

④ A型 L型 輸送

6. スケジュール調整

1.

8.

R2協会の 2/22

最終受け入れの日程

* (12/19) 項目.

⇒ 5時以降.

数100 - 1mL

10μL.

※ 1/19 2-10.17 -

・ 治具、自走 2-4、取り付け用.

⇒

・ 4月10日/外、1-5時以降、確認 2-4 10.17 -

⇒

2-7.11 - 2-7.12、対応.

スラアリアの 電流 2-7.12 - 2-7.13、⇒ 最小 7.11、

絶縁、録 2-7.13、

録 2-7.13 (1000μm まで) ⇒ 0.5mm.

1000μm まで) ⇒ 0.5mm. 1000μm の形は 変化??.

・ 1000μm

⇒ 1mm 2-15% 程度 落ちる.

・ CT の補正.

CT = 数 sec に 1回 しか ない.

12/19 の 2-7.13.

(⇒ 前の 2-7.13 に.)

・ 絶縁.

(12/19) ⇒ AM

・ 1000μm、174μm.

・ 絶縁 / 制動 の 切り分け.

⇒ 切り分け.

- * 工 = 日 — 工 - 日, 製造量,
- + 自動系, — 出入庫, 保存, 搬送系,
- * 日 - 日 — 位置決め, 日 - 日交換, 容易な保存, 効率的, 低コスト化,
- * AI 工 - 日調整, — 運転員, の順序,
- * 工 - 日 - 日 治療予測, — 個別化治療,

$$\begin{array}{rcl}
 \text{after} - \text{before} & = & \begin{array}{cc} 1 & - & 1 \end{array} \Rightarrow \text{No change} \\
 & = & \begin{array}{cc} 1 & - & 0 \end{array} \Rightarrow +1 \rightarrow \text{add} \\
 & = & \begin{array}{cc} 0 & - & 1 \end{array} \Rightarrow -1 \rightarrow \text{remove} \\
 & = & \begin{array}{cc} 0 & - & 0 \end{array} \Rightarrow \text{No change}
 \end{array}$$

・天井 (高さ 5.2m, 10m以上)

・最低 (10m + 5m) 事業化の際の説明責任

・タンスのまわりあたり 1000m² (2F)

④ 東北大学3/4分、23件構成

・何分? 60分, 33 30分

・何で話す, 試験工程

・何で話せる?
まじり項目

・必要物品	- 洗出し
・台紙	- 洗出し
・流木	- 洗出し、最後まで
・場所	- 21. 作業
・準備 (事前)	- 段取り

11/24 "東北大学3/4分"

・資料作り

① 電子作成 (→ 前回の工程)
② オートレイアウト (→ 工程の作成)
③ 印刷
④ 全体の校正
・見直し (全体版)
→ 5min

~~作成 OK~~

・東北大、各々に、レポートの資料、ちゃんと書いて、腹落す、
実行して書いてきたこと

・レポート 前回の資料を2つ、→ 2枚分

建付け

・工程 (作業工程) → 4枚 (列挙)

・台紙、台紙、台紙、台紙 → 列挙 (表)

・場所、場所、場所、場所 (270) → 4枚、→ 1枚

・事前準備が必要で → 列挙 (表)

・何か、何か (どうして必要か) → 文章 (事前)

・試験内容 → 内容、内容、内容、内容

● コーポレート資料について。(大概)

何を伝えているか。

① 「電子線形加速器について」

(理由を3つ述べている。これらがよい。)

● 同族。

・ 評価の背景、
 { 何を目的に評価か (いって) }
 { どういう観点か (評価項目) }

・ 421)。(結論)

・ ~~理由~~ 3つの理由。

・ 理由1 深板)

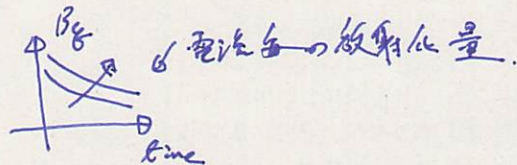
・ = 2 =

・ = 3 =

・ 今後、追加が必要なる点。

● 背景スライド..... ① 後、421)スライド..... ② 後。

③ ランス性の低下。



●

$$Q = c \rho \nabla \Delta T \quad \text{--- } 110^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$$

$$= 4.2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \times \rho \times \underbrace{10^3 \text{ kg/m}^3}_{\substack{\text{密度} \\ 4 \text{ m}^3/\rho}} \times \underbrace{1 \text{ m} \times 10^{-2} \text{ m} \times 10^{-2} \text{ m}}_{\substack{\text{体積} \\ (10^{-2})^2}} \times \Delta T$$

ガスシートを用いた電子ビームの検出*

萩原 徳男^{*1}・引地 裕輔^{*1}・神谷 潤一郎^{*1}・金正 倫計^{*1}

Detection of Electron Beam with a Gas Sheet

Norio OGIWARA^{*1}, Yusuke HIKICHI^{*1}, Junichiro KAMIYA^{*1} and Michikazu KINSHO^{*1}^{*1}J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1195, Japan

(Received November 30, 2015, Accepted February 9, 2016)

To demonstrate the function of a gas sheet for measuring the 2D profiles of accelerated beams, the following experiments were performed: 1) A gas sheet with a thickness of 1.5 mm and a density of 2×10^{-4} Pa was produced by the deep slit, and the shape of the sheet was improved by the thin slit. 2) For an electron beam of 30 keV and a diameter greater than 0.35 mm, the position and the 2D profiles were appropriately measured using the gas sheet.

1. はじめに

現在、大強度陽子加速器 J-PARC 3 GeV シンクロトロン (Rapid Cycling Synchrotron, RCS) においては、1 MW という大強度出力の達成をめざしているところであるが、このためには、ビームロスの徹底した低減が必要である。我々は、このためのビーム診断ツールとして、真空中にガスシートを発生させ、加速ビームとの衝突で生ずるイオンないしは光を用いてビーム診断を行う「ガスシートモニター」を開発中である。

3 GeV RCSにおいて、本ガスシートモニターを実現するためには、幅および奥行きとして300 mm 以上、シート厚2-3 mmのガスシートターゲットを作成する必要がある。また、本ガスターゲットの濃度は、 10^{-6} Pa 程度の真空中において 10^{-4} Pa 程度が要求される¹⁾。

前報において、複数の奥行きの深いスリットを対向させた配置、または、ギャップの十分小さな円形スリットの使用により、上記ガスシートターゲットを生成しうることをモンテカルロシミュレーションによって示した²⁾。

現在、奥行きの深いスリットを試作し、ガスシートターゲットとしての特性を評価中であるが、今回、本スリットにより生成されたガスシートを用いて電子ビームの検出を行うことにより、ガスシートモニターの有効性を示すことができたので、その概要を報告する。

2. ガスシートの生成

ガスシート発生装置を模式的に Fig. 1 に示す。基本的な構成物は、奥行きの深いスリットと形状成形用の薄いスリットである。幅50 mm、奥行き100 mm、隙間0.15 mmの奥行きの深いスリットにガスを通すことにより生成されたガスシートは、さらに、60 mm×0.3 mmのスリットで成形されて真空槽に導入される。奥行きの深いスリット構造は、2枚の SUS304 直方体を密着させて形成する。すなわち、1枚は完全な平面とし、もう1枚の SUS 板上に上記形状の溝を刻

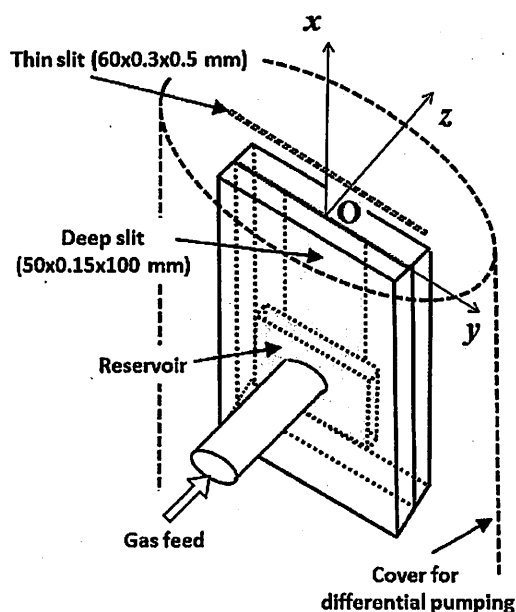


Fig. 1 Schematic of the gas sheet generator. It consists of the deep slit for generating a gas sheet and the thin slit that is placed on the cover for differential pumping. The deep slit, which is formed between 2 SUS304 plates, has a length of 50 mm, a breadth of 0.15 mm, and a depth of 100 mm. The thin slit that controls the thickness of the gas sheet has a length of 60 mm and a breadth of 0.3 mm. The origin of the coordinates, O-xyz, is placed at the center of the exit plane of the deep slit.

んで、2枚を密着させる。さらに、スリットを刻んでいる SUS 板には、ガス溜を設けてある。形状成形用スリットは、背圧に対するガスシート濃度の比を高めるために導入した差動排気用カバーの先端に設けられている。

なお、Fig. 1 には、以下の議論に用いるため、O-xyz 座標系を示してある。すなわち、奥行きの深いスリットのガス放出面中央に原点 O を、ガスの流れる方向に x 軸、スリットの長辺方向に y 軸、短辺方向に z 軸をとる。

差動排気用カバーを取り付けた状態で、ガスシートの特性を評価した。ここでは、その概要を述べる。測定には、残留

* 平成27年12月1日 第56回真空に関する連合講演会で発表

^{*1} 日本原子力研究開発機構 J-PARC センター (〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4)

④ report lab の改修

① 必要なこと

- 全領域データ版の生成, (cmd)
- 入力 of 整備
- UI の整備
- 側面データの追加 (f21からf210まで、最後)

並びに、ある並列スキャン

② 全領域版データへの拡張

- 領域 (概形) の認識
- 欠位置の抽出 (データ化)
- フォーマット化

③ 自コードの書き換え

① 全データで記載形式に合わせる

② コードは、10進法で変換して行う

③ 形状と欠位置をデータ化し、入力フォーマット生成
= 仕事

④ 扇形、半径 $r_1 = 212\text{mm}$ $r_2 = 860\text{mm}$

$$r_2 = 808\text{mm}$$

角度、 45° ずつ

$$\begin{cases} \theta_1 = -22.5 + (i-1) \times 45 \\ \theta_2 = +22.5 + (i-1) \times 45 \end{cases}$$

(for $i = 1, 2, \dots, 8$)

切り欠きについて

65mm, (全円弧長 = $800 \times 2 \times \pi$)

$$\frac{65}{800 \times 2\pi} \times 2\pi \times \frac{360^\circ}{2\pi}$$

$\theta \sim 45^\circ$

ガス分析器を検出器とするフラックスモニターを用いた。本モニターの先端には細いスリットが設けられている。形状は、長辺10 mm、短辺0.2 mm、厚みは0.12 mmである。このスリットをガスシート生成用スリットに平行に(すなわち、 yz 平面に平行に)、かつ、長辺および短辺同士を平行にした状態で移動させる。こうすることで、ガスシートの厚み方向(z 軸方向)の濃度分布を精度よく測定することができる。

Ar を導入した時のフラックスモニターによる Ar^+ 電流の測定例を Fig. 2 に示す。横軸は、フラックスモニター先端に設けられているスリットの中心の x, y 座標を直線 $(x, y) = (100, 0)$ (mm) 上に拘束した状態での z 座標を示す。ここでは、ガス導入部(ガス溜)の Ar 圧力をパラメータとす

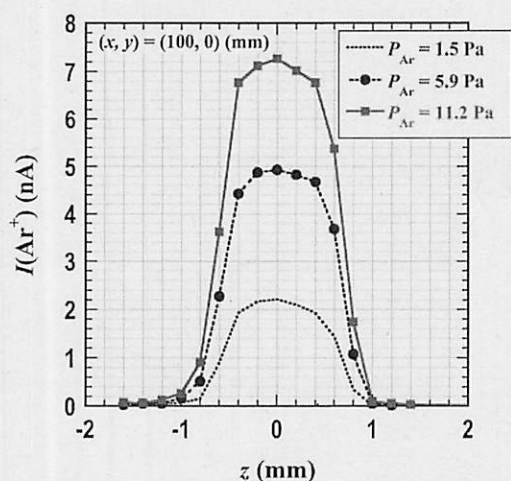


Fig. 2 (Color online) The change in the Ar^+ current as a function of z value of the center of the probe head for the flux monitoring with a mass filter. The parameter is the Ar pressure P_{Ar} in the gas reservoir of the deep slit (see Fig. 1). The coordinate system O-xyz is the same as that in Fig. 1.

る変化を示してある。本図から、流量によらず、形成されるガスシートの厚みは、半値幅で 1.5 ± 0.2 mm であることがわかる。また、当然ながら、流量が増すにつれガスシート濃度も高くなることがわかる。フラックスモニターによる濃度測定については、現在、評価中であり、近々報告するが、後述するように、ガス導入部圧力が100 Pa 程度で、ガス放出面から直上85 mm の位置で、凡そ 2×10^{-4} Pa の圧力に相当する濃度のガスシートが形成されている。

3. 電子ビームの検出実験

3.1 機器配置

上述の発生装置により形成されるガスシートを用いて電子ビームの位置および断面形状を求める実験を行った。概念を Fig. 3 に示す。超高真空中で、上述のガスシートと電子ビームを交差させ、生じたイオンをイオンリペラーおよび補助電極を用いてマルチチャンネルプレート(MCP)に導く。イオンによって生じた2次電子はMCPにより増幅され、蛍光面に投影される。その蛍光像を、石英窓を通して真空中から観測することにより電子ビームの情報を得る。

イオンリペラーと補助電極は、金網からなり、直径100 mm である。特に、補助電極は、イオンの透過性をよくするため、線径 $18.5 \mu\text{m}$ 、70メッシュのNi金網を使用している。MCPを保護しているシールドカバーは、直径105 mm の円筒で、MCPの有効径が30 mm であることから、先端部に直径32 mm の穴を設けてある。また、補助電極、シールドカバー、MCPは、それぞれ、2 mm の間隔で配置されている。なお、MCP、蛍光面および補助電極(シールドカバーを含む)を総称して、イオン検出系とよぶ。

イオンリペラーとイオン検出系は、軸をあわせた上で、電子ビームを挟んで対称に、かつ、電子ビームと軸が一点で交

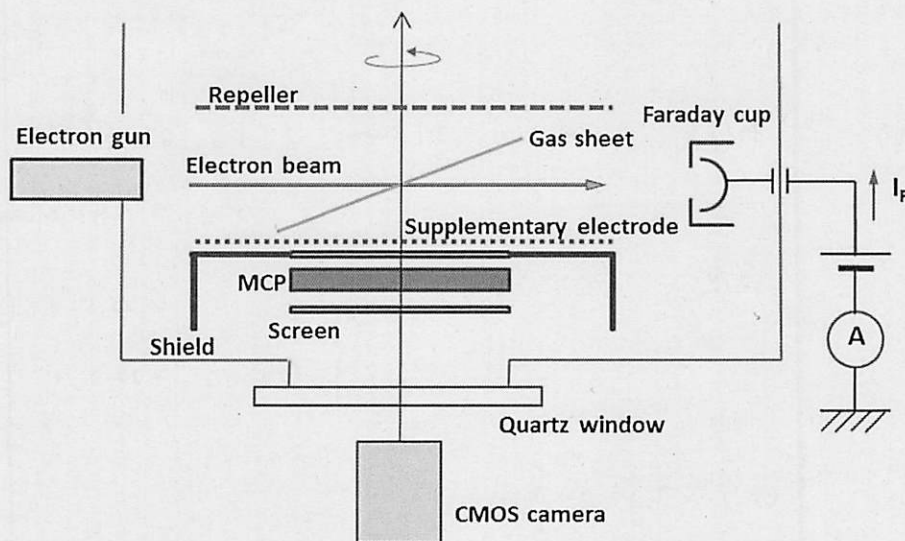


Fig. 3 (Color online) The experimental layout for the electron-beam detection with the gas sheet. The multi-channel plate (MCP) and the fluorescent screen have the same rotational axis, which intersects the electron-beam perpendicularly at a point (called “beam center”) under the electric-field-free condition. The ion repeller has the same rotational axis and is placed on the opposite side of the electron beam. The supplementary electrode is used to correct the disturbance of the electric field because of the hole on the shield of the MCP. The gas sheet is orthogonal to the plane formed by the electron beam and the rotational axis of the MCP. Moreover, the sheet and the electron beam cross each other at a 29.5° angle.

● 今日、48 長Bq

● エコノミー、

● 42211-10 置く、

● 第1実験室外へ、置く、

(第1実験室へ置く)

● background、

整った、

1.5 1.5 1.5 の受口、
同軸線、

GNV の 2 本を、出し入れ、

● 補償導線、

GP1B - ethernet ケーブル 交換器

● 6487 → 信号?

● 電源、

● 白金、

● カミヤ子、

● 風冷 + 振動対策、

*

◎ 関係人、

差するようにする．イオン検出系と電子ビームまでの距離は30 mmを標準とする（なお、この交点を、今後、“ビーム中心”と呼ぶ）．ただし、ビームの軌道は電場のない状態のものとする．すなわち、イオン検出系を稼働させた場合の電子ビーム軌道と、電場のないときの軌道のずれ量は、ビーム中心付近で、最大0.7 mm程度である^{†1}．これは、微調整で修正可能な量であり、電場のない状態で、電子ビームと各電極間の位置調整を行えば十分である．

ガスシートについては、電子ビームとイオン検出系の軸が構成する平面と直交し、かつ、Fig. 1に示す x 軸がビーム中心を通るように配置する．また、ガスシートと各電極が干渉するのを防ぐため、電子ビームとガスシートのなす角を 29.5° に設定した．ビーム中心から奥行きの深いスリットのガス放出面までの距離は85 mmに設定した．

3.2 電子ビーム

電子ビームは、株式会社オメガトロンの電子銃OMS-3040EFCより供給される．最大加速電圧30 kV、最大電子電流3 mAである．今回の実験では、加速電圧30 kV、電子電流2~10 μ Aで運転した．また、電子銃からビーム中心までは、340 mmで、電子電流はファラディカップにより常時モニターされる．

ビーム中心位置でのビーム径を評価するため、金属平板を一時的に追加し、イオン検出系の軸にそって、電子ビームを遮るように移動させたときのファラディカップ電流 I_F の変化を調べた．最もビームを絞った場合につき、結果をFig. 4に示す．横軸は、平板の（イオン検出系の軸上での）位置である． I_F の位置に関する変化率から、電子ビームの広がり、直径 0.35 ± 0.05 mmと評価できる．また、ビーム中心から電子ビーム軸にそって ± 15 mmの範囲では、ビーム径は誤差の範囲内で一定であった．

3.3 ガスシートによる電子ビームの検出

観測例をFig. 5に示す．電子ビームの条件は、30 keV、5 μ A、 $\phi 0.35$ mmである．ここでは導入ガスを N_2 とし、ガスシートの濃度は 1.8×10^{-4} Paである^{†2}．およそ1600 l/sの排気速度で排気されている真空容器の圧力は、この時、 9.6×10^{-6} Paである．本図において右上部に明るく光る細長い輝点がガスシートと電子ビームの交差により生じたイオンによるものである．輝点が横長に出現するのは、厚み ~ 1.5 mmのガスシートを電子ビームが斜めに横切ることによるものである．また、薄く帯状に延びる軌跡は、電子ビームと雰囲気ガスの衝突によって生じたイオンによるものである．

輝点の縦幅は電子ビームの直径0.35 mmに対応し、横幅は、厚み(t mm)のあるガスシートがビームに対して 29.5° 傾いていることに対応している．これから、ガスシートの厚みを求めると、 $t = 1.75 \pm 0.25$ mmと求まる．この値は、2章で述べた値(1.5 ± 0.2 mm)と良く一致している．

^{†1} イオンリペラーと補助電極（ともに直径 d ）の間隔を h 、両電極間の電位差を V とすると、加速電圧 V_a の電子ビームがこの電極間を通過するときの偏向量 R は、電極軸付近で、 $R \approx Vd^2/(16hV_a)$ となる．よって、 $V_a = 30$ kV、 $V = 2$ kV、 $d = 100$ mm、 $h = 60$ mmより $R \approx 0.7$ mmを得る．

^{†2} ガスシートの濃度については、考察の項を参照のこと．

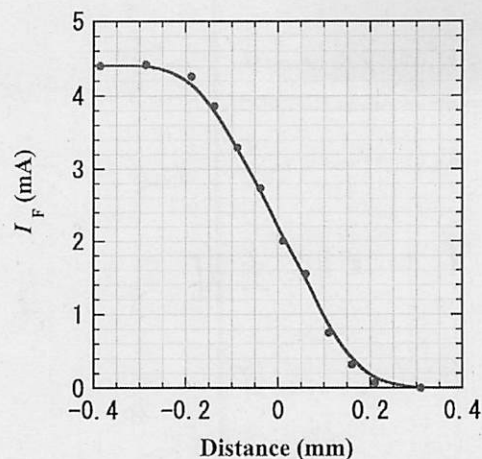


Fig. 4 The change in the current I_F via the Faraday cup as a function of the distance between the beam center and the edge of the cutoff plate, which is moved along the detector axis to interrupt the electron beam. From the difference analysis of the I_F cutoff profile for the plate position, the diameter of the electron beam is estimated to be 0.35 ± 0.05 mm.

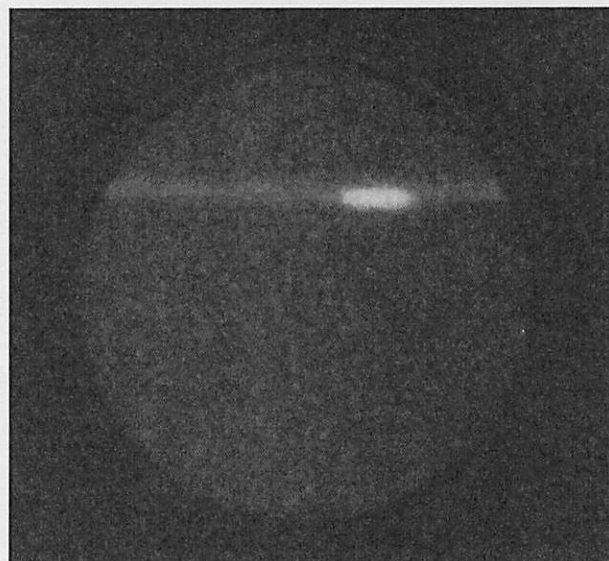


Fig. 5 (Color online) A photograph of the fluorescent screen illuminated by the MCP during the electron beam detection experiment using a N_2 gas sheet. The bright cigar-shaped spot is caused by ions that are generated by the collision of the electron beam with the gas sheet. The electron beam has a diameter of 0.35 mm and a current of 5 μ A. The gas sheet is estimated to be approximately 1.5 mm thick by considering the crossing angle of 29.5° with the electron beam.

また、輝点の明るさは、導入ガス量および電子電流と正の相関がある．さらに、この輝点は、電子ビームの位置を上下左右に移動させるに連動して動くこと、そして、焦点をぼかす操作に連動して太くなることが確認できている．

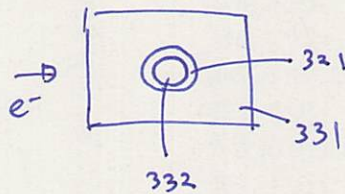
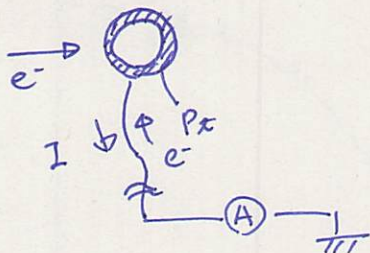
以上、ガスシートを用いて電子ビームの位置および形状をモニターしうることが明らかとなった．

4. 考 察

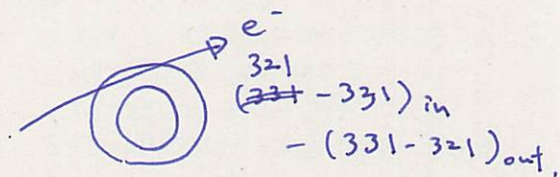
ここでは、電子ビームを利用したガスシートの濃度評価に

④ 11-7-79 の白金電極 $\Sigma=7$ の計算

二次電子の流出形態



① 単に、 $331 \rightarrow 321 + 331$ で通過



② $331 \rightarrow 321 + 332 \rightarrow 321 + 331$



結局、321 側の電子流出量と
321 への流入量と

足しあわせれば、321 側の電子量は
二次電子 - 二次電子量がわかる。

● 321 への流入は？

$331 \rightarrow 321$
 $332 \rightarrow 321$

の 2 つ

● 321 側の流出は？

$321 \rightarrow 331$
 $321 \rightarrow 332$

の 2 つ

⇒ 結局、二次電子の流出入の計算は、

同じなのだから、...

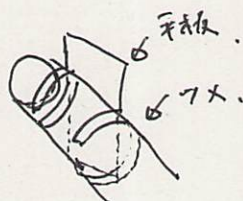
⇒ $301 + 331$ を計算に置く (全体入射 $\Sigma=1$ 是)

● じゃあ、1mm ずつずれた場合の位置量変化を計算。

$\left\{ \begin{array}{l} \text{・ } \alpha \text{ 分布} \rightarrow \text{わかる} \\ \text{・ } \beta \text{ 分布} \rightarrow ?? \end{array} \right.$

④ 1mm 分解が難い

e.g.)



なぜか？



e.g.) $P_{in} \approx 0.1mm$ くらい

H 型、なぜか？



or.



↑
同じなのだから、7x.

ついて述べる。

評価法は、以下の通り。電子ビームおよびイオン検出系の条件を変えずに、ガスシートと電子ビームの衝突地点(輝点)を蛍光板上に固定する。この固定点の輝度について、導入ガスが同一であれば、ガスシート由来であろうと、雰囲気由来であろうと、同一の輝度を与える場合には、同一のガス濃度としてよい。すなわち、ガスシートのない状態で、ある雰囲気圧力 P の時の上記固定点の輝度と、ガスシート単独で輝点を生じた際の輝度が同一であれば、その雰囲気圧力 P が、この時のガスシート濃度であるとしてよい。ただし、ガスシートを生成する際に背圧の変化があるので、背圧を加えた濃度に対して、補正を行う必要がある。実際に、背圧はガスシート濃度の1/10程度である。

このようにして得られたガスシート濃度を、Fig. 1に示すガス溜の圧力の関数として、Fig. 6に示す。これから、当初目標としていたガスシート濃度が、ほぼ達成されていることが確認できる。なお、ここに示すデータは、 N_2 ガスに対するものである。

上述の手法は、フラックスモニターのような専用機器を使用する必要がない点で、実機運転・調整時におけるガスシートの評価に適しているといえる。

5. ま と め

大強度陽子ビームを非破壊で診断するための計測器を実現するための基幹要素としてガスシート発生技術の開発を行っているところであるが、今回、奥行き深いスリットを試作し、本スリットにより生成されたガスシートを用いて電子ビームの検出を試みた。

まず、幅50 mm、奥行き100 mm、隙間0.15 mmの奥行き深いスリットと60 mm×0.3 mmの成形用スリットを組み合わせることにより、ガス放出面から直上85 mmの位置で、厚みが1.5 mmで、濃度が 2×10^{-4} Pa程度の圧力に相当するガスシートを作成した。

次いで、上記ガスシートと30 keV電子ビームを交差さ

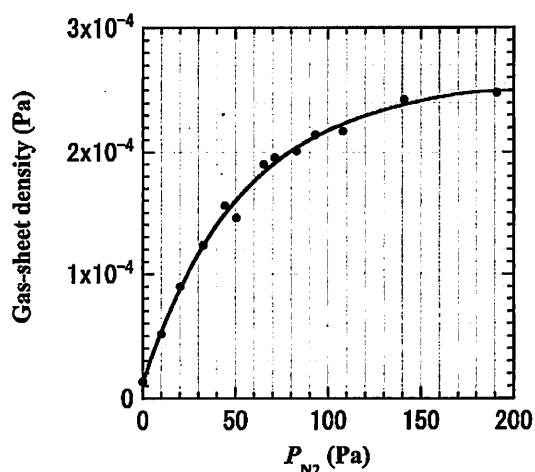


Fig. 6 The change in the density of the gas sheet as a function of the N_2 pressure (P_{N_2}) in the gas reservoir of the deep slit. The density is estimated from the light intensity of the bright spot on the fluorescent screen. In fact, the intensity of this spot, which originated from the ions generated by the collision of the gas sheet with the electron beam, is compared with the intensity at the same place on the screen generated by the ions of a of uniformly distributed gas colliding with the beam.

せ、衝突によって生じたイオンをマルチチャンネルプレートにて増幅し、蛍光面上の像として観測した。その結果、電子ビームの位置および断面形状をモニターしうることを確認した。

今後、ガスシートの大型化および濃度の均一化等、実用化に向けた技術開発をすすめる予定である。

〔文 献〕

- 1) Y. Hashimoto, T. Fujisawa, T. Morimoto, Y. Fujita, T. Honma, S. Muto, K. Noda, Y. Sato and S. Yamada: Nucl. Instrum. Method A, 527 (2004) 289.
- 2) N. Ogiwara: J. Vac. Soc. Jpn., 56 (2013) 146.

11/12 (日) 8:00 -

~~10-7 の設計 発注~~ + Phototran 条件 4-1-1 + 資料作成
+ 計算 + profile 作成

・ 問題 APS1142 3mm x 2mm 2: 1.5 以下は不可能...

SP2 12... 236...

⇒ MCP 3302 : 5V 24-bit 12V 12... 12... ..

13 bit 100 kbps 性能の1/2程度

13 bit → 5V 13 bit 動作

⇒ 8092 分解 0.5mV? 程度

Bit, C12 12-12 (非線形性が ±1 bit or ±2 bit)

⇒ C 品 12-12-12

置換リスト

OP アンプ

AOC

抵抗

MCP 3302

電流-電圧変換 (R1) 1kΩ

LPF 10kΩ, 2kΩ (R3)

(R2) 1MΩ

ファラド

1.47 x 10^-12 F 3.3nF

LPF 50nF

47-100pF 10nF

102kΩ 0.1μF, 1μF

・ 12-12-12 完了

ADC が 12 ビット 計測系 12-12-12

ADC の取っ手は 12-12

電荷 → ADC → Arduino uno r3 → raspberry pi.
(trans impedance - LPF)

・ 12-12-12 計算 12-12-12 Phototran 4-1-1

13 17550, AOS 1115, 6-23, 24/12-8, 6, ...

3/45 の 1.2ルズは 45%

860 Sps. $\Rightarrow$ 1.16 ms.

→ $S_m S$ の 12 レパートーションで、終止...

$\Rightarrow$ ADP 1015 の 66-2-16??

• 12 bit 3.4 kSps, 500 精度 1°C

$\Rightarrow$ ~~A25~~ A2 73 67 13 RVZ -5

14 bit 800 kSps 1680 512. 面全装.

~~3.4 bpps~~

$\Rightarrow$ MCP 3302

13 bnf 100 k fps 1760\$ \$M2 2.4-2.4.

$\Rightarrow$ 12 bit $\sim 100 \text{ kbps}$ 500 半 I^2C 驱动 12 个子...

17. give 12 & 32.

• APP 1142

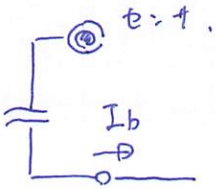
স্পর্শক, I^2C ক্রমিক

12 へ 1 = 4096 10 100 0-5V. → 1mV.

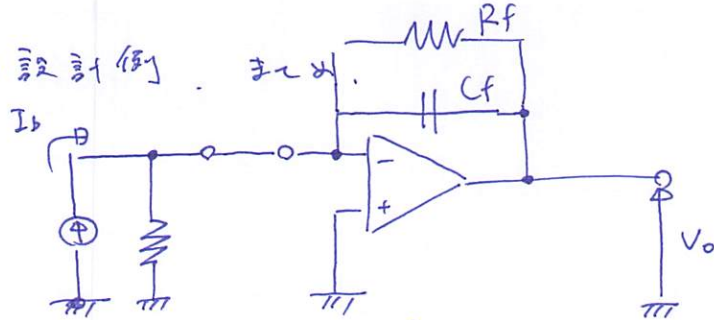
14 eV, 0.25 mV .

$\Rightarrow 12 \rightarrow 1-2 \dots 12$, Ans 17142

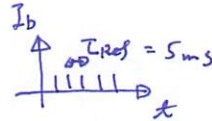
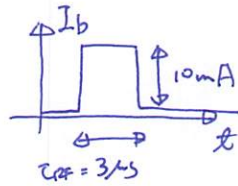
④ チャーゲンポンプの設計例. まて



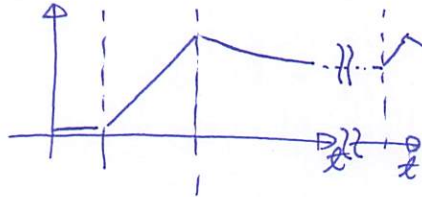
=



$I_b \sim$



積分動作.



$$Q_{\text{pulse}} = \int_0^{T_{\text{RF}}} I_b dt = I_b T_{\text{RF}} = 30 \times 10^{-9} \text{ [C]} = 30 \text{ [nC]}$$

$V_{\text{sig}} \sim \text{[V]}$ レンジに合わせる. $V_{\text{sig}} \sim 3 \text{ [V]}$ にするのは,

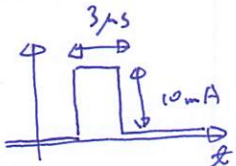
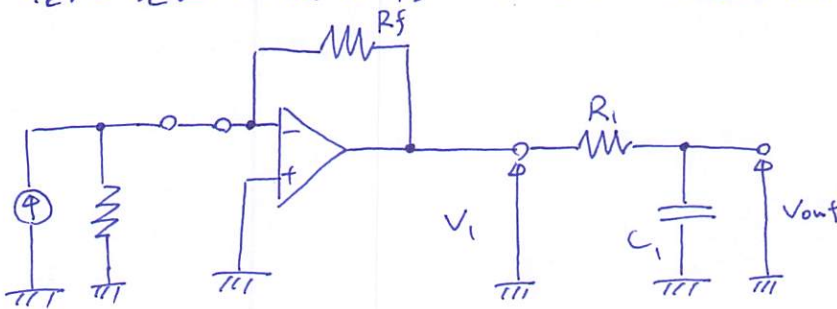
$$C_F = \frac{Q_{\text{pulse}}}{V_{\text{sig}}} = \frac{30 \times 10^{-9}}{3} = 10 \text{ [nF]}$$

信じて LPF 動作をせよ. には

$T_{\text{RC}} \gg T_{\text{rep}}$ (e.g.) $T_{\text{RC}} = 10 \text{ ms}$, には.

$$R_f = \frac{T_{\text{RC}}}{C_f} = \frac{10 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-9}} = 10^6 = 1 \text{ [M}\Omega\text{]}$$

⑤ 電流-電圧変換回路 + LPF の組み合わせ.



R_f は. ~~300~~ 程度??

1k Ω

$\Rightarrow$ 出力電圧, V_1 (10V. (L-L-L-L-L?))

$3\mu\text{s} \sim 300 \text{ kHz}$,

$f_c \sim 100 \text{ Hz}$ 程度にせよ. には

LPF の
入出力ゲイン, ??.

$$T_{\text{RC}} = 10 \text{ ms} = R_1 C_1$$

$$C_1 = 0.1 \mu\text{F} \text{ 程度, } R_1 = 100 \text{ k}\Omega.$$

($R_f \sim 1 \text{ k}\Omega$ 程度
にせよ??)

予備

④ ~ ⑥ ~ ⑧ ~ ⑩ 使う 何が必要か

④ 40 - ⑦ - ⑩ の設計

$Rf Cf \equiv \tau_f$ は、 $\tau_{RF} \ll \tau_f \ll \tau_{rep}$ とおける。

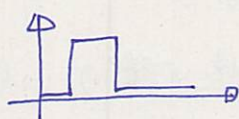
$\tau_f \sim \frac{100\mu s}{300\mu s}$ と設定。

$Cf = 10nF$ とおける。

$$Rf = \frac{100 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-9}} = 10 \times 10^3 = 10k\Omega.$$

程度。

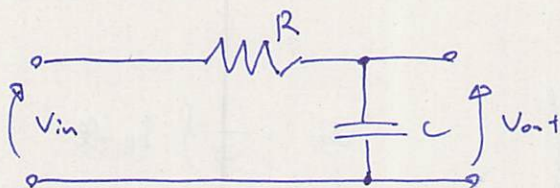
⇒ 結局、



この測定に使うようにする??
(A=700Hz)

いふ、おもしろいこと、違う.....

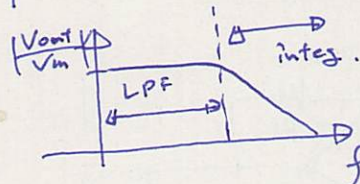
単に長々とした文を写すだけなら、いい??



$$V_{out} = \frac{(j\omega C)^{-1}}{R + (j\omega C)^{-1}} V_{in} = \frac{1}{1 + j\omega CR} V_{in}$$

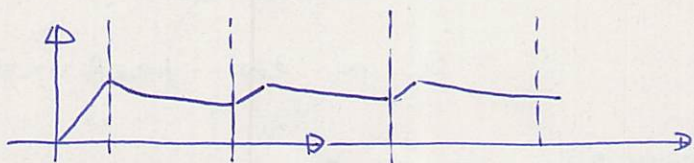
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + j\omega CR} = \frac{1}{1 + j2\pi \cdot (f/\tau_{RC})^{-1}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f \gg \tau_{RC} \text{ のとき, } \frac{V_{out}}{V_{in}} \rightarrow 1 \rightarrow 1.0 \text{ (LPF)} \\ f \ll \tau_{RC} \text{ のとき, } \frac{V_{out}}{V_{in}} \rightarrow \frac{1}{j\omega} \rightarrow \frac{1}{j2\pi f CR} \end{array} \right.$$



$$\sim \frac{1}{CR} \int dt \rightarrow \text{積分}$$

$\tau_{RC} \gg \tau_{rep}$ とき



$\tau_{RC} \gg \tau_{rep} \rightarrow f_{RC} \ll 1$
⇒ LPF 動作

この動作か??

e.g.) 5ms だとすると、

$$10nF \cdot R = 10ms$$

$$R = \frac{10 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-9}} = 10^6 = 1M\Omega.$$

結果

40 - ⑦ - ⑩ を構成すると、

1MΩ, 10nF のコンデンサ、10mA 電流源は、3V、3V 近い値が得る.....

④ 電流の測定回路について、

測定回路の A/D 変換部、

・ I²C センサ + ADC の組み合わせでいい、高速性に配慮が必要、

- AD11991 (1μs 変換)

他、数 100 pps → 遅い...

- I²C センサは ~~遅い~~ ファスト エドジェ 5MHz 程度、

3μs 10V の分解は あらう...

⇒ 好程度、直流 ~~変換~~ 演算が必要か？

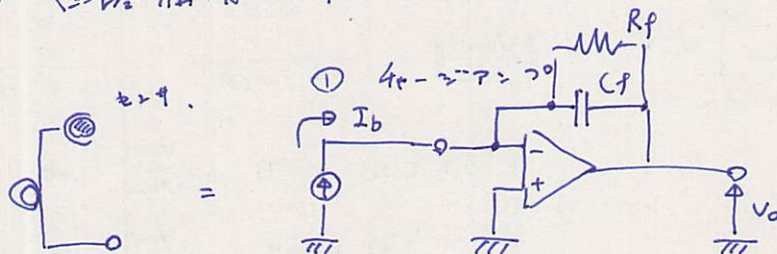
・ 4-20mA (電荷-電圧変換回路) (90°遅れ)

・ トランスインピーダンスアンプ (電流-電圧変換回路) (同相)

・ 積分回路 (電圧入力型、555 かな?)

ちなみに、トランスインピーダンスアンプ + 積分回路、か？

・ 回路構成は 様々な変化



$$V_o = \frac{1}{C_f} \int I_b dt$$

(10mA くらい)

$$3\mu s \cdot 200 \mu A = 900 \frac{nC}{n}$$

$$C_f = 1\mu F \text{ くらい}$$

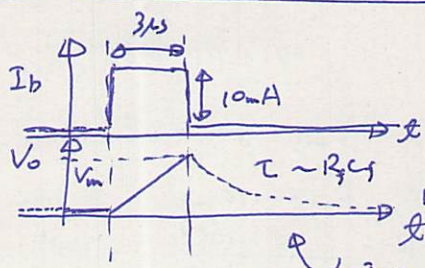
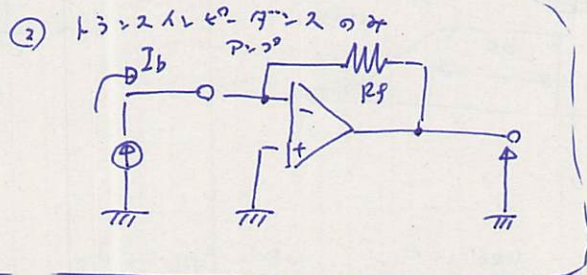
$$V_o = \dots 10^6 V ?$$

破綻している

$$V \sim 5V \text{ くらい}$$

$$Q \sim 3\mu s \cdot 10mA \text{ くらい}$$

⇒



放電している

$$RC = \tau \ll \tau_{rep}$$

$$\Rightarrow RC \sim 300\mu s \text{ くらい}$$

充電中の放電時間 (RC = τ >> τb = 3μs)

200 pps → 5ms interval

$$C_f = 1\mu F, Q \sim 3\mu s \cdot 10mA \sim 30nC$$

$$V_m \sim \frac{Q}{C_f} = \frac{30 \times 10^{-9}}{10^{-6}} = 30 \times 10^{-3} = 30mV$$

$$10mA \sim 3V \text{ くらい}$$

10nF

* BPM. の単位? (簡便)

* e^- -A スペクトロメータ

の γ 線. (炭素) の例は ^{12}C の γ 線.
= ^{12}C の散乱.

* BPM.

→ 1 rad 1 m の 1 nm .

→

e^- -A 電流 + 1.0 nA ?

・判定基準

・送電.

・

④ 足利 e^- -A $z=9$. 反応断面積の比較.

・ Born 近似? 適用できる...

①

PWBA (平面波 Born 近似)

$$E_1^{\text{peak}} = \frac{m_1}{m} I_2$$

→ $z=9$ の元素の E_1^{peak} を示す.

{ 水素 13.6 eV
炭素 14 eV ?

⇒ $m_1 = m_2 = m$ のため.

$$E_1^{\text{peak}} = I_2$$

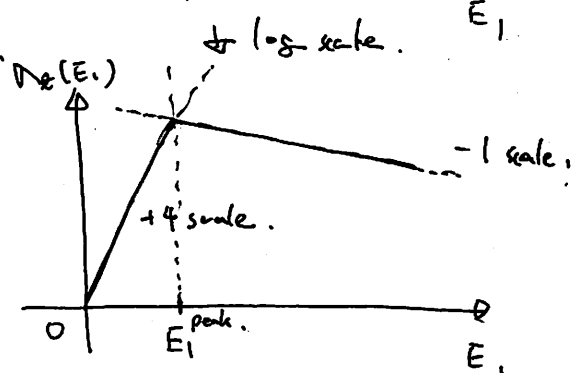
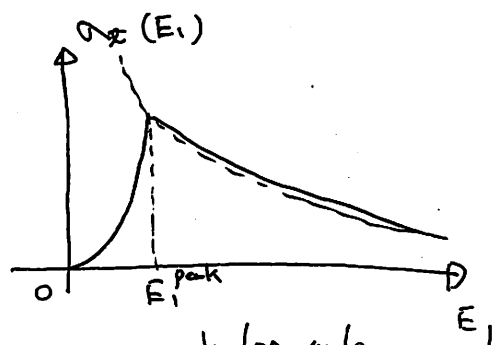
⇒ 軌道電子の束は $z=9$ の e^- と同等のエネルギー

= 等価 $z=9$ の e^- が、一番反応断面積が大きい.
(直感的)

$$E_1^{\text{peak}} \sim 14\text{ eV}$$

1 = 陽子 (今は電子と等しい)

2 = 軽元素



● 10/24(日) 始めて, "TEの資料集" と, "pdf化ツール集" と, "進捗資料記載".

* TEの3枚 (2枚) (1h)

* pdf化ツールの作成, (3h)

* 進捗資料 3枚 (~~1~~1h)

{
・ コント
・ Team
・ Boss

● スライドの作成,

→ 略歴をその, 再利用!! (最小コスト, 重要なのは睡眠時間)

* バランス,

スライド, 全社 17p ほど..

→ 10 min ほど, 20min 会話,

・ TATとは? → 要る?

・ 電子ビーム照射の重要性. (ビーム照射に敏感な)

* 日々の板金製造の戦略.

* 高効率製造ターゲットを..

* 精度の重要性.

* 始めて等て比較.

* 光ファイバー

* 白金片

* ~~エレクトロニクス~~ イエ-ゲンバートル

* 2020. / discussion.

・ 金取 金入上の場合.

→ Rn 金入上の場所と出入口を確認.

Nature

塩化物
Rn
同形??

・ Rn-Be → Rn (大気でも可?)

→ 222 Rn-Be は 好む. Rn 同位体系.

・ NFD (1.5m 以下に好む 222 Rn-Be 可)

→ セルは H₂ 1.2 km.

(大気. 重量は ~~未知~~ 問題系.)

・ 箱崎 → アイト-70 ~~協会~~ 協会.

R2

・ 鹿児島大学. は 大気系.

・ 大気系. → 同系.

・ 譲渡 - 同系.

→ 炭素管 (類似のガス系)

→ ~~H₂~~ ~~炭素~~

炭素管. (研究中) → 高圧 (常用)

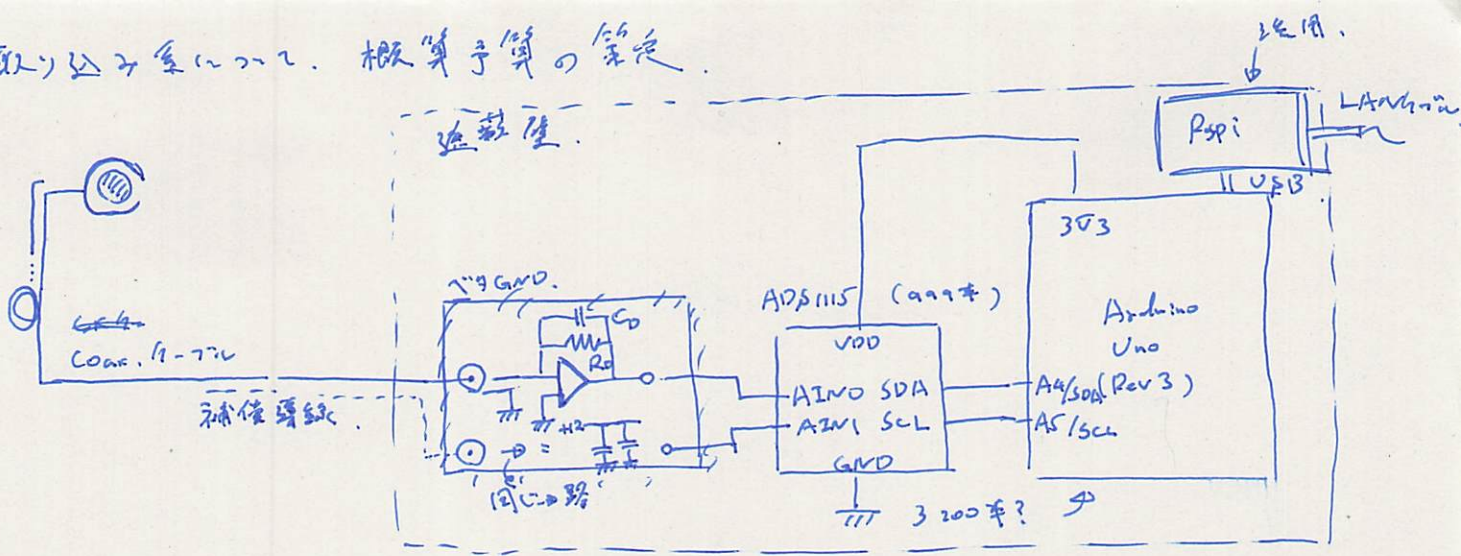
→ 九州大 側の要望の同系.

→ 炭素. の形?

・ R2 協会 が 好む.

・ 山人(株)

4 取り込み系について。概算計算の案。



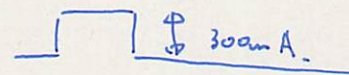
アンプの出力。

- OPA 1618 (220円) 5day?
- ADA 4666-2 (520円) RPI2
- LP SR. 2V/μs

3μs → 300 kHz

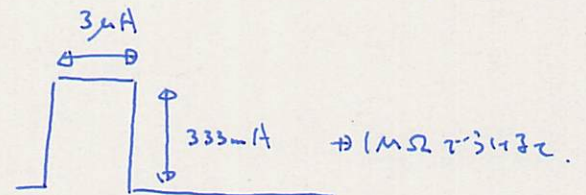
* 2 系統。

- 伝送位 1072 電流。
- 高圧 (1072 電圧)



$$3\mu s \times 200 \text{ pps} = 6 \times 10^{-4}$$

$$200\mu A \rightarrow 333 \text{ mA}$$



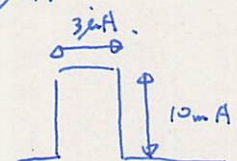
→ 4x ...

3μs → 10kΩ for 2.3172

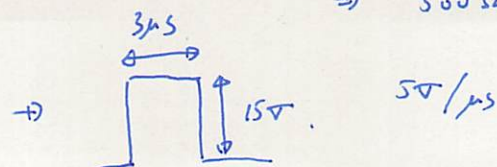
$$333 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^3 = 3.33 \text{ V}$$

1/2. 200μA 5~8μA

⇒ 1/40 for 2.3172



⇒ 500Ω 2.3172 計算か。



☆ 製造 効率

$$0.017 \quad [\mu\text{Ci} / (\text{mg} \cdot \mu\text{A} \cdot \text{h})]$$

⇒ 20 倍 製造 効率 向上

$$\Rightarrow 1.7 \times 10^{-5} \quad [B_g(\text{Ac}) / (B_g(\text{Ra}) \cdot \mu\text{A} \cdot \text{h})]$$

$$(1.7 \times 10^{-5} \quad [MB_g(\text{Ac}) / (MB_g(\text{Ra}) \mu\text{A} \cdot \text{h})])$$

$$\left| \frac{1.7 \times 10^{-5} [B_g(\text{Ac}) / B_g(\text{Ra}) \mu\text{A} \cdot \text{h}]}{\text{必要}}$$

必要

e.g. 1) 200 MBg の Ra , 50 h , 200 μA 電

$$P_{\text{Ac}} = 1.7 \times 10^{-5} \times \frac{200 \times 50 \times 200}{2 \times 10^6}$$

$$= 34 \text{ MBg} \Rightarrow \underline{\underline{34 \text{ MBg}}}$$

e.g. 2) 3.7 GBg の Ra , 144 h , 200 μA 電

$$P_{\text{Ac}} = 1.7 \times 10^{-5} \times \frac{3.7 \times 144 \times 200}{1.6 \times 10^5}$$

$$= 1.8 \text{ GBg} \Rightarrow \underline{\underline{1.8 \text{ GBg}}}$$

e.g. 3) 10 MBg の Ra , 50 h , 200 μA 電

$$P_{\text{Ac}} = 1.7 \times 10^{-5} \times \frac{10 \times 50 \times 200}{10^5}$$

$$\Rightarrow 1.7 \text{ MBg}$$

$$(1.7 \quad [MB_g(\text{Ac}) / (10 \text{ MBg} \cdot 50 \text{ h} \cdot 200 \mu\text{A})])$$

$$1.7 \times \left(\frac{A_{\text{Ra}}}{10 \text{ MBg}} \right) + \left(\frac{T_{\text{beam}}}{50 \text{ h}} \right) + \left(\frac{I_{\text{beam}}}{200 \mu\text{A}} \right) \text{ MBg}$$

"1/2. " 2018. 12. 27. 白金 2018. カートマンマンの完成"
2018年12月27日完成

Todo

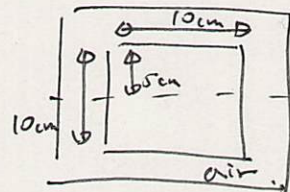
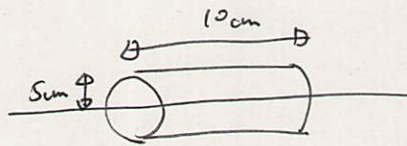
- ~~2018. 12. 27. 完成~~ - ~~2018. 12. 27. 完成~~
- ~~1718. 12. 27. 完成~~ - ~~2018. 12. 27. 完成~~ (2018. 12. 27. 完成)
- ~~2018. 12. 27. 完成~~ - ~~2018. 12. 27. 完成~~ (2018. 12. 27. 完成)
- ~~2018. 12. 27. 完成~~ - ~~2018. 12. 27. 完成~~ (2018. 12. 27. 完成)

- 白金 2018 - コンピュータ付主. 計算.
- 回路構成. - 引出線を特記.
- 原形系に付 見直し. 式作責.
- 金工に付 計算.

- カートマンマン. - 側面 部位. (回線化)
- 15-17.
- 丁工.

~~PC 9 完成~~ - ~~Window 10 22112~~ ~~22112~~ ~~22112~~

- カートマンマンの計算. 至極単純な体系に計算.



- W 値依存性. 5.5.2. 8.1.1.

- 製造部等.

$$\frac{Bq[Ra]}{mg} = 10^{-3} \times 37 \times 10^9 = 37 \times 10^6$$

$$* Bq[Ac] / (Bq[Ra] \mu A h)$$

$$\Rightarrow 1.7 \times 10^{-5}$$

$$\therefore 200 \mu A, 80 hr, 200 MBq-Ra, 2 \times 10^6 \sim 34 MBq$$

四 粒子数 [規格化] (100% 相当), (5% 相当 etc.) を揃える.
 全長, 270 粒子数 x 好程度 用意.

270 粒子 10⁷ 個

200 μ A は 何 粒子 / s ??..

$$N_e = I_e / q_e$$

$$= 1.248 \times 10^{15} \text{ [個/s]}$$

∴ 誤差:
$$\frac{(|1.2501 - 1.248|) \times 10^{15}}{1.248 \times 10^{15}} = 0.13\%$$

0.13% 程度は 全長に於て,
 増えること.

⇒ 270 粒子 と 10⁷ 個. Run 2 ok??.

⇒ 特性として...
 {

- 電流.
- エネルギー
- 厚さ
- 材質.

11/17 (水) 13:31 -

" エネルギーを 加へた いる 疑問点.

- {
- ランダム値の調査.
- 低くした際の 厚さ変化について. → ラスト.

だが, 何の パラメータが?

• 計算について.

{ 何
 10⁷

• 白金電極

- { エネルギーを 加へた, 何 変化した... → 1e-3 が 最小.

• コンタクト

{ コンタクト 何 変化した.

総計 何 の 予測には

使った... ..

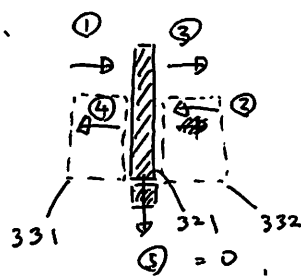
• 白金電極

何 変化した.

電極間の信号 (面積比) の問題は解決.

→ 即ち出た光子 = 入った電子の量は、算出可能.

今の場合、



② は 約 1%

$$\frac{8.4769 \times 10^{12}}{1.2501 \times 10^{15}} \sim 0.7\%$$

③ - ①

$$= 1.2767 - 1.2501$$

$$= 0.0266 \sim 2.1\%$$

整理する.

① 白金に入射した電子 (入射)

$$F_1 = 1.2501 \times 10^{15} \text{ [個]} = F_0$$

② 白金に吸収された電子.

$$F_2 = 1.6230 \times 10^{11} \text{ [個]}$$

$$F_2 / F_0 = \frac{1.623 \times 10^{11}}{1.2501 \times 10^{15}} = 1.29 \times 10^{-4} \sim 0.013\%$$

⇒ ほぼ無視できる.

③ 白金の裏面、後出した電子.

$$F_3 = 1.2767 \times 10^{15} \text{ [個]}$$

$$F_3 - F_1 = 0.02666 \times 10^{15} \text{ [個]}$$

$$\sim 2.66 \times 10^{13} \text{ [個]}$$

$$(F_3 - F_1) / F_1 = 2.127 \times 10^{-2}$$

$$= 2.13\%$$

5.6μA は.

+ 分大さのエリアで測定した場合の 1 + ...

全面積での計算

↓↓

④ 白金前面から即ち出た電子.

$$F_4 = 8.4769 \times 10^{12}$$

$$F_4 / F_0 = \frac{8.4769 \times 10^{12}}{1.2501 \times 10^{15}} = 0.00678$$

$$\sim 0.67\%$$

→ ② = ③ = ④ ...

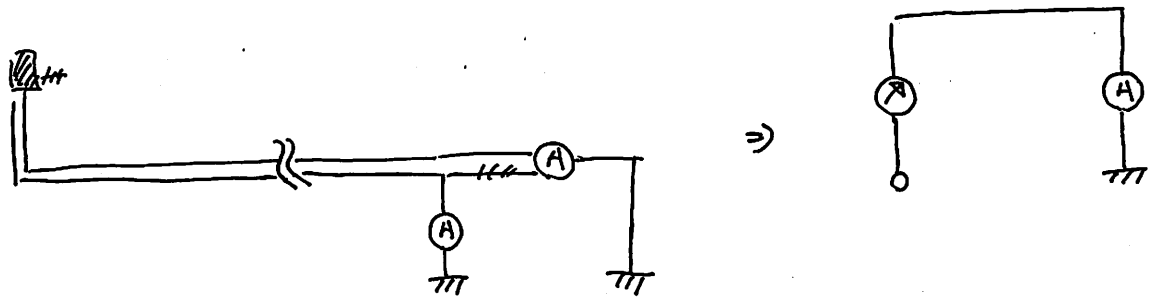
合計の収支関係では、

$$N = \frac{F_3 + F_4 - F_1}{F_1 + F_2} \approx \frac{F_3 + F_4 - F_1}{F_1} = 0.02806 \therefore 2.8\%$$

⇒ 0.8 ~ 200μA 程度、5.6μA 程度.

● 1/3 (2) 白金電流計を7に換えて、橋路を入れた。

① 補償銅線を入れた。



● 若くは1/1000源、(1.5 = 7.5)

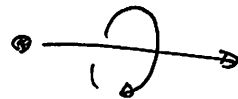
・ 放射線 ($\gamma, n, e, \alpha, \dots$) が、電子・正孔対を起す (1個あたり)

→ GND へ流れる。

→ GND レベルの変動、
(特に電圧分アースの場合)

・ 荷電粒子が、運動。

→ 電場発生、
 $\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = -\mathbf{D} \times \mathbf{E}$



→ 電線が通る。

● 例、電極形状。

・ 電極、曲げかみ型、

→ 簡単。

C型。

$2\pi R$
 $R = 5\text{mm} / 2$
 $= 2.5\text{mm}$

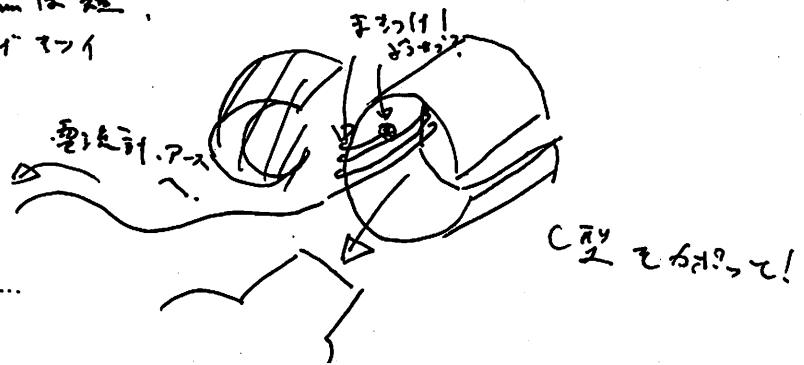
⇒ e.g. 16mm

・ アルミ + 円筒型、 γ 曲げタイプ、

・ ガラス円筒型、 γ 0.1mmは難、曲げタイプ

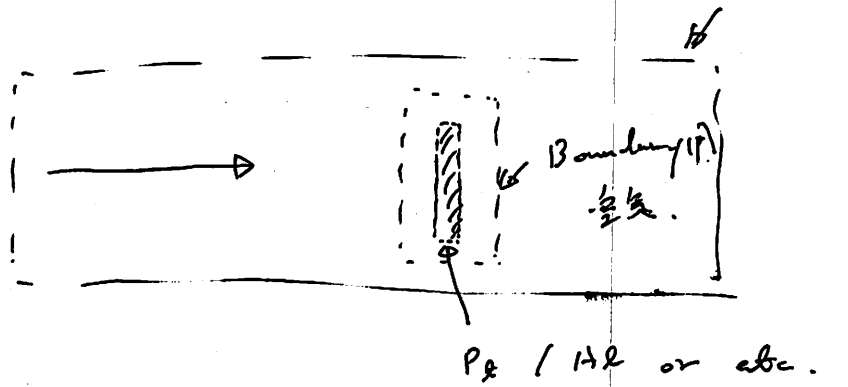
・ アルミ + アルミ + ユーラニウム
(絶縁コート)

→ 曲げ厳し...

