



文部科学省

資料 2

試験研究炉を用いたRI製造の現状・ 課題及び今後の展望について

令和4年2月21日

文部科学省 研究開発局 原子力課

試験研究炉を活用したRI製造に高まる期待

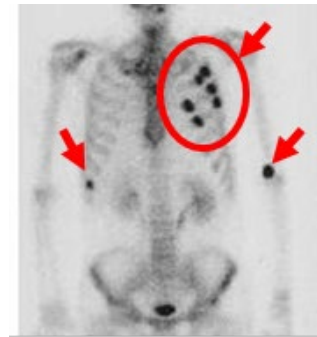
- 我が国で利用されている**医療用RIはほぼ全量を輸入に依存**しており、外的要因による供給の停止によりRIの医療利用に支障をきたすおそれあることから、**医療用RIの国産化と安定供給が経済安全保障の観点からも喫緊の課題**となっている。
- このような状況を踏まえ、「成長戦略フォローアップ」（令和3年6月閣議決定）においては、**試験研究炉等を利用してRIの製造**に取り組むこととされている。
- 原子力機構の保有する試験研究炉のうち、**JRR-3**（令和3年2月に運転再開）と高速実験炉**「常陽」**（現在、新規規制基準に係る審査中）を活用した医療用RIの製造に大きな期待が寄せられている。
- これらの施設では、今後、医療用RIのうち**国内需要が最も多く、核医学診断に利用されるTc（テクネシウム）-99m**の原料となる**Mo（モリブデン）-99**や、革新的ながん治療への利用が期待される**Ac（アクチニウム）-225**の国内製造に向けた研究開発を推進。

（本日のご説明のポイント）

1. 原子力機構の試験研究炉におけるRI製造に係る取組・課題及び今後の方向性について。
2. RI製造の国産化・国内供給体制の確立に向けたオールジャパンの取組において、今後、原子力機構に期待される役割について。

核医学診断に使用されるMo-99 / Tc-99m

- ▶ 我が国では、がんの位置を明らかにする骨シンチグラフィ等のためのTc-99mを用いた検査数は約100万件／年であり、欧米に次いで第3位のTc-99m大消費国。
- ▶ しかしながら、現在、その原料である**Mo-99の全量を輸入**に頼る状況。
- ▶ 海外の生産用原子炉の老朽化、輸送空路の障害などにより、供給が不安定になることもあり、**医療経済安全保障**の観点で大きな課題を抱えている。
- ▶ 昨年2月に運転再開を果たした**JRR-3**が安定した稼働率（50%）で運転すれば、**現在の国内供給量の約3割に相当する量のMo-99を製造可能**。



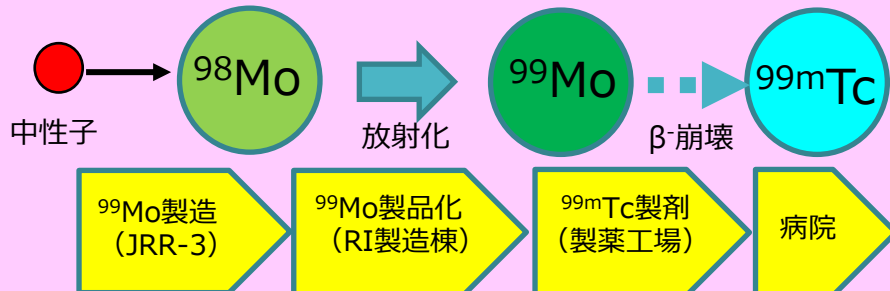
骨シンチグラフィ

核医学検査に使用されるRI

用途	核種	半減期	製造施設	場所
SPECT ガンマ線	Ga-67	3.26日	加速器	国内
	Tc-99m	6.06時間	原子炉	海外
	In-111	2.83日	加速器	国内
	I-123	13.2時間	加速器	国内
PET ガンマ線	Tl-201	73時間	加速器	国内
	C-11	20分	加速器	国内
	N-13	10分	加速器	国内
	O-15	2分	加速器	国内
	F-18	110分	加速器	国内

【中性子放射化法】

海外では高濃縮ウランの核分裂生成物からMo-99を分離抽出しているが、JRR-3では、天然のMo-98ターゲットに中性子を照射してMo-99を製造するための技術開発を推進



- 昭和37年 初の国産原子炉として臨界
- 昭和60年 高性能化のための改造工事開始
- 平成2年 改造JRR-3 臨界
改造JRR-3利用運転開始
- 平成23年 運転停止
- 平成30年 新規制基準適合性に係る許可取得
- ～令和2年 耐震補強工事や津波対策等の新規制基準対応を実施
- 令和3年2月 運転再開
- 令和3年7月 外部供用再開



