

核医学検査技術学実習 実習7

Mo-Tcジェネレータ(Dry Type)の取り扱い

メジフィジックス社製メジテックを用いて Mo-Tc カウ、ミルキングを理解する。放射平衡、溶出曲線を理解する。

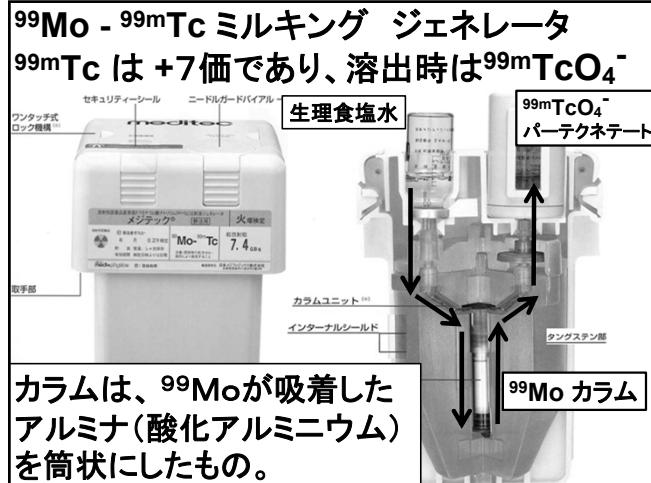
放射性物質を扱うので手袋を着用。

1

貯蔵室から 段ボール箱に入った
メジフィジックス社製の Dry Type Mo-Tc Generator を
運ぶ。2グループで1個。重いので注意。



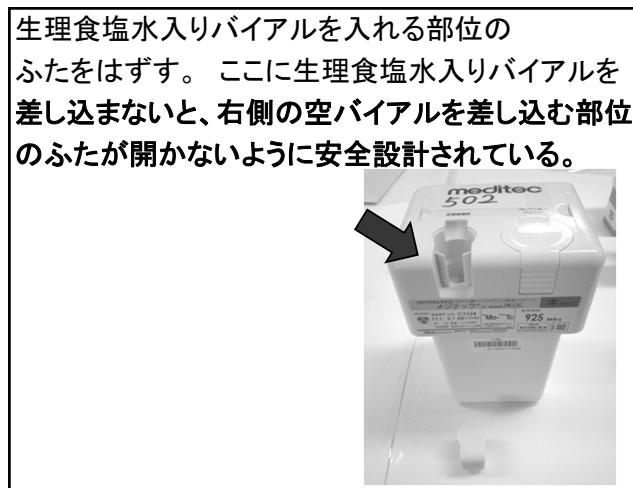
2



3



4

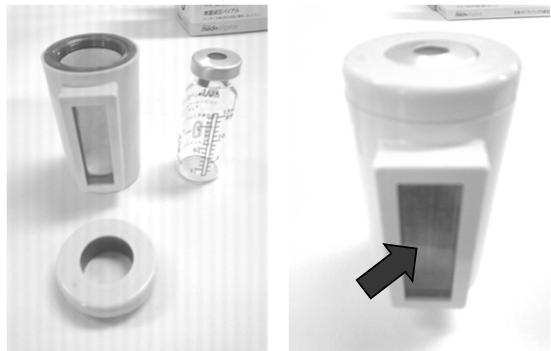


5



6

メジフィジクス社用の5mL用バイアル鉛シールドに
5mL 空バイアルを入れる。バイアル上面のプラスチック蓋を
外し、バイアル目盛りがシールド窓から見えるように入れる。



