

卒業論文

題目：蛍光ガラス線量計を用いた
前立腺 IMRT 郵送調査の有用性の検討

大阪大学医学部保健学科放射線技術科学専攻
(指導：医用物理工学講座 松本 光弘 准教授)

05C12035 鉢田 千波

(平成 28 年 11 月 24 日 提出)

要旨

【目的】

蛍光ガラス線量計(GD-302M 旭ガラス社製:GD)は RPL 現象での発光量を利用した固体線量計である。今回、この蛍光ガラス線量計を用いて、前立腺 IMRT における線量郵送調査に適したデバイスであるかどうかを検討した。

【方法】

- ① 郵送前調査として大阪大学医学部附属病院においてリニアック治療装置 ARTISTE (Siemence 社製)を用いて 11MV(FFF) X 線 Step&Shoot 方式で、*I'mRT* ファントム(IBA Dosimetry 社製)を使用し、GD を 3 本挿入した自作棒状ファントムを中心、中心下 2cm、中心下 4cm に挿入して、それぞれ 200cGy 照射し、プレヒート処理をした後、FGD-1000 で測定した。
- ② 次に前立腺 *I'mRT* ファントムを所用している 7 施設に、GD 挿入用自作棒状ファントム 1 本と GD20 本入りケースを郵送した。照射方法としては、*I'mRT* ファントムを使用し、①と同条件での照射を依頼した。返送されてきた GD は返却後すぐにプレヒート処理をし、計測した。計測値の誤差から、GD の郵送調査の実用性について検討した。

【結果】

- ① ARTISTE による照射では、平均誤差 $2.3 \pm 1.6\%$ であった。
- ② 各施設での前立腺 IMRT 郵送調査の誤差を Table.1 に示した。

Table.1 各施設の誤差

	A 病院		B 病院		C 病院		D 病院		E 病院		F 病院		G 病院	
	G/R	G/C	G/R	G/C	G/R	G/C	G/R	G/C	G/R	G/C	G/R	G/C	G/R	G/C
A 点	-2.8	-1.1	-2.0	-2.1	-3.2	-3.7	-3.2	/	1.2	/	-2.3	-1.6	-3.8	/
B 点	-1.7	-0.4	-1.3	-0.3	-3.0	-6.5	-3.8	/	3.6	/	-0.8	-1.4	-5.9	/
C 点	4.2	3.3	-1.2	0.7	-0.6	-0.2	7.4	/	4.6	/	2.9	3.1	1.8	/

G/R:中心軸上の GD と RTPs ピンポイント線量との誤差

G/C:中心軸上の GD と各施設の線量計の測定値との誤差

【結論】

以上の結果により、G/R 誤差平均は $2.9 \pm 1.7\%$ 、G/C 誤差平均は $2.0 \pm 1.9\%$ であった。また、各施設の線量分布と GD 測定値を考慮すると、蛍光ガラス線量計による IMRT 郵送調査は全て GD 不確かさの範囲内であり、有用であると考えられる。

1. 序論

1.1 背景

放射線治療の領域における照射線量、治療用照射装置の出力線量が全国的に同一基準ということががん治療及び臨床研究の基本である。放射線治療の品質管理および品質保証を行う上で、治療に関わる装置の保守管理が非常に重要となる。

照射線量の品質保証は本来各施設内において実施すべきであるが、近年ではそれに加えて第三者的検証の重要性に対する認識が高まってきており、線量計を郵送して照射装置の出力確認を IAEA(International Atomic Energy Agency)や WHO (World Health Organization) を始めとした機関により、第三者機関が行う第三者評価プログラムが、世界各国で実施されており、全世界の約 60%の施設が郵送測定による第三者評価プログラムに参加している。本邦では公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団(以下 ANTM)が、第三者評価機関として蛍光ガラス線量計の「治療用照射装置の出力線量測定義務」を平成 19 年 11 月 1 日から開始しているが、X 線のみのものであり¹⁾、IMRT における第三者評価プログラムに関しては現在実施されていない。

また平成 23 年・24 年・25 年度の先行研究では、リニアック X 線校正点吸収線量の精度調査、定位放射線治療の線量評価、電子線線量計測の精度検証において蛍光ガラス線量計郵送調査の有用性が検証され、結果として有用であると結論付けられており、IMRT への応用の可能性も示している。²⁾³⁾⁴⁾

蛍光ガラス線量計を用いた IMRT の線量測定法は確立されている。⁵⁾ 郵送に移行した場合でも ANTM が行っている蛍光ガラス線量計による郵送線量測定と比較しても、同等な精度で吸収線量を求めることができると考えられている。⁵⁾

1.2 蛍光ガラス線量計

1.2.1 蛍光ガラス線量計の原理

蛍光ガラス線量計は、銀活性リン酸塩ガラスに電離放射線を照射すると、紫外線励起によってオレンジ色の蛍光を発する現象(ラジオホトルミネセンス:RPL)に基づく固体線量計である。蛍光量が放射線量に比例することから、線量計に応用されている。放射線の照射によって生じた RPL 中心は、読取操作によって消滅することがなく、何度でも繰り返し読み取りができる真の積算型固体線量計である。 6)

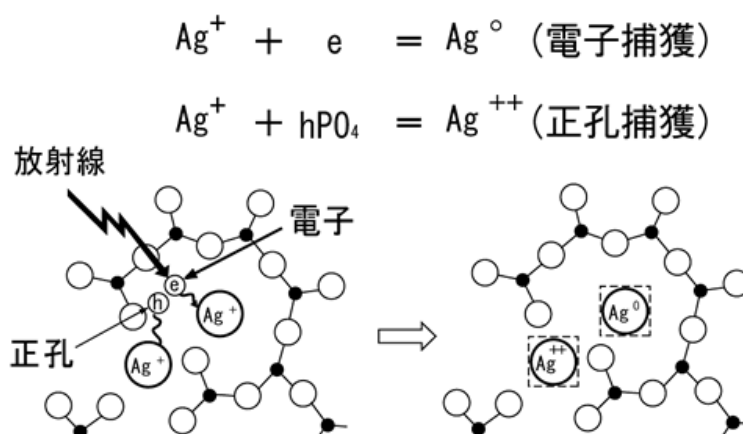


Fig.1 RPL 中心の形成

電離放射線が銀活性リン酸塩ガラスに照射されると、電子及び正孔(ホール)が叩き出され、電子はガラス構造中の Ag^+ に捕獲され、 Ag^0 となる。一方、正孔は一旦 PO_4 四面体に捕えられるが、時間の経過とともに Ag^+ へ移行し、より安定な Ag^{++} を形成する。(Fig.1) これらの Ag^0 及び Ag^{++} が共にガラス中で RPL 中心(蛍光中心)となる。 6)

本研究では治療用蛍光ガラス線量計素子 GD-302M を用いた。測定線種は γ ・X線、測定線量範囲は1Gy~100Gy、ガラス素子寸法は直径1.5mm、長径12mmで、ホルダ寸法は直径2.8mm、長径13mmである。 6)

ガラス線量計素子(GD-300 シリーズ)の特徴としては、

- ① 繰り返し読み取りが可能

- ② 素子間のバラツキが小さい
 - ③ フェーディングがほとんどない
 - ④ 超小型素子
- があげられる。 ⑥)

1.2.2 蛍光ガラス線量計の使用手順

ガラス素子に欠損・汚れ・白曇りがあると励起光が拡散され正確な読み取りができない。使用前に外観検査として、素子の欠損・汚れ・白曇りを確認し、欠損のあるものは使用を控え、汚れがあるものは汚れをアルコールシートでふき取った。その後、ガラス素子に蓄積した積算線量を消失させるために 400°Cで 20 分間のアニール処理を行った。 ⑥)

その後照射を行った。放射線が照射されたガラス素子にはラジオフォトルミネセンスの蛍光量が時間の経過とともに増加して安定化するというビルドアップ特性がある。この時間変化を短時間で完了させるため、プレヒート処理を行う。本研究では 70°Cで 40 分間のプレヒート処理を行った。 ⑥)



Fig.2 ガラス素子の外観

2. 目的

蛍光ガラス線量計(GD-302M 旭ガラス社製:GD)は前立腺 IMRT における線量

郵送調査に適したデバイスであるかどうかを検討した

3. 使用器具および郵送先

- ・リニアック治療装置 ARTISTE (Siemence 社製) Step&Shoot 方式

・蛍光ガラス線量計・小型素子システム Dose Ace(AGC テクノグラス株式会社)

線量計小型素子	高エネルギー測定用	GD-302M
線量計リーダー		FGD-1000
読取マガジン		FGD-M151
アニールマガジン		FGD-C101
アニール用電気炉		NEW-1CT
プレヒート用恒温器		DKN-302
プレヒートトレー		FGD-C102

・水ファントム

・*ImRT*ファントム(IBA Dosimetry 社製)

・GD 挿入用自作棒状ファントム(3本装填)

・郵送協力

大阪医科大学付属病院		Clinac iX (Varian 社製)
		VMAT 方式
大阪府立急性期総合医療センター		Novaris TX (Varian 社製)
		VMAT 方式
大阪府立成人病センター		Clinac 23EX (Varian 社製)
		VMAT 方式
大阪府立母子保健総合医療センター		Clinac iX (Varian 社製)
		Sliding Window 方式
関西労災病院	True Beam (Varian 社製)	VMAT 方式
兵庫医科大病院	ELEKTA Synergy (ELEKTA 社製)	VMAT 方式
NTT 大阪病院	Inplession Plus (Siemence 社製)	Step&Shoot 方式

4. 方法

4.1 郵送前調査

大阪大学医学部附属病院においてリニアック治療装置 ARTISTE (Siemence 社製)を用いて 11MV(FFF) X線 Step&Shoot 方式で、 I^mRT ファントム(IBA Dosimetry 社製)を使用し、GD を 3 本挿入した棒状ファントムを中心、中心下 2cm、中心下 4cm に挿入して、それぞれ PTV に 200cGy 照射し、プレヒート処理をした後、FGD-1000 で測定した。

