

## 《技術報告》

# 国立精神・神経医療研究センター 医療用小型サイクロトロン解体作業報告

伊藤 公輝\*,\*\* 中田 安浩\* 松田 博史\*\* 佐藤 典子\*

**要旨** **【目的】** RI 製造用の医療用小型サイクロトロンを院内に設置する施設が増加しているが、その解体・廃棄に関する報告は少ない。今回、当院で PET 薬剤製造に使用された医療用小型サイクロトロンの解体を行ったため報告する。**【方法】** 解体作業の計画は解体予備調査、解体作業、解体後報告に分けて施行された。放射化物の取り扱いとは主として科学技術庁の課長通知である「放射線発生装置使用施設における放射化合物の取り扱いについて」に基づいて処理を行った。**【結果】** 最も線量の高かった部位はターゲット部の真空フォイルであり、検出された核種は  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  などであった。放射化物を封入した容器の総量は 200 l 缶 13 本, 50 l 缶 1 本であった。この総量は当初の計画より少なく、これはサイクロトロンの冷却期間を 1 年以上空けた影響が大きいと考えられた。**【結論】** 今後、加速器の廃止に従う放射化物量を減らすため、冷却期間の検討や取り扱い方法の整備が要求されていくと考えられる。

(核医学 48: 109–119, 2011)

## 1. はじめに

近年, positron emission tomography (PET) の保険診療拡大に伴い RI 製造用の医療用小型サイクロトロンを院内に設置する施設が増加している。しかしながら、医療用小型サイクロトロンの廃棄はほとんど報告がなく、解体に伴う放射化物量や放射化の程度、廃棄物の保存・管理方法などは医療関係者にあまり知られてはいない<sup>1~3)</sup>。物理学などの研究用に使用される大型高エネルギーのサイクロトロン解体報告は散見されるが、加速エネルギーが数百 MeV を超えると核破砕反応によっ

て生成核種の種類や生成量が著しく増加するため、最大エネルギーが 20 MeV 程度の医療用小型サイクロトロンとは放射化の程度が大きく異なり参考になるとは言い難い<sup>4,5)</sup>。また、放射化物の取り扱いに関しては一定のガイドラインや法令整備のための内容案が整いつつあるが、解体作業に適した場合の手順や管理方法は広く知られるには至っていない。

今回、国立精神・神経医療研究センター (旧国立精神・神経センター) にて 1993 年より約 15 年間、fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) を主とした PET 薬剤の製造に使用されてきた医療用小型サイクロトンおよびその周辺機器の解体撤去作業を行った。この解体に関して、サイクロトン撤去計画と作業内容、放射化評価や放射化物の保管理、遵守した法令やガイドライン等に関して報告する。

\* 国立精神・神経医療研究センター放射線科

\*\* 埼玉医科大学国際医療センター核医学科

受付: 22 年 11 月 16 日

最終稿受付: 23 年 1 月 14 日

別刷請求先: 東京都小平市小川東町 4-1-1

(☎ 187-8551)

独立行政法人 国立精神・神経医療

研究センター 放射線科

伊藤 公輝

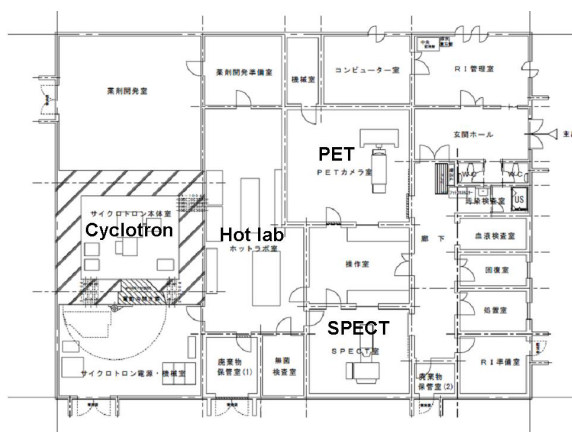


Fig. 1 Overview of radiation control area for PET in National Center of Neurology and Psychiatry.

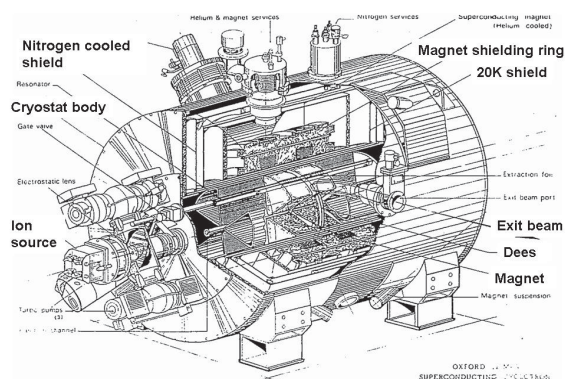


Fig. 2 Typical image of the superconductive cyclotron.

