

研究炉について

—発電炉との違いを理解する—

中島 健

内容

- 研究炉とその現状
 - いろいろな研究炉
 - 世界の研究炉、日本の研究炉
- 研究炉の特徴
 - 発電炉との相違
- 研究炉の安全規制
- 今後に向けて

研究炉とは

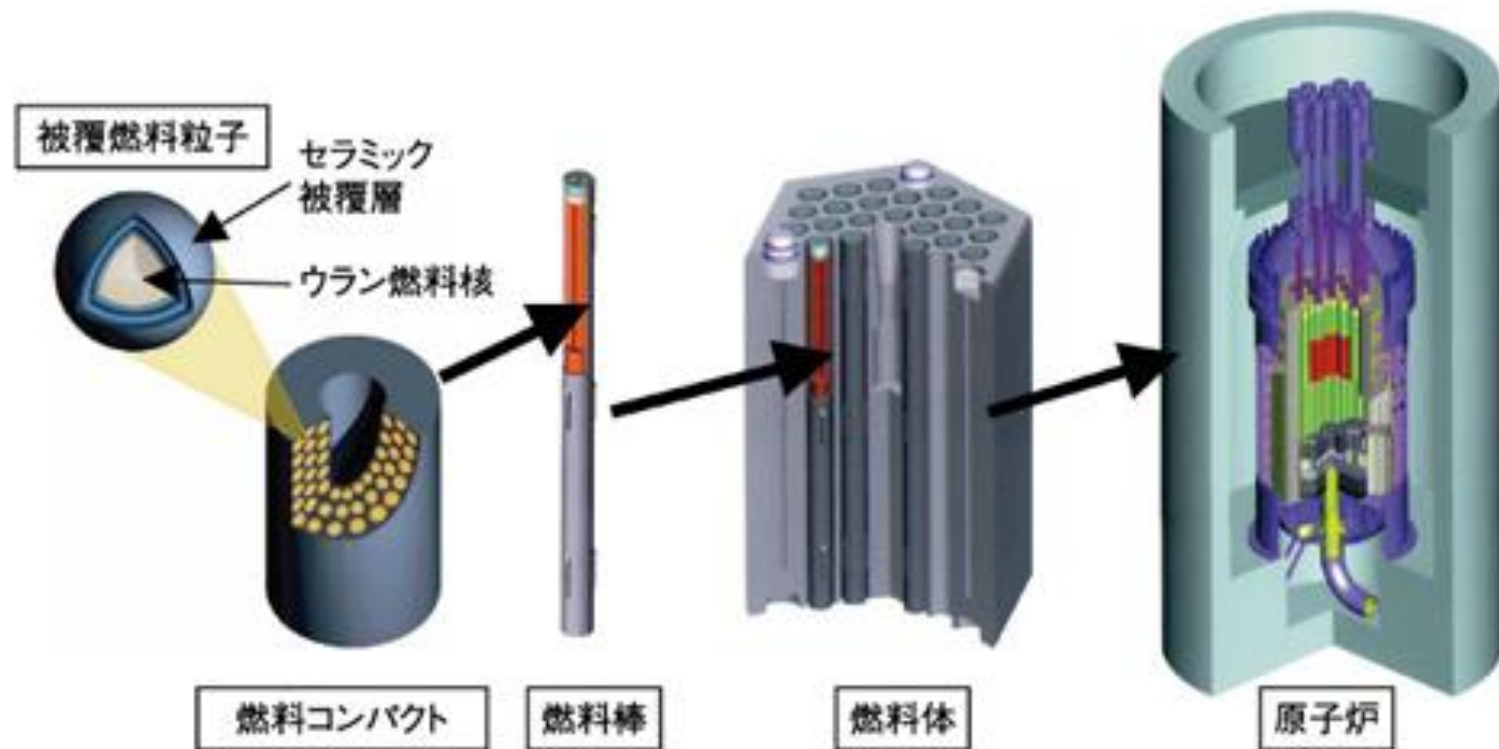
- 研究炉とは、その名称のとおり様々な研究を行うための原子炉
 - 法律上は「発電用原子炉以外の原子炉」を試験研究用等原子炉と呼んでいる(原子炉等規制法第23条第1項)が、ここでは「研究炉」と称す
 - 将来炉の開発過程で、発電をしながら研究開発を行う原子炉もあるが、これは「研究開発段階発電用原子炉」と呼ばれ、発電用原子炉(以下、「発電炉」と称す)に区分される
 - 試験炉(Test Reactor)と研究炉(Research Reactor)を区別することもあるが、ここではその違いには拘らないこととする
(このほか、訓練炉(Training Reactor)という名称もある)

研究炉とは：いろいろな研究炉

- ひと口に研究炉といっても、いろいろな炉がある
 - 型式の違いでみると
 - 水冷却(熱中性子)炉: JRR-3 液体金属冷却高速炉: 常陽
 - 高温ガス炉: HTTR TRIGA炉: NSRR
 - 臨界実験装置: STACY, KUCA など
 - 利用(研究)の目的でみると
 - ・新しい形の原子炉をつくるための(基礎的な)研究を行う原子炉
臨界実験装置(FCA) → 実験炉(常陽) → 原型炉(もんじゅ) → 実証炉
→ 実用炉 (カッコ内は、高速炉の事例。原型炉以降は発電炉)
 - ・中性子を利用した研究を行う原子炉(中性子源としての利用)
中性子ビーム炉: JRR-3
材料試験炉: JMTR など
 - ・基礎研究や教育を行うための原子炉: UTR-KINKI、KUCA など

いろいろな研究炉

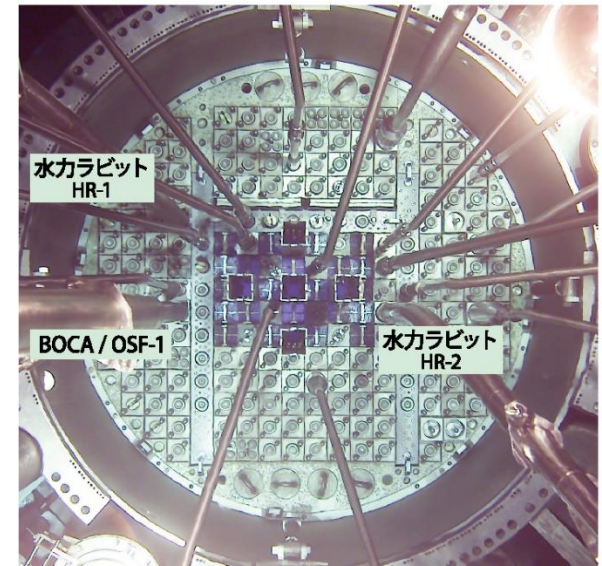
- 新しい原子炉開発のための炉
 - HTTR：出力3万kW
 - 高温ガス炉の開発のための炉



【1】出典：未来を拓く原子力2006, 日本原子力研究開発機構

いろいろな研究炉

- 照射試験のための炉
 - JMTR : 出力5万kW
発電炉の材料などの寿命を調べる
 - NSRR : パルス運転する炉
出力300kW、パルスするとき最大2千3百万kW
原子炉で事故が起きたときの燃料のようすを調べる



【2】 JMTR



【3】 NSRR

【2】 出典 : New JMTR (パンフレット) , 日本原子力研究開発機構

【3】 出典 : 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 研究炉
NSRR ホームページ (<https://nsrr.jaea.go.jp/nsr00index.html>)

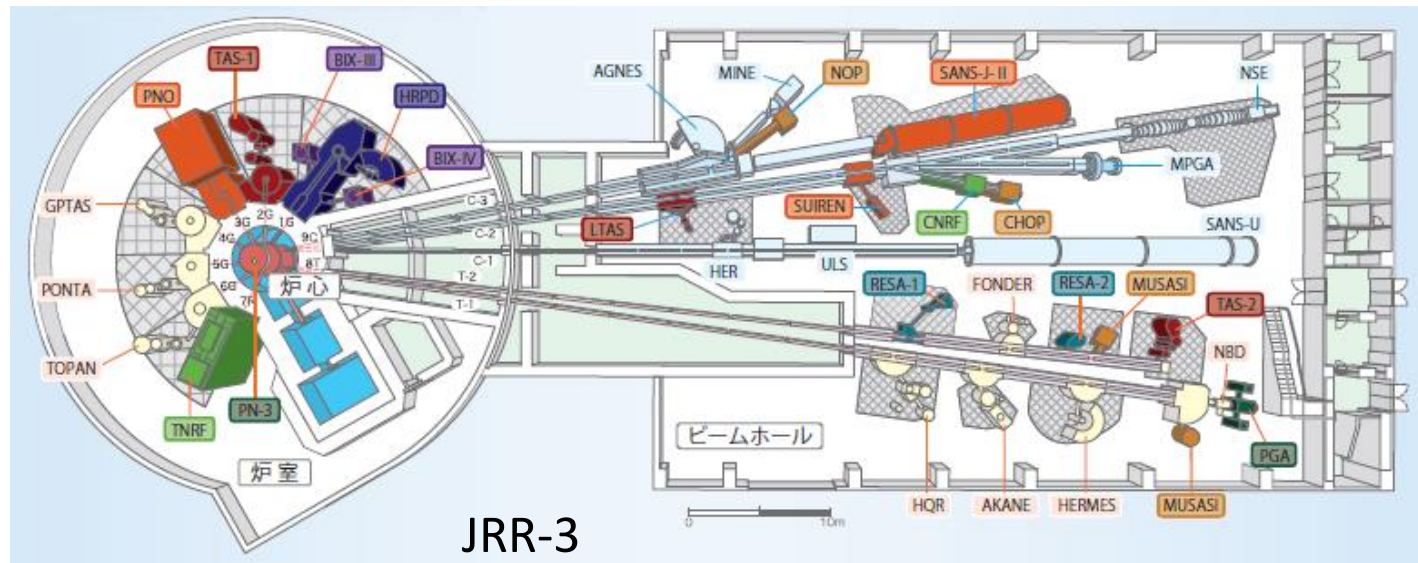
いろいろな研究炉

- 汎用の研究炉

中性子を使った色々な研究に使われる。

➤JRR-3：出力2万kW

➤KUR（京大研究用原子炉）：出力5千kW



JRR-3

左【4】出典：JRR-3パンフレット, 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 JRR-3 ホームページ (<https://jrr3.jaea.go.jp/6/61.htm>)

右【5】出典：JRR-3の多彩な中性子利用, 日本原子力研究開発機構 JRR-3ユーザズオフィスホームページ (<https://jrr3uo.jaea.go.jp/pamphlet/index.html>)

いろいろな研究炉

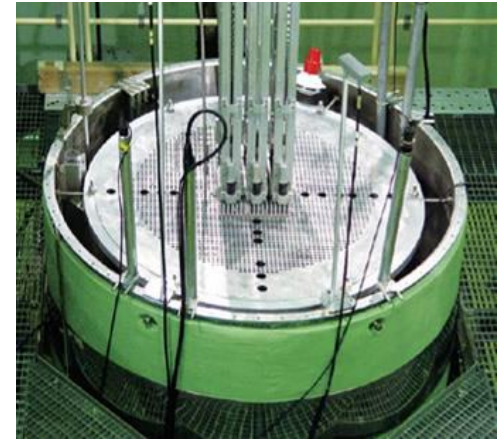
- 臨界実験装置

出力が低く、原子炉の炉心特性などの基礎的な研究や教育訓練に使われる。

➤TCA：最大出力200W

➤KUCA：最大出力100W

（京大臨界実験装置）



〔6〕 TCA



〔7〕 KUCA
（c架台）

臨界実験装置：英語ではCritical Assembly、略してCA

〔6〕 出典：日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 ホームページ (https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/anzen/anzen_04.html)

