核医学検査技術学実習　実習６

Mo-Tcジェネレータ（Dry　Type）の取り扱い

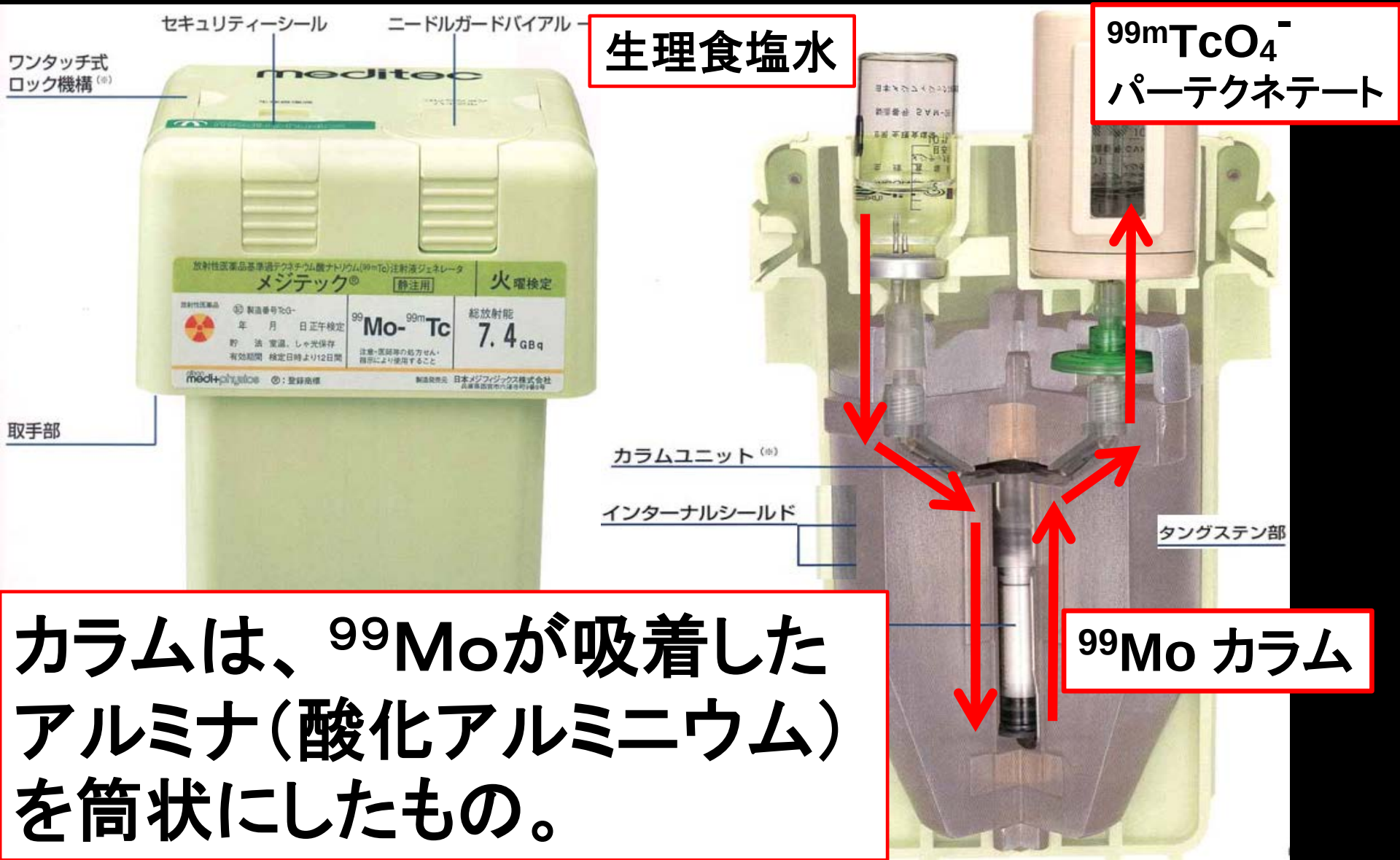
メジフィジックス社製メジテックを用いてMo－Tc カウ、ミルキングを理解する。放射平衡、溶出曲線を理解する。

