

冷却 CCD カメラ型デジタルラジオグラフィシステム による X 線テレビ多層断層 —— 四肢の断層画像 ——

清正芳朗, 大石幹雄*, 洞口正之*, 細貝良行**

国民健康保険川崎病院

*東北大学医療技術短期大学部 放射線技術学科

**東北大学医学部附属病院放射線部

Principles of Multi-Layers Tomography Using Digital Radiography System with Cooled CCD Camera —— Tomographic Image of Extremities ——

Yosirou SEISYOU, Mikio OISHI*, Masayuki ZUGUCHI* and Yosiyuki HOSOKAI**

National Health Insurance Kawasaki Hospital

**Department of Radiological Technology, College of
Medical Sciences, Tohoku University*

***Department of Radiology, Tohoku University Hospital*

Key words: Cooled CCD, tomography, digital image

Our system consists of a General X-ray equipment and a digital radiography system with a cooled CCD camera. The system takes in 17 pictures' amount of image data through a movement of the X-ray tube and produces a tomographic image of an arbitrary body layer by shifting picture cells. Though image data is taken in with a ready-made application program "Image ProPlus" the data and the image production are processed by our original program written with "Delphi".

When we took pictures of hand, elbow, knee, ankle, hip and shoulder joints, we obtained rather clear images of apophysis and joint cavities in extremities. Though the X-ray tube was manually moved, the process such as intake of image data and production of images were automatically operated by our original program and most of the operation were smoothly carried out.

1. はじめに

一般 X 線断層撮影装置では、一連の動作で、一断層面を撮影するのが基本であり、数枚の断層画像を構築するためにはそれと同じ回数 of X 線管とフィルムの移動、そして X 線曝射を必要とす

る。近年の X 線テレビ断層装置¹⁾²⁾³⁾では、1 回の移動操作で全投影像を収集し、デジタル処理によって任意の断層面を構築している。それらの撮像装置にはイメージインテンシファイアー (I.I.) と撮像管²⁾との組み合わせ、またはスクリーンと冷却型 CCD カメラ¹⁾³⁾との組み合わせの 2 種類が

ある。

前者は I.I. によるひずみを補正することで画像の合成を行い、断層像の構築を行っている。しかし、あまり大きな視野は望めないとか、撮像管のダイナミックレンジは狭く、アーチファクトの誘引が起こり易いなどの不利な面もある。後者は平面性に優れているためひずみの補正を簡略化できるが、スクリーンは光量が少ないため I.I. 型に比べて被曝線量が大きくなるなどの欠点を持っている。しかし、両者は 1 回の操作で、高速度で任意断面の構築ができるという共通の利点を有している。

第 1 報では、主として冷却 CCD カメラ型デジタルラジオグラフィシステム (DRS) を用いた多層断層装置の機構と画像合成の原理について報告した。今回は振角を 40° とし、合成枚数を 17 枚に増加し鮮鋭度を向上させ、また画像処理ソフトの改良を企て高周波域における画質の改善を図った。臨床適用への試みとして、四肢の断層像を合成したので報告する。

2. 使用機器および装置

冷却 CCD カメラ：C4880 (浜松ホトニクス)

カメラコントロールユニット；C4880 (浜松ホトニクス)

CCD 素子

フレームトランスファー方式⁴⁾

有効画素数 1,000×1,018 ピクセル

受光面サイズ 12.0 mm×12.2 mm

ピクセルサイズ 12 μm ×12 μm

分光感度特性 600 nm～800 nm

AD 変換器の分解能：12 ビット

冷却方式：電子冷却+空冷

X 線発生装置：DHF-155HII (日立メディコ社)

画像メモリー：データ取得用 1,000×1,000×12 ビット

コンピューター：ET-8000L (EPSON 社 Endeavor)

画像取得ソフト：Image ProPlus (プラネトロ社)⁵⁾

使用言語：Delphi (ボーランド社)⁶⁾

OS Windows95：(OSR2) (マイクロソフト社)

スクリーン：HR12 (化成オプトニクス社)

人体ファントム：(京都科学社)

3. 方 法

1) システムの概要

図 1 に、システムの概略を示した。システムは X 線発生装置、オプティカルユニット、カメラコントローラーおよびコンピューターで構成した。オプティカルユニットは、グリッド、Pb ガラス、スクリーン、暗箱および冷却 CCD カメラからなる。CCD カメラのレンズは F 50 mm, f 1.14 とした。CCD カメラには温度制御用と画像転送用のインターフェースユニット (I/F) が装備されており、この I/F は共にカメラコントローラーを通してコンピューターに接続されている。

CCD からは温度に依存するショットノズ⁴⁾が発生するので、この抑止のため電子冷却装置を用い、CCD は -30°C に冷却した。CCD カメラの冷却温度設定、画像取り込みのタイミングは市販の画像処理ソフト Image Pro Plus 上で行った。X 線管とスクリーン (撮像面) 間距離 (SID) は 120 cm とした。

