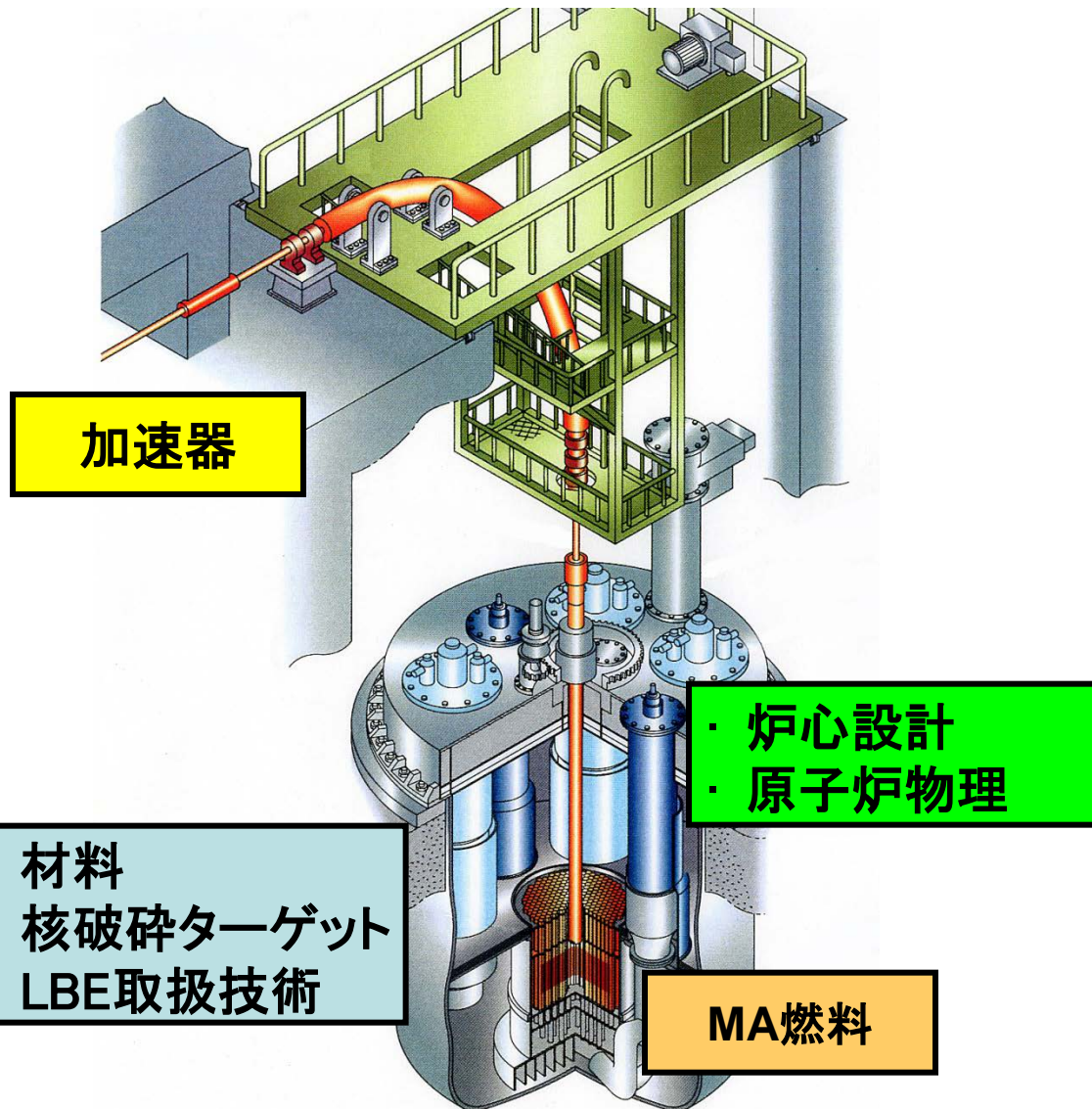


加速器駆動システム(ADS)を用いた 核変換技術



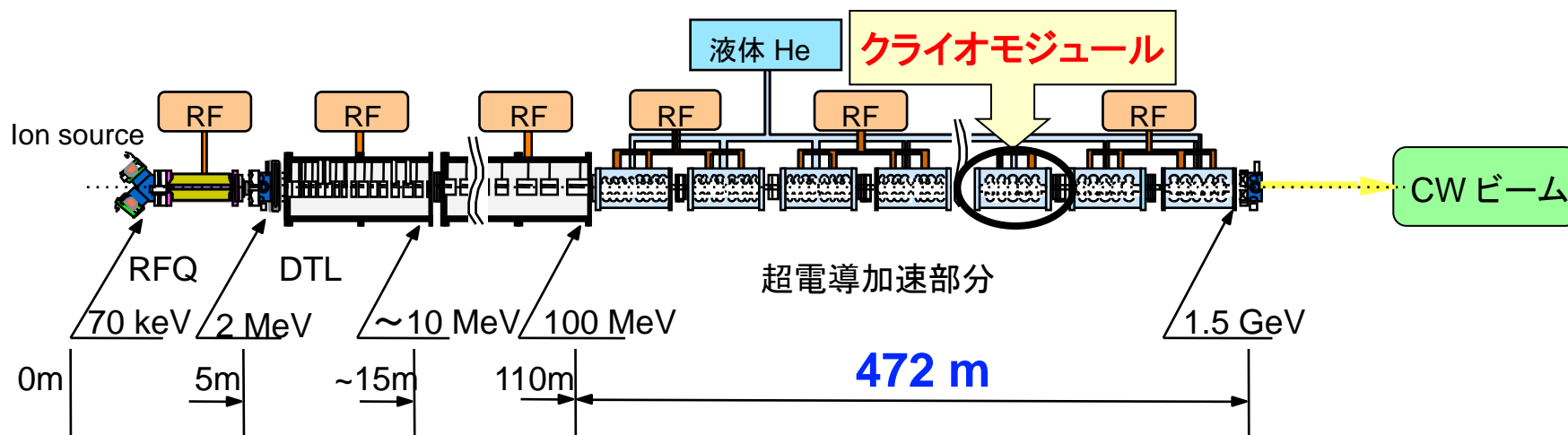
独立行政法人 日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究センター 核変換システム開発グループ
辻本 和文

JAEAで検討しているMA核変換用ADSの概略仕様



- 陽子ビーム : 1.5GeV ~30MW
- 核破砕ターゲット : Pb-Bi
- 冷却材 : Pb-Bi
- 実効増倍率 : $k_{\text{eff}} = 0.97$
- 熱出力 : 800MWt
- 初装荷MA量 : 2.5t
- 燃料組成 :