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 - ^{99m}Tc ミルキング　ジェネレータ

^{99m}Tc は +7価であり、溶出時は$^{99m}TcO_4^-$



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。

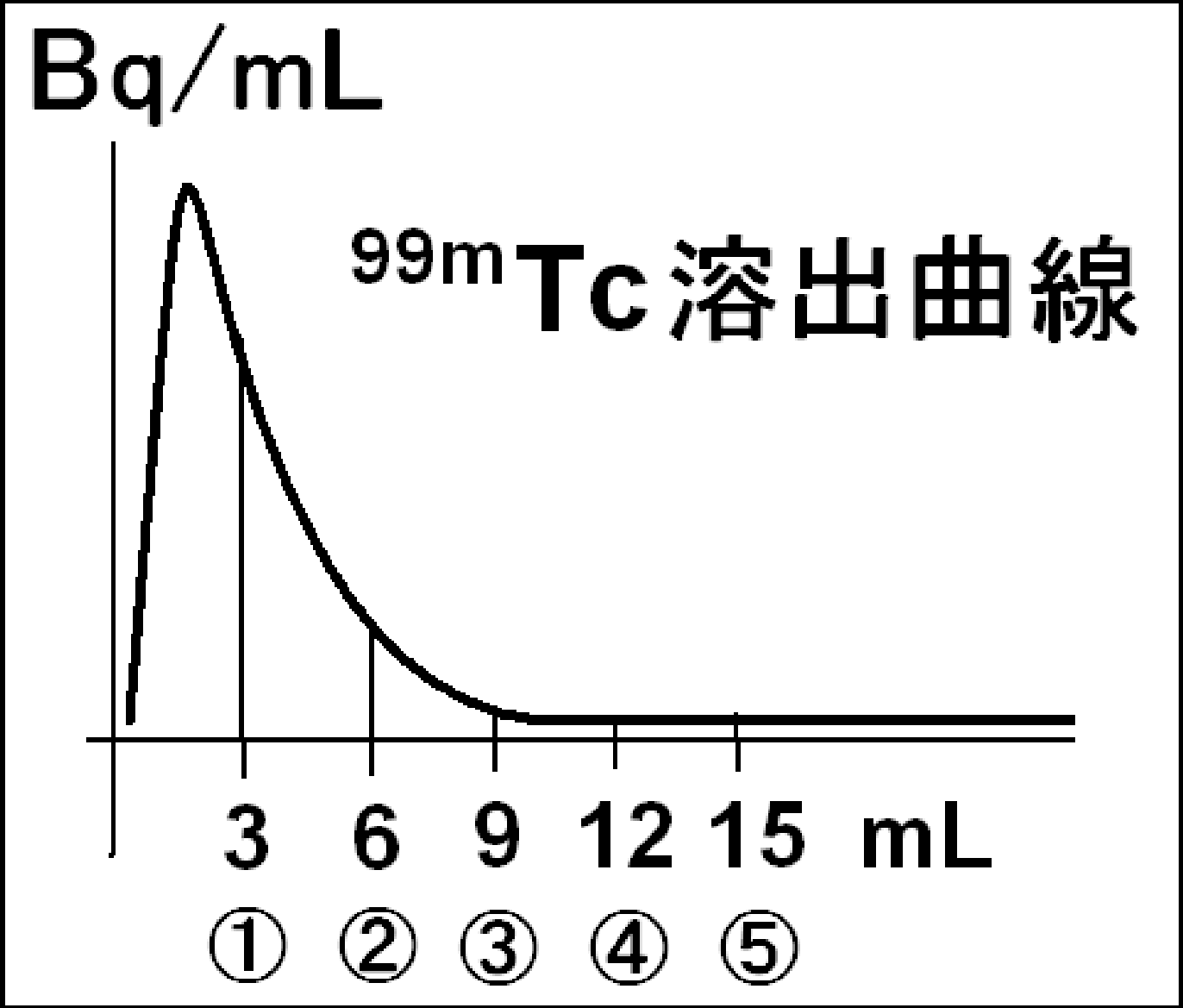
吸引したらバイアルから、各グループごとに
1mLだけ注射器で抜いて試験管2に入れる。

