

解説論文

画像パターン認識と画像生成による診断・治療支援

鳥脇純一郎*

要旨 本稿では最近の医用画像処理の動向を、主として2つの側面-画像パターン認識に基づく診断支援、および、映像認識・生成技術を用いた治療支援-に重点を置いて紹介する。診断支援においては、X線像を用いたがんのスクリーニングに対する支援を中心に述べる。ここではがんを疑われる陰影の上にマークをつけて出力する「マーキング機能」の実現を目指す。マンモグラム処理では実用にきわめて近い位置にある。CTの肺がんスクリーニングへの導入とその中でコンピュータ支援も精力的に検討されている。ここでは、肺全域の3次元構造の情報を高速に表示すること、および、医師の診るべき断面像を減らすことが主な目標である。後半では仮想化された人体(Virtualized human body)の診断/治療への応用について述べる。この内部を自由に探索する診断をナビゲーション診断と名付ける。その1例として仮想化内視鏡システムがある。仮想化された人体に変形を加えることから手術シミュレーションや術中支援としての強化リアリティ(Augmented reality)が出てくる。

Key words : medical images, automated diagnosis, computer aided diagnosis, virtualized human body, navigation diagnosis, virtual endoscope, surgical simulation

1. まえがき

医用画像処理は、画像を対象とする「パターン認識とメディア理解」の応用分野の中で重要な位置を占めている。医用画像処理は、歴史的にみると、およそ100年前(1895年)のX線の発見に始まるといえる。そして画像処理技術の観点からみるならば、その後CTの登場(1970~72年頃)までの約75年は「写真の読影とアナログ画像処理(写真術)」の時代であり、CTの登場後は「CTとデジタル画像処理(電算化)」の時代である。それぞれに先立つこと30~50年の、写真の発明、および、電算機の発明がどちらの場合も重要な役割を果たした。本文では、90年代に入って、次の新しい時代、すなわち、「仮想化された人体と映像メディア処理(人体の体験)」の時代が始まるのではないかという見方をとっている。

筆者は、約2年前に、やはり医用画像処理とパターン情報処理の接点に関する動向のサーベイを試みた[鳥脇95e]。そのときの主要なポイントは対象画像の多次元化(主として3次元化)、および、それから要請される可視化の意義の高まりにあった。これに対して、今回は、2次元、3次元を問わず、スクリーニングの支援においてパターン認識の応用の状況を示すこと、仮想化された人体を中心とする医用画像処理の新しい時代に向かいつつあること、そして、その中であってツールとしてのパターン認識、コンピュータビジョンの有意性を示すこと、がポイントとなる。

以下、2でスクリーニング支援における画像の認識・理解の応用の状況を、現行および次世代、次々世代のスクリーニングを含めて述べる。次に、3において仮想化された人体の概念について説明した後、4、および、5においてその診断、および、治療支援における利用状況とそ

の認識と生成を中心とした映像技術について解説する。

2. コンピュータ支援診断-X線像によるがんの診断の支援の場合

2.1 スクリーニング支援における目標

医用画像の診断支援は、あらゆる画像とその診断を支援する技術を含むが、さしあたり、X線像によるがんの診断支援を考える。次のようなステップを想定するが(Fig.1)、もちろん、将来はX線像にとらわれなくてよい。

(1)現行スクリーニングの支援 現在、老人保健法に基づいて肺がん、胃がん、乳がんのスクリーニングが通常のX線像に基づいて行われている[特集89]。これを支援する意味で、与えられたX線像の上に疑わしい領域をマークする「マーキング機能」をもつシステムを開発する。

(2)次世代スクリーニングの支援 上記の現行スクリーニング方式の限界を打破するために、新しい方式を目指す基礎研究を行う。その中で可能な診断支援の方式を明らかにする(あるいはコンピュータ支援を前提とする新方式を含む)。具体例としてX線CTによる肺がん診断[館野96,山本93]、前立腺がんを目標とする組織標本の診断[渡邊96]、などがある。

(3)次々世代の方式の基礎研究 さらに将来に向けての様々な可能性を調べる。例えば、3、4で述べるナビゲーション診断の利用は今のところこのレベルである。

以下、筆者の知る範囲で上記の領域の現状を紹介する[鳥脇97e]。

2.2 現行スクリーニングの支援

(1)計算機診断からみた特色 現行のがんのスクリーニングは、乳がん(乳房X線像-マンモグラムによる)、肺がん(胸部間接撮影像を利用)、胃がん(X線二重造影像による)、の3つの分野で行われている。そのいずれに対しても計算機診断の研究が行われている。ただし、パターン認識の対象としてみたとき、この3種は互いに大きく異なる。パターン認識の観点からみた筆者の直感的印象では以下のように

本稿は、電子情報通信学会パターン認識とメディア理解研究会(1997年9月)において発表された(資料No. PRMU97-109。一部図面を変更し、誤りを修正)。引用文献は一部例外を除いて1997年7月以前のものである。

*名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻 〒464-01 名古屋千種区不老町

投稿受付：1997年10月21日

最終稿受付：1997年11月22日

採用決定日：1997年11月22日

なる。

(a)マンモグラム(乳がん):画質がよく制御され、画像の構造も比較的パターン認識として扱いやすい。ただし、腫瘍と石灰化はパターンの性質が著しく異なる。

(b)胸部間接撮影像(肺がん):スクリーニングシステムとしての体制は確立しているが、パターンの構造が著しく複雑でがん陰影も見つけにくい。元々の写真そのものの能力に限られる。

(c)X線二重造影像(胃がん):対象の形状の関係で一枚の画像では死角ができるため2枚以上を用いる。腫瘍影ではなくて線状影であるため認識方法の工夫が必要。画像の複雑さは(a),(b)の間。

(2)マンモグラムの計算機診断 現時点では認識率の観点から最もレベルの高いマーキング機能が実現されている。

【実験例1】病院におけるルーチンワークの中で撮影されたマンモグラム(CR像)303症例1212枚(内乳癌67例を含む)に対して、腫瘍影検出率(sensitivity)0.91(但し、偽陽性陰影検出(false positive)を1.3個/1症例に設定)、同じく、石灰化クラスタに関しては、クラスタ検出率0.89(但し、偽陽性陰影検出を0.36個/1症例に設定)を実現している。これは、同じ病院の乳がん専門でない研修医と比べて、そんな結果であった[縄野96](Fig.2)。

この領域ではCADMデータベース¹、英国乳がん学会のデータベースなど、良質のデータベースがあって研究の進歩に貢献している(2.6(2)参照)。これによって評価すると他の二、三のグループでも同程度の成果が得られており、使い方によっては実用化し得るレベルにある[藤田96、小畑96、縄野96]。また、マンモグラムのコンピュータ支援診断は、米国 K.Do(シカゴ大)らのグループでも精力的に研究され、実用に近づいている。

なお、上記ではサンプリング間隔100 μ で実験を行っているが、50 μ サンプリングによるデータベースも作られ始めており、特に微小石灰化像の処理に関しては検討が必要である。

(3)肺がんの計算機診断 ここはスクリーニングは間接撮影像であるが、主としてその症例の限界(異常例は非常に少ない)から、直接撮影像に関しても検討が続けられている。

計算機診断の研究は早くから手がけられたが、おおよそ、間接撮影像において、腫瘍影検出率0.6程度、偽陽性率0.4程度(いずれもフィルム単位で)、あるいは偽陽性陰影5~10個/1症例の限界を破るブレイクスルーが見いだされていない[鳥脇94a]。現在はより高次の手法の導入に関する基礎研究の段階である。具体的に、過去の(同一被験者の)写真との照合、動的輪郭抽出アルゴリズムの導入[清水97a]、などが検討されている(Fig.3)。

直接撮影像に関しては、マーキングの実験も行われているが[名取94]、元来がスクリーニングには用いられない画像であるため、むしろ別の形の診断支援が検討されてい

る。例えば、腫瘍影を一旦医師が抽出した後に、良性か悪性を判定する鑑別診断のための新しい特徴量の開発などが行われている[鳥脇94a、清水96]。

(4)胃がんの計算機診断 胃がんの特徴の一つとして「胃壁ひだの集中」と呼ばれる特徴がある。これの検出のためには腫瘍影の場合とは異なる特徴量が必要になり、集中度と呼ばれる特徴量を開発した。しかし、胃輪郭、脊椎、バリウム溜まり、などの成分図形の識別に関する研究の蓄積は不十分であり、計算機診断の全プロセスを実現するには至っていない[長谷川94、福島94]。

2.3 次世代スクリーニングの可能性—CTの応用

(1)スクリーニングの試行 現行のスクリーニングをさらに強化し、あるいは、その限界を克服する新しいスクリーニングの可能性を探ることは、常に重要な問題である。現時点でそれを行うとすると、当然ながら、計算機による支援も合わせて検討する。ここでは、その例を紹介する。但し、現時点ではあくまで医学的および技術的な観点からの研究である。最終的にスクリーニングとして実現されるか否かは、社会的、経済的など全く別の次元での多くの検討を経なくてはならない。

肺がんの検診へのCT像の導入は、肺がんをできるだけ早い段階で検出することを目標とする。そのため、現行の間接撮影像を上回るCTの撮像能力に期待する。例えば直径10ミリの肺がんの検出は当面の目標の一つである。但し、CT像は単独では1断面しかみられないため、一被験者から多数(当面10ミリ間隔で数十枚)の断面像(スライス)を撮影する必要がある[山本93、館野96]。

そこで、計算機処理に2つの面からの支援を期待する。1つはマーキング機能であり、これによって医師が見るべきスライスの数を減らすことを目指す。他はスライスの組で表現される3次元情報を医師にわかりやすく提示する可視化機能である。

スクリーニングの試行実験として、CT装置搭載検診車が1994年より設置され、現在全国数カ所において希望者による撮影が行われている。この画像に対するマーキングについてかなりの実験が進んでいる(Fig.4)。

【実験例2】対象画像：上記検診車で撮影された450症例、計15750スライス

実験内容：肺野腫瘍影の候補領域のマーキング

結果：専門医3名の同じ画像に対する読影結果と比較。偽陽性陰影検出5~7個/1症例

手法：画素単位のファジィ・クラスタリング、距離変換特徴による分類、その他[利岡96]

