

研究プロジェクト紹介

「医用画像分野におけるメディア処理」

—画像誘導下手術・画像診断の立場から—

名古屋大学大学院 情報科学研究科 メディア科学専攻 助教授

森 健策

近年の医用イメージング装置の発展は、臨床の場において3次元画像処理をますます身近なものとしている。最近ではマルチディテクタ CT の登場により高精細な人体の3次元画像を30秒ほどで取得できるようになった。また、3次元超音波診断装置の普及により、4次元画像処理なども取り扱われるようになってきている。一患者あたり500枚以上のスライス画像（人体の輪切り画像）は臨床の場における計算機を用いた画像診断支援(Computer Aided Diagnosis: CAD)を必要不可欠のものとしている。一方外科手術においても、術中における人体・術具位置のリアルタイムセンシング情報と手術前に撮影した高精細の3次元画像を組み合わせことで外科医を誘導する手術ナビゲーションシステムが実用化されてきている。また、複合現実感を用いた手術ナビゲーションシステムなども興味深い研究対象の一つである。3次元（あるいは高次元）画像処理を考えた場合、医用画像処理分野は高次元画像処理を実用技術として利用している数少ない分野といえる。格子上に配置された各点において濃度値が定義される3次元濃淡画像がこれほどまでに一般的に用いられる分野は医用画像処理以外にはないと言える。セグメンテーション、変形モデル、コンピュータグラフィックス、レジストレーションなどメディア処理における興味深いトピックスがこの分野には包含される。また、処理すべき対象に関しての各種メディアの統合といった観点から見た場合でも、CT、MRI、Ultra sound、ビデオ（内視鏡）といった「各種モダリティ間の統合」、知的画像診断を目指した「解剖学的知識と画像との意味的統合」、手術中におけるナビゲーションシステムの操作、手術中ロボットの操作といった医用画像処理システムにおける「ユーザインタフェースとしての各種メディアの統合」などがあげられる。本講演では医用画像分野におけるメディア処理について、画像誘導下手術・画像診断の立場から解説し、その具体例を示す。

手術・検査ナビゲーションシステムは、手術前に撮影された3次元画像を地図として使い、術中において何らかのセンシングデバイスにより取得された術具の3次元位置情報を組み合わせることで、術医を誘導するシステムのことである。気管支鏡ナビゲーションシステムを考えた場合、気管支内部の場所的制約からその先端に位置センサを取り付けることが難しい。従って、位置センシングデバイスの出力を利用したナビゲーションを行うことができない。これらを解決する一つの手段として、筆者らは画像位置あわせに基づいた気管支内視鏡ナビゲーションシステムの提案を行っている。ここでは、実内視鏡により出力されたビデオ画像から、フロー検出とエポポーラ幾何を利用したカメラ動き検出を行い、それを基に実内視鏡と術前画像から生成される仮想内視鏡との間の画像レジストレーションを実行することで、実内視鏡のカメラ動き推定を行っている。

手術室においては、非接触型ユーザインタフェースの実現が重要な要素となる。その場合には、音声・映像を利用した知的なユーザインタフェースが必要となる。そのために、複数のカメラを設置し、操作者のジェスチャを認識することで手術ナビゲーションシステムを操作する手法についても紹介する。これを更に発展させるには、音声情報と画像情報を統合し、操作者の意図を理解するようなより賢い仕組みの実現が求められる。

医用画像分野における メディア処理

-画像誘導下手術・画像診断の立場から-

名古屋大学
森 健策



医用画像処理の特徴

- 3次元「濃淡」画像が日常的に取り扱われる分野(唯一?)
 - 診断・術前・術後
- 日々の業務中で大量の画像が発生
 - マルチスライスCT: 約500スライス/人
- 様々なモダリティの存在
 - CT
 - MRI
 - Ultra sound
 - ビデオ(内視鏡)
- 処理時間に対する要求の多様性
 - 実時間 例) 手術ナビゲーション
 - バッチ処理 例) 画像解析, コンピュータ診断支援



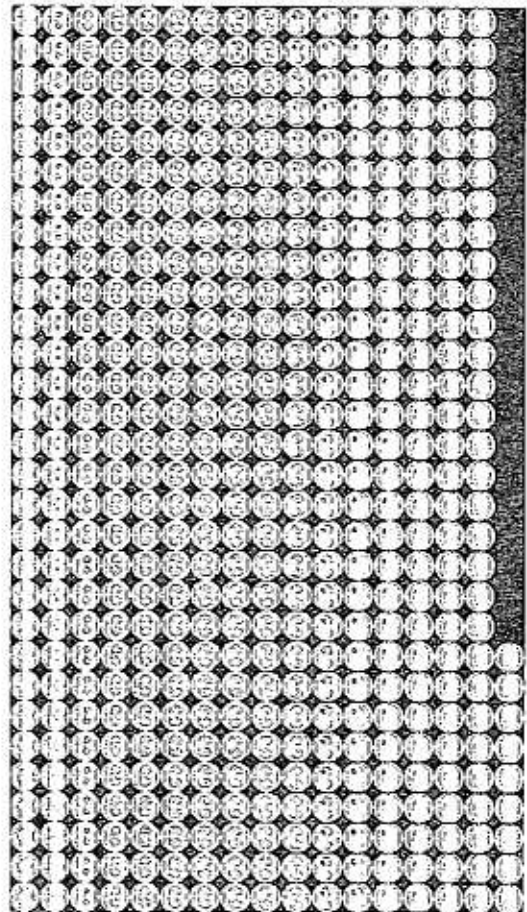
医用画像処理におけるメディア統合

処理すべき対象に関しての各種メディアの統合

- モダリティ間統合
 - CT, MRI, Ultra sound, ビデオ(内視鏡)
 - 解剖学的知識と各種モダリティ
 - 知的画像診断

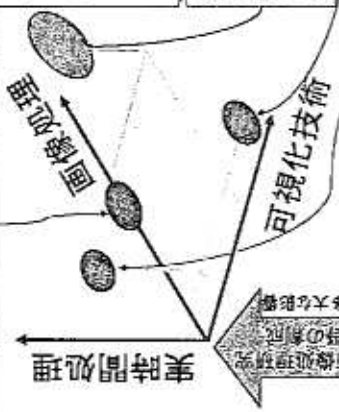
医用画像処理システムにおけるユーザインタフェースとしての各種メディアの統合

- 音声・映像の統合
 - 非接触型ユーザインタフェースとして
 - 手術中におけるナビゲーションシステムの操作
 - 手術中ロボットの操作
- 高度な状況認識
 - ユーザの意図理解
 - 医学的知識の採用



医用画像処理の国際的な位置づけ

シカゴ大学, 東京農工大,
徳島大学, 岐阜大学
個々の特長を統合しシステムの実用化
(基本的思想・手法はすべて名大から輸出)



名大の特色 (医用画像処理)

- ・医用画像処理研究における世界的先駆者
- ・名大の開発した基本的概念を世界中の医用画像処理研究グループが継承
- (1) 2次元・3次元画像処理技術の約30年にわたる蓄積
- (2) 世界的基礎研究多岐
- 胸部X線像自動診断(72年)・手術シミュレーションシステム(86年)・仮想化内視鏡(94年)・内視鏡ナビゲーション(99年) 等多数

名大の研究水準

(現状) 多次元信号処理, 人体可視化技術において世界最高水準
(形成後) 実時間での実・仮想融合, 人体ナビゲーション診断で世界をさらにリード

ハーバード大学, 東京大学, ロンドン・ガイ病院
画像診断外科手術研究において世界最高水準
(86年の名大の手術シミュレーション研究を基盤)