## 2. 国立精神・神経医療研究センターの概要

### 2.1 国立精神・神経医療研究センターの概要

国立精神・神経医療研究センターは昭和61年10月、精神疾患、神経疾患、筋疾患、および知的障害その他の高度発達障害に関し診断および治療、調査研究ならびに技術者の研究を目的として国立武蔵療養所、国立武蔵療養所神経センターおよび国立精神衛生研究所を統合して発足した。平成22年4月には独立行政法人となり9月にセンター病院として新病院での診療が開始された。今回、この新病院移行に伴い旧病院所属のPET棟内にある医療用小型サイクロトロンの廃棄が行われた。

Table 1 Materials activated by particle accelerator

|                                   |                                                                                                         |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Metal                             | Iron of magnet,<br>Copper or aluminium of coil,<br>Stainless steel of vacuum chamber<br>or cooling pipe |
| Plastic                           | Insulation of cable                                                                                     |
| Materials for<br>radiation shield | Iron,<br>Soil,<br>Concrete,<br>Lead of electron accelerator                                             |
| Others                            | Silver                                                                                                  |

### 2.2 国立精神・神経医療研究センターのPET棟および医療用小型サイクロトロンの概要

国立精神・神経医療研究センターのPET棟は病院とは別棟に建てられており、サイクロترون室およびその関連機械室、ホットラボ、PET検査室はすべて1階に位置している (Fig. 1)。今回、新病院移転に関しこのPET棟は研究所に動物用PET棟として譲渡することとなり、放射線管理区域の解除は行われなかった。

今回解体した医療用小型サイクロトロンはOXFORD社製超電導サイクロトロン (加速粒子： $H^-$ 、取り出し粒子： $H^+$ 、エネルギー：12 MeV、ビーム電流：稼働時 50  $\mu A$ ) で、平成5年から平成20年の約15年間、PET検査の薬剤製造に使用された (Fig. 2)。H21年3月PET装置の故障に伴いサイクロトロンの運転も中止となり、今回の解体まで約1年3ヶ月の冷却期間を設けることとなった。

## 3 放射化物の取り扱いについて

### 3.1 加速器における放射化

サイクロترونや電子加速器などでは加速エネルギーが約10 MeV以上になると放射化の問題が生じるとされ、核子当たりの最大加速エネルギーが2.5 MeV未満のイオン加速器、最大加速エネルギーが6 MeV未満の電子加速器等は放射化物がほとんど発生しないとされる<sup>1)</sup>。この放射化には加速粒子によって発生する放射化と二次的に発生する中性子による放射化がある。この放射化の程

**Table 2** Radionuclide generated with activation by particle accelerator

| Target materials      | Radionuclide       | Half-life             | Generative reaction                                    |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|
| Plastic               | <sup>3</sup> H     | 12.2 y                | spallation                                             |
|                       | <sup>36</sup> Cl   | 3 × 10 <sup>5</sup> y | <sup>36</sup> Cl(n,r)                                  |
| Aluminium             | add upper columns  |                       |                                                        |
|                       | <sup>14</sup> C    | 5730 y                | <sup>14</sup> N(n,p), <sup>17</sup> O(n,a), spallation |
|                       | <sup>22</sup> Na   | 2.6 y                 | spallation, <sup>23</sup> Na(r,n)                      |
|                       | <sup>26</sup> Al   | 8 × 10 <sup>5</sup> y | <sup>27</sup> Al(r,n)                                  |
| Iron, Stainless steel | add upper columns  |                       |                                                        |
|                       | <sup>46</sup> Sc   | 84 d                  | spallation                                             |
|                       | <sup>44</sup> Ti   | 48 y                  | spallation                                             |
|                       | <sup>54</sup> Mn   | 312 d                 | <sup>54</sup> Fe(n,p), <sup>55</sup> Mn(r,n)           |
|                       | <sup>55</sup> Fe   | 2.94 y                | <sup>54</sup> Fe(r,n), <sup>56</sup> Fe(r,n)           |
|                       | <sup>56</sup> Co   | 77 d                  | <sup>56</sup> Fe(p,n)                                  |
|                       | <sup>57</sup> Co   | 270 d                 | <sup>56</sup> Fe(p,r), <sup>58</sup> Ni(r,p)           |
|                       | <sup>58</sup> Co   | 72 d                  | <sup>59</sup> Co(r,n)                                  |
|                       | <sup>60</sup> Co   | 5.27 y                | <sup>59</sup> Co(n,r), <sup>60</sup> Ni(n,p)           |
|                       | <sup>63</sup> Ni   | 92 y                  | <sup>62</sup> Ni(n,r)                                  |
| Copper                | add upper columns  |                       |                                                        |
|                       | <sup>65</sup> Zn   | 245 d                 | <sup>65</sup> Co(q,n)                                  |
| Soil                  | add upper columns  |                       |                                                        |
|                       | <sup>152</sup> Eu  | 12.7 y                | <sup>151</sup> Eu(n,r)                                 |
|                       | <sup>154</sup> Eu  | 16 y                  | <sup>153</sup> Eu(n,r)                                 |
| Concrete              | add upper columns  |                       |                                                        |
|                       | <sup>134</sup> Cs  | 2.06 y                | <sup>133</sup> Cs(n,r)                                 |
| Lead                  | add upper columns  |                       |                                                        |
|                       | <sup>134</sup> Ag  | 127 y                 | spallation, <sup>107</sup> Ag(n,r)                     |
|                       | <sup>110m</sup> Ag | 254 d                 | spallation, <sup>109</sup> Ag(n,r)                     |
|                       | <sup>204</sup> Tl  | 3.8 y                 | spallation, <sup>203</sup> Tl(n,r)                     |

