

加速器施設に対するクリアランス制度運用のための研究

# 加速器施設の廃止措置に係わる 放射化物の測定、評価手法の確立

2019年度、2020年度 2年計画  
(2017年度、2018年度 2年計画済み)

高エネルギー加速器研究機構(KEK)  
放射線科学センター  
松村 宏

課題名 加速器施設の廃止措置に係わる測定、評価手法の確立

研究期間：2019年～2020年（2年間）

## 背景・目的

加速器放射化において、これまでの評価が進んでいない施設に着目し、法令を踏まえながら、実際に廃止措置を進めるうえで欠くべからざる課題を抽出し、放射化物評価手法の開発を行うことを目的とする。最終的に測定評価マニュアルを作成し、研究内容を反映させる。

## 実施状況

### （1） 加速器施設の放射化／非放射化区分の明確化

2020年度は、陽子線治療施設の放射化調査による放射化／非放射化区分の明確化の内、シンクロサイクロトロンタイプの調査を北海道大野記念病院で行う。新型コロナウイルスの影響で現地入りしての調査ができず、病院職員に検出器設置を依頼して中性子発生量調査を行い、放射化／非放射化区分を行った。

### （2） 非汚染・非放射化の評価手順の検討

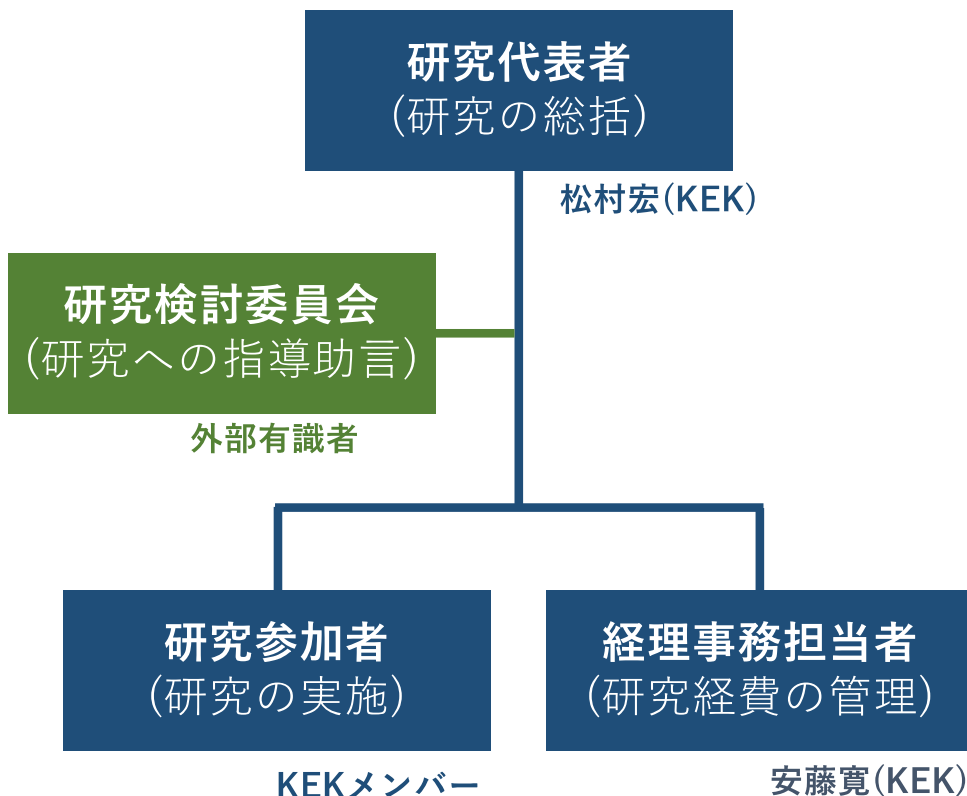
2020年度は金属の評価手順の検討のための電磁石等の放射化調査と放射化イメージングの研究を行う。実際のサイクロトロン放射化電磁石等を試料として、放射能分布やサーベイメータの線量率指示値と放射能の関係を調べる。現在、日本アイソトープ協会滝沢研究所のサイクロトロンをモデルケースとした分析を行っている。また、放射化イメージング研究においては、ガンマカメラを使用した試撮を行い、使用機器が放射化イメージングに適していることを明らかにした。

