

J A E R I - M
90-156

放射性同位体製造資料- 1311

^{95}Mo (p,n) 反応による $^{95\text{m}}\text{Tc}$ の製造

1990年9月

出雲三四六・反田 孝美・松岡 弘充・永目諭一郎
畠 健太郎・関根 俊明・馬場 澄子*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1990

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 株高野高速印刷

^{95}Mo (p, n)反応による $^{95\text{m}}\text{Tc}$ の製造

日本原子力研究所東海研究所アイソトープ部

出雲三四六・反田 孝美・松岡 弘充・永目諭一郎

畠 健太郎・閑根 俊明・馬場 澄子*

(1990年8月14日受理)

テクネチウム同位体のトレーサーとして有望視されている $^{95\text{m}}\text{Tc}$ （半減期61日， γ 放射体）製造のため， ^{95}Mo (p, n)反応で生成する $^{95\text{m}}\text{Tc}$ の生成断面積を求めた。その結果，陽子エネルギー20MeV以上での $^{95\text{m}}\text{Tc}$ の厚いターゲット収率は照射終了時に換算して890kBq/ μAh であった。

また，生成断面積測定用の薄い ^{95}Mo ターゲットの電着法による新たな調製法を開発した。 $^{95\text{m}}\text{Tc}$ のターゲットからの分離，精製過程を検討するために，厚い ^{95}Mo ターゲットを用いた試験的製造を行ない $^{95\text{m}}\text{Tc}$ の回収率として約85%を得た。

Production of ^{95m}Tc with the $^{95}\text{Mo}(\text{p},\text{n})$ Reaction

Mishiroku IZUMO, Takami SORITA, Hiromitsu MATSUOKA
Yuichiro NAGAME, Kentaro HATA, Toshiaki SEKINE
and Sumiko BABA*

Department of Radioisotopes
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 14, 1990)

The nuclide ^{95m}Tc ($T_{1/2} = 61\text{d}$; γ -ray emitter) is an useful isotope as technetium tracer, and its production through the $^{95}\text{Mo}(\text{p},\text{n})$ reaction has been studied. The formation cross sections of ^{95m}Tc have been determined for proton energies up to 28 MeV. The results indicate that the ^{95m}Tc yield from a thick ^{95}Mo -enriched target is 890 kBq/ μAh at the end of bombardment for initial proton energies over 20 MeV. For the preparation of thin molybdenum targets used in the cross-section measurement, a new method of electrodeposition of molybdenum has been developed. Chemical procedures for separation and purification of ^{95m}Tc were developed and applied for a thick ^{95}Mo -enriched target. The chemical yield was 85%.

Keywords: Technetium-95, Molybdenum-95, Electrodeposition Method, Excitation Function, Thin Target, Thick Target

* This work has been done during her tenure of the JAERI.

目 次

1. 序	1
2. 実験	1
2.1 励起関数の測定	1
2.1.1 薄い ⁹⁵ Mo ターゲットの調製	1
2.1.2 照射	2
2.1.3 放射能測定	3
2.1.4 結果	3
2.2 ^{95m} Tc の製造	4
2.2.1. 厚い ⁹⁵ Mo ターゲットの調製	4
2.2.2 照射	4
2.2.3 化学分離	4
2.2.4 結果	4
3. まとめ	5
謝辞	5
参考文献	6

Contents

1. Introduction	1
2. Experiment	1
2.1 Measurement of the excitation function for the $^{95}\text{Mo}(\text{p},\text{n})\ ^{95\text{m}}\text{Tc}$ reaction	1
2.1.1 Preparation of thin ^{95}Mo target	1
2.1.2 Bombardment	2
2.1.3 γ -ray measurement	3
2.1.4 Results and discussion	3
2.2 Production of $^{95\text{m}}\text{Tc}$	4
2.2.1 Preparation of thick ^{95}Mo target	4
2.2.2 Bombardment	4
2.2.3 Separation of $^{95\text{m}}\text{Tc}$ from irradiated ^{95}Mo target	4
2.2.4 Results and discussion	4
3. Summary	5
Acknowledgements	5
References	6

1. 序

^{95m}Tc は Table 1 に示すように、テクネチウム同位体の中では比較的長い半減期と高強度の γ 線を放出するためテクネチウムのトレーサーとして有用である。このため、核燃料サイクルの高レベル放射性廃棄物処理に伴う ^{99}Tc の挙動¹⁾、核医学で多用される ^{99m}Tc 標識化合物合成²⁾、環境におけるテクネチウムの分布^{3), 4)}などの研究に利用されている。

^{95m}Tc の生成核反応を Table 2 に示す。一般的に ^{95m}Tc の製造には天然モリブデン金属箔をターゲットとした $^{nat}\text{Mo}(\text{p}, \text{xn})$ 反応による場合が多いが³⁾、 $^{95}\text{Mo}(\text{p}, \text{n})$ 、 $^{96}\text{Mo}(\text{p}, 2\text{n})$ および $^{97}\text{Mo}(\text{p}, 3\text{n})$ 反応が重複するため各々の反応の励起関数を正確に評価することは困難であり他のテクネチウム同位体の混入も避けられない。

本研究では ^{95}Mo 濃縮安定同位体をターゲットとし、 $^{95}\text{Mo}(\text{p}, \text{n})$ ^{95m}Tc 反応で生成する ^{95m}Tc の励起関数を求め、それから ^{95m}Tc 生成量の評価を行った。

Mo の濃縮安定同位体をターゲットとした実験では、 ^{94}Mo 、 ^{95}Mo に α 粒子を照射し ^{95m}Tc 、 ^{96}Tc の励起関数を測定した報告がある。⁵⁾ この実験ではターゲットの調製に電着法は困難であるとして、 MoO_3 粉末と CuO 粉末を混合、加熱調製した CuMoO_4 を Al 箔で包み $20\text{mg}/\text{cm}^2$ 程度の薄いターゲットとしている。また、Dmitrev ら⁶⁾ は $^{96}\text{Mo}(\text{p}, \text{n})$ ^{96}Tc 反応の実験に MoO_4 を用いているが、ターゲット調製法を述べていない。 MoO_3 も MoO_4 も約 800°C で昇華するため照射中のターゲット温度を制御する必要がある。我々はターゲットとして、熱的に安定で、かつ任意に量を調節できる ^{95}Mo 濃縮安定同位体金属粉末を用い、電着法による薄いターゲットの調製法の開発を行った。

