

都市大原子力セミナー
商用原子炉の発電以外への応用
(2022/7/18)

PWRを用いた 医学診断・治療用RIの生成 ($^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ & ^{225}Ac)

東京都市大学
大学院総合理工学研究科 共同原子力専攻
理工学部 原子力安全工学科
高木 直行



$^{99}\text{Mo} / ^{99\text{m}}\text{Tc}$

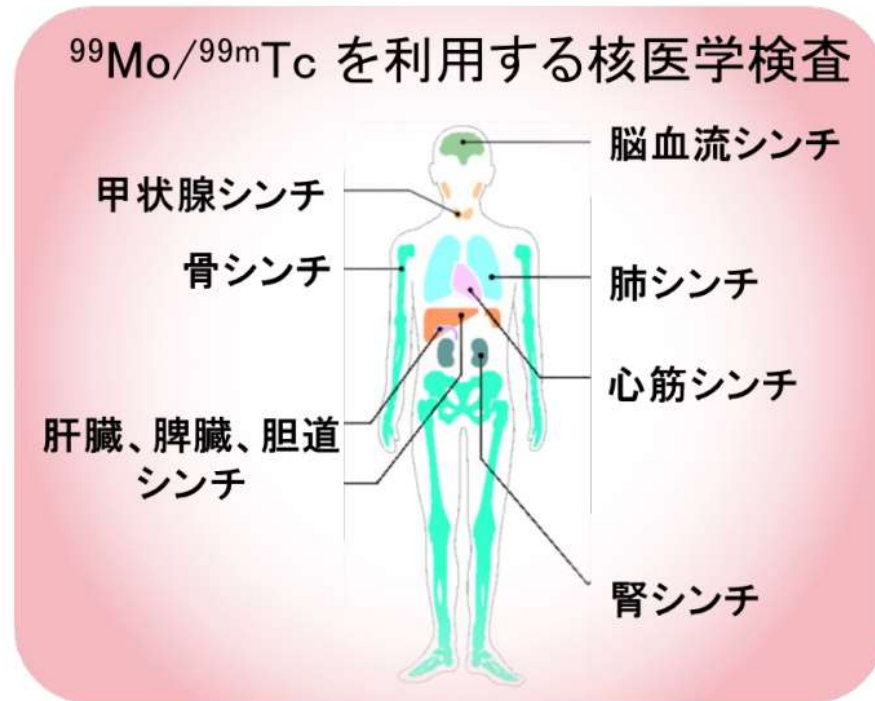
背景

- がん患者数は増加の一途をたどり、国民の2人に1人にがんが見つかる時代
- こうした中、国内の核医学検査は年間約100万件以上に
- 我が国で利用されている医用RIはほぼ全量を輸入に依存
- そのため、製造所や輸送中のトラブル、自然災害、紛争等により、RIの医学利用や関連する研究・開発に支障

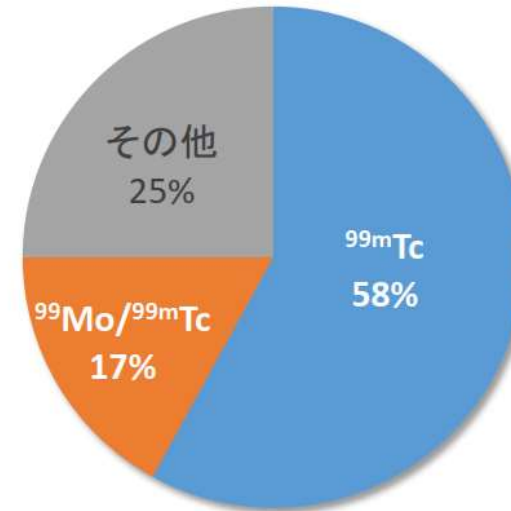
- また新たな悪性腫瘍の治療法として近年注目されている「 α 内用療法」向け短寿命 α 線源のニーズも増加
- 先進各国はその線源(Ac-225など)の生産能力増強に動いている

【モリブデンを取り巻く状況、今後の課題と要望】

核医学における $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ の利用



放射性医薬品の供給量(Bq)割合



アイソトープ等流通統計2020

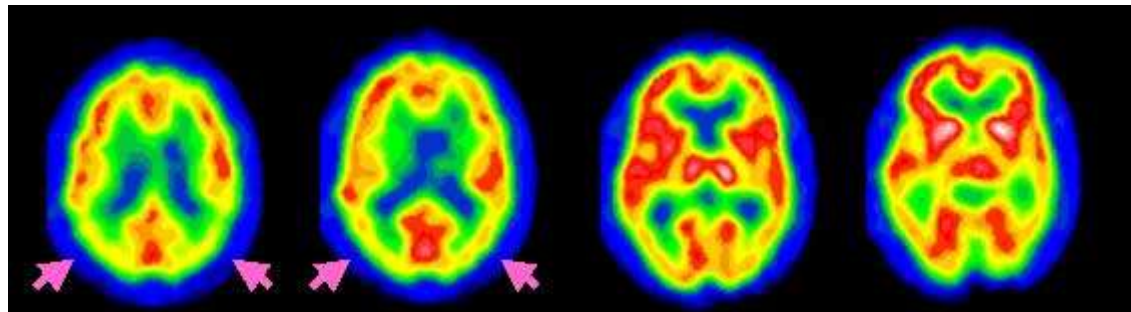
- ・日本で流通している放射性医薬品に使用される核種の75%を $^{99\text{m}}\text{Tc}$ とその原料となる ^{99}Mo が占めている。
- ・日本における $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製剤の市場規模は150億円弱程度。

シンチグラフィ (Scintigraphy)検査とは

放射性同位元素で標識された薬剤を体内に投与後、放出される放射線を画像化することによって薬剤の分布を調べる検査

薬剤の種類によってどの臓器に分布し、どの様な機能を反映するかが決まり、検査の種類が異なる

単純X線写真やCTなど (Radiography検査) は体の構造を調べる**形態診断**ですが、シンチグラフィでは体の機能や病気の活動性などを調べる**質的診断**が可能



Reduced blood flow by Alzheimer's disease

近年の医用RI国内供給量（使用量）

3 放射性医薬品 Supply of Radiopharmaceuticals

3.1 放射性医薬品の供給量 Amounts of Radiopharmaceuticals

•SPECTでの各種検査に使用
•核医学診断の約8割を占める

3.1.1 *in vivo* の供給量の推移(核種別, 年度別)

Amounts of Radiopharmaceuticals (for *in vivo* use) Supplied in Fiscal 2017-2021

(単位Unit: MBq)

Fiscal Year 年度	2017	2018	2019	2020	2021
核種 Nuclide					
¹⁸ F	49,296,580	49,503,669	49,519,653	47,250,147	48,083,017
⁶⁷ Ga	2,411,290	2,100,860	1,891,921	1,627,926	1,486,734
⁸¹ Rb- ^{81m} Kr(G)	620,490	622,525	612,720	589,225	602,545
⁸⁹ Sr	83,895	57,387	-	-	-
⁹⁰ Y	481,000	510,600	321,900	38,850	-
⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc(G)	86,688,375	82,068,895	79,314,015	73,796,020	69,444,375
^{99m} Tc	300,495,662	293,085,756	285,604,434	252,129,322	262,223,304
¹¹¹ In	340,545	370,057	385,300	321,315	369,265
¹²³ I	34,987,358	34,902,199	34,836,349	31,169,336	33,013,154
¹³¹ I	15,245,295	15,684,208	16,381,251	16,036,004	15,568,805
¹⁷⁷ Lu	-	-	-	-	1,443,000
²⁰¹ Tl	13,234,456	12,987,851	12,268,016	10,901,828	10,789,607
²²³ Ra	55,471	39,362	34,915	31,157	28,780
合計 Total	503,940,417	491,932,928	481,170,474	433,891,129	443,052,586

•骨転移のある前立腺癌のα線治療に使用
•2016年認可以降急増

出典：アイソトープ等流通統計2022 日本アイソトープ協会

【モリブデンを取り巻く状況、今後の課題と要望】

$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ のサプライチェーン(1)

- ❖世界の $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 需要:約9,500 [6-day Ci/週*1](OECD/NEA, 2019*2)
- ❖最近では約9,000 [6-day Ci/週]とも試算されている。
- ❖世界の ^{99}Mo 生産量の約60%を米国(45%)と日本(15%)で消費している。

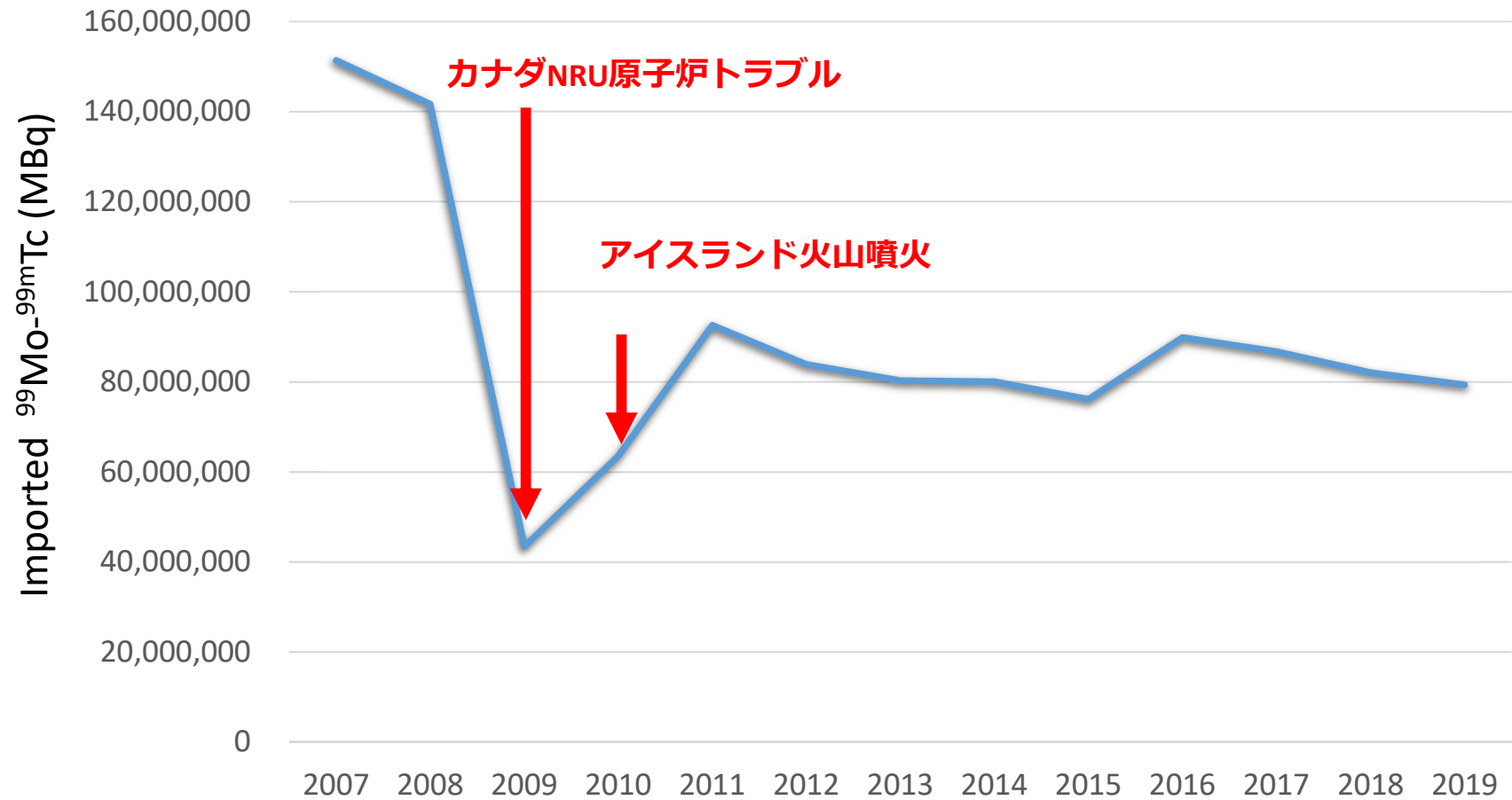


※1 6-day Ci : 精製施設を出た後、6日後の放射能を指す。製造から、実際に診療で使用するまでの減衰を考慮。

※2 OECD/NEA「The Supply of Medical Radioisotopes 2019 Medical Isotope Demand and Capacity Projection for the 2019-2024 Period」より

医用RI国内供給不安定性の実例

国内の放射性医薬品としての ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の流通の推移



医用RI国内供給不安定性の実例

モリブデントラブルに伴うテクネチウム製品の供給制限について

緊急連絡(第25報)

令和元年11月5日

核医学検査室責任者殿
RI検査室責任者殿
放射性医薬品購入責任者殿

公益社団法人日本アイソトープ協会
日本メジフィジックス株式会社

モリブデントラブルに伴うテクネチウム製品の供給制限について (11月8日(金)納品分)

謹啓 平素は格別のご高配を賜り厚く御礼申し上げます。

この度は、一部のテクネチウム製剤の供給制限の発生により、多大なるご迷惑をお掛けしておりますことを、深くお詫び申し上げます。

さて、原料供給元での急なトラブル発生により、モリブデンの入荷量が不足する事態となりました。

つきましては、11月8日(金)納品分の下記製品につき、供給制限をせざるをえなくなりましたので、取り急ぎご連絡申し上げます。

引き続き全力をあげて原料確保に努め、診療に支障をきたさないよう努力いたしますとともに、今後の製品供給につきましては、逐次緊急連絡の形式でご案内申し上げます。

何卒、事情をご賢察の上、ご了承賜りますようお願い申し上げます。

公益社団法人日本アイソトープ協会のウェブサイト①に示されているとおり、とりわけ近年における頻回に及ぶ供給制限及び供給停止にともなう核医学検査②の中止又は延期によって、患者に著しい不利益が発生しているという現状にある。

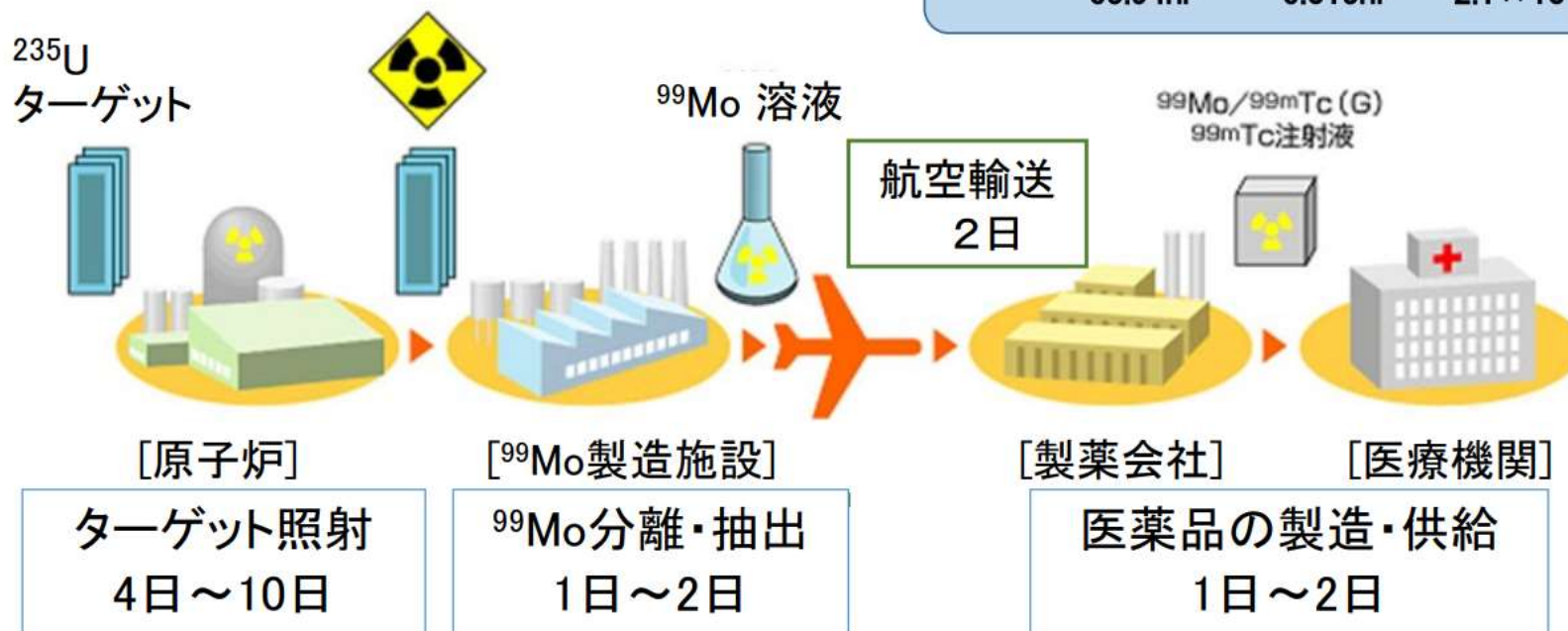
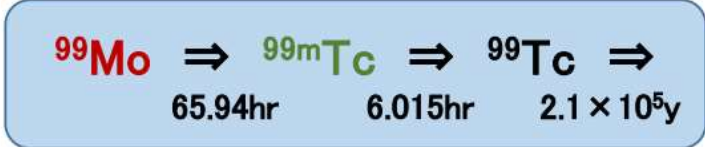
謹白

出典：日本アイソトープ協会ホームページ「各種お知らせ」
<https://www.jriias.or.jp/products/cat/107.html>

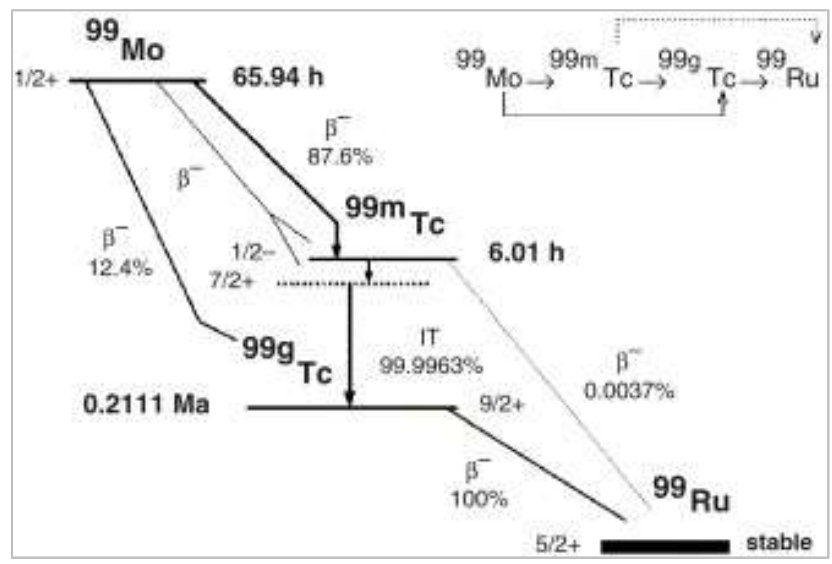
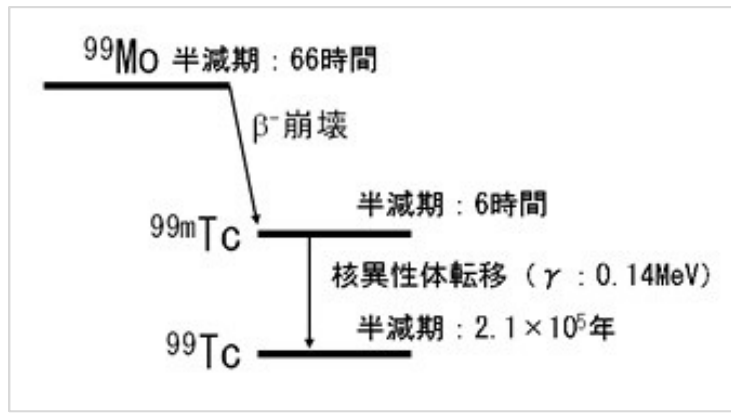
【モリブデンを取り巻く状況、今後の課題と要望】

^{99}Mo 生成から医薬品までの流れ(輸入品)

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製剤ができるまでの流れ



^{99}Mo の半減期が66時間、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の半減期が6時間であることから、各プロセス間の輸送を迅速に行う必要がある。



