

CT to ED 変換テーブル

エレクタ株式会社

プロジェクト統括部アプリケーションフィジックス

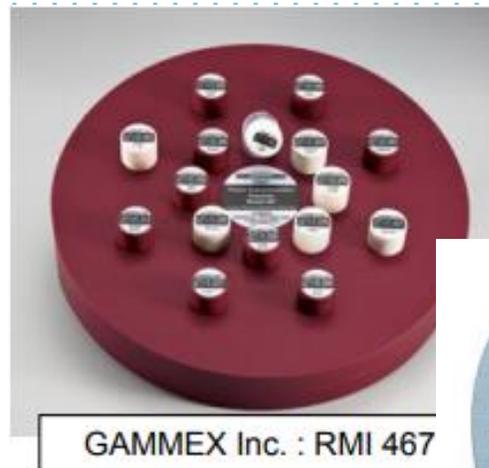
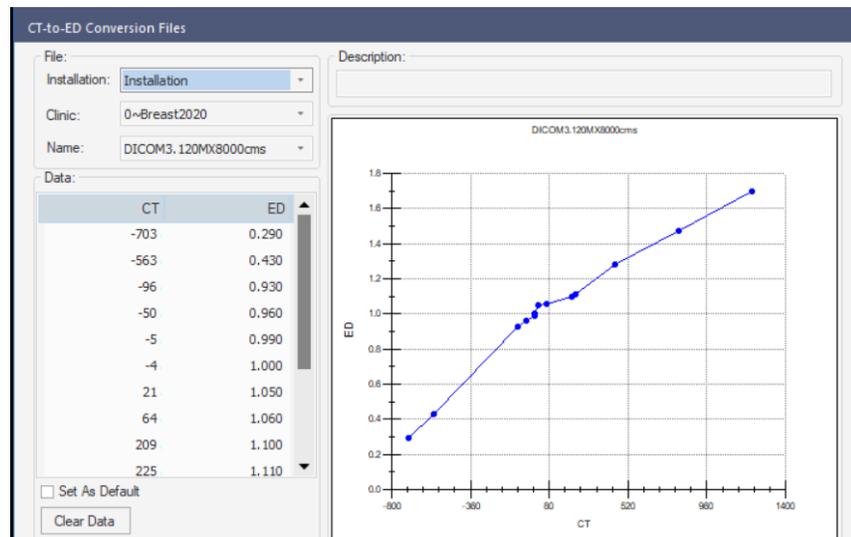


