



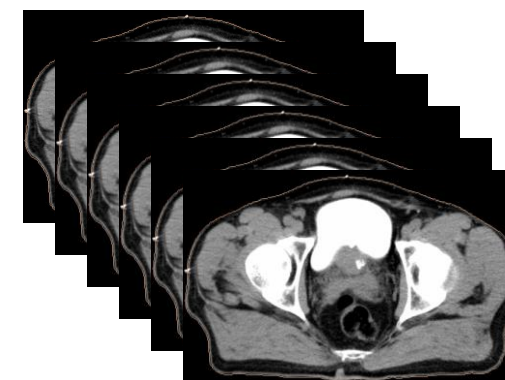
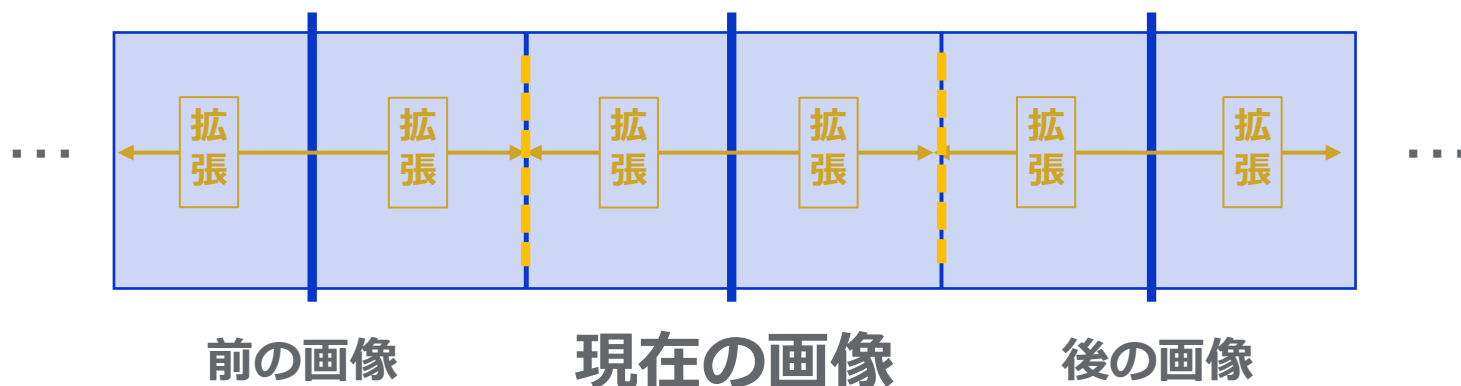
Patient model

Patient modelとは

- MonacoはCT画像をそのまま線量計算に利用しているわけではありません。
- 線量計算の際にCT 画像を基に、患者をモデル化します。
つまり**Patient model**を作成します。
- Patient model作成のプロセスは以下の通りです。
 1. CT画像のボクセル化
 2. CT-相対電子密度変換

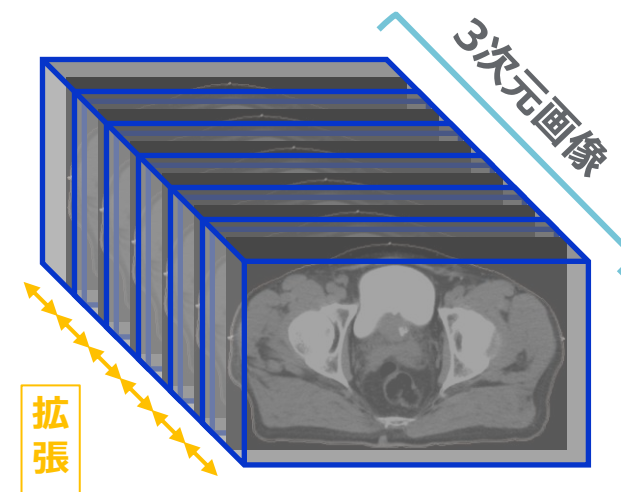
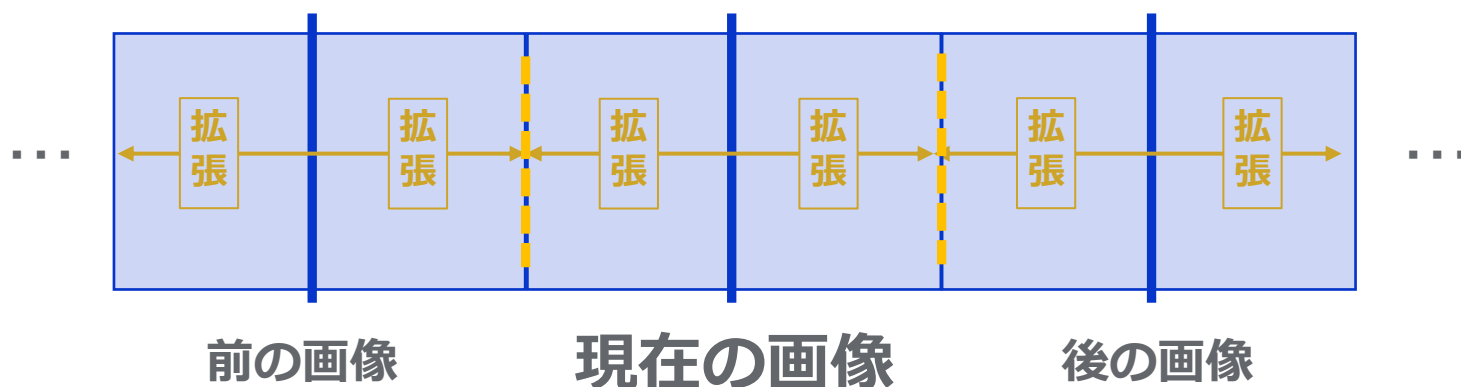
CT画像のボクセル化

- スライス間隔
 - CT画像セットは複数の2次元画像から構成されます。
 - Monacoでは、現在のCT画像と輪郭は現在の画像から前後の画像の途中まで拡張されるように設定されます。
 - CT画像セットは直方体を単位とした3次元画像に変換されます。



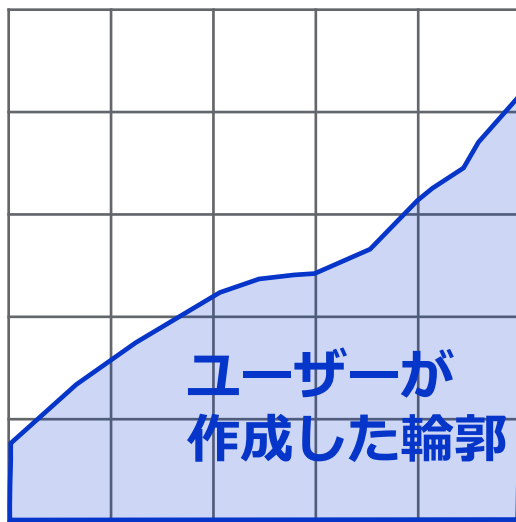
CT画像のボクセル化

- スライス間隔
 - CT画像セットは複数の2次元画像から構成されます。
 - Monacoでは、現在のCT画像と輪郭は現在の画像から前後の画像の途中まで拡張されるように設定されます。
 - CT画像セットは直方体を単位とした3次元画像に変換されます。



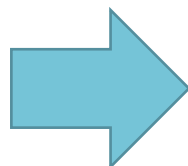
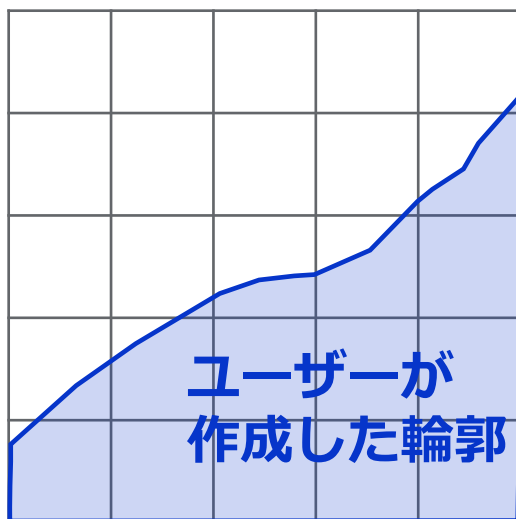
CT画像のボクセル化

- 治療計画時には、3次元画像に対してユーザーが輪郭を作成します。

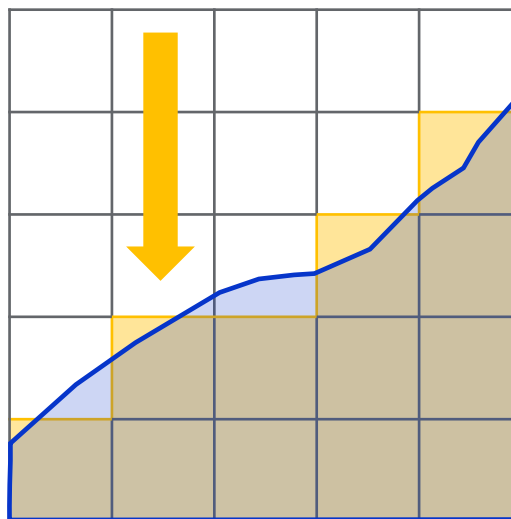


CT画像のボクセル化

- 線量計算の際にMonaco内部で、ユーザーが作成した輪郭に対してからCTボクセルに基づいた位置に変換した輪郭を作成します。

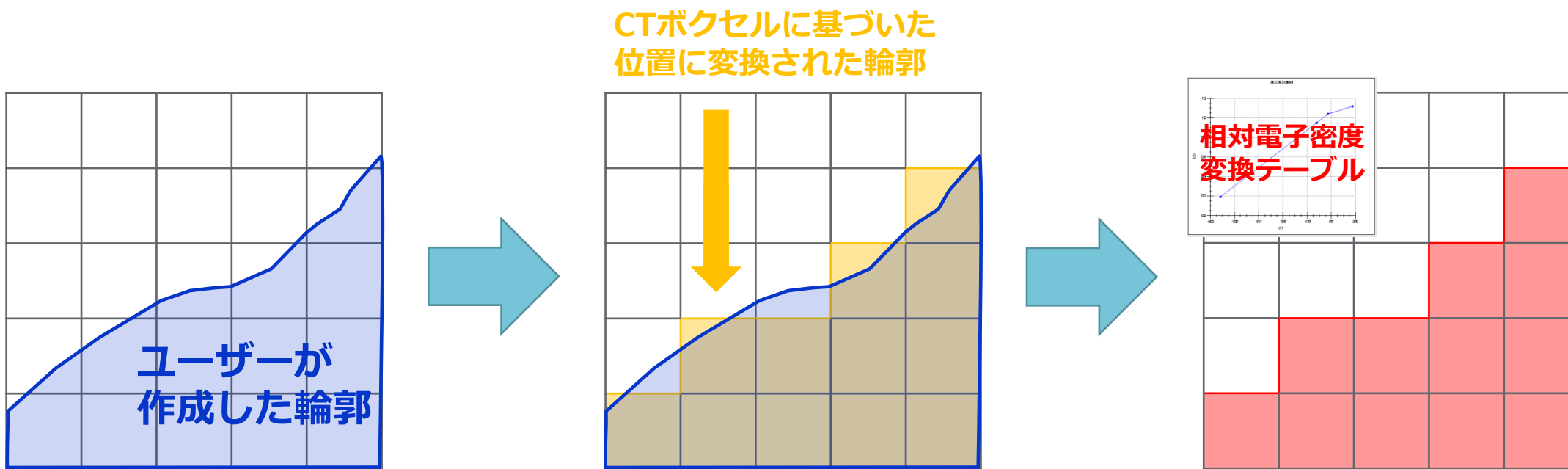


CTボクセルに基づいた
位置に変換された輪郭



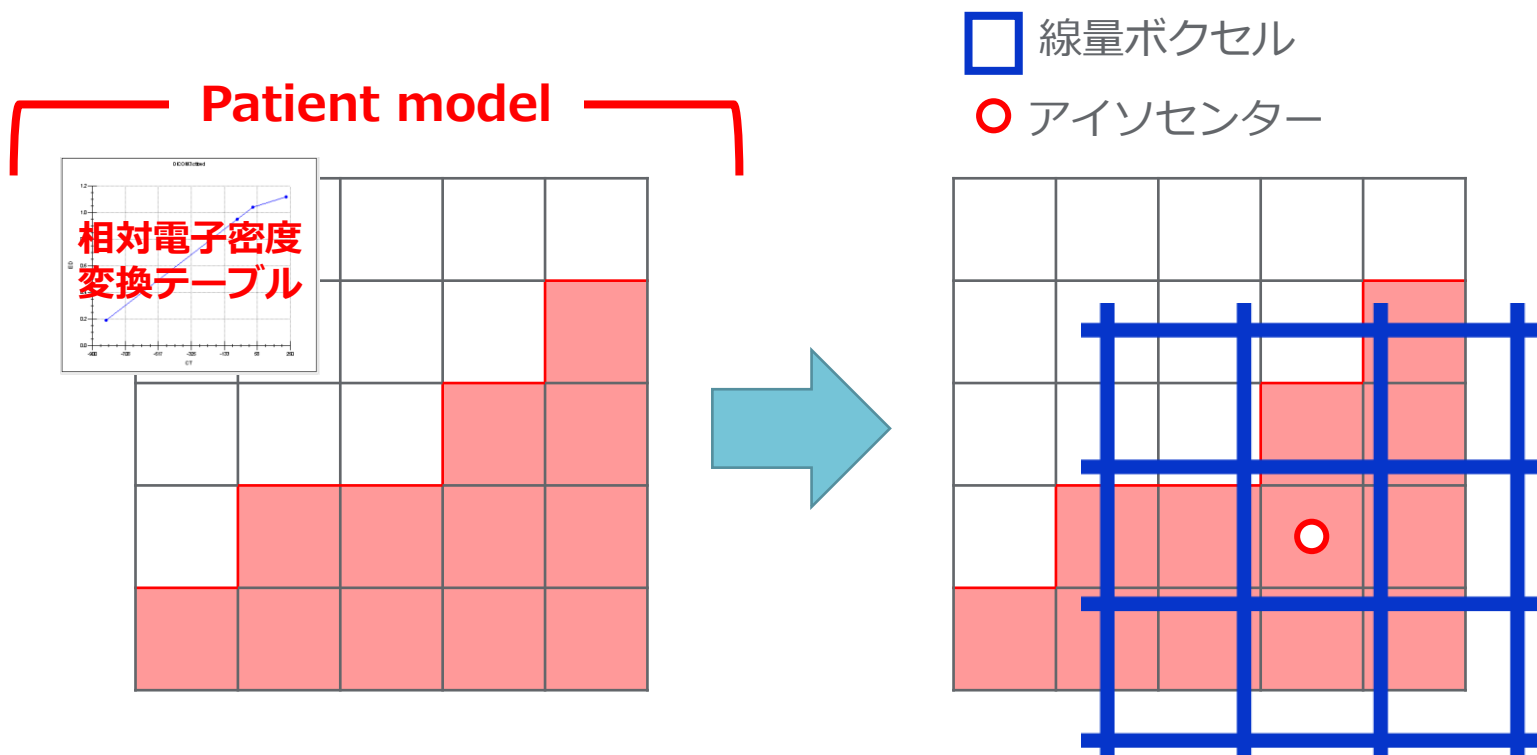
CT-相対電子密度変換

- CT-相対電子密度変換テーブルに基づいて、各CTボクセルに相対電子密度が割り当てられます。



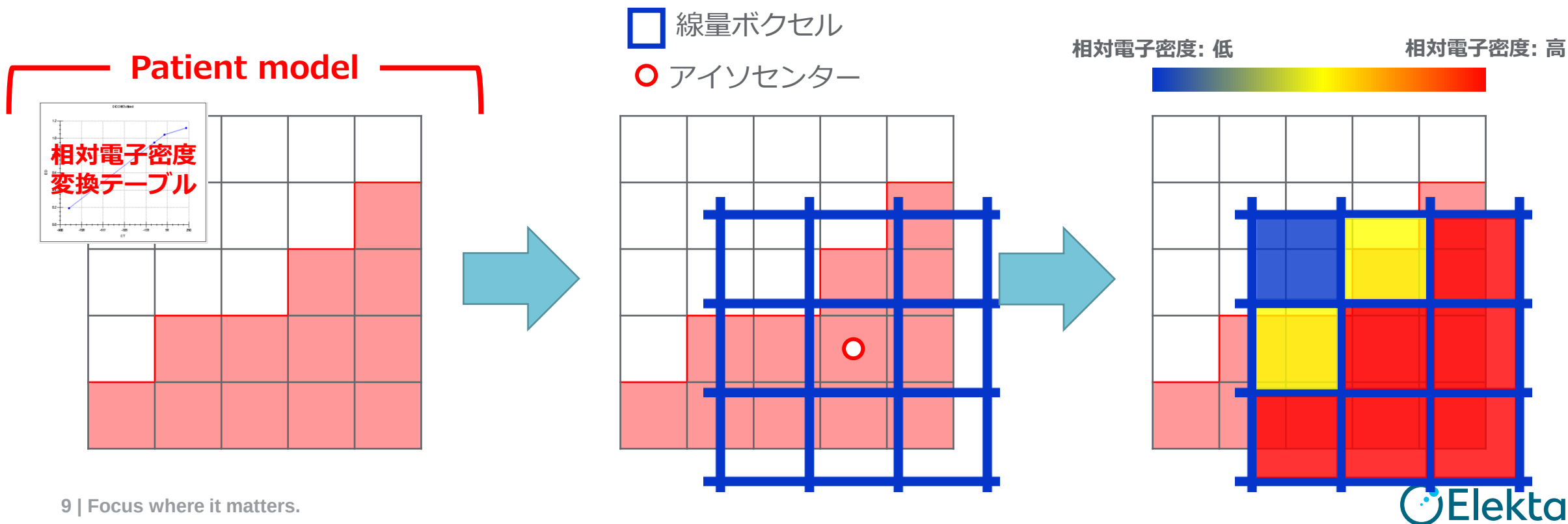
線量ボクセルの作成

- Monacoでは線量ボクセルは1つ目のビームの Isocenter を中心に配置されます。

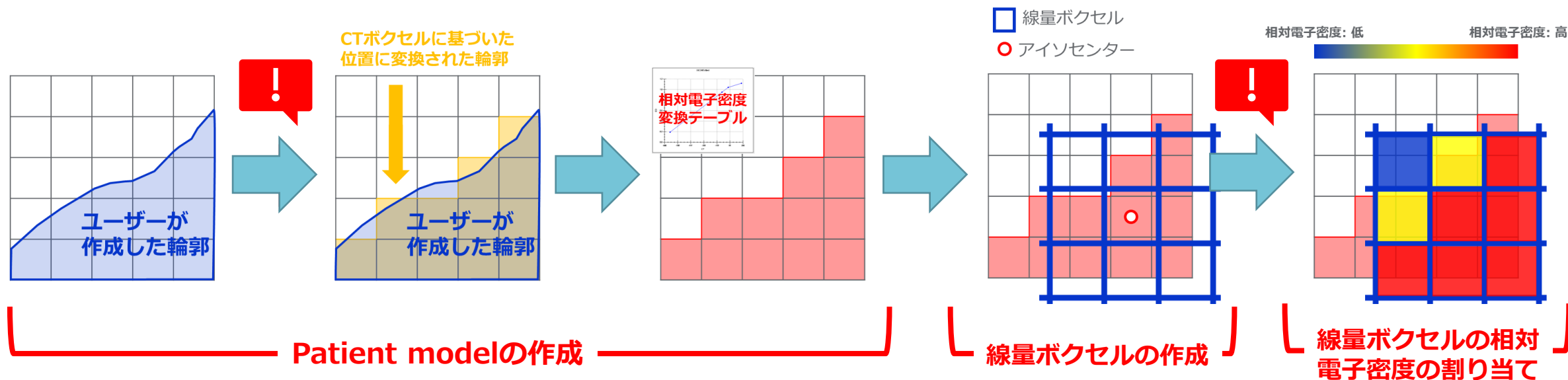


線量ボクセルの相対電子密度の割り当て

- 線量ボクセル内の相対電子密度の各CTボクセルの相対電子密度を参照して割り当てられます。

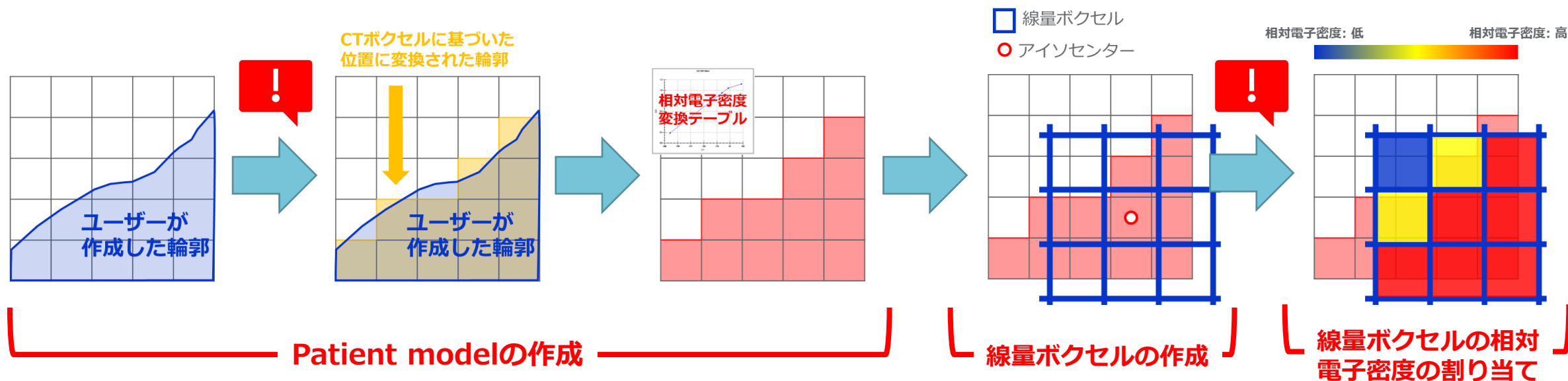


バージョンによる違いの概要



	5.11	5.51	6.x
CTボクセルに基づいた位置に変換した輪郭	描画された輪郭に最も近いCTボクセルを含むように再定義	CTボクセルをより細かく分割したCTサブボクセルを含むように再定義	5.51と同じ
線量ボクセル内の相対電子密度	線量ボクセルを27個に細分化した平均	CTサブボクセル内の加重平均	線量ボクセル内に含まれるCTサブボクセルをより細かく分割したCTミニボクセルの平均