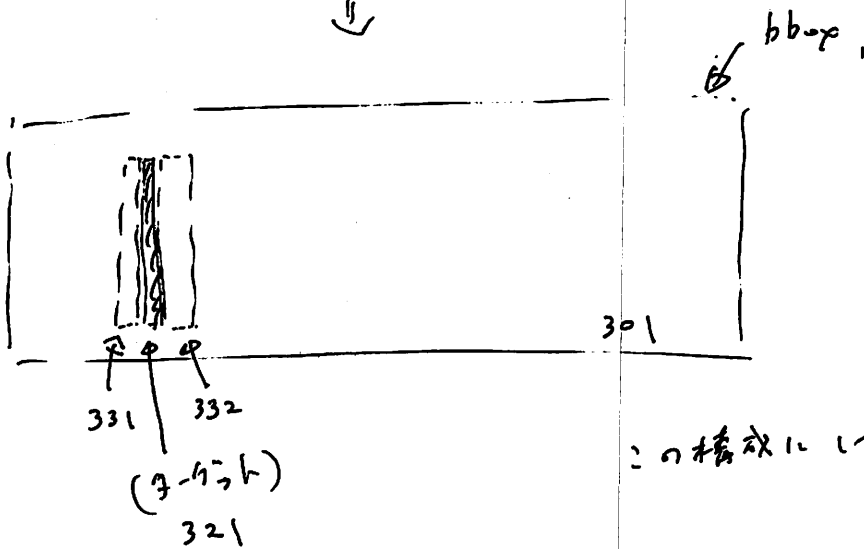


④ 白金の二次電子放出の計算について...

* ジオメトリ

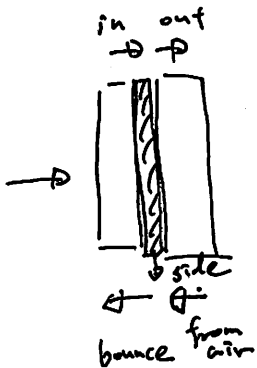


↓



この構成にした...

⑤ 電流の板11を計算



in : 1.2501×10^{15}
 out : 1.2767×10^{15}
 bounce : 1.
 from air : 1.623×10^{11}

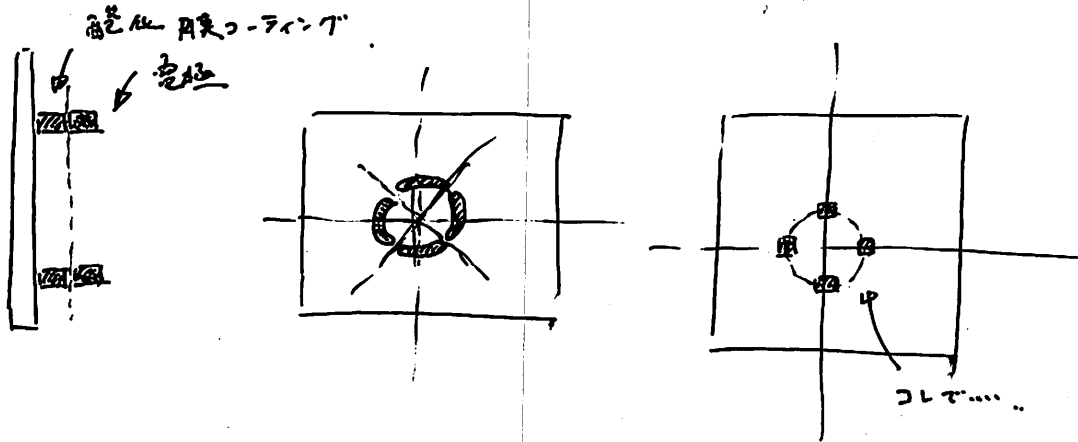
fully-cross の area の
 数値...

（この値は、
 面積に割った値が
 1.0 になる）

この値は、1.0 "area"
 に近づけるように
 計算可能か??

同じ!!

② 1. スラット表面に .

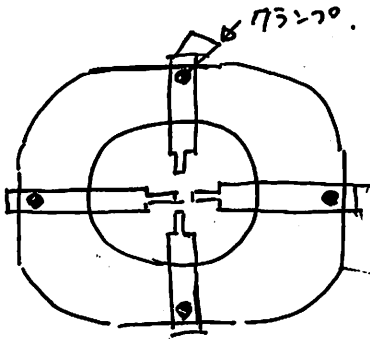


酸化膜は曲げを... のみ
コレで良... ..

⇒ 接着方法の検討が必要 .

耐放射線性の接着材で

or .



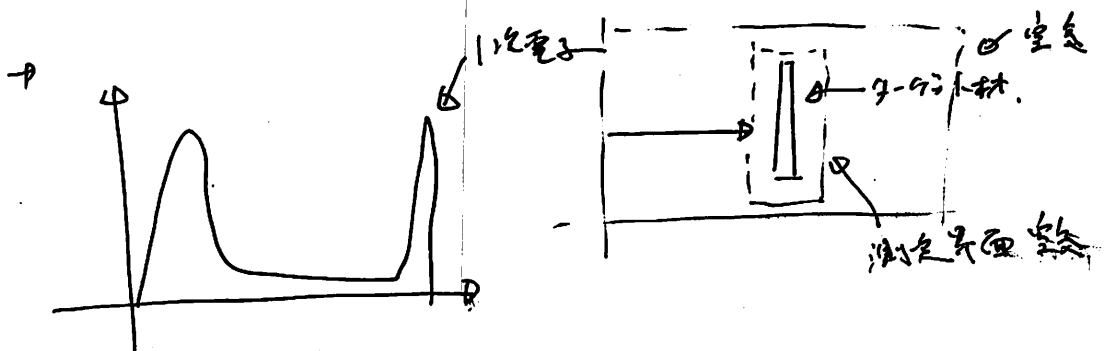
⇒ 位置合わせが 互極面倒

③ 電流の経路について .
(二次電子電流の経路)

回路の考慮が必要 .

⇒ 電流はエミッタからコレクタへ流れる .

⇒ 文献値から 電流の式は合... ..



② 仮置き - 例)

$$\alpha \approx \frac{Z_1^2 E_1^4}{Z_2^{12}} \frac{Z_1^2 E_1^4}{Z_2^{12}}$$

$Z_1 ?? \rightarrow Z_1$ $Z_1 = 1 \text{ として}$

$Z_2 \rightarrow N_2 \rightarrow Z_2 = 1$

$$E_1 = E_1^{\text{peak}}$$

$$\begin{aligned} \alpha (E_1 = E_1^{\text{peak}}) &= \frac{Z_1^2}{Z_2^{12}} E_1^4 = \frac{Z_1^2}{Z_2^{12}} (E_1^{\text{peak}})^4 \\ &\sim \frac{1^2}{17^{12}} \cdot (14)^4 \cdot (1.6 \times 10^{-19})^4 \sim \frac{1}{17^8} \cdot 2^4 \sim \frac{16}{5764801} \times (1.6 \times 10^{-19})^4 \\ &\sim 2.77 \end{aligned}$$

③ //

- PDFファイル作成にマウスで良い。
- カズミガ橋駅に... は mC 交付で良いのか?

④ PDF → pdf ファイル。 又は、直接、pdf 生成が早い。 カズミガ橋...

⇒ 全格で。 report lab のように。

⇒ 標準点とは人力採算で知れ。

- ~~標準点と基本図表のリストアップ~~ (ok)

↓

基本の内装>41-11、
④ カズミガ橋>41-11は

→ command.lst

22-1-6-101

~~report lab の基本図表格表コード (exemplar)~~ (ok)

↓

- 印刷ページ設定の知れ。

↓

- ライフリスト (全体) の知れ付け。

↓

- 1人へのワークアウト。

組上げ作業

→ draw-line.py
draw-circle.py
draw-arc.py ... etc.

カズミガ橋の中身、分割 - 部
指定表示してあげる。 どうか。
(通線が内装リストに...

- フォトリソグラフィの件について
- 前回は?
- 前回はスベクトル

• 60% しか?

→ スリは 0 の程度. $1\mu\text{m} / 16\%$ 程度.
2.7 - 2.8 μm 等??

→

→ $1\mu\text{m}$

- 欠陥の修正
- フォトリソグラフィの修正
- エッチ

• コンビニティ - 経路交換

• 酸 → 金属の腐食

• フォトリソグラフィ (水濡れ)
型番. L 系.
1m 追加.

DE - a スリは 0 の程度?
か

• 一部取除確認

• 塗料の塗り、塗り

→ 塗料確認

• 運搬

$10\text{cm} - 90\text{cm} \frac{\text{Su}}{\text{h}}$

1m Su

HAVE.

$$\int \rho(x) \alpha(E) d^3 E$$

④ トリケム, マーケット, オスター,

- TBR 21
- マーケティング
- 原価計算

• 材料

• 輸送 - 陸 - マーケット相互作用

• 圧力限界 22子??

22子??

* マーケット 22子 22子

10/24(火) To Do. "色々整理、スクリプトして、5日くらいで完了"

レガシー

- eDrawings の 仕様書 → 1. の 検索
- report lab の 改定、訂 (、def の 変更?) 極細線 abc.

X 7/11/12

- 70001 (7/11/12) ①
- 70002 7/11/12??

• 70002 銀行

毎分率 営業時間 保証
(4.27) (9.00-15.00)

7/11/12

- 70002 4/11/12 保証
- 70002 保証 (7/11/12) ③
- FU 会議
- 70002 7/11/12 の 資料 ④
- 70002 の 資料 ⑤

70002 7/11/12 の 件

• 70002 作成

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta = 1 - \frac{1}{r} \frac{1}{e^{r-1}} \frac{a^r - 1}{a - 1} \\ a = \exp \left[\frac{\tau_F}{P/P_F} \right] = \exp \left[\frac{\tau_F}{\tau_B} \right] \quad (\tau_B \equiv P/P_F) \end{array} \right.$$

- τ_B が τ の 程度分
- $\eta_0 \equiv \frac{a^r - 1}{a - 1}$ が τ の 程度分

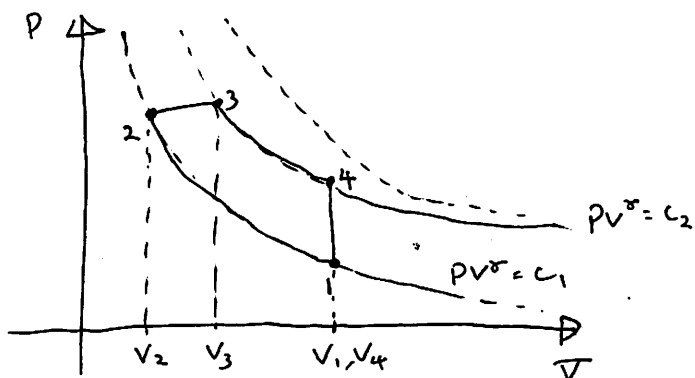
核融合反応

フレイセルの効率

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma}-1} \frac{a^{\gamma}-1}{a-1}$$

$$= 1 - \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{\epsilon^{\gamma}-1} \cdot \frac{a^{\gamma}-1}{a-1}$$

$a = \frac{V_3}{V_2} \Rightarrow$ 核融合反応が置ける内の体積



$\Rightarrow$ 状態は $V_2, V_1=V_4$ に加えて、
第3の状態 V_3 が与えられる。
equilibrium として V_3 を決める。

$\Rightarrow$ T_3 は何故?

$\rightarrow$ 核融合反応、熱を取り出して高圧空間。
(T と関係ある?)

無限関係

$$\Delta U = \int_{x_1}^{x_2} P \cdot V(x) \cdot dx$$

$$= P \int_{x_1}^{x_2} V(x) \cdot dx$$

$$\Delta U = P \Delta V$$

$$dU = p dV = \frac{dW}{const.}$$

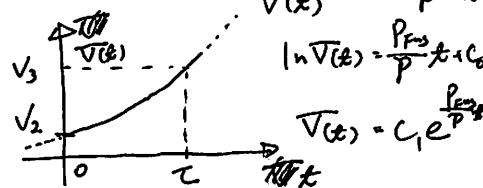
$$P = p \frac{dV}{dx} = P V(x)$$

$$\frac{dU}{dx} = P \cdot V(x)$$

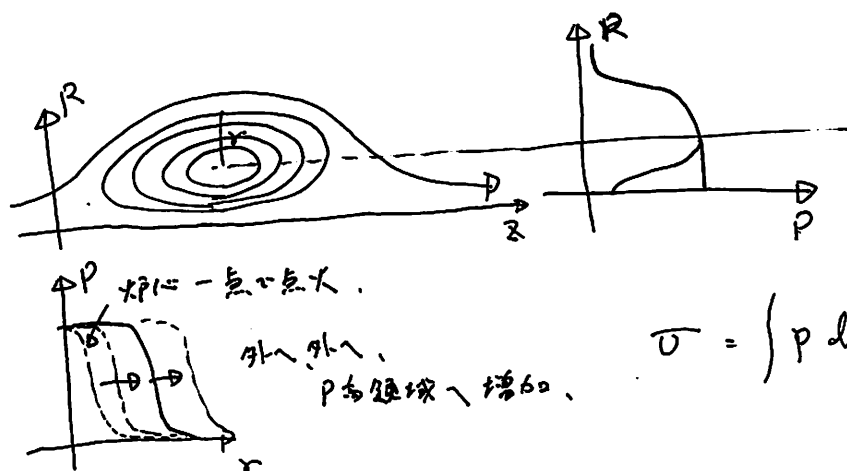
$$\frac{1}{V(x)} dV = \frac{P_{ext}}{P} dx$$

$$\ln V(x) = \frac{P_{ext}}{P} x + C_0$$

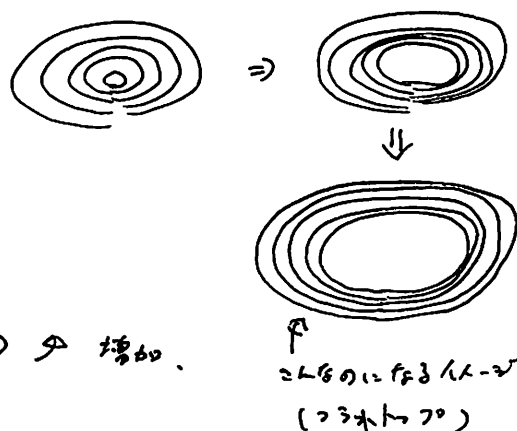
$$V(x) = C_1 e^{\frac{P_{ext}}{P} x}$$



* P-定 (核融合反応可能な $P(T)$)



$$U = \int p dx \Rightarrow \Delta \text{増加}$$



P
このように P が $1/kT$ になる。
($1/kT$ の $1/kT$)

- Thyroid* 2011; 21: 335–347.
- 25) Goldsmith SJ: The real cost of theoretic risk avoidance: the need to challenge unsubstantiated concerns about (131) I therapy. *J Nucl Med* 2011; 52: 681–682.
 - 26) NRC requests input on 131I information resources. *J Nucl Med* 2016; 57: 10N–2N.
 - 27) 田畑雄紀: イギリス医療保障制度の概要. 関西大学経済・政治研究所第196回産業セミナー報告稿(2012年6月). www.kansai-u.ac.jp/Keiseiken/publication/seminar/asset/seminar12/s196_1.pdf(アクセス日 2016.2.18)
 - 28) 真野俊樹: フランス医療制度から日本への示唆: 日本に近い制度を持つ国からの学び. 社団法人農協共済総合研究所研究報告. www.jkri.or.jp/PDF/2011/sogo_63_mano.pdf(アクセス日 2016.2.18)
 - 29) パンキャンジャパン・すい臓がんアクションネットワーク ホームページ. <http://www.pancan.jp/>(アクセス日 2016.2.18)
 - 30) 横浜市立大学大学院医学研究科がん総合医科学 横浜市立大学附属病院臨床腫瘍科・乳腺外科ホームページ. http://www-user.yokohama-cu.ac.jp/~yoncol/aboutus/pancreatic_tumor.html(アクセス日 2016.2.18)
 - 31) 横浜市記者会見発表資料: 「国家戦略特区における横浜市の取組について」. <http://www.city.yokohama.lg.jp/keizai/tokku/kokkatoc/hokengaiheiyoo.pdf>(アクセス日 2016.2.18)
 - 32) 木村利幸, 阪原晴海, 東 達也, 本田豊彦, 小西淳二, 細谷 亮, 他: In-111 ペンテトレオチドによるソマトスタチン受容体イメージングの臨床試験. *核医学* 1996; 33: 447–452.
 - 33) 塩化ラジウム(Ra-223)注射液を用いた内用療法の治療適正使用マニュアル(第2版). <http://www.jsnm.org/ra223/15-11-16>(アクセス日 2016.2.18)
 - 34) 膵・消化管神経内分泌腫瘍(NET)診療ガイドライン作成委員会: 膵・消化管神経内分泌腫瘍(NET)診療ガイドライン 1. 1版(2015年4月). http://jnets.umin.jp/pdf/guideline001_1s.pdf(アクセス日 2016.2.18)
 - 35) ふくしま国際医療科学センターホームページ. <http://www.fmu.ac.jp/fgmisc/>(アクセス日 2016.2.18)
 - 36) 原子力規制委員会: 原子力災害対策指針の全部改正. <https://www.nsr.go.jp/data/000024441.pdf>(アクセス日 2016.2.18)
 - 37) がん診療連携拠点病院の整備について. 第0301001号平成20年3月1日厚生労働省健康局長通知. <http://www.mhlw.go.jp/topics/2006/02/tp0201-2.html>(アクセス日 2016.2.18)
 - 38) 厚生労働省: 資料3. 基準病床数制度について. <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r98520000000zc42-att/2r98520000000zc7d.pdf>(アクセス日 2016.2.18)
 - 39) 日本核医学会: 核医学診療施設における濃度限度等の評価に関するガイドライン. <http://www.jsnm.org/japanese/15-09-17>(アクセス日 2016.2.18)
 - 40) Grigsby PW, Siegel BA, Baker S, Eichling JO: Radiation exposure from outpatient radioactive iodine (131I) therapy for thyroid carcinoma. *JAMA* 2000; 283: 2272–2274.
 - 41) Pant GS, Sharma SK, Bal CS, Kumar R, Rath GK: Radiation dose to family members of hyperthyroidism and thyroid cancer patients treated with 131I. *Radiat Prot Dosimetry* 2006; 118: 22–27.
 - 42) Willegaignon J, Stabin MG, Guimarães MI, Malvestiti LF, Sapienza MT, Maroni M, et al: Evaluation of the potential absorbed doses from patients based on whole-body 131I clearance in thyroid cancer therapy. *Health Phys* 2006; 91: 123–127.
 - 43) de Carvalho JW, Sapienza M, Ono C, Watanabe T, Guimarães MI, Gutterres R, et al: Could the treatment of differentiated thyroid carcinoma with 3.7 and 5.55 GBq of (131I) NaI, on an outpatient basis, be safe? *Nucl Med Commun* 2009; 30: 533–541.
 - 44) Kusakabe K, Yokoyama K, Ito K, Shibuya H, Kinuya S, Ito M, et al: Thyroid remnant ablation using 1,110 MBq of 131I after total thyroidectomy: regulatory considerations on release of patients after unsealed radioiodine therapy. *Ann Nucl Med* 2012; 26: 370–378.
 - 45) 文部科学省: 放射線等に関する副読本. http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/detail/1311072.htm(アクセス日 2016.2.18)
 - 46) 厚生労働省社会医療診療行為別調査. 平成26年社会医療診療行為別調査の概況. <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/sinryo/tyosa14/>(アクセス日 2016.2.18)
 - 47) 渋谷 洋, 杉野公則, 長浜充二, 北川 亘, 伊藤公一: 外科医からみた内用療法の意義・限界. *日本内分泌・甲状腺外科学会雑誌* 2013; 30: 122–126.
 - 48) Cooper DS, Doherty GM, Haugen BR, Kloos RT, Lee SL, Mandel SJ, et al: Revised American Thyroid Association management guidelines for patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer. *Thyroid* 2009; 19: 1167–1214.
 - 49) International Union Against Cancer (UICC): TNM Classification of Malignant Tumours, 7th Edition. Wiley-Blackwell, USA, 2009.
 - 50) The American Thyroid Association (ATA) Guidelines Taskforce: 2015 American Thyroid Association management guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer on thyroid nodules and differentiated thyroid cancer. [http://thyca.org/download/document/409/DTCguidelines.pdf#search=%272015+american+thyroid+association+management+guidelines+for+adult+patients%](http://thyca.org/download/document/409/DTCguidelines.pdf#search=%272015+american+thyroid+association+management+guidelines+for+adult+patients%27)(アクセス日 2016.2.18)
 - 51) O'Neill CJ, Oucharek J, Learoyd D, Sidhu SB: Standard and emerging therapies for metastatic differentiated thyroid cancer. *The Oncologist* 2010; 15: 146–156.
 - 52) Yim JH, Kim WB, Kim EY, Kim WG, Kim TY, Ryu JS, et al: The outcome of first reoperation for locoregionally recurrent/persistent papillary thyroid carcinoma in patients who initially underwent total thyroidectomy and remnant ablation. *J Clin Endocrinol Metab* 2011; 96: 2049–2056.
 - 53) Yim JH, Kim WB, Kim EY, Kim WG, Kim TY, Ryu JS, et al: Adjuvant radioactive therapy after reoperation for locoregionally recurrent papillary thyroid cancer in patients who initially underwent total thyroidectomy and high-dose remnant ablation. *J Clin Endocrinol Metab* 2011; 96: 3695–3700.
 - 54) Nixon IJ, Whitcher MM, Palmer FL, Tuttle RM, Shaha AR, Shah JP, et al: The impact of distant metastases at presentation on prognosis in patients with differentiated carcinoma of the thyroid gland. *Thyroid* 2012; 22: 884–889.
 - 55) Orosco RK, Hussain T, Brumund KT, Oh DK, Chang DC, Bouvet M: Analysis of age and disease status as predictors of thyroid cancer-specific mortality using the surveillance, epidemiology, and end results database. *Thyroid* 2015; 25: 125–132.
 - 56) Mazurat A, Torroni T, Hendrickson-Rebizant J, Benning H, Nason RW, Pathak KA: The age factor in survival of a population cohort of well-differentiated thyroid cancer. *Endocr Connect* 2013; 2: 154–160.
 - 57) Machens A, Dralle H: Correlation between the number of lymph node metastases and lung metastasis in papillary thyroid cancer. *J Clin Endocrinol Metab* 2012; 97:

④ フォーセルの効率

$$\eta = 1 - \frac{1}{r} - \frac{1}{\varepsilon r - 1} \cdot \frac{r^r - 1}{r - 1}$$

1972-9 入札、計算は可能、

$$\left[\eta = e^{\frac{\tau_F}{\tau_0}} = e^{\frac{1}{(P/P_F)} \tau_F} \right]$$

$$f(r) = \frac{r^r - 1}{r - 1} \quad r = 2, 3, \dots$$

$$r \rightarrow 0 \text{ 時}, \quad \frac{V_3}{V_2} \rightarrow 0 \quad (V_3 \rightarrow 0 \text{ or } V_2 \rightarrow \infty)$$

$$\text{また}, \quad V_3 > V_2 \quad \therefore V_3/V_2 > 1$$

$$r \rightarrow \infty \text{ 時}, \quad V_3 \gg V_2$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} f(r) = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{r^r - 1}{r - 1} = \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{r^{r-1} - \frac{1}{r}}{1 - \frac{1}{r}} \quad (\text{可能})$$

$$(r > 1 \text{ 時 } r = \frac{f+2}{f} \text{ として}, \quad r = 1 + \frac{2}{f}, \quad f = 1, 2, 3, \dots)$$

よって $r > 1$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} f(r) = r^{r-1} \rightarrow \infty$$

$$r \rightarrow 1 \text{ 時}, \quad \frac{V_3}{V_2} \rightarrow 1$$

$$\begin{aligned} \lim_{r \rightarrow 1} f(r) &= \lim_{r \rightarrow 1} \frac{r^r - 1}{r - 1} = \lim_{r \rightarrow 1} \frac{r^r - 1}{r - 1} = \lim_{r \rightarrow 1} \frac{r^r - 1}{r - 1} = \lim_{r \rightarrow 1} \frac{r^r - 1}{r - 1} \\ &= \lim_{r \rightarrow 1} r \cdot r^{r-1} = 1 \end{aligned}$$

この場合、

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon r - 1} \quad (\text{Otto cycle})$$

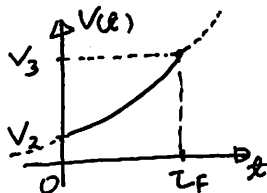
・ 核融合出力 τ の関係、

$$\Delta U = \int_{t_1}^{t_2} P_F \cdot V(t) dt = P_F \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt$$

同様、

$$\left. \begin{aligned} dU &= P_F V(t) dt \\ dW &= p dV = dU \end{aligned} \right\} \rightarrow p \frac{dV}{dt} = P_F V(t) \quad \therefore \frac{dV}{dt} = \frac{P_F}{p} V(t)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{V} dV = \frac{P_F}{p} dt \quad \therefore V(t) = C_1 e^{\frac{P_F}{p} t}$$



$$\left\{ \begin{aligned} t=0 \text{ 時 } V &= V_2 \\ t=\tau_F \text{ 時 } V &= V_3 \end{aligned} \right.$$

$$V(t) = V_2 e^{\frac{P_F}{p} t}$$

$$\frac{V_3}{V_2} = e^{\frac{P_F}{p} \tau}$$

$$\alpha = e^{\frac{P_F}{p} \tau}$$

$\Rightarrow$ の式は、

圧力 p で 永続燃焼 して、

周囲へ 表面伝熱、

核融合出力 P_F 一定の場合、

$$P / P_F = \tau_B \text{ 一定値} \dots$$

$$P \text{ [J/m}^3]$$

$$P_F \text{ [W/m}^3] = \text{[J/s/m}^3]$$

$$\left. \begin{aligned} P \text{ [J/m}^3] \\ P_F \text{ [W/m}^3] = \text{[J/s/m}^3] \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{unit} = [\text{s}]$$

$$\Rightarrow V(t) = V_2 e^{\frac{1}{\tau_0} t}$$

$$V_3 = V_2 \cdot e^{\frac{\tau_F}{\tau_0}}$$

$$\left[\frac{V_3}{V_2} \right] = \exp \left[\frac{\tau_F}{\tau_0} \right] = \alpha$$

$$\alpha = e^{\frac{\tau_F}{\tau_0}}$$

or

$$\frac{\tau_F}{\tau_0} = \ln[\alpha] \Rightarrow \alpha = e^{\frac{\tau_F}{\tau_0}}$$

それ以外 ... ?

$\alpha = \text{const.}$ 一定値で定まる。

??.

τ_F ??

10/22 (水)

■ eDrawings の印刷に 関しては、

- ・ 印刷の場所、
- ・ 単位設定、

※ 共に未知数、(資料必要)

⇒ は、こゝ、

■ report lab 案について、ワークシートを作成しておく、

- ・ def → pld 変換シート系 ... ①
- ・ pld 直生成系、... ②

① ① に 2.1.2 は、19-7 毎に def 分割が必要、A3 ページ分割を
考える必要がある、2 階問題、

- ・ def の生成単位、
 - ・ A3 ページ分割を
- ・ ezdef 側
 - ・ report/lab 側

② A3 ページ分割をどうするか、基準点が、どうしてページ間に存在しない、
機械座標を指定、

※ 面倒かつミスの混入、

序列、① → ②、分、

例として、② として pld を作る、→ 画面外に平行移動、

とか？

※ 画面外への移動、？

④ 削除がどうなる??

10/21 (土)

{ * 拡張式/2, フォント, 作成.
 * 圧縮24-1127" 若2子
 * 不安定 若2子,

{ * レイアウトソフト作成,
 { 分割,
 { U2,
 { 別18-7,
 * ステップ.

{ * 総量計算.

eDrawingsの印刷に関する問題

10/22 (日)

• レイアウトソフト, ~~作成~~.

分割, → paperspace 版が好む, corell Draw で使用すると
可能性が好む

⇒ { - pdf 等へ直す.
 { - modelspace は中央に書き出す...

• pdf への変換については, or pdf 直書き.....

→ dxf ファイルをどう...? 命令で書き出す?

⇒ dxf に版がある, 書き出し, 図形をそのまま書き出す

→ 27 枚ある, report tab を DL にする, 基本として
作る必要がある.

• 例として, 中央の図の例.

look before you leap.



→ report tab をどう作るか.

→ dxf の仕様, 書き出し, 変換の
手順を確認

① L-A4 → 7 - 120, 作成,

• 分割ル-42の作成,

• c2 dxf の 分割 2221 の 調査
+ 全数,

前回 参考した =

結局, 2つの 空間

$\left\{ \begin{array}{l} \text{モデル空間} \rightarrow \text{作成} \\ \text{印刷空間} \rightarrow \text{複製, 移動, 保存} \end{array} \right.$

model space

paper space

⇒ 1つのモデルの, 色2つ
2221作成に分割

② paper space の tutorial 2 冊, 2冊

→ ok,

③ paper space の dxf 保存??

→ corel Draw は 中央に 1200x1200 (200x200) の 文面あり,

→ 基本構想が 不成立の 可能性あり,

→ dxf を 領域分割 (model 多次元) 毎面への 移動が 必要.
(全1200x1200 paper space 2221??)

④ 何となく, 任意領域の表示 (L-A4 → L-A4) は 2221!!

⇒ 何となく, 1200x1200 が 1200x1200 2221!!

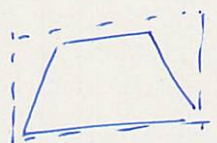
L =



$$L(a, b, h) = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

$$L(a) = (b-a) \cdot \frac{1}{2} \cdot h$$

$$b = \frac{2}{h} \cdot L(a) + a$$



bb +

また, A4 (e.g.) A17.2
bb 2 冊 42, 領域を
保存.

⇒ 任意の 2221 を 規定 A17.2 の 2221 作成 完了

10/20 43-2

- ・ 管内 " 資源、取扱 "
- ・ 管内 " 資源 " 中 (同) 1 報告
- ・ 管内 " 資源 " 製造量 (同)

~~資源、取扱~~

- ・ 管内 " 資源 " 中 (同) 1 報告
- ・ 管内 " 資源 " 製造量 (同)
- ・ 管内 " 資源 " 取扱 (同)

1-4-19 管内 " 資源 " 取扱

- 4375–4382.
- 58) Maier TM, Schober O, Gerß J, Görlich D, Wenning C, Schaefers M, et al: Differentiated thyroid cancer patients more than 60 years old paradoxically show an increased life expectancy. *J Nucl Med* 2015; 56: 190–195.
 - 59) Verburg FA, Mader U, Tanase K, Thies ED, Diessl S, Buck AK, et al: Life expectancy is reduced in differentiated thyroid cancer patients ≥ 45 years old with extensive local tumor invasion, lateral lymph node, or distant metastases at diagnosis and normal in all other DTC patients. *J Clin Endocrinol Metab* 2013; 98: 172–180.
 - 60) Jukkola A, Bloigu R, Ebeling T, Salmela P, Blanco G: Prognostic factors in differentiated thyroid carcinomas and their implications for current staging classifications. *Endocr Relat Cancer* 2004; 11: 571–579.
 - 61) Ebihara S, Saikawa M: Survey and analysis of thyroid carcinoma by the Japanese society of thyroid surgery. *Thyroid Clin Exp* 1998; 10: 89–95.
 - 62) 北川 亘, 清水一雄, 赤須東樹, 田中茂夫: 内分泌外科シリーズ 第9報: 甲状腺癌の疫学に関する最新のデータ. *J Nippon Med Sch* 2003; 70: 57–61.
 - 63) Kammori M, Fukumori T, Sugishita Y, Hoshi M, Shimizu K, Yamada T: Radioactive iodine (RAI) therapy for distantly metastatic differentiated thyroid cancer (DTC) in juvenile versus adult patients. *Endocr J* 2015; 62: 1067–1075.
 - 64) Ito Y, Ichihara K, Masuoka H, Fukushima M, Inoue H, Kihara M, et al: Establishment of an intraoperative staging system (iStage) by improving UICC TNM classification system for papillary thyroid carcinoma. *World J Surg* 2010; 34: 2570–2580.

Radioisotope Therapy of Japan: Future Perspective and Recommendations

Tatsuya HIGASHI,¹ Shuji IKEBUCHI,² Mayuki UCHIYAMA,³ Noboru ORIUCHI,⁴
Seigo KINUYA,⁵ Makoto HOSONO,⁶

¹ Department of Molecular Imaging and Theranostics, National Institute of Radiological Sciences, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

² Japan Radioisotope Association

³ Department of Radiology, The Jikei University School of Medicine

⁴ Advanced Clinical Research Center, Fukushima Global Medical Science Center, Fukushima Medical University

⁵ Department of Nuclear Medicine, Institute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences Kanazawa University

⁶ Institute of Advanced Clinical Medicine, Faculty of Medicine, Kindai University

In Japan, because of the rapid increase in the number of thyroid cancer patients and the recent severe shortage of radioisotope therapy wards, the prolonged waiting time for the admission to the radioisotope therapy wards has become a social problem. This situation is against one of the main purposes of the Cancer Control Promotion Plan of our nation, which is advocating an equal accessibility of medical care for the Japanese citizens. In 2015, diet discussions about the problems of radioisotope therapy took place and the prime minister stated that the promotion of radioisotope therapy is one of the most important issues in Japan, therefore further promotion of research and development is anticipated in this field. In this article, we have summarized the problems during radioisotope therapy, and have added our recommendations in the social and medical realizable countermeasures in future, according to the deep considerations of medical economy in Japan, an assumption of disease prevalence of thyroid cancer in the future, and the situations of foreign countries.

Key words: radioisotope therapy, radioiodine, thyroid cancer, nuclear emergency medicine, healthcare system

Ra / Ac 合計で 200MBq 以下.

- $Rn = 0$.
ラドンを減らさない.
→ BG 以下.

• 一般家屋同様の $Rn = 0$.

• HEPA フィルター. → 汚染したくない.

• 負圧維持. 循環

• Rn 放出条件.

• 9月中旬 - → $1/8$ にする.
(施設検査)

→ 今の許可必須.

• 内部 1/1000 - ドラフトを少し:

• 入口 左側.

第3室の GB - $0.1\%/h$ 以下.
 $0.012\%/h$

→ 同室互いのリーク率.
(相互に使用)

↓
 $0.1\%/h$ を保証.

半日、 N_2 流す.

O_2 濃度、 0.1% 程度に保つ.

→ GB の仕様確認.

③ 5cm の遮断

→ 圧力圧可分できる.

→ 漏れを減らす.

試験運転 (コルト) が重要.

場所をくくることが重要.

GB の作製 (規定)

シール内張り.

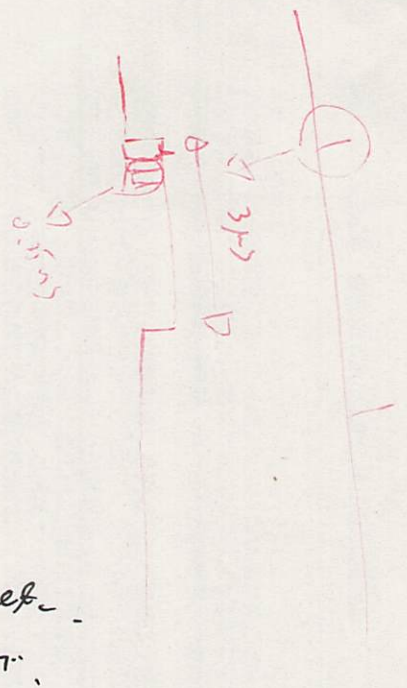
→ $\left\{ \begin{array}{l} 1/1000 \text{ 以下} \\ \text{作製手順} \\ \text{圧力計} \\ \text{両面計} \\ \text{274 トラップ} \\ \text{Rn トラップ} \\ \text{Rn } z=0 \end{array} \right\}$

5MBq / day

10MBq / 3m

30MBq / 保管.

あとセルの設計が? ?



、および、前記標的の位置における前記荷電粒子ビームまたは前記放射線のビーム中心からのビームの拡がりのうち、一以上を求める放射性核種製造システム。

【請求項 1 1】

荷電粒子を加速する加速器と、前記加速器により加速された荷電粒子ビーム、または、前記荷電粒子ビームにより発生させた放射線の照射によって核反応で放射性核種を生成する標的と、を備えた放射性核種製造システムを用いて放射性核種を製造する放射性核種製造方法であって、

前記放射性核種製造システムは、

- 10 前記荷電粒子ビームの進行方向における前記標的の後方に、前記荷電粒子ビームを検出する粒子検出器であって、前記荷電粒子ビームとの相互作用を生じる破壊型モニタを備え、

前記破壊型モニタによって測定された前記荷電粒子ビームまたは前記放射線の強度の空間的分布に基づいて、前記標的の位置における前記ビームプロファイルとして、前記荷電粒子ビームまたは前記放射線の強度の空間的分布、前記荷電粒子ビームまたは前記放射線のビーム中心の位置、および、前記荷電粒子ビームまたは前記放射線のビーム中心からのビームの拡がりのうち、一以上を求める放射性核種製造方法。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載の放射性核種製造方法であって、

- 20 前記標的の位置における前記ビームプロファイルは、前記破壊型モニタによって測定された前記荷電粒子ビームまたは前記放射線の強度の空間的分布を、前記標的の位置における前記荷電粒子ビームまたは前記放射線の強度の空間的分布に写像変換することによって求められ、

前記破壊型モニタによって測定された測定結果と前記標的の位置について求められた結果との相関関係を評価して、前記標的の位置における前記ビームプロファイルを求める放射性核種製造方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の放射性核種製造方法であって、

前記相関関係の評価は、前記放射性核種製造システムを模擬した計算体系を用いて数値解析を利用して行われ、

- 30 前記破壊型モニタによって測定された測定結果と前記数値解析によって解析された解析結果との比較、または、前記測定結果に基づく前記荷電粒子ビームの状態と、前記解析結果に基づく前記荷電粒子ビームの状態とが比較される放射性核種製造方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 1 に記載の放射性核種製造方法であって、

求められた前記ビームプロファイルに基づいて、前記荷電粒子ビームの照射の継続、前記荷電粒子ビームの照射の停止、前記荷電粒子ビームの照射方向の調整、または、前記加速器の運転パラメータの調整が行われる放射性核種製造方法。

【請求項 1 5】

- 40 荷電粒子を加速する加速器と、前記加速器により加速された荷電粒子ビーム、または、前記荷電粒子ビームにより発生させた放射線を照射される標的と、を備えた加速器システムであって、

前記荷電粒子ビームの進行方向における前記標的の後方に、前記荷電粒子ビームを検出する粒子検出器であって、前記荷電粒子ビームとの相互作用を生じる破壊型モニタを備える加速器システム。

【書類名】要約書

【要約】

【課題】標的に対して照射される放射線のビームプロファイルを、破壊型モニタを用いてリアルタイムで監視することが可能であり、ビームプロファイルに応じて標的に対する適切な照射を行うことができる放射性核種製造システム、放射性核種製造方法および加速器システムを提供する。

- 10 【解決手段】荷電粒子を加速する加速器と、加速された荷電粒子ビーム、または、荷電粒子ビームにより発生させた放射線の照射によって核反応で放射性核種を生成する標的とを備えた放射性核種製造システムであって、荷電粒子ビームの進行方向における標的（T 2 0 5, T 2 0 7）の後方に、放射線を検出する検出器であって、放射線との相互作用を生じる破壊型モニタ（T 2 0 6, T 2 0 9）を備える。放射性核種製造方法は、破壊型モニタによって測定された荷電粒子ビームまたは放射線の強度の空間的分布に基づいて、標的の位置におけるビームプロファイルとして、強度の空間的分布、ビーム中心の位置、および、ビームの拡がりのうち、一以上を求めながら放射性核種を製造する。

【選択図】図 2

~~2-2~~ 2-1

4) 発電原理、

①) FRC - 自発電流、

③) (別)

2-2 FRC の安定性、

①) 7075-2 1974-7、

②) 不安定

③) 計測、

< 核融合熱出力、

④ 炉壁、

⑤ 磁場浸透、

⑥ 核融合熱出力、(計算レベル)

$$W_{Fus} \sim n_D n_{He} \langle \sigma v \rangle E_{DHe}$$
$$= \frac{n_i^2}{4} \langle \sigma v \rangle E_{DHe}$$

$$E_{DHe} \sim$$

$$n_i \sim 10^{22}$$

$$\langle \sigma v \rangle @ 100 \text{ keV} \sim$$

10 :	$< 10^{-24}$
50 :	5×10^{-23}
100 :	2×10^{-22}

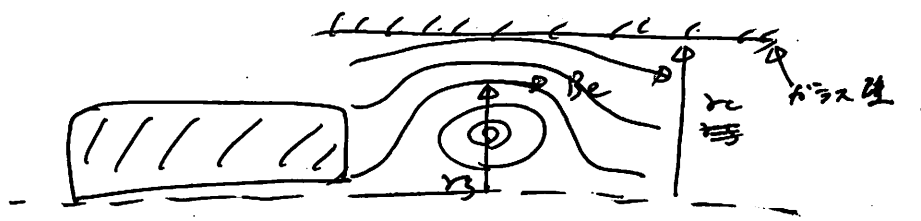
$$E_{DHe} \sim 18.3 \text{ MeV}$$

$$W_{Fus} = \frac{10^{44}}{4} \times \begin{cases} 10^{-24} \\ 5 \times 10^{-23} \\ 2 \times 10^{-22} \end{cases} \times 18.3 \times 1.602 \times 10^{-19}$$

$$[W/m^3]$$

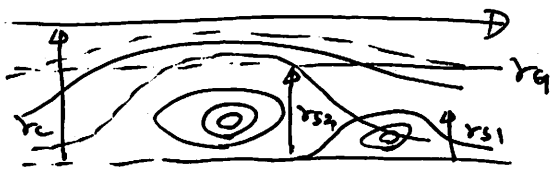
=

④ 6-3 等距. 2 点位置 (r_c) について. 場合.



r_c {
・ 6-3 等
・ 2 点位置.

→ 2 点位置は同心. ため. 注. の r_g 2. r_s 可動域は制限.



$$\begin{cases} r_{s1} \rightarrow Be_1 \\ r_{s2} = r_g \rightarrow Be_2 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow U &= \frac{N^2 \phi^2}{L} \left[\frac{|B|^2}{2} \right]_{\theta_1}^{\theta_2} \\ &= \frac{\mu_0 N^2 \phi^2}{\mu_0 n^2 l_p} \left[\frac{|B|^2}{2 \mu_0} \right]_{\theta_1}^{\theta_2} \\ &= \frac{\mu_0 N^2 \phi^2}{(n l_p)^2 l_p} \left[\frac{|B|^2}{2 \mu_0} \right]_{\theta_1}^{\theta_2} \\ &= \mu_{coil} \cdot l_{coil} \left[\frac{|B|^2}{2 \mu_0} \right]_{\theta_1}^{\theta_2} \\ &= V_{coil} \cdot \left[\frac{|B|^2}{2 \mu_0} \right]_{\theta_1}^{\theta_2} \\ &= V_{coil} \frac{1}{2 \mu_0} (Be_2^2 - Be_1^2) \end{aligned}$$

$$\begin{cases} Be_1 = \frac{B_{acc}}{1 - x_{s1}^2} = \frac{B_{acc}}{1 - (r_{s1}/r_c)^2} \\ Be_2 = \frac{B_{acc}}{1 - x_{s2}^2} = \frac{B_{acc}}{1 - (r_{s2}/r_c)^2} \end{cases}$$

$$U = \frac{V_{coil}}{2 \mu_0} B_{acc}^2 \left[\frac{1}{1 - x_{s2}^2} - \frac{1}{1 - x_{s1}^2} \right]$$

$$= \frac{B_{acc}^2}{2 \mu_0} V_{coil} \left[\frac{(1 - x_{s1}^2) - (1 - x_{s2}^2)}{(1 - x_{s2}^2)(1 - x_{s1}^2)} \right]$$

$$= \frac{B_{acc}^2}{2 \mu_0} V_{coil} \left[\frac{x_{s2}^2 - x_{s1}^2}{(1 - x_{s1}^2)(1 - x_{s2}^2)} \right]$$

$$= \frac{B_{acc}^2}{2 \mu_0} V_{coil} \left[\frac{r_{s1}^2 - r_{s2}^2}{(r_c^2 - r_{s1}^2)(r_c^2 - r_{s2}^2)} \right]$$

$$\begin{aligned} Be_1^2 - Be_2^2 &= r_c^2 \phi_p^2 \left(\frac{1}{r_{s1}^6} - \frac{1}{r_{s2}^6} \right) \\ &= r_c^2 \phi_p^2 \cdot \frac{1}{r_{s2}^6} \left[\left(\frac{r_{s2}}{r_{s1}} \right)^6 - 1 \right] \end{aligned}$$

$$\phi / r_s^2 = \frac{r_s}{r_c} Be$$

$$Be = \frac{r_c}{r_{s3}} \phi_p$$

r_c , ϕ_p は前後で変化する. Be .

④ 9/29(金) 14:15. "CADマット製作"

- 前回状態の図面し. ✓
 - 再 12mm ✓
 - CAD (DxF)のレポート. ✓
 - 全ね書し.
 - 出力 (保存) ✓
 - 部品書し. (~~マッティング~~)
12-マッティング
-

⑤ マット製作. 分類.

- 各マッティング - 欠位置の分類.
- 12mm - 1~8に分類.

④ 本題は理想気体の状態方程式を用いて、

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} \cdot \frac{\alpha^{\gamma-1}}{\alpha(\alpha-1)}$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} \cdot \frac{\alpha^{\gamma}}{\alpha(\alpha-1)}$$

$$\alpha = \frac{V_2}{V_1}$$

$$W = m c_v T_1 [\alpha(\alpha-1) \epsilon^{\gamma-1} - (\alpha^{\gamma} - 1)]$$

$$\left(m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} \right)$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} \cdot \frac{\alpha^{\gamma}}{\alpha(\alpha-1)}$$

⑤

$$\frac{1-\alpha}{1-\alpha^{\gamma-1}} \cdot \frac{1-\alpha^{\gamma}}{1-\alpha^{\gamma-1}} = \frac{(1-\alpha)^{\gamma}}{(1-\alpha^{\gamma-1})^2}$$

$$= \frac{P_1 V_1}{R/c_v} [\alpha(\alpha-1) \epsilon^{\gamma-1} - (\alpha^{\gamma} - 1)]$$

$$= \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} [\alpha(\alpha-1) \epsilon^{\gamma-1} - (\alpha^{\gamma} - 1)]$$

$$P_0 = \frac{n R T_1}{V_1} = \frac{n R T_2}{V_2} \Rightarrow \alpha = \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$V_2 \xrightarrow{\Delta T} V_3$$

$$\alpha = 1 + \frac{\Delta T}{V_2}$$

$$P \Delta T = \Delta U$$

$$= 1 + \frac{P V_2}{\Delta U}$$

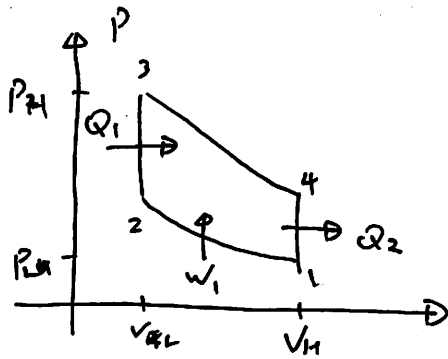
$$\alpha = \frac{1}{P_2 V_2} P_2 V_2 = 1$$

$$\eta = \frac{1}{\gamma-1} [\alpha^{\gamma} - 1]$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} \cdot \frac{\alpha^{\gamma}}{\alpha(\alpha-1)} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} \cdot \frac{\alpha^{\gamma}}{1-\alpha}$$

$$= 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} \cdot \frac{1-\alpha^{\gamma}}{1-\alpha}$$

● p/cn. 熱効率 ~ 2.7 .



$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}}$$

$$W =$$

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_2} \approx 2$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{2} = 0.5 \rightarrow 50\% \text{ ebc.}$$

● エンジン - 効率,

・ フォルツ全成に 使用した エンジン -

→ (電源効率) × (全成効率)

・ 圧縮に 関した エンジン - 効率

→ dQ_{in} 2.7.

→ 断熱圧縮 ~ での 程度 の 温度?? (dQ_{in} (dQ_{out}))

1.2 ~ 1.5 1.6.

→ エンジン - 効率 1.2?

($\epsilon = 2$ の 理熱効率 ~ 0.5)

● 仕事量.

$$dw = m c_n T_1 (\alpha - 1) (\epsilon^{k-1} - 1)$$

$$= \frac{P_1 V_1}{R T_1} c_n T_1 (\alpha - 1) (\epsilon^{k-1} - 1)$$

$$= \frac{P_1 V_1}{(c_p - c_n) / c_n}$$

$$P V^\gamma = \text{const.}$$

$$= \frac{P_1 V_1}{c_p / c_n - 1} (\alpha - 1) (\epsilon^{\gamma-1} - 1)$$

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$= \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} (\alpha - 1) (\epsilon^{\gamma-1} - 1)$$

expression for the bremsstrahlung cross section differential in photon emission angle and energy

$$\frac{d\sigma(k, x)}{dkdx} = \frac{4Z^2}{137} r_0^2 \frac{dk}{k} x dx \left\{ \frac{16x^2 E}{(x^2 + 1)^4} - \frac{(E_0 + E)^2}{(x^2 + 1)^2 E_0^2} + \left[\frac{E_0^2 + E^2}{(x^2 + 1)^2 E_0^2} - \frac{4x^2 E}{(x^2 + 1)^4 E_0} \right] \ln M(x) \right\}, \quad (36)$$

Handwritten notes: 原子序数 Z, 电子半径 r_0, 光子能量 k, 电子能量 E, 初能 E_0, 终能 E, 角度 x, 函数 M(x)

whers

$$\frac{1}{M(x)} = \left(\frac{uk}{2E_0 E} \right)^2 + \left(\frac{Z^{1/3}}{111(x^2 + 1)} \right)^2 \quad (36a)$$

Handwritten notes: u = electron rest energy, k = photon energy, Z = atomic number, x = angle in radians

and

$$x = E_0 \theta / u. \quad (36b)$$

Handwritten notes: \theta = angle in radians, u = electron rest energy, E_0 = initial electron energy, E = final electron energy

In Eqs. (36), E_0 is the initial total electron energy, E is the final total electron energy, $k (= E_0 - E)$ is the energy of the radiated photon, Z is the atomic number of the target element, r_0 is the classical electron radius, u is the rest energy of the electron, and x is the reduced angle of emission of the radiated photon which is a function of the angle θ , in radians, at which the photon is radiated with respect to the initial electron direction. The use of the atomic Thomas-Fermi model in considering the effects of screening lead to exaggerated values of $d\sigma(k, x)$, but the error introduced does not exceed 4% in the worst case when Z is large and screening is intermediate (19,20,46).

Thick-Target Bremsstrahlung Spectra

The arguments previously presented considered only bremsstrahlung

(the so-called tip) when the energy of the emitted photon approaches the kinetic energy of the incident electron and the velocity of the recoil electron is small compared to the speed of light. However, the use of the Born approximation formulas predict bremsstrahlung spectra which agree reasonably well with experiment (19,46).

The most important contributions to bremsstrahlung cross section formulations obtained within the framework of the Born approximation are due to Bethe and Heitler (47), Heitler (48) and Schiff (20). Bethe and Heitler obtained an expression for the bremsstrahlung cross section which is differential in electron angle and in photon angle and energy. Their expression was derived on the assumption that the field of the nucleus is a pure Coulomb field, i.e., no nuclear screening by atomic electrons was considered. Nuclear screening is an important parameter which must be taken into consideration, particularly in the case of bremsstrahlung spectra from high Z targets. Schiff integrated the Bethe-Heitler differential cross section assuming complete screening (20). The expressions he obtained apparently show the best agreement with available experimental data (19,46,50). The Schiff expressions have been widely used in the analysis of experimental results obtained with bremsstrahlung spectra from high-energy accelerators.

In his calculations, Schiff started with the Bethe-Heitler cross section and integrated it assuming that: 1) the initial and final energies of the electron are large compared to its rest energy; 2) the Coulomb field of the atom may be represented by the potential $(Ze/r)e^{-r/a}$ where $a \approx Z^{1/3}$ (Thomas-Fermi model); 3) terms of the order of $(Z^{1/3}/c)^2$ may be neglected. Under these assumptions he obtained the following

自己管系、残り部品リストアップ

重設

1-3024-2 $1/2$ 12mm (I.O. 12mm)

3067 - 10

7L 1/4 - 1m (33700) 20k7 - 10

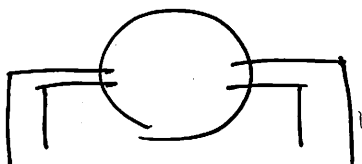
6mm 42-70 Rc 1/4 変換. ~~1270~~ - 20

ホ-22700 Rc 1/4 - 12mm

1k7

7L 7

電気配線図



16mm 6mm

6mm - Rc 1/2

"

" 6mm

6

16mm 12 3/4 区

503 7L 7

32 1514 (Rc 1/2) (307) = Rc 1/2 - ~~2-2~~

4-2 1514
Rc 1/2 -

4-7mm 長

特許 証

000



13h 12 ~~12mm~~ Rc 1/2
D=14mm

【書類名】明細書

【発明の名称】放射性核種製造システム、放射性核種製造方法および加速器システム

【技術分野】

【0001】

本発明は、破壊型モニタを用いたビームプロファイルの監視を行う放射性核種製造システム、放射性核種製造方法および加速器システムに関する。

【背景技術】

【0002】

10 がんの治療法の一つとして、ラジオアイソトープ (radioisotope: RI) を用いた RI 内用療法が知られている。RI 内用療法は、放射性核種が組み込まれた薬剤を投与して患部組織に集積させて、放射性核種が放出する放射線を患部組織に直接照射する治療法である。RI 内用療法に用いる放射性核種としては、 α 線放出核種が注目されている。

【0003】

α 線は、飛程が短く、線エネルギー付与が大きいので、周囲の正常細胞を大きく損傷することなく、がん細胞のみを選択的に破壊できる。そのため、 α 線放出核種を用いる α 線内用療法は、 β 線内用療法等と比較して、高い治療効果が期待されており、臨床への応用が進められている。

【0004】

20 α 線放出核種としては、ラジウム223 (Ra-223)、アスタチン211 (At-211)、アクチニウム225 (Ac-225) 等がある。アクチニウム225は、自然界には殆ど存在しない核種である。従来、アクチニウム225は、トリウム229 (Th-229) からの崩壊によって生産されている。トリウム229は、ウラン233 (U-233) からの崩壊によって生産されている。アクチニウム225は、トリウム229中に生成された後に、化学的分離法等で回収されている。

【0005】

30 従来、トリウム229は、原子力設備において生産されてきたが、核物質防護の観点から生産量が限られており、希少性が高くなっている。治療用のアクチニウム225は、将来的に供給量が不足することが懸念されている。そこで、近年では、加速器を用いてアクチニウム225を製造するプロセスの開発が進められている。加速器を用いてアクチニウム225を製造する方法としては、次の(1)～(3)が知られている。

【0006】

(1) $^{226}\text{Ra} (p, 2n) ^{225}\text{Ac}$ で表されるラジウム226 (Ra-226) の陽子-中性子反応を利用する方法。

(2) $^{232}\text{Th} (p, spall) ^{225}\text{Ac}$ で表されるトリウム232 (Th-232) の陽子による核破砕反応を利用する方法。

(3) $^{226}\text{Ra} (\gamma, n) ^{225}\text{Ra}$ で表される光子-中性子反応の後に、Ra-225の β 崩壊によるAc-225への変換を利用する方法。

【0007】

40 (1) や (2) の方法は、アクチニウム225との分離が困難な不純物核種が生成されるという課題を抱えている。不純物核種としては、半減期が約10日であるアクチニウム225に対して、半減期が約29時間であるアクチニウム226や、半減期が約22年であるアクチニウム227等が生成される。不純物核種は、投与時の安全性や、放射性廃棄物の増大の点で問題となる。また、陽子加速器が必要であるため、加速器が大型になるという課題を抱えている。

【0008】

(3) の方法は、光核反応を用いるため、不純物核種の生成を回避できる利点がある。但し、光核反応の反応断面積は、陽子-中性子反応や核破砕反応と比較して小さい。そのため、原料核種を含む原料物質に対してガンマ線を効率的に照射する必要がある。

【0009】

50 アクチニウム225は、半減期が比較的短い放射性核種である。半減期が短い放射性核

① ~~端子台を置く。~~

② ~~圧着端子を置く。~~

③ ~~70-スリッパを置く。(後量計)~~

④ ~~物許を置く。~~

⑤ ~~自己-インサートの中央を置く。~~

⑥ ~~荷物端子。~~

⑦ ~~3Lを処分する。~~

⑧ ~~部品再整理。~~

⑨ ~~制限なく。~~

⑩ ~~1972にエッジに付する。~~

⑪ ~~東北大学の入を置く。~~

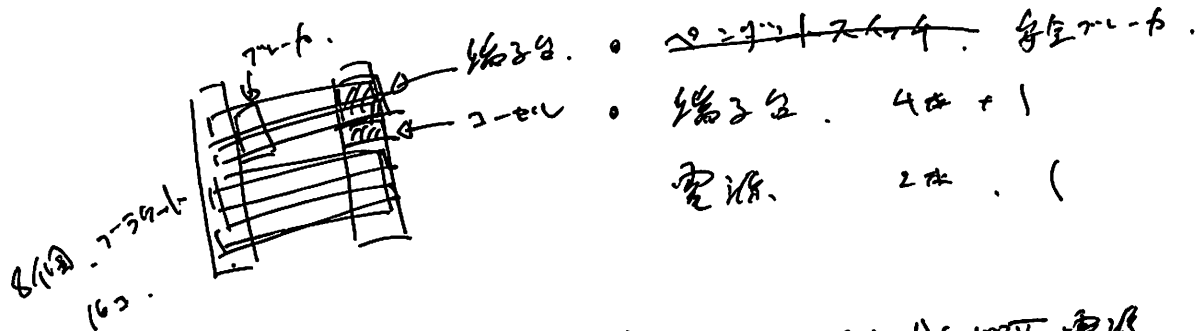
⑥ 端子、端子台の購入について。

必要な端子について。

熱電対 2本 × 2

70-スリッパ 2本。

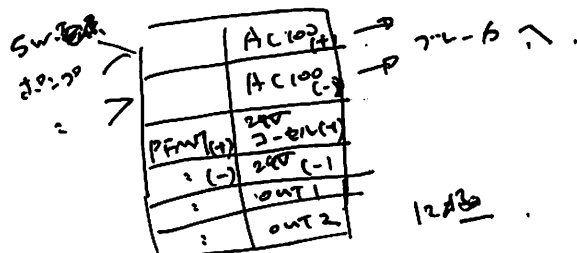
⇒ 6端子、12端子、(16端子)



電源。 2本。(

2-セル { AC ± 1
24V-out

端子台。 2本 AC 100V 電源、



書類

35 - 10 μ A

100 pps

436

11.5 mF

4 μ s

10 pps

主回路

自給電

電源

= 42 L

PFA - IGBT

スリッ

CA 200

1/10

電子銃 電圧調整

3日連続

2m 壁

43-

天 4m

搬入

10 μ A 120 322

10 μ A

240mA 出口 (out)

430mA 入口 (in) 9 100b?

