

医デジ化にもとづく

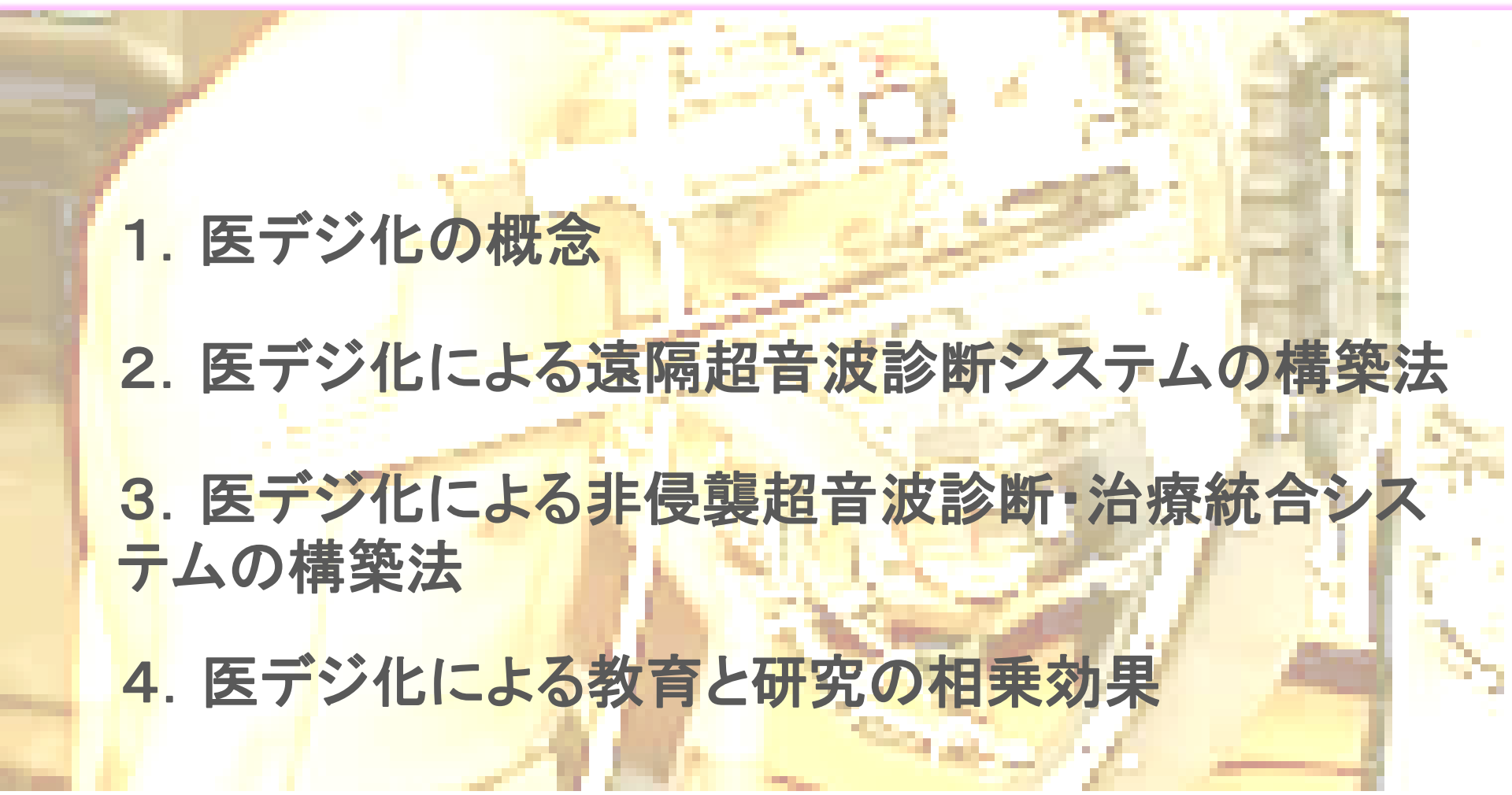
非侵襲超音波診断・治療統合

システム(NIUTS)の構築法

ーシステム構築の基盤となる

機構・制御・画像処理アルゴリズム技術ー

電気通信大学 大学院情報理工学研究科
智能機械工学専攻 小泉研究室紹介資料

- 
1. 医デジ化の概念
 2. 医デジ化による遠隔超音波診断システムの構築法
 3. 医デジ化による非侵襲超音波診断・治療統合システムの構築法
 4. 医デジ化による教育と研究の相乗効果

1. 医デジ化の概念

2. 医デジ化による遠隔超音波診断システムの構築法

3. 医デジ化による非侵襲超音波診断・治療統合システムの構築法

4. 医デジ化による教育と研究の相乗効果

医デジ化: Me-Dig ITalization

4

超音波医療 診断・治療技能



医療技能の技術化・デジタル化 Me-Digitalization

熟練した専門医のように動作し、人間の能力を超える高精度な診断・治療を行なうシステムの実現

機能抽出・分解・再構築

技能における機能の抽出・構造化

機能を実現するためのパラメータ解析

機能の設計指針化

機能の高度化

機能の実装

構築したシステムの検証・最適化

機能実装・システムの最適化

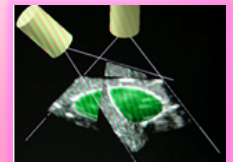
なめらか動作・高追従制御



安全・安心接触動作機構



ロバスト・高精度
動画像処理
アルゴリズム



日本設計工学会 The Most
Interesting Readings 賞受賞

効果

IJAT09

技能の技術標準化
負担軽減

技能のデジタル化

学問体系化・設計指針化
システムの最適化

専門家の技能
安全・安心

ユビキタス化



中高齢者



医療・健康・
福祉専門家

研究分野の概要

医療・福祉ロボティクス・メカトロニクス分野

医療技能の技術化・デジタル化により

**医療システムを高度化・最適化するためのロボット
機構・制御・画像処理・アルゴリズムの分野を開拓**

- ・遠隔超音波医療診断システム
- ・非侵襲超音波医療診断・治療統合システム

日本経済新聞

がん追跡し超音波照射

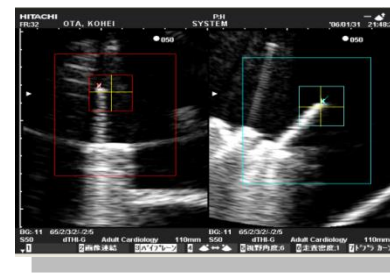
東大 高精度の治療装置開発

東大の光岡教授、原弘之特任助教らは、が正確に超音波を照射する
と小黒基裕特任講師、月人の位置を検出しながら、治療装置を開発した。

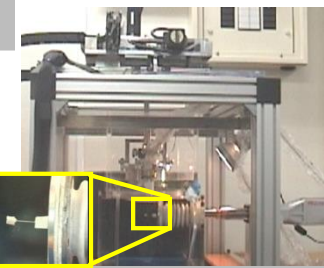
結石治療、破片残さず

東大が超音波装置 再発防止に有効

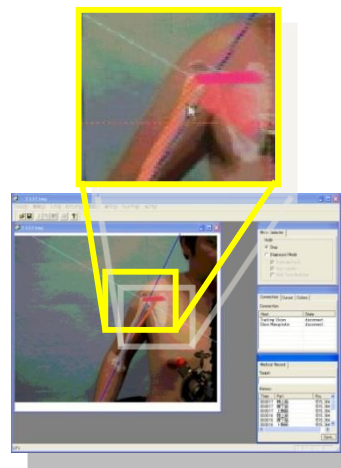
日経産業新聞



IJMRCAS,
TUFFCへの掲載



日本設計工学会 The Most
Interesting Readings賞受賞



日本機械学会ロボティクス・
メカトロニクス部門一般表彰

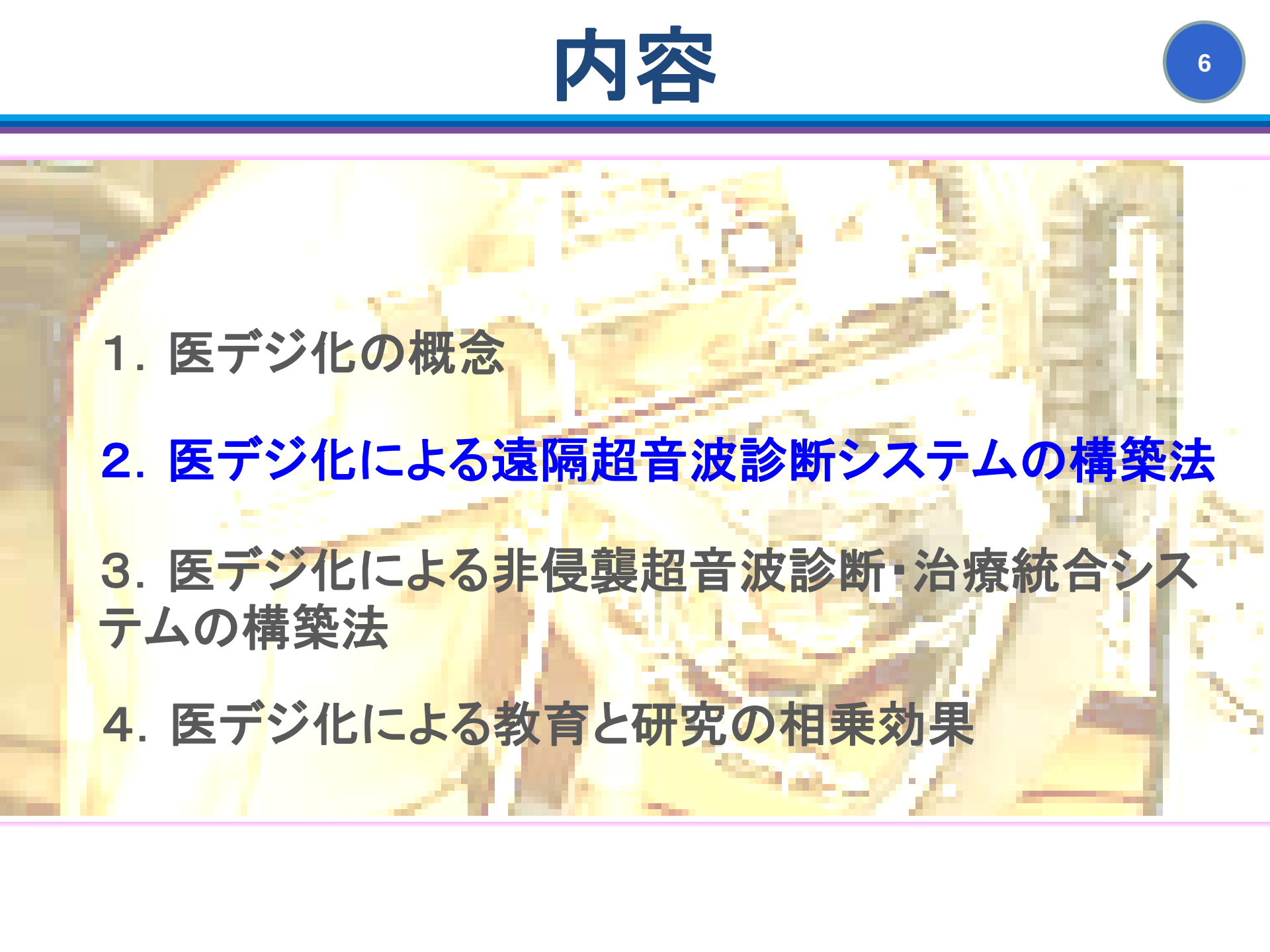


TRO, TMECHへの掲載

精密工学会春季大会
ベストプレゼンテーション賞受賞

ロボットによる
世界初の遠隔
超音波臨床診断



- 
1. 医デジ化の概念
 2. 医デジ化による遠隔超音波診断システムの構築法
 3. 医デジ化による非侵襲超音波診断・治療統合システムの構築法
 4. 医デジ化による教育と研究の相乗効果

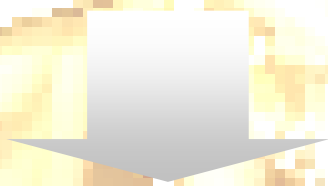
遠隔超音波診断システムの背景

7

高齢化社会の到来

→ 医療の高効率化

→ 超音波遠隔医療診断システム

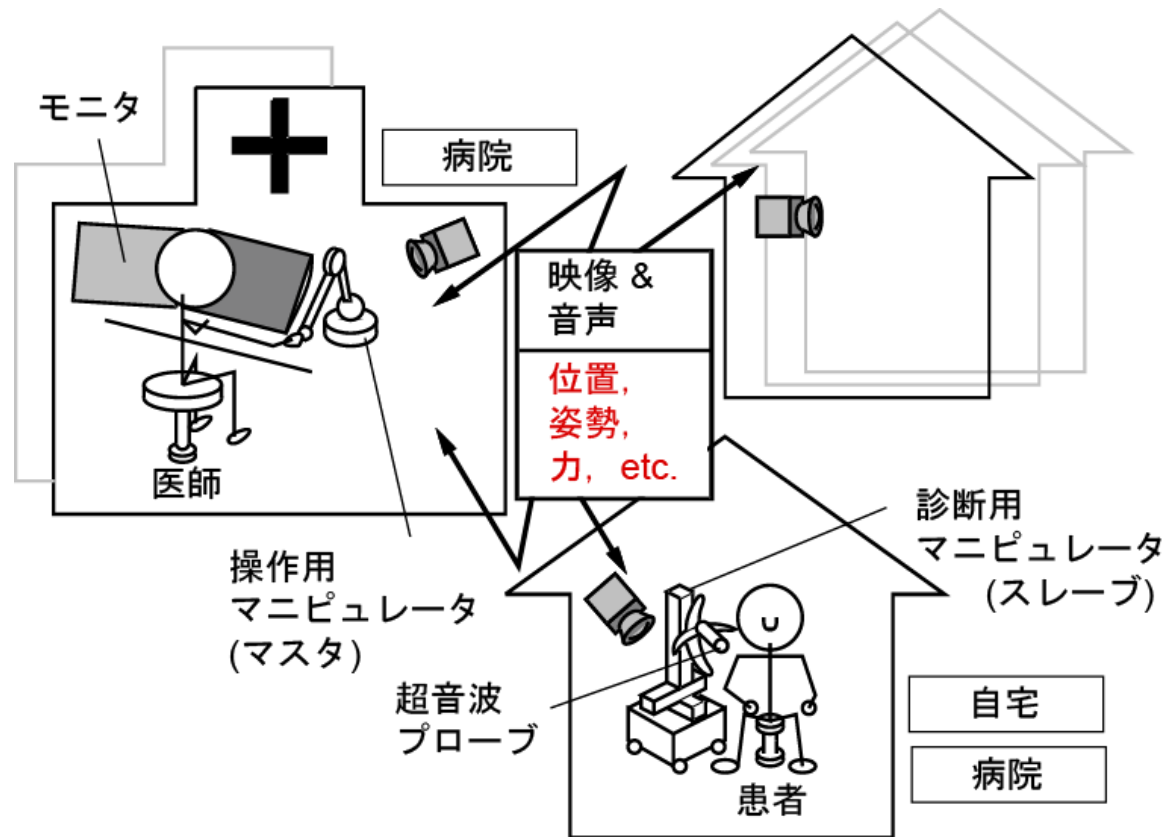


- 医療の地域格差の是正
- 患者および医師の負担軽減

遠隔超音波診断システムの概念図

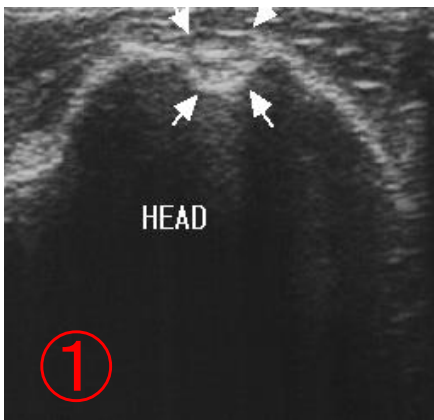
8

診断画像のやりとりだけでなく、
診断画像の**獲得操作**も遠隔で行なう



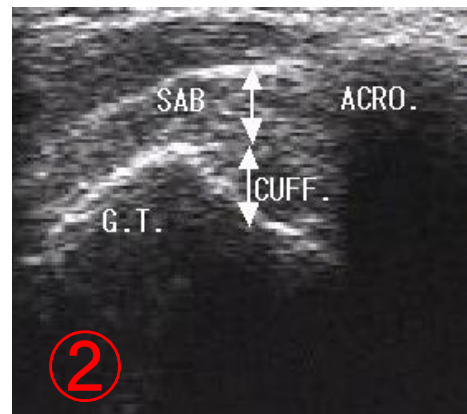
透析患者の肩関節疾患 (透析肩痛)

診断画像

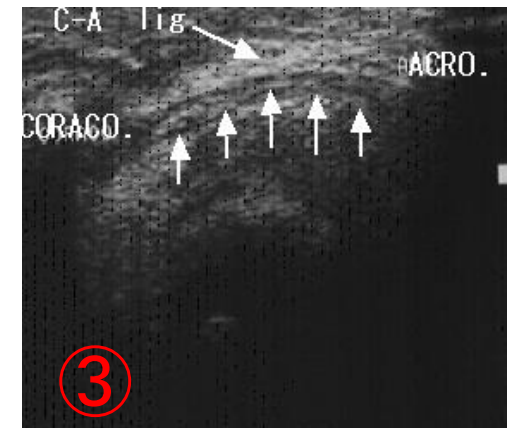
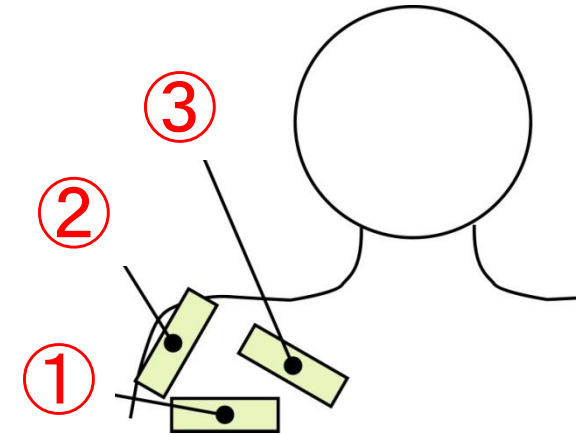


棘上筋腱短軸像

適正化



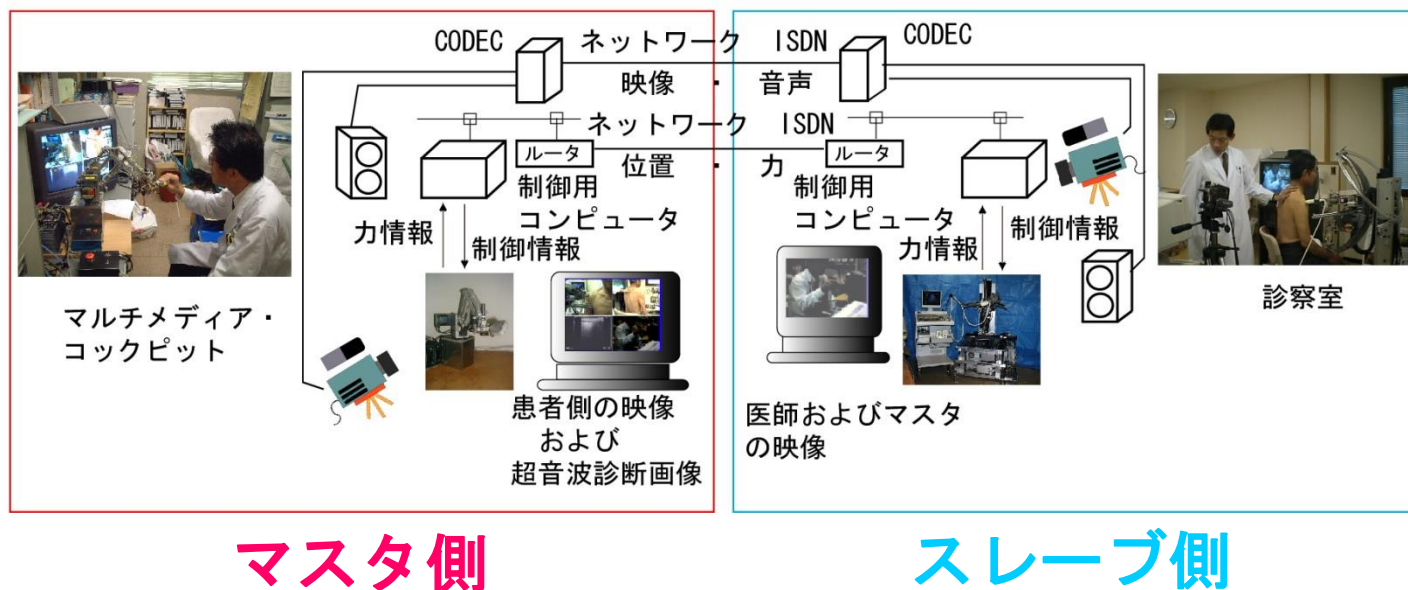
棘上筋腱長軸像



烏口肩峰靱帯像

システム構成

10



- ① **通信ネットワーク**を介したマスタ・スレーブ・システム
- ② [マスタ・サイト] 医師および**マスタ**
- ③ [スレーブ・サイト] 患者, 助手, ならびに**スレーブ**

Remote ultrasound diagnostic
experiment 2

a long axis view of the tendon of the
supraspinatus muscle

buckling:

DSH: mm

Patient No. 14

HD 6.5 year, Man

2001. 10. 30. Tue

TRO09, ICRA 2003

世界初のロボットによる遠隔超音波臨床診断(2001)

超音波遠隔医療診断システムの構築法の確立

診断



機能分解・再構築

機能の
抽出

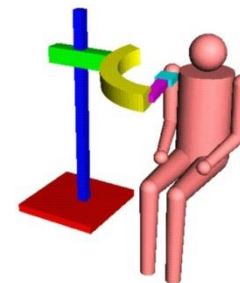
分析・
再構築

設計指針
の導出

機能実装・システムの具現化

安全・安心
接触動作機能
(インピーダンス制御)

なめらか動作・
高追従機能
(Continuous Path 制御)



タスクに応じて使いやすくする機能
(制御系の動的切替え)

医デジ化の基礎

機能分解・再構築

13

診断



機能分解・再構築

機能の
抽出

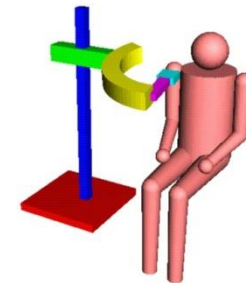
分析・
再構築

設計指針
の導出

機能実装・システムの具現化

安全・安心
接触動作機能
(インピーダンス制御)

なめらか動作・
高追従機能
(Continuous Path 制御)



タスクに応じて使いやすくする機能
(制御系の動的切替え)

医デジ化のための機能構造化

機能分解と再構築

Ultrasound diagnostic experiment 2 (manual)

a long axis view of the tendon of the
supraspinatus muscle

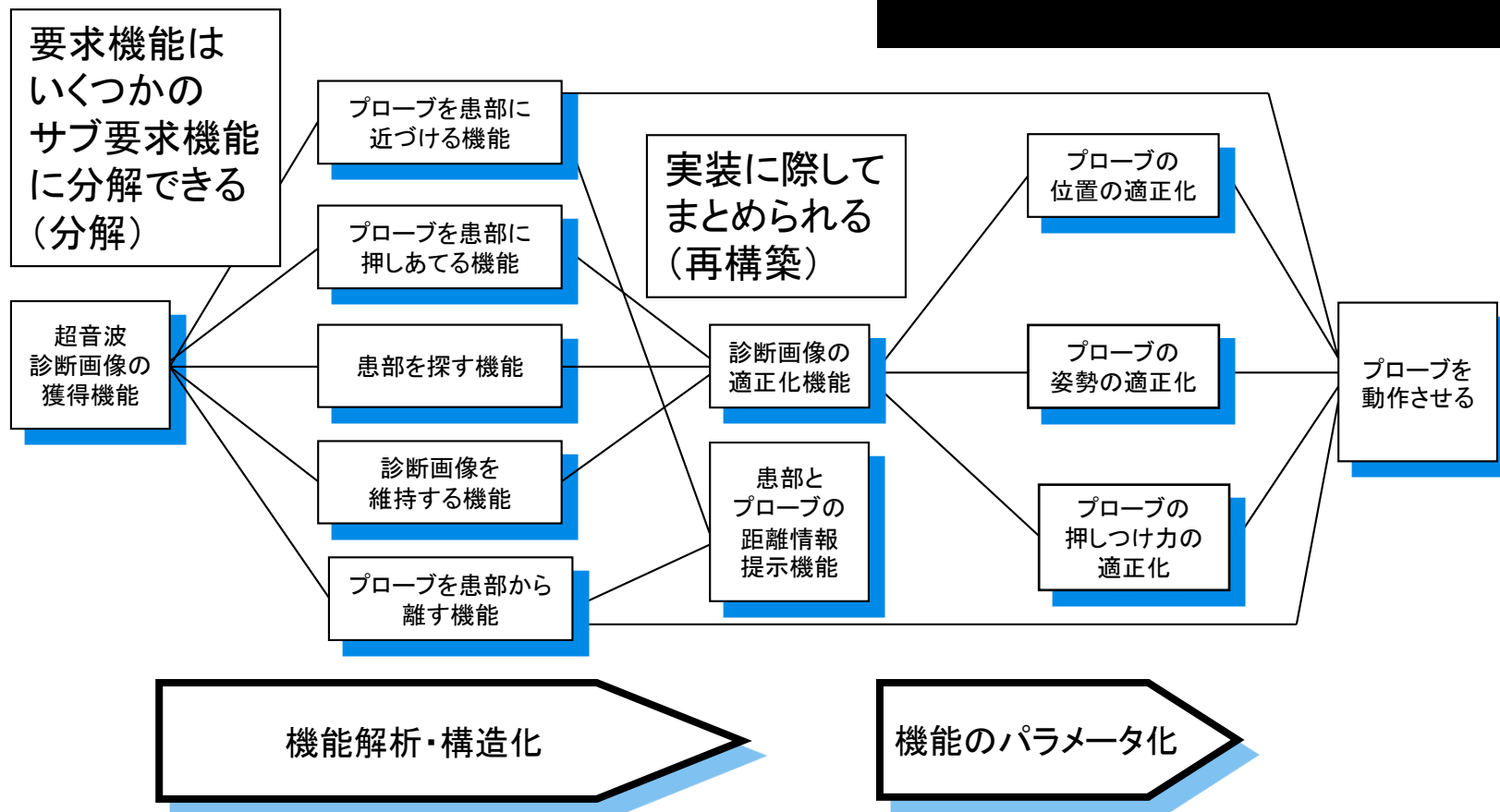
buckling:

DSH:

mm

Patient No. 14
HD 6.5 year, Man

2001. 10. 30. Tue



診断画像と押しつけ力

15

実験目的

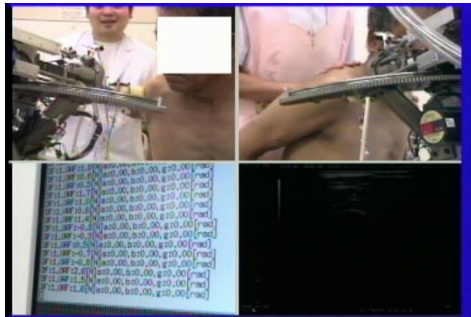
診断画像を適正化するために
要求される押しつけ力の
範囲を明らかにする。

実験条件

対象： 診断画像②
被験者： 患者 3 名
健常者 2 名

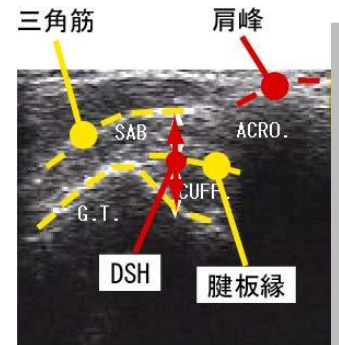
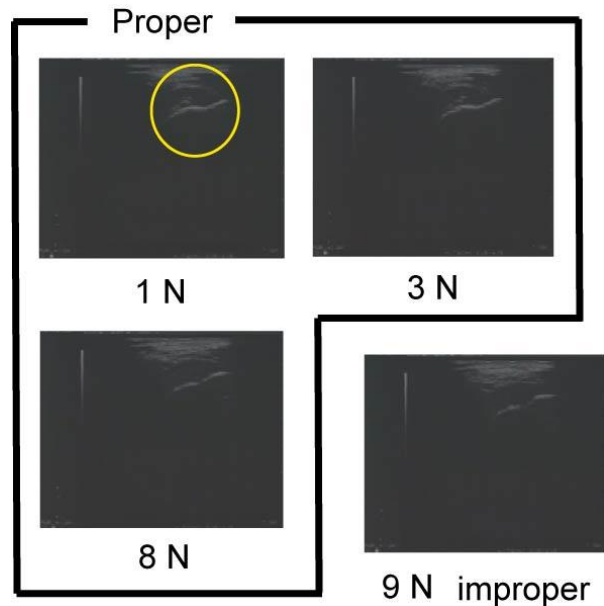
実験方法

診断画像が得られている
状態において、**1Nずつ**
押しつけ力を変化。



2～7N程度！

**9N以上では
患部が変形！**



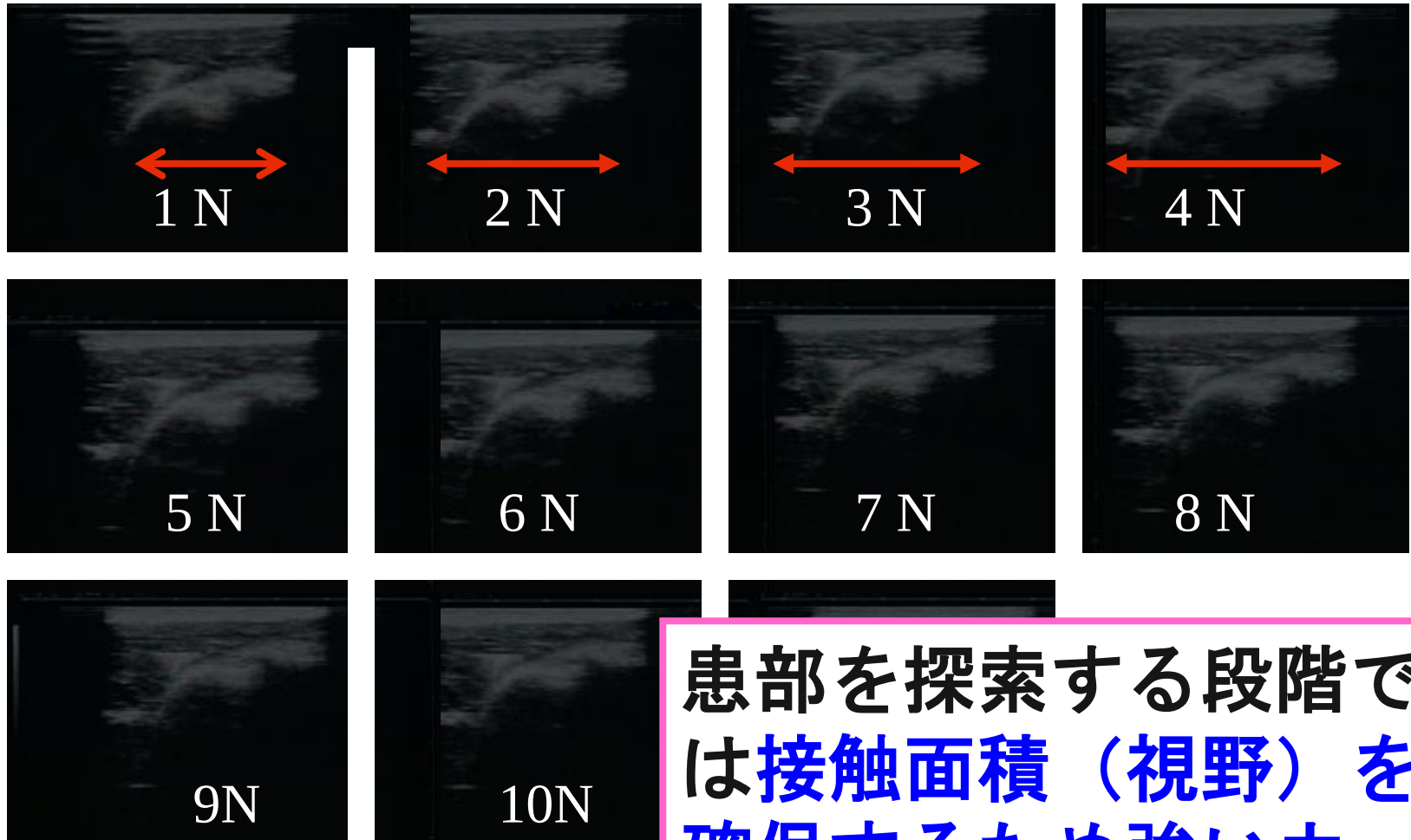
実験結果

適切な診断画像のための
押しつけ力の範囲
診断画像1: 2 N～8 N
診断画像2: 1 N～7 N
診断画像3: 1 N～10 N
(被験者5名の平均)

医デジ化のための機能パラメータ化

プローブ接触面積と押しつけ力

16



患部を探索する段階では接触面積（視野）を確保するため強い力

プローブの押しつけ力と診断画像

17

上腕二頭筋長頭腱：4 N

棘上筋腱長軸像：8 N

烏口肩峰靱帯像：4 N

(健常者1名，患者1名の平均)

患部を探索する段階では**接触面積を確保するため強い力**

上腕二頭筋長頭腱：2 N～8 N

棘上筋腱長軸像：1 N～7 N

烏口肩峰靱帯像：1 N～10 N

(健常者2名，患者3名の平均)

診断画像獲得後は患部を**圧迫・変形させない程度**の力

医デジ化のための機能パラメータ同定

診断



機能抽出・
構造化技術

機能分解・再構築

設計指針
の導出

分析・
再構築

機能の
抽出

機構設計技術

機能実装・システムの最適化

(例) 安全・安心
接触動作機能
(インピーダンス制御)

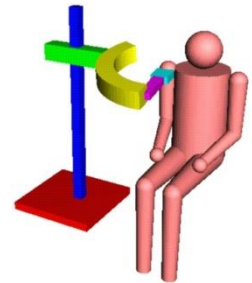
(例) なめらか動作・
高追従機能
(Continuous Path 制御)

TRO09

安全・安心
接触動作技術

超音波診断・治療
タスクに応じたシステム
動作切替え技術

TMECH08



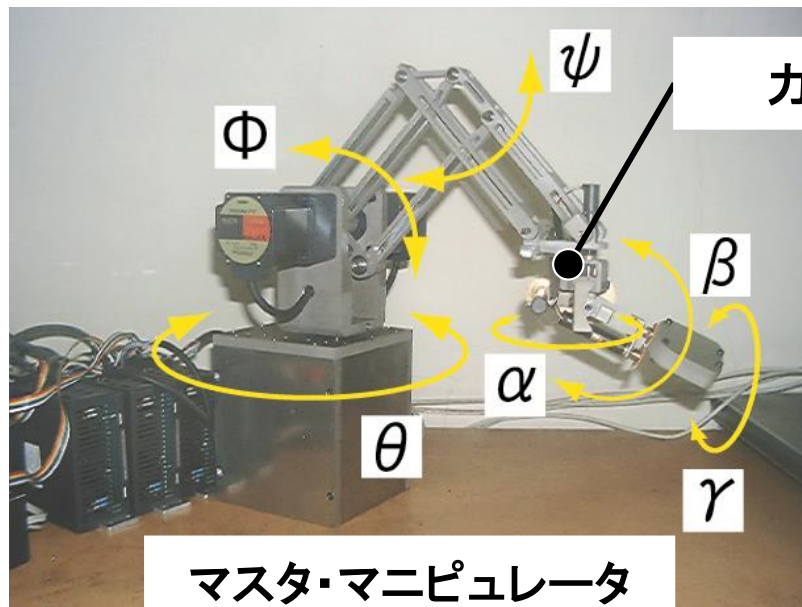
リアルタイム
超音波医用画像
処理技術

医デジ化のためのコア基盤技術

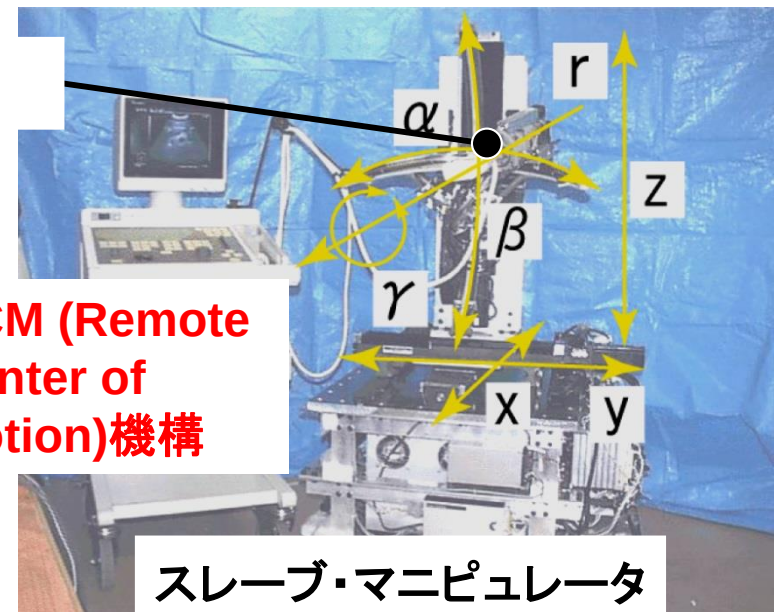
位置・姿勢・押しつけ力の適正化機能

- ①直観的にわかりやすく誤差が蓄積しない **自由度構成**
- ②位置・姿勢を正確に実現できる **剛性**の高い機構
- ③患部との接触状態を維持・医師に提示するための **力センサ・先端冗長機構**

センサにもとづいてロボットを動作



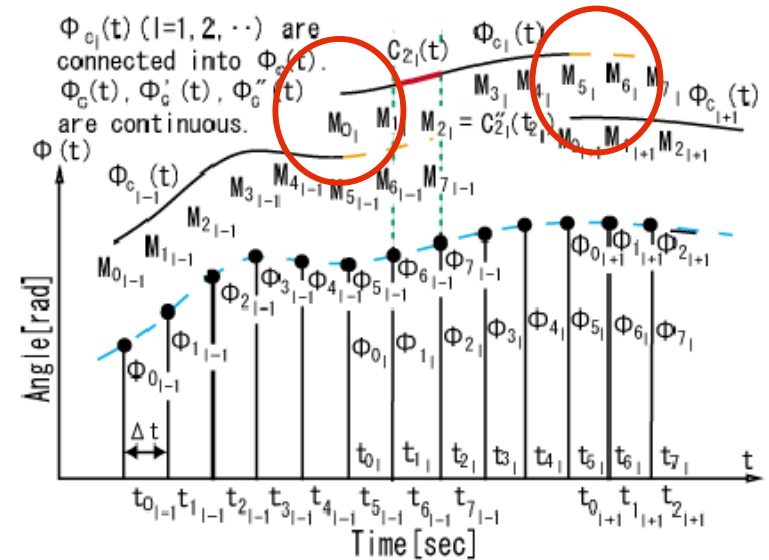
力を受けても変形しないガイド機構



A diagram showing a step function, which is not a function. A large red 'X' is drawn over the graph, indicating it fails the vertical line test.

