

ed Equipment, Vol 581/1-2 (2007) pp 517-521

"Response of a Micro Pixel Chamber to heavy ions with the energy of several hundreds of MeV/n" ry"

Tsutomu Nagayoshi, Tadayoshi Doke, Yasunobu Fujita, Kaori Hattori, Koji Ishida, Jun Kikuchi, Hisashi Kitamura, Tatsuto Komiyama, Hidetoshi Kubo, Haruhisa Matsumoto, Kentaro Miuchi, Hironobu Nishimura, Kiwamu Saito, Shin-ichi Sasaki, Hiroyuki Sekiya, Atsushi Takada, Toru Tanimori, Kazuhiro Terasawa, Hiroko Tawara, Yukio Uchihori and Kazuki Ueno To appear in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Vol 581/1-2 (2007) pp110-114

"Development of Electron Tracking Compton Camera using micro pixel gas chamber for medical imaging"

Shigeto Kabuki, Kaori Hattori, Ryota Kohara, Etsuo Kunieda, Atsushi Kubo, Hidetoshi Kubo, Kentaro Miuchi, Tadaki Nakahara, Tsutomu Nagayoshi, Hironobu Nishimura, Yoko Okada, Reiko Orito, Hiroyuki Sekiya Takashi Shirahata, Atsushi Takada, and Kazuki Ueno. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 580 (2007) pp1031-1035

"Development and applications of a  $\mu$ -PIC"

Kentaro Miuchi, Kaori Hattori, Shigeto Kabuki, Hidetoshi Kubo, Shunsuke Kurosawa, Hironobu Nishimura, Yoko Okada, Atsushi Takada, Toru Tanimori, Ken'ichi Tsuchiya, Kazuki Ueno, Hiroyuki Sekiya, Atsushi Takeda.

"Radiation Detector and Their uses", Proceedings of the 21th Workshop on Radiation Detector and Their uses, KEK-proceedings 2007

"Performance of the gamma-ray camera based on GSO(Ce) scintillator array and PSPMT with the ASIC readout system" Kazuki Ueno, Kaori Hattori, Chihiro Ida, Satoru Iwaki, Shigeto Kabuki, Hidetoshi Kubo, Shunsuke Kurosawa, Kentaro Miuchi, Tsutomu Nagayoshi, Hironobu Nishimura, Reiko Orito, Atsushi Takada, Toru Tanimori  
NIM A, in press

## 2. 学会発表

(発表誌名巻号・頁・発行年等も記入)

"Development of a Gamma Camera Based on an 8x8 array of LaBr3(Ce) Scintillator Pixels to a 64-Channel Multi-Anode PMT"

H. Kubo, K. Hattori, S. Kabuki, S. Kurosawa, K. Miuchi, T. Nagayoshi, H. Nishimura, Y. Okada, R. Orito, A. Takada, T. Tanimori, K. Tsuchiya, K. Ueno,

Presented at 2007 IEEE NSS-MIC, Honolulu, Hawaii, 28, Oct. - 3, Nov., 2007.

NM1-1

An Electron-Tracking Compton Imaging Camera Based on a Gaseous TPC and a Scintillation Camera

K. Ueno, S. Kabuki, H. Kubo, S. Kurosawa, K. Miuchi, T. Nagayoshi, H. Nishimura, Y. Okada, R. Orito, A. Takada, T. Tanimori, K. Tsuchiya

Presented at 2007 IEEE NSS, Honolulu, Hawaii, 28, Oct. - 3, Nov., 2007.

Performance of an  $8 \times 8$  array of LaBr<sub>3</sub> (Ce) pixels coupled to a multi-anode PMT

Shunsuke Kurosawa, Kaori Hattori, Shigeto Kabuki, Hidetoshi Kubo, Kentaro Miuchi, Hironobu Nishimura, Yoko Okada, Atsushi Takada, Toru Tanimori, and Kazuki Ueno

Presented at "SCINT 2007", Winston-Salem, NC, USA June, 4-8, 2007.

Development of an Electron Tracking Compton Gamma-Ray Using a Gas Micro-Tracking Device for Nuclear Medicine

S. Kabuki, K. Hattori, H. Kawashima, H. Kimura, R. Kohara, A. Kubo, H. Kubo, S. Kurosawa, E. Kunieda, K. Miuchi, O. Miyazaki, T. Nagayoshi, T. Nakahara, Y. Nakamoto, T. Nakazawa, H. Nishimura, K. Ogawa, Y. Okada, R. Orito, H. Saji, H. Sekiya, T. Shirahata, A. Takada, T. Tanimori, K. Togashi, M. Ueda, K. Ueno, E. Yamamoto

Presented at "2007 JMJC", Providence, Rhode Island, USA Sep. 8 - 11, 2007.

Performance of the gamma-ray camera based on scintillator array and PSPMT with an ASIC readout system

K. Ueno, K. Hattori, C. Ida, S. Iwaki, S. Kabuki, H. Kubo, S. Kurosawa, K. Miuchi, H. Nishimura, Y. Okada, H. Sekiya, A. Takada, T. Tanimori, K. Tsuchiya

Presented at the 9th International Workshop On Radiation Imaging Detectors, Erlangen, Germany, 22-26, July, 2007.

