

# Monaco Training

## IMRT Course

### 各種パラメータ資料

Monaco5.11

第1版

エレクタ株式会社



Restricted Information and Basic Personal Data

## 目次

**改訂履歴 ..... 3**

**Cost Function..... 4**

コンセプト  
Target Penalty  
Target EUD  
Quadratic Overdose  
まとめ Target  
Serial  
Parallel  
Conformality  
まとめ OAR  
Quadratic Underdose  
Maximum Dose  
Overdose DVH  
Underdose DVH  
ボクセルの所有権  
オプションパラメータ Optimize Over all  
オプションパラメータ Shrink Margin

**IMRT Parameters..... 30**

- ① Minimum CT number: Use with Clear option
- ② AutoFlash
- ③ オプションパラメータ Surface Margin
- ④ Beamlet Width
- ⑤ Target Margin

**2** | Focus where it matters



Restricted Information and Basic Personal Data

## 改訂履歴

版数	発行日	改定内容
第1版	2019年7月12日	初版発行

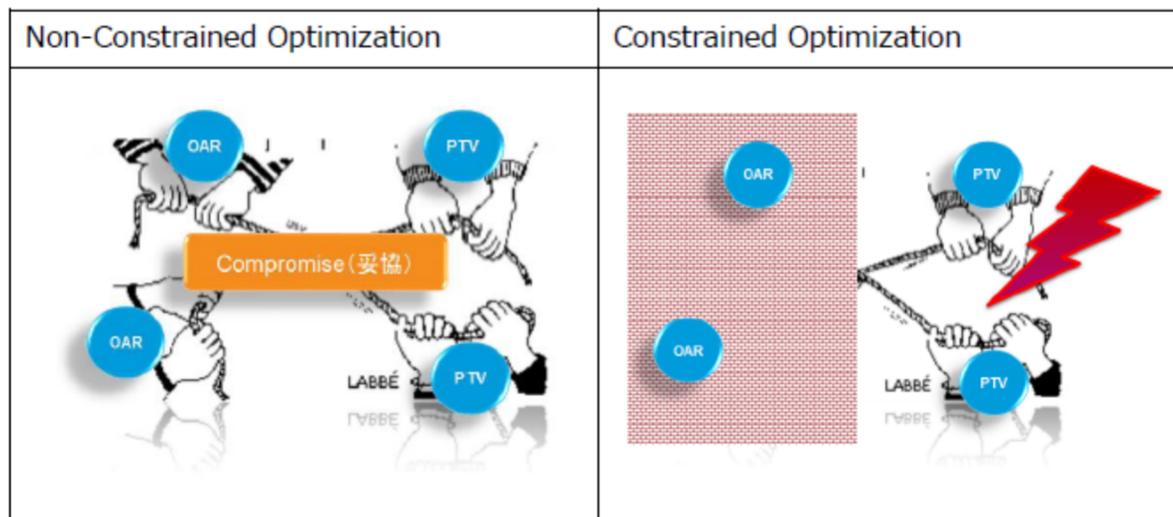
## Cost Function

---

# Cost Function - コンセプト

## Constrained Optimization

Monaco では、フルエンス作成時に Constrained Optimization が用いられています。どの治療計画装置でも、ユーザーが指定したリスク臓器 (OAR) やターゲットに対する指標 (線量・体積) が達成されるように最適化を進めます<sup>1</sup>。その際に Monaco は、必ず OAR に対する指標が満たされるように最適化します。OAR の線量がユーザー指定の条件に納まった時点で、ターゲットの最適化が進みます。



5

3

Restricted Information and Basic Personal Data

# Cost Function

## コストファンクション

- Target Penalty
- Target EUD
- Quadratic Overdose
- Serial
- Parallel
- Conformality
- Quadratic Underdose
- Maximum Dose
- Overdose DVH
- Underdose DVH

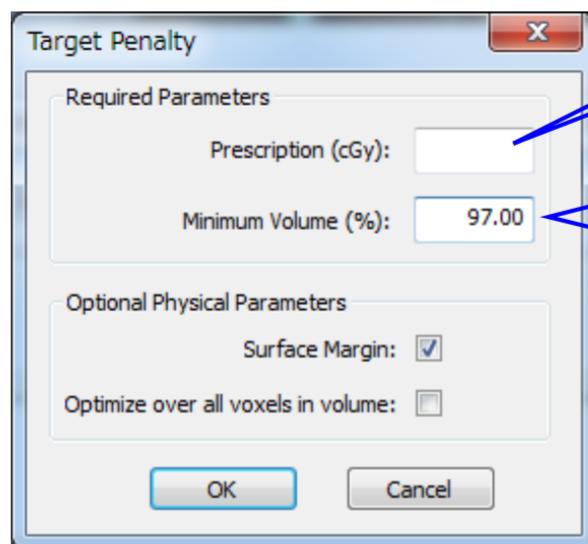
## 適用対象

- Target
- Target
- Target OAR
- OAR
- OAR
- OAR
- Target
- Target OAR
- OAR
- Target

Restricted Information and Basic Personal Data

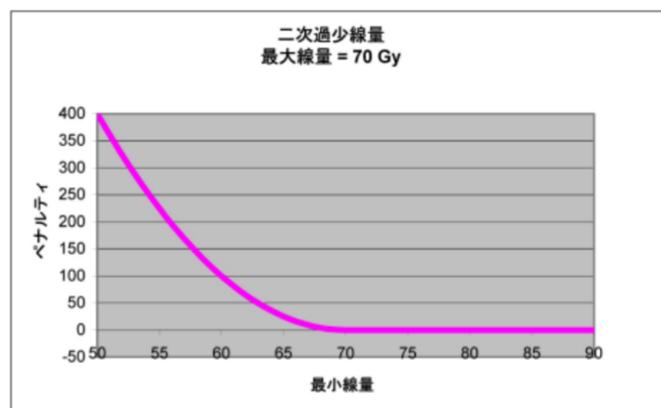
## Cost Function - Target Penalty

ターゲットに対して処方線量をMinimum Volume以上にかける働き



処方線量

RANGE : 0-100  
多くの場合95-100で使用  
(DVHのMinimum Volumeを指標に使えます)



Quadratic Overdoseと組み合わせて  
使用することが多い

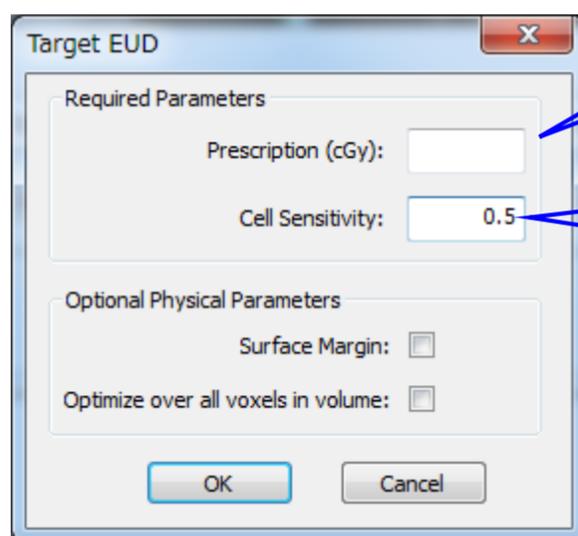
7 | Focus where it matters

Elekta

Restricted Information and Basic Personal Data

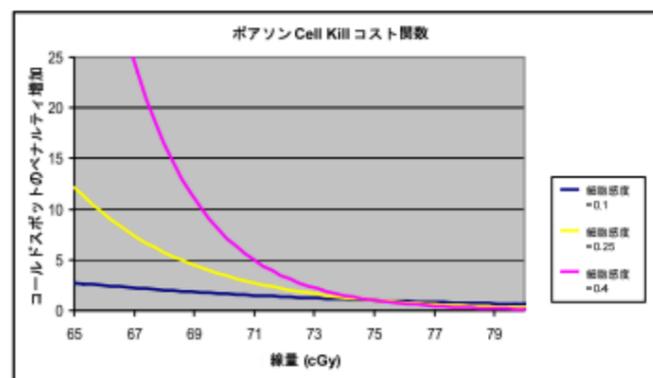
## Cost Function - Target EUD

感度を指定することができます



処方線量(EUD)

