

Draft

不拡散から考える「国際(地域)核燃料サイクル構想」の研究

東京大学大学院 GCOE プログラム (GoNERI) 国際保障学研究会

(執筆担当：久野、Choi)

平成 21 年 3 月

I. 本研究の背景および目的

化石燃料による地球温暖化問題、生活水準の向上、エネルギーセキュリティ等の観点から、原子力発電導入気運は世界的に高まりつつあり、それに伴いウラン精錬、転換、濃縮、再転換、燃料製造の需要は増加していく¹。

原子力の平和利用において、濃縮ウラン燃料製造(フロントエンド)のみならず、使用済み燃料管理・処理など(バックエンド)の機微な技術や核分裂性物質の拡散問題により、その利用が抑制されることは避けなければならない、そのための種々の方策が議論されている^{2,3}。

濃縮ウラン供給に関しては、グローバルな原子力平和利用拡大において、新興国にとっては政治的な混乱に影響されないような核燃料供給保証が望まれている。リサイクル施設を保有しない国々には、市場原理による燃料供給が途絶えた場合、供給を保証するような国際的なシステムを構築することにより、同時に、核燃料サイクル施設の保有を限定化し、核物質の拡散を可能な限り防ぐという考え方が提案されている^{2,3}。

近年議論されている多国間アプローチによる提案は、そのほとんどが、供給保証、すなわち核燃料サイクルのフロントエンドに焦点が置かれている。核不拡散の観点では、機微技術の1つであるウラン濃縮技術が拡散することを抑止するという効果が期待できる。しかし、一方で、このような促進案において同時に重要な課題となるのが、「使

¹ 小林孝男「世界のウラン濃縮需要の見通しについて」日本原子力研究開発機構 2006 年 12 月 20 日 <http://www.jaea.go.jp/03/senryaku/report/rep06-10.pdf>

² Ref: http://www.carnegieendowment.org/files/fuel_assurances_rauf.pdf

³ IAEA における各国の提案：INFCIRC/659(USA), INFCIRC/708(RUS), INFCIRC/707(UK), INFCIRC/704(GER), INFCIRC/683(JAP)

⁴ 米国科学アカデミー (NAS) ロシア科学アカデミー (RAS) 合同委員会共同研究報告書：“核燃料サイクルの国際化 (Internationalization of the Nuclear Fuel Cycle : Goals, Strategies, and Challenges) 2008 年 9 月 30 日

⁵ CHARLTON, William S. et al: Nuclear technology 2007, vol.157, No2, p143-156

Draft

用済み燃料」の管理(貯蔵)または、処理・処分を保障するシステムである⁴。増大化する原子力国において個々の国による「使用済み燃料」の蓄積は、安全上の問題のみならず、核拡散上のリスク(使用済み燃料中のプルトニウムの拡散というリスク)を伴う。使用済み燃料中のプルトニウムは、高い放射線下にあるため核拡散抵抗性は高いとされ⁵、また、そこからのプルトニウムの回収は、「再処理」という機微技術を必要とされるものの、再処理作業自体は、小規模であれば、濃縮に比べ直接利用核物質の回収(単離)の困難性は相対的に低い。よって、使用済み燃料の厳格な管理は重要であり、燃料供給保証(フロントエンド)と同様に、当バックエンドへの対策を国際管理のもと多国間で講じることは、基本的に核不拡散問題を解決する上で重要な手段と思われる。すなわち、フロントエンドとバックエンドの両者のパッケージからなる多国間管理の考え方は、今後の原子力の国際的な展開として重要となる。

多国の共同による一元的な管理を実施する場合、過去に URENCO のように機微な技術が拡散した例も在るものの⁶、仮に厳格に管理できるシステムが構築された場合は、むしろ個々の国が濃縮や使用済み燃料再処理技術を保有する必要性は減じられる。すなわち機微技術を獲得しようとするインセンティブが減少し、機微技術が多国に拡散するリスクが軽減されることが期待できる。また、ホスト国家(燃料サイクル技術を立地する国)についても、施設を国際管理することにより、自身による転用、不正使用等が困難となり、そのような行動をとろうとするインセンティブをなくす効果が期待できる。一方、保障措置が軽減できる可能性なども期待される。すなわち、全体として原子力の平和利用における多国の協力による枠組みで、合理的かつ経済的な原子力エネルギーセキュリティのシステムの構築が期待できるとともに、透明性の確保により、核不拡散における国際社会への信頼性向上も図ることができる。

現在の核燃料(低濃縮ウラン)は、近年の価格高騰の例にみられるように変動はあるものの、当面供給バランスが極端に崩れるとの予測はなく、市場は、ほぼ正常に機能していると考えられる^{4,7}。しかし、将来到来するであろう化石エネルギー枯渇やウラン資源の高騰、そして核燃料の有効利用などの観点から、「プルトニウム利用」は、中長期にわたる持続的なエネルギー供給の保証においては、重要なオプションである⁸。また高レベル廃棄物処分における減容や毒性低減も期待できる⁹。すなわち、上述のバックエンド対策については、使用済み燃料(SF)の貯蔵－処分という考え方のみで

⁶ <http://www.cistec.or.jp/jaist/shiryuu/kenkyuu4/070317hirose.pdf>

⁷ 小林孝男ウラン資源をとりまく最近の動向、平成20年2月14日

<http://www.jaea.go.jp/03/senryaku/seminar/08-1.pdf>

⁸ 経済産業省「技術戦略マップ(エネルギー分野) 超長期エネルギー技術ビジョン」平成 2005 年 10 月 <http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g51013a41j.pdf>

⁹ http://www.atomin.go.jp/atomica/07/07020101_1.html

Draft

なく、再処理－プルトニウム利用－回収ウラン再利用－高放射性廃棄物（HLW）処分という長期的視野に立った考え方も必要と思われる。一方、核不拡散の観点では、再処理技術は濃縮と同様、機微な技術およびプルトニウムの拡散を招くことにもなるため、グローバル的なエネルギーセキュリティ上のニーズに対し、プルトニウム利用をどのような形で実現させるかが大きな課題となる。この点においても、国際管理・多国間管理は、機微技術およびプルトニウム利用の限定化という点で1つの有効な方法であると思われる。

上述のように、本案は、水平核拡散防止の有効性が期待されるが、核兵器国の積極的な貢献という国際的な協力フレームワークを拡大することで、垂直拡散の防止や、究極的には核の無い世界を目指すという観点においても効果的な方法と考える。

我が国では、核燃料のリサイクルを含む原子力エネルギー利用について、これまで比較的、国内需給を中心とした議論が主流であったが¹⁰、アジア等の諸国における原子力への興味の拡大や原子力発電建設の伸び、それらの国への燃料供給保証、今後の使用済み燃料・HLW 対応策、核不拡散対策に要する経費の増大、そして一部の近隣諸国における使用済み燃料の実際の蓄積などの多くの国際的な問題を考慮すれば、非核兵器国で唯一核燃料サイクルを推進している日本として、原子力の平和利用推進における上述の問題点に対し、国際枠組みとしての解決策にリーダーシップをとりながら、積極的に貢献することが期待される。

国際保障学研究会では、「燃料サイクルの国際化」が、以上示した燃料供給保証（フロントエンド）、バックエンド対策、そして核不拡散という3つのニーズを満たす最も有益なオプションの1つと考え、以下に、その望ましい形態について検討した。特に、本研究会では、核不拡散におけるプルトニウム（使用済み燃料）のグローバル的拡散の懸念、および中長期的エネルギーセキュリティの重要性に鑑み、バックエンド対策のうち、使用済み燃料の貯蔵・処分については当面の短中期的な対策として扱い、再処理によるプルトニウム利用・回収ウラン再利用・プルトニウムを含まない廃棄物の処分を、中長期的に、究極の形態にとらえた。

発生する高放射性廃棄物（使用済み燃料を含む）の蓄積問題の解決は、原子力オプションを、採用する国すべてに共通の課題（基本的に他国による最終処分を期待しない）と位置づけた上で、使用済み燃料を、各国の領域（国土）内で貯蔵や直接処分することによるプルトニウム拡散のリスクを回避するためには、使用済み燃料貯蔵および再処理を、一部の国における国際貯蔵・国際燃料サイクルに委譲し、返還されるプルトニウムを含まない高レベル廃棄物を、各国がそれぞれの責任において処分を行う、という考えを基本にした。もとより、本国際スキームの利点は、相互信頼に基づく各国の分業にあり、よって、他国における処分が可能となる場合は、そのオプションを排除するものではない。また、「持てる国」「持たざる国」の差別的な考え方を排除するため

¹⁰ <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/images/060810-keikakukosshi.pdf>

Draft

に「核燃料サイクル国となる要件」(平等性)を提案し、構想に含めた(「持つ」場合は、国際制度へのフル参加、多国管理などを含めた高いハードル、一方、「持たない」と判断する場合は、プルトニウム等価の代償を享受など)。さらに、本研究では、基本的に、わが国のこれまでの自国のエネルギーセキュリティ政策や核燃料サイクル路線の基本的な考え方を損なうことなく、かつ上述の国際ニーズ、新興国への燃料供給、使用済み燃料取り扱いを満たすことができるような形態について検討することとした。なお、以上では「国際」と記したが、それを実施する上での中間的な段階としてよりファイジブルな「地域」核燃料サイクル構想から検討を開始し「国際」へ発展させる方向で進めることとしたい。

