

新型炉部会セッション

今後の新型炉サイクル開発への提言（私たちの経験を踏まえて）

Proposition for the Future Development of the Advanced Fast Reactor Cycle (From Our Experience)

(1) 核燃料サイクル開発への提言

－「究極のゴミ焼却発電炉」：高速増殖炉開発における新しい視点－

(1) Proposition for the nuclear fuel cycle development

- “Ultimate refuse incinerating power plant”: a fresh look at FBR development -

*河田 東海夫¹¹元 原子力機構

1. 我が国は世紀を超えて原子力を安定的に利用し続けるための備えが必要

2011年3月の福島第一原発事故以来、原子力に対する国民の忌避感情の高まりは一向に鎮まることを知らない。こうした世相を背景に、政府の原子力問題への取り組みは極めて及び腰で、昨年策定された第5次エネルギー基本計画では、「2050年のエネルギー選択に際しては、・・・可能な限り原発依存度を低減する」ことを明記し、原子力縮減が国策であるかのような印象を国民に与えている。事故後8年が経過した今日でも再稼働できた原発はわずか9基にとどまる一方で、この間に21基の廃炉が決定され、残存する原発は建設中も含めて35基にまで減ってしまった。エネルギー基本計画では、2030年代のゼロエミッション電源比率を44%程度と見込んでおり、そのうち原子力比率は20～22%を想定している。この比率達成のためには、100万kW級原発35基前後を必要とし、それはちょうど現在残存する原発の全ての運転に匹敵する。それが達成できなければ、我が国は温室効果ガス排出削減に関するパリ協定の約束を果たすことができない。その後2050年に向けたさらに厳しい脱炭素化を達成するためには、それ以上の原子力比率維持が必要なことは明白である。

本年1月11日発行の米国のサイエンス誌は、エネルギー脱炭素化に貢献できる原子力の役割を再認識すべきとの社説を發表し、原子力なしでの本格的脱炭素化（deep decarbonization）は、平均発電コストを2～3倍高める可能性があり、既存原発の温存と新規建設の検討が必要との見解を表明した。また、日本、韓国、ベルギー、スペイン、スイスは原発フェーズアウトの厳しいリスクに直面しているとし、強力な対策が必要との警告を発している。

長い時間軸でみると、化石燃料資源の消耗は避けがたい現実であり、原子力の長期安定利用は、そうした時代に予見される人類史的危機を回避するための最大の武器となる。とくに化石燃料のうち、石油・天然ガスに関しては、シェールガスなどの非在来資源を含めて2020～2040年の間に生産ピークを迎え、その後は生産減退が予見されている。それほど遠い先の話ではない。エネルギー自給率が10%にも満たない我が国では、子孫の長期安寧のために、今世紀後半のみならず来世紀においても、相当規模の原子力を安定的に利用し続けられる備えをしっかりと固めていく必要がある。

2. 国土の狭い日本では、再処理路線堅持が原子力の長期安定利用を可能とする

資源に乏しい我が国は、原子力利用開始当初から閉じた核燃料サイクルの確立を目指してきており、それを商業規模で本格実施する中核施設が六ヶ所再処理工場である。同工場は2021年度上期竣工を目指しているが、脱原発団体やそれに同調するメディアは、再処理を放棄し、直接処分路線への転換を迫る様々なキャンペーンを執拗に展開している。そこで、改めて我が国が再処理路線を堅持することの重要性を、直接処分方式との対比で示すと以下の5点に整理できる。

*Tomio Kawata¹¹JAEA (retired)

- ① プルトニウムの発熱を持ち込まないため、高レベル廃棄物処分場の必要面積が三分の一で済む。
- ② プルトニウムを埋めないで、埋設廃棄物の放射性毒性とその有意残存期間を一桁小さくできる。
- ③ 多数の大型使用済燃料中間貯蔵施設の建設が不要で、中間貯蔵能力確保の必要性がミニマムで済む。
- ④ 将来的に制御不能な核拡散リスクを生むプルトニウム鉱山を残さない。
- ⑤ 資源節約ができ、高速増殖炉サイクルへの橋渡しができる。

