

2020 年 6 月 6 日

放射化物廃棄状況に関するアンケート調査報告書（1 次報告）

放射化物廃棄状況調査担当者（団体五十音順）
林 健一、木村 昇（日本アイソトープ協会）
米内俊祐、川村慎二（日本医学物理学会）
長押松美、田中 弘（日本画像医療システム工業会）
中村 勝（日本診療放射線技師会）
大石晃嗣（日本放射線安全管理学会）
藤淵俊王（日本放射線技術学会）
中山優子、岡本裕之、吉峰 正（日本放射線腫瘍学会）

【はじめに】

平成 24 年に放射線障害防止法（現：放射性同位元素等の規制に関する法律（RI 規制法））の一部改正（放射化物の規制対象への追加）事務連絡⁽¹⁾に伴って、医療用直線加速装置（リニアック）の廃棄部品については装置のエネルギーやメーカーごとに放射化物部品が規定され、管理されている。装置廃棄を行う医療施設では、事務連絡⁽¹⁾に従い適切なサーベイメータ（検出器）を用いて、部品ごとの 1 cm 線量当量率値（ $\mu\text{Sv/h}$ ）を測定し、換算表から放射能値（Bq）へ換算し、記帳することで放射性廃棄物として取り扱われている。

現在、上記の法改正に基づく管理開始から 7 年が経過しており、放射化物廃棄状況の確認や放射化物管理における課題の収集を行うために、関係学会・団体で廃棄状況調査を行なった。主に光子最大エネルギー 10 MeV の装置について主な部品の調査データの分析結果を報告する。ただし、データの品質を担保するため、線量率測定値、放射能換算値、リニアック装置年間使用線量、装置使用終了から線量率測定までの日数等の情報が確認できたものを分析した。

1. 放射化物廃棄状況アンケート調査概要

アンケート調査は、平成 24 年の法改正以降の 2012 年 3 月以降に 6 MeV 以上のエネルギーのリニアック装置を廃棄した施設を対象に実施した。調査概要を以下に記す。

【調査タイトル】：リニアック装置放射化物廃棄状況調査

【調査目的】：放射化物廃棄状況の確認や放射化物管理における課題の収集

【調査対象】：2012 年 3 月以降リニアック装置を廃棄した 333 施設

【調査方法】：web 調査（Google フォーム）；施設担当者回答＋メール送信；線量率データ

【調査期間】：2019 年 12 月 12 日（施設依頼書送付）～2020 年 1 月 31 日

【回答状況】：回答施設数；177 施設（装置数 198 台）、PDF データ送付数；149 施設

【回答率】：53.2%（有効回答割合）

2. 放射化物廃棄状況分析

協力していただいた施設回答データを集計した結果をグラフと共に以下に記す。

1) 光子エネルギー別装置数内訳

廃棄リニアック装置数の最大光子エネルギー別内訳グラフを Fig.1 に示す。6 MeV 装置は 28 台、10 MeV 装置は 159 台、15 MeV 装置は 3 台、18 MeV 装置は 3 台、20 MeV 装置は 1 台、その他が 4 台であった。

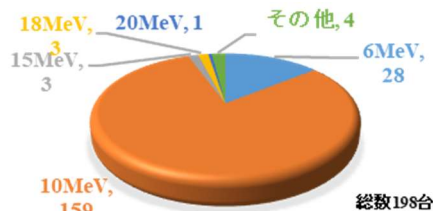


Fig.1 エネルギー別廃棄装置内訳

2) メーカー別装置数内訳

廃棄装置のメーカー別内訳を Fig.2 に示す。Varian が 67 台、三菱電機が 54 台、SIEMENS が 42 台、東芝が 17 台、Elekta が 7 台、ACCURAY が 6 台、その他 5 台（NEC、BrainLAB 等）であった。

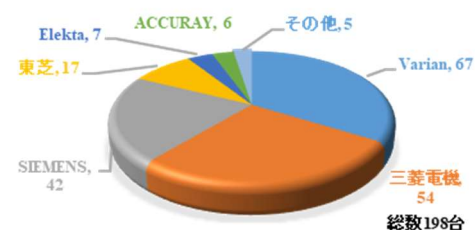


Fig.2 メーカー別廃棄装置内訳

3) 放射化物線量率測定者

装置廃棄時の測定者の内訳を Fig.3 に示す。測定業者が 137 台（69.2%）、自施設での測定が 20 台（10.1%）、業者と施設協同実施が 25 台（12.6%）、未回答 16 台（8.1%）であった。



Fig.3 線量率測定担当者内訳

4) 保管廃棄設備設置状況

施設内に保管廃棄設備の設置状況（設置場所）の調査結果を Fig.4 に示す。リニアック治療室内に設置が 66 施設（37.3%）、治療室外が 22 施設（12.4%）、保管廃棄設備の設置がない施設が 78 施設（44.1%）、その他が 11 施設（6.2%）であった。

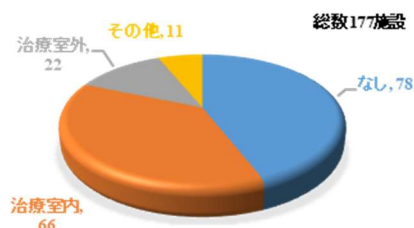


Fig.4 保管廃棄設備設置状況

5) 放射化物廃棄ドラム缶数（エネルギー別）

廃棄した装置のエネルギー別の一台あたりの平均廃棄ドラム缶数（50 L 換算）と標準偏差を Fig.5 に示す。10 MeV 装置 134 台の平均は 3.9 個、15 MeV 装置 3 台の平均は 25.3 個、18 MeV 装置 3 台の平均は 22.7 個、20 MeV 装置 1 台のドラム缶数は 28 個であった。

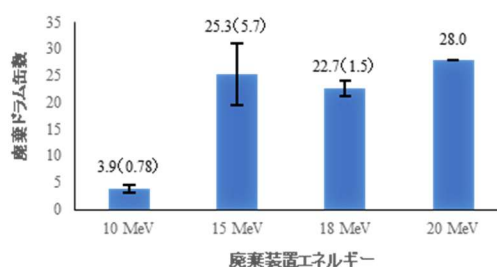


Fig.5 エネルギー別廃棄ドラム缶数

6) 放射化物廃棄費用（エネルギー別）

エネルギー別の平均廃棄費用と標準偏差を Fig.6 に示す。10 MeV 装置 110 台の平均は 64 万円、15 MeV 装置 1 台で 291 万円、18 MeV 装置 3 台の平均は 307 万円、20 MeV 装置については費用の回答はなかったためグラフには記載を控えたが、28 個のドラム缶廃棄であったことから費用計算すると、326 万円余りとなる。

