



Title	Computed Tomography装置の基礎的研究(第3報)-減弱係数分解能と空間解像力(CT-Hについて)-
Author(s)	真野, 勇; 金子, 昌生
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1978, 38(5), p. 479-485
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16414
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Computed Tomography 装置の基礎的研究 (第3報)

—減弱係数分解能と空間解像力(CT-H について)—

浜松医科大学医学部放射線医学教室

真 野 勇 金 子 昌 生

(昭和52年10月11日受付)

(昭和53年 2 月 6 日最終原稿受付)

Fundamental Studies of Computed Tomography (3rd Report)

—Contrast and Spatial Resolution of Hitachi CT-H—

By

Isamu Mano and Masao Kaneko

Department of Radiology, Hamamatsu University School of Medicine

Research Code No.: 200

Key Words: Computed tomography, Copper sulphate
solution, MTF, Resolving power

The contrast and spatial resolution capability of Hitachi CT-H were evaluated with three types of phantoms constructed. Copper sulphate solutions of various specific gravities were employed to provide various contrasts in the phantoms.

Contrast resolution of mean CT numbers of 32 pixels was thought more than 0.34 percent. MTF values measured with wedge type phantom began to drop at about 1.2 cycle/cm and, sloping moderately, passed the point of value 0.32 at 2.7 cycle/cm. Spatial resolution in relation to the various contrasts were measured and shown on a diagram, which suggested that the resolving power of high contrast ($\Delta\mu=12\%$) was about 1.25-1.5 mm and that of low contrast ($\Delta\mu=1\%$) about 5-7 mm.

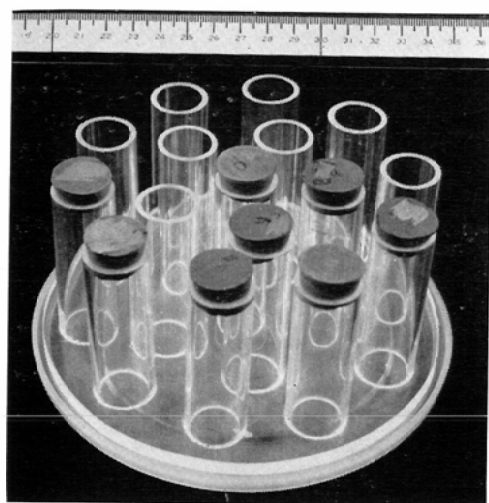
1. はじめに

我々は第1報¹⁾と第2報²⁾において、CTの性能評価を目的としたファントム実験の基本的な考え方と、CT像に及ぼす被写体側の種々の因子について検討した。そこで今回はCTの減弱係数分解能と空間解像力について検討を行つたので報告する。

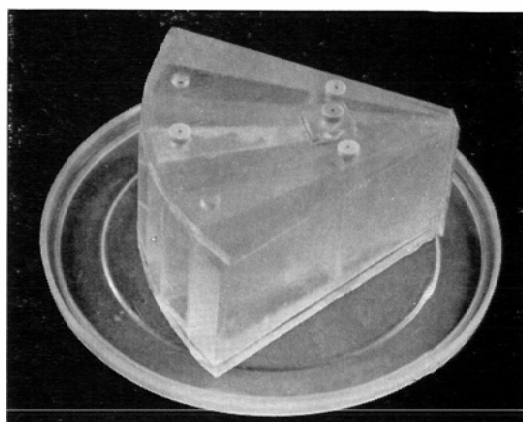
2. 実験方法

対象のCT装置は、前回同様日立CT-Hである。採用した撮影条件は管電圧120KVp、管電流30mAで、X線はタングステンのフィルター並び

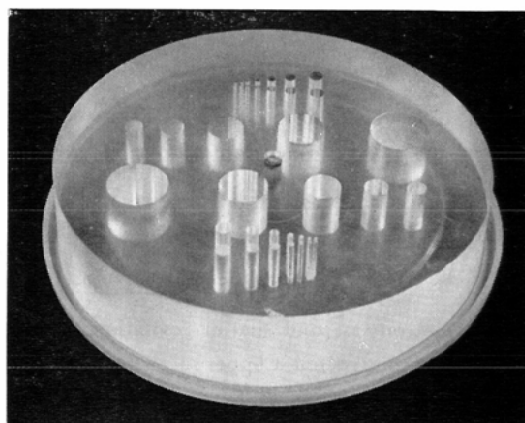
にアクリル製の補償枠を通ることによつて実効電圧が73KeVとなつている。1回のスキャン時間は3分45秒、2面の同時スキャン方式(患者の下側をA面、頭頂側をB面と呼んでいる)で、1層の断面厚みは10mmである。表示は 256×256 のマトリックスで行われ、1絵素(Pixel)の大きさは $1.1\text{mm} \times 1.1\text{mm}$ である。CTのContrast Scale(%CS μ w)はメーカー側の調整によつて0.20%、すなわち人体骨、水、空気のそれぞれのCT値が+500, 0, -500となるようにしてある。ファントムはFig. 1に示した3種類のア



