

モデリング用データ取得に要する時間・線量

1. はじめに

モデリング用データを取得するにあたり、どれほどの時間を要するのかを前もって見積もっておく必要があります。このドキュメントでは、X線と電子線の測定時間を概算する考え方の紹介と、実例をまとめました。概算すると、X線エネルギー3種類、電子線5種類のエレクトラ治療機の場合には、データ取得に約100時間必要となり、そのための準備などを含めると、実働日数は14日～16日間となります。

2. スキャンデータ測定の正味時間（検出器の稼働時間）の概算の概念

一般的に、測定時間はどの程度かかるものかを紹介する為に、American Association of Physicists in Medicine (AAPM)のタスクグループ106¹の報告を引用します。エネルギー2本のX線ビームの測定を想定します。ひとつの照射野につきPDD(深部線量分布)を1本、プロファイルの深さを違えて5本測定するとします。測定する照射野は15通りとし、また、オープン照射野の他に4個のウェッジ照射野を測定するとします。この時の検出器の稼働時間を見積もると、以下の式からおよそ30時間になります²。

$$\begin{aligned} \text{測定時間} &\approx \left[\frac{1(\text{PDD}) + 5(\text{プロファイル})}{\text{エネルギー1本}} \right] \times [1(\text{オープン}) + 4(\text{ウェッジ})] \\ &\times \left(\frac{60 \text{ ポイント}}{1 \text{ 回のスキャン}} \right) \times \left[\frac{1 \text{ 秒}}{1 \text{ ポイント}} + \frac{1 \text{ 秒}}{\text{検出器の移動}} \right] \\ &\times 15(\text{照射野}) \times 2(\text{エネルギー}) \\ &= 108000 \text{ 秒} = 30 \text{ 時間} \end{aligned}$$

以下、Monacoのモデリング用データ取得を実例として上げ、測定に必要な時間について説明します。

¹Indra J. Das, et.al., Accelerator beam data commissioning equipment and procedures: Report of the TG-106 of the Therapy Physics Committee of the AAPM この報告はリニアックをいろいろな測定系を用いて誤差1%以内で測定する為の詳細がまとめられています。

²但しここでは、PDDまたはOCRを1回スキャンする際、60ポイントのデータを取り、各ポイントで1秒間線量測定し、次のポイントに1秒かけて移動する、という測定サイクルを想定しています。この部分は照射野サイズに依存して変わったり、あるいは連動移動モードで測定したりする場合があります。

3. 具体例 - 測定前準備など

測定全般に必要なとする時間を見積もるにあたり、測定前後もしくは測定の間に行う作業時間を見積もる必要があります。

前準備として、ファントムのセットアップ（架台、検出器のアライメント調整等）に2～3時間、検出器が所定の放射線場中心にセットされているかの確認のための測定に1時間程度かかります。そして、水ファントムの水温を安定させる為に数時間～半日を要します。その他にも使用する検出器の検討、前日とセットアップの変わりがないかの確認などを行う必要があります。

4. 具体例 - X線 Conventional

3D Conventional 用 X線ビームを測定する場合、ビームオン時間（検出器の稼働時間）がどの程度になるかを見積もってみます。Monaco ビームデータ登録項目の手引【タイプ A】を元に、ビームオン時間算出に必要な情報をまとめ直すと、次の表のようになります。

X線スキャンデータ

タイプ	プロファイル	照射野サイズ	照射野の数	スキャン方向				A×B
				深さの数				
				Axial	Cross	In	Dia.	
			A	B				A×B
Open	PDD	2×2, … 40×40	10	1				10
	OCR	2×2, … 40×40	8		4	4		64
	OCD	40×40	1				4	4
Wedged	PDD	5×5, … Max×Max	5	1				5
	OCR	5×5, … Max×Max	5		4	4		40
	Star Scan	Max×Max	1				18	18
	OCD	Max×Max	1				2	2
							Total	143

この表で、照射野の数(A)と、各方向の深さの数(B)を掛け合わせると最右列の数値になり、これらの総和が最右下の値になります。これに対して、エネルギーを3種類、1本のスキャンにかかる時間を平均120秒（弊社測定時の平均時間）とすると、ビームオン時間の合計は、

$$\text{X線スキャン ビームオン時間} = 120 \times 143 \times 3 (\text{エネルギー}) = 51480 \text{ 秒} = 14.3 \text{ 時間}$$

となります。また、この場合の照射 MU は、線量率を 500MU/分とすると 429000 MU に

なります。

X線ノンスキャンデータ

タイプ		照射野サイズ	照射野の数
水中	TSCF(Open)	2×2, … 40×40	10
	TSCF (Wedged)	5×5, … Max×Max	5
	Calibration Dose Rate (Open)	10×10	1
	Absolute Dose (Open)	10×10	1
	Absolute Dose (Wedged)	10×10	1
空中	Head Scatter Factor (Open)	3×Max, … Max×30	19
	Head Scatter Factor (Wedged)	5×5, … Max×Max	5
Total			42

