

医用画像指向のワークステーション

Image Processing Workstations for Medical Professionals

X線CT, NMRイメージング装置, デジタル化X線装置など新しい画像計測機器の発展に伴い, 医師への診断支援の一部としての画像処理技術と, そのための機能を備えた医用画像ワークステーションの必要性が増しつつある。このワークステーションは, 将来の病院内医療情報ネットワークの端末としての役割も果たす必要がある。このような要求にこたえるために, 高精細画像表示, 高速画像処理, 通信などの機能を備えた医用画像指向のワークステーションを試作した。

本論文では, このワークステーションの機能を述べるとともに, 各種の新しい画像診断機器とその特質, 診断支援としての画像処理とそのハードウェアについて説明する。また, 将来予想されるPACSと病院内情報システムとのかかわりについても述べる。

佐藤一弘* Kazuhiro Satô
横山哲夫** Tetsuo Yokoyama

1 緒 言

医学の分野では, X線CT(Computed Tomography)の発明とともにコンピュータによるデジタル画像処理の技術が急速に導入され, また最新のデジタル技術を利用したNMR(Nuclear Magnetic Resonance:核磁気共鳴)イメージング装置, DSA(Digital Subtraction Angiography), CR(Computed Radiography)などの全く新しい画像計測機器が開発されつつある。これら多様な画像計測機器の発展に伴い, これら機器から得られる画像情報をどのように処理し, 医師の診断に役立てるかが重要な技術となってきた。現在, 個々の画像診断機器でその装置固有の画像処理を行なっていることが多い。一方, 画像処理とは別に, 従来から最も多く利用されてきたレントゲンフィルムの保管と, 古いフィルム画像利用の困難さが大きな問題となってきた。医用画像ワークステーションは, 一方では, 新しい診断機器の画像を統一的に

扱い, 複合処理により有用な情報を引き出す役割を果たすとともに, 他方では今後開発される画像保管システムの端末, 及びカルテで代表される医用情報処理の端末としての機能をもつ必要がある。

2 画像診断と画像処理

近年, 新しい画像診断機器が開発されているが, これらの装置は生体内情報を検出するために種々の媒体を利用しているため, 表1に示すように多様な画像情報が得られる。一方, 検出器及びデジタル技術の進歩により, これらの装置から得られる画像は画素の値が8~12ビットと大きく, また発生する画像データが非常に多いことがOA(Office Automation)などでの画像とは異なる。最近の画像診断機器で扱われる画像データのサイズと, 1,000床の病院で1日に発生するデータ量を表2に示す。従来, これらの画像は個々の測定装置上で取り扱われてきたが, これら異種の情報を統一的に扱い, 処理することにより新しい診断情報を得ることができる。このため, 医用画像ワークステーションには次のような条件が必要とされる。

(1) 医用画像の多くは8~12ビット/画素の濃度をもつため, 画像メモリには12ビット以上の深さが必要である。また, 画

表1 代表的な画像診断機器とその画像情報 ただし, このほかに眼底カメラ, 胃カメラ像, 各種顕微鏡画像, サーマグラフィなどがあるが, これらは除いた。

計測装置	計測媒体	含まれる画像情報	空間分解能
レントゲン	X線	人体臓器組織のX線に対する吸収量を画像化する。 3次元物体を2次元に投影する。	30~50lp/CM (10%MTF)
X線CT	"	レントゲンに同じ。 体軸に直交する2~10mmの幅の平面内を画像化する。	~10lp/CM (")
NMR(MRI)	電磁波と磁場の組合せ	体内組織の ¹ H, ³¹ Pなどの核種の密度, 緩和時間及び血液の流速を画像化する(現在 ¹ Hだけ実用化している)。	~10lp/CM (")
DSA	X線	血管造影剤とX線により, 体内血管系を画像化する。	20~30lp/CM 拡大率により異なる。
RI, Positron	γ線, 陽電子放射核種により, ラベリングした各種薬剤	特定臓器に集まる薬剤により, 対象臓器の機能を画像化する。	1.5~3lp/CM
超音波	2~10MHzの超音波	超音波に対する臓器組織の音響インピーダンスの違いを画像化する。	~5lp/CM

注:略語説明 NMR(Nuclear Magnetic Resonance:核磁気共鳴)
DSA(Digital Subtraction Angiography)
CT(Computed Tomography)
RI(Radioisotope)

表2 モデル病院での1日の医用画像データ量(推定) 病床数:1,000床, 外来患者数2,000人/日, 参考資料:PACS(Picture Archiving and Communication Systems)研究会資料による。

項 目 名	撮影枚数 (枚/日)	総データ量 (Mバイト/日)	備 考 (縦×横×深さ)
レントゲン	単純撮影	600	2,400
	その他	600	600
D S A	150	150	1,000×1,000×1B
X 線 C T	200	100	500×500×2B
RI	(動的)	300	1
	(静的)	200	3
NMRイメージング	300	150	500×500×2B
超 音 波	600	36	250×250×1B
合 計	2,950	3,440	

* 株式会社日立メディコ研究開発センタ 工学博士 ** 日立製作所システム開発研究所 保健学博士

像サイズはレントゲン画像表示のため、少なくとも1,000×1,000の表示が可能であること、また、複数の画像比較のため、2台以上のモニタが必要である。

- (2) 原画像データから任意の濃度レベル、及びそこを中心とした任意のウィンドウ幅で表示できる機能があること。
- (3) ユーザーは必ずしも画像処理及びハードウェア・ソフトウェアをよく心得た専門家ではないので、信頼性が高く、操作が容易であること。また、多量の画像を処理するため、高速演算回路が必要である。

一方、画像処理は大別すると次のようになる。

- (1) 画像表示での基本機能(レベル・ウインドウ処理)
- (2) 画像データ処理(フィルタ処理,ズーム,ROI(Region of Interest: 関心領域処理),立体画像再構成など)
- (3) 画像情報処理(特徴抽出,エッジ検出,異種画像間処理,テクスチャ解析など)
- (4) 計測機器に固有の画像データ処理(X線CTやNMRの画像再構成,DSAのオンラインサブトラクションなど)

これらの中で(4)の処理については、個々の計測機器上で高速でデータ処理を行なうために、専用のハードウェアを備えており、そのような専用回路を画像ワークステーションに設置することは価格の点で疑問がある。以上のことから、画像ワークステーションは(1)~(3)の処理機能をもてばよい。