$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ は どうやってつくられている？

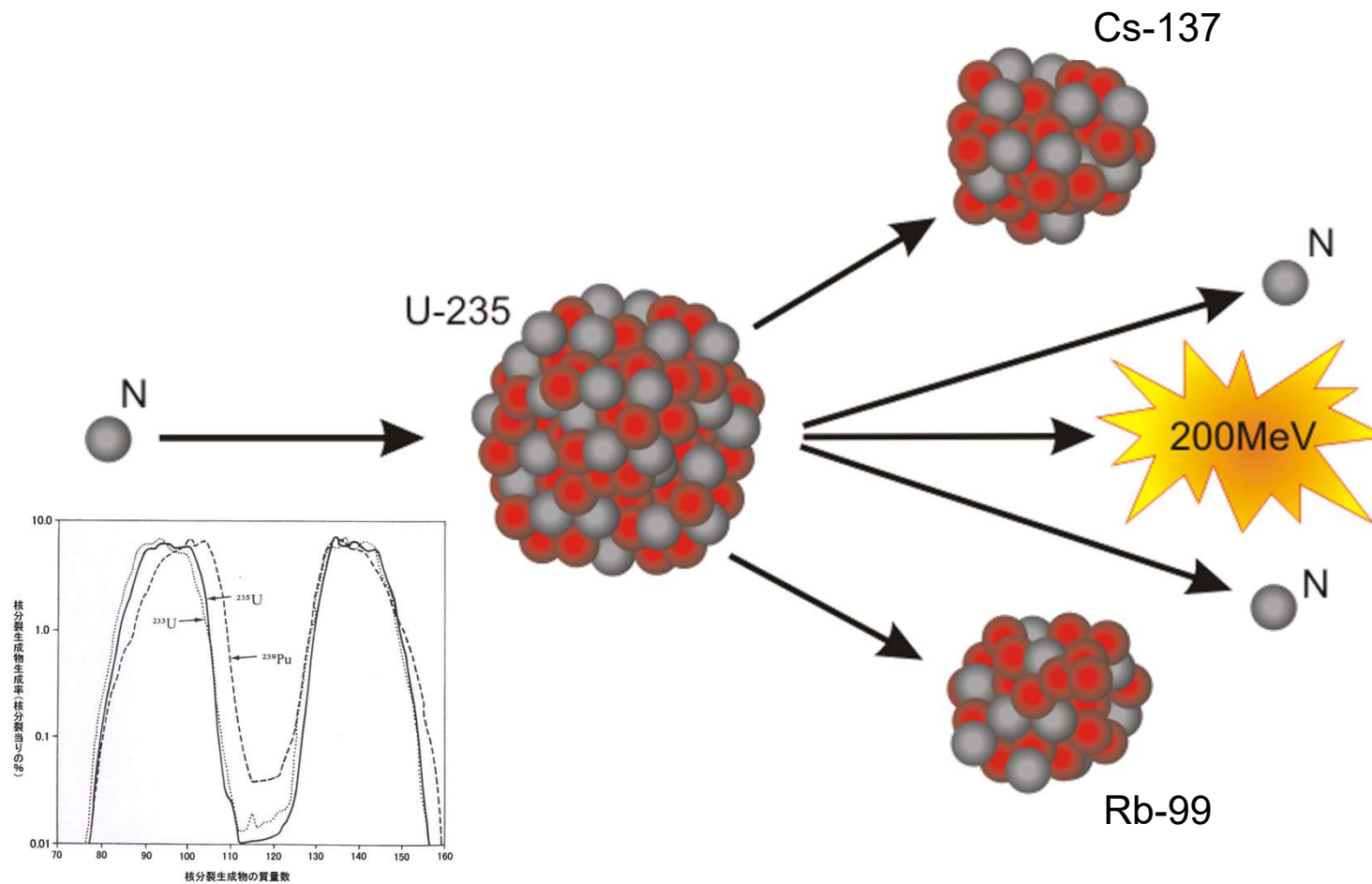
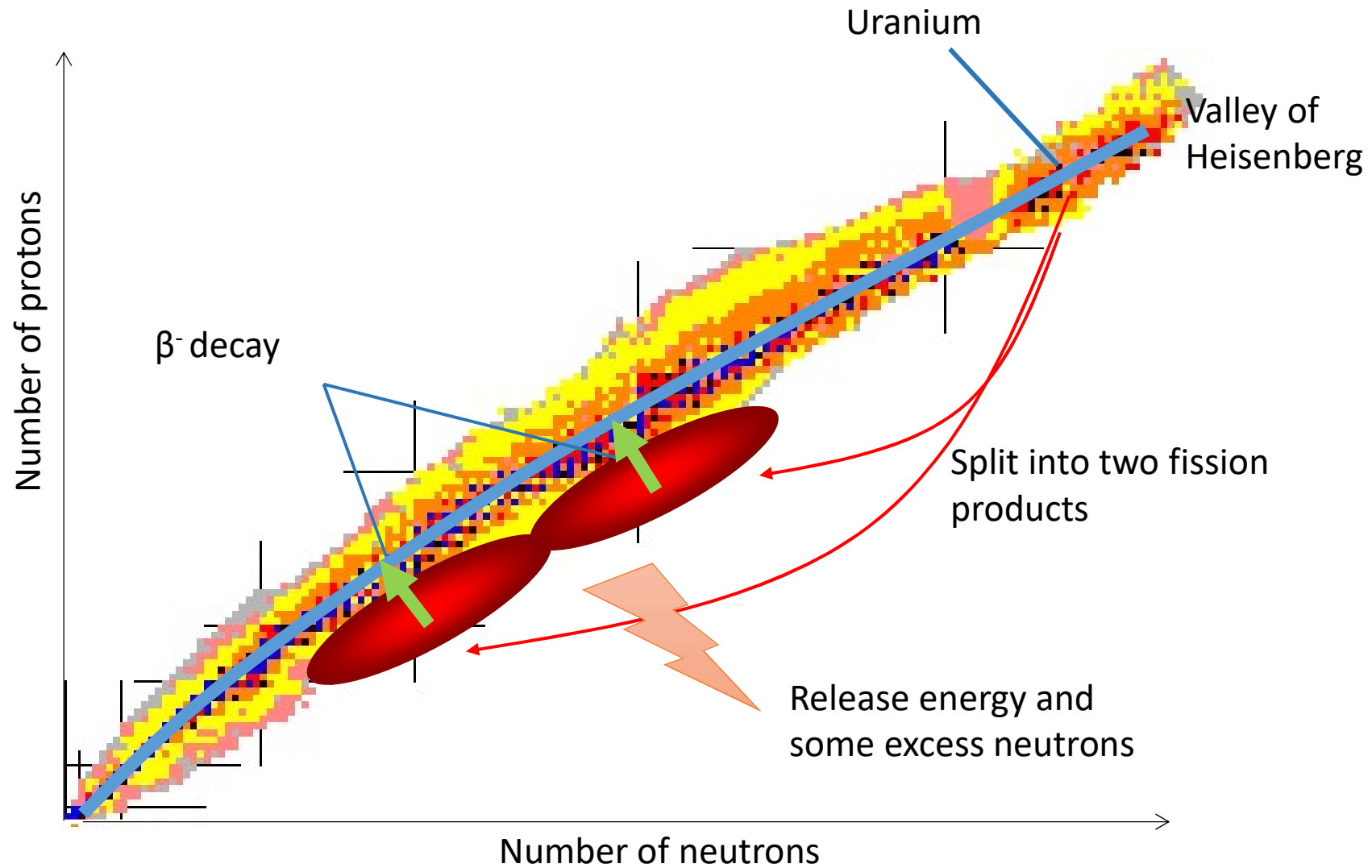


図1 核分裂生成物の質量数分布
[出典]W.マーシャル編:原子炉技術の発展(上)、養華房、p.72

Fission → Decay → Stabilization



	★ 4.7 h	★ 4.6 m	★ 4.34 d	207 d	★ 56.114 m	42.3 s	★ 43.08	29.80 s	10.8 s		
	⁹⁸ Ru	⁹⁹ Ru	¹⁰⁰ Ru	¹⁰¹ Ru	¹⁰² Ru	¹⁰³ Ru	¹⁰⁴ Ru	¹⁰⁵ Ru	¹⁰⁶ Ru	¹⁰⁷ Ru	¹⁰⁸ Ru
	1.87	12.76	12.60	17.06	31.55	39.26 d ★ 1.69 ms	18.62	4.44 h	1.024 y	3.75 m	4.55 m
	⁹⁷ Tc	⁹⁸ Tc	⁹⁹ Tc	¹⁰⁰ Tc	¹⁰¹ Tc	¹⁰² Tc	¹⁰³ Tc	¹⁰⁴ Tc	¹⁰⁵ Tc	¹⁰⁶ Tc	¹⁰⁷ Tc
	4.21•10 ⁶ y ★ 91.4d	4.2•10 ⁶ y	2.11•10 ⁵ y ★ 6.01 h	15.8 s	14.22 m	★ 4.35 m 5.28 s	54.2 s	18.3 m	7.6 m	35.6 s	21.2 s
	⁹⁶ Mo	⁹⁷ Mo	⁹⁸ Mo	⁹⁹ Mo	¹⁰⁰ Mo	¹⁰¹ Mo	¹⁰² Mo	¹⁰³ Mo	¹⁰⁴ Mo	¹⁰⁵ Mo	¹⁰⁶ Mo
	16.68	9.55	24.13	2.7475h	9.63	14.61 m	11.3 m	1.13 m	1.00 m	35.6 s	8.73 s
	⁹⁵ Nb	⁹⁶ Nb	⁹⁷ Nb	⁹⁸ Nb	⁹⁹ Nb	¹⁰⁰ Nb	¹⁰¹ Nb	¹⁰² Nb	¹⁰³ Nb	¹⁰⁴ Nb	¹⁰⁵ Nb
	34.975 d ★ 3.61 d	23.35 h	1.20 h ★ 52.7 s	★ 51.3 m 2.86 s	★ 2.6 m 15.0 s	★ 2.99 s 1.5 s	7.1 s	4.3 s 1.3 s	1.5 s	4.8 s ★ 920 ms	2.95 s
	⁹⁴ Zr	⁹⁵ Zr	⁹⁶ Zr	⁹⁷ Zr	⁹⁸ Zr	⁹⁹ Zr	¹⁰⁰ Zr	¹⁰¹ Zr	¹⁰² Zr	¹⁰³ Zr	¹⁰⁴ Zr
	17.38	64.02 d	2.80	16.90 h	30.7 s	2.1 s	7.1 s	2.1 s	2.9 s	1.3 s	1.2 s
	⁹³ Y	⁹⁴ Y	⁹⁵ Y	⁹⁶ Y	⁹⁷ Y	⁹⁸ Y	⁹⁹ Y	¹⁰⁰ Y	¹⁰¹ Y	¹⁰² Y	¹⁰³ Y
	10.18 h ★ 0.82 s	18.7 m	10.3 m	★ 9.6 s 5.34 s	3.75 s ★ 1.17 s ★ 142 ms	★ 2.0 s 548 ms	1.470 s	940 ms 735 ms	448 ms	★ 360 ms 300 ms	230 ms
	⁹² Sr	⁹³ Sr	⁹⁴ Sr	⁹⁵ Sr	⁹⁶ Sr	⁹⁷ Sr	⁹⁸ Sr	⁹⁹ Sr	¹⁰⁰ Sr	¹⁰¹ Sr	¹⁰² Sr
	2.71 h	7.423 m	1.26 m	23.90 s	1.07 s	429 ms	653ms	269 ms	202 ms	118 ms	69 ms
	⁹¹ Rb	⁹² Rb	⁹³ Rb	⁹⁴ Rb	⁹⁵ Rb	⁹⁶ Rb	⁹⁷ Rb	⁹⁸ Rb	⁹⁹ Rb	¹⁰⁰ Rb	¹⁰¹ Rb
	58.4 s	4.492 s	5.84 s	2.702 s	377.5 ms	202.8 ms	169.9 ms	114 ms ★ 96 ms	50.3 ms	51 ms	32 ms
	⁹⁰ Kr	⁹¹ Kr	⁹² Kr	⁹³ Kr	⁹⁴ Kr	⁹⁵ Kr	⁹⁶ Kr	⁹⁷ Kr	⁹⁸ Kr	⁹⁹ Kr	¹⁰⁰ Kr
	32.32 s	8.57 s	1.840 s	1.286 s	212 ms	114 ms	80 ms	63 ms	46 ms	40 ms	36.9 ms
	⁸⁹ Br	⁹⁰ Br	⁹¹ Br	⁹² Br	⁹³ Br	⁹⁴ Br	⁹⁵ Br	⁹⁶ Br	⁹⁷ Br	⁹⁸ Br	⁹⁹ Br
	4.40 s	1.92 s	541 ms	343 ms	102 ms	70 ms	54.1ms	52.4ms	39.2ms	27.7ms	18.3ms
	⁸⁸ Se	⁸⁹ Se	⁹⁰ Se	⁹¹ Se	⁹² Se	⁹³ Se	⁹⁴ Se	⁹⁵ Se	⁹⁶ Se	⁹⁷ Se	64
	1.53 s	0.41 s	146 ms	0.27 s	68.6 ms	55.7ms	38.7ms	34.1ms	21.9ms	15.7ms	
	⁸⁷ As	⁸⁸ As	⁸⁹ As	⁹⁰ As	⁹¹ As	⁹² As	⁹³ As	⁹⁴ As	⁹⁵ As	⁹⁶ As	
	0.49 s	160 ms	48.2 ms	39.6ms	24.4ms	20.6ms	14.6ms	12.4ms	8.86ms	7.29ms	
	⁸⁶ Ge	⁸⁷ Ge	⁸⁸ Ge	⁸⁹ Ge	⁹⁰ Ge	⁹¹ Ge	⁹² Ge	61 62 63			
	75.7 ms	71.5ms	33.6ms	34.7ms	19.2ms	15.5ms	9.81ms				



様々な $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 生成法

	装置	核反応	標的核	開発レベル(TRL)		
				研究	実証	実用
核分裂法	照射用原子炉	(n,f)	U-235(HEU)			
中性子捕獲法	照射用原子炉	(n, γ)	天然Mo			
中性子捕獲法	発電炉	(n, γ)	濃縮Mo-98			
中性子捕獲法	高速実験炉	(n, γ)	天然Mo			
電子線法	電子線加速器	(γ ,n)	濃縮Mo-100			
重陽子線法	重イオン加速器	(d,n)/(n,2n)	C/Mo-100			
SHINE法	重イオン加速器	(d,n)/(n,f)	T/U-235			

日本での実績

JAEAにおける⁹⁹Mo製造実績

- 1972年～1979年
 - 原子炉： JRR-2(現在廃止措置中)&JRR-3(改造前)
 - 生成法： 核分裂法
 - ターゲット： UO₂ペレット(²³⁵U: 2.6%)
 - 出荷量： 740GBq/week (=20Ci/week) × 39 weeks/year
(当時の国内需要の1/10程度)
 - 放射性廃液の処理能力等の課題で製造中止
- 1979年～1985年
 - 原子炉： JRR-2(現在廃止措置中)&JMTR
 - 生成法： (n,γ)法
 - ターゲット： MoO₃ペレット(天然Mo)
 - 出荷量： 11,100GBq/week (=20Ci/week) × 26 weeks/year
 - カナダからの供給確保→原研製品の需要無し→製造を中止

原研での開発終了→
技術の民間移転

の理由の他に、

安価追求が
国内自給力を蝕んだ?

News Releases

Information contained in this news release is current as of the date of the press announcement, but may be subject to change without prior notice.

November 15, 2010

 [PDF Download\(PDF Type,82kbyte\)](#)

Development of Medical Isotope Production (Mo-99) by the Boiling Water Reactor (BWR)

HGNE Joins the Government-Industries Joint Meeting for Reliable Molybdenum-99^{*1}/Technetium-99m^{*2} Supply

Tokyo, November 15, 2010 - - - Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd. (Masaharu Hanyu, President and Representative Director; "Hitachi GE") today announced that it has decided to start a commercial viability study on Molybdenum-99 production technology utilizing operating Boiling Water Reactors (BWR) ("BWR method"), in cooperation with GE Hitachi Nuclear Energy ("GEH"). In addition, Hitachi GE has decided to participate in the Government-Industries Joint Meeting on the Stable Supply of Molybdenum-99/Technetium-99^{*3} (Secretariat: the Cabinet Office; the "Joint Meeting"), which was established by pertinent government and industry organizations in Japan.

Listed by release date

Corporate

Financial information

R&D

Electronic Devices

Information & Telecommunication Systems

Power & Industrial Systems

Digital Media & Consumer Products

New Business and others

Development of Medical Isotope Production (Mo-99) by the Boiling Water Reactor (BWR)

HGNE Joins the Government-Industries Joint Meeting for Reliable Molybdenum-99¹/Technetium-99m² Supply

Tokyo, November 15, 2010 - - - Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd. (Masaharu Hanyu, President and Representative Director; "Hitachi GE") today announced that it has decided to start a commercial viability study on Molybdenum-99 production technology utilizing operating Boiling Water Reactors (BWR) ("BWR method"), in cooperation with GE Hitachi Nuclear Energy ("GEH"). In addition, Hitachi GE has decided to participate in the Government-Industries Joint Meeting on the Stable Supply of Molybdenum-99/Technetium-99³ (Secretariat: the Cabinet Office; the "Joint Meeting"), which was established by pertinent government and industry organizations in Japan.

Technetium pharmaceuticals (radiopharmaceuticals) comprised of Technetium-99m as a base ingredient are the most popular in the field of radionuclide examination, and Japan has the world's second largest demand after the United States. Technetium-99m is a radioisotope that is decayed from Molybdenum-99, which is also a radioisotope, and Japan imports whole Molybdenum-99. More than 90% of Molybdenum-99 is produced by a few aged research reactors overseas ("Research Reactor(s)"). A serious supply crunch of Molybdenum-99 has occurred worldwide when the long-term shutdown of the research reactor with the largest production coincided with the long disruption in air traffic due to the Icelandic volcanic eruption in April 2010.

To address the Molybdenum-99 supply shortage issue, the Japan Atomic Energy Commission issued a recommendation that "it would be necessary for relevant administrative bodies to proceed with studies on responsive measures at the national level under close collaboration and cooperation with pertinent organizations including Japan's industrial circles and R&D institutions" in its "Assessment on the Basic Concept of the Initiatives for Radiation Applications Presented in the Framework for Nuclear Energy Policy" (June 1, 2010). As a result, the Joint Meeting, a Government-Industries partnership organization, was established on October 6, 2010.

Meanwhile, in the United States, the White House has established a working group to manage the radiopharmaceuticals supply shortage issue, in order to improve self-dependency and to cope with the restriction on the export of highly enriched uranium used in the conventional nuclear fission method. In this context, the U.S. Department of Energy (DOE) had solicited proposals on Molybdenum-99 production methods and the BWR method proposed by GEH was selected as a business case to be funded by the DOE.

In the BWR method, Molybdenum-99 is generated by neutron irradiation of raw Molybdenum in an operating BWR. As BWR fleets periodically calibrate neutron instrumentation for the reactor power measurement, every BWR is equipped with a system to traverse the calibrating device in and out of the reactor pressure vessel and the reactor containment vessel. This system makes neutron irradiation and transport of molybdenum easily accomplished.

Hitachi GE has worked with GEH to develop and commercialize the BWR method in a few years. Moreover, participating in the Joint Meeting, Hitachi GE intends to study with related organizations the feasibility of providing Molybdenum-99 using some of operating BWRs for technetium pharmaceuticals production.

Meanwhile, in the United States, the White House has established a working group to manage the radiopharmaceuticals supply shortage issue, in order to improve self-dependency and to cope with the restriction on the export of highly enriched uranium used in the conventional nuclear fission method. In this context, the U.S. Department of Energy (DOE) had solicited proposals on Molybdenum-99 production methods and the BWR method proposed by GEH was selected as a business case to be funded by the DOE.

