

核医学・核工学シンポジウム

「インドネシアにおける医用RI製造技術開発の動向」

2022年1月27日 13:30~16:00

放射性診断薬製造技術のインドネシアへの技術供与

蓼沼 克嘉 Tatenuma (株)化研 Kaken Inc.

[内 容]

◆ 当社紹介, 開発技術紹介

➤ ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製造技術開発の経緯

➤ ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製造法

＊ 原子炉による製造法

＊ 加速器による製造法

➤ インドネシアへの技術供与

➤ 今後の展望

Introduction of Kaken

KAKEN

Innovative Chemical Technology

Achievements founded on reliable chemical technology and development proficiency

Research&Development

We take charge of material performance evaluations and durability tests, as well as manufacturing technologies. From devices production, experiments and investigations, up to original idea, we support a wide range of requests with a coherent support.



化学プロセス設計

- ◆ Development and evaluation of new materials
- ◆ Research on nuclear fuel reprocessing
- ◆ Development of new analytical techniques
- ◆ Development of impurity removing technology
- ◆ Corrosion evaluation test and analysis
- ◆ Special gases recovery and evaluation
- ◆ Evaluation of materials' characteristics
- ◆ Wide range of performance assessments
- ◆ Evaluation of materials' behavior

化学技術研究開発

Licenses

- | | | |
|--|---|--|
| Radioactive isotopes handling license | Ph.D. (in Science) | Class 1 - Environmental measurements operator |
| Radioactive isotopes selling license | Certified environmental measurer | Class 1 - Pollution prevention manager (water) |
| Nuclear fuel related material handling license | Accredited Engineer | Class 1 - Pollution prevention manager (air) |
| Accredited laboratory for quantitative analysis | X-ray operator | Pollution prevention manager (dioxins) |
| Accredited laboratory for measurements in working environments | Organic solvents operations manager | Pollution prevention chief administrator |
| Accredited laboratory for drinking water inspection | Asbestos operations manager | Indoor environmental hygiene engineer |
| General poisonous substances selling license | Safety engineering administrator | Tetraethyl-lead and other special chemicals operations manager |
| | Class 1 - Hygiene administrator | Poisonous and Harmful Substances Handling officer |
| | Class 1 - Radiation protection supervisor | Class A hazardous materials handling officer |

RI,核燃(U,Th,Pu)取扱施設

トレーサー試験 & RI・核種分析

Radioisotopes

We own one of the few radiation controlled area, for the handling of radioactive materials, in the Ibaraki region. Trustworthy data are guaranteed by the wide selection of devices and by our experienced staff.

- ◆ Radioactivity analysis and migration survey
- ◆ Tests and technology development based on radioactive isotopes
- ◆ Inventory surveys related to decommissioning processes
- ◆ Radioactive waste processing technology development
- ◆ Production and sales of the radiation sources



Equipment in the radiation controlled area

- Ge-semiconductor detector (for γ -measurements)
- Low energy x-ray γ -ray detector
- Low-background gas-flow counter (for low-level β -measurements)
- NaI detector (for γ -measurements)
- GM detector (for β and γ measurements)
- ZnS detector (for α -measurements)
- Liquid scintillation analyser (for β -measurements)
- Surface barrier detector spectrometer (for α -measurements)
- GM Survey meters (for β and γ measurements)
- Ion Chamber Survey Meter (for β and γ measurements)
- Proportional Survey Meter (for α -measurements)
- Atomic Absorption Spectrometry (AAS)
- Ultraviolet-visible spectroscopy (UV-VIS)
- X-ray diffractometer (XRD)
- Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)
- Automatic Low Background α/β Counting System (LBC)

System Engineering

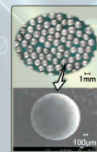
We have worked on the creation of various types of devices, such as apparatus for material evaluation, equipment for chemical laboratory and equipment for the manufacturing of new materials. Our experienced team will shape all the customer's demands.



機能材料開発

Sampling devices

- ◆ Asbestos sampler
- ◆ ^1H / ^{14}C sampler
- ◆ Dust sampler



Technical skills

Development skills

Innovative idea

We fulfill the requests of our customers with quick and accurate measurements and the latest technologies.

化学システム設計

環境浄化 & 地球環境保全技術開発

Major equipment

- | | |
|---|--|
| X-ray Fluorescence (Energy-dispersive) | Ion chromatography |
| Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES) | X-Ray Diffraction (XRD) |
| Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) | Scanning electron microscope (SEM) |
| Atomic Absorption Spectrometry (AAS) | Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) |
| Ultraviolet-visible spectroscopy (UV-VIS) | Stereomicroscope |
| High-performance liquid chromatography (HPLC) | Digital microscope |
| Gas chromatography (GC) Detectors: ECD, FID, TCD, PID | Inverted metallographic microscope |
| Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) | Phase contrast microscope |
| Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) | Personal image analysis system |
| Particle size analyzer (Laser diffraction type) | Controlled atmosphere glove box |
| | Controlled atmosphere furnace |



化学分析

Chemical Analysis

for a liveable environment and a liveable world

Environmental Analysis

- ◆ Asbestos analysis
- ◆ Soil analysis
- ◆ Analysis of hazardous substances
- ◆ Water quality analysis
- ◆ Analysis of drinking water in buildings
- ◆ Waste analysis

Other analysis

- ◆ Morphological observation
- ◆ Surface analysis
- ◆ Structural analysis
- ◆ Organic compounds analysis
- ◆ Inorganic compounds analysis

Example of manufactured devices

- ◆ Radioactive liquid waste processing equipment
- ◆ Ruthenium generation device
- ◆ Small seawater electrolysis device
- ◆ Gas-liquid mixing process visualization device
- ◆ Radioactive diagnostic agent recovery device
- ◆ Filter performance efficiency device
- ◆ Electrodialysis device

Nuclear fusion-related products

- ◆ Beryllide sintering apparatus (Spark-Plasma)
- ◆ Beryllide sintering apparatus (Vacuum, controlled atmosphere type)
- ◆ Beryllide melting apparatus
- ◆ Rotating electrode based, microsphere manufacturing apparatus
- ◆ Portable continuous tritium collector
- ◆ High sensitivity tritium measuring device
- ◆ Tritium electrolysis device

取り扱い核種

核燃料物質の取扱認可核種の種類と数量 U, Th, Pu

核燃料物質	年間使用数量	主な化学形態
天然ウラン及びその化合物	450g (U量として)	金属ウラン 酸化ウラン 硝酸ウラニル 酢酸ウラニル
劣化ウラン及びその化合物	300g (U量として)	
低濃縮ウラン及びその化合物	100g (U量として)	
トリウム及びその化合物	900g (Th量として)	硝酸トリウム
プルトニウム及びその化合物	300μg (Pu量として)	酸化プルトニウム 硝酸プルトニウム 塩化プルトニウム

取扱核燃許可 : U, Th, Pu

核燃料物質 使用許可 5安(核規)第701号

取扱許可RI : 63核種

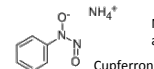
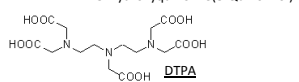
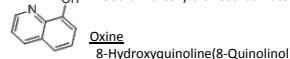
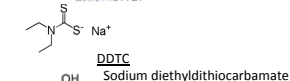
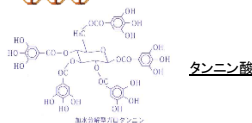
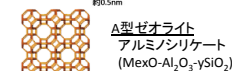
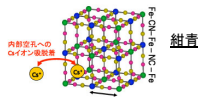
1F汚染水全核種除染剤

【除染用・分析用吸着剤】 汚染水除染&核種分析利用

IKAKEN
2013

吸着剤	材料構成成分	吸着除去核種(元素)
AC-AL (活性炭+アルミナ)	白鷺WH2c+basic-Al ₂ O ₃ (1.2-2.4)	多元素
PB/AC (紺青活性炭)	フェロシアン化CuCo+AC	Cs, Rb, Y
SW-KAZLS (塩水用カザルス)	A型ゼオライト内包	Sr, Ba, Ra
FW-KAZLS (淡水用カザルス)	A型ゼオライト含有	Sr, Ba, Ra
Ceria/AC (セリア担持炭)	CeO ₂ +AC	Sb, Se, Te, As, I ⁻ , IO ₃ ⁻
I ₂ /AC (ヨウ素担持炭)	I ₂ +AC	I ⁻
Tan/AC (タンニン担持炭)	タンニン+AC	TRU
DDTC/AC	DDTC+AC	多元素, TRU
Oxine/AC	Oxine+AC	
DTPA/AC	DTPA+AC	
Cupferron/AC	Cupferron+AC	
KCAC (炭酸カルシウム担持炭)	CaCO ₃ +AC	C-14, Sr, Ba, Ra

[イオン吸着機能剤, 担持キレート剤等]



[注1] 多元素: Ag, Cd, Eu, Mn, Co, Y, Ru, Ce, Te, Ni, Zn, Rh, Nd, Sn, Sb, Te, Pr, Sm, Gd, V, TRU(U, Np, Pu, Am, Cm)の全てかその一部

放射性同位元素の種類及び数量

(2017年12月1日現在)

種 類	一日最大 使用数量 (MBq)	年間 使用数量 (MBq)	物理的 状態	化学形 等
²¹⁰ P o	0.001	0.2	固体・ 液体	す べ で の 化 合 物
²⁴⁴ C m	0.002	0.2		
³ H	10	500		
⁶³ N i	0.3	5	固体・液体・ 気体	
¹⁴ C	1.5	100		
³² P	0.01	2	固体・ 液体	
³³ P	0.01	2		
³⁵ S	0.2	3		
⁴⁵ C a	0.1	2		
⁹⁹ T c	0.2	3		
³⁶ C l	0.1	2		
⁸⁹ S r	0.05	1		
⁹⁰ Y	0.05	3		
⁹⁰ S r	0.05	3		
⁵⁵ F e	0.2	1		
²¹⁰ P b	0.002	4		
⁵¹ C r	2	8		
²⁴¹ A m	0.011	0.4		
¹⁴⁴ C e	0.1	3		
¹²⁹ I	0.02	1		
¹⁰⁹ C d	0.1	1		
¹⁸⁸ W	0.1	5		
¹²⁸ I	0.0005	0.1		
¹⁵⁵ E u	0.05	1		
⁸⁶ R b	0.01	2		
¹²⁵ I	0.02	2		
⁵⁷ C o	0.1	1		
^{99m} T c	10	100		
¹³⁹ C e	0.1	1		
¹⁰⁶ R u	0.1	1		
²⁴³ A m	0.001	0.01		
⁹⁹ M o	10	100		

種類	一日最大 使用数量 (MBq)	年間 使用数量 (MBq)	物理的 状態	化学形 等
²³⁷ Np	0.002	0.5	固体・ 液体	す べ で の 化 合 物
¹¹³ Sn	0.1	2		
¹³¹ I	2.6	80		
⁷⁵ Se	0.1	1		
¹²⁶ I	0.005	1		
¹³³ Ba	0.2	1		
¹²⁵ Sb	0.1	1		
¹⁰³ Ru	0.05	1		
⁸⁵ Sr	0.3	5		
⁶⁵ Zn	0.2	2		
¹³⁷ Cs	0.5	10		
^{95m} Tc	0.1	2		
⁹⁵ Nb	0.5	3		
⁵⁴ Mn	0.5	6		
⁸⁸ Co	0.2	2		
⁶⁸ Ge	0.01	1		
⁵⁹ Fe	0.2	2		
¹⁵² Eu	0.1	1		
¹⁵⁴ Eu	0.1	2		
¹⁸² Ta	0.05	1		
⁹⁴ Nb	0.05	1		
¹³⁴ Cs	0.1	2		
²²⁶ Ra	0.005	0.4		
¹²⁴ Sb	0.1	1		
⁴⁶ Sc	0.1	0.5		
¹²⁹ I	0.005	1		
⁶⁰ Co	0.5	10		
⁸⁸ Y	0.1	1		
^{110m} Ag	0.1	1		
²⁴ Na	0.05	1		
⁸⁵ Kr	0.5	10	気体	

ヨード活性炭 新聞掲載記事

茨城新聞 2017.10.25

2017年(平成29年)10月25日 水曜日

化研、ヨード活性炭開発

殺菌効果や 殺菌力持続 鳥インフル対策活用

理化学分析や化学技術研究開発の化研(水戸市堀町、薬沼完備倉庫)は、高病原性鳥インフルエンザ対策やアオコの発生抑制に活用できる「ヨード活性炭」を開発した。塩素系と同等の殺菌力や消毒効果がある上、効果が長期間持続するのが特長。幅広い用途での活用が見込まれ、千波湖などのアオコ除去や鳥インフルエンザ対策のほか、アパレルや医療など多分野での普及を目指している。

ヨード活性炭は、消毒やうがい薬などに使用されるヨウ素を抗菌力・酸化力のある状態で活性炭に添着させた。活性炭の細かな穴(細孔)の中に、ヨウ素の動きを活性化させた状態で、水中に沈めても成分の溶出が少なく、塩素系よりも高い持続効果を得られる。

例えば、水鳥や家畜類への餌に配合して与えることで、体内やふんの消毒、除菌効果を得られる。

同社と京都産業大鳥インフルエンザ研究センターとの共同開発により、鳥インフルエンザウイルスに対する高い死滅効果が確認されている。死滅効力は「消毒剤として」(松崎直)

て散布される消石灰の代替品としても使える。消石灰は降雨で一気に効力が落ちてしまうが、ヨード活性炭は雨の中でも水中に沈めても効力は持続する」と強調する。ヨウ素の抗菌作用は、アオコの発生抑制と水質浄化にも効果が確認されており、湖沼を清らかに保つことで病原菌などに強い生物環境を取り戻せる可能性があるという。

ほかにも、抗菌衣料や寝具などのほか、抗菌マスク、エアコンなどのフィルター、包帯やガーゼなどの医療用品分野への用途拡大も視野に入れている。薬沼会長は「各分野の専門メーカーへ提案し、技術移転や共同開発を進め、さまざまな新商品の実現を図る」としている。

- 長寿命 抗菌抗ウイルス消毒剤
- 放射性ヨウ素吸着除去機能

日経新聞(電子版) 2018.03.06

International

日本経済新聞

2018年3月6日(火)

トップ 経済・政治 ビジネス マーケット テクノロジー 国際・アジア スポーツ 社会

朝刊・夕刊

化研と京産大の「ヨード活性炭」に抗鳥インフル効果

北関東・信越

2018/3/6 1:31

保存 共有 印刷 COME 他

環境分析などを手がける化研(水戸市)は京都産業大学との共同研究で、同社が開発した活性炭「ヨード活性炭」に抗鳥インフルエンザウイルス作用があることを確認した。鳥インフルエンザの拡散防止に使われている消石灰と比べて、効果が持続することもわかった。今後は同ウイルスの消毒剤としての実用化をめざす。

化研の「ヨード活性炭」は黒色・粒状の活性炭で抗菌作用がある。今回の研究ではヨード活性炭を使った場合、抗鳥インフルエンザウイルス効果が降雨時でも1カ月以上持続することを確認した。消石灰だと5日程度で効果が消えてしまうとの結果も得られた。



画像の拡大

ヨード活性炭は繊維などに織り込むこともできる

水戸市では2016年冬に千波湖などで野鳥が相次いで鳥インフルエンザに感染。拡散防止のため、立ち入り禁止などの措置がとられたことがある。化研はヨード活性炭を活用した消毒剤の開発などを念頭に、京産大と17年8月から共同研究していた。

化研と京産大は「抗菌・抗ウイルス剤及び感染症対策方法」として2月末に特許を出願した。実用化にはヨード活性炭自体の価格が消石灰の10倍程度とコスト面での課題が残る。今後も化研と京産大はコスト削減に向けた検討を進めていく。

カーボンナノチューブに 二酸化ルテニウムを結合

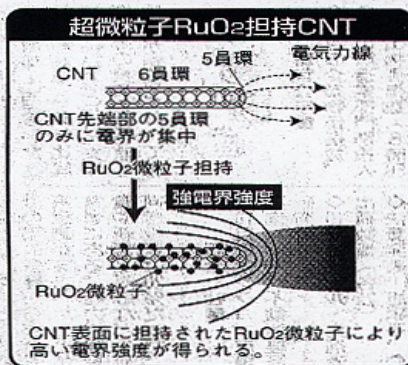
化研と高エネ研

新技術は金属基板表面に一子を担持させることで実
に結合させたCNTにナ 現 CNTを金属基板に
ノサイズのRuO₂微粒 結合させる技術をKE 開発した。

次世代型ディスプレイや
燃料電池の実用化に貢献

【水戸】化研（水戸市、豊沼克嘉社長、029・227・448
5）と高エネルギー加速器研究機構（KEK）は、カーボンナノチュ
ーブ（CNT）に二酸化ルテニウム（RuO₂）を付着させること
で、高い電子放出性を持つ世界最高輝度の電子放出材料の開発に成功
した。この技術によって、次世代型ディスプレイのFED（フィールド
ドエミッションディスプレイ）やCNTを用いた燃料電池の早期実用
化が見込める。13日に日本真空協会の講演で研究成果を発表する。

世界最高輝度の 電子放出材開発



CNTだけでは、先端
部分のみに電界が集中す



下4ページ
解説で電

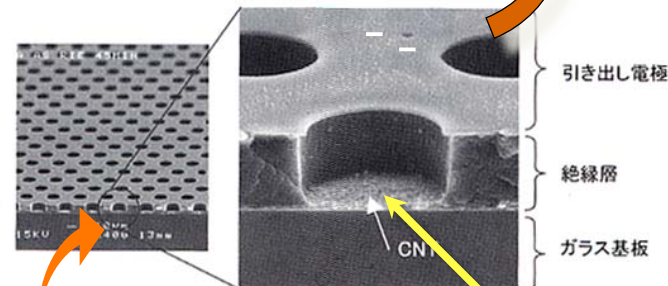
るため、電気力線が先端
からしか放出されない
がRuO₂を表面に担
持したCNTでは、表面
全体から電子が放出さ
れることを確認した。

Nikkan-Kogyo NP
May and Nov. 2003

nano-sized RuO₂/CNT-FED

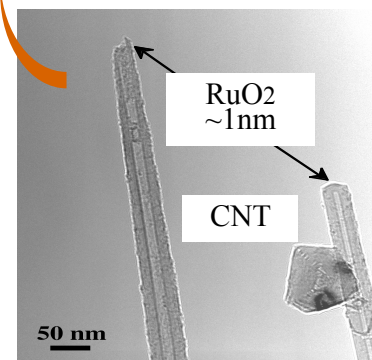


Flat-screen TV



Cross section of FED

RuO₂/CNT



FED electron emitter

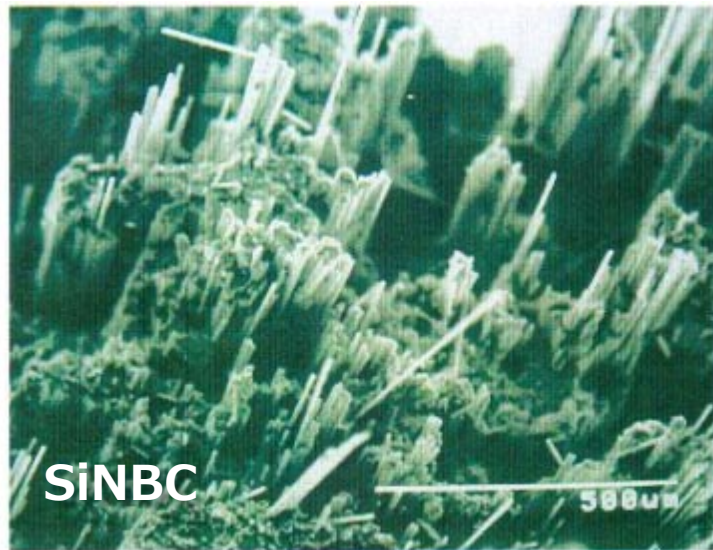
Topics Super Heat-resistance SiNBC, Protein crystal