Performance of the gamma-ray camera based on scintillator array and PSPMT with an ASIC readout system

K. Ueno, K. Hattori, C. Ida, S. Iwaki, S. Kabuki, H. Kubo, S. Kurosawa, K. Miuchi, H. Nishimura, Y. Okada, H. Sekiya, A. Takada, T. Tanimori, K. Tsuchiya

Presented at PD07, Kobe, Japan, 27-29, June, 2007.

日本物理学会, 第63回年次大会 近畿大学本部キャンパス, 23pZJ-14, 2008年3月23日

“CMOS ASICを用いた $\mu$  PIC読み出しシステムおよび厚型GEMの開発”

井田知宏, 谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎, 土屋兼一, 株木重人, 高田淳史, 岡田葉子, 西村広展, 服部香里, 上野一樹, 黒澤俊介, 岩城智, 藤田陽一, 田中真伸

日本物理学会, 第63回年次大会 近畿大学本部キャンパス, 23pZX-7, 2008年3月23日

“micro-TPCを用いたガンマ線イメージング検出器の開発11”

上野一樹, 谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎,  
土屋兼一, 株木重人, 高田淳史, 岡田葉子,  
服部香里, 西村広展, 黒澤俊介, 井田知宏,  
岩城智

日本物理学会, 第63回年次大会 近畿大学  
本部キャンパス, 23pZX-9, 2008年3月23日

“低消費電力かつ広ダイナミックレンジ  
なシンチレーションカメラ読み出しシステ  
ムの開発”

岩城智, 谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎, 土  
屋兼一, 株木重人, 高田淳史, 岡田葉子,  
服部香里, 西村広展, 上野一樹, 黒澤俊介,  
井田知宏, 久保信

日本物理学会, 第63回年次大会 近畿大学  
本部キャンパス, 24aWG-9, 2008年3月24日

“広いダイナミックレンジをもつ $\mu$  PIC-2  
次元X線画像検出器の開発(2)”

服部香里, 谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎,  
土屋兼一, 岡田葉子, 井田知宏, 高田昌樹,  
伊藤和輝, 植草秀裕, 藤井孝太郎

日本物理学会, 第63回年次大会 近畿大学  
本部キャンパス, 24aZE-12, 2008年3月24日

“6mm角LaBr3(Ce)ピクセルアレイとフラ  
ットパネルPMTを用いたシンチレーション  
カメラの開発II”

黒澤俊介, 谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎,  
土屋兼一, 株木重人, 高田淳史, 岡田葉子,  
服部香里, 西村広展, 上野一樹, 井田知宏,  
岩城智

第4回 Micro Pattern Gas Detector 研究  
会, 大阪市立大学, 2007年12月14日

“広いダイナミックレンジを持つ $\mu$  PIC-2

次元X線画像検出器の開発”

服部香里, 谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎,  
土屋兼一, 岡田葉子, 井田知宏, 高田昌樹,  
伊藤和輝, 植草秀裕, 藤井孝太郎

## 研究成果の刊行に関する一覧表

## 書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
なし							

## 雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Tsuchida T, Takeuchi H, Okazawa H, Tsujikawa T, Fujibayashi Y.	Grading of brain glioma with 1-(11)C-acetate PET: comparison with (18)F-FDG PET.	Nucl Med Biol	35, No. 2	73-77	2008
T. Tsujikawa, H. Okazawa, T. Tsuchida, Y. Demura, Y. Imamura, Y. Fujibayashi	A 18F-FDG-positive, 67Ga-negative, and transferrin receptor expression-negative patient with diffuse large B-cell lymphoma	Ann Nucl Med	21, No. 6	375-378	2007
Y. Yoshida, T. Kurokawa, Y, Sawamura, A. Shinagawa, H. Okazawa, Y. Fujibayashi, F. Kotsuji	The positron emission tomography with F18 17beta-estradiol has the potential to benefit diagnosis and treatment of endometrial cancer	Gynecol Oncol	104, No. 3	764-766	2007
T. Tsuchida, H. Okazawa, T. Mori, M. Kobayashi, Y. Yoshida, Y. Fujibayashi, H. Itoh	In vivo imaging of estrogen receptor concentration in the endometrium and myometrium using FES PET - influence of menstrual cycle and endogenous estrogen level	Nucl Med Biol	34, No. 2	205-210	2007
Y. Fujibayashi, K. Suzuki, T. Fukumura, T. Mori, S. Kasamatsu	Non-standard radionuclide production for PET in Japan	Q J Nucl Med Mol Imaging	52, N. 2	140-144	2008

## 別 添 資 料

## 資料(1)

平成19年度 卒業論文

高放射能ハンドリングに適した  
研究用ロボットの開発：

$^{64}\text{Cu}$  精製装置から放射性薬剤自動合成装置へ

The Development of a Reserch Robot Suitable for  
High Radioactivity Handling:

From a  $^{64}\text{Cu}$  Refining System to  
an Automatic Radiopharmaceuticals Synthesis System

指導教員 浅井竜哉 准教授

福井大学 工学部 知能システム工学科

バイオシグナリング研究室

渡邊亮

## 概要

現在市販されている PET 用放射性薬剤自動精製装置は、簡便な操作で高品質な薬剤を製造できる反面、非常に高価であり、汎用性が低く、規格外の薬剤を合成することは難しいこととなっている。新たな PET 放射性薬剤の研究をするためには、高価な装置を購入するか、独自に精製装置を開発する必要がある。この問題を解決するために、所属研究室では安価で汎用性の高い自動精製装置の開発を、ヒューマノイドロボット制御用のマイコンボードとサーボモータを用いて行ってきた。