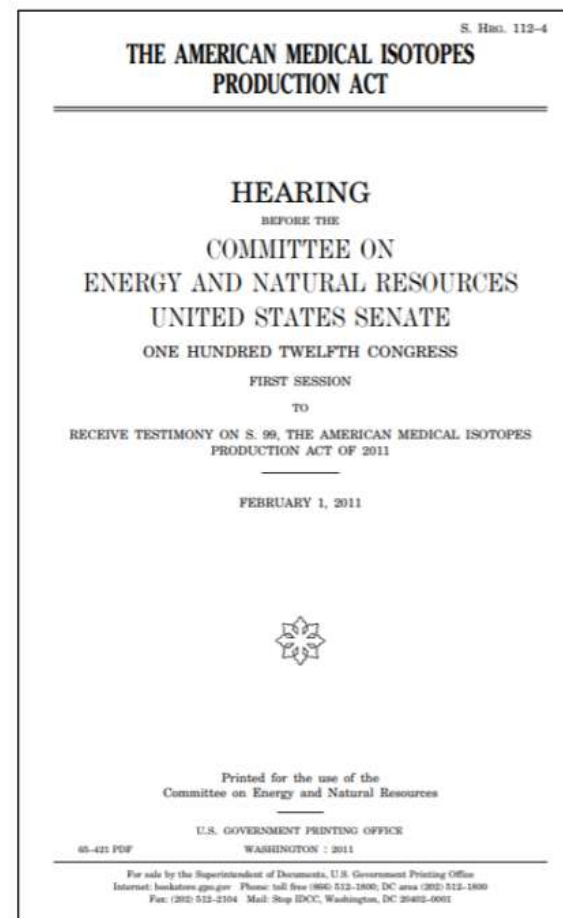
【モリブデンを取り巻く状況、今後の課題と要望】

米国の ^{99}Mo 製造方法と国の助成制度①

American Medical Isotopes Production Act (AMIPA)
(米国医療用放射性同位元素製造法)
2011年2月1日発出

- 米国では1989年まで高濃縮ウラン(HEU)を使用して ^{99}Mo を生産していたが、**その後は国内需要の全量を輸入していた。**
- 2012年、高濃縮ウラン(HEU)を使用しない ^{99}Mo 生産技術の開発を支援し、国内供給の確立をサポートするために、米国エネルギー省国家核安全保障局(DOE/NNSA)は、DOEに属する**国立研究所等に資金授与を開始。**
- 2018年11月、NorthStar Medical Radioisotopesは、 ^{98}Mo ターゲットを使用した中性子捕獲技術を利用して、**約30年ぶりの国内生産を開始した。**

<https://www.energy.gov/nnsa/nnsas-molybdenum-99-program-establishing-reliable-domestic-supply-mo-99-produced-without>



【モリブデンを取り巻く状況、今後の課題と要望】

米国の ^{99}Mo 製造方法と国の助成制度②

国家核安全保障局(NNSA)による開発支援を受けた4社の状況

- NorthStar Medical Radioisotopes

- ^{98}Mo ターゲットを使用した中性子捕獲技術
- ^{100}Mo ターゲットを使用した加速器ベースの技術

→2021年8月30日:NNSAとの協力協定基金として3,700万ドルを授与されたことを公表。現在までに、NorthStarはNNSAから合計1億ドルを超える協力協定基金を授与されている。

<https://www.northstarmm.com/u-s-department-of-energys-national-nuclear-security-administration-awards-northstar-medical-radioisotopes-37-million-in-cooperative-agreement-funds-to-further-domestic-molybdenum-99-mo-99/>

- SHINE Medical Technologies

- 低濃縮ウラン(LEU)ソリューションターゲットで ^{99}Mo を生成する核分裂技術を備えた加速器

- Niowave

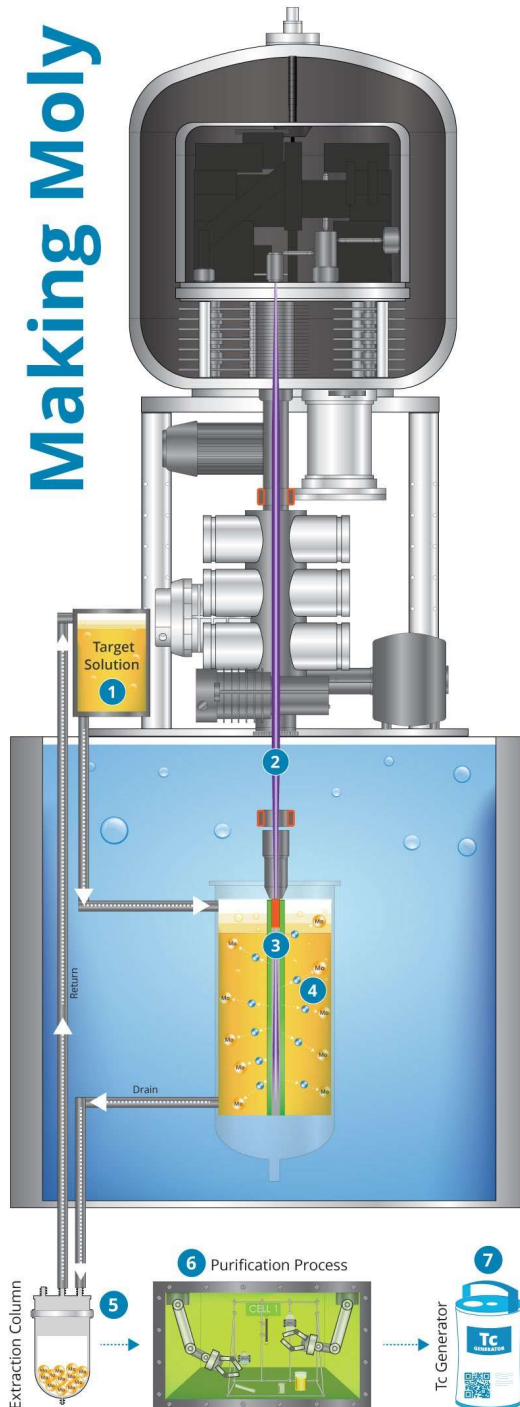
- 低濃縮ウラン(LEU) ターゲットを備えた ^{99}Mo を生成するための核分裂技術を備えた超伝導電子線形加速器

- Northwest Medical Isotopes

- 低濃縮ウラン(LEU) ターゲットを製造し、大学の原子炉ネットワークを利用して ^{99}Mo 製造後、自社施設に戻して精製し、ジェネレータ製造メーカーへ出荷

21

Making Moly



"Shine process"とは？

SHINE社が手がける"Shine process"とは、加速器により核融合中性子を発生し、それを低濃縮ウランの溶液に入射し核分裂を生じさせ、FPとしてTc-99mを生成する方式。（いわば、加速器駆動核融合によるfission法によるMo-99生成）

SHINE社は2010年に設立、Wisconsinに拠点を置く、医用RI製造会社。

Shine process :

1. 重陽子加速器で電子をはがした重陽子を加速し、トリチウムガスのターゲットへ入射
2. トリチウムガスのターゲット内でD-T核融合反応を生じさせ、He-4と14MeVの中性子を発生
3. その中性子を低濃縮ウラン(LEU)を溶かした水溶液に入射
4. U-235の核分裂よりMo-99を生成
5. 約1週間ほど水溶液を照射した後、ポンプで抽出カラムへ導きMoを分離。LEUは回収されず元の水溶液タンクへ

【モリブデンを取り巻く状況、今後の課題と要望】

国内の最近の主な動向紹介

【日本学術会議による提言】

- 「我が国における放射性同位元素の安定供給体制について」2008年7月24日
- 「大学等における非密封放射性同位元素使用施設の拠点化について」2017年9月9日
- 「研究と産業に不可欠な中性子の供給と研究用原子炉の在り方」2018年8月16日
- 「核医学分野における放射性薬剤の研究開発・製造拠点の整備」2021年12月予定
(総合工学委員会・臨床医学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会)

【委員会、会議等】

- 標的アイソトープ治療研究に関する検討会(QST) 2017年9月21日第1回
- JMTR後継炉検討委員会(JAEA) 2019年3月26日第1回
- もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉の概念設計及び運営の在り方検討コンソーシアム委員会(文部科学省委託事業) 2021年3月23日第1回
- 成長戦略フォローアップ 2021年6月18日閣議決定
- 医療用等ラジオアイソトープ製造・利用専門部会(内閣府原子力委員会)
2021年11月22日第1回

Action Planを作成



$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ production in PWR

● 別紙 令和2年度「原子力システム研究開発事業」採択課題

【課題名】

国内の原子力インフラを活用した医用 RI の自給技術確立に向けた研究開発

【ボトルネック課題解決型】

実施期間：令和2年度～令和4年度

【研究代表者・所属機関】 高木 直行・東京都市大学

【共同研究機関】 日本医用アイソトープ株式会社、金沢大学、三菱重工業株式会社、日本原子力研究開発機構

【目的】

国内の既設の原子炉を用い、診断用のRIとして最も需要の高いMo/Tcと、α内用療法向け短寿命α核種として近年その有用性が注目されているAc-225の二核種の生成と供給を行う、国内自給技術検討により既存炉・次世代高速炉の運用に係る研究開発を行う。

【課題概要】

我が国で利用されている医用RIはほぼ全量を輸入に依存している。そのため、製造所や輸送中のトラブル、自然災害、紛争、パンデミック感染症等により、RIの医学利用や関連する研究・開発に支障をきたすことがあり、医用RIセキュリティ(安定確保・供給)の強化が望まれている。また新たな悪性腫瘍の治療法として近年注目されている「α内用療法」向け短寿命α線源へのニーズも急速に高まっている。

本研究では、放射性医薬品の基礎研究や臨床応用を行う医学分野、実験用研究炉を有する原子力研究機関、PWR設計・製造を行うメーカーおよび核変換技術研究で実績のある大学の専門家が連携し、国内で既に設置されている商用炉や研究炉(具体的には商用PWRおよび高速実験炉常陽)を用いて、診断用のRIとして需要の高いMo/Tcと、α内用療法に用いられる短寿命α核種(Ac-225)の生成と供給を行う国内自給技術の確立に向けた技術開発を行うことを目的とする。

発電が主目的の軽水炉を医学分野へ活用すること、高速スペクトル炉の特徴を活かしたRI製造技術を開発することにより、診断・治療用RIの国内自給技術の社会実装を図るとともに、新型炉を含めた軽水炉・高速炉利用におけるイノベーションと原子炉に対する社会受容の改善を目指す。

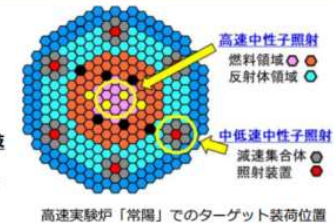
【期待される成果・発展性】

PWRでのMo(n,y)法によるTc-99m生成技術

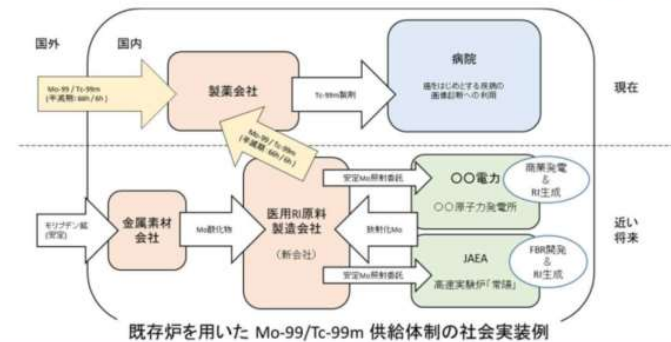
- ・ PWR 1基で国内需要量(約40TBq/週)の約半分を生成

「常陽」での Ra(n,2n)法によるAc-225生成技術

- ・ 常陽での1サイクル(60日)照射で現世界供給量(約60GBq/y)の約半分を生成



高速実験炉「常陽」でのターゲット装荷位置



既存炉を用いた Mo-99/Tc-99m 供給体制の社会実装例

RI製造における発電用軽水炉の特徴

- ビーム（中性子）束高 ($\because \Sigma_f \phi \propto P$)
- フルエンス高 (\because 長期サイクル&稼働率高)
- 照射体積大 (\because 炉心体積大)
- 除熱能力大 (\because 核燃料冷却)
- エネルギー収支優 (\because 自律連鎖発熱反応)

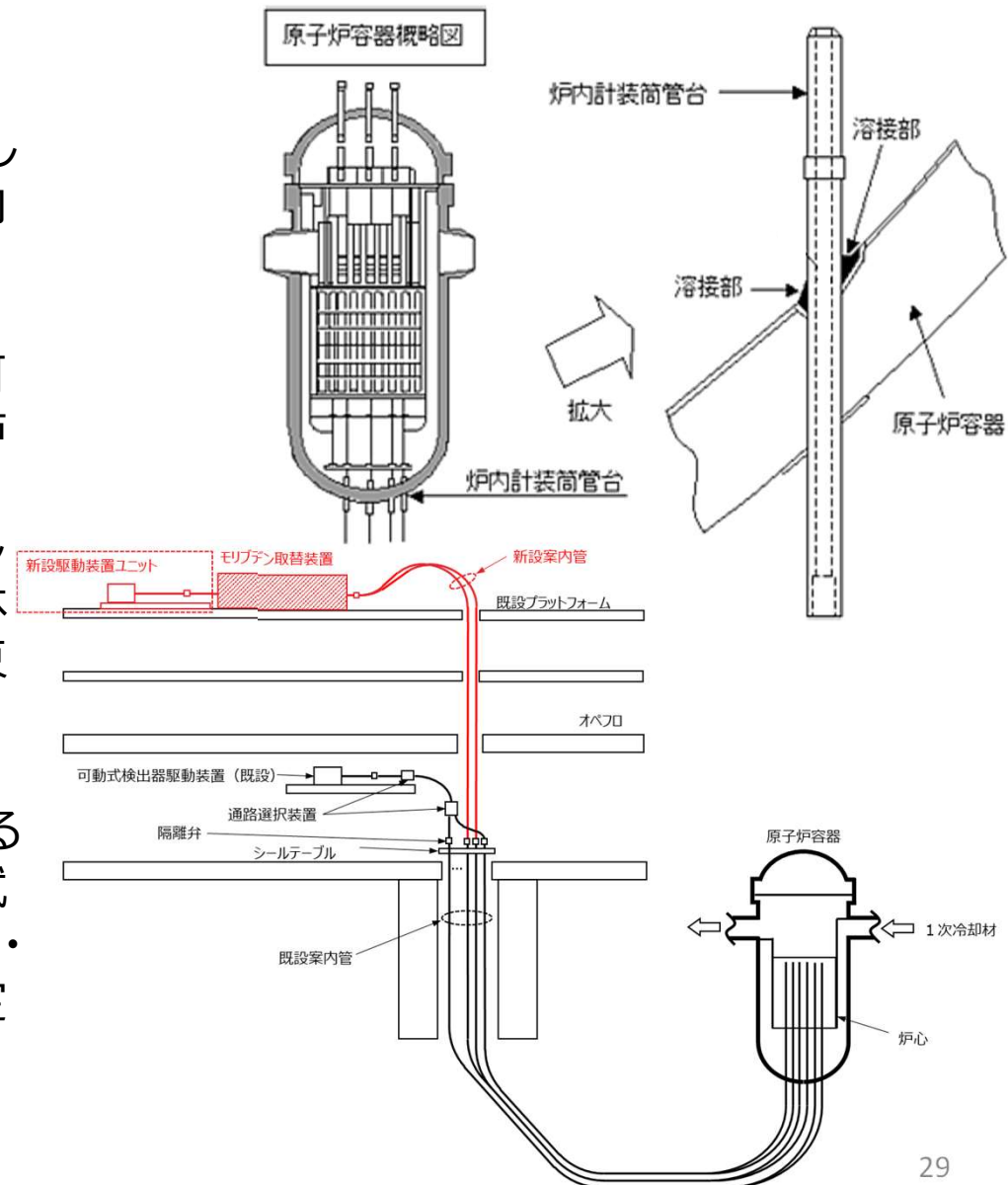
原子炉でのMo-99/Tc-99m生成

92Tc 4.25 M	93Tc 2.75 H	94Tc 293 M	95Tc 20.0 H	96Tc 4.28 D	97Tc 4.21E+6 Y	98Tc 4.2E+6 Y	99Tc 2.111E+5 Y	100Tc 15.46 S	101Tc 14.22 M	102Tc 5.28 S
ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00% ε: 1.8E-3%	β-: 100.00%	β-: 100.00%
91Mo 15.49 M	92Mo STABLE 14.84%	93Mo 4.0E+3 Y	94Mo STABLE 9.25%	95Mo STABLE 15.92%	96Mo STABLE 16.68%	97Mo STABLE 9.55%	98Mo STABLE 24.13%	99Mo 2.7489 D	100Mo 7.3E+18 Y	101Mo 14.61 M
ε: 100.00%		ε: 100.00%						ε: 100.00%	ε: 100.00%	β-: 100.00%
90Nb 14.60 H	91Nb 6.8E+2 Y	92Nb 3.47E+7 Y	93Nb STABLE 100%	94Nb 2.03E+4 Y	95Nb 34.991 D	96Nb 23.35 H	97Nb 72.1 M	98Nb 2.86 S	99Nb 15.0 S	100Nb 1.5 S
ε: 100.00%	ε: 100.00%	ε: 100.00% β- < 0.05%		β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%
89Zr 78.41 H	90Zr STABLE 51.45%	91Zr STABLE 11.22%	92Zr STABLE 17.15%	93Zr 1.53E+6 Y	94Zr STABLE 17.38%	95Zr 64.032 D	96Zr >3.9E+20 Y	97Zr 16.744 H	98Zr 30.7 S	99Zr 2.1 S
ε: 100.00%				β-: 100.00%		β-: 100.00%	2β- 2.80%	β-: 100.00%	β-: 100.00%	β-: 100.00%

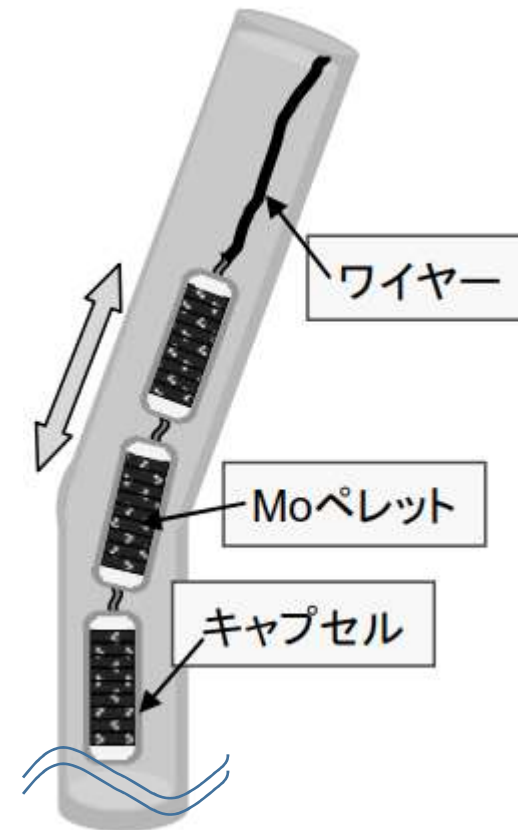
- 原子炉でのMo-99生成は、これまでHEUによる核分裂法が主流
- 核不拡散の観点で原料ウランがHEUからLEUへ変更
- 廃棄物問題がより顕著なるため (n,γ)法へ移行の傾向

PWRでのMo-99装荷・取出し方法

- PWRには原子炉容器を貫通して炉内外を行き来する「炉内計装系」が装備されている
- 炉心出力分布管理のため、可動型の核分裂電離箱を原子炉容器の下部から恒設案内管（シンプルチューブ）を通して炉内に挿入し、燃料集合体軸方向の出力分布（中性子束分布）を測定（約1回/月）
- Mo-99製造には、約50本ある案内管の何本かを利用し、試料を約7日周期で挿入・照射・引き抜きすることで対応予定