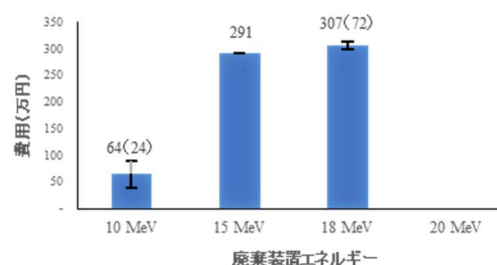


Fig.6 エネルギー別費用負担

7) 放射化物廃棄ドラム缶数（10 MeV）

10 MeV 装置の廃棄ドラム缶数別の装置数を Fig.7 に示す。4 個が 79 台と一番多く、続いて 5 個が 27 台、3 個が 24 台であった。ドラム缶 1 個の施設は部品交換による廃棄であった。

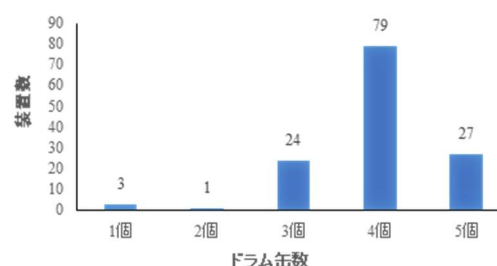


Fig.7 ドラム缶数別装置数(10 MeV)

8) 10 MeV 装置廃棄費用区分別装置台数

10 MeV 装置の廃棄費用区分別装置台数を Fig.8 に示す。50～60 万円が 24 台と一番多く、続いて 60～70 万円が 19 台、100 万円を超える装置も 11 台あった。これらの施設はすべて、北海道、四国、九州、沖縄であり、遠隔地集荷に伴う費用負担増が反映されたものと考えられる。アンケート回答には、業者委託に関する費用など、装置廃棄のすべての費用と考えられる

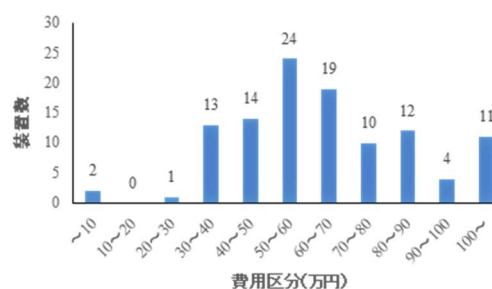


Fig.8 費用区分別装置台数（10 MeV）

回答もあったため、そのような施設のデータは除外した。

3. 部品別線量率・放射能・放射能濃度分析 (10 MeV 装置)

10 MeV エネルギーの装置について、線量率測定データ (PDF ファイル) から主な部品別の放射線線量率値 ($\mu\text{Sv/h}$) や平成 24 年事務連絡⁽¹⁾に基づく放射能換算値 (Bq) の換算、および部品の重量から放射能濃度 (Bq/g) の値を計算した。評価した部品は、ターゲット (短半減期)、ターゲット (長半減期)、フラットニングフィルタ、1 次コリメータ、アッパー JAW、ローワー JAW である。線量率値、放射能値、部品材質・重量、廃棄日の直近 1 年間の装置使用線量 (Gy)、および装置停止から線量率測定までの期間 (日) のすべてのデータが取得できるデータを分析した。なお、放射能のみの記載データについては、部品の材質や重量から補正係数を求めて線量率値を算出した。

部品別の測定線量率値 ($\mu\text{Sv/h}$)、放射能換算値 (Bq)、放射能濃度 (Bq/g) のグラフを Fig.9 (a)、(b)、(c)に示す。また、グラフの数値データを Table 1 に示す。このデータは、部品の材質やメーカー等の分類は行っていない。

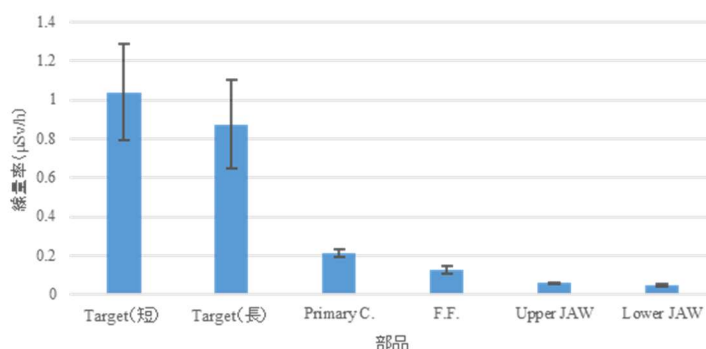


Fig.9 (a) 部品別線量率平均値と標準誤差

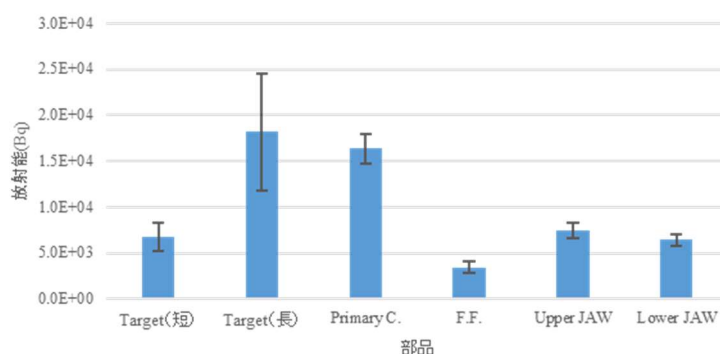


Fig.9 (b) 部品別放射能換算平均値と標準誤差

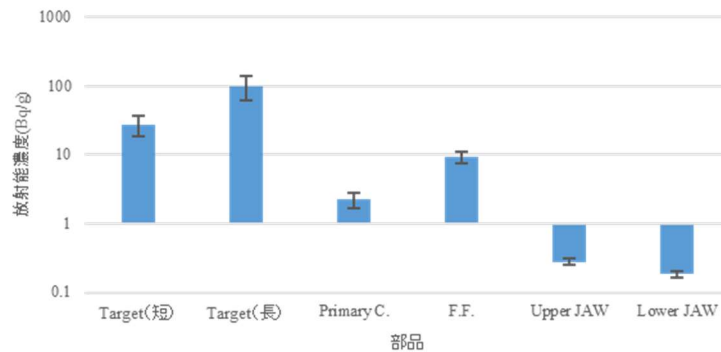


Fig.9 (c) 部品別放射能濃度平均値と標準誤差

線量率値のターゲットについては、装置停止から線量率測定までの期間によって、短半減期、長半減期に分類するが、両方の値が大きいことがわかる。続いて、1次コリメータ、フラットニングフィルタ、アッパーJAW、ローワーJAWの順番に線量率値が低下している。放射能換算値は、換算係数 (Bq/(μ Sv/h)) や重量補正係数を乗じているため安全側に評価されたものであるが、ターゲット (長半減期) が最も大きく、フラットニングフィルタの評価が最小となった。放射能濃度やクリアランスレベルとの比 D/C は参考として示した。

