

## 1. 入力データの種類と収集方法

岡山大学医学部付属病院 宇野 弘文

Commentator：保科正夫

### 1.はじめに

近年の IMRT や 3 次元定位放射線治療に代表される高度な放射線治療の登場は、治療計画装置(以下 RTPS)の存在を抜きには語れない状況に有るといえる。現在の RTPS の利用方法は、一昔前の線量分布や MU の計算の確認や参考に使っていた頃と違って、RTPS が算出した値を実際の治療に直接反映させているところにある。従ってこれを臨床使用するには、RTPS へ入力されたデータの検証が必須項目となる。もしこれを怠って使用すれば重大な事故を引き起こす危険性がある。それにはまず RTPS へ入力するデータを収集することから始めなければならない。この作業は実に多くの時間と膨大な労力を費やす。そしてこの収集データの良し悪しは、直接 RTPS の精度に関与するため特に重要な作業のひとつであるといえる。複雑な RTPS の構造を我々ユーザがよく理解し、ポイントを押さえた測定を行なうことが精度のよいデータ収集につながる。RTPS へ登録するビーム データは装置間で多少異なるが基本的には同じである。以下、当施設で使用している CMS 社製 FOCUS を対象にして入力データの種類と収集方法について述べる。

### 2.1 使用機器

使用機器は、高エネルギー発生装置 MEVATRON77 MEVATRON M-2、治療計画装置 FOCUS Ver3.2.1、線量分布測定装置 Dynascan System Ver1.25、ファントム Solid water RMI-457、線量計 PTW31005(0.125cc)、PTW30001(0.6cc)、フィルム X-Omat である。測定器材の概要を Fig.1 から 4 に示す。



Fig.1 3D 水ファントム CMS 社製 Model3112



Fig.2 校正用水ファントム



Fig.3 CT 電子密度用ファントム

5 cm 深ミニファントム



a : 4MV X 線用  
b : 6MV X 線用  
c : 10MV X 線用

Fig.4 ミニファントムとビルドアップキャップ

## 2.2 入力データの種類

入力データは大きく分けてスキャンデータと非スキャンデータに分類することができる。スキャンデータは、線量分布を作成するためのデータである。主に自動制御された 3D 水ファントムを用いて測定を行なう。測定データの種類としては深部量測定（以下 PDD）、軸外線量比（以下 OCR、OCD）がある。また非スキャンデータとは、MU 値を算出するためのデータである。校正用ファントム、ビルドアップキャップ、ミニファントムなどを用いて測定を行なう。測定データの種類としては、出力係数(OPF)、くさび係数、シャドウトレイ係数、ブロックの透過率、CT - 電子密度補正などがある (Fig.5)。

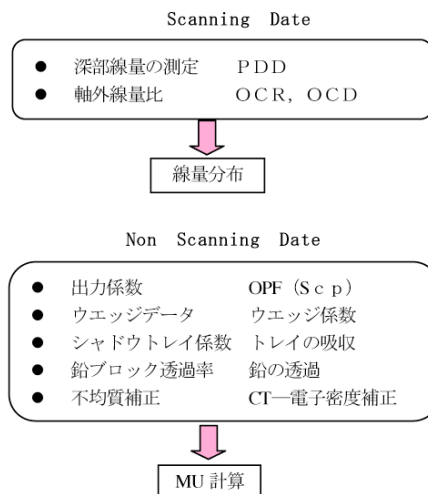


Fig.5

## 2.3 3D 水ファントム配置と測定上の注意点

通常スキャンデータの測定には、深部線量や軸外線量比の測定が連続して行なうことが可能でかつ遠隔で自動制御ができる 3D 水ファントムを用いる。

PDD の測定時は線量計の駆動軸とビーム中心軸が一致するように水面に対して垂直に入射するようにファントムを配置しなければならない。実際に線量計を動かしながらレーザーポインタや十字板などを利用して偏位を確認すること。また異なった深さの OCR を測定して半値幅の対称性を測定してその差から中心軸のずれを確認する方法なども利用する<sup>1)</sup>。