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。

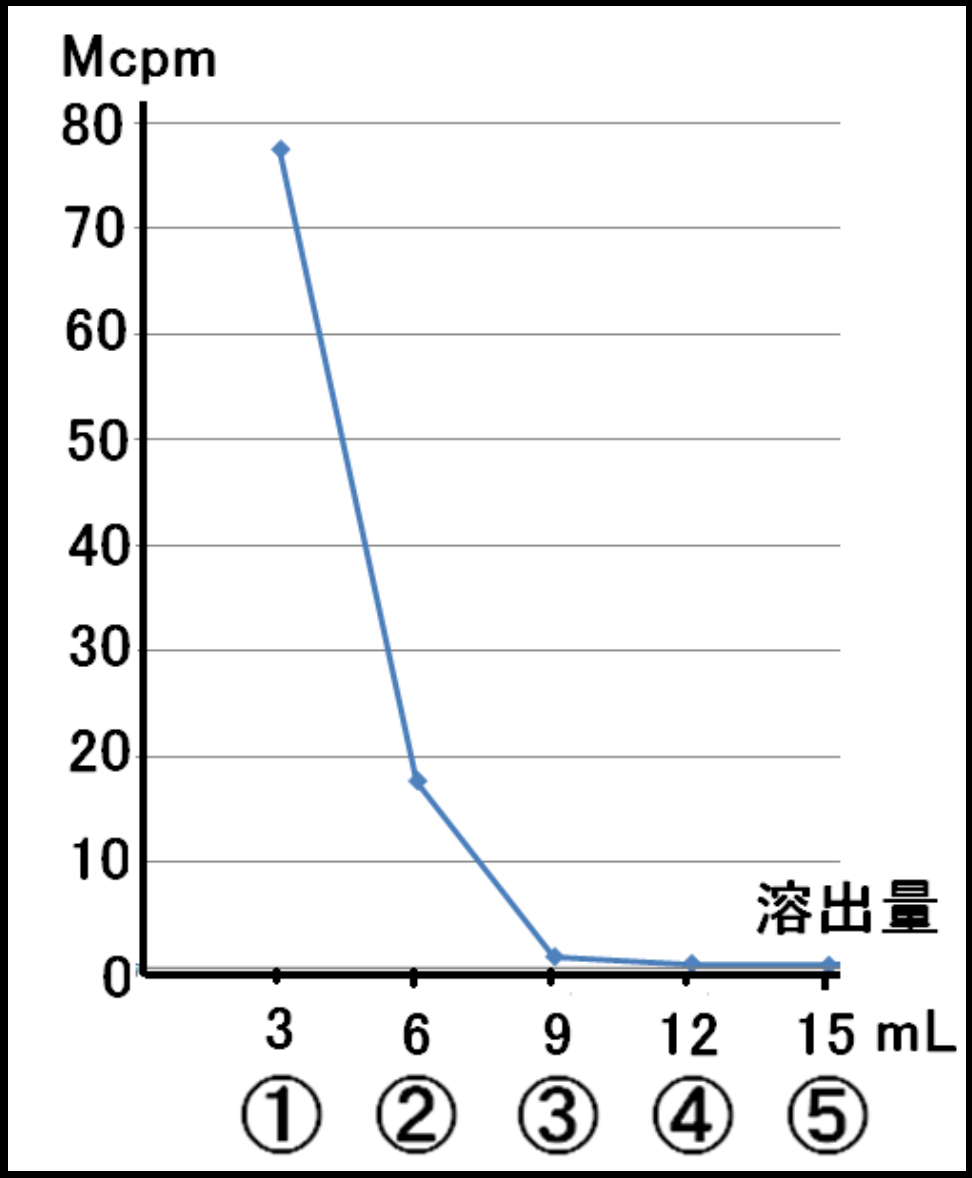
６回のミルキングを行った３０分後に、
７回目のミルキングを行う。

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。

