

J-PARC第Ⅱ期計画における 核変換実験施設について

平成21年2月26日

日本原子力研究開発機構

核変換実験施設の位置づけ

- 旧原研は、大強度陽子加速器による核破砕中性子源を用いて、生命・物質科学の研究、高レベル廃棄物中の核種変換技術研究等を推進する「中性子科学研究計画」を検討していた。
- 高エネルギー加速器研究機構(KEK)では、大強度陽子加速器の作り出す様々なビームを素粒子、原子核、物質科学の研究に利用する「大型ハドロン計画」を検討していた。
- 平成11年に両計画を統合して「大強度陽子加速器計画」(後に、J-PARCと称する)とし、国際レビュー、国の第三者評価を経て、平成13年より第Ⅰ期施設の建設に着手した。平成20年度より、施設利用運転を開始した。
- 核変換実験施設は、第Ⅱ期施設として位置付けられている。
- 平成19年の国のJ-PARC中間評価では、「核変換技術については、重要な基盤技術として引き続き研究開発を進める必要があるが、核変換実験施設の整備については、原子力政策全体の中で検討していく必要があり、今後、原子力委員会等の評価を踏まえて進めていくことが適当である」とされている。



J-PARCの加速器及び施設の全景

計画当初の施設概念 (平成15年11月7日大強度陽子加速器計画評価作業部会)

核変換物理実験施設 TEF-P

目的：低出力で未臨界炉心の物理的性質を探るとともに、ADSの運転制御経験を蓄積する

施設区分：原子炉(臨界実験施設)