Topics

CT-ED変換について

MonacoのCT-ED変換

CT-ED変換の閲覧と登録



CT-ED変換について

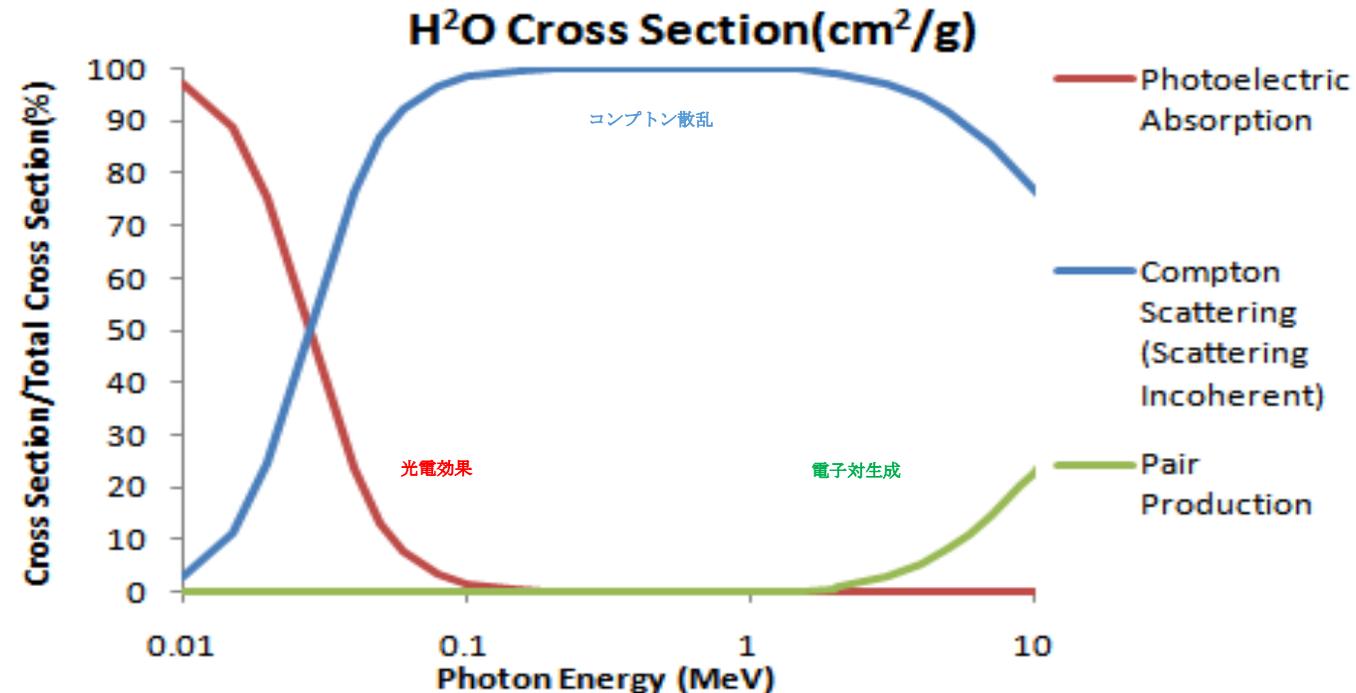
突然ですが問題です。

- 問題1. リニアックのX線(4 MV~10 MVを想定)が人体(≒水)に入射したとき、一番起こりやすい相互作用は何でしょう。

- ① 光電効果
- ② コンプトン効果
- ③ 電子対生成
- ④ クーロン相互作用

CT-ED変換について

- 光電効果、コンプトン散乱、電子対生成の全反応断面積に対するそれぞれの反応断面積の割合 (NISTのXCOMより算出)