【実験例3】対象画像：上記検診車で撮影されたCT像82症例、計1500スライス

実験内容：肺野腫瘍影の候補領域のマーキング

結果：医師が肺がんとした陰影21ヶ所すべて検出

マークのついた(医師が見なくてはならない)スライスは全体の約13%

手法：モルフォロジーフィルタによる強調、しきい値処理、距離変換特徴による分類[三輪97]

¹ CADM = コンピュータ支援画像診断学会 Computer Aided Diagnosis of Medical Images 現会長 鳥脇純一郎

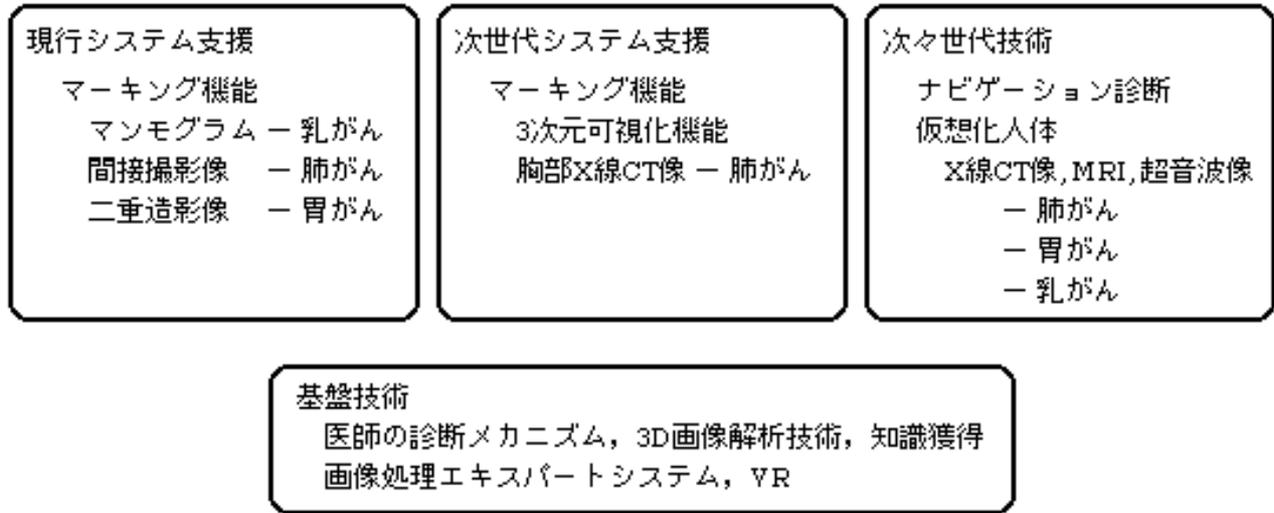


Fig.1 Progress of computer aids for cancer detection and diagnosis

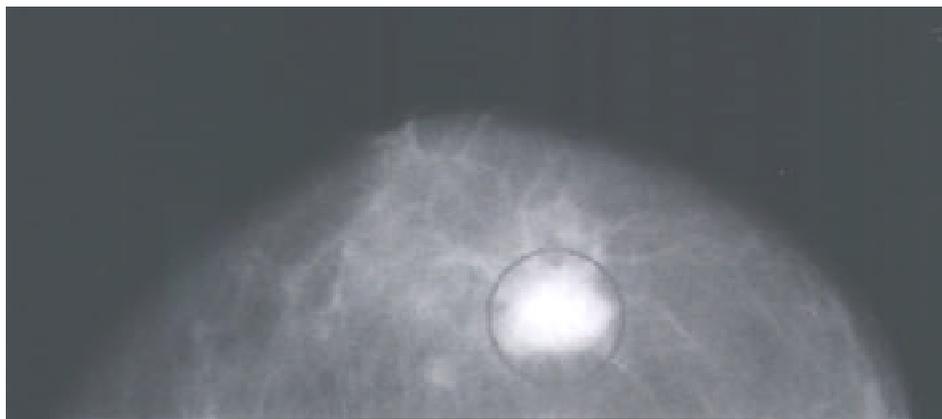


Fig.2 Detection of abnormal shadows (masses) from a mammogram (by S. Yamamoto, Toyohashi Univ. of Technology)

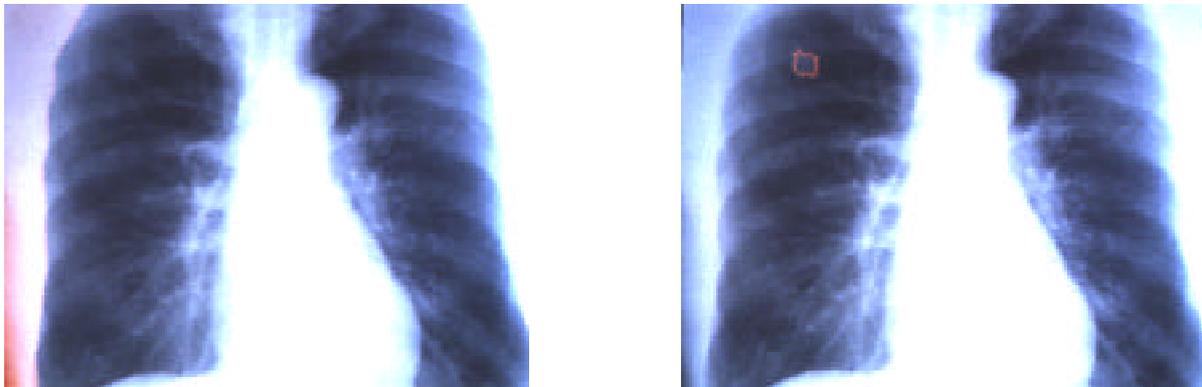


Fig.3 Examples of detection of abnormal shadows in chest X-ray images (by H. Natori, Sapporo Medical college)

CT像の場合、肺腫瘍影のコントラストは通常のX線写真よりはるかによいため、従来方式のX線写真でも見られる程度の肺がん腫瘍影はしきい値処理で容易に抽出できる。それより小さいがん陰影については、確定診断を伴う試料画像に限られるため、十分な評価はまだできていない。

成分図形の認識はこの場合も重要であり、とりわけ、肺領域の抽出、および、肺野の血管影の識別に関しては上記の実験に伴うものを始め、多くの研究がある。なお、スライス間隔が大きいと、真の3次元画像として処理することは難しく、スライスごとの処理の結果に対して上下の関係を考察して修正処理をする方式が使われる。

3次元情報の表示に関しては、現時点においては、前処理付きMIP法(Maximum Intensity Projection)が最も有効とみなされている[山本94b]。

(2)3次元画像処理の応用 スクリーニングに次ぐ2次検査、精密検診、あるいは、次々世代を考慮に入れる、など種々の立場から、より高精度の3次元画像(主としてスライス間隔が1mm~2mm程度の画像)に対する様々の解析が行われている。この場合には3次元画像処理が直接に適用される。そのいくつかを紹介しよう。

(a)成分図形の識別 胸部においては、肺輪郭面、肋骨、血管、気管支、が主なものである。いずれも直接の診断の対象ではなくても計算機診断に極めて重要であることは2次元の場合と同様である。全般に単純X線写真の場合よりもコントラストが良いため切り出しはやり易いが、腫瘍影の目標サイズが小さくなるため、要求精度は高くなる。また、元々計算量が多い処理(例えば、動的輪郭モデルの利用、など)は一層処理量が増す。一般に、後述のナビゲーション診断、手術シミュレーションなどを実用化するためにも、成分図形抽出(セグメンテーション)機能は不可欠である。なお、セグメンテーションの手段としての各画素の濃度値(CT値)に対するしきい値処理、あるいは、画素のクラスタリングによる領域分割には、単純X線像の場合よりもはるかに積極的な根拠がある。各画素のCT値がX線吸収係数としての情報を持つからである[遠藤95、戸崎97、森93、94、金沢95、利岡96、久米95、中山95、山本96、森94b、96c]。

(b)腫瘍影の形状解析 がん陰影を疑われる腫瘍影の形状解析も色々研究されている。単純な形状特徴の他に、例えば、表面の凹凸の状態の定量化(曲率などの利用)、集中度に基づく良・悪性鑑別的手法、腫瘍への周辺組織の集束の状態の定量化、など胸部X線CT特有のものもみられる[河田97、平野97、目加田97]。

2.5 次世代の診断可能性

さらに将来の可能性を視野におくならば、4節で述べるナビゲーション診断が可能性の1つとして上げられる。これは現在のところ、気管支、血管、胃、腸、などの管腔臓器に適用されているに過ぎないため、肺や肝のように細かい構造が充満している臓器に対する有効性は今後の研究に待たなくてはならない。

2.6 画像処理技術

(1)腫瘍影の検出 以上のX線像において、抽出すべき異常陰影(大半はがん陰影である)をパターン解析の観点からみると、不規則な形状の塊状陰影(腫瘍影-肺がん、乳がん)、極めて小さい粒状陰影(乳がん、微小石灰化像)、線状陰影(胃がん、ひだ集中、組織の集束、など)、などがある。前2者については個々の特性は異なるが、大局的にはほぼ同等の方向性差分型フィルタによる強調、その出力のしきい値処理、そして、抽出された陰影の特徴抽出とパターン分類という手順をとる。すなわち、《腫瘍影強調フィルター-しきい値処理-連結成分の特徴抽出(形状解析)-パターン分類》という構成が大部分である。ただし、計算機の性能向上に伴い、フィルタ(局所処理)には非線形処理は普通で、非常に複雑なものが使われるようになってきている[名取94、清水95、97b、藤田96]。また、線図形の集中度のように腫瘍影以外の場合も類似の手順で進められるケースがある[長谷川94、目加田96]。

CT像の場合は、CT値の意味がより重要になり、従って、基本はCT値によるしきい値処理で、それに対して若干のフィルタ処理を加えるという方向に向くため、手順の構成はむしろ単純になる。この点は3次元画像になっても同様である。ただし、形状解析には3次元の特殊性がでてくるため、本格的に取組むと非常に複雑であるが、これまでの所ではそこまでは至っていない[河田97]。

一方、成分図形の識別に関しては多種多様な手法が用いられている。これは対象の多様性による。成分図形の識別は、診断すべき領域を限定する為に、がん診断の見落とし、あるいは余分な陰影の拾いすぎを削減するために、極めて重要である。例えばCTにおける胸部輪郭面の抽出は、胸膜に接触する病巣の検出に不可欠である。また、血管影の識別は誤ってがんを疑われる陰影として抽出されることを防ぐ点で最も有効である。