(A)



(B)



(C)

Fig. 1. Three types of phantoms designed for contrast and spatial resolution of CT scanners. These are used in the water phantoms of 15cm or 17 cm diameter. Followings are the performance items tested respectively by these phantoms. (A): contrast resolution, (B): MTF, (C): contrast-spatial resolution.

クリル製のものを自作し、このそれぞれを内径が15cm（一部では17cmのものを使用した）で肉厚が1mmの薄いAS樹脂容器のほぼ中央に固定した。そしてそのファントムの内外に水やX線の減弱値を変化させる物質として、種々の比重に調整した硫酸銅水溶液（第1報参照¹⁾³⁾。比重精度はピクノメーターを使つて補正しているため文献3)に述べられている如く ± 0.0004 以内と考えられる）を満たして用いた。すなわち Fig. 1 (A) は減弱係数分解能を調べるためのもので、16本の各アクリル管は肉厚が2mmで、内径が18mmあり、その内部では充分な絵素がとり得る。Fig. 1 (B) は MTF を求めるためのもので、各アクリルのクサビとその隣りのスペースはすべて

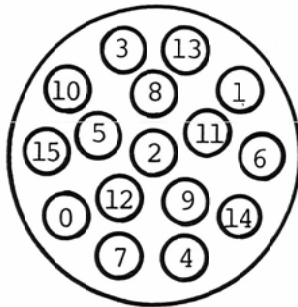
等しく、クサビ1個の角度は9度である。Fig. 1 (C) は孔の内部に満たす硫酸銅水溶液のX線減弱値を種々に変化させたとき、接して存するアクリルとの空間解像力をみるためのものである。対応する各孔はファントムの中心において180度の点対称をなし、各孔は3cmの厚さをすべて貫通している。孔の直径は中央の列では20, 16, 12, 8, 6mmであり、小さい孔の列では二つの孔が各孔の直径だけ離れた位置に組になつて穿けられており、その径は5, 4, 3, 2, 1.5, 1, 0.75mmである。尚、孔径の異なる隣の孔との間隔は、その小さい孔径だけ離れている。又これらのファントムをスキャンするときは、撮影野の中央に置き、データはB面に統一した。

3. 実験結果

3.1 減弱係数分解能

Fig. 1 (A) に示したファントームの各アクリル管内に、比重が1.000, 1.001, 1.002...と0.001の差をもつて1.015まで連続的に変化する硫酸銅

水溶液を、Fig. 2 の左に示したごとく、それぞれのパイプに満たして密封した。全体を水容器の中に沈め、スキャンして、Fig. 2 の右の CT 像を得た。そしてこのプリントアウトデータより、各アクリル管の中央32絵素の CT 値の平均と、個



Example:

13 means specific gravity 1.013 of copper sulphate solution.

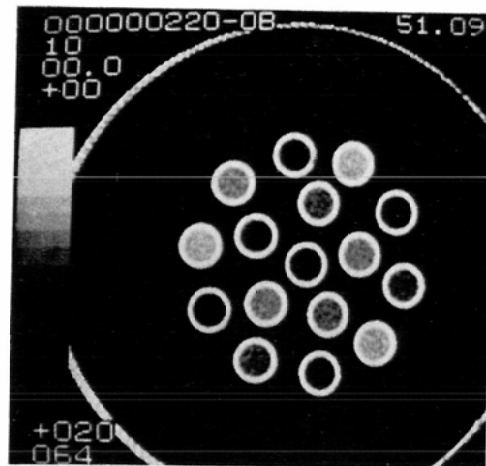


Fig. 2. The arrangement of copper sulphate solutions of various specific gravities. CT image is shown on the right.