バージョンによる違いの概要



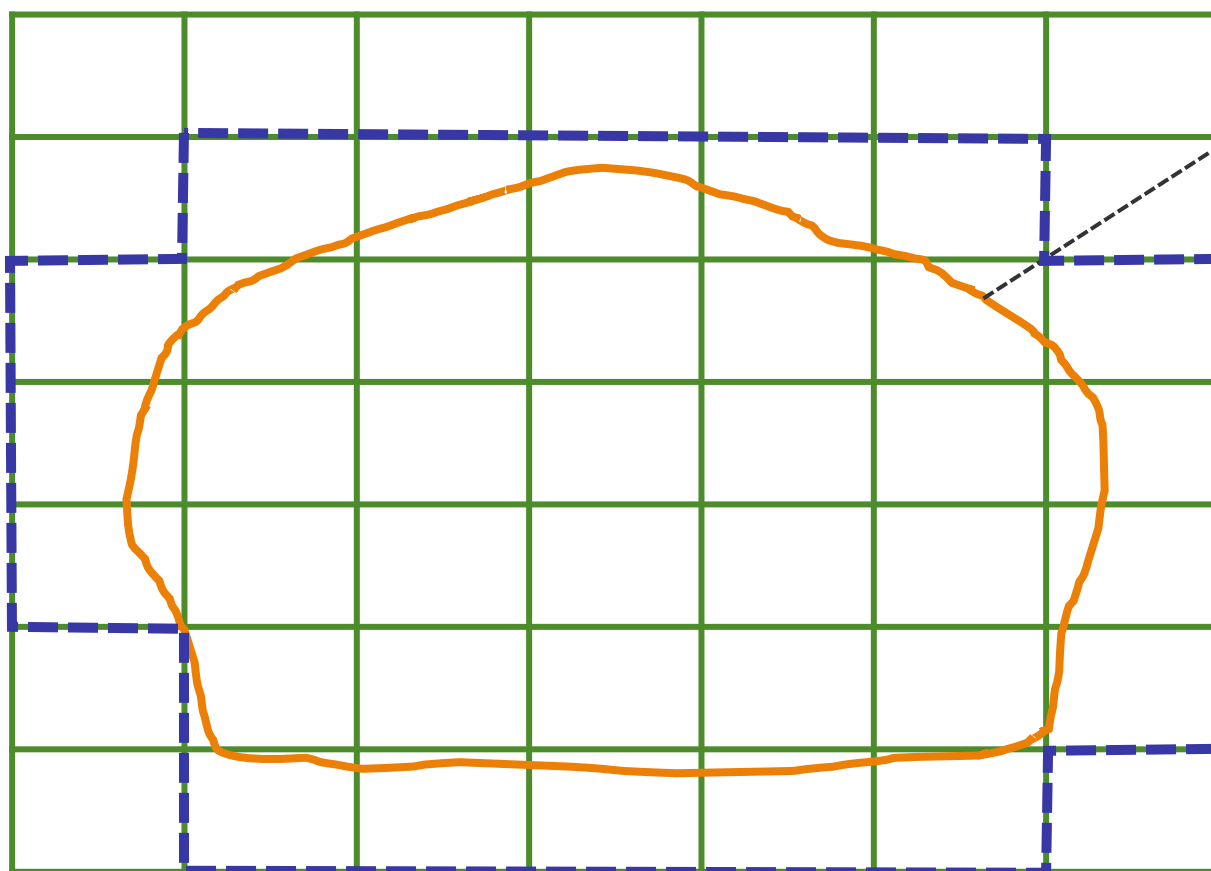
	5.11	5.51	6.x
CTボクセルに基づいた位置に変換した輪郭	描画された輪郭に最も近いCTボクセルを含むように再定義	CTボクセルをより細かく分割したCTサブボクセルを含むように再定義	5.51と同じ
線量ボクセル内の相対電子密度	線量ボクセルを27個に細分化した平均	CTサブボクセル内の加重平均	線量ボクセル内に含まれるCTサブボクセルをより細かく分割したCTミニボクセルの平均

バージョンによる違いの概要

CTボクセルに基づいた位置に変換した輪郭



CT Voxel



ユーザーが定義したオリジナルの輪郭

再定義された輪郭(Monaco5.11)
描画された輪郭に最も近いCTボクセルを含むように再定義

* 再定義された輪郭は、Monacoでは表示されません。
オリジナルの輪郭が変化するわけではなく、
線量計算時に使用される領域が変わります。

バージョンによる違いの概要

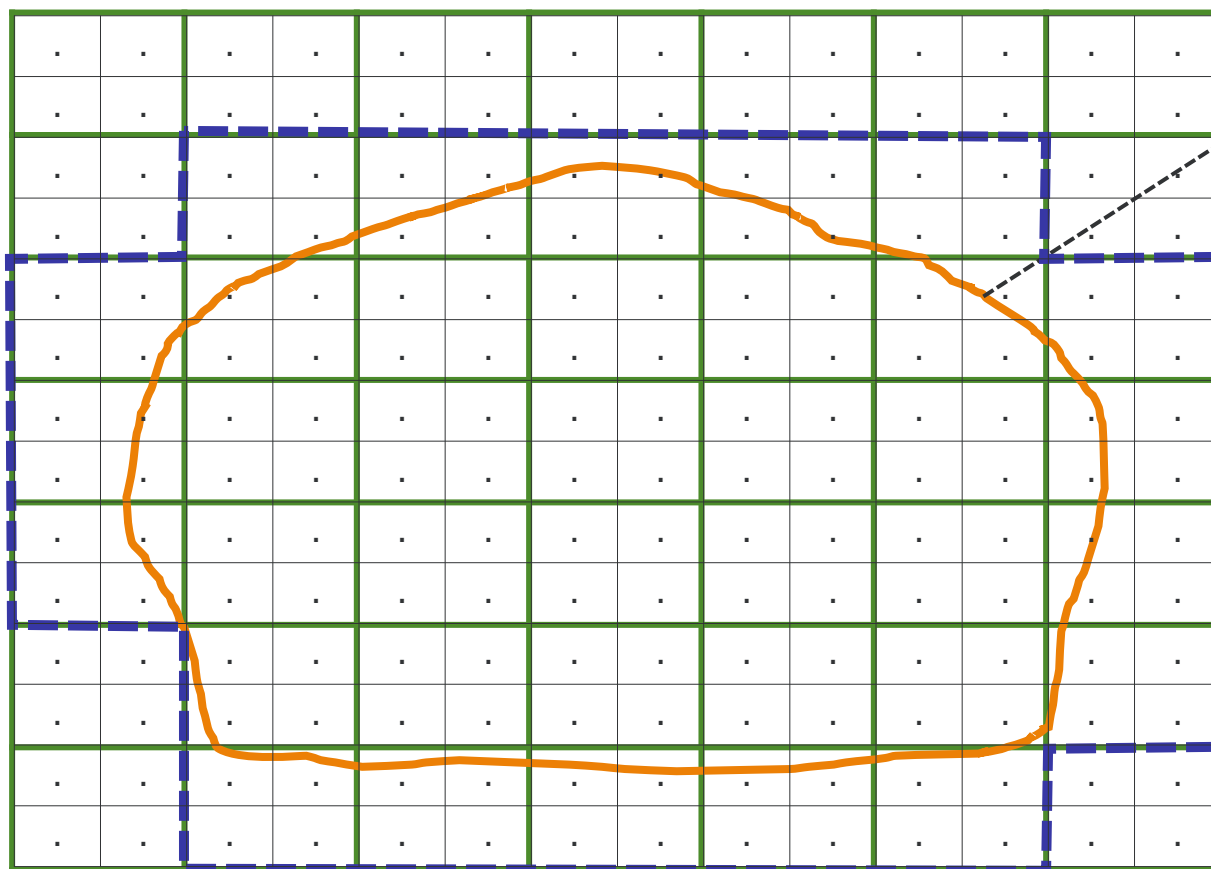
CTボクセルに基づいた位置に変換した輪郭



CT Voxel



CT Sub-voxel



ユーザーが定義したオリジナルの輪郭

再定義された輪郭(Monaco5.11)

描画された輪郭に最も近いCTボクセルを含むように再定義

* 再定義された輪郭は、Monacoでは表示されません。
オリジナルの輪郭が変化するわけではなく、
線量計算時に使用される領域が変わります。

バージョンによる違いの概要

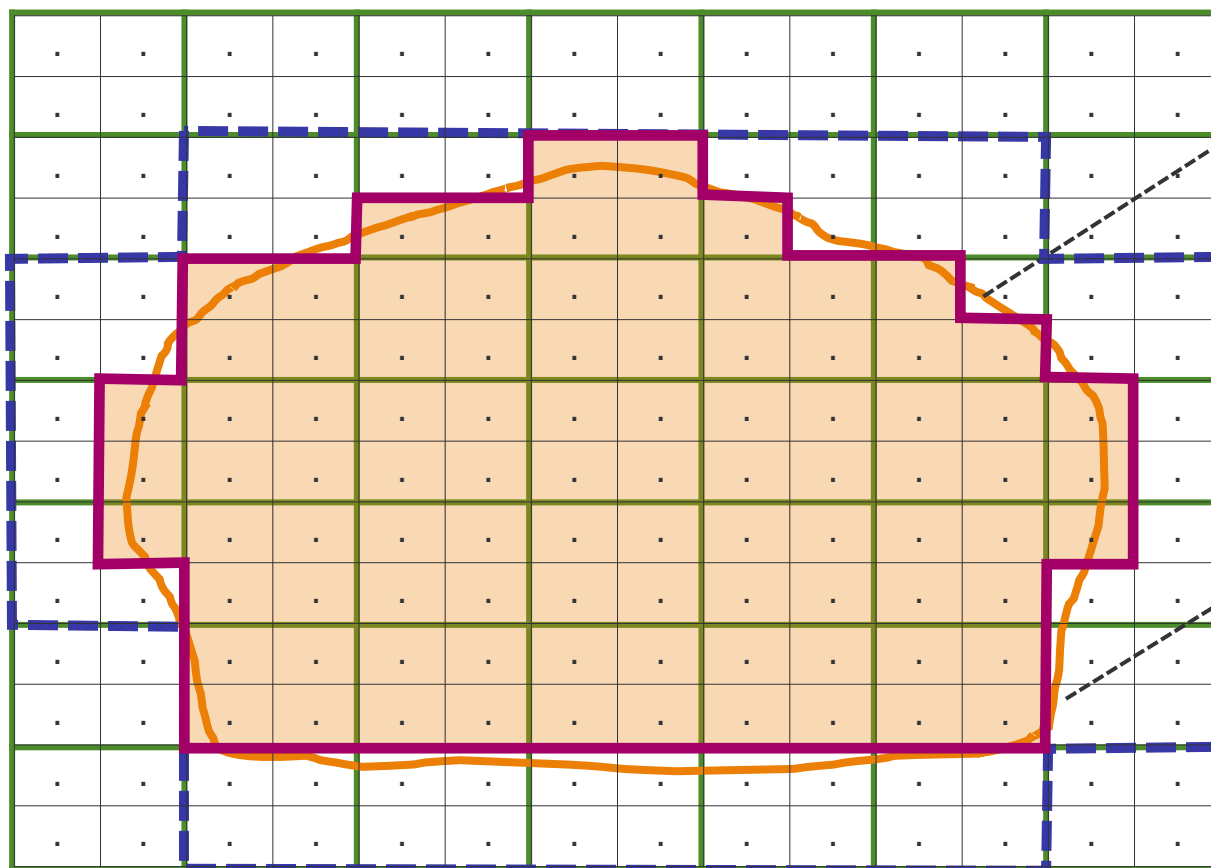
CTボクセルに基づいた位置に変換した輪郭



CT Voxel



CT Sub-voxel



ユーザーが定義したオリジナルの輪郭

再定義された輪郭(Monaco5.11)

描画された輪郭に最も近いCTボクセルを含むように再定義

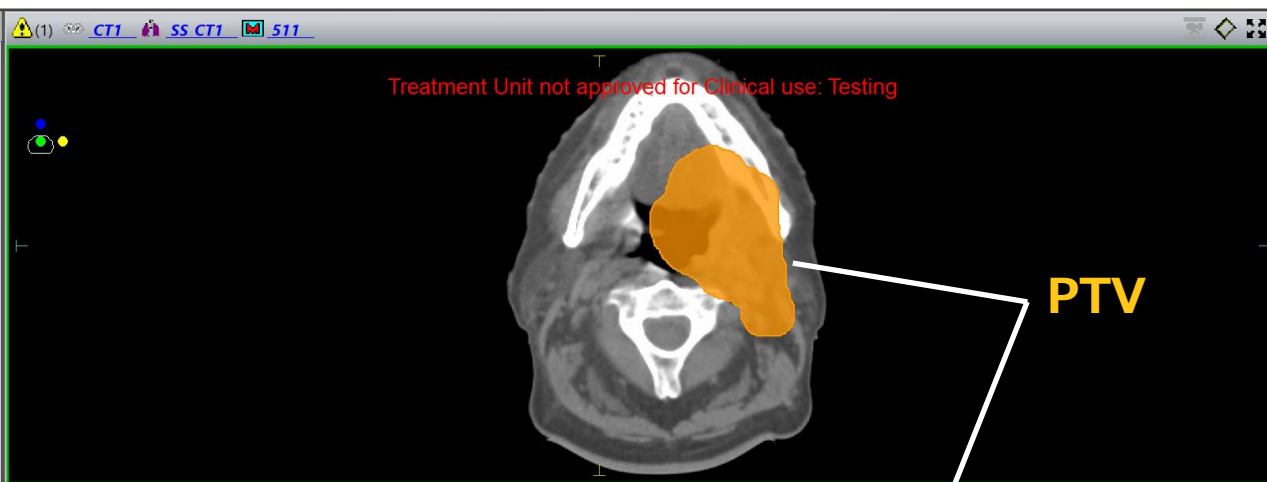
再定義された輪郭(Monaco5.51以降)

CTボクセルをより細かく分割したサブボクセルを含むように再定義

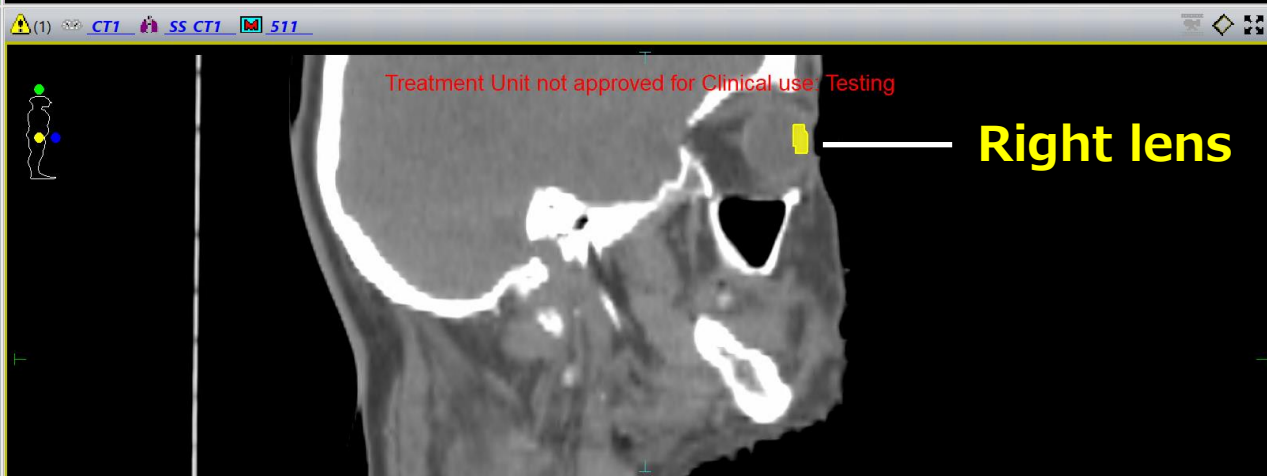
* 再定義された輪郭は、Monacoでは表示されません。
オリジナルの輪郭が変化するわけではなく、
線量計算時に使用される領域が変わります。

バージョンによる違いの概要

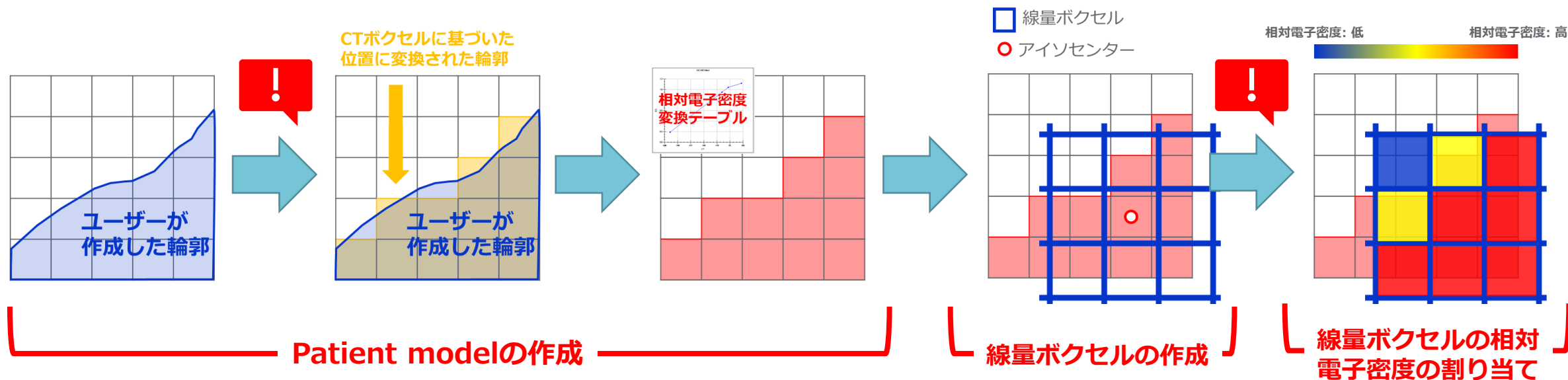
CTボクセルに基づいた位置に変換した輪郭



DVH Statisticsで表示される体積 (cm3)			
	5.11	5.51	6.x
Right lens	0.243	0.243	0.243
PTV	238.131	238.131	238.131



バージョンによる違いの概要

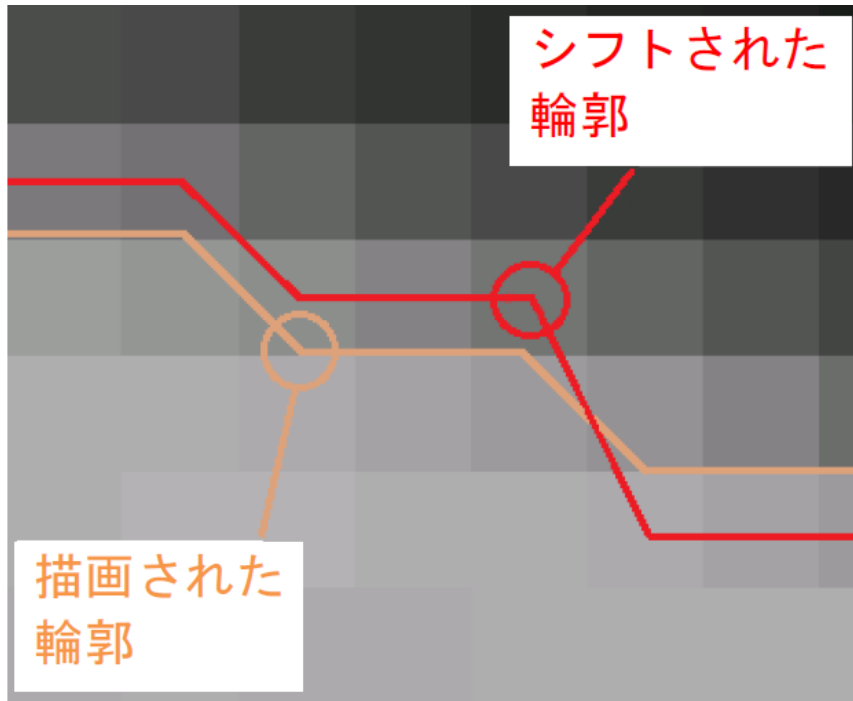


	5.11	5.51	6.x
CTボクセルに基づいた位置に変換した輪郭	描画された輪郭に最も近いCTボクセルを含むように再定義	CTボクセルをより細かく分割したCTサブボクセルを含むように再定義	5.51と同じ
線量ボクセル内の相対電子密度	線量ボクセルを27個に細分化した平均	CTサブボクセル内の加重平均	線量ボクセル内に含まれるCTサブボクセルをより細かく分割したCTミニボクセルの平均