[超高温耐久SiNBC] スペースシャトル外壁材

Super heat-resistant ceramics
SiNBC, >2000°C in air

Grand prix of NASDA(JAXA)
at 2001 & 2002

■特別賞:超耐熱材料SiNBCセラミックスの宇宙材料への応用((株)化研)



1D-C_r/SiMe₂Cl₂系複合材料の破断面

<2000℃以上の耐熱材料の開発>

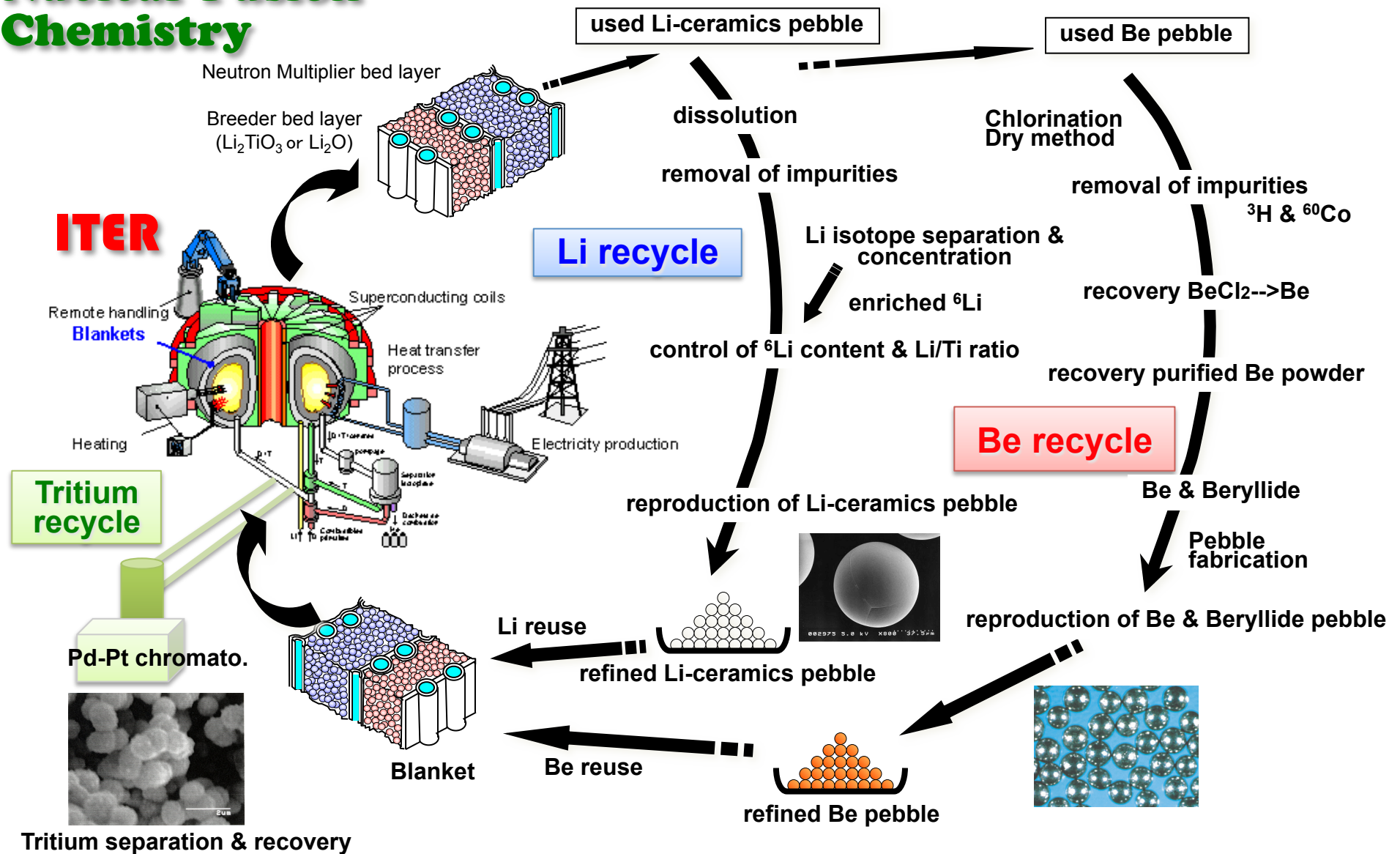
http://www.jaxa.jp/press/nasda/2002/hitec_020417_j.html

Protein crystal grown in a microgravity



Space Shuttle Columbia
Feb. 2003

Nuclear Fusion Chemistry



Topics

Principle of Global Reduction of Atmospheric CO₂ ERM (Earth Rescue Mission)

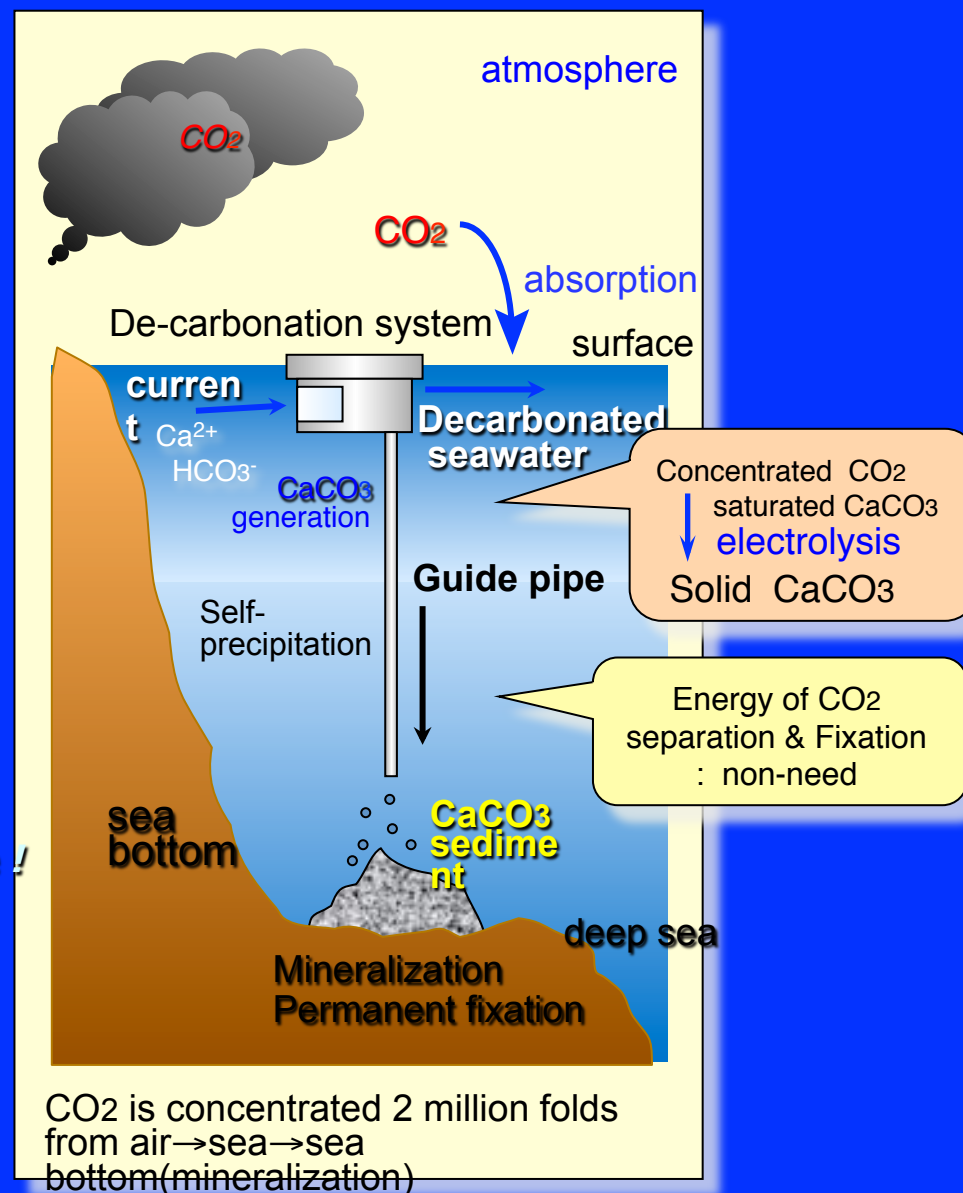
A Decisive Method for Solving Global Warming was successfully developed !!

By electrolysis of seawater, CO₂ absorption capacity of ocean can be increased because carbonate in superficial seawater is reduced.

High CO₂ reduction ability

Huge amount of H₂ can be recovered simultaneously

- ♦ Permanent Isolation of CO₂ from biosphere !
- ♦ Simple, Controllable & Low-cost !
- ♦ Small CO₂ emission !
- ♦ Non-need Chemical & Biological Additives !
- ♦ Ecological & Natural method !



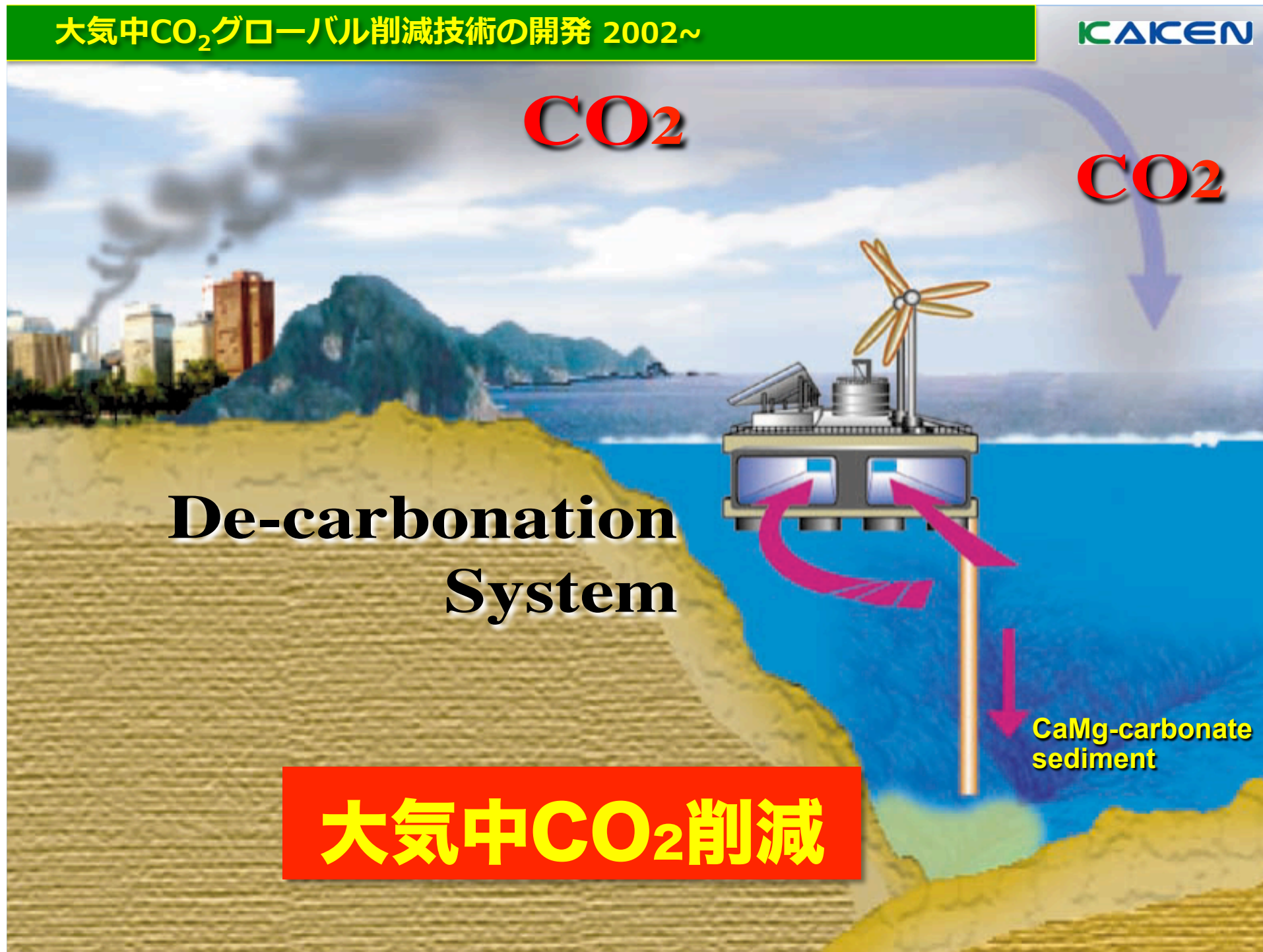
CO₂

CO₂

De-carbonation
System

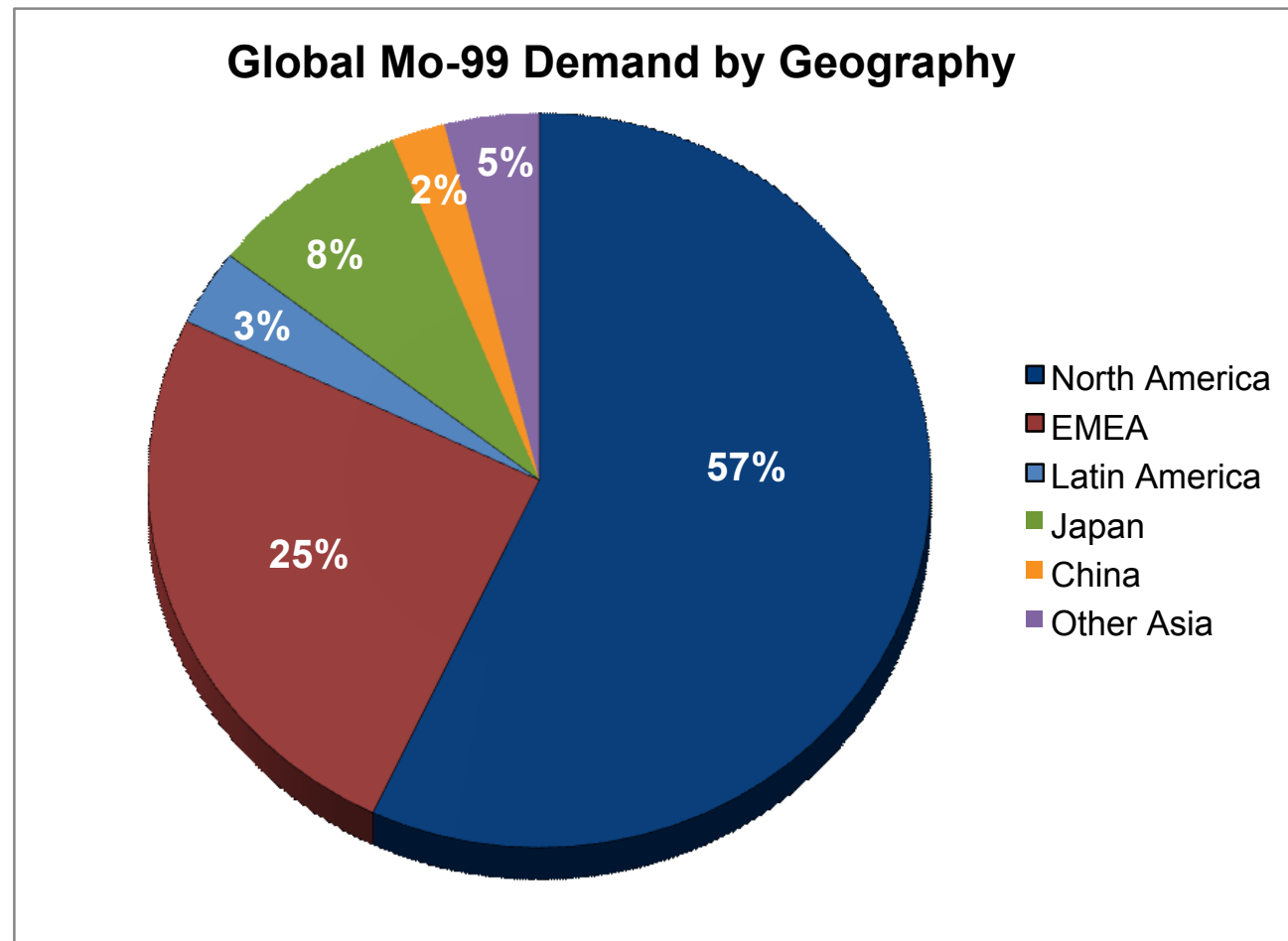
大気中CO₂削減

CaMg-carbonate
sediment



^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製造技術開発の経緯

Mo-99 Market Demand and Growth*



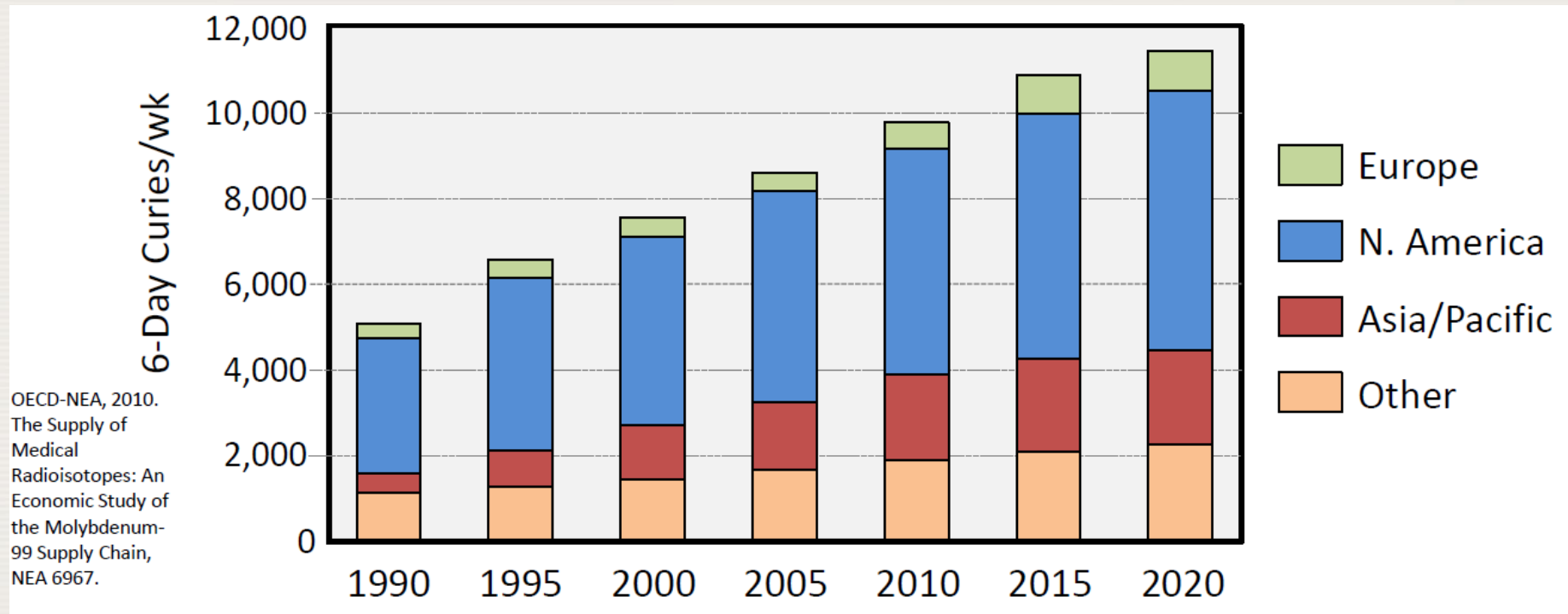
Mo-99 growth in mature markets: 2% Mo-99 growth in developing markets: 3-5%**

*Sources: Internal data. OECD report "The Supply of Medical Isotopes", June 2011.



