JAEA-Testing 2010-002



(n, γ)法用モリブデン吸着材の⁹⁹Mo吸着及び ^{99m}Tc溶離特性の再確認試験

-RI製造に関する照射技術(STC No.2-II)に関する共同実験報告書-(共同研究)

Retesting of ⁹⁹Mo Adsorption and ^{99m}Tc Elution Characteristics of Molybdenum Adsorbents for (n, γ) Method –Joint Experiment Report on Irradiation Technology of RI Production (STC No.2-II)– (Joint Research)

木村 明博 出雲 寛互 土谷 邦彦 堀 直彦 石原 正博 Valentina Bannykh, Natalia Gluschenko, Yelena Chakrova and Petr Chakrov

> Akihiro KIMURA, Hironobu IZUMO, Kunihiko TSUCHIYA, Naohiko HORI Masahiro ISHIHARA, Valentina Bannykh, Natalia Gluschenko, Yelena Chakrova and Petr Chakrov

> > 大洗研究開発センター 照射試験炉センター

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center Oarai Research and Development Center

August 2010

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department, Japan Atomic Energy Agency 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

(n, γ)法用モリブデン吸着材の⁹⁹Mo吸着及び⁹⁹Tc溶離特性の再確認試験
 -RI 製造に関する照射技術(STC No. 2-II)に関する共同実験報告書 (共同研究)

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 照射試験炉センター

木村 明博、出雲 寛互、土谷 邦彦、堀 直彦⁺、石原 正博 Valentina Bannykh^{*}、Natalia Gluschenko^{*}、Yelena Chakrova^{*}、 Petr Chakrov^{*}

(2010年5月14日受理)

日本原子力研究開発機構の材料試験炉(JMTR)は、医療診断用 RI である ⁹⁹mTc の親核種 ⁹⁹Mo の(n, y)法による製造を計画している。(n, y)法で得られる ⁹⁹Mo の比放射能は低いた め、吸着材の性能が重要となってくる。そこで、モリブデン吸着材の ⁹⁹Mo 吸着及び ⁹⁹mTc 溶離 特性を評価する必要がある。モリブデン吸着材として、現在利用されている高分子ジルコニ ウム化合物(PZC)とモリブデン酸ジルコニウムゲル(Zr ゲル)に着目し、2009年10月にカ ザフスタン国立原子力センター(NNC)との協力研究により、⁹⁹Mo 吸着及び ⁹⁹mTc 溶離試験を行 った。この結果、PZC及び Zr ゲルの ⁹⁹Mo 吸着性能に関しては従来の研究と同等の結果が得ら れた。しかしながら、PZC からの ⁹⁹mTc の溶離性能に関しては従来の研究よりも低くい結果が 得られた。⁹⁹mTc の溶離性能が低くなった原因調査を行うため再度 NNC において試験を行った。 その結果、従来の研究と同等の ⁹⁹mTc の溶離性能が得られた。さらに追加試験としてアルミナ カラムを使用した ⁹⁹mTc の溶離液からの不純物除去試験を行った。その結果、アルミナカラム を使用することにより不純物を除去できることが確認できた。

本報告書は、日本原子力研究開発機構(JAEA)とカザフスタン国立原子力センター(NNC)間の特定協力課題「RI 製造に関する照射技術(STC No. 2-II)」に関するものである。 大洗研究開発センター:〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002 +:原子炉施設管理部 *:カザフスタン国立原子力センター 核物理研究所

i

Retesting of ⁹⁹Mo Adsorption and ^{99m}Tc Elution Characteristics of Molybdenum Adsorbents for (n, γ) Method –Joint Experiment Report on Irradiation Technology of RI Production (STC No.2-II)– (Joint Research)

Akihiro KIMURA, Hironobu IZUMO, Kunihiko TSUCHIYA, Naohiko HORI⁺, Masahiro ISHIHARA,

Valentina Bannykh*, Natalia Gluschenko*, Yelena Chakrova* and Petr Chakrov*

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center Oarai Research and Development Center Japan Atomic Energy Agency Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received May 14, 2010)

Japan Materials Testing Reactor (JMTR) has a plan to produce ⁹⁹Mo, which is the parent nuclide of radiopharmaceutical ^{99m}Tc, by (n, γ) method. It is necessary to estimate adsorption characteristics of ⁹⁹Mo for adsorbent and elution characteristics of ^{99m}Tc from adsorbent. Because, the low radioactivity concentration of ^{99m}Tc is remaining as a problem. It is important to know performances of absorbent. ⁹⁹Mo adsorption test and ^{99m}Tc elution test using poly-zirconium compound (PZC) and Molybdate Zirconium Gel (Zr-gel) were carried out at Kazakhstan National Nuclear Energy Center (NNC) in 2009 October. As a result, the ⁹⁹Mo adsorption performance of the adsorbents was the same level as conventional data, however the ^{99m}Tc elution performance of the adsorbents was lower than conventional data for PZC. Cause of low ^{99m}Tc yield, ⁹⁹Mo adsorption test and ^{99m}Tc elution test using PZC and Zr-gel were carried out for re-investigation at NNC. As a result, the ⁹⁹Mo adsorption performance and ^{99m}Tc elution performance were obtained as the same level as conventional data. And impurities removal test was done using alumina column. As a result, it was confirmed that impurities could be removed from ^{99m}Tc solution.