7

空バイアルを挿入するとミルキングが始まる。
バイアルに水が吸引され終わったら(1~2分程度で
終わる)、バイアルをシールドごと抜く。



8

1グループごとに、
プラスチック試験管を7本用意する。
マジックで1~7まで番号を記入。



9

1回目のミルキングを行う。

吸引が終了したバイアルから、各グループで
1mLだけ注射器で抜いて(2グループで計2mL)
各グループの試験管1に、1mL入れる。

今回用いる注射器やバイアル、試験管は、
放射性汚染物になるので扱いに注意すること。

放射性汚染物はバットの中に置く。

10

続けて2回目にミルキングを行う。

鉛シールド内のバイアルを新しいものに交換して
2回目のミルキングを行う。

吸引したらバイアルから、各グループごとに
1mLだけ注射器で抜いて試験管2に入れる。

同様の操作を繰り返し、
3、4、5回目のミルキングを行う。
5回目のミルキングを行った時刻を記録する。

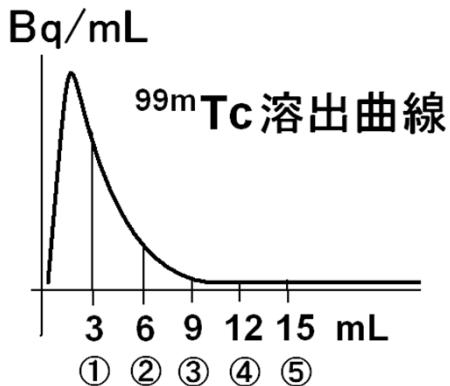
11

5回のミルキングを行った15分後に
6回目のミルキングを行う。

6回のミルキングを行った30分後に、
7回目のミルキングを行う。

12

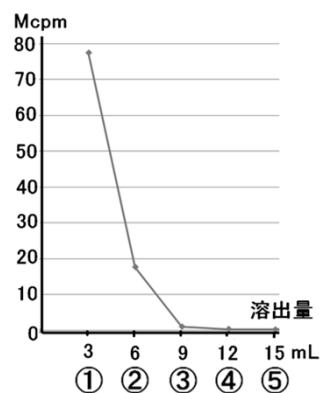
1回目から5回目のミルキングから得たTc放射能を測定し、下図に示す溶出曲線を理解する。



13

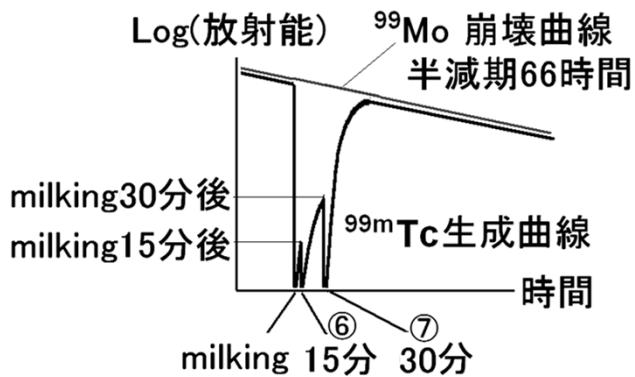
試験管1～5の放射能(cpm)をグラフに表示。

1回目から5回目のミルキングから得た^{99m}Tc放射能の推移を観察し、溶出曲線を理解する。



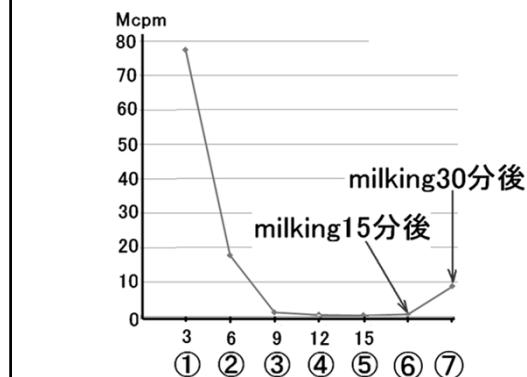
14

6回目と7回目のミルキングから得たTc放射能を測定し、下図に示す^{99m}Tc生成曲線を理解する。



15

6回目と7回目のミルキングから得たTc放射能をグラフに追加し、Tc生成曲線を理解する。



16

⁹⁹Mo - ^{99m}Tc 放射平衡

$$N_1 : Mo の原子核数 (初期値 N_{10})$$

$$N_2 : Tc の原子核数 (初期値 N_{20} = 0)$$

$$\lambda_1 : Mo の崩壊定数 = \log 2 / 66\text{時間}$$

$$\lambda_2 : Tc の崩壊定数 = \log 2 / 6\text{時間}$$

$$A_1 : Mo の放射能 = \lambda_1 N_1$$

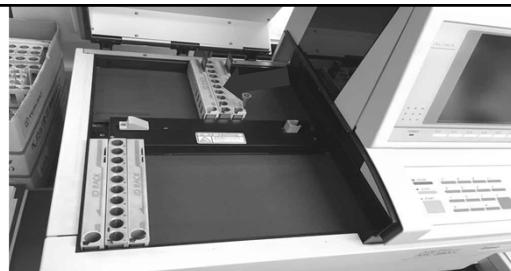
$$A_2 : Tc の放射能 = \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1 \quad \frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$\lambda_2 > \lambda_1 \rightarrow N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 \quad \frac{A_2}{A_1} = \frac{N_1 + N_2}{N_1}$$



