

Monaco

MLC パラメータ調整方法

～MLC Geometry の変更～



目次

はじめに.....	5
MLC パラメータ調整とは.....	5
MLC パラメータ調整を行うために必要なもの.....	6
MLC Geometry のパラメータ説明.....	6
MLC パラメータ調整で使用するビームについて.....	8
Chapter 1. MLC パラメータ調整用の測定.....	12
使用するビームについて.....	12
電離箱線量計を用いた測定.....	13
配列検出器を用いた測定.....	14
その他の配列検出器のセットアップの注意点.....	16
測定データの提出.....	16
Chapter 2. MLC パラメータ調整の前準備.....	17
Step 1. プランテンプレートの登録.....	17
Step 2. パラメータ記録シートの準備.....	18
Step 3. 仮想ファントムの準備.....	18
Step 4. Interest Point の準備.....	20
Step 5. ベースプランの作成.....	20
Chapter 3. 単純照射野における絶対線量の確認.....	22
Step 1. プランテンプレートの読み込み.....	22
Step 2. プランの編集.....	23
Step 3. 計算パラメータの設定.....	24
Step 4. 線量計算.....	24
Step 5. 10x10 の絶対線量を確認.....	25
Step 6. DMLC の絶対線量を確認.....	25
Chapter 4. MLC パラメータ調整の手順.....	26

Step 1. プランテンプレートの読み込み	26
Step 2. ファントム密度の決定(ArcCHECK/Delta4 のみ)	26
Step 3. Leaf Transmission の決定	26
Step 4. MLC Geometry 内パラメータの変更	30
Step 5. Leaf Offset の決定 (絶対線量)	31
Step 6. パラメータ変更結果の最終確認 (線量分布)	33
Step 7. Leaf Offset の確認 (線量分布) ~他ビームを用いて~	33
補足資料. 3ABUT で全体的な Leaf Position の確認	36
補足資料. Leaf Offset を決定する際の注意点	38
補足資料. Leaf Groove Width を変更しない理由	41
補足資料. 臨床プランを使用した MLC パラメータ検討手順	42
補足資料. 弊社におけるパラメータ決定方法の検討	49
Step 1. Leaf Transmission の決定	49
Step 2. Leaf Offset の決定	51
Step 3. TypeF γ パス率の変化	55
まとめ : AGL モデルの MLC パラメータ決定方法	61

《改定履歴》

2015年11月11日 第一版
2015年12月02日 第二版
2016年06月13日 第三版
2018年08月28日 第四版
2018年09月03日 第五版
2020年02月01日 第六版
2020年08月01日 第七版
2021年03月30日 第八版
2021年05月28日 第九版
2023年10月16日 第十版

《主な改定内容》

第二版 → 第三版

- ・ Chapter 2 Step 4. Clinic の選択を削除しました。
- ・ 補足資料『Leaf Offset を決定する際の注意点』と『Leaf Groove Width を変更しない理由』を追加しました。

第三版 → 第四版

- ・ はじめにのパラメータ説明に追記しました。
- ・ Chapter 1 使用するビームについての Siemens のビームリストをアップデートしました。
- ・ Chapter 2 Step 3. 仮想ファントムの準備へ追記しました。
- ・ Chapter 2 Step 4. 計算のためビームモデルの準備を削除しました。

第四版 → 第五版

- ・ 誤字脱字を修正しました。
- ・ Chapter 2 Step 1. ブランテンプレートの登録へ追記しました。

第五版 → 第六版

- ・ サポートセンターの電話番号を改訂しました。

第六版 → 第七版

- ・ 補足資料『臨床プランを使用した MLC パラメータ検討手順』を追加しました。

第七版 → 第八版

- ・ 本作業における対象エネルギーを 6MV, 10MV, 6FFF, 10FFF に変更しました。

第八版 → 第九版

- ・ 3次元配列検出器での Isocenter について、ArcCHECK の表記を修正しました。

第九版→第十版

- ・ 補足資料『弊社におけるパラメータ決定方法の検討』を追加しました。

はじめに

MLC パラメータ調整とは

Monaco の IMRT/VMAT では Monte Carlo で線量計算を行います。Monte Carlo アルゴリズムでのビームモデルは 2 つの部分に分けられます。

①線源のモデル

ターゲットや平坦化フィルタなど、フィールドごとに変化しない部分

②ビーム整形装置のモデル

コリメータや MLC など、フィールドごとに変化する部分

ビーム整形装置のモデルにはさらに下記 2 つのパートに分けられます。

(1) MLC Dynamic Parameters…速度や回転速度など

(2) **MLC Geometry Parameters**…透過率やオフセットやリーフ間漏洩など

MLC Geometry Parameters は、Leaf Offset や Leaf Tip Leakage などの MLC に関するパラメータです。施設ごとの治療機の個性を反映させるためには、MLC に関する実測を行い、Monaco の MLC パラメータを変更して調整することが求められます。弊社でモデリングを行う際には本パラメータの調整も実施しますが、ご施設の運用やコミッショニング結果によっては、ご施設にてパラメータを変更する場面が生じるかもしれません。

本ドキュメントでは、Monaco の MLC パラメータ調整用の測定方法および、MLC パラメータ調整方法の手順について記載しております。ご施設にて更なる調整が必要になった場合において、既にお納めしたモデル¹のパラメータがどのように決定されたかという点で参考にしてください。

¹ エネルギー、6MV、10MV、6FFF、10FFF を実施

MLC パラメータ調整を行うために必要なもの

—測定で必要なもの—

配列検出器

MapCheck シリーズ、ArcCheck、Delta4²、OCTAVIUS シリーズ、MatriXX,

固体ファントム（二次元検出器を使用される場合）

配列検出器専用ファントム、通常の固体ファントムのどちらでも結構です。

一軸又は三次元水ファントム

電離箱線量計

校正されているもの

—パラメータ調整に必要なもの—

Monaco

ビームモデル登録済み

解析ソフト

配列検出器に対応しているもの(SNC Patient, VeriSoft など)

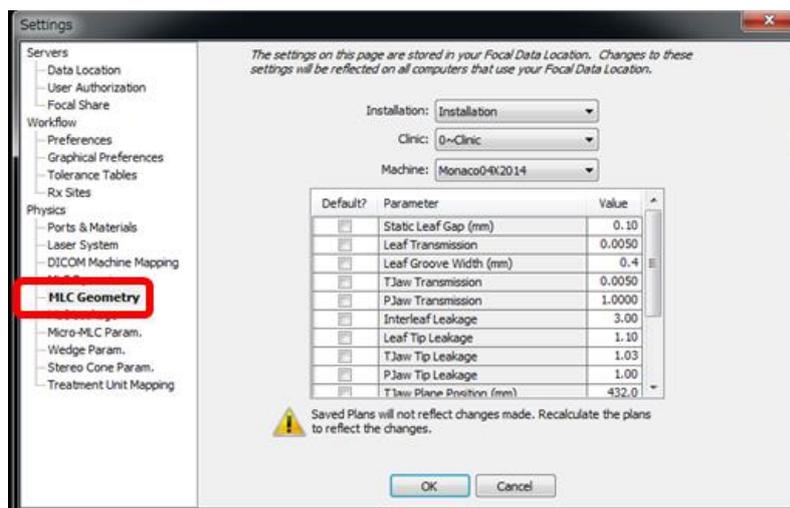
—弊社ウェブサイトからダウンロードできるもの—

- MLC パラメータ調整記入シート（2次元検出器用、3次元検出器用）
- Monaco テンプレート（MLCParameter、プランテンプレート）
- 仮想ファントム（Monaco5.1以降はMonacoにインストール済）
- DICOM RT Plan ファイル（Delta4をお使いの方）

MLC Geometry のパラメータ説明

患者データを読み込んでいない状態で、メインディスプレイ左上にある【Monaco アプリケーションボタン 】から【Settings】を選択すると、【MLC Geometry】があります。MLCパラメータ調整は、こちらに登録されているパラメータを変更して、計算結果と実測結果の比較を行います。以下に各パラメータの説明を記載します。MLCパラメータ調整で特に使用するパラメータは赤太字で記載します。

² Delta4 を使用して測定される際、ビームの DICOM RT Plan ファイルが必要になります。こちらについては弊社ウェブサイトからダウンロードいただけます。



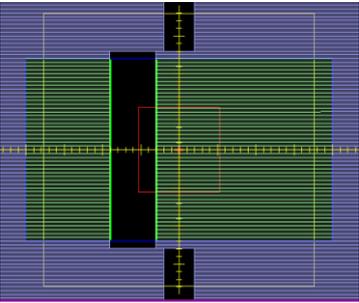
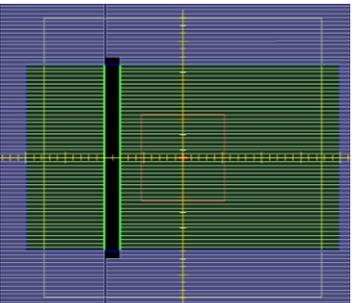
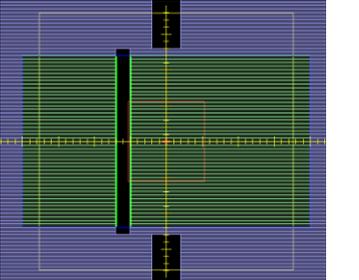
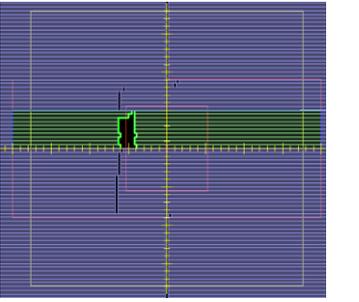
パラメータ	説明
Static Leaf Gap (mm)	対向リーフ間の最小間隔 ³ メーカーの仕様の値と同じか僅かに高い値を使用する
Leaf Transmission	MLC の透過率
Leaf Groove Width (mm)	リーフグループの幅 Leaf Groove Width の近辺では、Leaf Transmission と Interleaf Leakage が掛け算される
TJaw Transmission	Length Jaw の透過率 (リーフの移動方向に対して垂直に移動するジョー)
PJaw Transmission	Width Jaw の透過率 (リーフの移動方向に対して平行に移動するジョー)
Interleaf Leakage	リーフ間の境界部分の漏れ線量 隣り合うリーフ境目が Leaf Transmission と比較してどれだけ大きいのか Leaf Groove Width の近辺では、Leaf Transmission と Interleaf Leakage が掛け算される

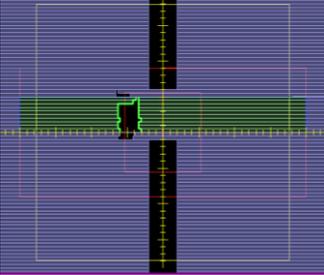
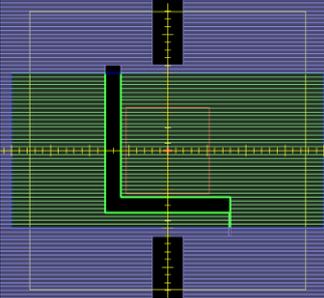
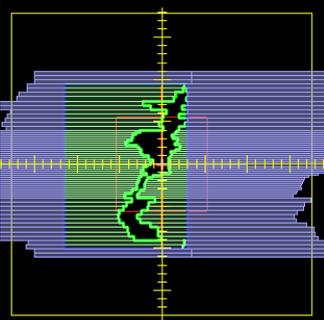
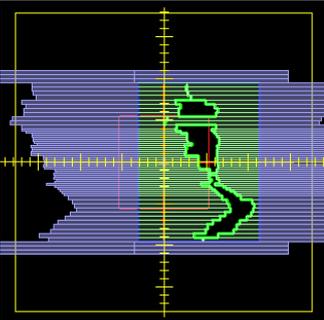
³ Elekta-Agility では 0.1mm を登録します。登録されている数値の詳細については「Agility and Integrity R4.0.0 Information for Treatment Planning Systems」(英文) をご覧下さい。エレクタ治療機ユーザ限定でお配りしています。お入用の方はエレクタケアサポートセンターまでお尋ねください。

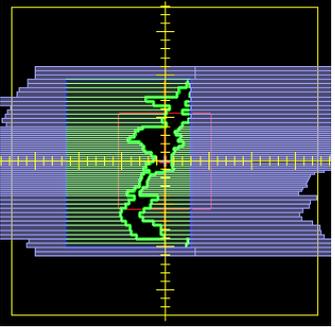
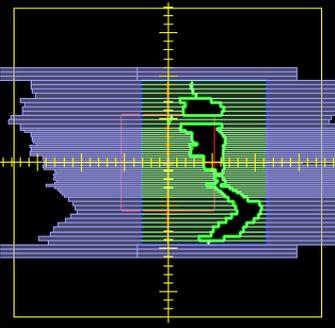
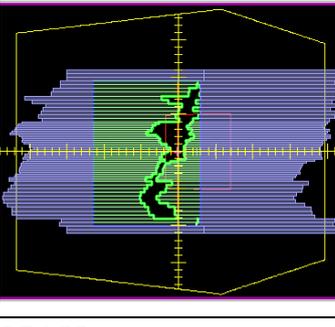
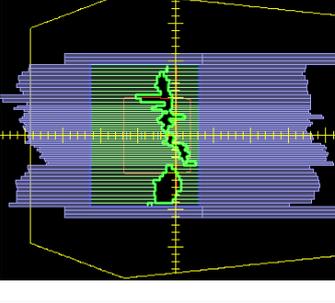
Leaf Tip Leakage	リーフ先端の漏れ線量曲がり率 (≒透過率) Leaf Tip の近辺では Leaf Transmission と Leaf Tip Leakage が掛け算される
TJaw Tip Leakage	Length Jaw 先端の曲がり率
PJaw Tip Leakage	Width Jaw 先端の曲がり率
TJaw Plane Position (mm)	Length Jaw 上端とターゲット間の距離
PJaw Plane Position (mm)	Width Jaw 上端とターゲット間の距離
TJaw Backscatter	Length Jaw の後方散乱値 「0」は後方散乱が無いことを意味する このパラメータの増加することにより 1 MU 辺りの処方線量が減少する
PJaw Backscatter	Width Jaw の後方散乱値 「0」は後方散乱が無いことを意味する このパラメータの増加することにより 1 MU 辺りの処方線量が減少する
Leaf Offset (mm)	処方された Leaf 位置と実際の Leaf 位置の差異 Leaf Offset はアイソセンター面ではなく、MLC Plane で定義される

MLC パラメータ調整で使用するビームについて

MLC パラメータ調整では、あらかじめ用意されている Monaco プランテンプレートを使用します。各ビームのそれぞれの用途についてご説明します。治療機・配列検出器によっては使用しないビームや、下記以外にも使用するビームがございます。詳細については Chapter 1 をご覧ください。

ビーム名	MLC パラメータ調整における使用方法
<p>3ABUT</p> 	<p>Leaf の全体的な Offset の確認</p>
<p>10x10</p>	<p>絶対線量の確認</p>
<p>20x20</p>	<p>照射野の平坦度と対称性、検出器の応答確認</p>
<p>DMLC1</p> 	<p>Leaf Offset の確認 (Leaf Transmission の確認)</p>
<p>7SegA</p> 	<p>Leaf Offset の確認</p>
<p>HDMLC</p> 	<p>臨床プランでの最終確認</p>

<p>HIMRT</p> 	<p>臨床プランでの最終確認</p>
<p>FOURL</p> 	<p>Leaf Offset、 Leaf Transmission の確認</p>
<p>SSBS1</p> 	<p>臨床プランでの最終確認 (HD120 用)</p>
<p>SSBS2</p> 	<p>臨床プランでの最終確認 (HD120 用)</p>

<p>SLWD1</p> 	<p>臨床プランでの最終確認 (HD120 用)</p>
<p>SLWD2</p> 	<p>臨床プランでの最終確認 (HD120 用)</p>
<p>RB1S1</p> 	<p>臨床プランでの最終確認 (HD120 用)</p>
<p>RB1S2</p> 	<p>臨床プランでの最終確認 (HD120 用)</p>

