

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
大洗研究所(南地区)
高速実験炉原子炉施設(「常陽」)の
原子炉設置変更許可申請の概要

使用目的の追加及び
RI生産用実験装置の追加等

2024年2月20日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所
高速実験炉部

原子炉設置変更許可申請の目的

- ① 高速実験炉原子炉施設を放射性同位元素の生産その他研究開発に使用するため、使用の目的を追加する。
- ② 実験設備及び利用設備としてRI生産用実験装置を追加する。

高速実験炉「常陽」

<原子炉の型式、熱出力及び基数>

型式 ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料ナトリウム冷却高速中性子型

熱出力 100MW

基数 1基

<原子炉を設置する事業所の名称及び所在地>

事業所の名称 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 大洗研究所(南地区)

事業所の所在地 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番地

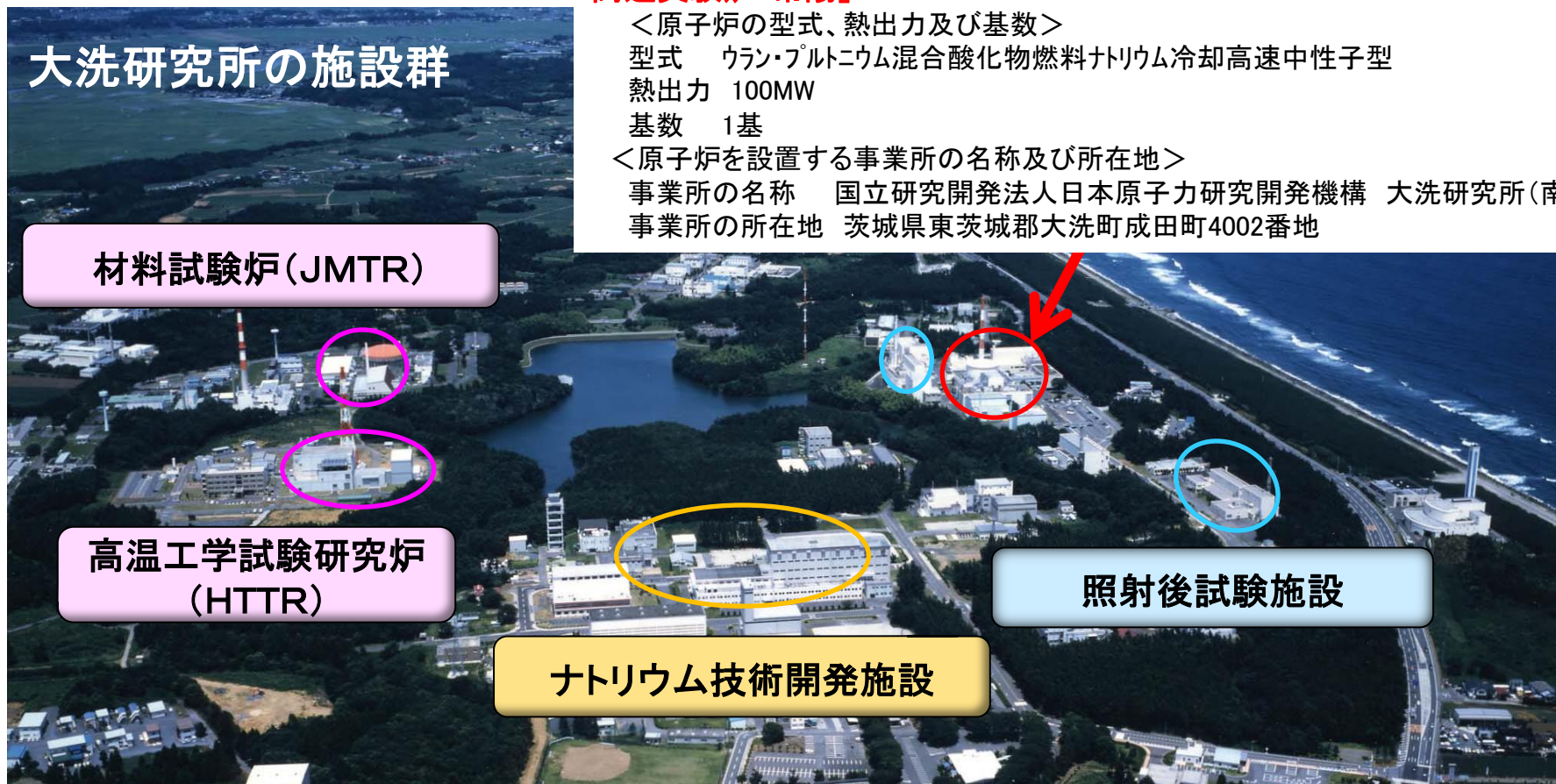
大洗研究所の施設群

材料試験炉(JMTR)

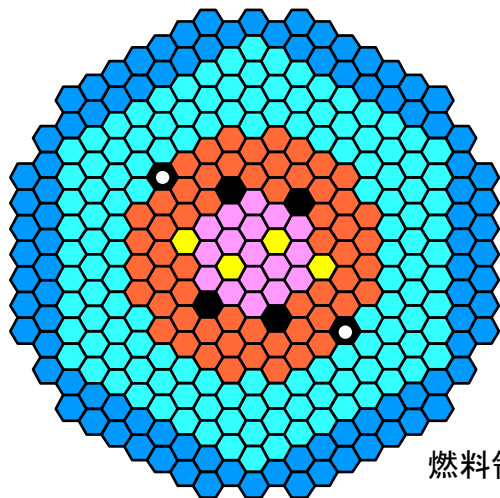
高温工学試験研究炉
(HTTR)

ナトリウム技術開発施設

照射後試験施設



「常陽」プラント概要



- 炉心燃料集合体(内側)
- 炉心燃料集合体(外側)
- 制御棒(B₄C)
- 後備炉停止制御棒
- 照射試験用集合体
- 反射体(ステンレス鋼)
- 遮へい集合体(B₄C)

燃料領域(ピンク、赤) 直径:約78cm
高さ:約50cm

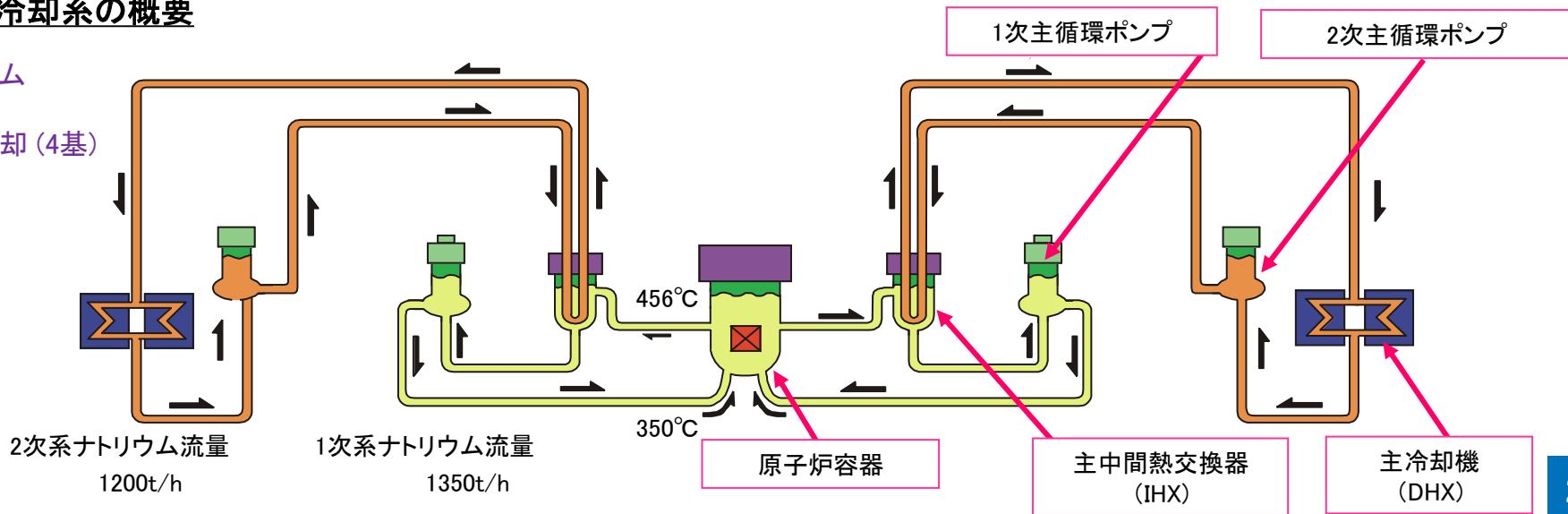
代表的な炉心の構成(MK-IV)

炉心の主な仕様 (MK-IV)

炉心燃料集合体の最大装荷体数	79体
照射試験用集合体の最大装荷体数(燃料領域)	4体
炉心燃料領域等価直径(最大)	約78cm
炉心燃料領域高さ	約50cm
ウラン濃縮度	約18wt%
プルトニウム含有率	32wt%以下
核分裂性プルトニウム富化度(内側/外側)	約16/約21wt%
最大線出力密度	約330W/cm

冷却系の概要

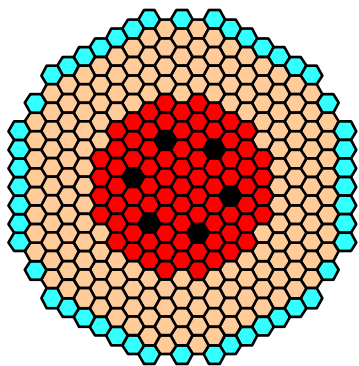
冷却材 : ナトリウム
冷却系 : 2ループ
除熱方法: 空気冷却(4基)



