

令和3年度 厚生労働科学研究費補助金(地域医療基盤開発推進研究事業)  
「新規及び既存の放射線診療に対応する放射線防護の基準策定のための研究」

「診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室に併設される  
エックス線装置及びCT エックス線装置 (IGRT 装置) の漏えい線量測定の必要性について」

研究分担者

高橋健夫 埼玉医科大学総合医療センター放射線腫瘍科

研究協力者

小高喜久雄 公益財団法人原子力安全技術センター  
新保宗史 埼玉医科大学総合医療センター放射線腫瘍科  
遠山尚紀 東京ベイ先端医療・幕張クリニック  
川守田龍 多根総合病院医療技術部放射線治療部門  
谷 正司 大阪急性期・総合医療センター  
生島仁史 徳島大学  
大栗隆行 産業医科大学  
小島 徹 埼玉県立がんセンター

## 1. 研究目的

現在、診療用高エネルギー放射線発生装置使用室・診療用放射線照射装置使用室（以下、放射線使用室という）に、画像誘導放射線治療 (IGRT) を目的としたエックス線装置・CT エックス線装置（以下、IGRT 装置）が、放射線治療における位置照合装置として併設されるようになった。診療用高エネルギー放射線発生装置、診療用放射線照射装置および IGRT 装置における漏えい線量測定については、医療法施行規則（第 30 条の 22）・電離放射線障害防止規則（第 54 条）などの法令により、放射線の量の測定（診療を開始する前に 1 回、その後は 6 月を超えない期間ごと 1 回）を行い、その結果に関する記録を 5 年間保存することが放射線使用室に対して義務付けされている。この記録については、各装置における漏えい線量を合算して評価されている（表 1-1, 1-2）。

しかし、放射線使用室においては、使用するエネルギーが IGRT 装置よりも高い診療用高エネルギー放射線発生装置または診療用放射線照射装置に対するしゃへいが施されているため、放射線使用室において IGRT 装置の低いエネルギーの漏えい線量を測定しても Back Ground(B.G.)または検出されない (Not Detected: N.D.) となるのが現況であり、診療用高エネルギー放射線発生装置の漏えい線量と合算評価しても管理区域境界、画壁の外側および敷地境界等において、定められた期間における線量限度（管理区域境界 1.3 mSv/3 月、病室 1.3 mSv/3 月、事業所内の居住区域 250 μSv/3 月、事業所の境界 250 μSv/3 月）には殆んど変化を認めるこ

とはない。

このように、放射線使用室における IGRT 装置の漏えい線量は、B.G.または N.D.となるにもかかわらず、医療法施行規則（第 30 条の 22）、電離放射線障害防止規則（第 54 条）などの法令によって、それぞれの装置についての安全性のために漏えい線量の測定が行われているのが現状である。

また、このような放射線使用室の漏えい線量測定は、併設装置の台数分だけ繰り返すことになり、その時間は長時間におよび、診療時間外もしくは診療を休止して行うことが必要になる。さらに、漏えい線量の測定を外部測定業者に委託した場合は、使用室毎、装置毎に費用が発生するので、経費と時間が何重にもなっているのが実情である。

これらのことに鑑みて、放射線使用室に併設された IGRT 装置について、その実情、漏えい線量の測定結果およびしゃへい計算結果等の実態を調査し、放射線使用室に併設された IGRT 装置の漏えい線量測定の在り方について検討を行う。

表 1-1

診療用高エネルギー放射線発生装置使用室	併設された装置			備考
	診療用高エネルギー放射線発生装置	エックス線装置	CT エックス線装置	
漏えい線量測定 6 月を超えない期間 ごとに 1 回	漏えい線量測定 6 月を超えない 期間ごとに 1 回	漏えい線量測定 6 月を超えない期間 ごとに 1 回	合算して評価	

表 1-2

診療用放射線照射装置使用室	併設された装置			備考
	診療用放射線照射装置	エックス線装置	CT エックス線装置	
漏えい線量測定 6 月を超えない期間 ごとに 1 回	漏えい線量測定 6 月を超えない 期間ごとに 1 回	漏えい線量測定 6 月を超えない期間 ごとに 1 回	合算して評価	

## 2. 研究方法

2-1. 本研究協力者および協力施設の放射線使用室に併設された IGRT 装置のしゃへい計算および漏えい線量測定結果の調査、並びに使用者の負担、要望等の調査を行う。

