

消滅処理研究とバックエンド —京大炉専門研究会・科研費企画調査研究の合同会合における 消滅処理研究についての討論の紹介—[†]

山名 元^{††}

平成 10 年 12 月 21 日より 22 日にかけて開催された、京都大学原子炉実験所と、東京大学文部省科学研究費補助金 基盤研究「環境負荷低減を目指した核燃料サイクルと廃棄物管理システムの企画研究調査」が合同で開催した専門研究会において提示された意見や議論の内容を簡単に紹介すると共に、解説を加えた。消滅処理研究を巡る問題の提起、消滅処理研究を実施中の研究機関の考え方、大学から見た消滅処理研究、海外における消滅処理研究、燃料サイクルの様々な立場からの意見、総合自由討論、の各課題についてまとめた。消滅処理研究が地層処分の是非や高速炉サイクルのあり方などと密接に関連して議論されるべきものであること、消滅処理研究が処分と対立するオプションではなく地層処分などと並んで議論されるべき技術の一つであり、処分と相互に協調できるオプションでもあること、今後、バランス評価（総合評価）を十分に進める必要がある事、などの重要な指摘がなされた。

Keywords: 消滅処理研究, 消滅処理, 先進リサイクル, 群分離, 地層処分, 燃料サイクル, オメガ計画

A symposium was held on a topic of "Transmutation Research" on Dec. 21 and 22, 1999 at Research Reactor Institute, Kyoto University. This meeting was held as a joint-meeting of KUR's specialist meeting and Tokyo University's activity supported by the Grant-in-Aid for Scientific Research of Ministry of Education, Sport and Culture of Japan. This paper describes the overview of the discussions of this joint-meeting, and interprets their significance. Major themes discussed are, needed discussions on the transmutation research, policy and concepts of the organizations doing transmutation researches, a view from university side, transmutation researches in the overseas countries, opinions from various standpoints of the nuclear fuel cycle, conclusive discussions, "the meanings of the transmutation research should be discussed together with the geological disposal and fast reactor system", "transmutation may be a cooperative option for the disposal, thus, they should not be in an independent relation", and "Balance evaluation will be needed" are the examples of the conclusive remarks of this meeting.

Keywords: transmutation research, transmutation, advanced fast reactor fuel cycle, group separation, geologic disposal, fuel cycle, OMEGA project

1 はじめに

1988 年より「オメガ計画」が開始され、群分離・消滅処理の研究開発が進められてきた。群分離・消滅処理の研究開発はここ 10 年の間原子力の革新的研究の一つとして、分離技術、原子炉設計、核データなどの様々な領域において技術的成果をあげてきた [1]。一方で、原子力利用開発全体についてこの 10 年を振り返ると、地層処分技術の研究開発が進化した事、軽水炉設計の高度化が進められた事、民間再処理工場の建設が進められた事、プルサーマル計画が実現段階に入ったことなどの多くの進展があった。また、現行原子力の経済性強化が非常に強く叫ばれるようになった。更に、本来の将来炉構想の中核であった高速増殖炉の開発について、もんじゅの事故などをきっかけとして、その推進方策についての再議論が進められることになった。言うならば、原子力フロンティアの旗手としての群分離・消滅処理研究の第一フェイズの進展に併せて、我が国における原子力開発研究の状況が大きな変革を迎えたと言っても過言ではない。

この 10 年の間、群分離・消滅処理研究は原子力フロンティア的な立場として規定路線の原子力利用（以後、現行型原子力）と一線を画するという感覚があったことが否めな

い。つまり、「今日の原子力」としての現行型原子力（軽水炉など）や、「明日の原子力」としての高速炉開発や地層処分に対して、「あさっての原子力」としての群分離・消滅処理という感覚があった。しかしながら、原子力開発の本質的なあり方の見直しが議論され始めている今、「今日」、「明日」、「あさって」の違いは明確ではなくなってきており、今後、群分離・消滅処理研究は、今後の放射性廃棄物関連の開発研究や高速炉・先進リサイクルのあり方などと一緒に議論されてゆかねばならないと思われる。具体的には、高レベル放射性廃棄物の地層処分の実現、高速炉燃料サイクルの実用化と先進リサイクルの行方、現行の軽水炉や燃料サイクル技術の進展とその経済性、等の課題と、強くリンクして議論される事が今こそ必要である。

京都大学原子炉実験所では、平成 6 年度より「アクチニド元素の化学と工学」専門研究会を主催し、全国の研究者の広い参加と協力を得てアクチニドに関連する科学や開発について広い意見交換を行ってきたが、平成 10 年度は、上記のような認識の下に、「消滅処理研究その意義とあり方」をテーマに消滅処理研究について集中的に意見交換を行う機会とした（京大原子炉専門研究会、所外責任者：木村逸郎教授、所内責任者：森山裕次教授）。東京大学の田中 知教授が主査となって進めている、文部省科学研究費補助金 基盤研究の「環境負荷低減を目指した核燃料サイクルと廃棄物管理システムの企画研究調査」が同じ趣旨のものであり、情報や議論を共有することで効率的な

[†] Transmutation research and fuel cycle (report on discussion at Research Reactor Institute, Kyoto University), by Hajimu Yamana (yamana@HL.rri.kyoto-u.ac.jp).

^{††} 京都大学 原子炉実験所 Research Reactor Institute, Kyoto University, 〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町野田

成果を得られると考えたことから、本専門研究会は科研費研究との合同の研究会として、全国の研究者に参加を呼びかけたものである。

平成 10 年 12 月 21 日より 22 日にかけて開催されたこの研究会では、大学、原研、動燃（現核燃料サイクル開発機構）、電力中央研究所、民間会社等の専門家 77 名の参加を得て、消滅処理研究について率直な議論を行うことが出来た。この研究会において行われた議論の内容は、今後のバックエンド研究開発に携わる研究者にとって大いに参考になると思われるので、本紙に紹介することとした。本紙は、この専門研究会において提示された意見や議論の内容を簡単に紹介すると共に、筆者なりに咀嚼しながら解説を加えたものである。紙面の都合上、研究会で発言された方々の意見の全てを伝えることは出来ないが、それらの本質的な部分を正確に紹介するように心がけた。

2 問題提起

消滅処理の問題をとりまく原子力の現状、廃棄物問題などについて、京都大学原子炉実験所の森山裕次教授より、以下のような総括的な問題提起がなされた。

資源の乏しい我が国においては、核エネルギーが特に貴重なエネルギー源であることには当面変わりはないと考えられるが、今後は、エネルギーセキュリティと核不拡散性、安全性と経済性などを含めた総合的な観点とより定量的な観点からの検討を行う必要がある。核エネルギーの将来に亘っての利用を考える場合は放射性廃棄物の処遇がきわめて重要な課題であり、既定の路線を進めるのと並行して、新たな発想によるものについても適切な検討を施して行くことが必要である。現在開発中の地層処分の方法ばかりではなく、毒性指標が高くかつ長寿命の TRU などを分離して消滅するような積極的な方法（消滅処理）にも期待が寄せられているし、現行のものよりも安全で合理性の高い核エネルギー利用の在り方を、新型炉や新型燃料サイクルの導入を含めて図ることも検討に値するシナリオである。例えば、近年注目されている金属燃料炉は、燃料の増殖ばかりではなく、TRU の消滅においても優れた性能を発揮するものと期待されている。消滅処理については、1988 年に策定された「群分離・消滅処理技術研究開発長期計画」、通称オメガ計画に基づいて進められてきた基礎研究・基礎試験としての第 1 フェーズの研究のチェックアンドレビューが行われようとしているが、今が、必要な技術の工学試験、概念の実証を行う第 2 フェーズへと向かうきわめて重要な段階である。今こそ、研究者間での広い議論