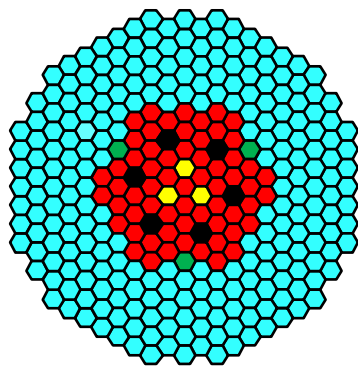
高速実験炉「常陽」のマイルストーン

1977年 4月 ～1981年12月	MK-I 炉心 (50～75MW)	・・・Pu増殖性を確認するための増殖炉心 (増殖比 1.03 ± 0.03 を確認)
1982年11月 ～1997年 9月	MK-II 炉心 (100MW)	・・・FBR燃料・材料の照射試験用炉心
1997年12月 ～2000年 5月	移行炉心 (100MW)	・・・炉心を徐々に拡大して MK-III 炉心に移行
2003年 7月 ～2007年 5月	MK-III 炉心 (140MW)	・・・FBRの開発に係る研究開発と外部利用
今後	MK-IV 炉心 (100MW)	・・・FBRの開発を中心とした多目的利用

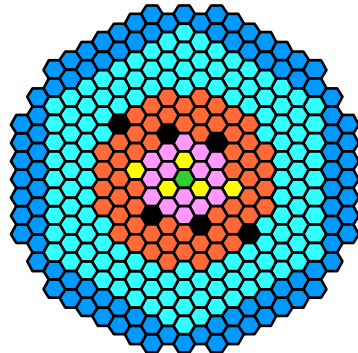
積算運転時間	約 71,000時間(プラント寿命:約131,500時間)
試験用集合体の照射実績	101体
外部利用実績(大学等)	約4万試料



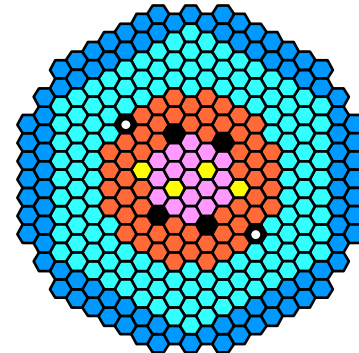
MK-I炉心



MK-II炉心



MK-III炉心



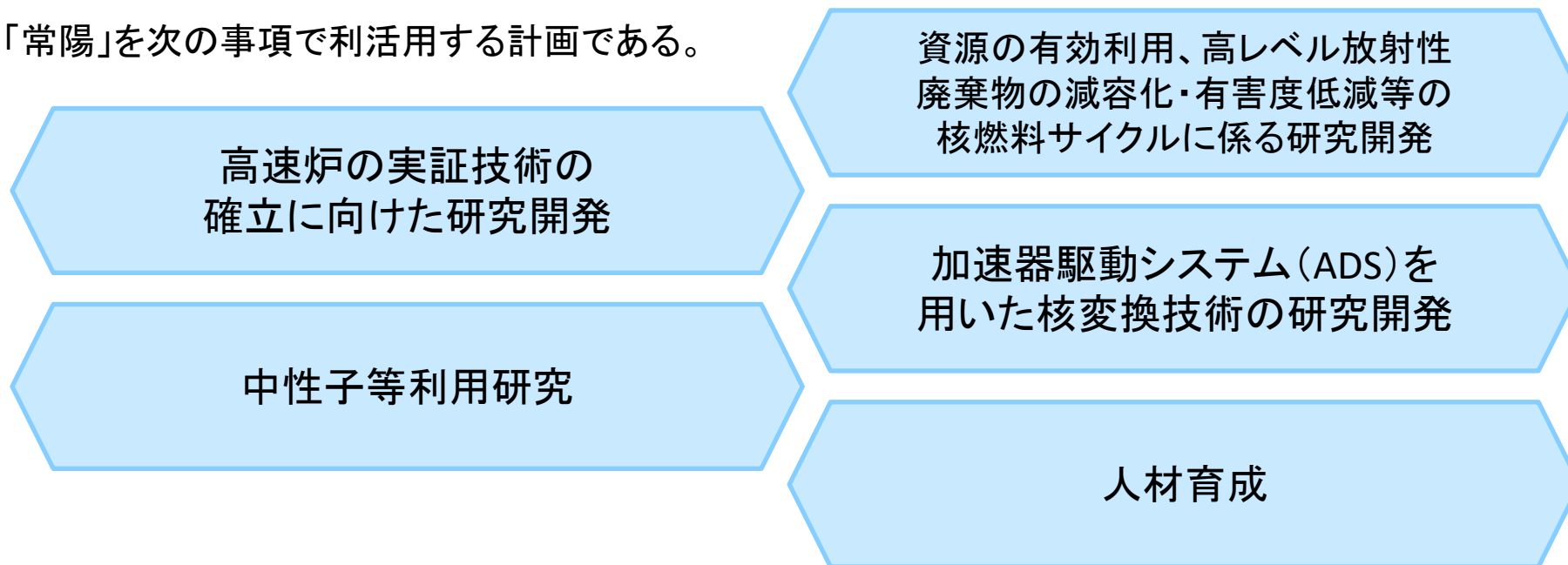
MK-IV炉心

中長期目標(抜粋) 令和4年2月28日 文部科学省・経済産業省・原子力規制委員会※ 策定

- 高速炉・核燃料サイクルに係る研究開発**
 高速炉の実証技術の確立に向けて、高速増殖原型炉「もんじゅ」の研究開発で得られる経験や照射場としての「常陽」等を活用しつつ、日米・日仏等との国際協力を進めつつ、高速炉の研究開発を行う。
- 原子力基礎基盤研究、先端原子力科学研究、中性子等利用研究及び原子力計算科学研究の推進**
 J-PARC、JRR-3、「常陽」等の基盤施設を活用し、中性子施設・装置等の高度化研究や技術開発を進めるとともに、物質・材料科学やライフサイエンスをはじめとする多様な分野に貢献する中性子や放射光の利用研究を推進する。

中長期計画 令和4年3月24日 認可

「常陽」を次の事項で利活用する計画である。



「常陽」運転再開後の役割

～脱炭素社会の実現、エネルギーセキュリティの確保

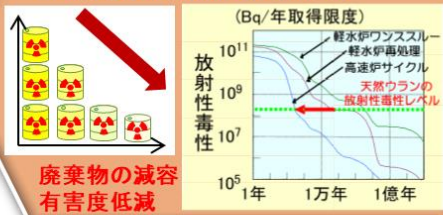
～プルトニウム利用
(核不拡散、核テロ対策)

- 分離済プルトニウムの利用・燃焼
- プルトニウム燃焼炉の開発



分離済プルトニウムの削減

- マイナーアクチノイドを燃料に混ぜて燃焼
- 放射性廃棄物の短寿命化



～持続可能な原子力利用
(放射性廃棄物への対応)

- 実証炉、次世代炉開発
- 新燃料・材料開発、安全性向上
- 日米、日仏協力(開発、協働)



実証炉のプラント像*



高速実験炉「常陽」

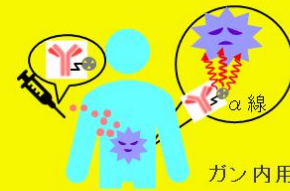
- 基礎基盤研究・多目的利用
- 大学利用、国際貢献



～原子力のポテンシャルの追求

～イノベーション創出
(医療用RI製造)

- 治療・診断用アイソトープ製造



ガン内用療法

- 大学・高専との連携
- 海外技術者の受け入れ



学生実習



海外研究者の
インターンシップ研修

～原子力技術者の育成

【使用の目的】

高速増殖炉の開発、一般研究、材料照射、放射性同位元素の生産。ただし、その利用は平和目的に限られる。

追加

アクションプラン策定の経緯

2022年5月31日原子力委員会決定

核医学治療への期待

- ・「セラノスティクス」（診断と治療を合わせて行う考え方やその手法）への注目の高まり

国内の動き・課題

- ・ラジオアイソトープの大量製造を可能とする研究炉の再稼働の動き
- 一方、
- ・核医学治療を行う病床数の不足
- ・ラジオアイソトープ製造・利用を推進する人材不足

海外の状況

- ・製造・研究に多額の投資
- ・研究炉・加速器のネットワーク形成を推進
- ・ラジオアイソトープ及びその原料について獲得競争の様相

最先端の原子力科学技術により医療体制を充実し、国民の福祉向上に貢献するとともに、
医療サービスの観点から経済安全保障の確保に寄与すべく、
国産ラジオアイソトープを患者のもとへ届けるためのアクションプランを策定

10年の間に実現すべき目標

- ① モリブデン-99/テクネチウム-99mの一部国産化による安定的な核医学診断体制の構築
- ② 国産ラジオアイソトープによる核医学治療の患者への提供
- ③ 核医学治療の医療現場での普及
- ④ 核医学分野を中心としたラジオアイソトープ関連分野を我が国の「強み」へ

アクションプラン

(1) 重要ラジオアイソトープの国内製造・安定供給のための取組推進

- ・JRR-3・加速器を用いたモリブデン-99/テクネチウム-99mの安定供給（可能な限り2027年度末に国内需要の約3割を製造し、国内へ供給）
- ・「常陽」・加速器を用いたアクチニウム-225大量製造のための研究開発強化（「常陽」において2026年度までに製造実証）
- ・アスタチン-211実用化に向けた取組強化（2028年度を目途に医薬品としての有用性を示す）等

