物の地層処分を行う必要がないという観点から、供給保証に依拠するという強いインセンティブを与える。国際的/地域的な使用済燃料貯蔵や処分場は、廃棄物管理に要するコスト削減を含む重要なメリットがある。一方で、地域センターに関しては、これを中東地域に作ることにに関して国際コミュニティがこれを支持するかといった問題もある。多くの国にとっては、使用済燃料や放射性廃棄物の引き取りに関しては大きな政治的障害がある。ロシアは唯一、燃料リーシングを行っている国であるが、米国にとっては現段階では政治的障壁を越えられず、GNEPの信頼性を揺るがすものとなっている。しかしながら、国際的/地域的な使用済燃料貯蔵や処分場についての議論を継続していくことは重要である。燃料サービスセンターは、天然ウラン貯蔵、ウラン濃縮、燃料製造、燃料モニタリング、使用済燃料管理や放射性廃棄物管理を含む業務を行うが、燃料リーシングはこれらのサービスも行い、燃料所有権も移転する必要がない。燃料製造、原子炉、再処理、貯蔵、廃棄物処分場が共存する原子力パーク、もしくは原子力アイランドのアイデアもある。これらは核分裂性物質がそのパーク外に出ないという点において、保障措置や核不拡散上の利点があるが、知識や技術の漏洩が問題となる。

✓ 国際センターにおける技術漏洩のリスク： センターのリスクは、パキスタン、リビア、北朝鮮及びイランの核兵器プログラムに参与した A.Q.カーンの核の闇市場に見られるような機微技術漏洩の可能性があるということである。国際核燃料センター自身が機微技術の拡散源とならないよう効果的な技術管理が必要である。Eurodif やアンガルスクでは、施設のホスト国のみが技術にアクセスでき、施設の運転スタッフはホスト国が提供する。一方で URENCO においては、パートナー国はすべてが遠心分離技術にアクセスできるが、協定により技術に対して適切なセキュリティを提供し、技術を他に提供しない組織が設立された。近年提案されている国際濃縮センターでは、遠心分離器が「ブラックボックス化」され、スタッフは技術にアクセスすることができない (NEF や George

Besse II の例)。技術の「ブラックボックス化」とともに重要なのは、機微情報にアクセスすることを許可された職員のセキュリティ・クリアランスについて合意した手続を確立することである。国際センターにおいては、機微技術が適切に防護され、スタッフが自国に帰国した際にその国の核兵器開発に貢献する知識を得ることのないよう適切なアレンジメントを保証する協定のレビューが必要となる。

- ✓ 職員訓練のための国際トレーニングセンター：原子力施設に従事する職員の訓練は、現在、主に国家レベルで行われているが、将来的には国際トレーニングセンターの業務であろう。WNU(World Nuclear University)がトレーニングを行い、IAEA や米国、ロシア、仏国などが外国からの職員訓練を行っている。これらのセンターの利点は、各国からの職員に幅広い一貫した教育を提供でき、またアイデアやベスト・プラクティスの交換を助長できる一方で、機微技術の潜在的な漏洩の可能性があること、国際センターでの訓練は言語や文化、環境が異なることで訓練への適応が難しい面もあること、が短所である。

教育：ロシアでは、ロシアの国際センターのニーズに応えるため、原子力分野に興味があるがキャリア・オプション等を知らない学生の特定や支援を目的に、省庁間や政府間の協力が必要であり、訓練において重複がないよう調整が必要である。現場のインターンシップのシステムは組織的アプローチの一つで効果的であるかもしれない。

経験：上記のようなプログラム始まり専門家がセンターに配置される前に、すでに同様のセンターで勤務している職員やセンター外の専門家、特に経験を有する専門家による技術支援が必要である。どの核燃料サイクル施設にも固有の訓練センターがあるが、国際センターには追加的な技術が必要とされ、例えば外国語による運転の訓練や国際的な専門化によるゲスト講師による講演などである。

モチベーション：センターのローカル・スタッフには安定的かつ好ましい職場環境が必要で、短期/長期契約の職員に応じた住環境や教育施設、キャリアパス等が政府や民間の協力や資金等により必要である。

国際核燃料サイクルセンターの活動には、技術スタッフの訓練の他に、法律、国際関係、経済等の側面があり、この目的で Moscow State Institute for International Relations に、International Institute for Energy Policy and Diplomacy が設立されている。