 - (MA+Pu)窒化物 + ZrN
 - Zone-1 : Pu/HM = 30.0%
 - Zone-2 : Pu/HM = 48.5%
- 核変換率 :
 - 10%MA / 年 (10基分のLWR相当)
- 600EPFD, 1バッチ

ADS用超伝導加速器



□ 超伝導加速器用のクライオモジュール(9セル超伝導空洞を2台実装)を試作



超伝導空洞(高純度ニオブ製)

□ 試作クライオモジュールの試験結果を基にADS用の超伝導リニアックの概念設計

➤ クライオモジュール総数: 89 (100MeV ~ 1.5 GeV)

➤ 超伝導加速部全長: 472m



試作クライオモジュール

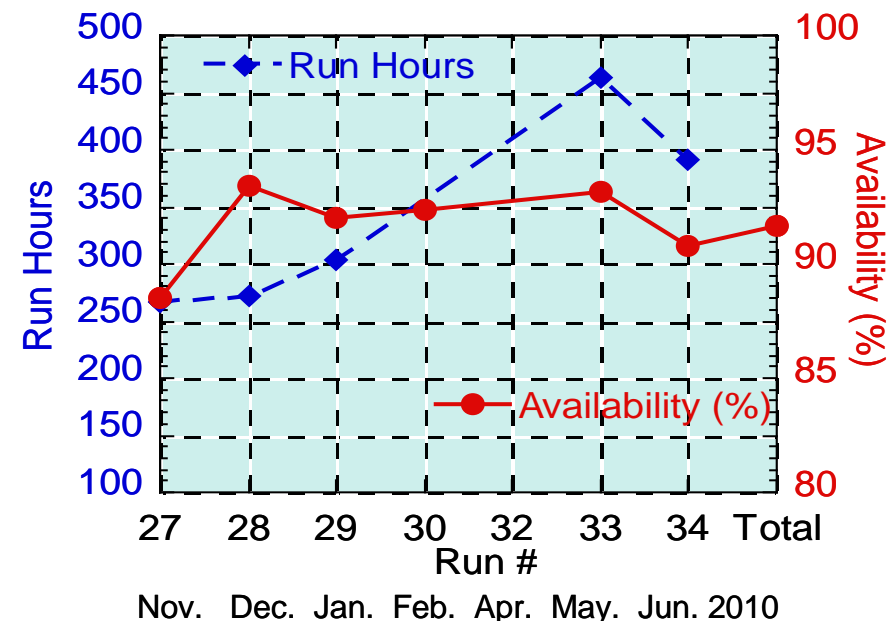
J-PARCの陽子加速器(リニアック)

