

Radiological Sciences

# 放射線科学

2009.06

Vol.52

第52巻 第6号



特集

「第4回技術と安全の報告会」

ISSN 0441-2540



▲ 基盤技術センター“第4回技術と安全の報告会”特別講演「すばる」望遠鏡の光と影～基礎科学研究施設の現場から～の様子とご講演願った演者の大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台 唐牛 宏 教授

## Contents

### 特集 / 放医研基盤技術センター「第4回技術と安全の報告会」

- 04 「はじめに」  
基盤技術センター長 日下部 正志
- 【照射技術・計測技術、ネットワークシステム】
- 05 「Micro scanning PIXEにおける照射量測定システムの開発」  
基盤技術センター 研究基盤技術部 石川 剛弘
- 09 「マイクロビーム細胞照射装置(SPICE)における陽子線描画を用いた照射精度評価」  
株式会社ネオス・テック 磯 浩之
- 11 「X線発生装置TITAN-320型における線量測定結果」  
株式会社ネオス・テック 三井 大輔
- 【分子イメージング関連技術、実験動物関連技術】
- 14 「超音波(エコー)診断を組み合わせたコモンマーモセットの妊娠診断の検討」  
株式会社ネオス・テック 亀井 淳
- 17 「適正な衛生管理を目指した新たな試み」  
- 抗菌剤によるPasteurella pneumotropicaの排除に関する検討 -  
基盤技術センター 研究基盤技術部 小久保 年章
- 20 「動物実験を取り巻く現状と放医研における運用の実際」  
- 動物実験倫理と実験動物へ与える苦痛の評価について -  
基盤技術センター 研究基盤技術部 石田 有香
- 【安全管理と施設管理】
- 23 「危険予知、ヒヤリハットと所内事故報告から見た安全向上の方策」  
基盤技術センター 安全・施設部 菅野 孝行
- 25 「所内の電気設備について」  
基盤技術センター 安全・施設部 柳生 豊
- 28 「実験計画書統合記入ソフトの作成」  
基盤技術センター 運営企画室 松下 良平

### 【加速器技術】

- 30 「超小型プロトンイオン源の導入」  
重粒子医科学センター 物理工学部 北條 悟
- 33 「おわりに」  
基盤技術センター 松下 悟

### 最近の成果

- 37 「自然起源放射性物質(NORM)線量評価プログラムの開発」  
放射線防護研究センター 規制科学総合研究グループ 岩岡 和輝

随想  
市川 龍資

編集後記



▲ 当所HPで公開中の自然起源放射性物質線量評価プログラムのメイン画面

◀ 当所HPで公開中の自然起源放射性物質データベースのトップ画面像



職員の癒しの空間になっている  
温室前の小さなビオトープ

基盤技術センター長  
日下部 正志



放射線医学総合研究所（放医研）の研究のクオリティーを世界一流のものとするためには、それを支える基盤技術も一流でなければならない。同時に、研究環境の安全の確保や施設の整備が充分に行われていなければ、研究も順調に進まない。これらの研究を支える有形、無形の研究インフラとも言えるものは、放医研では技術系職員により支えられている。最近職種として、技術職が所内で認知されているが、必ずしも、技術職のみが基盤技術を担っている訳ではなく、事務系職員、研究職、役務・派遣職員等多くの職種の職員がこれに関わっている。放医研での研究の現場ではこれら技術系職員と研究者の立場はすべての面で相補的であり、関連する情報は双方向に流れるべきである。両者の会話はあるときは、技術系職員がリードし、研究の新しい展開に結びつく事もあるだろうし、研究者の誘導で技術開発の方向性が決まる場合もある。

このような研究者と（広義の）技術系職員との交流の場としての「技術と安全の報告会」も今年で、第4回を数え、平成21年3月17日、重粒子治療推進棟において、開催された。発表件数は、口頭発表16件及びポスター発表31件

であった。口頭発表では、会場を埋める聴衆とまではいかなかったものの、活発な意見・コメントの交換がなされた。更に、一般的ないわゆる技術系のトピックに加え、放医研の安全や施設管理に関わっている人々の活動報告は、無くてはならない活動ではありながら普段は減多に表に出ないものであり、担当者の生の声を聞くことができ現場の雰囲気がよく伝わってきた。会場地下で行われたポスター発表は、参加者の肩が触れ合う程の盛況で、活発かつ濃密な議論が交わされていた。講演では、時間が限られ、突っ込んだ質疑応答も制限されてしまいますが、ここでは、参加全員納得いくまで議論を深める事ができた。本報告会の内容は「第4回技術と安全の報告会報告集」に纏められている。報告会終了後、口頭発表とポスター発表各々について優勝賞と奨励賞の受賞者の発表が行われ、理事長より表彰状が授与された。本特集号では、これらの受賞発表を含む報告会での代表的な研究成果・業績を紹介している。放医研における基盤技術の概要を掴んでいただければ幸いです。

## Micro scanning PIXEにおける 照射量測定システムの開発

基盤技術センター 研究基盤技術部 放射線発生装置利用技術開発課  
石川 剛弘

磯 浩之<sup>1)4)</sup>、及川 将一<sup>1)</sup>、小西 輝昭<sup>1)</sup>、北村 尚<sup>2)</sup>、樋口 有一<sup>1)4)</sup>、酢屋 徳啓<sup>1)</sup>、濱野 毅<sup>1)</sup>、今関 等<sup>3)</sup>

1) 基盤技術センター 研究基盤技術部 放射線発生装置利用技術開発課

2) 基盤技術センター 研究基盤技術部 放射線計測技術開発室

3) 基盤技術センター 研究基盤技術部

4) 株式会社ネオス・テック 研究支援技術部 技術1課

### はじめに

荷電粒子励起X線分析法（Particle Induced X-ray Emission: PIXE）は、加速器から取り出された陽子線を試料に照射すると、特性X線を放出する。このX線のエネルギーと発生量を測ることにより、試料中に存在する元素の同定と定量を行うことができる。

PIXE分析法は、高感度に多元素同時分析法であり、少量の試料でも測定が可能であることから、近年、加速器を持つ様々な研究・教育機関において、生物・医学試料の分析やエアロゾル等の環境試料分析に盛んに応用されている。

放医研においても PIXE 分析用加速器システム PASTA (PIXE Analysis System and Tandem Accelerator: PASTA)<sup>1, 2)</sup> を用いた共同研究等で、様々な分野に利用されている<sup>3-7)</sup>。PASTA は、PIXE 分析専用として設計され、タンDEM型静電加速器とコンベンショナル PIXE ライン<sup>1)</sup>、二次元元素マップの取得が可能なマイクロビームスキヤニング PIXE 分析ライン<sup>8, 9)</sup>、液体試料など真空中に入れることが困難な試料の分析が可能な気中照射 PIXE 分析ライン<sup>10)</sup> の3本の PIXE 分析ラインを有している。昨年度、コンベンショナル PIXE 分析ラインにおいて、ビームチョッパー型のビームモニタ<sup>11)</sup>を開発した。

マイクロビームスキヤニング PIXE 分析ラインでは、イオンビームを最大 2 mm × 2 mm の範囲でスキヤンし、位置分解能 1 μm の精度で、Si (Li) 検出器を用い、複数の元素マップを取得することが可能である。マイクロビームスキヤニング PIXE において、試料の条件によっては、照射量を正確に計測することができなかったが、試料の状態に関係なく、照射量を計測できる電流モニタの開発を開始した。

### マイクロビームスキヤニングPIXEでの問題点

PIXE 分析における定量法として、内部標準法と、外部標準法がある。しかし、いかなる方法であっても試料へのビーム照射量を正確に知る必要がある。しかし、ターゲット電流を直接測ることは、薄い測定試料では、透過したイオンのビーム電流は測れるが、厚い試料では透過イオンのビーム電流を測定することができず、更には試料によっては電荷の蓄積（チャージアップ）が起き得ることから、ビーム照射量を正確に評価することが困難である。

そのため、ターゲットの状態に関係なく、また、スキヤンしているイオンビームの妨げにならないビーム電流リアルタイムモニタの開発が必要となった。

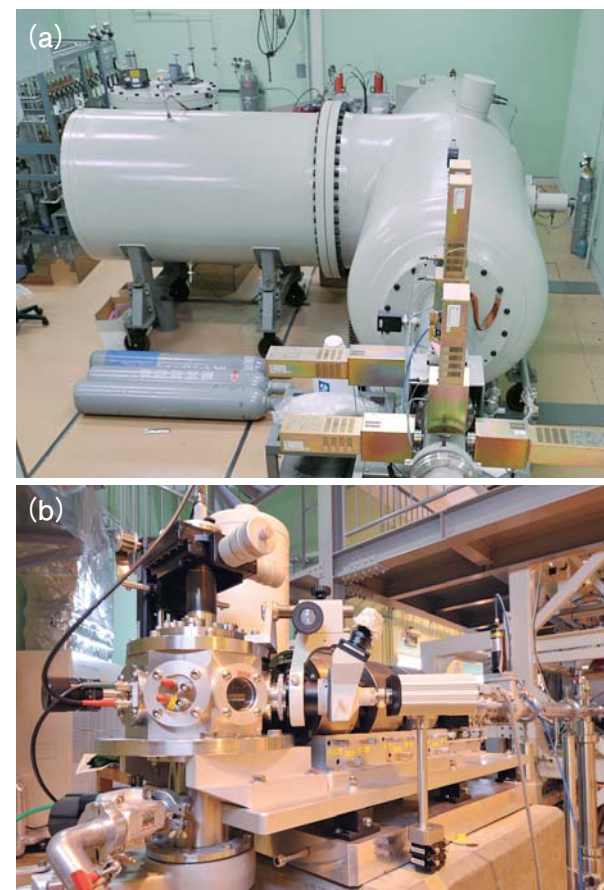


図1: (a) タンDEM型静電加速器、(b) マイクロビームスキヤニングPIXE分析ラインの外観。

### 二次電子型ビームリアルタイム電流モニタの検討

マイクロビームスキニング PIXE 用リアルタイム電流モニタの開発に当たっては、開発条件以下の2点に絞って進めた。

- ・測定に妨げにならず、ビーム電流の推定が可能であること。
- ・ビーム電流との間に直線関係が成り立つこと。

まず、ビーム電流を推定するには、間接的な方法で測定する必要がある。そこで注目したものは、ビームが物質に当たったときに発生する二次電子である。この二次電子を用いたリアルタイムのビーム電流モニタの可能性について検討した。しかしながら、試料の形状及び導電性等で二次電子の発生量が異なるので、試料上流側のチャンバー内に透過可能な薄膜を設置することにより、そこから発生する二次電子を測定することにした。この薄膜の材質は PIXE の測定に影響を与える重元素を含まない材質を選択する必要があり、今回選択したのは、PIXE の検出範囲外のカーボン薄膜（ニラコ（株）製：カーボン蒸着膜  $10\mu\text{g}/\text{cm}^2$ （計算上約 50 nm））を採用した。

次に二次電子の二次電子発生量のシミュレーションを行った。GEANT4 release 9.1 patch02 を用いてシミュレーションを行った<sup>13,14)</sup>。

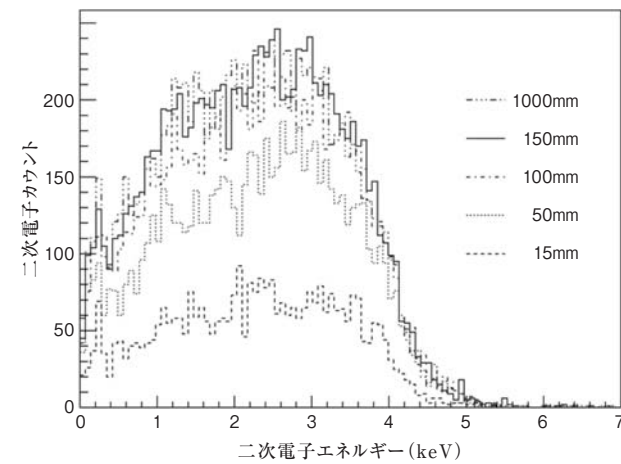


図2：二次電子のエネルギー分布のシミュレーション結果。カーボン膜の厚み毎の二次電子発生量。150 nm 以上では大きな差はない。

図2にカーボン膜厚毎による二次電子のエネルギー分布のシミュレーション結果を示す。 $1 \times 10^6$  個の陽子を打ち込んでいる。その結果、二次電子のエネルギー分布の多くは数 eV ~ 5 keV であった。また、カーボン膜の厚みについては、150nm より厚くしても二次電子の発生量は、大きく変わらないことがわかった。

以上のシミュレーションにより、発生する二次電子のエネルギーが低いため、低エネルギーの二次電子も検出可能な、Ceramic Channel Electron Multiplier を導入することとした。

### 二次電子型ビームリアルタイム電流モニタの開発

検出器（CEM）は AMPTEK MD-502 を使用することとした。この CEM を図3（a）の様に設置した。また、二次電子を発生させるカーボン膜は、膜と試料の距離を極力短くし、ビームサイズの広がりを防ぐ必要がある。図3（b）の様にビーム調整用の銅メッシュ（#2000）が貼り付けた 1 mm 厚のサンプルホルダの前面に、直径 3 mm の孔にカーボン膜を貼り付けたサンプルホルダを重ね合わせ設置した。また今回の実験においては、ビーム電流と二次電子との相関の調査を優先した。

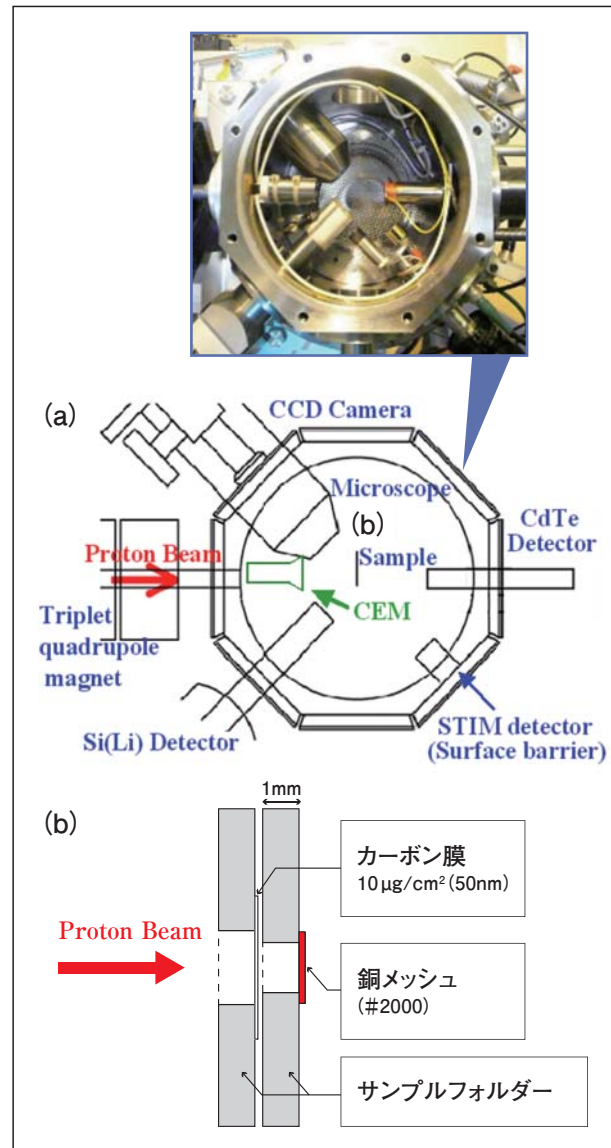


図3：(a) CEMの設置位置。チャンバーのビーム軸上に設置した。(b) カーボン膜と試料との位置関係。ビーム調整用銅メッシュ（#2000）が貼り付けられたサンプルホルダを重ねてカーボン膜のサンプルホルダがある。

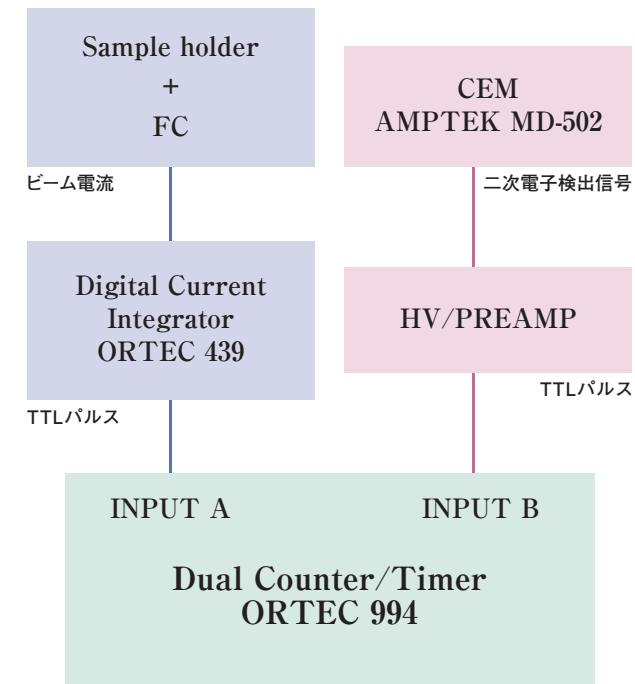


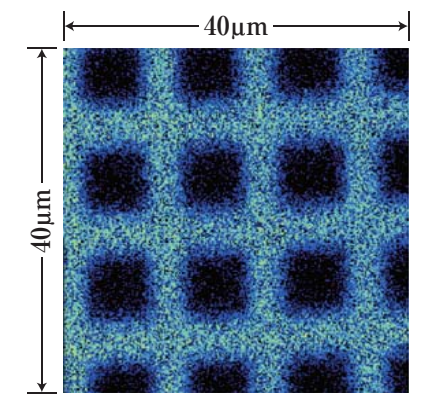
図4：測定システムの構成。二次電子をCEMで検出し、HV/PREAMPでTTL Pulse にしている。また、ビーム電流はサンプルホルダとサンプル後方にあるファラデーカップ（FC）にて検出し、Digital Current IntegratorでTTL Pulse信号にし、CEMとビーム電流のTTL PulseをDual Counter/Timerに入力してカウントしている。

### CEMの電流モニタとしての特性試験

照射ビーム電流とカーボン膜から発生する二次電子の量が、直線的な相関を有しているか確認することを目的として実験を行った。測定は通常 PIXE で使用している加速エネルギー：陽子 2.6 MeV、ビーム電流 10-100pA の範囲で行った。電流値は銅メッシュとメッシュ後方に設置しているファラデーカップの 60 sec の積算電流を測定し、電流値の調整はオブジェクトスリットの開閉により行った。ビームは #2000 の銅メッシュで集束パラメータの調整を行い、マイクロビーム形成を確認した後、40 $\mu\text{m}$  のスキャン領域で走査しながら照射した。CEM による二次電子計測は 30 sec 当たりの積算カウントを測定した。

図5に銅メッシュの off-axis STIM (Scanning Transmission Ion Microscopy)<sup>8)</sup> 像と、その1次元プロファイルから導出したカーボン膜通過後のビーム位置分解能の結果を示す。この結果、ビームの位置分解能は水平方向が1.79 $\mu\text{m}$ 、垂直方向が1.72 $\mu\text{m}$ であった。通常のマイクロ PIXE 分析においては、常に1 $\mu\text{m}$ の分解能で測定を行っているが、カーボン膜による散乱でビームサイズが大きくなっていることがわかった。

図6に30sec測定でのビーム電流とCEMのカウント値の関係を示す。ビーム電流とCEMのカウントした二次電子が直線的な比例関係であることが確認できた。



水平方向:4.69-2.90=1.79 $\mu\text{m}$   
垂直方向:16.25-14.53=1.72 $\mu\text{m}$

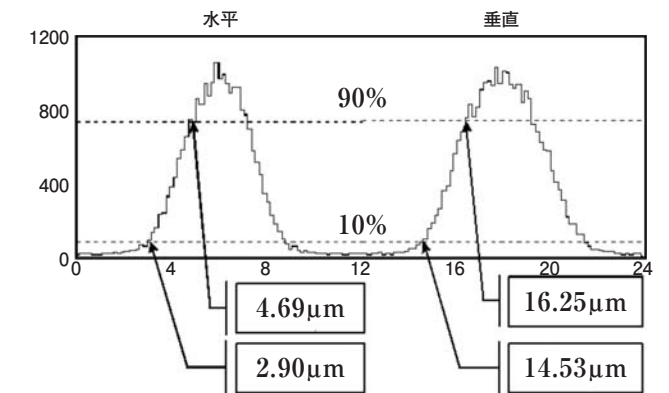


図5：カーボン膜透過後のビームサイズ測定結果。Off axis STIMで測定し、水平方向が1.788  $\mu\text{m}$ 、垂直方向が1.72  $\mu\text{m}$ の位置分解能であった

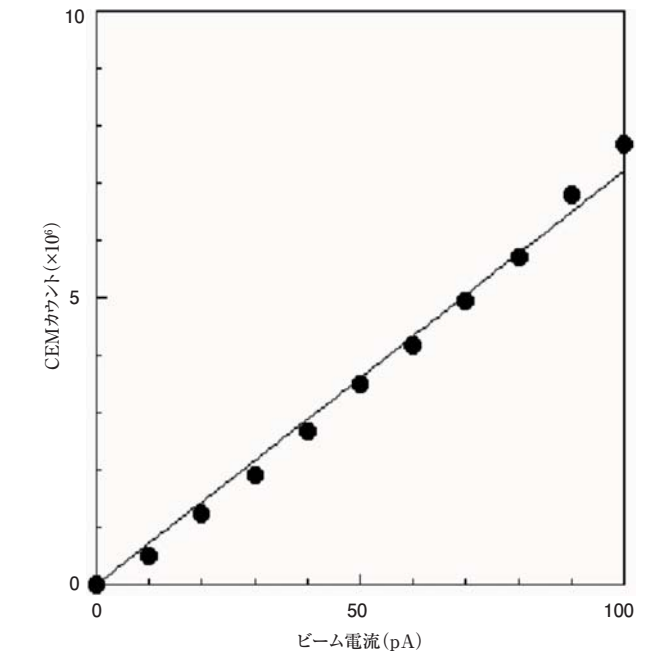


図6：ビーム電流毎のCEMによる二次電子カウント値。ビーム電流とニアにカウント値が測定できている。

## まとめと今後の予定

今回の実験において、サンプル直前に設置したカーボン膜から発生する二次電子を計測することによって、照射量を推定できる可能性が示唆された。今のところ、 $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$  のスキャン領域でのみ測定しているが、今後はスキャンサイズを大きくした場合についても測定する予定である。また今後は、サイズの大きな測定試料にも対応する必要性があり、照射試料の大きさに合わせてカーボン膜の貼り付け面積も大きくできればよいと思っているが、現在のカーボン膜で、貼り付け技術を向上させ、それに合わせて膜の厚みや材質の検討を引き続き進める予定である。