5.11 - Patient Model

CT画像のボクセル化

- 描画された輪郭に最も近いCTボクセルを含むように再定義されます。

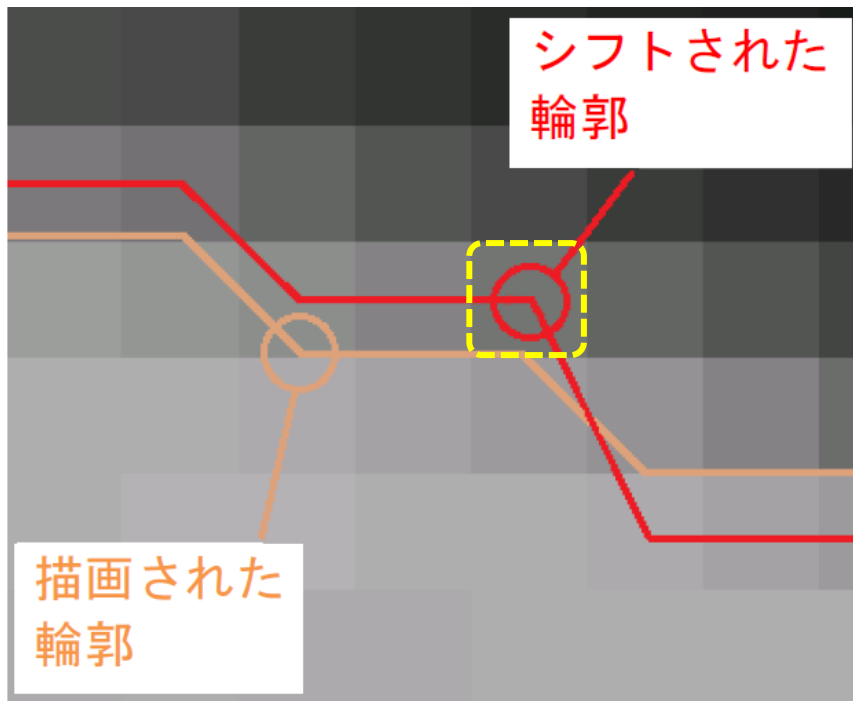


* 再定義された輪郭は、Monaco上に表示されず、線量計算にのみ使用されます

5.11 - Patient Model

CT画像のボクセル化

- 線量ボクセルは、再定義された体輪郭内に関連付けられたCTボクセルが覆われるまで追加されます。

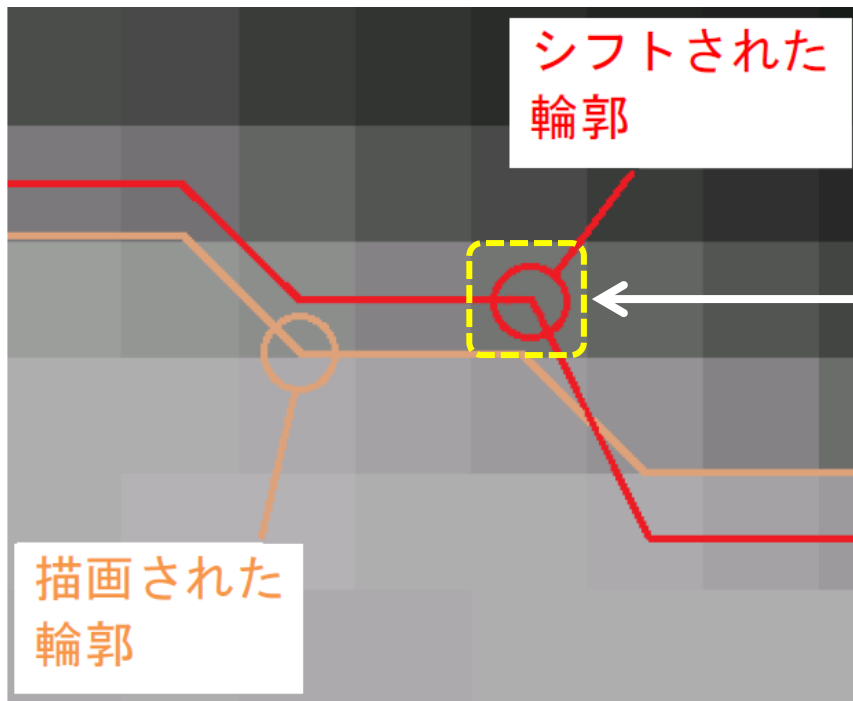


* 再定義された輪郭は、Monaco上に表示されず、線量計算にのみ使用されます

5.11 - Patient Model

CT画像のボクセル化

- 線量ボクセルは、再定義された体輪郭内に関連付けられたCTボクセルが覆われるまで拡張されます。



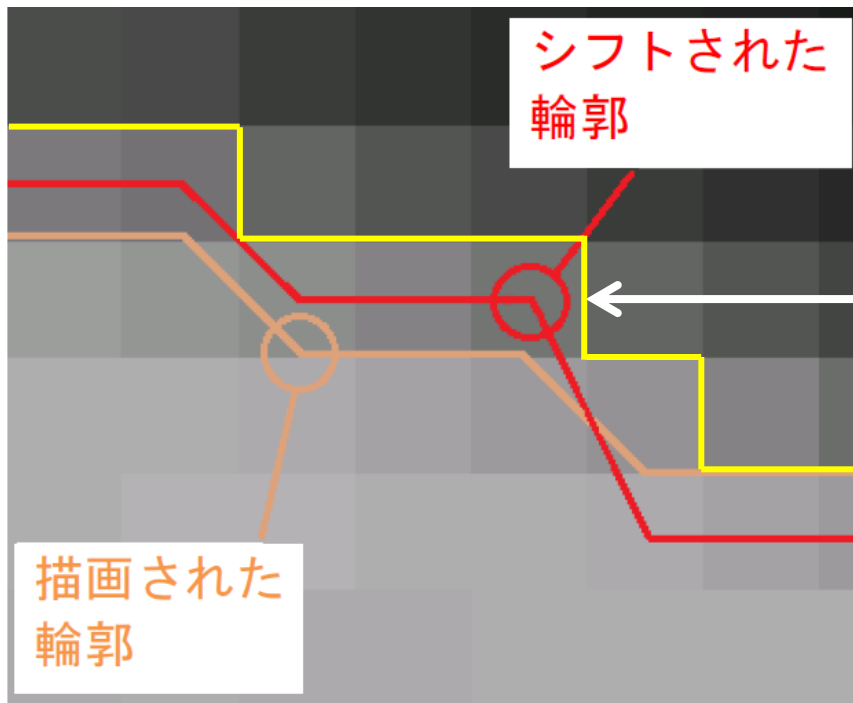
5.11では、このCTボクセル全てが輪郭の一部として認識されます。

* 再定義された輪郭は、Monaco上に表示されず、線量計算にのみ使用されます

5.11 - Patient Model

線量計算グリッド

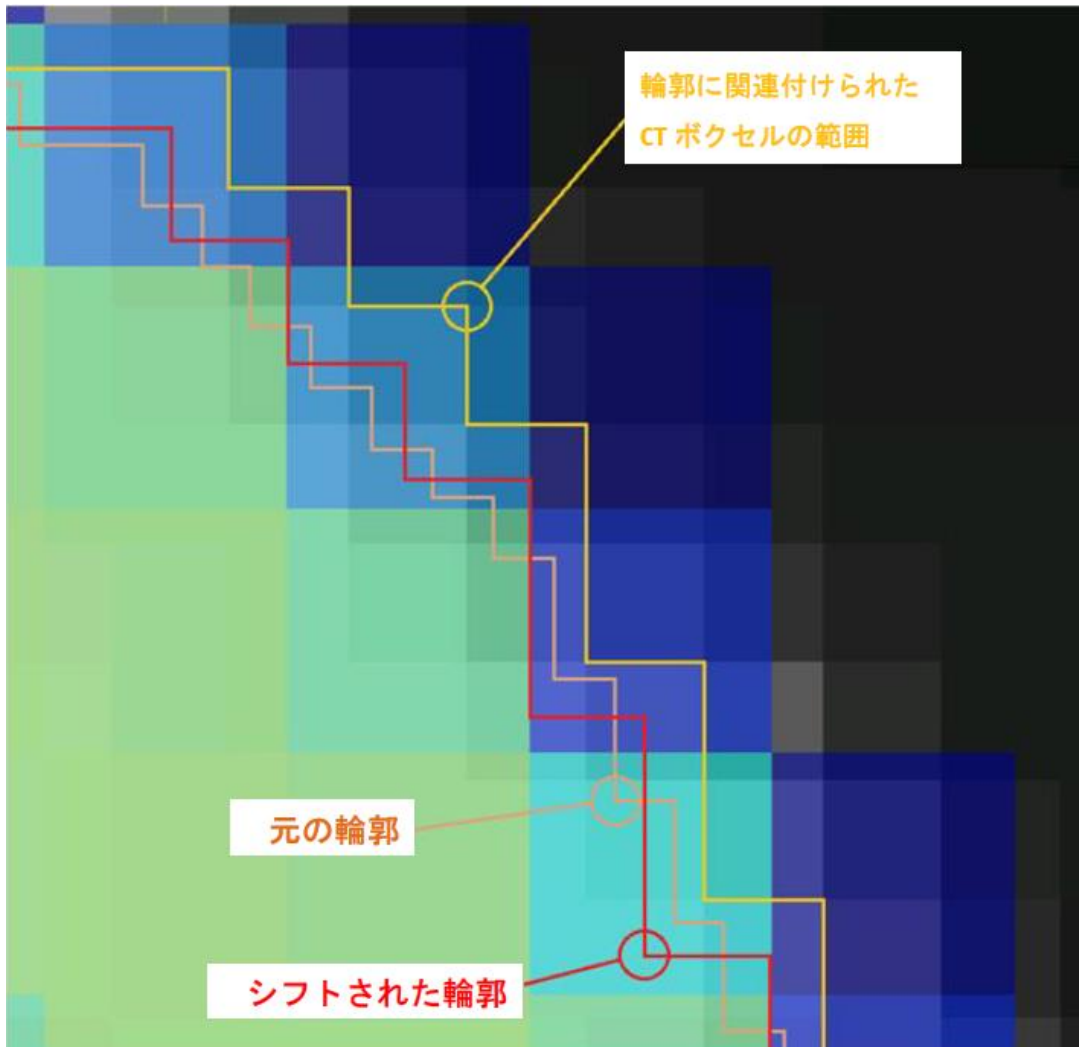
- 線量ボクセルは、再定義された体輪郭内に関連付けられたCTボクセルが覆われるまで追加されます。



* 再定義された輪郭は、Monaco上に表示されず、線量計算にのみ使用されます

5.11 - Patient Model

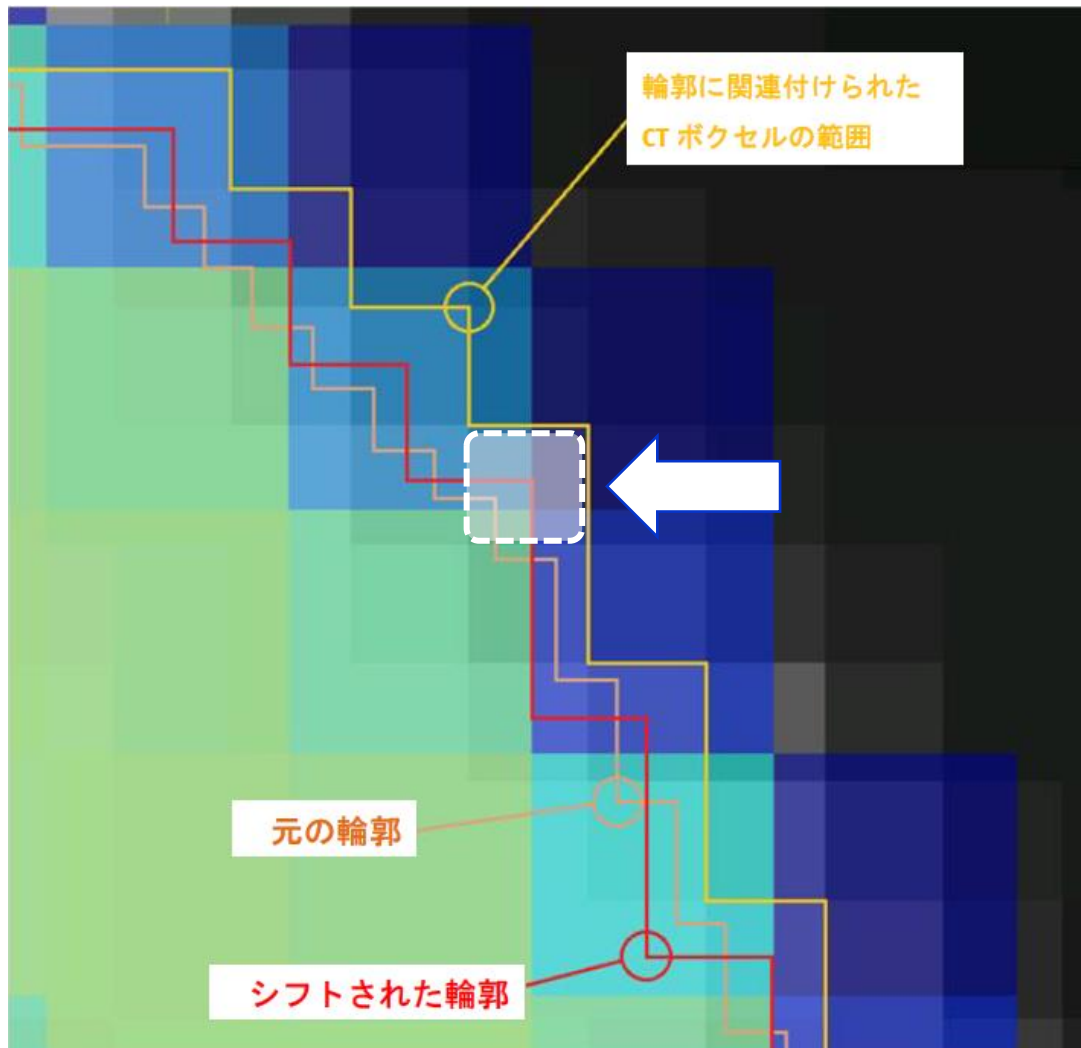
線量計算グリッド



- 体輪郭の外縁では、体輪郭に関連付けられたCTボクセルが部分的にでも線量ボクセルに関連付けられるまで、線量ボクセルが追加されます。

5.11 - Patient Model

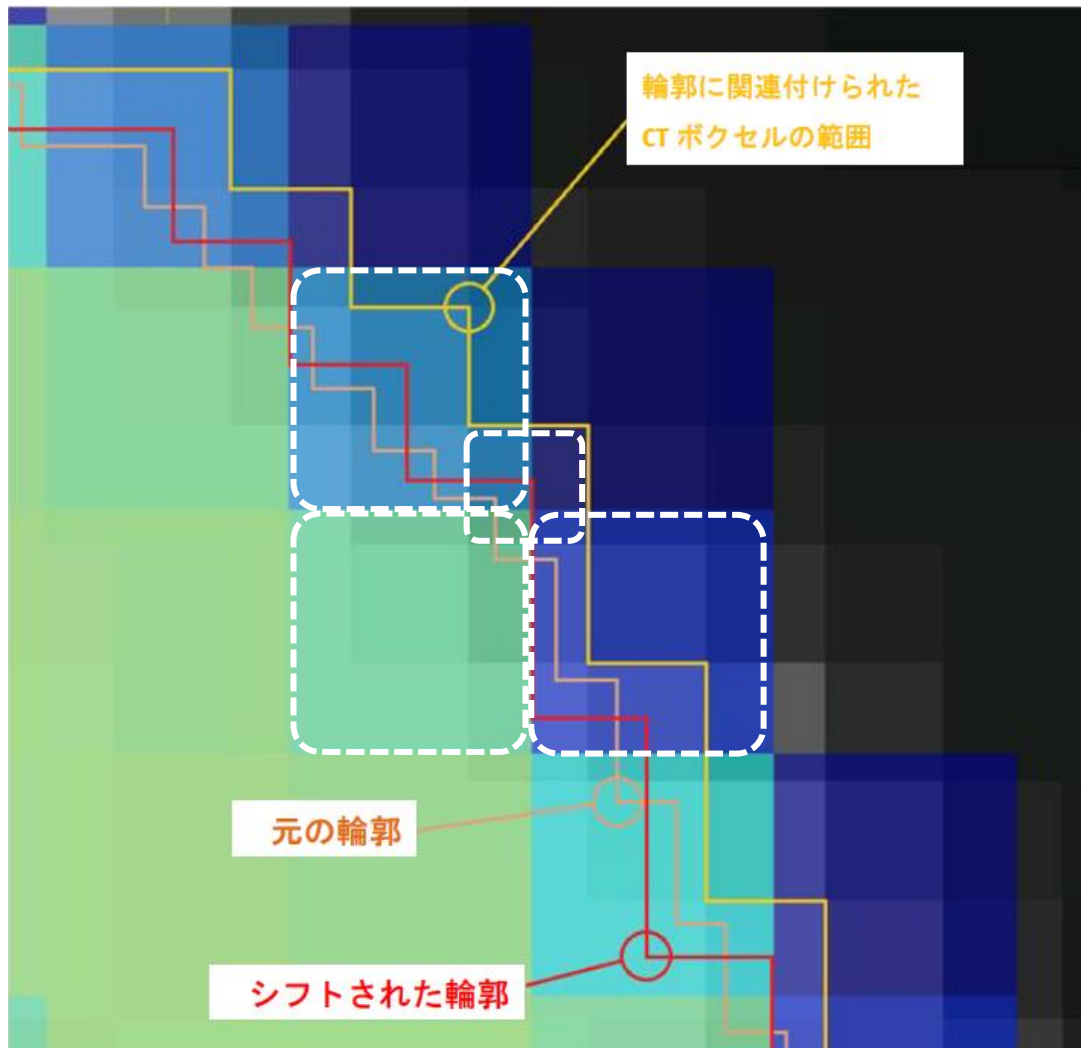
線量計算グリッド



- 体輪郭の外縁では、体輪郭に関連付けられたCTボクセルが部分的にでも線量ボクセルに関連付けられるまで、線量ボクセルが追加されます。
- 体輪郭に関連付けられたCTボクセルに着目します。

5.11 - Patient Model

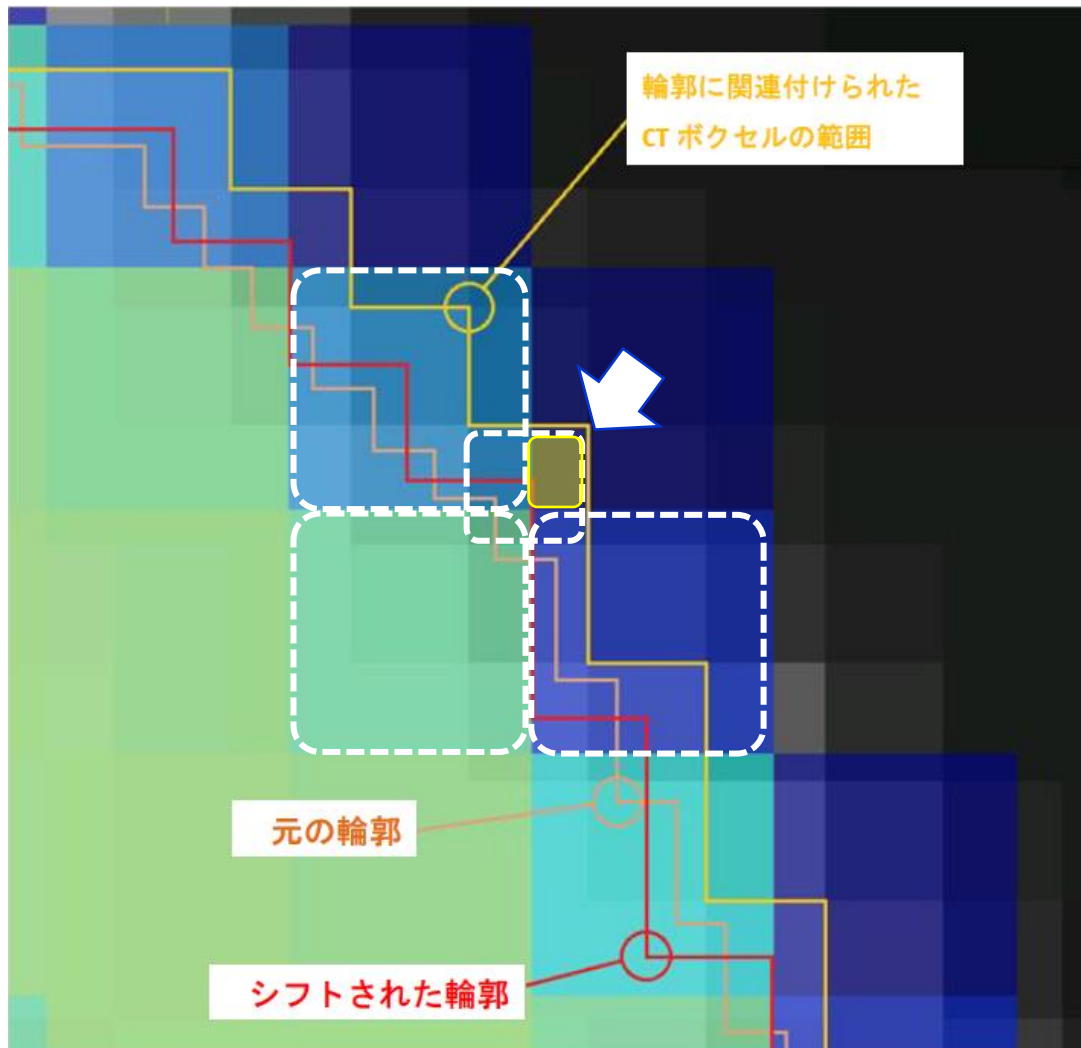
線量計算グリッド



- 体輪郭の外縁では、体輪郭に関連付けられたCTボクセルが部分的にでも線量ボクセルに関連付けられるまで、線量ボクセルが追加されます。
- 体輪郭に関連付けられたCTボクセルに着目します。
- 再定義された輪郭には3つの線量ボクセルが関連しています。