(2) 医療現場でのアイソトープ利用促進に向けた制度・体制の整備

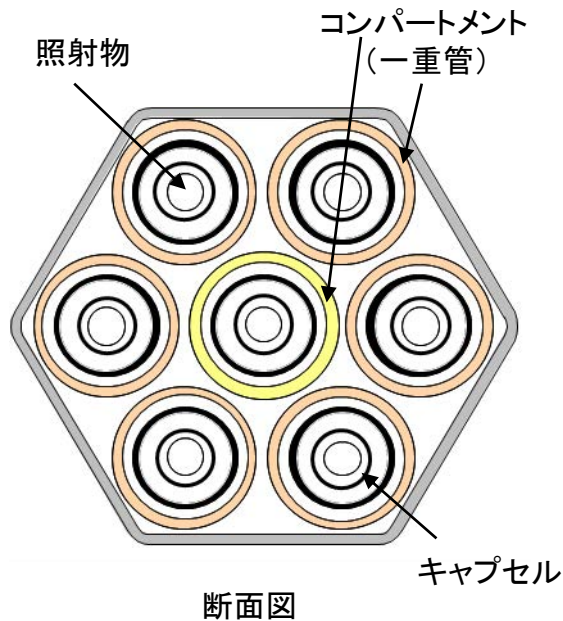
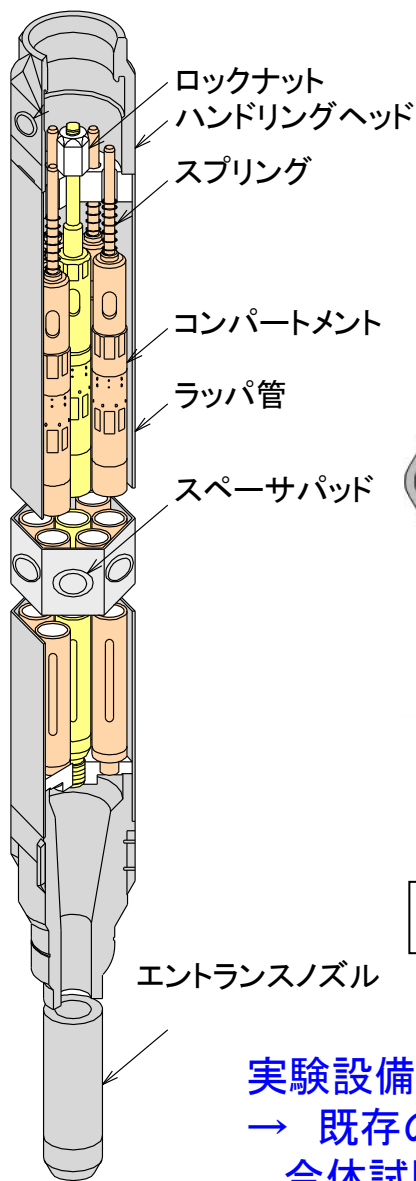
- ・核医学治療を行える病室の整備（特別措置病室等）（核医学治療実施までの平均待機月数について、3.8か月（2018年）→平均2か月（2030年））
- ・トリウム-227・ガリウム-68等、新たな放射性医薬品への対応 等

(3) ラジオアイソトープの国内製造に資する研究開発の推進

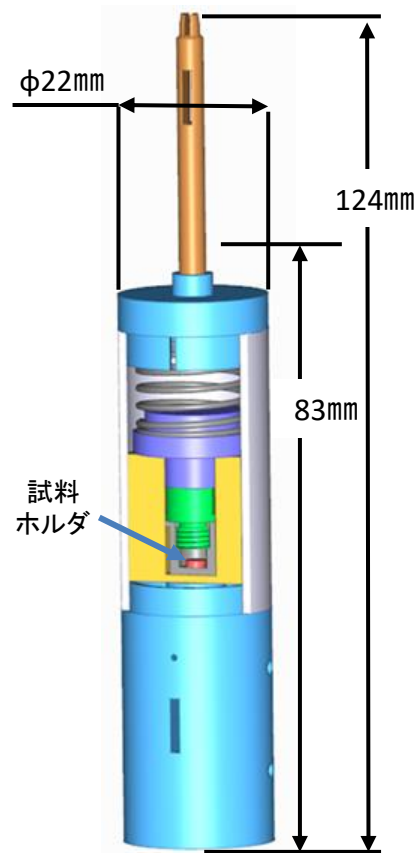
- ・研究炉・加速器による製造のための技術開発支援
- ・福島国際研究教育機構による取組推進
- ・新たな核医学治療薬の活用促進に向けた制度・体制の整備 等

(4) ラジオアイソトープ製造・利用のための研究基盤や人材、ネットワークの強化

- ・人材育成の強化（研究人材、医療現場における人材等）
 - ・国産化を踏まえたサプライチェーン強化
 - ・廃棄物の処理・処分に係る仕組みの検討 等
- 科学技術・イノベーション政策、健康・医療政策、がん対策の観点からも重要であるため、関係する政府戦略の方向性とも軌を一にして取り組む



RI生産用実験装置の構造



RI生産用キャプセル(一例)



材料照射用反射体のキャプセル(一例)

キャプセル以外、材料照射用反射体と同じ構造

実験設備及び利用設備としてRI生産用実験装置を追加

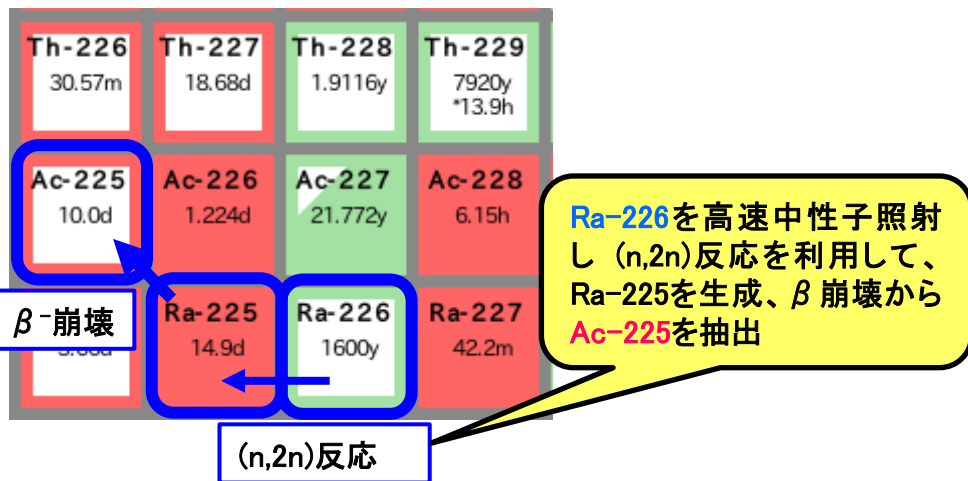
→ 既存の材料照射用反射体と同様に、コンパートメント型であり、隣接する照射燃料集合体試験施設(FMF)で分解、再組立し、条件に応じて再装荷を計画

RI生産用キャプセルの主要仕様

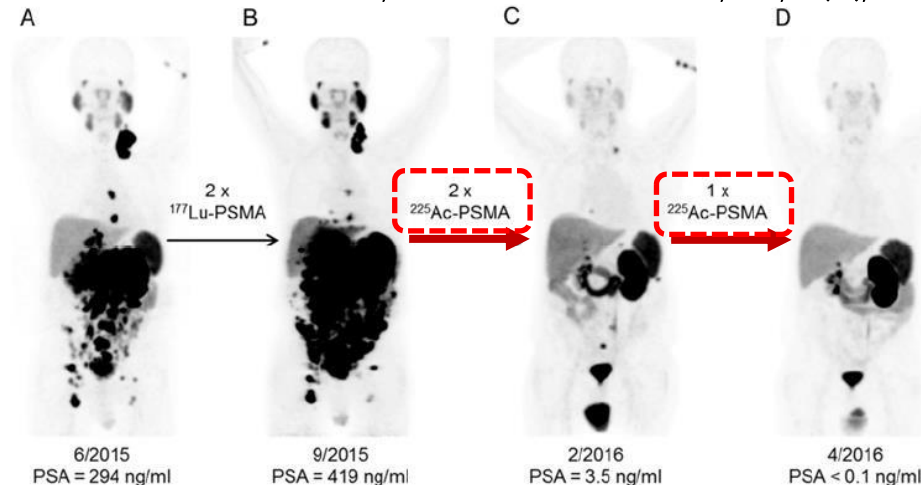
	照射物		キャプセル		その他の部品の材料
	核種	装荷量	部材	外径	端栓
RI生産用実験装置					
I型RI生産用キャプセル	^{226}Ra	0.02g以下	ステンレス鋼	22.5mm以下	ステンレス鋼

参考:生産対象のRI:ラジウム/アクチニウム($\text{Ra-225}/\text{Ac-225}$)の特徴

高速炉におけるアクチニウム(Ac-225)の生産方法



C. Kratochwil et al. $^{225}\text{Ac-PSMA-617}$ for PSMA-Targeted α -Radiation Therapy of Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer, The Journal of Nuclear Medicine, 2016, 57 (12), 1941-1944

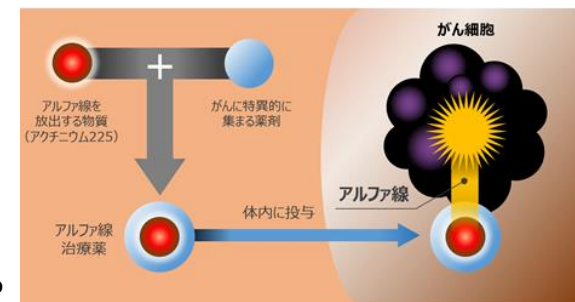


アクチニウム(Ac-225)の主な特長

- ・病巣の内部から放射線(アルファ線)を当てて、がん細胞を死滅させる『**アルファ線内用療法**』に使用。
- ・アルファ線を**4回**出すため、がん治療効果が高い。
- ・アルファ線は飛程が短いため、アルファ線治療薬が集積したがん細胞のみをアタックし、**他の臓器に影響を与えない**。
- ・短時間で崩壊して安定核種に変化することから、**放射性物質として体内に残留することがない**。