3 画像処理装置

開発した医用画像処理装置の構成を図1に示す。また、その仕様と性能を表3に示す。

この装置は、主CPU(中央処理装置)として68000(16ビット)を用い、主CPUが画像ファイルの管理、画像表示処理、コ

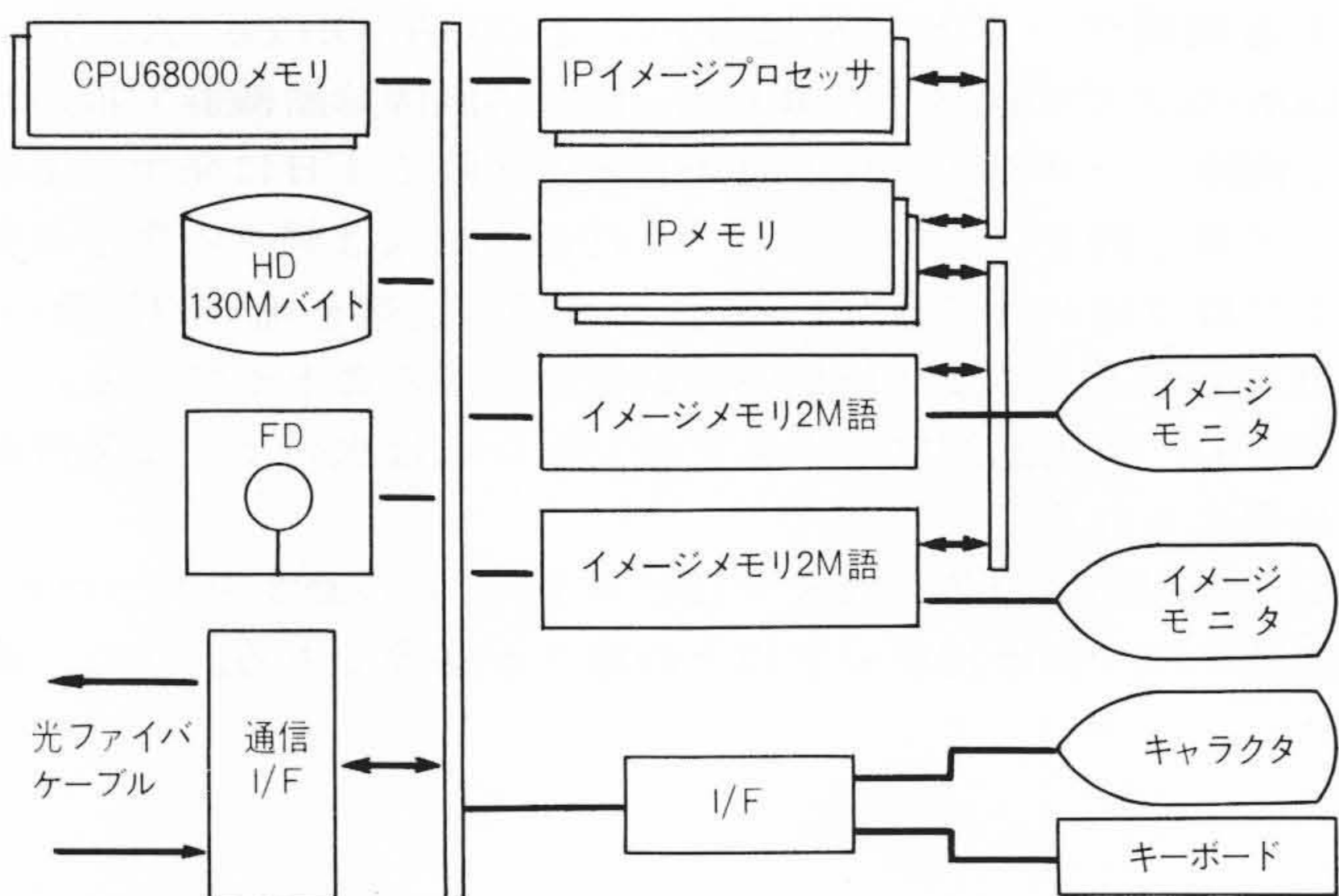
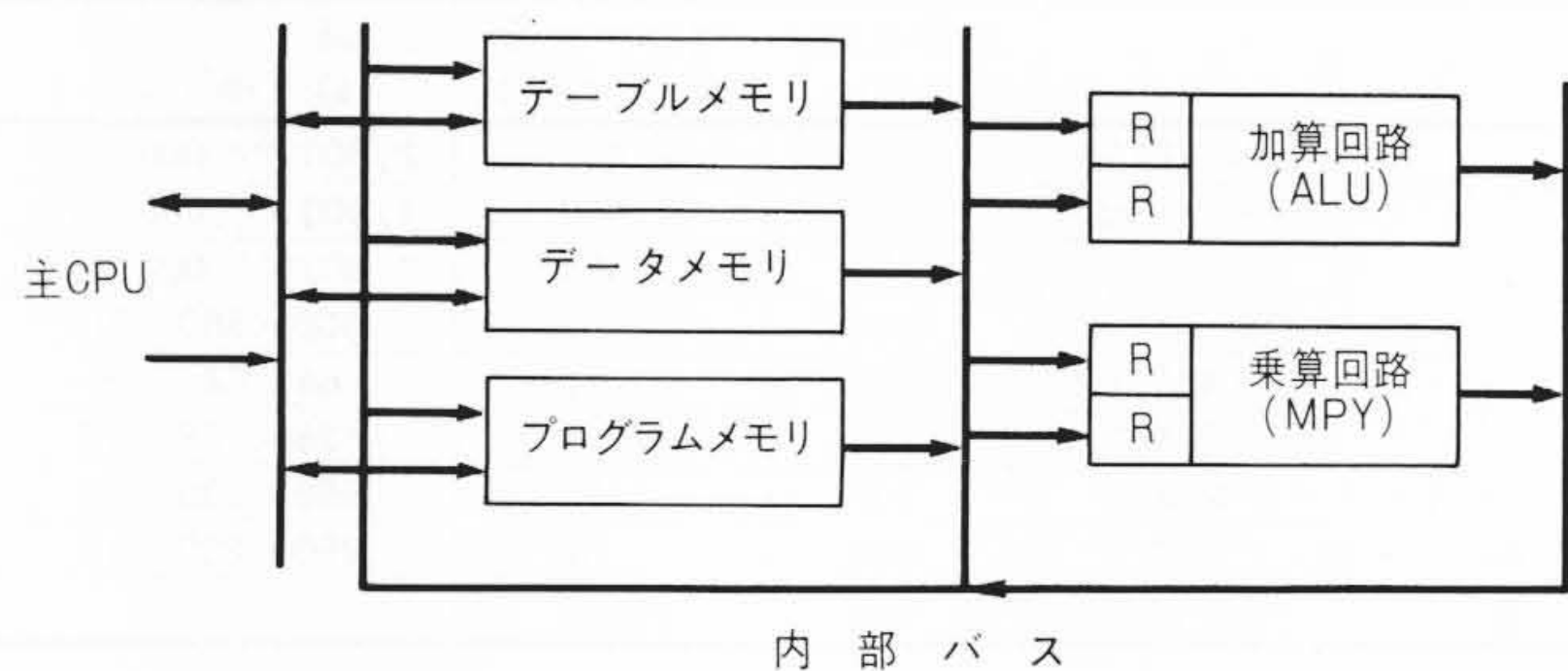