4.2 郵送調査

前立腺 I^mRT ファントムを所用している 7 施設に、GD 挿入用自作棒状ファントム 1 本、測定用素子セット(GD-302M)20 本入りケース、ガラス素子返送用として、日本郵便のレターパック 510、照射方法を示した手順書、照射時の条件などを記入してもらうための記入シートを郵送した。照射方法としては、 I^mRT ファントムを使用し、4.1 と同条件での照射を依頼した。



Fig.3 郵送セット



Fig.4 レターパック 510

実験記入シート

施設名	ご記入者氏名		
●RTPs			
プラン作成日	年	月	日
プラン作成者	装置名	アルゴリズム	
エネルギー (4・6・10 <u>その他</u> MV) (FF、FFF)			
門数	角度		
照射方法 (step&shoot ・ sliding window ・ VMAT ・ その他)			
pin-point 線量(中心)	A	B	C
	cGy	cGy	cGy
(+1.3cm)	_____		
(-1.3cm)	_____		
●照射用			
照射日時	年	月	日
リニアック機種名			
ガラス素子の ID 番号 (3 本ずつ連番でお願いします)			
A	_____	_____	_____
B	_____	_____	_____
C	_____	_____	_____
可能であれば、線量計での測定値をご記入ください。			
A	cGy	B	cGy
	_____		_____
使用線量計名			
*ご協力ありがとうございました			

Fig.5 照射データ記入シート

4.3 照射方法

Prostate 中心あたり
Rectum 中心あたり

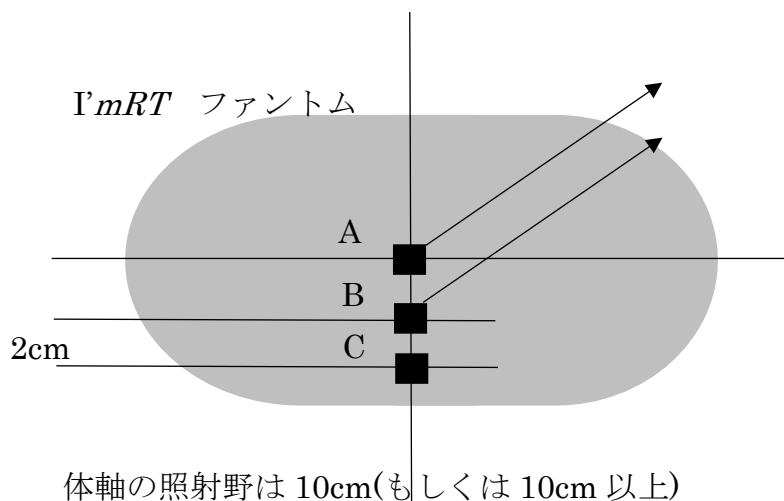
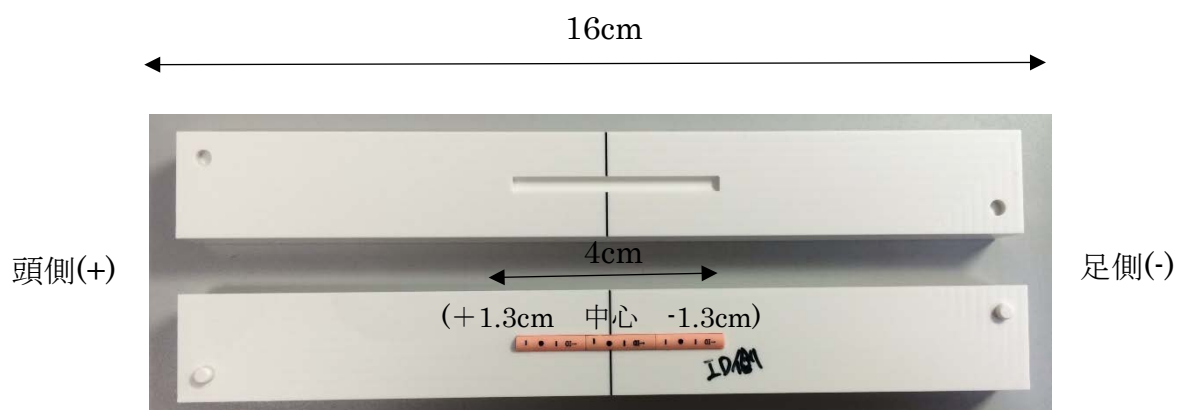


Fig.6 ガラス線量計挿入位置図



ガラス線量計挿入スリーブ中心に 3 本入る溝があり、上下で挟む

*ID 側が足側になるように挿入

Fig.7 ガラス線量計配置図

ガラス線量計の配置は Fig.6,7 のように依頼した。素子の ID 番号が、キャップに記されているので、照射データ記入シートに記入してもらおう。また、線量分布も送ってもらうよう依頼した。素子を保管する場合はデシケータ内で保管する。

4.4 治療計画

治療計画は Fig.8 と Table.2 の通り 7) に設定してもらった。

照射方向及び門数、エネルギー、照射野は各施設で日常使用している条件で行ってもらった。

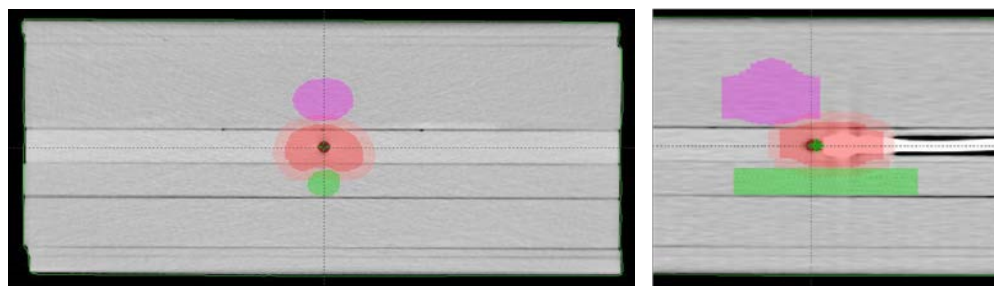


Fig.8 構造

前立腺 CTV はそれぞれ、R-L 方向 4.0cm、A-P 方向 2.6cm、S-I 方向 6.5cm でほぼ楕円形である。前立腺 PTV は CTV +約 0.6cm である。直腸は前立腺のくぼみの後面に接する直径 1.5cm の円筒である。PTV は、最も広い PTV スライス上で、直腸体積の約 1/3 を含む。膀胱はそれぞれ R-L 方向 5.0cm、A-P 方向 4.0cm、S-I 方向 5.0cm でほぼ楕円形である。前立腺の前面中央に位置する。

Table.2 インバースプランニングの線量目標

構造		
前立腺 PTV	体積の 95%は 7560Gy 以上	体積の 5%は 8300Gy 以下
直腸	体積の 30%は 7000Gy 以下	体積の 10%は 7500Gy 以下
膀胱	体積の 30%は 7000Gy 以下	体積の 10%は 7500Gy 以下

4.5 回収および測定

照射が終了したガラス線量計は、照射から一週間以内に到着するようにレターパック 510 での返送をお願いした。回収された素子は、返却後すぐにプレヒート処理を行い、読取装置(Dose Ace)で測定した。到着から測定日まではデシケータ内で保存した。

4.6 解析

測定結果から以下の式(1)(2)(3)を用いて G/R(ガラス線量計と RTPs ピンポイント線量との誤差)、G/C(ガラス線量計と各施設の線量計の測定値との誤差)、C/R(各施設の線量計の測定値と RTPs ピンポイント線量との誤差をそれぞれ求めた。G/R は 3 本の素子の誤差を求め、G/C と C/R は中心の素子のみの誤差を求めた。

$$\frac{G}{R} = \frac{\text{測定値} - \text{RTPs ピンポイント線量}}{\text{RTPs ピンポイント線量}} \times 100 \quad [\%] \quad \dots \text{式(1)}$$

$$\frac{G}{C} = \frac{\text{測定値} - \text{各施設の線量計測定値}}{\text{各施設の線量計測定値}} \times 100 \quad [\%] \quad \dots \text{式(2)}$$

$$\frac{C}{R} = \frac{\text{各施設の線量計測定値} - \text{RTPs ピンポイント線量}}{\text{RTPs ピンポイント線量}} \times 100 \quad [\%] \quad \dots \text{式(3)}$$

5. 結果

5.1 郵送前調査

ARTISTE による照射では、G/R 誤差平均値は $2.3 \pm 1.6\%$ であった。

5.2 郵送調査

郵送調査に協力いただいた 7 施設の測定値から算出した G/R 誤差を Table.3,4 と Fig.9,10,11 に示す。全体の G/R 誤差平均値は $3.6 \pm 3.3\%$ であった。

Table.3 郵送調査における 7 施設の誤差 G/R

		A 病院	B 病院	C 病院	D 病院	E 病院	F 病院	G 病院
A 点	(+1.3cm)	-3.5	-1.6	-2.3	-1.5	0.2	-1.9	-5.3
	中心	-2.8	-2.0	-3.2	-3.2	1.2	-2.3	-3.8
	(-1.3cm)	-0.6	-1.5	-8.7	-2.4	-0.1	-2.0	-4.0
B 点	(+1.3cm)	-4.0	-0.4	-2.9	-11.2	8.7	2.9	-7.5
	中心	-1.7	-1.3	-3.0	-3.8	3.6	-0.8	-5.9
	(-1.3cm)	-0.2	-5.5	-1.3	2.8	7.2	-9.0	-6.6
C 点	(+1.3cm)	5.5	5.6	0.0	-19.8	0.5	1.7	-1.0
	中心	4.2	-1.2	-0.6	7.4	4.6	2.9	1.8
	(-1.3cm)	4.0	-7.2	-1.7	3.8	6.9	2.8	-1.0