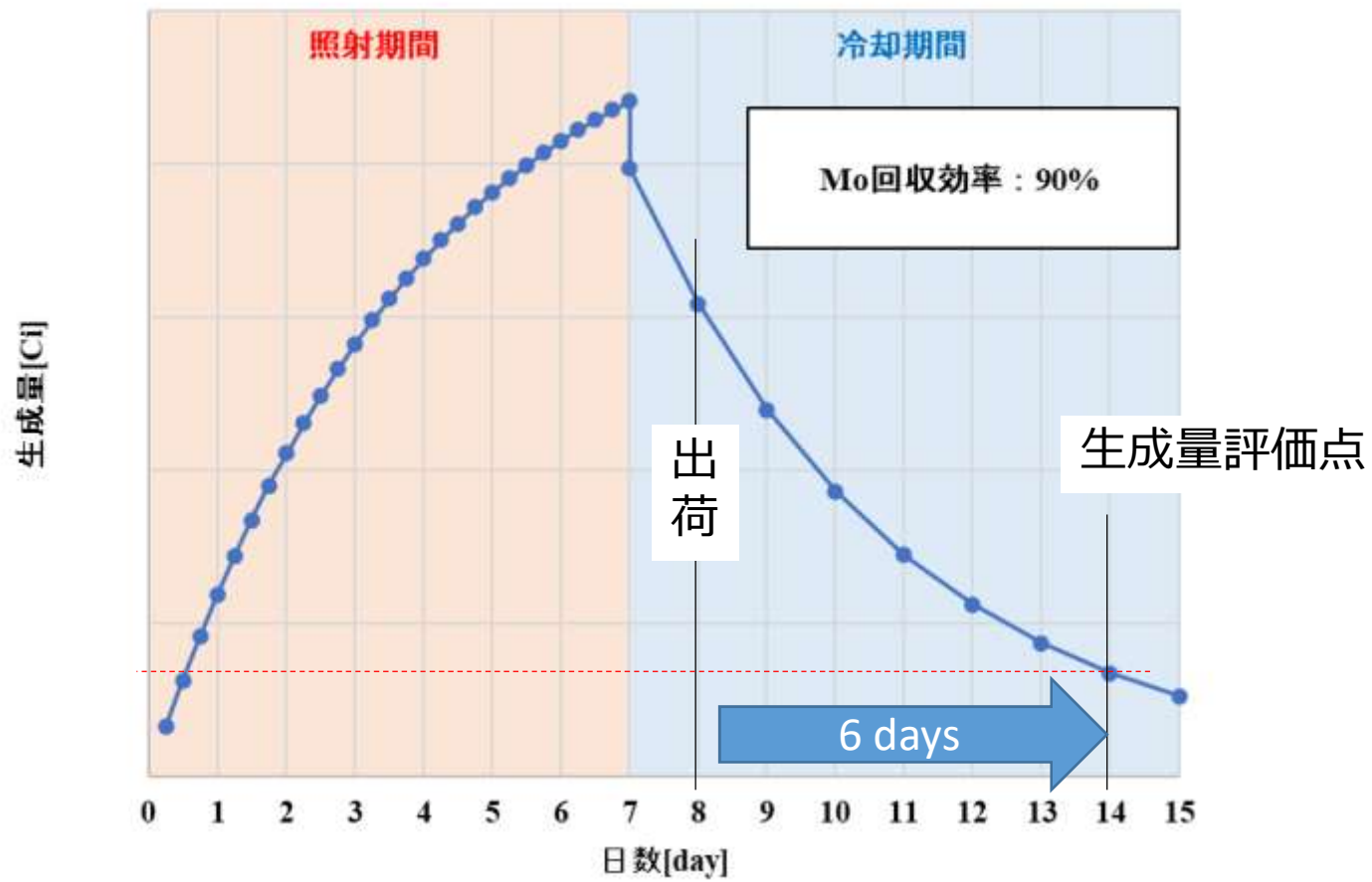


- 炉内中性子束検出器を定期的に出し入れする既設の4本のシングルチューブを利用
- 数珠つなぎにした全長3600mmのMoO₃ターゲット4本を運転中に挿入／引抜
- MoO₃総装荷量： 760g
- ⁹⁸Mo同位体比を天然Moの約4倍となる98%に濃縮したMoの利用を想定
- 7日照射→ 360 GBq/g-⁹⁸Moを生成¹⁾
 - 約7400 Ci
 - 約600 (6-daysCi/week)
- 日本の週間需要量(1000 Ci)の約6割に相当



引用文献：

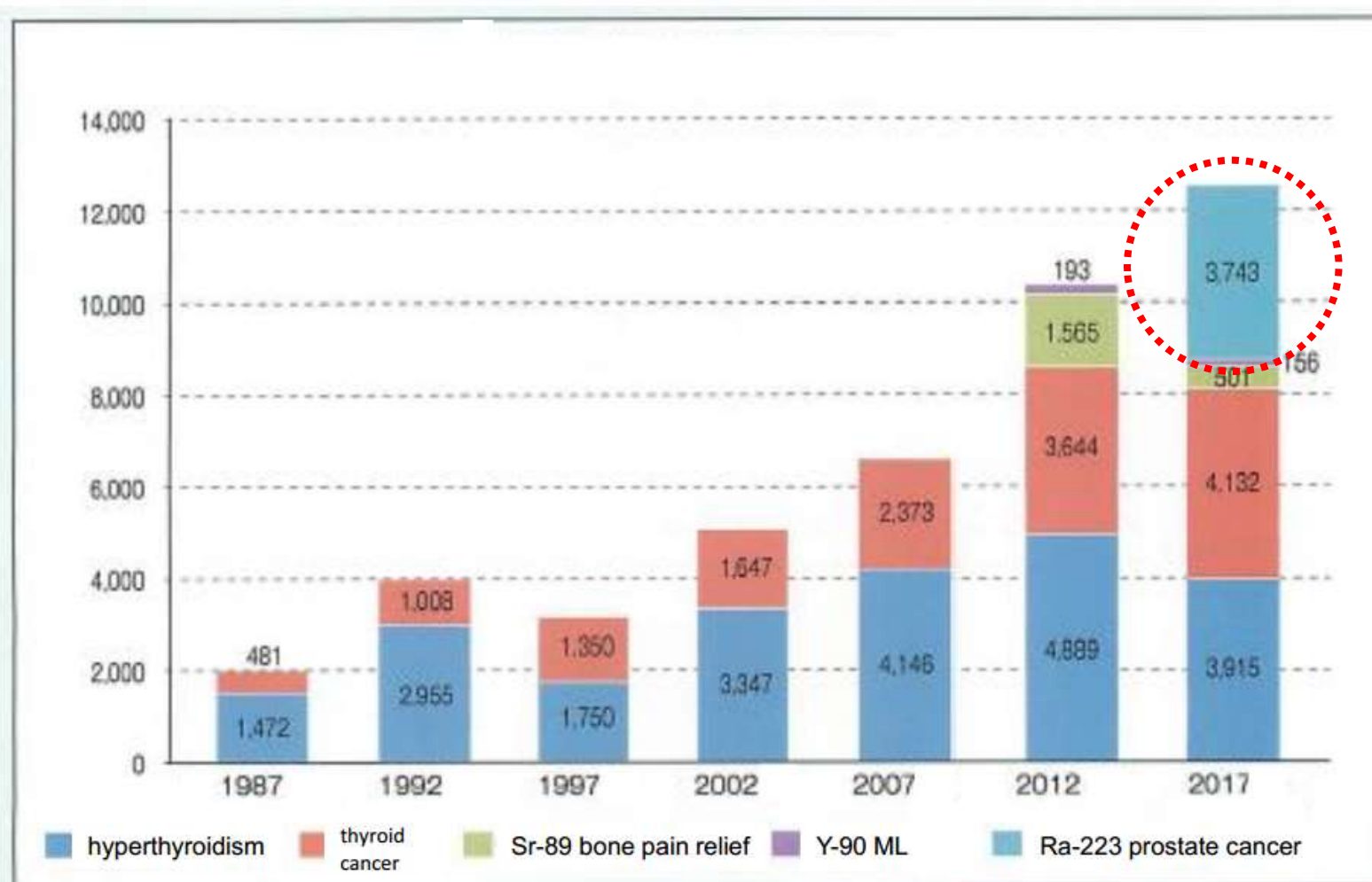
1. 高橋 静香、中原 隆、円谷 信一、小林 一太、那須 拓哉、高木 直行、「国内の原子カインフラを活用した医用RIの自給技術確立に向けた研究開発 n (3) PWRを用いたMo/Tc生成の概念検討」、日本原子力学会 2022年春の年会
2. 広瀬 彰、米田 政夫、木名瀬 政美、反田 孝美、和田 茂, JRR-3 を用いた ⁹⁹Mo 製造に関する概念検討, JAEA-Technology, 2010-007





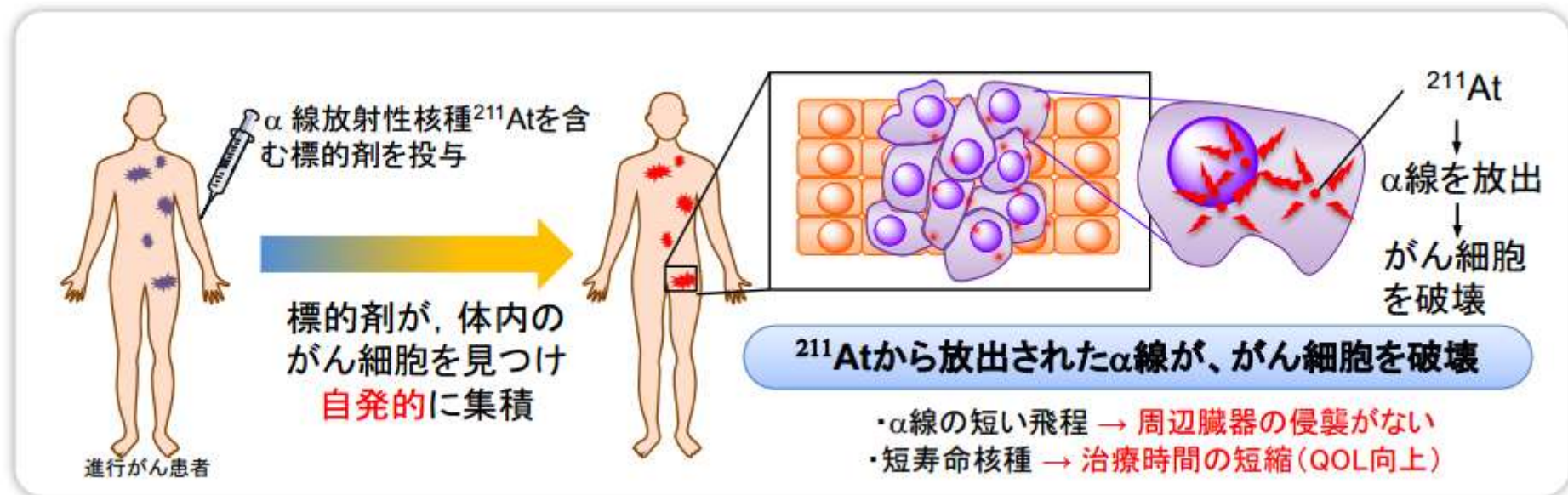
^{225}Ac

NM Practice in Japan: Radionuclide Therapy



Japan Radioisotope Association

Targeted Alpha Therapy (TAT)



- 体外から放射線を照射する従来の放射線療法と異なり、アルファ線放出核種で標識された抗体を体内に投与し、体内から病変部を照射する治療法(放射免疫治療)
- アルファ線は、ベータ線に比べてはるかに高い生物学的効果を持ち、治療対象はより広い可能性

[放射線利用の現状と課題について \(aec.go.jp\)](http://aec.go.jp)

α 内用療法の特徴

- 体外から中性子や重イオンを照射する方式と異なり体内からの照射
- β 内用療法の影響に比べて飛程が短く線エネルギー付与が大きい
- 多くの α 線源は複数回 α 線を放出するため1核種あたりのエネルギー付与が大

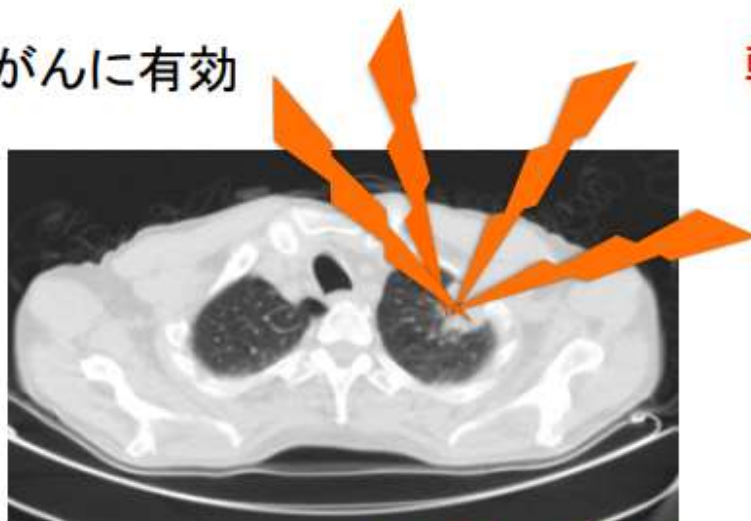


- 正常細胞の損傷を最小限に抑えつつ、近傍の腫瘍細胞への効率的照射が可能

重粒子線治療との違い

従来の重粒子線治療：
重粒子線加速器による体外からの照射

局所がんにも有効



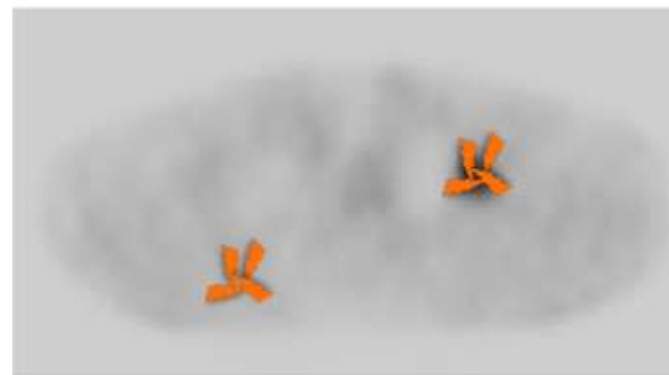
患者さんが移動



患者さんは加速器施設で加療

アルファ線核医学治療：
 α 線放出核種を投与し体内から照射

転移性病変にも有効



核種を各病院に輸送

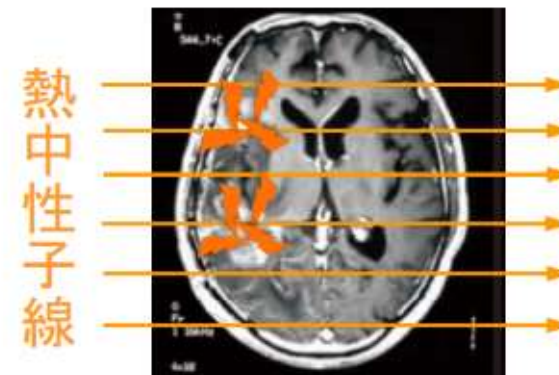


患者さんは病院で加療

BNCTとの違い

中性子線補足療法 (BNCT):

腫瘍細胞に取り込ませた ^{10}B と中性子との核反応により発生する強力な粒子線(アルファ線、 ^7Li 粒子)によって治療

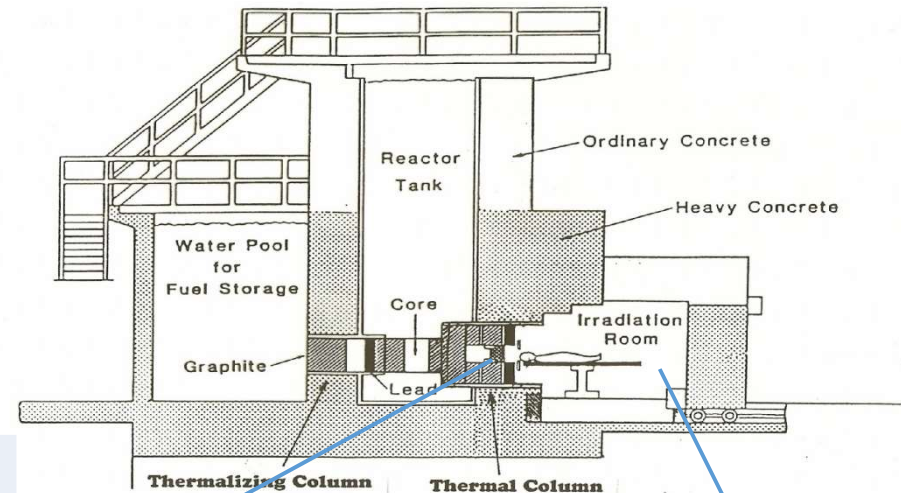


	アルファ線核医学治療	BNCT
必要集積量	極微量	多量(30 ppm以上)
製剤のがん細胞殺傷性	高い	低い (中性子照射下:高い)
DDS戦略	分子標的薬、RI診断薬を利用 (阪大のPET研究成果を利用)	がん細胞への取り込みを利用 (ターゲティング戦略が検討課題)
対象疾患	転移性病変	切除困難ながん
治験	認可済(ゾーフィゴ, ^{223}Ra)、 ^{225}Ac 分子標的薬が臨床試験	臨床試験中 (脳腫瘍, 頭頸部腫瘍)

東京都市大学(旧武蔵工業大学) 原子力研究所(1959年～)でのBNCT研究



	Patients treated
1976	2
1977	12
1978	12
1979	7
1980	5
1981	5
1982	7
1983	13
1984	9
1985	1
1986	5
1987	11
1988	9
1989	10
Total	108

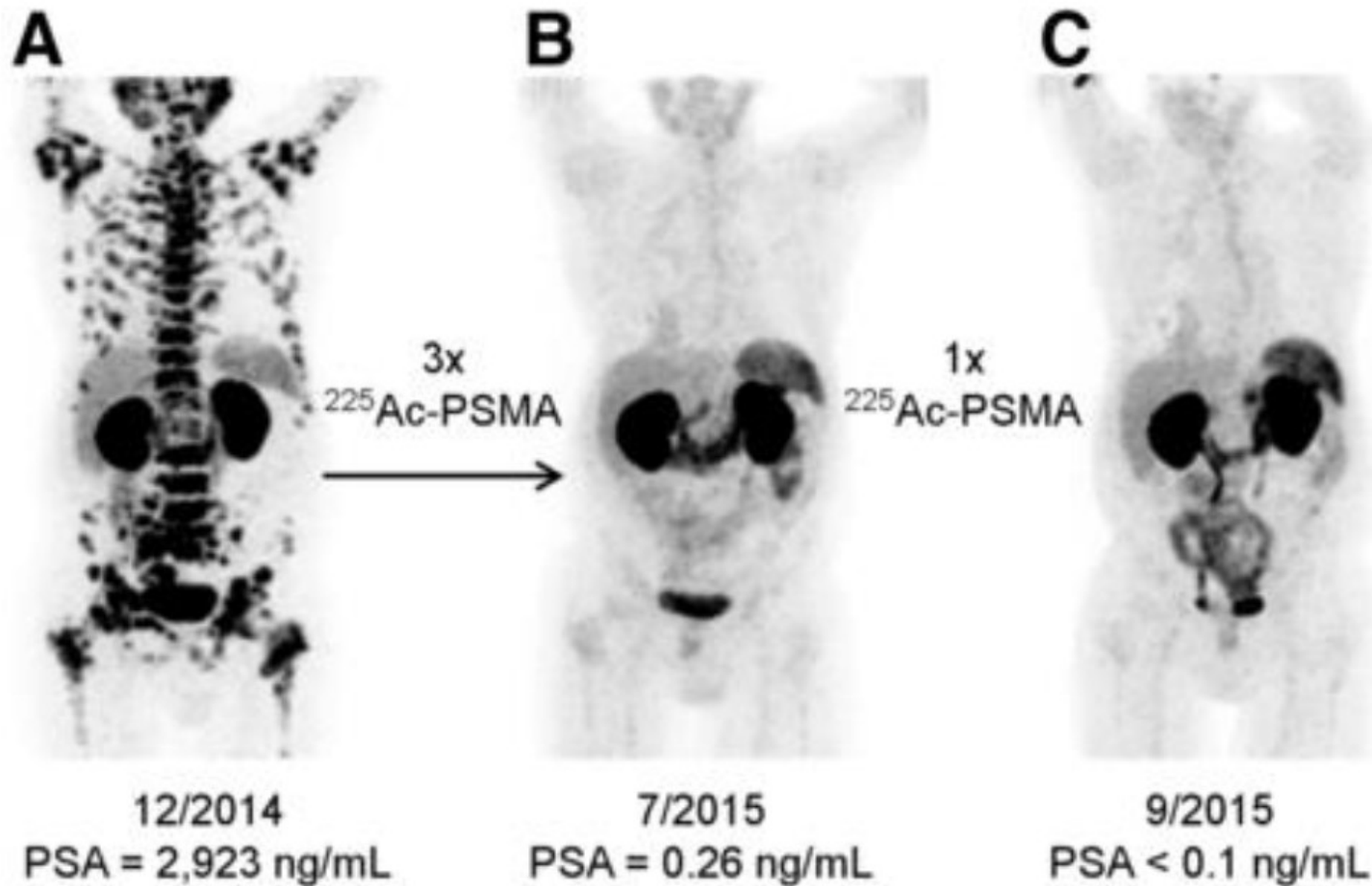


100kW出力TRIGA炉(TRIGA-II)



前立腺癌（男性のがん罹患率第1位）の 多発骨転移に対する α 線治療

Ac-225担持分子標的薬による末期がん消失例（海外）



JOINT IAEA-JRC WORKSHOP “SUPPLY OF ACTINIUM-225” IAEA, Vienna October 2018



Ac-225生成法の例

- 直接法

Th-232(p,spallation)

Ra-226(p,2n)

Ra-226(d,3n)

- 間接法(親核Ra-225生成)

Th-232(p,spallation)

Ra-226(γ ,n)

Ra-226(p,pn)

Ra-226(n,2n)

- 間接法(親核U-233/Th-229生成)

Th-232(n,2 β)

- 間接法(親核Th-229生成)

Th-230(γ ,n)