〔7〕 出典：京都大学大学院 エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻 核エネルギー学講座 中性子基礎科学分野HP (<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/shiroya-lb/kuca.htm>)

世界の研究炉



地域	運転中	一時 停止中	建設中	計画中	停止	廃止	廃止中	合計
北アメリカ	52				20	241	13	326
ラテンアメリカ	16	1	3		3	3		26
西ヨーロッパ	23	1	1	2	17	125	31	200
東ヨーロッパ	75	2	3	1	16	62	11	170
アフリカ	9	1		1	3	1		15
中東＋南アジア	17		3	2	2	6	1	31
東南アジア＋太平洋	6			1	1	2		10
極東	29	2	1	5	4	16	12	69
合計	227	7	11	12	66	456	68	847

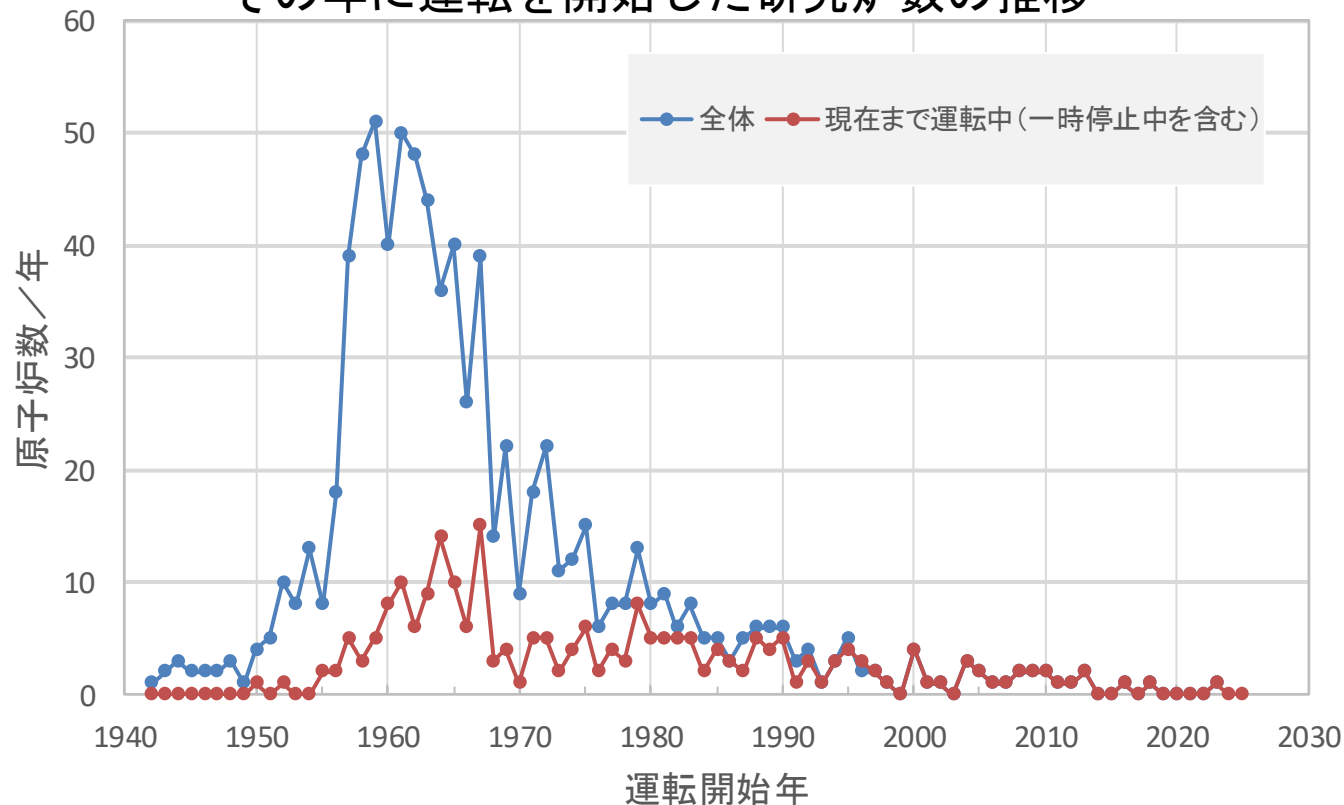
IAEA Research Reactors Databaseより2025年7月時点のデータをもとに作成

世界の研究炉

総数	運転中	建設・計画中	停止*	廃止中・廃止
847 (72国)	227 (52国)	23 (18国)	73 (28国)	524 (37カ国)

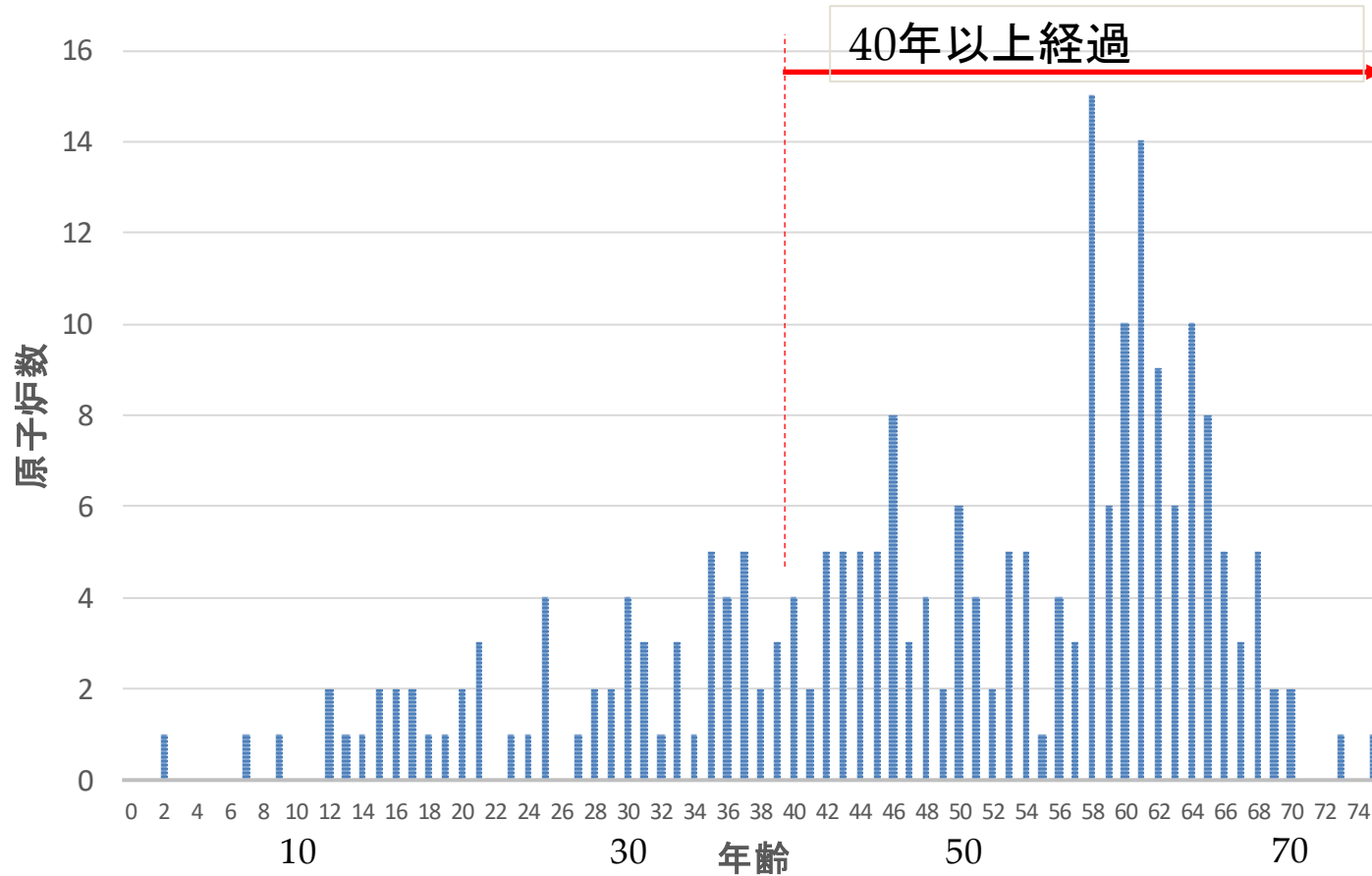
* 一時停止、永久停止を含む

その年に運転を開始した研究炉数の推移



IAEA Research Reactors Databaseより2025年7月時点のデータをもとに作成

研究炉の年齢分布

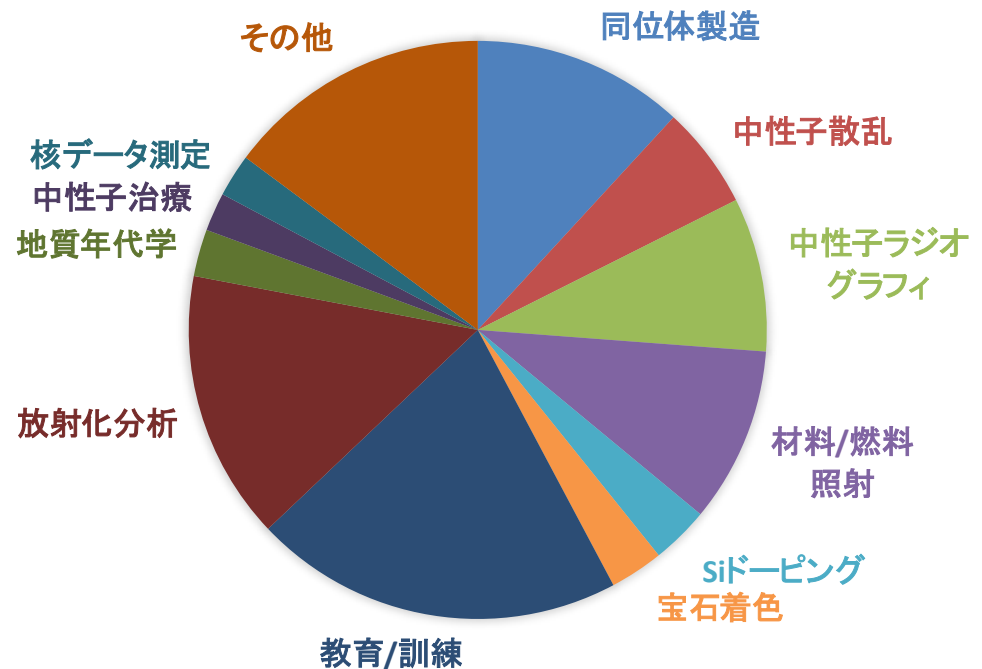


運転中及び一時停止中の炉234基中
170基（約7割）が40年以上経過

研究炉の用途（主に中性子利用研究）

研究炉は、多くの分野における研究開発、人材育成において重要な役割を果たしている。

分 野	利用数
同位体製造	99
中性子散乱	48
中性子ラジオグラフィ	72
材料/燃料照射	82
Siドーピング（核変換）	27
宝石着色（核変換）	25
教育/訓練	173
放射化分析	126
地質年代学	22
中性子治療	18
核データ測定	20
その他	124



