

医療用 R I と加速器と日本

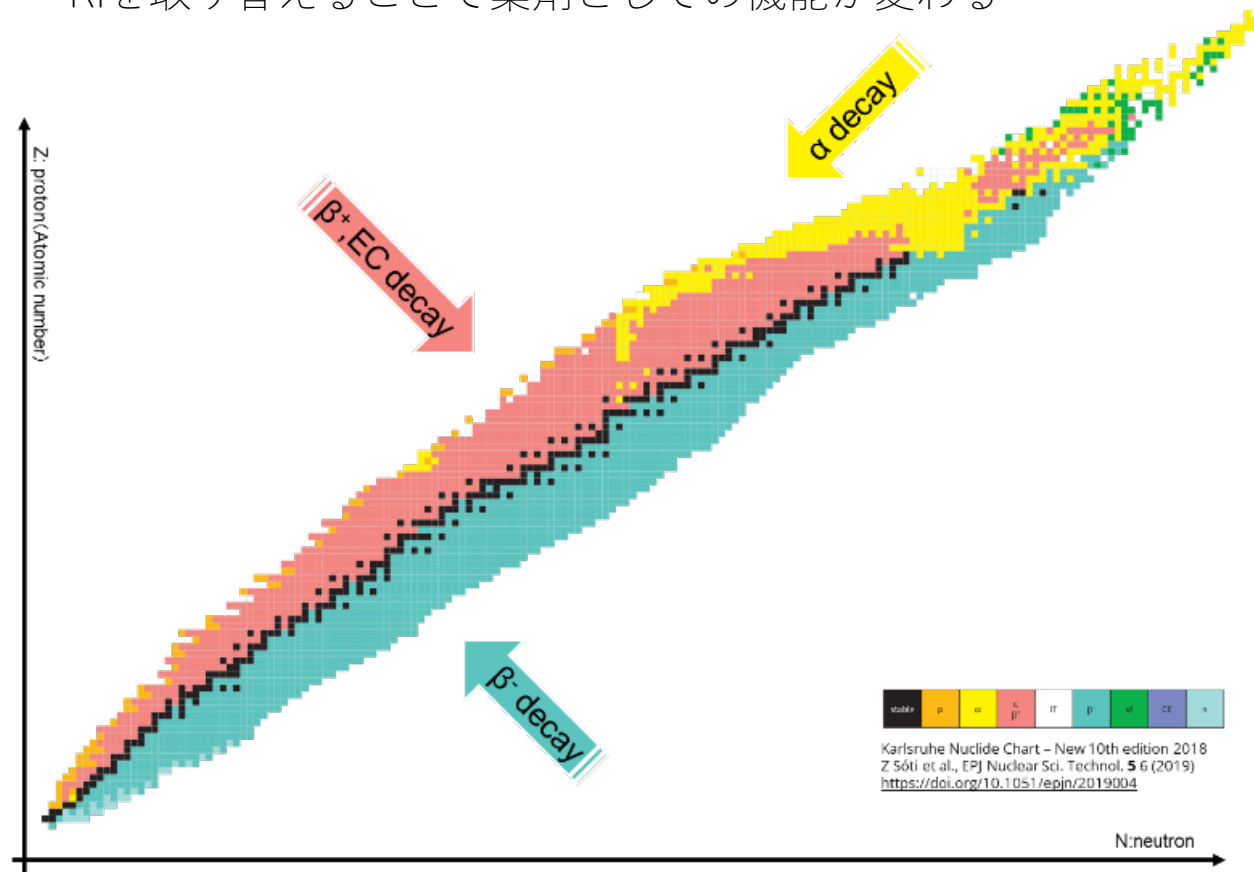
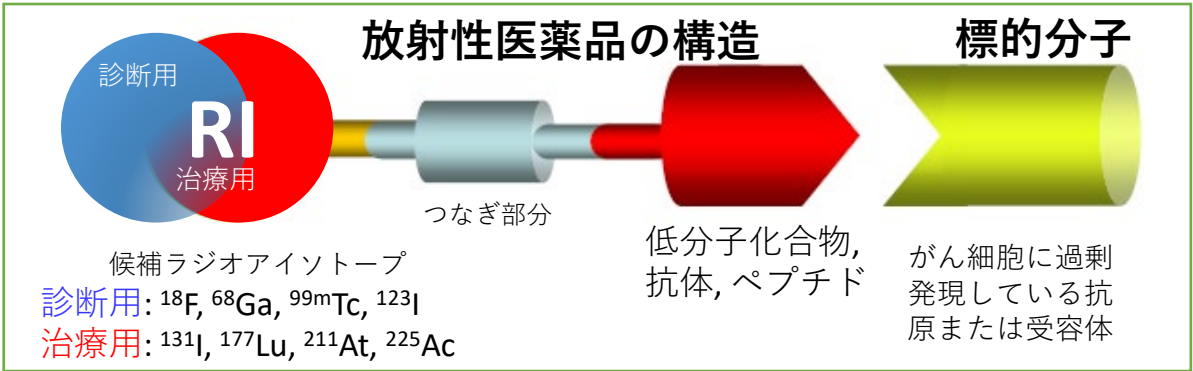


福島県立医科大学 先端臨床研究センター
FUKUSHIMA MEDICAL UNIVERSITY
鷲山 幸信



RI標識薬剤（放射性医薬品）とは

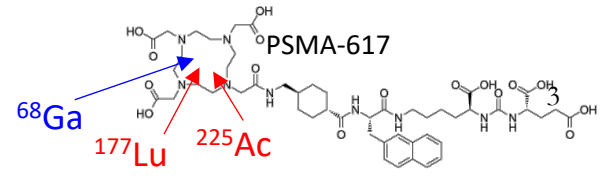
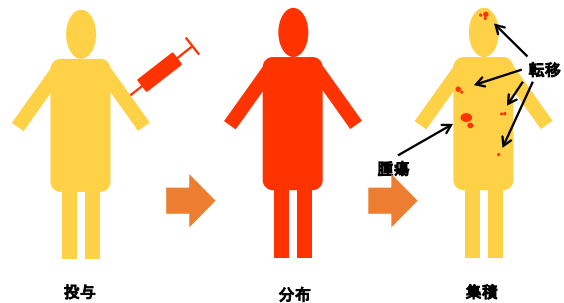
物理的特性(存在量や半減期や放射線の種類・エネルギー)で核種を選択し、化学的特性（共有結合、配位結合）で分子と結合させ、生物学的特性（抗原抗体反応、ペプチドと受容体結合特異性）を利用してがんを集積させる薬剤
RIを取り替えることで薬剤としての機能が変わる



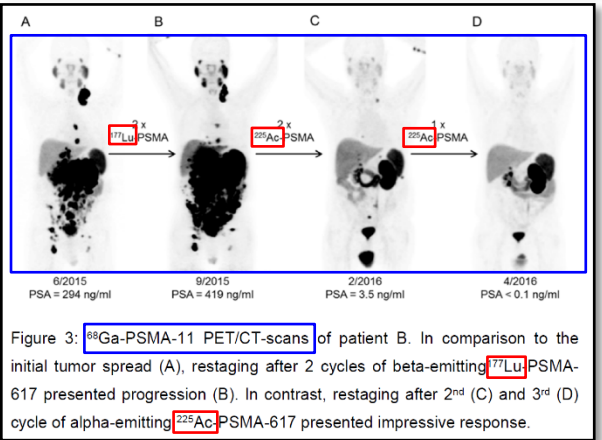
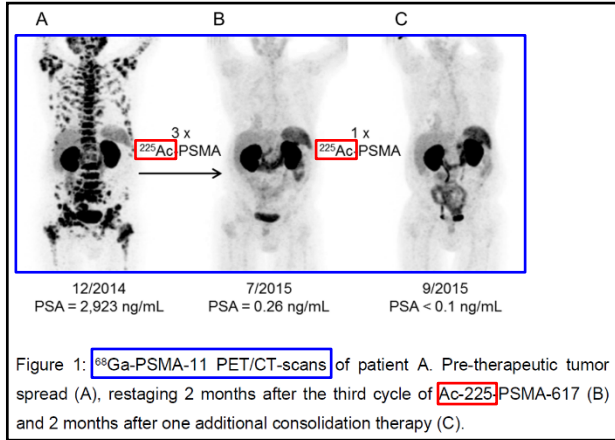
Periodic Table: Medical radioactive isotopes																		He													
H																															
Li		Be		β therapy β imaging γ imaging														Ne													
Na		Mg		α therapy Mix														Ar													
K		Ca		Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr												
38 42 43	45	43 44 46 47	44 46		48 51	52 52m 54	52 55 59	55 57 58 60	63	60 61 62 64 67	63 65 69m	66 67 68	68	72 73 74	75	75 76 77 82	85 77 79 79m 81m														
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe														
81 82 84 86	85 87m 89 90	86 88 90	89	90 95	99	94m 95 99m	103	103m 105	103	109m 111		110m 111 113m 114m 115m	117m		123m	122 123 124 125 128 131 132	125 127 127m 133														
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn														
129 134 137	133m 137m	134 135		178		186 188		191m 192	191 193m 195 195m	195m 198 199	197 197m 203	199 201	203 212	204 205 206 207 212 213		211															
Fr	Ra	Ac																													
	223 226	225																													
																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
																		139 141	140 143		149	153		153	149 152 155 161	157	166	165 169	167	169	172 177
																		Th	Pa	U	Np	Pu	A	C	BK	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
																		226 227													

核医学におけるラジオセラノスティクスとは

セラノスティクス (Therapy+Diagnostics) とは、患者さんごとに、同一または類似の診断薬と治療薬を用いて、1) 患者さんに害を与えない、2) 治療効果を確実にする、という個別化医療の概念を表す。



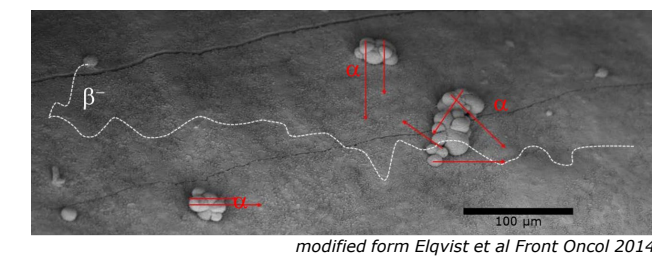
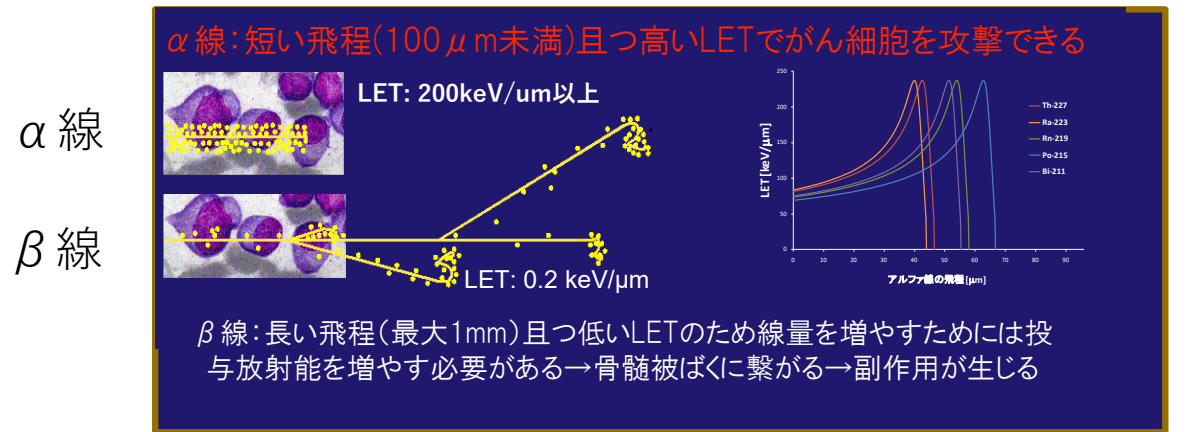
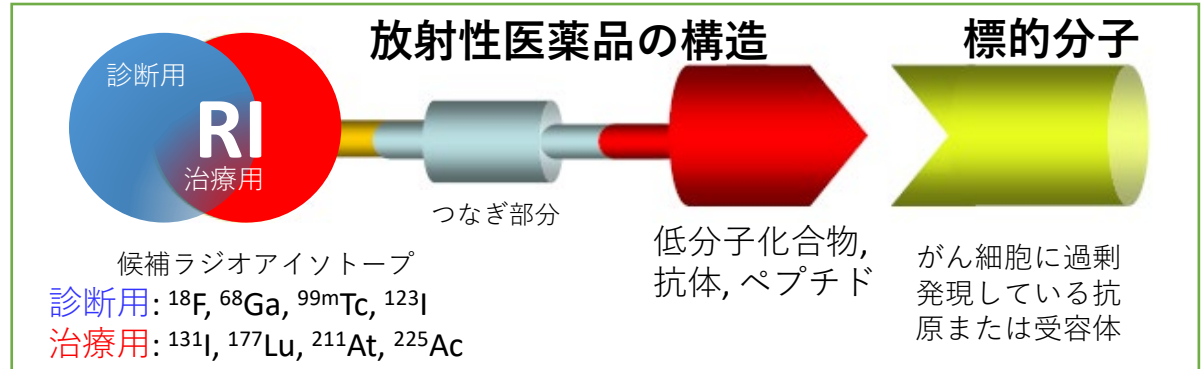
核医学治療(アイソトープ内用療法)の例



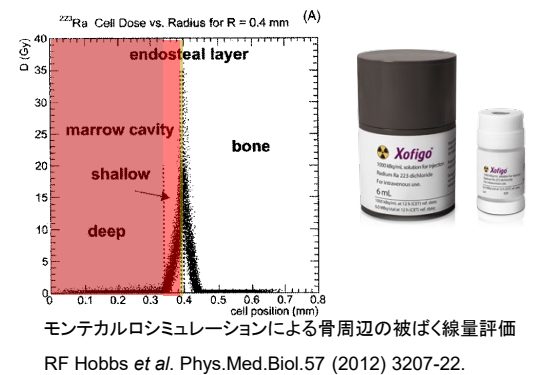
骨転移の場合、β線は飛距離が長い骨髄での副作用が予想される(術前診断) → α線による治療を選択する。

術前術後の診断から ^{177}Lu のようなベータ線を放出するRIが効かないのでα線を放出するRI(^{225}Ac)を使う判断を下した。

画像は全て診断用RIの ^{68}Ga を用いて取得、治療前後の状態を提示
Kratochwil et al. J Nucl Med 2016;57:1941-1944



“卵巣がん”が腹膜(腹部の臓器をおおっている薄い膜)に播種(はしゅ: 転移して定着)している状態の電子顕微鏡写真

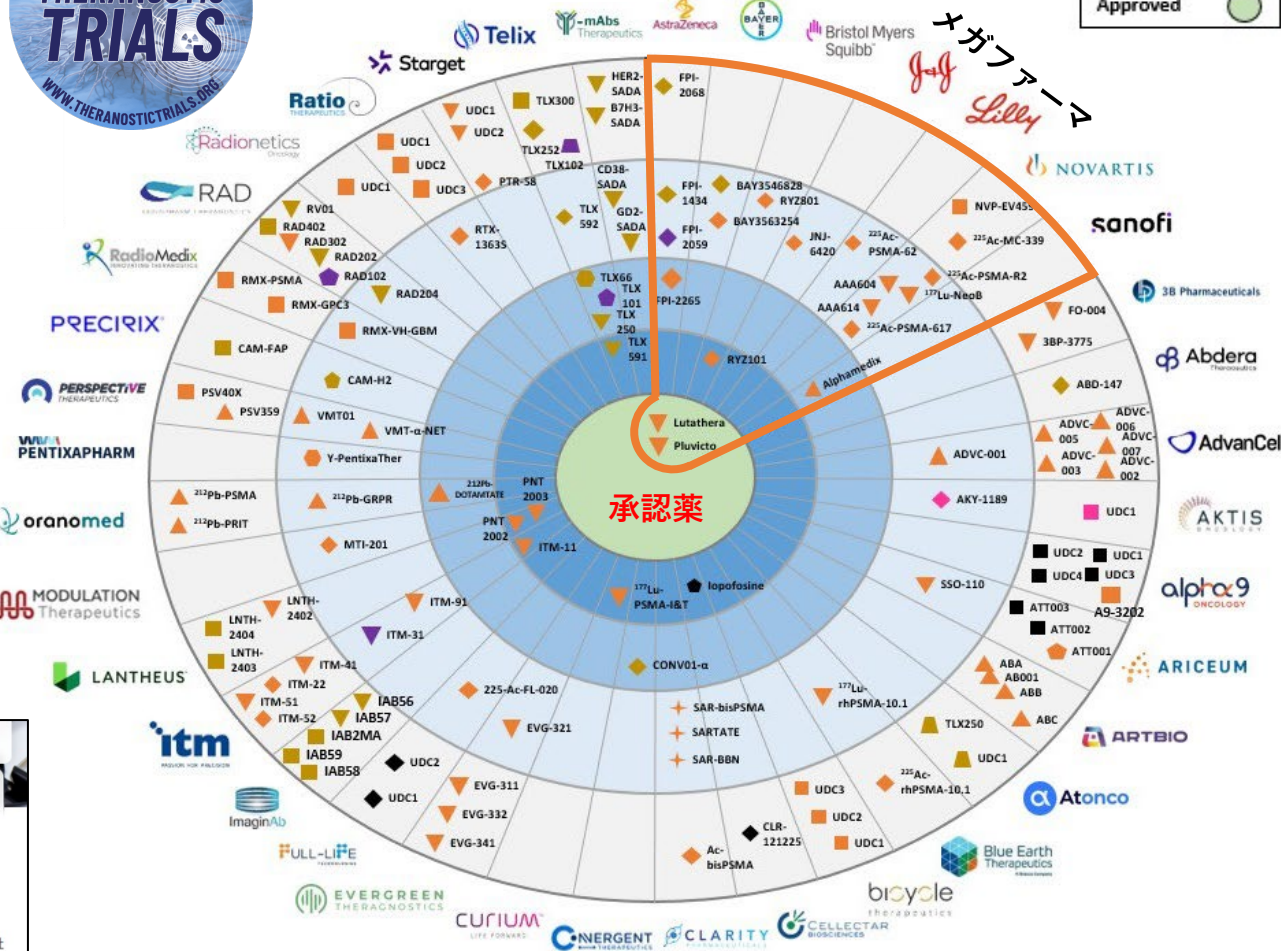
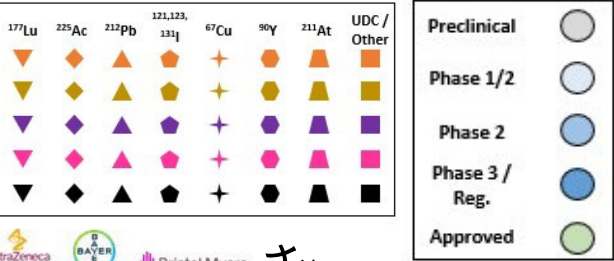


