

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

2017年度，2018年度 2年計画

高エネルギー加速器研究機構
放射線科学センター
松村 宏

研究の実施

計画を上回る

4月より調査を開始。当初予定していた調査はほぼ実施済み。放射線規制に係わる重要な成果が数多く得られた。研究成果は国内外の多くの学会等で発表及び議論してきた。

研究の成果

A

1. 廃止措置時に放射化評価の必要性を判定する手法について検討した上で、国内の陽子線治療、重粒子線治療、放射光実験加速器施設で放射化調査を進め、各施設の放射化データを集積した。特に、建屋コンクリートについては、一部を除き廃止時においても放射化はないと判定でき、廃止時の負担軽減が期待できる。ただ、陽子線治療加速器施設においては、更なるデータ収集の必要性があることが分かった。
2. 建屋コンクリートに対してはサーベイメータを用いた放射化判定手法の確立を進めた。これにより、従来法に比べて格段に簡便に放射能の定量及び放射化の判定が可能となり、実用可能なレベルに達した。また、ガンマカメラによる放射化イメージング測定を3種の異なるタイプの機器で実施し、加速器放射化物の放射化領域を判定する上での備えるべき技術要素が明らかになってきた。
3. 加速器施設の廃止マニュアル（案）を作成した。

加速器施設廃止の3要素

①規制対象施設・
規制対象範囲の明確化



**測定不要部
の洗い出し**

調査により明確化

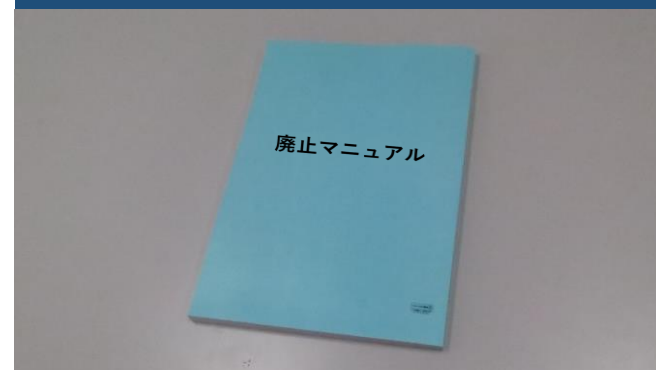
②非汚染・非放射化の
評価手順の検討



**実用的な
測定方法の確立**

一般化できる手法考案

③廃止マニュアル
の作成



方法の標準化

計画から
報告書作成まで



①規制対象施設・規制対象範囲の明確化

放射化測定・中性子生成量測定を行い、規制対象施設、規制対象範囲の区分を行う

2017年度

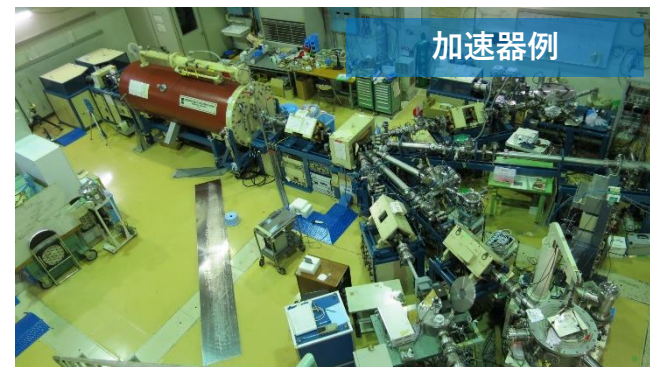
静電加速器施設

東北大ダイナミトロン
(宮城)

神戸大タンデム(兵庫)

筑波大タンデム(茨城)

原研タンデム(茨城)



加速器例

2018年度

放射光施設, 粒子線治療施設

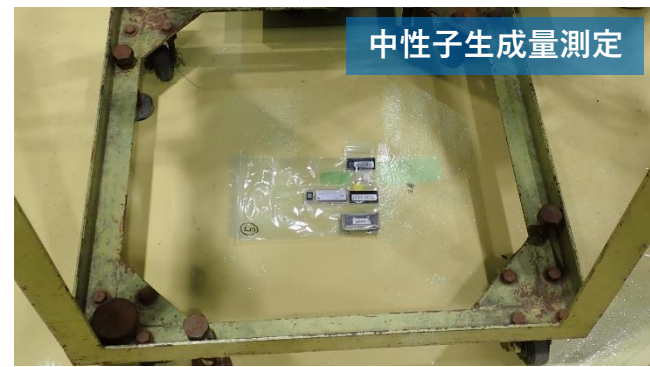
陽子線治療施設

国立がん研究センター
(千葉)

筑波大PMRC 2
(茨城)

重粒子線治療施設

群馬大GHMC(群馬)



中性子生成量測定

放射光実験施設

KEK-PF(茨城)

理研SPring-8(兵庫)

分子科学研究所UVSOR
(愛知)

広島大放射光科学
研究センター(広島)

立命館大SRセンター
(滋賀)