### （3） 測定評価マニュアルの作成

研究評価委員会で内容を確認しつつ、2017-2020年度の4ヶ年の研究成果をもとに、加速器施設の廃止措置時の放射化の評価方法や取り扱いなどを中心にまとめている。

## 期待される成果

加速器の種類ごとに放射化領域および放射化物管理対象を明確化すること、及び、廃止措置時のコンクリートや電磁石等の金属に対してサーベイメータによる放射化判定法を提案することを行い、「測定評価マニュアル」にまとめることで規制側、事業所側の双方にとって廃止措置の合理化に貢献する。



| 研究検討委員会 |              |
|---------|--------------|
| 上 義 朋   | 日本アイソトープ協会   |
| 渡 部 浩 司 | 東北大学         |
| 大 越 実   | 日本アイソトープ協会   |
| 米 内 俊 祐 | 量子科学技術研究開発機構 |
| 榮 武 二   | 筑波大学         |
| 想 田 光   | 山形大学         |
| 松 田 規 宏 | 原子力研究開発機構    |
| 藤 淵 俊 王 | 九州大学大学院      |

| 研究参加者     |               |
|-----------|---------------|
| 松 村 宏     | 高エネルギー加速器研究機構 |
| 梶 本 和 義   | 高エネルギー加速器研究機構 |
| 三 浦 太 一   | 高エネルギー加速器研究機構 |
| 別 所 光 太 郎 | 高エネルギー加速器研究機構 |
| 吉 田 剛     | 高エネルギー加速器研究機構 |
| 豊 田 晃 弘   | 高エネルギー加速器研究機構 |
| 中 村 一     | 高エネルギー加速器研究機構 |
| 西 川 功 一   | 高エネルギー加速器研究機構 |