放射性セラノスティックスの市場予測

(10億ドル = 約1,500億円, 1億ユーロ = 約160億円)

買収企業	ベンチャー企業	買収額	買収時期
Sanofi	Radiomedix & Orano Med	1億ユーロ前払い+a (独占的ライセンス契約)	2024年9月
Novartis	Mariana Oncology	10億ドル前払い+b	2024年5月
Astra Zeneca	Fusion Pharmaceuticals	20億ドル前払い+c	2024年3月
Bristol Myers Squibb	RayzBio	41億ドル	2023年12月
Eli Lilly	Point Biopharma	14億ドル	2023年10月
Novartis	Endocyte	21億ドル	2018年10月
Novartis	Advanced Accelerator Applications	39億ドル	2017年11月
Bayer	Algeta	29億ドル	2013年11月

- NovartisのPluvicto(¹⁷⁷Lu-PSMA-617)は、2024年の最初の9ヶ月間で**10億4000万ドル**の売上高を記録
- Lantheusの造影剤Pylarify((piflufolostat F18)は、2024年11月時点で、年末までに売上高が**10億ドル**を超えると予測
- 複雑な規制枠組みが課題であったが、規制当局は安全性と有効性の基準を損なうことなく、承認プロセスの合理化（放射性医薬品専用の承認経路の創設や適正製造基準（GMP）への準拠等）の取り組みによって、新薬の市場参入が加速することが期待される



Forbes

Subscribe: Less than \$1.50/wk

Sign In

SMALL BUSINESS

Radiopharmaceutical Industry Trends Shaping 2025

By Stephen Belcher, Forbes Councils Member.
for Forbes Business Council, COUNCIL POST | Membership (fee-based)

Feb 20, 2025, 09:45am EST

<https://www.forbes.com/councils/forbesbusinesscouncil/2025/02/20/radiopharmaceutical-industry-trends-shaping-2025/>

MIZUHO みずほリサーチ&テクノロジーズ

#コンサルティング #リリース・お知らせ #ヘルスケア・医療

2024年12月2日

「核医学治療を取り巻く医療環境調査 報告書」公表のお知らせ

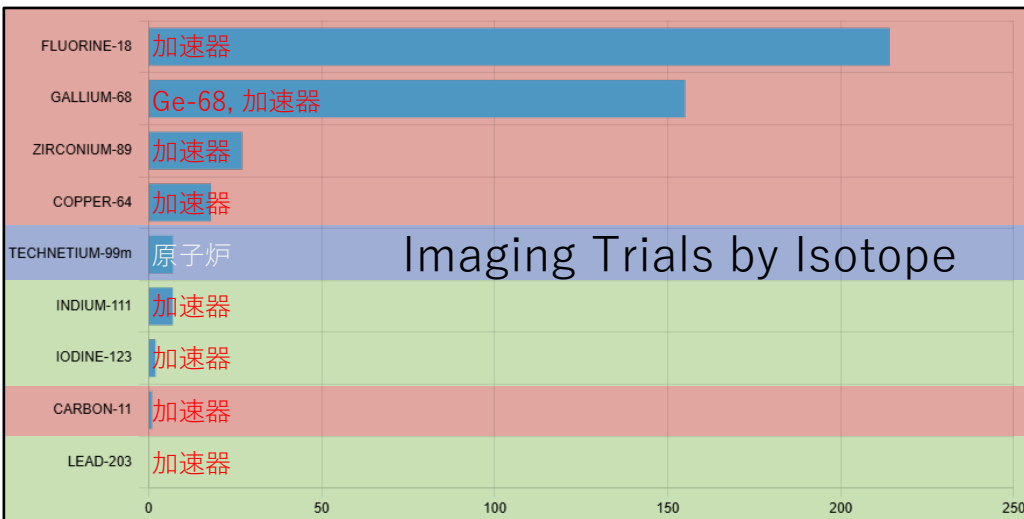
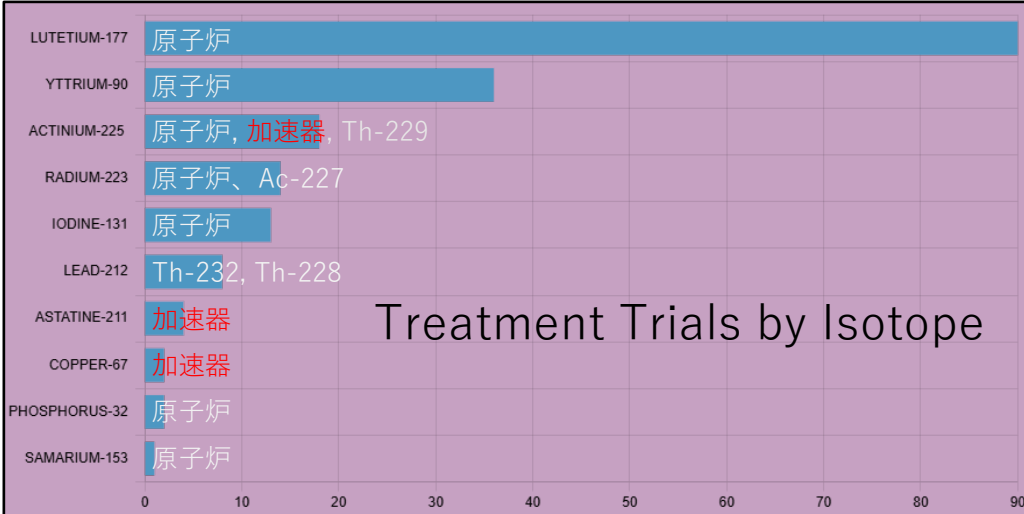
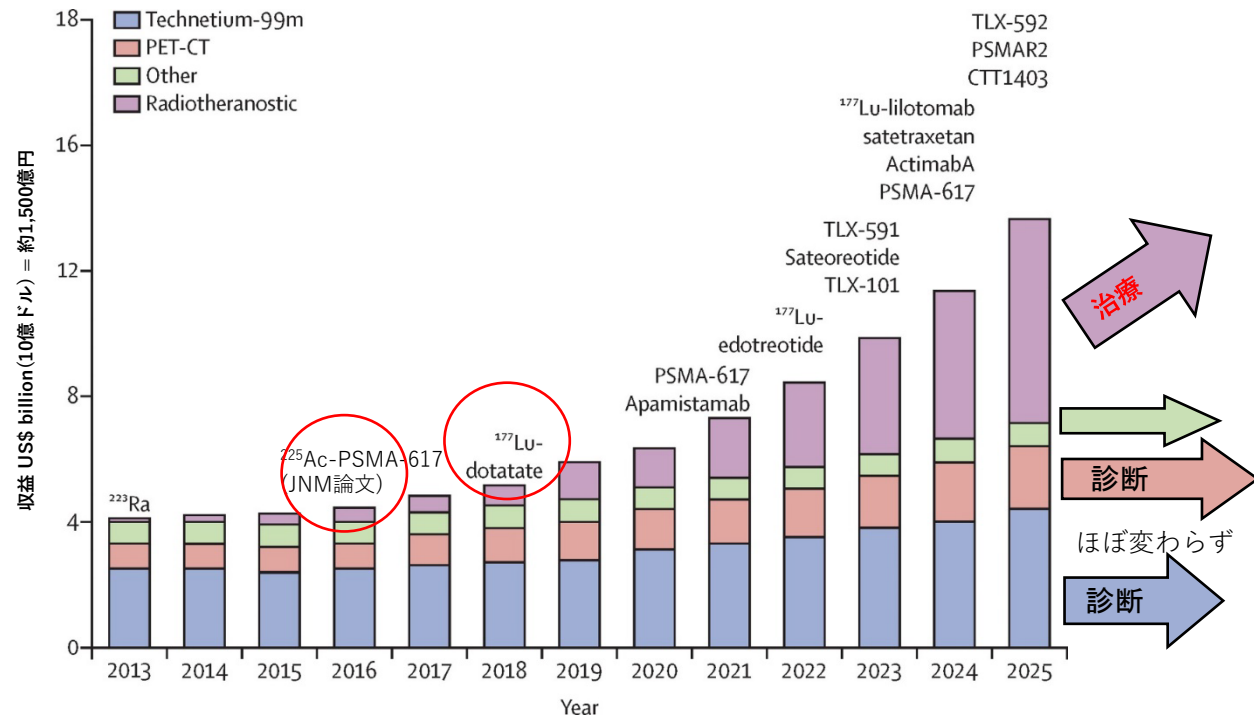
みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社

https://www.mizuho-rt.co.jp/archive/topics/2024_rnt.html

Theranostic Research Report
Source: Oppenheimer & Co. Research

<https://www.theranostictrials.org/>

放射性セラノスティックスの市場予測



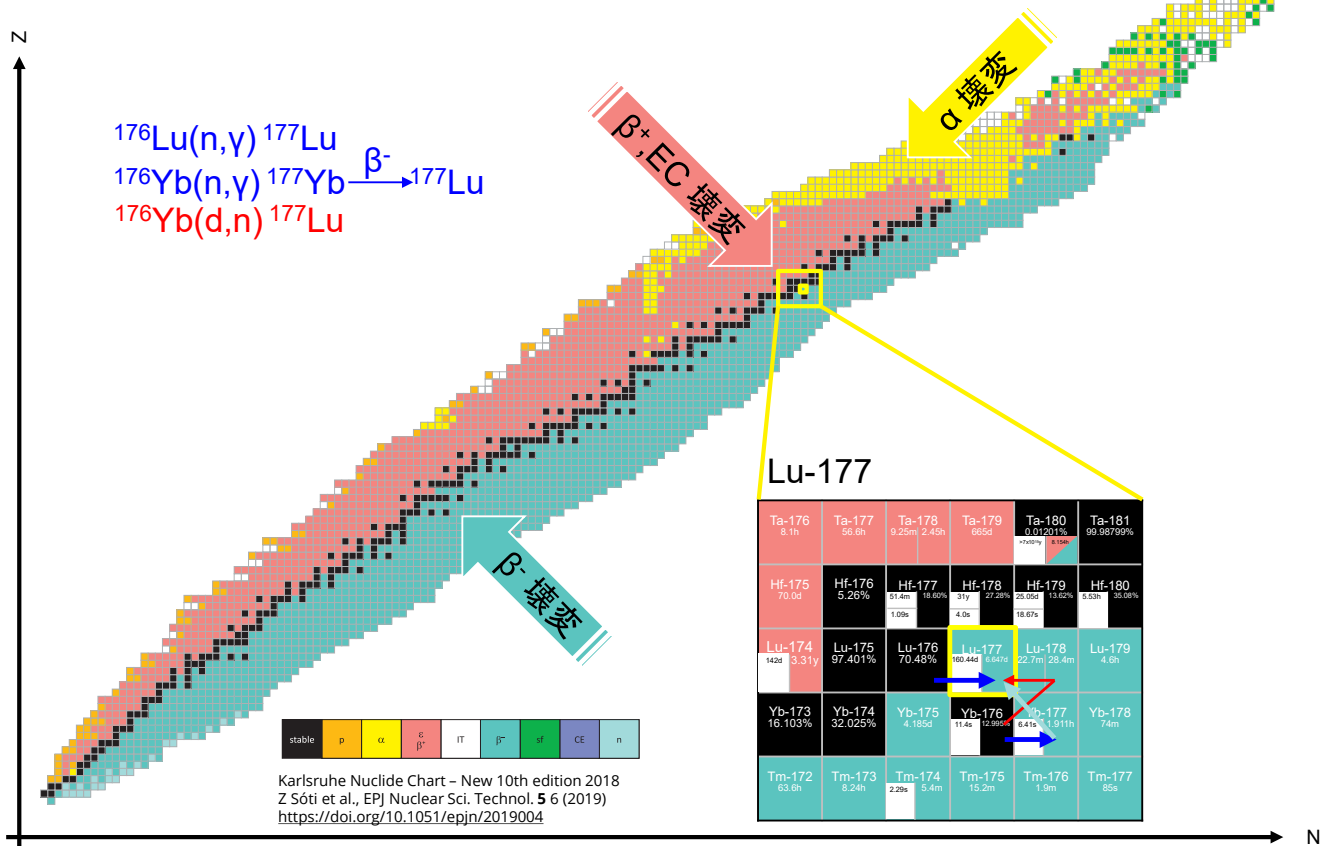
Theranostic Research Report
Source: Oppenheimer & Co. Research

<https://www.theranostictrials.org/>

治療技術の進歩に伴い、市場規模が飛躍的に上昇
多くの資本家・ベンチャー企業が参入

Herrmann K, Schwaiger M, Lewis JS, Solomon SB, McNeil BJ, Baumann M, Gambhir SS, Hricak H, Weissleder R. Radiotheranostics: a roadmap for future development. Lancet Oncol. 2020 Mar;21(3):e146-e156.
Paul-Emmanuel Goethals and Richard Zimmermann (Nuclear Medicine MEDraysintell Report & Directory, July 2019)

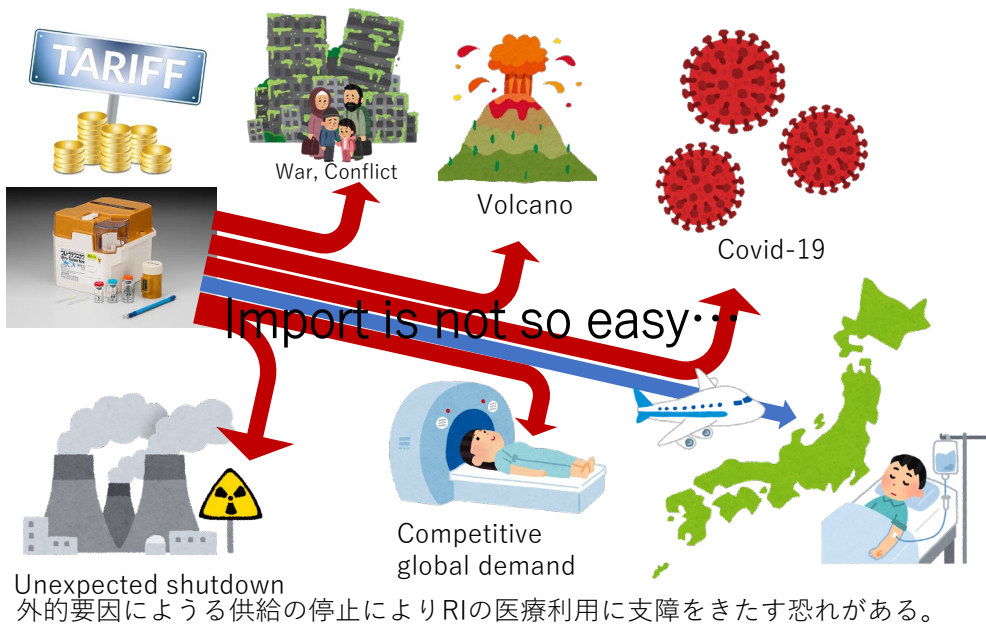
Lu-177の製造と供給



1995年の閣議決定により、日本原子力研究所（現在のJAEA）は放射性同位元素製造頒布事業の合理化をすすめ、アイソトープ部を解散した結果、原子炉でのRI製造の研究開発が停滞
2011~14年以降研究用原子炉は運転を停止
→β-放射体（⁹⁰Y, ¹⁷⁷Luなど）で研究開発を行うには費用対効果が低い海外からの輸入が前提
2017年以降KUR, JRR-3Mが研究用に利用可能→製造研究開発がようやく始まったものの、KURは2026年5月で利用停止。残るはJRR-3Mのみ（常陽もある）

Israel	BR-2	HFR	Yes/Yes
Canada (AtomVie/CPDC)			
Germany	BR-2	OPAL	Yes/No
Australia - ANSTO	HFR	SAFARI	
	FRM-2	ILL (FR)	
Germany		Bruce NPP (Canada)	Yes/No
Russia		RIAR, other (Russia)	Yes/Yes
Canada		McMasters RR	No/Yes
Turkey	BR-2	HFR	Yes/Yes
USA	MURR		Yes/Yes
Netherlands	HFR		Yes/Yes
Indiana USA (2023?)	INM?	(RU)	
Poland		Maria	No/Yes
USA	MURR		Yes/No

International Workshop on Medical Radioisotopes Supply, Oct 30-31, 2023 @ OECD Head Quarter, Paris, France



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恐れがある。

各国の支援体制



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

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

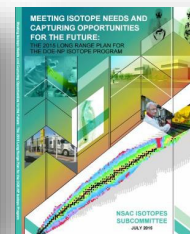
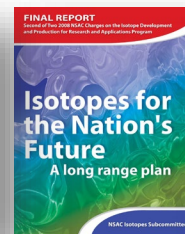
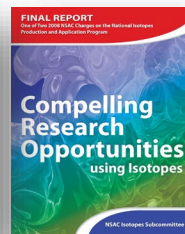
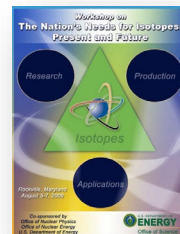
(4) ラジオアイソトープ製造・利用のための研究基盤や人材、ネットワークの強化

- ・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



U.S. DEPARTMENT OF
ENERGY

Office of
Science

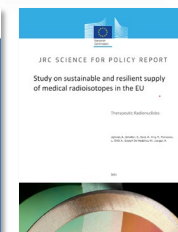


EU



SAMIRA: Strategic Agenda
for Medical Ionizing
Radiation Applications

Establishing a European Radioisotope Valley Initiative (ERV) aiming to maintain Europe's global leadership role in the supply of medical radioisotopes and help accelerate the development and introduction of new radioisotopes and production methods.