JRR-3

仕様

目的	中性子ビーム実験, RI製造、材料照射等
最大熱出力	2万キロワット

Mo-99/Tc-99mの国内供給体制の確立に向けた技術的課題

- 原子力機構では、Mo-98を原料とした「中性子放射化法」の実用化に向け、JMTRを使った技術開発に取り組んでいたが、その廃炉決定に伴い、**昨年運転を再開したJRR-3における技術開発に切り替えて技術実証**を実施中。

（現状の約半分に短縮可能）
製造から医療機関まで3〜4日

原子炉照射
(JAEA)

- 照射試料作製 (MoO₃ペレット)
- 照射キャプセル封入
- 原子炉運転/炉内照射
- 試料取出し/払出し



安定供給に向けた、中性子照射場の確保、照射技術の確立

⁹⁹Moの調達管理
(RI販売事業者)

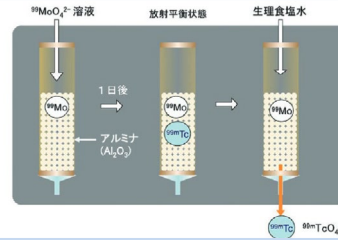
- キャプセル開封
- MoO₃ペレット取出し
- ペレット溶解/製品化
- 製品検査/払出し



高品質の⁹⁹Moを定常的に出荷できる仕組みを構築

医薬品の製造
(民間企業/製薬会社)

- ⁹⁹Mo-^{99m}Tcジェネレータ
- ^{99m}Tcミルクング
- ^{99m}Tc製剤作成



放射化法では比放射能が低いことから、新たな分離・抽出方法の開発が必要

医療診断
(医療機関)

- 国内約1,300の核医学診療施設
- 検査、治療
- ^{99m}Tc-^{99m} : 300TBq/年
- ⁹⁹Mo-^{99m}Tcジェネレータ : 90TBq/年



研究機関、RI販売事業者、製薬会社が協力し、一体となって取り組むべき課題

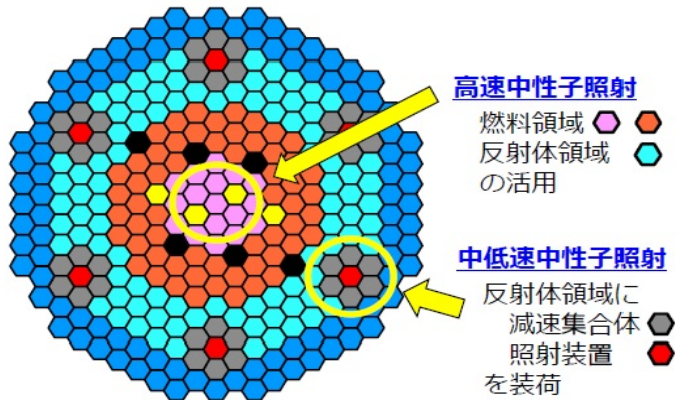
革新的がん治療に使用されるAc-225

- 多くの症例に対し、短半減期アルファ線放出核種による治療効果が確認されているが、**特にAc-225の治療効果が高く、世界で治験・臨床研究の競争が激化。**
- しかしながら、Ac-225は全世界的に供給不足。米、欧、カナダ等が相次いで加速器を用いた製造計画を発表。
- 日本では研究に必要なAc-225の確保が十分ではなく、治験の円滑な実施や将来の必要量確保の観点から、加速器での製造に加えて**「常陽」を活用した大量製造に大きな期待**が寄せられている。

(参考) 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (令和3年6月18日)

「常陽」においては、世界的にも希少な医療用放射性同位体を大量製造することが可能である。「常陽」の再稼働を進めていくことで、先進的ながん治療等への貢献が期待される。