陽子ビーム：600MeV、10W

熱出力：500W以下

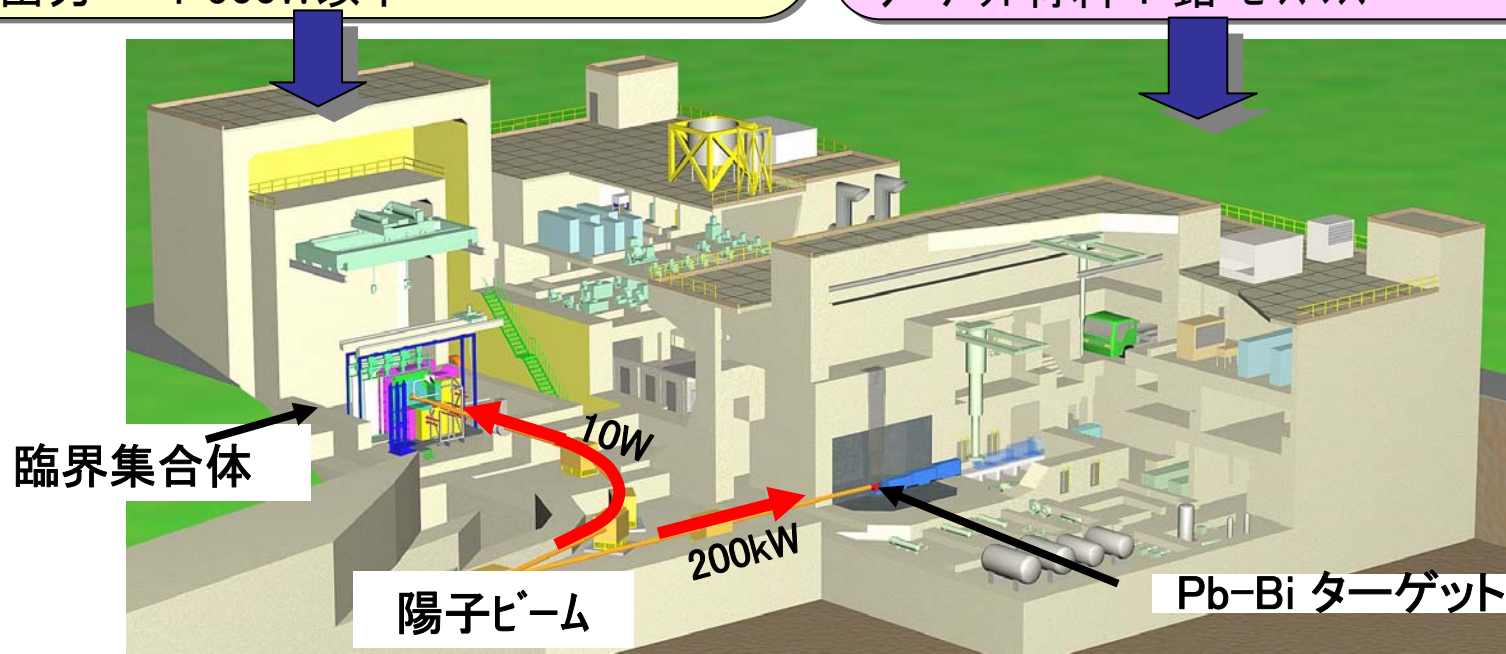
ADSターゲット試験施設 TEF-T

目的：200kWの陽子ビームで核破砕ターゲットの技術開発と材料の研究開発を行う

施設区分：放射線発生装置

陽子ビーム：600MeV、200kW

ターゲット材料：鉛・ビスマス



核変換物理実験施設(TEF-P)での研究開発課題

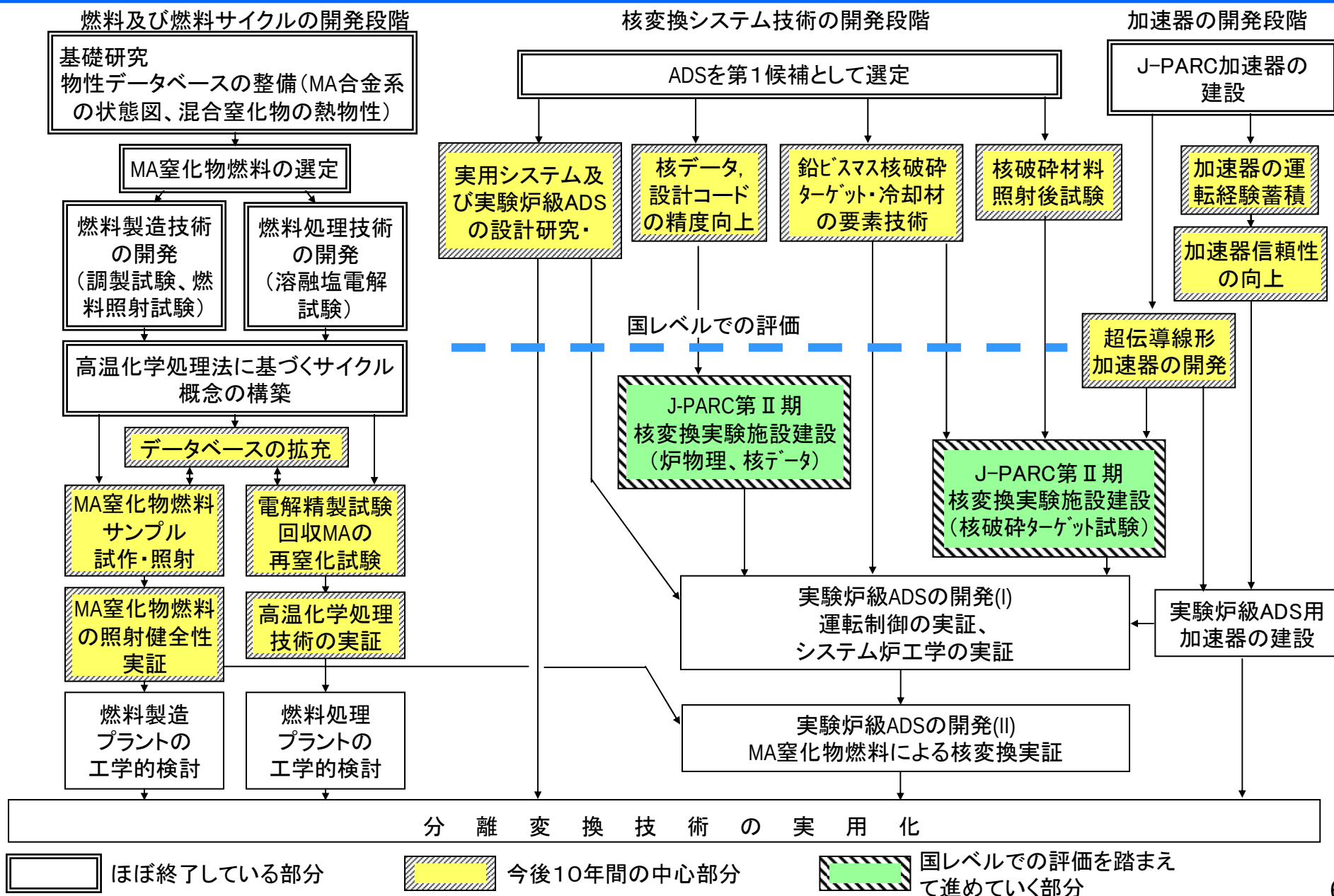
研究・開発の目的	研究・開発課題
核破碎中性子源で駆動される高速未臨界体系の核特性予測精度評価	未臨界体系における出力分布
	未臨界度の決定
	中性子源の実効強度
	高エネルギー中性子の影響
	ターゲット、ビーム窓、ボイドの存在
	鉛-ビスマス冷却材の模擬
加速器駆動ハイブリッドシステムの運転・制御性検証	ビーム出力の調整によるフィードバック制御
	ビームトリップ時及び立ち上げ時の挙動
	温度係数の測定（炉心、ターゲット）
	出力振動、炉心のデカップリング
	エネルギー増倍率の決定
ADS及び高速炉におけるMA及びLLFPの核変換特性評価	MAの核変換率測定
	MA、LLFPのサンプル反応度価値測定
	LLFP用減速領域付き体系の核特性
	パルス中性子を用いた断面積測定
	MAや高次Puを含んだ燃料の部分装荷炉心による核変換システム模擬実験（冷却材ボイド反応度、ドップラー反応度、実効遅発中性子割合等）