放射化測定

サイクロトロン施設等での実測を通して放射化測定評価法を検討する

放射化測定方法

2017 & 2018年度

放射化イメージング

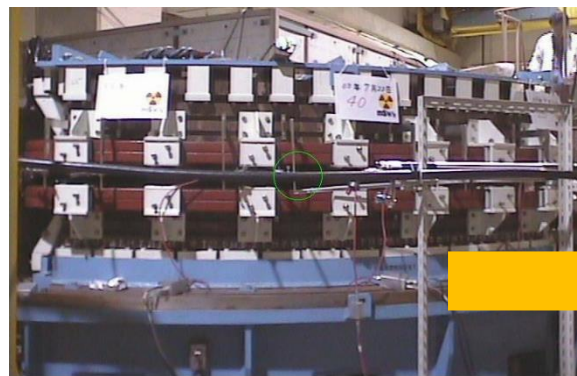
サーベイメータを用いた
簡便な測定方法の検討

A



B

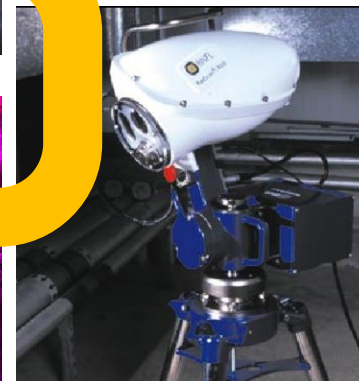
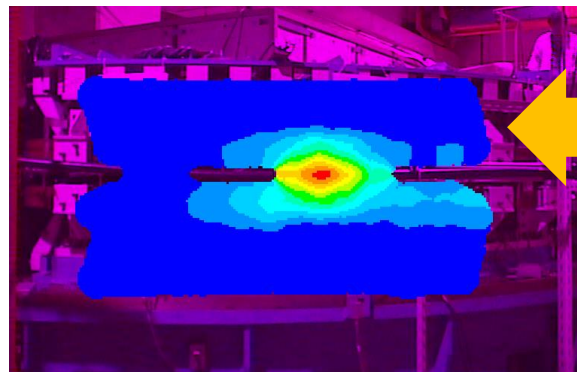
現存の放射化イメージング
技術のテスト



コンプトン方式

マスク方式

ピンホール方式



現場調査

調査実施者

松村 宏	高エネルギー加速器研究機構
榎本和義	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

研究全体

本委員会

方針確認とまとめ

上菘義朋	理化学研究所
渡部浩司	東北大学
大越 実	日本アイソトープ協会

各研究要素

小委員会 1

① 規制対象施設・規制対象範囲の明確化

笹 公和	筑波大学
松山成男	東北大学
森口哲朗	筑波大学
土田秀次	京都大学大学院

小委員会 2

② 非汚染・非放射化の評価手順の検討

米内俊祐	量子科学技術研究開発機構
中村哲志	国立がん研究センター中央病院
松田規宏	原子力研究開発機構
藤淵俊王	九州大学大学院

小委員会 3

③ 廃止マニュアルの作成

林 健一	日本アイソトープ協会
藤淵俊王	九州大学大学院
鈴木智和	大阪大学
上菘義朋	理化学研究所
米内俊祐	量子科学技術研究開発機構
畔柳 誠	東京ニュークリアサービス(株)
古澤 哲	東京ニュークリアサービス(株)
田中正博	JFEエンジニアリング(株)
片岡昌治	住友重機械工業(株)
山下大地	(株)アトックス
遠藤正志	(株)千代田テクノル
酒井昭宏	(株)千代田テクノル
佐々木博之	富士電機(株)
松村一博	(株)日本環境調査研究所

現場調査

調査実施者

松村 宏	高エネルギー加速器研究機構
榎本和義	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

研究全体

本委員会

方針確認とまとめ

上菘義朋	理化学研究所
渡部浩司	東北大学
大越 実	日本アイソトープ協会

小委員会 1

① 規制対象施設・規制対象範囲の明確化

林 憲志	自然科学研究機構
花木博文	高輝度光科学研究センター
石岡 純	理化学研究所
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	群馬大学

小委員会 2

② 非汚染・非放射化の評価手順の検討

米内俊祐	量子科学技術研究開発機構
中村哲志	国立がん研究センター中央病院
松田規宏	原子力研究開発機構
藤淵俊王	九州大学大学院

各研究要素

小委員会 3

③ 廃止マニュアルの作成

林 健一	日本アイソトープ協会
藤淵俊王	九州大学大学院
鈴木智和	大阪大学
上菘義朋	理化学研究所
米内俊祐	量子科学技術研究開発機構
畔柳 誠	東京ニュークリアサービス(株)
古澤 哲	東京ニュークリアサービス(株)
田中正博	JFEエンジニアリング(株)
片岡昌治	住友重機械工業(株)
山下大地	(株)アトックス
遠藤正志	(株)千代田テクノル
酒井昭宏	(株)千代田テクノル
佐々木博之	富士電機(株)
松村一博	(株)日本環境調査研究所

