

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。

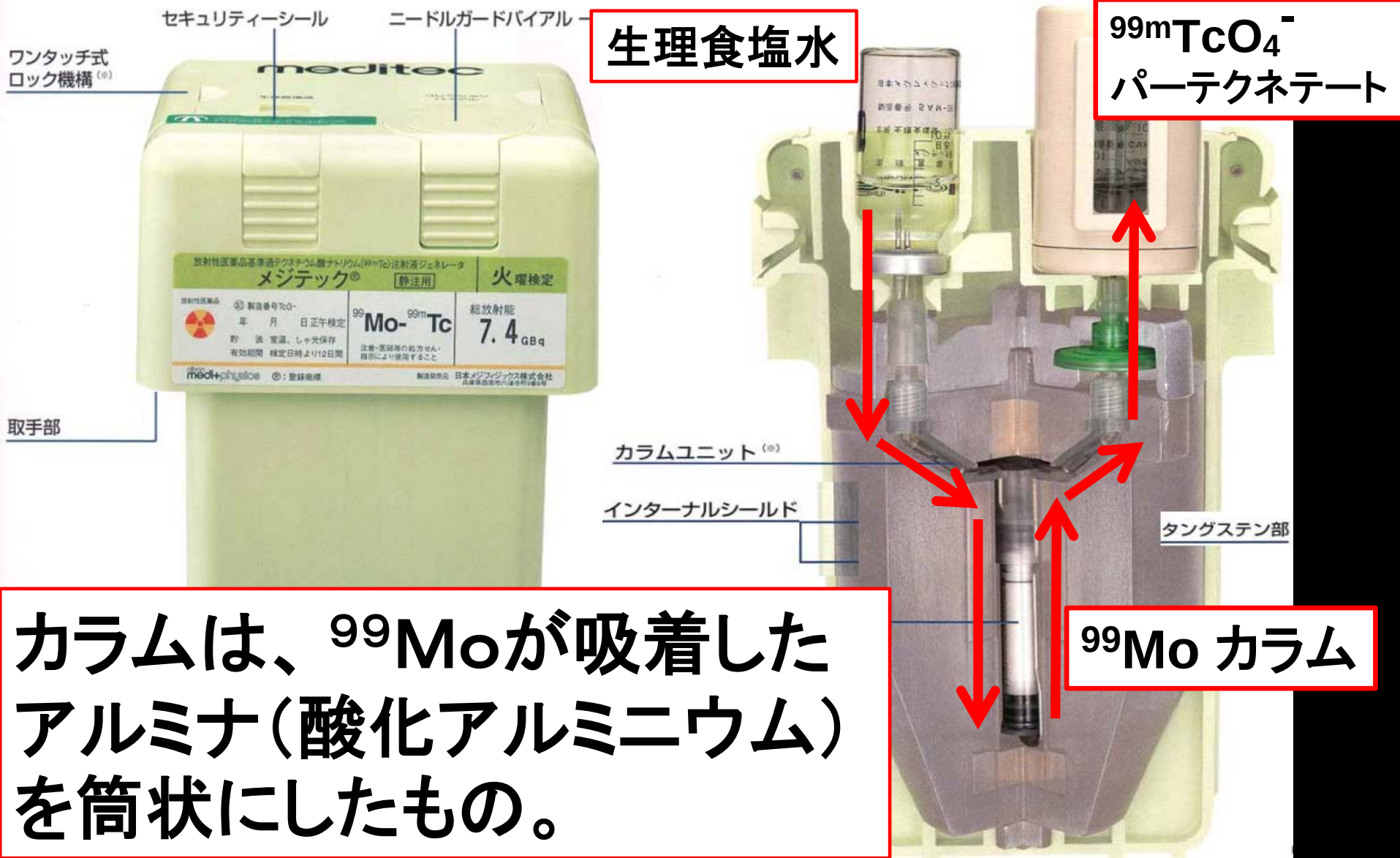
放射性物質を扱うので手袋を着用。

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



^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ミルキング ジェネレータ

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ は +7 価であり、溶出時は $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$



カラムは、 ^{99}Mo が吸着したアルミナ(酸化アルミニウム)を筒状にしたもの。

メジフィジクス社用のバイアル鉛シールドを用意する。



生理食塩水入りバイアルを入れる部位の
ふたをはずす。ここに生理食塩水入りバイアルを
差し込まないと、右側の空バイアルを差し込む部位
のふたが開かないように安全設計されている。



