

国際協力による群分離・核変換技術に 関する研究開発の推進



平成25年9月13日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

分離変換技術に関する国際協力の基本的認識



- 高レベル放射性廃棄物の処理処分の負担軽減は、原子力を継続して利用する国、原子力から撤退する国、これから原子力を導入する国の全てで共通する課題。
- 分離変換技術は極めて広範囲な技術が協働することで成立するものであり、一国で全ての研究開発を実施すると大きな負担が生じる。
- 必然的に再処理の工程を含む。



核不拡散の枠組みの下で国際協力による研究開発の推進が適切

- ◎ 我が国は核燃料サイクル技術、高速増殖炉技術、大強度陽子加速器技術などを既に有しており、分離変換技術の研究開発を先導できる高いポテンシャルを有する。



我が国は、国際社会において、放射性廃棄物の処理処分の負担軽減のための研究開発を先導すべき

主な国際協力の状況(高速炉関連)



◆ 第4世代原子炉システム国際フォーラム(GIF)

- 常陽/もんじゅを用いたアクチノイドサイクルの国際実証(GACID)を含む(後述)

◆ CEA-DOE-JAEA間の高速炉覚書

- MA含有燃料技術を含む

◆ 日米 民生用原子力研究開発WG(CN WG)

- 湿式・乾式分離、MA含有燃料の物性及び照射特性を含む

◆ 日仏 (JAEA-CEAフレームワーク取決め)

- シナリオ検討、湿式分離、MA含有燃料等を含む

◆ 電中研-欧州

- MA含有金属燃料照射試験、乾式再処理小規模ホット試験

主な国際協力の状況(ADS)



- ◆ **液体金属核破砕ターゲットの開発試験(MEGAPIE実験)に関する協力取決め**
 - フランス(CEA、CNRS)、ドイツ(KIT)、イタリア(ENEA)、スイス(PSI)、ベルギー(SCK・CEN)、米国(DOE)、日本(JAEA)、韓国(KAERI)が参加
 - 2006年に世界で初めて液体鉛ビスマスを用いたMWクラスの核破砕ターゲットの4ヶ月にわたる照射試験に成功
 - 現在、ターゲットの解体を終え、使用材料の照射後試験を各国で分担して実施中

- ◆ **欧州枠組みプロジェクトへの参画**
 - EUROTRANS、CDTなど(後述)

- ◆ **アジアADSワークショップ**
 - 2003年より、日、韓、中で毎年開催。インドやインドネシアからも参加。

- ◆ **ベルギー原子力研究センター(SCK・CEN)とJAEAとの協力取決め**
 - ADS分野として、ADS及び実験施設の設計研究、被覆管及びビーム窓の材料開発、鉛ビスマス技術を含む
 - SCK・CENのMYRRHA計画への参画を検討中(後述)

主な国際協力の状況(国際機関)



◆ OECD/NEA

- 1990年より、隔年で情報交換会議を開催。第1回目は水戸で開催。
- 核燃料サイクル作業部会などで様々な活動を推進
(分離変換導入効果検討、ベンチマーク計算、鉛ビスマス技術ハンドブック、高出力加速器利用ワークショップ、先進燃料の熱力学データベース整備など)