3次元画像の場合には、2次元のライブラリSPIDERのようにまとめた成果の蓄積は無く、細線化や距離変換などの基礎的手法の研究も続いている[斉藤94a,b、95、安江96]。画像処理エキスパートは、2次元の場合のSLIPの3次元バージョンが拡大されている[小崎97、長谷川97b]。

(2)データベース 計算機診断のアルゴリズムの開発と評価のために極めて重要な資料として、資料画像のデータベースがある。この場合のデータベースは、まづ処理の対象となるX線像のサンプル画像の集まりであるが、工学においてよく用いられる文字認識の装置用の文字データベース、コンピュータ・ビジョンの実験用のシーンの画像、などとの大きな違いは、その診断・治療に関する情報にある。例えばシーンから人の顔を認識する問題の場合、大抵のサンプル図形において認識対象の存在は誰にでも容易にわかる。また、認識実験の結果誤って抽出された図形(false positive)があるか否か、あれば何を抽出したか、等は素人にでも容易にわかる。

しかし、医用画像の場合にはfalse positiveの有無、そしてもしあれば何を抽出したかは専門医でなくては判断できない。従って、適切な例なのかどうかとも工学者にはわから

ない。従って、もともと認識実験を行った結果において始めて現れるfalse positiveは別としても、それ以外、とりわけ診断結果と抽出すべき対象の陰影と確定診断に関してどの程度丁寧な情報がつけられているかが重要なポイントである。この観点から言えば、CADMデータベースはスケッチがそのデジタル版も含めて添えられている点で画期的である。その他、必ずしもスケッチがついているわけではないが、日本医学放射線学会[小林97]、英国マンモグラム画像解析協会(乳がん用マンモグラム)[MNE97a,b]²などが相次いで発表されたことは大いに注目に値する。今のところいずれも利用は所定の学会員に限られているようであるが、なることには強い制約は無いから、実質的には特に強い制約ではない。これらは今後のパターン認識・理解の研究にも大いに活用すべきであるし、これに十分値する。

他の1つとして、3次元画像としての全身のCT画像(実際にはMRI画像、および、カラー写真でセットをつくる)、を作成したアメリカの国家プロジェクト(Visible Human Project)[Visible95]、および、日本人のMRI全身像を作成した例[鈴木97]、は仮想化された人体のデータベース化として注目すべき成果といってよいであろう。これらは3次元画像が決して特殊なものではない時代に入ってきたことを示すものと言えよう。

3 仮想化された人体

3.1 仮想化された人体の生成と画像処理

前記のほぼ等方的な空間解像度で3次元デジタル画像として記録されたCT像は、既に大きな影響をもたらした[特集94b,95a,b]。それは、一種の再構築された人体とみなされる。それは計算機内のデータという意味では非現実世界のものであるが、個々の具体的な患者と正確に対応するという意味で全く架空(想像)の世界とは異なる。その意味で、これを仮想化された人体(virtualized human body)と呼ぶ。

仮想化された人体の利用を基本とする医用画像診断は色々な形でこれまでの診断を変革していく可能性を秘めている。現在実験され始めている利用法を中心とした状況をFig.5に示す[鳥脇95a-c, 97a-c]。画像処理技術の観点からみるとそこでは極めて多様な処理が行われる。

(i)仮想化：その第一段階はCT装置によるイメージングである。次に得られた各断面(スライス像)を積み重ね、さらに必要ならばスライスを内挿して3次元ボクセル画像とする。

(ii)セグメンテーション：目的とする器官を切出す(これは必ずしも必要としない)。自動セグメンテーションはパターン認識そのものである。ただし、異常部分の判定を含む切出しは専門医に任せざるを得ない。まさしく、それは「読影レポートを書くことと等価の医療行為である」[片田97]からである。一方、パターン認識の観点から言えばツールとしてのパターン認識の典型である。

(iii)レジストレーション X線CT, MRI, 超音波像, などモダリティが変われば同一被験者に対しても情報の異なる仮想化された人体が得られるため、それらを統合して利用するためには互いの位置合わせ(レジストレーション, registration)が必要になる。さらに、実人体と仮想化された人体を共有する強化されたリアリティにおいては、実人体(患者)、観察者(医師)、および、仮想化された人体の三者の位置を考慮した重ね合わせが要求される。一方、解剖図のような汎用のモデルと照合するというようなケースもある。

(iv)表示(レンダリング) 仮想化された人体は主として視覚を通して体験される。そのためには、仮想化された人体を最も適切な方法で2次元の画面に抽出する必要がある。そのためには、サーフェイス・レンダリング、あるいは、ポリウム・レンダリングに代表されるCGの諸手法が用いられる。仮想化人体の内部を探索する(ナビゲーション)のためには10フレーム/sec程度の描画速度でないとリアルタイムの探索は難しい。この観点から言えば、ポリウムレンダリングや大規模ボクセル構造データの自由な移動や3次元表示は現在の高速CGワークステーションでも難しい。バーチャルリアリティの中では没入感が重視されるが、当面の医用応用では必ずしもウェイトは大きくない。しかし、立体視はある程度評価される。

(v)計測 仮想化された人体のナビゲーションの過程で種々の特徴量を計測する。これは、いわば通常の診断における「検査」に対応し、しかも、計算機の特徴が最もよく発揮される処理である。3次元図形の形状特徴については基礎的検討を要する部分も少なくない[安江97]。

(vi)ツールとしてのパターン認識 「ツールとしてのパターン認識」は、例えば文字読取り装置、音声認識システムのようにそれ自体が目的とするパターン認識装置(システム)を構成する認識機能ではなく、いろいろな場面で1つのツール(部分的機能、パーツ)として用いられるパターン認識機能であり、次のような特色をもつ。

複雑なシステムの部分機能であり、パターン認識システムとしては完結するわけではないし、その必要もない。

認識精度(例えば、認識率)に対する要求が専用システムよりも柔軟性に富み、様々の精度に対してそれに見合うレベルでの用途を見出せる。

大半は典型的、正常なパターンの処理であり、それがあ程度の認識精度で処理できれば、例外的(特異)なパターンの処理はできなくてもシステム全体の中では、あるいは、ユーザの支援には十分役立つ。

システム全体をみるときは認識機能は表には出ないが、システムの有効性や使いやすさには大きく寄与する。

本節以後で述べる仮想化された人体に基づく診断、治療支援システムにおいて、例えば対象臓器の切出しから画像表示の領域の設定に至るまで、このような「ツールとしてのパターン認識」が活用される余地は大きい。他方、前節で述べた自動診断(マーキング)のシステムは、独立したパターン認識装置である。

仮想化された人体の利用については、最近のいくつかの解説で考察しているため、詳細は省く[鳥脇95a-c, 97a-c]。考え方そのものも色々有り得ようが、一応、以下のように

²さらに、その他のマンモグラムの画像が入手できるかもしれない研究グループのリストも提供されている。詳細は[MNE97b]参照。

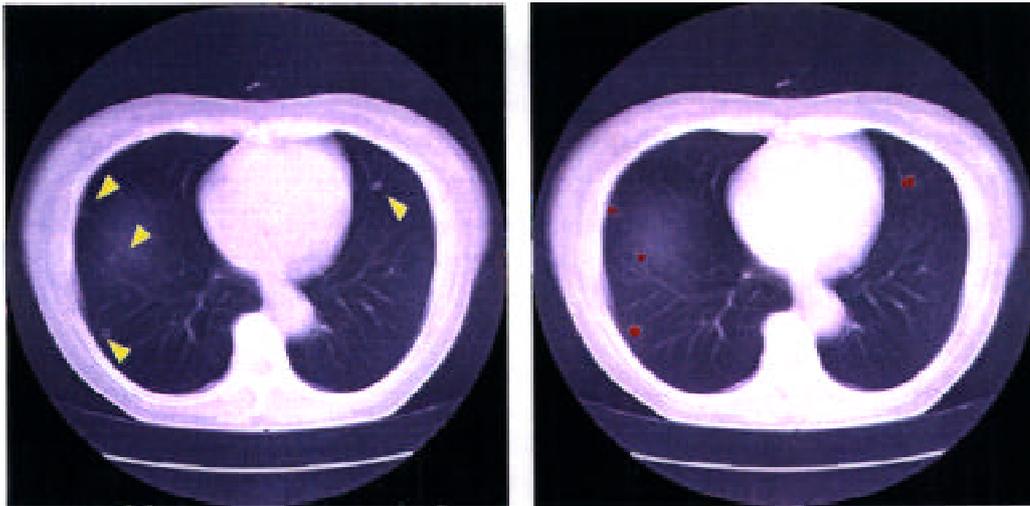


Fig.4 Examples of CAD for chest X-ray CT images (detection of cancer nodule) [利岡 96] (by N. Niki, Tokushima Univ.)

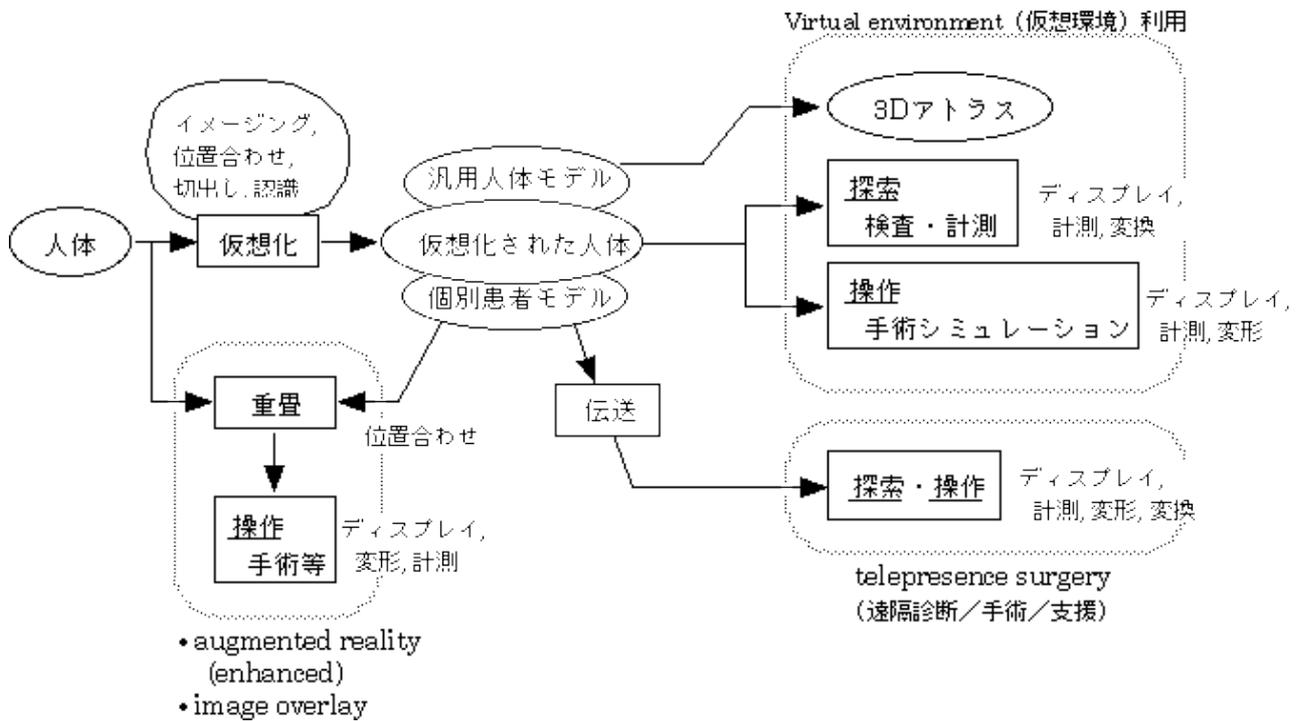


Fig.5 Computer aids in diagnosis and treatment basing upon the virtualized human body