ADSターゲット試験施設(TEF-T)での研究開発課題

研究・開発の目的	研究開発課題
陽子及び中性子による陽子 ビーム窓及び構造材の照射 効果	陽子ビーム窓の健全性及び寿命の評価
	陽子及び中性子の複合照射効果
	高速中性子照射場での材料照射データベースの整備
	応力条件下での材料照射データベースの整備
高放射線場における流動液 体金属と材料の共存性	照射による材料腐食の促進効果
	温度、冷却材流速及び酸素濃度をパラメータとした、液体 金属場における材料の共存性評価
	核破砕生成物の材料への影響
液体金属核破砕ターゲット の運転及び制御	液体金属核破砕ターゲットでの、ポンプ、熱交換器、純度管 理機構などの実証試験
	ビームトリップ及び再起動時のシステムの応答
	核破砕生成物及びポロニウムの管理
	システムの運転、制御、メンテナンス技術の開発・実証

(2) 施設の概念検討

核変換専用サイクルに関する今後の計画（第5回資料の再掲）



予備的研究提案(Letter of Intent)の募集

- 2006年2月から現在までに提出された利用要望の総数: 38件

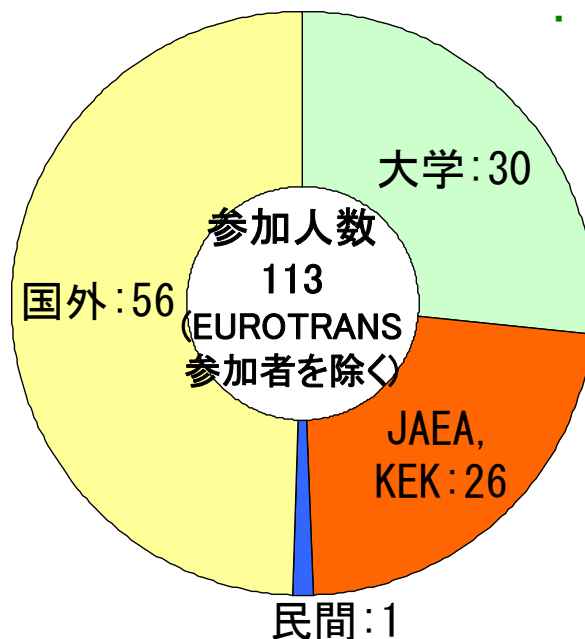
- 主な分野

1. ADSの炉物理 (加速器特性、多領域炉心、未臨界度等) 11件
2. 新型燃料、新型炉の炉物理 (MA装荷炉心特性、重金属冷却炉、LLFP変換等) 10件
3. 粒子スペクトル・核データ測定 (TOFスペクトル測定、MA閾値計測等) 6件
4. 高エネルギー物理・遮蔽・安全 (粒子挙動、ビーム輸送ライン遮蔽等) 5件
5. 原子核物理 (未臨界炉起源ニュートリノ計測、超冷中性子、短寿命核研究) 3件
6. 鉛ビスマス核破碎ターゲットの研究開発 (材料照射、技術開発) 2件
7. ホウ素中性子捕捉療法 (ビームダンプ利用) 1件

- 国外

- EUROTRANS(欧州)
- PSI(スイス)
- CIAE(中国)
- ソウル大(韓国)
- その他(マレーシア
セルビア)

- 民間 (1社)



- 大学等

- | | |
|----------|--------|
| - 北海道大学 | - 東北大学 |
| - 東京工業大学 | - 新潟大学 |
| - 名古屋大学 | - 大阪大学 |
| - 京都大学 | - 近畿大学 |
| - 九州大学 | - KEK |