2-1-1. 放射線使用室に併設された IGRT 装置の種類、加えて診療用高エネルギー放射線発生装置、診療用放射線照射装置および IGRT 装置の漏えい線量の測定結果、さらに、それらの装置のしゃへい計算結果等の実態をアンケート形式にて調査する。代表的な装置の組み合わせごとに 1 施設とし、許可使用線量または許可使用時間が少ない施設について調査を行う。

（放射線治療かたろう会世話人施設等、関連協力施設を対象）

該当施設毎に、放射線使用室における IGRT 装置の漏えい線量測定の実態について下記の項目についてアンケート調査を行う。

- ① 回答者情報
- ② 放射線使用室における IGRT 装置の構成
- ③ 診療用高エネルギー放射線発生装置使用室の 3 月当たりの許可使用線量または使用時間
- ④ 診療用放射線照射装置使用室（RALS）室における装置の構成
- ⑤ 診療用放射線照射装置使用室がある施設は、3 月当たりの許可使用時間
- ⑥ 医療法に関連するしゃへい計算申請時に提出した実効稼働負荷と実件数
- ⑦ しゃへい計算書および漏えい線量測定結果

**2-1-2.** 放射線使用室における IGRT 装置の漏えい線量測定の実態について下記の項目について調査を行う（日本放射線腫瘍学会等の協力で全国施設を対象に行う）。

- ① IGRT 装置の漏えい線量の測定の実施者（自施設または外部委託）
- ② IGRT 装置の漏えい線量の測定に費やす時間
- ③ IGRT 装置の漏えい線量の測定を行うタイミング（曜日または時間帯、時間外勤務による等）
- ④ 現場の要望（IGRT 装置の漏えい線量測定省力化の要望の有無）

**2-2.** 2-1-1 の診療用高エネルギー放射線発生装置、診療用放射線照射装置および IGRT 装置のしゃへい計算結果並びにそれらの装置の漏えい線量測定の合算から、放射線使用室における IGRT 装置の漏えい線量測定について、関連法令と対比し考察する。

**2-3.** 平成 31 年 3 月 15 日付け医政発 0315 第 4 号(以下、第 4 号通知という)の掲載データによるしゃへい計算について

第 4 号通知に掲載されているしゃへい計算用透過率データは、一般的なエックス線診療室を想定したデータとなっている。例えばコンクリートの厚みは 400 mm まで掲載されており、1000 mm 近い診療用高エネルギー放射線発生装置使用室でのコンクリート厚に対する計算を行う場合は、最大厚（400 mm）の透過率を用いる場合がある。また、コンクリートと鉄板の複合しゃへいの場合には鉄板をコンクリートに置き換えて計算することもある。この結果、放射線防護としては安全側ではあるが、有意な線量が算出される場合もあり、漏えい線量測定を省力化できないと捉えられる可能性がある。診療用高エネルギー放射線発生装置使用室の設計（壁厚）に合致したしゃへい計算を行うために、National Council on Radiation Protection and Measurements Report No.147(NCRP Report No.147－Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities (2004))を参考に、しゃへい計算用透過率データの厚みを拡大し、代表施設の漏えい線量について再計算を行う。

**2-4.** 放射線使用室における IGRT 装置の漏えい線量測定の費用について、環境測定会社の標準価格を調査し、省力化による費用効果を算出する。

### 3. 結果

#### 3-1. 放射線使用室におけるしゃへい計算結果および漏えい線量測定結果の実態

3-1-1. 放射線使用室における診療用高エネルギー放射線発生装置および IGRT 装置について、しゃへい計算結果および漏えい線量測定結果を関連協力施設（放射線治療かたろう会世話人施設等）に調査するよう依頼した。