図1 画像ワークステーションの構成図 開発した医用画像ワークステーションの機能ブロック図を示す。



注: 略語説明 R(レジスタ)

図2 IP(イメージプロセッサ)の構成図 医用画像ワークステーションに用いられている高速IP(イメージプロセッサ)の機能構成図を示す。

表3 画像ワークステーションの仕様 開発した画像ワークステーションの概略仕様を示す。

項	目	仕	様
ハードウェア	主CPU	68000(16ビット)	
	メモリ	1Mバイト(最大4Mバイト)	
	磁気ディスク	132Mバイト(最大4台)	
	フロッピーディスク	1Mバイト(最大2台)	
	イメージメモリ	1,024×1,024×10ビット	
	モニタ	1,051本インタレース	
ソフトウェア	高速イメージプロセッサ	局所並列形パイプラインプロセッサ	
	言語	Pascal Fortran IP用アセンブラ	
ソフトウェア	画像処理サブルーチン	画像処理基本ソフトウェア 画像表示基本ソフトウェア	

表4 イメージプロセッサによる処理時間の例 データは16ビット/画素とし、演算は固定小数点の場合の処理時間の概略値である。FFTは高速フーリエ変換を意味する。

基本画像処理	画像サイズ 512×512	画像サイズ 1,024×1,024
フィルタ(5×5)	1.1秒	4.4秒
ズーム(任意倍率)	上記の1.1~1.5倍	
2次元FFT(実数)	1.0秒	4.2秒

マンド処理などを行なっている。更に、サブCPUに局所並列形パイプラインプロセッサ(IP: イメージプロセッサ)をもち、主CPUの制御のもとで種々の画像処理を高速で実行する。IPの構成図を図2に示す。このIPは高精度の医用画像処理用に設計しており、内部メモリが非常に大きいことに特徴がある。また、演算結果は直接画像表示メモリに転送できる。基本プログラムは、68000のもとでIP用アセンブラを用いて作成するが、画像処理に多く使用されるベクトル演算、FFT(高速フーリエ変換)、コンボリューション、ズーム処理などの基本プログラムは用意しており、必要に応じて選択して使用する。このIPによる幾つかの簡単な画像処理の速度を表4に示す。

このほか、表示メモリ1,024×1,024×10ビット、1,051本インタレース方式の画像表示回路を2系統もち、高精細の画像表示を必要とするレントゲン画像やCRの画像表示にも対応している。その他、画像データベースや計測装置の間で画像データの伝送を行なうために、10Mビット/秒の伝送速度をもつ光ケーブル通信I/F(インタフェース)を備えている。この通信I/Fは、画像データのように大きなデータの伝送効率を上げるためと、光ケーブルの伝送誤り率が低いことから、伝送ブロックサイズを64kバイトと大きくしてある。図3に伝送効率から計算した伝送誤り率と最適ブロックサイズの関係を示す。また、I/Fは主CPUとはDMA(Direct Memory Access)結合であり、送受信バッファは各々2面ずつ計4面の構成であり、I/F内部のCPUにより制御される。

4 画像診断と画像処理

医用画像処理の基本的な目的は、医師の診断の補助手段として、有効な情報をできるだけ見やすい形で提供しようということである。医用画像処理は、他分野での画像処理の理論を利用しながら種々の研究が進められている。ここでは、そのすべてを述べることはできないが、その例を挙げると、

- (1) レントゲン画像、CR画像でのフィルタ処理
- (2) 表1に示したような各種検出媒体の違いを利用した異種画像間処理
- (3) X線CT, DSAから得られる画像を用いた3次元画像構成