Demand of Mo-99

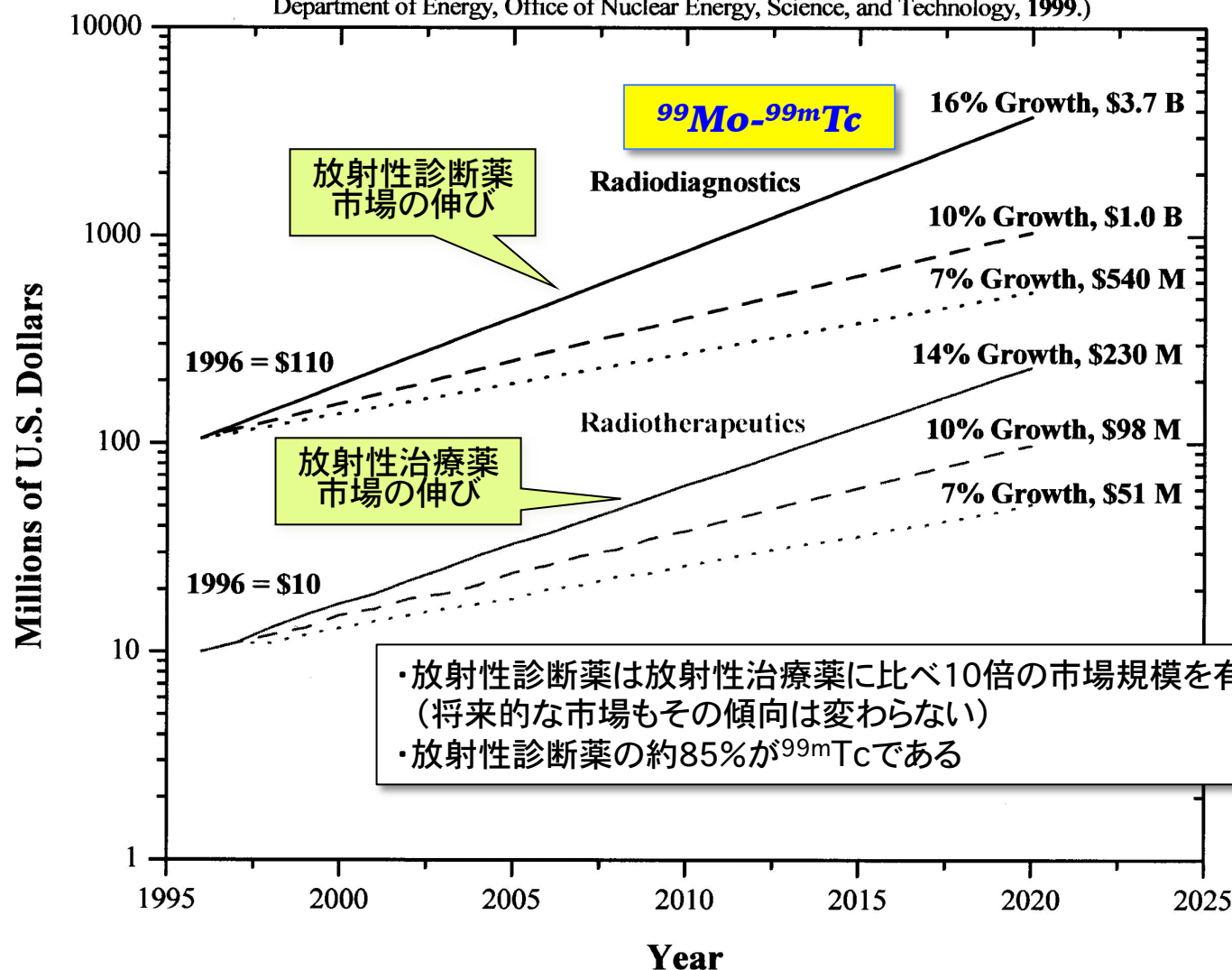
- 10,000 6-day Ci per week (world)
- 5,000 6-day Ci per week (USA)



放射性診断薬・治療薬の市場予測

Estimated Isotope Production Revenues

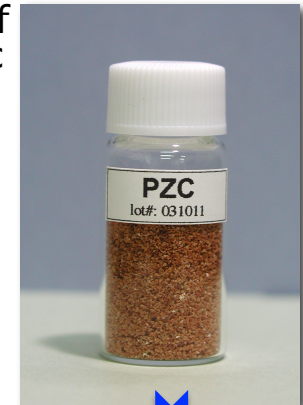
(Adapted from *Expert Panel: Forecast Future Demand for Medical Isotopes*.
Department of Energy, Office of Nuclear Energy, Science, and Technology, 1999.)



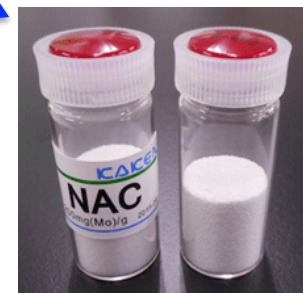
Developmental history of ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ domestic production un-using Uranium

Mo adsorbent of
(n, γ) ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$
generator, 1995

PZC (Poly-
Zirconium
Compound)



TcMM system



NAC generator

1994~ Development of Mo adsorbent PZC for (n, γ) ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator



Global shortage of ^{99}Mo

2000~03 Collaboration between BATAN-Kaken

2001~07 FNCA project

2008~12 ^{99}Mo domestic production committee in Japan



PZC was declined by using heavy metal (Zr).

2009~ Development of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ master milker (TcMM)

2015~ Development of NAC(Almina) for $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator

2019~ Project start of ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ domestic production in Japan <NMP-Linac(γ ,n) ^{99}Mo >

27y

2019~ Proposal of ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ domestic production in Indonesia <BATAN-Reactor(n, γ) ^{99}Mo >

2020~ Project start of ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ domestic production in Japan <FFTC-Reactor(n, γ) ^{99}Mo >

in the future ~ Global dissemination of Mo-method

PZC

1994~ Mo adsorbent PZC of $(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator

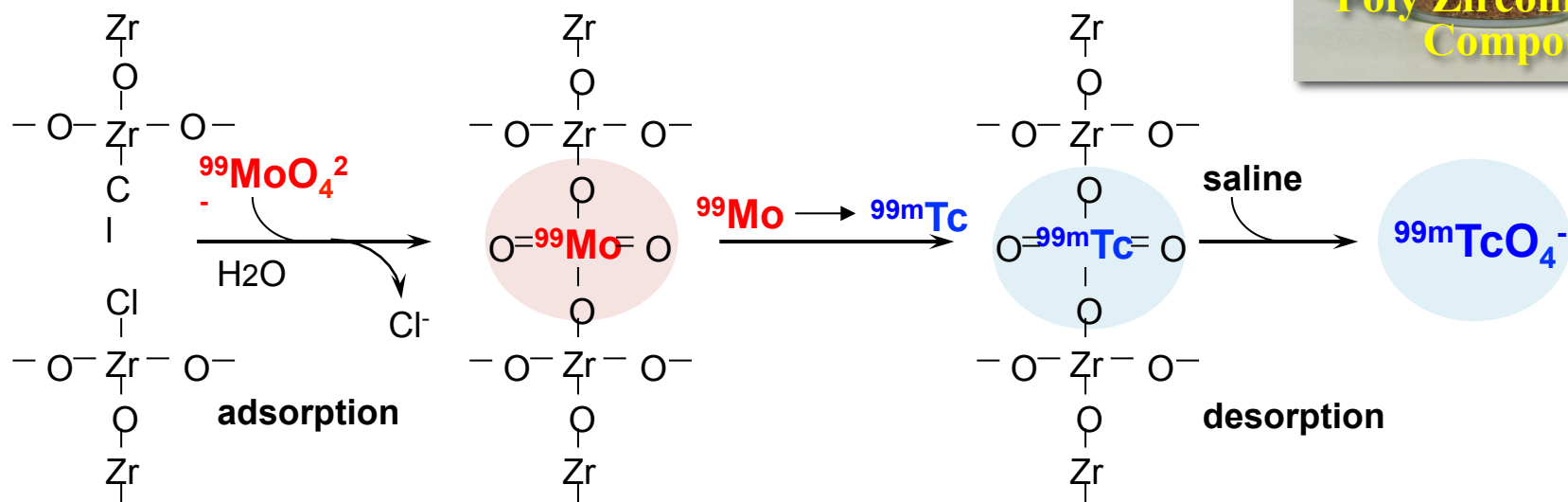


2000~03 Collaboration between BATAN-Kaken

2001~07 FNCA project

2008~12 ^{99}Mo domestic production committee in Japan

Mechanism of Mo adsorption and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ desorption



Poly Zirconium Compound

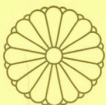


High selectivity and adsorption capacity of Mo, W

Mo; 220~250mg(Mo)/g(PZC)

W ; 500mg(W)/g(PZC)

BATAN-Kaken Joint-Japanese Patent Oct. 2009


特 許 証
(CERTIFICATE OF PATENT)

特許第 4 3 8 6 6 3 1 号
(PATENT NUMBER)

発明の名称(TITLE OF THE INVENTION)
ジルコニウム系無機高分子を使用した選択的モリブデン吸着剤を利用する中性子照射天然モリブデン型テクネチウム 9 9 mジェネレータシステム及びその製造装置

特許権者(PATENTEE)
茨城県水戸市堀町 1 0 4 4 番地
株式会社化研
インドネシア国 ジャカルタ市 マンバンプラバタン クニンガンバラット 1 2
7 1 0
国籍 インドネシア共和国
**ナショナル・ニュークリア・エナジー・エイジェン
シー・オヴ・インドネシア**

発明者(INVENTOR)
ムタリブ アブデュル
グナワン アダン ハルディ
ルビス ホットマン

その他別紙記載

出願番号(APPLICATION NUMBER) 特願 2 0 0 2 - 3 1 7 2 9 8
出願年月日(FILING DATE) 平成 1 4 年 1 0 月 3 1 日 (October 31, 2002)

この発明は、特許するものと確定し、特許原簿に登録されたことを証する。
(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE JAPAN PATENT OFFICE.)

平成 2 1 年 1 0 月 9 日 (October 9, 2009)

特 許 庁 長 官 (COMMISSIONER, JAPAN PATENT OFFICE)
細野 哲弘



特 許 証

(CERTIFICATE OF PATENT)

(続葉 1)

特許第 4 3 8 6 6 3 1 号 (PATENT NUMBER)

特願 2 0 0 2 - 3 1 7 2 9 8 (APPLICATION NUMBER)

発明者 (INVENTOR)

アワルディン ロハディ
スワソノ ラハルジョ タマツト
ハミッド
スライマン
ヘルリナ
蓼沼 克嘉
石川 幸治
照沼 仁
菱沼 行男
吉田 幸介



**Poly Zirconium
Compound**

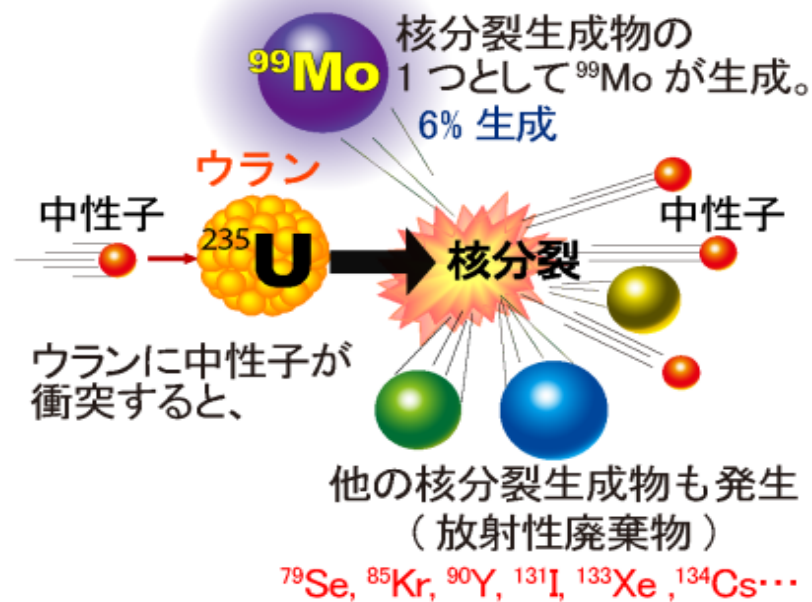
[^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製造法]

*** 原子炉による製造法**

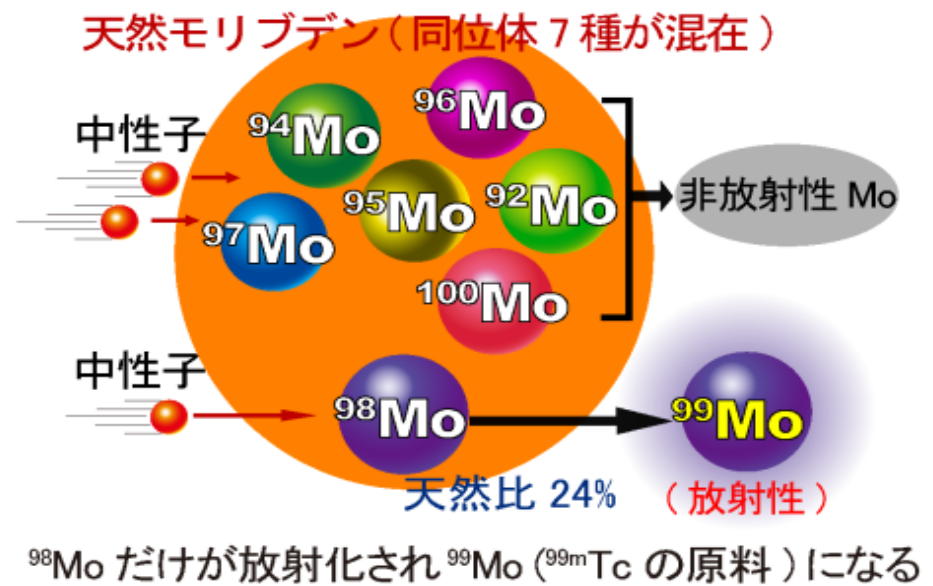
*** 加速器による製造法**

[⁹⁹Mo製造] 核分裂法(ウラン原料) vs. 原子炉放射化(n,γ)法

fission 法



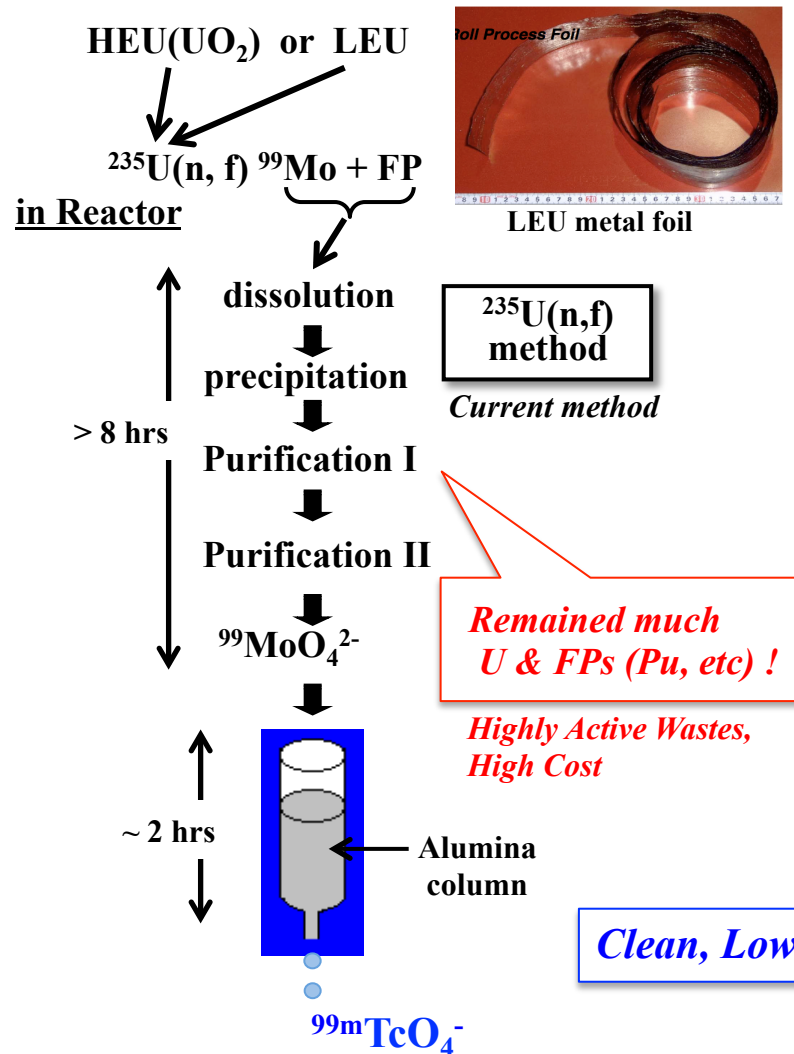
(n, γ) 法



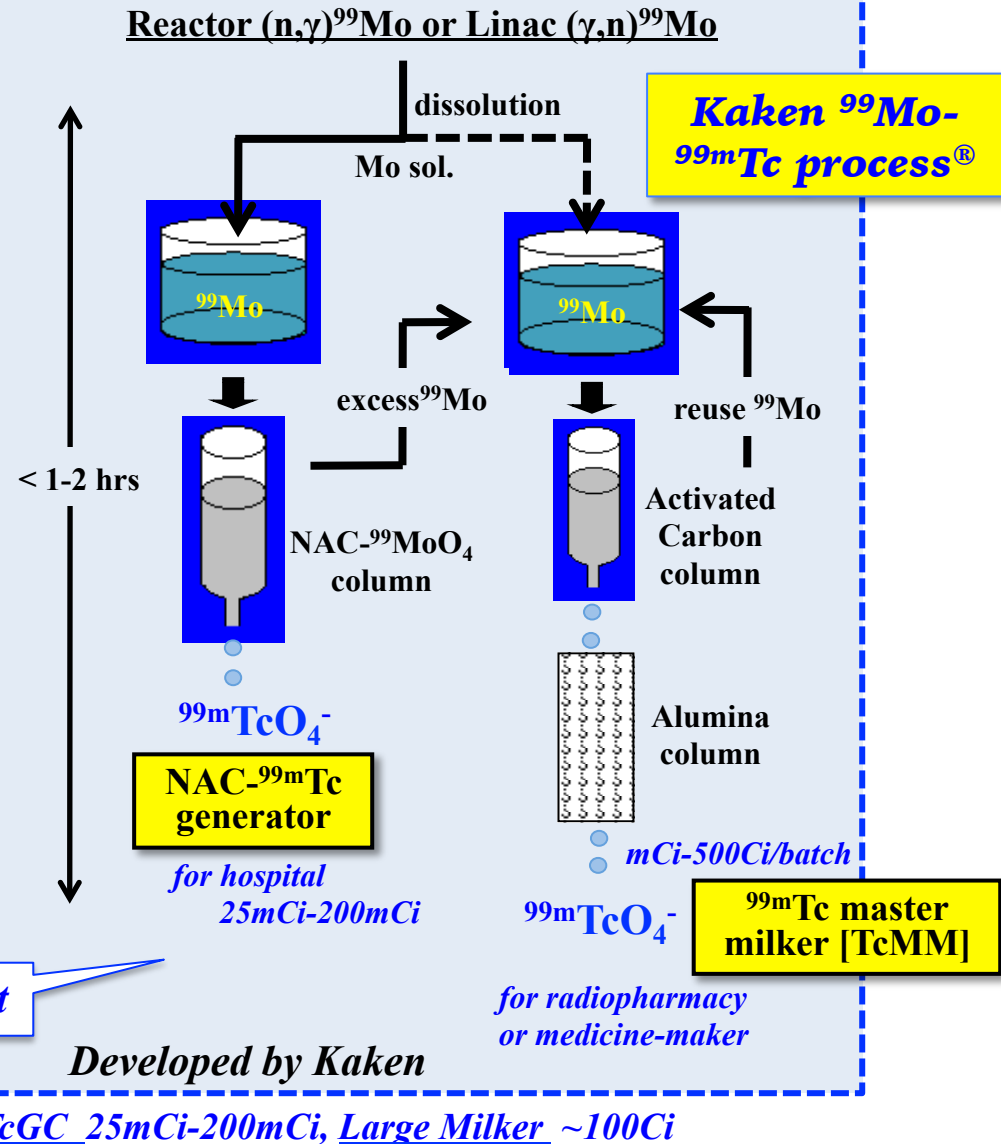
	核分裂法(Fission法)	放射化法 (n, γ) 法
原料	濃縮ウラン HEU, LEU	天然モリブデン
⁹⁹ Mo生成核反応	²³⁵ U(n,fission)	⁹⁸ Mo(n,γ) ⁹⁹ Mo
比放射能	高い(10,000Ci/g-Mo)	低い(0.5~1Ci/g-Mo)
放射性廃棄物	核分裂生成物(FP) 大量発生・長期保管	ほとんど発生しない
⁹⁹ Mo分離	複雑	不要
⁹⁹ Mo製造コスト	高コスト (⁹⁹ Mo分離、廃棄物処理)	核分裂法の1/70