CT-ED変換について

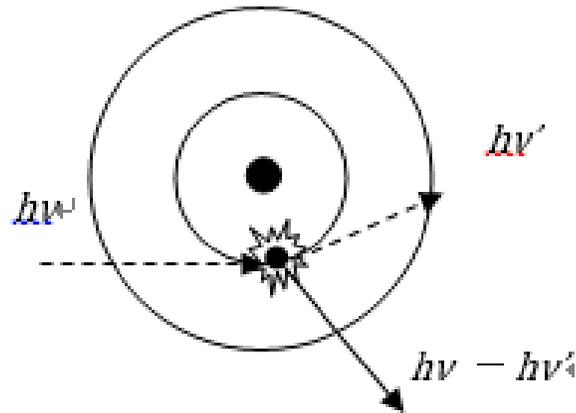
またまた問題です。

- 問題2. コンプトン散乱の起こりやすさは何に依存するでしょうか。

- ① 電子の数
- ② 湿度
- ③ 原子番号
- ④ 磁界

CT-ED変換について

- 電子あたりの反応断面積は原子番号に依存しない。
→ 電子の数(=電子密度)にのみ依存する。



放出された電子は $h\nu - h\nu'$ のエネルギーをもつ

CT-ED変換について

- 放射線治療(エネルギー領域：MV)
 - コンプトン散乱
 - 電子密度に依存

- 放射線診断(エネルギー領域：kV)
 - 光電効果
 - 電子密度や原子番号に依存

CT(120kVなどのX線)で取得されたCT値は、直接的に患者体内の電子密度を表しているとはいえない → CT値を電子密度に変換するテーブルが必要である。

CT-ED変換テーブルについて

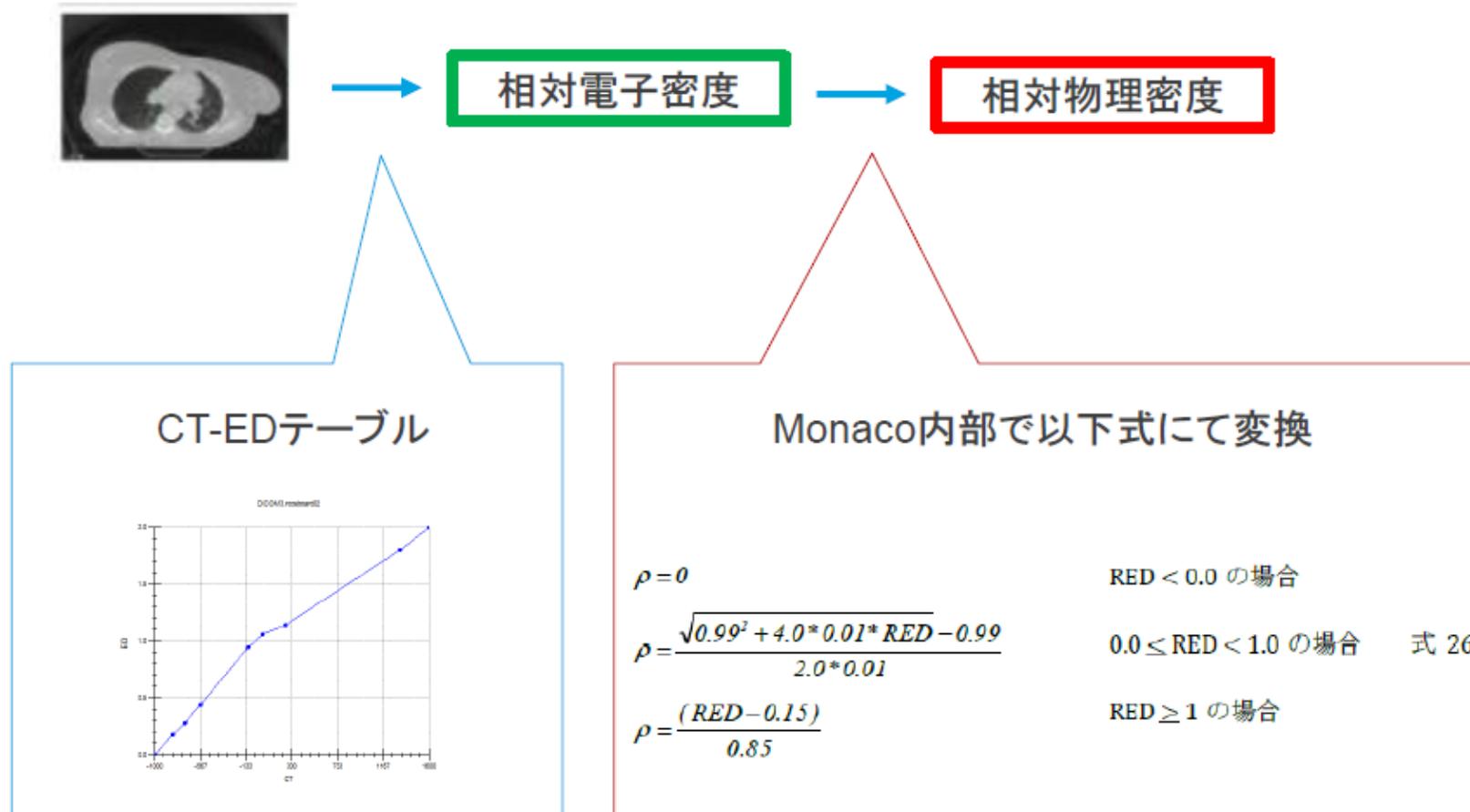
CT-ED変換テーブルは各社様々

- CT値から相対電子密度に変換するTPS
 - CT値から相対物理密度に変換するTPS
- など存在しますが…

MonacoはCT値から相対電子密度に変換し、相対物理密度に変換します。

MonacoのCT-ED変換テーブルについて(pMC)

Monacoの内部で変換する



MonacoのCT-ED変換テーブルについて(pMC)

- 物理密度から各組織(空気,脂肪,筋肉,骨など)が含まれる割合を推定し、ICRUレポート46を引用し質量衝突阻止能比をフィッティングしている。

Appendix A
Body Tissue Compositions³

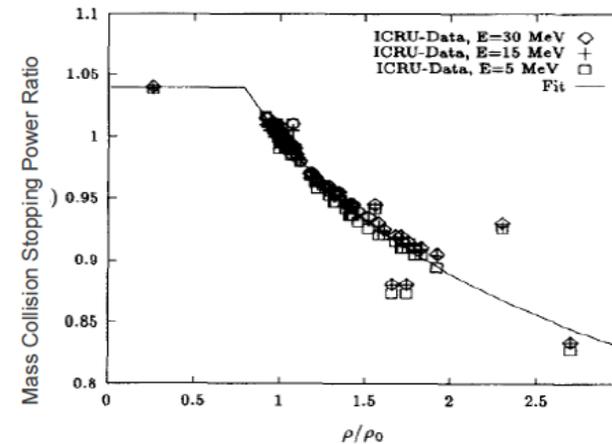
The elemental compositions and densities (mass and electron) of all the selected body tissues are given in Table A1. The calculated values of electron density, n_e , are based on mass density, ρ , the relative atomic masses and the Avogadro Constant ($6.022045 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$) (CRC, 1987).

³ Compositions are generally for healthy tissues unless the contrary is stated.

TABLE A1—The elemental compositions, mass density, ρ , and electron density, n_e , of the body tissues

Tissue	Elemental composition (percentage by mass)						ρ kg m ⁻³	n_e m ⁻³ × 10 ²³
	H	C	N	O	Others			
Adipose tissue								
Newborn #1	11.1	20.5	0.9	67.2	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	1000	3340	
Newborn #2	11.1	29.7	0.9	58.0	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	990	3310	
Newborn #3	11.2	39.0	0.9	48.6	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	980	3280	
Infant (2 days-10 months) #1	11.1	31.0	1.1	56.5	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	990	3310	
Infant (2 days-10 months) #2	11.2	39.2	0.9	48.4	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	970	3240	
Infant (2 days-10 months) #3	11.4	47.3	0.6	40.4	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	960	3210	
Child (1-18 years) #1	11.2	34.7	0.8	53.0	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	980	3280	
Child (1-18 years) #2	11.3	44.5	0.6	43.3	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	960	3210	
Child (1-18 years) #3	11.5	54.3	0.5	33.4	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	950	3180	
Adult #1	11.2	51.7	1.3	25.5	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	970	3240	
Adult #2 ^a	11.4	59.8	0.7	27.8	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	950	3180	
Adult #3	11.6	68.1	0.2	19.8	0.1 Na, 0.1 S, 0.1 Cl	930	3120	
Lipema	10.9	71.9	3.0	13.8	0.1 Na, 0.2 S, 0.1 Cl	980	3270	
Average soft tissue								
Adult ICRU-33 (ICRU, 1980)	10.1	11.1	2.6	76.2		1000	3310	
Adult ICRU-44 (male)	10.5	25.6	2.7	60.2	0.1 Na, 0.2 P, 0.3 S, 0.2 Cl, 0.2 K	1080	3420	
Adult ICRU-44 (female)	10.6	31.5	2.4	54.7	0.1 Na, 0.2 P, 0.3 S, 0.1 Cl, 0.2 K	1020	3390	

$$\frac{S_c(\rho, E)/\rho}{S_c^0(E)/\rho_0} = f_c\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) = \begin{cases} (\rho/\rho_0)^{-0.17}, & \rho \geq 0.795 \text{ g/cm}^3 \\ 1.039, & \text{all other } \rho. \end{cases}$$



