

博士論文

共有 AR 技術を用いた
超音波プローブ操作の遠隔指導システム

末永貴俊

2001年2月5日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報処理学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学)授与の要件として提出した博士論文である。

論文番号： NAIST-IS-DT0061011

提出者： 末永貴俊

審査委員： 千原 國宏 教授
山本 平一 教授
湊 小太郎 教授
眞鍋 佳嗣 助教授
大城 理 助教授

提出日： 2001年 2月 5日

共有 AR 技術を用いた 超音波プローブ操作の遠隔指導システム*

末永貴俊

内容梗概

医療サービスの地域間格差を解消することを目的として、遠隔医療に関する研究が行われている。しかし、これまでの遠隔医療システムの多くは、患者の側に専門医がいることを前提とした医療情報の伝送システムであり、専門医 - 患者間の地域格差を解消することは出来ない。この問題を解消するためには、専門医の「技能」を伝送する、遠隔技術指導システムが必要である。

本研究では、遠隔超音波画像診断を対象とし、超音波診断装置の超音波プローブを操作する計測者の熟練度に関わらず、適切な画像取得を実現できるように、遠隔地の医師が、プローブ操作の指導を行うためのシステムを提案する。提案システムでは、強調現実感 (Augmented Reality; AR) 技術を用いて、専門医と患者がネットワークを介して情報を共有する「共有 AR 空間」を構築し、仮想的に同じ場所にいるような状況下で、円滑に技術指導できるインタフェースを実現する。

共有 AR 空間では、相手側の情報はコンピュータグラフィックスによる仮想像を重畳することで提示されるが、現実空間と仮想像の対応付けが難しい。提案システムでは、専門医と計測者に拘束感を感じさせず、かつ通常の超音波検査と同様のインタフェースを構築した。

患者側では、現実空間と仮想像を重畳させる手段として、液晶プロジェクタを用いて仮想像を患者の体表面に直接投影する手法を導入した。

医師側では、仮想的に患者に直接触れながら教示出来る環境を実現するため、液晶ペンタブレットによるインタフェースを導入した。専門医は、液晶ペンタブ

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報処理学専攻 博士論文, NAIST-IS-DT0061011, 2001年2月5日.

レットに提示された患者の患部付近の映像に，ペンで直接触れながら教示を行うことができる．

超音波プローブ操作を教示するためには，プローブの位置・姿勢などの情報が必要である．これらの情報を明確に提示するため，超音波プローブ操作に必要な情報を分類し，図式化した“Web-Mark”を導入した．

また，より高度な教示を行うためには，計測者の挙動や患者の姿勢などの詳細な情報が必要となるため，患者側の環境映像を，没入型提示装置を用いて専門医に提示した．

最後に本研究の有効性を確認するため，専門医の協力のもと，遠隔実験を行った．これらの実験を通じて，遠隔医療において共有 AR 空間を用いて技能を伝達するという，提案手法の有効性が明らかになった．

キーワード

遠隔医療，超音波診断，遠隔技術指導，共有 AR 空間，Web-Mark

A Tele-Instruction System for Ultrasound Probe Operation based on Shared AR Technology*

Takatoshi Suenaga

Abstract

This paper proposes tele-instruction system for ultrasound probe operation based on shared Augmented Reality(AR) technology.

Telemedicine, which is a strategy to diminish geographical gaps of medical service quality, is in fashion. However, as foregoing “medical-data transmission” systems cannot convey skills of doctors, they cannot dissolve the problem of geographical gaps.

This research develops a telemedicine system, which transports skills of medical doctors over shared AR space. The shared AR provides an environment where users can exchange spatial information, and helps smooth communication. This research concentrates on interface for doctors and technician to establish smooth communication.

The proposed system provides intuitive and unrestricted interface for medical doctor and patient site’s technician using a data projector and a LCD tablet.

At the patient’s site, instruction information projected directly on the patient’s body via a data projector for technician. At the doctor’s site, medical doctor can instruct probe operation, as doctor using a LCD tablet.

Instruction information displays as “Web-Mark”, which indicates spatial information for ultrasound probe operation.

*Doctor’s Thesis, Department of Information Processing, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DT0061011, February 5, 2001.

Furthermore, the system gives environmental information around patient, such as technician's behavior and patient's posture, to doctors using immersive display.

The proposed system was experimented through real tele-diagnosis with medical doctor. The experimental results show effectiveness of the proposed method for smooth communication in telemedicine.

Keywords:

Telemedicine, Ultrasound diagnosis, Tele-instruction, Shared AR space, Web-Mark

目次

1	序論	1
2	遠隔医療と AR 技術	5
2.1.	遠隔医療	5
2.2.	遠隔医療の分類と特徴	6
2.3.	遠隔超音波診断支援システム	9
2.4.	AR 技術を用いた作業支援	14
2.5.	まとめ	16
3	超音波プローブ操作教示システム	17
3.1.	AR 技術を用いた情報共有	17
3.2.	教示手順	20
3.3.	情報の伝送	21
3.4.	まとめ	25
4	CG プローブと 6D デジタイザを用いた遠隔教示システム	27
4.1.	システムの概要	27
4.2.	CG プローブを用いた教示情報提示	28
4.3.	6D デジタイザによる教示	29
4.4.	評価実験	33
4.5.	まとめ	39
5	Web-Mark と液晶ペンタブレットを用いた遠隔教示システム	41
5.1.	システムの概要	41
5.2.	Web-Mark による教示情報の提示	42