生理食塩水入りバイアルを入れる。
右側の空バイアルを差し込む部位のふたをはずす。
針に注意。



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。



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。



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。



1回目のミルクキングを行う。

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。

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、

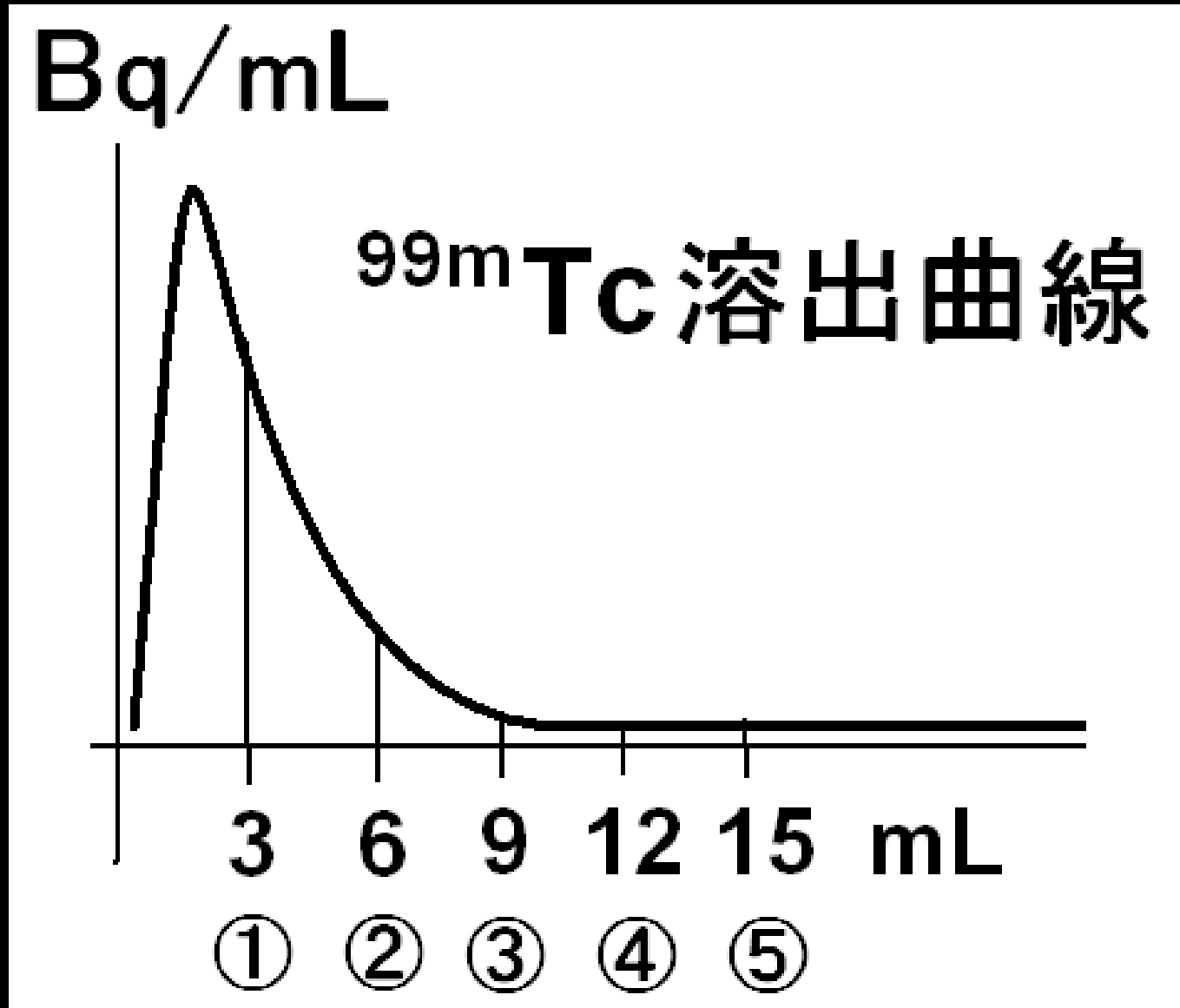
3、4、5回目のミルキングを行う。

5 回目のミルキングを行った時刻を記録する。

5回のミルクキングを行った15分後に
6回目のミルクキングを行う。

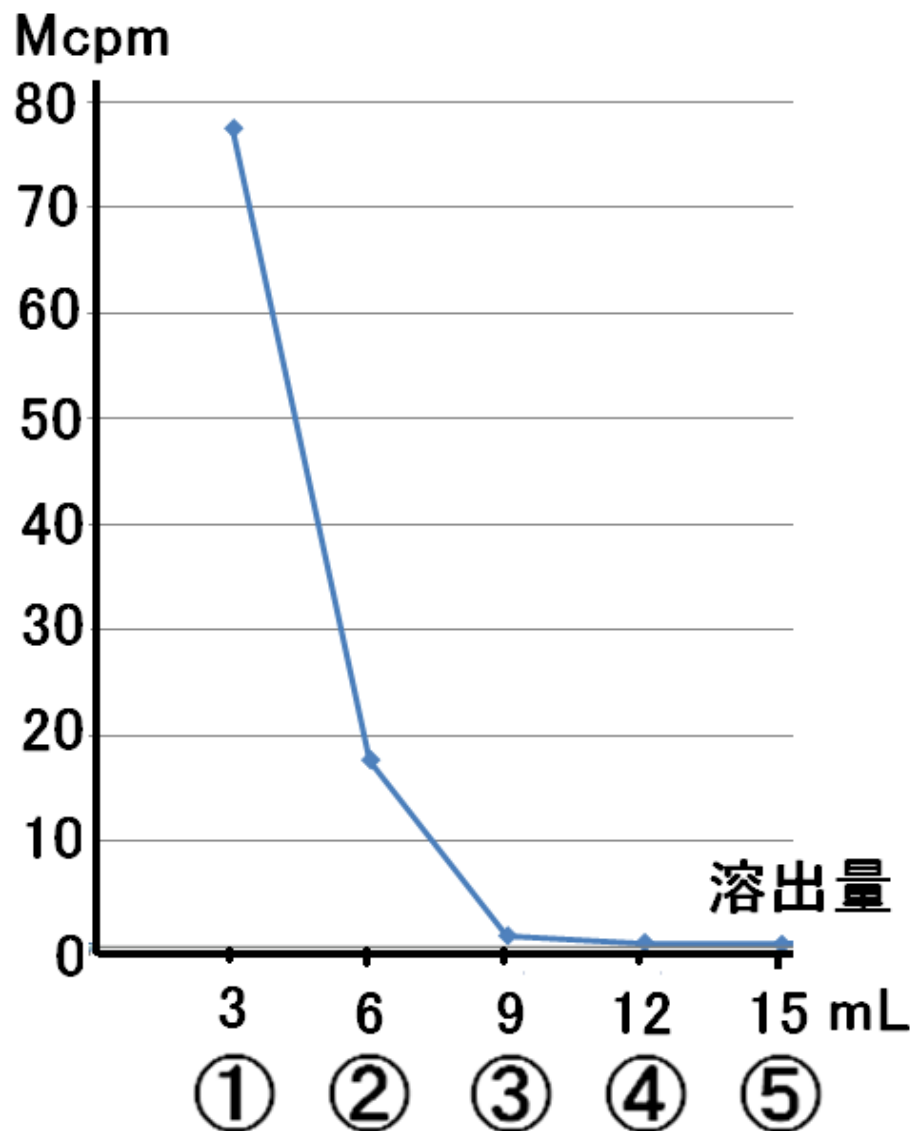