考えておく。

仮想環境としての人体の探索 診断。人体を仮想化し、その内外部を自由に動き回って探索し、異常の有無やその詳しい状態を知る。これをナビゲーション診断と呼ぶ。

仮想環境のオブジェクトに変形を加え、効果を知る 治療(例えば手術)のシミュレーション。すなわち、仮想化された人体(あるいはその一部)に対して、実際の手術における操作を想定しつつ仮想空間において変形を加えて効果を見る。

実人体との重畳による情報の増強 術中支援 実人体の上に仮想化された人体が正しく重ねてみえるように表示を工夫し、現実世界の方の情報を補強する。例えば実人体を切開する前に、内部の状態がみえるようになることを期待する。

4 仮想化された人体の利用-(1)ナビゲーション診断

4.1 あらまし

仮想化された人体の内部を自由に移動し、任意の視点位置、視線方向を選んで観察することによって異常を検出し、状態を見極める。このような診断の方式を既に述べたようにナビゲーション診断とよぶ³。

この実現は、現時点ではコンピュータ・グラフィックス(CG)および画像のパターン認識の技術に全面的に依存している。すなわち、視点の位置と視線方向を固定して、そこでみえる管の人体諸器官の映像をCGの技法で描画する。これを、視点、視線方向を変えて、10フレーム/sec程度以上の割合で行うことによって、観察者は一種の滑らかな動きをする動画として観察できる。視点移動を観察者自らが行うことによって、自分で移動(乗り物を操縦)するような感覚が得られる。これらの操作そのものは、視点が人体あるいは関心臓器の内部でも外部でも本質的には変わらない。

画像の生成(描画、rendering)の前に対象とする臓器を切り出しておく(その境界面を定めておく)ためには、自動もしくは半自動的な輪郭抽出(または対象物切り出し)手順が必要である。恐らく、人がすべての切り出しを行っていたならば手数がかかり、実用化は難しい。しかし、既に述べたように異常と診断される部分の切り出しには必ず専門医の判断を要するため、「全自動」も受け入れられない。

描画法の代表として、既に述べたようにサーフェイス・レンダリングとボリューム・レンダリングが用いられる⁴。対象の切り出しができていれば前者が有効である。高速でグラフィックス・エンジンなどの専用ハードウェアも生かし

易い。但し、対象物の切り出し(セグメンテーション)を個々の患者の画像に対して医師が工夫するのは作業時間、労力を要し、現実的でない。

一方、ボリューム・レンダリングはセグメンテーション無しに実行できるという点では使い易く、試しに使ってみるような場合には有効である。しかし、投影のためのパスの上の濃度値を積算する際の重みの値、および、カラーの使い方に関するパラメータを設定しなくてはならない⁵。また、描画処理には時間がかかるため、現時点ではリアルタイムのナビゲーションは難しい。さらに輪郭面を全く定めていないためリアルタイムの輪郭面に関する特徴量計測はできない。

4.2 仮想化内視鏡システム

ナビゲーション診断に向けての1ステップとして位置づけられる仮想化内視鏡システム(Virtualized Endoscope System VES)について簡単に述べよう。これは現在内視鏡の類が利用されている管腔臓器(気管支、胃、など)の内部を仮想化された人体上で自由に移動し、観察することができるようにしたシステムである。画像処理技法としては、対象臓器のセグメンテーション(画像認識)、および、器管内壁のレンダリングにグラフィックスの手法が用いられた。

【実験例4】仮想化気管支内視鏡システム(Virtualized Bronchoscope System VBS)

入力画像：3次元胸部CT像。

512×512画素×60～100スライス、スライス厚1mm、スライス間隔1mm、スライス内の画素 0.625×0.625mm
セグメンテーション：3次元領域拡張・可変しきい値(自動調整)を利用。

サーフェイス構成：三角形パッチによるポリゴンモデルをMarching Cubes法で生成する。

レンダリング：基本的にスムーズシェーディングによる陰影づけを用いたサーフェイスレンダリング、および、エッジ(フレーム)レンダリングサーフェイスを構成するエッジのみを線画で表示する。但し、陰影はサーフェイスと同じ方法でつける一併用。描画は3～10フレーム/sec程度の描画速度(対象図形の複雑さによる)を得ている。

計算機：SGI IRIS Crimson + reality Engine

補助機能：

- ・計測：簡単な幾何学的特徴量をリアルタイムで計測
- ・枝名の表示：現在画面にみえている気管支の分枝の解剖学上で定められている名称を画面にリアルタイムで表示する[長谷川97a]。

実験結果：セグメンテーションでは(正常例に関しては)、数十例の症例に対してほとんどすべて自動切り出し可能であった[森94a,96c,95]。全処理時間はほぼ数分でVBSが適用できる状態になる。Fig.6にVBSの操作画面ウィンドウを示すが、このシステムじたいの詳細は[森95, 96a,b]にゆずる。用途の面から言えば、現時点では疾患部の状態の詳細な診断、治療の計画(例えば手術の適否、どのような手術がよいか、など)、病状の変化(経過)の観察、および教育への応用を試み、効果を認めている[高島95,鳥脇97a]。Table

³この場合の「ナビゲーション」は、案内(ナビゲータ)の意味ではなくて自ら航海、航行、飛行するという方の意味で用いる。

⁴サーフェイス・レンダリング(Surface rendering)とボリューム・レンダリング(Volume rendering)の言葉の意味、定義は必ずしも確定していない。ここでは、描画の実行の前に対象物の境界面が定められていてそれを描画するものをサーフェイス・レンダリング、輪郭面を定めずに濃度値、もしくはそれに対応して割り当てたパラメータ値を投影して2次元画像を作るものをボリューム・レンダリングとする[鳥脇97d]。

⁵このパラメータ設定は(特にカラーの選択は)時には診断に非常に大きく影響する。医師にも一種の感性が要求されるという意見もある[片田96,97]。

1に本システムの長所と限界をまとめておく。

立体視：左右の眼用に適当に視点をずらした画像を生成し、液晶シャッターによって切り替えて表示することによって、両眼立体視を行う。また、壁面の大型スクリーンに投影することもできる。バーチャル・リアリティの観点から言えば、これらは没入感およびリアリティを著しく高める点で効果的であるが、臨床応用上の評価は今後の課題である。

本システムの最大の特徴は、観察者の移動をリアルタイムで対話的に制御できること、および、自分が完全に器官の内部に入った状態の映像であること、である。いわゆる「フライ・スルー」の名称でビデオに編集したもの、あるいは、平面状の切り口から内部をみるもの、は他にもみられるが、オンラインの対話操作から内部を動き回るという感覚で実現したものは本システムが最初である⁶。

我々はこのシステムを、血管(頸動脈)、および、胃にも適用した[森96a, 安野96]。この場合には、セグメンテーションには、血管および胃内壁位置の手入力をかなりのスライスにおいて必要とした。また、形状が気管より複雑であるため、ナビゲーション途上での現在位置の認識は難しい。そのため、外観表示のウィンドウ上での現在位置を示すポイントが有効である。胃の場合は逆に構造は単純であるが、位置的キーがないためやはり位置情報は把握しにくいことから、ポイントが有効に働く。また、血管の場合は、血液の存在のため実際に血管の壁を直接にみることは不可能である。従って、本方法は壁の位置を正しく抽出できれば可視化の手法として新しい情報をもたらす。たとえば血管壁上でのコレステロールの蓄積の状況を定量計測できる可能性を示す予備実験を行っている[吉田97]。欧米では腸(結腸)への応用が研究されている(virtual colonoscopy)[Hong95]。

参考までに、ほぼ同じ部位におけるボリュームレンダリングの映像をFig.7に示す。一見種々の臓器の輪郭面が認識できるが、実際には人間の目が認め得てもそこに輪郭面が抽出できているわけではない。その代わり、重なり合った複数の図形もある程度同時に見える。また、予想していなかった構造が認識できる可能性がある。ただしパラメータの設定は十分注意深くなされなくてはならない。通常はCT値(各画素の濃度値)に対応して定められる場合が多い⁷。

5. 仮想化された人体の利用 - (2)シミュレーションと治療支援

5.1 外科手術のシミュレーション

仮想環境としての仮想化された人体に積極的に変形を加え、その効果を評価することにより、治療支援のいくつかの可能性が見出される[Spec95a,b,96a,b]。その代表例として外科手術のシミュレーションがある。術前の手術計画立案のための手術シミュレーションに関しては筆者らを含めて約10年前から始められている[安田90a,b, 曾山89]。その大部分は操作対象オブジェクトの変形をほとんど無視できる骨を扱うものであり、その一部は既に実用化された。それらについては文献[鳥脇94b, 泉田92a,b, 特集94a]にゆずる。現在では、それらはさらに高次のレベルを目指した研究に向かっている[北川96]。重要な課題として、以下の事柄があげられる。