Chapter 1. MLC パラメータ調整用の測定

使用するビームについて

MLC パラメータ調整を行うには、調整用のビームが必要となります。これらのビームは治療機(MLC タイプ)によって、下記の通りご提供しております。施設の MLC タイプが無い場合は弊社までお問い合わせください。

Elekta 治療機の場合 :

サービスモード内の Stored Beam に登録してあります。

Varian・Siemens 治療機

の場合 : 弊社ウェブサイトにて DICOM ファイルを用意しております。Varian 治療機の場合は MU を別途登録する必要があります。

これらのビーム以外にも、配列検出器によっては別途ビームが必要になる場合があります。また、3ABUT ビームとリニアックグラフィを用いて簡易的に MLC の位置精度を確認することが可能です。詳細は本ドキュメント末尾にございます補足資料『3ABUT で全体的な Leaf Position の確認』に記載しております。

Elekta (Agility)

ビーム名	MU
3ABUT	150
10x10	100
20x20	100
DMLC1	360
7SegA	700
HDMLC	200
HIMRT	200
FOURL	400

Varian (Millennium120)

ビーム名	MU
3ABUT	150
10x10	100
20x20	100
DMLC1	200
7SegA	700
HDMLC	200
HIMRT	200
FOURL	400

Siemens (MLC160)

ビーム名	MU
10x10	100
20x20	100
T0520	300
H1010	200
FORK	100
7SegA	700
HIMRT	200
FOURL	400

Varian (HD120)

ビーム名	MU
3ABUT	150
10x10	100
20x20	100
DMLC1	200
7SegA	700
FOURL	400
SSBS1	300
SSBS2	500
SLWD1	300
SLWD2	500
RB1S1	300
RB1S2	500

電離箱線量計を用いた測定

前述した配列検出器を用いた測定に加え、絶対線量測定が必要になります。リニアックの出力校正が終わっている状態で行ってください。

SCD : 100 cm

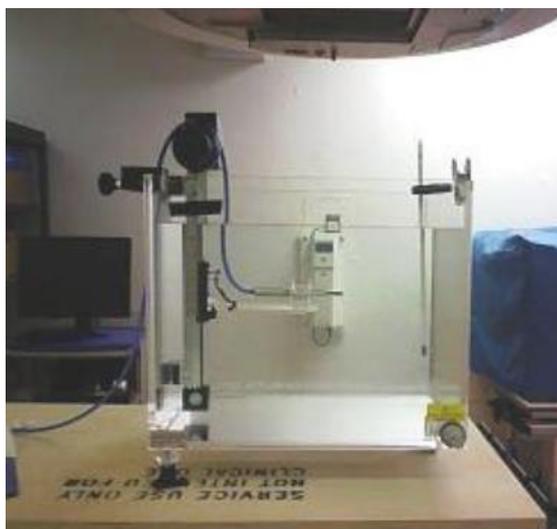
深さ : 10 cm (水等価)

測定するビーム : 10x10、DMLC1

ファントム : 一軸又は三次元水ファントム

検出器 : 校正された電離箱

セットアップ : 幾何学中心



もし、10x10 の線量が Monaco 登録用の Absolute Dose at 90cm SSD と異なるようであれば、校正を見直してください。

配列検出器を用いた測定

【二次元検出器の場合】

配列検出器と固体ファントムを用いて測定を行います。

SCD : 100 cm (検出面がアイソセンタ面と同一になるように設置してください)

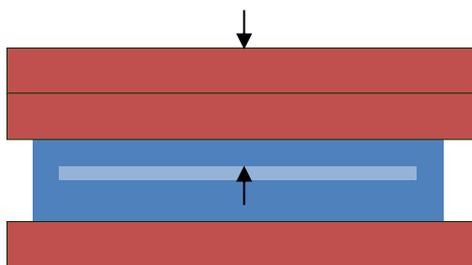


※上記のようにセットアップ状態が分かる写真を撮影し、提出してください。

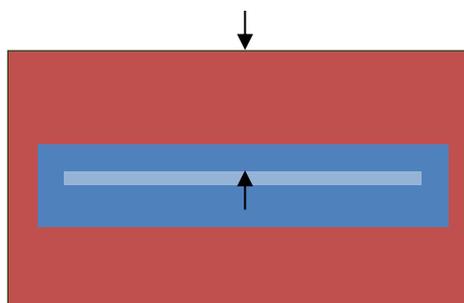
測定するビーム : 該当する治療機の全ビーム

合計ビルドアップ厚 : 5cm 以上(水等価)

検出面から検出器表面までのビルドアップ厚と、乗せるファントムの厚さとの合計が水等価で 5cm 以上になるようにしてください。この厚みは後程 Monaco で計算させるときに必要な情報です。



【2次元検出器+固体ファントム】



【2次元検出器+専用ファントム】

【三次元検出器の場合】

三次元検出器を用いて測定を行います。

測定するビーム：該当する治療機的全ビーム

セットアップ：検出器中央部にレーザーを合わせます。セットアップ確認用に下記のビームをそれぞれの検出器用に用意しています。ご活用ください。



【 Arc Check】



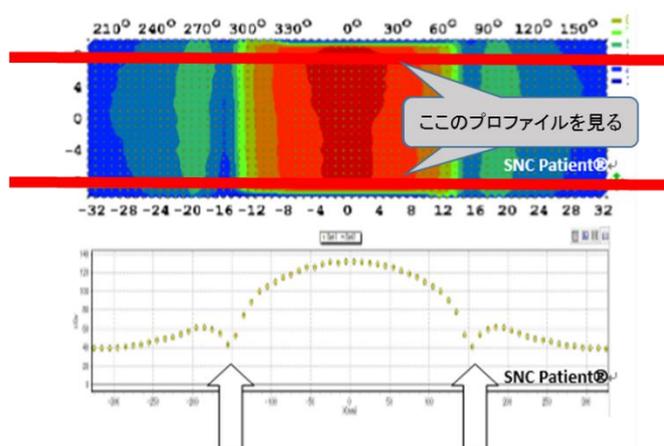
【 Delta 4】

(1) Arc Check の場合

プラグをお持ちの方は必ず入れてください。無い方はご相談ください。

セットアップの確認用に、**21x21 (ArcCh)**のビームを測定します。

データを取得したら Y 軸方向の±8 cm のプロファイルを見ます。
矢印の線量が左右対称になっていることを確認してください。
対称性が悪い場合は再度セットアップを行い、ガントリやコリメータが 0°であることも確認してください。

**(2) Delta4 の場合**

セットアップの確認用に、2 cm x 20 cm の照射野をガントリ 0°, 90°, 270°で測定して頂きます。（ビーム名：**DL0**、**DL90**、**DL270**）

その他の配列検出器のセットアップの注意点

- 測定前に配列検出器のキャリブレーション（Dose Calibration, Array Calibration など）を済ませてください。
- 配列検出器の水平が取れていることを十分に確認してください。
- 二次元検出器の場合、検出器の下にも 5 cm 以上の厚さを確保してください。

測定データの提出

弊社にて MLC パラメータ調整を実施する際に、以下が必要となります。全てを一つの圧縮ファイルとしてまとめていただき、メールにてご提出ください。

- 記入シート
- 測定データ（動画データは不要。例：MapCHECK 2 なら mcm ファイルは不要）
- セットアップ写真

宛先 : SoftwareService-Japan@elekta.com

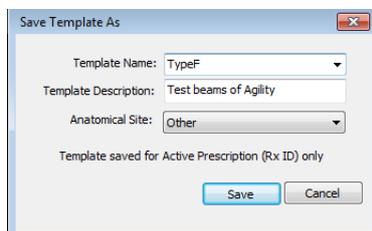
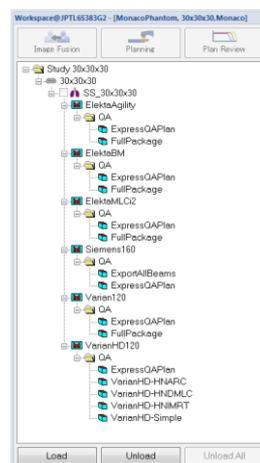
Chapter 2. MLC パラメータ調整の前準備

Step 1. プランテンプレートの登録

MLC パラメータ調整では、調整用のプランを使用します。プランテンプレートは施設の Monaco のバージョンによって、下記の通り登録することが可能です。

Monaco 5.10⁴以降：あらかじめ用意されているプランをテンプレートとして保存します。

- ① QA Clinic の 30x30x30, Monaco を開きます。Workspace(右図)の通りそれぞれの MLC タイプのプランが確認できます。Chapter1 で紹介したビームは QA プランの ExpressQAPlan に用意されています。
- ② 該当する MLC の ExpressQAPlan⁵を開きます。
- ③ 【Monaco アプリケーションボタン】から【Save Template As】を選択します。
- ④ 以下ウィンドウが出てきます。Template Name には後に分かるよう名前を入力, Anatomical Site は Other を選択して【Save】をクリックします。



- ⑤ 上記の作業が終わったら、【Monaco アプリケーションボタン】から【Close Patient】を選択しクローズします。

Monaco 5.00：弊社ウェブサイトからダウンロードしたデータを以下フォルダに保存します。

C:¥Users¥Public¥Documents¥CMS¥FocalData¥MonacoTemplates

⁴ ディスクスペース等の都合上、削除されている場合は Monaco5.00 同様の方法で登録してください。

⁵ Siemens160 の一部のビームに不具合があります。修正版は Monaco5.00 の方法で登録いただけます。

MLCパラメータ調整で使用する Monaco テンプレート『MLCParameter』は以下の6つのファイルで構成されています。

【ファイル】 (***)の箇所は MLC タイプの名称)

- MLCParameter***.dosenormsettings.xml
- MLCParameter Dvhparam***.xml
- MLCParameter***.hyp
- MLCParameter.isodosesettings***.xml
- MLCParameter***.pln
- MLCParameter***.tel

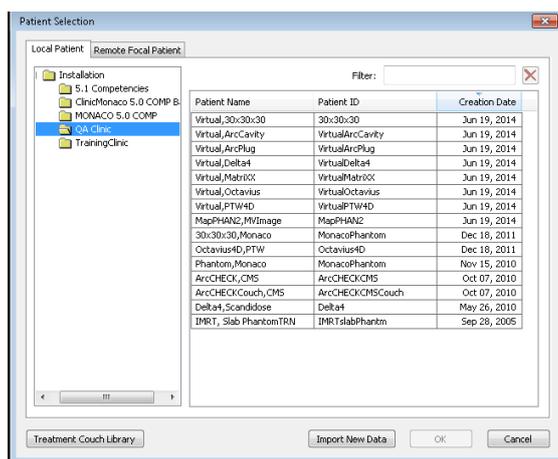
Step 2. パラメータ記録シートの準備

MLCパラメータ調整を行うにあたり、調整前のパラメータ値、調整中のパラメータ値、最終決定したパラメータ値等を記録に残しておくことを推奨します。

Step 3. 仮想ファントムの準備

MLCパラメータ調整では、仮想ファントムを使用します。仮想ファントムのデータは施設の Monaco のバージョンによって、下記の通り取得することが可能です。

Monaco 5.10⁶以降 : QA clinic にあらかじめ仮想ファントムが多種類用意されています。



⁶ ディスクスペース等の都合上、削除されている場合は Monaco5.00 同様の方法で登録してください。

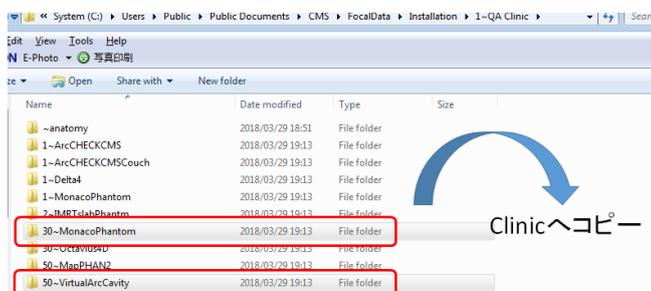
QA Clinic に入っている使用したい仮想ファントムを Clinic にコピーします。

【QA Clinic フォルダ】

C:\Users\Public\Documents\CMS\FocalData\Installation\1~QA Clinic

【Clinic フォルダ】

C:\Users\Public\Documents\CMS\FocalData\Installation\0~Clinic

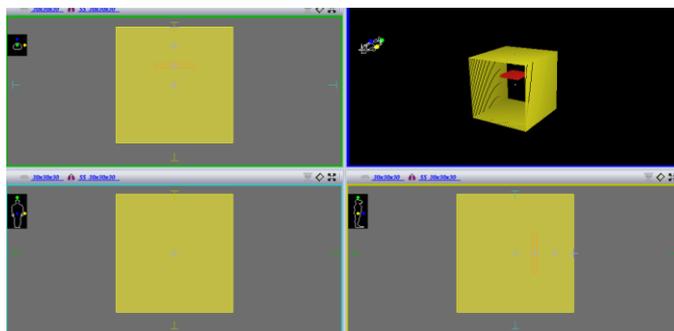


Monaco 5.00 : 弊社ウェブサイトからダウンロードしたファントムデータを、以下フォルダに保存します。

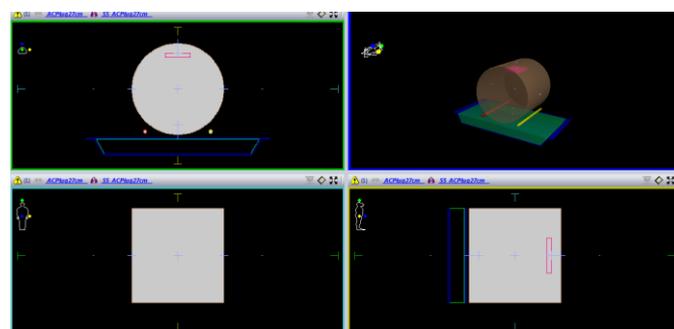
C:\Users\Public\Documents\CMS\FocalData\Installation\0~Clinic

施設で三次元検出器を使用された場合は、水ファントム用仮想ファントムの他に、該当する仮想ファントムも必要となります。下記は用意されているファントムの一例です。

～水ファントム・二次元検出器用の仮想ファントム～



～3次元配列検出器用の仮想ファントム～

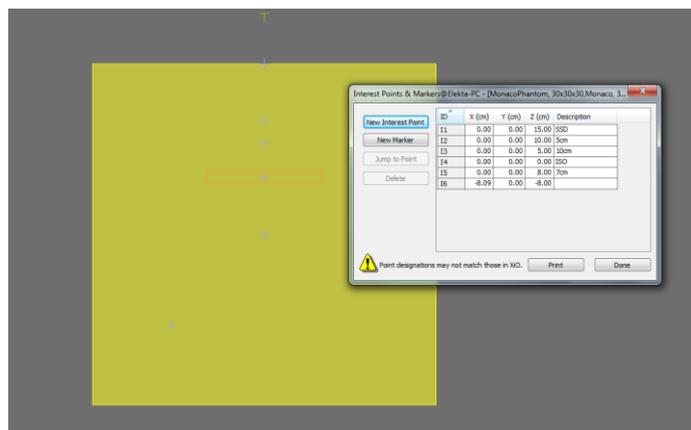


Step 4. Interest Point の準備

計算値と測定値を簡単に比較するために、ファントムに Interest Point を設定します。絶対線量測定（10x10, DMLC）が行われた 10cm 深はすでに用意されています。