## 本事業の3本の柱

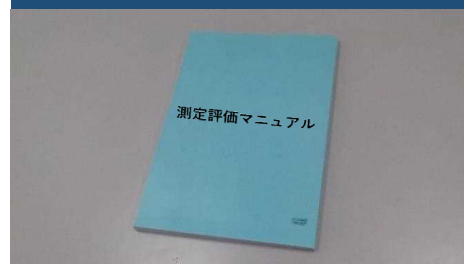
①規制対象施設・  
規制対象範囲の明確化



②非汚染・非放射化の  
評価手順の検討



③測定評価マニュアル  
の作成



2020年度の研究概要

**陽子線治療施設の明確化**

放射化現地調査

**金属の評価手順の検討**

電磁石放射化調査・  
イメージング研究

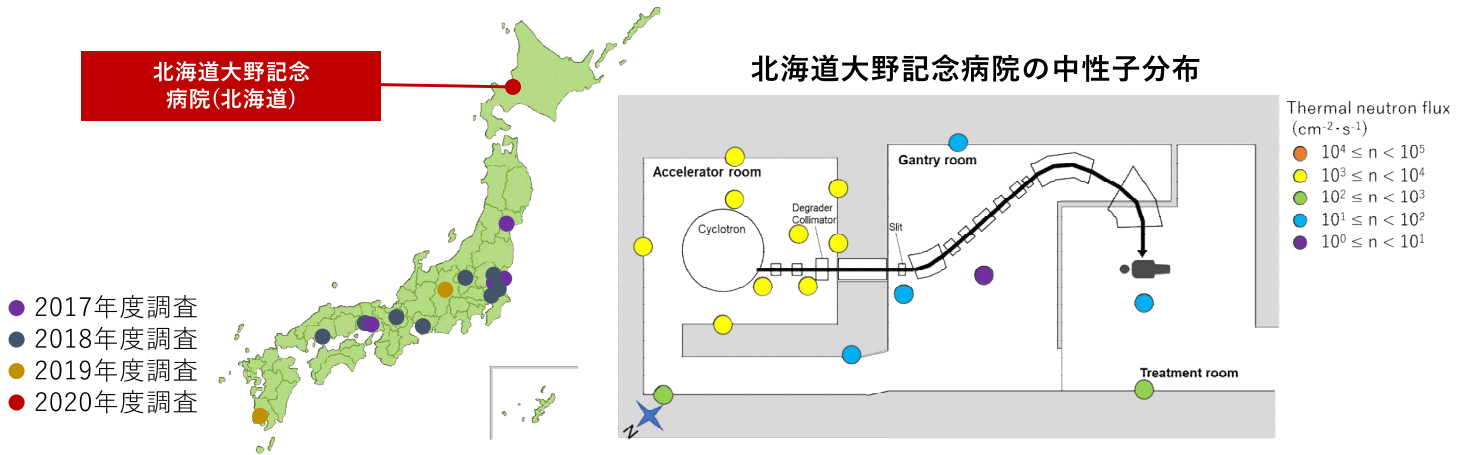
**マニュアルの作成方針検討**

盛り込む内容の検討



放射化測定・中性子生成量測定を行い、規制対象範囲の区分を行う

|        |                                     |
|--------|-------------------------------------|
| 2017年度 | 静電加速器施設                             |
| 2018年度 | 放射光施設, 粒子線治療施設                      |
| 2019年度 | 陽子線治療施設<br>シンクロトロンタイプ<br>サイクロトロンタイプ |
| 2020年度 | 陽子線治療施設<br>シンクロサイクロタイプ              |



金属の放射化評価手順を明確にし、効率的な手法を確立する

- A. 表面線量率、放射能と関連づけた定量評価手法の確立のためのデータ収集
- B. 放射化分布のイメージングの検討



2020年度実績

- ・ A: 高エネルギー加速器研究機構所有鉄ブロック
- ・ A: 日本アイソトープ協会滝沢研究所PETサイクロトロン
- ・ A: (参考) 東京都健康長寿医療センターPETサイクロトロン
- ・ B: PHDS GeGI-4 @高エネルギー加速器研究機構

## 「測定評価マニュアル」の完成へ

### ◆ 1. はじめに

- 廃止時において放射性廃棄物でないことを確認するための測定評価手法について記述
  - ・放射線発生装置の稼働中に行っておくことが推奨される測定
  - ・廃止が決定され廃止措置を進める際に行う測定法について提案

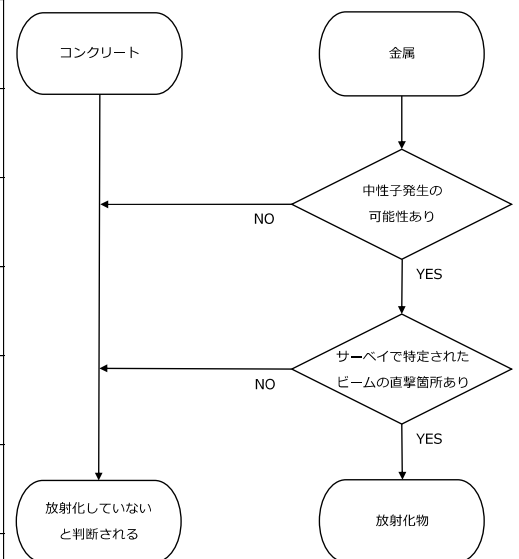
### ◆ 2. 放射線発生装置使用時における測定と評価手法および評価結果

- 2.1. 放射化の観点による、放射線発生装置および建屋の区分
- 2.2. 放射線発生装置の使用に伴う放射化発生要因
- 2.3. 放射化／非放射化の区分を明らかにするための調査項目
- 2.4. 測定手法 金箔, CR-39, TLD, ガンマ線測定
- 2.5 計算手法 モンテカルロ計算, 実測値からの推定
- 2.6 施設評価結果 静電加速器施設, 放射光施設, 粒子線治療施設