100 μ A 210 μ A

100 μ A 210 μ A

100 μ A 210 μ A 調整

100 μ A 210 μ A - 100 pps

2-43-1 電圧

2-43-1 12 μ A 210 μ A

電子銃 - 電圧調整

→ 100 μ A 210 μ A

100 μ A 210 μ A

2-43-1 電圧

→

100 μ A 210 μ A

100 μ A 210 μ A

電子銃 - 電圧調整

100 μ A 210 μ A

RF - 電圧 - ACC

100 μ A 210 μ A

100 μ A 210 μ A

TAT

3/26

・ 3D 磁場 + 計算機修了 (2840)

・ (ensol1)

→ 260 - → G0

・ windows update + 再起動後 update

・ 磁場 3D 2700 (全体 2700)

・ solidworks (検証)

- ト-40. 直方 + スラット etc.
(2700 1000)

- 壁 置く

- 1000

・ 2700-9

紙設計

3/29 リカ・熱学

熱交換器

温度計

圧機

供列の可能性

• 配管の圧損.

SCP -

ACC - 鋼管 $\phi 12\text{mm} - 2\text{m}$

$$Re = \rho \frac{VL}{\mu} = 997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad V &= \frac{Q}{S} = \frac{12 \text{ L/min}}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{12 \times 10^{-3} / 60 \text{ s}}{\frac{\pi}{4} \times (12 \times 10^{-3})^2} = \frac{0.2 \times 10^{-3}}{\frac{\pi}{4} \times (12 \times 10^{-3})^2 \times 10^{-4}} \\ &= 1.769 = 1.77 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\bullet \quad d = 12 \times 10^{-3}, \quad \epsilon = 1.62 \times 10^{-3}$$

$$\begin{aligned} \epsilon/d &= 1.62 \times 10^{-3} / 1.77 \\ &= 9.15 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow f = 0.02$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad Re &= \rho \frac{VL}{\mu} = \frac{997}{997} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1.77 \times 2}{0.7970 \times 10^{-3}} \\ &= 4.42 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$\bullet \quad f = 0.02 \quad (\text{ Moody 図表 })$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad hf &= f \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \frac{KQ^2}{\pi^2 D^5 g} \\ &= 0.02 \times \frac{2}{12 \times 10^{-3}} \times \frac{6 \times (12 \times 10^{-3} / 60)^2}{(3.14)^5 \times (12 \times 10^{-3})^5 \times 9.8} \\ &= 0.53 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{kg/m}^3 \times$$

$$OP = 0.18 L_c \sqrt[1.75]{\frac{1}{F_s^{1.75} \cdot h^{1.25}}}$$

$$=$$

$$L_c = 2m, \quad F_s = \frac{\pi}{4}, \quad \sqrt[1.75]{\frac{1}{F_s^{1.75} \cdot h^{1.25}}}$$

$$F_s^{1.75} = 0.655$$

$$\begin{aligned} (dh(\text{mm}))^{1.25} &= (dh(\text{m}) \times 10^{-3})^{1.25} \\ &= dh(\text{m})^{1.25} \times 1.778 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

$$(dh(\text{mm}) \times 10^3)^{1.25} = dh$$

$$\begin{aligned} dh(\text{mm}) &= (dh(\text{m}) \times 10^3)^{1.25} \\ &= dh^{1.25} \times 5623 \end{aligned}$$

$$OP_w = 5 \times 10^{-5} \quad 2m \times$$

$$= 0.05 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 0.05 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1}{(10^{-2})^2} = 5 \times 10^{-2} \times 10^4 = 5 \times 10^2 [\text{kg/m}^2]$$

$$= \frac{500 \text{ kg}}{\text{m}^2} = 4900 \text{ N/m}^2$$

$$= 5 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N}$$

② 70372 の排気速度の計算.

$$dU = dQ + dW$$

$$\eta = \frac{dW}{dU} \text{ が 知りた...$$

① $dU = U_{\text{plasma}} + U_{\text{fusion}}$
 $\rightarrow$ 核融合熱出力, $U_{\text{fusion}} = \text{反応断面積} \times \text{計算. [2023 Kinteng]}$
 $\rightarrow$ 初期70372が27. $n_{\text{GT}} = U_{\text{plasma}}$
 $\rightarrow 5 \times 10^{10} \text{ v/m}^3 = V_{\text{plasma}}$

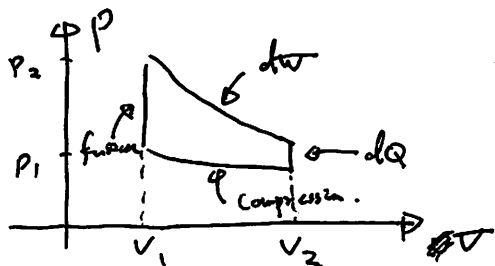
$\Rightarrow$ 評価可能. e.g. 2MJ.

② dW . 10mw / 10Hz $\Rightarrow$ 1mJ / pulse = ~~10mJ~~
 $\rightarrow$ 10mJ (平均値)

$\Rightarrow$ 本当に可能か?

$\Rightarrow U_{\text{plasma}} + U_{\text{fusion}} = dU$ の仕事を取り出すことが可能.

熱サイクル



熱サイクルの熱サイクルか??

断熱膨張 / 圧縮 の仕事
 $\rightarrow$ 等容加熱 / 冷却
 $\rightarrow$ 核融合. $\rightarrow$ 壁への放熱.

2: プラズマ電源列.

30 回の 実験 (13) 6.4 分.
43 - dc レベル.

$$n \sim 100 \text{ 倍}.$$

$$10^{21} \rightarrow 10^{23}$$

$$T \sim 10 \text{ 倍}.$$

$$\mu = \frac{m_{\text{rel}}^2}{2B} \Rightarrow \frac{1}{2} m_{\text{rel}}^2 \rightarrow \text{a.s. } 10^9 \text{ 倍}.$$

$$\sim T = 10^9 \text{ 倍}??$$

$$B \sim 1T \rightarrow 10T.$$

$$\sqrt{\frac{1}{10}} (100^{\frac{1}{3}})^2 = 21.5 \text{ 倍}.$$

$$\times 1\frac{1}{2}$$

$$\times \frac{2}{3} = 10$$

$$\frac{2}{3} \log x.$$

が成り立つから、 $B_2 = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{5}{6}} B_1$

また、温度について同様に

$$T \sim B^{\frac{4}{5}}$$

より、 $T_2 = \left(\frac{B_2}{B_1}\right)^{\frac{4}{5}} T_1$

したがって

$$T_2 = \frac{V_2^{-\frac{2}{3}}}{V_1^{-\frac{2}{3}}} T_1 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 T_1$$

が成り立つ。ただし r はそれぞれの状態のセパトロクス半径。

したがって、単位時間あたりにプラズマが磁場にする仕事 W は

$$W = -\Delta U = \frac{3}{2} N \left(1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2\right) T_1$$

$$= \frac{3}{2} * (7.1e17) * \left(1 - \left(\frac{0.07}{0.1}\right)^2\right) * (1.6e-19 * 14.8MeV)$$

$$= 1.3MJ$$

閉じこめ時間 $\tau_N = 0.4[ms]$ ($r_1 = 0.07[m]$, $n_i = 1e22[m^{-3}]$) では ???

$W = 5.2e-4[MJ]$ のエネルギー取り出しとなる。

10Hz の運転でも 5.2kW 程度の発電容量となる(変換効率 100%仮定)。

閉じこめ時間が、

放電時間か

400ms ??



断熱膨張でかき出すに、常に、

$$(\text{核融合熱出力}) = (\text{電気出力})$$

で良いのでは?



変換の効率の良し悪しを言いたいの??

たいてい、例えば、中あかしにない、この程度、
(~30% etc.)

とかいう...?

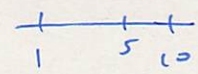
$$10^5 = 5$$

$$\pi = \log_{10} 5$$

$$50 = 50 \log_{10} 10$$

$$5 =$$

$$10^{\frac{1}{2}}$$



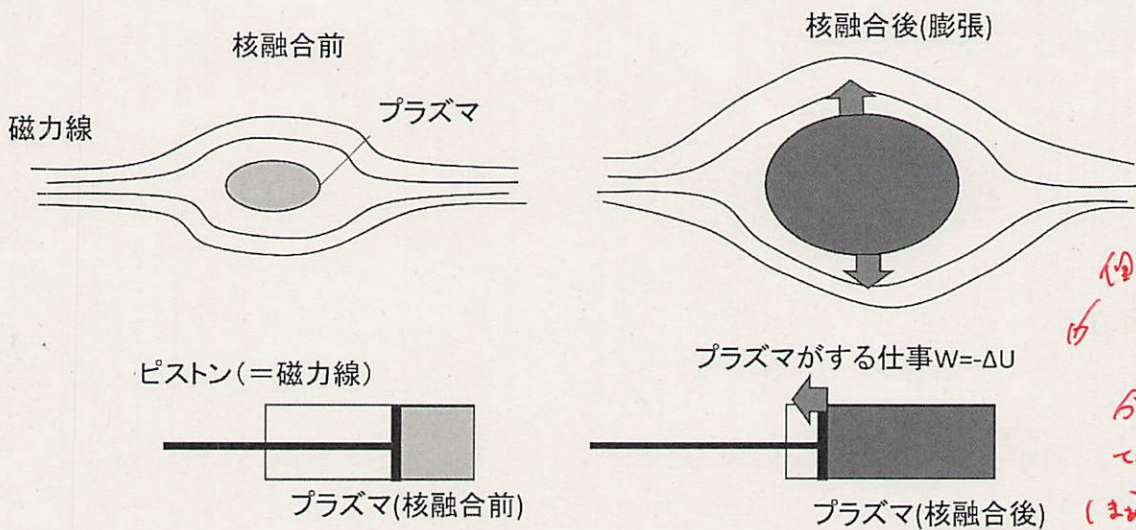
HelionEnergy 断熱膨張エネルギー出力過程の検討

Helion Energy 社の核融合反応からのエネルギー取り出し過程の検討を行う。

ここでは、核融合反応で生じた超高圧力のプラズマが閉じ込め磁場を膨張させる過程において、熱力学的に断熱膨張を行い、プラズマが外部磁場にする仕事がエネルギーになると考える。

以下に概要図を示す。

核融合前に外部磁場(15T)で圧縮されたプラズマはピストンで押しつぶされた状態(状態 1)である。核融合反応に伴って超高圧力になったプラズマ(プロトン)は閉じ込め磁場(ピストン)を押し広げ仕事(W)をすることで内部エネルギー(U)が減少する (状態 2)。



個人的には
熱フラスコ
(2Q)
5倍くらい大きいのは
てか、Hで...
(まあ、なにの...
して。)

上記の熱力学的な断熱変化に伴う仕事をする中で、閉じ込め磁場はエネルギーを熱から電気に変換する際の介在的な存在でしかないといえる。

このプロセスにおける 1shot 当たりの出力エネルギーを見積もる。

状態 1 (P_1, T_1, V_1) から断熱膨張した後の状態 2 (P_2, T_2, V_2) における仕事を考える。

閉じ込め磁場 15[T]で閉じ込め可能なパラメータより、核融合反応前のイオン密度($n_i=1e22[m^{-3}]$)、温度($T_i=50[keV]$)を仮定すると、

核融合によって発生するプロトン粒子数 n は単位時間・単位体積当たり、

$$n = \frac{1}{4} n_i^2 < \sigma v > \approx 5e19$$

参考[1]より、核融合反応前のセパトロクス半径は 0.07[m]程度であると見積もることができる

ので、体積 V_1 は楕円度 $\epsilon:10$ を仮定して、 $V_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 \epsilon = 0.014[m^3]$

全プロトン数 N は $N = n * V_0 = 7.1e17[s^{-1}]$

状態 2 における磁場の大きさ B_1 について、 $\beta=1$ におけるプラズマ平衡の式と断熱膨張の式より

$$V \sim B^{-\frac{6}{5}}$$

6 倍??

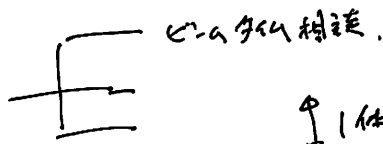
反発後?? (個人的には...反発
してる状態、 $c \sim 10^{23}$,
200kV
50kV??
40kV??
10-12??
100kV??

<Q>
 $2.5 \times 10^{43} \times <Q>$
 2×10^{-24}
 5×10^{19}

2.5×10^{21} 10^{44} 10^{-24} 10^{16} $<Q> \sim 10^{-22}$ $100kV$

● Rn 経源管理、

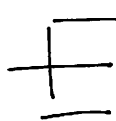
● Gbg 計画と兼、



↑ 1 体、

ひばく管理 (計算)

● Rn 管理、



項目出し、

東大なしでー

運搬方法別、設置・取込 (据置け方法) の確認、

● 予算管理、



物品扱いなし、

見直し取得、

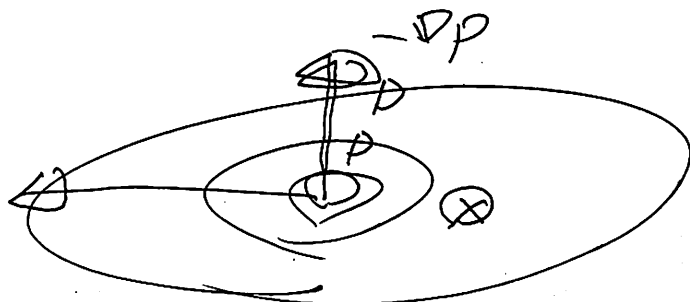
相違価格算出、

第1 - 第3 期移動、セルへの搬出入、

$$0.5 \rightarrow 0.05 \rightarrow 10 \text{ kG}$$

$$8T \rightarrow S = \pi r_s^2$$

$$r_s^2 \rightarrow 1/10, \quad B = 80T$$



$$\vec{J}_{\text{pin}} = \frac{B \times \nabla p}{|B|^2}$$

エネルギー抽出の原理

$$\frac{\partial \phi}{\partial t}$$



$$\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\nabla \times (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\nabla \times (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$v = -\frac{\partial \phi}{\partial t} \quad P = \int \vec{v} \cdot \vec{I} dt = - \int \frac{\partial \phi}{\partial t} I dt$$

$$= - \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{\partial}{\partial t} B n_s I dt$$

$$= - n_s \int \frac{\partial B}{\partial t} I dt$$

$$= - n_s^2 \frac{1}{L} \int B \frac{\partial B}{\partial t} dt$$

$$= - \frac{n_s^2}{L} \int \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} (B^2) dt$$

$$= - \frac{n_s^2}{2L} \frac{\partial}{\partial t} (B^2)$$

$$= - \frac{n_s^2}{2L} \left[B^2 \right]_{t_1}^{t_2}$$

$$= - \frac{n_s^2}{2L} \frac{2\mu_0}{\beta} [P]_{t_1}^{t_2}$$

ΔP 是 磁面 融合 出 入 の 圧 力 差

$$\beta = \frac{P}{\frac{B^2}{2\mu_0}} = 1$$

$$P = \left[\frac{B^2}{2\mu_0} \right] \beta = \frac{\beta B^2}{2\mu_0}$$

$$L I = n \phi$$

$$I = \frac{n \phi}{L} = \frac{n^2 B_s}{L}$$

$$P = 2 \text{ kG}$$

$$\rightarrow I \frac{d\phi}{dt} = \frac{NBS}{L} \frac{dB}{dt} = \frac{N^2 S^2}{L} B \frac{dB}{dt}$$

→ $\frac{d}{dt} (13^2)$

$$= p = \frac{\mu R}{L} \frac{d}{dt} |B|^2$$

$$\frac{N_S}{L} \approx \int \frac{1}{2\pi} |B|^2 dt$$

$$\frac{1.5 \times 10^3}{L} [B^2]_{t_1}^{t_2} \rightarrow 1.57 \times 10^3 \text{ J}$$

$$P + \rho \cdot \Delta V = P_{\text{Environ}} \Delta V$$

$$[\text{N/m}^2] \quad [\text{N/m}^2]$$

$$\frac{dP}{d\theta} = \text{rot } \vec{H}$$

$$\beta = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad \beta = \left[\frac{B^2}{2\mu_0} \right]$$

$$\beta \left(\frac{\beta^2}{2n} \right) = p$$

$\underline{dQ} = dQ_{in} + dQ_{out}$

$$\begin{aligned}
 dw &= \frac{1}{\gamma-1} \left[-P_2 V_2 \left\{ 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \right\} + P_3 V_3 \left\{ 1 - \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1} \right\} \right] \\
 &= \frac{1}{\gamma-1} \left[-P_2 V_{4c} (1 - \epsilon^{-(\gamma-1)}) + P_3 V_{3c} \left\{ 1 - \epsilon^{-(\gamma-1)} \right\} \right] \\
 &= \frac{V_c}{\gamma-1} \left[\frac{P_3}{P_4} (P_3 - P_2) (1 - \epsilon^{-(\gamma-1)}) \right] \\
 &= \frac{P_3 V_c}{\gamma-1} \left[\left(1 - \frac{P_2}{P_3} \right) (1 - \epsilon^{-(\gamma-1)}) \right] \\
 &= \frac{P_3 V_c}{\gamma-1} \left(\frac{P_2}{P_3} - 1 \right) (\epsilon^{\gamma-1} - 1)
 \end{aligned}$$

$$\frac{P_1 V_1}{RT_1} = c_m T_1 = \frac{P_1 V_1}{(c_p - c_m)/c_m} = \frac{P_1 V_1}{\gamma-1} (\gamma-1) (\epsilon^{\gamma-1} - 1)$$

$$w_{\text{net}} = \frac{P_1 V_1}{\gamma-1} (\gamma-1) (\epsilon^{\gamma-1} - 1)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{w}{Q_{in}} = \frac{\frac{P_1 V_1}{\gamma-1} (\gamma-1) (\epsilon^{\gamma-1} - 1)}{P_{Fus} V_{plasma} \text{ of } \uparrow \text{ 压缩后.}}$$

$$= \frac{P_1}{P_{Fus} \text{ of } \uparrow} \times \frac{V_{before}}{V_{plasma}} = \frac{1}{\gamma-1} (\gamma-1) (\epsilon^{\gamma-1} - 1)$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} \quad A$$

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\pi r_c^2 L}{\pi r_{comp}^2 L} = \left(\frac{r_c}{r_{comp}} \right)^2 = \left(\frac{0.15}{0.05} \right)^2 = 9$$

$$\gamma = 2 \quad \text{ccr.} \quad (20)$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{9} = \frac{8}{9}$$

$\eta = 70\%$ 压缩后
 $\rightarrow$ 1-40% 压缩后
 $\rightarrow$ 25% 压缩后
 $\epsilon = 9$ 压缩后

$$\gamma = \frac{5}{3} \quad \text{ccr.} \quad (30)$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{9} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.769$$

76%
 77%

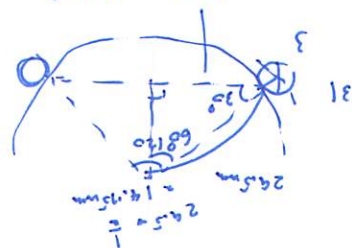
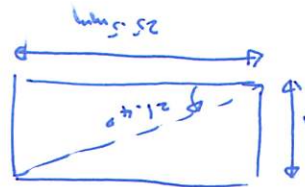
$$\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{3} \cdot 14.95 \times \sqrt{3} = 25.5 \text{ mm}$$

0.91 ~~91~~ 7 0

$$\frac{5.92}{5.51} \approx 1.07$$

66

$265 \times 9 \approx 255$



松月、自由心裁不可、多不可??

$$pV = nRT \quad \left\{ \begin{array}{l} p_1 = \frac{V_1}{nRT_1} \\ p_2 = \frac{V_2}{nRT_2} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} v_1 = v_2 = v \\ dp = p_2 - p_1 = nR \frac{v}{T_2 - T_1} \end{array} \right.$$

$$dy \wedge$$

$$= 1$$

$$\cdot \quad \partial r = r$$

点值变化.

$$w = \int \rho \, d\tau$$

$$p \vee \neg p$$

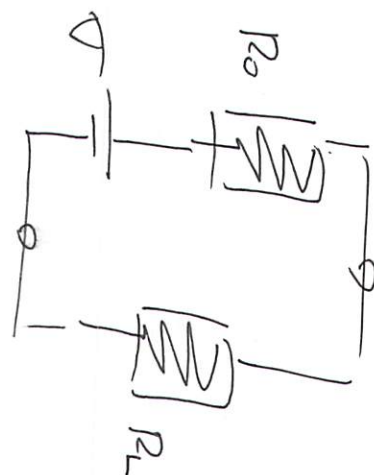
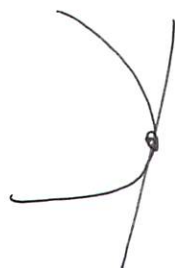
$$\Delta p = m \cdot \Delta v$$

$$d\sigma = d\alpha + d\omega = 0$$

$$P \Delta V = P_{\text{fus}} \Delta x \cdot V$$

$$P = [\text{N/m}^2]$$

$$\frac{dp}{p} = \frac{\Delta}{\rho} = \frac{\Delta}{\rho}$$



$$P_{\max} \cdot \frac{dP}{dR} = 0$$

自給にこだわらずに、

2D化、

放射能 $\rightarrow$ g (光學)

$\Rightarrow$ 曜に女子の存り、

$\Rightarrow$ 光學的、

$\Rightarrow$

セリセリ、92改、 $\rightarrow$

$\rightarrow$ 効率般的に置く、7-11-11、を関係して、

$\rightarrow$ 米 (延解折)

点列測り、サリエリ (位置分解)

サリ、的、

サリ、柳

$\Rightarrow$ 2D、このセリセリ、42-72、

最善の方法でセリセリ、

$\Rightarrow$ セリ

$\Rightarrow$ 経路変化 セリセリ セリセリ

48					
47					
46					
45					
44					
43					
42					
41					
40					
39					
38					
37					
36					
35					
34					
33					
32					
31					
30					
29					
28					
27					
26					

$$P_{Ra-225} = \overset{\text{密度}}{D_{Ra-226}} \cdot \overset{\text{質量数}}{A_{Ra-226}} \cdot N_A \cdot I_e / e \cdot \frac{0.693}{T_{Ra-225}}$$

$$= \iint_{E, \nu} [\phi(E_\nu, \nu) \cdot \sigma(E_\nu)] dE \cdot d\nu$$

$$\boxed{\frac{0.693}{T_{Ra-225}} = \lambda_{Ra-225}}$$

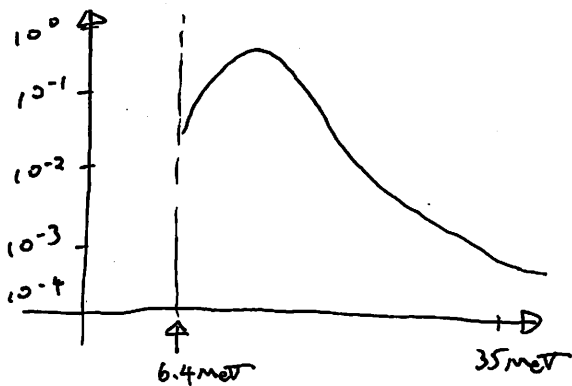
$$\left\{ \begin{array}{l} D_{Ra-226} = 5.5 [\text{g/cm}^3] \\ A_{Ra-226} = 226 [\text{g/mol}] \\ N_A = 6.02 \times 10^{23} [\text{1/mol}] \\ e = 1.602 \times 10^{-19} [\text{C}] \\ T_{Ra-225} = 14.8 [\text{d}] \end{array} \right.$$

ϕ

$\phi(E_\nu, \nu) \rightarrow \text{PHITS}$

$\sigma(E_\nu) \rightarrow \text{理論断面積}$

☆ Ra-226 (α, n) Ra-225 の理論断面積について



ワンタッチ継手の購入のお願い

e-sourcing

メニュー
ログアウト
お問い合わせ

ログイン情報: (株)日立製作所(000000) (CDS) (CSU) (日研) (6702)エネA 2 (1NMP0) 喜田 哲人(70727338) 要求元担当(1)

バスケットの内容を確認頂き、お間違いがなければ [注文依頼へ進む] ボタンをクリックしてください。

全選択/解除
商品比較
右側に入りへ追加
削除

注カズ種へ進む
再計算
戻る

選択	商品画像	商品コード 商品名	メーカー型番 メーカー名	単価/通貨 標準納期	注文数量	単位	金額/通貨	
☐		74072198 カムロック アダプター メネジ ステンレススチール	633-AB-3/4-SST トヨックス (TOYOX)	4,861円 標準納期: 1日	2	個 (台)	9,722 円	
☐		74072609 カムロック カプラー メネジ ステンレススチール	633-DB-3/4-SST トヨックス (TOYOX)	7,941円 標準納期: 1日	2	個 (台)	15,882 円	
☐		74070335 カムロック用ガスケット (パッキン) エチレンプロピレンゴム (EPDM)	GK-EPDM-3/4 トヨックス (TOYOX)	238円 標準納期: 5日	6	個 (台)	1,428 円	
商品点数: 3点				合計金額:		27,032 円		

全選択/解除
商品比較
右側に入りへ追加
削除

注カズ種へ進む
再計算
戻る

Copyright (c) Hitachi, Ltd. 2001-2023. All rights reserved.

項目	型番	単価	員数	価格 (¥)	備考
カムロック アダプター メネジ ステンレススチール	633-AB-3/4-SST	4861	2	9722	Rc3/4
カムロック カプラー メネジ ステンレススチール	633-DB-3/4-SST	7941	2	15882	Rc3/4
カムロック用ガスケット (パッキン) EPDM	GK-EPDM-3/4	238	6	1428	材質は東北大確認済み
合計				27032	

10/13 (金)

④ ppt (Hetero) と TAT の分配関係

⑤ Fusion の エネルギー 収束 の 限度

~~⑥~~

~~⑥ 東北大へ 基研 在席 設定 ナール~~

• コレが うが いて べき の e-learning

⑦ (可成) 11 リリース、製造 費 の フォ
+ 産 科 化

• GIB 支 展 計 画、相 談 ナール

~~⑧ 性能 27% 提案 書 類
+ 産 科 化~~

• ~~成 和 田 所 ナール 強 任~~

⑨ 核 融合 スラ 1.1、計 算 更 新

~~⑩ 性能 試 作 の 資 料 準 備~~

~~— 現 在 10% の 確 認
— 変 更 ナール 反 映~~

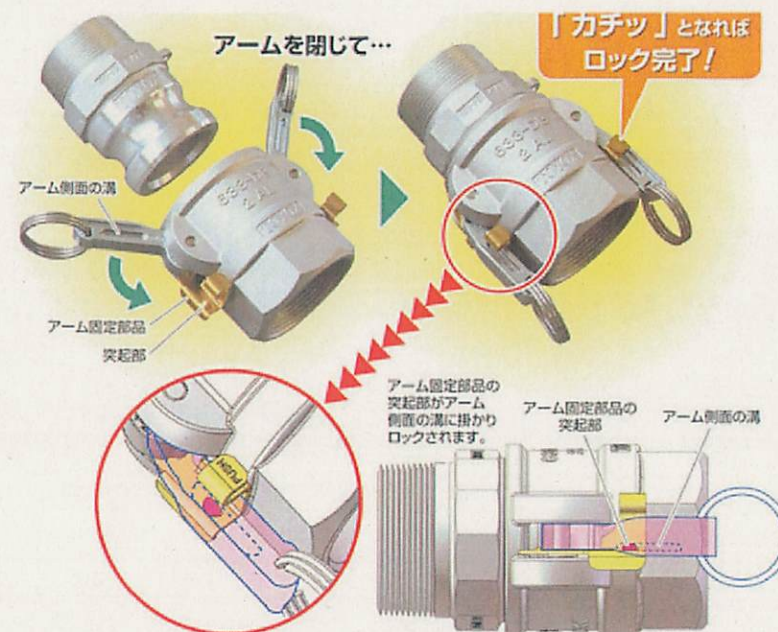
• ナール 2.2-4 測 定 30 秒 枠 が 必 要
高 精 度 照 射 の 要 求

(12.5) の TAT の 高 効 率 製 造

• 45 45 mV

$$200 \mu A \times D = 22.2 \times 10^{-2} = 222 \mu A, \quad \rho 10 mW$$

$$3 \mu \times 300 = 0.9 \times 10^{-4}$$



12月20日 準備、

最大使用量 - 1d - 1m - 1y

20 部屋、

• normal	12.1 MBq	12.1 MBq	48.4 MBq ^{→ 24}
• 動物	1 MBq	1 MBq	4 MBq

→ 242.3 mSv (~ 1 MBq 1.9)

(この程度、使用が内服??)

知財

→ T-100 指定 (文書変更)

→ 指定は別紙?

322.3, Ra

設備、(最初の一度)

10月末、

$\left\{ \begin{array}{l} Mo-99 \\ Hc-205 \end{array} \right\} \rightarrow$

● 核心 GBq?

→ 制約、④

● 新設の事業化、

→ ⑤、

4

評価

2011.10.10

2011.10.10、④ 核心、(

市場 - 問題、

問題項目 →

カンビ-100 →

技術的問題

(このままでは、

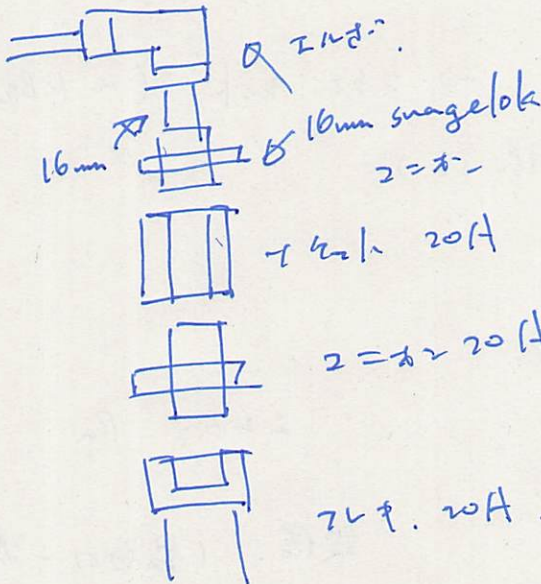
他社との協業)

10/12

・ 主要な自在継手、

・ 力学的な、2次元

2次元-7個、



・ 力学的な

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{上} = R_c \ 3/4 \\ \text{下} = R_c \ 3/4 \end{array} \right.$$

1次元の7次元

上 = 633 - AB - 3/4" - SST

下 = 633 - DB - 3/4" - SST

DB.L (7次元-2次元) 2 9086A.

(力学的)

(8890A)

・ QC.

・ 国の支援

・ 多2次元構造。中社会 (国)

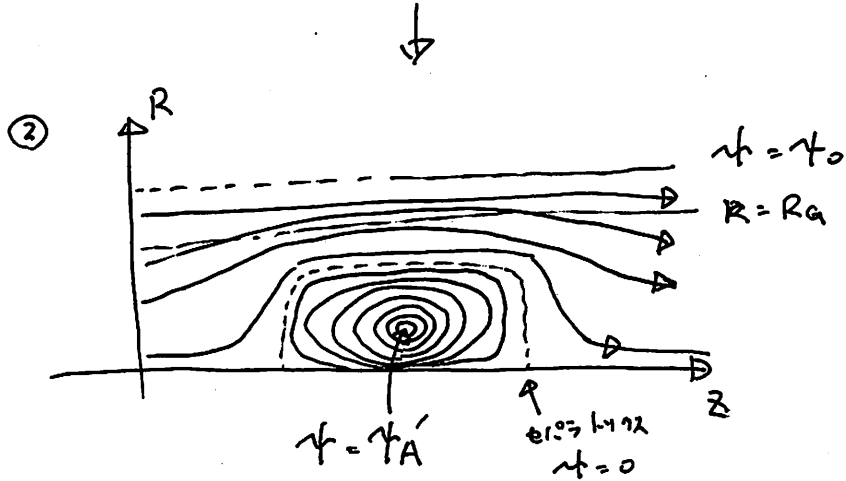
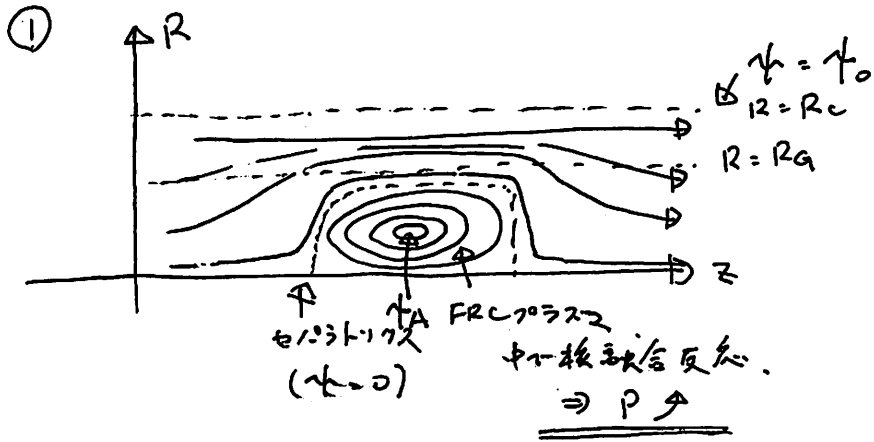
・ 1次元 33

・ 国々の "多2次元" 1次元

・ 10A~12A, 国の 1次元

・ 1次元-2次元 1次元

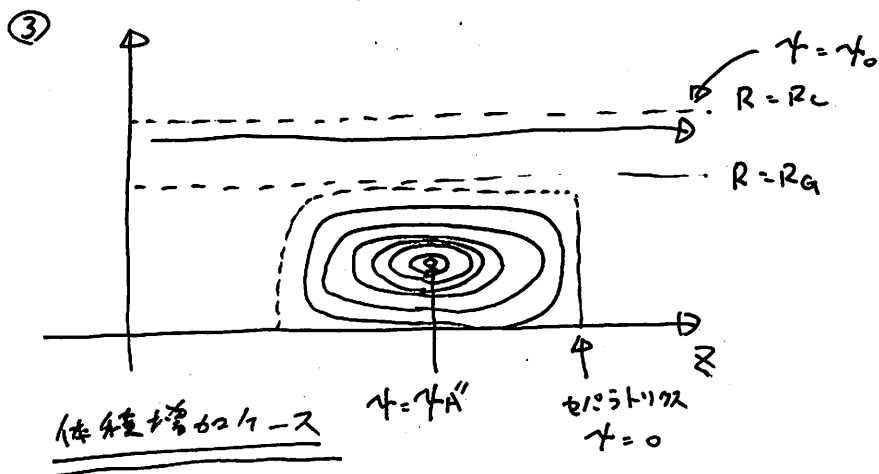
④ フォラスズ 大気 様 の 描 像 に つ い て ,



体積一定ケース

$P \psi$ 一定, $\nabla P \psi$ 一定, $\frac{\partial \rho_{\text{min}}}{\partial \psi} = \frac{B + \nabla P}{|B|^2}$ 一定.

$\psi_A \rightarrow \psi_A'$ 増加, ($f=f_0$ 体積増加した f_0 の外部への取出不足)



体積増加ケース

$\nabla \psi$ 一定, ∇P は一定, $\frac{\partial \rho_{\text{min}}}{\partial \psi} = \frac{B + \nabla P}{|B|^2}$ 一定.

($\langle B \rangle \sim 1$ 一定のように変化)

$\psi_A \rightarrow \psi_A''$ 増加,

圧力勾配 (端) は一定に一定, 体積変化を伴う仕事に使用した.

• 安培力

$$P = \mathbf{v} \cdot \mathbf{I}$$

$$v = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{\partial \Phi}{\partial x}$$

$$I = \frac{N\Phi}{L} = \frac{N^2 \mu_0}{L} \frac{\partial B}{\partial x}$$

$$P = \frac{N^2 \mu_0^2}{L} B \frac{\partial B}{\partial x} = \frac{N^2 \mu_0^2}{L} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{|B|^2}{2} \right)$$

$$\mu_0 \left(\frac{|B|^2}{2} \right) = P = P_{Fus} \cdot dx$$

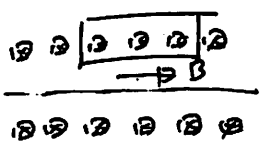
$$\frac{|B|^2}{2} = \frac{\mu_0}{\beta} \frac{\partial}{\partial x} P_{Fus}$$

$$\Delta U = \int_{x_1}^{x_2} P dx = \frac{N^2 \mu_0^2}{L} \frac{\mu_0}{\beta} \int_{x_1}^{x_2} P_{Fus} dx$$

$$U = \frac{N^2 \mu_0^2}{L} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{|B|^2}{2} \right] dx = \frac{N^2 \mu_0^2}{L} \left[\frac{|B|^2}{2} \right]_{x_1}^{x_2}$$

$$= \frac{N^2 \mu_0^2}{L} \frac{\mu_0}{\beta} \frac{\partial}{\partial x} P_{Fus} \tau_{rac}$$

$$f_{rep} U = \frac{N^2 \mu_0^2}{L} \frac{\mu_0}{\beta} \tau_{rac} f_{rep} P_{Fus}$$



$$B l = \frac{\mu_0}{4\pi} (N l) \cdot (N l) \frac{I}{l}$$

$$B l = \frac{\mu_0}{4\pi} (N l) (N l) \frac{I}{l} = \frac{\mu_0}{4\pi} N^2 l I$$

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{1}{I} B l = \frac{1}{I} \frac{\mu_0}{4\pi} N^2 l I = \frac{\mu_0}{4\pi} N^2 l$$

$$U = \frac{N^2 \mu_0^2}{4\pi n^2 l \beta} \frac{\mu_0}{\beta} \tau_{rac} f_{rep} P_{Fus}$$

$$= \frac{1}{\beta} \frac{\mu_0^2 N^2 l^2}{4\pi n^2 l \beta} \tau_{rac} f_{rep} P_{Fus}$$

$$= \frac{1}{\beta} \frac{\mu_0^2 N^2 l^2}{4\pi n^2 l \beta} \tau_{rac} f_{rep} P_{Fus} = \frac{\mu_0^2 N^2 l^2}{4\pi n^2 l \beta^2} \tau_{rac} f_{rep} P_{Fus}$$

$$U_{coil} = \frac{1}{\beta} \frac{V_{coil}}{V_{plasma}} \tau_{rac} f_{rep} (P_{Fus} \cdot V_{plasma})$$

$$= \frac{1}{\beta} \frac{V_{coil}}{V_{plasma}} \tau_{rac} f_{rep} U_{Fus}$$

$$\frac{U_{coil}}{U_{Fus}} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{V_{coil}}{V_{plasma}} \tau_{rac} f_{rep}$$

$$\frac{P_{coil}}{P_{Fus}} = \frac{1}{\beta} \tau_{rac} f_{rep}$$

→ 使用 33 英寸 → 全 2 个磁极排布 → 使用
= 效率 100% (99%)

$$U = \frac{V_{coil}}{2\mu_0} [\beta_{e1}^2 - \beta_{e2}^2]$$

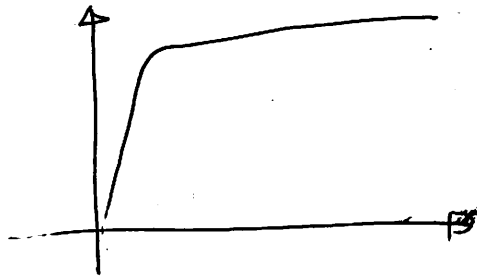
~~$$\beta_{e1}^2 - \beta_{e2}^2$$~~

$$\beta_{e1}$$

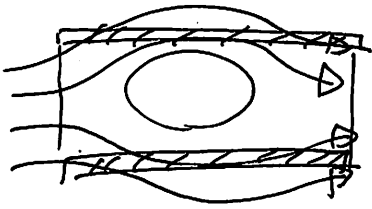
$$\frac{\phi_p}{r_{s1}^2} = \frac{r_s}{r_c} \beta_e$$

$$\beta_e = \frac{\phi_p}{r_{s1}^2} r_c$$

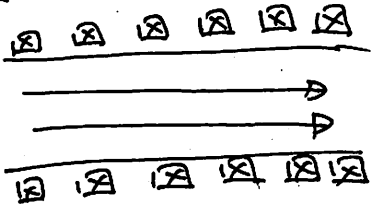
$$\begin{aligned} U &= f_{rep} \cdot \frac{\cancel{\beta_{e1}^2}}{2\mu_0} V_{coil} \left[r_{c1}^2 \phi_p^2 \left(\frac{1}{r_{s1}^6} - \frac{1}{r_{s2}^6} \right) \right] \\ &= \frac{f_{rep} V_{coil}}{2\mu_0} r_{c1}^2 \phi_p^2 \left[\frac{1}{r_{s1}^6} - \frac{1}{r_{s2}^6} \right] \\ &= \frac{f_{rep} V_{coil} r_{c1}^2 \phi_p^2}{2\mu_0} \left[\frac{1}{r_{s1}^6} - \frac{1}{r_{s2}^6} \right] \\ &= - \frac{f_{rep} V_{coil}}{2\mu_0} \frac{r_{c1}^2 \phi_p^2}{r_{s2}^6} \left[1 - \frac{r_{s2}^6}{r_{s1}^6} \right] \\ &= - \frac{f_{rep} V_{coil}}{2\mu_0} \frac{r_{c1}^2 \phi_p^2}{r_{s1}^6} \left[1 - \left(\frac{r_{s1}}{r_{s2}} \right)^6 \right] \\ &= + \frac{f_{rep} V_{coil}}{2\mu_0} \beta_{e1}^2 \left[1 - \left(\frac{r_{s1}}{r_{s2}} \right)^6 \right] \end{aligned}$$



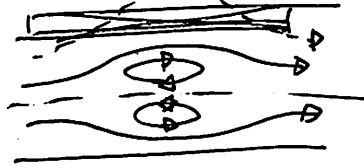
$$V = n \frac{d\Phi}{dt}$$



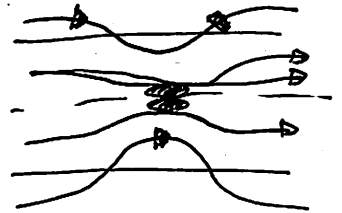
[1]



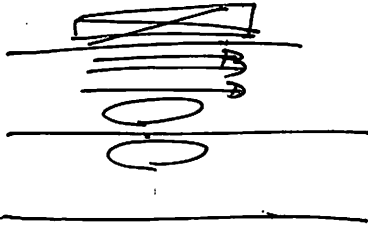
[2] Frc 4x5



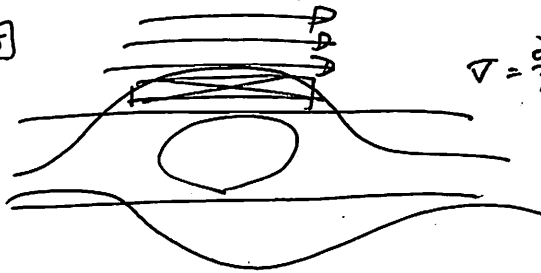
[3]



[4]

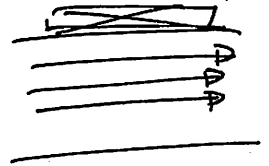


[5]



$$V = \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

[6]

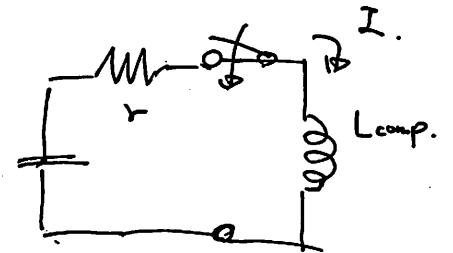
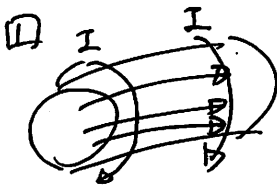


$$U = \frac{B_1^2}{2\mu_0} \times \rho_{coil} L_{coil}$$

$$= \frac{B_1^2}{2\mu_0} V$$

$$LI = N\Phi$$

$$I = \frac{N\Phi}{L}$$



• LC 回路.

$$U_{mi} = \frac{B_{ei}^2}{2\mu_0} V_{coil}$$

$$V_{coil} \sim 0.2m^2 \times \pi/4 \times 1$$

$$\Delta U =$$

$$\frac{B^2}{2\mu_0} \Rightarrow B = 10T \quad 10^{-2} \times 3.14 \times 1$$

$$\frac{1}{2\mu_0} B^2 = 10^2 \times \frac{1}{2.5 \times 10^{-6}} \sim 3 \times 10^{-2} [m^{-3}]$$

$$U_{mi}$$

$$U_{mi} = U_{out} \sim \frac{1}{25} \times 10^8 = 0.4 \times 10^8$$

$$= 4 \times 10^7 [J]$$

$$U_{mi} = \int \frac{B_{ei}^2}{2\mu_0} dV$$

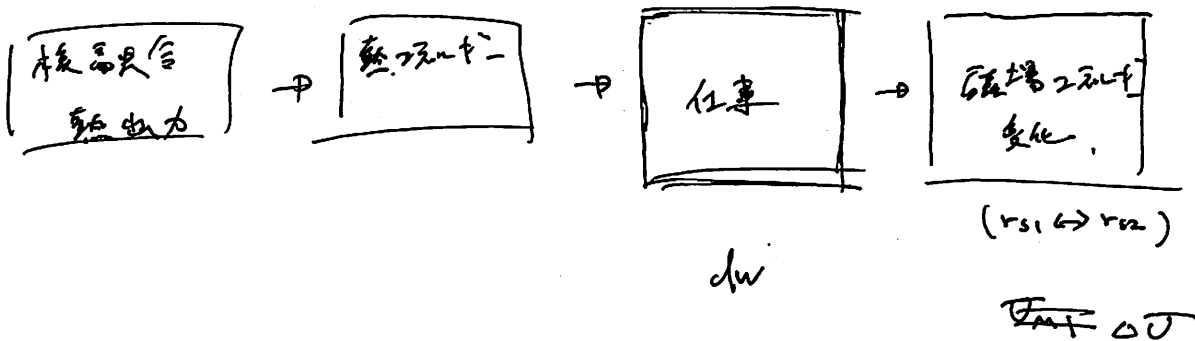
$$= 40 MJ$$

$$= \int \frac{B_{ei}^2}{2\mu_0} dV$$

$$U_{mi} =$$

$$\frac{\int p dV}{U_{mi}} = \langle \beta \rangle$$

$$\frac{\int p dV}{U_{mi}} = \langle p \rangle / U_{mi} = \langle \beta \rangle$$



- $dw > \Delta U$ のとき、
 ΔU だけ作れる (power output 有)
- $dw < \Delta U$ のとき、
 ΔU の変化を作れる、
 dw だけ変化を成す (power output は dwだけ)

$$P_1 = n_1 k_B T_1$$

$$V_1 = V_{FRC} \quad (\text{合併後, 反應前})$$

$$\alpha = \frac{P_3}{P_2}$$

$$P_2 + \Delta P_{fusion} = P_3$$

$$1 + \frac{\Delta P_{fusion}}{P_2} = \alpha$$

$$\therefore \alpha - 1 = \frac{\Delta P_{fusion}}{P_2} = \frac{P_{fusion} \Delta t}{P_2} = \frac{P_{fusion} \tau_{FRC}}{P_2}$$

$$\Delta P_{fusion} = \frac{P_{fusion} \Delta t}{V_{FRC}} = \Delta U \quad P_2 = \frac{P_1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma}$$

$$\therefore \alpha - 1 = \frac{P_{fusion} \tau_{FRC}}{P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma}$$

$$\begin{aligned} \therefore dw &= (\epsilon^{\gamma-1} - 1) \cdot \frac{P_{fusion} \tau_{FRC}}{P_1 \left[\frac{V_1}{V_2}\right]^\gamma} \cdot \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \\ &= \frac{1}{\gamma - 1} \underbrace{\left[\frac{V_2}{V_1}\right]^\gamma}_{\text{no unit}} \underbrace{\left[P_{fusion} \tau_{FRC} \cdot V_1\right]}_{\text{unit: J}} \cdot \underbrace{\frac{V_2}{V_1}}_{\text{no unit}} \cdot \underbrace{(\epsilon^{\gamma-1} - 1)}_{\text{no unit}} \cdot \frac{1}{\gamma - 1} \end{aligned}$$

= 單位 J

$$P_{fusion} \tau_{FRC} V_2 = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{\epsilon^{\gamma-1} - 1}{\epsilon^{\gamma-1} (\gamma - 1)}$$

$$= \frac{1}{\gamma - 1} \left[\frac{V_2}{V_1}\right]^\gamma \left[P_{fusion} \tau_{FRC} V_2\right] \cdot (\epsilon^{\gamma-1} - 1) \cdot \left[\frac{V_1}{V_2}\right]$$

$$= \frac{1}{\gamma - 1} \left[\frac{V_2}{V_1}\right]^{\gamma-1} (\epsilon^{\gamma-1} - 1) [P_{fusion} \tau_{FRC} V_2]$$

$$= \frac{1}{\gamma - 1} (1 - \epsilon^{-(\gamma-1)}) [P_{fusion} \tau_{FRC} V_2]$$

$$= \frac{1 - \epsilon^{-(\gamma-1)}}{\gamma - 1} \Delta U_{Fus}$$

• 断热压缩如, 非热的 T 速度分布工作于?

• 断热过程 (热力学)

$$pV^\gamma = \text{const.}$$

$$\begin{cases} p = n k_B T \\ V = N/n \quad (N/V = n) \end{cases}$$

$$(n k_B T) \cdot N^\gamma \cdot n^{-\gamma} = C_0$$

$$n^{1-\gamma} \cdot T = C_1 = \text{const.}$$

$$T n^{-\gamma+1} = \text{const.} \quad \left(\gamma = \frac{f+2}{f} = \frac{2+2}{2} = 2 \right) \quad 2D.$$

$$T n^{-1} = \text{const.}$$

$$\frac{T}{n} = \text{const.}$$

$$\Rightarrow T = C_2 n$$

$$p = n k_B T = C_3 n^2$$

$$n = \frac{N}{V} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} p = \frac{C_3 N^2}{V^2} = C_4 \frac{1}{V^2} \\ T = C_2 \frac{N}{V} = C_5 V^{-1} \end{cases}$$

• 断热不变 (磁能 $\propto B^2$)

$$\mu = \frac{m v_L^2}{2B}$$

$$v_L = \sqrt{\frac{2B\mu}{m}}$$

$$v_L \propto \sqrt{B} = B^{\frac{1}{2}}$$

• 例 2 是: Maxwellian.

$$f(v) = \sqrt{\frac{m}{2\pi k_B T}} \exp \left[-\frac{m v^2}{2 k_B T} \right]$$

$$f(v_L) = v_L^2 \sqrt{\frac{m}{2\pi k_B T_L}} \exp \left[-\frac{m v_L^2}{2 k_B T_L} \right]$$

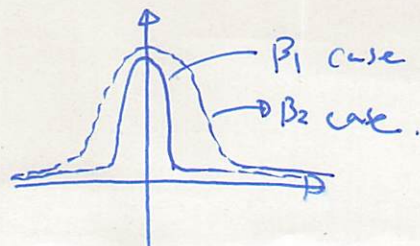
$$= \frac{(2B\mu)^2}{m^2} \cdot \frac{m}{2 k_B T_L} \exp \left[-\frac{m v_L^2}{2 k_B T_L} \right]$$

$$\frac{m}{2 k_B T_L} v_L^2$$

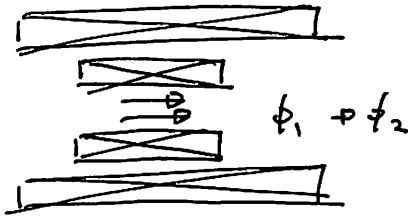
$v_{L1} \rightarrow v_{L2}$ 12 倍, T_L 不变.

$$\frac{m}{2 k_B T_L} \cdot \frac{2B_1\mu}{m} \rightarrow \frac{m}{2 k_B T_L} \cdot \frac{2B_2\mu}{m}$$

$\times \frac{B_2}{B_1} \rightarrow$ 比例倍.

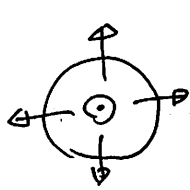


④ 内2ルル 2個2ルル 場合??.



$$\begin{cases} \phi_1 = B_1 \rho \\ \phi_2 = B_2 \rho \end{cases} \quad \begin{aligned} \mathcal{V} &= -N \frac{d}{dt}(\phi) \\ &= -N \rho \frac{dB}{dt} \\ &= -N \rho \frac{dB_1 - B_2}{dt} \end{aligned}$$

$$I = \frac{N \mathcal{E}}{L} = N \rho \frac{1}{L} (B_1 - B_2)$$

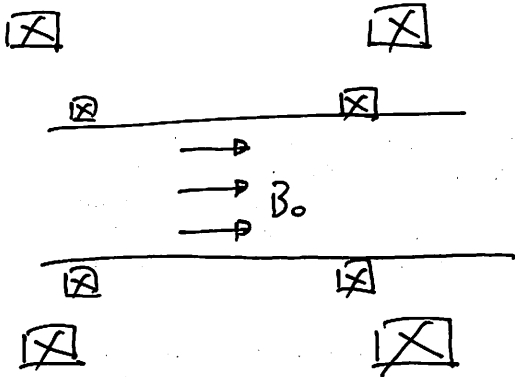


$$\frac{dB}{dt} = -\mathcal{Q} \cdot E$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\rho} B \cdot d\mathbf{s} = - \oint_{\rho} (\mathcal{Q} \cdot E) \cdot d\mathbf{s} = - \oint_{\rho} E \cdot d\mathbf{s} = \mathcal{V} = - \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

$$I = \frac{\mathcal{V}}{R}$$

→ 内側2ルルに電流が流れて、外側2ルルは、内側2ルルの相殺分だけ、若く必要、無い
(互磁性)



→ 回収2ルルと圧縮2ルルと別々に回収はokではな..

$$\frac{B_0^2}{2\mu_0} \mathcal{V} \rightarrow \frac{B'^2}{2\mu_0} \mathcal{V}$$

$$\Delta U = \frac{\mathcal{V}}{2\mu_0} (B_0^2 - B'^2)$$

自然、7/11/12、磁場2ルル、変化分だけ、

電場の2ルル、変化2ルル..

$$\Delta U = \frac{\mathcal{V}}{2\mu_0}$$

$$B_0 = \frac{\mathcal{E}}{s}, \quad B' = \frac{\mathcal{E}}{s}$$

Design and Development of Stepper Motor Based XY Scanning Stage

V.V. Suryawanshi¹, P.M.Sonawane², S.P.Deshmukh³

P.G. Student, Dept. of Mechanical Engineering, Sinhgad Academy of Engineering Kondhwa, Pune, Maharashtra, India¹

Assistant Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Sinhgad Academy of Engineering Kondhwa, Pune, Maharashtra, India²

Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Sinhgad Academy of Engineering Kondhwa, Pune, Maharashtra, India³

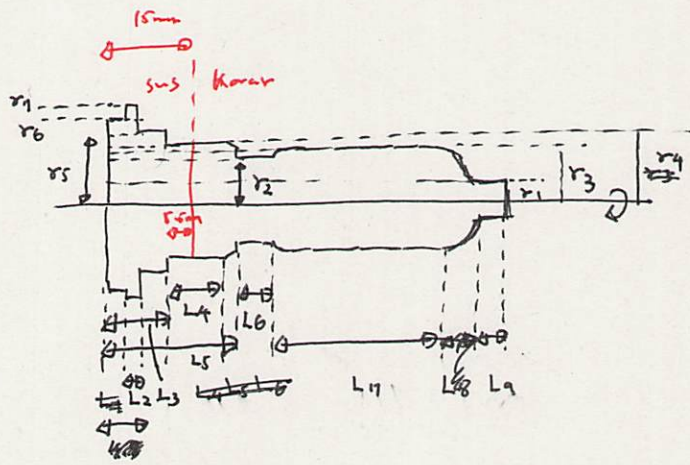
ABSTRACT: Precision planar motion (XY) stages are widely used in semiconductor manufacturing systems, precision machine tools, and scanning probe measurement systems. This research presents a design, modeling, manufacturing and system interfacing of Stepper Motor based XY Scanning Stage for precision application. Serially mounted XY stage is initially modeled using modeling software CATIA V5 and further analysis is carried out in ANSYS 14. Once design was within acceptable limit it is further taken for manufacturing and entire XY stage is manufactured. Mounting of Stepper is ensured by providing appropriate tolerances during manufacturing. Designed stage consists of two bipolar Stepper Motor coupled with a lead screw as a feed drive by means of aluminium flexible coupling. These Stepper Motors are further interfaced with PC via Arduino Microcontroller board. To control the movement of XY Scanning Stage, Arduino programming is done with the Arduino Motor Shield board. This XY Scanning Stage finds various precision micro positioning applications such as in 3D printers and precision machine tools.

KEYWORDS: 3D Printer, Arduino, Stepper Motor, XY Scanning Stage.

I. INTRODUCTION

The XY stage, which is composed of a motion mechanism driven by actuators for moving an object in the XY plane, is a fundamental component of a positioning system used in industries such as micromachining and scanning probe microscopy [1]. Many of the state-of-the-art ultra-precision XY stages have a stage motion mechanism composed of air-bearing or roller-bearing supported linear slides, which are driven by linear motors. Laser interferometers or linear encoders are often used as the feedback sensors. While the conventional XY stage is stacked up by two linear stages composing of many components, such as ball screw, bearing, linear slide, etc. [2]

Efforts have been made to develop the state-of-the-art XY micro-stages, in which flexure hinge mechanisms are employed as the stage motion mechanisms. Piezoelectric actuators (PZTs) have often been employed as the actuators. Rong-Fong et al. have developed a micro/nano-meter XY precision positioning table, in which the coarse and fine positioning are performed by the permanent magnet synchronous motor (PMSM) and piezoelectric actuator (PA), respectively [3]. Dongwoo Kang et al. have proposed compact high precision XY-scanner providing nanometer-level resolution and a millimeter-level travel range composed of a voice coil motor (VCM) and double compound linear spring flexure guide mechanism[4]. Yuki Shimizu et al. have designed XY micro-stage which consists of two PZTs and a friction component made by permanent magnet is mounted on the centre of the stage base for driving the stage moving plate made by steel in the X- and Y-directions based on a friction drive. Leaf springs are employed to guide the X- and Y-directional motions of the moving plate over a range of ± 1 mm in both directions [1]. Chien-Hung Liu et al. have presented a Dual-Axis Long-Travelling Nano-Positioning Stage (DALTNPS). In order to extend the travelling and increase the accuracy, the two sorts of stages, a traditional ball-screw stage and a three-degrees-of-freedom (3-DOF) piezo-stage, were composed. The traditional ball-screw stage which is composed of two guide-ways and a ball-screw at each axis is a long-travel stage, and the 3-DOF piezo-stage, which is composed of three piezoelectric actuators and four translation-rotation mechanisms, is a high precision stage [5]. Kuang-Chao Fan et al. have developed an innovative



		(mm)								
容器	#	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L₈	L ₉
1		4.8	2.5 1.5	9.3	10.5	20.4 20.8	6.5	22.4 21.6		5.5
2		4.8	1.6	9.5	10.5	20.4	6.7	27.4		5.4
3		4.8	1.6	9.4	10.4	20.6	6.2	27.4		5.2 4.2

測定値

全長. #.1 60mm
#.2 60.4mm
#.3 59.3mm } 最大. 1.1mm の差 (全長)

	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇
#.1	4.9	9.8	11.6	12.6	15.0	18.5	20.0
#.2	5.0	9.9	12.4	12.7	15.0	18.6	20.2
#.3	5.0	10.0	11.8	12.7	15.0	18.6	20.2

Dは r の 2 倍,
(直径) (半径)

10/10 "主要課題のまゝで、次は17時の振替④ラスト"

- ④ 評価委員会 22. の資料.
- ④ 振替台 資料 改定.
- ④ PM 15:00 - 17:00 ラスト.
- ④ ~~おとこのルール~~ → 送信
- ④ 周知メール. (取りまわし)
- ④ 資料.
- ④ ~~おとこのルール~~ → 送信

① 知財状況の説明.

言うべきは、「日本はAI-25関連の知財戦略で、勝っている」

むしろ、公明心、自動化設備.