OCR、OCD の測定時は駆動する線量計の水平性が測定結果に影響を与えるため線量計と水面が水平になるようにファントムを配置する必要がある。レーザーポインタが水で屈折しないようにファントムの水位を少し下げて線量計を駆動させレーザーとの偏位で水平性を確認する。測定に用いる線量計は、使用法が確立しているイオンチェンバーを用いること。特に PDD の測定に半導体検出器を用いると電離箱のデータと比べて照射野が大きくなるほど、また深部になるにつれて 2~3%大きくなる傾向にあるため半導体検出器は使用しない方がよい<sup>1)</sup>。データ測定時の線量計の中心は、実効中心で測定すること。またリファレンス線量計（注記：加速器の出力変動による深部線量の変化をキャンセルするためのモニタ線量計である。ビーム中の線源側の位置に配置されることが多い。）がサンプリング線量計（注記：計測目的の深部線量を測定するための線量計）を遮らない位置に配置するなど線量計の配置にも注意

半導体検出器の光子ビームに対する特性  
光子ビーム中での半導体検出器のレスポンスは低エネルギー成分に対する過大応答が原因である。したがって、低エネルギー成分の比率の高い散乱線の多少によって過大応答の傾向が異なる。照射野サイズが大きくなるほど測定点に到達する散乱線割合は多くなる。5×5 cm<sup>2</sup> 以上の照射野サイズで過大応答に注意を払う必要がある。

する。これらの測定には長時間を要するため、水の蒸発による SSD の変化にも注意を払わなければならない。

RTPS が要求するビームデータは、その大半が相対量である。したがって、測定深と電離箱との関係は「測定実効深 (半径変位法)」となる。

### 3.1 PDD の測定

測定を行なう幾何学的配置としては、SSD100cm で 3、4、5、6、8、10、12、15、20、25、30、40cm のオープン正方形の照射野で最大深度 40cm (後述する OCR で測定した最大深度よりも深く) まで、0.125cc のイオンチェンバーを用いて測定

する。今回の 3D ファントムでの測定には全てこのチェンバーを用いている。測定間隔としては、ビルドアップ領域付近は、1mm 間隔で、その他は 2mm 間隔

深さ分解能の良い平行平板形電離箱をビルドアップ領域で用いる場合には、極性効果の影響にも十分注意する必要がある。

が推奨されている。また測定データに水面のゆれを防ぐため深部から浅部 へ向けて測定データにノイズをのせないように測定すること。ビルドアップ領域の測定は、平行平板型線量計での測定を追加してデータを重ね合わせることも行われている<sup>9)</sup>。また測定されたデータを補間やスムージング処理を行なうこ

安定したデータを取得するためには、加速器の出力の安定が要求されるのは言うまでもない。その他、一つの測定点での収集パルス数も安定データを得るためには重要な要素である。適当なパルス数にすることで加速器出力の不安定さはある程度排除することができる。

とでよりなめらかなデータとなりうる。しかしこの実測データに問題がある場合これらの処理を行っても完全にノイズを消去することはできない。この測定された PDD のデータをもとに RTPS 内で TMR が自動的に計算されることになる。言い換えれば PDD のデータに問題があれば MU 計算に用いる TMR にも影響を及ぼすことになるためデータ収集時の注意が強調される。

### 3.2 OCR、OCD の測定

OCR 測定も幾何学的配置は PDD と同様に、SSD100cm で 5、10、15、20、25、30cm、最大照射野の正方形照射野で、測定深は照射野において  $d_{\max}$ 、5、7、10、15、20、25、30cm で行なう。測定間隔は、検出器の大きさが測定値に影響を及ぼすので出来るだけ細かく測定すること、特に照射野端で影響が大きくなることを注意しなければならない。10×10 cm<sup>2</sup> までは 1mm 間隔それ以上の照射野では 2mm 間隔での測定が推奨されている。また同一照射野の測定において OCR が一番大きくなる深さまで一度に測定できるようにスキャン範囲を設定する。照射野外測定は必ず 4cm 以上の範囲を測定すること。

#### 軸外線量比の測定

照射野サイズが大きくなると照射野外の領域において横方向のファントムを十分に確保することが難しい場合も生じる。

OCD の測定は、クラークソン法でのフラットニングフィルターの補正を行なうためのデータであり、

OCD は軸外線量比 OCR の測定において絞りの影響を可能な限り排除した primary off-center ratio を得るために、最大照射野の対角線に沿った OCR とされる。

照射野の対角線方向のプロファイルを測定したものである。OCR と同様 SSD100cm にて、最大照射野を各深さにおいて測定する。照射野が広がるため照射野の半分を測定してそれをミラーリングしてプロファイルを作成することもある。照射野外の平坦領域の測定は、OCR の測定と同様に 4cm 以上測定をすること。この範囲の測定が十分でなければ照射野外の線量分布を高く見積もることになるため測定範囲の設定には注意が必要である。