5.11 - Patient Model

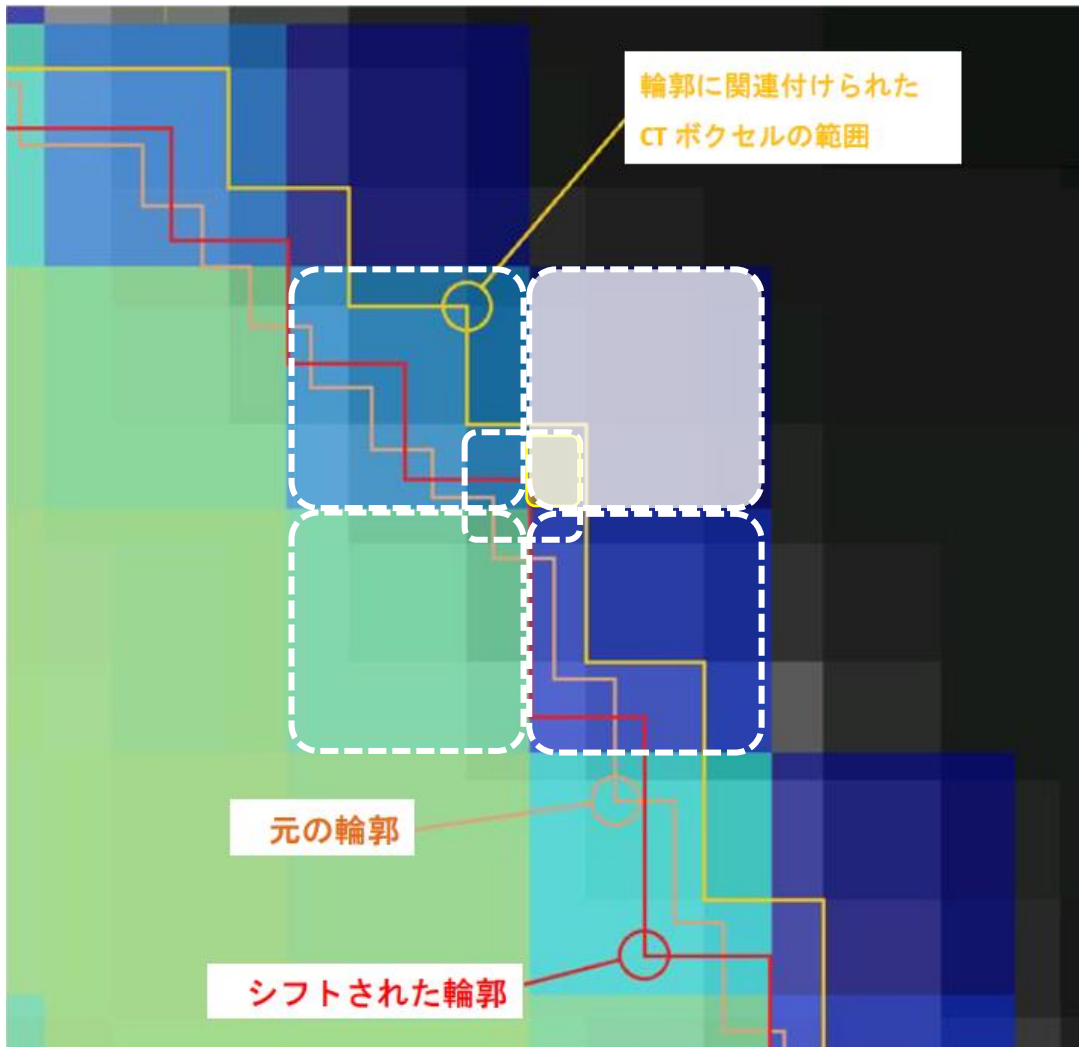
線量計算グリッド



- 体輪郭の外縁では、体輪郭に関連付けられたCTボクセルが部分的にでも線量ボクセルに関連付けられるまで、線量ボクセルが追加されます。
- 体輪郭に関連付けられたCTボクセルに着目します。
- 再定義された輪郭には3つの線量ボクセルが関連しています。
- 再定義された輪郭の外ですが、このCTボクセルをカバーできていない領域があります。

5.11 - Patient Model

線量計算グリッド

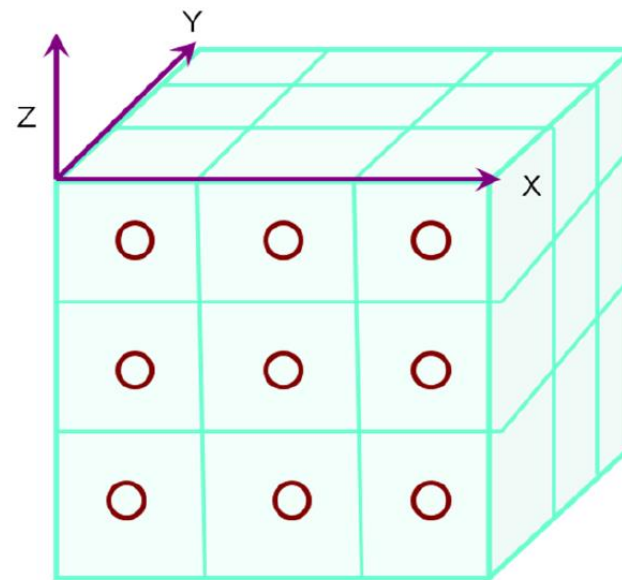


- 体輪郭の外縁では、体輪郭に関連付けられたCTボクセルが部分的にでも線量ボクセルに関連付けられるまで、線量ボクセルが追加されます。
- 体輪郭に関連付けられたCTボクセルに着目します。
- 再定義された輪郭には3つの線量ボクセルが関連しています。
- 再定義された輪郭の外ですが、このCTボクセルをカバーできていない領域があります。
- この領域をカバーするまで線量ボクセルが追加されます。

5.11 - Patient Model

線量ボクセル内の相対電子密度

- 線量ボクセルの電子密度の割り当てでは、各線量ボクセルを27 個のサブボクセルに細分化します。
- 細分化されたボクセルの中心点で 相対電子密度がサンプリングされます。
- これら27個の平均値が線量ボクセルの電子密度として割り当てられます。



5.51 - Patient Model

CT画像のボクセル化

- Monaco5.51ではCTボクセルをより小さなサブボクセルに分割します。
 1. CTボクセルの境界とサイズを決定します。
 2. CTボクセルをより小さなサブボクセルに分割します。
- サブボクセルの寸法は1mmを超えられません。
- 各サブボクセルには、親となったCTボクセルのCT値が割り当てられます。

Voxels

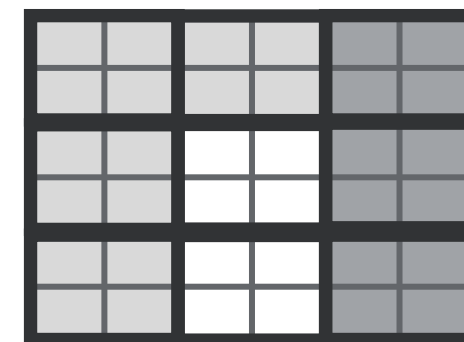


>1mm

Voxel dimensions:
(1.2 x 1.2 x 1.2 mm)

Voxel dimensions:
(2.7 x 2.7 x 2.7 mm)

Sub-voxels



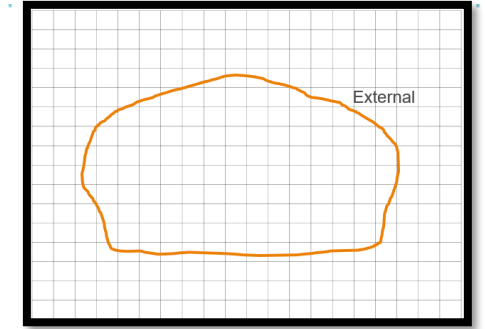
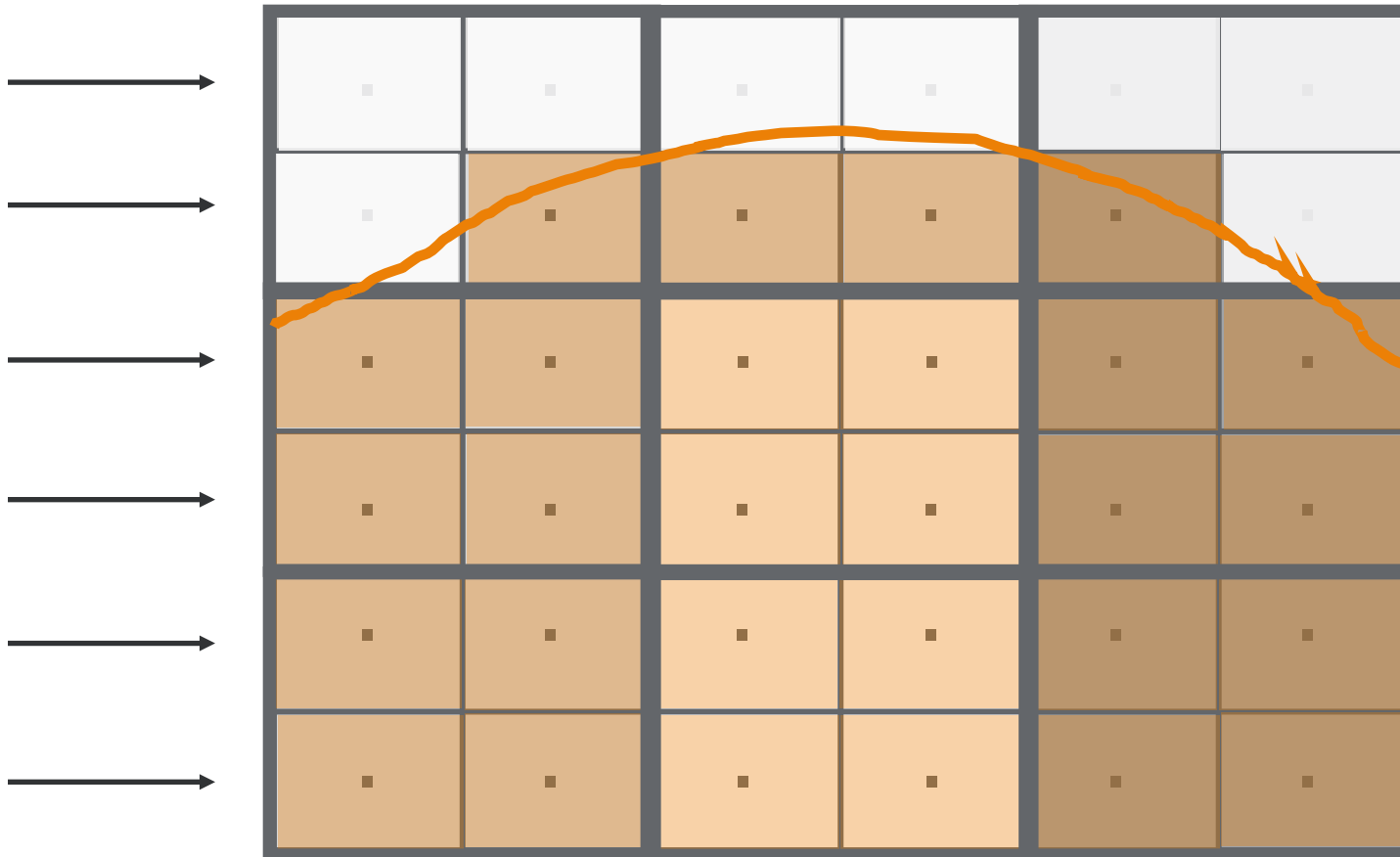
<1mm

8 sub-voxels
(0.6 x 0.6 x 0.6)

27 sub-voxels
(0.6 x 0.6 x 0.6)

5.51 - Patient Model

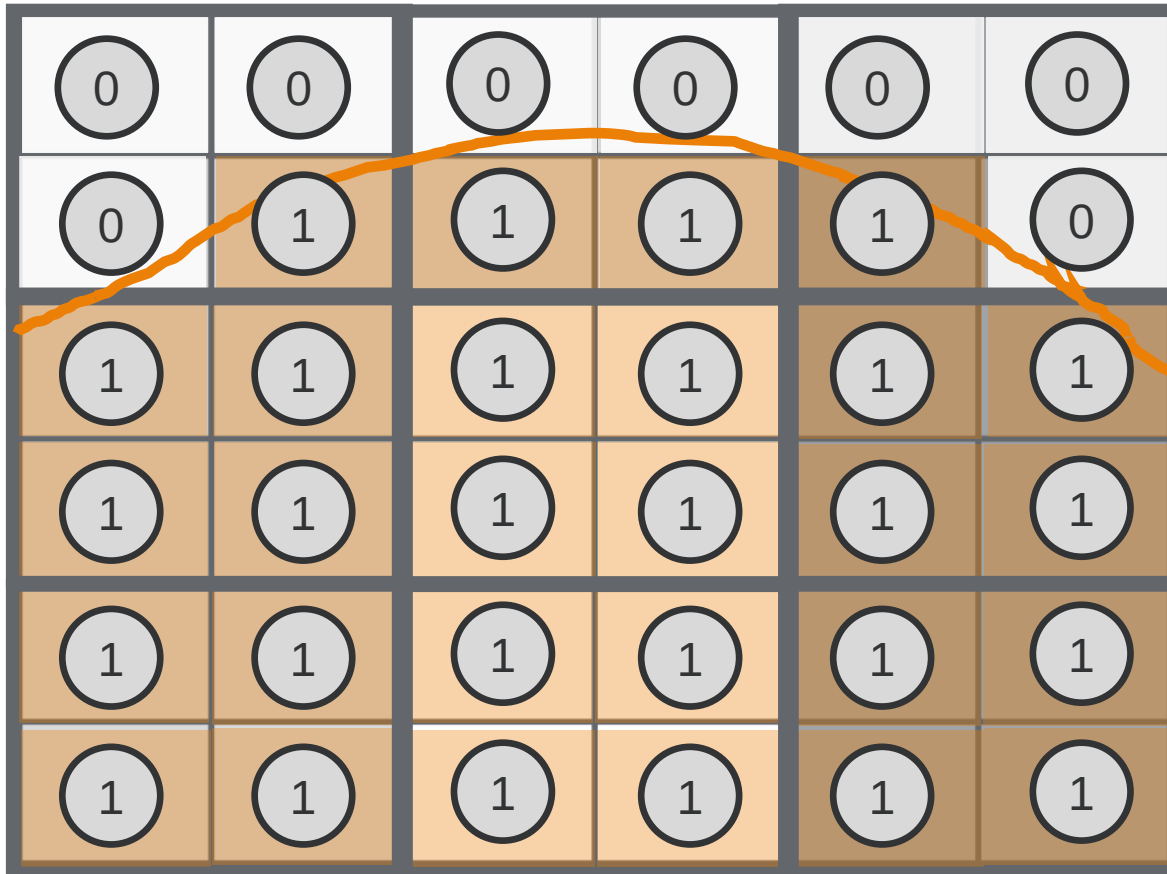
CT画像のボクセル化



- Monacoは、CT画像の各行に沿って、サブボクセルの中心が輪郭の内側にあるか外側にあるかを判断します。
- サブボクセルの中心が輪郭の内側にある場合、そのサブボクセルは輪郭として認識されます。

5.51 - Patient Model

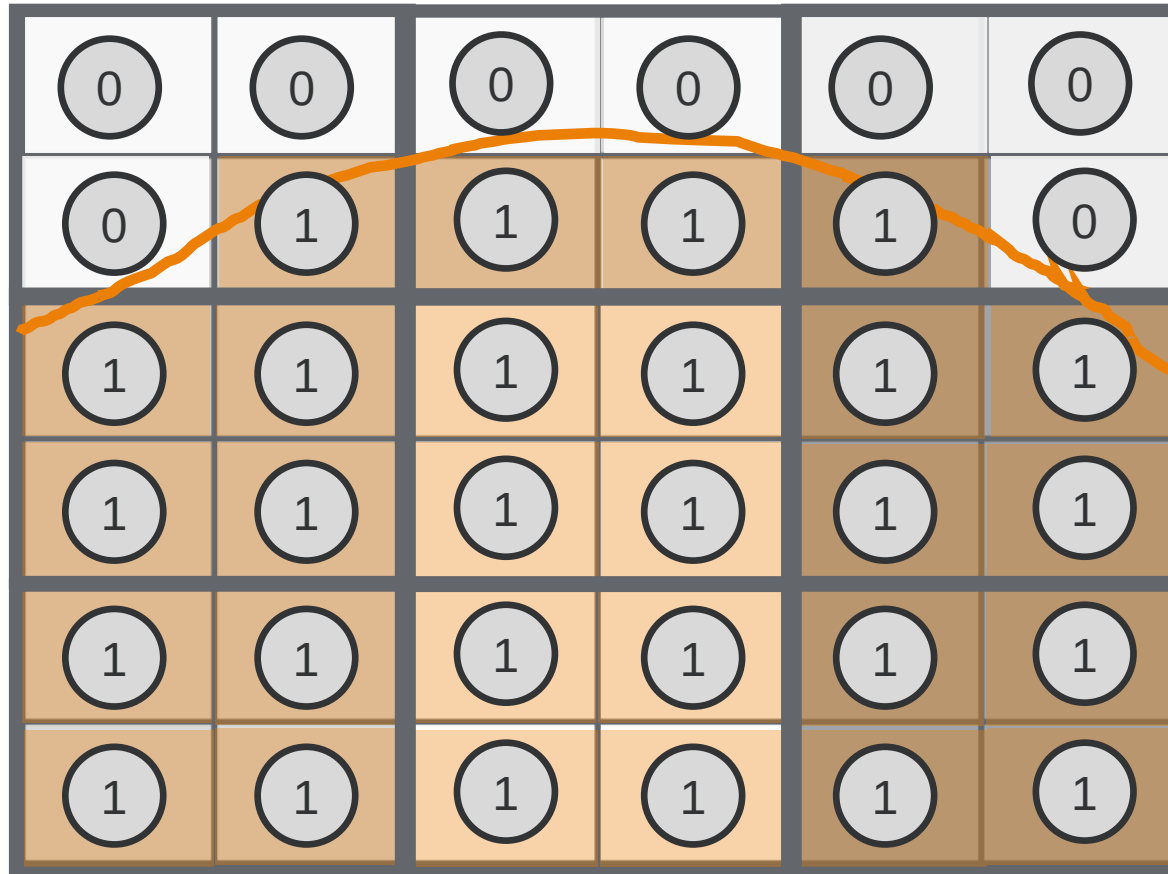
線量ボクセル内の相対電子密度



- サブボクセルごとにバイナリマップが作成されます。
 - ストラクチャ外の場合は「0」
 - ストラクチャ内の場合は「1」
- このボクセルの割り当ては、線量計算ボクセルの密度を決定するために使用されます。

5.51 - Patient Model

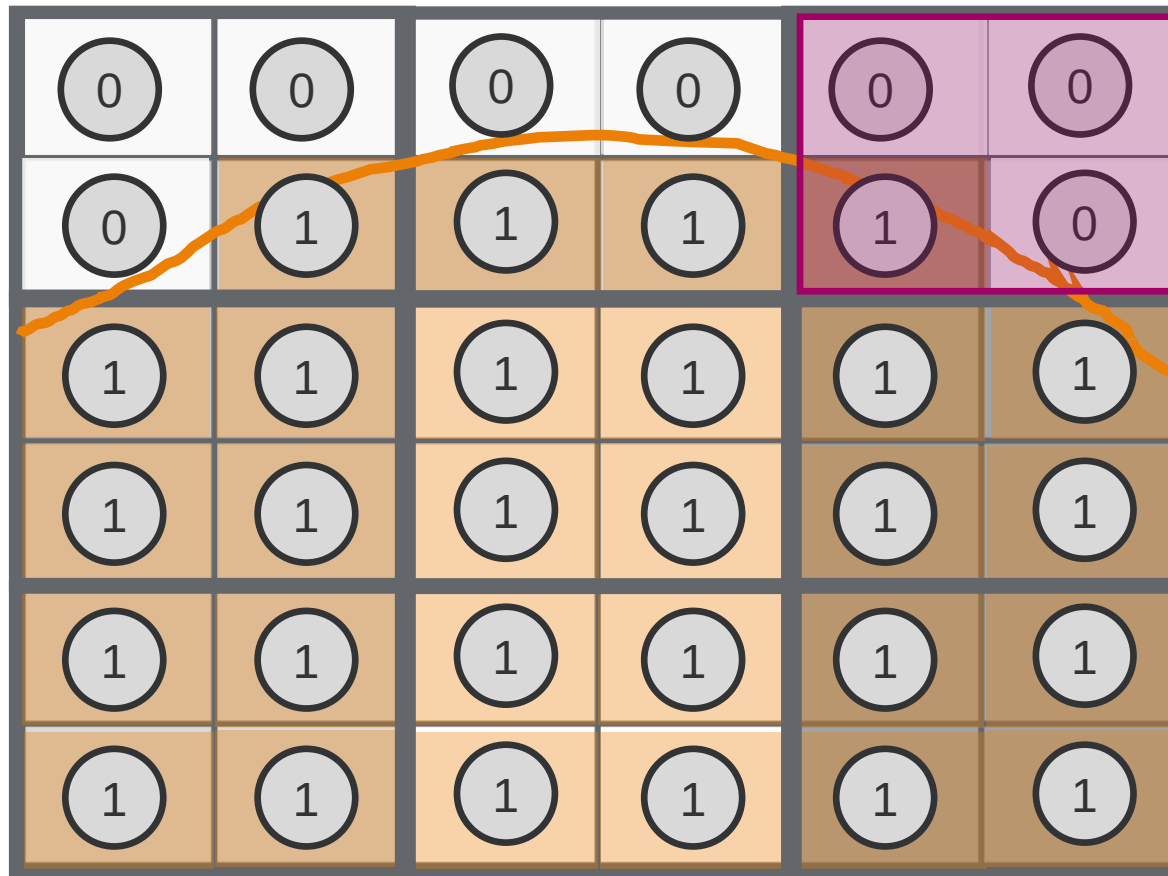
線量ボクセル内の相対電子密度



- 次に、CTサブボクセルに相対電子密度が割り当てられます。
- 相対電子密度は、CT値を電子密度に変換するか、“Force ED”によって決定されます。
- 部分的に体輪郭の外側にあるボクセルは、重み付けされた相対電子密度が割り当てられます。