Mass densityとmass scattering and stopping powerとの関係性

MonacoのCT-ED変換テーブルについて(pMC)

- Monaco内部で使用するREDから物理密度への変換では、0~3の範囲で正確な計算が可能。最大は15。
- 人体組成にない媒体では物理密度(阻止能)が正確でない可能性がある。

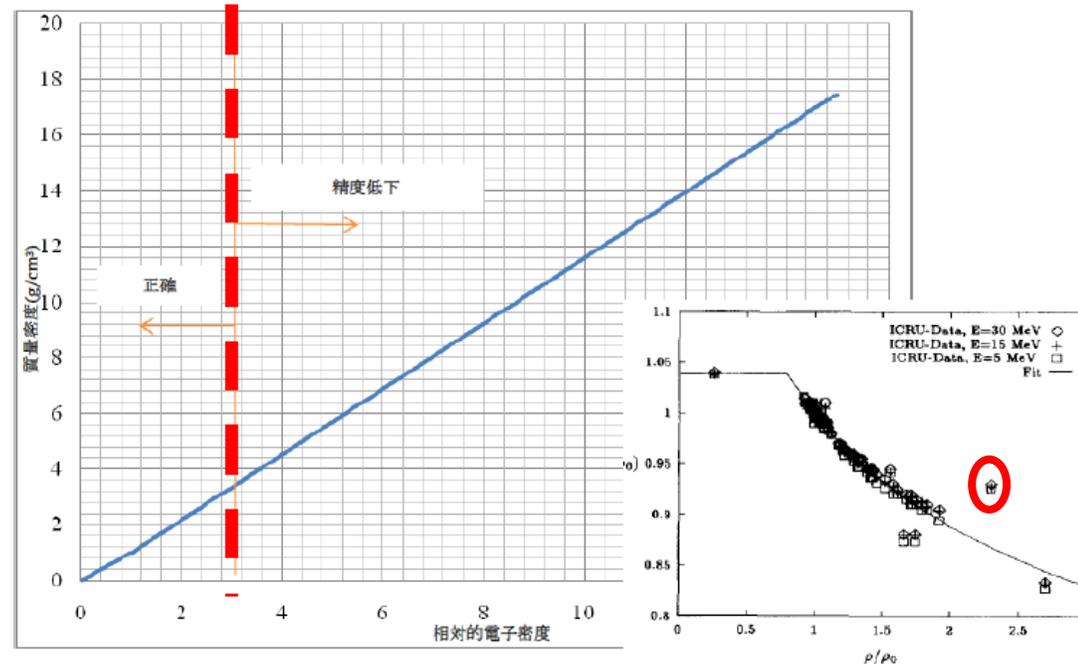
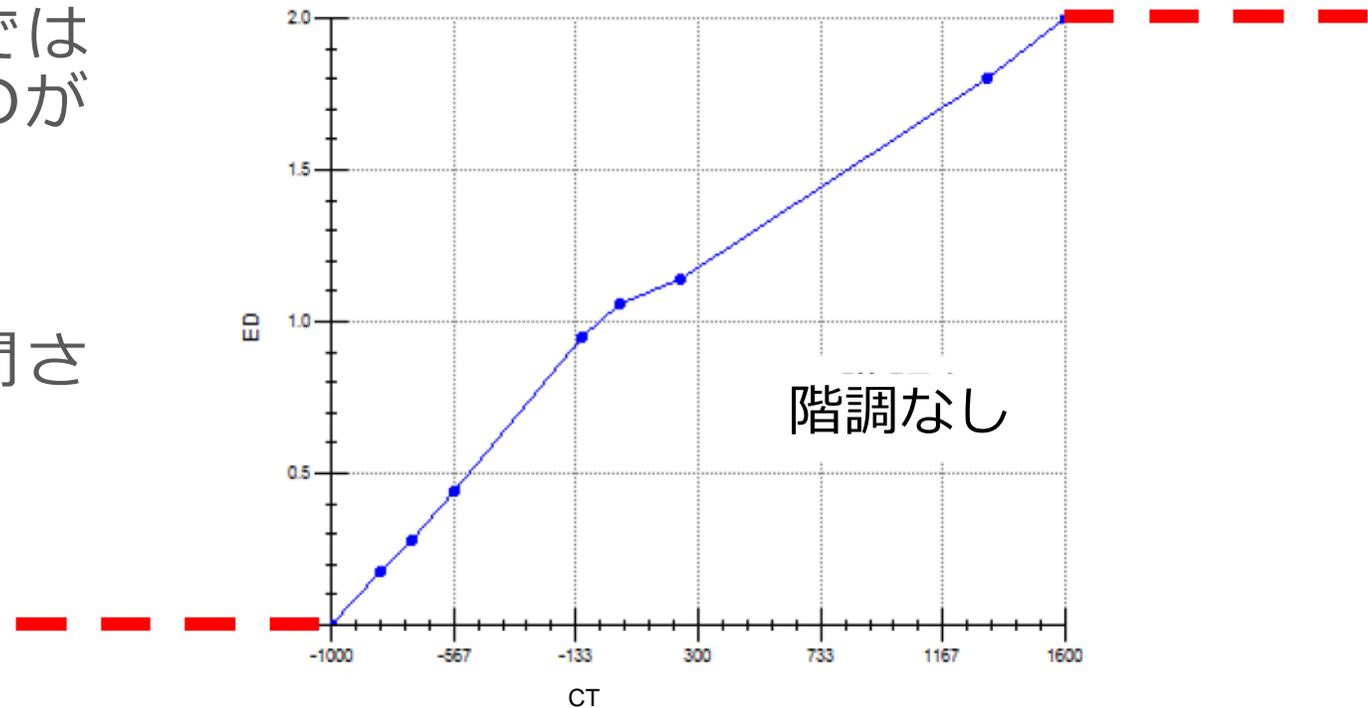