## 施設ごとの放射化区分

## 放射化判定スキーム例：静電加速器施設

| 種類                                    | 建屋コンクリート                                  | ビームの直撃を受ける金属   | ビームの直撃を受けない金属  |
|---------------------------------------|---|----------------|----------------|
| 静電加速器施設<br>(中性子発生なし)                  | 放射化していないと判断される                            | 放射化していないと判断される | 放射化していないと判断される |
| 静電加速器施設<br>(中性子発生あり)                  | 放射化していないと判断される                            | 放射化物           | 放射化していないと判断される |
| 放射光実験施設                               | 放射化していないと判断される                            | 放射化物           | 放射化していないと判断される |
| 重粒子線治療施設                              | 放射化していないと判断される                            | 放射化物           | 放射化していないと判断される |
| 陽子線治療施設<br>(シンクロトロン)                  | 放射化していないと判断される                            | 放射化物           | 放射化していないと判断される |
| 陽子線治療施設<br>(サイクロトロン及び<br>シンクロサイクロトロン) | 加速器室：放射化のおそれがある<br>その他：放射化していないと判断<br>される | 放射化物           | 放射化していないと判断される |



## ◆ 3. 廃止措置時の測定と評価手法

安全研究の一つの成果である**サーベイメータでの線量率測定**から放射能濃度を決定する手法を活用した、放射化判定対象物の評価の進め方についてまとめる。

対象は、既に複数の施設で廃止措置が実施され、使用状況に大きな相違がなく定式化が可能な**PETサイクロترون施設**である。

- 3.1.用語の定義・・・事前測定, 放射線測定, 代理放射性核種, IFB
- 3.2.コンクリート構造物の放射化評価・・・コンクリート中の<sup>152</sup>Eu, <sup>60</sup>Coの評価法
- 3.3.放射線発生装置、機器類の放射化評価・・・鉄ヨーク中の<sup>60</sup>Coの評価法

放射化判定対象物のサーベイメータでの表面線量率が**バックグラウンド(BG)と区別できないレベル**(Indistinguishable From Background: IFB)であれば、

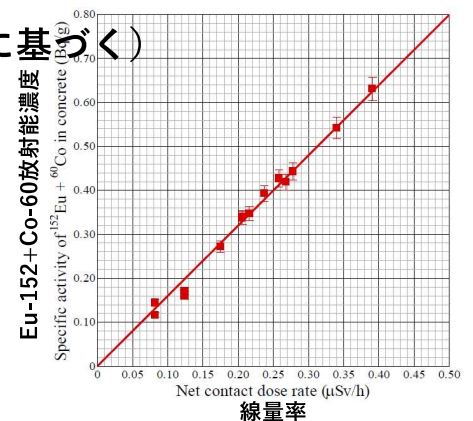
放射化判定対象物の放射能濃度はクリアランスレベルを十分に下回っており、「**放射化していないと判断される**」物であるとする。

この時、サーベイメータは目的とする放射性核種と対応するクリアランスレベルに対して適切なものでなければならない。

## コンクリートの場合の例（先端医薬薬学センターの調査に基づく）

### 特徴

- 深度分布の特徴から表面での線量測定が有効
- 部屋のどこでも核種間の放射能比はほぼ同じ
- Eu-152とCo-60でクリアランスレベルとの比の78%を占める
- 線量率とEu-152, Co-60放射能濃度の関係がわかっている
- トリチウムはクリアランスレベルとの比を考慮すると無視できる



代理放射性核種をEu-152, Co-60としてサーベイメータ（鉛遮蔽4.5cm以上）で線量率を測定する

測定しやすい放射性核種で、測定が困難な放射性核種の存在、放射能、線量などを、2種類の放射性核種の関係から推測するために用いることができる。

得られたEu-152とCo-60の放射能濃度に1.28をかけるとEu-152換算全放射能濃度になる

時定数を30秒に設定するとバックグラウンドの3σ線量値はおおよそ0.02 μSv/hであり、Eu-152に換算した全放射能濃度はおおよそ**0.04Bq/g**である。

