様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費
KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　２ 年　 ６ 月 １５ 日現在

機関番号：１４４０１
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2016～2019
課題番号：１６Ｋ０５３８３

研究課題名（和文）加速器中性子で生成した医療用９９Moの実用化に向けた研究

研究課題名（英文）Medical radioisotope 99Mo produced by using accelerator neutrons

研究代表者
永井　泰樹（NAGAI, YASUKIMe）

大阪大学・核物理研究センター・協同研究員

研究者番号：８００２８２４０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,500,000円

研究成果の概要（和文）：　放射性同位体（RI）医薬品利用の医療は早期診断治療を叶える。99mTc医薬品は診断薬薬として多用されている。我が国は99mTcの親核99Mo を全て輸入し製薬化している。99Moの供給体制は長く脆弱であるためその国産化を目指し加速器中性子を用いる99Mo製造法を提案し研究を行った。新製造法では不純物RIの生成量が微量で１台の加速器で日本の99Mo需要の相当量を供給でき治療用RIも製造可能である。製造した99Moから高品質の99mTcを分離・精製することに成功した。本年度は、加速器中性子を試料ごと遮蔽体内に閉じ込めた場合、遮蔽体無しでは製造されないRIが製造されるという価値ある現象を発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
放射性（RI)医薬品を用い様々な病気の早期診断・治療は重要。99mTcは輸入した99Moから医薬品化し我が国で毎日3000人の診断を実施。99Moの供給不足が頻発、我々は99Mo国産化に向けし加速器製中性子を用いる99Moを製造する方法を提案。本o製造法は、不要RIの生成量が微量、１台の加速器で日本の99Mo需要の相当量を供給、治療用RIも製造可能。我々は99Moから高品質の99mTc分離に成功し、実用化に向け大きな成果を得た。また加速器中性子を試料ごと遮蔽体内に閉じ込めた場合、遮蔽体が無い時には製造されないRIが製造される新現象を発見し医療用RI製造及び実用上重要な結果を得た。

研究成果の概要（英文）：　We found anomalously large yields of several radioisotopes such as 64Cu and 67Ga when a 68ZnO sample which was covered with polyethylene blocks was irradiated with accelerator neutrons. We believe that this finding is quite important for producing radioisotopes in large quantity with accelerator neutrons. It should be mentioned that in the present experimental condition we could produce simultaneously several radioisotopes which are normally generated by proton-induced reaction.

研究分野：核医学診断治療、原子核物理、加速器、放射化学、放射性医薬品創薬

キーワード：核医学診断　放射性医薬品　テクネチウム99m　モリブデン99　加速器中性子　比放射能　熱分離　ミルキング

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様　式　C－１９、F－１９－１、Z－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

a)　核医学診断用の放射性同位体 ^{99m}Tc の親核 ^{99}Mo の輸入依存とその不安定な供給体制:

　がん・心疾患・脳血管疾患の三大生活習慣病の早期診断・治療体制を充実し人々が健康で自立した生活を継続できるようにすることは超高齢化社会にあってとりわけ重要である。核医学は、放射性同位体（RI）を特定の臓器等に集積する医薬品と合成した RI 医薬品を用い高精度で無侵襲の診断治療を行い上記社会の実現を目指している。患者に投与された RI 医薬品は、病巣部に集積し RI から放出されるガンマ線は体外に設置されたガンマカメラで撮影され病変臓器などの位置と臓器の働き具合の診断情報を提供してくれ、病気が重篤になる前に早期に病巣部の症状がわかる。

　RI 医薬品の中でも半減期が 2.7 日の ^{99}Mo の娘核の ^{99m}Tc を用いた医薬品は、わが国で毎日約 3000 人の被験者の診断に使用されている。我が国は利用する全ての ^{99}Mo を毎週数回にわたり輸入している。ところで、^{99}Mo は海外の高経年化した研究用原子炉で濃縮ウランの核分裂反応で製造されてきたが、長期の計画外停止を頻発し 2008 年以降その供給体制は不安定である。そのため ^{99}Mo の中長期にわたる安定供給体制を構築するため原子炉以外の加速器等による代替製造法の開発が世界の喫緊の課題になっている。特に輸入頼みの我が国では、^{99}Mo の供給不安定の要因としては上記原子炉の問題に加え ^{99}Mo の空輸経路に起因する障害(自然災害、交通トラブルなど)がある。そのため ^{99}Mo の代替製造法による国産化は不可欠である。