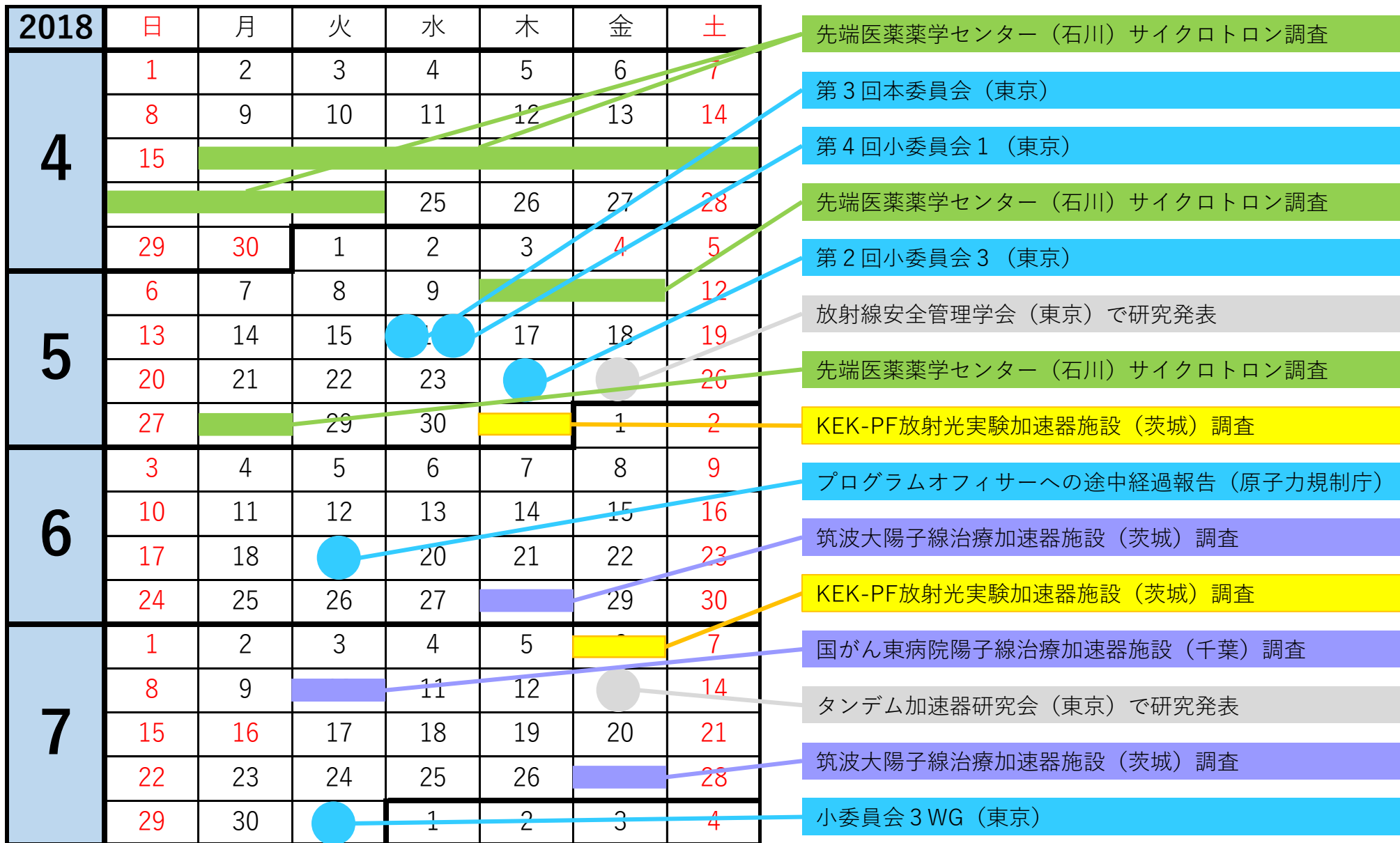
	平成29年度				平成30年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
本委員会 全体まとめ			■ 研究方針の確定 (9月)	■ 報告書作成 (3月)	■ 2年度目の研究方針決定 (4月)			■ 報告書作成 (3月)
小委員会 1 ①規制対象			■ 調査方針の確定 (9月)	■ 静電加速器施設の測定調査及び計算評価 (9~1月) ■ 調査結果のまとめ (2月)	■ 2年度目の調査方針の確定 (4月)			■ 放射光施設, 粒子線治療施設の測定調査及び計算評価 (5~1月) ■ 調査結果まとめ (2月)
小委員会 2 ②測定評価			■ 調査方針の確定 (9月) ■ 試料採取 (9~10月)	■ 試料分析 (10~1月) ■ 測定法検討 (9~1月)	■ 調査結果のまとめ (2月)	■ 2年度調査方針の確定 (4月)		■ 測定法検討 (5~1月) ■ マニュアル完成 (2月)
小委員会 3 ③廃止マニュアル作成			■ 調査方針の確定 (9月)	■ 調査結果のまとめ (2月)	■ 調査方針の確定 (9月)			■ マニュアル作成 ■ マニュアル完成 (2月)

予定していた測定調査は実施した。追加バックアップ調査も行った。

予定していた測定法検討は実施できた。

案を作成した。

2018年度 イベントカレンダー



2018年度 イベントカレンダー

2018	日	月	火	水	木	金	土
8	5	6	7			10	11
	12			15	16		18
	19		21	22			25
	26	27		29	30	31	1
9	2	3		5	6		8
	9	10	11	12	13	14	15
	16						
	23	24	25	26	27	28	29
	31				4		
10		8	9	10	11	12	13
	14						20
	21				25	26	27
	28		30	31	1	2	3
11	4	5	6	7			
	11						17
	18		20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	1

- 加速器連携協議会（新潟）で研究発表
- 分子研放射光実験加速器施設（愛知）調査
- 国がん東病院陽子線治療加速器施設（千葉）調査
- 国がん東病院陽子線治療加速器施設（千葉）調査
- 放射化イメージング（テスト）
- 国がん東病院陽子線治療加速器施設（千葉）調査
- 筑波大陽子線治療加速器施設（茨城）調査
- 国がん東病院陽子線治療加速器施設（千葉）調査
- KEK-PF放射光実験加速器施設（茨城）調査
- プログラムオフィサーへの途中経過報告（原子力規制庁）
- ERA13（イギリス）で研究発表
- 放射化イメージング（コンプトン）
- 群馬大重粒子線治療加速器施設（群馬）調査
- 筑波大陽子線治療加速器施設（茨城）調査
- 放射化イメージング（テスト）
- 放射化イメージング（ピンホールタイプ）
- 筑波大陽子線治療加速器施設（茨城）調査
- SPring-8放射光実験加速器施設（兵庫）調査
- 京大原子炉（大阪）放射化分析
- 第3回小委員会3（東京）