- Finding 4 & Recommendation 4: 原子力利用が増加するにつれ、核燃料サイクル全てを支援する教育水準の高い人材が必要である。米国やロシアなどの大規模な原子力プログラムを有する国は、若者が原子力工学や関連分野に入るよう促すべきである。
- Finding 5: 国際センターに依存する国にとっては、新燃料の供給を保証することよりも使用済燃料の返還を保証することは、使用済燃料や放射性廃棄物を引き取り、処分場を自分で開発するコストと不確実性に直面しないという点で、より強固なインセンティブになる。さらに使用済燃料の返還でプルトニウム含有物質が貯蔵される国を少なくすることができる。しかしながら、多くの国にとっては、使用済燃料や放射性廃棄物の引き取りに関しては大きな政治的障害がある。
- Recommendation 5: 米国やロシア、他の供給国は、使用済燃料の引き取りを含む核燃料や原子炉のリーシングを保証するメカニズムの構築に努力すべきである。また、米国

とロシアは協力して新興の原子力発電国が建設する原子炉の寿命期間に渡り、核燃料の供給と使用済燃料の引き取りを保証する燃料リーシングの取り決めに可能なよう努力すべき。

- **Finding 6 :** 国際核燃料センターの危険性は、機微技術の漏洩である。パキスタンの A.Q. カーン博士は、URENCO の契約者として働き、パキスタンの核兵器プログラムに貢献するとともに、リビア、北朝鮮及びイランの核兵器プログラムに繋がるネットワークを作り上げた。
- **Recommendation 6a:** 米国とロシアは他国と協力して、濃縮や再処理、他の機微な活動のための国際センターを設立すべく努力すべきであり、また機微な情報や技術の漏洩を防止する具体的かつ厳格な計画を含めるべきで、センターにおける機微技術はブラックボックス化され、機微技術漏洩防止計画は、センターの設立前に機微技術管理に精通した小規模の国際的専門家によるレビューに従うべきである。
- **Recommendation 6b:** 米国とロシアは他と協力して、国際センターの参加基準（クライテリア）を設けるべきで、主なクライテリアとしては、(1)国際センターに技術を提供する以外の国は濃縮施設を所有/開発せず、②IAEA 保障措置と核不拡散義務を遵守することである。

- **核物質や核燃料の所有権：** IAEA 保障措置や核物質防護措置が適切に実施され、不正な核物質の移転が行われていないことが保証されている限り、核物質の所有権それ自体は核（不）拡散にとっては重要な問題ではない。しかし核物質等の所有権が、核燃料の供給を国際的なシステムに頼ることへのインセンティブを削ぐ制約やコミットメントを課すことになれば、それは重要な問題である。

例えば、核燃料バンクからの核燃料の供給が、受領国に濃縮の権利を諦めさせることを要求するのであれば、それは受領国にとっては核燃料の供給という便益以上に権利の放棄という犠牲を要求しているものと映り、それらの国がそのような国際的なシステムには参加しないということになるかもしれない。事実、南アフリカとブラジルは、濃縮の権利放棄が NPT 第 IV 条の原子力平和利用の制限であるとしてこれに反対しており、IAEA が管理する核燃料バンクにおいては IAEA 理事会のコンセンサスが必要であることから、そのような権利の放棄を供給条件とすることは難しい。

- **多国籍センター/国際施設の利点と欠点：** 多国籍センター（Multinational center）とは数カ国間の協定によって所有/管理される施設であり（例：Eurodif、URENCO、IUEC）、国際施設（international facility）とは IAEA のような国際機関が中心になって所有/管理する施設である（例：独国が提案する MESP における濃縮施設）。

多国籍、もしくは国際核燃料サイクルセンターには幾つかの核不拡散上のメリットがある。国家がこれらのセンターのメンバーであり、核燃料の引渡しに関して政治的な干渉を禁止する政府間の合意がなされていけば、核燃料の供給に信頼が得られるし、自国の施設に投資する欲求を減らすことができる。また、現在、濃縮や再処理施設を有していない国にセンターが設置され、多国籍/国際的な援助の下に所有されれば、核拡散リスクは低くなるだろう。しかしながら、自国の施設よりも国際センターに参加させるように国家を説得することや、新規もしくは既存の施設の管理を多国籍/国際的な管理に委ねることは非常に難しいだろう（したがってエルバラダイ構想が実現するには長期間を要する）。さらに、多国籍/国際センターに付

随する問題として、主要な決定をどのように行うか、どんな参加国要件(クライテリア)を設けるか、誰がどんな利益や損失を受けるか、誰がどのように原子力損害賠償の責任を有するか、機微技術はどのように管理されるか、などがある。多国籍センター/国際施設については広範なアプローチが可能であるが以下の点は重要である。