- | | | |
|---|---------------|-----------------------|
| { | 如 運器、7-10. | - むしろ 容易. |
| | 分 離 精 製 | - 好 程度 の 開 示 が 必 要 子? |
| | 自 動 化 設 備 子 材 | - |

$$P_m = p + \frac{\beta^2}{2\mu} = \frac{\beta_c^2}{2\mu}$$

0.0223

$$\mu C_i / \mu g \cdot \mu A \cdot hr$$

$$100 \mu A \cdot hr$$

$$\mu C_i / \mu g$$

$$\mu C_i / C_i \times$$

$$37 \times 10^9 G B_g$$

$$\frac{1}{37 \times 10^9}$$

$$10^{-6} \cdot 10^3$$

$$10^{-3} \cdot 100 \mu A \cdot hr$$

0.15

$$C_i = 37 \times 10^9 B_g$$

$$B_g / C_i = \frac{1}{37 \times 10^9}$$

$$0.0223 \times 10^{-6} C_i / \mu g \cdot \mu A \cdot hr$$

$$0.0223 \times 10^{-6} \times 37 \times 10^9 B_g / \mu g \cdot \mu A \cdot hr$$

$$C_i = C_i / B_g = B_g = 37 \times 10^9 B_g$$

$$0.0223 \times 37 \times 10^3 B_g / \mu g \cdot \mu A \cdot hr$$

$$\mu g = 37 \times 10^9 B_g \times 10^{-3}$$

$$= 37 \times 10^6 B_g$$

$$\frac{0.0223 \times 37 \times 10^3}{37 \times 10^6} \times \frac{B_g(Ac)}{[B_g(Ra) \cdot \mu A \cdot hr]}$$

$$1 / \mu g = \frac{1}{37 \times 10^6} \cdot \frac{1}{B_g}$$

$$= 0.0223 \times 10^{-3} B_g(Ac) / [B_g(Ra) \cdot \mu A \cdot hr]$$

$$= 2.23 \times 10^{-5} B_g(Ac) / [B_g(Ra) \cdot \mu A \cdot hr]$$

e.g. -) $100 \mu A \cdot hr$, $53 \text{ B}_g \text{ Ra}$ on $\frac{1}{100} \text{ g}$.

$$A = 2.23 \times 10^{-5} \cdot 53 \times 10^3 \times 100 \times 1$$

$$= 0.1177$$

$$\sim 1177$$

$$50 \text{ B}_g \sim 10^{-6} \text{ g}$$

$$0.0223 \times 10^{-6} \times 10^{-6} + \frac{100}{10^3} \times \frac{1}{10^3}$$

$$0.0223 \times 10^{-9} (\mu C_i)$$

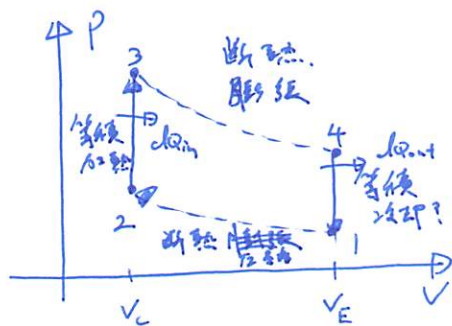
$$\sim 37 \times 0.0223 \times 10^{-9} \times 10^9$$

~

$$\begin{aligned}
 \left[\frac{|\beta|^2}{2} \right]_{k_1}^{k_2} &= \frac{|\beta|^2}{2} \Big|_{k=k_2} - \frac{|\beta|^2}{2} \Big|_{k=k_1} \\
 &= \frac{\hbar \omega}{\beta} P \Big|_{k=k_2} - \frac{\hbar \omega}{\beta} P \Big|_{k=k_1} \\
 &= \frac{\hbar \omega}{\beta} \Delta P
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta \frac{|\beta|^2}{2\hbar\omega} &= P \\
 \left\{ \frac{|\beta|^2}{2} \right. &= \frac{\hbar \omega}{\beta} P
 \end{aligned}$$

四 熟 4/17/12 已答22.



• 绝热过程 (绝热过程)

$$dw = 0, \quad dw_{23} = dw_{41} = 0$$

• 绝热过程.

$$dw = dw_{12} + dw_{34}$$

$$dw_{12} = \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]$$

$$dw_{34} = \frac{P_3 V_3}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1} \right]$$

$$\therefore dw = \frac{1}{\gamma - 1} \left[P_1 V_1 \left\{ 1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right\} + P_3 V_3 \left\{ 1 - \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1} \right\} \right]$$

$$V_1 = V_4 = V_E, \quad V_2 = V_3 = V_C \quad \text{or} \quad \epsilon \equiv V_E / V_C \quad \text{or} \quad \epsilon \equiv V_E / V_C \quad \text{or} \quad \epsilon \equiv V_E / V_C$$

$$dw = \frac{1}{\gamma - 1} \left[P_1 V_E \left\{ 1 - \left(\frac{V_E}{V_C} \right)^{\gamma-1} \right\} + P_3 V_C \left\{ 1 - \left(\frac{V_C}{V_E} \right)^{\gamma-1} \right\} \right]$$

$$= \frac{1}{\gamma - 1} \left[P_1 V_E (1 - \epsilon^{\gamma-1}) + P_3 V_C (1 - \epsilon^{-(\gamma-1)}) \right]$$

$$= \frac{P_3 V_C}{\gamma - 1} \left[\frac{P_1 V_E}{P_3 V_C} (1 - \epsilon^{\gamma-1}) + (1 - \epsilon^{-(\gamma-1)}) \right]$$

$$= \frac{P_3 V_C}{\gamma - 1} \left[\epsilon \frac{P_1}{P_3} (1 - \epsilon^{\gamma-1}) + (1 - (\epsilon^{-1})^{\gamma-1}) \right]$$

$$1 - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} = \frac{\epsilon^{\gamma-1} - 1}{\epsilon^{\gamma-1}}$$

$$= \frac{1}{\gamma - 1} \left[P_1 V_E (1 - \epsilon^{\gamma-1}) + P_3 V_C (-1) \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} (1 - \epsilon^{\gamma-1}) \right] = - \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}} (1 - \epsilon^{\gamma-1})$$

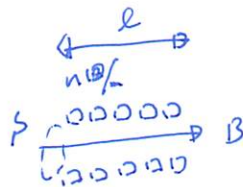
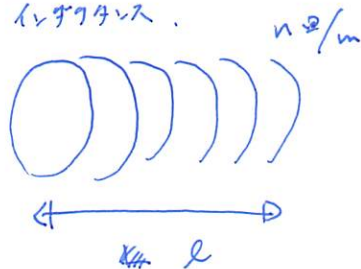
$$= \frac{1}{\gamma - 1} \left[(P_1 V_E - P_3 V_C \frac{1}{\epsilon^{\gamma-1}}) (1 - \epsilon^{\gamma-1}) \right]$$

$$= \frac{1}{\gamma - 1} (1 - \epsilon^{\gamma-1}) \left[\right]$$

④ 効率の評価.

$$\eta = \frac{\mu_0 N^2 \rho_{coil}^2 (f_{rep} \tau_{FRC})}{L \beta V}$$

⑤ 1cmの#
インダクタンス.



$$\oint B \cdot dl = \mu_0 \int j \cdot ds$$

$$B l = \mu_0 n l \cdot n I$$

$$\beta = \mu_0 n^2 l I$$

$$L = \frac{\Phi}{I} = \mu_0 n^2 l \beta$$

$$N = n l$$

$$L = \mu_0 N^2 / l$$

$$\eta = \frac{\mu_0 N^2 \rho_{coil}^2 (f_{rep} \tau_{FRC})}{\mu_0 N^2 \rho_{coil} / l - \beta V_{plasma}}$$

$$= \frac{\rho_{coil} \cdot l}{V_{plasma}} \cdot \frac{1}{\beta} \cdot (f_{rep} \tau_{FRC})$$

$$= \frac{V_{coil}}{V_{plasma}} \cdot \frac{1}{\beta} (f_{rep} \tau_{FRC})$$

⇒ 壁にべったりのコイルを用いたとき、
高効率になる??

$$\sigma_{coil} = - \frac{\mu_0 N^2 \rho_{coil}^2}{L \beta} P_{Fus} \tau_{FRC}$$

取り出し電力,

$$\cancel{P_{coil}} \quad \sigma_{coil} f_{rep} \equiv P_{coil} V_{coil} = \sigma_{coil}^{OA}$$

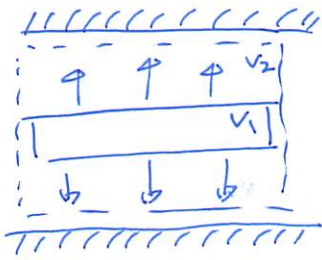
$$\eta = \left| \frac{P_{coil} V_{coil}}{(P_{Fus} - V_{plasma})} \right| = \frac{\sigma_{coil} f_{rep}}{(P_{Fus} - V_{plasma})} = \frac{\mu_0 N^2 \rho_{coil}^2 \tau_{FRC} f_{rep}}{L \beta V_{plasma}}$$

$$\sigma \quad 2.6 \mu \sim \frac{1}{10} \text{ W/m}^2. \quad \pi (0.15)^2 \cdot 1m.$$

$$\eta = \frac{V_{coil}}{V_{plasma}} \cdot \frac{1}{\beta} (f_{rep} \tau_{FRC})$$

$$\sigma \quad 2.6 \mu \sim \frac{1}{10} \text{ W/m}^2. \quad \pi (0.05)^2 \cdot 1m.$$

$$M = \int \frac{1}{V} dV$$



热力学的基本关系

$$dw = \int_{x_1}^{x_2} p dx = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{V} dV$$

$$dU = dQ + dw$$

Poisson's law

$$pV^\gamma = C \quad \Rightarrow \quad p = CV^{-\gamma}$$

$$\begin{aligned} dw &= \int_{x_1}^{x_2} CV^{-\gamma} dV \\ &= C \frac{1}{-\gamma+1} \left[V^{-\gamma+1} \right]_{x_1}^{x_2} \\ &= \frac{C}{1-\gamma} \left[V^{1-\gamma} \right]_{x_1}^{x_2} \end{aligned}$$

e.g. $x = x_1, \dots, x_2$ $p = p|_{x=x_1}, V|_{x=x_1} = p_1 V_1^\gamma = C$

$$\begin{aligned} dw &= \frac{p_1 V_1^\gamma}{1-\gamma} \left[V^{1-\gamma} \right]_{x_1}^{x_2} \\ &= \frac{p_1 V_1^\gamma}{1-\gamma} \left(V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma} \right) \\ &= \frac{p_1 V_1^\gamma}{1-\gamma} \left(\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-\gamma} - 1 \right) \\ &= \frac{p_1 V_1}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] \end{aligned}$$

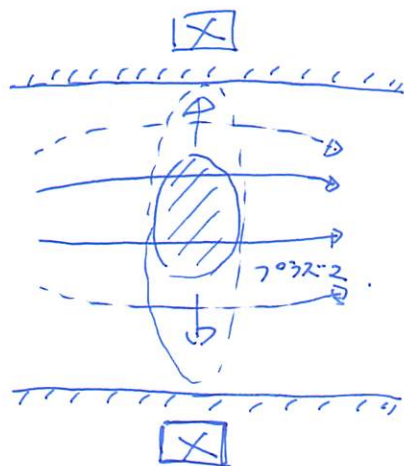
2D ($f=2$, $\gamma = \frac{f+2}{f} = 2$) case

$$\begin{aligned} dw &= \frac{p_1 V_1}{-1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{-1} \right] \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{-2} - 1 \right] \\ &= -p_1 V_1 \left[1 - \frac{V_1}{V_2} \right] \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{-1} - 1 \right] \\ &= +p_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \right] \end{aligned}$$

3D ($f=3$, $\gamma = \frac{5}{3}$) case

$$\begin{aligned} dw &= \frac{p_1 V_1}{-\frac{2}{3}} \left(\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{-\frac{2}{3}} - 1 \right) \\ &= \frac{3}{2} p_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \end{aligned}$$

四極融合電磁石-取だし、



核融合熱出力 P_{fus}

基本式、

$$\mathcal{V} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\beta = \frac{\rho}{[B^2/2\mu_0]}$$

$$LI = N\Phi$$

$$\Phi = B S_{coil}$$

$$\mathcal{V} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N S_{coil} \frac{\partial B}{\partial t}$$

$$I = \frac{N\Phi}{L} = \frac{N S_{coil}}{L} B$$

$$P_{coil} = \mathcal{V} I = -N^2 S_{coil}^2 \frac{1}{L} B \frac{\partial B}{\partial t}$$

$$U_{coil} = \int_{t_1}^{t_2} P_{coil} dt = -\frac{N^2 S_{coil}^2}{L} \int_{t_1}^{t_2} B \frac{\partial B}{\partial t} dt = -\frac{N^2 S_{coil}^2}{L} \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{|B|^2}{2} \right] dt$$

$$= -\frac{N^2 S_{coil}^2}{L} \left[\frac{|B|^2}{2} \right]_{t_1}^{t_2} = -\frac{\mu_0 N^2 S_{coil}^2}{L \beta} \left[\beta \left(\frac{|B|^2}{2\mu_0} \right) \right]_{t_1}^{t_2}$$

$$= -\frac{\mu_0 N^2 S_{coil}^2}{L \beta} [p]_{t_1}^{t_2}$$

$$\Delta U = \int_{p=0}^p p dv + \int_{v=0}^v v dp$$

$$= \int_{p_{plasma}}^p v dp = dQ = P_{fus} \Delta t + \mathcal{V}_{plasma} \therefore dp = P_{fus} \Delta t$$

$$[p]_{t_1}^{t_2} = P_{fus} \cdot (t_2 - t_1) = P_{fus} \cdot T_{FRC}$$

212

$$U_{coil} = -\frac{\mu_0 N^2 S_{coil}^2}{L \beta} P_{fus} \cdot T_{FRC}$$

[J/pulse]

繰返し電波数 f_{rep} を考慮し、取だし電力 P_{coil} $= U_{coil} \cdot f_{rep} / \mathcal{V}_{plasma}$

$$P_{coil} = -\frac{\mu_0 N^2 S_{coil}^2 (f_{rep} T_{FRC})}{L \beta \mathcal{V}_{plasma}} P_{fus}$$

効率 η は

$$\eta \equiv \left| \frac{P_{coil}}{P_{fus}} \right| = + \frac{\mu_0 N^2 S_{coil}^2 (f_{rep} T_{FRC})}{L \beta \mathcal{V}_{plasma}}$$

$$pV^\gamma = \text{const.} \quad (\text{poisson の式})$$

$$\begin{cases} n = \frac{N}{V} \rightarrow V = \frac{N}{n} \\ p = n k_B T \quad \text{or} \end{cases}$$

$$(n k_B T) \cdot \left(\frac{N}{n}\right)^\gamma = \text{const.}$$

$$T \cdot n^{1-\gamma} = \text{const.}$$

$$\therefore T = C_1 n^{\gamma-1}$$

$$\text{径方向圧縮の場合, } (f=2, \gamma = \frac{f+2}{f} = 2)$$

$$T = C_1 n$$

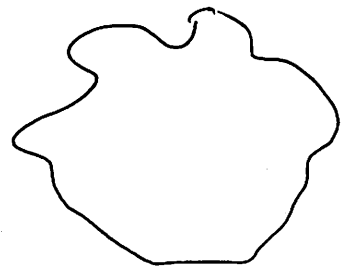
$$\text{径・軸方向圧縮の場合, } (f=3, \gamma = \frac{5}{3})$$

$$T = C_1 n^{\frac{5}{3}}$$

断熱圧縮のスケリング

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} = \frac{B + \nabla p}{|B|^2}$$

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{m} + \frac{1}{m}$$



• 耐熱負荷性

③ ②②

→ 417.1.2 耐熱性問題 $f = L$

$$5 \times 10^6 \times 3600 \text{ s}$$

$$18 \times 10^{10} \text{ cal/h}$$

• Newton 冷却則

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty)$$

$$T_\infty = 300 \text{ K}$$

$$T_s \sim 330 \text{ K}$$

$$\Delta T = 30 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = hA\Delta T$$

$$D = 2R$$

$$A = (2\pi R) \cdot L = \pi D \cdot L$$

$$L \sim 2 \text{ mm}$$

$$h =$$

$$h = \frac{\lambda}{D_s} \left[C_{(Re)} Re^{m(Re)} Pr^{\frac{1}{5}} \right]$$

$$Re = UD_s/\nu$$

$$Pr \sim 0.7$$

8/21

・ スライド作成 + 解析

⇒ 良友友資料

18:30 に 12 時 30 分に

・ スライド作成

(10分 × 6) × 2

2 時間制限下で作成

空欄有り問題

を 作成

・ 必要性

- ・ 位置ずれ問題
- ・ 700ppm 精度に要求される性能

→ 欠点 BG

・ 波形形状 (x-ray-profile)

FWHM ~ 5mm

target 径 ~ 3mm

→ x-ray 強度、中心に位置する、±2mm 程度の X-ray 許容

精度精度 → ~ 0.1mm、さらに、ガラス管公差、20.5mm はある

→ 1mm 程度の 700ppm の分解能

- 耐放射線性
- 耐熱
- 大気中の汚染
- (コンタミ通過後) +

$$P = 222 \mu A \times 45 MeV \\ = 9990 \times 10^{-3} \times 10^6 \\ = 9.99 \times 10^6 \\ \sim 10 MW$$

・ 関係する、光学的に 2 = 4

3ms, 300 pps

900 μs / 1s

~ 0.09% duty

構造

→ 位置駆動機構、→ 3D CAD → 図面

9 kW / 45 MeV

$$\frac{9 \times 10^3}{45 \times 10^6}$$

測定値の

4-9, 4 回分の整理

$$\frac{9 kW}{10 MW} \times 10^{-4}$$

$$\frac{1}{5} \times 10^{-3}$$

0.2 mA

$$\frac{200 \mu A}{900 \mu s}$$

$$Q = 900 \mu s \times I_{peak}$$

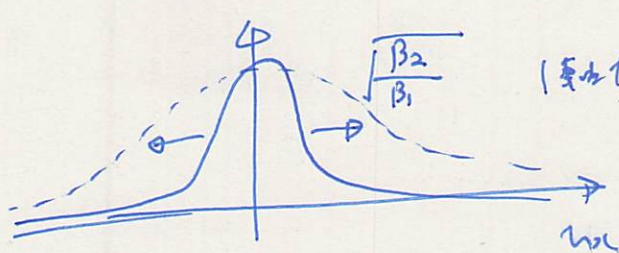
$$= 200 \mu A \times 1s$$

$$I_{peak} = \frac{200 \mu A \times 1s}{900 \mu s}$$

$$= \frac{2}{9} = 0.222 \dots A$$

222mA

比例倍はCの5倍。



$$\propto B^{\frac{1}{2}}$$

$$T_{\perp} = m v_{\perp}^2 \propto B'$$

$$T \propto V^{-1}$$

T 2 B 1

$$\therefore B \propto V^{-1} \quad \text{or} \quad V \propto B^{-1}$$

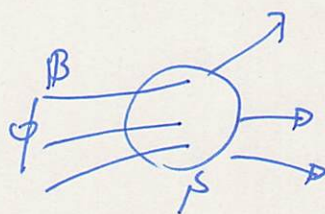
$$\frac{N}{h} \propto B^{-1} \quad \therefore n^{-1} \propto B^{-1}$$

5 2 13

$$13 = \phi / \rho$$

$$n \propto \phi / \rho$$

$$N/V \propto \phi/\rho$$



⇒ 普通に於て、... 此れ Maxwell 分布を以て $T = T_0$ なる...

- shock wave?
- Fermi Acc.?
- 非等速运动辐射??

④ 冷却水の熱容量

$$Q = C \Delta T$$

$$= \rho C \frac{V}{\Delta T} \Delta T$$

$$= \rho C Q \Delta T \Delta t$$

$$= 997 \text{ kg/m}^3 \times 4.2 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 20 \text{ L/min} \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3/\text{L}}{60 \text{ s/min}} \times 10 \text{ K} \times 1 \text{ s}$$

=

$$\phi 5 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 2 \times 3.14 \times \frac{5}{2} \times 10 \text{ mm}$$

$$S = 1.57 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

2-1

$$\frac{\pi r^2}{4} = 3.14 \times \frac{25}{4} \times 10^{-6}$$

$$= 18.44 \times 10^{-6}$$

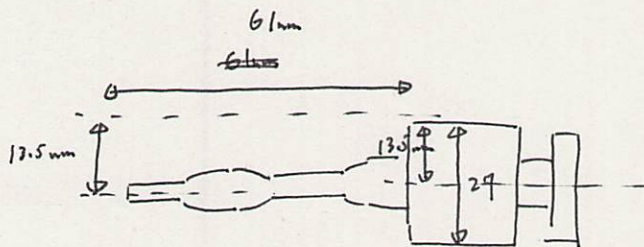
$$\sim 20 \times 10^{-6}$$

$$1.60 \times 10^{-4}$$

$$+ 3.88 \times 10^{-4}$$

$$5.48 \times 10^{-4}$$

⑤ 構造の必然性説明



④ 9/20. レーザプリンタ. "文字データへの印刷の支持."

• Corel Draw 2. 文字の対応をとり.

→ 数値上の寸法と全寸法の一致を確認.
(7-1)

→ 印刷の72dpiの値. 横. 全幅が対応可能な様子.

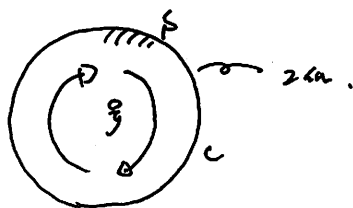
{ 横 20 inch

→ Corel Draw.  対応を確認可能.

→ 上対応に 7200 dpi, 7200 dpi. 単位設定可.

→ inch ~ mm へ変更可.

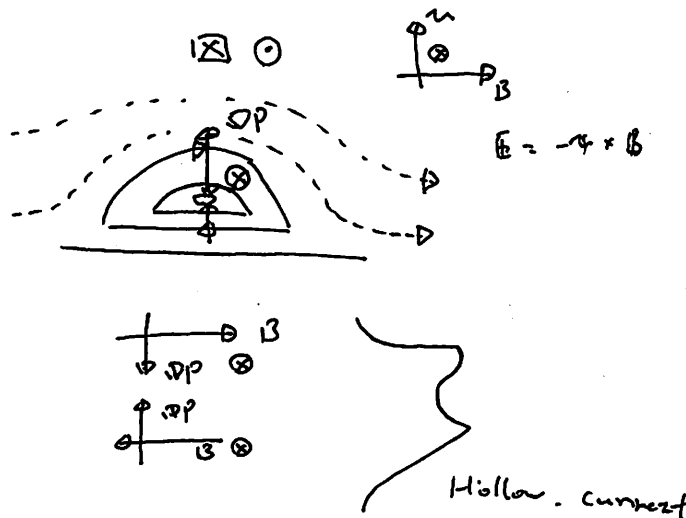
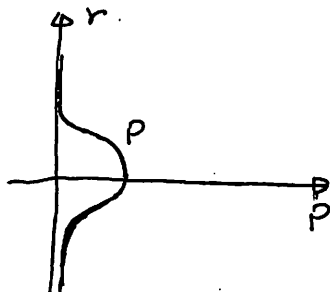
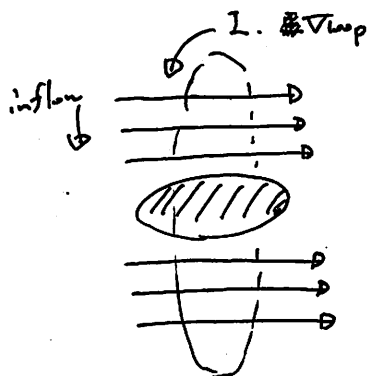
• 4x5 対応 Corel Draw 2 印刷にできる.



$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\int_P \nabla \times \mathbf{E} \cdot d\mathbf{f} = \int_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{p} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_P \mathbf{B} \cdot d\mathbf{f} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_P \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} \, dS$$

電圧は誘起した??



- 反磁性電流、
反転磁場の生成方向、

- コイル電流、

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{なる。}$$

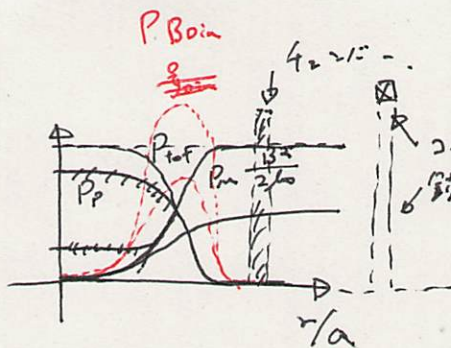
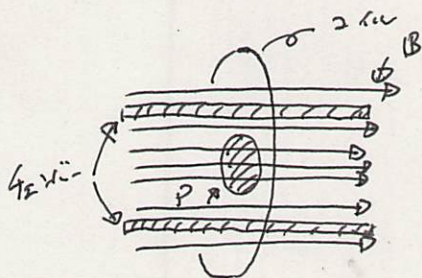
レートの流則は

コイル反転磁場は逆方向、
反磁性電流は、コイルと逆、

$$\mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B} \text{ は、}$$

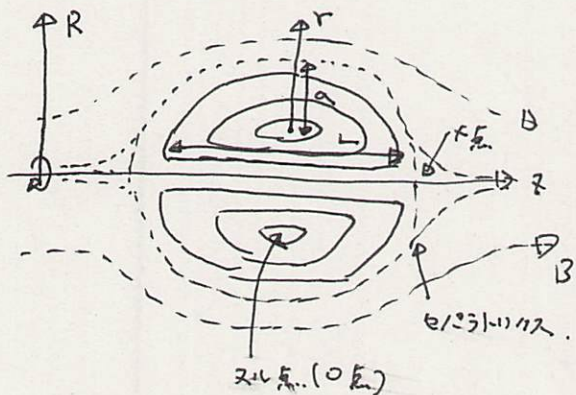
コイルと同方向に電場を作ります、

• フラックスの誘起電流.



$$\nabla P_p = 0 \quad (\text{※ 3})$$

⇒ 反磁性電流は、
中心で最大...



$$E = L / \alpha \quad (\text{アテコ2})$$

r: 小半径方向. (フラックスの磁気軸中心)
(0点)

R: (円筒座標の) 半径方向.

• 反磁性電流.

$$\nabla P = \mathbf{j} \times \mathbf{B} \quad (\text{MHD 平衡の式})$$

$$\hookrightarrow \mathbf{B} \times \nabla P = \mathbf{B} \times (\mathbf{j} \times \mathbf{B}) = |\mathbf{B}|^2 \mathbf{j} - (\mathbf{B} \cdot \mathbf{j}) \mathbf{B}$$

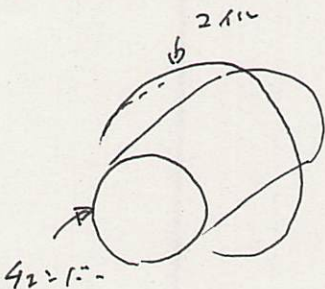
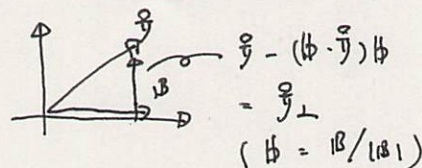
~~電流密度~~ →

$$\Rightarrow j_{\text{Din}} = j_{\perp} = \frac{\mathbf{B} \times \nabla P}{|\mathbf{B}|^2}$$

$$\therefore j_{\text{Din}} = \frac{\mathbf{B} \times \nabla P}{|\mathbf{B}|^2}$$

$$\Rightarrow \text{中心で } \nabla P_p = 0. \quad (\because P_p = 0)$$

$$\therefore j_{\text{Din}} = 0.$$



$$\text{電流連続.} \quad \frac{\partial \rho_c}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j} = 0$$

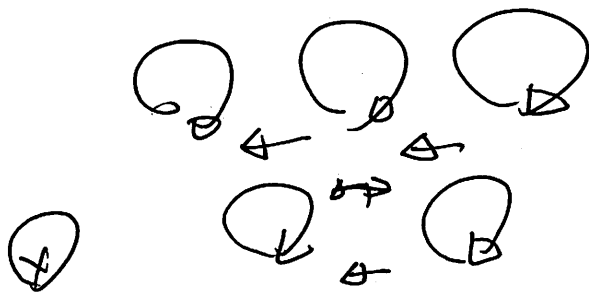
$$\nabla \cdot \mathbf{j} = 0.$$

$$\text{反磁性電流にて} \quad \nabla \cdot j_{\text{Din}} = 0.$$

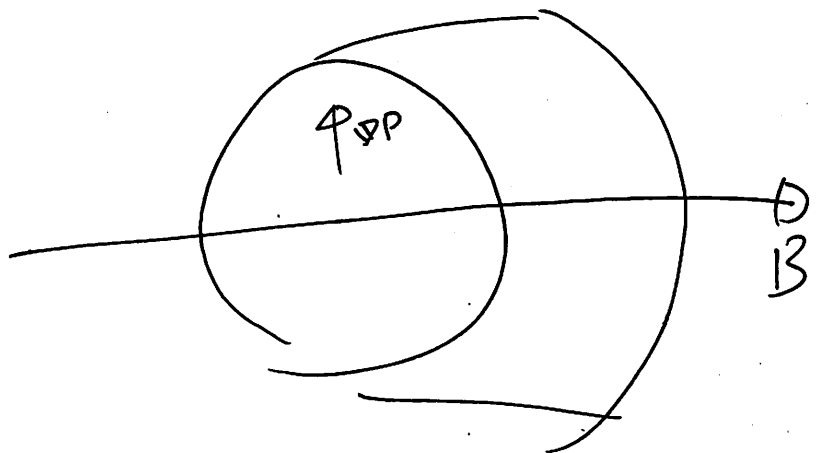
* スケジュール
(5km depth)

* 毎週のレポート提出 (理解が深い子のテスト)
1week. → NDA → 10月

*



B + DP



9/19

10:00

"全体的な業務"

- 子に渡し.

~~11:00 12:00 13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 24:00~~

~~13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 24:00~~

~~13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 24:00~~

- 喜大. 1-11. (日記)

18:00 19:00 20:00 21:00 22:00 23:00 24:00

- 旅 品大. スーパー作り. (理論構築)

- 13 PCの整備. (18:00)

• エネルギーの感度校正

1 崩壊 1238.3 2 崩壊 (1188) 本数

Co-56 の校正

Co-56

846.8 beV

値 (カウント)

78.16

放出率

100

1238.3 beV

9.916

66.5

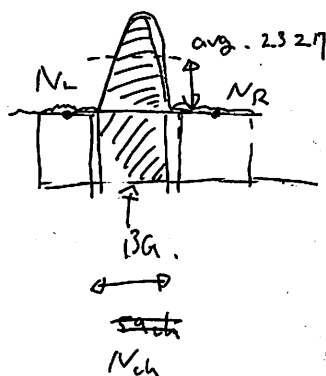
1771.4 beV

2.327

15.42

合計 280 カウント
平均 4.91 カウント

Co-7 のエネルギーは ダブル法、エネルギーは $\left\{ \begin{array}{l} \text{低E avg. 2.13} \\ \text{高E avg. 3.04} \end{array} \right\}$



$$(N_{ch}) = N_{ch} \times (N_L + N_R) \times \frac{1}{2}$$

1771.4 beV の Co-7, avg. 2.327
1238.3 beV の Co-7, avg. 9.916
846.8 beV の Co-7, avg. 78.16

Ni-56

811 beV

avg. 127.814

158 beV

avg. 178.75

811 beV / 846.8 beV = 1 2.15 倍

158 beV - 1.22
811 beV - 1.0
846 beV - 1.0
1238.3 beV - 0.32
1771.4 beV - 0.28

のエネルギー別の感度

• エネルギー感度の逆数を用いて、検出器の感度を、エネルギーの位置強度とする

→ 放出係数の逆数を用いて、崩壊数 (rel.int.) に直す

→ 検出器の存在比に直す, $(r_1, r_2, \dots)$

$$P(t) = P_0 \left[r_1 e^{-\frac{t}{T_{1/2-1}}} + r_2 e^{-\frac{t}{T_{1/2-2}}} + \dots \right]$$

$t = 400$ h の $P(t=400h) = 14 \mu\text{Sv/h}$ 27, P_0 を求める

$P(t) = P_0 [\dots]$ が導出完了

予算案

12月 23日 まで.....

■ 薬費

・ 37歳

■ 東北大学にドラッグ case. 中

12月 23日 まで.....

一 下期 使用予定 調査.

一 特許 ~~調査~~ 270 作成. ④ 合宿.

→ 10月??

~~調査~~.

~~西水次 大~~

~~Empo-lan の 270~~

~~A²²¹ 防護用 B カート~~ (後) (定量性)

~~米アキバニ 270 中~~ (中)

~~720 中~~

~~全の手配~~

・ 全の 見合 方法 の 参考.

・ 総量 計算.

・ イラストール (カマ)

・ 米アキバニ 270 中

・ Empo-lan

・ B カートの 270.

・ PDR 270-2.

・ Novartis

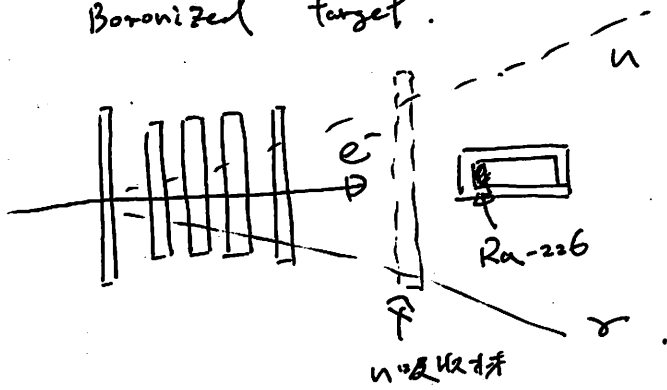
・ Bayer

・ Telix

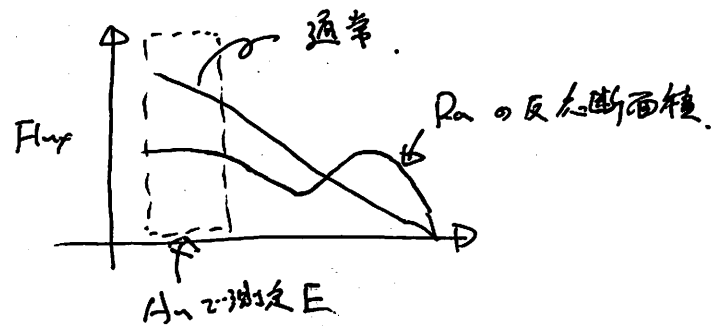
・ Lanthens

・ Curium

Boronized target.



n のエネルギー分布



- R_n : 変に高エネルギーに感度有り.
 - A_n : 低エネルギーに測定に感度有り.
- エネルギー特性が相似しているため、
 A_n の反応で P_n の生成を
 測るのは難しいから.

n : 吸収材. (B-PE)
 (反射材に似てる??)

~~全部全同~~

高Eの中性子を吸収して低E... 中通過...
 減速剤と組み合わせて.

9/7 (A) "原稿. 訂正."

Figure 2 註明表 2.

◎ 聯訂正點.

~~英文 + 中文~~

~~目錄~~

~~各表之單位~~

~~四角之單位~~

~~各表之單位~~

~~2.2 節~~

~~Figure 8.9 之單位~~

~~Figure 10 之~~

~~Figure 11 之 (優劣順位)~~

~~Ra 206 表記~~

~~單位 [] 之~~

~~1.6 km 之照射~~

~~後遺之數值見~~

~~Figure 2 註明~~

~~Figure 14 之字~~

~~照射之記錄~~

~~文書 (放射化)~~

~~三三之~~

$$P = n \cdot \text{lost} \quad \begin{matrix} 10^2 / \text{m}^3 & 100 \text{ keV} \\ \downarrow & \downarrow \end{matrix}$$

$$\sim 16 \text{ MPa} = \text{J} / \text{m}^3$$

$$16 \times 10^6 \text{ N} / \text{m}^2$$

$$16 \times 10^9 \text{ N} / \text{s} / \text{m}^2$$

$$16 \times 10^9 \text{ J} / \text{m}^3 \times / \text{s}$$

$$\pi r^2 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0.5^2}{4} = 0.196 \times 0.09$$

$$\sim 0.07 \times / \text{m}.$$

$$V \sim 0.1 \text{ m}^3.$$

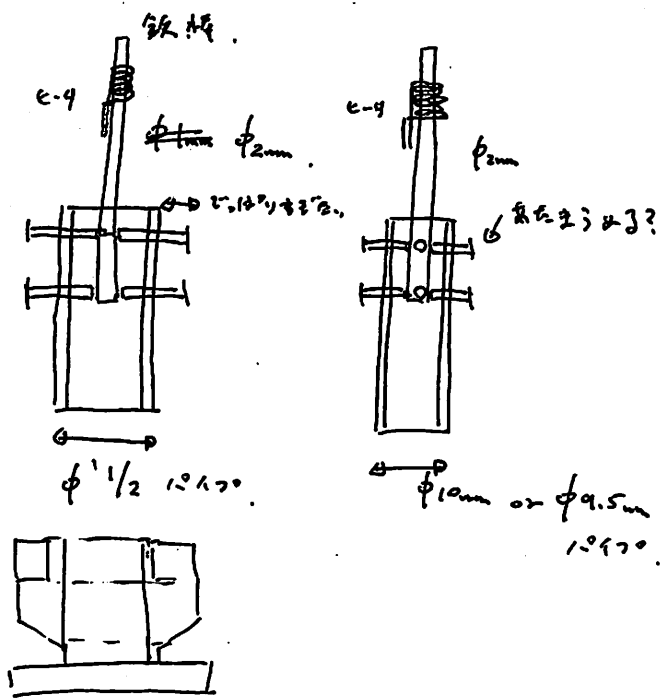
$$16 \times 10^8 \text{ W} / \text{m}^2$$

$$160 \text{ MW}$$

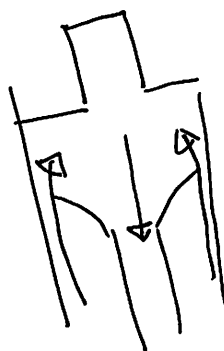
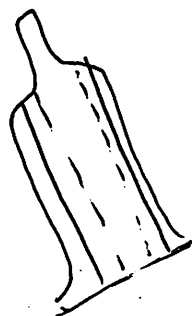
$$P = 0.5 \text{ m}$$

$$L = 0.5 \text{ m}$$

$$S = \pi P \cdot L = 0.785$$



1/2 VCR 20770.



	原子- 炭灰	強度	放射率	Bg-比率
Co-58 - 811 BeV	1	127.514 / 1.0 = 127.514	99.4	128.28
Co-57 - 122.1 BeV	1.22 (NN)	9890.4 / 1.22 = 8241	85.6	9627.3
Co-56 - 811 BeV	0.32	16.86 / 0.32 = 52.68	66.5	179.22
Cr-51 - 320 BeV	1.167	2334.9 / 1.167 = 2000.77	100	2000.77
Mn-54 834.8	1.0	78.76 / 1.0 = 78.76	100	78.76

- 0.22

$$\frac{800}{662} \quad r_{\text{loss}}$$

• 短半減期核種, ① 線量, 作業, 218k, 倍々,
② 遮蔽.

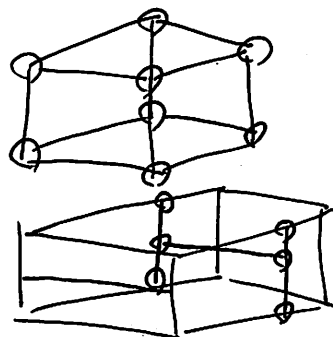
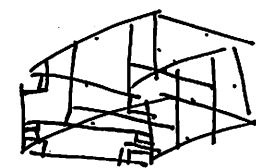
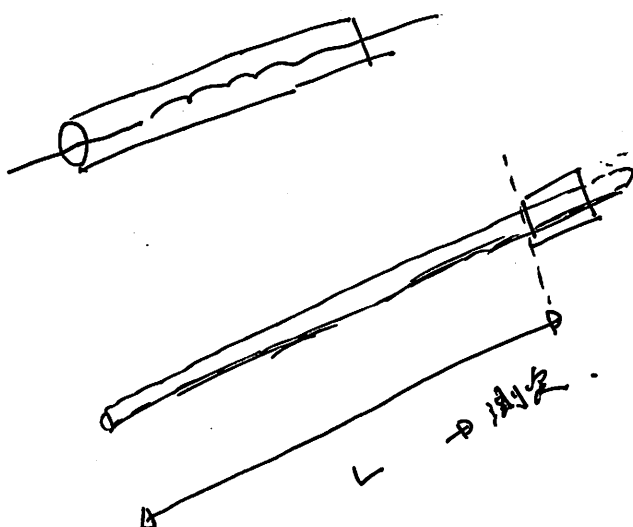
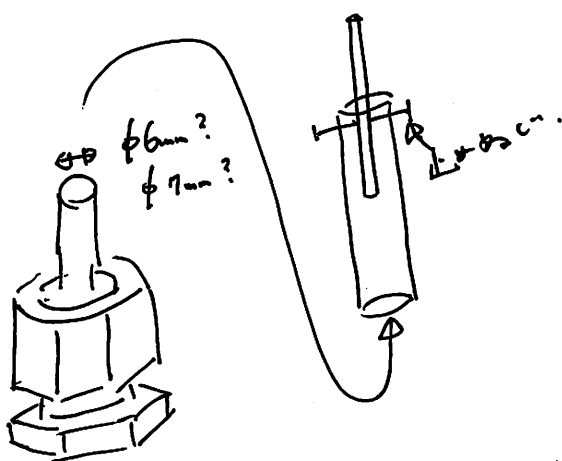
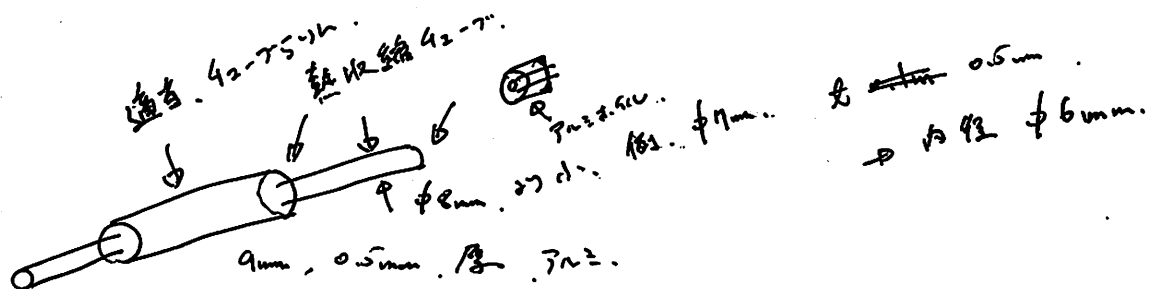
• 737-277 218k の, 改善,
①

量子研究室, - 推進室,

②-8-

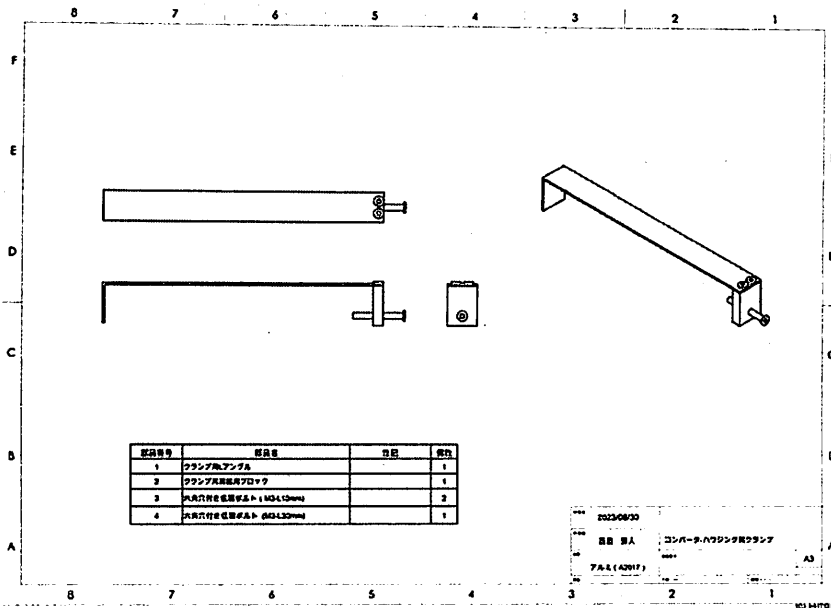
② 温度420Kの構成. 二つ原子6.....

- 一点心. 抜き. (1mm 粒) etc.
 - 解外縁径 8.5mm ~ 9mm
- φ 9mm ~ 2mm ??



1. ハウジング-コンバータ締結用 コノ字型クランプ

HITACHI
Inspire the Next

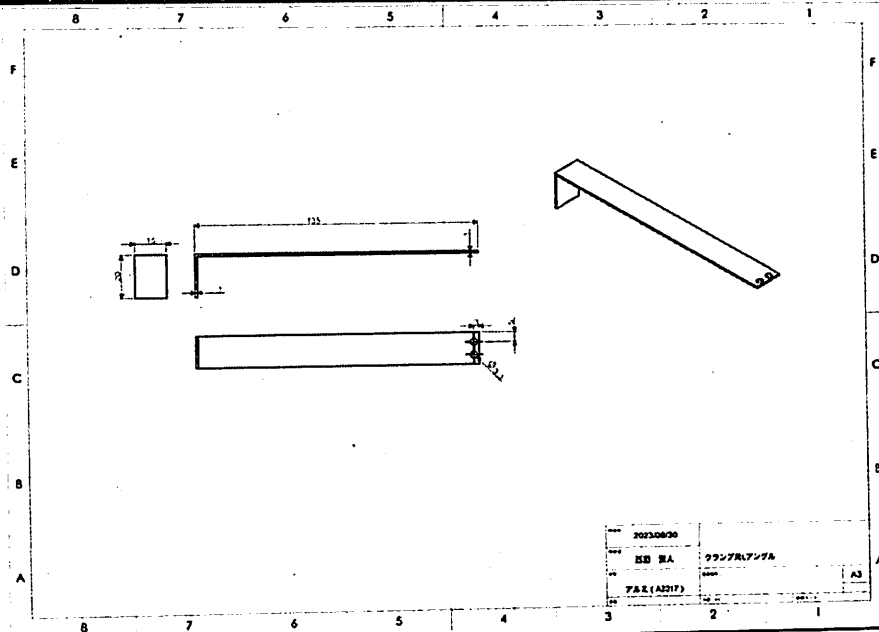


© Hitachi, Ltd. 2023. All rights reserved.

2

1-(i). ハウジング-コンバータ締結用 コノ字型クランプ(L字部分)

HITACHI
Inspire the Next

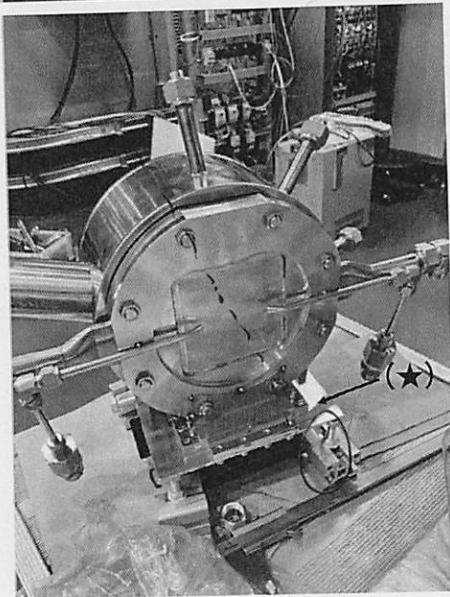


© Hitachi, Ltd. 2023. All rights reserved.

3

3. 土台のアルミ板

HITACHI
Inspire the Next



(★)のパーツの改良版を再度製作いただきたい

課題点

- ・ 重心がコンバータに寄っており、コンバータ側に垂れてしまい、一体としたときに静止しない
- ・ ラボジャッキの長さが固定できない
- ・ ラボジャッキの角度が一定とならない
(取っ手のねじを締めた後も固定されない)

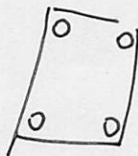
改良点

- ・ (★)パーツの4隅にボルト穴(M8)程度を切って、ボルトを通して突っ張る
- ・ 現状の板厚はうすいため、板厚を10mm程度へ

現状の(★)パーツの図面をいただきたい

© Hitachi, Ltd. 2023. All rights reserved.

6

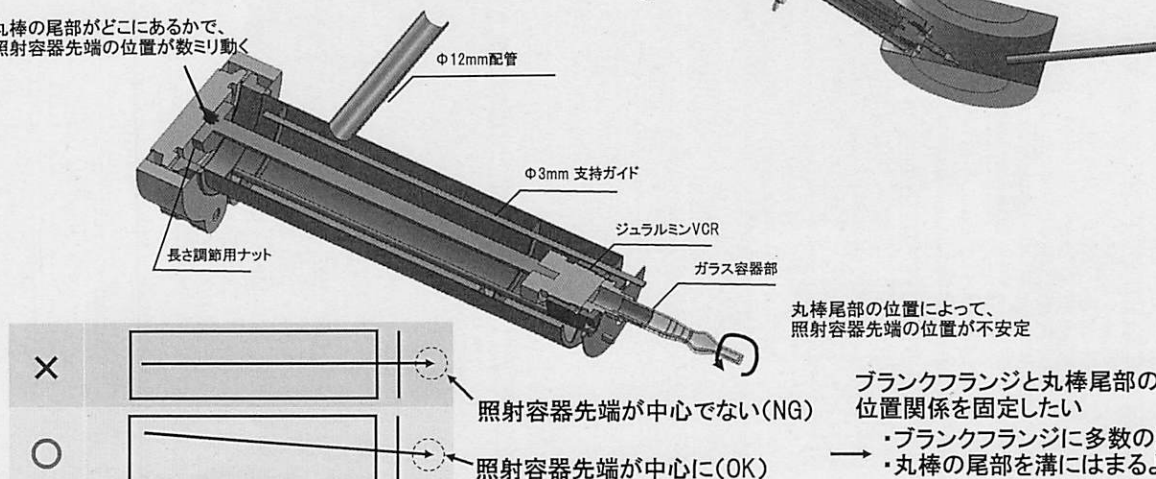


4.5 照射容器位置の固定

HITACHI
Inspire the Next

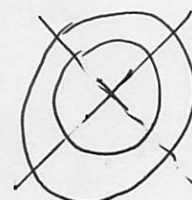
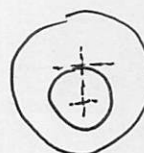
【課題】 丸棒の中心が、ブラנקフランジ中央に来るよう配置しても照射容器先端が、ビーム軸上には来ていなかった

丸棒の尾部がどこにあるかで、照射容器先端の位置が数ミリ動く



© Hitachi, Ltd. 2023. All rights reserved.

7



④ 0.2で使用する

→

溶液保管か?

→

{ - 3次酸でCH₂を-5. (8M?)
- 保管状態は?

→ 1.5Lの70. 量底の交換をいふが

→ 定量したか?

→ 1L. 再定量しない...

→ 容器 - 重さで分率で決める

⑤ 波縮に. (100%入る. 乾かす)

→ まず波縮. 容器に入れて. その後測定

測定後. → 容器に入れて.
(100% 3703の重)

→ 何が違うか.

→ 1本経線源. による.

→ 100/ABgに12. まてで操作する.

→ その定量は. 計器(2424-T)の理論値以下で存在...

→

19~22日.

⑥ 2424-T.
→ 内部? yes.

→ 4270に換えて.

⑦ 金

20-23 30不在.

19-24 20不在.

25- の値は...

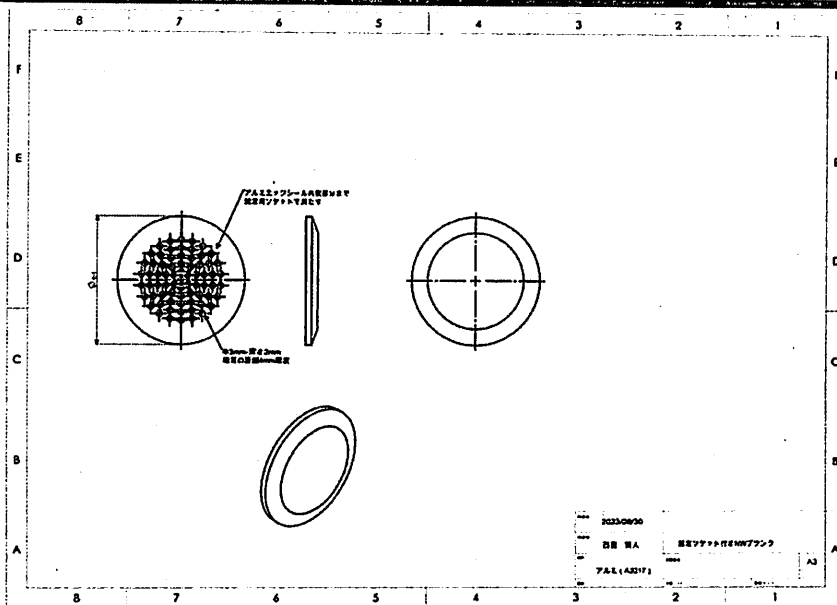
0.8 / 0.26 x 13 nm.

~ 42 nm

Pr 282-412 4040 or 5050.

4.ハウジングのターゲット挿入口 NWブランクフランジ

HITACHI
Inspire the Next

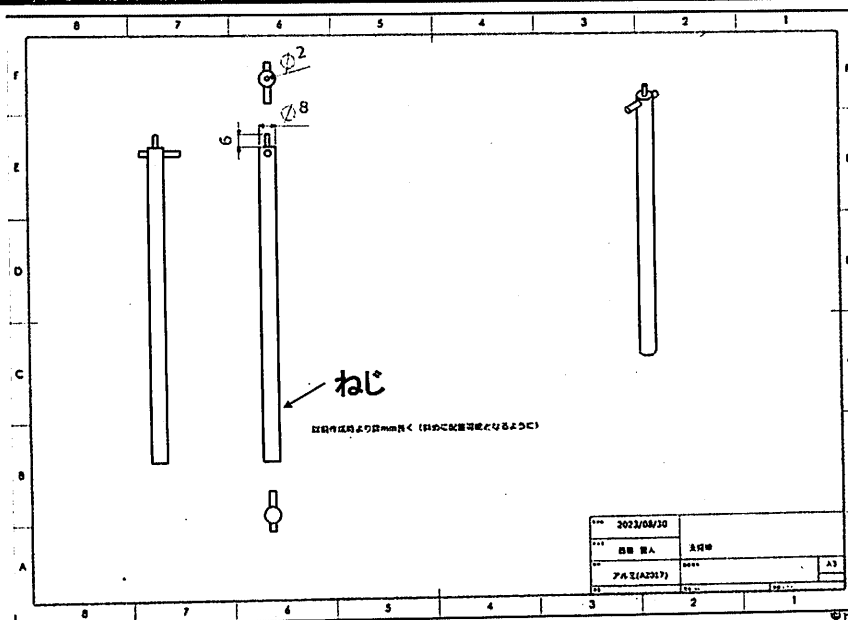


© Hitachi, Ltd. 2023. All rights reserved.

8

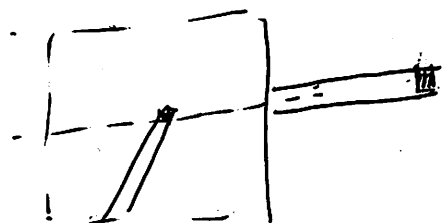
5. 照射容器の固定用丸棒

HITACHI
Inspire the Next



© Hitachi, Ltd. 2023. All rights reserved.

9



527, 63/27292

(8) 4-9 (3)

(A-1) PMA-617. 22 ~~10~~ 10年

^{111}Lu - PMA. (1) 10 第 1 移)

^{68}Ga ^{111}Lu - ^{68}Ga ...

2. 2. 2.

^{223}Ra , ^{225}Ac

^{211}At - ^{125}I (2. 2. 2) 2 組 1/2 分

^{125}I , ^{211}At 2 胃 2 甲状腺

RGD 10 70 分. 2 ^{125}I ^{211}At 2 組 1/2 分

$\text{Sn}(\text{nBu})_3$ 2 1. 2. 2 2 分 1. 2. 2 分 1. 2. 2 分

Albumin Binder (アルブミン) 2 ~~1. 2. 2~~ 親和性 2. 2. 2

2 体内 2. 2. 2 分 2. 2. 2 分

^{18}F , ^{68}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{123}I

MABG - 福島性細胞種

Bi^{202} - ^{211}At

^{211}At 2

1. 1 G 2 h shot

$\alpha = 2 \times 10^{-3}$
 材料振動
 位置精度
 製造量
 非線形要因

$\alpha = 2 \times 10^{-3}$

$\alpha = 2 \times 10^{-3}$

音圧

振幅

Fusion.

懸念点

- * 変換方式
- * 傾性 (tilt, 回転)
- * 温度
- * コレクタリシス (比率)
- * FRC の制御は正しく
→ 新期性?

- * コレクタリシスの圧力駆動型不安定性
- * $D-H_2$ の温度未定 (F10)

* C-2 の比較

- 安定動作
- NB 動作無
- 不安定性検証

(30ms)
 0.5ms 40 数 10ms pulse.
 振動
 50ms?
 0 →

原理

全組

物理・数学・熱・電気

* コレクタリシス壁

傾性 →

● 所報の構成

1. Background.

2. ターゲットミスマッチの開発

2.1 構成

2.2 熱解析

2.3 ターゲットミスマッチの改良

← 2.1.2 前回の試験の要、→ 各研究経路へ

3. 照射試験

3.1 試験のセッティング

3.2 試験後の様子

3.3 ビーム電流 etc.

3.4 熱電対の温度グラフ、) → 経時変化

4. 放射化

3.1 PHILIP

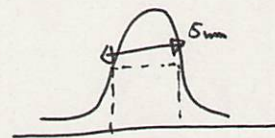
3.2 放射化の測定 (セッティング)

3.3 測定結果

3.4 推定

● 所報に必要な数値計算の先行

→ 要約 (要約程度の要約)



27mm → 10mm

$$\frac{9}{114} = 2.25 \text{ mm}^2$$

$$3 \text{ mm} (10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}^2$$

$$\times 17.29 \text{ (倍)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{ex}} \sim 1.4 \text{ (倍)} \\ \sim 1.3 \text{ (倍)} (P) \end{array} \right\}$$

● 最下段 鉛、有、透数、+ 保管検討の件

● 放射

● 同文例へ 216 必要不確保の件

● 4L 3 送付

●

● Ba 評価結果 (5-6mm 以下) → 結果原因究明 8/29

● 最低額、200万円、(typical)

● Ra 形態 — 左い、情報が少ない

{ $RaCO_3$ - Be に混じる、
 RaP (370MBq)

● 放射源輸送、

- 法令に関しては R2 協会、に相談

- 密封放射源、→ 非密封放射源、という事

* Ra -Be → Ra の抽出を要

(日互の持株比率 80%、NFD に交渉を模索)

* 輸送に関して、(左)

Ra に関して、特殊な形がある

情報を取得して

(Y → A 型輸送)

- 370MBq

→ 持帰の検討

RaP → ? 密封放射源の許可を東北大に取得中

● 今後の全体スケジュール

- 今後、治療用途の放射線製造について、(最終的には)

- 取扱については

● 放射源の取り扱った場合には、金額、其研確定、を考慮

- 予算は決定済、(今年度は決定済の範囲で進める)

-

● 提始先、は AZST 7/12-コンズ、? AZST?

- AZST solutions が多い、→ 参照、(共同研究が好ましい)

● Ra 他 の 調 査 先 は ? (国内 / 国外 / AZST) 3つ
(JAEA)

④ 逐次代入法

A λ_1 B λ_2 C λ_3

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dN_1(t)}{dt} &= -\lambda_1 N_1(t) \\ \frac{dN_2(t)}{dt} &= \lambda_1 N_1(t) - \lambda_2 N_2(t) \end{aligned} \right.$$

(第2問)

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

$$N_2(t)$$

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

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

(積分)

$$\ln N_2 = -\lambda_2 t$$

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

$$= N_0 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 N_0 e^{-\lambda_2 t} = 0$$

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

$$C' e^{-\lambda_2 t} + \lambda_2 C(t) e^{-\lambda_2 t} = \lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$- \lambda_2 C e^{-\lambda_2 t}$$

$$C' = \lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{\lambda_2 t}$$

$$C = \frac{-\lambda_1 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-(\lambda_1 - \lambda_2)t} + \text{const}$$

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_0 e^{-\lambda_1 t} + \frac{D}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t}$$

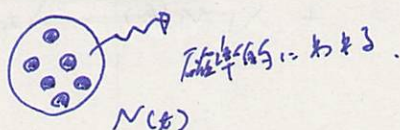
$$t=0 \Rightarrow N_2(t=0) = N_0 \Rightarrow 232$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_0 + D = N_0$$

$$D = N_0 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_0$$

$$\therefore N_2(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_0 [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}] + N_0 e^{-\lambda_2 t}$$

④ 衰减率 λ 与 τ 的关系.