- 原子力機構

- 原子力基礎工学研究部門
- 次世代原子力システム研究
開発部門
- J-PARCセンター

(3) ユーザーコミュニティの形成

「アクチノイド・マネジメントに関する炉物理実験施設」研究専門委員会

- ・ ユーザーの意見を施設に反映していくため、日本原子力学会内に「アクチノイド・マネジメントに関する炉物理実験」研究専門委員会を設置
- ・ 主な活動内容
 - － アクチノイド・マネジメントに関する炉物理実験について、高速炉・軽水炉を問わず多様なニーズを幅広く調査
 - － 上記の実験を行うために必要となる実験施設の仕様、性能を検討
 - － 上記の施設仕様などに対してTEF-Pや既存施設の適用可能性を検討
 - － その他の実験項目の可能性について広く検討するとともに、施設建設時期や共用する際の方法と問題点について検討
- ・ 核データ部会、加速器・ビーム科学部会、放射線工学部会からの意見も集約
- ・ 装置仕様、施設配置、利用形態などをユーザーの立場で検討
- ・ 検討期間：2年間（平成20年8月～平成22年3月）
- ・ これまでに3回の委員会を実施し、既存臨界集合体の現状とともに、MAを用いた炉物理実験の意義や高速炉の設計精度と実験精度の現状等を調査・検討

2008年のJ-PARC国際諮問委員会報告書での記載(要約)

- 2007年の国際諮問委員会(IAC)の諮問に従って、OECD/NEA、IAEA、アジア諸国、欧州(特にEUROTRANS)との重要な協力が行われていることは喜ばしい。
- 核変換の実験とADSの研究は共通の長期計画に則るべきである。J-PARCの核変換実験計画は、欧州の計画との補完関係にあると考える。
- IACは、原子力機構に、EUROTRANSの協力者と一緒になって、高速増殖炉とADSの両方を用いた先進的核燃料サイクルと核変換技術の研究について、核変換実験施設を用いた詳細で具体的な実験を提案することを強く推奨する。J-PARC第Ⅱ期は、核廃棄物の管理に関する革新的な研究分野において世界を先導する施設となることができるであろう。
- IACは、高度に安定なビームの開発のために、超伝導空洞を同時に備えることが、この実験計画に貢献すると考える。
- 地球温暖化防止の流れの中で、原子力利用の拡大が予測されるが、安全と核拡散と廃棄物が各国の最大の関心事である。分離変換技術の実験研究が、これらの課題のうちのいくつかへの解答になるであろう。
- 大学との連携も、公衆へ信頼感を与えるのに重要である。さらに、今後20年にわたって、新世代の科学者と技術者を育てることも必要である。原子力機構の東海の施設、先進的原子炉、J-PARC等での教育と訓練は、研究と工学の結合を強める機会を与えるものである。

OECD/NEAでの評価等

◎ 報告書「現在及び将来の原子力エネルギーシステムの研究開発ニーズ」(2003)
専門家グループは、重要な実験ニーズと利用可能な既存又は計画中の施設を組み合わせることによってNEA が後援する国際プロジェクトを設定する必要性が高いことを強調した。利用可能な研究施設には以下が含まれる。

- 高温環境下での材料照射試験を行う日本のHTTR
- 積分実験及び照射試験を行うフランスCEA の施設
- 高燃焼度燃料の物理学的検証を行うスイスのLWR-PROTEUS 施設及びベルギーのVENUS-REBUS 施設
- 核変換技術研究を行う日本のTEF-P／TEF-T 施設

◎ NSC(原子力科学委員会)では、2008年12月のビューロー会合にて、「マイナーアクチノイド・マネジメントのための積分実験専門家会合」の設置を承認。今後、以下の議論を行う予定。

- MA管理における核データ等に対する要求を満たすための方策(既存施設の利用とTEF-Pのような新たな施設の開発)
- そのために検討が必要な課題(MAサンプル供給、実験手法の改良)の解決法の検討
- MAマネジメントのための積分実験のための国際的な枠組み構築

(4) 国際的な位置づけ

OECD/NEA 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(2007年)

「ADS実験と試験施設」セッションの議長(ベルギー: Hamid Aït Abderrahim氏)のまとめ

“理論評価を終え、実験的実証へ”

- ・ **MEGAPIE**: 鉛ビスマス技術を用いた装置は、原子力の装置として使用でき、信頼性を持って運転できることが示された。→ **it works**
- ・ **SNS**: 高出力陽子加速器は現在運転されており、SNSでの耐故障性を有した設計の報告は、運転中の加速器の信頼性向上の方法を示すものである。→ **it works**
- ・ **MYRRHA/XT-ADS**: 窓なし型核破砕ターゲット概念の実験が進捗している → **it will be working**
- ・ **Coupling experiments**: 最も要求の高い未臨界炉心との結合実験が始まっており、既に見込みのある結果が出る (MUSE, TRADE, RACE)とともに、更なる実験が計画中である (YALINA, KIPT, KART, VENUS-1 and GUINEVERE) → **it is progressing**
- ・ **ADS Roadmap**: ロードマップは、より野心的なプロジェクトへの道を開くものである。例えば、**TEF-P → MTS, TEF-T → MYRRHA/XT-ADS → INDUSTRIAL SCALE ?**