### 3.3 測定データの検証

3D 水ファントムで測定されたデータが正しい測定値であるかの検証は他の線量計やメディアを使用しての検証が必要となる。ここでは簡単な測定データの確認法として、PDD データを 0.6cc の指頭型電離箱で測定した PDD との比較することで行った (Fig.6)。測定結果は良く一致していて測定データの信頼性が確認できた。また通常の PDD 表示を、照射野をパラメータとして照射野を横軸にとって測定値の比較を行った。これは小照射野での測定限界の評価や深さごとの特異なデータを見つけるのに有用の方法である (Fig.7)。

今回は TMR における PDD を比較する方法を示しているが、校正深にて正規化された TPR での比較も測定精度の影響を受けにくい評価方法である。また OCR データの検証としては、フィルムを使用して測定したものとプロファイルと比較して行なった。線量計で測定したデータとプロファイルは良く一致している (Fig.8)。

このように RTPS ヘデータを登録する以前に測定したビームデータをよく評価しておくことが大切である。

### 4.1 出力係数 TSCP ( $S_{cp}$ )

出力係数の測定は SAD100cm にて水ファントム又は固体ファントムを使用して各照射野での校正深 (10cm) の線量を計算でピーク深線量に変換し照射野

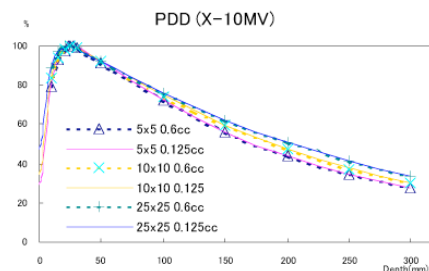


Fig.6 0.125cm<sup>3</sup> と 0.6cm<sup>3</sup> 電離箱の PDD の比較.

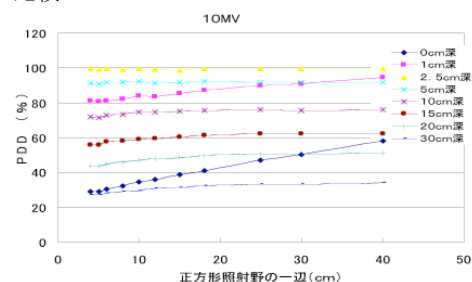


Fig.7 同一深部における照射野サイズに対する PDD の変化.

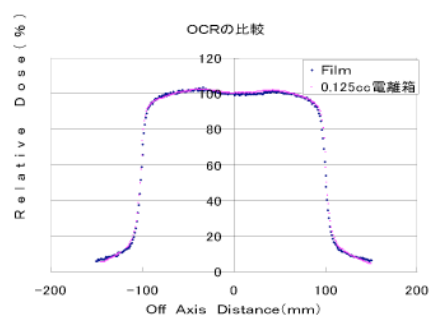


Fig.8 フィルムと 0.125cm<sup>3</sup> 電離箱による OCR の比較.

半影領域のプロファイルの傾きは電離箱の直径に依存する。直径が大きくなるほど傾きは緩やかなものとなる。電離箱を用いる場合には小型が推奨される。

10×10cm<sup>2</sup>の値で正規化して求める。

1 辺の長さが、4、5、6、8、10、12、15、20、25、30、40cm の正方形で測定する。ピーク深での線量変換にはあらかじめ TMR の測定が必要となる。

下の図で 5×5 cm<sup>2</sup> の  $S_{cp}$  を求める場合 5×5cm の測定値を基準の 10×10 cm<sup>2</sup> 測定値で割ったものが照射野 5×5 cm<sup>2</sup> の  $S_{cp}$  となる (Fig.9)。

#### 4.2 コリメータ散乱係数( $S_c$ )

コリメータ散乱係数の測定は、電離箱に十分なビルドアップを確保できるビルドアップキャップ又はミニファントムを使用して SAD100cm として空中で測定する。出力係数と同様の照射野を測定し照射野 10×10 cm<sup>2</sup> の値で正規化して求める。コリメータからの 2 次電子の影響を避けるためミニファントムでの測定が推奨される<sup>1,4,8)</sup>。下の図で 5×5 cm<sup>2</sup> の  $S_c$  を求める場合 5×5cm の測定値を基準の 10×10 cm<sup>2</sup> 測定値で割ったものが照射野 5×5 cm<sup>2</sup> の  $S_c$  となる (Fig.10)。