度は加速粒子，加速エネルギー，ビーム強度，照射時間，放射化される元素の放射化断面積等に依存する．サイクロトンで放射化が認められる部位としては主にディフレクター，ビームスリット，ビームパイプ，ターゲットチェンバーなどが挙げられ，これらは加速粒子の影響が大きいと考えられる．二次的に発生する中性子は透過性があり，加速器の周辺機器や建屋のコンクリートなどに放射化をもたらす (Table 1)<sup>5)</sup>．PET 用の医療用小型サイクロトンではこのような中性子による生成放射能は僅かであると考えられるが，半減期の長い放射性核種が生成することがあるため，放射線被曝の問題よりも施設解体時に問題となる場合がある (Table 2)<sup>6)</sup>．

### 3.2 放射化物の定義について

放射化物の安全な保管を目的として平成 10 年 10 月に科学技術庁原子力安全局放射線安全課長より「放射線発生装置使用施設における放射化合物の取り扱いについて」が通知された<sup>7)</sup>．このガイドラインによれば，放射化物は「放射線発生装置の使用に伴って，放射化させることを目的とせず有意の放射能が認められるに至った放射線発生装置及び実験機器」と定義されている．現在このガイドラインに加え放射化物の使用の取り扱いまで拡大した法令整備が検討されている．この法令整備の内容案によれば新たな放射化物の定義として「放射線発生装置の運転に伴い加速粒子あるいは中性子などの二次的に発生した粒子により，放射性同位元素に転換した元素及びこれを含む物質で，発生装置や遮へい等構造物から取り外され

たもの」と定義している。ここで、「構造物から取り外されたもの」としたのは、放射化物は、装置や遮へい等構造物から取り外さない段階では、発生装置の管理区域内で管理されており、特段の対応をとる必要がないと考えられるためである。これら放射化物は具体的には、装置から取り外された部品、消耗品、周辺構造物・遮へい材から取り外された他の装置、機器、壁、天井などのうち、ある一定の表面の放射性同位元素の密度が表面密度限度および表面から 10 cm 離れた位置における 1 cm 線量当量率を超えたものと定義される。その一定の限度としては、例えば、表面の放射性同位元素の密度が表面密度限度の 10 分の 1 を超えるものおよび、表面から 10 cm 離れた位置における 1 cm 線量当量率が 600 nSv/h を超えるものなどが考えられる。

### 3.3 放射化物の取り扱いについて

放射化物の取り扱いに関して、先の課長通知によるガイドラインによれば、放射化物を 3 区分とし、それぞれの取り扱いを定めている<sup>6)</sup>。

- A：表面から 10 cm 離れた位置における 1 cm 線量当量率が 600 nSv/h 以下で、かつ表面の放射性同位元素の密度が表面密度限度の 10 分の 1 以下のもの
- B：表面から 10 cm 離れた位置における 1 cm 線量当量率が 600 nSv/h を超え、かつ表面の放射性同位元素の密度が表面密度限度の 10 分の 1 以下のもの
- C：表面の放射性同位元素の密度が表面密度限度の 10 分の 1 を超えているもの

放射化物は、上記の区分に応じて、次の要領で取り扱うことが望まれる。

- A：カテゴリー B および C に属する放射化物に準じて取り扱う。

具体的には、放射線障害防止法の運搬、廃棄の基準に従って運搬、廃棄を行う。

また、放射線障害防止法上の許可を有する他の

事業所へ譲渡する際には、放射化物の情報を、測定者、測定日時、使用測定器、譲渡以前の当該物品管理責任者名等とともに提供する。

- B：穿孔、溶断等の加工を行う場合は密封されていない放射性同位元素に準じて、それ以外は密封された放射性同位元素に準じて取り扱う。

- C：密封されていない放射性同位元素に準じて取り扱う。

なお、放射化物の把握にあたっては、その組成、数量などについてあらかじめ評価を行うことが適切である。また、使用開始前後それぞれの装置の部品等の線量当量率を比較するなどの方法により、放射化物の生成状況の把握に努めることが望まれる。

しかしながら、この課長通知は、基本的に放射化物の安全な保管管理を求めるものであり、放射化物の取扱い等における安全確保のあり方を示しているものではない。

このため別案として、以下のような取り扱い案も検討されている。

放射化物の取扱い・保管（法令案一部改変：文部科学省ホームページより抜粋）

「放射化物は、原則として、穿孔、溶断、研磨等の汚染のおそれのある作業を行う場合は非密封線源に準じた規制（放射化物作業室の設置等）、それ以外は密封線源に準じた規制とすることが適当である。なお、核種や数量の厳密な特定が難しいという特徴を踏まえ、管理上、線量と個数で管理することになる。空間線量率、空気中濃度、排気中濃度などについては、主要な核種で評価をする。

また放射化物の保管に関しては、管理区域の設定等の観点から、発生装置の付近で使用や保管されているのが実態である。そのため、発生装置の管理区域内に、放射化物貯蔵場所を設定するか、あるいは、専用の放射化物貯蔵施設を設けて保管するのが適当である。汚染のおそれのある場合は、養生するなど汚染の広がらない措置をとることを求める。」



