

# インドネシアにおける医用RI製造 技術開発の動向

Liem Peng Hong (リンペンホン)  
東京都市大学(TCU)  
株式会社ナイス(NAIS)



次世代に良い環境を残すために



株式会社ナイス  
<http://www.nais.ne.jp>



次世代に良い環境を残すために。

デコミッショニング技術  
Decommissioning technology



株式会社化研  
●本社 / 水戸研究所  
〒310-0903 茨城県水戸市堀町1044  
TEL029-227-4485 FAX029-227-4082  
●機能材料研究所  
〒311-1416 茨城県鉾田市鹿田873-3  
TEL0291-37-1229 FAX0291-37-1259

株式会社ナイス  
●本社  
〒319-1112 茨城県那珂郡那珂東海村村松416-1  
TEL029-270-5000 FAX029-270-5001

# 内容

3

- Mo-99/Tc-99mの製造法
- インドネシア原子力庁(BATAN)における  
医用RI製造実績及び研究開発の動向
- BATAN-KAKEN-NAISの共同PJ  
(天然Moを用いたMo-99/Tc-99m製造)

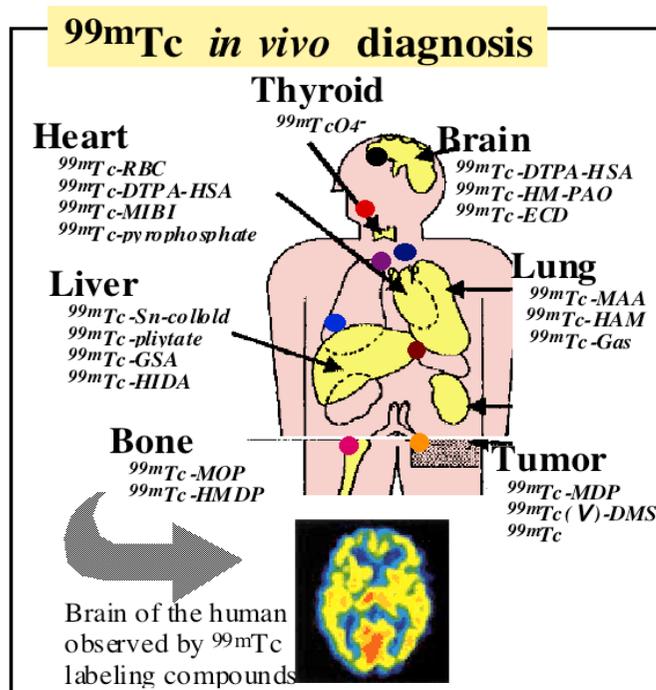
# Tc-99mとは

4

- 世界中で年間3,000万件以上の医療診断に活用
- 臓器機能診断、がん診断など
- PETが使えない部位や症状の診断も可能

## [参考データ]

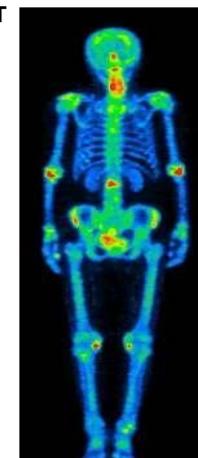
親核種 Mo-99半減期: 66時間  
 Tc-99m半減期: 6時間  
 診断に用いる  $\gamma$  線エネルギー: 140keV



$^{99m}\text{Tc}$ -SPECT/CT

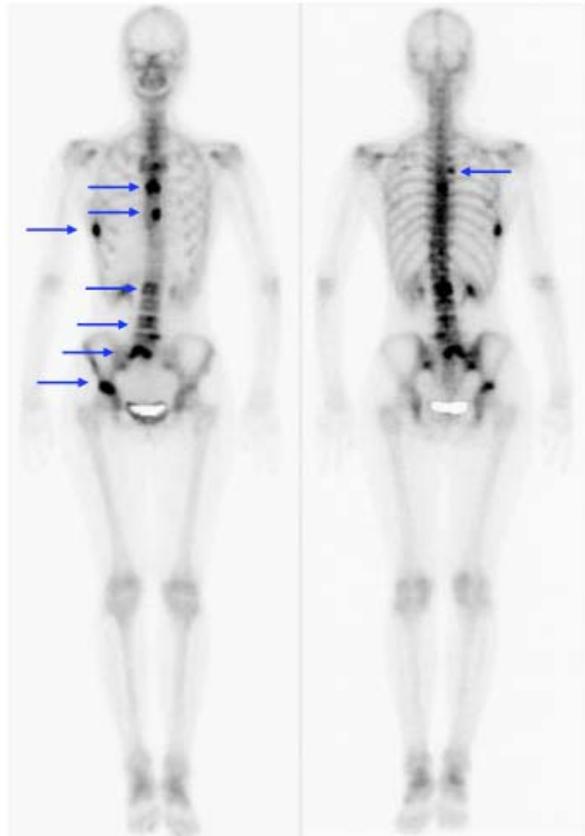
Tc-99mによる  
骨シンチ検査例

Bone Imaging

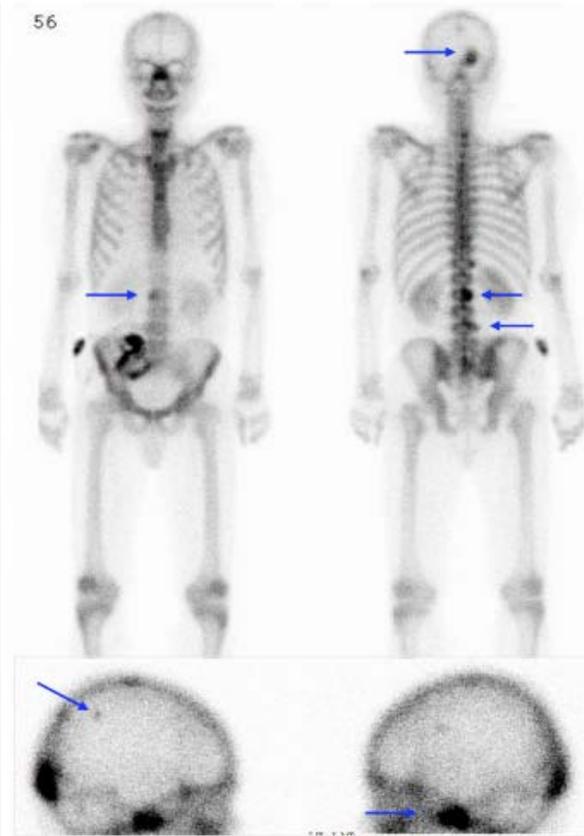


Tc-99mによる診断例(1) 骨転移検査: Bone Imaging

5



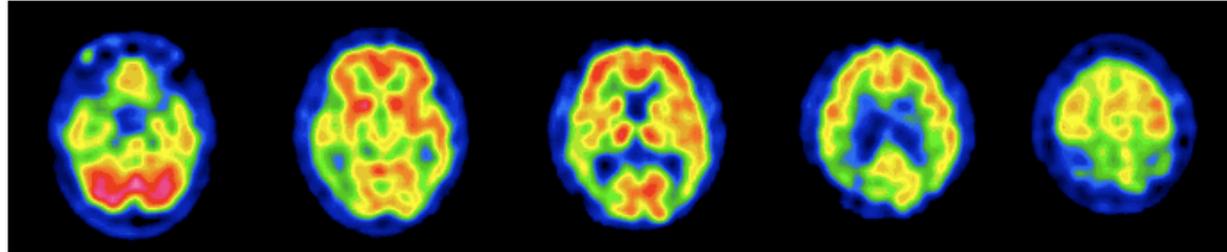
乳癌骨転移



膀胱癌骨転移

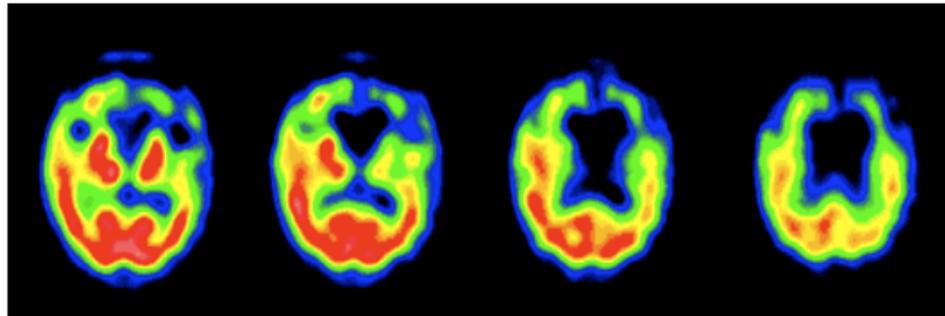


アルツハイマー病



$^{99m}\text{Tc}$ -HMPA 両側側頭葉・後頭葉・頭頂葉の血流低下

ピック病



$^{99m}\text{Tc}$ -HMPA 両側前頭葉の血流低下

Tc-99mによる診断例(2)