従来型の制御では追従性を損なうことなくなめらかな動作を実現することが困難

なめらかで
高追従な動作



- ① スプライン関数により連続的な経路を生成する
- ② 生成された経路はひとつ前の経路に連続的に接続する
- ③ 追従性を損なうことなく、なめらかなスレーブ動作が実現

TMECH08

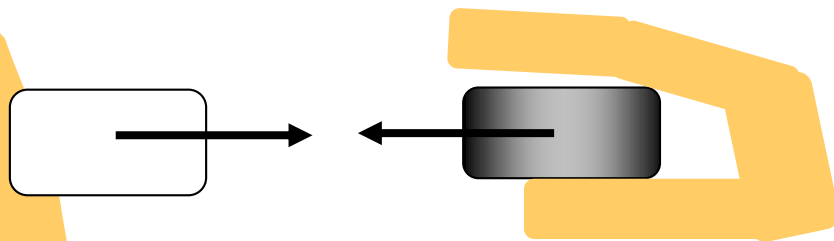
問題点

時間おくれの存在下で患者が動作
(従来型の遠隔操作では静的な対象)

安定接触を維持するのが困難



Technique: インピーダンス制御



患者が動作！

安全・安心な
安定接触動作

- ①接触状態を提示するための
運動方程式に基づくプローブ動作
- ②安定接触を維持するための制御則
- ③操作容易化のための
インピーダンス調整



IEEE TRANSACTIONS ON
ROBOTICS
A PUBLICATION OF THE IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION SOCIETY

TRO09

Not using
control regulation

even if $F_s > F_m$
force = $F_m - F_s$

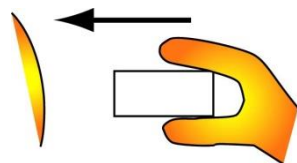
制御系の動的切替え

22

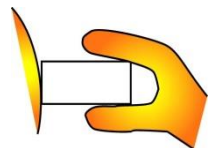
問題点

制御とタスクのミスマッチ

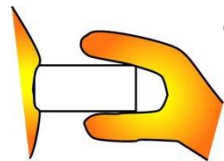
従来型の制御においては、
作業開始から終了まで同一の制御系



Task 1) 患部へのアプローチ



Task 2) 患部を探索



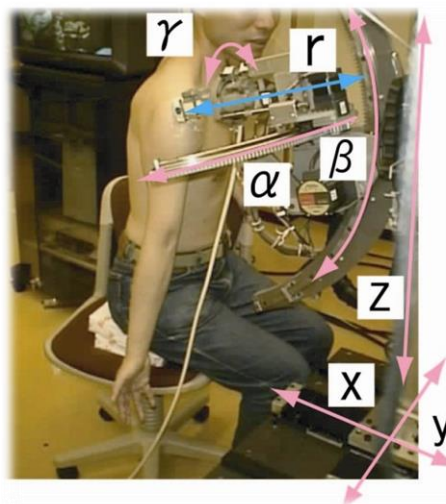
Task 3) 診断画像の適正化

タスクにより最適な制御系は異なる

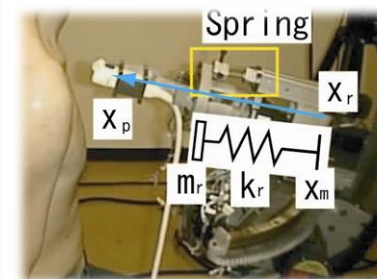
Technique: 制御系の動的切替え

プローブ操作タスクに応じた
操作性の向上

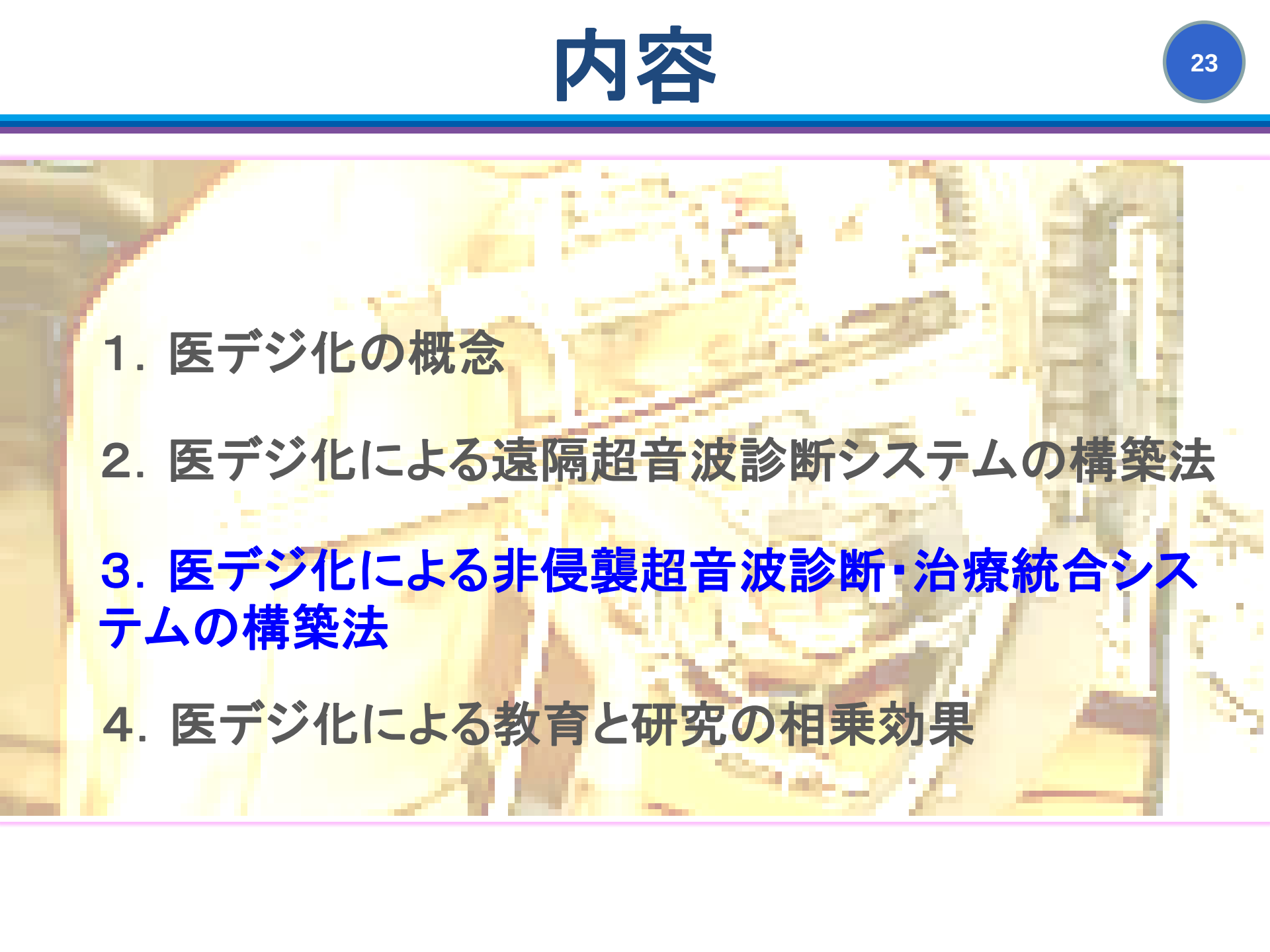
- ① 接触力, 操作力, ならびにプローブと患部の距離情報によってプローブ操作タスクを認識
- ② 認識されたタスクに応じて制御系を動的に切替える



JRM04, TRO09

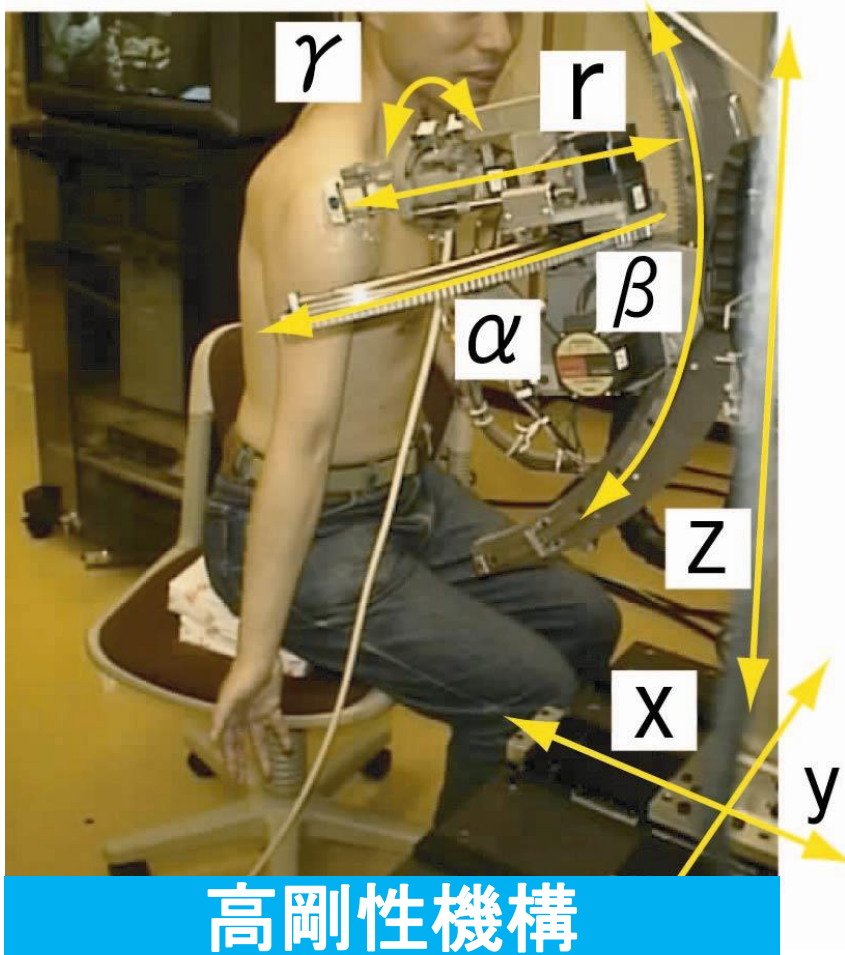


精密工学会春季大会
ベストプレゼンテー
ション賞受賞

- 
1. 医デジ化の概念
 2. 医デジ化による遠隔超音波診断システムの構築法
 3. 医デジ化による非侵襲超音波診断・治療統合システムの構築法
 4. 医デジ化による教育と研究の相乗効果

コア基盤技術1(ロボット機構)

24



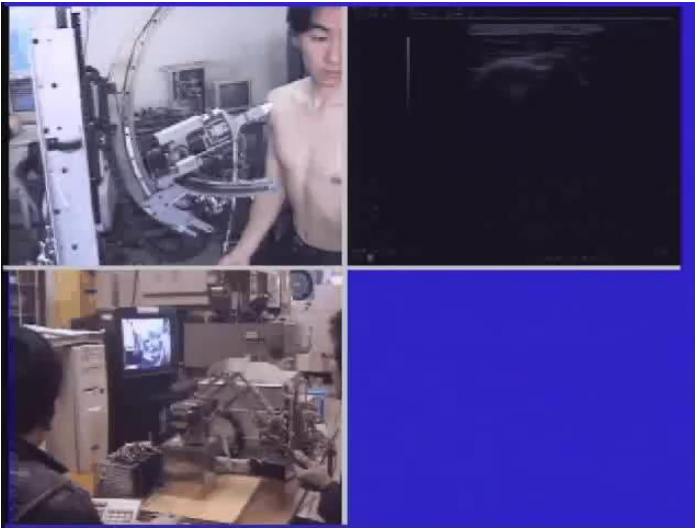
TRO 2009



高速・高精度かつ
安全・安心な
ロボット動作実現
のための高剛性
・防水・可視化機構

コア基盤技術2(ロボット制御)

25



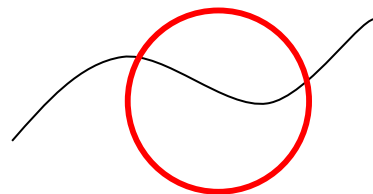
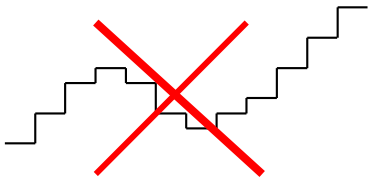
ロボット遠隔操作

TMECH 2008

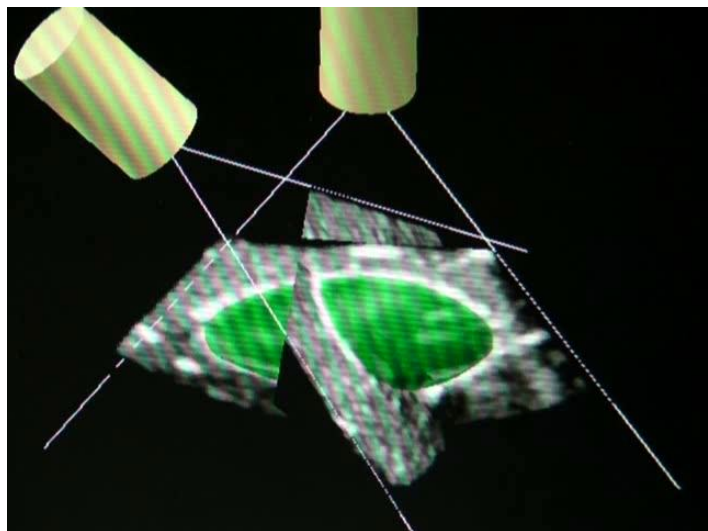
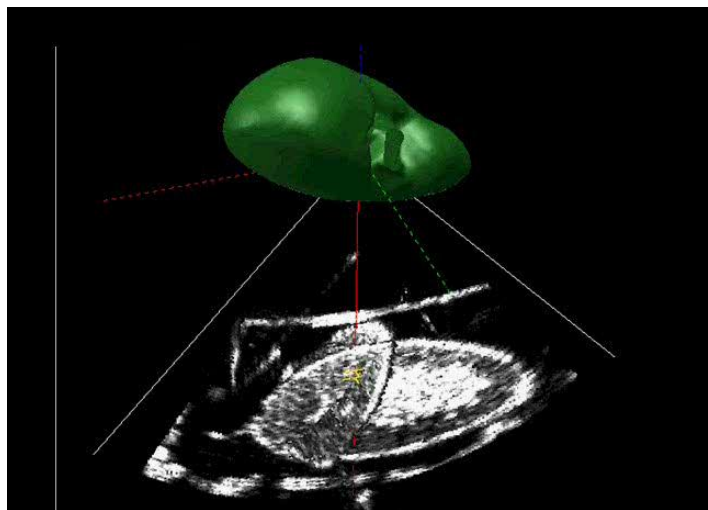


ロボット追従動作

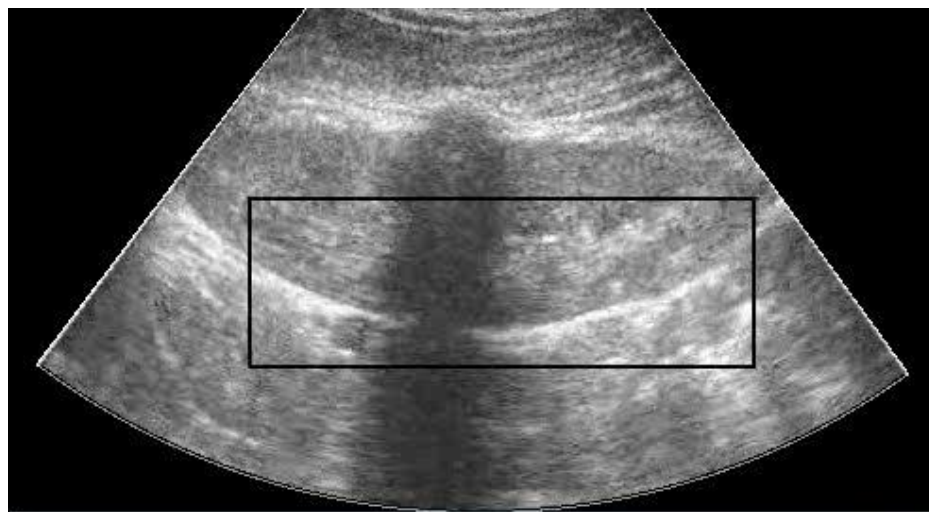
ICRA 2014



**人体との安定接触，
なめらか・高速・高精度な
ロボット動作制御技術**



画像処理アルゴリズム



画像処理アルゴリズム

ICRA 2014

**生体患部の抽出・追従・
モニタリングのための高
速・高精度かつロバスト
なロボットビジョン技術.**

IJMRCAS 2011

診断・治療(評価)支援対象

- 対象1. **結石**(腎結石・膀胱結石・胆石, etc.)の診断・治療
基礎～臨床段階, 米国Sonomotion社, ワシントン大
- 対象2. **がん**(腎がん・肝がん・乳癌・骨腫瘍, etc.)の診断・治療
臨床段階, 日立アロカとの共同研究
- 対象3. **痛み**(透析肩・腰痛・関節痛, etc.)の評価・治療
基礎～臨床段階, ナカシマメディカルとの共同研究
- 対象4. **内臓脂肪**(メタボリックシンドローム)評価
製品化段階, 日立アロカ(株)との共同研究
- 対象5. **循環器疾患・組織癒着**(血栓・心臓癒着・腹部癒着)評価
応用～臨床段階, ニプロ(株)との共同研究
- 対象6. **声帯**の粘弾性測定, 基礎～臨床段階,
(株)イマダとの共同研究

診断・治療(評価)支援対象

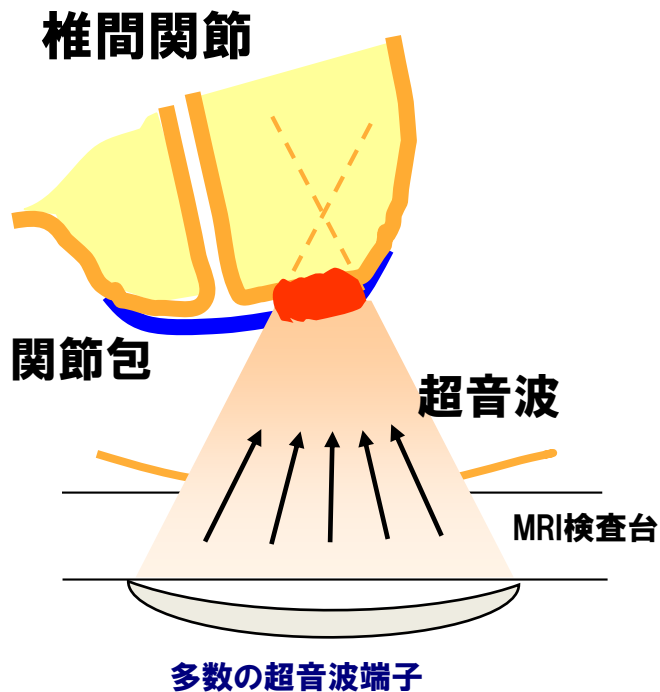
- 対象1. 結石(腎結石・膀胱結石・胆石, etc.)の診断・治療
基礎～臨床段階, 米国Sonomotion社, ワシントン大
- 対象2. がん(腎がん・肝がん・乳癌・骨腫瘍, etc.)の診断・治療
臨床段階, 日立アロカとの共同研究
- 対象3. 痛み(透析肩・腰痛・関節痛, etc.)の評価・治療
基礎～臨床段階, ナカシマメディカルとの共同研究
- 対象4. 内臓脂肪(メタボリックシンドローム)評価
製品化段階, 日立アロカ(株)との共同研究
- 対象5. 循環器疾患・組織癒着(血栓・心臓癒着・腹部癒着)評価
応用～臨床段階, ニプロ(株)との共同研究
- 対象6. 声帯の粘弾性測定, 基礎～臨床段階,
(株)イマダとの共同研究

対象3. **痛み** (透析肩・腰痛・
関節痛, etc.) の評価・治療

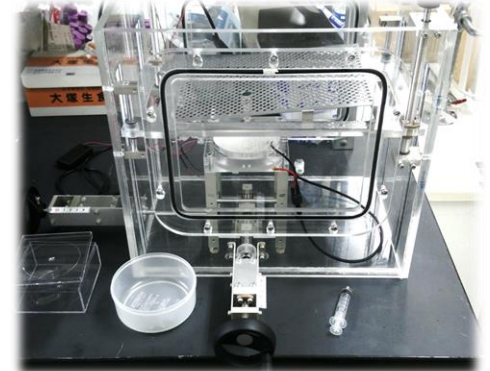
痛み治療のニーズ:

- ① 腰痛症: 1000万人
- ② 変形膝関節: 800万人
- ③ 肩: 500万

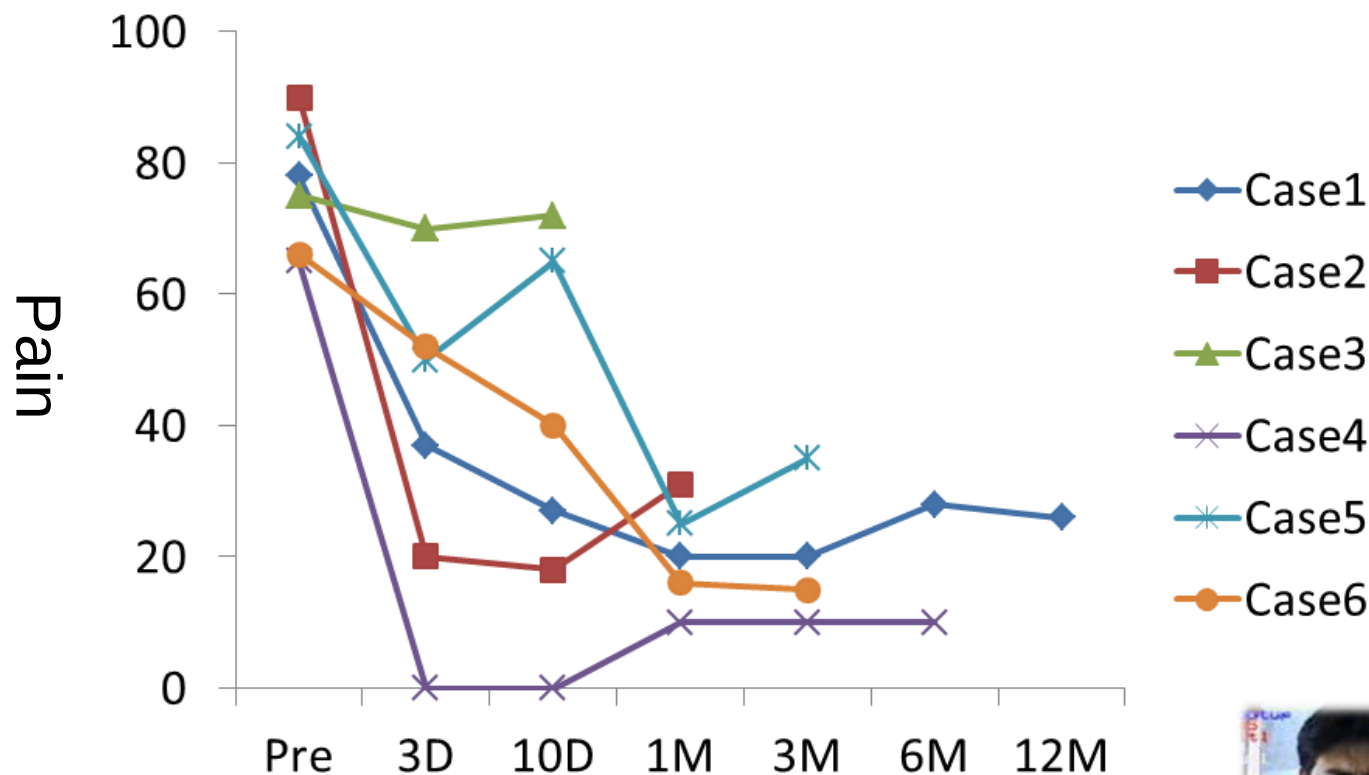
集束超音波治療により痛みの
受容器や神経終末の焼灼・
熱凝固・鈍感化が可能



精確な超音波照射技能の医デジ化



歩けなかった患者さんが
その日のうちに歩いて帰宅！



痛みの評価技能の医デジ化



診断・治療(評価)支援対象

- 対象1. 結石(腎結石・膀胱結石・胆石, etc.)の診断・治療
基礎～臨床段階, 米国Sonomotion社, ワシントン大
- 対象2. がん(腎がん・肝がん・乳癌・骨腫瘍, etc.)の診断・治療
臨床段階, 日立アロカとの共同研究
- 対象3. 痛み(透析肩・腰痛・関節痛, etc.)の評価・治療
基礎～臨床段階, ナカシマメディカルとの共同研究
- 対象4. 内臓脂肪(メタボリックシンドローム)評価
製品化段階, 日立アロカ(株)との共同研究
- 対象5. 循環器疾患・組織癒着(血栓・心臓癒着・腹部癒着)評価
応用～臨床段階, ニプロ(株)との共同研究
- 対象6. 声帯の粘弾性測定, 基礎～臨床段階,
(株)イマダとの共同研究

内臓脂肪(メタボ)評価

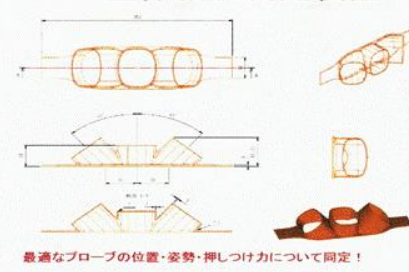
32

対象4.内臓脂肪(メタボリック シンドローム)評価

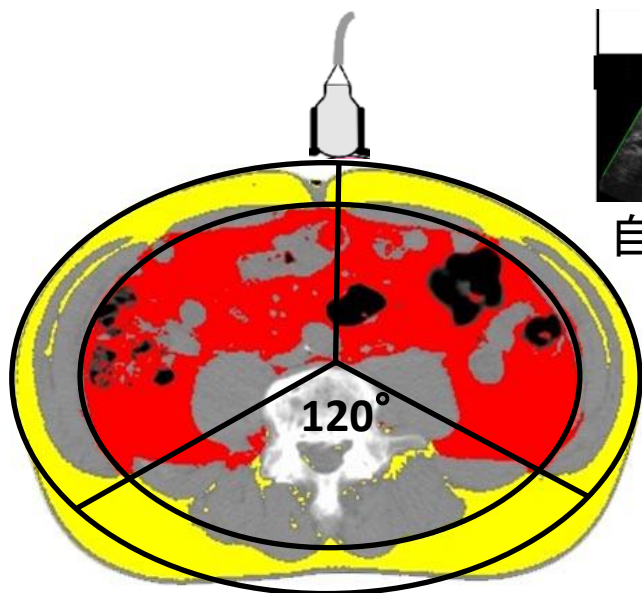
EMBC2013



ベルト型体脂肪測定装置

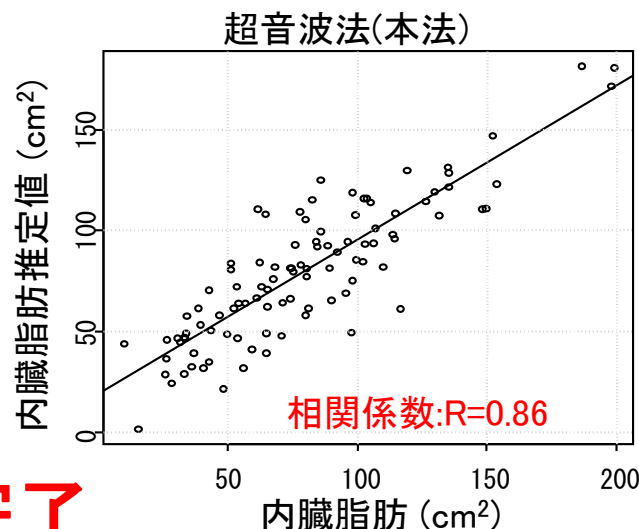


最適なプローブの位置・姿勢・押しつけ力について同定！



自動計測

内臓脂肪評価技能の医デジ化



世界初の技術 特許登録完了

検診に数分の追加のみでメタボ予防に貢献

通常診断装置で高い精度 相関係数0.86

診断・治療(評価)支援対象

- 対象1. 結石(腎結石・膀胱結石・胆石, etc.)の診断・治療
基礎～臨床段階, 米国Sonomotion社, ワシントン大
- 対象2. がん(腎がん・肝がん・乳癌・骨腫瘍, etc.)の診断・治療
臨床段階, 日立アロカとの共同研究
- 対象3. 痛み(透析肩・腰痛・関節痛, etc.)の評価・治療
基礎～臨床段階, ナカシマメディカルとの共同研究
- 対象4. 内臓脂肪(メタボリックシンドローム)評価
製品化段階, 日立アロカ(株)との共同研究
- 対象5. 循環器疾患・組織癒着(血栓・心臓癒着・腹部癒着)評価
応用～臨床段階, ニプロ(株)との共同研究
- 対象6. 声帯の粘弾性測定, 基礎～臨床段階,
(株)イマダとの共同研究

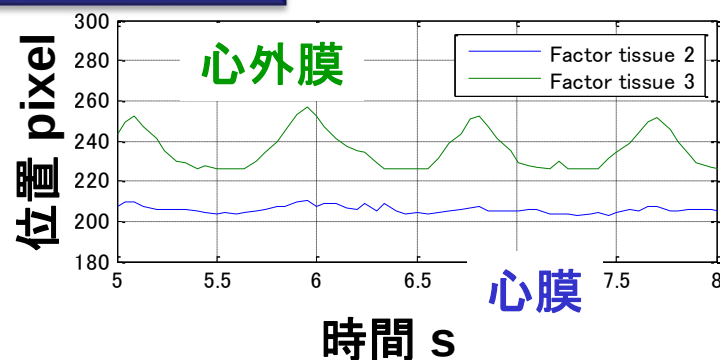
循環器疾患・組織癒着

対象5.循環器疾患・組織癒着評価, ニプロ(株)との共同研究

癒着なし

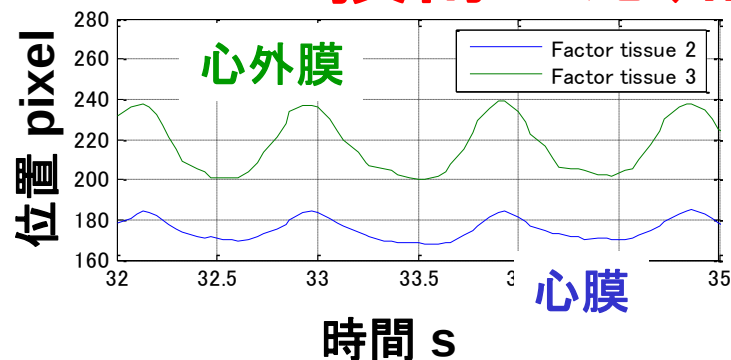
癒着あり

運動データ



癒着なし

ロボットビジョン技術の応用

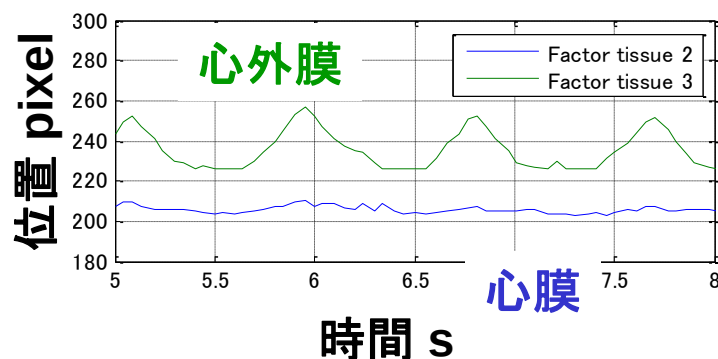


癒着あり

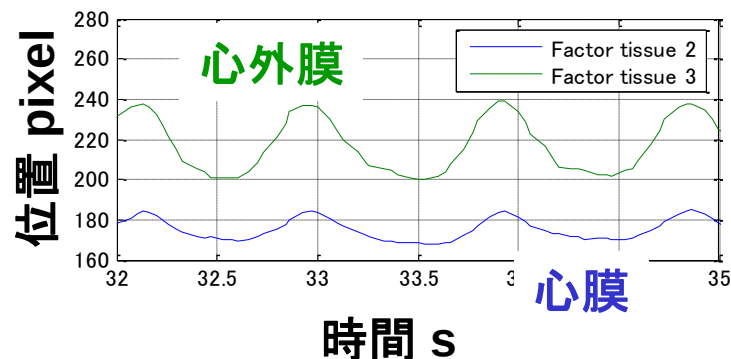
循環器疾患・組織癒着

35

運動データ

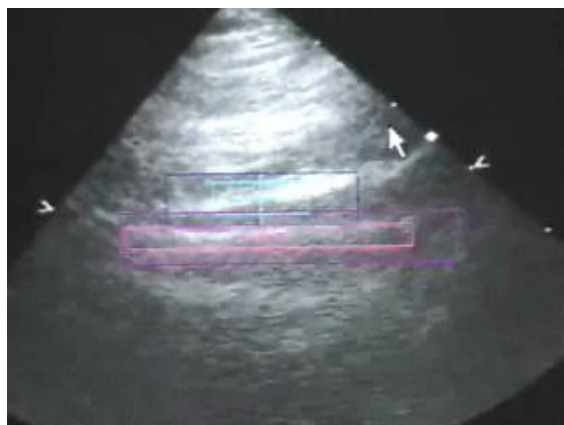


癒着なし



癒着あり

計測方向



	相関係数
癒着なし	0.282
癒着あり	0.973

癒着の有無のみならず度合まで評価

超音波医療 診断・治療技能



医療技能の技術化・デジタル化
Me-Digitalization

熟練した専門医のように動作し、人間の能力を超える高精度な診断・治療を行なうシステムの実現

機能実装・システムの最適化

なめらか動作・高追従制御



安全・安心接触動作機構

深掘り研究とともにヨコ型に 医デジ化を推進

検証・最適化



日本設計工学会 The Most
Interesting Readings 賞受賞

効果

IJAT09



医療・健康・
福祉専門家

技能の技術標準化
負担軽減

技能のデジタル化

学問体系化・設計指針化
システムの最適化

専門家の技能
安全・安心
ユビキタス化



中高齢者

ロボティクス・生産加工・生活支援

[1] 吉川恒夫, “人工技能—技能の理解とその機械化—,” 計測と制御, Vol.16, No.7, 1998.

[2] 小笠原司, “ロボットによる器用なタスクの実現,” 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.7, 2005.

[3] 超速ハイパーヒューマン技術が開く新世界, 金子真, 情報処理, Vol.46, No.5, 2005.

[4] 小島俊雄・森和男, “加工技能のデジタル化,” 精密工学会誌, Vol.68, No.10, 2003.