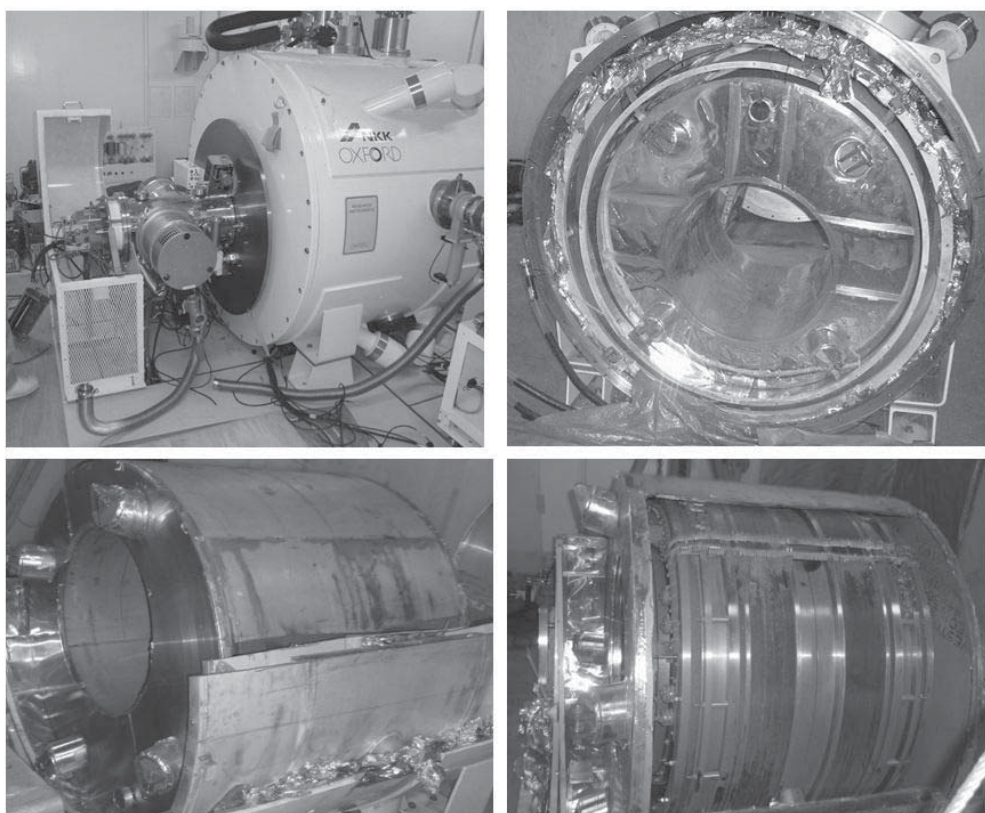


Fig. 3 Dismantling of cyclotron.

#### 4. サイクロトロン解体予備調査および解体作業計画

##### 4.1 放射線管理区域に関する法令関連の手続き

今回、病院から研究所に PET 棟を譲渡するため、以下の予定で使用者の変更等の手続きを行った。

|             |                           |
|-------------|---------------------------|
| 平成 22 年 6 月 | 使用許可に係る氏名等の変更届 (文部科学省)    |
| 平成 22 年 6 月 | 放射線予防規定の変更届 (文部科学省)       |
| 平成 22 年 7 月 | 放射線取扱主任解任届および選任届 (文部科学省)  |
| 平成 22 年 9 月 | 使用廃止等に伴う措置の報告書の提出 (文部科学省) |

##### 4.2 解体予備調査および作業の手順 (Fig. 3)

今回、PET 装置の故障に伴いサイクロトロン運転が行われなくなったため、約 1 年 3 ヶ月間の冷却期間を置いた。2 日間 (平成 22 年 6 月 17 日～18 日) を予備調査に当てた。解体の順序としては、まず資材を搬入し作業場所を確保し、ビニールシートなどで床の養生を行った。次に、サイクロトロン周辺機器 (クライオクーラー、ターボポンプ、ターゲット等) の解体を行い、本体の固定のため門型クレーンを組み立て作業性と安全性を確保した。その後、本体の外壁や内部指示構造物 (クライオスタットボディ、トップハット、内筒等) を解体し、サイクロトロン内部を確認した。その後、比較的容易に解体できる内層のシェル ( $N_2$  層、20 K シールド) を解体した。最後にターゲットチャンバーやサイクロトロン内部など