図 32 : Monaco の相対電子密度から質量密度への変換および適切な範囲

MonacoのCT-ED変換テーブルについて(pMC)

テーブルの最大値と最小値以降はどのような扱いになるのか

- 変換曲線を超えるCT値ではそれぞれ最大最小のREDがあてがわれる。
- 変換に階調はなく、補間される。



MonacoのCT-ED変換テーブルについて(CCC/eMC)

pMCとは少し異なります。

Monaco CCC/eMCの物質テーブル

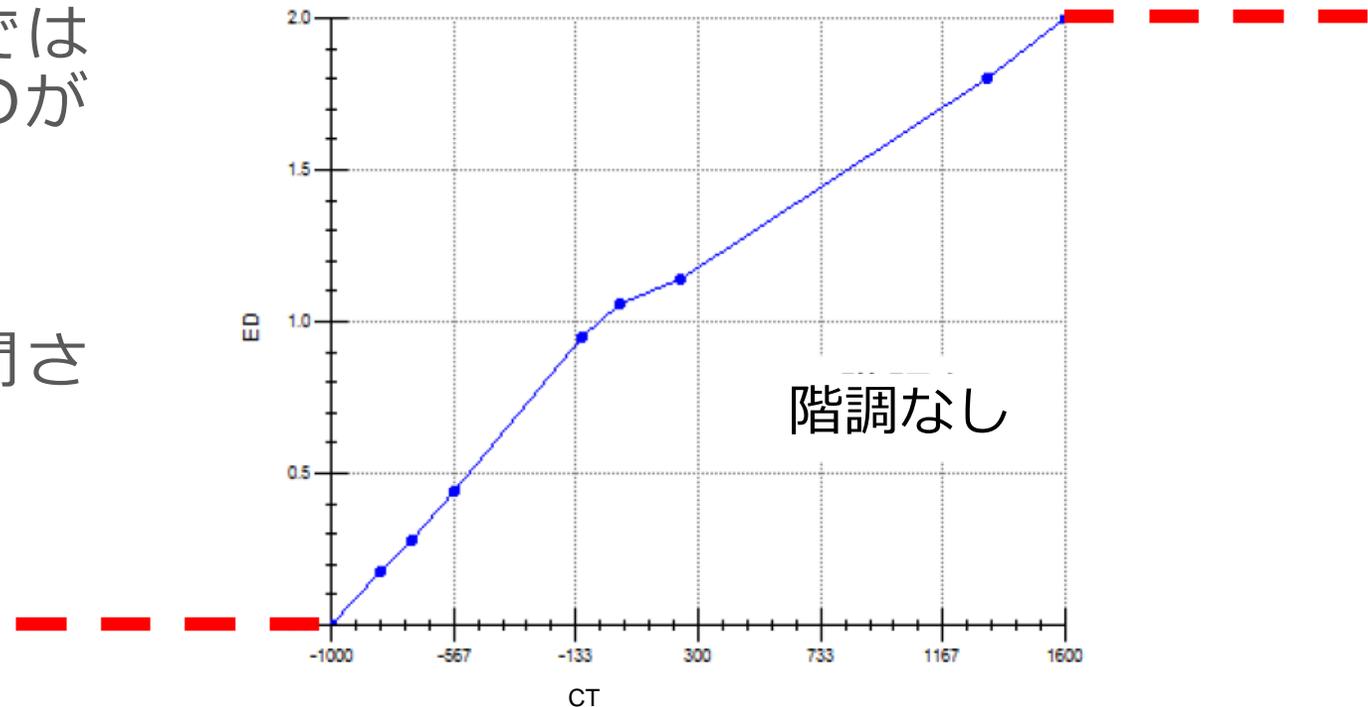
組成	相対質量密度	相対電子密度
空気(患者外)	0.00121	0.00109
肺(ICRU 44)	0.50	0.50
脂肪(ICRU 44)	0.95	0.95
筋肉(ICRU 44)	1.05	1.04
軟骨(ICRP 23)	1.10	1.08
2/3軟骨, 1/3骨	1.35	1.29
1/3軟骨,2/3骨	1.60	1.52
骨(ICRP 23)	1.85	1.72
骨(ICRP 23)	2.10	1.95
1/2骨、1/2アルミ	2.40	2.15
アルミ	2.70	2.34
アルミ	2.83	2.46
鉄	7.87	6.60
水	1.00	1.00