本研究においては上記装置を用いて  $^{64}\text{Cu}$  分離後の放射性薬剤への調製の工程を自動化し、放射性薬剤  $^{64}\text{Cu}$ -ATSM の完全自動化を行った。また、本装置を使用しているうえで出てきた各パーツ及び工程の不具合を修正した。さらにマイコンを変更し、付属ソフトを用いて、プログラム作成メソッドの簡易化を行い、汎用性を向上させた。以上のような改良を行った放射性薬剤自動合成装置を開発し、 $^{64}\text{Cu}$ -ATSM の合成を行い、その機能評価を行った。

$^{64}\text{Cu}$ -ATSM の合成を完全自動化したことにより、高放射能ハンドリングに適した研究用ロボットの利用例の 1 つを示すことができたといえる。プログラム作成メソッドの簡易化によって、開発者だけではなく、実際に装置を使うユーザー側においても、新たな動作工程の作成が可能になり、汎用性も大きく向上できたと考えられる。

## Abstract

Commercially available synthesizers for positron emission tomography (PET) radiotracers are limited for the production of authorized radiopharmaceuticals like F-18-fluorodeoxy-glucose (FDG), and have several problems to be applied for developmental research as well as production of non-standard radiotracers, such as high cost, complex programming and so on. To provide a suitable system for the development of new PET radiotracers, we have developed an inexpensive and versatile system that allows us to develop a synthesis procedure for new radiotracers by assembling servo-motor driven three-way stopcocks and syringes operated by a micro-computer board for humanoid robot control. In this study, an automated processing system for the purification of radioactive Cu, labeling of Cu-ATSM and formulation was developed. To realize this, improvement of the component design and debugging of the program were performed. A new programming method was installed by changing the micro-computer board to sophisticate the system for simple and high applicability of the system. Usefulness of the research robot system for high radioactivity handling was clearly shown by application of the system to totally automated synthesis of Cu-ATSM. The new programming method could be easily used not only by the developer but also by users of non-standard PET radiotracers.

# 資料 1

## 目次

1	緒言	1
2	$^{64}\text{Cu}$ -ATSM	2
2.1	$^{64}\text{Cu}$ -ATSM の合成方法	3
2.1.1	$^{64}\text{Ni}$ メッキ	3
2.1.2	$^{64}\text{Cu}$ の製造	5
2.1.3	$^{64}\text{Cu}$ の溶出	5
2.1.4	陰イオン交換樹脂を用いた $^{64}\text{Cu}$ の分離精製	5
2.1.5	放射性薬剤への調製	5
2.1.6	$^{64}\text{Cu}$ -ATSM の合成	5
3	前年度までの装置	6
3.1	$^{64}\text{Cu}$ 自動精製装置	6
3.2	$^{64}\text{Cu}$ の自動精製	9
3.3	課題点	11
4	装置の改善及び工程の作成	12
4.1	送液誤差	12
4.2	パーツの酸化	12
4.3	マイコンの不具合	13
4.3.1	RCB-3HV	13
4.3.2	Heart to Heart3	14
4.4	プログラム作成メソッド簡易化	15
4.5	加熱時間の変更	16
4.6	放射性薬剤への調製	16
5	実験	18
5.1	実験手順	18
5.1.1	自動合成工程	18
5.2	実験結果	19
5.3	考察	19
6	結言	20

## 1 緒言

現在市販されている PET 用放射性薬剤自動精製装置は、簡便な操作で高品質な薬剤を製造できる反面、非常に高価であり、汎用性の低いものになっている。そのため、新たな PET 放射性薬剤の研究をするためには、高価な装置を購入するか、独自に精製装置を開発する必要がある。この問題を解決するために、所属研究室では安価で汎用性の高い自動精製装置の開発を、ヒューマノイドロボット制御用のコントロールボードとサーボモータを用いて行ってきた。

開発された装置は、コントロールボードを用いてサーボモータ及び温度コントローラの制御を行い、パーツは滅菌済使い捨てシリンジ及び三方活栓がサーボモータに適合するように設計されたパーツを使用し、 $^{64}\text{Cu}$  の分離精製に必要な陰イオン交換カラムには、使い捨ての Poly-Prep Column(Bio-rad) を使用した。また開発した装置、シリンジ、バルブユニット及び温度コントローラは、スクリプト言語で作成したプログラムにより安定した制御ができることを検証した。送液部には使い捨て製品を使用したため、パーツによるクロスコンタミネーション、経年変化を最小限にできると考えられた。非放射性 Cu を用いた実験及び  $^{64}\text{Cu}$  を用いた実験では、再現性よく Cu が回収・精製できた。

本研究で  $^{64}\text{Cu}$  分離後、人の手によって行われていた塩酸の蒸発乾固、高純度水の注入及び蒸発乾固、グリシン注入までのプロセスを自動化した。また装置の変更を行うことにより、専門知識を持たない人でも、既に作成された動作を組み合わせることによって、複雑な操作をすることなく、精製装置の工程を簡便に作ることができるシステムに改良することにした。