2. 実験

2.1 励起関数の測定

2.1.1 薄い ^{95}Mo ターゲットの調製

(1) ターゲット物質

ターゲット物質には ORNL 社製（米国）の ^{95}Mo 濃縮安定同位体（濃縮度 96.47%）を用いた。性状は金属微粉末である。この製品の濃縮度を原研分析センターで質量分析を行い、報告値と一致していることを確認した。報告値と分析値を Table 3 に示す。

(2) 電着装置

電着装置を Fig. 1 に示す。電着槽はテフロン製で、電着面積 1.76 cm^2 ($15\text{ mm}\phi$)、容積は約 8 mL である。陽極は $1\text{ mm}\phi$ の白金線、陰極には厚さ $20\text{ }\mu\text{m}$ 、 $2.5 \times 2.5\text{ cm}$ 角の Al 箔をパッキング材として用いた。パッキング材は使用前にトリクロルエチレン、アセトン、水の順序で超音波洗浄し、乾燥のち秤量した。

1. 序

95m Tc は Table 1 に示すように、テクネチウム同位体の中では比較的長い半減期と高強度の γ 線を放出するためテクネチウムのトレーサーとして有用である。このため、核燃料サイクルの高レベル放射性廃棄物処理に伴う 99 Tc の挙動¹⁾、核医学で多用される 99m Tc 標識化合物合成²⁾、環境におけるテクネチウムの分布^{3), 4)}などの研究に利用されている。

95m Tc の生成核反応を Table 2 に示す。一般的に 95m Tc の製造には天然モリブデン金属箔をターゲットとした nat Mo (p, x n) 反応による場合が多いが³⁾、 95 Mo (p, n)、 96 Mo (p, 2n) および 97 Mo (p, 3n) 反応が重複するため各々の反応の励起関数を正確に評価することは困難であり他のテクネチウム同位体の混入も避けられない。

本研究では 95 Mo 濃縮安定同位体をターゲットとし、 95 Mo (p, n) 95m Tc 反応で生成する 95m Tc の励起関数を求め、それから 95m Tc 生成量の評価を行った。

Mo の濃縮安定同位体をターゲットとした実験では、 94 Mo、 95 Mo に α 粒子を照射し 95m Tc、 96 Tc の励起関数を測定した報告がある。⁵⁾ この実験ではターゲットの調製に電着法は困難であるとして、 MoO_3 粉末と CuO 粉末を混合、加熱調製した $CuMoO_4$ を Al 箔で包み $20\text{mg}/\text{cm}^2$ 程度の薄いターゲットとしている。また、Dmitrev ら⁶⁾は 96 Mo (p, n) 96 Tc 反応の実験に MoO_4 を用いているが、ターゲット調製法を述べていない。 MoO_3 も MoO_4 も約 800°C で昇華するため照射中のターゲット温度を制御する必要がある。我々はターゲットとして、熱的に安定で、かつ任意に量を調節できる 95 Mo 濃縮安定同位体金属粉末を用い、電着法による薄いターゲットの調製法の開発を行った。

2. 実験

2.1 励起関数の測定

2.1.1 薄い 95 Mo ターゲットの調製

(1) ターゲット物質

ターゲット物質には ORNL 社製（米国）の 95 Mo 濃縮安定同位体（濃縮度 96.47%）を用いた。性状は金属微粉末である。この製品の濃縮度を原研分析センターで質量分析を行い、報告値と一致していることを確認した。報告値と分析値を Table 3 に示す。

(2) 電着装置

電着装置を Fig. 1 に示す。電着槽はテフロン製で、電着面積 1.76 cm^2 ($15\text{ mm}\phi$)、容積は約 8 mL である。陽極は $1\text{ mm}\phi$ の白金線、陰極には厚さ $20\text{ }\mu\text{m}$ 、 $2.5 \times 2.5\text{ cm}$ 角の Al 箔をパッキング材として用いた。パッキング材は使用前にトリクロルエチレン、アセトン、水の順序で超音波洗浄し、乾燥のち秤量した。

(3) ^{95}Mo 懸濁試料の調製

^{95}Mo 金属微粉末一定量に少量のアセトンを加えメノウ乳鉢で微細に練ったのちアセトンで $100\text{ mg}/\text{ml}$ の懸濁溶液を調製した。なお、電着条件を求める実験の場合は天然同位体組成の Mo 金属粉末 $200\text{ mg}/\text{ml}$ の懸濁溶液を用いた。

(4) 電着実験

本実験で必要とされる薄いターゲットは $^{95}\text{Mo} 1 \sim 3\text{ mg}/\text{cm}^2$ である。このため Mo の懸濁液を用いて電着実験を行った。基本的な電着条件は、非電解質溶液のアセトン 5 ml に、 Mo 懸濁溶液 $20 \sim 60\text{ }\mu\text{l}$ と電解質溶液の $1\% \text{ KI}$ 溶液を $10 \sim 40\text{ }\mu\text{l}$ の範囲で添加し電解、電着することとした。

電着量と印加電圧の関係を調べるために、 Mo 懸濁溶液 $30\text{ }\mu\text{l}$ 、 $1\% \text{ KI}$ 溶液 $20\text{ }\mu\text{l}$ で一定とし、印加電圧 $300 \sim 800\text{ V}$ の範囲で電着を行った。各印加電圧における電着量と初期電流との関係を Fig. 2 に示す。印加電圧 $300 \sim 700\text{ V}$ での電着効率* は $80 \sim 95\%$ 程度である。しかし、 700 V 以上になるとバッキング材である Al 箔表面からの水素発生が著しくなり電着表面はクレーター状態を呈する。 800 V では電着量の減少とともに電着表面は不均一になる。