が重要である。

原子力利用長期計画の「オメガ計画」の一環としての群分離・消滅処理研究は、現行の原子力と一線を画した革新性を有する将来的な原子力のオプションとしての位置づけであった。その研究の第 1 フェーズが約 10 年の歳月をかけて終了したところであるが、この十年に、現行原子力の合理化と経済性強化への要求が急激に高まったこと、放射性廃棄物処分研究が進展したこと、高速増殖炉の開発シナリオが遅れたことなど、状況の大きな変化が起こったのである。森山教授の問題提起は、消滅処理研究の位置づけについて、燃料サイクルや廃棄物処分の今後の現実的な展開と、将来型原子力への積極的な取り組みの必要性という両方の観点から、もう一度議論することの必要性を主張したものである。森山教授は、これに関する代表的な論点として、① 消滅処理研究の意義、② 消滅処理研究のあり方（スケジュールと体制）をあげた。

3 消滅処理研究を実施中の研究機関の考え方

現在国内において、中心的に群分離・消滅処理研究あるいはこれに類する研究を進めているのは、日本原子力研究所、核燃料サイクル開発機構、電力中央研究所の 3 研究機関である。高野秀樹（原研）、野村茂雄（サイクル機構）、井上 正、木下賢介（電中研）の各氏から説明のあったそれぞれの機関の研究開発の内容は膨大で、その全てを紹介することが出来ないが、それぞれの基本的な考え方の主要な箇所をまとめて Table 1 に紹介した。

原研、サイクル機構、電中研のそれぞれの構想は、「消滅処理研究」という切り口で簡単に比較できるものではなく、それぞれの研究機関での高速炉燃料サイクル開発への取り組み姿勢や立場の違いを明確に示している。3 者の中で、積極的消滅処理を前面に出して進めているのが「階層型の消滅処理サイクル（Fig.1）」という新しい燃料サイクルの構築を提案している原研であるが、これに対して、サイクル機構は高速炉サイクル全体を合理化し経済性を強化してゆくという「先進型サイクル（Fig.2）」構想の中での MA 燃焼という立場を示している。電中研も、乾式再処理技術の特性を利用して、MA の燃焼も可能な「柔軟性のある金属燃料高速炉サイクル（Fig.3）」を実現するという立場をとっていることが分かる。原研の構想は、湿式 4 群分離法の実現、消滅炉（専焼炉）、大電流陽子加速器を用いた核破砕消滅処理という、現行技術を大幅に革新した積極的な構想である。これに対して、サイクル機構は、電力事業連合会からの「長期的な観点から実用化を目指した技術開発に重点をおき、コスト意識の定着、円滑の技術移転に努力」なる要望を反映して、現行高速炉技術の経済性強化と合理化を最も重点に

Table 1 Policy and attitude of the organizations promoting the transmutation development

研究開発の基 調と目的	原研	核燃料サイクル開発機構	電力中央研究所
システム概念 及び技術構成	○階層サイクルに基づく消滅処理型の燃料サイクルを推進する。 ○HLW 中の長寿命放射性核種を群分離し、非放射性核種や短寿命核種に核変換する事により長寿命放射性核種のインベントリーを減容して、長期的放射性リスクの低減及び地層処分負担を軽減する	○先進リサイクルとして、競争力のある候補技術を広く検討し、サイクル技術の実用化をめざすこと。 ○長期的には、ウラン資源の最大利用と最小廃棄を前提とした環境との調和システムの開発をめざし、このための研究開発も積極的に進める。 ○経済的なメリットを失わない範囲での環境とのバランスを目指す	○P-T 技術は、高レベルガラス固化体の潜在的毒性そのものを低減することで、処分期間が極めて長期であることによる不確実性を低減し、ひいては公衆の不安感を低減することを目的とする。 ○このような乾式リサイクル全体で、MOX 高速炉と湿式再処理を中核としたサイクルに対して、経済性が向上することを旨とする。
効果など	○発電炉燃料サイクルと群分離・消滅処理サイクルの 2 層からなる階層型核燃料サイクル概念 ○湿式群分離法と、高エネルギー中性子を用いた専焼高速炉及び加速器駆動未臨界炉。 ○MA(Np, Am, Cm) や Tc-99, I-129 を長寿命、放射性毒性、地層処分の負担軽減、工学的実現性等を考慮して選定	○U/Pu の合理的なリサイクル利用を基本とした上での TRU のリサイクルを図る ○簡素化された燃料サイクルと高速炉の組み合わせによる合理化サイクル ○燃料開発として、粒子振動充填燃料、低除染型燃料、マイナーアクチノイド含有燃料、長寿命核分裂生成物の消滅等。 ○再処理分野として、簡素化湿式、乾式再処理、新分離法等。	○P-T 技術は将来の発電炉体系の中で成立させることが最も効率的である。 ○軽水炉と高速炉を統合した燃料サイクル(乾式リサイクル)において TRU を回収し、商用の高速炉に Pu と同様に均質に装荷して消滅することで、TRU だけでなく Pu のマスマランスの整合性のとれたシステムを構築する。 ○潜在的毒性を低減の観点から最も優先される TRU を P-T の対象に選定する。
分離技術開発	○TRU の消滅処理により、HLW の超長期にわたる潜在的毒性を大幅に低減。 ○発熱源の Sr-Cs 群は吸着分離に使用する無機イオン交換体を直接高温処理し、優れた固化体にする事が可能。その体積はガラス固化体の約 10% にすぎない ○現ガラス固化体の約 5 分の 1 に減容することが出来、長期貯蔵をせずに地層への直接処分が期待出来る。 ○群分離後各群の固化体総量は、全量ガラス固化体の場合の約 3 分の 1 程度であり、減容化を期待	○合理化による高速炉燃料サイクルの経済性強化 (先進リサイクル) ○高速炉の建設費目標を軽水炉並に、燃料製造費を軽水炉の 2 倍以下に、再処理費を軽水炉の 1.7 倍以下に ○効率的な Pu/U 燃焼による MA 発生量の抑制 ○炉内へのアクチノイド/LFP の閉じこめ強化 ○アクトイド/LFP の燃焼と消滅	○金属燃料サイクルを用いた柔軟な燃料サイクルの実現 ○商用の金属燃料高速炉の性能に影響を与えず、消滅処理を行う ○長期毒性に関わる不確実性を低減する ○処分ピッチの低減 ○処分深度を浅くする効果
原子炉や燃焼システム開発	○DDIPA による TRU 抽出分離プロセスを、テクネチウム-白金族元素群の分離では脱硝沈殿法、Sr-Cs 群の無機イオン交換体カラム分離法 ○硬スベクトルの専焼高速炉 (ABR) と加速器駆動未臨界炉 (ADS) の 2 つの炉型を提案。並行して開発を進め、陽子加速器の大電流化の工学的見通しが得られた段階で何れか一方を選択することとする。 ○TRU 混合窒化物系の熱物性データの整備を進め、窒化物燃料技術の基盤を形成した。また、UN, PuN, NpN の熔融塩電解試験等により、窒化物高温化学再処理概念の成立性について初期的な見通しを得ている。	○低除染型 PUREX 再処理 ○乾式再処理の可能性を研究 ○CMPO による TRU 分離と PUREX 合理化 ○適切な燃料と整合する高速増殖炉の開発 (燃焼度制限の撤廃、出口温度制限の撤廃、冷却系の簡素化など)。	○乾式再処理法による高速炉燃料サイクル ○脱硝塩素化技術、Li 還元、電解精製の組み合わせによる、U、TRU と希土類元素の分離を行う ○乾式法用の廃棄物固化技術を開発 ○金属燃料 FBR サイクルを開発 ○乾式再処理を用いることで、金属燃料、酸化燃料、窒化物燃料などに柔軟に対応できる ○酸化燃料の再処理も可能