2  $^{64}\text{Cu}$ -ATSM

腫瘍は活発な細胞増殖の過程で酸素の供給が不十分となる領域が生じる。そのため低酸素状態となる領域があることが知られている。低酸素状態の腫瘍は、一般的に使用される放射線治療に対して抵抗性が高いため、治療が難しい。腫瘍内の低酸素領域に対する有効な治療法の1つとして内用放射線療法がある。

内用放射線療法とは、 $\beta^-$ 線などの細胞障害性の高い粒子線を放出する放射性同位元素で標識された放射性化合物を、体内に投与し、腫瘍に集積させ、放出放射線により腫瘍細胞を破壊する治療法である。粒子放射線は放射線生物学的影響が強く、細胞障害作用が短い飛程に限られるため、照射効果及び照射領域の選択性に優れており、腫瘍に対する治療効果が高いと考えられる。また外部照射治療に比べ、腫瘍内に放射能を高く集積させるため低線量で治療を行うことができる。

腫瘍内の低酸素領域に対して高い集積性を示す核医学画像診断用薬剤として、これまでにポジトロン放出核種である  $^{62}\text{Cu}$  で標識されたチオセミカルバゾン配位子とする銅 (II) 錯体の1つである  $^{62}\text{Cu}$ -diacetyl-bis( $\text{N}^4$ -methylthiosemicarbazone)( $^{62}\text{Cu}$ -ATSM)が開発された。 $^{62}\text{Cu}$ は高い腫瘍集積があることがわかっている。また医療現場において広く使われているFDGとCu-ATSMを比較すると、大きな差異が見られ、腫瘍内における休止細胞、すなわち治療抵抗性の強い部分に高く集積することが報告されている<sup>1)</sup>。よって $\beta^-$ 線を放出するCuの放射性同位体を用いてCu-ATSMを合成することができれば、核医学画像診断用薬剤としてだけでなく、内用放射線治療薬剤としても利用できる可能性が考えられる。

Table 1にCuの放射性同位体の特性を示す。

Table 1: 銅の放射性同位元素の性質

放射性同位元素	壊変形式	半減期
$^{61}\text{Cu}$	$\beta^+$ 壊変 軌道電子捕獲	3.333 h
$^{62}\text{Cu}$	$\beta^+$ 壊変 軌道電子捕獲	9.74 min
$^{64}\text{Cu}$	$\beta^+$ 壊変 $\beta^-$ 壊変 軌道電子捕獲	12.7 h
$^{66}\text{Cu}$	$\beta^-$ 壊変	5.088 min
$^{67}\text{Cu}$	$\beta^-$ 壊変	61.83 h

## 資料 1

これまで治療に適した銅の放射性同位体としては、 $^{67}\text{Cu}$  がされてきた。しかし  $^{67}\text{Cu}$  の製造には大型の加速器が必要であり、製造施設に限られるという問題点があった。これに対し、 $^{64}\text{Cu}$  は低エネルギーの陽子線を用いて効率よく製造できるため、医療用の小型サイクロトロンを用いて製造できること及び、消滅放射線も放出することから、標的部位への放射能の集積状態を評価しながら治療することができるため、高い汎用性と腫瘍集積性、抗腫瘍効果をもった内用放射性薬剤として、腫瘍内の低酸素領域を標的とした治療に有効である可能性が考えられる。

### 2.1 $^{64}\text{Cu}$ -ATSM の合成方法

$^{64}\text{Cu}$  の製造方法には、熱中性子捕獲反応 ( $^{63}\text{Cu}(n_{th},r)^{64}\text{Cu}$ ) を利用する方法や、中性子捕獲反応 ( $^{64}\text{Zn}(n,p)^{64}\text{Cu}$ ) を利用するものがある。しかしこれらの方法は  $^{63}\text{Cu}$  の混入により比放射能が低くなることや、製造のために大型の施設が必要になるなど欠点があった。そのため、高エネルギー医学研究センターでは、医療用の超小型サイクロトロンを用いた  $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$  反応により、 $^{64}\text{Cu}$  の製造を行っている。本研究では、 $^{64}\text{Cu}$  の分離精製は McCarthy ら<sup>2)</sup> の方法に従って、以下のように行った。

- 1) 固体ターゲット用金ディスクに  $^{64}\text{Ni}$  メッキを行う
- 2) 医療用超小型サイクロトロンを用いて  $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$  反応により  $^{64}\text{Cu}$  を製造
- 3) 金ディスクから塩酸を用いて  $^{64}\text{Ni}$  と  $^{64}\text{Cu}$  を溶出
- 4) 陰イオン交換樹脂を用いて  $^{64}\text{Cu}$  を分離精製
- 5) 分離した  $^{64}\text{Cu}$  の調製
- 6)  $^{64}\text{Cu}$  を標識反応させ  $^{64}\text{Cu}$ -ATSM を得る

#### 2.1.1 $^{64}\text{Ni}$ メッキ

固体ターゲットは、高純度  $^{64}\text{Ni}$  を金ディスク上に電着させて使用した。電着用のメッキ液の調製は McCarthy ら<sup>2)</sup> の方法に従って行った。