## 脳血流・脳機能検査

## Mo-99/Tc-99m製造法

- **原子炉**を用いたMo-99製造法
- **加速器**を用いたMo-99製造法

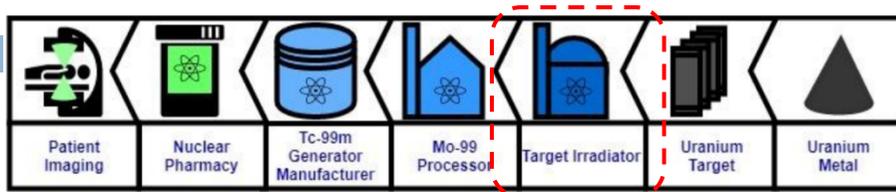
### [参考データ]

**親核種**Mo-99半減期: 66時間

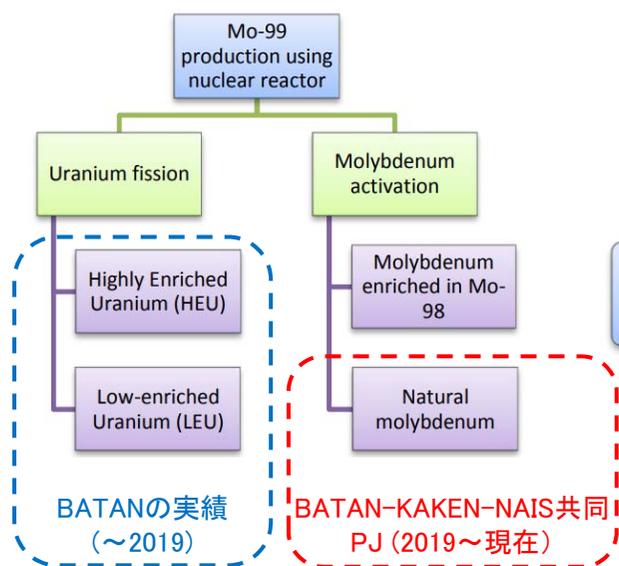
**娘核種**Tc-99m半減期: 6時間

診断に用いる $\gamma$ 線エネルギー: 140keV

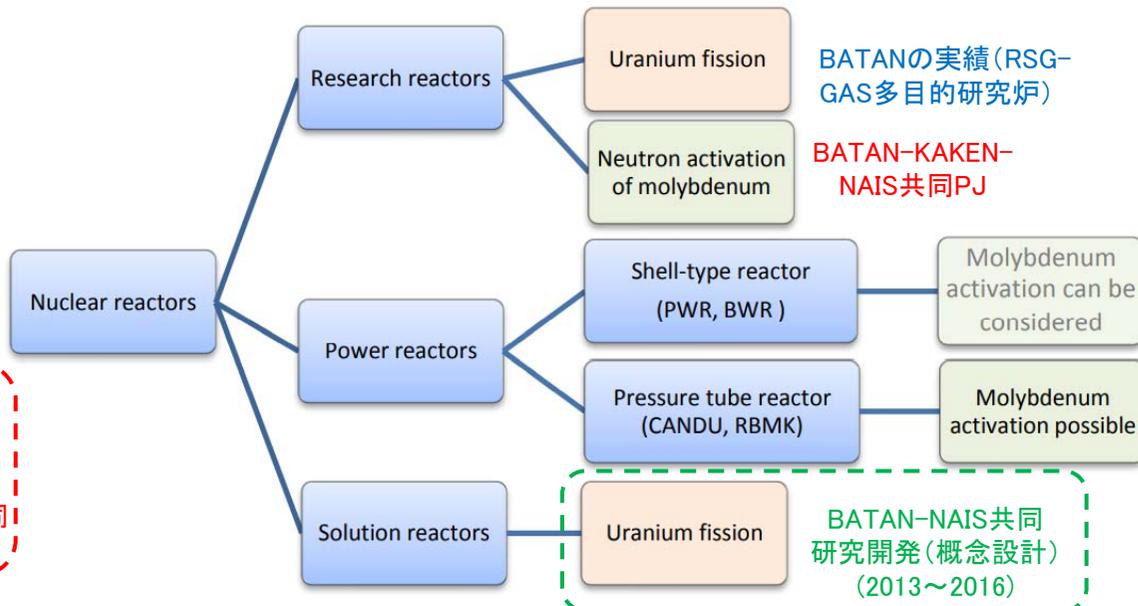
# 原子炉を用いたMo-99/Tc-99mの製造法



OECD/NEA (2010, 2019)

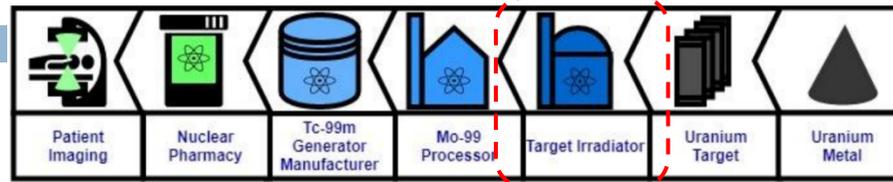


但し、BATAN-JAEA (JMTR、KAKEN)技術協力等も過去に実施された

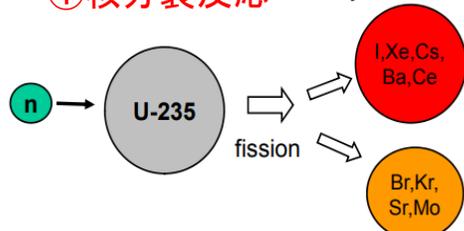


Progress in Nuclear Energy 82 (2015) 191-196

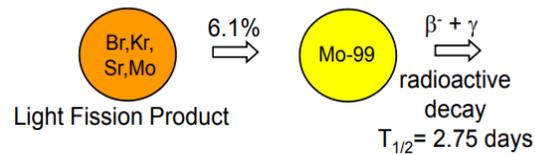
# 核分裂反応によるMo-99/Tc-99mの製造



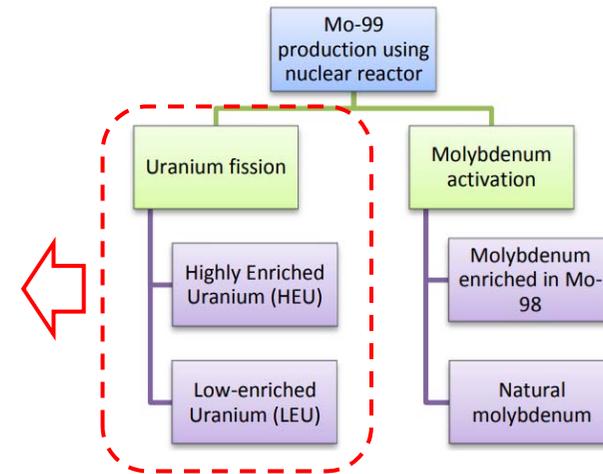
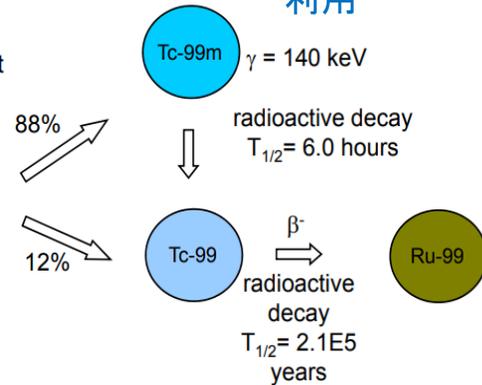
## ①核分裂反応 Heavy Fission Product



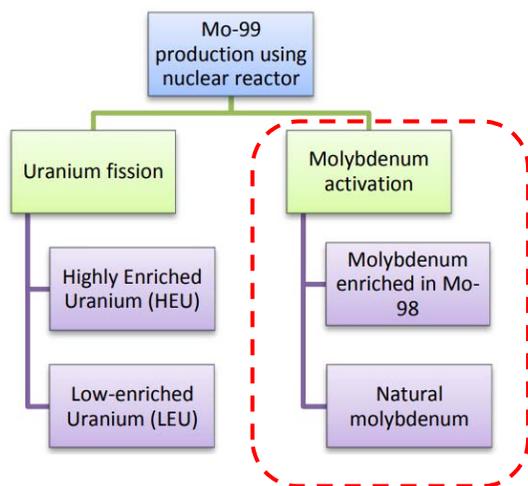
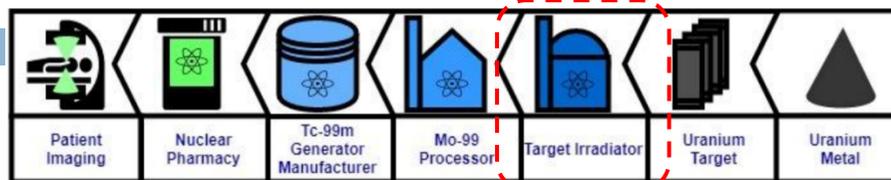
## ②Mo-99収率 Light Fission Product



