

[2 a -11]

## Characteristics of Radiation Fields of a High-Power Electron Linear Accelerator and Radiation Safety of the Working Environment

Masumoto K., Ohtsuki T., Kasagi J., Urasawa S., Kurihara A., Takahashi S. and Shibasaki Y.

Laboratory of Nuclear Science, Faculty of Science, Tohoku University  
1-2-1 Mikamine, Taihaku, Sendai 982, Japan

### ABSTRACT

The assessment of radioactivity induced in accelerator structure is very important for the radiation safety programs of the removal of an old facility or the rearrangement of a beam line. In case of the high-power electron linear accelerator, bremsstrahlung and photoneutron are the main sources of activation of machine components and shieldings. Bremsstrahlung induces an intense activities at the downstream of electron beam. On the other hand, thermal neutron induces an uniform activities distributed around the beam loss point. Identification of induced radioactivity is not only indispensable to find the main source of radiation exposure and to estimate the effect of cooling and shielding, but also useful to choose the materials of accelerator components and shieldings and to propose a guide of beam handling and maintenance.

### 高出力電子加速器における放射線場の特徴と作業環境の安全管理

#### 1. はじめに

本施設ではストレッチャー・ブースタ・リング建設に伴い、加速器からのビームを輸送するビーム・チャンネルの撤去、再配置などが並行して進められてきた。電子加速器が高出力であるため、ビームロスが生じた箇所から下流側では制動放射線による局所的な放射化が生じており、また二次的に発生した中性子によって室内全域に低レベルの放射化が生じている。このため設備、機器の廃棄・再利用・保管のための作業計画立案においては放射線安全管理グループとマシン・グループの密接な関係が安全確保のため不可欠と

なっている。ここでは、最近行われた2、3の工事例を紹介するとともに、安全管理上の問題について考察した。

#### 2. 加速器本体室、ビーム偏向室

ビーム加速を停止してから約1年後のライナックの残留放射能の測定を行った結果を図1に示した。加速管列に添って、 $^{54}\text{Mn}$  ( $t_{1/2}=312\text{d}$ )と $^{60}\text{Co}$  ( $t_{1/2}=5.27\text{y}$ )が検出された。それぞれ主に制動放射線と中性子によって生成する核種であり、過去数年間、10数年間のビームロス状況を反映しており、運転時のビームロスモニタのロスパターンを再現している。

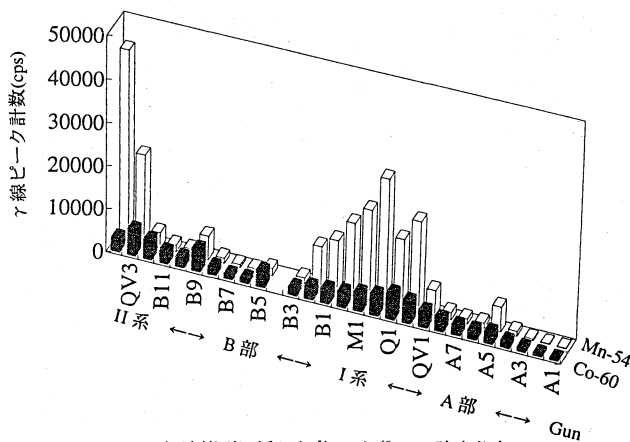


図1. 加速管列に添った<sup>54</sup>Mnと<sup>60</sup>Coの強度分布

主なロスはいくつかの入口周辺で生じており、鉄やステンレス材料に起因している。この領域の放射化を防ぐにはビームプロファイルモニタの設置が必要といえよう。また、<sup>60</sup>Coは電子銃側にも生成しており、中性子が本体室全体に広がっていることを示唆している。

ビーム偏向室では、ビーム偏向系の再配置に先立って、天井部材の撤去工事が行われた。ロックウールでは<sup>60</sup>Coと<sup>152</sup>Eu ( $t_{1/2} = 13.3$  y) が検出された。これらは材料中にはわずか ppm オーダーでしか含まれていない Co と Eu から中性子によって生成したものである。また、断熱用グラスウールからは<sup>22</sup>Na ( $t_{1/2} = 2.6$  y) が検出された。これらの放射能は核物理実験用のいわゆる II 系の真上で強く、昨年報告したビーム偏向系の残留放射線レベルの測定結果<sup>1)</sup>と同様の傾向を示していることが分かった。