金ディスクに付着した不純物を取り除くために、電着前に金ディスクの洗浄を行った。金ディスクをアルミナの粉末でよく磨いた後、1 mol/l 硝酸、高純度水、ヘキサン、エタノール、6 mol/l 塩酸、高純度水の順で、それぞれ15分のソニケーションを行いながら処置した後、真空乾燥機にて乾燥させた。電着はメッキセルを用いて行った (Fig. 1)。炭素棒を陽極に、固体ターゲット用金ディスクを陰極にして、電圧 2.5 V、電流 5~15 mA の条件で 12~24 時間の反応を行い固体ターゲット用金ディスク上に  $^{64}\text{Ni}$  を電着させた (Fig. 2)。

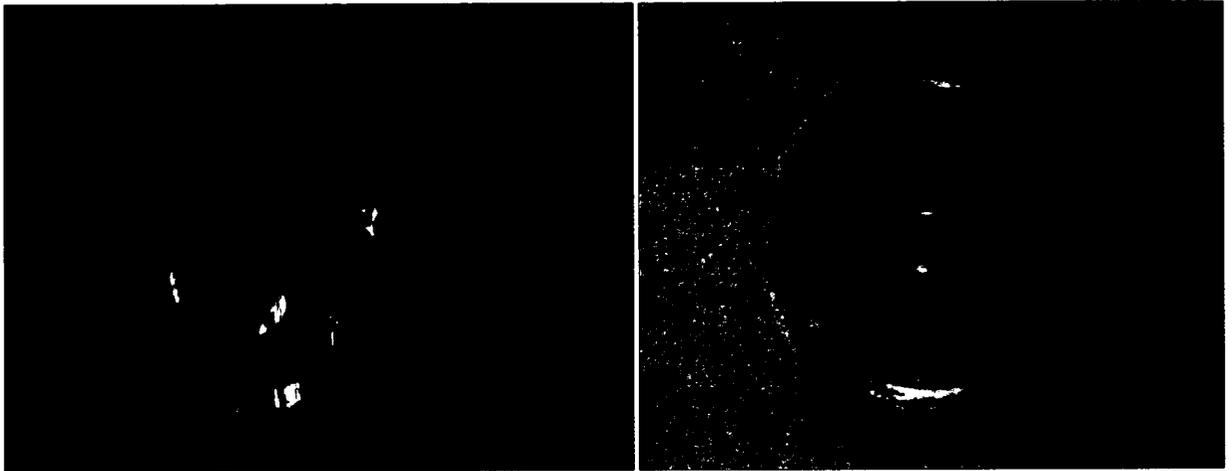


Fig. 1: メッキセルと金ディスク

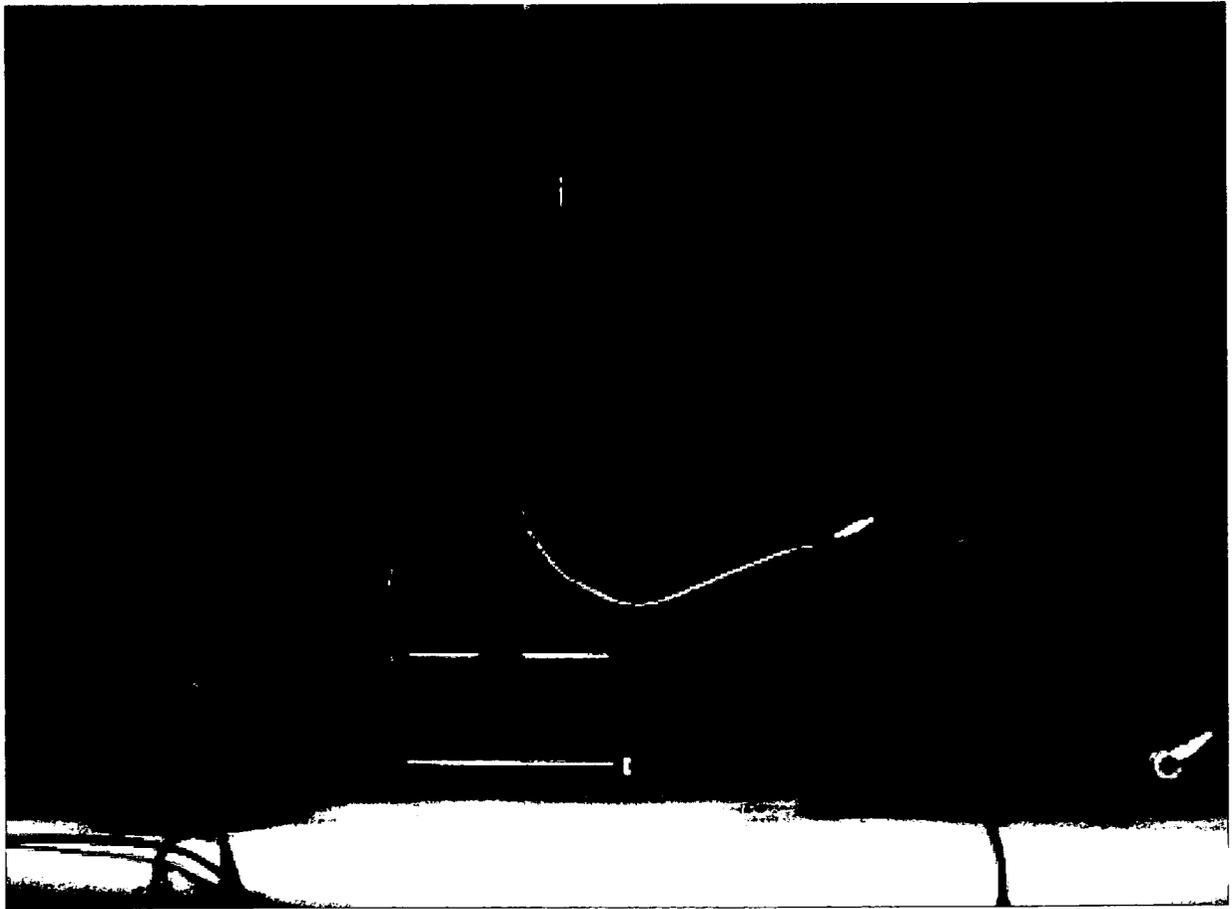


Fig. 2: メッキ装置

## 資料 1

### 2.1.2 $^{64}\text{Cu}$ の製造

$^{64}\text{Cu}$  の製造は医療用超小型サイクロトロンを用いて行った。 $^{64}\text{Ni}$  を電着させた固体ターゲット用金ディスクをセットし、サイクロトロンより 11 MeV、120  $\mu\text{A}\cdot\text{min}$  で陽子を照射して  $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$  反応による  $^{64}\text{Cu}$  の製造を行った。

### 2.1.3 $^{64}\text{Cu}$ の溶出

照射終了後、固体ターゲット用金ディスクをターゲット容器へと移し、6 mol/l 塩酸を加えてバンドヒーターで加熱し、固体ターゲット用金ディスクから  $^{64}\text{Ni}$  と  $^{64}\text{Cu}$  を溶出した。

### 2.1.4 陰イオン交換樹脂を用いた $^{64}\text{Cu}$ の分離精製

多くの金属イオンは、錯形成反応によって陰イオンに変え、陰イオン交換樹脂カラムで分離することができる。塩酸濃度を適正に調節することによって分配係数の高いイオンと低いイオンを分離することができる。塩酸の濃度が高い時は、分配係数が高い金属イオンは樹脂により強く保持され、低いイオンは溶出する。塩酸濃度を下げると保持されていた金属イオンが溶出するようになる。