次に電着量と電解質溶液量の関係を調べるために、 Mo 懸濁溶液 $60\text{ }\mu\text{l}$ 、印加電圧 400 V で一定とし、 $1\% \text{ KI}$ 溶液 $0 \sim 40\text{ }\mu\text{l}$ の範囲で電着を行った。電解質の各溶液量における電着量と初期電流との関係を Fig. 3 に示す。電解質溶液量の増加と共に電着量は増加するが、 $40\text{ }\mu\text{l}$ 以上では Al 箔表面からの水素発生が多くなり電着量の減少、電着表面の不均一化がおこる。電解質溶液を加えない場合には電着はされず、また $15\text{ }\mu\text{l}$ 以下の場合には電着が不十分であった。

以上の実験から、 $1 \sim 3\text{ mg}/\text{cm}^2$ 程度の薄いターゲットの調製には、 $1\% \text{ KI}$ 溶液量 $20 \sim 30\text{ }\mu\text{l}$ 、印加電圧 $400 \sim 500\text{ V}$ で行うのが適当であると判断した。

(5) 薄い ^{95}Mo ターゲットの調整

励起関数を測定するために用いる薄い ^{95}Mo ターゲットの調製を行った。アセトン 5 ml に、 ^{95}Mo 懸濁溶液 $20 \sim 60\text{ }\mu\text{l}$ 、 $1\% \text{ KI}$ 溶液 $20 \sim 30\text{ }\mu\text{l}$ を加え、混合したのち電解セルに注入し印加電圧 500 V で約 5 分間電着を行った。 ^{95}Mo 懸濁液量を加減することにより $1 \sim 3\text{ mg}/\text{cm}^2$ のターゲットを調製した。

2.1.2 照射

$^{95}\text{Mo}(\text{p}, \text{n})^{95m}\text{Tc}$ 反応の励起関数を測定するため、2.1.1で調製した薄い ^{95}Mo ターゲットと、照射エネルギーモニター用 Cu 箔 ($8\text{ mg}/\text{cm}^2$) 及び陽子エネルギー減衰用の Al 板を交互に並べたスタックターゲットを使用した。陽子エネルギー $10 \sim 28\text{ MeV}$ の範囲の実験には、原研タンデム加速器を、 10 MeV 以下の実験には大阪大学理学部のサイクロトロンを用いた。各々の照射条件を次に示す。

* 電着効率 = $\frac{\text{電着 Mo 量}}{\text{供給 Mo 量}} \times 100$

	原研照射	阪大照射
陽子エネルギー (MeV) :	2.8	9.62
照射時間 (h) :	2.0	5.2
ビーム電流 (nA) :	200 ~ 500	19.7

なお、スタックターゲットの構成に際し、 ^{95}Mo ターゲット、Cu 箔及び Al 板中における陽子エネルギーの損失は OSCAR コード⁷⁾で算出した。またビーム電流は電流積算計を用いて測定した。

2.1.3 放射能測定

照射後、スタックターゲットを解体し、 ^{95}Mo ターゲット、Cu 箔に生成した核種の γ 線を Hp Ge 半導体検出器 (70 cm^3) で測定した。核種の同定は γ 線のエネルギーと半減期にもとづいて行い、解析にはBOB コード⁸⁾を用いた。照射済 ^{95}Mo ターゲットには ^{95m}Tc 以外に ^{95g}Tc ($T_{1/2} = 20\text{ h}$)、 ^{94g}Tc ($T_{1/2} = 4.88\text{ h}$)、 ^{94m}Tc ($T_{1/2} = 0.86\text{ h}$) および ^{93g}Tc ($T_{1/2} = 2.75\text{ h}$) が生成しているため、これらの核種が減衰したのち測定した。Cu 箔については ^{65}Cu (p, n) 反応で生成する ^{65}Zn ($T_{1/2} = 244.1\text{ d}$) を測定した。

2.1.4 結果

(1) 陽子エネルギーの測定

スタックターゲットの各 ^{95}Mo ターゲットへの照射陽子エネルギーの確認には、 ^{65}Cu (p, n) ^{65}Zn 反応で得られた励起関数を用いた。すなわち、collie' ら⁹⁾により良く調べられたこの反応の励起関数を再現するように、ターゲットスタック中の Cu 箔モニター位置での陽子エネルギーを決定した。得られたエネルギー値から内挿により各 ^{95}Mo ターゲットでの照射陽子エネルギーを見積った。

(2) 励起関数の測定

測定した ^{95}Mo (p, n) ^{95m}Tc 生成反応の励起関数を Fig. 4 に示す。この反応は陽子エネルギー 5 MeV 付近から始まる。反応断面積は陽子エネルギーとともに急速に増加して 12 MeV で最大値に達したのち減少する。いわゆる複合核反応に特有な形を示している。この反応の断面積に関しては Skakun らが陽子エネルギー 5 ~ 9.5 MeV の範囲で行った報告があり¹⁰⁾、このエネルギー範囲における反応断面積の値はほぼ一致した。得られた励起関数と、Mo 中の陽子の飛程から thick target yield を算出した。その結果を Fig. 5 に示す。陽子エネルギー 20 MeV 以上では $8.9 \times 10^2 \text{ kBq}/\mu\text{Ah}$ の生成量であった。

2.2 95m Tc の製造

2.2.1 厚い 95 Mo ターゲットの調製

ターゲット物質は、薄いターゲット調製の場合と同じものを用いた。 95 Mo ターゲット中における 20 MeV のエネルギーを持った陽子の飛程は約 500 mg/cm² であることから、 95 Mo 濃縮安定同位体金属粉末 1.32 g を直径 1.5 cm ϕ の金型に入れ、約 2 ton/cm² で加圧成型し、758 mg/cm² 厚の 95 Mo ターゲットを調製した。

2.2.2 照射

厚い 95 Mo ターゲットのペレットを Al 箔 (27 mg/cm²) で包装し、専用の照射ホルダーに取付けて He 気流中で照射した。照射時の状態を Fig. 6 に示す。照射中のターゲットの除熱には、ターゲット背面については冷却水 (~ 10 °C)，表面については He (0.5 l/min) を用いた。ビームラインとの真空を隔離するために Ti 箔 (5.6 mg/cm²) を使用した。Ti 箔の強度についてはあらかじめ耐圧試験を行った。