2次元配列検出器を使って測定深が 10cm（水等価深）以外でデータを取得した場合は、別途 Interest Point を用意しておく、後の作業で便利です。

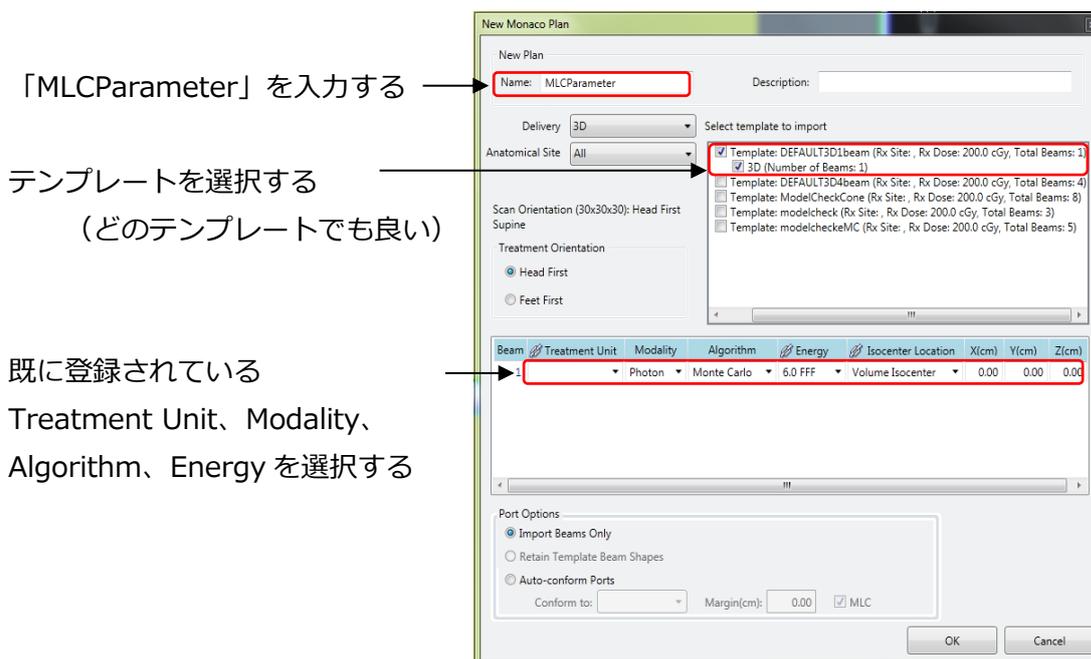
- ⑥ Monaco 上でファントムデータを読み込みます。
- ⑦ リボントab【Tools】から【Interest Points and Markers】を選択します。
- ⑧ 以下ウィンドウが出てきます。【New Interest Point】を選択し、CT 画像上任意の位置でクリックをすると、その場所に Interest Point を設定できます。また座標入力でも設定が可能です。既にある 10cm 深の Interest Point の座標を参考にすれば、任意の深さの Interest Point を設定できます。どのような深さであるか Description に記載しましょう。



Step 5. ベースプランの作成

QA プランを用いて MLC パラメータ調整を行います。そのため、QA プランを作成するために必要なベースプランを一旦作成します。絶対線量測定と線量分布測定で、使用する仮想ファントムが異なる場合、それぞれにおいてベースプランを作成してください。

- ① 仮想ファントムを開いた状態で、リボントab【Planning】から【New Plan】を選択します。
- ② New Monaco Plan のウィンドウで以下を入力します。



③ 線量計算を行います。

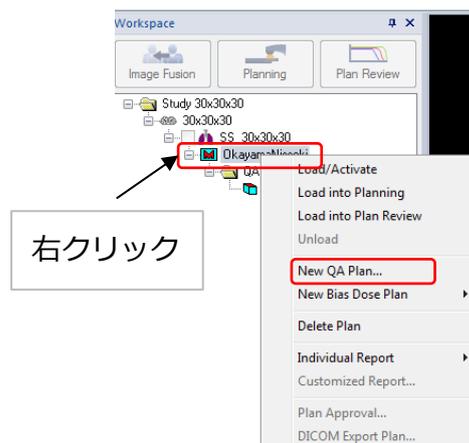
④ 【Monaco アプリケーションボタン】から、【Save】をクリックし、プランの保存を行います。プラン名はエネルギーなどを記載することを推奨します。（例：6MVBasePlan）

Chapter 3. 単純照射野における絶対線量の確認

Step 1. プランテンプレートの読み込み

Chapter 2. Step 5 において、絶対線量用仮想ファントムに作成したベースプランを用いて、QA プランを作成します。

- ① 【WorkSpace】 内にて、ベースプランを選択した状態で右クリックをし、【New QA Plan】 を選択します。



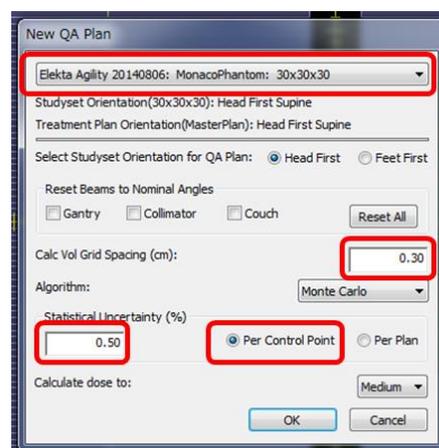
- ② 【New QA Plan】 ウィンドウ内は以下の通り選択します。

ファントム：仮想ファントムを選択

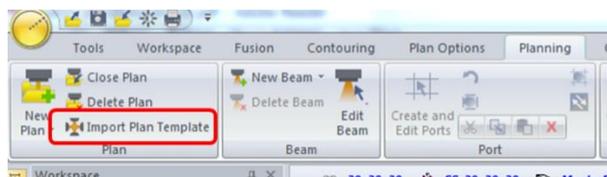
Grid Spacing (cm): 0.3

Statistical Uncertainty (%): 0.5 %

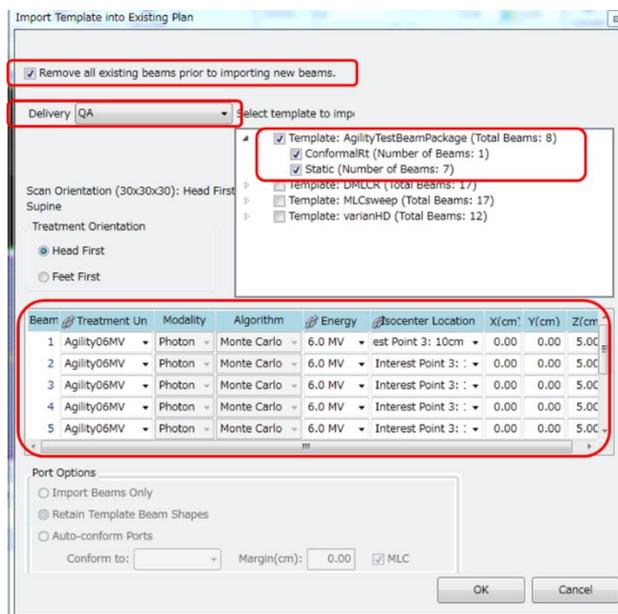
● **Per Control Point**



- ③ QA プラン作成後、リボンタブ【Planning】の【Import Plan Template】を選択します。



- ④ 以下の通り選択します。この段階で、Treatment Unit、Energy を選択しなおして、読み込んでください。【Isocenter Location】は Chapter2 で設定した Interest Point（絶対線量測定用）を選択してください。



- ⑤ QA 用の Monaco テンプレートの読み込みが終わったら【Monaco アプリケーション ボタン】から【Save】をクリックします。

注意

テンプレートを読み込んだ後に、Isocenter や MU 値などの設定を変更すると照射野が破損します。④で設定した項目は、この先変更不可となります。

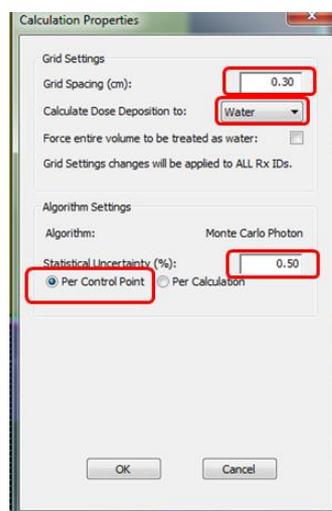
Step 2. プランの編集

MLC パラメータ調整を行う前に、10x10, DMLC については、水ファントムで測定した絶対線量の測定値と計算値の比較を行います。

- ① Step1 で読み込んだ QA プランを【Save Plan As】し、新たなプラン名を『〇〇 MVAbsoluteDose』にして保存します。
- ② 『〇〇 MVAbsoluteDose』を開き、【Planning Controls】の【Beams】タブ内で、10x10 と DMLC のビーム以外は削除します。

Step 3. 計算パラメータの設定

リボントab【Planning】から【Calculation Properties】を選択し、右の通り設定します。
Force entire volume to be treated as water: にもチェックを入れます。



～Dose to Water と Dose to Medium の違い～

Monaco が本来計算しているのは Dose to Medium になります。そこから水と物質の阻止能比を用いて Dose to Water に変換されます。Dose to Medium と Dose to Water の線量差は、仮想ファントムを使用している場合は生じません。しかし、ファントムの物理密度が 1.1 以上になると、線量差が約 2%以上になります。詳細については、弊社 WEB サイトからダウンロードできる『水吸収線量(Dw)と組織吸収線量(Dm)について』、または『Monaco Technical Reference』⁷をご覧ください。

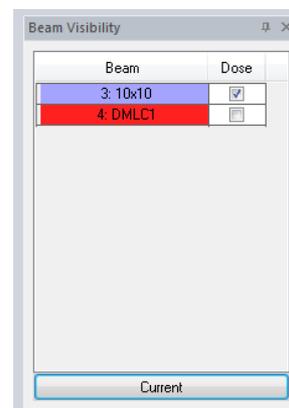
Step 4. 線量計算

線量計算を行います。HP Z820 (core24) の場合、10 分ほど掛かります。

⁷ LRMMON0001, Monaco Dose Calculation Technical Reference

Step 5. 10x10の絶対線量を確認

- ① 【Beam Visibility】において、10x10の【Dose】にチェックを入れます。
- ② リボンタブ【Tools】から、【Interest Points and Markers】を選択します。
- ③ 10x10の【Mean Dose】と実測結果を比較します。
10x10において線量誤差が1.0%以内であればOKです。1.0%を超えるようであれば、【Statistical Uncertainty】を0.5%から0.3%に変更し、再計算を行ってください。



ID	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Description	Total Dose (cGy)	Mean Dose (cGy)	Min Dose (cGy)	Max Dose (cGy)	Standard Dev (cGy)	# Grid Points
11	0.00	0.00	15.00	SSD	0.0	81.0	0.0	133.7	44.6	1
12	0.00	0.00	10.00	5cm	144.4	144.4	142.6	145.9	1.0	2
13	0.00	0.00	5.00	10cm	111.0	111.0	110.1	112.7	0.8	1
14	0.00	0.00	0.00	ISO	84.5	84.5	83.6	85.2	0.4	2

Total Dose と Mean Dose の違い

Total Dose: 任意の座標のポイント線量

Mean Dose: Interest point の Radius 内の平均線量

※どんなにモデリングがきれいに合っても、線量誤差は0%になることはほぼありません。これは Monte Carlo を使用していることから、Statistical Uncertainty 内のばらつきは生じてしまうこと、ワークステーションによる個体差などが含まれてしまうからです。

※Statistical Uncertainty を0.3%に変更しても、線量誤差が1%を超えてしまう場合は、物理グループへお問い合わせください。

Step 6. DMLCの絶対線量を確認

Step5と同様に絶対線量の確認を行い、DMLCの絶対線量がMLCパラメータ調整前でどれほど誤差があるのかを記録します。この段階ではまだ調整前ですので、線量誤差が1%を超えることが多いです。

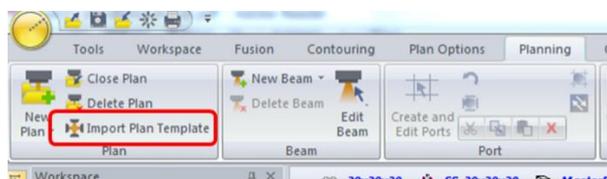
Chapter 4. MLC パラメータ調整の手順

絶対線量測定と線量分布測定で使用する仮想ファントムが同一の場合は Step 3.に進んでください。

Step 1. プランテンプレートの読み込み

Chapter 3. Step 1.と同様の流れで、新たに線量分布測定用の仮想ファントムに QA プランを作成します。

- ① QA プラン作成後、リボントab【Planning】の【Import Plan Template】を選択します。



- ② 以下の通り選択します。この段階で、Treatment Unit, Energy を選択しなおして、読み込んでください。なお、3次元配列検出器での Isocenter は以下の Interest Point を使用してください。
- ③ VirtualArcPlug の場合は『ISO』
- ④ VirtualDelta4 / Delta4 の場合は『CTMarker』
- ⑤ 【Save】をクリックし、QA プランを保存します。

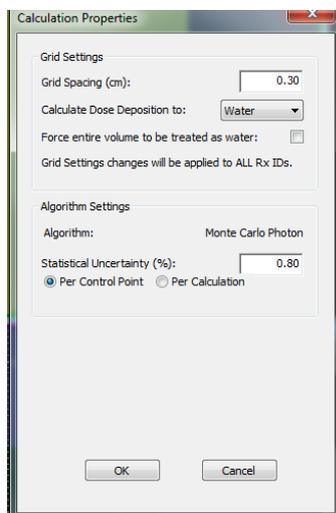
Step 2. ファントム密度の決定(ArcCHECK/Delta4 のみ)

3次元配列検出器のファントムは水等価ファントムでないため、Monaco 内で密度を決定する必要があります。各装置の手順に沿って進めてください。

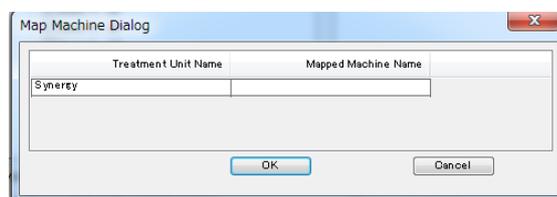
Step 3. Leaf Transmission の決定

- ① Step1 で保存した QA プランを選択した状態で【Save Plan As】をクリックし、新たなプラン名を『FOURL』にして保存します。
- ② 『FOURL』を開き、【Planning Controls】の【Beams】タブ内で、FOURL のビーム以外は削除します。

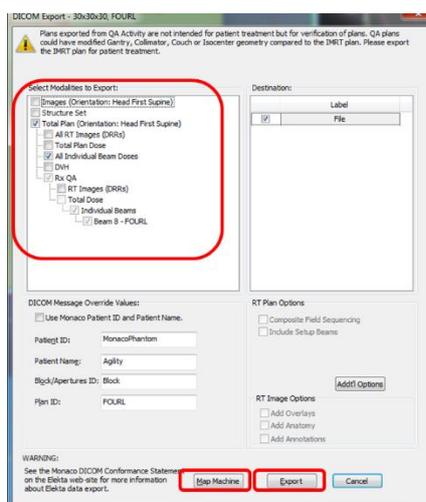
- ③ リボンタブ【Planning】から【Calculation Properties】を選択し、下記の通り設定します。弊社では Statistical Uncertainty を 0.8% にしておりますが、施設にて変更されても結構です。



- ④ FOURL の実測結果および計算結果の比較を行います。Leaf Transmission では上右図の **MLC のみ** の影響を受けている部分に着目し、Leaf Transmission の値を決定します。
- ⑤ 線量計算を行います。HP Z820 (core24) の場合、10 分ほど掛かります。
- ⑥ 計算結果をファイルで出力します。リボンタブ【Output】から【DICOM Export】を選択します。
- ⑦ 【Select Modalities to Export】では、RT Plan と Individual Beam を選択します。(下図参照)
- ⑧ 【Destination】にて File 又は解析ソフト名を選択します。
- ⑨ 【Map Machine】で【Mapped Machine Name】が空欄の場合、左欄と同じ名前を入力しましょう。(Mosaiq にも転送する必要がある場合は、Clinic にある臨床用ビームモデルをご確認ください。Settings→DICOM Machine Mapping)



- ⑩ 【Export】を選択します。



出力された File は以下フォルダに保存されます。

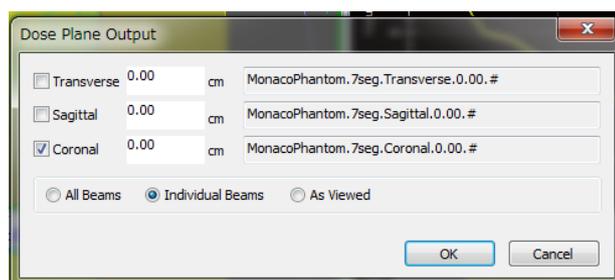
C:\¥Users¥Public¥Documents¥CMS¥FocalData¥DCMXprtFile