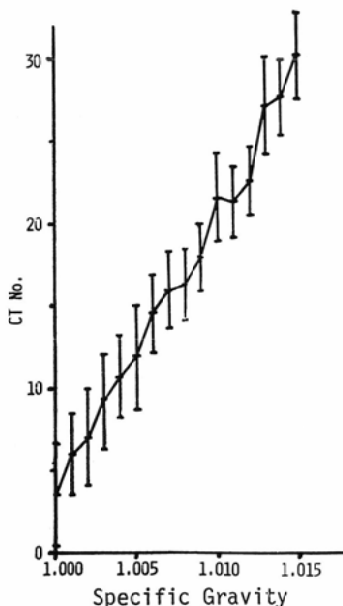


Fig. 3. CT number mean values against various specific gravities of copper sulphate solution. Error bars indicate the standard deviation of 32 pixels used to compute the mean values.

々の CT 値の標準偏差を計算し、硫酸銅水溶液の比重との関係を求めた (Fig. 3). このグラフによつて示されている点が、32絵素の CT 値の平均を示し、その上下の範囲は個々の CT 値の標準偏差を示している。

Fig. 3 によれば、比重1.011の1カ所を除き他のすべての部位で、0.001の比重差をもつた硫酸銅水溶液が、32絵素の CT 値の平均によつて識別されている。1.000から1.010までの範囲と1.010から1.015までの比重の範囲において、各々同様の実験を行つた所、比重1.008の1カ所を除き、やはり他の全ての部位で、0.001の比重差の硫酸銅水溶液が、CT 値の平均によつて識別された。

3.2 MTF の算出

Fig. 1 (B) の扇形ファントームのスペース部に水を満たし、これを水の入った容器の中に沈めてスキャンした (Fig. 4 右)。又このプリントアウトデータから MTF 値を求めた。方法は、Mac Intyre らに準じ⁴⁾、プリントアウトのデータ上で、扇形をしたファントームの先端部を中心と

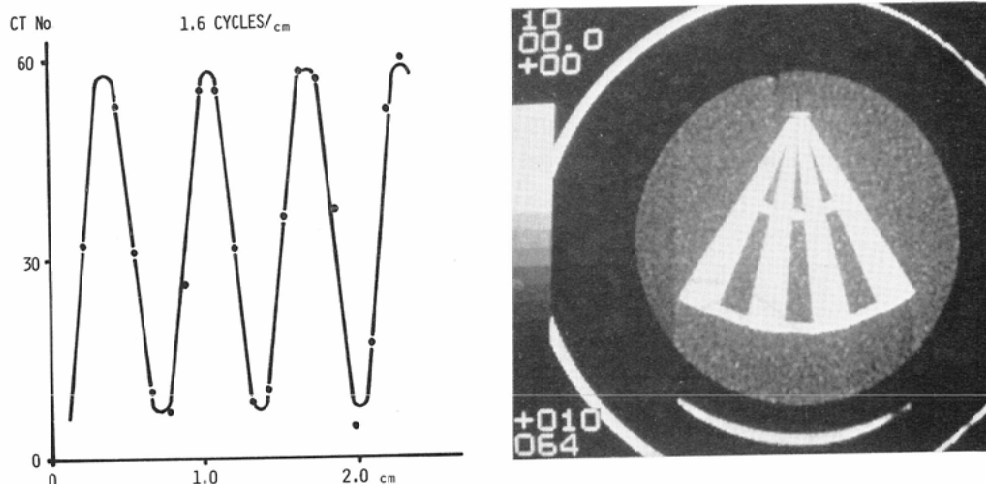


Fig. 4. Variation of mean CT numbers (three pixels) recorded along a radius corresponding to a spatial frequency of 1.6 cycles/cm. CT image is shown on the right.

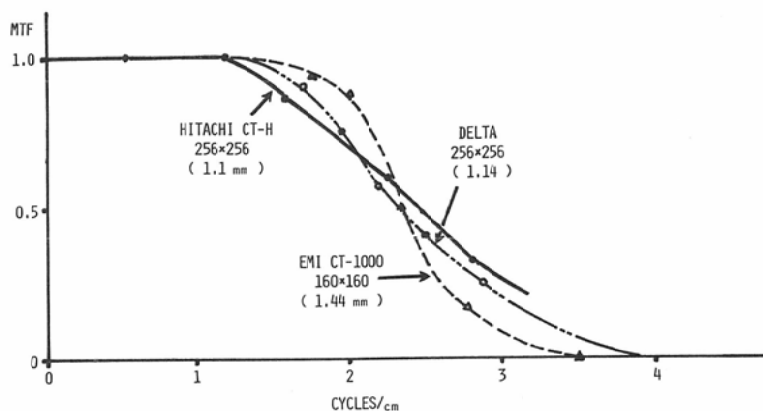


Fig. 5. The values of modulation transfer function against various spatial frequencies. The data of EMI scanner and Delta scanner shown on this graph were transferred from the data obtained by MacIntyre et al.⁴⁾.