2018年度 イベントカレンダー

2018	日	月	火	水	木	金	土
12	2	3	4				8
			11	12			15
	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29
2019	30	31	1	2	3	4	5
1	6	7	8	9		11	12
	13			16	17	18	19
	20		22	23	24		26
	27					1	
2	3	4	5	6			9
	10	11	12	13		15	16
	17				21	22	23
	24	25	26	27	28	1	2
3	3	4	5		7		
	10	11				15	16
	17	18	19	20	21	22	23
	24	25	26	27	28	29	30

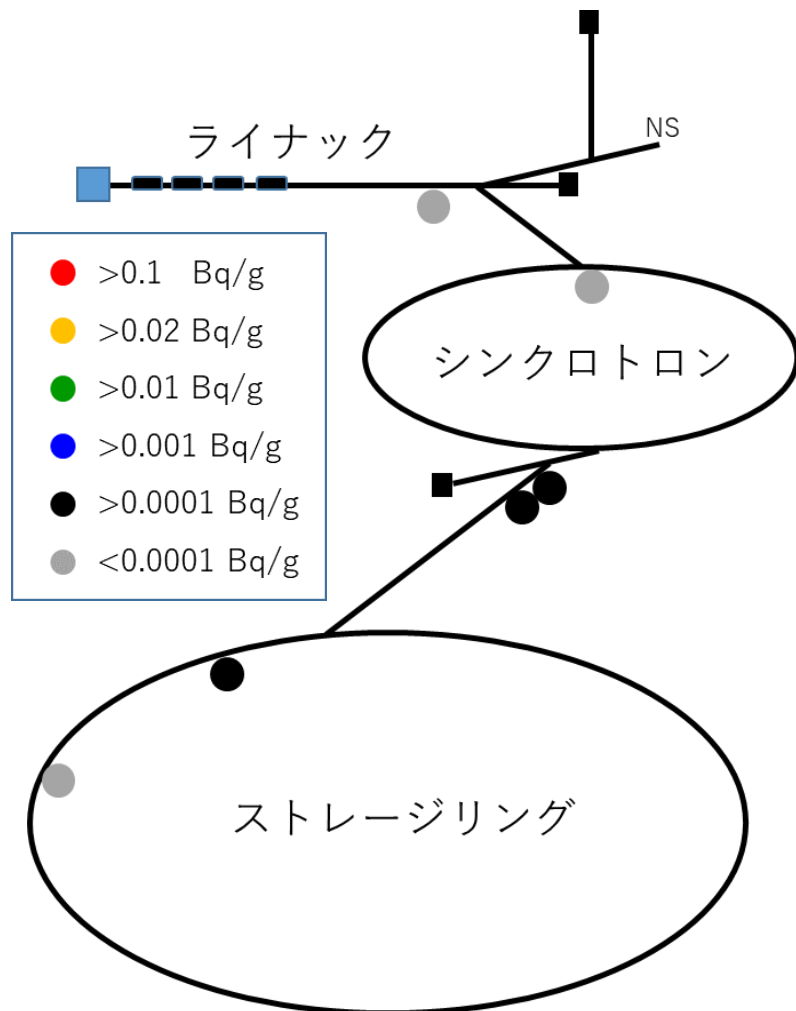
- 放射線安全管理学会（愛知）で研究発表
- POへの途中経過報告（東京）
- 分子研放射光実験加速器施設（愛知）調査
- 成田記念陽子線治療加速器施設（愛知）調査
- 群馬大重粒子線治療加速器施設（群馬）調査
- 放射化イメージング（テスト）
- 先端医薬薬学センター（石川）サイクロトロン調査
- 小委員会 3 WG（茨城）
- 研究会「放射線検出器とその応用」（茨城）で研究発表
- 専門研究会「放射化分析及び...」（大阪）で研究発表
- 大学等放射線施設協議会（東京）で研究発表
- 国がん東病院陽子線治療加速器施設（千葉）調査
- 広島大放射光実験加速器施設（広島）調査
- 第4回小委員会 3（東京）
- 放射化イメージング（テスト）
- 第5回小委員会 1（東京）
- 第3回小委員会 2（東京）
- 規制庁成果報告会（東京）で成果発表
- 立命館大放射光実験加速器施設（滋賀）調査
- タングステン遮蔽調査（佐賀）
- 第4回本委員会（未定）
- 「環境放射能」研究会（茨城）で研究発表