～DICOM Export を使わない場合～(2次元配列検出器のみ可能)

Dose Plane を使用します。

- (1) 【Tools】 → 【Jump to Point...】 → 【Plan Isocenter】 を選択します。
- (2) 【Output】 から 【Dose Plane 】 を選択します。
- (3) 出力したい断面にチェックを入れ、【Individual Beams】を選択します。

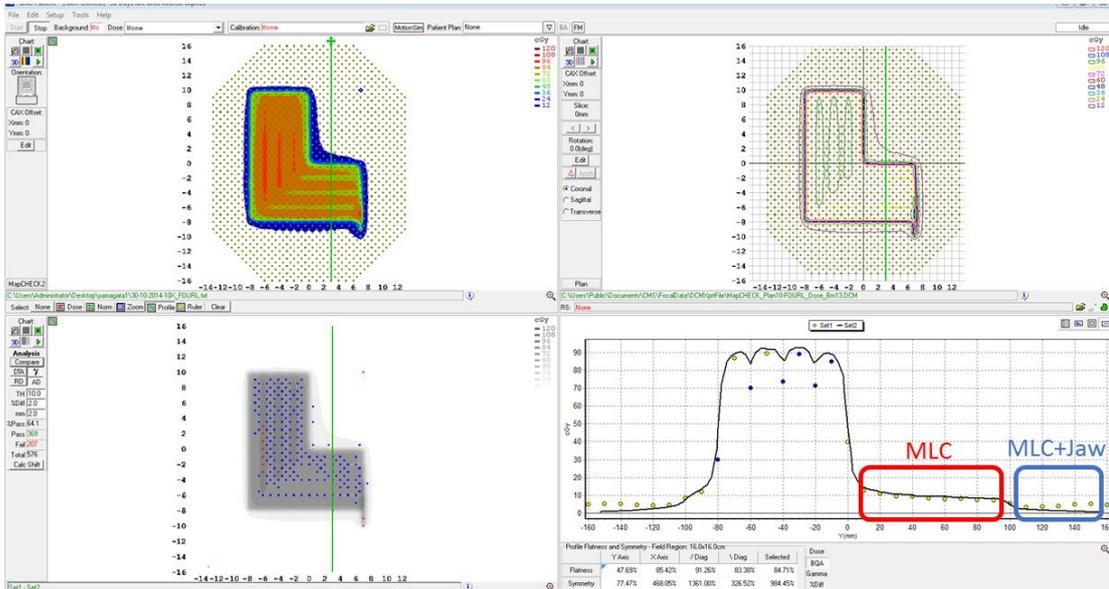
MapCheck であればほとんどの場合 Coronal を選択します



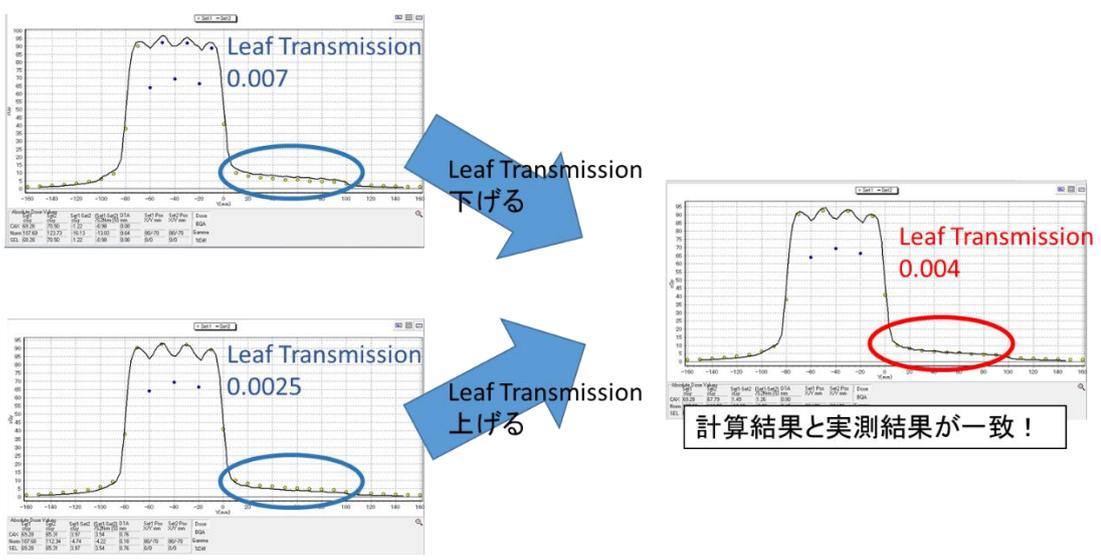
(4)出力されたファイルは以下フォルダに保存されます。

C:\¥Users¥Public¥Documents¥CMS¥FocalData¥DosePlanes

- ⑪ 解析ソフト上で、測定結果と計算結果（DICOM Export で出力したファイル）を比較します。下図の通り+3cmの位置でY軸プロファイルを表示させ、MLCのみの部分に着目し Leaf Transmission の変更を検討します。変更する場合は、値を 0.0005~0.0010 刻みで変更することを推奨いたします。以下は SNC Patient を使った例です。



MLC のみの部分に着目し、
 計算 > 実測 → Leaf Transmission の値を下げる
 計算 < 実測 → Leaf Transmission の値を上げる
 ※上図の場合では、計算 > 実測ですので、Transmission の値を下げます。



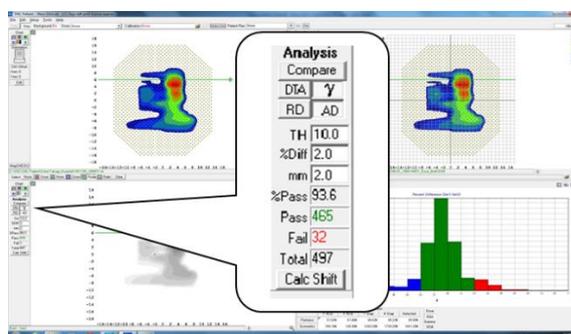
弊社で作業を進める場合の、解析時の設定です。

Threshold: 10%

Dose Difference: 2 %

Distance To Agreement: 2 mm

弊社では絶対線量 (**AD**) とガンマ
解析 (**γ**) を選択して比較を行っ
ています！

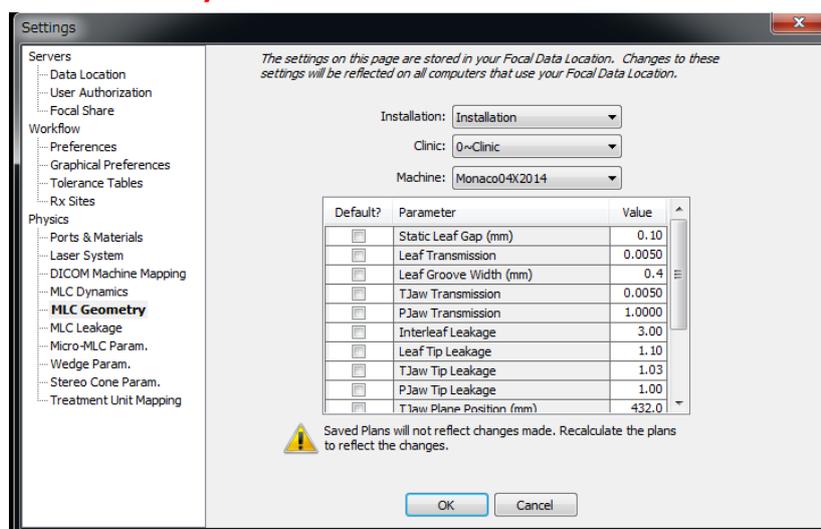


施設にて調整を実施される場合は、解析時の設定をご確認ください。

Step 4. MLC Geometry 内パラメータの変更

Step 3.で検討した結果を、Monaco に反映させましょう。

※変更前の MLC Geometry パラメータの値を記録しておくことを推奨します。



- ① MLC Geometry 項目内の【Installation】にてドロップダウンメニューから【Installation】を選択します。
- ② 【Clinic】にてドロップダウンメニューから【1~QA Clinic】を選択します。
- ③ 【Machine】にてドロップダウンメニューから【パラメータを変更させたい Machine ID】を選択します。
- ④ 変更したいパラメータの値を入力します。
- ⑤ 【OK】をクリックします。

注意

この段階で、計算済みのプランには変更が反映されておりません。計算済みのプランは必ず再度計算を行ってください。再計算をするには、Calculation Properties を開いて、Calculation Grid Spacing を一度別の数値を入れて OK をします。次に、再度 Calculation Properties を開きなおして、元の数値に入れ OK をします。Calculation アイコンがアクティブになっていますので、計算させてください。

- ⑥ 先ほどのプランを開き、再計算を行います。変更したパラメータが適しているかの確認を行います。

Step 5. Leaf Offset の決定（絶対線量）

Leaf offset の決定を行うために、水ファントムで測定した 10x10 および DMLC の結果および計算結果を比較します。

- ① 絶対線量測定用の仮想ファントムを開き、Chapter3 で使用した、『○○ MVAbsoluteDose』プランを開きます。今の状態のまま（Leaf Transmission を変更済み）一度線量計算を行います。Z820 で 10 分ほど時間がかかります。
- ② 10x10 および DMLC の Interest Point における線量を確認し、記録しておきます。絶対線量の実測結果と比較を行い、誤差がどれだけあるのかを把握しておきます。
- ③ 計算結果と実測結果を比較して得られた誤差から、Leaf Offset の値を変更します。変更する場合は、値を 0.01 刻みで変更し、Leaf offset 値は下表のようにいくつか候補を挙げておくことを推奨します。なぜならこの後行う線量分布での確認において、絶対線量では良い一致がみられていても、線量分布では若干傾向が変わることがあるからです。

計算 > 実測 → Leaf Offset の値を **下げる**

計算 < 実測 → Leaf Offset の値を **上げる**

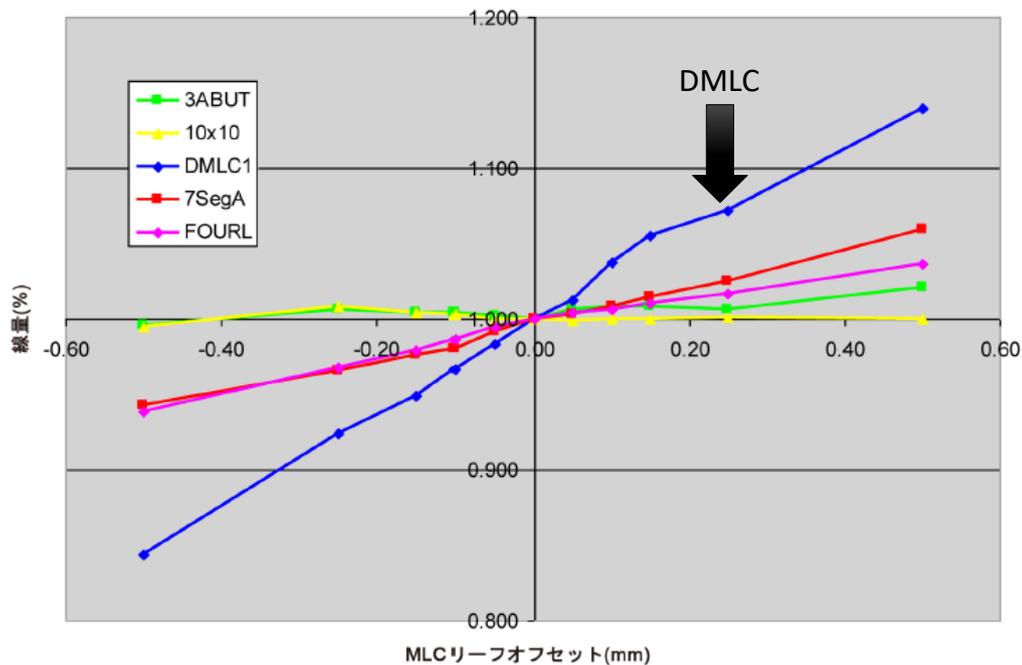
Leaf Offset 値の決定例

	MLC パラメータ			計算結果		実測との誤差	
	▼MLC Tran	▼Groove	▼Offset	▼10x10	▼DMLC	10x10 %	DMLC %
候補 1	0.0050	0.4	0.10	84.0	38.8	0.2%	0.3%
	0.0050	0.4	0.15	84.0	39.4	0.2%	1.8%
	0.0050	0.4	0.00	84.0	37.9	0.2%	-2.1%
候補 2	0.0050	0.4	0.05	84.0	38.4	0.2%	-0.8%

Point

今回使用したビームのうち、Leaf offset の値に最も影響をうけるのは、DMLC です（下図グラフ参照）。

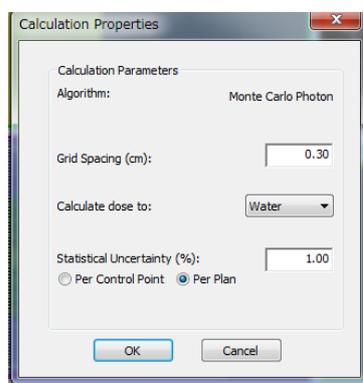
そのため、DMLC の線量誤差の変化に着目するといいでしょう。



Step 6. パラメータ変更結果の最終確認（線量分布）

絶対線量で良い結果が得られた Leaf Offset 値を用いて、次に線量分布の比較を行います。先ほど決定した Leaf Offset 候補のうち、1 つずつ確認を行います。

- ① Chapter 4 Step 1 の①で作成した QA プランを別名保存（【Save Plan As】）し、“HIMRTHDMLC”プランを作成します。
- ② “HIMRTHDMLC”プラン内において、HIMRT と HDMLC 以外のビームは消去します。
- ③ 【Calculation Properties】で以下のように設定します。弊社では Statistical Uncertainty を 1% **per Plan** にしておりますが、施設にて変更されても結構です。

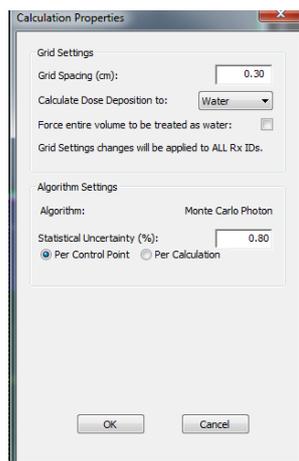


- ④ 線量計算を行います。Z820 で 5 分ほど掛かります。
- ⑤ 配列検出器のソフトウェア上で計算結果と実測結果の比較を行います。以下の条件でパス率が 90%以上、もしくはご施設の基準以上であることを確認してください。90%以下であれば、Leaf Offset 値を変更する必要があります。
- ⑥ 同様の手順で、他の Leaf Offset 候補でもパス率を見てください。