5.51 - Patient Model

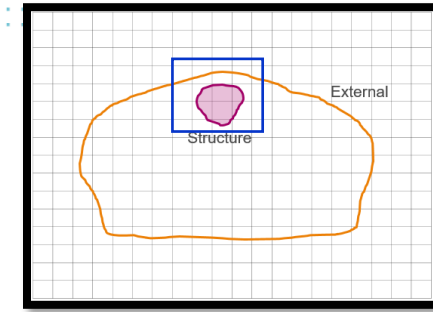
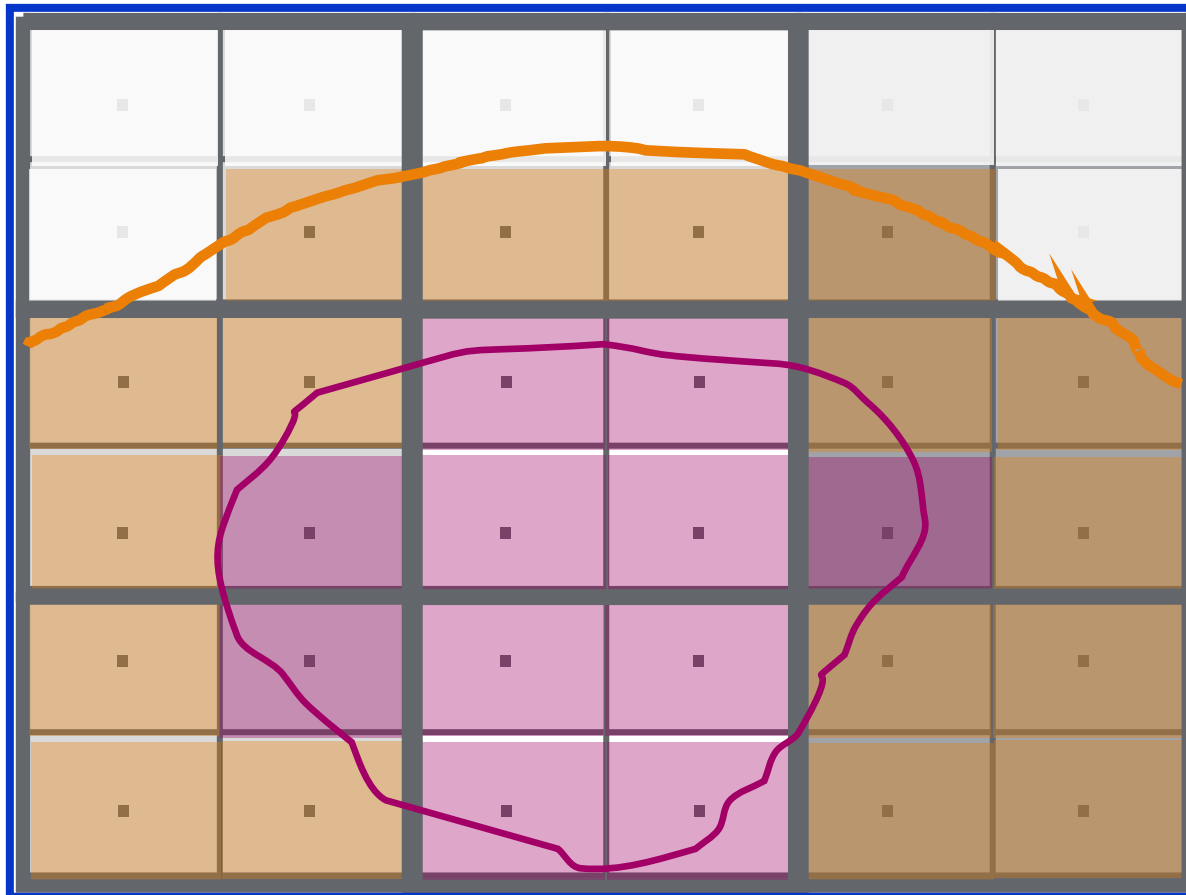
線量ボクセル内の相対電子密度



- このCTボクセルは、4つのサブボクセルから構成されています。
 - 3サブボクセル：RED = 0
 - 1サブボクセル：RED その構造の相対電子密度もしくは“Force ED”によって指定された値

5.51 - Patient Model

線量ボクセル内の相対電子密度

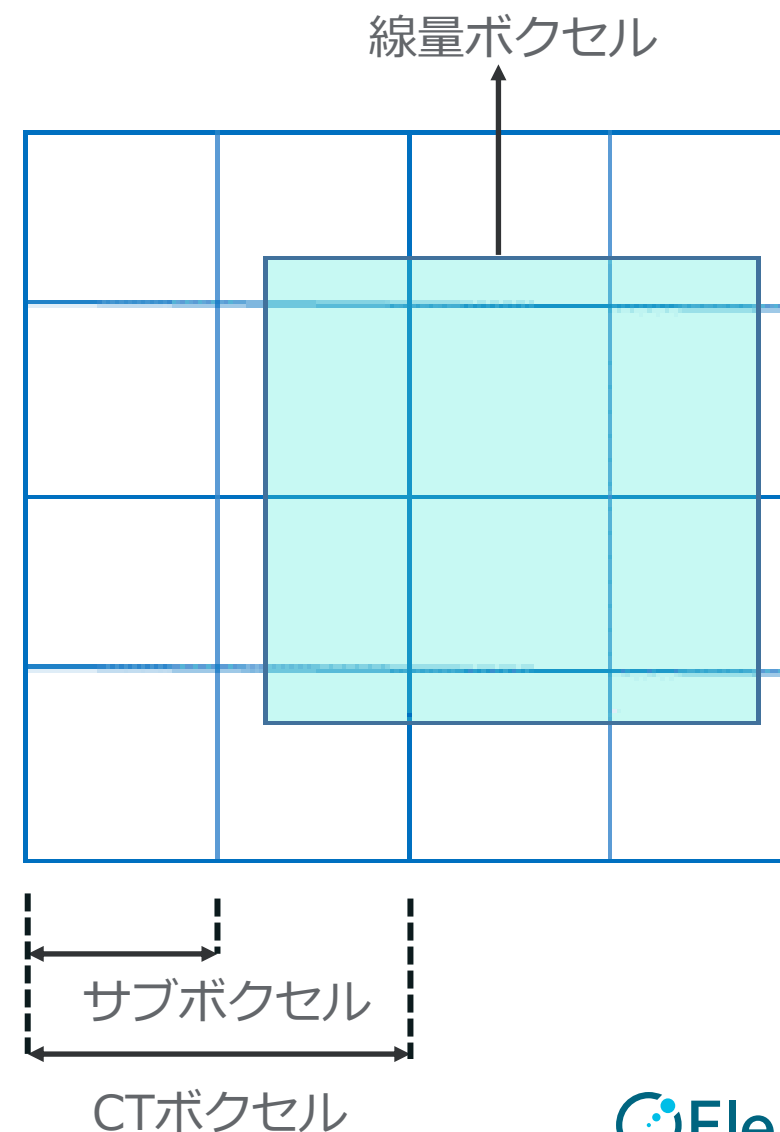


- 複数の構造に属するサブボクセルの場合、Monacoはストラクチャ優先順位リストを使用して、どのストラクチャがサブボクセル密度を定義するかを決定します。
- 重複する輪郭が存在する場合、輪郭の1つに"Force ED"によって相対電子密度の上書きがない限り、CTボクセルが持つ相対電子密度は変わりません。

5.51 - Patient Model

線量ボクセル内の相対電子密度

- ここで、CTボクセルとそのすべてのサブボクセル（個々の正方形）の上にあるこの線量ボクセル（青い正方形）について考えてみます。
- 線量ボクセルの相対電子密度は、サブボクセルの相対電子密度の加重平均を計算することによって設定されます。

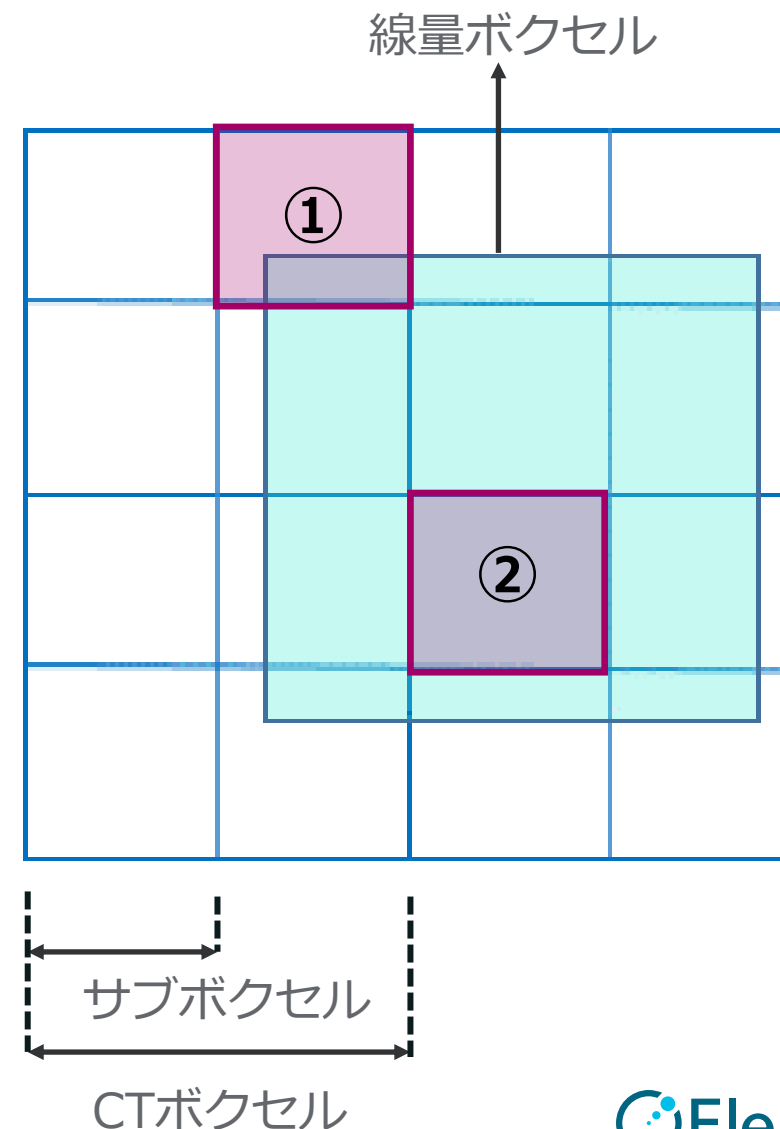


5.51 - Patient Model

線量ボクセル内の相対電子密度

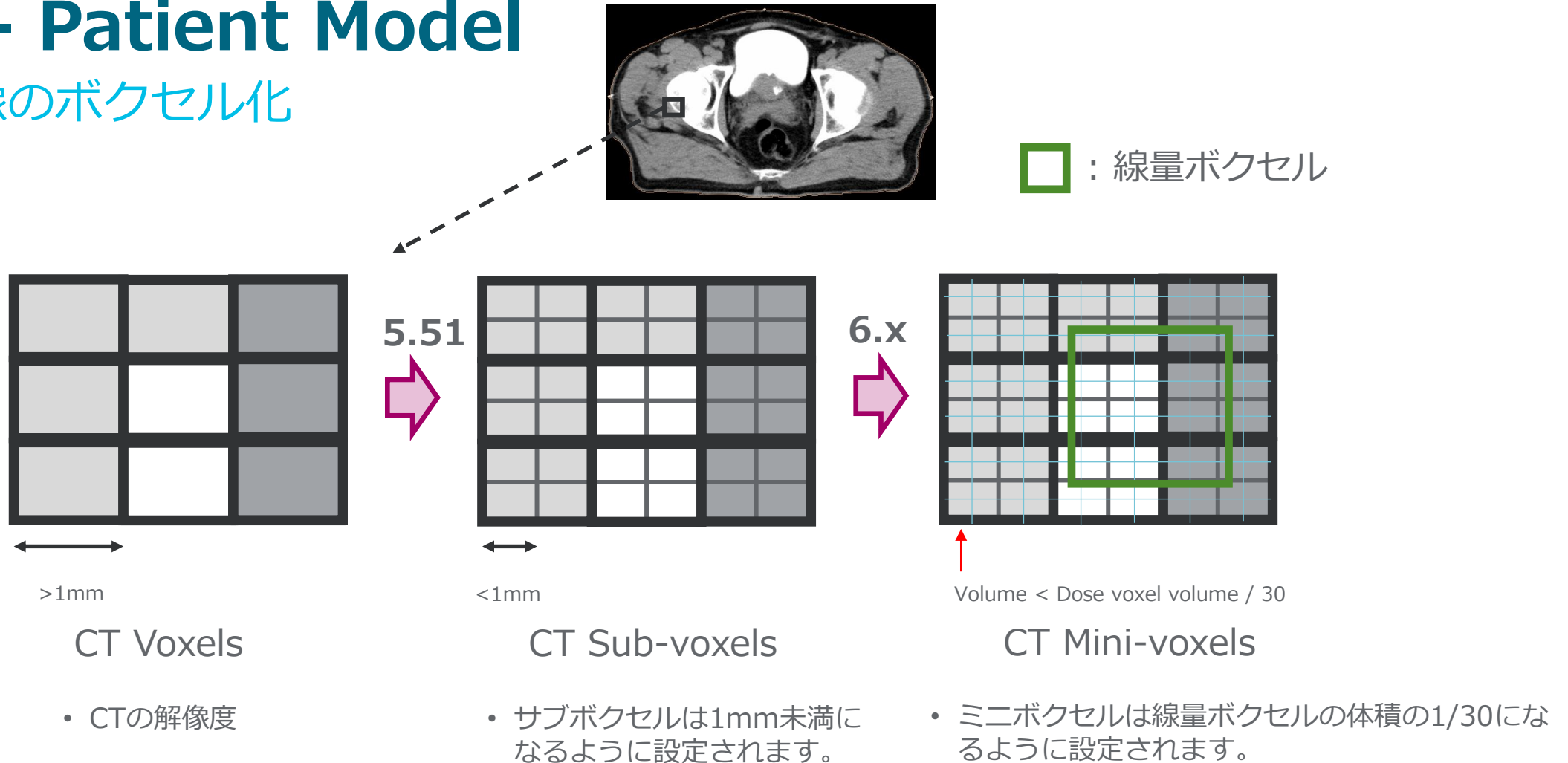
- ① このサブボクセル (ED = 0.4) は、部分的に線量ボクセルの内側にあり、その線量ボクセルの体積の6%にしか寄与しません。
 - このサブボクセルの寄与: **0.4 x 0.06**
- ② このサブボクセル (ED = 0.7) は、部分的に線量ボクセルの内側にあり、その線量ボクセルの体積の20%に寄与します。
 - このサブボクセルの寄与: **0.7 x 0.20**
- ⋮
- 線量ボクセルの相対電子密度は各サブボクセルの寄与を重みづけて次のように計算されます。

$$\text{①}(\text{0.4x0.06}) + \text{②}(\text{0.7x0.2}) + \dots$$



6.x - Patient Model

CT画像のボクセル化



6.x - Patient Model

線量ボクセル内の相対電子密度

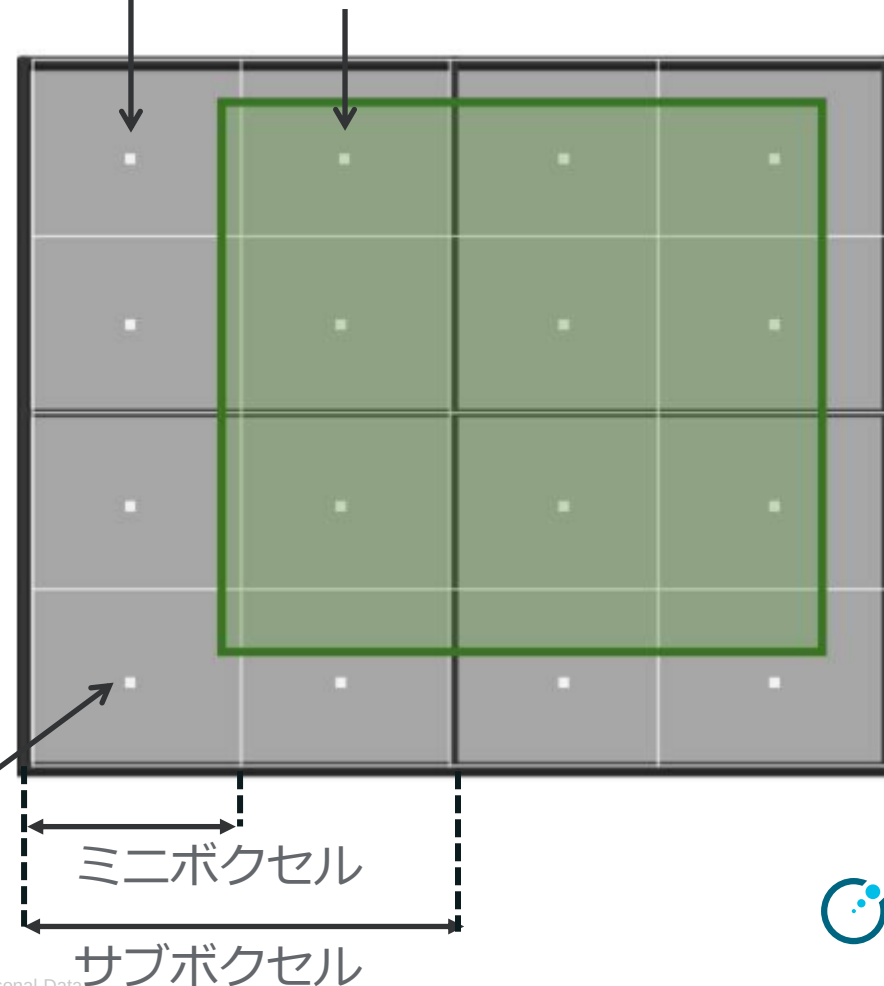
- 線量ボクセルの相対電子密度は、線量ボクセル内のミニボクセルの平均となります。
- ミニボクセルの中心が、線量ボクセルの内側にある場合のみ、線量ボクセルの相対電子密度に寄与します。
- ミニボクセルは、親となるサブボクセルから相対電子密度を引継ぎます。
- この例では、緑色の四角が線量ボクセルです。小さな灰色の四角はミニボクセルです。白い点はミニボクセルの中心を表しています。