MEGAPIE: メガワット級の鉛ビスマス核破砕ターゲット技術の実証のための国際共同実験。スイス・ポールシェー研究所の陽子加速器中性子源施設SINQを用いた。

SNS: 米国ORNLの陽子加速器中性子源施設。

MYRRHA: ベルギー原子力研究センターが持つ照射用ADSの計画。

XT-ADS: 欧州の核変換用ADSのプロジェクトEUROTRANSが目指す実験炉級ADSの計画。

MUSE: フランスCEAの臨界実験装置MASURCAでの未臨界実験

TRADE: イタリアENEAの研究炉を用いた未臨界実験

RACE: 米国の複数の大学で行われた未臨界実験

YALINA: ベラルーシで行われている未臨界実験

KIPT: ウクライナで計画中の未臨界実験

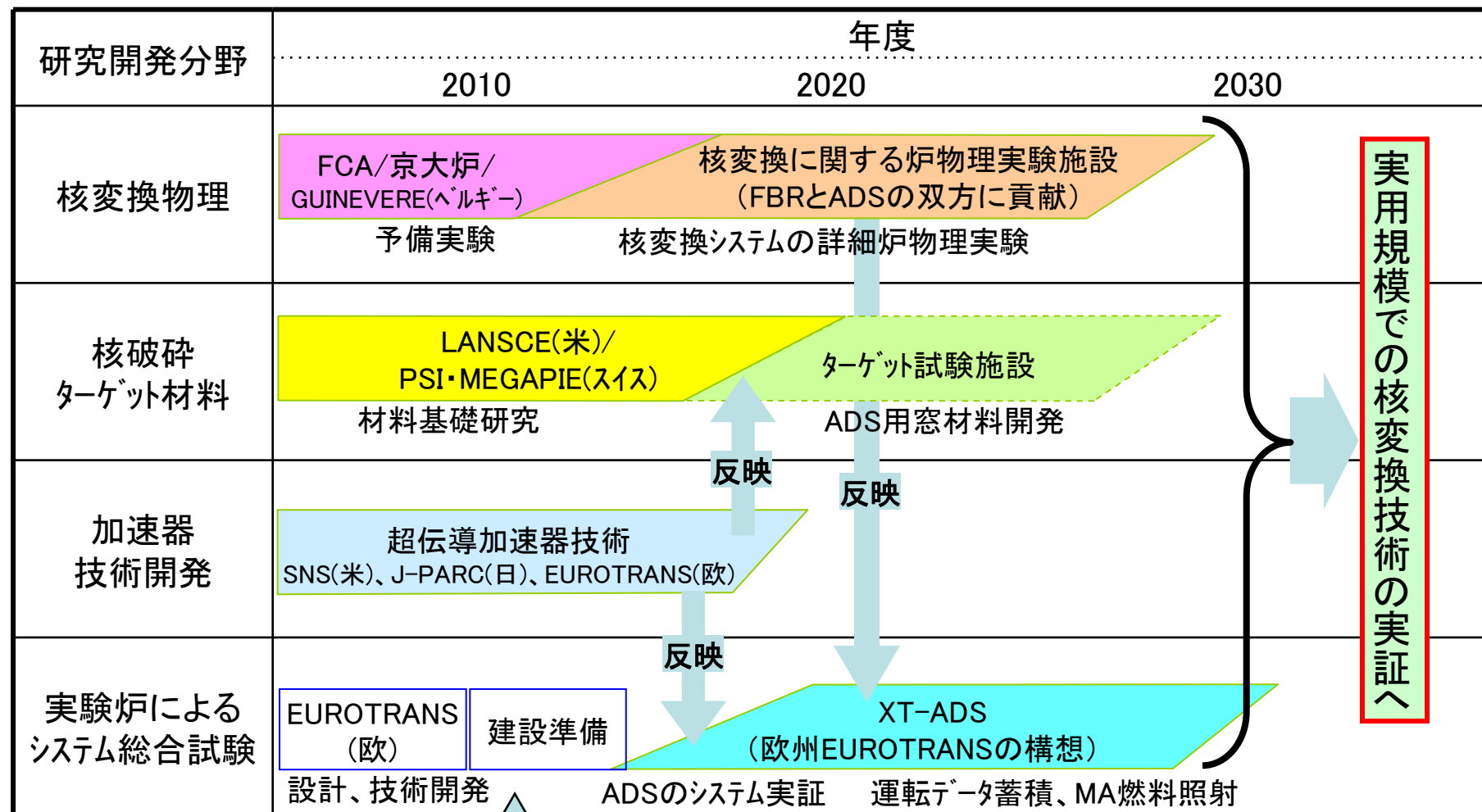
KART: 京都大学原子炉実験所の臨界集合体KUCAと陽子加速器FFAGを結合する未臨界実験