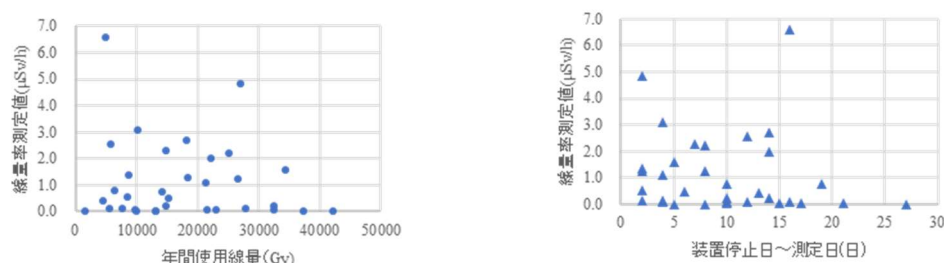
Table 1 各部品の数値データ

データ	部 品	装置数	平均	標準偏差	標準誤差
線量率値 (μ Sv/h)	ターゲット(短半減期)	33	1.13	1.52	0.26
	ターゲット(長半減期)	29	0.87	1.23	0.23
	1次コリメータ	76	0.23	0.20	0.02
	フラットニングフィルタ	70	0.13	0.16	0.02
	アッパーJAW	107	0.06	0.06	0.01
	ローワーJAW	98	0.05	0.05	0.00
放射能 (Bq)	ターゲット(短半減期)	33	7.3E+03	9.4E+03	1.6E+03
	ターゲット(長半減期)	29	1.8E+04	3.4E+04	6.3E+03
	1次コリメータ	76	1.7E+04	1.5E+04	1.7E+03
	フラットニングフィルタ	70	3.5E+03	5.8E+03	7.0E+02
	アッパーJAW	107	7.8E+03	9.1E+03	8.8E+02
	ローワーJAW	98	6.6E+03	7.1E+03	7.2E+02
放射能濃度 (Bq/g)	ターゲット(短半減期)	33	2.7E+01	5.1E+01	8.9E+00
	ターゲット(長半減期)	29	1.0E+02	2.1E+02	4.0E+01
	1次コリメータ	76	2.3E+00	5.1E+00	5.8E-01
	フラットニングフィルタ	70	9.3E+00	1.4E+01	1.7E+00
	アッパーJAW	107	2.8E-01	3.2E-01	3.1E-02
	ローワーJAW	98	1.9E-01	2.0E-01	2.0E-02
D/C	ターゲット(短半減期)	33	25	50	9
	ターゲット(長半減期)	29	734	2113	392
	1次コリメータ	76	18	22	3
	フラットニングフィルタ	70	90	136	16
	アッパーJAW	107	2	2	0
	ローワーJAW	98	2	2	0

次に、各部品について、装置の使用状況として廃棄前 1 年間の使用線量 (Gy) や装置使用停止から放射化物の線量率測定までの期間 (日) との関係について評価を行った。部品ごとの結果を以下に記す。

1) ターゲット (短半減期核種)

短半減期核種 (^{196}Au 、 ^{187}W 、 ^{184}Re 等) のターゲット部品については、33 台の装置が評価可能であった。縦軸に線量率値 ($\mu\text{Sv/h}$)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.10 (a)、(b) に示す。ターゲット (短半減期) の最大線量率は、6.6 ($\mu\text{Sv/h}$) であった。年間使用線量の最小値は 1479 (Gy)、最大値は 42225 (Gy)、装置停止から線量率測定までの期間の最小値は 2 (日)、最大値は 27 (日) であった。



(a) 年間使用線量別

(b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.10 ターゲット部品 (短半減期) の線量率測定値

縦軸に放射能換算値 (Bq)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.11 (a)、(b) に示す。ターゲット (短半減期核種) の最大放射能換算値は、 $3.4 \cdot 10^4$ (MBq) であった。



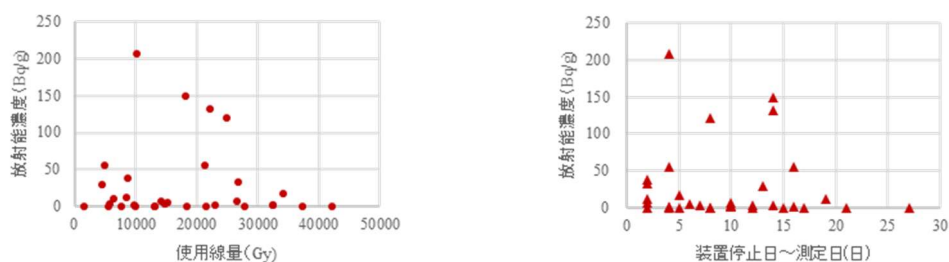
(a) 年間使用線量別

(b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.11 ターゲット部品 (短半減期) の放射能換算値

縦軸に放射能濃度 (Bq/g)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.12 (a)、(b) に示す。ターゲット (短半減期) の最大放射能濃度は、 $2.1 \cdot 10^2$ (Bq/g) であった。

Table 2 にターゲット（短半減期）の廃棄-測定間時間(d)、使用線量 (Gy)、放射能換算値 (Bq)、放射能濃度 (Bq/g)、そして、 $\Sigma D/C$ について、平均値、中央値、最小値、最大値、標準偏差、標準誤差の値を示した。なお、IAEA RS-G-1.7 に掲載されていない核種の ^{196}Au と ^{184}Re については、平成 21 年 6 月のクリアランス技術検討ワーキンググループ資料⁽²⁾ に基づいて値を設定した。以下、D/C の計算については同様の対応を行った。



(a) 年間使用線量別 (b) 装置停止日から測定日までの期間別

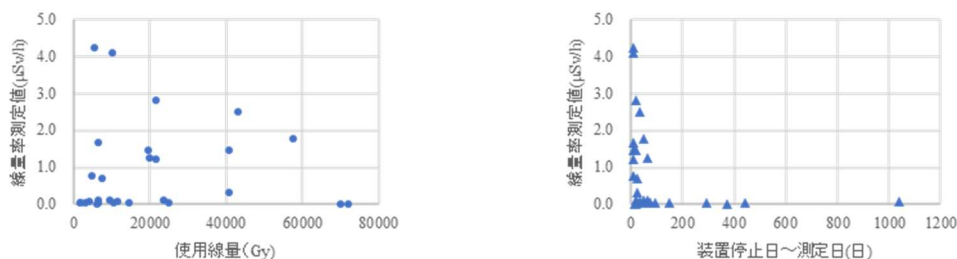
Fig.12 ターゲット部品（短半減期）の放射能濃度

Table 2 ターゲット部品（短半減期）データのまとめ

	装置台数	平均	中央値	最小値	最大値	標準偏差	標準誤差
廃棄-測定間時間(d)	33	9.79	10.00	2.00	27.00	6.16	1.07
使用線量 (Gy)	33	17524.58	14902.82	1479.00	42225.00	10504.06	1828.52
線量測定値H[$\mu\text{Sv/h}$]	33	1.13	0.49	0.01	6.60	1.50	0.26
放射能Q[Bq]	33	7.3.E+03	2.4.E+03	1.1.E+01	3.4.E+04	9.3.E+03	1.6.E+03
放射能濃度[Bq/g]	33	2.7.E+01	3.6.E+00	3.1.E-03	2.1.E+02	5.0.E+01	8.8.E+00
D/C	33	25	3	0	208	50	9