- ✓ 機微技術の管理： Eurodif や IUEC ではホスト国のみが機微技術にアクセスでき、URENCO では URENCO のパートナー国全てがアクセスできる。一方で仏国や米国での URENCO 技術を使用する濃縮施設では技術が「ブラックボックス化」されている。多国籍センター/国際施設における機微技術の管理は重要であり、一般的にはすでに機微技術を有している国の人員以外の機微技術へのアクセスを避けるべきである。
 - ✓ 多国籍センターや国際施設における所有権の共有： Eurodif や IUEC では、仏国やロシアが過半数の所有権を持ち、コンソーシアムの主要決定を行い、マイノリティーであるパートナー国はセンターの直接の管理を行わないが利益の分配を受ける。完全に国際的な所有権 (international ownership) であれば、施設の所有権は国際機関 (例えば IAEA) が有し、国際機関の加盟国が個々の決定を支持することになるだろう。施設を多国籍や国際管理におくとの意図が、施設が核兵器製造に転用されないとの国際コミュニティの信頼を得ることであれば、個々の協定がその意図に沿うか否かをレビューすることが必要である。
 - ✓ 多国籍センターや国際施設におけるスタッフ： これらの施設の多国籍/国際的なスタッフに関しては、施設の運転の透明性の向上という利点と機微技術漏洩の可能性という弱点がある。原則的には、核燃料サイクル技術を拡散しない多国籍チームのスタッフのみが配置される重要な部分を含む施設の設計は可能である。
- 受領国が具備すべき要件： 保障措置、原子力安全 (safety)、セキュリティ (核物質防護) において、国際規範を満たす規制や手続を行っている国であることが望ましい。保障措置に関しては、NPT や IAEA 保障措置体制に基づく国際的な義務の遵守の他に、追加議定書を要件とする考え方、一方で、原子力活動の一部分しか保障措置を受け入れていないインドも受領国となることができるとする考え方もあるが、最低条件としては平和利用が保証される保障措置を受け入れ、国家や多国籍センター/国際施設がモニターされる状態であることが必要だろう。安全性に関しては、法律や規制体系に基づいた原子力規制機関があることが必要である。セキュリティに関しては、受領国において核物質や施設において適正な核物質防護や計量管理がなされていることが必要であるが、核物質の盗難や施設への妨害破壊行為への対策が必要であることを受領国に知らしめることが必要である。
- 核燃料の移転/使用/返還における IAEA の役割： IAEA は、核燃料サービスセンター/核燃料バンク/核燃料サービスのアレンジ、のどれにおいても、供給者と受領者の間の重要な先導役でありバッファーであることが期待されている。IUEC に関しては特に保障措置義務の遵守の観点からの IAEA の役割が期待されており、受領国が保障措置や核不拡散のクライテリアを満たしているか、核燃料の輸送に当り核物質防護や保障措置、安全性に関する国際水準を満たしているか、受領国において核燃料に関して保障措置が適切になされているか、を査察する等の役割がある。

- ▶ 核燃料を提供し使用済燃料を受け取る国の法律や規則の改正： 多国籍センターや国際施設をホストする国、またこれらのセンターや施設を利用する国の双方で新しい法律や規制、もしくはこれらの改正が必要である。ロシアでは、ロシア起源の使用済燃料を再処理及び長期貯蔵のために受け入れるための法律等を整備した。米国では、原子力法により、米国起源の核燃料は米国の許可がない限り移転できず、基本的に米国と原子力協力協定を締結していない国でないと許可を付与できない。使用済燃料のストックの殆どは米国起源であり、国際的な使用済燃料管理センターのホスト国が米国と協定を締結し、移転が認められていない限り、米国の義務が付随している燃料を取り扱うことはできない。つまり、米国が使用済燃料を受け入れるまでには相当の期間が必要と考えられる。
- Finding 7 & Recommendation 7: 供給保証や使用済燃料の返還、多国籍/国際核燃料センターを実効的なものとするために、保障措置取り決め、核燃料移転のプロセス、使用済燃料の引き取りなどの他に、解決しなければならない複雑な法的問題が沢山ある。IAEAは、これらの法的問題とその考えられるオプションの特定に努力し、各国が選択された解決策に合意するよう説得すべき。

第3章：国際核燃料サイクルをサポートする燃料再生成オプション

《主たる課題》

課題 B1.

