

Computed Tomography 装置の基礎的研究 (第5報)

—ノイズ, 減弱係数分解能, 直線性, MTF, 高コントラストの
解像力 (8機種について)—

浜松医科大学放射線医学教室

真 野 勇 金 子 昌 生

東京大学医学部附属病院中央放射線部

竹 中 栄 一

(昭和53年8月21日受付)

(昭和53年10月16日最終原稿受付)

Fundamental Studies of Computed Tomography (5th Report)

—Noise, Contrast Resolving Power, Linearity, MTF and High Contrast
Resolving Power (For Eight Models of Scanners)—

Isamu Mano*, Masao Kaneko* and Eiichi Takenaka**

*Department of Radiology, Hamamatsu University School of Medicine, Hamamatsu

**Department of Radiology, Tokyo University Faculty of Medicine, Tokyo

Research Code No.: 200

Key Words: Computed tomography, Performance test, Contrast resolving
power, Intercomparison, Copper sulphate solution

Several performance parameters of 8 scanners (CT-H, EMI-1010, SCT-100N, Neuro-CAT, ACTA-150, EMI-5005, ACTA-200FS, CT/T) were tested and compared. The standard deviation of CT numbers for 20 cm diameter water phantom was distributed in the range from 0.17% to 1.87%. Contrast resolving power was over 0.34% for almost all scanners. CT numbers against various densities of substance showed good linear relationship in most CT scanners except two. In the test of MTF and high contrast resolving power, it was noted that the scanner "F", so-called second generation, showed the best results, probably because of its smallest pixel size. While the two scanners, so-called third generation, had moderate resolution irrespective of the least standard deviation.

1. はじめに

我々はすでに日立 CT-H を対象として, CT 像の種々の性能について検討し報告した^{1)~4)}. 今回は対象の機種を6社8機種(全身用4機種と頭部用4機種)にして同様の実験を行い, 機種間の相互比較を行うこととした. 本研究では, ノイズと

減弱係数分解能 およびその直線性, MTF, 高コントラストの空間解像力について報告する.

なお, 我々の研究目的は臨床医の立場で, CT装置を評価することである. そのため実験条件はできるだけ日常診療の状態に一致させて行つた.

2. 研究方法

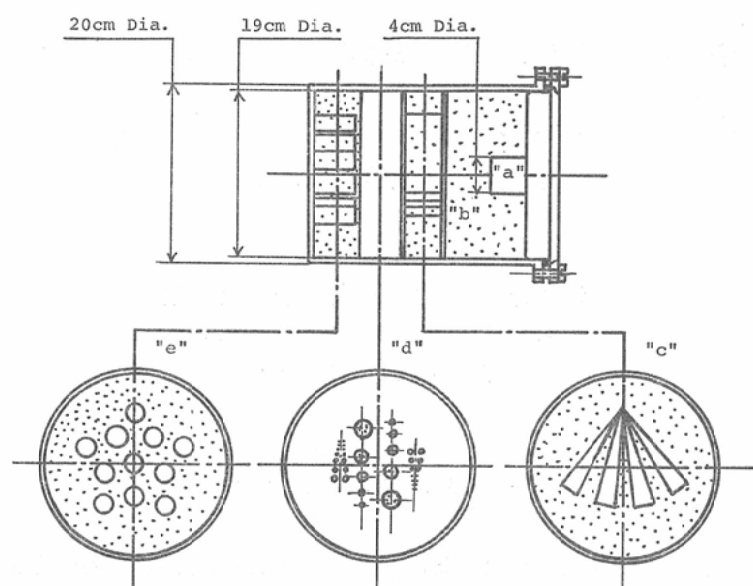


Fig. 1. Schematic representation of the phantom for performance evaluation. "a"... Contrast scale, "b"... Noise and contrast scale, "c"... MTF, "d"... Spatial resolution, "e"... Contrast resolving power and linearity.