して、各種半径の円を描く。そしてその円周上に存する CT 値と、それに隣接する内外 1 絵素づつの CT 値を平均した値をとり、Fig. 4 の左の如きグラフを得た。一般に MTF 値は M_i/M_o (M_i : Image Modulation, M_o : Object Modulation) で表わされるので、このグラフから M_i の値を各空間周波数ごとに求め M_o との比をとってグラフにしたのが Fig. 5 の実線である。参考として MacIntyre らの Delta スキャナと EMI・CT-1000 スキャナのデータをそれぞれ二点鎖線と

破線にして転写した。

このデータによると、CT-H の MTF は、低周波領域では他の二機種に比べ比較的早く低下するが、高周波領域では逆に低下の度合いは緩慢であるように思われる。

3.3 減弱値の差と空間解像力

Fig. 1 (C) のファントムを、各種比重の硫酸銅水溶液が入った容器に沈め、それぞれについてスキャンして、Fig. 6 のごとき CT 像を得た。次いでそれぞれの図に対応するプリントアウト

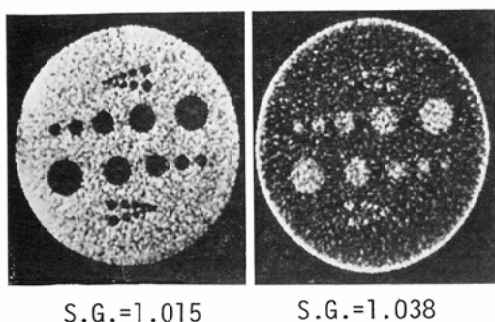


Fig. 6. CT images of the phantoms of "Acrylate/Copper sulphate solutions". S.G. is an abbreviation for specific gravities of copper sulphate solution.

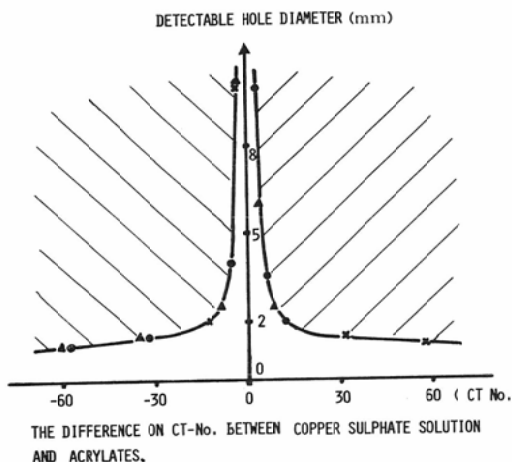


Fig. 7. Detectable hole diameter against the differences on CT numbers between copper sulphate solutions and acrylate.

データを用いて、ファントム内の最大孔（すなわち直径が 20mm の孔）に存する硫酸銅水溶液の平均の CT 値（32 絵素の）から、アクリル部の平均の CT 値を差引いた値を横軸にした。各 CT 像での検出可能な最小径を縦軸にとり両者の関係をプロットすると Fig. 7 のようになる。このグラフ上にプロットされたデータの記号の違いは、実験を行った時期が異なっているためである（この実験に用いた容器の直径は 15cm と 17cm の 2 種類である）。

Fig. 7 において、一般に曲線の外側に記されたハッチング部位に存する孔は、すべて CT で検

出可能であることを意味しているが、同じハッチング部位内でも、データの曲線に近接してくると、CT 値の差、即ちコントラストが低くなってくるため、しだいに不明瞭になると考えられる。また硫酸銅水溶液とアクリルとの CT 値の差が 10（すなわち 2%）以下となると、検出可能な孔のサイズは著明に変化しており、逆に 15（3%）以上ではほとんど変化しないということがわかる。

AAPM のレポート⁵⁾や、McCullough ら⁶⁾は、CT の空間解像力を表わす指標として、水と Plexiglas の組合わせにおける解像力（High Contrast Resolving Power といっている）と、1% の減弱値の差をもつた物質間における解像力（Low Contrast Resolving Power）を提唱しているが、その意味では前者が約 1.25~1.5mm で、後者が約 5~7mm の解像力であるということもこの図からわかる。