抽出プラスによるウランの回収（UREX+）、抽出によるプルトニウムとウランの回収（PUREX）、ロシア連邦原子力庁が検討している使用済・照射済燃料から核分裂性及びその他の物質の分離するプロセスを比較する。また、廃棄物の流れについても考察する。

課題 B2.

米国の GNEP で検討されている先進燃焼炉とロシアの BN-600・BN-800 炉において、アクチナイドの燃焼が、受け入れられるレベルに達する燃焼度と必要なサイクル数を比較する。

Text 内で議論されている項目

1. 原子力オプションの比較：システムアプローチのニーズ
2. 比較のためのクライテリア：経済性、安全性、セキュリティ、核拡散抵抗性、環境負荷、プロセスの操作性、持続可能性
3. 近年提案されたシステムの評価：PUREX, COEX, UREX(+), 乾式再処理法、フッ化物揮発法, REPA, TUEX, 超臨界二酸化炭素法
4. 使用済燃料再処理プロセス（技術）の比較
5. ロシア高速炉（BN-600/BN-800）と検討中の GNEP 高速炉の比較

燃料サイクルオプションの比較の際に、システムアプローチが重要であり、比較のためのクライテリアとして、「経済性」、「安全性」、「セキュリティ」、「核拡散抵抗性」、「環境負荷」、「資源有効活用」、「技術の適用性と成熟度」の7項目を挙げ、各々のクライテリアを特定。最後に、「先進的な保障措置及びセキュリティ技術は、核不拡散の目標達成に重要な役割を果たす。保障措置とセキュリティ技術の再投資(再検討)が必要である」としている。

Finding 8a

ロシア及び米国はいずれも、従来の再処理アプローチの経済的なコストと核拡散リスクを低減し、廃棄物処理の改善を目指して、新しい使用済燃料処理技術について研究開発を行っている。提案されている技術は、まだ、これまで再処理能力を持たなかった国々への展開において、重大な核拡散の懸念を起こすものである。現在開発中の新しい技術が商業規模で実証段階に入るまでには、まだ、相当な期間を要する。

Finding 8b

再処理は、目下の状況ではほとんどの場合、経済的ではない。需要に対して経済的な値段で採掘できる世界のウラン資源がなくなった場合、あるいは高速炉が広く世界で展開される場合は、再処理は経済的に魅力的なものとなる。

Recommendation 8

核燃料サイクル技術開発者は、その技術が有する核拡散リスク及び予想される経済的コストを、設計の決定的要因として評価しなければならない。

新しい技術が開発される場合、開発者は核拡散危険性を考慮すること及び適切な保障措置の構築のために IAEA との作業を実施することが重要である。

Finding 9

使用済燃料から再処理されたプルトニウムを、近い将来に使用される予定の MOX 燃料の需要を超えて貯蔵することは、セキュリティのリスクを引き起こすものである。

Recommendation 9

関係国は使用済燃料から分離されたプルトニウムの貯蔵量を増やすことを現実的に可能な限り速やかに終わらせ、また、既存の貯蔵量を減らし始めるものとする。使用済燃料はそれに含まれる成分が燃料に必要な場合、または、安全上の理由で必要な場合のみ再処理されるものとする。

なぜ“アクチニド燃焼の受容レベル”が技術的によく定義できていないのか？について。

“アクチニド燃焼”は、米国の先進原子力技術の主要な目的で、日本やヨーロッパでも（次世代原子力技術開発の）中心的な目的となっている。当委員会においては、これらの目標はいずれも価値あるものであると認識されている。しかしながら、当委員会は、これらの目標に対してアクチニド燃焼を実施することで対応すべき、という考えはとらない。

マルチサイクル用として設計されたシステムの場合、アクチニド存在量を要求されたレベルまでに減らすために、必要なサイクル数は、アクチニド核種毎に異なる。そのようなシステムについては、処理施設の効率と経済性を評価しなければならない。アクチニド燃焼が核不拡散及び保障措置に寄与するという技術的目標は、懸念されるシナリオに依存する。放射線バリアおよびプルトニウムと他のアクチニドが共存するというバリアは、テロリストにとっては大きな障害とはなるが、核兵器を求める国家には大きな障害とはならない。アクチニド燃焼の明確な技術的目標がないままでは、“受容できる燃焼レベルはどこか？”という質問に答えられる信頼すべき技術的根拠にはならない。

課題 B3.