目次

5.3. 液晶ペンタブレットによる教示	49
5.4. 評価実験	51
5.5. まとめ	63
6 没入型提示装置を用いた環境情報提示	65
6.1. 遠隔超音波診断に必要な情報の分類	65
6.2. 環境情報の提示手法	67
6.3. 評価実験	71
6.4. 結果と考察	73
6.5. まとめ	74
7 結論	75
謝辞	77
参考文献	79
付録	85
A. 遠隔医療実験における指示の記録	85
B. 伝送画像の画質評価	91
研究業績	95

図目次

2.1	オリンパス社の携帯型超音波診断装置	9
2.2	医用画像伝送システム (奈良先端大) の伝送画像	11
2.3	群馬大の遠隔ロボット操作システム	12
2.4	奈良先端大の遠隔ロボット操作システム	13
2.5	東大の遠隔ロボット操作システム	13
2.6	ボーイング社の作業支援 AR システム	14
2.7	MRI 画像を患者頭部に重畳させて、病巣部にメスを入れる様子	15
3.1	提案システムにおける共有 AR 空間	18
3.2	MIT の Media Room	18
3.3	共有 AR 空間での教示	19
3.4	教示手順	20
3.5	システムの構成要素	21
3.6	代表的な胸壁上の音響窓	23
3.7	超音波プローブの基本操作	23
3.8	計測者への情報提示	24
4.1	CG プローブと 6D デジタイザを用いたシステムの概要	27
4.2	教示用 CG プローブ	28
4.3	6D デジタイザ	30
4.4	デジタイザを用いた CG プローブの操作	30
4.5	医師側の教示画面	32
4.6	医師側の教示の様子	32
4.7	実験システム構成	34
4.8	評価実験に用いた超音波診断画像 (胸骨左縁左心室長軸像)	37

目次

4.9	評価実験に用いた超音波診断画像 (心尖部四腔断面像)	37
4.10	教示時間の比較	38
4.11	計測者の手による CG プローブの隠蔽	40
5.1	Web-Mark と液晶ペンタブレットを用いたシステムの概要	41
5.2	Web-Mark	42
5.3	患者の体表面に投影された Web-Mark	43
5.4	中心の移動	43
5.5	回転角の変更	44
5.6	傾斜角の変更	44
5.7	中心の移動	46
5.8	回転角の変更	46
5.9	傾斜角の変更	46
5.10	わき腹での傾斜情報の欠落	46
5.11	液晶プロジェクタとアクティブカメラ	47
5.12	カメラとプロジェクタの位置合わせ前	48
5.13	カメラとプロジェクタの位置合わせ後	48
5.14	医師側システム概観	49
5.15	姿勢センサ付きペン	50
5.16	評価実験に用いた超音波診断画像 (胸骨左縁左心室長軸像)	51
5.17	評価実験に用いた超音波診断画像 (左心室短軸僧帽弁像)	52
5.18	教示時間の比較	53
5.19	取得した胸骨左縁左心室長軸像	54
5.20	取得した左心室短軸僧帽弁像	55
5.21	胸部からの画像取得	56
5.22	脇腹からの画像取得	56
5.23	医師側風景	57
5.24	実験中の医師側システム画面	57
5.25	医師側風景	59
5.26	医師側風景	61
5.27	患者側風景	62

6.1	没入型提示装置	67
6.2	HyperOmni Vision	68
6.3	全方位画像	68
6.4	全方位画像から生成したパノラマ画像	69
6.5	左画面	69
6.6	中央画面	70
6.7	右画面	70
6.8	患者側の様子	71
6.9	医師側の様子 (環境映像無し)	72
6.10	医師側の様子 (環境映像有り)	72
6.11	没入型提示装置による教示時間の変化	73
A.1	指示の記録を時系列に並べたもの	90
B.1	標準サイズの画像 (640×480pixel)	91
B.2	160×120pixel で取り込み, 800×600 に拡大した画像	92
B.3	320×240pixel で取り込み, 800×600 に拡大した画像	92
B.4	標準サイズの画像 (640×480pixel)	93
B.5	160×120pixel で取り込み, 800×600 に拡大した画像	94
B.6	320×240pixel で取り込み, 800×600 に拡大した画像	94

表目次

2.1	研修医への超音波検査に関するアンケート結果	10
3.1	プローブ操作の分類	24
4.1	共有する CG パラメータ	29
4.2	様々な入力デバイスの特徴	29
4.3	本システムに用いた計算機及び機器	35
4.4	平均教示時間	38
5.1	Web-Mark の情報量	45

第1章

序論

医療は、我々が健康な生活を送るうえで欠かせない重要な役割を担っており、病気であるか否かに関わらず、どこに住んでいても最高水準の医療を享受したいと考える人は少なくない [1]。しかし、本研究で取り上げる超音波画像診断を例にすると、日本超音波医学会で認定している専門医・検査士の約半数が7大都市に集中しており [2,3]、大病院のある都市部と、中小規模病院しかない地方都市では、住民が享受できる医療の質に格差が生じているという現状にある。このような医療の地域格差を解消するために、様々な機関で遠隔医療の研究が行なわれてきた [4]。

我が国における遠隔医療の試みは1970年代から行なわれているが、その多くは、遠隔地の医師間で予め取得されたデータを伝送するものである [5]。近年の計算機性能とネットワーク環境の向上に伴い、高品質の情報を大量に伝送することが可能となった。遠隔医療システムの実現により、各地に点在する医師らが協調して患者の診断を行うことができるようになり、インターネット上に「バーチャル・ホスピタル」とも呼べるコミュニティを展開することも可能になった。しかし、これまでの遠隔医療システムの多くは、従来、医師らが郵便や宅配便で行なっていた医用画像のやり取りをネットワークを用いて実現したものに過ぎず、医師間のコミュニケーション環境を発展させる効果はあるものの、患者が享受できる医療サービスが患者と医師との地理的關係に左右されるという問題を根本的に解消するシステムではなかった。

