

照射炉の代替機能について

日本原子力研究開発機構

設置目的

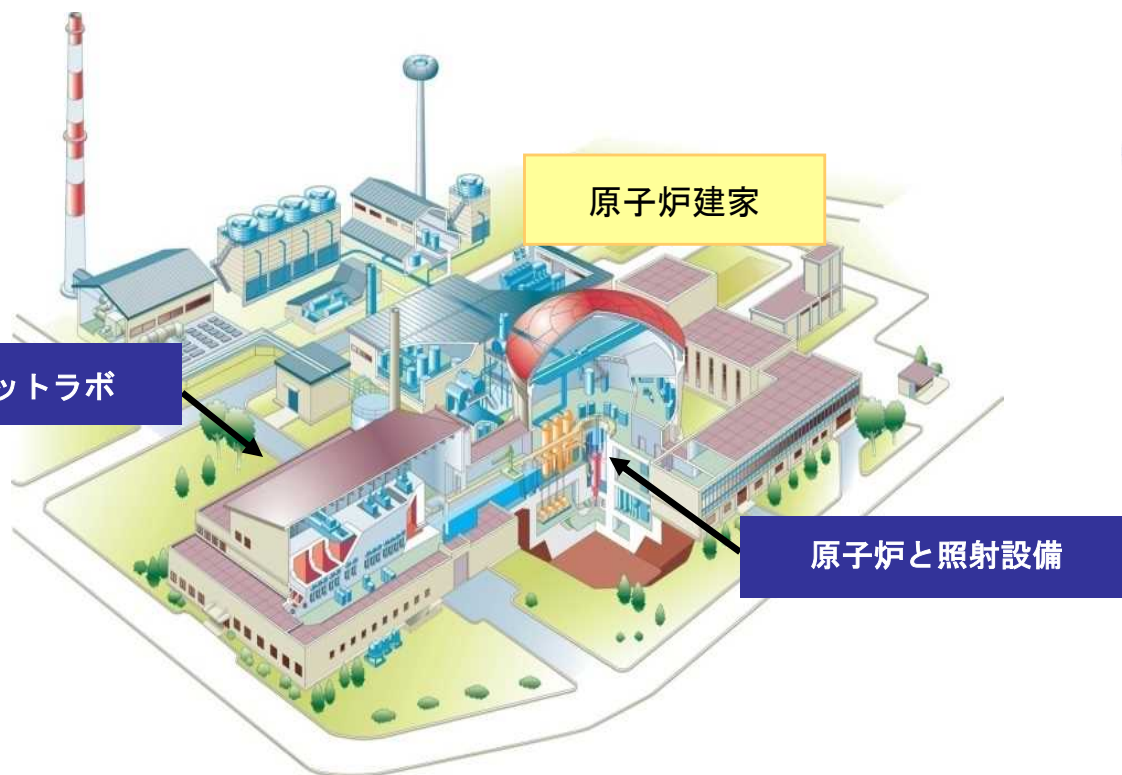
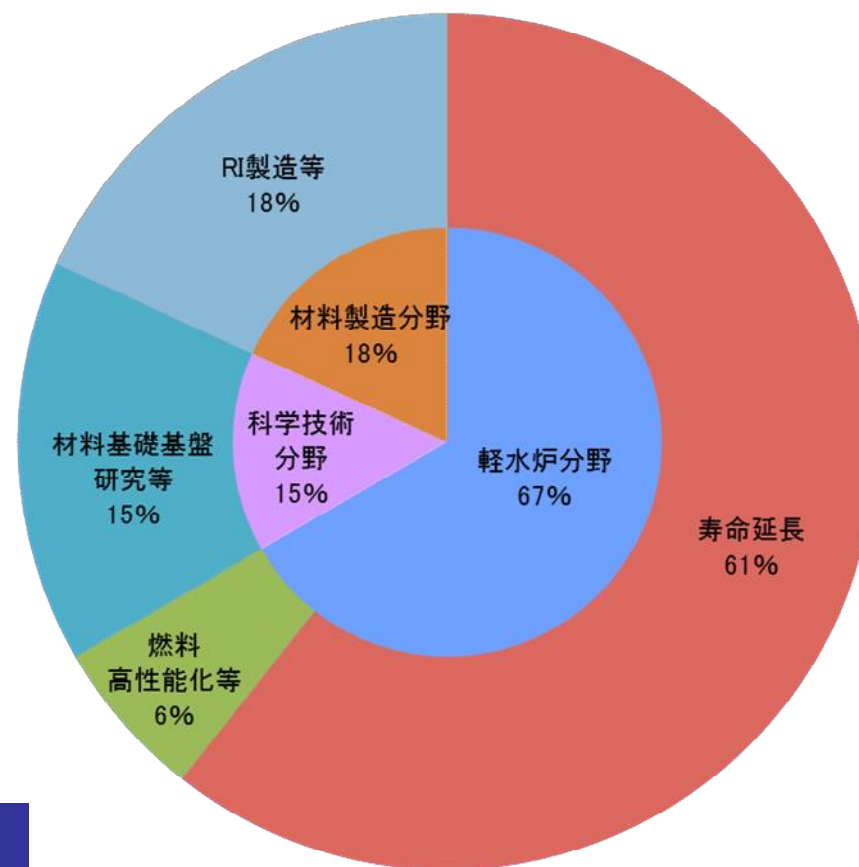
動力炉国産技術の確立と国産動力炉などの発展に寄与するため原子炉用燃料及び材料の各種照射試験、RIの生産並びに教育訓練を行う。

