

Agility ガードリーフの対数と線量分布の比較

他社製治療計画装置をお使いのお客様へ

エレクタ株式会社 アプリケーションフィジックス

エレクタ製 Agility では、MLC が Length Jaw よりも上段に配置されていますから、Length Jaw にとって MLC は散乱線源となります。Length Jaw 先端部直上にリーフがあれば、そこで生じた多量の散乱線が Length Jaw の先端に降り注ぎますから、その影響で照射野の半影が歪んでしまい、結果として Gantry-Target 方向の照射野の辺縁の形状に影響します。

Length Jaw 先端が常に安定した半影形状を形作れるようにするには、リーフを Length Jaw 先端部の直上から遠ざける必要があります。

このような理由からエレクタではガードリーフという仕組みを採用しています。ガードリーフとは照射野の最上下端の外側の開かれているリーフを指します(図 1)。

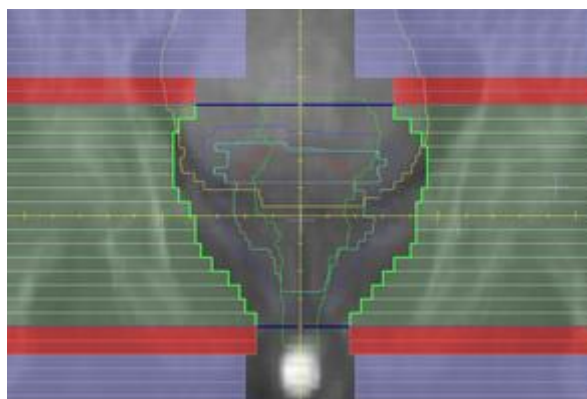


図 1.ガードリーフ(図中の赤)。画像加工したもので、実際の治療計画装置の画面ではありません。

エレクタ製治療計画装置を使用する場合はガードリーフとして、照射野の最上下端の外側 2 対ずつ(1cm ずつ)が開きます(図 2(a))。エレクタ製リニアックの基本的な動作モードもこの状態です。一方、他社製治療計画装置には、ガードリーフとして考慮できるリーフが 1 対のみとなる(図 2(b))、またはガードリーフを考慮できない(図 2(c))製品があり、エレクタ製リニアックはこれらの計画装置に対応する動作モードも備えています。

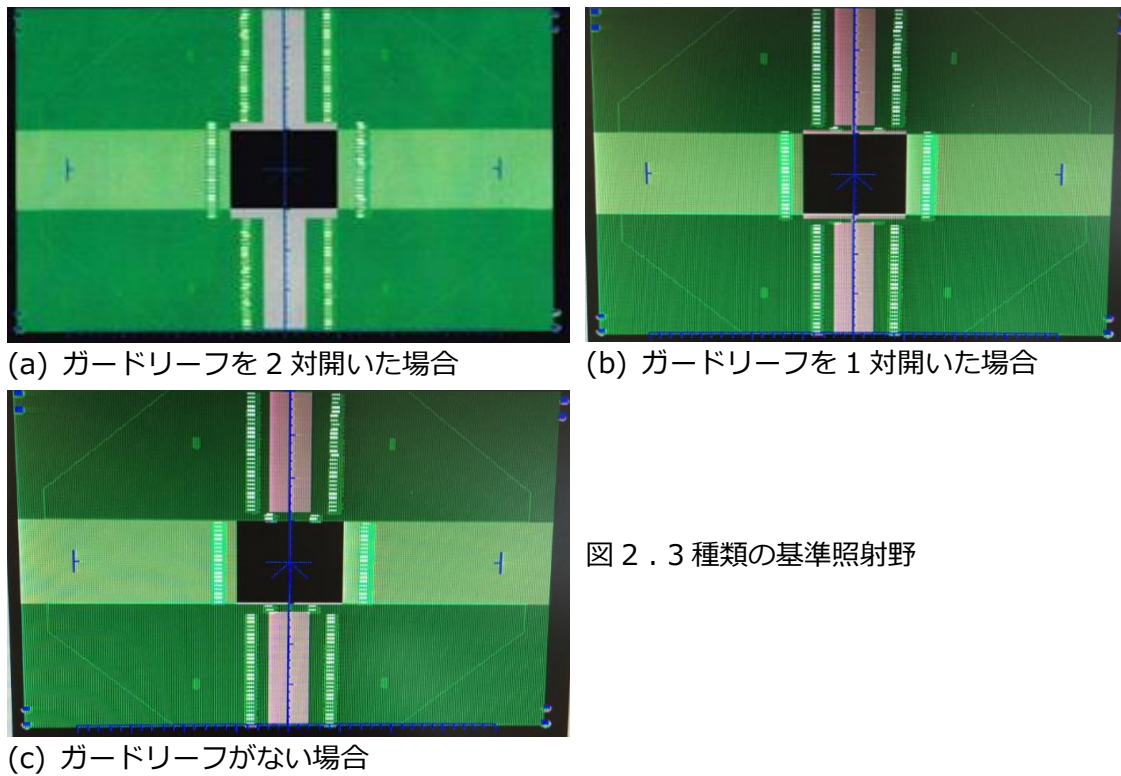


図 2 . 3 種類の基準照射野

Agility はこれら 3 通りの照射野をすべて形成することができますが、まずこれらの照射野の形状の違いを評価するため、iViewGT で照射野 10x10 の Electronic Portal Imaging Devices (以下 EPID)画像を取得しました(図 3)。画像の上がガントリー方向になります。

