

I C E N E S '91  
(6th International Conference on Emerging  
Nuclear Energy Systems)  
会議報告 ( 2 )

(日本原子力研究所) 高田 弘

1. はじめに

国際会議 6th International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems では 37 件の口頭発表と 75 件のポスター発表が予定されたが、ポスター発表において一部の辞退者（主に共産圏）があった。これに加えて昼食会、Banquet においても招待講演が行われた。この招待講演では、水爆の製造者として知られる E. Teller による軽水炉のこれまでの発展経緯と今後の役割についての講演や C. S. Starr (元 EPRI) によるエネルギー政策の果たすべき役割と題する講演などが行われた。

本報告では、主に核分裂反応エネルギー利用に関する議題について取り上げる。今回の会議において、この分野は次の 3 つの話題に大別できると思われた。

- (a) 固有安全性、受動的安全性を備えた将来の核分裂炉
- (b) 核分裂エネルギーを利用した宇宙推進システム
- (c) 加速器と組み合わせたハイブリッドシステム

以下に主な発表の概要を紹介する。

2. 会議報告

(a) 固有安全性、受動的安全性を備えた将来の核分裂炉

将来の核分裂炉の話題については、17日に口頭発表が行われ、19、20日にポスターセッションが行われた。

口頭発表

はじめに T. Pigford (U. C. Berkley) が核廃棄物の核変換処理（消滅処理）の問題点と題する講演を行った。講演では、核廃棄物の量としては  $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{129}\text{I}$  などの核分裂生成物（FP）が大きな割合を占めているので、FP 核種の核変換量が重要であるが、中性子吸収断面積は数 mb と小さく効率良い大量の処理は期待できない。消滅処理システムに必要な核燃料サイクル施設については、核拡散防護に対する新たな措置が必要でリスク及びコストがかかる、などの核変換処理に対する問題提起が行われた。

H. H. Hennies (KfK) は LMFBR の安全性研究について講演した。ここでは、炉心溶融

事故に対して受動的安全性を有する炉心キャッチャー、蒸気爆発が発生した場合に破壊することなく放射性核種の放出を抑える能力を備えた格納容器、崩壊熱の自然冷却による除熱システムなどの設計研究結果が報告された。

B. Wolfe (GE) は これまでに確立された技術に基づく沸騰水型原子炉 ABWR (1300 MWe) と SBWR (600 MWe) の紹介を行った。講演では、これらの炉における固有安全性、冷却系、制御計測系、構造系などについてその特徴が発表された。

C. E. Till (ANL) は ANL における金属燃料高速炉 (Integral Fast Reactor) の研究成果として U-Pu や U-Pu-Zr 金属燃料の燃焼特性、燃料サイクル、この炉が一次系ポンプ停止事故に対して反応度フィードバックによる安全性を有することなどを報告した。

L. Blue (GA) は GA が設計したペブルベッド黒鉛減速型ヘリウム冷却炉の紹介を行った。この炉は固有安全性として、冷却路閉塞事故の場合、外気による自然循環による冷却が可能であることを特徴としていた。固有安全性を備えたこの炉では 350 MWt の熱出力が得られるが、実用プラントとしては、モジュール 4 基で 1400 MWt の熱出力を発生することが考えられており、その設計結果も報告された。

J. C. Kuijper (Delft 工科大、オランダ) は反射体領域とコイルを巻いた引き出し領域からなるガス炉心について発表した。この炉心の特徴は、ガスがこの領域間をピストン運動することによって発電が行われることであった。これを定性的に示すと次の通りである。イオン化したガスが磁場で反射体部に圧縮されると超臨界状態になり加熱、加圧される。これによりガスは膨張し引き出し領域まで移動する。ここで、熱から電気へエネルギー変換された結果、ガスは未臨界状態に戻り再び磁場により反射体領域に圧縮される。発表ではガスのピストン運動の解析結果が報告された。

P. G. K. Dorozslai (COMTAG、スイス) は地域暖房、海水脱塩に利用することを目的とした小型軽水炉 (GEYSER 炉) について講演を行った。ここでは、原子炉をホウ素水プールに収めることによって得られる固有安全性、冷却水中のホウ素濃度の自動調整によって自動運転が可能となる点等の特徴が紹介された。また、地域暖房に利用する際、経済のコストを抑える観点から行った熱変換システムの検討結果も報告された。

S. A. Colgate (LANL) は核廃棄物の地層処分立場から、地層変動に対して 1 万年の耐久性を有する廃棄物格納施設構造設計を示した。

### ポスター発表

A. A. Harms (McMaster大、カナダ) は中性子吸収反応  $X(n, \gamma)Y$  において、核種 X の中性子吸収断面積がドップラー効果により増加し、かつ、生成核種 Y が大きな中性子吸収断面積を有するならば、これらの核種の中性子吸収反応により原子炉の暴走を抑