b)　加速器で得られる中性子(加速器中性子)による ^{99}Mo の新製造法の提案：

　我々は、加速器中性子を^{100}Mo試料に照射して^{99}Moを製造する新方法を2009年に提案した。加速器中性子は、加速器で得られる40～50MeVの重陽子を炭素(C)やベリリウム(Be)標的に照射して生成される。加速器中性子のエネルギー(En)は平均14～19MeVで最大40～50MeVまで連続分布している。我々は^{100}Mo$(n,2n)^{99}$Mo反応で^{99}Moを製造するが、その生成断面積は10<En<20 MeVで1.5バーンと大きいため、高い核種純度の^{99}Moを多量に製造できる試算し提案した。（論文公表済）。

c)　^{99}Mo 新製造法にかかわる基礎開発研究:

　^{99}Moは原子炉製以外の^{99}Moが実用化されたことはない。原子炉製^{99}Moと異なる方法で製造される^{99}Moを^{99m}Tc医薬品にするまでには既存の工程は利用できず、多くの面で研究開発が必要で、新製造法で得られる^{99m}Tc医薬品は放射性医薬品基準(放薬基)を満たす必要がある。ただ、その認定に際しては、^{99m}Tcの物理的及び化学的品質が原子炉製^{99m}Tcと同等であれば、その製造方法は問わないとされている。一方、代替製造法による^{99}Moの単位強度当たりの価格は、原子炉製^{99}Moの価格と競合できることは実用化に際し重要な条件となる。即ち、品質及び価格面で既存の市販品と同品質であることを実証する必要がある。

　我々はこれまで^{99}Moの製造量及び核種純度について既存の加速器で加速器中性子を生成する実験を行い、試算通りの製造量が期待できること、また核種純度は原子炉でウランの核分裂反応で製造される場合に比べ不要な長寿命RIの製造量が極めて少なく高純度の^{99}Moが製造できることを実証してきた（論文公表済）。しかし、^{99}Moの非放射能は原子炉製^{99}Moに比べ1/5000程度と極めて小さいという問題がある。そこでこの^{99}Moから高い非放射能の^{99m}Tcを分離精製する方法の開発が不可欠であった。そこで我々は熱分離法を採用した。この方法は加速器中性子で照射した$^{100}MoO_3$試料を電気炉内のルツボに入れMoO_3とTc酸化物の蒸発温度が790度と310度と大きく異なることを利用した方法である。化学薬品を用いずに^{99m}Tcを分離できることから医薬品利用には適している。しかし、この方法には長年未解決の課題があった。即ち、MoO_3試料が1g以上の重量及び^{99m}Tcを熱分離するミルキング作業が多数回になると^{99m}Tcの分離効率が極端に低下するという実用するには困難な課題があった。そこで、新型熱分離装置を自作しこの課題解決に取り組み解決の糸口を発見した。（論文公表済）。

２．研究の目的

　我々は、これまで既存加速器で生成した加速器中性子を用い ^{99}Mo を製造、高品質の ^{99m}Tc を得るべく試料の ^{100}Mo から分離・精製する研究開発を進め新 RI 製造法に関わる原理的課題の解決を

はかってきた。本研究では、i）本製造法による ^{99}Mo の製造量を最適化する条件、即ち ^{100}Mo 試料サイズ、試料と炭素や Be の中性子標的との距離等への依存性、を明らかにする。ii)加速器１台で製造される ^{99}Mo 量は我が国の需要量に対し供給できる量を評価する。iii)^{99}Mo から ^{99m}Tc を熱分離する過程で電気炉内に湿気酸素ガスを流入させた結果、熱分離を迅速にしかも安定して高い分離率を得ることができた。これは熱分離装置の研究開発の中で予期しなった発見であり長年の熱分離法の課題解決に繋がる可能性が高い。そのため、その現象の再現性及び上記効果を齎す原因の究明に取り組む。一方(iv)^{99}Mo を製造するために使用する高濃縮 $^{100}MoO_3$ 試料は高価である。そのため照射済の濃縮試料を再利用することは不可欠でありその研究開発に世界が挑戦している。我々は、熱分離法で 98%を超える試料回収率を目指す研究開発を行う。更に v)本製造法で得られる ^{99m}Tc の品質は原子炉製 ^{99m}Tc の品質と同等であることを検証し本製造法が ^{99}Mo 実用化に向け問題無いことを実証する。

