

^{99}Mo の現在の供給状況と今後の展望

森川 康昌

富士フイルム RI ファーマ株式会社 千葉工場生産業務部

 ^{99}Mo -Current Supply Situation and Future Perspective

Yasumasa MORIKAWA

Production Planning Dept. Chiba Plant FUJIFILM RI Pharma Co., Ltd.

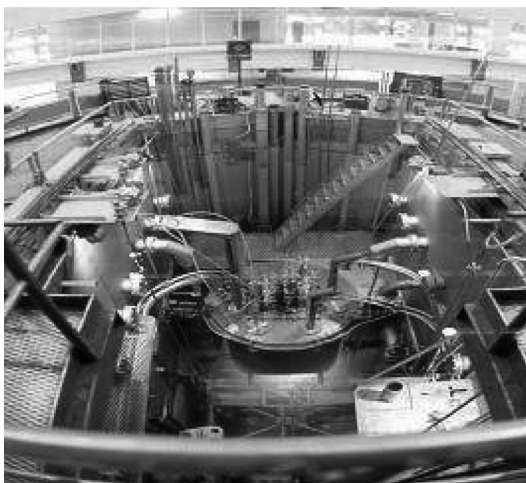
(article received : Oct 8, 2013)

1. はじめに

放射性医薬品の原料である RI は、サイクロトロンで製造される核種と試験研究炉（原子炉）で製造される核種に分類される。サイクロトロンで製造される核種には、 ^{201}Tl , ^{67}Ga , ^{123}I , ^{111}In , ^{18}F があり、放射性医薬品メーカーが所有しているサイクロトロンにより、国内で安定して製造している。一方、試験研究炉で製造される核種には、 ^{99}Mo , ^{125}I , ^{131}I , ^{133}Xe , ^{89}Sr , ^{90}Y があり、全ての核種が100%海外からの輸入に依存している状況である。中でも ^{99}Mo は輸入量が多く、B (U) 型放射性輸送物として厳しい規制の中で毎

週数回輸入している（図1）。

B (U) 型輸送を行うにあたっては、まず輸送容器の承認取得が必要であり、その上で航空輸送、陸上輸送の各々において輸送方法の承認取得が必要である。これらの承認を取得した後に、初めて ^{99}Mo を B (U) 型放射性輸送物として輸入することが可能となる。その後の定常的な輸入においては、輸送物と陸上輸送方法について、原子力規制庁および国土交通省自動車局の登録運搬確認機関である公益財団法人原子力安全技術センターへ、航空輸送においては、輸送物と輸送方法について国土交通省航空局へ、輸送ルートについては、警視庁や県警へ、輸入の3週間前に申請し



原子炉製造核種（海外から輸入）
 ^{125}I , ^{131}I , ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), ^{133}Xe , ^{51}Cr , ^{59}Fe , ^{89}Sr , ^{90}Y



