

## < 国際会議報告 >

### 加速器駆動システム (ADS) に関する研究開発の国際的な動向

日本原子力研究開発機構

大井川宏之、佐々敏信、武井早憲、西原健司、菅原隆徳

#### 1. はじめに

加速器駆動核変換システム (ADS) は、マイナーアクチノイド (MA) の核変換、エネルギー生産、トリウム利用等に適用可能な革新的原子力システムとして、世界各国で活発に研究開発が進められている。特に欧州では、欧州原子力共同体 (EURATOM) の第 6 次枠組みプログラム (FP6) として、ADS の総合的な研究開発プロジェクトである EUROTRANS が進行中である。また、IAEA や OECD/NEA でも国際的な協力プログラム等が行われている。さらに、中国やインドでも ADS の基礎的な研究開発が進められている。

本稿では、主に昨年から今年にかけて行われた様々な国際会議、ワークショップ等によって得られた情報を基に、ADS に関する国際的な研究開発動向をまとめる。

#### 2. 欧州 EUROTRANS プロジェクト

EUROTRANS プロジェクトは、2005 年 4 月から開始されたもので、15 カ国 (独、仏、伊、英、スペイン、ベルギー、ブルガリア、ポルトガル、オランダ、チェコ、スイス、ポーランド、オーストリア、スウェーデン、日) の 30 機関 (研究所や私企業) と 17 の大学が参加している。日本からは日本原子力研究開発機構 (以下、原子力機構) が 2007 年 4 月から参加している。予算総額は 45M ユーロで、この内 EURATOM が 23M ユーロを拠出している。計画期間は当初 4 年間とされていたが、後述する加速器-未臨界炉結合実験 GUINEVERE の開始が最近になって決まったため、1 年延長して 2010 年 3 月までとなる予定である。

プロジェクトの総括機関はドイツのカールスルーエ研究所 (FZK) であり、プロジェクト責任者は同研究所の J. Knebel 氏が務めている。プロジェクトは次の 5 つの領域で構成されている。

領域 1: ADS の設計

領域 2: 加速器-核破砕ターゲット-未臨界炉心の結合実験

領域 3: 核変換システムのための先進燃料

領域 4: 核変換システムのための構造材料及び液体重金属技術の開発と評価

領域 5: 核変換のための核データ

炉物理に関連する項目としては、領域 1 での核設計並びに領域 2 及び領域 5 の全体である。

領域 1 の核設計では、単位出力あたりの MA の核変換量をできるだけ多くするだけでなく、未臨界状態で運転される ADS の特徴を踏まえ、燃焼反応度の低減化や出力密度の平坦化を図ることが要求される。さらに、高エネルギーの陽子や中性子の挙動の精度良い予測も重要となる。図 1

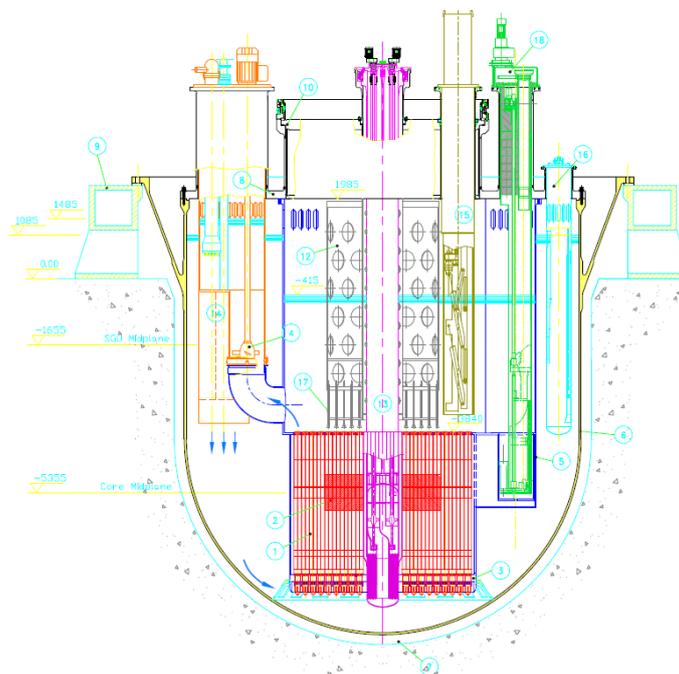


図 1 欧州の鉛冷却材プール型実用 ADS (400MWt) である EFIT の概念

を示す。冷却材及び核破砕ターゲットに純鉛を用いる。核破砕ターゲットには窓なし概念を採用する予定である。この他に、実験炉級 ADS である XT-ADS をベルギー-SCK・CEN のモル研究所に建設するための設計検討も進められている。