ハンブルグ大学
3次元医用画像可視化技術を利用した
最初級件成技術において世界最高水準

医用画像処理分野における先駆的研究例

手術シミュレーション

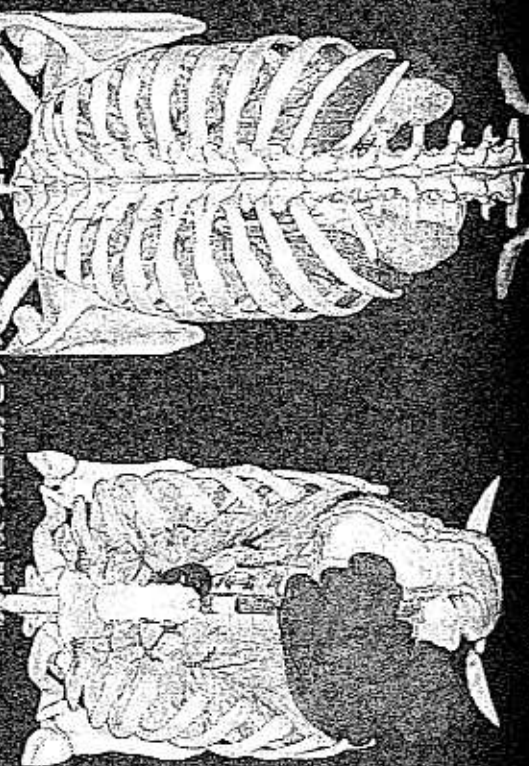
- 人体術前3次元画像を元に手術手法・結果をシミュレーション
- 頭蓋形成手術シミュレーション (BME 1986, IEEE TMI 1990), 股関節手術シミュレーション (BME 1989)
- 軟部組織(顔)の変形も含めたシミュレーション
- 上記研究の商品化 帝人 Surgical
- 他機関による追隨発展的研究(コロラド大, 阪大, スタンフォード大他多数)

仮想化内視鏡システム

- 3次元画像を元に内視鏡画像を生成
- 世界的に先駆けて開発(3D Image Conf. 1994, BME 1995, IEICE Trans. 1996)
- 3次元医用画像可視化・診断手法の1分野を切り開く
- 臨床雑誌等で数多くの特集号
- 現在も世界トップレベルの発展研究を実施



名古屋大学における医用画像処理研究 -臓器領域自動セグメンテーション-



肝臓, 膵臓, 腎臓, 脾臓, 腸, 胃, 胆嚢, 胆管, 膵臓, 腎臓, 脾臓, 腸, 胃, 胆嚢, 胆管

実人体と仮想化人体を融合した新しい医用画像処理手法の追求

手術ナビゲーション
実人体と仮想化人体の融合

手術シミュレーション
手術シミュレーションに基づく仮想手術のシミュレーション手法の確立

画像提示手法
仮想化人体手術のための新しい画像提示手法の確立

新築技術の加算が注目! 画像診断, 画像処理, 画像融合, 画像提示

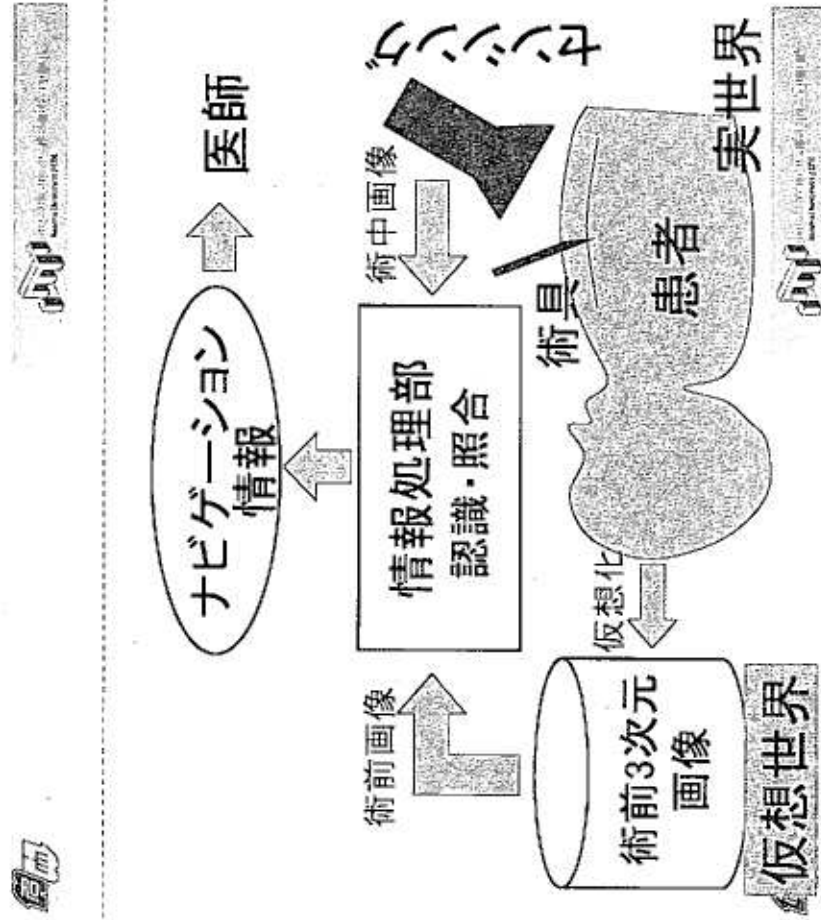
発表の概要

- 医用画像分野におけるメディア処理
 - 画像誘導下手術 (手術ナビゲーション)
 - 位置センサ出力と術前画像情報の統合
 - 術中情報提示法
 - 術前・術中画像統合
 - 内視鏡ナビゲーションシステム
 - 画像類似度に基づく内視鏡カメラ動き推定
 - Enhanced Endoscopy
 - 医用画像処理システムにおけるユーザインタフェース
 - 音声・映像を統合した知的ユーザインタフェースの必要性

画像誘導下手術

Image Guided Surgery

手術・検査時に
術前(preoperative)画像
術中(intraoperative)画像
を基に手術・検査を
ナビゲーションする手法



医用画像処理における手術中の メディア情報処理

1. 実環境中の対象物体の計測
CT装置 ビデオ内視鏡画像
2. 計測情報の認識・理解
患者姿勢・術具位置認識理解
3. フォードバック
拡張現実感による情報表示



医師が知りたいこと

術具は今どこにあるのか？
そこには何があるのか？
計画通り手術が進んでいるか？

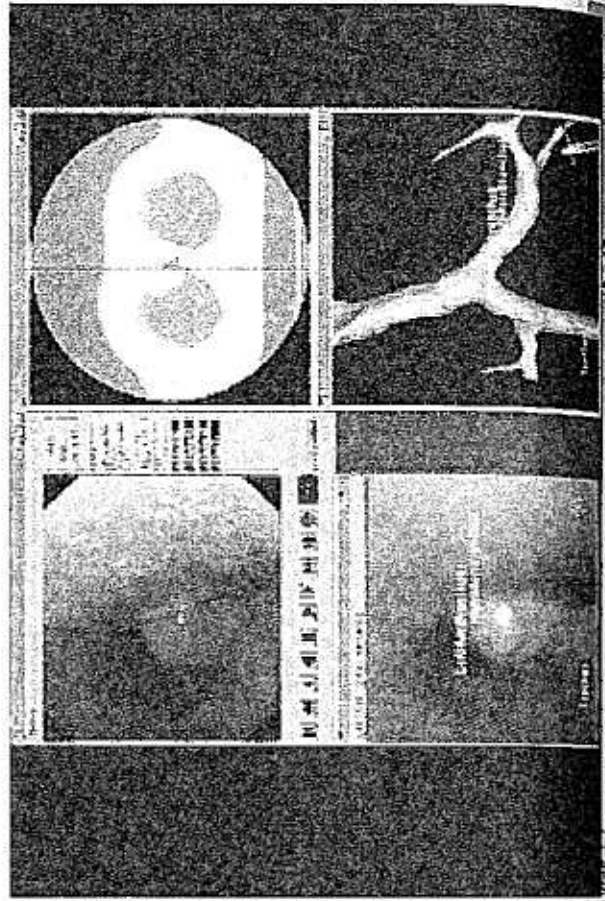
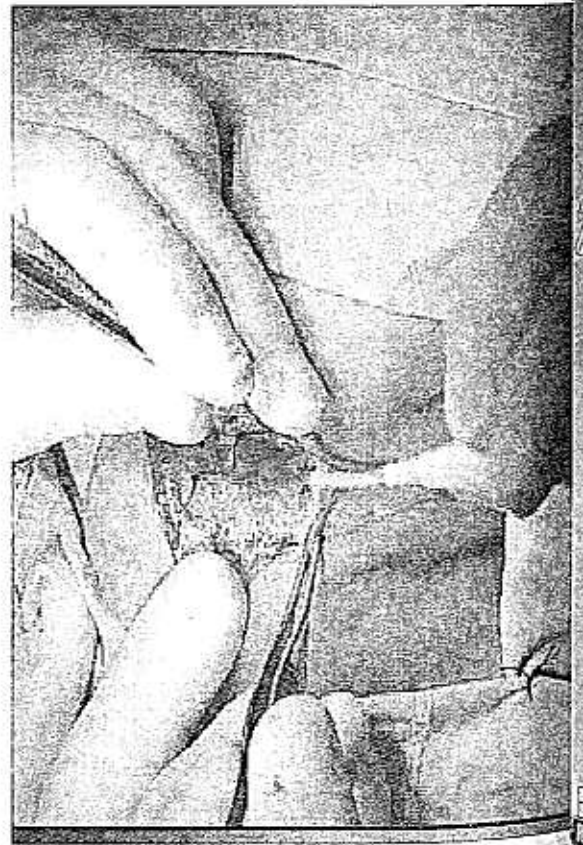