患者は、近所に病院や診療所があったとしても、自分の病状に合う専門医がいなければ、遠くの病院まで通わなければならない。これは遠隔医療システムが、単なる「医療情報伝送システム」である限り、解決し得ない問題である。専門医

の居ない状況下で患者が高水準の医療を享受するためには、専門医の「技能」を伝送する技術が必要である。

これまでの遠隔テレビ会議システムを流用した遠隔医療システムにおいては、「音声」や「身振り」によって手術や検査に関する支援を行うことは可能であった。しかし、器具の位置・姿勢といった空間的な情報を細かく指示することは困難である。

専門医が遠隔地から技術指導を行うのではなく、専門医の分身となる、超音波プローブを持たせたロボットを患者側に置き、遠隔操作する研究も行われてきた。こういった研究は、ロボットを介すことで、専門医の「技能」を伝送するシステムであると言える。しかし、ネットワークを介してロボットの遠隔操作を行う際には、遅延による誤作動などの問題があり、患者のそばに安全確保のための補助員を配置することで安全性を確保する必要がある。また、ロボットに直接体を触られることは、患者にとって、心理的な不安要因となるため、心電図検査や胸部超音波検査などでは、正確な検査を実施できない恐れもある。

患者に不安感を与えず、安全性を確保しながら遠隔地間で技術指導を行うためには、音声やロボットに代わる、新しい「技能」情報の伝送システムが必要だと言える。

本研究では、遠隔地の専門医が患者側に居る人に対して技術指導を行うことで、患者の安全性を確実に確保しつつ、患者がどこにいても高水準の医療行為を受けられる環境を実現する手段として、遠隔技術指導システムを提案する。

本論文では、遠隔地から技術支援を行いながら医療行為を行う手段として、強調現実感 (Augmented Reality; AR) 技術を用いた作業支援環境の構築を行う。AR 技術は、仮想現実感 (Virtual Reality; VR) 技術を現実世界に組み込んだ技術であり、現実世界にコンピュータグラフィックス (Computer Graphics; CG) で表現した仮想物体を重畳することで現実世界の情報を「強調」する技術である [6, 7]。提案システムでは、AR 技術を用いることで、専門医と患者がネットワークを介して情報を共有する「共有 AR 空間」を構築し、仮想的に同じ場所にいるような環境を実現する。

遠隔医療を実現する対象として、本研究では超音波診断装置を用いた画像診断を取り上げる。遠隔医療を実現する際には、「一般に普及している装置」を使用し、

「操作に経験や専門知識」を要するような医療行為を対象とすることで、最も大きな効果を得ることができる。超音波診断装置は小型・安価・非侵襲であり、被曝の心配もないことから、一般の診療所にも広く普及している装置である [8]。しかし、心臓の動画像を取得するような場合には、患者の体型や検査中の心臓の変移に合わせてプローブの位置・角度、あて方を調整する必要がある、解剖学的な専門知識と豊富な経験を必要とする。本研究では、遠隔地から超音波検査に必要な、プローブ操作に関する情報を伝送することで、患者の検査を行う医師・技師の経験・技能に関わらず、適切な画像を取得する支援を行う。

本研究の意義は、遠隔地にいる専門医と患者との間で情報を共有する「共有 AR 空間」を構築するとともに、専門医から画像取得に必要な「技能」を伝送するインタフェース技術を確立し、超音波プローブ操作の遠隔教示システムを構築することにある。

本論文では、第 2 章で一般的な遠隔医療の現状を紹介し、遠隔超音波画像診断支援の特徴と現状の問題点を明らかにし、強調現実感技術による支援システムの必要性とその関連研究について述べる。第 3 章では、遠隔超音波画像診断を実現する手段として、本研究が提案する体表投影型簡易強調現実感装置について説明する。第 4 章では、CG プローブと 6D デジタイザを用いて、通常の超音波検査と同様のインタフェースを実装した技術指導システムの説明を行う。第 5 章では、教示に必要な情報を分類し図式化した“Web-Mark”と、液晶ペンタブレットを用いた技術指導システムの説明を行う。第 6 章では、第 5 章で説明したシステムに没入型提示装置を導入することで、より円滑な作業支援を実現するシステムについて説明し、評価実験の結果を報告する。最後に第 7 章で、第 4 章から第 6 章までのシステムをまとめ、本論文の結論を述べる。

なお、本論文では、超音波診断装置を操作し、患者の画像を取得する者を「計測者」、プローブ操作について指示を行い、得られた画像を元に診断を行う者を「専門医」と呼ぶ。また、計測者と患者がいる場所を「患者側」、専門医がいる場所を「医師側」と呼ぶことにする。

第 2 章

遠隔医療と AR 技術

本章では、これまでに我が国で行われてきた遠隔医療に関する研究について述べ、本研究で取り扱う超音波診断装置と超音波診断支援システムの先例研究について説明する。また、遠隔技術指導システムを構築するうえで重要な「AR 技術」について説明する。

2.1. 遠隔医療

諸外国において遠隔医療と言った場合には、遠隔地間で行う医療行為全般を指す。これは、広義の遠隔医療と言える。

我が国においては、厚生省 (1997 年当時) の遠隔医療研究班の報告書 [4] によると、遠隔医療とは

『映像を含む患者情報の伝送に基づいて遠隔地からの診断、指示などの医療行為及び医療に関連した行為を行うこと』

と定義されている。この定義により、遠隔医療においては、映像情報と、専門医・患者間の対話的な医療行為を重要視していることがわかる。諸外国で遠隔医療と言った場合には、映像を含まないケースも含むため、前述の定義は「映像を含む」という制限事項を加えていることから、狭義の遠隔医療と言える。