2) 画像の取り込み

本法断層法の原理を、図 2 に示した。撮像部は固定して、X 線管のみを移動させて画像の取り込みを行なっている。その取り込みは既製ソフトの Image Pro Plus によって行なっている。取り込んだ画像から断層像の合成は、自作のソフトで行った。ソフトの言語は Delphi を用いた。

X 線管振角 2θ は $\pm 20^\circ$ の 40° とした。 0° において、X 線中心線束はスクリーンの中央に位置し、かつそれに垂直になるように設計した。

画像取り込みにおいて、X 線中心線束は常にスクリーン中心に対向させ、 2.5° 間隔で 17 枚の投影画像を取得し、それらはファイルの形で HDD に取り込んだ。画像の保存、合成、そして表示法については、第 1 報³⁾と同様とした。

3) マスク処理

アンシャープマスク処理の概要は、図 3 に示し

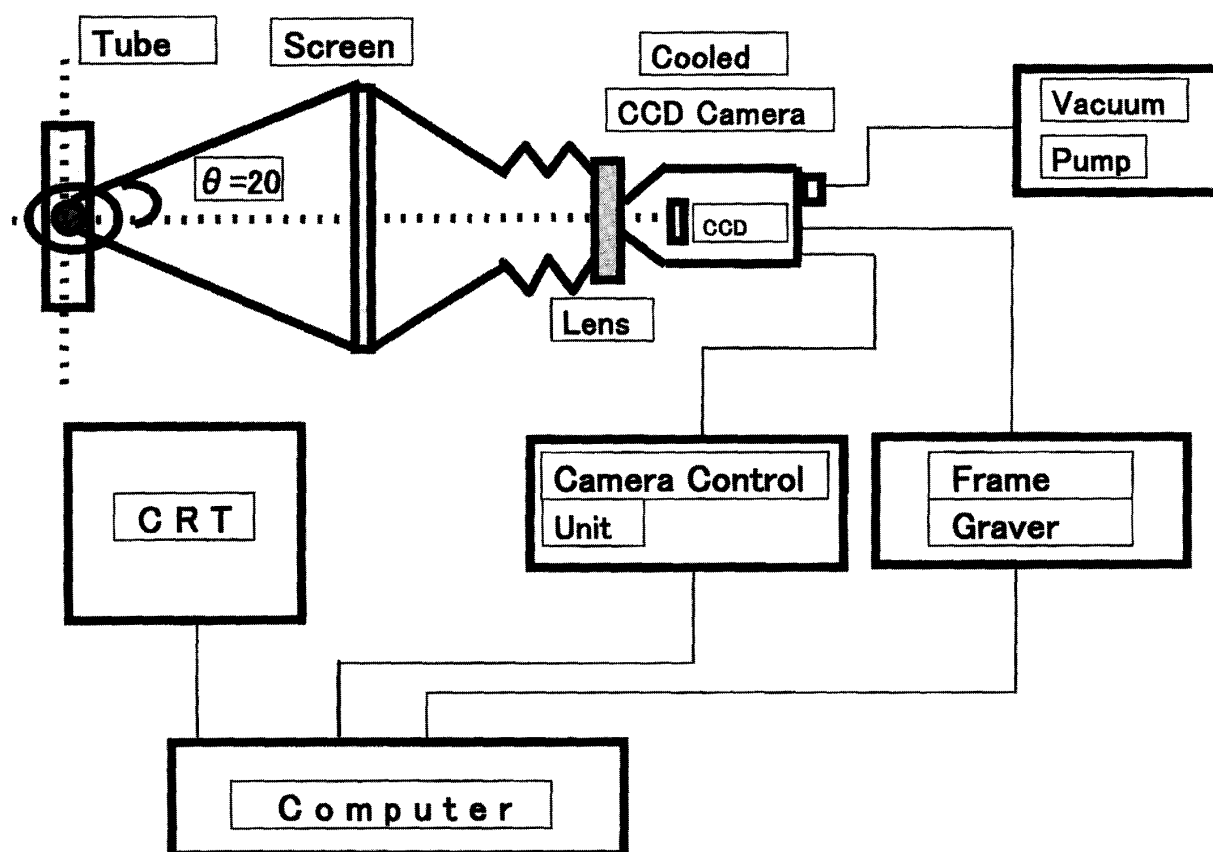


図1. デジタルラジオグラフィシステムの構成図：テレビ多層断層装置のブロック図

た。初めに、元画像に平均化フィルターを加え、ぼかし画像を作った。次に、これを元画像から差し引き、強調成分画像を作成した。その差分をフィードバックし元画像に加えて完成画像とした。

実施にあたっては、17枚の投影画像にそれぞれ同一条件で本画像処理を施し、その後自作ソフトの合成操作によって断層像を構築した。

4) 断層厚の測定

断層厚の測定原理は、図4に示す。ファントムには、直径1mmの鉛球を用いた。目盛間隔1mmの方眼紙に、間隔を1mmとして直線状に5個並べた。これを厚紙に貼り、スクリーンの中央に垂直にして配置した。画像の取り込みは、四肢の断層撮影と同一手法によって行ったが、断層像の合成は1mmの間隔で行なった。