Comparison of ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ production between using U and no-U

Production of ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ using enriched ^{235}U



Production of ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ using Mo (no-U)

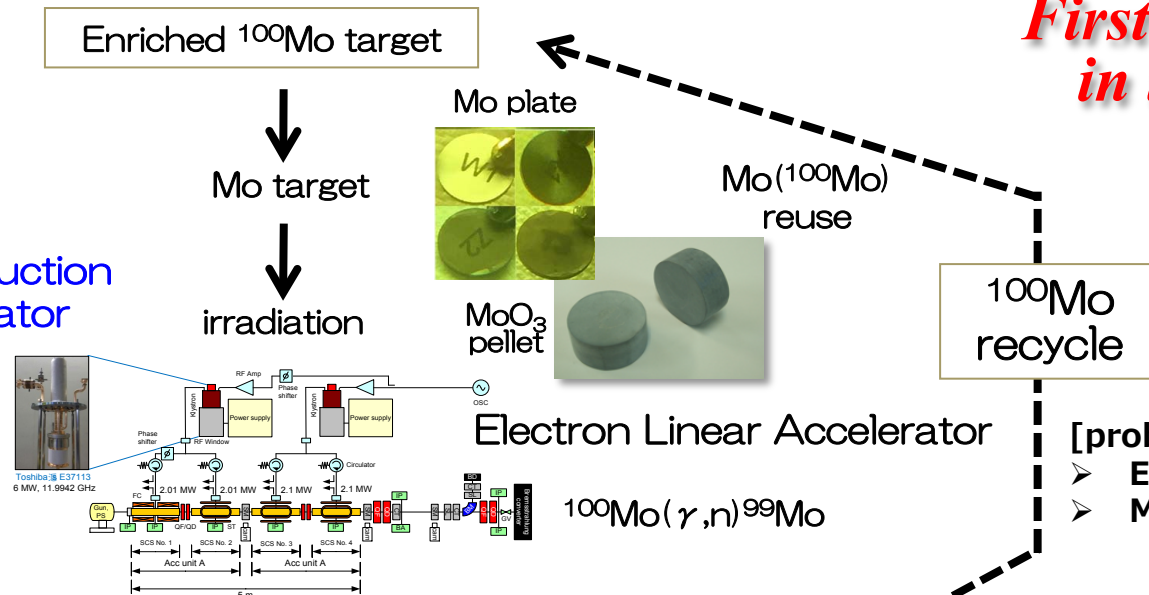


Introduction of ^{99}Mo domestic production in Japan-NMP, Linac- $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$ -TcMM method

Not-use Uranium

^{99}Mo production by accelerator

First accomplishment in the world using accelerator



[problem]

- Enriched ^{100}Mo : expensive
- Mo Recycling tech : difficult



Alumina(NAC)
 ^{99}mTc generator

TcMM system

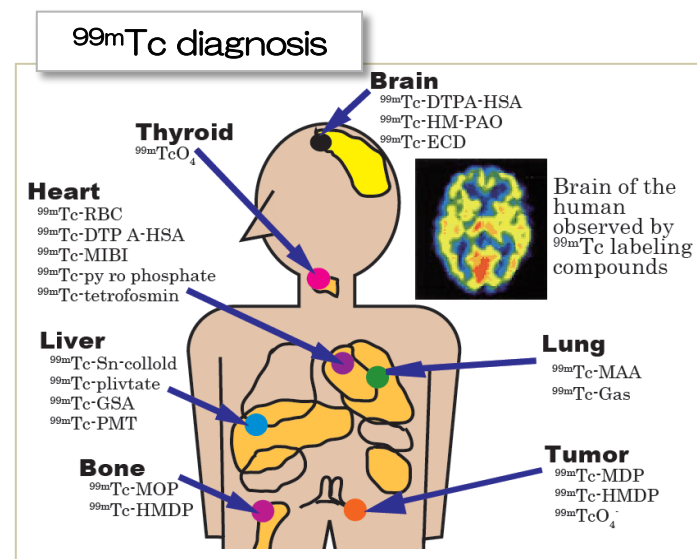


TcMM-10T

Labelling

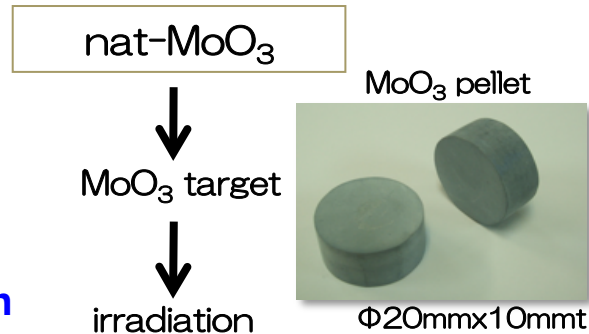


^{99}mTc -Labelled compounds



Proposal of ^{99}Mo domestic production in Indonesia, Reactor nat-Mo $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ -TcMM & NAC $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -generator

**Not-use
Uranium**



**^{99}Mo production
by reactor**



(image)

Reactor
 $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$

***First accomplishment
in the world by reactor
nat-Mo***

[Feature]

- nat-MoO₃ pure target: cheap
- Simple process
- Mo recycling : not-needed



Alumina (NAC)
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator

TcMM system

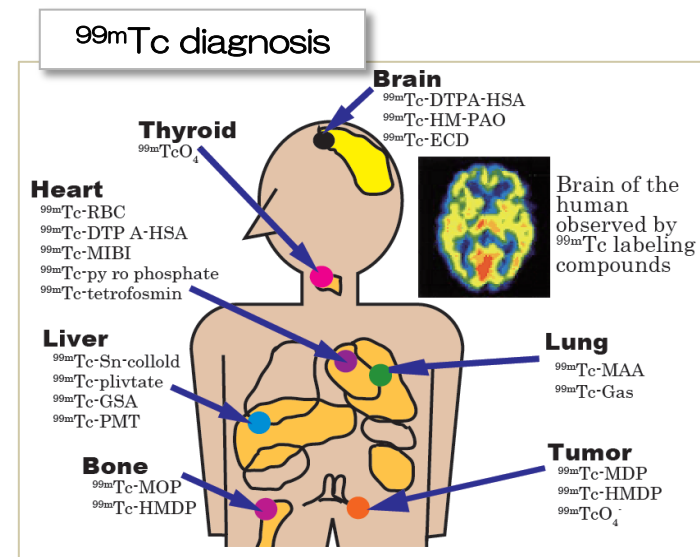


TcMM-10T

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Labelled
compounds



Labelling



^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Domestic Production

[Reactor, Accelerator] ^{99}Mo production

Natural or Enriched isotope MoO_3

[Reactor] $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$

[Linac] $^{100}\text{Mo}(\gamma,n)^{99}\text{Mo}$

LSA ^{99}Mo

Low Specific Activity

LSA- ^{99}Mo sol

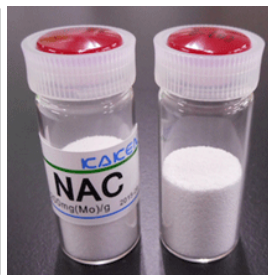
Kaken ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ process[®]

[NAC] $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator column

NAC

Nanosized **A**lumina **C**oagulated

- 100% Al_2O_3
- 100mg(Mo)/g(NAC)
- 200mg(Mo)/column
- ^{99}Mo 200mCi/column
- (^{99}Mo specific activity: $>1\text{Ci/g-Mo}$)



PAT.

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ GC

LSA- ^{99}Mo sol



$^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator

from ERI-HP

[TcMM] $^{99\text{m}}\text{Tc}$ sol. production

TcMM

Adsorption, Elution & Purification by AC, AL

- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ producing performance: mCi~max.500Ci within 30min.
- Mo(^{99}Mo) specific activity and concentration: free
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ purity in saline: $>6\text{N}$



PAT.

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ sol.



$^{99\text{m}}\text{Tc}$ pharmaceutical

from ERI-HP

^{99}Mo 製造法の確立により国産化・グローバル普及可能

原子炉照射法

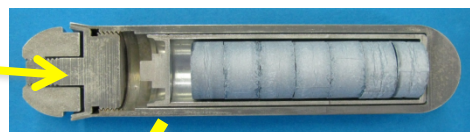


^{99}Mo 製造用 MoO_3 ペレット



Φ20mm、TD90%

照射キャプセル



中性子照射

JRR-3

照射用原子炉(モデル)

* 原子炉で $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)$ 法により ^{99}Mo 製造が可能

加速器照射法



照射用電子線形加速器(モデル)

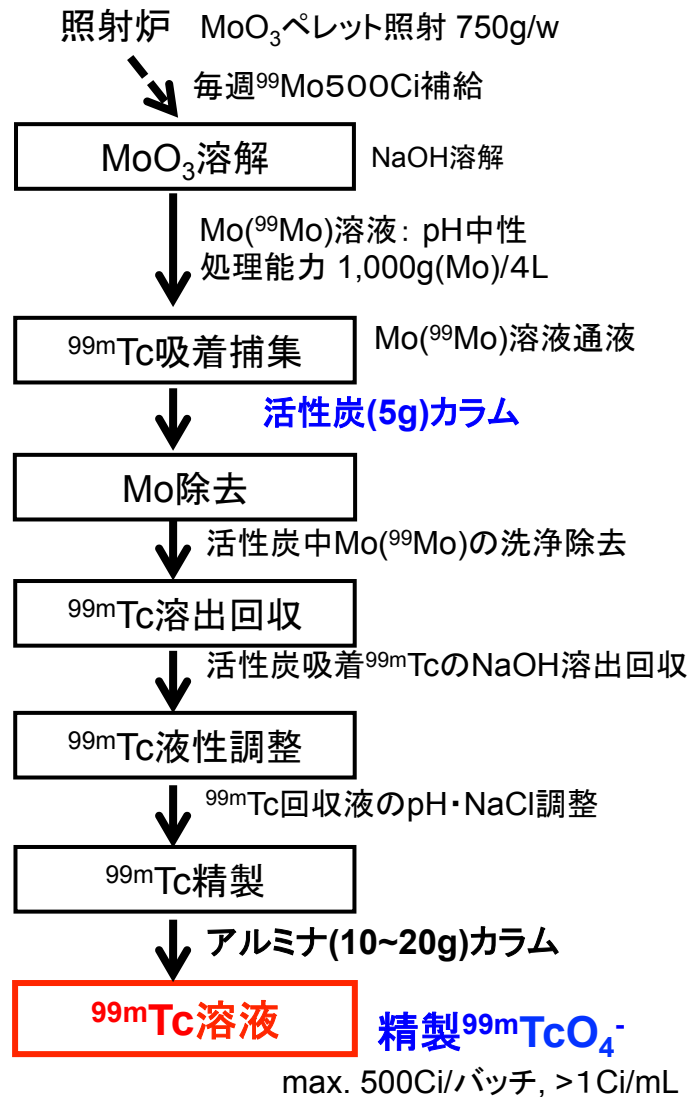


FIG.9. High power electron accelerator manufactured by Mevex, Sititville, Ontario,CANADA[37]
IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-5.4 (2013)

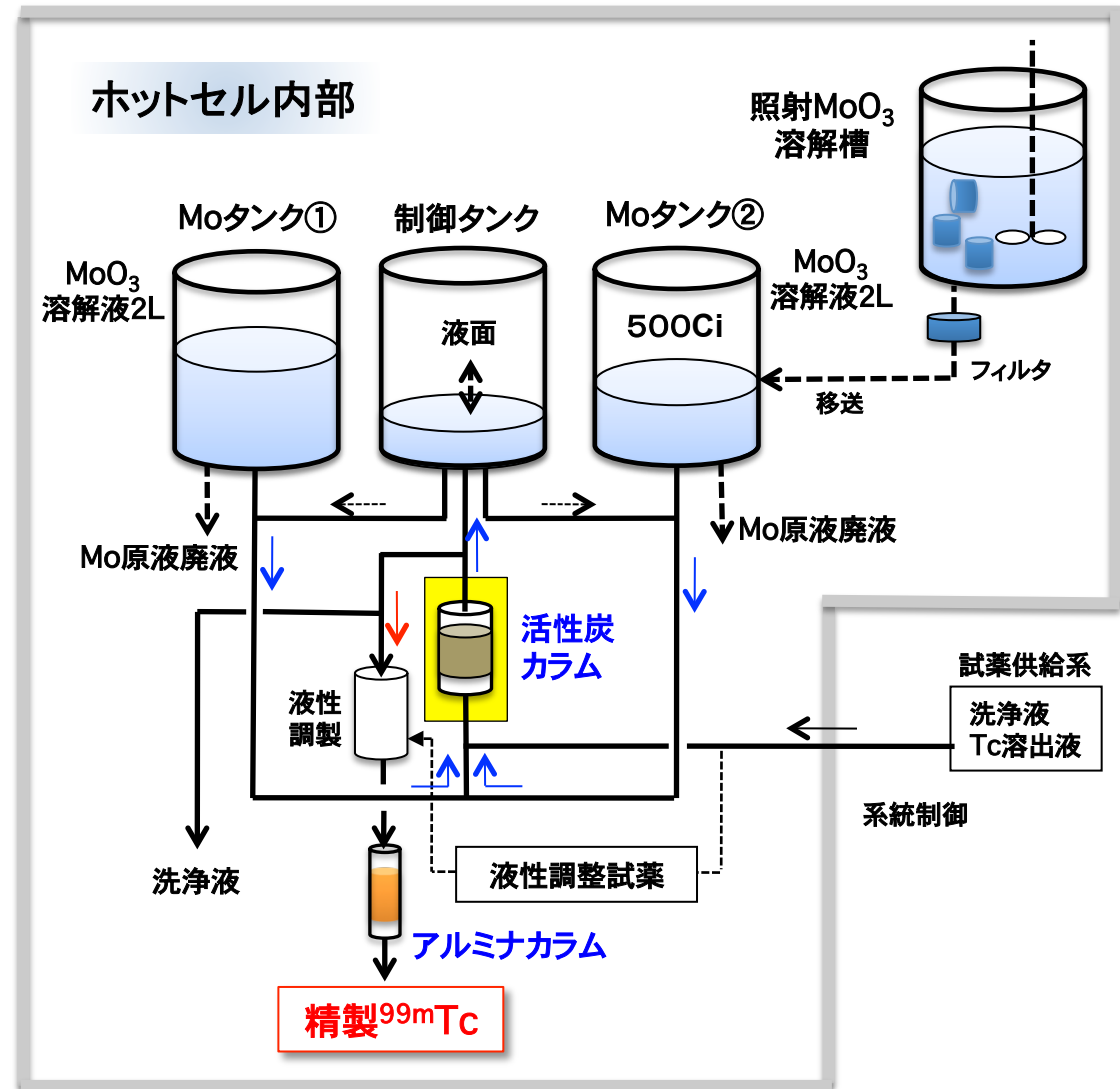
* 電子線加速器 $^{100}\text{Mo}(\gamma,n)$ により ^{99}Mo 製造が可能 → (問題点)濃縮 ^{100}Mo 原料が必須

活性炭捕集・アルミナ精製法による ^{99m}Tc 大量製造TcMMプロセス・システム

TcMMプロセス



TcMMシステム



基礎開発(^{99}Mo μCi ~ mCi レベル)結果: ^{99m}Tc 回収率 >95%, 放射化学純度 >99.99%

高線量(n, γ) ^{99}Mo を用いた $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 製造TcMMプロセス検証試験

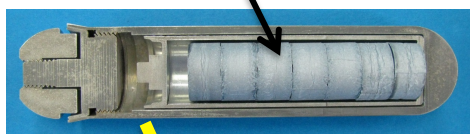
[試験実施期間] 2010年10月13日～27日

[実施場所] JAEA原科研 NUCEF-BECKY化学セル

[高線量試験用 ^{99}Mo]

- ・JRR-3照射: 10/5～12 7日間(max.172h) 3キャプセル照射
- ・照射 MoO_3 ペレット: 15ヶ, 293.40g (195.6g as Mo)
- ・照射直後 ^{99}Mo 生成量: $2.99\text{e}+12\text{Bq}$ (80.7Ci) 計算値
- ・比放射能: $0.4\text{Ci}(^{99}\text{Mo})/\text{g}(\text{Mo})$