Step 7. Leaf Offset の確認（線量分布）～他ビームを用いて～

絶対線量および HIMRT, HDMLC で良い結果が得られた Leaf Offset 値を用いて、次に他ビームの線量分布の比較を行います。

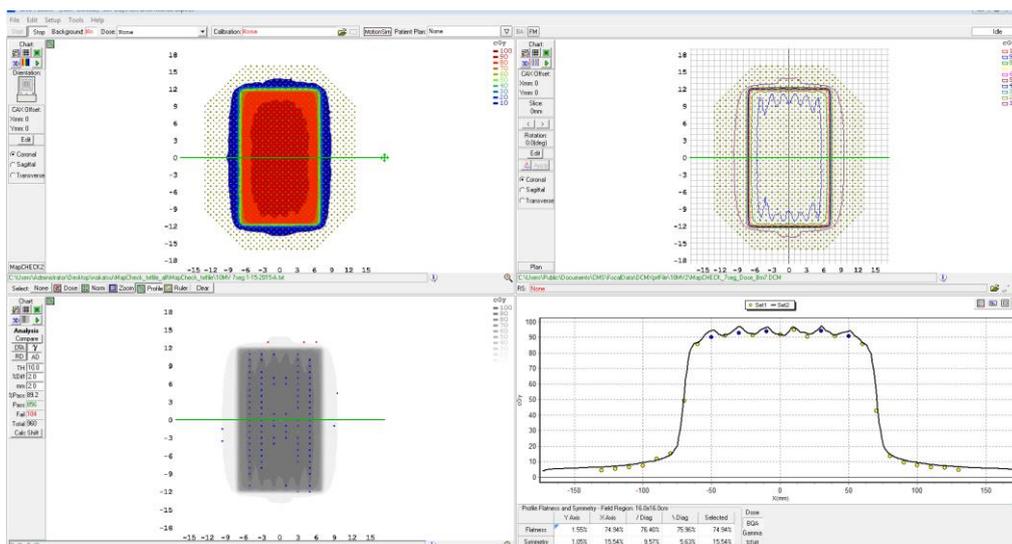
- ① Chapter 4 Step 1 ①で作成した QA プランを別名保存（【Save Plan As】）し、“Other”という Plan 名をつけます。
- ② ①で作成したプランを開き、HIMRT と HDMLC のビームを消去します。
- ③ 【Calculation Properties】で以下のように設定します。弊社では Statistical Uncertainty を 0.8% per Control Point にしておりますが、施設にて変更されても結構です。



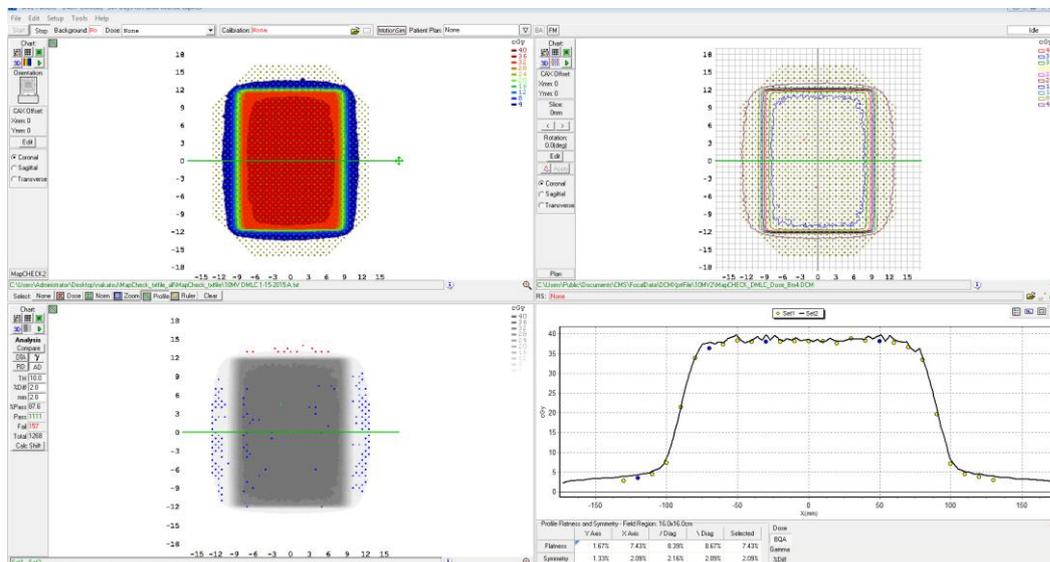
- ④ 線量計算を行います。
- ⑤ ソフトウェア上で計算結果と実測結果の比較を行います。（以下、合わせ込みの目安を参照）
- ⑥ 結果によっては Leaf Offset を適宜変更し、再度ソフトウェア上で計算結果と実測結果の比較を行います。今回の MLC パラメータ調整で変更した値については、記録しておきましょう。

—合わせ込みの目安—

7SegA: ギザギザ具合に着目します。主な要因として Leaf Offset の調整により変化します。Leaf Offset の値が大ききときは Field のつなぎ目において山が立ち、Leaf Offset の値が小さいときは谷ができます。ただし測定データは検出部分の素子の大きさが小さい場合、計算グリッドの大きさに比べて小さいため、計算が正確に再現できません。そのため、ぎざぎざにぴったり合わせるのが正しいとは限りません。（詳しくは補足資料『Leaf Offset を決定する際の注意点』をご覧ください）



DMLC:MLC Gap が左から右へ動く照射です。このため、Leaf Transmission と Leaf Offset の両方が効きます。Leaf Transmission は FOURL にて決定しましたので、Leaf Offset を調整します。全体的に平坦部が一致していることを確認してください。



下表はパス率を記録した例です。このように複数の Leaf Offset でパス率を見て、最終決定することを推奨しております。

		LeafOff=0	LeafOff=0.02	LeafOff=0.04
Pass %	10x10	100	100	100
	20x20	100	100	99.9
	7segA	91.8	89.3	87.5
	DMLC	96.9	97.7	94.4
	FOURL	85.4	84.9	84
	HDMLC	99.2	99.2	98.8
	HIMRT	99.2	99.2	99.2

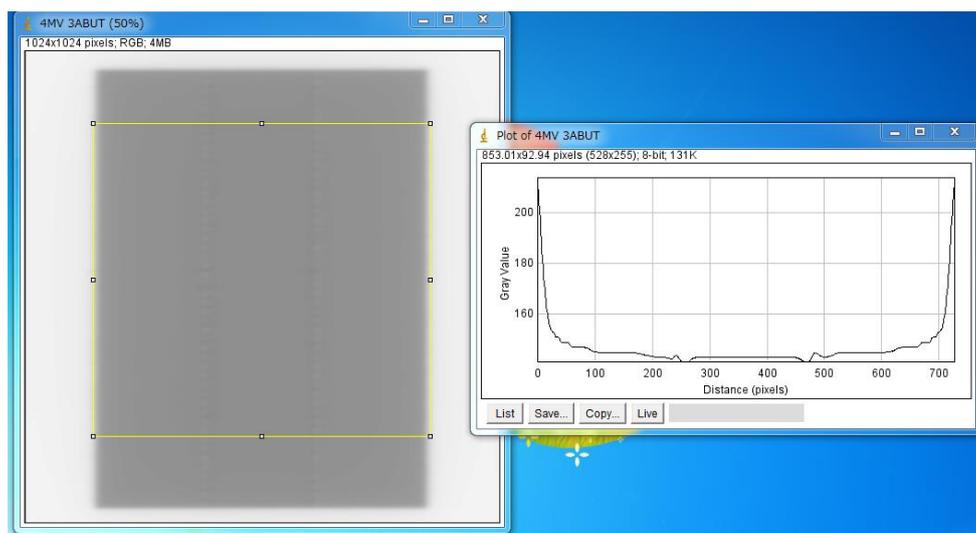
以上で MLC パラメータ調整は終了となります。

ご質問等ございましたら、エレクタ株式会社物理グループまでお問い合わせください。

補足資料. 3ABUT で全体的な Leaf Position の確認

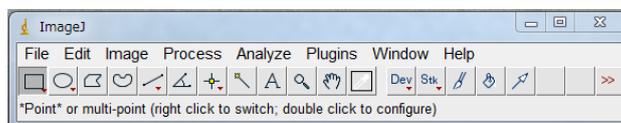
簡易的に MLC の調整状態を確認する方法をご紹介します。リニアックグラフィ (iView や EPID) で取得した 3ABUT プランをプロファイル解析し、全体的な MLC の位置精度を確認します。

FFF ビームにおいては iView が FFF 対応であるかをご確認ください。



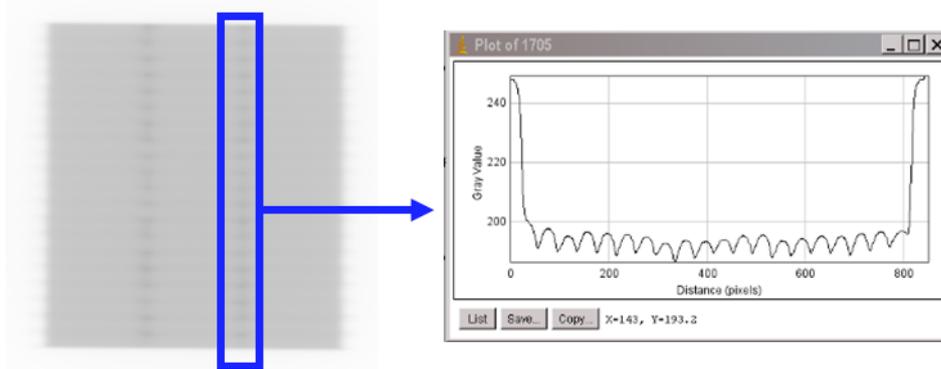
弊社では、Image J を使用して本項目の確認を行っております。こちらはどなたでもダウンロードができる無料のソフトウェアとなっております。

ウェブ検索にて『imageJ』で検索するとダウンロードページに進めます。

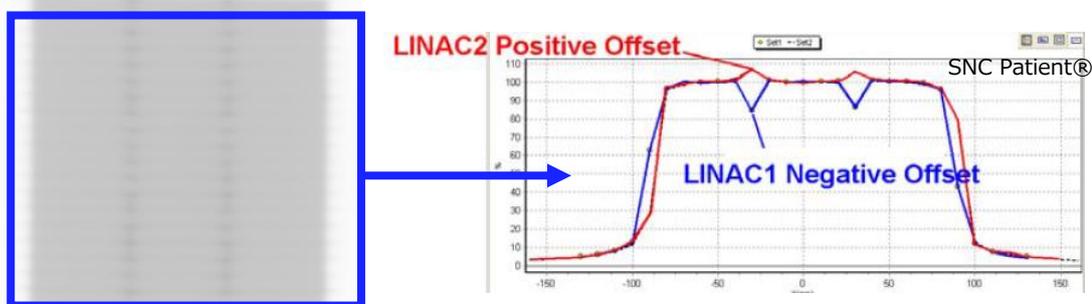


確認 1 : リーフ 1 枚ごとの位置確認

下図のように選択し、imageJ でプロファイルを見ることで、リーフ 1 枚ごとの位置を確認することが可能です。プロファイル上で、小さな山がいくつか見られると思いますが、この山が全て同じような高さであれば問題ありません。

**確認 2 : リーフ全体の位置確認**

下図のように選択し、全体的なリーフオフセット量を確認することが可能です。オフセット量は治療機ごとに異なり、正オフセット、負オフセット、もしくは、治療機側の機能でオフセット処理されており、つなぎ目がほぼ見えない場合もあります。つなぎめの線量が右と左で同じ程度であれば基本的に問題ありません。非対称となる場合は実機の調整が必要になります。

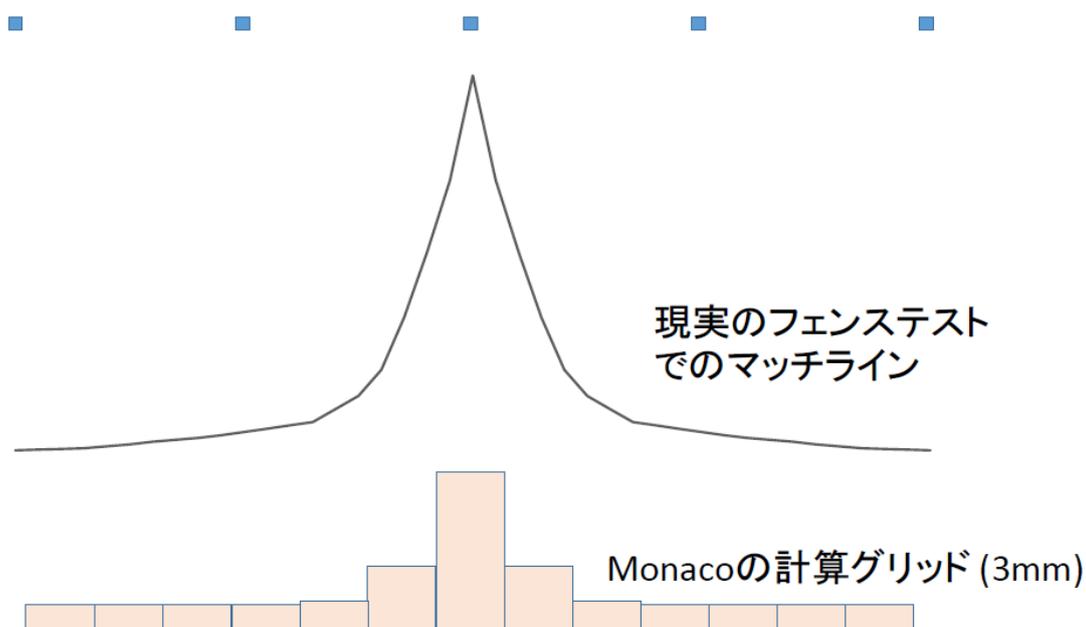


補足資料. Leaf Offset を決定する際の注意点

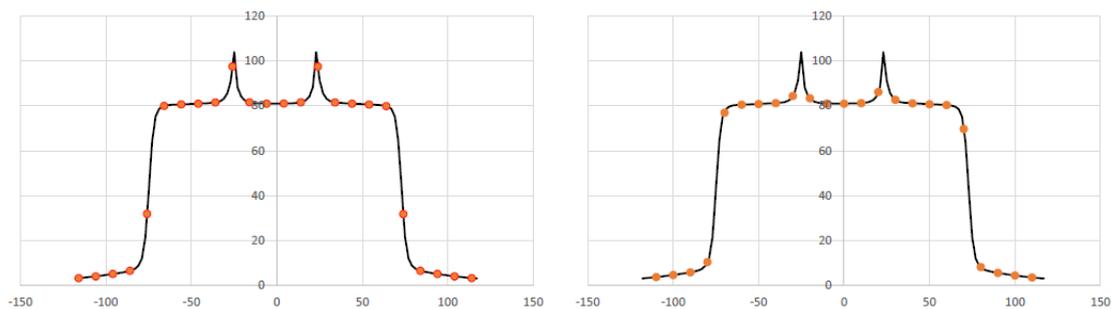
本章で、Chapter 4 Step 7 で説明した合わせ込みの目安について補足説明をします。測定したフィールドに 3ABUT, 7SegA, FOURL があります。これらのフィールドは、セグメントのつなぎ合わせの部分が確認できるという共通点があります。本資料では、Leaf Transmission を決定する際に FOURL のデータを確認しておりますが、FOURL の“ギザギザ”領域でも 7SegA 同様 Leaf Offset の合わせ込み具合において確認することができます。

この“ギザギザ”領域で何が起きているか以下に 3ABUT を使って説明します。

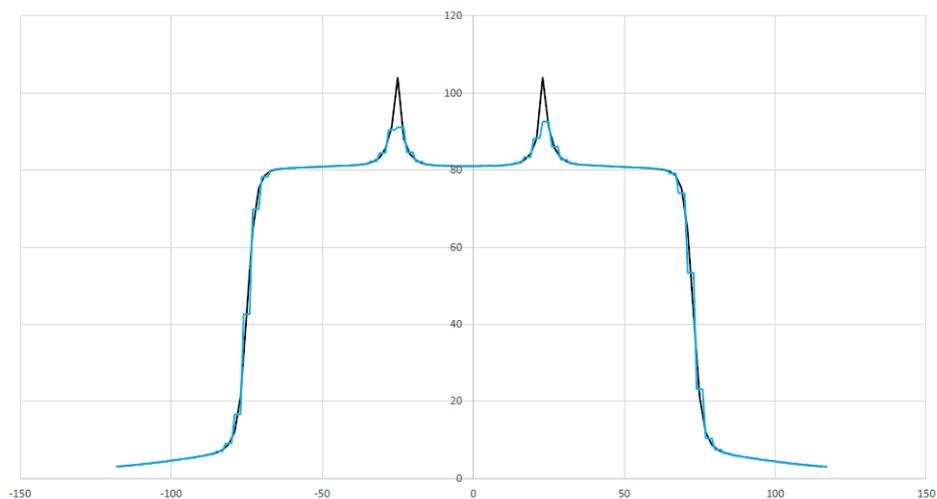
配列検出器の素子の間隔（素子サイズ 0.6mm、間隔 10mm）に Monaco の計算グリッド（3mm）を重ね合わせた場合をイメージしてみましょう。下図では、青点が素子の位置を表しており、実線がフェンステストの線量分布（ビーム）です。これに Monaco の計算グリッドにおける線量を模式的に表しています。