2) ターゲット（長半減期核種）

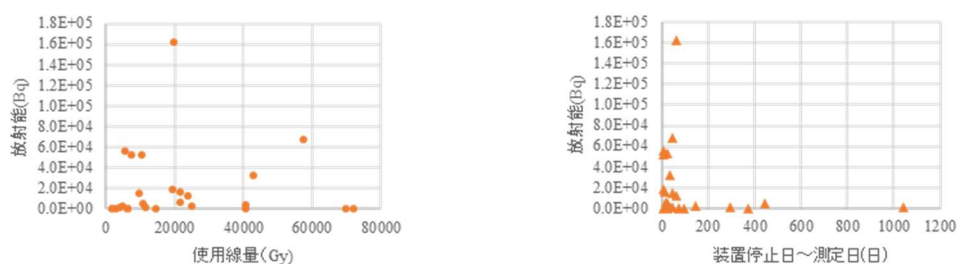
長半減期核種 (^{60}Co 、 ^{65}Zn 等) のターゲット部品については、29 台の装置が評価可能であった。縦軸に線量率値 ($\mu\text{Sv/h}$)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.13 (a)、(b) に示す。ターゲット（長半減期核種）の最大線量率は、4.26 ($\mu\text{Sv/h}$) であった。年間使用線量の最小値は 1653.9 (Gy)、最大値は 71910 (Gy)、装置停止から線量率測定までの期間の最小値は 7 (日)、最大値は 1040 (日) であった。



(a) 年間使用線量別 (b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.13 ターゲット部品（長半減期）の線量率測定値

縦軸に放射能換算値 (Bq)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.14 (a)、(b)に示す。ターゲット (長半減期核種) の最大放射能換算値は、 1.6×10^5 (MBq) であった。ただし、この最大換算値の施設では重量補正係数の使用に誤りが認められた。正しい換算を行うと $1/10$ の 1.6×10^4 (MBq) と評価される。

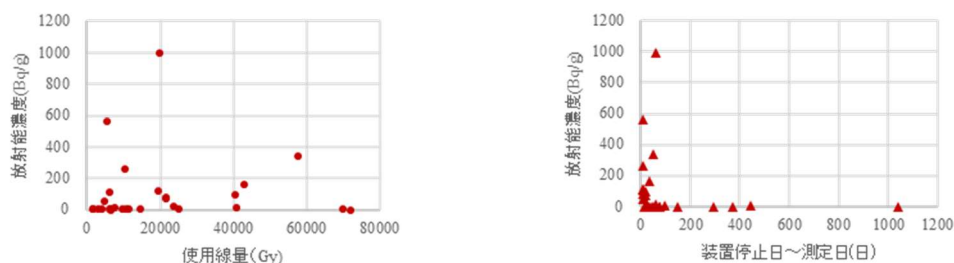


(a) 年間使用線量別

(b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.14 ターゲット部品 (長半減期) の放射能換算値

縦軸に放射能濃度 (Bq/g)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.15 (a)、(b)に示す。ターゲット (長半減期核種) の最大放射能濃度は、 1.0×10^3 (Bq/g) であった。ただし、この最大放射能濃度値の施設では重量補正係数の使用に誤りが認められた。正しい換算を行うと $1/10$ の 1.0×10^2 (Bq/g) と評価される。



(a) 年間使用線量別

(b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.15 ターゲット部品 (長半減期) の放射能濃度

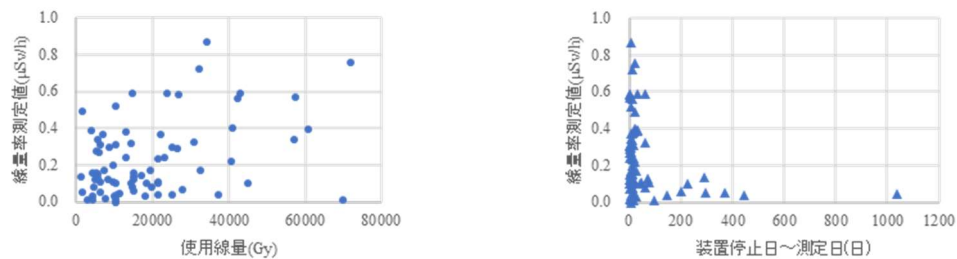
Table 3 にターゲット (長半減期) の廃棄-測定間時間(d)、使用線量 (Gy)、放射能換算値 (Bq)、放射能濃度 (Bq/g)、そして、核種ごとの D/C について、平均値、中央値、最小値、最大値、標準偏差、標準誤差の値を示した。

Table 3 ターゲット部品（長半減期）データのまとめ

	装置台数	平均	中央値	最小値	最大値	標準偏差	標準誤差
廃棄-測定間時間(d)	29	106.79	33.00	7.00	1040.00	206.52	38.35
使用線量 (Gy)	29	19677.29	10569.96	1653.90	71910.00	19631.33	3645.45
線量測定値H[$\mu\text{Sv/h}$]	29	0.87	0.10	0.01	4.26	1.21	0.22
放射能Qi[Bq]	29	1.8.E+04	2.3.E+03	0.0	1.6.E+05	3.4.E+04	6.2.E+03
放射能濃度[Bq/g]	29	1.0.E+02	7.4.E+00	7.3.E-02	1.0.E+03	2.1.E+02	3.9.E+01
D/C	29	734	10	0	9969	2113	392

3) 1次コリメータ

1次コリメータについては、76台の装置が評価可能であった。縦軸に線量率値 ($\mu\text{Sv/h}$)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.16(a)、(b) に示す。ターゲット (短半減期核種) の最大線量率は、0.87 ($\mu\text{Sv/h}$) であった。年間使用線量の最小値は 1120 (Gy)、最大値は 71910 (Gy)、装置停止から線量率測定までの期間の最小値は 1 (日)、最大値は 1040 (日) であった。

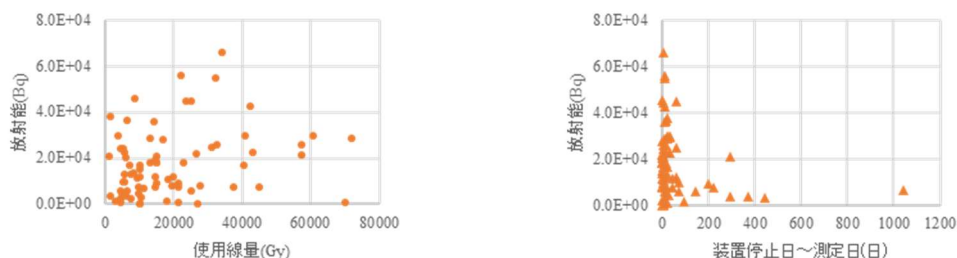


(a) 年間使用線量別

(b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.16 1次コリメータの線量率測定値

縦軸に放射能換算値 (Bq)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.17 (a)、(b) に示す。1次コリメータの最大放射能換算値は、6.6.E+01 (MBq) であった。