□ J-PARCの陽子リニアック (400MeV, 25Hz)

- 負水素イオンを発生させ400MeVまで加速し、3GeVシンクロトロンに安定的に陽子ビームを供給



Statics [Run #27 (Nov. 2009) -- #34 (Jun. 2010)]



液体鉛ビスマスの特徴

□ 利点

- ✓ 融点が低く、沸点が高い
- ✓ 化学的に不活性(水や空気と触れても反応しない)

□ 欠点

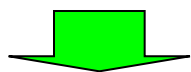
- ✓ 重量(配管での取り扱いが困難)
- ✓ 材料との共存性(材料の腐食)

材料	融点 (°C)	沸点 (°C)	密度 (kg/m ³)	比熱 (kJ/kg·K)	熱伝導率 (W/m·K)
Na	98.0	882	849	1.32	70.8
Hg	-38.9	357	13,112	0.135	12.9
Pb	327	1750	10,480	0.16	15.4
Pb-Bi	124	1670	10,087	0.146	14.9

陽子ビーム窓の工学的成立性に関する検討

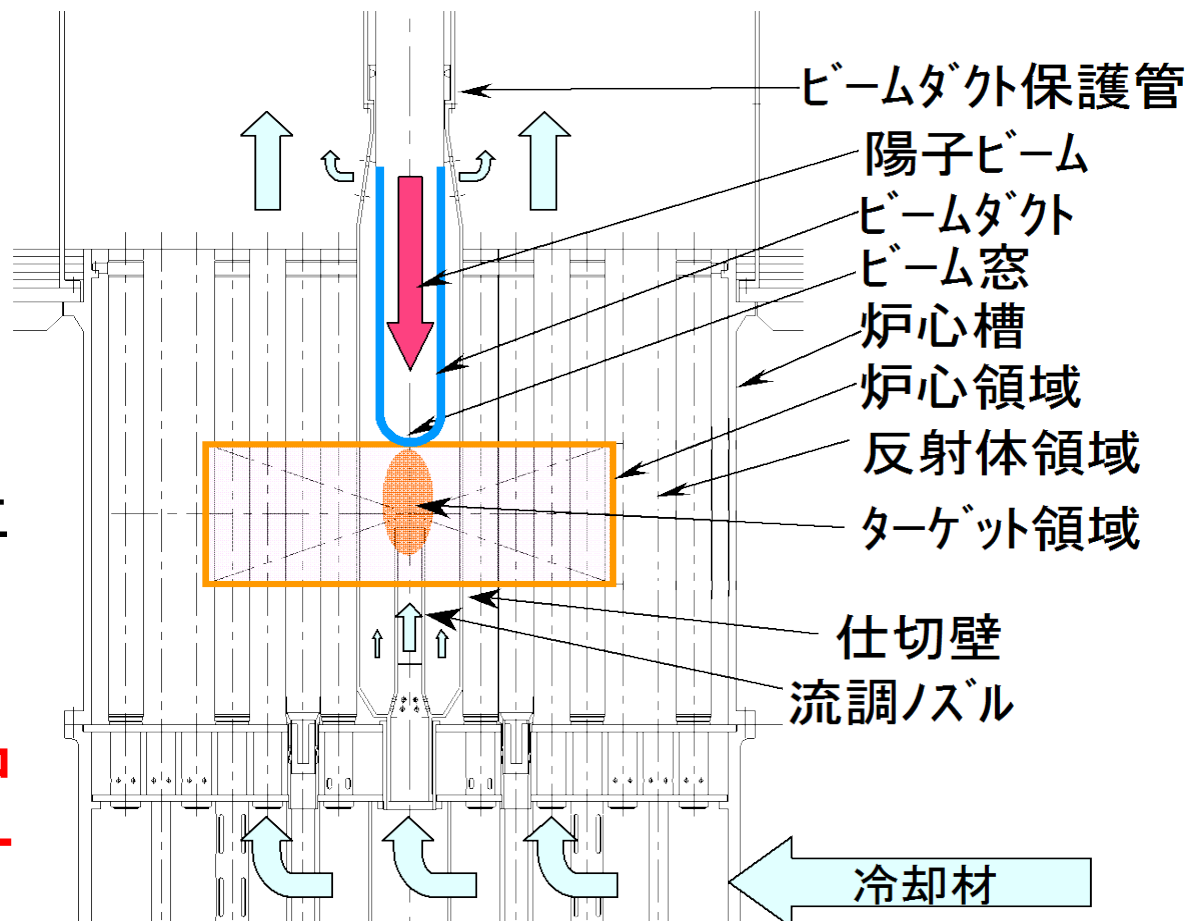
□ 検討条件

- ✓ビーム条件: 1.5 GeV-20 mA (30 MW)
- ✓鉛ビスマス流速: < 2m/s
- ✓ビーム窓温度: < 500°C



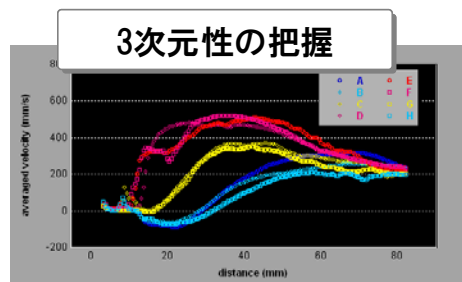
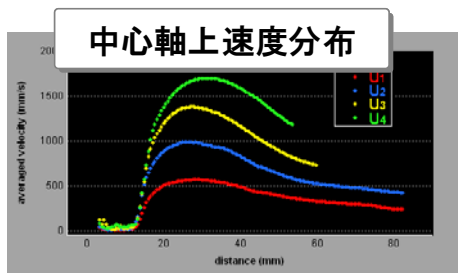
- 外表面温度を490 °C程度に抑制可能なビーム窓概念を提示

- 今後、さらに鉛ビスマス中の腐食、熱流動、照射データの蓄積が必要。

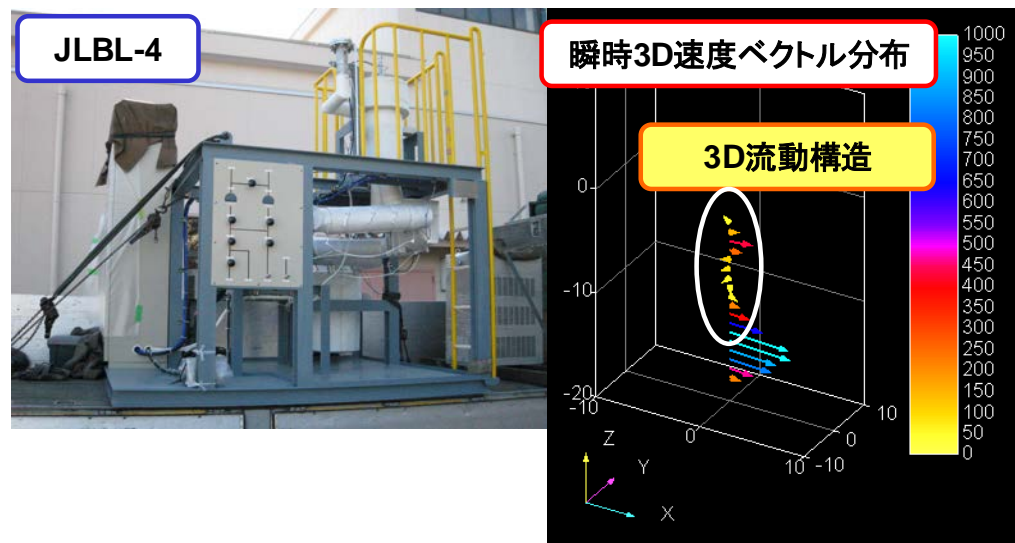


液体鉛ビスマス(LBE)の熱水力試験

- 超音波流速分布計による**鉛ビスマス流速測定システム**を開発
 - 150°Cの鉛ビスマス中で超音波流速計により流速を測定し、CFD解析では確認されなかった現象を把握。
- **超音波流速分布測定法(Vector-UVP)**の開発を行い、LBE中の3次元速度ベクトル分布の計測に成功(空間分解能1mm以下、時間分解能数10msec)。