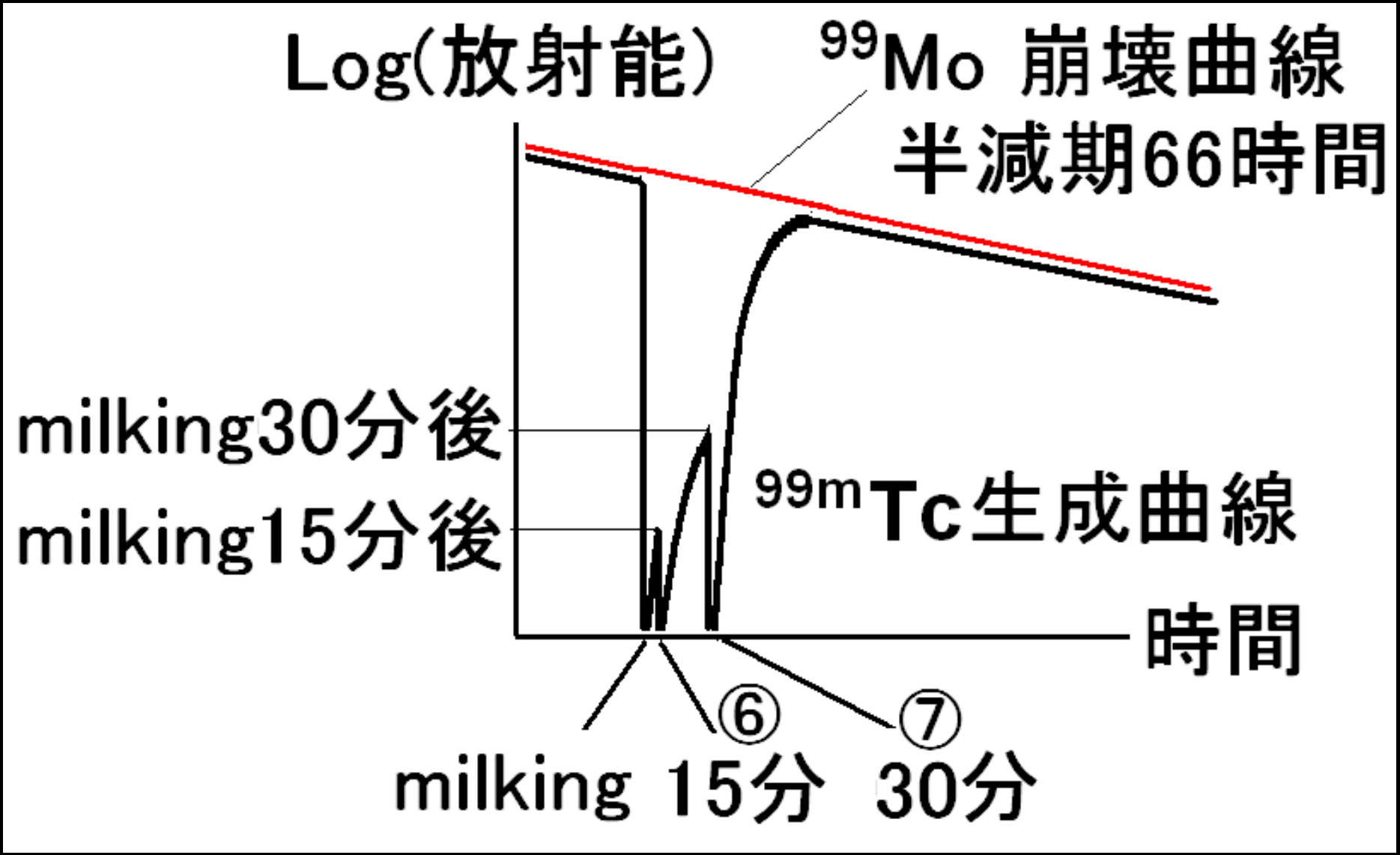


試験管１～５の放射能(cpm) をグラフに表示。

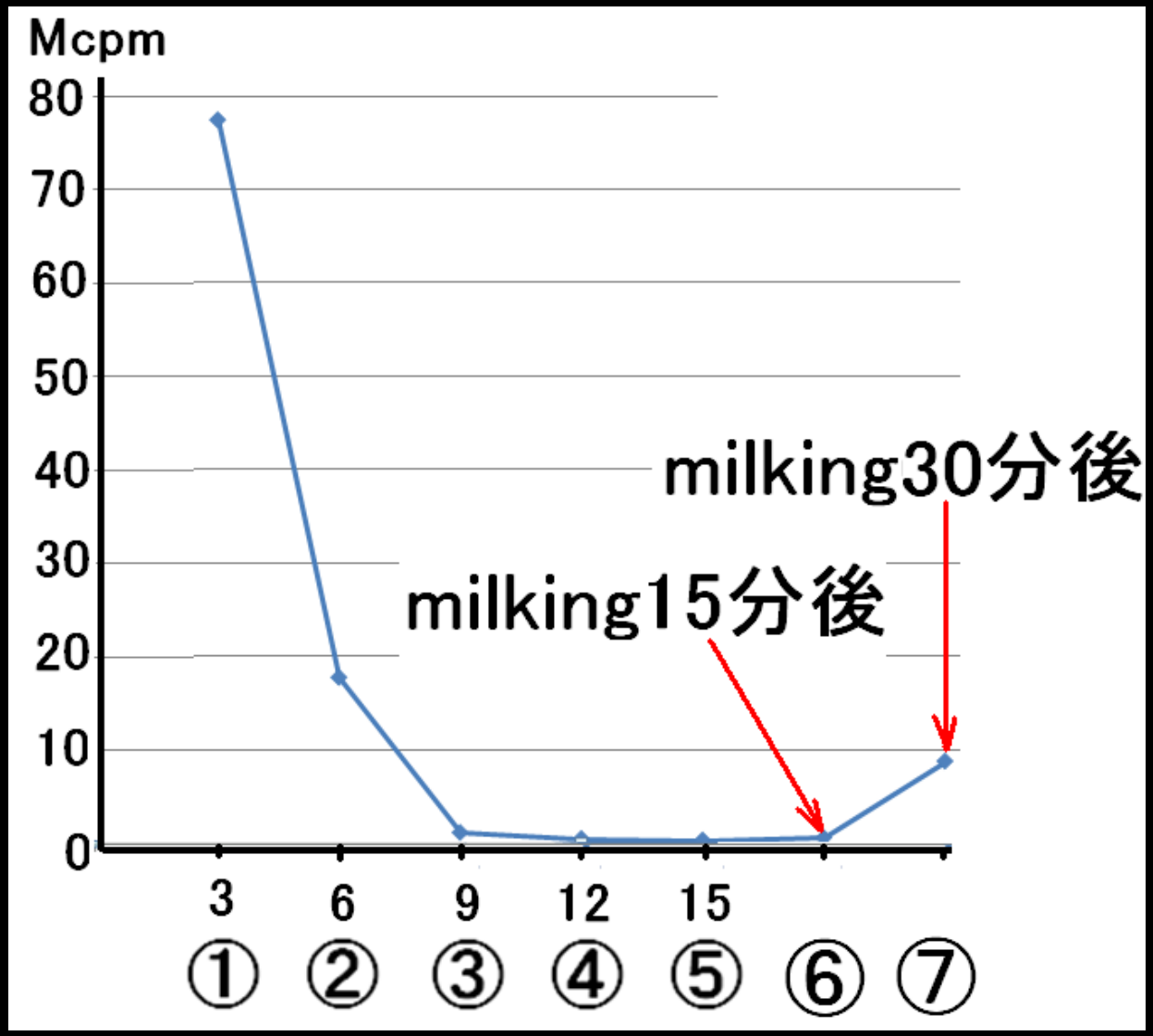
１回目から5回目のミルキングから得た^{99m}Tc放射能の推移を観察し、溶出曲線を理解する。