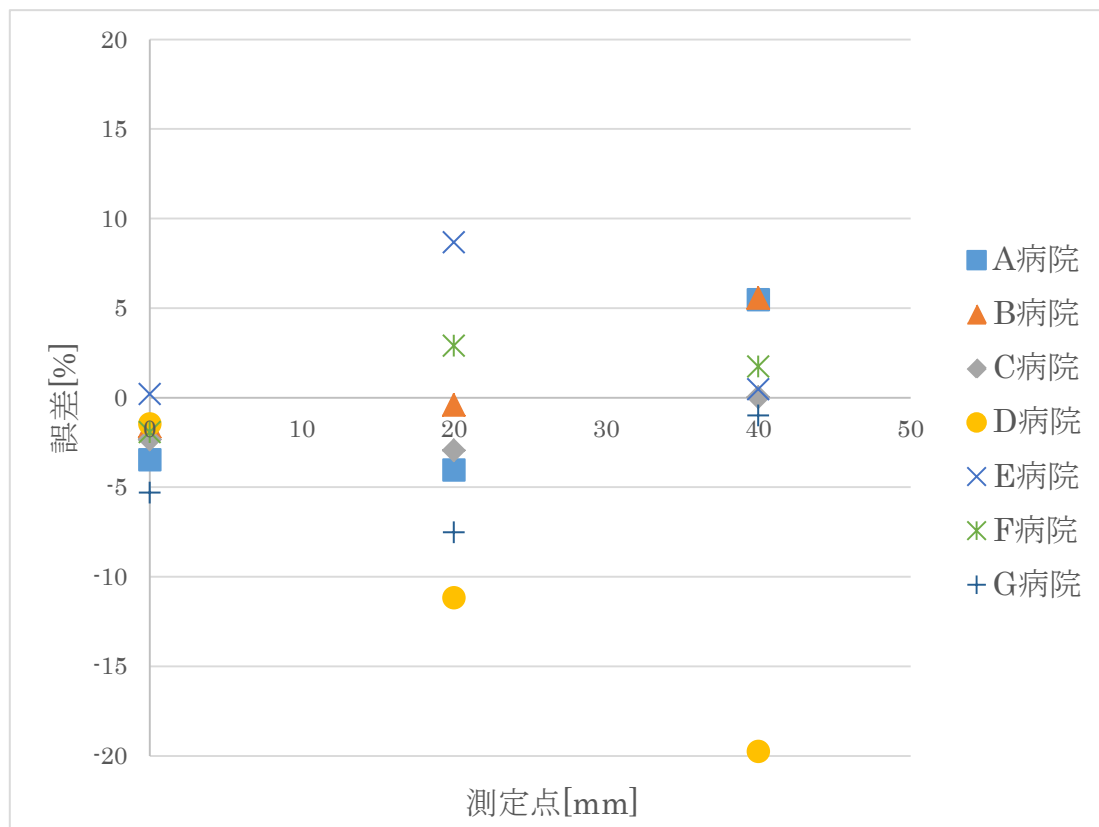


Fig.9 +1.3cm に位置する素子の誤差 G/R

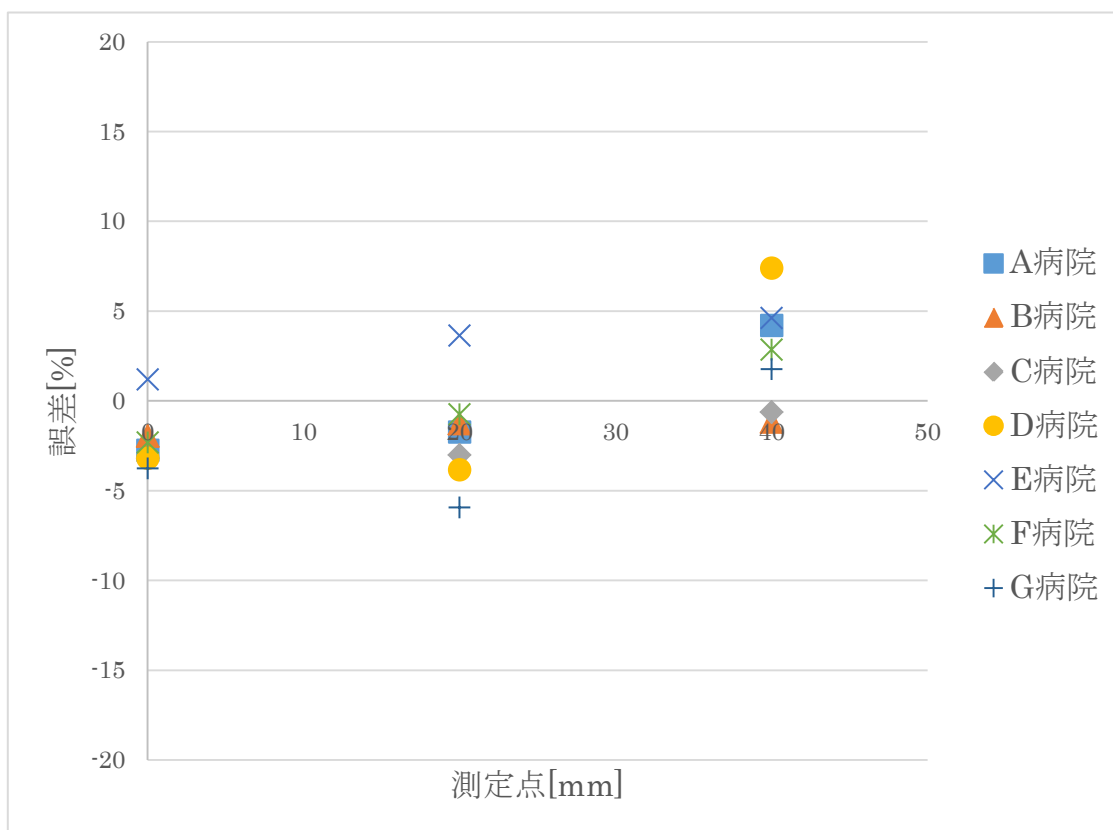


Fig.10 中心軸上の素子の誤差 G/R

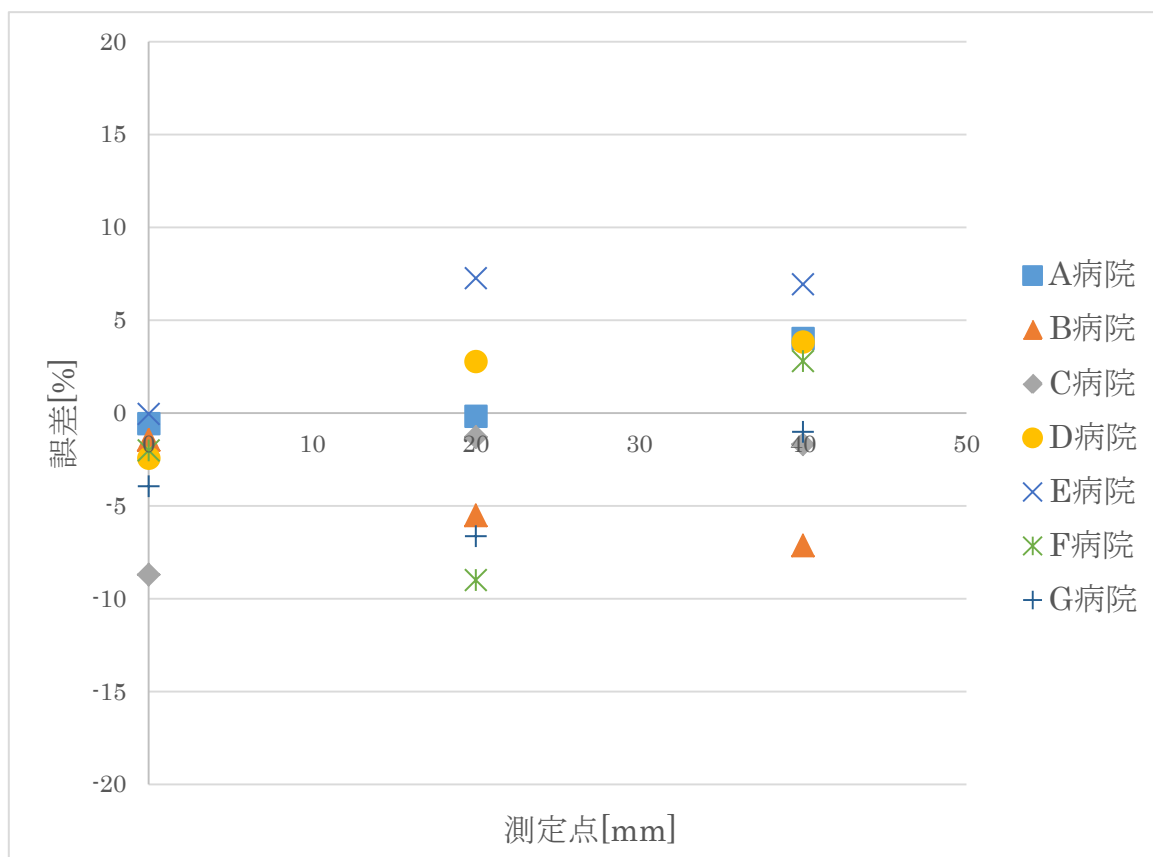


Fig.11 -1.3cm に位置する素子の誤差 G/R

Table.4 素子の位置と G/R 誤差平均値

	G/R 誤差平均値
(+1.3cm)	4.2±4.6%
中心	2.9±1.7%
(-1.3cm)	3.8±2.9%

G/C 誤差を Table.5 と Fig.12 に示す。G/C 誤差平均値は $2.0 \pm 1.9\%$ となった。

Table.5 郵送調査における 7 施設の誤差 G/C

	A 病院	B 病院	C 病院	D 病院	E 病院	F 病院	G 病院
A 点	-1.1	-2.1	-3.7			-1.6	
B 点	-0.4	-0.3	-6.5			-1.4	
C 点	3.3	0.7	-0.2			3.1	