つまり塩酸濃度を変えることで金属イオンを分離し溶出することができる。この原理を利用すると 6 mol/l 塩酸溶液中で  $^{64}\text{Cu}$  は錯体を形成するため、陰イオン交換樹脂に吸着しカラムに保持される。一方、 $^{64}\text{Ni}$  は錯体を形成しないため、カラムから溶出される。 $^{64}\text{Ni}$  を洗い流したあと、塩酸濃度を 0.1 mol/l に下げることによってカラムから  $^{64}\text{Cu}$  の溶出を行った。

### 2.1.5 放射性薬剤への調製

$^{64}\text{Cu}$  分離直後、 $^{64}\text{Cu}$  は 0.1 mol/l 塩酸に溶け込んでいる状態なので人や動物に投与することができない。この状態から投与できる中性の溶液にするために、0.1 mol/l 塩酸を蒸発乾固し、高純度水を加え、再度蒸発乾固させ、0.2 mol/l グリシン溶液を加えて調製を行った。

### 2.1.6 $^{64}\text{Cu}$ -ATSM の合成

$^{64}\text{Cu}$ -グリシンと 0.5 mol/l ATSM/DMSO を容積比 20:1 で混合し、室温で 1 分間反応させ、 $^{64}\text{Cu}$ -ATSM を得た。

### 3 前年度までの装置

#### 3.1 $^{64}\text{Cu}$ 自動精製装置

前年度までの研究においては、送液を行うためのシリンジ及び送液方向を決めるための三方活栓とサーボモータを固定するモータユニット (Fig. 3, Fig. 4) と、装置を固定するためのフレーム 2 種が近藤巧社との共同研究により開発された。ヒーターの温調を行うための外部入出力装置がカーネル社との共同研究で開発された (Fig. 5)。また固体ターゲット用金ディスクから  $^{64}\text{Cu}$  を溶出する際に使用する容器を京藤樹脂技研社との共同開発し、シリンジモータユニットを用いてターゲットの蓋を自動で開閉するユニットを開発した。(Fig. 6) またサーボモータ及び温調装置を制御するために、マイクロコンピュータ (マイコン)、HSWB-02RG (姫路ソフトウェア社) を用いた (Fig. 7)。これらのパーツを組み合わせて、 $^{64}\text{Cu}$  自動精製装置を開発した (Fig. 8)。