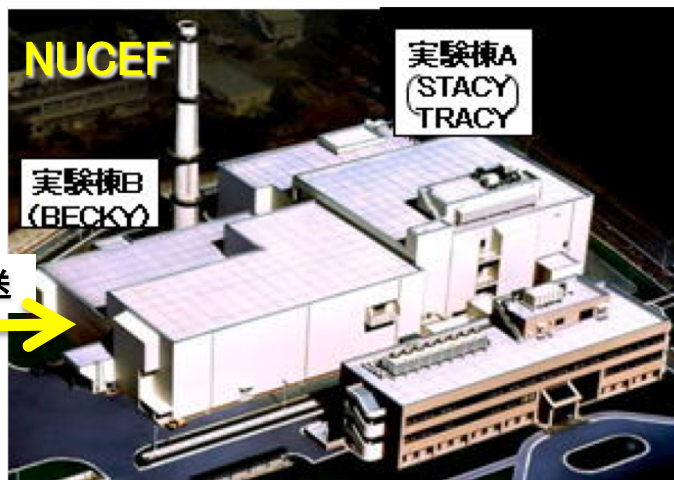
^{99}Mo 製造用 MoO_3 ペレット



照射キャプセル



JRR-3

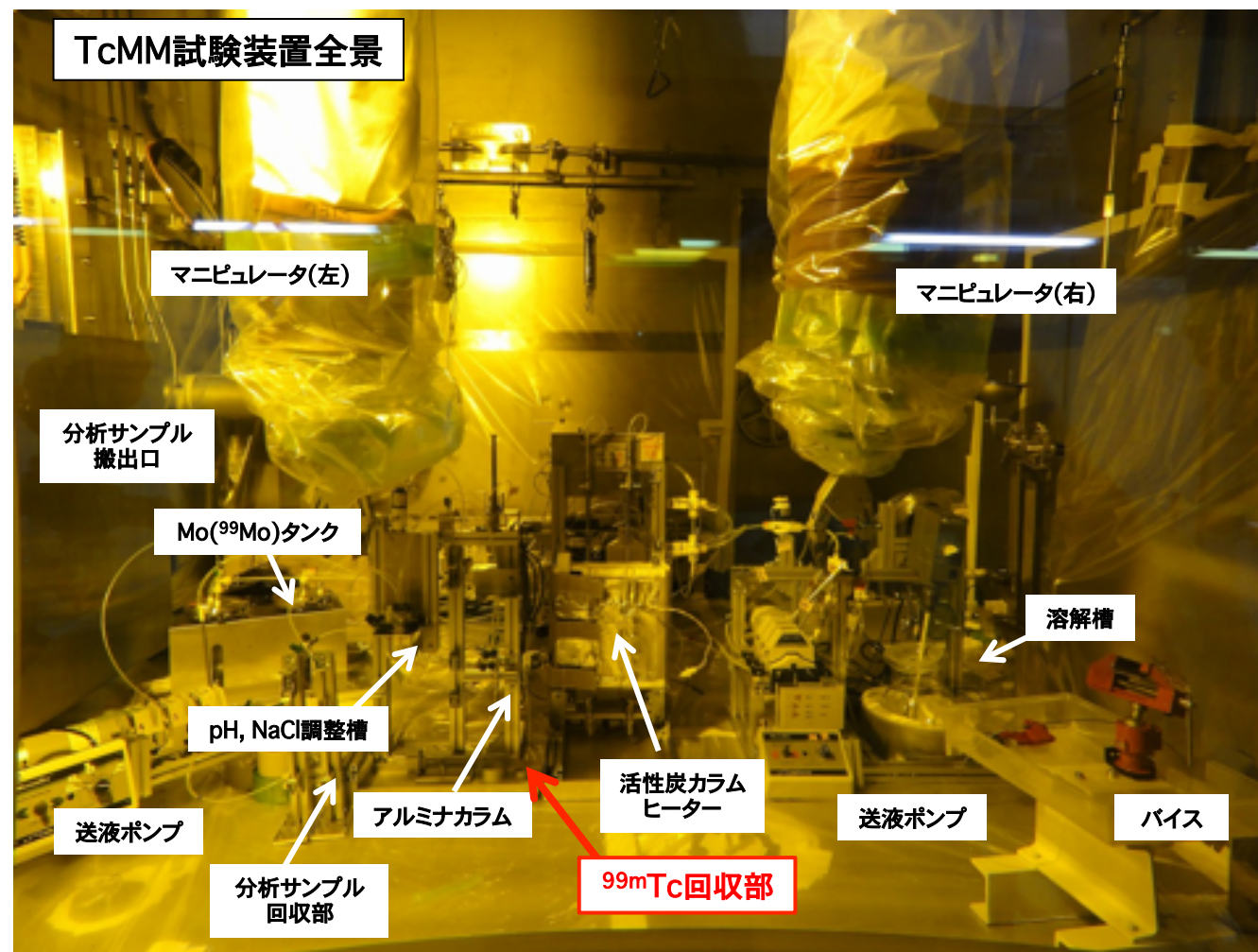
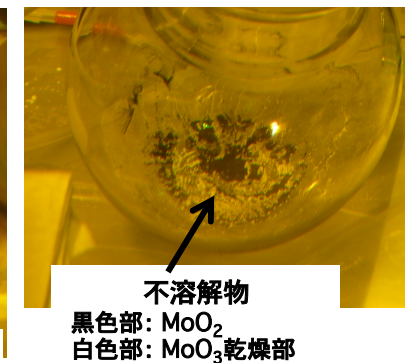
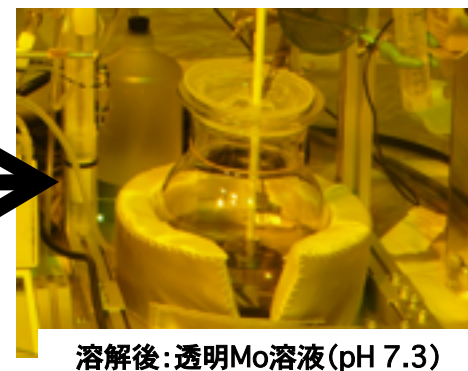
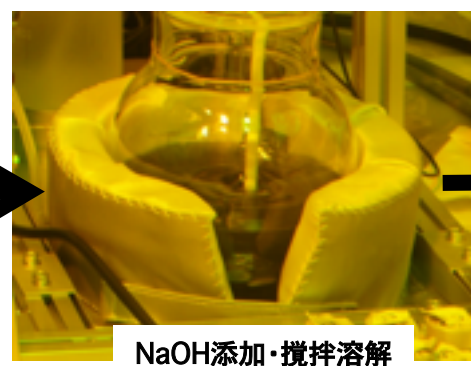
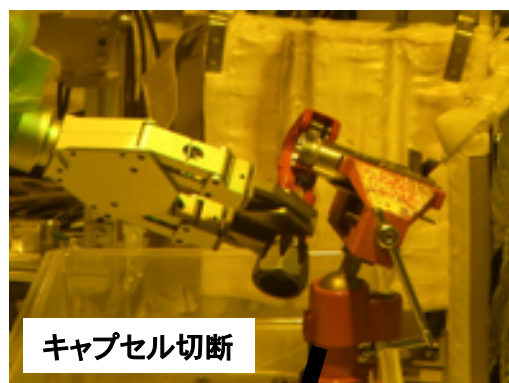


TcMM試験実施BECKY化学セル



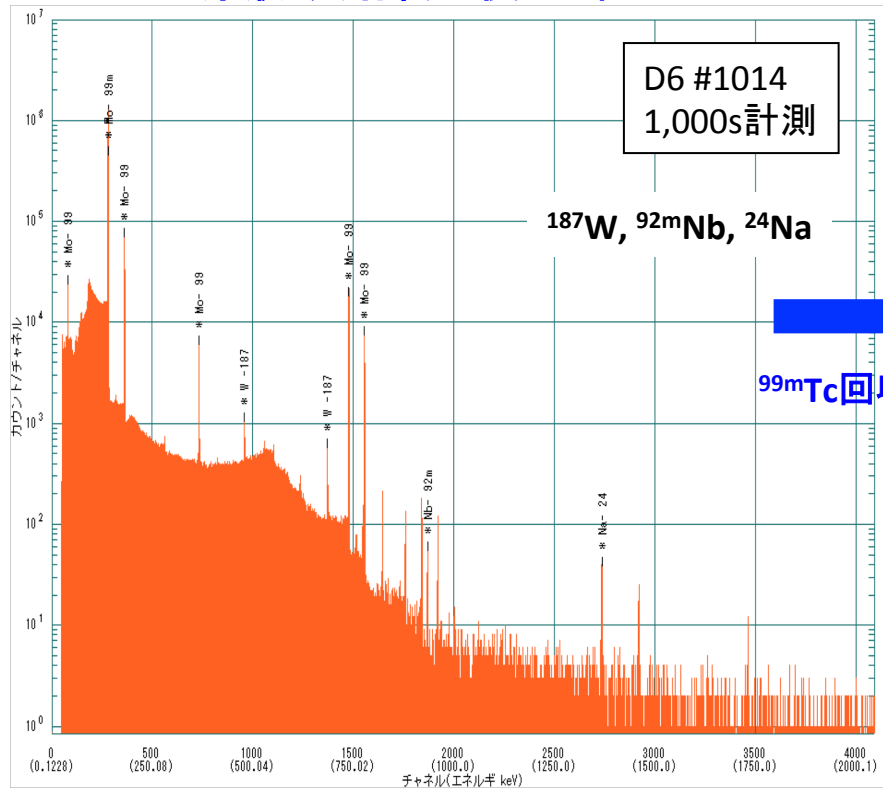
ホットセル内試験装置

照射 MoO_3 ペレット溶解操作

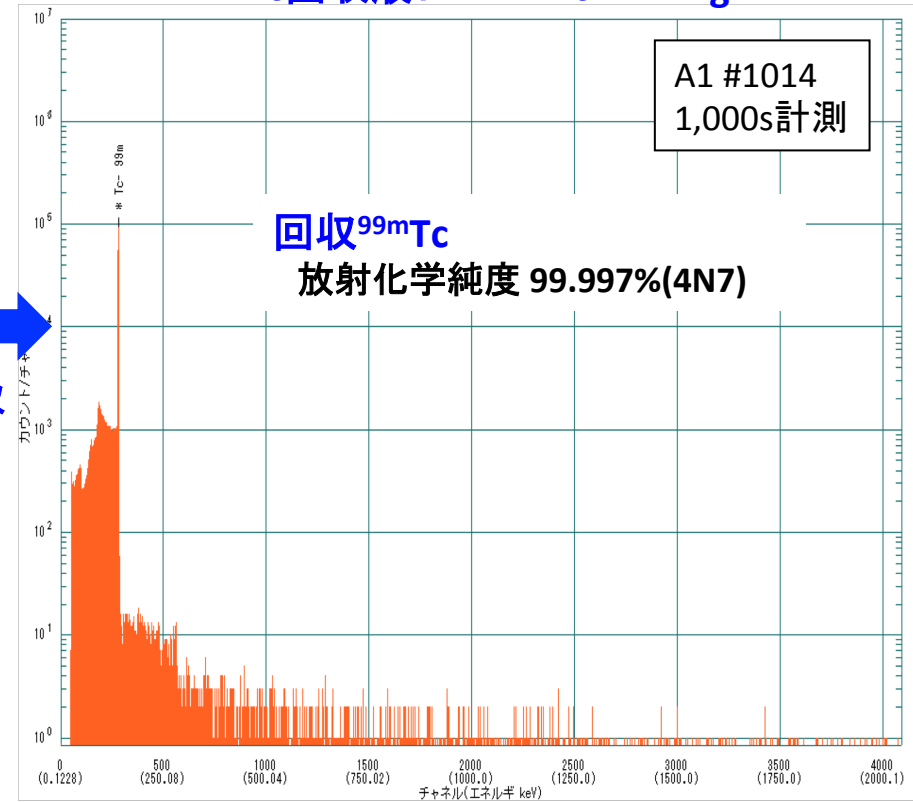


[γスペクトル] ^{99}Mo 原液, 1st-milking $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 溶液

^{99}Mo 原液: 照射終了後2日目



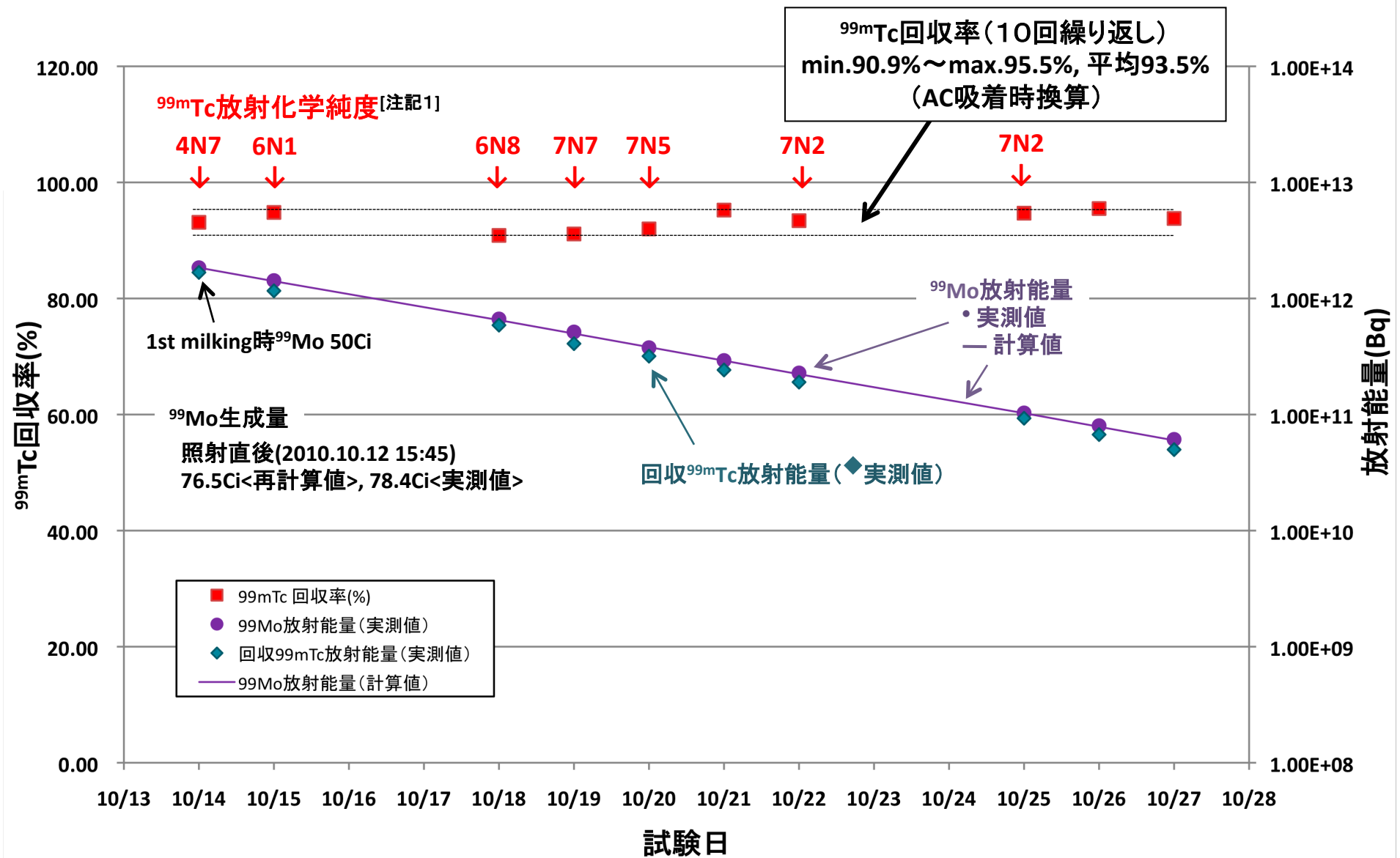
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 回収液: 1st- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ milking



No	Nuclide	Energy(keV)	Channel(CH)	FWHM(ch)	Gross (cnt)	Net Vol (cnt)	± Err (cnt)	D.Limit (cnt)	Activity (Bq)	± Act Err (Bq)
1	Tc- 99m	141	281.81	1.844	2533448	2347713	1646.6	1813.5	1.88E+04	1.32E+01
2	W -187	685.81	1371.28	2.7	2413	1368	57.3	135.9	1.38E+02	5.78E+00
3	Mo- 99	739	1477.96	2.772	66091	65213	258.8	130.3	1.67E+04	6.63E+01
4	Nb- 92m	934.46	1868.91	3.03	200	122.4	37.5	37.4	4.74E+00	1.45E+00
5	Na- 24	1369	2736.57	3.572	161	136.1	13.5	25.4	7.95E+00	7.88E-01

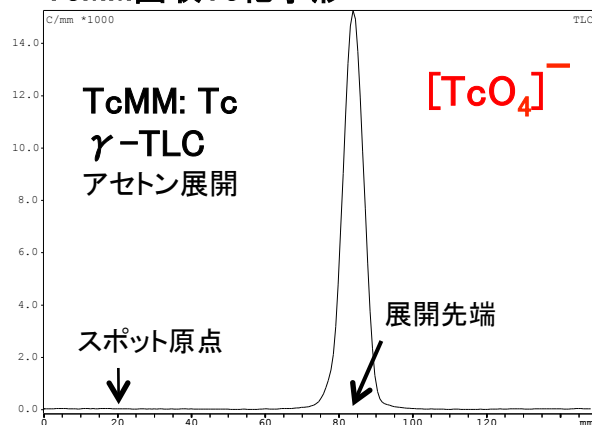
No	Nuclide	Energy (keV)	Channel (CH)	FWHM (ch)	Gross (cnt)	Net Vol (cnt)	± Err (cnt)	D.Limit (cnt)	Activity (Bq)	± Act Err (Bq)
1	Tc- 99m	141	280.9	1.856	59465	61284.8	283.9	163.2	4.28E+03	1.44E+01