Image Guided Surgery System

- ・術前3次元画像取得
- ・座標系統一(キャリブレーション)
- ・術中位置センシング(患者、術具)
- ・位置合わせ(レジストレーション)
- ・融合表示

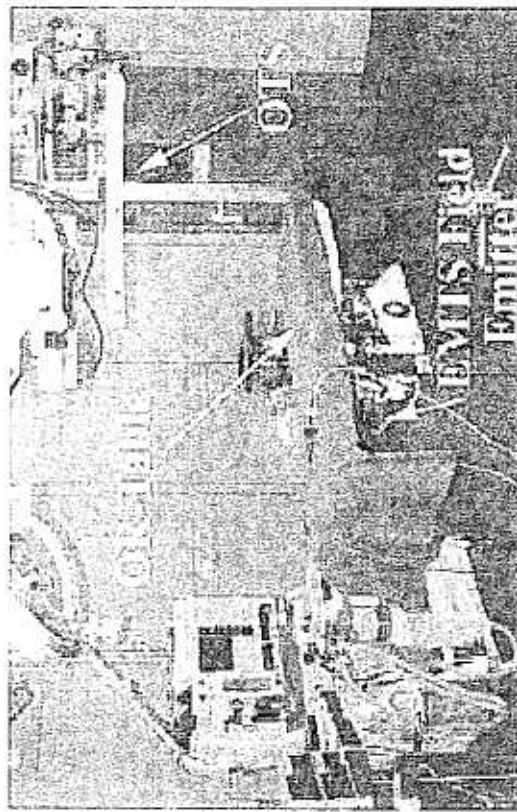


術中患者位置センシング

- 人体の特徴点位置の把握
- ・人体内部にマーカ埋め込み
 - ・解剖学的特徴点検出
 - ・解剖学的特徴形状検出

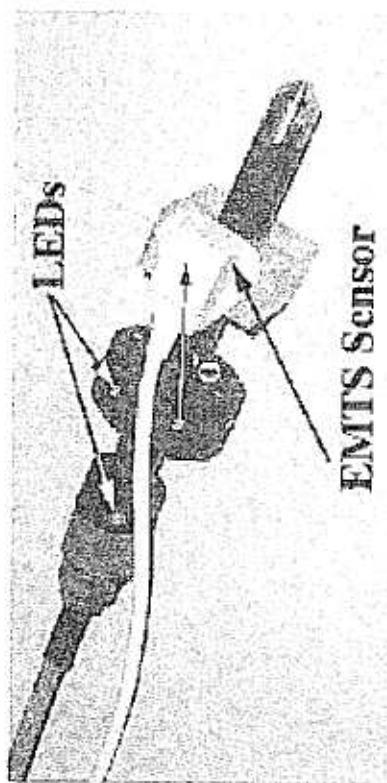
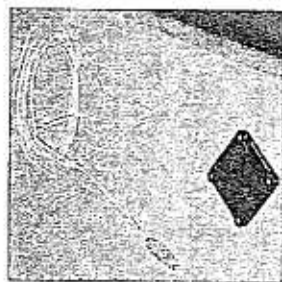
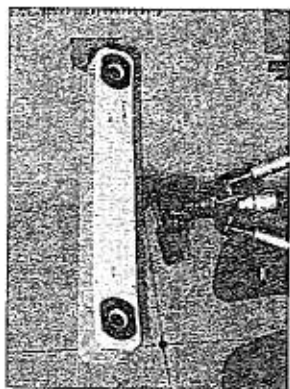
術具位置センシング

- 術具位置の把握
- ・位置センサによる直接測定



W. Birkfellner, F. Warzinger, F. Wanschitz, R. Ewers, and H. Bergmann, Calibration of Tracking Systems in a Surgical Environment, IEEE Trans. of Med. Ing., 17, 5, 1998





W. Birkelmeier, F. Watzinger, F. Wanschitz, R. Ewers, and H. Bergmann, Calibration of Tracking Systems in a Surgical Environment, IEEE Trans. of Med. Img., 17, 5, 1998



キャリブレーション

すべての座標系を術前画像の座標系で統一

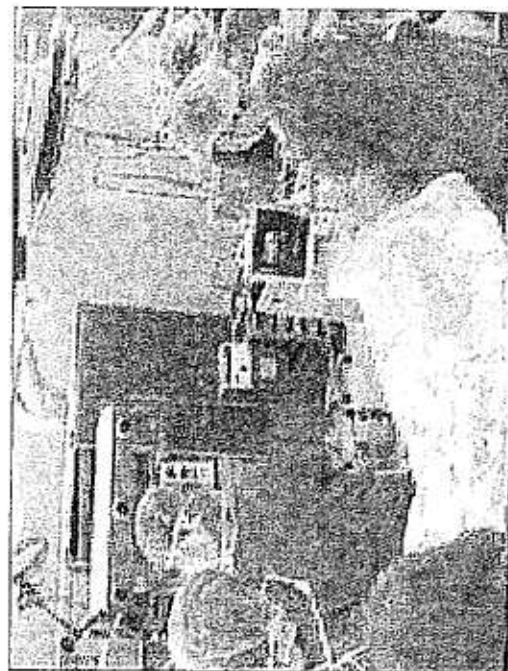
- ・ 術具の先端位置を特定

レジストレーション

術前画像と術前画像の位置あわせ

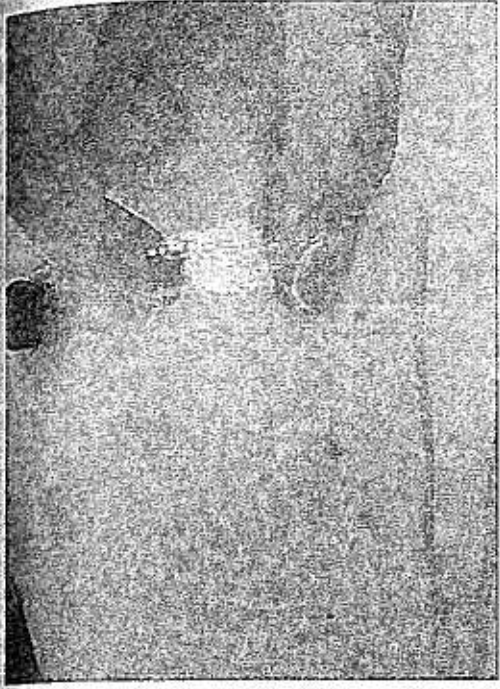
融合表示

術具位置を術前画像上に合成表示





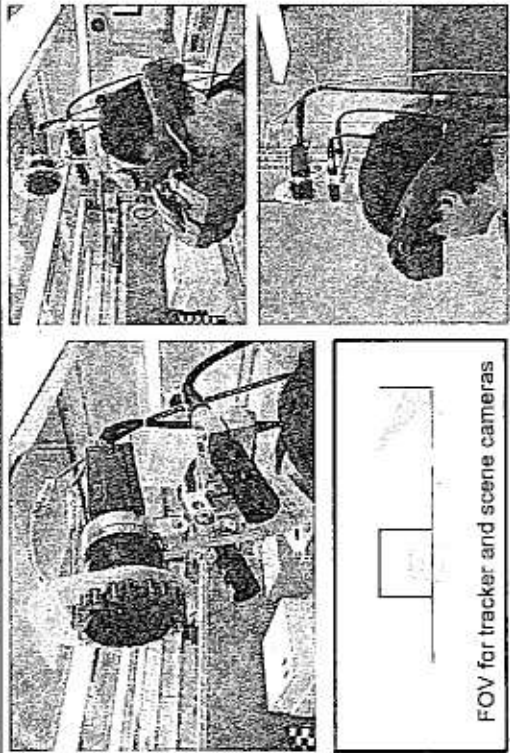
大阪大学医学部機能画像診断部提供



大阪大学医学部機能画像診断部提供



実世界カメラとHMD



FOV for tracker and scene cameras

Courtesy of Dr. Calvin Maurer, Jr., Stanford Univ.