[5] 持丸正明, “デジタルヒューマン技術とその可能性,” 精密工学会誌, Vol.68, No.11, 2003.

(国外)

医療・福祉

(国内)

[6] A. Knoll, et al., “Human Machine Skill Transfer Extended by a Scaffolding Framework,” IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2002.

[7] G. Zong, et al., “Robotic Assisted Suturing for Robotic Micro Surgical Keratoplasty,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2006.

[8] Y. Yamauchi, et al., “Surgical Skill Evaluation by First Data of Endoscopic Surgery Training System,” IEEE International Conference on Computer-Assisted Intervention (MICCAI'02), 2002.

[9] O. Fukuda, T. Tsuji, M. Kaneko, A. Otsuka, “A Human Machine Cooperative System for EMG Signal Based Control of a Prosthetic Trans on Robot. and Automat., Vol.19, No.2, 2003.

自動縫合

(ドイツ・中国)

サージェリ・レコーダ(名古屋大・大阪大)

手術スキル評価(産総研)

人間機能の代替・パワーアシスト

(広島大・佐賀大・産総研)

我々の研究グループ

医デジ化コア基盤技術

[10] N.Koizumi, M.Mitsuishi, et.al., “Construction methodology for a remote ultrasound diagnostic system,” IEEE Trans. on Robotics, Vol.25, No.3, 2009.

非侵襲超音波治療技術

[11] J.Seo, N.Koizumi, M.Mitsuishi, et.al., “Three-dimensional computer controlled acoustic pressure scanning and quantification of focused ultrasound,” IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol.57, No.4, 2010.

医療診断・治療技術／技能

[12] A.Ishikawa, et.al., Renal preservation effect of ubiquitous education, Clin Exp Nephrol 2010; Sep 28.

腎がん・結石診断・治療技能

[13] H.Tsukihara, et.al., “Prevention of Postoperative Pericardial Adhesions With a Novel Regenerative Collagen Sheet,” J. Thorac Surg, Vol.132, pp.650 –657, 2006.

心臓癒着診断・評価技能

[14] M.Kawasaki, et.al., “Effect of local injection of 10% lidocaine hydrochloride on osteoarthritis of the knee joint,” J. Pain Research, Vol.14, 2003.

腰痛診断・評価技能

診断・治療(評価)支援対象

- 対象1. 結石(腎結石・膀胱結石・胆石, etc.)の診断・治療
基礎～臨床段階, 米国Sonomotion社, ワシントン大
- 対象2. がん(腎がん・肝がん・乳癌・骨腫瘍, etc.)の診断・治療
臨床段階, 日立アロカとの共同研究
- 対象3. 痛み(透析肩・腰痛・関節痛, etc.)の評価・治療
基礎～臨床段階, ナカシマメディカルとの共同研究
- 対象4. 内臓脂肪(メタボリックシンドローム)評価
製品化段階, 日立アロカ(株)との共同研究
- 対象5. 循環器疾患・組織癒着(血栓・心臓癒着・腹部癒着)評価
応用～臨床段階, ニプロ(株)との共同研究
- 対象6. 声帯の粘弾性測定, 基礎～臨床段階,
(株)イマダとの共同研究

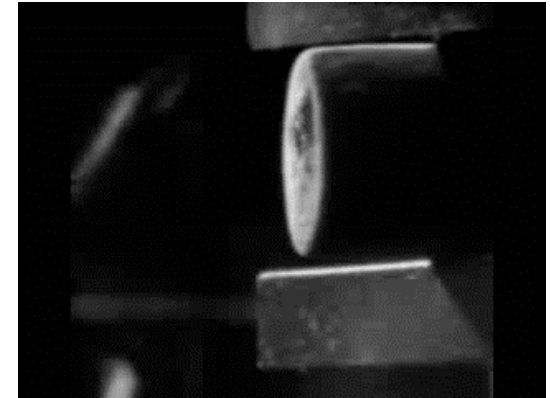
HIFU治療

39

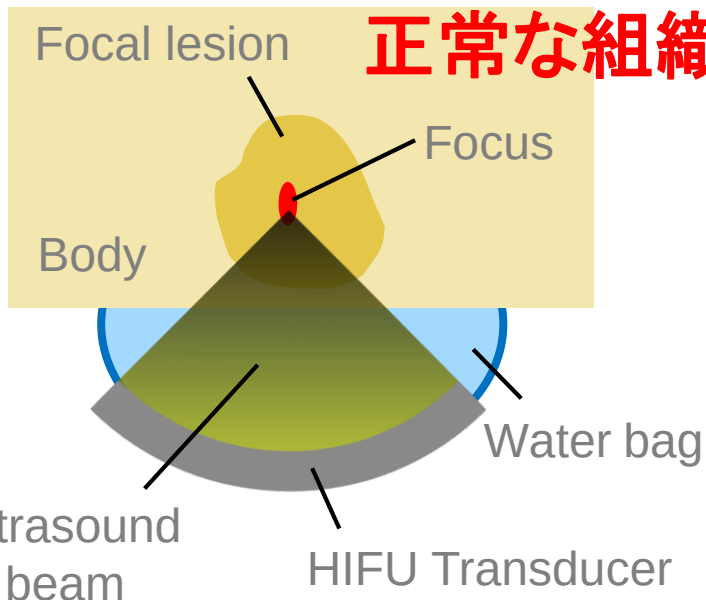
HIFU (High Intensity Focused Ultrasound)



http://japan.gehealthcare.com/cwcjapan/static/rad/mri/MRgFUS_ExAblate2000



Y. Matsumoto, et. al.



正常な組織を傷害



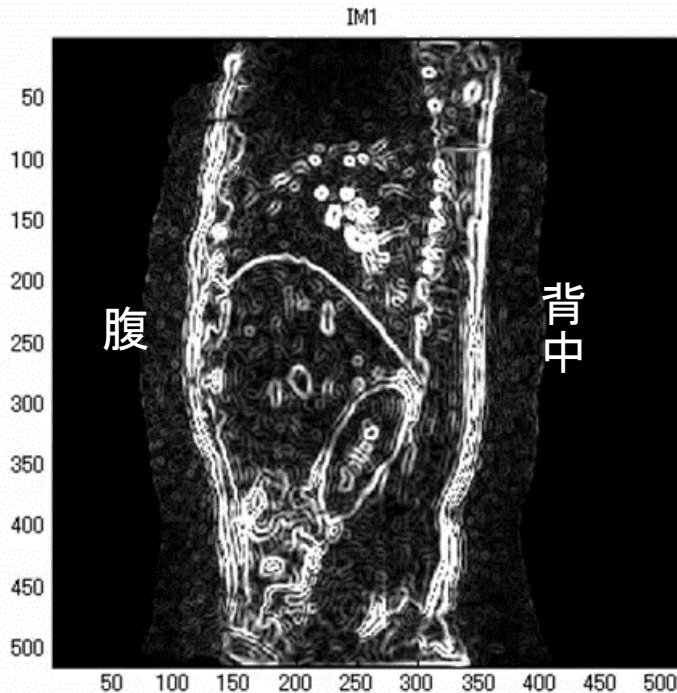
ExAblate 2000 (GE Healthcare)



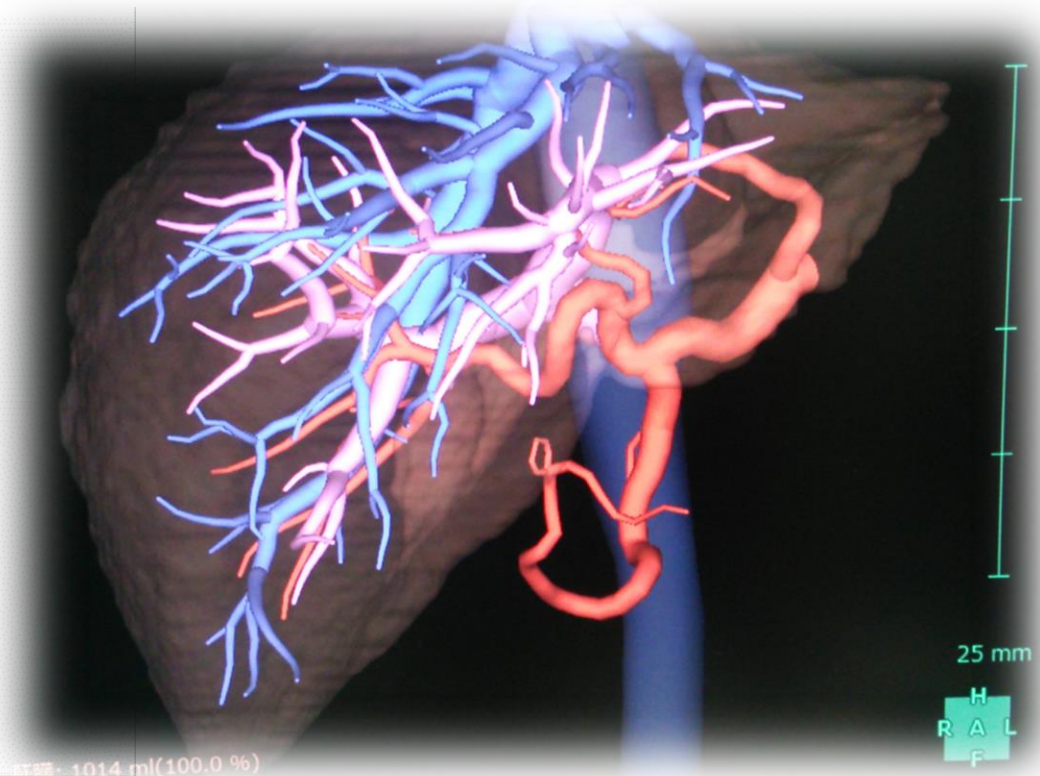
HIFU TECHNOLOGY PTE LTD
14, Anson Road, #05-01, Nankang Health Building, Singapore (400999)
Tel: (65) 6298 2472 Fax: (65) 6291 083 Email: info@hifutech.com
Website: <http://www.hifutech.com/>

JC Haifu System (Chongqing Haifu Medical Technology Co. Ltd.)

商用システム



K. Kuroda, et. al.



運動する臓器 (MR, 側面)

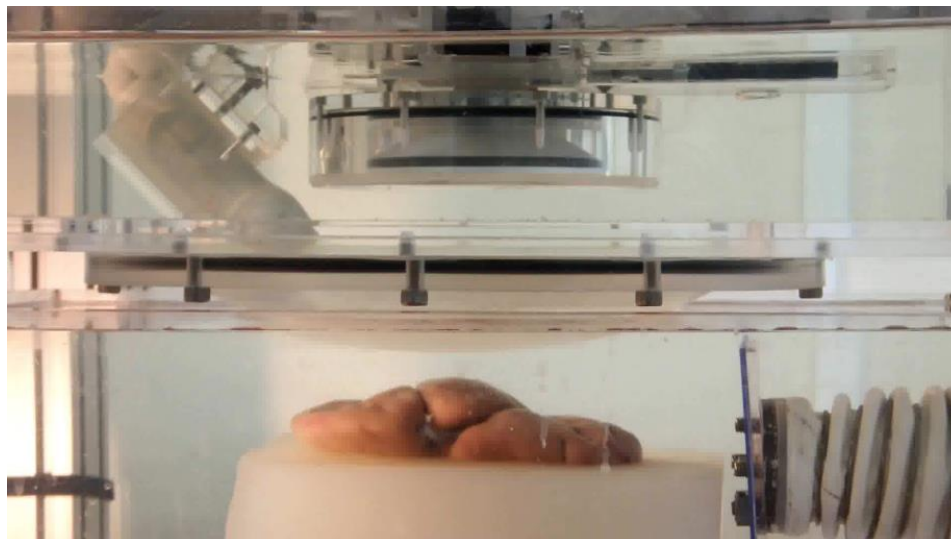
肝臓の血管 (CT)

主要血管, 横隔膜, 消化管を傷つけないために
誤差1mm の要求精度

コンセプト

本研究で提案する非侵襲超音波診断・治療統合システム(NIUTS)とは、呼吸・拍動等により能動的に運動する患部を抽出・追従・モニタリングしながら、超音波を集束させてピンポイントに患部へ照射することにより、がん組織の焼灼や、結石の破碎を、患者の皮膚表面を切開することなく非侵襲かつ低負担で行なおうとするもの

Ex. vivo exp. (swine, model kid. stone)



動物摘出腎中の結石追従・破碎

焦点は常時患部に一致

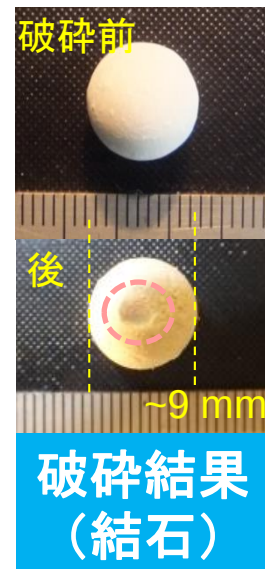
超音波画像



超音波画像(2値化)



追従画像



破碎結果
(結石)

医療ロボットによる体動補償技術

REVIEW ARTICLE

Table 1. Visual servoing techniques used for physiological motion compensation in medical robotic applications

Contribution	Imaging modality	Markers	Rate (Hz)	DOF	Motion	Tracking	Controller
Howe (10)	3D US	Passive	28	1	H	See Cardiac surgery and interventions	
Lee et al. (31)	Bi-planar US	None	30	3	H-R	Template matching	–
Koizumi et al. (32,34)	Bi-planar US	None	100	3	R	Template matching and image moments	Feed-forward control (see section on HIFU therapy)
Seo et al. (35)	Bi-planar US	None	20	3	R	Condensation	Multi-rate delay compensation

Column 5 shows the number of DOFs used for actuation; column 6 lists the source of physiological motion to be compensated. H, heart beat; R, respiration.

HIFU therapy
Tracking and following organ movement, while simultaneously irradiating high-intensity focused ultrasound (HIFU) onto an affected area, generates servoing errors, primarily due to changes in the US image as a result of position errors, bubbles, oscillations, etc. In order to overcome these problems, Lee et al. (31) developed a visual servoing controller for targeting kidney stones (lithotripsy), using HIFU. Biplanar US images were captured using two US probes simultaneously at a rate of 30 Hz to track a kidney stone in 3D, in order to compensate for the physiological motions caused by respiration and heart beat. A hierarchical (correlation-based) template matching was used for tracking the kidney stone with a sub-pixel accuracy in each image.

In another study, Koizumi et al. (32) proposed a non-invasive US therapy and diagnostic system that tracks the movement of a kidney stone, for use in targeting by HIFU. Two approaches were applied simultaneously. The first approach was to minimize the servoing error. This was done through a robust detection method of the stone position, based on shape information, by taking advantage of the Grahamscan algorithm (33), which generates a convex-shaped hull of the stone. A feed-forward controller based on utilizing the quasi-periodical motion of the affected area (mainly caused by respiration) was proposed and implemented to enhance the servoing performance (34). It was shown that this method enhanced the servoing performance by a maximum error of 2.4 mm and an average error of 0.11 mm. The second approach was to reduce the effect of the servoing error (to enhance patient safety) by controlling HIFU irradiation power in accordance with the servoing error.

Seo et al. (35) used the coagulated lesion created by HIFU as a spatial landmark to track the motion of the organ in biplanar US images. The initial location of a tumour is estimated by registration of a pre-operative image of the organ, e.g. obtained by a multidetector CT, then HIFU is applied to create the initial lesion. The 3D position of the coagulated lesion is then tracked by applying a stochastic motion-tracking algorithm to the biplanar US images in real time. The focal point of the HIFU transducer is located at the intersection of the US image planes and the biplanar US probe in a fixed configuration. The HIFU transducer and US probes are carried by a three-DOF robot. Visual servoing is applied to minimize the distance between the focal point of the HIFU and the 3D position of the coagulated lesion while the organ is moving due to respiration. An RMS error of approximately 2 mm was achieved in phantom studies (35). This technique is especially useful for cases such as renal cell carcinoma, where the tumour boundaries are difficult to segment and there is significant physiological motion (e.g. due to respiration).

Azizian M (Intuitive Surgical Inc.), et al. Visual servoing in medical robotics Part II: tomographic imaging modalities – techniques and applications. *Int J Med Robot Comput Assist Surg (IJMRCAS)* 2014

(31) Lee D, Koizumi N, Ota K, et al. Ultrasound-based visual servoing for kidney stone lithotripsy. In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (**IROS2007**).

(32) Koizumi N, Seo J, Lee D, et al. Robust kidney stone tracking using ultrasound theragnostic system – servoing performance evaluation. In IEEE International Conference on Robotics Automation (ICRA2008).

(34) Koizumi N, Seo J, Suzuki Y, et al. A control framework for real-time visual servoing of ultrasound theragnostic system. In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (**IROS2009**).

(35) Seo J, Koizumi N, Funamoto T, et al. Visual servoing of a therapeutic HIFU system by coagulated lesion tracking: a preliminary study. *Int J Med Robot Comput Assist Surg (IJMRCAS)* 2011.

医療ロボットにおける体動補償技術のパイオニアかつ中核的存在

医療ロボットのビジュアルサーボ研究

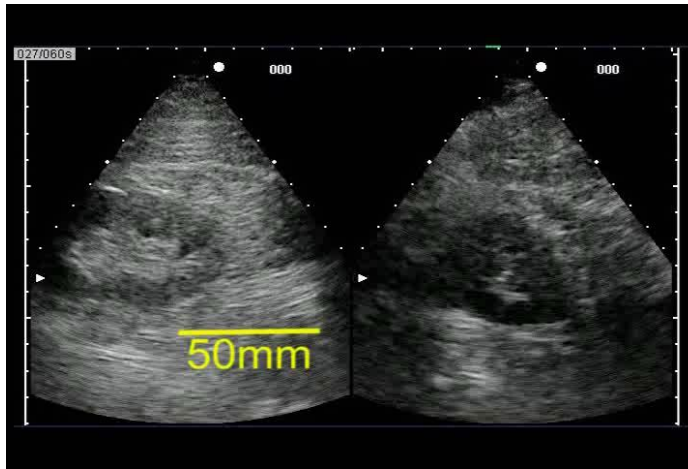
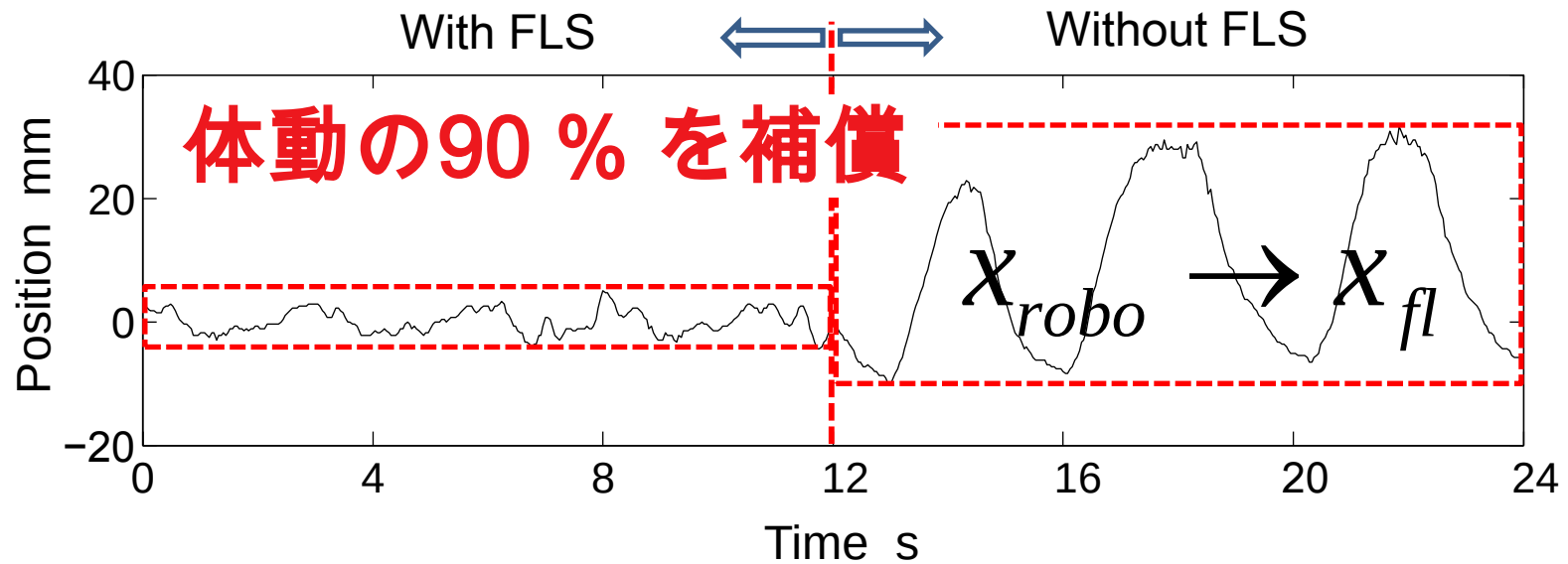
Table 3. Classification of visual servoing techniques in medical robotics, based on their applications

Application	Contributions	Modality	Tool	DOF	Rate (Hz)	Configuration	Trials
Mitral valve repair	Novotny <i>et al.</i> (9)	3D US	Rod	1	28	B	<i>In vivo</i>
	Kesner and Howe (13); Kesner <i>et al.</i> (14)	3D US	Catheter	1	28	B	<i>In vivo</i>
Intravascular interventions	Azizian <i>et al.</i> (36); Jayender <i>et al.</i> (37,38)	XRF	Catheter	2 (7 + 3)	30	D, E	Phantom
	Tamaz <i>et al.</i> (50)	MRI	Bead	2	33.8 ms	E	Phantom
	Zhang <i>et al.</i> (48)	MRI	Catheter	3	1	D	<i>In vivo</i>
	Belharet <i>et al.</i> (51,52)	MRI	Bead	2	50 ms	E	None
Biopsy	Xu <i>et al.</i> (55)	CTF	Needle	2 + 1	6	B	<i>In vivo</i>
Needle-based therapy	Hong <i>et al.</i> (26,27)	US	Needle	2	3.1	D	Phantom
Percutaneous cholecystostomy	Hong <i>et al.</i> (28)	US	Needle	2	7.69	D	<i>In vivo</i>
Lithotripsy	Lee <i>et al.</i> (31)	Biplanar US	HIFU	3 (3)	30	B	Phantom
	Koizumi <i>et al.</i> (34)	Biplanar US	HIFU	3 (3)	100	B	Phantom
	Koizumi <i>et al.</i> (32)	Biplanar US	HIFU	3 (3)	100	B	Phantom
Tumour ablation	Seo <i>et al.</i> (35)	Biplanar US	HIFU	3 (3)	20	B	Phantom
Diagnostics	Abolmaesumi <i>et al.</i> (22)	US	US probe	3 (6)	30	D	Phantom
Teleoperation	Stoll <i>et al.</i> (8)	US	Rod	3 (3)	–	D	Phantom
	Jayender <i>et al.</i> (39)	XRF	Catheter	2 (7 + 3)	30	D	Phantom

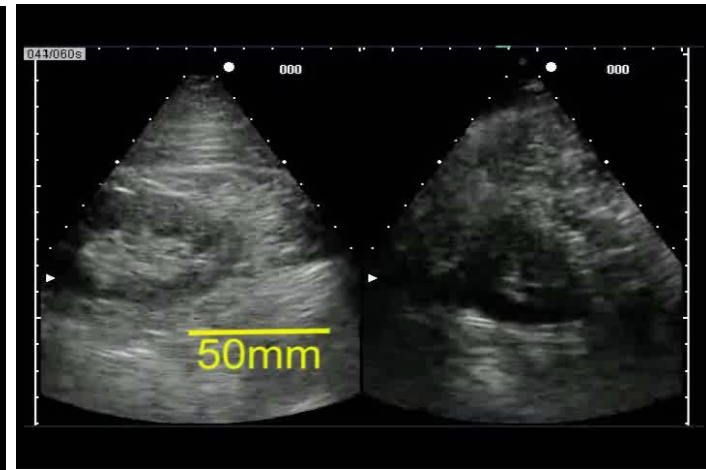
Active DOFs used for visual servoing are reported in column 5; total number of active DOFs are listed in round brackets. Column 4 specifies the tool that is visually servoed; we have used the term 'rod' to refer to any long, cylindrical, rigid tube, which can denote a grasper, scissors, cutter, needle driver, clip deployment device, etc. The servo rate is reported in the last column, in terms of either frequency (Hz) or time period (ms). The column headed 'Configuration' refers to the configuration used for visual servoing (7).

体動補償能力

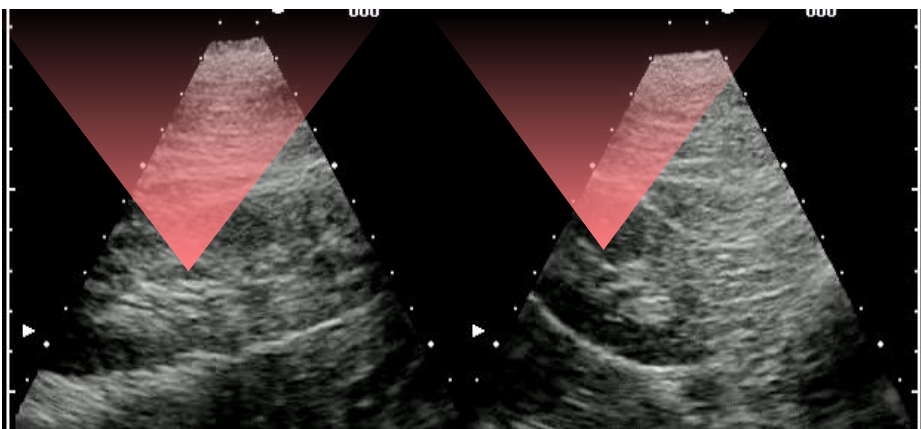
44



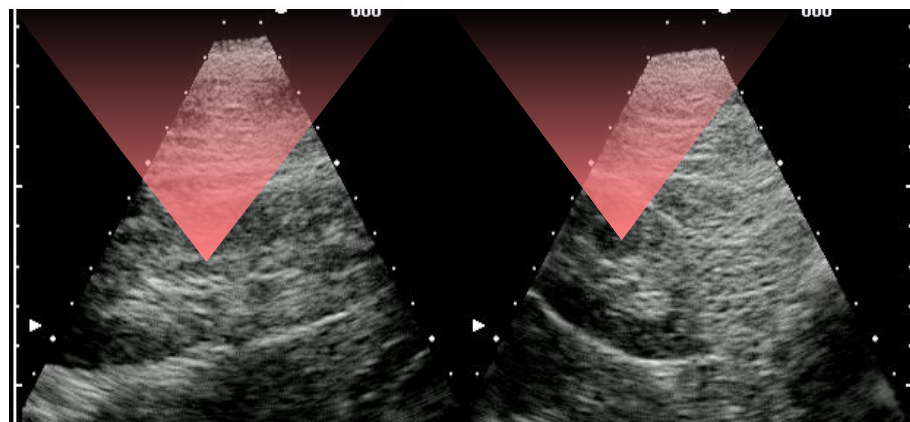
With servoing



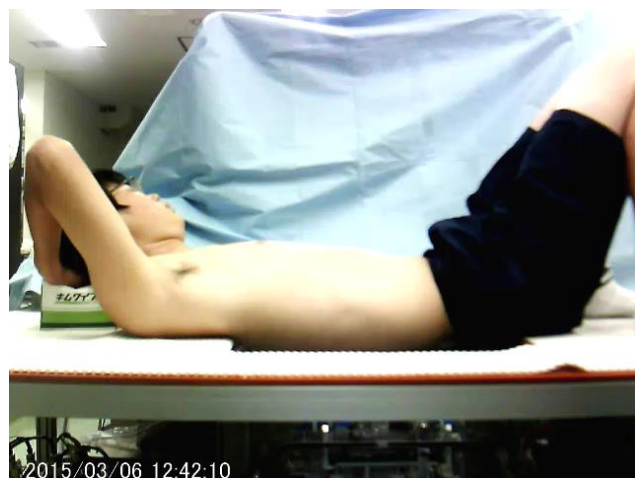
Without servoing



Without servoing



With servoing

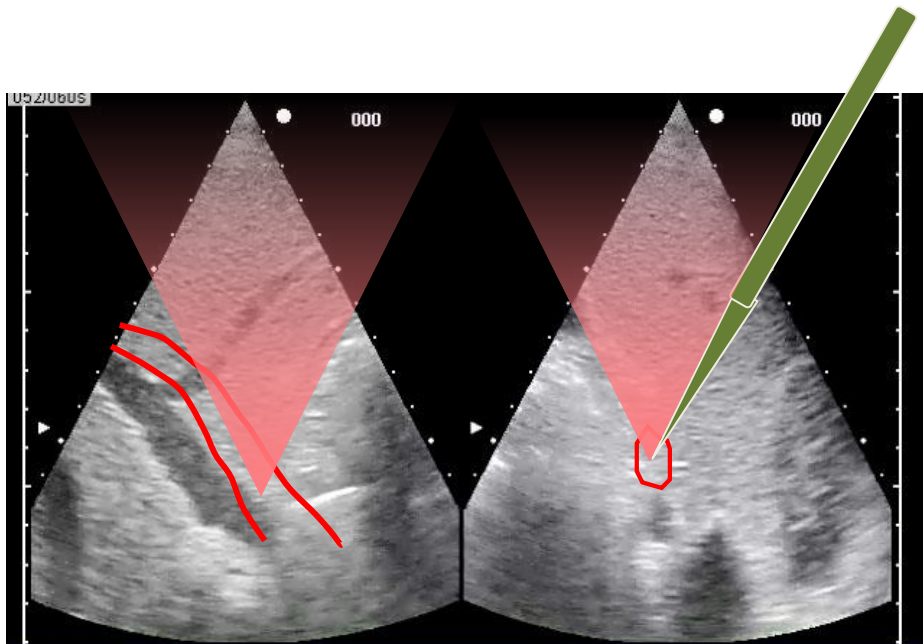


Kidney motion compensation

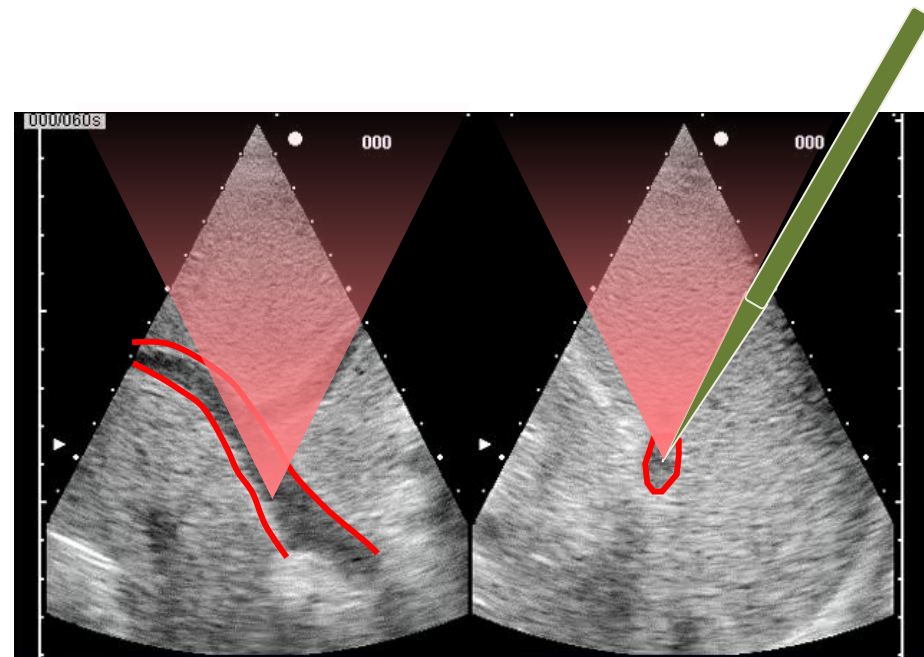
体動の90%
を補償,
1mm
の精度を
実現

1.3 mm の精度を実現

静的な世界で診断・治療



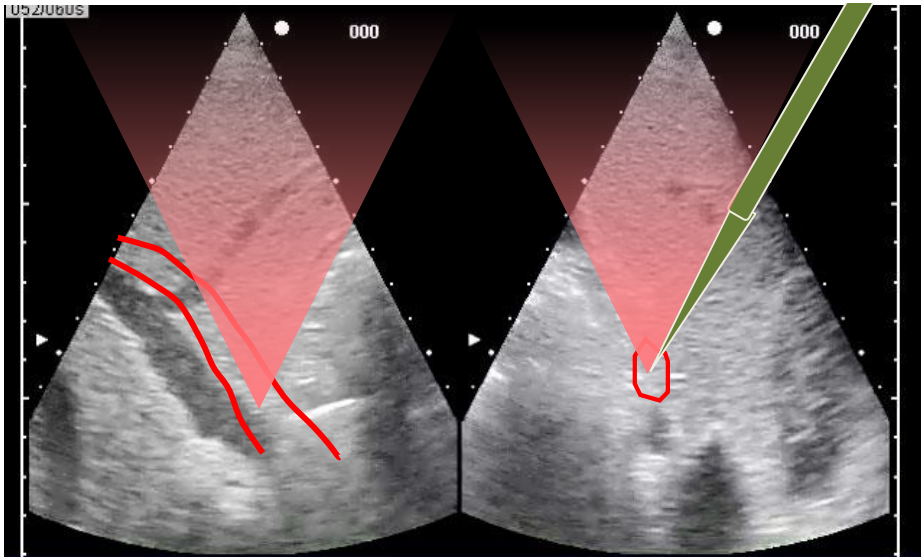
Without servoing



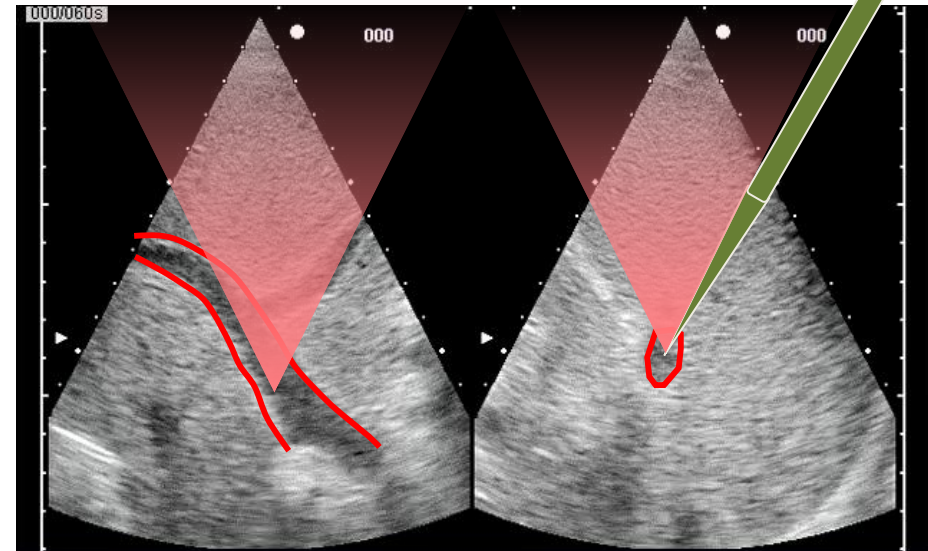
With servoing

1.3 mm の精度を実現

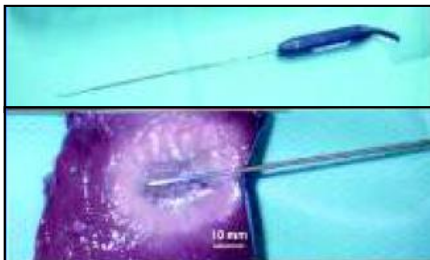
静的な世界で診断・治療



Without servoing



With servoing



RFA治療

超音波ガイド下の
診断・治療を容易化
装置の普及を促進

ミクロの決死圏

(Fantastic Voyage, 1966 米国)



脳内出血を起こした要人の命を救う為、医療チームを乗せた潜航艇を縮小光線を用いて縮小し、それを頸動脈に注射することにより、脳内出血部に到達させ、レーザー光線で治療する。

(Fantastic Voyage, 1966 米国)

脳内出血を起こした要人の命を救う為、医療チームを乗せた潜航艇を縮小光線を用いて縮小し、それを頸動脈に注射することにより、脳内出血部に到達させ、レーザー光線で治療する。