建設開始：1965.4(S40)
初臨界：1968.3(S43)
供用開始：1970.9(S45)

・原子炉熱出力：50MW
・高速中性子束：最大 4×10^{18} (n/m²/s)
・熱中性子束：最大 4×10^{18} (n/m²/s)

照射利用の内訳

平成27年度(金額)



○熱中性子束^{*1}: JMTRにおいて、主に燃料照射試験やRI製造に用いられる、物質の分子の熱運動と平衡でエネルギーの低い中性子。当該機能は、JRR-3が再稼働すれば一部代替が可能。ただし、照射孔数及び照射体積^{*2}を鑑みれば、複数ある利用ニーズを大幅に満たせない。

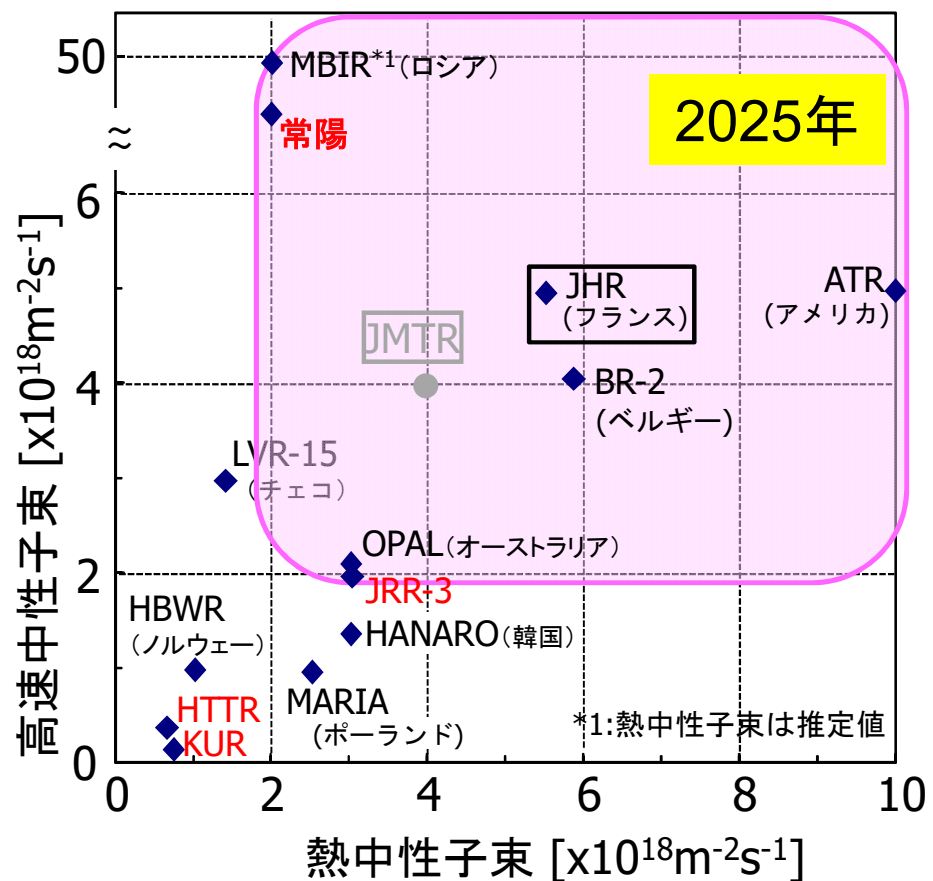
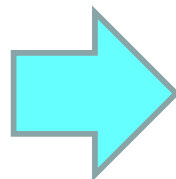
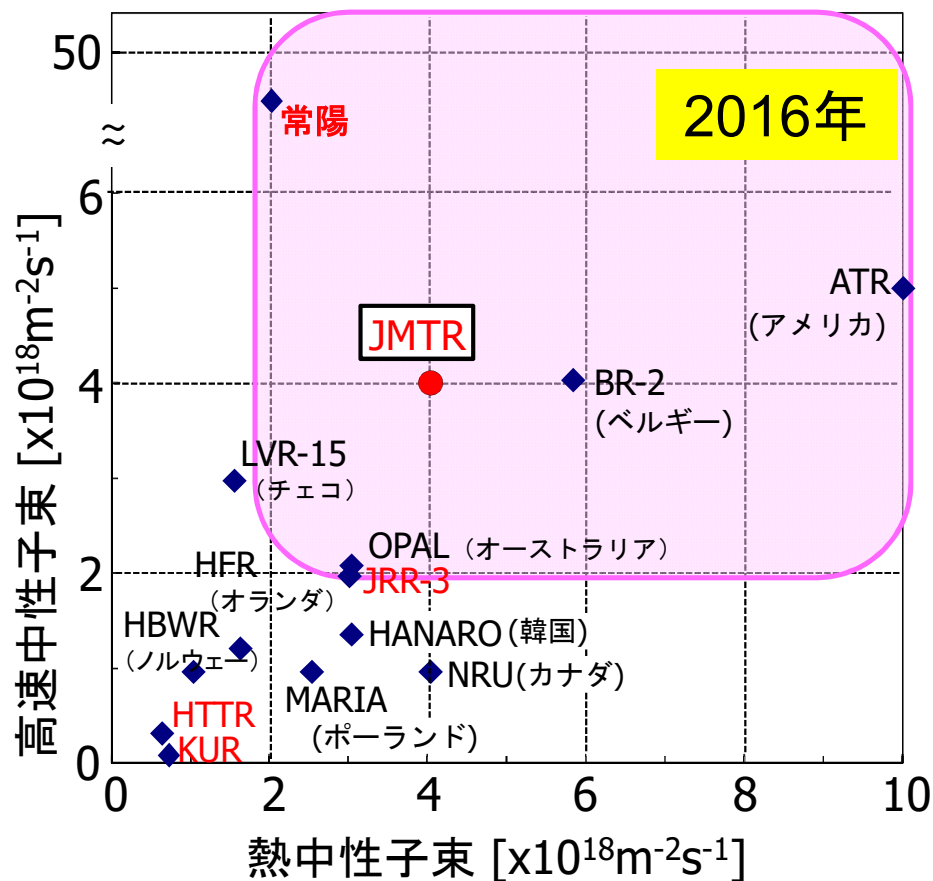
○高速中性子束^{*3}: JMTRにおいて、主に材料照射試験に用いられているエネルギーの高い中性子。当該機能は、常陽が再稼働すれば一部代替が可能。ただし、軽水炉条件での実験のためには、水環境での試験の実施が不可能^{*4}であることに加え、実験温度を下げる^{*5}必要があるなど大規模な設備の追加が必要。