高線量の放射化が疑われる部分を中心として、放射化の程度を評価した。

#### 4.3 高放射化物の断定 (内部構造調査)

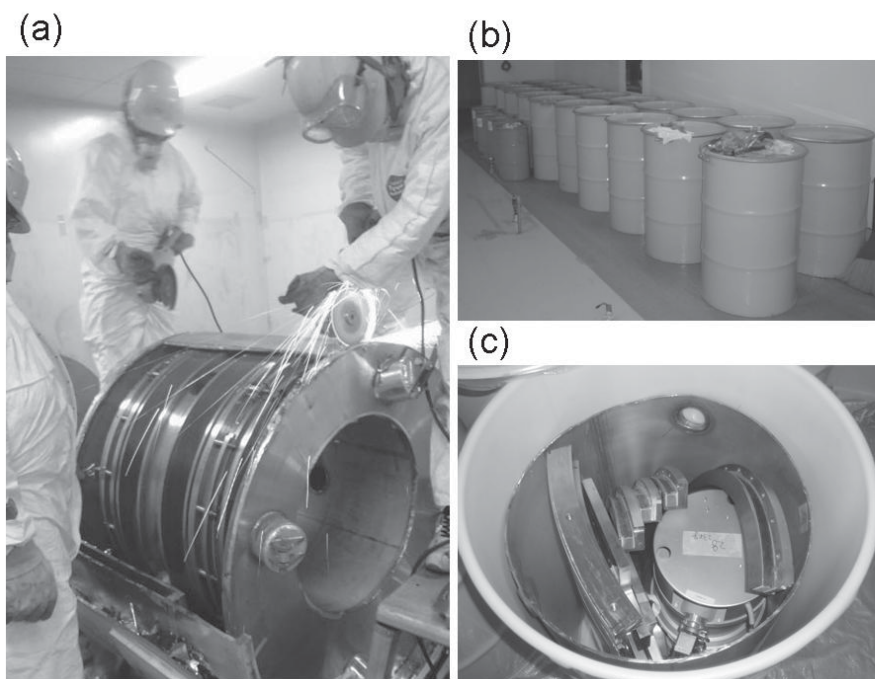
今回の調査では解体した部品の放射化量を測定した。直接法にて評価し、サーベイメータを対象物に接して測定を行った。最も高い放射化を呈した部分はターゲットの真空フォイルで約  $30 \mu\text{Sv/h}$  であった。サイクロトロン内部では、セクター、キャビティが  $1 \mu\text{Sv/h}$ 、ビーム引き出し部は  $6 \mu\text{Sv/h}$  であった。その他の部位では、超電導磁石の中心側で  $1 \mu\text{Sv/h}$  程度であったが、サイクロトロン室内のバックグラウンドレベルが高いため分別はできなかった。このため放射化物核種同定用サンプリングや放射化深度調査は本工事の際に実施することとした。また、今回の PET 棟内管理区域は今後も継続的に管理区域として使用することからサイクロトロン室内のコンクリート試

**Table 3** Radiation protection for workers

| Outfit         | Routine work | Cyclotron     |            |
|----------------|--------------|---------------|------------|
|                |              | Dismantlement | Demolition |
| Cotton cap     | ◎            | ◎             | ◎          |
| Work gloves    | ◎            | ◎             | ◎          |
| Rubber gloves  | ○            | ○             | ○          |
| Leather gloves | ◎            | ◎             | ◎          |
| Workwear       | ◎            | ◎             | ◎          |
| Work socks     | ◎            | ◎             | ◎          |
| Helmet         | ○            | ◎             | ◎          |
| Safety belt    | ○            | ◎             | ◎          |
| Half face mask |              | ◎             |            |
| Full face mask |              | ○             | ◎          |
| Dustproof wear | ◎            | ◎             | ◎          |
| Shoe cover     |              | ◎             | ◎          |
| RI shoes       | ◎            |               |            |
| Safety shoes   |              | ◎             | ◎          |

◎ Required

○ As often as necessary



**Fig. 4** (a) The worker wore a protective suit and cut out the cyclotron with a hand saw. (b) Containers for the radioactive waste (200 l can and 50 l can). (c) contained radioactive waste.

料などの採取は行わなかった。

## 5. サイクロトン解体調査および撤去作業

### 5.1 RI 廃棄物の搬出方法と被曝防護

サイクロトン本体解体のため約2ヶ月半の期間(平成22年7月12日～9月30日)を作業にあてた。まず、切断による非密封RI汚染防止のため、作業エリアのグリーンハウス化を行い、必要に応じて床をベニヤ板敷、壁は防災シートとした。このグリーンハウス内で廃棄物の搬出・保管を行った。今回はサイクロトン室前室にあたる電源・機械室で汚染検査を行い、廃棄物保管部位は最も奥に位置する薬剤開発室とした。

今回の作業では作業員の被曝防止のため Table 3 の装備を義務づけた。特に今回は放射性廃棄物をドラム缶に封入するため、放射化物を裁断する必要がある。鉄の厚板切断などの作業中に発生する放射化金属粉の飛散・吸引による内部被曝を防

止するため、作業員には全面マスク装着を義務とし、切断工具としては発生する金属粉が比較的大きくなるサンダーやハンドソー等を使用した (Fig. 4)。

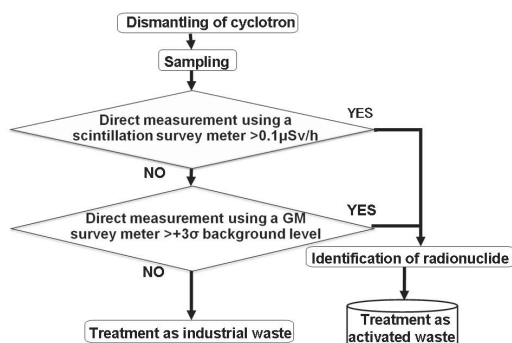


Fig. 5 Flow chart in evaluation of radioactive materials.