IAEA Research Reactors Databaseより2025年7月時点のデータをもとに作成

注)「利用数」とは研究炉(運転中、一時停止、建設中、計画中の研究炉)のうち、上記分野の利用を実施している研究炉の数を示す。

研究分野としては放射化分析、同位体製造、材料/燃料照射が多い

参考：中性子の利用方法（中性子の特徴）

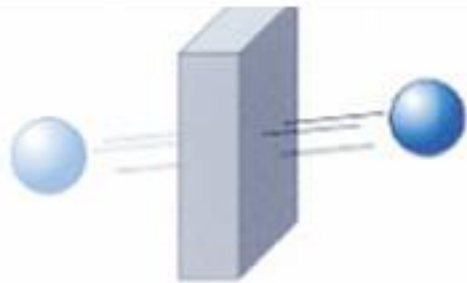
中性子に電荷はない（透過力が高い）
磁石の性質がある（磁場の影響を受ける）



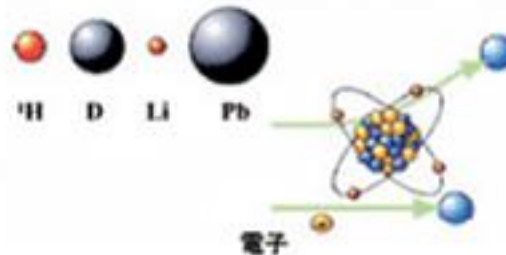
原子核と直接反応する
散乱（弾性、非弾性）、吸収（捕獲、核分裂）

原子・分子の構造に敏感（散乱反応）
原子・分子の運動に敏感（散乱反応）

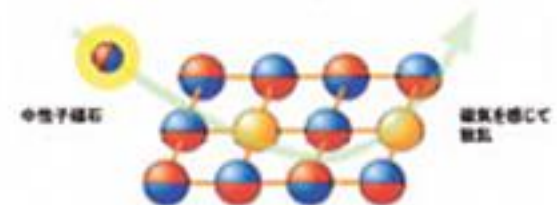
同位体（原子核の構造が異なる）を区別
原子核の状態を変える（核変換など）



(1)物を通り抜ける能力



(2)同位体を見分ける能力



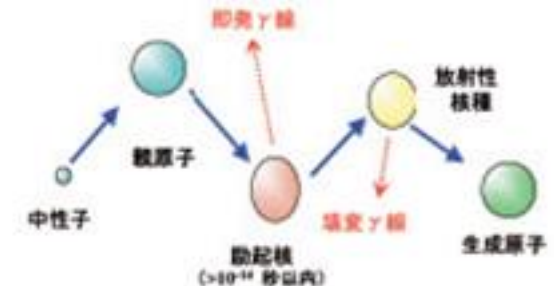
(3)磁場を感じる能力



(4)原子の並び方を見る能力



(5)原子の動きを見る能力



(6)原子を励起したり、変換する能力

参考：中性子の利用方法（X線との違い）

X線

散乱

元素

 1H 3Li 8O 25Mn 27Co 28Ni

中性子線

散乱

吸収

比較のために、Co原子のX線（散乱能力）と中性子線（散乱能力、実質的な吸収能力）の円の面積を同じにしている。

●：正の散乱長、●：負の散乱長

※中性子線の散乱能力と実質的な吸収能力は、Co原子の場合約50倍近く実質的な吸収能力の方が大きい。

反応の起こりやすさ

- X線は原子番号（原子核の重さ）が大きくなるにつれて、反応が起こりやすくなる（X線写真では重い核が影となって映る）
- 中性子は軽い核でも反応を起こしやすいものがある（反応しやすさは同位体に依存する）

【9】出典：一般財団法人量子放射線利用振興協会ホームページ (<https://rada.or.jp/neutron/what/>)

内部を調べるラジオグラフィ

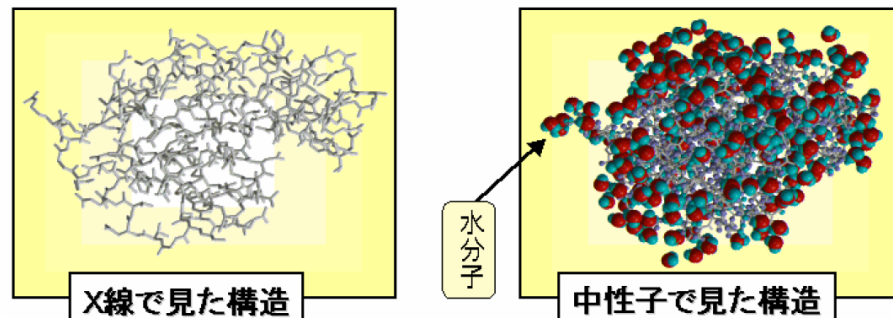
X線では見えない弾丸内部にある火薬（水素を含む）を中性子を使うと見ることができる。



【10】出典：Phoenix, LLC USA

分子構造を調べる散乱

ニワトリの卵白中のリゾチーム蛋白の3次元立体構造中の水分子が中性子で見える。



下記の出典をもとに作成した。

図6 研究炉を利用した中性子散乱研究

【出典】長期計画策定会議第四分科会(第2回):資料第4号、スライドNo.3 (1999年11月26日)

【11】出典：齋藤伸三，「中性子科学分野における研究開発の意義・将来展望」，第2回 長期計画策定会議 第四分科会資料（1999年10月21日開催），日本原子力研究開発機構

建設中の研究炉

IAEA Research Reactors Databaseより2025年7月時点のデータをもとに作成

A, Dが多い

施設名	国	型式	熱出力 (kW)	用途	稼働 予定*
RA-10	アルゼンチン	プール型	30,000	A, B, D, E	
RB-01	ボリビア	プール型 (VVR)	200	A, G, F	2025年
RMB	ブラジル	プール型	30,000	A, B, C, D, E, G, K	
REACTOR JULES HOROWITZ	フランス	プール内タンク型 (MTR)	100,000	A, D, E, K	2030年代
IRR-10	イラン	プール型	10,000	A, F	
KHRR	イラン	重水炉	20,000	A, D	
KJRR	韓国	プール型 (MTR)	15,000	A, D, E	2028年
MBIR	ロシア	高速炉	150,000	A, D, E, K	2028年
LPRR	サウジアラビア	プール型	30		
Argus-FTI	タジキスタン	均質炉 (溶液)	50	A, C, F, G	2020年
KIPT Experimental Neutron Source	ウクライナ	未臨界炉	0	A, D, I	2017年

A:同位体製造 B:中性子散乱 C:中性子ラジオグラフィ D:材料/燃料照射 E:核変換 F:教育/訓練 G:放射化分析
H:地質年代学 I:中性子治療 J:核データ測定 K:その他 (*「稼働予定」はデータベース記載時点の予定)

計画中の研究炉

IAEA Research Reactors Databaseより2025年7月時点のデータをもとに作成

施設名	国	型式	熱出力 (kW)	用途	稼働 予定*
MYRRHA	ベルギー	高速未臨界ADS炉	85,000	A, D, K (アクチニドの核変換)	
TFHR Thorium Pebble Bed	中国	実験炉	2,000	D, K (ペブルベッド概念の試験)	2017年
TMSR-LF1	中国	実験炉	2,000	K (Th-U液体燃料サイクル の試験)	2020年
TMSR-SF1	中国	実験炉	10,000	K (Th-U TRISO固体燃料 サイクルの試験)	2020年
High Flux RR	インド	プール型炉	40,000	A, D, E, G	
Thermal RR	インド	プール型炉	125,000	A, C, D, G, J	
Planned Research Reactor	モンゴル	プール型炉	5,000	F	
PALLAS**	オランダ	プール型炉	25,000	A, D	2030年
Multipurpose RR	ナイジェリア	プール型炉	10,000	A, D, E, F, G	
SUT MNSR	タイ	MNSR (小型中性子源炉)	45	C, F, G, I (BNCT)	2023年 建設許可
Multipurpose RR	ウクライナ	プール型炉	20,000	A, D, F	
Multipurpose RR	ベトナム	プール型炉, IRT	15,000	A, B, D, E, F, G	

** SNET-P FORUM2022, Proc., Tech. Session 4, "HFR and Pallas," by Ronald Schram のデータより追記

A:同位体製造 B:中性子散乱 C:中性子ラジオグラフィ D:材料/燃料照射 E:核変換 F:教育/訓練 G:放射化分析
H:地質年代学 I:中性子治療 J:核データ測定 K:その他 (*「稼働予定」はデータベース記載時点の予定)

日本の研究炉 (2025年8月時点)

7基が再稼働済、1基が審査中

名称	型式	出力 (kW)	運転 開始年	用途	設置者
JRR-4*	プール型	3,500	1965	遮へい/照射実験	JAEA/東海
JRR-3	プール型	20,000	1990	多目的利用	
NSRR	トリガ炉 (パルス)	300 (23,000,000)	1975	燃料挙動実験	
TCA*	臨界装置(C.A.)	0.2	1962	炉物理実験	
FCA*	C.A. 高速炉	2	1967	炉物理実験	
STACY	C.A. 均質炉 ^{注1)}	0.2	1995	炉物理実験	
TRACY*	均質炉 (パルス)	10 (5,000,000)	1995	臨界事故実験	
JMTR*	タンク型	50,000	1968	多目的利用	JAEA/大洗
HTTR	高温ガス炉	30,000	1998	HTGR プラント試験	
常陽**	高速炉	140,000	1977	FBR 燃材料照射	
NCA*	C.A.	0.2	1963	炉物理実験	東芝
弥生*	高速炉	2	1971	高速中性子源	東京大学
UTR -KINKI	アルゴノート型	0.001	1961	炉物理実験	近畿大学
KUR ^{注2)}	タンク型	5,000	1964	多目的利用	京都大学
KUCA**	C.A.	0.1	1974	炉物理実験	

* 1F事故後に廃止措置に移行(7基)

** 停止中(2基)、常陽は新規規制基準対応中、
KUCAは燃料低濃縮のため2021年7月から停止中^{注1)} STACYは非均質炉に改造、2024年8月運転再開^{注2)} KURは2026年5月に運転終了予定

日本の試験研究炉の現状

原子力分野の人材育成を行う上で重要な試験研究炉は、その多くが建設から40年以上経過するなど高経年化が進むとともに、新規規制基準への対応等により、運転再開予定も含め、茨城県に5施設（日本原子力研究開発機構）、大阪府に3施設（京都大学、近畿大学）のみ。

茨城県東海村

【日本原子力研究開発機構】

- J R R - 3
※R3.2.26 運転再開
- 原子炉安全性研究炉（N S R R）
※H30.6.28 運転再開
- 定常臨界実験装置（S T A C Y）
※R6.8.2 運転再開

「もんじゅ」（福井県敦賀市）
サイトに設置予定の新試験研究
炉（出力10MW、現在設計中）

大阪府熊取町

【京都大学複合原子力科学研究所】

- 京都大学炉（K U R）
※H29.8.29 運転再開
- 京都大学臨界集合体実験装置（K U C A）
※H29.6.21 運転再開

1995年	○運転中	△停止中	×廃止措置中
原子炉施設	20	0	6



現在	○運転中	△停止中	×廃止措置中
原子炉施設	7	1	11

民間も
含めて
14

茨城県大洗町

【日本原子力研究開発機構】

- H T T R（高温工学試験研究炉）
※R3.7.30 運転再開
- △高速実験炉「常陽」
※R5.7.26 設置変更許可取得

前頁表中の7基の他、
JRR-2、DCA、むつ
(JAEA)、TTR-1(東
芝)、HTR(日立)、
立教大学炉、
東京都市大学炉、
の7基が廃止措置中

大阪府東大阪市

【近畿大学】

- 近畿大学炉
※H29.4.12 運転再開

参考：計画/建設中の研究炉（事例紹介）

計画/建設中の研究炉として、以下の2基を紹介する

○ジュール・ホロヴィッツ材料試験炉(JHR)

フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)がカダラッシュ研究所に建設中の材料試験炉、熱出力100MW

○新試験研究炉(名称未定)

日本原子力研究開発機構(JAEA)が「もんじゅ」サイトに建設予定の中性子ビーム炉、熱出力10MW

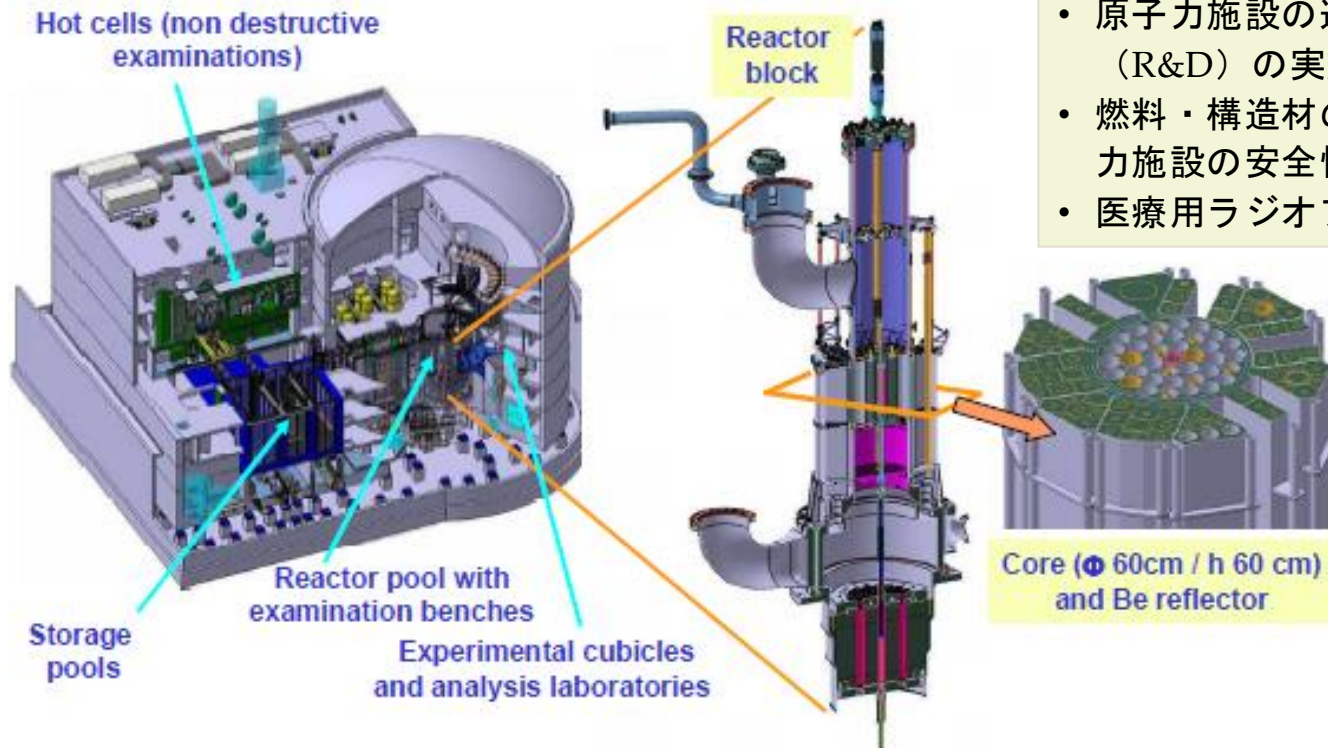
参考：JHR ジュール・ホロヴィッツ材料試験炉 参考：JHR

(JULES HOROWITZ MATERIAL TEST REACTOR)

- JHRはフランス南部のCadarache（カダラッシュ）研究所で建設中の材料試験用の研究炉
- 最大熱出力100MW、高い中性子束 ($10^{14}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)を有するプール型の研究炉

欧州の研究炉の老朽化→JHRは次世代の研究インフラ

- 原子力施設の運転を支える研究開発（R&D）の実施
- 燃料・構造材の照射下での挙動理解と原子力施設の安全性向上
- 医療用ラジオアイソトープの安定供給



【13】 出典：Colin, C., Pierre, J., Blandin, C., Gonnier, C., Moulin, D., Auclair, M., & Rosenblum, F. (2012). Experimental devices in Jules Horowitz Reactor dedicated to the material studies in support to the current and future nuclear power plants. Prague, IGORR, 14, 18-22.

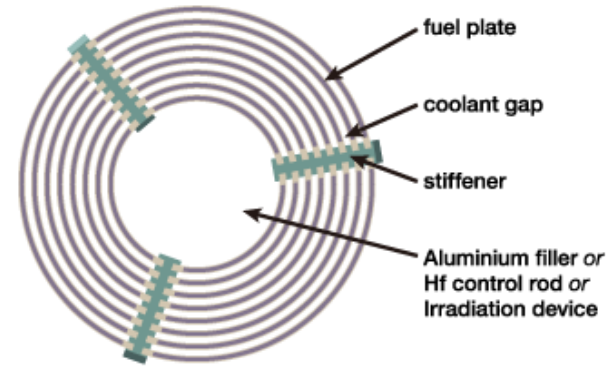
2007年:建設開始、2030年代前半:初臨界予定（当初予定:2014年）

エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社（内閣府 令和5年度科学技術基礎調査等委託事業）

「令和5年度 諸外国における原子力安全制度の整備状況等に関する調査 成果報告書」より引用

燃料設計

- 炉心は燃料要素 37 体で構成され、その周囲にBe反射体を配置
- 燃料は低濃縮ウラン燃料で、同心円状に配置した 8 枚の湾曲した燃料板を有する 3 セクターで構成



照射設備

- 照射下における材料および燃料の挙動研究のための主要な研究基盤として、（EU内の）既存および将来の原子力発電にかかる幅広いニーズに対応できる柔軟な実験施設を設置
- 幅広い照射レベルにおいて最大20の同時実験を可能にするため、多数の照射設備を設置

① 炉心内の照射設備

最大直径33.1mm：7か所

最大直径80mm：3か所

② 固定反射体内の照射設備

最大直径97mm：16か所

最大直径200mm：1か所

③ 反射体を貫通する水路内の照射設備

直径最大100mm：4台（可動式）

④ 同位体製造用照射設備

^{99}Mo 製造用装置4台（可動式）

国際コンソーシアム

- JHR材料試験炉プロジェクトを支える各機関により国際コンソーシアムを設置（現在、15機関が参加）
- コンソーシアムの各メンバーは、資金やサービス、あるいはその両方を提供し、その見返りとして実験へのアクセス権を取得



FRANCE CEA

FRANCE AREVA SA

FRANCE TECHNICATOME

FRANCE FRAMATOME

FRANCE EDF



BELGIUM SCK CEN



CHINA CGN



CZECH REPUBLIC UJV CVR



SPAIN CIEMAT



FINLAND VTT



ISRAËL IAEC



INDIA DAE



SWEDEN STUDEVIK



UNITED KINGDOM NNL



EUROPEAN UNION EC/JRC (OBSERVER)

参考：新試験研究炉について

経緯

- 2016年12月 高速炉「もんじゅ」の廃止に伴い、「原子力関係閣僚会議」が「もんじゅ」サイトを活用した新たな試験研究炉の設置を決定
- 2020年9月 文部科学省は設置する試験研究炉を中性子ビーム利用を主とした出力10MW未満の中出力炉に絞り込み
- 2020年11月 原子力機構・京大・福井大が中核機関として採択され、この三機関が概念設計を開始
- 2022年12月 京大・福井大との連携を前提として、文部科学省が原子力機構を実施主体に選定
- 2023年3月 詳細設計開始、同年11月に三菱重工を主契約企業に選定

設置の目的

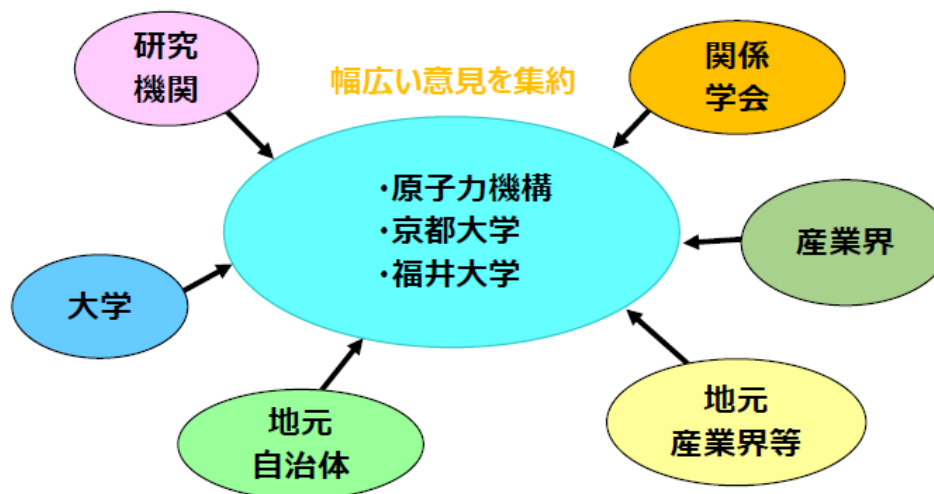
- ・我が国の原子力研究開発・人材育成の西日本における中核的拠点の形成及び地域振興への貢献
- ・高度な原子力人材育成の継続的な確保・育成強化
- ・中性子利用需要に対応した研究基盤の維持、整備
- ・試験研究炉の設計、建設、運転維持に関する技術の蓄積と継承



新試験研究炉の検討の体制



学术界、産業界、地元関係機関等からなるコンソーシアム会合を開催し、幅広い意見を反映しながら原子炉施設、利用施設、人事育成、運営の在り方を検討



原子力機構が実施主体となり、我が国の今後の原子力研究や人材育成を支える基盤となる中核的拠点として整備していくため、京都大学、福井大学と協力協定を結び連携して新試験研究炉の計画を進めている。