	JMTR	JRR-3	常陽	KUR	HTTR (参考)
主な用途	燃・材料照射、 産業利用	ビーム利用、 産業利用	高速増殖炉開発、 燃・材料照射	照射試験、 産業利用	高温ガス炉 技術基盤開発
炉出力 (MW)	50	20	—	5	30
冷却材	軽水	軽水	ナトリウム ^{*4}	軽水	ヘリウム
冷却材出口温度 (°C)	50	44	500 ^{*5}	65	850/950
熱中性子束(m ⁻² s ⁻¹) ^{*1}	4×10 ¹⁸	3×10 ¹⁸	2×10 ¹⁸	4.3×10 ¹⁷ 平成25年度炉心	7×10 ¹⁷
高速中性子束(m ⁻² s ⁻¹) ^{*3}	4×10 ¹⁸	2×10 ¹⁸	30×10 ¹⁸	7.2×10 ¹⁶ 平成25年度炉心	2×10 ¹⁷
照射孔数 (軽水炉の安全性向上分野、科学技術分野及び産業利用分野に供することができる照射孔)	27孔	5孔 ^{*2}	21孔	21孔	23孔
照射体積(m ³)	0.23	0.05 ^{*2}	0.58	0.002 (照射カプセル体積)	0.67 (最大体積)

HTTRは、当面、高温ガス炉の技術基盤開発に用いる予定であることに加え、照射キャプセルの出し入れに大規模な設備の追加が必要であるため、HTTRを用いた照射利用については、今後、必要な時期に改めて検討することとし、今回、検討対象外とした。

◆ 世界における汎用照射試験炉の基本的性能比較(中性子束での比較)

- 高中性子束 ($2 \times 10^{18} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上)の試験炉は2016年にはJMTR、JRR-3、常陽等国内外合わせて6基。
- 2025年には、JMTRがなくなり、JHRが稼働。JMTRの機能を国内外の炉で代替できるのかについて次頁において検討。



主な国内研究炉を用いた代替手段とする場合の検討 (軽水炉分野)



- ◆ 軽水炉の安全性向上に必要とされる寿命延長(加速照射)には、中性子束 $2 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上の試験研究炉が必要(下記色枠の炉)。
- ◆ 寿命延長試験は、JMTR機能の代替が不可能。

炉 利用ニーズ	必要な性能	JMTR (50MW)	JRR-3 (20MW)	常陽 (100MW)*1	KUR*6 (5MW)
【材料照射】 寿命延長	【高速中性子束】 ・ $2 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上 ・ 軽水炉条件での実験に適した温度 (290~350℃) ・ 多様な照射条件での試験	○	×*2	×*4	×
【燃料照射】 燃料高性能化	【熱中性子束】 ・ $2 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上 ・ 軽水炉条件での実験に適した温度 (290~350℃)	○	△*2	×*4	×
【燃料照射】 燃料事故時評価	・ 事故を模擬する専用設備 (出力急昇等)	○	△*3	×*4	×
【材料照射】 改良型炉の開発*5	【高速中性子束】 ・ $2 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上	○	△	○	×

- : 高速中性子束 $2 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上の炉
- : 実施可能
- △ : 一部可能(利用ニーズをある程度満たす)または簡単な設備を追加すれば可能
- × : 実施不可またはスペック等の関係上利用ニーズを大幅に満たせない

- *1: 平成29年3月30日に設置変更許可申請時の出力
- *2: 5孔のみが加速照射が可能であるため、複数ある利用ニーズを満たせない(特に材料照射に影響)
- *3: ただし、事故を模擬する専用の大規模な設備が必要
- *4: 水環境を伴う試験が実施できない。また、軽水炉条件を満たすために、キャプセルを冷却する大規模な設備の追加も必要。
- *5: 開発要素が大きい。
- *6: 中性子束が低く、加速試験が実施できない。