$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t)$$

$$\frac{1}{N} dN = -\lambda dt$$

$$\int \frac{1}{N} dN = - \int \lambda dt$$

$$\ln(N) = -\lambda t + C$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = \frac{dN}{dt} : \text{放射能} = \text{衰变速度}$$

$$A = \frac{dN(t)}{dt} = -N_0 \lambda e^{-\lambda t} \equiv A_0$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

λ : e 衰变常数 (与 τ 有关) ...

$\Rightarrow \frac{1}{2} A$ 衰变 : 半衰期 T 时了.

⑤ 半衰期 T .

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 \left[\frac{1}{2} \right]^{-\frac{\lambda}{\ln 2} t}$$

$$\ln A = \ln(A_0 e^{-\lambda t})$$

$$= A_0 e^{-\frac{\ln 2}{\ln 2} \lambda t} = A_0 [e^{-\ln 2}]^{\frac{\lambda}{\ln 2} t} = A_0 \left[\frac{1}{2} \right]^{\frac{\lambda}{\ln 2} t}$$

$$= A_0 \left[\frac{1}{2} \right]^{\frac{t}{T}}$$

$$\therefore T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

過渡平衡

($\lambda_2 > \lambda_1$, $T_1 > T_2$ t + 時間經過)

$$\begin{cases} N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{20} e^{-\lambda_2 t} \\ N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \end{cases}$$

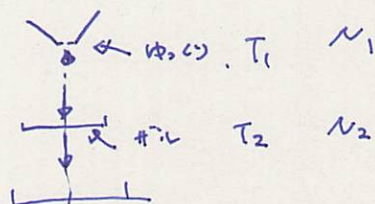
$e^{-\lambda_1 t} \gg e^{-\lambda_2 t}$ ($t \rightarrow \infty$) $\therefore e^{-\lambda_2 t} \approx 0$

$$\begin{cases} N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} e^{-\lambda_1 t} \\ N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \end{cases} \Rightarrow N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1$$

A $\xrightarrow{\lambda_1}$ B $\xrightarrow{\lambda_2}$ C

T_1 ϕ 10 1/4 分
 T_2 ϕ 3 秒

cf 5.5



永続平衡

($\lambda_2 \gg \lambda_1$, $T_1 \gg T_2$ $t \rightarrow \infty$)

$$\begin{cases} N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{10} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{20} e^{-\lambda_2 t} \\ N_1 = N_{10} e^{-\lambda_1 t} \end{cases}$$

$$\Rightarrow N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1 = \frac{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}}{1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}} N_1$$

$$\Rightarrow \sim \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1$$

$$\therefore \lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

$$\frac{N_1}{T_1} = \frac{N_2}{T_2}$$

N_2 は 粒子の数は

$$\frac{\frac{\lambda_1}{\lambda_2}}{1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}} = \frac{\frac{T_2}{T_1}}{1 - \frac{T_2}{T_1}}$$

$$\frac{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$\frac{3}{600 - 3}$$

cf. 少 量

e.g.) $N_1 = 10^{20}$ 2 粒子

$T_1 = 10^3$ y, $T_2 = 1$ y 程度

$$\frac{10^{20}}{10^3} = \frac{1}{1} \Rightarrow N_2 = 10^{17}$$

$$\frac{10^{20}}{1000 \text{ 年}} = \frac{10^{17}}{1 \text{ 年}}$$

1000 年に一度、粒子の数は 1 年に 1 度粒子の数は 1/1000 $\therefore$ 2 毎分

e.g.)

$$Rn-226 \quad (1600 \text{ y})$$

↓

$$Rn-222 \quad (2 \text{ day}) \quad \sim (1/180 \text{ y})$$

$$Rn-226$$

$$1 \text{ g } 54 \text{ r-3,} \\ (37 \text{ GBq})$$

$$Rn-222 \text{ (2)}$$

$$\frac{37 \times 10^9}{1600 + 365 + 3600} = \frac{A_{Rn}}{2 + 3600}$$

$$\begin{aligned} \therefore A_{Rn} &= \frac{2}{1600 + 365} \times 37 \times 10^9 \\ &= \frac{1}{800 + 365} \times 37 \times 10^9 \\ &= \frac{1}{1165} \times 10^9 \\ &= 0.125 \times 10^6 \\ &= 125 \text{ kBq} \end{aligned}$$

$$1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cc (cm}^3\text{)}$$

$$0.125 \text{ [Bq/cc]}$$

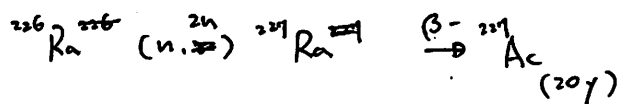
$$\textcircled{a} \quad 1 \text{ m}^3$$

* 2-7-作成

西田 隆

* 照射装置のホウキ型線からスズを照射

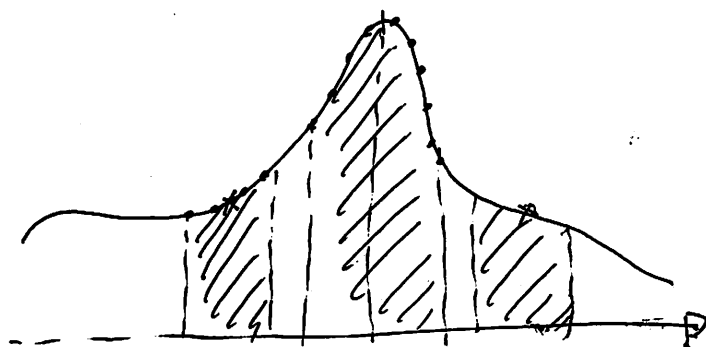
→ ^{10}B (n, α) ^7Li の中性子で誘起



* 短半減期核種の同定

* 全ピークの言数

* 台形分割法を用いて、pythonで



中心波長の山数を知る

① 任意の範囲の積分値を算出する関数

② 中心波長 / 幅
下側 中心波長 / 幅
上側 : / 幅

を返す

積分

③ 上下中心値で、一定の幅に分割し、その高さを台形面積

④ 差分の面積

⑤ 差分の平均値

└

→ パラメータ

上中下の波長 / 幅
($x_2 - x_1$)

が、ピーク高さを計算

コード

(x_1, y_1)

x ————— x (x_2, y_2)

$$y_2 - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$$y = y_1 +$$

Chc

・ 排気 - (R2) - 送排

管器 → キリキ
R2(Ra) のリレキ → 送付
(国研に送付)

- 差圧計が手配中.

コントローラ着 - 8m (透明) /

- 150-250 Pa

+ SUS 配管.

9月3日までに完成

外気 (温度 - 気圧変化)

- 1. 回収系.

- 水の循環系を通す.

- 100mL

- 風は押し当て (試料作製時は別で使用する)

- コール試験内容.

- 了解.

- 送排

- 2cm 下に鉛.

- 1. 2. 3. 4.

第1週 - 8/29 - 8/31 etc.

・ 8/10 (水) "調整. 残務. 一掃"

・ To Do

~~・ 必要物品手配. (PC, 水, 空気)~~

~~・ PC, 水, 空気 (定時)~~

~~・ 放射線測定, 2. 4.~~

・ 計算. (熱)

・ 放射化 (短寿命 R2)

・ 放射化 (長寿命 R2) → 2. 4. 計算. 5. 作成. (取扱い)

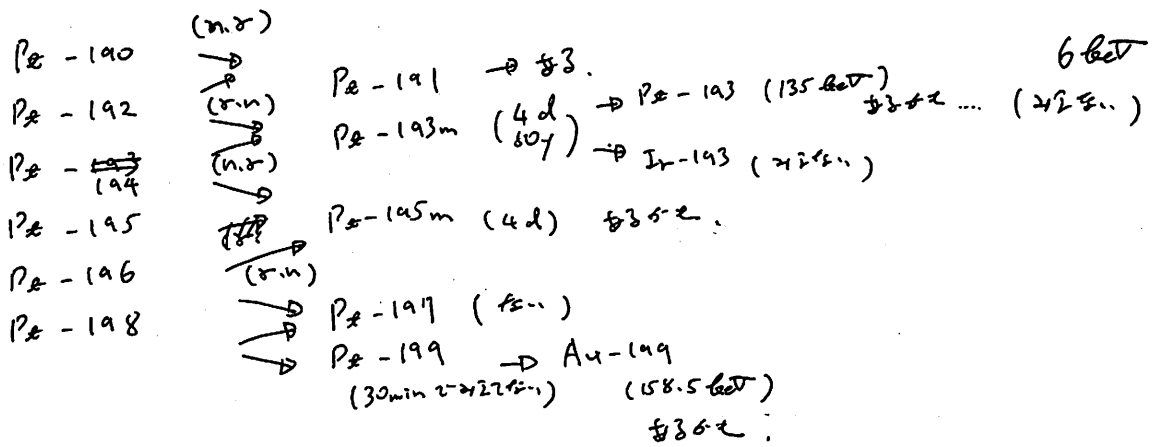
・ レポート.

・ 出張の口.

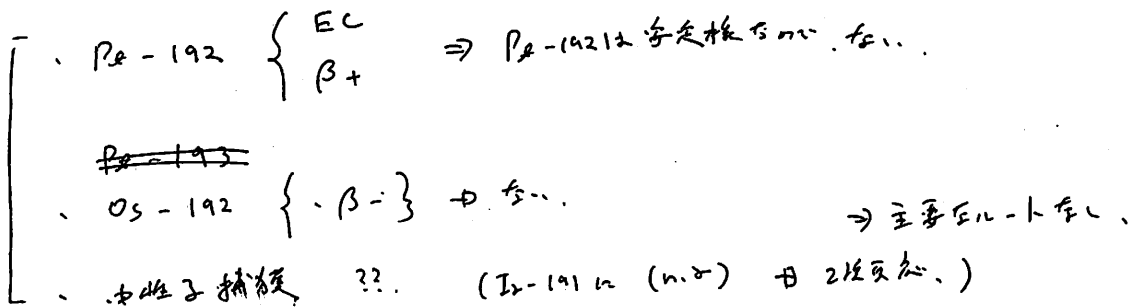
・ 英研打合せの口.

・ ミヤガキさんへ一報.

⑨ Pt の放射性同位体について、その、



$Ir-192$ は α 3??.



⑩ $Fe-55$ $\rightarrow$ $Fe-56$ (stable) $\rightarrow$ (s.n.)

2744 γ , - 126 keV $\rightarrow$
 $\rightarrow$ 83.52, 83.52...

⑪ $Co-58$

$Co-59$ (stable) $\rightarrow$ (s.n.)

(21% トク, λ 2. $\rightarrow$...) $\Rightarrow$ 本来 $Fe-56$ には混入可。

⑫ $Mn-54$ ($Mn-55$ $\rightarrow$ (s.n.))

⑬ $W-185$ は f.s.

⑭ $Mo-99$ は f.s.

⑮ $Tc-99m$ は f.s., (82% トク, λ 2. $\rightarrow$...)

⑯ $Nb-92$ は f.s.

⑰ $Fe-59$ は f.s.

④放射化について、

。P&Vの二つで実行 ✓

~~● P_2 の不純物 2.5% 以下 ✓~~

- スペクトルの組合

④ P_{2v} の変位 v 、横座標が $2v$ に変化する

C-276 → 2x... - 5x... ?

Nb - 92m , ~~99~~, Tc - 99m , Cr-51 , Fe-55
F F F P P
7~9 keV . 8 keV . 140 keV 320 keV 126 keV
~~# 子 170 e ...~~
全 or 33 ... # 30 e ...
e → 作子 ??
Cr-52 (stable)
in (r.m)

Pe -

• $\rho_E - |a| \neq 0, \dots$ $\rightarrow$ 同位体比を全く無視して計算する!!!

• $P_E - 193\text{m}$, $P_E - 195\text{m}$ 12 λ 3?
(135 GeV - 4.3 day)

$P_E - 1.93$ 80 year 6-2-233 ft.
 6-2-233 ft.
 $\rightarrow 1.93 E 2-2-233 ft.$

→ Pg - 192 ~~2~~ ~~2~~ ~~2~~ ~~2~~ 6733.

(同位体比を考慮に入ず)

⇒ 反映

$\frac{P_2 - 191}{\phi}$ $\frac{Au - 199}{\phi}$ $\frac{Ir - 191}{191m}$
 ϕ ϕ ϕ
 f_{sc} 158.4 ϕ
 $\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
~~2.19d~~ 2.19d 2.19d
 f_{sc} f_{sc} f_{sc}

Pe - 193 m

Pe-193m ?
2-1-50

$\uparrow$
 $P_2 - 191$ 35' 遷移期, (47)
 30分
 $\uparrow$ (30min) 47, $\rightarrow I_2 - 191$ (stable)
 $P_2 - 199$ (55) $\rightarrow$ 237分..
 $\uparrow$
 (P2-198 (25min))

$P_E - 195m$ 12-2-11 1/2 6?

$\left\{ \begin{array}{l} P_E - 194 (n.r) \quad P_E - 195m \\ P_E - 196 (r.n) \quad P_E - 195m \end{array} \right.$

$\rightarrow (33.8\%)$
 $\rightarrow (25.2\%)$

④ 現スラ-タム.

・ 基本、何で決定しているかは...

(内容は定例の全2123済)

・ この方式がどうか、の優先順位も明言 ~~せず~~ した。(あくまで内部の全2123集約部

・ ため、各方式決定の上、全研GBの作業が... しているのは調査 ~~した~~ (事務)

あることは必須だと思える。(8月下旬に自崎先生に簡易テスト版を付して

→ 8/21に力入りの設置に... した、
→ ~~まだ~~ (排気系も8月下旬日迄に調達しているの... 希望)

可能であれば、打金機、確認等を進めたい)

⑤ 方式へのコメント

・ e.g.) No.3系は、極大汚染(全2123)

全研GB @ HIC (Ac部全)

→ 基本は持ち込まず... (化学分離の最適化、
液性/力入(液量))

→ この程度の作業で基本は、問題なく実施している

⑥ 7月7日、200h.

→

⑦ 全研の7月7日30動作

⑧

8/1 - "放射化終了 + 熱計算開始 + 8/8の準備"

⑨ 放射化

- 2123を念のため、計算 (試算)

ROIを2123、和を2123生成量

⑩ 熱計算

- 各件整理で必要全計算の進捗

- 体系整備

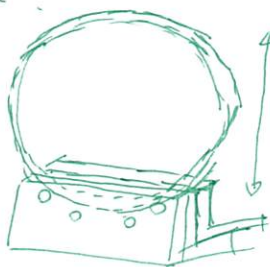
- 試し計算

⑪ コールト試験手順策定

- 過去情報、進捗

-

④ η -ゲージ (セ- η $\pi = \eta$ 変換から)

~~35~~ 35, 67, 92 keV

$\phi_{800\text{nm}}$ - 1 μm thick

Al_2O_3 18 9900 @ €17.25

✶ 5. 2 個

(A11996 - \$429 @ 21.7%)



し、~~字~~ ~~符~~ 表で合致せり。

✓ 148.21-131

3271420 < 2500 ...

1042

1342

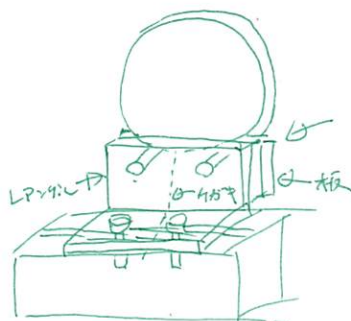
39 mm

$\sim 40 \text{ nm}$

 $\sim 40\text{mm}$

~ 40 min

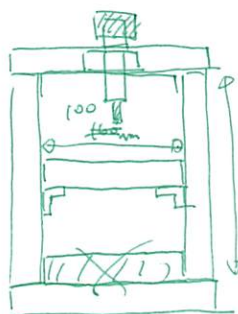
$P_n \approx H_2$ at 1 mm



LP 29: LF

3-4が2

2-板



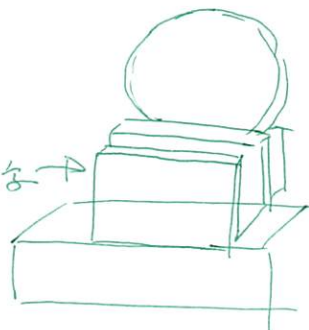
~~100~~ mm
140 mm

$P_{12} = 72 - 4$

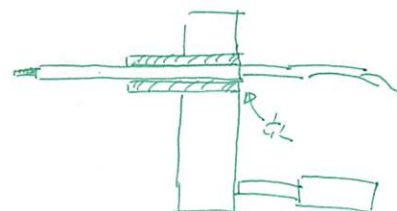
160 mm
200 mm
~~200 mm~~ 200 mm

(mL².)

$2 \rightarrow 1^2 \rightarrow 1 + 8 = 16$
 $3 \rightarrow 1^2 + 4 = 16$



20分



$\uparrow$ $\uparrow$ $\rightarrow$ $\text{P}(\text{M})$
 ~~$\text{Z}(\text{M})$~~ ~~$\text{P}(\text{M})$~~ $\rightarrow$ $\text{P}(\text{M})$
 $\text{P}(\text{M}) = \text{P}(\text{M}) - 4$

200MBg 試料作製・分離~~精製~~精製

試料作製 (200MBg)

- * 金研 GB 略見天
- * カミラ整備、 - {
 - 安全
 - 品質
 - 汚染
- * 2-ルット試験、
- * 試料状態確認、
~~精製~~
- * :
- * 作業性確保、
- * 必要物品手配、
- * 必要物品の搬入、
- * 測定方法の~~精製~~決定、
- * 局所排気系の整備、
- * 箱内排気系の整備、
GB
- * 輸送方法の手配 (手経証書)
- * 容器カビ-の製作、
(30Pで高温耐熱樹脂)
on ガラス管、
- * 作業スケジュールの策定、
- * 事前精製作業、
- * 封止について (治具?)
- * 簡易な自動化構造、(でしね)
- * 浴外 (自給安全知能)
- * 遮蔽の準備、
- * 不純物測定、
- * 安全審査、
- * ~~排気~~排気の安全担保、

分離精製 (200MBg Rn 分離)

- * ~~金研 GB~~
- * 金研 GB、整備、 {
 - 安全
 - 品質
 - 汚染
- * 開封試験、
- * 残存 Rn 確認、(Ge)
- * 照射容器の廃棄・保管検討、
- * レジンの用意、
- * 器具の用意、
- * 作業性の確認、
- * 測定方法の確定、
- * 輸送方法の手配、(手経証書)
- * 瓶の除染、担根、
- * 安全の審査、(校)
- * 全数安全、
- * 手順策定、
- * フォト自動化、
- * リサリウム、減容、
(Rn)
- * 不純物の定量

5

Ac 精製鉄

- ① 輸送・搬入、(手廻工金)
- ② 物品分配、(大)
- ③ 汚染対策、(不要?) 内15%、内10%の
例
- ④ 作業手順策定、
- ⑤ 不純物の定量、
- ⑥ 品質評価、(不純物収率)
- ⑦ R_n の回収、(再)
- ⑧ 検査識別率の評価、
- ⑨ 安全 (版)
- ⑩ 安全 (食餌査査)
- ⑪ 排気系 (内部局所) の整備、
- ⑫ 排気系 (外GB) :
- ⑬ コールに試験

#	Energy (keV)
1	34.3
2	66.1
3	122.4
4	136.3
5	319.8
6	359.2
7	410.6
8	467.3
9	510.8
10	539.8
11	807.1
12	836.2
13	1224.9
14 14	1760.4 1561.5
15 15	1561.5 1760.4

NaI 24L-3200カウンタ測定

30 $\mu\text{Sv/h}$ $\Rightarrow$ 14 $\mu\text{Sv/h}$ @ 80cm 地点
レンジで測定

1 mSv/h $\Rightarrow$ 0.56 mSv/h @ 1cm 地点
レンジで測定

$$\eta_{\text{eff}}^{-1} = 2 \times 10^4$$

$$\eta_{\text{eff}}^{-1} [\text{cps}]$$

$$6 \times 10^3 / 600 \text{ s} = 10 \text{ cps}$$

$\Rightarrow$ 10 cps 以下、20% 検出率??

(ZT) のエネルギー毎の検出効率 η
面積 ϕ , B_{eff} は??
 β

$$4\pi t^2 / \beta + \frac{1}{\eta} = \text{cps (E)}$$

$$\eta = 20\% \text{ 程度?}$$

$$= 1.77\% \text{ @ } 80 \text{ mm}$$

$$\text{検出効率} \sim 1.22 \times 10^{-3} \text{ @ } 100 \text{ mm}$$

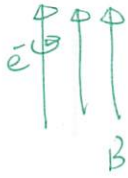


$$\Rightarrow \text{検出率} = 14 \mu\text{Sv/h}$$

(1cm 角 45 cm^2)

検出面積
補正

$$\eta_{\text{eff}} \sim 5 \times 10^{-5} \text{ 程度}$$



$$r_L = \frac{m_e v_{\perp}}{qB}$$

$$\omega_{ce} = \frac{qB}{m_e}$$

$$v_{\perp} / \omega_{ce}$$

$$v_{\perp} = \sqrt{\frac{2qBTe}{m_e}}$$

$$r_L = \frac{\sqrt{m_e T_e}}{qB}$$

$$T_e = \text{const.}$$

$$T_{\perp} \sim T_{\parallel} \Rightarrow \omega_{\perp} = \sqrt{\frac{qBTe}{m_e}} = \sqrt{\frac{qBTe}{m_e}}$$

$$L / \omega_{\perp} = \tau$$



ほぼ"ほぼ".

電子の平均値は $\sim 2-1$.

$$\text{電子の数}, N = l_e / \text{length}$$

27-72.

電子銃 - 照射系, の $k=4, 5, 6$.

1912 / 10 / 21 egun.
RE 721.

7/19 RE 051

I 2722 照射系,
7223.

I 2722 20% / 54.

7/20, 21 RE on

定格 RE $\sim 20\%$ 照射系,
7223.

明日, $k=4, 5, 6$

照射系

9月4日 照射

照射系, 9月 10月 照射系

④ 耐ビーム試験の成功.

- ・ 他社比 20倍以上の製造効率を記録.
- ・ 次回試験に Al-225 の製造効率 20倍以上を記録.
- ・ Peta-ファクトを用いる. (従来は Ta)
- ・ 熱負荷が強大. (960 W の照射)

$$45 \text{ MeV} - 200 \mu\text{A} \quad 200 \text{ pps}$$

$$45 \text{ W/pulse}$$

$$1 \text{ pulse} \sim 1 \mu\text{A} \quad 1 \text{ pulse} \sim 3 \mu\text{s} \quad \approx 0.333 \text{ A}$$

$$\text{瞬間値} \sim 300 \text{ mA} \quad - \quad 45 \text{ MeV}$$

$$13.5 \text{ kW} \quad \text{peak}$$

課題を解決.

- ・ サンプルを保持するホルダーを設計.

④ 材料 (※要品)

* LPT アルミ板

(15mm x 15mm) (15mm)

L60mm

* アルミ棒 2020

* $\begin{cases} 160 \text{ mm L} \times 2 \\ 100 \text{ mm L} \times 1 \\ 140 \text{ mm L} \times 2 \end{cases}$

コンタクト x 2

ナット x 2

ボルト x 2

M3 ボルト x 4

M3 ナット x 4

* グラファイト x 8

* ナット x 16

* ボルト x 16

* 2170 x 7

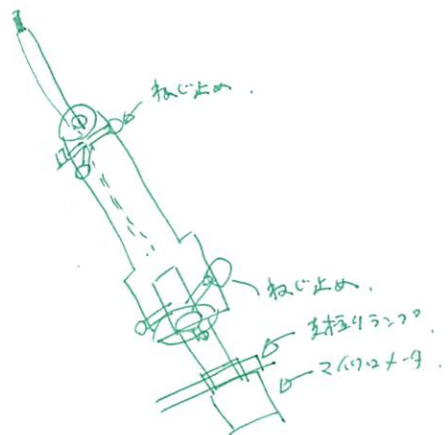
厚み

$\frac{3940 \pm 40}{39420 \pm 586}$

25mm 0.01mm

* ボルト (シフトボルト)

フタにボルト



7/18

1

④ 金研. 3.9 GPa 使用 量 其目的.

外部之人 在否?

④ ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

昭和後の
芽生え
揺るぎなく

8/21 强 - 以前以 100% 强。

② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

請司中議。

新司申請、

7 Re. Ru.

a $R_n, R_n,$
 b での経度の汚染は許容範囲。
 Th^2

→ 1. $\frac{100}{221} (221)$

計算しければよいから。

• $H_2O \sim H_2O$

① 計画に叶はぬ点。
② 1/2 箇所を別の点で。1720に

ppb a-g-pals + 淡水
可能也??
↳ ppba Amp 50ml
極早のpals.

Th²³² - Th²³² 1-4 5-8 9.

冰心 1915 年 9 月

1. 11/20/1941 - 11/20/1941
2. 11/20/1941 - 11/20/1941
3. 11/20/1941 - 11/20/1941
4. 11/20/1941 - 11/20/1941
5. 11/20/1941 - 11/20/1941

6. 11/20/1941 - 11/20/1941
7. 11/20/1941 - 11/20/1941
8. 11/20/1941 - 11/20/1941
9. 11/20/1941 - 11/20/1941
10. 11/20/1941 - 11/20/1941

11. 11/20/1941 - 11/20/1941
12. 11/20/1941 - 11/20/1941
13. 11/20/1941 - 11/20/1941
14. 11/20/1941 - 11/20/1941
15. 11/20/1941 - 11/20/1941

16. 11/20/1941 - 11/20/1941
17. 11/20/1941 - 11/20/1941
18. 11/20/1941 - 11/20/1941
19. 11/20/1941 - 11/20/1941
20. 11/20/1941 - 11/20/1941

21. 11/20/1941 - 11/20/1941
22. 11/20/1941 - 11/20/1941
23. 11/20/1941 - 11/20/1941
24. 11/20/1941 - 11/20/1941
25. 11/20/1941 - 11/20/1941

26. 11/20/1941 - 11/20/1941
27. 11/20/1941 - 11/20/1941
28. 11/20/1941 - 11/20/1941
29. 11/20/1941 - 11/20/1941
30. 11/20/1941 - 11/20/1941

31. 11/20/1941 - 11/20/1941
32. 11/20/1941 - 11/20/1941
33. 11/20/1941 - 11/20/1941
34. 11/20/1941 - 11/20/1941
35. 11/20/1941 - 11/20/1941

Ac - PROTEL

Ra - 横 PB の再確認。) Ac 部屋の作業性自体は良好。
- 内張りはないため、汚染は対策必須

・ 別室で

→ 200MHz 等は、必要...

自動化装置用の開閉作業が必要。 ① (第3工期) 注意

・ 上側の出入口、はつらじ毎に取り外し。
↳ 品質管理 (12月??)

・ Ge. 検査. Ra 部屋. - PB?

↳ 必要...

・ PB の 0 は基本保つた。

徹底的に落ちる。

・ カマは自動で動かす。

- 手動で位置調節は可能。

・ カマの切替システムの内容変更。(正確...)

・ 自主検査 7/18 策に。

・ 入場の説明。

* 何時、何人、何日、説明。放射線管理。

* トラックの出入 (時間)

*

④ 制御系。

* PLC の相量計。

(三菱 - M-21) - 位置 - 10m の送信??

* 何ヶ所からホーン (警報停止)

- ホーン取替。 - 何ヶ所からの中へ変更?

形式の変更? (の場合、PF)

必要? 操作性

* 配管圧、流量、中流量位の制御位に設定して。

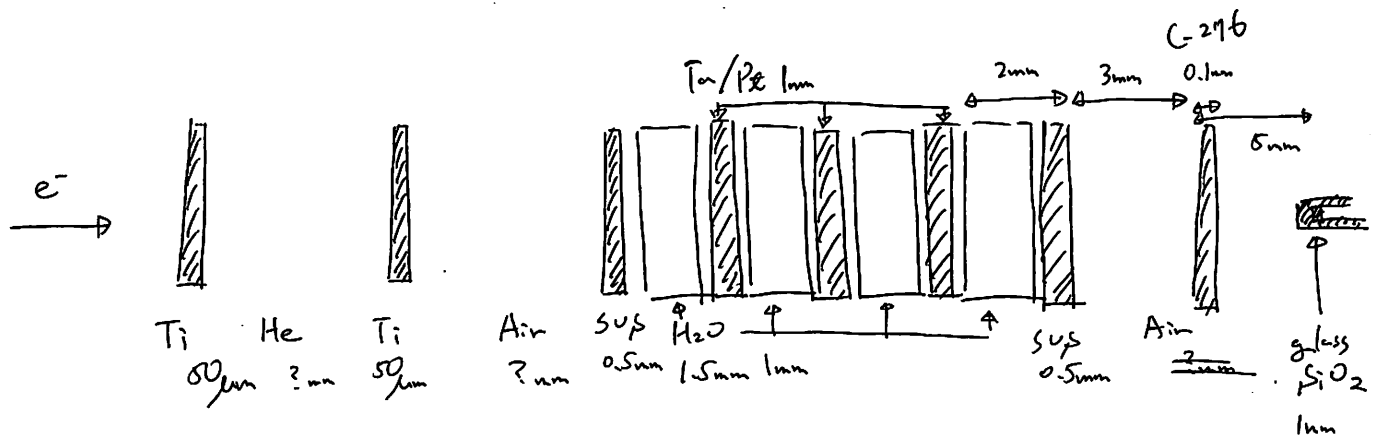
→ 要検証? 設計に含め、要求は?...

PLC のレベル調整
→ 自動調整。難。

* 弁は基本全て自動。 - 出入口、何ヶ所。

* トラックは 1 台分の (並列の場は 2 台)

④ e- 照射体系



・ 角度依存性もある。

・ $P_t > T_a$ である場合、e- の入射角を考慮する必要がある。

⇒ 角度依存性もある必要あり。

・ P_t と T_a の 4-6 cm 位置の収量 (mm²) を知る。

・ 2 mm だけ、依存性もある。 ⇒ 反応断面積を 2-4 倍にする？
(μm)

・ 厚 P_t の反応断面積を 2 倍にする必要あり、
補償？ 線形??

・ 位置の改善により 強度場向上。

⇒ 2 倍程度は高くなる。

$$\begin{cases} 6.2 \text{ cm} & = 62 \text{ mm} & - 3.25 \times 10^{15} \\ 11.9 \text{ cm} & = 119 \text{ mm} & - 1.5 \times 10^{15} \end{cases}$$

・ 全部、散乱した光子を 2 倍にするには P_t を 2 倍にする必要がある。透射を 2 倍にする??

・ 大面積の場合、たしかに $P_t > T_a$ である。
⇒ 小面積に再計算にする??

17/8 (土) "MC計算のセッティング、実行、体系整備、簡易結果の抽出"

● T000

- ・ MC計算 セットアップ
- ・ 実行
- ・ 簡易結果

} → {
・ 文コンバ-7
・ 簡易結果

↓ photonの線量の計算

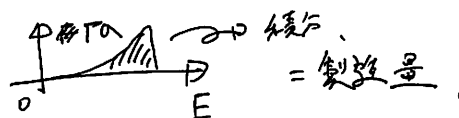
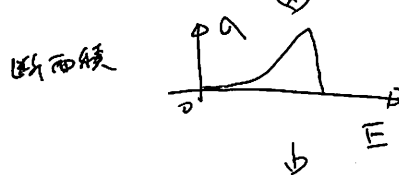
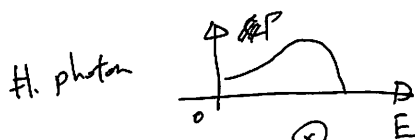
↓ {
・ 空間分布
・ エネルギー分布

後部の
熱負荷

・ 田所計算の学習

~~製造量~~ 必要データの収集

・ photonのエネルギー分布



↓
γ線の飛距離計算
電子線の飛距離計算

・ 電流フックアップの図示

・ 核種分析

・ ~~電磁場計算~~ ↳ ジョア投入完了
→ PSIはまた...

・ 治具の再設計

・ 負側準備 (WIPの更新版の作成)

・ つぶさの準備 (草案)
(水)に一度お話し

11/6

⑨ ビームによる制動放射線量の評価. について.

● 算出した結果、単純な式では評価は難しい?

エネルギーの減衰のか、

$$-\frac{\Delta E}{\Delta x} = -\left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \approx \frac{4N_a Z^2 \alpha^3 (\hbar c)^2}{m_e^2 c^4} E \approx \ln \frac{183}{Z^{1/3}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N_a = \text{単位体積あたりの粒子数密度} \quad [\text{個}/\text{m}^3] \\ Z = \text{原子番号} \\ \alpha = \text{fine structure constant} = \frac{e^2}{\hbar c} \\ \text{ただし mks 単位系のはず} \dots \end{array} \right.$$

→ N_a は?

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol} &\Rightarrow 6.02 \times 10^{23} \quad [\text{個}/\text{mol}] \equiv N_A \\ T_a (\text{タンタル}) \text{ の質量数} &= \frac{180}{43} \Rightarrow \frac{180}{43} \text{ mol} \equiv A \\ \text{の密度} &: 16.659 \text{ g/cm}^3 = \frac{16.659}{10^{-3}} \text{ kg/m}^3 \equiv \rho \end{aligned}$$

$$N_a = \frac{N_A}{A} \times \frac{1}{\text{mol/g}} \times \rho \quad [\text{個}/\text{cm}^3]$$

$$\begin{aligned} N_a &= \frac{N_A \rho}{A} \quad [\text{個}/\text{cm}^3] \\ &= \frac{N_A \rho}{A} \times 10^6 \quad [\text{個}/\text{m}^3] \end{aligned}$$

★

→ α は? $\Rightarrow$ 電磁気学...

● Bethe - Heitler の式 についてのか、乙は?...

→ CGPT の言う式にたどり着いた...

$$\overline{\Phi}(E_0, \nu) d\nu = \frac{Z^2}{137} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2 \frac{d\nu}{\nu} + \underbrace{\phi(E_0, \nu)}_{1 \sim 5 \text{ 程度の値?}}$$

↑
電磁気学...

6/2 10:00.

・ 12 号工場所: 東屋前.

・

契約 6/28

(振込日 ??)

目録入 時間 6/28 2-3 1/2 1/2, 日立

配管 PTFE 樹脂

(フッ素樹脂)

金属配管

1722ル-にて. (検査中の決度限度) = 2.5% 以下に含める.

→ 検査系への負荷低減.

→ 検査系 → 1222ル.

全内期延. 則日.

1.2 ポンプの 開閉 1/2 以下.

→ 検査後 1 週間.

検査系. → カマ. コール. 試験会 1/2.

1/4 以降

FC-SD

50 May

FC-SD. 65

R

- ・ 動き時間の
- ・ 細胞 改変因子のIP. GPM.
- ・ 関係するもの (GPM)

HiNerf

e-r.

書信中.

- ・ 個別JD作成

③: 3mm 線量計

1cm - 3mm - 70mm 線量.

100 mSv/5年 50mSv/1年.

合計 1mSv/年.

④ 原子力基本法 (1955)

↓

LP核燃料

R2規制法

LP 施有例.

⑤ 許可届出使用.

- 特定許可使用者.

- 計測系の届出使用者.

法改正

⑥ 自発的な取組みの

責任の明確化.

⑦ 教育見直し.

⑧ 記帳項目の見直し.

1年間の累積 30mm以上

R2 / 発生取扱い 1h以上.

特許案 1

【発明の名称】放射性核種の自動精製装置

【技術分野】放射線核種の分離精製を行う自動装置

【技術背景】

α 線を放出するAc225などの放射性核種は、医療分野での活用が期待されている。医療分野で活用可能な放射性物質えるためには、放射線物質から所望の核種を分離するとともに、精製して不純物質を取り除くことが必要である。

この放射線核種の分離精製プロセスは、多くの処理から構成されるため複雑である。また、市場ニーズ合わせた大量の放射性核種を生成するためには、高濃度・高線量の放射線物質から所望の放射性核種を分離精製することが求められる。

【課題】

放射性物質の量産には、製造作業の安全性とともに品質などの管理面からも、自動化が求められる。しかし、放射線核種の分離精製に必要な複雑なプロセスを自動化した場合、自動化装置が大型化してしまう。

量産に合わせて、高濃度・高線量の放射線物質を取扱う作業プロセスは、放射線が外部に漏れないように、鉛などで遮蔽された空間で行うことが必須である。分離精製自動機が大きくなると、必然的にそれを囲む遮蔽空間も巨大化する。大きな分離精製装置や大きな遮蔽空間は、大きな設置スペースと膨大な設備コストとなり、低価格な放射線核種を市場に提供することが難しい。

【目的】

本発明の目的は、放射線核種の分離精製プロセスを、よりコンパクトな装置で実現し、それによって遮蔽が必要となる領域を小さくすることで、放射線核種の製造コストを少なくすることである。これにより、低価格の放射性物質を市場提供する。

【手段】

- ・配管パネルと駆動機構と処理容器を着脱分離可能な構成とする
- ・該駆動機構に接続する配管パネルならびに処理溶液を交換することで、単一の装置で、少なくとも1つ以上の分離精製プロセスを実現可能な構成とする。

【公知例】

現在、調査選定中につき未確定

【請求項案】

【主請求項案】

- ① 放射性物質の分離精製を行う自動分離精製装置において、該自動精製装置は
 配管路と
 該配管路内の溶液を移動させる溶液移動手段と
 該配管の溶液供給方向を切替える溶液配管路切替手段とを備える
 配管パネルと

該配管パネルの該溶液移動手段と該溶液配管路切替手段を
 駆動する駆動手段を備えた
 配管パネル駆動ユニットと

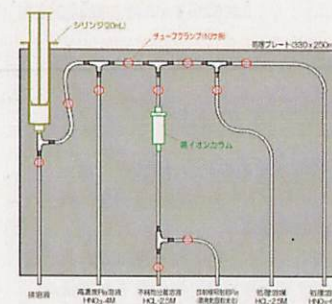
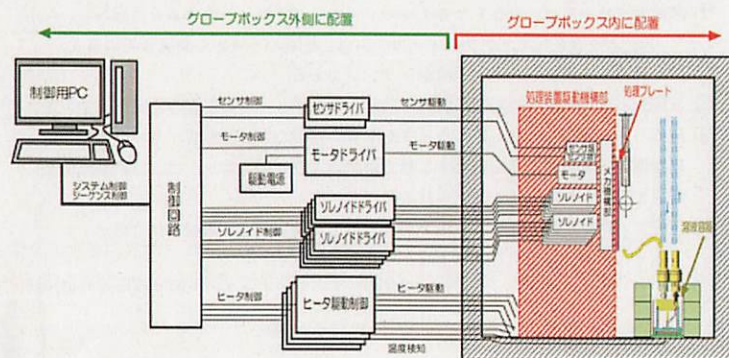
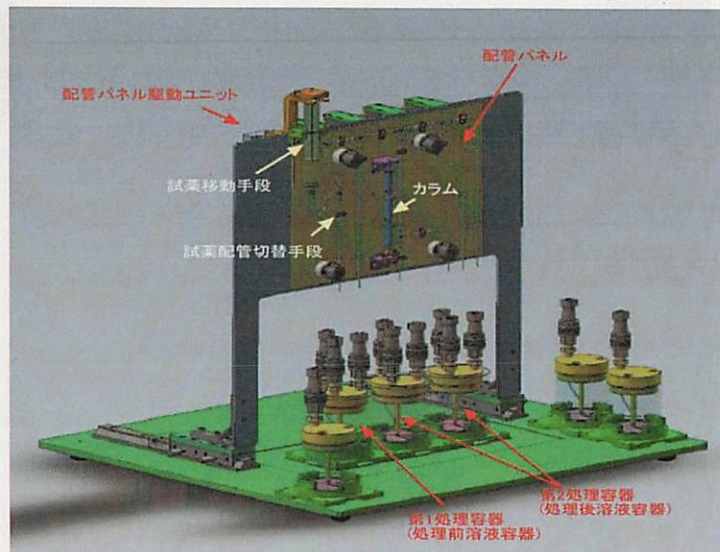
分離精製する放射性物質を含む溶液を保持する第1の処理容器と
 該放射性物質から分離精製された後の溶液を保持するための第2の処理容器
 から構成され

該配管パネル駆動ユニットと該第1および第2の処理容器は、
 該配管パネルと着脱可能のように構成されている
 ことを特徴とした放射線核種の分離精製を行う自動装置

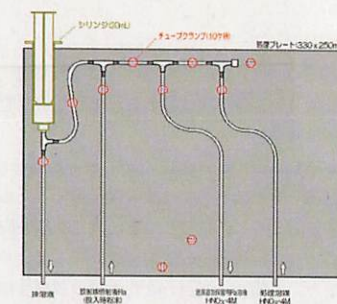
【従属項案】

- ② 該配管パネルには、少なくとも1つのクロマトグラフィーカラムを具備。
 ③ ②の該クロマトグラフィーカラムは、配管パネルから着脱可能に構成。
 ④ 該配管パネルの該溶液移動手段がシリンジである
 ⑤ 該配管パネルの該溶液配管路切替手段が、配管チューブの既定の位置を潰す手段。
 ⑥ 配管パネル駆動ユニットは、モータやソレノイドなどの該配管パネルを駆動する
 駆動機構と該駆動機構を駆動する動力供給および制御ユニットは、該駆動機構と
 配線で接続された別体で構成される。
 ⑦ 該配管パネルと該第1および第2処理容器との着脱部は、着脱時に管路が
 封止される機構を有する着脱手段からなる。
 ⑧ 該配管パネルには、1つの第1処理容器と1つもしくは2つの第2処理容器が接続

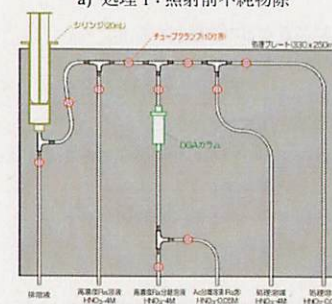
【参考図】



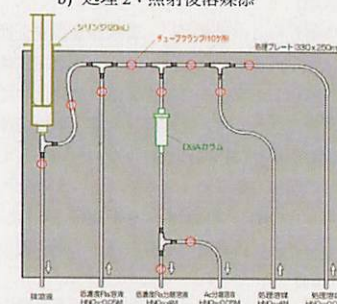
a) 処理1: 照射前不純物除



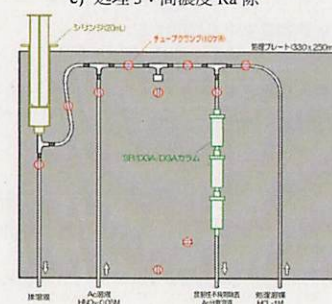
b) 処理2: 照射後溶媒添



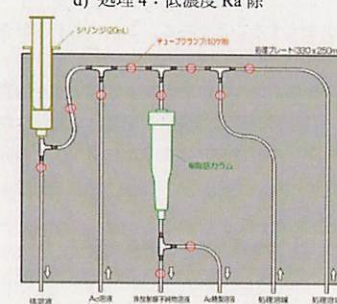
c) 処理3: 高濃度Ra除



d) 処理4: 低濃度Ra除



e) 処理5: 放射性不純物除



f) 処理6: 非放射性不純物除

特許案 2

【発明の名称】放射性物質を含む溶液の蒸発乾固方法およびそれを用いた蒸発乾固装置

【技術分野】放射線核種の分離精製における放射性物質が溶解した溶液の蒸発乾固装置

【技術背景】

α 線を放出するAc225などの放射性核種は、医療分野での活用が期待されている。医療分野で活用可能な放射性物質えるためには、放射線物質から所望の核種を分離するとともに、精製して不純物質を取り除くことが必要である。

この放射線核種の分離精製プロセスには、放射性物質を溶解させた溶液をカラムクロマトグラフィーによって、所望の放射線核種を分離するとともに、残留不純物の除去が行われる。カラムクロマトグラフィーで分離後の溶液は、次の処理のための溶媒置換や放射性物質の取出しのために、溶媒の蒸発乾固処理が行われる。

【課題】

放射性物質のカラムクロマトグラフィーによる分離精製プロセスでは、放射性物質を溶解した溶液が用いられる。放射性物質を溶解した溶液を加熱し溶媒を気化除去する蒸発乾固プロセスでは、Rnなどの放射性気体が放出される。蒸発乾固プロセスでの放出気体量を抑制すること重要な課題である。また、蒸発プロセスでの溶液の飛散りは含有する放射性物質の容器壁面への付着を生じることから安定加熱気化条件維持が必要である。加えて、処理時間が長い、高い溶媒加熱除去速度が求められる。さらに、放射性物質を含む溶媒の気化の完了を簡便かつ確実な検出法も重要である。

【目的】

本発明の目的は、放射性物質を含む溶液の蒸発乾固プロセスにおいて、

- ①蒸発乾固時に排出される水分と放射性ガスを含む排出気体量を削減するとともに、
- ②溶液飛散りなどの生じない安定加熱条件下で、③高速な溶媒気化を
- ④少ない加熱エネルギーで実現し、⑤溶媒気化完了を簡便かつ確実に検出可能な放射性物質を含む溶液の蒸発乾固方法およびそれを用いた装置を提供する

【手段】

- ・封止構造と吸排気孔を有する蒸発乾固容器を容器下面 or 下方から加熱する加熱手段
- ・該吸排気孔は、発乾固容器を容器上面 or 上方に配置
- ・該蒸発乾固容器の容器下面 or 下方の温度を検知する温度検知手段
- ・該加熱手段は該蒸発乾固容器の側面を囲む壁状構造を具備
- ・該加熱制御手段は、連続加熱時の安定液温が90℃～98℃となように加温制御、
- ・該温度検出手段の検出値 or 該加熱手段の加熱出力値で加熱乾固完了検知
- ・該給排気手段の送気体量を気化速度(L/min)÷該液温での飽和水蒸気圧で制御

【請求項案】

【主請求項案】

- ① 放射性物質の溶解した溶液を加熱し、放射性物質を析出させる蒸発乾固装置において

放射性物質の溶解した溶液を保持し蒸発乾固するための蒸発乾固容器と
該蒸発乾固容器を加熱する加熱手段と
該蒸発乾固容器に気体を供給する気体供給手段から構成され、

該蒸発乾固容器は

外気と遮断された封止構造であるとともに、
少なくとも1つの気体を供給できる気体供給孔と
少なくとも1つの気体を排出できる気体排出孔を備え、

該加熱手段は、

該蒸発乾固容器の下面もしくは下方の位置を加熱する加熱手段と
該蒸発乾固容器の規定位置の温度を検出する温度検出手段と
該温度検出手段の検出値による該加熱手段を制御する加熱制御手段を備え、

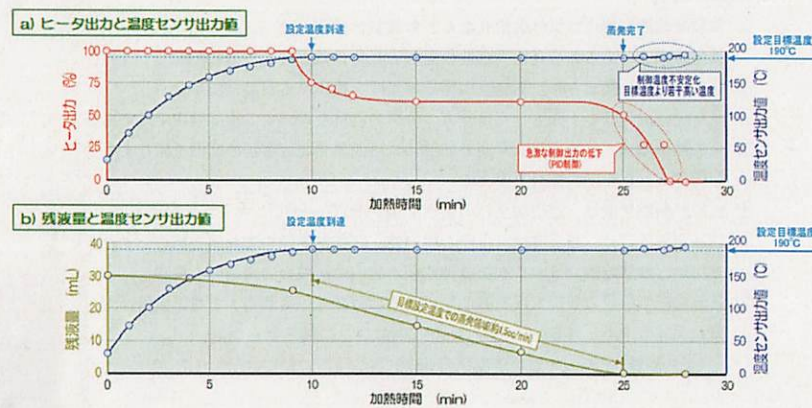
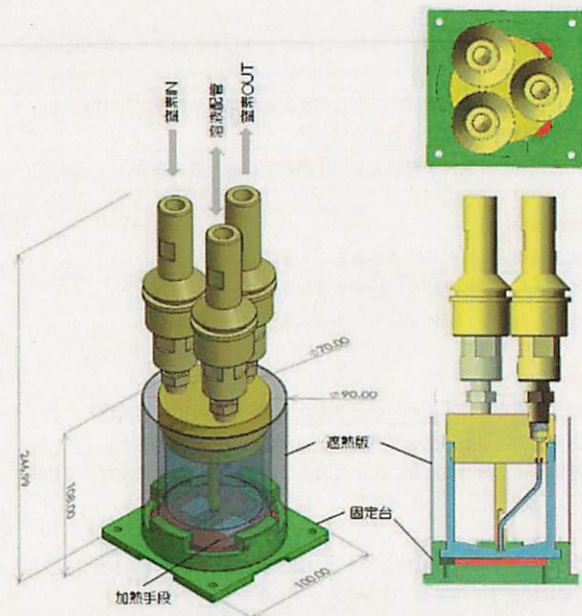
該給排気手段は

該蒸発乾固容器の気体供給孔および気体排出孔から給排気する気体量を
規定量に制御する吸排気量制御手段を備える
ことを特徴とした放射性物質溶解溶液の蒸発乾固装置

【従属項案】

- ② 該蒸発乾固容器の該気体供給孔ならびに該気体排出孔は
該封止構造である該蒸発乾固容器の上面もしくは概上方の位置に配置
- ③ 該加熱手段に備えられた蒸発乾固容器の温度を検出する温度検出手段が、
該蒸発乾固容器の下面もしくは下方の位置の温度を検出する温度検出手段である
- ③ 該加熱手段は、該蒸発乾固容器の加熱時に該蒸発乾固容器の側面を囲むように
配置構成された壁状部材を備える
- ④ 該加熱制御手段は、連続加熱時の安定液温が90℃～98℃となように加温制御
- ⑤ 加熱制御手段は、該温度検出手段の検出値、該加熱手段の加熱出力値のいずれか
を用い、加熱乾固完了つまり該蒸発乾固容器内の溶液の完全蒸発を検知
- ⑦ 該給排気手段の吸排気量制御手段による該蒸発乾固容器への送気体量は、
概ね次式で求められる気体流量(±10～20%以内)に制御する
$$\text{ガス流量(L/min)} = \text{気化速度(L/min)} \div \text{該液温での飽和水蒸気圧}$$

【参考図】



特許案 3

【発明の名称】放射性物質の処理空間または処理装置に用いる給排気システム

【技術分野】放射線物質の処理空間や処理装置で製を行う自動装置

【技術背景】

放射性物質の処理各種処理では、放射線を遮蔽するだけでなく、放射性物質の飛散や漏洩などを防止するため、放射線物質は鉛など蔽された気密空間で取扱れる。さらに、放射性物質から生じる放射性気体についても、確実な管理と処理が求められることから、該放射線物質は鉛など蔽された気密空間内の気体は、放射線物質の除去処理をすることが必要である。

【課題】

放射線物質が高濃度・高線量になると処理中に発生する放射性気体の量も大量となる。発生する放射線気体の量が大量になるとその危険度は増大するとともに、その気体から放射性物質を除去処理する給排気システムは大型化してしまう。そのため、放射性物質の処理空間または処理装置およびその給排気システムは、放射性気体の発生量抑制とともに、小型の給排気システムで確実に放射線物質の除去処理をすることが求められる。

【目的】

本発明の目的は、放射性気体の発生量の抑制とともに、確実な放射線物質の除去処理を可能とする放射性物質の処理空間または処理装置およびその給排気システムを提供する。さらに、高濃度や高線量の放射線気体発生時も給排気システムを大型化することなく、外部漏洩を防いで、放射線物質の確実な除去処理が可能な給排気システムを提供する。

【手段】

- ・処理空間を含んだ循環型配管経路と循環気体送気手段と循環気体圧力検出手段と該循環型配管経路内の気体の貯留タンクと該循環気体圧力検出手段と貯留タンクによる循環気体圧力制御手段を備えた給排気システム
- ・該循環気体の温度・湿度の少なくとも一つ以上を検出・制御する手段を具備
- ・温度制御、湿度制御、放射性物質除去、放射線量検出手段を具備
- ・該循環型配管経路に接続されるバイパス経路を具備。
 - ・温度制御、湿度制御、放射性物質除去、放射線量検出手段をバイパス経路に配置
 - ・バイパス管路への気体引込み量制御手段/バイパス管路着脱手段
 - ・湿度制御、放射性物質除去は、気体の冷却除去手段
- ・該循環気体送気手段は、該処理空間内での処理内容に応じて、送気量を制御
- ・該処理空間を取囲む遮蔽体も循環型配管経路を備える二重構造体

【公知例】

現在、調査選定中につき未確定

【請求項案】

【主請求項案】

- ① 放射性物質の処理空間または処理装置に用いる給排気システムであって、放射性気体の発生源を含む空間を封止した一つ以上の処理空間と該処理空間に気体を供給する供給配管路と該処理空間内の気体を排出する排出配管路と該供給配管路と該排出配管路が接続され、該処理空間への供給気体と排出気体が接続された循環型配管経路が構成され、該循環型配管経路には、該配管経路内の気体を循環送気する循環気体送気手段と該循環経路内の気体の圧力を計測可能な循環気体圧力検出手段と該循環型配管経路内の気体の一部を一次貯留可能な貯留タンクとを具備し、該循環気体圧力検出手段の検出値により、該貯留タンクの貯留気体量を出入れすることで、該循環型配管経路内の循環気体圧力を制御可能な循環気体圧力制御手段を備えることを特徴とする放射性物質の処理空間または処理装置の給排気システム

【従属項案】

- ② 該循環型配管経路には、温度・湿度の少なくとも一つを検出・制御する手段を具備
- ③ 該循環型配管経路には、温度制御手段、湿度制御手段、放射性物質除去手段、放射性量検出手段のいずれか一つ以上を具備
 - ④ 該循環型配管経路は、循環気体の少なくとも一部もしくは全量を引込み戻すバイパス管路を備え、③の該温度制御手段、湿度制御手段、放射性物質除去手段、放射性量検出手段の少なくとも一つは、該バイパス管路に配置
 - ⑤ ④記載の該バイパス管路への循環気体の引込み切替え及びその量を制御可能なバイパス気体流量制御手段を具備
 - ⑥ ④記載の該バイパス管路は、該該循環型配管経路から着脱可能に構成
 - ⑦ ③の湿度制御手段、放射性物質除去手段は、循環気体を冷却することで、水分などの液体成分や放射性物質を除去する手段
- ⑧ 該循環型配管経路の気体を循環送気する循環気体送気手段は、該処理空間内での処理内容に合わせて既定の送気流量に切替可能な循環気体流量制御手段を具備
- ⑨ 循環型配管経路に接続される一つ以上の該処理空間は、該配管経路より着脱可能構成
- ⑩ 該循環型配管経路から着脱可能な該バイパス管路および該処理空間は、着脱時に該循環型配管経路、該バイパス管路、該処理空間のいずれの接続手段も自動封止手段を備える。
- ⑪ その他：放射性物質の処理空間は、放射線遮蔽体を備える第2の空間に内包され、該第2の空間は…… (⑫⑬⑭⑮… クレーム化範囲は別途検討。)

特許案 4

【発明の名称】放射性気体中の水分および放射性物質の除去装置

【技術分野】放射性気体内に含まれる水分および放射性物質の除去

【技術背景】

放射性物質の処理作業などにおいて、発生する放射性物質を含む放射性気体は、確実な管理と処理が求められる。放射性気体は、外部排出する前に放射性物質をほぼ完全に除去することが求められる。放射性気体は、含まれる放射性物質が液化する温度まで冷却して、モレキュラーシーブなどの吸着剤に物理吸着して回収する冷却回収方式が用いられる。放射性物質の処理作業時に発生する放射性気体は、その発生量に合わせた放射性物質の回収処理手段を設けることが必要である。

【課題】

放射性物質の処理作業時に発生する放射性気体は、水蒸気などの形で水分を含有する。気体冷却時には水分が液化または固化する。液体や氷・霜となった水分は放射性物質回収用のモレキュラーシーブなどの吸着剤を詰まらせるという問題が生じる。そこで、放射性物質回収の前には、水分除去と放射線物質除去を組合せる方法が用いられている。

水分冷却回収では、冷却管路径が大きいほど多量の水分を回収できるが、回収率が低い。一方で冷却管路径が小さいほど水分回収率は良いが、多くの水分を回収できない。さらに、水分回収が進んで冷却管路が細くなると水分の回収効率が低下する。放射性気体中の水分および放射性物質の除去装置では、規定流量の放射性気体から規定の効率以上で安定的に水分や放射性物質を回収できることが求められる。

【目的】

本発明の目的は、放射性物質処理作業時に生じる規定流量の放射性気体から規定以上の効率で安定的に水分や放射性物質を回収可能な水分放射線物質除去装置を提供する。

【手段】

- ☆ 配管路と該配管の一部に取付けられた水分除去手段と放射性物質除去手段で構成、
該水分除去手段は、2つ以上の冷却管路を連結、
該放射性物質除去手段は、予備冷却管路手段と放射性物質回収手段より構成
- ☆ 水分除去手段と放射性物質除去手段は、着脱可能な流路離接手段を具備
 - ・ 水分除去手段と放射性物質除去手段は、2つ以上の除去手段を備え、切替手段を具備
 - ・ 水分除去手段と放射性物質除去手段は、加熱復水回収手段を具備
- ☆ 水分除去手段と放射性物質除去手段は、入口と出口間圧力差で除去限界を検知
- ☆ 水分除去手段と放射性物質除去手段は、切替弁や流路離接手段などの可動管路部位置もしくはその上流管路もしくは気体を規定温度に制御する再加熱手段を具備

【公知例】

WO2022167669A1

その他公知例についても、調査選定中

【請求項案】

【主請求項案】

- ☆① 放射線気体から水分ならびに放射性物質を除去する水分放射線除去装置であって、
該水分放射線除去装置は、放射線気体を送気する配管路と
該配管の一部に取付けられた水分除去手段と
該水分除去手段の下流配管に取付された放射性物質除去手段から構成され、

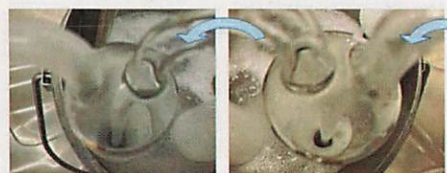
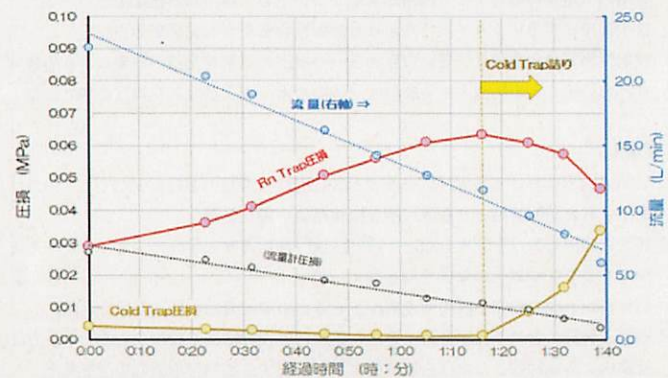
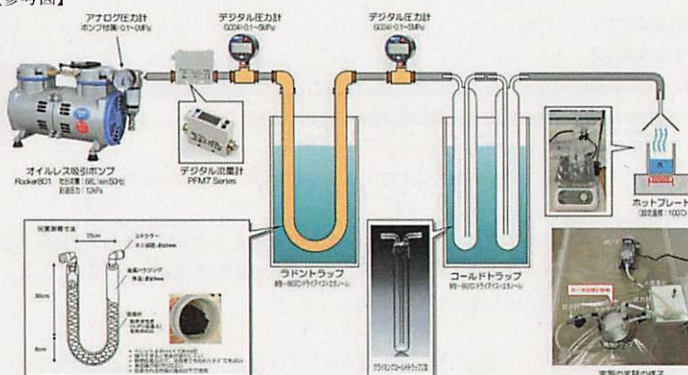
該水分除去手段は、管路内の気体を冷却し管路壁面などに着霜させて水分回収する冷却管路手段であるとともに、上流より下流の各管路断面積が小さい少なくとも2つ以上の冷却管路を連結するとともに、

