

2016年10月28日
3D フォーラム(三次元映像のフォーラム)
第 117 回研究会「医療と 3D」

拡張現実技術の医療応用

千葉大学フロンティア医工学センター
中口俊哉

1

医療安全に対する意識の高まり

- “To Err is Human: Building a Safer Healthcare System” 報告書
1999年, 米国Institute of Medicine of the National Academy of Sciences

死因	年間死亡者数 (米国1997年)
医療事故	44, 000人以上／年
交通事故	43, 458人／年
肺がん	42, 297人／年
エイズ	16, 516人／年

2

医療事故の種類

- 医療事故の約50%が手術中に発生
- 医療事故の約30%が医療過誤

	医療事故の割合	医療事故のうち過失の占める割合	医療事故のうち重度の障害を伴うものの割合
手術	47.7%	17.0%	24.0%
薬剤	19.4	17.7	14.1
診断	8.1	75.2	47.0
治療	7.5	76.8	35.4
侵襲的手技	7.0	15.1	28.8
転倒	2.7	—	—
骨折	1.2	—	—
分娩後	1.1	—	—
麻酔	1.1	—	—
新生児	0.9	—	—
システムなど	3.3	35.9	36.0
合計	100.0	27.6	25.7

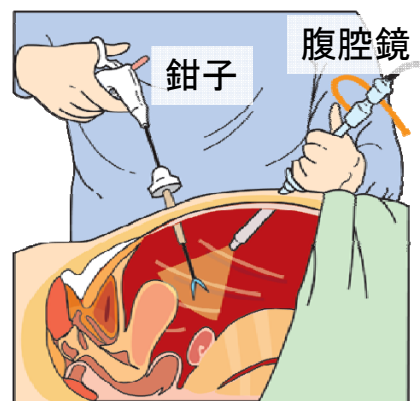
Harvard Medical Practice Study

3

低侵襲(鏡視下)手術



千葉大学医学部附属病院



モニタ



- 外科医にとって低侵襲(鏡視下)手術は多くの技術と経験が必要とされる難しい手技
 - 腹腔鏡画像には奥行き(3次元)の情報が無く、視野自体も狭い.
 - 滅菌が困難なモニタは離れた場所に設置せざるを得ない.
 - 手(器具)と視野(モニタ内の映像)の位置関係の把握が困難である.

4

拡張現実技術による手術支援 その1

モニタ表示画像に対するオーバーレイ表示
肝臓内部の血管走行を提示

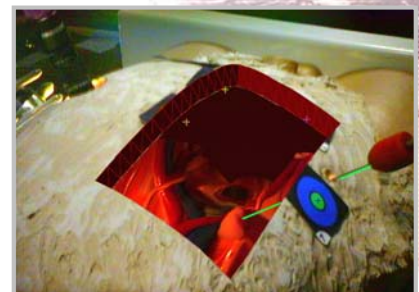


K. Konishi et al., 2007.

5

拡張現実技術による手術支援 その2

ヘッドマウントディスプレイを使ったAR手術支援



H. Fuchs et al., 1998.

6

拡張現実技術による手術支援 その3

シースルー型液晶モニタを使ったAR

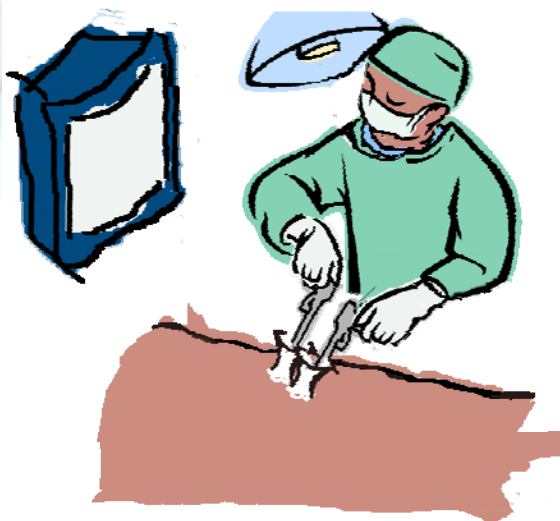


MEDARPA
<http://www.medarpa.de/>

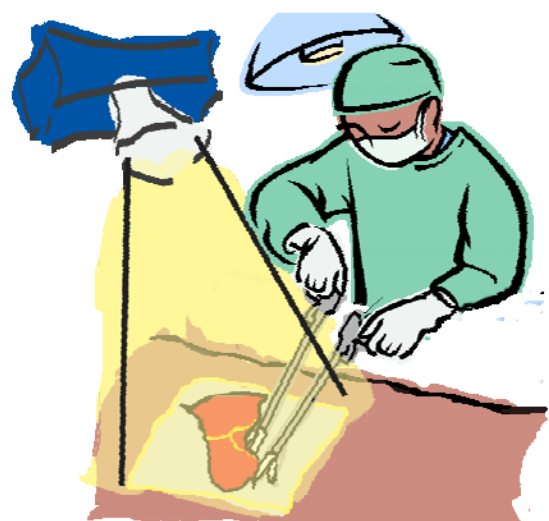
7

プロジェクターARによる手術支援の提案

従来の方式



提案方式



プロジェクター・カメラ型ARの利点

- ・手術対象に直接映像を投影するため直感的に理解しやすい
- ・術者への負担が少ない

8

プロジェクターの可能性

- どこにでも映像を提示できる
 - 平面・曲面・凹凸
 - 近く・遠く, サイズ自由
 - 色・模様がある面
- 小型化
- カメラと組み合わせてさらに発展
 - プロジェクター・カメラシステム
 - 表示(Output) と 計測(Input)