超音波流速計による鉛ビスマス流速測定結果



Vector-UVP法による鉛ビスマス3次元流速ベクトルの測定結果

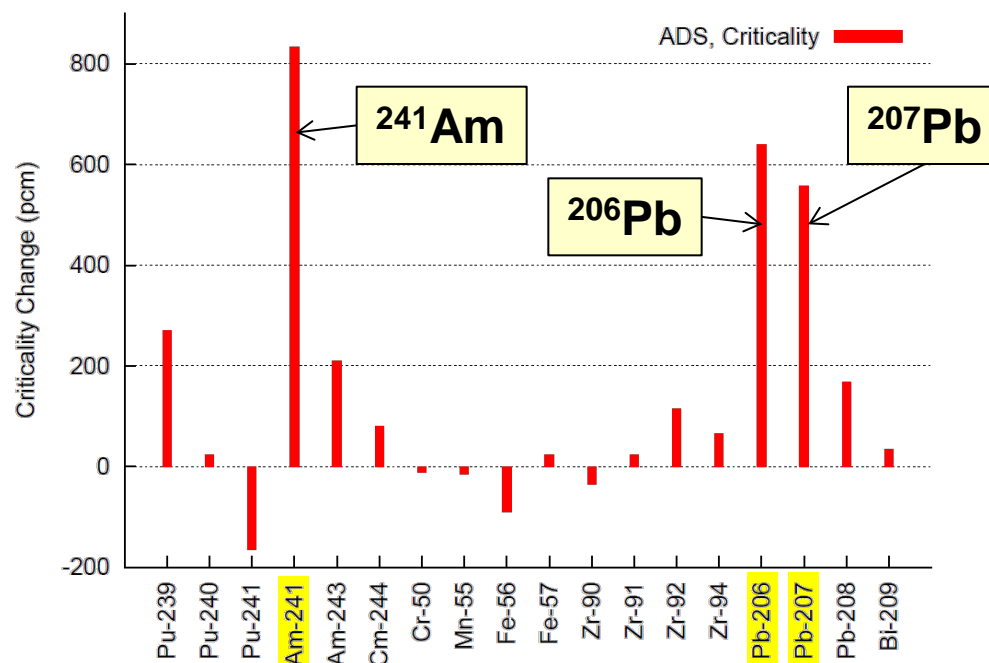
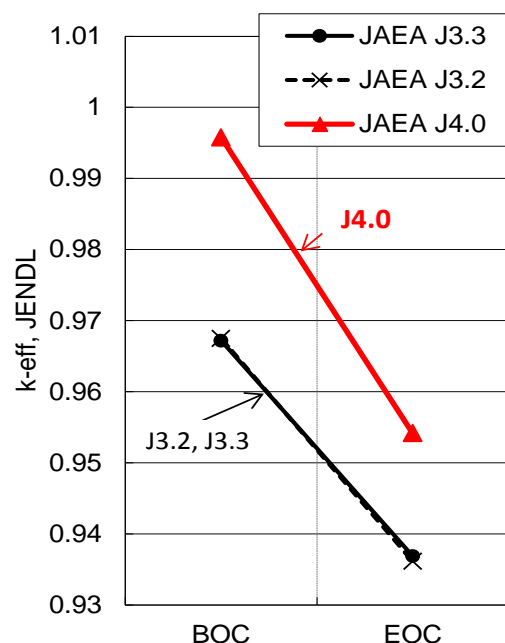
ADSの核特性予測精度

ADSに対するベンチマーク計算

- 異なる核データライブラリ間で、実効増倍率に対して2%以上の差異が存在 (燃焼初期: 0.98~1.0、燃焼末期: 0.93~0.96)

MA (Am-241やNp-237) 及び鉛同位体 (Pb-206, 207) 等がライブラリー間の差の要因

➡ これらの核種に対する積分実験による検証が不可欠



JAEAがIAEA-CRPIに提案したADSベンチマークの計算結果(JENDL)及び解析結果の差に寄与する核種 (熱出力800MWのADSに対して、600日の燃焼計算を実施。燃焼初期と末期での実効増倍率)