上記提言が新たな技術に与えるインパクトは何か？

Text 内で議論されている項目

1. 改良高速炉
2. 小型、内蔵型(self-contained)、展開可能な原子炉
3. 高燃焼炉心
4. トリウム燃料サイクル
5. 燃料分離精製のための乾式法

6. パイロエレクトロケミカル（高温電気化学・乾式電気分解）プロセス

7. 振動充填法

新技術に関する結言

Finding 10

改良核燃料サイクルに用いられる先進的な技術の多くは、特に核燃料サイクルに焦点を当てた研究抜きには先進的な分野とはならず、使用済燃料再処理と燃料設計(軽水炉用ウラン酸化物燃料のさらなる改良等)の分野においては、使用済燃料処分や廃棄物処分における数々の改良などと同様の研究が必要である。加えて、増加する原子力施設の検知能力の強化に資する先進的な保障措置およびセキュリティ技術に関する研究開発を行う必要がある。例えば、バルク取り扱い施設における高精度なニアリアルタイムな物流モニタリング技術、転用などの動きに直ちに警報を発するリアルタイムモニタリング技術、盗取や破壊工作の脅威に対する防護技術、保障措置効果を増大させる施設設計技術、等々である。

Recommendation 10

米国、ロシア、および各国政府は、先進的な保障措置技術とセキュリティ技術へのさらなる研究開発投資を行う国際協力に指導性を発揮すべきである。

今後の新しい施設がより安全で保障措置性を備えるためには、研究開発の成果を国際社会が利用できるための集中した努力が必要であり、同時に、国際社会は新しい原子力システム、原子力施設に着手する時点から、プロセスにおける固有の技術的特性と制度的手段を含む高度のセキュリティと保障措置設計を導入すべきである。

Finding 11

今日、一つの国際的な包括的な燃料サイクルプログラムを一挙に構築する事は無理であるが、プログラムの一部は既に存在しており、その他の部分もその基礎が準備されつつある。

Recommendation 11

新技術開発のために、米国、ロシア、各国政府は以下のことを為すべきである。

- ・ フランススルー及び Closed 燃料サイクルシステムにおいて、拡散抵抗性、安全性、セキュリティ、経済性、資源活用、廃棄物管理の改良に資する可能性のある先進技術に対する研究開発投資を継続する。
- ・ 意思決定に用いる明確な目的と技術面での妥当な基準の下、前述の技術を開発、評価するシステムアプローチを活用する。パイロットプラントや大型施設建設に着手する前に、実現可能性の高いアプローチを特定するためのシステム解析を用いること。
- ・ 拡散抵抗性評価にあたっては、ある特定の核燃料サイクルに関係する核物質、施設、技術専門性がいかに核兵器計画の検知、不確実性、コスト、所要時間に影響を与えるかなどを含むあらゆる関連するリスクを考慮する。

- ・ 制度的、あるいは技術的な各種提案がより洗練され、あるいは新たに模索される一方で、燃料供給保証など実現可能な事項は遅滞無く実行に移すべきである。

《2 次的な課題》

課題 B4.

(B1)で検討された各種処理手法によって生産される燃料について、利用されるべき適切な原子炉（軽水炉、高温ガス炉、高速炉）別に、それぞれの長所短所を比較する。

課題 B5. GNEP で提案されたプロセスにより発生した廃棄物と PUREX やロシアの計画をベースとしたシステムにより発生した廃棄物の各々に要求される処分場の比較

課題 B6.

国際燃料サイクル化に対する露や米の提案は新しい法律や規則が必要となるのか？現存する法律や規則に変更や廃止が必要となるのか？

Finding 12

米国とロシアは、原子力平和利用協力に関する協定に署名したが、発効することは依然了承されていない。米国とロシア間の協定が発効しないことは、核拡散を低減しようとする両国の努力に対する妨げとなる。米国とロシア間における、核物質の移転、原子炉設計と技術の主要な要素、又は燃料サイクル設計と技術を、米国からロシアに移転する原子力エネルギー技術に関する協力は、米国における 123 協定と呼ばれる原子力協力に関する二国間協定の下でのみ可能となる。原子力エネルギーの研究開発における拡大協力、又は二国間協力によって可能となるであろう商業活動の実施は、安全、安心、核不拡散の目的に合致しつつ原子力エネルギー利用を拡大するという両国の興味の手助けとなる。このような協定を承認することは協同的な燃料サイクルに対する国際アプローチの見通しや他の核不拡散課題を強化する協力の雰囲気醸し出すことに役立つ。特に、米国の法律の下では、ロシアへの核燃料の引き取りを含んだ国際燃料サイクルアプローチ（このような燃料引き取りを法的な枠組みで持っているのは同国だけであるが）は、民生用協力協定が効力を発揮するまで、米国が義務を有する核燃料を除外しなければならないこととなる。