## イメージングに利用

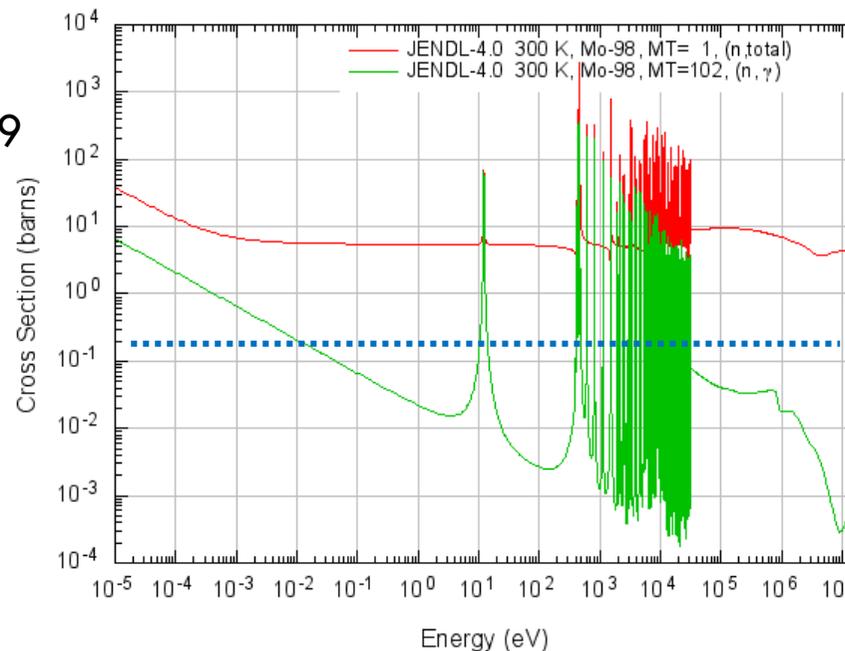


# Mo照射によるMo-99/Tc-99mの製造

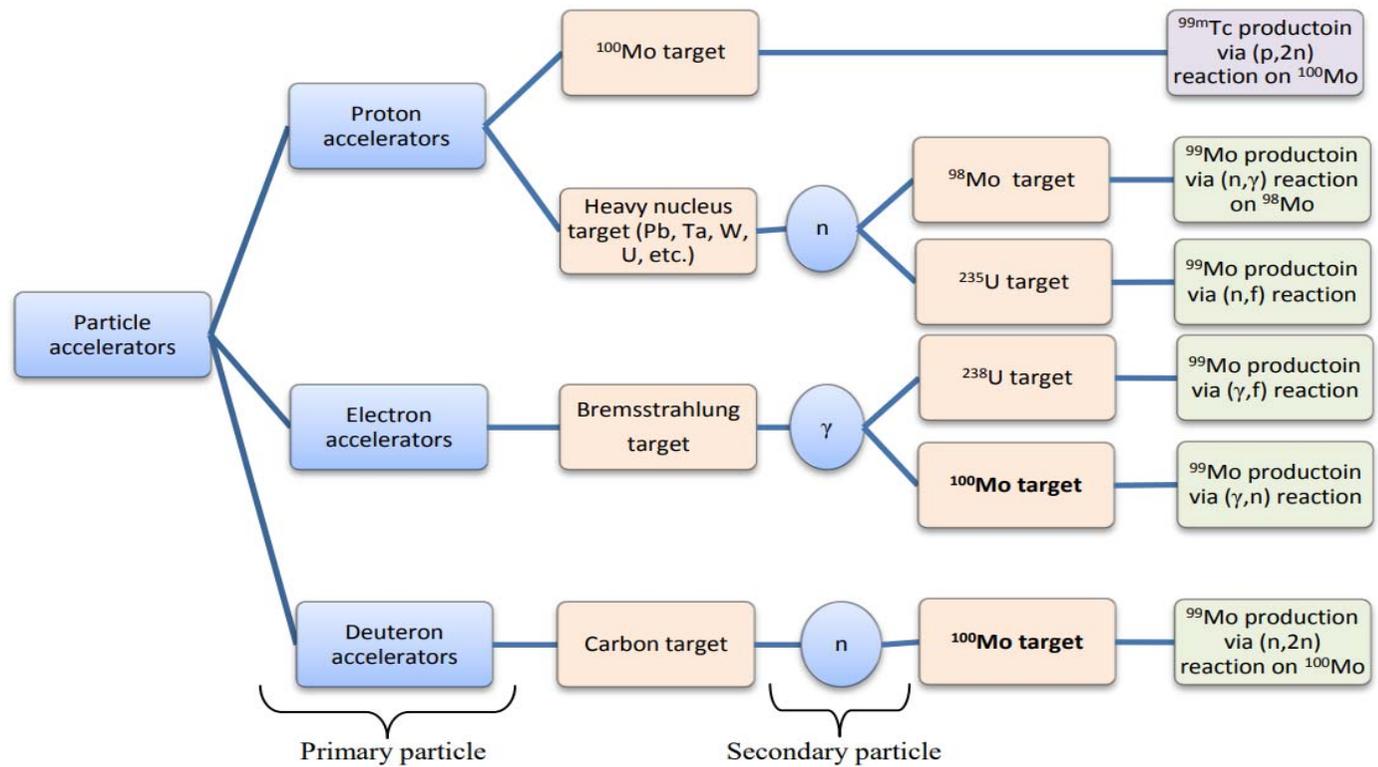


Mo-98(n,g)Mo-99

- ①熱中性子炉  
 $\sigma(n,g) \sim 0.17$  barns
- ②Mo-98の存在比  
 $\sim 24.34\%$

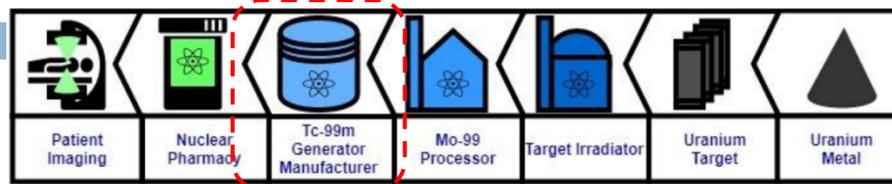


# 補足資料 加速器を用いたMo-99/Tc-99mの製造法



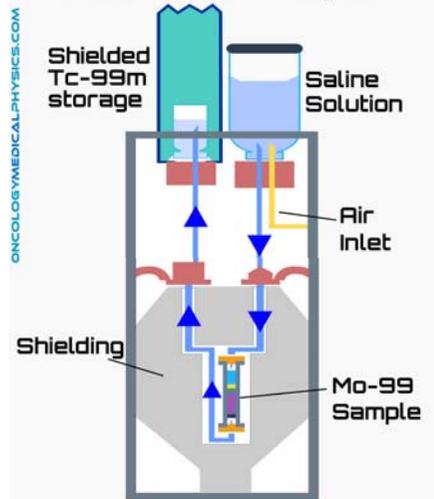
# Tc-99m Generator → Tc-99m搾乳プロセス

12

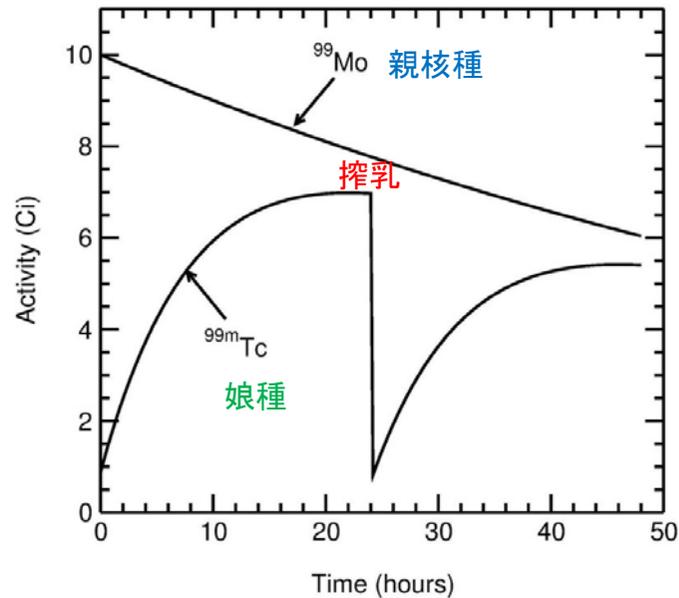


## Radionuclide Generators

### Mo-99/Tc-99m "Moly Cow"

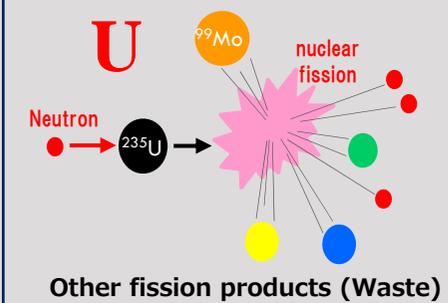
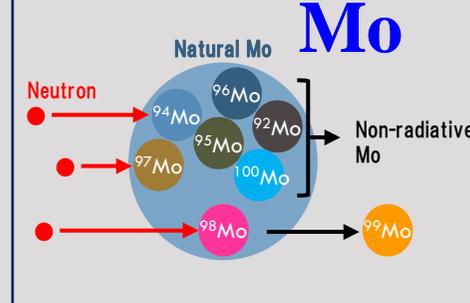


Saline flows through Mo-99 sample collecting Tc-99m. Tc-99m/saline solution is collected above.