China



医用同位素中长期发展规划
(2021-2035年)
Medium and Long-term
Development Plan for
Medical Isotopes (2021-
2035)



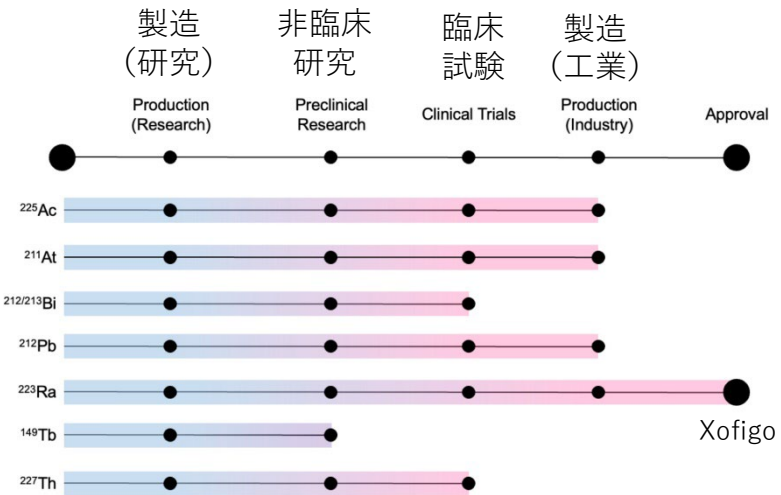
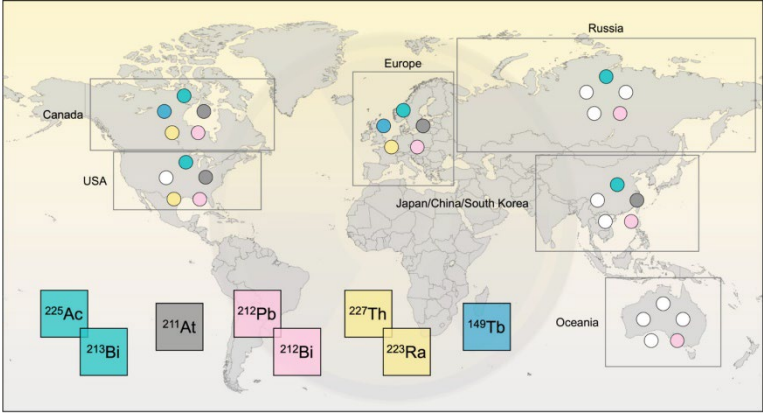
This is the China's first special plan for a single area of nuclear technology application. Planning for the development of medical isotopes, the production, the radioactive drugs research and development, health policy, industrial layout, and other important aspects for the deployment.

Canada



有望なアルファ線放出核種（ α 放射体）

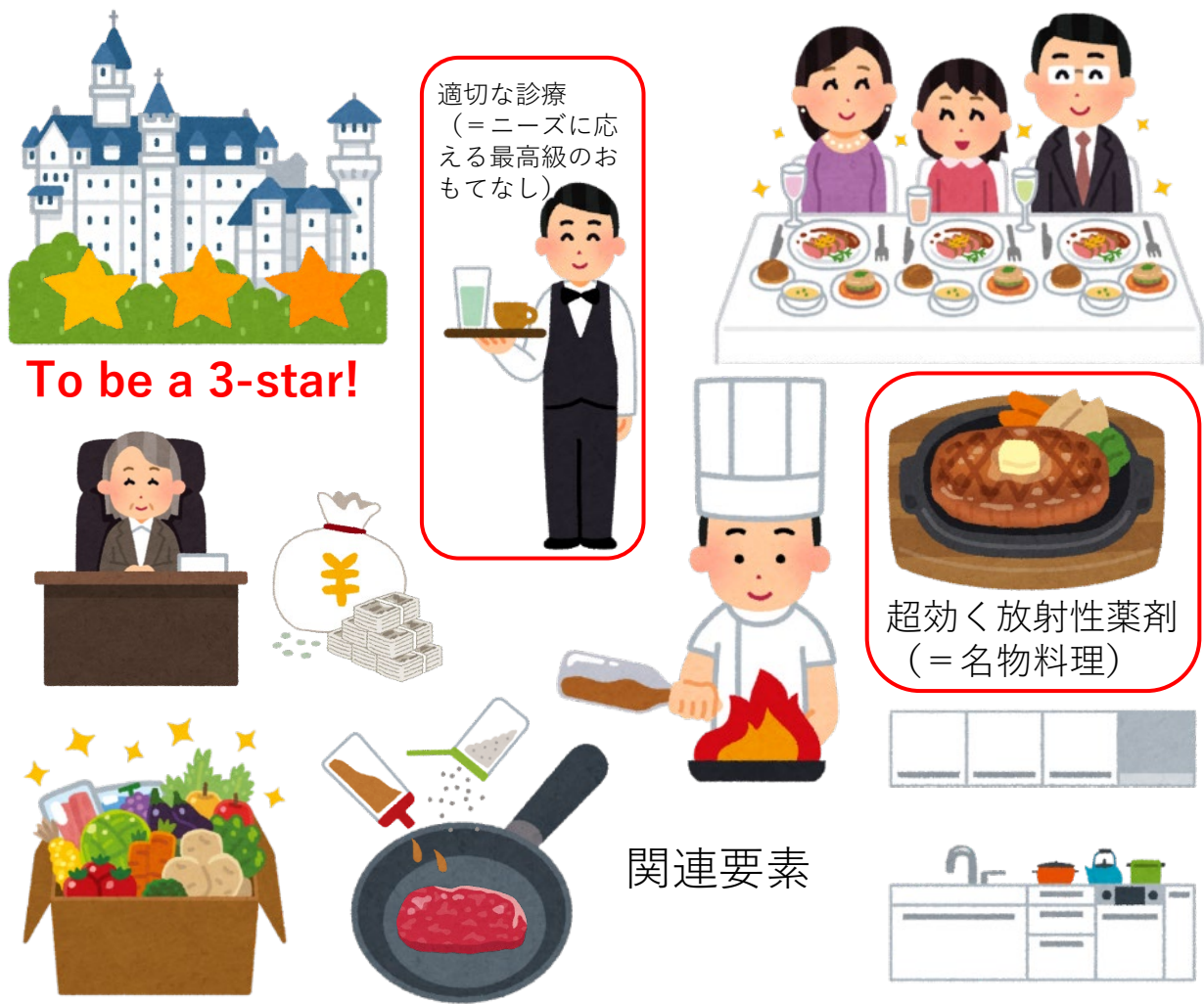
放射性核種 (ラジオアイソトープ)	半減期	平均エネルギー [MeV]	平均到達距離: 飛程[μm]	製造方法
^{149}Tb	4.12 時間	3.968	26.7	サイクロトロン
^{211}At	7.21 時間	5.867	48.1	サイクロトロン
$^{212}\text{Pb}/^{212}\text{Bi}$	60.6 分	6.050	50.4	^{228}Th -ジェネレータ
^{227}Th	18.7 日	5.883	48.3	^{227}Ac -ジェネレータ
^{223}Ra	11.4 日	5.667	45.6	^{227}Ac -ジェネレータ
^{225}Ac	10.0 日	5.787	47.1	^{229}Th -ジェネレータ サイクロトロン
^{213}Bi	45.6 分	5.846	47.8	^{225}Ac -generator
^{230}U	20.8 日	5.864	48.0	サイクロトロン
^{226}Th	30.6 日	6.308	53.8	^{230}U -ジェネレータ



Tosato et al., Nuclear Medicine and Biology, **142-143**, 108990 (2025).

放射性医薬品開発に必要な要素とは？

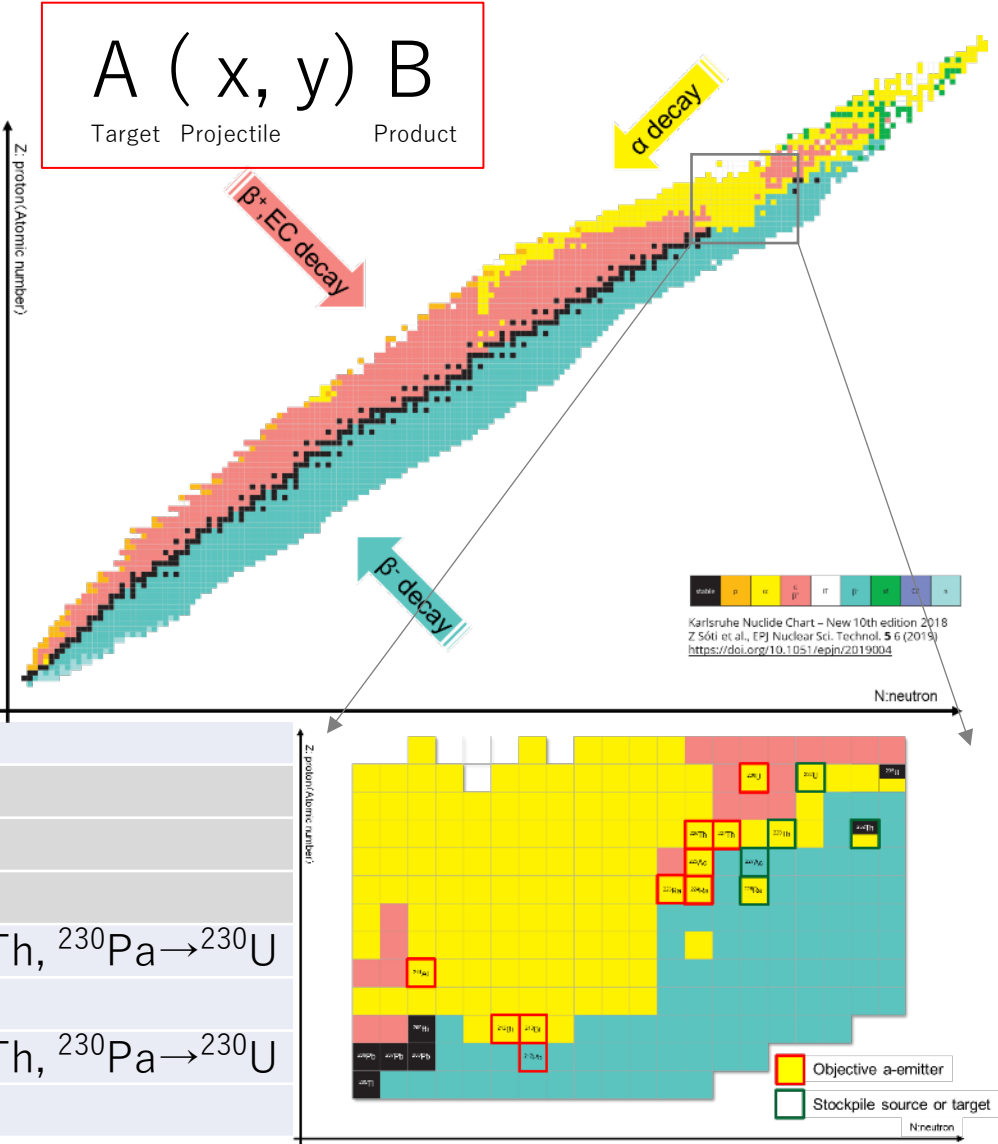
三つ星レストランになるために



関連要素	標識放射性薬剤の場合
肉、魚、野菜、その他の食材	ターゲット材料 (^{209}Bi , ^{226}Ra , ^{176}Yb , ^{100}Mo , ^{18}O etc濃縮同位体)
ソース	抗体やペプチド、医療支援技術等
システムキッチン	装置建屋
ヒーター、オーブン	加速器・原子炉
熱 (炎)	加速粒子・中性子
シェフ、パティシエ	研究者
フロアスタッフ	医療スタッフ
チーフスタッフ	医師
マネージャー	施設長 (病院長?)
レストラン	病院
運転資金、利益	利益、競争的資金など

アルファ放射体製造用ターゲットと入射粒子

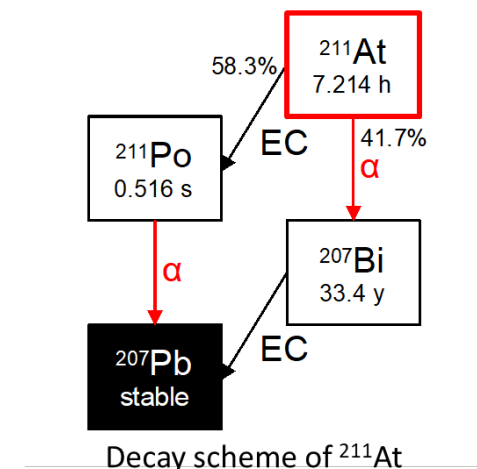
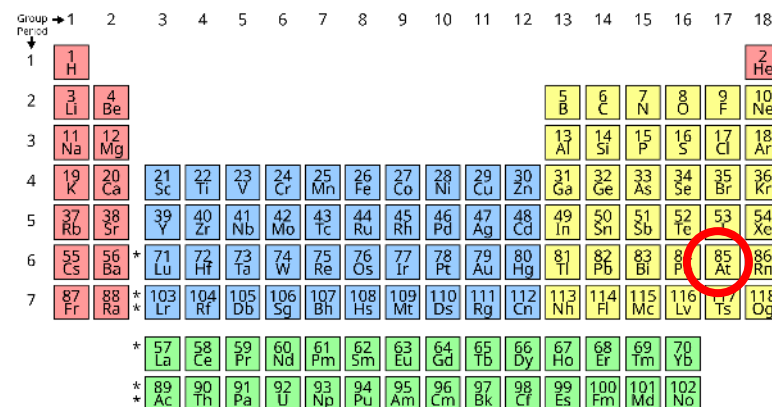
標的	入射粒子	生成核
^{209}Bi 安定核 ($2.01 \times 10^{19} \text{ y}$)	^4He	$^{211}\text{At} : ^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)^{211}\text{At}$
	^6Li	^{211}Rn
	^7Li	^{211}Rn
^{226}Ra 1600 y	e	$^{225}\text{Ra} \rightarrow ^{225}\text{Ac}$
	n (thermal)	$^{227}\text{Ac}, ^{228}\text{Th}, ^{229}\text{Th}$
	n (fast)	$^{225}\text{Ra} \rightarrow ^{225}\text{Ac}$
	p (low)	^{225}Ac
	d	^{225}Ac
^{230}Th $7.54 \times 10^4 \text{ y}$	e	^{229}Th
	n (fast)	^{229}Th
	p (low)	$^{229}\text{Pa} \rightarrow ^{229}\text{Th}, ^{230}\text{Pa} \rightarrow ^{230}\text{U}$
	^3He	^{230}U
^{231}Pa $3.276 \times 10^4 \text{ y}$	n (fast)	$^{230}\text{Pa} \rightarrow ^{230}\text{U}$
	p (low)	^{230}U
	d	^{230}U
^{232}Th $1.40 \times 10^{10} \text{ y}$	e (high)	$^{211}\text{At}, ^{211}\text{Rn}, ^{223}\text{Ra}, ^{225}\text{Ac}, ^{227}\text{Th}, ^{230}\text{Pa} \rightarrow ^{230}\text{U}$
	p (low)	$^{230}\text{Pa} \rightarrow ^{230}\text{U}, ^{229}\text{Pa} \rightarrow ^{229}\text{Th}$
	p (high)	$^{211}\text{At}, ^{211}\text{Rn}, ^{223}\text{Ra}, ^{225}\text{Ac}, ^{227}\text{Th}, ^{230}\text{Pa} \rightarrow ^{230}\text{U}$
	d	$^{230}\text{Pa} \rightarrow ^{230}\text{U}, ^{229}\text{Pa} \rightarrow ^{229}\text{Th}$