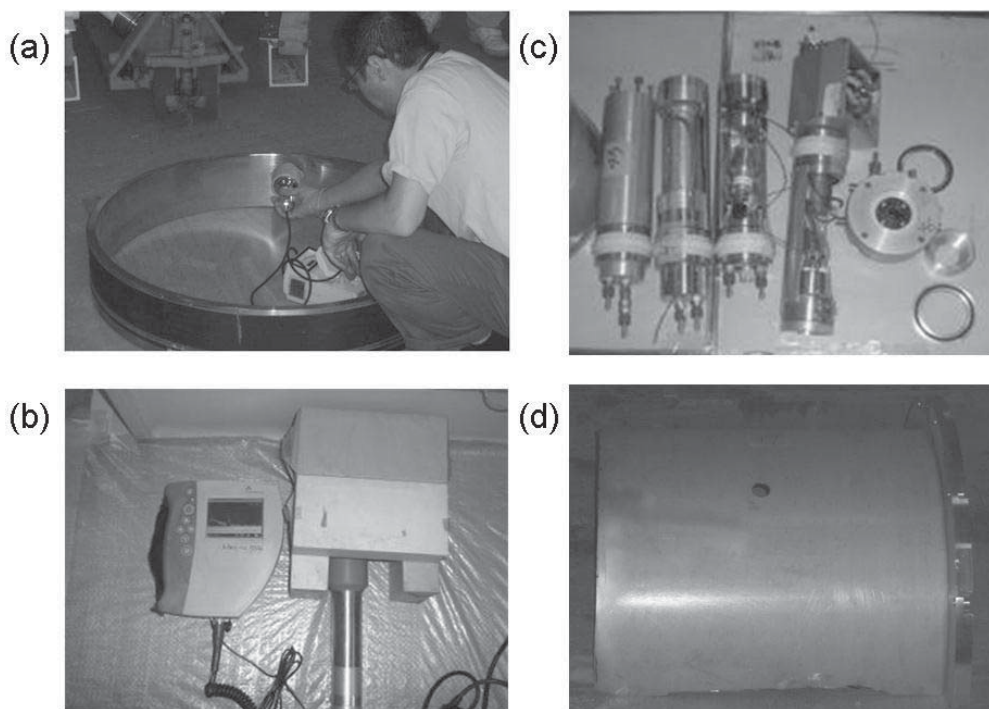


Fig. 6 (a) Direct measurement of radioactivity. (b) Measurement of gamma ray spectrum. (c), (d) Radioactive materials of parts of target, and barrel.



## 5.2 放射化の評価方法と結果

今回の作業で確認された放射化物は Fig. 5 の測定フローに従って放射化物の同定が行われた。放射化の評価として  $\gamma$  線および  $\beta$  線の測定をそれぞれシンチレーション式サーベイメータ (TCS-171 Aloka 社製) および GM 式サーベイメータ (TGS-136 Aloka 社製) を用いて行った。搬出基準値は  $\gamma$  線では  $0.1 \mu\text{Sv/h}$  (時定数 10 秒),  $\beta$  線ではバックグラウンド値の  $+3\sigma$  以上 (時定数 10 秒) と設定し、直接法にて基準値以上の値では放射化物と判断した。放射化物は解体部品ごとに試料を採取し、 $\gamma$  線スペクトル分析装置 (Inspector 1000 Canberra Japan 社製) を用いて、放射性廃棄物の核種および比放射能 (Bq/g) を求めた (Fig. 6)。放射能 (Bq) は下記の式より算出。

$$\text{放射能 (Bq)} = \frac{N}{T \times R / 100 \times \varepsilon / 100}$$

$N$ : ピーク面積 (count)  $T$ : 測定時間 (sec)  $R$ :  $\gamma$  線放出比 (%)  $\varepsilon$ : NaI 検出効率 (%)

検出限界カウント

$$= \frac{Q^2}{2} \left[ 1 + \sqrt{1 + 4 \times \left( Nb + \sigma b^2 + \sum Ns + \sum \sigma s^2 \right) \times \frac{1}{Q^2}} \right]$$

$Q$ : 検出限界ファクタ ( $Q=1$ )  $Nb$ : バックグラウンド面積 (count)  $\sigma b$ : バックグラウンド面積誤差 (count)  $Ns$ : 妨害ピーク面積 (count)  $\sigma s$ : 妨害ピーク面積誤差 (count)

また、求めた比放射能を用いて、収納ドラム缶ごとの廃棄物の核種および放射能を算出した。

廃棄物の放射能

$$= \text{比放射能 (Bq/g)} \times \text{ドラム缶への収納量 (kg)}$$

## 5.3 サイクロトロン解体 (Fig. 3)

まず、解体前の準備としてサイクロトロンの汚染検査をする場所を確保するため、ホットラボ室、電源機械室の物品を汚染検査後に廃棄・整理した。その後、サイクロトロン室内の解体予備調

査にて解体したサイクロトロンの周辺機器を汚染検査の後に廃棄・収納した。これらの部品は切断の必要性が低く、放射化していた部品も加工の必要なくドラム缶内に収納可能であった。この中でターゲットは放射化物となり、特に真空フォイルが最も高い放射能濃度を呈していた ( $\gamma$  線  $17 \mu\text{Sv/h}$ ,  $\beta$  線  $20 \times 10^3 \text{ cpm}$ )。