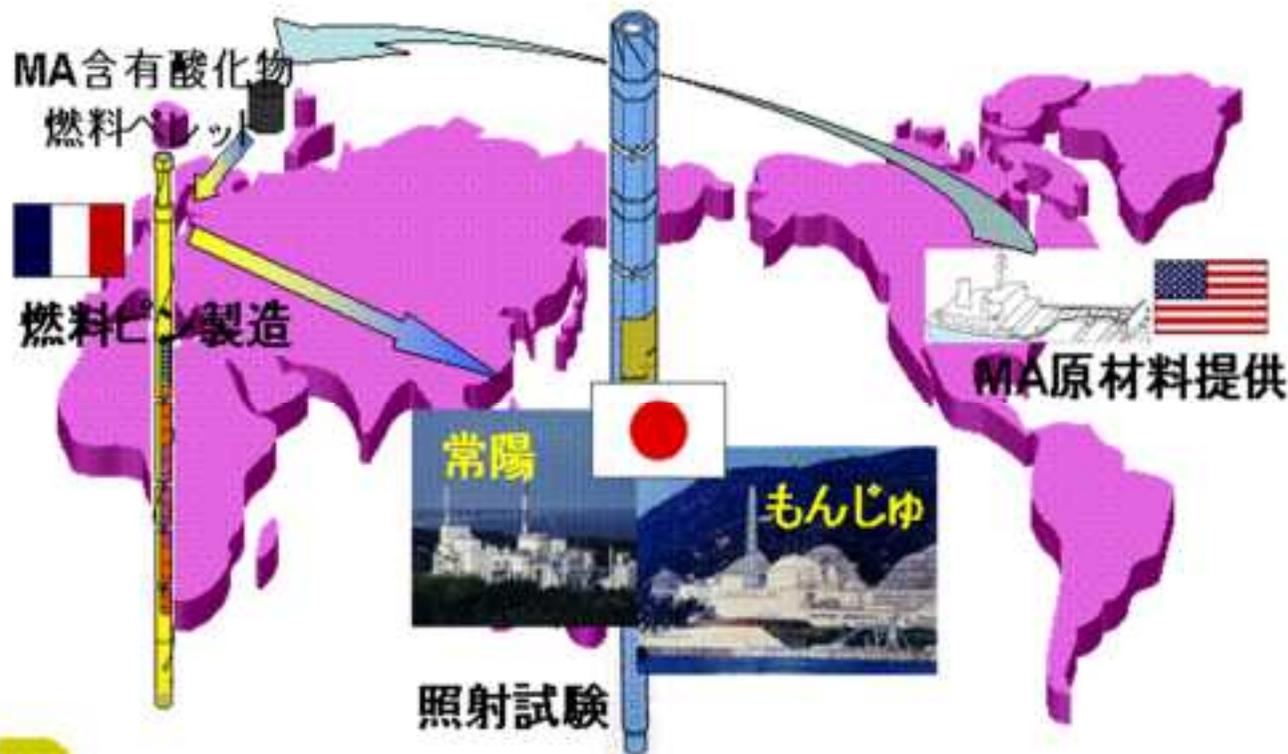
◆ IAEA

- 高速炉技術作業グループ(TWG-FR)の下で様々な活動を推進
(炉物理ベンチマーク、ステータスレポートの作成、など)

日仏米共同のMA燃料実証(GACID計画)

目的: FBR実用炉用燃料として
有力なマイナーアクチニド(MA)
含有燃料(TRU燃料)を、
「もんじゅ」及び「常陽」を利用して
実証する

- 高速増殖炉で燃焼させることによりMA
全量リサイクルの可能性を実証
- 3ステップで段階的に実施
- GIF/Na炉プロジェクトの一つ

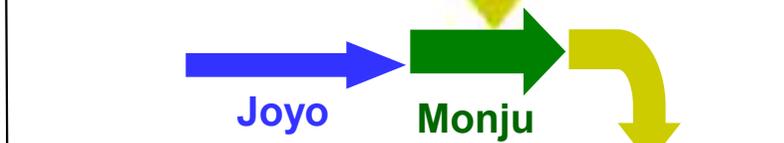


GACID全体スケジュール

ステップ-1
Np/Am含有
燃料のピン照射



ステップ-2
Np/Am/Cm含有
燃料のピン照射



ステップ-3
Np/Am/Cm含有
燃料の集合体照射



GACID: Global Actinide Cycle
International Demonstration

EUROTRANSの概要



■ 目標:

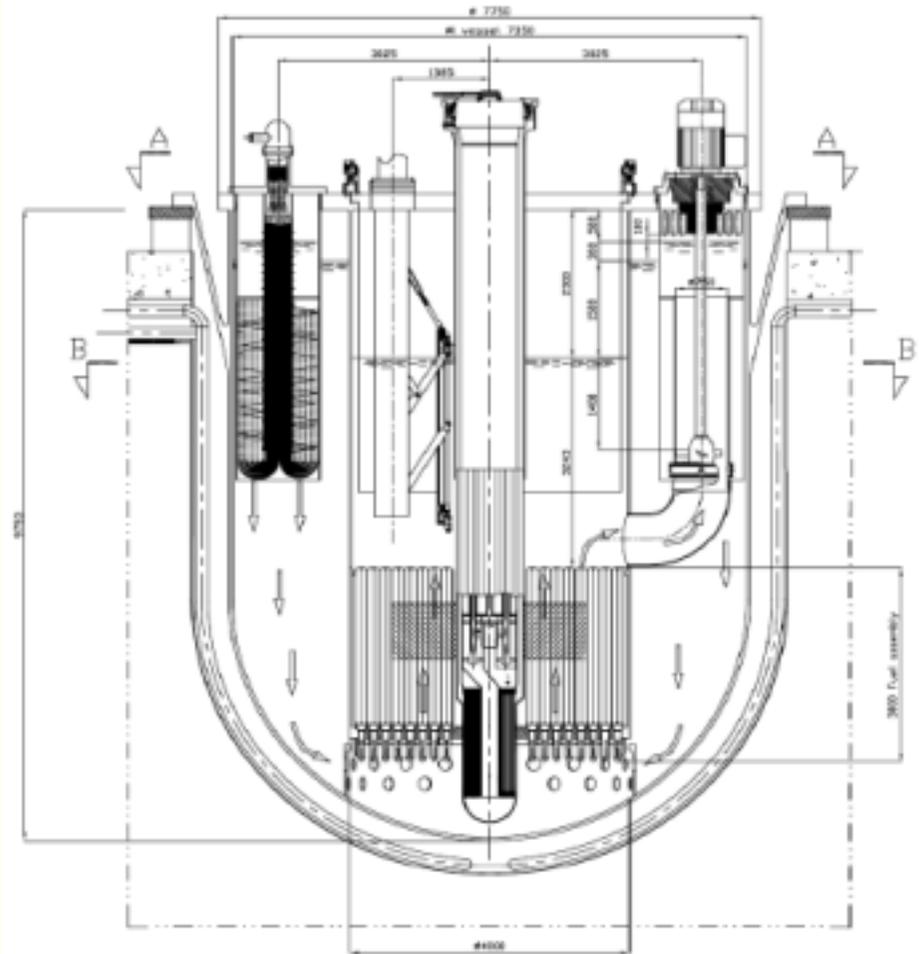
- **欧州核変換実証計画** (European Transmutation Demonstration: **ETD**) に向けて段階的な研究開発を進める。
- ADSによる核変換技術の成立性評価のための**最新で信頼性のある基盤を確立**すると共に、**コスト評価**も行う
- これらの成果により、**次段階であるXT-ADSの詳細設計と建設段階へ進むかどうかの判断材料**を提供する

■ 予算規模と期間:

5年間(2005-2010年)に42.3Mユーロ(欧州委員会からの23Mユーロを含む)を投入

■ 参加国、機関:

欧州14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)から10企業、19研究機関、17大学が参加
米国、日本(**原子力機構**)、ベラルーシも参加



欧州実用核変換施設(EFIT)の設計例
(熱出力: 386MWth)

EUROTRANSの成果



■ 領域1: 設計研究

- 実験炉級施設(XT-ADS)と欧州実用核変換施設(EFIT)を設計。
- 加速器と核破砕ターゲットの設計と要素技術開発を含む。

■ 領域2: 加速器－未臨界炉結合実験

- ベルギー-SCK・CENの臨界実験装置VENUSを鉛冷却模擬体系に改造して改造してDT中性子源と結合した**GUINEVERE実験**(現在は**FREYA実験**(後述)として継続)を実施。