Texas Instruments

9

映像表現技法: プロジェクションマッピング



<http://design.style4.info/2011/02/perspective-lyrique/>



<http://vimeo.com/19817933>



<http://and-r.jugem.jp/?eid=128>



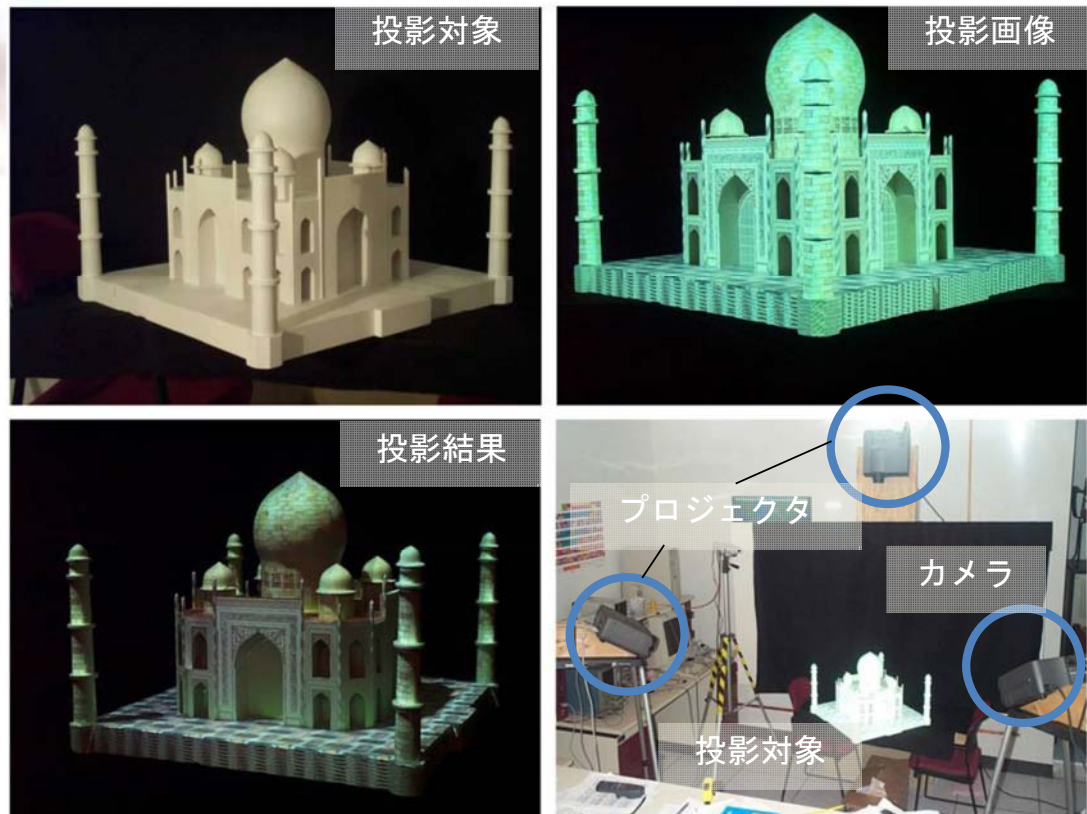
<http://senkanburian.jugem.jp/?eid=908>

10

プロジェクター・カメラの応用例 1/4

Shader Lamps

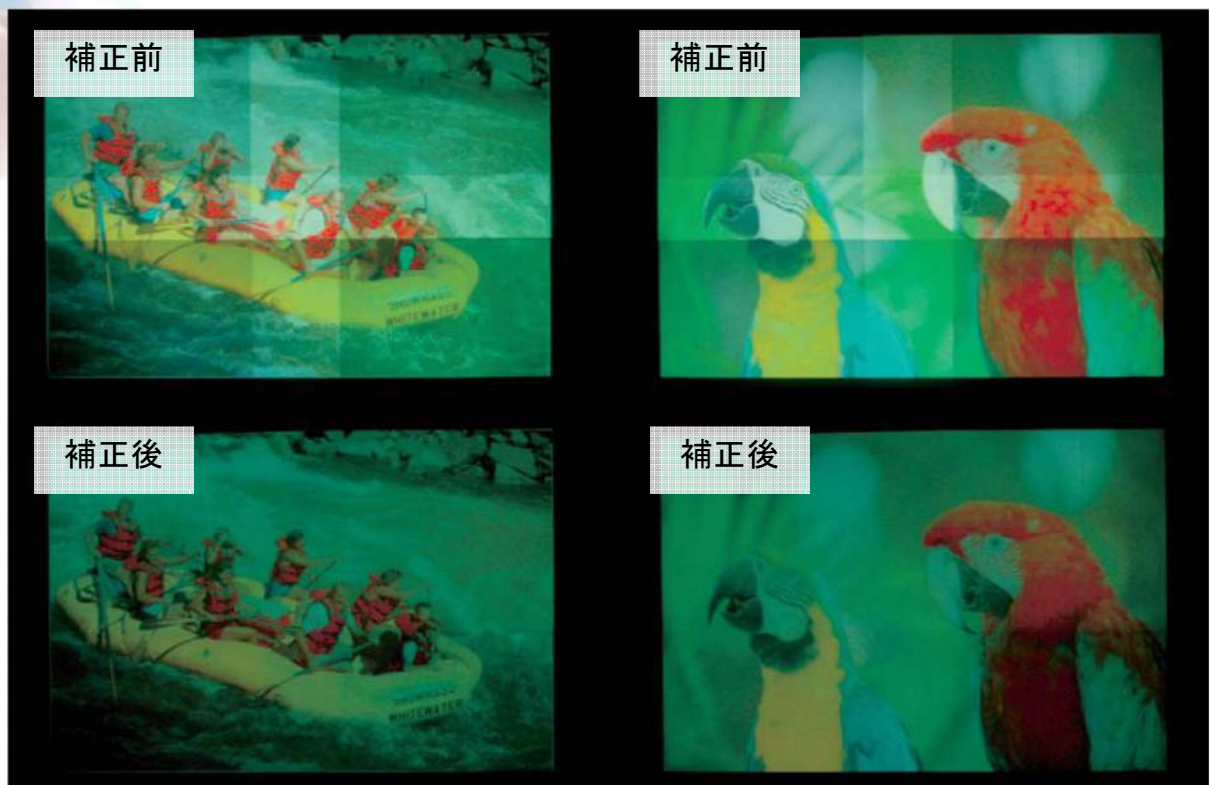
[Raskar, et al., 2001]



11

プロジェクター・カメラの応用例 2/4 複数プロジェクタの繋ぎ合わせ

[Brown, et al., 2005]



12

プロジェクター・カメラの応用例 3/4 非白色面への投影

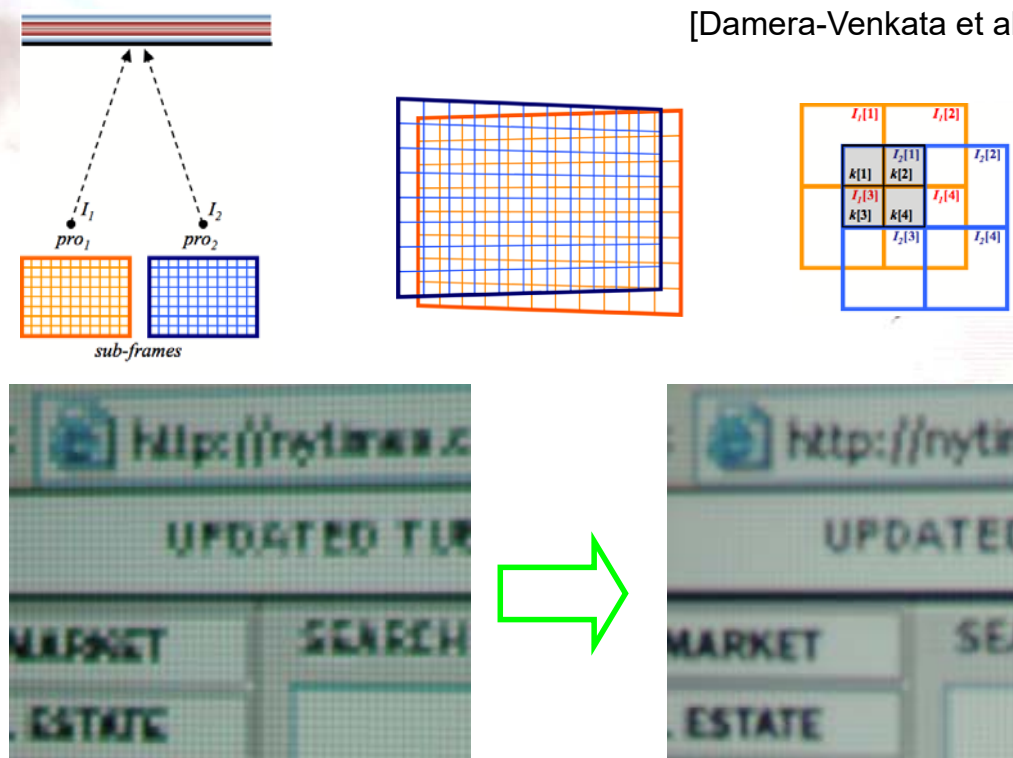
[Ashdown et al., 2006]



13

プロジェクター・カメラの応用例 4/4 複数のプロジェクタを用いた超解像度化

[Damera-Venkata et al., 2007]



14

プロジェクタAR手術支援の課題

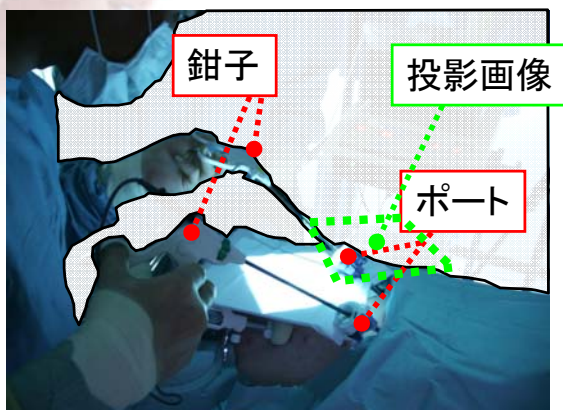
- 実現可能性の検証
- 投影技術
 - 投影面の形状計測
 - プロジェクタ, カメラ, 視点位置検出
 - 投影画像の歪み補正計算
- 投影コンテンツ(体内構造データ取得)
 - 計測デバイス
 - 形状計測

15

手術室における映像投影は可能か？

手術室は明るい(約2000lux)