Table 1. Main specification for CT-scanners

Scanners	Application	CT System (Generation)	X-ray Tube Condition		Numbers of Slice per Scan	Display Condition	
						Slice Thickness	Pixel Size
"A"	Head	1st	120kVp	30mA	2	10mm	1.1mm
"B"	Head	2nd	120	33	2	13	1.5
"C"	Head	2nd	120	25	1	10	1.0
"D"	Head	3rd	120	34	1	3	1.0
"E"	Whole body	1st	120	20	2	7.5	1.5
"F"	Whole body	2nd	140	28	1	13	0.75
"G"	Whole body	2nd	140	30	1	13	1.0
"H"	Whole body	3rd	120	400—500 (Pulse)	1	10	1.1

対象は本邦の8施設におかれているCT装置で、頭部用としてはCT-H(日立), CT-1010(EMI), SCT-100N(島津), Neuro-CAT(Artronix)の4機種で、全身用としてはACTA-150(Pfizer), CT-5005(EMI), ACTA-200FS(Pfizer), CT/T(GE)の4機種である。用いたファントムは自作のFig. 1のごときもので、厚さ5mmで外径が20cmのアクリル樹脂製の水容器(以下20cm水ファントムと呼ぶ)を基本とし、その内部に種々の物体を置くようにした。尚一部の装置では被写体の外

周にX線吸収の補償物質を巻いてスキャンすることが多いが、今回は装置に固定されている補償物質以外はあえて用いないこととした。

各CT装置の撮影条件はTable 1に示したごとくで、通常の臨床応用時における頭部撮影の条件に一致しており、ファントムは撮影野の中央に置いた。

なお、今回の実験は1977年8月から1978年4月までの期間内に実施されている。

3. 実験結果

Table 2. Percent contrast scale and standard deviation of the mean for 20cm diameter water phantom

Scanners (for Head)	% CS _{μw}	% σ _{μw}	Scanners (for Whole Body)	% CS _{μw}	% σ _{μw}
"A"	0.20%	0.77%	"E"	0.44%	0.85%
"B"	0.10	0.33	"F"	0.20	0.29
"C"	0.10	0.81	"G"	0.10	0.71
"D"	(0.10)	0.28	"H"	0.20	0.17

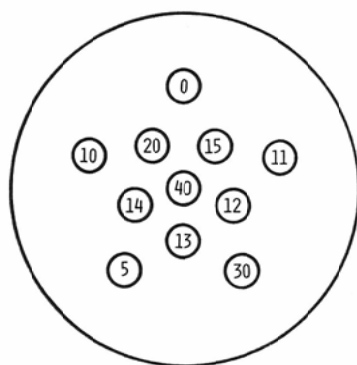
3.1 コントラスト・スケール (CS)

まず Fig. 1 "b" の20cm 水ファントムをスキャンし、次いで Fig. 1 "a" の三菱製のアクリライト棒の部位をスキャンした (アクリライトは AAPM レポート⁵⁾ で指定する Plexiglas と化学成分上同一のものといわれる。筆者らの比較実験によれば、70KeV 前後のX線に対する減弱係数は、Plexiglas と殆んど等しい)。これら二つのCT像のプリントアウトデータから、ファントム中央における64絵素の平均のCT値を求め、AAPM レポートに準じて各CT装置のCS値を求めた。Table 2 の%CS_{μw} の項はその結果である。この表では小数点以下第3位を公称のCS値に近づけるべく、切り上げまたは切り捨ての操作を行っている (例えば公称のCSが0.20%で、実

測のCSが0.208%のときは小数点以下第3位を切り捨てにして0.20%とした)。Table 2 でスキャナ "D" については測定を行っていないので、メーカー側調整の公称のCSをそのまま括弧にして記載した。その他ではスキャナ "E" のみが公称のCSとは異なつた値となつており注目される。すなわちこのスキャナの公称のCS値は0.60%といわれるが、今回の結果によれば0.44%とかなりの低値である。

3.2 ノイズ (標準偏差)

ノイズの定義は AAPM レポート⁵⁾ に準じた。すなわち Fig. 1 "b" の20cm 水ファントムに対するCT像のプリントアウトデータにおいて、中央とそこから上下左右に1/2半径づつ離れた各箇所について標準偏差を求め、その平均をノイズ



EXAMPLE:

13 MEANS SPECIFIC GRAVITY 1.013
OF COPPER SULPHATE SOLUTION.

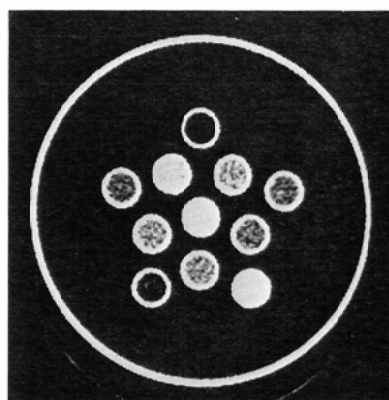


Fig. 2. Left figure shows the arrangement of copper sulphate solutions of various specific gravities. One of CT images is shown on the right in which each copper sulphate solution is imaged, corresponding to the left figure.