5) 解像度の測定

解像度測定には、JIS規格に基づくフククの解

像度チャートを使用した。チャートはスクリーン中央位置に、チャートのライン方向をX線管移動方向に合わせ45°傾けて配置し、前述同様の手法によって投影像を取得し断層像を構築した。

6) 人体ファントムによる断層画像

被写体は、四肢ファントムとした。手関節部、肘関節部、肩関節部、足関節部、膝関節部、そして股関節部の6種類の断層画像を構築した。断層面はそれぞれ5mmの間隔とし断層像の構築を行った。

すべての撮影において、被写体の整位はX線管移動方向に対して垂直になるようにした。また、10:1のグリッドを使用しSIDは120cmとした。

4. 結 果

1) マスク処理の効果

アンシャープネスマスク処理による画質改善の

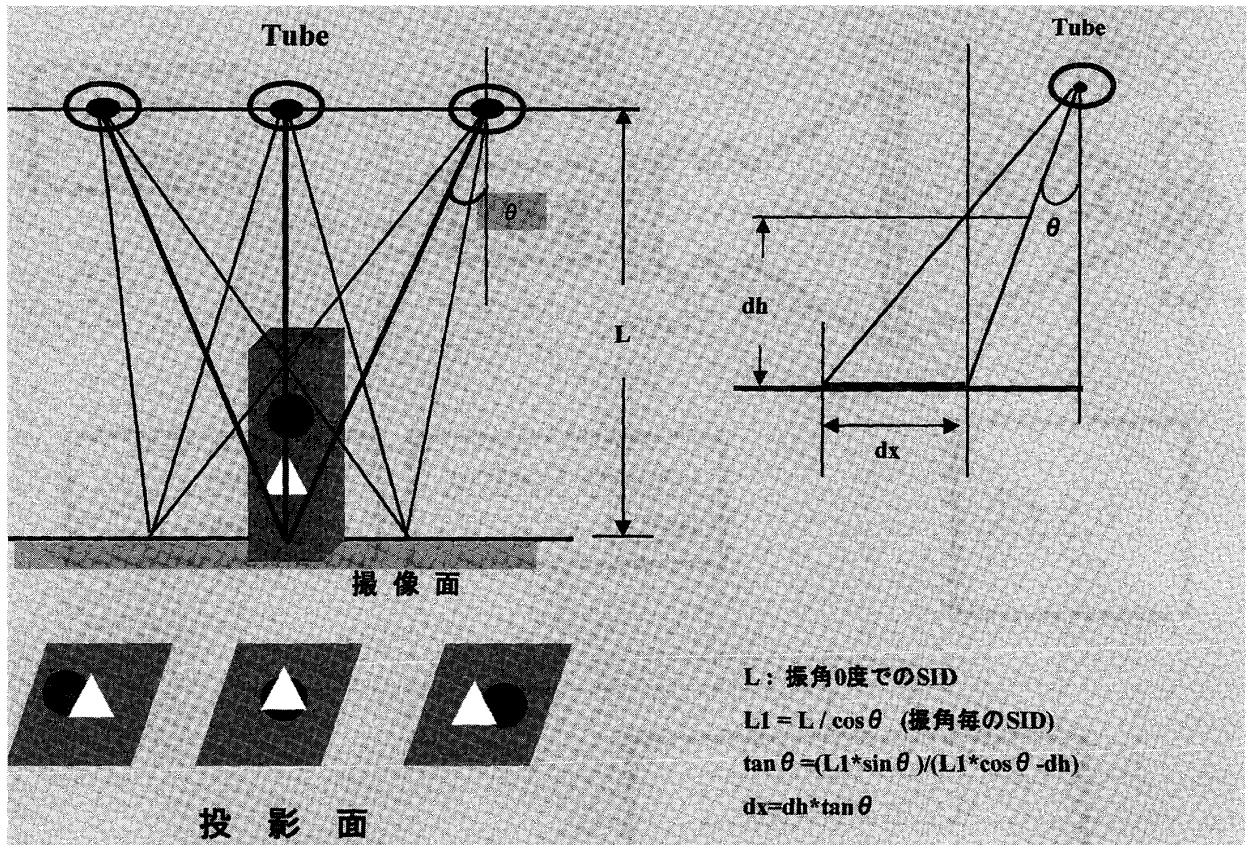


図2. DRS を用いた X 線テレビ多層断層の原理図

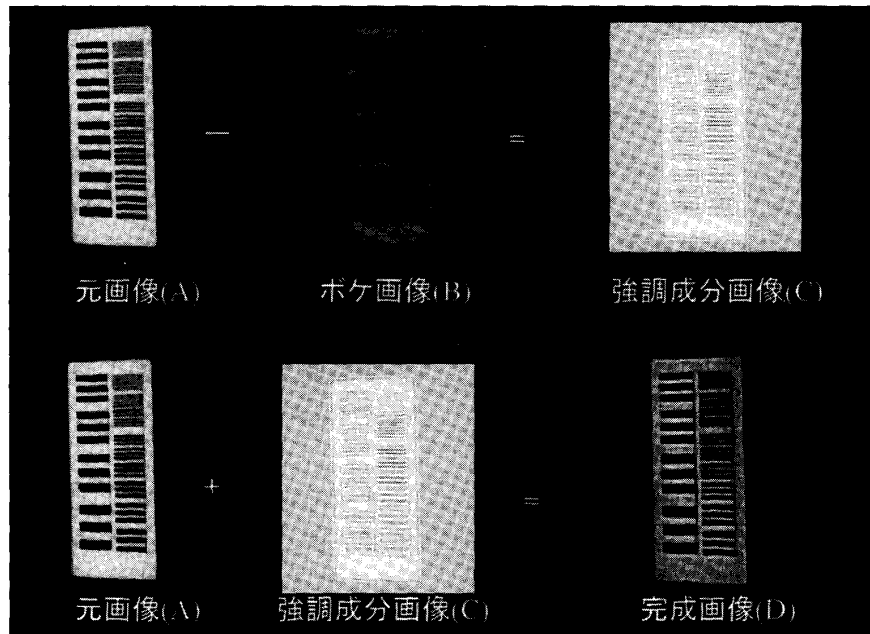


図3. アンシャープネスフィルターの手法

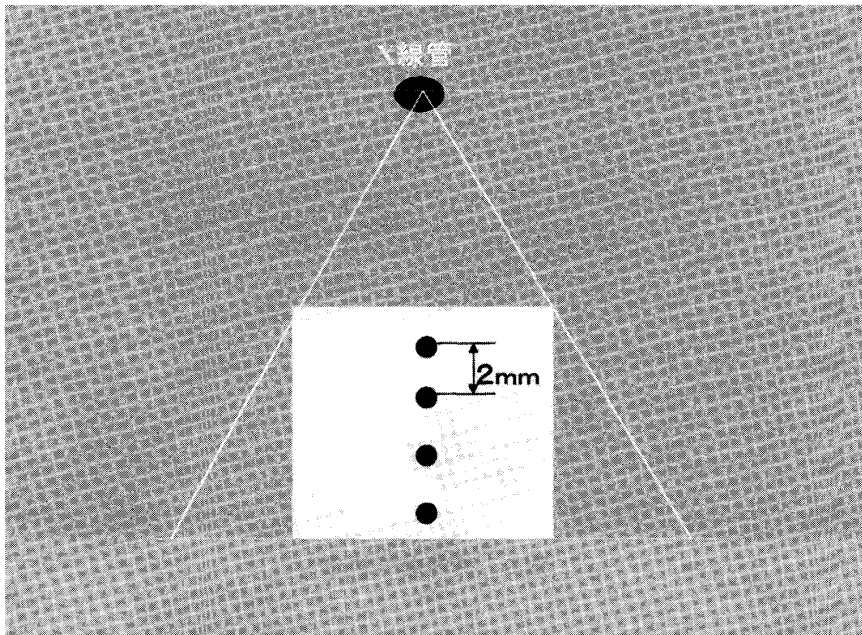


図 4. テレビ多層断層における断層厚の測定法

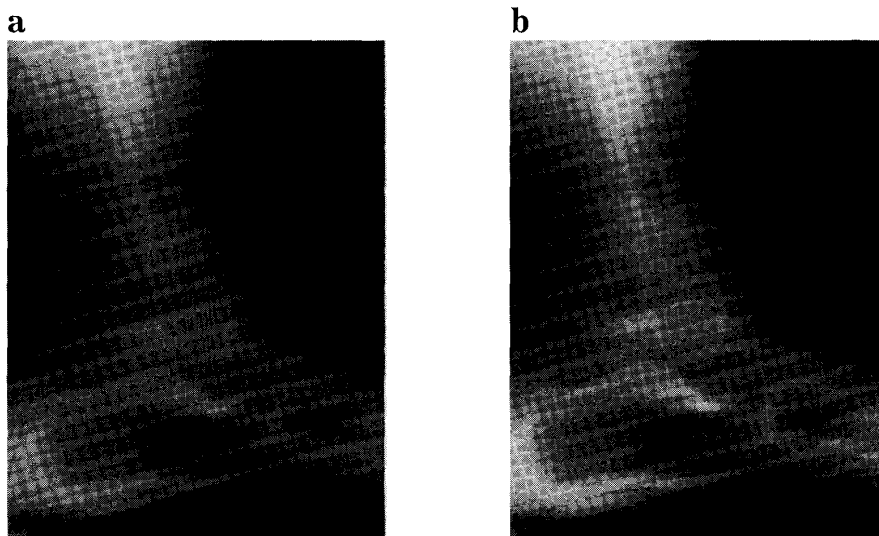


図 5. 足関節部の断層画像
(a) フィルター無し
(b) フィルター有り

効果は、図 5 に示した。左側が処理前、右側が処理後の断層画像であり、画質の改善が観察できる。腓骨および踵骨部の輪郭が明瞭に描写され、両者の間隙が明瞭に描写されている。他の四肢におい