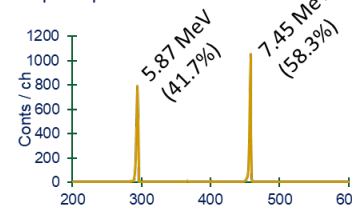
アスタチン-211(^{211}At)



- 物化**
 - 半減期(7.21時間)は、放射性医薬品の調製に要する時間に対して十分な長さである。
- 化**
 - 周期表のハロゲン族に属する。
- 物生**
 - ^{211}At で標識したペプチドまたは免疫複合体を投与した場合、その半減期は生体内で有効な線量を蓄積するのに適している。
- 物**
 - $^{211}\text{At}/^{211}\text{Po}$ から放出されるアルファ粒子のエネルギー(5.9および7.4MeV)は治療に適している。
- 物**
 - ^{211}Po から放出されるX線は計数に使用でき、画像診断に適している。
- 物**
 - 核反応がシンプルで不要なR Iを生み出さない
- 物**
 - 充分減衰すれば ^{207}Bi のみとなり、管理がしやすい

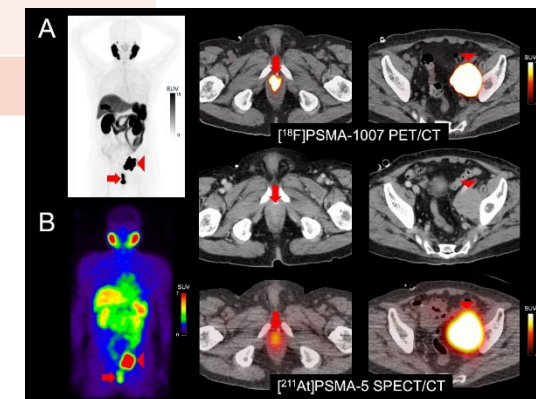
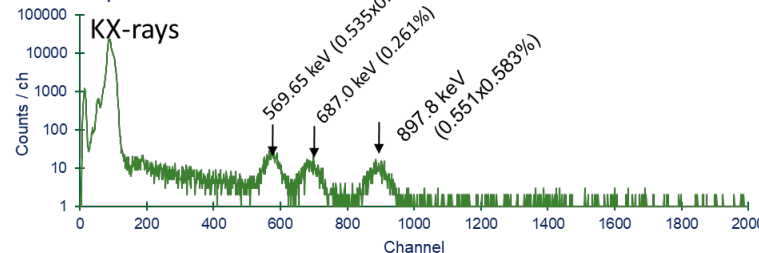


Alpha spectrum of ^{211}At



^{211}At	放射線のエネルギー(放出率)
α 線	5869.5 keV (41.80%) 7450 keV, ^{211}Po (58.20% x 98.916%)
β 線	なし
γ 線 とX線	79.290 keV (21.07%) 76.862 keV (12.65%)

Gamma spectrum of ^{211}At



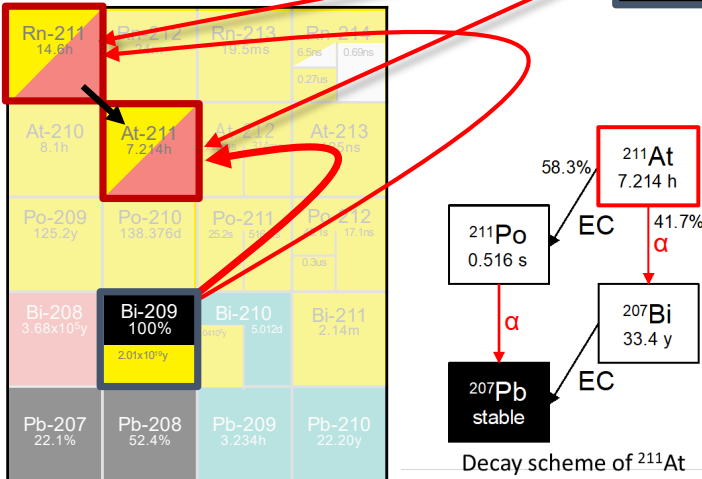
Watabe et al., Eur J Nucl Med Mol Imaging (2024).
<https://doi.org/10.1007/s00259-024-07017-w>

国内の ^{211}At の製造拠点 (5+1)

^{211}At ($T_{1/2}=7.214\text{h}$)

製造拠点		製造方法と最大電流 ^{211}At の化学分離方法	開始年
Research Center for Nuclear Physics(RCNP) , Osaka University		$^{209}\text{Bi}(\alpha,2n)^{211}\text{At}$, 5? e.μA 乾式分離法	1980~ 医学利用 2015~
Takasaki Ion Accelerators for Advanced Radiation Application(TIARA) , Takasaki Advanced Radiation Research Institute, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology(QST) or QST(Takasaki)		$^{209}\text{Bi}(\alpha,2n)^{211}\text{At}$, 4.5 e.μA 乾式と湿式分離法	2012
Quantum Medical Science Directorate , National Institute of Radiological Sciences(NIRS), National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology(QST) or QST(Chiba)		$^{209}\text{Bi}(\alpha,2n)^{211}\text{At}$, 10-13 e.μA 乾式分離法	2013
Nishina Center for Accelerator-Based Science , Institute of Physical and Chemical Research(RIKEN)		$^{209}\text{Bi}(\alpha,2n)^{211}\text{At}$, 35 pμA 乾式分離法	2015
Advanced Clinical Research Center(ACRC) , Fukushima Medical University(FMU)		$^{209}\text{Bi}(\alpha,2n)^{211}\text{At}$, 20 eμA 乾式分離法	2016
The tandem accelerator facility , Nuclear Science Research Institute, Japan Atomic Energy Agency(JAEA)		$^{209}\text{Bi}(^7\text{Li},5n)^{211}\text{Rn}/^{211}\text{At}$, 乾式と湿式分離法	2011

製造法



Infra.	Projectile	Production Route
加速器	$\alpha < 29\text{MeV}$	$^{209}\text{Bi}(\alpha,2n)^{211}\text{At}$
加速器	$^7\text{Li} > 60\text{MeV}$	$^{209}\text{Bi}(^7\text{Li},5n)^{211}\text{Rn} \xrightarrow{\text{EC}} ^{211}\text{At}$
加速器	$^6\text{Li} > 50\text{MeV}$	$^{209}\text{Bi}(^6\text{Li},4n)^{211}\text{Rn} \xrightarrow{\text{EC}} ^{211}\text{At}$
加速器	$p > 70\text{MeV}$	$^{232}\text{Th}(p,\text{spall}) ^{211}\text{Rn} \xrightarrow{\text{EC}} ^{211}\text{At}$



K140 AVF サイクロトロン (RCNP, 阪大)



AVF 930 サイクロトロン (QST 高崎)



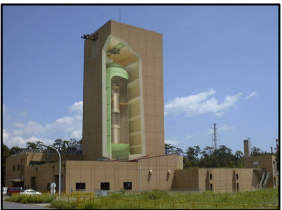
NIRS AVF-930 (QST 千葉)



SHI AVF (K-70) (理研)



SHI MP-30 (ACRC, 福島医大)



タンデム加速器 (JAEA)

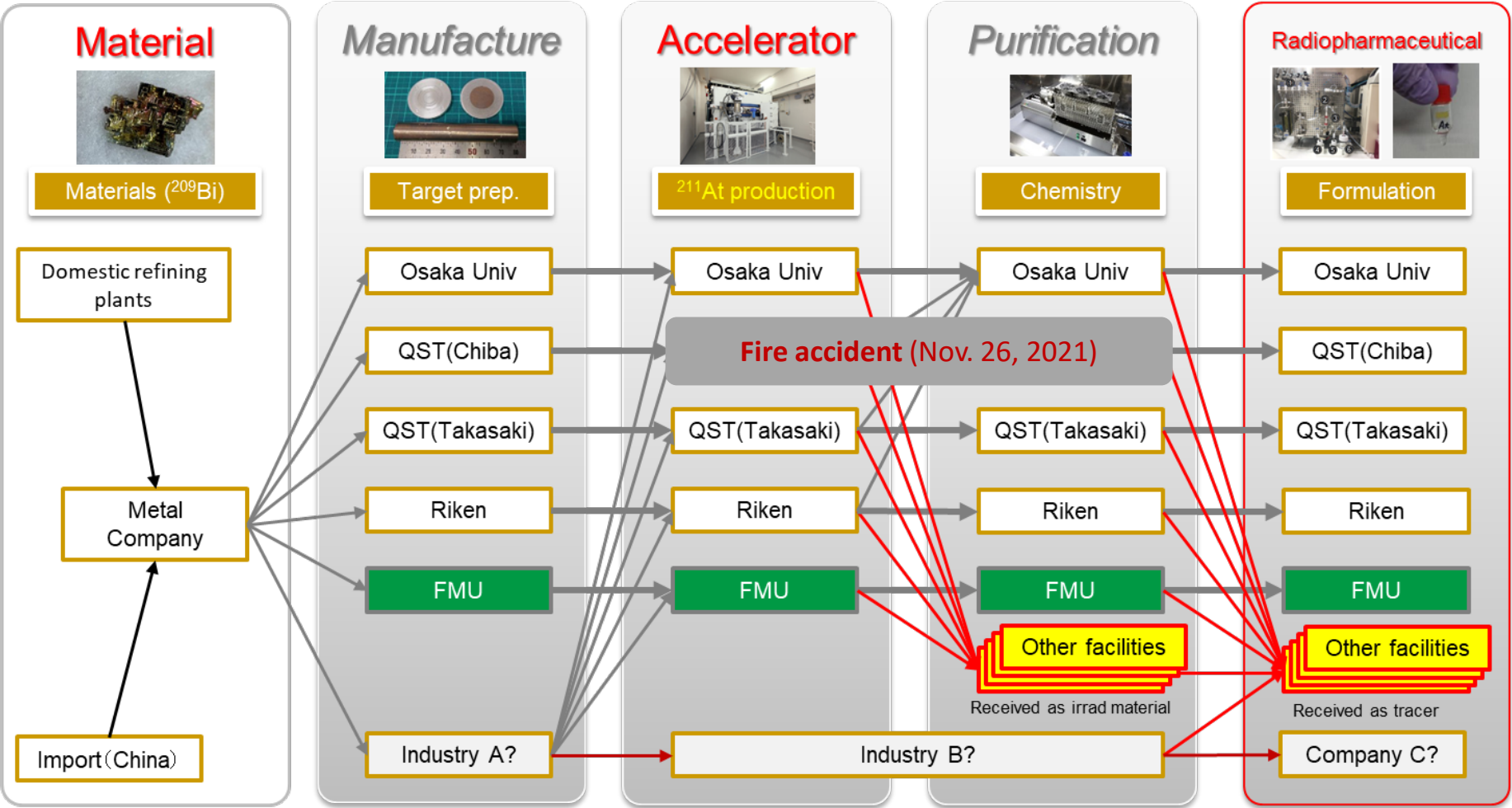
ASCO 2012: Bayer Phase-3 ALSYMPCA trial shows ^{223}Ra prolongs OS in bone metastases of castration-resistant prostate cancer patients
→ US FDA approval on May 15, 2013; EU EMA approval on November 13, 2013
→ Japan approval on March 28, 2016

By Cabinet decision in 1995, the Japan Atomic Energy Research Institute (now JAEA) rationalized its radioisotope production and distribution business. It dissolved its Isotope Division, resulting in the stagnation of research and development for RI production at nuclear reactors.

Research reactors have been out of operation for a long time since 2011→Research and development of β^- -emitters (^{90}Y , ^{177}Lu , etc.) is premised on imports from overseas, which is not cost-effective.

国内の ^{211}At の製造拠点 (5+1)

サプライチェーン



For irradiation, facilities with accelerators capable of accelerating alpha beams up to 28 MeV are essential. Target processing depends on the geometry of the irradiation device, so we usually do it ourselves.

製造拠点地図



短寿命RIプラットフォームと RIコラボティブ学際領域展開プラットフォーム

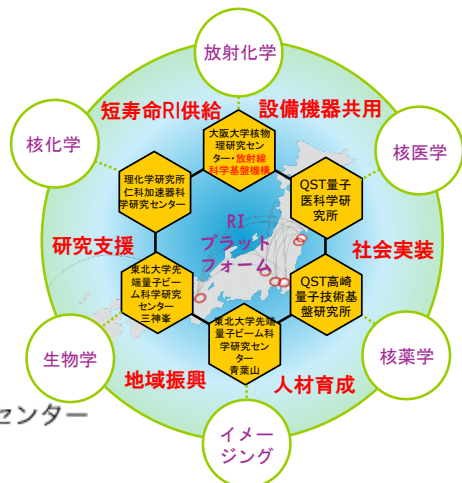
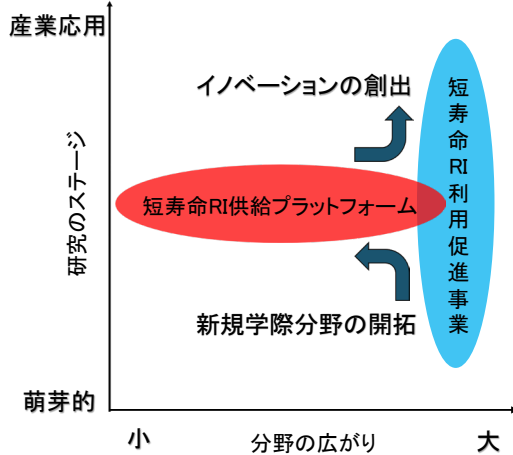
購入不可能なRIを持続的に提供する環境の整備

文部科学省 科学研究費助成事業
学術変革領域研究(学術研究支援基盤形成)

短寿命RI 供給プラットフォーム

2016年から実施

- 研究用RIの年間を通じた安定な供給とその安全な取り扱いのための技術的な支援を行う
 - 日本アイソトープ協会などからは購入できない短寿命RIの供給
 - 世界最高レベルの加速器施設の連合体による速やかで安定な供給
 - 幅広い分野の基礎研究の推進を支援
 - 国際共同利用・共同研究拠点である阪大RCNPに窓口を一元化、利便性を格段に改善し、利用者を拡大



共同利用・共同研究システム形成事業
学際領域展開ハブ形成プログラム

RIIP RIコラボティブ 学際領域展開 プラットフォーム

- ◆ 2023年度に発足
- ◆ 短寿命RI供給PFを構成する6つの加速器機関に、さらに大阪大学放射線科学基盤機構 (IRS) が連携
- ◆ 科研費採択前の萌芽的な幅広い分野の研究、成果公開に同意いただける企業研究者による研究に短寿命RIを供給
- ◆ 新規ユーザーや学生に対するRI利用に関する技術的な支援
- ◆ 課題の解決策を提供する研究コンサルティング
- ◆ 短寿命RIの効率的な製造技術を開発・継承
- ◆ 非密封RIの安全な取り扱い技術を有する専門人材の育成

日本におけるアスタチンの研究で得られた新しい知見（化学的&生物学的観点から）



千葉大学
CHIBA UNIVERSITY



東京工業大学
Tokyo Institute of Technology



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY



QST

令和3年10月29日
国立大学法人千葉大学
国立大学法人東京工業大学
国立大学法人大阪大学
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

生体内で安定して機能するアスタチン-211 標識法を開発
より有効で安全な核医学治療への応用に期待

千葉大学、東京工業大学、大阪大学放射線科学基盤機構、量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所の共同研究グループは、生体内で安定して機能するアスタチン-211 (²¹¹At) ^{注1)}を用いる新しい標識法を開発しました。²¹¹At はがんやバセドウ病などの治療で行われる核医学治療^{注2)}への応用が期待されるアルファ線^{注3)}という放射線を放出する原子であり、これまでに²¹¹Atを結合した様々な放射性薬剤が開発されています。しかし、従来の薬剤では生体への投与後に、²¹¹Atが脱離してしまうことに伴う正常組織への放射能集積が観察されており、副作用が懸念されていました。本手法により²¹¹Atと炭素の結合が安定化されたことから、今後より有効で安全な治療薬の開発への応用が期待されます。