該放射性物質除去手段は、管路内を搬送されてきた放射性物質を含む乾燥気体を管路内で規定の温度まで予備冷却する一つ以上の予備冷却管路手段と
該予備冷却手段により予備冷却された放射性物質を含む乾燥気体を放射性物質の吸着体に吸着回収させる一つ以上の放射性物質回収手段より構成されていることを特徴とする放射性気体中の水分および放射性物質の除去装置

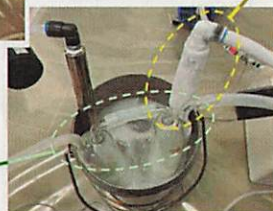
【従属項案】

- ☆② 該除去装置における該水分除去手段と該放射性物質除去手段の少なくとも一方は、配置された該配管路より着脱可能な流路離接手段を具備
- ③ 該除去装置における該水分除去手段と該放射性物質除去手段の少なくとも一方は、少なくとも2つ以上の除去手段を備え、
いずれか一つの除去手段で除去動作させるための配管路の切替手段を具備
- ④ 該除去装置における該水分除去手段と該放射性物質除去手段の少なくとも一方は、管路内に着霜回収した水分を加熱復水して回収する加熱復水回収手段を具備
- ☆⑤ 該除去装置における該水分除去手段と該放射性物質除去手段の少なくとも一方は、該水分除去手段および該放射性物質除去手段の入口と出口管路間の圧力差を検出し、既定の圧力差以上において、該除去手段の除去限界を検知
- ☆⑥ 該除去装置における該水分除去手段と該放射性物質除去手段の少なくとも一方は、該除去手段の下流管路に設けられた切替弁や流路離接手段など可動管路部位置もしくはその上流配管位置において、管路もしくは管内気体の少なくとも一方を規定温度もしくはそれ以上に再加熱制御する再加熱手段を具備

【参考図】



下流側トラップ 上流側トラップ
Coldトラップ上面から観察

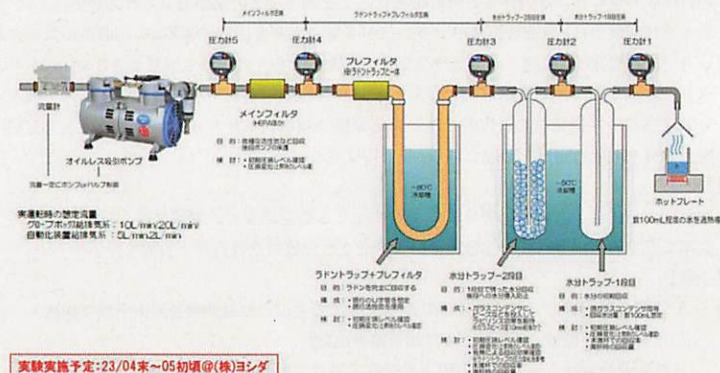
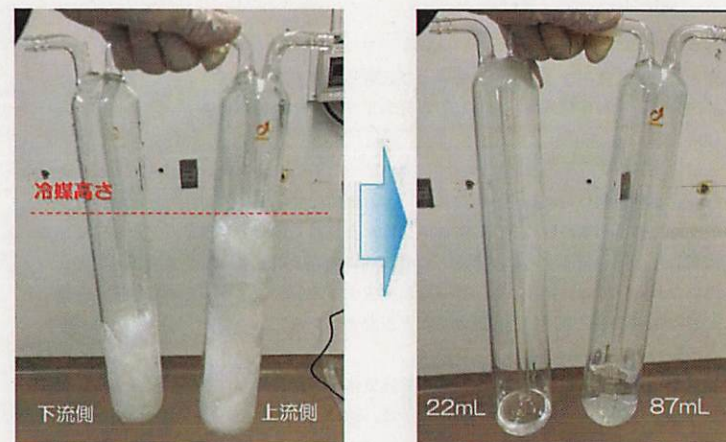


トラップ上部配管の状態

Rnトラップ
下流側にのみ着霜
※金属で熱伝導がよいため
液体窒素使用時と同じ

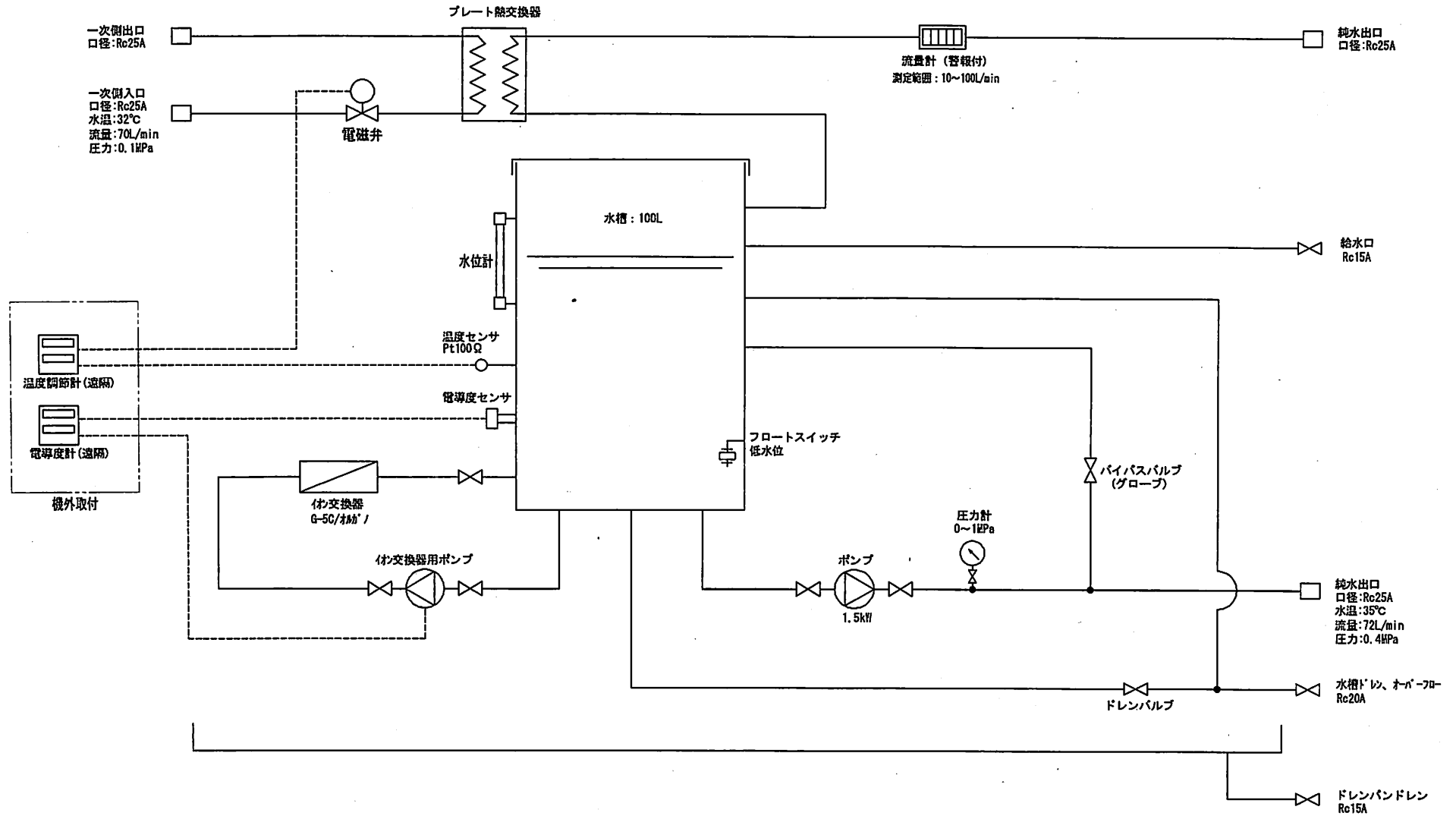
Coldトラップ
配管部への着霜無

液体窒素使用時と異なり
Coldトラップは着霜無



実験実施予定:23/04末~05初頃@(株)ヨシダ

※※



△							三角法	尺1 度1	材質	型名	REW-15000V-HS	承認	審査	設市村
△							カエリ取り			名称	系	統	図	参
△							普通公差			名称	系	統	図	参
付号	日付	訂正記事	記入	親図面番号	親図面名称	親型名	表面粗さ			オリオン熱学株式会社				

品 名	数 量	単 位	単 価	金 額	備 考
⑤概算寸法 W2000×D1500×H2500					
RKE5500B-VW (オリオン機械製)	1	台		1500000	
【小計】				22500000	
トラックチャーター料	1	式		200000	
【大計】				22700000	
備考					
①正式仕様書は別途作成致します。					
②放射線管理区域の場合、点検・修理の対応が できない場合もございます。					
ご注文前にお打ち合わせが必要です。					
見積除外事項					
①搬入据付作業					
②配管工事他工事作業の一切					
③純水装置の一切					
④試運転立会					
⑤本見積記載無き事項の一切					
以下余白					

小 計 1,700,000

合計金額 22,700,000

基礎

別紙に記入した？

99% 回収率？

- ・ 基礎振換 2割？
- ・ 11921カールは何分？
- ・ スループット

御 見 積 書

2023 年 4 月 12 日

株式会社 日立製作所

西田 賢人 様

下記の通り御見積り申し上げます。

受渡期日 納期約6カ月

受渡場所 貴社（茨城県日立市）

取引方法 従来通り

有効期限 1ヶ月

オリオン熱学株式会社

〒162-0801

東京都新宿区四谷3-4-8

DSDビル2F

TEL. 03-5206-6227 FAX. 03-5206-6228

担当者 金子 義和

承認	審査	担当
島田		金子

合計金額 ￥22,700,000.-

消費税は別途必要です。

品 名	数 量	単 位	単 価	金 額	備 考
オリオン熱学製水水熱交換機2台					
オリオン機械製チラー1台御見積					
REW-15000V-HS（オリオン熱学製）	1	台		5000000	
（仕様概要）					
①ポンプ 72L/min@0.4Mpa					
②必要冷却水 70L/min(32℃)@0.1Mpa					
③タンク容量 100L					
④温度調節器、電動率計はリモート盤へ取り付け					
（配線長 30m）					
⑤概算寸法 W1500×D1000×H1000					
REW-330KV-HS（オリオン熱学製）	1	台		16000000	
（仕様概要）					
①ポンプ 537L/min@1.1Mpa					
②必要冷却水 600L/min(32℃)@0.2Mpa					
③タンク容量 1000L					
④温度調節器、電動率計はリモート盤へ取り付け					
（配線長 30m）					
次頁へ続く					

（製品保証について）

当社製品の故障、瑕疵に起因してお客様に損害が生じ、当社がその賠償責任を負う場合、当社が賠償する損害は当社製品の故障、瑕疵に起因して直接生じた損害に限定され、機会損失、逸失利益、お客様の第三者に対する賠償責任等の間接損害、二次損害等については保証及び賠償の対象外となります。

帳票No.: G-全MN001-A0

必要物品 (その他)

冷却水回路 端 = スーパー = スーパー = ... = 16mm swagelok
↓
PC 3/4

熱電対 + 型番送る

AC 100V + 装置

物質の情報を送る

紙散 + (12) 箱 + 10 箱 検査

100g, 100g, 100g

20日 - 21日

後続

100g - 70 - 20g

+

4-2, 100g 冷却水用, (PT 1/2) 分配

4/14 (金) 土曜 17時 10:15 - 11:15.

● エンゲルはシシレーン、~~冬~~、 100° 北東にエール、

最新校討会(2)

V_{FB} - V_{dd} ? 片電源

90% 中??

処理水 改

人数

{ スキルに達している、FSC、
→
原子力 = 大、中 係

成果目標 16-25歳

・ H2700用、step 7700 作成 完了、

→ 2700 2700 12/17 (1000000)

{ ① 原子力板工機、
② 原子力以外板工機 已 完成 33、

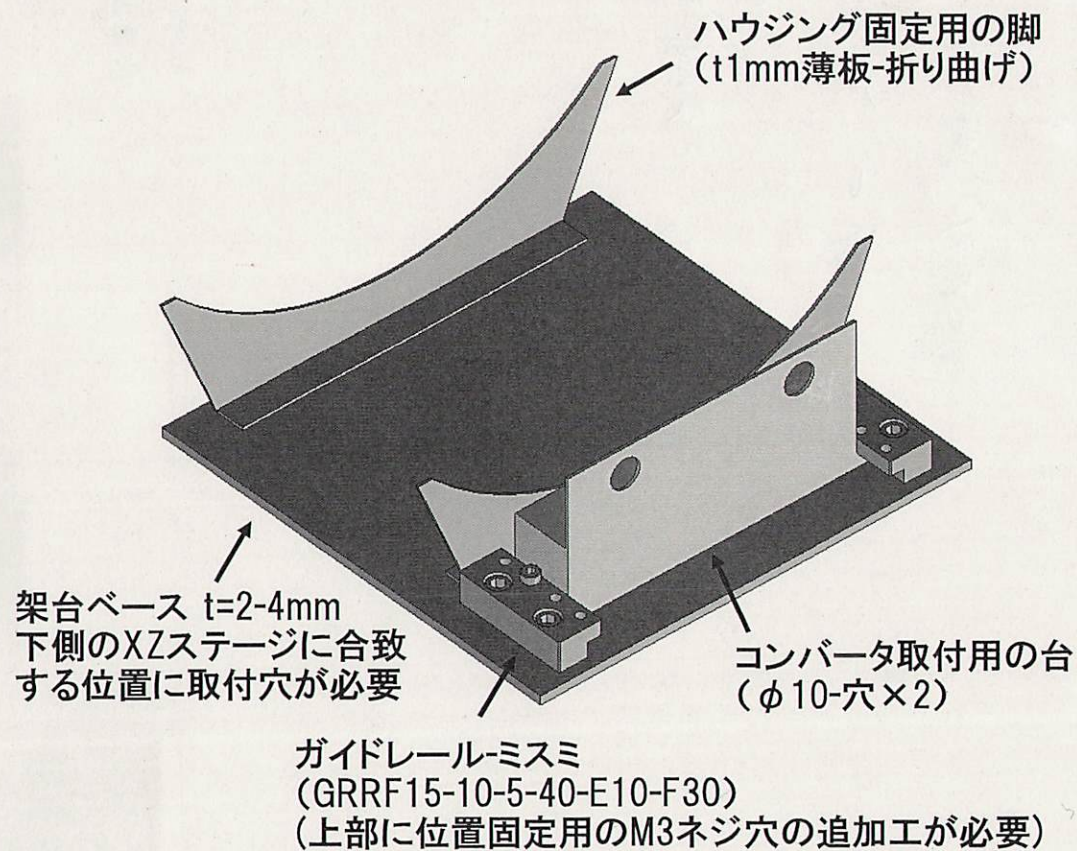
→ gap, tip, roof (2 (1.2.3))

→ { ① [1.2.3] 以外 全消云、
② [1.2.3] 已 消云、

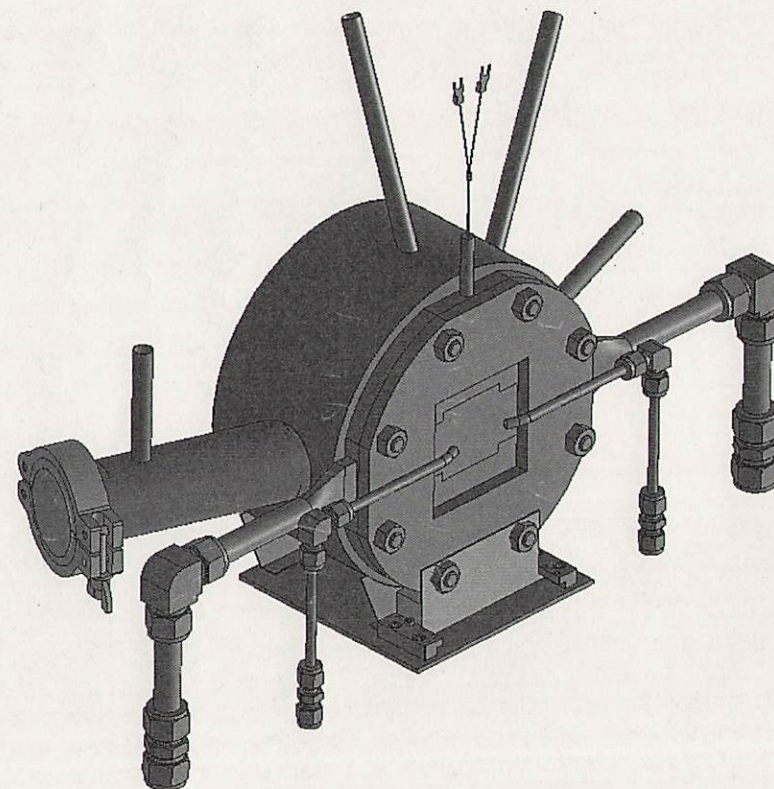
ハウジング架台案

HITACHI
Inspire the Next

ハウジング架台案



取付イメージ



- ・ 燃料 (Ra-222) 探査の確保. (TOM 監査)
- ・ 自動化. 遠隔化. (急激な作業量) 新システム
- ・ GBq 24-ルの製造. (18.2)
- ・ Ra-226 の確保.

成果.

~~Ra 燃料~~

産出 27 / 26

今後 20 年間の需要に対応可能な Ra 原料の確保入手.

~~燃料~~ 市場に供給 ~~計画~~
調達見直し.

GBq 24-ルの製造

18

寿命予測.

破断を考慮し

低圧の 1-37℃

4-8℃ 以下の 1-37℃ の
温度分布で.

寿命予測の 2-37℃ とは?

破断分布 2-37℃ 間数?

{ 2-37℃ 温度 (input) は
or
全量.

oooooooo

oooooooo

- 6-33. Ratkowsky, D. A., Tasmanian Regional Laboratory, CSIRO, Hobart, Tasmania, Australia, 1970, as quoted by R. K. Shah and A. L. London, "Laminar Flow Forced Convection in Ducts," *Advances in Heat Transfer*, Supplement 1, Academic Press, New York, 1978, p. 347.
- 6-34. Zarling, J. P., "Application of the Schwarz-Neumann Technique to Fully Developed Laminar Heat Transfer in Non-Circular Ducts," *J. Heat Transfer* 99, 332-334 (1977).
- 6-35. Hu, M. H., Westinghouse Electric Corporation, Tampa Division, Tampa, Florida, 1975, as quoted by R. K. Shah and A. L. London, "Laminar Forced Convection in Ducts," *Advances in Heat Transfer*, Supplement 1, Academic Press, New York, 1978, p. 276.
- 6-36. Sparrow, E. M., and A. L. Loeffler, "Longitudinal Laminar Flow Between Cylinders Arranged in Regular Array," *AIChEJ.* 5, 325-330 (1959).
- 6-46. Nandakmar, K., and J. H. Masliyah, "Fully Developed Viscous Flow in Internally Finned Tubes," *Chemical Eng. J.* 10, 113-120 (1975).
- 6-156. Gunn, D. J., and C. W. W. Darling, "Fluid Flow and Energy Losses in Non-Circular Conduits," *Trans. Inst. Chem. Engrs.* 41, 163-173 (1963).
- 6-157. Shih, L., "Laminar Flow in Axisymmetric Conduits by a Rational Approach," *Can. J. Chem. Eng.* 45, 285-294 (1967).
- 6-158. Scott, M. J., and R. L. Webb, "Analytic Prediction of the Friction Factor for Turbulent Flow in Internally Finned Channels," *J. Heat Trans.* 103, 423-428 (1981).
- 6-159. Soliman, H. M., and A. Feingold, "Analysis of Fully Developed Laminar Flow in Longitudinally Finned Tubes," *J. Chem. Eng.* 14, 119-128 (1977).

~~30~~ 50mm x 1.5 x 5 = ~~375mm~~ 300mm²

配管

153mm²

$153 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

$15 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$

$= 0.25 \text{ m}^3/\text{s}$

$\bar{v} = 1.6 \text{ m/s}$

④ 太さ Oring.

⑤ 1.27mm

0.1mm, 未知の可能性高

→ 1.27mm

⑥ 欠陥形配管

→ 断面が小さ

→ 配管の欠陥部は短縮して接続

⑦ "in" のリリー, (補修) → 可

⑧ 全体の形状 → 円

⑨ 全断面のリリー → 可, → 均等に分布

$$\frac{B}{B_0} = \frac{-\frac{5}{500}}{e^{\frac{4 \ln 10}{100}}} = e^{-\frac{1}{100} 4 \ln 10} = e^{-\frac{\ln 10}{25}}$$

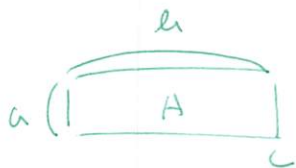
$$\ln 10^{-4} = -\frac{500}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{-500}{-4 \ln 10} = \frac{500}{4 \ln 10}$$

$$\frac{A}{A_0} = e^{-\frac{500}{\lambda}}$$

4/4, 50mm 系の管

⑩ 水力直径



$$D_h = 4A/C$$

$$A = a h$$

$$C = 2a + 2h$$

$$D_h = 4 \frac{a h}{(2a + 2h)} = 2 \frac{a h}{a + h}$$

$a =$

$$\frac{A}{A_0} = e^{-\frac{l}{\lambda}}$$

$$10^{-4} = e^{-\frac{l}{\lambda}}$$

$$\ln 10^{-4} = -\frac{l}{\lambda}$$

$$+ 4 \ln 10 = \frac{l}{\lambda}$$

4/5

50mm

500mm

10^{-4} down

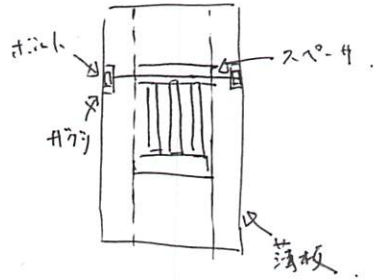
250mm

10^{-2} down

100mm

10^{-1} down

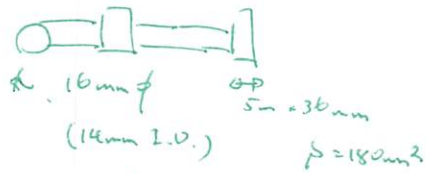
● 新型のコンバータ設計



矩形管 + 円形管 変形

4/3 ● 圧入の計算

・ 流路



↓
153.86mm²

→ 実際、矩形管流路は 大工工分

⑨ P&Cレビュー

- PHITS 使用にて、発熱計算
- 形状 CAD の ~~計算~~ 発表
- ・ P&C 板の発注準備
- ・ ~~全体名義~~ 発表
- ・ 見積書の集計、納期確認
 - タンク、両面、金物等.....
- ・ マーダベスにて PHITS 計算不可
 - マーダベスにていいて、計算可能に.....

~~トビ~~

トビ、割当、

7-2、分析、

● (G₂B₂) 製造

● 品質

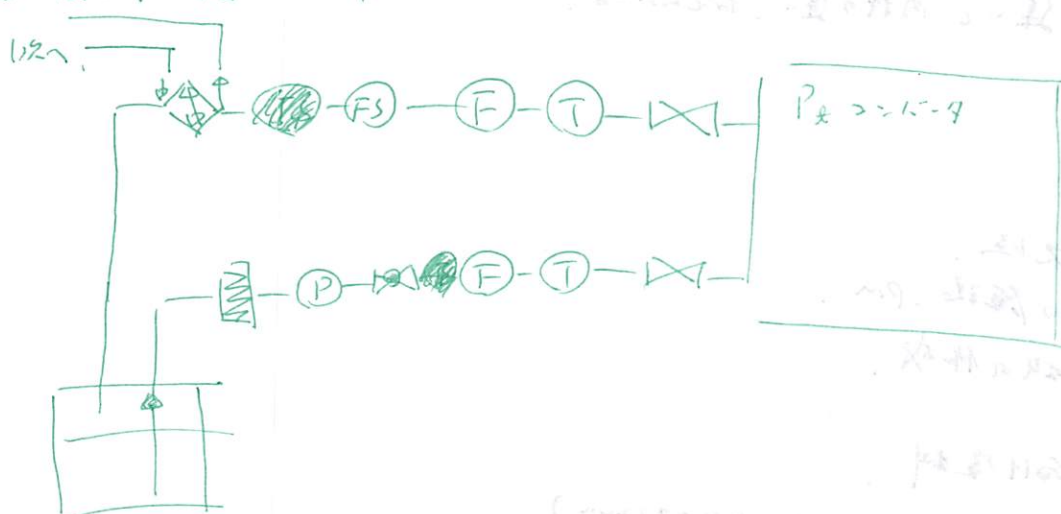
● Ra-226 入 (試料作製)

● 甘氨酸提供

● 回収効率

- ・ 82211-4 作製
- ・ 7-6-11 (全器作製評価)
- ・ 査
- ・ 評価方法策定
- ・ 文施
- ・ 共研進出、査
- ・ 搬送 (九州+電子大、金研)
- ・ 試料化 (RaCO₃化)
- ・ ホットセル整備
- ・ 受入申請
- ・ KIシステム設計
- ・ アイデア策定

② 西乙管割り



⑨ 現状のタスク.

- ・ ~~放射線エミタの文書化調査~~
- ・ 放射線エミタの吸収係数の検討.
- ・ フルモデルコードの更新. カラット.
- ・ 新700万バレルへの更新. + MC更新の検証生成.
- ・ コンビタの熱負荷計算.
- ・ 1.5ミタの熱負荷の計算.
- ・ ルータ- 書き
- ・ 特許

20 12月. フル700万バレル更新
20 2月. 1.5ミタ更新 (flat pole)
20 3月. mslope 更新.

⑩ 面の通いの問題.

その前 1回 走らさる.

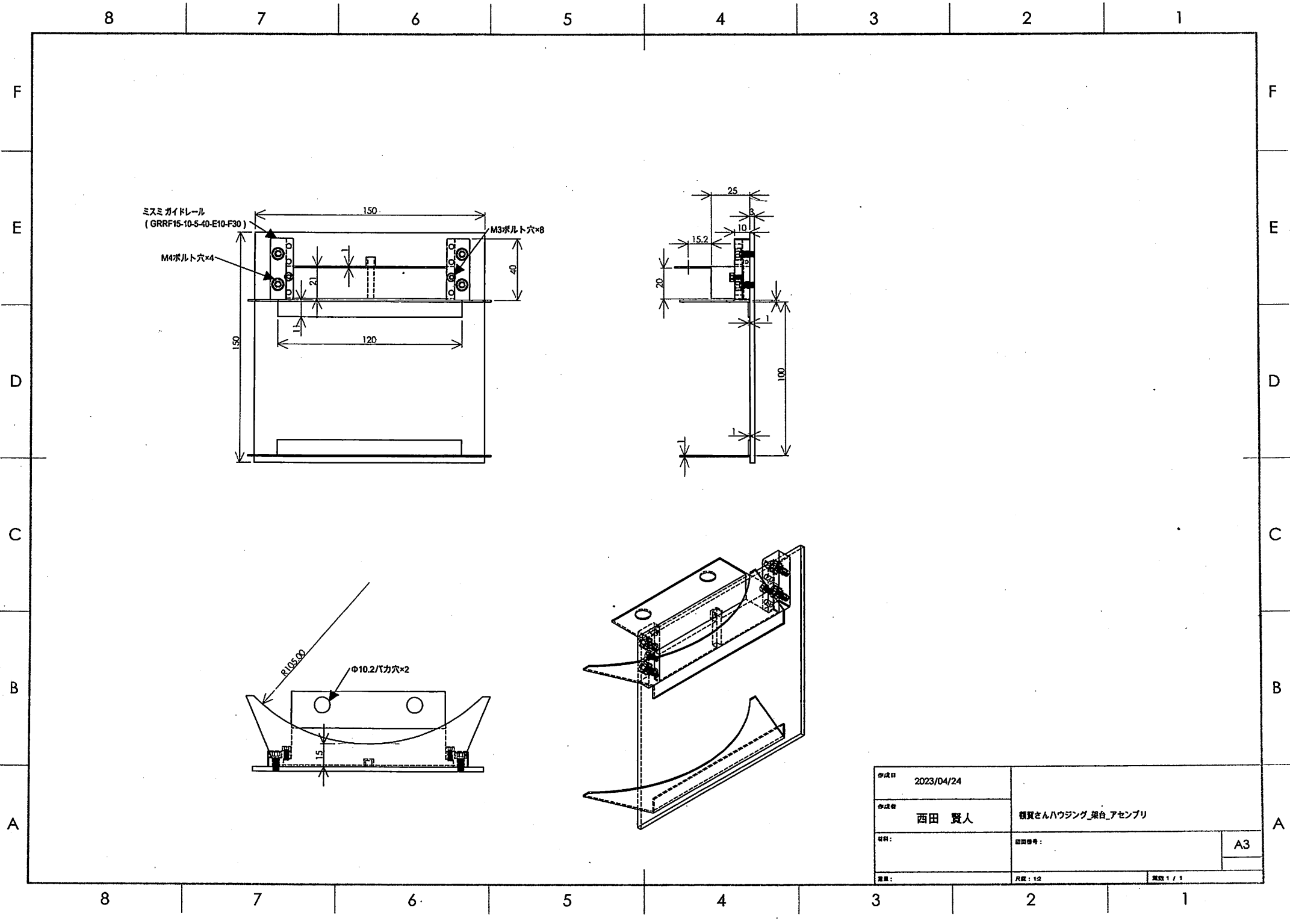
∴ 枚数の違い. 内容の違い. 何となく.

⑪ 発配後の状況.

- ・ 発配後の状況.
- ・ 発配後の状況. PM.
- ・ 東北大学への作成.

東北大学へ資料.

- 資料. (700万バレル更新)
- 問題点をまとめる.
- 確認事項.



作成日	2023/04/24	額賀さんハウジング_銀台_アセンブリ	
作成者	西田 賢人		
材料:	図面番号:		A3
数量:	尺数: 12	図数 1 / 1	

● 2-4 2215-2273

6月

090-1851-1980

2 枚目

敬告、

流量確認、

調 査 中、

位置調整、

ぬい 針止、

11522711子、11522711子、

11522711子、

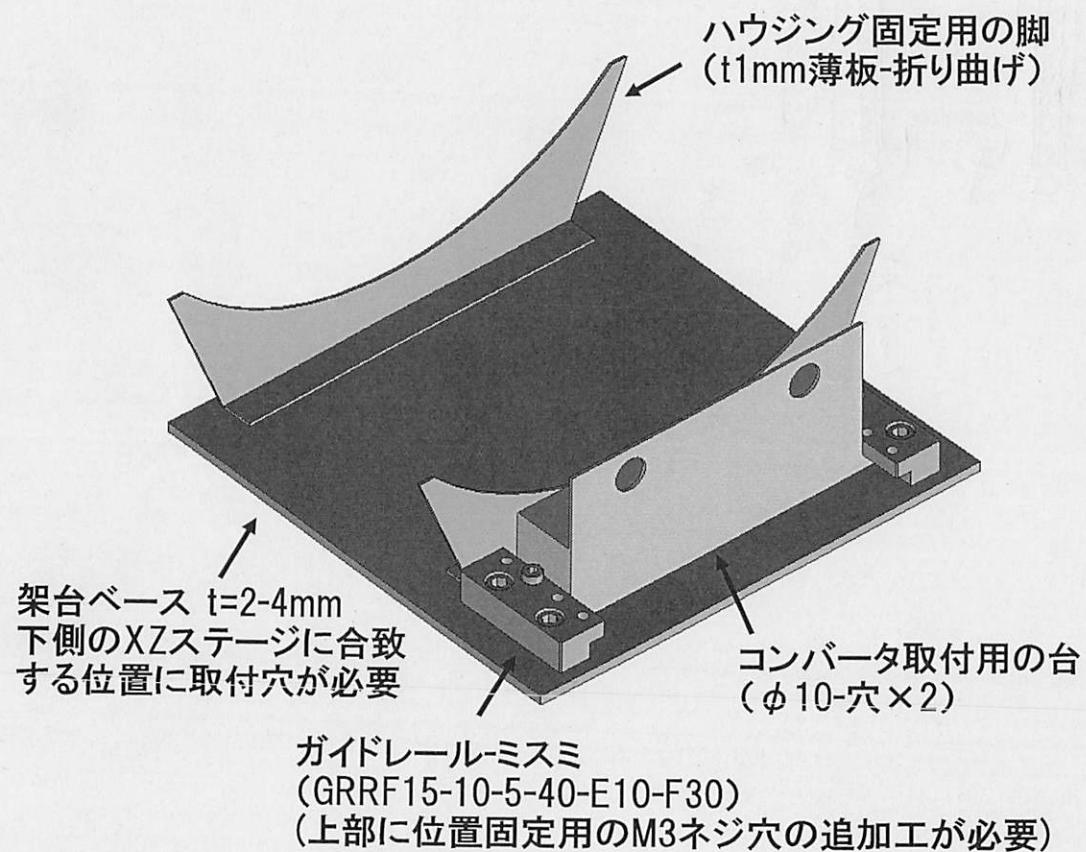
ぬい、ナ別送、

2枚目 2277、ナ別送、

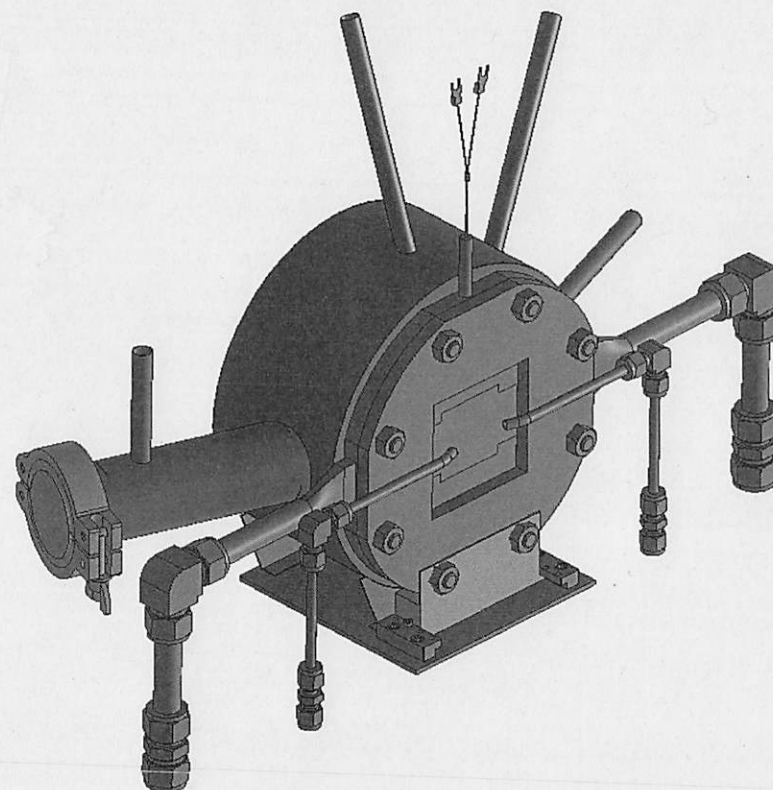
ハウジング架台案

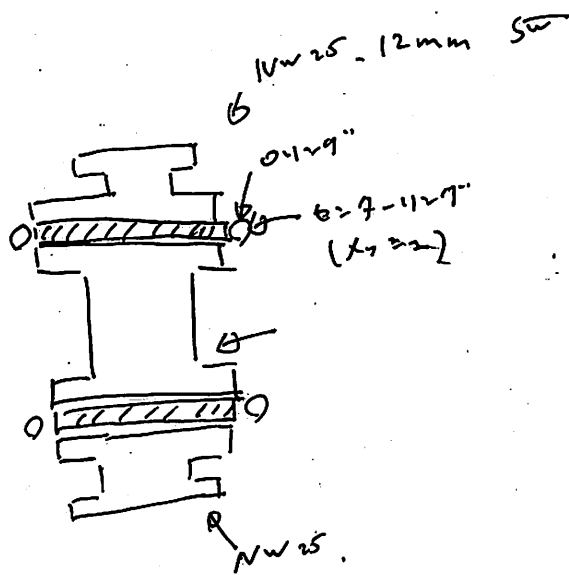
HITACHI
Inspire the Next

ハウジング架台案



取付イメージ





④ 線源 護受 中より受け

放区研内作業、 → 基本共研 → 読書まで知念同。

Ra-226	3.7 GBq	- BU 型	→ 10cm 92 mSv/h
Cs-137	370 MBq	- L 型	
Am-241	259 GBq	- A 型	→ 7~9cm 内各点

QST 受渡いは、軒先渡し。

Cs-137

3 線源、中同時に??

認可 確定おの時期

→ Am-241, Cs-137, 優久 (P2)

2/22 より、相方の輸送終了、(ワラスラン-ド)

運搬のすじに、

2/19 - 2/22 3 線源に予定

12 月中 に 續付け ンケン。

国 續校 討書

同左側、事前カットに、
(依頼)

別はに切断、→ 3y 運搬あり。

QST → 東北大、護受・護送。

セカリライ。

* 2枚を印刷、ページ番号

* pdf 結合 or 座標直し.....

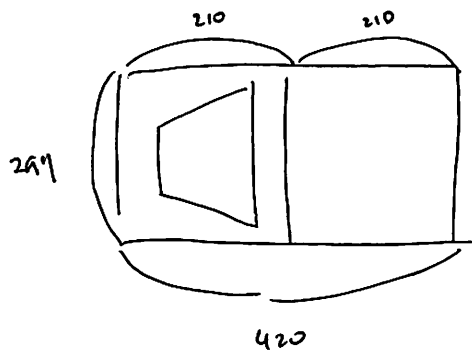
↑
127あり

⇒ input file 変更は?..

・ json ファイルを 2 + 1 → 2 in 1 に書く

・ 2.1B の 分岐: 分岐を, lamp-shade-1 and 2 に書く

* 4ページ、A4 2ページを並べて印刷...



* 条件 (L-4-6-7)

* コンバージョン、引数整備

* トレイ名を揃った

* マニフェスト作成

* 辞書印刷可能

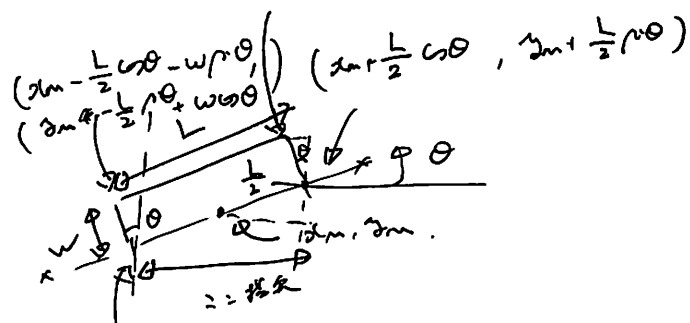
* GUI (簡単版)

* トレイ名を揃った.....

全部 ひとりで変更してくる... 必要... → 力技

lamp-shade ss.

$$(x_{m+\frac{1}{2}} \cos \theta + w \sin \theta, y_{m+\frac{1}{2}} \cos \theta + w \sin \theta)$$

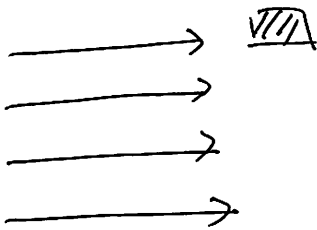


$$(x_m - \frac{1}{2} \cos \theta, y_m - \frac{1}{2} \cos \theta)$$



$$\frac{1.7 \times 10^{-5}}{100 \text{ k}\Omega} \times R_a (B_g) \times T_b (h) \times I_b (\mu A)$$

$$\frac{3.4 \times 10^{-2}}{10} = 3.4 \text{ k}\Omega$$



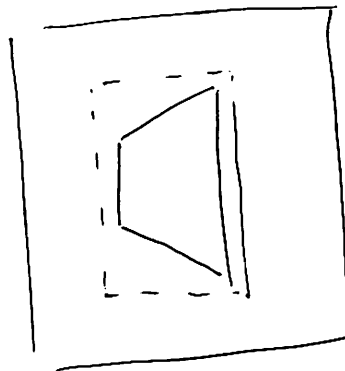
④ To Do

“製造ミニマリズム”
レーザーカットの改訂
エッチ設計
製造量確認



~~オバロの作成~~ (26)

* 東北大、11月7日迄



* 25日迄

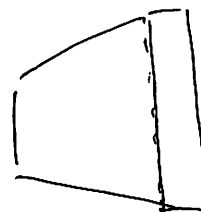
~~* オバロの作成~~

* トレイスのサイズ確認

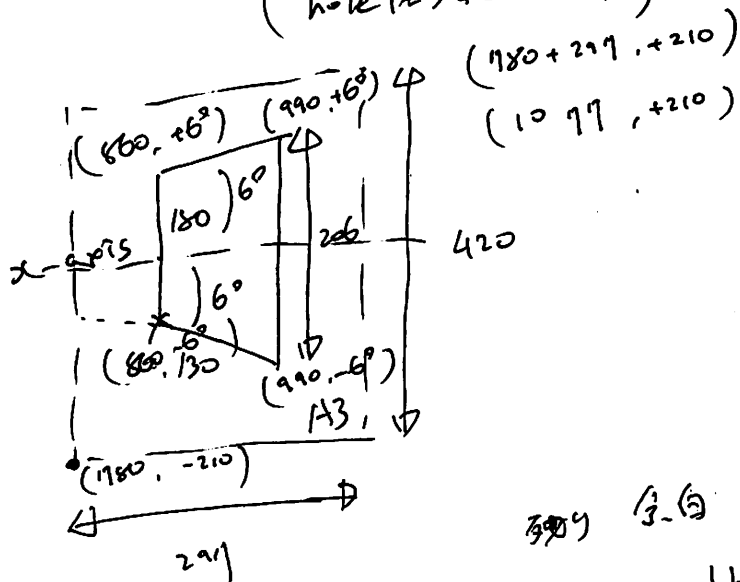
* 2枚セット印刷

* ラベル付け

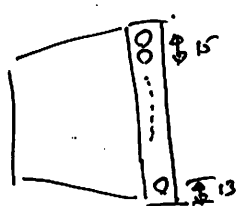
~~* 新リ、あげを急ぎ~~ **



n番目の板 σ
 (hole-in-the-hole)



長 206 mm
幅 10 mm



两端各 13mm

$$13m + 2 = 26m$$

527 180mm 2

13 24:

柜亦 2-12 腹 3

15mm AG | 13.2

解 余白 $\alpha = 160^\circ$ 程度.

bb. = [780 ,

$$(R_{24})^T = x^* R^T$$

④ $15^\circ \approx 41.4^\circ$.

④ 入力の読み出しに必ず必要

四 1714-1 刻本 2 册 (2. 卷 18)

- ・ 数量の in/out
- ・ リクルータの in/out
- ・ 元の変

⑦ 構造部分の作成、

* 7-7ベ-スに λ_{2m} が 7-7 (2) $\leq$ 2.

$\Rightarrow$ (comp - shade or 2 - side for 4).

② 残件処理. (1-46-7)

- ・ 細か... 外側10-7のエテリ化.

- 概形形のコード化. $\rightarrow$ 概形形の再度編集.
- 各座標位置の投写出し.

- ・ 側面の欠付け. エテリ化.

- ~~コードの概~~ 四面の概張.

* ~~データの概~~ データ読み取り.

- ・ 数値を ~~in~~ in/out の読み出し.

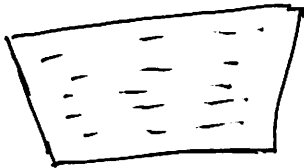
$\rightarrow$ 簡易台帳に... 作成.

- ・ 定例 ~~資料~~ 資料作成.

$\rightarrow$

- ・ 議事メモ. 作成. 送付. 次回お3台お21-7送付.

③ シムトレイン概形図...



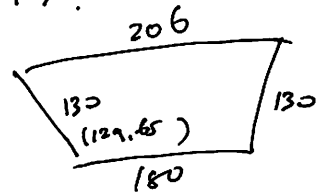
$\rightarrow$ polyline の 2-12...

$\rightarrow$ polyline 2-12は作成済み.

- ・ 座標指定の投写出し.

概形形の調査.

・ 半径. 角度の { 始点 interval, 外側概形.



④ 車行路の4-7の台帳.

ID 中 座標が重複して画像がは
あふはさ... ..

980.1725-911.5
865.227, 85

865.227
860 = sin?

out = 980.296

(863.9526; 96.7483) = 990.

5. 2. 8 75 に 12 2 通 せ は

最低値.

$\rightarrow$ 一つ、台帳、作成とて相似に... ..

(入.2) $\rightarrow$ ID $\rightarrow$ (246210) $\rightarrow$

① 照射試験内容

成

"目的" $Ra-226$ と $Ac-225$ の "系統効率" を示す。
 $\epsilon = 7$ の確認。

"試験内容、① ビーム条件 ② 建設事項"

Am

- ・ 白金線、 $\rightarrow$ 照射テスト、(位置特性の評価)
- ・ 容器 + Am + Pt (Am 試験の確認)
- ・ ビームで 77 をふってもらう、(位置特性の評価)
- ・ 1-ウジング内で照射 + Am 位置合わせ (位置特性の評価)
- ・ Ra 照射試験、

② No. 1 の To Do 出し、

No. 2 の To Do

(コンビ-7 なし)

- 架台準備、
- ワイヤ取り
- 架台後設置、
- レーザ位置合わせ、
- 配線作業
- 計器設置、
- 位置確認、

ファイバ-スコ-70、(内部位置)

コンビ-7、1-ウジング、スラ-ジ、

$\rightarrow$ 位置合わせ、 $\rightarrow$ ケーブル接続、
照射室内でレーザで、

$\rightarrow$ スラ-ジのレベル位置合わせ、

$\Rightarrow$ 照射室内で、事前、後設置で位置合わせ、

$\Rightarrow$ ケーブル確認、

$\Rightarrow$ 1-ウジングを取り外し、

● HPGC 已利用した Ra-226 の定量 1-1.

・ 対象, Ra-226 (試料)

- 186 keV.

shimsaki / 230930 / 以下の RO2.

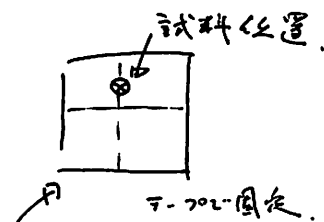
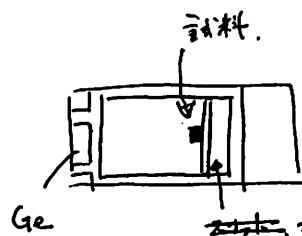
- RO2 のファイルは 白崎先生の 0930 のファイルに使用.

・ システム.

- 30cm 位置で測定.

- 袋で封止.

- セントリで測定.



・ 測定.

- 186 keV の RO2 部分を記録.

- Excel ファイル (校正係数 etc.) を用意.

- Gamma Studio を開く.

- RO2 ファイルを開く.

- スペクトルデータは OK.

- 測定開始.

- 時間経過でスペクトルが変化する.

- LT (Live Time) と RT (Dead Time) の差 (Real Time) に注意.

- 1000 カウント (3%)

2500 カウント (2%)

10000 カウント (1%)

2日ほど測定.

- 測定後、保存.

- LT, カウント 60, cps を計算.

→ 校正係数 60, 放射能を計算.

(エネルギーに計算式あり)

“今こそ復習！” 主任者の基礎知識 —「もっと基礎を、ここが肝」編—

第6回 放射平衡

吉村 崇

平衡とは、釣り合いがとれていることを指す。化学の分野では一般的に平衡といえば、化学平衡のことを言う。式(1)に示す化学反応があった場合、



$A \rightarrow B$ の反応によって生成した B が、反対の反応 $A \leftarrow B$ によって元に戻る。時間が経つと A が B に変化する量と B が A に変化する量が同じになり、見掛け上 A と B の比が変化しなくなる。このように、正反応と逆反応の釣り合いがとれて、系を構成する成分量の変化がなくなった状態が化学平衡と呼ばれる。放射壊変には逆反応はないので、放射平衡は化学平衡とは意味合いが異なる。今回は主任者試験の化学で頻出の放射平衡について、反応速度論の式を用いて説明する。

1次反応速度式

A から B に非可逆的に進行する反応 $A \rightarrow B$ は1次反応と呼ばれる。その反応は次の速度式に従う。

$$-\frac{d[A]}{dt} = k[A] \quad (2)$$

放射壊変は正に $A \rightarrow B$ の反応なので、式(2)が適用される。化学反応の場合は、 $[A]$ は濃度を指すが、放射壊変では原子数を指す。 t は時

間を指している。また、 $k[A]$ は放射能の強さを示す。式(2)を積分すると、

$$[A] = [A]_0 \exp(-kt) \quad (3)$$

式(3)を対数で表すと式(4)になる。

$$\ln \frac{[A]}{[A]_0} = -kt \quad (4)$$

前記の式(3)及び式(4)は、 A が時間とともに指数関数的に減少すること、 $\ln[A]$ と t とのプロットは直線関係を持ち、その傾きは $-k$ であることを示している。 k は一般には反応速度定数、放射壊変では壊変定数と呼ばれ、 $1/s$ の単位を持つ。この値は、初めの A の量(放射壊変では初めの原子数)、 $[A]_0$ には無関係である。また、その逆数は単位が s となり平均寿命と呼ばれる。この1次反応速度式に従う反応では、 $[A]_0$ には無関係に一定時間に決まった割合の反応が起こることを示している。この関係があるために、放射壊変でよく用いられる半減期(T)を導くことができる。すなわち、 $[A] = [A]_0/2$ を式(4)に代入すると式(5)が得られ、 T が導出できる。

$$T = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0.693}{k}$$

また式(5)を用いれば、半減期から速度定数(壊変定数)が導出できる。ちなみに1次反応

 $\lambda [s^{-1}]$

$$\begin{aligned} \ln \frac{[A]}{[A]_0} &= \ln \frac{\frac{1}{2}[A]_0}{[A]_0} \\ &= -\ln 2 \\ &= -k T_{1/2} \\ T_{1/2} &= \frac{\ln 2}{k} \\ &= \frac{0.693}{k} \end{aligned}$$

では、A は時間が経過しても完全にゼロになることはない。

連発 1 次反応

連続して起こる 1 次反応 $A \rightarrow B \rightarrow C$ は連発 1 次反応、又は逐次 1 次反応と呼ばれる。A $\rightarrow$ B, B $\rightarrow$ C の各過程の反応速度定数（壊変定数）を k_1 及び k_2 とするとそれらの反応速度式は式(6)～(8)となる。

$$-\frac{d[A]}{dt} = k_1[A] \quad (6)$$

$$[A] = [A]_0 \exp(-k_1 t) \quad (7)$$

$$\frac{d[B]}{dt} = k_1[A] - k_2[B] \quad (8)$$

式(7)を式(8)に代入し、両辺に $\exp(k_2 t)$ を掛けると式(9)が得られる。

$$\begin{aligned} \exp(k_2 t) \frac{d[B]}{dt} + \exp(k_2 t) k_2 [B] \\ = k_1 [A]_0 \exp(k_2 - k_1) t \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 $t=0$ において $[B]=0$ の条件で積分すると式(10)の関係が得られる。

$$[B] = [A]_0 \frac{k_1}{k_2 - k_1} [\exp(-k_1 t) - \exp(-k_2 t)] \quad (10)$$

$[B]$ は指数関数の差として表され、その時間変化量は、ある極大値を持つ形になる。 $[B]$ が極大値を与える時間 ($t_{\max}$) は、式(10)において $[B]$ を時間で微分してゼロとおけば良い。

$$\begin{aligned} \frac{d[B]}{dt} &= [A]_0 \frac{-k_1}{k_2 - k_1} [k_1 \exp(-k_1 t) - k_2 \exp(-k_2 t)] \\ &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

式(11)より

$$k_1 \exp(-k_1 t) - k_2 \exp(-k_2 t) = 0 \quad (12)$$

式変形して両辺対数を取り整理すると $t_{\max}$ を与える式(13)が得られる。

$$t_{\max} = \frac{1}{k_1 - k_2} \ln \frac{k_1}{k_2} \quad (13)$$

放射平衡

(1) 過渡平衡

連発 1 次反応において A の半減期を T_1 , B の半減期を T_2 とすると $k_2 > k_1$, $T_1 > T_2$ の条件で、放射壊変では過渡平衡と呼ばれる状態になる。この状態では $\exp(-k_1 t) > \exp(-k_2 t)$ となり、 $\exp(-k_2 t) \div 0$ とおける。そのため式(10)は式(14)のように簡単にできる。

$$[B] = [A]_0 \frac{k_1}{k_2 - k_1} \exp(-k_1 t) = \frac{k_1}{k_2 - k_1} [A] \quad (14)$$

式(5)の T と k の関係より、式(15)の関係も得られる。

$$[B] = \frac{T_2}{T_1 - T_2} [A] \quad (15)$$

また、式(14)を式(8)に代入すると、式(16)が得られる。

$$-\frac{d[B]}{dt} = k_1 [B] \quad (16)$$

前記の式より過渡平衡状態において以下の事柄が導き出される。

1) 原子数の比 $[B]/[A]$ は一定で、その比は $k_1/(k_2 - k_1)$ 及び $T_2/(T_1 - T_2)$ となる。

2) 式(14)の両辺に k_2 を掛けると B の放射能の強さ ($k_2[B]$) と A の放射能の強さ ($k_1[A]$) の関係式が導かれ、B の放射能の強さが A の放射能の強さの $k_2/(k_2 - k_1)$ 倍及び $T_1/(T_1 - T_2)$

$P_{A-225} \rightarrow A_{C-225}$ の
最大収量の時の A の放射能の式

倍になる。

3) B は A の壊変定数 k_1 , すなわち半減期 T_1 で壊変する。

4) $t_{\max}$ では $d[B]/dt=0$ が成立するので式(8)より $k_1[A]=k_2[B]$ の関係が得られる。すなわち $t_{\max}$ において A の放射能の強さと B の放射能の強さは同じになる。

半減期 66 h の ^{99}Mo , 半減期 6 h の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ からなる過渡平衡 $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$ の例を挙げる。図 1 に示すように, 過渡平衡が成り立つまでに, 全放射能は徐々に増加する。式(13)より $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が最大となるまで時間 ($t_{\max}$) は 23 h と求められる。過渡平衡に達した後, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は ^{99}Mo の半減期と同一の半減期で減少する。この時, $^{99\text{m}}\text{Tc}/^{99}\text{Mo}$ 原子数比は 0.1 となる。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ はミルキングにより ^{99}Mo から分離可能であり, 23 h ごとにミルキングすることで $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を収率良く得ることができる。

(2) 永続平衡

連発 1 次反応において $k_2 \gg k_1$, $T_1 \gg T_2$ で, T_1 が十分に長い場合の放射壊変では永続平衡と呼ばれる状態になる。この状態では $k_2 - k_1 \doteq k_2$, $\exp(-k_2 t) \doteq 0$ とおける。十分に時間が経つと式(10)は式(17)に近似できる。

$$[B] = [A]_0 \frac{k_1}{k_2} \exp(-k_1 t) \quad (17)$$

さらに式(17)に式(7)を代入すると, 式(18)が導かれる。

$$[B] = \frac{k_1}{k_2} [A] \quad (18)$$

式(18)から A 及び B の放射能の強さの比は 1, つまり A と B の放射能の強さは同じになる。また A と B の原子数の比は $[B]/[A] = k_1/k_2$ となる。式(18)の関係を式(8)に代入すると $d[B]/dt$ は, 式(19)に示すようにゼロになり,

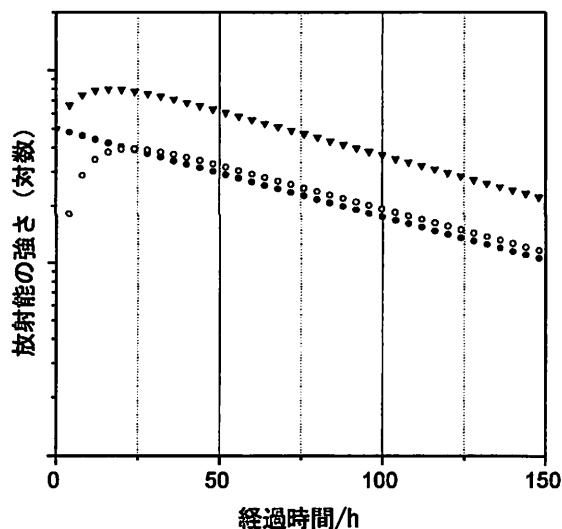


図 1 $^{99}\text{Mo} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$ における ^{99}Mo (●), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (○), 及び $^{99}\text{Mo} + ^{99\text{m}}\text{Tc}$ (▼) の放射能の強さの時間変化

B の生成速度がゼロに近似できることを示している。

$$\frac{d[B]}{dt} = k_1[A] - k_2 \frac{k_1}{k_2} [A] = 0 \quad (19)$$

このように連発 1 次反応 $A \rightarrow B \rightarrow C$ において永続平衡では B の生成と壊変が釣り合った状態をとっている。

半減期 28.8 y の ^{90}Sr , 半減期 64 h の ^{90}Y からなる永続平衡 $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y} \rightarrow ^{90}\text{Zr}$ の放射能の強さの時間変化を図 2 に示す。永続平衡が成り立つまでに, 全放射能は徐々に増加する。 ^{90}Sr の壊変定数が極めて小さい, すなわち半減期が極めて長いため, 永続平衡に達した後は放射能の強さの時間変化が測定時間内には見られない。このため, 式(18)で示すように ^{90}Y の放射能の強さの変化も見られない。

(3) 放射平衡が成立しない場合

$k_1 > k_2$, $T_2 > T_1$ の条件では $\exp(-k_2 t) > \exp(-k_1 t)$ となり, $\exp(-k_1 t) \doteq 0$ とおける。そ

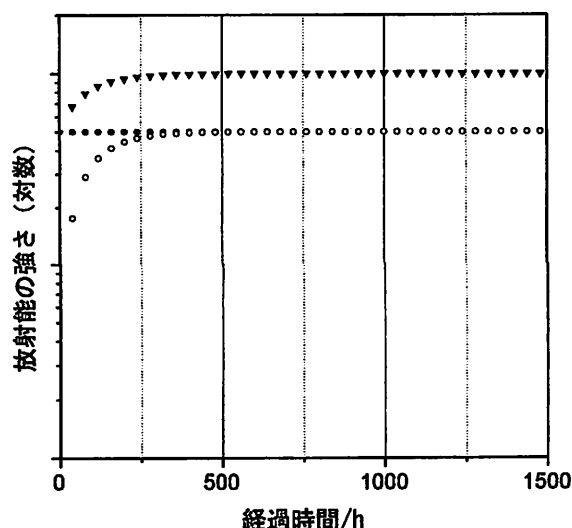


図2 $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y} \rightarrow ^{90}\text{Zr}$ における ^{90}Sr (●), ^{90}Y (○), 及び $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ (▼) の放射能の強さの時間変化

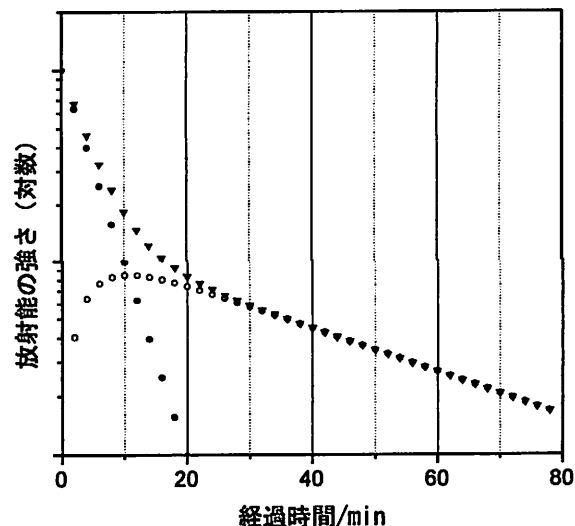


図3 $^{218}\text{Po} \rightarrow ^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi}$ における ^{218}Po (●), ^{214}Pb (○), 及び $^{218}\text{Po} + ^{214}\text{Pb}$ (▼) の放射能の強さの時間変化

のため式(10)は式(20)に近似できる。

$$[B] = [A]_0 \frac{k_1}{k_1 - k_2} \exp(-k_2 t) \quad (20)$$

この場合は、Aの半減期がBの半減期に比べて短いので、ある時間経ると実質的に全てBに変わってしまう。[B]は時間とともに極大に達した後、Bの半減期で減少する。半減期3 minの ^{218}Po 、半減期26.8 minの ^{214}Pb からなる壊変 $^{218}\text{Po} \rightarrow ^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi}$ における放射能の