医デジ化の例（ロボットビジョン）

50

超音波医療 診断・治療技能



医療技能の技術化・デジタル化 Me-Digitalization

熟練した専門医のように動作し、人間の能力を超える高精度な診断・治療を行なうシステムの実現

機能抽出・分解・再構築

技能における機能の抽出・構造化

機能を実現するためのパラメータ解析

機能の設計指針化

機能の高度化

機能実装・システムの最適化

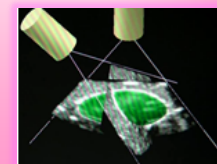
なめらか動作・高追従制御



安全・安心接触動作機構



ロバスト・高精度
動画像処理
アルゴリズム



構築したシステムの検証・最適化

日本設計工学会 The Most
Interesting Readings 賞受賞

効果

IJAT09

技能の技術標準化
負担軽減

技能のデジタル化

学問体系化・設計指針化
システムの最適化

専門家の技能
安全・安心
ユビキタス化



中高齢者

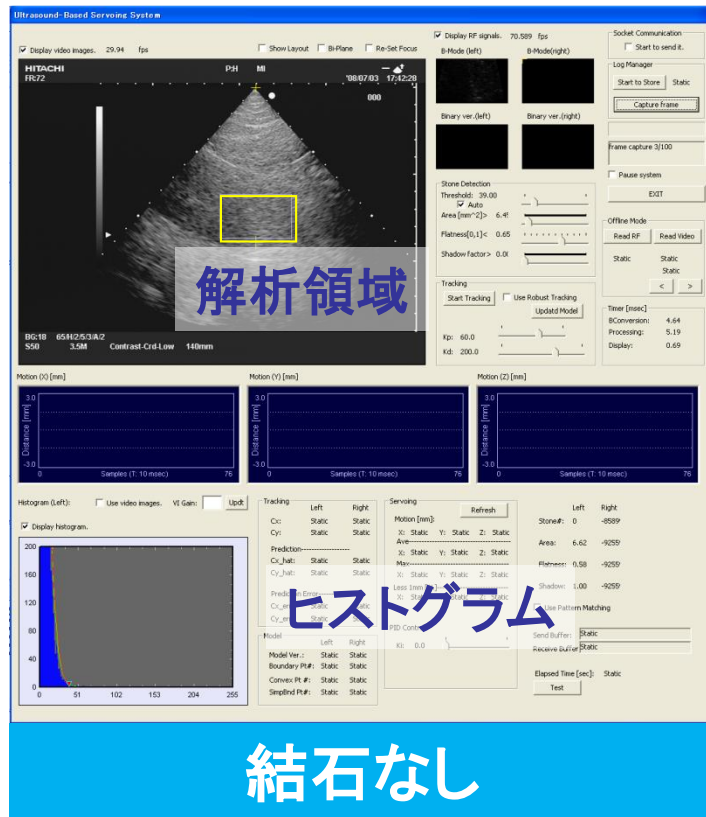


医療・健康・
福祉専門家

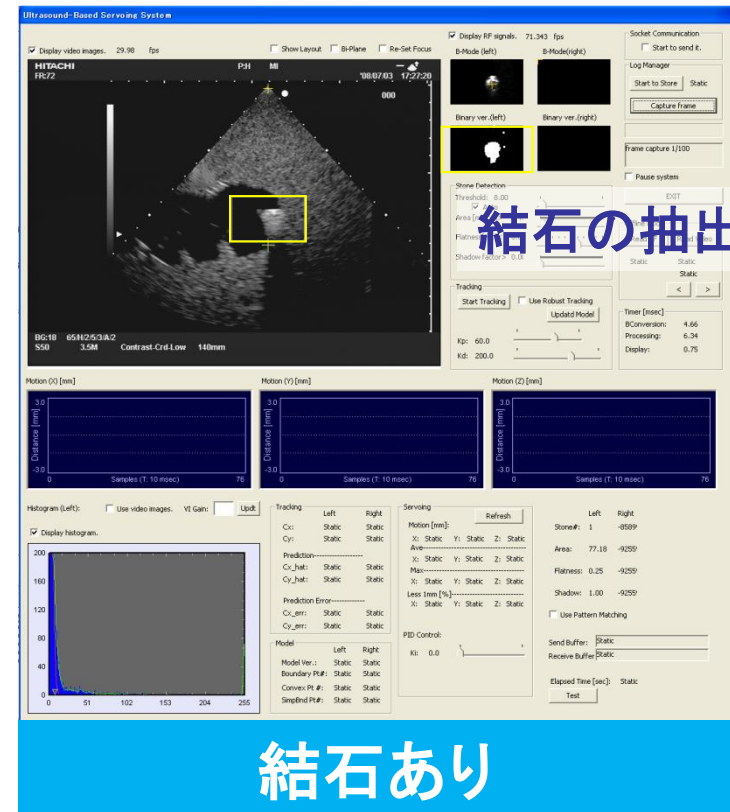
患部の自動／半自動抽出（例：結石）

51

腎臓結石の音響インピーダンスが周囲の身体組織と比較して高いために、超音波画像上で**高い輝度**を有することを利用



IROS07

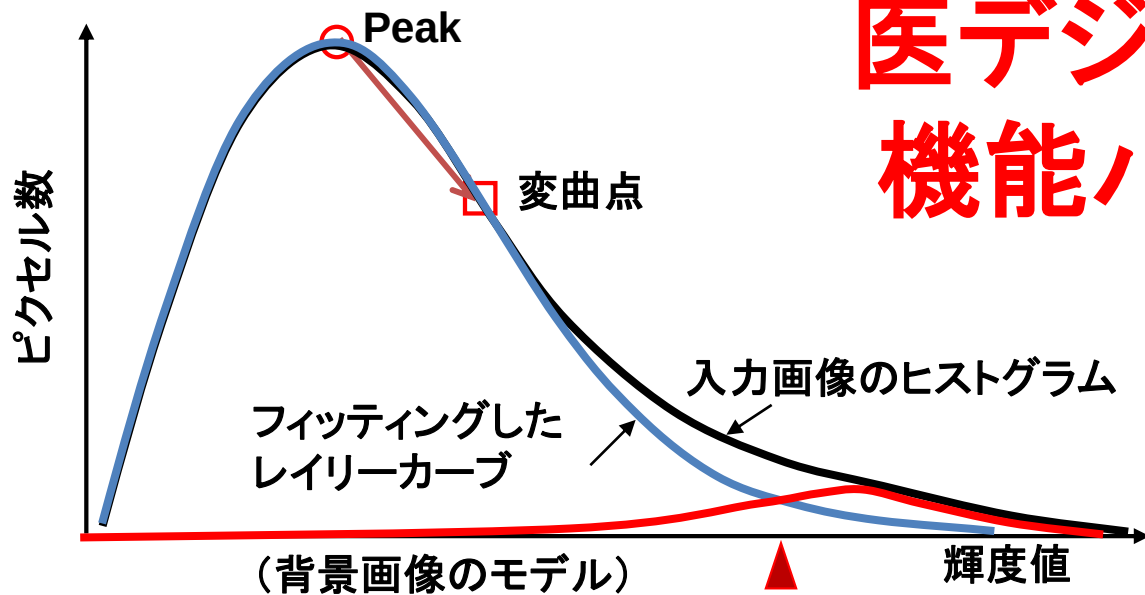


音響インピーダンスが周囲の生体組織と比較して高い

輝度のヒストグラムを利用した 結石の自動抽出

52

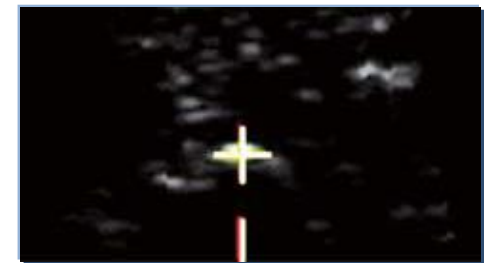
レイリーカーブ (背景画像のモデル) を利用して背景と結石との輝度の**閾値**を決定, 入力画像から結石を抽出



IROS07

Threshold
(これより高い輝度を入力画像から抽出し, 結石の候補とする)

医デジ化のための 機能パラメータ化



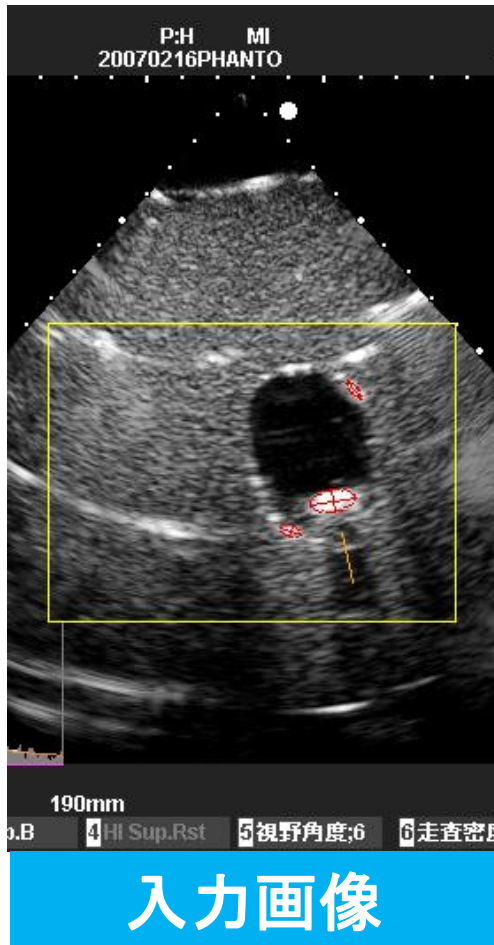
動物摘出腎中の
モデル結石抽出

一般化レイリー・カーブ:
$$f(x|\sigma, S, x_0) = \frac{x - x_0}{\sigma^2} \exp \frac{-(x - x_0)^2}{2S^2\sigma^2}$$

患部の自動／半自動抽出（例：結石）

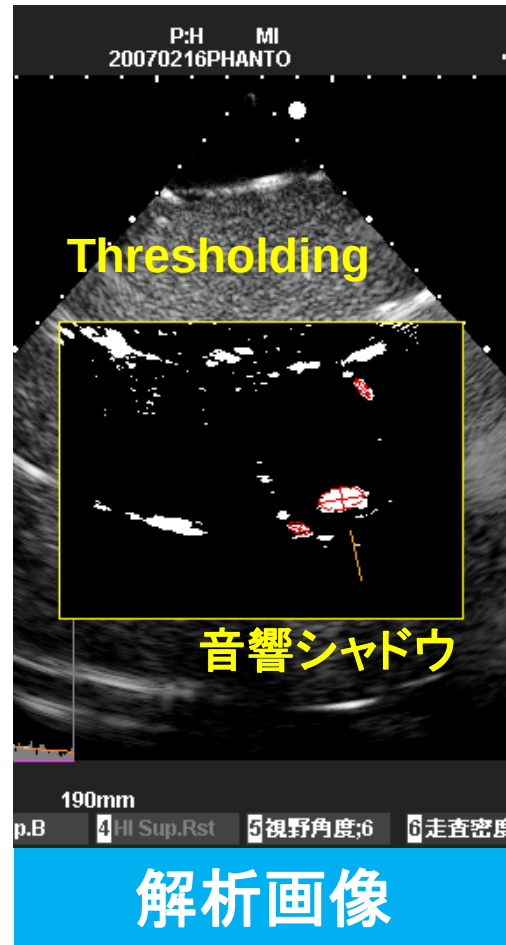
53

結石の後ろ側に音響シャドウ（放射状の影）
ができることを利用して、結石かどうかを判別



入力画像

IROS07



解析画像

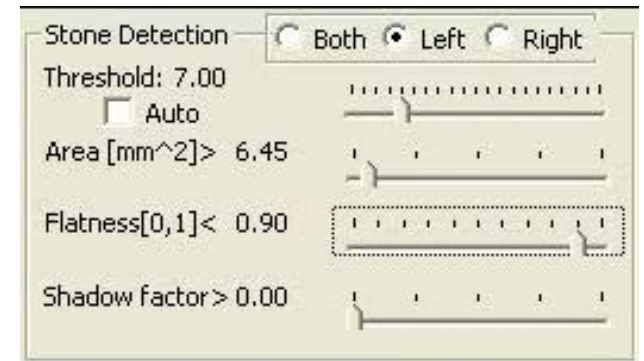
超音波画像



超音波画像（2値化）



結石抽出パラメータ調整



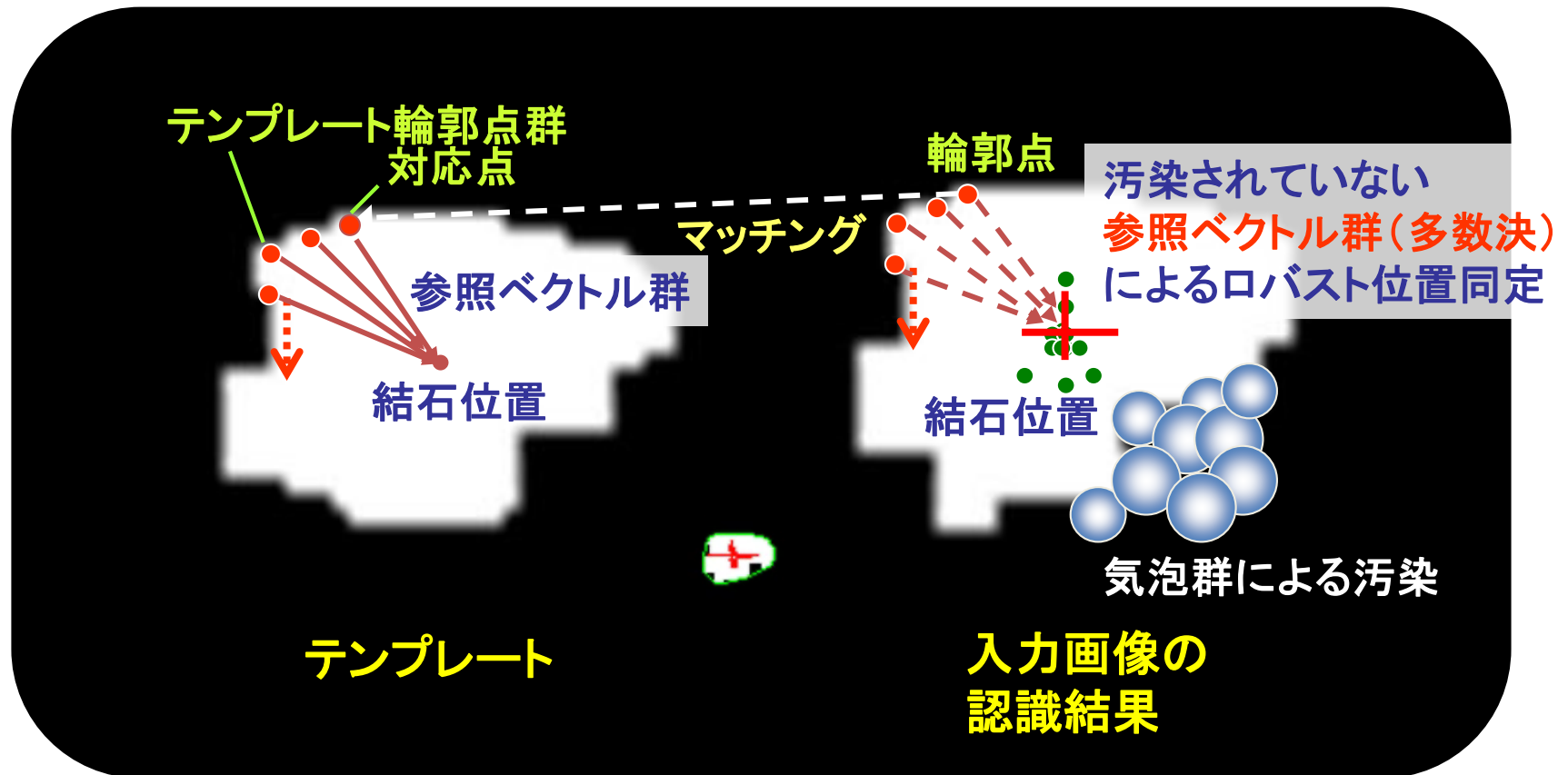
動物摘出腎中の
モデル結石抽出

ロバストな患部位置同定(例:結石)

54

輪郭情報を利用して**ロバストに結石位置を同定**

結石の一部が**気泡群に汚染**されても、**ロバストに結石位置を同定**



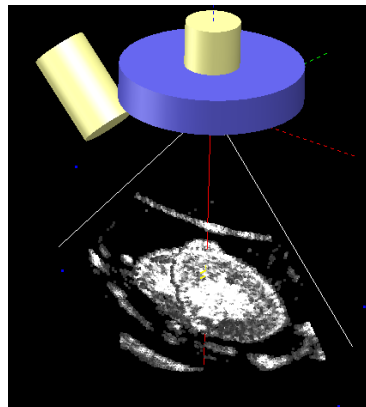
ICRA11

ロバストな患部位置同定(例:がん)

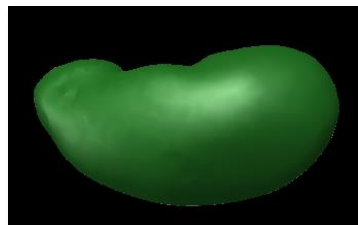
55

臓器のレジストレーション

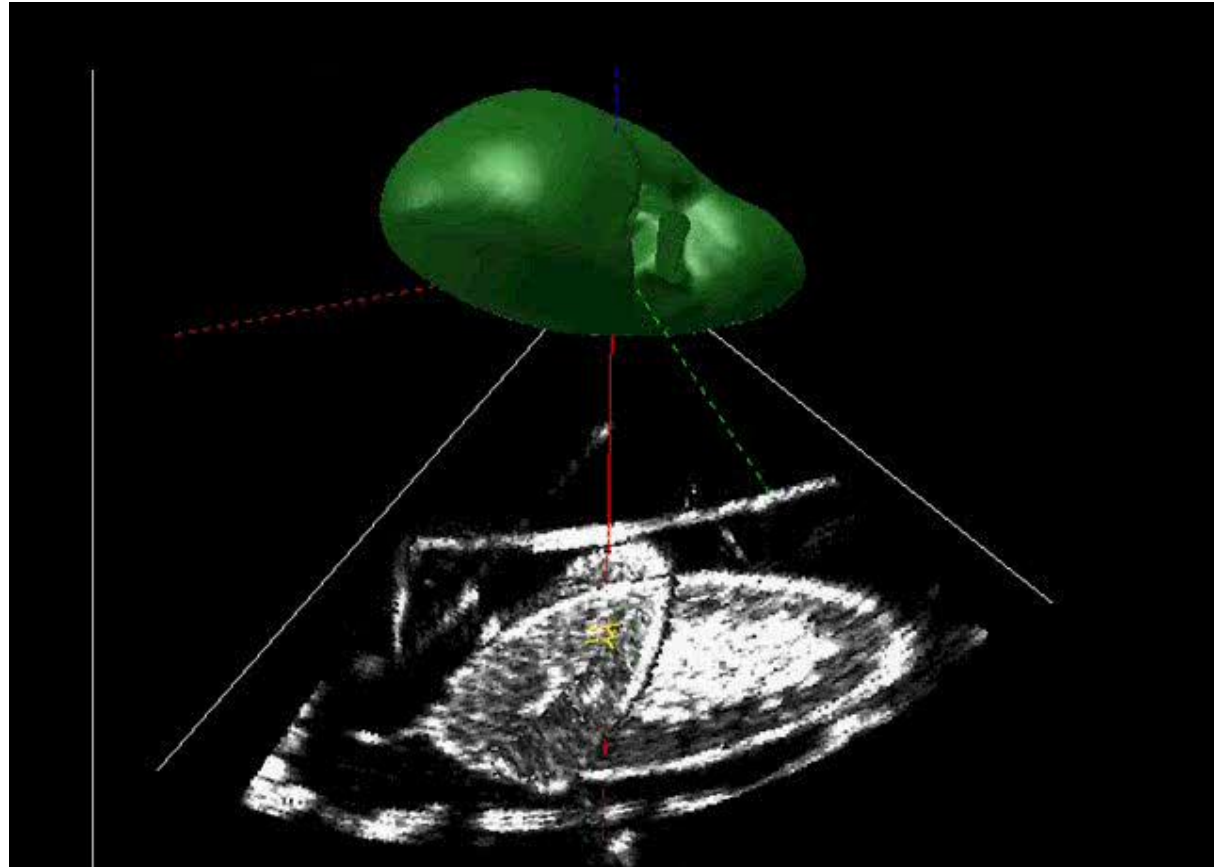
3次元モデルを利用したがんの位置同定
超音波画像との高速なレジストレーション



ステレオ
超音波画像



3次元モデル



臓器(患部)抽出用レジストレーション

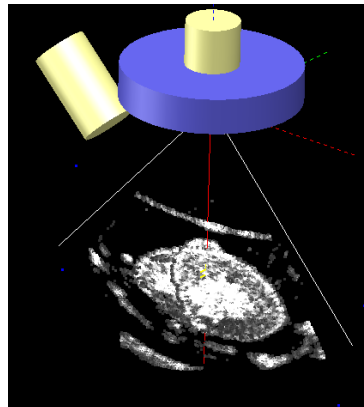
がんの位置・形状情報を含むCTやMRIの利用

3次元形状を利用した臓器追従

56

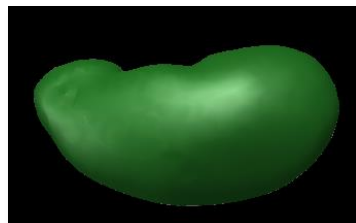
臓器のレジストレーション

ファントム実験レベルで有効性検証

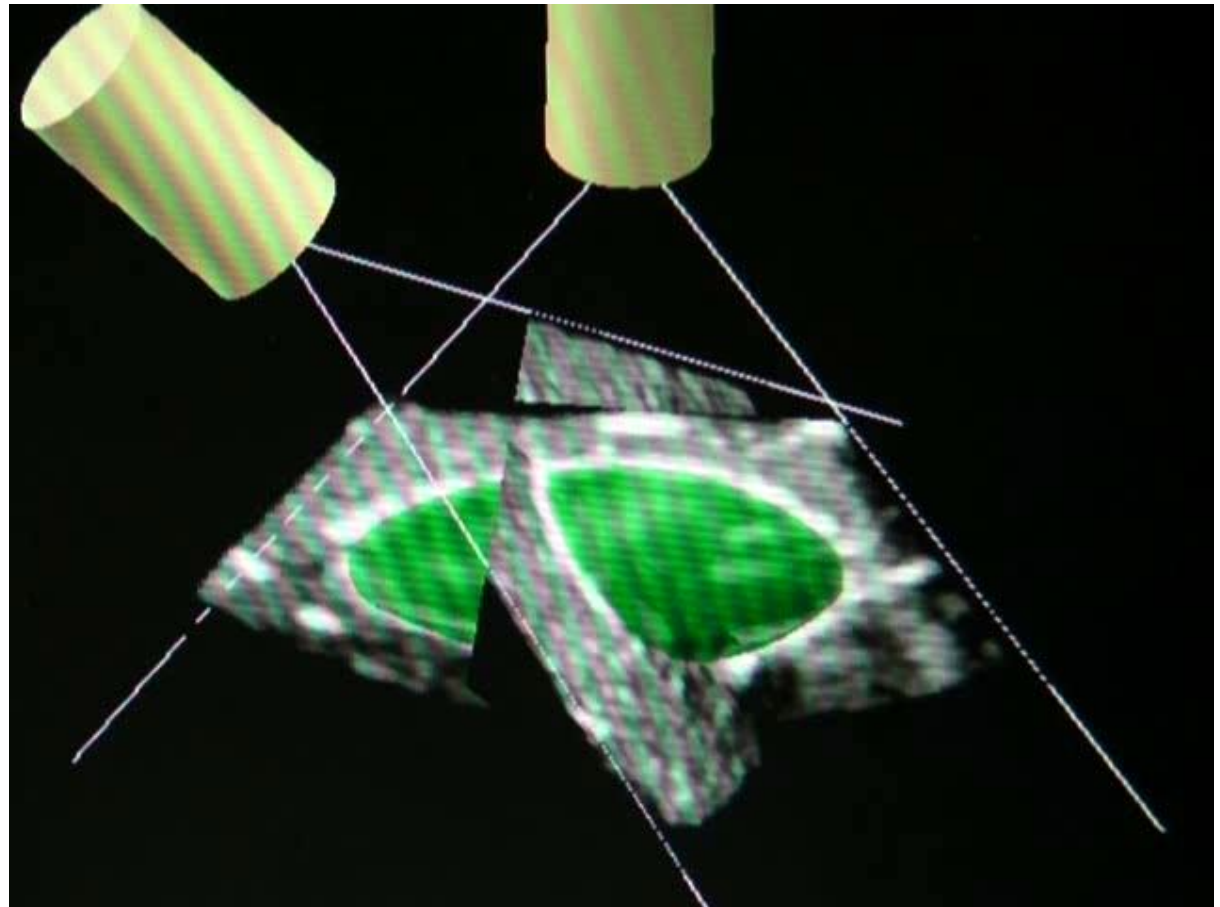


ステレオ
超音波画像

+



3次元モデル



追従・モニタリング中のレジストレーション

がんの位置・形状情報を含むCTやMRIの利用

IJMRCAS11

医デジ化に基づく医療ロボット構築ロードマップ

57

非侵襲超音波診断・治療統合システム

人体に対して安全・安心に動作するとともにがんや結石の
超音波診断・治療を非侵襲かつ低負担で行なうシステムの実現



医師

負担軽減

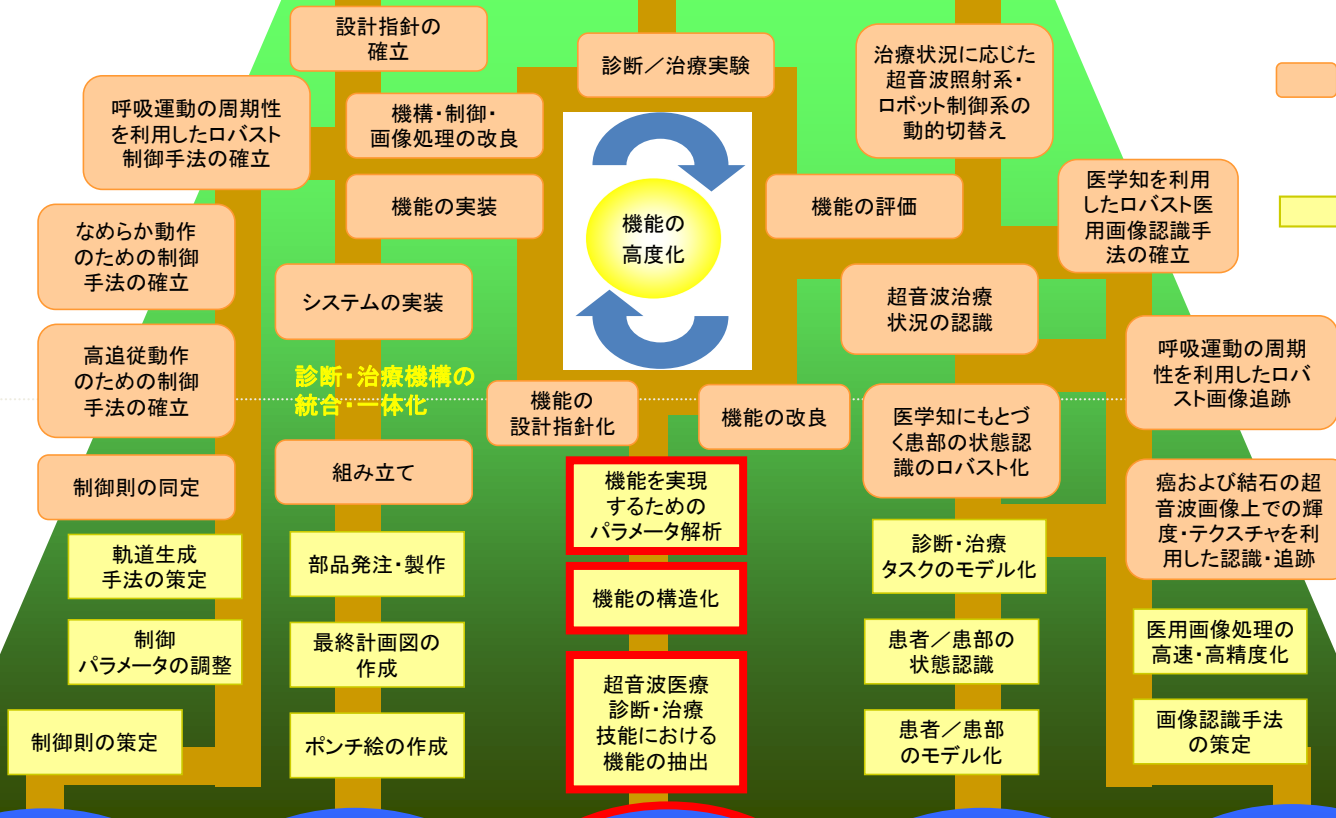
負担軽減



中高齢者

平成26年度

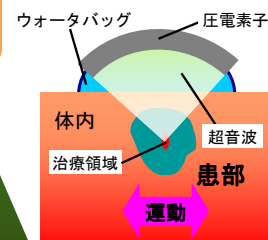
平成25年度



- …研究・開発のステップ, 特に, 研究成果の発表を予定.
- …研究・開発のステップ.