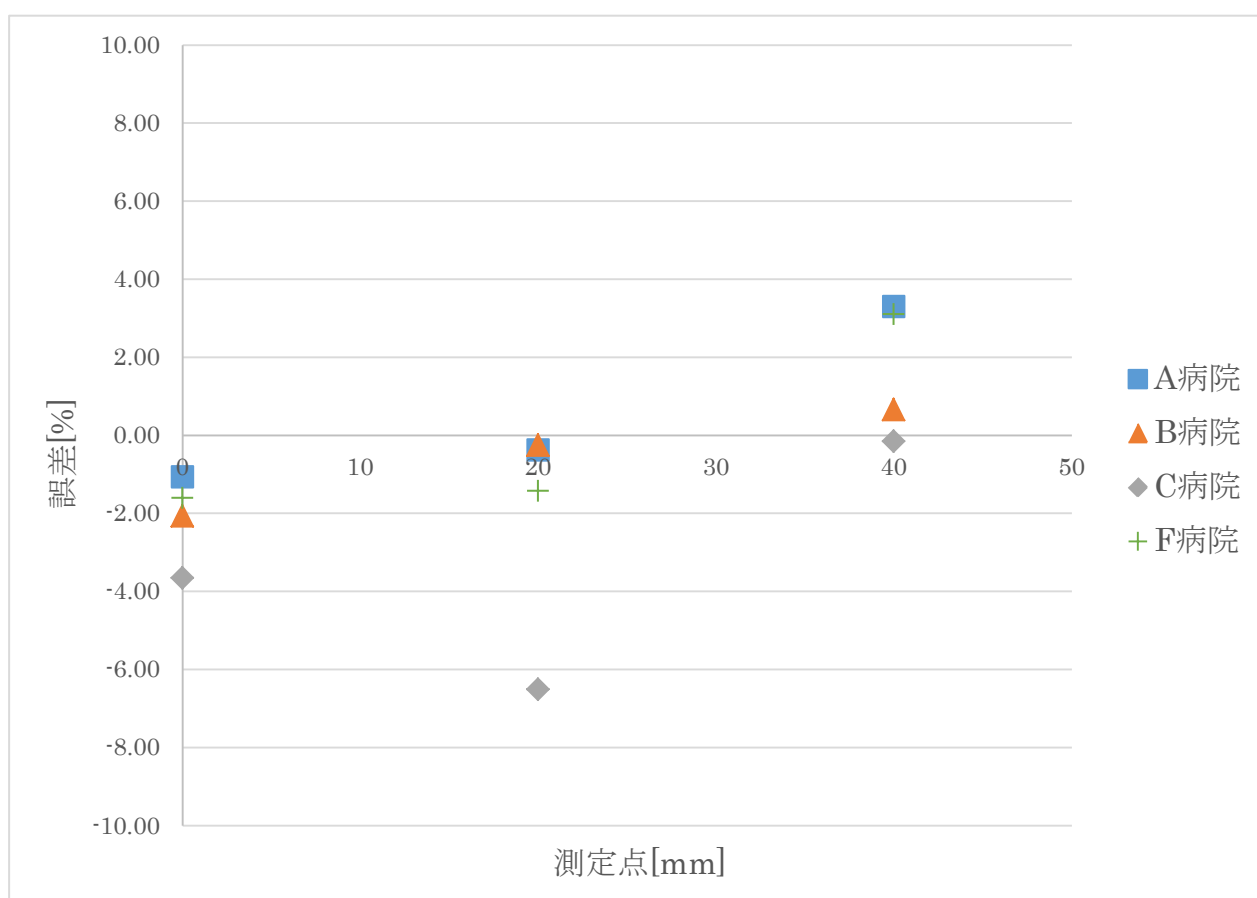


Fig.12 G/C

C/R 誤差を Table.6 と Fig13 に示す。C/R 誤差平均値は $1.1 \pm 1.0\%$ となった。

Table.6 郵送調査における 7 施設の誤差 C/R

	A 病院	B 病院	C 病院	D 病院	E 病院	F 病院	G 病院
A 点	-1.7	0.1	0.5	/	/	-0.7	/
B 点	-1.4	-1.0	3.7	/	/	0.7	/
C 点	0.9	-1.8	-0.5	/	/	-0.2	/

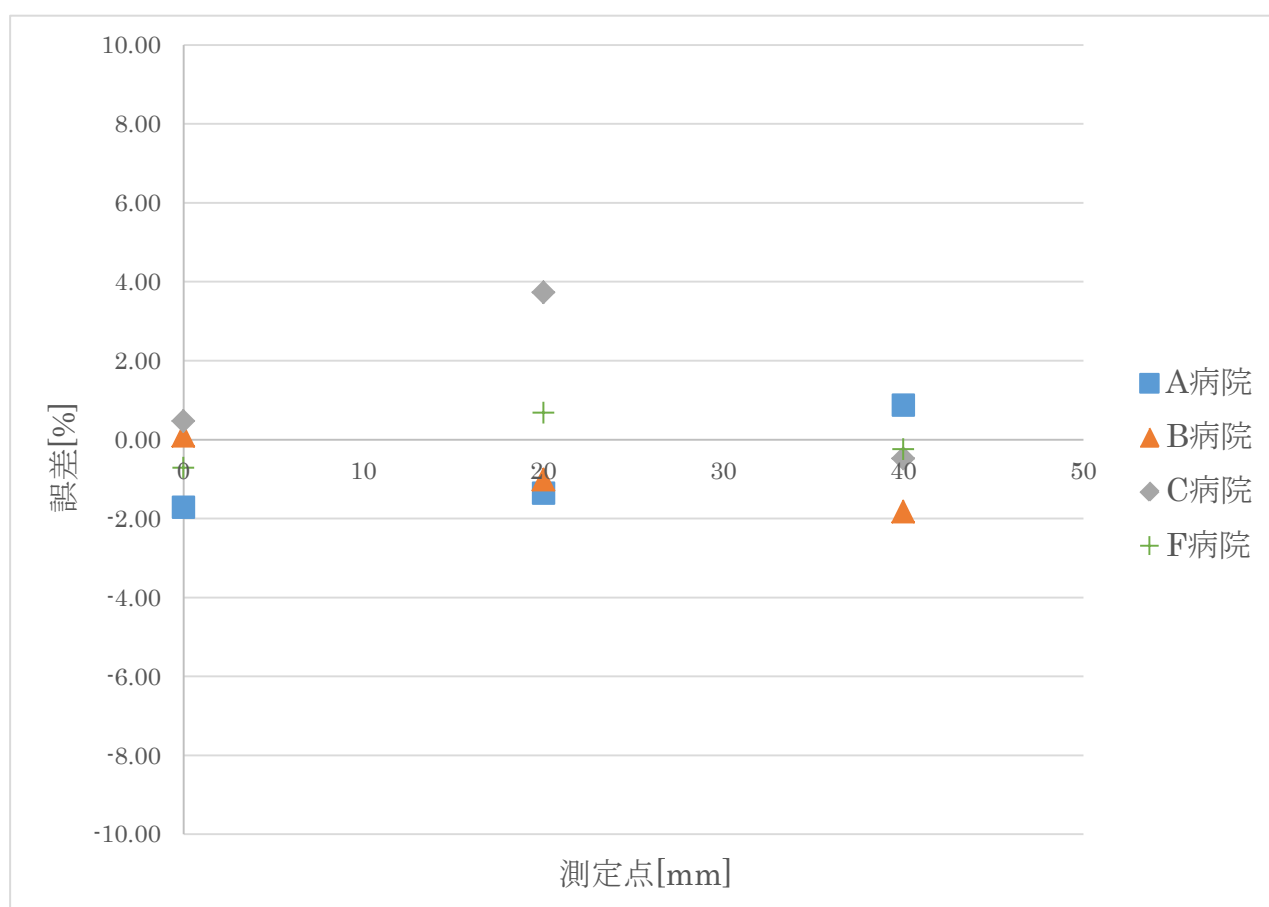


Fig.13 C/R

5.3 不確かさの評価

本実験での蛍光ガラス線量計の不確かさの見積もりを Table.6 に示した。

Table.6 本実験の不確かさの見積もり

	標準不確かさ
治療計画装置のピンポイント線量計算精度	2%
ガラス線量計の不確かさ	3%
低 MU 出力の不確かさ	1%
測定精度	1%
プレヒート後の測定日変動	3%
合成標準不確かさ	5%
拡張標準不確かさ ($k=2$)	10%

6. 考察

照射方法は各施設で通常使用している方法で依頼した。その線量分布を Fig.14~Fig.21 に示す。この中で Step&Shoot 方式または Sliding Window 方式を用いている施設のサジタル面の線量分布(Fig.22, Fig.23)は比較的平坦であり、ガラス線量計の測定値と RTPs ピンポイント線量に相違はあまり見られないが、VMAT 方式を用いている施設のサジタル面の線量分布(Fig.24)は特に B・C 点の A-P 方向において非常に急峻であり、同一平面上でも均一線量ではなく、中心素子とその前後の素子ではガラス線量計の計測値と RTPs ピンポイント線量に大きな相違がみられた。また、今回の実験で用いたガラス線量計 GD-302M は、素子寸法が 12mm であり、急峻な線量分布においてガラス線量計素子に均等線量が照射されていなかった可能性が考えられ、RTPs ピンポイント線量との誤差が大きくなってしまったと思われる。さらに、線量分布が急峻な場所では、画素のピクセル位置での線量も大きく変化している可能性があるため、これらの複合因子による原因も考えられる。よって IMRT の VMAT 照射方法における GD 計測には十分な注意が必要であることが示唆された。