Cell Sensitivity大→Penalty大  
RANGE : 0.1-1.0  
0.5が推奨値



Quadratic Overdoseと組み合わせて  
使用することが多い

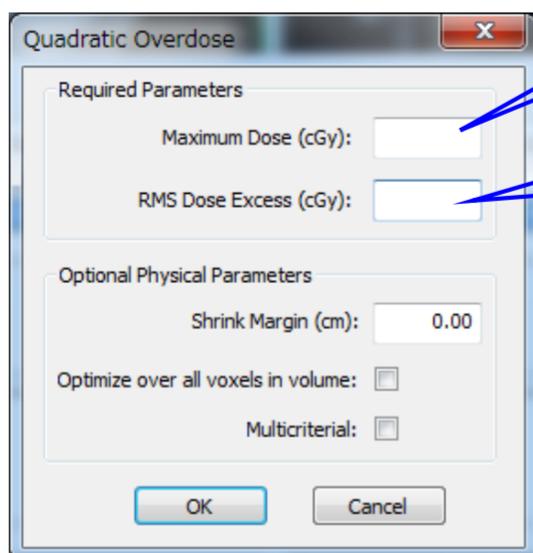
8 | Focus where it matters

Elekta

Restricted Information and Basic Personal Data

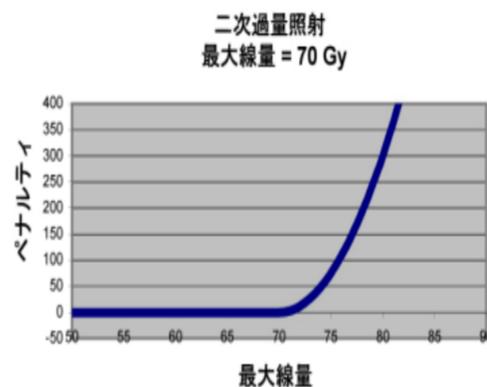
## Cost Function - Quadratic Overdose

Maximum Doseを超えるとPenaltyを与える



最大線量

線量が超過しても許容される量  
RMS = 二乗平均の平方根



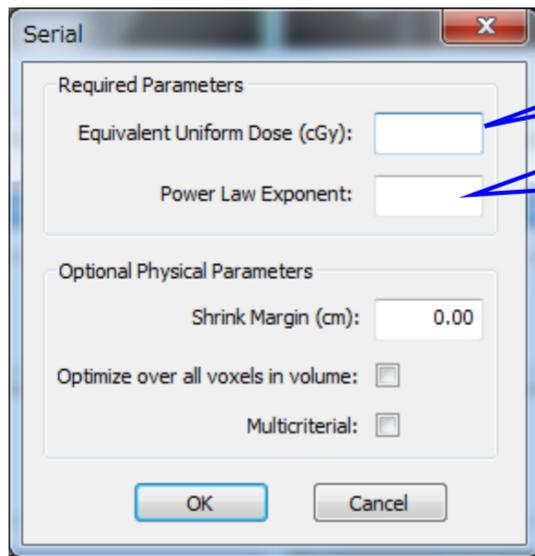
Target Penalty/EUDと組み合わせて使用することが多い

## Cost Function まとめ Target

- Target EUD/Penaltyは必ずターゲットに使用する
  - Target EUD/PenaltyはQuadratic Overdoseとセットで使用する
  - Target に対するQuadratic Overdoseは以下の数字から始める
    - Maximum Doseは処方線量 + 100~200 cGy程度
    - RMS Dose Excessは50~100 cGy程度
- ※あまり小さい数字にすると収束しない場合があります

# Cost Function - Serial

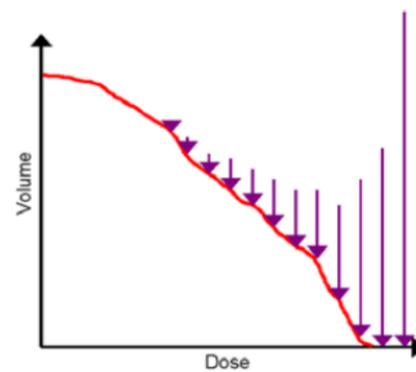
最大線量に最大Penaltyを与え、線量減少につれてPenaltyも減少



EUD

k値(1-20)

$$k = 0.15 \times D_{50}$$



k値が大きいほど強い効果を与える

PLE の数値	効果
<p>PLE=1.0</p> <p>EUD が平均線量になるような効果をもたらします。</p> <p>臓器への平均線量をコントロールしたい場合は、EUD=平均線量、PLE=1 にします。</p>	
<p>PLE=10.0</p> <p>線量が高い領域に強く効果が出ます。</p>	
<p>PLE=20.0</p> <p>物理的コストファンクション (Maximum Dose) のような効果をもたらします。</p>	

# Cost Function - Serial

## k値の設定例

Serial Complication Model (直列放射線障害モデル) (続き)

直列 OAR	一般的な k 値	一般的な等制約値 (Gy)
直腸	12	64
膀胱	8	60
脊髄	12 ~ 14	29 ~ 36
脳幹	12 ~ 14	36 ~ 40
視神経、交叉	12 ~ 16	32 ~ 48
心臓	6	21 ~ 24
眼球	2	25
内耳	12	38
下顎、口腔、喉頭	8	40 ~ 46
耳下腺	1	22
脳	1	12
神経叢	5	55