VENUS-1: 中国原子力科学研究院で実施中の未臨界実験

GUINEVERE: ベルギー原子力研究センターで準備中の未臨界実験

MTS: 米国LANLで計画中の加速器中性子源による照射設備

欧州を中心としたADSの研究開発との連携



フランスでは、2012年に分離変換技術の評価を実施

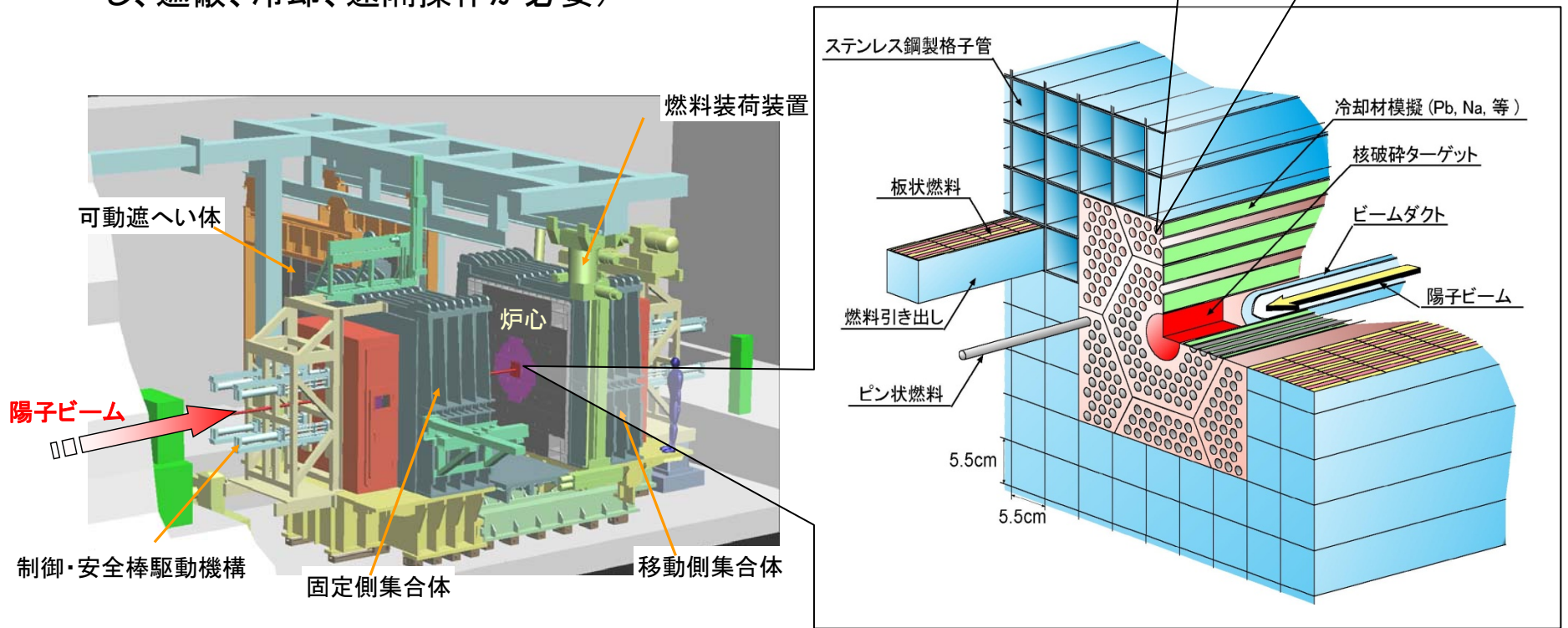
- EUROTRANS協力を基にロードマップの一元化を図り、資金負担を含めたJ-PARC第Ⅱ期への欧州の参加を促す。ADSの開発は、XT-ADSと相補的に進める。

まとめ

- ◆ J-PARC第Ⅱ期の核変換実験施設は、「核変換物理実験施設」と「ADSターゲット試験施設」で構成。
- ◆ 「核変換物理実験施設」は、陽子ビームと高速中性子増倍体系を結合する世界初の施設として、ADSのための基礎実験を実施。さらに、MA燃料を装荷可能な臨界実験装置とし、高速炉を含め、アクチノイド・マネジメントに関わる様々な物理実験が可能。
- ◆ 国内の研究者の実験ニーズ調査、海外との連携を進め、本施設を今後数十年にわたって核工学等の基盤的研究の国際的な研究拠点として活用したい。
- ◆ 今後、MA燃料の使用に関する装置の検討、施設の安全性の検討、MA調達の調査などを進め、国レベルでの評価及び予算の確保を前提に、建設着手を目指す。