家庭500lux, 事務所1000lux

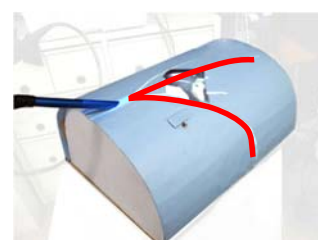
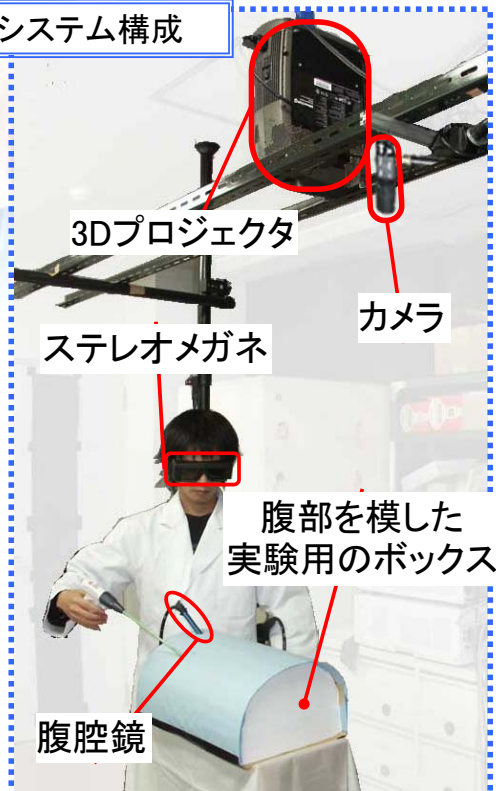


- 手術室の照明を落とし、腹腔鏡画像を患者腹部に単純に投影するシステムの有効性を動物実験により検討
 - 鏡視下手術は低照度室内でも問題なく完遂できた
- 術部・鉗子・腹腔鏡画像が同時に視野に入るため、
医師の負担軽減等の効果あり。

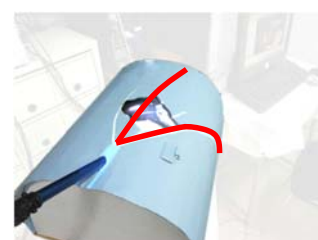
16

構築システムと投影画像の歪み

システム構成



投影面の形状による
画像の歪み



視点移動により
歪みが変化

手術支援投影に必要な技術

- 投影面の形状計測(実時間)
- 視点, 鉗子の3次元位置追跡
- 画像の歪み補正計算

17

光学式形状計測

- 受動型
 - レンズ焦点法
 - 単眼視(テクスチャ, 影)
 - ステレオ法(両眼視, 三眼視, 多眼視, カメラ移動)
 - 動画像(物体移動)
- 能動型
 - 光レーダ法(位相差計測, 時間差計測) TOFカメラ
 - アクティブステレオ法
 - 照度差ステレオ法
 - モアレ法
 - 干渉法

三次元画像計測(昭晃堂)

18

アクティブステレオ法

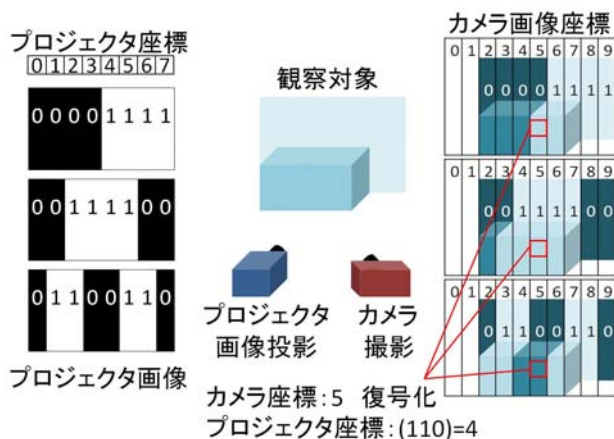
- 受動的手法における対応付けの不安定性を解消
- 構造化光
 - スポット光投影 → ○高精度, 高解像度
× 計測時間が長い (数秒オーダー)
 - スリット光投影
- コード化パターン画像投影
 - 時間多重化法 (複数枚の画像を使用)
 - バイナリコード法 → ○高精度, 高解像度, 計算容易
× 動きに弱い
 - グレイコード法
 - 位相シフト法
 - 空間コード化 → ○高速 × 低解像度

19

時間多重化法

• グレイコード法

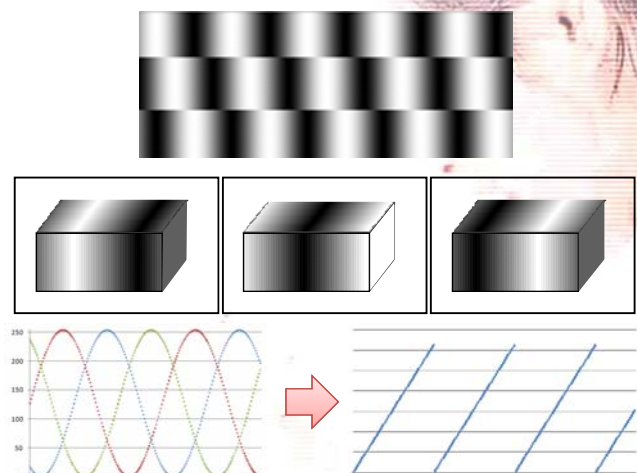
プロジェクタから白黒2値の縞模様を複数枚投影し、縞パターンから投影画像の座標を算出する方法



安定だが10~20枚の撮影が必要

• 位相シフト法

位相をずらした3枚の正弦波縞模様画像を投影する

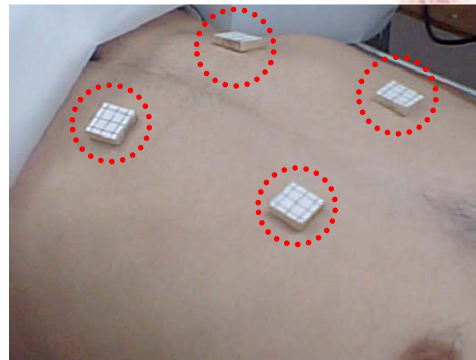
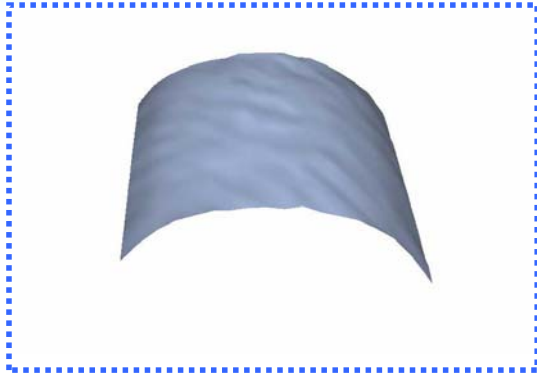


3枚の撮影でOKだが、位相接続が問題

20

患者体表面形状計測の実装

- 術前の腹部形状を高精度に計測
- 術中の形状変動は固定マーカーを追跡



21

デプスカメラの普及

- Light Coding (Prime社)
 - 能動型: アクティブステレオ法
 - コード化パターン画像投影: 空間コード化
 - 高速, 低解像度
 - 安価なデバイス: Microsoft社Kinect
- TOF (Time of Flight) カメラ
 - 能動型: 光レーダ法
 - 距離画像撮影
 - 次々と商品化が進む



Microsoft社
Kinect



<http://graphics.stanford.edu/~mdfisher/Kinect.html>



スイスメサ社
SR4000

22

三次元位置検出

- 光学式
 - 可視・赤外光を使って反射/発光マーカを追跡
 - 高精度, 無線マーカ
 - ×遮蔽に弱い, マーカサイズの物理的制約
- 磁気式
 - トランスミッタが発生する磁場を, センサで検出
 - 遮蔽に強い, センサの小型化が可能(1mm径まで)
 - ×磁性体があると大きく歪む, 一般に有線センサが多い
- ハイブリッド方式
 - 事前処理: 事前に磁場の固定歪みを計測しておく
 - 実時間処理: 光学マーカが遮蔽されたときのみ磁気センサを利用