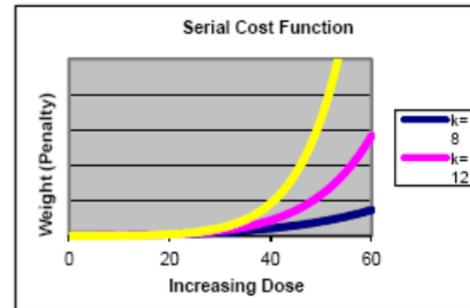
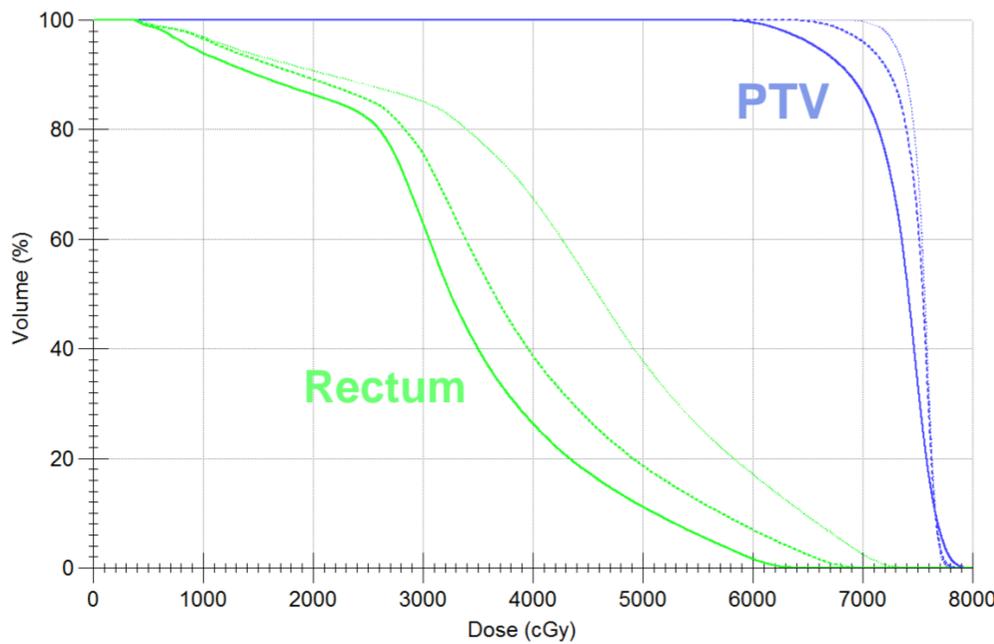


図 10-6 : 一般的な k 値の例

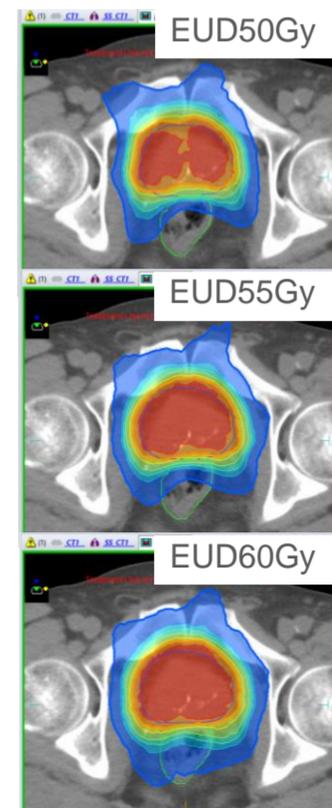
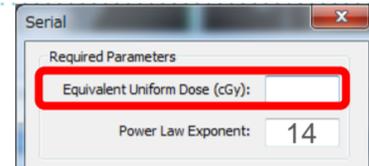
注 : Power Law Exponent (べき乗の指数) の影響を調べ、クリニックでの使用に最も効果的な k 値および等制約を判断してください。

# Cost Function - Serial

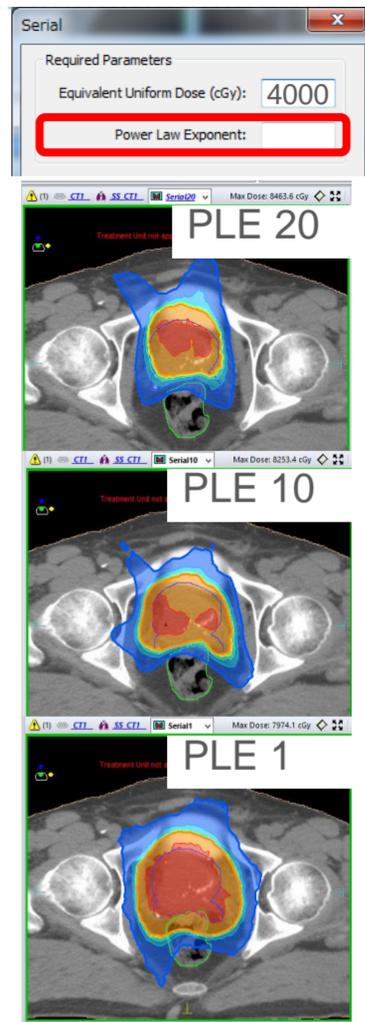
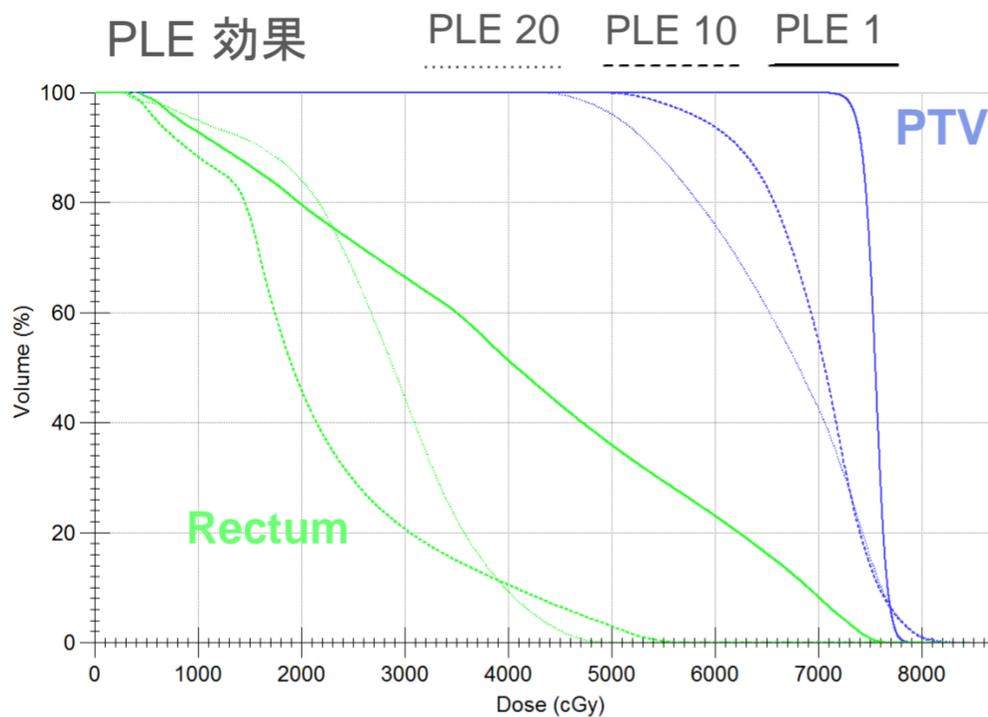
EUD 効果      EUD50    EUD55    EUD60