本研究会は、グローバル COE-GoNERI 東京大学大学院(原子力国際専攻)が、産業界・電力界・原子力の研究開発機関などからの参加者と共に、核不拡散の観点から原子力の将来の方向性などについて、自由な発想に基づく議論を展開することを目的に実施するものである。よって、ここに示した考え方は、参加者が、所属する企業・団体を代表するものではない。また、このような「国際核燃料サイクル構想」については、さまざまな意見や考え方が存在するため、参加者の意見を完全に反映することは困難である。よって、ここで示す構想とは、研究会の代表的な意見を集約したもの(大多数の合意による意見)であることを特記しておく。

Draft

II. 「国際(地域)核燃料サイクル」の必要性

A. 効率的かつ持続的なエネルギーセキュリティ対策としての国際（地域）核燃料サイクルの必要性

1. 原子力エネルギー利用の拡大

米国科学アカデミー（NAS）およびロシア科学アカデミー（RAS）合同委員会が2008年に発行した共同研究報告書⁴では、原子力エネルギー利用の世界的な拡大について以下のように記述されている；60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。

さらに、同報告書では、世界の原子力発電需要予測として次のように記述されている；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2.9～3.6 MW-h/年に、2030年には3.2～4.8 MW-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22,000～27,000 TW-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。現在の消費と今後の需要の増加は、どの国でも同じということはない。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～

Draft

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。米国では、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。また、ロシアでは、今日、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%であるが、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、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9.8GW以上が運転開始され、その他、10基の原子力発電所が建設途上にある。800MWのFBRは運転開始され、使用済燃料を処理してU235とPu239を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。

2. ウラン資源および濃縮ウランの需要と今後の供給見越し

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¹¹。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⁴。一方、他⁷では、ウランの需給見通しは下図のように示されている。「標準需要」(青線)が現段階での一般的な予測であるが、2020年代後半には供給が充分でなくなると予測されている。

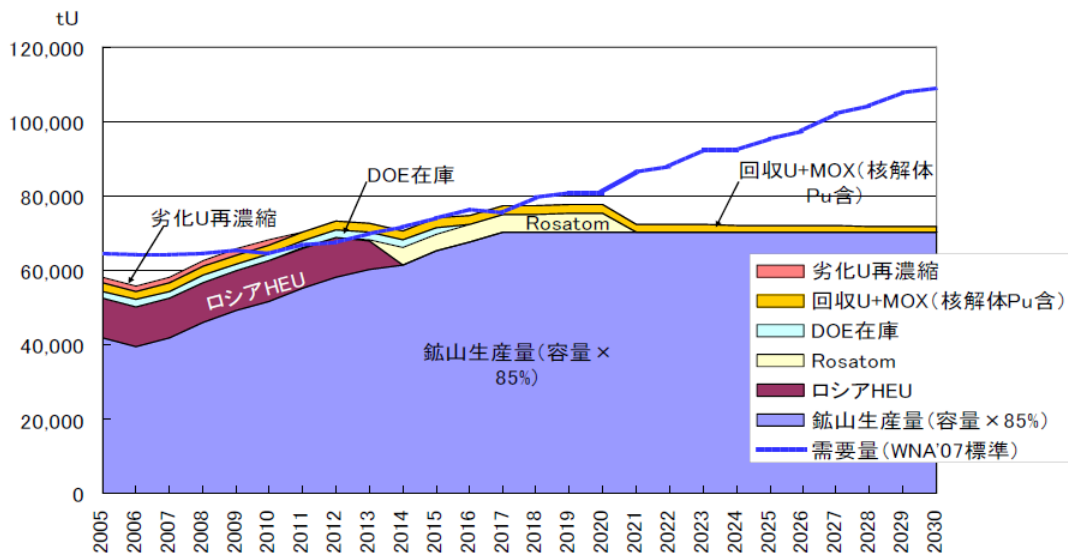
小林¹によれば、濃縮ウランの需要については、世界の濃縮需要は今後ますます

¹¹ OECD/NEA: Uranium 2007 Resources Productions and Demand

Draft

す高まり、現在の需要は4万tSWU/年から核解体利用分5,500tSWU/年を差し引いた実質約35,000tSWU/年程度であるのに比べると、2025年には2倍以上（最適テール濃度をめざすならば）に拡大すると見込まれる。しかし、設備容量の拡大は需要に追いつかず、実際には現状に近いテール濃度での運転が継続されるものと予想される。テール濃度0.3%程度で運転されるとしても、西側の濃縮設備拡大計画は遅れているので、早かれ遅かれロシアの濃縮に多くを依存することは必須と考えられる。大きな濃縮企業の存在しないアジアでは、特にロシアへの依存が大きくなるものと予想される、としている。

世界のウラン需給見通し⁷



注：埋蔵鉱量が枯渇した鉱山は新規発見資源によって補われるものと仮定。2005、2006年の鉱山生産量は実績値。Rosatom(ロシア)からのウランは実質ロシアHEUと想定。

データ：関係企業・機関 Webサイト、レッドブック 2005、WNA Market Report 2007他

濃縮ウラン需要量¹

需要見通しに対する地域別ウラン濃縮需要量（テール濃度 0.3%）

	2005年 (tSWU/y)	2015年 (tSWU/y)	2025年 (tSWU/y)
米国・カナダ	14,560 (36.8%)	14,460 (29.4%)	17,280 (29.1%)
EU全体	11,400 (28.8%)	11,060 (22.5%)	10,630 (17.9%)
アジア全体	8,550 (21.6%)	16,570 (33.7%)	22,450 (37.9%)
（内日本）	5,140 (13.0%)	6,950 (14.1%)	9,820 (16.6%)
ロシアと旧 CIS	4,190 (10.6%)	5,810 (11.8%)	6,540 (11.0%)
その他	900 (2.3%)	1,290 (2.6%)	2,400 (4.0%)
世界全体	39,600	49,200	59,300

データ：レッドブック 2005 のウラン需要見通しから計算

Draft

原子力のキャパシテイを拡大する国々、またはまったく新たに原子力を持つという国々、どちらにとってもウラン濃縮の必要性はある。現在のところ、4大サプライヤーである AREVA、URENCO、USEC、TENEX およびいくつかの小さなもの；CNNC、JNFL、ブラジル-INB がある程度である。AREVA と USEC は、いまだ電力消費の高いガス拡散技術で運転を行っている。これらは今後のニーズ拡大に伴い、間もなく遠心分離に置き換えられるものと思われる。GE-日立は、レーザーをベースとした新しい技術（SILEX）を導入すると考えられているが、これにより濃縮市場が大きく変わるものと思われる。潜在的に濃縮テールを現在の技術に比べ大きく下げ、濃縮の高効率化が達成できると考えられる。表 1 に、現在の商用のサプライヤー、技術、キャパシテイを示す。

表 1. 現在の商用ウラン濃縮におけるサプライヤー、技術、キャパシテイ

サプライヤー	技術（施設名、場所、計画など）	キャパシテイ（ミリオン SWU/a）
AREVA(仏)	ガス拡散法 (Eurodif, George Besse)	10.0
	ETCによる新遠心分離 (AREVAとURENCOによる 50/50)	2016 に 7.5
AREVA(米)	遠心分離 (Eagle Rock 濃縮施設:EREF) 同 ETC 技術 (2011 年から建設開始)	2014 からの運開予定 (期待)、 2019 年までに nominal で 3.3
URENCO(欧)	遠心分離 (Capenhurst, UK)	4.2
	遠心分離 (Almelo, Netherlands)	3.6
	遠心分離 (Gronau, Germany)	1.8
URENCO(米)	遠心分離 (Eunice, New Mexico: ルイジアナエネルギーサービス (LES) による—現在 USNRC の審査 (National Enrichment Facility))	2009 年の第3四半期に 3.2 のキャパシテイで運転が予定 (期待)
USEC	ガス拡散法 (Paducah, Kentucky)	11.3
	米国の遠心法 (Piketon, Ohio)	2012 年に 3.8
GEH/SIREX	グローバルレーザー濃縮 (GE 51%, 日立 25%, カメコ 24%)	3.5 ~ 6.0 2014 の運開予定 (期待).
TENEX(露)	遠心分離	推定 24.0
		2015 年までに 27.0 に増強
CNNC(中)	ロシアの濃縮技術 (Hanzhong)	0.5
	ロシアの濃縮技術 (Lanzhou)	0.5
	ロシアの濃縮技術 (今後の拡大)	10年で 6.0 へ
JNFL(日)	遠心分離	~1.0
	新遠心分離	10 年で 1.5 へ

Draft

INB(ブラジル)	遠心分離(Resende)	~0.25
-----------	---------------	-------

米国と EU は、ロシア濃縮に対し通商上の制限をしている。一方、米国はヨーロッパの濃縮供給者に対し制限を掛けている。ロシアはロシアの発電炉のための濃縮ウランはすべて自国でまかなっており、旧ソ連国家の需要に対しても大きなシェアを有している。

米国の商務長官 Gutierrez および ROSATOM 長の Kiriyenko は、ロシアからのウランに関するアンチダンピング調査を保留した合意(1992 年)の修正について 2008 年 2 月 1 日署名した。ロシアは、米国に対し、保留合意以来(1992 年)商用として濃縮ウランを供給販売していない。但し 1993 年の米ロ高濃縮ウラン合意のもと現在は米国市場に参入している。これは、500 トンの兵器級高濃縮ウランをダウンブレンドして低濃縮ウランにするユニークなもの。これにより年間 5.5M SWU を、USEC を通し供給販売、米国の電力会社が購入している。