→ **クリアランスレベルを十分に下回っている**

## ◆ 4. 海外の状況

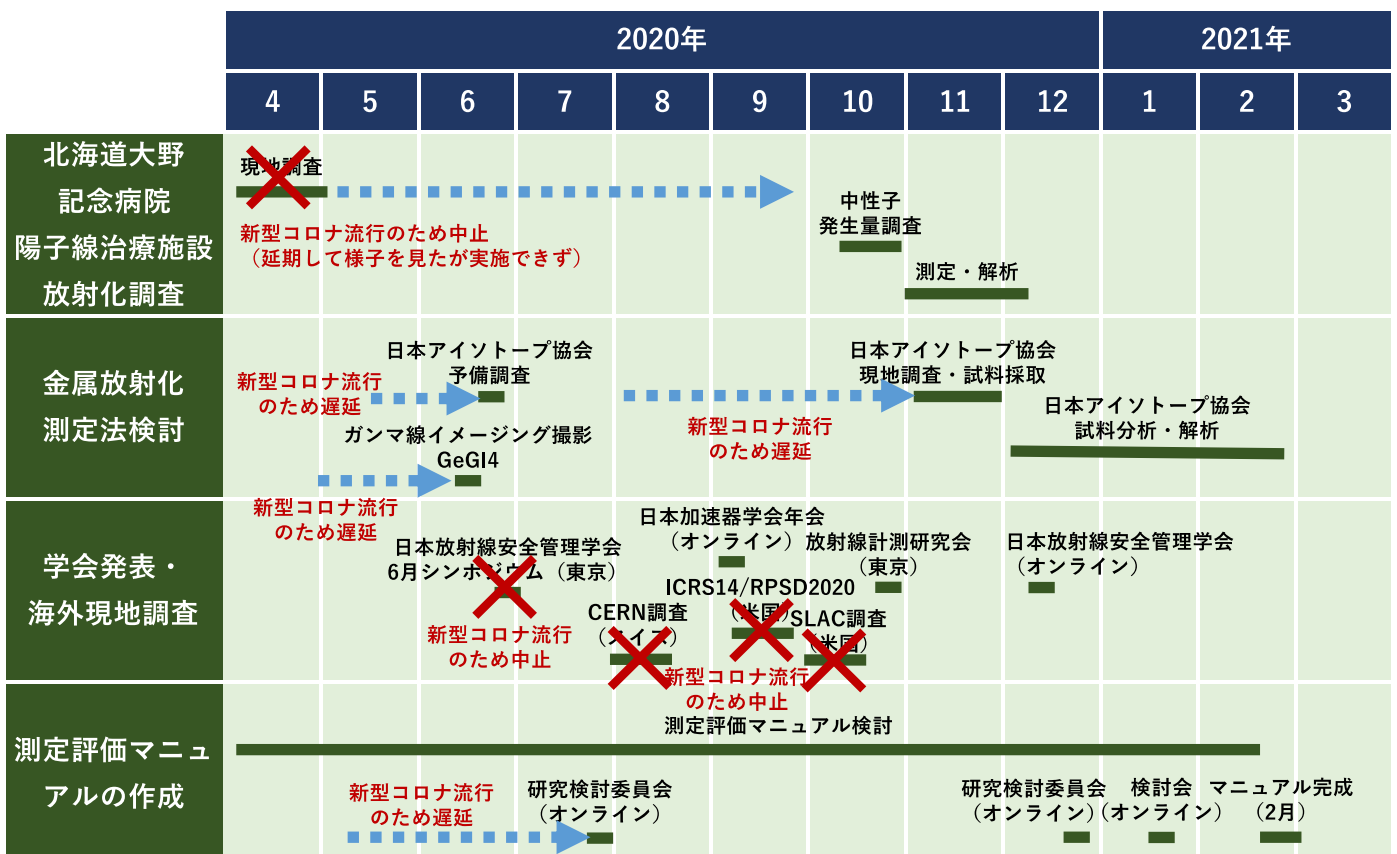
- 加速器施設のクリアランス実施例  
CERN（欧州），SLAC（米国）
- 加速器施設に関する廃止措置検討状況  
米国ANSI N13.12(2013),  
米国DOE Technical Standard