○京都大学－原子力機構：新試験研究炉に係る計画・設計・建設

○福井大学－原子力機構：新試験研究炉の利用（特に中性子ビーム及び照射）に係る人材確保と育成

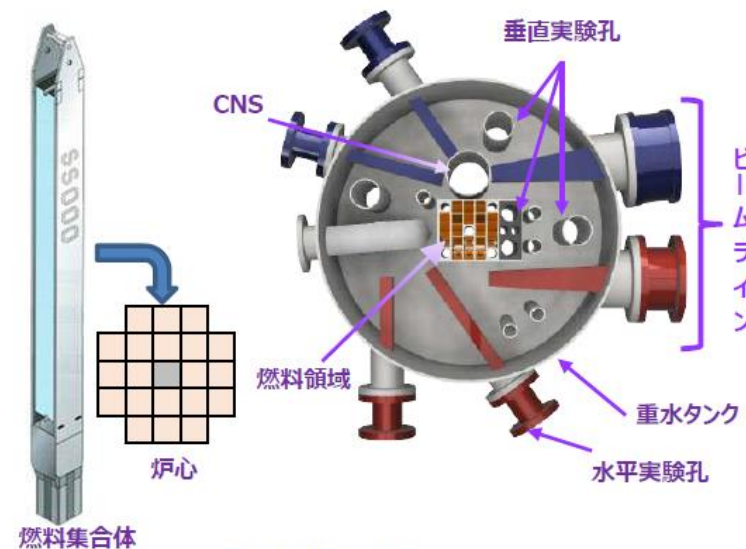
○京都大学－福井大学：原子力研究や中性子利用に係る学部・大学院学生の教育



新試験研究炉の基本諸元等

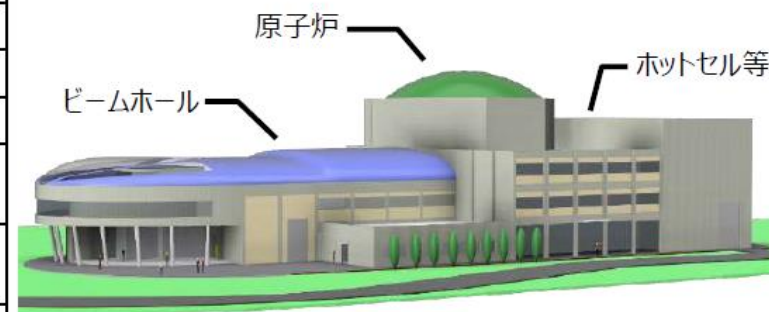


項目	仕様
炉型式	軽水減速軽水冷却重水反射体付 スイミングプール型
熱出力	10 MW未満
最大熱中性子束	約 1.5×10^{14} n/cm ² /sec(重水領域)
炉心 形状	角形形状
格子数	25
寸法	約40cm×約40cm×約75cm(燃料領域)
燃料要素	20体(フォロー燃料要素を含む)
照射筒	5体
減速材	軽水
冷却材	軽水
冷却方式	強制循環(運転中)、自然循環(停止中)
反射材	重水
制御棒	4体(フォロー型)または6体(板状型)
吸収体材質	ハフニウム、ホウ素など
形状	フォロー型または板状型
生体遮へい体	プール内軽水、重コンクリート、 普通コンクリート
ビーム利用	中性子小角散乱、中性子イメージング、中性子 回折、中性子反射率など
照射利用	放射化分析、RI製造など



炉心部のイメージ

(※イメージであり、実験孔の配置、数は決定したものではない)



新試験研究炉の完成イメージ

注：上記の仕様は今後変更となる可能性あり



詳細設計検討スケジュール



（参考）旧規制基準下において設置許可申請から建設終了までに、HTTR（高温工学試験研究炉）では約8年、STACY（定常臨界実験装置）では約7年を要している。

設工認：設計及び工事の計画の認可

研究炉の特徴：発電炉との相違

以下では、以下の2つの炉型を取り上げて、発電炉との相違について述べる。

- 研究炉の代表的な炉型である「中性子ビーム炉」

- 特別な配慮が必要となる「臨界実験装置」

研究炉の特徴：発電炉との相違(1)

－主に中性子ビーム炉を想定－

- 炉心を小さく、出力密度を高くして、高中性子束を達成
炉心体積：発電炉約 30m^3 (PWR) ⇔ 研究炉約 0.2m^3
 - 小型炉心により炉心から実験設備に漏えいする中性子量増加
 - 小型炉心とするため燃料濃縮度が高い(約20%濃縮U)
 - 冷却性能の高い板状燃料を使用し、高出力密度でも燃料温度が 100°C 以下(冷却水が沸騰しない)となるように除熱している。
- 中性子の利用効率を高める材料の使用
 - 構造材は中性子吸収が少ないアルミニウムを主に使用
(融点が低く、 200°C を超える高温では機械的強度、耐食性が劣化するため、発電炉では使用が困難)
 - 減速材・反射材として重水やBe、Cなどを使用
(トリチウム生成、スウェリング等に注意が必要)

研究炉の特徴：発電炉との相違(2)

－主に中性子ビーム炉を想定－

- 熱出力が小さい(崩壊熱が小さい)

熱出力：発電炉約300万kW⇔研究炉約2万kW(JRR-3)

- 停止後の冷却が容易

- ✓ 短時間の強制冷却＋その後の自然対流冷却

- ✓ 炉によっては、自然対流のみで冷却可能

- 停止後の冷却に動力源が不要

- (JRR-3の解析では停止後自然循環のみで冷却が可能

- 炉心の冠水維持が最も重要)

- 燃料に蓄積する放射エネルギーが小さい

- ✓ 比較的都市部に設置可能

- ✓ 放射性物質の閉じ込めバリアが少ない

研究炉の特徴：発電炉との相違(3)

—主に中性子ビーム炉を想定—

●温度・圧力(及び放射線)が低い

発電炉320°C/15MPa(PWR) ⇔ 研究炉40°C/常圧(JRR-3)

- 運転-停止サイクルによる機器等への負荷が小さい
 - ✓ 機器等の損耗が少ない(寿命が長い)
 - ✓ 容易に原子炉を停止して点検等を実施可能
- 計画外停止すると機器への負荷の他、電力供給停止(停電)の社会的影響が大きな発電炉とは設計思想が大きく異なる
- 外部からの冷却水注入が容易
 - 発電炉では、圧力を下げての注入あるいは高圧注入が必要
- 施設外への放射線影響よりも施設内での影響が大きくなりやすい
- 圧力容器、格納容器のような閉じ込め機能を有していない
 - ✓ 放射性物質の閉じ込めバリアが少ない

研究炉の特徴：発電炉との相違(4)

－主に中性子ビーム炉を想定－

- 実験設備を有している(ホットラボ等を含む)
 - 炉心構成や炉の運転に影響(反応度変化等)を与えることがある
 - ✓ 実験設備の利用や不具合が炉の安全に影響を及ぼさないことが重要
 - 様々なRIや核燃を多様な形態で使用する必要がある
 - ✓ 核燃やRI関係規制との多重規制施設となる
 - ✓ 種々の汚染や廃棄物の処理を考慮する必要がある
 - 可燃物や発火源、高圧ガス、大電力等を用いることがある
 - ✓ 各種の法令対応、安全性の確保
 - 外部の実験者が常時立ち入る
 - ✓ 実験者の被ばく管理、安全に関する教育の徹底

研究炉の特徴：発電炉との相違(5)

－臨界実験装置の特殊性－

● 臨界実験装置とは

「臨界実験装置」とは、炉心構造を容易に変更することができる試験研究用等原子炉であって、核燃料物質の臨界量等当該試験研究用等原子炉の核特性を測定する用に専ら供するものをいう。(試験炉設置許可基準規則)

● 臨界実験装置の特徴

- 通常の研究炉よりも出力が低く(数W～100W程度)、運転中も冷却不要
- 停止後短時間で炉心にアクセス可能
 - 燃料操作や実験機器の設置などを手作業で実施可能
- 実験目的のために、種々の炉心を構成する機能が必要
 - ✓ このため、ハード上の制限を厳しくすることは困難であり、段階的な炉心構成手順などソフト上の制限との併用が必要
 - ソフト上の制限を遵守できる力量・体制を有していることが重要
 - ✓ 各種の実験用燃料や構造材、実験装置等を炉心に装荷する場合あり

研究炉の燃料等の状況（１）

- 通常の発電炉（軽水炉）では、ウラン濃縮度5%以下の燃料を使用しているが、研究炉では前述のように濃縮度を高くした燃料を使用している。
- 研究炉の燃料は、かつては高濃縮度（濃縮度20%以上、45%や93%など）のウラン・アルミニウム合金（U-Al）が主流であったが、米国の低濃縮化政策により、一部の研究炉を除いて、濃縮度20%未満の燃料に替えられた。
- 高濃縮度から20%未満へ濃縮度を低減しながら、燃料の性能を維持するために、U-Al合金燃料よりもウラン密度を高くできるウラン・シリサイド・アルミニウム（ U_3Si_2 -Al）分散型が開発された。

近年は、ウラン密度をより向上させたU-Mo合金燃料の開発が行われている。各燃料のウラン密度は以下のとおり。

- U-Al合金燃料：ウラン密度最大 $0.75\text{g}/\text{cm}^3$
- U_3Si_2 -Al分散型燃料：ウラン密度最大 $4.8\text{g}/\text{cm}^3$
- U-Mo合金燃料：ウラン密度 $6\text{--}7\text{gU}/\text{cm}^3$ 以上

核不拡散の分野では、ウラン235濃縮度が20%未満の燃料を低濃縮ウラン（LEU）、20%以上の燃料を高濃縮ウラン（HEU）と呼んでいる。また、最近は小型モジュール炉（SMR）開発において利用が検討されている濃縮度が5%を超え、20%未満の燃料をHALEU(High Assay Low Enriched Uranium)と呼んでいる。

研究炉の燃料等の状況（２）

- 主な研究炉ではウラン濃縮度5%を超える燃料（HALEU）を使用しているが、現在、国内でHALEUを用いた研究炉用燃料を製造する施設は存在しない。
- 高温ガス炉・HTTR（HALEU燃料）や高速実験炉・常陽（MOX燃料）については、現時点では燃料製造施設がないため、運転を今後も継続するためには速やかに新燃料の製造・調達手段を確立することが必要。
- 研究炉の使用済燃料は国内では再処理（処分）ができない状況。JRR-3等の板状HALEU燃料は米国に引き渡しているが、今後に向けては、何らかの処分の方策を検討する必要がある。
- 研究炉（核燃料）由来の放射性固体廃棄物は発電炉の廃棄物とは別に処分する必要があり、埋設処分の実施に向けた検討が行われている。処分実施開始までの間は、各施設において固体廃棄物を保管しておく必要がある。

1999年に発生したJCO臨界事故を踏まえ、濃縮度5%を超えるウラン加工施設（特定ウラン加工施設）には、臨界事故の想定とその対策（未臨界措置など）が要求されるようになった。新規制基準でもほぼ同様の要求となっている。

KURと発電炉の比較

何かあったらすぐに止めて調査

止めると影響が大きい

	研究用原子炉KUR	福島第一発電所
目的	中性子発生(研究用)	発電
運転状態	低出力、低温、低圧	高出力、高温、高圧
熱出力(kW)	5000	1号機:138万 2～5号機:238万 6号機:329万
燃料(集合)体の重さ(kg)	約6	約250
ウラン装荷量(トン)	最大0.037	1号機:69 2～5号機:94 6号機:132
原子炉内の水量(トン)	約25	約400(6号機の場合)
運転中の温度(℃)	約55以下	約285
運転中の圧力	大気圧	約70気圧

停止後の燃料の冷却は短期間で可

停止後も長期にわたる燃料の冷却が必要

研究炉の規制

- **設計→建設→運転→廃止**
の各段階において規制(審査・検査等)を実施
→ 基本的には発電炉と同じ流れ

試験研究炉等の安全規制 ～段階的安全規制～



研究炉規制にかかる規則等

- 試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則
(試験炉規則)
- 試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則
(試験炉設置許可基準規則) → まずは設置許可取得が必要
- 試験研究の用に供する原子炉等の技術基準に関する規則
(試験炉技術基準規則)
- 原子力施設の保安のための業務に係る品質管理に必要な体制の基準に関する規則

告示

- 核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示
- 核燃料物質等の工場又は事業所内の運搬に関する措置等に係る技術的細目等を定める告示

内規

- 試験研究の用に供する原子炉等における保安規定の審査基準
- 試験研究用等原子炉施設の経年劣化に関する技術的な評価及び定期的な評価に関する運用ガイド
- 廃止措置段階の試験研究用等原子炉施設における保安規定の審査基準
- 発電用原子炉施設及び試験研究用等原子炉施設の廃止措置計画の審査基準
- 廃止措置の終了確認における敷地土壌等の状況の判定に関するガイド

新規制基準の策定・施行：2013年～

福島第一原発事故を踏まえ、規制基準を大きく見直し（研究炉の場合）

旧規制基準（安全審査指針）と新規制基準（設置許可基準）の比較

福島事故の反省：想定を超える事象にも
何らかの対応が必要

□ 高中出力炉*について設計基準を超える
事故の評価を追加要求

□ 自然災害（地震・津波、洪水、風、竜巻、
凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山、
森林火災等）の評価方法を厳格化