■ 領域3: 核変換用先進燃料

- 酸化物分散型燃料**CERCER**: $(Pu, MA)O_2 + MgO$ と **CERMET**: $(Pu, MA)O_2 + {}^{92}Mo$ を開発

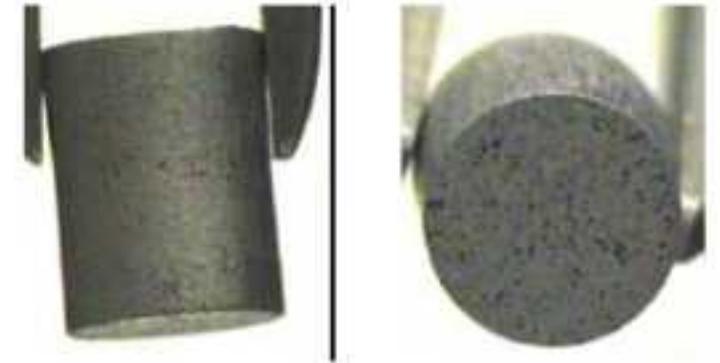
■ 領域4: 材料と液体重金属技術

- 多くの**腐食試験**により、高温部(550°C以下)でT91を、低温部(480°C以下)でSS316Lを使用できると結論。
- さらに被覆管用にAlコーティングを検討。
- 鉛ビスマス**熱流動試験**(窓なしターゲット、燃料集合体)

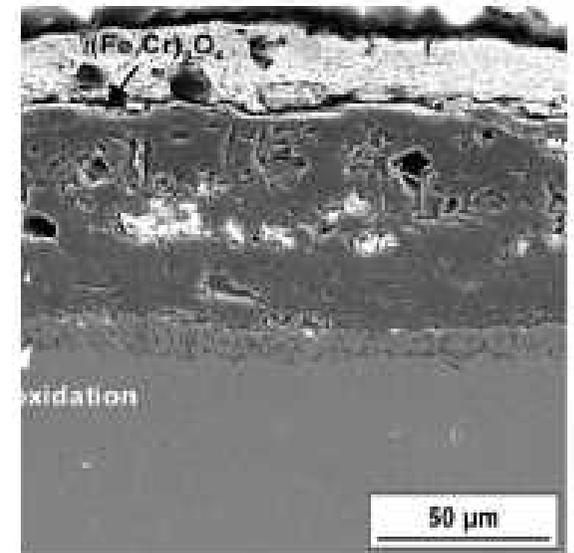
■ 領域5: 核データ

- MA核データ、誤差データ、高エネルギーデータ等の整備

分野ごとのプログラム(材料、燃料、核データ等)と実験炉級ADSとしてのMYRRHAに向けての取組へ発展



CERMET燃料の例
 $(Pu_{0.8}, Am_{0.2})O_2 + Mo$ (体積率84%)



腐食試験の例(ドイツKIT)