ガードリーフなしの画像(図 3(c))を見ると、照射野の最上下端のすぐ外側にリーフがある箇所では線量分布が狭くなっていることがわかります。その分リーフが存在しない中央付近には凸部ができています。(図 3(c)では図の上側にしか凸部がありませんが、一般的には下側にもあります)

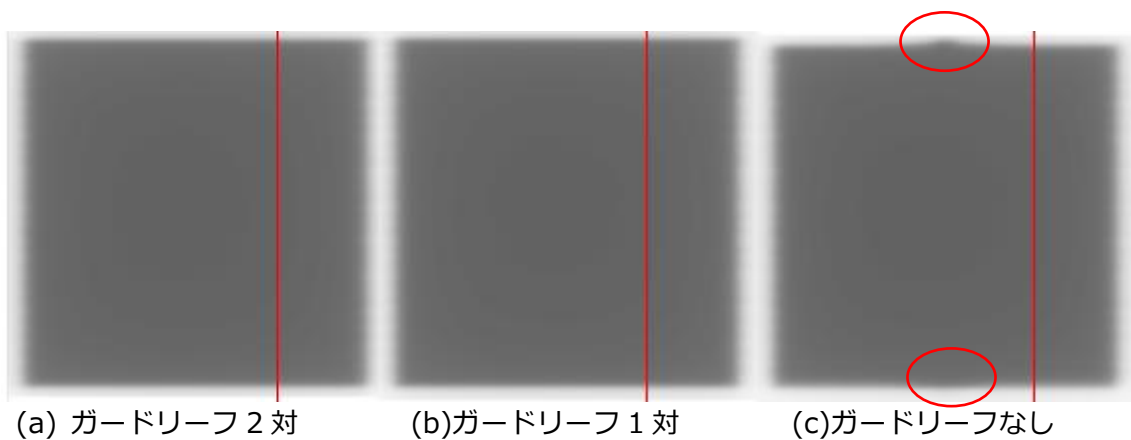


図 3. EPID 画像 10x10

次に Inplane 方向のプロットを取り、照射野の半値全幅(FWHM)を確認しました。プロットする際はこのリーフの間隙を避けるため、照射野中心から右側に軸外 2.5cm の位置でプロファイルを得ました(図 3 赤線) ガードリーフなしでは、FWHM が他より 1.7mm 狭くなっています (表 1)。

表 1. 照射野 10x10 における Inplane プロファイルの FWHM

	(a) ガードリーフ 2 対	(a) ガードリーフ 1 対	(c) ガードリーフなし
FWHM	99.8 mm	100.1 mm	98.1 mm
(a)との差	—	0.3 mm	-1.7mm

ガードリーフの動作モードによって照射野形状が異なるのはこの通りですが、これは深部線量百分率や照射野係数などにも影響を与えると推測できます。

もしガードリーフの動作モードが異なる複数の治療計画装置を併用するのであれば、状況は複雑になります。ユーザーはどの状態を基準照射野とするか、動作モードによってどのくらい測定結果に差があるか、ビームモデリング向けの測定は片方で兼ねられるのか、それともそれぞれで行わなければいけないのか、これらを判断しなければなりません。

そこで、モデリング用測定項目の一部を測定しガードリーフ 2 対を基準として検証を行いました。

測定内容と方法

測定項目を表 2 に示しました。エネルギー 4、6、10MV の 3 通りの X 線に対し、セットアップ SSD90cm で測定しました。

表 2. 測定項目一覧

測定項目	照射野(cm)	深さ(cm)
深部線量百分率	3x3, 5x5, 10x10, 30x30	30
プロファイル Inplane	中心軸	d _{max} , 10
	軸外 2cm	
照射野係数	3x3, 5x5, 7x7, 10x10, 20x20, 30x30	10
絶対線量	10x10	10

リニアックは Elekta Synergy(東芝 & エレクタ LINC RTTC 放射線治療研修センター)、測定機材は 0.04cc 指頭型線量計(IBA CC04)、電位計(東洋メディック株式会社 RAMTEC Smart)、Blue Phantom(IBA)を使用しました。

本測定では、検出器依存性をなくすために、小照射野(3x3)から大照射野(30x30)までを一つの検出器で測定する必要があり、対応する領域の広いCC04を使用しました。