## 引用文献

- 1) H. Imaseki, and M. Yukawa, *Int. J. PIXE*, **10** (2000) 77-90
- 2) M. Yukawa, and H. Imaseki, *Biomed. Res. Trace Elements*, **14** (2003) 11-16
- 3) M. Ishikawa, K. Kitao, H. Imaseki, T. Ishii, and A. Shiragai, *Nucl. Instr. Meth. B.*, **3** (1984) 114-118
- 4) S. Matsuyama, K. Ishii, S. Abe, H. Ohtsu, H. Yamazaki, Y. Kikuchi, TS. Amartaivan, K. Inomata, Y. Watanabe, A. Ishizaki, Y. Barbotteau, A. Suzuki, T. Yamaguchi, and G. Momose, *Int. J. PIXE*, **15** (2005) 41-45
- 5) M. Yukawa, K. Aoki, H. Iso, K. Kodama, H. Imaseki, Y. Ishikawa, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **272** (2007) 345-352
- 6) K. Saitoh, H. Imaseki, M. Yukawa, O. Nagafuchi, *Int. J. PIXE*, **12** (2002) 231-236
- 7) W. Ohmura, Y. Suzuki, H. Imaseki, T. Ishikawa, H. Iso, T. Yoshimura, Y. Takemetsu, *Int. J. PIXE*, **17** (2007) 113-118
- 8) T. Hamano, H. Imaseki, M. Yukawa, T. Ishikawa, H. Iso, and K. Matsumoto, *Int. J. PIXE*, **13** (1,2) (2003) 37-43
- 9) H. Imaseki, M. Yukawa, F. Watt, T. Ishikawa, H. Iso, T. Hamano, K. Matsumoto, N. Yasuda, *Nucl. Instr. and Meth. B.*, **210** (2003) 42-47
- 10) H. Imaseki, K. Ishii, T. Ishikawa, H. Iso, T. Shinomiya, T. Hamano, and M. Yukawa, *Int. J. PIXE*, **15** (2005) 293-299
- 11) 石川剛弘、磯浩之、小西輝昭、北村尚、濱野毅、今関等、PIXE分析における定量法の確立(1)～ビーム電流

リアルタイム測定システムの開発～、放射線医学総合研究所技術報告書 (*NIRS Technology*) **1** (2007) 37-42

- 12) A.A. Bettiol, I. Rajta, E.J. Teo, J.A van Kan, F. Watt, *Nucl. Instr. and Meth. B* **190** (2002) 154
- 13) S. Agostinelli, J. Allison, et al. *Nucl. Instr. and Meth. A* **506** (2003) 250-303
- 14) J. Allison, S. Tanaka, et al. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **53** (2006) 270-278

## 特集／放医研基盤技術センター「第4回技術と安全の報告会」

【照射技術・計測技術、ネットワークシステム】

# マイクロビーム細胞照射装置(SPICE)における陽子線描画を用いた照射精度評価

株式会社ネオス・テック  
磯 浩之

樋口 有一<sup>1)</sup>、児玉 久美子<sup>1)</sup>、石川 剛弘<sup>2)</sup>、小西 輝昭<sup>2)</sup>、及川 将一<sup>2)</sup>、北村 尚<sup>3)</sup>、安田 仲宏<sup>3)</sup>、今関 等<sup>4)</sup>

- 1) 株式会社ネオス・テック
- 2) 基盤技術センター 研究基盤技術部 放射線発生装置利用技術開発課
- 3) 基盤技術センター 研究基盤技術部 放射線計測技術開発室
- 4) 基盤技術センター 研究基盤技術部

## はじめに

静電加速器棟タンデロン加速器に設置されているマイクロビーム細胞照射装置「SPICE」は、3.4MeVの陽子線をビーム径約 $2\mu\text{m}$ に集束する能力を有し、毎分400～500個の細胞を照射することが可能である<sup>1-3)</sup>。ビームプロファイルは、固体飛跡検出プラスチック板CR-39(フクビ化学工業株式会社 ハーツラス TD-1、 $100\mu\text{m}$  thick)上に、粒子数を1～2000個に制御して、 $20\mu\text{m}$ 間隔の格子状パターンを照射して確認している。マイクロビーム照射による細胞の低線量影響を解明する実験では、十分な統計量を得るために高速に大量の細胞を照射する能力が必須であり、現状のSPICEの照射精度と照射速度が充分であることを浮世絵などの絵を描くことで検証した。元となる画像データをグレースケール(8階調)にし、座標及び階調に応じた粒子数等を数値化したファイルを作成した上で、CR-39に対して陽子線照射を行った。

本報告では、マイクロビームを用いて作成した $1\text{mm}^2$ 以下の絵を紹介し、その描画性能をもとに現状の照射精度等について述べる。

## SPICEの概要

SPICEは、コリメータを使用しない磁場集束型マイクロビームであることから、散乱成分のないエネルギー分布の良好な陽子ビームを提供できる。また、ビームを垂直上向きに導入することにより、通常の培養状態を維持したまま細胞照射が可能である。さらに、1時間あたり最大 $10^5$ 個の培養細胞に照射できる高速性を持ち合わせている。細胞核内DNAは放射線による細胞致死やその他の生物効果の主要なターゲットであることから、マイクロビームを用いて細胞核を正確に狙い撃ちできることと、正確に任意の粒子数を照射できることが重要である。そのため、2006年3月にはビームを直径 $10\mu\text{m}$ 程度まで集束することに

成功し、照射粒子数も1粒子から設定可能となり、2007年度にはビームサイズ $5\mu\text{m}$ 、2008年度においてはビームサイズ約 $2\mu\text{m}$ を実現しており、陽子マイクロビームにおいて世界最高水準の能力を有している。CR-39を用いて測定したターゲット位置におけるビームプロファイルを図1に示した。

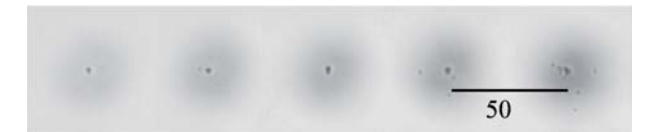


図1: 左から $50\mu\text{m}$ 間隔で20、50、100、150、200個の陽子を照射した

## 陽子線描画

今回、陽子線描画法<sup>4)</sup>を応用し、描画パターンの解像度や描画速度を基に、照射精度や照射速度の評価を行った。陽子線による描画には、X-Y座標と階調に応じた任意の粒子数を数値化したデータが必要であり、画像から数値を得るためにSPICE専用ソフトウェアを開発した。その数値化された画像データを基に、CR-39に陽子線照射を行った。SPICE照射部外観及びステージを図2に示した。照射後のCR-39は、 $70^\circ\text{C}$ の7N NaOHを用いて2時間のエッチ

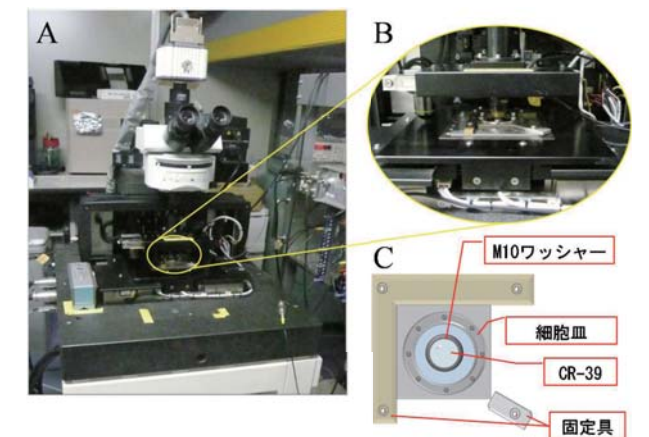


図2: SPICEの細胞照射部及びステージの外観  
A: SPICE照射部の写真、B: 照射ステージの写真、C: 陽子線描画におけるCR-39設置図

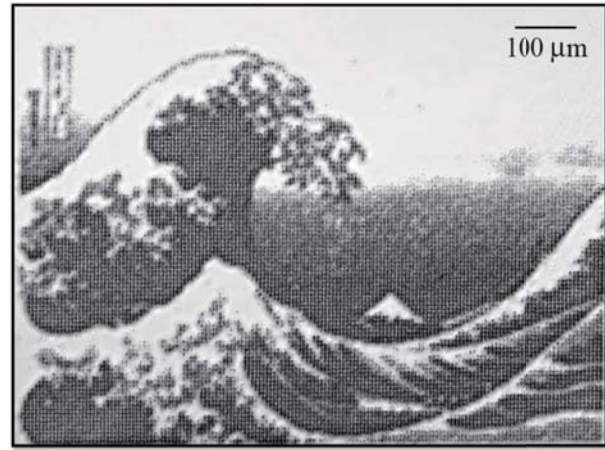


図3: SPICEの3.4 MeV陽子マイクロビームで、CR-39上に描画した「葛飾北斎 富嶽三十六景『神奈川沖浪裏』」  
照射箇所13,000箇所 総照射粒子数356,206発 描画間隔:6 μm 照射時間:約30分 照射エリア:618×900 μm

ングを行い、共焦点レーザー顕微鏡で観察した。陽子線描画によるCR-39の画像を図3に示した。

また、照射精度を画像で確認するための一つとして、オリジナル画像をRGB分解しRed、Green、Blue毎の描画パターンを作成し、図3同様に照射して得たCR-39の画像データを合成した。目的のカラー像が得られ、正確に精度良く照射されていることが証明できた。カラー画像について、図4に示した。

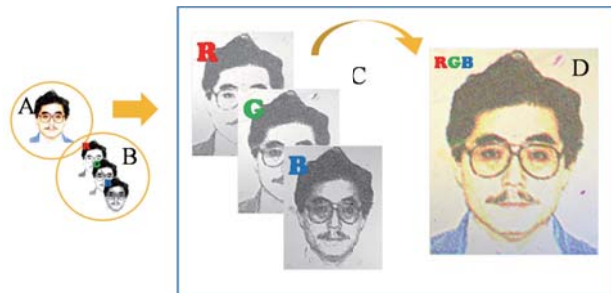


図4: SPICEの3.4 MeV陽子マイクロビームで、CR-39上に描画した「今関 研究基盤技術部長」をモデルとしたRGB描画  
A: オリジナル画像、B: ImageJによるRGB分解画像、C: 照射+エッチング後CR-39での画像 (Red: 照射箇所9,952箇所 総照射粒子数114,371発、Green: 8,405箇所 総照射粒子数80,501発、Blue: 9,788箇所 総照射粒子数90,229発)、D: CR-39でのRGB合成画像 ビーム間隔:5 μm 照射時間:約60分 照射エリア:670×870 μm

### 照射精度の評価

照射精度の評価に使用した画像を図5に示した。画像の一部(図5B)を拡大すると陽子のスポットは、3 μm間隔に高精度で照射されていることがわかった。このことから、ビームサイズは、2 μm以下であることが証明され、得られた画像のコントラストなどから粒子数制御も正確であることがわかった。図4のRGB合成画像から、照射位置及

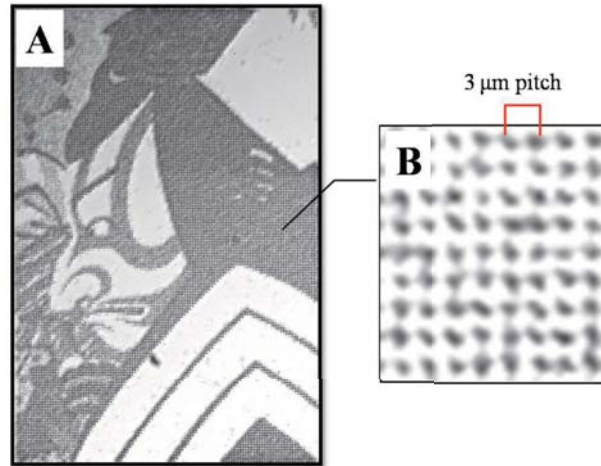


図5: SPICEの3.4 MeV陽子マイクロビームで、CR-39上に描画した「歌川国政『市川蝦蔵 暫』」  
A: 照射箇所13,784箇所 総照射粒子数234,564発 ビーム間隔:3 μm 照射時間:約30分 照射エリア:330×492 μm  
B: 拡大部

びステージ制御の繰り返し精度についても高い精度が確保されていることが確認できた。

### おわりに

画像からビームサイズが2 μm以下であることがわかり、10 μm程度の狙った細胞核に任意の粒子数を正確に照射でき且つ高速照射が可能である。現在は、ビームサイズを保証するためマイクロビーム形成に大きく時間を要しており、今後は、その調整時間を短縮する技術開発を進める予定である。

### 引用文献

- 1) H. Yamaguchi, Y. Sato, H. Imaseki N. Yasuda, T. Hamano, Y. Furusawa, M. Suzuki, T. Ishikawa, T. Mori, K. Matsumoto, T. Konishi, M. Yukawa, F. Soga, Nucl. Inst. Meth. B210 (2003) 292.
- 2) H. Imaseki, M. Yukawa, F. Watt, T. Ishikawa, H. Iso, T. Hamano, K. Matsumoto, N. Yasuda, Nucl. Inst. Meth. B210 (2003) 42
- 3) H. Imaseki, T. Ishikawa, H. Iso, T. Konishi, N. Suya, T. Hamano, X. Wang, N. Yasuda, M. Yukawa, Nucl. Inst. Meth. B260 (2007) 81
- 4) F. Watt, A. A. Bettiol, J. A. Van Kan, E. J. Teo and M. B. H. Breese, International Journal of Nanoscience. 4 (2005) 269

## 特集/放医研基盤技術センター「第4回技術と安全の報告会」

【照射技術・計測技術、ネットワークシステム】

### X線発生装置TITAN-320型における線量測定結果

株式会社ネオス・テック  
三井 大輔

酢屋 徳啓<sup>1)</sup>、石川 剛弘<sup>1)</sup>、磯 浩之<sup>2)</sup>、今関 等<sup>3)</sup>

1) 基盤技術センター 研究基盤技術部 放射線発生装置利用技術開発課

2) 株式会社ネオス・テック

3) 基盤技術センター 研究基盤技術部

### はじめに

X線照射装置TITAN320型は、前X線発生装置PANTAK HF-320型の後継機として2008年3月上旬、X線棟第3照射室に設置された。装置更新に伴い、TITAN-320型の線量測定を実施した。X線管焦点と照射台間距離(Focus Sample Distance以下、FSD)を変更することができ、空気カーマ率3.51~0.21 Gy/minの範囲で照射が可能である。付属されている高線量照射用回転テーブルを照射台に設置すると、5.00 Gy/min以上(FSD235mm、照射野100 mm)での照射が可能であることが確認された。

### TITAN-320型概要と測定機器

#### (1) TITAN-320型の特徴

TITAN-320型の主な特徴として、X線照射線量が多い、高い安定性・再現性、簡単な操作、高機能ウォームアッププログラム、保護警報機能などが上げられる。主な仕様は連続定格出力最大200 kV 21.8 mA、高速開閉シャッター装備、10種類のFilterから1種類を装着、X線管上下ストローク1200 mm、X線管回転角度は垂直方向360°・直角方向100°、照射台寸法700×700 mm(天板材質アクリル)・積載重量20 Kg、高線量照射用回転ステージ装備(取り外し可能)である。<sup>1)</sup> 図1はTITAN-320型の外



図1: TITAN-320型の外観



図2: 応用技研製JARP型電離箱C-110

観写真である。

#### (2) 測定機器

線量測定には応用技研製JARP型電離箱C-110を使用した。主な仕様は主電極0.5 mm φ、高圧電極0.5 mm厚アクリル樹脂、実効容量0.6 mlである。電離箱からの出力は応用技研製電位計AE-130Lにて電圧として読み取る。AE-130Lはアナログ出力であるため、AE-130Lを横河電機製マルチメーター756101に接続しデジタル値にて計測している。電離箱C-110、電位計AE-130L、横河電機製マルチメーター756101を1組として、2年毎に産業技術総合研究所にて校正を行っている。使用した電離箱を図2に示す。

### 線量分布測定

基盤技術センター研究基盤技術部放射線発生装置利用技術開発課では焦点線量の90%を満たすことのできる点を照射野としてユーザーに保障している。ここでは電離箱を使用し、精密に中心を合わせていくことを試みた。測定条件は管電圧200kV・管電流20mA・Cu0.5mm+Al0.5mm・FSD 550mm・測定時間60secとした。+方向とは照射台中心から右側、-方向は左側である。FSD550mmX軸では照射台中心の1.068Gy/minが最も高い空気カーマ率であった。±方向とも均一な距離をとれるよう調整する必要があるため、X線管を右方向へ傾けていき、左右のバランスを調整した。この時点でX線管は右方向へ1°傾いており、ここで固定した。Y軸方向もX軸と同様に調整した。FSD550mmでの照射野は直径200mmであり、空気カーマ率は1.07~0.97Gy/minとなった。<sup>3)</sup> 同様の測定をFSD300mmと700mmでも行った。その結果を図3・

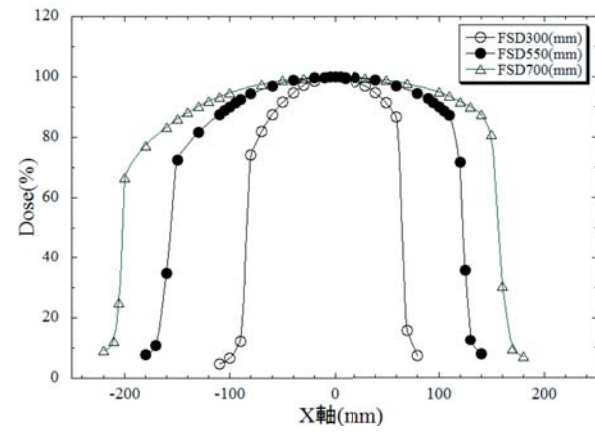


図3:TITAN-320型のX軸線量分布

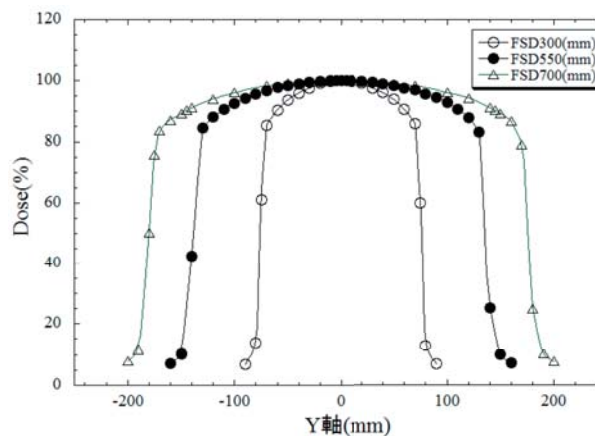


図4:TITAN-320型のY軸線量分布

4に示す。X軸ではX線管を右方向に傾けているため、線量分布全体の対称性はない。有効照射野である焦点線量の90%を満たす線量域ではほぼ左右対称である。

#### ビーム中心軸の測定

各FSD(300~1200mm)でのビーム中心軸の変化を測定した。図5にビーム中心軸の線量分布を示す。照射台からの散乱線などの影響で逆二乗則とは異なる結果となった。中心軸を測定したことにより、90%を満たす空気カーマ率を算出することができ、各FSD照射野の空気カーマ率を決定した。各FSDでの照射野半径は双方の関係グラフを作成し、その傾きから求めた。<sup>3)</sup> その結果を表1に示す。

#### 半価層の測定

TITAN-320型の通常運転時の照射条件(200kV、20mA、FilterCu0.5mm+Al0.5mm)にて銅の半価層測定を行い、実効エネルギーを求めた。X線管焦点と線量計間距離は1mとし、双方の間に半価層測定用コリメーターを

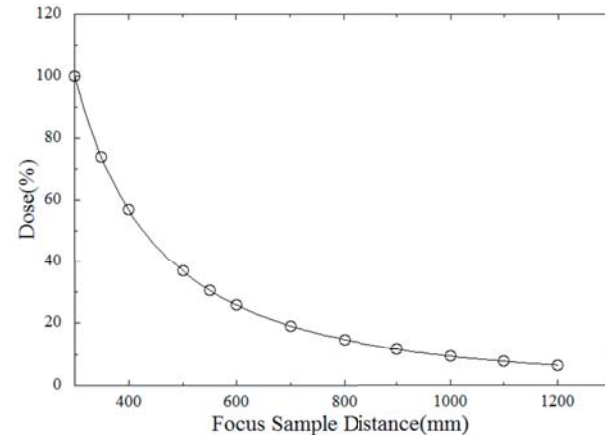


図5:TITAN-320型のビーム中心軸線量分布

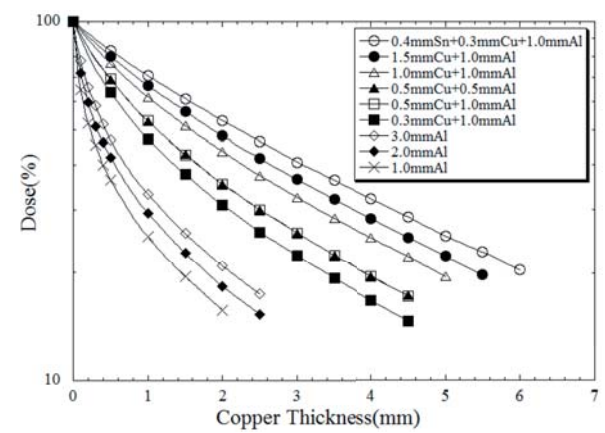


図6:各Filter減弱曲線

表1:各FSDでの照射野直径と線量率

FSD (mm)	照射野直径 (mm)	空気カーマ率 (Gy/min)
300	100	3.51~3.16
400	140	2.00~1.81
500	180	1.30~1.17
550	200	1.07~0.97
600	220	0.91~0.81
700	260	0.66~0.59
800	300	0.51~0.46
900	330	0.41~0.37
1000	370	0.33~0.30
1100	400	0.27~0.24
1200	440	0.23~0.21