本研究成果は、2021年10月28日（木）午後7時（日本時間）にJournal of Medicinal Chemistry誌に掲載されました。

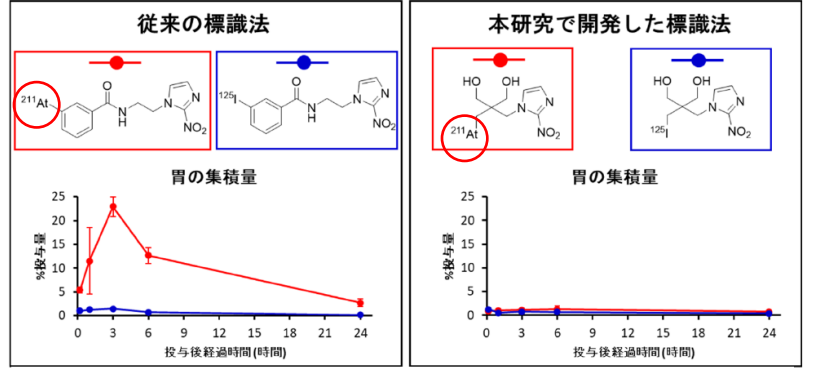


図2. 2種類の標識法で作製した²¹¹At、及び放射性ヨウ素標識モデル化合物をマウスに投与した後の胃への集積（赤：²¹¹At、青：放射性ヨウ素）。ネオペンチル構造を利用して作製した²¹¹At標識モデル化合物の集積量は低値であったが（右）、従来法で作製したモデル化合物では胃に高い放射能が観察された（左）。

https://www.chiba-u.ac.jp/general/publicity/press/files/2021/20211029_1.pdf から引用、抜粋

これらの研究成果は今後のアスタチン化学の理解と創薬の基礎として重要な知見である。



ACS
OMEGA

国立がん研究センター
と理化学研究所

<https://pubs.acs.org/journal/acsomega> Article

Stabilization of an ²¹¹At-Labeled Antibody with Sodium Ascorbate

Shino Manabe,* Hiroki Takashima, Kazunobu Ohnuki, Yoshikatsu Koga, Ryo Tsumura, Nozomi Iwata, Yang Wang, Takuya Yokokita, Yukiko Komori, Sachiko Usuda, Daiki Mori, Hiromitsu Haba, Hirofumi Fujii, Masahiro Yasunaga, and Yasuhiro Matsumura*

 Cite This: ACS Omega 2021, 6, 14887–14895  Read Online

<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsomega.1c00684>

Ohnuki et al. EJNMMI Physics (2022) 9:39
<https://doi.org/10.1186/s40658-022-00469-9>

国立がん研究センター
と理化学研究所

EJNMMI Physics

SHORT COMMUNICATION Open Access

Protection from contamination by ²¹¹At, an enigmatic but promising alpha-particle-emitting radionuclide

Kazunobu Ohnuki¹, Mitsuyoshi Yoshimoto¹, Hiromitsu Haba², Shino Manabe^{3,4}, Hiroki Takashima⁵, Masahiro Yasunaga⁵, Yasumasa Takenaka⁶ and Hirofumi Fujii^{1*}

<https://ejnmiphys.springeropen.com/articles/10.1186/s40658-022-00469-9>

Paper Radiation Safety Management Vol. 18 (16–22)

Dispersal rates of astatine-211 from aqueous solutions and chloroform

大阪大学

Atsushi TOYOSHIMA^{1,2*}, Kojiro NAGATA^{2,3}, Kazuhiro OOE^{1,2,4}, Zijian ZHANG^{2,5}, Takumi IKEDA⁵, Soichiro ICHIMURA⁵, Honoka OBATA⁵, Takashi YOSHIMURA^{2,3,6} and Atsushi SHINOHARA^{2,5,7}

¹Division of Science, Institute for Radiation Sciences, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan
²Project Research Center for Fundamental Sciences, Graduate School of Science, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan
³Radioisotope Research Center, Institute for Radiation Sciences, Osaka University, Suita, Osaka 565-0871, Japan
⁴Department of Nuclear Medicine and Tracer Kinetics, Osaka University Graduate School of Medicine, Suita, Osaka 565-0871, Japan
⁵Department of Chemistry, Graduate School of Science, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan
⁶Division of Safety Management, Institute for Radiation Sciences, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan
⁷Division of Education, Institute for Radiation Sciences, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan

Received Apr. 23, 2019; accepted Jul. 10, 2019

https://www.jstage.jst.go.jp/article/rsm/18/0/18_190423/_pdf/-char/ja

News Release



金沢大学
KANAZAWA



HaKaSe+



公立大学法人
福島県立医科大学

がんの標的α線治療の効果増大を目指した
ラジオセラノスティクス用薬剤を開発
—より効果的なα線治療への応用に期待—

金沢大学新学術創成研究機構の小川数馬教授、三代憲司准教授、大学院医薬保健学総合研究科薬学専攻/次世代精鋭人材開発プロジェクト選抜学生（博士課程2年）の越後拓亮、医薬保健研究域薬学系の淵上剛志准教授、宗兼将之助教、福島県立医科大学の高橋和弘教授、鷺山幸信准教授らの共同研究グループは、At-211（※1）によるがんの標的α線治療（※2）の効果増大を目指したアルブミン結合部位（※3）含有ラジオセラノスティクス（※4）用薬剤の開発に成功しました。

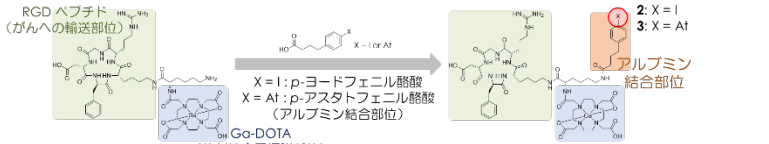


図1：開発した薬剤の構造式

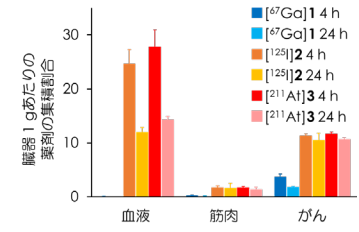


図2：化合物⁶⁷Ga1、¹²⁵I2及び²¹¹At3の
担がんマウスにおける体内放射能分布
化合物¹²⁵I2と²¹¹At3は類似した体内分布を示し、
化合物⁶⁷Ga1と比較して血中滞留性が増大し、がん
に高く集積・保持された。

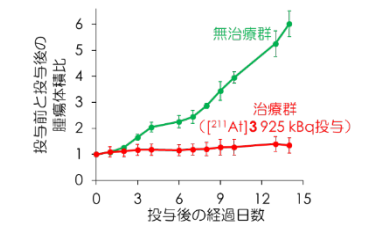
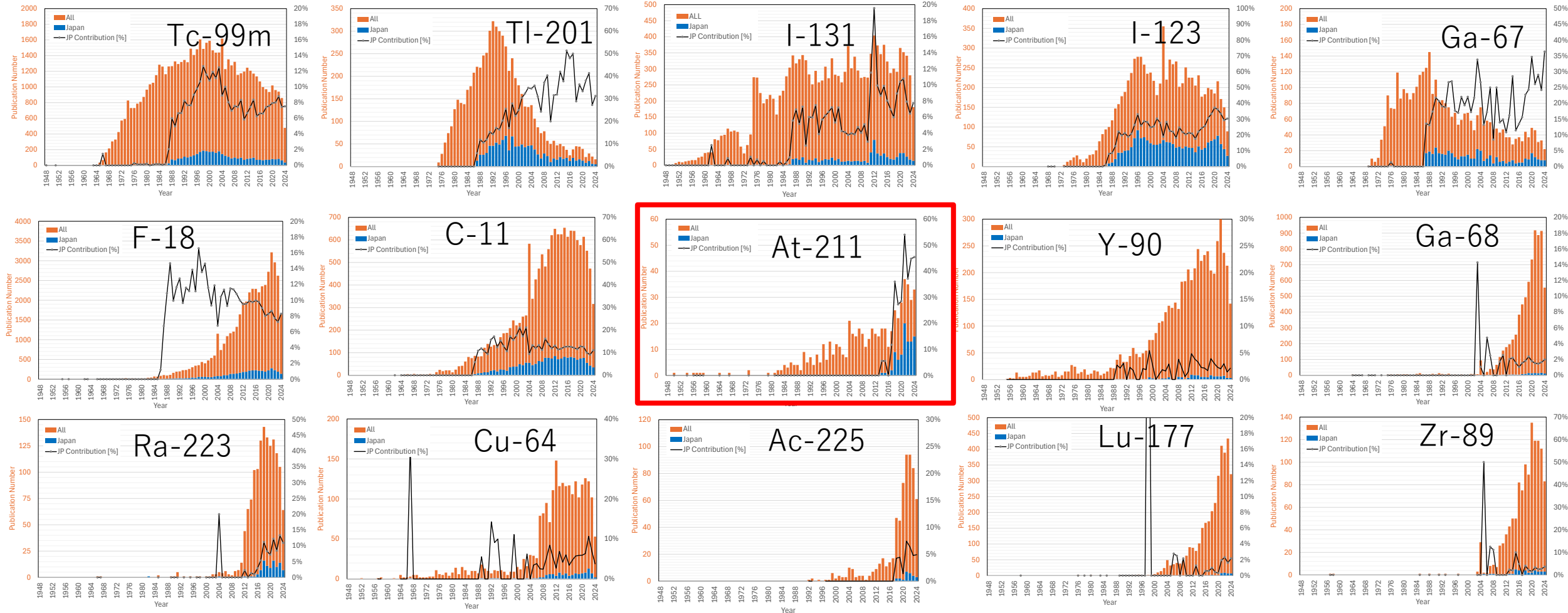


図3：化合物²¹¹At3の担がんマウス
における治療実験
化合物²¹¹At3を投与した治療群は無
治療群と比較して有意な腫瘍の増殖抑
制効果を示した。

Eur J of Nucl Med Mol Imaging. 2024, 51(2), 412–421. DOI: 10.1007/s00259-023-06457-0

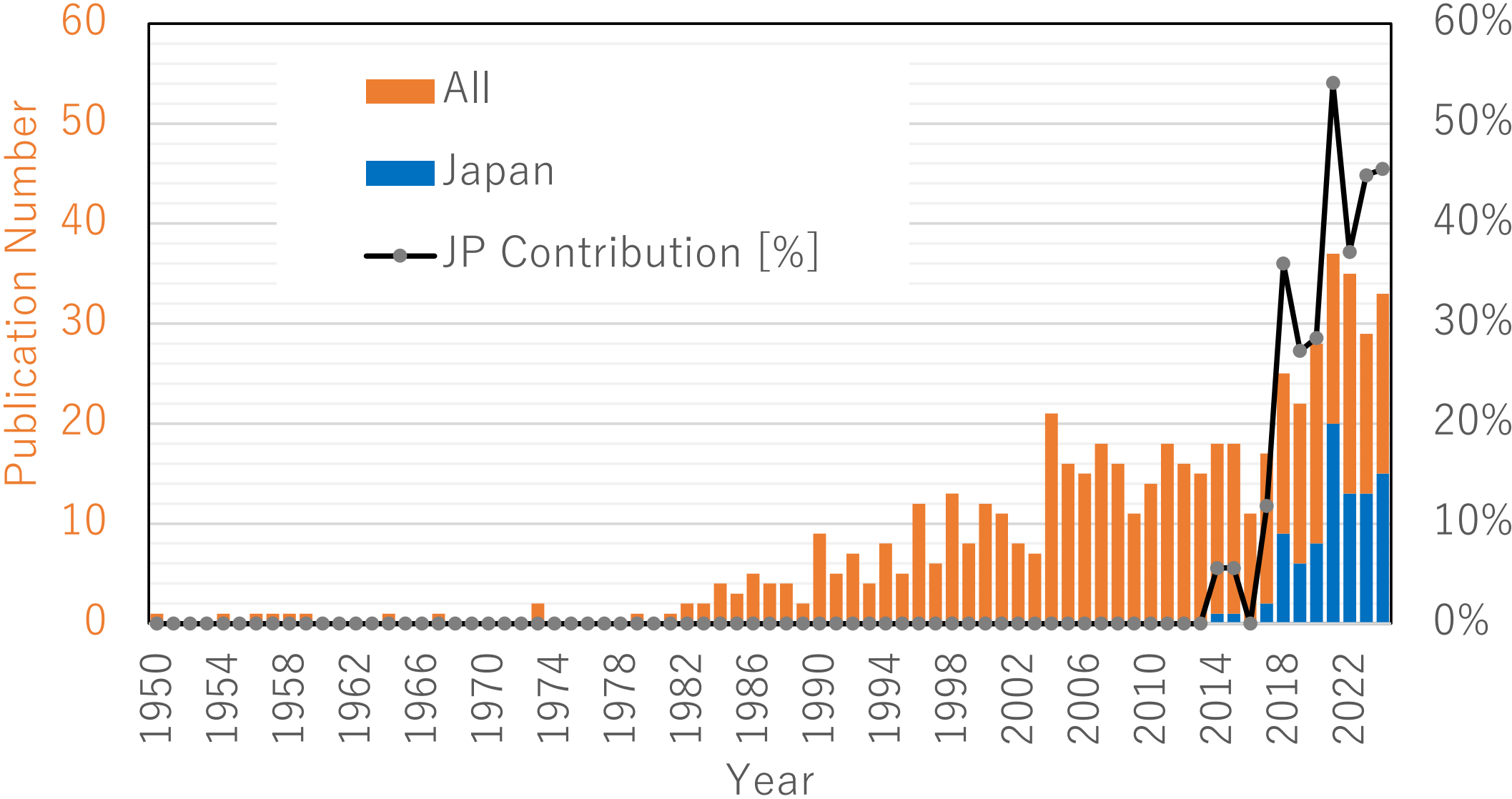
医学データベース (PubMed) に基づく論文動向調査



How to search and graph: In PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>), search for example "131I OR Iodine-131", then search for "Japan" AND (131I OR Iodine- 131). The difference between the two results is related to "total minus Japan" and displayed as a stacked bar graph.

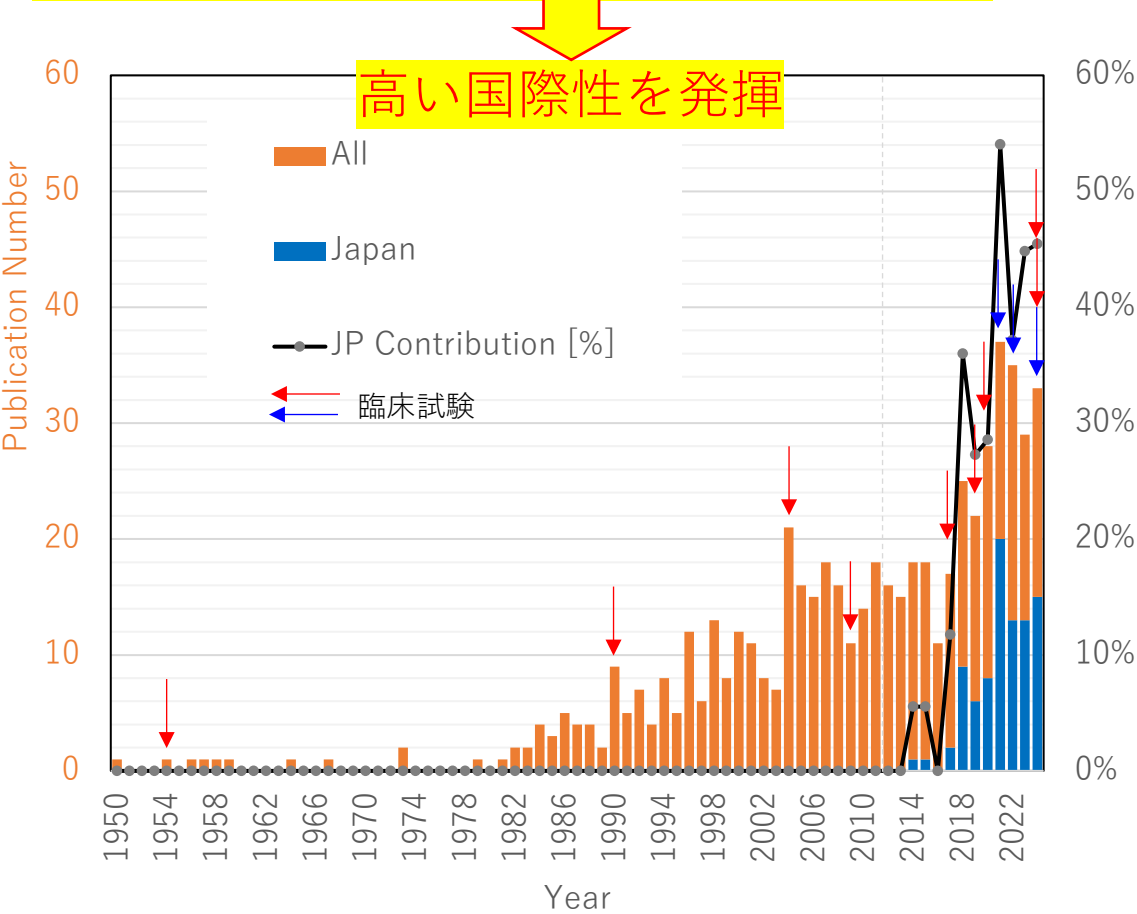


出版された²¹¹Atの論文に占める日本の割合 (PubMed調べ)