T91、550°C、酸素濃度 10^{-6} 、約15,000時間

Central Design Team (CDT)とFREYA実験の概要



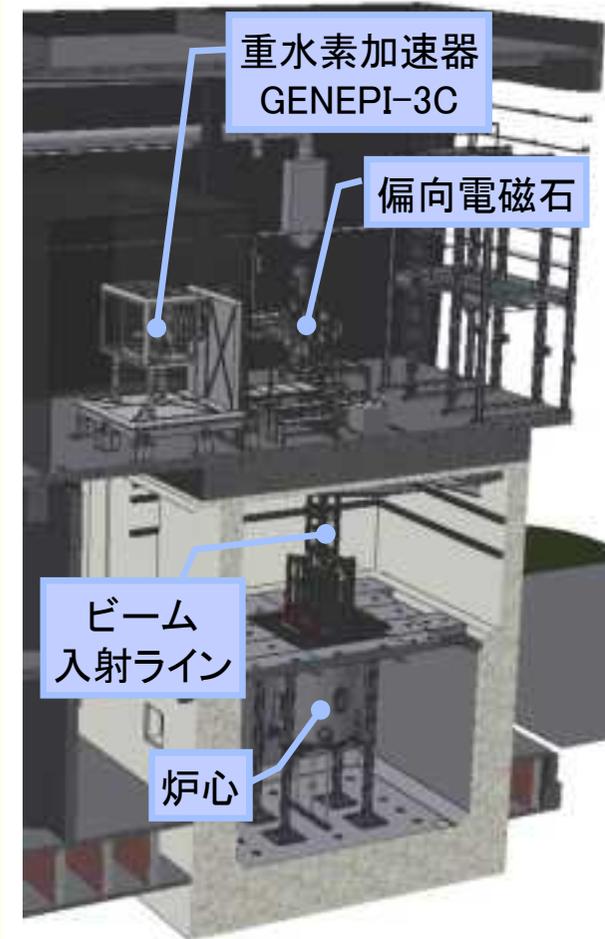
中央設計チーム (Central Design Team :CDT)

- 欧州8カ国(ベルギー、ドイツ、フランス、イタリア、スペイン、英国、ポルトガル、オランダ)の19の機関(研究所、企業及び大学)が参加
- 総予算は、3.9Mユーロで、この内の2MユーロをEURATOMが負担
- 主な内容:
 - WP0: プロジェクトの統括(欧州原子力教育ネットワーク(ENEN)等と連携した学生の教育・訓練を含む)
 - WP1: 高速中性子核変換実験施設(FASTE F)の仕様と詳細作業計画の定義
 - WP2: 未臨界状態及び臨界状態でのFASTE Fの設計
 - WP3: プラント要求事項
 - WP4: 実現に向けた重要事項

GUINEVERE実験から FREYA実験へ

- 欧州10カ国(ベルギー、ドイツ、フランス、イタリア、ポルトガル、スペイン、スウェーデン、オランダ、ポーランド、ハンガリー)の16の機関(研究所、企業及び大学)が参加
- 主な内容:
 - WP1: ADSのオンライン反応度監視法の検討
 - WP2: MYRRHA/FASTE Fの未臨界模擬実験
 - WP3: MYRRHA/FASTE Fの臨界模擬実験
 - WP4: 鉛冷却高速炉の臨界実験
 - WP5: 訓練と教育
 - WP6: プロジェクト統括

GUINEVERE: Generator of Uninterrupted Intense Neutron at the lead VEnus Reactor
FREYA: Fast Reactor Experiments for hYbrid Applications



VENUS-F 臨界実験施設

MYRRHA計画への参加について

(1) 計画の概要



□ 目的

- 核廃棄物の核変換技術の開発
- 先進的な原子炉(特に鉛冷却炉)の開発
- 核分裂炉及び核融合炉のための高速中性子照射施設
- 加速器に基づく科学コミュニティへの貢献
- Si照射やRI製造のための中性子照射施設

□ 仕様

- 加速器: 超伝導LINAC
- 陽子ビーム: 600 MeV – 4 mA
- 核破砕ターゲット: Pb-Bi
- 炉心冷却材: Pb-Bi
- 最大 $k_{\text{eff}} = 0.9552$ ($k_s=0.96$)
- 熱出力: 未臨界時50~100MWt
臨界時 ~100MWth
- 燃料組成: MOX(富化度30wt%)