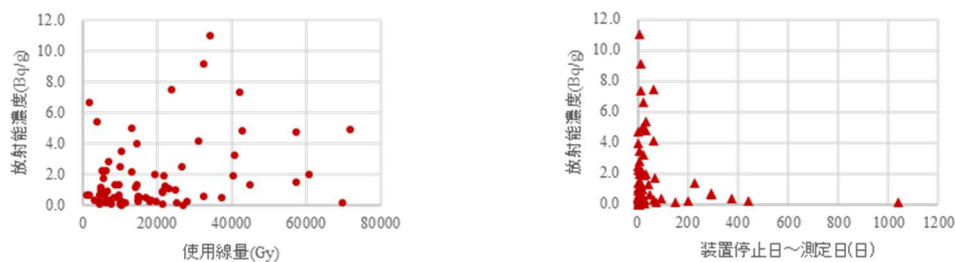
(a) 年間使用線量別

(b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.17 1次コリメータの放射能換算値

縦軸に放射能濃度 (Bq/g)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.18 (a)、(b) に示す。1 次コリメータの最大放射能濃度は、 $1.1.E+01$ (MBq) であった。

Table 4 に 1 次コリメータの廃棄-測定間時間(d)、使用線量 (Gy)、放射能換算値 (Bq)、放射能濃度 (Bq/g)、そして、核種ごとの D/C について、平均値、中央値、最小値、最大値、標準偏差、標準誤差の値を示した。



(a) 年間使用線量別

(b) 装置停止日から測定日までの期間別

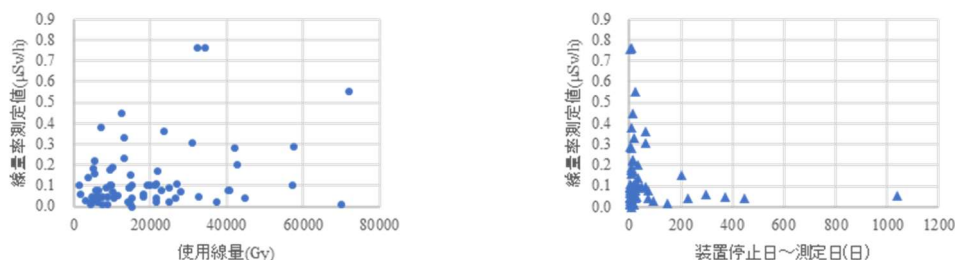
Fig.18 1 次コリメータの放射能濃度

Table 4 1 次コリメータデータのまとめ

	装置台数	平均	中央値	最小値	最大値	標準偏差	標準誤差
廃棄-測定間時間(d)	76	55.63	13.00	1.00	1040.00	141.23	16.20
使用線量 (Gy)	76	19062.46	14557.40	1120.00	71910.00	16152.72	1852.84
線量測定値H[μ Sv/h]	76	0.23	0.16	0.00	0.87	0.20	0.02
放射能Q[Bq]	76	$1.7.E+04$	$1.3.E+04$	0.0	$6.6.E+04$	$1.4.E+04$	$1.7.E+03$
放射能濃度[Bq/g]	76	$1.8.E+00$	$9.4.E-01$	0.0	$1.1.E+01$	$2.2.E+00$	$2.6.E-01$
D/C	76	18	9	0	110	22	3

4) フラットニングフィルタ

フラットニングフィルタについては、70 台の装置が評価可能であった。縦軸に線量率値 (μ Sv/h)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.19 (a)、(b) に示す。ターゲット (短半減期核種) の最大線量率は、 0.76 (μ Sv/h) であった。年間使用線量の最小値は 1479 (Gy)、最大値は 71910 (Gy)、装置停止から線量率測定までの期間の最小値は 1 (日)、最大値は 1040 (日) であった。

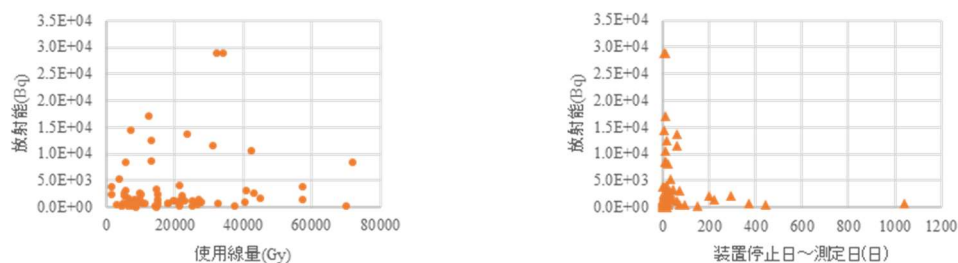


(a) 年間使用線量別

(b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.19 フラットニングフィルタの線量率測定値

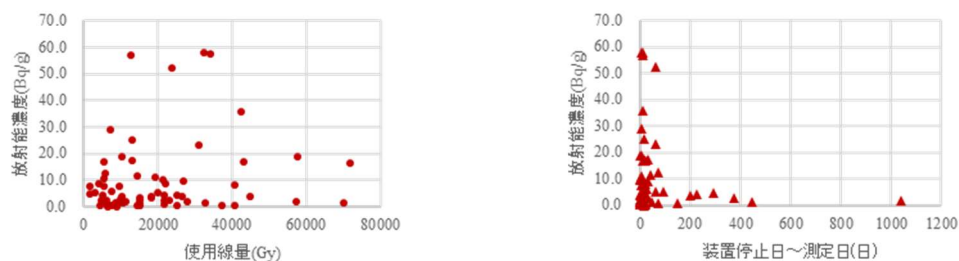
縦軸に放射能換算値 (Bq)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.20 (a)、(b)に示す。フラットニングフィルタの最大放射能換算値は、 $2.9.E+01$ (MBq) であった。



(a) 年間使用線量別 (b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.20 フラットニングフィルタの放射能換算値

縦軸に放射能濃度 (Bq/g)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.21 (a)、(b)に示す。フラットニングフィルタの最大放射能濃度は、 $5.8.E+01$ (Bq/g) であった。



(a) 年間使用線量別 (b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.21 フラットニングフィルタの放射能濃度

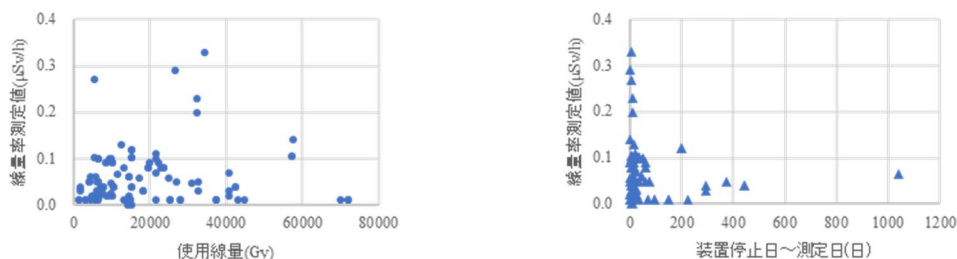
Table 5 にフラットニングフィルタの廃棄-測定間時間(d)、使用線量 (Gy)、放射能換算値 (Bq)、放射能濃度 (Bq/g)、そして、核種ごとの D/C について、平均値、中央値、最小値、最大値、標準偏差、標準誤差の値を示した。