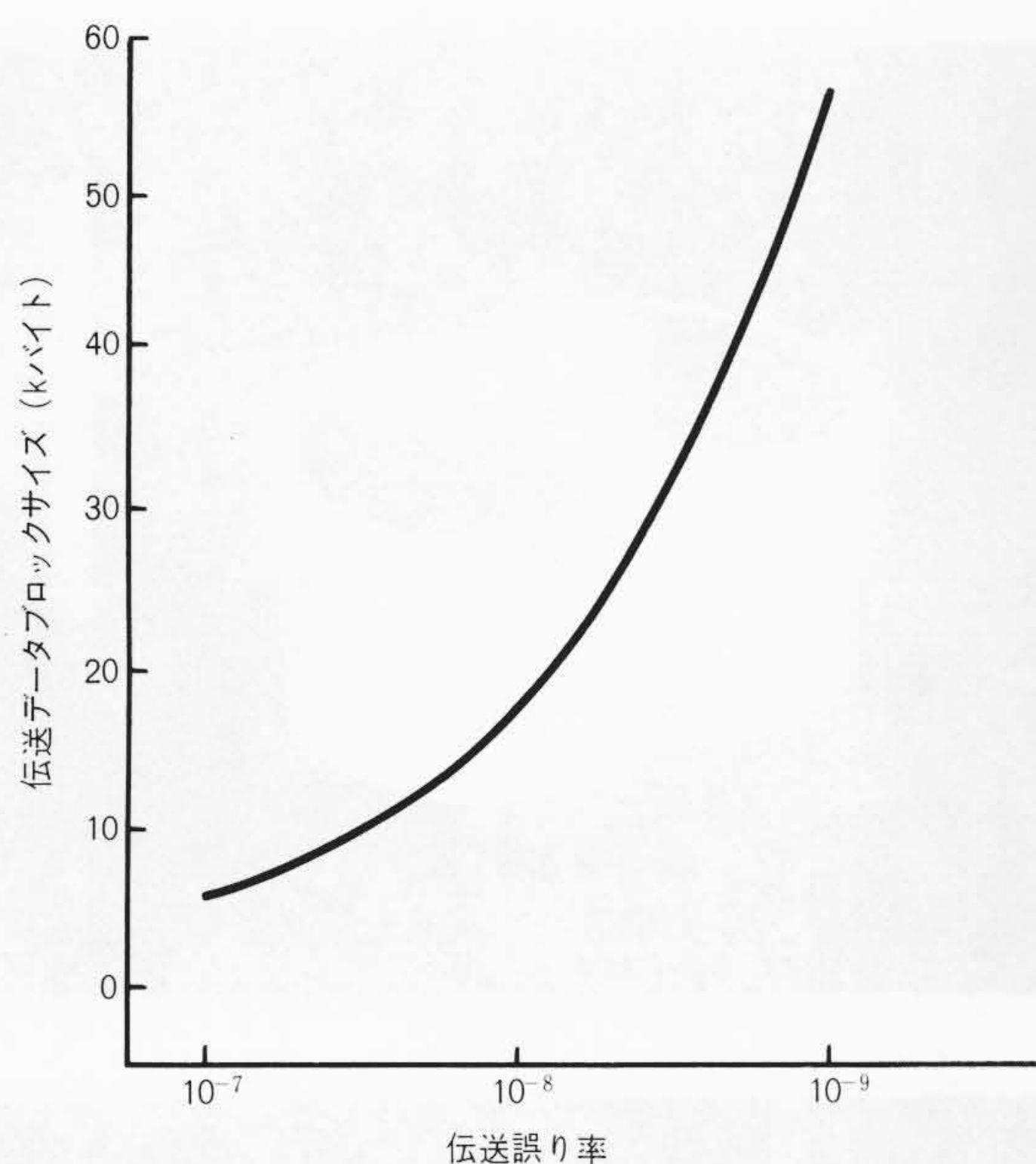


図3 データ伝送誤り率とデータブロックサイズ 伝送効率を最大とした場合のデータ伝送誤り率と、伝送データのブロックサイズの関係計算した値を示す。

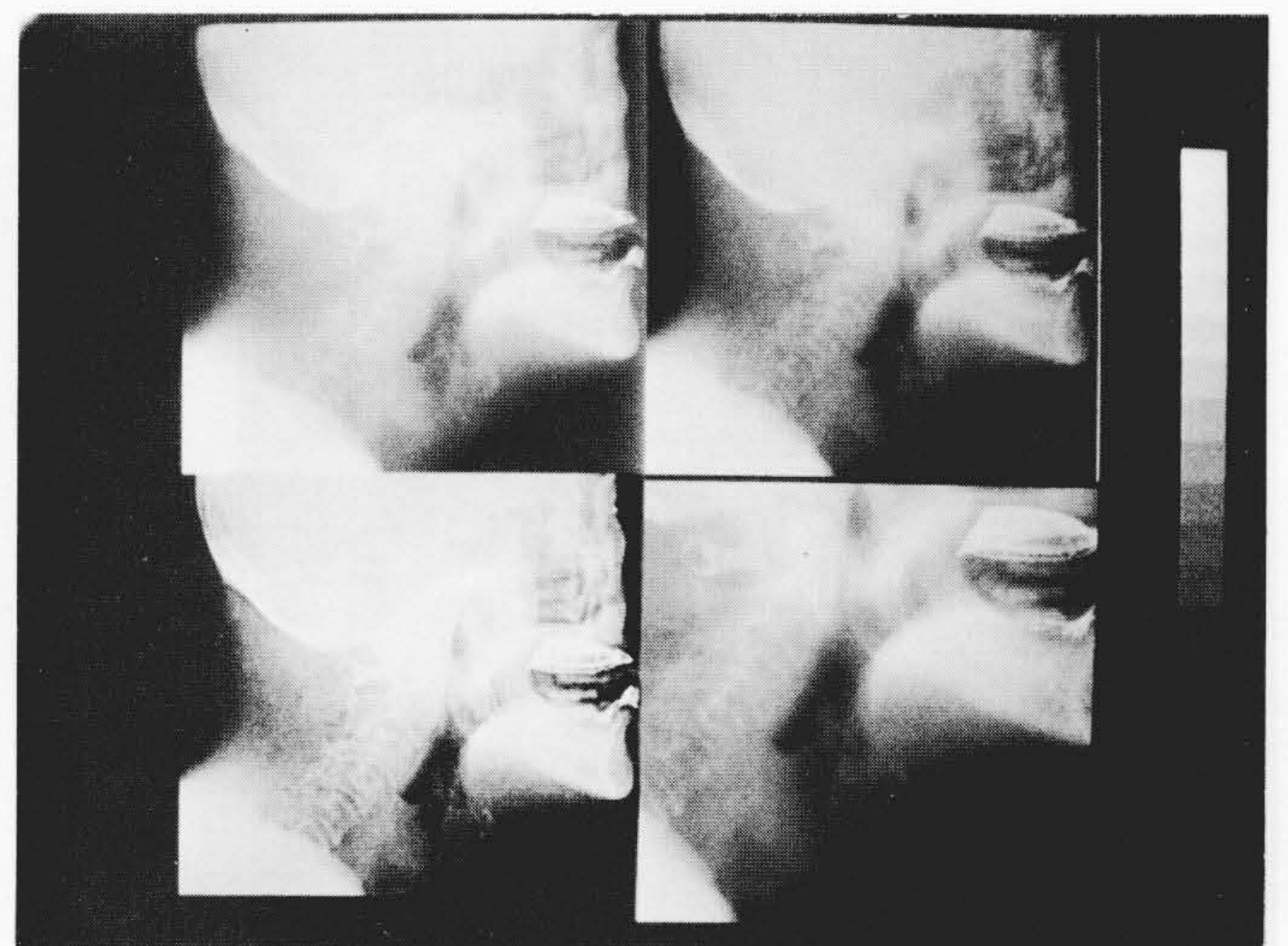
処理

- (4) X線を線源として用いた画像(X線CT, レントゲン, CR, DSA)でのDual Energy処理^{※1)}
- (5) シンチグラム(放射性同位元素による画像)を用いるFunctional Image 処理^{※2)}
- (6) 画像データを用いた局所組織性状の解析(Tissue Characterization) 処理^{※3)}などがある。その他に計測装置固有の画像処理があるが、ここでは触れない。これらのうち、(1)~(3)についての例を紹介する。