Keywords: (n, γ) Method, ⁹⁹Mo, ^{99m}Tc , Adsorption, Elution, PZC, Molybdate Zirconium Gel

This joint experiment was performed as the special cooperation topic between JAEA and NNC " STC No.2- II: Irradiation technology of RI Production".

^{+ :} Department of JMTR Operation

^{* :} National Nuclear Center (NNC), Institute of Nuclear Physics (INP)

1. はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
2. 試験方法 ·····	1
2.1 PZC 吸着法 ······	1
2.2 Zr ゲル化法 ·····	3
3. 結果と考察 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
3.1 ⁹⁹ Mo(Mo)吸着特性 ·····	3
3.2 ^{99m} Tc 溶離特性 ······	4
4. 結論	5
謝辞	6
参考文献	6

Contents

1. Introduction	1
2. Experiment Method	1
2.1 PZC method·····	1
2.2 Mo-Zr gel method ·····	3
3. Result and discussion ······	3
3.1 Adsorption properties of ⁹⁹ Mo(Mo) ······	3
3.2 Elution properties of ^{99m} Tc ······	4
4. Conclusion	5
Acknowledgment ·····	6
References	6

This is a blank page.

1. はじめに

(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)大洗研究開発センターの材料試験炉(JMTR)は、 現在原子炉機器の更新を主とした改修中である。改修では、産業界における新たな照射ニー ズに応えるための照射設備を併せて整備し、平成23年度から再稼働の予定である^[1-2]。照射 設備の整備と並行して、JMTRでは、放射性診断薬の原料となるテクネチウム-99m(⁹⁹mTc:半 減期6.01時間)の親核種であるモリブデン-99(⁹⁹Mo:半減期65.9時間)の製造に関する技 術開発を行っている。現在、医療分野において、放射線やラジオアイソトープ(RI)は病気 の診断(放射性診断薬)や治療(放射性治療薬)に欠かすことができないものとなっている。 特に⁹⁹mTcは放射性診断薬として核医学の分野で最も多く用いられている RIの一つである。 さらに、⁹⁹mTcの需要は年々増加しており、今後もその伸びが予想されている。しかしながら、 その親核種である⁹⁹Moの供給は現状ではすべて輸入に依存しており、海外照射施設の老朽化 問題等から、国内生産による安定的な供給が望まれている^[3]。

2009 年 10 月に、「原子力科学分野における研究開発協力のためのカザフスタン国立原子 カセンター (NNC) と日本原子力研究開発機構との実施取決め」に基づき、調印された「試験 研究炉に関する原子力技術」に係る特定協力課題のうち「RI 製造に関する照射技術」につい ての共同実験として、日本で提案している高分子ジルコニウム化合物 (PZC) を用いた⁹⁹Mo 吸 着・^{99m}Tc 溶離方法とカザフスタンで提案しているモリブデン酸ジルコニウムゲル (⁹⁹Mo-Zr ゲル)合成・^{99m}Tc 溶離方法の試験を行った^[4]。

その結果、PZC 及び ⁹⁹Mo-Zr ゲルの ⁹⁹Mo 吸着性能及び Zr ゲルの ⁹⁹Tc の溶離性能に関しては 従来の研究^[5-6]と同等であったが、PZC の ⁹⁹Tc の溶離性能に関しては従来の研究よりも低くな った。この原因としては、放射能測定時における自己遮へいによる影響が考えられた。

今回は、⁹⁹Tcの溶離性能低下の原因として考えられる自己遮へいを考慮し、自己遮へい効果の少ない方法により試料を作成し放射能を測定した。さらに最終製品への不純物混入の低減を目的として、アルミナカラムを使用した不純物の除去性を確認した。

2. 試験方法

PZC 吸着法と Zr ゲル化法の試験フローを Fig. 1 に示す。PZC 吸着法と Zr ゲル化法による ⁹⁹Mo 吸着・^{99m}Tc 溶離試験として、 ⁹⁹Mo (Mo) 吸着からカラム充填までの時間、 ⁹⁹Mo (Mo) 吸着量、 ^{99m}Tc の溶離率、 ^{99m}Tc の溶離特性及び ^{99m}Tc 溶離液中の不純物測定を行った。以下に各方法における 試験手順を示す。