6回のミルクキングを行った30分後に、
7回目のミルクキングを行う。

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。

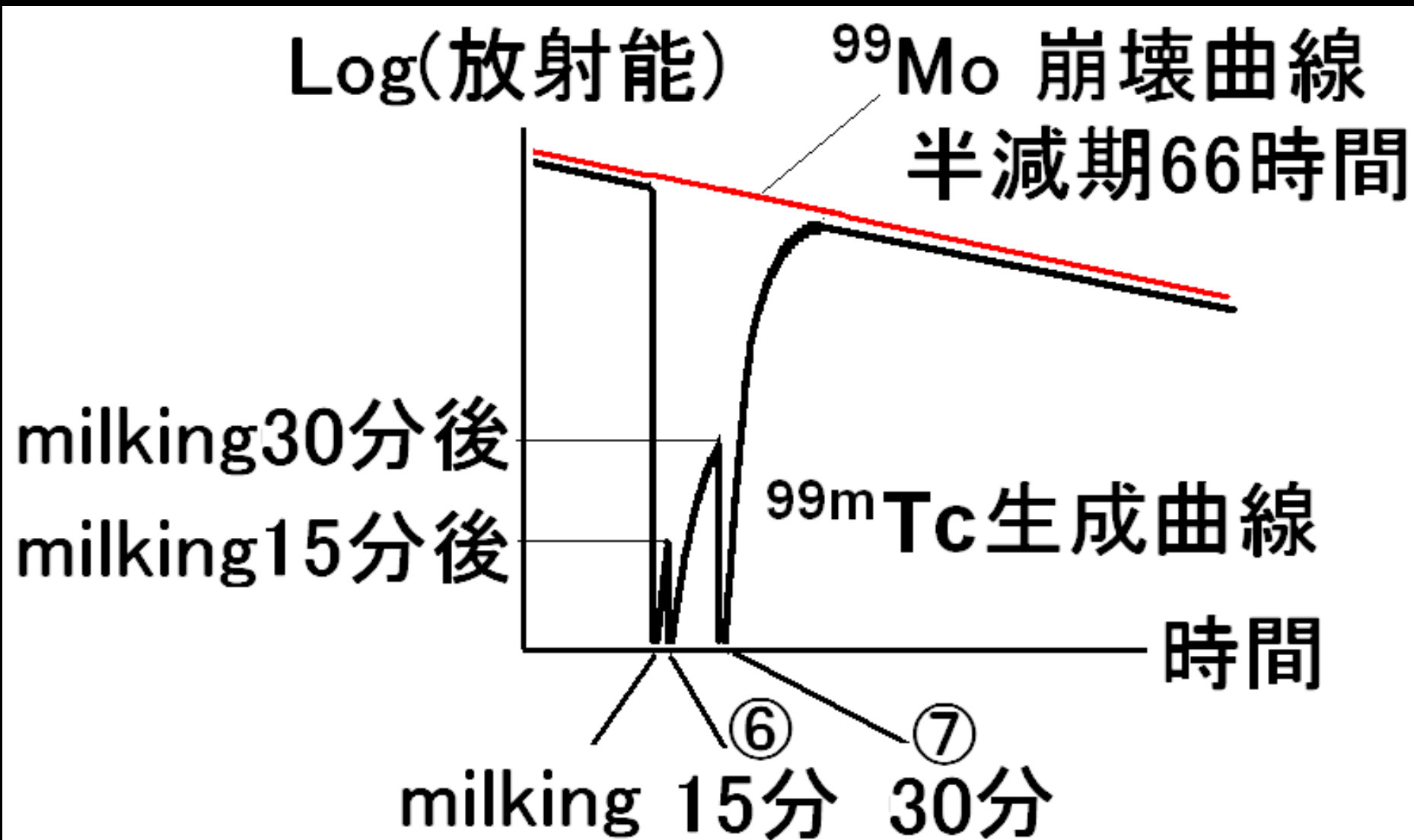


試験管1～5の放射能
(cpm) をグラフに表示。

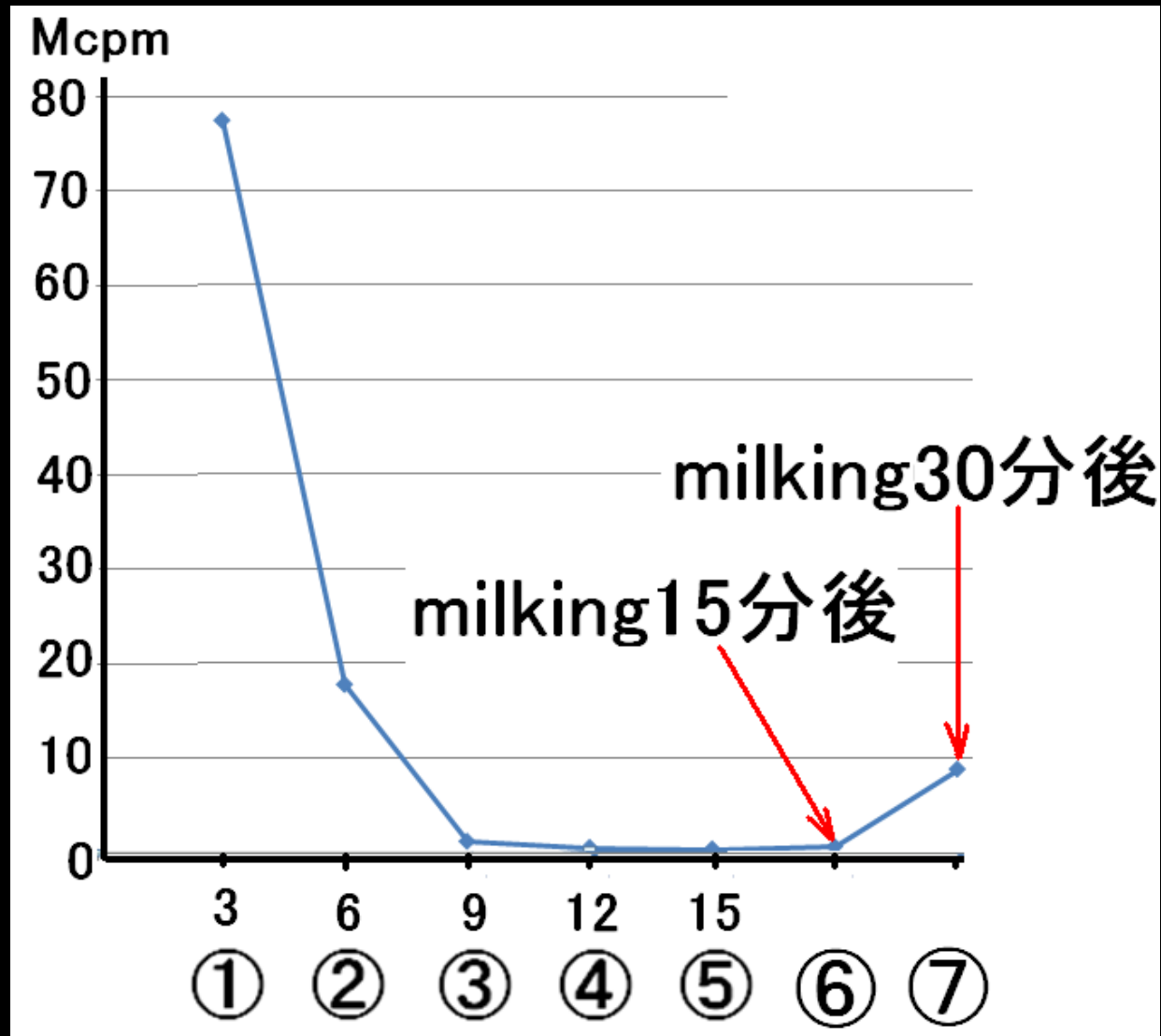
1回目から5回目の
ミルキングから得た
 ^{99m}Tc 放射能の推移を
観察し、溶出曲線を
理解する。



