

Computed tomography 装置における被写体内の線質測定

要旨：現在の computed tomography (CT) 装置は、装置間で様々であるが、被写体外の線質と画像化に寄与した線質が異なっている。そこで、プラスチック樹脂の顕著な線質依存性を利用して再構成画像の CT 値から被写体内の線質の推測を試みた。アクリル、ポリプロピレン、及びポリスチレンを直径 30, 20, 及び 15 cm の水ファントム内に固定し、管電圧 130, 110, 及び 80 kV で撮影した。エネルギー毎の物質の CT 値テーブルを作成し、得られた CT 値から実効エネルギーを推測した。80, 100, 130 kV の空中での実測エネルギーは、それぞれ、42.3, 50.4, 55.1 keV であったのに対し、20cm ファントム内の樹脂の CT 値から推測した値は、55.5, 65.2, 70.0 keV であり、約 13~15 keV 高くなった。樹脂間の実効エネルギー差はどのファントム径においても僅かであった。

I. 緒言

現在、computed tomography (CT) 装置の実効エネルギーの測定法には、通常の X 線装置と同じく、空中においてアルミ半価層法によって行われることが多い。しかし、CT 装置における線量の評価は、ファントム表面だけでなく、ファントム中心部も考慮することから、被写体内の線質も考慮が必要である。しかしながら、アルミ半価層法は、被写体内の線質測定に適用できない。そこで、プラスチック樹脂の CT 値の顕著な線質依存性を利用して、再構成画像の CT 値から被写体内の線質の推測を行うことを試みた。

II. 使用機器

- X 線 CT 装置：16 列マルチスライス CT: SOMATOM Emotion (SIEMENS)
- プラスチック樹脂：アクリル樹脂 (Ac), ポリスチレン (PS), ポリプロピレン (PP)
- 水ファントム：直径 15cm (S), 20cm (M), 30cm (L)
- アクリル板：厚さ 20cm, 10cm
- 線減弱係数算出ソフトウェア WinXcom
(National Institute of Standards and Technology, NIST が配布)
- 一般撮影用 X 線装置：AXIOM Luminas dRF (SIEMENS)
- 電離箱線量計：MODEL 9010 (Radcal Corporation), MODEL 20X6-6 (), MODEL 10X6-6 (Radcal Corporation)

III. 方法

1) 単一エネルギーごとの CT 値テーブルの作成

樹脂の密度を測定し NIST の質量減弱係数テーブルから単一エネルギー-CT 値テーブルを作成した。このテーブルを用いることで、測定した樹脂の CT 値から、単一エネルギー値を求めた。それぞれの樹脂の単一エネルギーに対する CT 値を Fig. 1 に示す。