- **「常陽」の新規制基準への早期適合・早期運転再開**及びそのための**リソース確保**が課題。



多様な中性子照射場

高速中性子照射

燃料領域
反射体領域
の活用

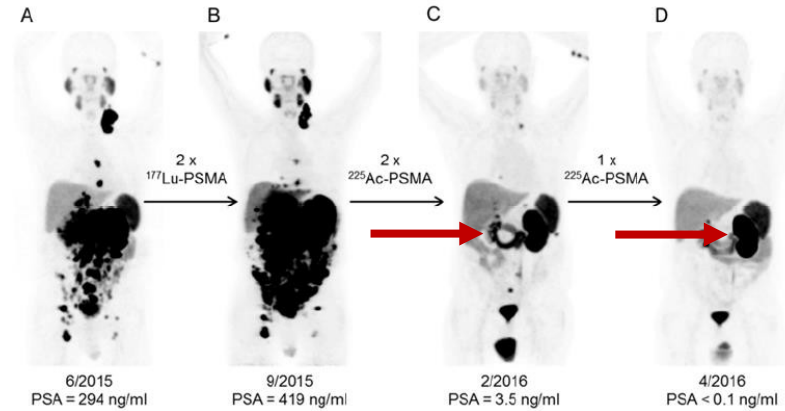
Ra-226やTh-230を親元素としたAc-225の製造

中低速中性子照射

反射体領域に
減速集合体
照射装置
を装荷

Mo-98を親元素としたMo-99の製造

末期の転移性前立腺ガンに対して効果



Kratochwil, Giese, JNM, July 7, 2016



「常陽」

仕様	
目的	高速炉研究開発、R I 製造※ 等
最大熱出力	10万キロワット

※今後目的変更を申請予定
運転再開予定：令和6年度末～

- 昭和52年 初臨界
- 平成19年 定期検査中の破損により、燃料を交換することができなくなる事象が発生
- 平成27年 燃料交換機能の復旧
- 平成29年 原子力規制委員会に対し、新規規制基準に係る設置変更許可を申請

Ac-225の国内供給体制の確立に向けた課題及び取組の方向性

- がん治療に極めて高い効果が期待されているAc-225は世界中で確保に向けた競争が激化。
- 国内においても、研究用のAc-225の需要はあるものの、ほぼ全量を輸入に頼っている状況。年々価格が上昇している上に、増大する需要を満たす量のAc-225輸入自体が困難。

Ac-225について戦略的重要性が高まっており、医薬品研究用に必要な国内供給体制の構築が不可欠

Ac-225の製造能力を有する主な国内施設

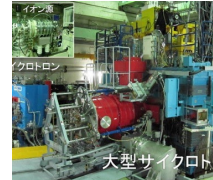
● 高速実験炉「常陽」(JAEA)

- 原材料を大量に装荷可能
- ホット施設完備
- 令和6年度末の運転再開を目指し準備中
- Ac-225製造の検討を実施



● サイクロトロン (QST)

- 幅広い核種を作り分けることが可能
- 実際にAc-225の製造実績あり
- 火災により休止中



● 電子線形加速器 (東北大)

- 特定の核種の大量製造が可能
- 実際にAc-225の製造実績がありスケールアップした実証研究に着手



製造に向けた課題

- ❑ 世界的にも希少な原料物質Ra-226の確保
- ❑ 製造、後処理における放射性物質の取扱い
- ❑ 製造に使用するマシンタイムの確保

国内供給に向けた具体的方策

- ✓ 国内在庫の掘り起こしを含むRa-226の確保
- ✓ 製造能力を有する研究機関の連携強化
- ✓ 早い段階での製薬メーカーとの連携

実用化段階における民間企業を巻き込んだ国内での製造・供給体制の確立に向けては、多様なRI製造主体の相補的・相乗的な連携体制の構築とともに、国際的な供給ネットワークとの連携や原料確保など、国レベルでの支援が必要

原子力機構に期待される役割 (RI製造の国産化・国内供給体制の確立に向けて)

オールジャパンで取り組むべき課題

- 世界的に今後さらなる需要拡大が確実視される希少な医療用RIについて、その国内需要を賄っていきけるだけの**大量のRI供給が可能な国内拠点**が必要。
- RI製造が可能な様々な原子炉や加速器（サイクロトロン、電子ライナック）について、**個々の技術的・経済的優位性を戦略的に活かした相補的な利用体制**の構築が重要。
- 国内の産学官を広く呼び込み協働できる体制を構築する上では、Ac-225やAt-211をはじめとするアルファ線放出核を含め（RI使用許可量、施設・設備整備、管理体制等の）**RI使用の利便性向上**や**放射性廃棄物の問題をクリアした研究開発拠点**が核となる必要がある。
- RI製造を担う**技術者や医療用RIに係る研究者を長期的視野から育成**し、人的基盤を支えるとともに確実な**技術や知見の継承**を行っていくことが重要。

▶ そのために原子力機構に期待される役割

- **原子炉の特性を活かした医療用RIの大量製造**を実現するため、**JRR-3や「常陽」のRI製造ポテンシャル最大化**に向けた技術開発や環境整備を着実に推進。
- 国内の**多様なRI製造施設が有機的・相乗的に連携**して安定的な国内供給体制を構築。
- 核燃料物質やRIの取り扱いに関し、これまで培ってきた多くの経験・知見を活かしつつ、共用スペースを含め**ホット試験や照射後の試験・処理等に必要**な**リソースを提供**するなど、**個々の大学や企業等では対応が困難な放射性廃棄物のマネジメント機能**を中核的に担う。
- そのサプライチェーンを技術的側面から支えつつ施設間の技術的交流を促進する**プラットフォーム機能**を提供し、**人材育成基盤の構築・維持・発展**に貢献。