プロファイルはガードリーフの影響が考えられるInplaneのみの測定で、モデリング用測定項目に合わせるため中心軸での測定を主に行いました。

また、リーフの閉まる位置で漏れによる影響があるため(図 3(c))、一部の照射野ではこの位置を避ける軸外 2cm の測定を行いました。

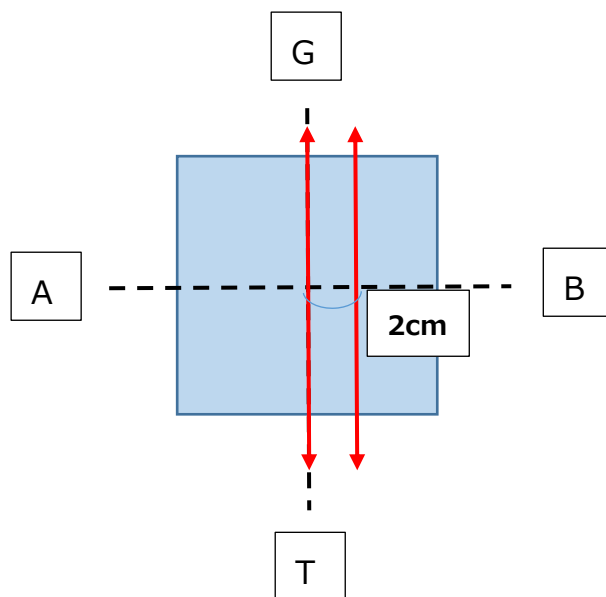


図 4. プロファイル 測定位置(左:中心軸、右:軸外 2cm)

結果と解析

解析に使用したスキャンデータはスムージング処理等を行っていません。

以下、ガードリーフ 2 対、ガードリーフ 1 対、ガードリーフなしをそれぞれ G2、G1、G0 と表記します。

1. 深部線量百分率

ガードリーフの影響は小照射野でより大きいと考えられます。全照射野内に占める凸部の割合が大きくなるからです。そこで測定項目中もっとも誤差が大きいであろう 4MV の 3x3 の PDD を G2、G1、G0 で比較しました。下のグラフ (図 5.、6.) はそれぞれの PDD とその差、そして差を±20mm の範囲で平滑化した曲線を載せています。