より精度の高いシミュレーションと評価。個々の操作の高度化、多様化と精度の向上を含む。

軟骨など従来は扱えない対象の考慮。入力CT画像の画質の向上が必要。

術具(3次元入力装置の応用)の高度化。立体視やフォースフィードバックつき触覚などのインタフェースの強化(Fig.8)。

これに対して、最近の研究では軟部組織を扱う方向への発展を目指している。この場合には、オブジェクトの軟い変形をいかにモデル化するかが大きな問題となる。これも筆者らは既に10年ほど前に試みたことがある[金88]。原理的には、物体に外力を加えた場合の応力、歪、形状の変形の問題であるが、生体組織の形状が陽な形で定義し難いこと、物性定数に関する知見がきわめて乏しいこと、などから解法の決め手がない。現在のところ、有限要素法、質点-ばねモデルなどで近似的数値解を求めているにとどまる。手術をシミュレートするには、リアルタイムでの変形が再現できる程度の時間で解が求まることは必須の要請であるが、現在の計算機では能力は遠く及ばない。

映像処理の観点からみれば、基本的に前節の場合と同様であり、対象臓器の切り出し(セグメンテーション)、および、映像生成(レンダリング)が中心であるが、その他に、2次元画面を介しての変形の実行が加わる。3次元オブジェクトを2次元の画面を見ながら変形するのはあまりやりやすくないため、様々の研究がなされる。

【実験例5】(ステントの挿入)気管支の狭窄部などには、ステント(stent)と呼ばれる道具を挿入して強制的に管路を広げ、空気の流れ(もしくは血液など液体の流通)のための経路を確保することが行われる。このステントは折りたたまれ該当箇所まで移動された後機械的に(バネなどで)開くようになっている。このため、気管支内の狭窄部でこれを開いて気管支を押し広げる状態のシミュレーションを行った。モデルは前記の実験例5の三角形パッチモデルのパッチの頂点に質点、辺上にバネをセットしたモデル(3次元質点-バネモデル)を用いた。Fig.9に挿入・拡張時の状態の一例を示す。詳細は[関97, 森97]に譲る。

【実験例6】(切除標本)胃がんなどの場合、手術後に切除した部分を展開して固定し、保存するとともに、診断・治療

⁶ 本システムを発表したとき、多くの人からSF映画「ミクロの決死圏(Fantastic voyage)」(1966)との類似性を指摘された。上記の映画は、当然ながらCGではなく、ミニチュア模型と絵の合成であろう。その中のセリフ「こういうものが存在することはわかってた。しかし、実際にこの目で見るといことは全く違う」、あるいは、「私たちは人類で初めてこの目で見るといよ。興奮しない?」などは、可視化(ビジュアライズ)の効果と魅力を存分に言い表している[鳥脇96b]。

⁷ これは仮想化された人体の、仮想空間におけるX線撮影とみることもできる。この観点から各種の投影法の利用は再評価されてよい。

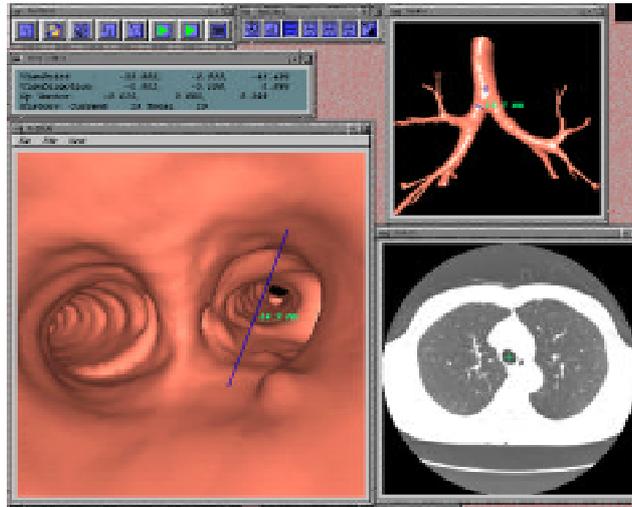
Command window



Status window



Main window



Subwindow

Original image window

Fig. 6 Example of the interface picture frame for virtualized bronchoscopy system [森 95] (by K. Mori and J. Toriwaki, Nagoya Univ.)

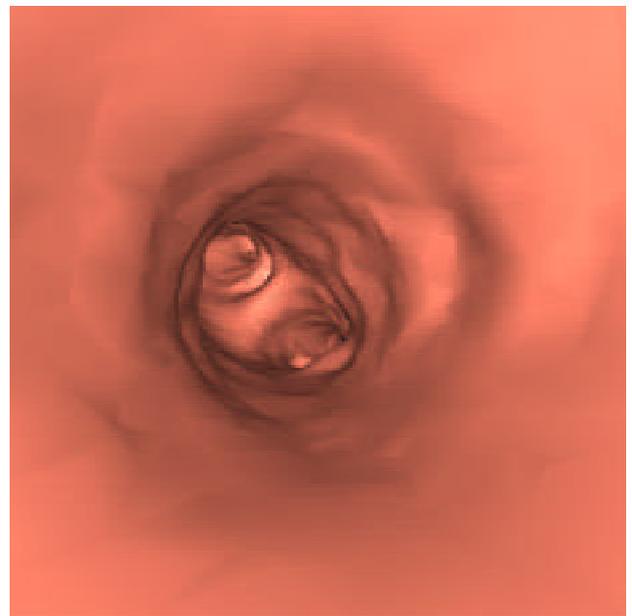
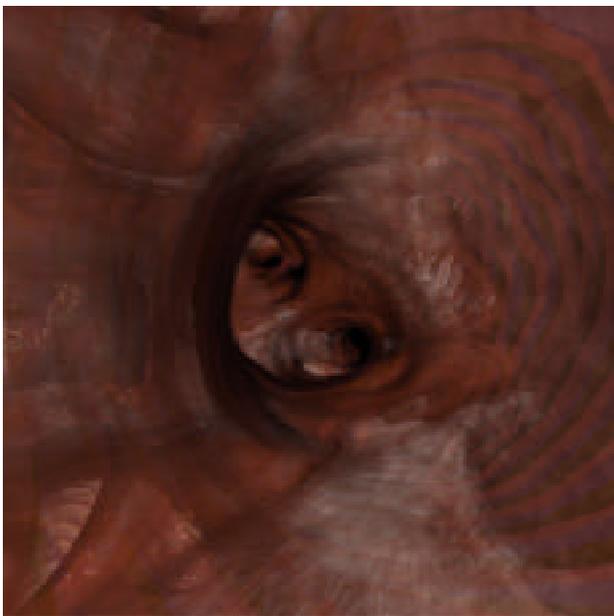


Fig. 7 Examples of the volume rendering(left) and the surface rendering(right) (by M. Hayashi and J. Toriwaki, Nagoya Univ.)

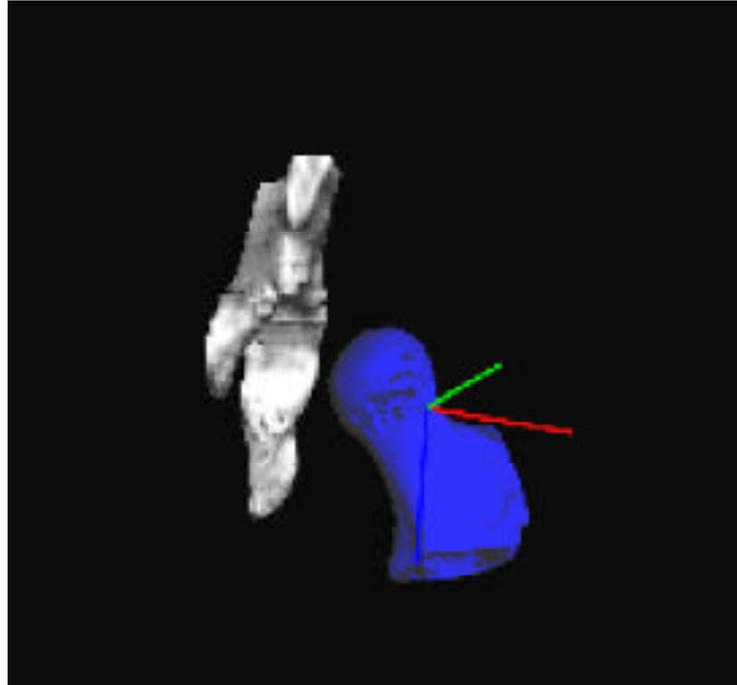
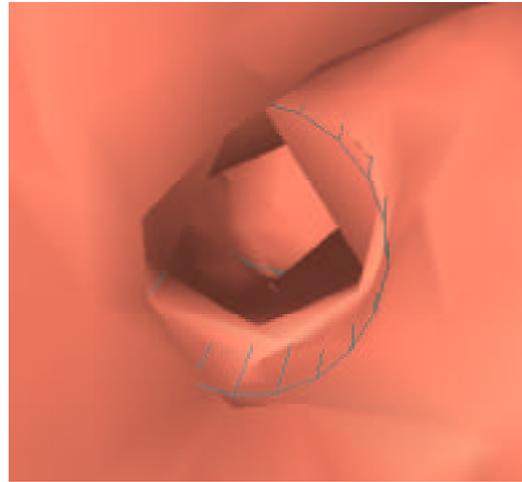
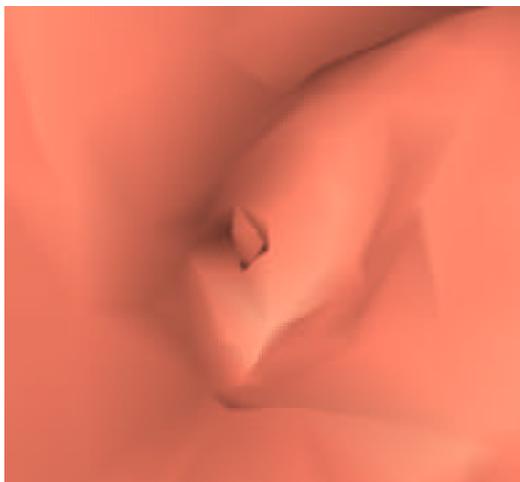
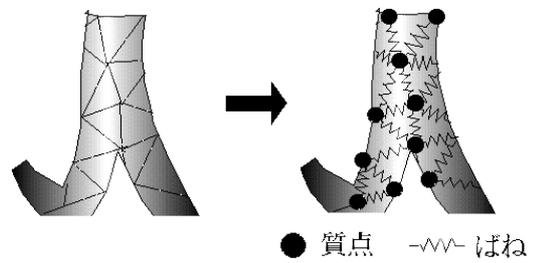


Fig. 8 Use of pointing device in the simulation of bone manipulation in 3D space
[南部 97] (by S. Nanbu and J. Toriwaki, Nagoya Univ.)