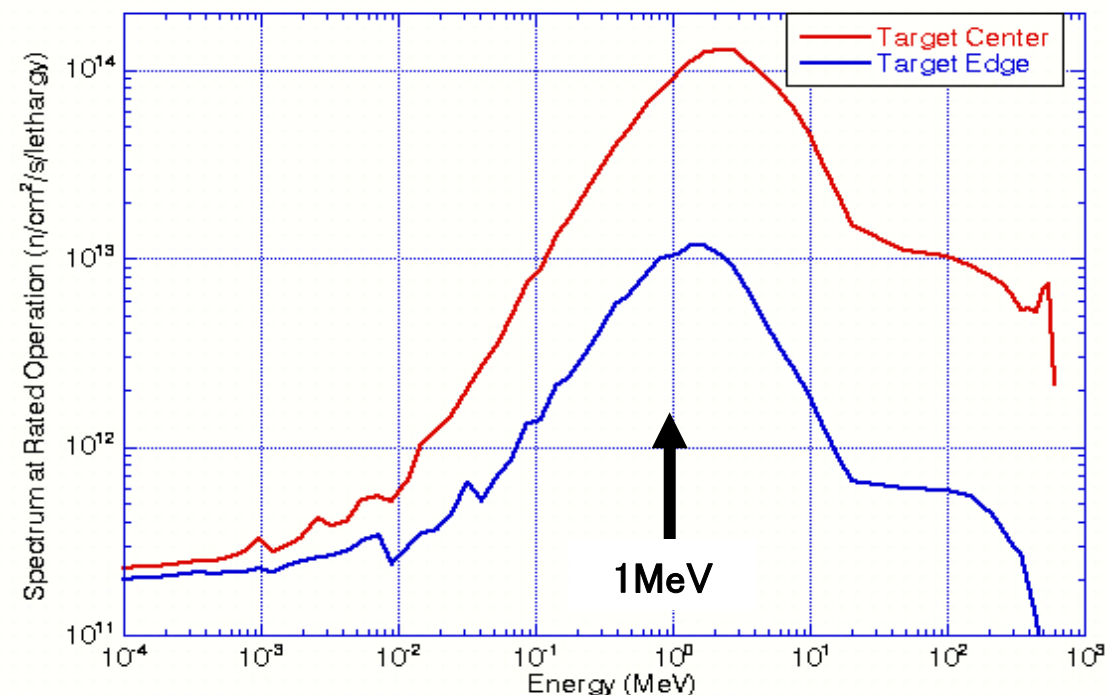
(参考) 核変換物理実験施設(TEF-P)

- 既存の高速炉臨界実験装置(FCA)に準拠した設計
- 核変換に係わる炉物理・核データの研究を実施 (ADSとFBRの双方に貢献)
- 10^{12}n/s 、25Hzの中性子源。レーザー荷電変換を用いるため、1nsのパルス幅が可能
- 中心5×5格子管を交換可能とし、**ピン燃料装荷実験**や**高発熱試料(MAやFP)を用いた実験**に供することのできるようにする。(但し、遮蔽、冷却、遠隔操作が必要)