本研究では、適切な技術指導を実現するためには、患者の映像情報が不可欠であると考え、映像情報をもとにした作業支援システムを提案する。従って、本研究が提案するシステムは、狭義の遠隔医療システムであると言える。

遠隔医療が我々の生活にもたらす効果として、次の三点が考えられる。

第一は、医療の地域格差の解消である。伝送技術を用いる大きな特徴は、隣の部屋でも数千キロの先でも基本的には同じように情報を得ることが可能になることである。この特徴を生かすことにより、例え離島であっても、都市部の専門医の医療を受ける可能性が開かれ、医療の質的向上に大きく貢献する。

第二は、医療の効率化である。例えば、青森県などで実証された例 [9] では、遠隔医療システムを設置することにより、患者の不必要な搬送が半減した。一方、手術回数の少ない病院に一人の病理専門医を常駐させることは大変効率が悪い。このような場合には、遠隔病理診断を普及させることが、効率を上げる解決策になる [4]。

第三は、患者サービスの向上である。病人が病の身体をおして医療機関へ通うことは大きな負担になる。患者にしてみれば、日常の静養の場に医師が訪れてくれることが理想であろう。遠隔医療が実現すれば、専門医が仮想的に患者を往診しているのと同じ状況を作り出せるため、患者の負担を軽減できる。

このように、遠隔医療が実現することで、我々を取り巻く医療環境は大きく改善されると言える。

2.2. 遠隔医療の分類と特徴

これまでに、国内外を問わず、遠隔医療に関する様々な研究が行われている [4]。本節では、これまでに行われてきた遠隔医療研究の分類を行い、各々の特徴について述べる。

日本で最初の遠隔医療実験は、1971年に和歌山県で行われた。この実験では、医師と患者がCATVを用いて対面している状況下で心電図データを電話を用いて伝送し、診断結果をFAXで伝送するというものであった [5]。その後、計算機とネットワーク技術の発展に伴い、様々な形態の実験が行われるようになった。

我が国において実施された広義の遠隔医療は、大きく以下のように分類することが出来る。

1. 在宅医療

家庭と医療機関を結んだ状況を想定し、心電図や血圧値など、患者自身でも容易に取得できるバイタルサインを医療機関に伝送することで、医師の診断を仰ぐものである。高齢者の健康状態や、退院後の経過を観察するのに用いられる [10,11]。

2. 遠隔手術

患者側に手術用のロボットを配し、遠隔地にいる医師がロボットを操作することで手術を行うものである。ネットワーク技術だけでなく、ロボティクス、テレグジスタンス等、さまざまな技術を融合させる必要があるため、複雑なシステムになっている [12,13]。

3. 遠隔診療

遠隔地間で医用画像を伝送することで、遠隔地にいる専門医が診断を行うものである。遠隔診療は、大きく次の3つに分類されるが、伝送した医用画像を元に診断を行うという点では、明確な違いは無い。

(1) テレラジオロジ

診断画像をネットワークを用いて遠隔地に伝送することで、専門医が遠隔画像診断を行うものである。対象となる画像は、X線写真、CT(Computed Tomogram), MRI(Magnetic Resonance Image), 超音波断層像 (Echogram), CR(Computed Radiogram) 等である [14-16]。

(2) テレパソロジ

遠隔画像診断の中で、病理画像を扱うものをテレパソロジ (遠隔病理診断) や遠隔術中迅速診断と呼ぶ。患部周辺の組織を薄く切り出し、その組織の画像を病理医へ伝送する。病理医は組織の画像を観察することで診断を行い、手術に関する指示を行う [17]。

(3) テレカンファレンス

患者の側に専門医がいない場合には、遠隔地にいる専門医からのアドバイスが診断や治療に大いに貢献すると考えられる。この場合には、診断画像等を伝送し、遠隔地間の医師どうしが議論をすることが有効である。このような遠隔地間での議論を実現するものをテレカンファレンスシステムと呼ぶ [18, 19]。

また、映像の伝送方法により、次の2つに分類することができる [20-22]。

(1) ストア型

患者から得た画像等のデータを計測後、診断に先立って相手側に伝送しておく方法。データを取得する側も、診断をする側も、自分の都合の良い時間を使って計測・診断を行うことができる。また、FTP(File Transfer Protocol) や HTTP(Hyper Text Transfer Protocol) などの既存の技術で対応できる。高精細画像や高フレームの動画など、伝送に長時間を要するデータを対象とする場合に適しているが、救急医療などの迅速な診断が必要な場合には向いていない。

(2) リアルタイム型

患者から得た画像等のデータを、実時間で専門医に伝送すると同時に、診断も行う方式である。この方式では、専門医と患者 (または直接患者に医療行為を行う者) が、対話的に医療行為を行うことが可能である。高画質を要求される X 線写真・MRI 写真や、高フレームレートを要求される超音波動画像等を伝送する場合には、広帯域のネットワーク回線か、帯域に応じて実時間で画像を圧縮・伝送する技術が必要となる。

2.3. 遠隔超音波診断支援システム

本節では、超音波診断装置と、これまでに研究されてきた遠隔超音波診断支援システムについて説明する。

超音波診断装置は患者の体表面に置いたプローブで超音波パルスを送受波し、超音波の伝搬経路上に存在する組織や物質の音響インピーダンスの差異による反射波と、物質の不均一性による散乱波から画像を生成するものである [23]。実時間で臓器の動態を観察することが可能であること、安価・小型であり (図 2.1)、被曝の心配も無いことから、全国の一般診療所の約 4 割に普及しており、循環器内科、産婦人科、泌尿器科など、様々な医療分野で利用されている [8]。