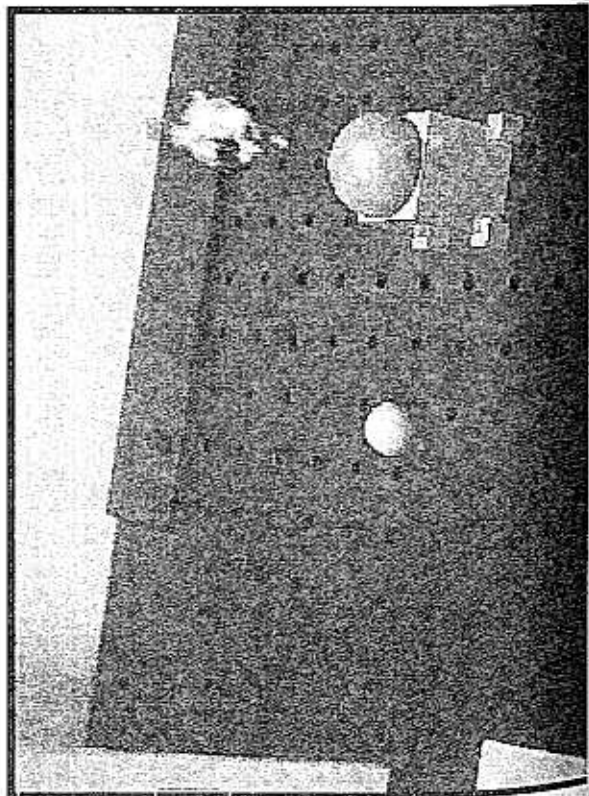
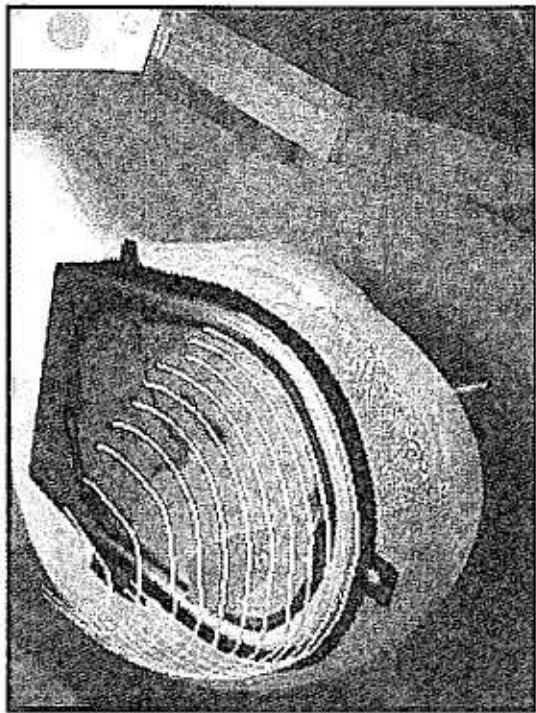
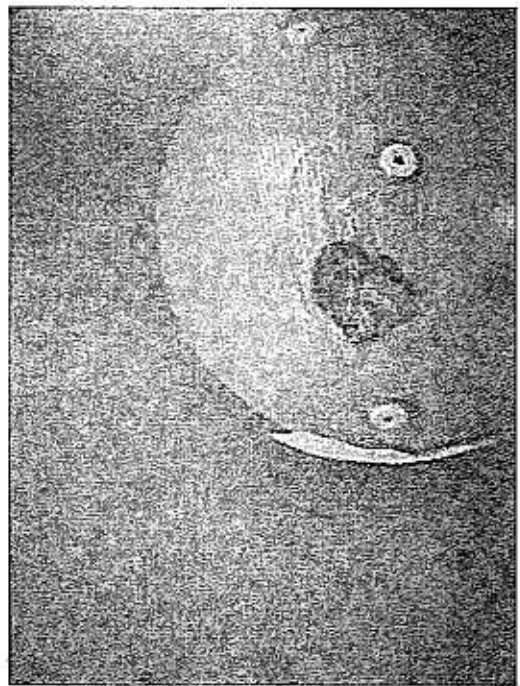
手術ナビゲーションとして 増強現実実感



Courtesy of Dr. Calvin Maurer, Jr.,
Stanford Univ.

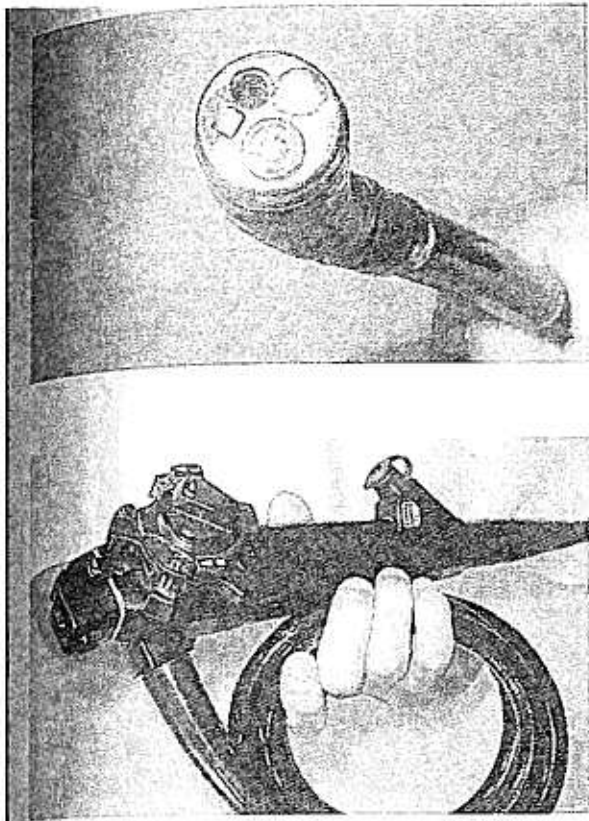
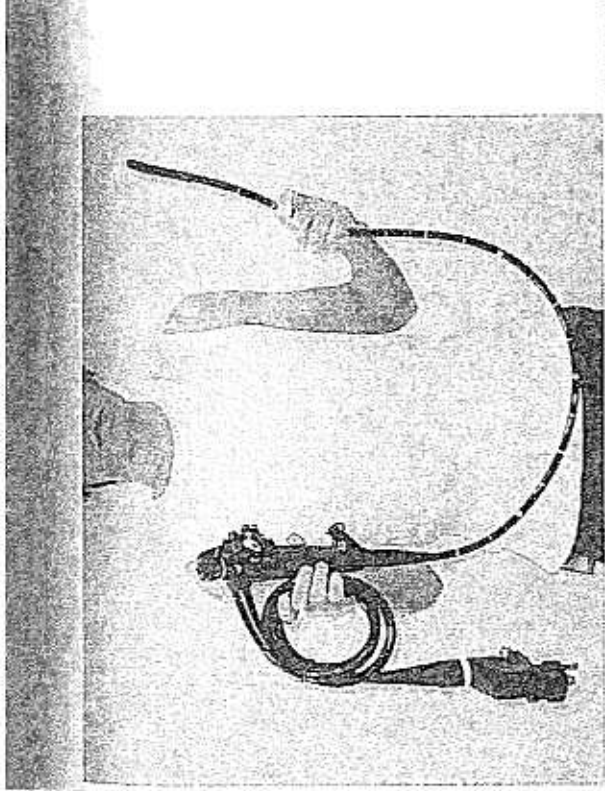


Courtesy of Dr. Calvin Maurer, Jr.,
Stanford Univ.