2.1 PZC 吸着法

PZC 吸着法による ⁹⁹Mo (Mo) 吸着・⁹⁹Tc 溶離試験の試験フローを Fig. 2 に示す。PZC 吸着法 による ⁹⁹Mo (Mo) 吸着・⁹⁹Tc 溶離試験の試験条件一覧を Table 1 に示す。 まず、NNC の核物理研究所 (INP) にある研究炉 (WWR-K) で照射した MoO₃ 粉末 10g に 1cm³ のH₂O₂及び 100cm³ の 2M の NaOH で溶解した液 0.04cm³ と、MoO₃ 粉末 1.85g、6M の NaOH を 4.28cm³ 加え、純水で 50cm³ に定容し、⁹⁹Mo (Mo) 溶液を調製した。Ge 半導体検出器 (Eurisis measures 社製 EGPC 30-185-R) を用いて、⁹⁹Mo (Mo) 溶液のガンマ線エネルギースペクトルを測定し、 ⁹⁹Mo の放射能量を求めた。⁹⁹Mo (Mo) 溶液のガンマ線エネルギースペクトル図をFig.3に示す。 さらに pH 計 (WTR 社製 pH330) で ⁹⁹Mo (Mo) 溶液の pH を測定した。調製された ⁹⁹Mo (Mo) 溶液 の組成は Mo 濃度が 24.69mg-⁹⁹Mo (Mo)/cm³、 pH が 6.92 及び放射能が 1.55MBq/cm³ となった。 この濃度は、使用する PZC 量及び PZC の予想 ⁹⁹Mo (Mo)吸着量より決定した。次に、PZC に Mo を吸着させる ⁹⁹Mo (Mo) 吸着試験を行った。室温にて、調製した溶液 10cm³をガラス製三角フ ラスコに入れ、その中に 1.0g の PZC を添加し、十分に攪拌した。その後、恒温乾燥器中 (BIDER 社製 FD) で 2 時間、95℃前後で三角フラスコを保温した。その際、30 分毎に PZC と ⁹⁹Mo (Mo) 溶液が均一に馴染むようにゆっくりと三角フラスコを攪拌した。2 時間後、恒温乾燥器から 三角フラスコを取出し、室温まで放冷した。

室温まで放冷後、PZC 表面から未吸着の ⁹⁹Mo (Mo) を洗浄するために、デカンテーションを 行い、上澄み液を除去した。さらに、純水を 10cm³加え、上澄み液をデカンテーションによ り除去した。この操作を 4 回繰返し行った。上澄み液を含めた全洗浄液量は 50cm³ であった。 Ge 半導体検出器を用いて、洗浄液のガンマ線エネルギースペクトルを測定し、⁹⁹Mo の放射 能量を求めた。この放射能量は、PZC に吸着した ⁹⁹Mo (Mo) 吸着量を算出するために必要な測 定である。

洗浄後、⁹⁹Mo (Mo)を吸着させた PZC は、ポリプロピレン製カラムに充填した(以降、PZC 充填カラムと呼ぶ)。本試験では、アルミナカラムを装着することによる不純物除去性の確 認を行うため PZC 充填カラムを4本準備し試験に供した。⁹⁹Tc の溶離試験の前準備として、 PZC 充填カラムに溶離液と同じ生理食塩水 50cm³通液した。これは、カラム充填までに生成 した ⁹⁹Tc 及び未吸着の ⁹⁹Mo (Mo)を除去するための操作である。Ge 半導体検出器により PZC 充填カラム通過液のガンマ線エネルギースペクトルを測定し、⁹⁹Mo の放射能量を求めた。こ の放射能量は、PZC に吸着した ⁹⁹Mo (Mo)吸着量を算出するために必要な測定である。

⁹⁹ Tc 溶離試験として行った PZC 充填カラムのミルキング操作方法を Fig. 4 の上段に示す。 ミルキング操作は、1 つの PZC 充填カラムに対して、溶離液を 5 cm³×4 回または 20 cm³ 通液・ サンプリングし、生成した ⁹⁹ Tc を溶離した。このミルキング操作を最初の 3 回は 24 時間毎 に、次の 1 回は 72 時間後、さらに次の 2 回は 48 時間毎に、合計 6 回行った。サンプリング した ⁹⁹ Tc 溶離液は、Ge 半導体検出器によりガンマ線エネルギースペクトルを測定し、⁹⁹ Tc の放射能量を求めた。測定試料の作製方法としては、半径 2 cm 程度の円状ろ紙に ⁹⁹ Tc 溶離 液 10 mm³ 滴下する。そのろ紙をスコッチテープにより上下から挟み密封試料とした。前回試 験時における測定試料はバイアル瓶であったため自己遮へい効果による影響があったもの と考えられるが、今回の方法により作製した測定試料は前回に比べ自己遮へいが少ないもの となっている。

放射能測定の他に、金属不純物を測定した。金属不純物としては、Mo、Zr及びAlをスペクトロフォトメータ(TURNER 社製 SP-870)を使用した比色試験により測定した。さらに、

放射能が減衰後、いくつかのサンプルは誘導プラズマ発光分光分析(ICP、Perkin Elmer 社 製)により溶離液中に含まれる Mo、Zr 及び Al を測定した。

2.2 Zr ゲル化法

Zr ゲル化法による⁹⁹Mo (Mo) 吸着・^{99m}Tc 溶離試験のフローを Fig. 5 に示す。Zr ゲル化法による⁹⁹Mo (Mo) 吸着・^{99m}Tc 溶離試験の試験条件一覧を Table 2 に示す。

まず、NNCの INP にある WWR-K で照射した MoO₃粉末 10g に 1cm³の H₂O₂を加え 2Mの NaOH 100 cm³で溶解し ⁹⁹Mo (Mo) 溶液を調整した。