RI測定室のウェルカウンタで、各グループごとにTc溶液の放射能を、各30秒測定。
試験管立てに順に試験管1, 2, 3...と並べて入れる。
プリンタで印字されたcpmの値を記録。

測定室が混まないように、
グループごとに順序良く測定を実施して下さい。

17

18

令和4年4月11日における 試験管1の測定値は、185000 cpm/mL。

この実習を4月18に実施したとして、試験管1の測定値と比較し、 ^{99}Mo の半減期を計算して下さい。

19

後片付けを行う

Tcジェネレータを始めの状態にして箱に入れ貯蔵室へ戻す

バイアルのアルミふたをニッパまたはペンチで外し、内溶液を放射性廃液入れに捨てる。

ガラス、金属は、不燃ごみ。ゴムは難燃ごみ。

試験管内の内溶液も放射性廃液入れに捨てる。
プラスチック試験管は、難燃ごみ。

注射器の針は、針回収用の金属容器に入れる。
注射器のシリンジは、難燃ごみ。

非放射性ごみは、普通のごみ箱へ。

20

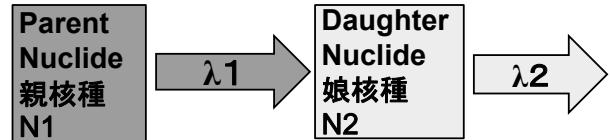
レポート提出課題

オーム社 放射化学 第6章を参考にして記載して下さい。

1. Dry Type テクネシウムジェネレータの構造を説明する。
2. 1回目から5回目のミルキングから得たTc放射能を記載しグラフを作成する。溶出曲線について説明する。
3. ミルキング15分後および30分後のミルキングから得たTc放射能を記載し、グラフに追加する。
Tc生成曲線、放射平衡について説明する。
4. 5月9日における 試験管1の測定値は、823000 cpm/mL。
試験管1の測定値と比較し、 ^{99}Mo の半減期を計算して下さい。
5. 本実験の感想を記載する。

21

放射平衡 Radiative Equilibrium



$$N_1 = N_0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\boxed{\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t}}$$

22

定数係数1階線形微分方程式

$$\frac{dy}{dx} + a y = F(x)$$

の解は、

$$y = e^{-ax} \left(\int e^{ax} F(x) dx + C \right)$$

工学の分野でよく利用される便利な公式

$$\frac{dy}{dx} + a y = F(x)$$

$$e^{ax} \frac{dy}{dx} + a e^{ax} y = e^{ax} F(x)$$

$$e^{ax} \frac{dy}{dx} + (e^{ax}/dx) y = e^{ax} F(x)$$

$$d(e^{ax} y)/dx = e^{ax} F(x)$$

$$e^{ax} y = \int e^{ax} F(x) dx + C$$

$$y = e^{-ax} \left(\int e^{ax} F(x) dx + C \right)$$

23

24

Y に N_2 、 x に t 、 a に λ_2 を代入し、
 $F(t)$ を $\lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t}$ とすると、
 $dy/dx + a y = F(x)$ は、
 $dN_2/dt + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t}$
 $y = e^{-at} (\int e^{at} F(x) dt + C)$ は、
 $N_2 = e^{-\lambda_2 t} \int e^{\lambda_2 t} \lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t} dt$
 $N_2 = e^{-\lambda_2 t} \int \lambda_1 N_0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} dt$
 $N_2 = e^{-\lambda_2 t} [\lambda_1 N_0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}]_0^t$
 $= e^{-\lambda_2 t} [N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}]_0^t$

25

$$\begin{aligned}
 &= e^{-\lambda_2 t} [N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}]_0^t \\
 &= e^{-\lambda_2 t} (N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}) \\
 &\quad - e^{-\lambda_2 t} (N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^0) \\
 &= (N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{-\lambda_1 t}) \\
 &\quad - e^{-\lambda_2 t} (N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^0) \\
 N_2 &= \lambda_1 N_0 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{-\lambda_1 t} \\
 &\quad - \lambda_1 N_0 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{-\lambda_2 t} \\
 N_2 &= \lambda_1 N_0 / (\lambda_2 - \lambda_1) (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})
 \end{aligned}$$