EUDを変更すると、DVHカーブの位置とターゲットカバレッジが変更されます



# Cost Function - Serial



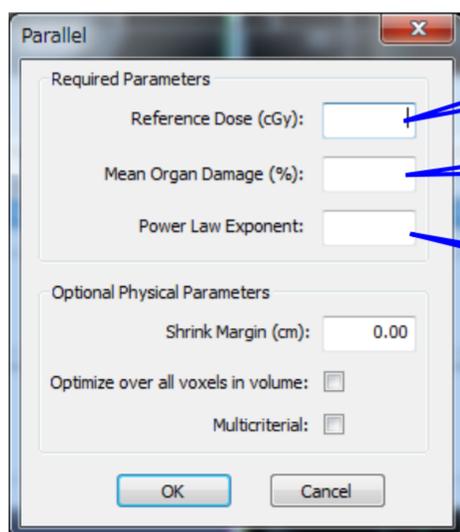
PLEを変更すると、DVHカーブの形状とターゲットカバレッジが変わります

15 | Focus where it matters

Restricted Information and Basic Personal Data

# Cost Function - Parallel

Reference Doseに最大Penaltyを与え、Reference Doseから離れるにつれてPenaltyも下げる

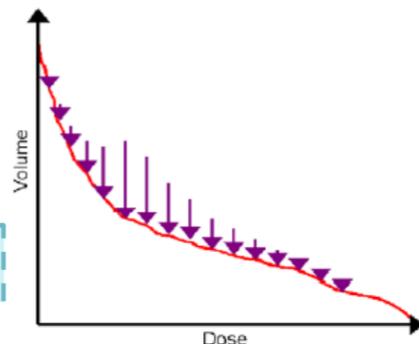


どの線量を基準にPenaltyをかけるか

ストラクチャ内でダメージを与える割合

k値(1-4)  $k = 0.15 \times D_{ref}$

k値が大きいほど強い効果を与える



16 | Focus where it matters



Restricted Information and Basic Personal Data

PLE の数値	効果 (Reference Dose = 30 Gy, Mean Organ Damage = 50%の場合)
PLE=1.0 EUD が平均線量になるような効果をもたらします。	
PLE=2.0 指定した Reference Dose / Mean Organ Damage のポイントとそのポイントの前後 (低線量と高線量) に適用されます。均一ではなく、Reference Dose / Mean Organ Damage のポイントを中心にコストファンクションが強く作用します。	
PLE=4.0 指定した Reference Dose / Mean Organ Damage のポイントに強く適用され、物理的コストファンクションと同様の効果をもたらします。	

17 | Focus where it matters

Elekta

Restricted Information and Basic Personal Data

## Cost Function - Parallel

### パラメータ例

Parallel OAR	Ref Dose (Gy)	Common k Value	Mean Organ Damage (%)
Lung	20	3	20
Parotid	26	3.9	40
Kidney	14	2.1	20
Liver	30	4.0	33

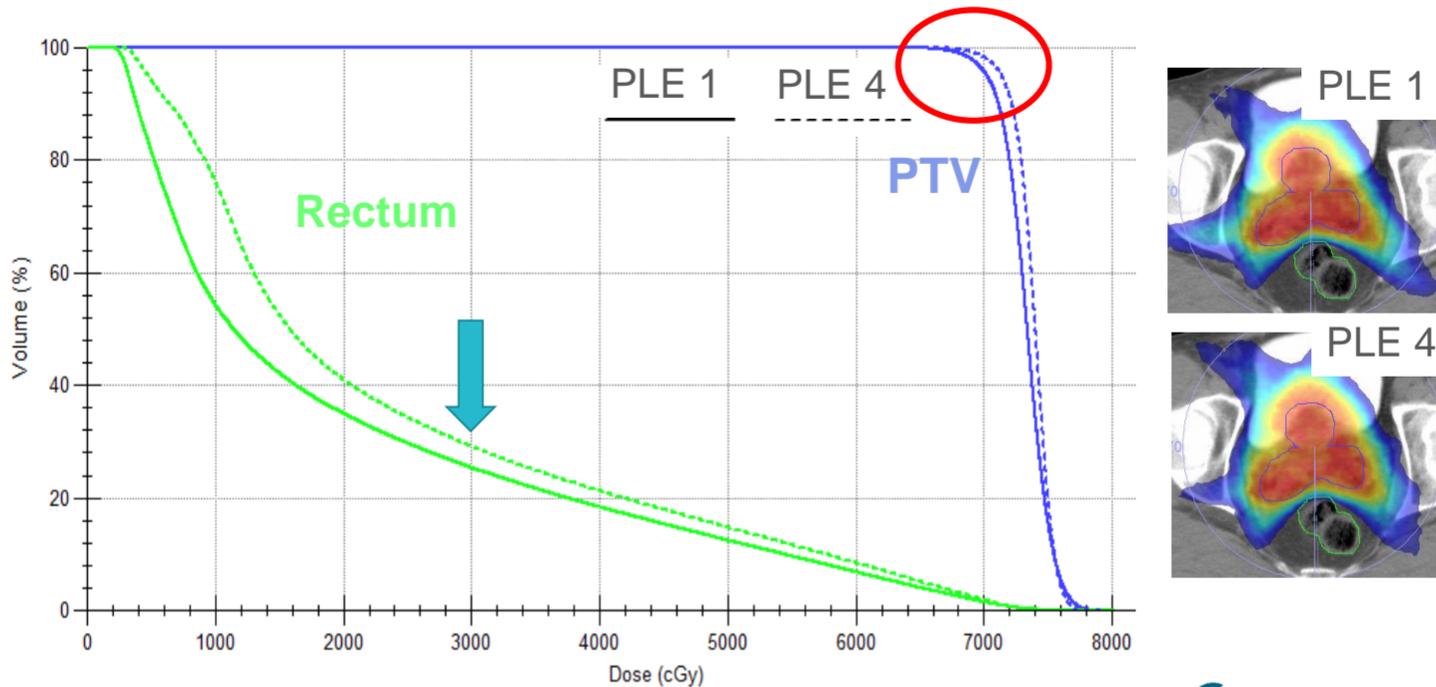
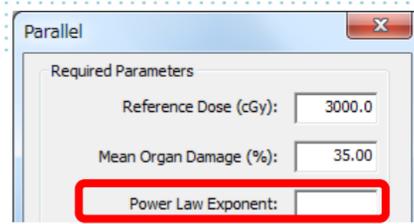
18 | Focus where it matters

Elekta

Restricted Information and Basic Personal Data

## Cost Function - Parallel

- PLE=4 の時、PLEが高いとターゲットのカバーがよい
- PLE=1 の時、PLEが低いとMean Doseはさらに下がるが、高線量領域にもペナルティがかかるため、ターゲットのカバーが悪くなっている。



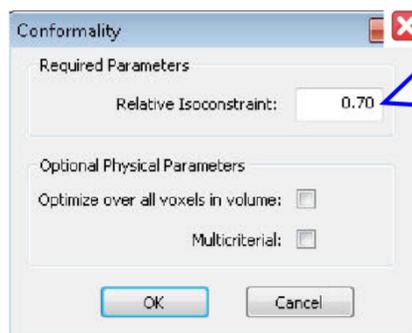
19 | Focus where it matters

Elekta

Restricted Information and Basic Personal Data

## Cost Function - Conformality

ターゲット周囲の高線量領域をターゲットに押し込む働き



効果の強さ(0.01~1.00)

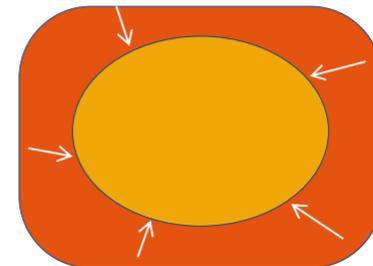
**Relative Isoconstraint** 0.01 = 強いPenalty