2019.01.31現在（予定を含む）

加速器施設の放射化調査による測定不要部の洗い出し

2018年度

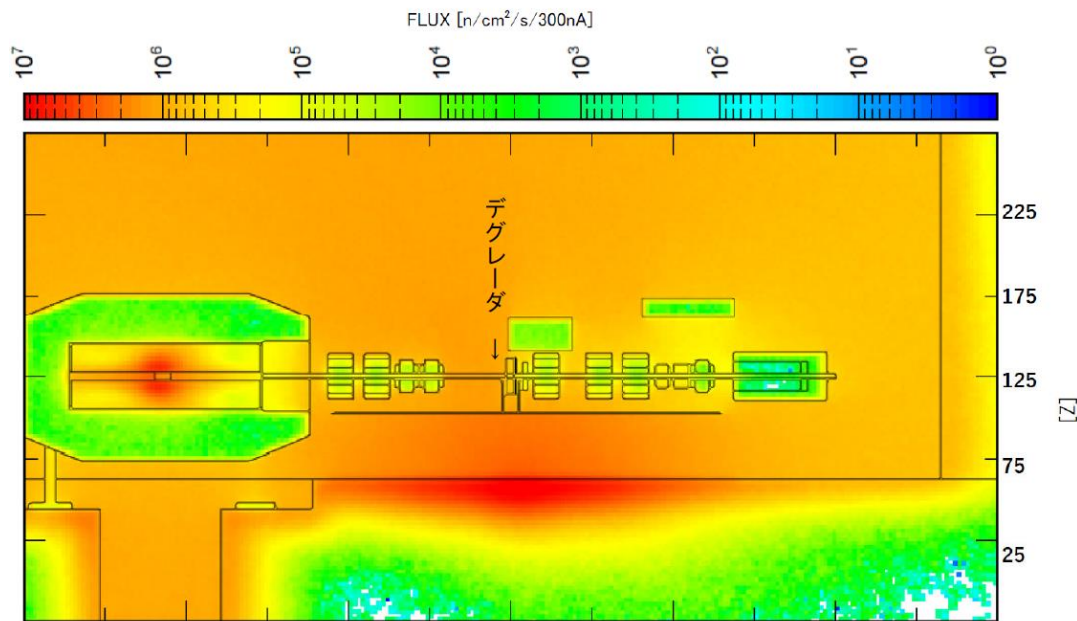
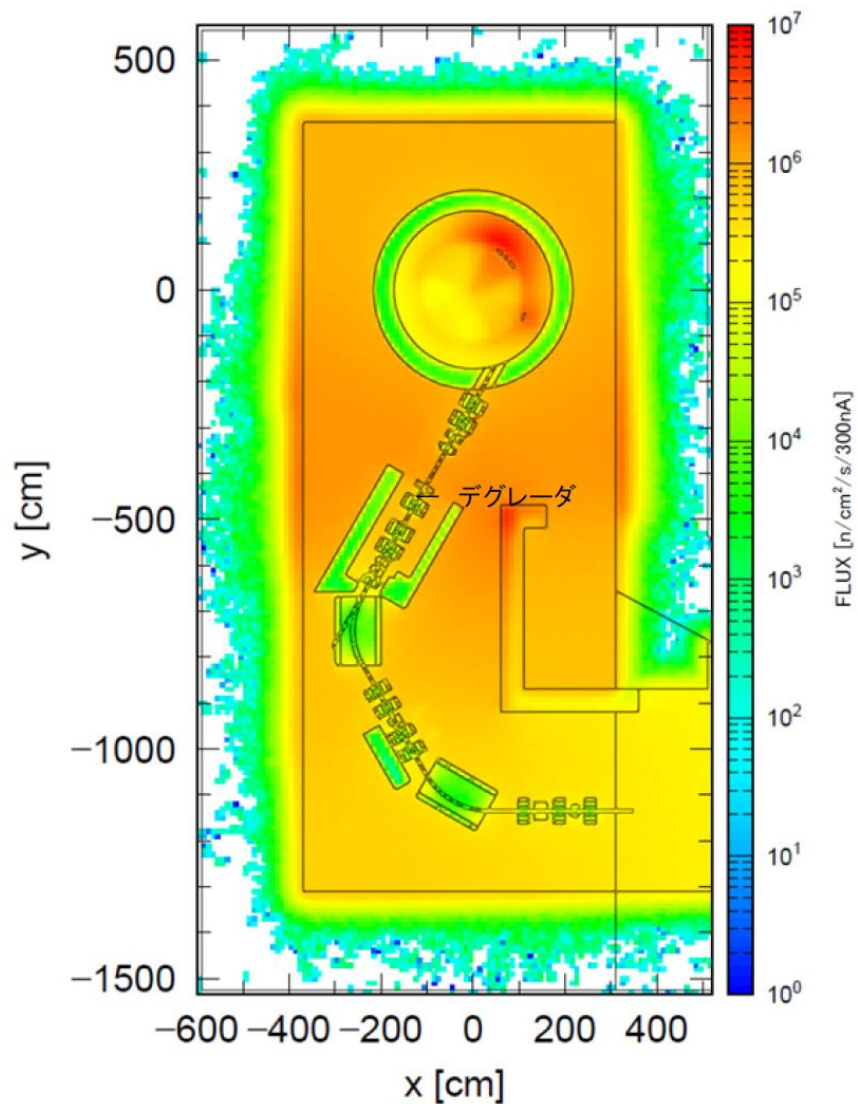
陽子線治療施設
重粒子線治療施設
放射光実験施設