以下に代表施設における図面および計算結果の一例を示す。

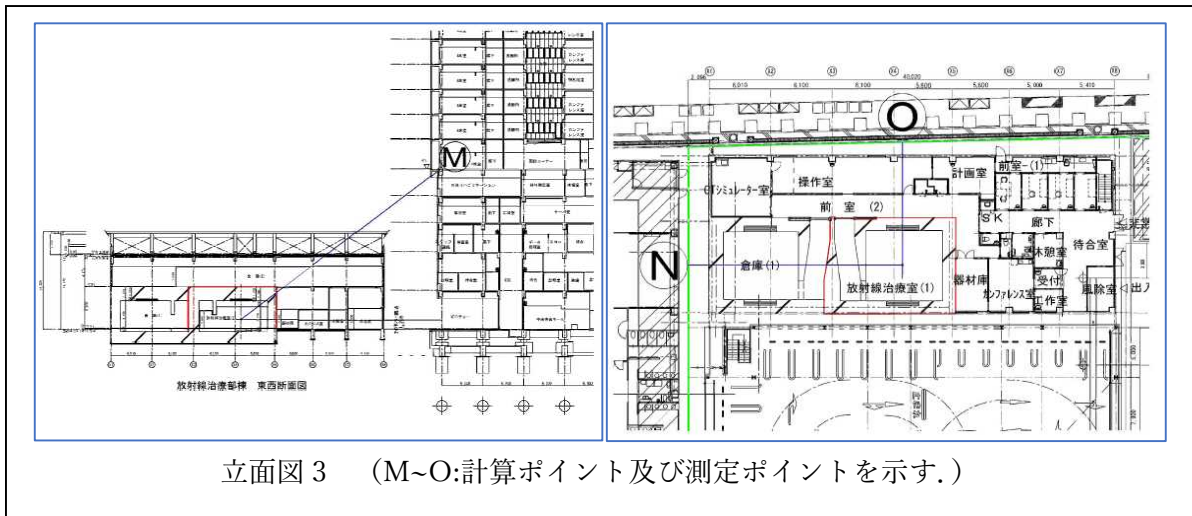
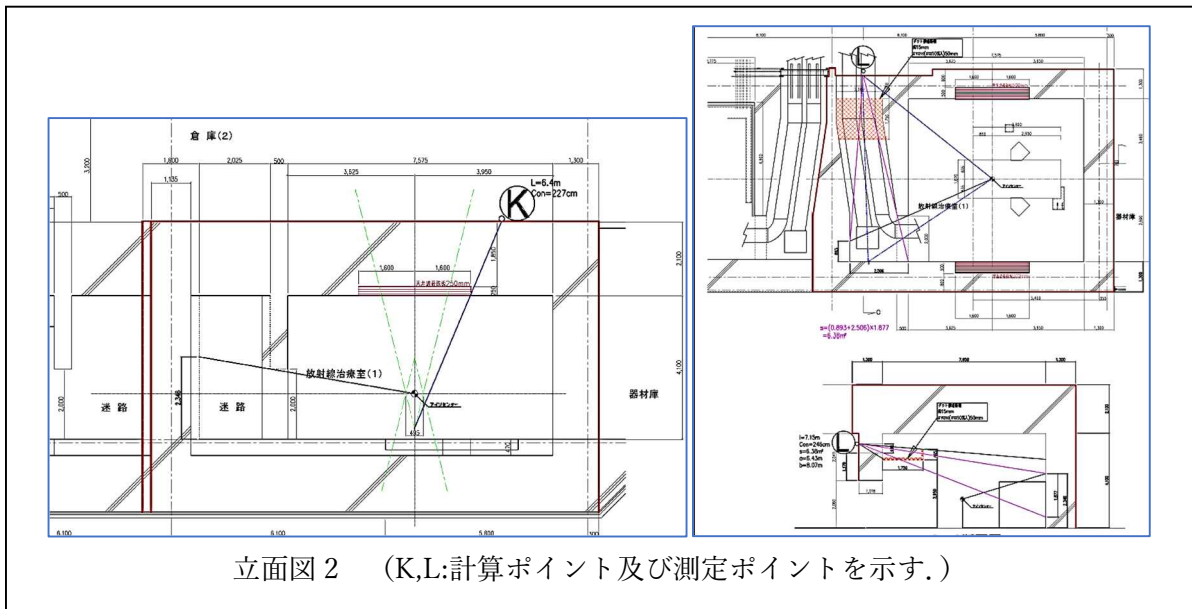
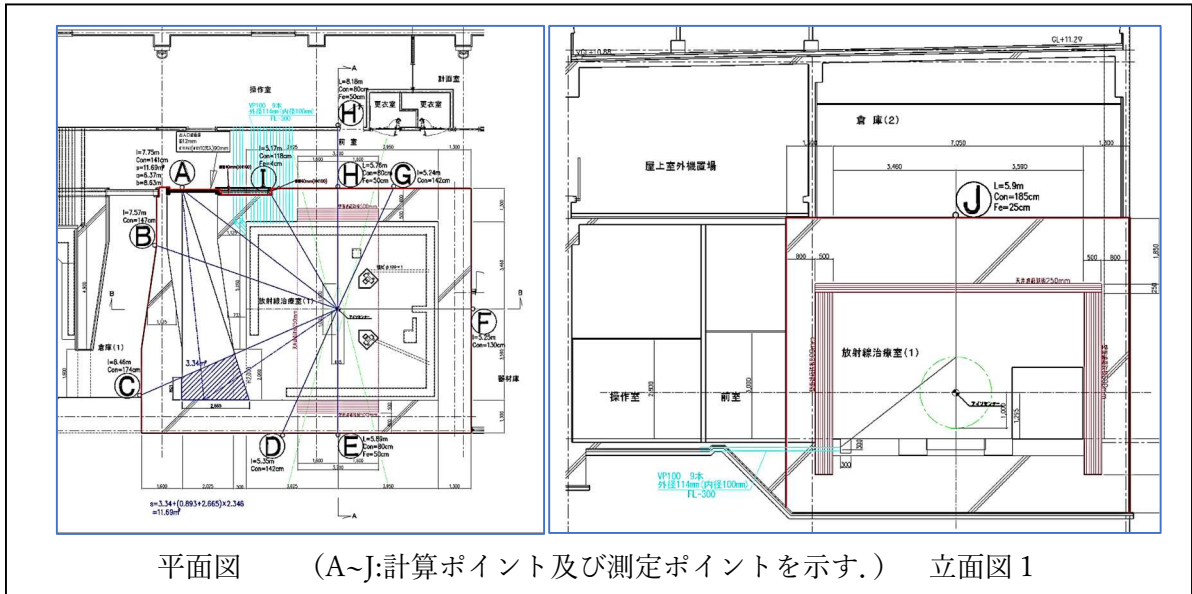
診療用高エネルギー放射線発生装置における漏えい線量計算および測定図面を示す。