○臨界での運転も可能な概念に変更中

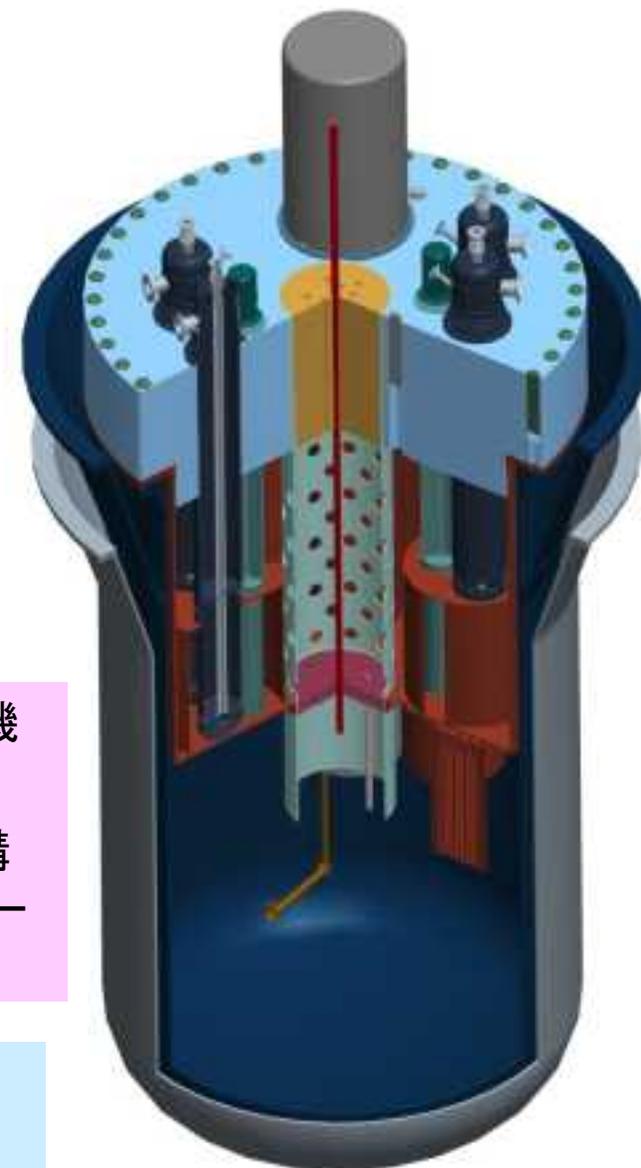
○窓なし型ターゲット概念を追求していたが、最近、窓あり概念に変更

- 照射炉BR2の後継として、2016年頃の着工を目指している

- 2006年11月に原子力機構と協力取り決め締結
- 2010年から原子力機構は欧州の「中央設計チーム(CDT)」に参加

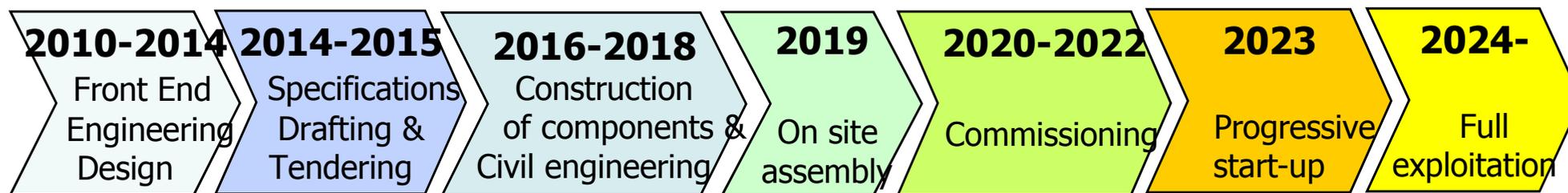
□2010年3月 ベルギー政府がサポートを表明

- 建設費960Mユーロのうち40%を負担
- 2010~2014年の準備段階に60Mユーロを支給



MYRRHA計画への参加について

(2) スケジュールと予算



- ① **関心表明** (Expression of Interest) ⇒ 2013年2月送付済み
- ② **意思表明書** (Commitment Letter) (貢献の程度と条件の受け入れを確約) ⇒ 評価結果に基づき交渉
- ③ **連携協定** (Partnership Agreement) の締結
- ④ **MYRRHA 共同体協定** (Consortium Agreement) : 2014 年末(?)