結果の例（放射光実験施設SPring-8
の30年運転後の放射能濃度推測）

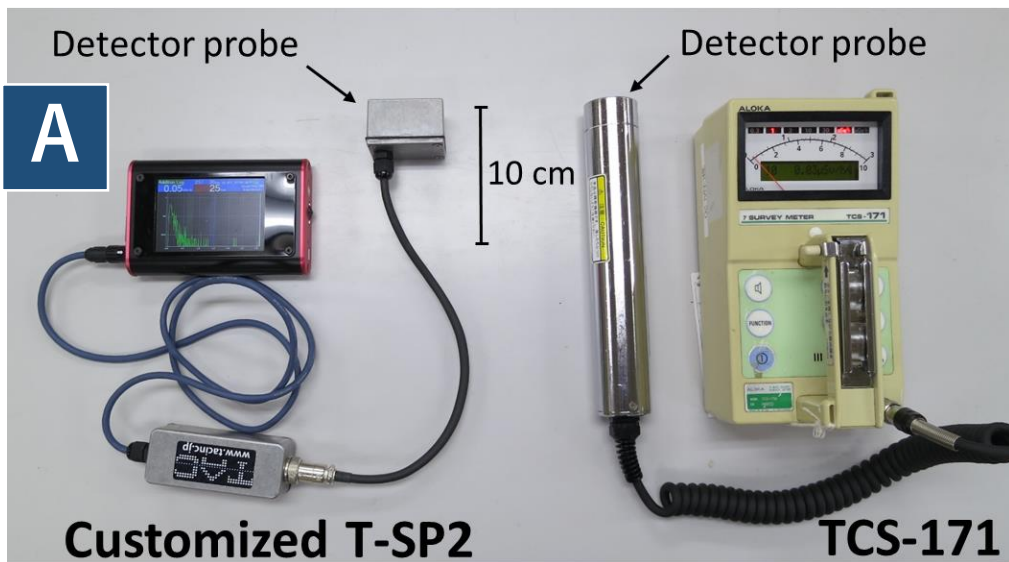
計算コードによる放射化分布の予測

静電加速器施設、粒子線治療加速器施設、放射光実験加速器施設における放射化分布の予測をモンテカルロ計算でも行い、実験値と比較した。



モンテカルロ計算コードによる熱中性子のフラックス分布計算結果例（陽子線治療施設）

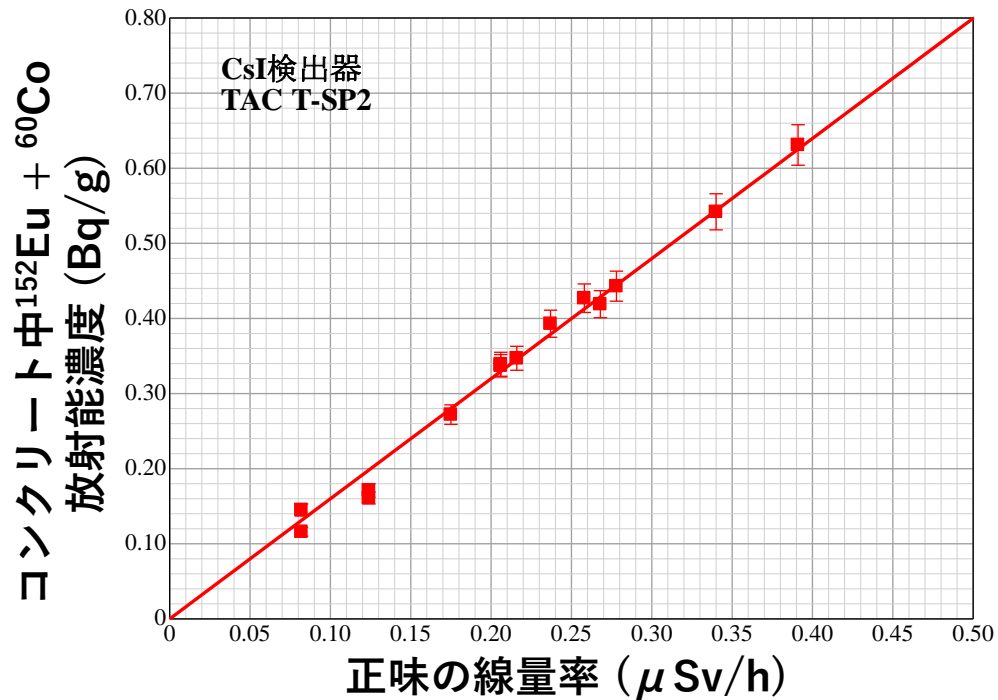
実用的な測定方法の確立



コンクリートに対するサーベイメータによる放射化測定法を確立した。

従来法に比べて格段に簡便に放射能の定量及び放射化の判定が可能。

実用可能なレベルに達した。



放射化イメージング

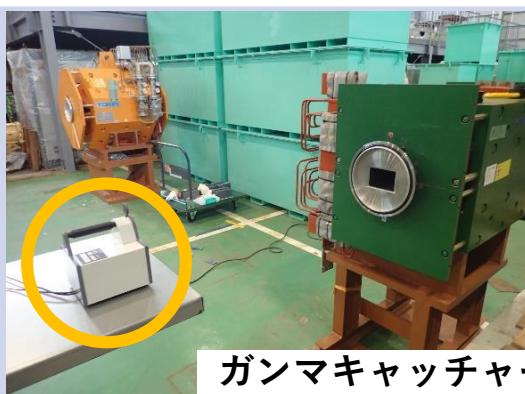
異なる3方式の市販品を用いて放射化電磁石の撮影を実施

ピンホール方式



HGD-E1500

コンプトン方式



ガンマキャッチャー

マスク方式

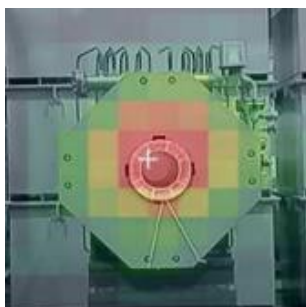


iPIX

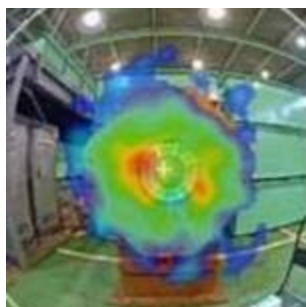
2017年度

孤立した電磁石

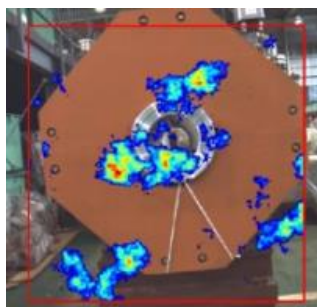
ピンホール



コンプトン



マスク



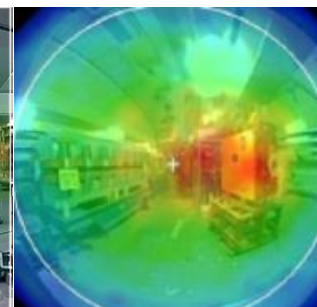
2018年度

ビームライン設置の電磁石

ピンホール



コンプトン



まとめ

可視化
に成功

検出効率
が最重要

4回の委員会の開催、日本放射線安全管理学会学術大会およびシンポジウムで検討内容を報告により、マニュアル作成に関しての意見交換を行った。

放射線発生装置に関するマニュアル案を作成した。

現在、放射線発生装置にとどまらず、放射線障害防止法に係わる全ての施設の廃止手順をまとめるべく、放射線安全管理学会の協力で進めている。

国内学会等 1

2018年度 13件, 2017年度 4件

- 吉田剛ら, 「**加速器施設廃止時における放射線イメージング技術適用の検討**」, 高エネルギー加速器研究機構, 茨城県つくば市, 第20回「環境放射能」研究会, 2019年3月12日～14日
- 吉田剛ら, 「**シンチレーション式スペクトロメーターを用いたPETサイクロトロン施設コンクリートの放射化判定法の開発**」, 高エネルギー加速器研究機構, 茨城県つくば市, 第33回研究会「放射線検出器とその応用」, 2019年1月28日～30日