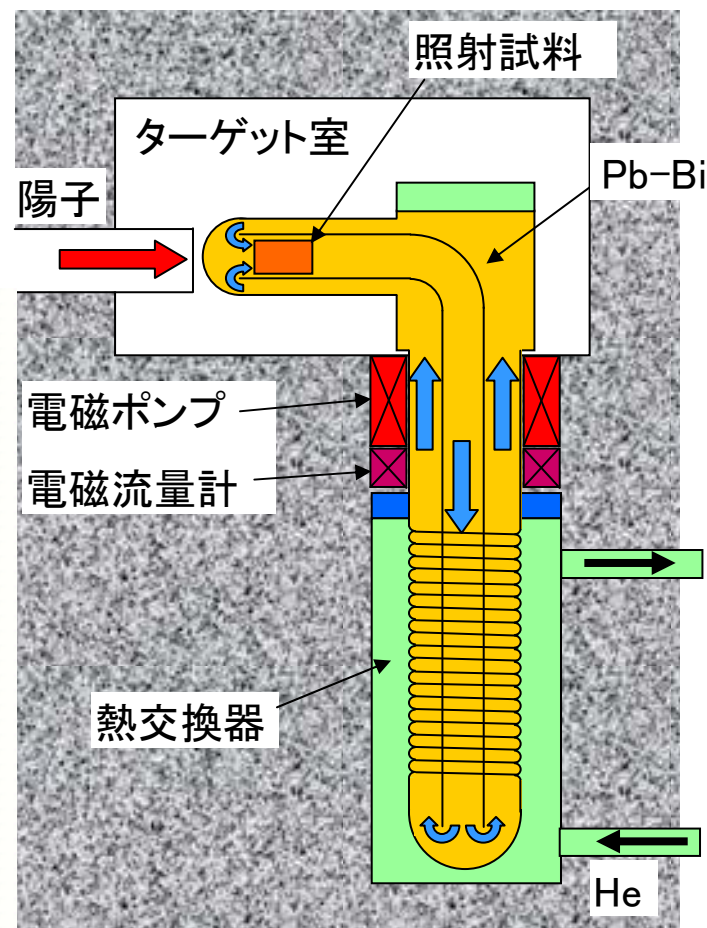


(参考) ADSターゲット試験施設(TEF-T)

- 陽子ビームと高速中性子による材料照射施設
- ADSのビーム窓候補材、FBR用構造材、核融合材料等の照射が可能
- 鉛ビスマス核破砕ターゲットの条件(温度、流速等)を変え、ADS実用化の際に必要なデータベースを構築



中性子束のエネルギー分布

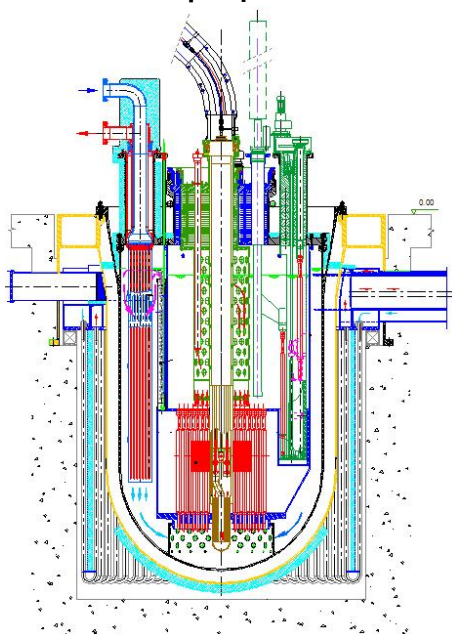


ADSターゲット試験施設で採用予定の
2重管型ターゲット概念

(参考) XT-ADSの概要

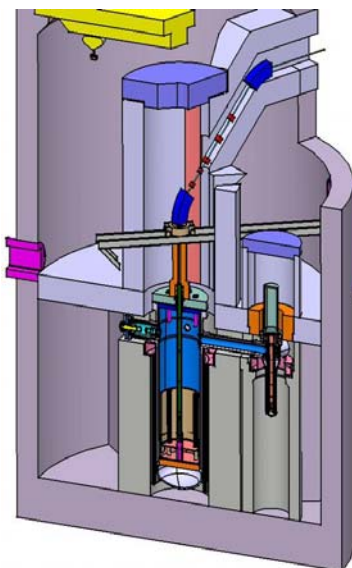
- ・ 熱出力: $\sim 70 \text{ MWth}$
- ・ 冷却材: Pb-Bi (又はHeガス)
- ・ 核破碎ターゲット: 窓なし型
- ・ 燃料: MOX (MA燃料集合体を数体装荷可能)
- ・ 加速器: LINAC ($600\text{MeV} \times 2.5\text{mA}$ 又は $350\text{MeV} \times 5\text{mA}$)

80MWth
Pb-Bi 冷却 XADS



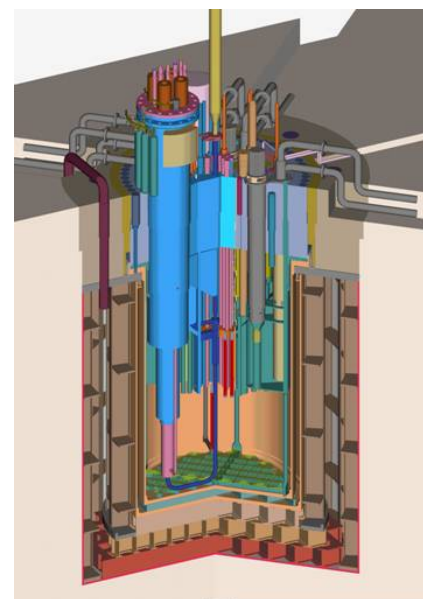
イタリアの提案

80MWth
ガス冷却 XADS



フランスの提案

50MWth
Pb-Bi冷却「MYRRHA」



ベルギーの提案