(A~K：計算ポイント及び測定ポイントを示す。)

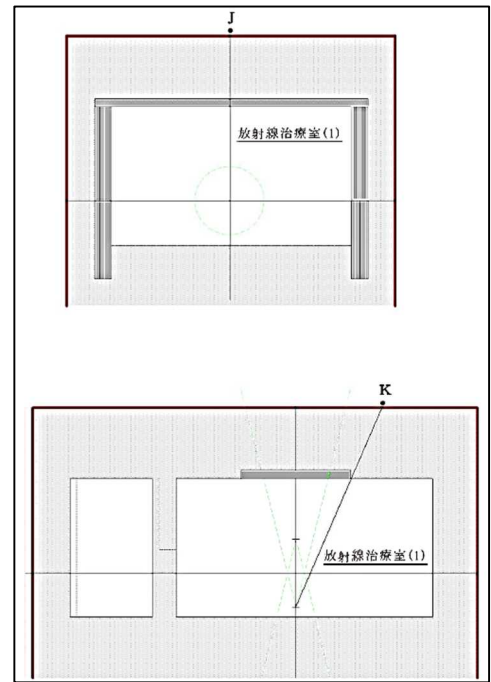
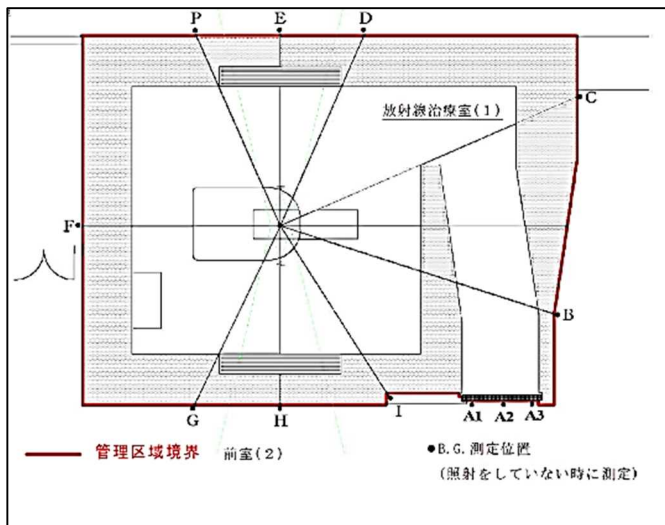
#### 【多根総合病院】