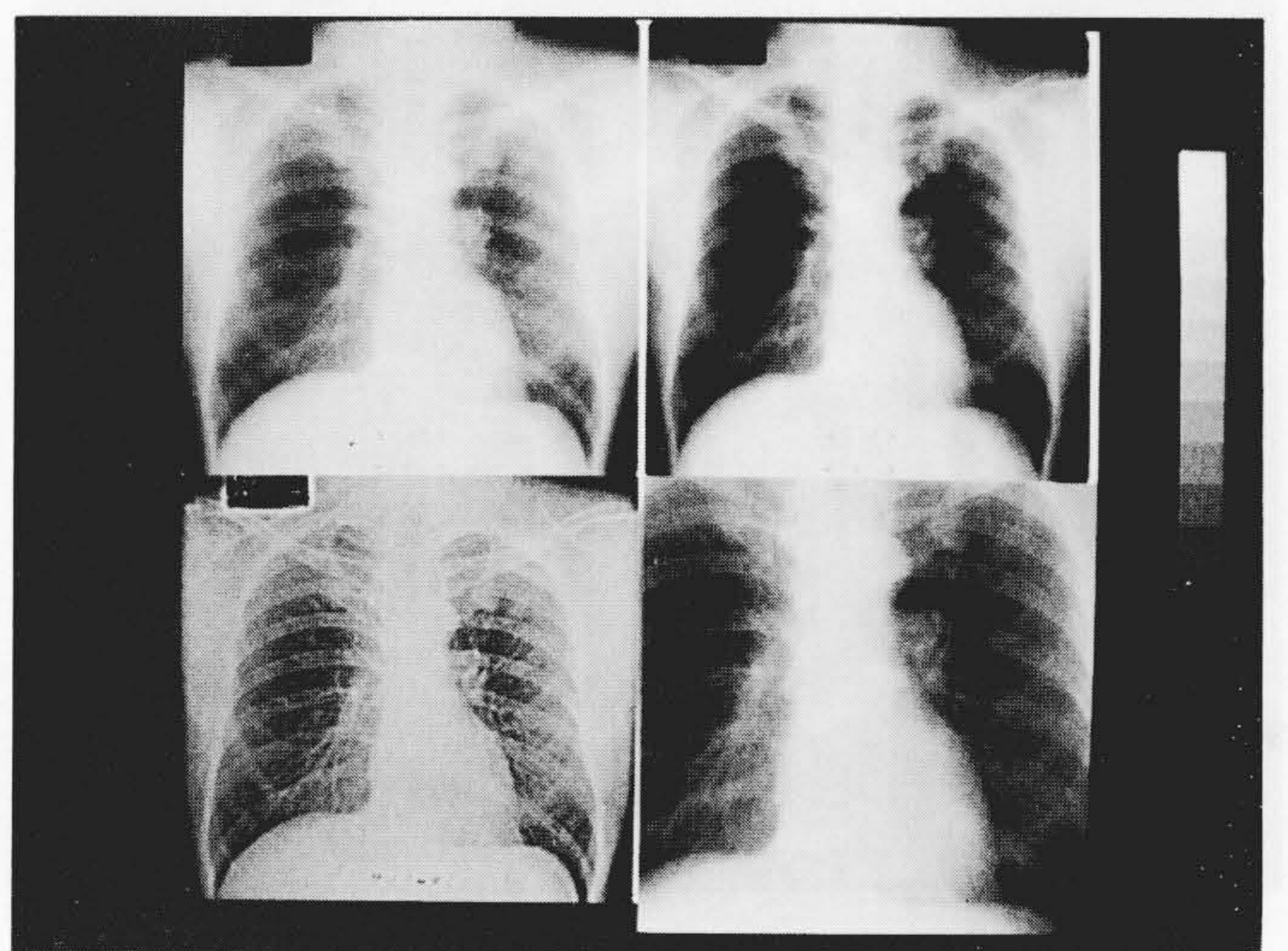
4.1 レントゲン画像の処理

表2に示したように、医用画像の中でも最も多く利用されているものは、レントゲン画像(レントゲンフィルム)である。レントゲン画像は、空間分解能も高く、その画像処理は比較的早くから研究されてきたが、計算機の性能(メモリ、スピード)の制約から、今まで実用にはならなかった。しかし、近年のICメモリ、高速演算装置(アレイプロセッサ)と、高速フィルムディジタル化の開発により、レントゲン画像処理が実用になってきた。また、レントゲン画像に迫るものとして、CRが開発されつつある。これらの高画質の画像の処理には、フィルタ処理、 γ 変換、ヒストグラム等化などが研究され、医師の目による診断を容易にする手法が試みられている。図4はフィルタ処理とズーム処理を行なった例である。同図(a)は頭部レントゲン像、(b)は胸部レントゲン像であり、レントゲンフィルムは2,000×2,000(170 μ m)で読み取り後、イメージプロセッサにより処理を行なっている。(a)、(b)、とも、

- ※1) X線管の管電圧を変えて、2種類のエネルギーで計測し、エネルギーによる組織の吸収係数のこの配の差を利用して軟部組織、骨などを分離する処理をいう。
- ※2) RI(Radioisotope)により標識した薬剤を投与し、その対象臓器への取り込みを画像化し、解析することによって機能を調べる処理をいう。
- ※3) 計測した画像の局所分散、周波数分布などのパラメータにより、その部分の組織性状を調べることによって異常を判別する処理をいう。



(a) 1 2 1(原画像) 2(コントラスト強調処理)
3 4 3(高域強調処理) 4(2の拡大処理)



(b) 1 2 1(原画像) 2(コントラスト強調処理)
3 4 3(高域強調処理) 4(2の拡大処理)