23

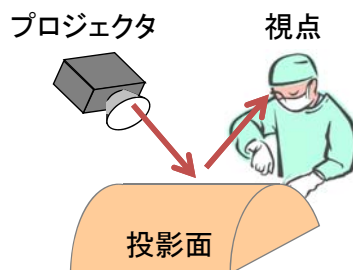
歪み補正: プロジェクタとカメラの双対性

- カメラは像面に撮像素子(CCD,CMOS)があり, プロジェクタは像面に画像素子(LCD,DMD)がある.
- レンズ系の働きに差異はない
- プロジェクタとカメラは置き換え可能
→ 受動型2眼カメラと能動型プロジェクターカメラ
は同じ計算法で奥行きを算出
- プロジェクタ位置にカメラを置いた時の撮影画像
を計算で予測可能

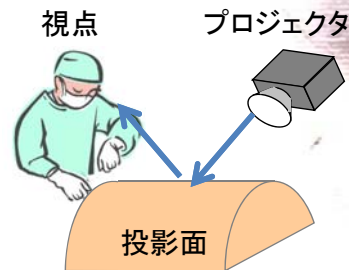
24

歪み補正: 2パスレンダリング法

実空間



計算機上の仮想空間

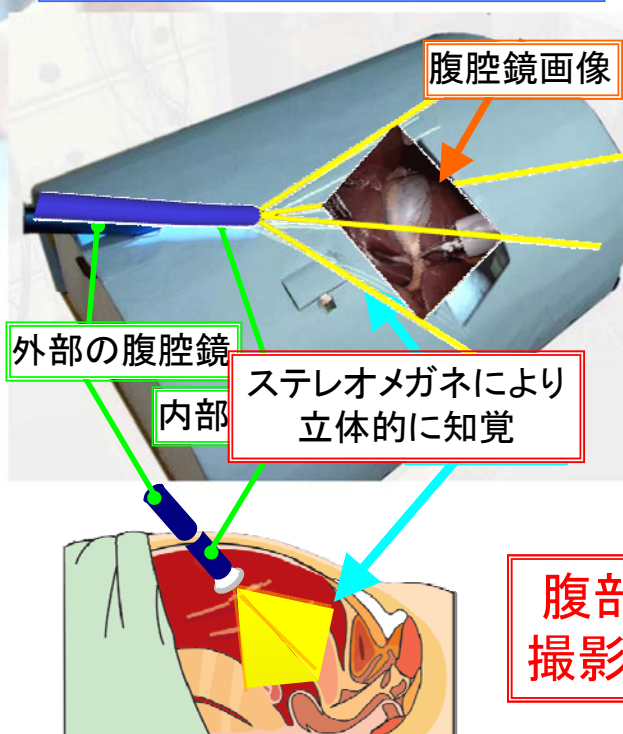


1. プロジェクタと視点位置を交換した状況を仮想空間で再現
2. 提示したい(歪み無い)画像を仮想空間のプロジェクタから投影
3. 仮想空間の視点位置で歪んだ画像を撮影
4. 仮想空間で撮影した歪み画像を実空間のプロジェクタから投影する
5. 実空間の視点で歪み無い画像を観測できる