次に、⁹⁹Mo (Mo) 溶液に 3M の HNO₃を添加し攪拌を行い、ナトリウムポリマー (PMNa) を合成した。合成した PMNa に 5~7%の ZrOCl₂を添加し攪拌を行い、ジルコニウムポリマー (PMZr) を合成した。その後、30 分間静置し、生成した PMZr を沈降させ、得られた PMZr を真空ろ 過し固液分離を行った。その後、100℃程度の圧空を吹きかけ PMZr を乾燥させた。

乾燥させた PMZr を 3~10℃の冷水 150cm³及び生理食塩水 150cm³で 3 回洗浄を行った。こ れらの洗浄を行うことにより PMZr が粉砕した。粉砕した PMZr に 100℃程度の圧空を吹きか け PMZr を乾燥させた。

乾燥後 Mo-Zr ゲルをポリエチレン製カラムに充填した(以降、Zr ゲル充填カラムと呼ぶ)。 本試験では、アルミナカラムを装着することによる不純物除去性の確認を行うため、Zr ゲ ル充填カラムを4本準備し試験に供した。

⁹⁹ Tc 溶離試験として行った Zr ゲル充填カラムのミルキング操作方法をFig. 4の下段に示 す。ミルキング操作は、1 つの Zr ゲル充填カラムに対して、溶離液を 5cm³×4 回または 20cm³ 通液・サンプリングし、生成した ⁹⁹ Tc を溶離した。このミルキング操作を最初の 3 回は 24 時間毎に、次の 1 回は 72 時間後に、合計 4 回行った。サンプリングした ⁹⁹ Tc 溶離液は、Ge 半導体検出器によりガンマ線エネルギースペクトルを測定し、⁹⁹ Tc の放射能量を求めた。 測定試料の作製方法としては、半径 2cm 程度の円状ろ紙に ⁹⁹ Tc 溶離液 10mm³ 滴下する。その ろ紙をスコッチテープにより上下から挟み密封試料とした。放射能測定の他に、金属不純物 を測定した。金属不純物としては、Mo、Zr 及び A1 をスペクトロフォトメータ(TURNER 社製 SP-870)を使用した比色試験により測定した。

3. 結果と考察

3.1 ⁹⁹Mo (Mo) 吸着特性

PZC 吸着法による、PZC への ⁹⁹Mo (Mo) 吸着から、PZC 充填カラムの作製までに要した時間 は、4.0 時間であった。PZC 吸着法では、PZC 充填カラムの作製まで複雑な作業工程はなく 容易であった。前回試験時において 1g オーダーでの PZC 吸着法によるカラム作製時間は、 4.2 時間を要した。前回試験時と比較し、10 分程度短縮することができた。反応後の PZC を放冷する際、通常 30 分程度で済むが今回昼休み時間と重なったため1時間放冷を行った。 従って、吸着開始時間をずらすことにより、今後 3.5 時間程度に操作時間を短縮可能である。 一方、Zr ゲル化法では、Zr ゲルの作製時間は 6.0 時間であった。これは前回試験時と同 等の時間であった。INP では、定常的に Zr ゲルの作製を行っているため、作製時間に前回 試験時との差異がほとんどない。Zr ゲルの作製は、加熱、乾燥、篩分け等の複雑な作業工 程が含まれているため、PZC 吸着法よりも作製時間を長く要するものと考えられる。

Table 3 に PZC 吸着法及び Zr ゲル化法における各々の ⁹⁹Mo (Mo) 吸着量を示す。PZC 吸着 法では、⁹⁹Mo (Mo) 吸着量は、4 回の試験で 1g の PZC あたり 227.7~237.2mg と偏差の少ない 値であった。この結果は、前回試験時の ⁹⁹Mo (Mo) 吸着量 (207~225mg) と同等以上であった。 これは、前述したように PZC 充填カラムの作製まで複雑な工程はないため、吸着操作におけ る ⁹⁹Mo (Mo) 吸着量の差異が少ないものと考えられる。

一方、Zr ゲル化法での⁹⁹Mo (Mo)量は、Zr ゲル 1g あたり 250mg であった。

この結果は、前回試験時の280mgとほぼ同等の値であり、本実験における合成には問題が なかったことを示すものである。

3.2 ^{99m}Tc 溶離特性

(1) PZC 充填カラムからの溶離試験

作製したカラムは4本あり、そのうちカラムNo.1~3はPZC充填カラムのみによる溶離 試験を行い、カラムNo.4はPZC充填カラムにアルミナカラムを装着し溶離試験を行った。 溶離液の通液方法としてカラムNo.1、2、4は5 cm³×4回(5 cm³通水完了後に次の5 cm³ を通水)の計20 cm³通液し、カラムNo.3は一度に20 cm³通液した。Table 4にPZC吸着法 における^{99m}Tc溶離率、Fig.6にPZC充填カラムからの^{99m}Tc溶離率の経時変化及びFig.7~9 に溶離液通液量に対する^{99m}Tc溶離率を示す。溶離試験の結果、カラムNo.1での溶離率は 65.0~80.2%、カラムNo.2での溶離率は69.9~90.9%、カラムNo.3での溶離率は65.7~ 90.4%及びカラムNo.4での溶離率は67.2~97.6%となった。この結果は従来の研究結果と 同等の値となった。これは、自己遮へい効果の少ない分析試料を作製したことによるものと 考えられる。このことから、前回試験時の溶離率低下の原因として想定していた通り、前回 の試験では自己遮へいの影響があったものと考えられる。

