

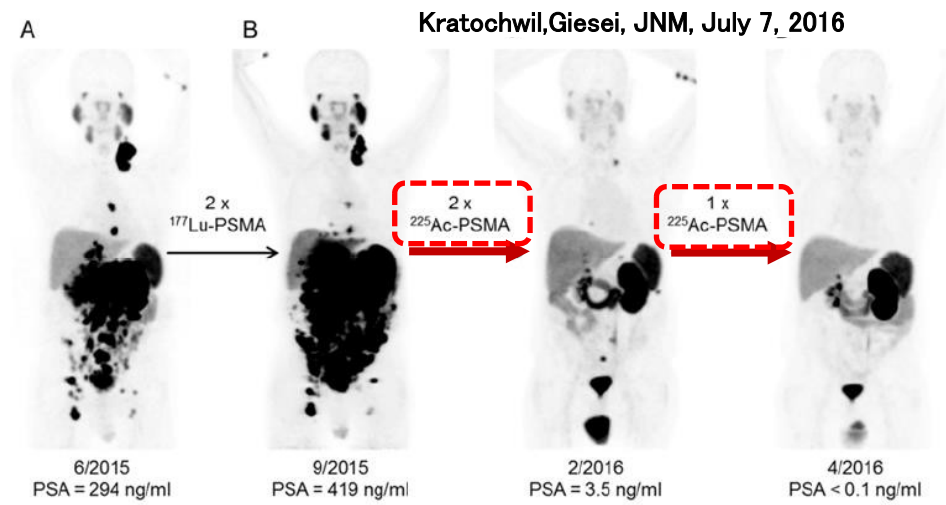
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
大洗研究所(南地区)
高速実験炉原子炉施設(「常陽」)における
RI製造(案)について

2023年9月4日

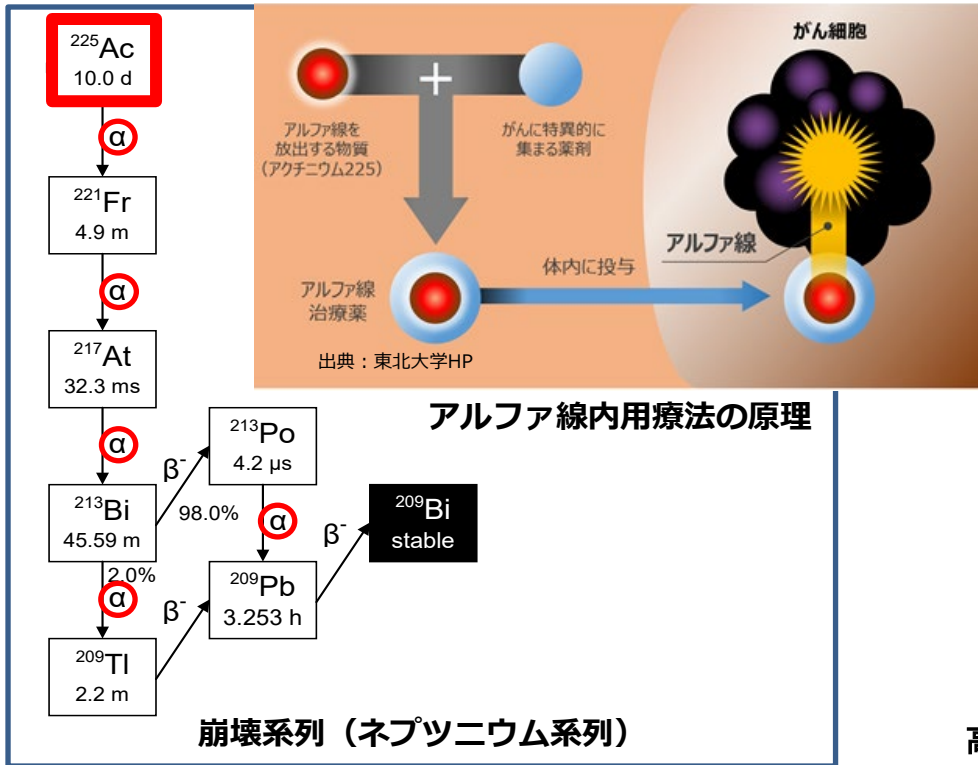
日本原子力研究開発機構 大洗研究所
高速実験炉部

製造対象のRI: アクチニウム (Ac-225) の特徴

- ・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、**放射能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