がん / 腎臓結石の診断



非侵襲超音波治療

人体に対する
安全・安心
接触／非接触
動作技術

機能に応じた
高精度機構
設計技術

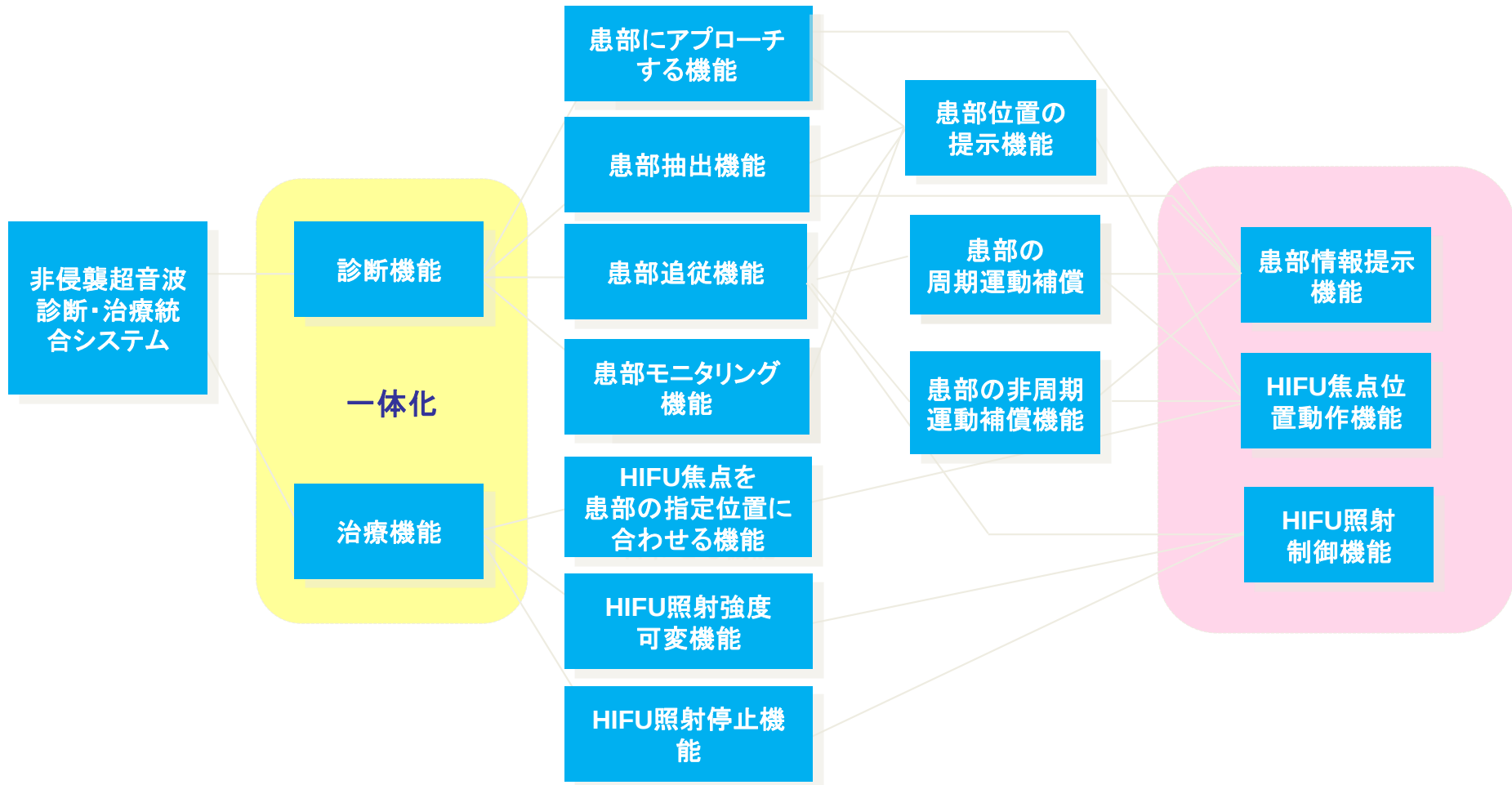
超音波医療
診断・治療技能
における機能抽出・
構造化技術

超音波診断・
治療タスクに応じた
システム動作
切替え技術

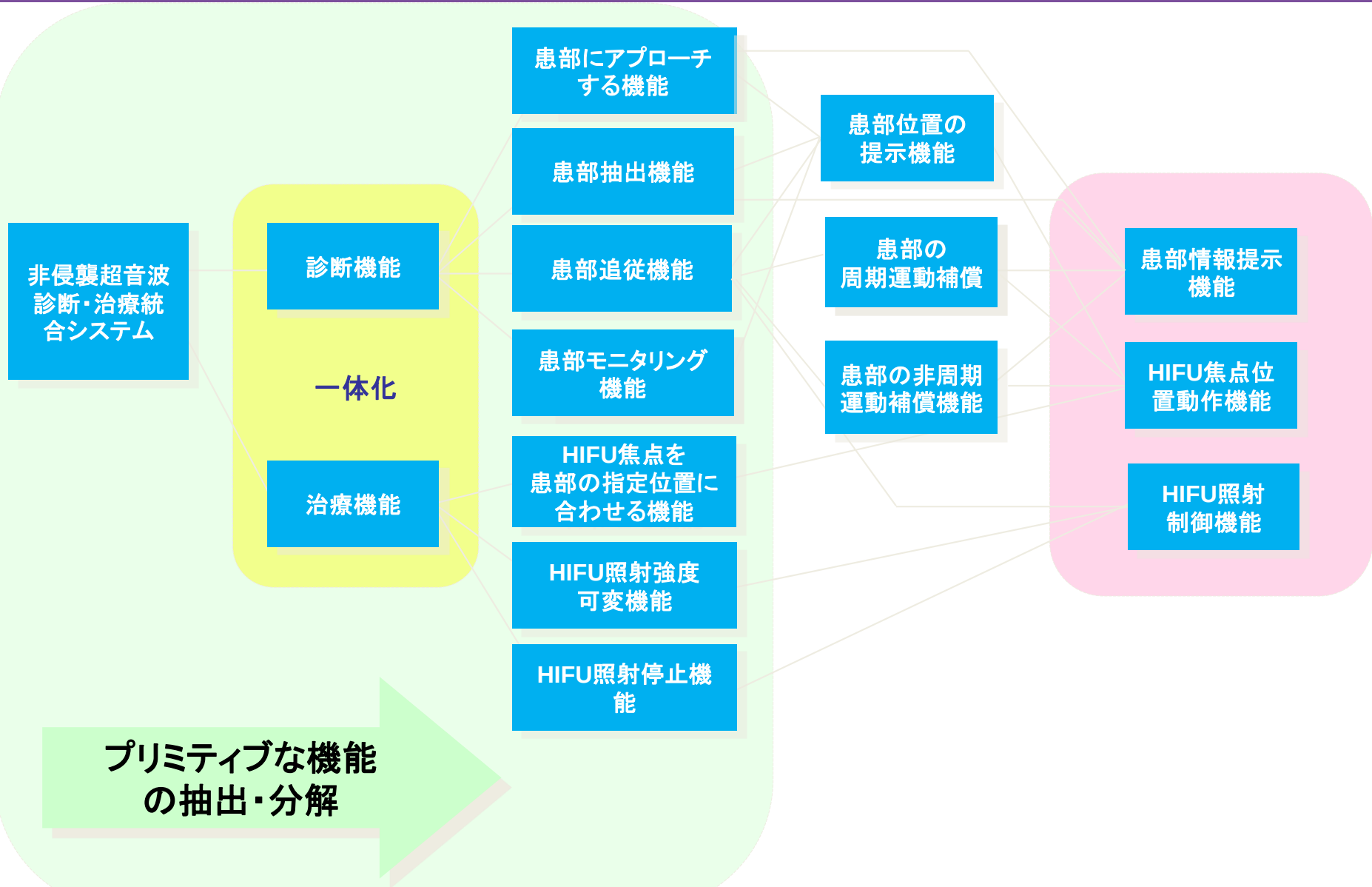
リアルタイム
医用超音波画像
処理技術

医デジ化のための機能構造化

58

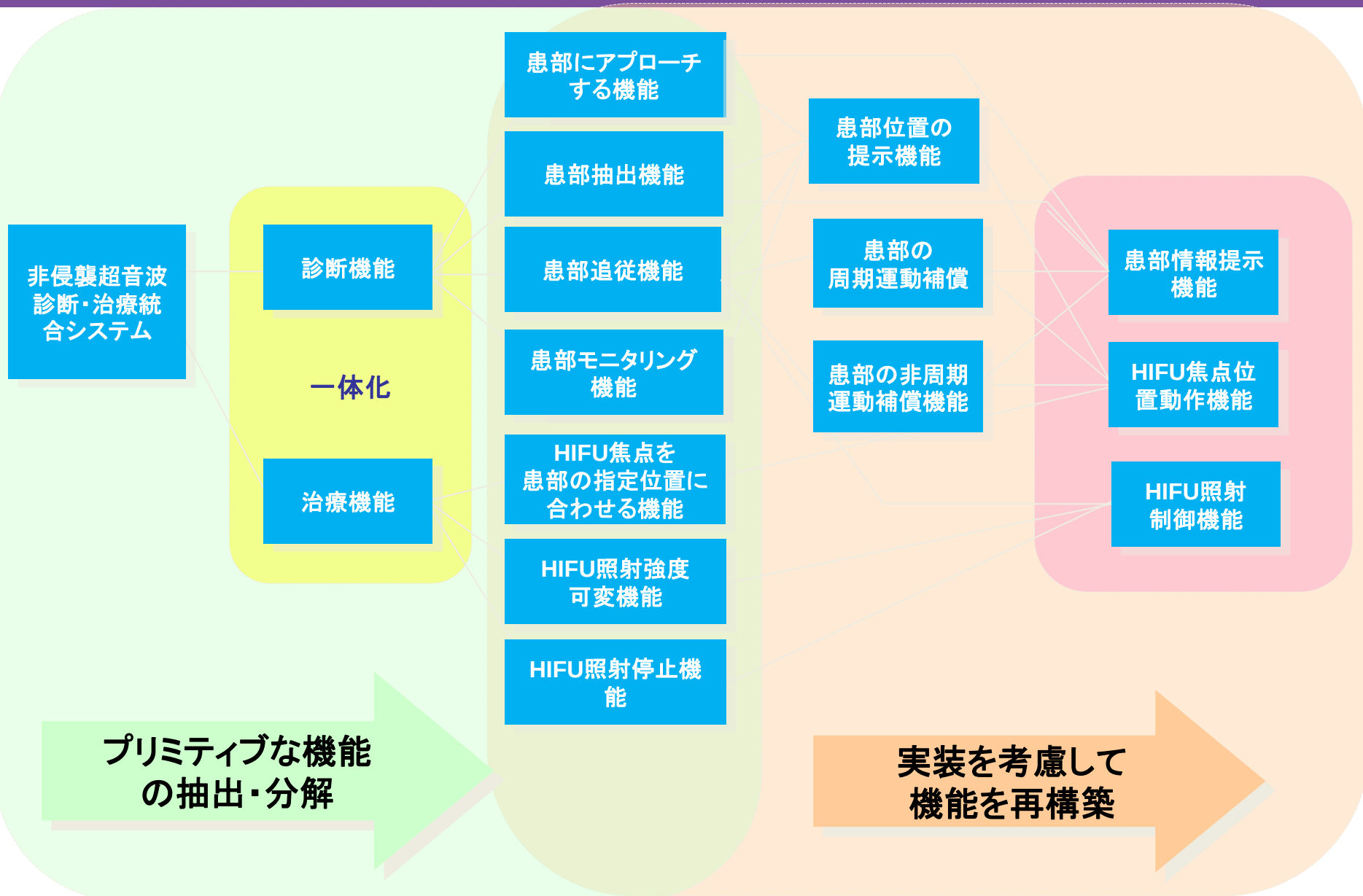


医デジ化のための機能構造化



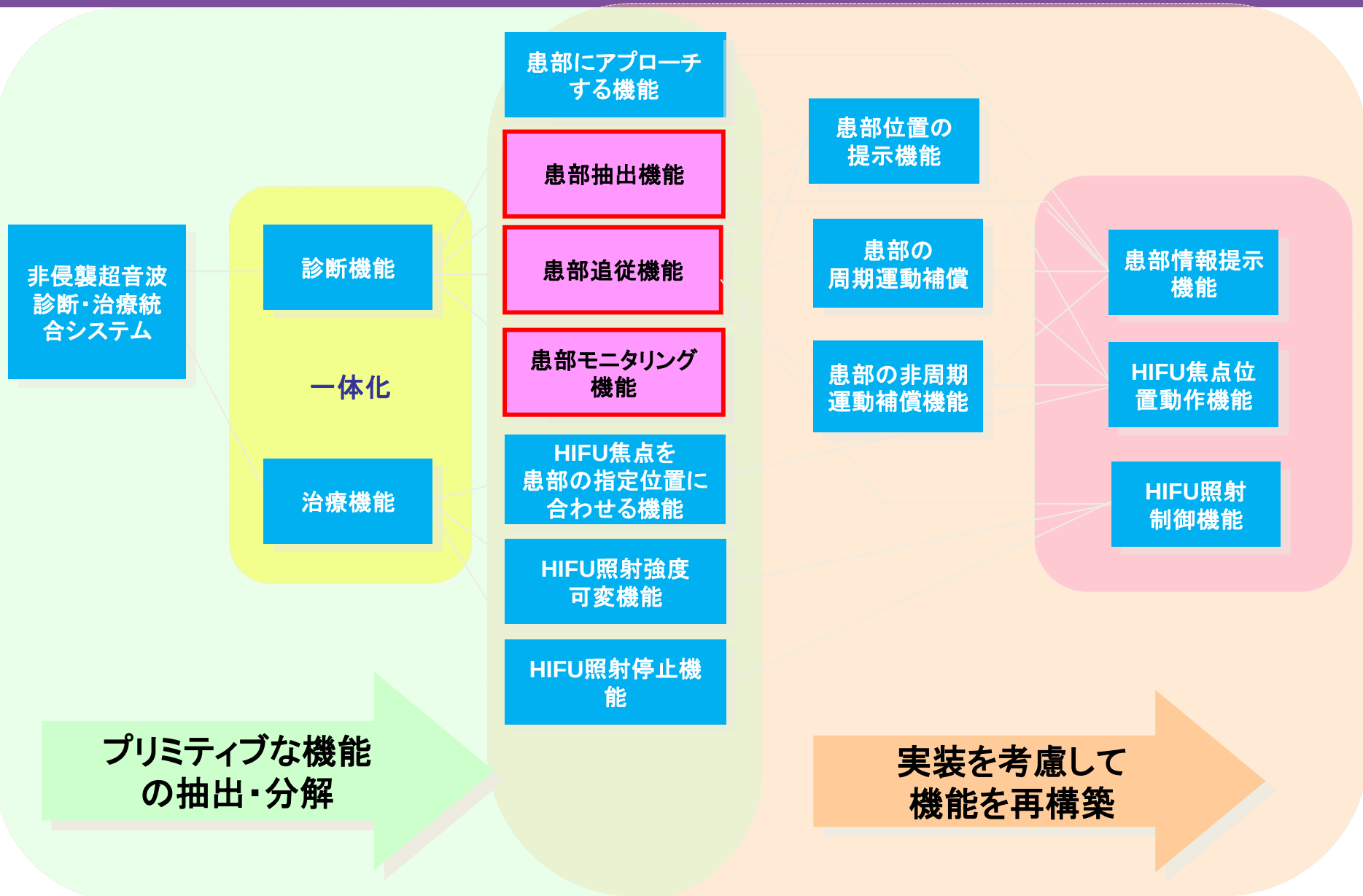
医デジ化のための機能構造化

60



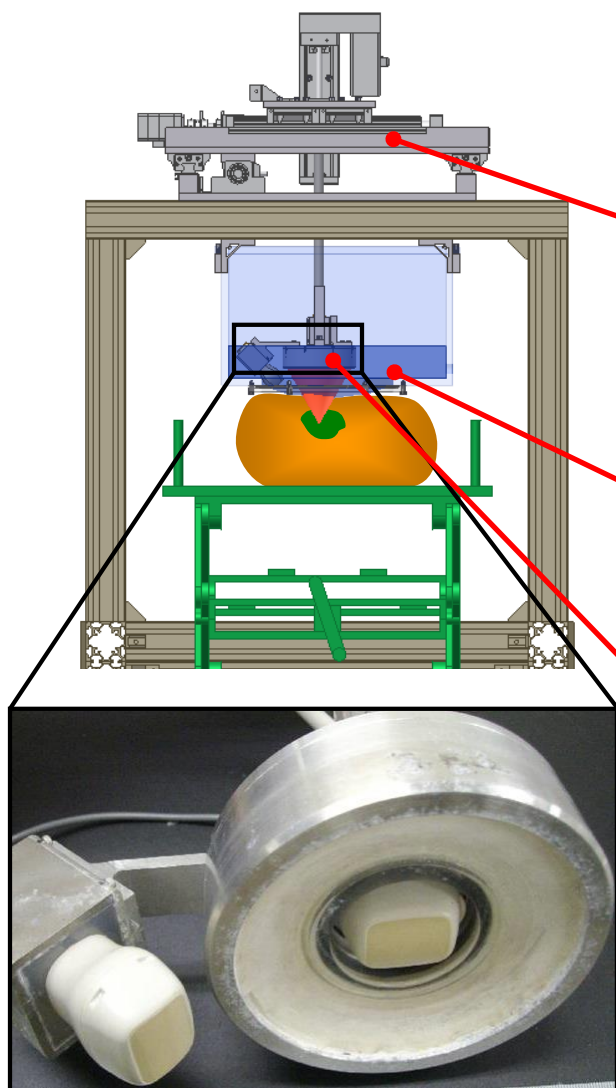
医デジ化のための機能構造化

61

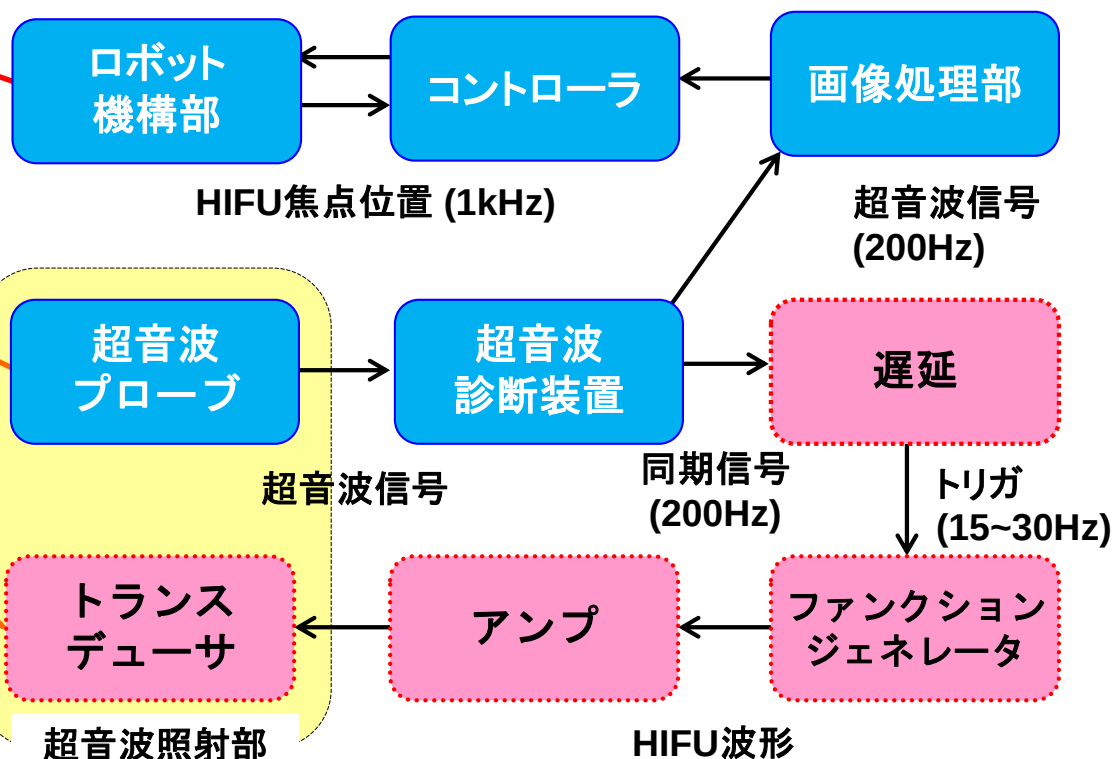


患部追従・照射システム

62



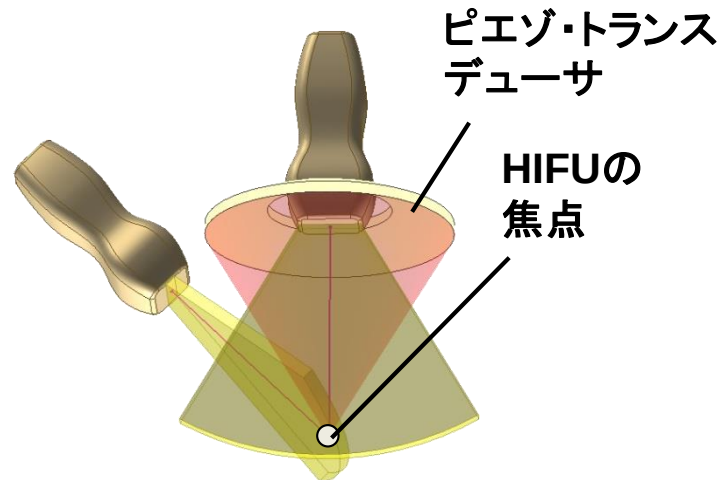
超音波照射部



2本のプローブを用いた3次元追従

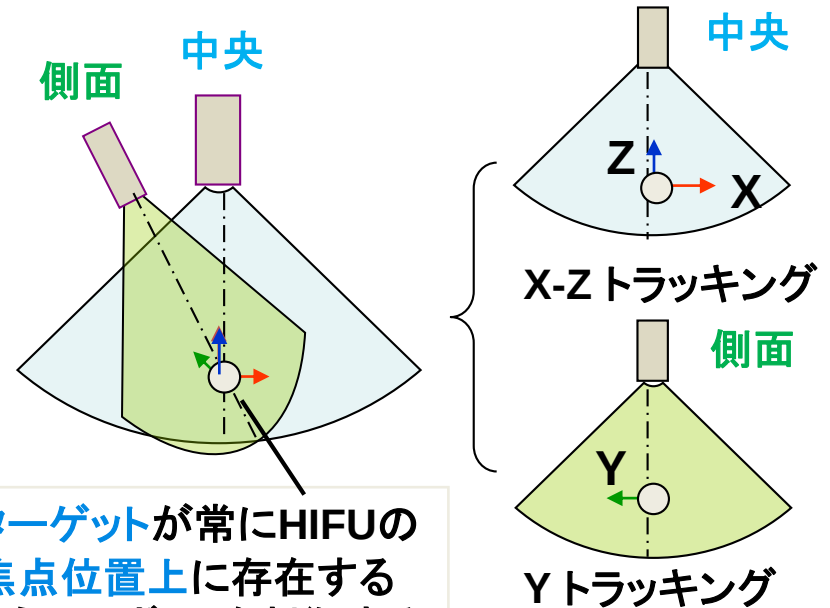
63

超音波プローブ



スキャンする平面が互いに直交する2本のプローブ

プローブ・
トランスデューサ配置

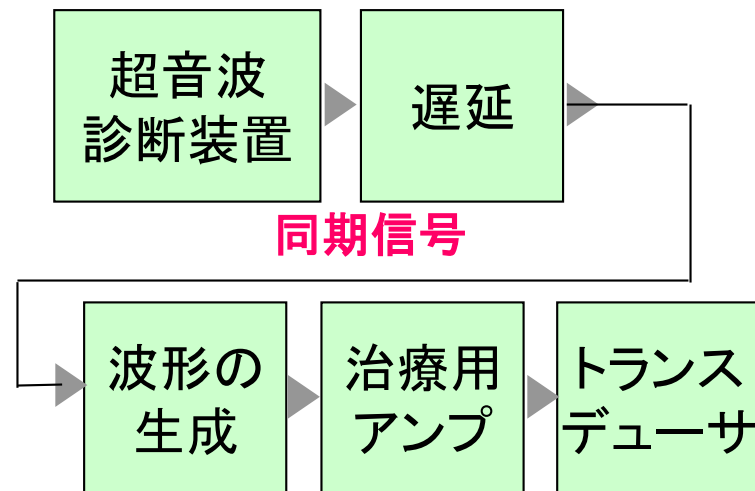
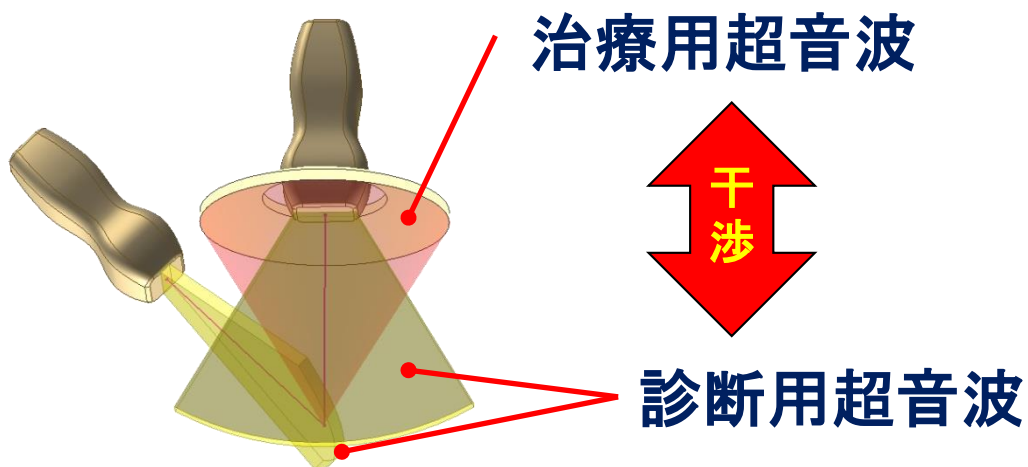


ターゲットが常にHIFUの
焦点位置上に存在する
ようにロボットを制御する

ステレオ超音波画像による
ターゲット位置同定

診断・治療用超音波の干渉回避

64



同期信号なし



同期信号あり

研究・開発のステージ

65

対象：腎結石・腎がんの診断・治療

ファントム

ファントム実験(対象：腎がん)

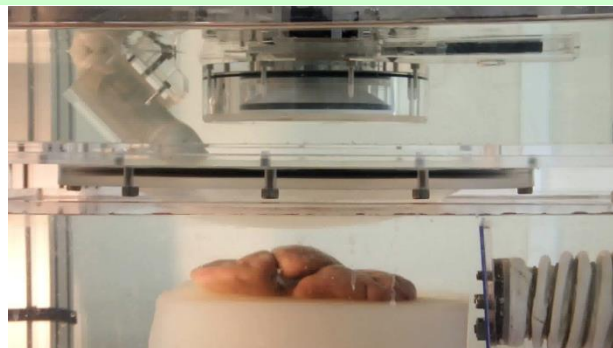


臓器(腎臓)追従

精度: 1.7mm

動物

動物摘出腎実験(腎結石)



動物摘出腎中の結石追従

精度: 1.0mm

ヒト

ヒト実験(腎がん、腎結石)



ヒトの腎臓にロボスト追従

精度: 1.0mm

基礎研究

特許出願

臨床前研究
(動物実験)

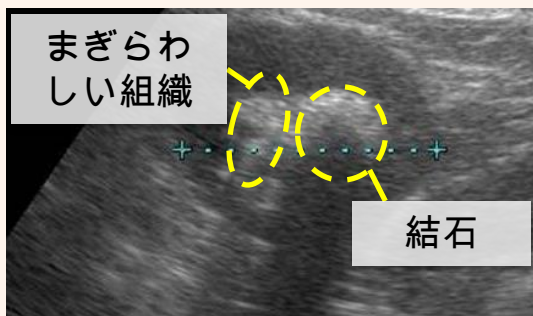
臨床研究
(ヒト実験)

事業化

超音波画像による追従の問題点

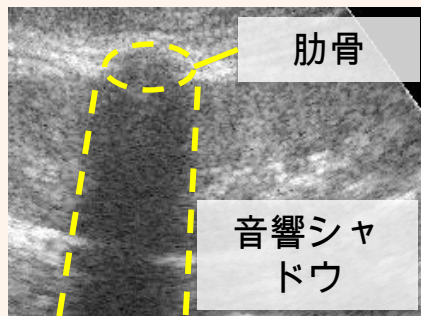
67

生体における追従の問題点



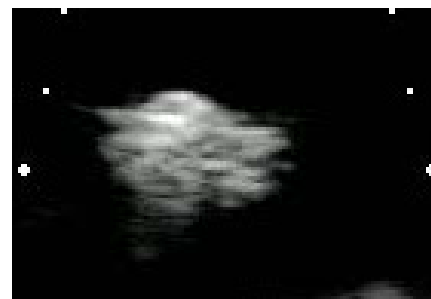
(i) まぎらわしい組織

画像の質: 低



(ii) 音響シャドウ

画像の質: 低



(iii) 気泡ノイズ

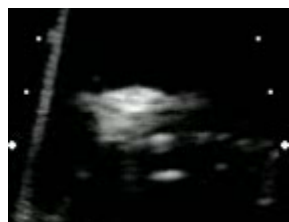
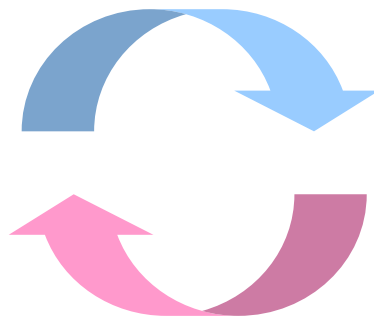
画像の質: 低



(iv) 機構振動

画像の質: 低

追従誤差の増大 視点の変化



画像の質: 高



画像の質: 低

画像の質(Image Quality)の劣化

- (i) まぎらわしい組織
- (ii) 音響シャドウ
- (iii) 気泡ノイズ
- (iv) 機構振動

超音波画像の質劣化問題と 解決アプローチ

何らかの方法で追従精度を向上することが
できれば、劇的に追従精度が向上する可能性

2つのアプローチと医デジ化による解決策

アプローチ1. 追従誤差の最小化

IROS 2007, ICRA 2011, 14

肋間のがん／結石(患部)のロバスト認識と位置の
同定手法

呼吸情報の周期性を利用した追従精度向上手法 IROS 2009
先端独立制御機構による画像の質向上

IROS 2014

アプローチ2. 追従誤差発生時の影響の最小化・リカバリ

誤差に応じた照射強度制御手法 ICRA 2011

患部位置推定モデルによる追従失敗時の
ロバスト追従復帰 RSJ 2014

超音波画像の質劣化問題と 解決アプローチ

何らかの方法で追従精度を向上することが
できれば、劇的に追従精度が向上する可能性

2つのアプローチと医デジ化による解決策

アプローチ1. 追従誤差の最小化

IROS 2007, ICRA 2011, 14

肋間のがん／結石(患部)のロバスト認識と位置の
同定手法

呼吸情報の周期性を利用した追従精度向上手法 IROS 2009
先端独立制御機構による画像の質向上

IROS 2014

アプローチ2. 追従誤差発生時の影響の最小化・リカバリ 誤差に応じた照射強度制御手法

ICRA 2011

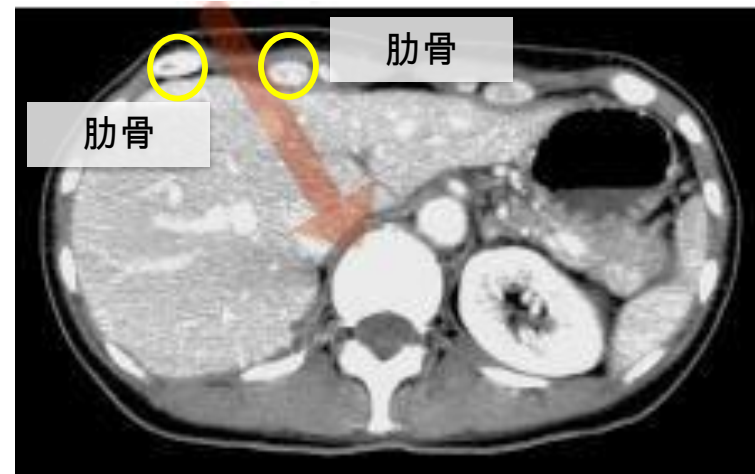
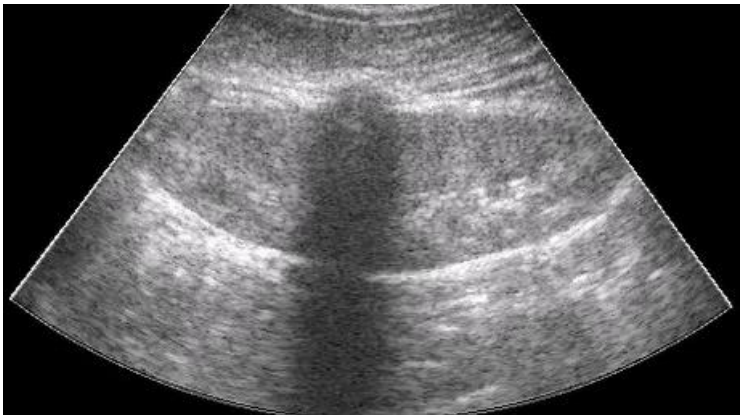
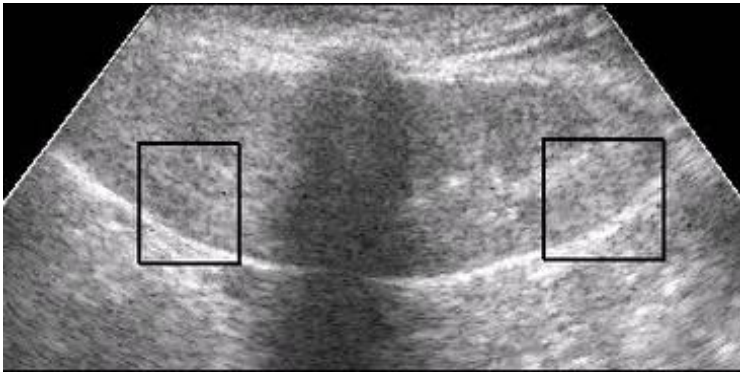
患部位置推定モデルによる追従失敗時の
ロバスト追従復帰

RSJ 2014

肋骨の影響問題

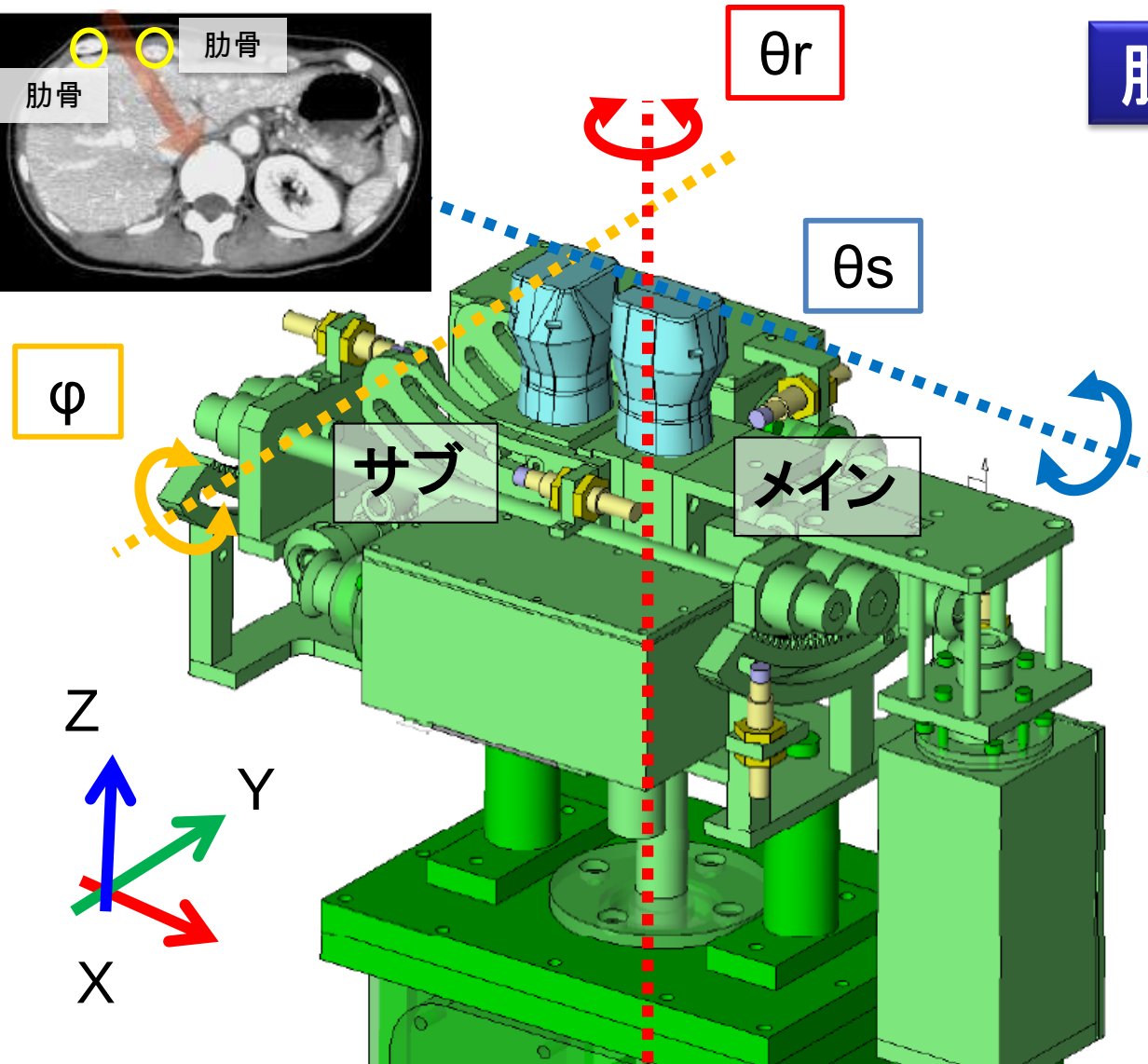
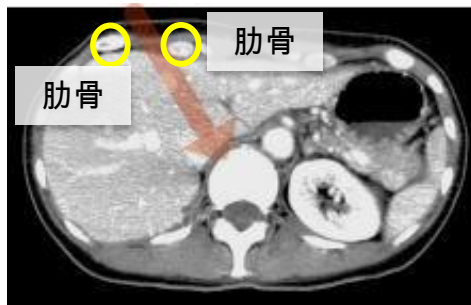
追従のための画像の質
(Image Quality)の劣化

**音響シャドウの影響
による追従失敗**



肋骨の影響問題と解決策

71



肋骨の影響問題

追従のための画像の質(Image Quality)の劣化

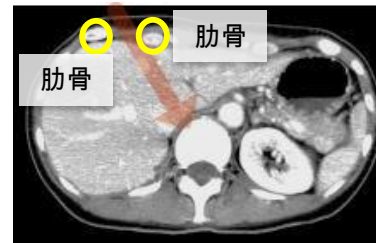
解決策

肋骨の影響を避けながら動作・患部追従するシステム

プローブ動作解析

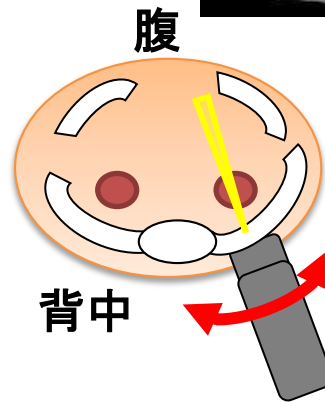
72

肋間走査の プローブ動作解析

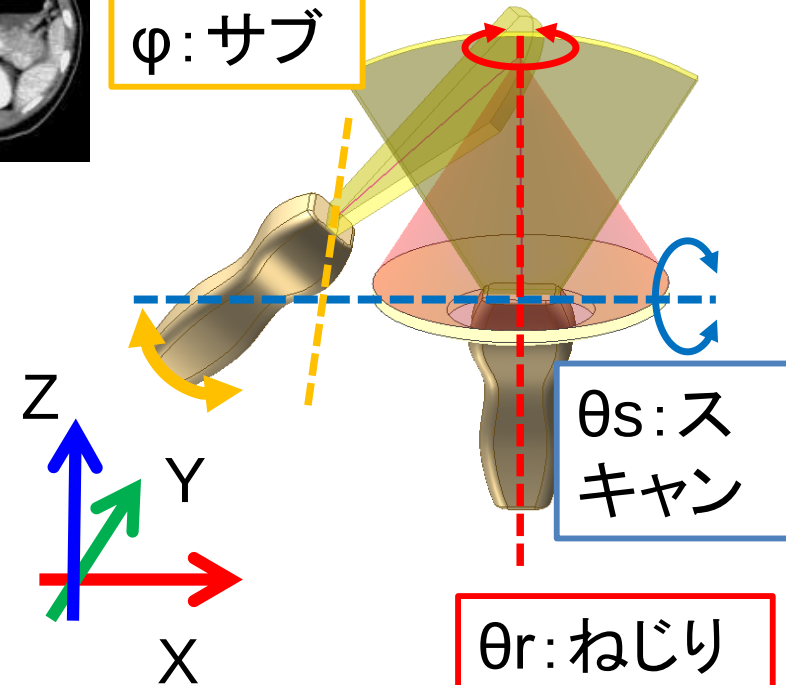


ϕ : サブ

ねじり θ_r



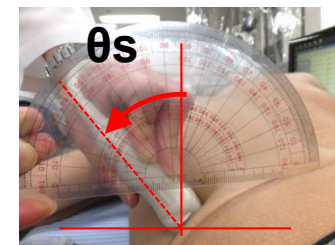
スキャン θ_s



可動範囲

		可動範囲	
回転	メイン・サブ	θ_r	$\pm 180^\circ$
		θ_s	$-20^\circ \sim 50^\circ$
	サブ	ϕ	$0 \sim 45^\circ$

		可動範囲
並進	X	$\pm 40 \text{ mm}$
	Y	$\pm 40 \text{ mm}$
	Z	$\pm 15 \text{ mm}$

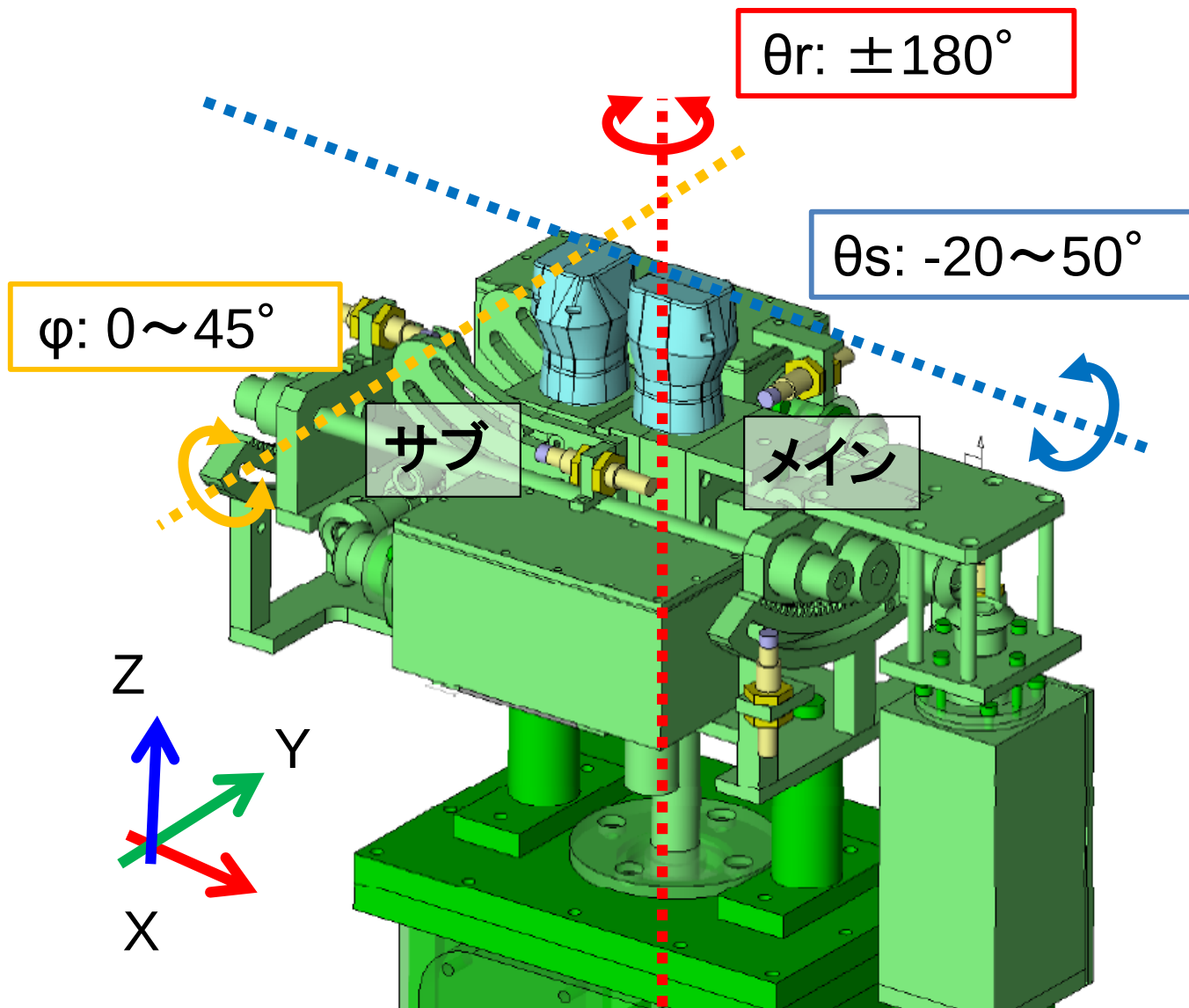


医師1名, 撮像被験者2名

ROBOMECH2014

肋間の患部を抽出する機構

73



X: ± 40 mm
Y: ± 40 mm
Z: ± 12.5 mm

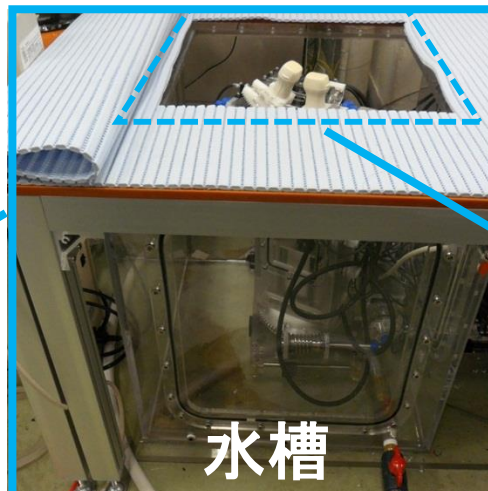
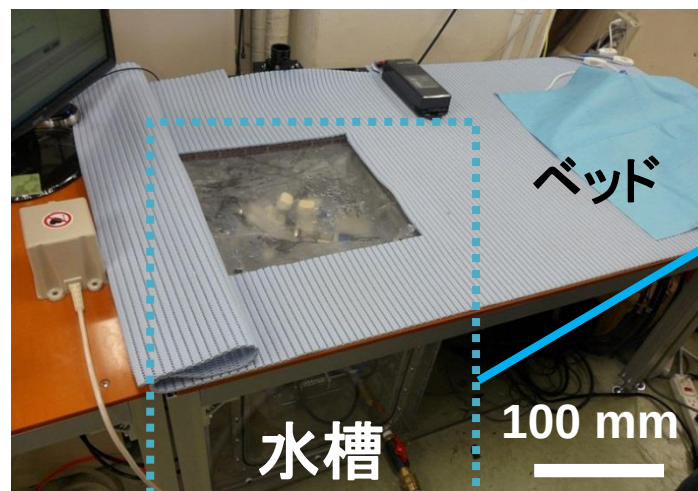
機構
要求機能