３．研究の方法

研究目的に対応し研究方法を記載する。

i)^{99}Mo の製造量を最適化する条件：^{99}Mo 製造量は、(1)$^{100}Mo(n,2n)^{99}Mo$ 反応断面積、(2)^{100}Mo 試料に照射される加速器中性子の強度と照射時間及び(3) ^{100}Mo 試料の重量に依存する。(1)は中性子エネルギーに、また(2)は中性子生成用標的（炭素、Be など）と ^{100}Mo 試料間の距離、(3)は ^{100}Mo 試料の直径・厚さなどに依存することから夫々のパラメターを変えて実験し結果を受けて評価試算する。一方、ii)加速器１台で製造される ^{99}Mo 量が我が国の需要量の何割供給できるかは i)で得られる製造量と我が国の ^{99m}Tc 診断量を踏まえ検証する。また iii)^{99}Mo から ^{99m}Tc を熱分離する過程で電気炉内に湿気酸素ガスを流入させた結果、熱分離を迅速にしかも安定して高い分離率を得ることができたことに関わる現象の再現性及び効果を引き起こす原因の究明は、流入するガス条件を変えて検証する。そして(iv)^{99}Mo 製造用の高濃縮 $^{100}MoO_3$ 試料の回収率の向上実験は、熱分離過程で蒸発する $^{100}MoO_3$ 試料の電気炉内分布量と電気炉設定温度などのパラメターを変化させ行う。最後に v)本製造法で得られる ^{99m}Tc の品質と原子炉製 ^{99m}Tc の品質の同等性の検証は国内の放射線医薬品製剤メーカーと協力して検証する。

4． 研究成果

i)新製造法による ^{99}Mo の製造量の最適化実験は、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターの加速器で得られる重陽子を用い図１のセットアップで行った。

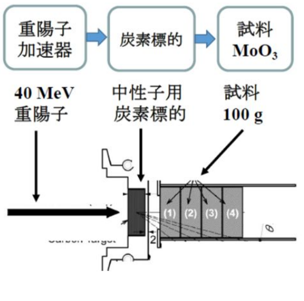


図 1.^{99}Mo 製造量最適化条件実験用セットアップ
　サイクロトロンで加速される 40MeV 重陽子は、中性子生成用の炭素標的に照射される。生成される加速器中性子は、MoO_3 試料を 4 個積層（1 個当たり 25g）に並べた試料に照射される。このセットアップにより最適条件が得られる。

本実験により得られた結果を表１に示す。最適条件は、Mo から ^{99m}Tc を熱分離する装置系、炭素標的と ^{100}Mo 試料との物理的に許容される距離、^{100}Mo 試料のサイズを考慮し決定した。（論文公表済）。

表 1．^{99}Mo 生成実験結果と核データによる評価結果の妥当性を検証した上で、$^{100}MoO_3$ 試料の重量・サイズ、重陽子ビームサイズ、炭素標的と試料との距離をパラメターとして ^{99}Mo 製造量の最適条件を求めた。

Radius of *d*-beam (cm)	Distance between *C* and sample (cm)	Radius of sample (cm)	^{99}Mo (GBq)		
			100 (g)	150 (g)	200 (g)
0.5	1.0	0.5	176	176	176
		1.0	508	525	531
		2.0	505	657	756
		3.0	282	412	528

また、ii)加速器 1 台で製造される ^{99}Mo 量が我が国の需要量の何割供給できるかについては、^{99m}Tc 診断で日々3000 人の被験者に投与される ^{99m}Tc の放射能強度は平均 740 メガベクレル(MBq)であることから病院の診断現場では、日々2100 ギガベクレル(GBq)の ^{99m}Tc が必要である。このことと、我国の人工分布、医療用薬品の運送システムの現状を勘案した結果、50MeV で 2mA の重陽子ビーム加速器が 1 台あれば我が国の 50%の需要を賄える可能性があることを指摘した。（論文公表済）。

次に、iii)^{99}Mo から ^{99m}Tc を熱分離する過程で電気炉内に湿気酸素ガスを流入させることに関わる実験は、図 2 の熱分離装置を自作して検証した。

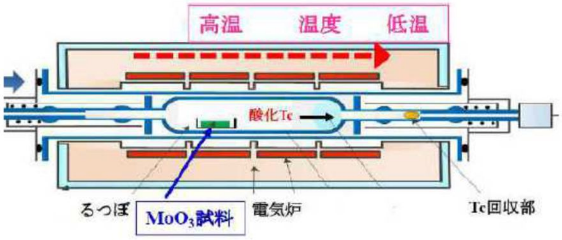
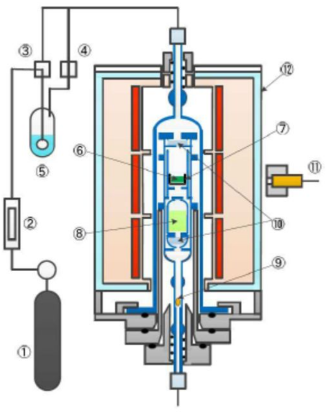