末期の転移性前立腺がん患者に“ Ac-225 ”を投与した結果

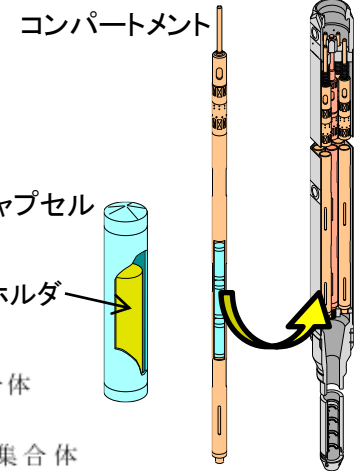
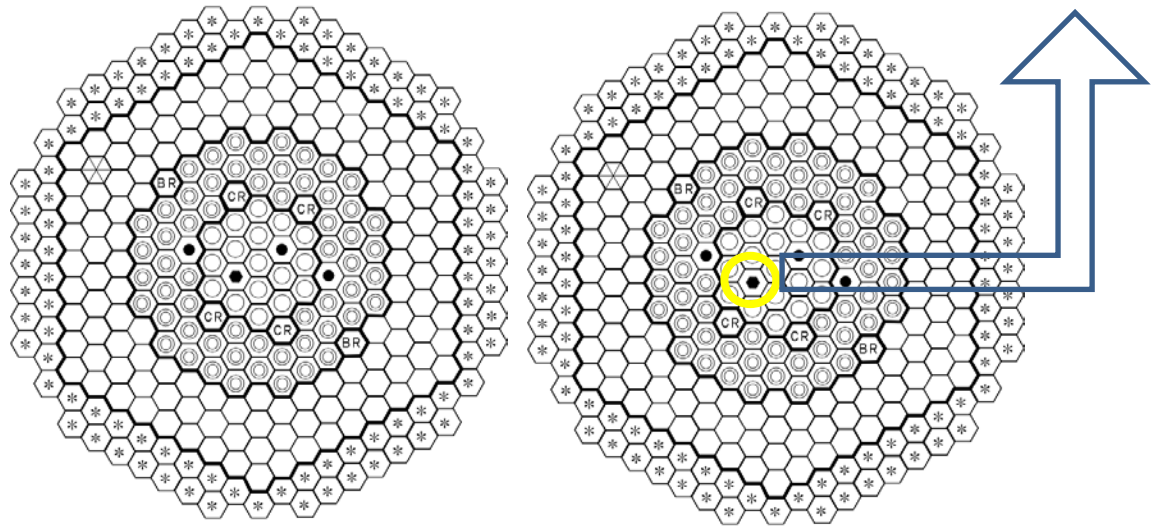
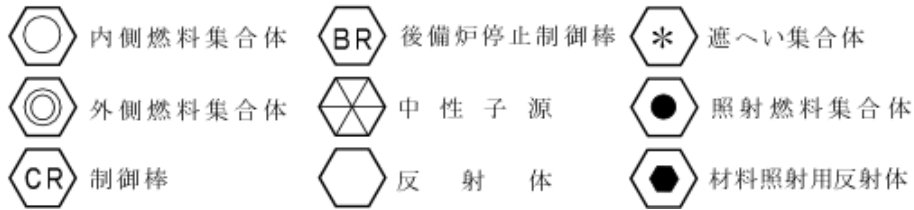
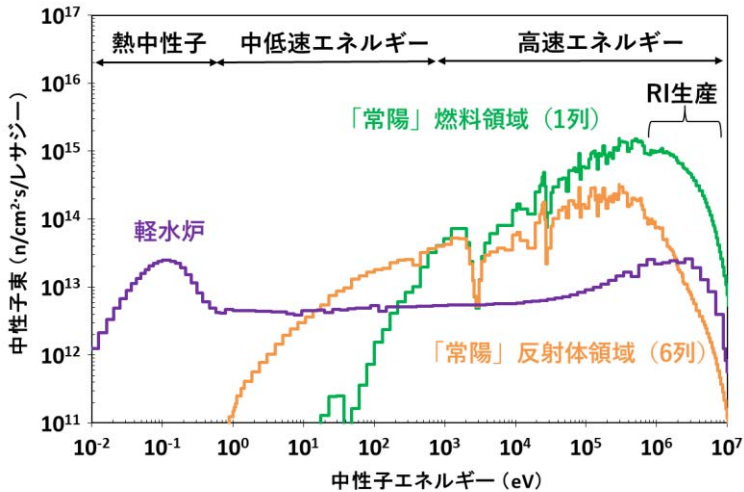
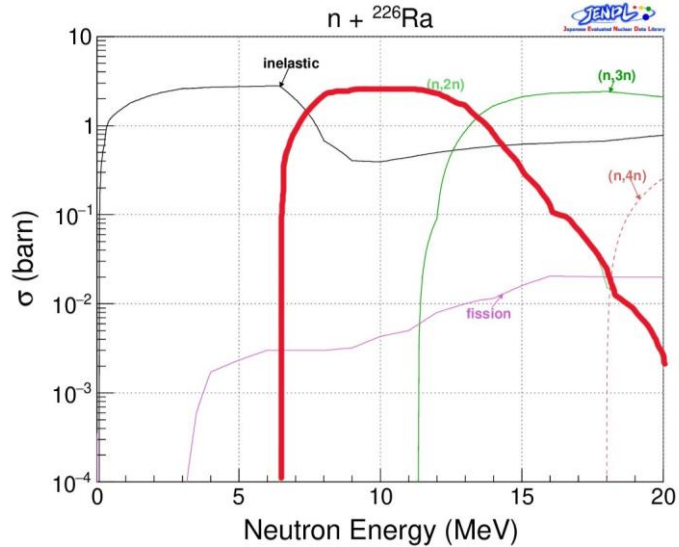
アルファ線内用療法の原理



出典: 東北大学HP

□高エネルギーの中性子(6.4MeV以上)照射が必要

→「常陽」燃料領域での(n,2n)反応(高速中性子)による生産



標準平衡炉心

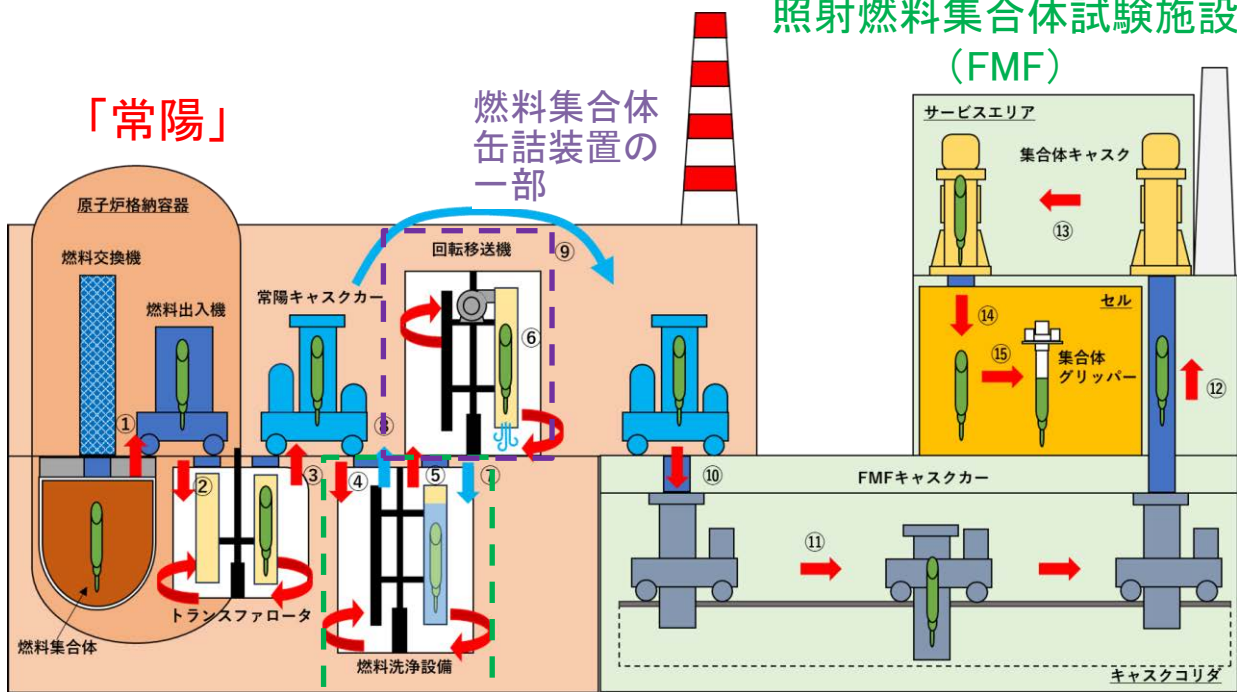
RI生産用実験装置の
予定装荷位置

照射後のRI生産用実験装置の取扱経路の一部追加

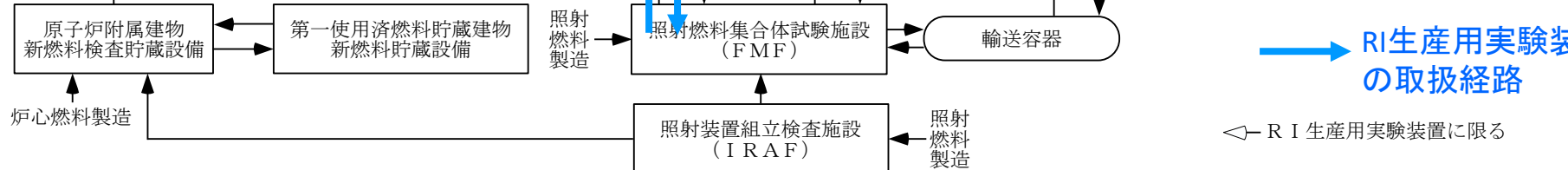
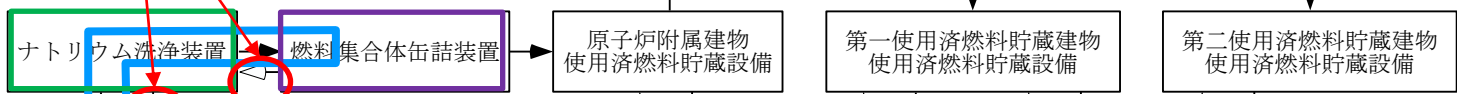
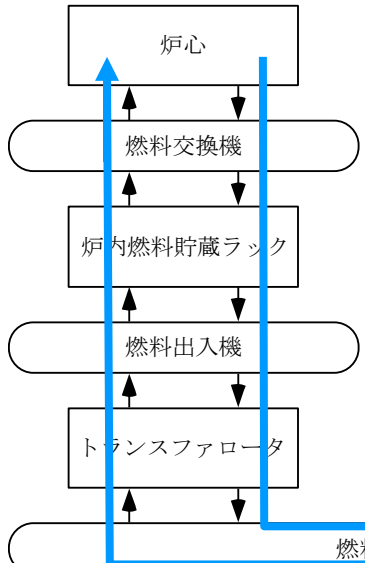
FMFにおける迅速な照射後処理のために、RI生産用実験装置は、「常陽」でナトリウム洗浄・乾燥後にFMFに移送する。

