

重陽子加速器による中性子を用いた放射性同位体生成

150 種以上の放射性同位体 (RI) は、医療の診断・治療に最も多く利用され、産業、研究・教育等にも幅広く利用されている。実際、テクネチウム 99m (^{99m}Tc) は、脳等の特定臓器に集り易い ^{99m}Tc 標識医薬品から放出される ^{99m}Tc のガンマ線を検出して、がん等の三大生活習慣病や認知症の診断に、我が国で年間 90 万件利用されている。半減期 6 時間の ^{99m}Tc は、半減期 66 時間のモリブデン 99 (^{99}Mo) から生成されるため、 ^{99m}Tc の利用には、最低 1 週間に一度新しい ^{99}Mo が必要であり、 ^{99}Mo の安定確保は不可欠である。我が国は、 ^{99}Mo を含め多くの RI が海外から輸入されている。ところが、数年前、世界需要の 90% 以上の ^{99}Mo を高濃縮ウラン 235 (^{235}U) の核分裂反応で製造してきた海外の研究用原子炉が、高経年化で長期間運転が停止した結果 ^{99}Mo が不足し、我が国を含め世界の医療現場が支障をきたした。これを契機に、これら原子炉が、高経年化に加え、核不拡散上問題がある高濃縮 ^{235}U を使用していることから、加速器等の代替え方法により、 ^{99}Mo を将来にわたり安定確保する製造法の検討が世界中で始まった。

そんな中、加速器から得られる高速中性子と ^{100}Mo の原子核反応断面積の中性子エネルギー依存性 (図 1 参照) を調べ、 ^{99}Mo を生成する $(n, 2n)$ 反応断面積が、11~18 MeV で一番大きい事に着目して ^{99}Mo を生成する新方式が、永井・初川により提案された。

ところで、 ^{99}Mo 問題の解決には、提案される製造システムで、①需要量に見合う ^{99}Mo が製造でき、しかも②放射線医薬品基準 (放薬基) を満たす高純度の ^{99m}Tc が分離精製できることが、先ず求められる。更に、製造システムには、 ^{99}Mo 以外の医療用 RI 及び一度の中性子照射で同時に複数の RI が

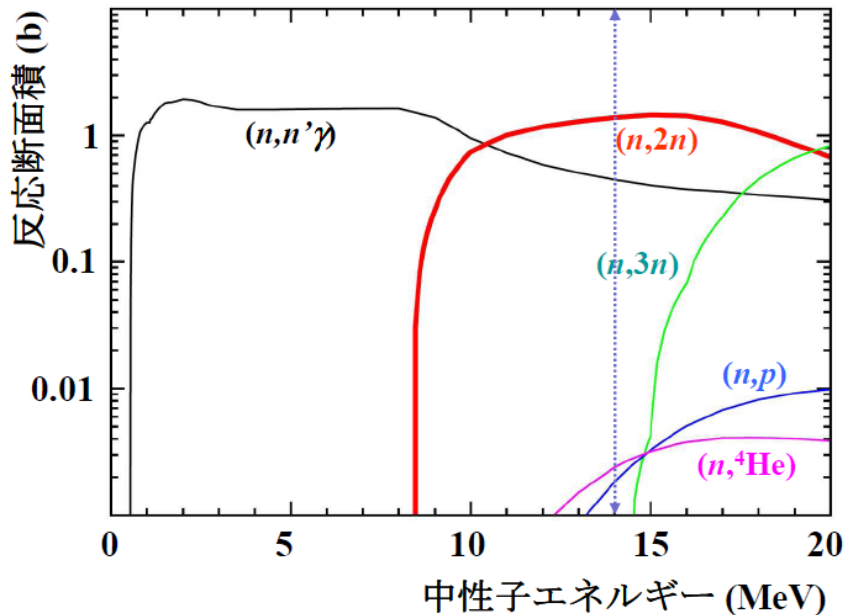


図 1. 中性子を ^{100}Mo に照射した時に起こる全ての原子核反応の断面積の中性子エネルギー (単位はメガ電子ボルト MeV) 依存性。 ^{99}Mo を生成する $(n, 2n)$ 反応断面積が 11~18 MeV で一番大きい。 $(n, n' \gamma)$ は非弾性散乱反応で RI は生成しない。 $(n, 3n)$ 、 (n, p) 及び $(n, ^4\text{He})$ 反応では、 ^{98}Mo (安定)、 ^{100}Nb (半減期 3 秒) 及び ^{97}Zr (半減期 16.9 時間) が生成される。

製造できる能力が、費用対性能比の観点から期待される。しかし、これらの要請を満たす製造システムは、未だ提案されたことは無い。

最近、日本原子力研究開発機構の永井泰樹グループリーダーらは、(株)千代田テクノル、住友重機械(株)、富士フイルムRIファーマ(株)と共同で、加速器からの高速中性子を用いて⁹⁹Mo等の多様なRI生成研究開発を進め、上記要請を満たすRI製造を可能にする新たな製造システムを提起した。この研究成果は、日本物理学会発行の英文学術誌Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の2013年6月号に掲載された。

大量の⁹⁹Mo製造には、高強度の高速中性子が必要である。重陽子は、陽子と中性子が弱く束縛した原子核であり、炭素等の標的と反応すると、同じエネルギーの陽子に比べ、10倍以上高強度の高速中性子が生成される。そこで、重陽子加速器の現状を踏まえ⁹⁹Moの製造量を評価した所、1台の加速器で我が国の⁹⁹Mo需要の10%程度を製造できることが分かった。(尚、加速器技術の進展により数年後には、1台で20~25%の製造が期待される)。一方、^{99m}Tcの純度に関しては、原子力研究開発機構の加速器で得られる14 MeV中性子を¹⁰⁰Mo試料に照射して製造されるRIについて、放射線検出器で測定された。その結果、⁹⁹Mo以外はごく微量の不要RIしか製造されないことが、そして、この⁹⁹Moから熱分離精製され抽出された^{99m}Tcの品質は、放射性核種純度及び化学純度共に、放薬基を満たすことが示された。また、一度に複数のRIが同時に製造されることは、高速中性子の持つ試料中の高い透過力のため、串刺しにした異なる試料に高速中性子を照射することで示された。そして、単一性能の重陽子加速器で、⁹⁹Moを含む多様なRIを十分な量製造できることは、試料の質量が100程度以下では、高速中性子照射に対して陽子やHeを放出する原子核反応断面積が50~500ミリバーン(10^{-27}cm^2)と大きいことをもとに示された。以上の研究成果を踏まえ、重陽子加速器で高速中性子を生成するサイクロトロン施設とRI分離精製室から成る、多様RI製造システムが提案された。このシステムは、原子炉あるいは陽子加速器を用いる従来のRI製造システムと全く異なる。単一性能の重陽子加速器で得られる高速中性子を用いて、従来製造できなかった新しいRIも製造できること、施設が小規模であること、運転操作が容易であること、高濃縮²³⁵Uを用いないこと等から本RI製造システムは、世界に普及し、医療・産業・学術研究等に資するものと期待される。

原論文

[Generation of Radioisotopes with Accelerator Neutrons by Deuterons,](#)

[Yasuki Nagai, Kazuyuki Hashimoto, Yuichi Hatsukawa, Hideya Saeki, Shoji Motoishi, Nozomi Sato,](#)

[Masako Kawabata \(他全26名\): J. Phys. Soc. Jpn. **82** \(2013\) 064201](#)

問合せ先：永井泰樹（日本原子力研究開発機構原子力エネルギー基盤連携センター）

橋本和幸（日本原子力研究開発機構原子力エネルギー基盤連携センター）