解説

ロシア余剰核兵器解体プルトニウム処分の 現状と日本の協力 バイバック MOX 燃料協力の10年を振り返って

日本原子力研究開発機構 舟田敏雄，川太徳夫，千崎雅生

2000年9月、米露が余剰核兵器解体プルトニウム(以下、解体プル)処分協定で、双方34トンの解体プルの処分を行うことに合意し、2007年末までには処分を開始するとして当初の計画は、その後どう進展したのか。この間の米露協議を巡る状況の変化と交渉経過を顧みるとともに、昨年11月共同声明でロシアの処分が高速炉オプションへと大きく方向転換することに寄与した日本原子力研究開発機構とロシアの研究所との振動充填(以下、バイバック)燃料共同研究の成果と現状について述べ、ロシア解体プル処分の今後の課題を展望する。

I. はじめに

米露「余剰核兵器解体プルトニウム処分協定」¹⁾が2000年9月に合意されてから約8年が経過し、ロシアの処分シナリオは、昨年11月の米露共同声明²⁾で、従来の軽水炉(VVER-1000)による処分から、日本原子力研究開発機構がロシアと共同研究を進めてきたバイバック燃料高速炉オプション(運転中のBN-600と建設中のBN-800を用いる処分)へと大きく方向を転換した。一方、米国では軽水炉を用いる処分を堅持し、2007年8月、仏アレバの技術を導入してウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)燃料製造施設の建設を開始するなど、ようやく実施への動きが見えてきた。本稿では、米露協議を巡る状況の変化と協議経過をたどるとともに、1999年以来、原子力機構がロシアの研究所と進めてきたバイバックMOX燃料を用いた処分協力の10年を振り返って、高速炉オプションの選択への過程と今後のロシア解体プル処分協力の行方について述べる。

II. 米露交渉の経緯と状況の変化

2000年の米露協定では、ロシアの解体プル34トンはずべて原子炉で燃焼処分され、VVER-1000タイプの軽水炉4基を主体に、一部、高速炉BN-600も使用することが合意された。ロシアが軽水炉による処分に同意したのは、高速炉BN-800の建設が具体化してない段階で軽水炉利用以外に方法がなかったことのほか、欧州の軽水炉

用MOXペレット製造技術が無償で導入して、自国の技術を向上させ、逆に軽水炉用ペレットMOX燃料の輸出マーケットを開拓したかったためともいわれている。重要なことは、協定には明記されなかったが、ロシア解体プルの処分に必要な費用はすべて米国をはじめとする国際的な支援により調達することが前提とされたことである。

2001年以降、G7レベルの会合において米国が各国に働きかけ、日、英、仏、カナダ等から相次いで支援が表明されたが、その総額は8.5億ドル程度にとどまった。この間、ロシアは、処分に必要な費用はすべて国際的支援よるという主張を崩さなかった。

並行して行われた米露専門家グループ(原子力機構もオブザーバー参加)による処分シナリオとコスト評価³⁾では、2002年時点で必要な費用は18億ドルであった。しかし、その後の様々なコスト削減努力にもかかわらず、ロシアのインフレもあり、2004年の評価では40億ドルまで増加⁴⁾し、国際的支援額との差は開くばかりであった。ちなみに、フランスの技術を導入した米国の軽水炉用MOXペレット燃料製造施設は、2016年運転開始の予定でサウスカロライナ州サバナリバー(ゴルフのマスターズで有名なオーガスタから南東へ30 km)で建設が開始されたが、総建設費は、現時点ですでに47億ドルと見積もられている。

2005年の会合において、必要な支援額が集まらず応分の負担を迫られたロシア側メンバーが席を蹴って以来、G7レベルの会合は開催されていない。資金計画が定まらないことから、2000年協定のロシア下院での批准も行われていない。

ブッシュ政権の発足とともに米国の解体プル処分政策

The Current Status of the Russian Surplus Weapons Plutonium Disposition and its Japanese Contribution :
Toshio FUNADA, Norio KAWATA, Masao SENZAKI.