測定結果をもとに、天井部を放射能レベルにより3領域に区画し、撤去工事を行った。

### 3. 中性子散乱実験設備

中性子散乱実験は電子リニアックからの高エネルギー電子(220MeV)をタングステン・ターゲットに照射し、ターゲットから二次的に発生する中性子を用いて行われてきた。ターゲットと中性子散乱測定装置の間には厚さ約2~2.5mのコンクリート遮蔽体が設けられている。今回、ストレッチャー・ブースタ・リング建設のため、本設備の撤去を行った。遮蔽コンクリートをボーリング調査した結果、8~13核種が検出され、電子ビーム下流側の遮蔽壁では制動放射線の直射によって深部まで放射化されており、遮蔽壁左右両側面では熱中性子および速中性子による放射化が主であった。結果の一例を図2に示した。横軸は内壁面からの距離である。<sup>22</sup>Naは制動放射線、<sup>152</sup>Euは熱中性子によって生成したものである。No.2がビーム下流側、それ以外は遮蔽壁側面から採取したものである。

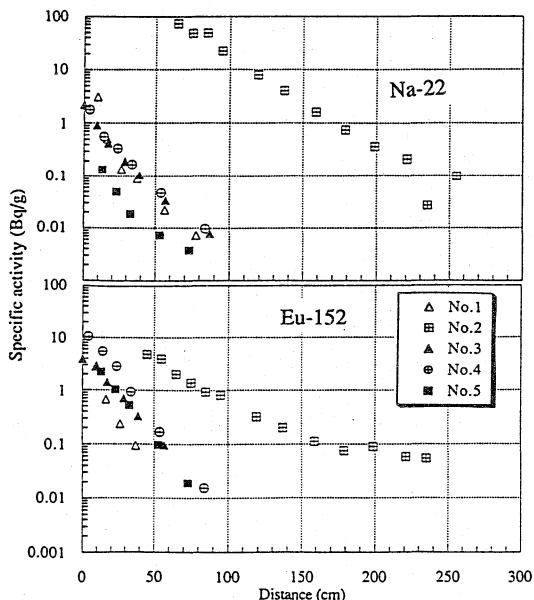


図2. ボーリング試料中のNa-22とEu-152の深さ分布

誘導放射能は深さ方向に対し指数関数的に減少しており、その勾配はビーム下流側では制動放射線、光中性子による反応で生成した放射能とともに厚さ 60cm ( $120\text{g/cm}^2$ ) で 10/1 に減少し、側壁側では厚さ 35cm ( $70\text{g/cm}^2$ ) で 10/1 に減少していることが分かった。ビーム下流側の主要核種は  $^{22}\text{Na}$ 、側壁では  $^{152}\text{Eu}$  であり、10 年間の保管ではコンクリート中の放射能はビーム下流側で 1 桁、側面で半分に減衰することが分かった。

また、内壁鉄板中の主な生成核種はビーム下流側で  $^{54}\text{Mn}$  で、側壁では  $^{60}\text{Co}$  であった。鉄から制動放射線で生成する  $^{54}\text{Mn}$  はビームラインの位置の半径 20cm 内に集中しており、放射化の領域は極めて狭い領域であった。これに対し、中性子に起因する  $^{60}\text{Co}$  はほぼ均等に分布していた。鉄板の放射能は 10 年間で 1000 分の 1 に減衰することが分かった。

コンクリート遮蔽体の放射化量の評価をもとに 1) 撤去工法の検討、2) 廃棄物管理方針の決定ののち撤去を行った。遮蔽体の製作費は安価であったが、撤去には相当の経費と時間を要した。これまで、加速器施設のデコミッショニングに関連した基礎データの収集はこれまであまり例がなく、制動放射線と中性子線の混在した放射線環境の評価、コンクリートの遮蔽能力に関する評価、遮蔽方法、遮蔽材料、遮蔽工法に関する将来の指針を得るといった観点からも極めて有益であった。今後同様の施設の廃止のみならず、建設にあたって今回の経験が生かされることを期待している。

#### 4. まとめ

従来、加速器施設における放射線安全管理においては、レベルが高いとか、低いという議論が多く、どこにどのようなアイソトープがどれだけ生成しているのから、どの程度の冷却を行えば放射線レベルがどれだけ低下するとか、どのような遮蔽が有効であるかという、作業時の具体的な指針を的確に出せていないと思われる。放射線安全技術の向上は加速器技術の向上に密接に関わっており、被曝の低減には、材料を変えることで解決できるのか、構造を変えることで解決できるのか、マニュアルを変えることで解決できるのか、モニターを設置することは有効かなどを積極的に評価していくことが必要であり、マシングループとの協力が不可欠である。

もし、加速器の立ち上げ時からラジオアイソトープの生成状況を定期的に記録しておけば、ビーム・ハンドリングの改善（ビームロス箇所の限定、ビームロスの低減、モニターの設置）に繋がるとともに、作業性を考慮した有効な遮蔽方法、部品の耐放射線性、低放射化を考慮した、メンテナンスのしやすい配線、配管を実現するうえでも役立つと思われる。

#### 参考文献

- 1) A. Kurihara et al., 第 20 回リニアック技術研究会 (1995) 7.