表2:各Filterの半価層と実効エネルギー

Filter (mm)	HVL (mm)	実効エネルギー (keV)
Sn 0.4+Cu 0.3+Al 1.0	2.24 Cu	117.1
Cu 1.5+Al 1.0	1.89 Cu	106.5
Cu 1.0+Al 1.0	1.60 Cu	97.7
Cu 0.5+Al 1.0	1.15 Cu	84.5
Cu 0.5+Al 0.5	1.15 Cu	84.5
Cu 0.3+Al 1.0	0.90 Cu	76.3
Al 3.0	0.44 Cu	57.8
Al 2.0	0.34 Cu	52.6
Al 1.0	0.24 Cu	46.4

設置した。コリメーターからの散乱線が入射しないよう、コリメーターは出来る限りX線管に近づけて測定を行った。<sup>2,3)</sup> 半価層の測定は周囲の壁や床からの散乱線が線量計に入射しないよう考慮しなければならないが、この条件でも照射装置の設置位置や照射場の広さなどの関係から散乱線の影響はあると思われる。他のFilterでも同様の測定を行った。その結果を図6、表2に示す。

#### 高線量照射用回転テーブル

TITAN-320型は照射台に高線量照射用回転テーブルを置くことで、X線管焦点と照射台間距離を230mmまで近づけることができ、5.00 Gy/min以上(照射野100mm)での照射が可能である。高線量照射用回転テーブルの主な仕様は寸法φ200×200(H)mm、重量10Kg以下、耐荷重500g、回転機能つき(回転速度2rpm)となっている。<sup>1)</sup> 図7は照射台に高線量照射用回転テーブルを設置した時の写真である。高線量照射用回転テーブル設置時の線量分布を電離箱C-110、電位計AE-130L、横河電機製マルチメーター756101にて測定した。測定条件は管電圧200kV・管電流20mA・FilterCu0.5mm+Al0.5mm・FSD235mm・測定時間60secとした。測定結果を図8に示す。図7を見ると、X線管と高線量照射用回転テーブル間の距離がかなり近いことがわかる。10cmシャーレを1つ設置するスペースしかなく、電離箱での測定はかなりの工夫が必要であった。ビーム中心の空気カーマ率は5.68 Gy/minであり、高線量照射用回転テーブル上は焦点線量の90%を満たす線量域である。<sup>3)</sup>

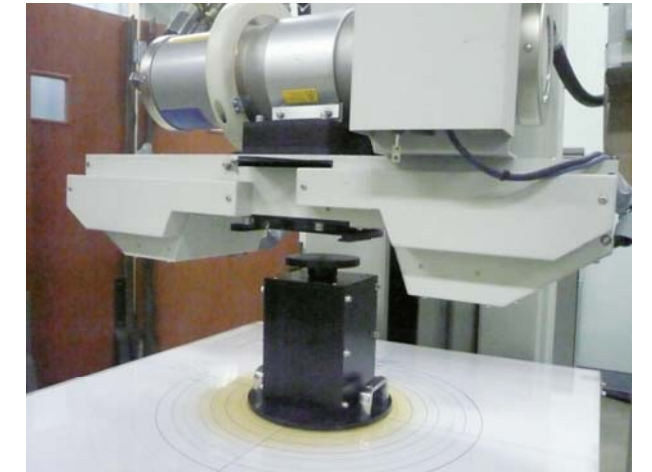


図7:照射台と高線量照射用回転テーブル

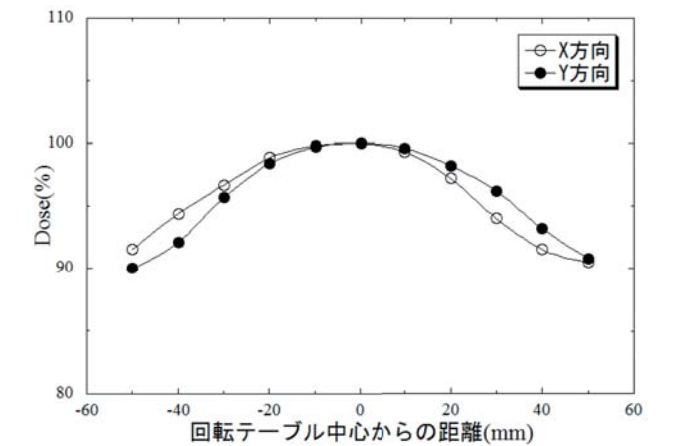


図8:高線量照射用回転テーブル上での線量分布

#### おわりに

今回の測定でX線発生装置TITAN-320型における、基礎データはとり終えた。しかし、高線量照射用回転テーブル設置時の測定方法や、線量測定手順など、課題が多く残されている。また、TITAN-320型は一部の照射方法でしか使用されておらず、実際には付加Filterの変更やコリメーターの設置など、様々な照射方法(条件)がある。それらの測定も引き続き行っていく。

#### 引用文献

- 1) 島津製作所、生物照射用X線装置TITAN-320完成図書。
- 2) 山田勝彦著、放射線測定技術。通称産業研究社(2005)
- 3) 三井大輔、酢屋徳啓、石川剛弘、磯浩之、今関等、X線発生装置TITAN320型における線量測定結果。放射線医学総合研究所技術報告書(NIRS Technology), 2(2008) 68-74

【分子イメージング関連技術、実験動物関連技術】

# 超音波(エコー)診断を組み合わせた コモンマーモセットの妊娠診断の検討

株式会社ネオス・テック 亀井 淳

石井 一<sup>1)</sup>、永井 裕司<sup>2)</sup>、大林 茂<sup>2)</sup>、重兼 弘法<sup>3)</sup>、西川 哲<sup>3)</sup>

1)株式会社ネオス・テック

2)分子イメージング研究センター 分子神経イメージング研究グループ

3)基盤技術センター 研究基盤技術部

放医研では、コモンマーモセットを脳・神経系の研究に用いている。コモンマーモセットの特徴としては、げっ歯類及びマカク属サル両方の特徴を併せ持っていることにある。また、小型で取扱いが容易であり、重篤な人獣共通感染症がなく、高い繁殖力を有する霊長類である。

コモンマーモセットは新薬の薬効・安全性試験、薬物動態試験、社会行動学、遺伝子工学、発生工学など多岐にわたって使用されている他、新たなヒト疾患モデルやiPS細胞の開発も相次ぎ、需要が高まっている。

一方、ブリーダーの生産数には限りがあり、供給が追いついておらず、入荷まで数ヶ月待ちの状況にある。この為、自家繁殖を行うことは実験の円滑な遂行の為には欠かせない手段であるが、妊娠初期の流産が多いなど適切な飼育環境作りだけでなく、飼育技術者の高い技術力と経験が必要となる。

そこで、より確実な妊娠診断及び検査方法として、従来の子宮触診に加えてエコー診断を組み合わせることを試みており、その一部を紹介する。

## コモンマーモセット

南米ブラジル東部の熱帯多雨林原産で、霊長目-真猿類-新世界ザル-マーモセット科のサルで、分類学的には同じ真猿類に属する旧世界ザルのカニクイザル・アカゲザル・ニホンザルといったマカク属サルがいる(図1)。

外貌の特徴としては、白くて長い耳房をもち、尾には輪状の縞模様がある。

後肢の親指にだけ平爪をもち、他の指はかき爪になっている。これは、握ったときに自分を傷つけないようにするためである。

食性は雑食性で、飼育下では市販の新世界ザル用のペレットを給餌している。

## ラットとマカク属サル(アカゲザル)との比較

コモンマーモセットは大きさがラットくらいなので、飼育スペースも少なく済み、ヒトに馴れ易く性格が温順で、マカク属サルに比べればハンドリングが容易である。しかし、やや神経質で繊細な面も持ち合わせているので、飼育

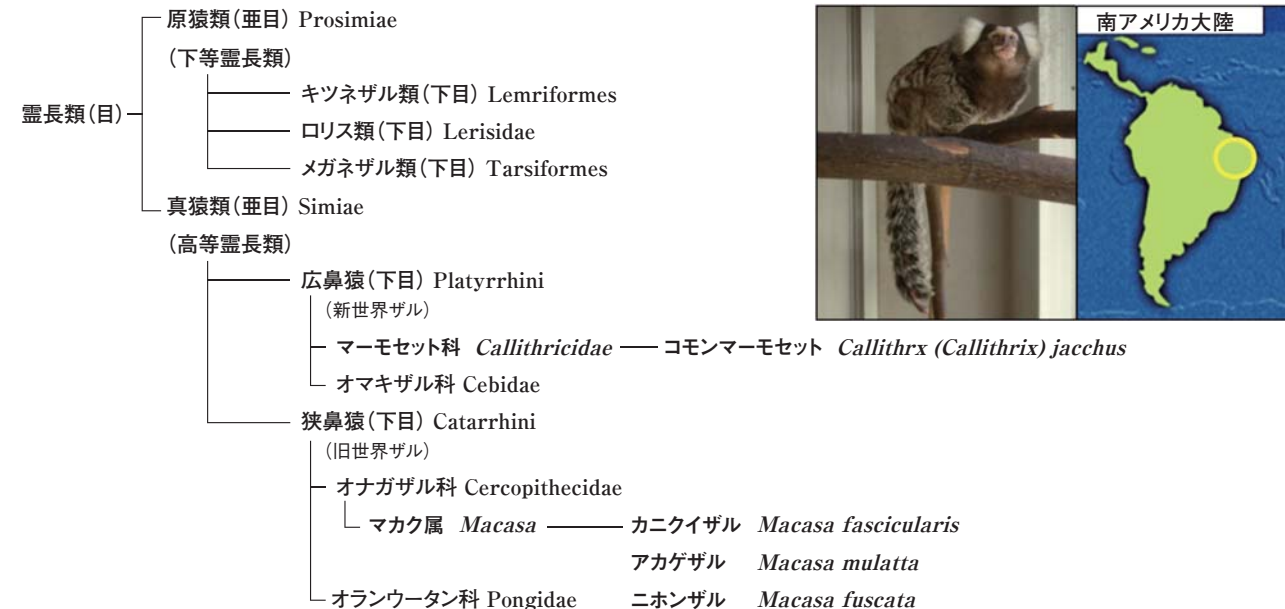


図1: コモンマーモセット

管理やその取り扱いには十分な配慮を必要とする。性成熟は、1~1.5歳くらい。妊娠期間は150日程度なので個体によっては年2回出産する。1産に2~4匹の仔を出産するが、2匹までしか正常に哺育しないので、3匹以上生まれた場合には、人工哺育等の処置を講じる必要がある(表1)。

サル類でありながら人獣共通のウイルス感染症の報告例はなく、赤痢菌や結核菌の感受性も低いといわれている。

表1: ラット・アカゲザルとの比較

	ラット	マーモセット	アカゲザル
体重(成体)	200~400g	250~400g	5~10kg
体長(成体)	20~25cm	18~19cm	53~60cm
性成熟	60~70日齢	1~1.5歳	3.5~5.0日齢
妊娠期間	約21日	約150日	約165日
産仔数	6~13	2~4	1

## 妊娠診断~エコー診断の有用性~

エコー診断を行うことの有用性は、子宮触診では出来なかった子宮内部の様子を確認できることである。これにより子宮径、心拍動の有無またその場所の数の把握といった妊娠診断の精度の向上が見込まれる。これらの向上により妊娠の確定、胎齢、胎仔の異常・数の確認が容易となり、早期から妊娠個体の取り扱いへの配慮や出産予定日の算出、実験準備・人工哺育の準備が可能となり、繁殖成績の向上につながると考えられる(図2)。

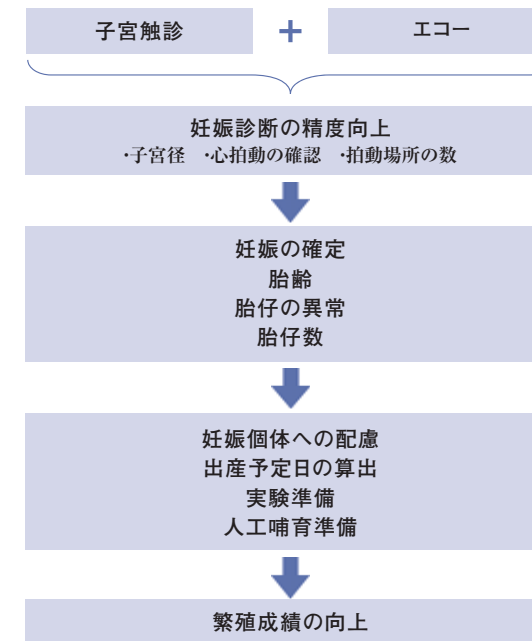


図2: エコー診断の有用性

## 子宮触診

- ・1回/2週の体重測定、体重の上昇程度を把握
- ・下腹部の子宮部分を摘んでその大きさを触診
- ・長径10mm以上になったとき、妊娠とする
- ・交尾後30~40日目ころ、判定可能

注意点としては、非妊娠時の子宮の大きさを把握しておくこと、子宮の弾力性も(妊娠の)指標となる。また、膀胱と間違えないようにすること。

触診における妊娠時の子宮径はおおよそ、表2のようになる。実際の子宮径はこれより小さくなる。

表2: 妊娠時における子宮径

胎齢(月)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	出産
子宮径(mm)	10	15	20	25	35	40	45	60	-

## エコー診断

ノートブックタイプの汎用超音波診断装置(GE横河メディカルシステム株式会社製、LOGIQe)を用いて行った(図3)。

使用したプローブはコンベックス型(GE横河メディカルシステム株式会社製、8C-RS)で腹部超音波検査用として最も一般的なものである。



図3: 使用した超音波診断装置とプローブ

エコー診断を実施するタイミングとしては、触診による妊娠診断で妊娠が疑われたとき、すなわち長径が10mmに達したとき実施し、その後出産まで1ヶ月おきに実施する(図4)。

塩酸ケタミンにより鎮静・不動化して行うので、計測時間は30分。

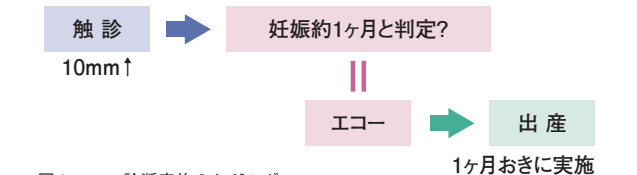


図4: エコー診断実施のタイミング



### 経産個体の非妊娠時の子宮像

黄色部が子宮で、ピンク色部が白く見えているがこれは子宮内膜がくっついていてる為である(図5)。子宮腔は確認できない。この白く見えるのが非妊娠の指標になる。子宮径は7mmくらいである。

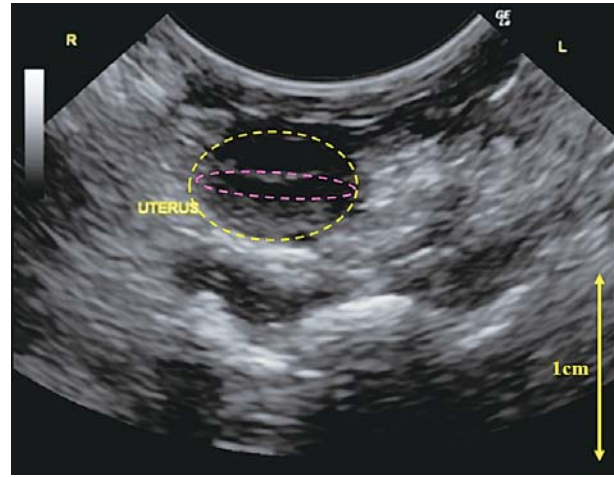
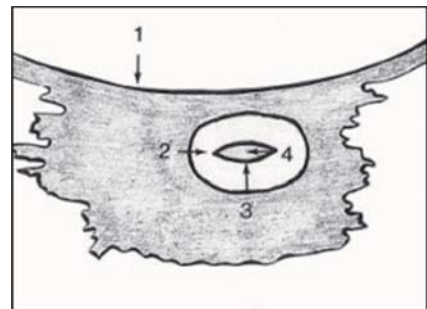


図5: 非妊娠時の子宮像



1: 腹壁 2: 子宮 3: 子宮内膜 4: 子宮腔

### 経産個体の妊娠約30日の子宮像

黄色部が子宮で、ピンク色部が子宮腔である(図6)。  
 コモンマーモセットは出産後1~2週間に排卵するので、  
 出産後10日目を着床日として、妊娠日の算出をする(図7)。  
 出産40日後に触診をして子宮径が10mm前後であった  
 ために、妊娠約30日と判定した。  
 この像での長径は8mm前後である。

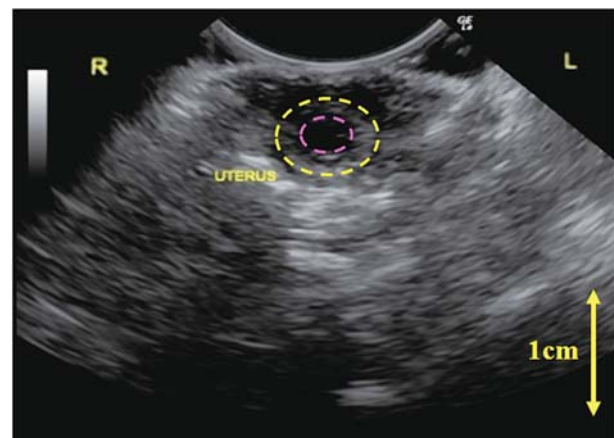


図6: 妊娠約30日の子宮像

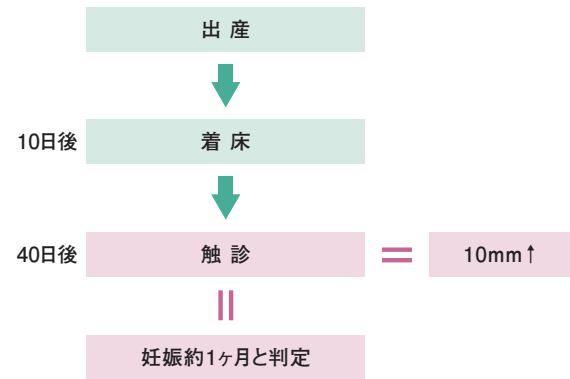


図7: マーモセットの妊娠日の算出法

### 経産個体の妊娠約90日の子宮像

黄色部が子宮で、青色部が胎仔の頭部である(図8)。  
 妊娠約30日の画像と比較すると、60日前後でかなり発  
 育・発達しているのが確認できる。

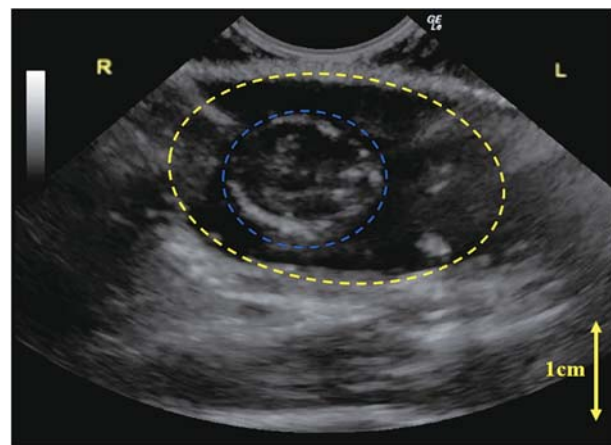


図8: 妊娠約90日の子宮像

### 現状と目標

2008年度は、分子イメージング研究センターと基盤技術研究センターとの共同のもと繁殖のためにペアリングを行った。その結果11組のペアリングに成功し、妊娠回数13、流産5、分娩回数8、総出産仔数20であった(表3)。  
 今後は、エコー診断によって妊娠診断の精度を向上させ、妊娠回数を増やし、流産を減らしていきたいと考えている。  
 2009年度には、繁殖専用の飼育室が完成し、繁殖用に5ペアの導入が決まっているので、総出産仔数40を目標としている。

表3: 2008年度繁殖実績

繁殖ペア数	妊娠回数	流産	分娩回数	総出産仔数
11	13	5	8	20

## 特集/放医研基盤技術センター「第4回技術と安全の報告会」

### 【分子イメージング関連技術、実験動物関連技術】

## 適正な衛生管理を目指した新たな試み

—抗菌剤によるPasteurella pneumotropicaの排除に関する検討—

基盤技術センター 研究基盤技術部 実験動物開発・管理課  
 小久保 年章

石田 有香<sup>1)</sup>、白石 美代子<sup>1)</sup>、中台 妙子<sup>1)</sup>、入谷 理一郎<sup>2)</sup>、館野 香里<sup>2)</sup>、浅野 まき<sup>2)</sup>、鬼頭 靖司<sup>1)</sup>、西川 哲<sup>1)</sup>  
 1) 基盤技術センター 研究基盤技術部 実験動物開発・管理課  
 2) 株式会社サイエンス・サービス