MA窒化物燃料とそのリサイクルに関する研究開発

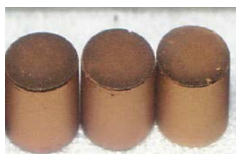


MA含有窒化物燃料の製造

高密度・高純度(MA,Pu,Zr)N等の実験室規模での調製に成功



(Am,Zr)N



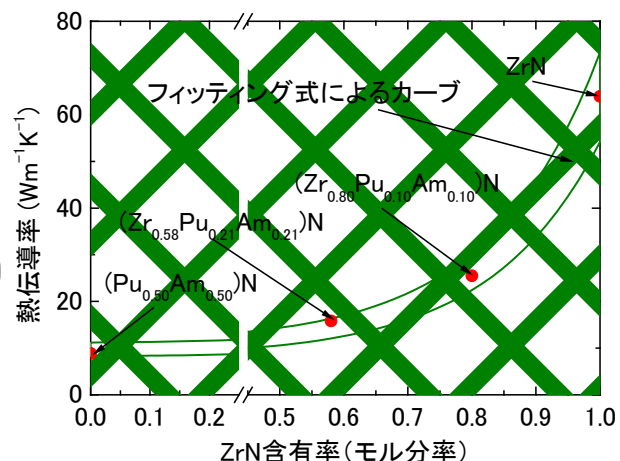
(Pu,Zr)N



(Pu_{0.21}Am_{0.21}Zr_{0.58})N

MA含有窒化物燃料の物性測定評価

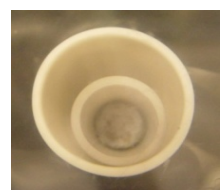
ADS燃料設計に資するMA含有窒化物の熱物性データベースを構築



核変換用MA窒化物燃料の熱伝導率(873K)

使用済燃料の高温化学処理

高濃度MA含有に適した再処理プロセスフロー構築(TRU: Pu, Np, Am)



MA核変換システムの燃料サイクル

燃料製造



燃料処理



照射挙動



MA含有窒化物燃料の照射挙動評価

- ・(Pu,Zr)N 及び PuN+TiN のJMTR照射試験
- ・フランスの PHENIX で国際協力により MA(Am,Np)含有窒化物燃料の照射試験

核変換実験施設 (TEF: Transmutation Experimental Facility)



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特性の探索と
ADSの運転制御経験を蓄積

施設区分 : 原子炉 (臨界実験施設)