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



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。



$^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射平衡

$N1$: Mo の原子核数 (初期値 $N1_0$)

$N2$: Tc の原子核数 (初期値 $N2_0 = 0$)

$\lambda 1$: Mo の崩壊定数 = $\log 2 / 66\text{時間}$

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

$A1$: Mo の放射能 = $\lambda 1 N1$

$A2$: Tc の放射能 = $\lambda 2 N2$

$$\frac{dN1}{dt} = -\lambda 1 N1$$

$$\frac{dN2}{dt} = \lambda 1 N1 - \lambda 2 N2$$

$$N1 = N1_0 e^{-\lambda 1 t}$$

$$N2 = \frac{\lambda 1}{\lambda 2 - \lambda 1} N1_0 (e^{-\lambda 1 t} - e^{-\lambda 2 t})$$

$$\lambda 2 > \lambda 1 \rightarrow \boxed{N2 = \frac{\lambda 1}{\lambda 2 - \lambda 1} N1} \quad \boxed{\frac{A2}{A1} = \frac{N1 + N2}{N1}}$$



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。

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。

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ツ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。

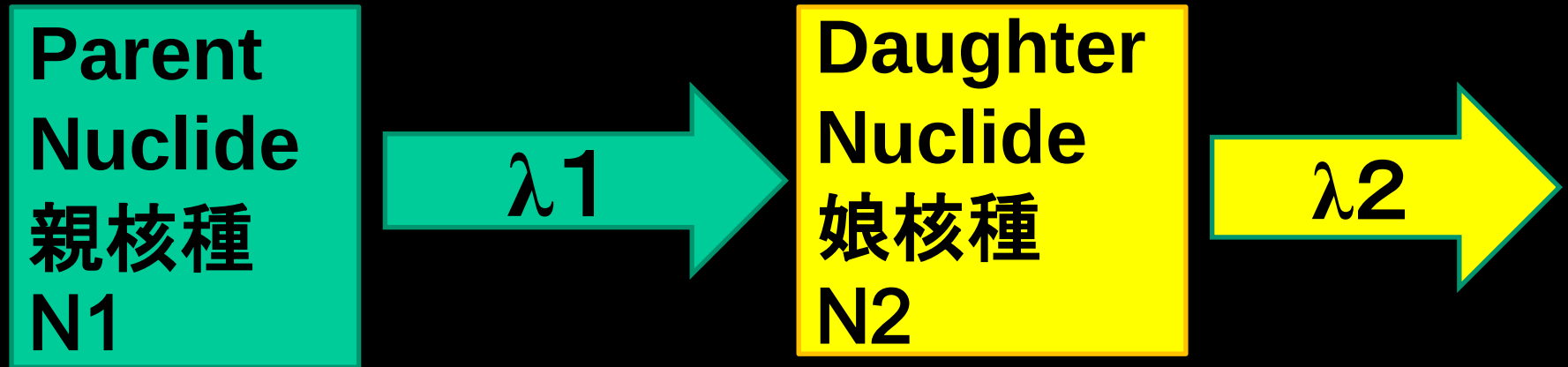
非放射性ごみは、普通のごみ箱へ。

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回目のミルクキングから得た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. ミルクキング15分後および30分後のミルクキングから得た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。