### はじめに

マウスやラットを用いた放射線影響研究において動物の急性影響をみる場合や晩発影響をみる場合がある。晩発影響をみる際には動物の長期飼育が必要となり、適正な放射線影響評価のためには飼育環境の適切な維持・管理、動物の微生物コントロールなどの衛生管理が必須となる。また放射線影響研究において遺伝子改変マウスを用いるケースが多くなる傾向にある。この遺伝子改変マウスを用いた研究はメカニズム解析に有用であるが、一方で免疫力が低下してしまう場合には日和見病原体に感染する可能性が高まるのが危惧される。さらに放射線照射や化学物質の処置により免疫低下を惹起されることも日和見病原体感染の可能性を高める要因の一つとなる。例えば緑膿菌は日和見病原体であるが、放医研では塩酸添加した飲水の使用により、菌の増殖抑制や感染予防がなされ、放射線影響研究の適正な実施を可能としている。その他の日和見病原体については、主に感染動物に対して微生物クリーニングや隔離飼育が対応策としてある。しかし菌排除に関して微生物クリーニング以外は十分に検討されていない。そこで、日和見病原体の一つである *Pasteurella pneumotropica* (以下 *P.pneumotropica* とする) が我が国の動物施設で飼養されているマウスから比較的高く検出されていることを踏まえ、また放射線影響研究を遂行する上で、動物の微生物クリーニングを実施することが出来ない状況にあることを想定した際に、この菌をマウスから排除するための新たな試みとして抗菌剤が有用か否かの検討を行った。

### 生体検査による菌分離

コンベンショナル動物飼育施設にて飼育されているマウスから生検材料(口腔スワブ、鼻腔スワブ、生殖器スワブ)を採取し、*P.pneumotropica* の分離の可否を検討した。検査に提供された11例のマウスについて生検材料を採取し、このうち3例から *P.pneumotropica* を分離した。

マウスから分離した *P.pneumotropica* の 16SrDNA 塩基配列について系統解析を行った。分離菌は *P.pneumotropica* の標準菌株である NCTC 8141T 株や ATCC 35149 株の近縁であることが分かり、NCTC 8141T 株とは塩基配列が 98.4% 一致していた。

### 分離菌のマウスへの影響

雌の BALB/cAJcl-nu/+ マウスに分離した *P.pneumotropica*  $1 \times 10^6$  個/20 $\mu$ l/匹を経鼻接種し、接種後7、14、21、28日目に当該菌の検出ないし病変誘発有無の確認を行った。その結果、当該菌は接種後21日目より菌が分離されたが、体重推移に変化はなく、病変形成も認められず、日和見病原体の特徴である不顕性感染の状態を呈していた。

表1: *P.pneumotropica* 接種後の菌検出と病変形成

菌接種後日数	検査部位					病変(肺、気管)
	鼻腔	口腔	気管	肺		
7	0/3*	0/3	0/3	0/3	0/3	-
14	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	-
21	3/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
28	10/16	-	-	-	-	-

\*: 陽性数/検査数

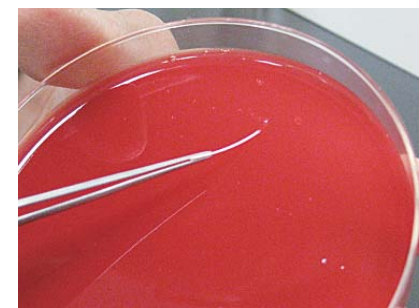


図1-1: ケント紙を用いた鼻腔スワブ採取

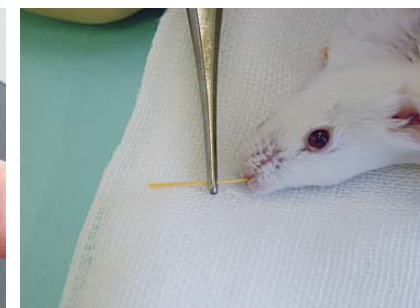


図1-2: スワブを血液寒天培地への塗布



図1-3: 37°C48時間培養後のコロニー

### 抗菌剤の有効性

15種類の抗菌剤を用いて分離した *P.pneumotropica* の薬剤感受性試験を行った。抗菌剤のうちエンロフロキサシンとホスホマイシンが分離菌に対する発育阻止力が他の抗菌剤に比較して強かった。これら抗菌剤の分離菌に対する最小発育阻止濃度を求めたところ、エンロフロキサシンで 0.1µg/ml、ホスホマイシンで 0.2µg/ml であり、分離菌への強い抗菌作用がみられた。以後の検討は、今回一番強い抗菌作用を有したエンロフロキサシンで行った。

表2: 抗菌剤による *P.pneumotropica* の薬剤感受性

名称	薬剤含有量 (µg)	阻止円の直径 (mm)
		分離した <i>P.pneumotropica</i>
エンロフロキサシン (キノロン系)	5	31.10
ホスホマイシン	50	30.91
トリメトプリム (サルファ剤)	23.75/1.25*	29.46
オフロキサシン (キノロン系)	5	27.26
ナリジクス酸 (キノロン系)	30	25.24
クロラムフィニコール	30	23.78
アンピシリン (ペニシリン系)	10	22.03
テトラサイクリン (テトラサイクリン系)	30	20.58
エリスロマイシン (マクロライド系)	15	18.65
カナマイシン (アミノグリコシド系)	30	17.40
コリスチン (ペプチド系)	10	16.73
ストレプトマイシン (アミノグリコシド系)	10	16.71
ゲンタマイシン (アミノグリコシド系)	10	16.59
セファゾリン (セファマイシン系)	30	16.04
ペニシリンG (ペニシリン系)	10U	15.65

\*: スルファメトキサゾール23.75µg、トリメトプリム1.25µg

### 抗菌剤による菌排除の検討

これまでにエンロフロキサシンを飲水中に入れ、*P.pneumotropica* 感染マウスに2週間処置 (25.5mg/kg) すると効果がみられることが報告されている。一方、この処理法は口腔内に存在する常在の真菌などの生育や、飲水の交換を頻繁に行う必要があるなどの欠点がある。そこで我々は、これらの欠点を改善することも視野に入れ、投与経路を皮下投与に変えて検討した。健常な C3H/He マウスに *P.pneumotropica* 1 × 10<sup>6</sup> 個 / 20µl / 匹を経鼻的に投与し、菌接種後22日目 (菌が確実に定着している時期) から3日間、1日1回エンロフロキサシンを皮下投与 (投与用量: 0、3、10、30、100、300mg/kg) を行い、7日後に菌排除の状況を確認した。その結果、3mg/kg を投与した場合でも菌は検出されなかった。100mg/kg 以上の投与では、投与部位に硬結を伴った皮膚病変が副作用として認められた。また CB-17/Icr-scid マウスを用いて、菌を感染させ、その後エンロフロキサシン3ないし10mg/kg を上記実験と同様に実施したところ、菌排除はできなかった。この原因として、抗菌剤投与時に呼吸器系に病変が形成されている場合には本抗菌剤の効果が無いことが推測される。

以上のことより、不顕性感染の状態のマウスでは、エンロフロキサシン 3mg/kg を連続3日間皮下投与すると *P.pneumotropica* を排除ないし抑制できることがわかった。

### エンロフロキサシンの体内濃度

抗菌剤は残留性が問題となることがある。そこで、*P.pneumotropica* に対して有用性が認められたエンロフロキサシンを用いて、C3H/He マウスに3mg/kg ないし10mg/kg を3日間連続皮下投与し、その後経時的に168時間まで血清の採取、また168時間後の肝臓、腎臓、投与部位のエンロフロキサシン濃度を測定した。その結果、168時間後の投与部位に投与物質が認められたものの、血清、肝臓、腎臓では投与物質濃度が検出限界以下まで低くなっていることが確認された。

### マウスの微生物感染対策

今回行った検討により、マウスに *P.pneumotropica* が感染して不顕性感染状態にあり、かつ微生物クリーニングが実施できない場合には、エンロフロキサシンの処置を試みることで、菌の排除ないし抑制が可能となることが確認された。図3に示すように、実験動物の微生物感染に対して、これまでの微生物クリーニング、隔離、コ

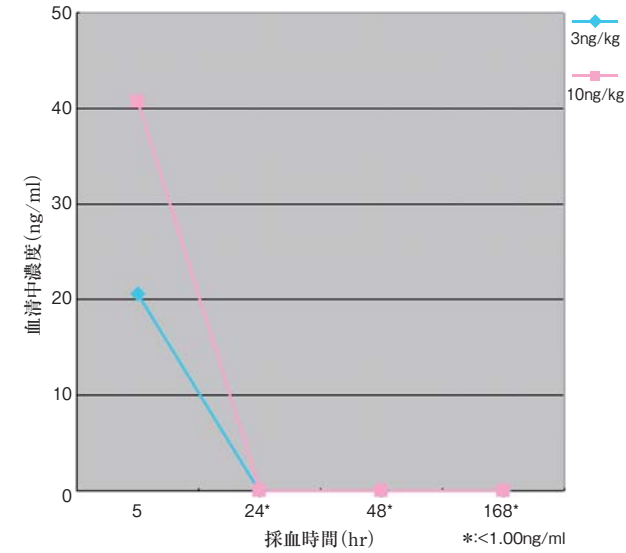


図2-1: C3H/Heマウスにエンロフロキサシン投与後における血清中のエンロフロキサシン濃度推移

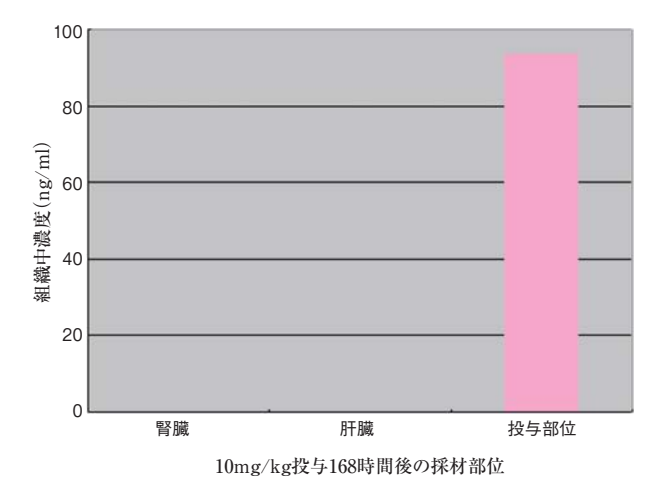


図2-2: C3H/Heマウスにエンロフロキサシン投与後における臓器中のエンロフロキサシン濃度

ロニー淘汰の選択肢に加え、新たに抗菌剤処置を加えた微生物感染対策フローが考えられ、適正な衛生管理に活用できるものと考えられる。

### 今後の展開

マウスに日和見病原体である *P.pneumotropica* が感染した場合に、動物実験の目的を十分に考慮した上で、エンロフロキサシンの処置をすることは菌の蔓延防止につながり、コンベンショナル環境下での動物の衛生状態維持に役立ち、これまでよりさらに適正な動物管理を可能にすると考えられる。今後は、簡便に抗菌剤使用の有無の判断をする手法を開発し、さらなる適正な衛生管理を目指して行きたい。

### 補足説明

日和見感染症: 通常では病原性を示さない微生物が動物に感染し、ストレスや放射線照射などにより動物の抵抗力が低下した際に、感染微生物が病原性を示して、動物の状態悪化や体重低下などが現れる。これを日和見感染症という。病原体としては緑膿菌 *Pseudomonas aeruginosa*、黄色ブドウ球菌 *Staphylococcus aureus*、肺パスツレラ *P.pneumotropica* などが知られている。この感染症の発症がみられると、実験データの信頼性が損なわれることがあり、その影響は大きい。

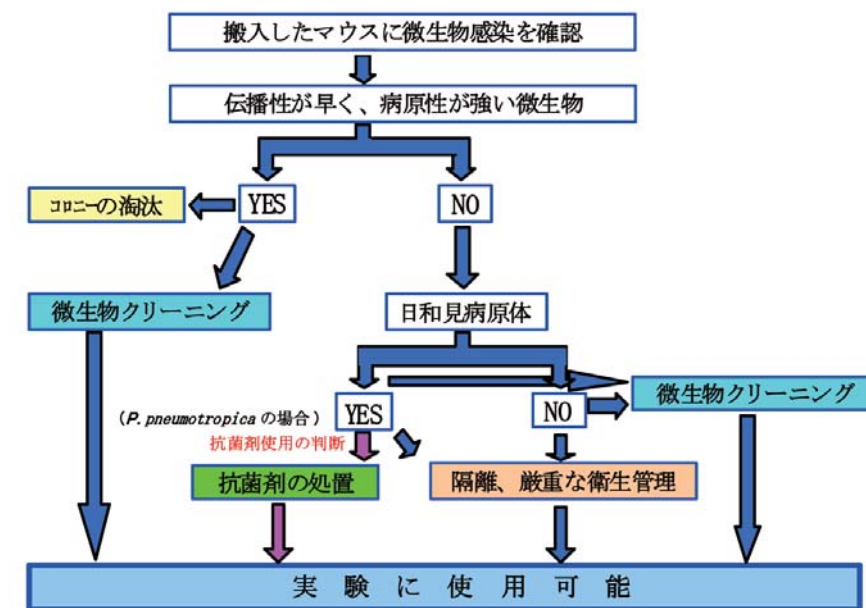


図3: マウスの微生物感染対策フロー

【分子イメージング関連技術、実験動物関連技術】

動物実験を取り巻く現状と放医研における運用の実際

—動物実験倫理と実験動物へ与える苦痛の評価について—

基盤技術センター 研究基盤技術部 実験動物開発・管理課  
石田 有香

重兼 弘法<sup>1)</sup>、小久保 年章<sup>1)</sup>、早尾 辰雄<sup>1)</sup>、西川 哲<sup>1)</sup>、浅野 まき<sup>2)</sup>

1) 基盤技術センター 研究基盤技術部 実験動物開発・管理課  
2) 株式会社サイエンス・サービス

はじめに

近年、動物実験の国際原則「3R」に基づく法規制が世界的に強まり、日本でも2005年から関連法令等が一斉に改正・施行された。日本の動物実験倫理に関する基本方針は「機関ごとの自主的適正化（自主管理）」であり、諸外国に比べ動物実験に関する規制は緩い様に見受けられる。これは、動物倫理・福祉は実験者個人の意識から変わらなければ遂行されないだろうという考え方に基づいて法規制がされたためであり、そういった意味では実験者の動物実験あるいは実験動物への責任は他国より大きいとも考えられる。

動物実験に関する規制（諸外国との比較）

	実験者の資格制度	施設の認定制度	計画書の承認者	実質責任者	動物実験委員会	査察・立入検査
欧州	英	○	○	内務大臣	国	内務省
	独	○	○	州政府	州政府	州政府
米	×	○	機関の委員会	機関長	機関	農務省
日本	×	×	機関の委員会	機関長	機関	機関の委員会等

・欧州は動物実験を行うための資格が必要  
・米国は機関内の動物福祉の推進役を獣医師が担うと定めている。

放医研でも2007年度から動物実験委員会の下、動物実験に関する整備が進んでいる。これまで行ってきた動物実験計画書の書式改正も自主管理の一環で行っており、実験動物へ与える苦痛の度合いを研究者が予測評価し、的確な苦痛の排除・軽減処置方法を明文化する形となった。

しかし、放医研で実施されている実験動物に対する実験処置は多岐に渡り、処置後の飼育期間も様々である。そのため、「動物実験計画書の記入要領」とともに提示されている「苦痛の 카테고리分類基準」ではすべての実験処置を網羅することは困難であり、研究者により苦痛の評価に差が出てしまうのが現状である。

そこで、研究者が動物実験計画を立案する際の一助となるよう、これまでに蓄積されてきた事例から放医研の動

物実験に即したより具体的な分類基準をまとめた。ここでは動物倫理の基礎を交えながら、げっ歯類の苦痛の 카테고리分類について報告する。

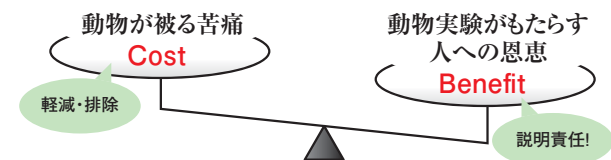
動物実験の国際原則である「3R」とは

具体的な苦痛の 카테고리を示す前に、動物実験倫理の基礎を簡単に説明する。

1959年にイギリスの科学者ラッセルとパーチが提唱した人道的動物実験の国際3原則-Replacement（代替法の利用。可能な限り *in vivo* でよりも *in vitro* で実験をする）、Reduction（使用動物数の削減。求める結果を得るための最小数を使用する）、Refinement（動物の苦痛軽減。手技の洗練なども含まれる）-は日本でも2006年の「動物の愛護及び管理に関する法律（動愛法）」の改正ではじめて明文化された（第41条）。動愛法は産業動物、愛玩動物、展示動物、実験動物、と人が飼養している動物すべてを対象にしているが、「実験動物の愛護」とは愛玩動物と同じように実験動物を扱うことではなく、また、動物を実験に利用しないということでもない。動物実験の重要性・必要性は説明するまでもないが、科学の進展に必要な信頼性のあるデータは、適正な動物福祉を守った上で出されなければならない。

実験動物の苦痛 (Cost) と人への恩恵 (Benefit)

実験責任者には動物実験の意義についての説明責任があり、動物実験を実施するにあたり、実験動物の苦痛 (Cost) と人への恩恵 (Benefit) を常に対比させて考えることが重要である。



Benefit が大きい場合は Cost が大きくても動物実験を行う意義がある（動物実験計画が承認される）かもしれないが、動物の苦痛を正しく評価し、その苦痛を可能な限り軽減・排除しなければならない。

放医研で実施されている動物実験の特色

放医研で現在実施されている動物実験は、①取扱っている実験動物が魚類から霊長類まで幅広い。②放射線照射（麻酔下/覚醒下、全身/局所、単回/複数回）がある。③イメージング撮影（麻酔下/覚醒下、単回/複数回）がある。④処置後の飼育期間が様々であり、処置後直ちに安楽殺する場合もあれば、終生飼育する場合もある。最近では、疾患モデル動物の使用も多く、実験計画はより複雑になっている。

このように実験処置が複数重なることで、苦痛の正確な評価は一層しにくくなっている。そこで、苦痛の 카테고리分類基準をより充実させる（より具体的に提示する）ことは、動物実験計画の立案の際の一助となると考えられる。

苦痛を評価する上での注意点と分類表

それでは、動物へ与える苦痛を正しく評価するにはどうしたらよいか。次に苦痛を評価しやすくするための注意点をいくつか挙げる。

①実験処置（行為）そのものの苦痛と、その処置がもたらすその後の苦痛は別に評価する。②どういう状態の動物に実験処置を施すのかを考慮する。（麻酔の有無、固定の有無など）③薬剤投与（放射線照射）をする場合は、薬剤濃度や投与容量（線質や照射線量）の他に、経口・皮下などの投与方法や投与部位（照射容器への固定法や照射部位）などを考慮する。また、複数回投与（照射）する場合は、その処置間隔が適切かどうかを考えることも必要となる。

以上の注意点を踏まえながら、放医研で実施されている実験処置を動物実験計画書より抜き出し、これまでより具体的な実験処置と苦痛の カテゴリを対比させた。それを表にまとめたものが苦痛の カテゴリ分類表（げっ歯類）である。実際の動物実験計画書から事例を抜き出すことにより、これまでの分類基準にはなかった実験処置も含めることができた。



苦痛の カテゴリ分類表(げっ歯類)

苦痛の種類	苦痛の程度	麻酔下/覚醒下	その他の注釈
安楽殺処分	頸椎脱臼(熟練者)	B	
	断首(熟練者)	B	
	麻酔薬過剰投与	B	
	麻酔ガス過剰吸引	B	
	意識消失処置	B	
	耳ハネチ・カット	B	
	尾カット	B	
	採血	B	
	抜毛	B	
	自然交配	B	
麻酔下	帝王切開(苦痛の対象は胎仔)(熟練者)	B	
	手による保定・触診(熟練者)	B	
	器具による固定(照射容器への収容含む)	B	
	薬剤投与(点鼻、経口、経皮、皮下、静脈内、腹腔内、飲水溶解)(熟練者)	B	
	移植針での細胞移植(皮内、皮下、静脈)(熟練者)	B	
	疾患モデルの飼育	C	
	感染動物の飼育	C	
	行動解析	C	
	摂餌制限	C	
	採尿	C	
放射線照射	全身照射	C	** 飼育期間短
	局所照射	C	** 飼育期間長
	PET	B	** 飼育期間短
	MRI	B	** 飼育期間長
	蛍光撮影	B	** 飼育期間短
	SPECT	B	** 飼育期間長
	精管結紮	C	
	卵管結紮	C	
	胚移植	C	
	ペレット移植	C	
外科手術(熟練者)	臓器移植	D	
	頭蓋への装置装着	C	
	皮膚創傷作製	C	
	動脈	C	
	静脈	C	
	気管	B	
	脳内	C	
	脊髄損傷	D	
	脳血栓	C	
	心筋梗塞	C	
神経損傷	C		

\*: 適切な投与濃度/容量であること。  
\*\*: 動物の年齢や線質を考慮する。

苦痛のカテゴリー分類基準

判断基準の概要	
A	生物個体を用いない実験あるいは植物、細菌、原虫、または無脊椎動物を用いた実験(放医研では動物実験計画の申請不要)
B	脊椎動物を用いた実験で、動物に対してほとんど、あるいは全く不快感を与えないと思われる実験/実験操作
C	脊椎動物を用いた実験で、動物に対して軽微なストレスあるいは痛み(短時間持続する痛み)を与える実験/実験操作
D	脊椎動物を用いた実験で、動物に対して避けることのできない重度のストレスや痛みを与える実験/実験操作
E	麻酔をしていない意識のある動物を用いて、動物が耐えることのできる最大の痛み、あるいはそれ以上の痛みを与えるような実験/実験操作(放医研では実施不可)