強さの時間変化を図3に示す。

参考文献

- 1) J.H. エスペンソン, 化学反応の速度と機構, マグロウヒル (1984)
- 2) 村上悠紀雄, 佐野博敏, 鈴木康雄, 中原弘道, 基礎放射化学, 丸善 (1981)
- 3) 海老原充, 現代放射化学, 化学同人 (2005)
- 4) G.R. ショパン, J.-O. リルゼンツイン, J. リュードベリ, 放射化学, 丸善 (2005)

(大阪大学ラジオアイソトープ総合センター)

【訂正】5月号掲載『“今こそ復習！”主任者の基礎知識—「もっと基礎を、ここが肝」編— 第6回 放射平衡』の記事の一部

本誌2014年5月号 (No.721, 86~89頁), 『“今こそ復習！”主任者の基礎知識—「もっと基礎を、ここが肝」編— 第6回 放射平衡』の記事で, 「放射平衡 (1) 過渡平衡」の一部に誤りがありました。お詫びして次のように訂正いたします。

1. 87頁, 右段上から7~10行目

[誤]: 連発1次反応においてAの半減期を T_1 , Bの半減期を T_2 とすると $k_2 > k_1$, $T_1 > T_2$ の条件で, 放射壊変では過渡平衡と呼ばれる状態になる。

[正]: 連発1次反応においてAの半減期を T_1 , Bの半減期を T_2 とすると $k_2 > k_1$, $T_1 > T_2$ の条件で, 十分な時間が経過すると放射壊変では過渡平衡と呼ばれる状態になる。

2. 88頁, 左段上から5~7行目

[誤]: すなわち $t_{\max}$ においてAの放射能の強さとBの放射能の強さは同じになる。

[正]: AからBが生成する割合が100%の場合, $t_{\max}$ においてAの放射能の強さとBの放射能の強さは同じになり, その後, 十分な時間が経つと過渡平衡状態になる。

3. 88頁, 左段上から10~11行目

[誤]: 図1に示すように, 過渡平衡が成り立つまでに, 全放射能は徐々に増加する。

[正]: 図1に示すように, $^{99}\text{Mo} + ^{99\text{m}}\text{Tc}$ の放射能の強さは徐々に増加した後, 減少し, その後, 過渡平衡状態になる。

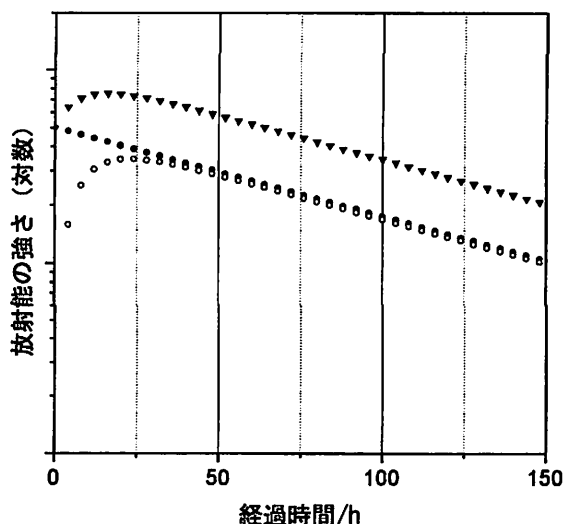
4. 88頁, 左段上から14~15行目

[誤]: この時, $^{99\text{m}}\text{Tc}/^{99}\text{Mo}$ 原子数比は0.1となる。

[正]: この時, ^{99}Mo から $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が生成する割合(87.7%)を考慮に入れ, $^{99\text{m}}\text{Tc}/^{99}\text{Mo}$ 原子数比は0.09となる。

5. 88頁, 右段上 図1

図を以下のように差し替えます。



④ 放射平衡,

放射平衡, $\left\{ \begin{array}{l} \text{過渡平衡} \rightarrow \text{1に2でつくる} \\ \text{永続平衡} \rightarrow \text{5と3と3の比が一定な極限まで} \end{array} \right.$
($T_1 \gg T_2$)

⑤ 定式化, ⑥

I. 崩壊, $[A] \rightarrow [B]$ を考え, (半減期 T_1)

$$\frac{\ln 2}{T_1} = \frac{0.693}{T_1} = \lambda_1 \quad \text{を用いて}$$

$$\frac{d[A]}{dt} = -\lambda_1 [A] \quad (t=0 \text{ 時 } [A]|_{t=0} = [A]_0)$$

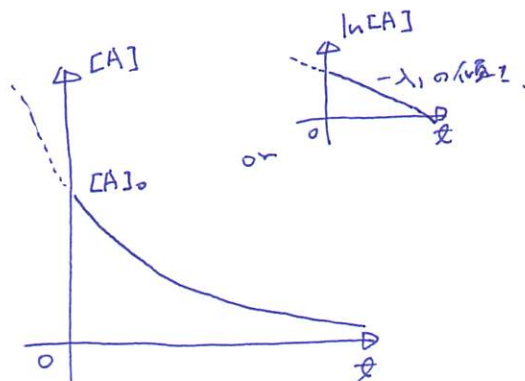
$$\ln [A] = -\lambda_1 t + C_1$$

$$[A] = \exp[-\lambda_1 t + C_1]$$

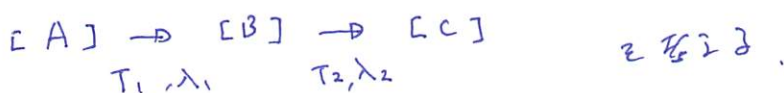
$$= C_2 \exp[-\lambda_1 t]$$

初期条件より,

$$[A](t) = [A]_0 \exp[-\lambda_1 t]$$



⑦ II. 連鎖崩壊,



支配方程式,

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d[A]}{dt} = -\lambda_1 [A] \quad \text{--- ①} \\ \frac{d[B]}{dt} = +\lambda_1 [A] - \lambda_2 [B] \quad \text{--- ②} \end{array} \right.$$

($-\frac{d[A]}{dt}$)

② 初期条件,

$$t=0 \text{ 時 } [A] = [A]_0, [B] = 0$$

① は, $[A] = [A]_0 \exp[-\lambda_1 t]$ とおいて, ② に代入,

$$\frac{d[B]}{dt} = \lambda_1 [[A]_0 \exp[-\lambda_1 t]] - \lambda_2 [B]$$

各次形, $\frac{d[B]}{dt} + \lambda_2 [B] = 0$ として,

$$[B] = \frac{C}{C(t)} \exp[-\lambda_2 t] \quad \text{とおく}$$

$$\frac{d[B]}{dt} = \lambda_1 [A]_0 \exp(-\lambda_1 t) - \lambda_2 [B] \quad (2)$$

$$[B] = C(t) \exp[-\lambda_2 t] \quad \lambda_1 \neq \lambda_2$$

$$C'(t) \exp[-\lambda_2 t] - \lambda_2 C(t) \exp[-\lambda_2 t] = \lambda_1 [A]_0 \exp(-\lambda_1 t) - \lambda_2 C(t) \exp[-\lambda_2 t]$$

$$C'(t) e^{-\lambda_2 t} = \lambda_1 [A]_0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$C'(t) = \lambda_1 [A]_0 e^{-(\lambda_1 - \lambda_2)t}$$

$$C(t) = -\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} [A]_0 e^{-(\lambda_1 - \lambda_2)t} + D$$

結局、奇次解、 $\lambda_1 \neq \lambda_2$

$$[B] = -\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} [A]_0 e^{-\lambda_1 t} + D e^{-\lambda_2 t}$$

$$t=0 \text{ 時 } [B]=0 \text{ より,}$$

$$D = +\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} [A]_0$$

$$\therefore [B] = -\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} [A]_0 [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}]$$

終了

② 収量最大の時刻、(T_{max})

$$\left. \frac{d}{dt} [B] \right|_{t=T_{max}} = 0 \text{ より,}$$

$$\left. \frac{d[B]}{dt} \right|_{t=T_{max}} = -\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} [A]_0 [-\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}] \Big|_{t=T_{max}} = 0$$

$$\therefore \lambda_1 e^{-\lambda_1 T_{max}} = \lambda_2 e^{-\lambda_2 T_{max}}$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = e^{(\lambda_1 - \lambda_2) T_{max}}$$

$$\frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \ln \left[\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right] = T_{max}$$

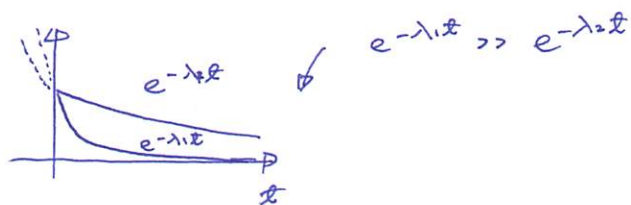
$$T_{max} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \ln \left[\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right]$$

② 放射平衡 (過渡平衡)

原子数比 ($[B]/[A]$)

$$[B] = -\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} [A]_0 [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}]$$

→ t が十分大になると、 $\lambda_1 < \lambda_2$ ($T_1 > T_2$) の場合、 $e^{-\lambda_1 t}$ と $e^{-\lambda_2 t}$ の差が拡大、



$$[B] \xrightarrow{\text{定常状態}} -\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} [A]_0 \underbrace{e^{-\lambda_1 t}}_{= [A]} = -\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} [A]$$

見かけの
平衡状態、Bの崩壊定数が
 $\lambda_2 \rightarrow \lambda_1$ に変化している!!

$$[B] = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} [A]$$

$$= \frac{T_2}{T_1 - T_2} [A]$$

$$\therefore \frac{[B]}{[A]} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

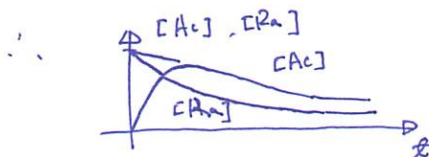
$\Rightarrow$ 10 kg の $[A]$ があれば、 $[B]$ は、 $\frac{T_2}{T_1 - T_2} \times 10 \text{ kg}$ だけ計算可能、

$$\begin{cases} T_1 = 14.9 \text{ d} & (\text{Ra-225}) \\ T_2 = 9.9 \text{ d} & (\text{Ac-225}) \end{cases} \text{ の場合、}$$

ある時刻での比は、

$$\frac{[Ac-225]}{[Ra-225]} = \frac{9.9 \text{ d}}{5.0 \text{ d}} = 2.0$$

→ 原子数の比、



⑧ 放射能の衰亡

A の放射能の衰亡は, (λ_1)

$$\lambda_1 [A] \text{ とおける,}$$

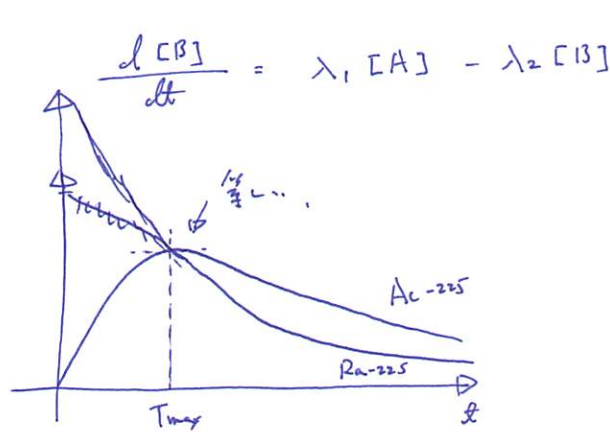
B の放射能の衰亡は,

$$\lambda_2 [B]$$

この比は,

$$\frac{\lambda_2 [B]}{\lambda_1 [A]} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

⑨ $t = T_{\text{max}}$ の放射能



$$\frac{d[B]}{dt} \Big|_{t=T_{\text{max}}} = 0$$

$$\lambda_1 [A] = \lambda_2 [B]$$

$\Rightarrow$ 放射能が等しい.

⑩ 永続平衡

$$T_1 \gg T_2 \quad (\lambda_1 \ll \lambda_2) \text{ のとき,}$$

$$[B] = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} [A]_0 [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}]$$

$$= \frac{\lambda_1}{\lambda_2} [A]_0 e^{-\lambda_1 t}$$

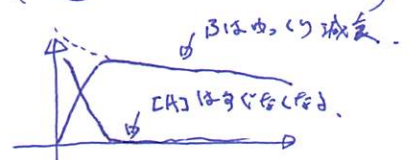
$$= \frac{\lambda_1}{\lambda_2} [A]$$

$$\therefore \lambda_1 [A] = \lambda_2 [B]$$

$\Rightarrow$ 永続平衡成立、放射能が同じ.

⑪ 放射平衡 成立しない場合 ($T_1 < T_2$) ($\lambda_1 > \lambda_2$) ($e^{-\lambda_1 t} \ll e^{-\lambda_2 t}$)

$$[B] = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} [A]_0 e^{-\lambda_2 t}$$





ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

Applied Radiation and Isotopes 64 (2006) 979–988

Applied
Radiation and
Isotopes

www.elsevier.com/locate/apradiso

A theoretical model for the production of Ac-225 for cancer therapy by photon-induced transmutation of Ra-226

G. Melville^{a,*}, Sau Fan Liu^b, B.J. Allen^a

^aCentre for Experimental Radiation Oncology, St. George Cancer Care Centre, Gray St. Kogarah, NSW, Australia

^bUniversity of NSW, Sydney, NSW, Australia

Received 18 January 2006; received in revised form 1 May 2006; accepted 4 May 2006

Abstract

Radium needles that were once implanted into tumours as a cancer treatment are now obsolete and constitute a radioactive waste problem, as their half-life is 1600 years. We are investigating the reduction of radium by transmutation on a small scale by bombarding Ra-226 with high-energy photons from a medical linear accelerator (linac) to produce Ra-225, which subsequently decays to Ac-225, which can be used as a generator to produce Bi-213 for use in ‘targeted alpha therapy’ for cancer.

This paper examines the possibility of producing Ac-225 with a linac using an accurate theoretical model in which the bremsstrahlung photon spectrum at 18 MV linac electron energy is convoluted with the corresponding photonuclear cross sections of Ra-226. The total integrated yield can then be obtained and is compared with a computer simulation.

This study shows that at 18 MV, the photonuclear reaction on Ra-226 can produce low activities of Ac-225 with a linac. However, a high power linac with high current, pulse length and frequency is needed to produce practical amounts of Ac-225 and a useful reduction of Ra-226.

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Medical linear accelerator (linac); Actinium-225; Radium-226; Radium-225; Bismuth-213; Targeted alpha therapy; Cancer therapy

1. Introduction

1.1. Actinium-225

Ac-225 is an alpha emitting radioisotope with a 10-day half-life that decays to produce Bi-213. Either Ac-225 or Bi-213 can be used as an agent for radio-immunotherapy.

Alpha particle emitters are the most potent sources for lethal irradiation of single cancer cells and micrometastases because of their densely ionising radiation. Alpha particles are of considerable interest for radio-immunotherapy applications since their short range in soft tissue is limited to only a few cell diameters.

Alpha particles have high linear energy transfer (LET) in tissues. High LET radiation induces far more biological damage over a shorter range than low LET beta radiation,

and is therefore much more cytotoxic. The delivery of such a high energy in so small a volume makes alpha particles especially well suited for targeting micrometastatic disease and single cancer cells such as leukaemia and other blood-borne disease.

The Bi-213 radioisotope is of special interest because of its unique nuclear properties, which include a short 46-min half-life and high-energy (8.4 MeV) alpha-particle emission. Its availability from the Ac-225/Bi-213 (Actinium Pharmaceuticals, 2005) generator system makes this radioisotope particularly well suited for medical use.

Cancer trials are being conducted at the Cancer Care Centre, St. George Hospital in Sydney, where the Targeted Alpha Therapy (TAT) (Allen et al., 2004) programme using Bi-213 offers the potential to inhibit the growth of micrometastases by selectively killing isolated and pre-angiogenic clusters of cancer cells. In TAT, the radioisotope is bound to a monoclonal antibody or protein and their molecular subunits attach to the receptors on cancer

*Corresponding author. Tel.: +61 2 94871619.

E-mail address: gmelvill@bigpond.net.au (G. Melville).

cells, allowing radiation to attack the cancer while minimising the potentially negative impact to surrounding tissue.

1.2. Uranium-233 decay chain

The Bi-213 isotope that is holding promise for cancer treatment is produced through a complex process that starts with U-233 (Fig. 1). The key intermediates in this process are Th-229 and Ac-225. Ac-225 is currently derived from purified Th-229 extracted from U-233 at ORNL (Boll et al., 2005).

There are a number of ways to produce Ac-225. The most practical way at present is to derive these isotopes from the decay of Th-229, which is produced by the decay of U-233. Ac-225 is the product being shipped to medical facilities. Bi-213 is separated from the Ac-225 at the hospital and combined with the targeting agent.

1.3. Production method

Ac-225 could be produced using accelerators or reactors or by separation techniques. Methods include producing Th-229 directly as opposed to obtaining it by the decay of U-233; producing Ra-225, which decays into Ac-225; and producing Ac-225 directly. While each of these methods eventually results in a supply of Ac-225 for use in a Bi-213 generator, they all require additional chemical processing and/or separation steps that are yet to be determined and will likely increase production costs.

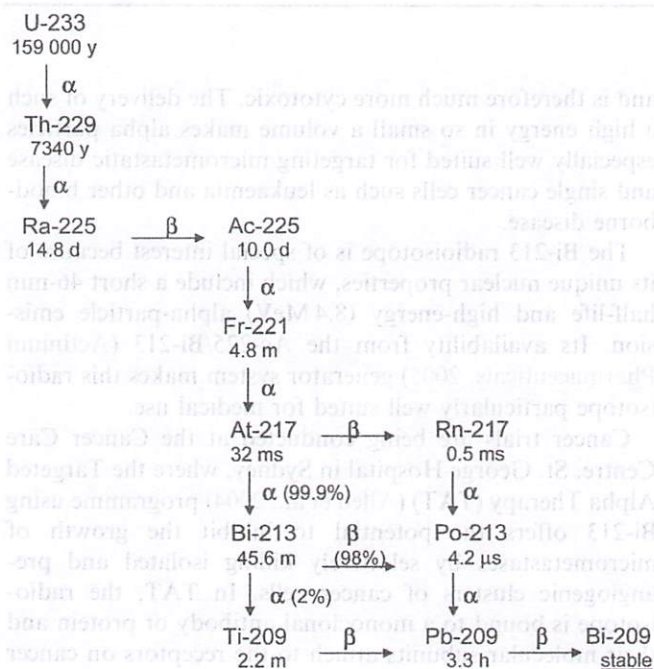


Fig. 1. U-233 decay chain (Korea Atomic Energy Research Institute, 2005).

Possible ways of producing Ac-225 (Koch et al., 1999) are:

- $^{232}\text{Th} (n, \gamma, 2\beta) ^{233}\text{U}$: This method involves bombarding Th-232 with thermal neutrons to produce U-233, which will then follow the U-233 decay chain leading to Ac-225 as shown in Fig. 1.
- $^{226}\text{Ra} (3n, 2\beta) ^{229}\text{Th}$: This method involves bombarding radium with thermal neutrons to produce Th-229 after 3 neutron capture events, which decays to Ac-225.
- $^{226}\text{Ra} (p, 2n) ^{225}\text{Ac}$: In this method protons from a cyclotron produce Ac-225 directly with the peak cross section being about 540 mb at 16 MeV proton energy. (Private communication: G Dracoulis, Australian National University) using the standard fusion-evaporation code.) The $^{226}\text{Ra} (p, 3n) ^{224}\text{Ac}$ reaction rapidly takes over at higher energies.
- $^{226}\text{Ra} (n, 2n, \beta) ^{225}\text{Ac}$: Neutrons bombard radium to produce Ac-225.
- $^{226}\text{Ra} (\gamma, n) ^{225}\text{Ra}$: This reaction produces Ra-225, which subsequently decays to Ac-225 through beta decays.

A number of the above reactions involve neutron bombardment at thermal energies. For industrial applications that require neutrons, users have three primary sources from which to choose: nuclear reactors, radioisotopes, and accelerator-based high-energy neutron sources. Nuclear reactors are the largest and most prolific sources of neutrons.

This paper investigates the photonuclear reaction route as medical linacs are routinely used for radiotherapy in hospitals. (8.4)

1.4. Photonuclear production

Linacs are the mainstay of radiotherapy treatment. They deliver megavoltage electron beams accelerated by klystron or magnetron generated radio-frequency fields through copper waveguides (Dowsett et al., 2001). The beam of electrons from the gridded electron gun is focused by a solenoid to a beam of less than 2 mm in diameter to strike a 0.76 mm thick tantalum or tungsten target and produce bremsstrahlung radiation.

Although the theoretical model in this paper is based on a 2100C MV Clinac from Varian, it would be very similar to any linac once the energy range was adjusted. The spectrum of bremsstrahlung photons produced by the linac extends from zero energy up to the maximum energy of the electrons hitting the target, which is 18 MeV in this case. Measuring or calculating the bremsstrahlung spectrum is very difficult. The most common approach today is to use Monte Carlo methods (Ahnesjo, 1989) for calculating the spectra.

The photonuclear reaction is



Reaction (1) involves exciting the radium nucleus with bremsstrahlung photons so that a neutron is ejected. The

reaction threshold of 6.4 MeV is easily achievable with a linac. The reaction is electromagnetic in nature and would be virtually instantaneous. This means after irradiation, Ra-225 will be at a maximum yield and will decay slowly over time, the half-life being 14.9 days, producing Ac-225 by beta emission, by the following decay:



2. Theory

2.1. Bremsstrahlung production

An electrically heated filament (cathode) within the linac generates electrons that are accelerated by waveguide from the filament to the tungsten target by the application of high-voltage pulses applied between drift tubes. Once inside the drift tube, they are shielded from the field and drift through at a constant velocity. When they arrive at the next gap, the radiofrequency field accelerates them again until they reach the next drift tube. This continues, with the particles picking up more and more energy in each gap, until they exit onto the target. The drift tubes are necessary because an alternating field is used and without them, the field would alternately accelerate and decelerate the particles. The drift tubes shield the particles for the length of time that the field would be decelerating.

Linac photons or bremsstrahlung radiation (Bueche, 1969) arise when high-energy electrons penetrate the anode material passing close to its atomic nuclei. The electrons are deflected from their initial path by the nuclear coulomb field of the tungsten atoms causing changes in velocity.

Energy is lost in the form of electromagnetic radiation, which is called 'braking radiation' or bremsstrahlung.

Energy transformations that yield the photon radiation vary since the bombarding electrons approach the nuclei at different impact radii. There is consequently a spread of bremsstrahlung energies from a maximum (where the entire kinetic energy is transformed into photon radiation) to the lowest energy photon emission when the electron is only slightly deflected by the nuclear field.

A polar diagram (Nordell et al., 1984) showing the variation of the intensity of bremsstrahlung rays with angle produced by the electron bombardment of various targets is shown in Fig. 2. Curve A, shows 34 keV electrons bombarding a thin aluminium foil and curves B and C, 10 and 20 MeV electrons bombarding a thin 0.05 cm tungsten target. Curve D is a typical intensity distribution for a diagnostic X-ray tube with a 16° thick tungsten target, with the beam taken at right angles to the electron beam and excited at 90 kV_p. As the energy of the bombarding electrons is increased, the two lobes of curve A, tip forward to yield, at very high energies, a distribution with all the radiation in the forward direction.

Mohan et al. (1985) found that the angular distribution of 15 MeV photons from a Clinac-20 was very narrow with more than 99.9% of all the photons contained within 2 degrees of the central axis of the target. A 2100C Clinac will have a similar photon angle distribution. This means at 100 cm (SSD) the vast majority of the photon beam will be contained in an area with a cross section of less than 7 cm. This, of course, assumes there is no interference with the photons on their journey. In reality, however, photon spread due to the linac collimator and flattening filter would need to be considered.

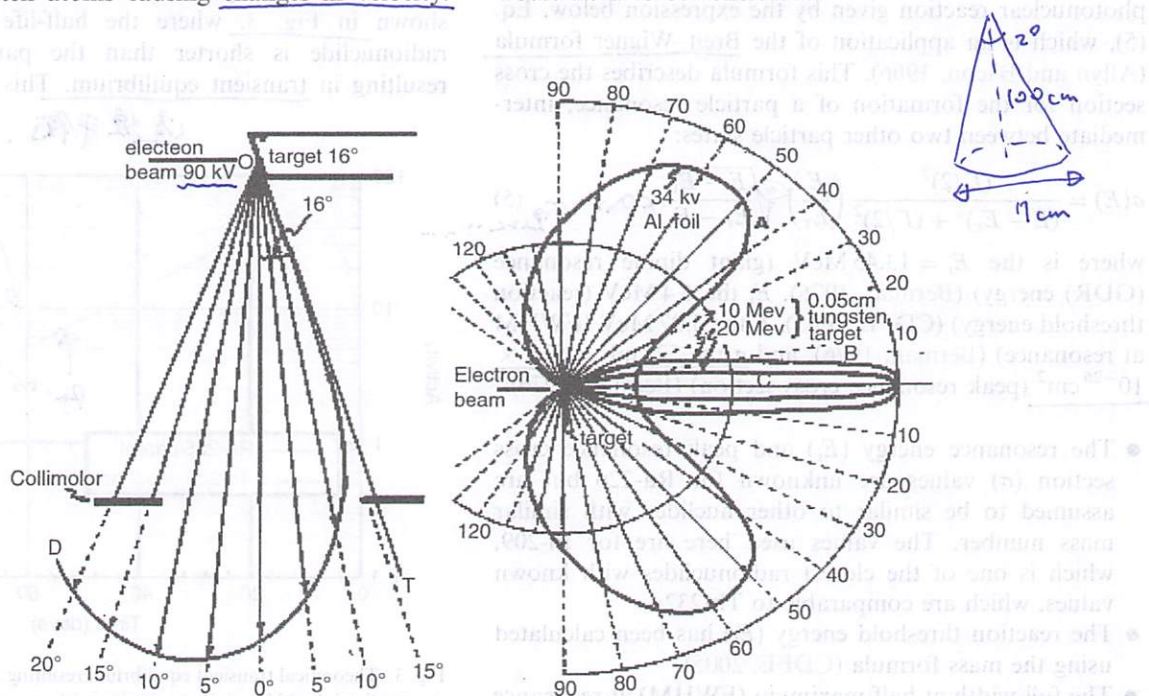


Fig. 2. Bremsstrahlung emission from an accelerated charge.

This study is based on an 18 MV 2100C Clinac. As such the range in photon energies (bremsstrahlung) is a positively skewed Gaussian curve with an average energy of about 6 MeV and peak flux at 1.25 MeV. The photon intensity is high at low energies but quickly tapers off at higher energies. More will be said about this later.

The most accurate way to calculate the yield (Y) of Ra-225 produced by the photonuclear reaction (1) is by summing up the individual yields $Y(E)$ over all bremsstrahlung energies:

$$Y = \int_{E_1}^{E_2} Y(E) dE, \quad (3)$$

where E_1 is the reaction threshold at 6.4 MeV (Centre for Photonuclear Experiments Data (CDFE), 2005) and E_2 is the maximum electron energy of the linac, i.e. 18 MeV.

To perform this integration, the number of bremsstrahlung photons and photon reaction cross section as a function of energy must first be calculated over the bremsstrahlung energy range.

2.2. Reaction cross section

The reaction cross section (Wehr and Richards, 1974) is defined by

$$\sigma = \frac{N_R}{N_I}, \quad (4)$$

where σ is the cross section (barns), the N_I the number of incident particles per unit time (s) per unit area (cm^2), and N_R the number of reactions per unit time (s) per nucleus.

The cross section is a function of energy and can be evaluated at various energies using the cross section for the photonuclear reaction given by the expression below, Eq. (5), which is an application of the Breit-Wigner formula (Allyn and Bacon, 1966). This formula describes the cross section for the formation of a particle resonance, intermediate between two other particle states:

$$\sigma(E) = \frac{(\Gamma/2)^2}{(E - E_r)^2 + (\Gamma/2)^2} \left(\frac{E}{E_r} \right)^{\sigma_r} \sqrt{\frac{E - E_t}{E_r - E_t}} \quad (5)$$

where is the $E_r = 13.45$ MeV (giant dipole resonance (GDR) energy) (Berman, 1976), E_t the 6.4 MeV (reaction threshold energy) (CDFE, 2005), Γ the 3.97 MeV (FWHM at resonance) (Berman, 1976), and σ the $521 \text{ mb} = 52.1 \times 10^{-26} \text{ cm}^2$ (peak resonance cross section) (Berman, 1976):

- The resonance energy (E_r) and peak resonance cross section (σ) values are unknown for Ra-226 but are assumed to be similar to other nuclides with similar mass number. The values used here are for Bi-209, which is one of the closest radionuclides with known values, which are comparable to Th-232.
- The reaction threshold energy (E_t) has been calculated using the mass formula (CDFE, 2005).
- The full-width at half-maximum (FWHM) at resonance (Γ) is unknown for Ra-226 but is assumed to be similar

to nuclides with similar mass number. The value used here is for Bi-209.

- The square root expression in the above cross section equation is the normalisation factor. It will be equal to one at resonance, less than one below resonance and greater than one above resonance.
- The above equation is only accurate up to 18 MeV where single neutron reactions greatly dominate (valid for linac energies). At higher energies (CDFE, 2005) two neutrons are produced. Because of the weak high-energy tail of the photon spectrum (see later) these should not affect the model calculation to any significant degree.

2.3. Convolution

The total yield (Y) of Ra-225 is calculated using Eq. (6):

$$Y = \int_{6.4 \text{ MeV}}^{18 \text{ MeV}} Y(E) dE = \int_{6.4 \text{ MeV}}^{18 \text{ MeV}} N \phi(E) \sigma(E) t dE, \quad (6)$$

where Y is the yield in Ra-225 atoms/s, N the number of atoms of Ra-226/ cm^3 , ϕ the photon flux/s, σ the cross section (mb), and t the thickness of the Ra-226 target (cm):

$$Y(\text{atoms/s}) = \int_{6.4 \text{ MeV}}^{18 \text{ MeV}} (N \text{ atoms/cm}^3 \times \sigma(\text{cm}^2) \times \phi \text{ photons/s} \times t \text{ cm}) dE. \quad (7)$$

2.4. Transient equilibrium

Once Ra-225 has been produced it will decay to Ac-225, as shown previously in Fig. 1. The ideal theoretical case is shown in Fig. 3, where the half-life of the daughter radionuclide is shorter than the parent radionuclide, resulting in transient equilibrium. This passing matching

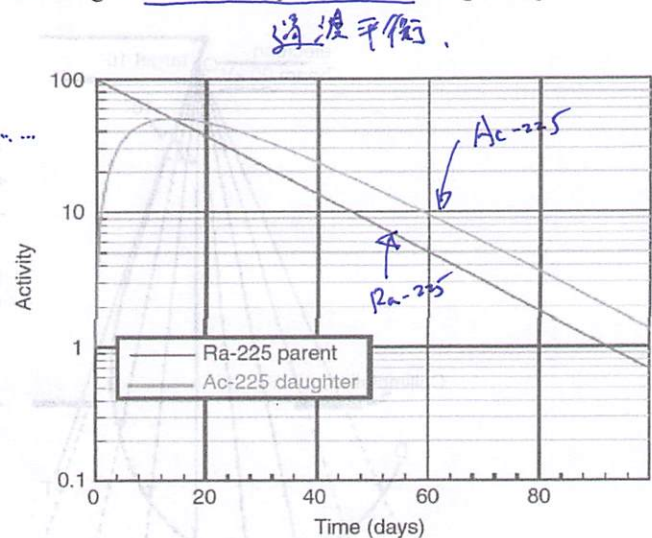


Fig. 3. Theoretical transient equilibrium resulting from the buildup of the shorter-lived Ac-225 activity beginning with a pure sample of the longer-lived parent Ra-225 nucleus.

$$H_2O \quad Z_{av} = \frac{2}{18} + 1 + \frac{16}{18} + 8 = 1.22$$

$$1\% \text{ @ } Z_{av} = 1.22 \quad 1\% = \left(\frac{Z}{1.22}\right)^2$$

of activity occurs after about 13 days and the activity of the daughter at this point is about half that of the original parent activity. However, in our situation, the curve only approximates the theoretical since the Ac-225 (daughter) half-life (10 days) is not much shorter than the Ra-225 (parent) half-life (14.8 days).

3. Calculations

3.1. Linac parameters

The relevant specifications of the 18 MV linac (provided by Varian Australia) are listed below (Table 1).

Linacs do not produce continuous current because pulsed electron beams are accelerated by klystron or magnetron generated radio-frequency fields through copper waveguides. This means the actual current-on time is between 3.5 and 4 μ S, 180 times/s. Thus, the maximum pulse current of 36 mA is equivalent to an average beam current of 26 μ A, using a pulse length of 4 μ S.

As 1 amp = 1 Coulomb/s = 6.25×10^{18} electrons/s, then 26 μ A = 1.625×10^{14} electrons/s.

3.2. Bremsstrahlung production efficiency

The probability, p , for bremsstrahlung photons is about 1–5%/electron (Dowsett et al., 2001) at low energies but increases with both atomic number Z of the anode material (target) and the electron beam energy E_β . Most of the electron energy (99%) is lost as heat. Above a certain energy, called the critical energy (E_c), bremsstrahlung efficiency must be considered. This critical energy can be calculated (Frauenfelder and Henley, 1991):

$E_c \approx 600/Z$ MeV = 8.1 MeV, which is well below the 18 MV energy in this study.

The efficiency η of bremsstrahlung production at electron energy (E_β , eV) at low energies (Dimitar, 1998) can be calculated from

$$\eta = k E_\beta Z, \quad (8)$$

where k is a constant, which depends on the material, and equals 1.1×10^{-9} for the tungsten target ($Z = 74$) (Dowsett et al., 2001).

The bremsstrahlung yield at low energies increases linearly as the energy of the incident electrons increases (Frauenfelder and Henley, 1991), but is generally less than

Table 1
Parameters of the 18 MV Varian Clinac 2100C

Electron energy (max) = 18 MeV (+3%)
Peak pulse current ~ 36 mA
Frequency = 180 Hz
Pulse length = 3.5 μ s $\leftrightarrow$ 4 μ S
Mean current = 26 μ A

5% at low electron energies (125 kV $\sim$ 1%). At 1 MeV the yield can be as high as 8% (Dowsett et al., 2001).

No expression will give the bremsstrahlung efficiency exactly over the entire energy range. At medium energies the general approximation formula (Emilio, 1975):

$$\eta \approx \frac{E_\beta Z}{750} \quad \text{where } E_\beta \text{ is the electron energy in MeV.} \quad (9)$$

This is similar to Eq. (8) but increases to over 100% at energies around 12 MeV. To find the bremsstrahlung electron efficiency at 18 MeV three methods have been examined:

- Use of a higher-energy approximation formula (Meyerhof, 1967):

$$\eta \approx \frac{6 \times 10^{-4} Z E_\beta}{1 + 6 \times 10^{-4} Z E_\beta} \quad \text{where } E_\beta \text{ is in MeV.} \quad (10)$$

This formula ensures the efficiency stays below 100% and gives 44.4% efficiency at 18 MeV.

- Use of measured bremsstrahlung efficiencies in water (line of best fit) Fig. 4 (Emilio, 1975).

The efficiency of bremsstrahlung in elements of different atomic number Z varies nearly as Z^2 (Meyerhof, 1967). Thus, the efficiency for tungsten is about 49% at 18 MeV.

- Table 2 (Spring, 1960) below, gives a small number of measured and theoretical values for tungsten. It shows that roughly a doubling in energy results in an almost doubling in efficiency. This gives an extrapolated efficiency at 18 MeV of about 52%.

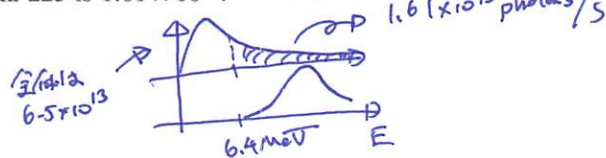
The higher-energy approximation formula (1st method) is the most accurate in determining bremsstrahlung efficiency as the other two methods, which rely on comparison with water and Z^2 related bremsstrahlung increases, and are not accurate across the wide energy range.

This model uses a conservative 40% bremsstrahlung efficiency to normalise the photon spectrum in Fig. 5. This means the total number of photons produced by the linac from 0 to 18 MeV is equal to 6.5×10^{13} .

3.3. Linac photon spectrum

A photon spectrum can now be constructed knowing the total number of photons and their intensities. The spectrum in Fig. 5 gives the number of photons as a function of photon energy up to 18 MeV using photon intensity data from Varian Corporation, and allows the calculation of the Ra-225 yield at each of these energies using the reaction cross section at these energies.

With the photoneutron Eq. (1) having a threshold energy of 6.4 MeV, the total number of photons that could produce Ra-225 is 1.61×10^{13} .



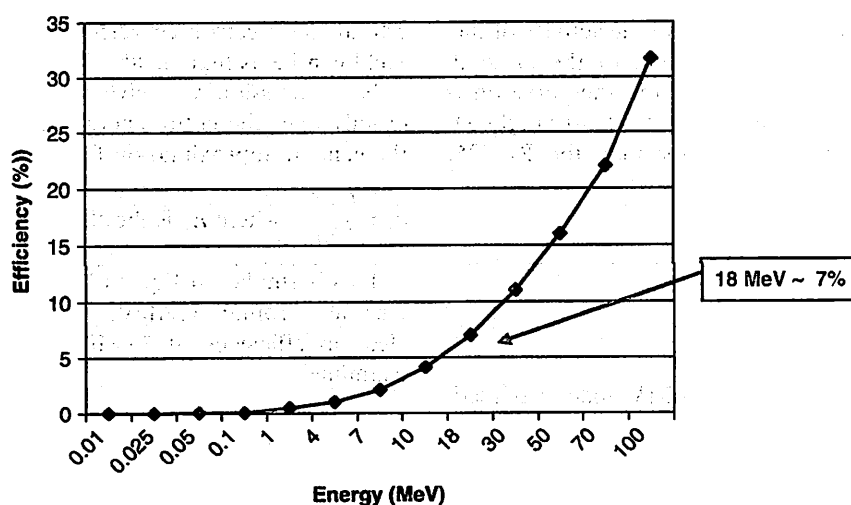


Fig. 4. Electron bremsstrahlung efficiencies in water.

Table 2
Theoretical and measured bremsstrahlung efficiencies for tungsten

Energy (MeV)	Efficiency (%)	
	Experimental	Theoretical
0.90	3.4	3.4
1.63	5.8	5.6
2.35	10.4	8.3

3.4. Calculated reaction cross section

The photoneutron reaction (Eq. (1)) cross section over the range of linac energies can be calculated using expression (5) and is shown in Fig. 6 below.

This graph shows a zero cross section at threshold reaction-energy of 6.4 MeV followed by a steady increase up to a maximum cross section of 532 mb at an energy of 13.75 MeV. The cross section is truncated at 18 MeV, which is the highest electron and photon energy of the linac in this model.

3.5. Yield of Ra-225

The total yield (Y) of Ra-225 can now be calculated using Eq. (7) and the data that was used to construct both Figs. 5 and 6. The result of this calculation is shown in Fig. 7, which is the yield in atoms of Ra-225/s over the complete energy range that the reaction can occur, i.e. from 6.4 to 18 MeV. Maximum yield occurs at 13.5 MeV.

A 1 cm³ volume of Ra-226 contains 1.33×10^{22} atoms, since 226 g of Ra-226 contains 6.023×10^{23} atoms and Ra-226 has a density of 5 g/cm³. Using Eq. (7), the total yield (Y) = 2.8×10^{10} atoms/s of Ra-225. Thus, an 18 MV linac bombarding a 1 cm³ target of Ra-226 (with activity 5 Ci) with bremsstrahlung photons in the energy range from 6.4

to 18 MeV, will produce 2.8×10^{10} atoms of Ra-225/s or about 10^{14} atoms/h of irradiation. This is based on a 40% bremsstrahlung efficiency, which is by far the main source of uncertainty in this simulation. This will be discussed later.

The activity of Ra-225 is given by $A_{225} = \lambda \times N_{225}$ (no of atoms of Ra-225). The decay constant ($\lambda = 0.693/t_{1/2}$) of Ra-225 (half-life: 14.9 days) is $\lambda = 5.38 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ and 1 Ci = 3.7×10^{10} dis/s. Thus,

$$\begin{aligned}
 A_{225} &= 5.38 \times 10^{-7} \times 10^{14} \\
 &= 5.38 \times 10^7 \text{ Bq (dis/s)/h irradiation} \\
 &= 1.45 \text{ mCi/h irradiation.}
 \end{aligned}$$

3.6. Optimum linac energy

Computer simulation programs using C++ and MATLAB were also used to calculate the theoretical yield of Ra-225 using known Th-232 cross section data (Berman, 1976) and combining it with bremsstrahlung photon spectra. The programme was designed so that it could be used for different energies and currents. MATLAB was particularly useful for plotting the graphs. The results are shown in Fig. 8 and Table 3. One mole of Ra-226 was irradiated in this simulation.

Calculations showed that the linac does not require the highest possible energy, as the yield plateaus with increasing energy. Therefore, the optimal energy for Ac-225 is around 16 MeV. 18 MeV (Siemens) actually provides 15.25 MeV, which is the nearest energy to 16 MeV. On the other hand, 10 MeV (Varian) is not much greater than the threshold energy of photoneutron reaction. 25 MeV (Elekta) provides the highest energy, however, the yield is much less than 15 MeV (Varian) because of lower bremsstrahlung output. The reason for this is that, although linac power is the product of current and voltage,

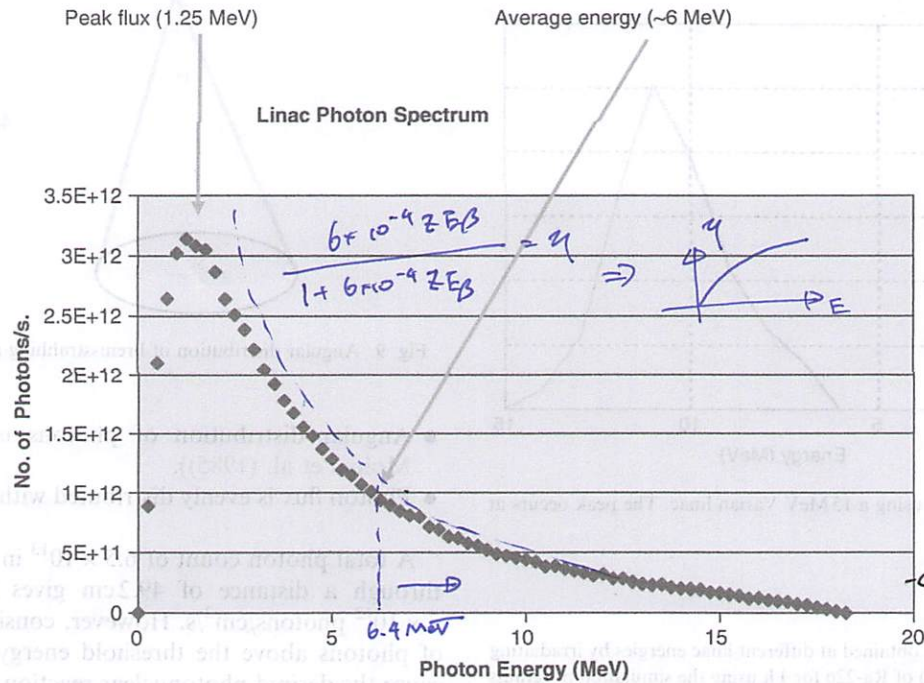


Fig. 5. Photon number/s vs. photon energy (MeV).

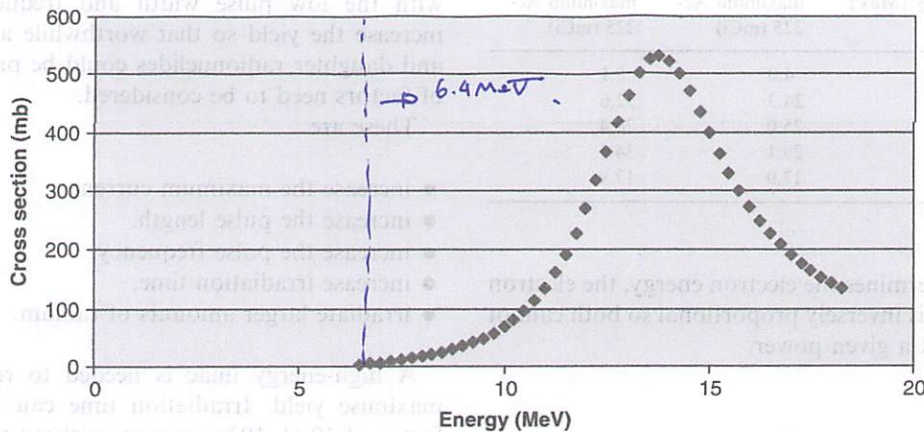


Fig. 6. Photonuclear cross section (mb) vs. photon energy (MeV).

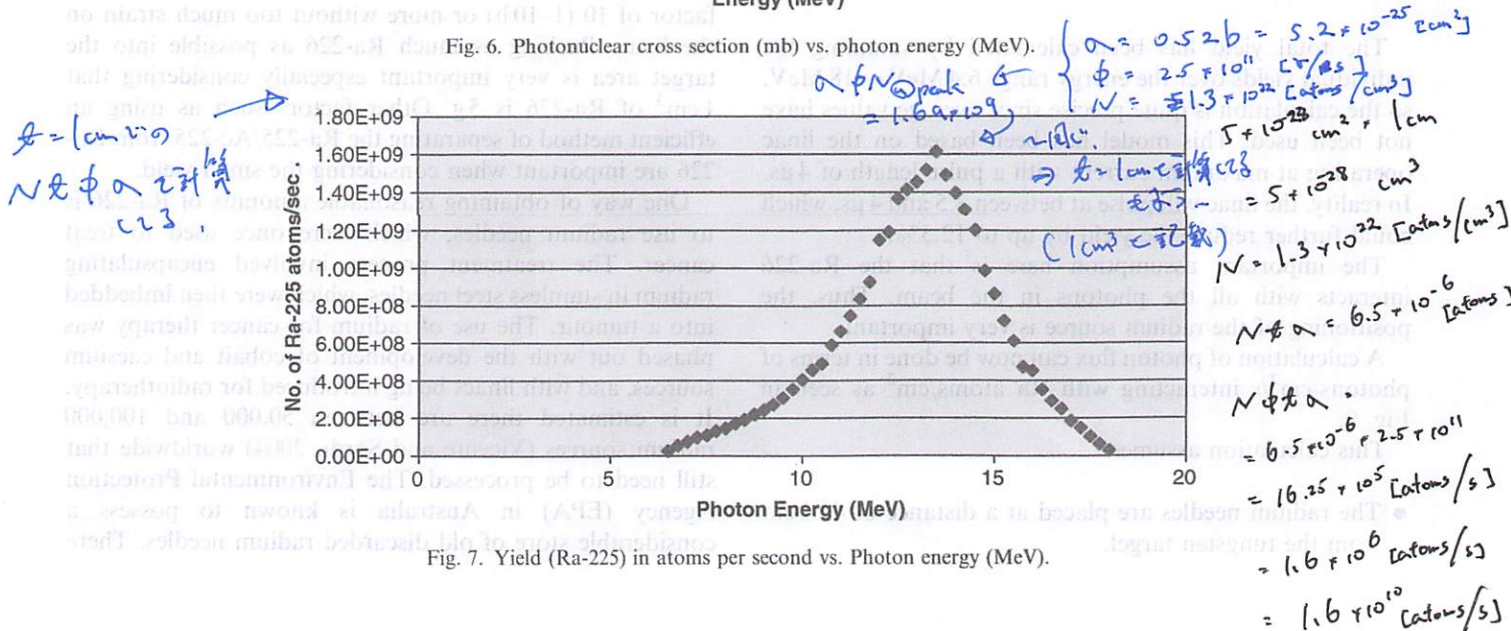


Fig. 7. Yield (Ra-225) in atoms per second vs. Photon energy (MeV).

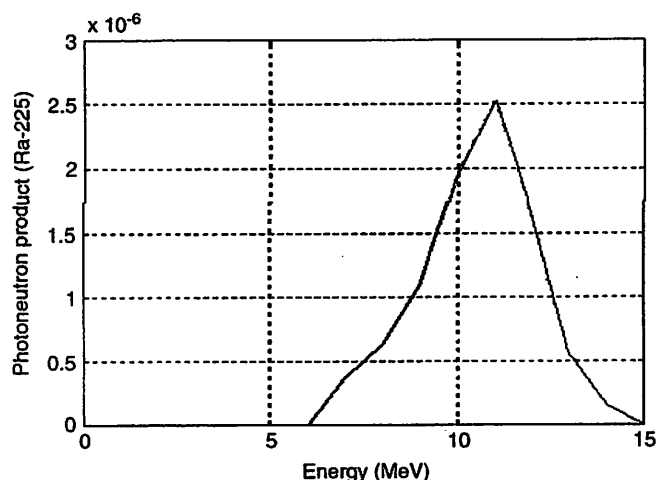


Fig. 8. Yield of Ra-225 using a 15 MeV Varian linac. The peak occurs at about 11.5 MeV.

Table 3

Maximum Ac-225 yields obtained at different linac energies by irradiating 1 mol (6.02×10^{23} atoms) of Ra-226 for 1 h using the simulation programs C++ and MATLAB

Energy (MeV)	Maximum energy (MeV)	C++ maximum Ac-225 (mCi)	MATLAB maximum Ac-225 (mCi)
10 (Varian)	—	4.0	5.1
15 (Varian)	15	24.3	32.6
18 (Varian)	16	25.0	26.4
18 (Siemens)	15	29.1	34.1
25 (Elekta)	16	17.9	17.9

and the voltage determines the electron energy, the electron energy and current is inversely proportional so both cannot increase together at a given power.

4. Discussion

The total yield has been calculated by summing the individual yields over the energy range 6.4 MeV $\leftrightarrow$ 18 MeV, so the calculation is quite precise since average values have not been used. This model has been based on the linac operating at maximum current with a pulse length of 4 μ s. In reality, the linac will pulse at between 3.5 and 4 μ s, which could further reduce the yield by up to 12.5%.

The important assumption here is that the Ra-226 interacts with all the photons in the beam. Thus, the positioning of the radium source is very important.

A calculation of photon flux can now be done in terms of photons/cm²/s interacting with Ra atoms/cm² as seen in Fig. 9.

This calculation assumes:

- The radium needles are placed at a distance of 49.2 cm from the tungsten target.

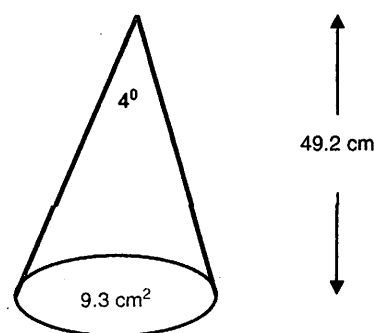


Fig. 9. Angular distribution of bremsstrahlung photons from a linac.

- Angular distribution of photons is 4° in total (see Mohan et al. (1985)).
- Photon flux is evenly distributed within the beam width.

A total photon count of 6.5×10^{13} in an area of 9.3 cm² through a distance of 49.2 cm gives a photon flux of 7×10^{12} photons/cm²/s. However, considering the number of photons above the threshold energy that can actually cause the desired photonuclear reaction, the above photon flux reduces to 1.7×10^{12} photons/cm²/s.

The low yield results from the low current combined with the low pulse width and frequency. In order to increase the yield so that worthwhile amounts of Ra-225 and daughter radionuclides could be produced, a number of factors need to be considered.

These are:

- increase the maximum current,
- increase the pulse length,
- increase the pulse frequency,
- increase irradiation time,
- irradiate larger amounts of radium.

A high-energy linac is needed to reach the GDR to maximise yield. Irradiation time can be increased by a factor of 10 (1–10 h) or more without too much strain on the linac. Packing as much Ra-226 as possible into the target area is very important especially considering that 1 cm³ of Ra-226 is 5 g. Other factors such as using an efficient method of separating the Ra-225/Ac-225 from Ra-226 are important when considering the small yield.

One way of obtaining reasonable amounts of Ra-226 is to use radium needles, which were once used to treat cancer. The treatment process involved encapsulating radium in stainless steel needles, which were then imbedded into a tumour. The use of radium for cancer therapy was phased out with the development of cobalt and caesium sources, and with linacs being introduced for radiotherapy. It is estimated there are between 50,000 and 100,000 radium sources (Vicente and Sordi, 2004) worldwide that still need to be processed. The Environmental Protection Agency (EPA) in Australia is known to possess a considerable store of old discarded radium needles. There

is also a store of radium needles at some hospitals. These needles are cylindrical in shape and are approximately 1.5 cm long and have a diameter of about 0.25 cm. They contain about 20 mg (20 mCi) of very pure Ra-226.

Irradiating one of these needles for an hour using the model in this paper will produce about 6 μ Ci of Ra-225 because of the small mass of the radium in each needle (20 mg).

The cross section of the Ra-226 target for the photo-nuclear reaction determined by its GDR. This type of resonance is due to the mode of nuclear vibration in which at any instant the protons and neutrons collectively oscillate in opposite directions, with the centre of gravity remaining constant. The resonance decays by the emission of one or more nucleons of which at least one is normally a neutron in the region of interest. The GDR leads to a broad peak (energy vs. cross section) and occurs in nuclei throughout the periodic table (Williams, 1991).

Linacs have a flattening filter between the tungsten target and the irradiated source; its purpose is to give a more uniform radial field. As expected, the filter absorbs some lower energy photons and thus leads to higher average beam energy. Since the threshold reaction to produce Ra-225 is 6.4 MeV, it makes little difference practically whether the filter is removed or not.

The activity of the Ac-225 depends on the photon flux, irradiation time, the activity of Ra-225, and half-life. The Ac-225 production rate:

$$A_2 = NHA_1(T_1/(T_1 - T_2))(1 - e^{-0.693(T_1 - T_2)t/T_1T_2}),$$

where N is the number of atoms H the irradiation time, and t the time. Here, A_1 , A_2 are the activities and T_1 , T_2 are the half-lives of the Ra-225 and the Ac-225, respectively. A_1 is the product of photon flux and cross section of Ra-226.

The dependence of the two radionuclides is seen in Fig. 10. The C++ computer simulation produced this

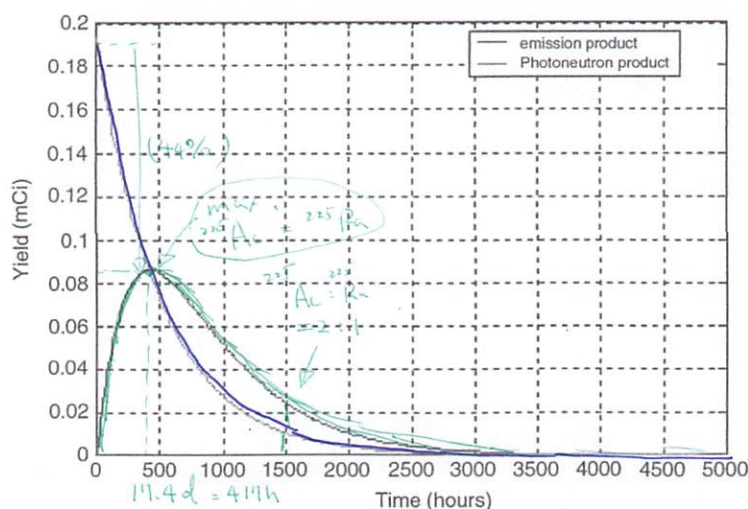
graph for a 15 MeV Varian (maximum energy: 15 MeV) where a small amount of Ra-226 was irradiated in the simulation. It shows that transient equilibrium occurs after 18 days and compares favourably with the ideal theoretical result (assumes ideal situation where parent radionuclide half-life was a lot longer than daughter radionuclide half-life) in Fig. 3 where transient equilibrium was reached in about 13 days.

The C++ computer simulation programme predicts that using an 18 MeV Varian to irradiate 1 cm³ of Ra-226 (5 g) for 1 h will give a yield of Ra-225 of 1.25 mCi assuming a consistent 40% bremsstrahlung efficiency, with the maximum yield of Ac-225 being 0.554 mCi and occurs after 430 h or 18 days.

These C++ yield results are very consistent with the other results in this theoretical paper where 1.45 mCi/h of Ra-225 was produced (p. 13) under the same conditions. As mentioned previously, the C++ results were constructed using Th-232 cross section data and differ by only 16% from that where Bi-209 data was used. By far the greatest source of error in these simulations would be in the actual bremsstrahlung efficiency. Although Ra-226 and Th-232 are deformed nuclei, using spherical cross section data from Bi-209 has not significantly (less than 20%) altered the result at linac energies.

5. Conclusion

On the basis of this theoretical approach, very low activities (μ Ci) of Ra-225 can be produced by a common high-energy linac. The two different simulations gave consistent results when using cross sections data from two different nuclei. An 18 MV linac irradiating 5 g of Ra-226 for one hour will produce between 1 and 2 mCi of Ra-225. The simulation also shows that simply increasing linac energy beyond a certain level does not increase the yield



$$\begin{aligned}
 & 2 \times 10^{-3} = 3.7 \times 10^9 \text{ } B_g(\text{Ac}) \\
 & \frac{2 \times 10^{-3}}{3.7 \times 10^9} = 5.4 \times 10^{-13} \text{ } B_g(\text{Ac}) \\
 & = \frac{2 \times 10^{-3}}{5 \times 10^9} \text{ } B_g(\text{Ac}) \\
 & = 1.5 \times 10^{-5} \text{ } B_g(\text{Ac}) \\
 & = 44\% \\
 & = 6.77 \text{ } B_g(\text{Ac}) \\
 & \text{ } B_g(\text{Ac}) = 2.5 \times 10^9 \text{ } B_g(\text{Ra}) \cdot \mu\text{A} \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

Fig. 10. The photoneutron product (Ra-225) is at a maximum after irradiation using a Varian (15 MeV) and slowly decays while the decay product (Ac-225) builds to a maximum in 430 h before it slowly decays.

unless there is an increase in overall linac power. Although the photonuclear reaction is inefficient, the yield can be greatly increased by using a longer irradiation time, placing the radium target in a prime position and having a high mass Ra-226 target. Stacking together a large number of radium needles may do this.

Furthermore, considering that after the valuable Ac-225 is extracted from the target the residual Ra-226 can again be irradiated in a continuing process (Ra/Ac generator), the project could also slowly reduce obsolete radioactive material as well as produce Ac-225.

Acknowledgements

We would like to thank Mr. Ole Hagen from the Varian Corporation in Australia for supplying information about the 2100C Clinac and Professor Oleg Sushkov of the University of New South Wales in Sydney for assistance in the calculations of photonuclear reaction cross section data.

References

- Actinium Pharmaceuticals, 2005. Online: <http://www.actiniumpharmaceuticals.com/>
- Ahnesjo, A., 1989. Photon dose calculation. *Med. Phys.* 18, 377.
- Allen, B.J., Raja, C., Rizvi, S., Li, Y., Tsui, W., Zhang, D., Song, E., Fa Qu, C., Kearsley, J., Graham, P., Thompson, J., 2004. Targeted alpha therapy for cancer. *Phys. Med. Biol.* 49, 3703–3712.
- Allyn and Bacon, 1966. *Fundamentals of Nuclear Physics*, Boston.
- Berman, B., 1976. *Atlas of Photoneutron Cross Sections Obtained with Monoenergetic Photons*. Lawrence Livermore Laboratory [64Ha2].
- Boll, R.A., Malkemus, D., Mirzadeh, S., 2005. Production of actinium-225 for alpha particle mediated radioimmunotherapy. *Appl. Radiat. Isot.* 62 (5), 667–679 (Epub 2005 January 28).
- Bueche, F., 1969. *Introduction to Physics for Scientists & Engineers*. McGraw-Hill Co., New York.
- Centre for Photonuclear Experiments Data (CDFE), 2005. Moscow. REF. (T,YOUNG, 72). Online: <http://cdfe.sinp.msu.ru/index.en.html>
- Dimitar, K., 1998. Studies of some isomeric yield ratios produced with bremsstrahlung. *Appl. Radiat. Isot.* 49 (8), 989–995.
- Dowsett, D.J., Kenny, P.A., Johnston, R.E., 2001. *The Physics of Diagnostic Imaging*. Oxford University Press, Oxford.
- Emilio, S., 1975. *Nuclei and Particles*, second ed. Library of Congress Cataloging.
- Frauenfelder, H., Henley, E., 1991. *Subatomic Processes*, second ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Koch, L., et al., 1999. Production of Ac-225 and application of the Bi-213 daughter in cancer therapy. *Czechoslovak J. Phys.* 49 (Suppl. S1), 817–822.
- Korea Atomic Energy Research Institute, 2005. Online: <http://atom.kaeri.re.kr/cgi-bin/readgam>
- Meyerhof, W., 1967. *Elements of Nuclear Physics*. McGraw-Hill, New York.
- Mohan, R., et al., 1985. Energy and angular distribution of photons from medical linear accelerators. *Med. Phys.* 12, 592.
- Nordell, B., et al., 1984. Angular distribution and yield from bremsstrahlung targets (for radiation therapy). *Phys. Med. Biol.* 29, 797–810.
- Spring, K.H., 1960. *Photons and Electrons*. Methuen & Co. Ltd., London.
- Vicente, R., Sordi, G.M., 2004. Hiromoto G. *Health Phys.* 86 (5), 497–504.
- Wehr, M., Richards, J., 1974. *Physics of the Atom*. Addison-Wesley Inc., Reading, MA.
- Williams, W.S.C., 1991. *Nuclear and Particle Physics*. Oxford Science Publications, Oxford.