- 吉田剛ら, 「**加速器施設廃止時における非破壊でのコンクリート放射化判定手法の開発**」, 京都大学複合原子力科学研究所, 大阪府泉南郡, 京都大学複合原子力科学研究所 専門研究会「放射化分析及び中性子を用いた地球化学的研究-2-」, 2019年1月25日
- 松村宏, 「**原子力規制庁の放射線安全規制研究推進事業 加速器施設の廃止措置に関わる放射化物の測定・評価手法の研究**」, 大学等放射線施設協議会・加速器放射線安全検討委員会, 東北大学東京サイト, 東京都中央区, 2019年1月25日
- 松村宏, 「**放射線施設廃止措置マニュアルの改定 -放射化物の測定-**」, 日本放射線安全管理学会 第17回 学術大会, 名古屋大学 野依学術記念交流館, 愛知県名古屋市, 2018年12月5日～7日
- 松村宏, 「**加速器施設の廃止措置に関わる放射化物の測定・評価手法の研究**」, 第2回大学加速器連携協議会, まちなかキャンパス長岡, 新潟県長岡市, 2018年8月8日
- 榊本和義ら, 企画講演「**静電加速器施設の放射化に関する調査報告**」, 第31回 タンデム加速器及びその周辺技術の研究会, 東京都市大学 二子玉川夢キャンパス, 東京都世田谷区, 2018年7月13日～14日
- 榊本和義ら, 「**放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—1. 静電加速器施設の放射化調査**」, 第15回 日本放射線安全管理学会6月シンポジウム, 東京大学農学部弥生講堂, 東京都文京区, 2018年5月24日～25日
- 延原文祥ら, 「**放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—2. 静電加速器施設におけるモンテカルロ計算**」, 第15回 日本放射線安全管理学会6月シンポジウム, 東京大学農学部弥生講堂, 東京都文京区, 2018年5月24日～25日
- 豊田晃弘ら, 「**放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—3. 国立循環器病研究センター研究所におけるPETサイクロトロン施設の放射化調査**」, 第15回 日本放射線安全管理学会6月シンポジウム, 東京大学農学部弥生講堂, 東京都文京区, 2018年5月24日～25日
- 松村宏ら, 「**放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—4. 放射化物の線量および放射能測定評価手法の開発**」, 第15回 日本放射線安全管理学会6月シンポジウム, 東京大学農学部弥生講堂, 東京都文京区, 2018年5月24日～25日