Table 5 フラットニングフィルタデータのまとめ

	装置台数	平均	中央値	最小値	最大値	標準偏差	標準誤差
廃棄-測定間時間(d)	70	55.66	14.00	1.00	1040.00	143.83	17.19
使用線量 (Gy)	70	19317.01	14692.08	1479.00	71910.00	15694.47	1875.85
線量測定値H[μSv/h]	70	0.13	0.08	0.00	0.76	0.15	0.02
放射能Q[Bq]	70	$3.5.E+03$	$1.3.E+03$	$3.9.E-08$	$2.9.E+04$	$5.8.E+03$	$6.9.E+02$
放射能濃度[Bq/g]	70	$9.3.E+00$	$4.0.E+00$	$7.1.E-11$	$5.8.E+01$	$1.4.E+01$	$1.6.E+00$
D/C	70	90	38	0	580	136	16

5) アッパーJAW

アッパーJAWについては、107 台の装置が評価可能であった。縦軸に線量率値 ($\mu\text{Sv/h}$)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.22 (a)、(b) に示す。アッパーJAW の最大線量率は、0.33 ($\mu\text{Sv/h}$) であった。年間使用線量の最小値は 1479 (Gy)、最大値は 71910 (Gy)、装置停止から線量率測定までの期間の最小値は 1 (日)、最大値は 1040 (日) であった。

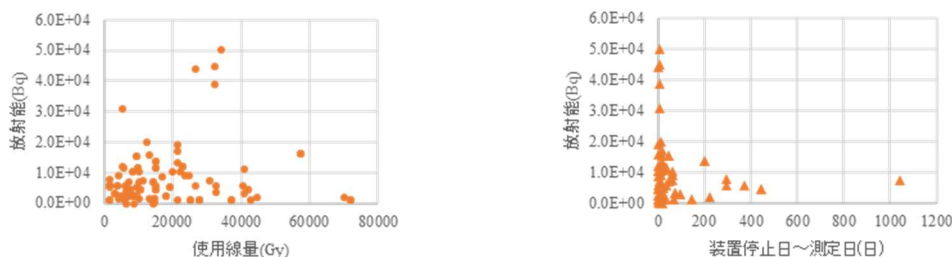


(a) 年間使用線量別

(b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.22 アッパーJAW の線量率測定値

縦軸に放射能換算値 (Bq)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.23 (a)、(b) に示す。アッパーJAW の最大放射能換算値は、5.0.E+01 (MBq) であった。



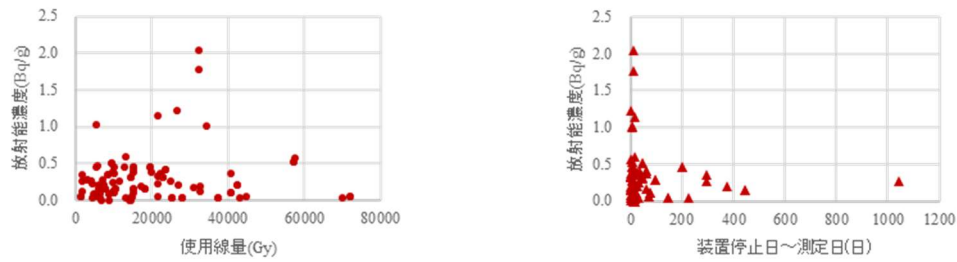
(a) 年間使用線量別

(b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.23 アッパーJAW の放射能換算値

縦軸に放射能濃度 (Bq/g)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.24 (a)、(b) に示す。アッパーJAW の最大放射能濃度は、2.1.E+00 (Bq/g) であった。

Table 6 にアッパーJAW の廃棄-測定間時間(d)、使用線量 (Gy)、放射能換算値 (Bq)、放射能濃度 (Bq/g)、そして、核種ごとの D/C について、平均値、中央値、最小値、最大値、標準偏差、標準誤差の値を示した。



(a) 年間使用線量別 (b) 装置停止日から測定日までの期間別

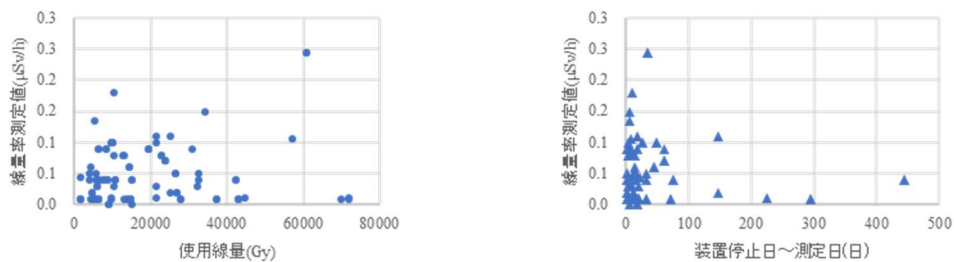
Fig.24 アッパーJAW の放射能濃度

Table 6 アッパーJAW データのまとめ

	装置台数	平均	中央値	最小値	最大値	標準偏差	標準誤差
廃棄-測定間時間(d)	107	53.36	14.00	1.00	1040.00	127.55	12.33
使用線量 (Gy)	107	18688.57	14520.00	1479.00	71910.00	15774.47	1524.98
線量測定値H[μ Sv/h]	107	0.06	0.04	0.00	0.33	0.06	0.01
放射能Q[i[Bq]	107	7.8.E+03	5.4.E+03	0.0	5.0.E+04	9.1.E+03	8.8.E+02
放射能濃度[Bq/g]	107	2.8.E-01	2.0.E-01	0.0	2.0.E+00	3.2.E-01	3.1.E-02
D/C	107	2.2	1.5	0.0	12.3	2.1	0.2

6) ローワーJAW

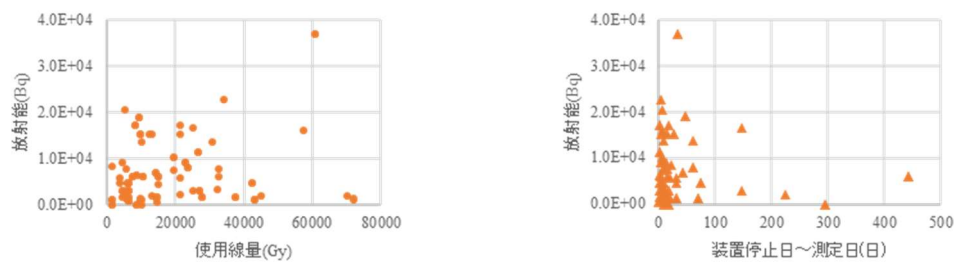
ローワーJAW については、98 台の装置が評価可能であった。縦軸に線量率値 (μ Sv/h)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.25 (a)、(b) に示す。ローワーJAW の最大線量率は、0.24 (μ Sv/h) であった。年間使用線量の最小値は 557.8 (Gy)、最大値は 71910 (Gy)、装置停止から線量率測定までの期間の最小値は 1 (日)、最大値は 444 (日) であった。