上記の合意修正は、現在から 2020 年までの米国市場に対し限定的にアクセスするためのもので、特に高濃縮ウランに関する合意終了(2013 年)後のロシアのビジネス継続を考えたものである。この合意によりアンチダンピング調査による保留合意は、2020 年に終了するものと思われる。修正合意は発効しているが、その実施について詳細は不明である。問題は、濃縮ウラン契約で製造される低濃縮ウランがどのように取扱われるかにある。

濃縮ウラン(SWU)のコストについて;ウランのスポットマーケット価格は、2007 年 8 月に 140 米ドルであったものが、2008 年 7 月には 156 ドルに上昇(11%)となった。これは、安定供給のために電力会社が長期契約のもと購入を拡大したためである。濃縮Uの価格は、現在の供給がタイトであるため、今後 1-2 年に亘り上昇を続けるものと思われる。濃縮U価格は、遠心分離(および、おそらく新レーザ法)、そして保留合意修正によりキャパシテイ増強がはかられ、2012/2013 年には、濃縮供給が増加し安定するものと予想する。

いずれにしても、濃縮ウランの需要が高まることは必至であり、全ての原子力発電ユーザーへの燃料安定供給は重要な課題である。

3. 原子力発電および核燃料サイクルを含む使用済み燃料取り扱いの経済性

NAS・RAS) 合同委員会共同研究報告書 4 では、原子力発電および核燃料サイクルを含む使用済み燃料取り扱いの経済性について次の様に示されている。

Draft

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（天然ウランや濃縮業務のコストを含む）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 \$1-2/MWh で、これは発電コストの 2-4%である。

再処理・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（訳者注：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 に匹敵するレベルの値である。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

Draft

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。

以上、NAS/RAS 報告書から明らかなことを、換言すれば、1) 使用済み燃料の長期貯蔵・処分に係るコストと再処理コストは、同等のレベルであること、2) MOX 利用で試算した例では、再処理によるプルトニウム利用は、新たにウランを低濃縮した燃料による場合より廉価であること、3) 再処理・MOX 利用によるコストは、発電コストの2~4%であり、50年の乾式貯蔵から試算したコストである約1%（発電コスト）と直接比較すれば割高ではあるが、プルトニウムを低濃縮ウランに代わる燃料とみた場合、上記1)に示すように、コスト的に部分相殺できる、4) その他「プルトニウムの安全で確実な貯蔵はコスト高」としているものの、使用済み燃料の貯蔵コストに匹敵するものであり、MOX としてある程度消費しつつ、将来のFBR利用にむけた貯蔵のコストが、使用済み燃料と同等のレベルであれば、問題視すべきものとは考えられない。むしろ、使用済み燃料の長期貯蔵・処分オプションにおいては、大きなコスト増ではないものの、そこにおけるPuの存在から、長期にわたるセキュリティや保障措置のコストが加算される可能性が否めない。使用済み燃料の処分については「1ドル/MWhの課徴金によって賄われることになり」とあるが、仮に現在のユッカマウンテン完成にかかる経費から試算した場合、数倍（5ドル/MWh）とも考えられており、直接処分のコストは非常に高額と考えることができる。すなわち、プルトニウム利用オプションにおいて、MOX利用と並行して将来かならず必要となる量の回収貯蔵を行うとしていく考え方は、経済的に大きな問題のある考え方ではないと言える。

グローバル的に見れば、小規模原子力発電ニーズの国においては、当然ながら、使用済み燃料インベントリーが小さくなり、自国による核燃料サイクルによる処理は、経済効率性が低く、国際燃料サイクル構想（他国による処理）は経済的に有利となる。

4 世界の使用済み燃料(SF)の発生状況、貯蔵管理の問題

世界の使用済み燃料の蓄積の現状および今後の予測として、次図が報告されている。図から、2007年時点において、全世界で約17.5万トンの使用済み燃料が蓄積されており（日本は、2008年9月において12320t）、2020年、2030年には、27万トン、38万トンに増加する。これに含まれるプルトニウムの割合を1%と仮定すれば、3800tのプルトニウムが使用済み燃料として拡散的に蓄積することになる(下表は年間発生量)^{12,13}。

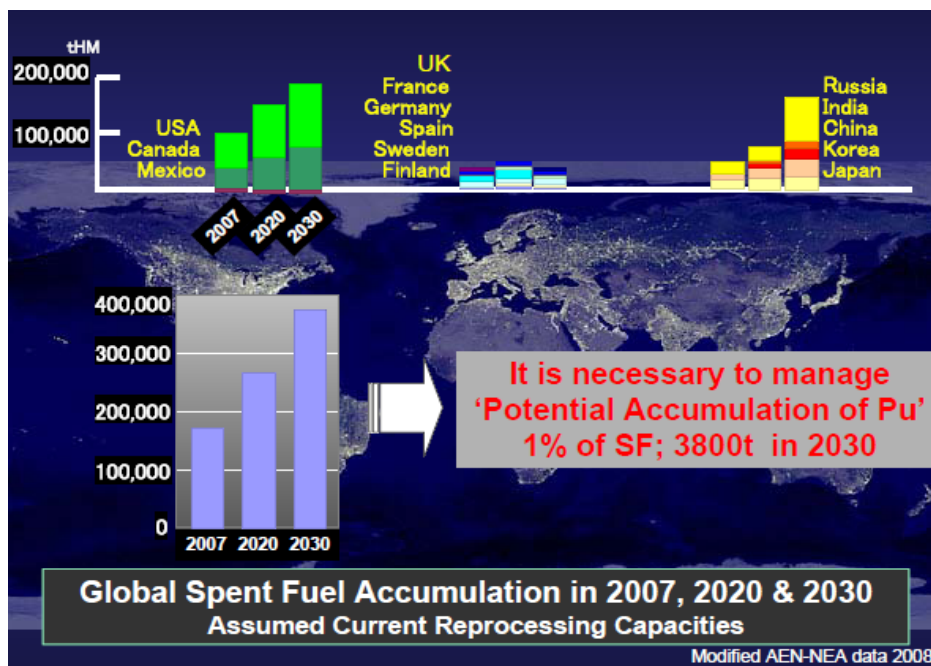
¹²http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/recycle/HP2008%20KOBE%20WS/Panel_Dr.Nomura.pdf

¹³ <http://www.atomin.go.jp/atomica/pict/04/04070317/02.gif>

Draft

貯蔵の方法としては、水プール貯蔵および乾式キャスク貯蔵（金属キャスク、ボルト貯蔵、縦型サイロ、横型サイロ、コンクリートキャスク）が採用されており、今後かなり長期間にわたって使用済燃料の貯蔵が必要になると予想されることから、経済性の向上を目指した貯蔵技術の改良、開発も進められている¹⁴。使用済み燃料の貯蔵に関し、米国における経験では、湿式は40年可（50年以下、平均で16-22年）、乾式では20年可（平均で12-16年、米国DOEはINLにて乾式キャスク内調査も実施）となっている。これまで使用済み燃料の問題は発生していないが、湿式の中性子吸収剤に、腐食の問題が生じたとしている¹⁵。いずれにしても、使用済み燃料の「貯蔵」期間には安全上の限界があり、これに対する配慮（コスト等）が必要となる。

さらに、上述の、セキュリティおよび保障措置における長期的な取り組みの必要を併せて考慮すれば、使用済燃料の「貯蔵」は、当面の処置という面では1つの方策ではあるが、安全、セキュリティ、核不拡散等において課題のある手段と考えることができる。



¹⁴ http://www.atomin.go.jp/atomica/04/04070317_1.html

¹⁵ R. LAMBERT, J. D. B. LAMBERT, "AN OVERVIEW OF SPENT FUEL STORAGE AT COMMERCIAL REACTORS IN THE UNITED STATES" ANL, 2005

世界(OECD諸国)の使用済燃料年間発生量の推移

(単位: HM/年)

国名	2002年 発生量	2003年 発生量	2005年 発生量	2010年 発生量	2015年 発生量	2020年 発生量
OECD (北米)	3271	3311	3351	3709	3700	3701
カナダ	1095	1049	1200	1500	1500	1500
メキシコ	20	19	22	43	21	22
米国	2156	2243	2129	2166	2179	2179
OECD (欧州)						
ベルギー	108	113(a)	120	120	N/A	N/A
チェコ	40(b)	60	77	75	77	77
フィンランド	93	69	69	94	94	94
フランス	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
ドイツ	420	420	500	370	240	90
ハンガリー	45	48	43	43	43	43
オランダ	12	12	12	12	0	0
スロバキア	60	59	57	43	52	52
スペイン	150	200(a)	140	155	170	140
スウェーデン	228	196	215	215	215	N/A
スイス	64(a)	50(a)	50	50	50	50
英国	1166(a)	1019(a)	1026	1026	106	106
OECD (アジア)	1342	1541	1540	1760	1900	2120
日本	745	904(a)	880	1060	1160	1400
韓国(c)	597	610(a)	660	700	740	720