次にサイクロトロン内部部品 (セクター、レゾネータ, Dee 電極等) の解体を行った。ほとんどの部品は円筒にボルトのみで固定されていたため、ボルトを外すことで比較的容易に解体できた。円筒は放射化が確認されたため、ドラム缶に入るサイズに裁断された。その後、予備調査で解体困難であった溶接により固定されたダクトやシェル (超電導磁石シールド, マグネットダンパー,  $\text{N}_2$  層の一部等) をモニター等で切除後に取り外した。この作業で超電導磁石の部位を確認した後、足場を組み周囲に門型クレーンを設置した。本体固定後、外側のシェルから順番に円筒方向に切断した。最後に超電導磁石を取り出し解体した後、ドラム缶に入るサイズに裁断された。

## 6. サイクロトロン解体後報告

### 6.1 放射性廃棄物量の推定と引き渡し

今回、初期計画では解体作業初回検討時に図面等のサイクロトロン内部構造が明らかではなかったため、サイクロトロン本体のビームラインとターゲット部のすべてを放射化物と仮定した。この仮定から推測される放射化された非圧縮性不燃物量を廃棄するため、200 l ドラム缶 40 本と 50 l ドラム缶 10 本が用意された。容器は内容物充填率 30%, 内容物重量 50 kg と推定した (Fig. 4)。

すべての放射化物は管理番号を付け、管理上必要なデータ (表面線量率, 写真, 放射化物名称, 核種および濃度等) を記録した。最終的に放射化物の収納は 200 l 容器 13 本, 50 l 容器 1 本に収まった。作業終了後は一般廃棄物と RI 廃棄物とに分け、それぞれのデータシートを作成し、日本アイソトープ協会へ提出した。

平成 23 年 1 月現在これら容器内放射化物のア



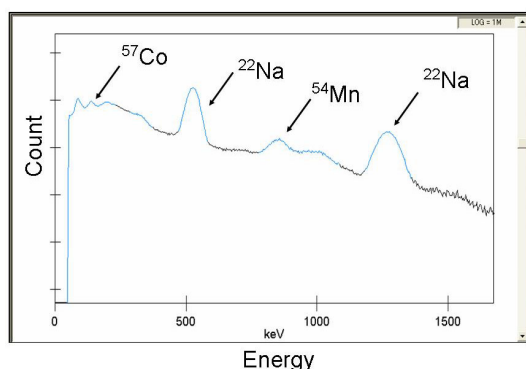


Fig. 7 Radionuclide observed in the radioactive part.

イソトープ協会への引き渡し時期は未定となっている。

## 6.2 放射化の評価と検出核種の同定

測定結果は、113 部品 (サイクロtron関連 45 部品、ホットラボ室および電源機械室内物品等 67 部品) は一般廃棄物として処理可能であった。サイクロtron関連の 27 部品で有意な放射能を認めたため RI 廃棄物として処理した。全放射化物の中で表面線量率が  $1 \mu\text{Sv/h}$  以上を示した部分は真空フォイルとターゲットおよびサイクロtron中心部 ( $\gamma$  線:  $1.41 \mu\text{Sv/h}$ ,  $\beta$  線: 754 cpm) の 7 部品のみであった。本体加速部、ビームライン部およびターゲット部で表面線量率が比較的高値を示した。また、15 部品は表面線量率が  $0.5 \mu\text{Sv/h}$  以下と低い値を示し、これらは大半が鉄心やボルトなどの支持構造物であった。また、超伝導磁石と関連した中心部のフレーム ( $\gamma$  線:  $0.5 \mu\text{Sv/h}$ ,  $\beta$  線: 360 cpm) や鉄心 ( $\gamma$  線:  $0.5 \mu\text{Sv/h}$ ,  $\beta$  線: 235 cpm) の放射化も比較的軽度であった。

各部品から得られた試料の核種解析では主に  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$  および  $^{65}\text{Zn}$  が検出された。これらは銅、ステンレス鋼、アルミニウムから主に発生したと考えられた。Fig. 7 に最も高い放射能カウント ( $\gamma$  線:  $16.9 \mu\text{Sv/h}$ ,  $\beta$  線:  $20 \times 10^3$  cpm) を呈した真空フォイルの核種解析結果を呈示する。

## 7. まとめ

予備調査：通常サイクロtronの寿命は十数年以上となるため、納入当時の関係者がすべて異動しており、解体時の情報伝達が不十分になる可能性がある。本例でもサイクロtron納入当時の関係者はすべて他施設に異動していた。このため、予備調査により具体的な内部構造を把握し、作業計画の修正を行う必要があった。

作業計画：予備調査の結果や以前の報告を参照し、作業計画を立てた<sup>5)</sup>。解体場所の確保や解体物の搬出方法、汚染防止拡大や作業員の被曝防止対策など検討を行い、計画書から逸脱することなく解体作業に移行できた。

解体作業：予備調査の結果から裁断部位を決め、適切な裁断具を使用することで粉塵発生を最小限に抑えることができた。裁断部位はサイクロtronの形状や放射化の程度、封入容器の大きさに依存するため、事前の評価が重要であると考えられた。