と定義した。この際各箇所は32絵素から成っている。

Table 2はその結果で、前記の $\%CS_{\mu w}$ の値を用いて統一した単位で示した。第3世代スキャナの“D”と“H”，次いで第2世代スキャナの“B”と“F”が低い値となつてゐることが注目される。

3.3 減弱係数分解能および直線性

Fig 1 “e”における内径18mmのアクリル管内に、各種比重の硫酸銅水溶液（比重精度 ± 0.0004 以内⁶⁾）を、Fig. 2左のごとく配置して密封し、スキャンした（Fig. 2右）。各アクリル管の中央における25または32絵素のCT値の平均を求め、比重とどのような関係にあるかを検討した（Fig. 3及びFig. 4）。これらの図で縦軸には各装置のCTナンバーにTable 2の $\%CS_{\mu w}$ の値を乗じた値が目盛つてあるため、各CTナンバーはこのまま比較することが可能である。Fig. 3によればほとんどの機種が、0.001の比重差の硫酸銅水溶液を識別していることがわかる。又Fig. 4では、

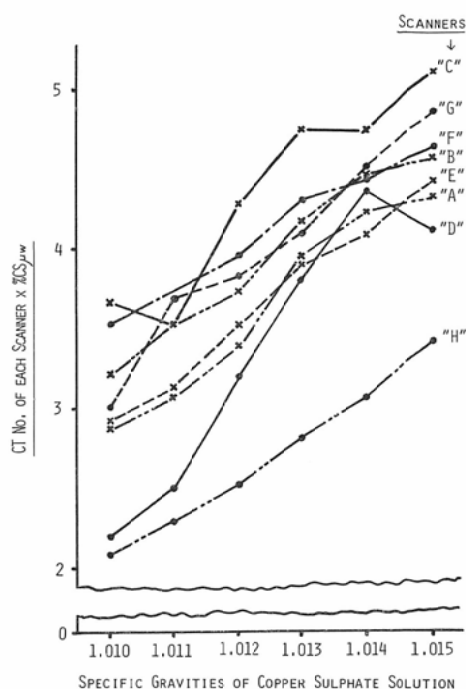


Fig. 3. Results of contrast resolution tests for 8 scanners.