Fig. 9 Modeling of the deformation of bronchus and
the simulation of stent insertion
(by K. Mori and J. Toriwaki, Nagoya Univ.)



の検討資料とする。これは切除標本と呼ばれている。切除標本は現在の外科医、病理医が見慣れたものであるため、胃内壁を術前にこれと同じ状態に展開できれば切除範囲など手術の計画に役立つと期待される。そこで、前節のVESにおいて用いた胃のCT像に基いて胃内壁の展開標本を仮想空間において作成することを試みた。Fig.10に結果を示す[櫛田97]。これはまだ予備的実験にとどまるが、放射線科医と病理の専門家を結ぶ新しい可能性、あるいは、仮想化された人体に対する病理診断という新しい応用領域を作り出す可能性を秘める。

5.2 術中支援と強化リアリティ

最近数年、外科領域へのコンピュータの導入が関心を持たれ始めた。新しい研究者の組織の発足、雑誌発刊、国際会議の開始などが相次いでいる⁸。コンピュータ外科(computer aided(assisted) surgery CAS)と呼ばれる[Taylor96, 土肥94, 特集97]。この分野は今後益々活発に研究が行われると思われるが、その中ではコンピュータ・ビジョン関連の技術はいくつか重要な役割を期待されている[Spec95a,b,96a,b, Dig97]。その例を3つ示す[Dig97]。

前記の仮想化された人体と(モダリティを考えると複数あり得る)実人体のあらゆる組み合わせに対しての位置合わせ(registration)

手術道具(ドリルなど)のコントロールなどセンサと視覚情報を組み合わせたロボティクスの応用技術

実人体上に仮想化された人体の映像を正確に重ねて提示する強化リアリティ(Augmented Reality)の応用技術

一例として、手術中の外科医が人体を外部からみると、内部構造の映像を実人体の上に重ねて、あたかも内部を見通したかのように見える映像を重畳して呈示する試みがある。外科医は特定のスクリーン、もしくは、HMDなどを通して人体をみたときはそのような映像を見ることができる。これを実現するには、外科医の位置(もしくは観察装置(スクリーン、viewer)の位置)、実人体の位置、および、仮想化された人体の位置、方向をリアルタイムで取得し、かつ、位置を合わせて呈示する必要がある(Fig.11)。術中支援であるため器具類は手術室の中で、術者の手によって操作されることも想定しておく必要がある。

6. メディアおよび知識ベースとしての仮想化された人体

仮想化された人体に関して、もう1つの重要な側面として、メディアとしての存在という一面がある。患者モデル、汎用モデルのどちらの場合も、仮想化された人体には様々な解剖学的、医学的知識を付随させることができる。同時に、それらは、付随する知識を保存、伝達、提示するメディアとしての役割も果たす。対話的利用を考えると新しいタイプのメディアともみなされる。例えば、[Hoehne95]には知識表現のためのフレームとしての仮想化された人体に言及

している。また、解剖学の書物の一端としてみるという観点も興味深いものがある[Hoehne92,96, Tiede93,96](Fig.12)。これらは、[鳥脇97a-c]に簡単に触れてあるが、紙数の制約もあるため別の機会に検討したい。

7. むすび

本文では、医用画像処理における認識・理解の応用を、スクリーニング支援、および、仮想化された人体の利用に関連する領域において概説した。前者の一部はほとんど実用化しうるレベルに達している。また、前者の次世代以後、および後者において、人体という仮想世界の構築(セグメンテーションを含む)、そこからの計測、情報取得において、認識技術が、とりわけ「ツールとしてのパターン認識」が十分効果をあげうることを示した。また、とりわけ後者においては、グラフィックスあるいは映像生成技術もきわめて大きい意義をもつことも示した。

なお、前半の話題である診断支援に関しては[鳥脇94a,95e,96a]、後半の仮想化された人体に関しては[鳥脇95a-d,96d,97a-c]において、少しずつ異なる観点から述べられている。

謝辞

本稿で述べた診断支援に関しては、厚生省がん研究助成金鳥脇班の諸研究と討論に負うところが大きい。仮想化された人体とその応用に関しては、仮想化内視鏡関連の研究で藤田保健衛生大田和廣、安野泰史、札幌医科大名取博、高島博嗣らの諸先生にご指導、ご協力を頂いた。また、筆者の研究室で研究を進める中京大長谷川純一教授をはじめ、名古屋大齊藤豊文、清水昭伸、森健策、の諸氏、および、大学院生から多くの重要な示唆を頂き、また、本文の内容の多くが彼らとの日頃の討論の中から生まれてきたものである。なお、CADM論文誌投稿に際して名古屋大学大学院平野靖氏に原稿の形式調整をお願いした。

なお、本研究の一部は文部省科研費、および、厚生省がん研究助成金による。

参考文献

- [安野96]安野泰史ほか：仮想化血管内視鏡システム(VVE)の実現とその評価、医用画像工学会JAMIT Frontier '96、講演論文集：pp.45-50 (1996)
- [泉田92a]泉田良一ほか：3-DCTを用いた股関節手術シミュレーションシステム(SurgiPlan)(1)、関節外科 11：pp.146-150 (1992)
- [泉田92b]泉田良一ほか：3-DCTを用いた股関節手術シミュレーションシステム(SurgiPlan)(2)、関節外科 11：pp.960-968 (1992)
- [遠藤95]遠藤知彦、森健策、長谷川純一、他：肋骨の骨格形状を利用した3次元胸部X線CT像からの肺野領域自動抽出、第5回コンピュータ支援画像診断学会/第4回日本コンピュータ外科学会合同論文集、pp.147-148 (1995)
- [片田96]片田和廣：三次元画像診断と外科支援 - 現状と問題点 - , CADM ニュースレター, No.18, pp.4-6 (1996.12)
- [片田97]片田和廣：三次元画像の臨床的有用性と課題、3次元画像コンファレンス97講演論文集、3次元画像コンファレンス97実行委員会、精機通信社、pp.97-102 (1997.7)
- [金沢95]金沢啓三、久保満、仁木登、他：集検用ヘリカルCT画像を用いた肺がん検診システム、JAMIT Frontier '95 講演論文集、pp.74-79 (1995.1)
- [河田97]河田佳樹、仁木登、大松広伸、他：Thin Section CT像による肺野腫瘍の形状解析に基づく肺がんの質的診断支援、医用画像工学会 JAMIT Frontier '97 講演論文集、pp.117-122 (1997.1)
- [北川96]北川英志、安田孝美、横井茂樹、鳥脇純一郎：仮想空間操作を利

⁸ 国際コンピュータ外科学会(International Society of Computer Aided Surgery ISCAS)が'96年より発足(現会長 P.Rabischong)、また、計算機支援放射線医学関係の国際会議CAR'97は'97年よりComputer Assisted Radiology and SurgeryとSurgeryが付け加えられた。