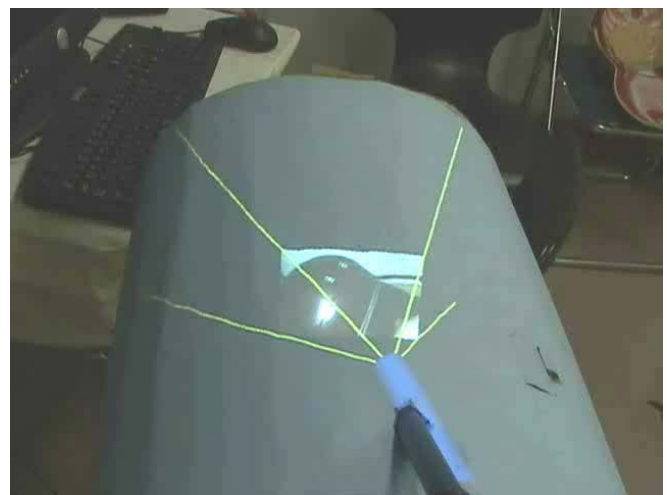
25

鉗子挿入支援

撮影範囲の立体表示の結果



視点移動への対応

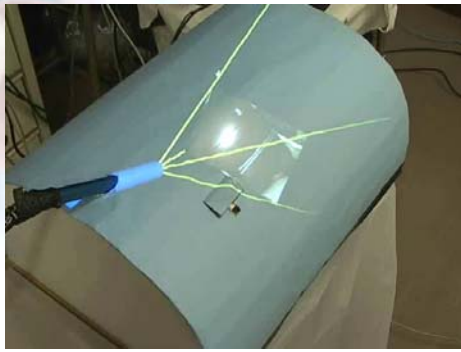


腹部形状, 視点移動に対応した
撮影範囲の立体的な把握が可能

26

鉗子挿入支援の有効性

挿入支援方式: **提案手法**

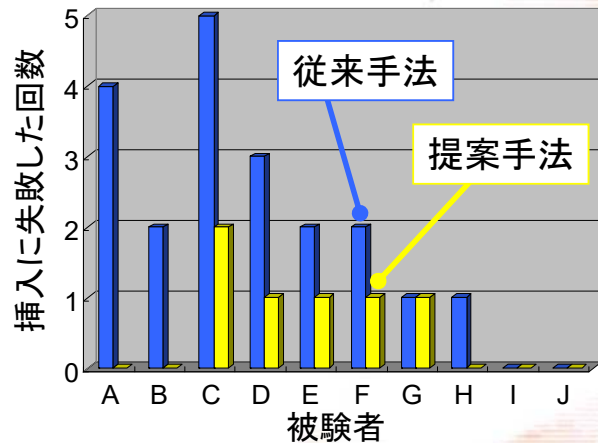


モニタ方式: **従来手法**



実験内容

- 非医療従事者10名
- 鉗子の挿入を14回行う.
- **挿入に失敗した回数**を計測
 - 短い制限時間内(2秒内)に
画像内に鉗子を映せなかった回数



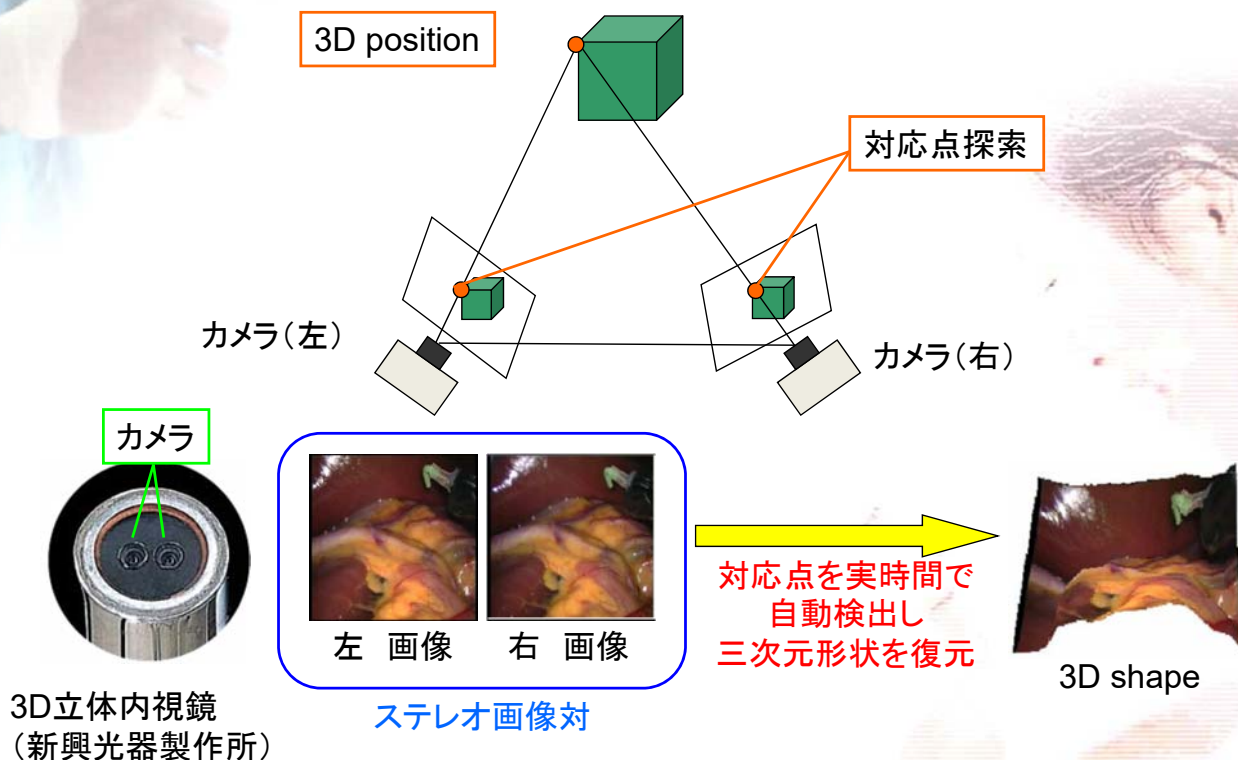
27

腹部体内の形状計測

- 低侵襲下: 厳しい拘束条件
 - 腹部臓器は大きな移動・変形を伴うため術前に撮影された形態情報(CTスキャン)の使用が困難
 - 撮影デバイスはカメラ一本のみ
 - 形状計測(追加カメラなど)のためにポート穴を追加することは受け入れられない(侵襲性の増加)
 - 5mm以下の穴なら患者のQOLに影響しないという意見もあるが...
 - 能動的計測はまず難しい
 - 1個の穴から挿入された内視鏡だけで形状計測

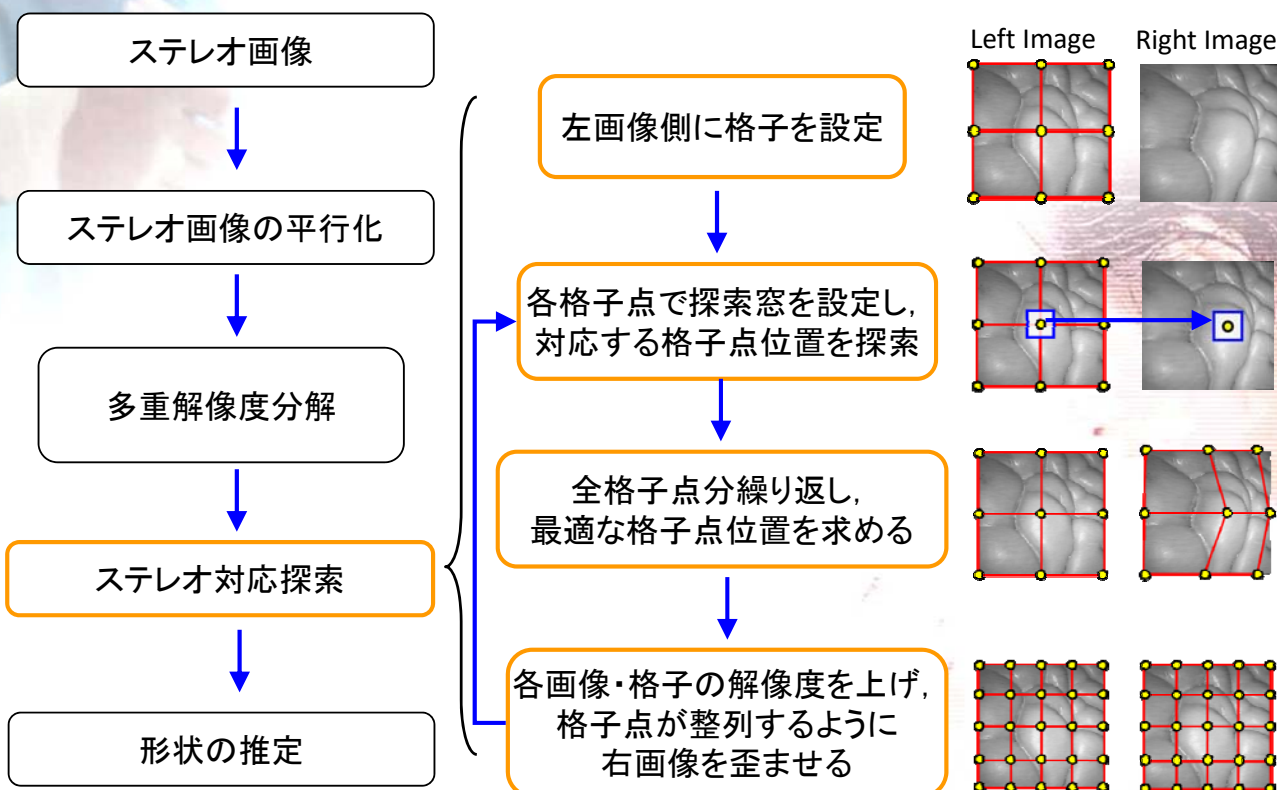
28

立体内視鏡を使った 体腔内の三次元形状の実時間計測



29

提案した形状計測手法の流れ

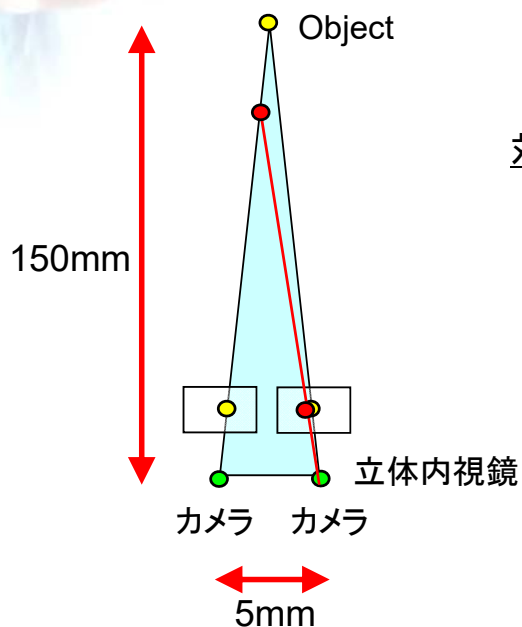


30

立体内視鏡の問題点

カメラから臓器までの距離: 約150mm

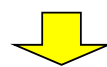
カメラ間距離: 5mm



画像対応点探索の誤差による距離値への影響が非常に大きい

対応が1画素ずれると奥行きが約7mm変化.

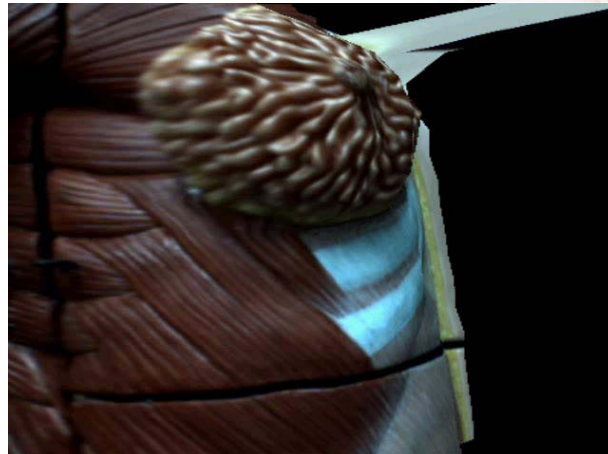
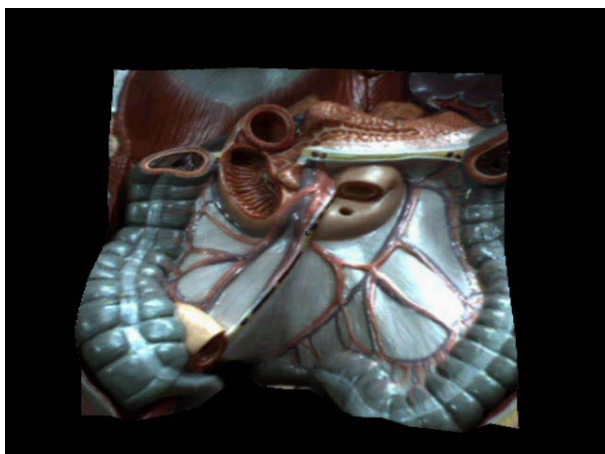
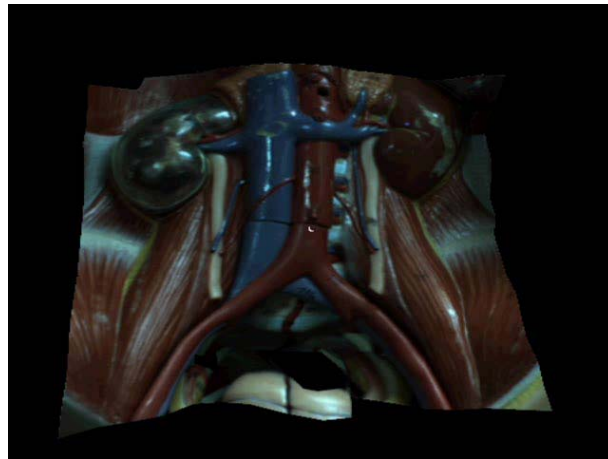
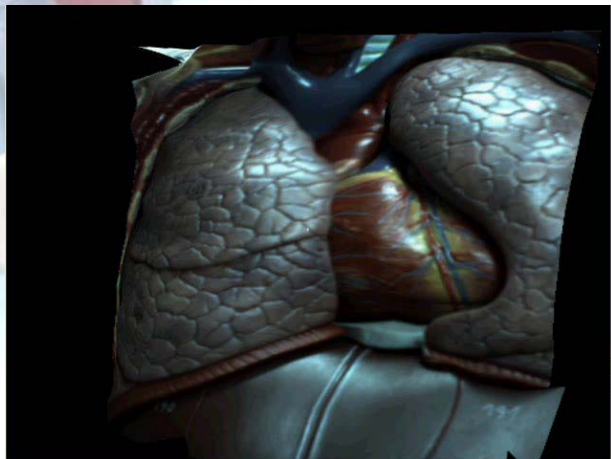
画素単位の探索では不十分