- ◆ 軽水炉の安全性向上に必要とされる加速照射には、中性子束 $2 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上の試験研究炉が必要（下記色枠の炉）。
- ◆ JMTR機能の全機能が代替可能な炉はBR-2、JHR、ATR。

炉	JMTR (50MW)	HANARO (30MW) 【韓国】	HBWR (20MW) 【ノル ウェー】	OPAL (20MW) 【オーストラリ ア】	LVR-15 (10MW) 【チェコ】	BR-2 (100MW) 【ベル ギー】	JHR 建設中 (100MW) 【フラン ス】	ATR (250MW) 【アメリ カ】	MBIR 建設中 (150MW) 【ロシア】
利用ニーズ	■								
寿命延長	○	×	○*	×	○	○	○	○	×
燃料高性能化	○	△	○	×	△	○	○	○	×
燃料事故時評価	○	×	○	×	×	○	○	○	×
改良型炉の開発	○	△	○*	△	○	○	○	○	△

- : 高速中性子束 $2 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上の炉、
- : 実施可能
- △ : 一部可能(利用ニーズをある程度満たす)または簡単な設備を追加すれば可能
- × : 実施不可またはスペック等の関係上利用ニーズを大幅に満たせない
- * : 中性子束を増大させるブースター燃料を近接配置することで達成

主な国内研究炉を用いた代替手段とする場合の検討 (科学技術分野)



◆ 科学技術分野では、メカニズム解明等試験片レベルでの利用が想定されるため、基本的にJMTR機能の代替が可能。

炉 利用ニーズ	JMTR (50MW)	JRR-3 (20MW)	常陽 (100MW)	KUR (5MW)
高温ガス炉材料	○	○	○	△ ^{*1}
核融合材料の開発	○	○	○	△ ^{*1}
材料基礎基盤研究	○	○	○	△ ^{*1}

○ : 実施可能

△ : 一部可能(利用ニーズをある程度満たす)または簡単な設備を追加すれば可能

× : 実施不可またはスペック等の関係上利用ニーズを大幅に満たせない

*1 中性子束が低いため、基礎的な研究のみ可能

◆ 科学技術分野では基本的にJMTR機能の代替が可能。

炉	JMTR (50MW)	HANARO (30MW) 【韓国】	HBWR (20MW) 【ノルウェー】	OPAL (20MW) 【オーストラリア】	LVR-15 (10MW) 【チェコ】	BR-2 (100MW) 【ベルギー】	JHR 建設中 (100MW) 【フランス】	ATR (250MW) 【アメリカ】	MBIR 建設中 (150MW) 【ロシア】
利用ニーズ									
高温ガス炉材料	○	○	○*	○	○	○	○	○	○
核融合材料の開発	○	○	○*	○	○	○	○	○	○
材料基礎基盤研究	○	○	○*	○	○	○	○	○	○

○ : 実施可能

△ : 一部可能(利用ニーズをある程度満たす)または簡単な設備を追加すれば可能

× : 実施不可またはスペック等の関係上利用ニーズを大幅に満たせない

* : 中性子束を増大させるブースター燃料を近接配置することで達成

主な国内研究炉を用いた代替手段とする場合の検討 (材料製造分野)

◆ 産業利用については、JRR-3及び常陽で一部代替可能。

炉 利用ニーズ	JMTR (50MW)	JRR-3 (20MW)	常陽 (100MW)	KUR (5MW)
RI製造 (Ir-192, Mo-99等)	○	△ ^{*2}	△ ^{*3}	+
Si半導体 ^{*1}	△ ^{*1}	○	△ ^{*1}	+

○ : 実施可能

△ : 一部可能(利用ニーズをある程度満たす)または簡単な設備を追加すれば可能

+: 学術研究レベルで実施可能

*1 JRR-3以外に製造実績はない。

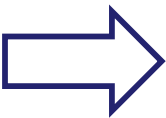
*2 過去においてRI製造の実績はあるものの、産業界のニーズを満たすには照射孔数及び照射体積の点で課題がある。