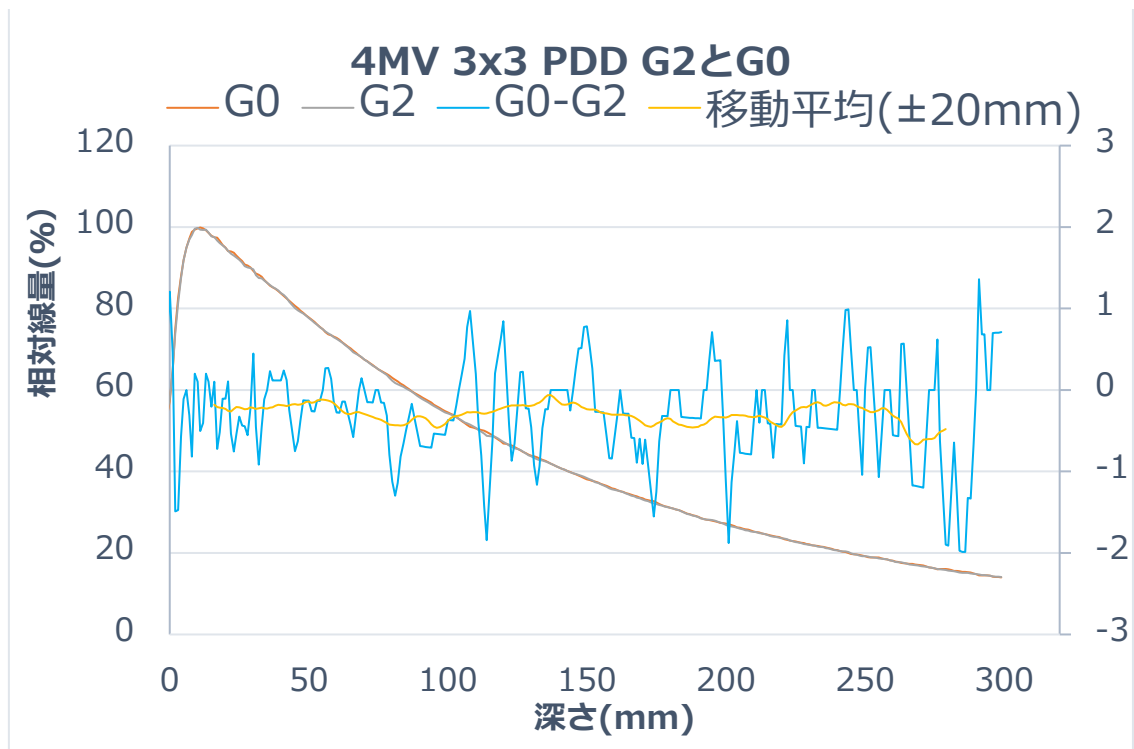


図5. 深部線量百分率 ガードリーフ2対となし 4MV 3x3 の比較

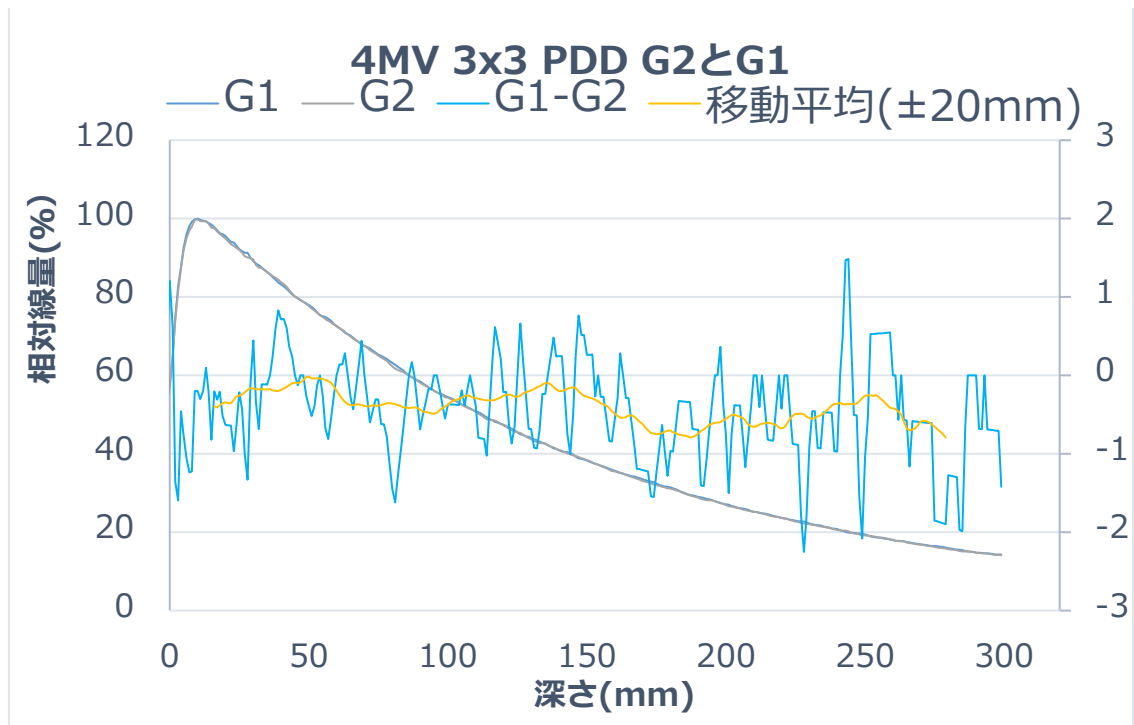


図6. 深部線量百分率 ガードリーフ2対と1対 4MV 3x3 の比較

この2つのグラフからは、差分がおおよそ±1%の大きさのノイズをこうむっていること、それを取り除いた系統的な差は20cm深までの範囲では大きくとも0.6~0.7%程度であろう、ということが分かります。測定に起因する系統誤差も大きいので、この値はガードリーフがもたらす深部線量百分率の差の上限を示しているにすぎません。

ほかの照射野およびエネルギーについては、表3において簡単に数値で示します。表中のD100、D200は、それぞれ深さ10cmと20cmの値を示しております。G2に対するG1とG0の誤差[%]もまとめました。

表3. 深部線量百分率 測定結果とガードリーフ2対との比較

	G2		G1		G0		$(G1-G2)/G2 \times 100$		$(G0-G2)/G2 \times 100$	
	D100	D200	D100	D200	D100	D200	D100	D200	D100	D200
4MV										
3x3	54.3	26.9	54.5	27.1	54.5	27.2	0.4	0.7	0.4	1.1
5x5	57.5	28.8	57.2	28.9	57.0	28.8	-0.5	0.3	-0.9	0.0
10x10	61.8	32.7	61.3	32.4	61.3	32.7	-0.8	-0.9	-0.8	0.0
30x30	67.4	39.7	66.8	39.7	66.8	39.6	-0.9	0.0	-0.9	-0.3
6MV										
3x3	60.3	32.6	60.4	32.6	60.8	32.7	0.2	0.0	0.8	0.3
5x5	62.1	33.9	62.4	34.1	62.2	34.1	0.5	0.6	0.2	0.6
10x10	65.8	37.6	65.6	37.7	65.9	37.7	-0.3	0.3	0.2	0.3
30x30	70.0	43.5	70.2	43.7	70.2	43.7	0.3	0.5	0.3	0.5
10MV										
3x3	67.4	39.3	67.7	39.8	67.5	39.5	0.4	1.3	0.1	0.5
5x5	69.0	41.1	69.0	40.8	69.0	40.7	0.0	-0.7	0.0	-1.0
10x10	70.9	43.5	70.9	43.4	70.9	43.4	0.0	-0.2	0.0	-0.2
30x30	73.4	48.2	73.5	48.2	73.7	48.1	0.1	0.0	0.4	-0.2

ごくわずかな例外を除いて表中のどの差も±1%以内に収まっており、ノイズと異なる系統的な差が確実に存在する、という根拠は見出せません。

(この表で例えば「4MVは比較的ガードリーフの影響が大きい」と論じることには慎重にならなければいけません。たまたま10cm深と20cm深とに線量計があるときに受けたノイズの影響を見ているだけだからです)