サブピクセルマッチングの導入

31

形状復元結果(臓器モデルを使用)



32

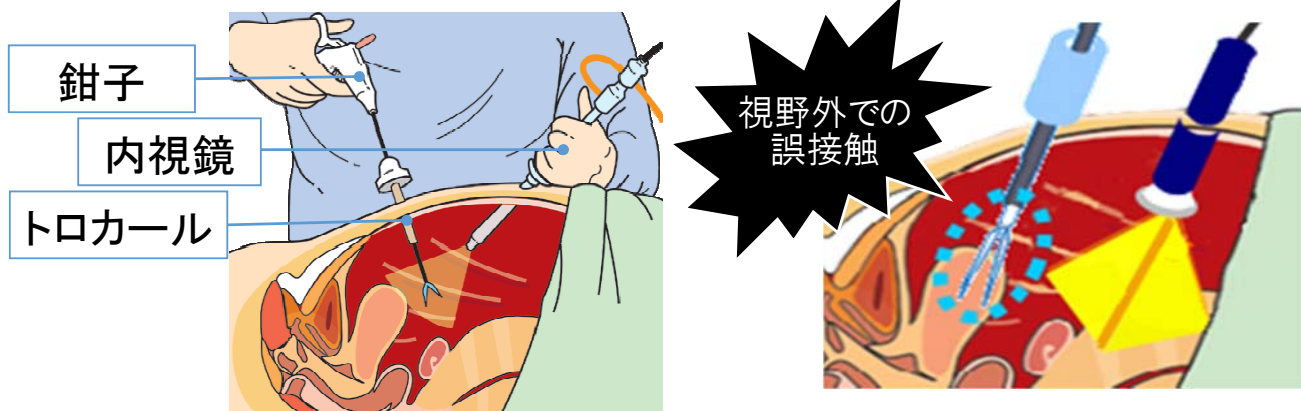
透過型腹腔鏡下手術システムの完成イメージ



33

内視鏡手術が抱える課題

腹腔鏡下手術



▶ 課題 術者への負担

- ・ 狭い視野
- ・ 奥行き情報の不足



視覚的な課題を解決する
画像支援システム
を提案

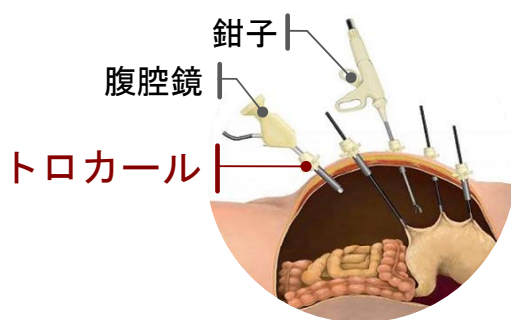
34

内視鏡手術の画像支援システム

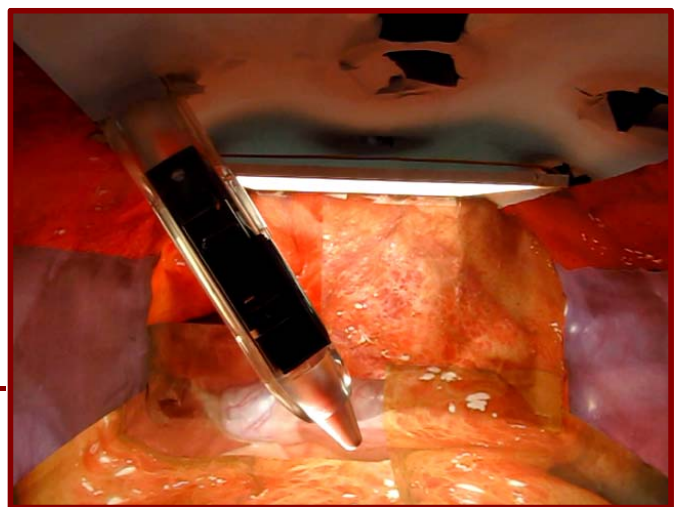
- 低侵襲下で視点を追加する
 - カメラ付きトロカール Trocar Vision
- 体内構造の把握を容易にする
 - プロジェクタARシステム PARAS
- 複数モダリティ画像の融合
 - ラパロUS画像の内視鏡画像重畳システム

35

カメラ付きトロカール Trocar Vision の開発



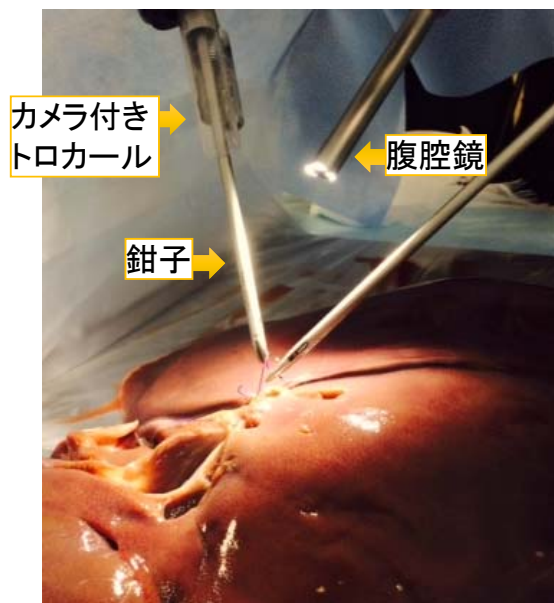
格納・展開式カメラ
腹腔鏡手術時の視野を
拡大するため開発



現段階のカメラ付きトロカール

低侵襲性を維持しながら複数の映像を取得
>> 腹腔鏡下手術時の視野を拡大

カメラ付きトロカールの使用イメージ



カメラ付きトロカールから鉗子を挿入



カメラ付きトロカールの映像は
腹腔鏡映像と共に提示

37



国立研究開発法人日本医療研究開発機構
Japan Agency for Medical Research and Development



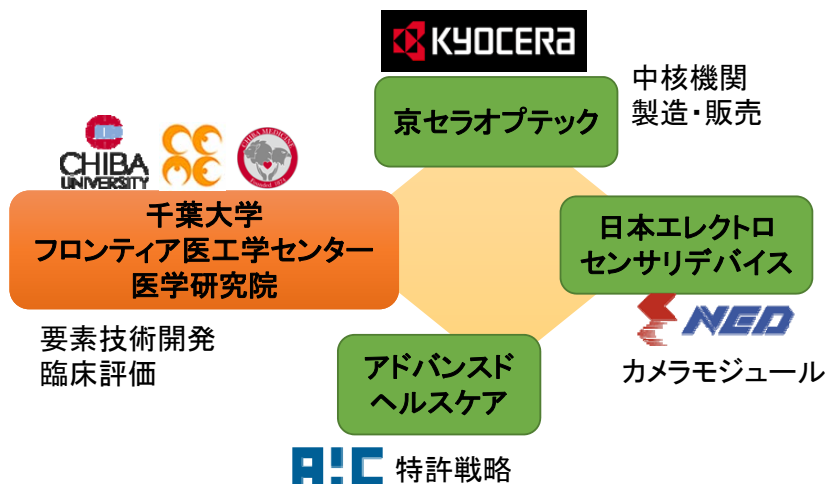
経済産業省
Ministry of Economy, Trade and Industry