結果 5.3 より本実験での合成標準不確かさは $\pm 5\%$ (拡張標準不確かさ $\pm 10\%$)であり、全体の G/R 誤差平均値は $3.6 \pm 3.3\%$ であるので十分に不確かさの範囲であるといえる。また G/C 誤差平均値は $2.0 \pm 1.9\%$ であり G/R 誤差平均値より小さくなったのは、電離箱形線量計の容積と GD 体積が近いことため誤差が小さくなったことが考えられる。さらに、RTPs での線量評価においては、ピンポイントではなく GD と同等のボリューム設定が必要であると思われる。

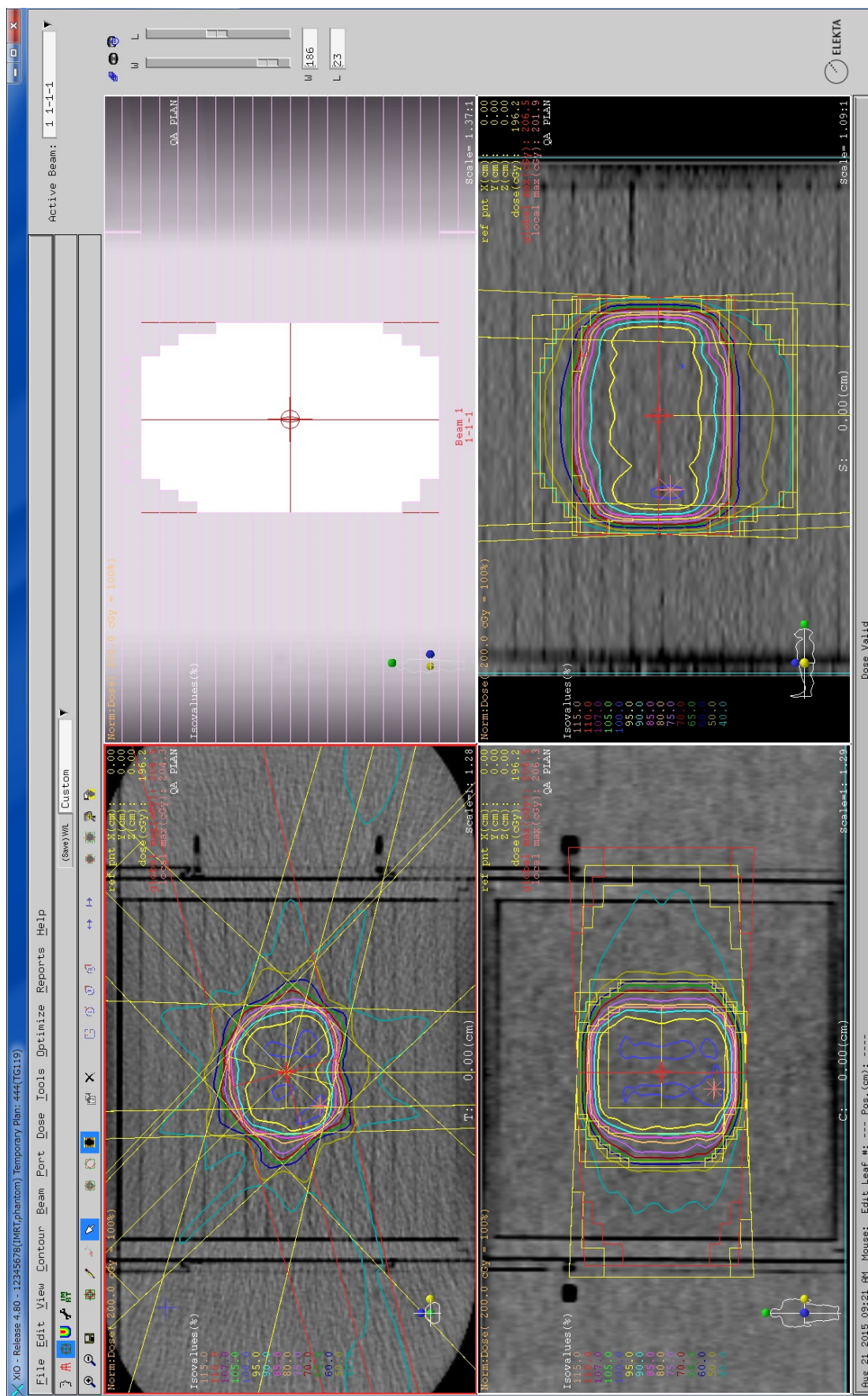


Fig.14 大阪大学医学部附属病院の線量分布

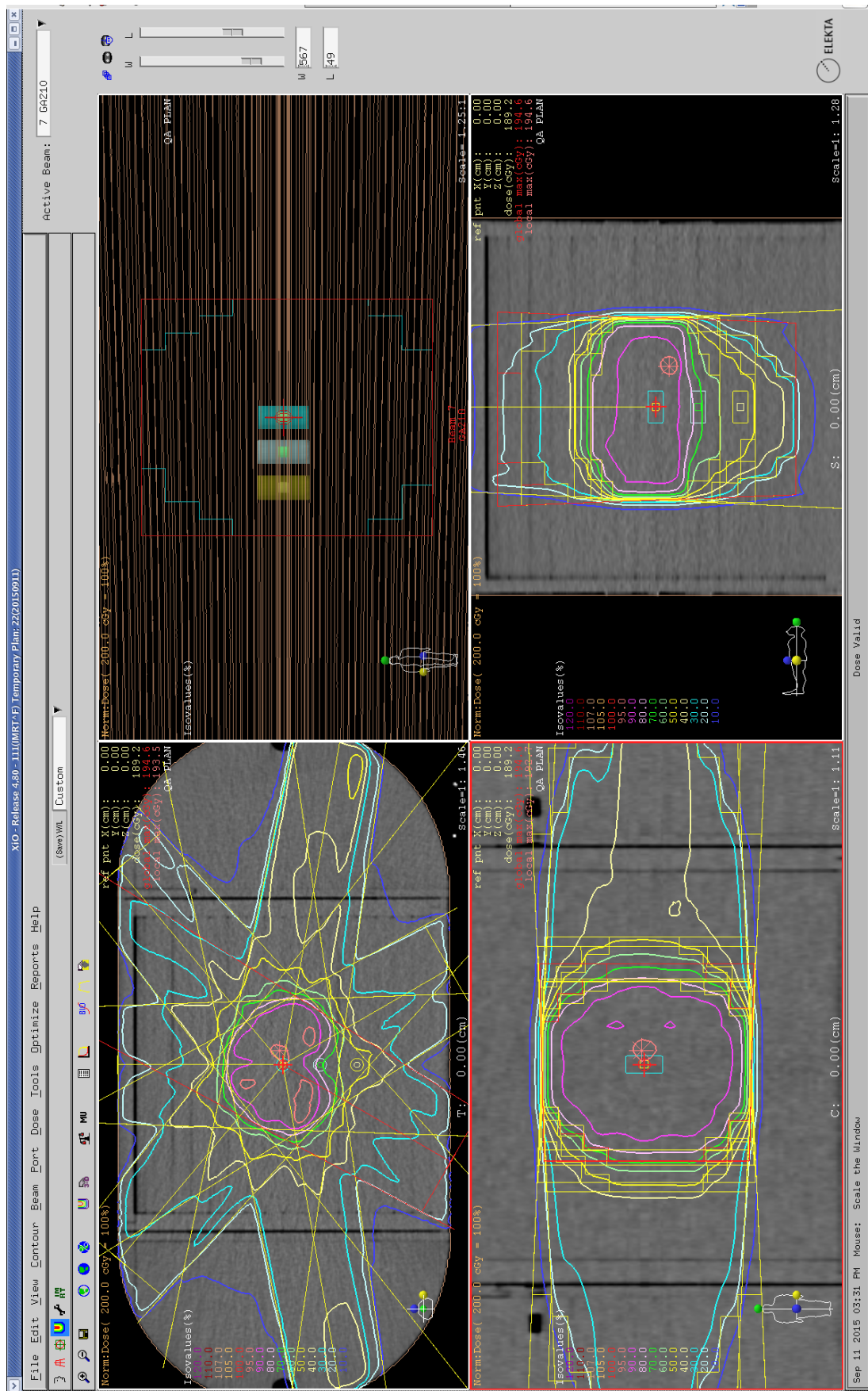


Fig.15 A 病院の線量分布

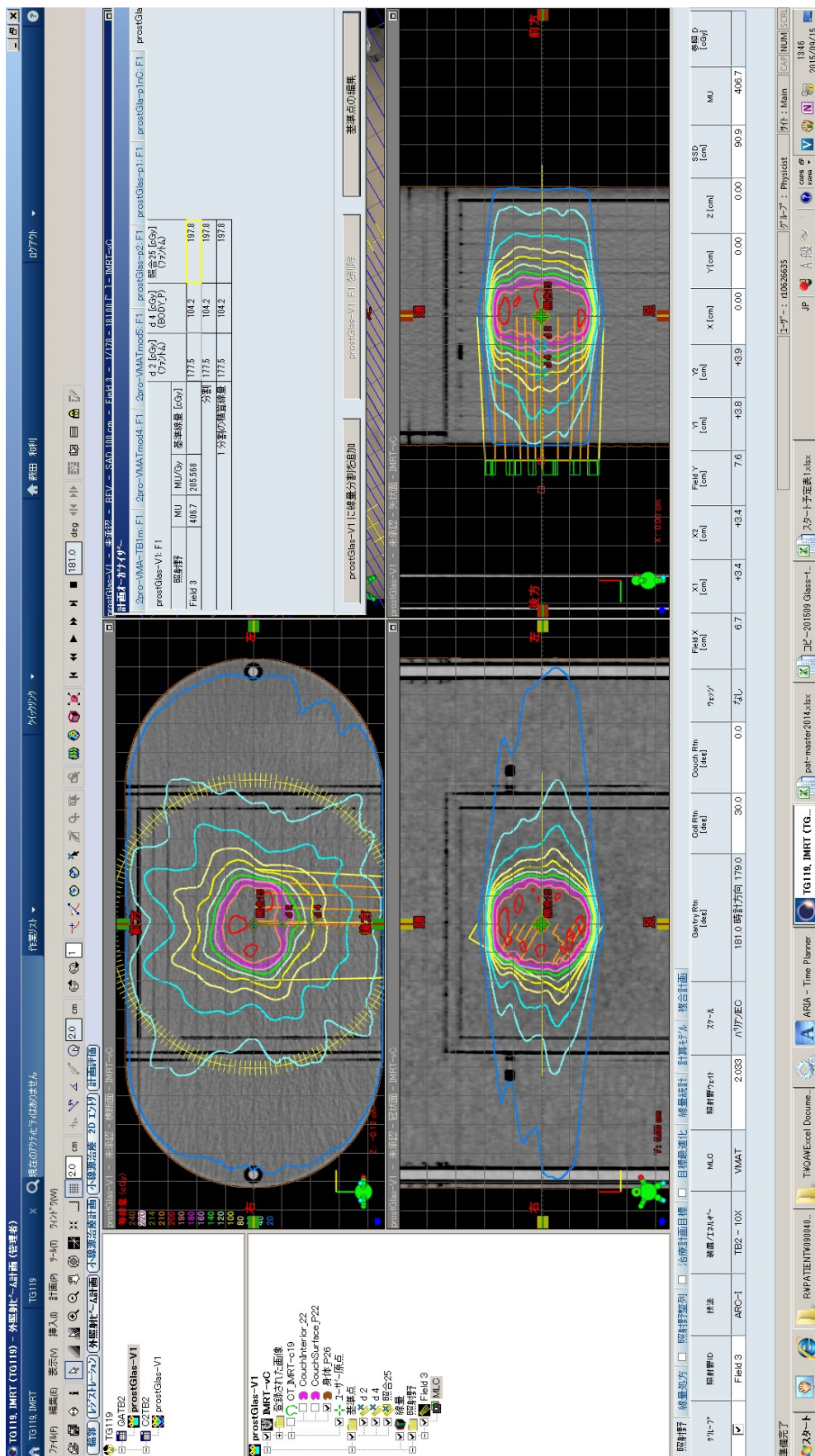


Fig.16 B病院の線量分布

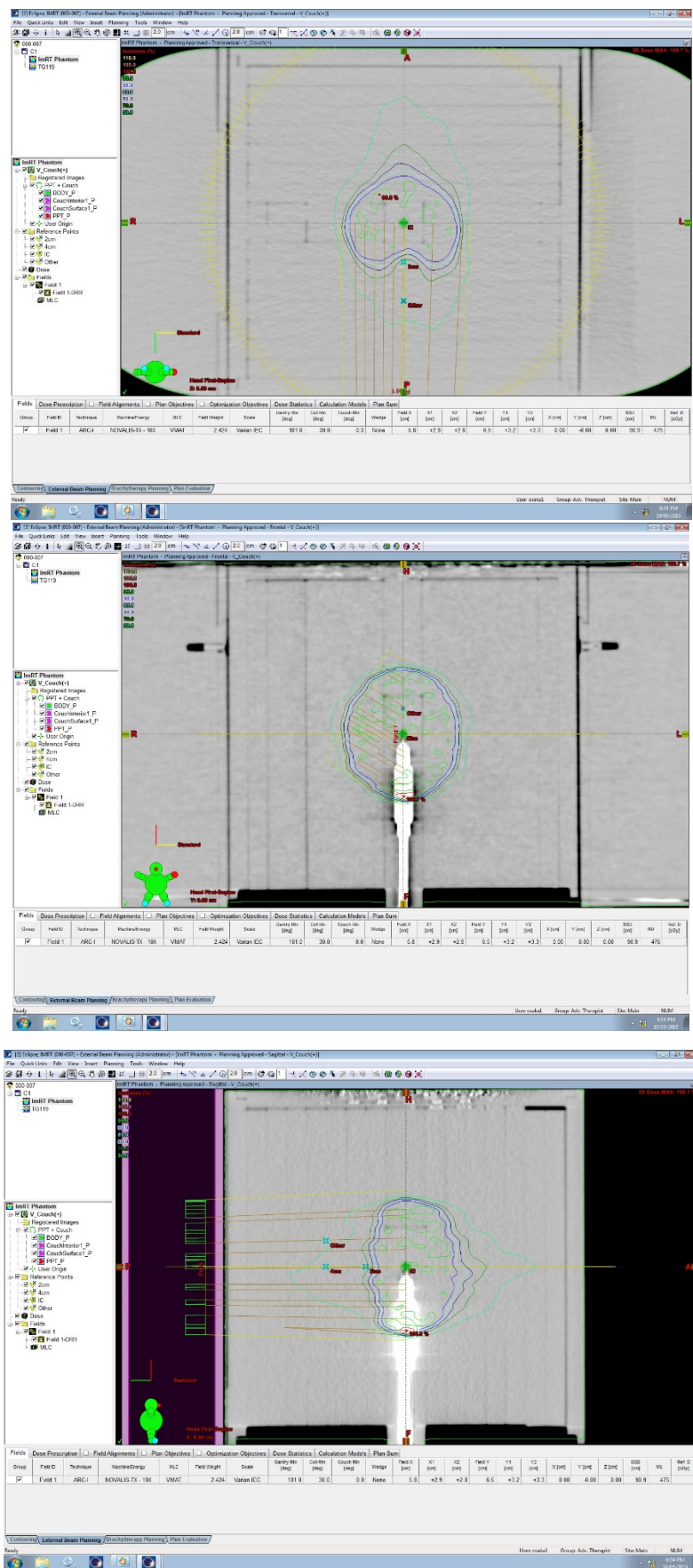


Fig.17 C病院の線量分布