#### 4.3 ファントム散乱係数( $S_p$ )

ファントム散乱係数は、ファントム内の照射される容積によって発生する散乱線の寄与率である。しかしこの値を直接測定することができないため以下の式から算出する<sup>1,4,5)</sup>。

$$S_p(r) = \frac{S_{cp}(r)}{S_c(c)}$$

Fig.11 に実測した出力係数を示す。

またファントム散乱係数をビルドアップキャップとミニファントム 10cm 深で測定した値もに示す (Fig.12)。

照射野サイズが 30×30 cm<sup>2</sup> 以上になるとビルドアップキャップで測定したものの方が多少大きな値となったがビルドアップキャップとミニファントムによるファントム散乱係数の違いは 4MV の X 線では最大で 1% 程度であった。

以上のように測定されたファントム散乱係数から照射野サイズ零の値を外挿で求める必要がある。この零照射野の  $S_p$  の値が前項で測定した PDD から TMR への変換を行なう次式に必要となり MU 値の計算に使用される<sup>4)</sup>。

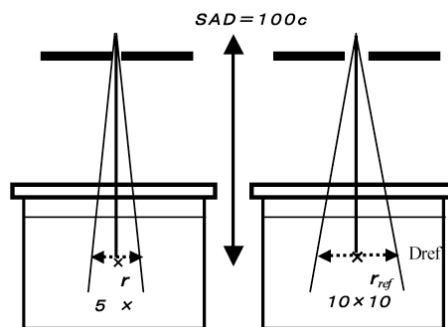


Fig.9

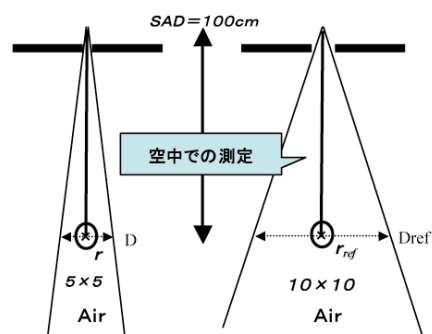


Fig.10

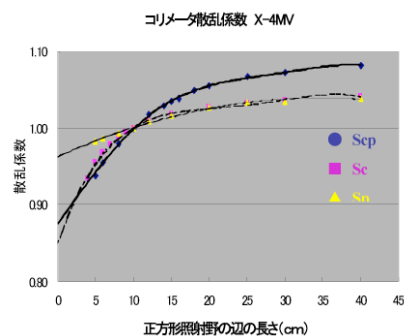


Fig.11

$$TMR(d, W_d) = \frac{PDD(d, W_m)}{100} \frac{PSF(W_m)}{PSF(W_d)} \left( \frac{F + d}{F + d_m} \right)^2$$

$$= \frac{PDD(d, W_m)}{100} \frac{S_p(W_m)}{S_p(W_d)} \left( \frac{F + d}{F + d_m} \right)^2$$

また OPF を RTPS へ入力する際は、OPF の入力値が基準深(TMR)での値か、校正深(TPR)での値を入力するのかをはっきり区別しておかなければならない。これを誤って入力してしまうと重大な事故につながるため注意を要する。

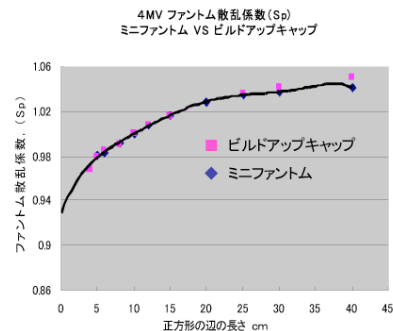


Fig.12

## 5.1 くさびフィルタのビームデータ

くさびフィルタのビームデータとしては、PDD、OCR もオープン照射野の測定と同様に 3D 水ファントムにて測定を行なう。くさびフィルタによるビームハードニングの影響を考慮するためオープン照射野の PDD を使用せずそれぞれ測定すること<sup>1,5)</sup>。

くさびフィルタによる線質の変化には、硬質化 (hardening) だけでなく軟質化 (softening) もある。軟質化は電子対生成による消滅放射線の発生によるものである。