位置・姿勢の
正確な**実現・**
保持

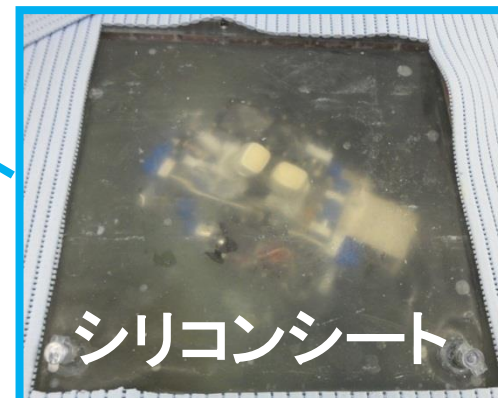
剛性の高い
ガイド機構

肋間の患部を抽出する機構

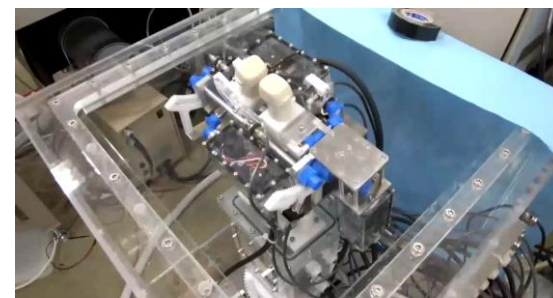
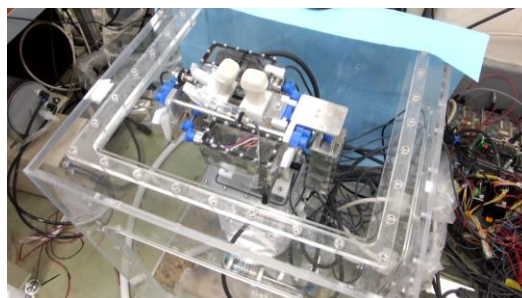
74



水を満たした状態



機構動作

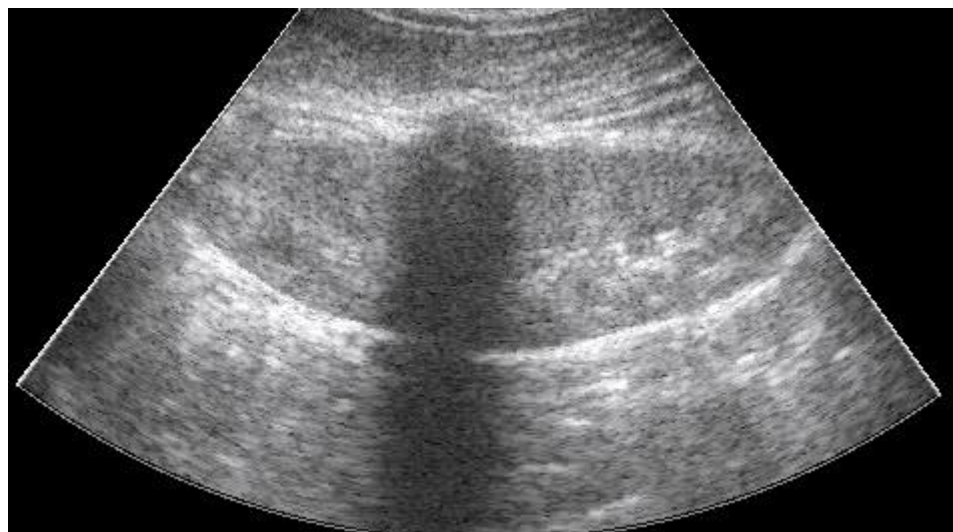
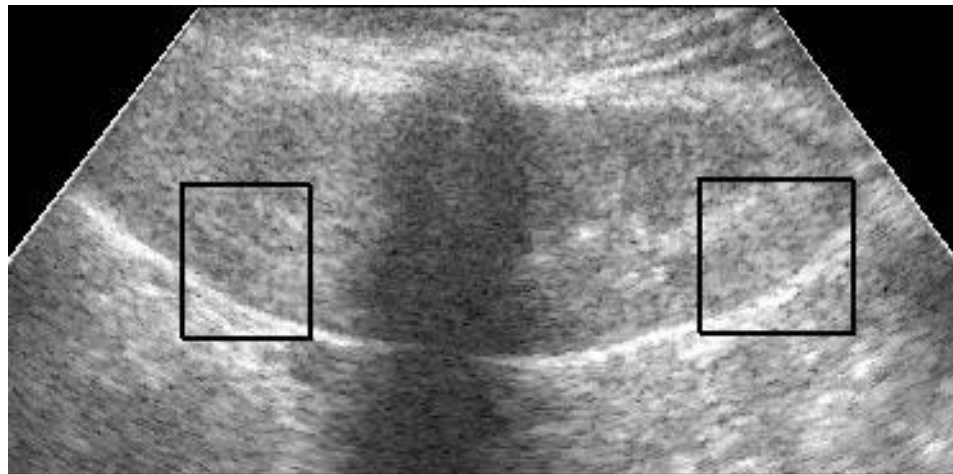




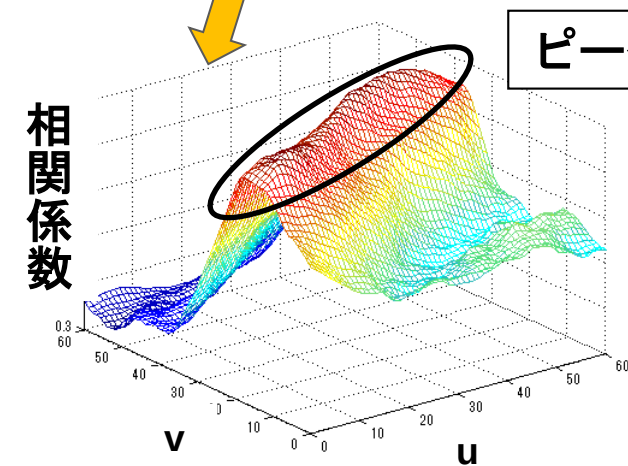
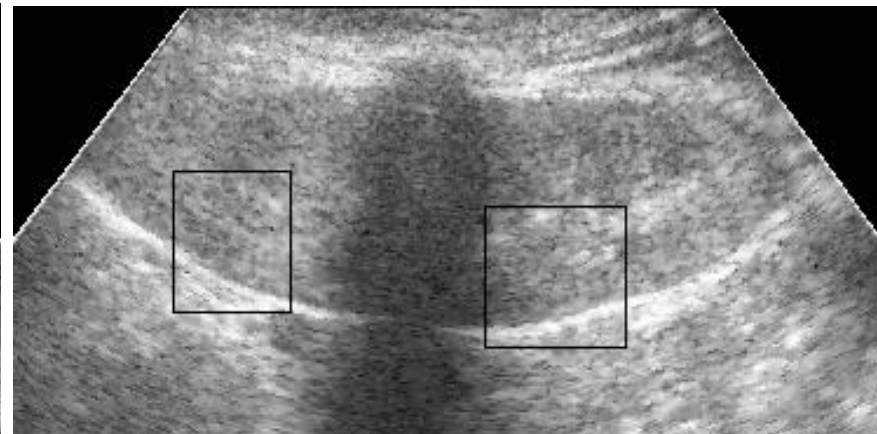
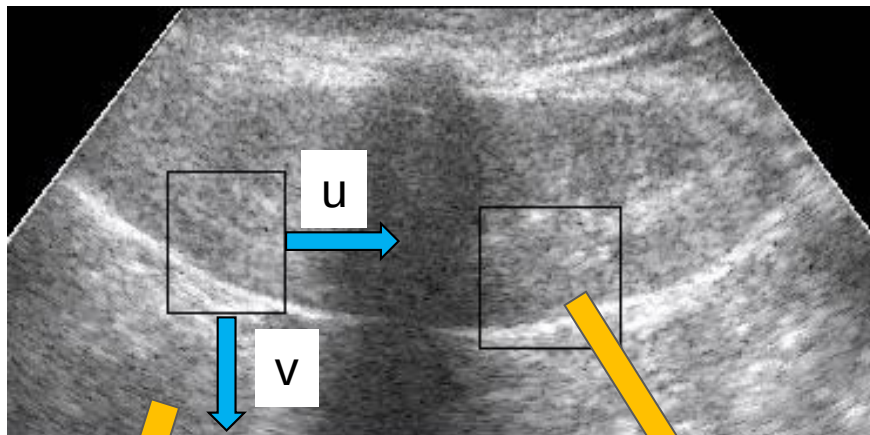
相関係数

$$R^{u,v} = \frac{\sum_m \sum_n (F^{u,v}(m,n) - \bar{F}^{u,v})(T(m,n) - \bar{T})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (F^{u,v}(m,n) - \bar{F}^{u,v})^2} \sqrt{\sum_m \sum_n (T(m,n) - \bar{T})^2}}$$

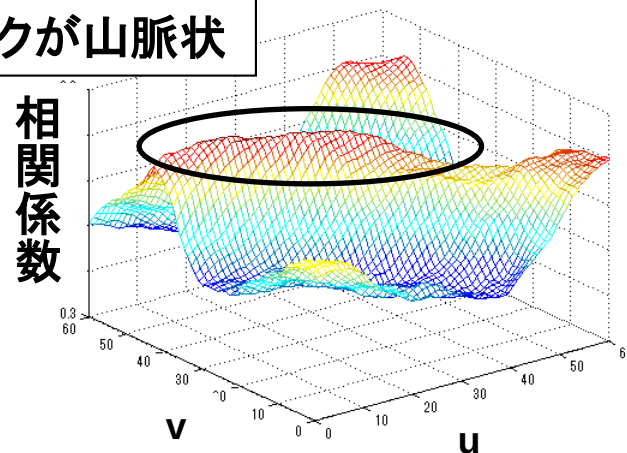
ノイズに弱い



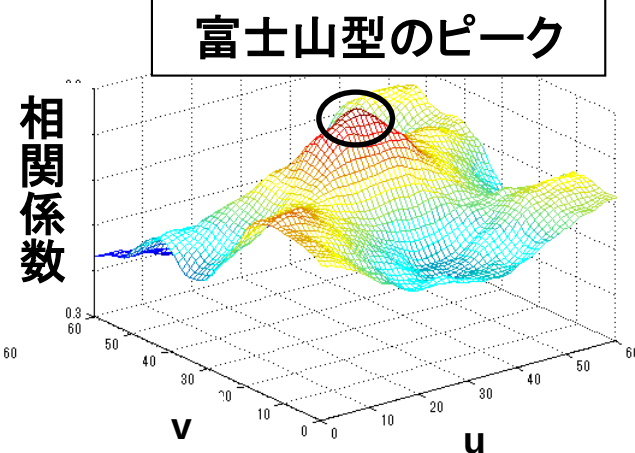
With acoustic shadow

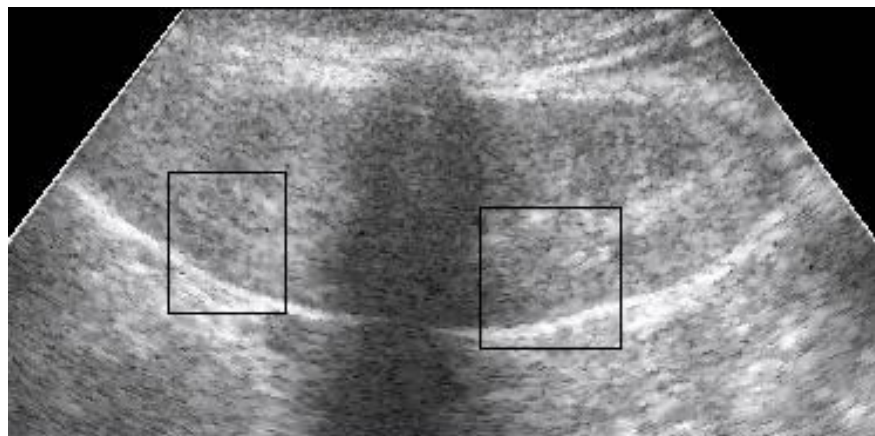


ピークが山脈状

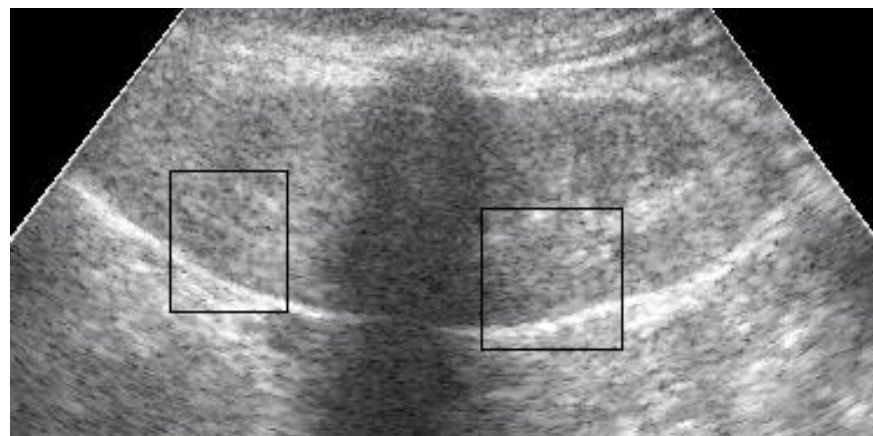


富士山型のピーク





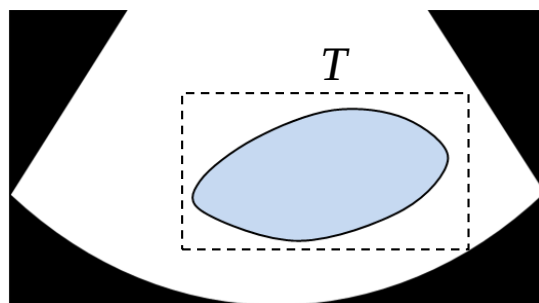
単純テンプレート



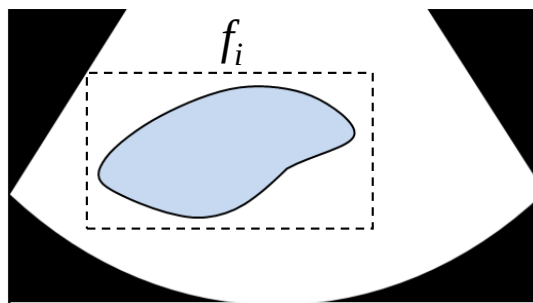
複数テンプレートの
相関係数重ねあわせ(提案手法)

肋骨存在下でもロボバストに追従！

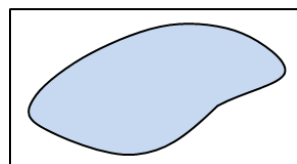
周期運動中に、超音波画像上で繰り返し変化する高ノイズ領域を除去することにより、追従精度を向上



テンプレート

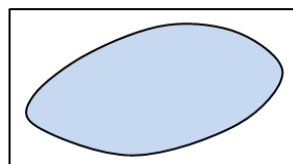


リアルタイム入力画像



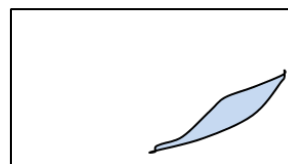
リアルタイム
入力画像

-

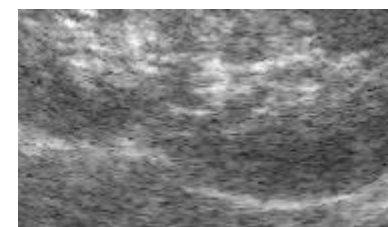


テンプレート

=



高ノイズ
領域



テンプレ
ート

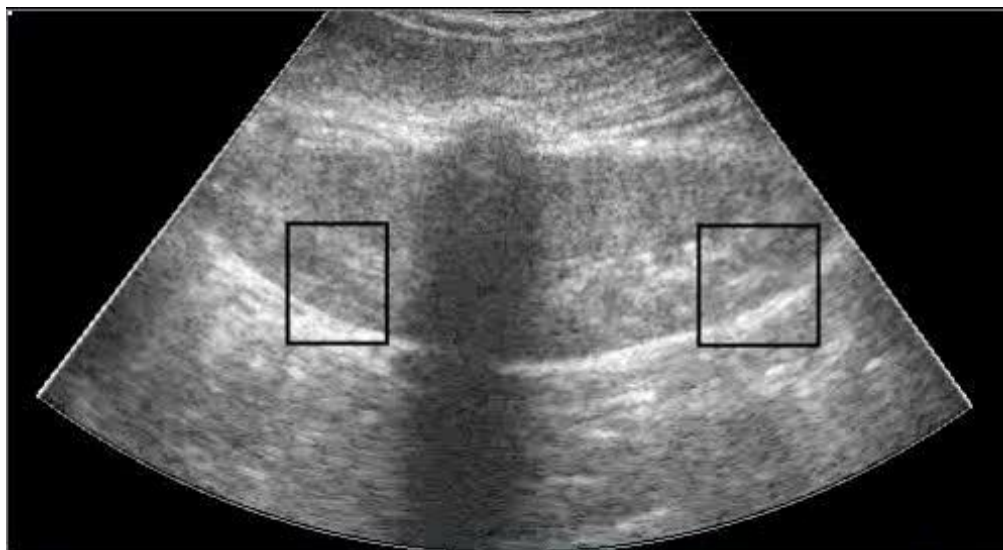


高ノイズ
領域除去



高ノイズ領域除去
テンプレート

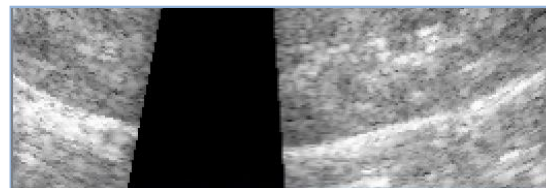
周期運動中の繰り返しノイズは
ピンポイントに除去可能！



入力超音波画像



テンプレート



音響シャドウの除去

ICRA14

①テンプレート領域指定と
音響シャドウ領域の除去



テンプレート



テンプレート対応領域(入力画像)

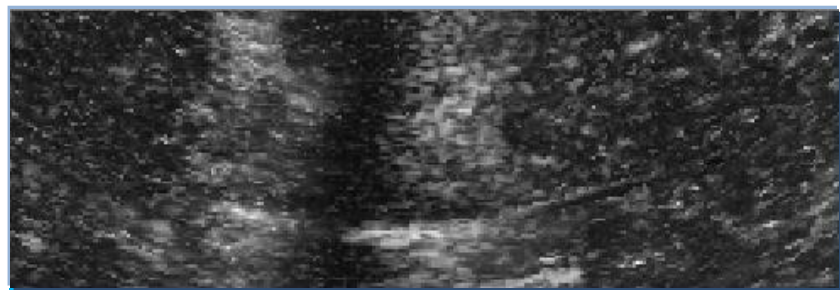
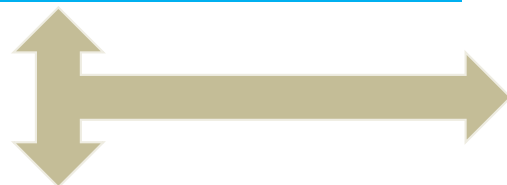


ノイズの計算

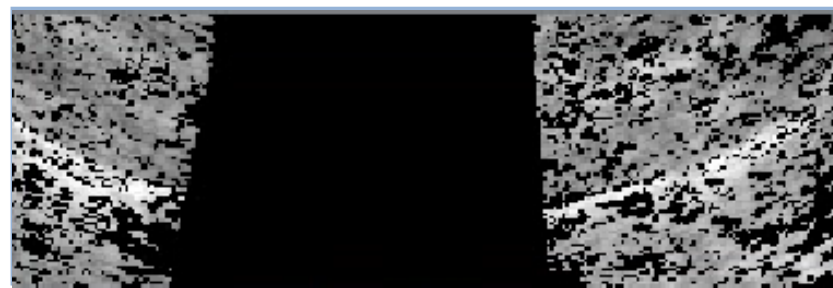
②ノイズ(テンプレートと入力画像間の差分)
の計算, 音響シャドウ影響領域計算



元のテンプレート



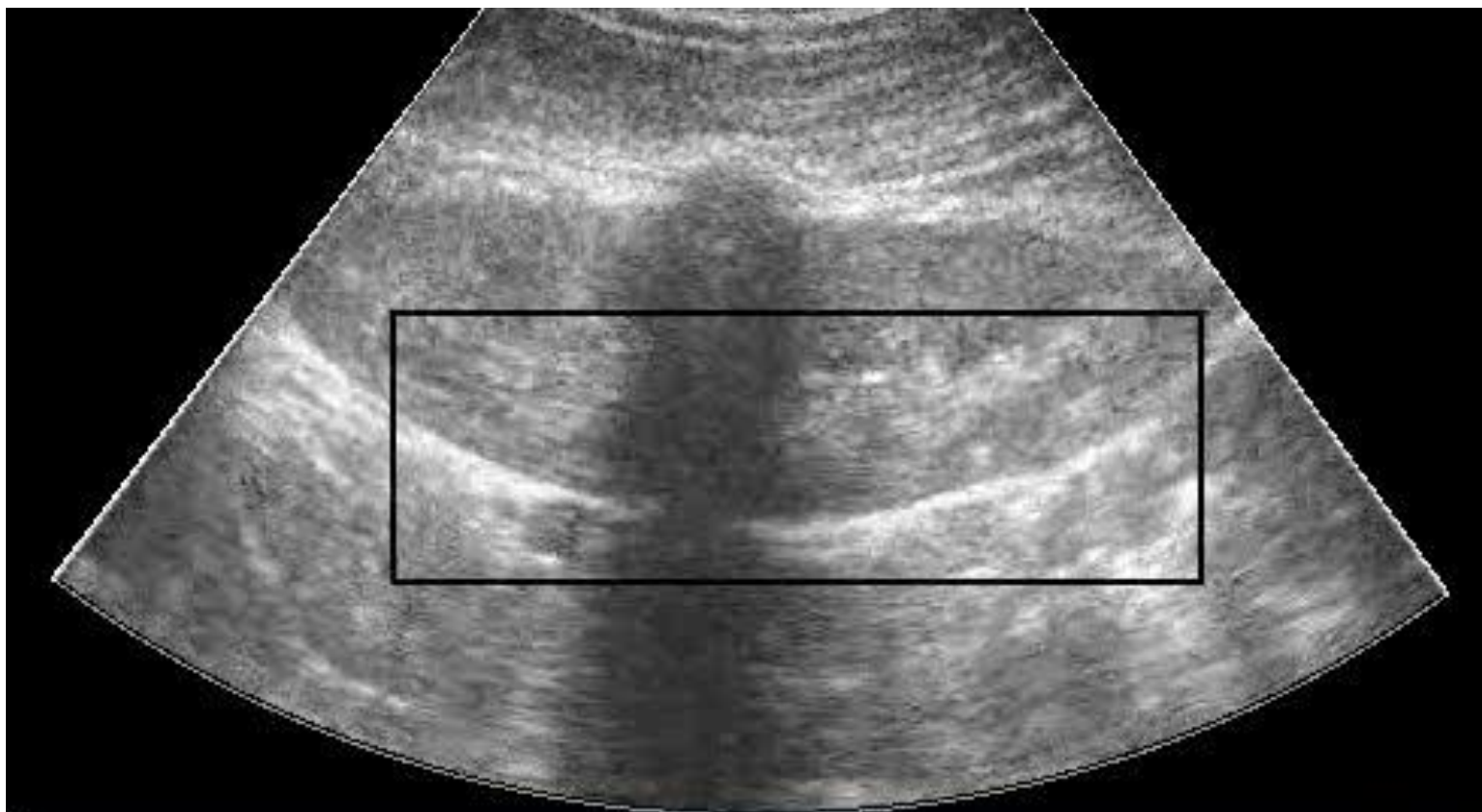
ノイズの積分値(3-4周期分)



ノイズ除去テンプレート

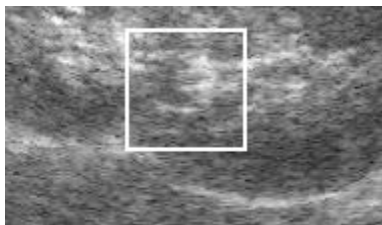
ICRA14

②元のテンプレートからノイズの
積分値が高い領域を除去

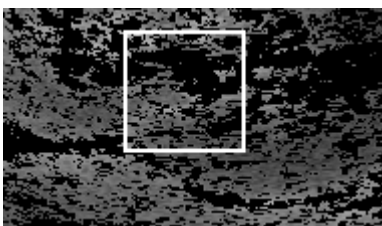


ICRA14

**ノイズの影響を除去することにより、
きわめて安定的な追従の実現！**

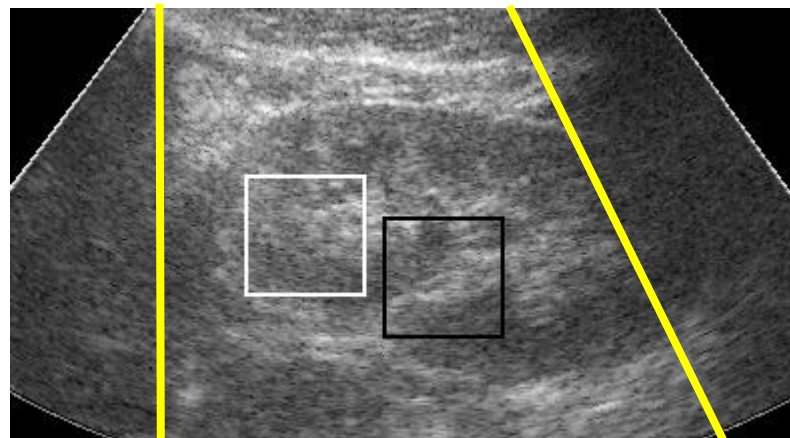


通常テンプレート



提案テンプレート

テンプレート



白：通常テンプレート

黒：提案テンプレート

患部追従

特に、小さなテンプレート領域しか得られない
場合に追従ロバスト性が大きく改善！



体動の90%近くを補償し、1mmの精度で
患部に追従、正常な組織の損傷を最小限
に抑制する将来医療基盤技術の提供

何らかの方法で追従精度を向上することが
できれば、劇的に追従精度が向上する可能性

2つのアプローチと医デジ化による解決策

アプローチ1. 追従誤差の最小化

IROS 2007, ICRA 2011, 14

肋間のがん／結石（患部）のロバスト認識と位置の
同定手法

呼吸情報の周期性を利用した追従精度向上手法 IROS 2009

先端独立制御機構による画像の質向上

IROS 2014

アプローチ2. 追従誤差発生時の影響の最小化・リカバリ

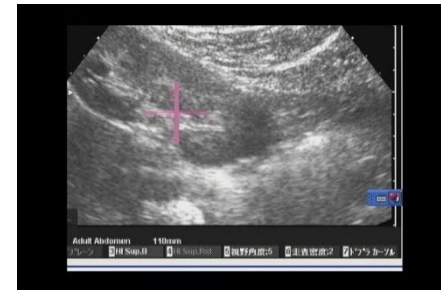
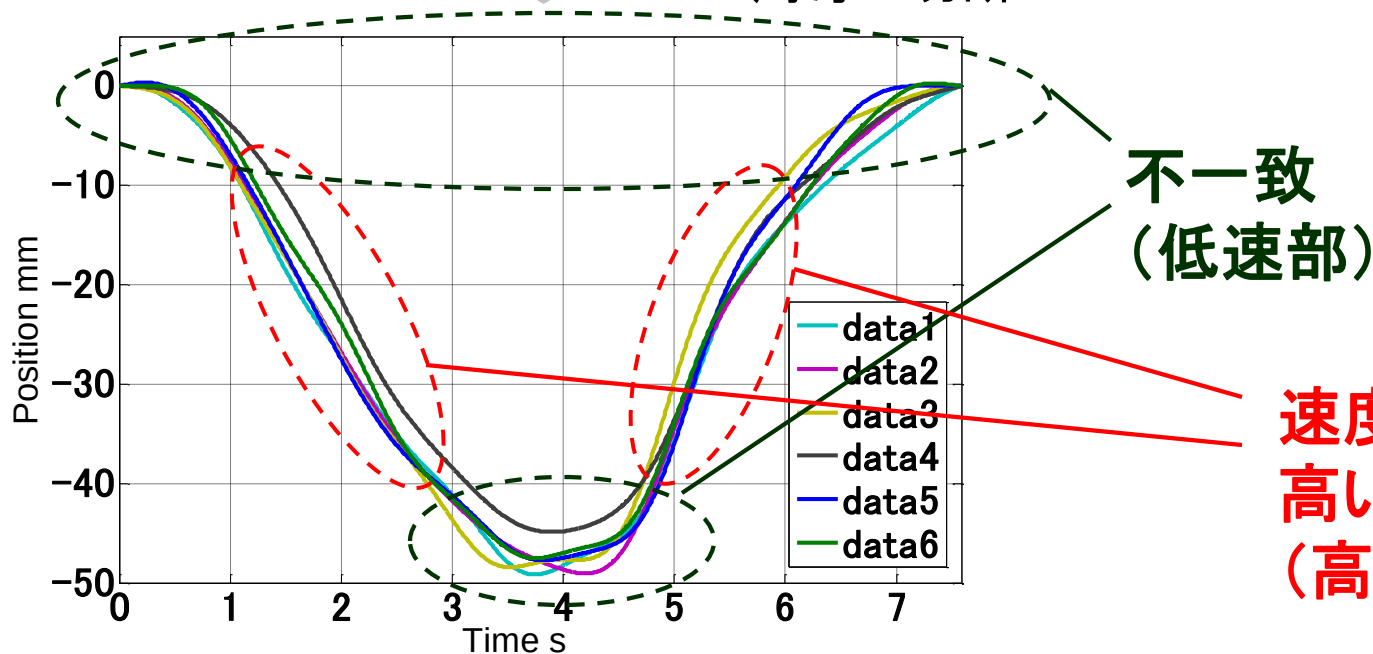
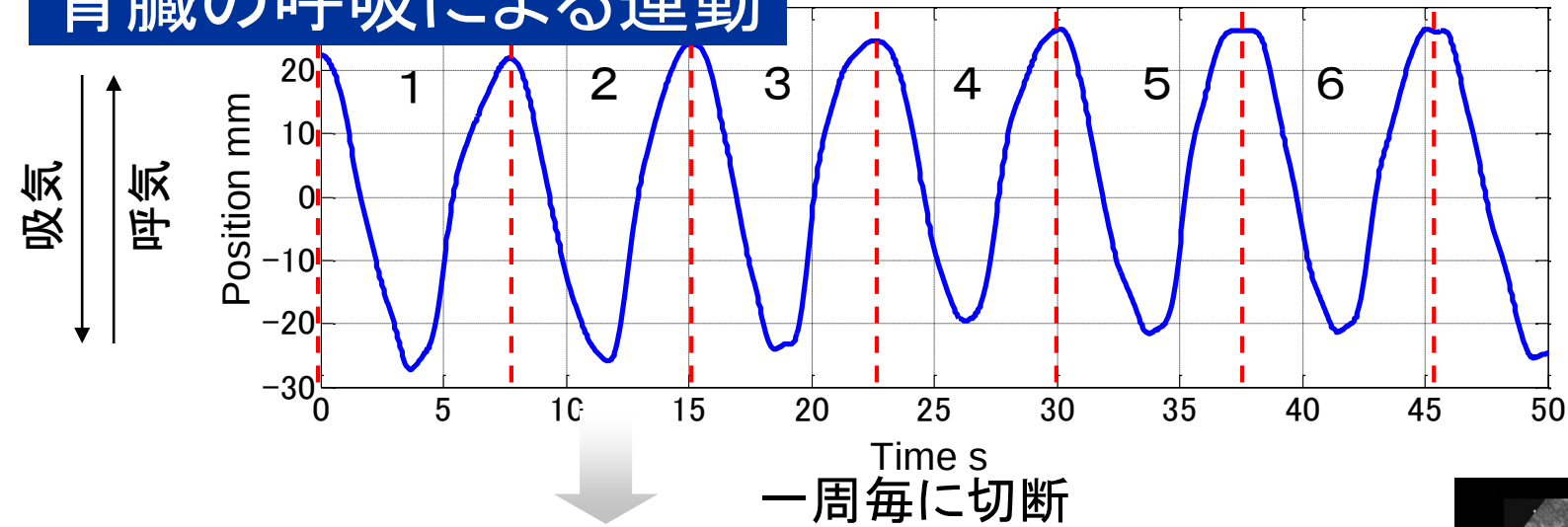
誤差に応じた照射強度制御手法 ICRA 2011

患部位置推定モデルによる追従失敗時の
ロバスト追従復帰 RSJ 2014

腎臓の動作特徴

87

腎臓の呼吸による運動



腎臓の運動

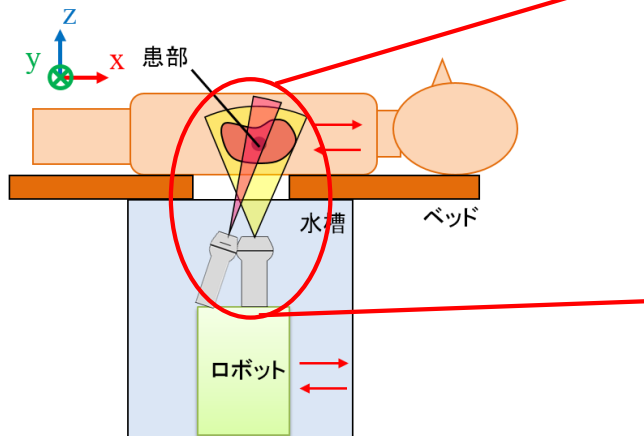
速度(傾き)の
高い再現性
(高速部)