→ Target集中度○、Hot Spotが出やすい

**Relative Isoconstraint** 1.0 = 弱いPenalty

→ Target集中度×

- Defaultではターゲット周囲4 cmまでに働く
- Optimize Overallを使うと8 cmまで領域拡大



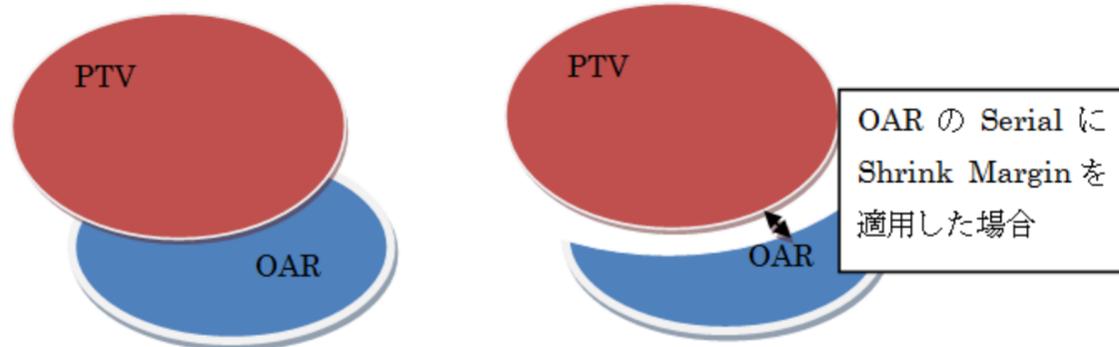
20 | Focus where it matters

Elekta

Restricted Information and Basic Personal Data

## Cost Function まとめ OAR

- OARにはSerial / Parallel / Quadratic Overdoseを使う  
状況にあわせてShrink Marginを活用する  
(Shrink Marginは最適化時にTarget近傍のボクセルを除外する)

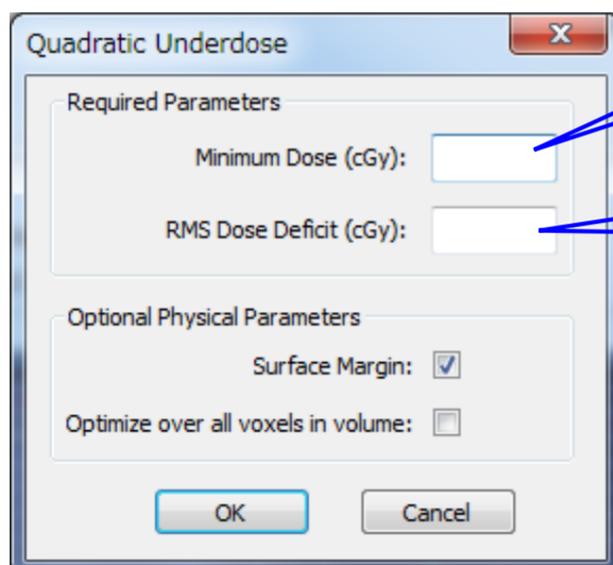


### Quadratic Overdoseにおける注意点

Targetと隣接し、Shrink Margin=0cmの場合は、Targetの最小線量と同じにしておく。

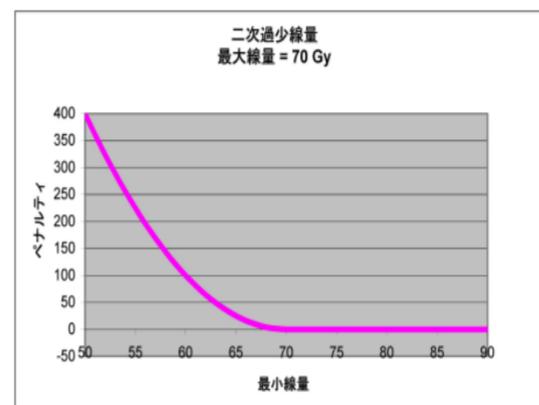
## Cost Function - Quadratic Underdose

Minimum Doseを下回るとPenaltyを与える



最小線量

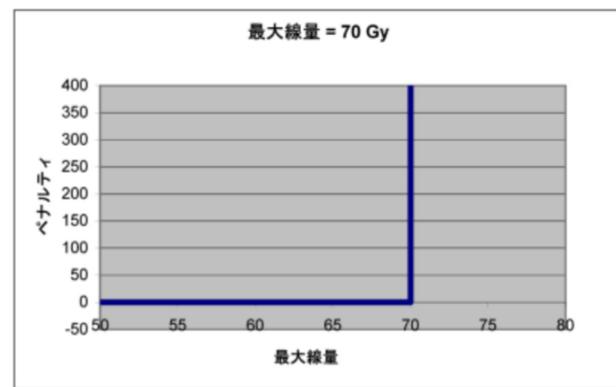
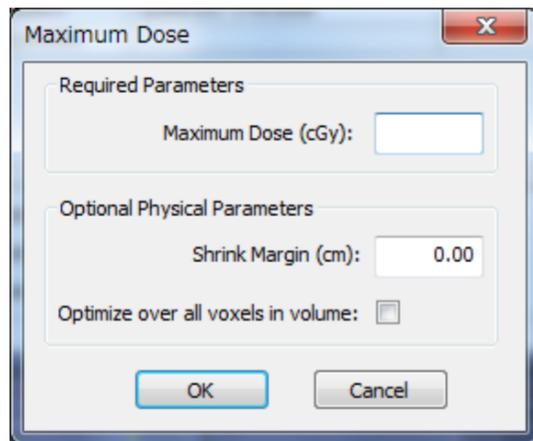
線量が下回っても許容される量  
RMS = 二乗平均の平方根



## Cost Function - Maximum Dose

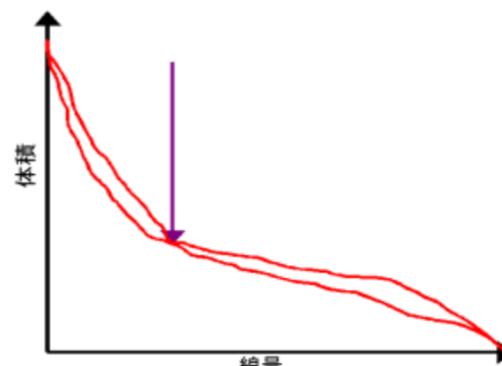
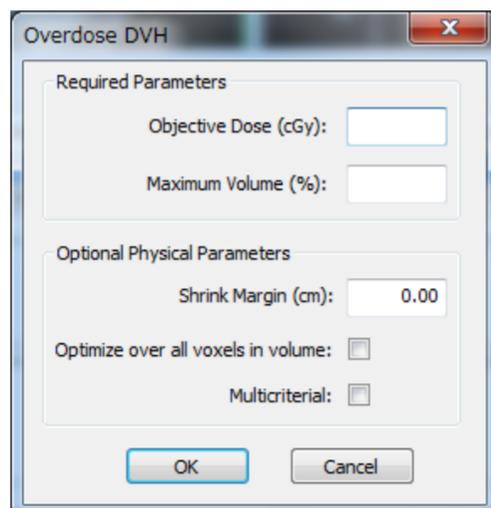
Maximum Doseを超えた途端に適用される