4. 考 案

CT の最大特徴は高い減弱係数分解能と三次元的な空間解像力である。この両者はもとより、互に密接な関係にあるが、一方では被写体側と撮影側との条件によつて種々に変化するパラメータでもある。それ故 CT の減弱係数分解能と空間解像力について述べるためには、これに及ぼす種々の因子について多方面から検討が行われるべきものと思われる。しかし前報においても述べたごとく我々の研究は、CT を臨床応用するために必要な基礎データを提供することを目的としているため、今回も臨床家にとつて意味のある範囲に限定して実験を行った。また今回得られた実験成果は CT-H というスキャナのみを対象としており、一定の撮影条件下で、特定のファントムを利用して得たものであつて、CT 一般に通用するデータではない。このようなデータは、機種の違いはもちろん、用いたファントムの種類や状態によつて、さらには撮影条件に関する多くの因子によつて著明な影響をうけるので、CT の性能として述べるときには、これらの実験条件をすべて付記しておくことが不可欠となる。方

式や機構、時には目的をも異にした、各社 CT 装置が多数生産されてきた現在では、また CT の一般的な性能評価法や標準ファントムが設定されていない現状においては、今回の如き性能評価法や、それによつて得られたデータを示すことは意味あることと思われる⁷⁾。尚、次回に我々は、各社 CT 装置の比較検討という課題に当るので、この方式をそれに踏襲し発展させていきたいと考えている。

次に今回の実験内容に移る。まず実験に用いた我々独自の硫酸銅法についてであるが、今回の実験に用いた程度の濃度であれば、CT の精度から考えて、比重と CT 値が正相関にあると考えられる (Phelps らの文献参照⁸⁾。又筆者らもこの点については実験的に確認している)。又第 1 報¹³⁾にも記載したごとく、文献的には比重精度が ± 0.0004 というかなり高精度のものを、容易に入手しうるのが特徴である。ところで ± 0.0004 という精度は、Fig. 3 の実験データでもわかるごとく、CT 値で ± 0.68 、つまり $\pm 0.14\%$ に相当するわけで、CT 値の平均値に関する精度を考慮した場合、無視しえない誤差である。それ故、CT 装置に対して、高精度の性能検査が要請されているときには、McCullough らが述べている⁹⁾ レキサン、ナイロン等の物理的な X 線減弱係数 ($=\mu$) のはつきりした、固形の物体を使用すべきであると思われるが、一定の誤差が許容される臨床的なシミュレーション実験等では、本法を利用することによつて、その特長が発揮され、精度的にもある程度保証された成果を得ることが可能であると考えられる。Fig. 8 は Fig. 1 (A) と同じ形式をしたファントムを使つて、そのアクリル管内に 4 種の比重の硫酸銅水溶液を密封して、50 日間以上にわたつて、CT-H の CT 値の安定性を調べたものである。この際同時にアクリルとレキサンで構成されたファントムもスキャンして、Fig. 8 によく類似した傾向のデータを得ている⁹⁾。それ故、このように長期にわたる実験においても、この硫酸銅法は一定の誤差を考慮すれば、応用しうるものであると思われた。

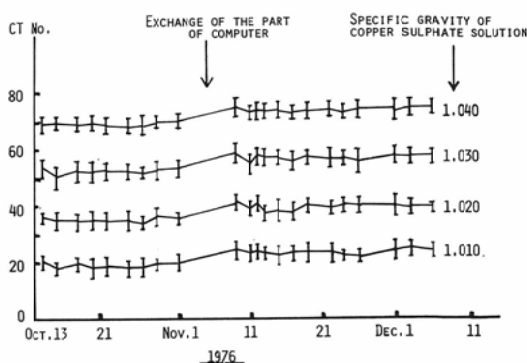


Fig. 8. Quality assurance test of CT scanners. This picture shows mean CT numbers corresponding to four kinds of specific gravities of copper sulphate solutions enclosed in the phantom. Error bars indicate the standard deviations of the 25 pixels used to compute the mean values.