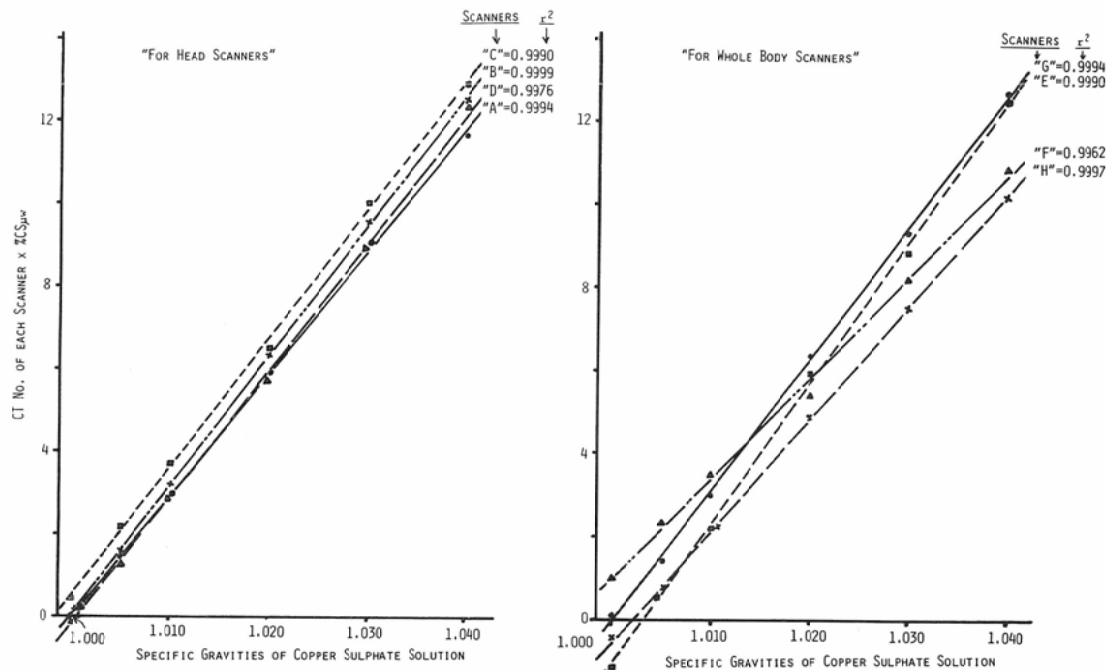


Fig. 4. CT number mean values against various specific gravities of copper sulphate solution (Linearity tests for 8 scanners). γ : correlation coefficient.

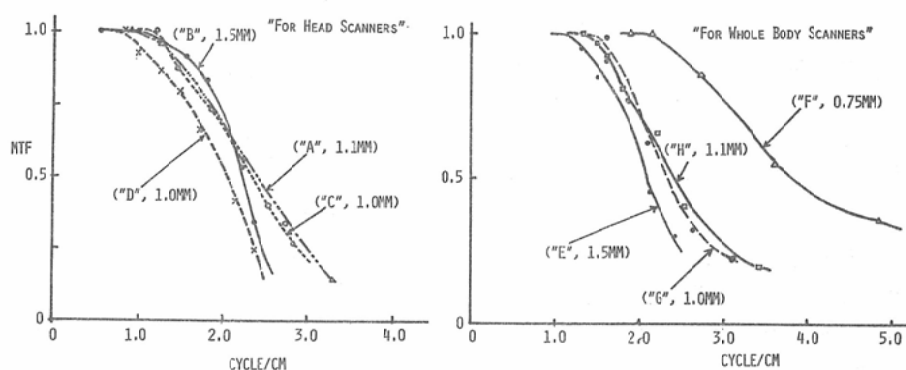


Fig. 5. Modulation transfer function of 8 scanners.

大半の機種が一応満足できる直線状態にあることがわかる。

3.4 MTF

Fig. 1 (“c”) のアクリル樹脂から成る、扇形のファントムをスキャンして、MacIntyre ら³⁾に準じて求めた。Fig. 5はその結果で、頭部用スキャナの場合と全身用スキャナの場合とに分けてある。

スキャナ “F” のみが極端に良好な MTF 値を示していることが注目される。

3.5 高コントラストの空間解像力

Fig. 1 “d” の解像力テスト用のファントムをスキャンして、モニター上で検出しうる最小の孔径を解像力と定義して求めた。判定は実験に参加した3～4人で行った。このファントムはアクリル樹脂製で、各孔の中には水が入っている（すなわちコントラストは約12%）。今回の実験で意味をもつ孔は外側の列で、その径は5, 4, 3, 2, 1.5, 1.0, 0.75mm である。これらの組になつている各孔は、孔の直径分だけ離れており、孔径の異なる

隣の孔とは、その小さい方の孔径の分だけ離れている。

Table 3 は結果であるが、これによると各スキャナの解像力は、絵素の大きさの1.3～1.7倍となっており、絵素の大きさによく相関していることがわかる。

4. 考 案

多種多様の CT 装置が利用されてきた今日、CT の性能を特定のファントムを使つて全国的に調査することが緊要となつている。今回、対象のスキャナを8機種にして相互比較することとしたが、この結果の内容については以下の点で限界があることをあらかじめ理解する必要があると思う。すなわち、まずデータの再現性または信頼性についてである。我々が今回得たデータは、特定の施設で特定の時期に実験して得たものであつて、これを一般性をもつて評価することはかなり難しいことであると思う。同一の機種間で性能の違いがみとめられることはしばしばあり、また装置によつては改良が行われており、性能の向上が

Table 3. High contrast detectability for 20cm diameter phantom

Scanners (for head)	Pixel width (mm)	Resolving power (mm)	Scanners (for whole body)	Pixel width (mm)	Resolving power (mm)
“A”	1.1	1.5	“E”	1.5	2.0
“B”	1.5	1.75— 2.0	“F”	0.75	1.25
“C”	1.0	1.5	“G”	1.0	1.5—1.75
“D”	1.0	1.75	“H”	1.1	1.75

著しいものもある。

他に装置の評価を個々の独立したデータのみで行ってしまう危険もある。各性能は互いに密接な関連をもっているため、そのようなデータはできるだけ多く揃えて総合的に評価する必要がある¹⁾。