照射には原研タンデム加速器を用い、陽子エネルギー 14.8 MeV，ビーム電流 1.2 μ A，で 19 時間の照射を行った。

2.2.3 化学分離

照射後、 95g Tc ($T_{1/2} = 20.0$ h) の放射能が減衰したのち Fig. 7 に示す方法で 95m Tc を分離した。照射済ターゲットを 6 M HNO₃ 30 mL で加熱、溶解して H₂MoO₄ としたのち蒸発乾固した。乾固物をさらに 2.5 M NH₄OH 10 mL で再溶解し、この溶液の一部を採取して 95m Tc の生成放射能量を求めた。次に (NH₄)₂MoO₄ 溶液に 6 M HC l を 4 mL 加え、再び H₂MoO₄ の沈殿を生成したのちろ過により 95m Tc (Tc₂O₇) と 95 Mo (H₂MoO₄) を分離した。しかし、ろ液には微量の 95 Mo が混入するため、アルミナカラム (1 cm ϕ × 17 cm, 12 g) で 95 Mo を除去した。アルミナカラム溶出液にはアルミナからの Al の流出があるため、さらに陰イオン交換樹脂 (0.6 cm ϕ × 3 cm, DIAION SA #100) で 95m Tc と Al を分離した。一方、 95 Mo の沈殿は 10 M NH₄OH で溶解し、蒸発乾固ののち電気炉内で加熱 (300 °C)，酸化して MoO₃ とした。次に MoO₃ を水素気流中で加熱 (1000 ~ 1100 °C)，還元し、 95 Mo 金属粉末 (1.25 g) として回収した。

2.2.4 結果

本製造実験における 95m Tc の生成放射能量は照射直後に換算した値で 17.8 MBq であった。また、分離精製した 95m Tc 製品の放射能量は同じく照射直後に換算した値で 15.4 MBq であり、本実験の化学的収率は 87 % であった。一方、ターゲットである 95 Mo 濃縮安定同位体の回収率は 95 % 以上であった。

3. まとめ

テクネチウムのトレーサーとして有用な ^{95m}Tc 製造法の研究として、 $^{95}\text{Mo} (\text{p}, \text{n}) ^{95m}\text{Tc}$ 反応の励起関数を測定した。また、この反応による製造実験を行い 15.4 MBq (照射終了時換算) の ^{95m}Tc を製造し、試験的に利用者に供給した。

本研究は、実験的報告が無い $^{95}\text{Mo} (\text{p}, \text{n}) ^{95m}\text{Tc}$ 反応の励起関数を求めるることを主たる目的として行った。その結果、モリブデンをターゲットとして ^{95m}Tc を製造する場合に利用できる (p, xn), (d, xn) および (α, pxn) 反応の中で $^{96}\text{Mo} (\text{p}, 2\text{n}) ^{95m}\text{Tc}$ 反応が収率の上で最も有利であることを確認した。

^{95m}Tc の製造には、高価な ^{95}Mo , ^{96}Mo 濃縮安定同位体を用いず、天然同位体組成のモリブデンを使用することも考えられる。しかし、この場合は ^{88}Y ($T_{1/2} = 106.6\text{ d}$), ^{88}Zr ($T_{1/2} = 83.4\text{ d}$) および ^{95}Nb ($T_{1/2} = 34.9\text{ d}$) が生成する。これらは化学分離によって出来る限り除去するとしても、放射化学的純度の低下は避けられず、高純度 ^{95m}Tc の製造には適当でないと考えられる。

今後、高純度 ^{95m}Tc の本格的製造に向けて、 ^{96}Mo 濃縮安定同位体をターゲットとする ($\text{p}, 2\text{n}$) 反応による製造研究を進める必要がある。また化学分離法としては本研究で用いた沈殿法とアルミナカラム法の共用による分離法を利用できるが、自動化した分離プロセスを採用する場合には溶媒抽出法の採用も検討の必要がある。

謝辞

本実験を行うにあたり原研物理部タンデム加速器管理室と大阪大学理学部サイクロトロン照射室の協力を得た。大阪大学理学部 齊藤 直氏には照射、測定、解析の面で多大な御協力をいただき深く感謝する。

3. ま め

テクネチウムのトレーサーとして有用な ^{95m}Tc 製造法の研究として、 $^{95}\text{Mo} (\text{p}, \text{n}) ^{95m}\text{Tc}$ 反応の励起関数を測定した。また、この反応による製造実験を行い 15.4 MBq (照射終了時換算) の ^{95m}Tc を製造し、試験的に利用者に供給した。

本研究は、実験的報告が無い $^{95}\text{Mo} (\text{p}, \text{n}) ^{95m}\text{Tc}$ 反応の励起関数を求めることを主たる目的として行った。その結果、モリブデンをターゲットとして ^{95m}Tc を製造する場合に利用できる (p, xn), (d, xn) および (α, pxn) 反応の中で $^{96}\text{Mo} (\text{p}, 2\text{n}) ^{95m}\text{Tc}$ 反応が収率の上で最も有利であることを確認した。

^{95m}Tc の製造には、高価な ^{95}Mo , ^{96}Mo 濃縮安定同位体を用いず、天然同位体組成のモリブデンを使用することも考えられる。しかし、この場合は ^{88}Y ($T_{1/2} = 106.6\text{ d}$), ^{88}Zr ($T_{1/2} = 83.4\text{ d}$) および ^{95}Nb ($T_{1/2} = 34.9\text{ d}$) が生成する。これらは化学分離によって出来る限り除去するとしても、放射化学的純度の低下は避けられず、高純度 ^{95m}Tc の製造には適当でないと考えられる。

今後、高純度 ^{95m}Tc の本格的製造に向けて、 ^{96}Mo 濃縮安定同位体をターゲットとする ($\text{p}, 2\text{n}$) 反応による製造研究を進める必要がある。また化学分離法としては本研究で用いた沈澱法とアルミナカラム法の共用による分離法を利用できるが、自動化した分離プロセスを採用する場合には溶媒抽出法の採用も検討の必要がある。