Table5 に PZC 充填カラム溶離液中の放射性不純物を Fig. 10 にカラム No. 1 Run1 スペクト ル図を示す。放射性不純物の測定結果、全てのカラムにおいて放射性不純物は検出されなか った。Table6~9 に PZC 充填カラム溶離液中の非放射性不純物濃度を示す。比色試験による 非放射性不純物測定の結果、Mo は N. D~16.3 μ g/ cm³、Zr は<0.8 μ g/ cm³及び A1 は<0.5 μ g/ cm³はとなった。ICP による非放射性不純物測定の結果、Mo は 0.002~22.5 μ g/ cm³、Zr は<0.002~0.0012 μ g/ cm³及び A1 は 0.1~0.2 μ g/ cm³となった。比色試験での非放射性不 純物の測定結果と ICP での非放射性不純物の測定結果を比較した結果、ICP の結果が若干高 い値を示した。アルミナカラムを装着した PZC 充填カラムでは、非放射性不純物濃度が大幅 に減少していることからアルミナカラムは十分非放射性不純物を除去できる性能を有する ことが確認できた。

(2) Zr ゲル充填カラムからの溶離試験

作製したカラムは4本あり、そのうちカラムNo.1~3はZr-ゲル充填カラムのみによる溶 離試験を行い、カラムNo.4はZr-ゲル充填カラムにアルミナカラムを装着し溶離試験を行っ た。溶離液の通液方法としてカラムNo.1、2、4は5 cm³×4回(5 cm³通水完了後に次の5 cm³ を通水)の計20 cm³の通液を行い、カラムNo.3は一度に20 cm³の通液を行った。Table 10 にZr ゲル化法における⁹⁹Tc 溶離率、Fig.11にZr ゲル充填カラムからの⁹⁹Tc 溶離率の経時 変化及びFig.12~14に溶離液通液量に対する⁹⁹Tc 溶離率を示す。溶離試験の結果、カラム No.1 での溶離率は64.7~71.6%、カラムNo.2 での溶離率は56.2~70.7%、カラムNo.3 で の溶離率は58.3~66.8%及びカラムNo.4 での溶離率は58.5~66.6%となった。Table 11~ 14 にZr-ゲル充填カラム溶離液中の非放射性不純物濃度を示す。比色試験による非放射性不 純物測定の結果、Mo は N.D~4.9 μ g/ cm³、Zr は<0.8 μ g/ cm³及びA1 は<0.5 μ g/ cm³はとな った。

これらの結果から、アルミナカラムを装着した Zr ゲル充填カラムでは、PZC 充填カラム同様、非放射性不純物濃度が大幅に減少していることからアルミナカラムは十分非放射性不純物を除去できる性能を有することが確認できた。

4. 結論

共同実験の結果を Table 15 に示す。今回の共同実験における ⁹⁹Mo (Mo) 吸着試験では、PZC 吸着法で 227~237mg、Zr ゲル化法で 250mg となり両者とも前回試験 (PZC: 215mg、Zr ゲル: 280mg) と同等の値を示した。この結果から、今回の ⁹⁹Mo (Mo) の吸着操作に関しても吸着操作 及び合成操作に的確に実施できた。操作性を考えた場合、PZC 吸着法は Zr ゲル化法に比べ、 作業工程も少なく単純であり操作時間が短いという長所を再確認した。⁹⁹Tc 溶離試験では、 PZC 吸着法で 65.0~97.6%、Zr ゲル化法で 56.2~70.7%となった。前回の共同実験結果との 比較を Table 16 に示す。今回の PZC 吸着法における ⁹⁹Tc 溶離率は前回試験時(37.0~60.7%) よりも高い値を示した。これは、放射能測定時に自己遮へい効果の少ない分析試料を作製し たことにより、従来得られているデータと同程度の結果になったと考えられる。このことか ら、前回試験時の溶離率低下の原因として想定していた通り、放射能測定時において自己遮 へいの影響があったものと考える。Zr ゲル化法における ⁹⁹Tc 溶離率は前回試験時と同等の値 を示した。

アルミナカラムの使用による不純物の除去性に関してはPZC吸着法及びZrゲル化法どちら も不純物量が減少していることからアルミナカラムを使用することにより最終製品への不純 物の混入を防止できることが確認できた。

謝 辞

本共同実験の実施にあたり、大洗研究開発センター 河村弘副所長、原子炉施設管理部 新 見素二部長及び経営企画部 神永雅紀研究主席(元 原子炉施設管理部 次長)に有意義なご 指導及びご助言を頂きました。また、照射試験炉センター及び原子炉施設管理部諸氏には多 大なご協力を頂きましたことを深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 照射試験炉センター編、「照射試験炉センターの活動報告(2007年度)」, JAEA-Review 2008-081, (2009).
- [2] 石原 正博; 河村 弘; 新見 素二, "Refurbishment status and future program of Japan Materials Testing Reactor (JMTR) ", Proceedings of 12th International Group on Research Reactors (12th IGORR), 2009/10.
- [3] 提言「我が国における放射性同位元素の安定供給体制について」日本学術会議 基礎医 学委員会・総合工学委員会合同 放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会 (2008).
- [4] 木村 明博;他,「(n,γ)法用モリブデン吸着材の⁹⁹Mo 吸着及び⁹⁹mTc 溶離特性」 JAEA-Technology 2009-075. (2009)
- [5] M. Tanase, et al., 「A ^{99m}Tc Generator using a New Inorganic Polymer Adsorbent for (n, γ) ⁹⁹Mo J Appl. Radiat. Isot., 48 (1997) PP.607-611.
- [6] Duong. Van. Dong, "Development of ^{99m}Tc Generators Basing on The Gel Technology in Vietnam", Development of PZC-based Tc-99m Generator, Issue 2, Forum for Nuclear Cooperation in Asia, March 2007.