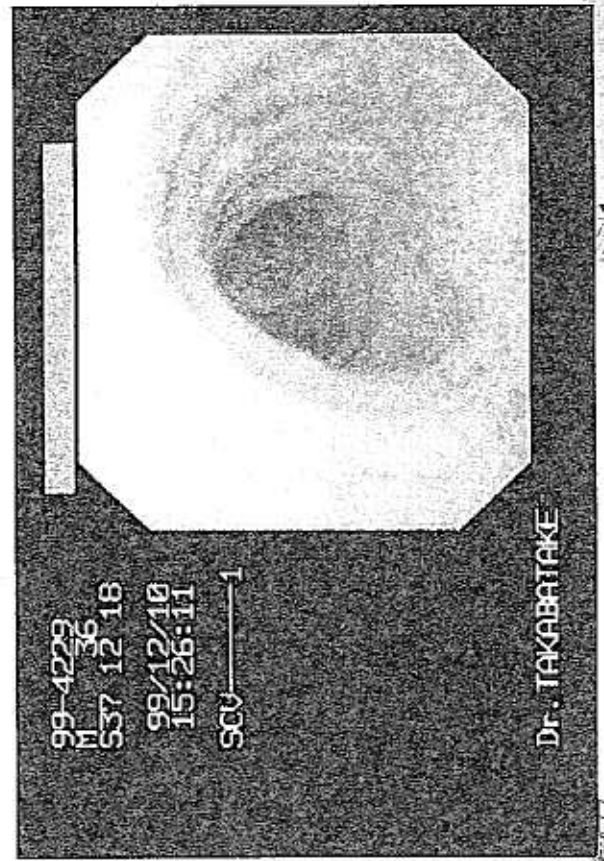
仮想化内視鏡システムと実内視鏡との融合
-仮想化内視鏡システムを用いた
実内視鏡のカメラ動きの推定-





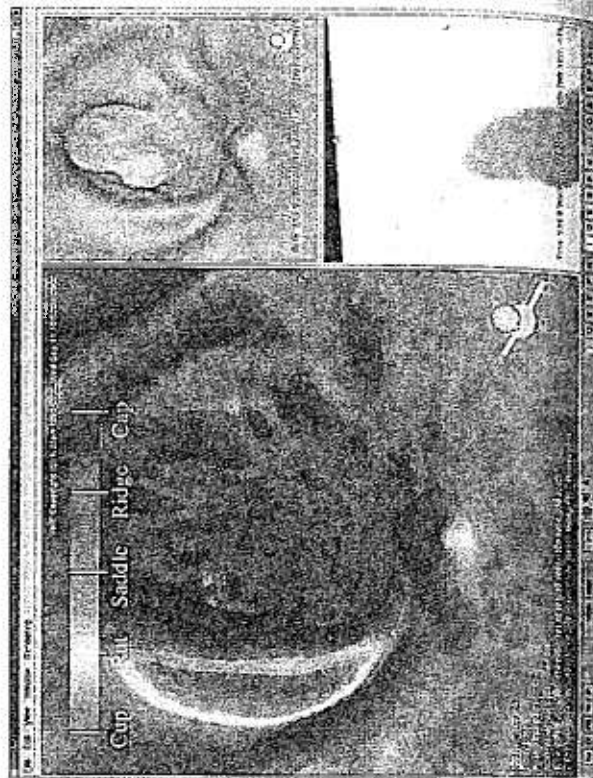
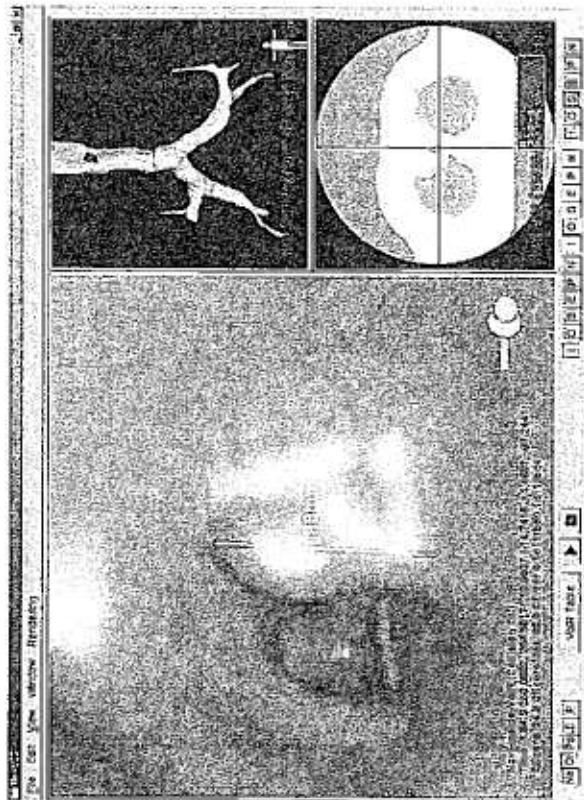
Virtual endoscopy