謝 辞

本実験を行うにあたり原研物理部タンデム加速器管理室と大阪大学理学部サイクロトロン照射室の協力を得た。大阪大学理学部 齊藤 直氏には照射、測定、解析の面で多大な御協力をいただき深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) I. Yamaguchi and M. Kubota, JAERI-M 87-034 (1987).
- 2) R. Finn, T. Boothe, J. Sinnreich, E. Tavano, A. Gilson and A.P. Wolf. IAEA-CN-45/22, IAEA, Vienna. (1984).
- 3) C. Birattari, M. Bonardi, M. Castiglioni, J. Edel, M. Gattinoni, F. Mousty and E. Sabbioni, INFN/TC-84/24. (1984).
- 4) B.G. Blaylock, M.L. Frank and D.L. De Angelis, Health Phys. 42, 257 (1982).
- 5) H.P. Graf and H. Münz, J. Inorg. Nucl. Chem., Vol. 36, pp.3647-3657. (1974).
- 6) P.P. Dmitriev, G.A. Molin, Z.P. Dmitrieva and M.V. Panarin, At. Energ. V. 40(1) p.66-68. (1976).
- 7) K. Hata and H. Baba, JAERI-M 88-184. (1988).
- 8) H. Baba, T. Sekine, S. Baba and H. Okashita, JAERI 1227 (1973).
- 9) R. Collé, R. Kishore and J.B. Cumming, Phys. Rev. C 14, 1832. (1976).
- 10) E.A. Skakun, V.S. Batil, Yu. N. Rakivnenko and O.A. Rastrepin, Sov. J. Nucl. Phys. 46, 17 (1987).

Table 1 Nuclear data of Tc radioisotopes

Radio nuclide	Half-life	Type of decay	Photon energy (KeV)	Number of Photons per one decay
^{93m}Tc	43.5 m	IT, EC	391.8 2644.5	0.582 0.151
^{93}Tc	2.75 h	EC, β^+	1363.0 1520.3	0.658 0.238
^{94m}Tc	52.0 m	EC, β^+	871.0 1522.1	0.941 0.045
^{94}Tc	4.88 h	EC, β^+	702.7 849.7	0.998 0.977
^{95m}Tc	61 d	EC, β^+ , IT	204.1	0.665
			582.1	0.315
			765.8	0.037
			786.2	0.091
			835.1	0.280
			1039.3	0.029
^{95}Tc	20 h	EC	765.8 1073.7	0.939 0.037
^{96m}Tc	51.5 m	IT, EC	778.2	0.018
^{96}Tc	4.28 d	EC	778.2	1.00
			812.5	0.822
			849.9	0.978
			1126.8	0.152
^{97m}Tc	89 d	IT	96.5	0.003
^{97}Tc	2.6×10^6 y	EC		
^{98}Tc	4.2×10^6 y	β^-	652.4	1.00
			745.3	1.00
^{99m}Tc	6.01 h	IT, β^-	140.5	0.877
^{99}Tc	2.13×10^5 y	β^-		
^{101}Tc	14.2 m	β^-	306.8 545.1	0.880 0.059

Taken From Atomic Data and Nuclear Data Table.
29, 243 - 251 (1983)

Table 2 Reactions for ^{95}Tc production

Reaction mode	Production reaction
Mo (p, xn)	^{95}Mo (p, n) $^{95\text{m}}\text{Tc}$
	^{96}Mo (p, 2n) $^{95\text{m}}\text{Tc}$
	^{97}Mo (p, 3n) $^{95\text{m}}\text{Tc}$
Mo (d, xn)	^{94}Mo (d, n) $^{95\text{m}}\text{Tc}$
	^{95}Mo (d, 2n) $^{95\text{m}}\text{Tc}$
	^{96}Mo (d, 3n) $^{95\text{m}}\text{Tc}$
Mo (a, pxn)	^{92}Mo (a, p) $^{95\text{m}}\text{Tc}$
	^{94}Mo (a, p2n) $^{95\text{m}}\text{Tc}$
Nb (a, xn)	^{93}Nb (a, 2n) $^{95\text{m}}\text{Tc}$

Table 3 Isotopic abundances of ^{95}Mo enriched samples

Nuclide	ORNL Product (%)	
	Reported	JAERI Analysis
^{92}Mo	0.26 ± 0.03	0.03 ± 0.02
^{94}Mo	0.63 ± 0.05	0.65 ± 0.03
^{95}Mo	96.47 ± 0.10	96.36 ± 0.10
^{96}Mo	1.45 ± 0.05	1.45 ± 0.05
^{97}Mo	0.46 ± 0.05	0.45 ± 0.03
^{98}Mo	0.63 ± 0.05	0.64 ± 0.04
^{100}Mo	0.15 ± 0.03	0.12 ± 0.02

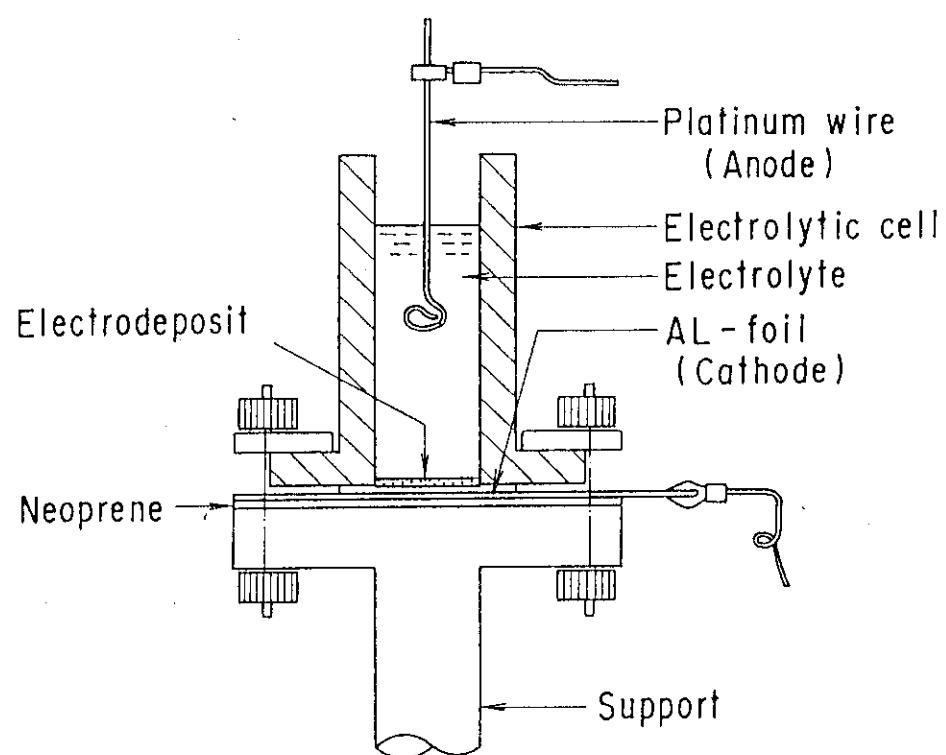


Fig. 1 Structure of the electrolytic cell used for preparation of thin ^{95}Mo targets.