- 用した対話型手術シミュレーションシステムの基本機能の実現, 情報処理学会論文誌, 37, 6, pp.1088-1098 (1996.6)
- [金88]金秀一, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎, 片田和廣: CT三次元画像を用いた脳外科手術における皮膚切開シミュレーション, 医用電子と生体工学, 26, 2, pp.231-234 (1988)
- [榎田97]榎田80, 森健策, 鳥脇純一郎, 長谷川純一, 安野泰史, 片田和廣: 3次元腹部CT像に基づく胃の仮想的展開像作成手法の提案, Medical Imaging Technology, 15, 4(第16回日本医用画像工学会大会特集号) pp.421-422 (1997.7)
- [久米95]久米栄二, 蔵野美恵子, 山本幹夫, 他: 3次元CT像からの濃度統計情報と3次元連結を用いた肺がんの自動抽出法, JAMIT Frontier '95 講演論文集, pp.68-73 (1995.1)
- [小崎97]小崎友彰, 周向栄, 清水昭伸, 長谷川純一, 鳥脇純一郎: 3次元画像処理エキスパートシステムIMPRESSとその医用画像処理への応用, 医用画像工学会JAMIT Frontier '97 講演論文集, pp.151-156 (1997.1)
- [小畑96]吉永幸靖, 村上正行, 小畑秀文: マンモグラフィにおける悪性腫瘍検出システムの開発, Medical Imaging Technology, 14, 6, pp.691-697 (1996.11)
- [小畑97]小畑秀文: 自動診断システム開発用医用画像データベースの整備, 文部省科学研究費補助金研究成果報告書(基盤研究B(1)) (1997.3)
- [小畑97]小畑秀文: 医用画像データベース整備の進捗状況, CADMニュースレター, No.20, pp.12-13 (1997.6)
- [小林97]小林薫, 松本常男, 池添彌生: 標準デジタル画像データベース(胸部腫瘍陰影)の構築, 日本医学放射線学会臨時増刊号57, 2, p.231, (1997.2)
- [斉藤94a]T.Saito and J.Toriwaki: Reverse distance transformation and skeletons based upon the Euclidean metric for n-dimensional digital binary pictures, IEICE Trans. INF & SYST, Japan, E77-D, 9, pp.1005-1016 (1994.9)
- [斉藤94b]T.Saito and J.Toriwaki: New algorithms for n-dimensional Euclidean distance transformation, Pattern Recognition, 27, 11, pp.1551-1565 (1994)
- [斉藤95]T.Saito and J.Toriwaki: A sequential thinning algorithm for three dimensional digital pictures using the Euclidean distance transformation, Proc. 9th Scandinavian Conf. on Image Analysis, pp.507-516 (1995.6)
- [清水95]清水昭伸, 長谷川純一, 鳥脇純一郎: 医用画像の計算機診断のための回転型2階差分フィルタの性質, 電子情報通信学会論文誌, J78-D-II, 1, pp.29-39 (1995.1)
- [清水96]清水昭伸, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 森雅樹, 高島博嗣, 名取博: 胸部X線像上の肺腫瘍影の良悪性判別における集中度特徴量の能力について, 医用電子と生体工学, 34, 1, pp.38-46 (1996.3)
- [清水97a]清水昭伸, 松阪匡芳, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 鈴木隆一郎: 動的輪郭モデルを用いた輪郭線抽出手順の自動構成と胸部X線像上の肺輪郭線抽出への応用, コンピュータ支援画像診断学会誌, Vol.1, No.1 (1997.8)
- [清水97b]清水昭伸: MRIにおけるノイズ除去・画像強調システムIESについて, CADMニュースレター, No.19, pp.3-6 (1997.3)
- [鈴木97]鈴木直樹, 高津光洋, 清水公治, 他: リアルタイム操作を目的とする人体アトラス用全身構造の四次元像作成, Medical Imaging Technology, 15, 4, pp.487-488 (1997.7)
- [関97]関洋子, 森健策, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 安野泰史, 片田和廣: 仮想化内視鏡システムにおける臓器形状変形の一手法, 医用画像工学会 JAMIT Frontier'97 講演論文集, pp.135-140 (1997.1)
- [曾山89]曾山豊ほか: 3次元画像を利用した股関節手術計画支援システム, 医用電子と生体工学 27: pp.70-78 (1989)
- [高島95]高島博嗣, 藤田昭久, 田垣茂他: ヘリカル・スキャンCT像を用いた, いわゆるバーチャル気管支鏡の検討, 気管支支, 17, 3, p.243(第18回日本気管支学会総会学術プログラム・演題・抄録集) (1995.5)
- [館野96]館野之男: CT検診1995 - 現状と課題, 胸部CT検診 2: pp.1-10 1996
- [特集89]特集: がんのスクリーニング - 老人保健法による検診を中心に -, INNERVISION, 4, 7 (1989.7)
- [特集94a]特集: 手術支援と医用画像処理, Medical Imaging technology, 12, 5 (1994.9)
- [特集94b]特集/三次元画像診断, 病態生理, 12, 2 (1994.2)
- [特集95a]特集: バーチャルリアリティとME, BME, 9, 11 (1995.11)
- [特集95b]特集: 最近の医用3次元画像処理, Medical Imaging technology, 13 1995
- [特集97]特集: コンピュータ外科, BME, 11, 8 (1997.12)
- [戸崎97]戸崎哲也, 河田佳樹, 仁木登, 他: Thin Section CT画像による病変部尾根線抽出と周辺臓器との対応付け, 医用画像工学会 JAMIT Frontier '97 講演論文集, pp.99-104 (1997.1)
- [利岡96]利岡俊祐, 金沢啓三, 久保満, 他: 集検用ヘリカルCT画像による肺がん検診システム, 医用画像工学会 JAMIT Frontier'97 講演論文集, pp.111-116 (1997.1)
- [土肥94]土肥健純: コンピュータ外科と画像処理, Medical Imaging technology, 12, 5, pp.612-618 (1994.9)
- [鳥脇94a]鳥脇純一郎, 館野之男, 飯沼武編著: 医用X線像のコンピュータ診断 シュブ リンガー・フェアーク東京 (1994)
- [鳥脇94b]鳥脇純一郎: 手術計画支援システムの機能とソフトウェア, Medical Imaging Technology, 12, 5, pp.585-592 (1994.9)
- [鳥脇95a]鳥脇純一郎: 医用画像処理とバーチャルリアリティ, BME, 9, 11, pp.12-20 (1995.11)
- [鳥脇95b]鳥脇純一郎: バーチャルリアリティと医学の出会い - (1)バーチャルリアリティとは何か, CADMニュースレター, No.12, pp.8-14 (1995.6)
- [鳥脇95c]鳥脇純一郎: バーチャルリアリティと医学の出会い - (2)事例からみた応用可能性, CADMニュースレター, No.13, pp.2-13 (1995.9)
- [鳥脇95d]鳥脇純一郎: 可視化技術とその医用生体工学へのインパクト, BME, 9, 1, pp.34-43 (1995)
- [鳥脇95e]鳥脇純一郎: 多次元濃淡画像の可視化と認識・理解, 電子情報通信学会パターン認識・理解研究会資料, PRU95-176 (1995.12)
- [鳥脇96a]鳥脇純一郎: 3次元画像処理の応用技術, 臨床放射線, 41, 11, 臨時増刊号, pp.1179-1192, 金原出版 (1996.11)
- [鳥脇96b]鳥脇純一郎: 見えない「イメージ」を見る - 映像とコンピュータ, 共立出版 (1996.8.1)
- [鳥脇97a]鳥脇純一郎: 3次元画像と仮想化された人体に基づく診断・治療支援, Medical Imaging Technology, 15, 4, pp.317-327 (1997.7)
- [鳥脇97b]鳥脇純一郎: 「サーフェイス・レンダリング」と「ボリューム・レンダリング」 - 用語の統一にむけての整理, CADMニュースレター, No.19, pp.10-11 (1997.3)
- [鳥脇97c]鳥脇純一郎: 仮想化された人体とナビゲーション診断, BME, 11, 8 pp.24-35 (1997.8)
- [鳥脇97d]鳥脇純一郎: バーチャルリアリティの医学応用 - 仮想化された人体をめぐる -, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol.2, pp.1-4 (1997.9)
- [鳥脇97e]鳥脇純一郎: 7-44 多元デジタルX線像処理に基づくがんの画像診断自動化システムの開発に関する研究, 平成8年度厚生省がん研究助成金による研究報告集, 国立がんセンター (1996) (印刷中)
- [中山95]中山正人, 富田稔啓, 山本真司, 他: 3次元モルフオルジカルフィルタによる肺癌病巣自動認識の検討 - 肺癌検診用X線CT(LSCT)の診断支援(第3報), Medical Imaging Technology, 13, 2, pp.155-164 (1995.3)
- [名取94]名取博他: 胸部直接撮影像による肺がんの計算機診断, [鳥脇94a] pp.42-102 (1994)
- [縄野96]縄野繁, 藤川弘幸, 野畑強, 他: FCRを利用したマンモグラフィ診断支援システムの開発, 厚生ろうがん研究助成金鳥脇班平成8年度第2回班会議資料, H8-鳥2-6 (1996.12.11)
- [南部97]南部聡, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: 手術シミュレーションシステムにおける3次元情報入力デバイスを用いたユーザインタフェースの改善, 第7回コンピュータ支援画像診断学会/第6回日本コンピュータ外科学会合同論文集, pp.109-110 (1997.10)
- [長谷川94]長谷川純一: 二重造影像の計算機診断, [鳥脇94a] pp.164-170 (1994)
- [長谷川97a]長谷川純一, 森健策, 鳥脇純一郎, 安野泰史, 片田和廣: 胸部CT像から得られた気管支枝への解剖学的枝名の自動対応付けとその応用, Medical Imaging Technology, 15, 4(第16回日本医用画像工学会大会特集号) pp.485-486 (1997.7)
- [長谷川97b]長谷川純一: 3次元画像とエキスパート・ビジョン, Medical Imaging Technology, 15, 4(第16回日本医用画像工学会大会特集号) pp.339-348 (1997.7)
- [平野97]平野靖, 目加田慶人, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 大松広伸, 江口研二: 胸部X線CT像における血管・気管支の3次元集中度を用いた定量化, Medical Imaging Technology, 15, 3, pp.228-236 (1997.5)
- [福島94]胃X線像の計算機支援診断, [鳥脇94a] pp.156-163 (1994)
- [藤田95]H.Fujita, T.Endo, T.Matsubara, et al.: Automated detection of masses and clustered microrcalcifications on mammograms, Proc. of SPIE Vol.2434 Medical Imaging 1995 Image Processing, pp.682-692 (1995)
- [藤田96]藤田広志: マンモグラフィのコンピュータ支援診断装置の原理, 日本乳癌検診学会誌, 5, 2, pp.135-147 (1996)