周期性を利用した追従精度向上

88

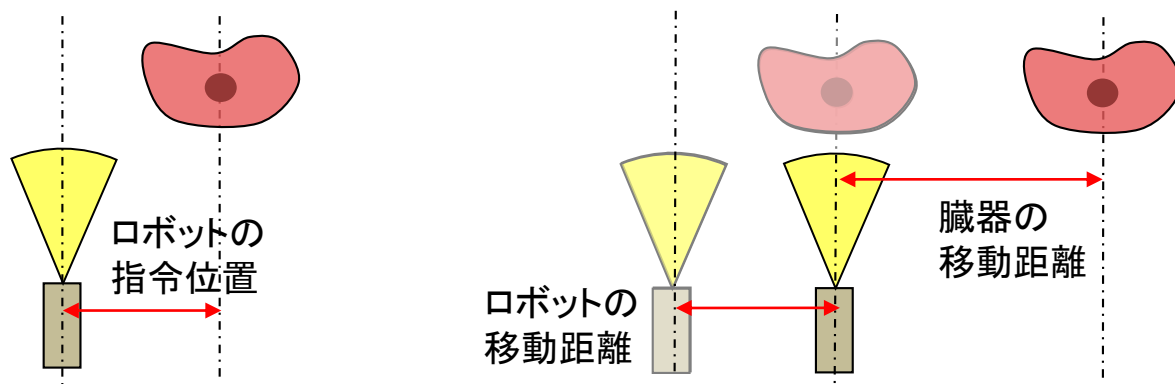
従来手法

画像フィードバックのみで追従



画像撮影時

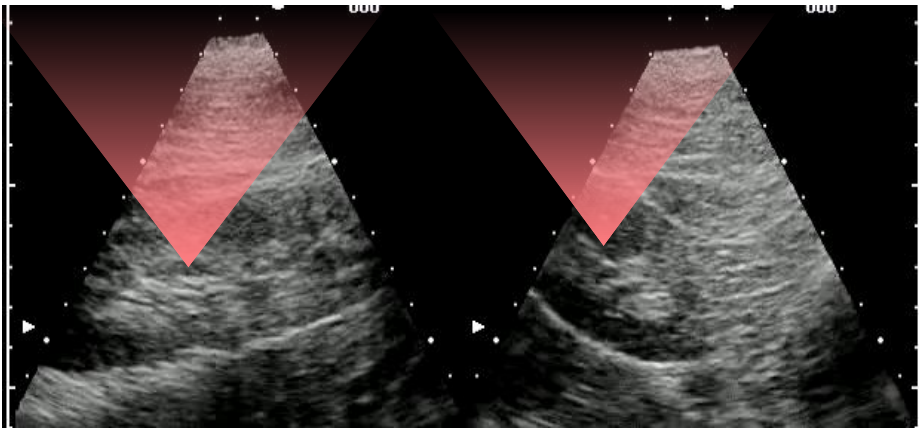
t [ms] 後 (画像処理時間 + ロボット駆動時間)



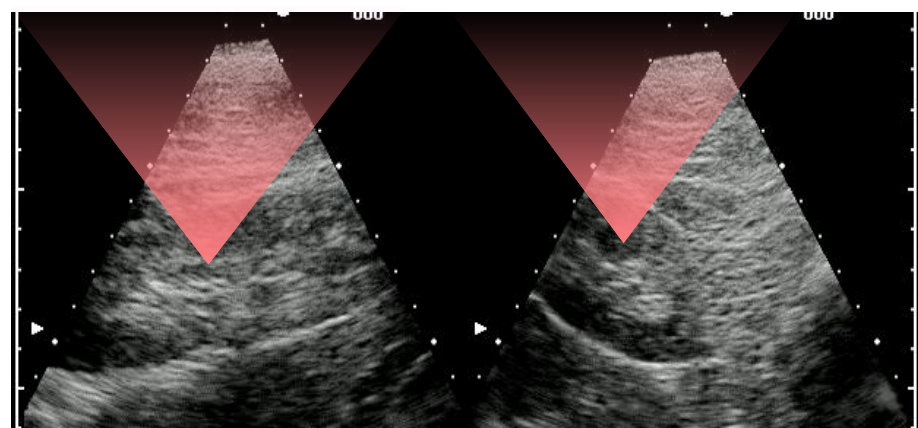
従来手法では t [ms] 分の追従位相遅れが生じる
(画像処理時間とロボットの駆動時間分遅れる)

周期性を利用した追従精度向上

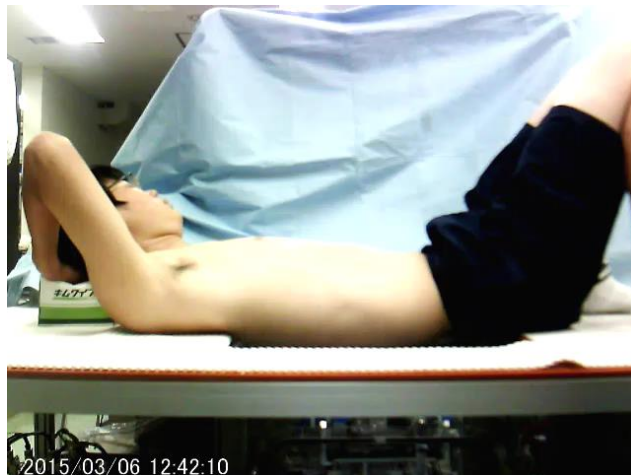
89



Without servoing



With servoing



Kidney motion compensation

**1mm
の精度を
実現**

超音波画像の質劣化問題と 解決アプローチ

何らかの方法で追従精度を向上することが
できれば、劇的に追従精度が向上する可能性

2つのアプローチと医デジ化による解決策

アプローチ1. 追従誤差の最小化

IROS 2007, ICRA 2011, 14

肋間のがん／結石（患部）のロバスト認識と位置の
同定手法

呼吸情報の周期性を利用した追従精度向上手法 IROS 2009

先端独立制御機構による画像の質向上

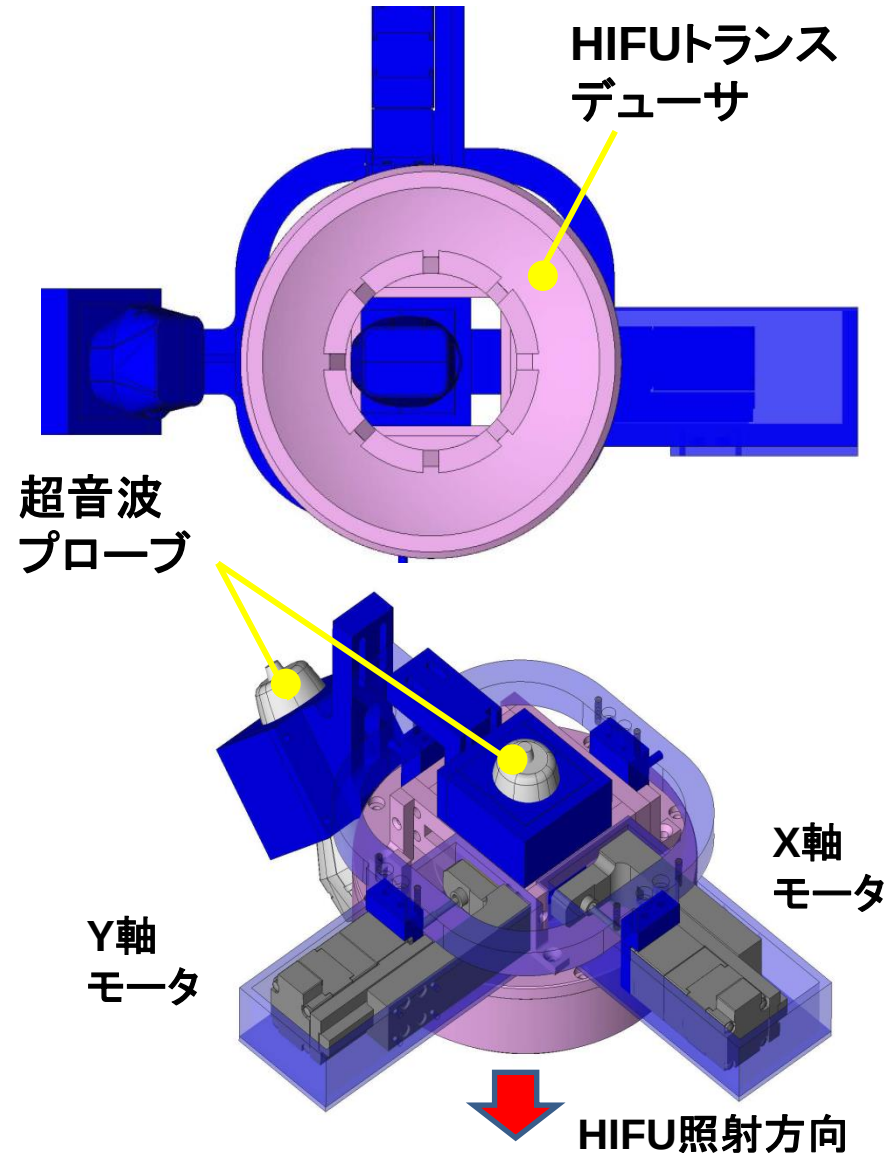
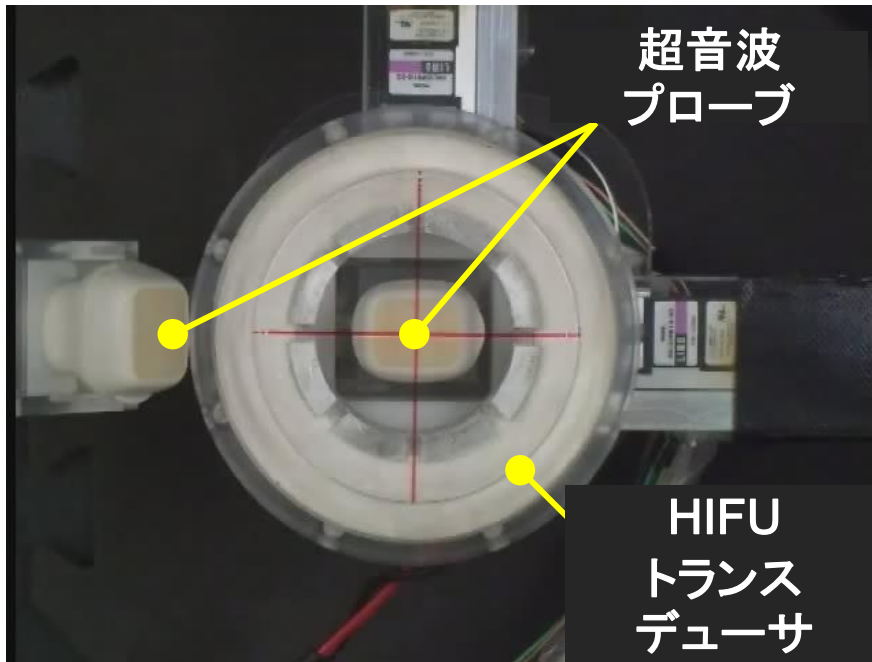
IROS 2014

アプローチ2. 追従誤差発生時の影響の最小化・リカバリ

誤差に応じた照射強度制御手法 ICRA 2011

患部位置推定モデルによる追従失敗時の
ロバスト追従復帰 RSJ 2014

HIFU焦点が診断プローブから 独立に動作する先端部機構



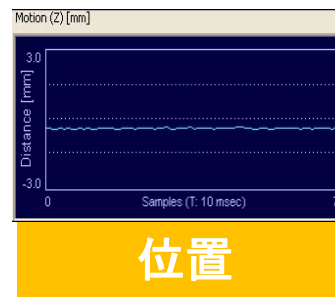
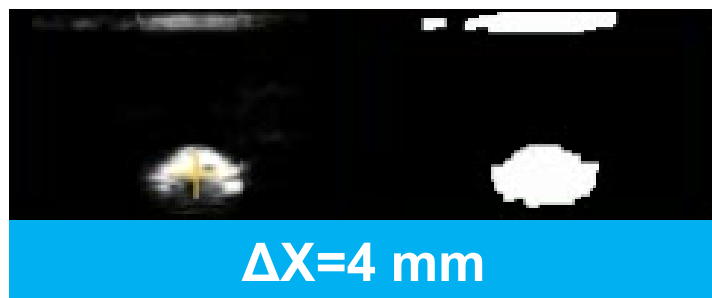
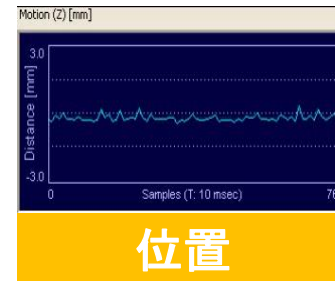
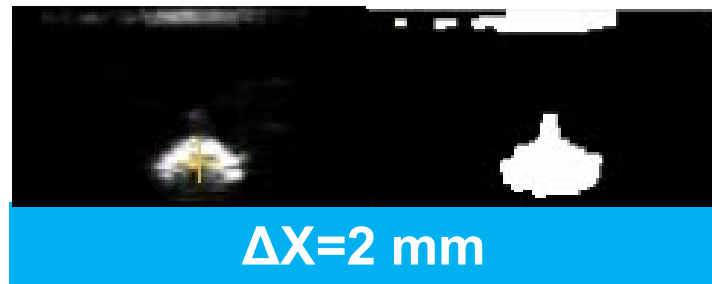
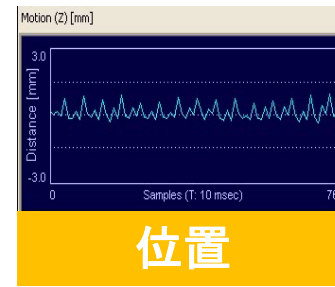
青色:超音波プローブによる診断部

桃色:治療用超音波照射部

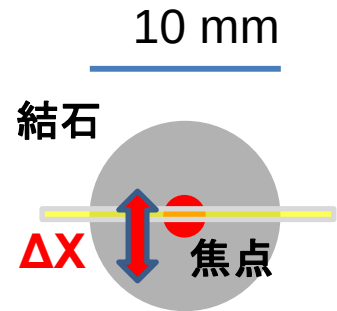
焦点移動動作による画像の質の変化

94

画像の質向上



位置同定精度向上

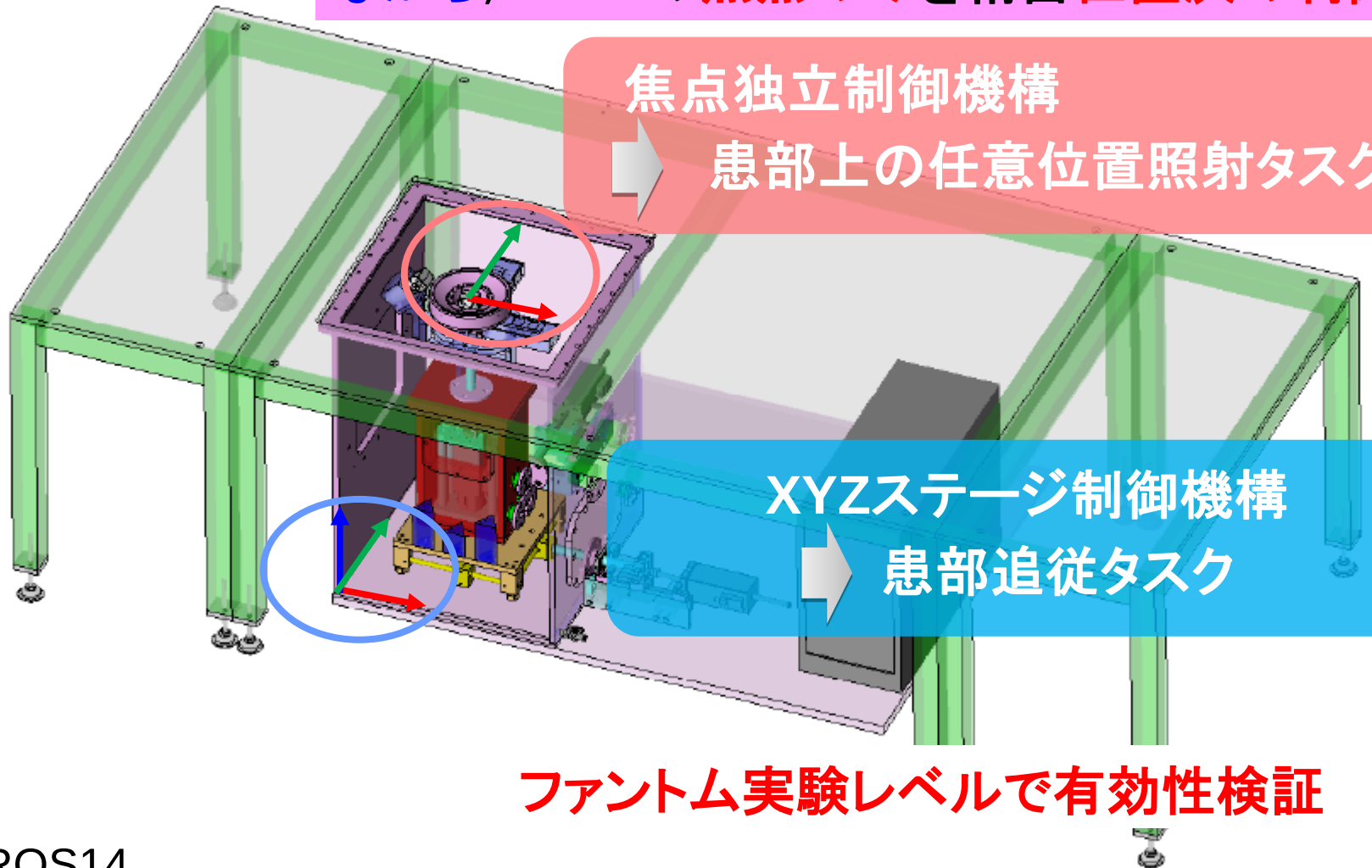


IROS14

ファントム実験レベルで有効性検証

HIFU焦点が診断プローブから 独立に動作する冗長な先端部機構

プローブの視点を変化させることなく追従制御しながら、HIFUの**焦点のみ**を精密**位置決め**制御



ファントム実験レベルで有効性検証

何らかの方法で追従精度を向上することが
できれば、劇的に追従精度が向上する可能性

2つのアプローチと医デジ化による解決策

アプローチ1. 追従誤差の最小化

IROS 2007, ICRA 2011, 14

肋間のがん／結石（患部）のロバスト認識と位置の
同定手法

呼吸情報の周期性を利用した追従精度向上手法 IROS 2009

先端独立制御機構による画像の質向上

IROS 2014

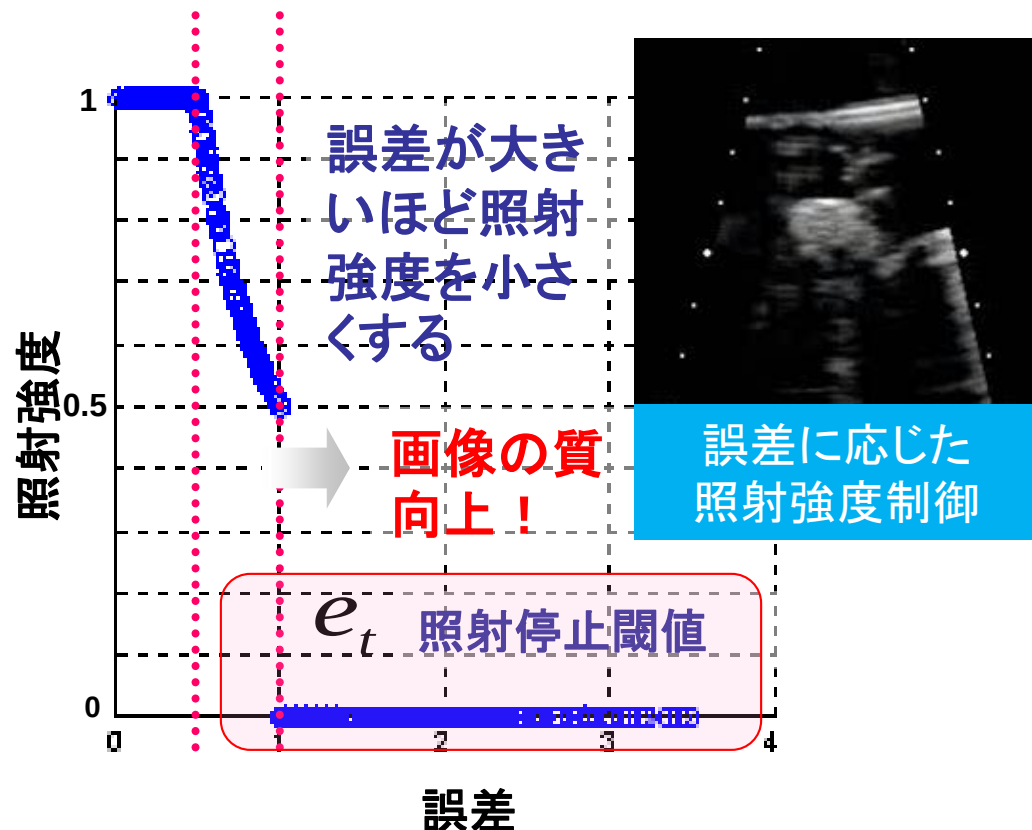
アプローチ2. 追従誤差発生時の影響の最小化・リカバリ

誤差に応じた照射強度制御手法 ICRA 2011

患部位置推定モデルによる追従失敗時の
ロバスト追従復帰 RSJ 2014

追従誤差の影響の低減 —誤差に応じた照射強度制御—

ICRA11



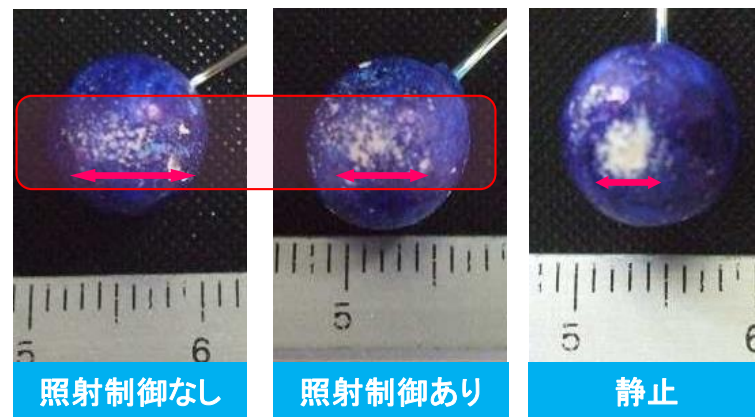
問題点

患部追従誤差のため、正常組織を損傷

解決策

誤差に応じた照射制御

照射強度, パターン, etc.



運動方向の分布が縮小!

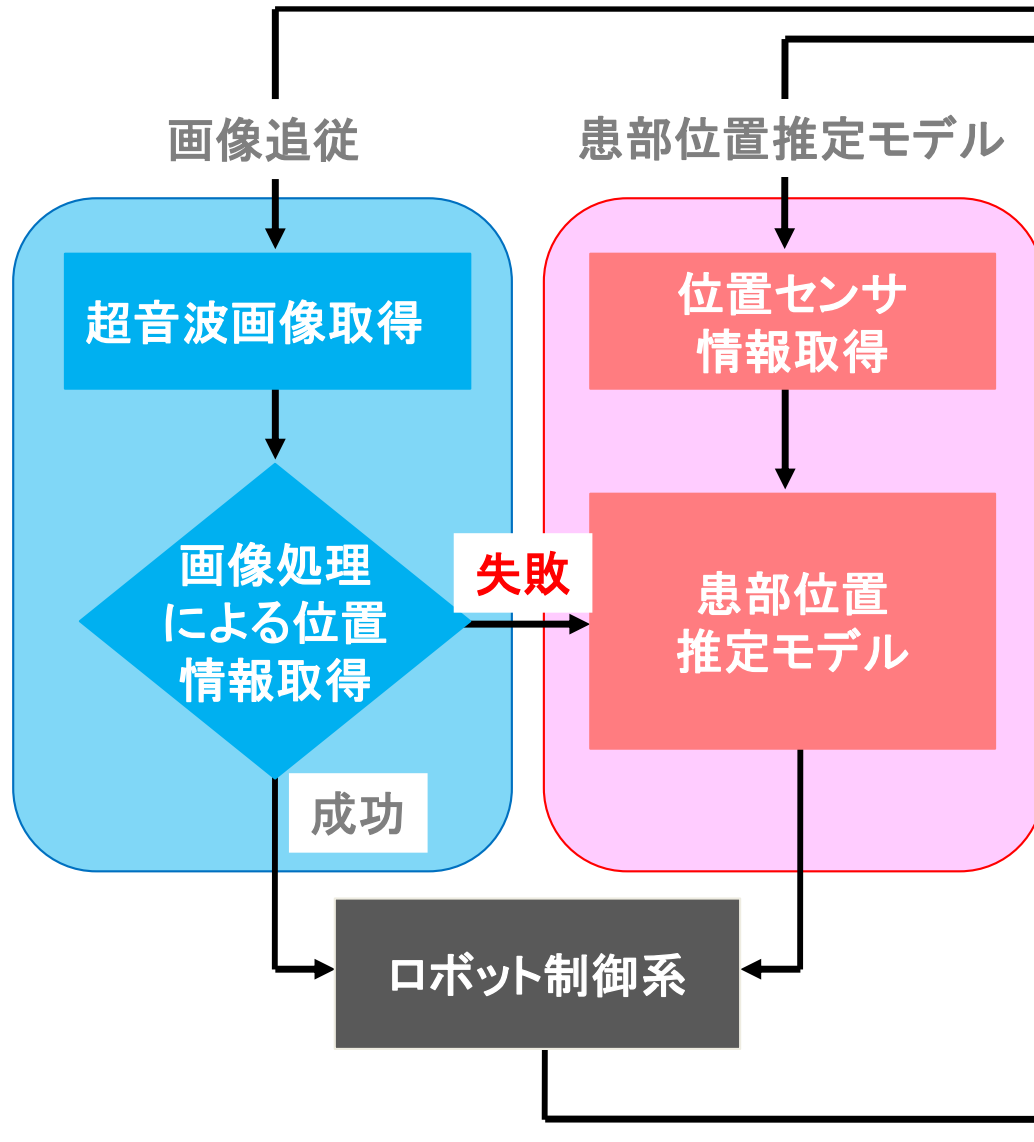
超音波照射中の平均
追従精度を向上!

トレード・
オフ

治療時間(非照射時間)の
増大(将来課題)

患部位置推定モデル

98

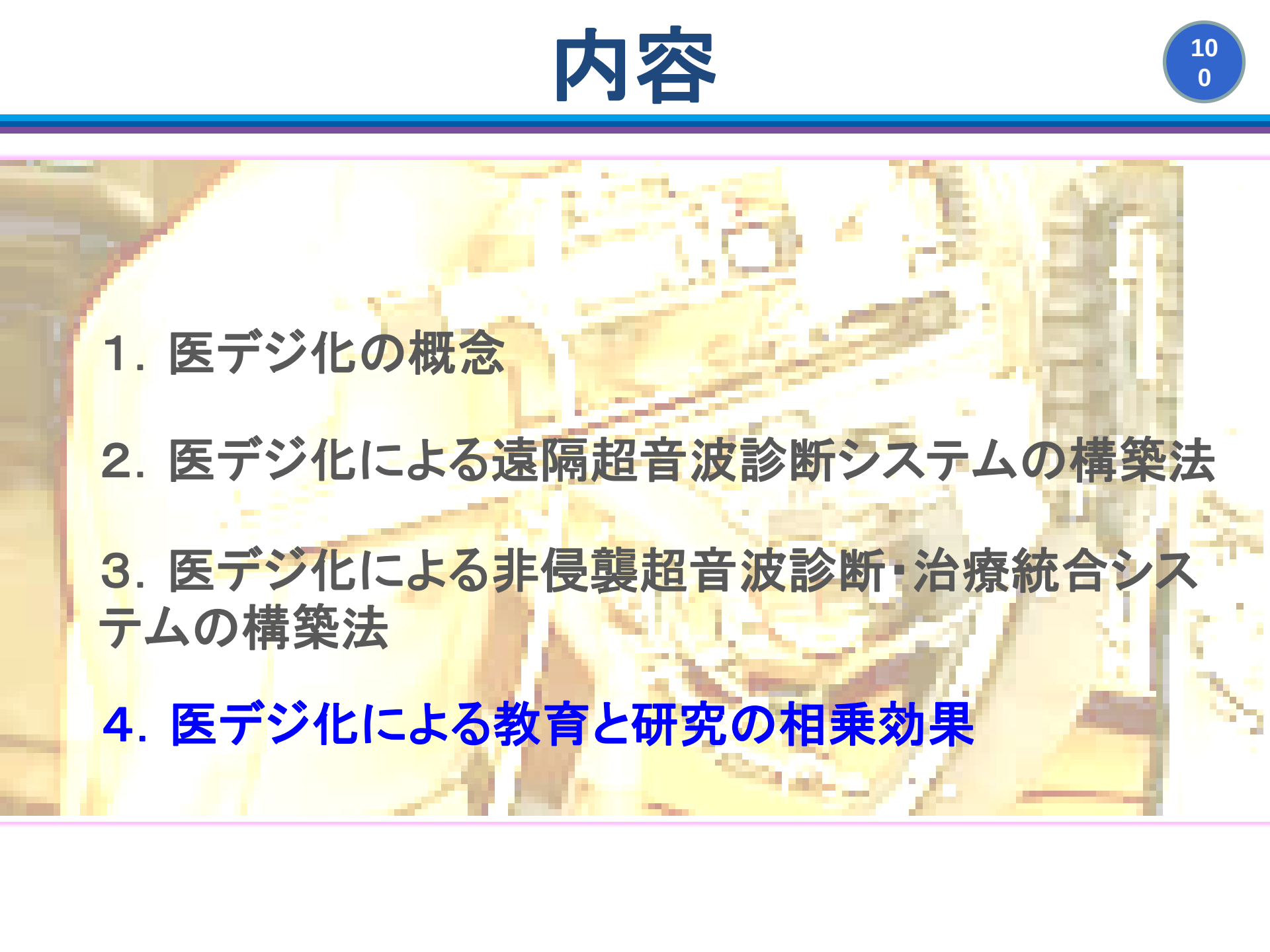


患部運動モデルによる 追従失敗時のロバスト追従復帰

99



腎臓を対象に人体レベルで有効性検証

- 
1. 医デジ化の概念
 2. 医デジ化による遠隔超音波診断システムの構築法
 3. 医デジ化による非侵襲超音波診断・治療統合システムの構築法
 4. 医デジ化による教育と研究の相乗効果

医工融合人材養成ユニット

10
1

世界最先端医療システムの創出を持続的に牽引できる医工学専門家の輩出

臨床ニーズと技術シーズのミスマッチの根本的解消

臨床ニーズを的確に判定・予測
して未来型工学技術の戦略的開
発ができる工学系研究者
(医のわかる工)



工

医



技術シーズを正確に理解して臨
床医学分野への戦略的導入・展
開を遂行できる医学系研究者
(工のわかる医)

修士・博士人材

人体と物質・システムの相互作用の視点から

教育プログラムの3つの柱

医療工学に関わるディシプリンを3つの分野に整理、新たな医工学の学理
体系と教育体制を構築

最先端研究者が集い、医工学融合研究を行う世界中核拠点を形成、これを
牽引力として世界トップ拠点との連携網を構築、人材育成に活用

産学連携の場を提供して産学協働を加速し、実践的な教育を推進

活用発展

活用発展

グローバル30とグローバルCOEで培われた
海外有力教育拠点との活発な国際連携

医工連携部及びバイオエンジニアリング専攻で培わ
れた医療工学の科学技術基盤と産業界との連携基盤

工学系人材

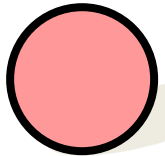
工

既存の専門分野で基礎を固めた学生

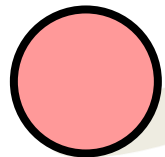
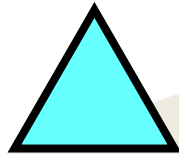
医

医学系人材

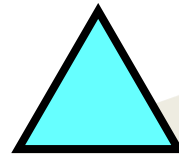
医学系人材



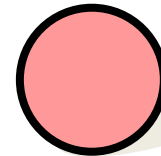
工学系人材



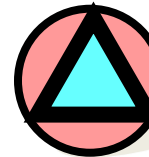
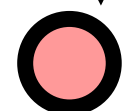
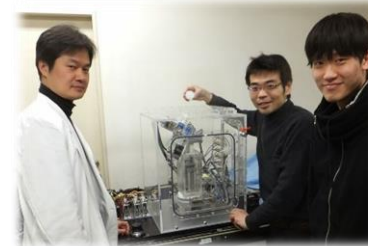
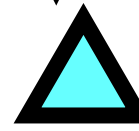
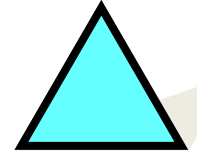
共同研究



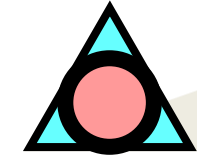
医学系人材



工学系人材



融合研究



従来の医工連携
(医学あるいは工学のみの基盤を
理解した人材による共同研究)

医工融合の人材による融合研究
(医学と工学の双方の基盤を有する医工融合
人材による融合的な研究)

質の高い医療機器を効率的に実現

養成人数(当初計画)

10
3

医学及び工学の基盤を理解し、産業と医療応用への展開を通じて豊かで安心な質の高い医療の実現に中心的な役割を果たす工学技術者と医師の養成

3年目

第1期生

10人

5年目

第1～4期生

40人

(のべ人数)

他学部・
一般社会人

医学系
博士課程

工学系
修士課程

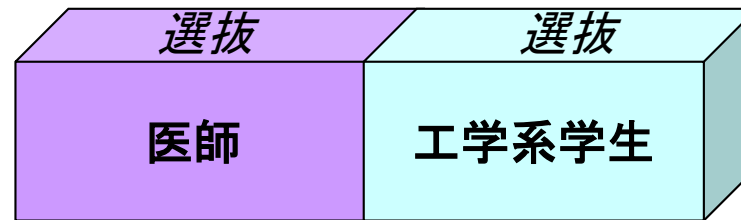
他学部・
一般社会人

医学及び工学分野における
わが国の国際競争力を不動のものとする

想定を超えた応募

10
4

当初計画



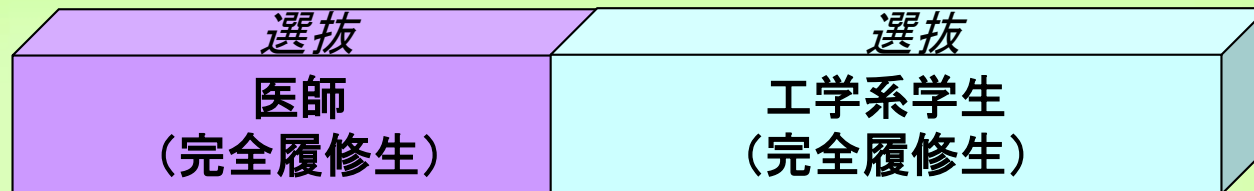
10名

学生からの**関心**は高く、想定を超えた**応募**

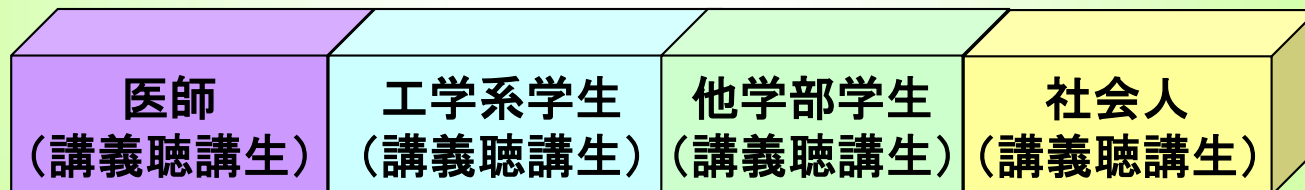
医学及びナノテクノロジーの基盤を理解し、産業と医療応用への展開を通じて豊かで安心な医療の実現に中心的な役割を果たす工学技術者と医師の養成