- X線使用時 測定条件：10MeV 6Gy/min at 1m, 最大照射野（40 cm×40 cm）  
許可条件：10MeV 6Gy/min at 1m, 最大照射野（40 cm×40 cm）
- 電子線使用時 測定条件：20MeV 10Gy/min at 1m, 最大照射野（25 cm×25 cm）  
許可条件：20MeV 10Gy/min at 1m, 最大照射野（25 cm×25 cm）
- 使用許可線量：80000Gy／3月,

漏えい線量 計算図面



漏えい線量 測定図面



計算結果および測定結果

各点の実効線量においては、下記表に示すように管理区域境界において、すべての漏えい線量の合算値にて評価する。

## 管理区域境界（計算結果）

管理区域境界

計算点	線種		漏えい線量 計算値 ( $\mu\text{Sv}/3\text{月}$ )			実効線量限度 ( $\mu\text{Sv}/3\text{月}$ )
			診療用高エネルギー 発生装置 漏洩線量	エックス線撮影装置等 On board imager	漏洩線量 ExacTrac	
A	x線漏洩線		183.81	2.00.E-02	2.00E-02	819.17
	迷路散乱X線（X線照射）		246.27			
	迷路散乱中性子線（X線照射）		389.05			
	電子線照射ヘッドからの漏えい線		13.49	*	*	28.91
	迷路散乱X線（電子線照射）		15.42			
B	x線	漏洩線	131.09	2.00.E-02	2.00E-02	131.13
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	9.69	*	*	9.69
C	x線	漏洩線	18.9	*	*	18.90
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	1.41	*	*	1.41
D	x線	漏洩線	363.36	*	*	363.36
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	26.56	*	*	26.56
E	x線	利用線錘	597.26	3.00.E-02	2.00E-02	597.31
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	133.32	*	*	133.32
F	x線	漏洩線	804	3.00.E-02	2.00E-02	804.05
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	58.96	*	*	58.96
G	x線	漏洩線	378.77	*	*	378.77
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	27.68	*	*	27.68
H	x線	利用線錘	624.52	3.00.E-02	2.00E-02	624.57
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	139.41	*	*	139.41
I	x線	漏洩線	793.15	*	*	793.15
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	53.69	*	*	53.69
J	x線	利用線錘	505.61	3.00.E-02	1.60E-01	505.80
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	241.31	*	*	241.31
K (180°)	x線	漏洩線	1.14	*	*	1.14
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	8.59.E-02	*	*	0.09

\* 計算による評価に該当せず

管理区域境界（測定結果）

測定点	線種	診療用高エネルギー発生装置 漏洩線量 (μSv/3月)				エックス線撮影装置等 漏洩線量	
						On board	ExacTrac
		0°	90°	180°	270°		
A	X線使用時 A1,A2,A3合算 X線, γ線, 中性子線	239.6	292.6	261.8	286.4	B.G/N.D	N.D
	電子線使用時 A1,A2,A3合算 X線, γ線, 中性子線	179.61	208	199.1	179.1	-----	

B	x線	漏洩線	**	**	**	**	B.G/N.D	N.D
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	**	**	**	**	-----	
C	x線	漏洩線	**	**	**	**	B.G/N.D	N.D
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	**	**	**	**	-----	
D	x線	漏洩線	**	**	**	88.9	B.G/N.D	N.D
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	**	**	**	826.7	-----	
E	x線	利用線錘	**	**	**	311.2	B.G/N.D	N.D
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	**	**	**	53.4	-----	
F	x線	漏洩線	**	**	**	**	B.G/N.D	N.D
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	**	**	**	**	-----	
G	x線	漏洩線	**	100.0	**	**	B.G/N.D	N.D
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	**	**	**	**	-----	
H	x線	利用線錘	**	311.2	**	**	B.G/N.D	N.D
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	**	**	**	**	-----	
I	x線	漏洩線	**	**	**	**	-----	
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	**	**	**	**	-----	
J	x線	利用線錘	**	**	**	**	B.G/N.D	N.D
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	**	**	**	**	-----	
K (180°)	x線	漏洩線	**	**	**	**	B.G/N.D	N.D
	電子線	照射ヘッドからの漏えい線	**	**	**	**	-----	