注: (a)暫定値、(b)事務局指定値、(c)軽水炉および重水炉を含む

[出典] OECD/NEA: Nuclear Energy Data 2004

5. 核燃料サイクルの必要性

経済産業省による「技術戦略マップ（エネルギー分野）超長期エネルギー技術ビジョン」⁸では、長期を見据えた研究開発の重点化や、ポスト京都議定書の国際枠組み等の長期的地球的視野からの議論への貢献を目的に、2100年までの長期的視野からエネルギー分野の技術戦略マップを示している。同検討では、エネルギー需要を効率的かつCO₂排出原単位改善を図りつつ満たすため、「化石資源の効率的利用」「原子力利用技術」「再生可能エネルギー利用技術」の3つの技術群の備えが必要としている。現状では国内でのCO₂の地中隔離には量的限界がある、環境影響評価と社会的合意獲得の面で課題を乗り越える必要のある海洋隔離を想定しなければ量的には不十分であり、また化石資源の有限性を考えると石炭等の化石資源と二酸化炭素回収・隔離の最大利用するケースは長期的な解決とはなり難い。よって、短中期的には必要に応じてCO₂回収・隔離により急激な気候変動を回避し、長期的に見れば再生可能エネルギーを最大限活用しつつ、省エネ（再生可能エネルギーの利用と究極の省エネルギー実施）を究極的に行い、原子力を安定的に運転していくことが持続的な社会としては望ましい組合せと考えられる、としている。ここで特記すべき点は、原子力について、「核燃料資源の有効利用が必要であり、現状の軽水炉の効率向上とともに、核燃料サイクルの確立が必須となる」としていることであり、長期的なエネルギー戦略の重要な手段である原子力において「核燃料サイクル」の重要性が示されている。本検討は「我が国」に視点が置かれているものの、国際的な観点においても、長期的かつ効率的な原子力エネルギー確保における「核燃料サイ

Draft

クル」の必要性は同様である。

核燃料サイクルおよびプルトニウム利用については、常に、実用時期についての議論が存在するが、上記の長期的な意義やウラン資源供給保証における中長期的な不確実性のみでなく、既述の使用済み燃料貯蔵における課題、上記の中長期的観点を含め経済性比較、核燃料サイクル技術確立・拡大に要する時間など、複数のファクターを考慮すれば、使用済み燃料の貯蔵と並行して、現時点から核燃料サイクル(再処理)を実施し、プルトニウム利用を開始していくことは、非常に重要なグローバル的エネルギーセキュリティ戦略であると考えている。

B. 原子力ニーズ拡大にともなう核拡散対策としての国際化の必要性

近年の世界的な原子力への興味の拡大や、今後の原子力発電建設需要の顕著な伸びに従い、核不拡散への懸念も同時に増大しつつある。燃料調達に係る濃縮技術拡散への懸念がさしあたっての問題とされている。しかし、使用済み燃料が世界各地で蓄積していくという状況を考えた場合、その処理の問題・安全管理問題とともにそれに内蔵するプルトニウムに関する保障措置・セキュリティについても、無視できない重要な課題になるものと思われる。これまでの原子力平和利用における核不拡散対策は、「保障措置」に大きく依存してきたが、今後の利用拡大や、核不拡散対策強化の流れから、従来の方策だけでは、もはや十分とは言えず、さらなる対策の付加が要求されている。しかし、一方でそれによる更なる経済的負担は、歓迎されるものではない。また一般に濃縮・再処理のような機微技術の多国への拡散は好まれることではなく、その反面、核燃料サイクルについて「持てる国」「持たざる国」という不平等性の問題についても、国際社会は何らかの解を示す必要がある。このような背景から、経済的かつ効率的で、しかも透明性の向上により、上記課題に対し国際的コンセンサスが得られやすい方向として「国際管理・多国間管理」がクローズアップされてきた。

1. 国際核燃料サイクルによる不拡散防止の効果について

原子力エネルギーに対する相当な需要増加に伴い、ウラン濃縮の増加と使用済み燃料が相当量増加し、これに付随して機微技術と兵器級核物質の不法な拡散の可能性が高まる。使用済み燃料の「送り先」が存在すれば、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。また核燃料リース方式で、使用済み燃料を引き取る約束付きのリースであれば、独自に使用済み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。燃料リース構想の変形の1つとして、

Draft

原子炉リース方式があり、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。さらに、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、上記同様、機微技術保有に関するインセンティブの軽減につながる。また、参加国の透明性の増強、使用済み燃料(Pu)自体の拡散抑制、さらに多国間管理・フルスコープ保障措置適用・核拡散抵抗性技術導入による機微技術保有国(燃料サイクルホスト国)による転用リスクの軽減が可能となる。その他、SF貯蔵の集中化(多国間管理)、燃料サイクル国の限定化(PP管理の徹底)によるセキュリティ向上が見込まれる。

2. 濃縮、再処理という機微技術の不拡散

NAS・RAS 合同委員会共同研究報告書⁴によれば、国際センターにおける技術漏洩のリスクについて、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されている。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 (以上 NAS/RAS 報告書より引用)。

いずれにしても、機微技術拡散防止は、非常に重要であり、核燃料サイクルの国際化の伴い、その技術管理には高い厳格さが要求される。

Draft

III. 国際管理・燃料サイクル国際化に係る歴史の変遷

1. 2000 年以前¹⁵

「ウラン濃縮」および「使用済み燃料(SF)再処理技術」は、重水製造技術とともに、いわゆる「機微技術」とされているが、これらの技術の拡散抑止の観点から「国際管理」の概念が長年に亘って提案されてきた。古くは、1946年のトルーマン政権下でまとめられた核国際管理構想（核物質等を一旦すべて国際機関にプールし、それを希望国に貸与する方式を想定）があるか、これは後にB.バルーク国連代表により「バルーク提案」という形で国連原子力委員会の審議に付された経緯がある。この計画は、米国技術の国際所有権化という点で、当事の米国の自由企業制度と矛盾すること、米ソ交渉では暗礁に乗り上げるなどにより成功しなかったが、1953年のアイゼンハワー大統領による国連における「Atoms for Peace」演説における「原子力エネルギーの平和利用における国際協力の時代」を導くきっかけとなった。ここでは核分裂性物質の国際管理を意図したウランバンク（備蓄）が提案されている。このような議論の末、1957年にIAEAが設立され、核物質等の提供という役割を1つの使命として持つことになったが、ウラン供給が当初想定されたほど限られたものではなかったこと、および、上記演説に基づく主要供給国による民生原子力技術・核物質の供給競争により、結局、ウランバンク構想は断念されることとなった。

戦後ヨーロッパにおいて原子力開発推進のために欧州原子力共同体（ユーラトム）が設立されたが、その設立条約における最重要項目は、加盟国内の「核物質供給保証」であった。しかし同時に同条約では、ユーラトム内の核物質が平和目的以外に利用されないことを担保するために保障措置システムを併せ持っている。

核技術に関する資機材・技術の輸出に関する国際議論も、供給に関する国際枠組み1つである。1971年にザンガー委員会が設立され、メンバー国はNPT非加盟国の非核兵器国に対する輸出及び同非核兵器国からの再移転に際し、輸出した「核物質」にIAEAの保障措置を適用することとし、具体的な資機材等を規制対象としてリスト化した。一方、インドの第1回核実験を契機に原子力供給国グループ(NSG)が1974年に同様の目的で設立されたが、NSGでは、「NSGガイドライン」と呼ばれる原子力関連資機材・技術の輸出国が守るべき指針（法的拘束力のないいわゆる「紳士協定」）に基づいて輸出管理が実施されている。

1975年にIAEAは、最初の地域核燃料サイクルセンター(RFCC)の検討プロジェクトを開始、同燃料サイクルセンターのバックエンドへの適用の優位性につい

¹⁵ 例えば、<http://www.jaea.go.jp/04/np/activity/2008-07-10/2008-07-10-9.pdf> および <http://www.sangiin.go.jp/japanese/annai/kounyu/20070706/20070706087.pdf>

Draft

て評価を行った。RFCC 報告書では、色々な地理的位置における燃料サイクルのバックエンドについて、国際的・地域的アプローチの基礎を検討し示した。1977-80 年には、国際核燃料サイクル評価 (INFCE) が実施され、8 つの作業部会 (WG) において核燃料サイクルの有効性について徹底した評価作業が進められた。本活動で、多くの WG は、「燃料サイクルセンター」を取り上げ、核不拡散を強化するための制度的アレンジと評した。さらに同燃料サイクルを、SF 問題に関し法的枠組みや多国間アレンジを含む 1 つの解決策と見なした。INFCE を受けて、IAEA は、国際プルトニウム貯蔵 (IPS) の概念について検討する専門家グループを支援し、供給保証委員会 (CAS) を 1980 に結成、87 年まで検討を続けた。これらの検討からの結果は、多国間管理は、技術的には達成可能、経済的にも現実性があるが、参加条件や核不拡散への権限委譲についての難しさに問題が残る、としている。

国際会議GLOBAL93においては、「国際監視付き回収可能貯蔵」(IMRSS)がドイツのヘッフェレ教授により提案された。これは、蓄積されつつある使用済み核燃料及びプルトニウムを、国際監視かつ回収可能な状態で貯蔵するというもので、IAEAの指揮下で実施されることが望ましいとされている。SFを、直接処分するかプルトニウムを回収するかの結論を得るまでの時間稼ぎにはなるとされたが、その後の発展はなかった。東京大学の鈴木篤之教授が東アジア地域におけるSF貯蔵について、また、CISAC/スタンフォード大学のChoi(著者)が地域SF貯蔵を含む地域盟約など提案を行った。ここでは他国のSFの扱いが容易ではないことも考えられるが、ホスト国が40-50年という限定された期間に限り中間貯蔵するというシステムをもつことの意義が示されている。