□ 外部人為事象、第三者の不法な接近等
に対する考慮を明確化

□ 敷地内の外部研究者や見学者等に対す
る事故の発生の連絡や必要な指示を行
うための対策を要求

多量の放射性物質を放出する
事故への対応

外部衝撃（自然現象）
に対する考慮
（火災・竜巻・森林火災等）

外部衝撃（人為事象）
に対する考慮

人の不法侵入等の防止

内部溢水に対する考慮

火災に対する考慮

電源の信頼性

その他の設備の性能

耐震・対津波性能

自然現象に対する考慮

火災に対する考慮

電源の信頼性

その他の設備の性能

耐震・対津波性能

* 中出力炉：500kW 以上、
10MW未満
高出力炉：10MW以上、
50MW以下

旧規制基準

新（現行の）規制基準

参考：新規制基準の策定の議論

「高中出力炉について設計基準を超える事故の評価を追加要求」する理由

核燃料施設等の新安全基準に関する検討チームにおける議論

- 研究炉は、発電炉に比べると出力は小さいが、その中でも熱出力の大きな研究炉は、事故が拡大した場合、放射性物質の放出により周辺公衆へ影響を与える事故が起こることを否定できない。
- IAEAの安全要件「試験研究炉の安全」(NS-R-4)によれば、防護の第4レベルとして、設計基準外事故(BDBA)に対する防護等を求めている。
- これらのことから、設計基準を超える事象が想定され、周辺公衆へ影響を及ぼすおそれのある研究炉については、災害の防止の観点から、設計基準を超える事象に対する対策を要求することとする。
- ただし、低出力炉(500kW未満)については、以下のことから設計基準を超える事象を想定した設備対応は必要としない。
 - 低出力炉(500kW未満)では、全機能喪失時、仮想事故時の評価結果から、設計基準を大幅に超えたとしても敷地外への影響が小さいこと。
 - IAEAのNS-R-4では、低出力研究炉については、防護の第4レベルは必要としないという事実を踏まえるべきとしている。

参考「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」

【設置許可基準】 水冷却型研究用原子炉に適用される条項(34個)

第1条	適用範囲	第23条	保管廃棄施設
第2条	定義	第24条	工場等周辺における直接ガンマ線からの防護
第3条	試験研究用等原子炉施設の地盤	第25条	放射線からの業務従事者の防護
第4条	地震による損傷の防止	第27条	原子炉格納施設
第5条	津波による損傷の防止	第28条	保安電源設備
第6条	外部からの衝撃による損傷防止	第29条	実験設備等
第7条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	第30条	通信連絡設備等
第8条	火災による損傷の防止	第31条	外部電源を喪失した場合の対策設備等
第9条	溢水による損傷の防止等	第32条	炉心等
第10条	誤操作の防止	第33条	一次冷却系統設備
第11条	安全避難通路等	第34条	残留熱を除去することができる設備
第12条	安全施設	第35条	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備
第13条	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	第36条	計測制御系統施設
第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	第37条	原子炉停止系統
第18条	安全保護回路	第38条	原子炉制御室等
第19条	反応度制御系統	第39条	監視設備
第22条	放射性廃棄物の廃棄施設	第40条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止

最近の原子力規制の状況（研究炉関連）

- 新規規制基準の策定・施行（2013年）
外部事象対応の強化、BDBAへの対応、バックフィット制度の導入、審査の長期化
- 品質マネジメントシステムの本格導入（2020年）
トップマネジメント徹底、各種プロセス管理の厳格化、CAPの導入、核燃使用施設へQMSの適用
- 新検査制度の導入（2020年）
フリーアクセス制度、事業者検査（独立検査員）
- セキュリティの強化
監視等の強化、信頼性確認制度導入（2019年）、
RIセキュリティの導入（2019年）、Safetyとの調和

新検査制度の導入（2020年～）

検査制度の改正前後の違い（まとめ）

制度改正前	制度改正後
1 ・事業者が安全を確保するという一義的責任を負っていることが不明確 ・規制機関のお墨付き主義に陥る懸念 →事業者の改善を促進しない体系	・事業者自らに検査義務等を課し、規制機関の役割は事業者の取り組みを確認するものへ →事業者の責任の明確化と改善の促進
2 ・重複のある複数かつ混み入った形態の検査 ・法令において、検査対象や検査時期が細かく決められている →事業者の全ての安全活動に目が行き届かない	・規制機関の全ての検査を一つの仕組みに一本化 ・検査の対象は、事業者の全ての安全活動 →規制機関のチェックの目が行き届く仕組み
3 ・あらかじめ決められた項目の適否をチェックする、いわゆるチェックリスト方式 →安全上重要なものに焦点を当てにくい体系	・安全上の重要度から検査の重点を設定 ・リスク情報の活用や安全実績指標（PI）の反映などを取り入れた体系 ・安全確保の視点から評価を行い、次の検査などにフィードバック →安全上重要なものに注力できる体系
4 ・事業者の検査対応部門を通じた図面、記録の確認、現場巡視が中心 →事業者の視点に影響される可能性	・検査官が必要と考える際に、現場の実態を直接に確認する運用 ・規制機関が必要とする情報等に自由にアクセスできる仕組み（いわゆるフリーアクセス）を効果的に運用

「原子力規制検査の概要」（原子力規制委員会）（<https://www.nra.go.jp/activity/regulation/kiseikensa/gaiyou.html>）をもとに作成

RI法令改正（RIセキュリティ導入等）

- 防護措置(セキュリティ対策)の義務化【特定RIが対象】
有害な放射線影響を引き起こすことを意図した又は起こし得る悪意のある行為を防止するために、**RIの防護措置(セキュリティ対策)**を法律で義務づけ
- 危険時の措置の強化【極めて数量の大きいRI、大規模研究用加速器施設が対象】
Graded Approachの考え方にに基づき、**危険時の措置の事前対策**を要求。
- 業務の改善活動の導入【特定RIが対象】
IAEA基本安全原則の「安全に対するリーダーシップとマネジメント」を踏まえ、**PDCAサイクルの体制の構築**を要求。

注：研究炉では起動用中性子源が防護措置の対象となる。

等級別扱い (Graded Approach)とは

等級別扱いの定義

IAEA Safety Glossary (<https://doi.org/10.61092/iaea.rrxi-t56z>) より引用

1. 規制制度のような管理のためのシステムにおいて、適用される措置や条件の厳しさが、実効可能な範囲で、**管理不能となる可能性やその潜在的な結果、リスクの程度に釣り合いがとれていること**
2. 安全要件の適用において、**施設等の特徴、被ばくの影響の程度や可能性に釣り合いがとれていること**

研究炉における等級別扱いの使用について

Use of a Graded Approach in the Application of the Safety Requirements for Research Reactors より引用

等級別扱いとは、研究炉に関連する**リスクに見合った安全要件を適用すること**である。等級別扱いの使用は、解析、文書化、および対策の必要性の度合いが、研究炉の性質と特性、施設の寿命の各段階、および放射線リスクの大きさに見合ったものであることを確実にすることを意図している。



安全性向上にかかる規制のコスト（労力）が安全性向上により得られる成果（リスクの低下）に見合ったものとなっているか

Graded Approachの積極的導入

試験研究炉(以下、研究炉)は熱出力、燃料型式、冷却方式が多種・多様であり、適切な規制のためには各研究炉の特性に対応した規制が必要
(Graded Approach)



原子力規制委員会においては、低出力炉の審査経験をもとにGraded Approachへの今後の対応をとりまとめており、Graded Approach導入の努力をしている。しかしながら中高出力炉の審査等においては、発電炉のガイドを準用するなど、その導入は不十分ではないか。

例: 外部事象(竜巻など)の評価ガイドは、発電炉用ガイドを準用

研究炉の審査等へのGraded Approach導入には、事業者が研究炉の潜在的なリスクの大きさ(発電炉との比較)を明示し、規制がそのリスクに見合ったものであるかどうかについて規制当局と議論していくことが必要と考える。

試験研究炉の安全規制への留意点1(私見)

安全機能喪失時の公衆の被ばく線量の基準について

安全機能喪失時の公衆の被ばく線量が5mSvを超えるかどうかで、適用される規制内容が大きく異なっているが、この5mSvの妥当性について、十分な議論が行われていない。

(発電炉、研究炉に共通の判断基準)

本来、5mSvは設計基準事故の判断基準であり、これをSクラス等の判別に使う根拠が不明。また、発電炉の安全機能喪失時の影響は研究炉に比べて桁違いに大きく、同じSクラスでも、その重要度が大きく異なっている。

しかし、研究炉でもSクラスの設備と判断された場合には、発電炉と同等の防護などが要求されることとなる。

試験研究炉の安全規制への留意点2(私見)

安全機能の重要度分類について

研究炉の安全機能の重要度分類は、発電炉(軽水炉)の重要度分類を参考に策定し、発電炉と同様に、異常発生防止系(PS)と異常影響緩和系(MS)の2つのシステムについて、それぞれ3つのクラスに分類している。

発電炉と研究炉が有している潜在的な危険度(ハザード)を考えると、安全機能喪失時の環境等への影響は大きく異なることから、重要度分類が同じクラスの機器設備であっても、その絶対的な重要度は大きく異なるはずであり、この重要度クラスは、研究炉というカテゴリー内での相対的なクラス分けであると考えられる。

しかしながら、機器故障時の対応などでは、発電炉と同等の取扱いが求められている。

海外の規制状況（米NRCの事例）

- NRCの「良い規制の原則」（1991年制定）

独立性、公開性、**効率性**、明確性及び信頼性の5つがある。

効率性：米国の納税者、電気料金を支払っている消費者、認可取得者は皆、規制活動の管理・運営が可能な限り最良の状態であることを求める権利がある。最高の技術力・管理能力が求められ、NRCは常にこれを目指すものとする。規制能力を評価する手法を確立し、継続的に改善していかなければならない。**規制活動は、それにより達成されるリスク低減の度合いに見合ったものであるべき**である。有効な選択肢が複数ある場合は、**リソースの消費が最少となる選択肢を採るべき**である。**規制の判断は不必要な遅れが生じないようにすべき**である。

Principles of Good Regulation(ML14135A076), U.S.NRC, 2014より引用

これは等級別扱い（Graded Approach）と同等の考えといえる。

海外の規制状況（米NRCの事例）

- 早期サイト許可 (Early Site Permit)
建設許可申請が出されているか否かに係わらずサイトの許可のみを与える。
- 標準設計認証 (Standard Design Certificate)
施設の建設許可やCOLの申請とは関係なく、施設の標準設計を承認する。
- 一括許可 (Combined License)
これまで二段階に分けて出されていた建設許可 (CP) と運転認可 (O) を結合した認可 (コンバインド・ライセンス: COL) を発給する。ただし、この段階は条件付きの運転認可であり、運転の開始前には運転できる態勢にあることがNRCにより確認される必要がある。申請に際しては、早期サイト許可 (ESP)、標準設計認証 (SDC) を得ておくことは必ずしも必要な条件ではないが、これらを満たしている場合は審査が容易になる。

Nuclear Power Plant Licensing Process. (NUREG/BR-0298 Rev 2), U.S.NRC, 2004より引用

「令和4年度 原子力の利用状況等に関する調査（諸外国における原子力発電所の利用に関する事項の調査）報告書」, 令和5年3月, 日本エヌ・ユー・エス株式会社より引用

