

電力供給の在り方 ～福島事故を受けて～

Discussion on electricity supplies obtained from the experience at the Fukushima Nuclear Power Plant

酒井 泉

SAKAI Izumi

高エネルギー加速器研究機構

KEK

I. 核エネルギー利用の前提条件

核エネルギー利用には、次の3つの前提条件がある。

- ① 炉本体が事故を起こさないこと。
- ② 資源が無尽蔵であること。
- ③ 放射性廃棄物の地下埋設処分が可能。

①については、通常の化石燃料炉は供給する燃料の量を調節することによって炉の制御を行うのに対して、燃料中の核反応の量を制御する難しさがある。そして残念なことに、スリーマイル島、チェリノブイリ、福島と、3度の大きな事故を起こしてしまった。小さな事故はもっとある。今後の研究開発によって社会的な信頼を回復する以外に方法はない。

②については、化石燃料は、いずれは枯渇するエネルギー源であるのに対して、少量の燃料から大量のエネルギーを発生する核エネルギー利用は、資源が無尽蔵であると一般には思われている。しかし、核分裂の連鎖反応が可能なウラン 235 は天然ウランの 0.72% しか存在せず、残りの 99.284% は核分裂のしにくいウラン 238 であり、無尽蔵とは言い難い。その打開策として、プルトニウム 239 に変えて燃料として使うプルサーマルや、トリウム・ウランサイクル等が提唱されている。いずれも未完の技術であり、今後の技術開発と信頼性を確立するための研究が必要である。

放射性廃棄物を処分するとは、人の手による管理を離れての隔離ということである。そのためには、④廃棄物を無害化するか、⑤永久に隔離するかの、いずれかが求められる。③の地下埋設処分は、廃棄物を無害化することを諦めて、地層によって人の生活圏から隔離することを意味する。しかし、長期に渡る信頼性は実験結果による証明は不可能なので、社会科学的な検討が必要な課題である。

II. 前提条件を満たすための技術

核エネルギー利用の前提条件を満たすための技術は、まとめると次の様なものである。

- ① 安全な運転： 設計、製造、管理の再構築、

緊急の課題

- ② 資源の量： 核変換増殖技術の開発、トリウム利用の検討、実証のための研究開発

- ③ 使用済み燃料の処理・処分： 核変換による毒性低減、分離、減容、隔離技術

これまで①と②は研究開発が進められて来たが、③の使用済み燃料の処理・処分については先送りされてきた。しかし、後述する様に、今後は③の使用済み燃料の処理・処分が避けては通れぬ緊急の課題となって来る。

III. 先送りできない使用済み燃料の処理・処分

これまで、使用済み燃料は、全国の原発に併設されている使用済み燃料プールに貯蔵されてきた。2010年の段階でその貯蔵率は平均70%弱である。2011年の原発停止以降、漸く再稼働が始まったが、原発自体のトラブルが無くて貯蔵プールの許容限度により稼働停止に追い込まれる可能性もある。加えて、稼働停止後も長期間（数万年）の管理が必要とされる。隔離処分の技術開発か、核変換による毒性低減かは、避けては通れぬ問題として社会に突き付けられた課題なのである。

IV. 隔離地層処分の社会的合意の困難性

使用済み燃料の毒性は時間と共に低減し、ほぼ600年で元のウラン鉱石の総量の毒性と同等となる。しかし、毒性の総量は同じでも体積が問題である。100万KW軽水炉が1年間に消費するウラン鉱石の量（鉱滓の量）は10万tであるのに対して、ガラス固化された廃棄物の容積は2m³である。ウラン鉱石の容積は2万m³であり、体積当たりの毒性は1万倍も強い。もしも、元のウラン鉱石と同等とみなすのであれば元のウラン鉱石と同じ10万tのガラス固化体をつくらなければならない筈である。

一方、単位体積当たりの毒性は強くても、非常にコンパクトで、地面の奥深く埋めて置くことが可能だから安全だという論理も主張されている。しかし、容積が小さく濃度が高いということは、それだけ大量の放射性物質が一度に溶出する可能性も高くなることを忘れてはな