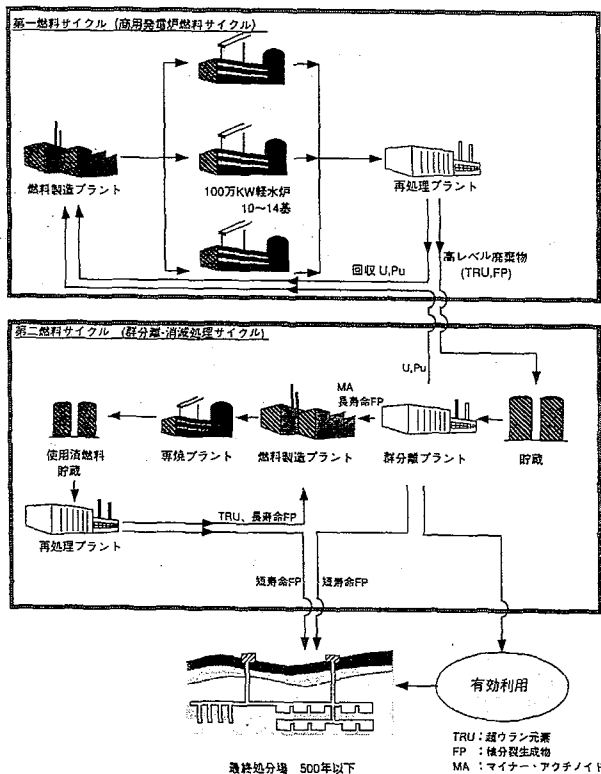


Fig. 1 Concept of double-strata fuel cycle (JAERI, Takano, H.)

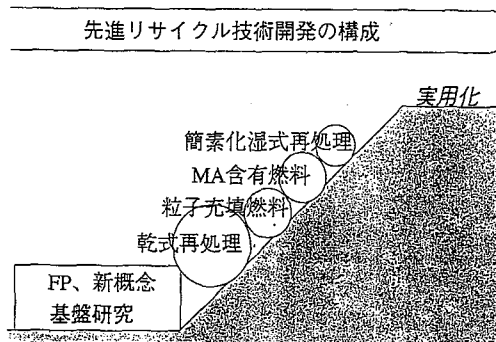


Fig. 2 Constitution of the development of advanced re-cycling system (JNC, Nomura, S.)

乾式分離プロセスと金属燃料サイクル

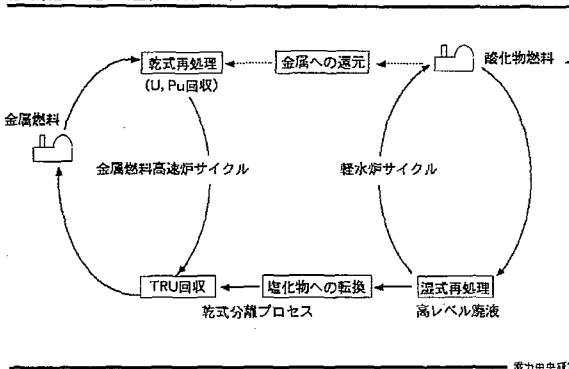


Fig. 3 Metal fuel fast reactor cycle (CRIEPI, Inoue, T. and Kinoshita, K.)

おいているものと見える。サイクル機構の構想では、MAの閉じこめと燃焼は「先進リサイクル」が持つべき望まれる姿の一つという位置づけのようである。電中研は、米国の IFR 技術に当初から関わってきたことから分るように、乾式再処理および金属燃料高速炉の持つ「高速炉技術としての柔軟性」を主張しており、MAの燃焼消滅は、金属燃料炉と乾式再処理の組み合わせがもつ柔軟性を活かせる特徴として主張しているようである。

このように、主要な研究開発機関における「消滅処理研究」への取り組み姿勢には意外に大きな違いがあることが分かった。これらの研究機関の姿勢の違いは、「環境負荷低減を目指した燃料サイクルの探求」、「原子力の経済性の強化」、「高速炉サイクルの最適化」という3つの課題への取り組みが、いずれも重要な課題であり、簡単に並立できるものではないということが示唆される。一方で、これらの課題へのバランスの取り方が三者三様であっても、将来的な燃料サイクルにおける「環境負荷の低減」が共通的に望まれているということは間違いない。

4 大学から見た消滅処理研究

京都大学の木村逸郎教授から、大学研究の立場から見た「消滅研究」への意見紹介があった。上記3機関のように、原子力開発に比較的大がかりに取り組んでいる開発機関に対して、大学の立場は明らかに違う。木村教授は、大学の立場の特殊性を念頭においた上で、消滅処理研究の持つ意義やそれへの期待を以下のように語った。

(1) 大学の立場と現状

大学は「象牙の塔」の時代を終えて改革の最中にあり、文部省と科技庁の合併や国立大学の独立法人化という厳しい変革の状況下で、原子力開発研究や関連する教育は他の分野よりも厳しい状況にある。国立大学における原子力(核)工学科は、当初特別な予算の手当もあって優秀な人材を排出し国の原子力開発に貢献したが、国の方針において、大学が原子力の長期開発計画の主要路線から除外されたことによって、その位置づけはあいまいなものとなった。その結果、原子力志望学生の質と数の低下、実験設備の老朽化やテーマの原子力離れなどが進み、大学での原子核工学研究自体が弱体に向かい、原子力講座自体の存続の危機にあると言っても良い。消滅処理研究が、このような大学の現状においてどのような意義と価値を持つかを考える必要がある。

(2) 消滅処理研究の意義と問題点

政府は高レベル固体を地層処分する方針であるが、そこには、科学技術以前の、社会的な心理の問題や政治的障壁が存在し、環境倫理的に見た世代間倫

理の問題も存在するから、消滅処理研究のような別な取り組みも重要である。一方で、消滅処理研究には「錬金術」的な夢とロマンがあり大学研究者や学生の関心を引く所がり、今の原子力研究開発にこのようなロマンが少ない事を考えると、消滅研究は大学にとって魅力的な分野であり得る。逆に、消滅処理には「甘い語感」が見え隠れする点も否定できないので、注意が必要である。まず、基礎研究をじっくりと進めること、更に各種のバランス評価を含めたシステム研究を進める必要がある。基礎研究やシステム研究には大学向けのテーマも多い上、国策が先走らない冷静な検討が大学向きであり、更に、アンチテーゼとしての大学の価値も見落とせない。

(3) 大学での消滅処理研究の現状

平成6年から8年にかけて、文部省科学研究費によって「消滅処理法基礎研究班（代表：木村，全国22名）」の活動を行った[2]。この活動では、新しい消滅処理法の探求、核反応機構の研究、核データの測定、分離や化学基礎物性、などについて研究をまとめた。また、平成10年から11年にかけて、「加速器駆動トリウム系燃料未臨界炉準備班（代表：木村，全国22名）」を組織して、トリウム燃料を用いた加速器駆動未臨界系での、加速器開発、核破砕中性子源の特性、未臨界炉特性などについて検討を進めている。

(4) 今後の消滅処理研究のありかた

消滅処理研究について、以下のような進め方を望みたい。

- ① 何か新しい方法はないのか。素粒子・原子核物理学者との交流と討論。
- ② MA生成の少ない燃料サイクル，MAリサイクル，加速器炉などを，柔軟に検討。
- ③ 核分裂，核破砕の基礎研究（ホットな実験）。
- ④ システム設計と模擬実験（ホットな実験）。
- ⑤ 群分離と組み合わせた実験。
- ⑥ 各種バランスシートの作成と評価。
- ⑦ ガラス固化体の地層処分との関係づけ，比較検討。
- ⑧ 国内の協力体制作り，設備共同利用，試料の準備と提供（Puの二の舞とならないよう）。
- ⑨ 国際協力。
- ⑩ 学生の教育と実地訓練。
- ⑪ 人文科学・社会科学的な検討。