支出予想

建設フェーズ(2010-2023)

✓ 建屋:	196Mユーロ
✓ 装置:	370Mユーロ
✓ エンジニアリング:	202Mユーロ
✓ 予備費:	192Mユーロ
計 :	960Mユーロ

収入の目論見

建設フェーズ(2010-2023)

✓ ベルギー:	40%
✓ EU諸国及びEU:	<30%
✓ アジア諸国:	20%
✓ その他(米、カザフ、...):	>10%
✓ 不足分は欧州投資銀行から融資	



MYRRHA計画への参加について

(3) プロジェクト参加のメリット



MYRRHA計画の特徴:

- ① 高出力(MW以上)の加速器駆動未臨界炉として世界初の施設
- ② ロシアの潜水艦以外では液体重金属冷却炉として世界初の施設



MA核変換は行わないが、ADSの開発において必須となる実験炉級ADSとして、極めて有効な知見・経験を得ることが期待される。

J-PARC核変換実験施設との関係:

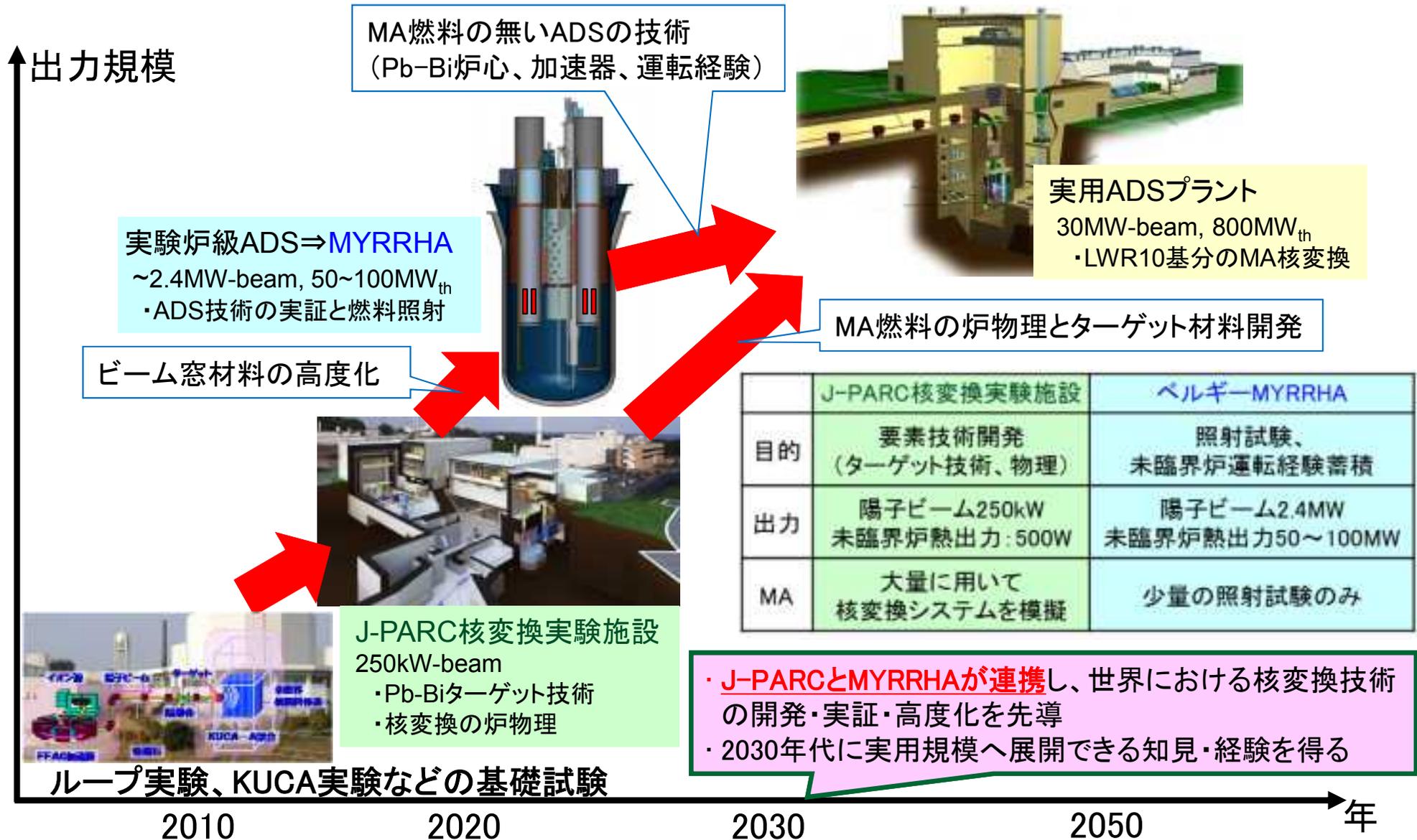
- ① ADSターゲット試験施設 ⇒ ビーム窓材料の開発・寿命評価の施設として、MYRRHAの高度化及び将来の実用ADSのためのデータを提供
- ② 核変換物理実験施設 ⇒ 核変換用ADSの炉物理試験や核データの積分検証などを通じて、将来の実用ADSや高速炉のためのデータを提供