放射平衡 Radiative Equilibrium



$$N1 = N0 e^{-\lambda 1 t}$$

$$d N1 / dt = - \lambda 1 N1$$

$$d N2 / dt = \lambda 1 N1 - \lambda 2 N2$$

$$d N2 / dt + \lambda 2 N2 = \lambda 1 N0 e^{-\lambda 1 t}$$

定数係数1階線形微分方程式

$$dy/dx + a y = F(x)$$

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

$$dy/dx + a y = F(x)$$

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

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

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

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

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

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、

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

$y = e^{-at} \left(\int e^{at} F(x) dt + C \right)$ は、

$$N_2 = e^{-\lambda_2 t} \int e^{\lambda_2 t} \lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t} dt$$

$$N_2 = e^{-\lambda_2 t} \int \lambda_1 N_0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} dt$$

$$N_2 = e^{-\lambda_2 t} \left[\lambda_1 N_0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \right]_0^t$$

$$= e^{-\lambda_2 t} \left[N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \right]_0^t$$

$$= e^{-\lambda_2 t} \left[N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} \right] \Big|_0^t$$

$$= e^{-\lambda_2 t} (N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}) \\ - e^{-\lambda_2 t} (N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^0)$$

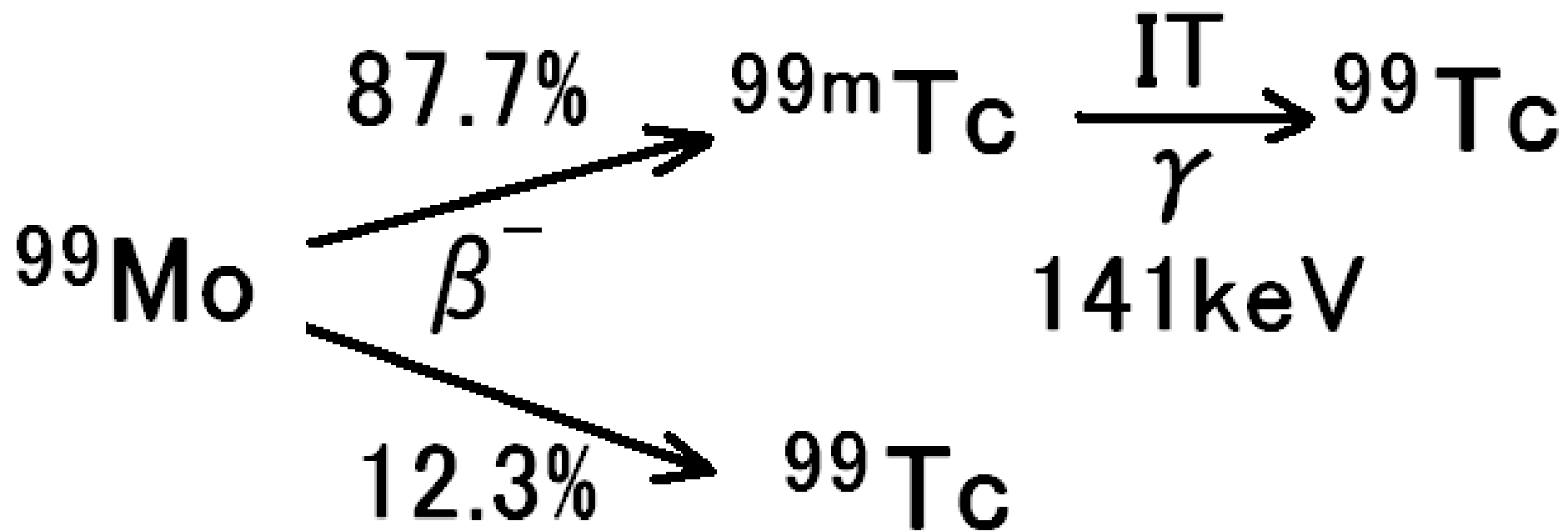
$$= (N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{-\lambda_1 t}) \\ - e^{-\lambda_2 t} (N_0 \lambda_1 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^0)$$

$$N_2 = \lambda_1 N_0 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{-\lambda_1 t} \\ - \lambda_1 N_0 / (\lambda_2 - \lambda_1) e^{-\lambda_2 t}$$

$$N_2 = \lambda_1 N_0 / (\lambda_2 - \lambda_1) (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