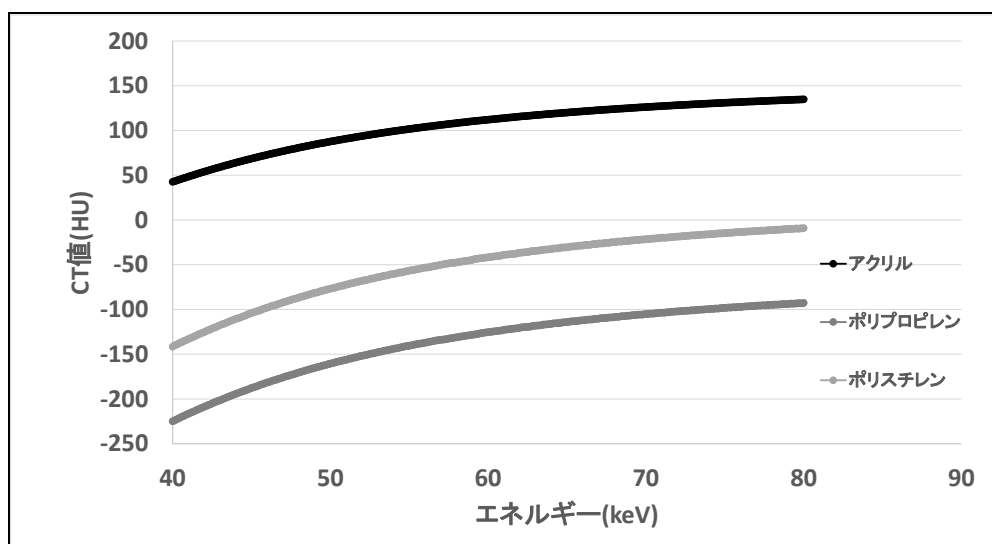


Fig. 1 それぞれの樹脂における単一エネルギーに対する CT 値

2) X 線 CT 画像の取得

直径の異なる水ファントム L, M, S にアクリル, ポロプロピレン, ポリスチレンを画像のように配置し, X 線 CT 画像を得た. 撮影条件は Table 1 に示す.

3) 樹脂の CT 値の計測

それぞれの樹脂に関心領域を設定し, CT 値を取得した. 10 枚の画像の CT 値を測定し, その平均値を得た. 方法 1) で作成した単一エネルギー-CT 値テーブルを参照し, 実効エネルギーを求めた.

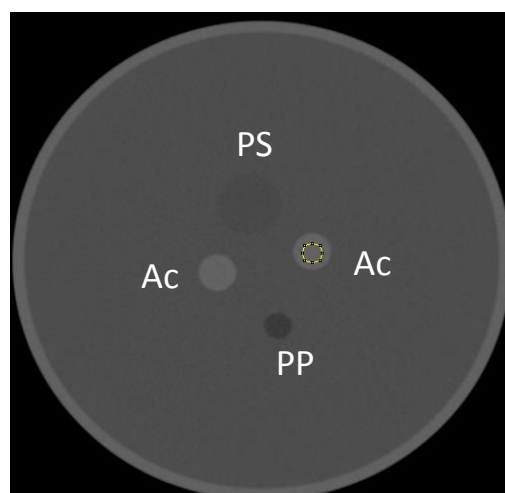


Fig. 1 M ファントムにおける樹脂の配置

Table 1 ファントムの撮影条件

管電圧 (kV)	80	110	130
スライス厚 (mm)	3	3	3
管電流時間積 (mAs)	471	187	120
CTDI (mGy)	15	15	15
再構成関数	B35s	B35s	B35s
収集ディテクタ列設定	0.6mm×16	0.6mm×16	0.6mm×16
回転速度 (sec/rotation)	1.5	1.5	1.5
ヘリカルピッチ	0.8	0.8	0.8

4) ファントム透過後の実効エネルギーの計測

一般撮影用 X 線装置を用い、ファントム透過後の一次 X 線の実効エネルギーを求めた。厚さ 20cm のアクリル、厚さ 10cm のアクリル、直径 20cm の水ファントムを用いて、ファントム前後にコリメータを配置し、アルミ半価層法にて測定した。

5) 単一エネルギーと実効エネルギーの比較

樹脂の CT 値より求めた単一エネルギーが、実効エネルギーに対応するかどうかを検証した。

110kV 時のポリプロピレン CT 値から換算した単一エネルギーと等しい実効エネルギーとなるように一般撮影用 X 線装置の 110kV にて、アルミ板を付加した。この線質にて、厚さ 1cm のポリプロピレン板を使用して、その透過率 (= その実効エネルギーにおける線源弱係数) を求め、対応する単一エネルギーを求め比較した。

IV. 結果

1) 各樹脂の CT 値

Fig. 2 に各樹脂の CT 値を示す。人体組織と異なり、管電圧増加により CT 値は増加した（一般に人体軟部組織はエネルギー増加につれて CT 値はやや低下）。ファントム径による CT 値変化はわずかであった。