1994年米国とロシアは、500トンの高濃縮ウランをロシアから購入し、低濃縮化・転換し平和利用に資することで合意した。さらに両国は防衛上の余剰プルトニウムを50トンずつ申告し、2000年までに34トンずつ核兵器から解体回収、MOXとして発電燃料にすることで合意した。また、核不拡散の目的で、米国起源の使用済み高濃縮ウラン、低濃縮ウランの引き取りを2009年5月までに実施する目的で「外国の研究炉SF受け入れプログラム(FRRSNFA)」として1996年に開始した。また、ロシア研究炉燃料返却プログラム(RRRFR)では、ソ連/ロシアがかつて外国の原子炉に供給した高濃縮ウラン燃料2トンおよび低濃縮ウラン2.5トンのSFが、チェリアビンスクにあるマヤーク再処理工場に輸送された。米国とロシアは、数度に渡り、このようなロシア起源の高濃縮ウランの返還について協力を行ってきた。

SFと高放射性廃棄物(HLW)は東アジア地域の原子力推進を妨げる要因にもなりかねない共通の重要課題との認識から、環太平洋原子力協議会(PNC)は1997年にPNCメンバー内でSFとHLWの管理について理解と協力を推進するため、そして

Draft

国際中間貯蔵スキーム (IISS) の可能性を調査するために検討を開始した。IISS は、国家、地域、または国際という各レベルで運用され、国家のシステムを補完するもの（代わるものではなく）である。IISSは、管理を請け負う国に設置されたSFやHLWを貯蔵施設に預ける時点からそれらを引き戻す時点までの間(契約期間)で運転される。管理請け負う国は貯蔵施設の安全およびセキュリティを受け持つとともにSFやHLWの法的所有者である契約メンバーから経済的代償を受け取る。

現実的には、再処理契約の一部である SF の中間貯蔵は、BNFL や AREVA のような再処理事業者により提供されてきた。再処理契約した国は再処理の貯蔵施設にある期間に限り SF を貯蔵できるが、再処理された時点で分離されたプルトニウムや HLW は返還される。逆に、IMRSS、RSSFEA、地域盟約、IISS などの概念では、ホスト国に他国の SF の貯蔵または処分を要求しているが、これは現実的には容易ではないと思われる。

2. 最近の提案^{4, 15}

1998 年のインド・パキスタンによる核実験、そして 2001 年の 9 月 11 日のテロにより、国家による核拡散およびテロリストによる核入手への懸念は非常に高くなった。北朝鮮、リビア、イラン、そして A. Q. カーンによる核兵器闇市場ネットワーク問題により、国際社会は、燃料サイクルに関係する同位体分離や再処理のような機微技術の拡散を何とか阻止しようと、近年さまざまな試みや提案がなされている。

M. エルバラダイ IAEA 事務局長による 2003 年 10 月の提案では、(1) 再処理と濃縮の運転を多国間管理下に限定すること、(2) 原子力エネルギーシステムに核拡散抵抗性を持たせること、(3) SF および放射性廃棄物の管理・処分について多国間アプローチを考えること、が示されている。しかし、彼が考える機微技術や放射性物質の多国間システムは、問題解決までに長時間を要することが予想された。G. W. ブッシュ前大統領は 2004 年 2 月の国防大学での演説で、機微技術の輸出は、既にそれらをフルスケール利用し、追加議定書を遵守している国に限定することを強く要請した。しかし、この提案は、国際カルテルを作りかねなく、機微技術を持てる国、持たざる国に 2 分化することにも繋がるものであった。V. ライス等による「核燃料リース」提案や、E. モニツ等による「核燃料サービス保証イニシアティブ」の提案では、制度化による核不拡散の改善を期待しているが、結局、ユーザ国への供給が確実に保証できるかという懸念と、上記同様参加国を 2 分化して考えることへの懸念を残している。

その後結成された核燃料サイクル多国間アプローチ (MNA) 専門家グループ (エルバラダイ委託) には、(1) 核燃料サイクルのフロント・バック両エンドに関し

Draft

問題点とオプションを探し出すこと、(2) MNA 協力に対する政策、法律、セキュリティ、経済、制度そして技術上の誘因および阻止要因を示すこと、(3) 多国間燃料サイクルのアレンジに関する経緯および現状について答申すること、が任務とされた。同専門家 Gr の報告書では、MNA が 2 つの要因、すなわち供給保証および核不拡散で評価され、さらに、3 つの可能な MNA オプションが示された。

1. 政府援助により長期かつ透明性のあるアレンジにより現存の市場メカニズムをケースバイケースで強化すること。
2. 燃料バンクのようなサービス供給の保証者である IAEA とともに国際供給保証を作りあげること。
3. 現存の各国の施設を自主的に MNA に変換されるよう促進すること（共同所有や共同管理などによる地域 MNA など含む）

その後、供給保証や多国間管理については、さらに以下のような様々な提案がなされている。

1. 「信頼できる核燃料供給イニシアティブ（信頼性のある燃料供給イニシアティブ(RFS)) 2005年9月DOEボドマン長官発表」のために、米国は17.4 トンの高濃縮ウランを、約3年で約290 t の4.9%低濃縮ウラン (LEU) にダウングレディングして備蓄する作業が進められている。
2. 国際原子力エネルギー・パートナーシップ (GNEP) における燃料供給保証の議論では、国際的な核不拡散のため、米国はパートナー国とともにフロントエンドでの燃料供給とバックエンドでのSFの処分までを含む燃料サービスメカニズムの確立を目指すとした。2009年1月に時期にDOEが示した核不拡散評価-NPIS(ドラフト)¹⁶では、マイナーアクチニドのリサイクルも含む先進再処理能力を保持することの重要性を主張、今後の新興国が独自に濃縮、再処理技術の開発を独自に行うインセンティブを抑制するために、米国がバックエンドも含めた全体的な燃料サービスに参加していくことの意義を強調している。
3. 世界原子力協会(WNA)は、3層のメカニズムからなる保証体制を提案。1) 現存の市場による基本的な供給保証、2) 関連政府とIAEAの確約に基づく濃縮事業者による共同体保証、3) 各政府による濃縮ウラン備蓄。将来、原子力利用が拡大されたときは国際的な再処理リサイクルセンター構想の推進が必要になるとしている。
4. 六カ国による核燃料供給保証構想(RANF)：上記同様、3層によるメカニズムの提案であり、1) 市場を通じた供給、2) IAEAの協力に基づき濃縮事業者が互いにバックアップしあうシステム、3) 国またはIAEAによる仮想または物理的な低濃縮ウランバンク。