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

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



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

^{99}Mo (モリブデン) の半減期は 66 時間。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ (テクネチウム) の半減期は 6 時間。

^{99}Mo から β 崩壊した $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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。
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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。

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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。

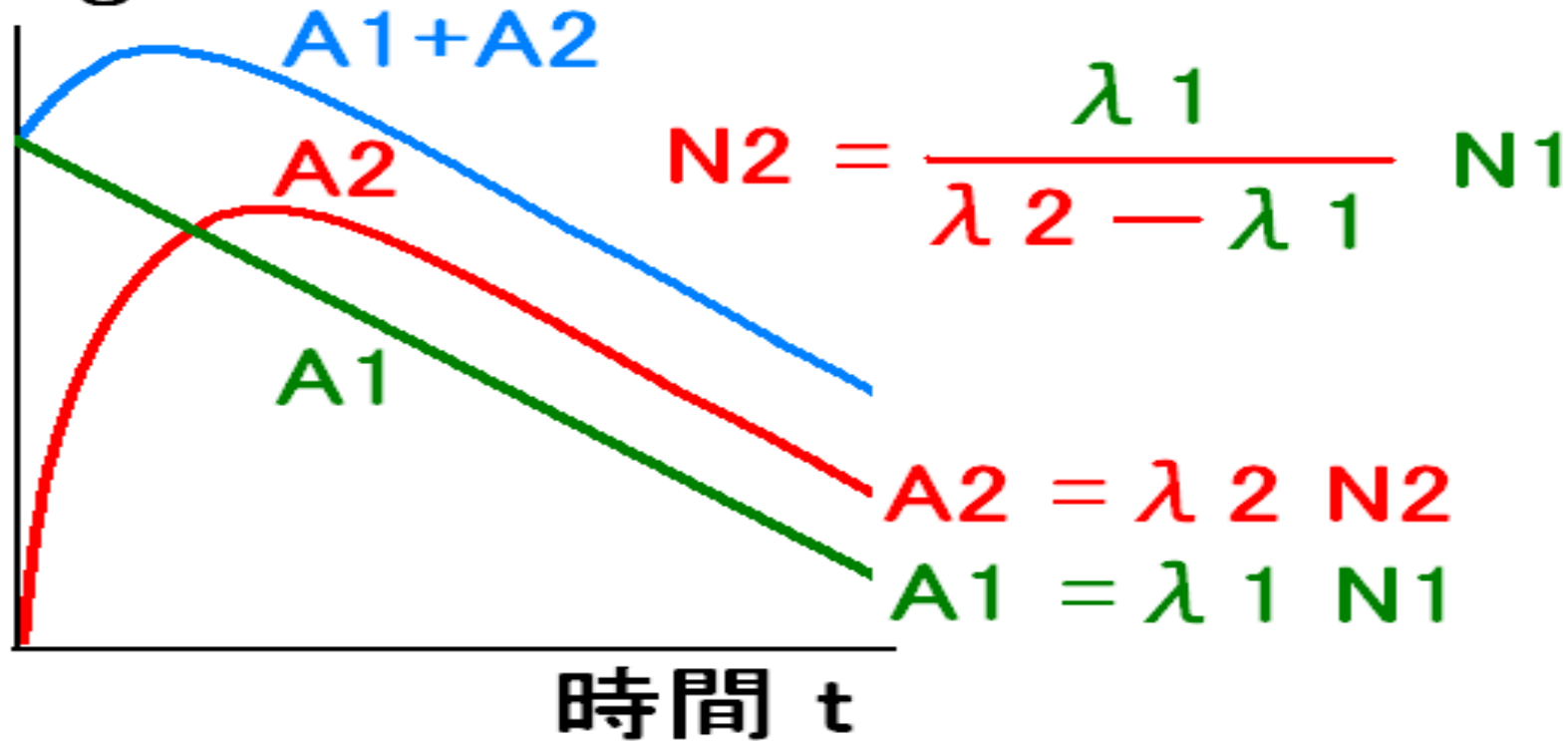
過渡平衡 $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc} - ^{99}\text{Tc}$