□ : 線量ボクセル

白い点: ミニボクセルの中心

ミニボクセルの中心が、線量ボクセルの外側にあるので、線量ボクセルの相対電子密度に寄与しない

ミニボクセルの中心が、線量ボクセルの内側にあるので、線量ボクセルの相対電子密度に寄与する



線量ボクセル内の相対電子密度

- Monacoで使用する輪郭 — ユーザーが描いた輪郭

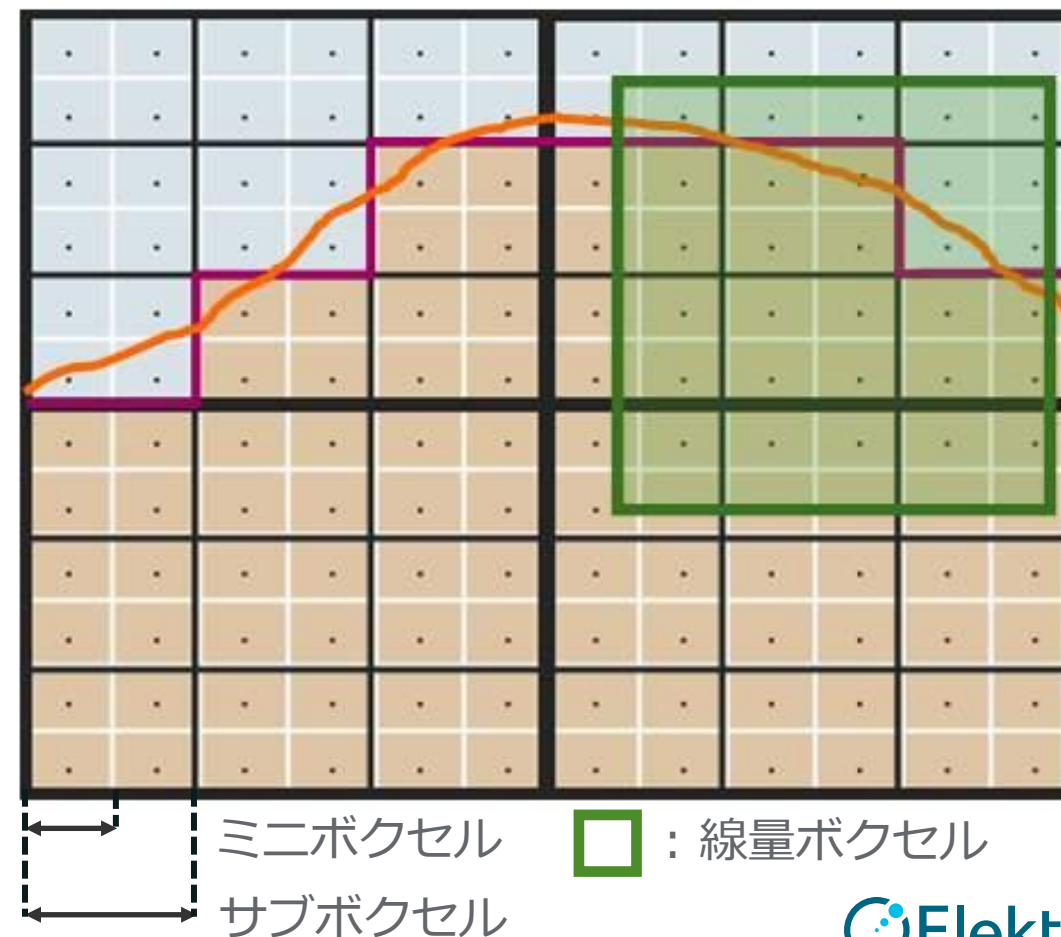


6.x - Patient Model

線量ボクセル内の相対電子密度

- サブボクセルの中心が特定の輪郭内にある場合、その輪郭に属します。
- その中のミニボクセルも同様に、サブボクセルが属している輪郭と同じ輪郭に属します。
- したがって、サブボクセルが輪郭に属していれば、中心が外れていてもミニボクセルもその輪郭に属します。

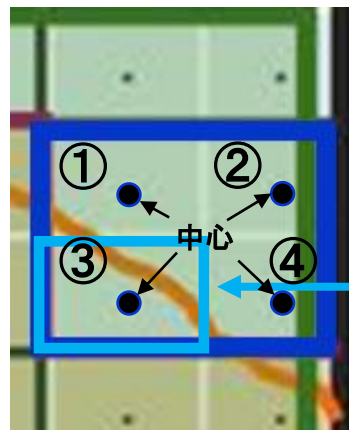
— Monacoで使用する輪郭 — ユーザーが描いた輪郭



6.x - Patient Model

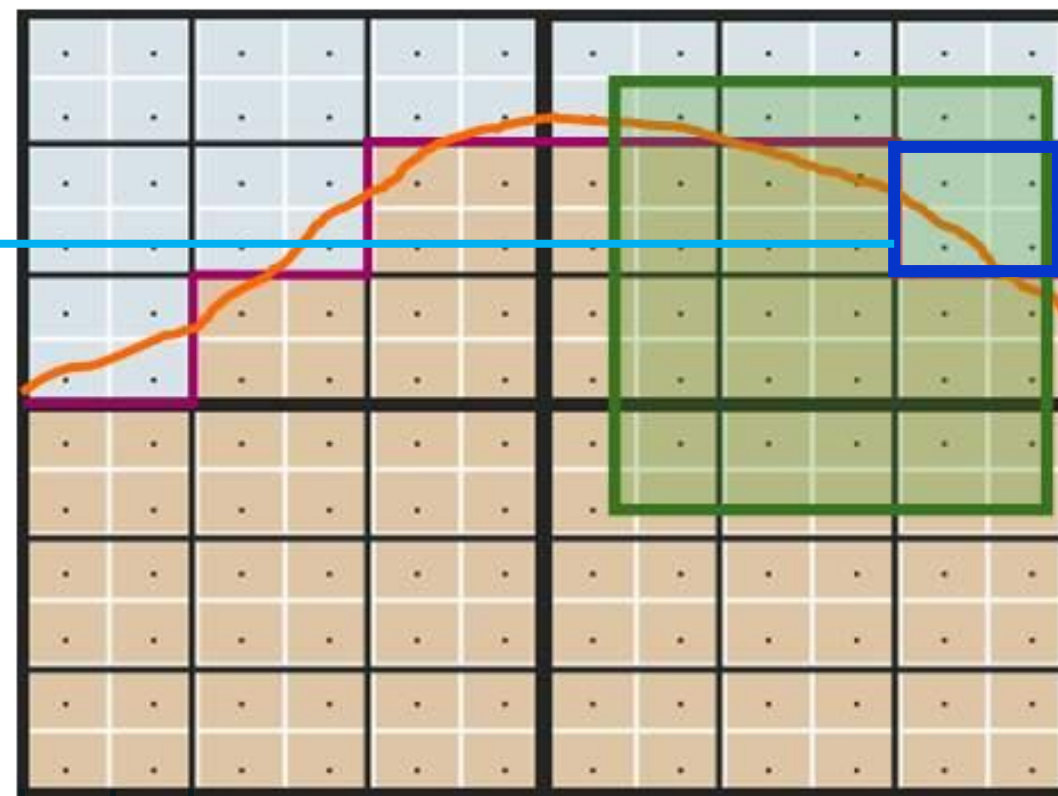
線量ボクセル内の相対電子密度

- このミニボクセル③は線量ボクセル内にあり、同時にユーザーが描いた体輪郭の内側にあります。



- このミニボクセル③はユーザーが描いた体輪郭の内側に中心があるので、線量ボクセルの相対電子密度に寄与します。
- それではこのミニボクセル③の相対電子密度はどんな値になるでしょうか。

— Monacoで使用する輪郭 — ユーザーが描いた輪郭



ミニボクセル
サブボクセル

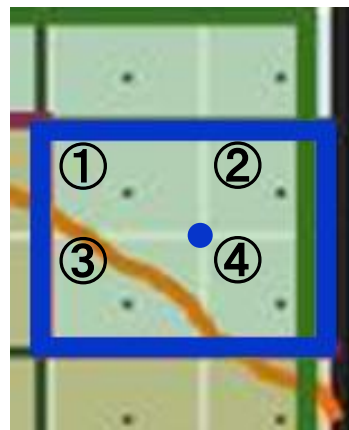
□ : 線量ボクセル

6.x - Patient Model

線量ボクセル内の相対電子密度

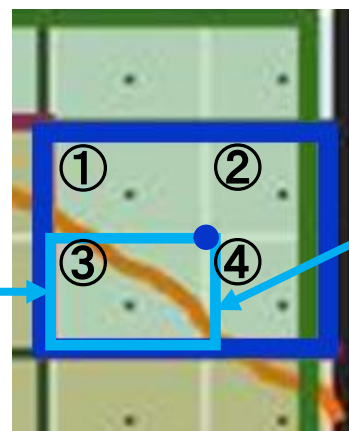
● サブボクセルの中心

- 親となるサブボクセルの中心
ユーザーが描いた輪郭の外側にあることがわかります。

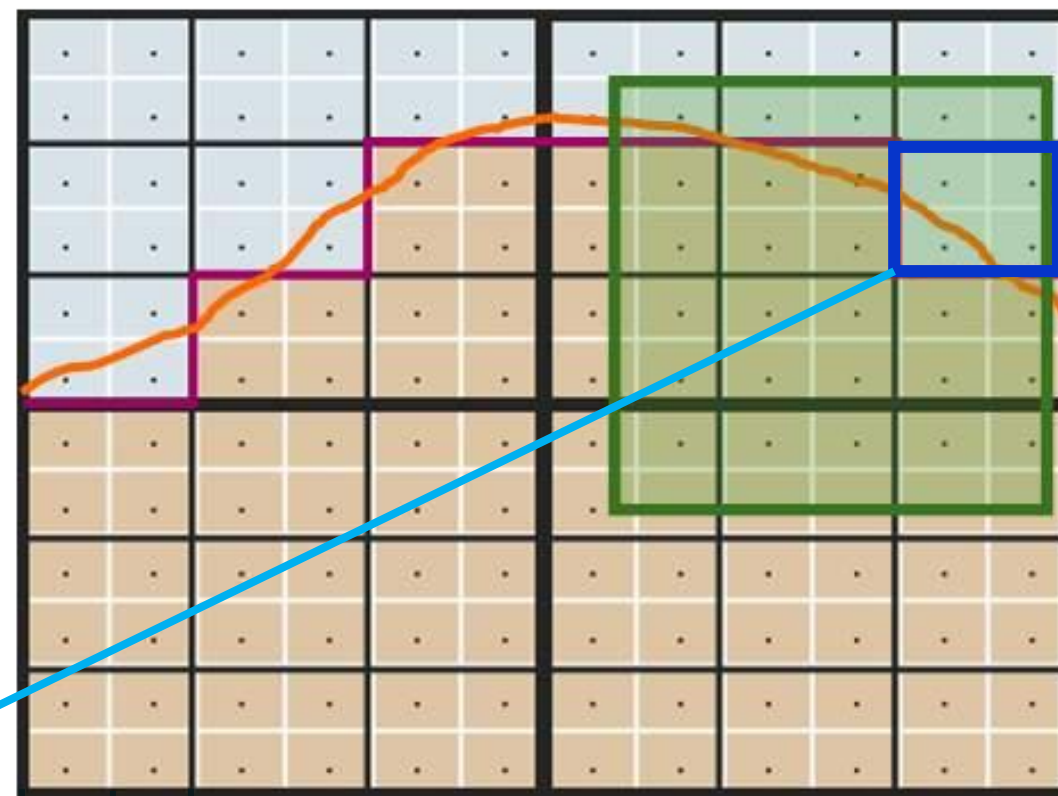


- したがって、このサブボクセルの相対電子密度は0になります。

- ミニボクセルは、親となるサブボクセルから相対電子密度を引継ぐので、このミニボクセル③の相対電子密度は0になります。



— Monacoで使用する輪郭 — ユーザーが描いた輪郭



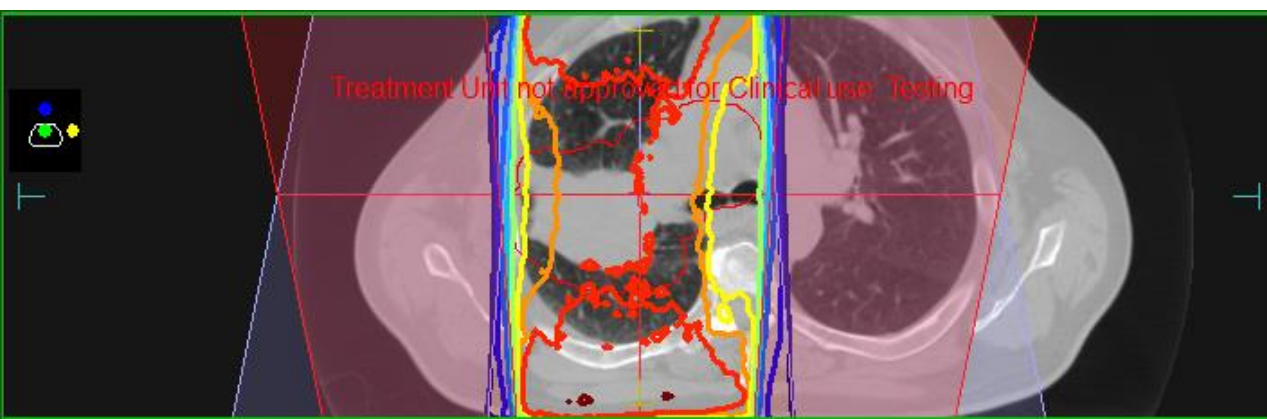
ミニボクセル
サブボクセル

□ : 線量ボクセル

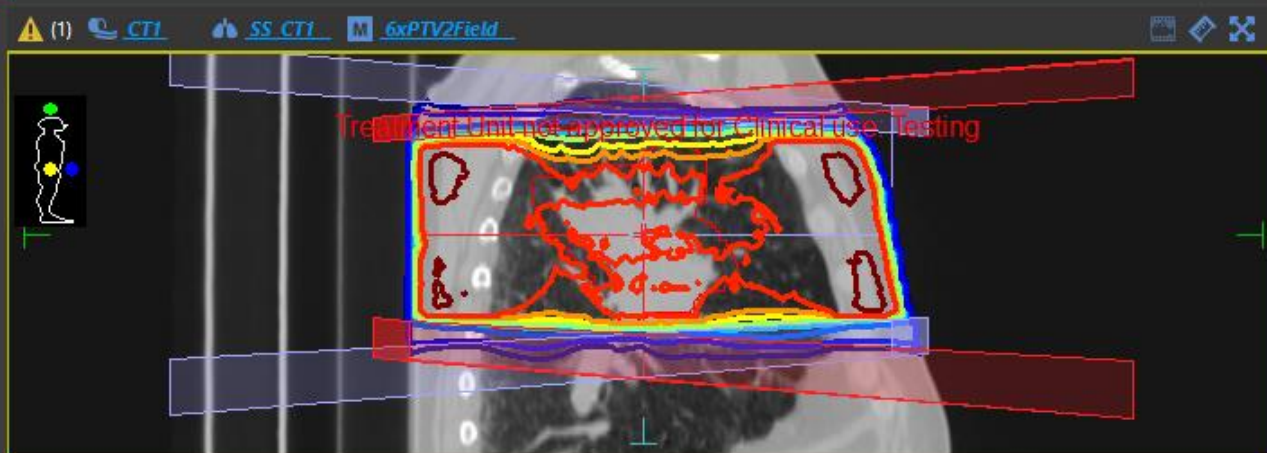
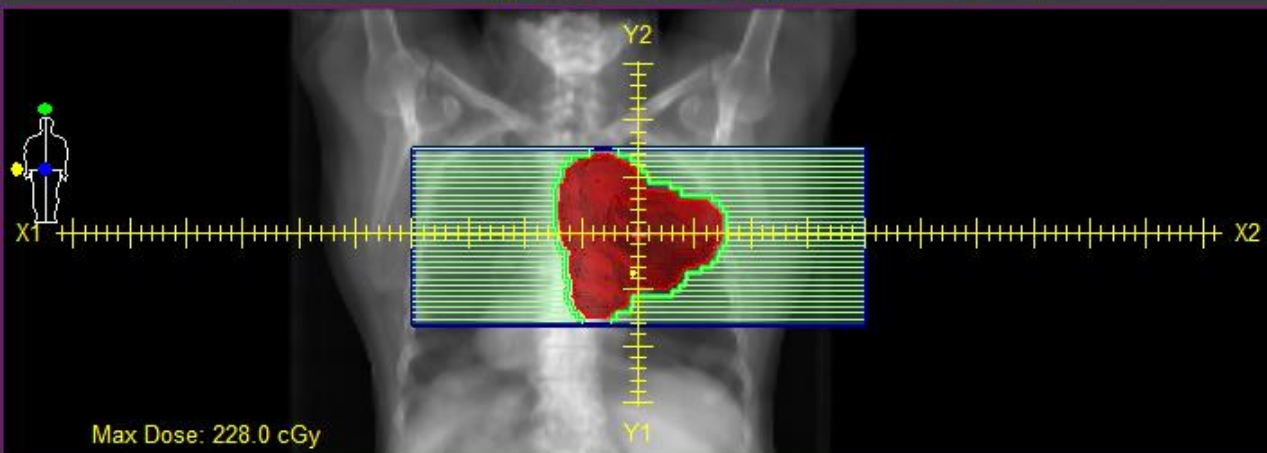
バージョンによる違い

- 臨床プラン（肺、対向2門、MU固定、2Gy処方）
 - アイソセンターの線量を比較

Dose voxel: 0.3 cm
SU: 0.5 per Control point

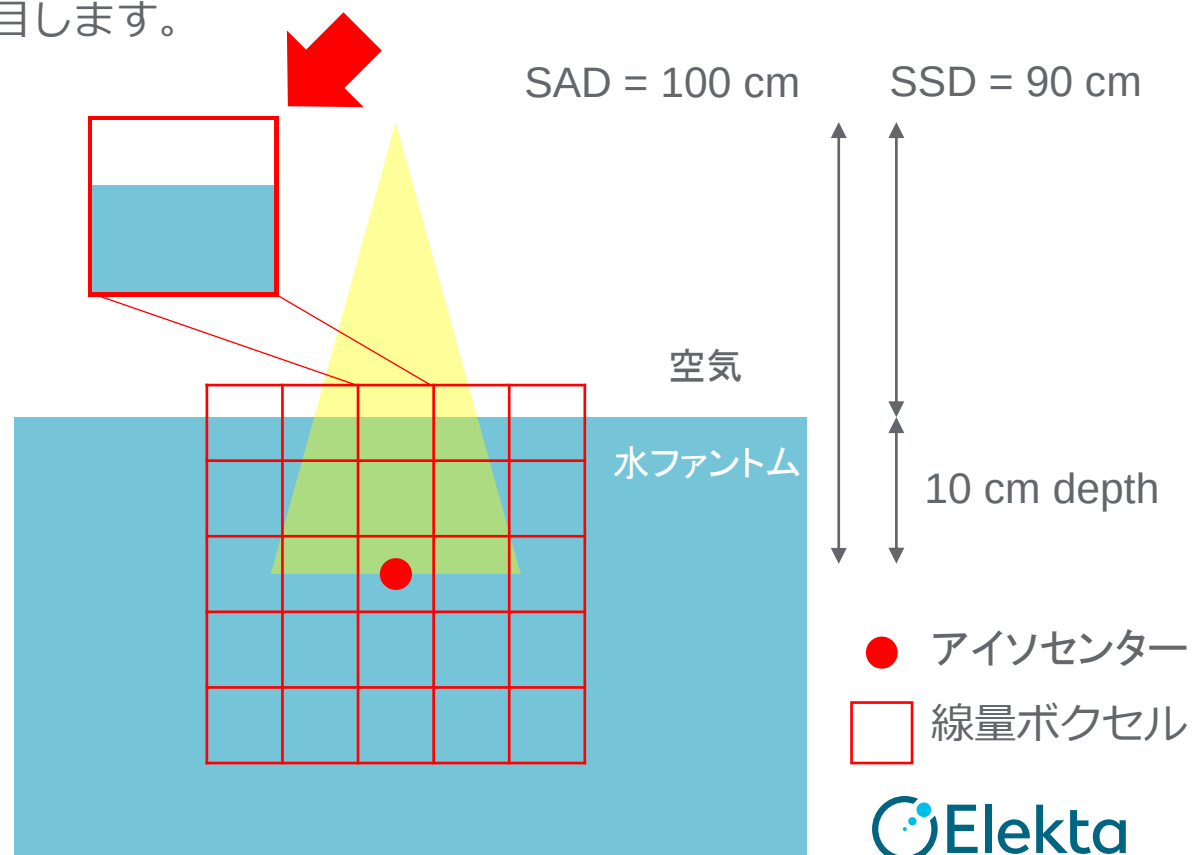


Monaco Ver.	5.11	5.51	6.x
Dose (cGy)	199.0	199.3	199.3



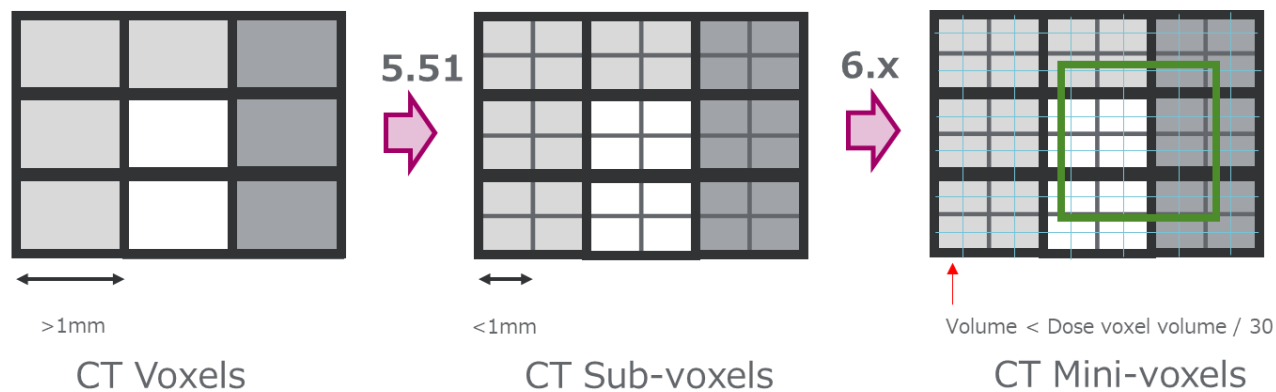
コミッショニング時の注意点 - 線量ボクセルの取り扱い

- Monacoでは 1 つ目のビームの Isocenter を中心に線量ボクセルが配置されます。
 - 中心軸上のファントムと空気の境界の線量ボクセルに注目します。
- この線量ボクセルに与えられる相対電子密度はMonacoのバージョンによって異なります。
 - 5.11: 線量ボクセルを27個に細分化した平均
 - 5.51: CTサブボクセル内の加重平均
 - 6.x : 線量ボクセル内のCTミニボクセルの平均