木村教授による意見提示では、今までの原子力開発における大学の位置づけの複雑さと、消滅処理研究のような基礎研究を含み革新を有する研究における大学の役割が示唆されている。特に、「ロマンと夢を持った研究の重要さと新しい発想の必要性」，「基礎研究と総合的な

システム評価の重要性」，「大学の役割と全国での協力体制の重要さ」などが今後の原子力開発において、きわめて重要であることが述べられた。

5 海外における消滅処理研究

本研究会における特別講演として、核燃料サイクル開発機構の参与である植松邦彦氏（前動燃事業団副理事長）に、動燃事業団における高速炉燃料サイクルの開発での豊富な経験と OECD/NEA の事務局長としての国際的な経験に基づき、国際的な視点から消滅処理研究をレビューしていただいた。

(1) MA 及び FP の分離消滅研究の経緯と現状

世界的に見た MA 及び FP の分離消滅研究の過去の取り組みの経緯が以下のようにまとめられた。

群分離消滅処理研究の始まり

1964 年 Steinberg (BNL) が原子炉による長寿命 FP の消滅を提案

1967 年 Gregory (BNL) 等が陽子加速器による長寿命 FP の消滅を提案

これ以後、あまり組織的ではなく小規模で散発的であるが、群分離消滅処理の研究が各国で開始された。

群分離消滅処理研究の成立性評価（1970～1980年初頭）

1976～79 米国：ORNL を中心に成立性評価

1977, 1983：ISPRA を中心に研究・評価

1972～72：原産会議が調査・検討を実施

この頃の評価の結論としては、「技術的には可能性はあるが、群分離工程の追加により中低レベル放射性廃棄物が増加するために短期リスクとコストが増加し、群分離・消滅処理のインセンティブは少ない」というものであり、以後研究は沈静化した。

日本における群分離・消滅処理研究の活性化（1980年半ば以降）

原子力フロンティア研究（革新的・創造的研究）の推進の一環として、長期的毒性あるいはリスクの低減化、有用金属の再利用などの議論が活性化した。国内での活性化の動きは以下の通り。

1987：フェニックスプロジェクト（地層処分研究開発5カ年計画による）として分離、有用金属回収、原子炉・加速器による消滅処理の研究開発を推進。

1988：放射性廃棄物対策専門部会により策定された、「群分離・消滅処理技術研究開発長期計画」を受けて、OMEGA (Option Making Extra Gain from Actiides and Fission Products) 計画が発足。

それ以後の海外での経緯

1988：オメガ計画を OECD/NEA NDC に提案したが、RWMC は深地層処分が進行中であることから反発した。このために、NDC のプロジェクトとしては取り上げられず、関心各国間での情報交換として位置づけられた。

1991：LANL および ORNL で群分離・消滅処理研究が、復活。

1991：フランスで、放射性廃棄物管理法 (1984) に基づき、SPIN 計画が発足した。

各国での消滅処理研究に対する姿勢や実施中のプログラムなどは、植松氏の報告より、Table 2 のようにまとめられる。植松氏はこのほかに、解体 Pu の利用及び消滅への世界的な取り組みについても紹介された。これは、政治的な側面を含む大きなプロジェクトであり、複雑になるので、本紙においては割愛したが、大量の Pu の消滅に対する国際プロジェクト的な取り組みが、現実問題として刻々と進行中であることは、群分離・消滅処理研究にとってもまったく無関係の事ではないと感じられる。

植松氏の講演からは、1960 年代から始まり一時は否定的な評価を受けていた消滅処理研究が、日本の OMEGA 計画をきっかけとして再び活性化し、各国において独自色を生かした取り組みが続けられているという現状がよく理解できる。世界的に見ると、廃棄物処理処分に関わる法律上の関係を明確にした上で現実的な原子力問題の一環としてその可能性を研究しているのはフランスの SPIN 計画だけであり、他の国の各研究機関では、独自色の強い先駆的な研究として行われているものが多く、加速器駆動を用いたものである。米国の IFR 開発とロシアの乾式酸化物燃料製造については、高速炉サイクルの独自オプションとして発展させてきたこれらの概念を、消滅にまで拡張した概念として提案しているものであることが分かる。日本での群分離・消滅処理研究 (OMEGA 計画) を議論する時に、植松氏の講演において概観することが出来た「世界的な現状」を念頭にいた上で再評価することが重要であることが分かる。

6 燃料サイクルの様々な立場からの意見

群分離・消滅処理についての、燃料サイクルの様々な立場からの意見の提示を求めた。群分離・消滅処理が、原子炉、燃料製造、再処理、廃棄物処分の全体に深く関わることから、原子炉の立場、再処理の立場、処分の立場を代表する 3 人の専門家から、それぞれの立場からの専門的な意見を述べて頂いた。更に、2 人の専門家に、より広い総合的な視点からの意見を述べて頂いた。

6.1 原子炉の立場から (東北大院工、岩崎智彦・助教授)

岩崎氏は、炉物理的な視点からの核データの評価を行って来た経験から、消滅処理研究における核データの信頼性についての重要性を、具体例を示しながら指摘した。岩崎氏が行った Np-237 に関わる核データの実測の結果とこれらと核データファイルの整合性については Table 3 のようにまとめられる。Table 3 の例に見られるように、比較的測定例の少ない MA 核種についての核データファイルの評価値や解析コードのライブラリの現状は決して優れたものではない。今後ますます正確なデータの採取が望まれる。岩崎氏は、今後のマイナーアクチニドの消滅処理の評価においては、この点を十分に考慮した対応が望まれるとともに、実験による核データの取得を継続し、評価核データや計算手法の精度を向上させる努力が望まれることを強く指摘した。

6.2 再処理の立場から (京大原子炉、山名 元・助教授)

筆者 (山名) は「消滅処理サイクル」の評価において、「再処理」というプロセッシングを行うことに付随する種々の問題が忘れられがちであることを指摘した。リサイクルシステムでは、MA の累積量は once-through に比べて少ない平衡値に近づくが、燃料の燃焼度が有限であるために、回収分離処理を繰り返す行わねばならず 2 次廃棄物への核種の分散が生ずる可能性がある。消滅処理型のリサイクルシステムを理想的に構築するには、再処理での安全リスクや核種ロスを低く抑えることが条件となり、再処理での核種フロー制御の強化、燃料仕様と再処理技術の整合と高度な品質管理、再処理役務量そのものの低減、等が求められる。本来、長く燃えて MA 等の燃焼効率が高く、処理しやすい燃料を使うことが再処理からは求められる。MA 等の燃焼効率の悪い炉による消滅サイクルでは、大量の TRU を循環させるサイクルとなり 2 次廃棄物への漏洩量が必然的に多くなるので、燃焼効率が高い炉を用いて、サイクル内での TRU の循環量の少ないサイクルを構築するのが理想的である。再処理の立場からは、次のような事が言える。

- (1) 消滅効果あたりの再処理役務量を低くでき (高燃焼度、高効率燃焼) 簡素な再処理により 2 次廃棄物へのロス、及びリサイクル内保管に伴う短期リスクが少ない、という条件において MA 等のリサイクル燃焼の価値が認められる。
- (2) 核種 (元素) 別のポテンシャルハザード及び被ばくリスクの程度を考慮して、炉システム設計との組み合わせで、上記の観点から Reasonably Practicable にリサイクルできる (核種) の選定が重要である。

Table 2 Activities of transmutation research by different countries (JNC, Uematsu, K.)