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。



$^{99}Mo - ^{99m}Tc$ 放射平衡

N1 ： Moの原子核数 （初期値 N1o）
N2 ： Tc の原子核数 （初期値 N2o ＝ 0）

λ1 ： Moの崩壊定数 = log2 ／ 66時間
λ2 ： Tc の崩壊定数 = log2 ／ 6時間

A1 ： Moの放射能 ＝ λ1N1
A2 ： Tc の放射能 ＝ λ2N2

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

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

$$N1 = N1o\, e^{-\lambda 1 t}$$

$$N2 = \frac{\lambda 1}{\lambda 2 - \lambda 1} N1o\,(e^{-\lambda 1 t} - e^{-\lambda 2 t})$$

$$\lambda 2 > \lambda 1 \longrightarrow \boxed{N2 = \frac{\lambda 1}{\lambda 2 - \lambda 1} N1}$$

$$\boxed{\frac{A2}{A1} = \frac{N1 + N2}{N1}}$$

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。

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。

放射平衡 Radiative Equilibrium

Parent Nuclide 親核種 N1 $\xrightarrow{\lambda 1}$ Daughter Nuclide 娘核種 N2 $\xrightarrow{\lambda 2}$

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

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

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

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

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 N2、 x に t、 a に $\lambda 2$ を代入し、

F(t) を $\lambda 1\ N0e^{-\lambda 1 t}$ とすると、

$dy/dx + a y = F(x)$ は、

$dN2/dt + \lambda 2\ N2 = \lambda 1\ N0e^{-\lambda 1 t}$

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

$N2 = e^{-\lambda 2 t} \int e^{\lambda 2 t} \lambda 1\ N0\ e^{-\lambda 1 t}\ dt$

$N2 = e^{-\lambda 2 t} \int \lambda 1\ N0e^{(\lambda 2 - \lambda 1)t}\ dt$

$N2 = e^{-\lambda 2 t} [\lambda 1\ N0e^{(\lambda 2 - \lambda 1)t}]_0^t$

$= e^{-\lambda 2 t} [N0 \lambda 1/(\lambda 2 - \lambda 1)\ e^{(\lambda 2 - \lambda 1)t}]_0^t$

$$= e^{-\lambda 2 t}\left[N0\,\lambda 1/(\lambda 2-\lambda 1)\, e^{(\lambda 2-\lambda 1)t}\right]_0^t$$

$$= e^{-\lambda 2 t}\left(N0\,\lambda 1/(\lambda 2-\lambda 1)\, e^{(\lambda 2-\lambda 1)t}\right) - e^{-\lambda 2 t}\left(N0\,\lambda 1/(\lambda 2-\lambda 1)\, e^{0}\right)$$

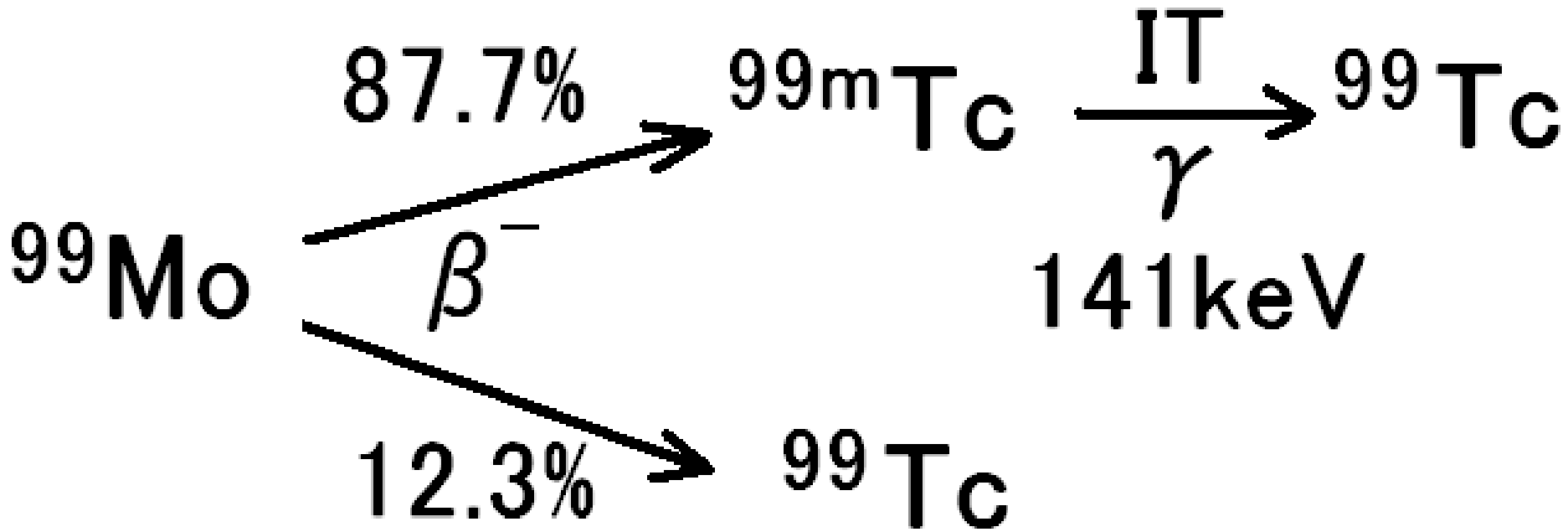
$$= \left(N0\,\lambda 1/(\lambda 2-\lambda 1)\, e^{-\lambda 1 t}\right) - e^{-\lambda 2 t}\left(N0\,\lambda 1/(\lambda 2-\lambda 1)\, e^{0}\right)$$