図 2.1 オリンパス社の携帯型超音波診断装置 [24]

しかし、プローブを置く位置・姿勢が得られる画像に直接影響してしまうため、高度な診断に必要な画像を得るためには豊富な経験を必要とする。それに加え、臓器は体内で固定されていないため、検査中に位置が変わってしまう場合もある。この状況に対応するには、プローブ操作の経験に加え、解剖学的知識も要求される。従って、検査者の熟練度によって、得られる画像の質に差が生じるという問題がある。

このことは、循環器系の研修医と、超音波診断指導医師に対し、「超音波検査の習得にあたり、重要なポイントは？」というアンケートを取った結果(表 2.1)からも伺える [25]。

表 2.1 研修医への超音波検査に関するアンケート結果 [25]

選択肢	指導医	研修医
解剖を熟知する	34%	27%
習うより慣れろ	28%	38%
観察し真似る	21%	27%
文献を読み知識を増やす	10%	4%
最新の技術を身に付ける	0%	4%

また、良好な画像を取得できたとしても、診断を行うためには、多くの患者を検査し、経験を積む必要があり、研修医の49%は、難しい症例の場合は専門医を呼ぶとのアンケート結果もある [25]。

これまでは、超音波検査の専門ではない医療スタッフが計測したビデオテープを診断医に送付する仕組みや、情報ネットワーク経由で画像を実時間で伝送する試みがあった。しかし、計測断面や画質が的確でないため、患者が改めて診断医のところに向いて再検査を行うことが多く、医療費や患者負担の軽減には直結していなかった。

2.3.1 医用画像伝送システム

医用画像伝送システムは、患者側に診断に必要な画像取得を行える超音波技師がいる状況を想定しており、伝送した超音波画像をもとに、遠隔地にいる専門医に診断を仰ぐものである。

動画像である超音波診断画像を伝送するためには、X線画像などの静止画とは異なる技術的な問題がある。例えば画像サイズが 640×480 pixels、256 階調の画像を秒間 15 フレームで無圧縮伝送すれば、37Mbps の通信容量が必要となる。これでは現在の通信回線を用いての伝送は困難である。そこで、円滑な遠隔超音波画像診断のためには、使用する帯域に応じた画像圧縮技術が必要となる。超音波動画像の圧縮の手法として、一般に普及している MPEG(Moving Picture Expert Group)-1、MPEG-2 や、Real Video、H.261 などを用いた方法 [26-28] がある。また、超音波動画像に特化した圧縮技法も研究されており、超音波の音線方向の情報を抜き出し、圧縮を行う方法や [29]、超音波診断画像の輝度値の偏りを利用した圧縮方法などがある [30]。さらに、一般の JPEG(Joint Photographic Expert Group) の量子化テーブルを、超音波画像のために最適化した手法も挙げられる [31]。これらの手法では、現行の T1 回線 (1.5Mbps) で十分診断に耐えうる品質、フレームレートを実現している。

一方、奈良先端大では、ISDN 等の狭帯域ネットワークを利用した医用画像伝送システム [32] を開発した。このシステムでは、改良した Motion-JPEG 形式のデータを伝送することで、データ伝送の帯域を削減することを実現している。また、必要な領域 (ROI;Region Of Interest) の画像のみ (図 2.2) を伝送することにより、高フレームレートの動画像伝送を実現している。

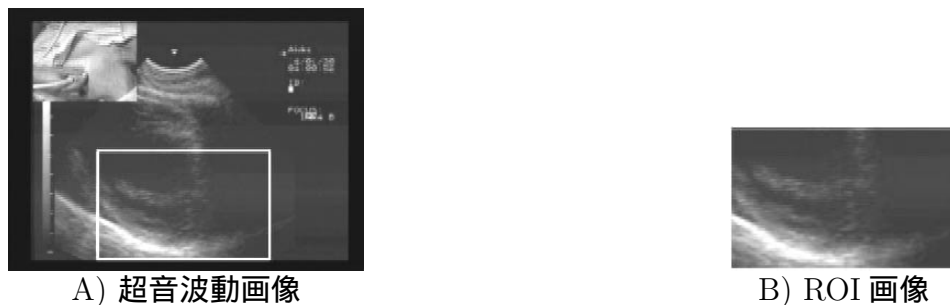


図 2.2 医用画像伝送システム (奈良先端大) の伝送画像 [33]

2.3.2 ロボットを介した遠隔技能伝送システム

患者側に専門医の代わりとなるロボットを配置し，専門医が遠隔地からロボットを操作することで，超音波プローブの操作を行うものである．これらのシステムは，ロボットを介して専門医の技能を伝送していると言える．

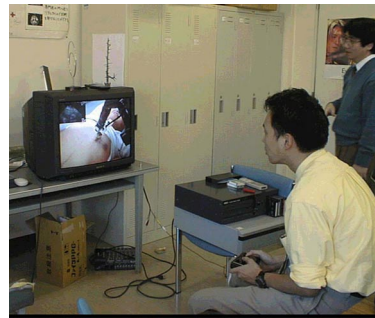
これまで研究されてきたシステムについて説明する．

1. 群馬大システム [34, 35]

群馬大と群馬県立医療短期大学が共同で構築したシステムで，汎用アームロボットの先端に超音波プローブを取り付け，衛星回線を介して遠隔地からロボットを操作することで超音波画像の取得を行うものである．汎用型のアームロボットとコントロールパッドを使用しているため，直感的な操作は困難である (図 2.3) ．