→RMSを小さくしたQuadratic Overdoseを使用することを推奨



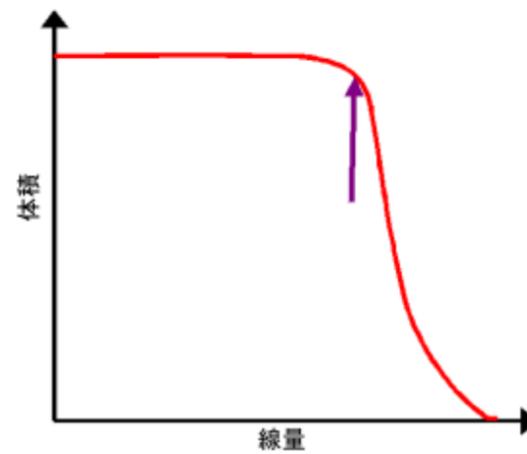
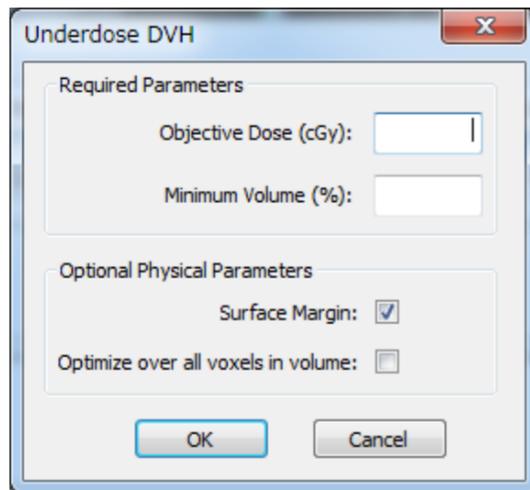
## Cost Function - Overdose DVH

Objective Dose(目的線量)よりも大きい線量を受ける体積が、Maximum Volume未満になるように制約をする



## Cost Function - Underdose DVH

Objective Dose (目的線量) よりも小さい線量を受ける体積が、Minimum Volume 以上になるように制約をする



## ボクセルの所有権

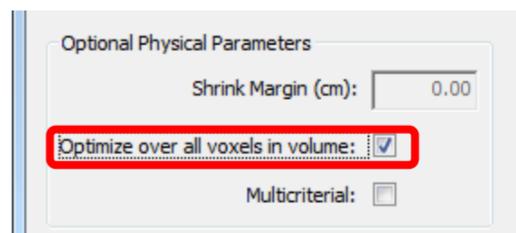
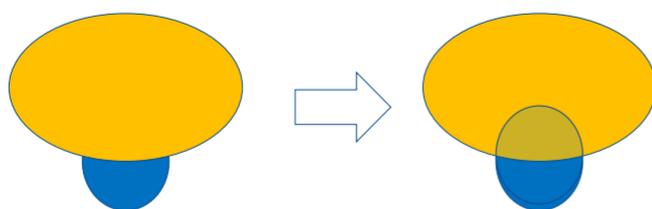
輪郭が重複する場合、その部分(ボクセル)の所有権はStructureの階層で決定します。

<table border="1"><tr><td>Structure</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> PTV</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Rectum</td></tr></table>	Structure	<input checked="" type="checkbox"/> PTV	<input checked="" type="checkbox"/> Rectum		1. PTVがRectumより上段にある場合		2a. Rectum の "optimized over all voxels" をONにした場合			
Structure										
<input checked="" type="checkbox"/> PTV										
<input checked="" type="checkbox"/> Rectum										
<table border="1"><tr><td>Structure</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Rectum</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> PTV</td></tr></table>	Structure	<input checked="" type="checkbox"/> Rectum	<input checked="" type="checkbox"/> PTV		2. Rectum がPTVより上段にある場合	<table border="1"><tr><td>Optional Physical Parameters</td></tr><tr><td>Shrink Margin (cm): <input type="text" value="0.00"/></td></tr><tr><td>Optimize over all voxels in volume: <input checked="" type="checkbox"/></td></tr></table>	Optional Physical Parameters	Shrink Margin (cm): <input type="text" value="0.00"/>	Optimize over all voxels in volume: <input checked="" type="checkbox"/>	
Structure										
<input checked="" type="checkbox"/> Rectum										
<input checked="" type="checkbox"/> PTV										
Optional Physical Parameters										
Shrink Margin (cm): <input type="text" value="0.00"/>										
Optimize over all voxels in volume: <input checked="" type="checkbox"/>										
<table border="1"><tr><td>Structure</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> PTV2</td></tr><tr><td><input checked="" type="checkbox"/> PTV1</td></tr></table>	Structure	<input checked="" type="checkbox"/> PTV2	<input checked="" type="checkbox"/> PTV1		3. PTV2がPTV1より上段にある場合					
Structure										
<input checked="" type="checkbox"/> PTV2										
<input checked="" type="checkbox"/> PTV1										

ここでのボクセルの所有権は最適化計算のみに使用されます。

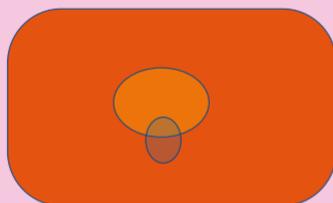
## オプションパラメータ Optimize Over all

- Optimize over all voxels in volume



チェックを入れることで、Structureの階層に関係なく、最適化の計算をすることが可能。

### 便利な使い方



体輪郭 (Patient) に Quadratic Overdose の Optimize Over all を用いれば全体の最大線量制御に役立つ

27 | Focus where it matters



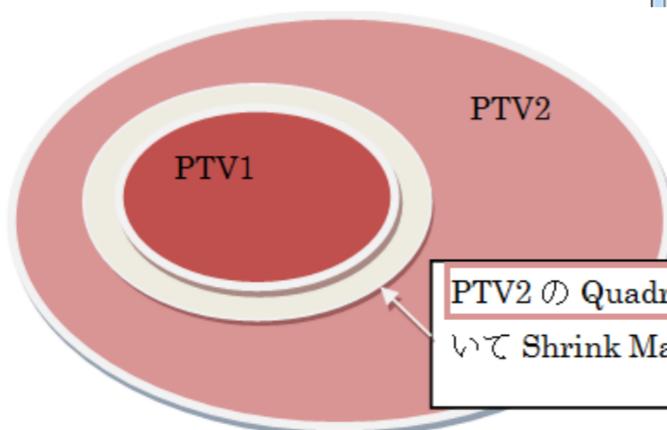
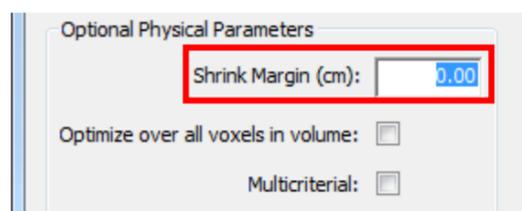
Restricted Information and Basic Personal Data

## オプションパラメータ Shrink Margin

- 最適化時に Target 近傍のボクセルを除外する
- Shrink Margin は 2000 cGy あたり 1 cm を目安にする

例

Structure	Cost Function
<input checked="" type="checkbox"/> PTV1	Target EUD
<input type="checkbox"/>	Quadratic Overdose
<input checked="" type="checkbox"/> PTV2	Quadratic Overdose