見直し後

実習を含めた完全履修生を選抜（15 - 20名：若干の増員）



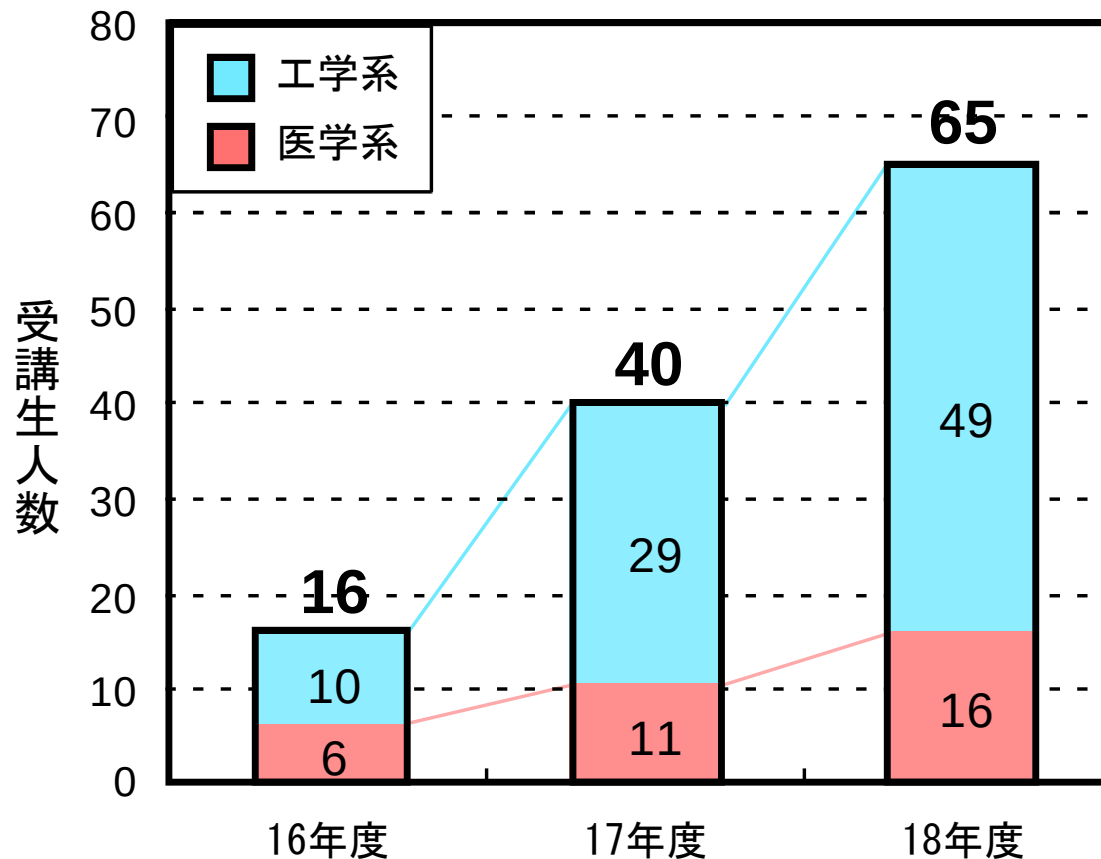
講義聴講生については制限無く受け入れる



大学における既存カリキュラムとの棲み分け → 夜間の授業実施

受講生の年次推移

10
6



* 図の人数は、その年度に受講を希望した人数を表す(継続受講の人数は含まない)
これまでの修了者数は、16年度に受講を希望した16人

年度毎の**受講希望者の増加**から、本ユニットへの学生側の高い期待が伺われる

I. ゲノム・ポストゲノム



・歩行シミュレーターによる三次元関節軟骨再生

V. ドラッグデリバリーシステム

- ・ナノバイオテクノロジーが拓く未来医療
- ・先端医療を支えるバイオマテリアルとDDSの最前線
- ・人工遺伝子デリバリーシステムの開発
- ・ガン治療のためのDDS
- ・DDSの遺伝子治療への応用

VI. 先端医療支援技術

- ・医療ロボットの開発
- ・診断・手術ロボットを構築する機構・制御の基礎
- ・心臓血管外科手術サポートシステム
- ・三次元医用画像誘導手術
- ・脳神経外科用マイクロサージェリシステムの開発
- ・中性子とその医療への応用
- ・ナノテクのMRI診断への応用

VII. 人工臓器

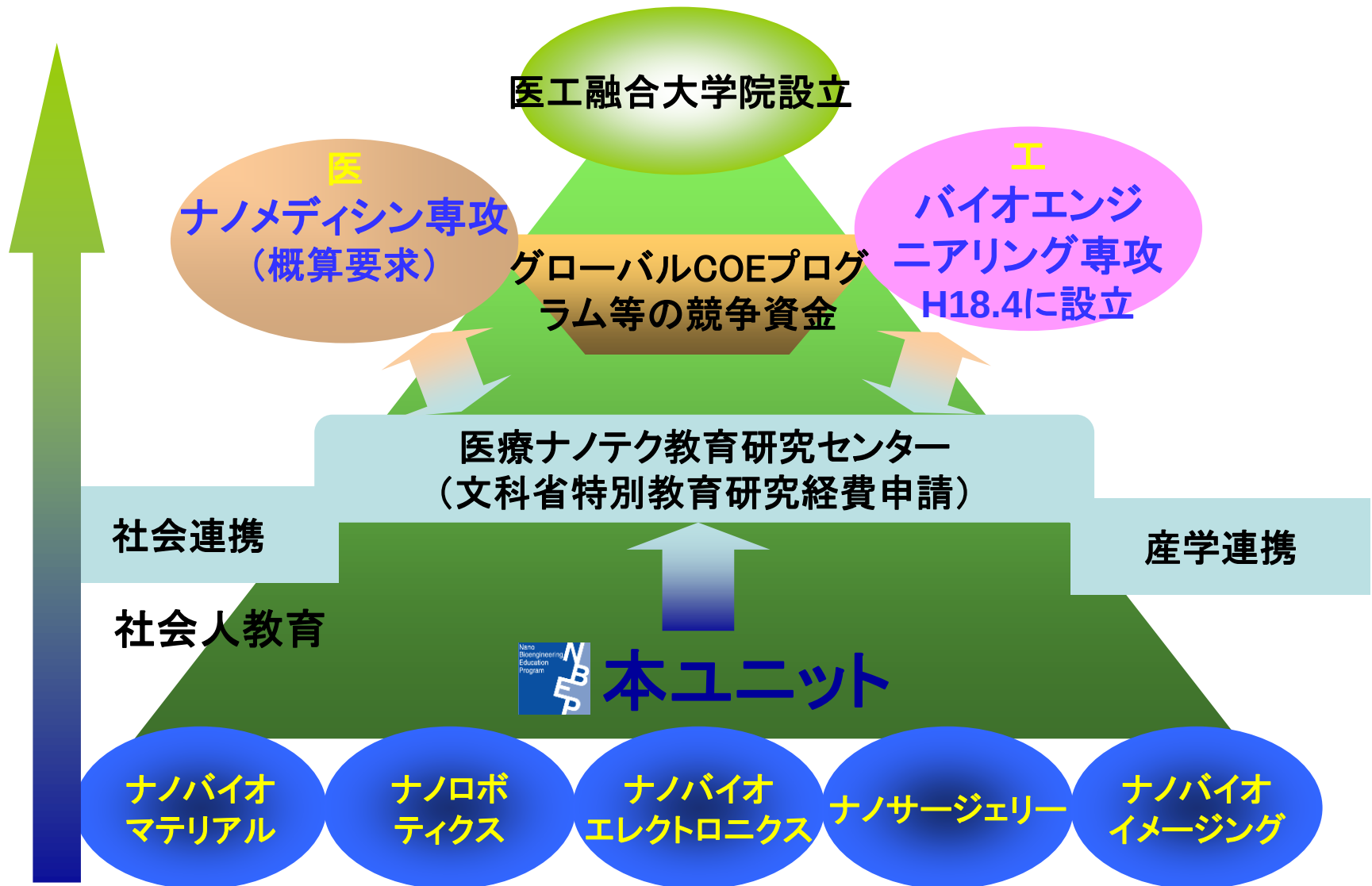
- ・臓器生体システム工学
- ・補助人工心臓エバハートの開発と臨床応用
- ・再生医療のためのナノバイオインターフェイス
- ・先端技術を応用した人工臓器の開発
- ・人工肝補助装置の開発

VIII. 知財マネジメント

- ・産学連携とナノバイオの技術移転
- ・医療ナノテクノロジー普及への打ち手
- ・医療機器の薬事規制の概論
- ・医療機器の臨床試験の現状と課題
- ・医療機器の承認審査の概要

バイオエンジニアリング専攻への発展

10
8



医工融合大学院設立

医
ナノメディシン専攻
(概算要求)

グローバルCOEプログラム等の競争資金

工
バイオエンジニアリング専攻
H18.4に設立

医療ナノテク教育研究センター
(文科省特別教育研究経費申請)

社会連携

産学連携

社会人教育



本ユニット

ナノバイオ
マテリアル

ナノロボ
ティクス

ナノバイオ
エレクトロニクス

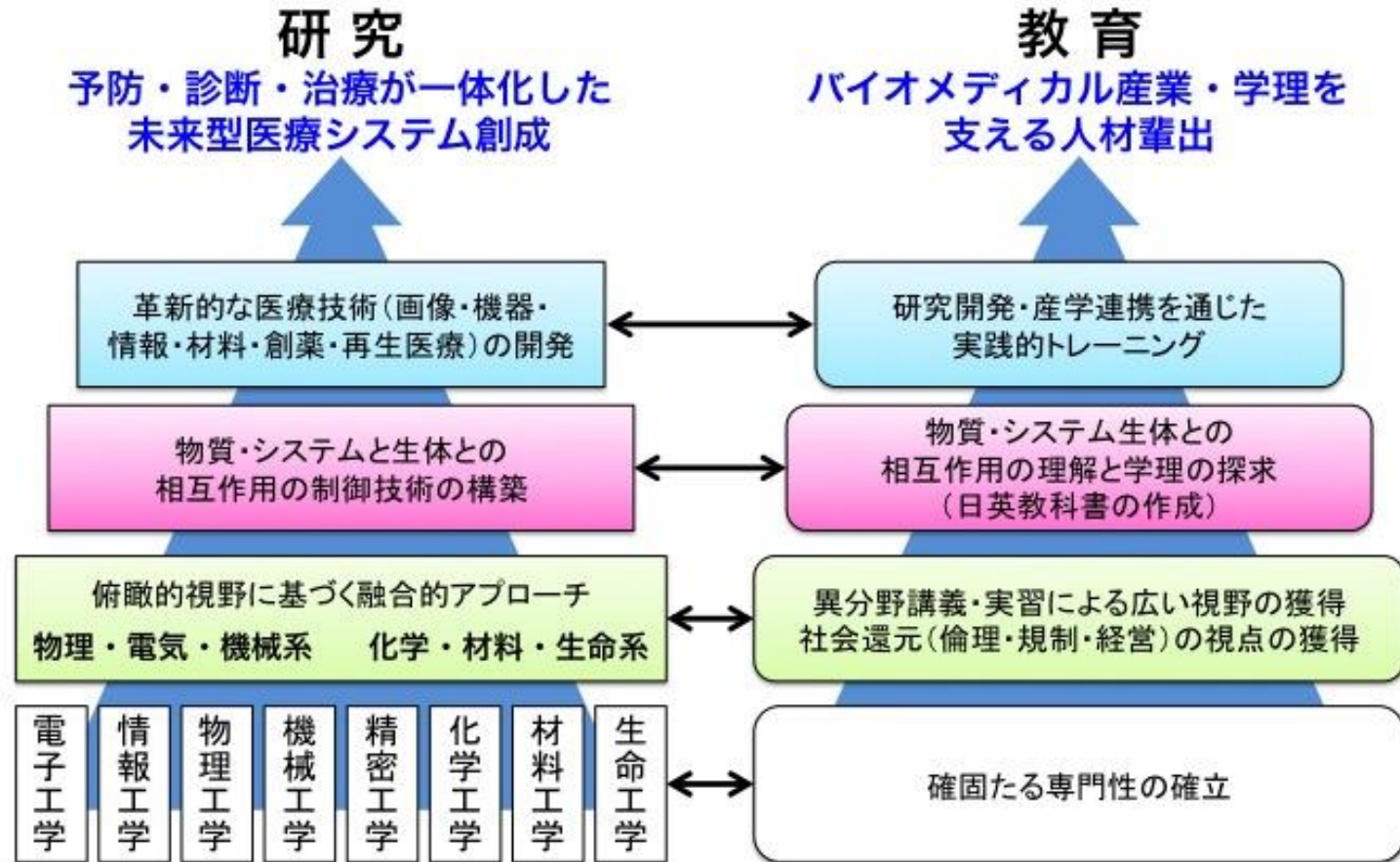
ナノサージェリー

ナノバイオ
イメージング

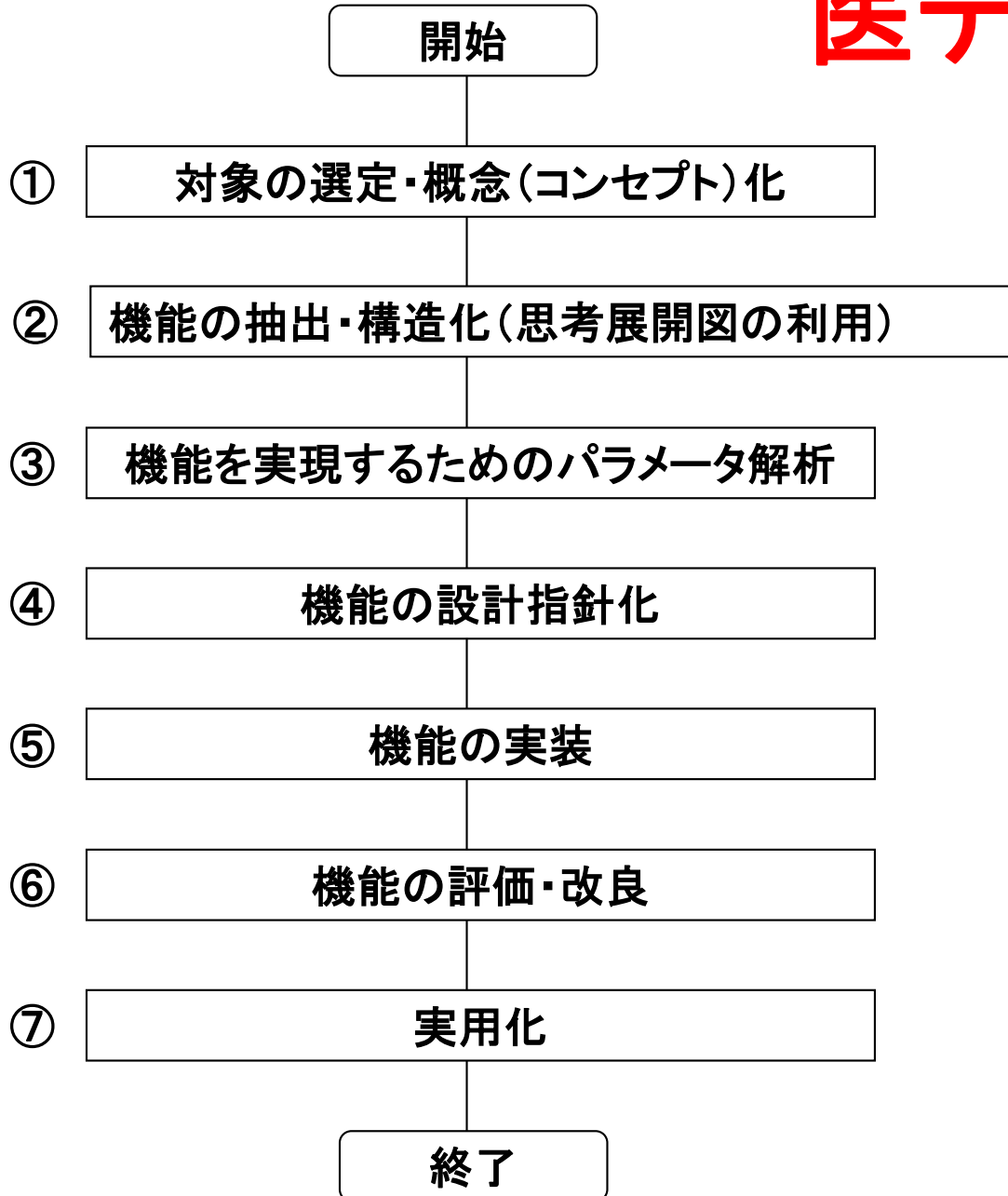
バイオエンジニアリング専攻への発展

10
9

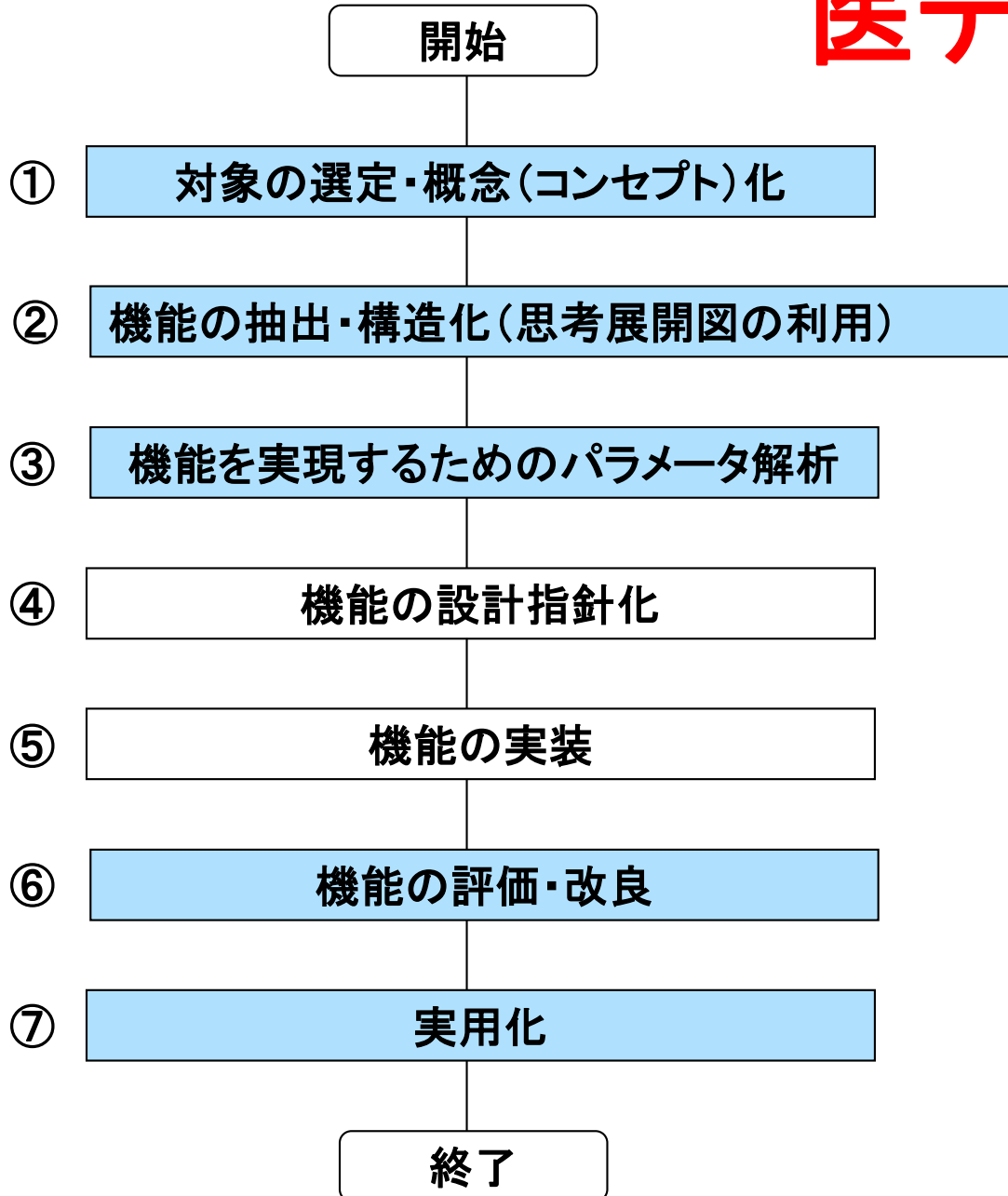
バイオエンジニアリング専攻 研究・教育の大方針



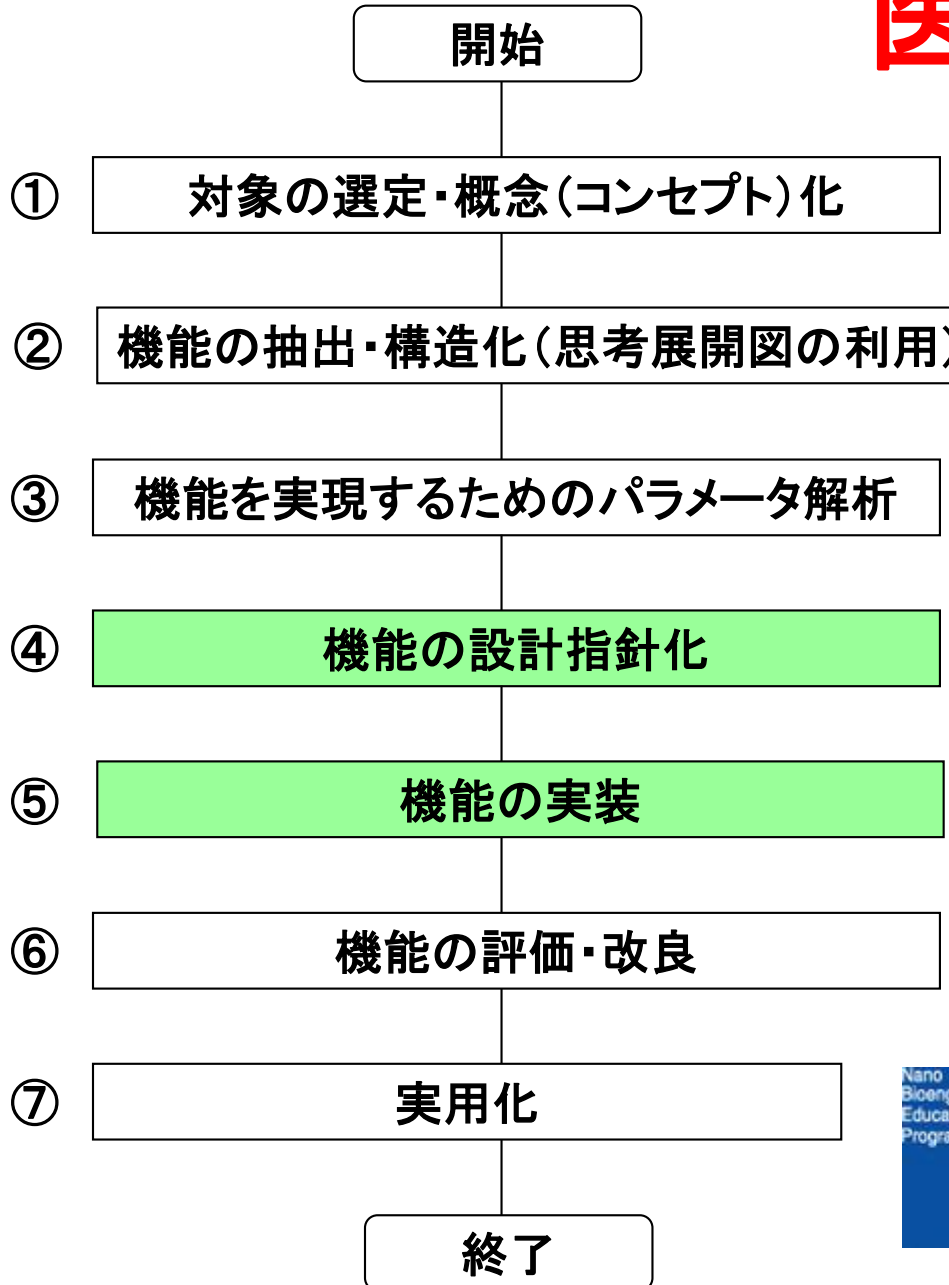
医デジ化の手順



医デジ化の手順



医デジ化の手順



ロボットのシーズ技術に
精通し, ロボット開発と
医療ニーズの開拓を行
なう医師の必要性



医工融合
人材養成ユニット



卒業後の進路実例紹介

月原弘之

東京大学大学院医学系研究科
心臓外科 医療品質評価学講座 助手
(平成18年3月に当ユニットを修了)

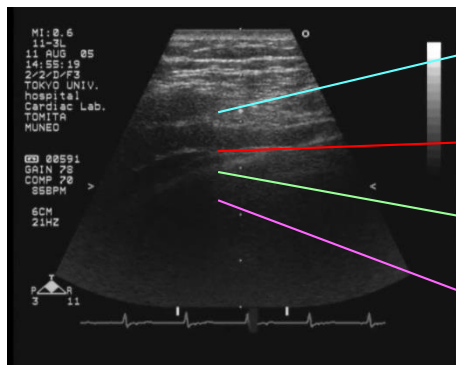
10年にわたり 毎週ミーティング

現在の活動状況

1. 心臓外科医としての臨床活動
2. 日本成人心臓血管外科手術データベースの構築
3. 超音波立体表示装置を用いた心臓低侵襲手術の開発
4. 超音波画像解析による心臓癒着評価に関する研究

超音波画像解析による心臓癒着評価に関する研究

心膜と心外膜の癒着を画像解析することで、心臓再手術時の危険性を評価



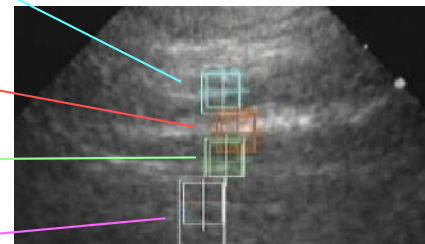
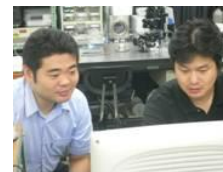
① 心膜外組織

② 心膜

③ 心外膜

④ 右室心筋

本ユニットの
特任教員と
の共同研究
へ発展



超音波診断画像解析

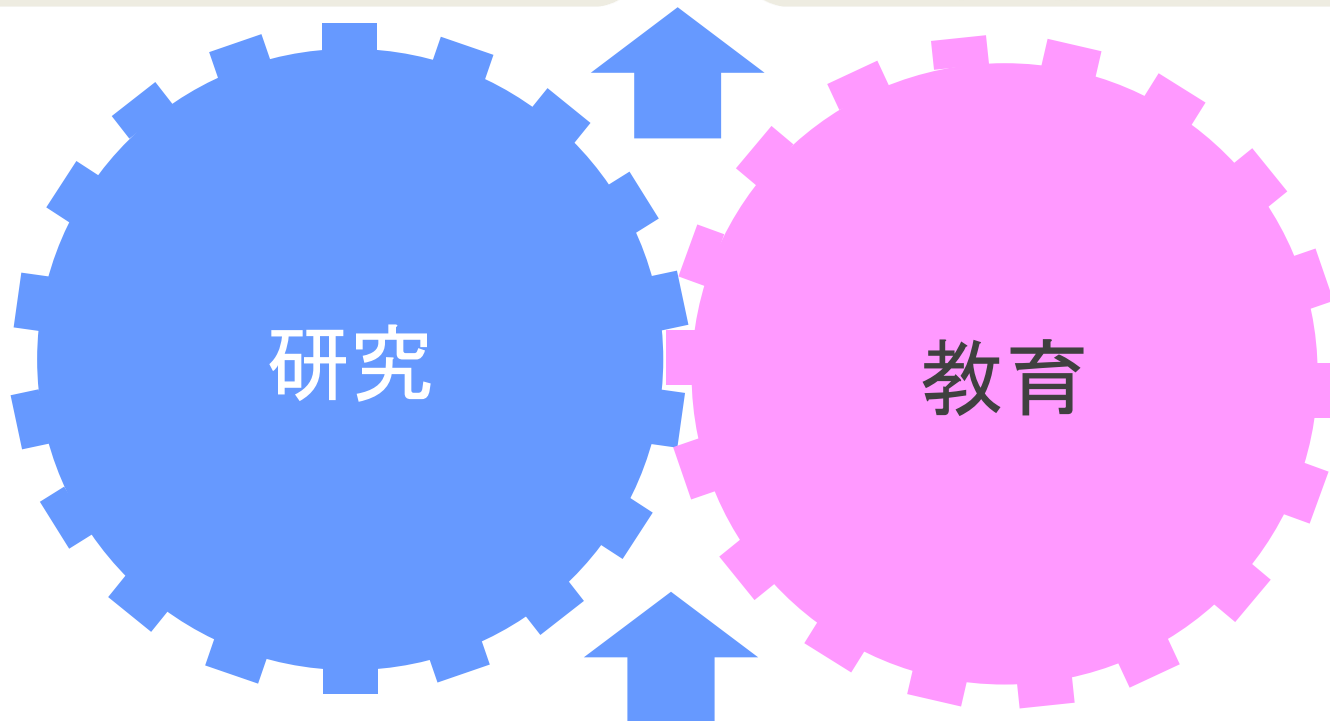
(今後の展望) ナノテクを用いた心臓・癒着防止剤の開発・評価へ発展

医工融合教育・研究の相乗効果

11
4

生活の質の向上に直結する
質の高い医療機器

生活の質の向上に直結する
質の高い医療機器を効率的
に研究・開発できる
医学と工学を融合的に修得し
た医工融合人材



研究テーマ: 医療技能の技術化・デジタル化による
医療ロボットの構築法

医デジ化: Me-Dig ITalization

11
5

超音波医療 診断・治療技能



医療技能の技術化・デジタル化 Me-Digitalization

熟練した専門医のように動作し、人間の能力を超える高精度な診断・治療を行なうシステムの実現

機能抽出・分解・再構築

技能における機能の抽出・構造化

機能を実現するためのパラメータ解析

機能の設計指針化

機能の高度化

機能の実装

構築したシステムの検証・最適化

機能実装・システムの最適化

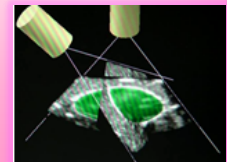
なめらか動作・高追従制御



安全・安心接触動作機構



ロバスト・高精度
動画像処理
アルゴリズム



日本設計工学会 The Most
Interesting Readings 賞受賞

効果

IJAT09

技能の技術標準化
負担軽減

技能のデジタル化

学問体系化・設計指針化
システムの最適化

専門家の技能
安全・安心
ユビキタス化



中高齢者



医療・健康・
福祉専門家

医デジ化に基づく医療ロボット構築研究ロードマップ

非侵襲超音波診断・治療統合システム

人体に対して安全・安心に動作するとともにがんや結石の
超音波診断・治療を非侵襲かつ低負担で行なうシステムの実現



医師

負担軽減

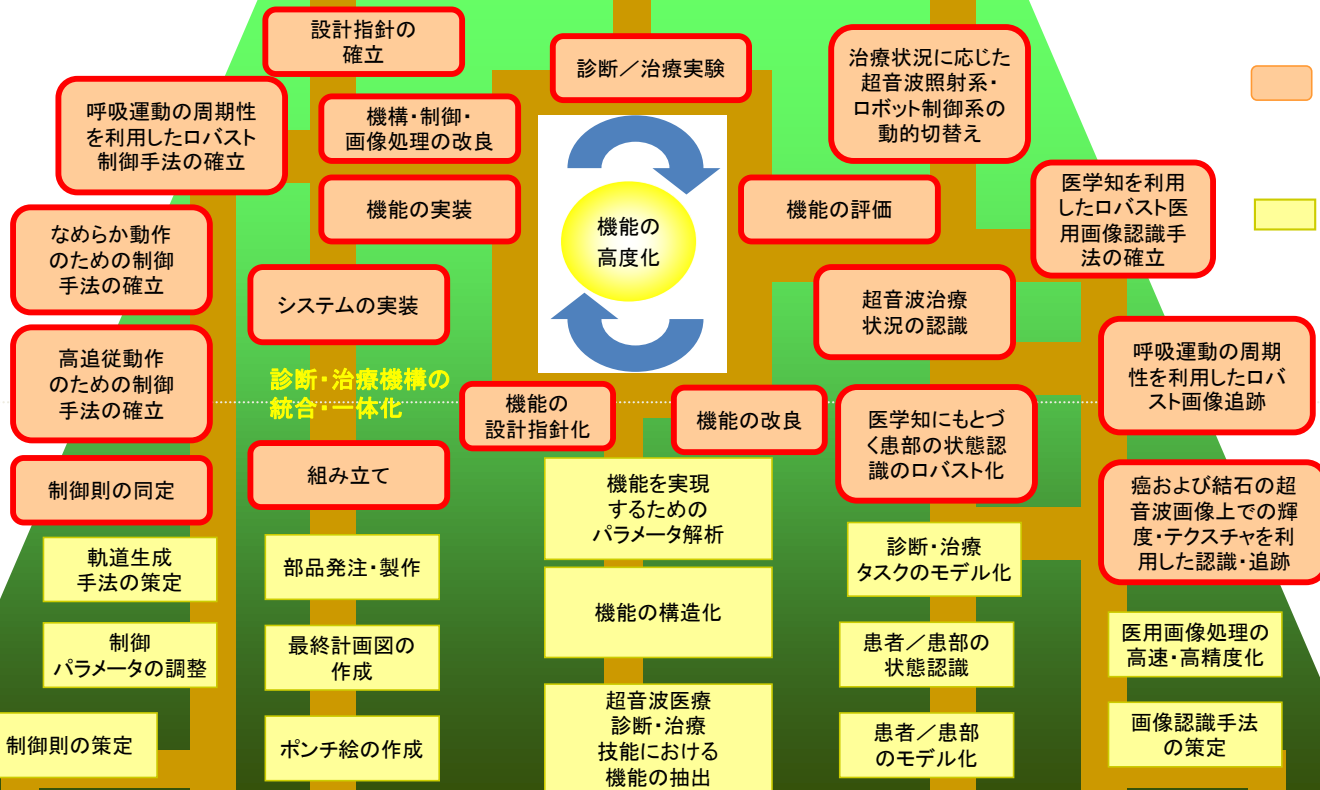
負担軽減



中高齢者

平成26年度

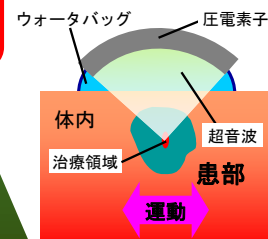
平成25年度



- ...研究・開発のステップ, 特に, 研究成果の発表を予定.
- ...研究・開発のステップ.



がん / 腎臓結石の診断



非侵襲超音波治療

人体に対する
安全・安心
接触／非接触
動作技術

機能に応じた
高精度機構
設計技術

超音波医療
診断・治療技能
における機能抽出・
構造化技術

超音波診断・
治療タスクに応じた
システム動作
切替え技術

リアルタイム
医用超音波画像
処理技術

医療ロボット開発のスタンス

11
7

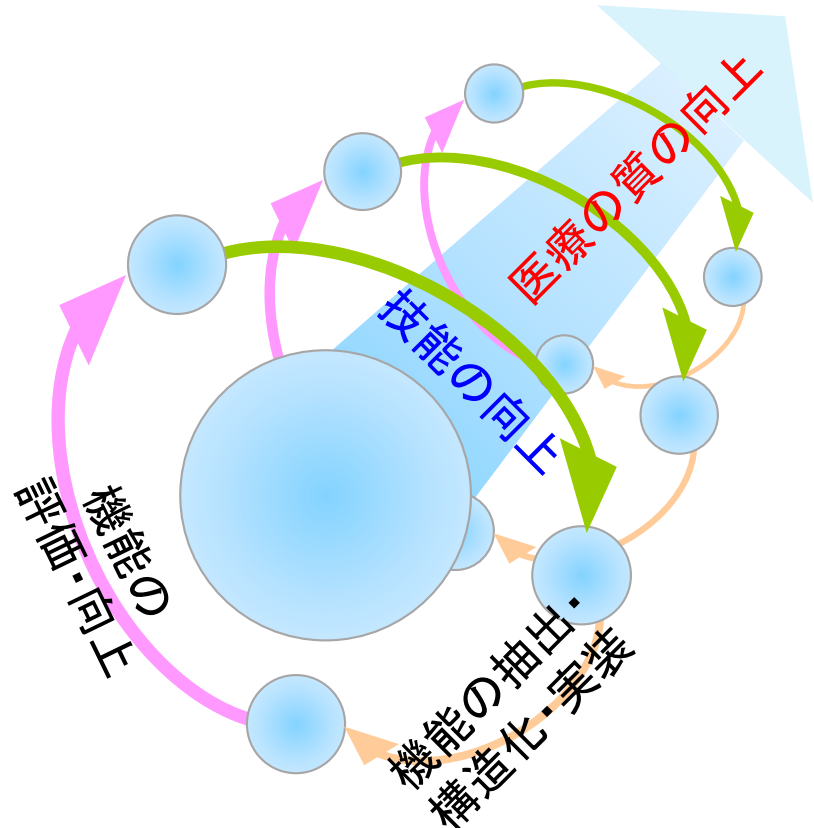
医療ロボット開発のスタンス

医師の技能向上の仕組みを確保しつつ、医デジ化を通して
診断・治療を容易化したり、新たな診断・治療の可能性を開拓

~~ロボットの機能が
人間にとって代わる~~

医師の技能向上の仕組みを確保しつつ、医デジ化を通して診断・治療を容易化したり、新たな診断・治療の可能性を開拓

医療機器の普及には診断・治療を容易化することが求められる

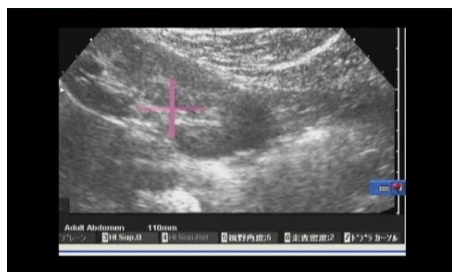




非侵襲超音波治療(HIFU)の問題点

呼吸・心拍を中心とする体動により
超音波照射対象である患部が運動

従来：腎臓・肝臓・心臓は治療対象外



解決策

患部の運動の補償が必要



目的

呼吸を中心とする患部の運動を補償
するための患部動作追従手法の確立



腎臓・肝臓・心臓も治療対象に

The background of the end screen is a dark, grainy image with two large, light-colored, triangular shapes pointing towards each other, creating a central diamond-like area. The word "End" is centered in this area.

End

Thank you for your attentions