¹⁶ http://www.nnsa.energy.gov/nuclear_nonproliferation/documents/GNEP_NPIA.pdf

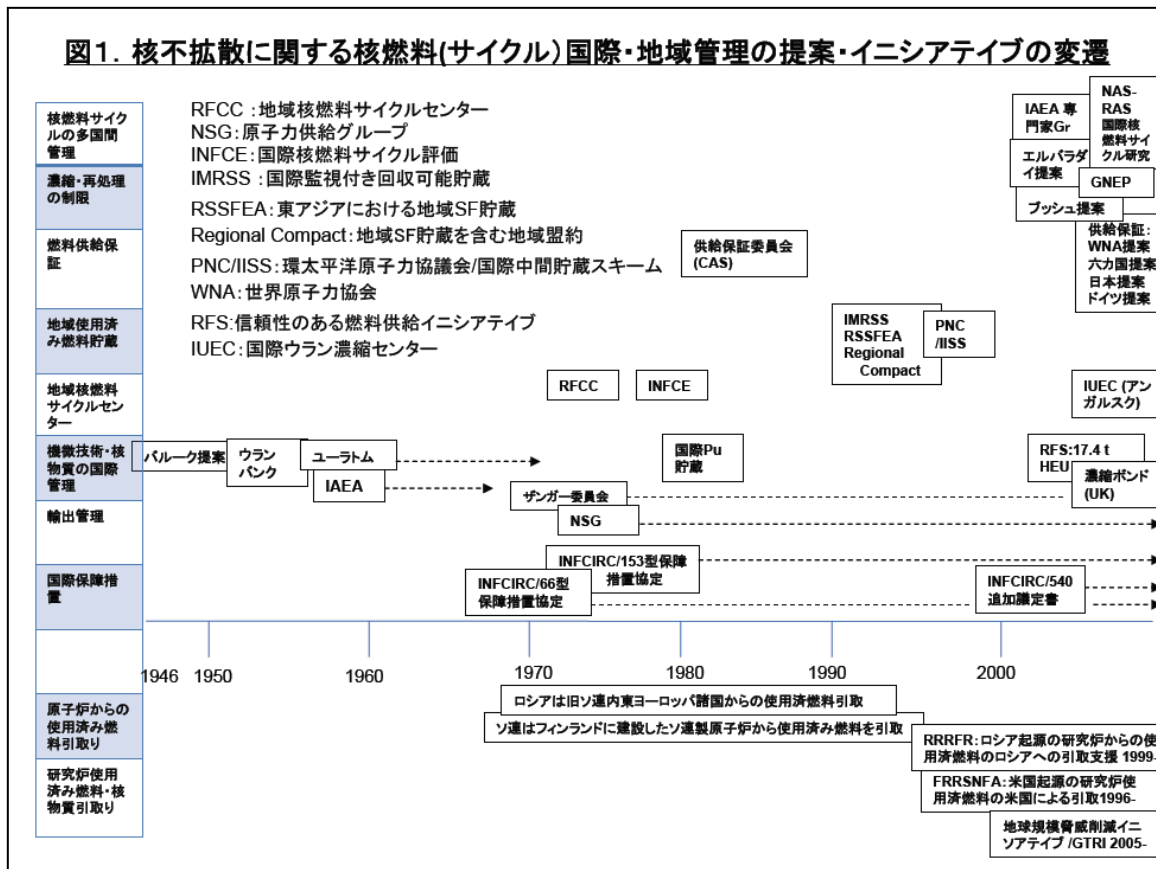
Draft

5. 日本提案：参加意思をもつ国は、自発的に以下の分野の能力（現保有量および供給能力）をIAEAに登録・通知、参加国は、サービス提供能力の利用可能度に応じて、3レベルに区分して、毎年IAEAに通知する（レベル1：国内向け商業ベースで提供-商業規模での輸出なし、レベル2：商業ベースで海外向け提供、レベル3：短期間輸出可能な備蓄有）。IAEAは、参加各国とスタンバイアーレンジメントを締結、本システムを管理。ある国において、燃料供給が現実混乱した場合に、仲介者としての機能を果たす役割を担う。市場の透明性の改善、供給途絶の防止、RANF提案を補完するものである。
6. 英国ボンド提案：自国内濃縮事業者により濃縮役務を提供し、供給国、消費国、IAEAの三者間であらかじめ協定を締結、IAEAが消費国の核不拡散上のコミットメント等を承認する。ボンドによる保証が発動された場合には、供給国は消費国への濃縮サービスの提供を妨害しない。供給保証メカニズムの信頼性向上、またRANF提案を補完するものである。
7. 核脅威イニシアティブ（NTI）提案：IAEA自体が保有管理する低濃縮ウランの備蓄システムであり、具体的な実現に向けての頼みの綱ともいえる提案である。活動のために、NTIは5000万米国ドル(\$)、米国政府が、5000万\$、ノルウェー政府が500万、アラブ首長国連邦が\$1000万\$、そして昨年暮れにEUが3200万\$拠出について約束したことで、必要とされる1億5000万\$がほぼ満たされることとなるが、IAEAが本年9月までにバンク設立に必要な行動を起こすことに注目がなされている。
8. 国際ウラン濃縮センター（IUEC）：ロシアの、アンガルスに複数国の出資により同センターを設立している。IUECは、供給保証用備蓄だけでなく濃縮ウランの役務の提供を目的としており、その提案はより現実的である。ウラン濃縮技術については、ブラックボックス化され、すなわち出資国には、知らされないこととし、またIAEAの管理下に置くとも提案している。カザフスタンとアルメニアが参加を決めているほか、ウクライナ、ウズベキスタンも参加の意向を示している。1000MW級2炉心分の濃縮ウランを備蓄する。
9. 多国間管理による濃縮サンクチュアリープロジェクト MESP（ドイツ提案）：ホスト国がテリトリーを放棄した場所にIAEA直接濃縮プラント、輸出を運営管理するという提案。機微技術はブラックボックス化。
10. 米国およびロシアの科学アカデミーは、「核燃料サイクルの国際化-目標、戦略、課題」と題し、核兵器の拡散を防ぐ手段としての核燃料保証に係る分析と提案を行っている。同報告書⁴では、将来の国際核燃料サイクルに対するオプションや技術的な問題を示すとともに、燃料の供給保証を受け入れて濃縮または再処理施設を開発しないとする国に対するインセンティブについても分析している。また再処理・リサイクルと新型炉の新しい技術について検討し、機微

Draft

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。重要な問題および分析を要約し、オプションを評価するいくつかの基準を提案している。

下図 14 にこれまでの多国間管理・供給保証を中心とした核不拡散対策の流れを示す。図から明らかなようにその議論は近年活発化の傾向にある。このことは、これまで実現性の乏しかった燃料サイクルの国際化のニーズが、徐々に現実のものになりつつあると見ることができる。



Draft

IV. バックエンドを含む国際核燃料サイクル構想

国際保障学研究会では、上述の背景および議論に基づき以下の国際核燃料サイクル構想を提案する。

国際核燃料サイクル構想に必要な条件¹⁸

国際核燃料サイクルを構想するに当たっては、以下の項目についての配慮が不可欠と考えた。

- 普遍性（平等性）
- 透明性（核不拡散国際レジーム下にあること、すなわち包括的保障措置（CSA）/追加議定書（AP）、2国間協定など）
- 経済合理性（市場経済）
- 自発性（自主的参加を促すインセンティブをもつもの）
- 安定性（不都合による脱退などが容易に起こらないもの）

参加国の分類・運営の形態

国際燃料サイクルは、以下に示す形態の国・施設から構成される。

- 濃縮ウラン燃料受領国
- ウラン原料生産国・施設
- ウラン原料転換国・施設
- 濃縮ウラン供給国＝機微技術保有国（核燃料サイクル国*）
- 濃縮ウラン再転換国・施設
- ウラン燃料製造国・施設
- 軽水炉等ウラン燃料による原子力発電国・施設
- 使用済み燃料貯蔵国・施設
- 使用済み燃料再処理国・施設＝機微技術保有国（核燃料サイクル国*）
- MOX燃料製造国・施設（設置・保有国）
- MOX燃料による原子力発電国・施設－LWR-MOX, FBR
- 高放射性廃棄物（HLW）一時貯蔵場保有国・施設
- HLW処分場保有国・施設

¹⁸ 次の論文より部分引用：鈴木達治郎,核燃料サイクル多国間管理構想（MNA）背景分析と実現に向けての課題、原子力学会誌, p14-21, Vol. 49, No.6 (2007)

Draft

- 核燃料サイクル出資国(オーナーシップ)=パートナー国
- 施設の属する国：ホスト国
- 機微技術施設の運営：私企業多国籍コンソーシアム（但し、中心的構成要員はホスト国）

*本構想におけるサイクル国とは、機微技術関連施設を持つ国、プルトニウム利用を推進する国を指す（但し、両者とも多国間管理下で実施）。

さらに、国際(地域)システムの管理・運営は、下記から形成される。図1に、第一ステップとしてのアジア・環太平洋地域を対象とした運営形態案の例を示す。本構想では、例示するような運営の成立性に依存し（地域型の成功次第で）、「地域」から「国際」へ発展的に拡大すべきものとする。

- 1) 各国は、上図に示すさまざまな形で参加する。設立・管理・運営に当たっては、上図に示す参加国による理事会のもと「運営組織」を形成して協議・実施される。
- 2) 運営組織の構成は、私企業多国籍コンソーシアム(民間)および施設の属する国（ホスト国）、パートナー国からなる。
- 3) 資本出資は、ホスト国が中心となり、他国（パートナー国）による資本参加がこれを支援する（資本参加は義務とはならない）。
- 4) 各施設管理上の責任（3S）は、施設が設置される国家および担当するコンソーシアムが負う。
- 5) 但し、パートナー国は、濃縮・再処理技術にアクセスすることは出来ない（ブラックボックス）、また、ホスト国が中心的構成要員となるコンソーシアム内における情報管理は、極めて厳格に行う（ホスト国が責任）。
- 6) 施設運営上の責任（保障措置を含む）は、出資国が中心となる加盟国理事会が施設管理担当国家およびコンソーシアムとともに負うものとする。
- 7) 施設の計量管理・保障措置は、多国(加盟国メンバー)により厳格になされ（SSAC 的なイメージ）、検証においては IAEA とともに効率的に実施される。

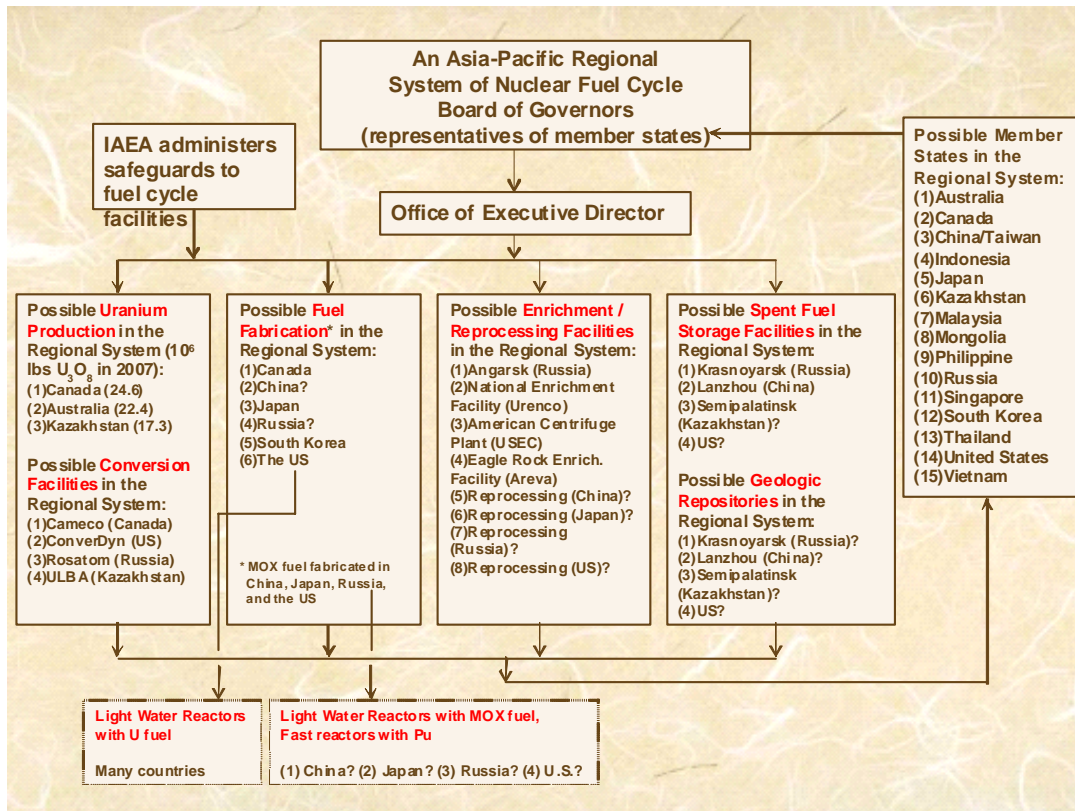


図 1. 国際(地域)核燃料サイクル構想における運営形態例

構想の提案

以下に基本となる考え方を示す (図 2 を併せて参照)