Th-226 30.57m	Th-227 18.68d	Th-228 1.9116y	Th-229 7920y *13.9h
Ac-225 10.0d	Ac-226 1.224d	Ac-227 21.772y	Ac-228 6.15h
Ra-225 14.9d	Ra-226 1600y	Ra-227 42.2m	

β-崩壊 (Ac-225 to Ra-225, Ac-226 to Ra-226)

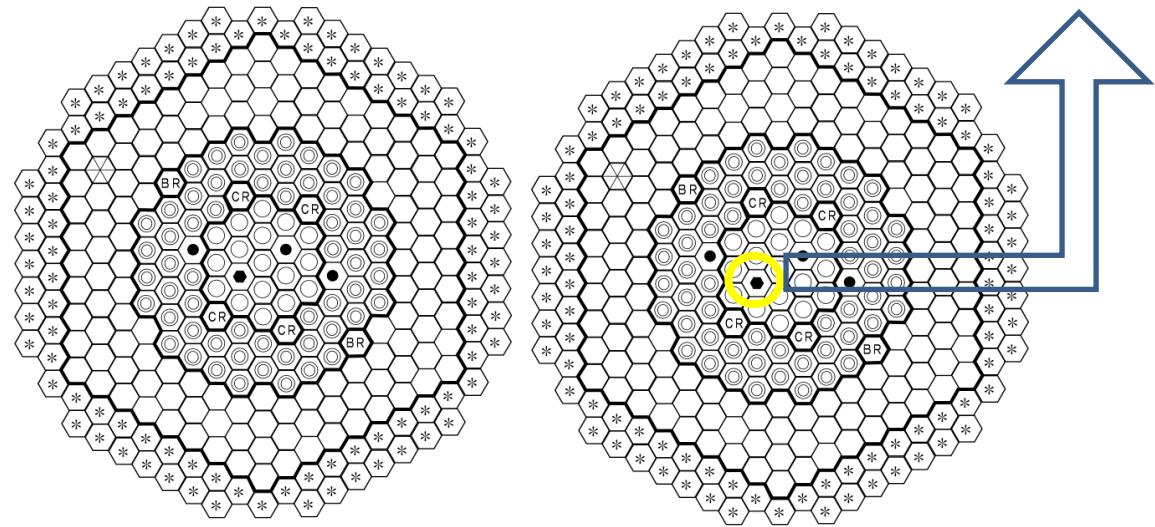
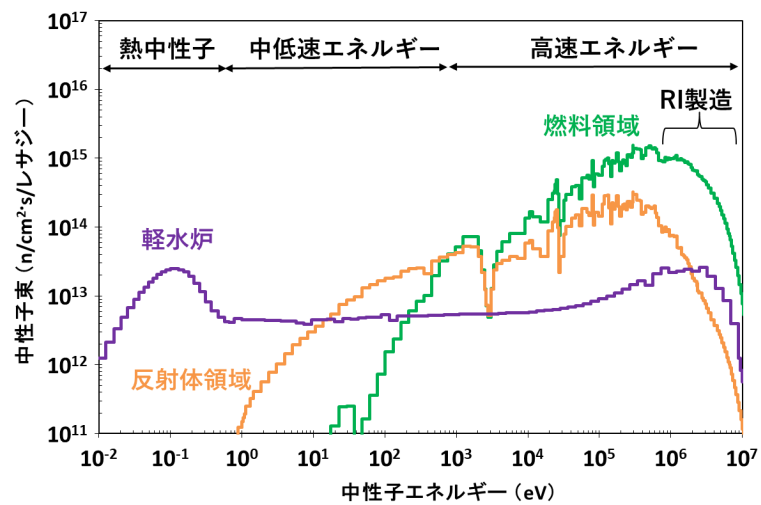
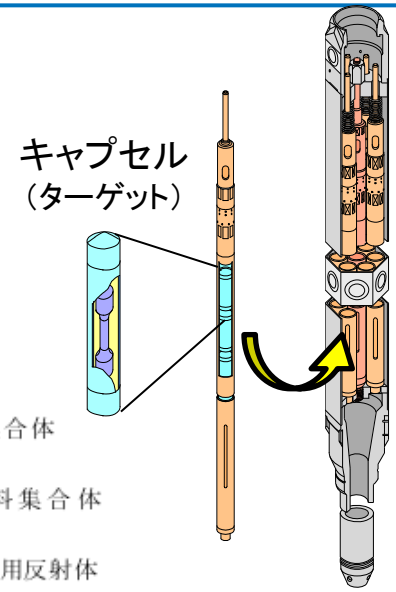
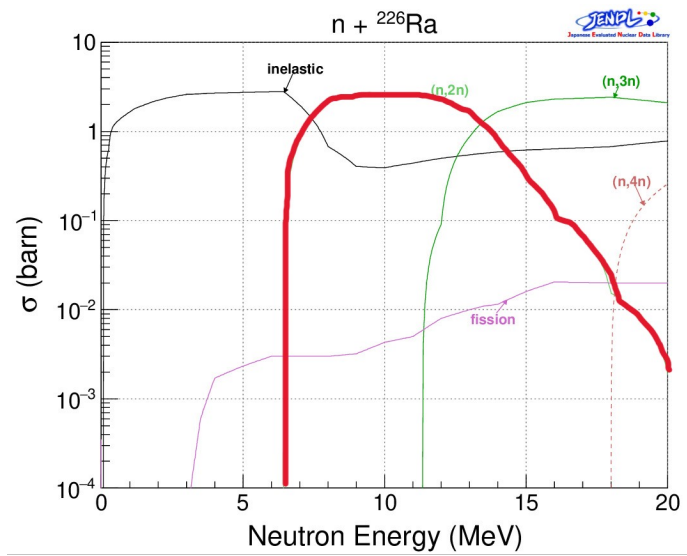
(n,2n)反応 (Ra-226 to Ac-225)