→ 取扱経路の一部を変更する。なお、本変更による燃料取扱設備の改造はない。

照射燃料集合体試験施設 (FMF)



追加した経路



→ RI生産用実験装置の取扱経路

◁ R I 生産用実験装置に限る

燃料集合体等の主な取扱経路

(案)

RI生産用実験装置の組立

- FMF:核燃施設
- ・使用の目的変更
 - ・セル内でのRI生産用実験装置の組立

- FMF:RI施設
- ・非密封Ra及び子孫核種の貯蔵・使用

RI生産用実験装置の使用 (RIの生産)

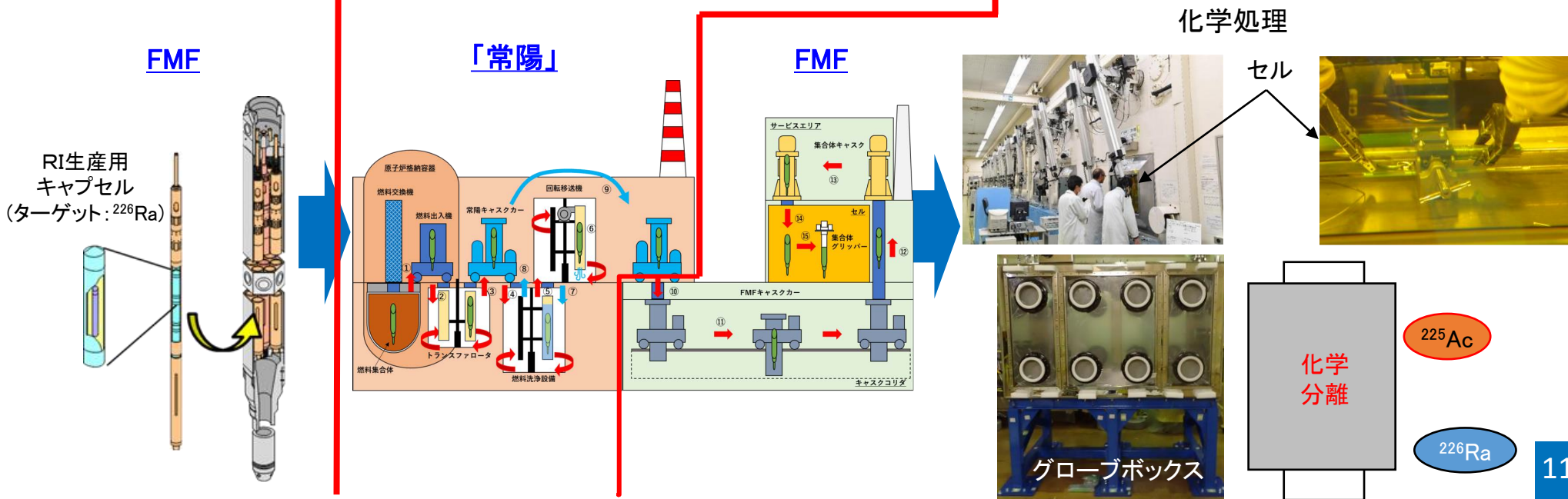
- 「常陽」:炉施設
- ・使用の目的の追加
 - ・RI生産用実験装置の追加
 - ・RI生産用実験装置の取扱経路の一部追加

- 「常陽」:RI施設
- ・非密封Raの使用

RI生産用実験装置の解体 (RIの分離・取出し)

- FMF:核燃施設
- ・セル内でのRI生産用実験装置の解体
 - ・グローブボックスでの核燃汚染物の許可

- FMF:RI施設
- ・非密封Ra、Ac及び子孫核種の貯蔵・使用・廃棄



原子炉設置変更許可申請書	対象の有無	理由
本文	有	次頁参照。
添1: 原子炉の使用の目的	有	次頁参照。
添2: 原子炉の熱出力	無	原子炉の熱出力に変更がないため。
添3: 工事に要する資金の額及び調達計画	有	次頁参照。
添4: 原子炉の運転に要する核燃料物質の取得計画	無	核燃料物質の取得計画に変更がないため。
添5: 原子炉施設の設置及び運転に関する技術的能力	有	次頁参照。
添6: 原子炉施設の場所に関する気象、地盤、水理、地震、社会環境等の状況	有	次頁参照。
添7: 地図	無	地図に変更がないため。
添8: 原子炉施設の安全設計	有	次頁参照。
添9: 核燃料物質等による放射線の被ばく管理及び放射性廃棄物の廃棄	無	平常運転時における一般公衆の被ばく評価等に変更がないため。
添10: 原子炉の操作上の過失、機械又は装置の故障、地震、火災等があった場合に発生すると想定される原子炉の事故の種類、程度、影響等	有	次頁参照。
添11: 原子炉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整備	無	品質管理に必要な体制に変更がないため。

原子炉設置変更許可申請書	対象の有無	変更方針
本文	有	<ul style="list-style-type: none"> • 使用の目的を追加 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 「一般研究、材料照射、放射性同位元素の生産」を追加 • RI生産用実験装置を追加 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 実験設備及び利用設備として、RI生産用実験装置を追加 ➢ 基本的な構造は既許可の材料照射用反射体と同じ ➢ 内容物(ターゲット核種、重量)、装荷体数(照射燃料集合体及び照射用実験装置との合計で制限)、装荷位置等について制限を設定 • RI生産用実験装置の追加に係る工事計画を追加
添1: 原子炉使用の目的	有	<ul style="list-style-type: none"> • 使用の目的を追加
添3: 工事に要する資金の額及び調達計画	有	<ul style="list-style-type: none"> • RI生産用実験装置の追加に係る資金の額及び調達計画を説明
添5: 原子炉施設の設置及び運転に関する技術的能力	有	<ul style="list-style-type: none"> • RI生産用実験装置の追加等に係る技術的能力を説明
添6: 原子炉施設の場所に関する気象、地盤、水理、地震、社会環境等の状況	有	<ul style="list-style-type: none"> • 「火山」について最新の知見を反映 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 評価対象の火山を1つ追加するが、評価等に変更なし ➢ 「火山」以外については、変更なし
添8: 原子炉施設の安全設計	有	<ul style="list-style-type: none"> • RI生産用実験装置を追加 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 炉心構成要素の一つとして、耐震Sクラス施設・PS-1・MS-1関連系に分類 ➢ 設計方針(放射性物質の著しい漏えいを防止)等を設定 • RI生産用実験装置の取扱経路を追加(燃料取扱設備に変更はない)
添10: 原子炉の操作上の過失、機械又は装置の故障、地震、火災等があった場合に発生すると想定される原子炉の事故の種類、程度、影響等	有	<ul style="list-style-type: none"> • RI生産用実験装置を炉心構成要素(MS-1関連系)の一つとして追記 <ul style="list-style-type: none"> ➢ RI生産用実験装置の装荷体数は、照射用燃料集合体、照射用実験装置との合計で最大4体とし、既許可と同じとしており、標準平衡炉心の代表性に変更はなく、AOO、DBA、BDBA事象の解析条件等に変更なし

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		変更申請に係る規則の対象範囲及び対象となる理由		規則に対応する設計方針 (安全設計方針等の主な内容)
		対象の有無	理由	
第三条	試験研究用等原子炉施設の地盤	無	原子炉施設を設置する地盤に変更はないため。	—
第四条	地震による損傷の防止	有	—	・RI生産用実験装置を耐震Sクラス施設に分類する。
第五条	津波による損傷の防止	無	津波による損傷の防止は設計上考慮しないとの方針に変更はないため。	—
第六条	外部からの衝撃による損傷の防止	有	—	・「火山」について最新の知見を反映する。評価対象の火山を1つ追加するが、評価等に変更はない。
第七条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	無	RI生産用実験装置は、炉心構成要素の一つとして既設品を用いて取り扱われるものであり、原子炉施設への人の不法な侵入等の防止に係る措置や方針等の変更を必要としないため。	—
第八条	火災による損傷の防止	無	RI生産用実験装置は、炉心構成要素の一つとして既設品を用いて取り扱われるものであり、火災による損傷の防止に係る措置や方針等の変更を必要としないため。	—
第九条	溢水による損傷の防止等	無	RI生産用実験装置は、炉心構成要素の一つとして既設品を用いて取り扱われるものであり、溢水による損傷の防止に係る措置や方針等の変更を必要としないため。	—
第十条	誤操作の防止	無	原子炉の運転に係る操作等を変更するものではなく、誤操作の防止に係る措置や方針等の変更を必要としないため。	—
第十一条	安全避難通路等	無	設計基準事故等に変更はなく、安全避難通路等に変更はないため。	—
第十二条	安全施設	有	—	・RI生産用実験装置は、炉心構成要素の一つとして、PS-1及びMS-1関連系に分類する。
第十三条	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	無	標準平衡炉心の代表性に変更はなく、AOO、DBA、BDBA事象の解析条件等に変更はないため。	—
第十八条	安全保護回路	無	安全保護回路に変更はないため	—
第十九条	反応度制御系統	有	—	・制御棒及び制御棒駆動系は、RI生産用実験装置の使用しても、反応度変化を制御できることを明記する。
第二十二条	放射性廃棄物の廃棄施設	無	放射性廃棄物の廃棄施設に変更はないため。	—
第二十三条	保管廃棄施設	無	保管廃棄施設に変更はないため。	—
第二十四条	工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護	無	工場等周辺における直接ガンマ線等からの防護に係る方針に変更はないため。	—
第二十五条	放射線からの放射線業務従事者の防護	無	放射線からの放射線業務従事者の防護に係る方針に変更はないため。	—
第二十八条	保安電源設備	無	保安電源設備に変更はないため。	—