陽子ビーム : 400MeV-10W

熱出力 : 500W以下

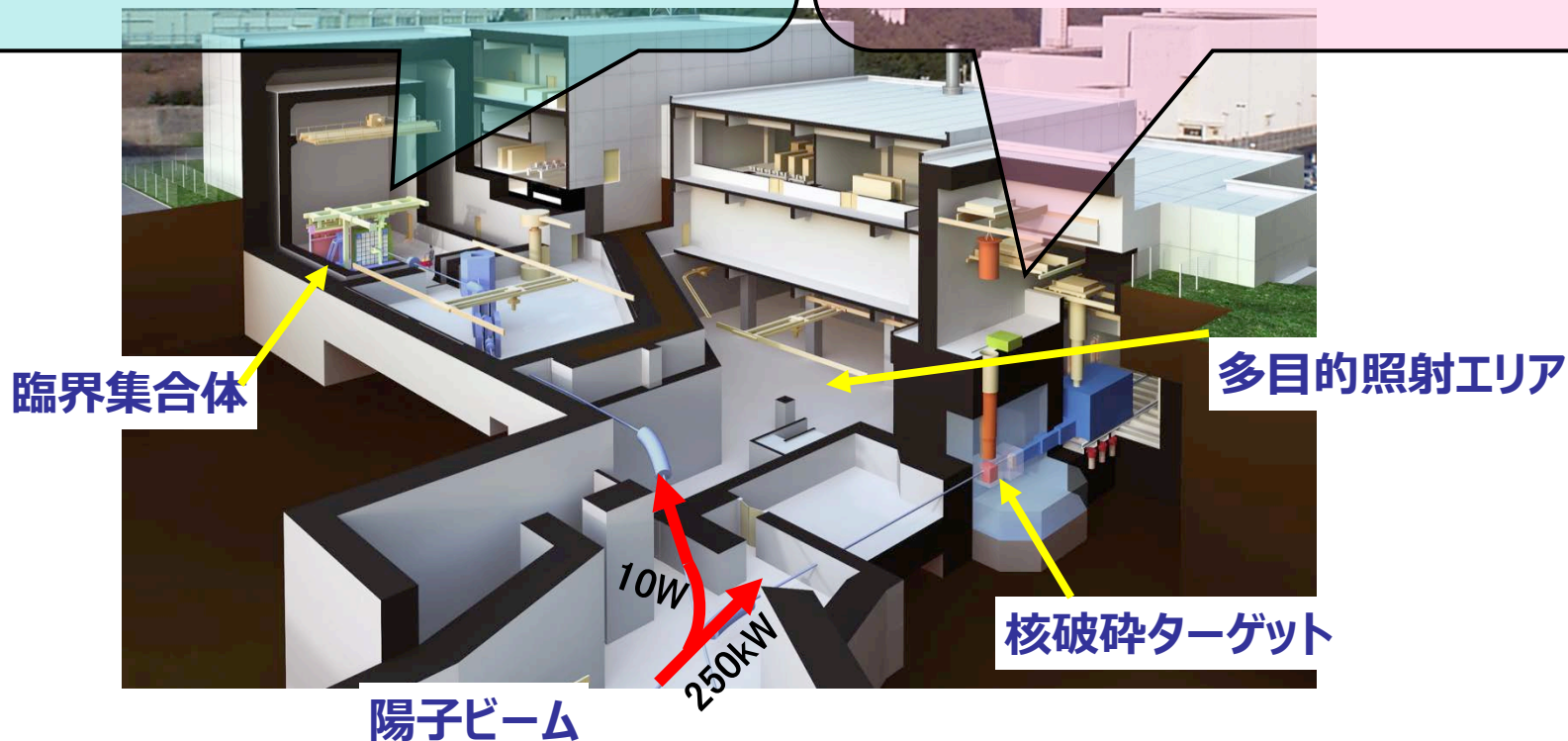
ADSターゲット試験施設 : TEF-T

目的: 大強度陽子ビームでの核破砕ターゲットの技
術開発及び材料の研究開発

施設区分 : 放射線発生装置

陽子ビーム : 400MeV-250kW

ターゲット : 鉛・ビスマス合金

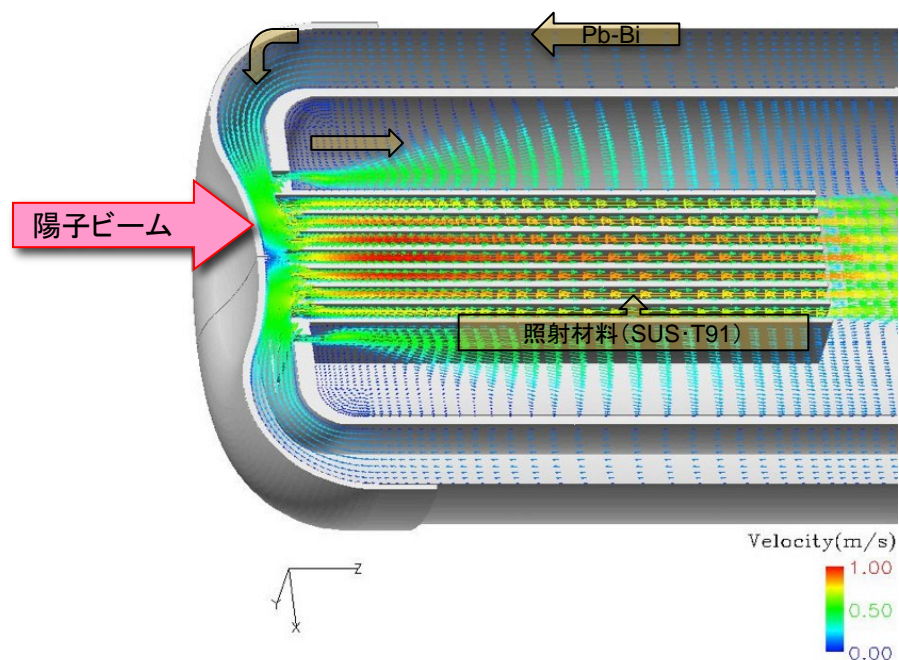


ADSターゲット試験施設(TEF-T)