PTV2 の Quadratic Overdose において Shrink Margin 適用した場合

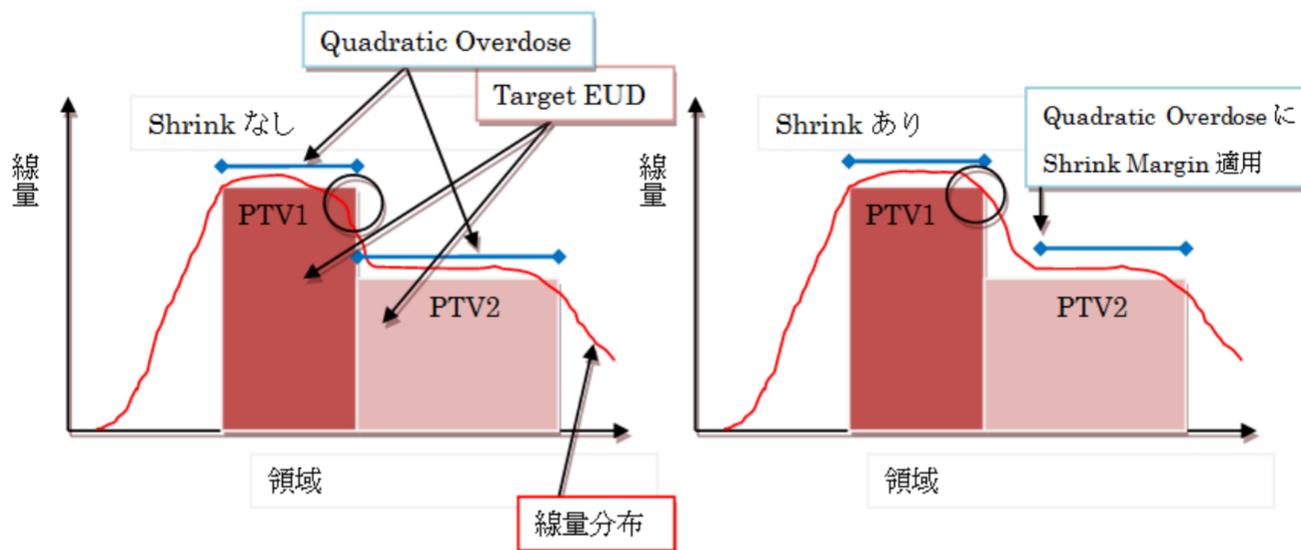
28 |



Restricted Information and Basic Personal Data

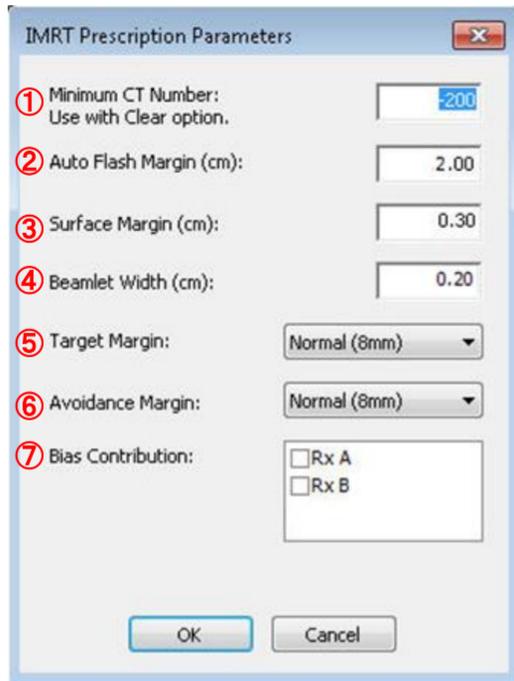
## オプションパラメータ Shrink Margin

Shrink Marginを活用すれば、Targetへの線量低下を防ぐことが可能



## IMRT Parameters

# IMRT Parameters



## ① Minimum CT Number

最小CT値を設定。設定したCT値以下はクリアされる。

## ② Auto Flash Margin (cm)

Flash Marginの大きさを設定。  
(Flash Marginについては後のスライドで説明)

## ③ Surface Margin (cm)

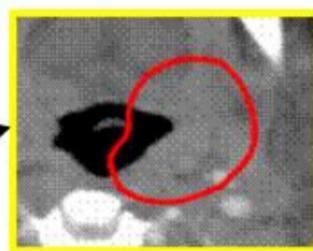
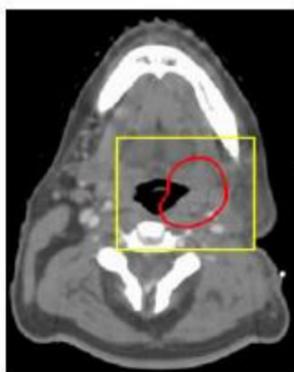
体表面やビルドアップ領域にも線量が入るように Cost Functionを制御する。

## ④ Beamlet Width (cm)

ビームレット幅を設定。**0.2 cm**を推奨。

## ① Minimum CT number: Use with Clear option

入力したCT値以下はVoxelをクリアしCost Functionを無効にします



注: この例は、[Fill]および[Clear]の適用をわかりやすく表現するために描画したものです。実際の画面で、このようなカラーマップが表示されるわけではありません。

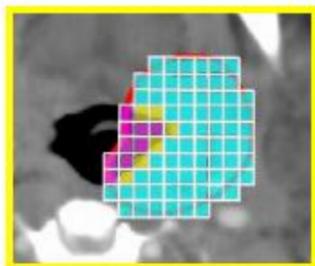


Figure 7-12:  
Voxelized Structure

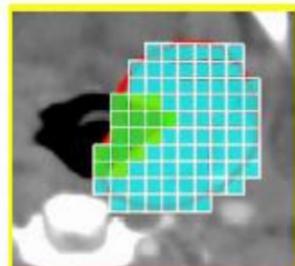


Figure 7-13:  
Application of Fill

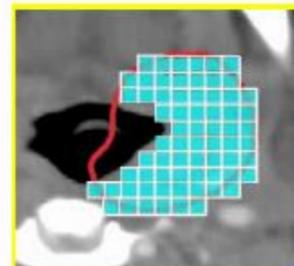


Figure 7-14:  
Application of Clear

## ②AutoFlash

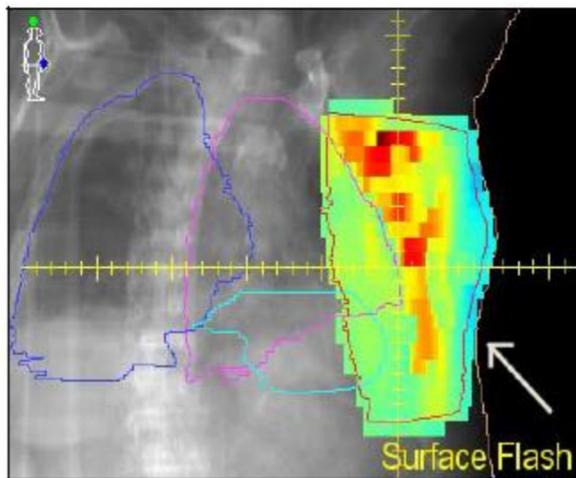


図 7-12 : 乳房接線フルエンスのCoronal像  
(自動フラッシュ不使用)