設置許可基準規則の該当条文

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		変更申請に係る規則の対象範囲及び対象となる理由		規則に対応する設計方針 (安全設計方針等の主な内容)
		対象の有無	理由	
第二十九条	実験設備等	有	—	<ul style="list-style-type: none"> 実験設備及び利用設備としてRI生産用実験装置を追加する。 RI生産用実験装置は、実験設備等の損傷その他の実験設備等の異常が発生した場合においても、原子炉の安全性を損なうおそれがないように、かつ、実験物の移動又は状態の変化が生じた場合においても、運転中の原子炉に反応度が異常に投入されないように、また、放射線又は放射性物質の著しい漏えいのおそれがないように設計方針を設定する。
第三十条	通信連絡設備等	無	通信連絡設備等に変更はないため。	—
第三十二条	炉心等	有	—	<ul style="list-style-type: none"> RI生産用実験装置の炉心領域への装荷制限は、照射燃料集合体、照射用実験装置との合計で最大4体とする。 ※ 装荷制限は、既許可(照射燃料集合体、照射用実験装置との合計:4体)の範囲に同じであり、標準平衡炉心の代表性に変更はなく炉心特性に影響を及ぼさない。 RI生産用実験装置の構成は、既許可の炉心構成要素と基本的に同じである。同様の設計方針とし、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において健全性を確保することで、原子炉の安全な停止や停止後の炉心の冷却機能に影響を及ぼさないものとする。
第四十二条	外部電源を喪失した場合の対策設備等	無	外部電源を喪失した場合の対策設備等に変更はないため。	—
第四十三条	試験用燃料体	無	試験用燃料体に変更はないため。	—
第四十四条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	有	—	<ul style="list-style-type: none"> RI生産用実験装置は、炉心構成要素の一つとして、核燃料物質取扱設備を用いて取り扱う。また、RI生産用実験装置に限定した経路を一部追加する。 ※ 核燃料物質取扱設備に改造・変更はなく、RI生産用実験装置の追加は、核燃料物質取扱設備の設計に影響を及ぼさない。
第五十条	原子炉制御室等	無	原子炉制御室等に変更はないため。	—
第五十一条	監視設備	無	監視設備に変更はないため。	—
第五十三条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止	無	標準平衡炉心の代表性に変更はなく、多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止に係る評価や措置等の変更はないため。	—
第五十五条	一次冷却系統設備	無	一次冷却系統設備に変更はないため。	—
第五十六条	残留熱を除去することができる設備	無	残留熱を除去することができる設備に変更はないため。	—
第五十七条	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備	無	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備に変更はないため。	—
第五十八条	計測制御系統施設	無	計測制御系統施設に変更はないため。	—
第五十九条	原子炉停止系統	無	原子炉停止系統に変更はないため。	—
第六十条	原子炉格納施設	無	原子炉格納施設に変更はないため。	—

規則への適合性(第29条(1/3):概要)

第二十九条 試験研究用等原子炉施設に設置される実験設備(試験研究用等原子炉を利用して材料試験その他の実験を行う設備をいう。)及び利用設備(試験研究用等原子炉を利用して分析、放射性同位元素の製造、医療その他の行為を行うための設備をいう。)(以下「実験設備等」と総称する。)は、次に掲げるものでなければならない。

【解釈】

- 第29条は、試験研究用等原子炉に特有の実験設備について定めたものである。なお、第29条に規定する「実験設備等」とは、試験研究用等原子炉を使用する実験設備及び利用設備であり、照射試験用の炉内照射設備(ループを含む。)、冷中性子源装置等を含む。

条文	解釈	対応方針
一 実験設備等の損傷その他の実験設備等の異常が発生した場合においても、試験研究用等原子炉の安全性を損なうおそれがないものとする。	<ul style="list-style-type: none"> 第1号に規定する「試験研究用等原子炉の安全性を損なうおそれがないもの」とは、試験研究用等原子炉を自動停止させる等の機能を有するものを含む。 	<ul style="list-style-type: none"> 照射試料は、照射物最高温度が溶融温度以下となるように設計する。万一、I型RI生産用キャプセルに破損が生じて、炉心燃料集合体の冷却を阻害するおそれのあるスラグ等が当該キャプセルの外側へ漏れ出すことはなく、原子炉の安全性を損なわない。
二 実験物の移動又は状態の変化が生じた場合においても、運転中の試験研究用等原子炉に反応度が異常に投入されないものとする。	<ul style="list-style-type: none"> 第2号に規定する「反応度が異常に投入されないもの」とは、実験物の状態変化、移動等によってもたらされる反応度変化が反応度制御系統の操作によって十分に制御できる範囲内にあるものをいう。 	<ul style="list-style-type: none"> 照射試料は、照射物をI型RI生産用キャプセルに密封した構造としている。I型RI生産用キャプセルは、RI生産用実験装置に組み立てられて、炉心に装荷されるため、照射中に照射試料の移動が生じることはない。また、炉心へ装荷される照射物の最大量を制限しており、万一、状態の変化が生じて反応度が異常に投入されることはなく、反応度制御系統の操作により十分に制御できる。
三 放射線又は放射性物質の著しい漏えいのおそれがないものとする。	<ul style="list-style-type: none"> 第3号に規定する「著しい漏えいのおそれがないもの」とは、放射線業務従事者に過度の放射線被ばくをもたらさないように、実験設備等に適切に遮蔽するとともに放射性物質の漏えいを防止する対策を講じたものをいう。 	<ul style="list-style-type: none"> 照射試料は、照射物をI型RI生産用キャプセルに密封した構造とし、放射性物質の著しい漏えいのおそれがないものとする。
四 試験研究用等原子炉施設の健全性を確保するために実験設備等の動作状況、異常の発生状況、周辺の環境の状況その他の試験研究用等原子炉の安全上必要なパラメータを原子炉制御室に表示できるものとする。	<ul style="list-style-type: none"> 第4号に規定する「実験設備等の動作状況、異常の発生状況、安全上必要なパラメータを原子炉制御室に表示できるもの」とは、運転中に重要なパラメータ(温度、圧力、流量等)が監視でき、また、試験研究用等原子炉の安全に重大な影響を及ぼすおそれのある異常な状態に対しては、警報設備を設けたものをいう。 	<ul style="list-style-type: none"> RI生産用実験装置は、既許可の照射用実験装置と同様に炉心に装荷して使用する。RI生産用実験装置の使用にあたって、特別な操作はなく、運転中に監視するパラメータ及び必要な警報の追加や削除はない。
五 実験設備等が設置されている場所は、原子炉制御室と相互に連絡することができる場所とする。		<ul style="list-style-type: none"> RI生産用実験装置は、既許可の照射燃料集合体、材料照射用反射体若しくは照射用実験装置と同様に炉心に装荷して使用する。RI生産用実験装置の使用にあたって、特別な操作はなく、安全上の連絡を要しない。

- ・RI生産用実験装置は、放射性同位元素の生産及び研究開発を行うための設備であり、RI生産用実験装置の照射物には、放射性同位元素又は放射性同位元素の原材料を使用する。
- ・RI生産用実験装置は、RI生産用キャプセル、ステンレス鋼の六角形のラッパ管、エントランスノズル、ハンドリングヘッド等から構成し、照射試料をラッパ管に内包した構造を有する。照射試料は、照射物をRI生産用キャプセルに密封した構造を有する。
- ・RI生産用キャプセルは、照射物をステンレス鋼の管に挿入し、両端を溶接することで密封する。RI生産用キャプセルにはI型RI生産用キャプセルがある。I型RI生産用キャプセルの照射物にはラジウム-226を使用する。

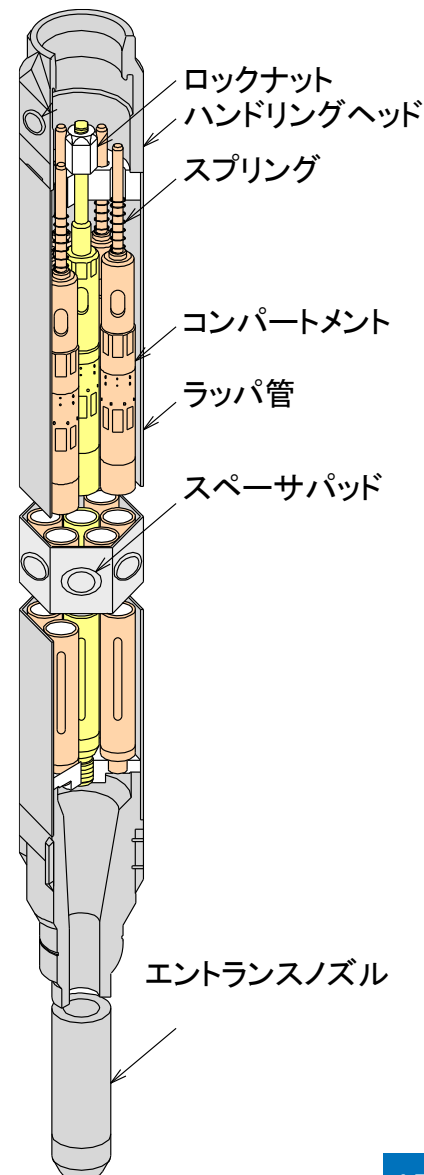
形式		ラッパ管内蔵型	
全長 ※ 外形主要寸法は、ラッパ管を有する他の炉心構成要素と同じ		約2,970mm	
RI生産用実験装置	ラッパ管	材料	SUS316相当ステンレス鋼
		外側対辺間距離	約78.5mm
		肉厚	約1.9mm
RI生産用キャプセル (I型RI生産用キャプセル)	装填個数	最大6個	
	照射物	²²⁶ Ra	0.02g以下
	キャプセル部材	ステンレス鋼	
	キャプセル外径	22.5mm以下	
	端栓	ステンレス鋼	