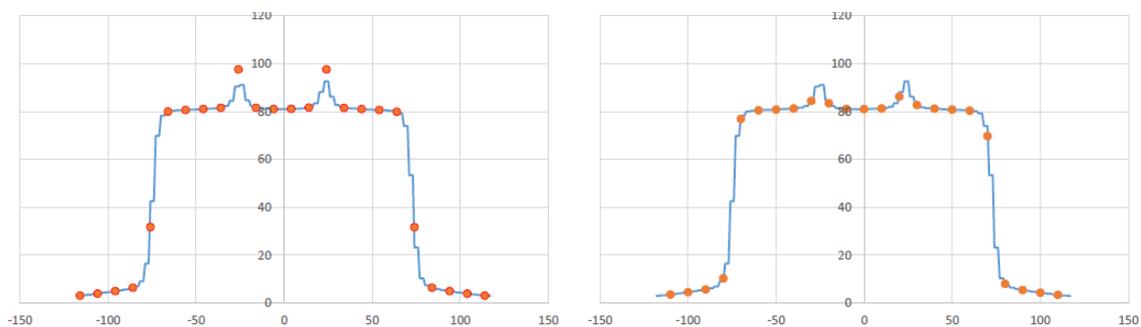
このようなイメージを持った上で、配列検出器とアイソセンターの位置関係と素子の配置について考えてみましょう。得られる測定値は素子の位置により大きく変化します。市松模様に素子が配置されている場合は、この両者が交互に測定されます。この様子を表しているのが次のグラフとなります。（オレンジ：測定、黒：ビーム）



Monaco で計算させると何が起きるでしょう。線量計算の解像度は計算グリッドサイズによって決まります。線量計算グリッドはある程度の大きさを持ちますので、Monaco ではもともとの急峻な分布が損なわれることとなります。（黒：ビーム、青：計算結果）



つまり配列検出器の測定データと Monaco の計算結果を比べると、左下図のように、ちょうどピークの最大値付近を素子が捉えている場合もあれば、右下図のような場合もあります。（オレンジ：測定、青：計算結果）



（左）配列検出器の信号の変位は、Monaco の計算の変位を上回る。

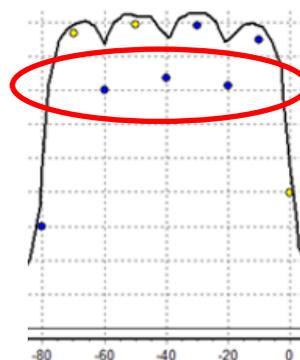
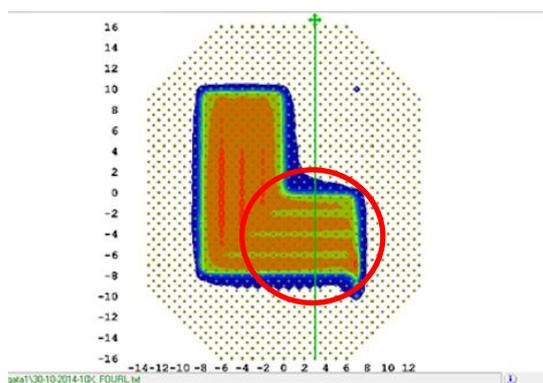
（右）配列検出器の信号の変位は、Monaco の計算の変位を下回る。

つまり、調整時には（左）の状況を作り出し、配列検出器のピークの高さの半分程度を Monaco の計算が示すようにすればいいのです。

また、DMLC との結果とつじつまが合うかどうか確認し、最終判断とします。もし、7segA と 3ABUT のみで Leaf offset を決定し、過剰見積もりした場合は、DMLC の計算が測定より高くなり、過小な場合は DMLC の計算が低くなってしまいます。

補足資料. Leaf Groove Width を変更しない理由

FOURL の右下部分は Leaf Groove の効果を見るために測定しています。この線量低下の領域の計算値は Leaf Groove Width によって調整できますが、補足資料『Leaf Offset を決定する際の注意点』で説明したように、計算グリッドによる影響が生じます。このため測定結果に合わせると過剰な調整になることがわかっています。したがって弊社では編集しておりません。



補足資料. 臨床プランを使用した MLC パラメータ検討手順

臨床プランを使用した MLC パラメータの検討を進めるにあたってのテスト用クリニックを作成して進める手順を本セクションで説明します。大まかな流れは、以下の通りです。

テスト用 Clinic の作成 → テスト用 Clinic 内でパラメータの検討と決定 →
決定した値を 0~Clinic へ登録し臨床運用開始 → テスト用 Clinic を別の場所へ移動し保管

※ 0~Clinic はご施設によっては 50~AGL の場合があります。その場合は文中の 0~Clinic を 50~AGL に置き換えてお読みください。

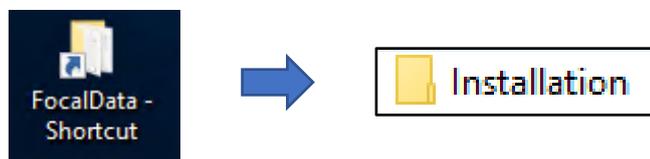
まずは全般的な注意点をお知らせします。

- ファイル操作時（具体的には Clinic 作成や患者様フォルダの移動）には、Monaco アプリケーションを閉じておいてください。
- ご施設様の運用に関してですが、ファイル操作を行うご担当者様を制限して下さい。日常的な Monaco のご使用とは異なりますので、管理者様もしくはご担当者をお決めになり、その方だけが行うようにして下さい。ファイル操作は便利な面もありますが、患者様のデータ欠損につながる危険性もございます。

次項より具体的な操作手順を記載いたします。

1. テスト用の Clinic 作成

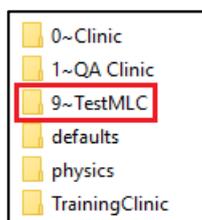
- ① Monaco 端末のデスクトップ上にある「FocalData-Shortcut」をダブルクリック、その中の「Installation」をダブルクリックします。



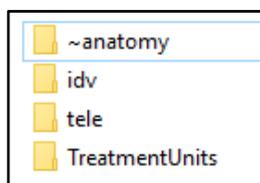
② いくつかの Clinic と必要なデータが格納されています。

(以下の図はご施設様と異なる場合があります)

ここで右クリックし New → Folder より新規フォルダを作成し、テスト用 Clinic を作成します。以下の例では「9~TestMLC」としていますが、ご施設様が判断できる名前でしたら、名づけのルールはありません。「~」も入れる必要はありませんが Clinic とわかりやすいように入れております。この時点では 9~TestMLC 内にデータは何も入っておりません。



③ 0~Clinic から「~anatomy」、「idv」、「tele」、「TreatmentUnits」の4つを 9~TestMLC 内へ**コピー**します。ここで注意点が 있습니다。左クリックでドラッグ&ドロップすると、「移動」となり、0~Clinic から上記4ファイルが移動してしまいます。従いまして、右クリックのドラッグ&ドロップで「**Copy here**」を選択してください。念のため操作完了後に 0~Clinic 内に上記4つのファイルが残っていることをご確認ください。9~TestMLC 内には以下の4つのファイルが格納されました。

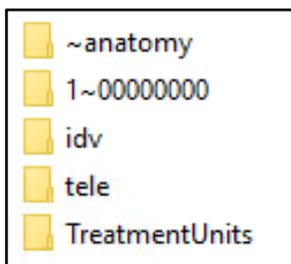


以上でテスト用の Clinic が作成されました。

2. テスト用 Clinic での運用方法

① 0~Clinic より調整に使用する患者様データを**コピー**します。該当患者様を 9~TestMLC へ**コピー**して下さい。注意点は 1-③と同様に移動しないようにして下さい。念のため、作業後に 0~Clinic に該当患者様が存在することをご確認ください。

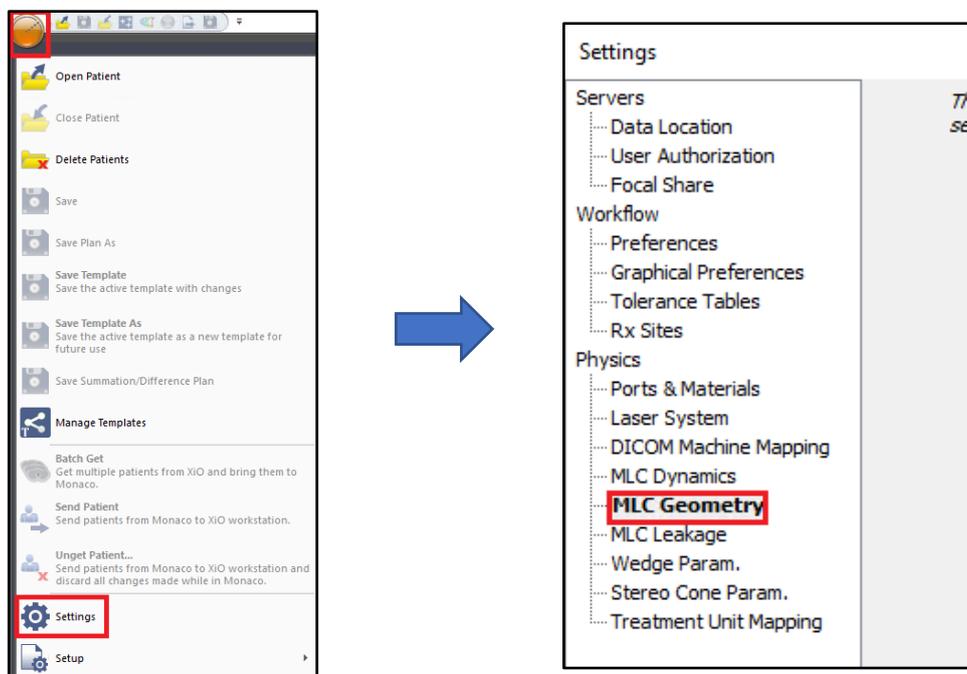
この作業により、9~TestMLC 内に 1 名の患者様データ(ID:00000000)が追加されました。



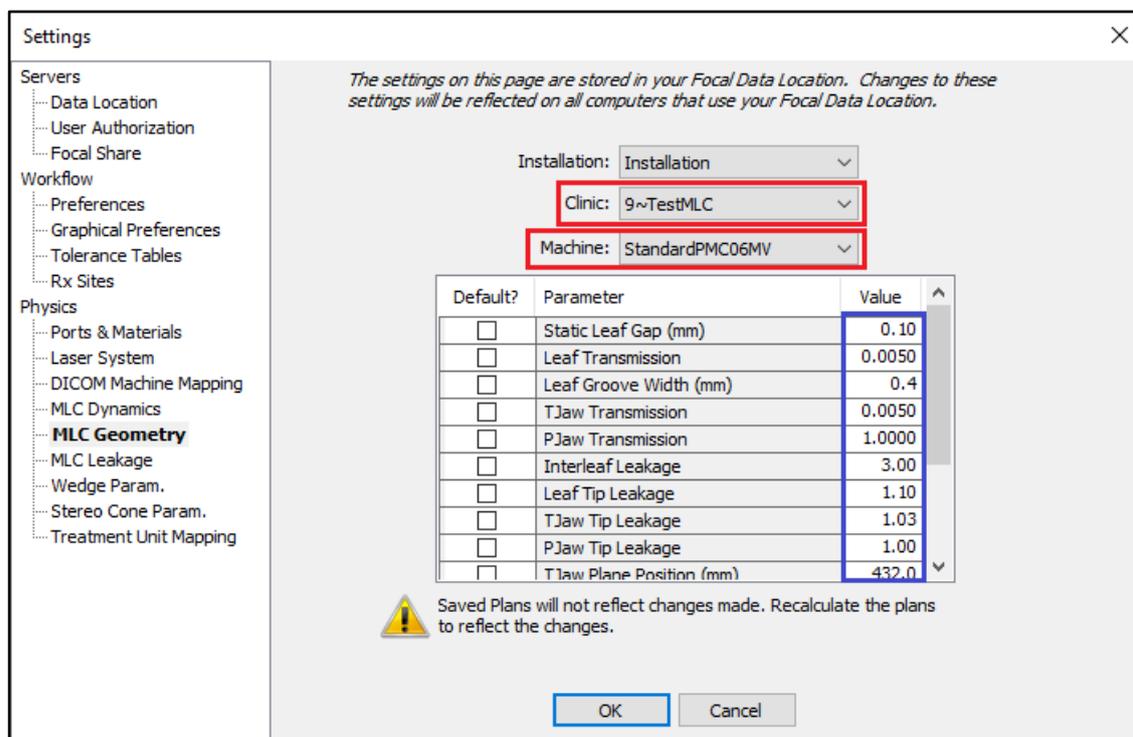
② Monaco を開きます。Patient selection ウィンドウに TestMLC が追加されていることが確認できます。

備考：患者様のデータが入っていないと、この画面では表示されません。

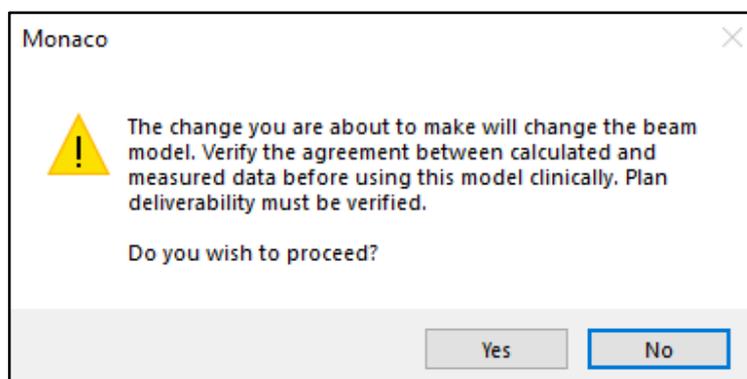
③ Patient selection を閉じ、Monaco アプリケーションボタンより Settings をクリックします。Settings ウィンドウが現れますので、MLC Geometry をクリックして下さい。



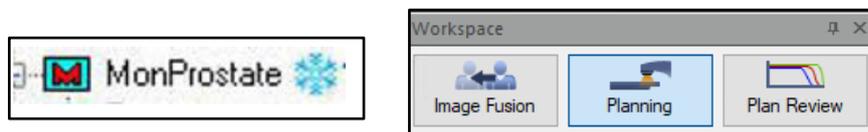
④ MLC Geometry の設定画面が現れます。まず、最初に以下画像の赤枠箇所である、**Clinic** を「9~TestMLC」、**Machine** を**調整したいビームモデル**へ変更してください。どの Clinic 内の、どのビームモデルを変更するか正しく指定する必要があります。必ずご確認ください。上記を選択すると、青枠のようにそのビームモデルの現在の設定値が表示されます。



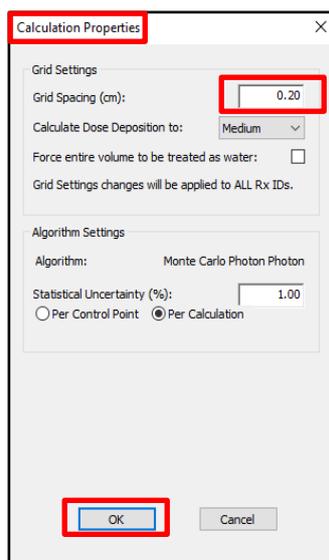
⑤ MLC パラメータ調整で変更する項目は、Leaf Transmission（上から 2 番目）と、Leaf Offset（一番下）です。二つのパラメータを変更後、再度値を確認し、ウィンドウ下の OK をクリックすると、以下の注意喚起メッセージが現れます。Yes をクリックしウィンドウを閉じてください。