Ra-226を高速中性子照射し (n,2n)反応を利用して、Ra-225を生成、β崩壊からAc-225を抽出

高速炉におけるアクチニウム (Ac-225) の製造方法

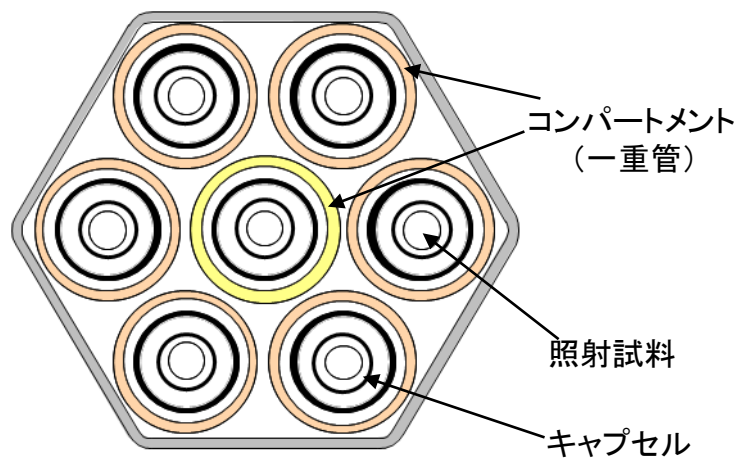
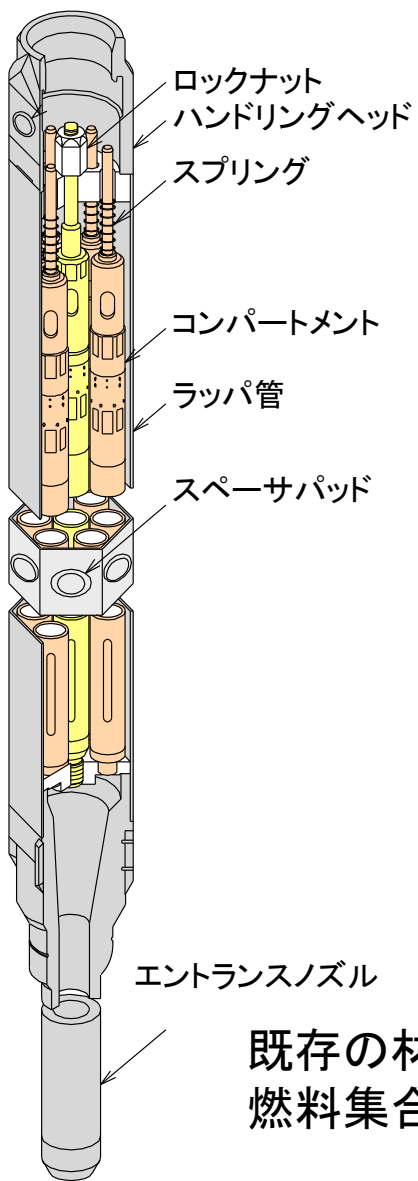
アクチニウムの製造に「常陽」を用いる理由