JAEA-Testing 2010-002

	PZC packing column No.							
	1	2	3	4				
Dissolution method								
of MoO_3 powder	οινι-ιναυπ							
⁹⁹ Mo activity in Mo	10,0000-							
solution	IO-ZOWRd							
Eluate		Sali	ne					
Fraction of eluate	5cm ³	$5 \text{cm}^3 \times 4$ $20 \text{cm}^3 \times 4$ $5 \text{cm}^3 \times 4$		5 cm ³ × 4				
Alumina column	Non addition Addition							

Table 1 Test matrix of PZC method

Table 2 Test matrix of Zr-gel method

	Zr-gel packing column No.							
	1	2	3	4				
Dissolution method		• 2M-NaOH						
of MoO_3 powder	• H ₂ O ₂							
⁹⁹ Mo activity in Mo	10,0000							
solution	I0-20MBd							
Eluate		Sa	line					
Fraction of eluate	5cm ²	5 cm ³ × 4		5 cm ³ × 4				
Alumina column	Non addition Addition							

Table 3 Amount of adsorbed $^{99}\mathrm{Mo}$ (Mo)

Column No.	PZC method	Zr-gel method
1	230. 6	
2	227.7	250
3	232. 4	250
4	237. 2	
Average	232. 0	_

(mg/g-generator)

Pup No	Column No.						
KUIT NO.	1	2	3	4			
Run1	65.0	69.9	65.7	67.7			
Run2	68.6	72. 7	80. 0	78.8			
Run3	69.6	67.2	72. 9	75.8			
Run4	79.0	90. 9	90. 4	97.6			
Run5	80. 2	87. 2	78.0	88. 7			
Run6	75.2	77.9	72. 5	81.2			
				(%)			

Table 4 $\ ^{99\mathrm{m}}\mathrm{Tc}$ yield by PZC method

Table 5 Radioactive impurities in $^{\rm 99m}{\rm Tc}$ solution

Column No. No.	Impurities				
1					
2					
3	N. D				
4					

Table 6 Non-radioactive impurities in $^{99\text{m}}\text{Tc}$ solution of No.1 PZC column

Solution for							
elution	Impurities	Run1	Run2	Run3	Run4*	Run5	Run6
(ml)							
5	Mo	14. 0	16.3	15.6	22. 5	15.3	14. 3
5	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	0.0012	<0.8	<0.8
10	Mo	11.6					
10	Zr	<0.8			_		
15	Mo	10. 3			-		
15	Zr	<0.8					
20	Mo	8.8	10. 2	9.6	19. 2	9.7	8.8
20	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	<0. 0002	<0.8	<0.8

 $(\mu \text{ g/cm}^3)$

☆ Analyzed by ICP

Solution for							
elution	Impurities	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6
(ml)							
5	Mo	15.0	15.6	14. 2	14. 6	14. 7	15. 1
5	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
10	Mo	10. 9)				
10	Zr	<0.8			_		
15	Mo	10. 1			_		
15	Zr	<0.8					
20	Mo	9.1	10.6	8.9	9.1	9.4	9.0
20	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8

Table 7 Non-radioactive impurities in $^{99\mathrm{m}}\mathrm{Tc}$ solution of No.2 PZC column

 $(\mu \text{g/cm}^3)$

Table 8 Non-radioactive impurities in $^{99\text{m}}\text{Tc}$ solution of No.3 PZC column

Solution for							
elution	Impurities	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6
(ml)							
20	Мо	11.0	12. 1	12. 7	11. 2	11. 7	12. 1
20	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8

(μ g/cm³)

Solution for elution (ml)	Impurities	Run1	Run2	Run3	Run4*	Run5	Run6
	Мо	N. D	N. D	N. D	0. 004	N. D	N. D
5	Zr	<0.5	<0.5	<0.5	<0. 0002	<0.5	<0.5
	AI	<0.5	<0.5	<0.5	0. 2	<0.5	<0.5
	Mo						
10	Zr						
	AI						
	Mo				-		
15	Zr						
	AI						
	Mo	N. D	N. D	N. D	0. 002	N. D	N. D
20	Zr	<0.5	<0.5	<0.5	<0. 0002	<0.5	<0.5
	AI	<0.5	<0.5	<0.5	0.1	<0.5	<0.5

Table 9 Non-radioactive impurities in $^{99\text{m}}\text{Tc}$ solution of No.4 PZC column

(μ g/cm 3)