A) 患者側



B) 医師側

図 2.3 群馬大の遠隔ロボット操作システム [35]

2. 奈良先端大システム [36]

超音波プローブを持ったロボットアーム (図 2.4) を医師側から遠隔操作をすることにより，プローブ操作を行う．しかしながら，伝送されてくるロボットの映像はネットワークによる遅延を含んでいるので，操作は困難である．このシステムではロボットアームの実画像の上にCGで描いた仮想のロボットアームを重ねて提示し，ユーザは仮想ロボットアームを適切な位置・角度に動かしたあと，実際のロボットアームに制御信号を送信することで，遅延の影響の回避を行って

る．しかしこの方式では，ロボットが直接人体に触れるため安全確保が必要である．安全にロボットを遠隔操作を行うためには，力覚フィードバックが不可欠であるが，これを遅延のあるネットワーク回線上で実現するのは困難である．さらに，遠隔操作の時に用いるロボットに，直接人体に触れられることは，患者に大きな不安感を与えることになる．

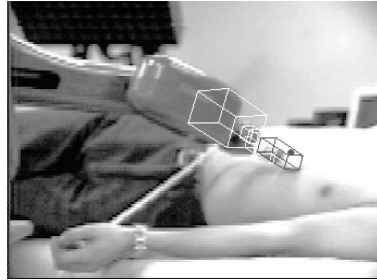


図 2.4 奈良先端大の遠隔ロボット操作システム [36]

3. 東大システム [37, 38]

東京大学で開発されたこのロボットは，肩部の超音波診断を遠隔地から行うものである．超音波検査時の整形外科医のプローブ操作を解析し，独自の構造を持つロボットを製作した (図 2.5)．平行 4 つ棒リンクを用いた独自の操作側インタフェースを導入することで，直感的なロボット操作を可能としている．患者側から医師側に伝送される情報は，2 台のカメラで撮影された映像のみである．東京岡山間で 128kbps の ISDN 回線を 3 回線 (映像用 2 回線，ロボット制御用 1 回線) を用いた遠隔実験を行い，適切な超音波診断画像を取得し，超音波による遠隔診断が可能であることを確認した．



A) 患者側



B) 医師側

図 2.5 東大の遠隔ロボット操作システム [39]

2.4. AR技術を用いた作業支援

強調現実感 (Augmented Reality;AR) 技術は、仮想現実感 (Virtual Reality;VR) 技術により合成されたコンピュータグラフィックス (Computer Graphics; CG) による仮想環境を実環境に重畳させることで、環境だけでは得ることのできない情報を、仮想環境を介してユーザに獲得させることを可能にする技術である [7, 40] .

近年、AR技術を用いた作業支援システムの研究が行なわれている。

産業界に応用された例としては、ボーイング社のワイヤーハーネス製造のためのARシステム(図2.6)が挙げられる。作業者は、頭部搭載型ディスプレイ (Head Mounted Display;HMD) を装着することで、作業を施す実対象上に、作業に必要な情報を重ね合わせて見ることができる。このシステムにより、ワイヤーハーネス製造作業の煩雑さを取り除くことに成功している [6] .

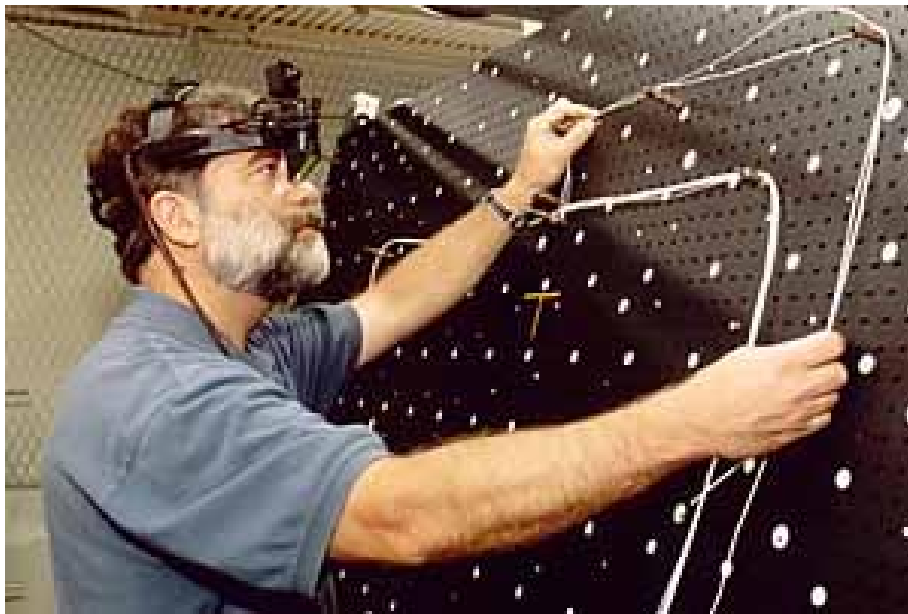


図 2.6 ボーイング社の作業支援 AR システム [6]

医療分野では、手術中の作業支援システムとして、手術に必要な情報を CG で生成し、術野映像の重畳させることで、術者が目を離さずに必要な情報を参照できるシステムが研究されている (図 2.7)[41] .