$$N2 = \lambda 1\ N0\ /(\lambda 2-\lambda 1)\, e^{-\lambda 1 t} - \lambda 1\ N0\ /(\lambda 2-\lambda 1)\, e^{-\lambda 2 t}$$

$$\boxed{N2 = \lambda 1\ N0\ /(\lambda 2-\lambda 1)\left(e^{-\lambda 1 t} - e^{-\lambda 2 t}\right)}$$

積分定数 C を N2o とすると $N2o\ e^{-\lambda 2 t}$ が加わる。

^{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。



過渡平衡の例　^{99}Mo – ^{99m}Tc – ^{99}Tc

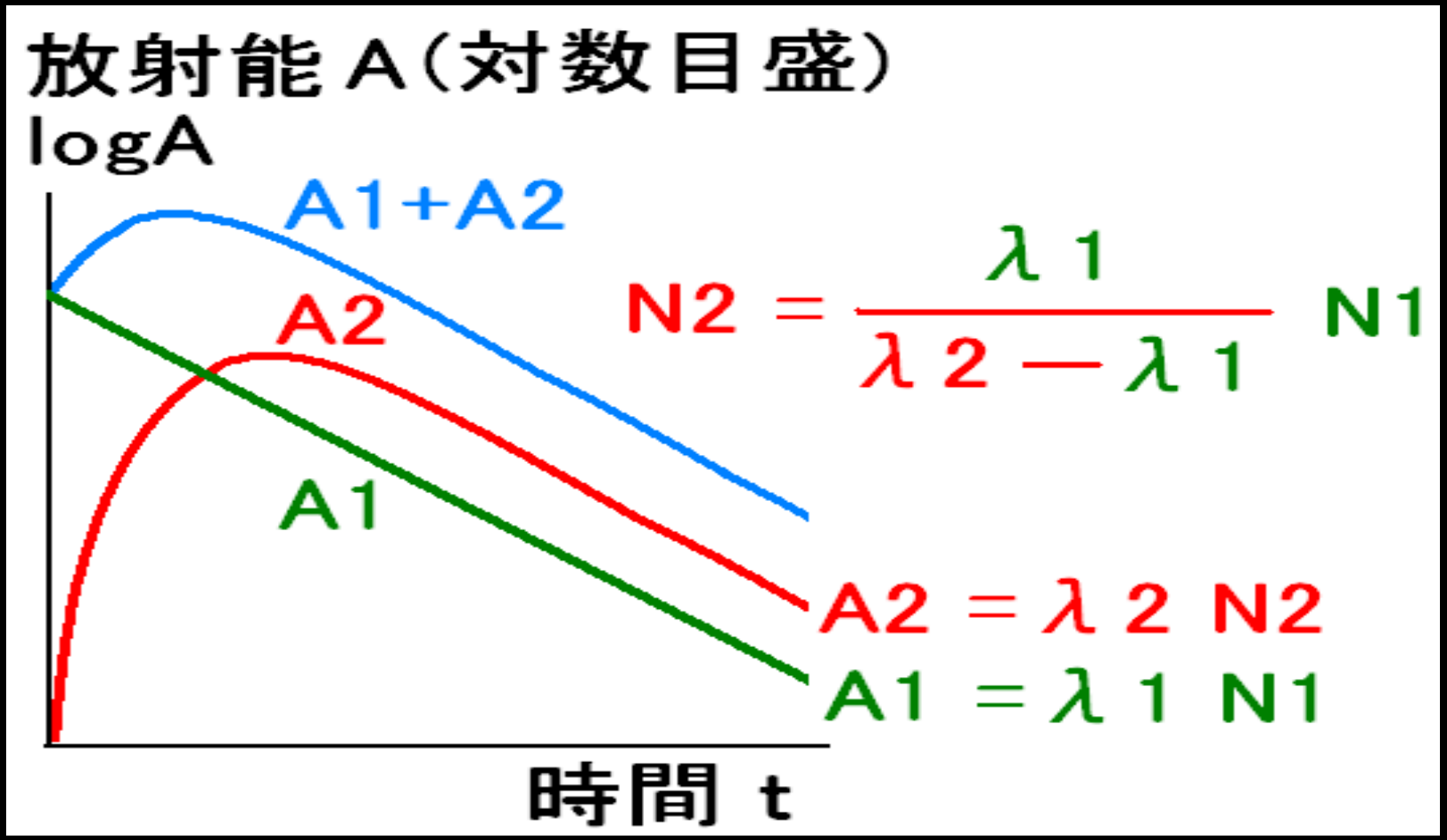
^{99}Mo（モリブデン）の半減期は 66 時間。
^{99m}Tc（テクネチウム）の半減期は 6 時間。