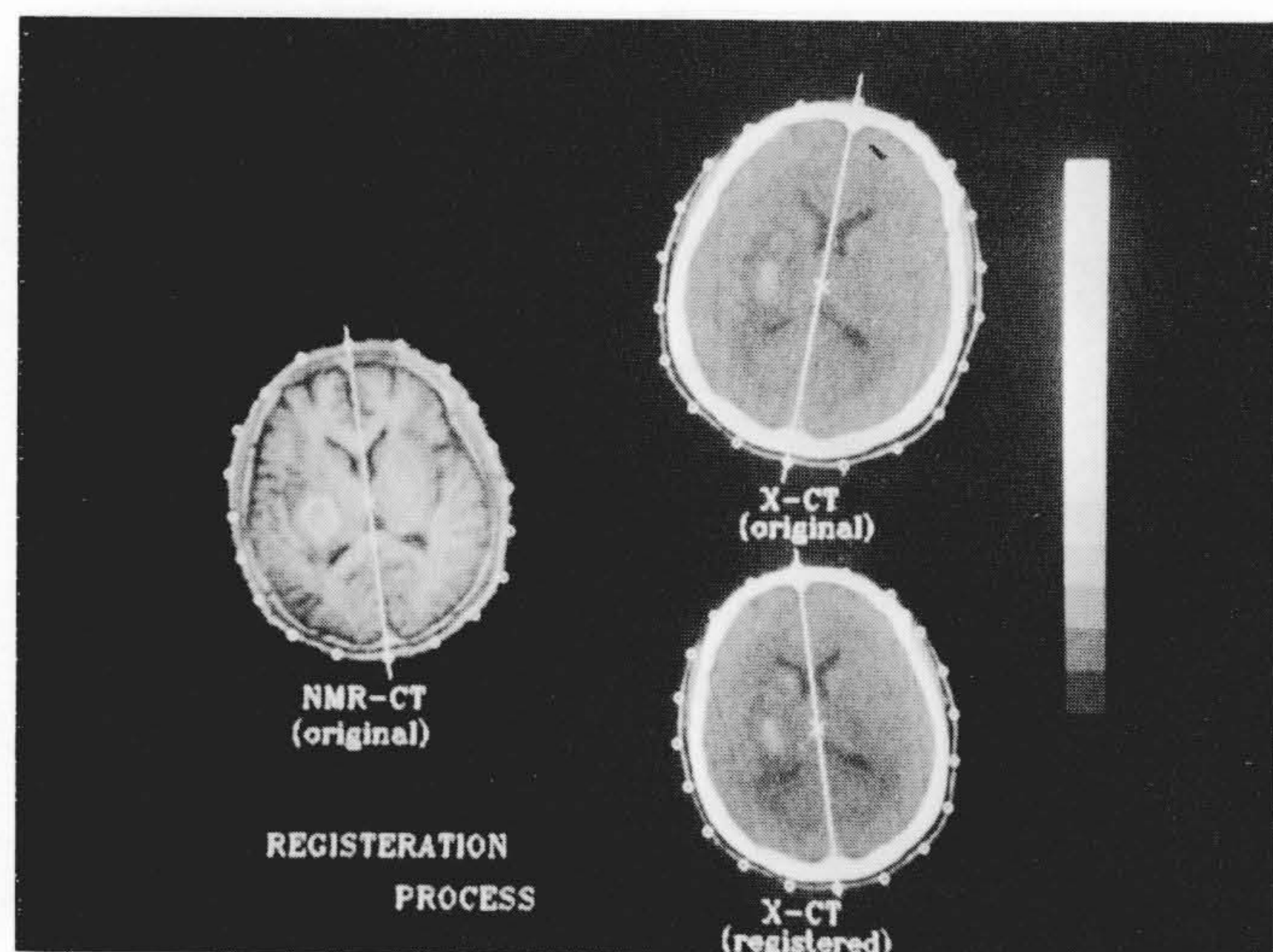
図4 レントゲンフィルム画像処理の例 レントゲンフィルムは2,000×2,000で読み取った後、イメージプロセッサにより処理した。処理内容を以下に示す。