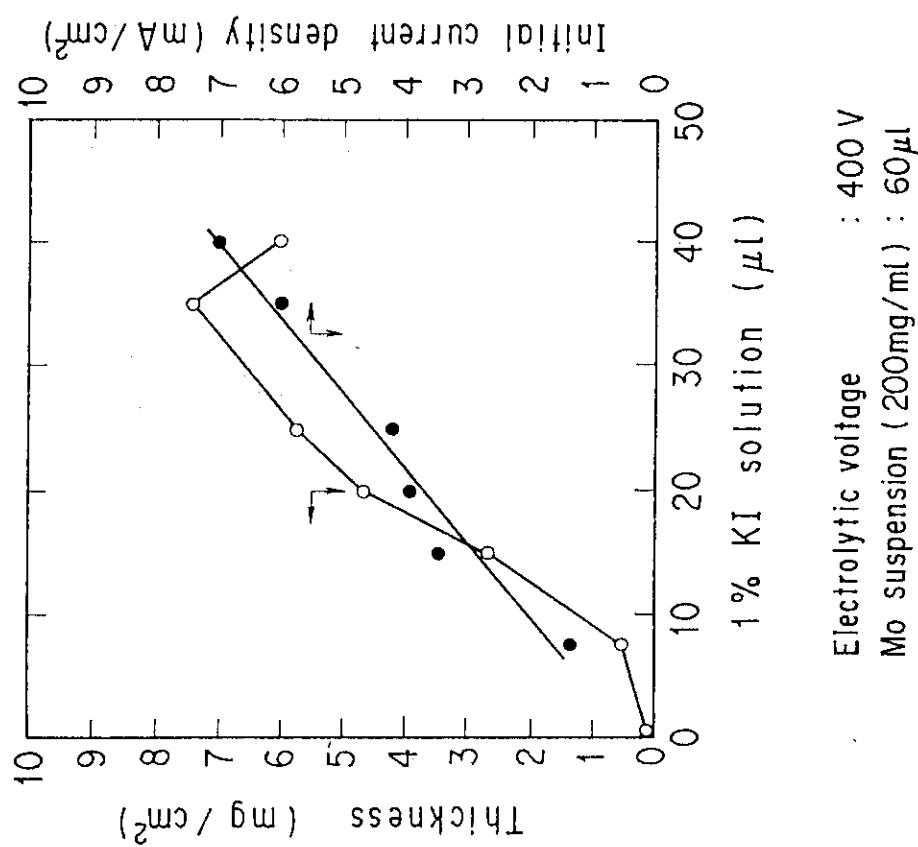


Fig. 2 Dependence of electrolytic voltage on initial current density and the amount of electrodeposited molybdenum on an aluminum plate.

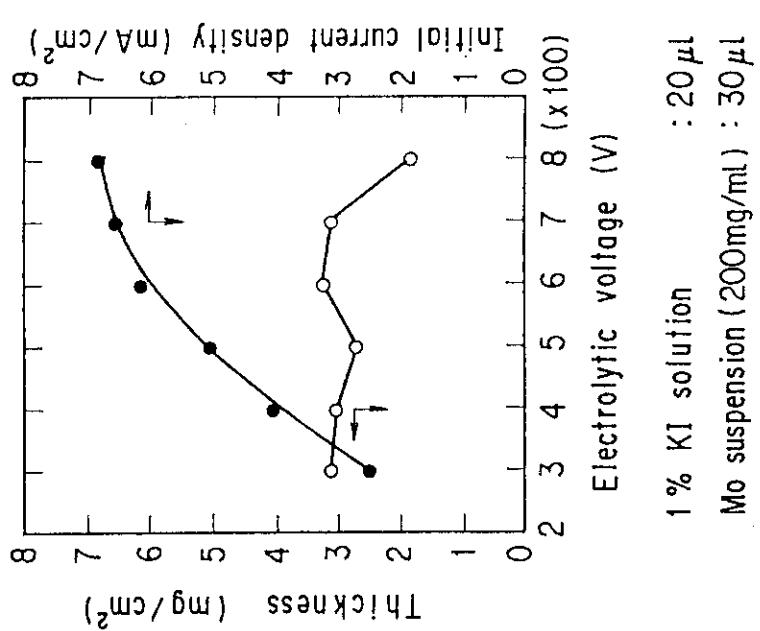


Fig. 3 Effect of electrolyte volume on initial current density and the amount of electrodeposited molybdenum on an aluminum plate.