医工連携事業化推進事業

事業名： より安全な鏡視下手術実現のためのカメラ付きトロカールの開発

期間 3年（2014～2016年度）

2017年の上市(実用化)を目指す



38

体内情報投影システム PARAS の開発

福元友美	千葉大学大学院工学研究科
日下部大樹	千葉大学大学院工学研究科
中口俊哉	千葉大学フロンティア医工学センター
川田将也	KKR札幌医療センター 斗南病院
林秀樹	千葉大学フロンティア医工学センター

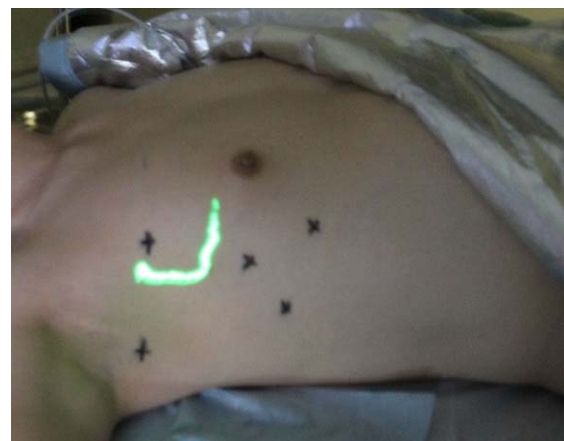
背景

プロジェクタ投影による拡張現実感(AR)医療支援

CTやMRIで取得した体内情報を体表に投影



腹腔鏡手術ナビゲーション
(Sugimoto et al, 2010)



生検位置ナビゲーション
(実験協力:KKR札幌医療センター斗南病院 川田将也, 2014)

直感的に体内構造把握が可能

手術時間の短縮, 安全性の向上

目的

位置合わせ作業の自動化によるAR医療支援システムの利便性向上

CT画像をセットするだけ！
誰でも容易に投影可能なシステムの実現

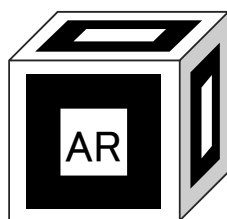
- CT画像データと実患者姿勢の位置合わせ計算を自動化
- プロジェクタとカメラを一体化した手持ち型デバイスの開発

41

CT画像データと患者位置姿勢の位置合わせを自動化

トラッキングオブジェクト(TO)の導入

ARマーカ模様を貼り付けた立方体オブジェクト



約40mm 立方体
100g 以下



CT撮影イメージ

CT画像データ

CT画像解析による
自動検出

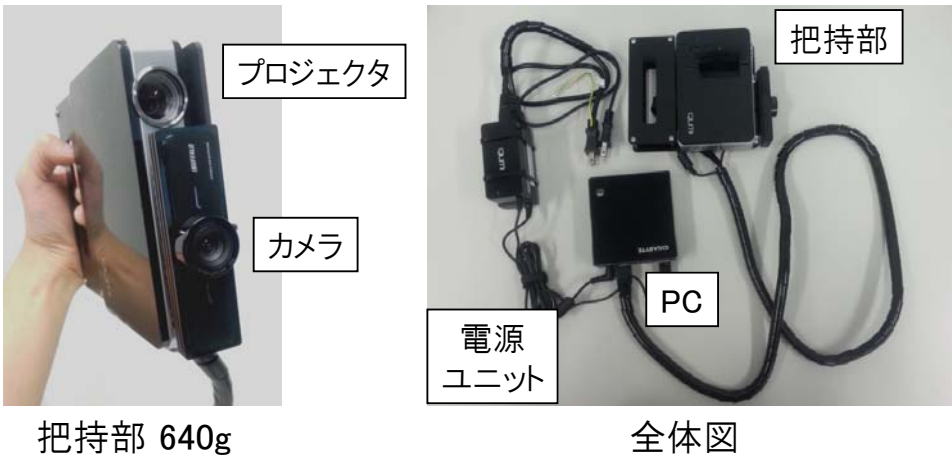
実患者

カメラ撮影による
ARマーカ自動検出

42

プロジェクター-カメラ一体型手持ちデバイス

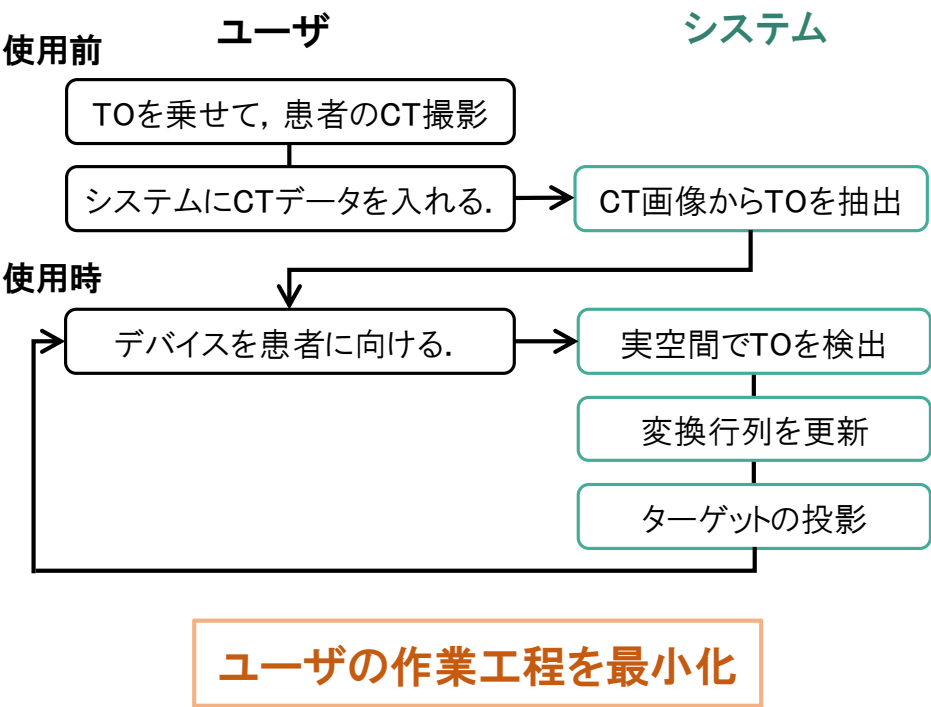
Projector-based AR Assistance System | PARAS



プロジェクタ	PC
QUMI Q5 (AddTron Technology製)	GB-BXi7-4500 (Gigabyte Technology製)
1280x800, 60Hz	Core i7 3GHz CPU, 4GB RAM
カメラ	
BSK50KM02 (Buffalo製)	
1280x960, 30fps	