これらの結果から、深部線量百分率では動作モードによる影響はほとんどなく、もっとも差が大きい場合を想定しても0.6~0.7%は超えない、と言えます。

2. プロファイル

表 4 に、プロファイルの FWHM と G2 に対する G1 と G0 の差をまとめました。

6MV においては軸外のデータも含んでいます。

表 4. プロファイル 測定結果とガードリーフ 2 対との比較

	FWHM [mm]						Difference [mm]			
	G2		G1		G0		G1-G2		G0-G2	
	d _{max}	10 cm	d _{max}	10 cm	d _{max}	10 cm	d _{max}	10 cm	d _{max}	10 cm
4MV										
3x3	28.2	31.2	28.3	31.2	27.7	30.7	0.1	0.0	-0.5	-0.5
5x5	46.0	50.7	46.1	50.8	45.8	50.4	0.1	0.1	-0.2	-0.3
10x10	94.4	102.3	94.4	102.2	93.9	101.6	0.0	-0.1	-0.5	-0.7
30x30	277.7	304.9	277.8	304.8	277.0	304.0	0.1	-0.1	-0.7	-0.9
6MV										
3x3	28.5	31.2	28.5	31.3	28.1	30.7	0.0	0.1	-0.4	-0.5
5x5	46.4	50.9	46.5	50.7	46.1	50.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.5
10x10	93.5	102.1	93.5	102.0	92.5	100.9	0.0	-0.1	-1.0	-1.2
30x30	279.7	305.1	279.6	305.2	278.9	304.3	-0.1	0.1	-0.8	-0.8
10MV										
3x3	29.0	31.4	28.9	31.3	28.4	30.9	-0.1	-0.1	-0.6	-0.5
5x5	47.0	50.9	47.1	50.9	46.6	50.5	0.1	0.0	-0.4	-0.4
10x10	94.4	102.3	94.4	102.2	93.9	101.6	0.0	-0.1	-0.5	-0.7
30x30	281.8	305.1	281.9	305.2	281.1	304.2	0.1	0.1	-0.7	-0.9
6MV軸外										
10x10	93.3	101.8	93.3	101.8	91.0	99.3	0.0	0.0	-2.3	-2.5

エネルギーと深さに対する依存性は見られません。G0 は G2 に比べ狭い傾向にあります。G1 は G2 に比べ差は大きくても 0.2mm で、測定誤差以下と言えます。