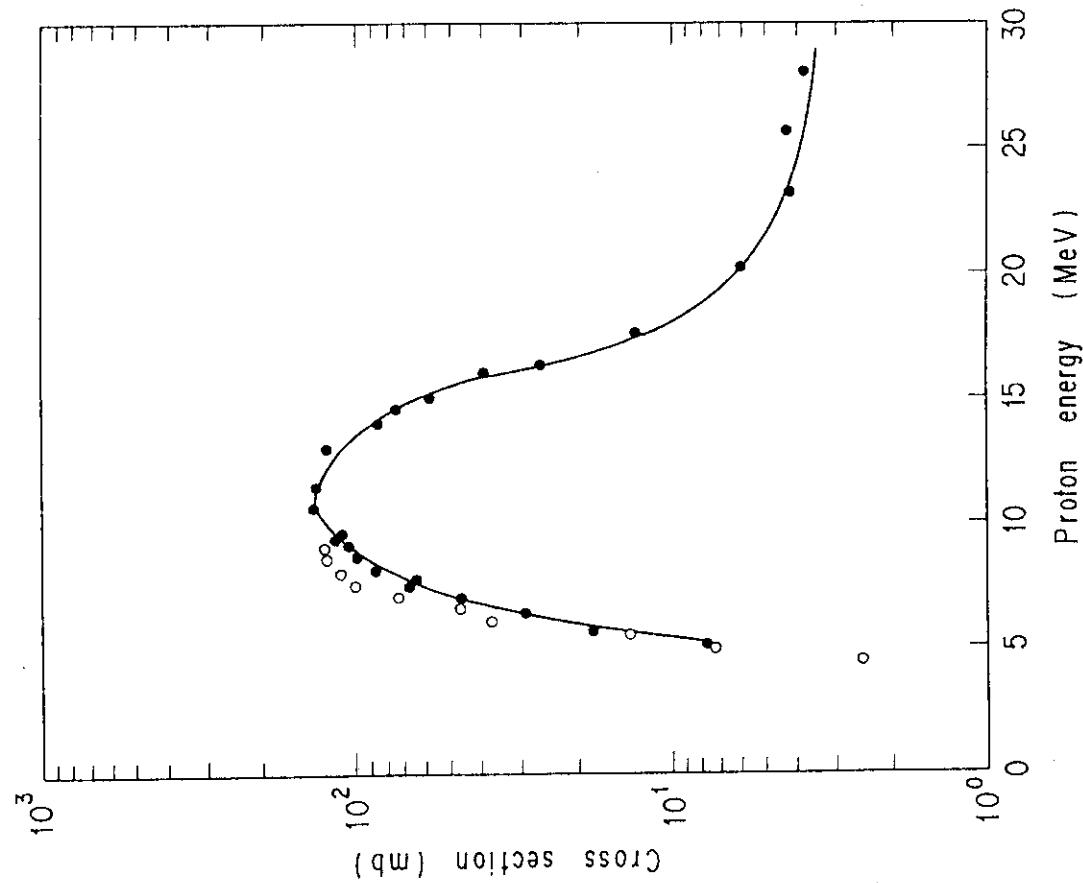


Fig. 4 Formation cross section of ^{95}mTc in the reaction $^{95}\text{Mo}(\text{p},\text{n})$. Closed circles are the present data. Open circles are taken from the data of Skakun et al.¹⁰

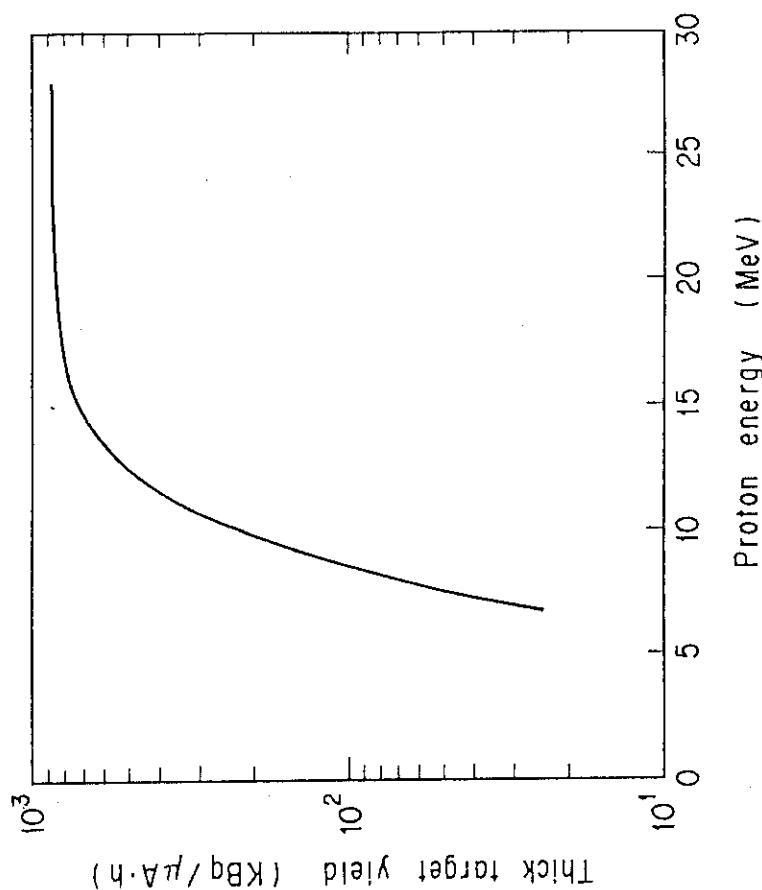


Fig. 5 Thick-target yield curve for ^{95}mTc calculated from the formation cross sections in Fig. 4.