ても、同等の画質改善が図られた。

2) 断層厚の確認

断層厚の結果は、図 6 に示した。図は支点およびその層面から ± 2 , ± 4 mm の高さにおける断

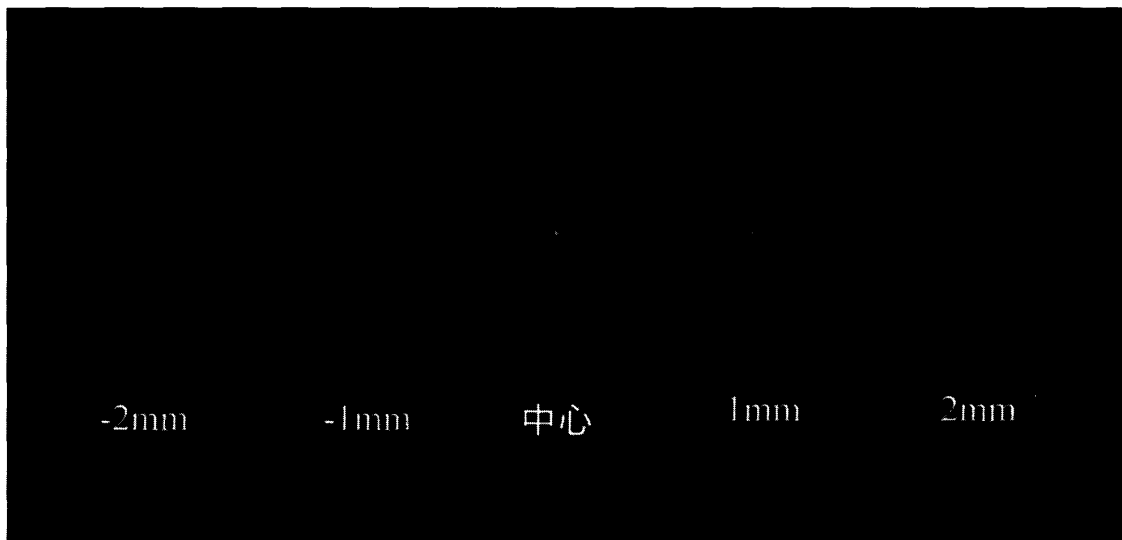


図6. 断層厚の判定

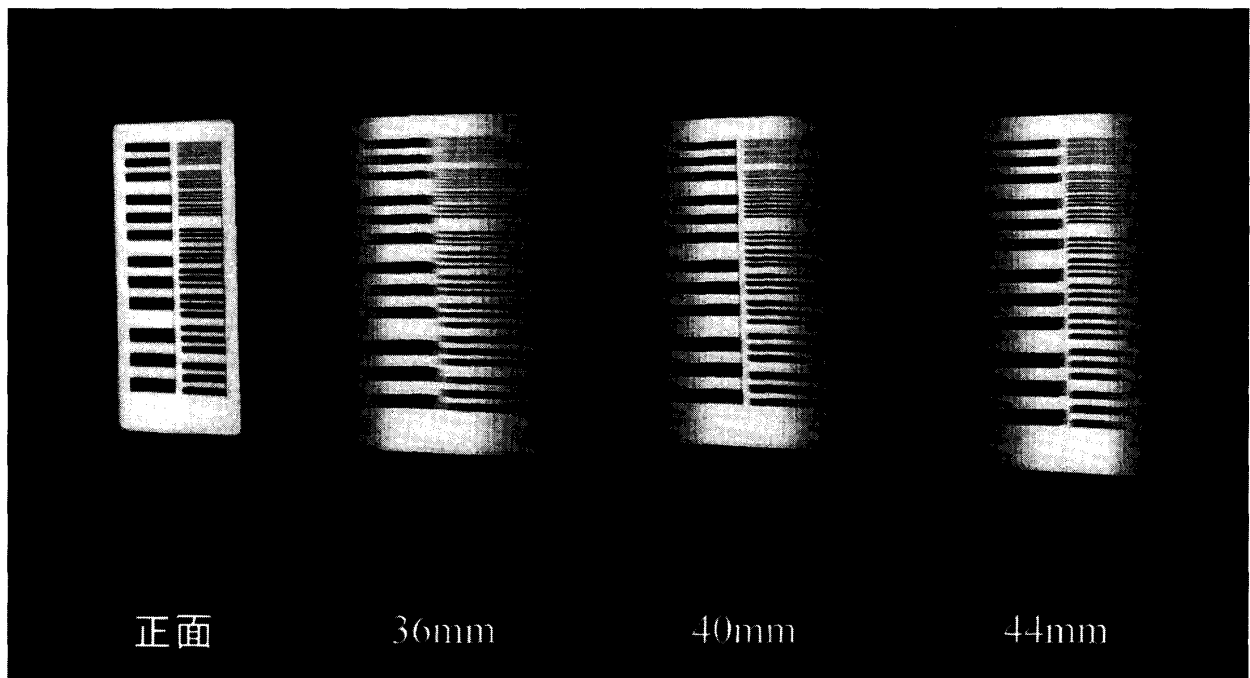


図7. テレビ多層断層における解像度の測定法

層像であり、縦方向の像を横に並べて比較した。支点および ± 1 mmの像は完全に合成され、 ± 2 mmでは暈像となっているのが観察できる。

± 2 mmまでの層が一断層面に関与し、本法の断層厚はおおよそ4 mm程度となり、臨床画像として十分な厚さを示した。

3) 解像度

解像度測定の結果を、図7に示した。左側端の

像は、本法DRS (Digital radiography system)における解像度チャートによる正面の単純写真であり、その分解能は1.6 Lp/mmを示していた。その右側の3枚の写真は、各層面における断層画像であるが、いずれも正面像とほぼ等しい解像度を示していた。臨床画像として十分な解像度を有すると判断できた。