市場原理で濃縮ウラン燃料の安定供給を受けることができ、かつ使用済み燃料の引き取りが保証される形態を目標とする。すなわち、燃料供給+使用済み燃料サービス(引取り等)が一体となったスキーム。具体的に、以下のようなものを提案する。

1. 本システムのメンバー国は、基本的に核燃料サイクル国(既述の説明参照)およびそれ以外の国という 2 つの形態に分別される (後述のように各国は、選択権を有する)。
2. 非サイクル国は、使用済み燃料発生に際しては、速やかに SF を燃料サイクル国に送付することを基本とする (濃縮ウラン燃料オリジン国への返還を基本とするが、オリジン国にその貯蔵・処理技術がない場合については、あら

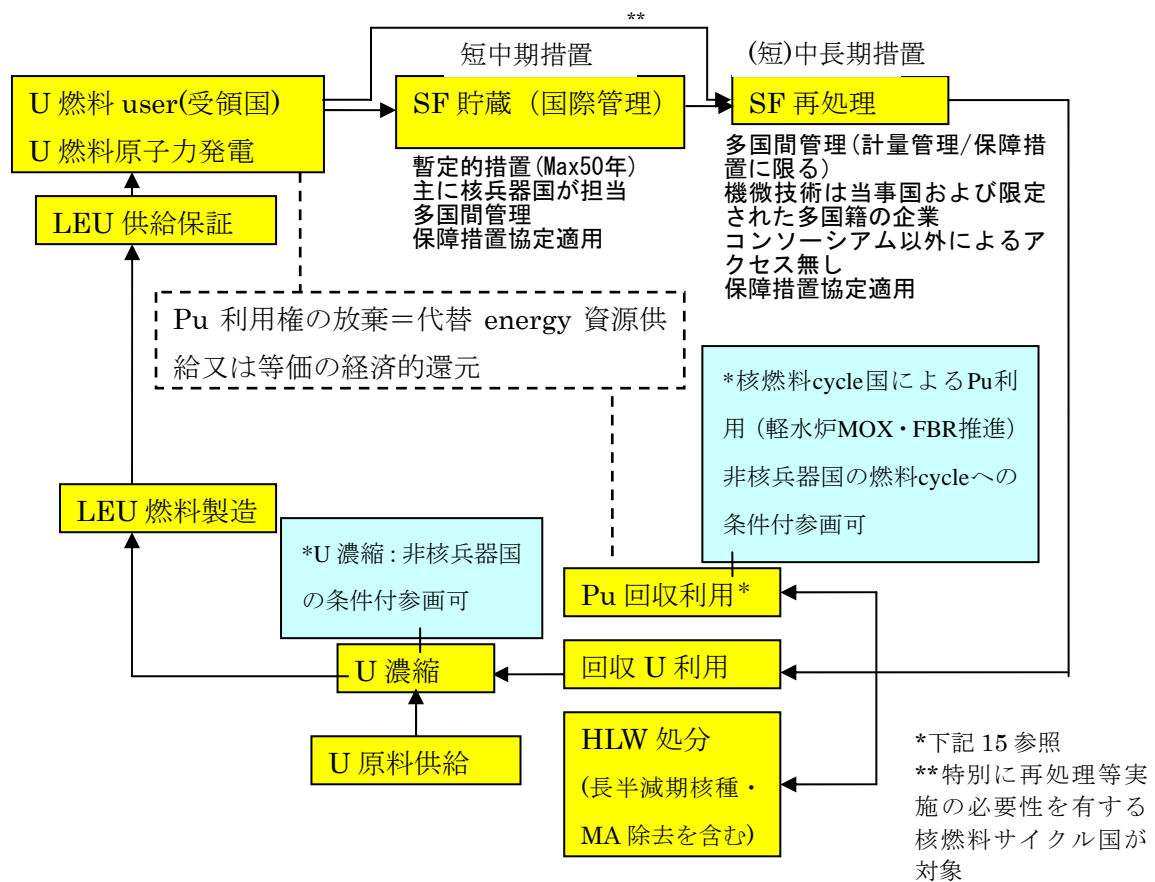


図2 国際核燃料サイクル構想概要

かじめ合意された契約国(国際化枠内での貯蔵・処理施設を有する国)へ移送する。

3. 使用済み燃料返還・引取り・処理は、主に核兵器国がこの役割を担う（いわゆる NPT のコンペンセーション）。但し、非核兵器国における平和目的としての実施を否定するものではない。この場合の国際サイクルへの貢献は、プルトニウムの蓄積問題等にも係わるため、可能な範囲での自発的な協力にとどまるべきであり、核兵器国における義務的貢献とは異なる位置づけとなる。
4. バックエンドサービス(SF 再処理、処分)体制確立と並行して、短中期的措置として多国間管理による国際 SF 中間貯蔵を設ける（最大約 50 年）。中長期的には、プルトニウム等エネルギー源の効率的利用、SF 不拡散対策、廃棄物の環境負荷低減を目指すことを基本とするため、SF の長期貯蔵や SF 直接処分は考えない。SF の処理については、SF オーナ国や、貯蔵場提供国、燃料サイクル国のコンセンサスのもと再処理などの決定がなされる。（原則、高レベル廃棄物の最終処分については、参加国の責任で対処するが、他国に

Draft

- よる処分可能性を排除するものではない)
5. 燃料および処理費の高騰など防止のため、競争原理を持つ体系を構築する：枠組み外からの濃縮ウラン調達の権利、処理施設の複数化など（最低 2 つの濃縮または再処理）
 6. 燃料サイクル国（IAEA フルスコープ SG 下）は、透明性確保の目的で、サイクル施設（機微技術を含む）における計量管理・保障措置を参加国とともに多国間で実施する（参加国の核物質管理の共有化による透明性確保）。すなわち、ここでの保障措置は、ユーラトム保障措置に準じた考え方を導入する（但し、基本的に核物質のオーナーは各国）。
 7. パートナー国は、機微技術には立ち入らない（厳格な管理）。施設の運転は、ホスト国が中心構成要員となる私企業コンソーシアムにより実施される。技術情報は、厳格に管理される。（多国の参加（国際職員）による運転という概念とは異なる）。核燃料サイクルが核兵器国に設置される場合も、非核兵器国と同様に、基本的に高いレベルの保障措置の適用を義務とする。
 8. 採用する技術は、ホスト国の万一国際制度からの脱退のリスクを想定し、抵抗性の高い技術を取り入れなければならない。核兵器国の場合も、核拡散抵抗性が要。
 9. 国際核燃料サイクルシステムは、不必要なプルトニウム蓄積を防ぐため、そして有効かつ効率的なエネルギーの確保のためにプルトニウム利用（サーマル、FBR）の推進に努める。ただし、非核兵器国において使用済み燃料再処理等による余剰のプルトニウムが発生する場合は、核兵器国がこれを引きとる（預かる、または売却）。
 10. 再処理により得られたプルトニウムについて、非サイクル国は、燃料サイクル国（主に核兵器国）にプルトニウム所有の権利を譲渡する。その代償として等価の代替エネルギー源または経済的支援が補償される。譲渡されたプルトニウムは、平和目的に限定したエネルギー源として、当多国間システムおよび IAEA 保障措置下にて管理・利用される。
 11. 参加国すべてがその国の特性や能力に応じて長期的な HLW の処分について検討・立案する（将来の処分について責任をもって対処することへの約束が、参加への条件）。
 12. HLW の処分問題が、本構想の実現促進における重要な課題となる。本研究会では、HLW の量およびリスクの軽減を目指し HLW がより容易に受け入れられる形態にするための検討（含有核種選定・長半減期核種除去による環境負荷軽減技術の適用）を併せて検討・提案していく。
 13. 核燃料サイクル費（インフラ整備コスト）は、燃料サイクル保有国と燃料受領国の双方にて負担する。

Draft

14. 関係国のエネルギーセキュリティ原則: 枠組みの持続性への積極的参加、貢献を行うと同時に、自国のエネルギーセキュリティについて自国の政策を確保することを原則とする。
15. 燃料サイクル国オプションは、次の要件*を満たせば、基本的にどの国も権利を有する: 核燃料サイクルへの参入についての適合審査は、同システムの理事会が、IAEA のコンサルテーションのもと実施する。

核燃料サイクル実施国となる要件*(非核兵器国)

- ニーズとシーズの一致)が明確であること、自国のエネルギーニーズー戦略を超える余剰Puが発生する場合は、核兵器国が引き取る一貯蔵委託または売却
- 核燃料サイクルに係る計画と活動について、国際社会が認めるレベルの透明性を有すること
- 国際社会が認める技術能力を保有していること(本サイクルを運営管理する参加国全体の総意)
- 包括的保障措置協定(CSA)、追加議定書(AP)からなる保障措置制度受け入れなど国際社会が求める高いレベルの核不拡散体制下にあること
- 核不拡散に係る国際規範遵守、および核不拡散へ向けた国際的取り組みに関し、長年の優れた実績を有すること
- 核セキュリティ対策が国際レベルにあること(核物質防護条約、核テロ防止条約批准)