図 2.7 MRI 画像を患者頭部に重畳させて、病巣部にメスを入れる様子 [41]

AR のシステムでは表示デバイスとして、主に光学シースルー型またはビデオシースルー型の頭部搭載型ディスプレイ (Head Mounted Display;HMD) が用いられる。重畳する仮想像を、より現実的に表現するためには、HMD を用いることが望ましいが、HMD は、現実空間と仮想空間との位置合わせが大変困難であり [40]、HMD に提示される仮想空間は、計算機処理による遅延を含むため、現実空間に追従しなくなることがある。また、HMD は装着者に対して強い拘束感を与えるため、長時間使用すると装着者は多大なストレスを感じる原因となる。したがって、本研究では HMD を使わずにインタフェースを構築する。

2.5. まとめ

本章では、これまでの遠隔医療研究について分類を行い、遠隔超音波診断支援システムの先例研究を紹介した。また、作業支援システムを構築するにあたり、重要な要素技術であるAR技術について説明した。本章で紹介した先例研究は、遠隔医療システムの分類のうち、リアルタイム型の遠隔診療に属する。

遠隔超音波診断システムの先例研究において、医用画像伝送システムは、患者側に適切な医師がいる前提で運用するシステムであるため、専門医の居ない病院では運用できない。遠隔ロボット操作システムは、患者側に専門医を必要としないシステムであるが、ロボットを整備する人間が必要となる。また、当然ながらロボットが設置してある病院でしか運用することが出来ず、ロボットが誤動作した際に安全性を確保することが難しいということや、ロボットが直接体に触れることで患者に恐怖感を与える可能性があるという問題がある。

従って、先例研究は「どこでも」使えるシステムとは言えない。また、患者の安全性を確保し、遠隔地間で技術指導を行うためには、音声やロボットに代わる、新しい「技能」情報の伝送システムが必要だといえる。

第 3 章

超音波プローブ操作教示システム

本章では、患者の安全性を確実に確保しつつ、専門医がいない状況下で高度な超音波診断を行う手段として、体表投影型簡易強調現実感装置を用いたプローブ操作支援システムを提案する。

超音波診断装置で良好な画像を取得するためには、プローブ操作に関する適切な指示を与える必要がある。本研究は、遠隔地の専門医から患者側の医師に対してプローブの操作方法を教示し、良好な画像を取得する支援を行うと共に、円滑な遠隔超音波動画像診断を行うシステムの構築を目的とする。

円滑に超音波プローブ操作の教示を行うためには、プローブの位置・姿勢に関する空間情報を的確に伝送する必要があるが、従来用いられてきた電話や TV 電話などのシステムでは空間情報の伝送は困難である。本研究では、空間情報の伝送を実現するために、AR 技術を用いて遠隔地間での情報共有を行う作業環境を構築する。

3.1. AR 技術を用いた情報共有

離れた場所にいるの専門医と計測者が、直感的に作業支援を行なえる環境を構築するためには、両者が仮想的に同じ場所にいる状況を作り出すことが望ましい。本研究では、AR 技術を用いて、専門医と計測者の間で環境情報を共有する「共有 AR 空間」を構築する。共有 AR 空間を構築することにより、専門医と計測者が、仮想的に同じ場所に存在するという状況を構築できる (図 3.1)。

専門医と計測者が同じ場所にいる場合の教示を考えた場合、専門医は患者の体表面を指さし「ここに、プローブを置いて」という指示を出すと思われる。なぜ

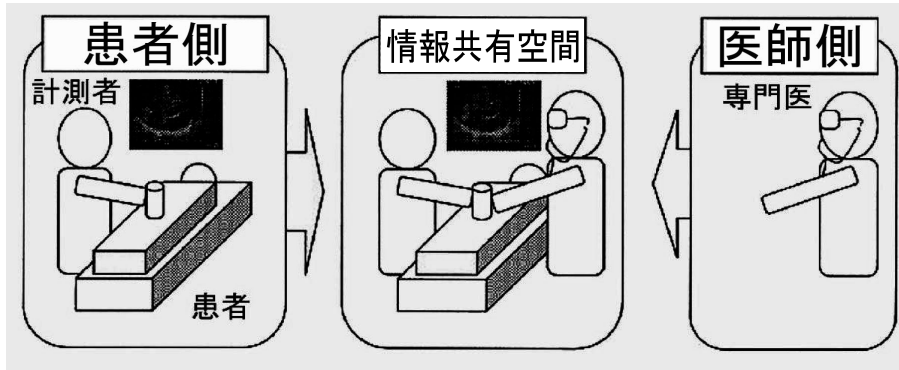


図 3.1 提案システムにおける共有 AR 空間

なら，この方法が最も単純であり，相手も理解しやすいからである．

本研究では，専門医と計測者が遠隔地にいる場合でも，「ここに，プローブを置いて」という指示を可能にする手段として，共有 AR 空間を導入したシステムを構築する [42]．同様のインタフェースを構築した例として，MIT で開発された「Media Room[43]」がある．Media Room では，壁面のスクリーンに向かって，音声で「それを，そこに置け」などと指示を出すことで，スクリーン上の物体を動かすことのできるインタフェースを実現している (図 3.2)．

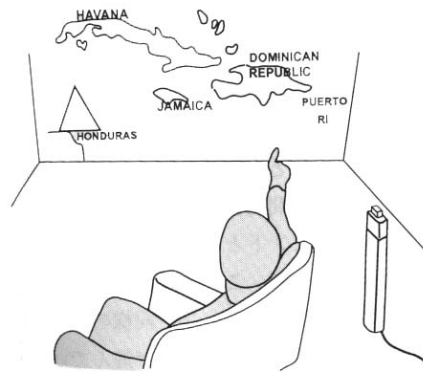


図 3.2 MIT の Media Room[44]

共有 AR 空間で情報を共有する際には、医師側と患者側との環境の違いを考慮し、それぞれの環境に適した手法で、情報提示を行うことが望ましい。

患者側には患者本人がいるので、専門医からの指示は、直接患者の体に提示されることが望ましい。また、医師側では、専門医は仮想的に提示された患者の体に対して、プローブ操作の指示を出す必要がある。