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

13

|                                  | Fission-U   | Natural-Mo  |
|----------------------------------|---|---|
| Pattern diagram                  |  <p>U</p> <p>Neutron <math>\rightarrow</math> <math>^{235}\text{U}</math> <math>\rightarrow</math> <math>^{99}\text{Mo}</math> + nuclear fission + Other fission products (Waste)</p> |  <p>Natural Mo Mo</p> <p>Neutron <math>\rightarrow</math> <math>^{94}\text{Mo}</math>, <math>^{96}\text{Mo}</math>, <math>^{97}\text{Mo}</math>, <math>^{95}\text{Mo}</math>, <math>^{92}\text{Mo}</math>, <math>^{100}\text{Mo}</math> } Non-radiative Mo</p> <p><math>^{98}\text{Mo}</math> <math>\rightarrow</math> <math>^{99}\text{Mo}</math></p> |
| Material                         | HEU, LEU  | Natural Mo  |
| Reaction                         | $^{235}\text{U}$ (n, fission)   | $^{98}\text{Mo}$ (n, $\gamma$ ) $^{99}\text{Mo}$  |
| Specific activity                | High (10,000Ci/g-Mo)  | Low (0.5~1Ci/g-Mo)  |
| Radioactive waste                | Fission Products  | Almost none   |
| $^{99}\text{Mo}$ separation      | Necessary   | Unnecessary   |
| $^{99}\text{Mo}$ generation cost | High<br>( $^{99}\text{Mo}$ separation, Waste disposal)  | 1/70 of fission method  |

化研のTcMM  
法で対処

## BATANにおけるMo-99やその他のRI製造

- 旧BATAN(BRIN)の紹介
- 医用RI製造施設、実績、研究開発動向
- 国内のMo-99/Tc-99m製造能力の最適化
- 国内のMo-99/Tc-99mの供給の現状

# インドネシア原子力関連行政組織



原子力規制庁を除き、研究・技術・高等教育省、BPPT、BATAN 及び LIPI が組織改編中



Part VII 各国・地域の原子力動向 1. アジア (インドネシア)

# BATANにおけるSERPONG原子力研究所

16



放射性廃棄物  
処理センター

多目的研究炉センター  
RSG-GAS

RSG-GAS:  
Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy  
(JEMPR-30)

RI製造センター

核燃料製造加工  
センター

原子炉安全研究  
センター

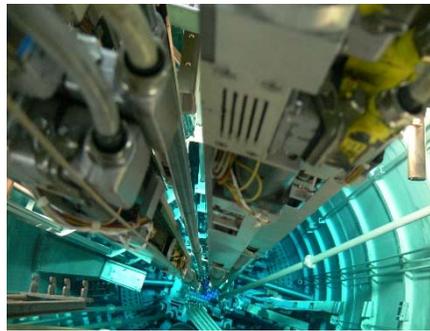
研究所本部

# 多目的研究炉 RSG-GAS (1987～現在)

17



BATAN (2021)

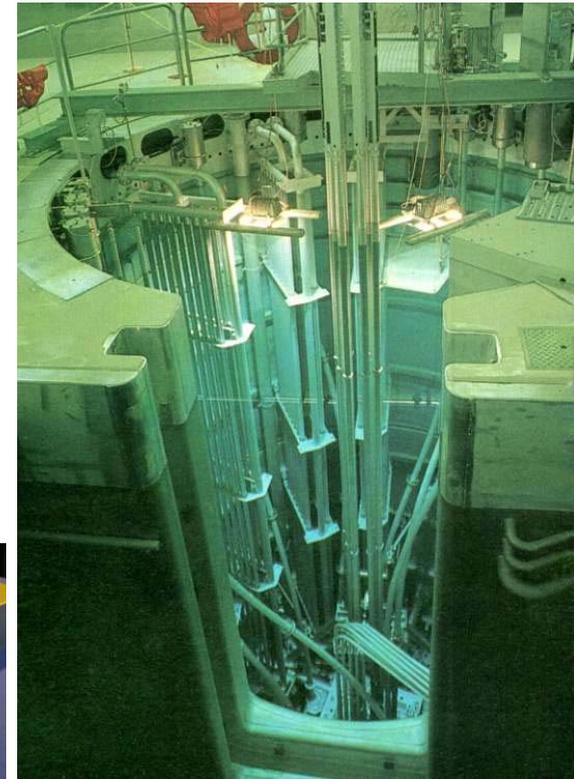
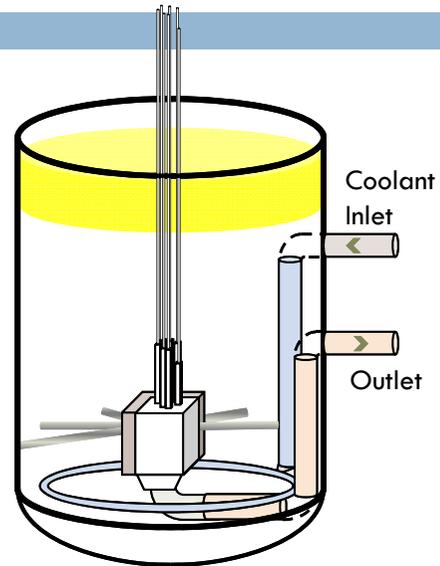


# 多目的研究炉 RSG-GASの仕様

18

BATAN (2021)

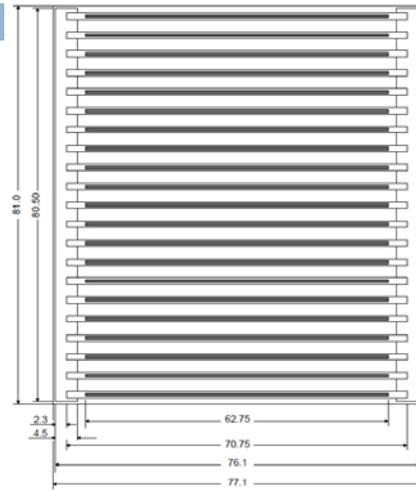
|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Power (Max.)                  | 30 MW   |
| Neutron Flux                  | $2\sim 4 \times 10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> .s |
| Cooling Material              | Light Water                                   |
| Fuel Type                     | MTR   |
| Fuel Material                 | U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> Al             |
| <sup>235</sup> U Enrichment   | 19.75 % (LEU)                                 |
| <sup>235</sup> U Density      | 2.96 gr/cm <sup>3</sup>                       |
| Absorber                      | Ag-In-Cd                                      |
| No. of Control Rod            | 8   |
| Reflector                     | Beryllium                                     |
| No. of Neutron Beams          | 6   |
| Radiation Protection Facility | Warm Water Layer (N-16)                       |



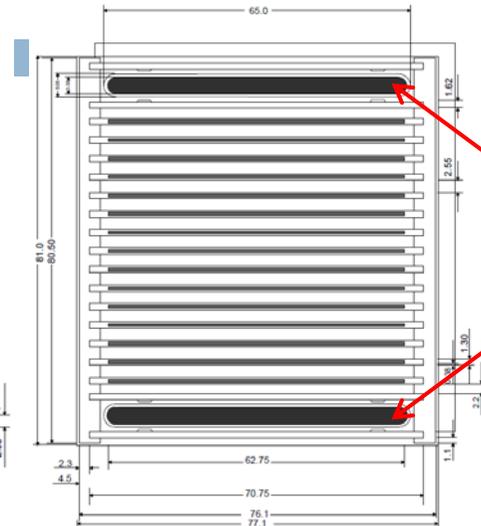
# RSG GAS Standard and Control Fuel Element

19

Dimension  
7.71 x 8.1 x 60 cm

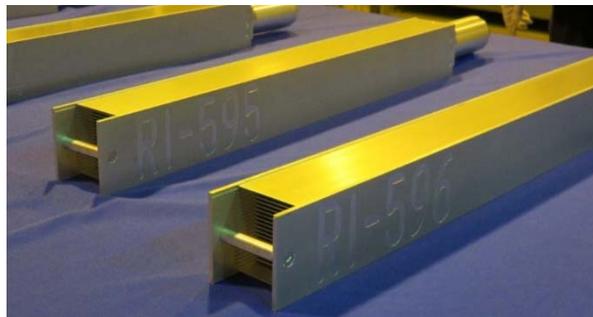


Standard FE (21 plates)