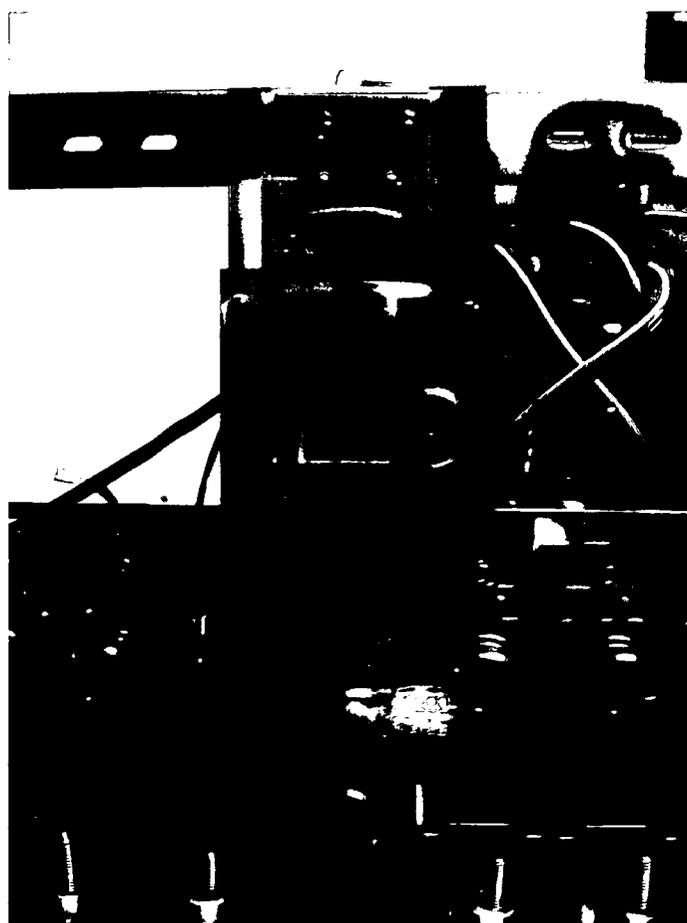


Fig. 3: シリンジモータユニット

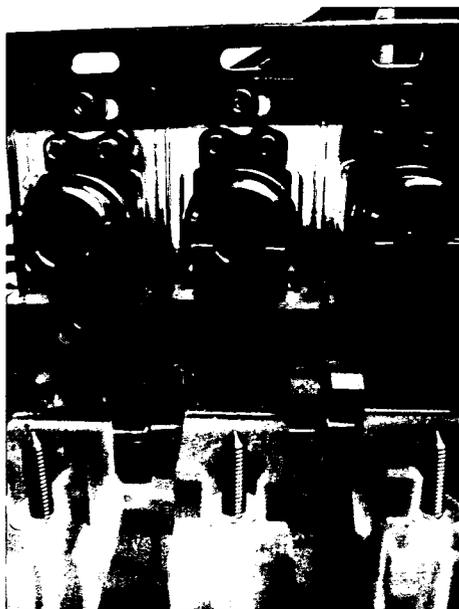


Fig. 4: バルブモータユニット

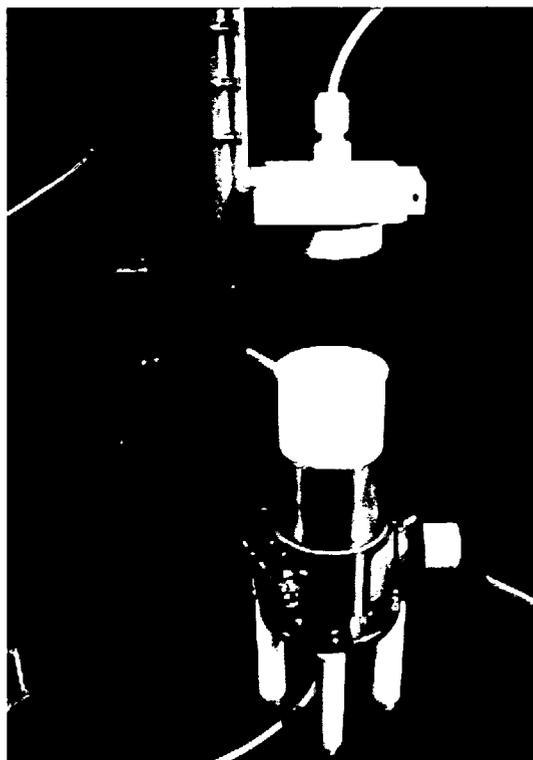


Fig. 6: ターゲット容器

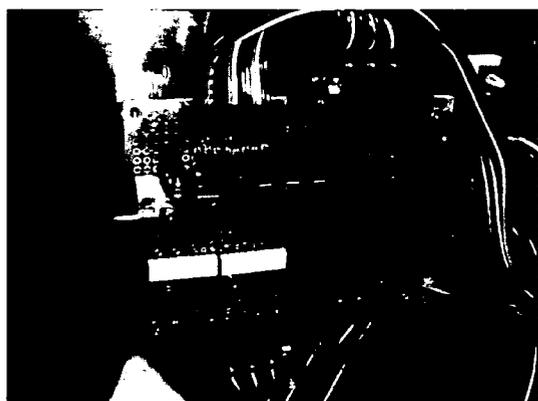


Fig. 5: 外部入出力装置

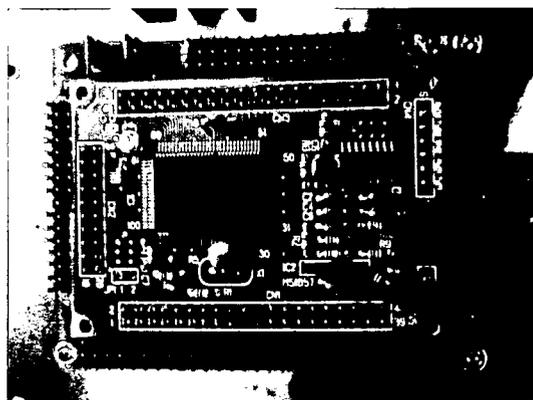


Fig. 7: HSWB-02RG

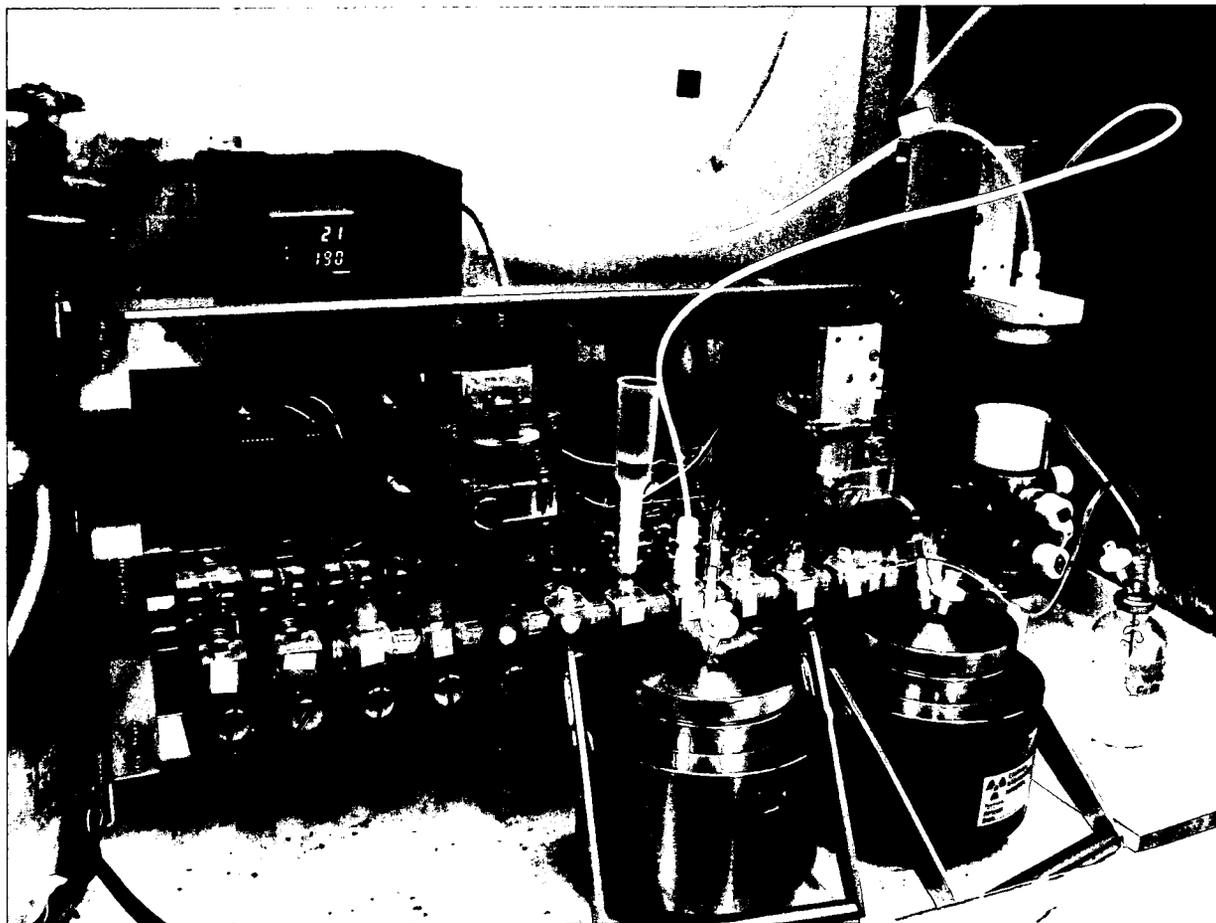


Fig. 8:  $^{64}\text{Cu}$  自動精製装置

### 3.2 $^{64}\text{Cu}$ の自動精製

精製手順に従い、HSWB-02RG 付属のスク립ト言語を用いて精製動作を作成した。精製動作を以下に示す。

- 1) 0.1 mol/l 塩酸によりシリンジ及びラインの洗浄