- 物理密度に変更して計算に使われる。
→ pMCと同様。
- あらかじめ決められた相対電子密度、物理密度のテーブルで変換を行う。
→ pMCのような数式はない。

MonacoのCT-ED変換テーブルについて(CCC/eMC)

テーブルの最大値と最小値以降はどのような扱いになるのか

- 変換曲線を超えるCT値ではそれぞれ最大最小のREDがあてがわれる。
- 変換に階調はなく、補間される。

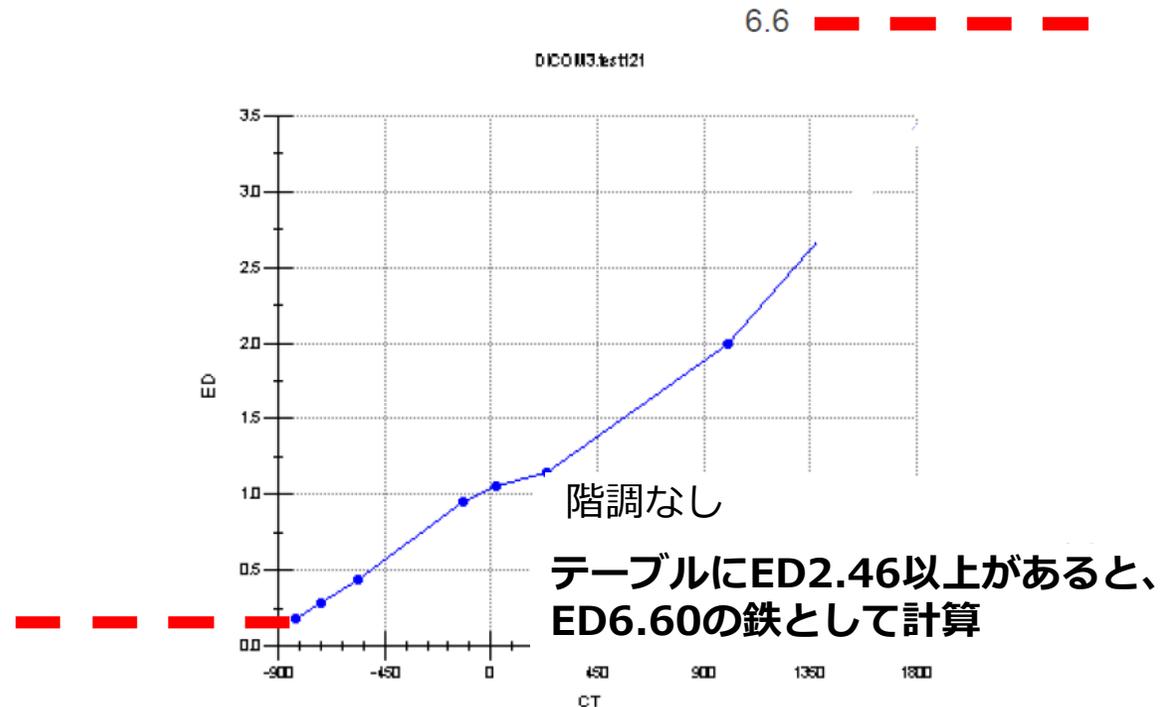


MonacoのCT-ED変換テーブルについて(CCC/eMC)

pMCと少し異なります。

- 変換テーブルにRED2.46を超える値を登録した場合...