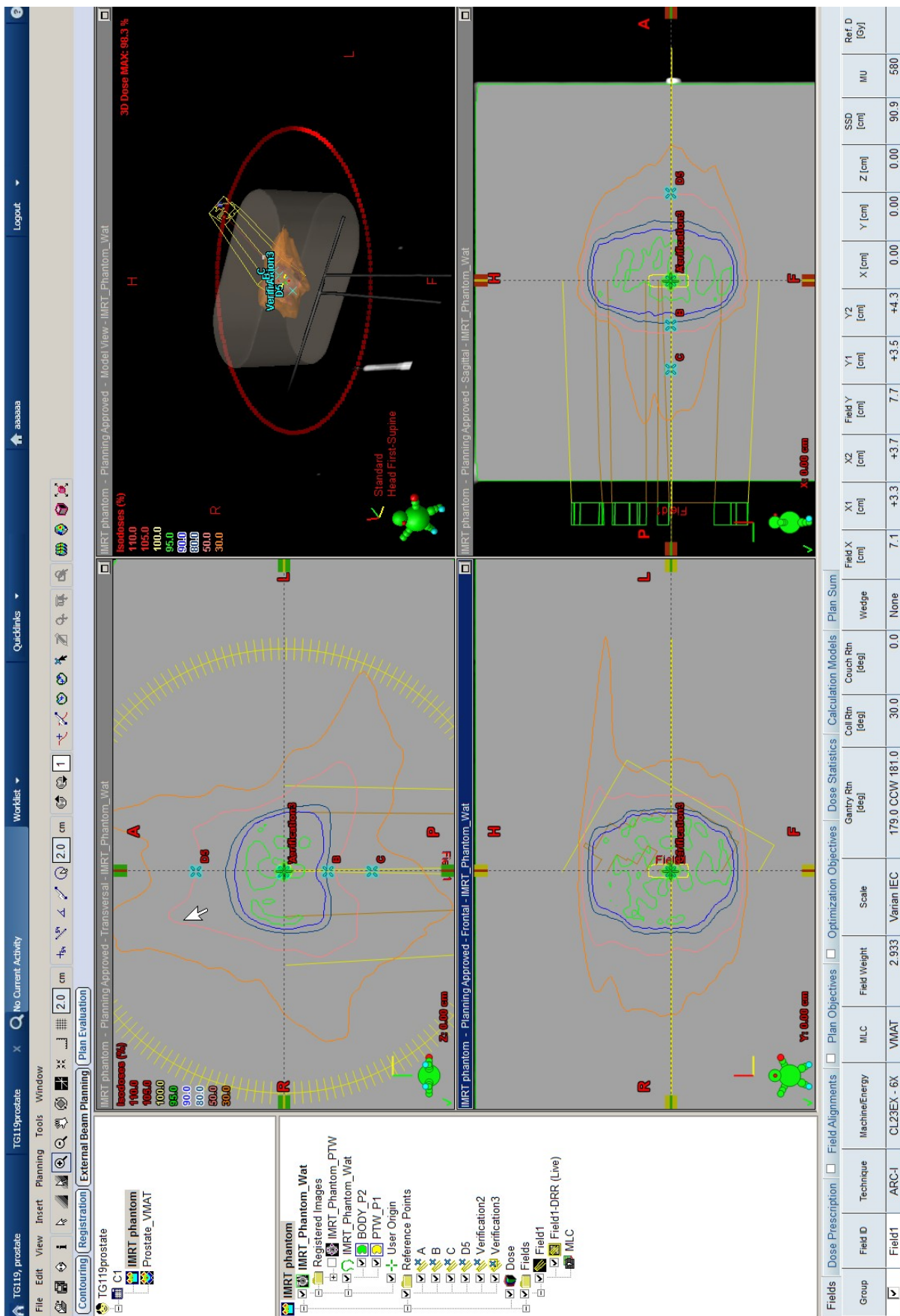


Fig.18 D病院の線量分布

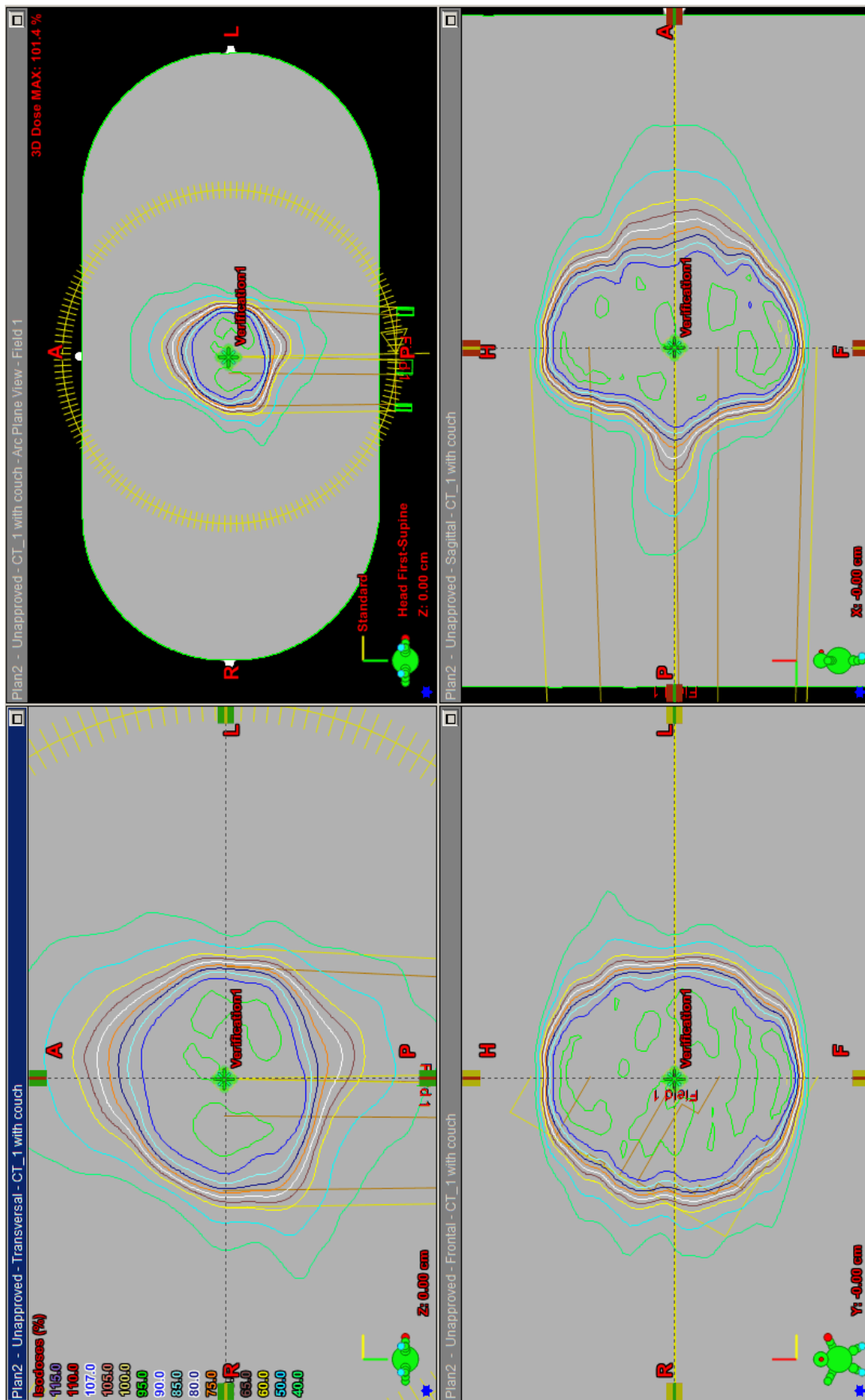


Fig.19 E病院の線量分布

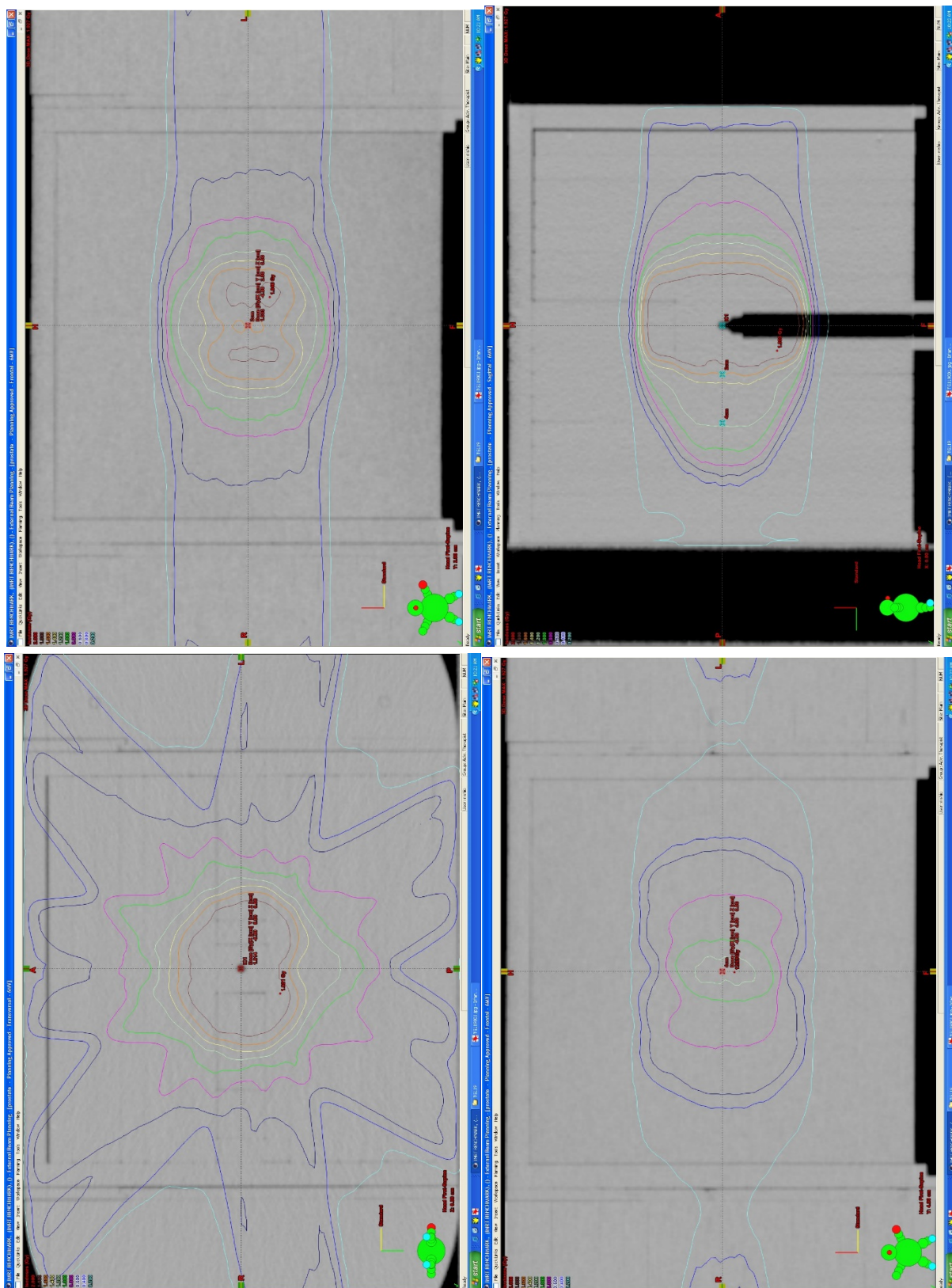


Fig.20 F病院の線量分布

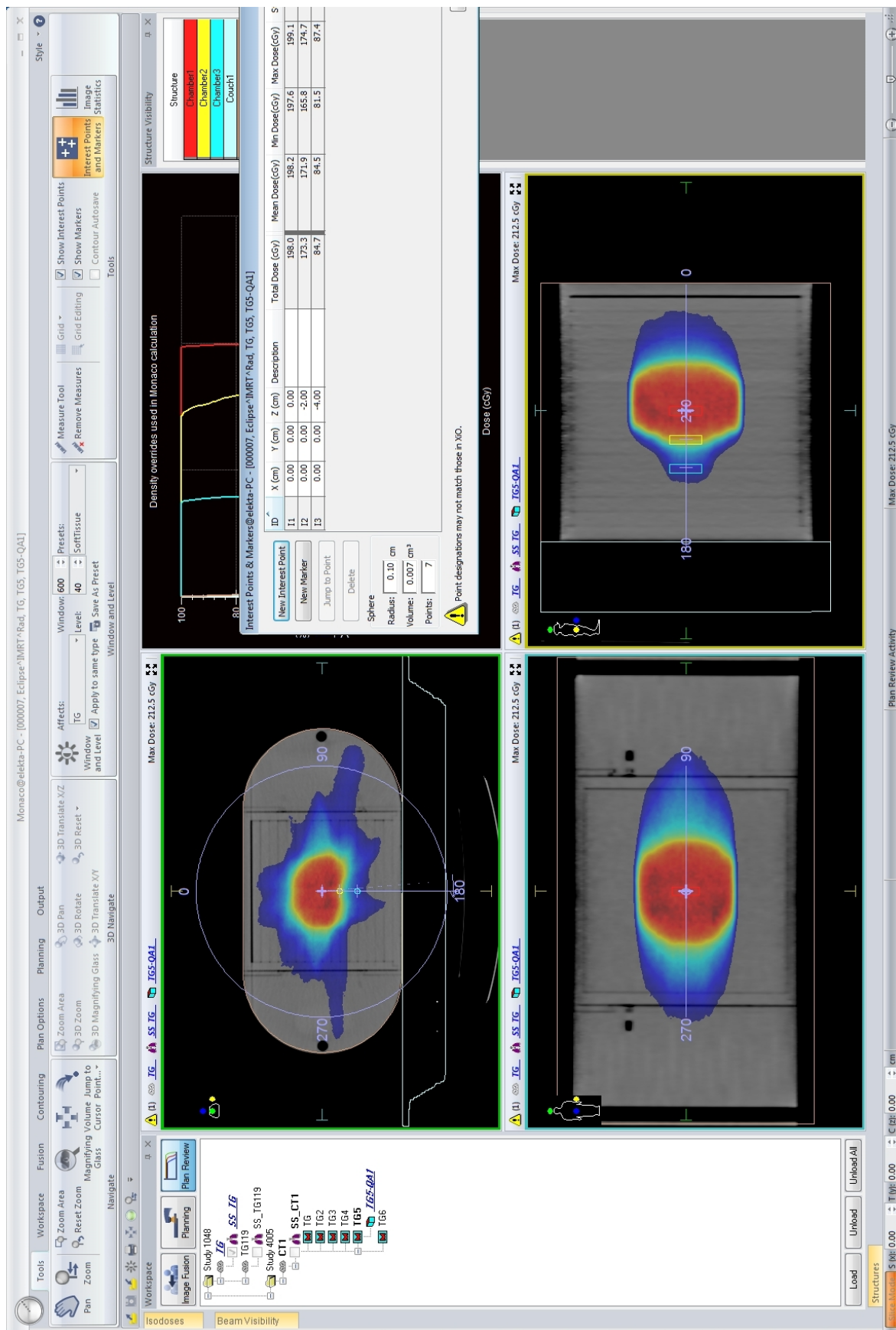


Fig.21 G 病院の線量分布

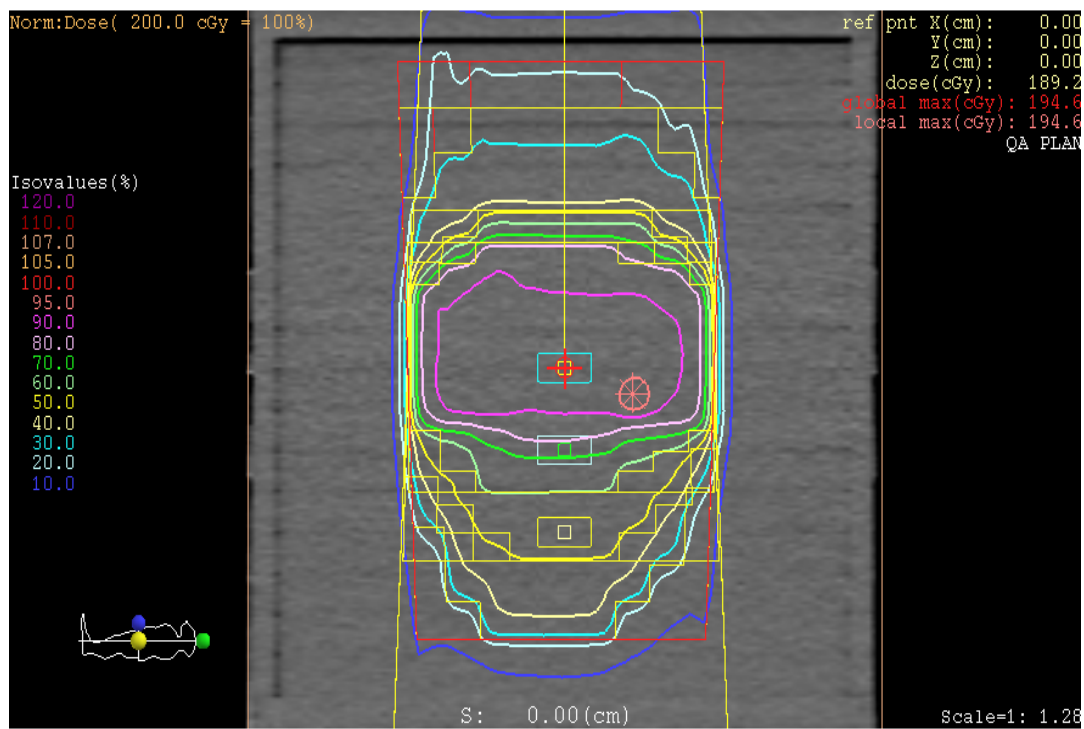


Fig.22 Step&Shoot 方式の線量分布の例(sag.)

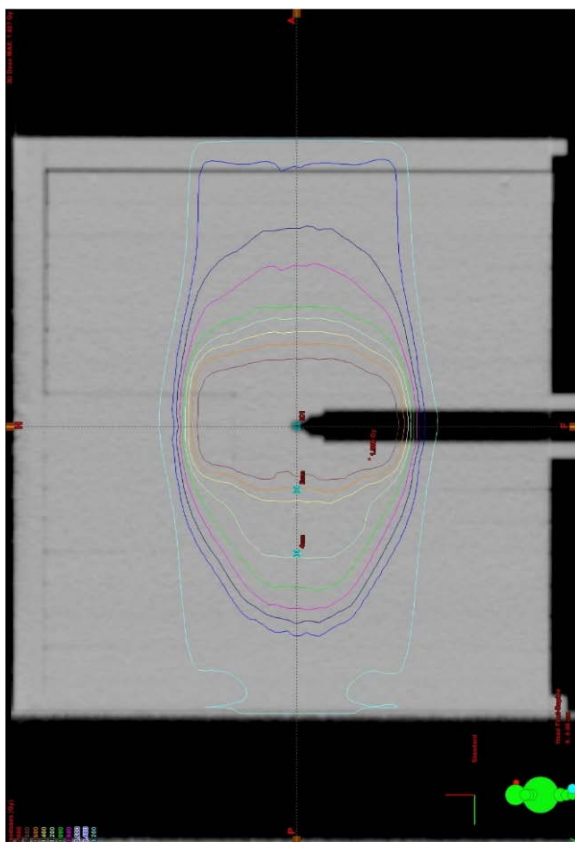


Fig.23 Sliding Window 方式の
線量分布の例(sag.)

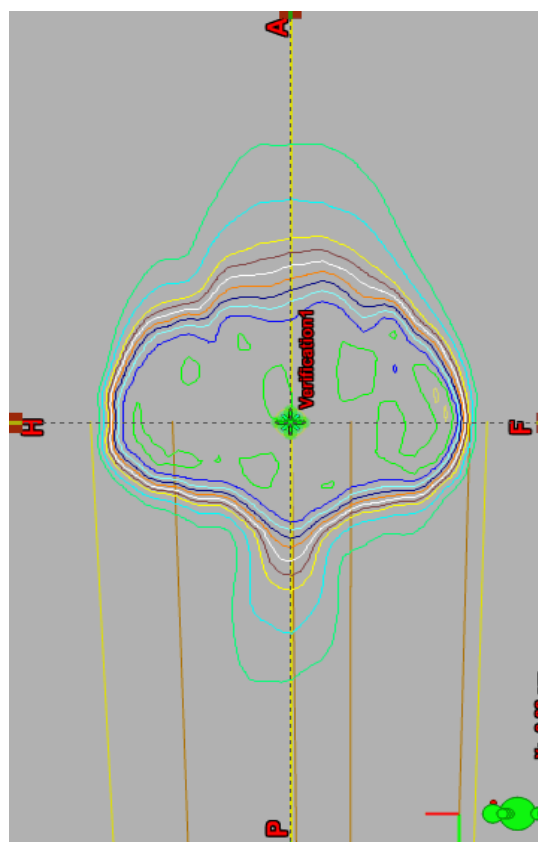


Fig.24 VMAT 方式の
線量分布の例(sag.)

7. 結論