⑥ 該当患者様にて、変更したパラメータで計算を行います。**9~TestMLC** 内の該当患者様を開きます。パラメータを計算時と変更したので、下記のようにフローズンマークが表示されています。該当のプランをダブルクリックします。



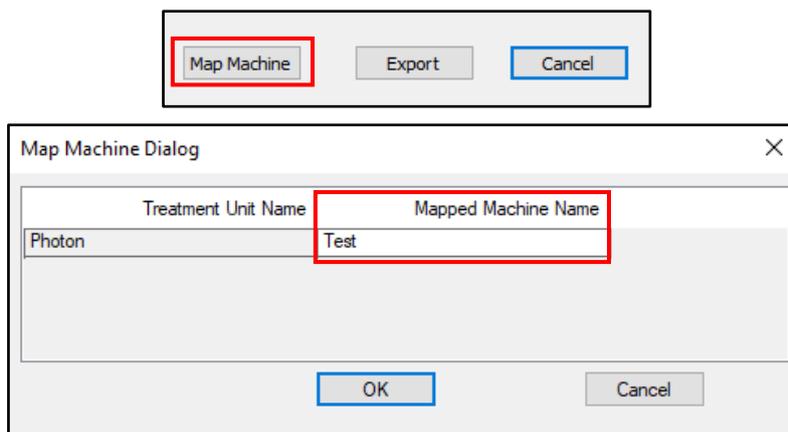
その後、Workspace の真ん中のボタン「Planning」をクリックして下さい。この時点では前回計算した線量分布が残っています。線量分布を消去するため、計算条件をあえて変更し、再度元に戻す作業を行います。Planning タブの Calculation Properties をクリックします。Grid Spacing を現在の値から任意の値に変更し、ウィンドウ下部の OK をクリックします。これで線量分布が消去されますので、再び Grid Spacing を元の数値に戻し、OK をクリックします。最後に Calculate ボタンをクリックし、計算を開始します。これにより、変更されたパラメータで再計算を行います。



⑦ 計算終了後は通常行っている方法で、計算結果を検証機器（配列検出器など）へ送信し、検証を行ってください。1 回目の Export の際に以下のメッセージが表示されます。



Map Machine を行う必要がありますので、DICOM Export ウィンドウの下側の Map Machine をクリックし、Mapped Machine Name に任意の名前を入力してください。Mapping することによりデータを Export することが出来るようになります。テスト用クリニックということで、Mapping Machine Name は「Test」などの名前が望ましいです。



検証機器にてγ-Pass Rate などで評価をして下さい。

※ 分布検証のみならず、絶対線量検証も実施することをお勧めいたします。

⑧ 検証に使用する他患者様を追加する方法も同様です。0~Clinic より 9~TestMLC へコピーします。注意点は 2-①と同様に移動しないようにしてください。念のため、作業後に 0~Clinic に該当患者様が存在することをご確認ください。

⑨ ご施設様の方針に沿った症例数の検討を行ってください。

※ **9~TestMLC Clinic の運用に関する注意点**

・ 9~TestMLC から MOSAIQ への転送は行わないでください。配列検出器などで測定する場合は、通常通り 0~Clinic から転送するようにしてください。今回の調整のための再計算は、MU やセグメント形状を変更しているわけではありません。

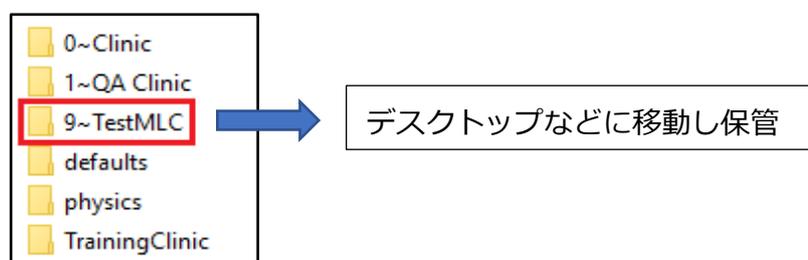
・ CT 画像を 9~TestMLC へインポートしないでください。新規患者様で検証する場合は、通常通り 0~Clinic へインポートし、プランを作成後に、ファイル操作で 0~Clinic から 9~TestMLC へ患者様をコピーしてください。

従いましてこの 9~TestMLC から出力されるデータは、配列検出器などで検証するための計算結果のみ許可されます。

3. コミッショニング終了後の手順

① パラメータ値を決定した後、0~Clinic 内のビームモデルを変更したパラメータに設定します。手順は 2-③、2-④、2-⑤と同様ですが、Clinic とビームモデルをお間違いないようご注意ください。**Clinic** は「**0~Clinic**」、**Machine** は**調整を行ったビームモデル**です。変更後はそのビームモデルを使用して作成したプランにフローズンマークがつきますが、プランの閲覧や、転送することは可能です。計算結果を消さないようご注意ください。

② 全ての作業が終了したら、テスト用 Clinic 「9~TestMLC」は不要となります。ミスに繋がる危険性がありますので、9~TestMLC はデスクトップなど別の場所へ移動し保管しておいてください。この操作はコピーではなく、移動となります。移動後は Monaco で開くことはできなくなります。（ファイルを戻せば再び開けます）



補足資料. 弊社におけるパラメータ決定方法の検討

2020年～2023年に実施されたAGLサイトにおけるMLCパラメータ調整の結果から、Leaf TransmissionとLeaf Offsetの値を決定する方法を検討しました。その手順を以下に示します。

～検討手順～



Step 1. Leaf Transmission の決定

従来、Leaf Transmission の値を決定する際、多次元検出器で測定した TypeF (FOURL) を使って決定していました。過去の経験から、Leaf Transmission が固定値を取りうる可能性があると考え、エネルギー毎にAGLサイトのLeaf Transmissionの傾向を確認しました(表1)。

表 1. Leaf Transmission

エネルギー	ArcCHECK		Delta4	
	Leaf Transmission	サイト数	Leaf Transmission	サイト数
6MV	0.0056 ±0.0003	18	0.0068 ±0.0003	3
10MV	0.0053 ±0.0002	17	0.0062 ±0.0005	3
6FFF	0.0045 ±0.0001	16	0.0060 ±0.0004	3
10FFF	0.0043 ±0.0002	15	0.0053 ±0.0003	3

表 1 より、Leaf Transmission のバラつきが小さいことがわかりました。そこで、Leaf Transmission の値をエネルギー毎に固定化できないか検討することにしました。

検討方法は、ArcCHECK の Leaf Transmission の平均値を使用して、 1σ 以上 Leaf Transmission の値が異なるサイトの TypeF の γ パス率をオリジナルと比較し、影響がないことを確認しました。結果、ArcCHECK の Leaf Transmission の平均値を使用しても、 γ パス率が大きく変わらないことがわかりました。検討した際の例を以下に示します。

例 1. Leaf Transmission 変更前後の TypeF の γ パス率比較

変更前：モデリング当時のパラメータでの、TypeF の γ パス率を記載

変更後：Leaf Transmission のみ変更（ArcCHECK の Leaf Transmission の平均値を使用）した際の TypeF の γ パス率を記載

エネルギー	Leaf Transmission	Pass[%]						
		10x10	20x20	7segA	DMLC	FOURL	HDMLC	HIMRT
6MV	変更前 0.0060	99.2	97.8	92.4	96.4	90.0	93.4	96.3
	変更後 0.0056	98.7	98.6	91.2	96.9	88.7	92	94.6
10MV	変更前 0.0058	99.8	99.3	85.7	90.1	85.8	100	99.6
	変更後 0.0053	100	100	95.1	96.8	91.9	100	100
6FFF	変更前 0.0042	100	99.5	100	99.8	92.9	99.7	99.1
	変更後 0.0045	100	99.5	100	99.9	94	99.7	99.4
10FFF	変更前 0.0055	98.9	99.3	99.5	99.9	86.2	95.4	99
	変更後 0.0043	99.1	99.5	96.7	98.7	84.4	94.6	98.7

以上より、Leaf Transmission をエネルギー毎に決定しました。

◇	6 M V	:	0.0056
◇	10MV	:	0.0053
◇	6 FFF	:	0.0045
◇	10FFF	:	0.0043

Step 2. Leaf Offset の決定

従来Leaf Offsetは、DMLCの絶対線量とTypeFのパス率（主にHIMRTやHDMLC）から最適と思われるものを採用し決定していました。我々は、Leaf Offset が DMLC 出力比（1）と関係があると推測しました。

$$DMLC \text{ 出力比} = \frac{DMLC \text{ の絶対線量 [cGy]} }{10 \times 10 \text{ cm}^2 \text{ の絶対線量 [cGy]} } \dots (1)$$

そこで、(ア) (イ) の検証を行いました。



(ア) AGL モデルを使った DMLC の絶対線量の算出

以下の①~③の手順に従って、モデルの Leaf Offset を 0.01 ずつ変更した際の DMLC 出力比を算出し、Leaf Offset の数値との相関関係を求めました。

① Dose Calibration の実施

複数の AGL サイトの $10 \times 10 \text{ cm}^2$ の絶対線量の統計（表 2）から最大,平均,最小値においてそれぞれでモデルの Dose Calibration を実施しました。Monaco は Version 6.1.2 を使用しました。

表 2. 複数の AGL サイトの 10×10cm² の実測値[cGy]の統計⁸

エネルギー	最大	平均	最小
6MV	78.8	78.3	77.8
10MV	84.2	83.6	82.9
6FFF	78.5	78.0	77.3
10FFF	83.7	83.1	82.2

② Leaf Transmission の適用

Step1 で決定した Leaf Transmission を適応しました。

- ・ 6 M V : 0.0056
- ・ 10MV : 0.0053
- ・ 6 F F F : 0.0045
- ・ 10FFF : 0.0043

③ 各 Leaf Offset における DMLC 出力比を算出

Leaf Offset を変更した際の DMLC 出力比を算出しました。検討した Leaf Offset は、表 3 を参考に複数の AGL サイトの Leaf Offset の最大と最小のそれぞれ±0.01 も含めて検討しました (-0.06、+0.06 は除外)。

その時の計算条件を表 4 に示しました。また DMLC 出力比を算出し、Leaf Offset との関係を表 5 に示しました。

表 3. Leaf offset 値の検討範囲⁸

エネルギー	最大	平均	最小
6MV	0.05	0.02	-0.03
10MV	0.05	0.03	-0.03
6FFF	0.02	-0.01	-0.05
10FFF	0.01	-0.01	-0.05

⁸ 2020～2023 年の AGL サイト (21 施設)

表 4. 計算条件

項目	条件
使用した Phantom	Monaco Phantom
Grid Spacing[cm]	0.2
Statistical Uncertainty[%]	0.3/control point
Force entire patient to be treated as water	<input checked="" type="checkbox"/>

(イ) 近似式の算出

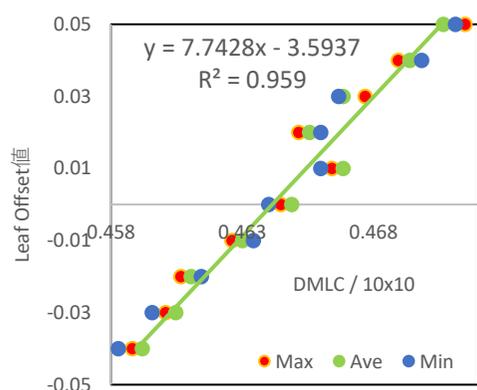
図 1 は、表 5 の結果をグラフで表しています。実線は、 $10 \times 10 \text{cm}^2$ の絶対線量の平均における Leaf Offset と DMLC 出力比の近似曲線です。このグラフから見てわかる通り、 $10 \times 10 \text{cm}^2$ の絶対線量の大きさに関わらず、算出される DMLC 出力比は近似した値になることがわかります。すなわち、モデルの $10 \times 10 \text{cm}^2$ の絶対線量の大きさは Leaf Offset と DMLC 出力比の相関関係に影響しないことがわかりました。

よって、図 1 の近似式と実測した DMLC 出力比を用いて、Leaf Offset を算出することにいたしました。Leaf Offset を決定する際に用いる近似式を以下に示します。

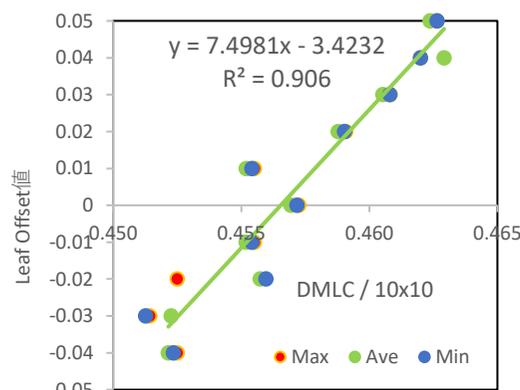
- ◇ **6MV** : $y = 7.7428 * (\text{DMLC出力比}) - 3.5937$
- ◇ **10MV** : $y = 7.4981 * (\text{DMLC出力比}) - 3.4232$
- ◇ **6FFF** : $y = 7.1837 * (\text{DMLC出力比}) - 3.233$
- ◇ **10FFF** : $y = 7.3924 * (\text{DMLC出力比}) - 3.2762$

表5. 各エネルギーにおける DMLC / 10x10 と Leaf Offset 値の関係

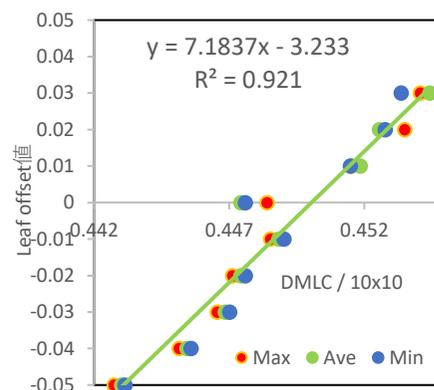
エネルギー Dose Calibration [cGy]	6MV			10MV			6FFF			10FFF		
	最大 78.8	平均 78.3	最小 77.8	最大 84.2	平均 83.6	最小 82.9	最大 78.5	平均 78.0	最小 77.3	最大 83.7	平均 83.1	最小 82.2
Leaf Transmission	0.0056			0.0053			0.0045			0.0043		
Leaf Offset	DMLC 出力比											
-0.05	/	/	/	/	/	/	0.443	0.443	0.443	0.438	0.438	0.438
-0.04	0.459	0.459	0.458	0.452	0.452	0.452	0.445	0.445	0.446	0.437	0.438	0.437
-0.03	0.460	0.460	0.460	0.451	0.452	0.451	0.447	0.447	0.447	0.441	0.440	0.440
-0.02	0.461	0.461	0.461	0.452	0.456	0.456	0.447	0.447	0.448	0.440	0.440	0.440
-0.01	0.463	0.463	0.463	0.456	0.455	0.455	0.449	0.449	0.449	0.440	0.440	0.440
0.00	0.464	0.465	0.464	0.457	0.457	0.457	0.448	0.447	0.448	0.444	0.445	0.445
0.01	0.466	0.467	0.466	0.456	0.455	0.455	0.452	0.452	0.451	0.443	0.444	0.444
0.02	0.465	0.466	0.466	0.459	0.459	0.459	0.454	0.453	0.453	0.445	0.444	0.444
0.03	0.468	0.467	0.467	0.461	0.461	0.461	0.454	0.454	0.453	/	/	/
0.04	0.469	0.469	0.470	0.462	0.463	0.462	/	/	/	/	/	/
0.05	0.471	0.471	0.471	0.463	0.462	0.463	/	/	/	/	/	/