米国
①米国 (1) DOE Nuclear Energy Research Initiative (NERI) 1999年度 1900万ドル 1997年度 主要な原子炉研究開発プログラム(新型軽水炉計画)終了 1998年度 原子力保安計画を提案したが、支持を受けず 1999年度 大統領科学技術諮問委員会の後押しを受け、NERIを提案 NERIの5つの主要な技術分野 1. 核拡散抵抗性のある原子炉と燃料技術 2. 新型炉設計(性能向上、効率改善、コスト低減、小型・低出力化) 3. 新型燃料 4. 放射性廃棄物管理の新技術 5. 原子力の基礎的な科学技術 (2) アルゴンヌ研究所 ANL IFR(Integral Fast Reactor)計画 金属燃料FBRと乾式再処理を組み合わせた金属燃料リサイクルシステム開発 1984年開始、要素技術の実証、1994年9月政策変更により計画中止 計画中止後の状況 目的変更: 安定な廃棄物形態への転換のための処理技術開発 現在の主な実施項目 ・ U 電解回収、回収りからの塩除去、使用済塩の安定化技術、熔融塩中のアクチニド酸化物還元、生成酸化リチウムの電解還元技術等の開発 ・ EBR-II 使用済燃料の処理(1996年6月から3年間でドライバー燃料100集合体、ブランケット燃料25集合体を試験処理) その他 ・ 電力中央研究所と共同研究を実施(1989~1995年) (3) ブルックヘブン研究所 BNL HLW生成が小、安全性が良、核不拡散性良を目的とし 加速器駆動未臨界炉(速中性子)システムを研究 サイクル機構との共同研究(1991~1998年) 「加速器によるFP消滅処理の研究」 ・ ^{90}Sr, ^{137}Csの革新的消滅方法の検討 ・ 大電流電子線加速器のビーム安定化及び高品質化研究 ・ 高品質単色γ線の効率的発生技術に関する研究 (4) ロスアラモス研究所 LANL Pu蓄積抑制が主な目的 陽子加速器と未臨界炉(熱中性子) ハイブリッドシステムを研究 高中性子束を利用しMA, FPを消滅 20年以上の技術開発期間が必要 LANL: C. D. Bowman → The ADNA Corporation, Los Alamos 1997年 (Accelerator-Driven Neutron Applications) (5) オークリッジ研究所 解体核からのPu, HEU処分を目的としMA消滅MSRを研究 MSRの選別理由 ・ 燃料サイクル、廃棄物取扱に於いて高い安全性 ・ 燃料製造工程が簡略であるため高い経済的競争力 ・ 燃料核種の種類に低依存である炉心構造

ヨーロッパ共同体

②ヨーロッパ共同体:

- ・ Energy Amplifier 概念を 1993 年に提案
CERN 研究所 (欧州合同原子核研究所)
- サイクロトロン駆動型未臨界 (高速中性子)
ハイブリッドシステムの研究
- ・ EFTTRA 計画 (Experimental Feasibility of Targets for TRANsmutation)
CEA, EDF (仏), ECN (蘭), FZK (独), IAM, ITU (EU)
- Tc, I, Am の炉内消滅試験 1994 年開始
炉⇒High Flux Reactor (HFR), Petten (ECN)
Target 製造 Tc⇒ITU, I⇒ECN

ロシア

③ロシア

Dry reprocessing, Oxide fuel, Vibropac, Integral,
Transmutation of
= DOVITA RIAR 原子炉科学研究所

1992 年研究開始～

- ・ 酸化物燃料乾式再処理による U, TRU 回収
- ・ 振動充填燃料
- ・ アクチニド消滅 (Actinides Burner Fast Reactor)

照射試験 BOR-60 U/Pu 試験 MA 装荷実績無

日本

④日本

オメガ計画

核廃棄物による環境負荷低減を目的とする高速炉、ハイブリッド炉等による
・ MA, FP 消滅を研究 (原研、サイクル機構、電中研)

韓国

⑤韓国 KAERI 韓国エネルギー研究所

- ・ 加速器駆動型核変換システムのターゲット部分の研究
核的検討を実施
- ・ Direct Use of Spent PWR fuel in CANDU Reactors = DUPIC
1990 年代研究開始～ 炉心特性評価を実施
 - ・ 軽水炉ワンスルー処分の回避、ウラン資源の有効利用
 - ・ CANDU 炉の燃焼度の倍増
 - ・ アクチニドの潜在毒性の低減化 (約 1/10)
- ・ 高速炉開発
Korea Advanced Liquid Metal Reactor (KALIMER) プログラム
 - ・ Phase I: (1997-2000) 概念設計、解析手法開発
 - ・ Phase II: (2000-2002) 概念設計 (最適化)
 - ・ Phase III: (2002-2006) 基本設計

フランス

⑥フランス

1991 年 「放射性廃棄物管理研究に関する 1991 年 12 月 30 日の法律」
2006 年までに最終報告し、3 つの方策から選定

1. 深地層処分 ANDRA (フランス放射性廃棄物管理機構)
2. 核種分離・消滅 CEA
3. 長期貯蔵 COGEMA+EDF
CNE (国家評価委員会) に研究成果報告、毎年評価報告書を政府に提出

1998 年 6 月の最新報告

- ・再回収可能性評価 (地表貯蔵、浅地層貯蔵について研究を示唆)
- ・長期中間貯蔵の検討を加速

核燃料サイクルバックエンドに関する 10 のシナリオ選定

マンディル/ヴェスロン報告 (1997 年 7 月) 暫定版抜粋
98 年 6 月公式見解、99 年初めに最終見解を取りまとめ予定

検討依頼事項

- ・未解決な重要課題の整理
- ・2050 年までに達成可能なシナリオ作成
- ・シナリオの絞り込み時に課題解決の要因を同定
- ・シナリオ毎の 50 年間の経済的及び環境影響評価

高速炉だけでなく、直接処分や回収も可能とする長期貯蔵も視野に入れたシナリオ (5 グループ) を検討

- ・ワンススルー (オープンサイクル)
- ・部分的クローズドサイクル (簡素化再処理+Pu 高速炉)
- ・PWR または高速炉を用いたプルトニウムリサイクル
- ・高速炉または PWR を用いたプルトニウムリサイクル (MA, LLFP 消滅)
- ・完全なクローズドサイクル

SPIN (SeParation-INcineration)

アクチニド核種分離・消滅処理の重要性が強化

PURETEX 計画 (1991~2000 年)

- ・PUREX 高度化
- ・Np 分離技術開発
- ・再処理廃棄物の減容

ACTINEX 計画 (中長期)

- ・Pu, MA, 超寿命核分裂生成物 (I, Tc, Cs) 分離技術
PUREX 法による U/Pu/Np/Tc/I 分離
An+Ln 同時抽出、An (Am/Cm) 選択的分離
Cs の抽出
- ・消滅処理 (原子炉、加速器)

消滅処理

- ・PWR (OSIRIS) による Np 消滅計画 (ACTINEAU) 1995~1998 年
- ・PHENIX (~2004 年閉鎖) → Jules Horowitz 炉 (RJH) 燃料、材料照射研究炉
(核種変換研究用に改良) 2006 年運開 (カダラシュ)
- *CAPRIX 計画 (CAPRA 計画=高速炉による Pu 燃焼の促進)
高 Pu 富化度 (34~45%) 照射試験
- *SUPERFACT2 計画 Np, Am の均質装荷 2wt%、消滅率測定
1996~1998 年
- *MATINA1 計画 不均質装荷用希釈材の照射特性評価
1994~1996 年
- *HETERAM1 計画 不均質装荷 希釈材+40% AmO₂
1999~2002 年
- ・高中性子束炉、加速器駆動炉