アスタチンの基礎及び臨床応用に向けた取り組みの推進のために

世界の研究を牽引し世界の研究の発展に貢献
日本独自の研究としての高い価値の創出



世界で実施中の²¹¹At標識薬剤の臨床試験

実施施設	薬剤名	対象疾患	患者数 (予定)	臨床	参照元 No.
アメリカ合衆国 ワシントン州 フレッド・ハッチソン がんセンター (米国)	[²¹¹ At]-BC8-B10	高リスク急性骨髄性白血病、急性リンパ性白血病、骨髄異形成症候群	50	I/ II	NCT03128034 (2017-)
	[²¹¹ At]-BC8-B10	再発性または難治性の高リスク急性白血病または骨髄異形成症候群	30	I/ II	NCT03670966 (2019-)
	[²¹¹ At]-BC8-B10	非悪性疾患	40	I/ II	NCT04083183 (2020-)
	[²¹¹ At]-OAK10-B10	多発性骨髄腫	30	I	NCT04579523 (2024-)
	[²¹¹ At]-OAK10-B10	新規診断、再発、または難治性の高リスク多発性骨髄腫	24	I	NCT04466475 (2024-)
大阪大学医学部 附属病院 (大阪, 日本)	[²¹¹ At]-NaAt	難治性甲状腺がん	11	I	NCT05275946 (Nov. 2021~)
福島県立医科大学 (福島, 日本)	[²¹¹ At]-MABG	悪性褐色細胞種/ パラグングリオーマ	18 (最大)	I	jRCT2021220012 (Oct. 2022~)
大阪大学医学部 附属病院 (大阪, 日本)	[²¹¹ At]-PSMA-5	難治性前立腺がん	15	I	NCT06441994 (May. 2024~)

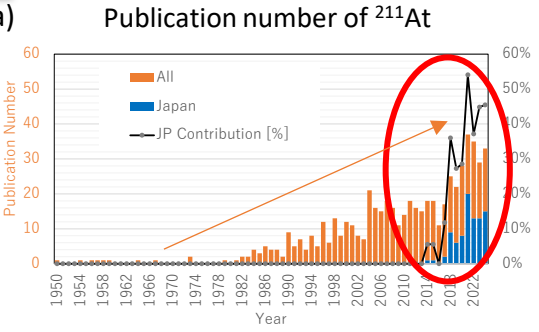
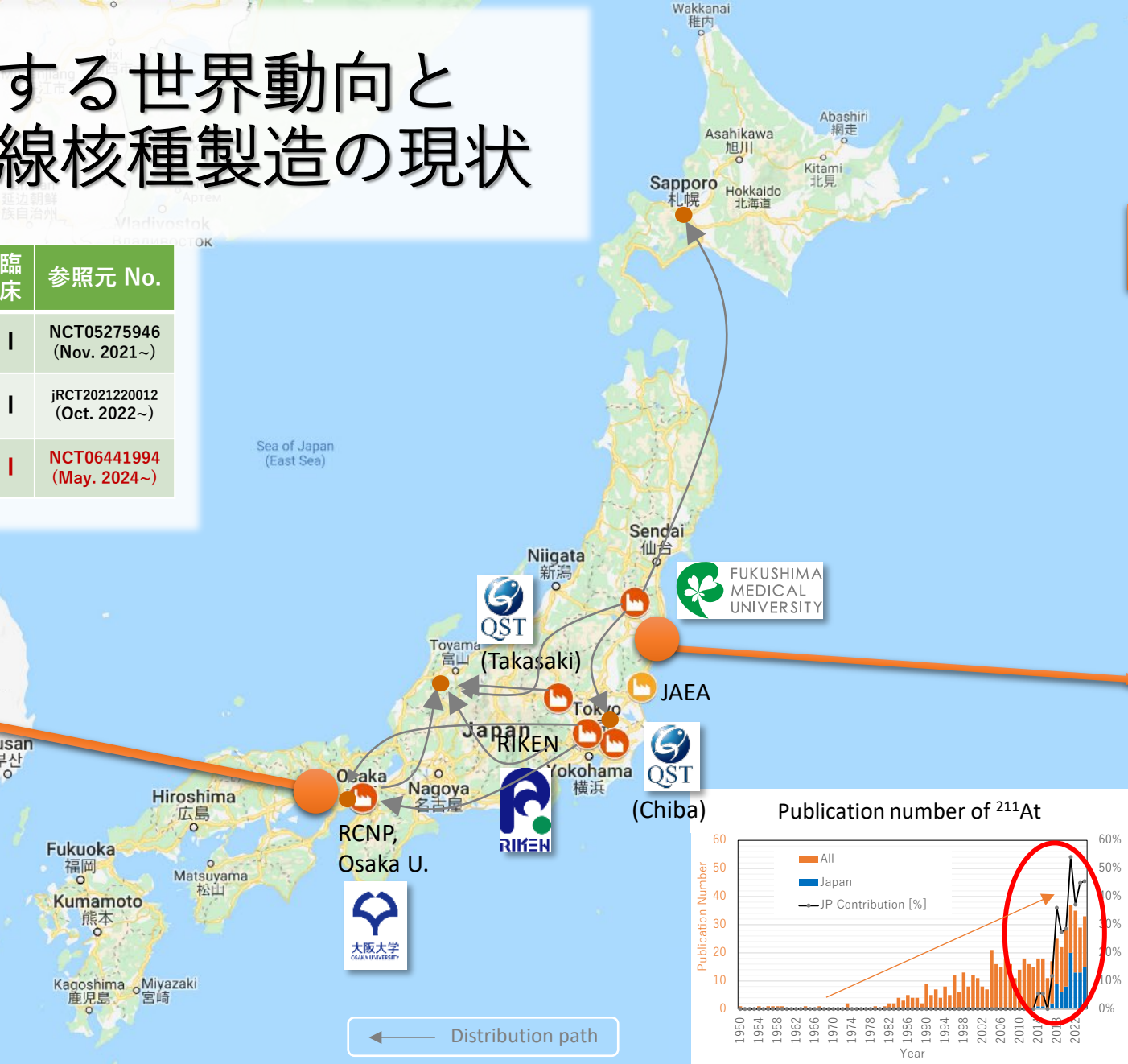
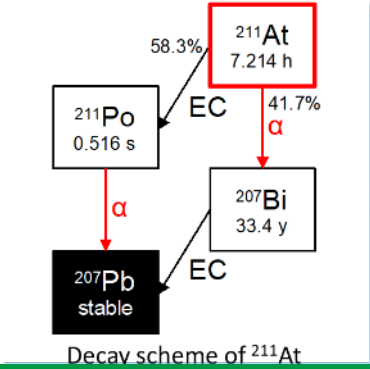
標的α線治療に関する世界動向と 日本国内でのα線核種製造の現状

実施施設	薬剤名	対象疾患	患者数 (予定)	臨床	参照元 No.
大阪大学医学部 附属病院 (大阪, 日本)	[²¹¹ At]NaAt	難治性甲状腺がん	11	I	NCT05275946 (Nov. 2021~)
福島県立 医科大学 (福島, 日本)	[²¹¹ At]MABG	悪性褐色細胞種/ パラガングリオーマ	18 (最大)	I	JRCT2021220012 (Oct. 2022~)
大阪大学医学部 附属病院 (大阪, 日本)	[²¹¹ At]At PSMA-5	難治性前立腺がん	15	I	NCT06441994 (May. 2024~)

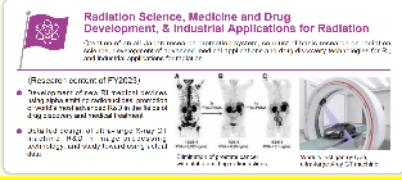
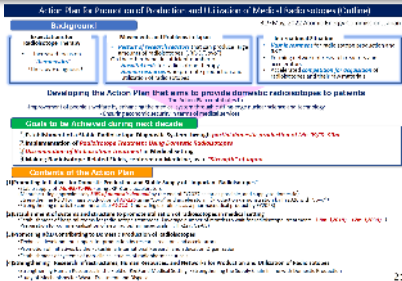


Center for Astatine Nuclear
Medicine Therapeutics (CANMT)
at Osaka University

Collaboration with



The Action Plan for supporting the
production of medical radioisotopes
such as ⁹⁹Mo/ ^{99m}Tc, ²²⁵Ac, and ²¹¹At



日本アスタチンコミュニティ Japan Astatine Community



9つの活動:

1. World Astatine Community (WAC)とミッションを共有し、日本における**WACの窓口**として機能する。
2. 日本における**技術的進歩と臨床的エビデンス**を世界のステークホルダーに**提供**する。
3. グローバルな技術的進歩と臨床的エビデンスを国内のステークホルダーに提供する。
4. 日本における**WAC関連の国際会議・会合を主催**し、WACの活動を支援する。
5. ^{211}At を用いた核医学治療の**社会実装に必要な産学官連携を支援**する。
6. 日本における ^{211}At を用いた**基礎科学の振興と人材育成活動を支援**する。
7. 複数の臨床試験を実施するのに十分な ^{211}At 生産量を持つ供給ネットワークを日本国内で**実現**し、世界にモデルケースとして提示する。
8. 信頼性の高い ^{211}At 標識薬剤の**標識・生産体制の構築**を目指す。
9. ^{211}At 標識薬剤を用いた**臨床試験の情報等も、核医学関係者と積極的に共有**する。

5つの目標・アウトカム:

1. 国内アスタチン供給ネットワークの構築と強化
2. 核医学関係者へのアスタチンに関する最新の技術や専門情報の提供
3. アスタチン標識薬剤製造の国際標準化に向けた検討
4. WACを中心とする国際ネットワークへのアクセス
5. 学術界から産業界への迅速な技術移転の促進

参加メンバーの一例

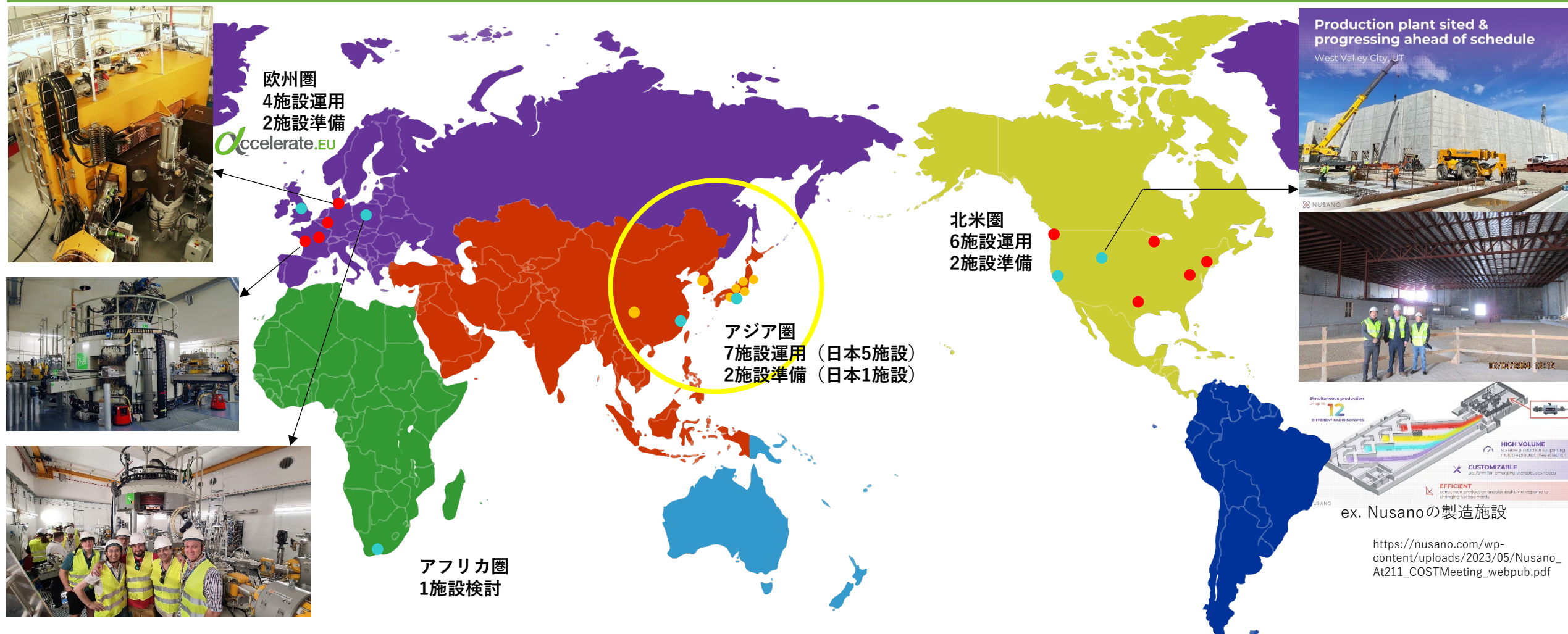


第1回 国内検討委員会@愛媛県新居浜市 (SHI Factory)