これらの結果からは、G2 と G1 はほぼ重なっているといえますが、G2 と G0 には有意な差があり、G0 の方がおよそ 1mm 狭くなっています。

軸外でも同じく G2 と G1 はほぼ重なっているといえますが、G0 は軸状よりも大きく 2.5mm ほど狭くなっています。

軸外のデータにおいてもう少し検討します。

基準となる 6MV 照射野 10x10 深さ 10cm の中心軸と軸外のプロファイルをグラフに示します(図 6、7、8)。

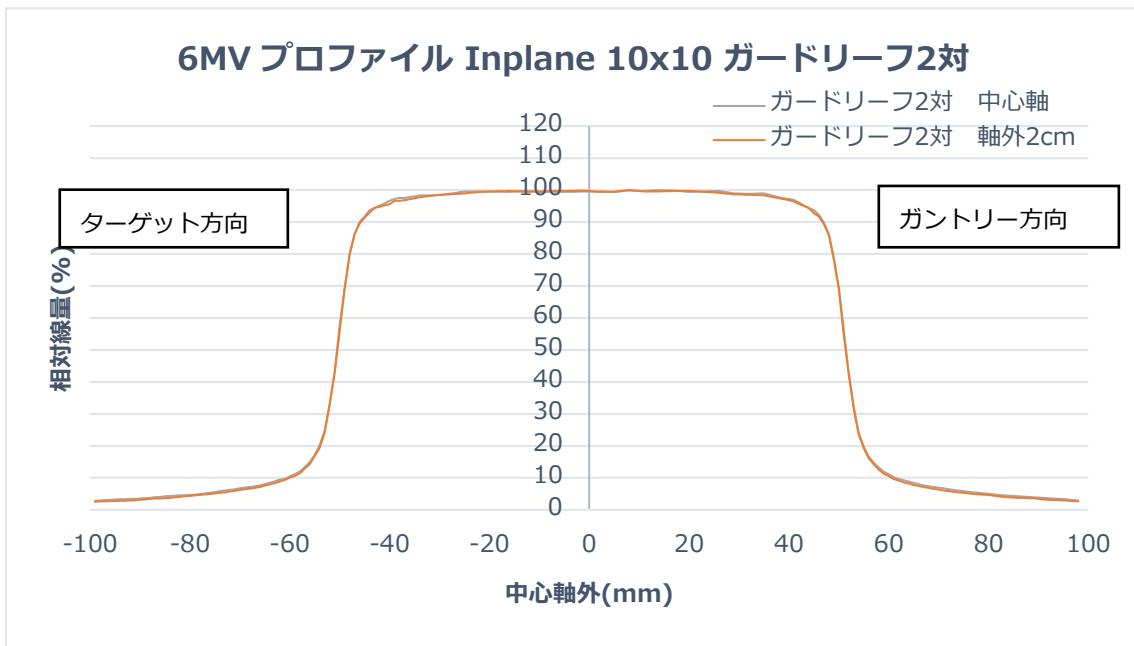


図7. プロファイル ガードリーフ 2 対 6MV 10x10 10cm 深さの中心軸と軸外の比較

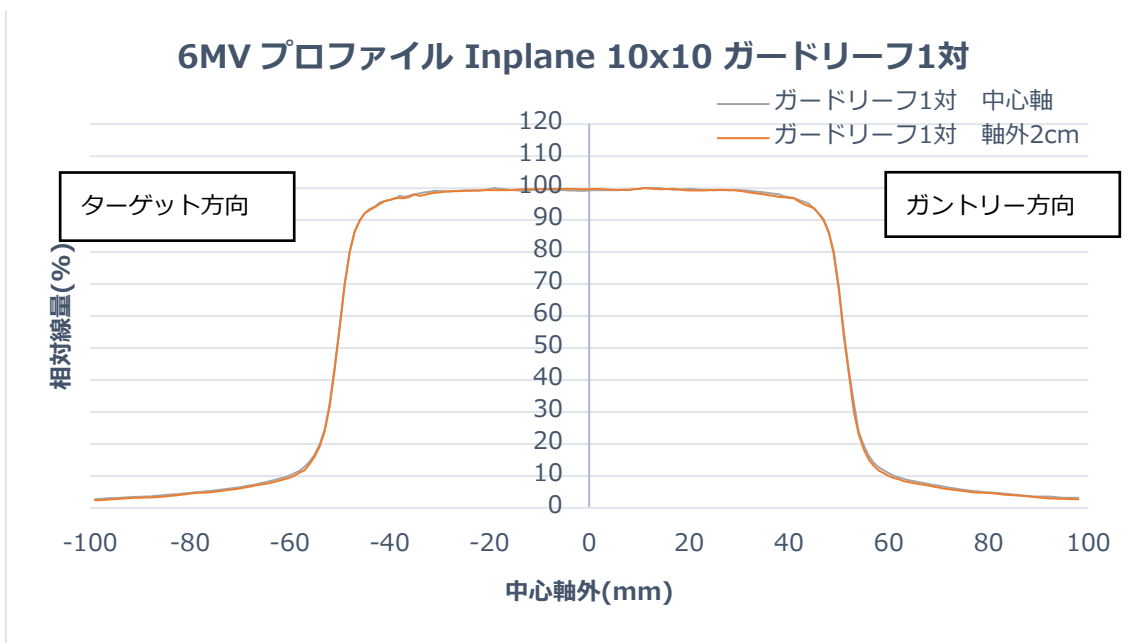


図8. プロファイル ガードリーフ 1 対 6MV 10x10 10cm 深さの中心軸と軸外の比較

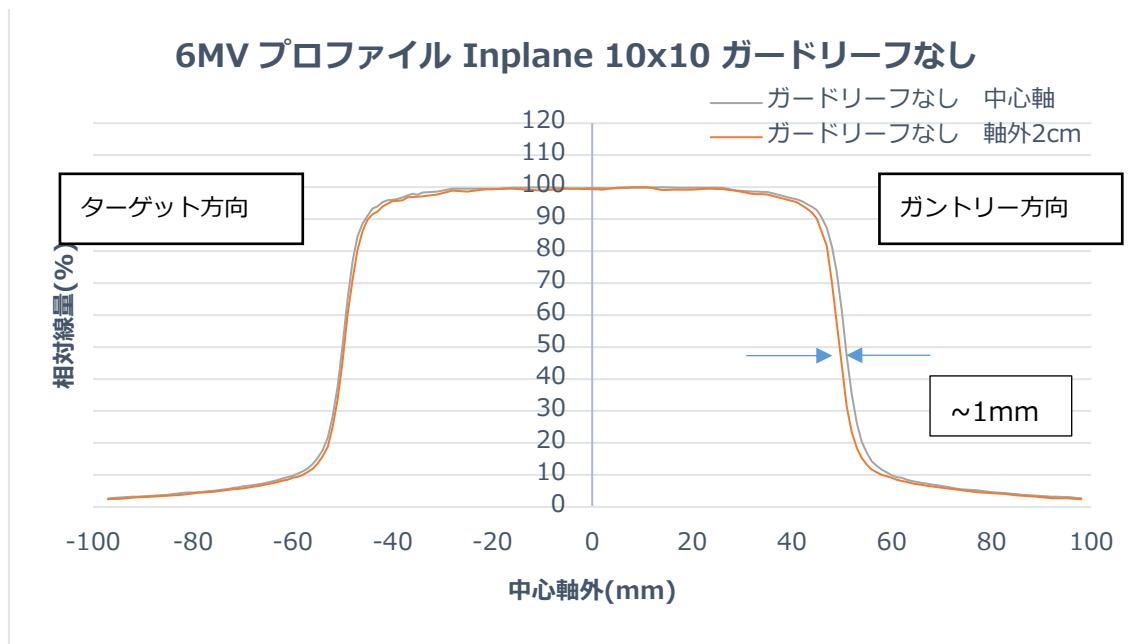


図 9. プロファイル ガードリーフなし 6MV 10x10 10cm 深さの中心軸と軸外の比較

G2 と G1 はほぼ重なっているといえますが、G0 に関してはガントリー方向とターゲット方向で、それぞれガードリーフを使用しないことによる影響が異なっています。これは、ガントリーの GT 方向への傾き、Length Jaw の位置校正など、仕様内の微細な違いが重なったためと考えられます。今回の測定ではたまたまガントリー方向において凸部が見られますが、リニアックによっては対称的にもしくはターゲット方向にのみ凸部が出る可能性もあります。