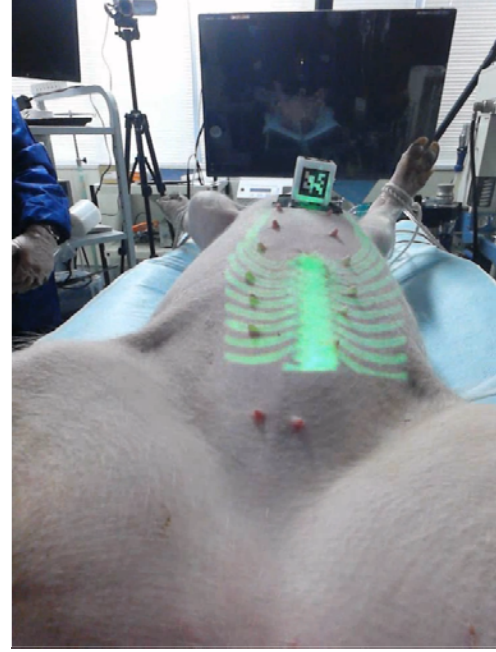
43

提案システム 使用の流れ



44

動物実験



- デバイスの位置変化に対応したリアルタイム投影を実現

45



内視鏡-超音波画像重畳システム

小熊 諒
中口 俊哉
中村 亮一
山口 匡
川平 洋
羽石 秀昭

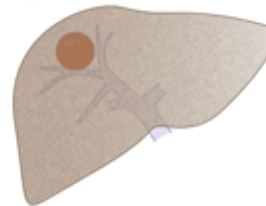
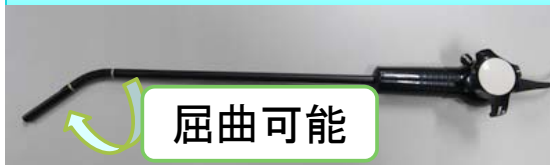
千葉大学大学院工学研究科
千葉大学フロンティア医工学センター
千葉大学フロンティア医工学センター
千葉大学フロンティア医工学センター
千葉大学フロンティア医工学センター
千葉大学フロンティア医工学センター

腹腔鏡下手術中における超音波検査



腹腔鏡視下における肝臓手術

腹腔鏡下手術用超音波プローブ



http://www.jfcr.or.jp/cancer/type/liver_i/002.html



腹腔鏡画像

<http://www.yao-hepaticcenter.com/shindan/new.html>



超音波画像



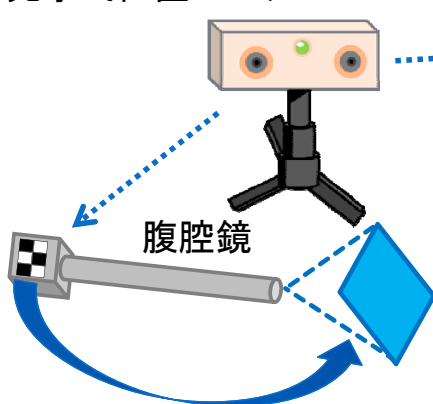
2画面同時に観察する必要があり、画像間の位置関係の把握が困難
→ 腹腔鏡画像に超音波画像を重畳表示する

47

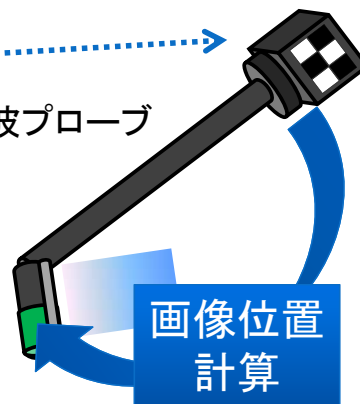
超音波プローブの屈曲角検出



光学式位置センサ



超音波プローブ



腹腔鏡画像

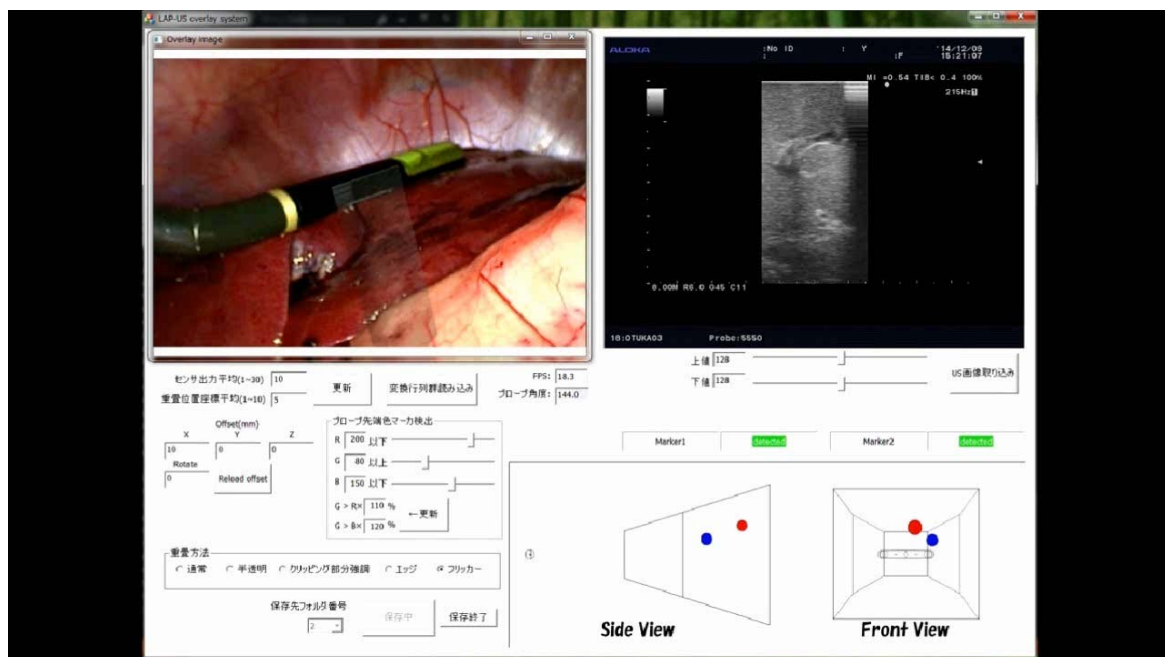
48

ブタを使用した動物実験でシステムの動作確認を行った。



使用デバイス
 腹腔鏡:IMAGE1 H3-Z(KARL STORZ)
 超音波プローブ:UST-5550(Hitachi Aloka Medical)
 光学センサ:Polaris Spectra(Northern Digital Inc.)

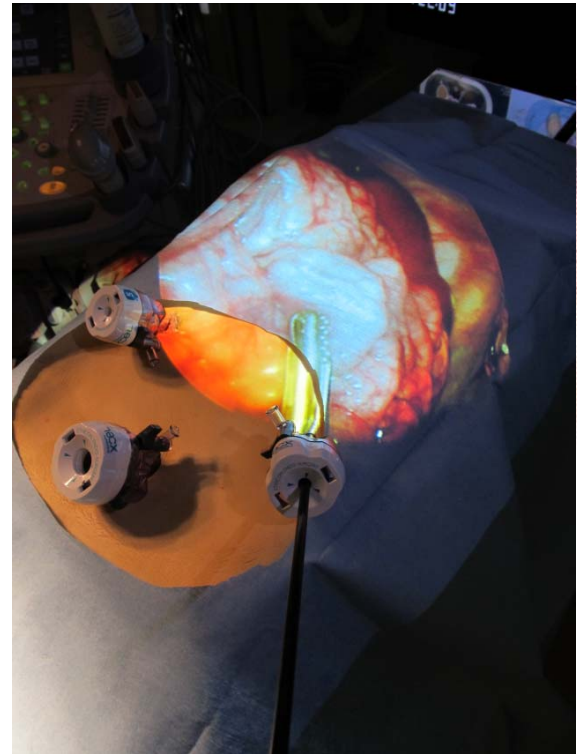
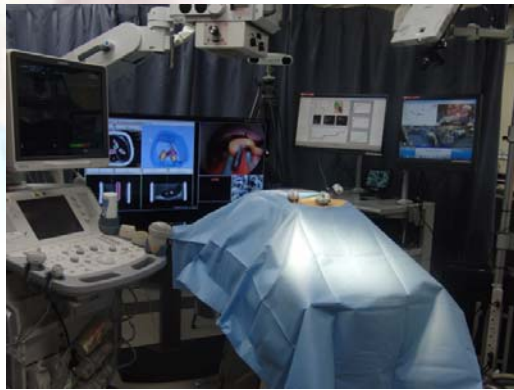
49



○超音波画像をリアルタイムに重畳し、1画面で同時観察が可能
 ○カラーマーカの検出も安定(検出成功率83%)

50

The Operating Room of the Future



溢れるモニタを廃し
患者と部屋全体を
情報提示に活用

51



CHIBA UNIVERSITY



ご清聴ありがとうございました。

千葉大学フロンティア医工学センター

千葉大学工学部メディカルシステム工学科

千葉大学大学院工学研究科人工システム科学専攻メディカルシステムコース

中口 俊哉

E-mail: nakaguchi@faculty.chiba-u.jp

HP: <http://nlab.tms.chiba-u.jp/>

52