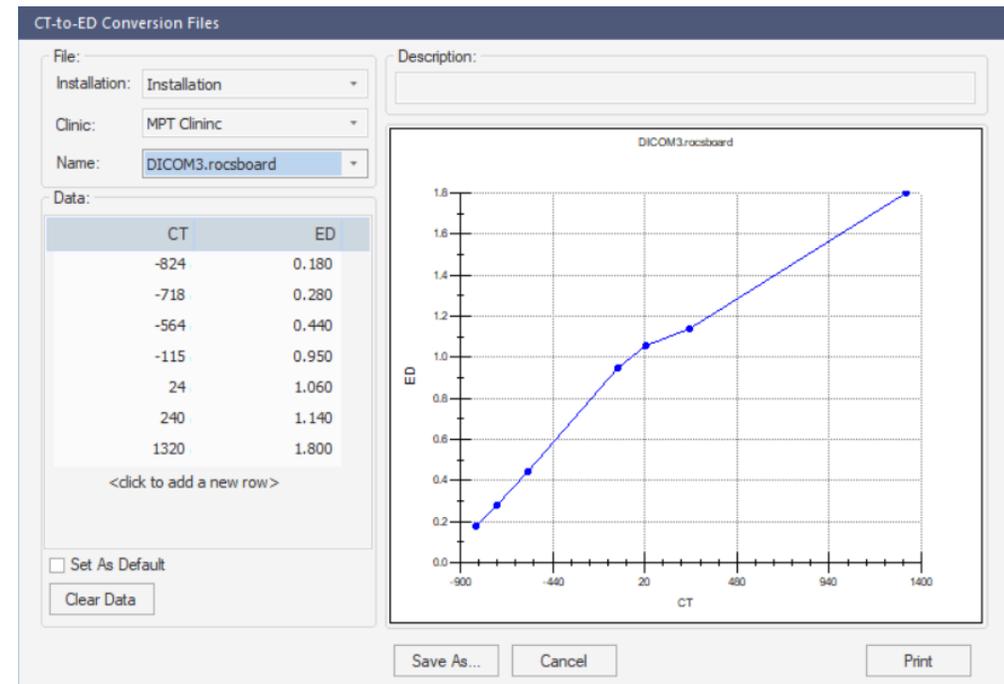
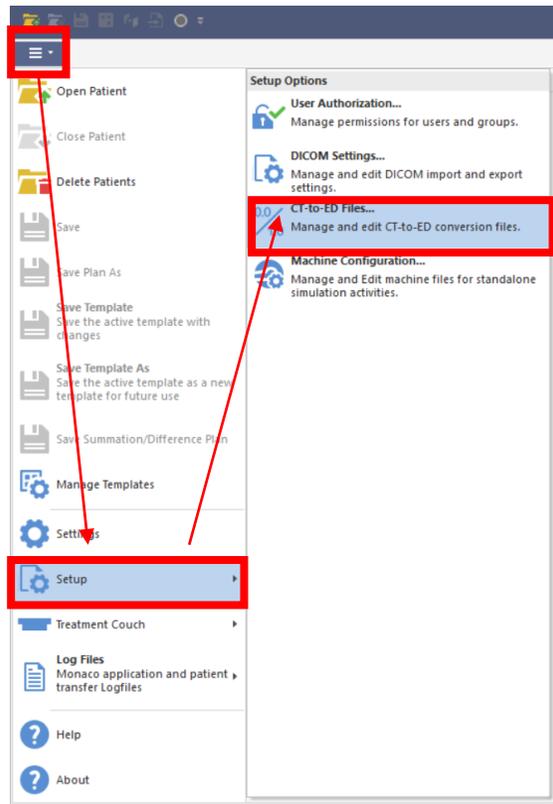
RED2.46以上はすべてRED6.6
の鉄として扱ってしまう。



CT-ED変換の閲覧と登録

【実習】 CT-EDファイルを登録してみましょう。

- [Elektaアプリケーションボタン]-[Setup]-[CT-to-ED Files...]を開きます。



CT-ED変換の閲覧と登録

- [Clear Data]してから下の表を登録し、終わったら [MyCTED]でセーブして下さい。

ご施設で登録される際は、CTの機種名、年数、kVなどを入れるとわかりやすいです。

CT	ED
-780	0.180
-718	0.280
-564	0.440
-115	0.950
24	1.140
240	1.520
1320	2.460

- CT to ED変換テーブルはClinicごとで作成する必要がある。
- Save As..で保存する。

CT-ED変換の閲覧と登録

【実習】 さきほど登録したCT-EDファイルを使って、ファントムデータを見てみましょう。

1. [Open Patient]から、CTEDTESTを開いて下さい。
2. [Plan Option]-[Assign CT-ED]から、いま作ったCT-EDをあてはめてください。

- **CT値が-780以下の場合、EDはどうになりましたか？**

変換曲線を超えるCT値(最小)のREDがあてがわれているか確認！

- **CT値が0の場合、EDはどうになりましたか？**

変換曲線を補間なのか確認！

- **CT値が+1320以上の場合、EDはどうになりましたか？**

変換曲線を超えるCT値(最大)のREDがあてがわれているか確認！

計算が必要

CCCを使用したときのEDはどのようになりましたか？

CTEDTEST

2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
1700 HU									
...									
100 HU									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 HU									
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
-100 HU									
...									
-800 HU									
-900 HU									

CT-ED変換の閲覧と登録

【討論】 チタンなどの高密度物質はCT to EDテーブルに登録するべきでしょうか。

- MonacoはICRU46に書いてある「人間の体の化学組成の一覧」を参考にしています。電子密度3を超える場合、正確性にかかけます。
- 測定して変換テーブルの延長線上に1つ点を打つのも方法かもしれませんが、合わないなりに計算できるように、ということも考えられます。

※ CT値の範囲は-2000から5000(HU)まで

ED値の範囲は0.000から15.000まで

- アルゴリズムごとに異なる変換がある場合、場合によってはForce EDやFill EDを検討することがあるかもしれません。

Force EDとFill ED

[Structures]タブでストラクチャーの表示プロパティを設定できます。

[Force ED]オプションと[Fill ED]オプションを使用すると、ストラクチャーの電子密度を上書きできます。

- [Force ED] : ストラクチャーに指定した電子密度を強制的に割り当てる。
- [Fill ED] : ストラクチャーに指定した最小電子密度を設定する。