次に 3.1 項の実験についてであるが、この実験下では、CT 値の 0 から 30 までの範囲において、CT 値の平均値を用いることによつて、硫酸銅水溶液の 0.001 の比重差のものが (つまり 0.34% の差のものが) 殆んど識別されるということが示されたと思う。Lange ら¹⁰⁾ は平均された CT 値の標準偏差値は、極端に小さいということを実証しているが、その意味でも今回の結果は矛盾していないように思われる。

次の MTF を導く実験方法については、いくらか技術的な点で問題はあがあるが、この方法でも現在の CT について、一応の傾向を把握することは可能であると思われる。CT-H の MTF は、低周波領域で比較的早く低下しはじめ、逆に高周波領域で低下の度合いが幾分緩慢であるように思われた。

最後の 3.3 項は CT の存在診断能を明確な形で示す臨床的に意義の深い実験である。結果として得られた Fig. 7 のグラフは、ノイズの大きさと同様に、曝射した X 線の量に左右されることが考えられる。つまり、このグラフはスライス厚みや撮影時間、X 線管球の電圧や電流の違いによつて、異つたパターンを示すと考えられる。臨床医にはそれらのデータが実際の意味をもつ関係上、それぞ

れについて把握しておくことが必要であると思われる。本項のごとき、濃度差と直結した解像力という問題は、従来のフィルム法ではあまり重視されなかつたことであるが、CT ではこのように中心的課題なのである。

5. 要 約

日立 CT-H を対象とし、比較的常用されている撮影条件下で、自作のファントームを使つて、減弱係数分解能と空間解像力について検討し以下の知見を得た。

1) 今回の実験条件下における減弱係数分解能は、32絵素の CT 値の平均を用いた時、0.34%以上であると思われた。

2) アクリルと水の組合わせで扇形ファントームを作り、MTF 曲線を求めた所、1.2cycle/cm から低下し初め、2.7cycle/cm で0.32の値を示す点を通る曲線となつた。

3) 種々のコントラストに対応する空間解像力を求めグラフにして示した。このデータによれば、日立 CT-H の高コントラストの解像力 ($\Delta\mu=12\%$) は約1.25~1.5mm で、低コントラストの解像力 ($\Delta\mu=1\%$) は約5~7mm であつた。

謝辞：本研究にご協力下さつた 聖隷浜松病院の関係者の方々と浜松医大放射線部の坂本技師に感謝の意を表します。なお、本研究の要旨は第36回日本医学放射線学会総会において発表しました。又文部省科研費Dと厚生省 CT 研究班（田坂班並びに有永班）から助成を受けたことを感謝します。

文 献

- 1) 真野 勇, 金子昌生: Computed Tomography 装置の基礎的研究 (第1報). ファントームの試作と CT 像に関する2~3の検討 (CT の研究第1報). 日本医放会誌, 37 (9): 52—58, 1977.
- 2) 真野 勇, 金子昌生: Computed Tomography

装置の基礎的研究 (第2報). 被写体内の種々の因子が CT 値に及ぼす影響 (CT-H について) (CT の研究 第2報). 日本医放会誌, 37 (11): 40—47, 1977.

- 3) Phillips, R.A., Van Slyke, D.D., Hamilton, P.B., Dole, V.P., Emerson, K. and Archibald, R.M.: Measurement of specific gravities of whole blood and plasma by standard copper sulfate solutions. *J. Biol. Chem.*, 183: 305—330, 1950
- 4) MacIntyre, W.J., Alfidi, R.J., Haaga, J., Chernak, E. and Meany, T.F.: Comparative modulation transfer functions of the EMI and Delta scanners. *Radiology*, 120: 189—191, 1976
- 5) Judy, P.F. (Chairman): Phantoms for performance evaluation and quality assurance of CT scanners. AAPM report No. 1, 1977, Chicago
- 6) McCullough, E.C., Payne, J.T., Baker, H.L., Hattery, R.R., Sheedy, P.F., Stephens, D.H. and Gedgaudus, E.: Performance evaluation and quality assurance of computed tomography scanners, with illustrations from the EMI, ACTA, Delta Scanners, *Radiology*, 120: 173—188, 1976
- 7) 金子昌生, 真野 勇, 外山香澄, 坂本真次: CT による X 線吸収係数分解能の認知について. 断層撮影法研究会誌, 5 (2): 7—9, 1977.
- 8) Phelps, M.E., Gado, M.H. and Hoffman, E.J.: Correlation of effective atomic number and electron density with attenuation coefficients measured with polychromatic X-rays, *Radiology*, 117: 585—588, 1975
- 9) 坂本真次, 真野 勇, 金子昌生: Computed Tomography の吸収係数分解能に関する経時的安定性. 第33回日本放技学会総会予稿集: 116—117, 1977.
- 10) Lange, S., Golde, G., Grumme, T.H. and Meese, W.: Contrast and detail resolution of axial transverse computerized tomography. (In) Oliva, L. and Berry, R.J. ed: The new image in tomography, pp. 18—22, 1975, Excerpta Medica, Amsterdam-Oxford