\*\* B.G.または B.G.以下

診療用高エネルギー放射線発生装置使用室に設置されたエックス線装置からの漏えい線量の測定結果は、すべてのポイントにおいて、N.D.または B.G.であった。

このように、診療用高エネルギー放射線発生装置および併設された IGRT 装置に対して、それぞれ漏えい線量計算では算出されるが、測定にて検出することができない低レベルの漏えい線量である。

3-1-2. 放射線使用室における IGRT 装置の漏えい線量測定の実態に関する今後の展望

全国の放射線治療施設に対してメールを用いたアンケート調査を実施する必要がある。

3-2. 診療用高エネルギー放射線発生装置、診療用放射線照射装置および IGRT 装置の漏えい線量測定の合算並びにそれらの装置のしゃへい計算結果から、放射線使用室における IGRT 装置

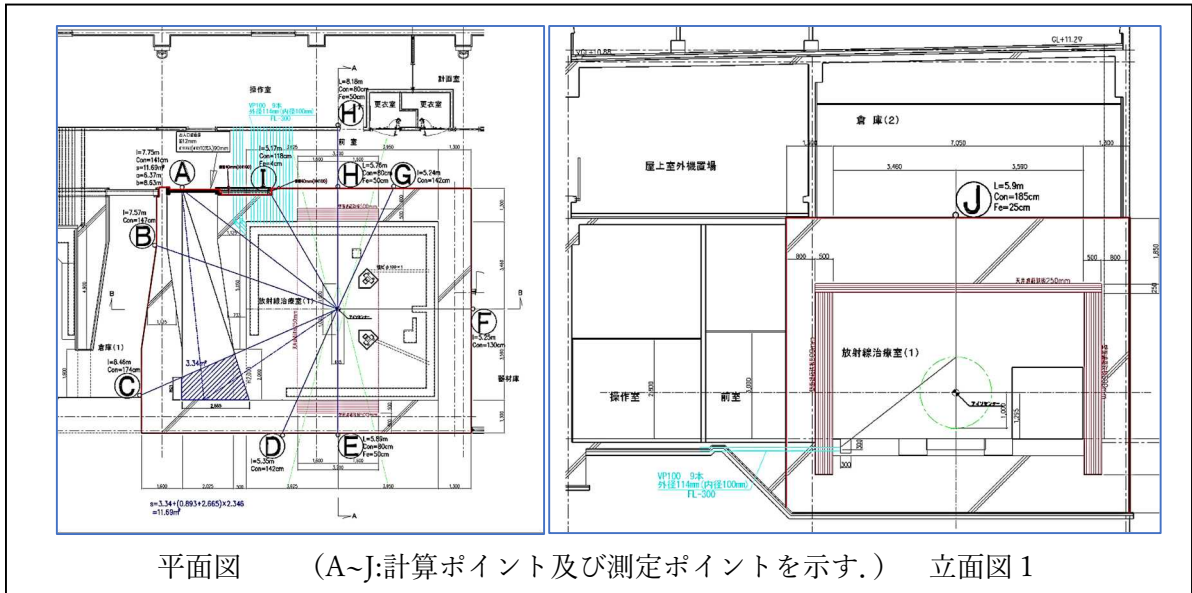


の漏えい線量測定について、医療法との対比を行う必要がある。

3-3. 第4号通知の透過率データによるしゃへい計算について、NCRP Report No.147を参考に、リニアック施設等に対応できる透過率データを準備し、再計算を行った。

以下に代表施設における図面および再計算結果の一部を示す。

漏えい線量 計算図面



漏えい線量 計算条件

[X<sub>L</sub>空気カーマ率] 4 則第30条第1項第1号に規定されている空気カーマ率

機器の種類	管容器からの空気カーマ率(mGy/h)
1 治療用X線装置(≤50kV)	1.0
2 治療用X線装置(>50kV)	10.0
3 口内法撮影用X線装置(≤125kV)	0.25
4 上記以外の診断用X線装置	1.00
5 1から4に該当しない(根拠書類の提出必要)	

[実効稼働負荷計算]