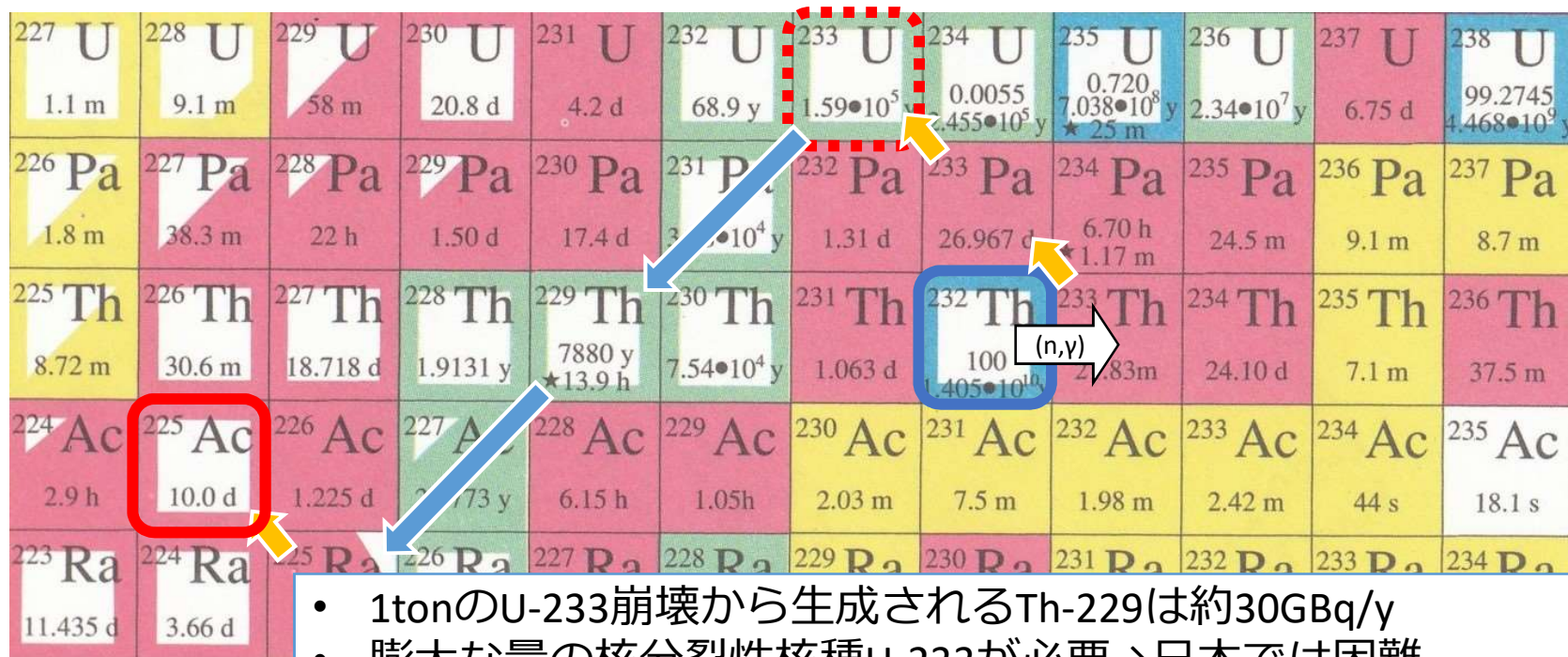
Ra-228(n,2 β)

Ra-226(3n, 2 β)

Th-230(3n, 2 $\beta\alpha$)

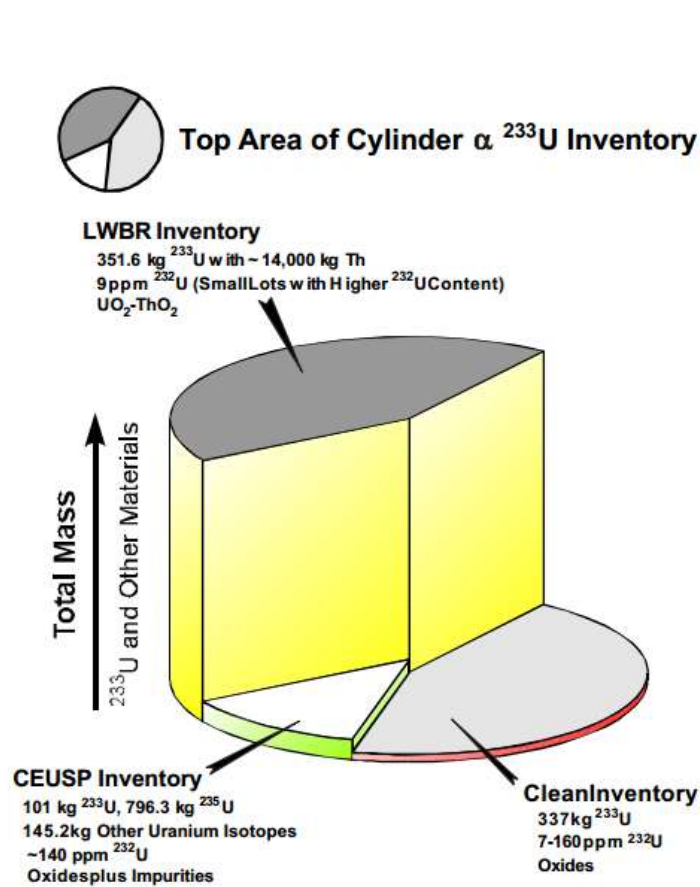
Th232(n,2β)法

- Uよりも豊富に存在するTh-232への中性子照射でU-233を生成
- U-233の崩壊からTh-229→Ac-225を得る方法

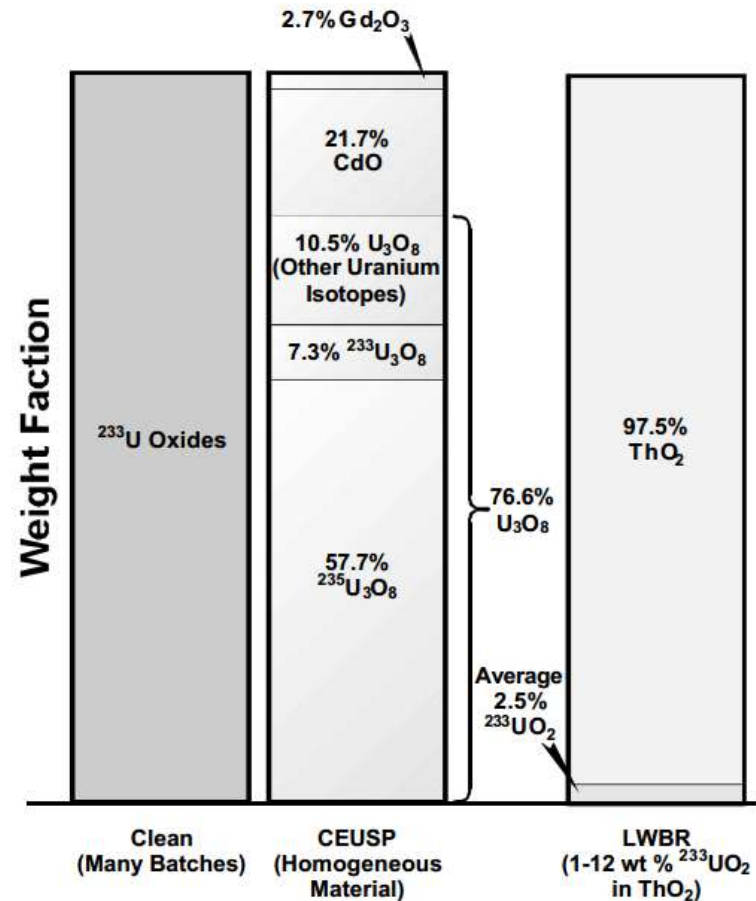


- 1tonのU-233崩壊から生成されるTh-229は約30GBq/y
- 膨大な量の核分裂性核種U-233が必要→日本では困難
 - U-233の有意量（1個の核爆発装置の製造の可能性を排除し得ない核物質のおおよその量）はPuと同じ8kg⁴³

Uranium-233 Inventories in DOE



US inventory of separated ^{233}U .



Chemical composition of the ^{233}U inventory.

Ra-226(n,2n)法

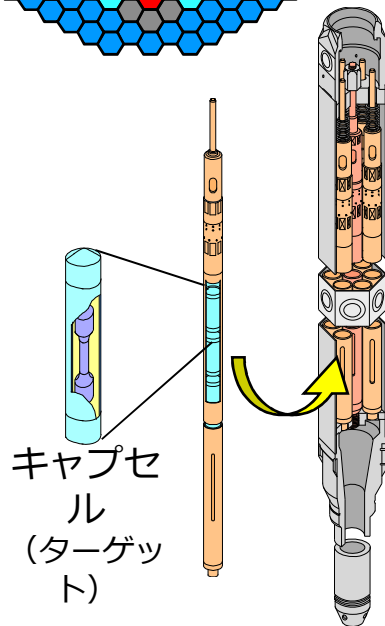
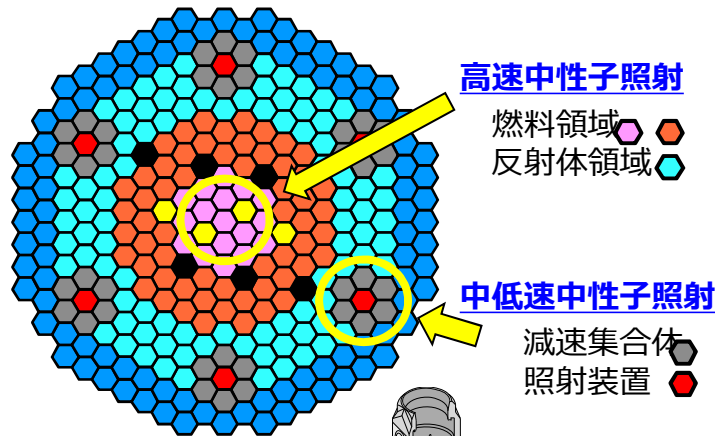
- Raを高速中性子で照射
- 不純物のAc-227も同時に生成されるが、照射後Ac/Raを分離
→Ra-225崩壊で純粋なAc-225生成
- スペクトルが硬く中性子束の高い高速炉利用が有利

224 Th 812ms	225 Th 8.72 y	226 Th 1.405 × 10 ⁵ y	227 Th 1.83 × 10 ⁸ y	228 Th 1.9116 × 10 ¹⁰ y	229 Th 7.9328 × 10 ⁴ y	230 Th 7.538 × 10 ⁴ y	231 Th 2.20 × 10 ⁶ y	
223 Ac 2.10 m	224 Ac 2.9 h	225 Ac 10.0 d	226 Ac 1.225 d	227 Ac 21.773 y	228 Ac 6.15 h	229 Ac 1.05h	230 Ac 2.03 m	231 Ac 7.5 m
222 Ra 38.0 s	223 Ra 11.435 d	224 Ra 3.66 d	225 Ra 14.9 d	226 Ra 1600 y	227 Ra 42.2 m	228 Ra 5.75 y	229 Ra 4.0 m	230 Ra 1.55 h
221 Fr 4.9 m	222 Fr 14.2 m	223 Fr 22.00 m	224 Fr 3.30 m	225 Fr 4.0 m	226 Fr 49s	227 Fr 2.47 m	228 Fr 39 s	229 Fr 50.2 s

Diagram illustrating the (n,2n) reaction on Ra-226. A blue dashed box highlights Ra-226 (1600 y) and an arrow labeled (n,2n) points to Ra-225 (14.9 d). A red solid box highlights Ac-225 (10.0 d) with an arrow pointing to it from the Ra-225 cell.

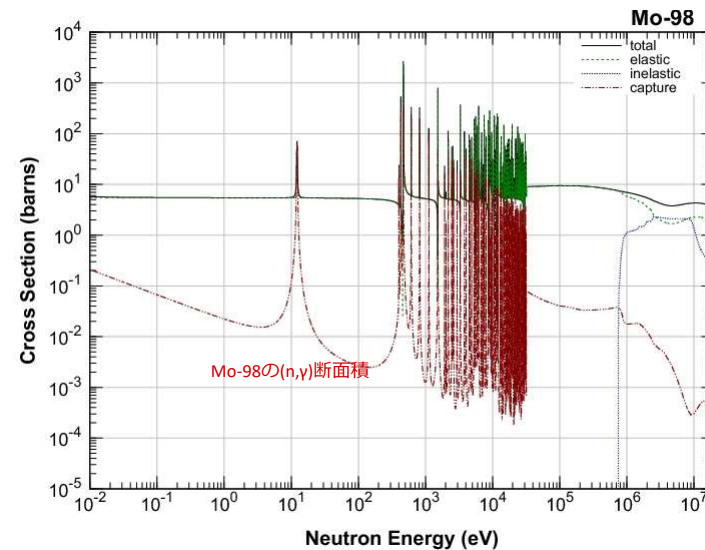
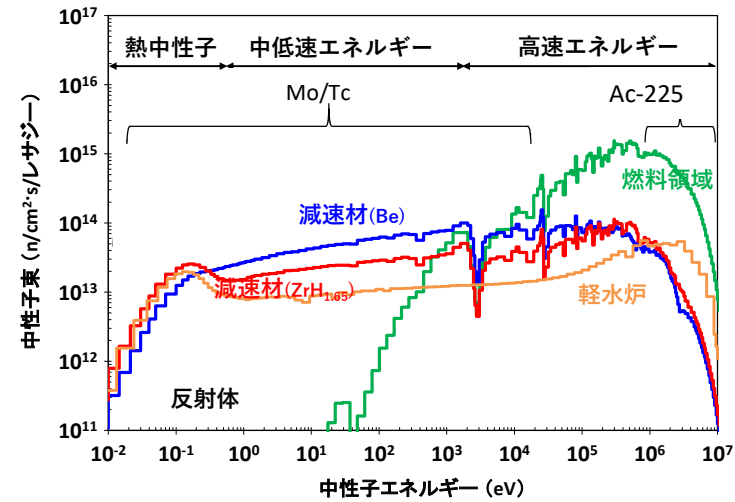
常陽での照射ターゲット装荷位置と 中性子スペクトル

常陽の多様な照射場を有する常陽炉心



- 常陽は燃料領域、炉心周辺領域に多数の照射領域を有する
- 炉心周辺領域では、減速材集合体を用いてスペクトルを調整可能

照射集合体



高速炉での(n,2n)法

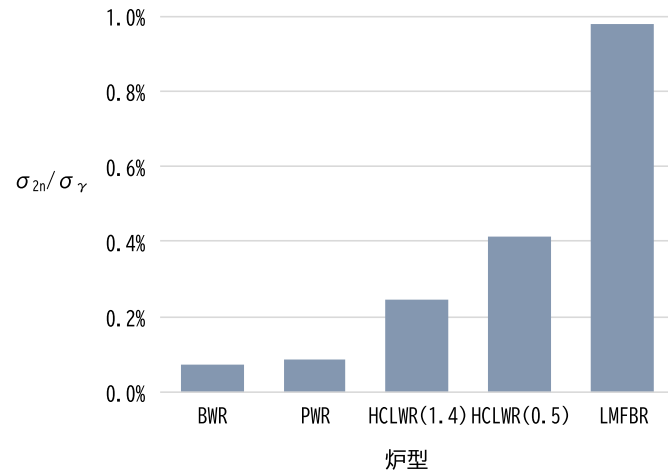


図 様々な炉型におけるRa-226の $\sigma_{2n}/\sigma_{\gamma}$ 断面積比

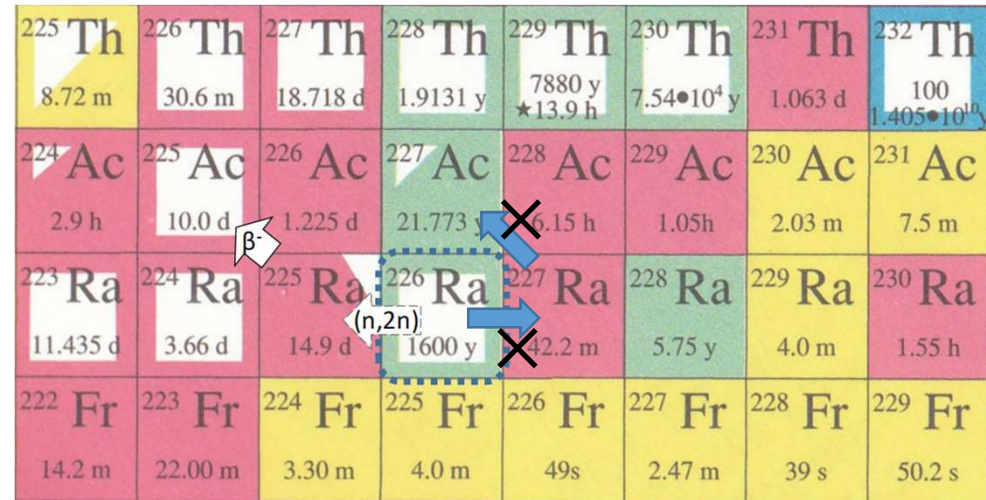


図 Ra-226(n,2n)法によるAc-225の生成

- 高速炉は (n, γ)反応に対する(n,2n)反応の断面積比が他の炉型より大
- 不純物となるAc-227の生成を抑制し、
- 原料であるRa-226の無駄な消耗を避けつつ、
- 効率的Ac-225生成に有利

Submit to this Journal

Review for this Journal

Edit a Special Issue

Article Menu

Article Overview ^

- Abstract
- Open Access and Permissions
- Share and Cite
- Article Metrics
- Order Article Reprints

Open Access Feature Paper Article

Neutronic Study on Ac-225 Production for Cancer Therapy by (n,2n) Reaction of Ra-226 or Th-230 Using Fast Reactor Joyo

by Daiki Iwahashi ^{*} , Kota Kawamoto , Yuto Sasaki and Naoyuki Takaki

Nuclear Energy Systems Laboratory, Cooperative Major in Nuclear Energy, Graduate School of Integrative Science and Engineering, Tokyo City University, Tokyo 158-8557, Japan

* Author to whom correspondence should be addressed.