止することができることを発表した。このような核種 X/Y として、 $^{176}\text{Lu}/^{176}\text{Lu}$ 、 $^{181}\text{Ta}/^{182}\text{Ta}$  が挙げられた。

J. E. Quinn (GE) は 2010 年代に実用化を目指した出力 465 MWe の高速炉のプラント設計、燃料サイクルの検討、廃棄物処理及びそれに係る経済性の成立性を示し、今後の開発プランを示した。特徴として、冷却材損失事故において受動的熱除去能力を有すること、過大出力等に対応して安全な定常状態に移行できる受動的反応度制御能力を有することなどが挙げられた。

W. Boersma-Klein (FOM、オランダ) はガス炉心において炉心と炉壁の間の境界層の熱的検討結果を報告した。ここでは、2000~10000 K の温度環境における輻射、熱伝導、熱伝達、対流などの熱特性、及びそれらを用いた温度計算結果が示めされた。

Y. Watanabe (Florida大) は磁場により安定化された流動層炉の炉心概念、燃料粒子に関する検討結果、安全面の特徴などを報告した。

E. U. Bashlakova (Kurchatov) は熔融塩炉を用いた場合の安全性について報告した。ここでは熔融塩燃料炉心と被覆粒子燃料を熔融塩で冷却する 2 つの炉心について、各々の炉心は冷却材の供給停止事故、二次系における強制対流の停止事故に伴う温度変化について固有安全性を有することを報告したほか、燃料塩からの放射性核種放出量の評価結果も発表した。

#### (b) 核分裂エネルギーを利用した宇宙推進システム

宇宙利用に関する発表は、17日にポスターセッション、18日に講演が行われた。この分野については、前回の発表件数が数件であったのに対して今回は13件あった。これは開催地が米国であり、1989年に火星への有人飛行の実現等を言及した宇宙開発指針 SEI (Space Exploration Initiative) が出されたことを反映していたと言えよう。多種多彩の炉心の利用可能性が示され、参加者の関心を集めていた。

#### 口頭発表

講演では、M. Klein (Electric Power Research Inst.) が 1960 年代に行われた原子力の宇宙推進システムへの利用計画 (NERVA 計画: Nuclear Engine for Rocket Vehicle Applications) 計画のレビューを行い、固体燃料、黒鉛減速、水素冷却炉を用いた推進システムの実験を紹介したほか、今後のミッションの実現に向けた展望の講演を行った。R. J. Bohl (LANL) は原子力ロケットの利用と題して、原子力ロケットの開発の歴史をレビューした。ここでは NERVA 計画における実験の変遷を始めとし、それを包括する ROVER 計画で行われた実験についても紹介された。また、I. K. Konkashbaev (Kurchatov) は電磁プラズマ加速による宇宙推進システムについて

講演した。

### ポスター発表

R. J. Lawrence (SANL:Sandia National Laboratory) は出力 100 MW のレーザーを利用してペイロード 50 kg の宇宙船を地球上 20 km の軌道へ打ち上げるシステムを発表した。この中では、宇宙船においてレーザー出力を熱変換し水素加熱し推進力を得る方法が示された。D. A. McArthur (SANL) はレーザー発生に原子炉を利用するシステムについて、SANL のパルス炉 (ピーク中性子束  $8.7 \times 10^{17}$  n/cm<sup>2</sup>/sec) を用いた方法を説明した。

G. Chapline (LLNL) は核分裂片のエネルギーを宇宙推進に利用する方法として、数千オングストロームの厚さの円盤に <sup>242m</sup>Am など塗布した燃料、減速体及び反射体から成る炉心において、核分裂片のエネルギーを水素ガスに付与し、推進力を得るシステムの設計結果を示した。V. V. Glaskov (Moscow Power Eng. Inst.) は気体冷却材を核分裂片のエネルギー付与によって数千Kまで加熱し、MHD発電等により出力を得る概念を示した。A. J. Suo-Anittila (SANL) は BeO 薄板に UO<sub>2</sub> を塗布した燃料板を用いた炉心において、核分裂片のエネルギーを水素ガスに付与し推進力を得る概念を示した。

H. Ludewig (BNL) はヘリウム冷却パーティクルベッド炉の炉心設計結果を示した。この炉心は火星への飛行に利用するために寿命が7年と想定されており、出力として 0.3~21 MWt を得るものであった。

A. C. Klein (Oregon州立大) は宇宙における電力供給源に原子炉を目的で行った熱電子炉の設計計算結果を報告した。炉心は 95% 濃縮 UO<sub>2</sub> 燃料、ZrH 減速材、タングステンエミッター、ニオブコレクター、NaK 冷却材で構成され、20~50 kWe の出力を得ることができるものであった。