スイス

⑦スイス PAUL SCHERKKE INSTITUTE (PSI)

- 軽水炉による Pu 消滅
100%MOX 炉心、Pu 単体燃料 炉心成立性評価
- アクチニド変換
 - ・高富化度 MOX 溶解特性試験 (CAPRA 計画/CEA)
 - ・ピュアな PuN Sphere 燃料製造
 - ・Sphere-pac 燃料炉心設計
 - ・母材 (酸化物、窒化物) の製造性評価、照射試験 (PHENIX)
- 加速器を用いたアクチニド消滅技術開発

英国

⑧英国

セラフィールドに大型研究施設を建設

- ・現行技術に対する研究開発 (MOX プラント、ガラス固化、LWR 再処理等)
- ・先進プロセス研究 (先進再処理、デコミッショニングロボット、廃棄物処分等)
- ・国際共同研究

現状評価活動

①OECD/NEA

アクチニド及び長寿命核分裂生成物 (LLFP) のインベントリ低減のための P&T の実施

- ・廃棄物処分問題を緩和できる可能性を有する。
- ・地層処分を不必要とするものではない。
- ・関連研究は原子力科学技術の進展等に寄与する。
- ・P&Tの実施のための基礎 R&D は長いリードタイムが必要となる。
- ・実験室規模の群分離技術開発であり規模拡大が必要となる。
- ・高速中性子スペクトルシステムは現行 LWR より効率的な消滅処理が可能である。

"Status and Assessment Report on Actinides and Fission Product Partitioning and Transmutation (3rd Draft)" OECD/NEA Apr. 1998

②IAEA

- ・群分離消滅処理は科学的に非常に魅力的、挑戦的なサイクルのオプションでありアクチニドの潜在的毒性を減らす見込みがある。
- ・しかし、直ちに高レベル廃棄物の処分に替わるものではない。また、潜在的毒性を完全になくすことはできない。

"Limitations of Actinide Recycle and Waste Disposal Consequences - A Global Analysis"
L. H. Baetsele in: IAEA-TECDOC-783 1995

Table 3 About the nuclear data of Np-237 (Tohoku Univ., Iwasaki, T.)

1)	Np237 核分裂断面積 10-200KeV:評価値と実験値と 100%以上の差
2)	Np237 核分裂即発中性子エネルギースペクトル 評価値・実験値間に大きな差 (Maxwell 温度差)
3)	炉内 Np237 反応率 捕獲反応率: 実験・解析は、比較的良い一致 核分裂反応率: C/E 0.9 程度
4)	数十 MeV 領域での体系内 Np237 核分裂率分布 軽核になるほど、実験・解析一致が不充分

結局、消滅処理は、炉だけの評価ではなく、再処理での負荷の増加やリスクの増加、核種ロスの発生などを総合的に見た上で、"ALARP (As Low As Reasonably Practicable)" として取り組むべきものである、ということを主張したものである。

6.3 処分の立場から(東北大院工, 柗山 修・助教授)

東北大柗山助教授は、地層処分に関わる本質的な論点やその特徴などをわかりやすく紹介した。

地層処分の概念は、核燃料サイクル開発機構の地層処分研究開発成果の第一次ドラフト及び第二次ドラフトなどに見ることができ、このような成果を国民に提示して、地層処分を受け入れるかどうかの意志決定が国民に問われることになる。この意志決定の参考となるのが、環境影響評価 (Environmental Impact Assessment) であるが、工学研究者の使命として、①可能な選択肢が何か (Proposed Action と Alternative)、②環境の定義 (環境とは何か)、③影響や利害の受け先 (現世代、次世代)、④影響評価 (安全評価) についてわかりやすく提示する必要がある。① 提案と代替案については、代案を含めてその利害得失について相対的な評価を行うということであり、いずれの方法をどの程度のリスクで国民が受け入れるかという選択であることを忘れてはならない。② 環境の定義については、人類が地球環境との整合の下にのみ生存可能であることを忘れてはならないが、人類の活動の結果が地球環境の自己調整システムが機能出来る範囲内にあるかそうでないかを判断せねばならない。一般的な廃棄物の環境負荷問題においては、その量が膨大で拡散範囲が広いことが問題であり、原子力の地層処分技術に関しては、放射性廃棄物が毒性が無くなるまで閉じこめてコントロールできるか否か、とすることが問題なのである。即ち、放射性廃棄物の単位量あたりの危険さ (質) よりも、総量や広がり (エントロピー) の問題として認識すべきである。Sustainable Development (生

態系の維持、絶対的な貧困や貧富の格差の解消、将来世代の発展の保障) という視点で環境を考えることが重要である。③ 影響や利害の受け先については、エネルギー資源の選択自体がここ数百年程度の将来の世代の利害に絡むということがそもそも重要であり、放射性廃棄物についても将来世代に与えるリスクが十分小さいことを確かめる必要がある。④ 地層処分の環境安全評価では、起こり得る事象の網羅、想定事象を正しく予測すること、の両方が重要で、オーバーバックの腐食や核種の溶解や地層中移行などについての、最も確からしい評価が望まれる。このような安全評価というのは全て「予測」であって、全てはその「予測」の信頼性にかかっており、起こり得る重要な事象を評価し、安全である確率が高いことを示すことが研究者の役割である (Fig.4)。予測の説得力は、個々の事実の積み重ねのみでなく、科学理論 (仮説演繹法による推論) の背景によって支えられる。これらに関する研究を通じて安全評価の説得性を増すことが、リサイクル原子力の選択につながる。

柗山助教授の地層処分技術に関わる意見は、廃棄物処分や消滅処理の研究を進めてゆく上で、社会との関係においてどのような基本的視点が必要であることを示唆するものである。柗山助教授は、消滅処理研究に対する直接の要望は示さなかったが、上記の処分研究に関わる指摘は、消滅処理研究に対して、それが、① 社会に対する可能な選択肢として位置づけられるのか、② 環境へのインパクトを抑制できるのか、③ 現世代だけでなく次世代に対するメリットになるのか、④環境影響評価 (予測) の信頼性を高め得るものなのか、という問いかけとして向けられていると考えることができる。柗山助教授の意見は、地層処分にせよ消滅処理にせよ、研究者がこのような問いかけを常に念頭において進めることが必要で、消滅処理の研究開発も、「禅問答的なあさつての仕事の議論であってはならない」という警鐘として捉えられる。

6.4 総合的な視点から-1(関西電力, 堀川義彦)

関西電力 (株) 堀川氏より、電力会社のバックエンド対策の視点から見た消滅処理に対する見解が紹介された。堀川氏は、現行の原子力発電に伴うバックエンドからの廃棄物の発生とその処分の現状を紹介した。現在での放射性廃棄物の処分方法およびそれに関わるスケジュールは Table 4 のようにまとめられる。堀川氏は、電力会社として直面しているこれらの放射性廃棄物対策の問題点 (区分設定の問題、処分地の問題、法整備などの問題など) を指摘した上で、群分離消滅処理技術への期待として、合理的な処分を目指す上での以下の効果を指摘した。

影響、利害の範囲

- ・ 影響、利害を受ける人
時間範囲: 現世代、次世代、将来世代
集団範囲: 地域差、南北格差
 - 地層処分や原子力のような大規模工学システムの社会的導入においては、意思決定者と影響、利害を受ける集団が異なることが多い
 - 意思決定は単なる当事者の利害の問題ではなく倫理的問題である
 - 技術や工学の力でこの不公平を減らすことが出来る

影響評価(安全評価)の科学

- ・ 起こり得る重要な事象を網羅する
FEP (Feature, Event, Process) リストの作成
- ・ 想定事象(シナリオ)を正しく予測する
(想定事象 ≠ 実現性の高い事象)
- ・ 意思決定のための情報としての予測
- ・ 対策措置を講じるかどうかにもこれに依存

Fig.4 Safety and impact assessment for the geologic disposal (Tohoku Univ., Tochiyama, O.)