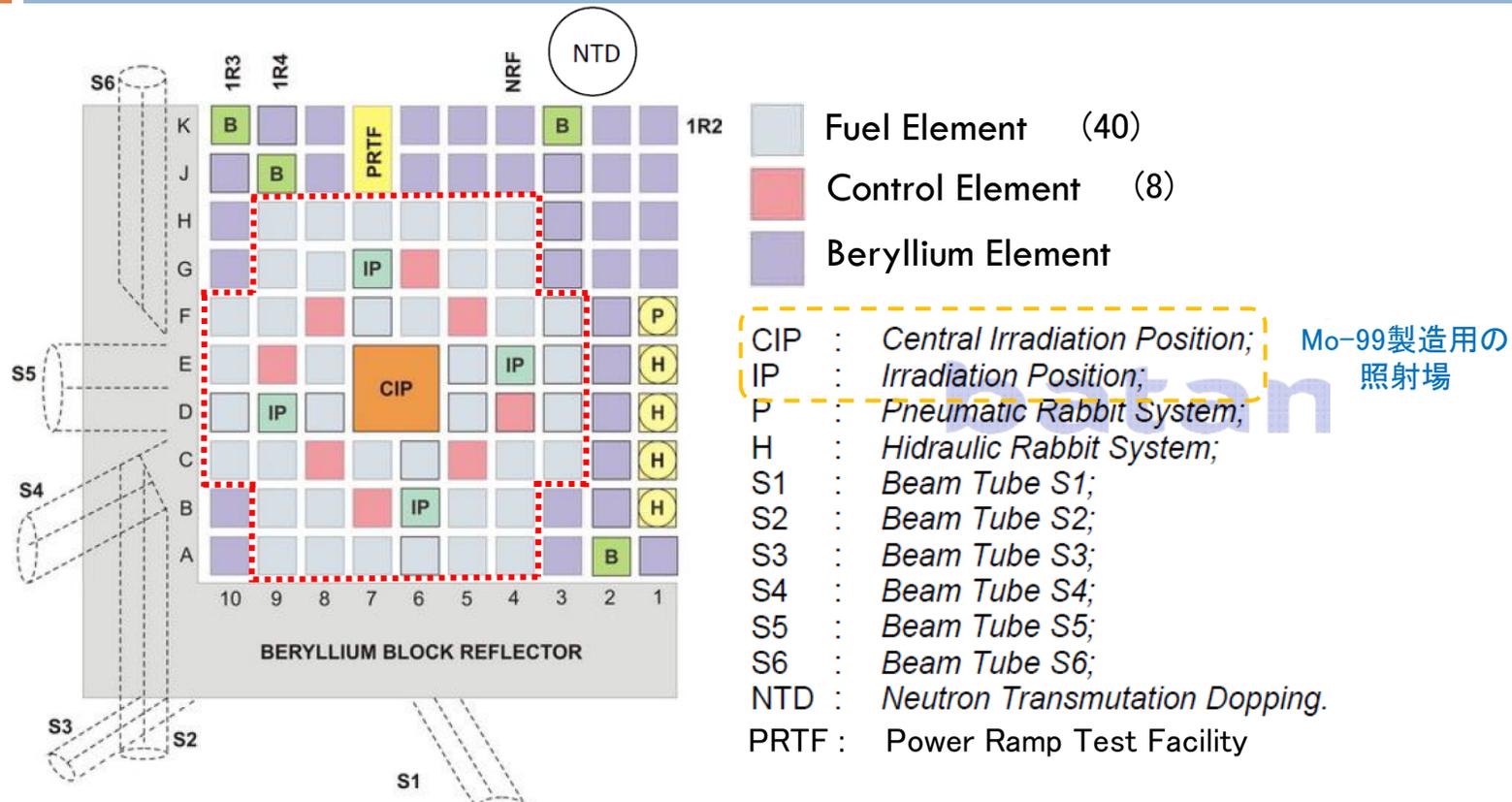


Control FE (15 plates)

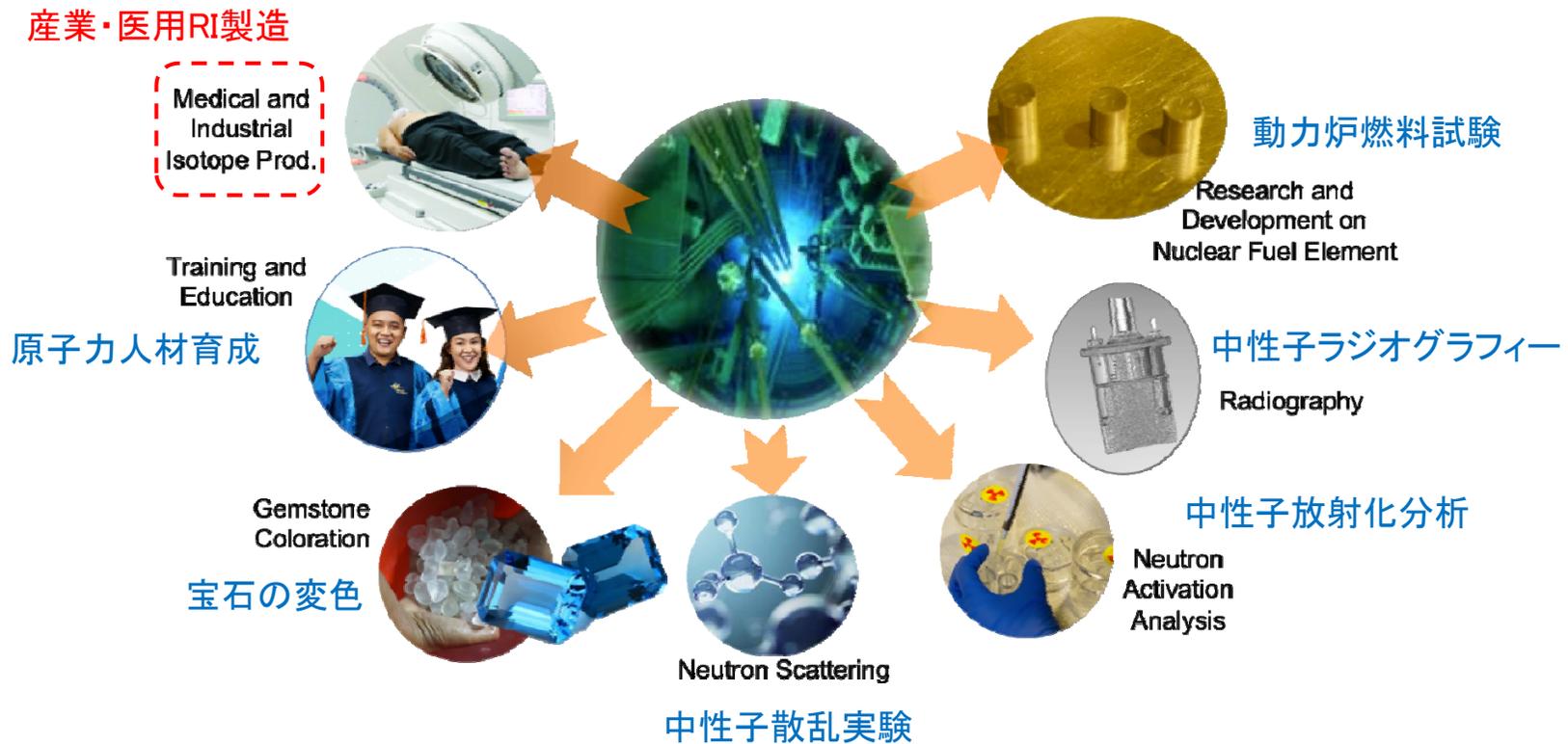
Ag-In-Cd  
(Absorber)



# RSG-GASにおける照射設備



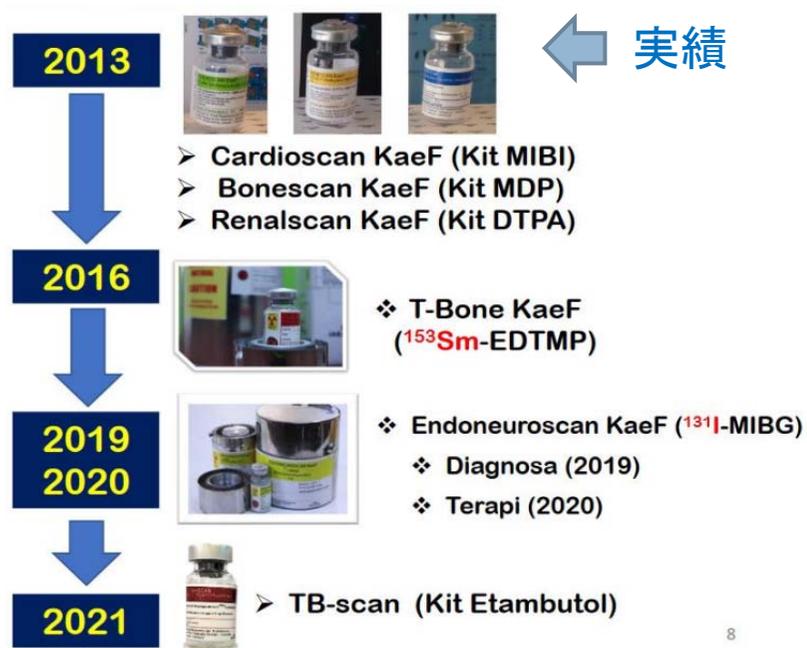
# RSG-GAS多目的研究炉の利用分野



# BATANの医用RI製造の現状 (RI製造センター)

22

BATAN (2022)