4) 上, 下肢の断層像

手根骨および手関節の断層写真の結果を, 図 8 に示した。断層面 20 mm では, 有鉤骨と中指骨間の関節腔が明らかとなり, 25 mm では舟状骨と有

頭骨間の関節腔が明らかに描写されていた。

肘関節部の断層写真の結果を, 図 9 に示した。20 mm において, 上腕骨内, 外側上顆は消失し, 肘頭が浮き出たように描写された。正面像では, 肘

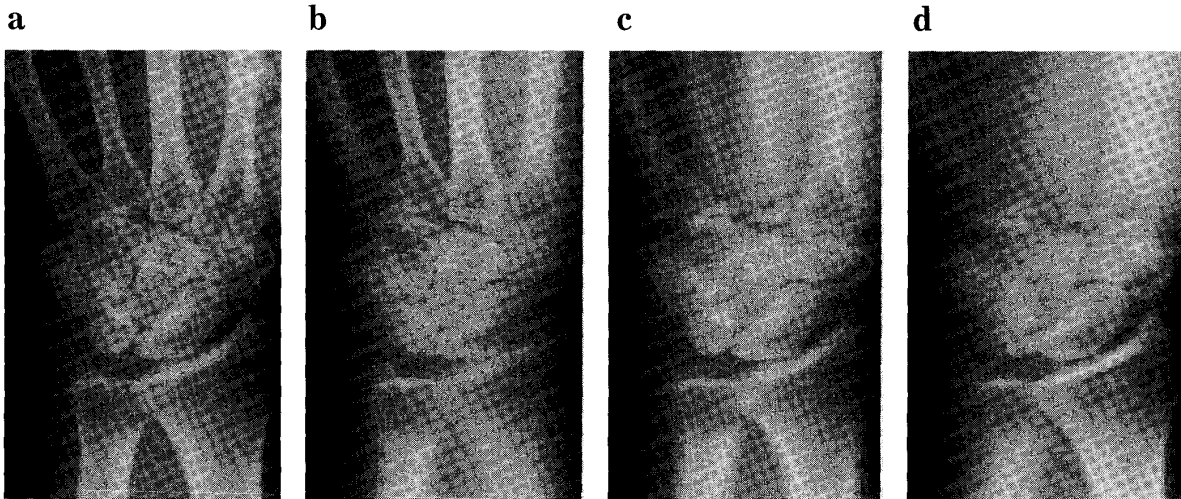


図 8. 手関節部の断層画像

(a) 投影画像 (正面像) (b) 層面 15 mm における断層画像 (c) 層面 20 mm における断層画像
(d) 層面 25 mm における断層画像

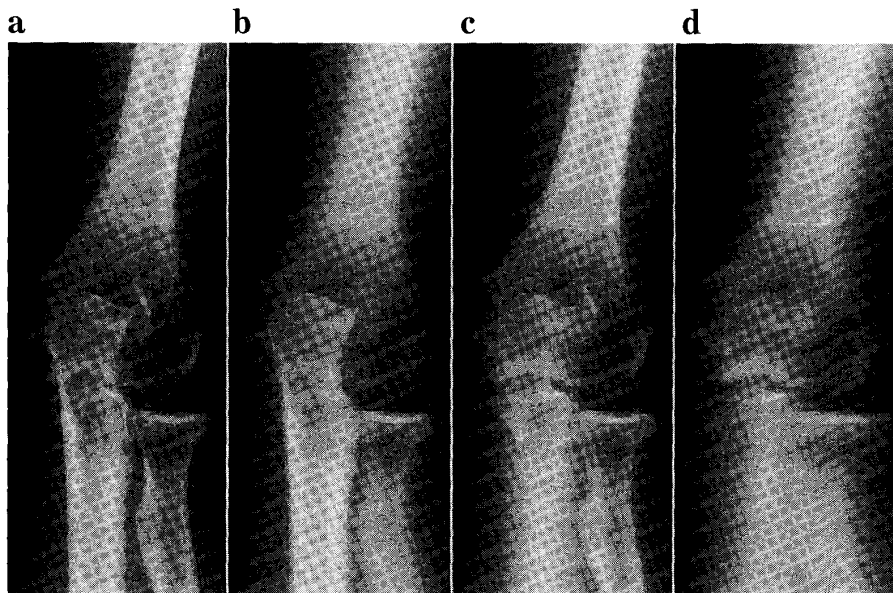


図 9. 肘関節部の断層画像

(a) 投影画像 (正面像) (b) 層面 20 mm における断層画像 (c) 層面 25 mm における断層画像
(d) 層面 30 mm における断層画像

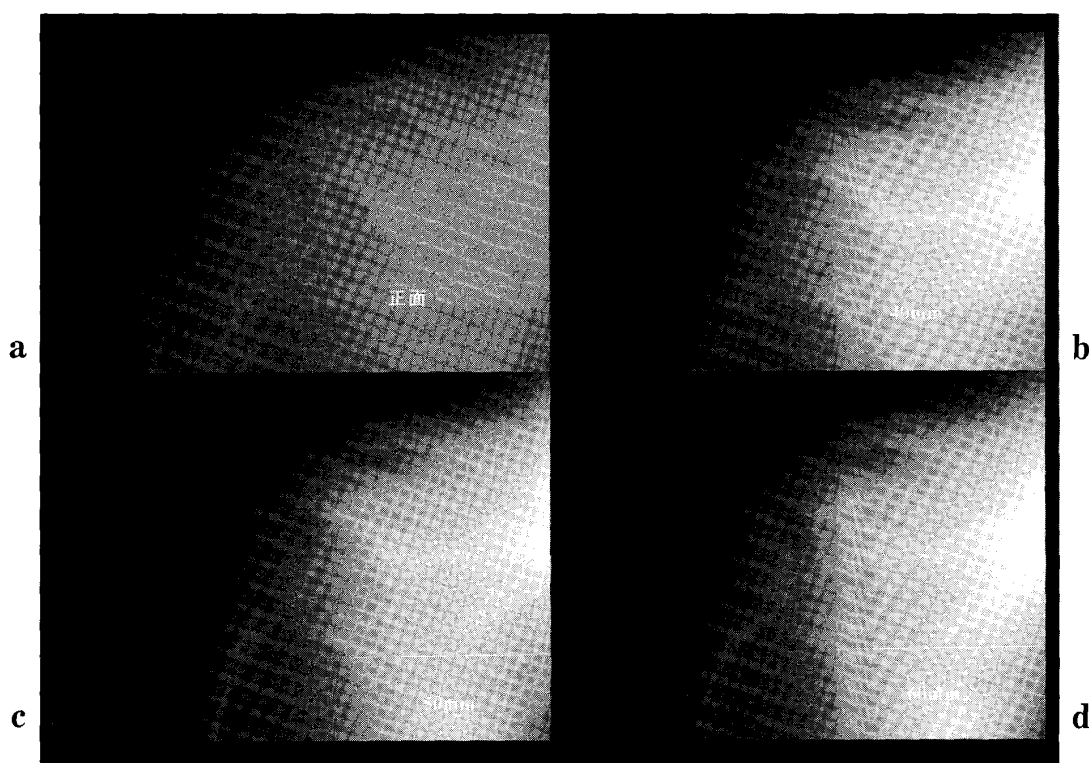


図 10. 肩関節部の断層画像

(a) 投影画像(正面像) (b) 層面 20 mm における断層画像: 右上 (c) 層面 30 mm における断層画像: 左下 (d) 層面 40mm における断層画像: 右下

頭窩は判別できないが、30 ないし 40 mm においては肘頭が消失し、その輪郭が明らかとなった。