※リーフと Length Jaw の位置校正を行ったところ凸部は対称になりました(図 10)。

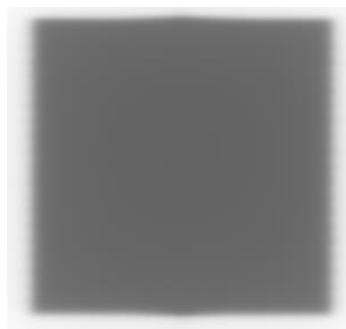


図 10. 位置校正後

これらの結果から、プロファイルでは動作モードによる影響は G0 に顕著に表れ、影響の出方もリニアックによって異なる可能性もあると考えられます。

3. 照射野係数

表 5 にそれぞれの動作モードの照射野 10x10 で正規化した、照射野係数の結果を示します。

表 5. 照射野係数 測定結果とガードリーフ 2 対との比較

	G2	G1	G0	$(G1-G2)/G2 \times 100$	$(G0-G2)/G2 \times 100$
4MV					
3x3	0.821	0.821	0.818	0.0	-0.4
5x5	0.890	0.888	0.885	-0.2	-0.6
7x7	0.941	0.940	0.937	-0.1	-0.4
10x10	1.000	1.000	1.000	0.0	0.0
20x20	1.118	1.119	1.119	0.1	0.1
30x30	1.177	1.178	1.180	0.1	0.3
6MV					
3x3	0.844	0.843	0.842	-0.1	-0.2
5x5	0.905	0.903	0.902	-0.2	-0.3
7x7	0.950	0.948	0.948	-0.2	-0.2
10x10	1.000	1.000	1.000	0.0	0.0
20x20	1.096	1.098	1.100	0.2	0.4
30x30	1.145	1.147	1.149	0.2	0.3
10MV					
3x3	0.853	0.852	0.851	-0.1	-0.2
5x5	0.915	0.913	0.912	-0.2	-0.3
7x7	0.955	0.954	0.954	-0.1	-0.1
10x10	1.000	1.000	1.000	0.0	0.0
20x20	1.077	1.080	1.082	0.3	0.5
30x30	1.113	1.115	1.118	0.1	0.4

G2 と G1 の差は最大で±0.3%であり、特に傾向もないことから、統計誤差以外に有意な要因はないものと考えられます。一方 G2 と G0 の差は、小照射野では G2>G0、大照射野では G0<G2 という有意な傾向が見られます。最大で 0.6%と大きな差ではありませんが、G2 で行ったデータ測定を、G0 を前提とする計画装置のビームモデリングに（またはその逆に）使用すべきではありません。

4. 絶対線量

線量校正は G2 で実施しました。表 7 に絶対線量と誤差を含めた結果を示します。

表 6. 絶対線量の比較

	G2	G1	G0	$(G1-G2)/G2$ ×100	$(G0-G2)/G2$ ×100
4MV	74.5	74.3	74.0	-0.3	-0.7
6MV	78.6	78.4	78.2	-0.3	-0.5
10MV	83.6	83.3	83.0	-0.4	-0.7

G2 と G1 の差は 0.3%ほどになり、G2 と G0 の差は 0.7%ほどになりました。絶対線量の線量差として、動作モードの異なる測定値をモデリングに使用するべきではないと言えます。

結論とまとめ

深部線量百分率については、ガードリーフの動作モードの有意な差異は観察されませんでした。

Inline 方向のプロファイルでは、中心軸、軸外どちらにおいても、ガードリーフ 2 対と 1 対の差は測定誤差以下であり、EPID の結果もほぼ同程度になりました。しかし、ガードリーフなしの場合は、ガードリーフ 2 対と比べて中心軸でおよそ 1.0mm、軸外でおよそ 2.5mm 狭くなっていました。EPID の結果においても同じく軸外でおよそ 2mm 狭くなっており、動作モードによる影響が顕著に表れました。また影響の出方もターゲット側とガントリー側で異なっていました。

照射野係数においては、ガードリーフ 2 対と 1 対の差はほぼ測定誤差以下（最大 0.3%）、ガードリーフ 2 対となしとは測定誤差を若干超えて、最大 0.6%と有意な差を示しました。この差は照射野サイズに依存します。

一方、**10x10 絶対線量**でも同等にガードリーフ 2 対と 1 対の差は非常に小さい(0.3%)ですが、ガードリーフなしの場合は、最大 0.7%も小さくなりました。

この 2 つを乗じますと（差分としては足し算になります）、大照射野ではどの動作モードでも同様の線量をもたらす一方、小照射野では 4MV の 5x5 を例とすると $(-0.6)+(-0.7)=-1.3\%$ 近い線量の差を生じます。

以上をまとめると、**ガードリーフ 2 対とガードリーフ 1 対の測定データは、線量校正値を除いて互換**と言えます。つまりガードリーフ 2 対を要請する治療計画装置に 1 対の測定データを使用しても（またその逆を行ったとしても）、線量計算精度への支障はほぼないと考えられます。

一方それらとガードリーフなしの測定データは、深部線量百分率を除いて非互換です。
したがってガードリーフなしの動作モードを要求する治療計画装置を使う際には、

- (a) ガードリーフ 2 対の測定データを使ってビームモデリングし、ガードリーフなしのリニアックだと想定して計画を立て、ガードリーフなしのプランを送出し、MOSAIQ 上でガードリーフを強制的に 2 対開ける。
- (b) ガードリーフなしの測定データを使ってビームモデリングし、ガードリーフなしのリニアックだと想定して計画を立て、ガードリーフなしのプランを送出し、MOSAIQ 上では特に上書き修正せず、そのままリニアックに転送する。