Academic Editor: Yi-Jang Lee

Processes **2022**, *10*(7), 1239; <https://doi.org/10.3390/pr10071239>

Received: 10 March 2022 / Revised: 15 June 2022 / Accepted: 20 June 2022 /

Published: 22 June 2022

(This article belongs to the Special Issue Production of Ac-225 for Targeted Alpha Therapy)

View Full-Text

Download PDF

Browse Figures

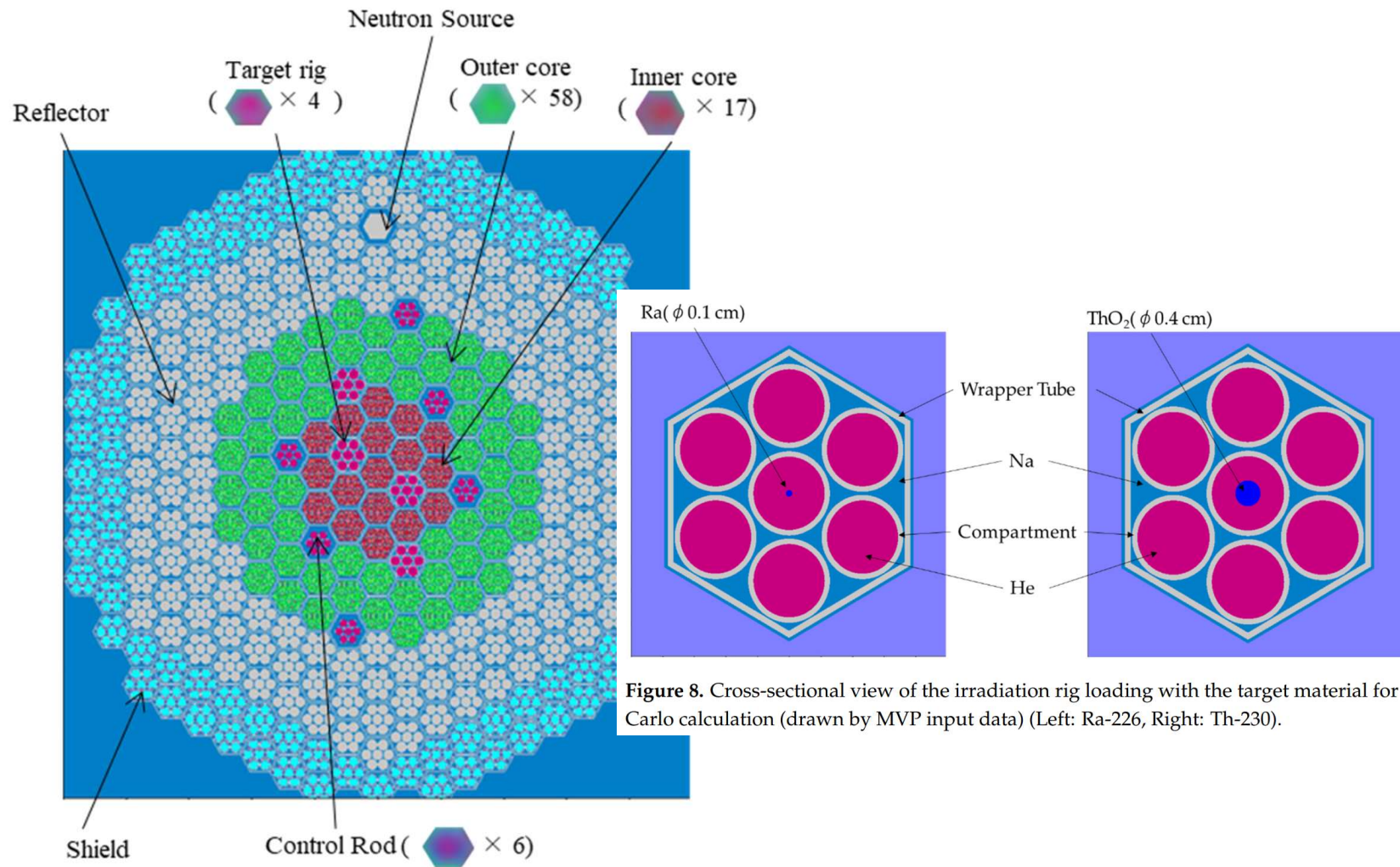
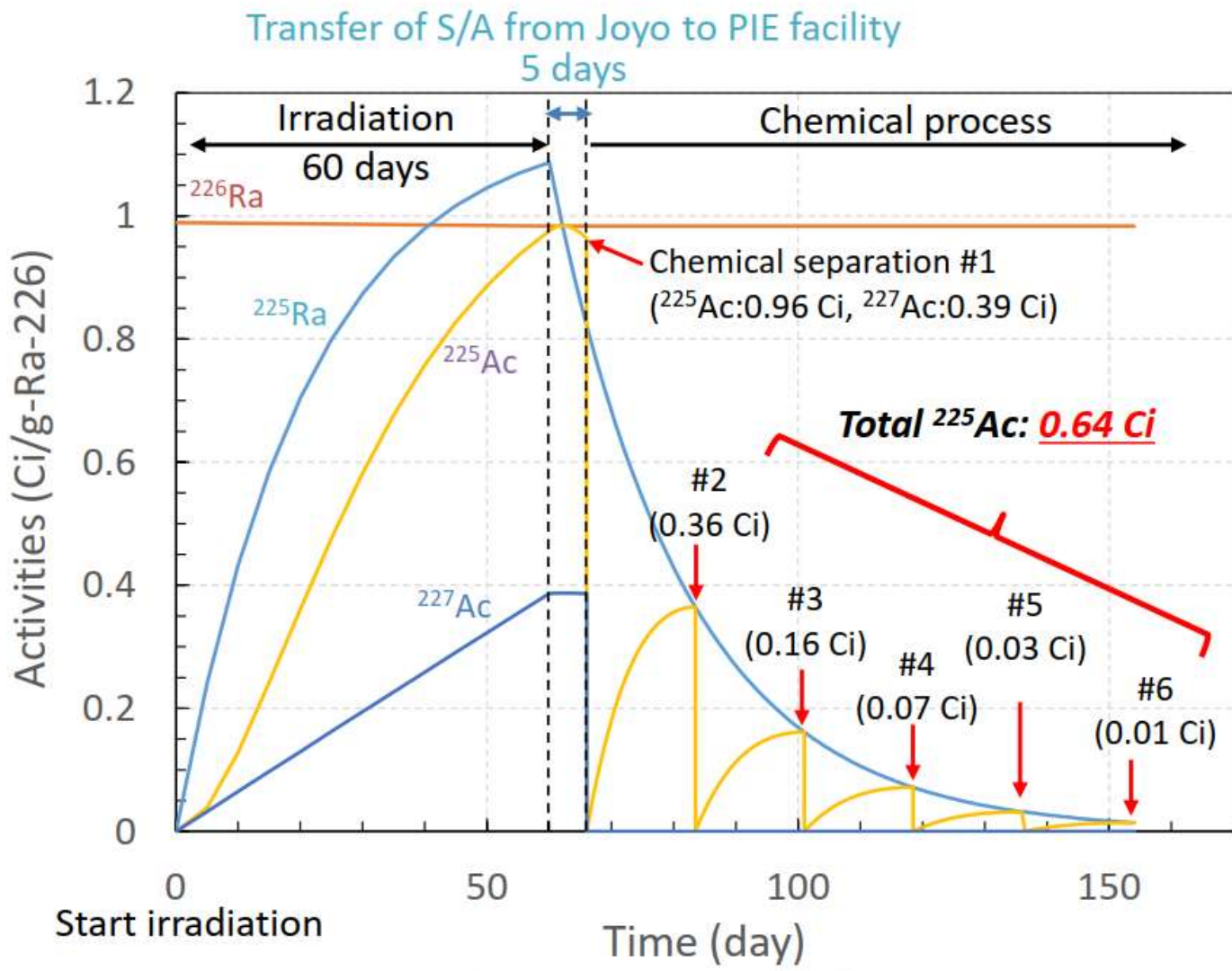


Figure 8. Cross-sectional view of the irradiation rig loading with the target material for 3D Monte-Carlo calculation (drawn by MVP input data) (Left: Ra-226, Right: Th-230).

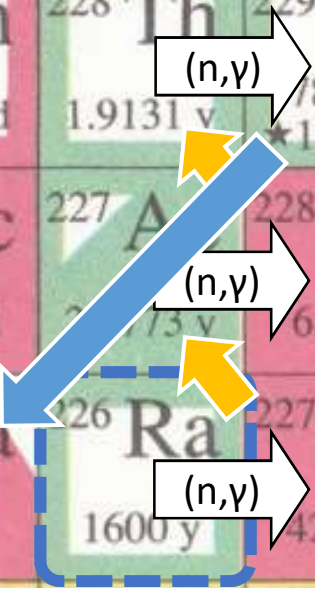
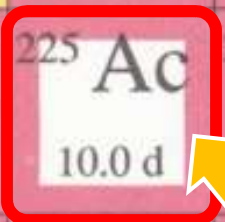
Figure 7. Cross-sectional view of the Joyo core prepared for 3D Monte-Carlo calculation (drawn by visualization function of MVP).



Ra-226(1g)照射によるAc-225製造
(燃焼計算コードORIGEN2.2の計算結果)

Ra-226(3n,2β)法

227 U 1.1 m	228 U 9.1 m	229 U 58 m	230 U 20.8 d	231 U 4.2 d	232 U 68.9 y	233 U 1.59•10 ⁵ y	234 U 0.0055 2.455•10 ⁵ y	235 U 0.720 7.038•10 ⁸ y ★ 25 m
226 Pa 1.8 m	227 Pa 38.3 m	228 Pa 22 h	229 Pa 1.50 d	230 Pa 17.4 d	231 Pa 3.28•10 ⁴ y	232 Pa 1.31 d	233 Pa 26.967 d	234 Pa 6.70 h ★ 1.17 m
225 Th 8.72 m	226 Th 30.6 m	227 Th 18.718 d	228 Th 1.9131 y	229 Th 7880 y ★ 13.9 h	230 Th 7.54•10 ⁴ y	231 Th 1.063 d	232 Th 100 1.405•10 ¹⁰ y	233 Th 21.83m
224 Ac 2.9 h	225 Ac 10.0 d	226 Ac 1.225 d	227 Ac 1.75 y	228 Ac 6.15 h	229 Ac 1.05h	230 Ac 2.03 m	231 Ac 7.5 m	232 Ac 1.98 m
223 Ra 11.435 d	224 Ra 3.66 d	225 Ra 14.9 d	226 Ra 1600 y	227 Ra 42.2 m	228 Ra 5.75 y	229 Ra 4.0 m	230 Ra 1.55 h	231 Ra 1.72 m



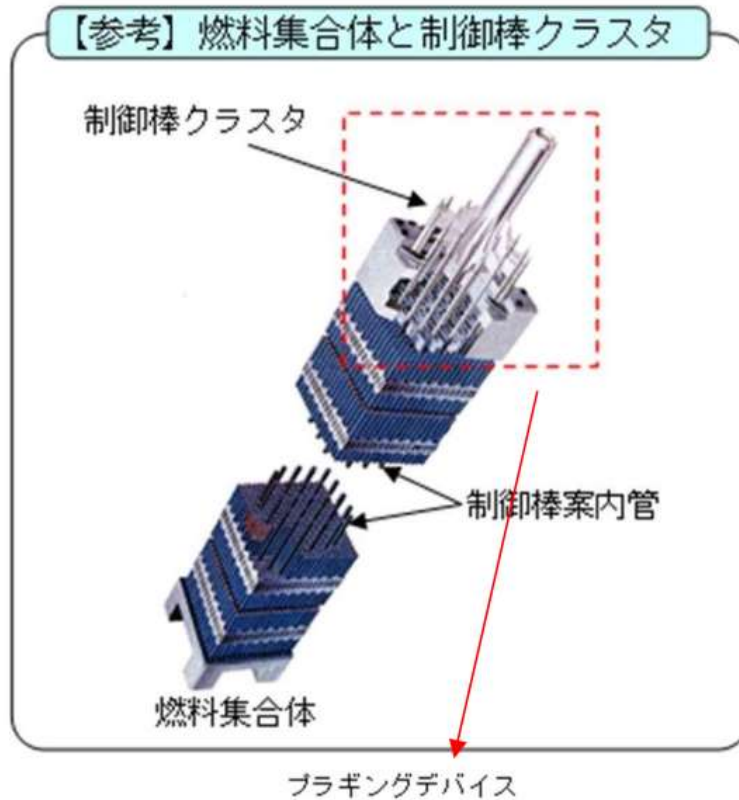
Th-230(3n,2βa)法

227 U 1.1 m	228 U 9.1 m	229 U 58 m	230 U 20.8 d	231 U 4.2 d	232 U 68.9 y	233 U $1.59 \cdot 10^5$ y	234 U 0.0055 $2.455 \cdot 10^5$ y	235 U 0.720 $7.038 \cdot 10^8$ y ★ 25 m
226 Pa 1.8 m	227 Pa 38.3 m	228 Pa 22 h	229 Pa 1.50 d	230 Pa 7.4 d	231 Pa $3.28 \cdot 10^4$ y	232 Pa 1.31 d	233 Pa 26.967 d	234 Pa 6.70 h ★ 1.17 m
225 Th 8.72 m	226 Th 30.6 m	227 Th 18.718 d	228 Th 1.9131 y ★ 13.9 h	229 Th 7880 y	230 Th $7.54 \cdot 10^4$ y	231 Th 1.063 d	232 Th 100 $1.405 \cdot 10^{10}$ y	233 Th 21.83m
224 Ac 2.9 h	225 Ac 10.0 d	226 Ac 1.225 d	227 Ac 1.773 y	228 Ac 6.15 h	229 Ac 1.05h	230 Ac 2.03 m	231 Ac 7.5 m	232 Ac 1.98 m
223 Ra 11.435 d	224 Ra 3.66 d	225 Ra 14.9 d	226 Ra 1600 y	227 Ra 42.2 m	228 Ra 5.75 y	229 Ra 4.0 m	230 Ra 1.55 h	231 Ra 1.72 m



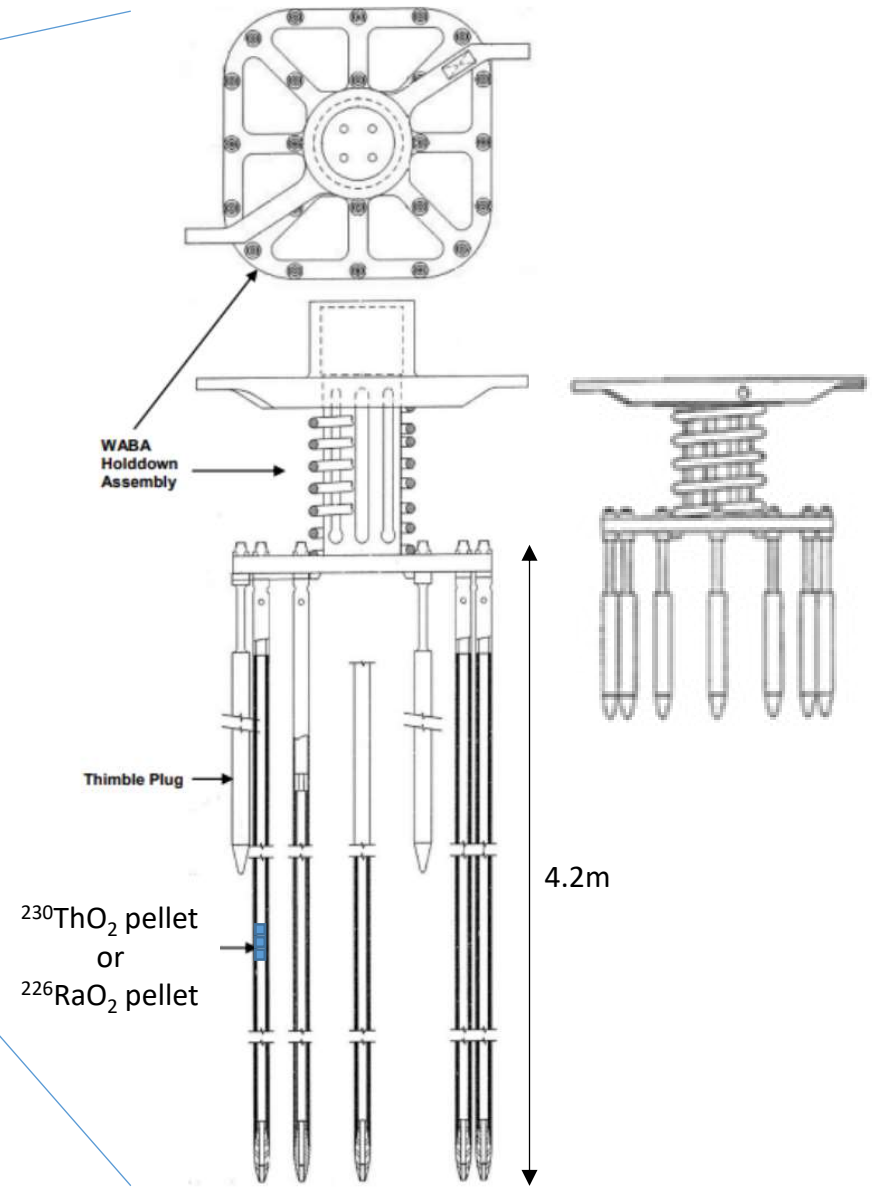
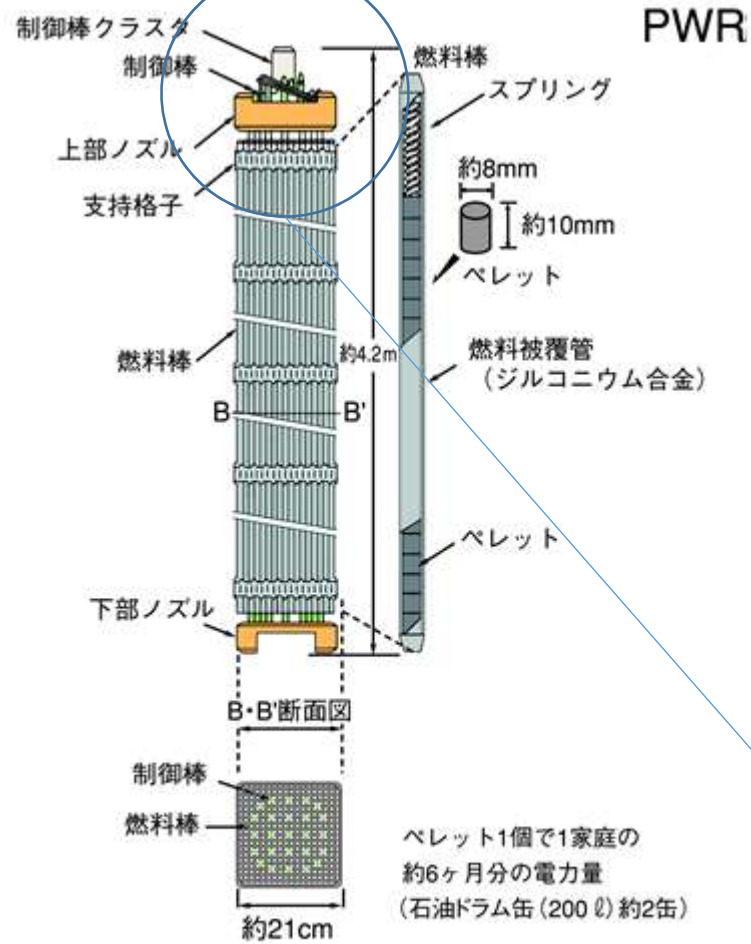
^{225}Ac production in PWR

Plugging deviceとは？



プラグングデバイスの役割：
制御棒クラスタ等を挿入しない燃料集合体に挿入し、燃料集合体に流れる冷却水流量を調整するための栓





出典：資源エネルギー庁「原子力2005」他

WABA Assembly



Thor Energy's high density ThMox Pellets are ready for licensing
in a commercial reactor