☆ Analyzed by ICP

Due No	Column No.					
RUN NO.	1	2	3	4		
Run1	64. 7	70. 7	59.8	66. 6		
Run2	71.6	64. 3	66. 8	59.6		
Run3	68. 2	56. 2	58.3	60. 7		
Run4	67.0	61.0	61.4	58. 5		
				(%)		

Table 10 99mTc yield by Zr-gel method

Solution for elution (ml)	Impurities	Run1	Run2	Run3	Run4
5	Mo	4.3	4. 7	3.8	4. 5
5	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
10	Mo	4. 0	4. 1		
10	Zr	<0.8	<0.8		
15	Mo	3. 2	3. 2	-	-
15	Zr	<0.8	<0.8		
20	Mo	2.6	2. 1	2.6	2. 3
20	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
					$(\mu \text{ g/cm}^3)$

Table 11 Non-radioactive impurities in $^{\rm 99m}{\rm Tc}$ solution of No.1 Zr-gel column

Table 12 Non-radioactive impurities in $^{\rm 99m}{\rm Tc}$ solution of No.2 Zr-gel column

Solution for						
elution	Impurities	Run1	Run2	Run3	Run4	
(ml)						
5	Мо	4.9	4. 1	4. 2	3.8	
5	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	
10	Mo	4.3		•		
10	Zr	<0.8				
15	Mo	3.1				
15	Zr	<0.8				
20	Mo	1.9	2.4	2. 1	1.9	
20	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	
	•				$(\mu \text{ g/cm}^3)$	

Solution for elution (ml)	Impurities	Run1	Run2	Run3	Run4
20	Мо	3.6	3. 2	4. 1	3.4
20	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
					$(\mu \text{ g/cm}^3)$

Table 13 Non-radioactive impurities in $^{\rm 99m}{\rm Tc}$ solution of No.3 Zr-gel column

Table 14 Non-radioactive impurities in $^{\rm 99m}{\rm Tc}$ solution of No.4 Zr-gel column

Solution for elution (ml)	Impurities	Run1	Run2	Run3	Run4
	Mo	N. D	N. D	N. D	N. D
5	Zr	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
	AI	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
	Mo				
10	Zr				
	AI				
	Mo				
15	Zr		-	-	
	AI				
	Mo				
20	Zr				
	AI				

 $(\mu \, {
m g/cm^3})$

		PZC method	Zr-gel method
Time from adsorption of Mo to package in the column		4. 0	6.0
Adsorption of Mo (mg/1g-generator)		227 - 237	250
^{99m} Tc	yield (%)	65.0 - 97.6	58.3 - 71.6
Impurity	Mo (Colorimetry)	8.8 - 16.3	2.1 - 4.7
Not alumina	Mo (ICP)	19.2 - 22.5	_
column	Zr (Colorimetry)	<0.8	<0.8
(mg/cm^3)	Zr (ICP)	0. 0002 - 0. 004	-
	Mo (Colorimetry)	N. D	N. D
lmourity	Mo (ICP)	0.002 - 0.004	_
Add alumina	Zr (Colorimetry)	<0.8	<0. 8
column (mg/cm³)	Zr (ICP)	<0. 0002	_
	Al (Colorimetry)	<0.5	<0.5
	AI (ICP)	0.1	-

Table 15 Comparison of PZC method and Zr-gel method results

Table 16 Comparison of current test and previous test results

^{99m} Tc yield		
PZC method	Zr-gel method	
37.0 - 60.7	40.7 - 81.9	
65.0 - 97.6	58.3 - 71.6	
	^{99m} Tc PZC method 37.0 - 60.7 65.0 - 97.6	

(%)



Fig.1 Comparison of PZC method and Zr-gel method



Fig. 2 Test flow of PZC method



Fig. 3 γ -ray spectrogram of ⁹⁹Mo(Mo) solution



 γ : Rradioactivity measurement (Ge detector Gamma spectrometer "Eurisis measures", France with HPGe detector)

Fig. 4 Operation flow of Milking

JAEA-Testing 2010-002



Fig.5 Test flow of Zr-gel method



Fig. 6 Milking results of $^{\rm 99m}{\rm Tc}$ by PZC method



Fig. 7 Elution profile of $^{\rm 99m}{\rm Tc}$ from No.1 PZC column



Fig. 8 Elution profile of $^{\rm 99m}{\rm Tc}$ from No.2 PZC column



Fig.9 Elution profile of $^{\rm 99m}{\rm Tc}$ from No.4 PZC column



Fig.10 $\,$ γ -ray spectrogram of ^{99}Tc solution from Run1 of No.1 PZC column



Fig.11 Milking results of ^{99m}Tc by Zr-gel method



Fig.12 Elution profile of ^{99m}Tc from No.1 Zr-gel column



Fig.13 Elution profile of ^{99m}Tc from No.2 Zr-gel column



Fig.14 Elution profile of ^{99m}Tc from No.4 Zr-gel column

表 1. SI 基本単位					
甘大昌	SI 基本単位				
盔半里	名称	記号			
長さ	メートル	m			
質 量	キログラム	kg			
時 間	秒	s			
電 流	アンペア	А			
熱力学温度	ケルビン	Κ			
物質量	モル	mol			
光度	カンデラ	cd			