肩関節の断層写真の結果を、図 10 に示した。40 mm において、上腕骨頭から完全に分離した肩峰が、60 mm においては鎖骨が分離して描出できた。足関節部および股関節部の断層写真の結果を、図 5, 11 に示した。股関節においては、際立った特徴を示す断層面は得られていないが、大腿骨頸部や骨頭の形状は明らかにしていた。

5. 考 察

本法の断層撮影では撮像部を固定しているため、機械的な制御要因が少なく、簡潔な機構となり操作を容易にしている。取り込み操作はほぼ十分であり、繰り返し精度も低下していなかった。しかし、CCD カメラの AD コンバータは 12 bit、Image Pro Plus での画像取り込みも 12 bit であるが、自作ソフトによる画像処理は 8 bit であり、濃度分解能が低下することに課題を残した。

それでも、今回マスク処理を加えたことにより画質の改善が図れ、骨端や骨の輪郭描写が一段と向上したと考える。処理速度も Delphi の使用により、数倍程度高速化が図れた。汎用の X 線装置を使用して画像の取り込みを行なうため、取り込み時間はやや長くなるが、画像処理から CRT へのディスプレイ時間は数秒と短縮できた。今後は、取り込み機構の改良、改善が必要であると考えている。

断層厚と解像度については、図 6, 7 に示すように、層厚およそ 4 mm で解像度は 1.6 Lp/mm となり、臨床上十分な数値であると考えているが、さらに感度の向上を含めてそれらの改善を図って行こうと考えている。撮影した画像の解像度はスクリーンの解像度に左右されるが、それよりもナイキスト周波数に大きく依存している。そのためには、もう少し小さな視野での画像データの取り扱いを考慮する必要がある。