【参考】米国（申請前審査制度）

- NRCでは、新設等の大規模な申請の前に、申請者とNRCとの間で申請前審査と呼ばれる事前折衝を行うことが通例となっている。
- 申請前審査は、NRCの非公式の制度としては古くから存在しているが、NRCは革新炉の許認可における申請前審査の指針を2021年5月に作成。

革新炉の許認可における 申請前審査の指針※（2021年5月）

- NRCは革新炉の審査活動の効率化を目的に、革新炉ベンダーに対して、審査前審査の指針を作成。
- 申請前審査の実施内容は以下の通り。
 - ① 個別の技術課題の検討結果がまとめられたトピカルレポートの審査（技術テーマ：設計基準、認可ベース事象の選定及びSSC分類、燃料設計、ソースターム、QAプログラム、機密情報の取り扱い、事故解析手法）
 - ② 個別の技術課題に関するミーティング、監査、白書作成（技術テーマ：PRA、規制ギャップ解析、規制政策上の課題、設計特徴、民間基準）
 - ③ 環境審査関連の議論
 - ④ 申請前準備評価（本申請に先立ち、申請の準備状況をNRCが評価）

※現時点で、本指針はDraft（案）の状態であるが、NRCホームページでは、申請予定のベンダーに対して、本指針案の参照を推奨。

申請前審査制度の利点



申請者の利点	NRCの利点
審査活動の予見性が向上（プロジェクトリスクの低減）。	審査に関与する初期段階での当該設計の習熟。
NRCが当該設計に習熟することによる審査活動の効率化（審査期間・コストの低減）。	申請前段階での情報公開による審査活動の透明性確保。
NRC及び申請者以外で環境審査に関与する規制機関（環境保護庁等）の関与による環境審査の効率化。	申請者が検討している申請アプローチの事前の把握（革新炉の炉型別で多様な申請アプローチが想定されている）。
NRCの諮問機関であるACRSがトピカルレポートを審査することによる、ACRSによる審査の効率化。	NRCスタッフとACRSとの間での事前折衝による審査活動の重複回避。

NRC “DRAFT Pre-application Engagement to Optimize Advanced Reactors Application Reviews” May 2021. より引用

24

円滑な審査に向けて（私見）

- 原子力規制に米NRCと同様に「効率性」という原則を導入すべき。
規制活動は、それにより達成されるリスク低減の度合いに見合ったものであるべき（グレーデッドアプローチの思想）。
有効な選択肢が複数ある場合は、リソースの消費が最少となる選択肢を採るべき、また、規制の判断は不必要な遅れが生じないようにすべき。
これにより貴重なリソースを安全上重要な議論に費やすことが可能となる。
- 申請前審査制度也大いに活用されるべき。また、立地と設計の審査の分離も有効と考える。
これにより円滑な審査の遂行が期待できる。ただし、米NRCでも申請書については必要十分な記載を求めており、申請者側も適切な準備が必要となる。従って、審査期間を必ずしも短縮できるわけではないが、申請前審査により早期に実質的な審査を開始できれば、施設の運開時期が早まることが期待できる。

終わりに

総論

- 研究炉は多種多様であり、その特性に応じた規制が必要。研究のための原子炉なのに、規制のために研究に支障が生じるのは問題。
- 規制にかかるリソースを、安全性を損なわずに有効活用するには、研究炉の特性を十分に理解した上での等級別取扱い(Graded Approach)が必要。
(要した規制コストに見合った安全性向上があるのかを常に意識/確認する)

各論

- 研究炉では周辺公衆の被ばくよりも、従事者等の被ばく可能性が高い。
- 発電炉では使用しないような物質を使用し、それが安全性に影響を与える可能性があることに留意すべき(液体水素、重水、Be、C等)。
- 各種の実験装置が炉の運転等に及ぼす影響を評価し、安全性に影響を与えない設計・運用とすることが重要。
- 人的要因が大きな影響を与える可能性がある。要員の力量や体制の確認が重要。

参考：JRR-3の概要

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 研究炉加速器技術部

JRR-3パンフレットより(一部加工)

<https://jrr3.jaea.go.jp/6/61.htm>

JRR-3

Japan Research
Reactor No.3

JRR-3は、昭和37年に、わが国初の国産研究炉として臨界に達した後、原子力の黎明期を支え、その後、性能向上を目指した改造を行い、20MWの高性能汎用原子炉として広く利用されてきました。平成23年3月の東日本大震災を踏まえた新規制基準に対応のため運転を停止していましたが、耐震補強工事等の安全対策を行い、令和3年2月に運転再開を果たしました。

JRR-3に設置された利用設備を用いて、種々の中性子ビーム実験、原子力燃料・材料の照射試験、ラジオアイソトープの製造などを行っています。また、冷中性子（エネルギーの低い中性子）が利用できることから、高分子の構造解析による生命現象の解明などにも役立てられます。



建家外観

JRR-3 建家鳥瞰図



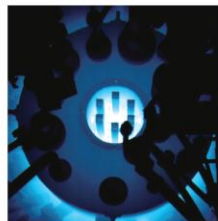
原子炉建家

原子炉

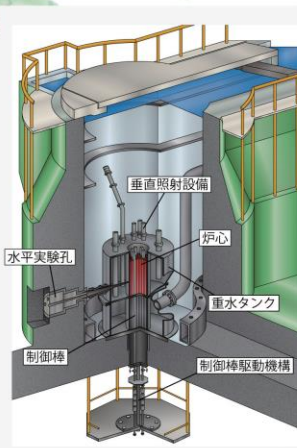
実験利用棟

JRR-3の諸元

目的	ビーム実験、燃料材料照射、RI製造、放射化分析など
型式	低濃縮ウラン軽水減速冷却プール型
最大熱出力	20MW
最大熱中性子束	約 $3 \times 10^{16} \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$



チェレンコフ光で青白く輝く炉心（中央部）と重水タンク



垂直照射設備

炉心

水平実験孔

重水タンク

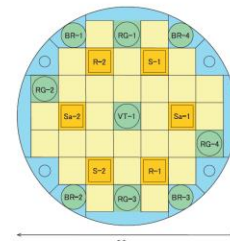
制御棒

制御棒駆動機構

JRR-3の利用設備

利用設備名	設置場所	利用例
VT-1	垂直照射設備	照射試験、RI製造
RG-1 ~4	垂直照射設備	照射試験、RI製造
BR-1 ~4	垂直照射設備	照射試験、RI製造
HR-1, 2	水力照射設備	RI製造、放射化分析
PN-1, 2	気送照射設備	RI製造、放射化分析
PN-3	放射化分析用照射設備	放射化分析
SH-1	垂直照射設備	照射試験、RI製造
DR-1	回転照射設備	材料照射
SI-1	均一照射設備	シリコン半導体の製造
設置ビームポート	利用設備名	
1G	HRPD	高分解能粉末中性子回折装置
1G-A	BIX-3	生体高分子用中性子単結晶回折装置 -3（量子科学技術研究開発機構）
2G	TAS-1	三軸型中性子分光器
3G	PNO	精密中性子光学装置
4G	GPTAS	汎用三軸型中性子分光器（東京大学物性研究所）
5G	PONTA	偏極中性子散乱装置（東京大学物性研究所）
6G	TOPAN	東北大学中性子散乱分光器（東北大学）
7R	TNRF	熱中性子ラジオグラフィ装置
T1-1	HQR	中性子偏極回折装置（東京大学物性研究所）
T1-2	AKANE	金研三軸型中性子分光器（東北大学）
T1-3	HERMES	金研高性能中性子粉末回折装置（東北大学）
T1-4-1	PGA	即発ガンマ線分析装置
T2-1	RESA	中性子応力測定装置
T2-2	FONDER	中性子4軸回折装置（東京大学物性研究所）
T2-3-1	MUSASI	多目的単色熱中性子実験ポート
T2-4	TAS-2	高分解能三軸型中性子分光器
C1-1	HER	高エネルギー分解能三軸型中性子分光器（東京大学物性研究所）
C1-2	SANS-U	二次元位置測定小角散乱装置（東京大学物性研究所）
C1-3	BIX-4	生体高分子用中性子単結晶回折装置 -4（量子科学技術研究開発機構）
C2-1	LTAS	冷中性子散乱実験デバイス開発装置
C2-2	SUIREN	偏極中性子反射率計
C2-3-1	NSE	中性子スピンエコー分光器（東京大学物性研究所）
C2-3-3-1	CNRF	冷中性子ラジオグラフィ装置
C2-3-3-2	CHOP	パルス中性子機器開発装置
C3-1-1	AGNES	高分解能パルス冷中性子分光器（東京大学物性研究所）
C3-1-2-1	NOP	中性子光学システム評価装置
C3-1-2-2	MINE	多層膜中性子干渉計 / 反射率計（京都大学）
C3-2	SANS-J	中性子小角散乱装置

燃料要素の仕様



炉心は、26体の標準型燃料要素、6体の燃料要素付き制御棒、ベリリウム材を使用した反射体、垂直実験孔から構成されています。

- 標準型燃料要素
- 制御棒付きフォロウ型燃料要素
- 垂直実験孔
- ベリリウム反射体

	標準型燃料要素	フォロウ型（制御棒付）燃料要素
U-235の濃縮度	約20wt%	約20wt%
燃料芯材	ウランシリコンアルミニウム分散合金（ $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ ）	
被覆材	アルミニウム合金	
燃料板数	21枚/体	17枚/体

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所 研究炉加速器技術部
TEL 029-282-5588 FAX 029-282-5258

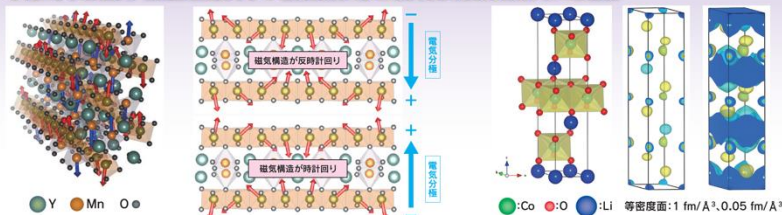


2024.08 改訂

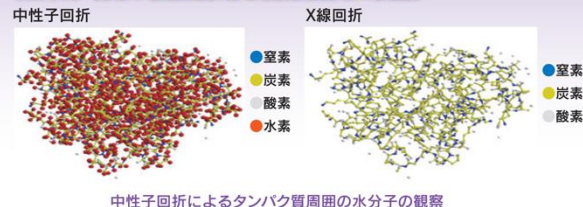
JRR-3の利用

JRR-3は、世界トップレベルの高性能研究炉として中性子ビーム実験(中性子ラジオグラフィ、中性子散乱実験、中性子即発ガンマ線分析)や中性子照射(RI)の製造、中性子放射化分析)などに利用されています。