Table 4 Plan for the disposal of radioactive wastes (Kansai Electric Power Co., Inc., Horikawa, Y.)

放射性廃棄物の処分方法

種類	対象(例)	処分方法
高レベル	ガラス固化体	地下の深い地層に処分
低レベル	TRU	再処理廃棄物 (高) 浅地中処分以外の地下埋設 MOX燃料加工 (低) 浅地中処分可能
	ウラン	濃縮遠心機 (低) トレンチに簡易処分 ウラン燃料加工
	高βγ	炉内構造物 比較的深い浅地中に埋設
	均一等	濃縮廃液等 浅地中埋設(六ヶ所で実施、建設中)
	極低レベル	床、壁等 素掘りトレンチに簡易処分
クリアランス以下	建屋コンクリート	再利用または産廃並み処分
非放射性	タービン	再利用または産廃並み処分

処分スケジュール

	1998	1999	2000	2010	2020	2030	2040	2050
高レベル	▽ 原委	▽ 原安委	▽ 選定	▽ 調査	▽ 建設	▽ 操業		
TRU	▽ 原子力 委員会開始	▽ 原安委	▽ 法整備	▽ 申請	▽ 建設	▽ 操業等		
高βγ	▽ 原委	▽ 原安委	▽ 法整備	▽ 申請	▽ 建設	▽ 操業等		

期待される効果 = 環境負荷の低減

- ・ 廃棄物量の低減
- ・ 実効的減衰時間の短縮

原子力の社会的受容の向上

更に、堀川氏は消滅処理技術の実用化の見極めのクライテリアとして、その効果、時期、経済性を指摘した。堀川氏の指摘は、現に放射性廃棄物の蓄積や処分の実現の必要性に直面している電力事業者の立場をよく表しており、遅れがちである現状廃棄物問題(処分実現へのインフラの整備)を忘れたまま、将来的な消滅処理の議論が進められることへの警鐘ととらえることができる。更に、消滅処理研究に対する電力事業者の期待が、社会的な受容性の向上や処分そのものの合理化にある、という点を明確に示した。つまり、電力事業者にとっては、消滅処理への期待が、処分の合理化や PA 問題の解決などの処分を支援するための技術としてでありことを明言したわけである。これは、潜在毒性の低減や処分リスクの低減といった原子力の本質的な解決を目指す動きに対して、より現実的の姿勢である。この考え方は、消滅が処分の代替となり得るような安易な宣伝に対するアンチテーゼでもあると考えられる。

6.5 総合的な視点から-2 (東大院工、長崎晋也助教授)

東大の長崎助教授は、処分と消滅の議論に対して、総合的な視点から以下の指摘を行った。

地層処分が最も有力な処分方法であることに間違いないが、処分方法として地層処分以外のオプションがほとんど検討されていないということも事実である。群分離・消滅処理研究が、地層処分と比較して、同じ土俵で議論できるまでには至っていないが、いざ地層処分では処分できないということに至ったとき、他のオプションが全くない事は許されない。UC Berkeley の安の研究では、Np-237 ですら核不拡散問題に抵触する可能性があるというから、今後は核不拡散、Retrievability、自己触媒の臨界現象、経済性、先進的リサイクルとの関係などを総合的に再検討し、廃棄物処分に対して第2、第3のカードを用意しておく必要があるのではないか。

地層処分研究をはじめ、群分離や消滅処理など、処分関連研究は研究者の自己満足に浸ることなく、工学的実現可能性とともに経済性や一般住民の安心感などの外部評価を常に受ける必要がある。原子力材の中でのみの議論ではなく、積極的に他業種・他業界との他流試合に臨み合理化を進めるべきであろう。個々の研究開発とともに日本としての処分研究のあり方を、

一歩高い立場からマネージメントすることも求められているのではないか。

原子力はこれまで発電ありきで来て、発生した廃棄物をしかたなく処分するという姿勢で来た。しかし、他の産業界でもリサイクルが義務化され、再利用が可能な形状の標準化されたハードウェア開発などが強力に推進されている。環境に直に関係する原子力バックエンドもこのようにあるべきで、これは、バックエンド研究に携わる研究者が声を上げないと実現されない。新しい概念での研究プロジェクトを打ち出して活気をすために、学会や産業界が協力して、巨大なプロジェクトを推進するとともに、実現させる方策を検討していくべきであろう。

長崎氏の指摘は、処分が基本方針として推進されるべきとしても代替オプションの存在が大事であり、原子力全体を、「発電ありきかつ処分不可避」という流れだけでなく、広い視野からリサイクル性強化について考えることが重要だと指摘したものである。

7 自由討論に見る消滅処理研究の問題と論点

全体討論では、消滅処理研究の位置づけやあり方について参加者が自由に意見を述べた。全体討論において出された意見は複雑でそれぞれが異なる言い方をしているが、それらの趣旨からは、いくつかの代表的な論点として以下のようにまとめることができる。

(1) 評価の視点 (Consequence, 時間軸, 量) の議論

処分あるいは消滅についての“Consequence”をどのような視点や尺度から見ることが重要である。様々なバランスシート、即ち、マスフロー、エネルギーバランス、コスト、環境負荷、臨界安全、核不拡散などの安全性、社会的な受容性などについての総合的な評価が重要であることは言うまでもない。特に、環境負荷については、被ばく量 (mSv/yr) や潜在リスク (Ci/yr) などの「量」で判断すべきか、あるいは「時間軸」で議論すべきかで、大きな違いがある。環境負荷の時間軸の議論は、処分場の判断に影響を与えると同時に、消滅処理の価値への判断も変える。時間軸についての感覚として、特に婦人から見た視点が重要であるが、様々な産業技術がどしどし進展している中で、10000 年以上の議論を前面に出す必要性は低いという意見の提示があった。

この議論においては、「量」や「広がり」が問題であるとする意見と、「時間軸」が重要であるという両方の意見が紹介された。放射性廃棄物への対策が、何をもって安全と見なすか、何をもって社会に受け入れられるのか、については未だに社会的なコンセンサスが得られていな

いということであり、処分に依存せざるを得ないという事実に加えて、消滅処理への期待も存在していると言わざるを得ない。別な見方をすると、消滅処理については、特に、上記のバランスシートの評価が不十分であるということが否めないであろう。即ち、この技術でもって、安全性や安心感や経済性についてどのようなバランスが達成されるのかが、十分に統一的に評価されていないことが問題である。別な視点であるが、ウラン廃棄物や TRU 廃棄物などについての解が出されていない状態で、十分なバランスシート評価がなされていない消滅処理の必要性を議論することも、ある意味ではバランス感覚にかけるといわざるを得ない。結局、この課題については、現状の廃棄物発生の問題や処分の必要性などを十分に念頭においた上で、消滅処理によってどのような「快適な原子力」が達成されるのかを、ある程度定性的に検討してゆくことの重要性が参加者の共通認識として認められたと言って良いであろう。