(2008年 6月25日 受理)

の見直しがなされ、すべての協議は約1年間中断された。加えて、2000年協定では、ロシアの解体プル処分を実行する際の法的責任(liability)を明確にしていなかったことも、後に問題を引き起こし遅延の原因となった。ネオコンと称される政権の中核にいた人が、プログラムの遂行の過程で米国人が行った意図的不法行為に対して免責を主張し、すべての協議が2006年9月の合意⁵⁾まで停止した。しかし、この賠償責任問題が、常識的な範囲で一応の解決をみた頃から、状況は徐々に好転することとなった。

Ⅱ. 高速炉オプションの採用 (米露共同声明の発表)

ロシアのプーチン政権は、原油価格の高騰と順調な経済発展を背景に、原子力を今後の戦略分野と位置づけ原子力計画の再生を意図した。2006年、これまでの慣例を破って原子力以外の分野からROSATOM(ロシア原子力庁)長官に就任したキリエンコは、周辺にこれまで原子力とかかわりのないスタッフを配置し、大胆なロシア原子力機関の再編に着手するとともに、新たな原子力発電所建設計画を発表した。それによると、ロシアの原子力機関・産業は、軍民を併せて新たなROSATOMという国家企業体(state corporation)に統合され、その傘下で民間部門はATOMENERGOPROMという会社に統合される。また、2007年から2015年の間に10基の原子力発電所を建設するというもので、その中には高速炉BN-800の建設も含まれている。これにより、高速炉はエネルギー分野の国家戦略の一つとして位置付けられ、解体プル処分は、これまでのすべての費用を国外支援に依存する軽水炉(VVER-1000)を用いた処分から、400 M\$を上限とする米国支援を条件に、その他の費用はロシア国内で負担し高速炉を用いた処分へ方針転換することとなった。この背景として、後で述べるように、原子力機構が協力して進めてきたバイパック燃料というロシア固有の技術を用いたBN-600による処分が順調に進んでいる実績がある。このため、ロシアの原子力発電所をすべて統括するROSENERGOATOMが、ロシアでは実績のない軽水炉より、高速炉による処分を強く希望するようになっていた。

このロシアの方針転換は、サバナリバーのMOX工場建設の予算認可を控え、2000年協定の処分の双務性から、ロシアの処分を促進しなければならない米国からも歓迎された。400 M\$は以前から米国が約束していた支援額を超えないものであったから、米国エネルギー省国家核安全保障庁(DOE/NNSA)は、長年、兵器級プルトニウムを生産するとして反対してきた高速炉オプションに同意する方向へ進み、米国議会は2007年8月、サバナリバーのMOX工場建設の予算を認可した(ロシアへの支援400 M\$を認可したのではない)。しかし、議会の

認可には、2000年協定で謳われていた処分の双務性を切り離し(De-link)⁶⁾、かつ、2008年のサバナリバーのMOX工場建設予算を、それまでのNNSAから原子力(Nuclear Energy)局へ移管するという条件が付いていた。予算移管によりDOE内では予算執行に多大の混乱をきたしているというが、この2つは、今後、解体プル処分対露交渉が順調に進まなかった場合の米国MOX工場建設の影響を防ぎ、あるいは、万一、米国MOX工場建設が停滞した場合にもロシアの処分を計画通り進める意図とも理解できる。このような背景の下に、昨年11月、米露共同声明により、400 M\$上限とする支援を条件に、高速炉オプションの採用が合意された。

Ⅲ. 原子力機構のバイパック燃料協力

原子力機構は、1999年からバイパック燃料を用いた高速炉による処分シナリオを推奨し、ロシアの研究所と共同研究を進めて⁷⁾きた。バイパックMOX燃料は、開発の歴史は古いものの、デミトロフグラードの原子炉科学研究所(RIAR)で行われていたラボ規模の技術であった。しかし、ベレットに比べてはるかに安価で製造できる可能性を秘めた技術であることは知られていた。RIAR出身で当時、ロシア原子力庁の次官をしていたイワノフ(後にロシア下院の議員)が来日し、ロシア固有の技術であるバイパック燃料を支援してほしいとの要請があった。米国からも、高速炉を用いたロシア解体プル処分について協力依頼があった。原子力機構にとっても、当時行われていた高速炉の実用化戦略調査研究において、バイパック燃料は将来の燃料選択肢の一つとされ、技術データの入手が必要とされていた(第1図)。