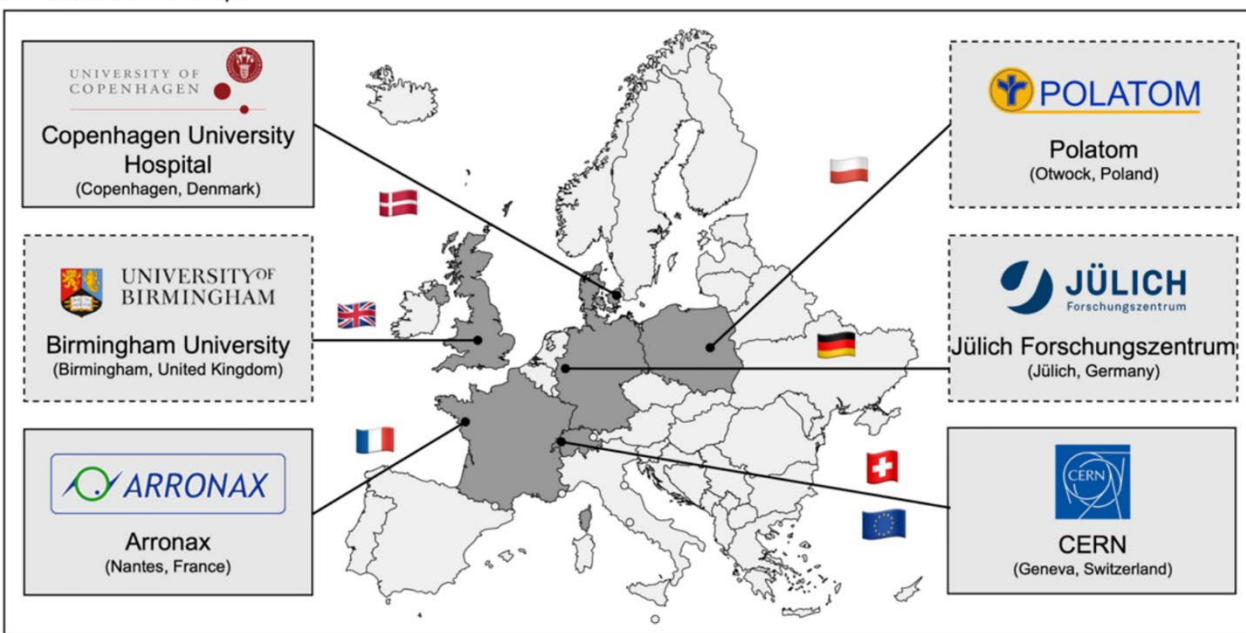


^{211}At production site in the World in 2024

World map

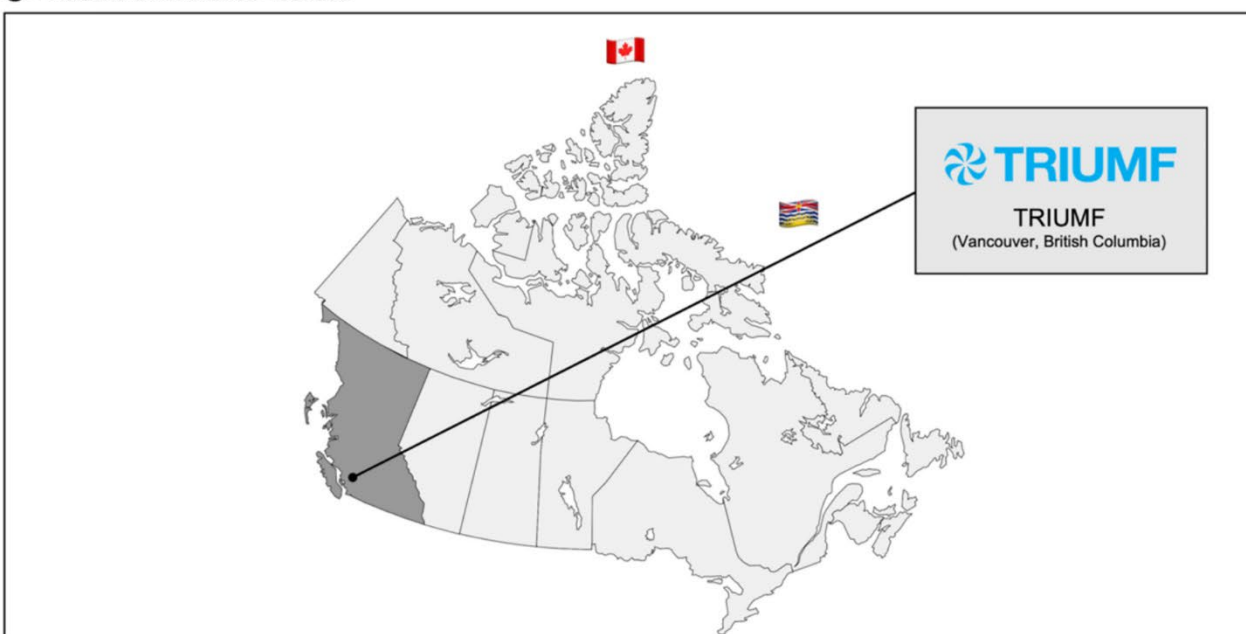


A - Astatine-211: Europe

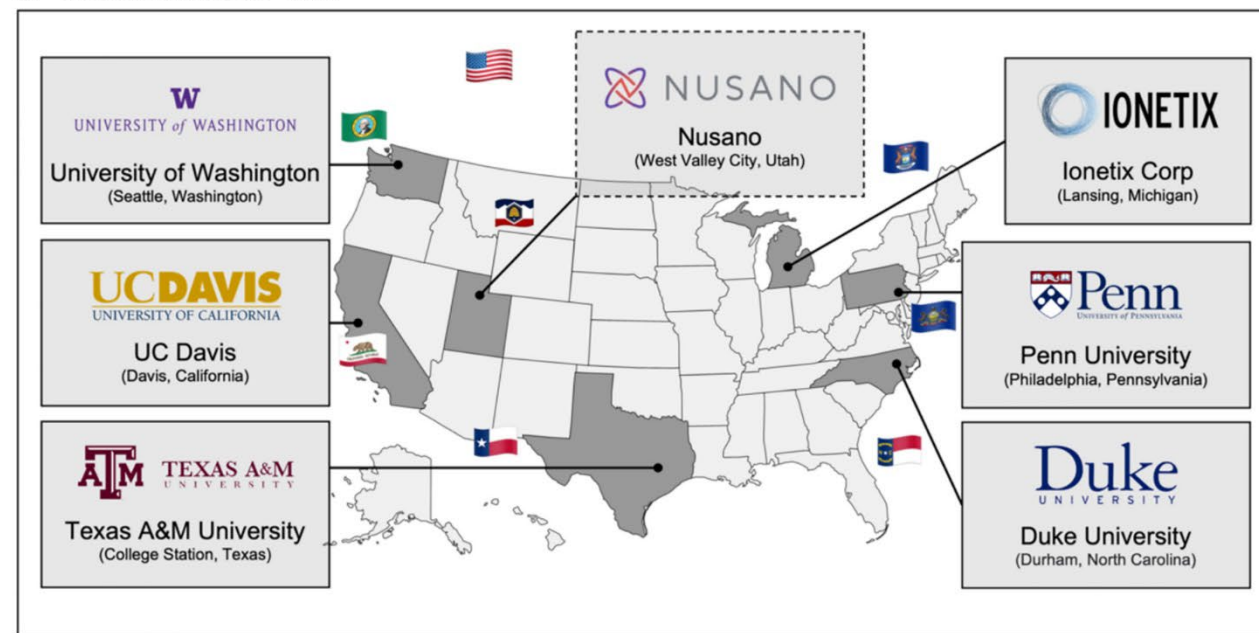


²¹¹At atlas: (A) Europe, (B) North America – US, (C) North America – Canada and (D) Asia (note: TRIUMF and CERN can produce ²¹¹At indirectly via ²¹¹Rn/²¹¹At generator). Facilities that are under construction or recently completed, but not yet fully operational are in a box outlined with a dotted line. Tosato et al., Alpha Atlas: Mapping global production of α -emitting radionuclides for targeted alpha therapy, Nuclear Medicine and Biology, **142–143**, 108990 (2025). DOI:10.1016/j.nucmedbio.2024.108990.

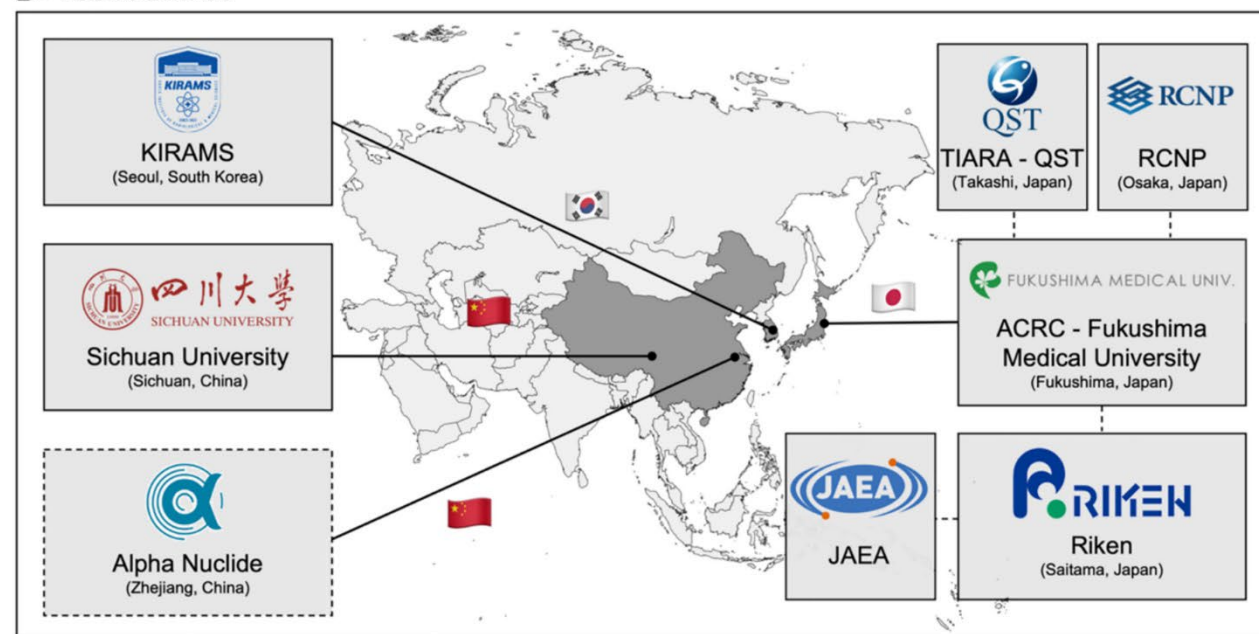
C - Astatine-211: America - Canada



B - Astatine-211: America - USA



D - Astatine-211: Asia



World Astatine Community



目標：公平なアクセスを念頭に置き、世界規模でアスタチンの生産を促進すること。

TAT12

March 1, 2023



Partner

- University Isotope Network (UIN), DOE IP
- NOAR COST Action (Network for Optimized Astatine labeled Radiopharmaceuticals (<https://astatine-net.eu/>))
- South Africa: NTP?
- JAC (Japan Astatine Community)
- South Korea: Korea Institute of Radiological and Medical Sciences (KIRAMS)
- Industrial members

WACは、それぞれの国または組織が設立した地域製造ネットワーク間のコミュニケーション、技術移転、共同研究を促進することを目的としている。これにより、アスタチン-211の生産能力を世界的に向上させるための提携が可能になり、アスタチン-211の入手可能性が高まることで臨床的関心が高まる。



2023/3/1, 12th Int'l Sym on TATでWACの設立を宣言

2023/2/28, 日米欧+IAEAのAt関係者間でWACの基本構想に合意



World Astatine Community





March 22-24, 2024
7th Theranostics World Congress
Santiago, Chile

11:45 - 12:30 Industry Session V
Joint Symposium

211AT INDUSTRIALS WITHIN THE WORLD ASTATINE COMMUNITY (WAC)

- Introduction of WAC
Jean-Francois Gestin, Ethan Balkin, Kohshin Washiyama
- Industrial presentations
Sumitomo Heavy industries (Taki Kazuya), Toshiba (Yasuhiro Suzuki), Ionetix (David Eve), Nusano (Gregory Moffitt), Atley Solutions (Milton Lönroth), Tetrakit (Andreas Jensen), Astathera (Michael Zalutsky), Alpha fusion (Sunao Fujioka)



March 24, 2024

Industrial Partners





WORLD COUNCIL ON ISOTOPES

WCI

WORLD COUNCIL ON ISOTOPES

Newsletter

Promotes safe and environmentally sound use of isotope technologies for global wellbeing.

2024 April
Vol.13 – Issue 4

CONTENTS

01 Lead Article	1
02 Isotope-related News	9
03 Sketches from the Secretariat	18
04 Future Conferences and Events	26
05 Annoucement	31

Paul Dickman President
Jong Kyung Kim Immediate Past President
Bernard Ponsard President-Elect
Bernard Ponsard Chair, Industrial Applications
Keon Wook Kang Chair, Industrial Medical Applications
Carlo R. Chemaly Chair, Info.Exchange & Coop.
Syed M. Qaim Chair, Education and Training
Meera Venkatesh Chair, Publication
Paul Dickman Chair, ICI Coordination
Ira N. Goldman Chair, Long-Term Funding
Chung Taek Park Secretary-General

WCI Secretariat
18F Seoul Forest IT Valley 77 Seongsuil-ro,
Seongdong-gu, Seoul, Korea
TEL: +82-2-3490-7150
Email: secretary@wci-ici.org
www.wci-ici.org

01. Lead Article

The World Astatine Community:
the global network for
sharing experience and
knowledge of astatine-211.



Dr. Jean-François Gestin
Professor
University of Nantes, France
Head of COST NOAR Action
(www.astatine-net.eu)
Head of Chemistry and Radiochemistry
Nuclear Oncology Research Team



Dr. Kohshin Washiyama
Associate Professor
Advanced Clinical Research Center,
Fukushima Global Medical Science
Center, Fukushima Medical
University and Representative of
Japan Astatine Community (JAC)



Dr. Kyo Chul Lee
Principal Research Scientist
Head of division, Division of Applied RI
Korea Institute of Radiological & Medical
Sciences

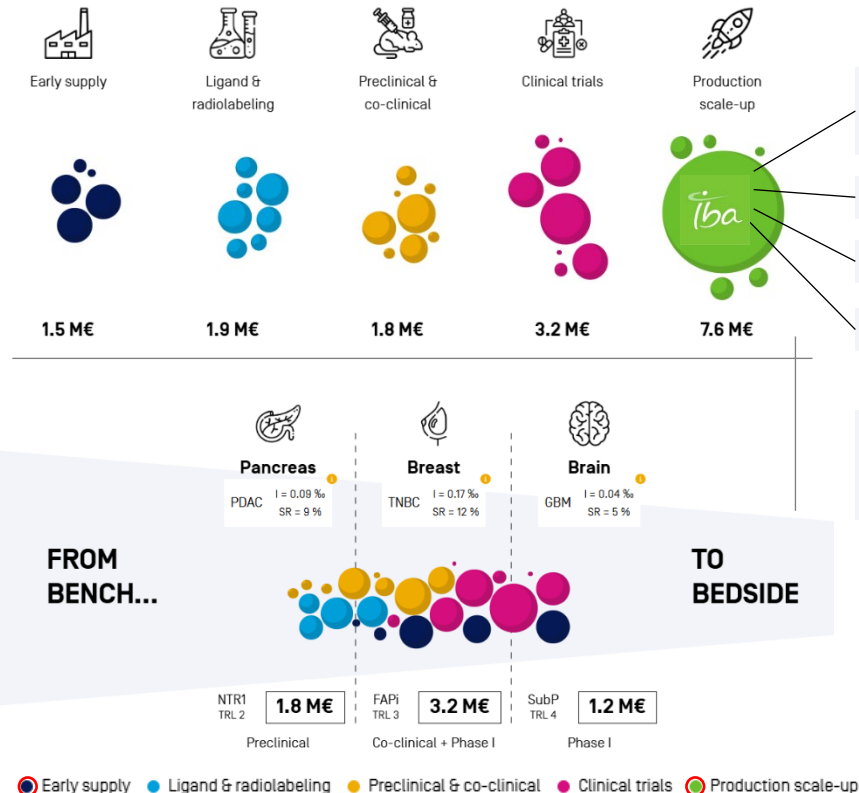


Dr. Ethan R. Balkin
Federal Program Manager
for Radioisotope Production R&D
Office of Isotope R&D and
Production, DOE Isotope Program
U.S. Department of Energy, Office
of Science



このプロジェクトは、革新的健康イニシアチブ（IHI）の下で欧州委員会から800万ユーロの資金を確保し、業界パートナーからも同額の現物寄付を受けている。このコラボレーションには、9か国にわたる17のヨーロッパの主要機関と企業が集まり、学術的専門知識と産業革新が融合されている。このプロジェクトは、[ブリュッセル大学病院ジュール・ボルデ研究所](#)と[IBA](#)が共同でコーディネートしている。

ACCELERATE.EU は、膵臓がん、乳がん、脳腫瘍などの悪性がんを標的とする、アルファ放射体アスタチン 211 (^{211}At) を使用した新しい放射線治療ペアの開発を先導するプロジェクト。革新的な治療法と新世代の小型サイクロトロンを組み合わせることで、このプロジェクトはがん治療の成果を向上させ、臨床現場でこれらの高度な治療法をより利用しやすくすることを目指している。



16MEur = 約26億円

- α放射体アスタチン ^{211}At の生産と臨床応用のための完全なバリューチェーンを構築する
- ^{211}At のための専門チームの設置
- 革新的な産業用ターゲットリーの開発
- 更新版化学分離精製モジュールの開発

- 5年に亘って7Ci(259GBq)の ^{211}At の供給
- ^{211}At 製造ネットワークを可能にする専用サイクロトロン
- アンメットメディカルニーズに対応する臨床試験
- テラノスティクスを加速する革新的共同臨床アプローチ



<https://ihi-accelerate.eu/>

- 01/10/2024
European Commission's approval of financing for the Accelerate.EU project
- 08/10/2024
Official public announcement of the project
- 18/10/2024
Kick-off meeting in Hamburg
- 01/10/2025
Production capacity and production schedules mapped out to ensure ^{211}At availability for [pre]clinical trials
- 01/10/2025
IDMC for pilot study ^{211}At -Sub P GBM created
- 01/11/2025
Pilot study ^{211}At -Sub P GBM initiation
- 01/04/2026
Pilot study ^{211}At -Sub P GBM Regulatory and Ethics approval received
- 01/10/2026
IDMC for Phase 1 $^{123}\text{I}/^{211}\text{At}$ -DualFAPi mTNBC created
- 01/10/2026
IMPD for Phase 1 $^{123}\text{I}/^{211}\text{At}$ -DualFAPi mTNBC
- 01/04/2027
Phase 1 $^{123}\text{I}/^{211}\text{At}$ -DualFAPi mTNBC Regulatory and Ethics approval received
- 01/05/2027
Phase 1 $^{123}\text{I}/^{211}\text{At}$ -DualFAPi mTNBC initiation
- 01/01/2028
Last patient – last visit ^{211}At for both clinical trials
- 01/10/2029
Successful completion of co-clinical framework

Is ^{211}At Really Happening?