国内学会等 2

2018年度 13件, 2017年度 4件

- 吉田剛ら, 「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—5. 放射化物の放射線イメージング技術の検討」, 第15回 日本放射線安全管理学会6月シンポジウム, 東京大学農学部弥生講堂, 東京都文京区, 2018年5月24日~25日
- 松村宏, 「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—6. 2018年度安全研究計画について」, 第15回 日本放射線安全管理学会6月シンポジウム, 東京大学農学部弥生講堂, 東京都文京区, 2018年5月24日~25日
- 吉田剛ら, 「放射線安全規制研究推進事業「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」の活動について」, 第19回「環境放射能」研究会, 高エネルギー加速器研究機構, 茨城県つくば市, 2018年3月13日~3月15日
- 松村宏, 「2.非汚染・非放射化の評価手順の検討」, 日本放射線安全管理学会12月シンポジウム, 東京大学農学部弥生講堂一条ホール, 東京都文京区, 2017年11月30日~12月1日
- 豊田晃弘ら, 「加速器室放射化コンクリート壁中の放射性核種の非破壊放射能濃度測定法の検討(1)-サイクロトロン室の廃止措置のために-」, 日本保健物理学会第50回研究発表会/日本放射線安全管理学会第16回学術大会合同大会, ホルトホール大分, 大分県大分市, 2017年6月28日~30日
- 中林貴之ら, 「加速器室放射化コンクリート壁中の放射性核種の非破壊放射能濃度測定法の検討(2)-サイクロトロン室の廃止措置のために-」, 日本保健物理学会第50回研究発表会/日本放射線安全管理学会第16回学術大会合同大会, ホルトホール大分, 大分県大分市, 2017年6月28日~30日

国際会議

2018年度 4件

- H. Matsumura *et al.*, “Simplified determination method of residual specific activity in activated concrete of a PET-cyclotron room using a survey meter,” 13th International Symposium on Nuclear and Environmental Radiochemical Analysis: ERA13, Cambridge, United Kingdom, September 17-20, 2018.
- G. Yoshida *et al.*, “Comparison of different gamma-ray imaging techniques for visualization of the induced activity in accelerator magnets,” 13th International Symposium on Nuclear and Environmental Radiochemical Analysis: ERA13, Cambridge, United Kingdom, September 17-20, 2018.
- H. Nakamura *et al.*, “Examination of neutron fluence measuring methods to estimate the activity induced by neutrons in an accelerator room,” 13th International Symposium on Nuclear and Environmental Radiochemical Analysis: ERA13, Cambridge, United Kingdom, September 17-20, 2018.
- A. Toyoda *et al.*, “Quantitative evaluation of the radioactivity in the concrete at PET cyclotron facility with simple and non-destructive measurement,” 13th International Symposium on Nuclear and Environmental Radiochemical Analysis: ERA13, Cambridge, United Kingdom, September 17-20, 2018.

プロシーディングス

2018年度 6件

- 榑本和義, 松村 宏, 三浦太一, 吉田 剛, 豊田晃弘, 中村 一, 別所光太郎, 中林貴之, 延原文祥, 笹公和, 森口哲朗, 土田秀次, 松山成男, 松田誠, 谷池晃, 「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—1. 静電加速器施設の放射化調査」, 日本放射線安全管理学会誌, 17 (2), (2018), 163
- 延原文祥, 長島洋子, 榑本和義, 松村 宏, 三浦太一, 吉田 剛, 豊田晃弘, 中村 一, 別所光太郎, 中林貴之, 笹公和, 森口哲朗, 土田秀次, 松山成男, 松田誠, 谷池晃, 「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—2. 静電加速器施設におけるモンテカルロ計算」, , 日本放射線安全管理学会誌, 17 (2), (2018), 164
- 豊田晃弘, 松村 宏, 榑本和義, 三浦太一, 吉田 剛, 中村 一, 別所光太郎, 中林貴之, 「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—3. 国立循環器病研究センター研究所におけるPETサイクロトン施設の放射化調査」, 日本放射線安全管理学会誌, 17 (2), (2018), 167
- 松村宏, 吉田 剛, 豊田晃弘, 榑本和義, 西川功一, 中林貴之, 宮崎吉春, 三浦太一, 中村 一, 別所光太郎, 「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—4. 放射化物の線量および放射能測定評価手法の開発」, 日本放射線安全管理学会誌, 17 (2), (2018), 170
- 吉田 剛, 豊田晃弘, 松村 宏, 榑本和義, 三浦太一, 中村 一, 別所光太郎, 「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—5. 放射化物の放射線イメージング技術の検討」, 日本放射線安全管理学会誌, 17 (2), (2018), 172
- 松村 宏, 「放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改訂-放射線施設廃止の確認手順と放射能測定マニュアルの改定に向けて 5—6. 2018年度安全研究計画について」, 日本放射線安全管理学会誌, 17 (2), (2018), 175

評価結果のコメント

廃棄物低減化技術として重要であり、廃止マニュアルを完成されたい。

また、代表的な施設だけでなく、より多くの施設に対するヒアリングを追加し、標準化の段階まで進めることを期待する。

対応

2018年度版の廃止マニュアルは提出された。2019年度から始まる事業において、さらに発展させるための測定評価マニュアルの作成を行う予定である。

また、放射化調査に関しては、2019年度からの事業で、さらなる調査施設の増加を行い、標準化を目指す。

①規制対象施設・規制対象範囲の明確化の研究成果

静電加速器施設，粒子線治療加速器施設，放射光実験加速器施設の放射化／非放射化の領域を明確化がされたことで，規制側は放射線規制範囲をあらかじめ決めることが可能になる。施設側は廃止措置の手順を大幅に省略化することが可能になる。

②非汚染・非放射化の評価手順の検討の研究成果

廃止措置前及び廃止措置時の放射化測定・判定の方法が簡略化され，効率的な作業が可能になる。実施施設（先端医薬薬学センター，石川県）で，本研究による手法が実行され，その有用性も証明された。

③廃止マニュアルの作成の研究成果

廃止マニュアルの作成は、まさに今後廃止措置を進める事業所にとって実務的に役立つことが期待される。