直接処分の場合には、処分前に使用済燃料を 50 年以上冷却する中間貯蔵施設が必要となるが、35 基前後の原発を運転する場合、毎年 600 トン程度の使用済燃料が排出される。したがって、むつりサイクル燃料備蓄センター並みの大型中間貯蔵施設（貯蔵容量 3,000 トン）を 5 年ごとに建設し続ける必要が生じるが、立地問題が厳しい日本では、それは到底不可能であり、それができなければ、原発は直ちに停止に追い込まれる。一方、再処理政策を堅持すれば、40 年間の再処理で発生する高レベル廃棄物（ガラス固化体）の全量を貯蔵するための施設の敷地はすでに六ヶ所に確保済み（一部施設建設済み）で、新規立地問題で悩む必要はない。発電所側も中間貯蔵能力確保は不要かミニマムで済む。しかも、最も厄介な高レベル廃棄物の処分場必要面積も、直接処分の三分の一で済む。今日では、原子力事業推進上の最も困難かつ重要な課題は、立地問題や住民との合意形成問題であるが、①～③のいずれもがその問題解決をより容易にする。その点から、若干の発電コスト増（1 円/kWh 未満）を勘案しても、国土の狭い日本では、再処理方式は直接処分方式よりはるかに国民負担が小さい選択肢であると断言できる。

④は、直接処分した使用済燃料の場合、300 年後には β - γ 放射能が著しく低下するのでアクセスが容易になり、しかも含有プルトニウムの発熱も著しく低下するので、核兵器材料としての魅力が増すことから、核拡散上のリスクが無視できないレベルに高まるという問題である。こうしたことから、米国原子力学会の特別パネル報告「プルトニウムの防護と管理」（1995 年）では「使用済燃料の直接処分は国家レベルでの核拡散の脅威を消滅させることにはならない」ことを明確に指摘している。⑤については、学会員諸氏には改めて説明するまでもなからう。

3. 持続可能なエネルギー源としてみた場合の軽水炉の限界

今日、商業用原子力発電の主流は軽水炉であり、世界の原子力発電容量の約 9 割を占める（日本では 100%）。軽水炉は、軽水を減速材兼冷却材に使うという単純さと、低濃縮ウランの使用で他の炉型に比べコンパクトで高い出力密度を実現したことで、優れた経済性をもたらした。その一方で、軽水炉は、基本的にはウラン U-235 の核分裂のみを利用するシステムであり、再処理・リサイクル方式を採った場合でもプルトニウムの多重リサイクルが困難なため、ウラン資源利用効率は 1% 未満にとどまる。軽水炉は、ウランのおいしい部分をほんの少しだけつまみ食いして捨ててしまう、大変な「ウラン食い散らかし炉」であり、リサイクル方式をとった場合でも、その基本的性格を根本的に改善することはできない。

資源利用効率の悪さは、とりもなおさず廃棄物処分問題への負担がきわめて大きいことを意味している。軽水炉では、リサイクル方式を採った場合でも、地上に掘り出したウランの約 95% が、劣化ウラン（濃縮のテイル）や使用しきれない回収ウランとして残る。さらに、副産物として生まれるプルトニウムも、MOX 燃料としてリサイクル利用しても実際に消費されるのは生成量の 5% 程度に過ぎず、95% は高次化したプルトニウムとして MOX 使用済燃料中に残る。原子力利用が、もし軽水炉だけで終わるのであれば、これらはすべて廃棄物（核のゴミ）となり、膨大な負の遺産となる。軽水炉は、バックエンドの観点からも、真に持続可能なエネルギー源にはなり難い。原子力への長期依存が不可避と認識するならば、適切なタイミングで高速増殖炉サイクルに移行できる備えを怠ってはならない。

4. ウラン資源利用の理想体系は MA リサイクル型高速増殖炉サイクル

原子力が真に持続可能なエネルギー源となるためには、燃料供給の持続性ととともに、廃棄物問題の負担が過剰にならず、処分の永続的な実施が可能になることがもう一つの重要要件となる。

高速増殖炉はプルトニウムの多重リサイクルが可能であり、「ウラン資源をプルトニウムに変換しつつ燃やし尽くす炉」である。その結果ウラン資源の利用効率は軽水炉の 60 倍以上になるので、燃料供給の持続性の