エネルギーを 3 種類、各照射野サイズの平均測定回数を 5 回、1 回線量を 100MU とすると、合計の照射 MU は、

$$\text{X線ノンスキャン 照射 MU} = 100 \times 5 \times 42 \times 3 (\text{エネルギー}) = 63000 \text{MU}$$

となります。また、この場合のビームオン時間は、線量率を 500MU/分とすると、2.1 時間となります。

* FFF のデータを取得される場合は、上記の X 線 Open 照射野の項目を取得してください。

5. 具体例 - 電子線

電子線の場合も同様にしてビームオン時間を見積もってみます。エネルギー1種類あたりの測定項目です。Monaco ビームデータ登録項目の手引【タイプ E】を元に、アプリケーションを4個として、ビームオン時間算出に必要な情報をまとめ直すと、次の表のようになります。

電子線スキャンデータ

プロファイル	照射野サイズ	照射野の数	スキャン方向			A×B
			深さの数			
			Axial	Cross	In	
		A	B			
PDD (水中)	コーン 4 個、40×40	5	1			5
OCR (水中)	コーン 4 個	4		2	2	16
OCR (空中)	8×8, … Max×Max	4		2	2	16
Total						37

これに対して、エネルギーを5種類、1本のスキャンにかかる時間を120秒とすると、
 電子線スキャン ビームオン時間 = $120 \times 37 \times 5$ (エネルギー) = 22200 秒 ≈ 6.2 時間
 となります。この場合の MU 値は、線量率を 300MU/分とすると 111000MU になります。

電子線ノンスキャンデータ

タイプ		照射野サイズ	照射野の数
水中	Absolute Dose	コーン 4 個	4
空中	Output Factor	8×8, … Max×Max	8
Total			12

エネルギーを5種類、各タイプで平均測定回数を5回、1回線量を100MUとすると、合計の照射 MU は、

$$\text{照射 MU} = 100 \times 5 \times 12 \times 5 \text{ (エネルギー)} = 30000 \text{ MU}$$

となります。また、この場合のビームオン時間は、線量率を 300MU/分とすると、1.7 時間となります。

6. 具体例 - IMRT/VMAT

IMRT/VMAT オプションの場合も同様にしてビームオン時間を見積もってみます。エネルギー1種類あたりの測定項目です。Monaco ビームデータ登録項目の手引【タイプ F】を元に、ビームオン時間算出に必要な情報をまとめ直すと、次の表のようになります。

IMRT/VMAT ノンスキャンデータ（配列検出器）

測定項目	検出器	照射 MU
3ABUT	EPID	150
3ABUT	配列検出器+固体ファントム	150
10×10		100
20×20		100
DMLC		360
7SegA		700
HDMLC		200
HIMRT		200
FOURL		400
10×10		Farmer Chamber + Water Phantom
DMLC	360	
Total		2820

エネルギーを3種類とすると、合計の照射 MU は、

$$\text{IMRT/VMAT 照射 MU} = 2820 \times 3(\text{エネルギー}) = 8460\text{MU}$$

となります。また、この場合のビームオン時間は、線量率を 500MU/分とすると、0.3 時間となります。

7. 具体例 - その他

以上 3 つのセクションではビームオン時間の見積もりとなりますが、この他にもビームオフ時の作業時間も見積もりが必要となります。

- ✓ データの確認・保存
- ✓ 検出器の位置の変更・確認
- ✓ バックグラウンド測定
- ✓ 再現性のチェック—参照データの測定（例：10×10 照射野の PDD 等）
- ✓ 照射条件の選択・設定
- ✓ コーンの装着・取り外し

8. 具体例 - まとめ

X線エネルギー3種類、電子線5種類のデータ測定にかかる時間と線量をまとめます。

測定時間のまとめ

項目	概算時間(時間)	概算 MU 値(MU)
前準備	20.0～	600000～
X線測定 (ビームオン)	14.3+2.1	429000+63000
X線測定 (ビームオフ)	9.0	
電子線測定 (ビームオン)	6.2+1.7	111000+30000
電子線測定 (ビームオフ)	10.0	
IMRT/VMAT(ビームオン)	0.3	8460
IMRT/VMAT(ビームオフ)	5.0	
その他	30.0～	
合計	98.6～	1241460～

* 上記の数値は、弊社で測定を行う場合の最小値を記載しています。

この具体例は、一般的なX線・電子線の Monaco モデリングを想定しています。ご施設でのモデリング依頼内容によっては更に追加測定が加わります。また、データ取得のために下記項目を実施頂く必要があります。

- ✓ モニタ校正
- ✓ 校正用水ファントムの準備
- ✓ 配列検出器のキャリブレーション・準備

機器の取り扱い説明や、不具合、確認作業などを行うと、上記日程に加えて2日～4日が必要となります。

測定は単純に、頑張って取得すれば短くなるものではありません。正しく必要な時間を見積もり、治療開始に向けて工程を組む必要があります。以上の見積もりを参考にして頂ければと思います。