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)による製造



標準平衡炉心

実証試験炉心 (検討中)



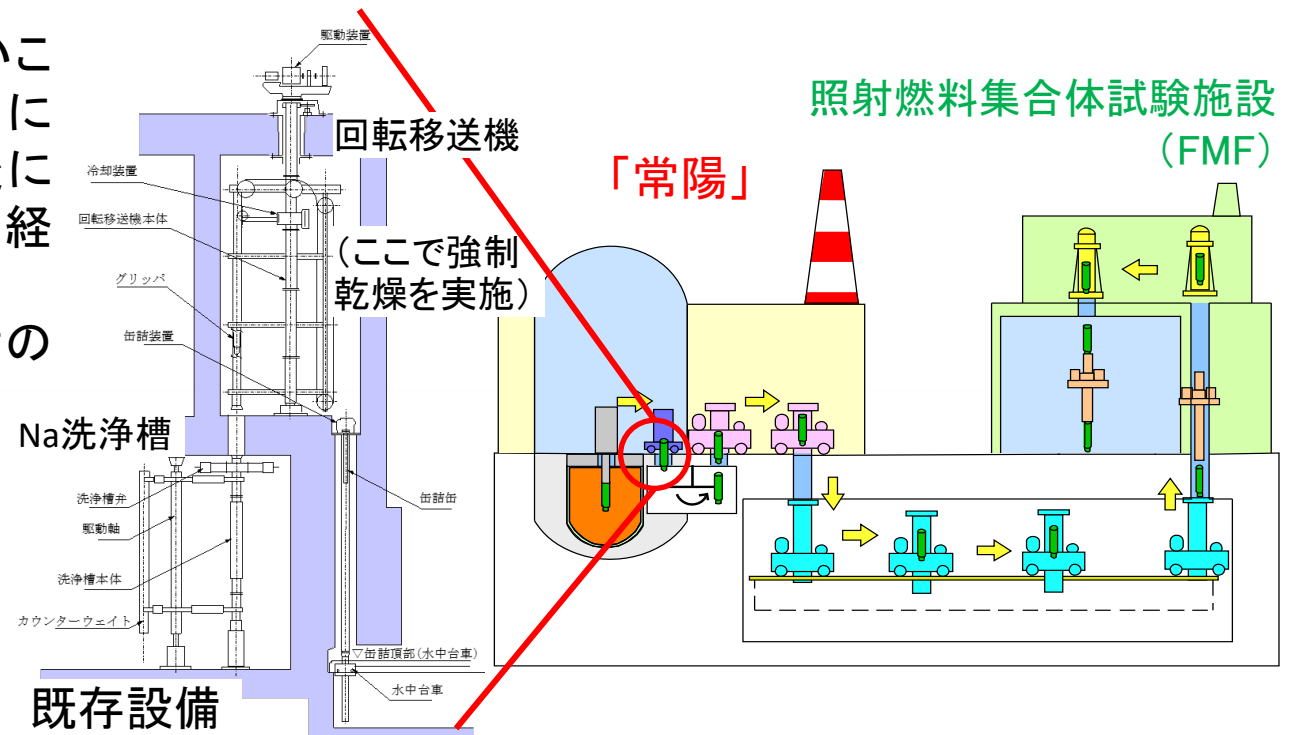
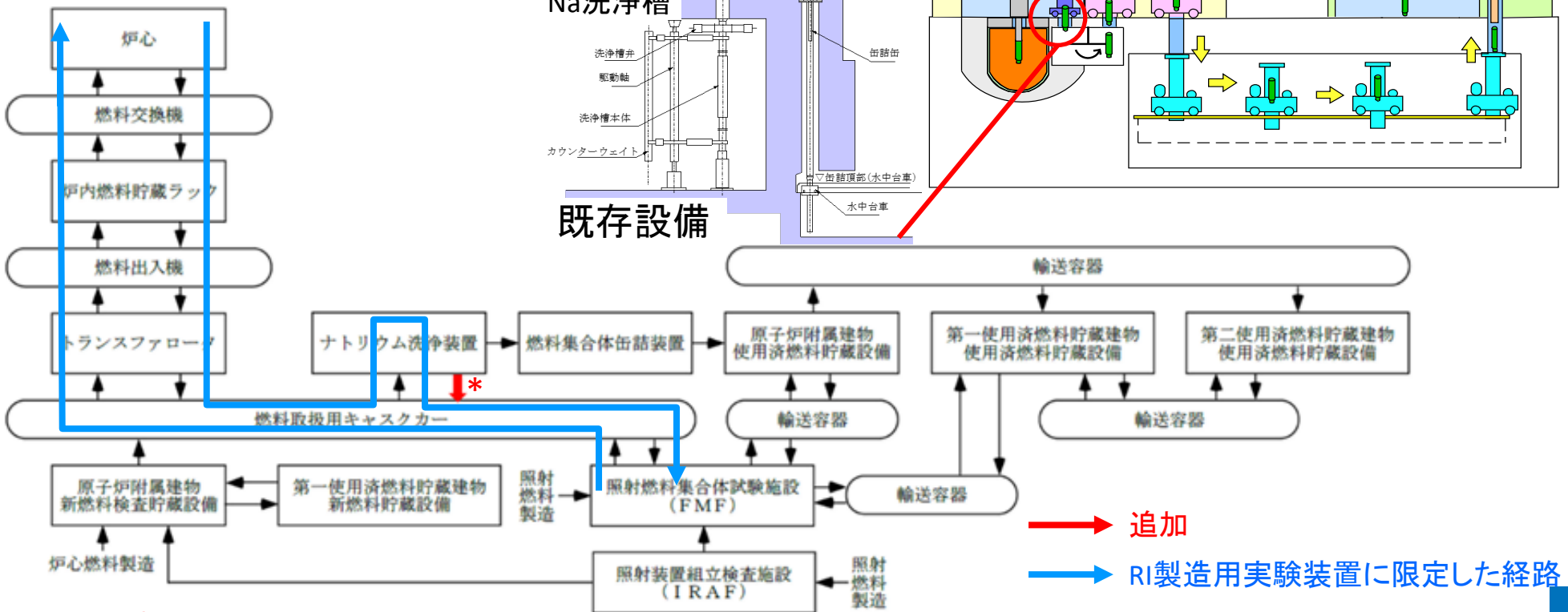
材料照射用の反射体断面図