らない。10 万 t のウラン鉱石の全部が短期間のうちに溶け出すことは考えられないが、2 m³ の放射性廃棄物は短期間のうちに全部が溶け出すかも知れない。そして、その放射能の量は 10 万 t のウラン鉱石と同等なのである。1 万年以上の密封が可能な収納容器が不可能である以上、使用済み燃料の隔離処分の実証は難しく、地層処分の問題は、局所的に強い災いをもたらす恐れがあるから地域的な合意は難しい。しかも人類史を超える長期間のリスクであるがゆえに、金銭的な補償も不可能と考えるべきである。地層による隔離処分の合意が困難な場合でも、取り出し可能な（移動可能な）長期管理なら合意の可能性はある。その場合は管理期間を短縮する毒性低減処理の技術と、管理する容量を減らす減容技術、管理期間に応じて廃棄物を分離する分離技術が必要となる。

V. 核変換による毒性低減の可能性

中性子など粒子加速器で生成される二次粒子を用いた長寿命核廃棄物の毒性低減技術は、原子力エネルギー利用におけるブレイクスルーとなり得る。中性子源としては、以下の 3 つの方法がある。

① 核分裂による中性子： 高速炉（もんじゅ、常陽）、トリウム熔融塩炉（提案中）

② 加速器を用いた核破砕中性子源： 世界初の加速器駆動未臨界炉の実験（京大原子炉実験所（KURRI）の FFAG（固定磁場強集束）加速器）、加速器駆動未臨界炉計画（J-PARC）

③ 核融合による中性子： DT 反応の場合、14MeV 単色中性子が発生

しかしながら、現状達成されている生成量は実用には遥かに低く、大強度中性子又はミュオンを安定に供給する技術開発が必須である。中性子を用いた核廃棄物処理技術においては、中性子で超ウラン元素を核分裂させ、より短寿命の核種に変換すると共にエネルギーも発生させる ADSR（加速器駆動未臨界炉）が提案されている。超伝導リニアック技術等の進展により、大強度・高効率の陽子加速器が期待され、世界中で研究が活発化している。実用化に向けた可能性を開拓するには、低コスト且つ安定供給が可能な大強度加速器の開発が望まれる。

ミュオンの核吸収反応を用いた核変換技術は、理研・UCR の永嶺謙忠氏が提唱し、超ウラン元素のみならず LLFP の処理も可能にする技術として注目されている。実用レベルの低エネルギーミュオンを大量に発生するには、現在の大強度粒子加速器の 2 桁以上のビーム強度が

必要である。FFAG 加速器は、中エネルギーの大強度陽子加速器として、低エネルギーのミュオンを効率よく発生させるには有望である。

VI. 核エネルギー利用における核変換技術

福島第一原子力発電所の事故は原子力の学術研究の在り方に対しても深刻な見直しを迫るものであった。これまでは、より安全な原子力システムの研究は疎んぜられ、使用済み燃料の処分に関わる研究は先送りされてきた。このような状況を改め、安全な原子力システムおよび使用済み燃料処分にに関する基礎学術研究を推進強化することが急務となっている。

原子力をエネルギー源として利用する際に不可欠な、臨界事故を起こさないようにすること、事故時に放射性物質を環境に放出しないこと、できれば長寿命の放射性物質ができない燃料サイクルを採用し特に核兵器に転用されないこと、生じた長寿命放射性物質を短寿命の物質に変換することで使用済み燃料の処分を軽減すること等の基礎研究は我が国の学術研究の向上・強化に繋がるものである。

量子ビーム技術はこの研究領域を拓くキーテクノロジーの一つと考える。近年の粒子加速器に関する基盤技術開発により、大量の中性子の生成が期待できるようになった。長寿命放射性廃棄物を地層処分等により人類の有史以上の長期間にわたって密封・隔離する廃棄技術は、未だ社会的なコンセンサスを得られていない。粒子加速による核破砕中性子ビーム等により長寿命放射性廃棄物の毒性を低減する核変換処理の可能性の科学的・技術的検証は、緊急を要する重要研究課題と考える。

また、中性子による核変換技術は、未臨界核分裂反応で発生する熱エネルギーの利用や、中性子によるトリウム→ウラン233変換による核燃料生成技術の開発にも繋がる。特に、トリウムを燃料とする核分裂反応は、プルトニウムや長寿命放射性廃棄物の生成が極めて少ないという利点があり、将来のエネルギー戦略上の選択肢として大きな可能性を秘めており、近年各国において開発が進められている。

このような技術的、社会的背景により、加速器中性子源等による「量子ビームと原子力エネルギーの融合科学」は、長寿命放射性廃棄物の毒性低減から未臨界原子炉、さらにトリウム利用等によるエネルギー生成技術に至るまで、幅広い領域の研究が展開する可能性があり、我が国の科学技術開発における緊急かつ重要な研究分野と考える。