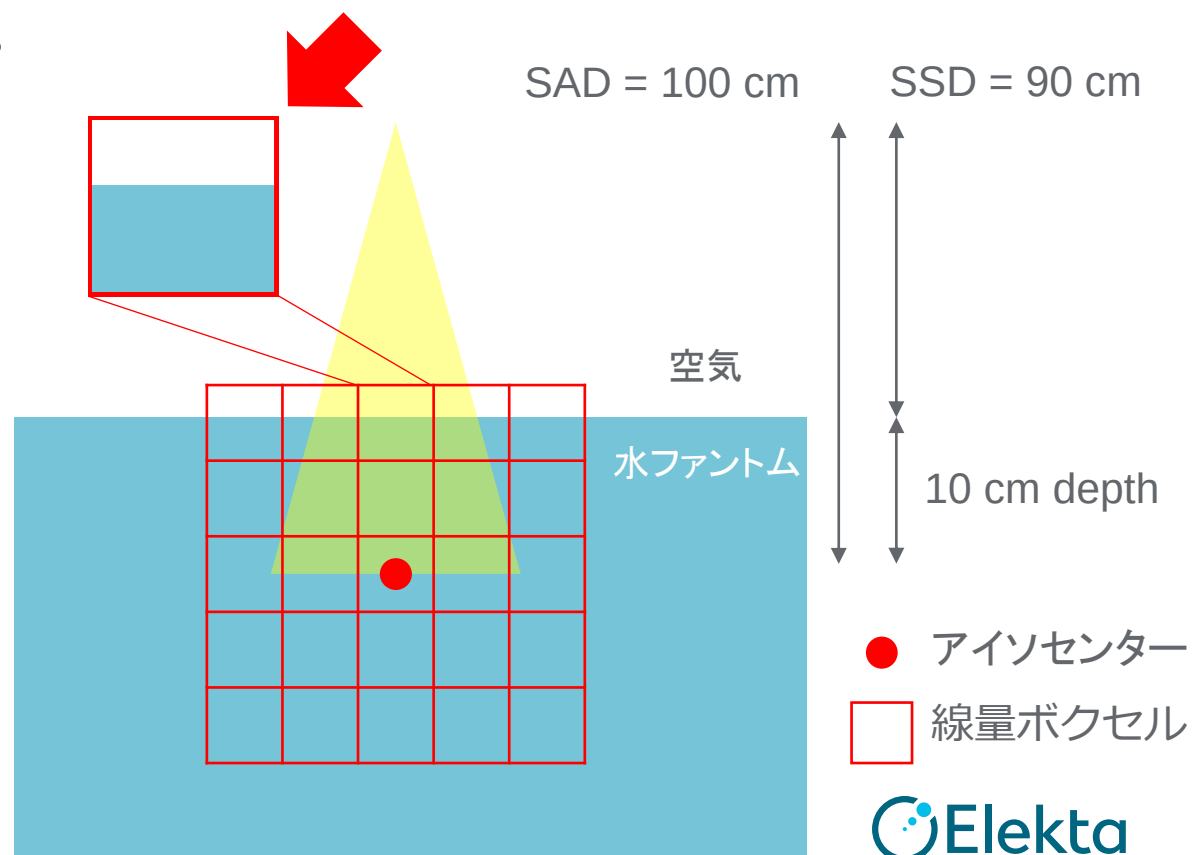


コミッショニング時の注意点 - 線量ボクセルの取り扱い

- 5.51以降では、より細かく相対電子密度を割り当てることができるようになりました。

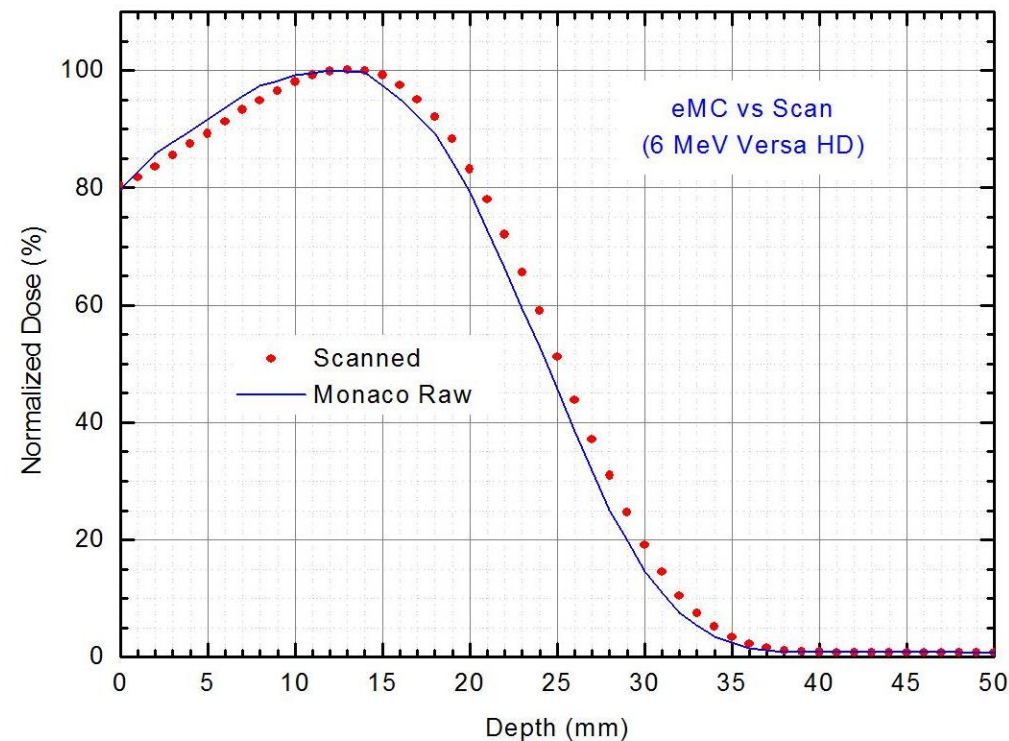
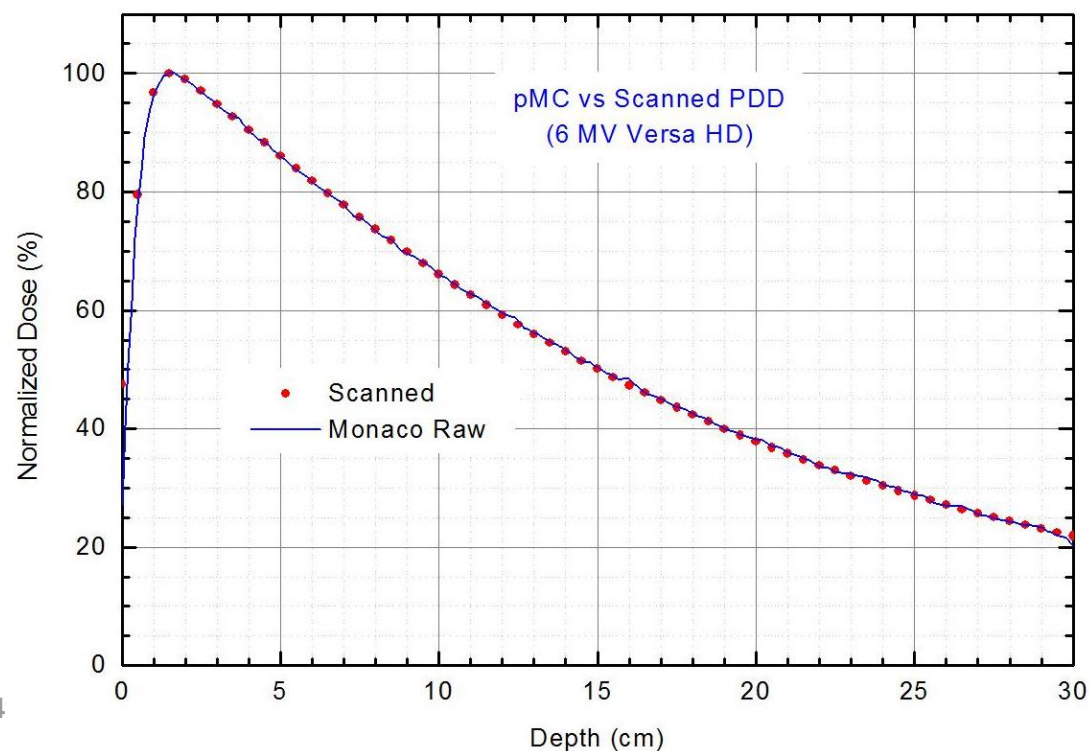
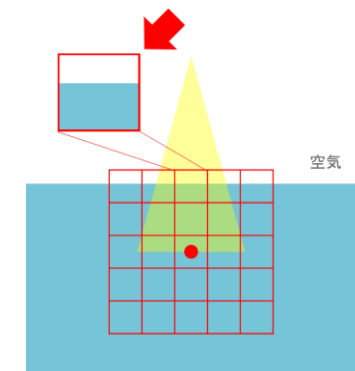


- 一方で、線量ボクセルが空気とファントムにまたがって配置される場合は、厳密に減衰を計算することができません。



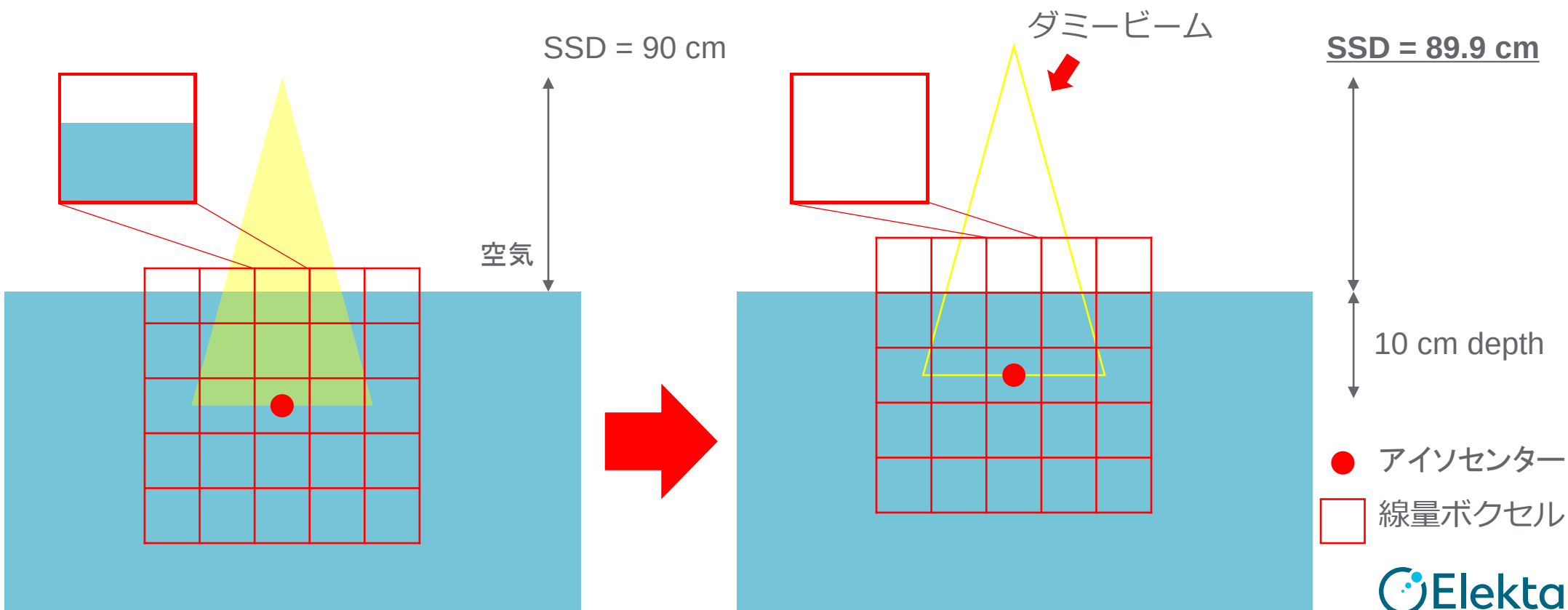
コミッショニング時の注意点 - 線量ボクセルの取り扱い

- X線: 実測のPDDとMonacoで計算したPDDを比較するとわずかな差であることがわかります。
- 電子線: 実測のPDDに対して、Monacoで計算したPDDがシフトしているように見えます。



コミッショニング時の注意点 - 線量ボクセルの取り扱い

- 1 本目のビームに 0 MU のダミービームを作成し、SSD を線量ボクセル サイズの 1/2 だけ変移させると、線量ボクセルの表面がファントム上面に配置され、より厳密な計算が可能です。



コミッショニング時の注意点 - 線量ボクセルの取り扱い

- ダミービームは Monaco 上で下記のように設定します。
 - その際、SetupはSSDに設定します。

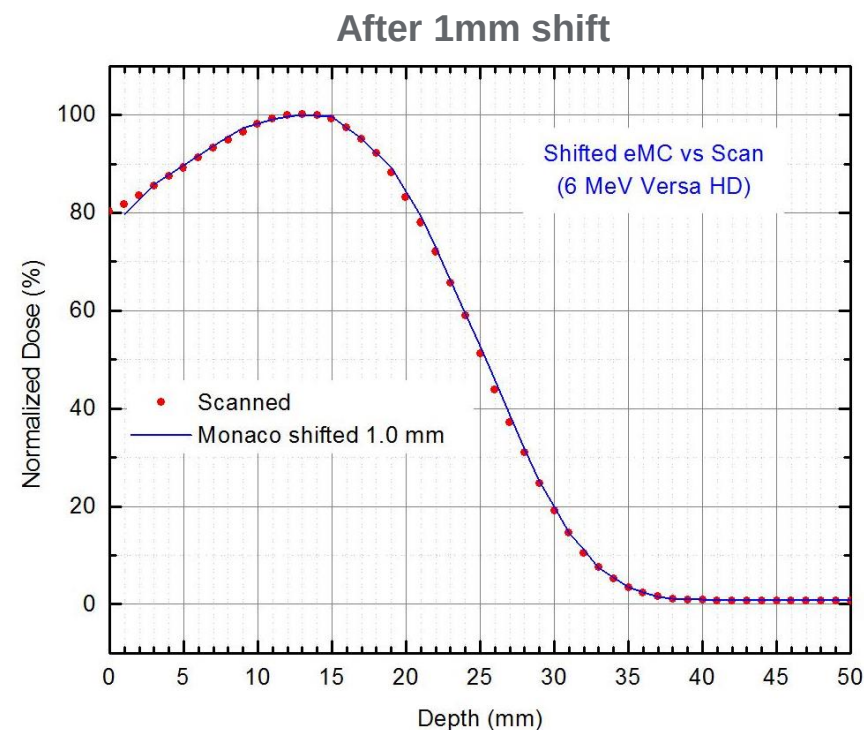
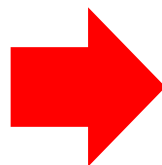
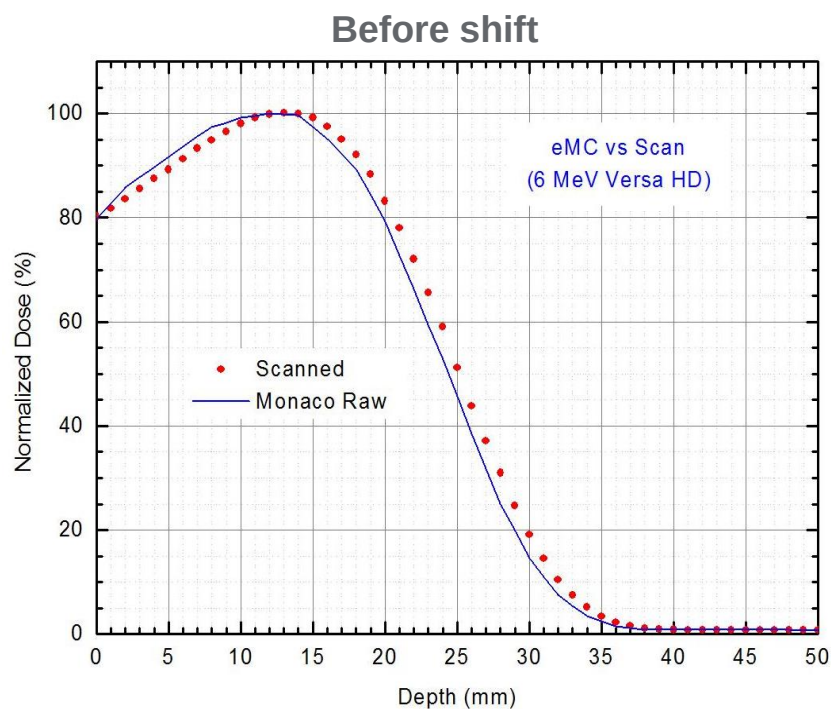
The screenshot shows the Monaco software interface. On the left, the 'Calculation Properties' dialog is open. The 'Grid Settings' section has 'Grid Spacing (cm)' set to 0.20, which is highlighted with a red box. A red arrow points from this box to a text box on the right. The 'Algorithm Settings' section shows 'Algorithm' as 'Monte Carlo Electron' and 'Number of Histories per cm^2' as 500000. Below the dialog, the 'Beams' table is visible. The table has columns: Beam, Description, Field ID, Visible, Delivery, Treatment Unit, Modality, Algorithm, Energy, MU / Fx, Setup, SSD (cm), Isocenter Location, X (cm), Y (cm), and Z (cm). Two beams are listed: Beam 1 (Alignment, Field ID 2, Visible checked, 3D, Synergy, Electron, Monte Carlo, 4.0 MeV, MU / Fx 0.00, Setup SSD, SSD 99.90, Arbitrary Point, 0.00, 0.00, -0.10) and Beam 2 (10x10, Field ID 1, Visible checked, 3D, Synergy, Electron, Monte Carlo, 4.0 MeV, MU / Fx 100.00, Setup SSD, SSD 100.00, Volume Isocenter, 0.00, 0.00, 0.00). The 'Beam 1' row is highlighted with a red box. A red arrow points from the text box on the right to the 'Setup' column of the 'Beam 1' row.

調整用ビーム : 0 MU
SSD = 100 - (half grid size)
注 : このビームは線量グリッドを調整するためにのみ使用されます。

Beam	Description	Field ID	Visible	Delivery	Treatment Unit	Modality	Algorithm	Energy	MU / Fx	Setup	SSD (cm)	Isocenter Location	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	Alignment	2	✓	3D	Synergy	Electron	Monte Carlo	4.0 MeV	0.00	SSD	99.90	Arbitrary Point	0.00	0.00	-0.10
2	10x10	1	✓	3D	Synergy	Electron	Monte Carlo	4.0 MeV	100.00	SSD	100.00	Volume Isocenter	0.00	0.00	0.00

コミッショニング時の注意点 - 線量ボクセルの取り扱い

- ダミービームを作成した結果、線量ボクセルの表面がファントム上面に配置され、より厳密な計算が可能です。

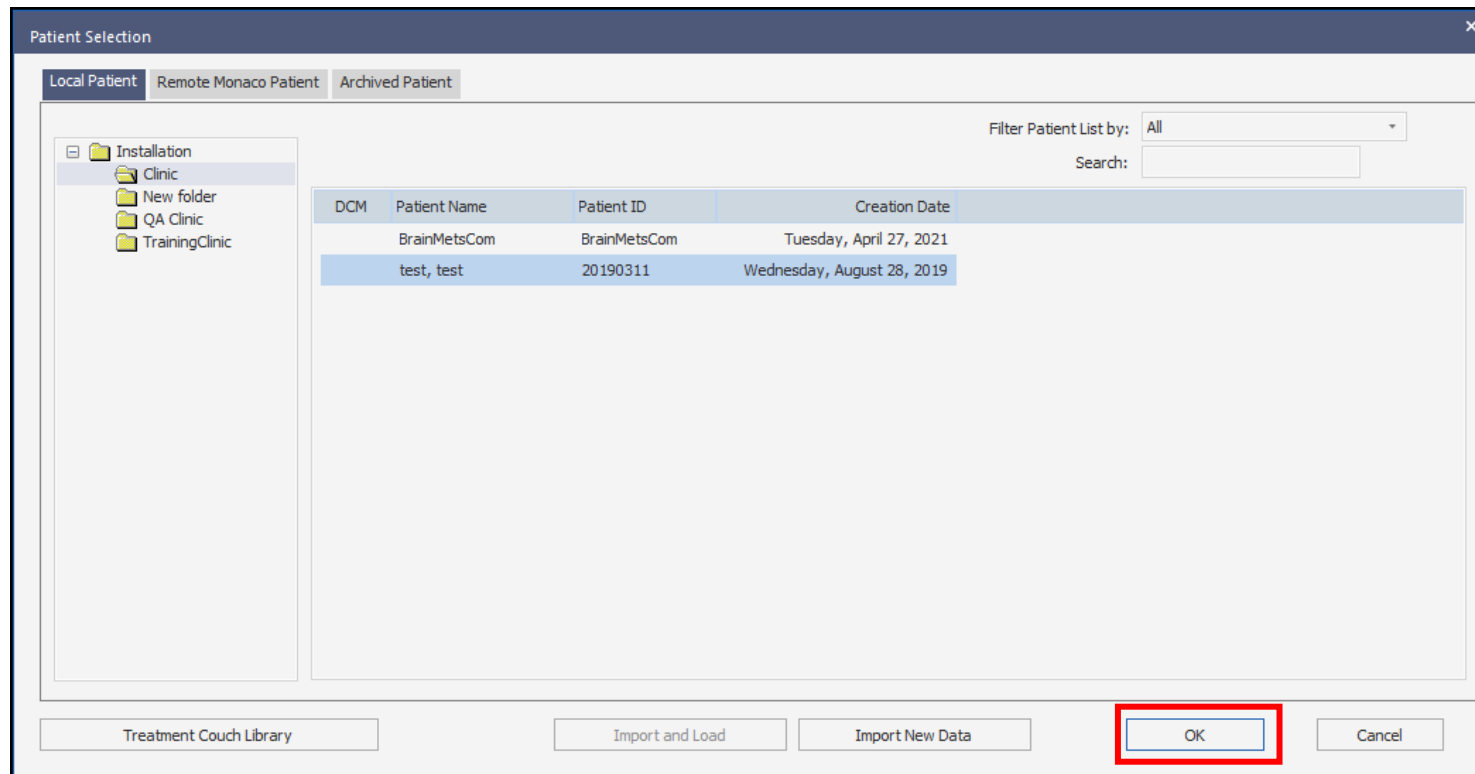


バージョンアップ後のプランの比較方法

- バージョンアップ後にPatient Modelによるプランの違いを確認することを推奨しています。
- 旧バージョンのMonacoで計算したプランと現バージョンのMonacoで計算したプランの比較方法について説明します。