サイクロトロン製造核種（国産）
 ^{67}Ga , ^{111}In , ^{123}I , ^{201}Tl , ^{18}F

図1 放射性医薬品の原料

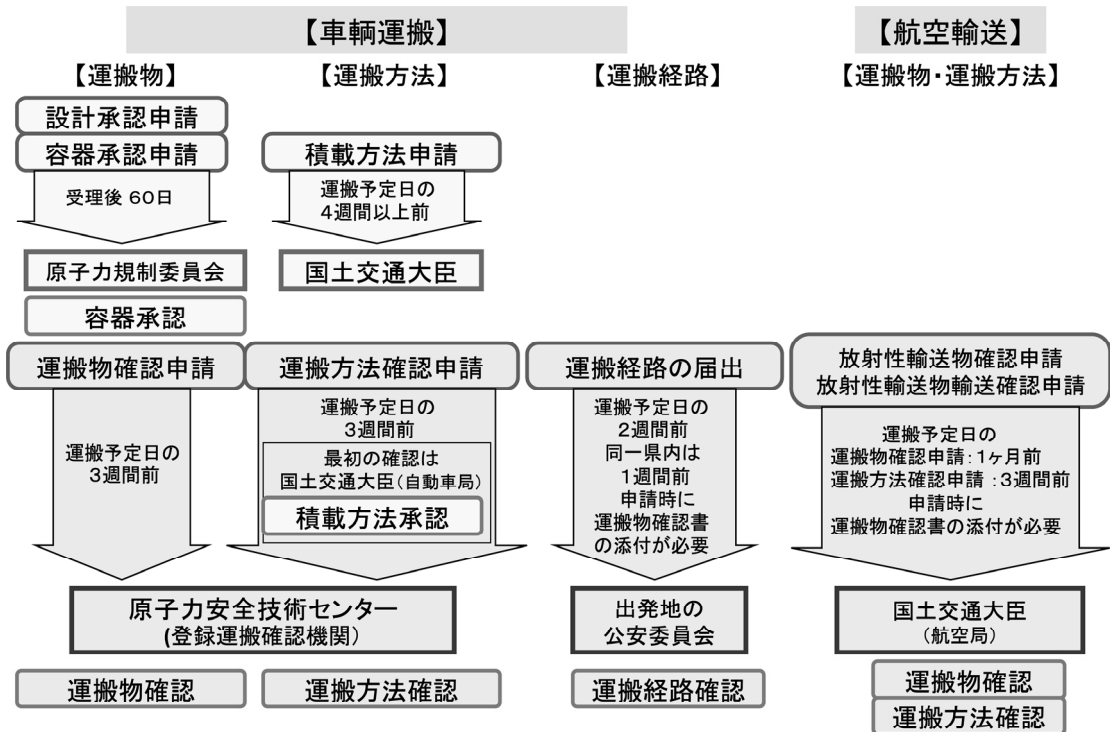


図2 我国のB型輸送物 (RI) の輸送申請の流れ

承認を得なければならず、多くの項目が法的手続きとして求められている (図2～4)。

2. ⁹⁹Mo の現在の供給状況

⁹⁹Mo の海外からの輸入については、図5に示す通り、安定して高品質の ⁹⁹Mo を供給できるサプライヤーは、現在のところ Nordion (カナダ)、Mallinckrodt (旧 Covidien, オランダ)、IRE (ベルギー)、NTP (南アフリカ)、ANSTO (オーストラリア) の5社であり、各々の製造工場から、エアカナダ (AC)、日本航空 (JAL)、全日空 (ANA)、カンタス航空 (QF) の旅客便による航空輸送で輸入している (図5)。

海外の製造工場から国内の医薬品メーカーに納入されるまでに約2日間を要するため、半減期が66時間の ⁹⁹Mo は、製造工場出荷時の60%程度まで減衰してしまう状況であり、可能な限り近隣の国から輸入できるようになることが望まれる (図6)。

⁹⁹Mo のクライシス以降、定期メンテナンスおよび検査が厳格化しており、オランダの HFR 炉

が、昨年末の定期メンテナンスで発見された不具合の補修、検査で6ヶ月強の期間、稼働停止となった。また、カナダ NRU 炉も3月の定期メンテナンスが長引き、その後5月に再稼働の際に義務付けされた大規模メンテナンスが約1ヶ月行われた。

しかしながら、⁹⁹Mo のクライシス以降に開催されている OECD/NEA のグループにより、影響を最小限に留めるように調整された結果、大きな供給不足は発生しなかった。

現状では、上記のように、クライシス時のような大きな問題にならないように、各国の製造元間でメンテナンス時期を調整する等の施策が行われており、世界的な供給不足にはならないようにしている。

また、航空輸送においても、従来の JAL だけの輸送に頼るのではなく、ANA、エアカナダ、カンタス航空での輸送ができるようになったということは、安定した供給が継続して行えていることの要因の1つである。