MYRRHAとJ-PARCが連携することによって、核変換技術実用化に向けた課題の効果的な克服が可能になる

MYRRHA計画への参加について

(4) 国際連携によるADS開発の加速



MYRRHA計画への参加について

(5) プロジェクトへの貢献方法



- 参加国は最低48Mユーロ = 約62 億円を拠出する必要があり、この内最低約4.8Mユーロを2014年末までに支払う。
- 日本には、10%、すなわち96Mユーロ = 約125億円程度の貢献が期待されている。
- 貢献は、「現金 (in-cash)」と「現物 (in-kind)」で可能。

⇒ 今後の交渉次第であるが、できるだけ「現物」で貢献することを目指す。

- 例)
- ADSターゲット試験施設を使った材料性能評価
 - 現有ループ試験設備を使ったビーム窓設計検証
 - 超伝導陽子加速器システム機器の供給
 - 炉容器や炉内構造物の供給
 - MOX燃料の供給

MYRRHA計画への参加について

(6) ADSの開発におけるコスト節減効果



項目	必要予算 (概算)	国際協力の 場合の負担	備考
J-PARC核変換実験施設	220億円	220億円	
運転維持費、実験費	200億円	200億円	10億円×20年を仮定
実験炉級ADS=MYRRHA	1,250億円	125億円	10%負担を仮定
運転維持費、実験費	900億円	90億円	30億円×30年、10%負担を仮定
計	2,570億円	635億円	
(参考) 実用ADS	2,300億円	---	
運転維持費、解体費	3,800億円	---	運転維持費: 建設費の4%×40年 解体費: 建設費の8% 売電収入は考慮していない

- 単独で施設整備を進める場合に比べて、**負担は約1/4に軽減**。
- J-PARCとMYRRHAの建設フェーズ(～2023年)は概ね40億円/年の負担。
- J-PARCからMYRRHAへの「in-kind」の貢献を考慮すると、一層の負担軽減も可能。
- J-PARC核変換実験施設への他国からの参画も積極的に働きかける。

その他の分野での国際協力の進め方



■ 分離技術

- プロセス拡大を図る際にはフランスCEAとの協力が有効。
- 核不拡散の観点から、多国間協力にはあまり馴染まない。

■ 核変換用燃料

- フランスCEA(酸化物燃料、CERCER)、欧州ITU(CERMET)、米国LANL(金属)などが高いポテンシャルを有している。
- 国際的な役割分担や照射場の共有が重要だが、キーとなる技術や施設は日本(又はアジア)で保有しておくべき。

■ 乾式処理

- 米国ANL、INLや欧州ITUが高いポテンシャルを有している。
- 特に、米国は工学規模技術を有しており、今後の連携が重要。

■ 原子力新興国との連携

- 今のところ技術的には得るところが少ないかもしれないが、新興国の技術力向上や人材育成の観点から、積極的に受け入れていくことが望まれる。