O. C. Jones (Rensselaer 工科大) は 250~5000 MWt の出力を得る回転流動層炉の炉心設計、燃料粒子の流動に対する安定性をまとめた報告を行った。

### (c) 加速器と組み合わせたハイブリッドシステム

加速器と核分裂炉を組み合わせたハイブリッドシステムに関する発表は主にポスターセッションで行われた。消滅処理に関する話題が中心であり、原研、LANL、BNL などが発表を行った。いずれも陽子ビームが入射する近傍における熱出力のピークを抑制する目的で PB-Bi、W などの非核分裂性物質をターゲットに用い、その周囲に燃料を配置する炉心概念に基づいたものであった。それぞれの特徴は次のとおりであった。

原 研： タングステンターゲット、ピンバンドル型 TRU 金属燃料及びナトリウム

冷却材で約 0.9 の実効増倍体系を構成し、1.5 GeV、39mA 陽子加速器を用いて 800 MWt の熱出力を得て、年間に 250 kg の TRU 核種を処理する。

BNL：液体鉛-ビスマスターゲット、金属燃料、 $^{232}\text{Th}$  ブランケット及びナトリウム冷却材からなる炉心と 1 GeV、28mA の陽子加速器により 900 MWt の熱出力を得るとともに、85 kg の  $^{233}\text{U}$  を生成する。加速器についてサイクロトロン、リニアックを利用する場合の各々の仕様検討例も示された。

LANL：原研、BNL のシステムが高速中性子を利用するのに対して LLNL のシステムは熱中性子を利用するものであった。このため炉心は液体鉛-ビスマスターゲット、重水減速材、溶解塩 FP、溶解塩 TRU で構成された。1.6 GeV、140mA の陽子ビームによって  $1 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$  の熱中性子束が得られる。この値は、 $^{237}\text{Np} (n, \gamma)$   $^{238}\text{Np}$ 、 $^{238}\text{Np}$  (半減期 2.1d)  $\rightarrow$   $^{238}\text{Pu}$ 、 $^{238}\text{Pu} (n, \gamma)$   $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{239}\text{Pu} (n, f)$  となる連鎖反応において  $2 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$  より高い熱中性子束の場合、 $^{238}\text{Np}$  の崩壊の割合よりも核分裂反応の割合が大きくなり、連鎖反応全体としては中性子生成反応と見なせることから決定された値であった。また、このシステムでは装荷量が 100 kg 程度でも、効率良い核変換が可能であることが示された。

また、ターゲット領域の熱的検討、高エネルギー核子・中間子輸送コード(LAHET)と ANISN などを組み合わせた炉心の輸送計算、陽子加速器の RFQ、DTL、CCL などの設計結果について、各々ポスターによる発表が行われた。

Konashi (PNC) は、 $^{90}\text{Tc}$  を中性子共鳴吸収反応で核種変換する方法において、中性子場の中へ加速した  $^{90}\text{Tc}$  を入射する方法を提案し、そのシステムにおける原子核の加速システムなどの概念検討結果を示した。

消滅処理については、原子炉を利用する方法も BNL によって報告された。その内容は、出力密度 5 MW/1、熱中性子束  $1 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$  のヘリウム冷却パーティクルベッド炉について ORIGEN2 コードを用いた燃焼計算を行った結果、20 日間で初期装荷量 17.5 kg の Np、Am 及び Cm の約 50% を燃焼できるというものであった。この他、V.V. Artisyuk (Obninsk Inst. of Nucl. Power Eng.) はミューオン触媒核融合の利用として、 $\pi$  中間子発生用の Be ターゲットの周囲に  $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{237}\text{Np}$  を配置し核変換するシステムの報告を行った。

### 3. まとめ

以上は核エネルギー利用システムに関する話題であったが、会議ではエネルギー政策のテーマも取り上げられており、口頭発表 4 件、ポスター発表 3 件が行われた。ここでは、CO<sub>2</sub> 問題に見られる地球環境の保護、資源利用という立場で原子力の果たす役割が議論された。また、この会議から新しく発表されたテーマに反陽子の慣性閉じ

込め核融合への利用などがあつた。詳細は報文集 (Fusion Technology V20. No. 4, Part2 (1991) 513-1072) を参照されたい。

閉会時には、原子力エネルギー利用を推進していく上で、今後は原子炉の受動的安全化、核拡散防止、廃棄物処理等が克服すべき課題であるとの見解が示された。最後に世界的な傾向として原子力専攻の学生数の減少が見られることを危惧する意見が出され、これに対応するためにも今後一層創造的な発想により魅力ある研究課題を抽出する必要があるという言葉で会議の幕を閉じた。尚、次回会議は1993年に日本で開催されることが決定した。以下にその案内を掲載する。

### ICENES' 93の開催について

会 期：1993年9月20日～24日 (予定)

会 場：千葉市幕張メッセ国際会議場

主 催：日本原子力研究所

#### Topics

- (1) Roles of nuclear energy in a future energy system, which is most suitable to the prosperity of human society with accomplishing environment preservation.
- (2) Prominent energy production system, utilizing the fusion reactions.
- (3) Advanced energy production and utilization systems based on the fission reactions.
- (4) Fusion-Fission hybrid system.
- (5) Application of large scale accelerator.
- (6) Exiotic energy storage and conversion.