試験結果① ^{99m}Tc 物質収支(回収率)／ ^{99}Mo 使用量と ^{99m}Tc 回収量

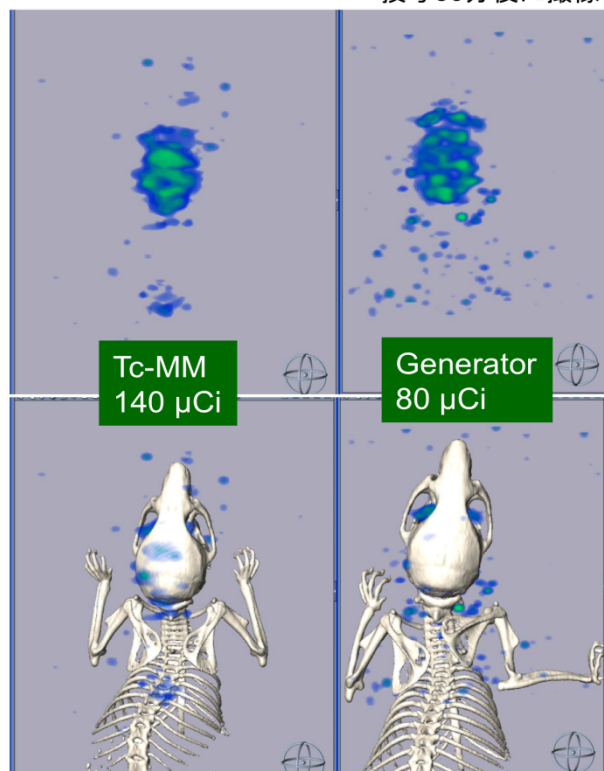


[注記1] 放射化学純度： ^{99m}Tc 減衰後(5~7日後)に長時間計測し評価

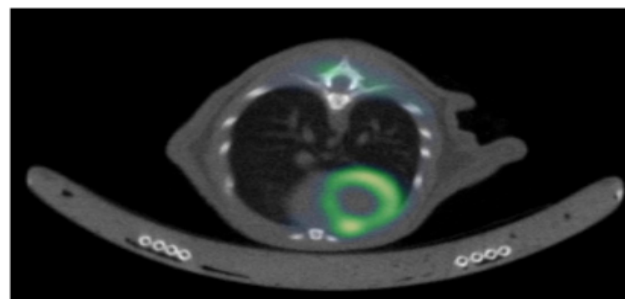
TcMM回収Tc化学形



^{99m}Tc -HMPAO マウスSPECT/CT画像
投与30分後に撮像

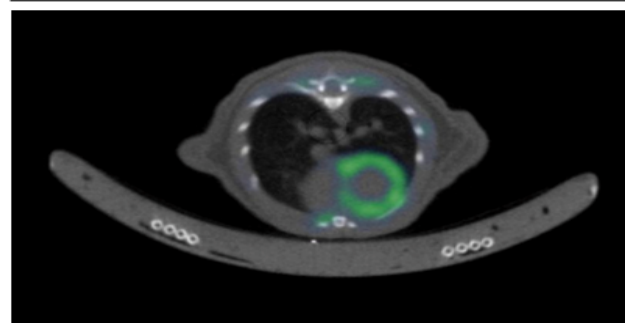


[Fission- ^{99m}Tc と対比し評価] 測定・評価 by 荒野教授



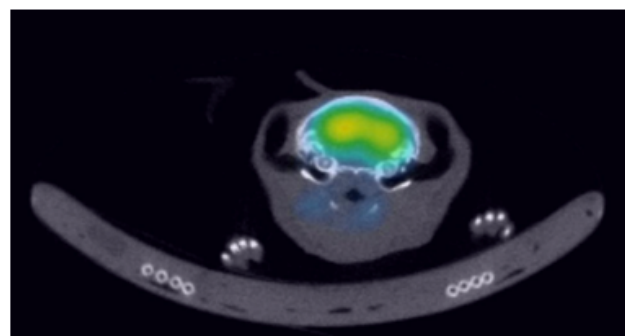
^{99m}Tc -MIBI
マウスSPECTCT画像

撮像条件
投与量: 0.76 mCi/200 μL
投与45分後より30分間撮像
5穴0.5 mmピンホールコリメータ



^{99m}Tc -Tetrofosmin
マウスSPECTCT画像

撮像条件
投与量: 0.6 mCi/200 μL
投与30分後より60分間撮像
5穴0.5 mmピンホールコリメータ



^{99m}Tc -HM-PAO
マウスSPECTCT画像

撮像条件
投与量: 1.2 mCi/200 μL
投与15分後より30分間撮像
5穴0.5 mmピンホールコリメータ

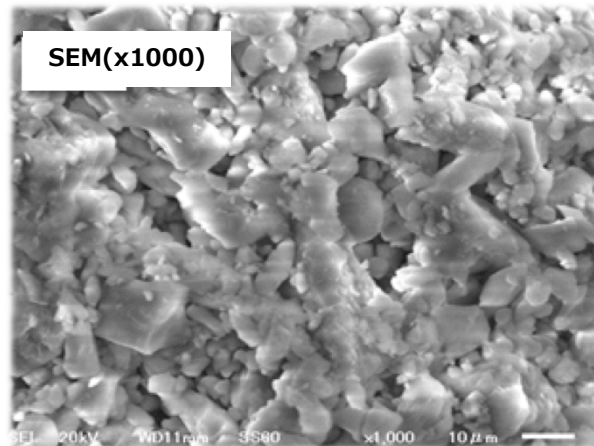
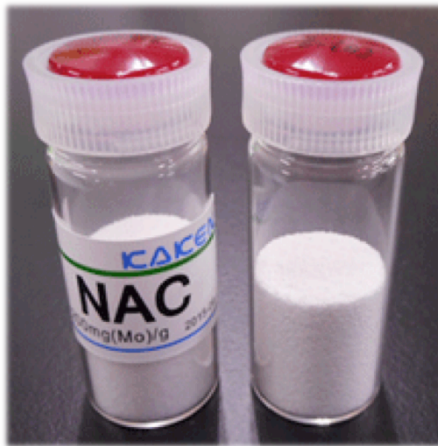
[検討結果]

- ・TcMM回収Tcは、高い純度・収率の ^{99m}Tc 薬剤を生成。
- ・TcMM法は、国産化 ^{99}Mo を用いた ^{99m}Tc 放射性医薬品の調製に有用である。

NAC (Nanosized Alumina Coagulated)

- ▶ Mo adsorption capacity was improved by nano-size alumina pores.
(about 50 times)

$$2 \text{ mg}_{(\text{Mo})}/\text{g}_{(\text{AL})} \Rightarrow 100 \text{ mg}_{(\text{Mo})}/\text{g}_{(\text{NAC})}$$



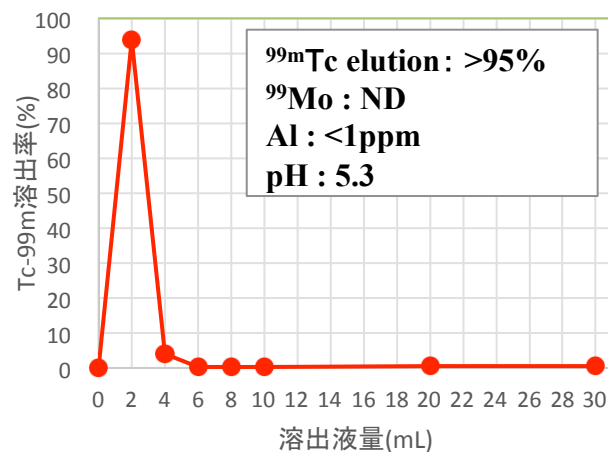
Even Mo-99 with low specific activity can be used for generators.

NAC-generator ^{99m}Tc milking profile

Column-1 100 mCi/g(NAC)



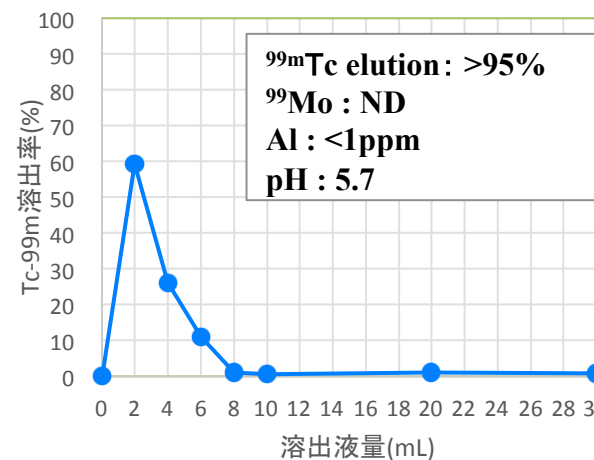
NAC 1.2 g(1.7 cc)/column
Mo Holding amount
 $\geq 120\text{mg}(\text{Mo})/\text{column}$
 $100\sim 110\text{mg}(\text{Mo})/\text{g}(\text{NAC})$



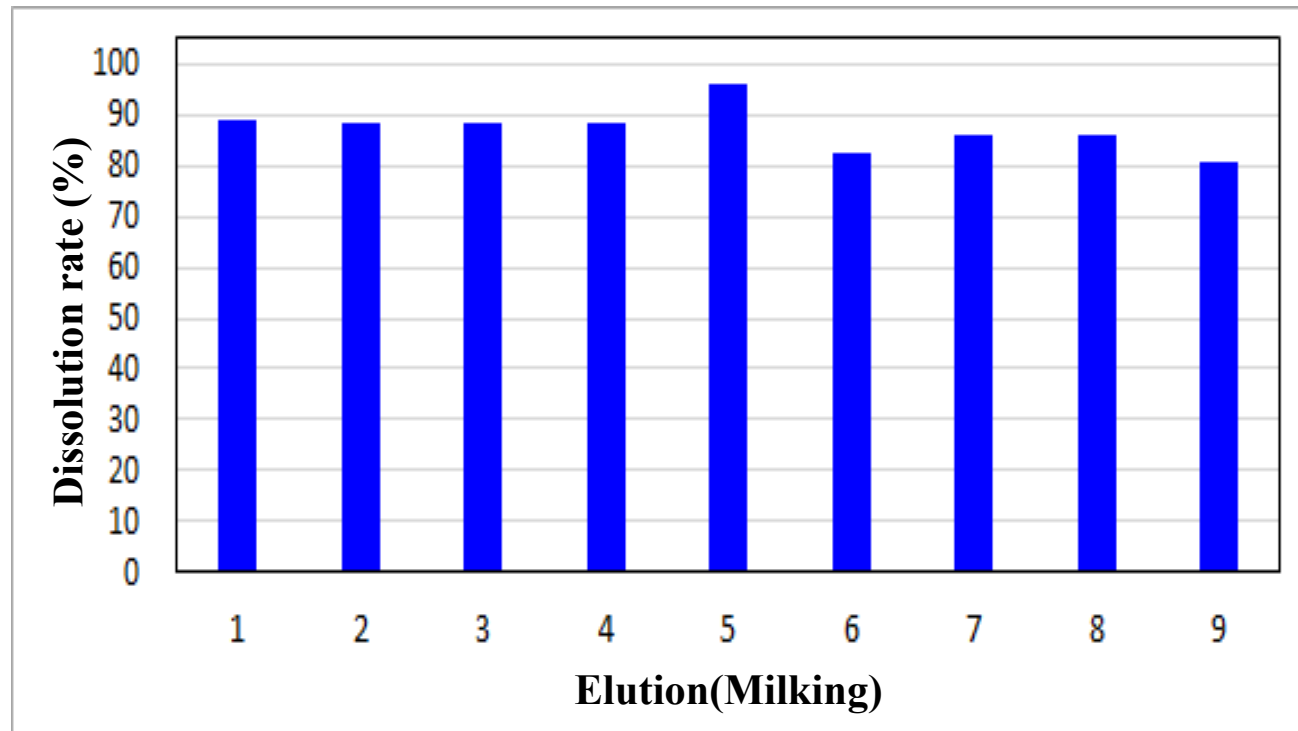
Column-2 200 mCi/column



NAC 2.0 g(2.8 cc)/column
Mo Holding amount
 $200\sim 220\text{ mg}(\text{Mo})/\text{column}$
 $100\sim 110\text{mg}(\text{Mo})/\text{g}(\text{NAC})$



NAC-generator Repeated ^{99m}Tc elution



82~96% elution in 1st milking (0~10mL)

Milking time: 10sec./10mL

インドネシアへの技術供与 & 今後の展望

Role

BATAN

- Domestic production of ⁹⁹Mo/^{99m}Tc by nat Mo.
- First accomplishment of ⁹⁹Mo/^{99m}Tc production by nat Mo using reactor.
- Global dissemination of reactor-nat Mo method from BATAN as the place of dispatch.

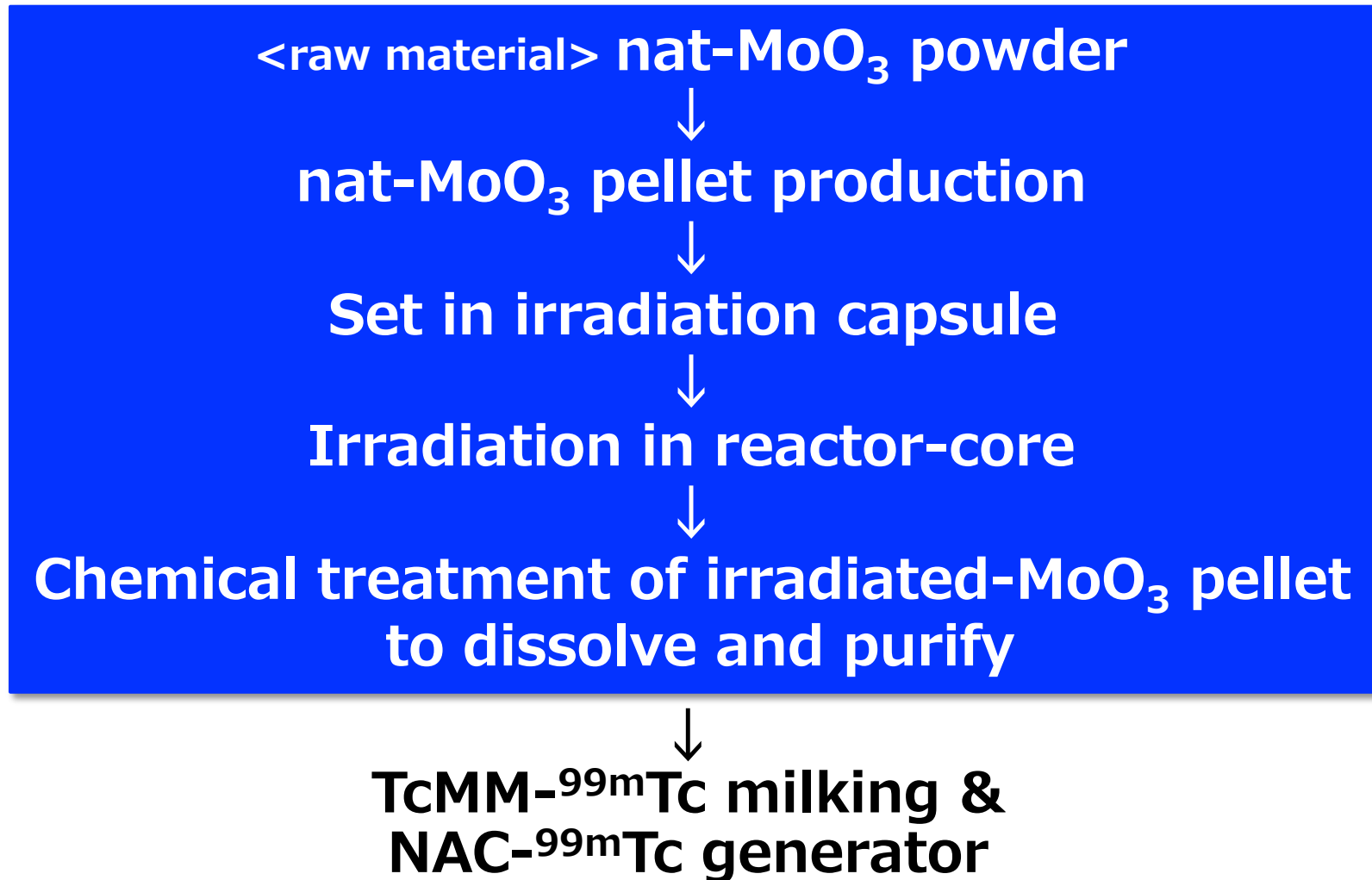
Kaken

- Transfers nat Mo-⁹⁹Mo/^{99m}Tc techs & system to BATAN for domestic production in Indonesia.
Production of Mo target, Dissolution and purification of irradiated Mo target, TcMM-^{99m}Tc milker, NAC-^{99m}Tc generator.
- Trainees BATAN ⁹⁹Mo/^{99m}Tc specialist while earning Ph.D degree in Japan.

NAIS

- Design of irradiation equipment (Reactor physics; neutron flux level, neutron spectrum)
- Safety evaluation of irradiation and procedure.
- Support of permission application to BAPETEN.

Process by ^{99}Mo production before $^{99\text{m}}\text{Tc}$ milking

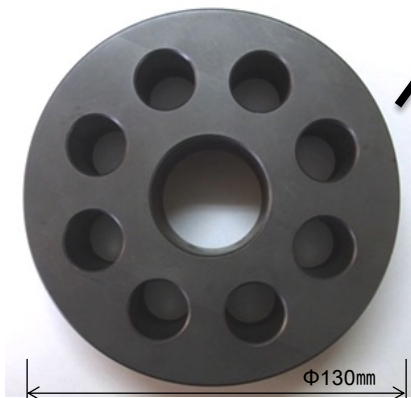


Transferable ^{99}Mo production techs and system

1) nat-MoO₃ pellet production



Spark Plasma Sintering



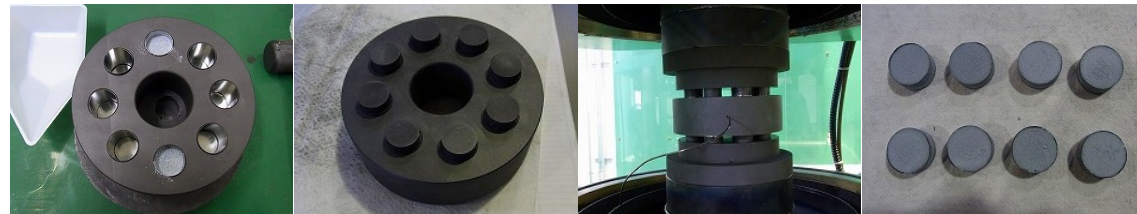
Graphite die (multi type)
for mass production