## ◆ 5. RI 規制法下でのクリアランス制度への取り組みに対する課題

- 放射線発生装置の現状とクリアランス制度の運用
- 小規模事業所におけるクリアランスの進め方
- 放射化物の取扱いに対する課題

# 年度当初の目標及びマイルストーン



## 国内学会等

2020年度 5件

- 松村宏, 榎本和義, 吉田剛, 豊田晃弘, 中村一, 三浦太一, 齊藤勝彦, 甲村巖根, 鶴野浩行, 小崎正彦, 我妻慧, 「PET サイクロトロン本体を用いた金属鉄に対する放射化評価法の検討」, 第19回日本放射線安全管理学会学術大会, オンライン開催, 2020年12月9日~11日
- 榎本和義, 松村宏, 吉田剛, 豊田晃弘, 中村一, 西川功一, 三浦太一, 別所光太郎, 近藤尚明, 榮武二, 想田光, 米内俊祐, 「陽子線治療施設の放射化調査1 (シンクロトロンタイプ)」, 第19回日本放射線安全管理学会学術大会, オンライン開催, 2020年12月9日~11日
- 吉田剛, 榎本和義, 松村宏, 豊田晃弘, 中村一, 西川功一, 三浦太一, 別所光太郎, 須釜裕也, 中村大隆, 秋田経理, 勝田昭一, 秋元哲夫, 榮武二, 想田光, 米内俊祐, 「陽子線治療施設の放射化調査2 (サイクロトロンタイプ)」, 第19回日本放射線安全管理学会学術大会, オンライン開催, 2020年12月9日~11日
- 松村 宏, 「加速器施設の放射化評価」, 第76回 放射線計測研究会, 東京都, 三菱総合研究所, 2020年10月24日
- 松村 宏, 「加速器施設の廃止措置」, 第17回 日本加速器学会年会, オンライン開催, 2020年9月2日~4日

発表を計画していた第17回 日本放射線安全管理学会6月シンポジウムは新型コロナウイルスのため中止

## 論文

2020年度 3件

- G. Yoshida, K. Nishikawa, H. Nakamura, H. Yashima, S. Sekimoto, T. Miura, K. Masumoto, A. Toyoda, H. Matsumura, "Investigation of variations in cobalt and europium concentrations in concrete to prepare for accelerator decommissioning," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 325, 801-806 (2020)
- H. Matsumura, G. Yoshida, A. Toyoda, K. Masumoto, H. Nakamura, T. Miura, K. Nishikawa, K. Bessho, K. Sasa, T. Moriguchi, F. Nobuhara, Y. Nagashima, "Nondestructive High-Sensitivity Measurement Method for Activation Estimation in Accelerator Room Concrete," *Radiation Protection*, to be published.
- 宮崎吉春, 吉田剛, 榎本和義, 松村宏, 田中正博, 「放射化した加速器室コンクリートに対する除染計画とその実施: 先端医学薬学研究センターにおけるPETデリバリー製造用サイクロトロン加速器室の廃止措置の研究事例」, *RADIOISOTOPES*, 69, 365-373 (2020)

## 国際学会

2020年度 0件

- H. Matsumura *et al.*, "Specific Activity of Floor Concrete at Cyclotron-type Proton Therapy Facilities," 14th International Conference on Radiation Shielding and Protection (ICRS14/RPSD2020), September 13-17, 2020, Seattle, USA.
- G. Yoshida *et al.*, "Survey Methodology for the Activation of Beamline Components in an Electrostatic Proton Accelerator," 14th International Conference on Radiation Shielding and Protection (ICRS14/RPSD2020), September 13-17, 2020, Seattle, USA.

オンライン受理後  
新型コロナウイルスのため中止

# 2020年度自己評価

## 研究の実施

評価時点までの研究の実施が研究計画に沿って行われているか

計画を達成できないが代替手段によって今年度の目標を達成した

2020年度は現地調査として,

- (1)北海道大野記念病院の放射化調査,
  - (2)日本アイソトープ協会滝沢研究所放射化調査,
  - (3)海外の廃止措置に関する調査,
  - (4)国内外の学会での議論
- が計画されていた。

## 新型コロナウイルスの影響

- 病院職員に依頼した規模を縮小した調査
- やや遅れて実施
- 文献とメールでの調査
- 一部会議自体中止も国内学会で議論

必要な情報は収集でき, 本研究成果のまとめである「測定評価マニュアル」は予定通り今年度に完成する。

なお, 年度途中で新型コロナウイルスの影響による計画の変更の手続きを一度行った。