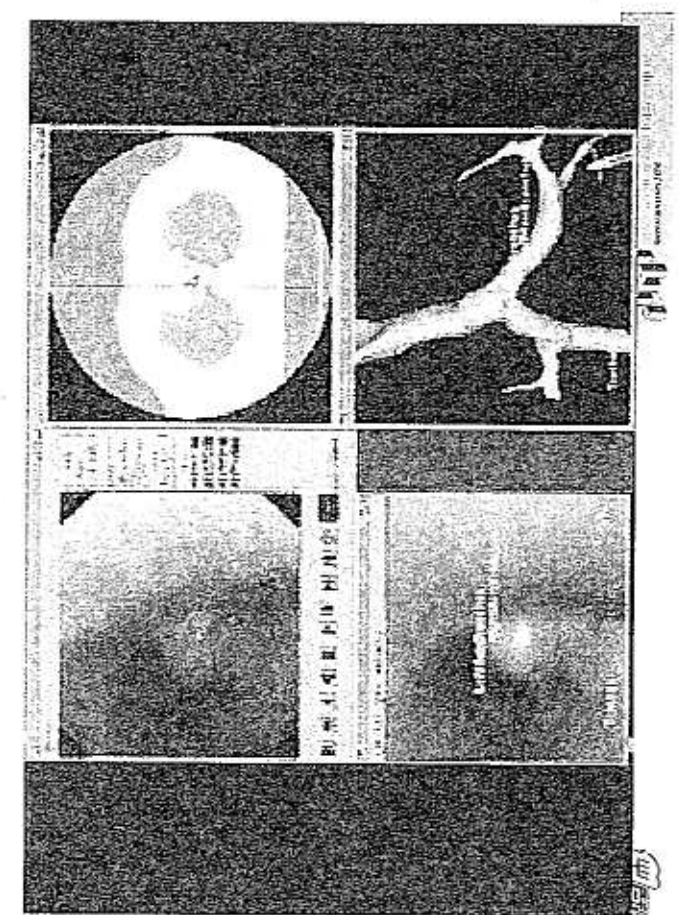
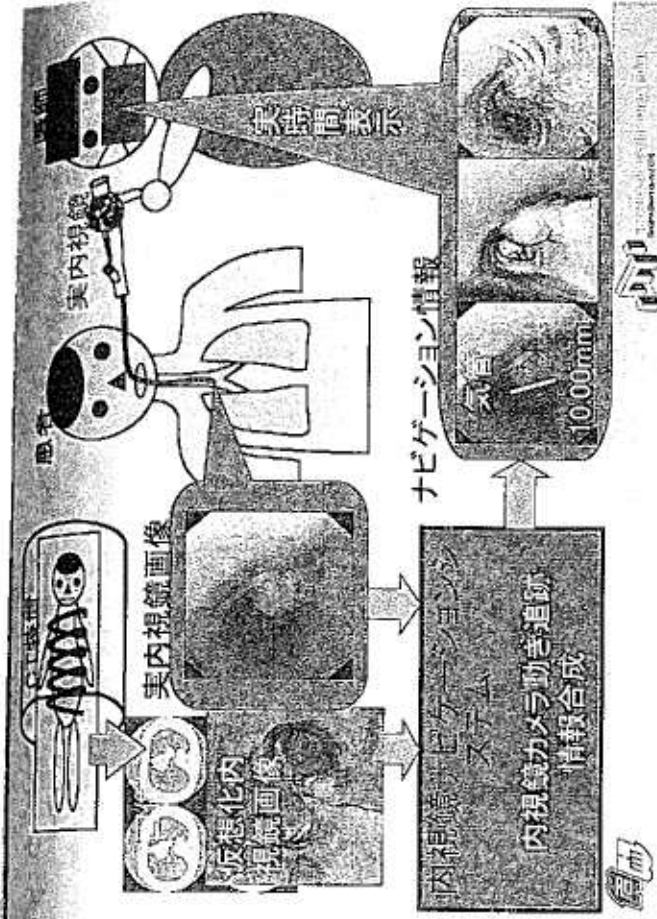
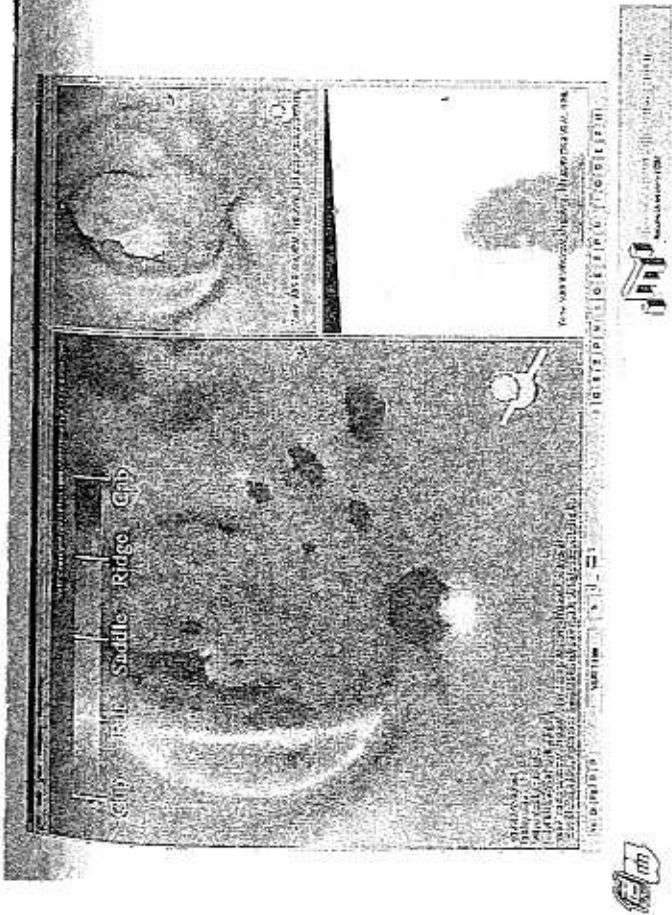
- 3次元医用画像を基にした人体内部観察(可視化)手法
- 対象とする臓器内部を自由にフライスルー可能
- 応用
 - 診断、手術計画立案、インフォームドコンセント、訓練、医学教育
- Keywords = 透視投影, フライスルー, 対話的ナビゲーション, 実時間描画
- 初期の研究
 - D. Vining et al. RSNA Scientific Program 1994
 - K. Mori et al. 3D Image Conference 1994



Virtual endoscopyにおける要素技術

- 透視投影による実時間描画
 - サーフエスレンダリング (Marching Cubes + Polygon rendering)
 - ポリユームレンダリング (3D texture mapping, Pure ray casting)
- ユーザインタフェース
 - 手動フライスルー
 - マウスによって視点位置・視線方向を連続的に変更する仕組み
 - 自動フライスルー
 - 芯線
 - 距離画像
- 補助ビュー
 - スライス画像 (3軸に垂直な画像群)
 - 対象とする臓器の外形像
- 計測機能
 - 長さ
 - 面積
 - 体積





内視鏡カメラパラメータ

(k-1)番目

$Q^{(k-1)} = \{P^{(k-1)}, w^{(k-1)}\}$

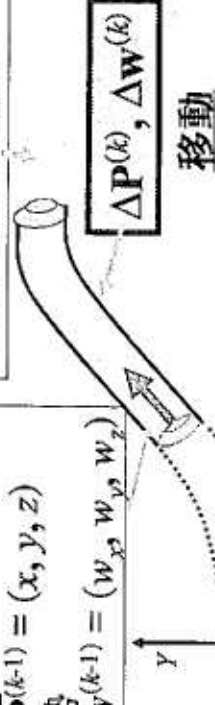
位置 $P^{(k-1)} = (x, y, z)$

姿勢 $w^{(k-1)} = (w_x, w_y, w_z)$

k-th frame $Q^{(k)} = \{P^{(k)}, w^{(k)}\}$

位置 $P^{(k)} = P^{(k-1)} + \Delta P^{(k)}$

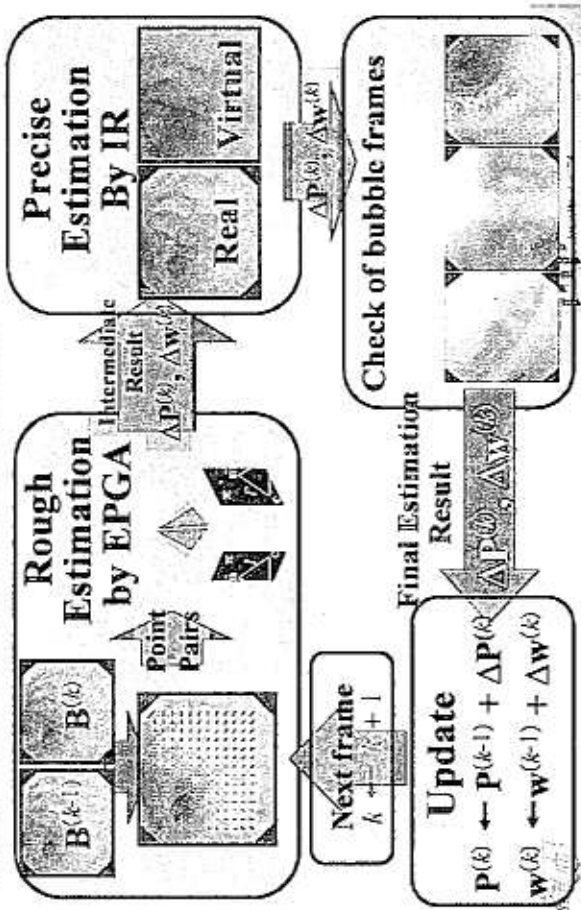
姿勢 $w^{(k)} = w^{(k-1)} + \Delta w^{(k)}$