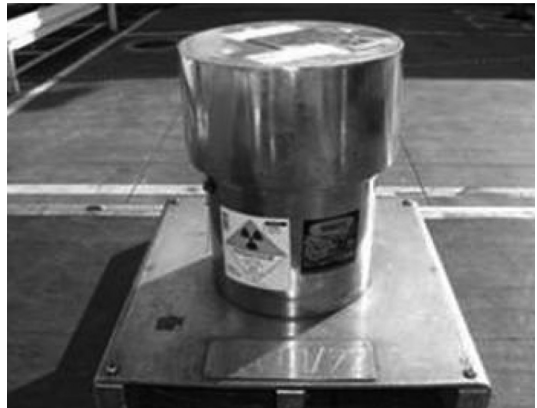
しかしながら、オーストラリア以外の原子炉が



南アフリカ, ベルギー, オーストラリア



カナダ



オランダ

図3 BU型輸送容器

老朽化していることには変わりなく、常に原子炉の稼働状況からは目が離せない状況である。また、航空輸送においても、火山の爆発による空港閉鎖等のリスクはいつ何時起こるか想定できない。したがって、原子炉トラブルと輸送トラブルへの対応という観点から、カナダ、欧州、南アフリカ、オーストラリアの4極からの輸入の多様化が、リスクヘッジ対策として求められる。しかし一方では、輸送費等のコストは、集約した輸入の方が低く抑えることが出来るということであり、この相反するリスクとコストのバランスをどのようにして最適化するか、非常に苦慮するところである。

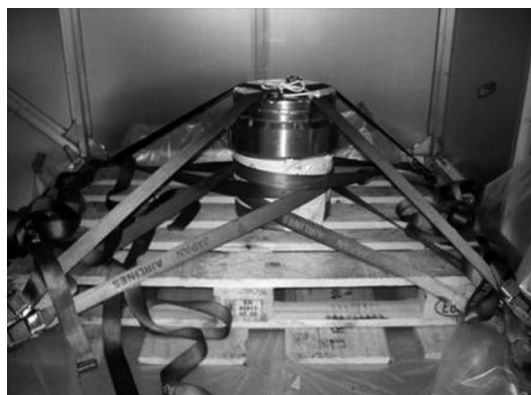
3. 今後の展望

^{99}Mo のクライシス以降、世界各国で自国での生産の検討を始めており、まずは自国での需要を満たすだけの生産体制を構築し、その後に国外への供給を行えるようにすることを計画しているようである。既存の供給国での今後の計画と合わせ、国別にその状況について、以下に列記する。
〈カナダ〉