図 2．自作の ^{99}Mo/^{99m}Tc 熱分離装置概観図
加速器中性子で照射された MoO_3 試料は電気炉内のルツボ中に設置される。図に示される温度分布に従い、蒸発した ^{99m}Tc 及び ^{99}Mo は電気炉内で夫々異なる場所に凝縮する。その結果 ^{99m}Tc と試料の Mo は物理的距離の差として分離される。湿気酸素ガスは、^{99m}Tc 及び Mo の酸化を促進する。

この実験により、電気炉内に乾燥酸素ガスを流入するよりも湿気酸素ガスを流入する方が、^{99m}Tc 回収率、回収速度共に優れていることが判明した。(論文公表済)。この興味ある現象の物理化学的理由は今後の研究に待たれるが、実用化に向けては重要な知見を得た。

また、(iv)^{99}Mo 製造用の高濃縮 $^{100}MoO_3$ 試料を高い回収率で回収する実験は実用機のプロトタイプ器として図 3 の熱分離装置を自作して行った。本装置では、加速器中性子の照射に使用する約 100g の濃縮 $^{100}MoO_3$ 試料を電気炉内の 3 個のルツボに入れる。そのため ^{99m}Tc の高い回収効率を安定に得るための条件探索に多くの R&D を行った。

図 3．多量 $^{100}MoO^3$ 用の熱分離装置概観図
電気炉内の 3 個のルツボに入れられた濃縮 $^{100}MoO_3$ 試料から高い ^{99m}Tc 回収率を得る電気炉温度を詳細に調べ、また実験終了後には照射済の $^{100}MoO_3$ 試料の回収率測定を行い 99%の高回収率を得た。(論文公表済)。



次に、v)本製造法で得られる ^{99m}Tc の品質と原子炉製 ^{99m}Tc の品質の同等性の検証実験は、図 3 の熱分離装置を用い行い表 2 に示される結果を得た。表では ^{99m}Tc 医薬品に関わる米国の放射線医薬基準と実験結果が比較されている。本新製造法により製造される ^{99m}Tc が検査された項目すべてについて米国放薬基を満たすことがわかる。(論文公表済)。

^{99m}Tc-医薬品の品質試験 (薬事)

Paraneter	米国放薬基	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
pH	4.5 to 7.5	7.23	7.16	6.66	6.58
内毒素	<175 EU/V	<0.03 EU/mL	>0.03 EU/mL	<0.03 EU/mL	<0.03 EU/mL
化学純度	^{99}Mo/^{99m}Tc<0.015% 不要γ線/^{99m}Tc<0.05%	<0.015% <0.05%	<0.015% <0.05%	<0.015% <0.05%	<0.015% <0.05%
アルミニウム	<10 ppm	<10 ppm	<10 ppm	<10 ppm	<10 ppm
モリブデニウム	Not specified	-	0.138 ppm	0.020 ppm	0.034 ppm
放射化学純度	>95% $^{99m}TcO_4^-$	^{99m}Tc-MIBI 99.9%	^{99m}Tc-ECD 98.2%	99mTc-MAG3 97.3%	^{99m}Tc-MDP 99.95 %
診断箇所		心筋血流	脳血流	腎臓機能	骨シンチ

♦予期せぬ成果：

上記 ^{99}Mo/^{99m}Tc の研究開発に加え、がん治療用 RI として期待されている ^{67}Cu の研究開発を加速器中性子で ^{67}Cu を製造し実施した。下図 4 は Zn 試料に加速器中性子を照射し製造した ^{67}Cu を Zn 試料から化学分離するために自作した分離装置を示す。また、図 5 には、上記製造法で製造した ^{67}Cu イオンを担癌マウスに注射し各臓器に集積する ^{67}Cu の集積率を調べた世界初の結果である。腫瘍がある個所に ^{67}Cu イオンがかなり集積していることが分かり、^{67}Cu イオンそのものが治療用に利用できる可能性を示す結果である。(論文公表済)。