ビーム中に物質が挿入された場合には、そこでの相互作用によって発生する二次電子についても深部特性の変化の因子として考慮しなければならない。

FOCUS では PDD の測定は、照射野サイズが 5×5、10×10、20×20 cm<sup>2</sup>、最大照射野を 2mm 以下の測定間隔で深度 30cm まで、また OCR は、照射野サイズ 10×10、20×20 cm<sup>2</sup>、最大照射野を 2mm 以下の測定間隔で D<sub>max</sub>、5、10、20 cm の深度において測定することを推奨している<sup>6,7,8)</sup>。

## 5.2 くさび係数(Wedge Factor)

くさび係数は、くさびフィルタを使用して得られた値をくさびフィルタを使用しないで得られた値で除した値である。測定は水ファントムを用いて校正深 10cm に行なう。照射野サイズは 1 辺の長さが、4、6、8、10、12、15cm および使用可能最

この報告では FOCUS 用データとして説明している。よって、くさび係数の測定深を 10 cm としている。臨床でくさび係数を用いた MU 値計算を行う場合には、他の深さでもくさび係数を求める必要がある。くさび係数は深さと照射野サイズによって変化する関数である。

大照射野の正方形で測定する。このとき線量計とくさびフィルタの位置関係は、くさび角度と線量計の長軸が直交する様に配置することに注意する。またくさび係数の入力がひとつの場合は双方の測定値の平均を入力する。いずれにせよ全挿入方向での測定が必要である。測定結果から照射野サイズが大きくなるとくさび係数に差を生じるため複数の照射野サイズのデータを RTPS に登録することでより計算精度は向上することになる (Table 1)。

Table 1. 照射野を変化させたときのくさび係数 (MEVATRON 77、10MV X 線) の深さ 10 cm における変化

照射野サイズ cm <sup>2</sup>	くさび角度 (度)			
	15	30	45	60
4×4	0.734	0.587	0.383	0.413
6×6	0.736	0.586	0.383	0.412
8×8	0.736	0.586	0.383	0.413
10×10	0.736	0.587	0.384	0.415
12×12	0.737	0.588	0.386	0.416
15×15	0.737	0.591	0.390	0.420
最大照射野	0.750	0.608	0.411	0.435

またこの他の RTPS へ入力するくさびデータの種類としては、くさび係数から計算される線減弱係数、くさびフィルタの幾何学的配置や材質、組成、くさびフィルタの形状などが必要となる。

くさび係数はその形状と材質によって大きく変化する。また、くさびフィルタの挿入位置によっても変化する。くさび角度でくさび係数を想定するようなことはしてはならない。

### 5.3 トレイ係数(Toray Factor)

ブロックを使用して不整形照射野を作成する場合は、この係数を測定しておく必要がある。測定は照射野 10×10 cm<sup>2</sup> で校正深 10cm にてトレイを使用した指示値を使用しないときの指示値で除して表す。シャドウトレイの種類が異なる場合には注意が必要である。また同じ規格のものでも個々の測定を行い確認すること。

### 5.4 ブロックの透過率(Block Transmission)

鉛ブロックの透過率はブロック入れた状態において、何も入れない状態に対して何%の線量が透過しているかを示す係数である。ブロックを使用

FOCUS での遮蔽体の透過率はナロービームの線減弱係数に近い処理である。よって、通常の照射野サイズや中央遮蔽の場合には、遮蔽体によって覆われる領域内の線量評価で実際と異なる値となる場合がある。

したときの指示値を使用しないときの指示値で除して表す。測定は照射野 5×5 cm<sup>2</sup> で校正深 10 cm にて中心軸上で水ファントムまたは水等価ファントムを使用してエネルギー毎に行なう。このとき使用するブロックは最大のものを使用し完全に照射野が遮蔽された状態で行なうこと。

また、低融点鉛合金は、合金の組成の違いより透過率が大きく異なるため個別の測定が必要となる。

### 5.5 コリメータの透過率(Collimator Transmission)

コリメータの透過率は、クラークソン法における軸外線量比における半影の部分の計算に用いられる。FOCUS では測定した OCR 曲線に合わせ込むように“Tran”の値を調整する。測定方法は、まず照射野 10×10 cm<sup>2</sup> にてビーム中心軸上で測定を行い、次に左右のコリメータを閉じてビーム中心軸上から 5cm 以上離れた位置でミニファントムまたはビルドアップキャップを付けて測定する<sup>8)</sup>。