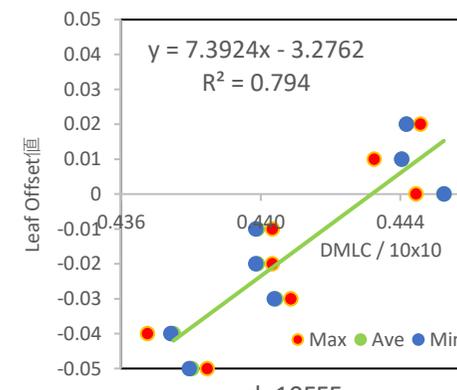
a. 6MV



b. 10MV



c. 6FFF



d. 10FFF

図 1. 各エネルギーにおける Leaf Offset と DMLC 出力比の関係

Step 3. TypeF γ パス率の変化

パラメータ調整における従来の決定方法と今回検討した方法を表 6 に示します。

表 6. パラメータの決定方法

	Leaf Transmission	Leaf Offset
【変更前】 従来の決定方法	FOURL より決定	DMLC の絶対線量と TypeF (主にHDMLCとDIMRT) のパス率より決定
【変更後】 今回検討した方法	エネルギー毎に固定値を 使用	近似式と 実測した DMLC 出力比より決定

各 TypeF の γ パス率を平均化し、パラメータ決定方法の変更前後を比較しました (図 2)。また、変更前後における各サイトの γ パス率の詳細な結果を表 7 に示しました。パラメータ決定方法の変更前後で、 γ パス率に大きな変化がないことがわかりました。

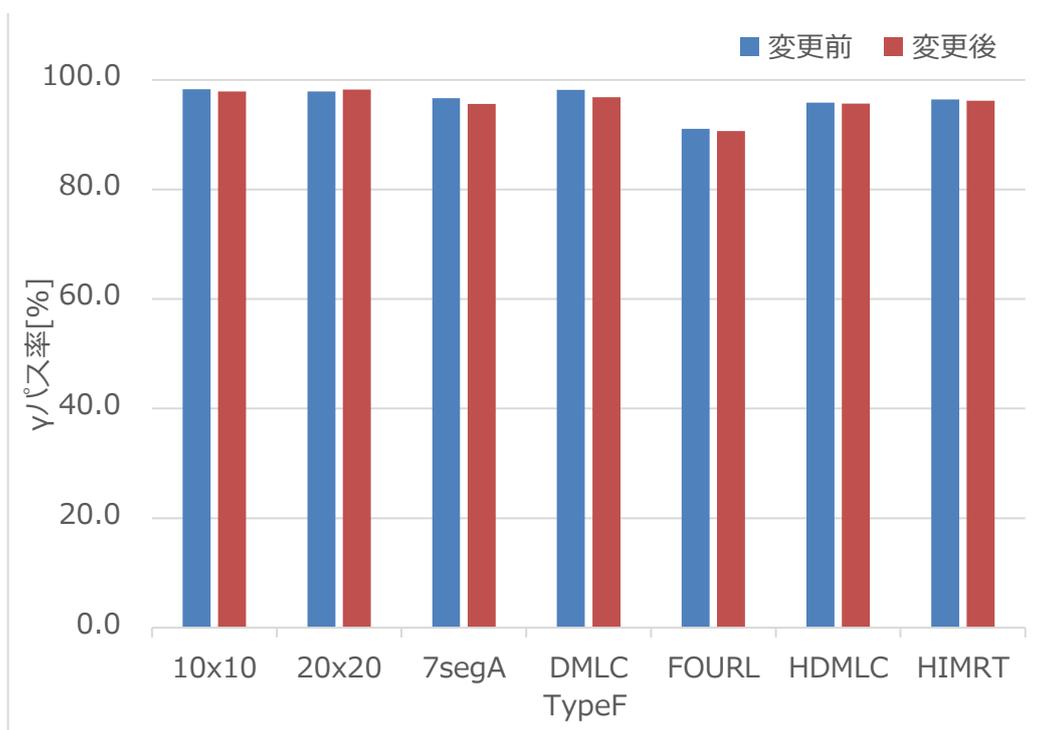


図 2. TypeF におけるパラメータ決定方法の変更前後の γ パス率

表 7. TypeF γ パス率 -ArcCHECK- (2mm3%,TH10%,AD)

サイト	パラメータ	エネルギー	パス率[%]						
			10x10	20x20	7segA	DMLC	FOURL	HDMLC	HIMRT
A	変更前	6MV	95.7	94.9	88.6	96.7	87.9	88.9	92.3
		10MV	98.5	85.3	95.9	98	93.1	95.8	97.7
		6FFF*	100	96.0	97.4	99.1	92.2	95.2	95.3
		10FFF	96.6	98.1	98.7	98.9	92.3	93.5	95.5
	変更後	6MV	94.9	94.9	89.0	96.4	87.5	88.6	91.7
		10MV	90.5	96.0	97.8	99.2	93.1	91.7	94.2
		6FFF*	94.8	92.9	81.7	91.9	83.3	87.8	89.5
		10FFF	100	98.3	99.4	99.9	99.4	94.1	95.8
B	変更前	6MV	98.5	95.1	95.9	98.3	88.4	94.3	96.1
		10MV	100	96.9	88.7	97.6	82.9	90.2	95.4
		6FFF	100	99.8	99.7	100	95.0	99.1	99.4
		10FFF	99.6	98.8	98.5	100	93.3	97.1	98.0
	変更後	6MV	100	99.1	96.7	99.8	88.7	93.7	96.4
		10MV	99.2	99.1	98.0	99.7	91.8	95.9	97.3
		6FFF	100	100	100	100	96.0	96.0	95.9
		10FFF	100	98.9	98.7	100	94.1	98.5	98.5
C	変更前	6MV	98.7	98.1	95.4	98.2	90.3	92.3	94.3
		10MV	98.4	98.7	99	99.7	93.3	95.4	95.6
		6FFF	100	98.4	99.9	100	92.2	91.8	90.7
		10FFF	98.7	99.2	100	100	94.9	95.4	91.6
	変更後	6MV	99.6	98.3	95.5	99.6	89.4	91.7	94.9
		10MV	98.4	98.7	99	99.7	93.3	95.4	95.6
		6FFF	100	98.4	99.9	100	92.2	91.8	90.7
		10FFF	98.7	99.2	100	100	94.9	95.4	91.6

※RD 比較

表 7. TypeF γ パス率 -ArcCHECK- (2mm3%,TH10%,AD)

サイト	パラメータ	エネルギー	パス率[%]						
			10x10	20x20	7segA	DMLC	FOURL	HDMLC	HIMRT
D	変更前	6MV	100	99.5	97.8	99.9	92	96.7	97
		10MV	99.3	99.3	89.8	95	94.8	97.6	97.4
		6FFF	100	99.5	98.2	99.8	92.1	97.3	96.4
		10FFF	100	99.8	99.9	99.8	95.5	97.1	97.2
	変更後	6MV	100	99.5	98	99.8	91.8	97.3	96.4
		10MV	100	99.7	96.6	98.3	92.4	98.1	97.8
		6FFF	100	99.8	99.7	99.7	95.7	99	99.7
		10FFF	100	99.8	100	100	95.9	97.8	96
E	変更前	6MV	94.5	97.2	95.9	99.6	86.2	88.2	91
		10MV	93.3	96.3	98.9	99.8	92.1	93.5	93.2
		6FFF	99.6	99.1	98.7	99.7	94.8	95.4	96.9
		10FFF	100	98.3	99.7	99.9	93.8	95.7	95.2
	変更後	6MV	93.7	97.2	76.1	93.3	78.7	88.4	90.4
		10MV	93.3	97.3	96.7	99.4	90.8	93.2	93.5
		6FFF	96.1	98.3	99.4	100	93.5	92.7	93.6
		10FFF	100	98.8	99.9	100	94	93.9	92.8
F	変更前	6MV	97.6	99.1	92.3	97.6	90.1	95.1	96.6
		10MV	96.6	99.3	96.9	95.1	92.1	97.6	98.1
		6FFF	94.4	92.3	98.3	96.3	93.6	98.5	98.8
		10FFF	94.8	98.9	99.4	97.9	95.1	96.8	98.8
	変更後	6MV	97.6	98.7	93.6	97.7	90.3	95.1	96.2
		10MV	95.5	98.7	98.7	97.7	92.3	95.5	96.3
		6FFF	97.4	98.4	99.4	99.5	95.3	97.2	98.5
		10FFF	94.4	99.6	99.3	99.4	93.8	95.1	96.8
G	変更前	6MV	99.2	97.9	82.6	96.6	81.8	94.3	97.1
		10MV	97.4	97.1	96	99.3	90	96.6	98.4
		6FFF	100	99.5	99.9	99.8	94.4	99.7	99.4
	変更後	6MV	98.4	97.8	89.2	98.6	84.4	94.8	97.1
		10MV	97.7	96.9	98.1	99.1	90.2	96.9	97.3
		6FFF	100	99.4	99.9	100	93.8	99.7	99.4

表 7. TypeF γ パス率 -ArcCHECK- (2mm3%,TH10%,AD)

サイト	パラメータ	エネルギー	パス率[%]						
			10x10	20x20	7segA	DMLC	FOURL	HDMLC	HIMRT
H	変更前	6MV	100	99.2	98.3	99.3	91.7	96.8	95.7
		10MV	100	96	96.9	98.2	92.9	97.6	98.1
	変更後	6MV	100	99.2	96.4	99.3	91.2	95.7	97.4
		10MV	100	95.8	96.7	96.5	92.1	97.4	98.4
I	変更前	6MV*	96.9	97.8	97.3	97.8	93.2	96.1	95.1
		10MV*	94.8	96.1	96.4	97.2	90	94.6	94.9
		6FFF	95.7	97.1	98	98.6	91.1	92.3	93.9
		10FFF	92.7	96.3	96.9	99.8	88.8	91.7	93.2
	変更後	6MV*	95.4	96.6	95.1	92.2	92	96.1	95.5
		10MV*	92.9	94.7	93.9	91.6	89.1	94.7	95.6
		6FFF	95.7	96.4	96.8	93.6	88.1	91.4	93.9
		10FFF	91.4	95.3	87.5	95.7	94.7	91.8	92.6
J	変更前	6MV	96.4	97	87.5	96.9	88.3	90.3	91.5
		10MV	98.4	98.4	98.2	98.5	94.9	94.7	94.7
		6FFF	100	99.2	98.7	99.6	95.7	97.6	97.9
		10FFF	100	98.5	99.4	99.7	94.8	96.6	95.8
	変更後	6MV	94	94.7	87.9	92.3	88.2	90.4	92.1
		10MV	93.6	96.5	95.1	90.8	93.3	92.9	91.6
		6FFF	99.6	97.9	97.9	94.9	96.9	97.2	95
		10FFF	97	98.5	97.8	98.4	91.7	95.4	95.4

※RD 比較

表 7. TypeF γ パス率 -Delta4- (2mm3%,TH10%,AD)

サイト	パラメータ	エネルギー	パス率%]						
			10x10	20x20	7segA	DMLC	FOURL	HDMLC	HIMRT
K	変更前	6MV	99.8	99.2	89.6	96.1	88.6	99.9	100
		10MV	100	100	98.6	98.4	91.6	100	100
		6FFF	100	100	99.4	99	78.8	99.9	99.9
		10FFF	99.8	99.6	95.3	95.3	80.5	99.9	99.3
	変更後	6MV	99.5	99.5	83.9	77.6	86.3	100	100
		10MV	100	99.9	95.8	94.8	90.8	100	100
		6FFF	100	99.9	93.1	89.5	74.4	100	100
		10FFF	99.8	99.7	90.8	93.9	80.5	100	99;6
L	変更前	6MV	99.8	99.5	98.3	94.4	92.4	99.6	99.4
		10MV	99.8	99.5	98.8	88.9	90.4	99.4	99.6
		6FFF	99.8	99.5	99.9	97.3	90.6	99.4	99.6
		10FFF	99.8	99.9	98.9	99.2	92.2	99	98
	変更後	6MV	99.8	99.4	96.9	93.9	92.7	99.3	99.3
		10MV	99.8	99.5	98.5	93.4	92	99.6	99.6
		6FFF	99.8	99.5	99.9	99.1	91.2	99.4	99.6
		10FFF	99.8	99.9	96.8	98.5	92.6	98.9	98.4
M	変更前	6MV	99.5	99.4	95.8	98.5	88	98.6	99.6
		10MV	100	99.5	99.8	99.3	89	99.3	99.6
		6FFF	99.6	99.7	99.7	100	88.9	99.9	100
		10FFF	99.1	99.5	99.4	100	86.3	95.7	99
	変更後	6MV	99.5	99.5	90.8	96.4	87.3	98.2	99.4
		10MV	99.6	99.6	99.3	99.3	89	99.2	99.6
		6FFF	100	99.7	96.3	96.3	87	99.4	100
		10FFF	99.1	99.4	97.5	98.8	84.8	95.4	99

また、今回検討したパラメータ決定方法において、DMLC の絶対線量が実測と計算とで乖離がないか確認しました（表 8）。計算された DMLC の絶対線量は検討した全てのサイトの各エネルギーにおいて±1.0%未満で一致していることがわかりました。

表 8. DMLC の絶対線量比較

サイト	エネルギー	DMLC 絶対線量[cGy]			サイト	エネルギー	DMLC 絶対線量[cGy]		
		実測	計算	Diff[%]			実測	計算	Diff[%]
A	6MV	36.4	36.6	0.55%	G	6MV	36.6	36.5	-0.27%
	10MV	38.6	38.6	0.00%		10MV	38.7	38.7	0.00%
	6FFF	35.1	35	-0.29%		6FFF	35.2	34.9	-0.86%
	10FFF	36.7	36.9	0.54%	H	6MV	35.8	35.8	0.00%
B	6MV	36.6	36.7	0.27%		10MV	38	38.1	0.26%
	10MV	38.7	38.8	0.26%	I	6MV	36.5	36.5	0.00%
	6FFF	35.2	35	-0.57%		10MV	38.6	38.6	0.00%
	10FFF	36.9	37	0.27%		6FFF	35	35	0.00%
C	6MV	36.7	36.7	0.00%		10FFF	36.6	36.6	0.00%
	10MV	38.7	38.7	0.00%	J	6MV	36.3	36.3	0.00%
	6FFF	34.5	34.5	0.00%		10MV	38.5	38.5	0.00%
	10FFF	36.6	36.7	0.27%		6FFF	34.8	34.8	0.00%
D	6MV	36.5	36.5	0.00%		10FFF	36.6	36.5	-0.27%
	10MV	38.6	38.6	0.00%	K	6MV	36.1	36.1	0.00%
	6FFF	34.8	35	0.57%		10MV	38.3	38.3	0.00%
	10FFF	36.8	36.8	0.00%		6FFF	34.6	34.6	0.00%
E	6MV	36	35.9	-0.28%		10FFF	36.3	36.4	0.27%
	10MV	38.5	38.4	-0.26%	L	6MV	36.5	36.6	0.27%
	6FFF	34.8	34.7	-0.29%		10MV	38.5	38.5	0.00%
	10FFF	36.4	36.6	0.55%		6FFF	35	35	0.00%
F	6MV	36.4	36.4	0.00%		10FFF	36.5	36.5	0.00%
	10MV	38.5	38.4	-0.26%	M	6MV	36.4	36.5	0.27%
	6FFF	34.8	34.9	0.29%		10MV	38.6	38.6	0.00%
	10FFF	36.3	36.4	0.27%		6FFF	34.8	34.8	0.00%
				10FFF		36.4	36.3	-0.28%	

まとめ：AGL モデルの MLC パラメータ決定方法

- Leaf Transmission は、エネルギー毎に以下の値を採用します
 - ◇ 6 M V : 0.0056
 - ◇ 10MV : 0.0053
 - ◇ 6 F F F : 0.0045
 - ◇ 10FFF : 0.0043
- 実測した DMLC 出力比を用いて、図 1 の近似式より Leaf Offset を決定します
 - ◇ 6 M V : $y = 7.7428 * (DMLC出力比) - 3.5937$
 - ◇ 10MV : $y = 7.4981 * (DMLC出力比) - 3.4232$
 - ◇ 6 F F F : $y = 7.1837 * (DMLC出力比) - 3.233$
 - ◇ 10FFF : $y = 7.3924 * (DMLC出力比) - 3.2762$

エレクタ株式会社
東京都港区芝浦 3-9-1
エレクタケアサポートセンター 0120-659-043
メールアドレス SoftwareService-Japan@elekta.com