図 4. Zn から Cu を分離する装置

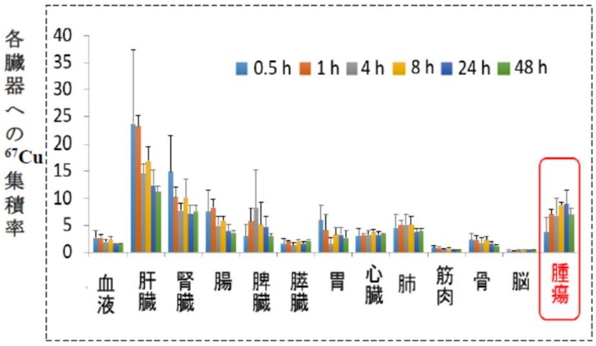


図 5. ^{67}Cu イオンのマウス内各臓器への集積率

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計10件（うち査読付論文　10件／うち国際共著　6件／うちオープンアクセス　3件）

1．著者名 Hermanne A., V. Ignatyuk A., Capote R., V. Carlson B., W. Engle J., A. Kellett M., T. Kib´edi, Kim G., G. Kondev F., Hussain M., Lebeda O., Luca A., 永井 泰樹 , Naik H., L. Nichols A., M. Nortier F., V. Suryanarayana S. , S.Tak´acs, F. T. T´ark´anyi, Verpelli M.	4．巻 148
2．論文標題 Reference Cross Sections for Charged-particle Monitor Reactions	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Nuclear Data Sheets	6．最初と最後の頁 338,382
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nds.2018.02.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 T. Tarkanyi F., V. Ignatyuk A., A.Hermanne, Capote R., B.V.Carlson, J.W.Engle, M.A.Kellett, T.Kibedi, G.N.Kim, F.G.Kondev, M.Hussain, O.Lebeda, A.Luca, 永井 泰樹 , H.Naik, A.L.Nichols, F.M.Nortier, S.V.Suryanarayana, S.Takacs	4．巻 319
2．論文標題 Recommended nuclear data for medical radioisotope production: diagnostic positron emitters	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6．最初と最後の頁 533,666
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10967-018-6380-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 F.T.Tarkanyi, A.V.Ignatyuk, Hermanne A., Capote R., B.V.Carlson, J.W.Engle, M.A.Kellett, T.Kibedi, G.N.Kim, F.G.Kondev, M.Hussain, O.Lebeda, A.Luca, Y.Nagai, H.Naik, A.N.Nichols, F.M.Nortier, S.V.Suryanarayana, S.Takacs, Verpelli M.	4．巻 319
2．論文標題 Recommended nuclear data for medical radioisotope production: diagnostic gamma emitters	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6．最初と最後の頁 487,531
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10967-018-6142-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 99Mo Yield Using Large Sample Mass of MoO3 for Sustainable Production of 99Mo	4．巻 87
2．論文標題 塚田 和明 , 永井 泰樹 , 橋本 和幸 , 川端 方子 , 湊 太志 , 佐伯 秀也 , 本石 章司 , 伊藤 正俊	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)	6．最初と最後の頁 043201-1,-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.87.043201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

1．著者名 Futoshi Minato, Kazuaki Tsukada, Nozomi Sato, Satoshi Watanabe, Hideya Saeki	4．巻 86, 114803
2．論文標題 Measurement and Estimation of the 99Mo Production Yield by 100Mo(n,2n)99Mo	5．発行年 2017年
3．雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6．最初と最後の頁 114803-1, -6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.7566/JPSJ.86.114803	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1．著者名 Yasuki Nagai, Yuto Nakahara, Masako Kawabata, Yuichi Hatsukawa, Kazuyuki Hashimoto	4．巻 86
2．論文標題 Quality of 99mTcO4- from 99Mo Produced by 100Mo(n,2n)99Mo	5．発行年 2017年
3．雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6．最初と最後の頁 053202-1, -4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.7566/JPSJ.86.053202	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1．著者名 Masako Kawabata, Shoji Motoishi, Hideya Saeki, Kazuyuki Hashimoto, and Yasuki Nagai	4．巻 86
2．論文標題 Recovery Efficiency of Enriched 100MoO3 Irradiated by Accelerator Neutrons	5．発行年 2017年
3．雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6．最初と最後の頁 053201-1,-3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.7566/JPSJ.86.053201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1．著者名 Yumi Sugo, Kazuyuki Hashimoto, Masako Kawabata, Hideya Saeki, Shunichi Sato, Kazuaki Tsukada, and Yasuki Nagai	4．巻 86
2．論文標題 Application of 67Cu Produced by 68Zn(n,n'p+d)67Cu to Biodistribution Study in Tumor-Bearing Mice	5．発行年 2017年
3．雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6．最初と最後の頁 023201-1, -3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.86.023201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名	4．巻
Masako Kawabata, Shoji Motoishi, Hideya Saeki, Kazuyuki Hashimoto, and Yasuki Nagai	86
2．論文標題	5．発行年
Recovery Efficiency of Enriched 100MoO3 Irradiated by Accelerator Neutrons	2017年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
Journal of the Physical Society of Japan	053201-1, -3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.7566/JPSJ.86.053201	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	該当する