動物実験は安楽殺処分をもって終了する

研究目的に即した実験処置を施した後、実験材料を採るため、あるいは実験が終了したため等に行う実験動物の殺処分は実験者自らの責任において実施する。その際、「動物の殺処分方法に関する指針」に基づいてできる限り苦痛を与えない方法を用いて行なわなければならない。指針では、動物に不必要な不安、恐怖、苦痛を与えることなく、一刻も早く意識を喪失させ、非可逆的な心機能あるは肺機能の停止をもたらすことが規定されている。我々は動物に対する苦痛軽減の配慮を最後まで忘れてはいけない。

なお、放医研動物実験委員会では2011年度(次期中期計画)より、大量の動物を安楽殺する方法としてエーテルの過剰吸入は原則認めないこととなった。これは動物福祉ならびに人への安全面からの措置であり、諸外国ではすでにエーテルの使用は禁止としているところも多い。日本でも徐々に広がっている動きであるため、委員会では麻酔での使用についてもエーテルに代わる方法を推奨することとし、実験者におかれては、今後徐々にエーテル吸入から代替法へ切り替えていただくようこの場を借りてお願いしたい。

放医研での安楽殺処分法(2011年度以降)

原則認証せず	代替法の例
エーテルの吸入(大量処分の場合)	イソフルラン吸入
	炭酸ガス吸入(ドライアイス不可)
	ペントバルビタールナトリウム過剰投与

おわりに

我々は様々な法令の下で動物実験を行っている。動物倫理・福祉への配慮が今後益々重要になっていくことは確実であり、実験動物へ与えている苦痛を予想し正確に評価することは、動物福祉の一つである「苦痛の軽減・排除」を適切に行うことへの足がかりである。またそれは、人道的エンドポイント(動物を苦痛から開放するために安楽殺させる時期)を適切に設定し適用する基準にもなる。

実験計画の立案中には、いくつもの実験処置が重なり一見苦痛の評価がしにくいように見えるが、今回、keywordを抜き出すことで、放医研で行われている実験処置に対する苦痛のカテゴリーを単純化した分類表を作成することができた。

今後、蓄積される事例を順次追加しこの分類基準表をさらに充実させていきたいと考えている。実験計画を立案する際に分類表を活用することで実験者の苦痛評価が安定し、また、計画書作成時の負担軽減にも繋がるも期待する。

特集/放医研基盤技術センター「第4回技術と安全の報告会」

【安全管理と施設管理】

危険予知、ヒヤリハットと所内事故報告から見た安全向上への方策

基盤技術センター 安全・施設部 安全計画課  
管野 孝行

本間 広一<sup>1)</sup>、植松 勇器<sup>1)</sup>

1) 基盤技術センター 安全・施設部 安全計画課

はじめに

放医研では、医療行為だけでなく、放射線や動物を取り扱った実験など、様々な研究が行われている。研究業務が活発化すれば、それだけ労働災害が多く発生する可能性があり、安全管理部門のきめ細かな対応が求められている。本件では、放医研において発生した事故に対する再発防止策と、労働災害を減らすための予防策として行っている危険予知(KY)活動やヒヤリハットの所内展開について紹介する。

放医研の事故発生状況

独立行政法人化後に放医研で発生した事故を、実験活動、医療行為、一般業務中というカテゴリーで分類すると、図1のような結果になった。最も多いのが実験活動時の事故で、次いで転倒等による創傷、打撲等の一般的な事故である。実験活動時の事故が多いのは、研究所という性格上、避けては通れないが、針刺しや咬傷事故は、アレルギーと感染予防の点から、特に重点的に対策を施さなければならない。

事故防止のための方策

事故は、単一の原因ではなく複数の原因が重なり合っ

誘発されるケースが多い。しかし、放医研で発生した事故を調査すると、慣れによる油断、不注意が主たる原因と見られるものが多かった。

実際、怪我をした作業者が、事前に自らの油断・不注意に気がつくことは少なく、怪我をして初めて、油断・不注意にあったことに気がつくことが多い。

よって、事故を未然に防ぐためには、事前に対策をとることが重要であり、このために実施されている一つの方策に危険予知・ヒヤリハット活動がある。

図2はハイリッヒの経験則と言われるもので、この経験則によると、底辺にあるヒヤリハットと不安定要因を取り除くことで、重大な事故の発生を未然に防ぐことが出来る。

この経験則を放医研でも生かし、ヒヤリハット、危険予知活動を通して、事故発生の防止に取り組んでいる。

安全管理部門としては、所内各所に潜んでいる危険箇所を認知し、それをどのように関係者へ注意喚起を促すのがポイントになる。

実施した事故再発防止策

次に、放医研において発生した事故に対する主な対応策について紹介する。

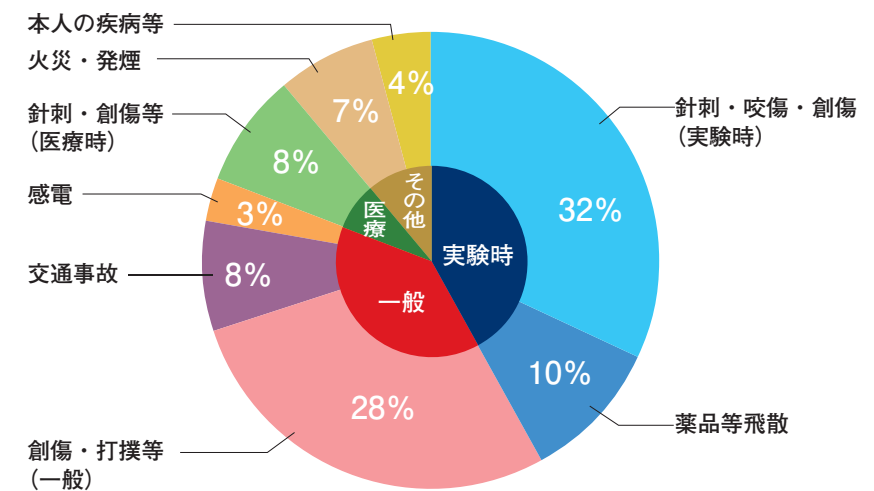


図1: 独立行政法人化後の放医研における事故

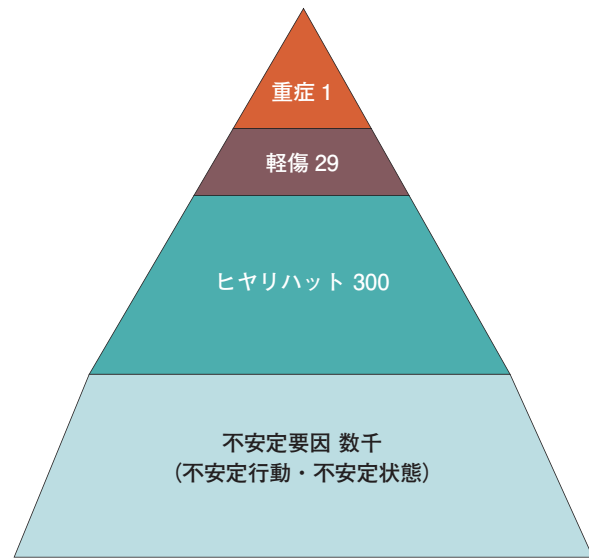


図2: ハイน์リッヒの経験則

### (1) 咬傷事故対策

マウス・ラットを扱う場合、相手は動物である以上、咬まれる危険性は常に付きまわっている。実際、動物が暴れるなどした場合、とっさに強く掴んでしまう事例も報告されている。この場合、すぐに手を離すなど、常に平静を保ち、落ち着いて動物に接することで事故を防ぐことができる。

これまでの事故例を踏まえて、基盤技術センター研究基盤技術部実験動物開発・管理課は、事故を防ぐ取り組みとして実技を中心とした取扱い講習会を実施（写真1）し、さらに今後も継続して実施することとしている。

### (2) 針刺し事故対策

針刺し事故は、注射器を取り扱う作業を行う場合、起こりうるものであるが、注射器の操作手順を改めることで防止できることが分かった。その一例としてリキャップによる針刺し事故に関する事例を紹介する。



写真1: 実験動物取扱い講習会の様子

リキャップの危険性は以前から言われており、リキャップはしてはいけないことは周知されていたはずである。しかし、実験等の都合上、直接手でキャップを持ち、リキャップをしたために、針刺しによる怪我をしたことが報告されていた。報告された事故事例を調べると、動物への静脈注射時に事故が起こったことが分かった。この対策を検討する中で、ある特定の測定器を使用する場合、リキャップをせざるを得ないことが明らかになった。リキャップによる事故を防ぐ方策として、手間ではあるが、コッヘルや針スタンド等の器具を用いることで、手でキャップを持たないことを徹底していくこととした。

### (3) その他の事故

その他の事故対策として、転倒事故発生後、早急な転倒現場の凹凸整備などの安全確保を行った。また、薬品曝露の危険がある作業では、大きな事故が発生する前に、作業時の保護具着用等、薬品の飛散防止対策をするように、実験者に指導を行った。このようにして、1件でも事故や怪我が減るように努力している。

### 今後の展開

#### (1) 事故報告書の充実

事故原因の究明、対策をする場合、今後の事故防止のための具体的な対策だけでなく、これまでに収集した危険予知、ヒヤリハットのリストの中に同様の事例無かったかどうか等、多角的な分析を追加していきたい。

#### (2) 危険予知訓練研修の実施

平成20年度より、危険に対する感受性を高めるために、危険予知訓練（KYT）の手法を学ぶための研修を実施している。今後も継続してこの研修を実施していく

#### (3) 所内事例の展開

平成21年度より、毎月安全に関する情報をまとめ、安全ニュースを発行し、その中で事故事例を取り上げ、注意喚起を促し、事故に対する注意力を風化させないようにしている。今後は、事故防止策の好事例の提供を受け、それを所内全体に紹介していくことで、事故発生率減少化を図る。

また、危険予知、ヒヤリハットの事例をより多く提供してもらい、それを所内展開する方策を検討していく。

## 特集 / 放医研基盤技術センター「第4回技術と安全の報告会」

### 【安全管理と施設管理】

## 所内の電気設備について

基盤技術センター 安全・施設部 施設課 電気係  
柳生 豊

### はじめに

基盤技術センター安全・施設部施設課電気係では、所内の電気設備に関わる業務を担っている。保安規程で定められている受変電設備の法定点検や、電気工事、消防計画に基づく所内の巡回点検などである。ここでは放医研の電気設備についての紹介にはじまり、電気係として取り組んでいるこれらの業務について紹介する。

### 所内の電気設備について

放医研の電気は東京電力（株）の検見川線1号線・2号線より受電している。普段は1号線のみで受電しているが、放医研以外の事業所の工事や点検など、1号線が停電するときには、2号線に無停電で切り替え受電している。また特高変電所で受けた66kVの特別高圧の電圧は大まかに図1のようなルートを通り重粒子線棟でも受電している。そこで6600Vに降圧し、推進棟、重粒子線棟、医科学セ

ンター病院へ送電している。その他所内の電気室やキュービクルへは、特高変電所で3300Vに降圧し、各棟の電気室等へ送電している。そして、これらの電気室等でさらに100Vや200Vに降圧して普段使用している照明やコンセントへ電気が供給されている。

自家発電機についてであるが、自家発電機とは停電時、発電機が自動的に起動し非常用設備等の特定の系統



図2: 特高変電所の発電機(2000kVA)(左)と画像診断棟の発電機(60kVA)(右)



図1: 東京電力からの引込線の位置と放医研内の受変電設備の位置

に電源を供給する設備である。現在、所内には一番小さい画像診断棟の発電容量 60kVA の発電機から、一番大きい特高変電所の発電容量 2000kVA（所内で唯一 3300V の電圧で送電することが可能）の大小合わせて 9 基の発電機がある（図 2 参照）。また現在建設中の治療エリアに設置する自家発電機はガスタービン式の容量 1000kVA のものとなっており、所内で特高変電所の次に大きい発電機となる予定である。またメンテナンスについては、月 2 回の試運転と発電機起動用蓄電池のバッテリー液の補充やバッテリー液の比重の測定などの保守・管理を行っている。

### 受変電設備の点検について

20 年度を受変電設備の点検は、サイクロトロン棟をはじめとする 8 施設の点検を行った。また点検対象機器は高圧の電流を遮断・投入する真空遮断器や、高圧の電圧を低圧の電圧に変換する変圧器、また無効電力を減らし効率改善を行う電力用コンデンサ等について点検を実施した。また今年度を受変電設備点検・整備に要した費用は、約 8,600 万円ほどであった（図 3 参照）。

点検の結果については、次のような項目が指摘された。低線量棟の自家発電設備の過給機フィルターの破損。第一研究棟の変圧器のパッキン劣化による絶縁油の滲みだし。内ばく棟の MCCB（ブレーカー）の ON・OFF スwitch の不調。旧式設備更新の推奨等であった。これら指摘事項の改善については停電しないといけないものもあるため、次回点検時に改善対応していく予定である。また旧式設備の更新については現在予算要求を行っている状況である。

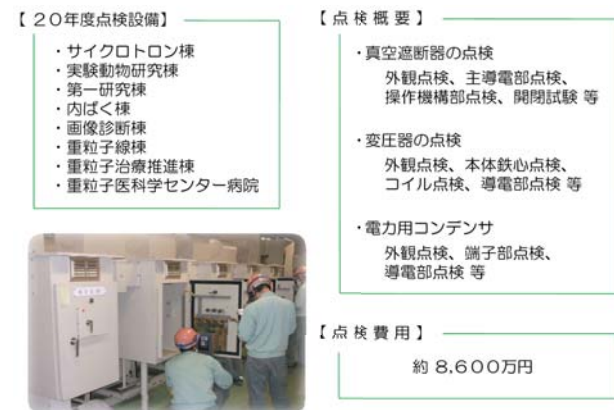


図3: 平成20年度法定点検設備と点検概要及び費用

### 電気工作物保安規程について

放医研の電気工作物保安規程は電気事業法 42 条に基づき、所内の電気設備を健全に保つため、所内で規程を定め、遵守するというものである。またこの保安規程には、

事業者のなすべき事項が概ね包含されており、この規程を基に受変電設備の巡視点検・年次点検・検査や、従事者に対する保安教育・保安訓練の実施、電気設備の保安に関する業務組織等が定められている。

### 電気係としての取り組み

夜間照明工事や X 線棟外灯設置工事は、電気係として所内で行っている工事の一例である。またこれらは安全計画課のヒヤリハットから出た案件であり、夜間足下が暗く転倒の恐れがあるため、夜間照明用のスイッチの取り付けや外灯を設置しようといったものであった。

外灯設置についてさらに次のような計画がある。つまり放医研の構内には夜間足下が暗く安全上問題となる場所がいくつかある。このため所内の外灯を増やそうというものである。この計画は 20 年度から 22 年度にかけて所内に外灯を設置していくものとなっている。（図 4 参照）

またその他、工事以外の取り組みとして、施設課電気係として所内の電気設備の健全性を守るため、消防計画に基づく所内の巡回点検を行っている。これは放医研を 4 ブロックにわけ四半期ごとに 1 ブロックずつ所内の巡回点検を行うというものである。点検は具体的には次のようなことに注意して行っている。コンセントの電源容量を超えるようなタコ足配線などがされていないか、コンセントにホコリ等がつもっていないか、プラグが抜け掛かっているか、またプラグが割れたりヒビが入ったりしていないか等を見て回っている。（図 5 参照）

### おわりに

まず電気工事についてであるが、素人でもできそうな電気工事でも感電や火災など事故につながる可能性があるため、ささいな電気工事でも電気工事士の資格を有する者が実施する必要がある。このため、どんなに簡単そうなものでも施設課電気係にご相談していただきたい。また、夏の省エネ運動の一環として、毎年、施設課の職員が昼休みに巡回し照明を消したり、エアコンの設定温度をあげる等の活動を行い、所内の消費電力削減において一定の成果を上げている。

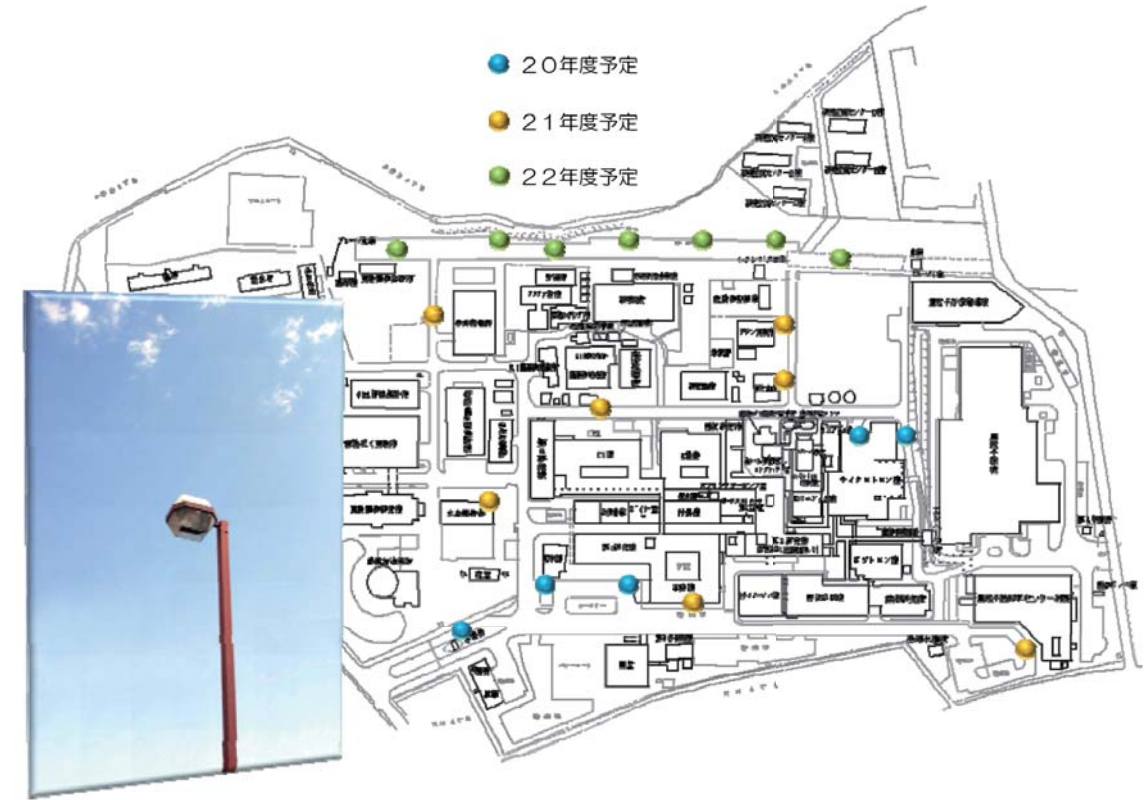


図4: 所内の足下の安全を考慮した外灯設置計画

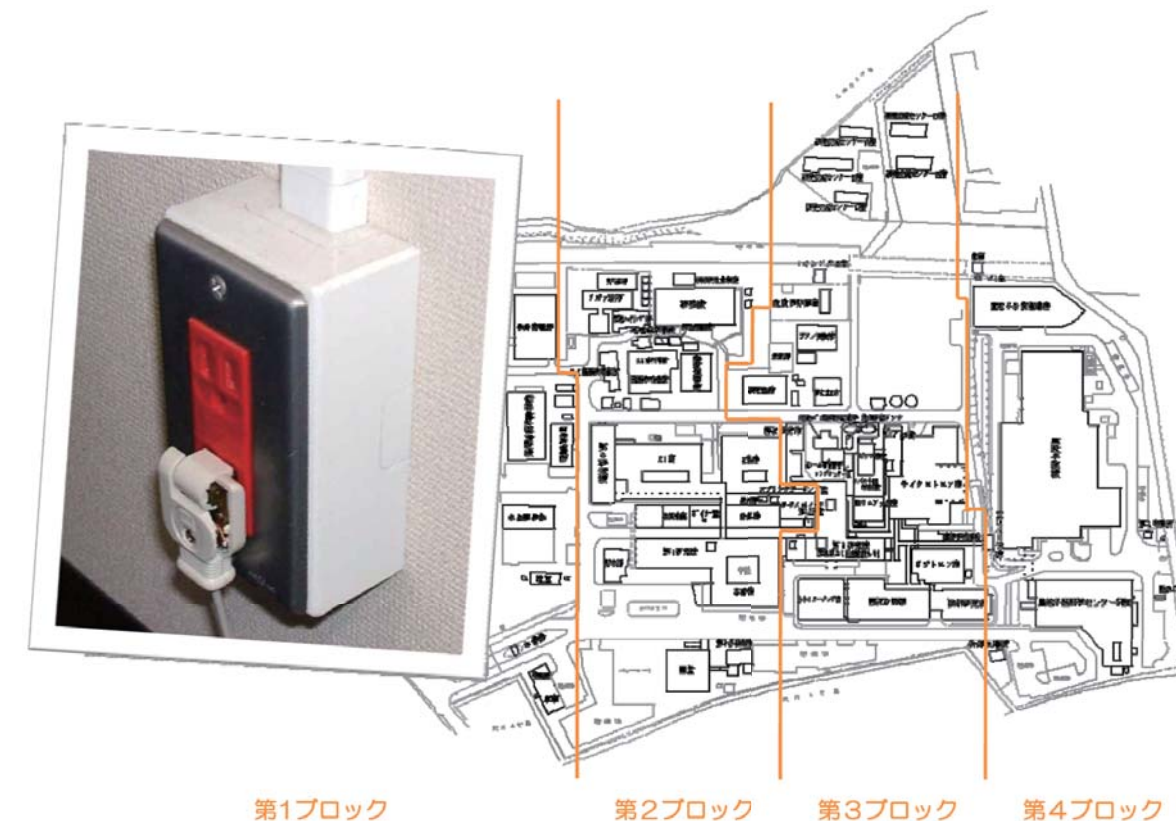


図5: 消防計画に基づく所内巡回点検と点検時に発見した危険箇所

【安全管理と施設管理】

実験計画書統合記入ソフトの作成

基盤技術センター 運営企画室  
松下 良平

菅原 幸喜<sup>1)</sup>、石澤 義久<sup>1)</sup>、早尾 辰雄<sup>1)</sup>、進士 賀一<sup>1)</sup>、土肥 麻寸美<sup>2)</sup>、松下 悟<sup>1)</sup>