*3 炉内の高速中性子を炉外において、熱中性子まで減速させるなどの設備(減速材等)が必要。

◆産業利用については、基本的にどの炉でも代替可能。ただし、輸送に伴うコストが発生。

炉	JMTR (50MW)	HANARO (30MW) 【韓国】	HBWR (20MW) 【ノルウェー】	OPAL (20MW) 【オーストラリア】	LVR-15 (10MW) 【チェコ】	BR-2 (100MW) 【ベルギー】	JHR 建設中 (100MW) 【フランス】	ATR (250MW) 【アメリカ】	MBIR 建設中 (150MW) 【ロシア】
利用ニーズ									
RI製造 (Ir-192、Mo-99等)	○	○	×	○	○	○	○	○	△
Si半導体	△	○	×	○	○	○	○	△	△

○ : 実施可能
 △ : 一部可能(利用ニーズをある程度満たす)または簡単な設備を追加すれば可能



ただし、国外炉による代替は、研究者・技術者の人材育成及びRIの安定生産・供給の観点から課題が指摘 (JMTR運営・利用委員会報告書

(H28.12))。

JMTRの代替機能として、国内での代替が難しい軽水炉分野(照射試験等)及び産業利用分野(RI製造等)について、加速器での代替を以下の通り検討。

<軽水炉分野(照射試験等)> 実施不可

- ◆ 照射試験については、陽子や重粒子による照射損傷メカニズムの解明や、宇宙線の影響評価等が可能*1。
- ◆ また、核融合材料を対象とした中性子照射試験については、QSTが青森県六ヶ所村において原型加速器の開発を進めている*2。
- ◆ 一方、これらの照射試験は軽水炉環境の条件とは大きく異なるため、JMTRが担ってきた軽水炉分野(照射試験等)の代替は困難。

<産業利用分野(RI製造等)> Mo-99は研究開発段階、その他のRI(F-18等)は可能

- ◆ JMTRにおいてMo-99のRI製造が計画されていたが、加速器によるMo-99製造は未だ研究開発段階。一方、PET*3検査用のRI(F-18等)製造は加速器で可能。
- ◆ なお、加速器によるBNCT(ホウ素中性子捕獲療法)については、京都大学や南東北BNCT研究センターにてH28年度より治験が進められている。

*1 JMTRによる照射試験は中性子による。

*2 国際核融合材料照射施設(IFMIF)の工学実証・工学設計活動(EVEDA)。

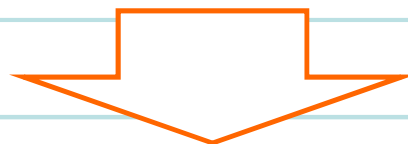
*3 Positron Emission Tomography

【国内での代替についての検討結果】

- 軽水炉分野では、寿命延長試験、燃料高性能化試験及び燃料事故時評価試験が不可能。
- 一方、科学技術分野では代替が可能であり、産業利用分野では代替が一部可能。

【国外での代替についての検討結果】

- 軽水炉分野、科学技術分野及び産業利用分野、いずれも国外炉の利用が可能。



【課題及び今後の議論の方向性】

- ⇒ JMTRが担ってきた機能の代替について、国内既存施設(JRR-3,加速器等)での代替を検討したところ、科学技術分野など国内において代替が可能な分野がある一方、照射試験や産業利用の分野では、国内における代替が難しい状況。
- ⇒ こうした機能について、国内での代替が可能なものについては既存施設を活用した利用方策の検討するとともに、国外炉の利用については、多岐にわたる利用ニーズを満たし、研究アクティビティをどう維持・発展させるかが短期的な課題。
- ⇒ また、今後、我が国として持つべき研究開発機能として、JMTRの代替炉の検討が長期的課題であり、スペック等の具体的な検討が必要。