1．著者名	4．巻
Yasuki Nagai, Yuto Nakahara, Masako Kawabata, Yuichi Hatsukawa, Kazuyuki Hashimoto, Hideya Saeki, Shoji Motoishi, Akio Ohta, Takayuki Shiina, and Yukimasa Kawauchi	86
2．論文標題	5．発行年
Quality of 99mTcO4- from 99Mo Produced by 100Mo(n,2n)99Mo	2017年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
Journal of the Physical Society of Japan	053202-1, -4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.7566/JPSJ.86.053202	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	該当する

〔学会発表〕　計8件（うち招待講演　7件／うち国際学会　3件）

1．発表者名
永井 泰樹 , 橋本和幸 , 川端方子 , 塚田和明 , 初川雄一 , 須郷由美 , 佐伯秀也 , 本石章司 , 湊太志
2．発表標題
Productions of 99Mo and 67Cu using accelerator neutrons for domestic use
3．学会等名
ヨーロッパ核医学会2018（国際学会）
4．発表年
2018年

1．発表者名
永井泰樹
2．発表標題
Production of 99Mo/99mTc and 67Cu for medical use by accelerator neutrons
3．学会等名
セミナー（招待講演）
4．発表年
2018年

１．発表者名
永井泰樹

２．発表標題
Production of 99Mo/99mTc and 67Cu for medical use by accelerator neutrons

３．学会等名
セミナー（招待講演）

４．発表年
2018年

１．発表者名
永井泰樹

２．発表標題
Quality control tests of 99Mo/99mTc and 67Cu produced using accelerator neutrons

３．学会等名
15th Varenna Conference on Nuclear Reaction Mechanisms（招待講演）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Yasuki Nagai

２．発表標題
Production of 99Mo/99mTc and 67Cu by Accelerator Neutrons from C(d,n)

３．学会等名
The 7th Yamada Workshop on RI Science Evolution（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
永井泰樹

２．発表標題
加速器を利用した放射性医薬品製造の進歩と未来

３．学会等名
第５６回日本核医学会学術総会（招待講演）

４．発表年
2016年

１．発表者名 永井泰樹
２．発表標題 日本におけるモリブデン/テクネチウムの安定供給の現状
３．学会等名 第44回日本放射線技術学会秋季学術集会（招待講演）
４．発表年 2016年

１．発表者名 永井泰樹
２．発表標題 99mTc derived from 99Mo produced by acceleartor neutrons
３．学会等名 Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging 2016（招待講演）（国際学会）
４．発表年 2016年

〔図書〕　計4件

１．著者名 非侵襲医療に向けた革新的アイソトープ製造法	４．発行年 2019年
２．出版社 株式会社千代田テクノル	５．総ページ数 5
３．書名 FBNews	

１．著者名 医療用アイソトープ製造と非侵襲個別化医療	４．発行年 2019年
２．出版社 日本原子力学会	５．総ページ数 １４
３．書名 核データニュース	

１．著者名 永井泰樹、塚田和明	４．発行年 2017年
２．出版社 日本アイソトープ協会	５．総ページ数 5
３．書名 Isotope News	

１．著者名 川端方子、永井泰樹	４．発行年 2017年
２．出版社 市民のためのがん治療の会	５．総ページ数 6
３．書名 市民のためのがん治療の会	

〔産業財産権〕

〔その他〕

－

６．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	藤田　博喜 (Fujita Hiroki) (20446446)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・核燃料・バックエンド研究開発部門　核燃料サイクル工学研究所　放射線管理部・研究副主幹 (82110)	
研究分担者	塚田　和明 (Tsukada Kazuaki) (30343916)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門　原子力科学研究所　先端基礎研究センター・研究主席 (82110)	
研究分担者	橋本　和幸 (Hashimoto Kazuyuki) (80414530)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所　東海量子ビーム応用研究センター・上席研究員（定常） (82502)	