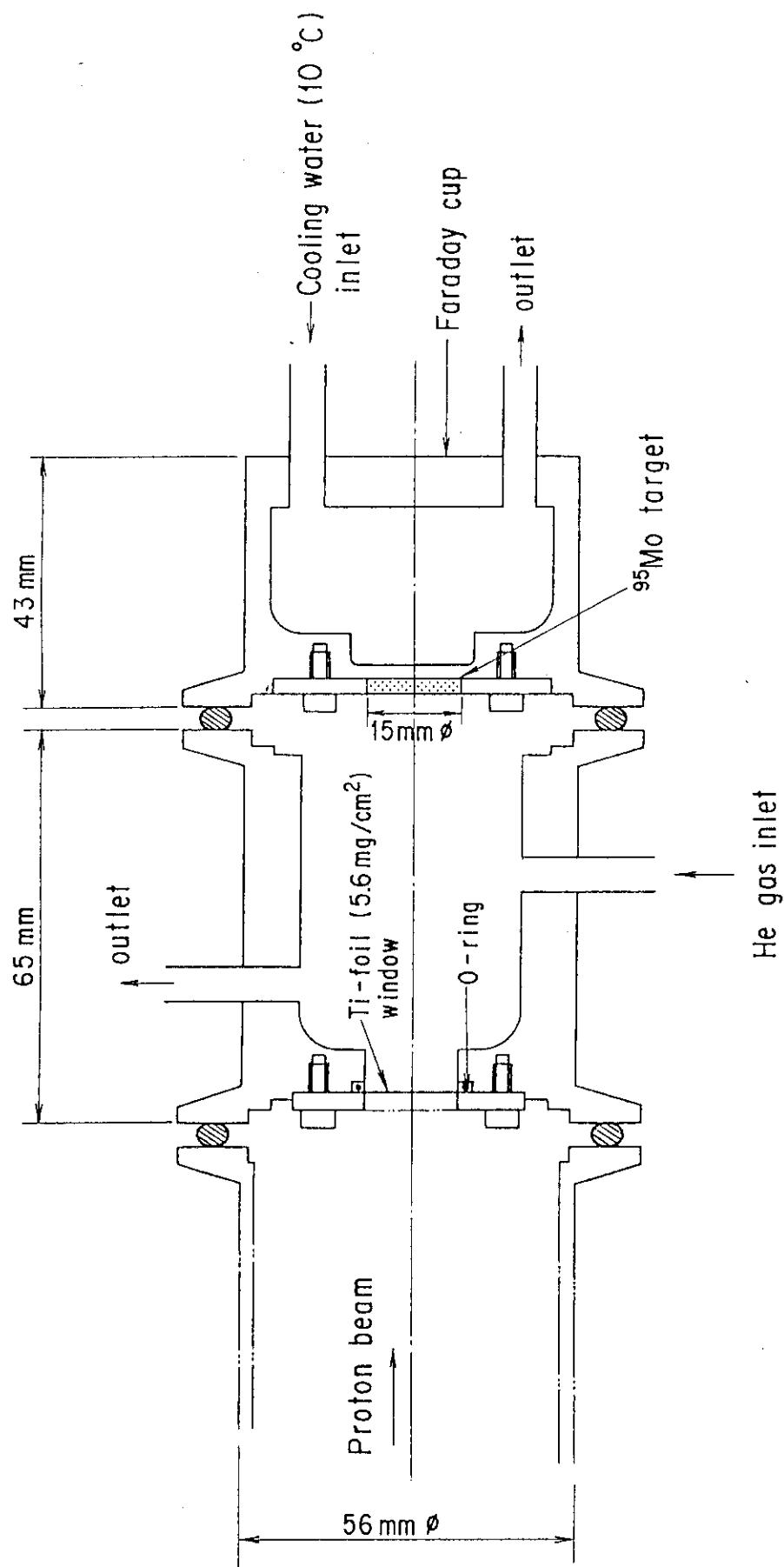


Fig. 6 Experimental setup for the production of ^{95}mTc using a thick ^{95}Mo target.

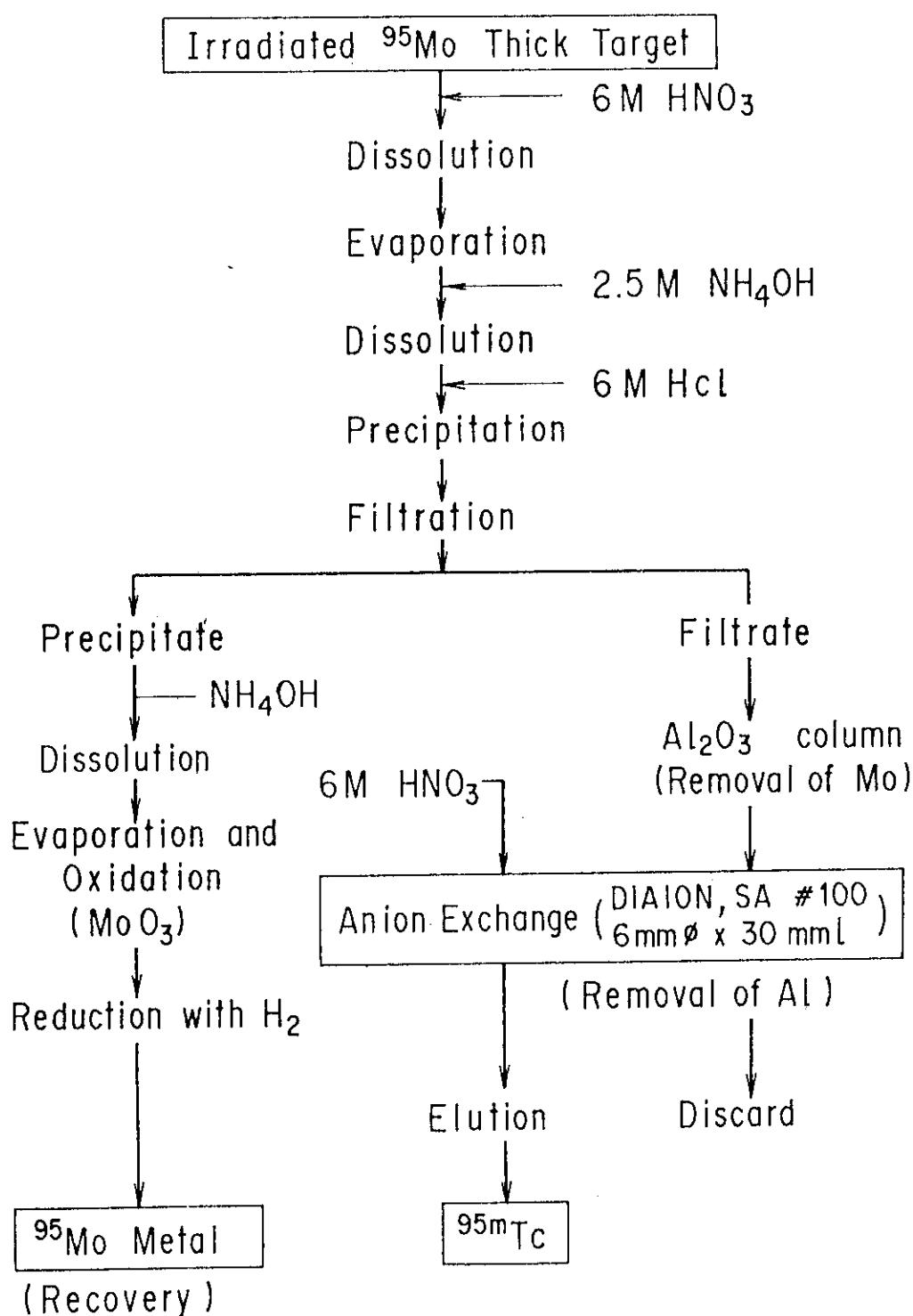


Fig. 7 Flow diagram for the separation and purification of ^{95}mTc from a ^{95}Mo thick target.