(2) リサイクルの重要性

一般産業界に対して行われたアンケート調査の結果、「リサイクル生産技術」が最も重視されているという結果が得られている。即ち、今産業界はゴミをださないという姿勢が大変重視されており、原子力界が「リサイクル」を重視しなければ原子力産業の化石産業化を意味するという意見提示があった。また、天然ウラン資源が有限である限り、原子力利用において可能な限りのリサイクルを行うことが当然であり、リサイクルそのものが環境負荷の低減を意味するという考えも提示された。これらの意見は、消滅処理を廃棄物の燃焼処理としてではなく、原子力自体ができる限りのリサイクル性を持つべきだという視点で述べられたものである。MA などの回収と燃焼が、ゴミの焼却処理としての立場で論じられるか、本来の原子力が持つべきリサイクルの姿として論じられるかは、今後の消滅処理の是非議論の大きな分岐点である。廃棄物か燃料かという二者択一ではなく、リサイクルできるものの有効利用をはかるという姿勢も大変大事であることを感じる。

一方で、缶や瓶などのゴミのリサイクルにおいても見られるように、「リサイクル」が「使い捨て」に対して、コスト高になることが多い事が指摘された。経済性だけを前面に出して議論すればリサイクルの立場が確実に悪くなるのが自明である。緊急の経済性だけを前面に立てずに、リサイクルのあるべき姿として消滅処理やリサイクルを長い目で考えることが重要である。Reasonable なコストの範囲であれば、リサイクルを追求することも許されるべきであるという意見は、リサイクルの是非や技術について、当面の経済性だけでもって評価されるべきでないという警鐘を与えたものと考えられる。

(3) 基礎研究と連携

原子力における夢とロマンの重要性は皆の認識する所であり、消滅処理研究が、大学や研究機関を巻き込み技術をのばす格好のテーマであるという見方ができる。まだまだ基礎の段階であるから、当面の経済性という難しい問題に今直接リンクさせずに着実に研究を進めることが重要という意見提示があった。また、このような研究テーマをその厳密な意義だけで論じるのではなく、研究の意義付けとして研究予算の確保に活用してゆくという視点も、現実的には必要であるという意見が出された。更に、このような基礎研究を進めて行くには、限られた研究資源を有効に活用することが不可欠で、サイクル機構や原研の施設の大学への解放、研究拠点の設置、学会レベルでの活動支援などが必要であることについては多くの賛意が示された。

(4) 産業廃棄物と放射性廃棄物

原子力の放射性廃棄物だけが注目を集めるが、本来、ダイオキシンや遺伝子操作などの一般産業界での問題と同格で議論されるべきものである。一般産業廃棄物ではリスクの概念を取り入れつつあり、ダイオキシンの場合では、 10^{-5} のリスクを基準に考える傾向があることを考えると、合理的なリスクの基準は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ ではないかと考えられる。 10 mSv の被ばくが 10^{-7} のガンリスクであることを考えると、原子力における合理的なリスクレベルを一般産業と同じような基準で設定することが必要であろう。社会的な受容性を考えるにも、「他産業とリスクのレベルを合わせて議論し、他産業界からも原子力産業に魅力を感じる」ことが社会的受容に直結するという、ことを忘れてはならない。

(5) 処分/消滅/オプションの考え方

今までの原子力においては、「処分」と「消滅」が原子力界内部の対立の構造にあった。日本の今までの原子力開発の進め方は、とかく「単線路線指向」であったように思うが、これからは単一オプション方式ではなく複数オプションで良い。高レベル廃棄物については地層処分であると決めてかからずに、複数のオプションを持つべき時である。無理にオプションを一つに絞ることは技術の選択において大きな誤りを犯す可能性がある。フランスが浅地中処分や中間貯蔵オプションを考え始めたようであることも念頭に、今後、地層処分と消滅研究が協調してゆくことが期待される。

消滅処理が「廃棄物組成改質技術」であり、「処分の代替」ではないという意見提示があったが、これは、処分と消滅の協調路線をより具体的に表現したものである。この考えでは、「消滅」によって「処分」の安全性を確保し、発熱や量での合理化をはかり、潜在毒性の低減によって不確実性の排除を行う、というように、消滅が処分の「支援技術」であることを明確に主張している。消滅

研究を行っている研究者にも、「処分」の必要性は深く認識されており、消滅処理技術が、処分という基本技術を支援しつつ、より幅の広いオプションを提示できる可能性のある技術としてとらえられていることは、参加者として共通認識であったように思われる。

8 まとめ

以上の報告と討論を総論としてまとめることは大変難しいことであるが、参加者の間にいくつかの点で共通認識が生じたことは確かである。また、従来あまり同じ土俵で議論されなかったことが、共通の観点から議論されたという成果があったように思われる。この研究会での討論から、学会やバックエンド部会に向けて、消滅処理研究の今後の方向性を明示することはできないが、筆者としては、この討論を通じて、次のようないくつかの点を強く感じたので紹介したい。

その一つは、「消滅処理研究」が、将来の話として現実の原子力から離れた存在ではもはやありえないことである。今議論されている地層処分の是非、高速炉サイクルのあり方、などと密接に関連した「サイクルの明日の話」として議論されるべきもので、従って、消滅処理研究に従事する研究者も、その意義、価値、あるべき姿、廃棄物問題における位置づけなどを常に念頭において研究を進めるべきではないだろうか。第二に、「消滅処理研究」が処分と対立するオプションではないという点である。

「消滅処理研究」は今後の原子力を最適なものにしてゆくための、地層処分などと並んで議論されるべき技術の一つであり、処分と相互に協調できるオプションでもあり得る。今後の日本では、硬直した単一決定路線で原子力を語るのではなく、色々なオプションについて評価してゆくべきであり、その意味で、「消滅処理研究」も現状原子力に対する一つの改善のアプローチとしての責任があつてしかるべきである。更に、従来、処分と消滅の間の議論が少なすぎたように思う。第三に、「地層処分の議論」、「先進リサイクルの議論」、「消滅処理の議論」、のいずれにおいても、「バランス評価（総合評価）」を十分に進める必要があるという指摘があったことである。今までの消滅処理の議論では、ある特定の効果だけが強調され、達成目標の具体化を含めた「バランス（総合評価）評価」が不足していたのではないかという気がする上、一般産業との比較や世代間の受容性など本来非常に重要なカテゴリーについての議論が不足していたような気がするのである。バランスシート（システム評価）の作成は今後の重要なテーマになるであろう。最後に、消滅処理研究においても、国内での研究資源の活用への制限や役割分担不明確さが、効率的な研究の進展を妨げている点を指摘したい。特に、特殊な実験装置や施設の利用がサイクル

機構や原研に限られている点や大学の研究能力の活用が十分になされていないことは、新しい発想と新しい技術の進展を阻害しているといわざるを得ない。

なお、本研究会の内容は、京大原子炉の報告書として発行されているので[3]、興味をお持ちの読者はこれを参照願いたい。

9 謝辞

この研究会は、京大原子炉専門研究会である「アクチニドの化学と工学」専門研究会と、文部省科学研究費補助金 基盤研究の「環境負荷低減を目指した核燃料サイクルと廃棄物管理システムの企画研究調査」の合同研究会として開催したものである。このような密度の高い研究会を開催された京大原子炉専門研究会の所外責任者木村逸郎教授、及び所内責任者森山裕丈教授、科研費研究会

代表者の東大田中 知教授に改めて感謝申し上げたい。更に、本研究会に参加し貴重なご意見を述べていただいた参加者及び講演者の皆様に、改めて感謝申し上げたい。

引用文献

- [1] 日本原子力学会「消滅処理」研究専門委員会編：「消滅処理研究の現状」，日本原子力学会 (1994).
- [2] 平成8年度 文部省科学技術研究費（基盤研究(A)(1)）研究成果報告書，課題番号 06302081 研究代表者木村逸郎：「長寿命核廃棄物の消滅処理法に関する基礎的研究」(1997).
- [3] 京都大学原子炉実験所 平成10年度「アクチニド元素の化学と工学」専門研究会報告書，KURRI-KR-34 (1998).