表2. 基本甲位を用	いて表されるSI組立単位	立の例		
和辛雪	SI 基本単位			
和立里	名称	記号		
面 積平	方メートル	m^2		
体 積立	法メートル	m^3		
速さ,速度メ	ートル毎秒	m/s		
加速度メ	ートル毎秒毎秒	m/s^2		
波 数每	メートル	m ⁻¹		
密度,質量密度キ	ログラム毎立方メートル	kg/m ³		
面積密度キ	ログラム毎平方メートル	kg/m ²		
比 体 積立	方メートル毎キログラム	m ³ /kg		
電流密度ア	ンペア毎平方メートル	A/m^2		
磁界の強さア	ンペア毎メートル	A/m		
量 濃 度 ^(a) , 濃 度 モ	ル毎立方メートル	mol/m ³		
質量濃度キ	ログラム毎立法メートル	kg/m ³		
輝 度力	ンデラ毎平方メートル	cd/m^2		
屈 折 率 ^(b) (数字の) 1	1		
比透磁率(b)	数字の) 1	1		
(a) 量濃度 (amount concentra	ation)は臨床化学の分野では	物質濃度		
(substance concentration) トキトげれる				

(substance concentration)ともよばれる。
 (b)これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

			SI 租立单位	
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
亚	5.37 v (b)	red	1 (b)	m/m
	() / / / / / / (b)	(c)	1 1 (b)	2/ 2
		sr II-	1	m m -1
同 仮 多		пг		S .
カ	ニュートン	N		m kg s ⁻²
E 力 , 応 力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー,仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷,電気量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{\cdot 3} A^{\cdot 2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^2 A^1$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{2} A^{1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^{-2} A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量 比エネルギー分与				
カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ²
線量当量,周辺線量当量,方向	2 × 2 2 (g)	C	T/la a	2 -2
性線量当量,個人線量当量		SV	J/Kg	ms
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

酸素活性(カタール) kat [s¹mol]
 (a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや ュヒーレントではない。
 (b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明 示されない。
 (a)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d)へルツは周崩現象についてのみ、ペシレルは抜焼性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (a)やレシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度度を表すために使用される。
 (d)やレシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。
 (d)かけ性核種の放射能(activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト(PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4.単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

	S	[組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表 面 張 九	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s ⁻³
熱容量,エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{-2} K^{-1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^{2} s^{2}$
熱 伝 導 率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
表 面 電 荷	「クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電 束 密 度 , 電 気 変 位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
誘 電 率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透磁 率	ペンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^1$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^{2} s^{3}$
放 射 強 度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酸素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ e ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語						
乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号	
10^{24}	э 9	Y	10 ⁻¹	デシ	d	
10^{21}	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	с	
10^{18}	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m	
10^{15}	ペタ	Р	10 ⁻⁶	マイクロ	μ	
10^{12}	テラ	Т	10 ⁻⁹	ナノ	n	
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	р	
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f	
10^{3}	+ 1	k	10 ⁻¹⁸	アト	а	
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z	
10^{1}	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	v	

表6.SIに属さないが、SIと併用される単位				
名称	記号	SI 単位による値		
分	min	1 min=60s		
時	h	1h =60 min=3600 s		
日	d	1 d=24 h=86 400 s		
度	٥	1°=(п/180) rad		
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad		
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad		
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²		
リットル	L, 1	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³		
トン	t	$1t=10^{3}$ kg		

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で

衣される剱値が美験的に侍られるもの						
名称				記号	SI 単位で表される数値	
電	子 >	ボル	ŀ	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J	
ダ	N	ŀ	\sim	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg	
統-	一原子	質量単	单位	u	1u=1 Da	
天	文	単	位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m	

表8.SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

	名称		記号	SI 単位で表される数値	
バ	-	ル	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa	
水銀	柱ミリメー	トル	mmHg	1mmHg=133.322Pa	
オン	グストロ・	- 4	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m	
海		里	М	1 M=1852m	
バ	-	ン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²	
1	ツ	ŀ	kn	1 kn=(1852/3600)m/s	
ネ	-	パ	Np	CI単位しの粉値的な間接け	
ベ		N	В	対数量の定義に依存。	
デ	ジベ	ル	dB -		

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値		
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J		
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N		
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s		
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} = 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$		
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd } \text{ cm}^{\cdot 2} = 10^4 \text{ cd } \text{ m}^{\cdot 2}$		
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx		
ガ ル	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²		
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$		
ガウス	G	$1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{-2} = 10^{-4} \text{T}$		
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4π)A m ^{·1}		
(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≦ 」				

は対応関係を示すものである。

		表	(10.	SIに 尾	禹さないその他の単位の例
	名称				SI 単位で表される数値
キ	ユ	IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\scriptstyle u$	ン	トゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ			K	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\scriptstyle u$			ム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ		\sim	7	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フ	I.	N	"		1フェルミ=1 fm=10-15m
メー	-トル	系カラ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
ŀ			ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	進	大気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
力	П	IJ	ļ	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J(「熱化学」カロリー)
3	カ	17	~		$1 = 1 = 10^{-6}$ m

この印刷物は再生紙を使用しています