Ra-226(3n,2β)法 Th-230(3n,2βα)法 の比較解析

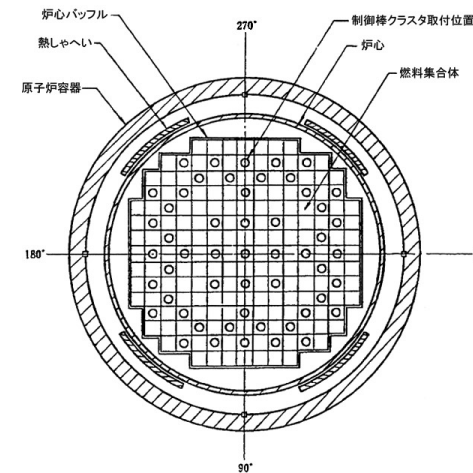
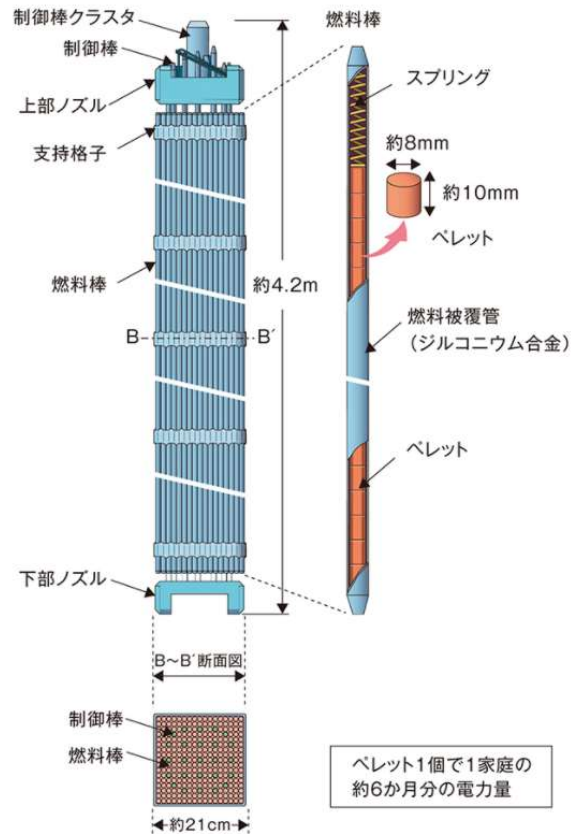
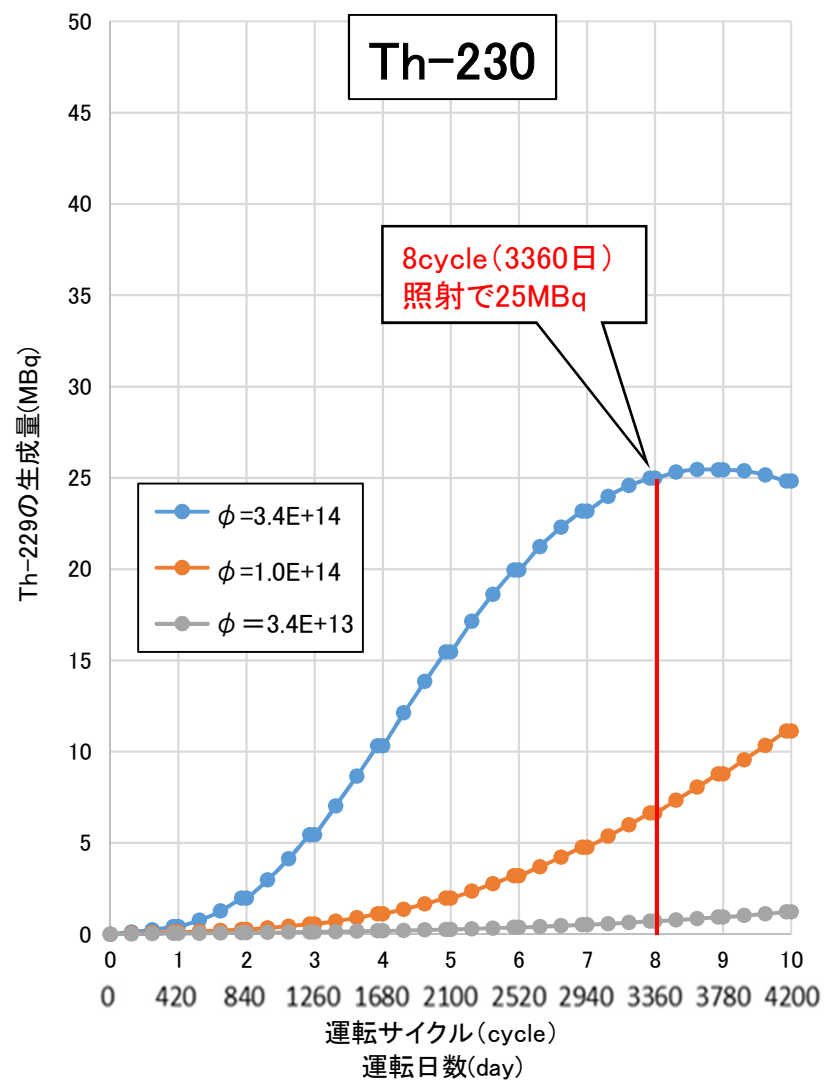
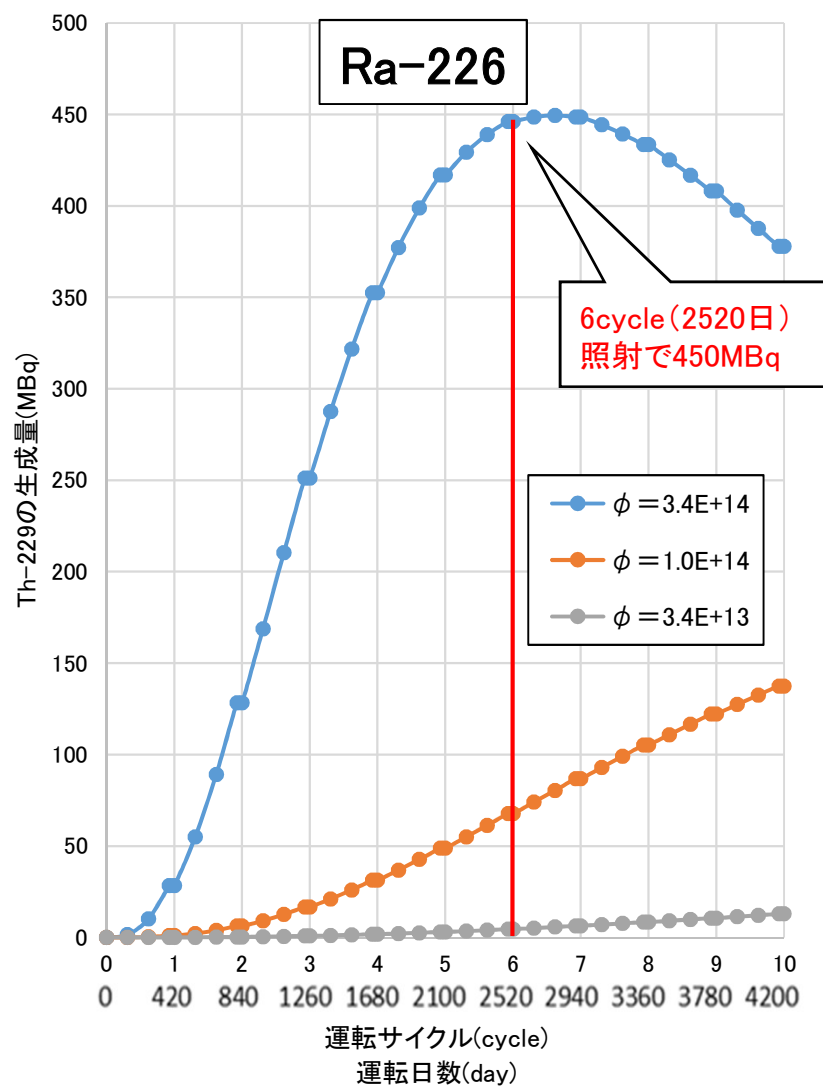


図3 加圧水型炉(PWR)の炉心配置図
[出典]日本原子力発電(株): 敦賀発電所原子炉設置変更許可申請書(昭和55年8月), p.8-3-85

炉型	加圧水型軽水炉(PWR)
定格熱出力	2660[MWt]
電気出力	870[MWe]
燃料/集合体	濃縮度4.7wt%-UO ₂ 17×17型燃料集合体
運転サイクル	13か月運転+1か月冷却
照射核種	Ra-226単体、1gram Th-230単体、1gram
計算コード 核データライブラリ	ORIGEN2 JENDL-4.0
中性子束	3.4E+14 [n/cm ² /s] 1.0E+14 [n/cm ² /s] 3.4E+13 [n/cm ² /s]

1g照射時のTh-229生成

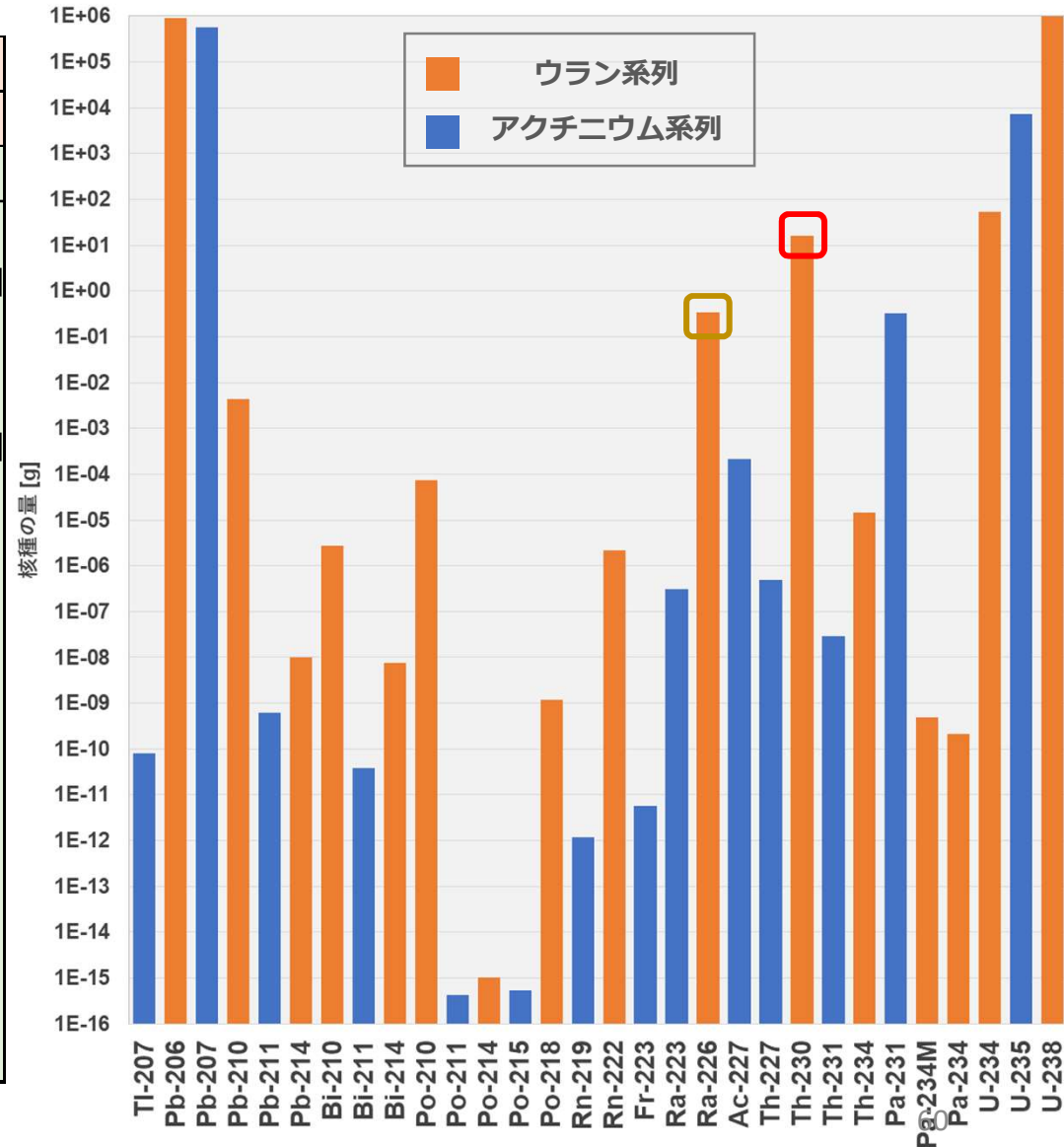


1cycle=420日(運転390日+定期点検30日)

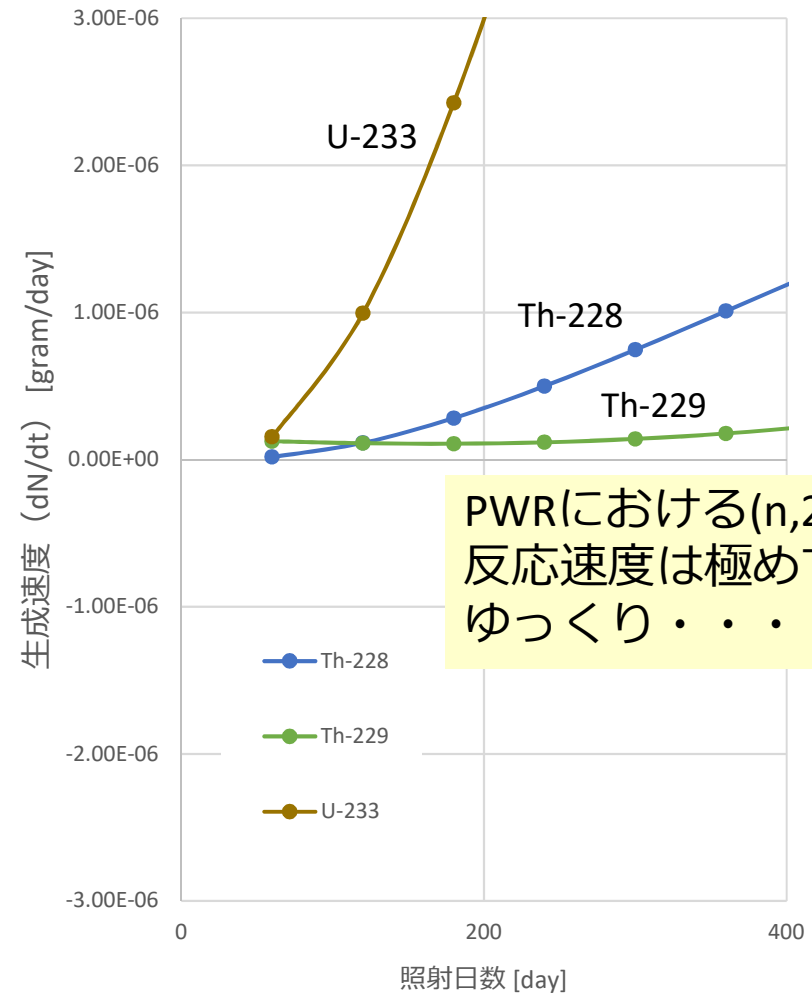
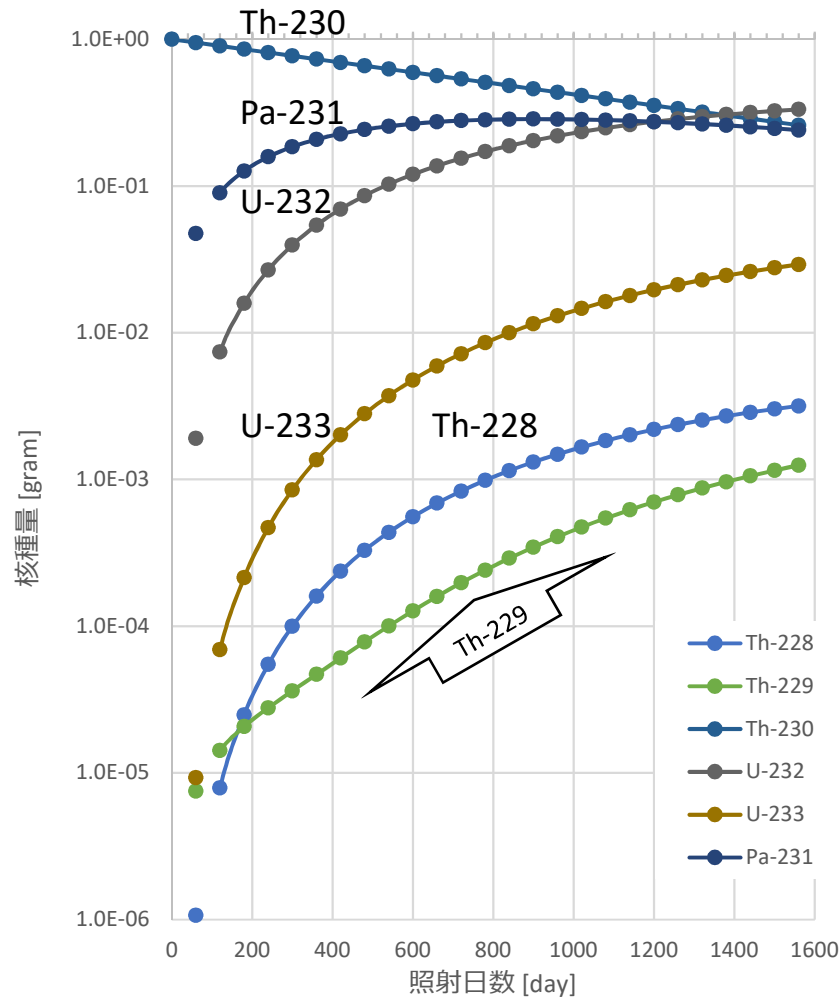
天然ウラン1tonと放射平衡にある娘核種

天然ウラン1tonと放射平衡にある核種の量			
ウラン系列		アクチニウム系列	
核種	量	核種	量
U-238	993 [kg]	U-235	7.20 [kg]
U-234	53.4 [g]	Pa-231	330 [mg]
Pa-234	2.17×10^{-10} [g]	Th-231	2.93×10^{-8} [g]
Pa-234M	4.81×10^{-10} [g]	Th-227	4.99×10^{-7} [g]
Th-234	1.44×10^{-5} [g]	Ac-227	0.215 [mg]
Th-230	16.2 [g]	Ra-223	3.04×10^{-7} [g]
Ra-226	338 [mg]	Fr-223	5.61×10^{-12} [g]
Rn-222	2.17×10^{-6} [g]	Rn-219	1.20×10^{-12} [g]
Po-218	1.20×10^{-9} [g]	Po-215	5.29×10^{-16} [g]
Po-214	1.04×10^{-15} [g]	Po-211	4.21×10^{-16} [g]
Po-210	7.42×10^{-5} [g]	Bi-211	3.74×10^{-11} [g]
Bi-214	7.56×10^{-9} [g]	Pb-211	6.31×10^{-10} [g]
Bi-210	2.69×10^{-6} [g]	Pb-207	582 [kg]
Pb-214	1.02×10^{-8} [g]	Tl-207	8.15×10^{-11} [g]
Pb-210	4.35 [mg]		
Pb-206	894 [kg]		

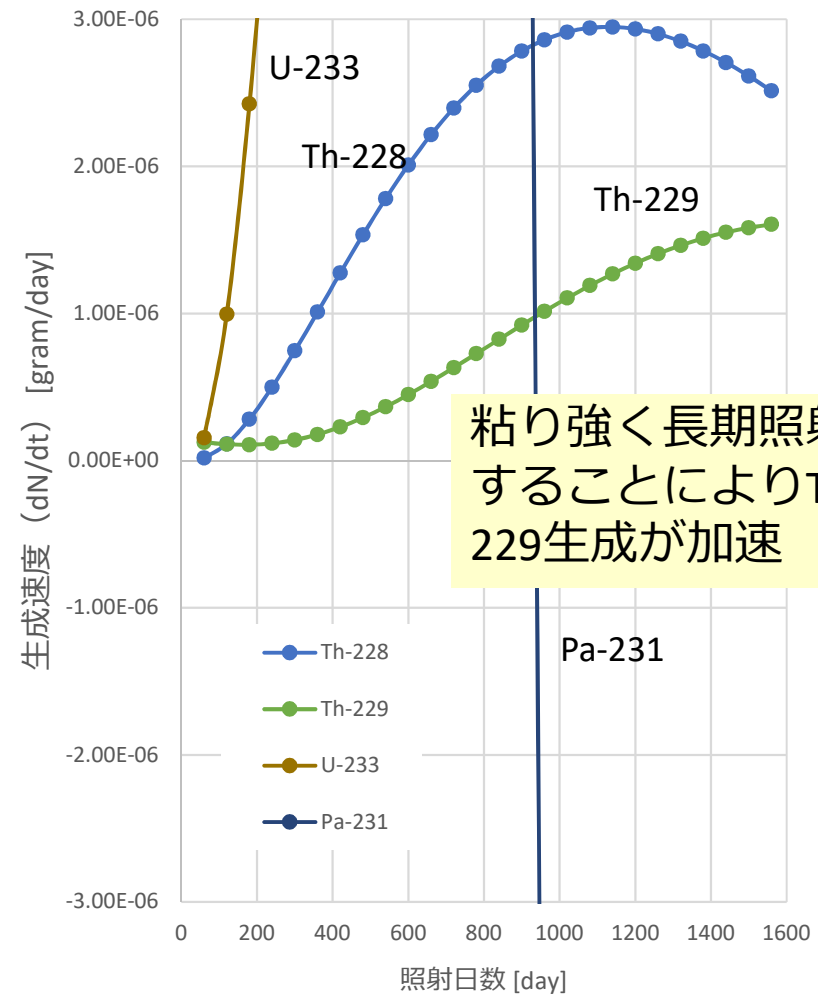
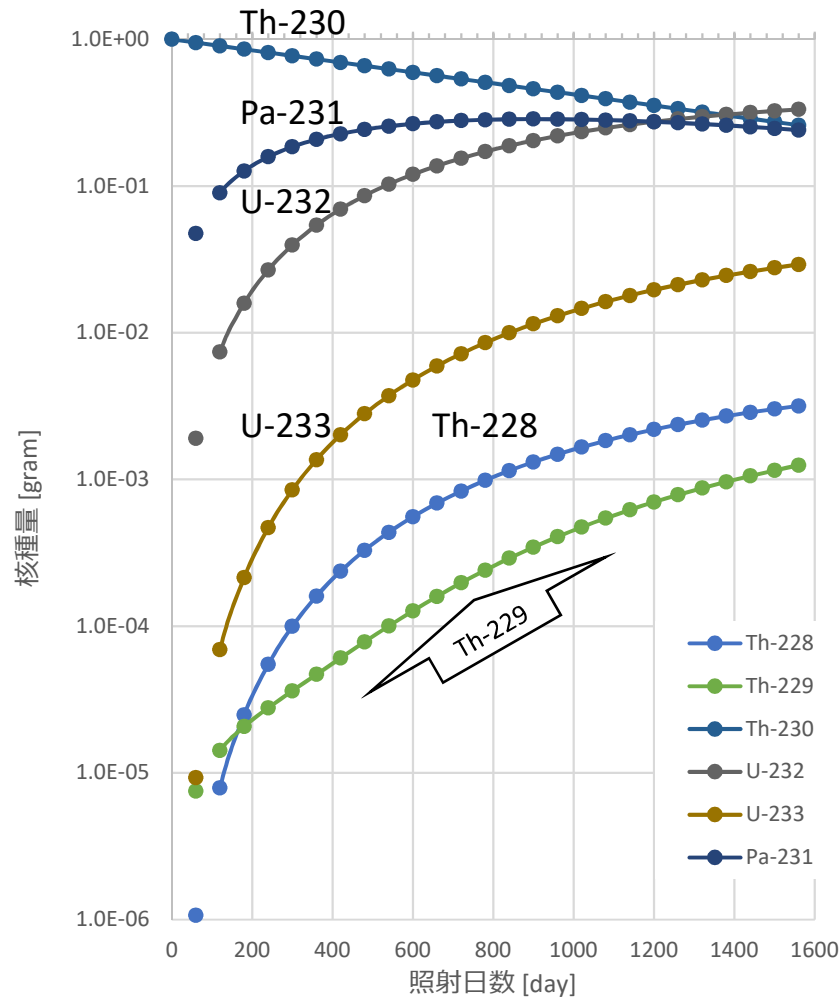
(ORIGENを用いた計算結果)