### 5.6 マルチリーフコリメータの透過率(MLC - transmission)



MLC を搭載する治療装置ではこの透過率を入力データとして入力する必要がある。測定には線量計やフィルムが用いられるのが一般的である。しかし、実際には MLC の透過率の測定法は、現在標準化されていない（各施設独自の方法やメーカー推奨の測定法での測定）。FOCUS 推奨の MLC 透過率の測定を示す。

コリメータサイズを  $25 \times 25 \text{ cm}^2$  に MLC を  $4 \times 26 \text{ cm}^2$  の照射野を作成して中心軸上と中心軸上から 5cm 離れた MLC リーフ下で測定する。ビルドアップキャップやミニファントムを付けて測定する<sup>8)</sup>。

ここに示された種々の係数の測定法は、あくまで FOCUS のルールに従ったものである。その意味で、必ずしも一般的ではない。

## 6.1 CT-電子密度補正

CT 画像を利用した線量分布計算では、CT 値と電子密度の関係を求めなければならない。実際は、電子密度が既知であるサンプルを埋められたファントムを X 線 CT にて撮影してそのサンプル (Fig.13) の電子密度と CT 値の関係を示す CT 値—電子密度変換表を作成する (Fig.14)。この変換表は使用する CT 装置ごと、また使用する管電圧ごとに測定しておく必要がある。高エネルギー X 線、電子線では電子密度を  $\pm 3\%$  (CT 値  $\pm 30$ ) 以内であれば線量分布の計算において問題ないとされている<sup>1)</sup>。CT 装置の保守管理とともに CT 装置の X 線管の交換後には CT 値の変動の確認を行なうことも必要である。

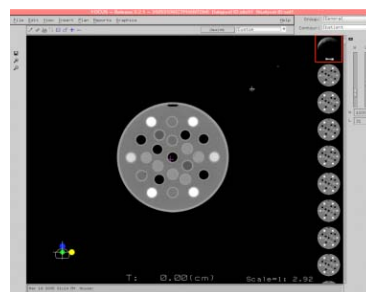


Fig.13 CT 値-電子密度変換用ファントムの CT 画像.

## 7. まとめ

RTPS へ入力する代表的なビームデータの種類と収集方法について述べてきた。我々が RTPS の算出した値を実際の治療に用いる場合、ビームデータが正しく収集されていなければ確かな治療は行なえず、誤照射事故を招く要因のひとつになり兼ねない。正

しいビームデータの収集を行なうには、RTPS の構造をよく理解し、前で述べたようなポイントを抑えながら測定することである。

そして収集したデータを他の線量計や他のメディアを用いた測定で比較を行いその信憑性を検証しておくこと。またその際には、測定と同時にデータをグラフ化して視覚的にデータを評価しながら行なうべきである。そうすることにより“RTPS への入力データの収集”という膨大な作業を合理的かつ正確に行なえるであろう。

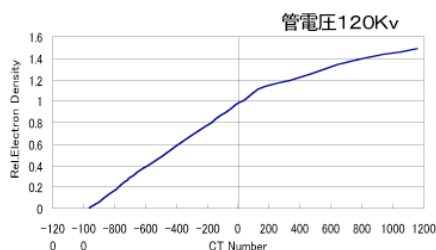


Fig.14 CT 値-電子密度変換表.



最後にこの RTPS へ入力したデータは、我々が保守管理を行なう際、すぐ取り出せるように日頃から管理しておくことも大切である。

#### 参考文献

- 1) 日本放射線技術学会 放射線治療における誤照射事故防止指針
- 2) 日本医学物理学会編 外部放射線治療における吸収線量の標準測定法(標準測定法 01)
- 3) 放射線治療計画のための品質保証米国医学物理学会放射線治療委員会タスクグループ 53 報告  
日本語訳 池田恢ら
- 4) 日本放射線技術学会治療分科会 外部放射線治療における保守管理マニュアル
- 5) 放射線治療計画装置をうまく使いこなす 放射線治療分科会誌 Vol.14 No2 9-59 奥村ら
- 6) FOCUS Reference Guide for Release 1.4.0 CMS
- 7) FOCUS Reference Guide for Release 2.1.0 Vol.1 CMS
- 8) FOCUS/ Xio ビームデータ測定の手引き CMS Japan