メンバー国としての参加条件

メンバー国として国際システムへ参加する場合、下記の条件を満たすこととする。

1. 既核兵器国を除き原子力平和利用に限ることを約束
2. 主な国際制度(IAEA包括的保障措置+追加議定書、核物質防護条約、核テロ報紙条約等)の批准
3. 下記のDutyを満たすこと

参加に際しての Duty

1. LEU 燃料被供給(保証)と SF 引取りのパッケージ(基本的に、一方だけの権利はない)
2. 原則的には、自国に SF 貯蔵・直接処分しない(当面、SF 引取りシステム確立までの貯蔵は可とする)

Draft

3. 再処理コストを負担（但し、再処理実施時に支払い。MOX 燃料製造負担は含まず）
4. 原則として、燃料サイクル国以外は Pu 利用権利を放棄する（但し、前述のとおり条件＊を満たせばどの参加国も核燃料サイクルとなる権利を有する）
5. Pu 平和利用；再処理・MOX 燃料製造施設およびその技術開発（HLW 毒性レベル低減技術を含む）などは、主に核兵器国の負担となる（NPT における不平等のコンペンセーション）但し、核燃料サイクル実施国となる要件＊を満たし、自らの燃料サイクル利用に取り組む国における Pu 平和利用を阻むものではない
6. 自国 SF から発生する HLW の処分に関する責務を負う（自国領土処分を基本とするが、他国領土等へ処分のオプションを否定するものではない、ただし交渉等を含めすべて発生国がその責任を負う）
7. 国際核燃料サイクルシステムの運営・管理（図 1）に参画する
8. 燃料サイクル国は、国際システムのための濃縮施設、核燃料再処理施設、SF 貯蔵場等、担当する分野について、多国間管理システムを構築する（イニシアティブを取る）。
9. その他、本システムの提案（前述）について、記載されるシステム構築に積極的に協力する。
10. メンバー国としての参加に際し、本システムからの脱退の場合について、下記について合意（文書署名）をすること。
 - 加盟国（参加国）のやむを得ない事情により脱退の必要が生じた場合について、他の加盟国の同意を得ることを原則とする
 - 本国際システムに参加した場合、脱退後においても、本システムを通し得た核燃料および技術の利用は、平和目的の原子力活動に限ること
 - ある国の一方的な脱退により、国際システム(全体)が経済的不利益を被った場合は、それについて損害賠償の義務を負う

Draft

V. 期待される効果および課題

A. 国際核燃料サイクル構想の期待される効果

本構想において、システム全体として期待される効果を以下に列記する。

1. LEU燃料の安定供給
2. 濃縮ウラン提供、およびSF引取りによる処理経費の軽減（小国による不必要な施設建設費、保障措置技術導入に係る経費の節減を含む）
3. 原子力平和利用における3Sの強化
 - ・ 核不拡散***：参加国の透明性の増強、SF拡散抑止、機微技術拡散（核拡散に直結する濃縮・SF再処理の技術）を所持することへのインセンティブを除去すること、燃料サイクル国*（ホスト国）による転用リスク軽減（多国間管理・フルスコープ保障措置適用・核拡散抵抗性技術導入による）
 - ・ セキュリティ：SF貯蔵の集中化（多国間管理）、燃料サイクル国の限定化（PP管理の徹底）、廃棄物のHLW化（SFではなく）による長期的なセキュリティ問題の回避
 - ・ 安全：長期SF貯蔵の回避（使用済み燃料の安全管理）、燃料サイクル国の限定化による原子力技術の安全確保
4. 保障措置負荷の軽減、追加議定書の普遍化に貢献
5. 資源の有効利用（中長期的な観点から、プルトニウムの有効利用、回収Uのりサイクル有効利用）
6. 究極的には核の無い世界を目指すことにも貢献

***本構想は、NPT 第4条（平和利用の権利）の枠内で、核燃料サイクル国際枠組みへの参加による利益・魅力により、機微技術自主保有の必要性・インセンティブをなくす効果、および国際管理による、ホスト国家（立地する国）による転用やそのインセンティブをなくす効果など、を期待するものである。よって、本案による、全面的な不拡散実現を期待するものではない。

メンバー国（主に非サイクル国）となり参加することにおけるベネフィットとしては、以下のようなことが考えられる。

1. 核燃料サイクル国によるSFの引き取り（保証）：当面の問題の回避
2. 小規模原子力利用国における経済性：SF処理経費の軽減（保障措置技術導入に係る経費節約を含む）参加国は、本国際（地域）燃料サイクルのフレーム

Draft

に参加することにより、自国で核燃料サイクルを保持することに比べ、より経済的に原子力エネルギーが得られる。例えば1国で1つの再処理を持つには経済的に不合理である小規模原子力発電の国（少量の使用済み燃料インベントリー国）の場合は、国際核燃料サイクルのフレームに参加することにより、経済的なエネルギー源の供給と使用済み燃料サービス（引き取り、貯蔵、再処理）が受けられる。（核燃料サイクル政策-選択の自由度の向上）

3. Pu 等価の代替エネルギー源の受領または Pu 売却相当の経済的享受
4. 原則的には、既述の条件*を満たせば、どの参加国も核燃料サイクルとなる権利を有する。
5. 核燃料サイクル国としての濃縮・再処理ビジネスの展開

一方、我が国としての期待されるベネフィットとしては、次のことが考えられる。

1. サイクル保有-Pu 利用の特権的な位置づけの回避（燃料サイクル保有の一般化）
2. 我が国を取り巻く国際社会の安定
3. 近隣国の核拡散リスク低減
4. ウラン供給保証の受益

B. 本提案の弱点および今後の検討課題

本構想の弱点および今後予想されるチャレンジについては以下のように考えられる。

弱点

1. 独立志向の国の参加は期待困難－絶対的な核不拡散対策にはならない（核不拡散上の効果は限定的、潜在的に核兵器保有オプションをもっている国に対する効果はなし）。
2. 核燃料サイクル国条件を満たせば基本的にはサイクル国となることができるものの、現実的には、機微技術保有において完全に平等とはなり得ない。

今後のチャレンジ

1. 全体管理運営体制の構築へ向けて多国間協議等のチャレンジが要。
2. 地元(ローカル)対応など構想実現化へ向けての各国のチャレンジ・障壁は大きい。

Draft

3. 濃縮 U の市場原理に準ずる安定的供給システム樹立へのチャレンジ
4. SF の集中貯蔵場：サイクル国、主に核兵器国を期待するが、その実現までのチャレンジは大きい。
5. 私企業多国籍コンソーシアムによる濃縮・再処理の確立へのチャレンジ（機能、技術情報管理）
6. HLW 環境負荷軽減への技術開発（チャレンジ）
7. HLW の処分：サイクル国、非サイクル国における処分場の確立についての多大なチャレンジ
8. 当面の HLW の貯蔵場確立についてもチャレンジが予想される(担当国、場所、貯蔵上設置コストなど)。
9. SF 輸送システムの確立へのチャレンジ(特にセキュリティ)
10. 核物質・核燃料の規制；従来通り、各国および供給国との間の二国間協定上の規制が基本となり、貯蔵、管轄外移転、再処理、形状内容の変更、濃縮に際して、供給国の同意が必要になる。国際核燃料サイクルシステムを形成する上で、システム内外に位置する各供給国との取り決めについての検討が必要となる。

さらにその他必要な主な検討項目は以下のとおり：

1. システムの「安定性」を本構想の 1 つの必要条件としたが、本研究ではこれについては、ほとんど議論されていない。濃縮 U 需給の安定、安定した SF 引取りシステム確立、再処理事業の設立、各ステップの経済面での合意、HLW への取り組みなど、全システムを樹立し安定化させるためには、今後多大な努力が必要となる。
2. 経済合理性については、一部 II 章で触れているが、今後の詳細な検討が必要である。
3. 機微技術の漏洩に関する検討
4. 核兵器国への Compensation および核燃料サイクル国の Pu 引取りに係る対価支払いについての検討。
5. SF 処分（長期貯蔵）における保障措置の検討
6. 軽水炉 MOX 燃料としての非燃料サイクル国への供給の可能性についての検討

Draft

国際保障学研究会構成

主査：田中知（東京大学大学院 GCOE）

副主査：久野祐輔*（東京大学大学院 GCOE）

（会員五十音別）

一政祐行 （財）日本国際問題研究所
岩本友則 （株）日本原燃
喜多智彦* （社）日本原子力産業協会
大塚直人 東京大学大学院
小田卓司* 東京大学大学院
門田公秀* （独）日本原子力研究開発機構
小鍛冶理沙 東京大学大学院
後藤晃* （株）中部電力
三倉通孝 （株）東芝
篠原伸夫* 東京大学大学院
清水直孝* 日立 GE ニュークリアエナジー（株）
下村真輝 （株）三菱重工
鈴木克之 （株）グローバル・ニュークリアフエエル・ジャパン
田邊朋行* （財）電力中央研究所
J-S. Choi* 東京大学大学院
中熊哲弘* 東京電力（株）
中島博文 日本原子力発電（株）
富田行雄 電気事業連合会
稗田恭久* 原子燃料工業（株）
深澤哲生 日立 GE ニュークリアエナジー（株）
干場静夫* 東京大学大学院
松岡浩 東京大学大学院
宮越裕久 関西電力（株）
宮本直樹 （財）核物質管理センター
山崎元泰 東京大学大学院
山村司 東京大学大学院
和泉圭紀* （独）日本原子力研究開発機構（事務局）

*：国際核燃料サイクル構想検討担当ワーキンググループメンバー