2) 各樹脂から求めた実効エネルギー

Fig. 3 に各樹脂から求めた実効エネルギーを示す。空中の測定結果 (55.1keV : 130kV, 50.4keV : 110kV, 42.3keV : 80kV) よりビームハードニングによって実効エネルギーが高くなっていることが確認された。また、どの管電圧においてもポリプロピレンとポリスチレンはファントム径が小さくなるにつれ、実効エネルギーが低下したが、アクリルについては、ファントム依存性が小さいという結果になった。また、ファントム透過後の直接線の実効エネルギーを算出したところ、M サイズの水ファントムは 63.1keV、厚さ 20cm のアクリルは 62.6keV でポリスチレンの実効エネルギーとよく一致したが、厚さ 10cm のアクリルの実効エネルギーは 56.9keV となり、樹脂の実効エネルギーと大きく異なった。

3) 実効エネルギーと単一エネルギーの等価性

110kV のときのポリプロピレンから算出した単一エネルギーと等しい実効エネルギーとなるように、アルミの板を付加したときの実効エネルギーとポリプロピレンの実際の減弱に対応する単一エネルギーはそれぞれ 64.4keV、64.1keV であり、良く一致したといえる。したがって、用いたエネルギーレベルにおいて単一エネルギー値を等価的に実効エネルギー値として取り扱うことは可能であると考えられた。

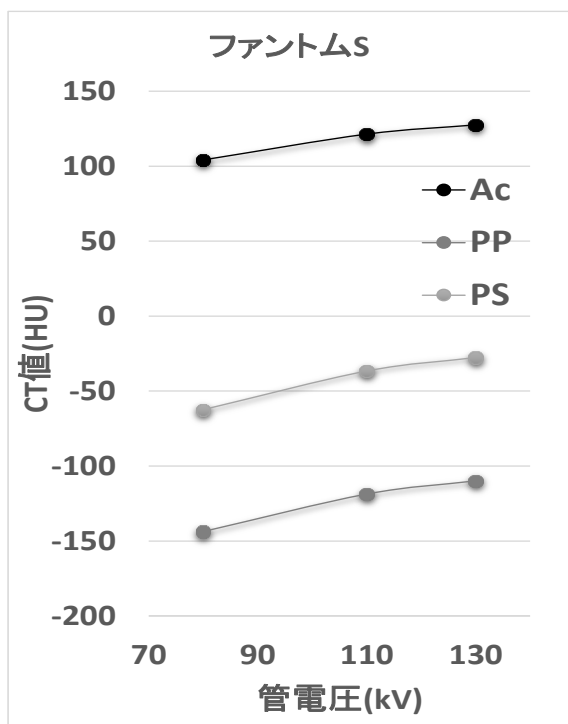
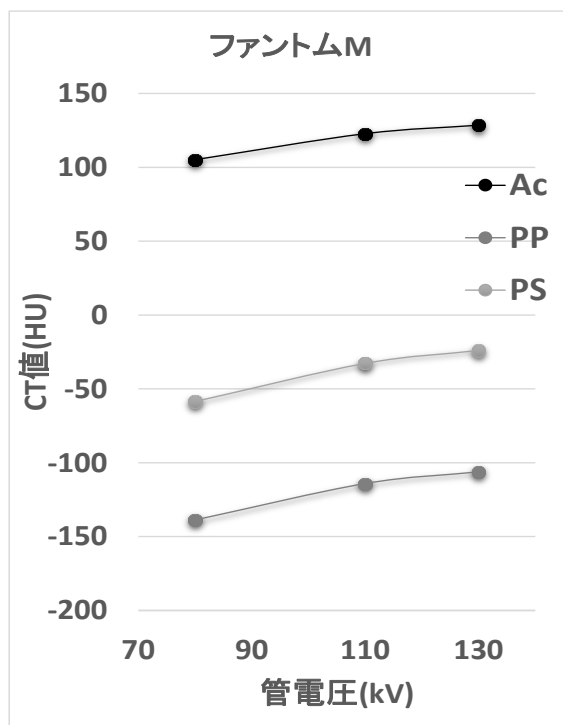
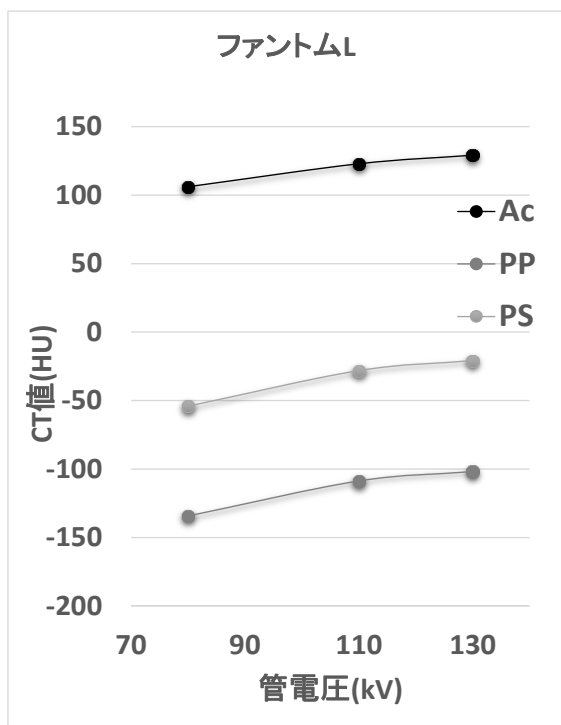