- 1) 基盤技術センター 運営企画室
- 2) アデコ株式会社

はじめに

放医研には多数の実験棟が存在し、それら実験棟内で実験を行う際には、各種の実験計画書や申請書が必要となる。その際、各実験室には複数の管理区域が設定されている場合が多く、使用する実験室が1室であっても複数の書類提出が必要となり、実験者にとって提出すべき書類を見極めるのは非常に煩雑となっている。さらに書類を作成する場合、氏名、実験課題名、実験概要など、どの書類にも共通した記入事項があり、個々の書類に同じ内容を何度も記入するのも煩雑である。そこで我々は、実験室名を入力するだけで自動的に必要書類を認識し、さらに各書類の共通事項を一度入力すれば全部の書類に反映された状態でプリントアウトできるよう、Microsoft Excelのマクロ機能を利用した「実験計画書統合記入ソフト」を作成し、平成20年12月より運用を開始した。以下、そのソフト内容について紹介する。

ソフト作成までの経緯・問題点

ソフト作成について、当初検討を始めた段階では1つの書類ですべての申請内容がカバーできる実験計画書書式の作成を目指していた。そうする事により、複数の実験計画書を申請する必要がなくなり、ユーザー・管理部署ともに効率的になると考えた。しかし、実験計画書ごとに必要となる情報が大きく異なるため、全体の内容を網羅するとかえって無駄が増えると共に、研究情報が複数の部署等に漏れてしまうことなどが懸念された。



図1: 実験棟・室名の選択画面

そこで着眼点を変え、①必要書類を自動的に表示すること、②入力作業の手間をできるだけ軽減すること、を目指して、ソフトを作成することとした。

必要書類の自動表示

作成に当たりまず着目した点は、ひとつの実験場所を使用する場合であっても、管理区域の関係上、複数の実験計画書や申請書類の提出が必要になるエリアが数多く見受けられたことだった。そのため、まれに書類の提出漏れがあり、スムーズに実験が開始出来なかった事例があるとの話を聞き、入力した実験室名から自動で必要な実験計画書を選択し、それにより提出漏れが無くなるような機能を設けられればと考えた。そのためには、まず所内の実験場所を調べ、各部署がどの管理区域に属しているのかを整理する必要があった。

所内の実験場所については、所内図面等をもとに一覧表に整理したが、各部署がどの管理区域に属しているかを特定するのは非常に困難だった。そのため管理区域の特定は、各管理担当部署の協力のもと整理を行った。

情報の整理には相当の期間を要したが、集約した情報をもとに実験棟などの選択画面を作成した(図1)。使用する際は、「実験棟」、「フロア」、「室名1~6」のプルダウンリストを順番に選択し、画面右側の「実験室確定」ボタンをクリックすることで、関係する実験計画書を自動選択することができる(図2)。最大5施設、30室を一度に選択することができる。

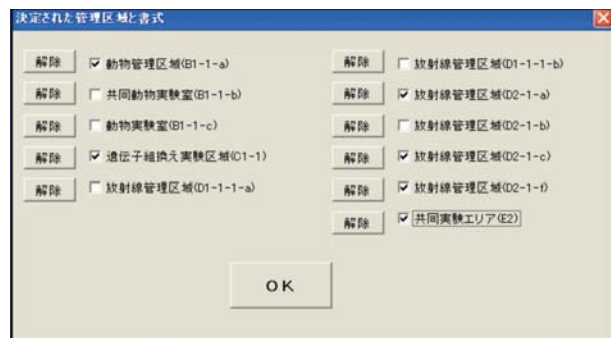


図2: 自動的に必要書類を認識した画面

入力作業の軽減

次に着目した点は、各実験計画書に必要な記載情報である。現在使用されている実験計画書では「所属」、「職名」、「氏名」のほか、「実施期間」、「研究計画」など各実験計画書で共通する内容があり、それを1度に入力することができれば、少しでも実験計画書を作成する負担が減るのではと考えた。そのため、全体に共通する内容を抽出し、1つの画面で入力可能とすることで対応した(図3)。



図3: 申請者等を入力する画面

「実験計画書統合記入ソフト」の使用方法

「実験計画書統合記入ソフト」はMicrosoft Excelのマクロ機能をもとに作成しており、所内ホームページの研究関連情報に掲載している「放医研で実験を行うために(申請手続きガイド)」より、放医研内ユーザーであれば誰でも



図4: 作成された実験計画書(抜粋)

もダウンロードすることが出来る。ダウンロード後はデスクトップなどに保存し、通常のMicrosoft Excelと同じように入力できるため作業は非常に簡便である。また、入力情報は実験計画書書式に反映され、必要書類を自動選択の上、作成される(図4)。

これまで提供してきた「申請手続きガイド」は、実験を行う際にどのような手続きが必要で、どの書類を書かなければならないかを自分で確認するシステムだが、今回作成したソフトにより、実験計画書作成の過程の一部を自動化する事が可能となった。同ソフトの掲載を開始して以来、「申請手続きガイド」のアクセス数は上昇し、現在は累計で2,500件を超えるアクセス数となっている。

「放医研で実験を行うために(申請手続きガイド)」のURLは以下。

【<http://web.nirs.go.jp/HomePage/Kiban/center/guide/guide/soft/tougousoft.xls>】

おわりに

今回作成したソフトでは共通部分以外の情報については、自動的に作成された各シートに改めて入力する必要があるなど、改良の余地が残されている。既にソフトに対する要望も寄せられており、現在それらを改良した版を作成中である。今後も対応可能な部分については、より使いやすくなるよう改良を重ねていきたい。

【加速器技術】

大型サイクロトロン用超小型プロトンイオン源の導入

重粒子医科学センター 物理工学部  
北條 悟

金澤 光隆<sup>1)</sup>、本間 壽廣<sup>1)</sup>、鈴木 直方<sup>1)</sup>、村松 正幸<sup>1)</sup>、坂本 幸雄<sup>1)</sup>、杉浦 彰則<sup>1)</sup>、野田 耕司<sup>1)</sup>、岡田 高典<sup>2)</sup>、小松 克好<sup>2)</sup>、神谷 隆<sup>2)</sup>

1) 重粒子医科学センター 物理工学部  
2) 加速器エンジニアリング株式会社

現在のイオン源事情

放医研には、大型サイクロトロン (NIRS-930) があり、建設より 35 年経つ現在でも、放射性薬剤の開発研究を中心に様々な研究に使われている<sup>1)</sup>。大型サイクロトロンは、2006 年度に行なわれた高周波系の改造にともない、内部イオン源を撤去し、外部イオン源からの垂直入射へ変更している。外部イオン源として、ECR イオン源 (Kei-Source)<sup>2)</sup> とマルチカスプ型負イオン源が設置されている (写真1)。ビーム提供時には、ECR イオン源で生成されるプロトン (p) ~ 酸素 (<sup>16</sup>O<sup>6+</sup>) 等の陽イオン加速が行われている。表1に、平 20 年度における粒子別の加速実績エネルギー範囲を示す。マルチカスプ型負イオン源は、負イオン (H<sup>-</sup>) 加速専用のイオン源で、ビーム提供に用いることはできない。そのため、ECR イオン源が故障した場合には、大型サイクロトロンからのビーム提供を中止せざるを得なくなるため、バックアップイオン源を導入した。

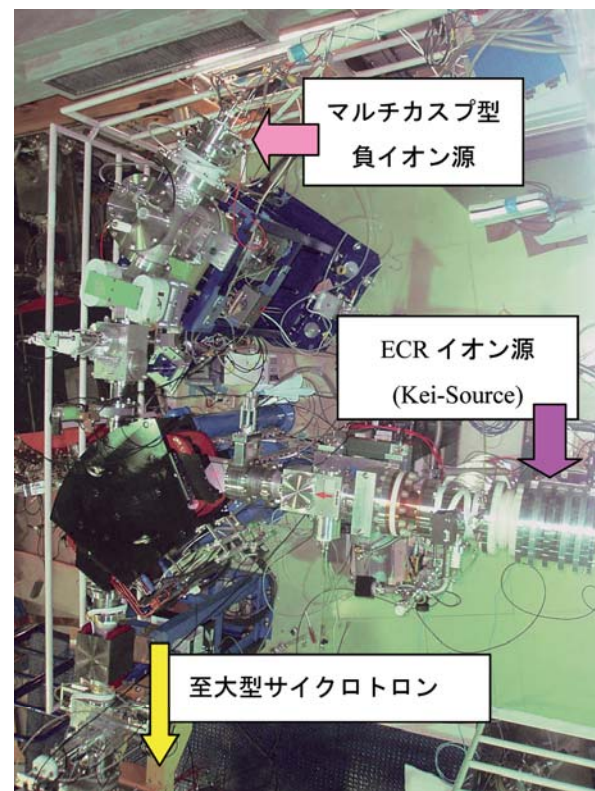


写真1: プラットホーム上の ECR イオン源とマルチカスプ型負イオン源

表1: 粒子別加速実績エネルギー表 (H20年度)

粒子	加速エネルギー
プロトン (p)	12~ 80 MeV
重水素 (D <sup>+</sup> )	12~ 30 MeV
水素分子 (H <sub>2</sub> <sup>+</sup> )	24~ 36 MeV
3ヘリウム ( <sup>3</sup> He <sup>+</sup> )	75~135 MeV
アルファ (α)	24~100 MeV
炭素 (C <sup>4+</sup> )	72~144 MeV
酸素 (O <sup>6+</sup> , O <sup>6+</sup> )	128~170 MeV

設置場所

放医研の大型サイクロトロンへの入射は、上面から入射するため、ECR イオン源はプラットホームに乗っている。ECR イオン源からのビームは、入射ビームラインを通り 90 度偏向電磁石により垂直方向に偏向され、サイクロトロンの加速領域中心にあるインフレクタへ入射される。そのため、90 度偏向電磁石の手前にイオン源を設置するには、入射ビームラインを追加して 90 度偏向電磁石を改造し、さらにプラットホームの拡張が必要になってしまう。そこで、90 度偏向電磁石上面を、バックアップイオン源の設置場所とした (写真2)。この場所からは、ビームが 90 度偏向電磁石をまっすぐ通り抜けてサイクロトロンに入射されるため、入射ビームラインを追加する必要がない。しかし、90 度偏向電磁石上面に設置するには、バックアップイオン源は小型で、なおかつ軽量である事が、重要不可欠となった。

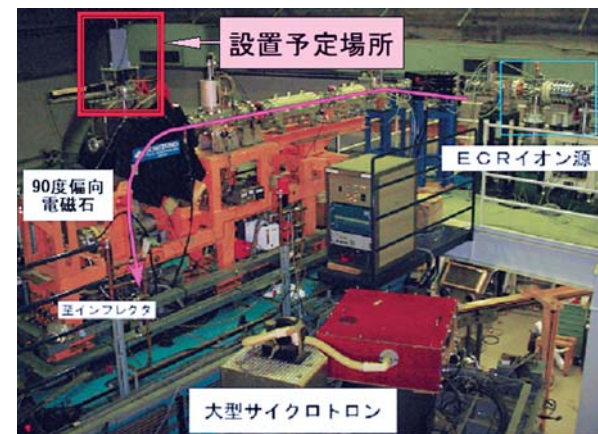


写真2: バックアップイオン源設置予定場所

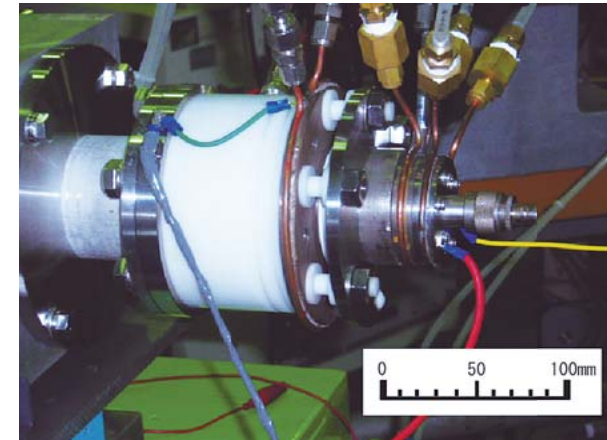


写真3: コンパクトイオン源

コンパクトイオン源

そこで、HIMAC 建設当初に試作されたコンパクトイオン源を用いることにした (写真3)。このイオン源は、永久磁石を用いた 2.45 GHz の ECR イオン源で、ボリウムが小さくマイクロ波が入りづらいという欠点があり、使用されていなかった。このイオン源を ECR イオン源として使用するには、マイクロ波源や、マイクロ波回路、制御装置などが必要になってしまう。そこで、大型サイクロトロンの運転状況を考慮し、PIG 型イオン源への改造を行なった (図1)。平成 20 年度における大型サイクロトロンのイオン核種別運転時間割合を図2に示す。p と水素分子イオン (H<sub>2</sub><sup>+</sup>) を合わせると全体の 80% を占めている。これより、バックアップイオン源では、重イオンが出せなくても、p と H<sub>2</sub><sup>+</sup> を出す事が出来れば、ビーム供給の 8 割をカバーすることができる事が分かる。そこで、バックアップイオン源では、炭素や酸素といった重粒子の多価イオンを目的とせず、電離エネルギーの低い p と H<sub>2</sub><sup>+</sup> のみを目的とした。p と H<sub>2</sub><sup>+</sup> のみを目的とするならば、電子のエネルギーが高くなる ECR 型イオン源ではなく、PIG 型イオン源で充分であると考えた。PIG 型イオン源なら、直流高压電源のみで放電を発生させる事が可能で、マイクロ波源やマイクロ波回路は不要となる。まず、マイクロ波を導入し

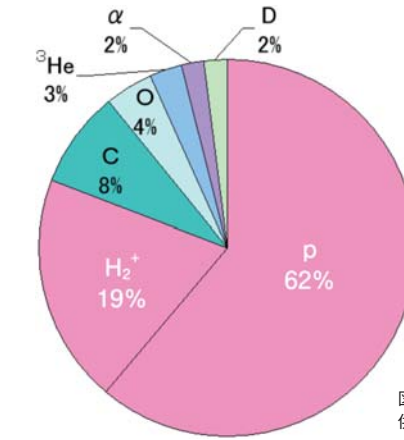


図2: 大型サイクロトロンビーム供給粒子別割合

ていたアンテナ部を撤去し、先端をすり鉢状にしたタンタル製のカソード (写真4) を取り付けました。次に、直流アーク放電は、放電領域において ECR 放電よりも高いガス濃度が必要となるため、供給されたガスが放電領域にとどまるように、ガスの閉じ込めを強化した。

ビーム試験

イオン源の改造後、直流高压電源を接続し、テストベンチでビーム試験を行なった。大型サイクロトロンのビーム提供において、最も多くのビーム量が要求されるのは RI 製造で、要求されるビーム量は RI 製造用ポートのターゲットで 20 μA である。ターゲットに 20 μA を供給するには、サイクロトロンの加速効率や、ビームトランスポートの輸送効率を考慮すると、イオン源の引き出し電圧を 8 kV (大型サイクロトロン水素分子 28 MeV 加速時の入射電圧相当) とした場合に、イオン源の出口で 200 μA のビーム電流が必要となる。そのため、ビーム電流が 200 μA となることを目標として、テストベンチで、ビーム試験を行なった。テストベンチでのビーム試験は、サイクロトロンの入射条件である引出電圧を、ビーム強度が必要となる H<sub>2</sub><sup>+</sup> 28 MeV 相当の 8 kV で行なった。ガスは、p と H<sub>2</sub><sup>+</sup> を出すために、水素ガスを供給し、カソードへの印加電圧を 1.5kV

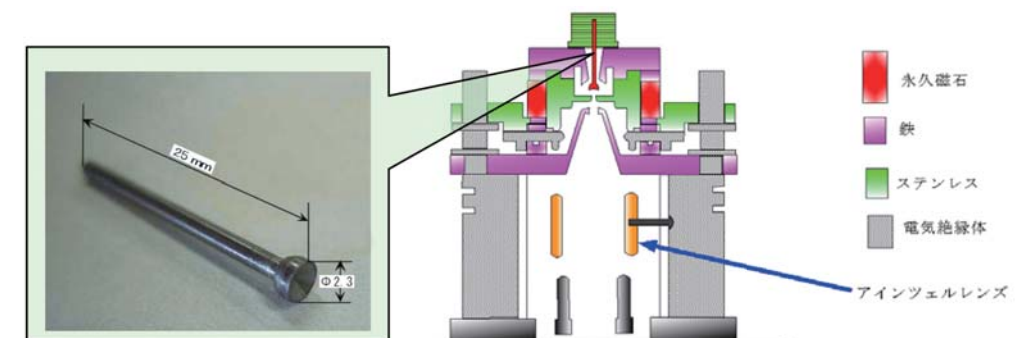


写真4: カソード

図1: バックアップイオン源内部構造図



印加した。テストベンチでは分離を行なっていないため、 $p$  と  $H_2^+$  を合わせてのビーム電流で、 $240\mu A$  のビームを確認することができた。そのため、大型サイクロトロンへ設置して、入射試験を行なった（写真5）。

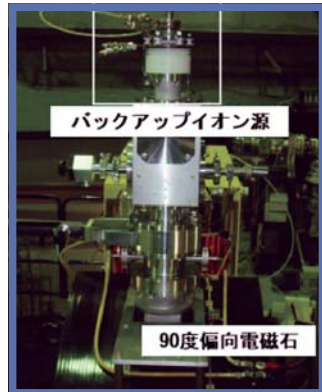


写真5: 大型サイクロトロンに設置されたバックアップイオン源



### 大型サイクロトロンへ

大型サイクロトロンへ導入するにあたり、90度偏向電磁石を真直ぐに通るため、残留磁場の補正用に静電ステアラーを追加し、さらに集束要素としてアインツェルレンズを追加した。静電ステアラーとアインツェルレンズは、偏向電磁石の真空チェンバーサイズ  $82\text{mm} \times 68\text{mm}$  内に収めるように設計し、上面フランジから吊下げるように設置した（図3）。静電ステアラーの電極形状は、 $\phi 60$  内に均一な電場を得るように2次元電場計算(Poisson

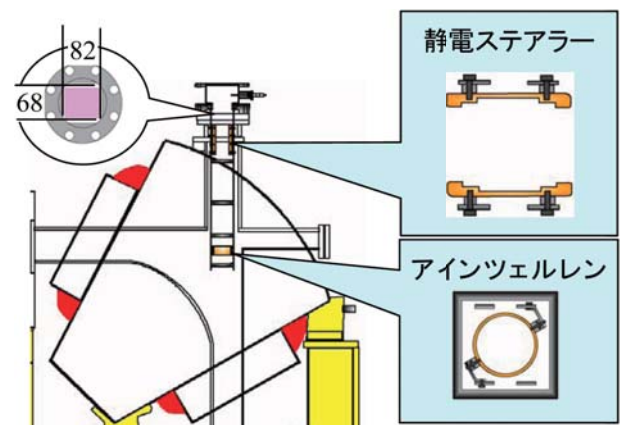


図3: 90度偏向電磁石チェンバー内のステアラーとアインツェルレンズ

superfish) を行い設計した。アインツェルレンズは、最大引出電圧と同じ  $20\text{ kV}$  を印加可能になっている。

静電ステアラーとアインツェルレンズを設置し、バックアップイオン源からの入射加速テストをビーム強度が必要となる  $H_2^+$   $28\text{ MeV}$  条件で行なった。テスト結果の各ビーム検出位置と結果のビーム量を図4に示す。イオン源の出口から、90度偏向電磁石のチェンバー内の静電ステアラーとアインツェルレンズを通り抜けた後のサイクロトロン入口で、 $15\mu A$  となった。入射されたビームは、加速領域の中心にあるインフレクタで偏向され、加速半径  $10\text{ cm}$  のところで  $4.8\mu A$ 、サイクロトロンで加速された後の取出し半径で、 $2.6\mu A$ 、サイクロトロン出口で、 $2.1\mu A$  のビーム量が確認できた。サイクロトロン入口から出口までの効率は、ECR イオン源からのビーム提供時には、12% から20% 程度であるのに対し、今回のバックアップイオン源からの入射加速テストでは、14% とビーム提供可能な範囲の効率を得る事ができた。

しかしながら、イオン源出口から、サイクロトロン入口まで到達するビーム量が非常に少なく提供に必要なビーム量に満たなかった。イオン源の出口から、90度偏向電磁石を真直ぐに通る時のビームロスが多く、サイクロトロンの入口までの集束要素が不足していると考えられる。

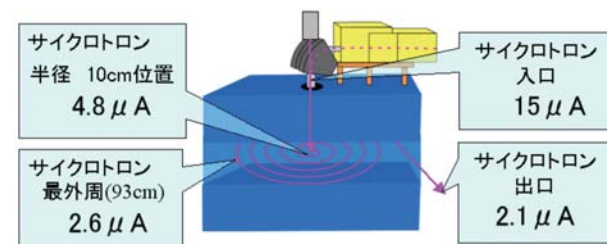


図4: ビームテスト結果

### 今後

今後、集束要素を強化するため、イオン源に内蔵されているアインツェルレンズの強化、90度偏向電磁石とサイクロトロン入口までの間に、レンズの追加を行なう予定である。また、イオン源の磁石を強化するなど、ビームを増強するための改造を行なっていく予定である。さらに、 $p$  と  $H_2^+$  の分離を行なうため、イオン源直後に  $E \times B$  フィルターの導入が検討されている。