## □ 研究開発中

- IAEAのCRP参加  
(**Mo-99/Tc-99m Generator**)
- **I-131** (甲状腺疾患診断と治療)
- **Lu-177** (PSMA: Prostate Specific Membrane Antigen、前立腺特異的膜抗原)
- Nano Colloid **HSA**  
(Human Serum Albumin、ヒト血清アルブミン)、等

国家医薬品食品監督庁認可済み  
Kimia Farma国営企業による販売

# RSG-GASのMo-99製造実績(2019迄)、最大製造能力評価

23

| Year / Operational Mode                  | Nominal | Maximum |
|--|---------|---------|
| Average Mo-99 production (6-day Ci/week) | 150.0   | 275.6   |
| Annual Mo-99 production (6-day Ci/year)  | 3,139   | 5,769   |
| Target fission power (kW)                | 44.9    | 82.6    |
| Average reactor power (MW)               | 30.0    | 30.0    |
| Target/reactor power ratio (%)           | 0.150   | 0.275   |
| Effective operating (days/year)          | 147     | 147     |

国内及びASEAN諸国への輸出



Red : reported values

Black : estimated values

## Assumptions

Irradiation 5 days, manufacturing (reactor – generator) 2 days

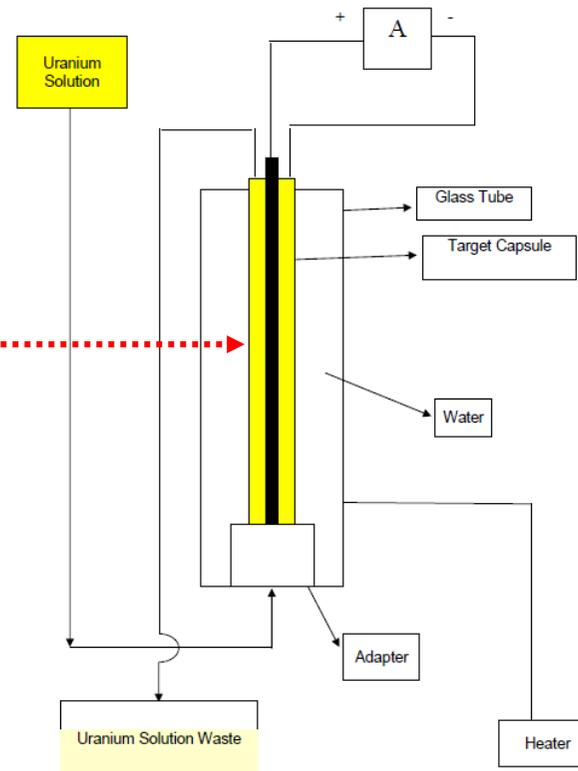
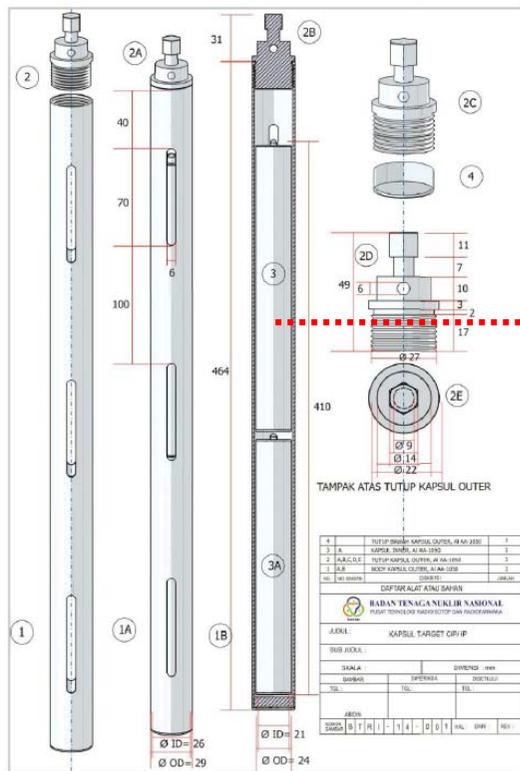
Maximum operational mode

All IPs and CIP are fully utilized and safety limits are still satisfied

Liem, P.H., et al.

Progress in Nuclear Energy 82  
(2015) 191-196

# 電気メッキ法によるウラン・ターゲット準備



1~3 g U-235/capsule  
(D=26 mm, H=400 mm)  
0.8~2.4 μm coating

# Modified Cintichem Process (Mo-99抽出)

HEU→LEU  
ターゲット

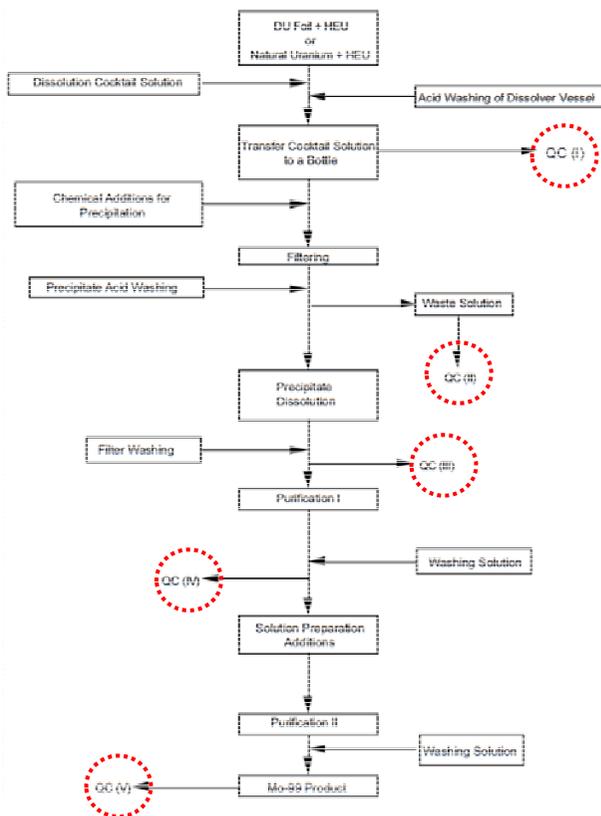


Table 2. Gamma Ray Analysis Results of July Mock Demonstration Using Depleted Uranium with HEU Spike: Radionuclide Decontamination in Different Stages of <sup>99</sup>Mo Recovery and Purification by the Cintichem Process.

| Nuclide            | Half-Life | Impurity Levels in each Processing Step (μCi per mCi Mo-99) |        |        |       |      |
|--------------------|-----------|---|--------|--------|-------|------|
|                    |           | QC-I  | QC-II  | QC-III | QC-IV | QC-V |
| <sup>147</sup> Nd  | 11 d      | 325   | 7,300  | 28.0   | 31.8  | -    |
| <sup>153</sup> Sm  | 1.95 d    | 55.2  | 1,450  | -      | -     | -    |
| <sup>144</sup> Ce  | 284.7 d   | 24.3  | -      | -      | -     | -    |
| <sup>141</sup> Ce  | 32.5 d    | 424   | 402    | 0.51   | -     | -    |
| <sup>132</sup> Te  | 3.19 d    | 927   | 18,350 | -      | -     | -    |
| <sup>143</sup> Ce  | 1.36 d    | 1004  | 20,800 | -      | -     | -    |
| <sup>105</sup> Rh  | 1.48 d    | 347   | 7,100  | -      | -     | -    |
| <sup>131</sup> I   | 8.02 d    | 302   | 2,500  | -      | -     | -    |
| <sup>103</sup> Ru  | 39.2 d    | 146   | 2,750  | -      | -     | -    |
| <sup>140</sup> Ba  | 12.8 d    | 115   | 1,550  | -      | -     | -    |
| <sup>82</sup> Br   | 1.47 d    | 44.2  | -      | -      | -     | -    |
| <sup>105</sup> Ru  | 4.44 h    | 126   | 2,800  | -      | -     | -    |
| <sup>127</sup> Sb  | 3.9 d     | 24.3  | -      | -      | -     | -    |
| <sup>97</sup> Zr   | 16.9 h    | 99.3  | -      | -      | -     | -    |
| <sup>95</sup> Zr   | 64.0 d    | 156.7   | 3,300  | 0.75   | 0.51  | -    |
| <sup>95</sup> Nb   | 34.9 d    | 24.3  | 350    | -      | -     | -    |
| <sup>140</sup> La  | 1.68 d    | 1267.1  | 15,550 | -      | -     | -    |
| <sup>117m</sup> Sn | 13.6 d    | -   | -      | 0.33   | 0.24  | 0.46 |