材料照射用キャプセルと照射試料の一例

既存の材料照射用反射体と同様に、コンパートメント型とし、隣接する照射燃料集合体試験施設(FMF)での短期間での分解、再組立、再装荷を実現

FMFセル内に水分を持ち込めないこと及び迅速な照射後処理のために「常陽」でナトリウム洗浄・乾燥後にFMFに移送する。このため、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。



*RI製造用実験装置に限る

燃料集合体等の主な取扱経路

「常陽」RI製造に係る許可変更案

- FMF:核燃使用施設
- ・使用の目的変更
 - ・セル内でのRI製造用実験装置の組立

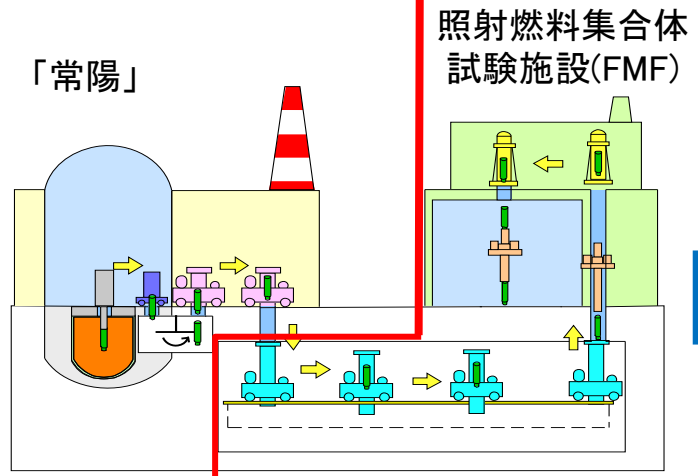
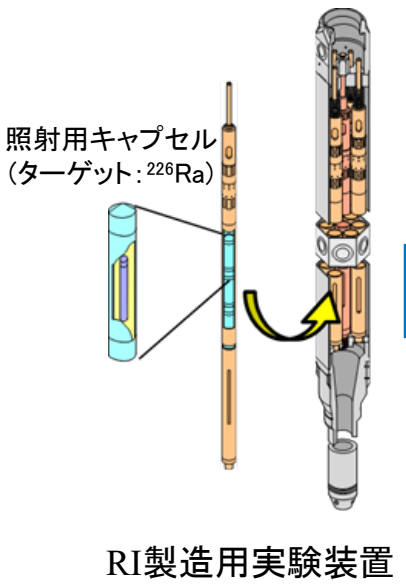
- FMF:RI施設
- ・非密封Ra及び娘核種の貯蔵・使用