(a) 年間使用線量別 (b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.25 ローワーJAW の線量率測定値

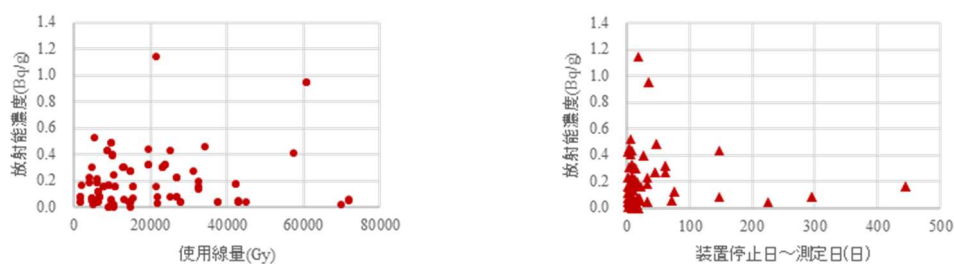
縦軸に放射能換算値 (Bq)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.26 (a)、(b) に示す。ローワーJAW の最大放射能換算値は、3.7.E+01 (MBq) であった。



(a) 年間使用線量別 (b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.26 ローワーJAW の放射能換算値

縦軸に放射能濃度 (Bq/g)、横軸に装置使用線量 (Gy)、および横軸に装置停止から線量率測定までの期間 (日) をプロットしたグラフをそれぞれ Fig.27 (a)、(b) に示す。ローワー JAW の最大放射能濃度は、 $1.1.E+00$ (Bq/g) であった。



(a) 年間使用線量別 (b) 装置停止日から測定日までの期間別

Fig.27 ローワーJAW の放射能濃度

Table 7 にローワーJAW の廃棄-測定間時間(d)、使用線量 (Gy)、放射能換算値 (Bq)、放射能濃度 (Bq/g)、そして、核種ごとの D/C について、平均値、中央値、最小値、最大値、標準偏差、標準誤差の値を示した。

Table 7 ローワーJAW データのまとめ

	装置台数	平均	中央値	最小値	最大値	標準偏差	標準誤差
廃棄-測定間時間(d)	98	36.84	12.00	1.00	444.00	77.52	7.83
使用線量 (Gy)	98	18755.25	13086.93	1479.00	71910.00	16455.42	1662.25
線量測定値H[μSv/h]	98	0.05	0.04	0.00	0.24	0.05	0.00
放射能Qi[Bq]	98	6.6.E+03	4.6.E+03	0.0	3.7.E+04	7.1.E+03	7.2.E+02
放射能濃度[Bq/g]	98	1.9.E-01	1.2.E-01	0.0	1.1.E+00	2.0.E-01	2.0.E-02
D/C	98	1.7	1.2	0.0	9.5	1.8	0.2

4. 装置メーカー部品別線量率分析 (10 MeV)

10 MeV の装置について、装置メーカー部品別に線量率測定値 ($\mu\text{Sv/h}$) を集計した。結果のグラフを Fig.28 に、その数値データを Table 8 に示す。Elekta のターゲット (長半減期)、フラットニングフィルタ、アッパーJAW については、データがなく集計できなかった。ターゲットについては短半減期・長半減期共に SIEMENS 装置の線量率測定値が大きいことがわかる。1次コリメータやフラットニングフィルタについては、三菱装置の線量率測定値が大きな値を示した。それぞれの部品について、装置メーカーの平均値の差について一元配置分散分析を行ったところ、ターゲット (短半減期)、ターゲット (長半減期)、1次コリメータ、フラットニングフィルタについては、それぞれの p 値が 0.05 以下となり有意差の存在が認められた。アッパーJAW とローワーJAW については、統計的な有意差は認められなかった。

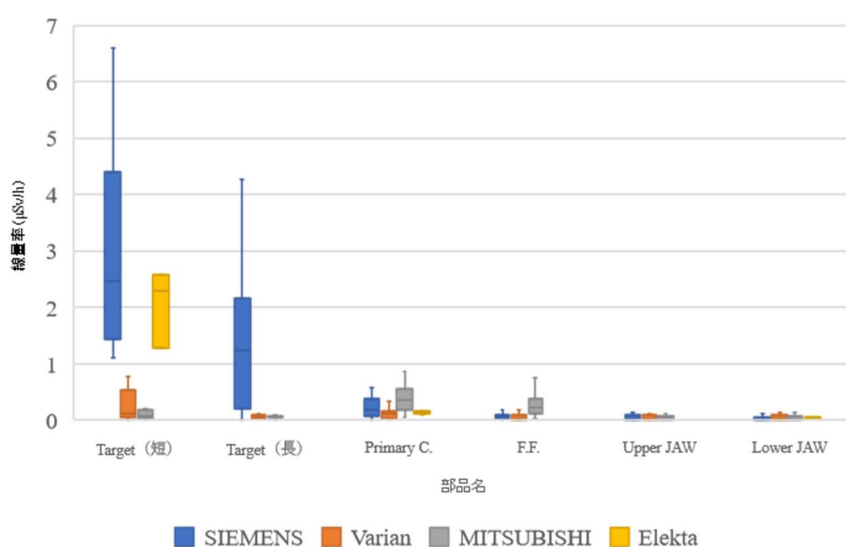


Fig.28 装置メーカー部品別線量率

Table 8 装置メーカー部品別線量率データ

メーカー	SIEMENS		Varian		MITSUBISHI		Elekta	
	平均	標準誤差	平均	標準誤差	平均	標準誤差	平均	標準誤差
ターゲット(短半減期)	3.0.E+00	6.6.E-01	3.3.E-01	9.6.E-02	2.5.E-01	1.7.E-01	2.1.E+00	3.9.E-01
ターゲット(長半減期)	1.4.E+00	3.2.E-01	6.5.E-02	1.5.E-02	5.9.E-02	1.2.E-02	—	—
1次コリメータ	2.4.E-01	4.2.E-02	1.3.E-01	2.1.E-02	3.8.E-01	5.7.E-02	1.4.E-01	1.3.E-02
フラットニングフィルタ	8.6.E-02	1.2.E-02	5.6.E-02	8.8.E-03	2.8.E-01	4.8.E-02	—	—
アッパーJAW	5.5.E-02	9.3.E-03	5.5.E-02	6.9.E-03	6.6.E-02	1.3.E-02	—	—
ローワーJAW	3.7.E-02	7.9.E-03	5.5.E-02	7.9.E-03	4.4.E-02	7.4.E-03	4.5.E-02	5.0.E-03

5. 現在の放射化物の廃棄に関する意見

アンケート調査回答施設から、現在の放射化物の廃棄に関する意見を収集した。以下にその意見を集約する。(意見の詳細は別紙に示す。) 主な意見は、費用に関すること、廃棄手続きの簡略化に関する要望であった。