Mass production flow of nat-MoO₃ pellet

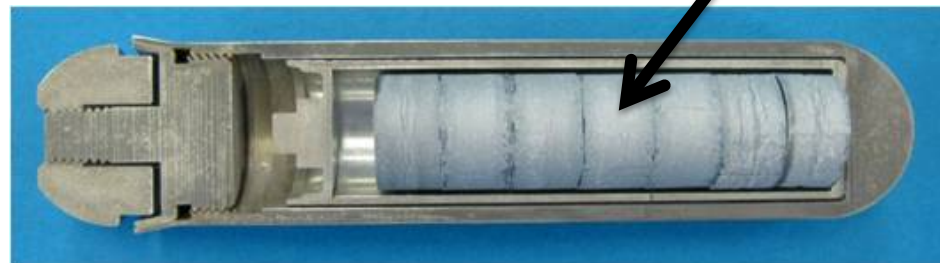
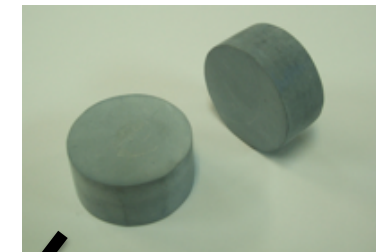
MoO₃ powder filling

sintering

pellet



$\Phi 19.6 \times 16\text{t}$



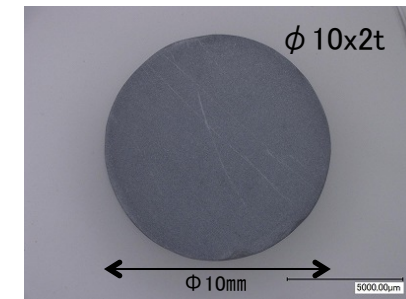
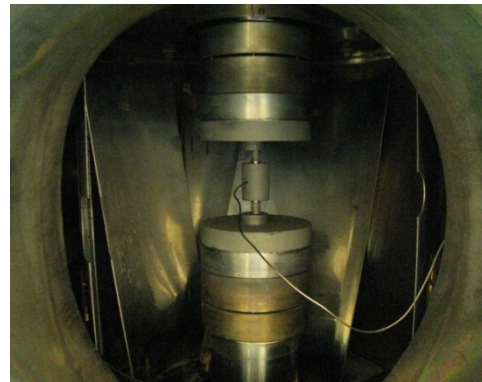
MoO₃ pellet capsule for irradiation in JRR-3

nat-MoO₃ pellet production equipment: SPS

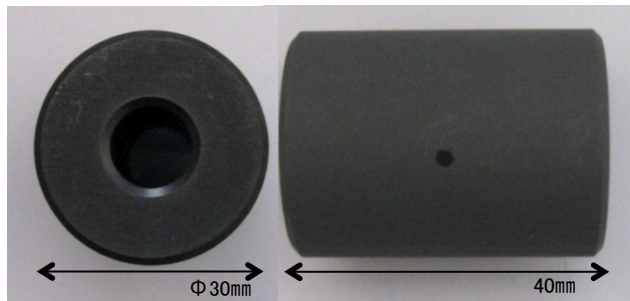


Spark Plasma Sintering

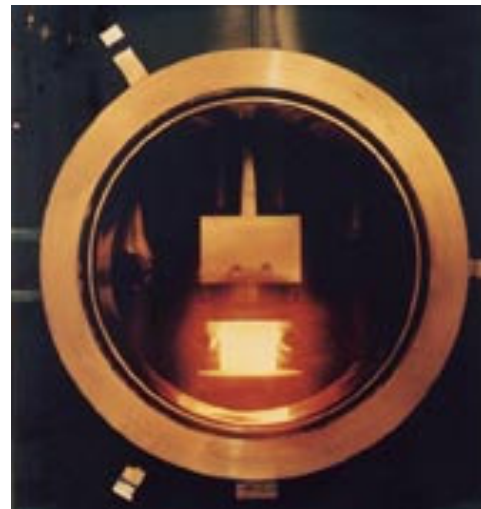
sintering



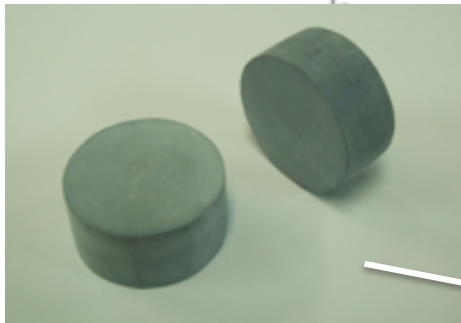
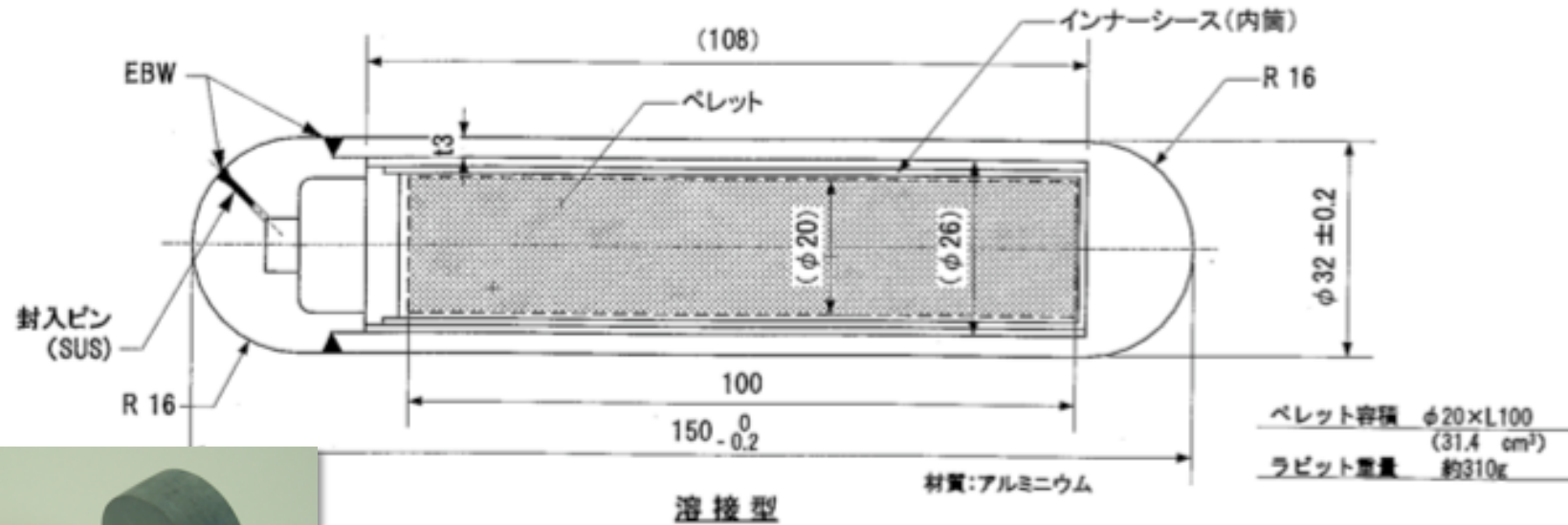
MoO₃ pellet



Graphite die (single type)



[Model] nat-MoO₃ pellet irradiation capsule in JMTR

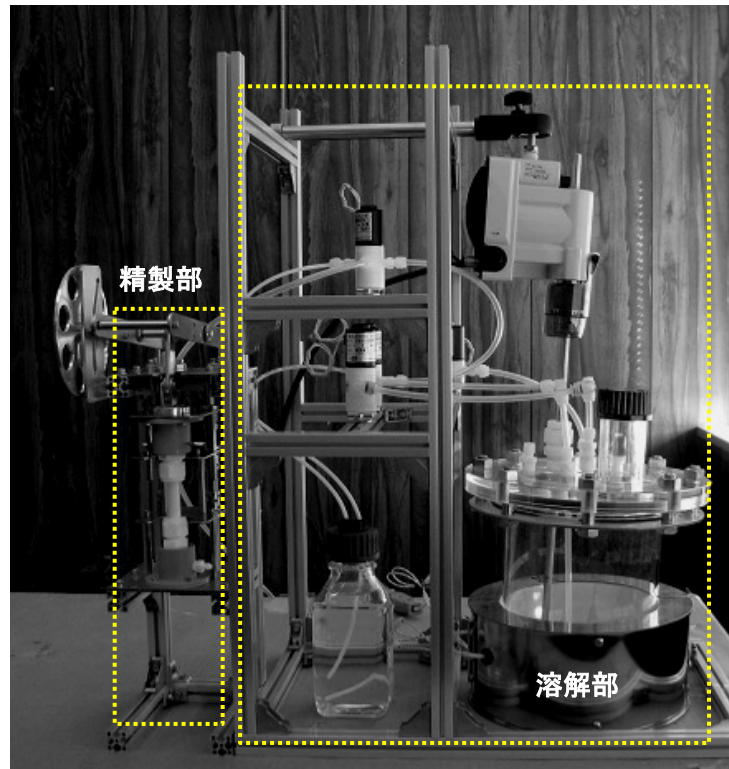


nat-MoO₃ pellet
20mmφ x 10~16mmt,
90~95%TD

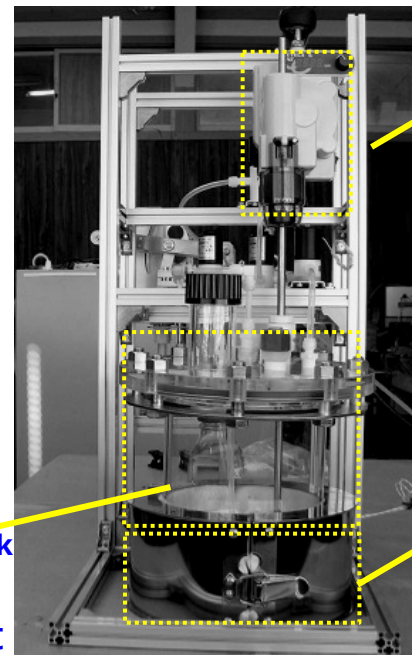
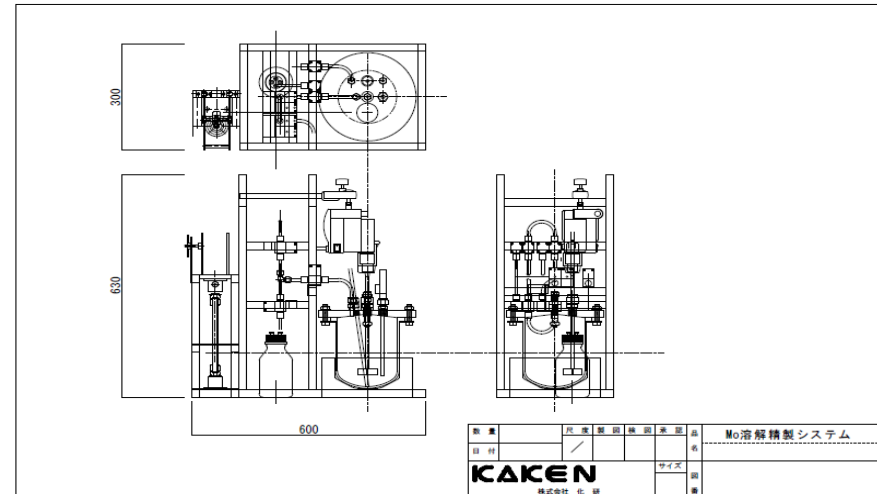


Transferable ^{99}Mo production techs and system

2) Chemical treatment and system of irradiated $\text{Mo}(^{99}\text{Mo})\text{O}_3$ pellet



Overall view

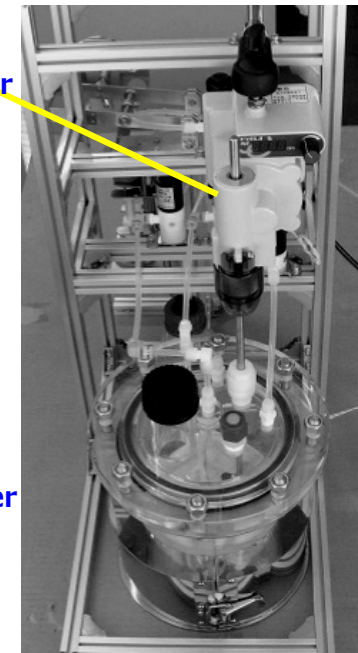


Dissolution tank

Dissolution part

Mixer

Heater



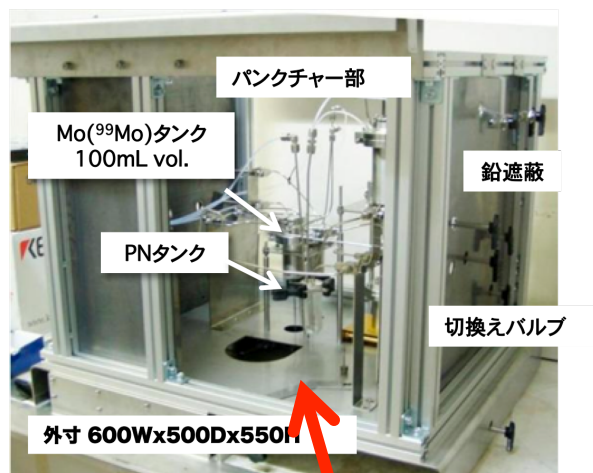
【製品イメージ】TcMM3機種



TcMM-1型

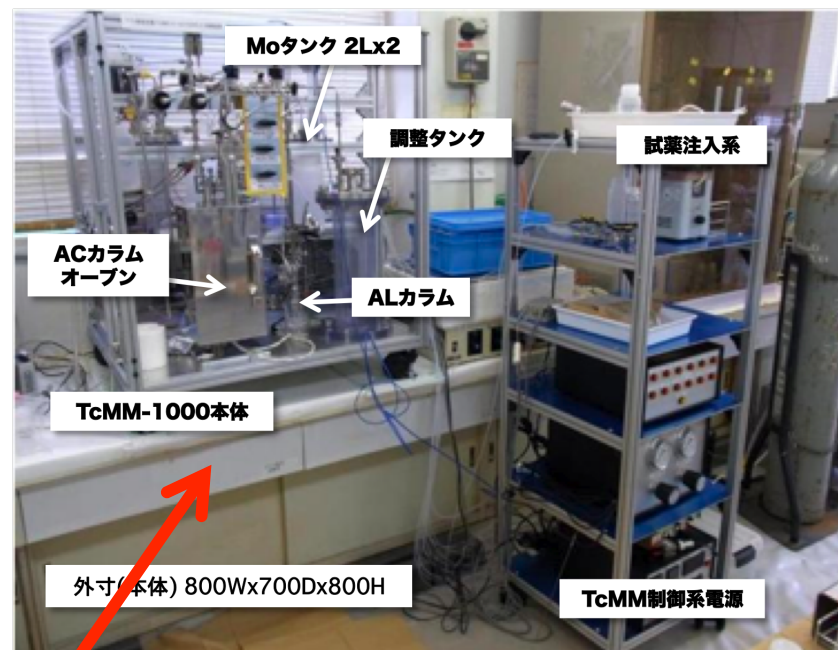
[病院設置型: イメージ]

ニーズが大きく、TcMM-20型と仕様がほぼ同等のため同時開発予定



TcMM-20型

[Radiopharmacy向け]



TcMMタイプ	TcMM-1	TcMM-20	TcMM-1000 (下段)TcMM-200	TcMM-HC (Tc濃縮)
⁹⁹ Mo量 (注1)	1Ci	20Ci	500Ci 200Ci	^{99m} Tc 150Ci or 360Ci
Mo量/Mo溶液量	1g(Mo)/20~50mL	20g(Mo)/100mL	1000g/4L 200g/1L	--
[ACカラム] AC量, 流量	0.5g, 2.5mL/min	1g, 5mL/min	5g, 100mL/min 5g, 100mL/min	0.2g, 2mL/min
[ALカラム] AL量, 流量	1~2g, 2mL/min	2~4g, 2mL/min	10~20g, 10mL/min 5~10g, 10mL/min	0.4~0.8g, --
^{99m} Tc回収時間	30~50min	60min	100min 60min	+60min
^{99m} Tc回収量/液量 回収時 ^{99m} Tc濃度 (注1)	800mCi/15mL, 50mCi/mL	15Ci/25mL, 600mCi/mL	360Ci/120mL, 3.0Ci/mL 150Ci/120mL, 1.2Ci/mL	360Ci/18mL, 20Ci/mL 150Ci/10mL, 15Ci/mL
廃棄物発生量 (注2)	廃液 30mL/run + AC, AL	60mL/run + AC, AL	300mL/run + AC, AL	5~10mL/run + AC, AL

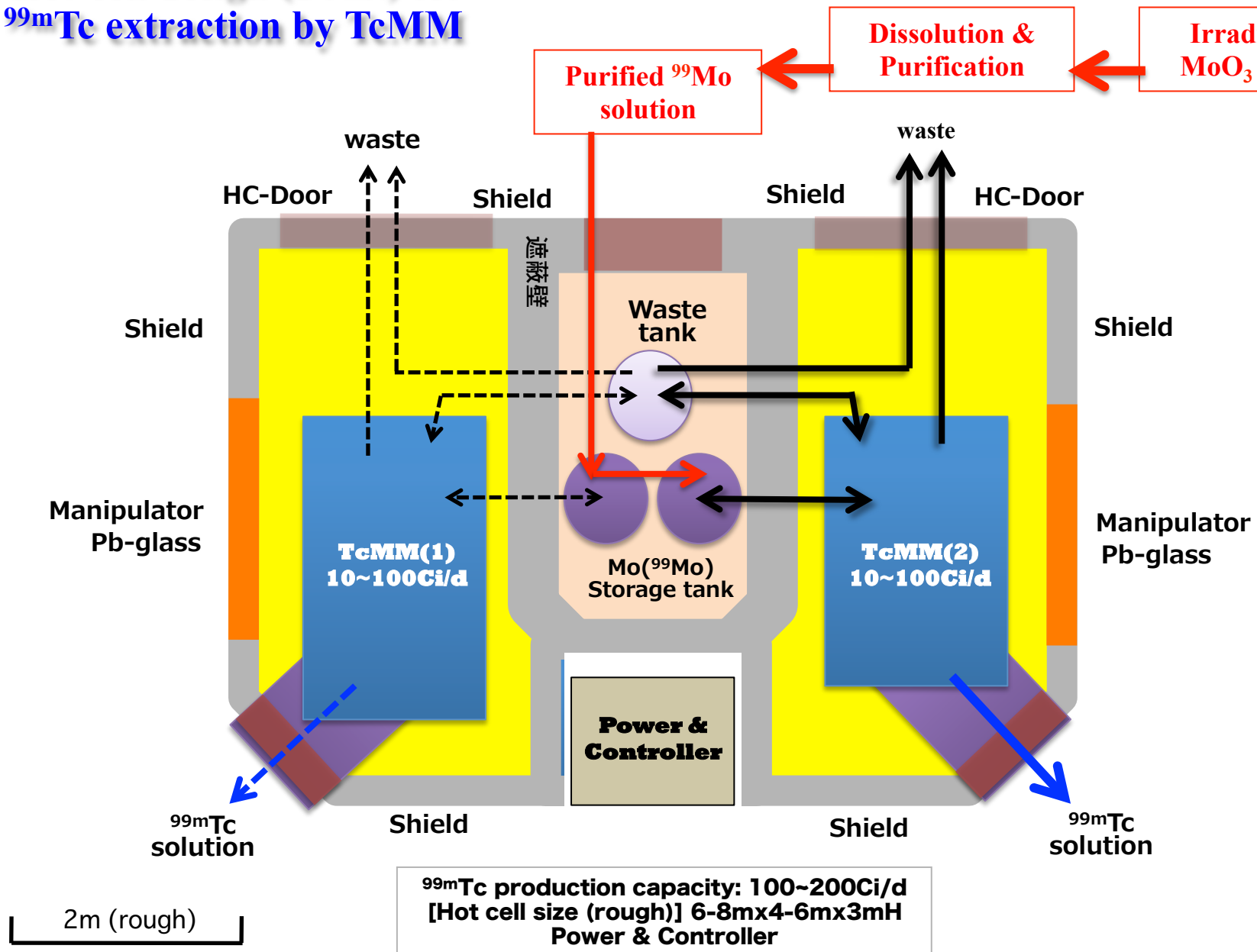
TcMM-1000型

[製薬メーカー向け]