左上から時計方向に、原画像、コントラスト強調処理、コントラスト強調像の拡大処理、高域強調処理画像を示している。

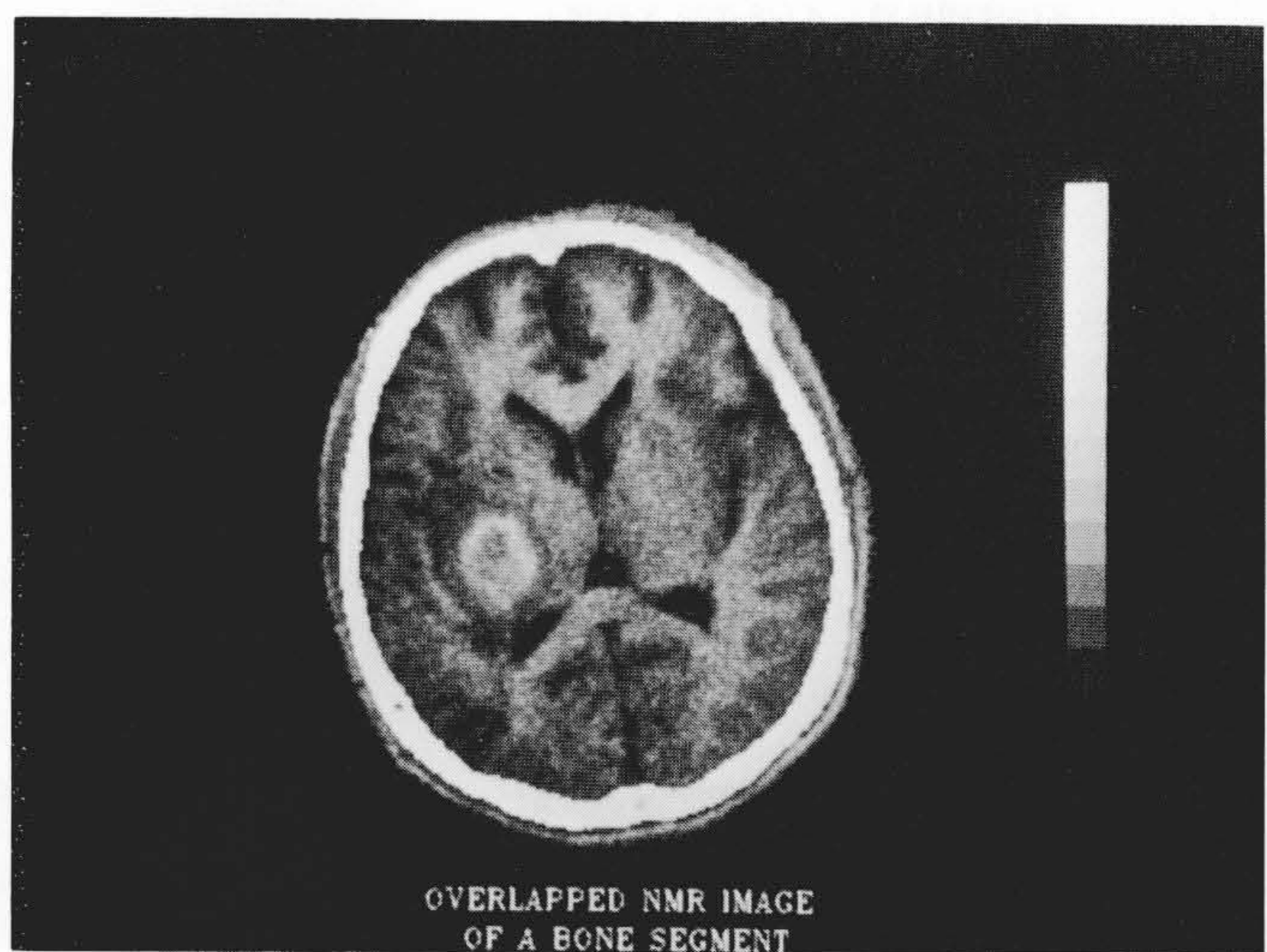
4.2 異種画像間処理

人体内部の画像情報を得る手段は表1に示したようにいろいろあり、それぞれ特徴をもっている。例えば、X線CT像は、X線吸収量の差異をとらえるので、骨や軟部組織の密度差を明確にとらえるが、組織の化学的差異は必ずしもはっきりしない。

それに対し、NMR-CT像は、骨はよく見えないが、水素濃度や結合状態の分布をとらえるので、これらの化学的差異に基づく軟部組織の形態をかなり明確に写し出すことができる。このように、種類の違う画像を組み合わせる複合的な処理を行えば、新しい診断情報を引き出せる可能性がある。図5は、X線CT像とNMR-CT像との重ね合わせ処理を行なった例である。ここで問題になるのは、異種の装置で別の時間に得た画像を、どのように重ね合わせるかである。同一患者の同一部位を対象としても画像の位置ずれが起こる。これをそのまま組み合わせても、有効な診断情報は得られない。ここでは、このずれをIPで補正し、位置合わせを行なってい



(a)



(b)

図5 異種画像間処理の例 人体頭部のNMR画像と、X線CT画像を用い、重ね合わせにより患部の位置と範囲の明確化を行なっている。(a)は位置合せ中の画像を、(b)は重ね合せ後の画像を示す。

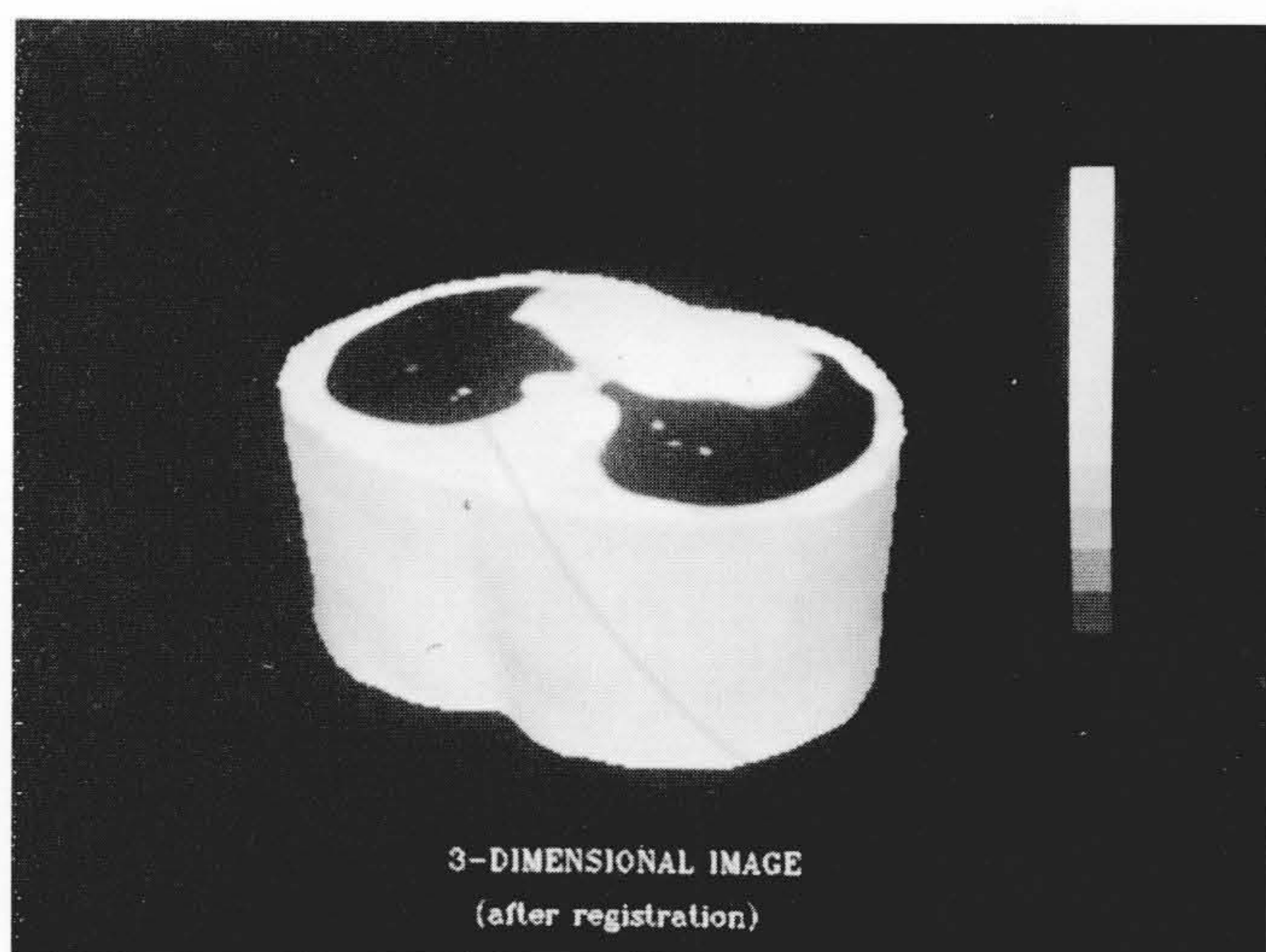
る。同図では、2枚の画像の両方で、明確に対応する幾つかの基準点を選び、それぞれの位置ずれを計算して、画像全体の対応関係を補正し、位置合わせを行なって重ね合わせている。