【費用に関する意見】

- ✓ リニアック装置導入の際に、廃棄に係る費用負担があるために 10 MeV 以上のエネルギー選択を敬遠する施設が増えるのではないか。医療における患者への不利益が及ぶ可能性もある。業界、ないし行政も含めて廃棄物そのものの削減、管理コストの削減、資源の有効活用に取り組むべきである。(大学病院、6 MeV 装置廃棄)
- ✓ 費用面では放射化物を廃棄するためだけに 300 万円近い金額が必要であったため備品の購入も控えざるを得なかった。(公益財団病院、10 MeV 装置廃棄)
- ✓ 手続きは煩雑で、費用も高い。できれば放射化物扱いする部品を減らしてほしい。(がんセンター、20 MeV)
- ✓ アイソトープ協会の廃棄物引き取りが定期集荷を利用できない場合、臨時集荷となり費用負担も増える。(市立病院、10 MeV 装置廃棄)
- ✓ 解体時に放射化物保管廃棄設備に入れられる標準容器の 50 ℓ ドラム缶一つに入るレベルにしてほしい。(大学病院、10 MeV 装置廃棄)

【廃棄の手続きに関して】

・簡略化について

- ✓ 廃棄の手続き方法など簡便明瞭にしていきたい。(市立病院、10 MeV 装置廃棄)
- ✓ 放射化指定部品を減らすなど、もう少し簡略出来るのではないか。(認可法人、10 MeV)
- ✓ 放射化物の廃棄の記録に関する共通のファイルがあると良い。(国立病院機構、10 MeV 装置廃棄)
- ✓ ドラム缶について、重量制限があるため効率的に収納できる廃棄容器にして欲しい。(がんセンター、10 MeV)
- ✓ リニアック装置の廃棄に伴う放射化物対応は、事前にわかることなので、リニアックメーカーや廃棄業者経由でスムーズに放射化物の廃棄が流れるシステムを作成できないか。(がんセンター、10 MeV)

・再利用について

- ✓ リニアック部品を外した後に再利用する場合、どのような対応が必要なのか？現場の運用に則してわかり易く具体的な対応を示していただきたい。(がんセンター、10 MeV)

6. まとめ

リニアック装置の放射化物に関して、平成 24 年以降に装置を廃棄した施設を対象にアンケート調査を実施した。この調査は、施設の放射線管理の責任者である放射線取扱主任者や管理担当者のご協力によって実施できた。回答にご協力していただいた施設や追加で情報をいただいた施設など、調査に対する真摯なご対応に心から感謝いたします。

アンケート調査は、web 調査と施設の放射化物の評価結果を PDF ファイルにしてメール受付することで実施した。回答施設数は 177 施設（PDF ファイル：149 施設）で、回答率は 53.2%であった。以下にデータ分析結果のまとめを記す。

装置廃棄状況について、廃棄された装置の内、6 MeV 装置が 28 台であった。線量率測定データ（PDF）ファイルが送付されたのは 4 台のみであり、集計できなかった。また、10 MeV を超えるエネルギーの 7 台であった。本（一次）報告書では、線量率等の測定データに基づく分析は、最もデータの収集できた 10 MeV 装置について実施した。

廃棄時に放射化物の線量率測定の実施者は、およそ 82%装置で測定業者が担当している状況であった。測定器を所有している施設では、自施設測定（10%）されていたものと考ええる。保管廃棄設備の設置状況では、リニアック治療室内外に設置している施設が 88 施設（49.7%）であった。保管廃棄設備の設置がない施設が 78 施設（44.1%）では、速やかな廃棄が行われたものと考えられる。

放射化物廃棄に必要なドラム缶数と費用は、10 MeV 装置でそれぞれ平均 3.8 個、67 万円であった。10 MeV を超えるエネルギーの装置では多くの廃棄用ドラム缶や費用が必要となっていることがわかる。

部品別線量率・放射能・放射能濃度分析データによると、線量率測定値は、ターゲット、1 次コリメータ、フラットニングフィルタ、アッパーJAW、ローワーJAW の順番に低下する傾向が確認された。放射能換算値や放射能濃度はターゲット（長半減期）が大きな値となった。

リニアック装置の使用状況（装置使用線量）について、年間の最大線量は 71910 (Gy) という装置があった。放射能換算に用いた使用線量は 10 万 (Gy) と想定していたが、その範囲内に収まっていた。使用状況（装置使用線量）線量率測定値との関係について、部品毎に相関検定を行ったが、本調査手法においては統計的に有意な相関を得ることはできなかった。

装置停止日から線量率測定日までの日数については、装置台数の累積で 5 日以内が 34 台（21.1%）、10 日以内が 63 台（39.1%）、15 日以内が 89 台（55.3%）、20 日以内が 102 台（63.4%）、30 日以内が 119 台（73.9%）、50 日以内が 130 台（80.7%）、90 日以内が 139 台（86.3%）であった。最大日数は 1040 日であった。この施設は、別室にリニアック装置を導入し、廃棄装置については、しばらくの間、治療室内にリニアック装置を使用せずに設置していたということであった。また、装置停止日から線量率測定日までの日数と線量率測定値との関係については、装置停止からの日数が多くなるに従い、線量率測定値が低下する傾向が認められた。ただし、ターゲット（短半減期）では 16 日目の測定、ローワーJAW に

では 34 日目の測定において最大線量率値があった。

装置メーカー部品ごとの分析データにおいては、ターゲット、1 次コリメータ、フラットニングフィルタなどの部品は、メーカー間の線量率測定値に統計的に有意な違いがあることが確認された。

この度、放射化物の管理から 7 年が経過して、医療施設における管理状況や放射化物廃棄時の評価状況について確認することができた。各医療施設では事務連絡内容に則り、適正に管理が実施されていた。放射化物の廃棄には、装置停止から廃棄までの速やかな対応や手続き、および費用の負担など、さまざまな課題があることが理解できた。また、リニアック装置の部品によって、放射線量率値の平均値や標準誤差を評価することができた。費用を含め、今後、廃棄を行う施設に有益な情報を与えるものとする。

今回の調査結果について初期（第 1 次）報告を行った。今後、装置毎の解析など更なる解析を進め、放射化物管理における、放射化物の廃棄量や費用、および手続きなどの課題について、安全を確保しつつ合理的な解決方法を議論する必要があると考える。引き続き放射化物廃棄状況調査関係学会・団体の協力をお願いするとともに、放射化物に関する同じ課題を持った他の研究団体や廃棄に関わる団体との連携により、継続的に調査研究を進めていきたい。関係各位のご協力をお願いいたします。

研究協力者

田中 弘（日本画像医療システム工業会）、山口一郎（国立保健医療科学院）、小高 喜久雄（原子力安全技術センター）

【参考資料】

1. 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律の一部を改正する法律並びに関係政令、省令及び告示の施行について、事務連絡（平成 24 年 3 月）（2012）.
2. （社）日本アイソトープ協会環境整備部. （社）日本アイソトープ協会が集荷した RI 廃棄物のクリアランス対象物量について. 2009. Contract No.: 資料第 7-9.