- [マンモ97a]詳細はインターネット <http://s10d.smb.man.ac.uk/~MIAScom.html> を参照
- [マンモ97b]<http://marathon.csee.usf.edu/Mammography/Database.html>
- [三輪97]三輪倫子, 加古純一, 山本真司, 他: 可変N-Quoitフィルタを用いた胸部X線CTからの肺癌病巣候補自動抽出法, 医用画像工学会 JAMIT Frontier'97 講演論文集, pp.185-190 (1997.1)
- [目加田96]目加田慶人, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 縄野繁, 宮川国久: 線状陰影強調フィルタの改良と胃X線像におけるがん病変部自動検出への応用, Medical Imaging Technology, 14, 3, pp.269-279 (1996.3)
- [目加田97]目加田慶人, 平野靖, 長谷川純一, 鳥脇純一郎: 3次元デジタル線図形解析のための3次元集中度とそのX線CT像への応用, 電子情報通信学会論文誌, J80A, 7, pp.1162-1170 (1997.7)
- [森93]森健策, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 他: 3次元デジタル画像処理による胸部連続CT像からの肺がん候補領域の自動抽出, 電子情報通信学会論文誌, J76D-II, 8, pp.1587-1594(1993.8)
- [森94a]森健策, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 安野泰史, 片田和廣: 3次元X線CT像からの気管支領域の自動抽出, 電子情報通信学会パターン認識・理解研究会資料, PRU93-149 (1994.3)
- [森94b]森健策, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 他: 可変しきい値処理と距離変換を用いた3次元胸部CT像からの異常陰影候補領域自動抽出手順, Medical Imaging Technology, 12,3, pp.216-223 (1994.5)
- [森95]森健策, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 安野泰史, 片田和廣: 3次元胸部CT像に基づく気管支内視鏡シミュレーションシステム(仮想気管支内視鏡システム), 医用電子と生体工学, 33, 4, pp.343-351 (1995.12)
- [森96a]森健策, 鳥脇純一郎, 長谷川純一, 安野泰史, 片田和廣: 仮想気管支内視鏡システム, 臨床放射線, 41, 11, 臨時増刊号, pp.1385-1391, 金原出版, (1996.11)
- [森96b]K.Mori, A.Urano, J.Hasegawa, J.Toriwaki, H.Anno, and K.Katada: Virtualized endoscope system - an application of virtual reality technology to diagnostic aid, IEICE Trans. Inf. & Sys., E79-D, 6, pp.809-819 (1996.6)
- [森96c]K.Mori, J.Hasegawa, J.Toriwaki, M.Anno and K.Katada: Recognition of bronchus in three dimensional X-ray CT images with applications to virtualized bronchoscopy system, Proc. of 13th ICPR, Vol.III, pp.528-532 (1996.8)
- [森97]K.Mori, Y.Seki, J.Hasegawa, J.Toriwaki, M.Anno and K.Katada: A method for shape deformation of organ and its application to virtualized endoscope system, Proc. of the 11th International Symposium and Exhibition, CAR97, Computer Assisted Radiology and Surgery, pp.189-194, Elsevier (1997)
- [安江96]安江正宏, 森健策, 齊藤豊文, 長谷川純一, 鳥脇純一郎: 3次元濃淡画像の細線化法と医用画像への応用における能力の比較評価, 電子情報通信学会論文誌, J79-D-II, 10, pp.1664-1674 (1996.10)
- [安江97]安江正宏, 森健策, 齊藤豊文, 長谷川純一, 鳥脇純一郎: 仮想化人体における2, 3の特徴量の計測法とその能力の評価, Medical Imaging Technology, 15, 2, pp.95-103 (1997.3)
- [安田90a]安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: 3次元任意形状の骨切断・移動操作が可能な頭蓋形成手術計画支援システムNUCSS-V2, 情報処理学会論文誌, 31, 6, pp.870-878 (1990.6)
- [安田90b]T.Yasuda, Y.Hashimoto, S.Yokoi, and J.Toriwaki: Computer system for craniofacial surgical planning based on CT images, IEEE Trans. on Medical Imaging, 9, 3, pp.270-280 (1990.9)
- [山根96]山根文孝, 伊関洋, 増谷佳孝, 他: Augmented realityを応用した3次元画像投影による術中ナビゲーションの試み, 第5回コンピュータ支援画像診断学会/第4回日本コンピュータ外科学会合同論文集, pp.99-100 (1996)
- [山本93]山本真司, 田中一平, 千田昌弘, 他: 肺癌検診用X線CT(LSCT)の基本構想と診断支援用画像処理方式の検討, 電子情報通信学会論文誌, J76-D-II, 2, pp.250-260 (1992.2)
- [山本94b]山本真司, 中山正人, 千田昌弘, 他: 画像前処理付きMIP法による肺癌検診用X線CT画像の表示, Medical Imaging Technology, 12, 6, pp.737-747(1994.11)
- [山本96]山本真司ほか: らせんCT肺がん検診システムにおける肺野領域自動抽出の高度化, 胸部CT検診3: pp.23-24 (1996)
- [渡邊96]渡邊 渡: 前立腺がんの集団検診の妥当性に関する研究, 平成6, 7年度厚生省がん研究助成金渡邊班研究成果報告書, (1996.11)
- [吉田97]K.Yoshida, M.Endo, K.Mori, K.Katada, et al.: Virtualized angioscopy of the thoracic aorta in an animal model, Japanese Circulation Journal (採録決定)
- [Dig96]A.Digioia, T.Kanade and N.T.Wells: Final Report for the Second International Workshop on Robotics and Computer Assisted Medical Interventions, Bristol, England, June 23-26, England,
- [Hoehne92]K.H.Hoehne et al.: A volume based anatomical atlas, IEEE Computer Graphics and Applications 12: pp.72-78 (1992)
- [Hoehne95]K.H.Hoehne, B.Pflesser, A.Pommert, M.Riemer, Th.Schiemann, R.Schubert and U.Tiede: A new representation of knowledge concerning human anatomy and function, Nature Medicine, 1, 6, pp.506-511 (1995.6)
- [Hoehne96]Hoehne KH et al: A 'virtual body' model for surgical education and rehearsal, IEEE Computer 29: pp.25-31 (1996)
- [Hong95]Hong L et al: 3D virtual colonoscopy, Proc. 1995 IEEE Biomedical Visualization Symp., pp.26-32 (1995)
- [Taylor96]R.H.Taylor, S.Lavallee, G.C.Burdea and R.Mosges eds.: Computer-integrated Surgery: Technology and Clinical Applications, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, U.S.A., (1996)
- [Spec95a]Special issue on Virtual Environments, Computer, 28, 7, IEEE Computer Society (1995)
- [Spec95b]Special issue on Virtual Reality for Medicine, Computers in Biology and Medicine, 25, 2 (1995)
- [Spec96a]Special issue on Computer applications in surgery, IEEE Computer, 29 (1996)
- [Spec96b]Special issue on Applications in surgery and therapy, IEEE Computer Graphics and Applications 16 (1996)
- [Tiede93]U.Tiede, M.Bomans, K.H.Hohne, A.Pommert, M.Riemer, Th.Schiemann, and R.Schubert and W.Lierse: A computerized three-dimensional atlas of the human skull and brain, AJNR, 14, pp.551-559 (1993.5/6)
- [Tiede96]U.Tiede, Th.Schiemann, and, K.H.Hohne: Visualizing the visible human, IEEE Computer Graphics And Applications, 161, pp.7-9 (1996.1)
- [Visible95]詳細はインターネットの www.nlm.nih.gov を参照.

著者紹介



鳥脇純一郎(とりわき じゅんいちろう)
 1967年名大大学院博士課程了. 同年名大工学部助手. 以後, 1970年助教授, 名大大型計算機センター助教授, 豊橋技術科学大学教授, 名大工学部電子工学科教授を経て, 1985年より同情報工学科教授. 工博. パターン認識, 画像処理, グラフィックス, および, それらの医学への応用に関する研究に従事. 著書: 「認識工学」(コロナ社)他.

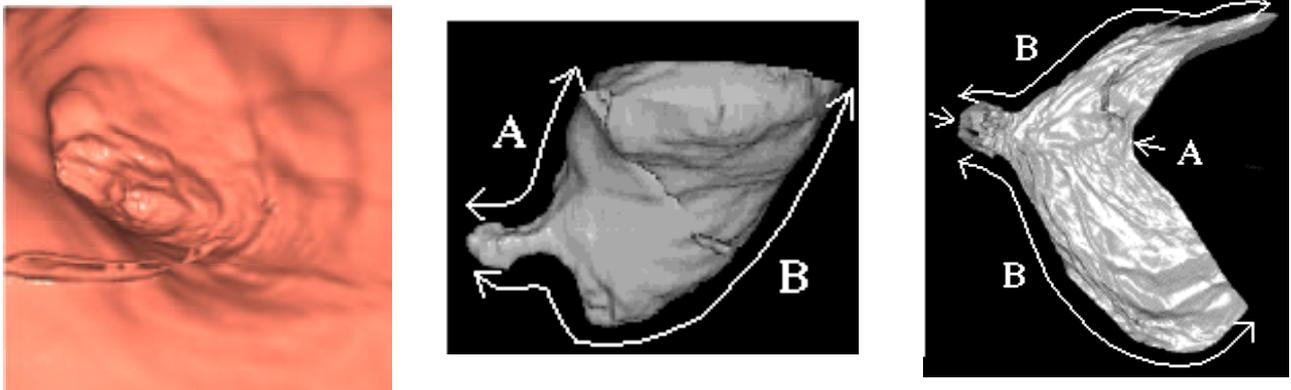


Fig. 10 Example of the stomach expansion on the virtualized human body
(by A. Kushida and J. Toriwaki, Nagoya Univ.)



Fig. 11 Superposition of the virtualized human body over the real body(application of the augmented reality)
(by T. Dohi et al., Tokyo Univ.)

Table 1 Features of the virtualized endoscope system

長所

- ・対象, 部位の制約が無い
- ・視点位置, 方向, 移動方向, 時間等の制約が無い
- ・定量的計測ができる
- ・不可視対象の可視化
例. 血管
- ・患者への侵襲, 精神的負担が無い
反復可, 症状を問わない
- ・操作は熟練を要しない
- ・特殊な装置を要しない

限界

- ・原画像, イメージング法の限界
 - X線CTの情報に基づく解像度, など
- ・テクスチャ情報をもたない
 - カラー, 質感, など
- ・対象臓器切出し処理のコスト
 - 時間, 労力, 精度, など
- ・コンピュータの性能の限界

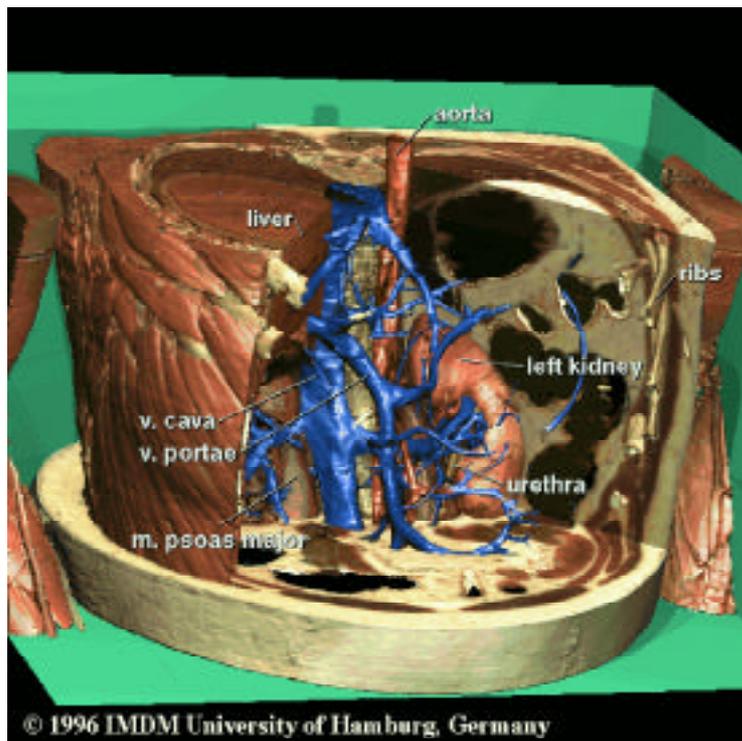


Fig. 12 Example of the 3D atlas basing upon the virtualized human body
(by K. H. Hoehne, Hamburg Univ., Germany)

Computer Aided Diagnosis And Treatment with Recognition And Generation of Images

Jun-ichiro TORIWAKI*

*Department of Information Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya University

Abstract In this article the present state of medical image processing is introduced with the stress on two fields - diagnostic aids using image pattern recognition/understanding and aids in treatment using recognition and generation of images. Major topic in the first field is computer aided diagnosis of X-ray images in the screening of cancer. The main goal here is "marking", giving a mark on suspicious shadows in a given film. Processing of mammograms is in the most advanced stage. The most important theme in the studies of next generation screening system is the use of chest CT for detection of very early stage of lung cancer. In the latter half of the article, the concept of the virtualized human body and its application to diagnosis and treatment are presented. To search or explore the virtualized body moving around freely inside it is considered as diagnosis, and we call it the navigation diagnosis. As an example, the virtual endoscope system is introduced. Simulation of surgical operation (pre-operative aids) and the augmented reality for intra-operative aids are explained briefly.