W= 304.688 mA秒/3月間      tw= 0.6771 h/3月間

最大使用管電圧(5kV区切り) 125 kV      30 件/日      5 日/週

最大使用管電流 撮影 125 mA × 0.125 秒 × 10 回/人

透視

[遮蔽材密度]

遮へい材	密度(g/cm <sup>3</sup> )	推奨値(g/cm <sup>3</sup> )	データ
鉛※	11.35	11.00	11.4
コンクリート※	2.10	2.10	2.35
鉄※	7.70	7.70	7.83
石膏	0.75	0.75	0.75
ガラス※	2.50	2.50	2.56
木材	0.55	0.55	0.55

X空気カーマ(別表3)=	118	μGy/mAs
a百分率(別表10)=	0.21	/100
E/Ka(別表12)=	1.433	Sv/Gy

タングステン陽極: 0	0
モリブデン 陽極: 1	
対向板の厚さ(鉛当量) mmPb	0.00
Dt=	1.00E+00
F照射野cm <sup>2</sup>	169

※『放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル2007』 [実効線量限度] 管理区域境界、病室: 1300 μSv/3月間, 居住区域、敷地の境界: 250 μSv/3月間, 使用室: 1000 μSv/週間

上記「J点」について再計算を行った。

①大阪府の様式で算出した結果(しゃへい計算は、第4号通知の通り)

- ・鉄板は考慮せず、コンクリートのみで算出。
- ・コンクリートの透過率(Dt)は第4号通知記載データの最大厚(RC:400mm)を使用。

計算点	d1 (m)	d2 (m)	d3 (m)	d4 (m)	施工遮へい材料及び厚さ(mm)			Dt	t1/2	漏えい実効線量		
					材質	密度補正前	密度補正後			Ep	ES	
区分 管理室球界 A J点	8.00	4.90	2.30	6.47	鉛					Ep	0.14	0.16  <small>μSv/3月間</small>
					コンクリート	2100	1876.60	1.68E-07	19.70	ES	0.01	
					鉄					EL	0.01	
					石膏							
					ガラス 木材							

②NCRP Report No.147 を参考に算出した結果

- ・鉄板に対しても透過率を考慮.
- ・NCRP Report No.147 を参考に実際の厚み(RC:1850 mm,Fe:250 mm)で透過率を算出.
- ・複合しゃへい体については、それぞれのしゃへい体の透過率の乗算とした.

計算点	d1 (m)	d2 (m)	d3 (m)	d4 (m)	施工遮へい材料及び厚さ(mm)			Dt	t1/2	漏えい実効線量		
					材質	密度補正前	密度補正後			Ep	ES	
区分 管理室球界 A J点	8.00	4.90	2.30	6.47	鉛					Ep	1.50E-44	6.54E-24  <small>μSv/3月間</small>
					コンクリート	1850	1653.19	1.47E-26	19.70	ES	5.28E-24	
					鉄	250	245.85	1.27E-24	3.240	EL	1.27E-24	
					石膏							
					ガラス 木材							

第4号通知で示された計算方法を用いた場合、0.16 μSv/3月であるが、NCRP Report No.147 による透過率計算を用いて算出した場合 6.54E-24 μSv/3月という結果であった。両結果とも、サーベイメータで確認できる線量ではないが、漏えい線量測定の省力化を行う場合には、施設構造に対応できるデータを用いたしゃへい計算による根拠が必要と考えられる。

3-4. 放射線使用室における IGRT 装置の漏えい線量測定の費用について

漏えい線量の測定に費やする労力、及び経費削減の効果については環境測定会社に標準価格表の提供を依頼し検討を行う必要がある。

まとめ

診療用高エネルギー放射線発生装置が設置されている使用室において、IGRT 装置からの漏えい線量の測定に関しては、施設検査前に測定して評価し、許可申請時に漏えい線量の合算結果にて許可が得られれば、その後6月を超えない期間ごとの IGRT 装置からの漏えい線量の測定に関しては省力化できる可能性が高いと考える。

放射線防護の観点からみて、診療用高エネルギー放射線発生装置使用室におけるエックス線装置からの漏えい線量測定は、今後予定している調査内容からも、省力化できる可能性があるため、継続して検討する。IGRT 装置の実情、しゃへい計算結果および漏えい線量の測定結果等の実態並びに全国調査による使用者の要望等から、放射線使用室に併設された IGRT 装置の漏えい線量測定のあり方について明確にする。