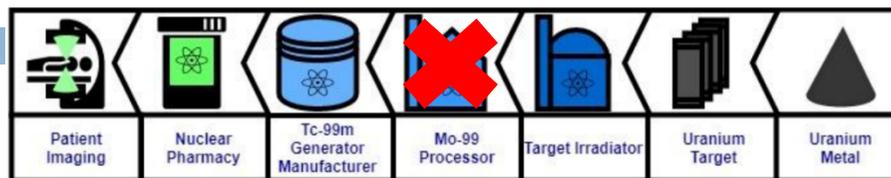
Mo-99 Activity in Each Processing Step Relative to That of QC-1

| <sup>99</sup> Mo | 66.02 h | 100% | 0.6% <sup>a</sup> | 95% | 90% | 90% |
|------------------|---------|------|-------------------|-----|-----|-----|
|                  |         |      |                   |     |     |     |

<sup>a</sup>This activity was not measured but was assumed to be ~0.6% <sup>99</sup>Mo, the same as that observed in experiments run at the University of Illinois.

# インドネシア国内のMo-99の製造課題(現状)

26



## □ 課題:

- 国内のMo-99/Tc-99mの供給は**全て輸入**
- 原因: 国営企業の**設備(ホットセル)の改修**

## □ 現状:

- 15~20ユニット/週(1ユニット=208 6-day mCi)
- 17の国内医療機関(核医学専門医と設備のある中央病院; 主にジャワ島大都市)

## BATAN-KAKEN-NAISの共同PJ

- 共同PJの紹介(詳細は化研の蓼沼様の発表)
- NAISにおける役割及び活動の紹介
- 天然Mo照射実験結果
- Mo-99/Tc-99m製造能力の評価

# PJの紹介 (KAKENとNAISのBATANへの訪問、2019年8月)

28

Home | Jasa Layanan | Informasi Publik | Reformasi Birokrasi | Publikasi | Seminar & Workshop | InfoNuklir

100 buah tabung berskala Anis-PSA nomor 1 sesuai nomor 10 sesuai dunianya

Protokol kit IRMA <sup>125</sup>I  
Standar PSA (ng/mL)

Keselamatan Menjadi Prioritas Utama dalam pelaksanaan kegiatan produksi radioisotop dan radiofarmaka

Keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan merupakan faktor utama dalam setiap kegiatan di PTRR

Selengkapnya...

PUSAT TEKNOLOGI RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA (PTRR)

Profil  
Program dan Kegiatan  
Produk Litbang  
Galeri Teknologi  
Publikasi  
Akuntabilitas  
Fasilitas  
Kerja Sama  
Berita  
Layanan  
Informasi Publik  
Indeks Kepuasan Masyarakat

### Kunjungan Kaken Jepang ke PTRR



TangSel

19/8/2019 Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) mendapat kunjungan dari 3 expert dari Kaken Jepang yang terdiri dari Dr. Tatenuma, Dr. Tsuguchi dan Dr. Liem Peng Hong. Kunjungan rombongan dari Kaken didampingi oleh Kepala BATAN Prof. Dr. Ir. Anhar Riza Antaningsawan, Kepala Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) Drs. R. Heru Umbara dan diterima oleh Kepala PTRR Dr. Rohadi Awaludin.

Kunjungan rombongan dari Kaken Jepang dalam rangka peninjauan kerjasama dalam pengembangan teknologi produksi radioisotope teknesium-99m melalui jalur non fisi. Pada kunjungan tersebut juga, tak lupa rombongan diajak untuk melihat fasilitas yang ada di PTRR -*Ariefin*-

1 | 0 | 0 | 16



# PJの紹介 (BATANのKAKENとナイスへの訪問・調印、2019年12月)

29



# NAISの役割及び実施中の作業

30

## □ 役割

- 照射設備の設計
- 照射手順及び安全性の評価
- 許認可申請の支援

## □ 実施中の作業

- 照射場の中性子束レベル及びスペクトルの最適化
- 制御棒位置による影響評価
- 原子炉への反応度効果評価
- 化研による天然Moペレット照射試験の計画及び予備解析
- 製造能力の評価等 

# BATANにおける天然Mo粉末照射実験(1)

31

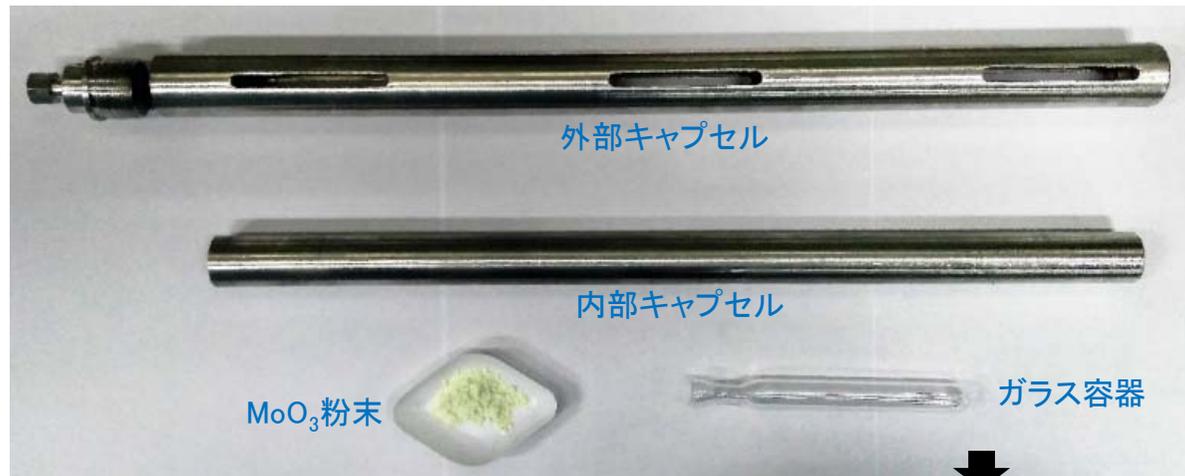
BATAN (2019)



試料質量測定



試料加熱



外部キャプセル

内部キャプセル

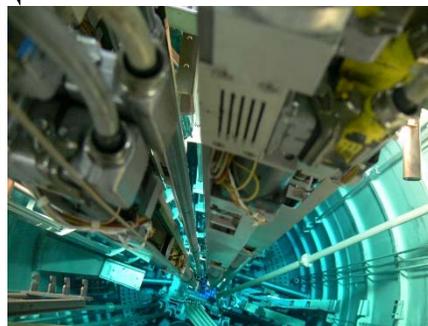
MoO<sub>3</sub>粉末

ガラス容器



照射後処理 (HC)

原子炉での照射



リーク試験  
(内部キャプセル)



バブル試験  
(ガラス容器)