放射化測定：検出された核種はサイクロtronの金属に由来する物が大半を占めた。年単位の半減期を有する核種としては  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{22}\text{Na}$  が検出され、これらがバックグラウンドレベルまで低下するには数十年必要と推測される。今後、医療用小型サイクロtron解体時にはこのような核種の管理・保管が重要になると考えられる。

廃棄物：今回の医療用小型サイクロtron解体撤去では当初予想されたよりも放射性廃棄物は少なかった。放射化の程度は加速粒子、加速エネルギー、ビーム強度、照射時間等により異なると考えられる。今回、初期計画より廃棄容量が少なかった理由としてサイクロtronの内部がシェル構造となっており容量が少なかったことや、冷却期間が1年以上あったため放射化レベルが小さくなったことが影響していると推測された。同型のサイクロtron解体報告 (冷却期間6ヶ月、放射化物廃棄総量 50 l 容器換算 64 本) を参照すると、特に冷却期間が放射性廃棄物の総量に影響している可能性が高い<sup>5)</sup>。

現在の PET および医療用小型サイクロtron

の趨勢を考慮すると十数年内に多数の加速器が老朽化に伴う装置の更新や使用の廃止を余儀なくされると思われる。放射化の程度は装置・施設によって様々であるが、当施設の結果からは十分な冷却期間が放射性廃棄物を減少させるのに有用と考えられた。これら放射化物の取り扱いは課長通知等で定められているが、今後厳格な法整備が定められていく可能性がある。現時点では放射化物は放射線管理区域内で保管されるか、日本アイソトープ協会に引き渡すのが現状である。しかし、今後加速器の廃止や更新が増加するに従い廃棄される放射化物量も増えることが予測され、より厳格な規制と安全な対応が要求されていくと考えられる。

#### 謝 辞

サイクロトロン解体作業に関し、管理区域の手続きを行っていただきました福原清隆技師長、資料を提供していただきました住友重機械工業株式会社の田中秀樹氏および藤井市郎氏、放射化物の測定に

ご協力をいただきました株式会社住友試験試験検査の小畠正彦氏に重ねて感謝申し上げます。

#### 文 献

- 1) 山寺 亮: 東北大学サイクロトロンの解体と誘導放射性核種の測定. 保険物理 1999; 34: 166-170.
- 2) 遠藤 章: 原研電子リニアックの解体と誘導放射性核種の測定. 保険物理 1999; 34: 161-165.
- 3) 榊本和義: 加速器施設の廃止—高エネルギー加速器研究機構田無分室における廃止事例—デコミッショニング技法. *Journal of the RANDEC* 2009; 39: 30-43.
- 4) 原 敏彦, 森 一幸, 戸田陽二郎, 吉田兵吾: 国立療養所中野病院ベビーサイクロロン撤去作業報告. *Isotope News* 1994; 8: 25-27.
- 5) 石本 剛, 久保田晴元, 森 哲也, 寺川仁人, 谷邦治, 石井一成: 医療用加速器のデコミッショニング. *Journal of the RANDEC* 2005; 31: 21-31.
- 6) 柴田徳思: 使用を廃止した加速器の放射化の問題. *Radioisotopes* 1999; 48: 208-215.
- 7) 科学技術庁原子力安全局放射線安全課長通知 放射線発生装置使用施設における放射化物の取り扱いについて.

## Summary

### Decommissioning of the Medical Cyclotron in National Center of Neurology and Psychiatry

Kimiteru ITO<sup>\*,\*\*</sup>, Yasuhiro NAKATA<sup>\*</sup>, Hiroshi MATSUDA<sup>\*\*</sup> and Noriko SATO<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>*Department of Radiology, National Center of Neurology and Psychiatry*

<sup>\*\*</sup>*Department of Nuclear Medicine, Saitama Medical University International Medical Center*

**Objective:** In Japan, positron emission tomography has prevailed as a useful procedure for detecting malignancy, myocardial viability, and epileptic foci. Consequently, compact medical cyclotrons have been installed in many hospitals. However, reports about the dismantling or decommissioning of compact medical cyclotrons are rare. This report describes the series of steps involved in the decommissioning of a compact medical cyclotron that had been used to produce radioactively tagged substances over a period of fifteen years at the National Center of Neurology and Psychiatry in Japan. Additionally, this report describes the manner in which the radioactive waste was disposed.

**Method:** The plan to decommission the cyclotron was comprised of three phases: a preliminary survey, the dismantling work, and a reports after the dismantling. We complied with the guidelines for the disposal of radioactive waste published by the Ministry of Edu-

cation, Culture, Sports, Science and Technology.

**Result:** The most radioactive material was the vacuuming foil used in the window of the target chamber, with a dose rate of 17  $\mu\text{Sv/h}$  (gamma rays) and  $20 \times 10^3$  cpm (beta rays). The detected radionuclides were mainly  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$  and  $^{65}\text{Zn}$ . The total numbers of radioactive waste containers were thirteen 200 l containers and one 50 l container. We suspect that the long shutdown period of the cyclotron (more than one year) contributed to the decay of the radioactive waste because the amount of containers was smaller than the initial estimation.

**Conclusions:** The shutdown period of a cyclotron may play a significant role in reducing the amount of radioactive waste.

**Key words:** Compact cyclotron, Decommissioning, Radioactivation, Radioactive wastes.