次に今回の実験結果に移る。まず Table 2 のノイズについてであるが、第1世代と第2世代のスカナである“*A*”、“*B*”、“*E*”、“*F*”の四つの機種は、従来学会やレポートを通じて報告されており¹¹⁾¹²⁾、それらと比較すると興味深い。同一の機種でもスカナが異なるとデータが幾らか違うということがわかる。

スカナ“*C*”と“*G*”は共に新しい機種で、視覚的にはかなり安定した画質となつている。しかしノイズは、前者が0.81%で後者が0.71%と幾分大きな値であつた。残りの第3世代スカナである“*D*”と“*H*”が、それぞれ0.28%および0.17%と逆に大変な低値であつたことも注目される。この点については後に再度考察する。

次に減弱係数分解能³⁾、十分な大きさをした組織を、各 CT がどの程度識別する能力をもっているかということを示すわけで、臨床上重要な実験である。今回のような形式をしたファントムを用いるときは、CT の均一性とノイズがこの性能を左右するものと思われる。Fig. 3 をみると大部分の装置は0.34%程度の分解能はもっているようにみうけられる。CT 値の直線性もほとんどの機種で良好な結果であつた（スカナ“*F*”の直線性が悪いのは、通常の頭部撮影時に用いられている補償用の X 線吸収物質が用いられていないこともあつて、CT 像の均一性が悪かつたためである）。

MTF と高コントラストの解像力テストの実験で注目されることは、両性能ともスカナ“*F*”が最良の結果を示したことである。このスカナの場合、絵素サイズが0.75mm と特に小さいことが主因であると思われる。一方ノイズ値が低い“*D*”と“*H*”が、絵素サイズが1.0mm および1.1mm とかなり小さいにもかかわらず、これらの性

能がさほど良好ではなかつたことも注目される。

このいくつか矛盾する結果は、両スカナがともに第3世代スカナの形式をとっていることと関係があるように思われる。すなわち第3世代スカナの場合、画像合成の原理上、ソフトウェアで特別な操作（一種のスミージング等）を行つている可能性があるため、ノイズ値の評価をするときは注意を要するようと思われる。このことは次回に報告する CT の被曝データからも推定されることである。

最後の高コントラストの空間解像力は、一般に各 CT の絵素サイズの1.5倍弱であるといわれるが⁸⁾、この点今回は矛盾しない結果であると思う。

本研究に御協力下さった施設は、東京大学、関東通信病院、国立医療センター、静岡済生会病院、聖隷浜松病院、中部労災病院、大雄会病院、島津製作所の8施設であります。便宜をはかつて下さった施設の責任者の方々、並びに実験に直接協力して下さいの方々へ心から感謝の意を表します。

なお本研究は文部省一般研究“*D*”、厚生省 CT 研究班（田坂班および有水班）から助成をうけました。また本研究の要旨は第1回の CT 技術シンポジウムと第67回日本医学放射線学会中部地方会で発表しました。

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: 890—896, 1977
- 2) 真野 勇, 金子昌生: Computed Tomography 装置の基礎的研究 (第2報)—被写体における種々の因子が CT 値に及ぼす影響 (CT-H 250 について) (CT の研究 第2報) —, 日本医放会誌, 37: 1058—1065, 1977
- 3) 真野 勇, 金子昌生: 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)—, 日本医放会誌, 38: 479—485, 1978
- 4) 真野 勇, 金子昌生: Computed Tomography 装置の基礎的研究 (第4報)—スライス厚みと CT 像の性能との相関—, CT 研究, 投稿中.
- 5) Judy, P.F. (Chairman): Phantoms for Performance Evaluation and Quality Assurance of CT Scanners, AAPM Report No. 1, 1977,

- Chicago.
- 6) 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
 - 7) MacIntyre, W.J., Alfidi, R.J., Haaga, J., Chernak, E. and Meany, T.F.: Comparative modulation transfer functions of the EMI and Delta scanner. *Radiology*, 120: 189—191, 1976
 - 8) 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, and Delta scanners. *Radiology*, 120: 173—183, 1976
 - 9) 遠藤真広, 竹中栄一, 飯沼 武, 館野之男, 須田善雄: CT スキャナの相互比較 (第 1 報), *日本医放会誌*, 33: 33—41, 1978.