### 参考文献

- 1) 平成19年度サイクロトロン利用報告書 NIRS-M-217
- 2) M.Muramatsu et al., Proceedings of the 10th International Workshop on ECRIS,2002, p59

## 特集/放医研基盤技術センター「第4回技術と安全の報告会」

### おわりに

基盤技術センター 副センター長  
松下 悟



放医研の技術を担当する職員を中心に始まったこの報告会も、今年で4回目（毎年度開催）となり、すっかり放医研の年中行事となりました。ポスター発表の演題数も昨年から30課題前後に増え、現在の会場（重粒子線棟地下セミナー室）では手狭になってきました。次回は、講堂で行うことも考えた方が良さそうです。

日常業務をこなしながらの報告会のため、時間帯によっては発表会場に空席がある時もありましたが、お集まりの皆さんの顔ぶれを見ると若い方たちの参加が大変増えて、活気があふれていました。放医研の未来はととても明るく感じました。

基盤技術は放医研の素晴らしい研究を支えるのみならず、研究そのもの一翼を担う大事な役目も負っています。この報告会を通して、個々の基盤技術が一層磨かれるとともに、所内の交流がますます活発になり、研究に弾みが付くことを期待しております。

最後になりましたが、お忙しいところ座長役を引き受けて頂いた先生方や実行委員の皆様、さらに開催にご協力いただいた皆様にお礼申し上げます。

## 第4回 技術と安全の報告会

開催日: 平成21年3月17日(火)

重粒子治療推進棟 2階大会議室 (口頭発表)  
地下1階セミナー室 (ポスター発表)

◇特別講演 15:20 ~ 16:20  
「『すばる』望遠鏡の光と影~基礎科学研究施設の現場から~」  
国立天文台 唐牛 宏 教授

<午前>	
9:30 ~ 9:40	開会挨拶
9:40 ~ 10:40	照射・計測技術、ネットワークシステム
11:00 ~ 12:15	分子イメージング関連技術、実験動物関連技術
<午後>	
12:15 ~ 14:00	ポスターセッション (13:15 ~ コアタイム)
14:00 ~ 15:00	安全管理と施設管理
15:20 ~ 16:20	◇特別講演
16:20 ~ 17:05	加速器技術、放射線計測
17:05 ~ 17:30	閉会挨拶

プログラムは、所内ホームページに掲載しております

※報告会終了後に懇親会(食堂)をおこないます  
※口頭発表・ポスター発表について、優秀賞・奨励賞を授与いたします

問い合わせ先  
基盤技術センター運営企画室 (内線: 6490)  
放射線発生装置利用技術開発課 (内線: 6700)

## 第4回技術と安全の報告会プログラム

平成21年3月17日 放射線医学総合研究所重粒子治療推進棟 大会議室 9:30~17:15  
 (特別講演は、講演50分、質疑応答10分) (口頭発表は12分、質疑応答3分)

開会の挨拶		9:30~9:40		米倉理事長	
セッション1 (座長:山谷泰賀)	9:40~10:40	OP-01	9:40~9:55	放射線源からの放射線の革新的な校正方法を開発 ~従来の放射線計測を改める可能性を示す~	○A:中村秀仁、A:北村尚、B:辻厚至、B:犬伏正幸、B:相良雅史、C:坂上正敏、C:大河内洋一郎、C:立原秀美、C:上村雄一、C:三木由布子、D:大竹淳 A:基セ 研究基盤技術部、B:分セ 分子病態イメージング研究G、C:企画部、D:情報業務室
		OP-02	9:55~10:10	In-Air PIXE 分析システム用7セグメント型X線検出器の導入に伴うデータ収集ソフトウェアの開発	○A:北村尚、A:石川剛弘、B:磯浩之、A:今関等、A:及川将一、A:小西輝昭、B:樋口有一 A:基セ 研究基盤技術部、B:メネオス・テック
		OP-03	10:10~10:25	Micro scanning PIXEにおける照射量測定システムの開発 その1	○A:石川剛弘、B:磯浩之、A:及川将一、A:小西輝昭、A:北村尚、B:樋口有一、A:酢屋徳啓、A:濱野毅、A:今関等 A:基セ 研究基盤技術部、B:メネオス・テック
		OP-04	10:25~10:40	特許データベースによる放医研所属特許の公開	○A:大竹淳、A:黒田典子、B:坂上正敏、B:伊達詩子 A:情報業務室、B:企画部
		10:40~11:00		コーヒーブレイク	
セッション2 (座長:西川哲)	11:00~12:15	OP-05	11:00~11:15	麻酔下皮下補液がマーマセットの血糖値に与える効果	○石井一、大林 茂 分セ 分子神経イメージング研究G
		OP-06	11:15~11:30	超音波(エコー)診断を組み合わせたコモンマーマセットの妊娠診断の検討	○A:亀井淳、B:石井一、B:永井裕司、C:重兼弘法、C:西川哲、B:大林茂 A:メネオス・テック、B:分セ 分子神経イメージング研究G、C:基セ 研究基盤技術部
		OP-07	11:30~11:45	緑色蛍光(GFP-)マウスに次ぐ第二の蛍光マウスとしての青色蛍光(CFP-)マウスの導入とその利用	○A:石井洋子、A:辻秀雄、A:岩井妙子、A:川崎智子、B:石田有香、B:小久保年章、C:館野香里、B:中台妙子、B:上野渉、C:新妻大介、C:伊藤正人、C:石原直樹、C:藤井功輔 A:防セ 生体影響機構研究G、B:基セ 研究基盤技術部、C:メネオス・サービス
		OP-08	11:45~12:00	胚移植法と帝王切開術を組み合わせた効率的なマウス浄化法の確立	○A:太田有紀、B:鬼頭靖司、C:塚本智史、A:新妻大介、A:石原直樹、C:上野渉、C:小久保年章、C:石田有香、C:西川哲、D:柴田知容、D:蜂谷みさを、B:酒井一夫 A:メネオス・サービス、B:防セ 防護技術部、C:基セ 研究基盤技術部、D:繁セ 高線量被ばく障害研究G
【分子イメージング関連技術、実験動物関連技術】	OP-09	12:00~12:15	Pasteurella pneumotropica の抗菌剤を用いた排除および抗菌剤の放射線研究に及ぼす影響に関する検討	○A:小久保年章、A:石田有香、A:白石美代子、A:中台妙子、A:鬼頭靖司、A:西川哲、B:入谷理一郎、B:館野香里、B:浅野まき A:基セ 研究基盤技術部、B:メネオス・サービス	
			12:15~13:15	(昼休み) ※ポスターの見学は昼休み中も可能です	
ポスターセッション	12:15~14:00	PP-01~PP-31 (ポスターの掲示は12:00までをお願いします。) (発表者の方は、13:15~14:00の間、ポスター横で説明をお願いします。)	重粒子治療推進棟地下 セミナ室		
セッション3 (座長:保田浩志)	14:00~15:00	OP-10	14:00~14:15	危険予知、ヒヤリハットと所内事故報告から見た安全向上の方策	○菅野孝行、本間広一、植松勇器 基セ 安全・施設部
		OP-11	14:15~14:30	放医研の防火管理	佐々木昭徳 基セ 安全・施設部
		OP-12	14:30~14:45	所内の電気設備について	柳生豊 基セ 安全・施設部
		OP-13	14:45~15:00	下限数量以下の非密封放射性同位元素の管理区域外使用に向けて(その2)	○高倉伸夫、菅原幸喜 基セ 安全・施設部
		15:00~15:20		コーヒーブレイク	
特別講演 (座長:日下部正志)	15:20~16:20	SP-01	「すばる」望遠鏡の光と影 ~基礎科学研究施設の現場から~ 唐牛 宏 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台		
セッション4 (座長:金澤光隆)	16:20~17:05	OP-14	16:20~16:35	小型ECRイオン源における13C2H2ガスをを用いたC6+イオン強度の確認	○A:村松正幸、A:北川敦志、A:北條信、B:Arne G. Drentje A:重セ 物理工学部、B:K.V.I., University of Groningen
		OP-15	16:35~16:50	超小型プロトンイオン源の導入	○A:北條信、A:金澤光隆、A:本間壽廣、A:鈴木直方、A:村松正幸、A:坂本幸雄、A:杉浦彰則、B:岡田高典、B:小松克好、B:神谷隆 A:重セ 物理工学部、B:加速器エンジニアリング棟
		OP-16	16:50~17:05	HIMAC照射システムの信頼性評価	○A:熊谷忠房、A:取越正己、A:大野由美子、A:高田栄一、A:金井達明、B:近藤貴律、B:宇野隆之、B:池田雅敏、B:勝間田匡、B:武井友昭 A:重セ 物理工学部、B:加速器エンジニアリング棟
閉会の挨拶	17:05~17:15	白尾理事			
懇親会	18:00~	重粒子治療推進棟1階 食堂			

## ポスターセッション

PP-01	マイクロ写真展	A:磯浩之、B:北村尚、B:石川剛弘、B:及川将一、A:樋口有一、B:小西輝昭、B:安田仲宏、B:今関等 A:メネオス・テック、B:基セ 研究基盤技術部
PP-02	SPICEにおけるビームエンド膜の最適化	A:樋口有一、B:小西輝昭、B:及川将一、B:石川剛弘、A:磯浩之、B:今関等 A:メネオス・テック、B:基セ 研究基盤技術部
PP-03	X線発生装置TITAN-320型における線量測定結果	A:三井大輔、B:酢屋徳啓、B:石川剛弘、A:磯浩之、B:今関等 A:メネオス・テック、B:基セ 研究基盤技術部
PP-04	静電加速器棟(PASTA&SPICE)における利用状況2008	A:及川将一、B:磯浩之、A:石川剛弘、B:樋口有一、A:小西輝昭、A:酢屋徳啓、A:濱野毅、A:今関等 A:基セ 研究基盤技術部、B:メネオス・テック
PP-05	低線量影響実験棟加速器の現状報告	A:萩原拓也、B:須田充、B:酢屋徳啓、B:小西輝昭、B:高田真志、B:濱野毅、B:平岡武、B:今関等 A:メネオス・テック、B:基セ 研究基盤技術部
PP-06	NESBEEの中性子発生用ターゲットの改良	A:須田充、A:高田真志、B:萩原拓也、A:酢屋徳啓、A:濱野毅、A:今関等 A:基セ 研究基盤技術部、B:メネオス・テック
PP-07	タンデム型静電加速器のメンテナンス状況	A:酢屋徳啓、A:石川剛弘、A:及川将一、B:磯浩之、B:樋口有一、A:小西輝昭、A:須田充、B:萩原拓也、A:今関等 A:基セ 研究基盤技術部、B:メネオス・テック
PP-08	放医研で提供可能なメダカを用いた技術基盤について	丸山耕一 防セ 防護技術部
PP-09	病理組織標本の迅速化検討	A:入谷理一郎、B:小久保年章、B:石田有香、A:館野香里、A:浅野まき、B:白石美代子、B:中台妙子、A:川原隼、B:川島直行、B:西川哲、C:松下悟 A:メネオス・サービス、B:基セ 研究基盤技術部、C:基セ 運営企画室
PP-10	マウスの喰殺に関する研究一(2)里親と里仔を同一系統とした際の喰殺率一	A:新妻大介、A:石原直樹、A:伊藤正人、A:大久保喬司、B:早尾辰雄、B:西川哲 A:メネオス・サービス、B:基セ 研究基盤技術部
PP-11	赤色蛍光遺伝子(DsRed2)トランスジェニックマウスの新規作製・系統化	A:鬼頭靖司、B:太田有紀、C:森雅彦、D:五十嵐美徳、E:塚本智史、A:酒井一夫、A:防セ 防護技術部、B:メネオス・サービス、C:防セ 生体影響機構研究G、D:国立がんセンター研究所、E:基セ 研究基盤技術部
PP-12	マイクロサテライトマーカーによる全自動電気泳動装置(MultiNA)を用いたマウスの遺伝学的モニタリングの試み	A:大久保喬司、A:新妻大介、A:石原直樹、A:伊藤正人、A:藤井功輔、A:海野あゆみ、B:上野渉、B:早尾辰雄、B:西川哲 A:メネオス・サービス、B:基セ 研究基盤技術部
PP-13	B6C3F1マウスを用いた発達期被ばく影響一体重への影響一	森竹浩之、金佳香、平野しのぶ、本多淑恵、平澤和子、水元富美子、山本裕子、山口悠、高橋江里佳、滝本美咲、柿沼志津子、島田義也 防セ 発達期被ばく影響研究G
PP-14	クローズドコロニーマウス系統に内在する変異遺伝子の発掘と系統化	A:上野渉、B:新妻大介、B:伊藤正人、B:石原直樹、B:大久保喬司、B:藤井功輔、B:川原隼、B:和田彩子、A:早尾辰雄、A:西川哲、C:木村二郎、C:高林秀次、C:加藤秀樹 A:基セ 研究基盤技術部、B:メネオス・サービス、C:浜松医科大学医学部附属動物実験施設
PP-15	アイソレーター作業効率を改善するための器具の試作と実用性の検討	A:石原直樹、A:新妻大介、A:伊藤正人、A:飯名瑞希、B:早尾辰雄、B:上野渉、B:石田有香、B:小久保年章、B:川島直行、A:入谷理一郎、A:館野香里、B:中台妙子、C:大谷鉄也、D:相沢賢司、B:西川哲 A:メネオス・サービス、B:基セ 研究基盤技術部、C:日本クレア(株)、D:トキワ科学器機機
PP-16	動物実験等実施に関する規程の運用に伴う重粒子線棟実験制御計数室の共同動物実験室化	A:浅野まき、A:入谷理一郎、B:甲斐聡、C:小久保年章、D:村上健 A:メネオス・サービス、B:加速器エンジニアリング棟、C:基セ 研究基盤技術部、D:重セ 物理工学部
PP-17	ラットの分娩仔を人工乳で哺育する人工哺育技術について	A:伊藤正人、A:飯名瑞希、A:和田彩子、A:藤井功輔、A:入谷理一郎、A:館野香里、B:小久保年章、B:上野渉、B:早尾辰雄、B:西川哲、C:干場純治 A:メネオス・サービス、B:基セ 研究基盤技術部、C:岡山大学 自然科学研究支援センター 動物資源部門
PP-18	放医研で維持されているマウス系統の寄託事業の現状報告	A:海野あゆみ、B:塚本智史、A:和田彩子、A:伊藤正人、A:大久保喬司、A:川原隼、A:藤井功輔、A:新妻大介、B:上野渉、B:早尾辰雄、B:西川哲 A:メネオス・サービス、B:基セ 研究基盤技術部
PP-19	サル腸内細菌検査結果を動物施設の衛生状態の指標とするための一考察(第2報)	A:河合直士、A:成川覚、A:山口龍二、A:松田優一、A:北爪雅之、A:崎崎康裕、A:橋本直樹、B:重兼弘法、B:西川哲 A:メネオス・テック、B:基セ 研究基盤技術部
PP-20	動物実験を取り巻く現状と放医研における運用の実際一実験動物へ与える苦痛の評価について一	A:石田有香、B:浅野まき、A:重兼弘法、A:小久保年章、A:早尾辰雄、A:西川哲 A:基セ 研究基盤技術部、B:メネオス・サービス
PP-21	平成20年度におけるSPF施設とアイソレータの環境モニタリング報告	A:館野香里、B:石田有香、B:中台妙子、B:白石美代子、A:川原隼、A:新妻大介、A:石原直樹、A:館野真太郎、B:上野渉、B:小久保年章、B:西川哲 A:メネオス・サービス、B:基セ 研究基盤技術部
PP-22	低線量影響実験棟の利用状況とバスボックスにおける殺菌灯の有効性	A:館野真太郎、A:館野香里、B:石田有香、B:上野渉、B:小久保年章、B:西川哲 A:メネオス・サービス、B:基セ 研究基盤技術部
PP-23	実験動物研究棟における実験動物管理の稼働状況	A:飯名瑞希、B:早尾辰雄、B:西川哲 A:メネオス・サービス、B:基セ 研究基盤技術部
PP-24	平成20年度 SPF動物生産実験棟 活動報告	A:藤井功輔、B:上野渉、A:新妻大介、A:伊藤正人、A:石原直樹、A:大久保喬司、A:川原隼、A:和田彩子、C:岸一華、C:井戸原智子、B:西川哲 A:メネオス・サービス、B:基セ 研究基盤技術部、C:マンパワー・ジャパン(株)
PP-25	NIRS930.HM-18サイクロトロン運転状況	A:杉浦彰則、A:金澤光隆、A:北條信、A:鈴木直方、A:本間壽廣、A:村松正幸、A:坂本幸雄、B:岡田高典、B:小松克好、B:神谷隆 A:重セ 物理工学部、B:加速器エンジニアリング棟
PP-26	一過性および永久中大脳動脈閉塞モデルの安定化のための技術検討	A:柴田さやか、A:青木伊知男、B:河合裕子 A:分セ 先端生体計測研究G B.明治国際医療大学 脳外科教室
PP-27	マルチモダリティイメージング用ブリッジカプセルの開発	A:下村岳夫、A:國領大介、A:青木伊知男、A:小島隆行、A:木村裕一、A:山谷泰賀、A:菅野巖、B:鈴木敏和 A:分セ 先端生体計測研究G、B:繁セ 線量評価研究G
PP-28	標識薬剤の製造と利用状況について	根本和義 分セ 運営企画ユニット
PP-29	治療エリア建設のための重粒子線棟内補助連へ設置工事	A:佐藤真二、A:村上健、B:佐野悦信、B:三好智広 A:重セ 物理工学部、B:加速器エンジニアリング棟
PP-30	「技術と安全の報告会」演題登録システム構築と運用	A:前田武、B:松下良平、C:四野宮貴幸 A:基セ 研究基盤技術部、B:基セ 運営企画室、C:情報業務室
PP-31	実験計画書統合記入ソフトの作成	A:松下良平、A:菅原幸喜、A:石澤義久、A:早尾辰雄、A:進士賢一、B:土肥麻寸美、A:松下悟 A:基セ 運営企画室、B:アデコ(株)

受賞者の声

優秀賞(口頭発表)

亀井 淳  
株式会社ネオス・テック



今回の発表はマーモセットの妊娠診断精度向上に寄与する技術的検討で、その成果を報告会において優秀賞という形で認められたことは大変うれしく思います。

今後も検討を重ね、より良い超音波診断法を確立させていきたいと思っています。

優秀賞(ポスター発表)

三井 大輔  
株式会社ネオス・テック



今回の受賞は、ともに仕事をしている方々のご指導・ご支援・ご協力の賜物であり、日常業務の成果が評価され大変うれしく思います。数々の助言・意見をいただいた今関等研究基盤技術部長をはじめ、放射線発生装置利用技術開発課の皆様にも深く感謝いたします。誠にありがとうございました。

奨励賞(口頭発表)

柳生 豊  
基盤技術センター  
安全・施設部 施設課 電気係



このような賞をいただいたことを、誠にうれしく思います。これを機に皆様が普段何気なく使っている、所内の電気がどのようにして手元まで届いているか、また施設課電気係の仕事が所内でどのような役割を担っているか、少しでも興味をもっていただけたらと思います。

奨励賞(ポスター発表)

下村 岳夫  
分子イメージング研究センター  
先端生体計測研究グループ



この度は大変立派な賞を頂き、大変嬉しく思っております。小動物の固定には、イメージング手法毎に様々なハードルがあり、困難を極める事もあります。これを励みにより一層の改良を重ね、技術力向上にも精進したいと思います。ご指導頂いた先生方に、この場を借りて御礼申し上げます。

下村氏 ポスター発表アブストラクト

マルチモダリティイメージング用ブリッジカプセルの開発(アブストラクト) 分子イメージングにおいては複数の撮像手法による評価が求められているが、同時計測が可能な機器の実用化は十分でない。そこで我々は同時計測ではなく、撮像対象を同じ麻酔と固定状態を維持したまま移動することで、PET, MRI, CT など複数手法での画像重ね合わせを可能とする「ブリッジカプセル」の開発を行った。カプセルはマウスを対象に設計され、①動物の不動化②麻酔の維持③位置合わせ用マーカーの機能を持ち、高感度RFコイルを使用する為に内径35mmの円柱状とした。頭部固定には、より簡便な新方式を考案(特許出願予定)、体幹部固定には専用ベッド上のマウスを2液混合シリコンで型取りする方式を採用した。位置合わせ用のマーカーはベッドに一体化され、高精度光造形により内径1.0mmの連続した細管を製作した。本カプセルを用いて7T-MRIにてマウス体幹部の良好な断層像が得られた。本開発の進展により、不動化と麻酔状態を維持したままの移動が可能となり、複数手法における正確な画像重ね合わせが可能になる事が期待される。

最近の成果

自然起源放射性物質(NORM)線量評価プログラムの開発

放射線防護研究センター 規制科学総合研究グループ  
岩岡 和輝

黒田 典子<sup>1)</sup>、米原 英典<sup>2)</sup>  
1) 情報業務室 情報利用推進課  
2) 放射線防護研究センター 規制科学総合研究グループ



岩岡 和輝 (Kazuki Iwagaki)

はじめに

自然起源の放射性核種を含む物質(自然起源放射性物質: NORM)は、様々な原材料として広く一般に利用されている。NORMの利用(取扱作業)による被ばく線量は、利用時間・利用物質の種類など利用条件によって大幅に変動するため、一律の利用条件では評価することはできず、個々の利用条件に応じた評価を行う必要がある。このような背景をふまえて、我々は、個々の利用条件に応じた被ばく線量を容易に評価可能なプログラム(NORM線量評価プログラム)を作成した。本報告では、作成したNORM線量評価プログラムについて解説するとともに、NORM線量評価プログラムを使って算出した様々なNORM利用下における被ばく線量について報告する。