領域 2 では、イタリア ENEA カサッチャ研究所の TRIGA 型炉に DT 中性子源を接続した RACE-T 実験、米国・アイダホ州立大の電子加速器中性子源の周りに核燃料を配置した RACE-ISU 実験、ベラルーシの DT 中性子源施設を用いた YALINA 実験等が進捗中である。また、以前にフランス CEA カダラッシュ研究所の高速炉臨界実験施設 MASURCA で行われた ADS 模擬実験 MUSE の後継実験として、ベルギー-SCK・CEN モル研究所の軽水炉模擬臨界実験装置 VENUS を鉛冷却 ADS 模擬体系に改造する GUINEVERE 実験計画が進行中である。GUINEVERE 実験のための VENUS 集合体の改造は既に始まっており、2009 年 9 月頃から実験が開始される予定である。図 2 に実験施設の概念図を示す。

領域 5 では、MA 核データの取得・評価、高エネルギー核データの取得・評価に加え、共分散データの整備や感度解析による核設計精度の検討も含まれている。

EUROTRANS に限らず、欧州枠組みプログラムでは、教育の観点が重視される。魅力的で総合的な研究テーマに欧州内の多くの研究機関・大学・企業が参加するため、学生達は国境や分野を超えた多様な研究者・技術者と接触する機会ができ、多くのことを吸収していくことが可能になる。

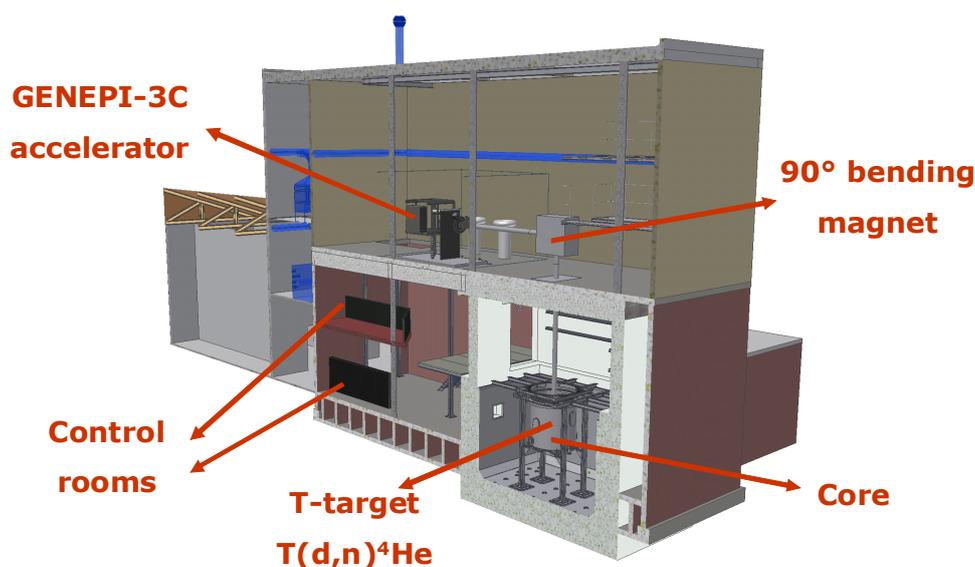


図 2 ベルギーSCK・CEN のモル研究所で予定される GUINEVERE 実験計画の概念図

### 3. OECD/NEA が主催する「高出力陽子加速器の利用と信頼性に関するワークショップ」

第 5 回高出力陽子加速器の利用と信頼性に関するワークショップ (HPPA) が、2007 年 5 月 7 日～9 日に、ベルギーSCK・CEN のモル研究所にて開催された。OECD/NEA が主催する本ワークショップは、加速器分野と原子炉工学分野の接点について議論することを目的とした唯一の国際会議であり、第 1 回は旧原研が中心となって 1998 年に水戸において開催した経緯がある。今回は 2004 年の韓国開催に続く第 5 回である。

ワークショップは、スイスのポール・シェラー研究所 (PSI) において昨年成功した液体鉛ビスマス核破砕ターゲットの国際共同実験 MEGAPIE に関する特別セッションの後、高出力陽子加速器の開発状況、加速器の信頼性、核破砕ターゲットの開発と冷却材技術、未臨界炉の設計、ADS の実験をテーマとする 5 つのセッションで構成された。発表件数は 42 件、10 カ国 (ベルギー、仏、独、伊、日、ポルトガル、中、韓、スイス、米)・1 機関 (OECD/NEA) から約 70 名 (日本からは 7 名) の参加があった。

今回のワークショップで特筆されるのは、加速器の停止頻度と未臨界炉心の熱衝撃疲労の関係が次第に整理され、ADS の成立性が議論できるレベルになりつつあるということである。

例えば、欧州からは、1 秒を超えるビームトリップの制限頻度目標を 3 ヶ月間で 5 回未満と設定し、低エネルギー部の二重化等の方策でこの目標を達成可能であるとの見解が示された。また、米 ORNL の核破砕中性子源 SNS の超伝導加速器では、故障した加速管を検出して除外し、その下流にある加速管の位相を調整することで、速やかに加速器を復帰できる機構を開発したとの報告があった。