まず始めに、BN-600での処分の準備段階として、1999年から2003年にオブニンスクの物理エネルギー研究所(IPPE)と臨界実験施設BFS-2を用いたMOX燃料の臨界実験を行った。成果は、炉心・燃料設計に反映された。また、RIARと解体プルを用いたMOX燃料集合体3体の製造とBN-600での燃焼処分試験を行い、2002年に約20 kgの解体プルを処分することに初めて成功した。バイパック燃料の照射挙動、燃焼解析評価について知見が得られ、健全性に何の問題もなかった。また、BN-600炉心をすべてMOX燃料とした場合の技術的課題やコストについても検討した。炉心を全部MOX燃料化することは、技術的に可能であるが炉心設計の大幅な変更が必要であり、炉の将来寿命を考えると得策でないことが明らかになった。

次いで、本格的な検討として2001年から2004年にかけて、ニジノブゴロドにある実験機械工学設計局(OKBM)とBN-600の部分MOX炉心(ハイブリッド炉心)の炉心・燃料設計を行い、詳細な技術的成立性を確認した。ここで行った設計研究は、2012年から開始されるハイブリッド炉心による処分の根拠となっている。

第1図 ロシアとのバイバック燃料共同研究の概要

IPPE とは、ハイブリッド炉心の設計基準事象、基準外事象について安全解析を行い、とくにシビアアクシデント、確率論的安全評価のロシア側の解析コードが不備なことがわかり、米国を通して解析コードやコンピュータを供与し、また、研究者を招聘し解析手法を教えるなどの支援を行った。安全性評価の共同研究によって、BN型炉の安全性について理解が深まるとともに、炉の改良や事故時マニュアルの反映など安全性の向上に寄与した。また、RIARにおいて、BN-600ハイブリッド炉心の運転に必要な年間0.3トン規模の解体ブルをバイバック燃料に加工する施設の整備を進めた。同施設は2004年には完成の予定であったが、規制当局の指摘によりグローブボックスからホットセル内設置に設計変更したこと、ロシアのインフレなど資金的な問題等から完成は遅れたが、ROSENERGOATOMからの資金支援を得させ、2008年度末の完成見込みまで漕ぎ着けた。

2004年から(2009年まで)、(株)ベスコが文科省から「高速炉燃料集合体信頼性実証等事業」を受託し、原子力機構とベスコがRIARと21体のバイバック燃料集合体のBN-600での処分実証試験を行ってきた。この試験では、解体ブル約120 kgが処分される。実証試験費の日本負担の一部は、予算の都合で支払うことができなくなったが、ロシアは自国の負担で照射を実施中である。照射中にいくつかの燃料ピンに微小なリークが発生したが、日本側が支援し、専門家も参加した追加の照射後試験で、この原因はバイバック燃料に固有なものではなく、被覆管製造時の欠陥によるものであることがほぼ明らかになっている。この詳細については後日、投稿予定の論文

誌に委ね、ここでは、21体処分実証試験実施の経緯と意味について述べてみたい。

なぜ21体なのか？BN-600発電所ではMOX燃料を使用するためライセンス上、30体の照射試験が必要といい、すでに、6体については過去ロシアの研究開発として、3体については原子力機構との共同研究として照射実施済みであったので、残るは21体ということである。なぜ30(21)体もの集合体照射がライセンス上必要なのか？ロシアの専門家も首を傾げたこの疑問への答えは、BN-600ではバイバック燃料の信頼性がなかったということに尽きる。いろいろ議論もし、説得も試みたが、21体照射なしでは高速炉オプションが進まない。外務省や文科省と協議の上、結局、原子力機構はこれを処分の実証試験と位置づけ、共同研究に同意することになった。そして、研究開発的な要素は乏しいので、文科省からの実証試験を(株)ベスコが受託し、原子力機構はベスコと技術協力協定を結び、これを技術的に支援してゆくこととなった。

当時は愚直とも思えた21体照射を支援しこれを順調に進行させたことが、ロシアをバイバック燃料高速炉オプションへと向かわせる大きなモチベーションとなった。21体の試験中に微小リークが発生したときは、RIARの責任者がモスクワに呼び出され説明を求められたという。2007年12月末には、キリエンコ ROSATOM 長官の主催するBN-800燃料会議が開催され、BN-800にもバイバック燃料が採用⁹⁾されることになり、量産技術が確立されていないことなどから、ペレット燃料を主張するロシアの複数の研究機関との長い論争にひとまず幕が下

ろされることになった。(しかし、最近ロシアからの連絡では、バイパック燃料である問題が生じており、この結果次第では第2幕が開くかも知れないが。)