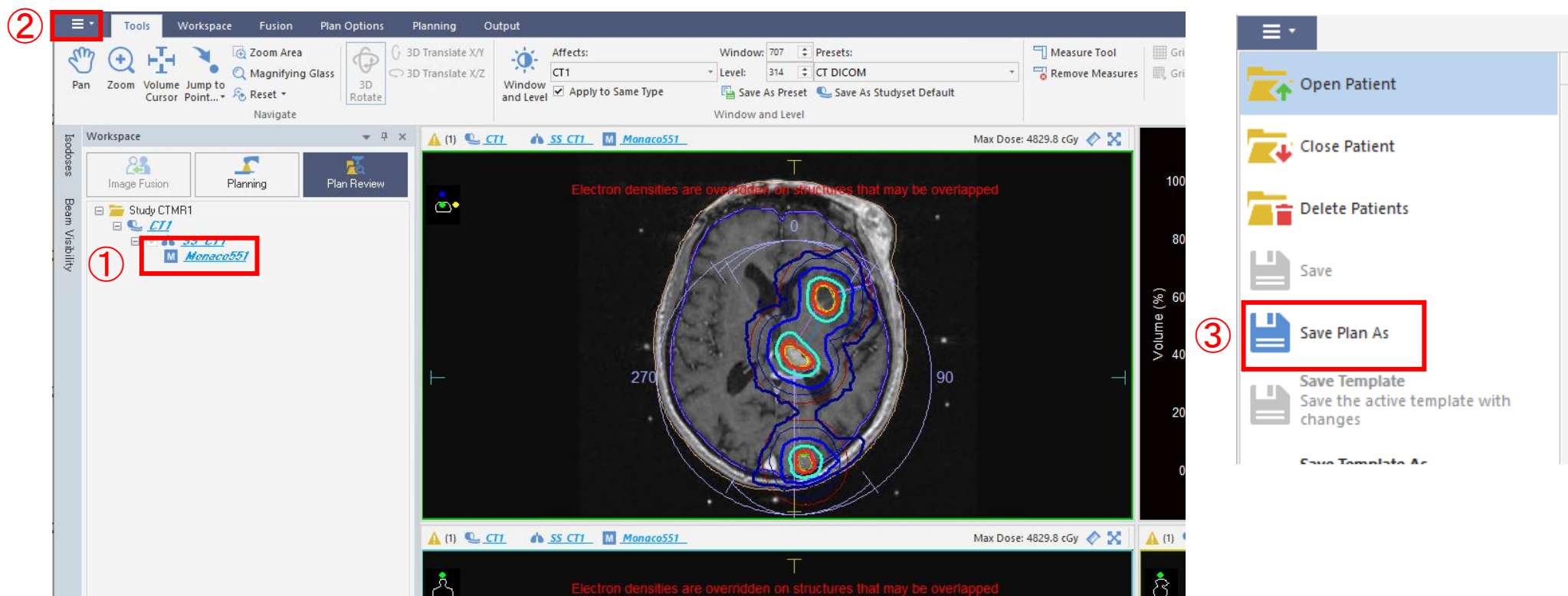
バージョンアップ後のプランの比較方法

1. 古いバージョンで計算されたプランのある患者を開きます。



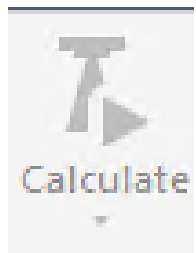
バージョンアップ後のプランの比較方法

2. 該当プランを新しい名前で保存します。

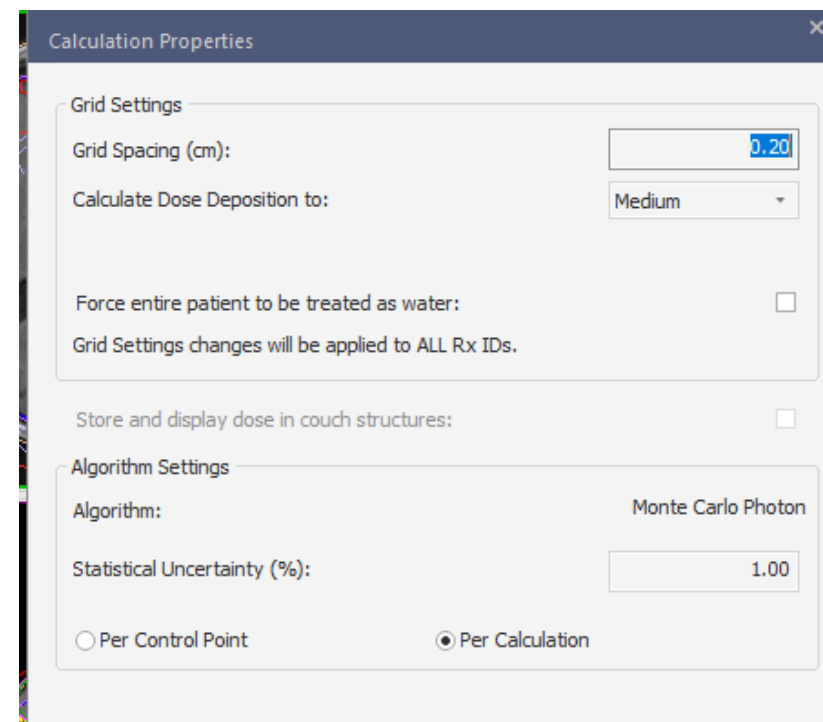


バージョンアップ後のプランの比較方法

3. 新たに保存したプランをCalculateで再計算します。



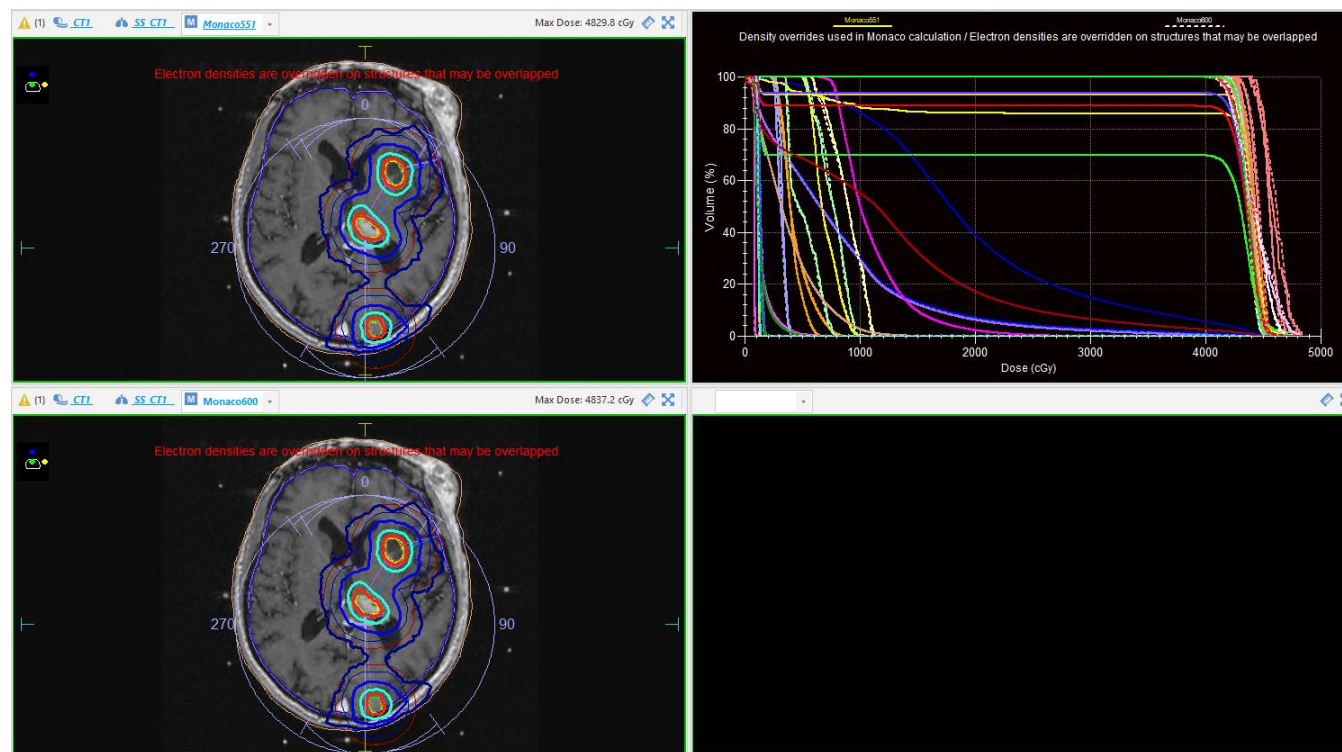
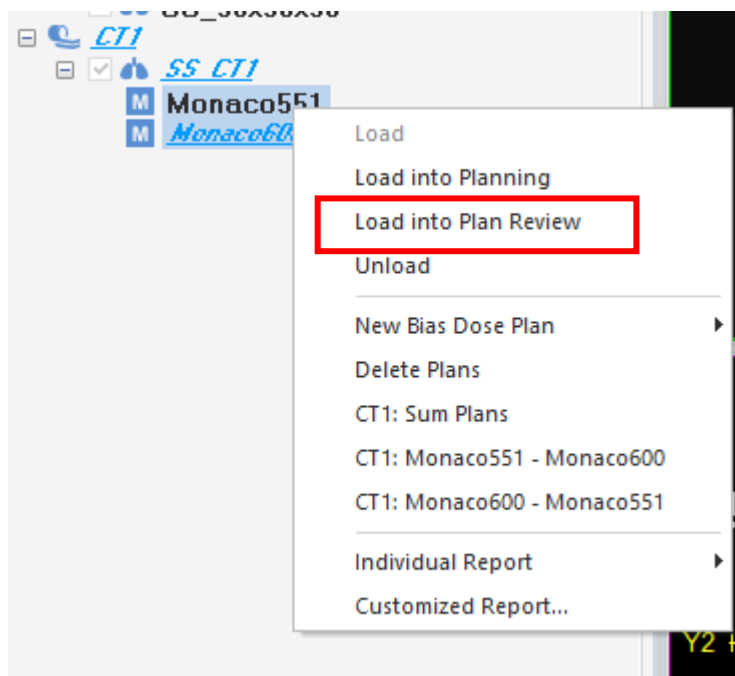
- Calculateがグレイアウトしているときは計算結果を削除する必要があります
- グリッドサイズを一度変更し元に戻してCalculateを押してください。



バージョンアップ後のプランの比較方法

4. 元のプランと再計算後のプランで比較をします。（輪郭内の平均線量や最大線量など）

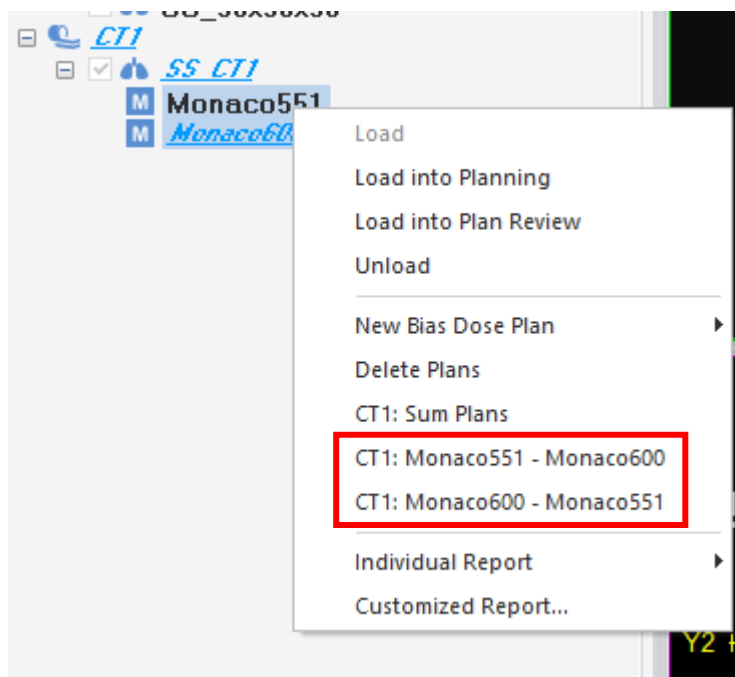
Ctrlキーを押しながら比較するプランを選択し、右クリック



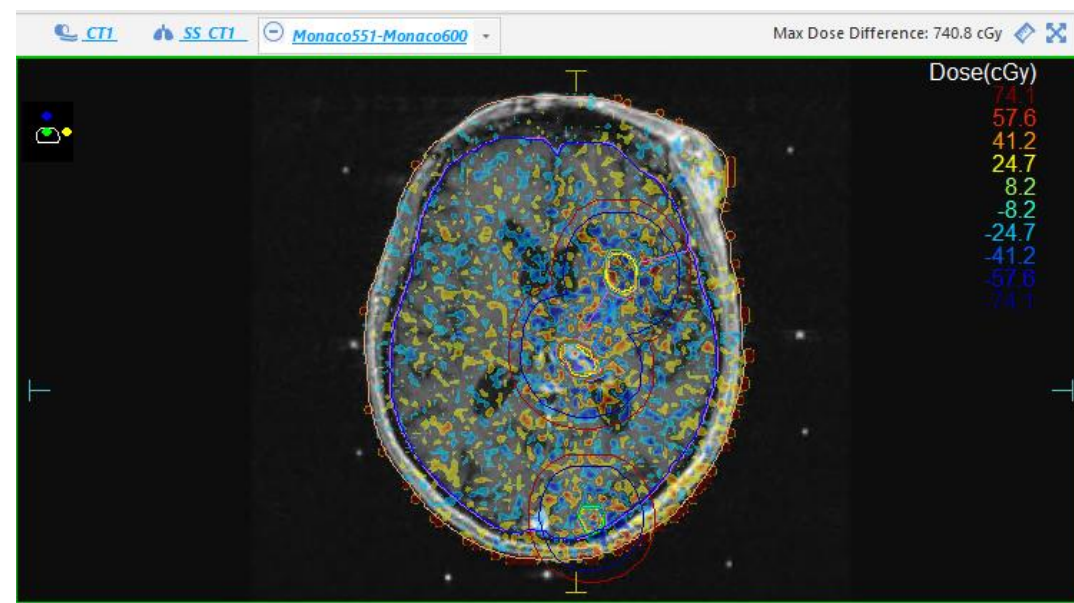
バージョンアップ後のプランの比較方法

4. 元のプランと再計算後のプランで比較をします。（輪郭内の平均線量や最大線量など）

Ctrlキーを押しながら比較するプランを選択し、右クリック



減算プランの表示



バージョンアップ後のプランの比較方法

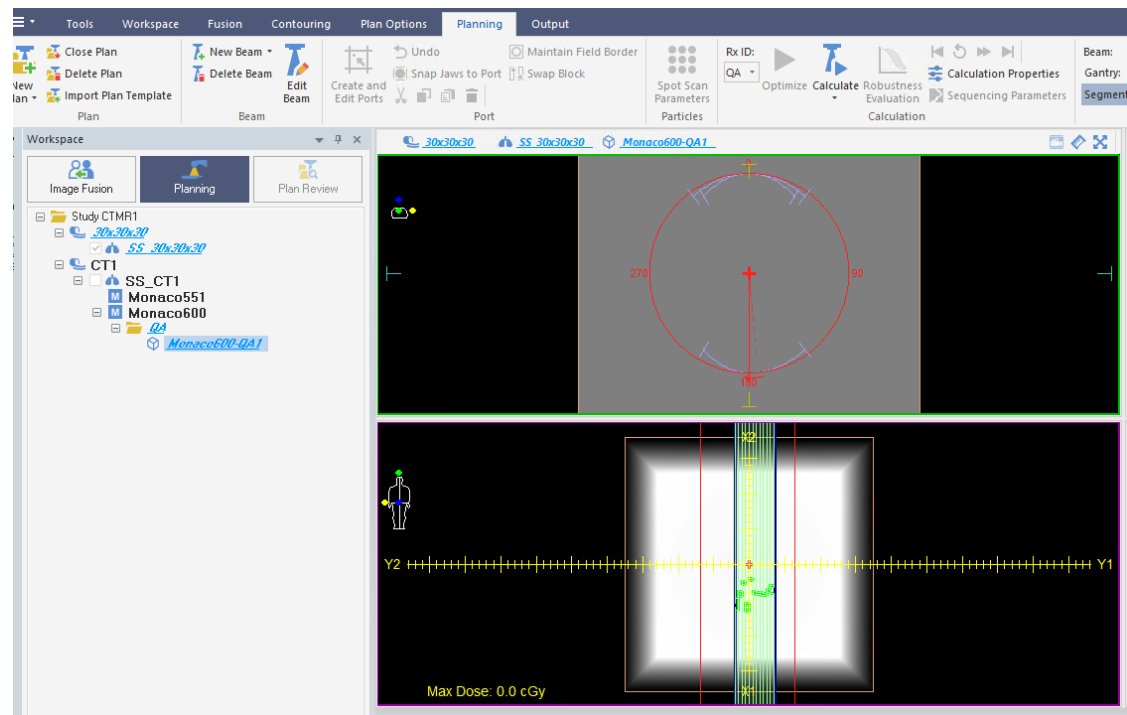
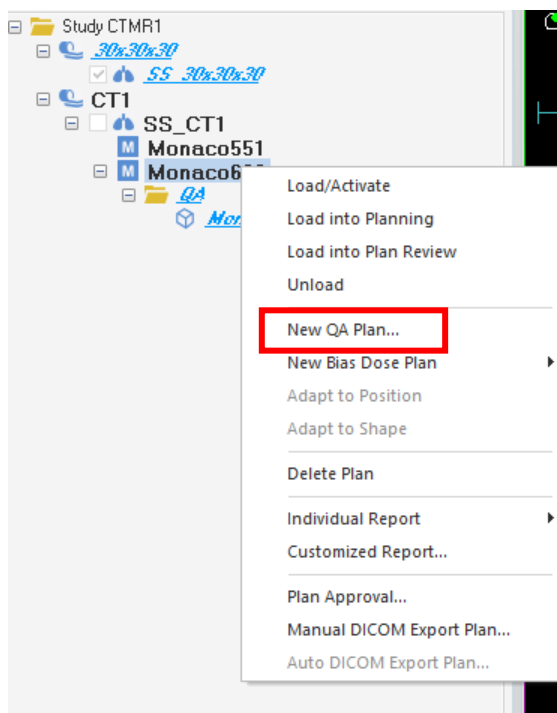
4. 元のプランと再計算後のプランで比較をします。（輪郭内の平均線量や最大線量など）

DVH StatisticsのDosimetric Criteria では比較している複数プランの線量評価を同時に確認できます。

DVH Statistics				
Dosimetric Criteria Statistics Display				
Structure	Plan	Dosimetric Criterion	Actual Value	
Hippocampus	Monaco551	D0.1cm ³ < 1000 cGy	932.5 cGy	✓
Hippocampus	Monaco600	D0.1cm ³ < 1000 cGy	936.6 cGy	✓
BrainStem	Monaco551	D0.1cm ³ < 2700 cGy	2467.5 cGy	✓
BrainStem	Monaco600	D0.1cm ³ < 2700 cGy	2465.5 cGy	✓
Chiasma	Monaco551	Dmax < 2700 cGy	1135.9 cGy	✓
Chiasma	Monaco600	Dmax < 2700 cGy	1131.1 cGy	✓
Eye_R	Monaco551	Dmax < 2000 cGy	688.5 cGy	✓
Eye_R	Monaco600	Dmax < 2000 cGy	671.6 cGy	✓
Eye_L	Monaco551	Dmax < 2000 cGy	860.7 cGy	✓
Eye_L	Monaco600	Dmax < 2000 cGy	877.0 cGy	✓
Lens_L	Monaco551	Dmax < 1000 cGy	396.3 cGy	✓
Lens_L	Monaco600	Dmax < 1000 cGy	399.8 cGy	✓
Lens_R	Monaco551	Dmax < 1000 cGy	396.5 cGy	✓
Lens_R	Monaco600	Dmax < 1000 cGy	395.2 cGy	✓
OpticNerve_R	Monaco551	Dmax < 2700 cGy	978.2 cGy	✓
OpticNerve_R	Monaco600	Dmax < 2700 cGy	980.1 cGy	✓

バージョンアップ後のプランの比較方法

5. 現バージョンのプランからQAプランを作成し、測定結果と比較します。





Thank you