By Richard Zimmermann, Journal of Nuclear Medicine March 2025, jnumed.125.269699;

DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.125.269699>



投資家の目線から

◆ 供給体制の課題と生産能力の見積もり

- ・ バイオ医薬業界の関心の薄さは、 ^{211}At の安定した産業規模での供給体制がないことに起因。
- ・ 1サイトあたりのサイクロトロンでの生産量は、**安全な運転条件下で1日260 mCi (9.6 GBq)**、
患者用として1日22回分(年間5,720回分)の放射性薬剤の製造が可能。
- ・ 技術改善で2~4倍の増加余地あり。
- ・ 患者1人あたりの投与量は**平均10 mCi (370MBq)**と想定。

◆ グローバル展開とインフラ要件

- ・ 2半減期(約14.4時間)以内に輸送可能な距離(10時間圏内)を考慮すると、北米5拠点、欧州5拠点、豪州などに2拠点の合計12拠点で主要市場をカバー可能。
- ・ このネットワークで年間6.8万回分(約2.3万人分)の治療が可能(1人3回投与と仮定)。

◆ 事業性と投資対効果

- ・ 放射性治療薬は1回あたり米国で約4万ドル、欧州で2万ドル。平均3万ドル(約450万円[1ドル≒150円])と見積もれば、年間売上は最大20億ドル(約3,000億円)に達する可能性。
- ・ 12拠点(欧5+米5+豪2)の構築コストは1拠点約2,000万ドル × 12=約2.5億ドル。
- ・ 1薬剤に対しネットワークを専用化する必要があるが、高収益・高リターンが見込めるブロックバスター市場が成立可能。
- ・ 新たな薬剤ごとにネットワーク構築が必要だが、一貫製造型の企業にとってはむしろ優位性となる。
- ・ ネットワークが足りない場合も、追加の2.5億ドル投資で生産量倍増が可能。

- ・ ^{211}At (アスタチン-211) は、短い半減期の α 粒子とオージェ電子を放出し、共有結合による化学特性を持つため、キレート化金属では難しい適応(例: 脳)にも利用できる利点がある。

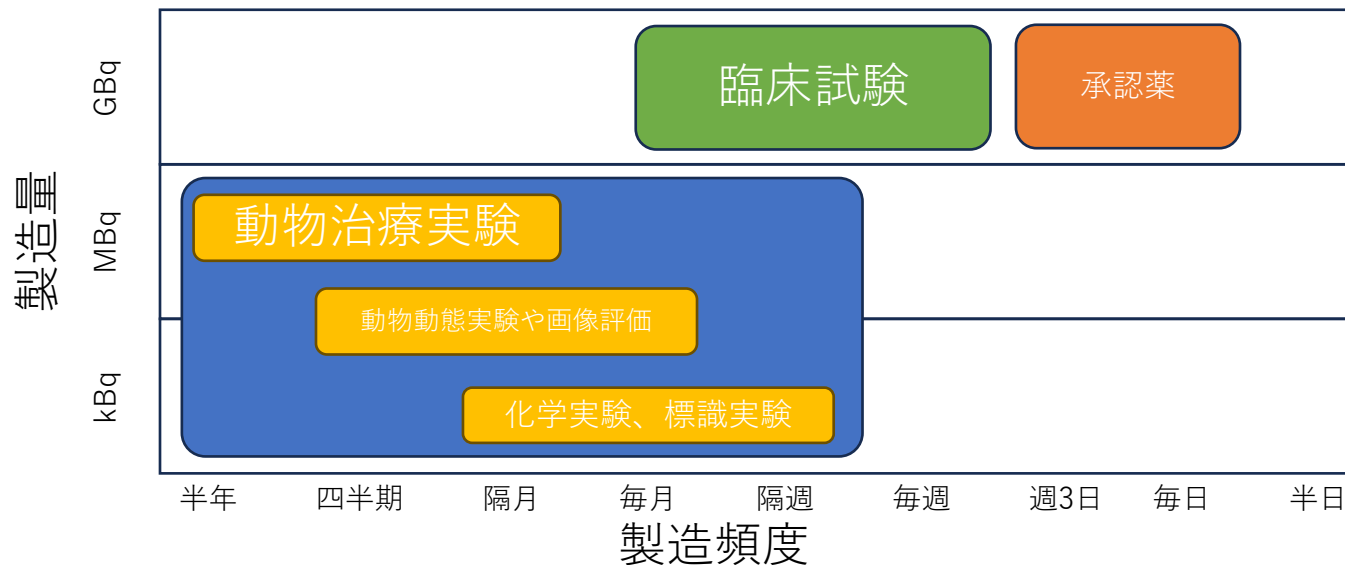
過去15年間で、専門家たちは放射性同位体の生産能力、標識効率、最終薬剤の化学的安定性を大きく向上させた。サイクロトロンの生産量は少ないが、複数拠点ネットワークへの投資は経済的に合理的とされ、将来的に30MeV α -サイクロトロンのネットワークが薬品ごとに整備される見込みである。

- ・ ^{211}At は既存薬(例: 前立腺がん、神経内分泌腫瘍)との競合を避け、独自アプローチや希少疾患向けに使う方が現実的とされる。

Alpha Nuclide社(中国・米国)、Framatome社とIBA社(^{211}At 専用ネットワーク)などが生産拡大を進め、ACSI、Atley Solutions、lonetix、Nusanoといった企業も技術開発に取り組んでいる。さらに、accelerate.euやThera4careプログラムもEU資金を獲得して技術進展を支援しており、これらの動きにより ^{211}At の実用化は現実味を帯びてきている。



(誰にとって)どんな ^{211}At 供給が望ましいか？



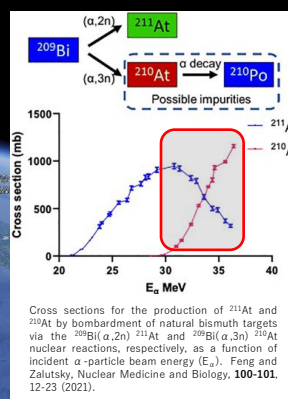
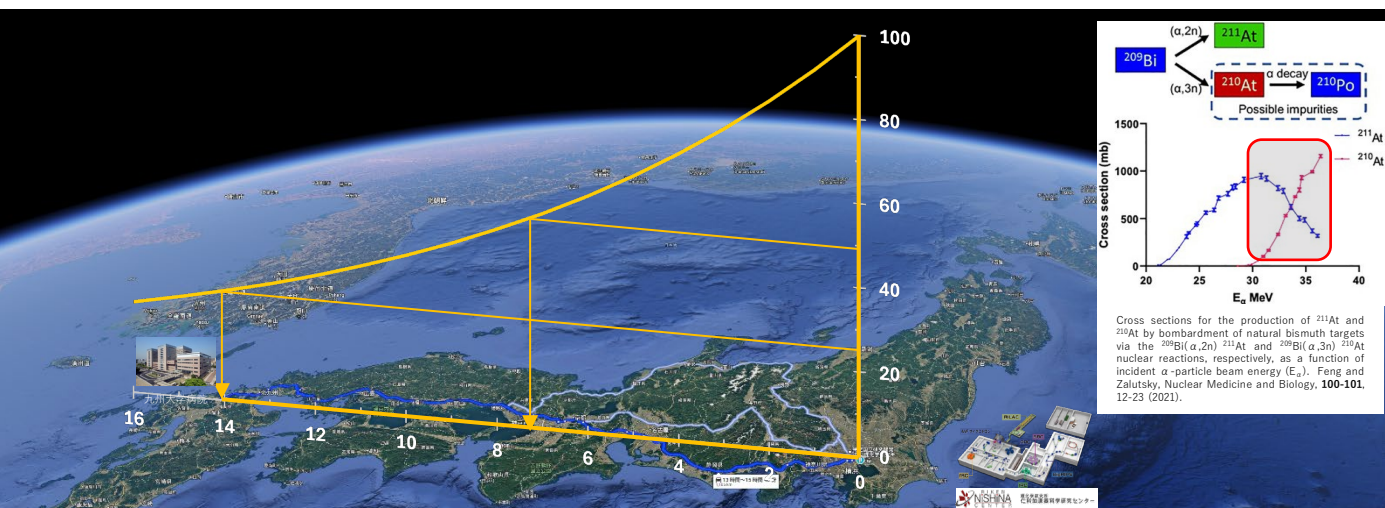
- RIには半減期がある。減衰を考慮した供給圏を決める必要がある。
- 利用者のニーズはその内容により異なる。
- 基礎研究のための ^{211}At 供給はほぼ軌道に乗っている。
- 非臨床研究や臨床研究に対応する体制は2026年度中には達成見込み

$$A = n f \sigma (1 - e^{-\lambda t(i)}) e^{-\lambda t(d)}$$

n : Biターゲット原子数
 F : α ビーム電流
 σ : 核反応断面積
 $t(i)$: 照射時間
 $t(d)$: 輸送時間

- 加速器からの供給量と頻度は、供給する対象のフェーズで決まり、その需要に対応出来る能力を分離までを考慮した装置として開発する。
- 一つの加速器でカバーできる供給圏や供給対象を明確にしておく必要がある。(研究用か臨床研究用か、承認薬用か)

製薬業界が求めるのは「年間通して週5日の安定供給」



アスタチン-211供給体制の段階的整備



Center for Astatine Nuclear Medicine Therapeutics (CANMT) at Osaka University

Collaboration with **TOSHIBA**
Alpha Fusion Inc. Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

^{211}At の化学形態
品質の標準化

人類への貢献

α -beam: $\sim 1 \text{ e.A}$

1e.Aの技術開発が拓く新しい科学の世界の恩恵が
医療用RIの製造に役立つかも

2030年代

核医学治療普及のためのRI供給

企業中心：日本モデルの確立→世界へ

人材

技術

資金

課題

イノベーション創出 2026～

α -beam: $0.5 \sim 2 \text{ e.mA}$

1e.mAあれば、社会の要請には充分応えられる可能性有り

非臨床・臨床研究のためのRI供給

産学官連携：F-REI・RI製造拠点、阪大・アルファ線核医学治療社会実装拠点

人材

技術

資金

課題

^{211}At 製造技術
高度専門人材

シーズ開拓

2016～

α -beam: $1 \sim 50 \text{ e.}\mu\text{A}$

理研ではAVFサイクロトロンで
50e.uAで1.2GBq/hを既に達成

基礎研究のためのRI供給

アカデミア中心：短寿命RI供給プラットフォーム、福島県立医大 ^{211}At 供給ネットワーク

持続可能な研究エコシステムの構築

大阪大学核物理研究センター中野貴志教授の令和6年第22回原子力委員会定例会議用説明スライドを借用、一部加筆



公立大学法人福島県立医科大学
先端臨床研究センター

鷺山 幸信

核融合分野に貢献する加速器の仕様と実現可能性ワークショップ

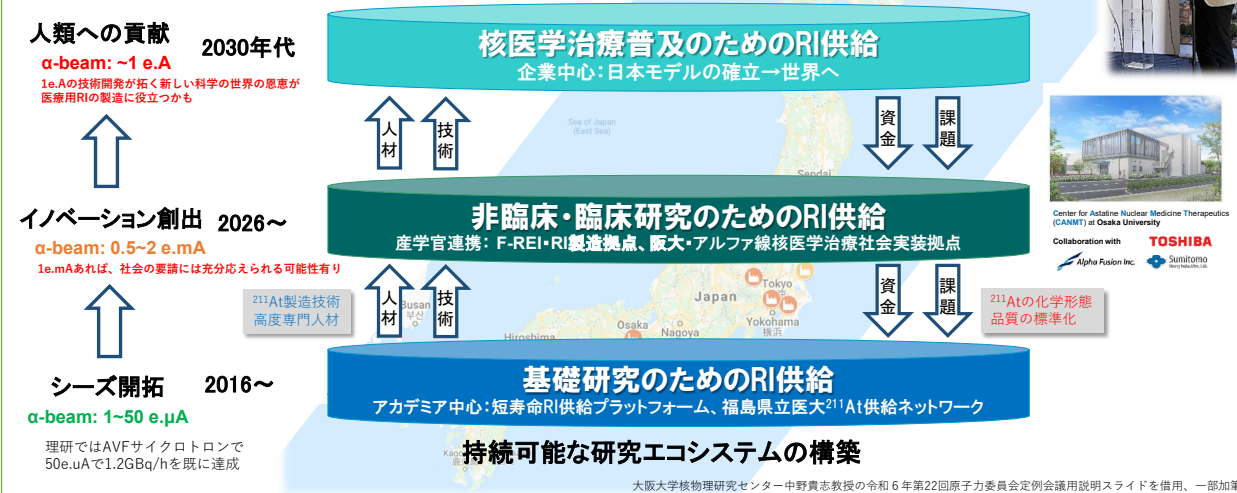
2025年4月17日(木) 13:50~14:10 @JST東京本部別館 (K's五番町) 1階ホール, 東京

Slide 26/29

まとめ

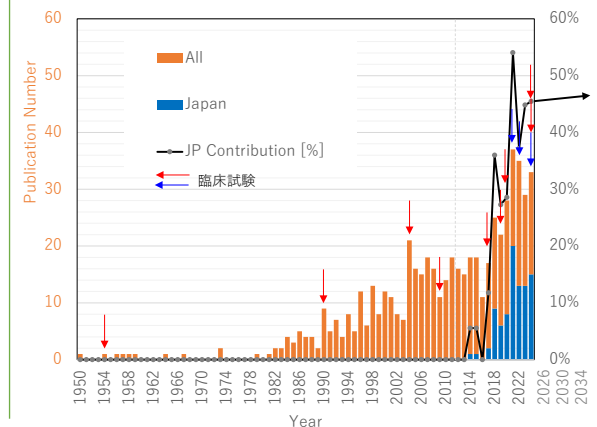
- （診断&治療の）放射性医薬品は近年、産官学のステークホルダーが最も注目を集めている領域である。
- 放射性薬剤は加速器を用いた外部放射線療法では出来ない全身転移の治療を可能にするだけではなく、国内で安定製造供給した放射性薬剤を地方の病院や稀少疾患に対応可能な特徴を有する。この特徴を十分に活用することが重要。
- 日本は加速開発の恩恵を受けて診断用医薬品で成果を挙げてきた反面、原子炉での治療用核種の製造ができず、2011年の悲劇も相まって、治療用放射性医薬品開発の基盤が脆弱になった。
- ^{211}At は入手が容易なBiと日本の加速器技術を用いた α ビームで製造できる最も開発が可能な α 放射体である。
- 国内主要施設のサプライチェーン構築と持続的な供給により、 ^{211}At を用いた薬剤開発は進み、日本が唯一世界と伍する論文数と臨床試験にまで到った。
- スキルと知識を集積し、高度な技術革新を進めるためには、集団能の形成（関与する人数の増加）が不可欠。JACやWACはコミュニティとして活動を支援。
- ^{211}At の製造はナンバーワンであってもオンリーワンでは成立たない。
(もちろん2位ではダメ)
- 投資家や製薬企業が関与するためにも、 ^{211}At の臨床効果を示すことが大事であるが、同時に基礎研究やその基盤を支えるための安定供給に繋がる加速器技術の開発が重要である。
- 利用するフェーズに応じた技術開発がこれからは求められる。大強度の方向に行くべきもの、コンパクトで複数拠点を形成しやすいもの、製造後の物理や化学に貢献できる標的への照射技術と分離技術が求められる。

アスタチン-211供給体制の段階的整備



アスタチンの基礎及び臨床応用に向けた取り組みの推進のために

出版された ^{211}At の論文に占める日本の割合
(PubMed調べ)



日本で実施中の ^{211}At 標識薬剤の臨床第一相試験

実施施設	薬剤名	対象疾患	患者数	臨床	参照元 No.
大阪大学医学部 附属病院 (大阪, 日本)	[^{211}At]NaAt	難治性甲状腺がん	11	I	NCT05275946 (Nov. 2021~)
福島県立 医科大学 (福島, 日本)	[^{211}At]MABG	悪性褐色細胞腫/ パラガングリオーマ	9	I	JRCT2021220012 (Oct. 2022~)
大阪大学医学部 附属病院 (大阪, 日本)	[^{211}At]At PSMA-5	難治性前立腺がん	15	I	NCT06441994 (May. 2024~)
福島県立 医科大学 (福島, 日本)	[^{211}At]At-NpG- PSMA	難治性前立腺がん	?	I	(2025?)

$^{44,47}\text{Sc}$, ^{52}Mn , ^{67}Cu , ^{76}Br , ^{155}Tb , ^{211}At , ^{225}Ac TRIUMF, PSI, CERN, HZDR, FZJ, BNL, LANL SHI, GE, IBA, Eichrom, Triskem

Workshop on Targetry and Target Chemistry



1985年からほぼ隔年で欧米で開催されている医療用RI製造のための標的照射技術と放射化学分離を議論するワークショップ。成功も失敗も包み隠さず紹介することで、全体の技術向上をはかる。

WTTCC19

Aug 25 – 30, 2024

dkfz.

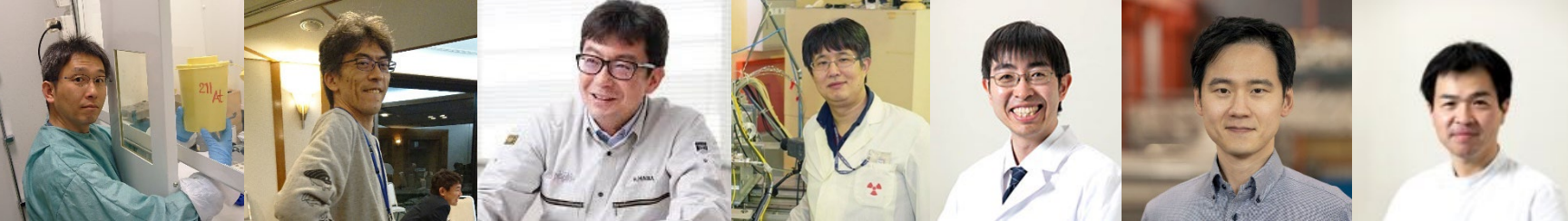
DEUTSCHES
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT

JÜLICH Forschungszentrum
HZDR HELMHOLTZ ZENTRUM
DRESDEN ROSSENDORF



- Solid, Liquid, and Gas Targets
- Targetry
- Radiochemistry
- Nuclear Data
- Facilities introduction
- Industrial Session for Sponsors





WTTC-20, Aug. 23-28, 2026

20th Workshop on Targetry and Target Chemistry

Nara Kasugano International Forum 萱
Nara city, JAPAN



Nara 奈良