四肢の断層撮影においては、X 線管移動に対し

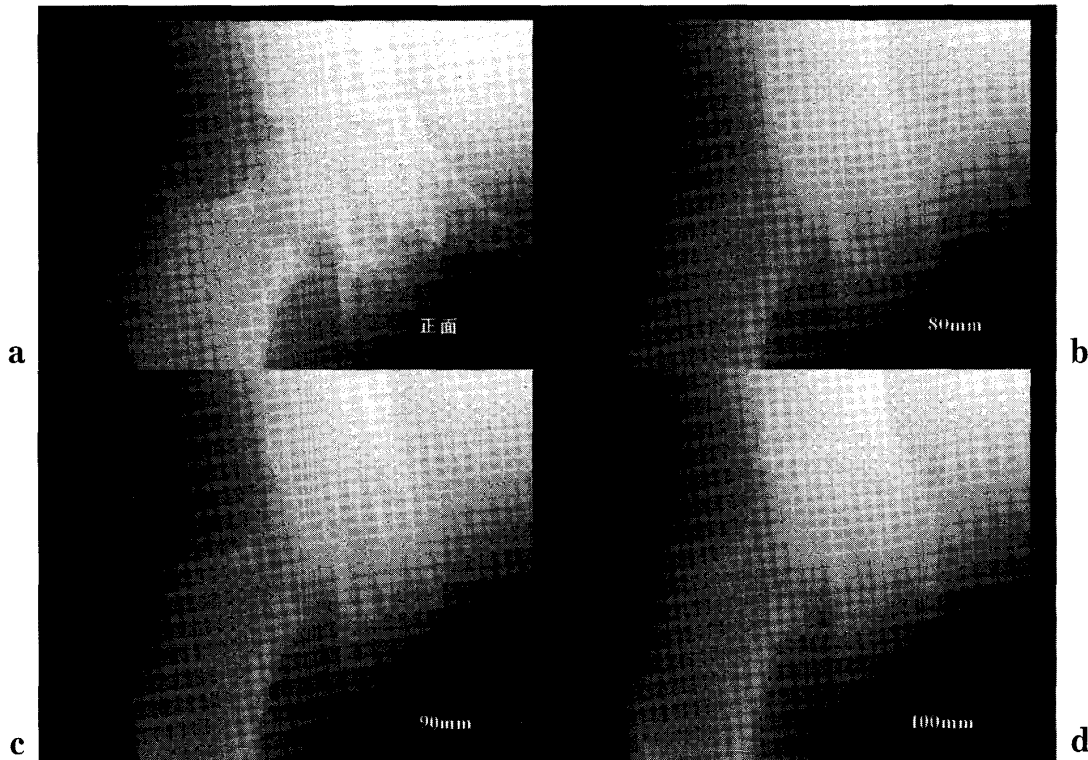


図 11. 股関節部の断層画像

(b) 投影画像 (正面像) (b) 層面 80 mm における断層画像: 右上 (c) 層面 90 mm における断層画像: 左下 (d) 層面 100 mm における断層画像: 右下

て直交するように被写体を整位した。そのため障害陰影の少ない断層画像が構築でき、救急時における骨の診断には十分な画像ではないかと判断している。スクリーンの選択、視野の大きさ、取りこみ機構、そして画像処理機構などをさらに吟味し、臨床の場に適用できる装置として改良して行くことを今後の課題とする。

6. 結 語

本法では汎用の X 線装置と冷却 CCD カメラ型デジタルラジオグラフィシステムとで構成している。一枚の断層画像の作成では、一回の X 線管移動操作で 17 枚の投影像を取得し、ピクセル移動操作により任意面の断層像を合成している。画像取り込みには既成ソフトの Image Pro Plus を使用したが、画像合成においては Delphi を用いた自作ソフトを作成した。

断層撮影の対象は手、肘、膝、足そして股関節および肩関節とした。四肢の骨端および関節腔画

像は、臨床に適用できる描出能を有してした。X 線管移動操作は手動で行ったが、画像取り込みや画像合成操作はすべて自作ソフトで自動的に行った。その操作はほぼ円滑に実施された。

文 献

- 1) 大石幹雄, 片倉 剛, 鈴木正吾: 冷却型 CCD カメラを用いた X 線テレビジョンシステムの開発, 東北大医短大紀要, 第 1 巻, p 27-35, 1992
- 2) 池田 秀, 高橋正雄, 津田正行: デジタル X 線テレビによるデジタル同時多層断層の試み, 日本放射線技術学会誌, 第 57 巻, 第 7 号, p 821-828, 2001, 7
- 3) 清正芳朗, 大石幹雄, 洞口正之: 汎用の X 線装置と冷却 CCD カメラ型デジタルラジオグラフィシステムを用いた X 線多層断層像の合成, 東北大医短大紀要, 第 8 巻, p 211-218, 1999
- 4) HAMAMATSU C3140 ULTRAHIGH SENSITIVITY COOLED CCD CAMERA, H. Mizusima, K. Takeyama, Electronic Imaging'

清正 芳朗・大石 幹雄・他

- 87, International Electronic Imaging, Exposition & Conference, 648-653, 1987
- 5) CCDと応用技術, 鈴木 茂男, 工学図書, 1997
- 6) ImageProPlus リファレンス マニュアル, プラネトロン, 1997
- 7) Visual Basic5, プログラマーリファレンス, マイクロソフト
- 8) 科学計測のための画像データ処理, 河田 聡, 南茂夫, CQ 出版, 1994