Fig. 2 各樹脂のCT値

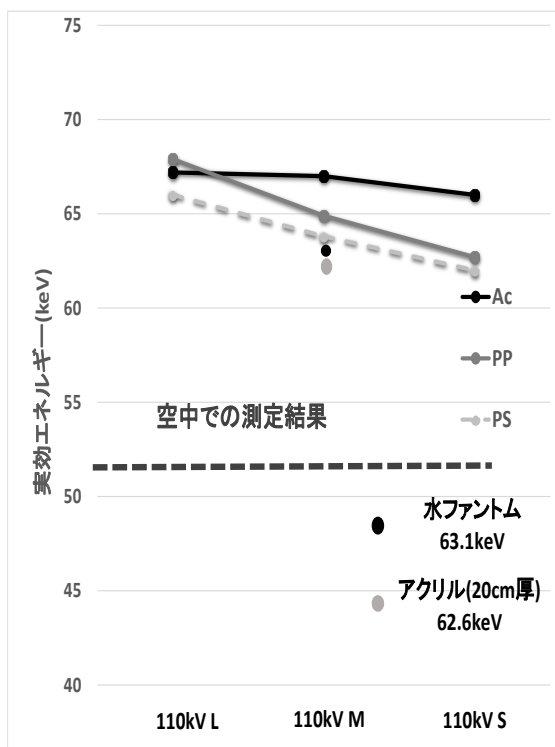
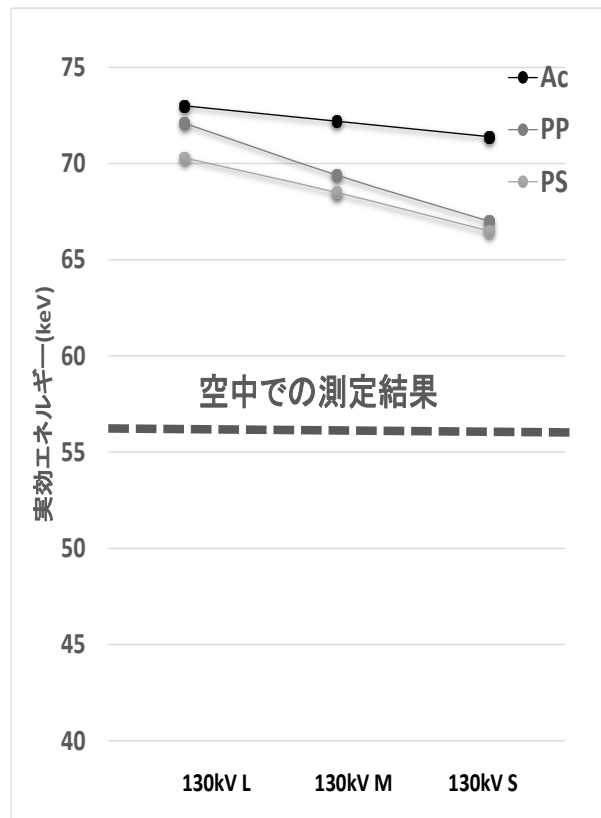
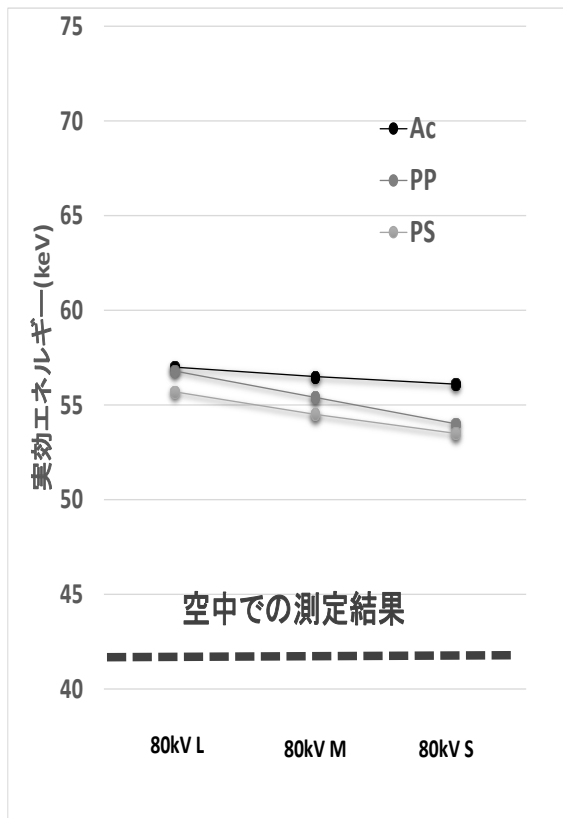


Fig. 3 各樹脂から求めたエネルギー

V. 考察

空中での実効エネルギーに対して、ファントム内では、10~15keV 実効エネルギーが増加していることが確認できた。測定値はファントム内の実効エネルギー値と考えられるが、各樹脂のCT値においてはファントム径依存性がほとんど示されなかった。よって、ビームハードニング補正

を含めた CT 値算出における線減弱係数の変換も影響している可能性があると考えられる。また、樹脂材質により CT 値から実効エネルギーを算出した際のファントム径依存性が異なった。アクリルが最も少なかったことから、CT 値が高いほど、ビームハードニング補正度合いが大きい可能性が考えられる。また、CT 値から算出した単一エネルギー値と、ファントム透過後に測定した実効エネルギーは M サイズで近く、S サイズでは大きく異なった。これは被写体の大きさによって、ビームハードニング補正の度合いが異なると考えられ、被写体の大きさ(成人と乳幼児)によって CT 値が大きく異ならないようにしていると考えられる。

VI. 結語

樹脂による測定により、ファントム内の実効エネルギーやファントム径依存性が明らかになった。またファントム径依存性は樹脂の材質により異なり、CT 値の高いアクリルで少なかった。ファントム M(直径 20cm)ほどの大きさであれば、CT 値から実効エネルギーを算出することが可能であることが示唆された。

VII. 参考文献

1] Matsubara K, Ichikawa K, Murasaki Y, et al. J Appl Clin Med Phys. 15(1):309-316, 2014