郵送調査の結果、アイソセンターに設定した A 点においては、測定値はすべての点において拡張標準不確かさ(±10%)の範囲内であり、蛍光ガラス線量計は十分に前立腺 IMRT 郵送調査において有用である。ただし、VMAT 方式の IMRT ではガラス線量計素子の配置に十分な注意が必要であることが示唆された。

8. 謝辞

本卒業論文を作成するにあたり、多くのご指導、ご協力をいただきました大阪大学医学系研究科医用物理工学講座松本光弘准教授に深く感謝いたします。

また、実験にご協力いただいた

大阪大学医学部附属病院放射線部 井ノ上技師、太田技師

大阪大学大学院医学系研究科 水野祐一氏

郵送調査にご協力いただいた施設

大阪医科大学付属病院

大阪府立急性期総合医療センター

大阪府立成人病センター

大阪府立母子保健総合医療センター

関西労災病院

兵庫医科大病院

NTT 大阪病院

に深く感謝の意を示します。

9. 参考文献

- 1) 公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団 治療用出力線量測定事業
(http://www.antm.or.jp/03_activities/03.html)
- 2) 西村晴美, 蛍光ガラス線量計郵送調査によるリニアック X 線校正点吸収線量の精度調査, 平成 23 年度卒業論文
- 3) 平井翠, 蛍光ガラス線量計小型素子システム(Dose Ace)を用いた定位放射線治療の線量評価及び郵送調査の有用性の検討, 平成 24 年度卒業論文
- 4) 魚澤里奈, 蛍光ガラス線量計を用いた電子線線量計測の精度検証および郵送調査における有用性の検討に関する研究, 平成 25 年度卒業論文
- 5) 橋本慎平, 強度変調放射線治療におけるガラス線量計を用いた吸収線量測定法に関する研究—ガラス線量計を用いた第 3 者的線量評価システムの構築に向けて—
- 6) 株式会社千代田テクノル・旭硝子株式会社 AGC カンパニー, 蛍光ガラス線量計・小型素子システム Dose Ace Dose Ace Xe 説明資料, 平成 21 年 8 月
- 7) TG-119 IMRT Commissioning Tests Instructions for Planning, Measurement, and Analysis, p.9, 10/21/2009