製造量計算

① 重要式、

$$Y = \int_{E_1}^{E_2} Y(E) dE \quad (3) \text{式}, \quad (McVillie 2006) \rightarrow Y = \int_V \int_{E_{th}^{lower}}^{E_{th}^{upper}} Y(E, \sigma) dE dV \quad (\text{改訂版})$$

微小、
→ 体積 毎毎に左式を計算、

→ 合計すれば良い。
(Y(E) 2 単位体積当たりで済む)

$$\sigma = \frac{N_R}{N_\phi} \quad (\sigma \equiv \sigma(E))$$

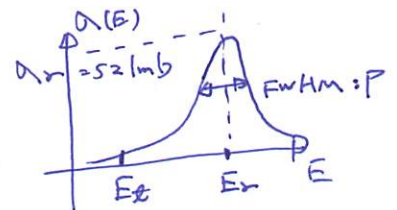
N_ϕ : photon flux : 流量、 $\frac{1}{m^2 \cdot s}$
($1/(m^2 \cdot s)$)

N_R : 核反応率 (回/(核子・s))

② Breit - Wigner formula : (巨大双極子共鳴の式 → Allyn & Bacon 1966)

$$\sigma(E) = \frac{(\Gamma/2)^2}{(E - E_r)^2 + (\Gamma/2)^2} \left(\frac{E}{E_r} \right) \sqrt{\frac{E - E_x}{E_r - E_x}}$$

∴ ∴ ∴
 $\left\{ \begin{array}{l} \Gamma : \text{巨大双極子共鳴の FWHM} \\ E_x : \text{の閾値 (2.2 以上の反結合)} \\ E_r : \text{の中心エネルギー} \end{array} \right.$



→ この Bi-209 の反応断面積、

Ra-226 ∴, Γ と E_r も E_x 測定してやると...

→ Bi-209 ∴ 代用、
(質量が最近、既知の値) $\left\{ \begin{array}{l} \Gamma = 3.97 \text{ MeV} \\ E_r = 13.45 \text{ MeV} \end{array} \right.$

→ E_x は、(CDFE 2005) の、質量の計算、
(近似式が? 後でやる?)

→ $E_x = 6.4 \text{ MeV}$

→ 18 MeV 以上のエネルギーは、不確か、.....
→ TENDL-2.7 (理論計算値あり)

18 MeV 以上のエネルギーは、不確か、.....

→ TENDL-2.7 (理論計算値あり)

⑧ 製造量の式、

$$Y = \int_{E_{th}^{lower}}^{E_{th}^{upper}} Y(E) dE = \int_{E_{th}^{lower}}^{E_{th}^{upper}} N \phi(E) \sigma(E) dE$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} N = \text{核子密度 (Rn-226)} & [1/\text{cm}^3] = [\text{atoms}/\text{cm}^3] \\ \phi(E) = \text{光子フラックス} & [\text{flux}/s] = [\text{個}/s] \\ \sigma(E) = \text{反応断面積} & [\text{mb}] = \approx 10^{-27} [\text{cm}^2] \\ & "10^{-31} \text{ m}^2" = 10^{-27} \text{ cm}^2 \\ x = \text{試料厚さ} & [\text{cm}] \end{array} \right.$$

↓
→ 単位体積計算の場合、 $\phi(E) \rightarrow \phi(E) [\text{photons}/\text{cm}^3/s]$
→ $\phi(E) \rightarrow \dots$

$$Y \Rightarrow \text{atoms}/s$$

$$(x \Rightarrow Y/\Delta V |_{(\Delta V \neq 0)} = \text{atoms}/s/\text{cm}^3)$$

⇒ 残り、 $\phi(E)$ がわかれば、計算可能、

→ 最終的には MC 計算 $\phi(E, x)$

⑨ 制動放射線発生効率

制動放射線発生の際値、 $E_c \cong \frac{600}{Z} [\text{MeV}]$
(近似式)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{白金} : Z = 78, \\ \text{タングステン} : Z = 73, \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_c^{Pt} = 7.69 \text{ MeV} \\ E_c^{Ta} = 8.21 \text{ MeV} \end{array} \right.$$

発生効率、 η

$$\eta = k E_\beta Z$$

(low energy)

(~~Frank~~ Fraunfelder and Healy 1991)

($k = \text{const.} = 1.1 \times 10^{-19} \text{ for W}$)

($Z = 74$)

(Powsett 2001)

$$\eta \cong \frac{E_\beta Z}{1750} \quad (E_\beta \text{ は電子エネルギー} [\text{MeV}])$$

(medium energy)

$$\eta \approx \frac{6 \times 10^{-4} Z E_\beta}{1 + 6 \times 10^{-4} Z E_\beta} \quad (\text{high energy})$$

製造量評価のための作成

- 鉛欠のトレース (板算)

微小体積 $dV = d^3r$ の製造量 (単位体積あたり) dY である。
微小体積あたりの製造量 dY は、 $dY = Y dV = Y d^3r$

製造量 Y は $Y = \int dY = \int_V Y d^3r$

$$Y = \int_{E_{th}^{lower}}^{E_{th}^{upper}} N \phi(E) \sigma(E) dE$$

$$\begin{cases} N = \text{核子密度} & (226) \quad [1/\text{cm}^3] = [\text{atoms}/\text{cm}^3] \\ \phi(E) = \text{中性子フラックス} & [\text{flux}/\text{s}] = [\sigma/\text{s}] \\ \sigma(E) = \text{反応断面積} & [\text{mb}] = 10^{-27} [\text{cm}^2] \\ d = \text{試料厚さ} & [\text{cm}] \end{cases}$$

● 板算には、

- ・ 定数, N , d を計算
- ・ $\phi(E)$, $\sigma(E)$ を乗算, γ をと
- ・ 上2つを全て乗算 おぼろげ...

● まずは, McAllister の数値に定数

$$\begin{aligned} N &= \frac{M_A [\text{atoms/mol}]}{(226 \text{ g/mol}) \times (4.9 \text{ g/cm}^3)} \\ &= \frac{N_A [\text{atoms/mol}] \cdot 6.02 \times 10^{23} [\text{atoms/mol}]}{46.12 [\text{cm}^3/\text{mol}]} \\ &= 1.31 \times 10^{22} [\text{atoms}/\text{cm}^3] \end{aligned}$$

$N \phi$ ② peak.

$$\sigma = 520 \text{ mb} = 5.2 \times 10^{-25} [\text{cm}^2]$$

$$\phi = 2.5 \times 10^{11} [\text{cm}^2/\text{s}] \Rightarrow$$

$$\therefore N \phi = 5.2 \times 10^{-25} \times 2.5 \times 10^{11} \times 1.3 \times 10^{22}$$

12-4-1 は σ と ϕ の値...
②. TENDL の σ と ϕ の値...
13 MeV の σ と ϕ の値...
Flux = 3.5×10^{11} or 2.5×10^{11} or 1.6×10^{11}

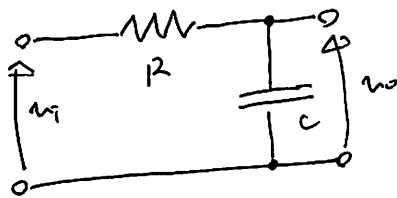
12-4-1 の定量的な一致 (再現性) は確認された

と計算, σ と ϕ は合うが, γ の値は... 2.69×10^9 (5m.) / 1.69×10^9 (文献)

2-1 整形, ②. PHITS の利用

$\Rightarrow$ ②. γ の値は左の値の②? $\Rightarrow$ TENDL (TENDL の σ と ϕ の値... 13 MeV の σ と ϕ の値... 2.5 or 3.5 or 1.6)

RC - passive filter.



$$\frac{u_o}{u_i} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

$$\tau = RC, \quad \tau^{-1} = f_c \quad \text{cut-off frequency}$$

$$1 \quad (\omega_c = 2\pi f_c)$$

$$\frac{u_o}{u_i} = \frac{1}{1 + (j2\pi) \cdot f/f_c}$$

$$= \frac{1}{1 + (j2\pi) \cdot \frac{f}{f_c}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f \gg f_c \text{ の場合, } \frac{u_o}{u_i} \approx \frac{1}{j2\pi} \cdot \frac{1}{f/f_c} \rightarrow 0 \\ f \ll f_c \text{ の場合, } \frac{u_o}{u_i} = \frac{1}{1} \rightarrow 1 \end{array} \right.$$

($f < f_c$ 使用可)

LPF, cut-off 動作

$$f_{sig} = (\mu s)^{-1} \rightarrow 1 \text{ MHz}, \quad (\tau_{sig} \approx 1 \mu s)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H = 70\% \sim 90\% \text{ 周波数, } = \text{~~1~~ 1 kHz, } \sim 1 \mu s \\ \text{Repetition, } = 200 \text{ Hz, } \sim 5 \text{ ms} \end{array} \right.$$

10 MHz, ~ 100 Hz ~ LPF 使用可??

10 MHz	1 MHz	100 kHz	10 kHz	1 kHz	100 Hz
(0.1 μs)	(1 μs)	(10 μs)	(100 μs)	(1 ms)	(10 ms)

e.g.) $C = 1 \mu F = 10^{-6} \text{ F}, \quad R_c = 1 \text{ k}\Omega = 10^3 \text{ }\Omega$

$\rightarrow 1 \text{ ms} = \text{~~1~~ 1 kHz}$

e.g.) $RC = 10^{-9}, \quad R = 10^3 \text{ }\Omega, \quad C = 10^{-10} = 100 \text{ pF}$

$Z_{in} \sim 10 \text{ k}\Omega \sim 1 \text{ f} \dots$

1 kHz ~ 100 Hz 12

$1 \text{ k}\Omega + 10 \text{ nF} = 100 \text{ kHz}$	$\left\{ \begin{array}{l} R = \text{10 k}\Omega \sim C = \text{0.1}\mu\text{F} \\ R = \text{100}\Omega \sim C = 1\mu\text{F} \end{array} \right.$
$1 \text{ k}\Omega + 1 \text{ nF} = 1 \text{ MHz}$	
$3.3 \text{ nF} = 300 \text{ kHz} \sim 10 \text{ MHz}$	$\left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ kHz, } R = 10 \text{ k}\Omega, \sim C = \text{1}\mu\text{F} \\ 100 \text{ kHz, } R = 10 \text{ k}\Omega, \sim C = 1 \text{ nF} \\ 1 \text{ MHz, } R = 10 \text{ k}\Omega, \sim C = 0.1 \text{ nF} \\ 10 \text{ MHz, } R = 100 \text{ }\Omega, \sim C = 0.1 \text{ nF} \end{array} \right.$

$10 \text{ nF} = 0.01 \mu\text{F}$

RC の 103 表

R	C	f	τ
10k Ω	1 μ F	100Hz	10 ⁻²
	0.1 μ F	1kHz	10 ⁻³
	0.01 μ F	10kHz	10 ⁻⁴
	1nF	100kHz	10 ⁻⁵
	0.1nF	1MHz	10 ⁻⁶
1k Ω	1 μ F	1kHz	10 ⁻³
	0.1 μ F	10kHz	10 ⁻⁴
	0.01 μ F	100kHz	10 ⁻⁵
	1nF	1MHz	10 ⁻⁶
100 Ω	1 μ F	100Hz	10 ⁻²
	0.1 μ F	1kHz	10 ⁻³
	0.01 μ F	10kHz	10 ⁻⁴
	1nF	100kHz	10 ⁻⁵
	0.1nF	1MHz	10 ⁻⁶
10 Ω	1 μ F	100Hz	10 ⁻²
	0.1 μ F	1kHz	10 ⁻³
	0.01 μ F	10kHz	10 ⁻⁴
	1nF	100kHz	10 ⁻⁵
	0.1nF	1MHz	10 ⁻⁶
1 Ω	1 μ F	100Hz	10 ⁻²
	0.1 μ F	1kHz	10 ⁻³
	0.01 μ F	10kHz	10 ⁻⁴
	1nF	100kHz	10 ⁻⁵
	0.1nF	1MHz	10 ⁻⁶

RC の 103 表

$$\begin{aligned}
 &100\Omega, 0.1\mu F = 1ms \\
 &200\Omega, 0.1\mu F = 2 \times 10^{-2} = 20ms, 50Hz \\
 &100\Omega, 0.1nF = 2 \times 10^{-5} = 20\mu s, 50kHz
 \end{aligned}$$

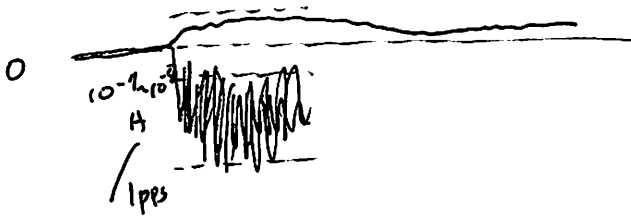
・白金 $z=4$ 、出力低

BG (e^- - u 変換) : 240 pA 、レベル、

e^- - u 出力の 比例 (変換)

$\therefore$ 出力の振幅は変化する、

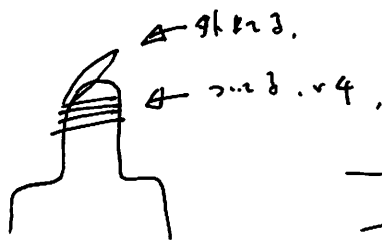
$\rightarrow$ 非線形特性、時間遅延、



⑤ (4.100)

・白金 $z=4$ 、5本のうち1本が外れる、

・RCフィルタ追加、



$\left\{ \begin{array}{l} \text{X線 40-50 Hz} \\ \text{BG 40-50 Hz} \end{array} \right.$ の干渉、

f	R	C	τ
50 Hz	$200 \text{ k}\Omega$	$0.1 \mu\text{F}$	20 ms
100 Hz	$10 \text{ k}\Omega$	$1 \mu\text{F}$	10 ms

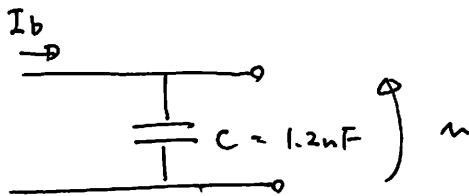
・白金 $z=4$ 、電圧 $z=3$ 100 pps の振幅は低、

・RCフィルタ、入力、信号は平滑化される、

$\rightarrow$ 何故??

・RCフィルタが、電圧 $z=4$ - オシロに直接、

$\rightarrow$ オシロ側、12、 e^- - u 変換 (時間遅延の波形状)

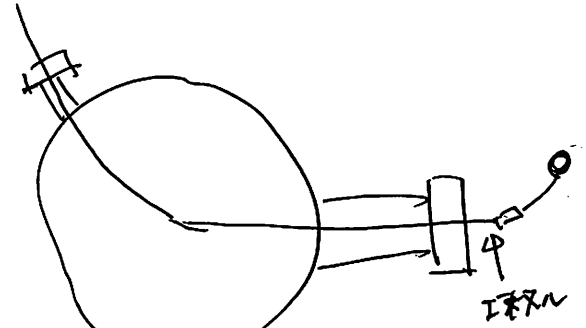
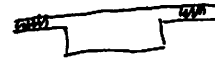
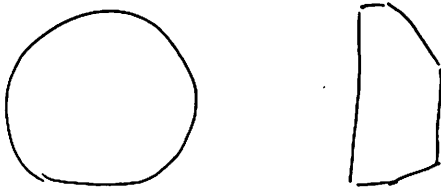
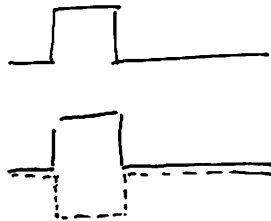
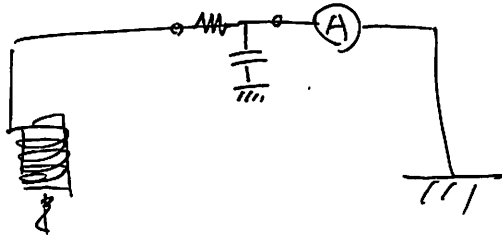


$$Q = C u = \int I dt \quad \frac{dQ}{dt} = I = C \frac{du}{dt}$$

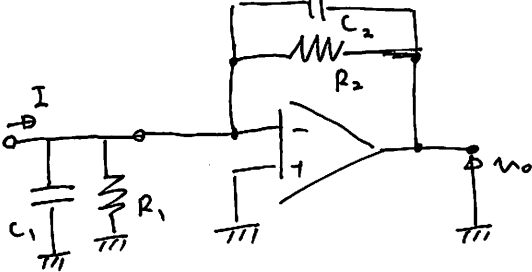
$$u = \frac{1}{C} \int I dt \quad u = \int \frac{I}{C} dt$$

12 1.2 500mm

12 1.2 640mm



1.2 1.2 400V 100V



$$u_o = R_2 I \quad R_2 = 1 \text{ m}\Omega$$

$$(I = 1 \mu\text{A}, \quad u_o = 1 \text{ V} \approx 33 \text{ dB})$$

$$C_2 = \sqrt{\frac{C_1 + C_{in}}{2\pi Q^2 \cdot \text{GBW} \cdot R_2}}$$

??

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (\text{临界阻尼条件}), \quad C_1 \gg C_{in} \ll C_2$$

$$C_2 = \sqrt{\frac{C_1 + C_{in}}{\pi \cdot \text{GBW} \cdot R_2}}$$

LME 49720 45 MHz }
NE 5834 10 MHz } $\rightarrow 10 \text{ pF}$

$C_{in} \sim 10 \text{ pF}$ 程度

$$C_{in} \sim 10 \text{ pF} \approx 2 \times 10^{-12} \dots (C_1 = 0)$$

$$C_2 = \sqrt{\frac{10 \times 10^{-12}}{3.14 \times 45 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-6}}}$$

$$= 0.26 \times 10^{-12} \sim 0.2 \text{ pF}$$

$\rightarrow$ 最小 10pF が必要、10pF 以下は不可。

■ 残り、

- ・ コード整形、
- ・ PHITS の $\phi(E, x)$ を入力モード追加、
- ・ 全体コード整形、
- ・ A_n の計算、
- ・ R_n の計算、

12/20 1-ウジニク 内部のセクタアッポ手順

- ・ 容器本体にセクタアッポする、

- ・ 1-ウジの軸でつなぐアルミフレーム 架台へ、1-ウジニク設置、

- ・ 容器背面に、棒を取り付け、前面にスパー4を設置、(1-ウジニクと見合付)

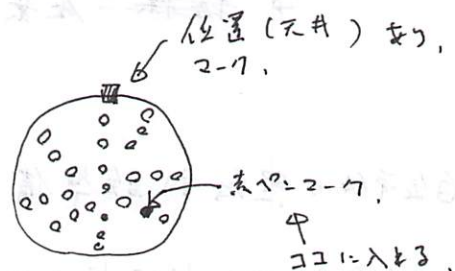
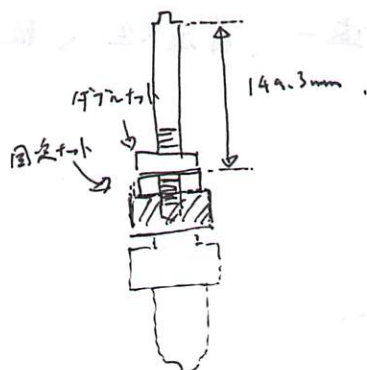
→ 今回、照射容器 (2023/12 11 新A品 ver.) の場合、4枚、

$$0.5\text{mm} \times 4\text{枚} = 2\text{mm},$$

→ 棒の取付位置は、突起を除いた棒端部から、 149.3mm 、

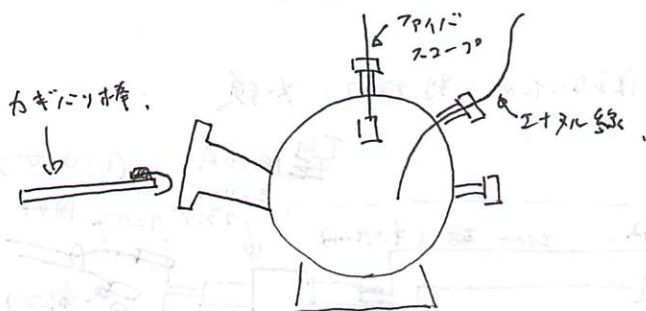
- ・ 棒の取付

- ・ はりの梁、



→ これを設置は、一発に決まる、はず、

* 容器が入るこてが確認して、白金線を取り付けた、

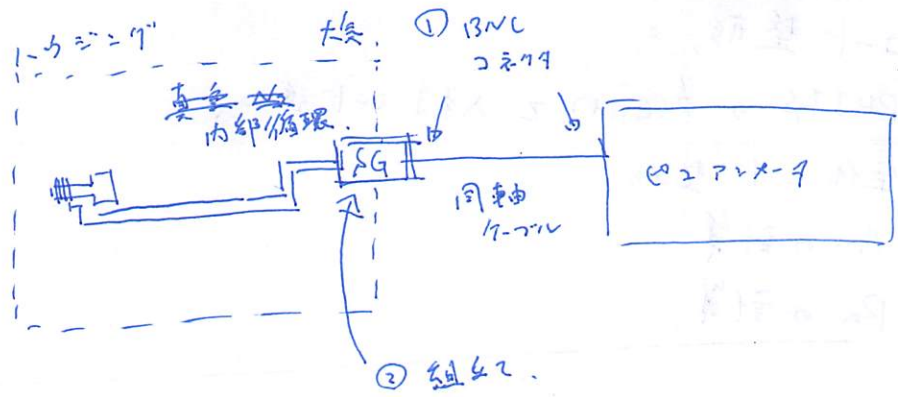


- ・ 1-ウジニク内にファイバースコープを入れて、照明
- ・ カギナリ棒のエタニ線をつなぐ、
- ・ エタニ線先端に、白金線を取り着、
- ・ 容器先端に取り付け、
- ・ 容器で、エタニ線の挿入位置を一定に挿入し、
- ・ 上記の位置にセクタアッポを調整してOK、
- ・ 空冷配管接続、

70411 (模擬試験材料) の場合、

容器が 1mm 後退する (1-ウジニクのため)

→ スパー4 2枚で、後部の棒は 150.3mm 、



12/21

121 の許可・記録

④ 受入時、書類作成必要

→ 番号、23-008-01 ^{多心} ~~etc.~~ 已 割り当て

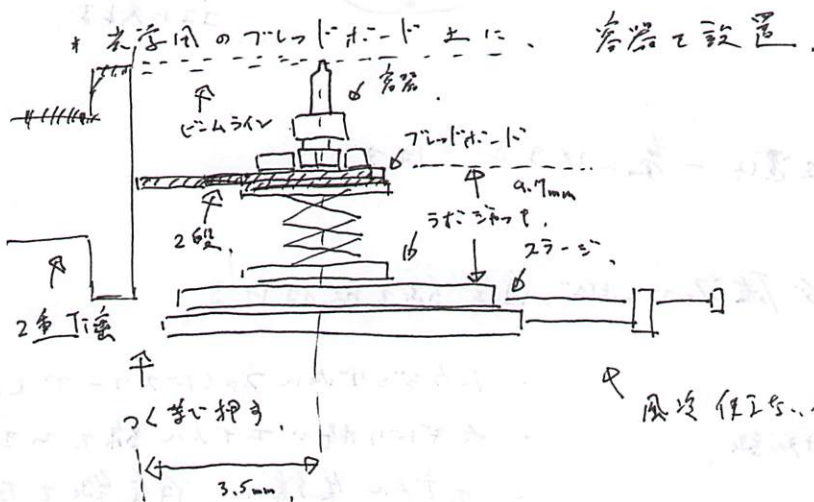
④ R2 使用計画

→ 上記の番号を使用する

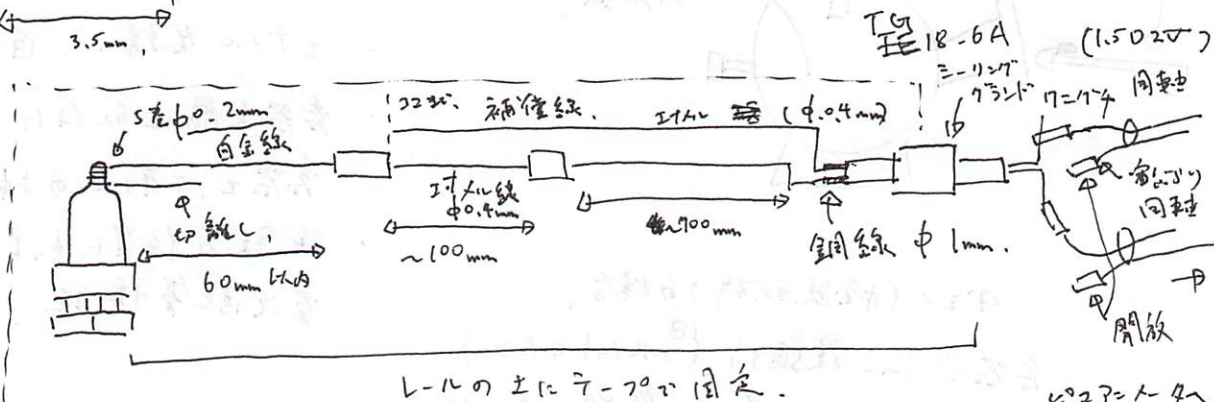
→ ~~検査~~ 廃棄、その他、尊敬に逐一、菊永先生へ報告

12/20

白金管体の照射試験準備



風冷修正のため、別プレート必須



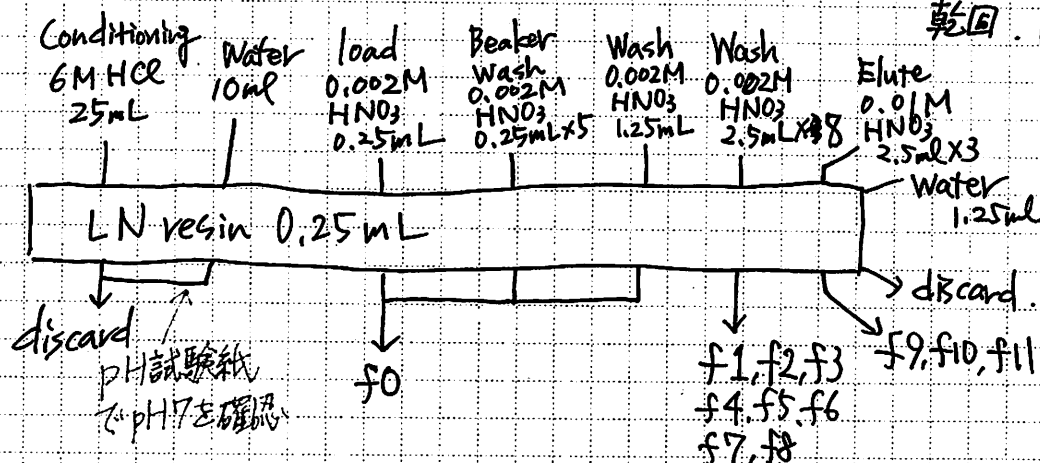
レールの上に7-70を固定

CO2 プレータへ

9/30

131

$\text{Ra} + \text{Ra} \textcircled{1} \rightarrow$ 6M HClにて 1つのバイアルにまぜめる
 $\text{Ra} \textcircled{2} + \text{Ra} \textcircled{3} \rightarrow$ 6M HClにて 1つのバイアルにまぜめる $\rightarrow$ 1つのバイアルにまぜめる.
 HP (100°C), 毒外線ラジエーターで
 乾固. 16:22 stop.



16:22 8M HNO_3 0.5mL を乾固物に添加, 再加熱し乾固する $\rightarrow$ 3回繰り返す.

42

Ra-sample-30um-CHN
 5.27opx @186keV

004134
 D-K-19029-01-00
 2023-06

← STD線源 (^{236}Pu)
 122keV @ Co-57: 0.618kBq
 88.6 (271.79days)
 166keV @ Ce-139: 0.772kBq
 87.9 (137.64days)

水 0.5mL を ~~10回~~ 乾固物に添加, 再加熱し乾固する $\rightarrow$ 10回繰り返す

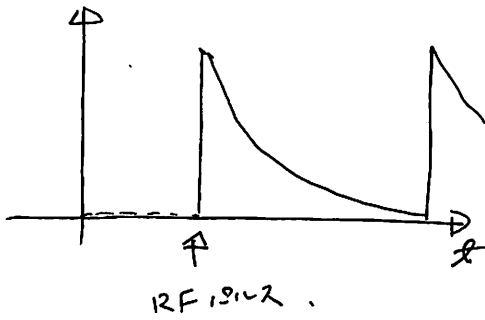
17:51 0.002M HNO_3 0.25mL に溶解し着点液とする.

f2~f5 を 6M HCl でビーカーに回収, 加熱乾固する.

22:53 10μL 水でセル乾固テスト $\rightarrow$ 1回目測定 31kBq, 2回目 41kBq
 0.5M HCl でビーカーを洗浄 3回目 49kBq, 4回目 53kBq.
 照射セルに 10μL 入れて乾固.

12/24

④ $\tau = 7$ / 信号について.



22V - 9 背面で.

$$1.35V - 0.35V \sim 1.0V_{p-p}$$

$$\textcircled{a} 135mA$$

コンパニ-7 について.

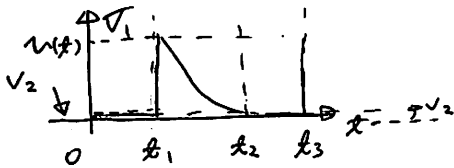
$$15V_{p-p} \quad \textcircled{a} 135mA$$

④ 光2点.

$\left\{ \begin{array}{l} f(x) \text{ の 波 形?} \\ f(x) \text{ の 値?} \end{array} \right.$

$\Rightarrow \tau = 7$ 使用可能かどうか.

④ $f(x)$ の 波 形.



波 形.

e^{-x} 使用可能.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & (0 \leq x \leq t_1) \\ f(x) & (t_1 \leq x \leq t_2) \\ 0 & (t_2 \leq x \leq 3) \end{cases}$$

e^{-x} 使用可能.
この値は不変.

$$f(x) = V_1 (e^{-x-t_1}) (x \geq t_1) + V_2$$

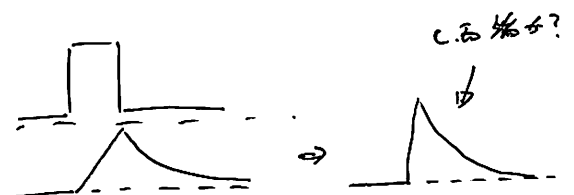
$$x - t_1 = \tau \text{ について.} \quad u(x) = V_1 e^{-\lambda x} + V_2$$

$$\hat{u}(x) = e^{-\lambda x}$$

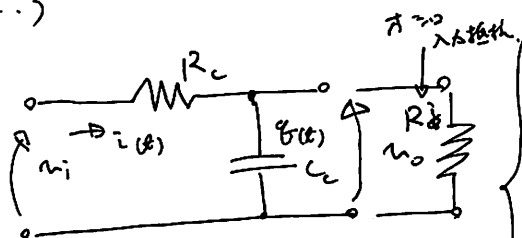
$\Rightarrow x \rightarrow \infty$ 回路?

$$\frac{\partial}{\partial x} \hat{u} = -\lambda e^{-\lambda x} = -\lambda \hat{u}$$

12/24 回路の答え...
矩形波でこの値は不変...



• e.s.)



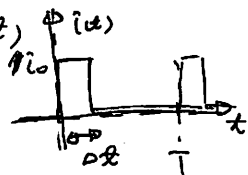
$$R_c i(t) + \frac{1}{C_c} \int i(t) dt = v_i$$

$$\frac{dv_o}{dt} = i(t)$$

$$R_c \frac{dv_o}{dt} + \frac{1}{C_c} v_o = v_i$$

$$v_o(t) = \frac{1}{C_c} \int i(t) dt$$

$$i(t) = \begin{cases} i_0 & (0 \leq t \leq \Delta t) \\ 0 & (\Delta t \leq t < T) \end{cases}$$

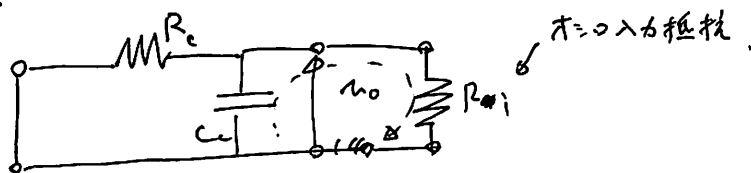


$$v_o(t) = \int i(t) dt = i_0 \Delta t + K \quad (t=0 \text{ 时 } v_o(0) = 0 \text{ 修正})$$

$$v_o(t) = i_0 \Delta t \quad (0 \leq t \leq \Delta t)$$



以降、



$$\begin{cases} C_c \rightarrow C \\ R_i \rightarrow R \end{cases} \quad \text{略記} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} -\frac{1}{C} \int i dt - R i = 0 \\ -\frac{1}{C} v - R \frac{dv}{dt} = 0 \end{cases}$$

$$t=0 \text{ 时, } v(0) = i_0 \Delta t = v_0 \text{ の値なり}$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{RC} v(t)$$

$$\frac{1}{v} dv = -\frac{1}{RC} dt$$

$$\ln |v| = -\frac{1}{RC} t + D_1$$

$$\begin{aligned} v &= D_2 e^{-\frac{1}{RC} t} \\ t=0 \text{ 时, } v(0) &= D_2 = v_0 \\ v(t) &= v_0 e^{-\frac{1}{RC} t} \\ &= i_0 \Delta t e^{-\frac{1}{RC} t} \\ &= i_0 \Delta t e^{-\frac{1}{C R_i} t} \end{aligned}$$

結局、

$$v_o(t) = i_0 \Delta t e^{-\frac{1}{C R_i} t}$$

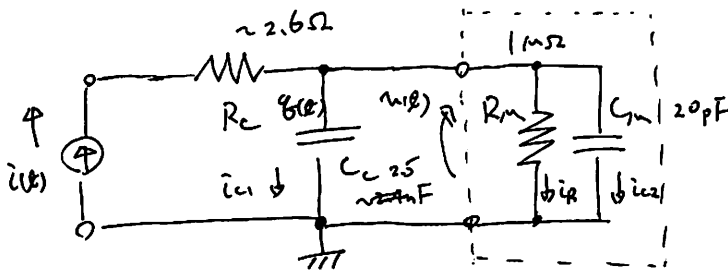
⇒ 等価回路は、 $t > \Delta t$ まで 相違ない。

An.

前問. $\Delta = 2.41 \mu m, 2.49 \mu m$

10 min - 10 pps.

※ 等価回路のパラメータは次の通り.



$C_c = 4\text{-mm 線径 Al 容量}$
 $104 \text{ nF} / 6m, (= 104 \text{ pF} / m)$
 $\sim 2.5 \text{ nF} / 24m$

$R_c = 4\text{-mm 導体抵抗}$
 $110 \Omega / 6m, (= 0.11 \Omega / m)$
 $\sim 2.64 \Omega / 24m$
 (web 参照)

$R_m = \text{アンプの入力抵抗}$
 (一般的に $1 m\Omega$) $\Rightarrow R_m = 1 m\Omega$

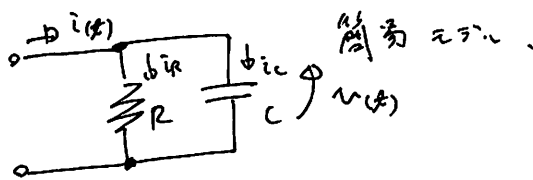
$C_m = \text{アンプの入力容量}$
 (一般的に $10 \sim 20 \text{ pF}$) $\Rightarrow C_m = 20 \text{ pF}$

$$\tau = \frac{1}{R_m (C_c + C_m)} \approx \frac{1}{10^{-3} \times (2.65 \times 10^{-9} + 20 \times 10^{-12})}$$

$$= 2.52 \times 10^{-3} = 2.52 \text{ ms}$$

$\Rightarrow$ 全遅延 $\sim 2 \times 10^{-3}$
 ($\sim 3.5 \text{ ms}$ 程度)

※ 入力 (信号入力時) の立ち上がり波形



$$\begin{cases} \frac{1}{C} \int i_C dt = u(t) = \frac{g(t)}{C} = u(t) \\ R i_R = u(t) = \frac{dg(t)}{dt} = i_C(t) \\ i(t) = i_R + i_C(t) \end{cases}$$

$$i(t) = \frac{1}{R} u(t) + \frac{dg(t)}{dt}$$

$$= \frac{1}{R} \frac{g(t)}{C} + \frac{dg(t)}{dt} = i(t)$$

$$\frac{1}{RC} g(t) + \frac{dg(t)}{dt} = i_0$$

※ 各次解

$$\frac{1}{g} dg = -\frac{1}{RC} dt$$

$$g(t) = D e^{-\frac{1}{RC} t}$$

$t=0^+, g(0)=0$
 $i(t) = \frac{dg(t)}{dt}$

$t=0^+, g(0)=0$

$$\frac{1}{RC} D e^{-\frac{1}{RC} t} + (-\frac{1}{RC} D e^{-\frac{1}{RC} t}) + D' e^{-\frac{1}{RC} t} = i_0$$

$$\therefore D'(t) = i_0 e^{-\frac{1}{RC} t}$$

$$D(t) = i_0 RC e^{-\frac{1}{RC} t} + E$$

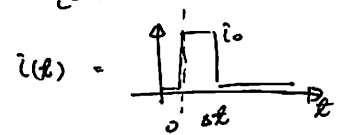
$$\therefore g(t) = i_0 RC + E e^{-\frac{1}{RC} t}$$

$t=0^+, g(0)=0, E = -i_0 RC$

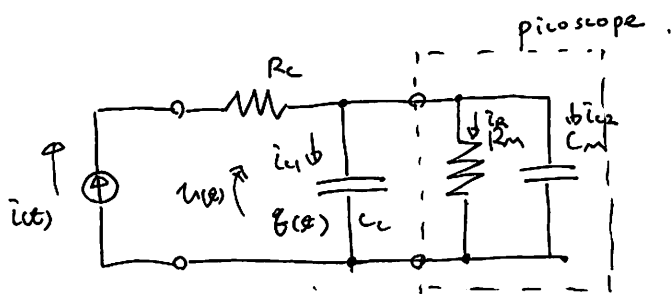
$$g(t) = i_0 RC (1 - e^{-\frac{1}{RC} t})$$

$$i_C(t) = i_0 e^{-\frac{1}{RC} t}$$

$$u(t) = R i_0 (1 - e^{-\frac{1}{RC} t}) \approx R i_0 (1 - \frac{1}{RC} t)$$

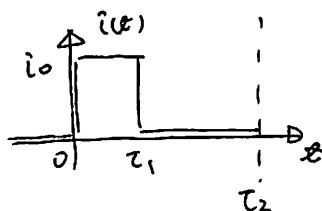


● 一般解.



$i(t)$ の波形

$$i(t) = \begin{cases} i_0 & (0 \leq t \leq \tau_1) \\ 0 & (\tau_1 \leq t \leq \tau_2) \end{cases}$$



$$\begin{cases} v(t) = \frac{1}{C_c} \int i_{c1}(t) dt = \frac{1}{R_m C_c} \int i_{c2}(t) dt \\ i(t) = i_{c1} + i_{c2} + i_R \\ q(t) = \int i_{c1}(t) dt \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} v(t) = R_m i_0 \left[1 - e^{-\frac{1}{R_m(C_c+C_m)}t} \right] \\ i_{c1}(t) = i_0 e^{-\frac{1}{R_m(C_c+C_m)}t} \\ q(t) = \frac{R_m(C_c+C_m)i_0}{C_c} \left[1 - e^{-\frac{1}{R_m(C_c+C_m)}t} \right] \end{cases} \quad (0 \leq t \leq \tau_1)$$

$$\begin{cases} v(t) = R_m i_0 (1 - e^{-\frac{\tau_1}{R_m(C_c+C_m)}}) e^{-\frac{1}{R_m(C_c+C_m)}(t-\tau_1)} \\ i_{c1}(t) = \frac{q_0}{R_m(C_c+C_m)} e^{-\frac{1}{R_m(C_c+C_m)}(t-\tau_1)} \\ q(t) = \frac{q_0}{R_m(C_c+C_m)} e^{-\frac{1}{R_m(C_c+C_m)}(t-\tau_1)} \end{cases} \quad (\tau_1 \leq t \leq \tau_2)$$

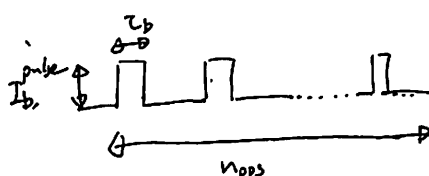
($R_m(C_c+C_m) \gg \tau_1$)
 $\approx i_0 \tau_1 e^{-\frac{1}{R_m(C_c+C_m)}(t-\tau_1)}$

$\equiv q_0$

● i_0 の値について、 ($\Rightarrow$ 12.4 参照)

平均電流への計算, $I_{SEE}^{ave} = 1 \mu A$ 程度, ($I_b = 200 \mu A$)

$\Rightarrow$ パルス幅の電流



$$n_{pps} \times \tau_b \times I_b^{pulse} = I_b$$

$$n_{pps} \times \tau_b \sim f_{puls} = 300 \times 3 \times 10^{-6} = 0.9 \times 10^{-3}$$

$$= 0.09 \%$$

$$I_b^{pulse} = \frac{I_b}{f_{puls}} = \frac{200 \times 10^{-6}}{0.09 \times 10^{-3}} = 222 \mu A$$

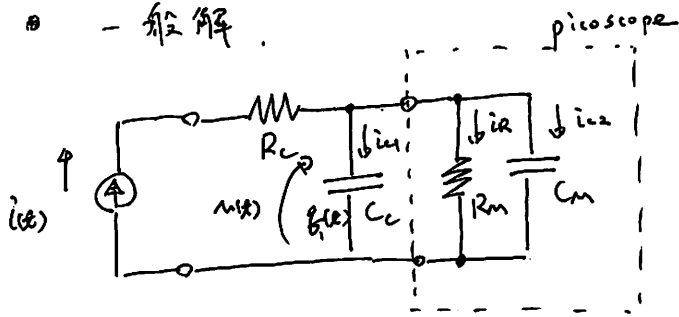
$\frac{1}{n_{pps}} \sim \tau_b \sim \frac{1}{f_{puls}}$ (τ_b は $\frac{1}{f_{puls}}$ の 1/2 !!)

$$f_{puls} = 0.14 \%$$

$$i_0 = I_{SEE}^{ave} / f_{puls} = \frac{1 \times 10^{-6}}{1.4 \times 10^{-3}} = 0.71 \mu A$$

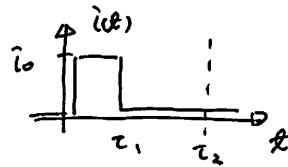
$i_0 \sim 1 \mu A$ 程度, $v(t) = R_m i_0 = 710 V \approx 2V$ 程度, $\tau_{DF} \sim 4.7 \mu s$, τ 遅延時間 (τ)

● 一般解



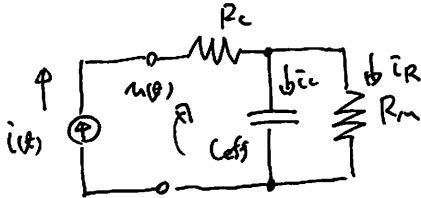
$i(t)$ の波形

$$i(t) = \begin{cases} i_0 & (0 \leq t < \tau_1) \\ 0 & (\tau_1 \leq t < \tau_2) \end{cases}$$



$$\begin{cases} u(t) = \frac{1}{C_c} \int i_{c1}(t) dt = \frac{R_m}{R_m} i_R = \frac{1}{C_m} \int i_{c2}(t) dt \\ i(t) = i_{c1} + i_R + i_{c2} \\ q_1(t) = \int i_{c1}(t) dt \end{cases}$$

上を解く。 23. 回路を単純化。



$$\begin{cases} C_{eff} = C_c \parallel C_m \approx \frac{C_c C_m}{C_c + C_m} \\ i_c = i_{c1} + i_{c2} \\ q(t) = \int i_c(t) dt \end{cases}$$

$$\begin{cases} i(t) = i_c + i_R \\ i_c(t) = \frac{dq(t)}{dt} \\ u(t) = \frac{1}{C_{eff}} q(t) \end{cases}$$

$$i(t) = \frac{dq}{dt} + \frac{1}{R_m} \frac{1}{C_{eff}} \int \frac{dq}{dt} dt = \frac{dq}{dt} + \frac{1}{R_m C_{eff}} q(t)$$

$$= \begin{cases} i_0 & (0 \leq t < \tau_1) \dots \textcircled{1} \\ 0 & (\tau_1 \leq t < \tau_2) \dots \textcircled{2} \end{cases}$$

① について

$$\frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{R_m C_{eff}} q(t) = i_0$$

1次解は $\frac{dq}{dt} + \frac{1}{R_m C_{eff}} q = 0$ より

$$\frac{1}{q} \frac{dq}{dt} = -\frac{1}{R_m C_{eff}} \frac{dt}{dt}$$

$$\ln |q| = -\frac{1}{R_m C_{eff}} t + C_1(t)$$

$$q = C_2(t) e^{-\frac{1}{R_m C_{eff}} t}$$

② 元の式に代入して $(R_m \Rightarrow R, C_{eff} \Rightarrow C_{eff})$

$$C_2' e^{-\frac{1}{RC} t} = -\frac{1}{RC} C_2 e^{-\frac{1}{RC} t} + \frac{1}{RC} C_2 e^{-\frac{1}{RC} t} = i_0$$

$$\therefore C_2' = i_0 e^{\frac{1}{RC} t}$$

$$C_2 = i_0 RC e^{\frac{1}{RC} t} + C_3$$

$$\therefore q(t) = i_0 RC + C_3 e^{-\frac{1}{RC} t}$$

$$t=0 \text{ 時 } q(0)=0 \text{ より}$$

$$q(0) = i_0 RC + C_3 = 0 \therefore C_3 = -i_0 RC$$

$$\therefore q(t) = i_0 RC (1 - e^{-\frac{1}{RC} t})$$

$$u(t) = \frac{1}{C} q(t) = R i_0 (1 - e^{-\frac{1}{RC} t})$$

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = i_0 e^{-\frac{1}{RC} t}$$

一般解 題1.

$$(2) \quad \frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC} q = 0$$

同様に、各次解は、

$$q(t) = C_1(t) e^{-\frac{1}{RC} t}$$

すなわち、初期条件 ($t = \tau_1$) を使用すれば、

$$q(t = \tau_1) = i_0 RC (1 - e^{-\frac{1}{RC} \tau_1})$$

$$q(t = \tau_1) = C_1(t) e^{-\frac{1}{RC} \tau_1} = i_0 RC (1 - e^{-\frac{1}{RC} \tau_1})$$

$$C_1 = i_0 RC e^{\frac{1}{RC} \tau_1} (1 - e^{-\frac{1}{RC} \tau_1})$$

すなわち、

$$q(t) = i_0 RC (1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}) e^{-\frac{(t - \tau_1)}{RC}}$$

$$u(t) = \frac{1}{C} q(t) = R i_0 (1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}) e^{-\frac{t - \tau_1}{RC}}$$

$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$

$$= -i_0 (1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}) e^{-\frac{t - \tau_1}{RC}}$$

よって、まとめると、一般解は、

$$\underline{0 \leq t < \tau_1}$$

$$\begin{cases} q(t) = i_0 RC (1 - e^{-\frac{1}{RC} t}) \\ u(t) = R i_0 (1 - e^{-\frac{1}{RC} t}) \\ i(t) = i_0 e^{-\frac{1}{RC} t} \end{cases}$$

$$\underline{\tau_1 \leq t < \tau_2}$$

$$\begin{cases} q(t) = i_0 RC (1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}) e^{-\frac{t - \tau_1}{RC}} \\ u(t) = R i_0 (1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}) e^{-\frac{t - \tau_1}{RC}} \\ i(t) = -i_0 (1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}) e^{-\frac{t - \tau_1}{RC}} \end{cases}$$

を分けた。

1.2.4 (回路定数値) の計算

① 減衰定数

$$\alpha_p = u(t = \tau_1)$$

④ パルス列の一般表記.

$$u_{\text{pulse}}(t) = \begin{cases} R_{10} [1 - e^{-\frac{t}{RC}}] & (0 \leq t < \tau_1) \\ R_{10} [1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}] e^{-\frac{t-\tau_1}{RC}} & (\tau_1 \leq t < \tau_2) \\ \rightarrow (\tau_1 \leq t) \end{cases}$$

t' = 0 で 始動するパルスの以前に. $n = 1, 2, \dots, \infty$ のパルスが入ってきた.

これは. $t' = -1 \cdot \Delta T, -2 \cdot \Delta T, -3 \cdot \Delta T, \dots, -n \cdot \Delta T$ の 経過 の時間.

残ったパルスでいう. $t' = -n \Delta T$ を中心に. $u_{\text{pulse}}(t) = \begin{cases} [-] \\ [-] \end{cases}$ と仮定する.

$$u_{\text{pulse}}(t - t_0^{(n)}) = \begin{cases} R_{10} [1 - e^{-\frac{t-t_0^{(n)}}{RC}}] \\ R_{10} [1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}] e^{-\frac{(t-t_0^{(n)})-\tau_1}{RC}} \end{cases}$$

$$u_{\text{pulse}}(t + n \Delta T) = \begin{cases} R_{10} [1 - e^{-\frac{t+n \Delta T}{RC}}] & (t - t_0^{(n)} < \tau_1) \\ R_{10} [1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}] e^{-\frac{t+n \Delta T - \tau_1}{RC}} & (t - t_0^{(n)} \geq \tau_1) \end{cases}$$

全パルス共. $t - t_0^{(n)} \geq \tau_1$ のため.

$$\begin{aligned} u_{\text{pulse}}(t + n \Delta T) &= R_{10} [1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}] e^{-\frac{t-\tau_1}{RC}} \cdot e^{-\frac{n \Delta T}{RC}} \\ &= u_{\text{pulse}}(t) \cdot e^{-\frac{n \Delta T}{RC}} \end{aligned}$$

$n = 1, 2, \dots, \infty$ まで. 足し合わせる.

$$u(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^N u_{\text{pulse}}(t) e^{-\frac{n \Delta T}{RC}} + u_{\text{pulse}}(t)$$

$$= u_{\text{pulse}}(t) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\frac{n \Delta T}{RC}} + u_{\text{pulse}}(t)$$

$$= u_{\text{pulse}}(t) (1 + \sum_{\infty})$$

④ 重ね合わせの原理を適用して、 $t=0$ での電位を求めよう。

$$u^{(n)}(x) = R_n i_0 \left[1 - e^{-\frac{(x - n\Delta T)}{\tau_{RC}}} \right] e^{-\frac{(x - n\Delta T)}{\tau_{RC}}}$$

$$u(x) = \sum_{n=0}^{\infty} u^{(n)}(x)$$

$$= u_0 + \dots$$

$$(u_0 = R i_0 \left[1 - e^{-\frac{\tau_1}{\tau_{RC}}} \right] e^{-\frac{x}{\tau_{RC}}} \text{ など})$$

$$u^{(n)}(x) = u_0 \cdot e^{\frac{\Delta T}{\tau_{RC}} \cdot n}$$

$\Rightarrow$ 公比 $r = e^{\frac{\Delta T}{\tau_{RC}}}$ の等比級数。

$x \Rightarrow n\Delta T \leq x \leq (n+1)\Delta T$ の区間で、

$-\infty \sim n$ までの電位が加わる。

$-\infty \sim 0$ の電位が加わる。

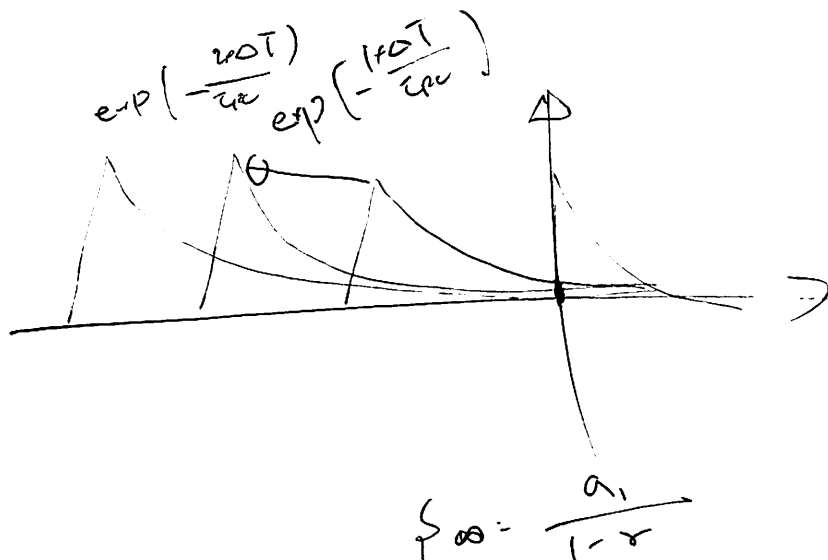
逆方向に $n' = -n \rightarrow 1 \sim \infty$ まで。

$$S_n = u_0 \cdot r^n$$

$\uparrow$ 初項 $\uparrow$ 公比

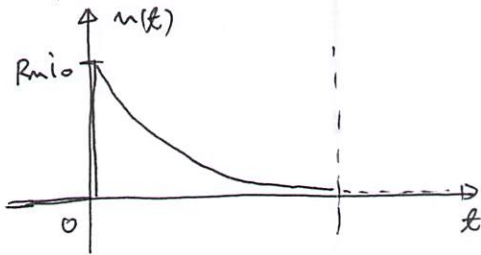
$$\frac{u_0}{1-r} = \frac{1}{1 - e^{\frac{-\Delta T}{\tau_{RC}}}} u_0$$

=



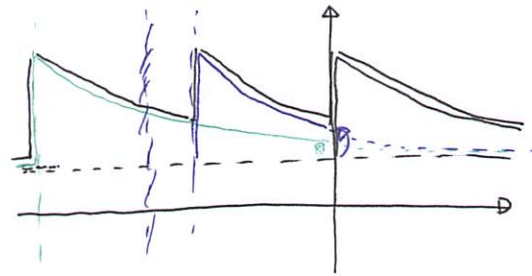
④ オフセットについて.

単発信号.



経過し

→



単発信号が、 $0 \rightarrow \infty$ までの過去の時間分、減衰がしちぎ残っている状態である。

($t_1 \leq t < t_2$)

$$u_{\text{pulse}}(t) = R_{10} (1 - e^{-\frac{t_1}{RC}}) e^{-\frac{t-t_1}{RC}}$$

単発信号の理論値、

が、

$t = t_1$ (この値) で代入、

$$t - t_1 = t'$$

1つ前のパルスの信号は、 $t'' = t' + 1 \times \Delta T$,
(ΔT は経過し周期)

(ΔT は経過し周期)

2つ前の

$$t'' = t' + 2 \times \Delta T$$

n 個前の

$$u_{\text{pulse}}^{(n)}(t') = R_{10} (1 - e^{-\frac{t_1}{RC}}) e^{-\frac{n\Delta T}{RC}}$$

基準時刻時点で、 $n = 1 \sim \infty$ の信号がのびるため、

$$u_{\text{pulse}}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_{\text{pulse}}^{(n)} = \sum_{n=1}^{\infty} R_{10} (1 - e^{-\frac{t_1}{RC}}) e^{-\frac{n\Delta T}{RC}} \cdot e^{-\frac{t-t_1}{RC}}$$

$$= R_{10} (1 - e^{-\frac{t_1}{RC}}) e^{-\frac{t-t_1}{RC}} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\frac{n\Delta T}{RC}}$$

これは、単発信号に経過し遅延の $r = e^{-\frac{\Delta T}{RC}}$ が n 回ある、... 等比数列、
 $= \sum_{n=1}^{\infty} r \cdot r^{n-1} = r \sum_{n=1}^{\infty} r^{n-1}$ 公比 r の等比数列、

$$\sum_{n=1}^{\infty} r^n = \sum_{n=1}^{\infty} (e^{-\frac{\Delta T}{RC}})^n = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - r^n}{1 - r}$$

$$r = e^{-\frac{\Delta T}{RC}} < 1 \text{ のため、収束し、} \quad \sum_{n=1}^{\infty} r^n = \frac{1}{1 - r} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{\Delta T}{RC}}}$$

$$V_{\text{offset}} = \frac{U}{R_{10}} = \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\frac{n\Delta T}{RC}} \times R_{10} (1 - e^{-\frac{t_1}{RC}}) = e^{-\frac{t_1}{RC}}$$

$$= \frac{1 \times 10^6 \times 0.117 \times 10^{-3} + \frac{3 \times 10^{-6}}{2.5 \times 10^{-3}} \times \sum_{n=1}^{\infty} r^n}{R_{10}}$$

$$= 0.92 \text{ (V)}$$

$$s_N = \sum_{n=1}^N e^{-\frac{n\Delta T}{RC}}$$

$$a_n = e^{-\frac{\Delta T}{RC}} \cdot \left[e^{-\frac{\Delta T}{RC}} \right]^{(n-1)} \quad \begin{cases} a_1 = e^{-\frac{\Delta T}{RC}} \\ r = e^{-\frac{\Delta T}{RC}} \end{cases} \quad \text{等比級数,}$$

$$= a_1 \cdot r^{n-1}$$

$$s_N = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_N$$

$$= a_1 + a_1 r + a_1 r^2 + \dots + a_1 r^{N-1}$$

$$r s_N = a_1 r + a_1 r^2 + \dots + a_1 r^{N-1} + a_1 r^N$$

$$(1-r)s_N = a_1 - a_1 r^N$$

$$\therefore s_N = \frac{a_1(1-r^N)}{1-r} \quad \xrightarrow{N \rightarrow \infty}$$

$$s_{\infty} = \frac{a_1}{1-r}$$

$$s_{\infty} = \frac{e^{-\frac{\Delta T}{RC}}}{1 - e^{-\frac{\Delta T}{RC}}} \quad \begin{cases} RC = 2.5 \text{ ms} \\ \Delta T = 3.3 \text{ ms} \end{cases} \quad \text{より,}$$

$$s_{\infty} = \frac{e^{-\frac{3.3}{2.5}}}{1 - e^{-\frac{3.3}{2.5}}} \quad \rightarrow \quad s_{\infty} = 0.3645$$

$$\textcircled{1} t = \tau_1$$

$$V_{\text{offset}} = R_{i0} (1 - e^{-\frac{\tau_1}{RC}}) \times e^{-\frac{\tau_1 - \tau_1}{RC}} \times s_{\infty}$$

$$= V_{p-p} \times s_{\infty}$$

$$= 0.92 \text{ (V)} \times 0.3645$$

$$= 0.335 \text{ (V)}$$

① 3.1 Gbps. → B型. (特別形認可化) → (特別化)
塩化物. 8~10/h

② A型. 居住区.

警察所. 消防所. 事前説明.

R.2. 12月.

技術上の基準.

特別形 R2 の設計認証. → 進め可能かどうか?

(1) B型輸送. 都二 - 工業.

(2) 特別形. 新たに認証が必要.

→ 一つもない.....

- 特別形, (陸海空)

(3) 中核子.

→ 主要線量率.

③ B型輸送容器.

凡大.
R2認可の者の購入価格.

- 市場価格. - 高圧. - 調整の自発的.

④ 3.1 Gbps. 3.1 Gbps. (大大側)

R2. 凡大. 産研一研, WTT, NIDC.