本ワークショップは、今後、「Workshop on Technology and Components of the ADS

(TCADS)」とタイトルを変えて、次回は 2009 年秋にドイツで開催される見込みである。

#### 4. IAEA における ADS 炉物理に関するベンチマーク解析

IAEA における国際共同研究 (CRP) 「加速器駆動システム (ADS) の解析的及び実験的ベンチマーク解析」に関する第 2 回会合が 2007 年 11 月に開催された。会合には 18 の参加国 (アルゼンチン、ベラルーシ、ブラジル、中、独、ギリシャ、ハンガリー、印、伊、日、韓、パキスタン、ポーランド、露、セルビア、スペイン、ウクライナ、米) と IAEA から 43 人が参加した。本 CRP の目的は、最近各国で盛んに行われている臨界集合体を用いた ADS 炉物理実験を中心に、ADS に関わるベンチマーク問題群を整理し、それに対する参加各機関からの計算結果をまとめて、計算手法や実験手法に対する提言を行うことである。主なベンチマーク問題を以下にまとめる。

- ・ YALINA-Booster/-Thermal (ベラルーシ) : 臨界集合体を用いた D-T、D-D 源による ADS 実験である。  
-Booster は中心に高濃縮ウランの高速領域を持つカスケード型炉、  
-Thermal は全炉心がポリエチレン減速の熱炉である。
- ・ 核破碎ターゲット (ロシア) : ITEP と DUBNA から個々に提案された、陽子+鉛 (あるいは、タングステン) ターゲットの実験結果に対応した問題である。ITEP では薄膜を用いた核破碎生成物生成断面積測定や、厚いターゲットを用いた放射化法による中性子束分布測定などが広範囲に精度よく行われている。
- ・ FEAT・TARC (スペイン) : FEAT 実験は軽水減速天然ウラン燃料の集合体 ( $k_{eff}=0.85$ ) に高エネルギー陽子 (0.6~2.75GeV) を入射する実験、TARC は鉛スペクトロメータに同様の陽子ビームを入射する実験である。
- ・ KUCA (日本) : 京大 KUCA で行われた D-T 中性子源を用いた実験の解析が提案されている。また、予定されている FFAG 加速器からの 150MeV 陽子を用いた実験についての問題を 2009 年中に追加する予定になっている。
- ・ Pre-TRADE (イタリア) : ENEA における TRIGA 型炉と D-T 中性子源を用いた ADS 実験である。
- ・ ADS 性能評価 (日本、EU) : 本問題群では実験の有無に関わらず、ADS に対する解析コードの精度を検証するものである。原子力機構からは、800MWth 出力の ADS の問題を提案している。その他、ドイツからは、燃焼コード検証のために軽水炉使



図 3 ベラルーシで行われている YALINA 未臨界実験

用済み燃料組成実験 (ICE 実験) が提案された。

今後、2008 年 5 月までに、最初の計算結果を各問題の取りまとめ機関に提出し、2008 年 8 月までに取りまとめが行われる。その後 2009 年 3 月までに報告書のドラフトが作成される予定である。

#### 5. アジア ADS ネットワーク会合

本ワークショップは、ADS に関するアジア間の情報交換を目的として、旧原研が提唱して 2003 年に開始したもので、日本、中国、韓国を中心に毎年行われ、今回は 5 回目の開催である。本ワークショップでは従来 ADS についてのみ議論してきたが、革新的原子炉も対象に含むようにタイトルを「ANINS-ANADS - Asian Network for Innovative Nuclear System - Asian Network for Accelerator Driven System」とし、液体重金属冷却材を用いた核変換用高速炉の研究を活発に行っている韓国・ソウル国立大学 (Seoul National University : SNU) が主催した。会議は、2007 年 11 月に開催され、30 名 (韓国 19 名、日本 8 名、中国 3 名) が参加した。

SNU では、鉛冷却型高速炉 PEACER-300 が検討されており、関連する研究として、鉛ビスマスの流動ループ HELIOS を用いた実験や、安全解析等が行われている。

中国原子能科学研究院 (CIAE) では、新しい 5 カ年計画が認可され、鉛ビスマスのループ実験や信頼性の高い加速器開発、高出力での未臨界実験に関する検討が行われることが紹介された。

インドからは参加者はなかったが、事前に活発な活動状況を示す報告書が送られてきており、その紹介がなされた。インドでは、トリウム利用のために ADS 開発を進めている。

次回は 2008 年の秋に中国にて開催予定である。

#### 6. おわりに

世界における ADS に関する研究開発では、次段階として、陽子ビームと未臨界体系の結合実験が必要とされている。我が国では、京大炉の KUCA と FFAG 加速器を用いた実験及び J-PARC 第 II 期計画である核変換実験施設によって、国際的に重要な役割を果たすことができると考えられる。これらの施設を核変換技術に関する炉物理の国際的な拠点として、アジア地域を始めとする諸外国からの実験参加を促進していくことが望まれる。