次世代を担う機能性材料の構造解明と新物質合成研究に貢献



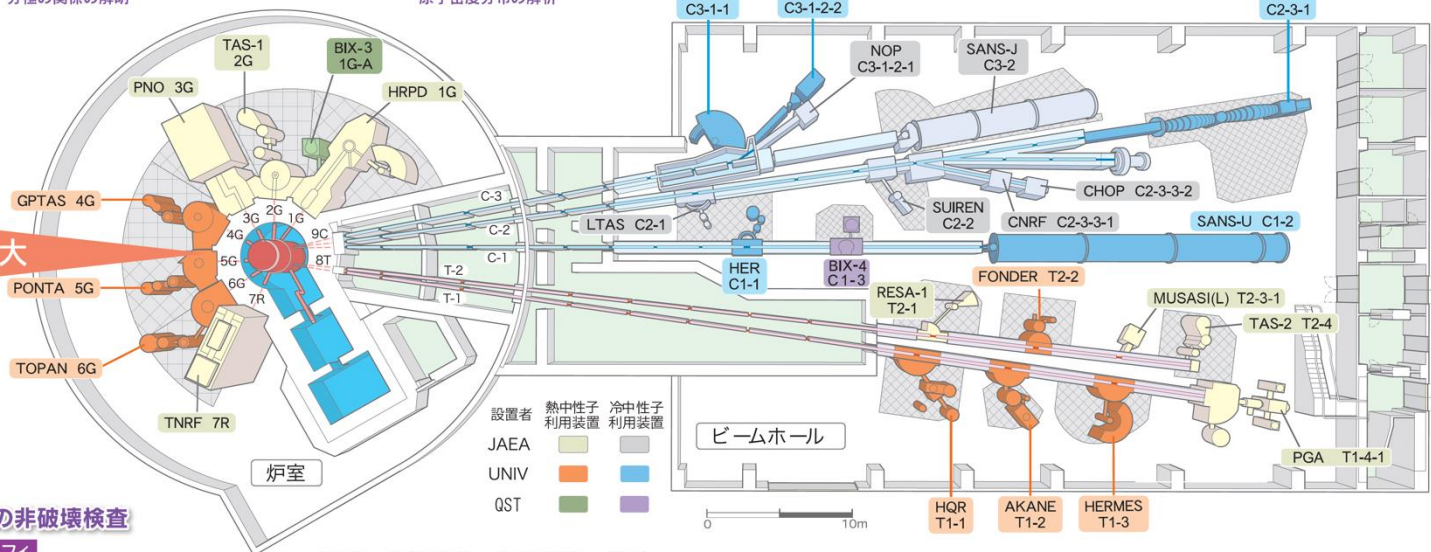
たんぱく質の機能解明と創薬研究に貢献



中性子散乱実験

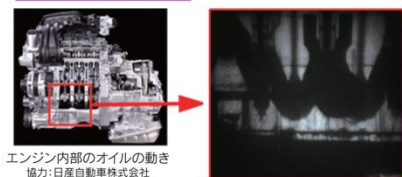
中性子が物質に当たった時の散乱のされ方を調べることによって、その物質を構成する原子の配列、分子に作用する力と運動状態などを観測することができます。特に、波長の長い冷中性子を用いると、大きな分子構造を持つ物質の観測がより鮮明にできるようになり、高分子材料の開発、生命現象の解明等の新しい分野の研究を行う事ができます。

炉心部分を拡大



製品、植物等の非破壊検査

中性子ラジオグラフィ



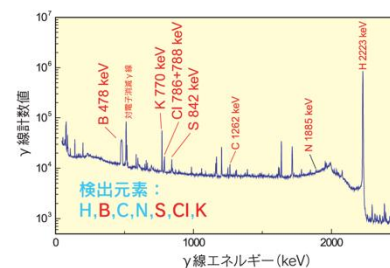
物質透過性の高い中性子によるイメージングは非破壊検査手法の一つとして用いられ、X線では検出困難な金属内部の可視化力を発揮します。一方、水素や水などの軽元素には良く吸収・散乱されるため、製品内部の水やオイルの動きを観察することもできます。

材料の高性能化、高信頼性に貢献



中性子による残留応力解析

中性子の回折現象を利用して材料中の結晶格子面間隔(原子配列)の変化をひずみの変化として測定する方法です。中性子は高い物質透過性をもつことから、金属機械部品等の内部の応力・ひずみを、非破壊・非接触で測定することができます。実際の工業製品(自動車部品、発電プラント部材等)の材料強度設計や、健全性、信頼性の検査等において盛んに利用されています。



軽元素等の非破壊・多元素分析

即発ガンマ線分析

中性子が試料を構成する原子核と核反応した瞬間に放出されるγ線(即発γ線)を測定して試料に含まれる元素を高感度で分析する方法です。試料を溶かすことなく、水素、ホウ素、硫黄等の軽元素をはじめとして様々な元素を同時に分析できます。食品・環境試料、隕石、工業材料、考古学試料の分析など幅広い分野に利用されています。

JRR-3の装置



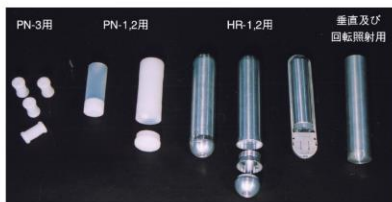
炉室内全景



ビームホール内中性子ビーム実験装置

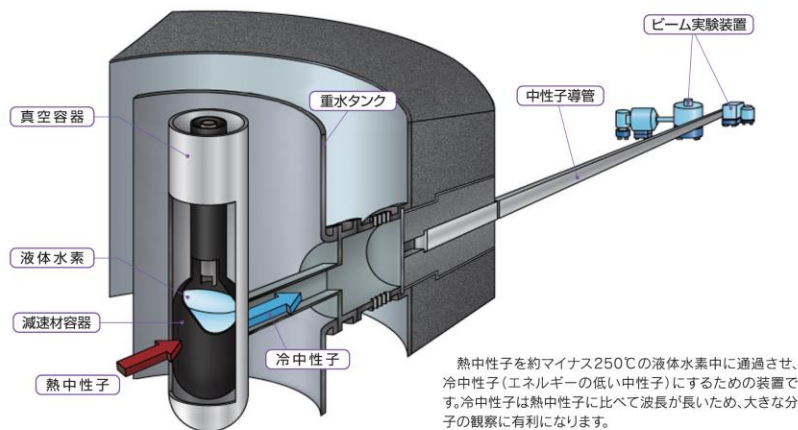


放射化分析室での実験風景



JRR-3照射設備用キャプセル

冷中性子源装置(CNS:Cold Neutron Source)



高性能医療・工業分野への貢献

医療用ラジオアイソトープ(RI)の製造

がんなどの医療用RIの製造を行っています。
例えば、JRR-3で製造されるAu-198グレインは、口の中にできるがんに埋め込むことで、手術を行うことなくがん治療を行うことができます。

^{198}Au 製造のための核反応

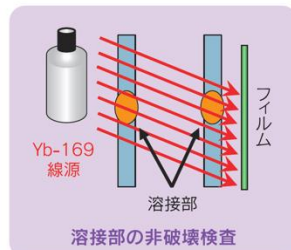
$^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$
(半減期: 2.694日)



Au-198グレインを使う
小線源治療のイメージ

工業用ラジオアイソトープ(RI)の製造

理学、農学、工業などに使用する線源用RI、精製RIやガンマ線スペクトロメータの校正用線源などの製造を行っています。



溶接部の非破壊検査

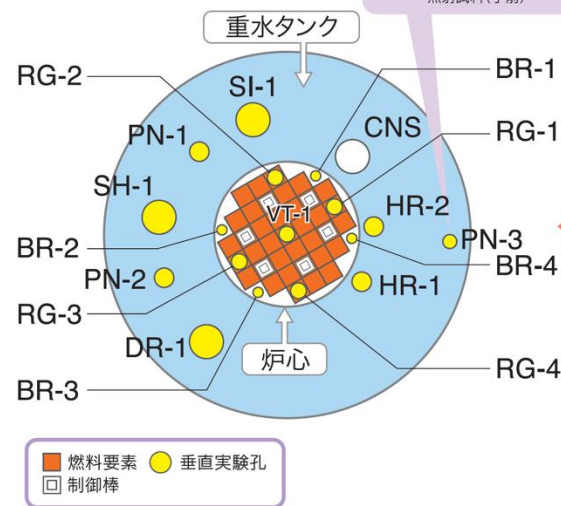
試料の非破壊・多元素同時分析

中性子放射化分析

物質に中性子を照射すると固有の放射線が放出されます。中性子放射化分析では、これらの放射線を測定して、物質の構成元素や物質中に含まれたごく微量の不純物元素などを調べることができます。
土壌の調査などにも利用されています。



キャプセル(奥)と
照射試料(手前)



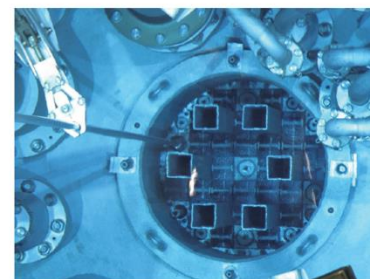
原子炉燃料・材料の開発に貢献

燃料・材料の照射

軽水炉、高速増殖炉、核融合炉用の燃料や材料を照射し、照射後試験によりその健全性を確認し、将来の高速増殖炉や核融合炉などの開発・研究に役立てています。



照射キャプセル(奥)と照射試験片(手前)



材料照射試験

出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【1】	✦	未来を拓く原子力2006, 日本原子力研究開発機構
【2】	✦	New JMTR (パンフレット), 日本原子力研究開発機構
【3】	✦	日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 研究炉 NSRR ホームページ (https://nsrr.jaea.go.jp/nsrr00index.html)
【4】	✦	JRR-3パンフレット, 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 JRR-3 ホームページ (https://jrr3.jaea.go.jp/6/61.htm)
【5】	✦	JRR-3の多彩な中性子利用, 日本原子力研究開発機構 JRR-3ユーザズオフィスホームページ (https://jrr3uo.jaea.go.jp/pamphlet/index.html)
【6】	✦	日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 ホームページ (https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/anzen/anzen_04.html)
【7】	✦	京都大学大学院 エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻 核エネルギー学講座 中性子基礎科学分野 HP (http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/shiroya-lb/kuca.htm)
【8】	✦	日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 ホームページ (https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/technical/analysis/analysis_04.html)
【9】	✦	一般財団法人量子放射線利用振興協会ホームページ (https://rada.or.jp/neutron/what/)
【10】	✦	Phoenix, LLC USA

出典一覧

No.	ライセンス	出典情報
【11】	✙	齋藤伸三,「中性子科学分野における研究開発の意義・将来展望」,第2回 長期計画策定会議 第四分科会資料 (1999年10月21日開催),日本原子力研究開発機構
【12】	✙	「新試験研究炉の建設予定地、設置許可申請見込み時期公表に係る対応について」(文部科学省)(https://www.mext.go.jp/content/20250122-mxt-genshi-000039819_1.pdf)を加工して作成
【13】	✙	Colin, C., Pierre, J., Blandin, C., Gonnier, C., Moulin, D., Auclair, M., & Rosenblum, F. (2012). Experimental devices in Jules Horowitz Reactor dedicated to the material studies in support to the current and future nuclear power plants. Prague, IGORR, 14, 18-22.
【14】	✙	村尾 裕之,「もんじゅ」サイトの新試験研究炉について,ふくい新試験研究炉利活用促進研究会 第1回総会 (2025年8月25日開催),日本原子力研究開発機構 新試験研究炉推進室
【15】	✙	村尾 裕之,「もんじゅ」サイトの新試験研究炉について,ふくい新試験研究炉利活用促進研究会 第1回総会 (2025年8月25日開催),日本原子力研究開発機構 新試験研究炉推進室
【16】	✙	新試験炉の今年度の進捗,原子力科学技術委員会 原子力研究開発・基盤・人材作業部会 第27回 (2025年11月12日開催),日本原子力研究開発機構 敦賀事業本部 新試験研究炉推進室
【17】	✙	原子力規制委員会ホームページ (https://www.nra.go.jp/activity/regulation/nuclearfuel/shiken/shiken0.html)
【18】	✙	JRR-3パンフレット,日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 JRR-3 ホームページ (https://jrr3.jaea.go.jp/6/61.htm)
【19】	✙	JRR-3パンフレット,日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 JRR-3 ホームページ (https://jrr3.jaea.go.jp/6/61.htm)
【20】	✙	JRR-3パンフレット,日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 JRR-3 ホームページ (https://jrr3.jaea.go.jp/6/61.htm)