カメラ内部パラメータは固定

$\Delta P^{(k)}$ と $\Delta w^{(k)}$ の推定法は？

処理手順



内視鏡カメラ動き推定結果

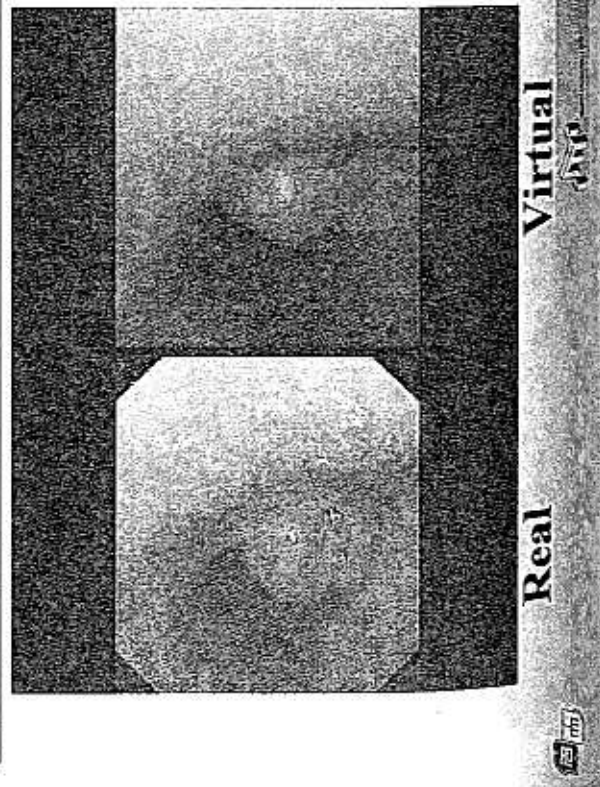


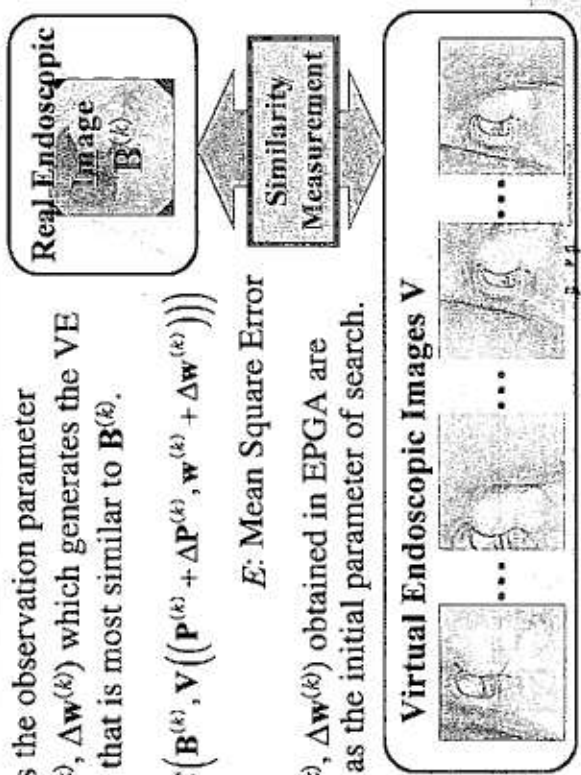
Image Registration (IR)

- Finds the observation parameter $(\Delta P^{(k)}, \Delta w^{(k)})$ which generates the VE view that is most similar to $B^{(k)}$.

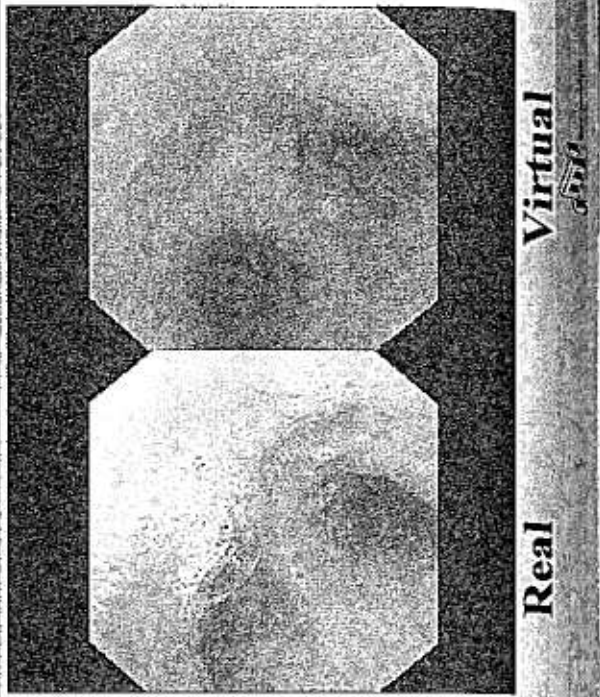
$$\min_{\Delta P^{(k)}, \Delta w^{(k)}} E(B^{(k)}, V((P^{(k)} + \Delta P^{(k)}, w^{(k)} + \Delta w^{(k)})))$$

E : Mean Square Error

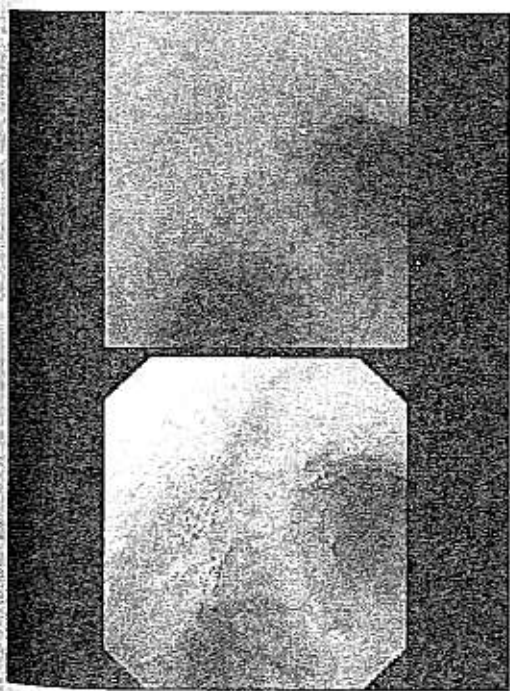
- $(\Delta P^{(k)}, \Delta w^{(k)})$ obtained in EPGA are used as the initial parameter of search.



内視鏡カメラ動き推定結果



内視鏡カメラ動き推定結果

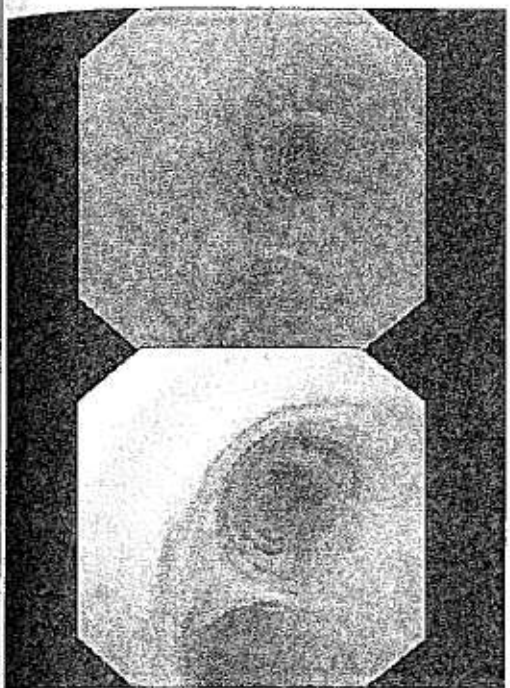


Real

Virtual



内視鏡カメラ動き推定結果

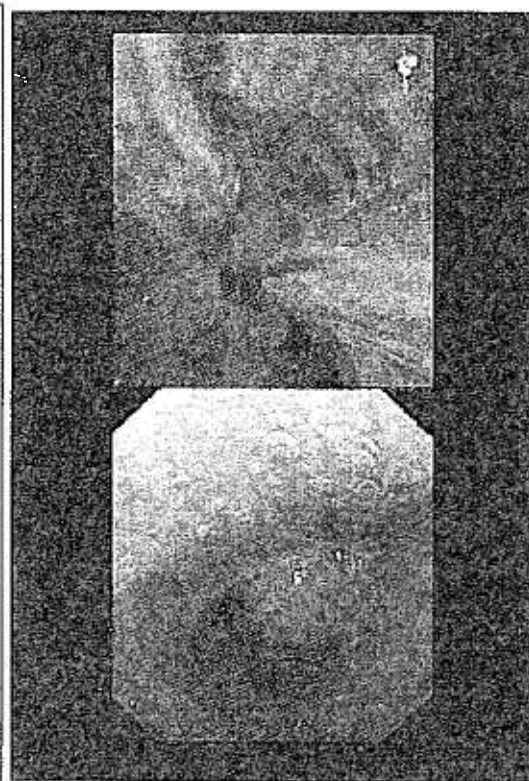
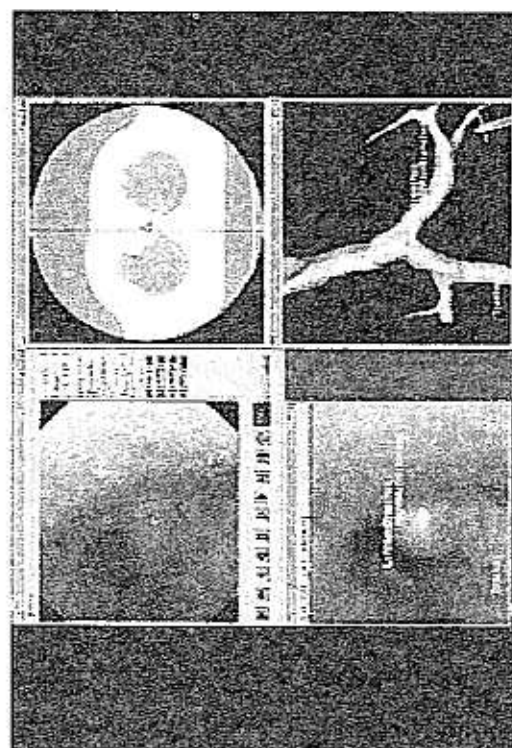