PWRでのTh-230照射によるTh-229生成



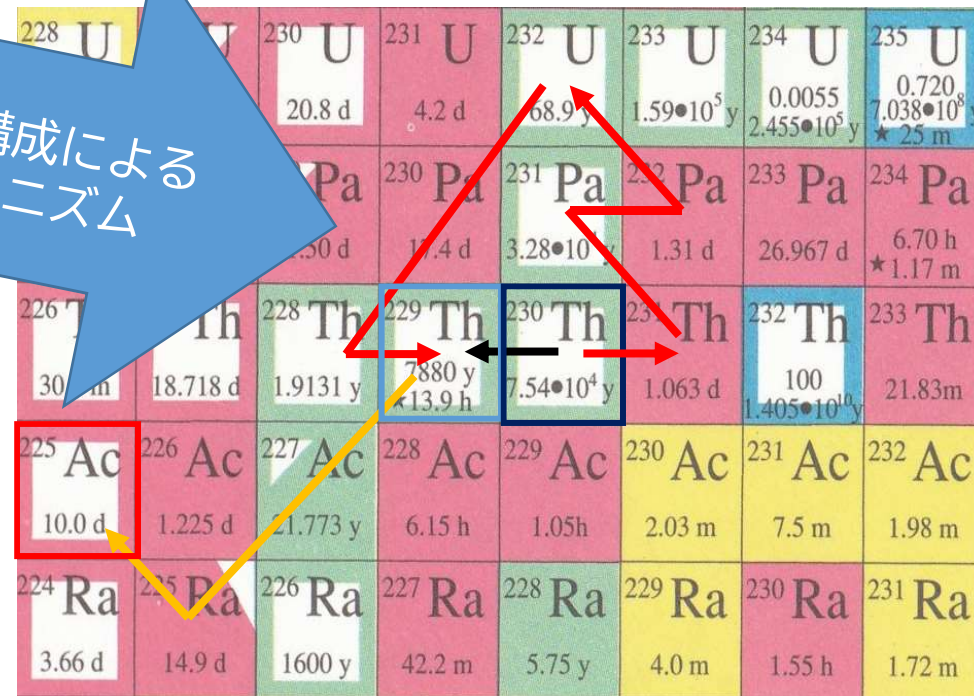
PWRでのTh-230照射によるTh-229生成



粘り強く長期照射
することによりTh-
229生成が加速

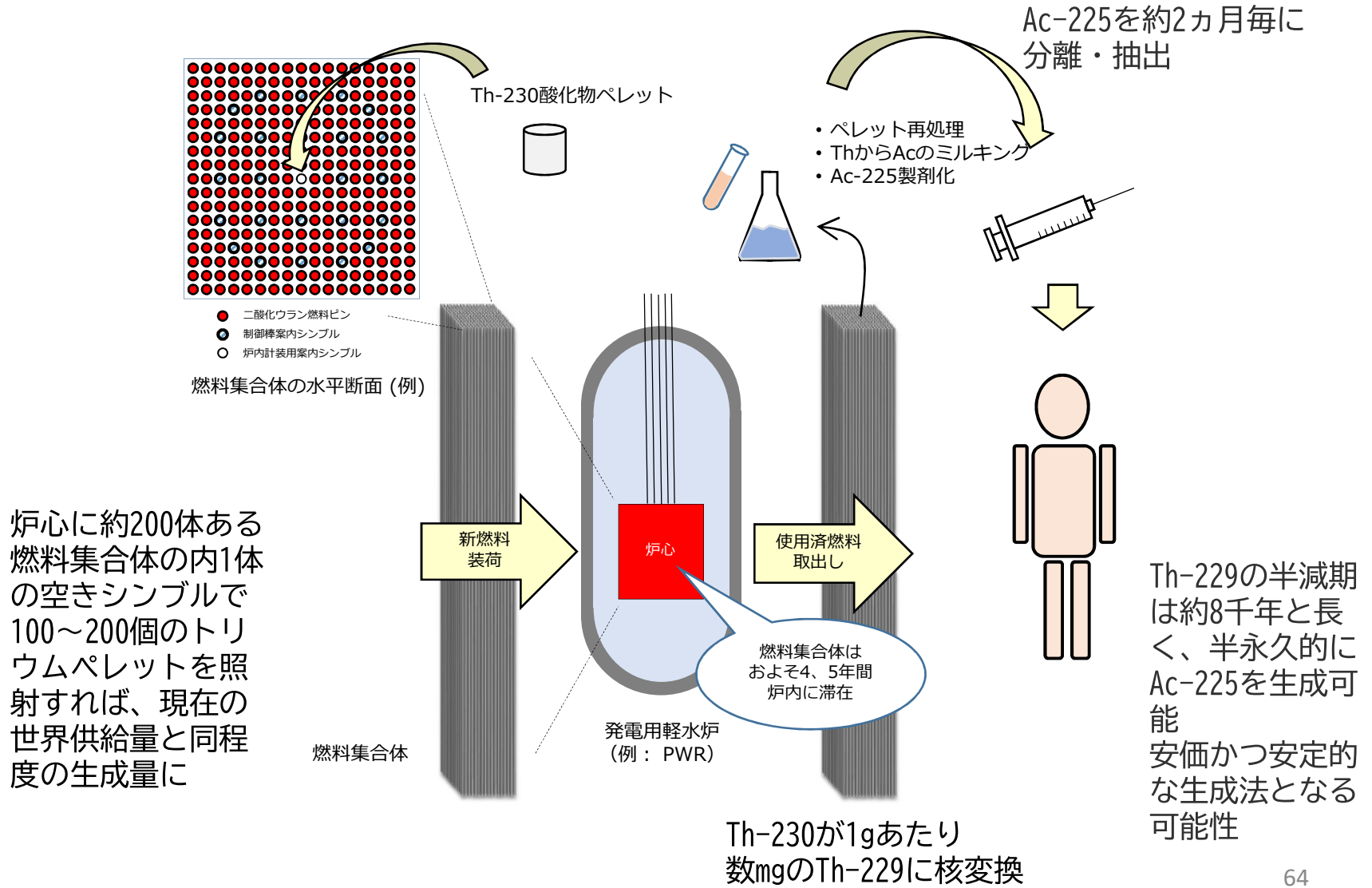
Th-230(3n,2βα)法での 循環核変換チェーン構成による生成加速

Cyclic chain構成による
生成加速メカニズム



一群断面積 PWR (17×17型燃料集合体)		
核種	核反応	断面積
Th-230	(n, γ)	29.4[barn]
	(n,2n)	4.6[mbarn]
Pa-231	(n, γ)	46.7[barn]
U-232	(n, γ)	2.9[barn]
Th-228	(n, γ)	36.5[barn]

がん細胞を集中侵襲するアクチニウム225の量産技術を考案 —商用原子炉でトリウムを熟成、半永久的な供給を可能に—



Ac-225 production performances in Joyo and PWR

	常陽 (60日運転+60日停止)					PWR (390日運転+30日停止)	
照射位置	炉心中心			炉心周辺		炉心周辺	
照射原料核種	Ra-226	←	Th-230	Ra-226	Th-230	Ra-226	Th-230
生成対象核種 (半減期)	Ra-225 (15日)	Th-229 (7880年)	←	←	←	←	←
主たる変換パス	(n, 2n)	(3n, $\alpha\beta$)	(n, 2n)	(3n, $\alpha\beta$)	Th-228経由 (3n, $\alpha\beta$)	(3n, $\alpha\beta$)	Th-228経由 (3n, $\alpha\beta$)
原料核種 装荷量[g]	1	←	50	1	50	1	50
減速材利用	無し	←	←	Be集合体：6 YD ₂ 混合：90%	← ←	無し	←
実効照射時間	60日	5.0年	5.0年	3.0年	4.9年	3.2年	6.4年
Ac-225の 年間生成量* [GBq/year]	36.9	4.9	2.7	3.0	6.1	5.6	5.0
1回照射による Ac-225の永続生成	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

主なAc-225生成法

- 現生成法 U-233 stockpile中Th-229の崩壊
 → 核兵器開発の産物。日本では不可。

- 新生成法 1 高エネルギー陽子加速器でのTh-232核破砕法

- 新生成法 2 低エネルギー陽子加速器でのRa-226(p,2n)法

- 新生成法 3 電子線加速器でのRa-226 (γ ,n)法

- 新生成法 4 高速炉でのRa-226(n,2n)法

- 新生成法 5 軽水炉でのTh-230長期照射法

原料

毎回照射

Th-232

不要

Th-232

必要

Ra-226

必要

Ra-226

必要

Ra-226

必要

Th-230

不要



医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進アクションプラン

アクションプラン策定の経緯

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

最先端の原子力科
医療
国産ラジオ

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
- ②国産ラジオアイソトープによる核医学治療の
- 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

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)
- ・アスチチン-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

Atomic Energy Commission released an action plan on May 31 2022 through half-year discussion in a specialist meeting on medical RI production and utilization.

It tells

- As for Mo-99/Tc-99m, national preparedness will be increased up to 30% by 2027.
- As for Ac-225, R&D using Joyo and accelerator will be intensified and demonstration using fast experimental reactor Joyo will be performed by 2026.



グロッシェ事務局長（左）が岸田首相を表敬
©Cabinet Public Affairs Office, Cabinet Secretariat



「Rays of Hope」を訴えかけるグロッシェ事務局長（帝国ホテルにて） May 18th 2022



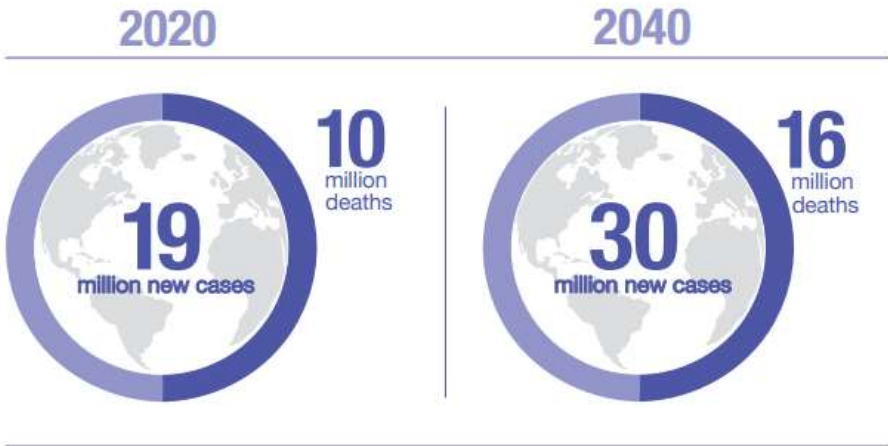


Rays of Hope

Cancer care for all

“
Half of cancer patients who need radiotherapy in low- and middle-income countries do not have access to it. This is a sobering statistic. And it is unacceptable.
— Rafael Mariano Grossi, IAEA Director General
”

The Global Cancer Burden



Over 70% of cancer deaths occur in LMICs.

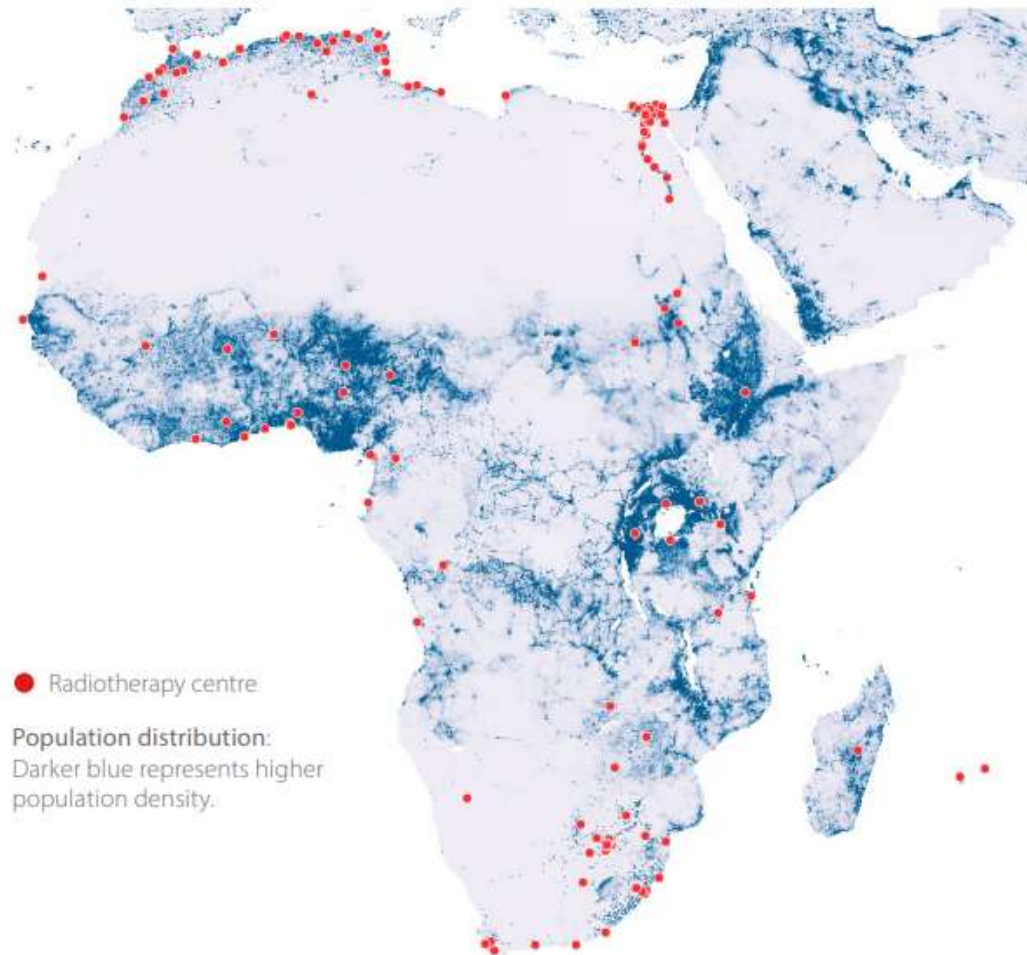


Only 5% of global spending on cancer goes to LMICs.



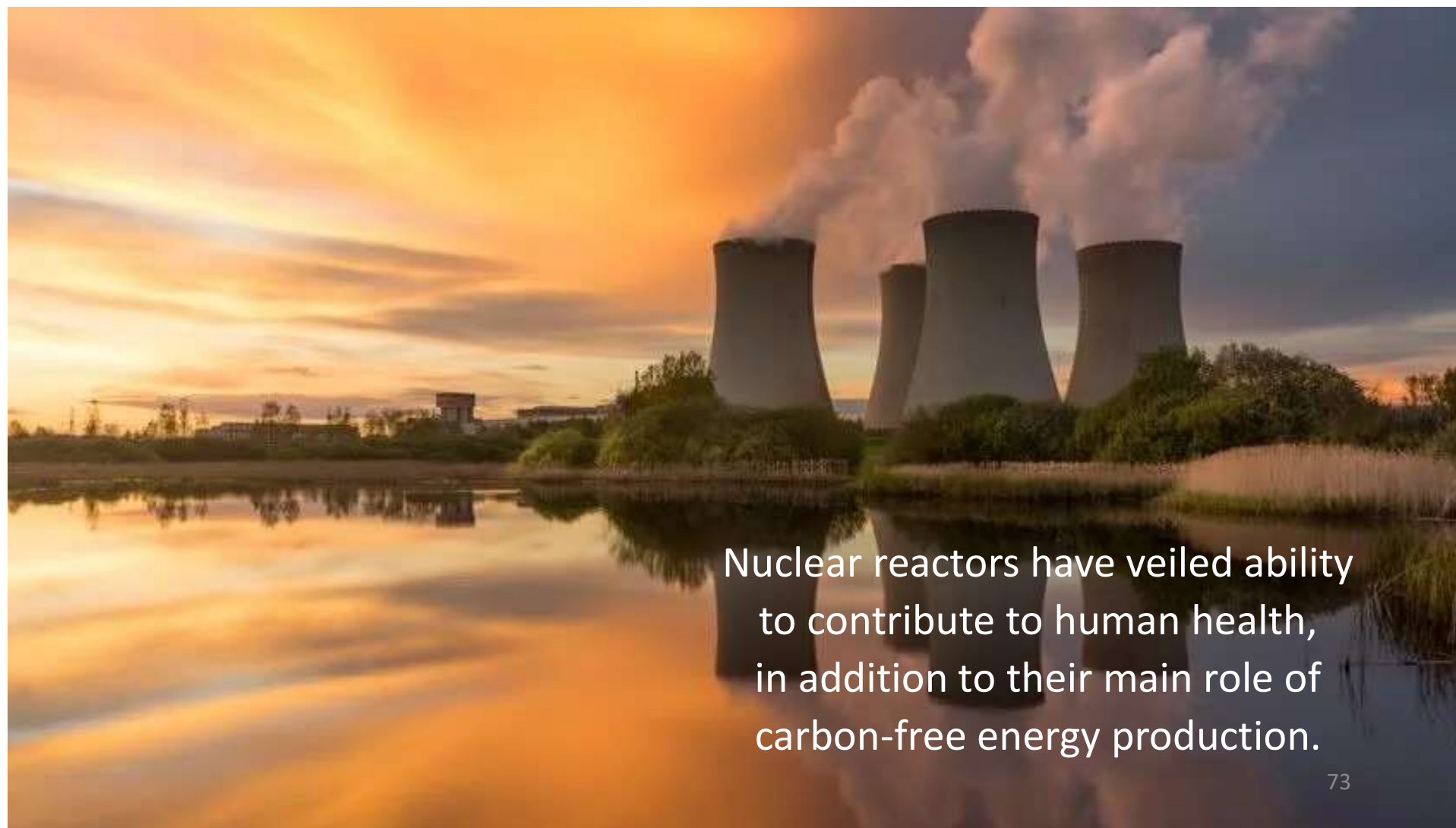
About half of cancer patients require radiotherapy.

**OVER 70% OF THE POPULATION OF AFRICA
DOES NOT HAVE ACCESS TO RADIOTHERAPY.**



In Africa, over 700,000 people died of cancer in 2020.
More than 20 African countries have no
radiotherapy treatment unit.

Conclusion



Nuclear reactors have veiled ability to contribute to human health, in addition to their main role of carbon-free energy production.

この研究は文部科学省の「国家課題対応型研究開発推進事業
（原子力システム研究開発事業）JPMXD0220354346」の助成
を受けて実施したものです。

Search:

[Journals](#) / [Processes](#) / [Special Issues](#) / [Production of Ac-225 for Targeted Alpha Therapy](#)IMPACT
FACTOR
2.753CITESCORE
1.8
SCOPUS**processes**

Journal Menu

- [Processes Home](#)
- [Aims & Scope](#)
- [Editorial Board](#)
- [Reviewer Board](#)
- [Topics Board](#)
- [Instructions for Authors](#)
- [Special Issues](#)
- [Sections & Collections](#)
- [Article Processing Charge](#)
- [Indexing & Archiving](#)
- [Editor's Choice Articles](#)
- [Most Cited & Viewed](#)
- [Journal Statistics](#)
- [Journal History](#)
- [Journal Awards](#)
- [Society Collaborations](#)
- [Conferences](#)
- [Editorial Office](#)

Journal Browser

Special Issue "Production of Ac-225 for Targeted Alpha Therapy"

- [Print Special Issue Flyer](#)
- [Special Issue Editors](#)
- [Special Issue Information](#)
- [Keywords](#)
- [Published Papers](#)

A special issue of *Processes* (ISSN 2227-9717). This special issue belongs to the section "Pharmaceutical Processes".

Deadline for manuscript submissions: **31 October 2021**.

Share This Special Issue



Special Issue Editors

Prof. Dr. Naoyuki Takaki [E-Mail](#) [Website](#)

Guest Editor

Dept Nucl Safety Engrn, Tokyo City Univ, Tokyo 113-8654, Japan

Interests: reactor physics; nuclear transmutation



Dr. Tatsuya Higashi [E-Mail](#) [Website](#)

Guest Editor

Department of Molecular Imaging and Theranostics, Institute for Quantum Medical Science (iQMS), National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology (QST), Chiba 263-8555, Japan

Interests: nuclear oncology; PET oncology; radioisotope therapy