の 2 つの選択肢があります。通常は(b)をお勧めすることになっています。

最後に、動作モードが異なる治療計画装置を併用する場合、測定項目による互換性の有無を表に示します(表 7)。照射野係数に関して、G2 と G1 で誤差は見受けられませんが、照射野依存なども考えられるため、確認していただくことを推奨致します。

表 7. ガードリーフの動作モードと測定項目の互換性

	深部線量百分率	プロファイル	照射野係数	絶対線量
G2	○	○	×	×
G1				
G2	○	×	×	×
G0				
G0	○	×	×	×
G1				

※この表はあくまでも本測定結果に基づいたものです。

動作モードが異なる治療計画装置を併用する場合のモニター校正方法は、『Agility の Guard Leaf とモニター校正について』をご参照下さい。(エレクトラ ホームページよりダウンロードが可能です。)

付録

EPID は、患者ごとの品質保証や透過線量検証などの用途での利用が始まっています。エレクトラでは、DOSIsoft 社の製品(EPIbeam/EPIgray)を扱っており、製品ごとにビームモデリング用に EPID 画像の取得が必要となります。EPID 画像に対しても、ガードリーフの異なる動作モードによってどのくらい測定結果に差があるか、本編でも一部示しておりますが、モデリング用測定項目の一部を測定しガードリーフ 2 対と 1 対の検証を行いました。

測定内容と方法

測定項目を表 8 に示しました。エネルギー 6MV の X 線に対し、iViewGT で各照射野の EPID 画像を取得しました。

表 8. 測定項目一覧

測定項目	照射野(cm)
プロファイル Inplane	2x2, 3x3, 6x6, 10x10, 15x15, 20x20, 24x24
照射野係数	2x2, 3x3, 6x6, 10x10, 15x15, 20x20, 24x24

解析には SNC Patient(Sun Nuclear)を使用し、Raw データから 1mm 間隔のデータに変換し検証を行いました。プロファイルはガードリーフの影響が考えられる Inplane(中心軸)のみで各照射野の FWHM を確認しました。また、照射野係数は中心付近の 1x1 の平均ピクセル値を算出し、10x10 に対するピクセル値の相対値を算出しました。

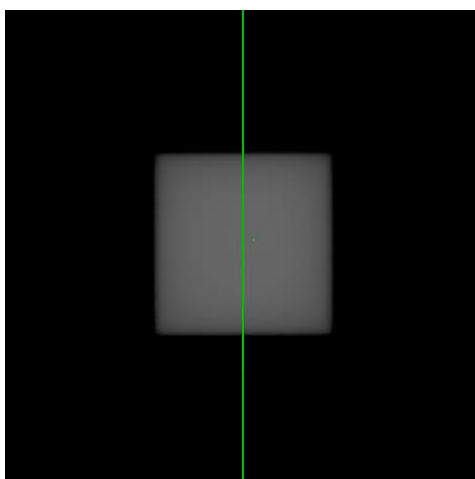


図 11. EPID 画像 10x10 検証 Inplane(緑線)

結果と解析

・プロファイル Inplane

表 9 に、プロファイルの FWHM と G2 に対する G1 の差をまとめました。

表 9. プロファイル 測定結果とガードリーフ 2 対との比較

	FWHM [mm]		Difference [mm]
	G2	G1	G1-G2
6MV			
2x2	31.7	31.7	0.0
3x3	48.1	47.9	0.2
6x6	95.6	95.4	0.2
10x10	159.5	159.4	0.1
15x15	239.3	239.5	-0.2
20x20	319.1	319.0	0.1
24x24	383.0	382.9	0.1

G2 と G1 の差は大きくても 0.2mm で、測定誤差などを考慮してもほぼ重なっているといえると言えます。

・照射野係数

表 10 に照射野 10x10 で正規化した、照射野係数の結果を示します。

表 10. 照射野係数 測定結果とガードリーフ 2 対との比較

	G2	G1	$(G1-G2)/G2 \times 100$
6MV			
2x2	0.911	0.907	-0.4
3x3	0.988	0.988	0.0
6x6	0.999	0.998	0.0
10x10	1.000	1.000	0.0
15x15	1.001	1.000	-0.1
20x20	1.002	1.001	-0.1
24x24	1.002	1.002	0.0

G2 と G1 の差は最大で -0.4% であり、EPID 画像の測定誤差、小照射野といった要因を考慮するとガードリーフの影響はないものと考えられます。

結論とまとめ

プロファイル Inplane、照射野係数では、ガードリーフ 2 対と 1 対では EPID 画像の検証結果として、有意な差異は見られませんでした。

以上をまとめると、**ガードリーフ 2 対とガードリーフ 1 対の測定データは、EPID 画像でも互換**と言え、ガードリーフ 2 対を要請する治療計画装置に 1 対の測定データを使用しても（またその逆を行ったとしても）、線量計算精度への支障はほぼないと考えます。ただし、本編同様、照射野係数に関しては、ガードリーフ 2 対と 1 対で誤差は見受けられませんでした。照射野依存なども考えられるため、一度ご確認していただくことを推奨致します。