Real

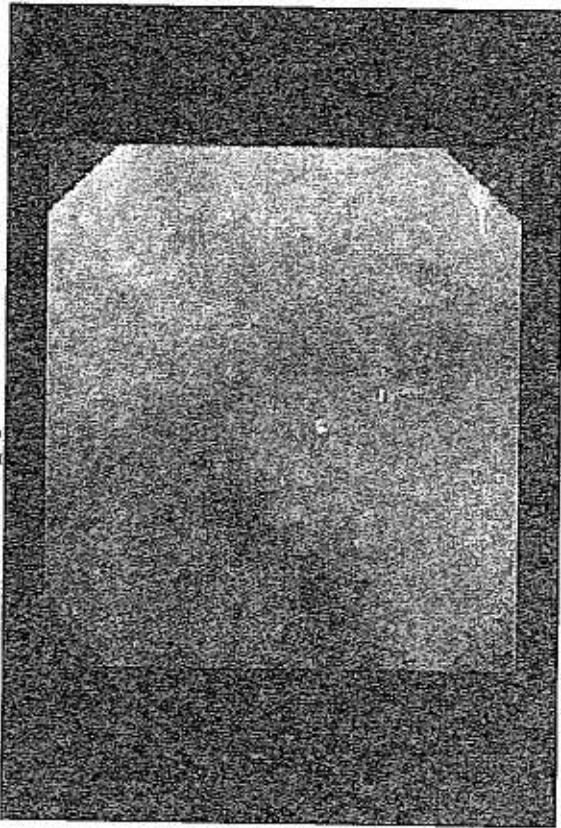
Virtual



仮想化内視鏡システムと実内視鏡との融合



Enhanced Endoscopy



手術ナビゲーションシステムにおけるユーザインタフェース

- 非接触型ユーザインタフェースの必要性
 - 術者
 - 術具把持
 - 不潔域を触ることはできない
- 映像・音声の利用は一つの解決法
 - 多チャンネル計測結果の利用
 - 特に映像 → 死角の発生



画像・音声統合認識理解による手術室高度情報環境の実現

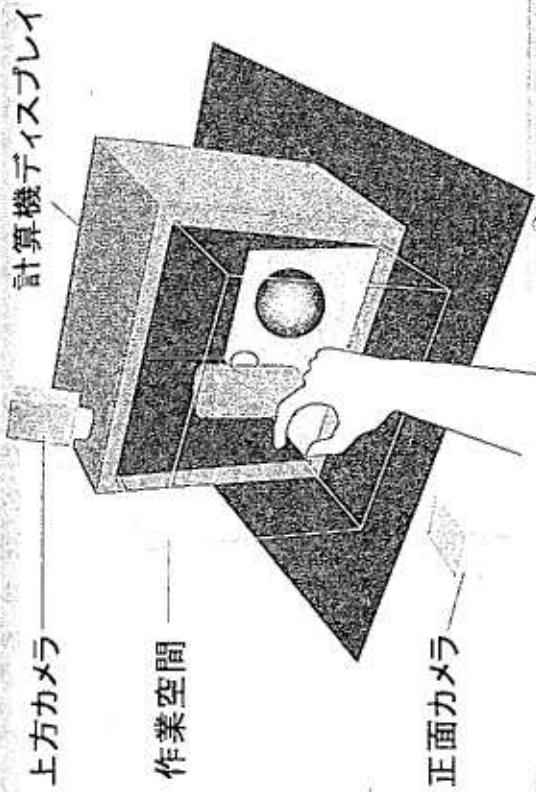


多センサ情報出力を統合した認識・理解系による高度なシステム構築

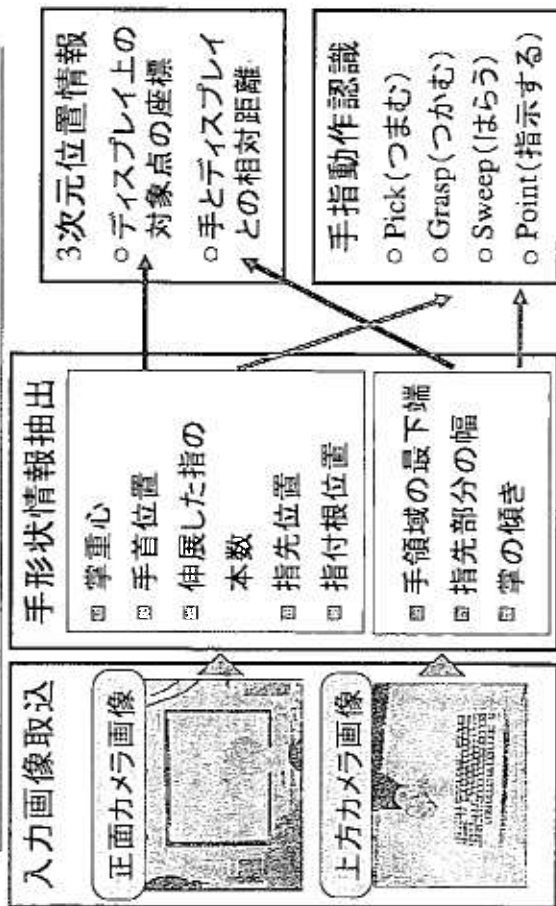
ジェスチャ認識によるVE制御



システム動作環境



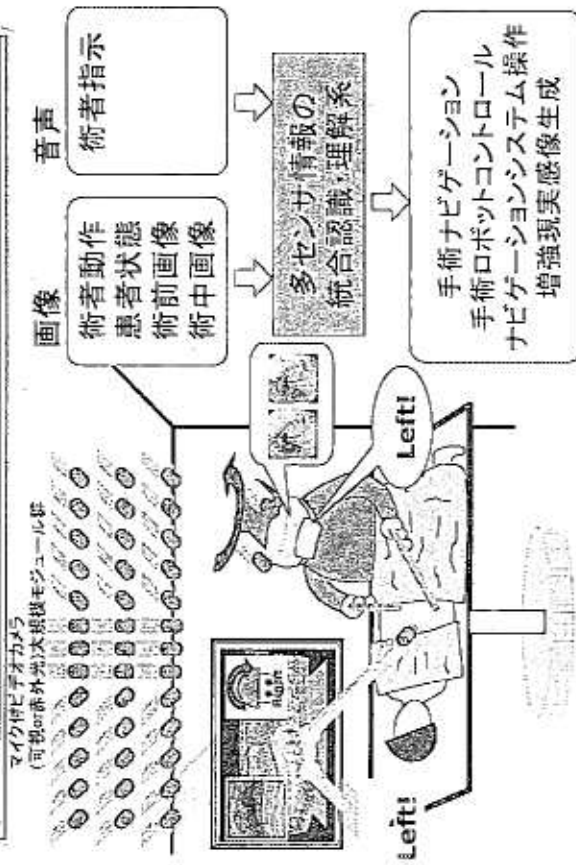
処理の流れ



ジェスチャ認識によるVE制御



画像・音声統合認識理解による手術室高度情報環境の実現



多センサ情報出力を統合した認識・理解系による頑健なシステム構築

むすび

- 医用画像処理におけるメディア統合
 - 画像誘導下手術(手術ナビゲーション)
 - 位置センサ出力と術前画像情報の統合
 - 術中情報提示法
 - 術前・術中画像統合
 - 内視鏡ナビゲーションシステム
 - 画像類似度に基づく内視鏡カメラ動き推定
 - Enhanced Endoscopy
 - 医用画像処理システムにおけるユーザーインタフェース
 - 音声・映像を統合した知的ユーザーインタフェースの必要性