# BATANにおける天然Mo粉末照射実験(2)

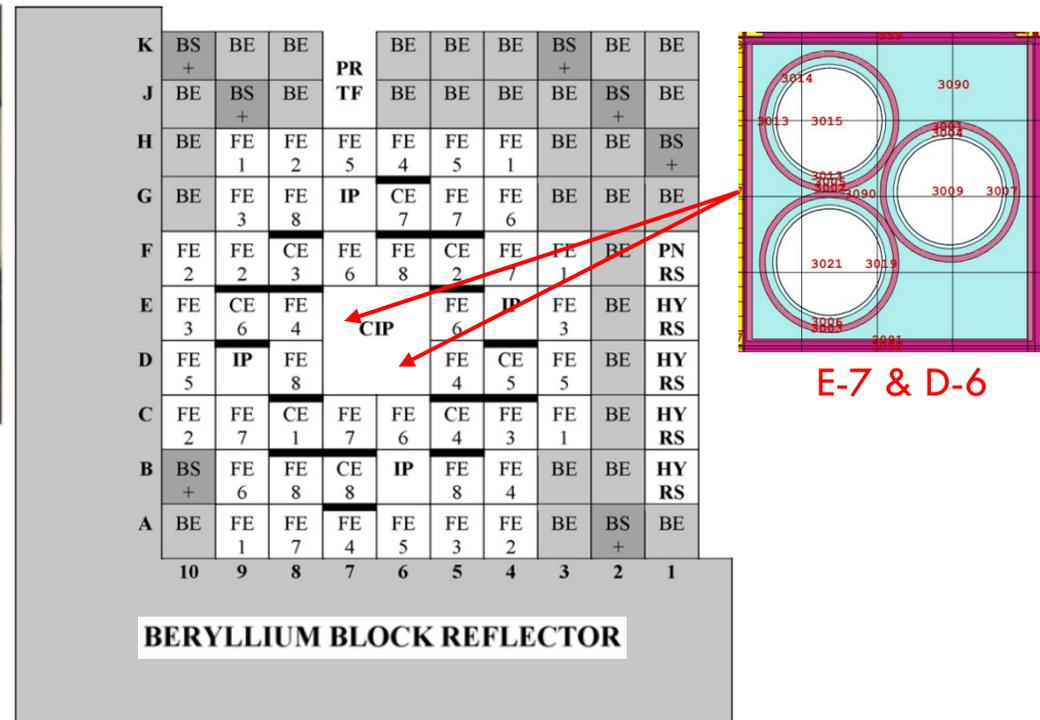


Pbキャスク

MCAチャンバー

| 試験 | MoO <sub>3</sub> 重量 (gram) | 照射時間 (時間) | CIP位置  | Mo-99放射能 (mCi, 測定値) | 比放射能 (Ci Mo-99/gMo) |
|----|----------------------------|-----------|--------|---------------------|---------------------|
| 1  | 5.02                       | 101       | E-7(W) | 3179                | 0.92                |
| 2  | 5.04                       | 100       | D-6    | 2151                | 0.63                |
| 3  | 5.06                       | 106       | E-7(S) | 3001                | 0.88                |
|    |                            |           |        | 平均                  | 0.8                 |

W:西側、S:南側



# 天然Mo(粉末)を用いたMo-99製造能力の評価結果

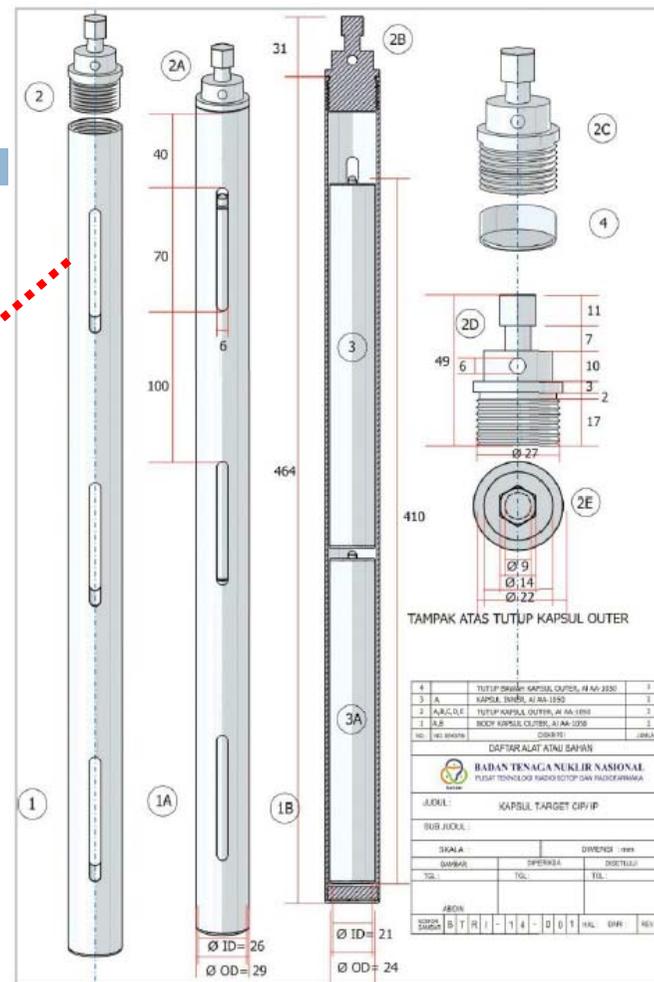
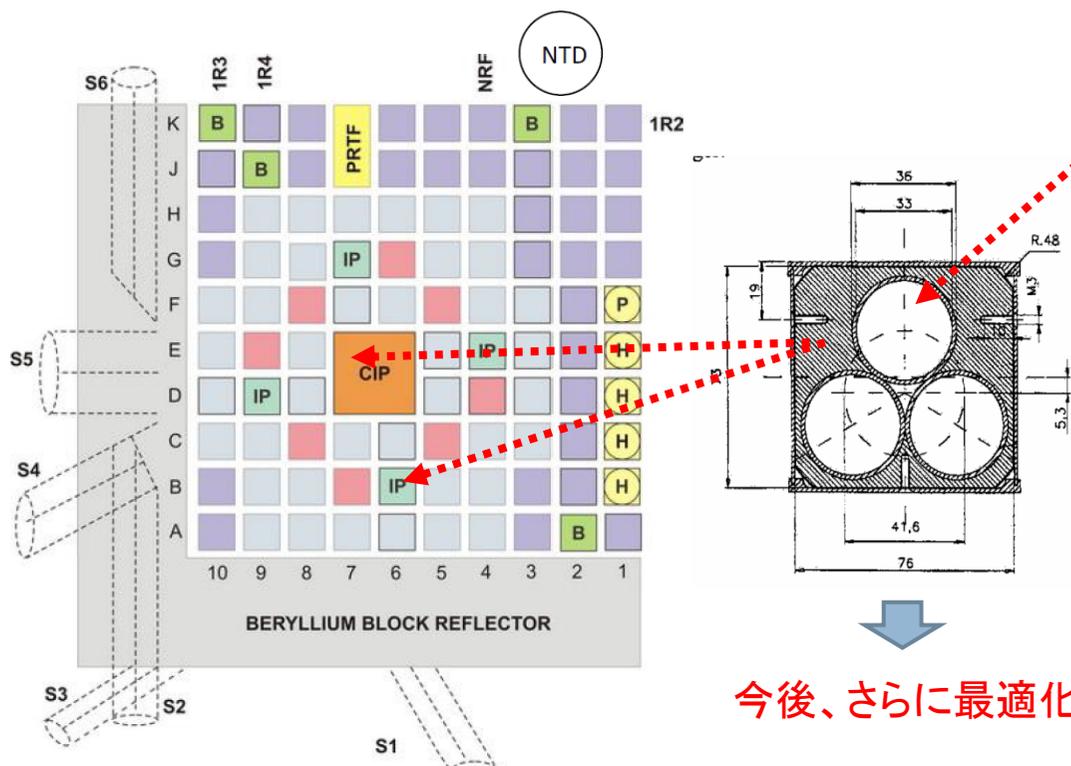
33

## 暫定

| パラメータ (単位)                         | 値            | 備考                              |
|------------------------------------|--------------|---------------------------------|
| 使用可能CIP内の本数                        | 2            | 最大 ( CIP内の4本のうち、2本 )            |
| 使用可能IP内の本数                         | 4            | 最大 ( 原子炉の中に4本のIPがあり、各IPに1本 )    |
| IP/CIP当たりの照射穴の数                    | 3            | 最大 ( 現在所有照射リグ )                 |
| 原子炉の照射穴の全数                         | <b>18</b>    |                                 |
| 照射管の直径(cm)                         | 2            | 現在所有設備                          |
| 照射管の高さ(cm)                         | 40           | 上下10cmを使用しない                    |
| 照射管の体積(cc)                         | 126          |                                 |
| 照射管の全体積(cc)                        | <b>2,262</b> |                                 |
| MoO <sub>3</sub> のペレット密度(g/cc)     | 4.22         | 化研殿の製造実績 ( 最小 )                 |
| 粉末の密度(%ペレット密度)                     | 80           | 高速炉燃料の実績から推定                    |
| MoO <sub>3</sub> 粉末密度(g/cc)        | 3.38         |                                 |
| Moの全重量(g)                          | <b>5,093</b> |                                 |
| 比放射能(Ci Mo-99/gMo)                 | <b>0.8</b>   | BATAN殿の実験結果 ( 粉末、照射直後、CIP最大位置 ) |
| CIP/IPでの軸方向の中性子分布のピーク係数            | 1.6          | 自己遮蔽効果無視、スペクトル調整なし、制御棒効果無視      |
| 比放射能(Ci Mo-99/gMo)の平均値             | <b>0.5</b>   |                                 |
| 一バッチあたりの生産能力(kCi Mo-99 EOB)        | <b>2.5</b>   | 約100時間 ( 15 MWthの出力 )           |
| 年間バッチ数                             | 24           | 2020年の実績 ( 15 MWthの出力 )         |
| <b>年間生産能力(kCi Mo-99 EOB)</b>       | <b>61.1</b>  | 原子炉への反応度 ( 試料 ) の上限を超える可否は要検討   |
| <b>年間生産能力(6-day kCi Mo-99 EOP)</b> | <b>10.3</b>  | 口スを10%、TcMMを1日と仮定               |

# 使用した天然Mo照射設備(リグ)

34



ご静聴ありがとうございました。