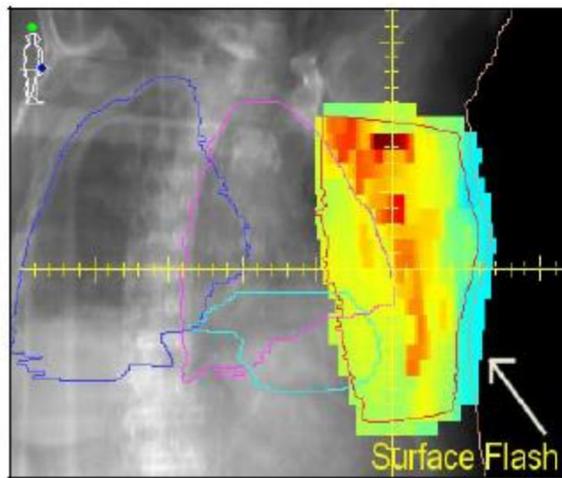


図 7-13 : 乳房接線フルエンスのCoronal像  
(1.0 cmの自動フラッシュを使用)

## ③オプションパラメータ Surface Margin

体表面やビルドアップ領域におけるコストファンクションの寄与を制限する

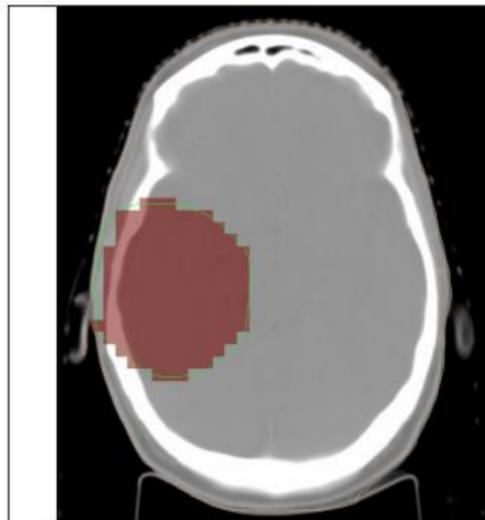


図 10-26 : 0.5 cm の体表マージンを適用したポアソンコスト関数

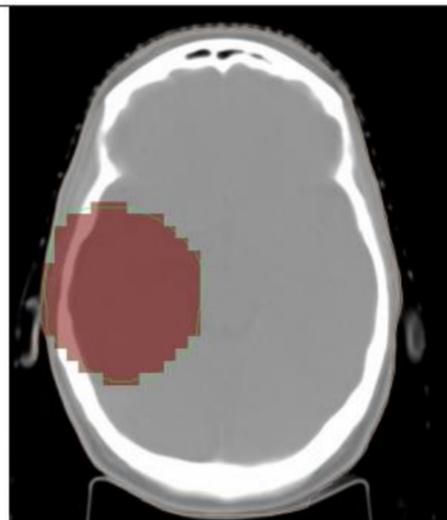
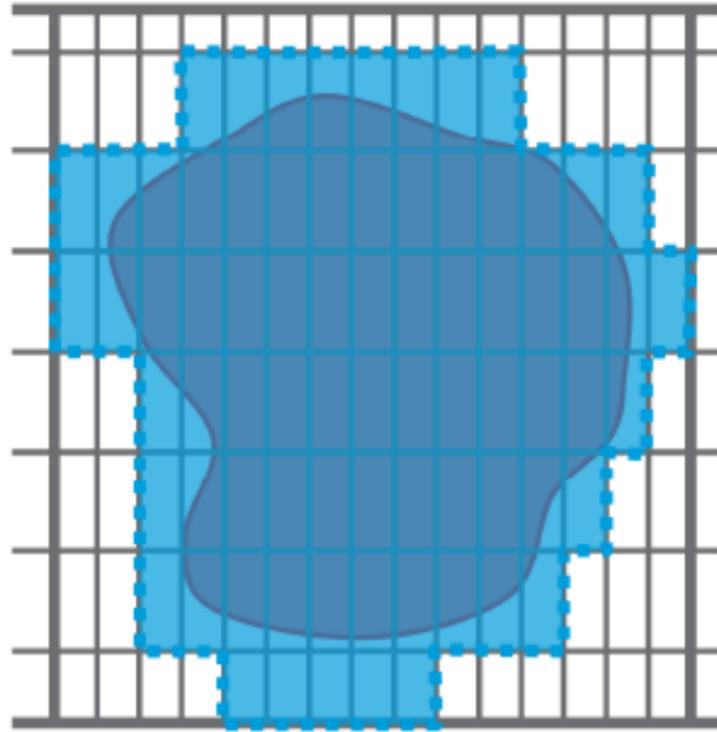


図 10-27 : 体表マージンを適用していない場合

## ④ Beamlet Width

- ・Beamletの強度を変化させて、Voxelに対するペナルティが少なくなるようにBeamlet Weights検索する。



35 | Focus where it matters

Elekta

Restricted Information and Basic Personal Data

## IMRT Parameters

IMRT Prescription Parameters

Minimum CT Number:   
Use with Clear option.

Auto Flash Margin (cm):

Surface Margin (cm):

Beamlet Width (cm):

⑤ Target Margin:

⑥ Avoidance Margin:

⑦ Bias Contribution:  Rx A  
 Rx B

OK Cancel

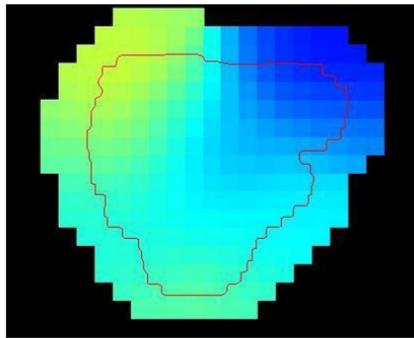
- ⑤ Target Margin (cm)  
Target Marginの大きさを設定。
- ⑥ Avoidance Margin (cm)  
Avoidance Marginの大きさを設定。  
OARに使用。
- ⑦ Bias Contribution  
処方を選択。

36 | Focus where it matters

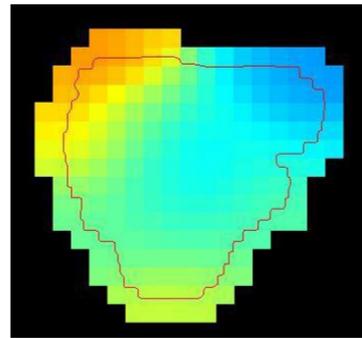
Elekta

Restricted Information and Basic Personal Data

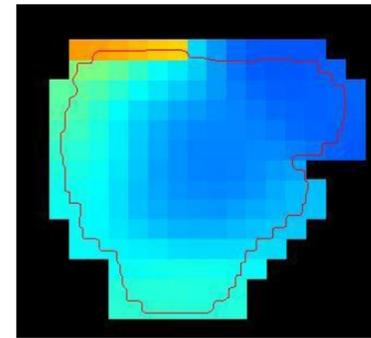
## ⑤ Target Margin



Normal



Tight



Very Tight

赤→青はフルエンスの変調度(強→弱)を示しています。  
Very Tightの場合、ターゲットの縁の一部においてフルエンスの変調度が高くなっています。  
このようにフルエンスの変調度が高いと、セグメントサイズ、セグメント数、MUに影響が出やすくなり、ステージ1の最適化で良い結果を得ても、ステージ2でセグメントが上手く生成できずプランが崩れる起因にもなります。