NRU が2016年で稼働停止になることは、世界の共通認識となっている。

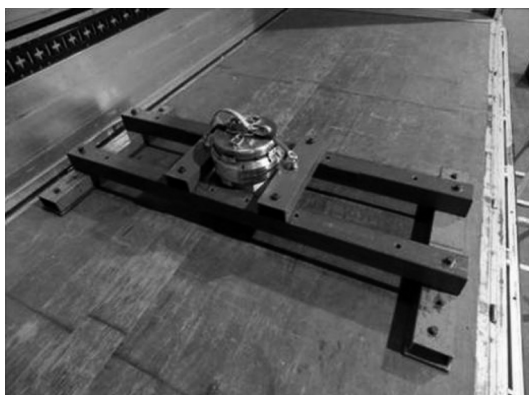
カナダでは、原子炉を利用しない RI の供給ということで検討が進められている。

航空輸送



LD3 コンテナへ1個積み
タイダウンベルトで9G個縛

陸上輸送



4tトラックへ1個積み
金属製パイプとベルトで10G個縛

図4 ⁹⁹Mo 原料輸送容器の固縛の例

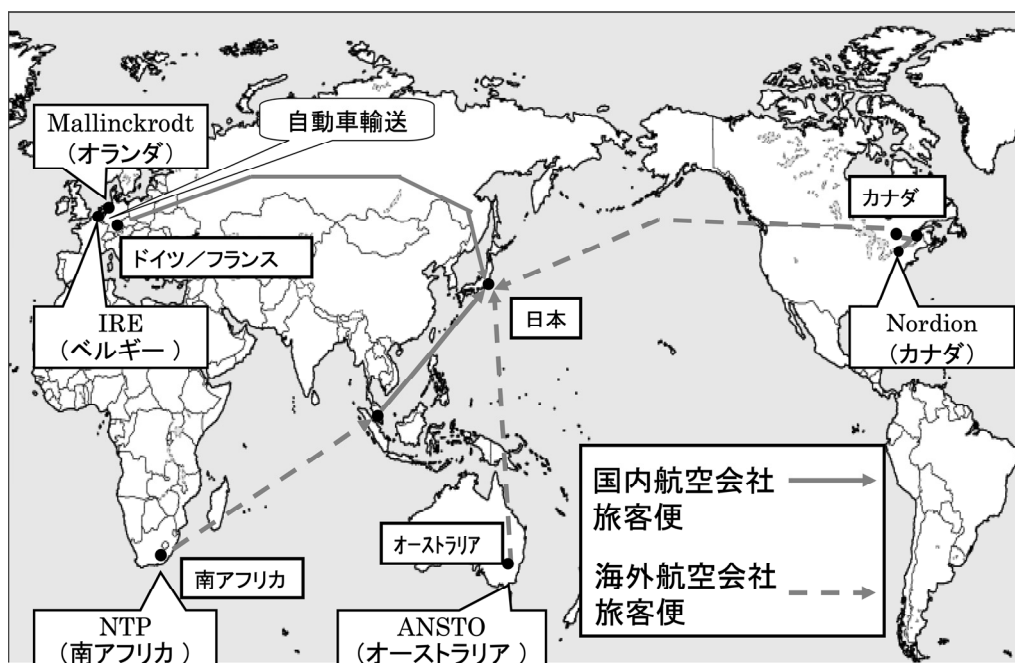


図5 ⁹⁹Mo 輸送ルート

〈オランダ〉

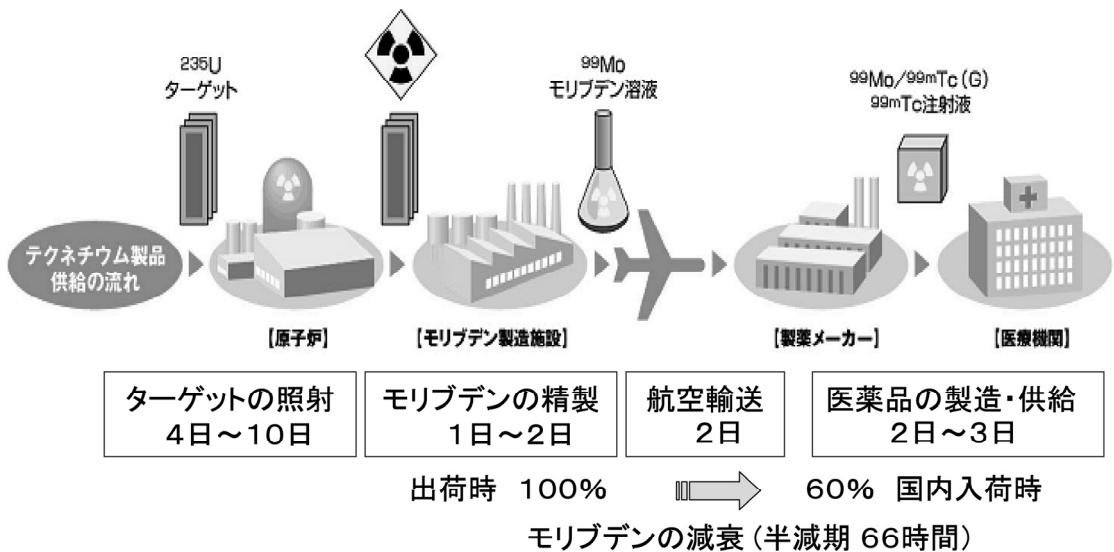
HFR を主体として、MARIA（ポーランド）、BR2（ベルギー）、OSIRIS（フランス）を利用した供給体制を維持している。LEU（低濃縮ウラン）への移行が今後の課題である。