^{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。

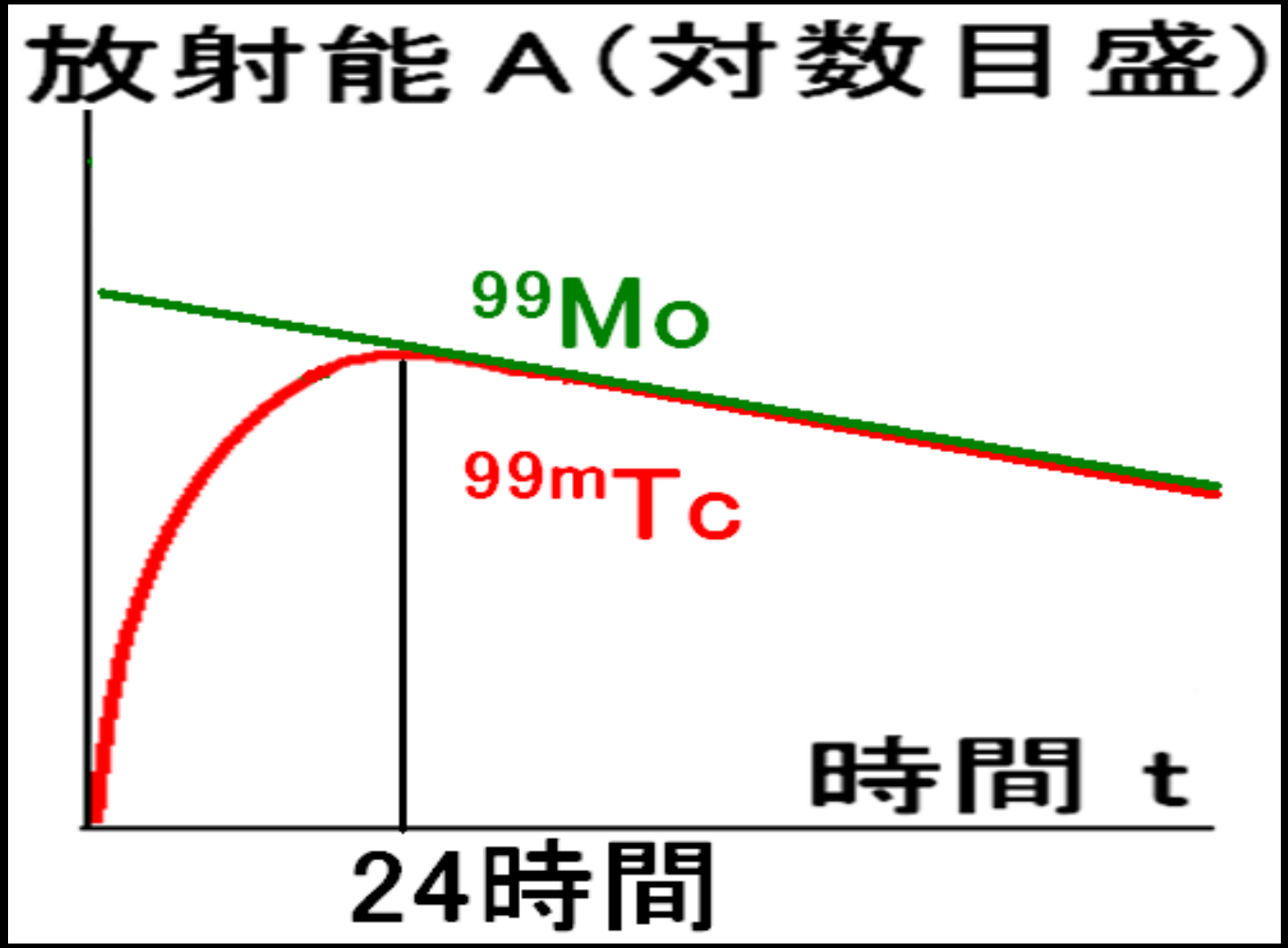
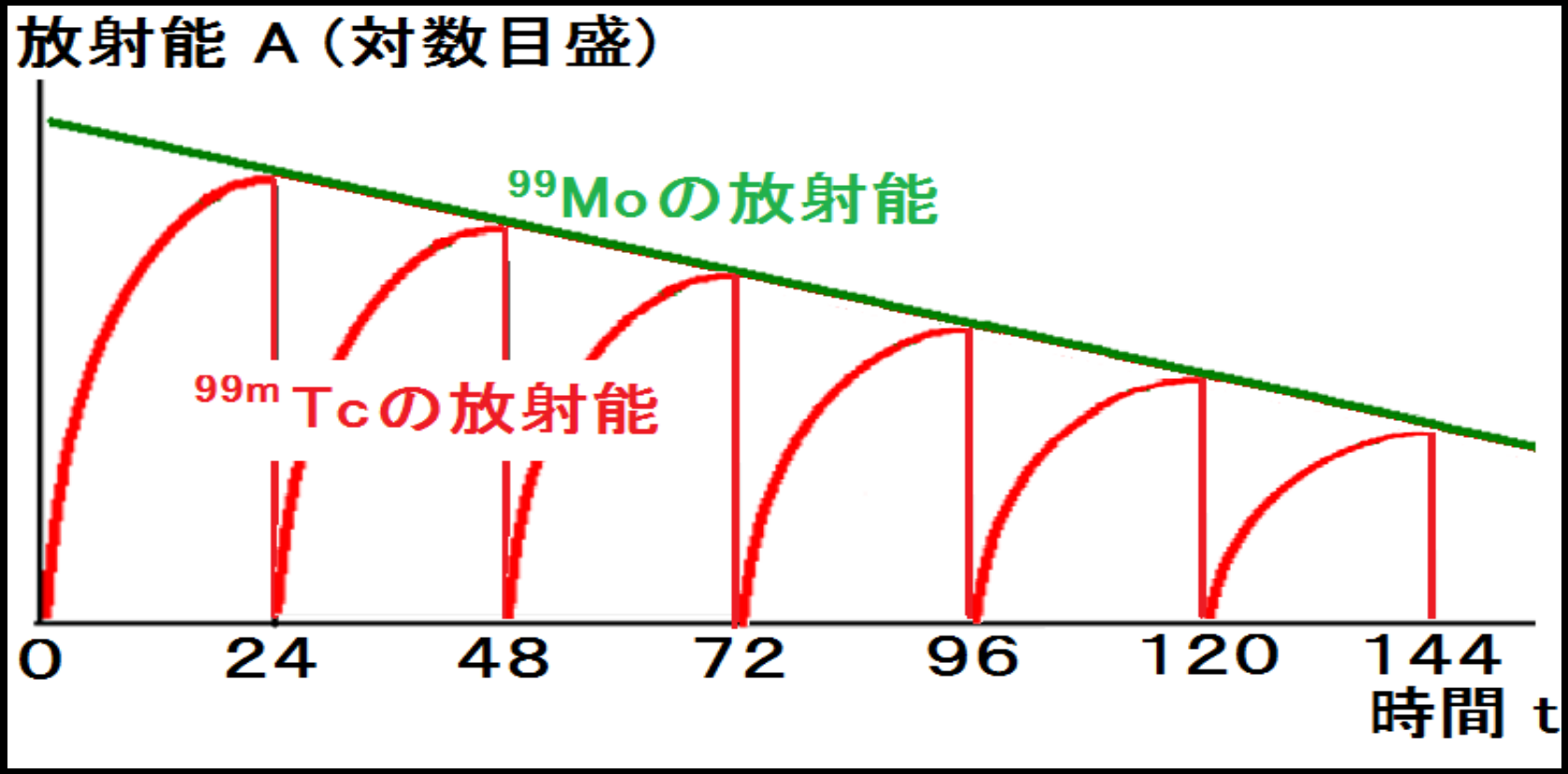
^{99m}Tc から γ 線が放出された後に残る ^{99}Tc も放射性同位元素である。
β 線放出核種であるが、半減期が 21万年と非常に長く崩壊定数も非常に小さいので、放射能は極めて弱い。

過渡平衡　$^{99}Mo - ^{99m}Tc - ^{99}Tc$

^{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。



^{99}Mo から^{99m}Tc にβ崩壊する割合（分岐比）を考慮すると、実際には ^{99m}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 –^{99m}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
^{99m}Tc 放射能が最大になるので
毎日（24時間おきに）^{99m}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。