4.3 立体画像構成

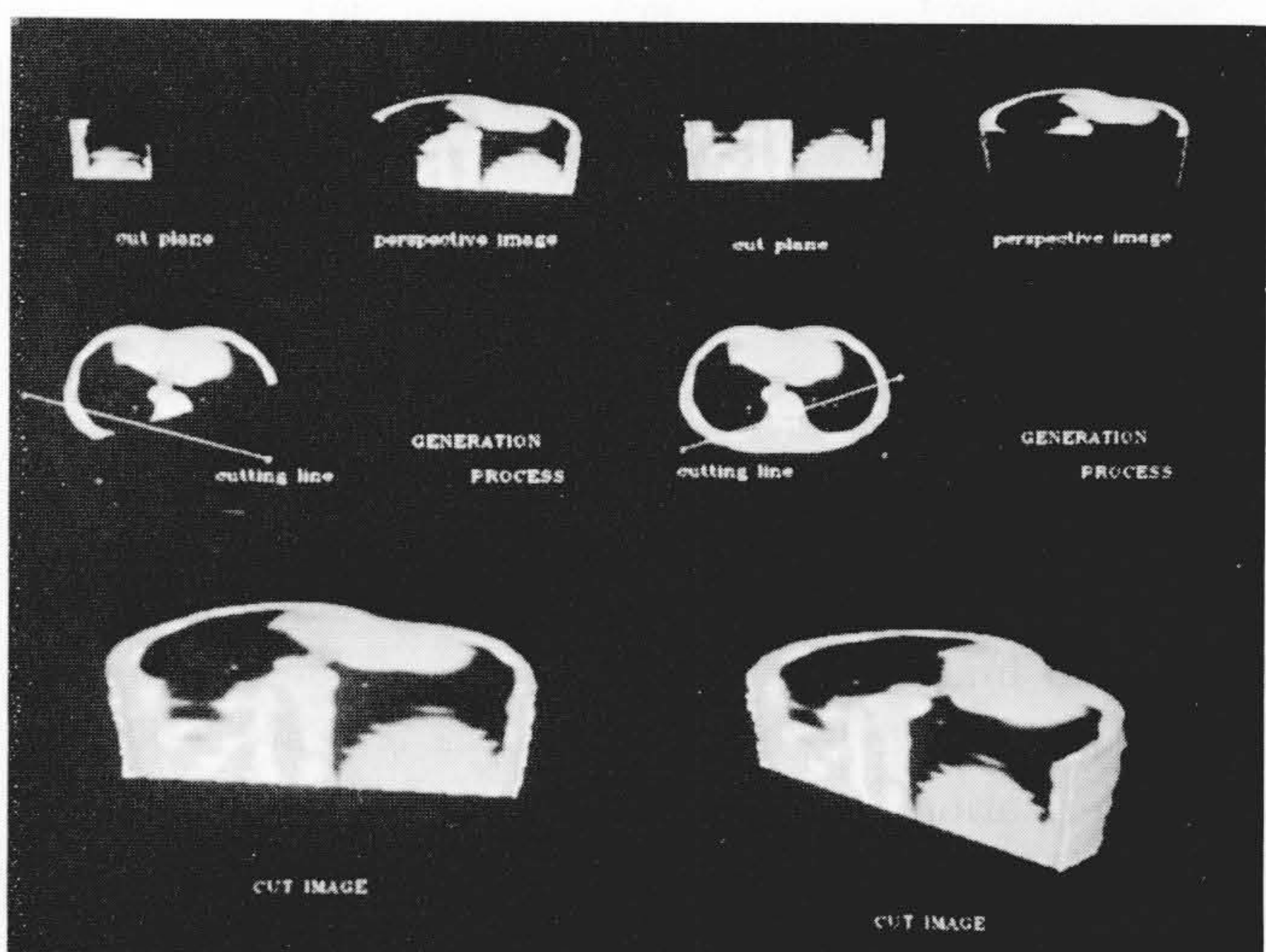
X線CT像では、従来のレントゲン像に比べて、体内の骨・臓器などの形状や位置関係をはるかによく見ることができる。ただし、それは主に体軸に直交する2次元平面内の情報であって、立体的な形は医師の頭の中で復元するほかない。体内の状態を3次的に画面に表示できれば、より有効な診断情報が提供できる。ここではその試みの一つとして、X線CTで得た複数の腹部断層像を入力として、体の一部を立体的に切り出した3次元像を再構成した例を示す。図6は16枚の腹部CT像をもとに再構成した画像であり、各断層間の値は近似値を求めて補間し、体表面も滑らかに処理している。更に、この3次元像を任意の位置・角度で切断し、内部の状態を見せることができる。また、視点を自由に移動（画像を回転）させることも可能である。

5 結 言

患者の顔を見ることからX線写真の解読に至るまで、熟練した医師のパターン認識能力は非常に高い。医用画像処理技



(a)



(b)

図6 立体画像処理の例 16枚の胸部X線CT像から構成した立体像(a)と、種々の角度で切断し、内部を表示した画像(b)を示す。

術は、そのような医師の目と頭脳の能力を拡大するものとして期待されているが、医師の要望を満足させるには更に臨床経験を通じて画像情報の取得、計量、解析の技術レベルを向上させる必要がある。

また、画像ワークステーションは、今後予想されるより進んだ病院情報システムの一部を構成するものであり、今後、カルテ、各種臨床検査データ、病歴データなどの画像以外の医用情報システムとの結合と、これらのシステムから得られるデータを統合し、真に患者の診断、治療に役立つ情報を医師に提供してゆくシステムを開発しなければならない。

今回開発した画像ワークステーションを、医師と病院情報システムとの一つの接点としてとらえ、マンマシンインタフェース機能の向上を図るとともに、より高度の医用画像処理技術の開発を続けていく考えである。

参考文献

- 1) Proceedings of 2nd International Conference and Workshop on Picture Archiving and Communication Systems (PACS II) for Medical Applications, 1983
- 2) Proceedings of ISMII '84 International Symposium on Medical Images and Icons, 1984