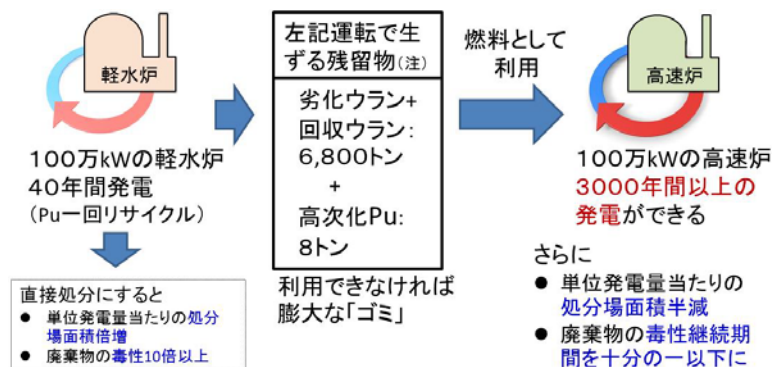
観点からは問題なく合格といえる。一方、高レベル廃棄物に着目すると、MA リサイクル型の高速増殖炉サイクルで発生するガラス固化体の単位発電量で規格化した発熱量は、軽水炉で発生するガラス固化体のその6割程度にしかない。その結果、前者の場合に必要な処分場面積は、後者の半分程度で済む。35GWe の発電を 100 年間続けた場合の処分場必要面積を極めて粗い概算で推定してみると、高速増殖炉サイクルでは、羽田空港の埋立地のおよそ 0.8 倍となる。1 世紀にわたる膨大な電力安定供給のツケ（処分場）がこの程度であれば、国民はそれを受容するであろうとの想定はあながち無謀とは言えまい。したがって、この程度であれば、永続的な処分の実施が可能とみなしてよいのではなかろうか。なお、軽水炉でも高速炉でも、燃料をリサイクル利用する場合は、再処理工程などからいわゆる「TRU 廃棄物」が発生し、それらの処分も考慮しなければならない、しかし TRU 廃棄物は、高レベル廃棄物に比べて発熱が小さいため、大量の廃棄物を一か所に集中して埋設することができる。したがって、高レベル廃棄物処分場面積の 1 % 程度のスペースを与えれば、TRU 廃棄物はすべてそこに埋設することができる。

5. 高速増殖炉を売り込む新しい看板：「究極のゴミ焼却発電炉」

高速増殖炉は炉心とブランケットからなり、炉心にはウランで希釈したプルトニウムを燃料として装荷し、ブランケットには濃縮されていないウランを装荷する。炉心に装荷するプルトニウムには、軽水炉の MOX 使用済燃料から回収される低品位のプルトニウムでも利用できる。また、炉心の希釈やブランケットに使用するウランは、フレッシュな天然ウランである必要はなく、濃縮のテイルとして発生する劣化ウランや、再処理の回収ウランでよい。したがって、高速増殖炉サイクルでは、新規のウラン採鉱はまったく不要で、軽水炉時代に無用の残渣として残される膨大な量の劣化ウランや回収ウランと、軽水炉では再利用が困難な MOX 使用済燃料を燃料源とすることで、何千年にもわたる発電を可能とする。この関係を 100 万 kW 級の軽水炉 1 基 40 年間分の発電を基準に下図に示す。高速増殖炉は、軽水炉時代が残す膨大な核のゴミを燃料としながら電気を何千年にもわたって人類に供給できる「究極のゴミ焼却発電炉」なのである。軽水炉サイクルは後に膨大な負の遺産を残すが、後に高速増殖炉サイクルが続くことによって、その負の遺産がすべて発電用の燃料に生まれ変わる。また、軽水炉時代が残す MOX 使用済燃料は、高速増殖炉の立ち上げ期に必要なとなる大量のプルトニウムの貴重な供給源になる。

冒頭で述べたように、我が国は世紀を超えて原子力を安定的に利用し続けるための備えを必要としている。その備えとなるのが、MA リサイクル型高速増殖炉サイクルの開発・実用化である。なお、ここで MA リサイクルを求める目的は、廃棄物の毒性低減ではなく、処分場必要面積を抑えるための発熱源除去である。この場合、90%の MA 回収率が実現できれば十分であることを注記しておく。

これまで、高速増殖炉は、燃やした以上のプルトニウムを生産できる「夢の原子炉」と言われてきたが、再処理反対キャンペーンで、今やプルトニウムはすっかり悪者扱いされている。一方、高速増殖炉が持つ「究極のゴミ焼却発電炉」というもう一つの姿は、循環型社会形成が重要な社会命題となっている今日の時代ニーズに完全合致しており、はるかに世の中から共感が得やすい。もんじゅ廃炉で、高速増殖炉に対する国民の期待は完全に地に落ちてしまった。そうした中で高速増殖炉サイクルの開発に弾みをつけるための「新しい看板」として、「究極のゴミ焼却発電炉」をアピールして行こうではないか。



高速増殖炉は「究極のゴミ焼却発電炉」