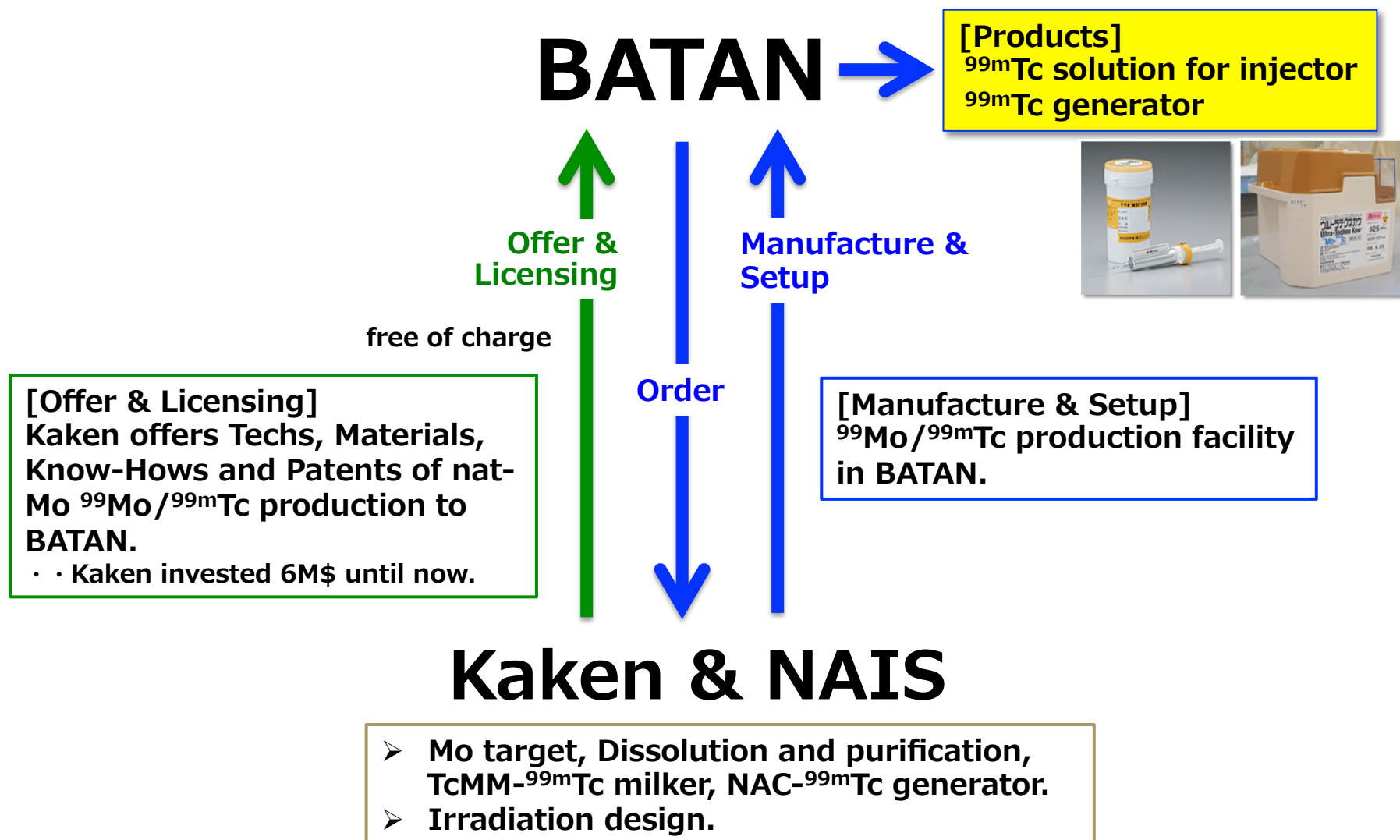
TcMMプロセス条件
システム仕様(案)

濃縮

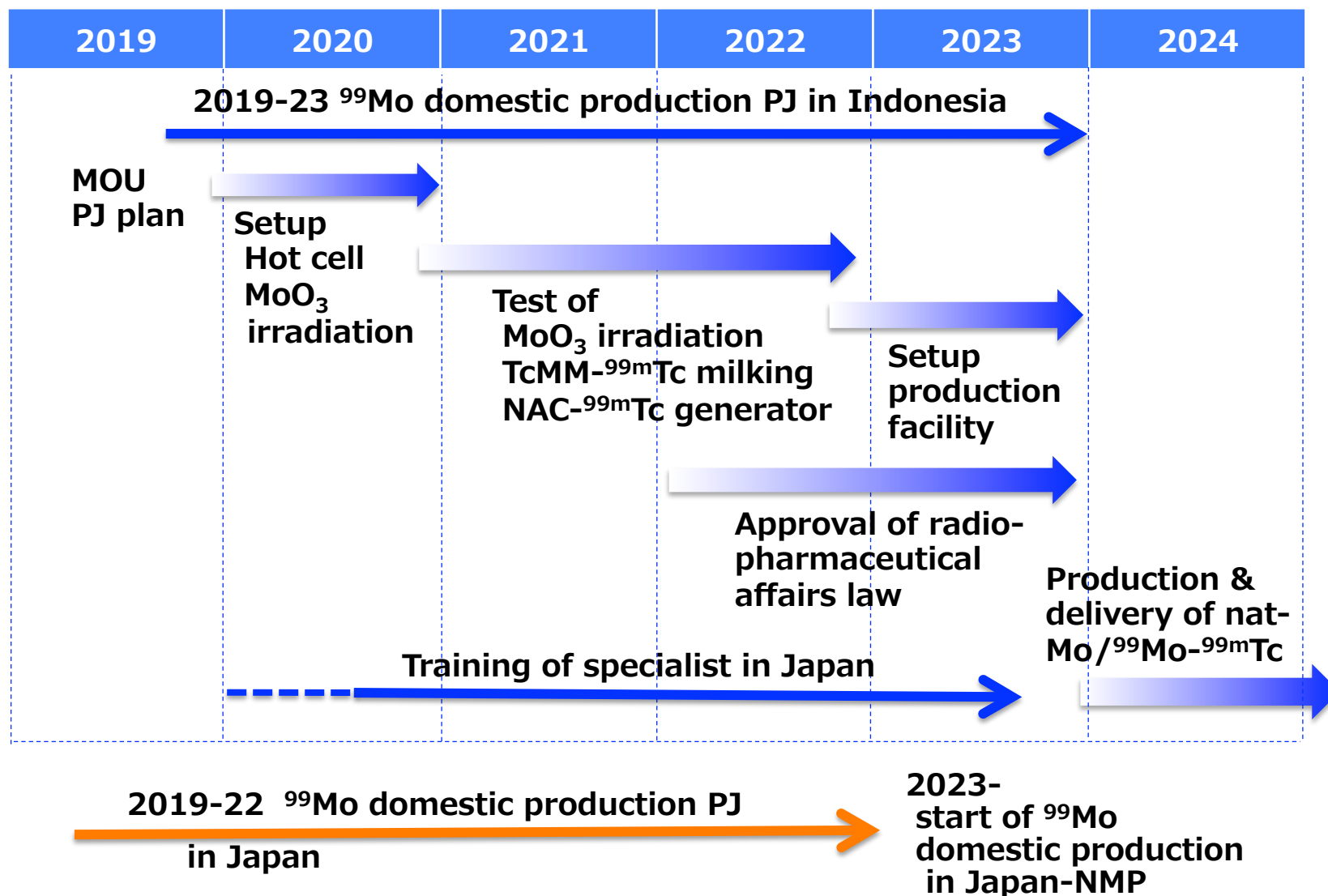
Hot-cell design (Draft) for ^{99m}Tc extraction by TcMM



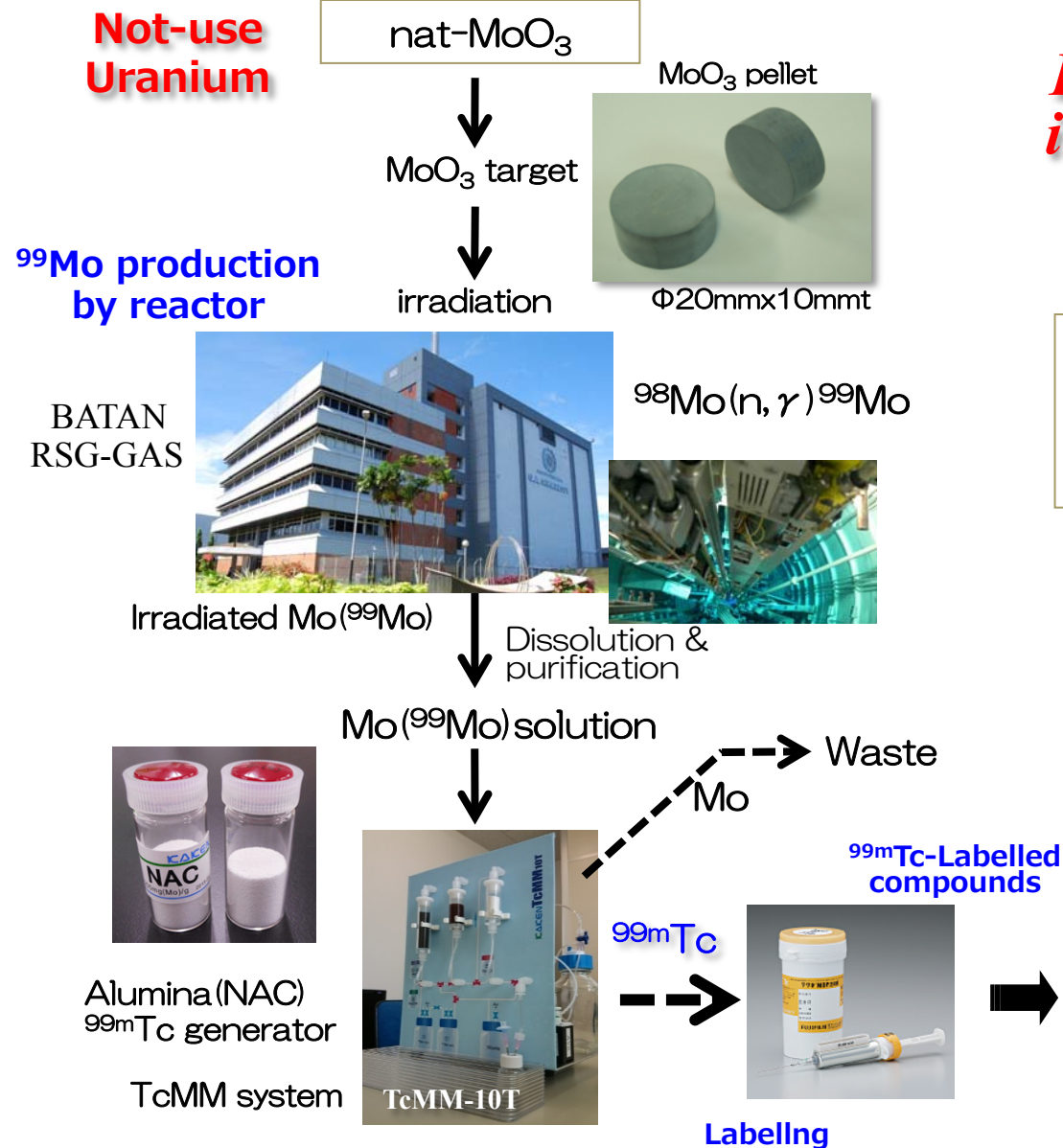
Collaborative manufacture of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ facility in BATAN



R&D collaboration schedule (Draft)



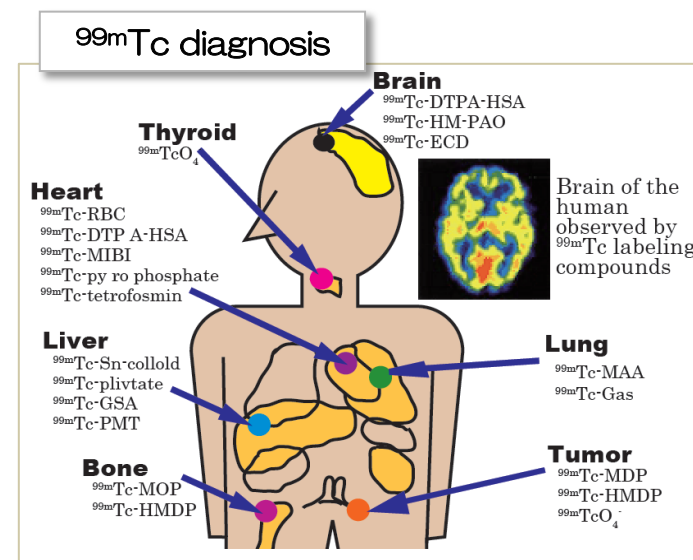
Proposal of ^{99}Mo domestic production in Indonesia, Reactor nat-Mo $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ -TcMM & NAC $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -generator



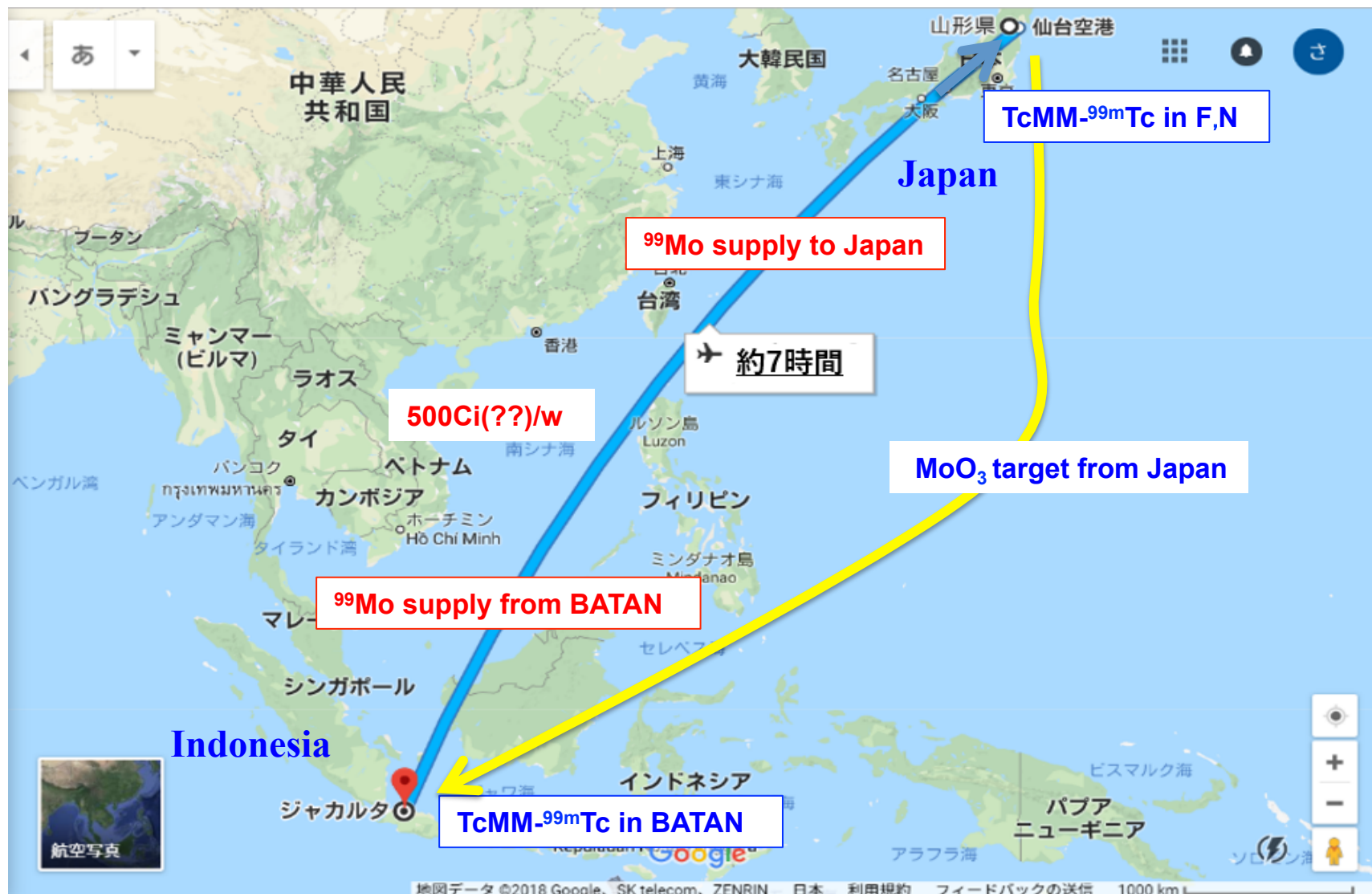
*First accomplishment
in the world by reactor
nat-Mo*

[Feature]

- nat-MoO₃ pure target: cheap
- Simple process
- Mo recycling : not-needed

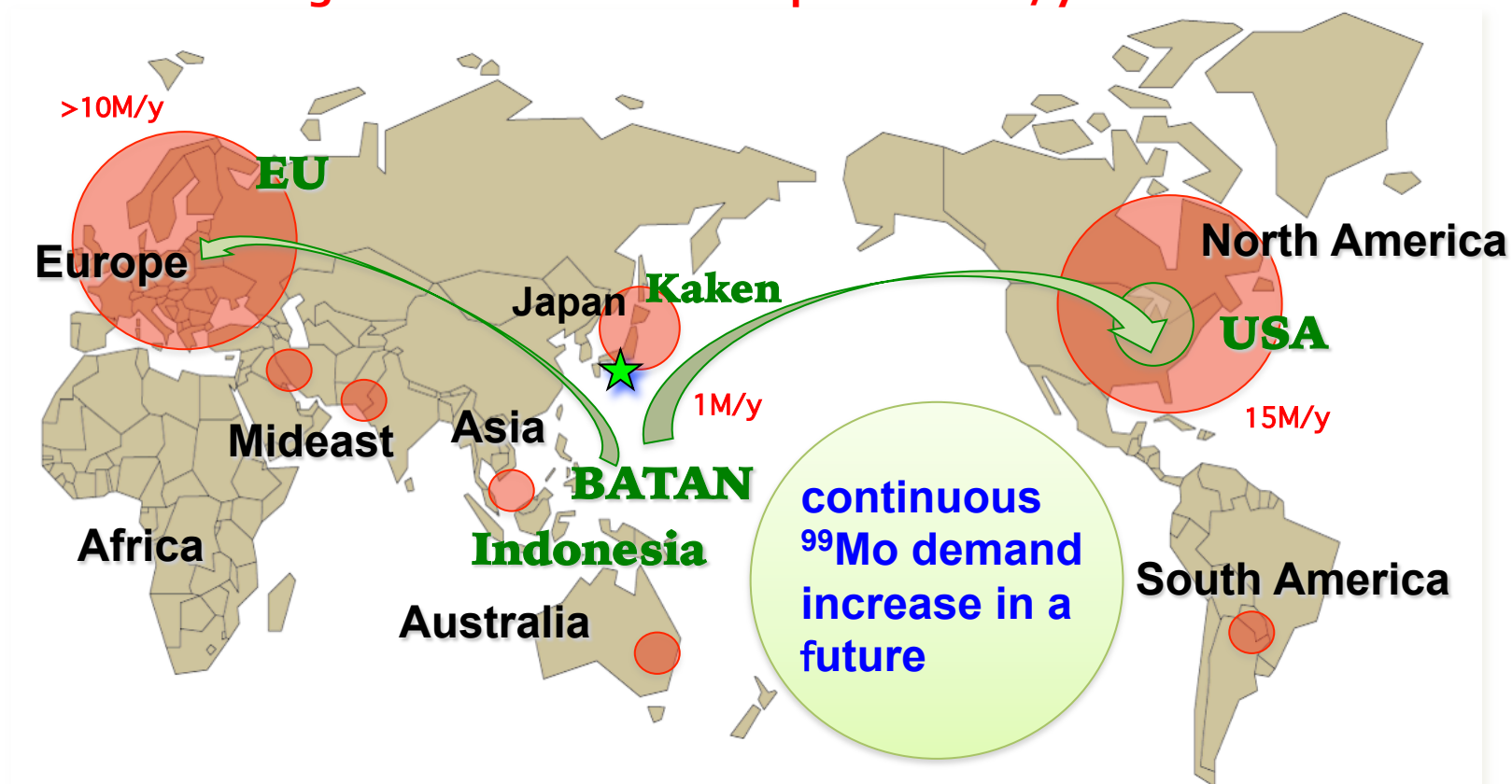


Scheme of ^{99}Mo supply from BATAN to Japan



Global dissemination of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ production by reactor-nat Mo method from BATAN

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ diagnosis demand >30M procedures/year



$^{99\text{m}}\text{Tc}$ diagnosis demand (image)