- 2) 6 mol/l 塩酸により陰イオン交換樹脂を洗浄し樹脂を酸性にする
- 3) 6 mol/l 塩酸によりシリンジ及びラインの洗浄
- 4) ターゲット容器に 6 mol/l 塩酸を送り金ディスクからの  $^{64}\text{Cu}$  を溶出 (同時に  $^{64}\text{Ni}$  も溶出される)
- 5) 溶出溶液を陰イオン交換樹脂に通し  $^{64}\text{Cu}$  を保持し、 $^{64}\text{Ni}$  を回収
- 6) 6 mol/l 塩酸によりシリンジ及びラインの洗浄
- 7) 0.1 mol/l 塩酸によりシリンジ及びラインの洗浄
- 8) 0.1 mol/l 塩酸により陰イオン交換樹脂から  $^{64}\text{Cu}$  を回収

陰イオン交換樹脂による分離法はバッチ法とカラム法を検討し、回収率の高いカラム法を採用した。陰イオン交換樹脂カラムは安定した分離精製を可能とし、作業者の負担を低減するため、市販されているカラム Poly-Prep Column(Bio-rad)(Fig. 9) を使用した。カラム法を用いた装置の概要図を Fig. 10 に示す。



Fig. 9: 陰イオン交換樹脂カラム