積分定数 C を N_{20} とすると $N_{20} e^{-\lambda_2 t}$ が加わる。

26

^{99}Mo の 分岐比： 87.7% が ^{99m}Tc に β^- 崩壊し、
 残りは直接 ^{99}Tc に β^- 崩壊する。

^{99}Mo $\xrightarrow[\beta^-]{87.7\%} ^{99m}\text{Tc} \xrightarrow[\gamma]{IT} ^{99}\text{Tc}$
 $\xrightarrow[141\text{keV}]{\beta^-} ^{99}\text{Tc}$

過渡平衡の例 $^{99}\text{Mo} - ^{99m}\text{Tc} - ^{99}\text{Tc}$

^{99}Mo (モリブデン) の半減期は 66 時間。
 ^{99m}Tc (テクネチウム) の半減期は 6 時間。

27

^{99}Mo から β^- 崩壊した ^{99m}Tc の原子核は不安定な状態 (準安定状態 metastable) になっているので、 γ 線を放出して、ほとんど安定な ^{99}Tc になる。この ^{99m}Tc と ^{99}Tc の関係を核異性体という。半減期が短い方の核種の質量数に metastable を示す m を付けて区別し表記する。 ^{99m}Tc のような準安定状態の原子核が γ 線を放出して安定化する現象を、核異性体転移 (IT ; Isometric Transition) という。

^{99m}Tc から γ 線が放出された後に残る ^{99}Tc も放射性同位元素である。 β^- 線放出核種であるが、半減期が 21 万年と非常に長く崩壊定数も非常に小さいので、放射能は極めて弱い。

28

過渡平衡 $^{99}\text{Mo} - ^{99m}\text{Tc} - ^{99}\text{Tc}$

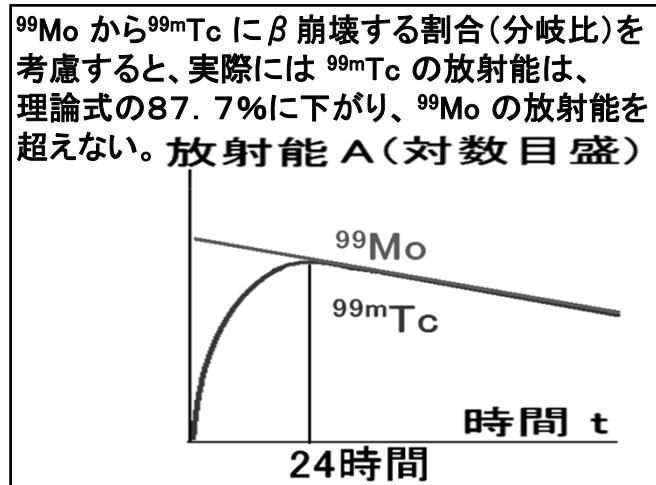
^{99}Mo (モリブデン) の半減期は 66 時間。
 ^{99m}Tc (テクネチウム) の半減期は 6 時間。

放射能 A (対数目盛)
 $\log A$

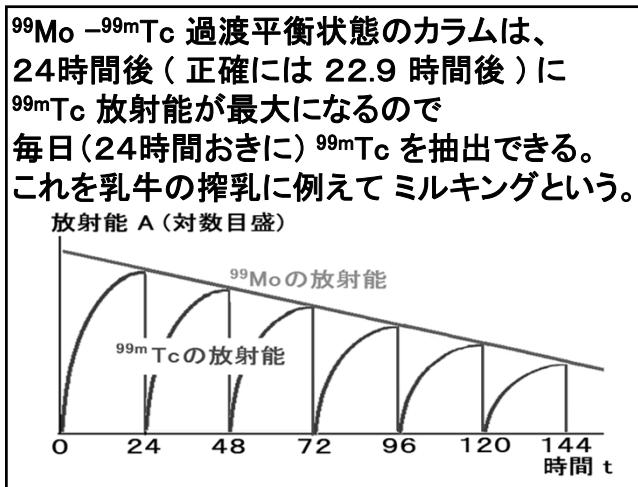
$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1$
 $A_2 = \lambda_2 N_2$
 $A_1 = \lambda_1 N_1$

時間 t

29



30



31