・・・・・・・・・・以下検討資料・・・・・・・・・・

**【該当法令の解釈として第4号通知より抜粋】**

以下（使用の場所等の制限（規則第30条の14））に示す、下線部分で示された、同時使用するものとして、その同時使用の条件下で構造設備の基準を満たしている必要がある、と求められており、そのような構造設備の室に設置しているにもかかわらず、それぞれの装置の測定（規則第30条の22）を行うことについて検討する。

**○第4号通知 第4 管理義務に関する事項 1 使用の場所等の制限（規則第30条の14）より抜粋**

（4）エックス線装置を特別の理由によりエックス線診療室を除く放射線診療室において使用することについて

エックス線装置を「特別の理由により診療用高エネルギー放射線発生装置使用室、診療用粒子線照射装置使用室、診療用放射線照射装置使用室、診療用放射線照射器具使用室、診療用放射性同位元素使用室若しくは陽電子断層撮影診療用放射性同位元素使用室において使用する場合」とは、当該放射線診療室に備えられたエックス線装置を除く放射線診療装置等による診療の補助等が目的であること。

ただし、核医学画像を得ることを目的とせずCT撮影画像のみを得るために、CTエックス線装置と単一光子放射撮影装置が一体となったもの又はCTエックス線装置と陽電子放射断層撮影装置が一体となったものによるエックス線撮影を行うことは、従前通り認められるものであること。

なお、同時に2人以上の患者の診療を行うことは認められないこと。

この場合における「適切な防護措置」として、当該放射線診療室は、室に備えられたエックス線装置以外の放射線診療装置等とエックス線装置を同時に使用するものとして、この同時使用の条件下での放射線障害の防止に関する構造設備の基準を満たしている必要があること。また、規則第25条第4号、第25条の2の規定に基づき準用する第25条第4号、第26条第3号、第27条第1項第3号又は第28条第1項第4号の規定に関して、当該放射線診療室の放射線障害の防止に関する構造設備及び予防措置として、当該エックス線装置を使用する旨を記載する必要があること。

**【第8回医療放射線の適正管理に関する検討会（2019年3月6日開催）の資料2より抜粋（一部改変）】**

**○放射線診療室の構造設備に係る規定**

放射線診療室の構造設備に係る規定は、当該室でそれぞれの放射線診療装置等を使用するに際して、放射線診療従事者の職業被ばく及び公衆被ばくによる放射線障害を防止するために必要な防護措置を担保すること目的として定められている。

	エックス線診療室	診療用放射線照射器具使用室	診療用高エネルギー放射線発生装置使用室	診療用粒子線照射装置使用室	診療用放射線照射装置使用室	診療用放射性同位元素使用室	陽電子断層撮影診療用放射性同位元素使用室
画壁の外側の実効線量 $\leq 1$ mSv/週	○	○	○	○	○	○	○
標識の設置	○	○	○	○	○	○	○
人が常時出入りする出入口が1ヶ所	×	○	○	○	○	○	○
放射線発生を表示する装置の設置	×	×	○*2	○*2	○*2	×	×
装置の操作場所は室内に設けないこと	○*1	×	×*2	×*2	×*2	×	○
耐火構造又は不燃材料を用いた構造	×	× (RI法○)	× (RI法○)	× (RI法○)	○	○	○
汚染防止のための構造等	×	×	×	×	×	○	○

※1 近接撮影透視等の場合は例外的に室内に設置可能。

※2 照射中は室内が高線量となり、装置の操作場所を室内に設置するのは不可能であるため、設置の規定なし。

#### 基本的考え方

- 透視用エックス線装置のエックス線診療室以外の放射線診療室での使用に際しては、当該室の構造設備に関する基準を満たすことにより、基本的には放射線障害の防止が可能と考えられる。
- CT エックス線装置のエックス線診療室以外の放射線診療室での使用に際しては、当該室の構造設備に関する基準に加え、エックス線診療室における構造設備に関する基準を満たすことにより、基本的には放射線障害の防止が可能と考えられる。
- 移動型透視用又は移動型 CT エックス線装置は通常移動型エックス線装置と比較して高線量であることから、通常移動型エックス線装置より嚴重な放射線診療従事者等の放射線障害の防止に関する適切な防護措置を定める必要があると考えられる。