バイパック燃料の採用に当たってはROSENERGO-ATOMのサラエフ総裁(現顧問)らの意向が強く反映されたといわれている。サラエフ総裁といえば2000年夏、大和サイクル機構理事(現日本原燃常務取締役)と、IPPEの専門家を伴ってBN-600発電所を訪問し、バイパック燃料の照射を依頼したときの所長だった。突然やってきた日本人が、部下のオシカノフ技師長(現所長)以下と21体の照射の必要性について大議論を始めたので、サラエフが心配して幾度も会議室に顔を出したのを思い出す。当時、バイパック燃料に懐疑的だったサラエフが、今では有力なバイパック燃料推進者、ロシアのバイパック燃料への認識はこうに変化した。

ロシアとの共同研究では、バイパック燃料に関する多くの情報を原子力機構の研究開発部門が入手した。この成果と機構が独自に実施したバイパック燃料に関する研究結果を基に、1999年からわが国の高速炉の実用化戦略調査研究が実施されたが、2006年6月の最終報告書⁹⁾においては、MOXやMA回収のサイクルシステム技術とバイパック燃料技術のインフラ整備になお技術的課題が多いとして、バイパック燃料は、わが国の高速増殖炉燃料システム開発の有望な候補概念として採用には至らなかった。一方、ロシアでは、高レベルの放射線強度を持つ燃料を取り扱う乾式再処理(アルカリ金属熔融塩電解)と組み合わせることにより、サイクル期間の短縮を図ることができ、バイパック燃料の特徴をより生かせるとし、建設中のBN-800では、解体プルは3/4炉心にとどめ⁸⁾、1/4炉心には原子炉級プルトリウムを使用することにより(米露協定では、解体プル使用済み燃料の再処理は行わない見込み)、バイパック燃料の燃料サイクルシステムとしての実用性を実証してゆく計画といわれている。

IV. 米露協力の現状と今後の展望

米露間の当面の課題は、高速炉での処分シナリオの構築と2000年処分協定の見直し、改定である。すでに今年2月には、米国改定案がロシアに送付され、現在、ロシア側のコメントを集約中。第1回の改定の米露協議は6月に開催され、7月にはDOEの担当者が結果の報告と意見交換に来日することになっている。改定案では、軽水炉から高速炉処分に変更になったこと以外に大きな変更点はないといわれているが、米露が同時期に等量の処分を行うとした従来の双務性は、大幅に緩和される見込みである。米国側は、順調に協議が進めば2008年中にも合意するとしている。協議に先立ち、米国は400 M\$の用途について、ロシア側の考えを明らかにすることを求めている。ロシアは、用途としてBN-600ハイブリッド

化、ハイブリッド燃料の供給、BN-800燃料製造に使用する計画という。米国の支援方法としては、これまでの傘下の研究所を通して個々の項目を同時並行的に進めるのではなく、定められた目標を達成したときに支払うマイルストーン方式とすることを決めているという。また、これまでのようなG7レベルでの支援を募ることはしない予定という。

しかし、米国議会には高速炉処分に対する反対も根強く、自国にない高速炉開発に直接寄与する支援への躊躇もある。ロシアは支援なしでもいずれ処分は実施してゆくという見方も広がっている。400 M\$支援が行政レベルでは合意されたものの、本格的な支援の進展は、新政権が議会をどう説得するかにかかっていると思われる。

V. 今後の原子力機構の解体プル協力

米国からは、バイパック燃料高速炉オプションの採用に伴い、原子力機構がこれまでロシアの研究所と進めてきたバイパック燃料に関する共同研究成果の提供の要請がある。成果の第三国への移転には、ロシアの同意が必要な契約となっている。ロシアが同意の見返りとして米国に要求していることは、米国支援によるバイパック燃料の21体処分実証試験に引き続く先行処分(2012年からの本格的処分の前の処分)であり、一方、米国がその先行処分支援にロシアに要求しているのは、兵器級プルトリウムの検認システムや被覆管の開発など先行処分に研究開発の必要性が認められること、費用が米国支援額400 M\$に含まれることなどとされる。本件に関し米露が合意した場合は、原子力機構は日本政府と協議した上で、先行処分成果の無償入手などを条件として、米国への提供に同意する方向で協議を進めることとしている。