プログラムの線量計算式

本プログラムの線量計算には、欧州委員会報告書 Radiation Protection 122 (RP-122)<sup>1)</sup>の線量計算方法を用いた(式(1)-(3))。一般的な土壌・岩石・鉱石・石炭・石油などおよびそれらを原料として作られた物質中に比較的高い濃度で含まれている自然起源の放射性核種は<sup>238</sup>U系列核種、<sup>232</sup>Th系列核種および<sup>40</sup>Kである。それゆえ、本プログラムにおいては、これらの核種を線量計算の対象にした(式(4)-(7))。

$$E_{ext} = D_{ext} \times T_e \times F_d \times A \quad (1)$$

$$E_{inh} = D_{inh} \times T_e \times F_d \times B_r \times C_{dust} \times A \quad (2)$$

$$E_{ing} = D_{ing} \times T_e \times F_d \times R_{ing} \times A \quad (3)$$

$$E_{ext (total)} = E_{ext (U)} + E_{ext (Th)} + E_{ext (K)} \quad (4)$$

$$E_{inh (total)} = E_{inh (U)} + E_{inh (Th)} + E_{inh (K)} \quad (5)$$

$$E_{ing (total)} = E_{ing (U)} + E_{ing (Th)} + E_{ing (K)} \quad (6)$$

$$E_{total} = E_{ext (total)} + E_{inh (total)} + E_{ing (total)} \quad (7)$$

$E_{ext}$ : 外部からの $\gamma$ 線による実効線量(以降、外部実効線量)(Sv  $y^{-1}$ )

$E_{inh}$ : 吸入による実効線量(以降、吸入実効線量)(Sv  $y^{-1}$ )

$E_{ing}$ : 経口による実効線量(以降、経口実効線量)(Sv  $y^{-1}$ )

- $D_{ext}$ : 放射能濃度—外部実効線量換算係数 (Sv  $h^{-1}$  Bq  $g^{-1}$ )
- $D_{inh}$ : 放射能濃度—吸入実効線量換算係数 (Sv  $g^{-1}$ )
- $D_{ing}$ : 放射能濃度—経口実効線量換算係数 (Sv  $g^{-1}$ )
- $T_e$ : 年間被ばく時間(本プログラム画面では利用時間と表示)( $y^{-1}$ )
- $F_d$ : 希釈率
- $A$ : 放射能濃度 (Bq  $g^{-1}$ ) (本プログラム画面では放射能濃度と表示)
- $B_r$ : 呼吸速度 ( $m^3 h^{-1}$ )
- $C_{dust}$ : 空気中の塵埃の濃度 ( $g m^{-3}$ )
- $R_{ing}$ : 経口摂取速度 ( $g h^{-1}$ )
- $E_{ext (U)}, E_{ext (Th)}, E_{ext (K)}$ : <sup>238</sup>U系列核種, <sup>232</sup>Th系列核種, <sup>40</sup>Kの外部実効線量(本プログラム画面では、外部線量と表示)(Sv  $y^{-1}$ )
- $E_{inh (U)}, E_{inh (Th)}, E_{inh (K)}$ : <sup>238</sup>U系列核種, <sup>232</sup>Th系列核種, <sup>40</sup>Kの吸入実効線量(本プログラム画面では吸入線量と表示)(Sv  $y^{-1}$ )
- $E_{ing (U)}, E_{ing (Th)}, E_{ing (K)}$ : <sup>238</sup>U系列核種, <sup>232</sup>Th系列核種, <sup>40</sup>Kの経口実効線量(本プログラム画面では経口線量と表示)(Sv  $y^{-1}$ )
- $E_{total}$ : 外部実効線量、吸入実効線量および経口実効線量の合計(本プログラム画面では年間合計線量と表示)(Sv  $y^{-1}$ )

プログラムの構成・入力項目

プログラムは、メイン画面、利用条件入力画面、線量計算結果表示画面の3種類で構成されている。メイン画面で「利用様式」を選択し、利用条件入力画面で「物質の形態」「物質の放射能濃度」「利用時間」を入力して線量計算を実行すると、線量計算結果表示画面に「外部線量」「吸入線量」「経口線量」「年間合計線量」の計算結果が表示される(図1)。「利用様式」の項目では、輸送・屋内加工・屋内貯蔵・屋外加工・屋外貯蔵・道路建設・建築の7種の利用様式から1種類選択することで、線量計算式(式(1)-(7))の<sup>238</sup>U系列核種・<sup>232</sup>Th系列核種・<sup>40</sup>Kの実効線量換算係数などに、選択した利用様式に応じ

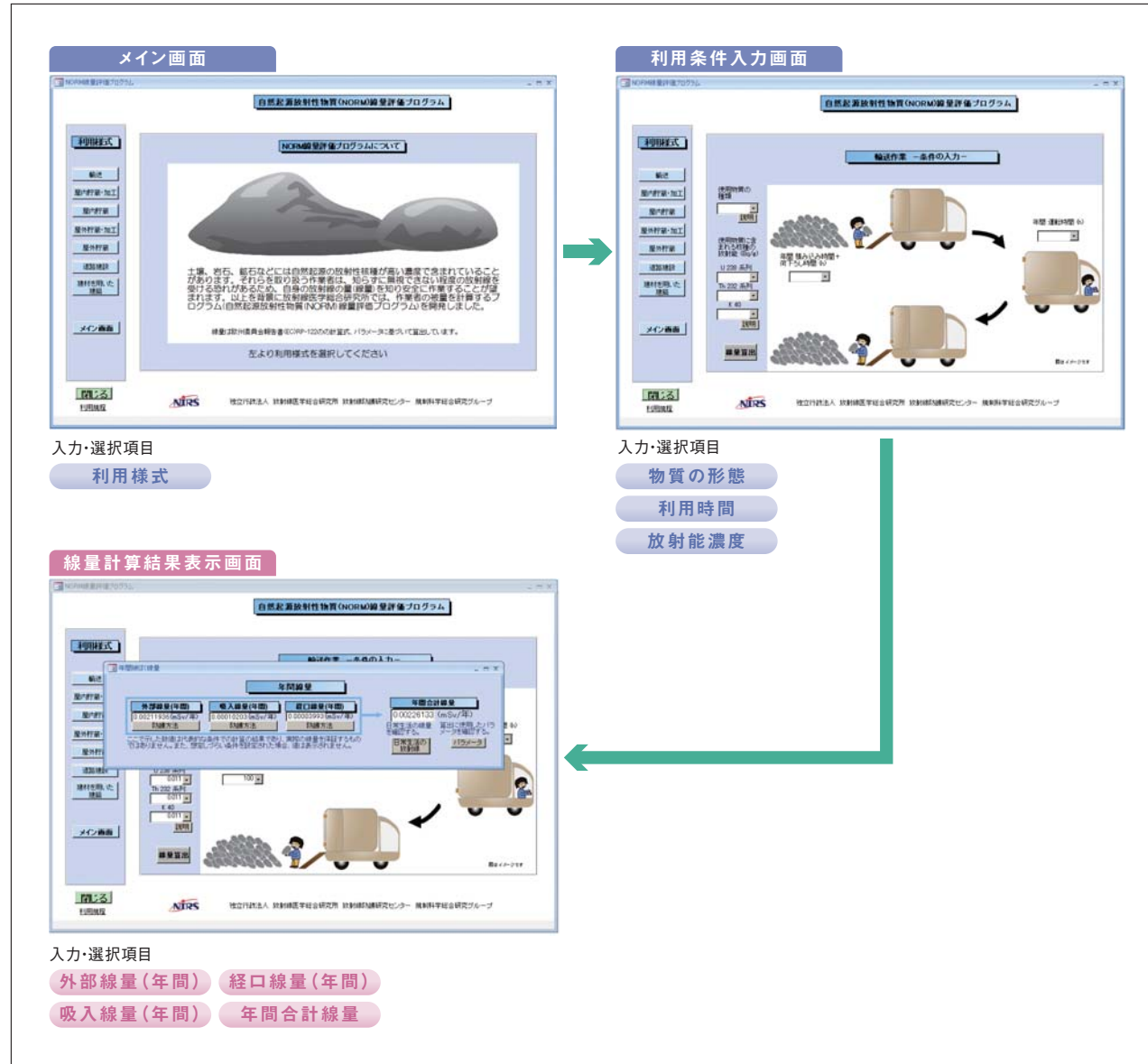


図1: プログラムの画面

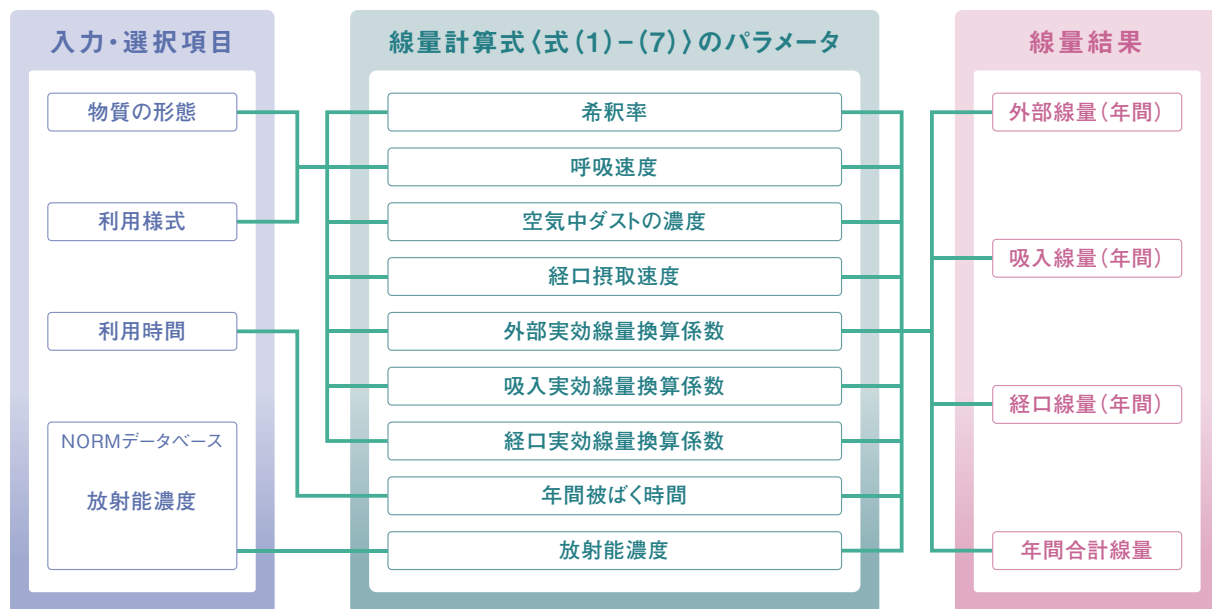


図2: プログラムの仕組み

た RP-122 の代表的な値が自動的に設定される (図2)。なお、設定される  $^{238}\text{U}$  系列核種、 $^{232}\text{Th}$  系列核種の実効線量換算係数は永続平衡を仮定した値である。「物質の形態」の項目では、岩石・灰・砂・スラグ・スラッジの5種類から1種類選択することで、線量計算式(式(1)-(7))の希釈率・経口摂取速度・塵埃の濃度などに、選択した物質の形態に応じた RP-122 の代表的な値が自動的に設定される (図2)。「物質の放射能濃度」の項目では、使用物質に含まれる  $^{238}\text{U}$  系列核種・ $^{232}\text{Th}$  系列核種・ $^{40}\text{K}$  の放射能濃度を入力することで、その入力値が線量計算式(式(1)-(7))の放射能濃度に自動的に設定される (図2)。なお、物質の放射能濃度は、我々がすでに一般に公開している NORM データベース<sup>2,3)</sup> から容易に調べることができる。「利用時間」の項目では、年間の利用時間を入力することで、その入力値が線量計算式(式(1)-(7))の年間被ばく時間に自動的に設定される (図2)。

プログラムによるNORMの被ばく線量評価

NORM には様々な種類のものがあるが、本報告ではジルコニウム鉱石、花崗岩、石炭灰、レンガ、リン酸肥料の様々な利用による被ばく線量を、NORM 線量評価プログラムを使って算出し、それらの結果を比較した (表1)。なお、それらの被ばく線量を算出するために NORM 線量評価プログラムに入力した条件 (「利用様式」「物質の形態」「利用時間」「物質の放射能 (NORM データベース<sup>2,3)</sup> から引用) およびそれらの条件を入力することで自動的に設定されるパラメータ (実効線量換算係数、希釈率、経口摂取速度、塵埃の濃度など) を表2~4に示す。輸送、道路建設、建築の利用に関しては、外部被ばくの寄与が大きく、屋内加工の利用に関しては、吸入被ばくの寄与が大きいことがわかった。すべての NORM において、道路建設利用による年間合計線量は他の利用による年間合計線量よりも高かった。ICRP Publication 82<sup>4)</sup> では、介入の免除規準

表1: 実効線量計算結果

利用様式	実効線量 (Sv y <sup>-1</sup> )	ジルコニウム鉱石	花崗岩	石炭灰	リン酸肥料
輸送	外部線量(年間)	6.6E-04	2.5E-05	3.5E-05	5.4E-05
	吸入線量(年間)	3.3E-05	8.4E-07	1.6E-06	2.6E-06
	経口線量(年間)	1.5E-05	2.9E-07	9.7E-07	1.2E-06
	年間合計線量	7.1E-04	2.6E-05	3.8E-05	5.8E-05
屋内貯蔵	外部線量(年間)	5.1E-04	1.9E-05	2.7E-05	4.2E-05
	吸入線量(年間)	3.0E-04	7.6E-06	2.9E-05	4.7E-05
	経口線量(年間)	2.7E-04	5.2E-06	1.7E-05	2.2E-05
	年間合計線量	1.1E-03	3.2E-05	7.4E-05	1.1E-04
屋外貯蔵	外部線量(年間)	5.2E-04	1.9E-05	2.8E-05	4.2E-05
	吸入線量(年間)	1.2E-04	3.0E-06	1.4E-05	2.4E-05
	経口線量(年間)	2.7E-04	5.2E-06	1.7E-05	2.2E-05
	年間合計線量	9.1E-04	2.7E-05	6.0E-05	8.7E-05
屋内作業	外部線量(年間)	5.1E-04	1.9E-05	2.7E-05	4.2E-05
	吸入線量(年間)	1.2E-03	3.0E-05	5.8E-05	9.4E-05
	経口線量(年間)	2.7E-04	5.2E-06	1.7E-05	2.2E-05
	年間合計線量	2.0E-03	5.4E-05	1.0E-04	1.6E-04
屋外作業	外部線量(年間)	5.2E-04	1.9E-05	2.8E-05	4.2E-05
	吸入線量(年間)	5.9E-04	1.5E-05	2.9E-05	4.7E-05
	経口線量(年間)	2.7E-04	5.2E-06	1.7E-05	2.2E-05
	年間合計線量	1.4E-03	3.9E-05	7.4E-05	1.1E-04
道路建設	外部線量(年間)	5.0E-03	1.8E-04	2.7E-05	3.2E-04
	吸入線量(年間)	5.9E-04	1.5E-05	2.9E-06	3.8E-05
	経口線量(年間)	2.7E-04	5.2E-06	1.7E-06	1.8E-05
	年間合計線量	5.8E-03	2.0E-04	3.1E-05	3.8E-04
建築	外部線量(年間)	2.7E-03	9.9E-05	4.8E-05	2.2E-04
	吸入線量(年間)	8.9E-05	2.3E-06	1.4E-06	7.1E-06
	経口線量(年間)	8.2E-05	1.6E-06	1.7E-06	6.6E-06
	年間合計線量	2.9E-03	1.0E-04	5.2E-05	2.3E-04



## 稲毛における日中関係の歴史

市川龍資

戦前における千葉市は軍都と呼ばれ、陸軍の各種施設が多数存在していた。現在の放医研はその頃あった陸軍戦車学校の跡地にできていて、昭和34年新研究棟が完成した頃は、まだ戦車格納庫の残がいの一部があり、また兵舎（一説によれば馬小屋）が残っていて、これを修理して放医研の独身寮に改造して使っていた。このことは以前にも放射線科学誌に少し書いたことがある。また愛新覚羅慧生さんの哀しい物語についても触れた覚えがある。

最近知ったのは、愛新覚羅溥儀氏（中国のラストエンペラー溥儀氏の弟）が一時期稲毛に住んでいたことである。図に示したように陸軍歩兵学校という施設が放医研から遠くない所に存在し、溥儀氏はここに通っていたという。住んでいたのは稲毛海岸の小さな家だったそうである。ここで日本の嵯峨侯爵家の令嬢浩さんを妻として暮らしていた。稲毛海岸といっても、今の海岸ではない。その頃の稲毛海岸というのは、放医研が出来た頃と同じで稲毛駅から徒歩で汐干狩り行けるくらい近い場所だった。今は車で相当走らなければ海岸に行きつけない。広大な浅海を埋め立てたからである。稲毛海岸住宅と呼ばれる公務員住宅団地は海中にあったのである。

愛新覚羅溥儀さんは溥儀氏の次女で、慧生さんの妹にあたる。溥儀さんにインタビューして書いた石井妙子さんというノンフィクション作家の文章によれば、溥儀氏一家と稲毛との間には次のような歴史があったという。

溥儀氏と嵯峨浩さんとの陸軍の画策による政略結婚は昭和12年廬溝橋事件の起る直前のことで、学習院に留学していた溥儀氏は、陸軍士官学校に入学、卒業して稲毛の陸軍歩兵学校に通っていた。この陸軍歩兵学校とい

うのは、千葉市発行の資料によれば大正元年に稲毛の作草部町につくられ、歩兵の戦闘法を研究し、これを全軍に普及させる目的の機関であったそうである。現在はこの跡地に作草部公園や県中央児童相談所、千葉少年鑑別所などができている。

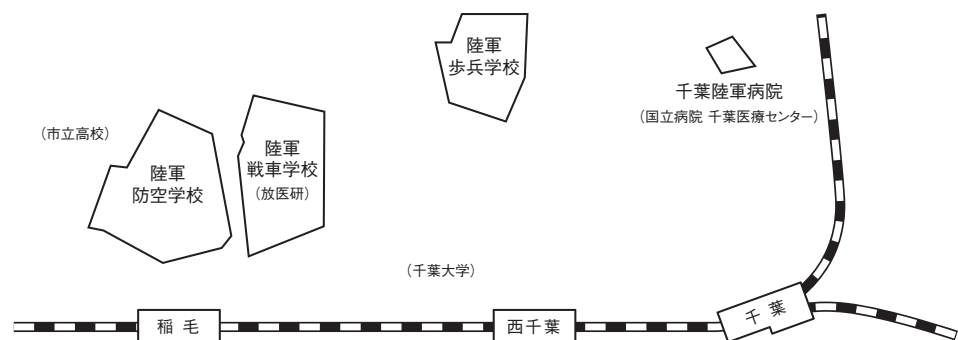
浩さんは溥儀氏より7歳年下で、学習院女子部を卒業し油絵が好きで習っていたという。縁談には当時の関東軍司令官本庄繁大将が嵯峨家に来訪した。

満州国皇帝にまつりあげられた清朝のラストエンペラー溥儀氏には世継ぎがなかったため、弟の溥儀氏に男子が誕生すれば、日満の血の入った帝位継承者が誕生することになるので、これが関東軍の目的だったのである。

浩さんは結婚が決まってから、宮中で皇太后様（大正天皇妃）に挨拶に行かれ、「満州国皇帝に仕えることは日本の陛下に仕えることに同じです...」とのお言葉をいただいたそうである。

二人は新婚生活を稲毛海岸の質素な住いでおくられたそうである。都会の洋館に住んで不自由のない生活しておられた浩さんにとって稲毛の淋しい田舎ぐらしは随分切ないものであったと想像される。残念ながらこの溥儀・浩夫妻の新婚時代の家がどのあたりにあったのか筆者は情報を持っていない。ご存知の方があれば是非教えていただきたいと思っている。不幸なことに日中戦争が二人の平穏な生活を破り、昭和12年秋には満州国の首都新京（今の長春）に移り住むことになった。浩さんは身ごもっていたので、少し遅れて旅立ったそうである。この時の子が慧生さんである。

ICHIKAWA RYUSHI（元放医研科学研究所研究官）



## 編集後記

今年3月に当研究所で基盤技術センター主催の「第4回技術と安全の報告会」が行われ、技術職を中心に当研究所の研究業務を支える、特に若手の方に、常日頃、行っている仕事を紹介していただいた。全ての発表は素晴らしく、こんな技術があったのか、ぜひ利用したいと思うものが多くあった。今月号では、ページの関係から、中でも、報告会で賞を受賞された方、ぜひ皆さんに紹介したい技術、安全に関する内容などを数件、選り出して執筆していただいた。ここで紹介する記事は、研究論文、学会の発表などでは見たり、聞いたりできないものばかりであり、この記事を読んでいただき、放医研が持っている素晴らしい技術にぜひ触れてください。もし、この技術を使ってみたいというものがあれば、ご連絡をいただければと思います。今回の記事が、みなさんと現場の技術者との架け橋になればと考えています。本報告会は来年、再来年も続けていき、技術現場の成果を紹介していきます。(MT)

## 次号予告

特集

第4回放医研  
国際オープンラボワークショップ  
-細胞および分子に及ぼす軽イオンの影響-



《編集委員会》

委員長	酒井 一夫	小橋 元	立崎 英夫
委員	内堀 幸夫	菊池 達矢	鈴木 敏和
	白川 芳幸	長谷川純崇	杉森 裕樹
	高田 真志	神田 玲子	
	玉手 和彦	石井 伸昌	
	金澤 光隆		
事務局	岡本 正則		

## 放射線科学

第52巻 第6号  
2009年6月15日発行

《編集・発行》

独立行政法人 放射線医学総合研究所  
〒263-8555 千葉市稲毛区穴川4-9-1  
電話 043(206) 3026 Fax.043(206) 4062 Eメール info@nirs.go.jp  
本誌 URL: <http://www.nirs.go.jp/info/report/rs-sci/index.shtml>  
(禁無断転載)



水生動物舎前に咲いているアガパンサス



<http://www.nirs.go.jp>