- 「常陽」:原子炉施設
- ・使用の目的変更
 - ・RI製造用実験装置の追加
 - ・RI製造用実験装置の取り扱いルートの追加

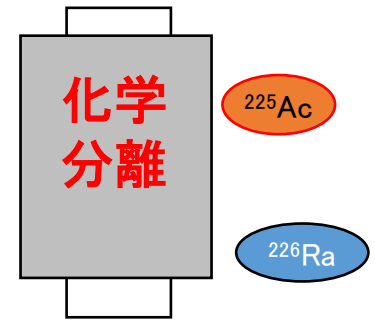
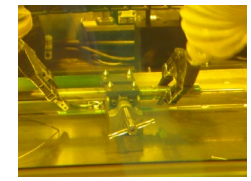
- 「常陽」:RI施設
- ・Ra及び娘核種の貯蔵・使用

- FMF:核燃使用施設
- ・セル内でのRI製造用実験装置の解体
 - ・GBでの核燃汚染物の許可

- FMF:RI施設
- ・非密封Ra、Ac及び娘核種の貯蔵・使用・廃棄



FMFで化学処理



原子炉設置変更許可申請書	対象の有無	理由
本文	有	P.7参照。
添1: 原子炉使用の目的	有	P.7参照。
添2: 原子炉熱出力	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	P.7参照。
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	P.7参照。
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	無	本変更は、取り扱う核燃料物質の種類及び量を変更するものではなく、気象や社会環境等の状況の見直しを必要としないため。また、周辺環境を変更するものではなく、地盤、水理、地震等の見直しを必要としないため。本変更の申請時の代表的な気象状況に変更はないため。
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	P.7参照。
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	ソースタームに変更はなく、被ばく評価結果に変更はないため。また、本変更において「常陽」内では、新たな放射性廃棄物の発生はないので変更はないため。
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	無	RI製造用実験装置は照射用実験装置の内数とし、標準平衡炉心の代表性に変更はなく、AOO、DBA、BDDBA事象の入力条件が変わらないため。
添11: 試験研究用等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	今回の変更には、該当しないため。

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"> • 使用の目的追加 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 一般研究、材料照射、医療/工業用放射性同位元素の製造の項目を追加 • RI製造用実験装置を追加 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 構造は従来の材料照射用反射体と同じ構造 ➢ 制限:内容物(ターゲット核種、重量)、装荷体数(照射用実験装置の内数)、装荷位置、キャプセル設計 • 工事計画の追加
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製造用実験装置の製作の資金を追加
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製造用実験装置の製作等に係る技術的能力を説明
添8:原子炉施設の安全設計	有	<ul style="list-style-type: none"> • RI製造用実験装置の追加 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 制限:照射内容物(ターゲット核種、重量)、装荷体数(照射用実験装置の内数)、装荷位置、キャプセル設計 ➢ 炉心構成要素の一つであり、Sクラスに該当 • RI製造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)

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 (平成二十五年原子力規制委員会規則第二十一号) 平成三十年六月八日公布(平成三十年原子力規制委員会規則第六号)改正及び規則の解釈		変更(補正)申請に係る法令要求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	該当する設備等があるため、左記条文に対して設計方針の妥当性を確認する。	・新規に追加するRI製造用実験装置は、その他の炉心構成要素と同様にSクラスの耐震重要度分類に分類する。なお、その他の炉心構成要素と同様の設計とする。
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(外部火災、火山、竜巻等)	無	外部からの衝撃による損傷の防止に変更はないため。	
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	原子炉施設への人の不法な侵入等の防止に変更はないため。	
第八条	火災による損傷の防止	無	火災による損傷の防止に変更はないため。	
第九条	溢水による損傷の防止等	無	溢水による損傷の防止に変更はないため。	
第十条	誤操作の防止	無	誤操作の防止に変更はないため。	
第十一条	安全避難通路等	無	安全避難通路等に変更はないため。	
第十二条	安全施設	有	該当する設備等があるため、左記条文に対して設計方針の妥当性を確認する。	・新規に追加するRI製造用実験装置は、その他の炉心構成要素と同様にPS-1、MS-1に分類し、安全機能が確保されるように設計する。
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	RI製造用実験装置は照射用実験装置の内数のため、標準平衡炉心の代表性、炉心特性に変更はなくAOO、DBA事象選定、評価結果に影響はないため	
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	無*	該当する設備等があるため、左記条文に対して設計方針の妥当性を確認する。	・制御棒及び制御棒駆動系は、新規に追加するRI製造用実験装置の使用による反応度変化を制御できるように設計する。
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。	
第二十九条	実験設備等	有	該当する設備等があるため、左記条文に対して設計方針の妥当性を確認する。	・実験設備及び利用設備にRI製造用実験装置を新たに追加する。 ・RI製造用実験装置は、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する。