- 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



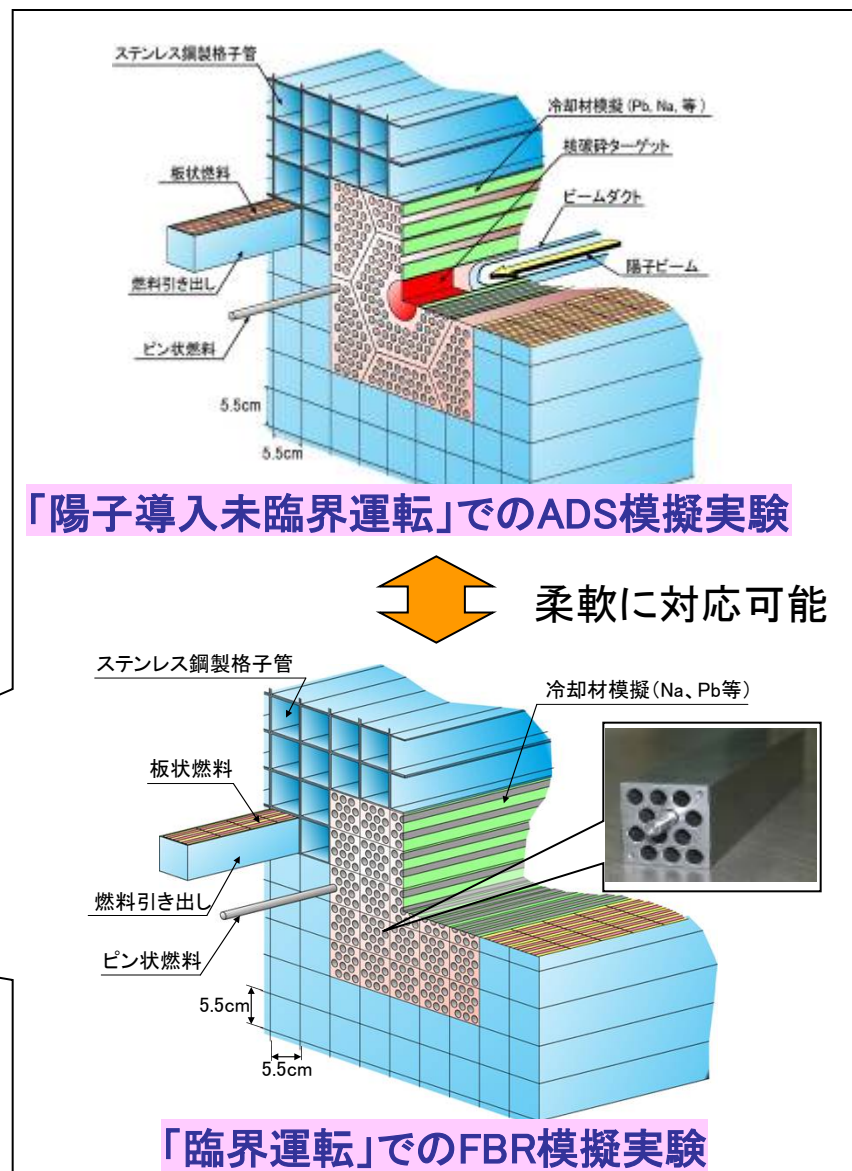
ADSターゲット試験施設の
候補ターゲット概念(2重管型)



TEF-Tターゲット内の速度分布の解析例

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)
- 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)



文部科学省における評価



文部科学省「群分離・核変換技術評価部会」中間とりまとめ（平成25年10月）

- **群分離、ADS、燃料サイクル及び燃料の各分野について**技術成熟度の検討を行った結果、概ね、概念開発段階から原理実証段階に移行することが可能な研究開発段階にあり、**工学規模の次のステージに移行することが適当である。**
- ADSの大きな技術課題である陽子ビーム窓の成立性検証に向け、**J-PARCの核変換実験施設計画の下、ADSターゲット試験施設(TEF-T)が提案されており、次のステージに移行していくことが適当である。**
- ADS特有の特性やMA含有炉心の炉物理的課題克服のため、**J-PARCの核変換実験施設計画の下、核変換物理実験施設(TEF-P)が提案されている。**（中略）**次のステージに移行することが適当である。**
- **MYRRHA計画については、国内での研究開発の取組状況も踏まえつつ、適切な規模での参画、我が国の取組と相互の国際協力について、ベルギー等、関係国との調整を進めることが適切である。**
- 今後の施設整備計画等の具体的な策定に当たって、（中略）**今後の原子力政策の見直しや高速炉サイクルによる核変換技術等他の分野も含めた研究開発の進捗状況を踏まえつつ、適切なタイミングで実施について判断されるべき**である。

施設整備計画（案）



西暦年度	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
平成年度	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ビームライン TEF-T	設計・開発										
				建設・装置製作			運転				
TEF-P	設計・開発										
				許認可			建設・装置製作			運転	
MYRRHA	設計・開発										
		契約	装置製作/組立				建設			運転	

□ 原子力機構は、分離変換技術の研究開発を実施

- 加速器駆動システム(ADS)は、MA核変換システムの候補概念のひとつ

□ ADSに関する研究開発の状況

- JAEAを中心に、ADSに関する様々な研究開発を実施中であるが、技術レベルは基礎的な段階
- ADSの工学的実現性実証を目指して、新たな実験施設（核変換実験施設(TEF)）の建設を計画
- 国際協力等を活用して研究開発を実施