有効な値は次のとおりです。

- 光子線モンテカルロ : 0.010~15.000
- 電子線モンテカルロ : 0.010~2.456
- コラプストコーン : 0.010~2.456

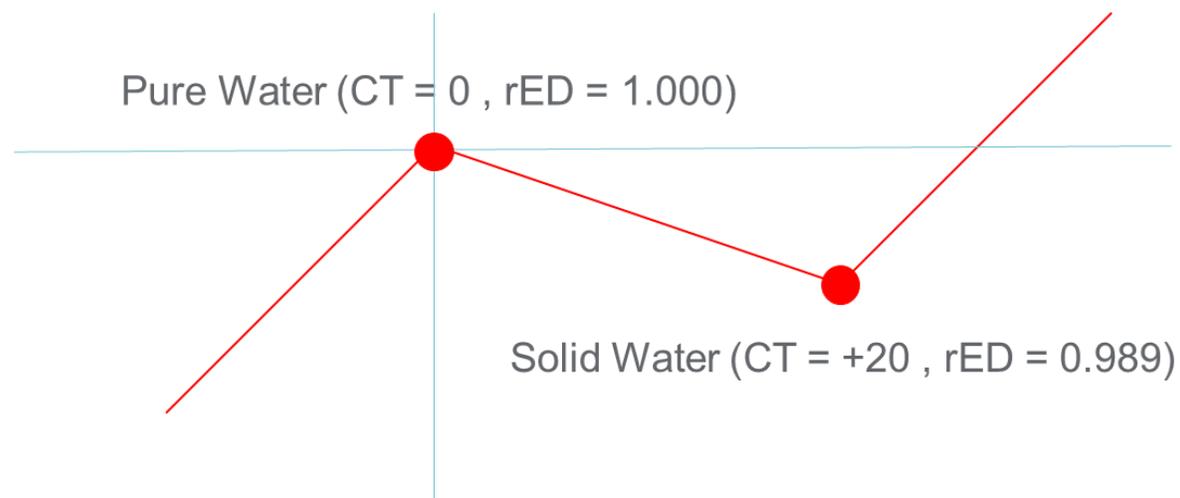
※ CT to ED変換テーブルに入力していない値も入れることができる。

CT-ED変換の閲覧と登録

【討論】 CT-EDファントムは、水等価材と本当の水を両方測れるが



- 両方は登録できないことが多い（単調増加にならない）。どうすべきか？
- Dw-Dmのセッションでお話しがあります。



CT-ED変換の閲覧と登録

CT-EDテーブルの定期的な見直しが必要となる。

- X線治療計画システムに関するQAガイドラインでは“毎年”

日本医学物理学会タスクグループ01

3.4.2.3 CT値精度、再現性

A. 目的

CT値の異なる物質に対して、性格なCT値を表示出来ることを確認する。4-10%の相対電子密度の不確かさは、せいぜい2%しか線量へ影響しないという報告がある。

D. 許容値

(CT装置)ベンダー規定値 または $\pm 5\text{HU}$

E. 頻度

毎日:1種類以上の物質(水等)

毎月:3種類以上の物質(水、肺等価物質、骨等価物質等)

毎年:相対電子密度ファントム

ただし、相対電子密度ファントムを用いた評価は、設置時のコミッショニングテストの時にも行う。治療計画で用いる撮影条件で、管電圧、FOVが複数ある場合は、それらの評価も行うべきである。

CT-ED変換の閲覧と登録

CT-ED変換テーブルにおける確認・注意事項

- CT装置や照射条件によってCT-EDテーブルが異なる。
また、照射条件だけでなく使用したCT-EDファントムによっても、テーブルが変化する可能性がある。
- CT装置撮影条件毎（管電圧、まれにFOVでも）にCT-EDテーブルを登録する必要がある。
X線管球の交換、もしくは定期的な品質管理（年ごと）で、変換テーブルの登録値を確認する。
- ローテーションで配属された（特にCTに精通した）技師が、撮影プロトコルを変更する可能性がある。計画CT撮影で使用する条件を制限すると良い。

CT-ED変換テーブルを変更する場合

CT-EDテーブルを変更して、再度計算させたい場合

- [Plan Options]-[Assign CT to ED]で変更する。
- 既に計算されているプランにはフローズンがつく。（アクティブなプランは計算がとぶ）
- CT-EDテーブルはStudy Setごとに割り当てられている。
覚えていますか？患者データ取り込みで、まずCT-EDテーブルを割り当てている。

The screenshot shows the Monaco software interface. The 'Plan Options' tab is active, and the 'Assign CT to ED' menu item is highlighted with a red box. A dropdown menu is open, listing various DICOM3 tables. A red arrow points from the 'Assign CT to ED' menu to the 'test' plan in the workspace, which is also highlighted with a red box. The text '変更するとフローズン!' is overlaid on the workspace area.

変更するとフローズン!

クイズ

- MonacoでCT-ED変換テーブルに登録するのは_____密度だが、実際の計算に使用しているのは_____密度である。
- CT-ED変換テーブルの最大値最小値以降のふるまいを説明してください。
- MonacoのCCCアルゴリズムとpMCアルゴリズムでは高密度領域でふるまいがことなる。 True? Or False?

Thank you