^{99}Mo (モリブデン) の半減期は 66時間。

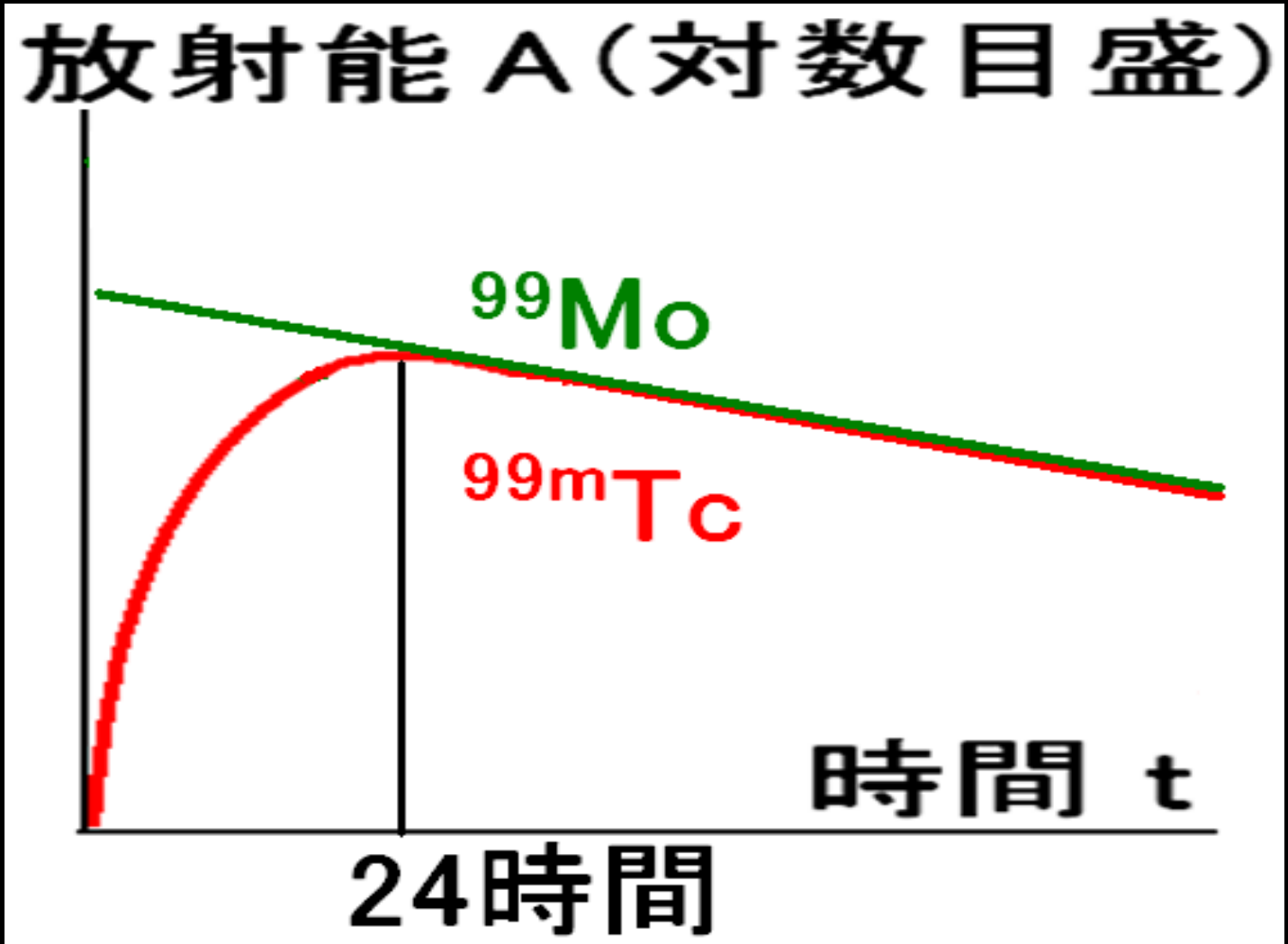
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ (テクネチウム) の半減期は 6時間。

放射能 A (対数目盛)

$\log A$



^{99}Mo から $^{99\text{m}}\text{Tc}$ に β 崩壊する割合 (分岐比) を考慮すると、実際には $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の放射能は、理論式の 87.7% に下がり、 ^{99}Mo の放射能を超えない。



^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 過渡平衡状態のカラムは、
24時間後（正確には 22.9 時間後）に
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射能が最大になるので
毎日（24時間おきに） $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を抽出できる。
これを乳牛の搾乳に例えて ミルキング という。