HFR の後継炉として、PALLAS の計画が進められており、2024年の稼働を目指している。

〈ベルギー〉

BR2 を主体として、LVR-15（チェコ）、HFR、OSIRIS を利用し、供給体制を維持している。LEU への移行が今後の課題である。

BR2 の後継炉として、MYRRHA の計画が進められており、2023年の稼働を目指している。

図6 ^{99}Mo の製造から医薬品供給までの所用日数

〈南アフリカ〉

LEU への移行は既に完了している。

SAFARI-II の構想もあるが、当面は現在稼働中の SAFARI-I を利用する。

〈オーストラリア〉

最初から LEU で生産を行っている。

2016年の NRU 稼働停止を見据え、精製設備拡張の計画を進めている。

〈フランス〉

OSIRIS は、2015年から2020年までの間で稼働停止予定であり、後継炉として JHR の計画が進行中、2019年稼働を目指している。

〈ドイツ〉

既存の FRM II を利用した LEU による ^{99}Mo 製造計画が進中であり、2015年に照射試験を実施する予定である。

〈米 国〉

自国内での供給を目指し、米国エネルギー省が事業団体をサポートしている。

既存原子炉での中性子捕獲法 (n, γ) 法によるものと、加速器による製造が中心となっている。

〈ロシア〉

既存の原子炉で製造し、国内に供給している。海外への供給計画を進めており、日本へもアプローチしている。

〈韓 国〉

原子炉を含む新生産設備の計画が進められている。2017年に ^{99}Mo の初回製造を行う予定である。

〈中 国〉

自国の需要分の製造のため、新たな設備を計画中であり、2018年を目標としている。

〈アルゼンチン〉

現在は国内需要に加えブラジルへの一部供給分を製造している。

新規原子炉を計画中であり、2018年の稼働を目指している。

〈ブラジル〉

現在は全量を輸入に頼っている。

新規原子炉を計画中であり、2018年の稼働を目指している。

〈インドネシア〉

既存の原子炉で自国分に加え、一部を近隣諸国へ供給している。

LEU への移行は終了している。

この他にも、東欧圏や東南アジアの一部の国では、中性子捕獲法で ^{99}Mo を製造して、ジェネレータとして供給している。

4. ま と め

今後の ⁹⁹Mo 製造は、欧州、南アフリカ、オーストラリアを中心に核分裂法による製造が継続されることは明らかであり、それを補完するような形で、中性子捕獲法や加速器による製造（^{99m}Tc の直接製造を含む）が進められてくると考えられる。

核分裂法による製造の大きな課題は、HEU（高濃縮ウラン）から LEU への移行である。安定した LEU ターゲットの供給元が限られていること、不要な核分裂生成物が数十倍増えることによる分離方法と処理方法の確立等課題がまだ完全に解決されていない。

一方、我国では中性子捕獲法と加速器による製造方法が検討されており、分離・生成も含め、技術的には十分製造できることは確認された。しかし、放射性医薬品の原料として定常的に使用でき

るようにするにあたっては、RADIOISOTOPES 2012 Vol. 61 No. 10 で述べたように、比放射能、年間を通した安定供給、輸送方法等々、まだ多くの課題を残している。

また、核分裂法で製造された ⁹⁹Mo との併用での検討も必要であり、設備投資の観点からも、多くの検討課題が残っている。

2016年の NRU の稼働停止までに、欧州の代替炉の計画が間に合わないことは確実であるため、当面は現行の供給元からの供給を確保することが必要である。その上で、韓国や中国での計画がどのように進んでくるかを十分に観察しながら、我国にとって最適なサプライチェーンを構築していかなければならない。これに加え、国内で ⁹⁹Mo 製造が行われ、補完的な役割を果たせるようになることが、更なる供給の安定化に繋がると考える。