RI生産用実験装置の設計方針

- RI生産用実験装置の地震時の荷重に対して、十分な強度を有するように設計する。
- 原子炉内における使用期間中の通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、RI生産用実験装置の構成部品にかかる荷重に対する応力計算値は、ASME Sec.Ⅲの基準に準拠して設定した値を満たすように設計する。

I型RI生産用キャプセルの設計方針

- 照射物最高温度は、溶融温度以下となるように設計する。
- RI生産用キャプセル内圧は、RI生産用キャプセルにかかる引張応力を抑え、円周方向へのクリープ破断を生じないように十分低く設計する。
- I型RI生産用キャプセルの各部にかかる荷重に対する応力計算値は、ASME Sec.Ⅲの基準に準拠して設定した値を満たすように設計する。



キャプセル応力評価条件

項目	評価条件
I型RI生産用キャプセル直径	22mm
I型RI生産用キャプセル内径 肉厚	20mm 1.0mm
キャプセル内初期ガス圧力 温度上昇後のガス圧力	0.1MPa abs 0.4MPa abs
ガスプレナム体積	2cm ³
ラジウム装荷量	0.02g
照射温度(ガス温度) (キャプセル温度)	700°C 550°C
照射日数	60日
60日後のガス生成量(ORIGEN2による評価)	2 × 10 ⁻³ cm ³

・内圧評価

生成ガス(α 崩壊によるヘリウム及び子孫核種のRn-222)量は、 $2 \times 10^{-3} \text{cm}^3$ であり、ガスプレナム体積を 2cm^3 と保守的に設定した場合の内圧上昇は、僅かである。

照射中の温度上昇が支配的となり、ガスプレナムガス温度を 700°C と保守的に設定した温度下での照射末期のキャプセル内圧は、 0.4MPa である。

・キャプセル外筒管の周方向応力

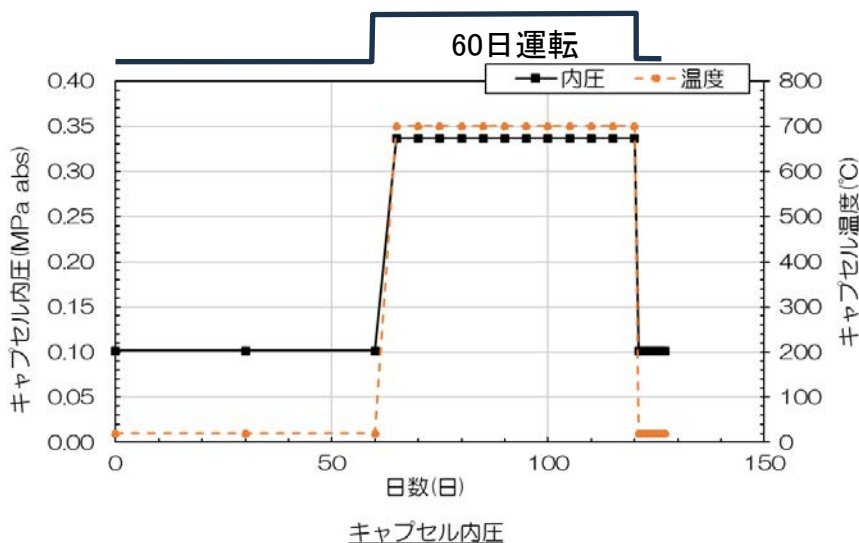
キャプセルの内外圧差は 0.3MPa のためキャプセル外筒管周方向に発生する応力は、 5.9N/mm^2 である。

・まとめ

キャプセル外筒管(SUS316鋼)温度 550°C における許容応力(S_m)は、 111.7N/mm^2 であり、内圧に対しキャプセル外筒管は十分な強度を有している。

また、照射末期、キャプセル外筒管に発生する膜応力は 5.9N/mm^2 と微小であり、 550°C におけるクリープ破断時間は $30,000 \text{h}$ 以上であり、内圧によるクリープ破断に対して十分な裕度を有している。

以上の評価結果から、平常運転時には密封が担保されるため、キャプセル内から生成ガスは放出されない。



キャプセルは密封構造のため、放射性ガスは放出されないが、
万が一、キャプセルが開孔・破損した状態で、運転を継続したと仮定して評価した。

- ・Ra-226(半減期:1,600年)は α 崩壊によりRn-222(半減期:3.8日)が生成される。



- ・Ra-226は、最大 $0.12 \text{ g} \times 4 \text{ 体} = 0.48 \text{ g}$ 装荷される。
- ・Rn-222が1年間漏えいし続けたと仮定した時の大気への最大放出量は、 $5.2 \times 10^{10} \text{ Bq/年}$ となる。



希ガスの放出管理目標値： $6.2 \times 10^{14} \text{ Bq/年}$ のうち、貯留タンクをバイパスして放出(連続放出)されるもの： $3.4 \times 10^{13} \text{ Bq/年}$ に対しても、0.15%程度であり、I型RI生産用キャプセルが万一破損し、Rn-222が継続的に放出された場合にあっても、ソースタームへの影響は無視できる。

条文	対応方針
<p>第三十二条 試験研究用等原子炉施設は、原子炉固有の出力抑制特性を有するとともに、試験研究用等原子炉の反応度を制御することにより核分裂の連鎖反応を制御できる能力を有するものでなければならない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・炉心へ装荷される照射物の最大量を制限しており、炉心の核特性への影響は無視できるため、原子炉固有の出力抑制特性や反応度制御能力への影響を所定の範囲内とできる。最大過剰反応度、反応度制御能力、反応度停止余裕、最大反応度添加率や反応度係数に変更はない。
<p>2 炉心は、通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時に試験研究用等原子炉の運転に支障が生ずる場合において、原子炉冷却系統、原子炉停止系統、反応度制御系統、計測制御系統及び安全保護回路の機能と併せて機能することにより燃料の許容設計限界を超えないものでなければならない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・RI生産用実験装置の追加により、標準平衡炉心の代表性に変更はなく、炉心の核特性に影響を及ぼさない。炉心燃料集合体の熱的制限値や熱設計基準値に変更はなく、炉心は、通常運転時又は運転時の異常な過渡変化時に試験研究用等原子炉の運転に支障が生ずる場合において、原子炉冷却系統、原子炉停止系統、反応度制御系統、計測制御系統及び安全保護回路の機能と併せて機能することにより燃料の許容設計限界を超えない。
<p>3 燃料体、減速材及び反射材並びに炉心支持構造物は、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び設計基準事故時において、試験研究用等原子炉を安全に停止し、かつ、停止後に炉心の冷却機能を維持できるものでなければならない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料の許容設計限界を超えることはないため、燃料集合体等の過渡の変形・破壊が生じることはなく、所要の運転期間において、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に、被覆管による放射性物質の閉じ込め機能、制御棒の挿入性及び冷却可能な形状は確保される。
<p>第十九条 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げるところにより、反応度制御系統を設けなければならない。</p> <p>一 通常運転時に予想される温度変化、キセノンの濃度変化、実験物(構造材料その他の実験のために使用されるものをいう。以下同じ。)の移動その他の要因による反応度変化を制御できるものとする。</p> <p>二 制御棒を用いる場合にあっては、次に掲げるものであること。</p> <p>イ 炉心からの飛び出し、又は落下を防止するものとする。</p> <p>ロ 当該制御棒の反応度添加率は、原子炉停止系統の停止能力と併せて、想定される制御棒の異常な引き抜きが発生しても、燃料の許容設計限界を超えないものとする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・照射試料は、照射物最高温度が熔融温度以下となるように設計する。また、照射試料は、照射物をI型RI生産用キャプセルに密封した構造としている。I型RI生産用キャプセルは、RI生産用実験装置に組み立てられて、炉心に装荷されるため、照射中に照射試料の移動が生じることはない。また、炉心へ装荷される照射物の最大量を制限しており、万一、状態の変化が生じても反応度が異常に投入されることはなく、炉心の核特性に有意な影響を与えないものとしており、反応度制御系統の操作により十分に安全に制御できる。 ・制御棒を用いることについて変更はない。また、炉心へ装荷される照射物の最大量を制限しており、炉心の核特性への影響は無視できるため、制御棒による最大反応度添加率:約0.00016 Δk/k/sに変更はない。

【RI生産用実験装置の使用条件】

装荷位置:炉心燃料領域

ただし、RI生産用実験装置は、原子炉の核熱特性に影響を与えないよう装荷する。

最大装荷個数:照射燃料集合体、照射用実験装置及びRI生産用実験装置の合計4体

※ 既許可:炉心燃料領域に装荷する場合にあっては、照射燃料集合体及び照射用実験装置の合計4体

【炉心の核特性への影響】

RI生産用実験装置を含めても、最大装荷個数(合計)を同じとしたため、標準平衡炉心の代表性に変更はなく、炉心の核特性に影響を及ぼさない。

※ 最大量のRa-226を炉心に装荷した場合の影響

- ・ 最大装荷量 : $0.02 \text{ g} \times 6 \text{ キャプセル} \times 4 \text{ 集合体} = 0.48 \text{ g}$
- ・ Ra-226を0~400g装荷した場合の反応度変化 : $-0.0002 \sim 0 \Delta k/k$ ※ 最大過剰反応度(100°C): $0.035 \Delta k/k$