また、原子力機構は、高速炉を国家戦略の一つとして位置付けたロシアが、いずれ、解体プルを自国の責任で処分してゆくためのモメンタムとしても、21体処分に引き続く先行処分支援を米国に働きかけている。

ロシアからは、日本製燃料被覆管(現在、「もんじゅ」および「常陽」で使用中のPNC-316ステンレス鋼被覆管)をBN-600、BN-800で使用するための照射共同研究提案がある。現在のロシア製被覆管(ChS 68)は80 dpa程度の照射量が限界で製造時の欠陥が多いのに対して、PNC-316は120~140 dpaまでの照射に耐え健全性に優れる、BOR-60で120~125 dpaまで段階的に照射し、50 dpa程度に達した段階(約2年)でBN-600の集合体照射試験準備に入る、日本側に協力してもらえらるなら、共同研究として照射データを共有するというものである。

PNC-316の優れた性能を利用したいロシア側の期待と、現在BOR-60で照射中の酸化物分散強化型フェライト鋼被覆管(ODS)の照射継続をできるだけ低コストで進めたい原子力機構の意向から、PNC-316とODSの新たな照射を併せて、「高燃焼度燃料の開発」の共同研究を

提案し、両者を関連付けて協力を進めることとしている。

米国は、PNC-316の使用により燃料の健全性が確保されることを歓迎する一方、燃料の長寿命化による解体プル処分速度の点から、共同研究の行方を注目している。

Ⅵ. ま と め

ロシア解体プル処分は、米国の400 M\$ 支援を得て、原子力機構が支援してきたバイパック燃料高速炉オプションにより行われることになり、処分シナリオなどの詳細は、米露で協議中である。

解体プル協力の10年を振り返ってみると、米露の処分協議が停滞し各国が支援から手を引く中で、日本は、バイパック燃料に焦点を絞った当初の計画に沿って共同研究を継続し、処分実績を積み重ねてきた。このような継続の成果が、米露の高速炉オプション合意に反映されたものと考えられる。今後は、これまでの処分を目的とした支援的な色彩の濃い共同研究から、高速炉用被覆管共同開発など対等な共同研究へと軸を移し、この中で解体プル協力を実施してゆくことになる。

おわりに、解体プルトニウム処分プログラムに協力・支援いただいた文部科学省、日本原子力研究開発機構および株式会社の研究・関係者に感謝する。共同研究は、寛容と忍耐の連続で、考え方や安全文化の違いに戸惑う一方、ロシアの魂(と闇にも)少しは触れる機会があったことと思う。

— 参 考 文 献 —

- 1) Agreement between the US Government and the Russian Government Concerning the Management and Disposition of Plutonium designated as no Longer Required for Defense Purposes and Related Cooperation, Sept. 2000.
- 2) Joint Statement on Mutual Understanding Concerning Cooperation on the Program for the Disposition of Excess Weapon-Grade Plutonium, Nov. 2007.
<http://www.energy.gov/news/5742.htm>
- 3) Cost Implementations of Fast Reactor Options in the

Disposition of Russian Weapon-Grade Plutonium withdrawn from Nuclear Military Programs, July 2002.

- 4) Joint U.S.-Russian Working Group on Cost Analysis and Economics in Plutonium Disposition, September 2004.
- 5) U.S. and Russia Sign Liability Protocol, Sept. 15, 2006.
<http://nnsa.energy.gov/news/print/1013.htm>
- 6) Statement of Chairman Peter J. Visclosky on FY 2008 Energy and Water Development Appropriations Bill.
<http://appropriations.house.gov/pdf/ViscloskyStatementFY2008SubC.pdf>
- 7) 舟田敏雄, 新谷聖法, 他, “ロシア余剰核兵器解体プルトニウム処分協力”, 日本原子力学会誌, 44〔6〕, 473-480 (2002).
- 8) Private Communication, (March 2008).
- 9) 「高速増殖炉実用化戦略調査研究」フェーズⅡ最終報告書, 原子力機構次世代原子力システム開発部門, 日本原子力発電株式会社研究開発室, (2006).

著 者 紹 介

舟田敏雄(ふなだ・としお)

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 高速炉, 核不拡散,
ロシア解体プル処分

川太徳夫(かわた・のりお)

日本原子力研究開発機構, 現(財)原子力安全技術センター
(専門分野/関心分野) 核不拡散, ロシア解体プル処分, 廃炉措置

千崎雅生(せんざき・まさお)

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 核不拡散