*当該条文に関する記載の一部に変更は生じるが、大きな影響を与えるものではない条文

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 (平成二十五年原子力規制委員会規則第二十一号) 平成三十年六月八日公布(平成三十年原子力規制委員会規則第六号)改正及び規則の解釈		変更(補正)申請に係る法令要求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	無*	炉心等に変更はないため。	<ul style="list-style-type: none"> RI製造用実験装置は照射用実験装置の内数のため、標準平衡炉心の代表性に変更はなく炉心特性に影響を与えない。 新規に追加するRI製造用実験装置は他の炉心構成要素と同様の構造及び設計方針で設計する。
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	無*	燃料体、試験用燃料体又は使用済燃料の取扱方法等の変更はないため。	<ul style="list-style-type: none"> 新規に追加するRI製造用実験装置の取扱いに、核燃料物質取扱設備の一部を使用する。他の炉心構成要素と同様に取り扱うため、RI製造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	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止に変更はないため。	
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。	

*当該条文に関する記載の一部に変更は生じるが、大きな影響を与えるものではない条文

設置変更許可申請書 本文

又. その他試験研究用等原子炉の附属施設の構造及び設備

(1) 非常用電源設備の構造

省略

(2) 主要な実験設備の構造

(i) 計測線実験装置

(ii) 照射用実験装置

(iii) RI製造用実験装置 ← 追加

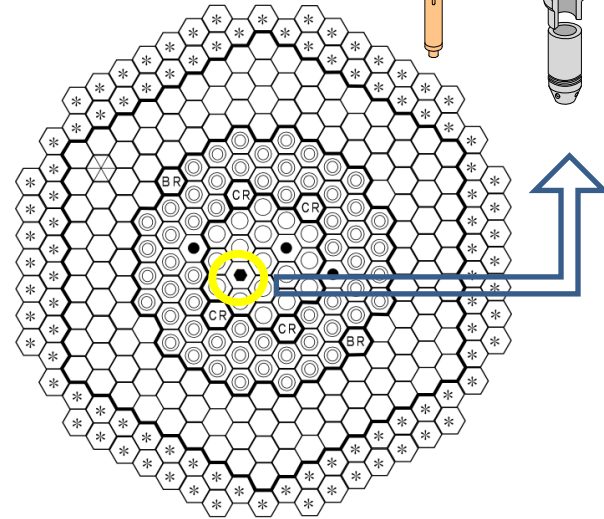
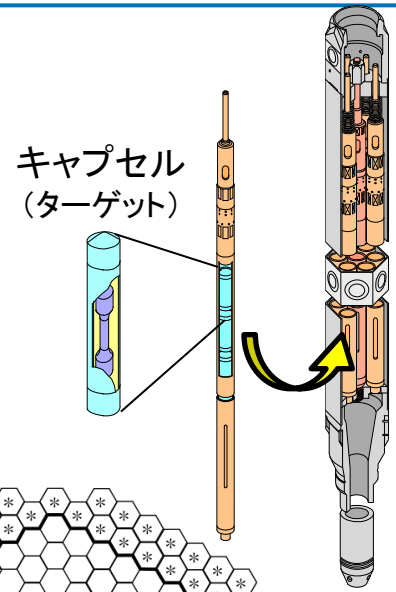
(3) その他の主要な事項

省略

参考)ラジウム装荷の炉心への影響

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)

解析体系: 標準平衡炉心第1列の材料照射用反射体の炉中心メッシュにラジウムを装荷



実証試験炉心
(検討中)

ラジウム装荷量	(g)	0 "基準"	1	5	10	20	50	100
CITATION結果	差分反応度 ($\Delta k/kk'$)		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

固有値に対する収束判定: 10^{-4}