ラジウム装荷量	(g)	0	4	20	40	80	200	400
CITATION結果	差分反応度 ($\Delta k/k'$)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0002

解析手法:MK-IV設計手法(基準計算、ラジウム装荷部分の断面積のみJENDL-4を使用)

固有値に対する収束判定: 10^{-4}

解析体系:標準平衡炉心燃料領域のRI生産用実験装置4体の炉中心メッシュにラジウムを装荷

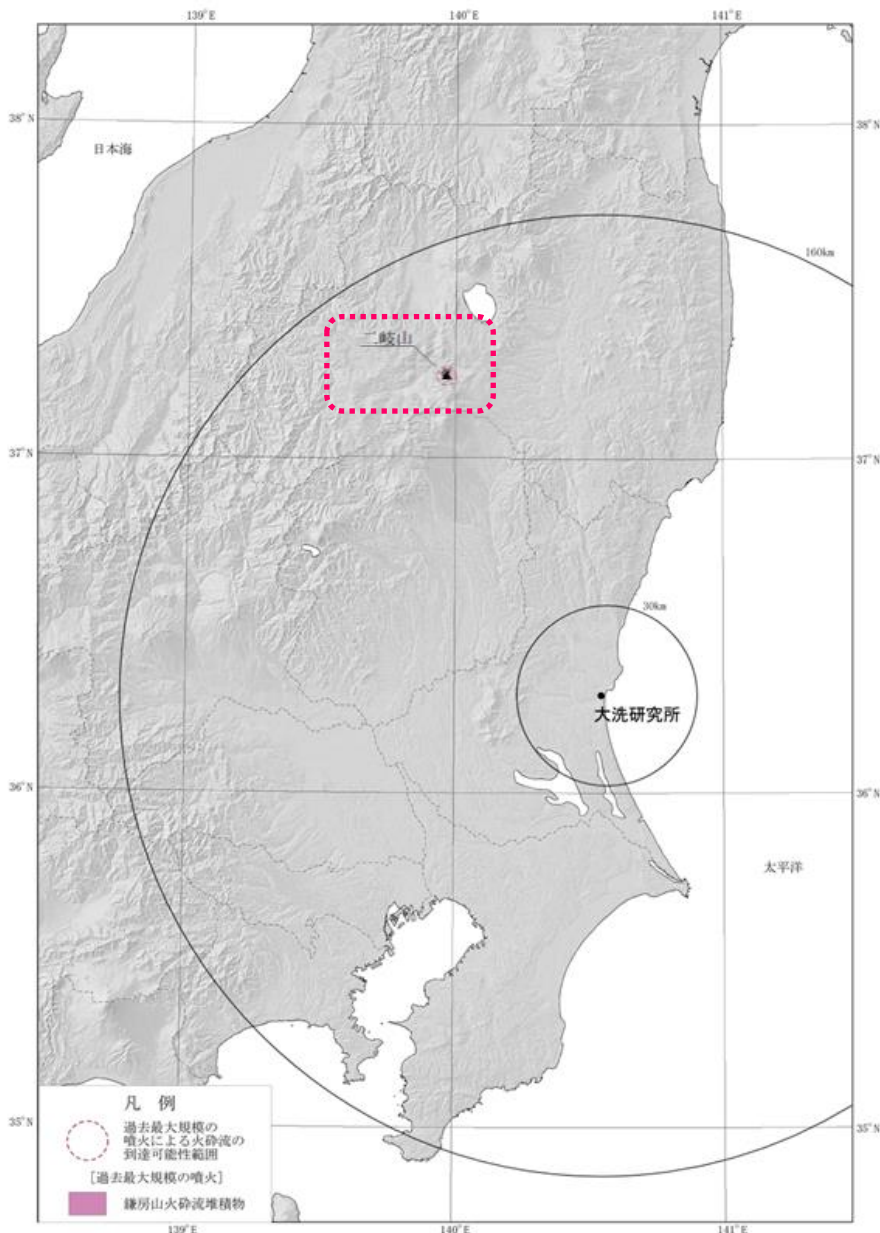
条文	対応方針
<p>第四十四条 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げるところにより、通常運転時に使用する燃料体、試験用燃料体又は使用済燃料(以下この条において「燃料体等」と総称する。)の取扱施設を設けなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 燃料体等を取り扱う能力を有するものとする。 二 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。 三 崩壊熱により燃料体等が溶融しないものとする。 四 使用済燃料からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。 五 燃料体等の取扱中における燃料体等の落下を防止できるものとする。 <p>2 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料体等の貯蔵施設を設けなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 燃料体等の貯蔵施設は、次に掲げるものであること。 <ul style="list-style-type: none"> イ 燃料体等を貯蔵することができる容量を有するものとする。 ロ 燃料体等が臨界に達するおそれがないものとする。 二 使用済燃料その他高放射性の燃料体の貯蔵施設にあっては、前号に掲げるもののほか、次に掲げるものであること。ただし、使用済燃料中の原子核分裂生成物の量が微量な場合その他の放射線の遮蔽及び崩壊熱の除去のための設備を要しない場合については、この限りでない。 <ul style="list-style-type: none"> イ 使用済燃料その他高放射性の燃料体からの放射線に対して適切な遮蔽能力を有するものとする。 ロ 貯蔵された使用済燃料その他高放射性の燃料体が崩壊熱により溶融しないものとする。 ハ 使用済燃料その他高放射性の燃料体の被覆材が著しく腐食するおそれがある場合は、これを防止できるものとする。 ニ 放射線の遮蔽及び崩壊熱の除去に水を使用する場合にあっては、当該貯蔵施設内における冷却水の水位を測定でき、かつ、その異常を検知できるものとする。 <p>3 試験研究用等原子炉施設には、次に掲げるところにより、燃料取扱場所の放射線量及び温度を測定できる設備を設けなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一 燃料取扱場所の放射線量の異常を検知し、及び警報を発することができるものとする。 二 崩壊熱を除去する機能の喪失を検知する必要がある場合には、燃料取扱場所の温度の異常を検知し、及び警報を発することができるものとする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・照射後のRI生産用実験装置の取扱経路を一部追加する(8頁参照)。 ・核燃料物質取扱設備に改造・変更はなく、RI生産用実験装置の追加は、核燃料物質取扱設備の設計に影響を及ぼさない。

【第4条】
RI生産用実験装置は、他の炉心構成要素と同様に耐震重要度分類を「Sクラス」とし、基準地震動による地震力に対してその安全機能が保持できるように設計する。

クラス	クラス別施設	主要設備	補助設備
		適用範囲	適用範囲
Sクラス	(iii) 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設及び原子炉の停止状態を維持するための施設	① 制御棒 ② 制御棒駆動系 1) 駆動機構 2) 上部案内管 3) 下部案内管 ③ 後備炉停止制御棒 ④ 後備炉停止制御棒駆動系 1) 駆動機構 2) 上部案内管 3) 下部案内管	① 電気計装設備(原子炉保護系(スクラム)に関するもの) ② 炉心支持構造物 1) 炉心支持板 2) 支持構造物 ③ 炉心バレル構造物 1) バレル構造体 ④ 炉心構成要素 1) 炉心燃料集合体 2) 照射燃料集合体 3) 内側反射体 4) 外側反射体(A) 5) 材料照射用反射体 6) 遮へい集合体 7) 計測線付実験装置 8) 照射用実験装置 9) RI生産用実験装置

【第12条】
RI生産用実験装置は、他の炉心構成要素と同様に「炉心形状の維持機能」として「PS-1」に分類する。また、他の炉心構成要素と同様に、制御棒及び後備炉停止制御棒の挿入性に間接的に影響を与えることから、「原子炉の緊急停止及び未臨界維持機能」の関連系として「MS-1」に分類する。

→ 上記と同様に、該当する表等に、「RI生産用実験装置」を追加する。



- ・ 完新世に活動を行っていない火山のうち将来の火山活動可能性が否定できない火山について、最新知見*¹を反映した。既許可の子持山、笹森山の2火山に**二岐山**を加えた、**合計3火山**を評価対象とした。それに伴い、施設に影響を及ぼし得る火山が**12火山から13火山**になった。
- ・ その他に、文献の更新等を踏まえて記載を更新した。
- ・ **設計上考慮する火山による影響(降下火砕物の層厚の検討結果等)に変更はない**。また、火山事象防護に関する基本方針等に影響を及ぼさない。

* 1: 渡部将太, 長谷川健, 小畑直也, 豊田新, 今山武志(2023): 福島県南部, 二岐山火山の噴火史とマグマ供給系, 地質学雑誌, 129, p307-324

※ 風(台風)、洪水・降水、積雪、凍結、落雷、生物学的事象、竜巻、森林火災、地滑り、航空機落下、ダムの崩壊、爆発、近隣工場等の火災、有毒ガス、船舶の衝突、電磁的障害について、設計条件の見直し等を必要とする周辺状況等の変更はなかった。また、気象データ(2009-2013)については、異常年検定により長期期間の気象状態を代表している判断されていること、本変更申請において、ソースタームの変更がなく、被ばく評価を見直すものではないことから、データ更新の対象外とした。なお、最新の気象データ(2018-2022)と比べても有意な変化はない。

【工事計画】

項 目 \ 年 度	年 度						
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
R I 生産用実験装置の追加			製 作				
				照 射			

【変更の工事に要する資金の額】

(単位：百万円)

	総 額
R I 生産用実験装置の追加*	約 60

* 照射試料の工事に要する資金を除く

変更の工事に要する資金は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の運営費交付金等の財源をもって充当する計画である。