本論文では、両者間に仮想的な壁を仮定し、窓から覗き込むことで、患者の体を見ることのできるインタフェースを構築する(図 3.3)。専門医は、窓から見える患者の体に対して、仮想ポインタを操作して指示を出すことができる。

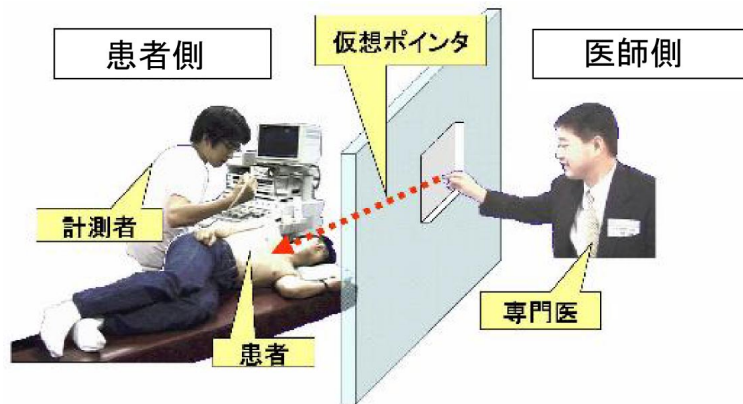


図 3.3 共有 AR 空間での教示

円滑なコミュニケーションを実現するためには、共有する情報をより現実感の高い状態で提示する必要がある。この環境では、医師側と患者側で、患者の体表面情報を共有する。現実感の高い情報を遠隔地間で共有するためには、高性能の計算機を必要とする。

また、専門医が超音波プローブ操作の教示と超音波画像診断を行うためには、教示情報と同時に超音波動画を伝送する必要がある。一般に医用画像データを伝送する際には、高画質と高フレームレートを要求されるために、広帯域のネットワーク回線が必要となる。したがって、教示情報が増大することは、超音波動画の伝送量低下の要因となり、結果的に医療サービスの低下に繋がることとなる。

そのため、提案システムでは、教示に必要な情報を分析することで、できるだけ回線容量を使わず、高い処理能力の計算機も必要としないシステムを実現する。

3.2. 教示手順

提案システムでの教示手順を図 3.4 に示す。

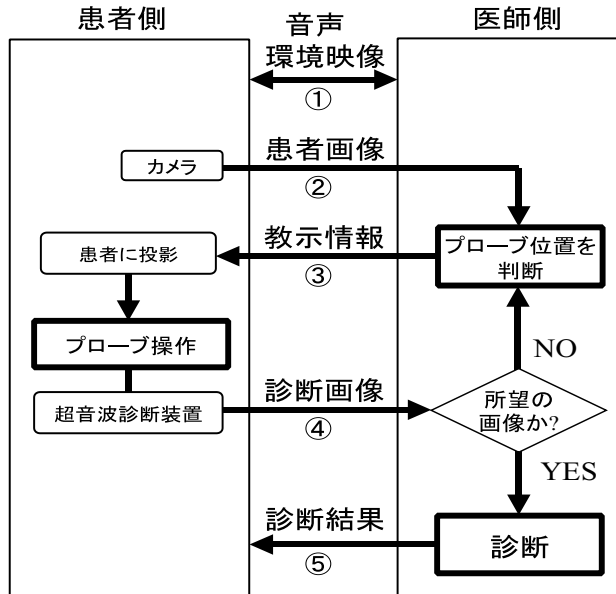


図 3.4 教示手順

教示は、次の手順で行われる。

1. 音声回線を確立し、患者の周辺映像を伝送することで、患者の状態などの情報をやり取りする。
2. 患者側より、患者の患部付近の映像を伝送する。
3. 専門医は、伝送された患者の映像を元に、プローブを当てる位置を計測者に指示する。
4. 患者側で撮影された超音波画像を医師側に伝送する。専門医は、伝送された超音波画像を見て、所望の画像が得られているか判断する。所望の画像と違っているようであれば、再度教示を行う。
5. 所望の超音波画像を得ることができれば、専門医は超音波画像をもとに患者の診断を行う。

3.3. 情報の伝送

この教示手順を実現するため、提案システムは図 3.5に示すような各要素で構成される。

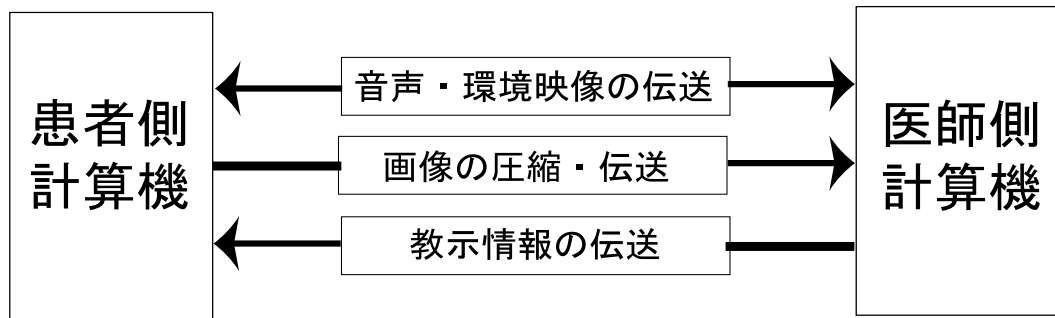


図 3.5 システムの構成要素

以下では、この各部について詳述する。

3.3.1 音声と環境映像の伝送

電話回線を通じて音声伝送を行うためのソフトウェアは既に開発されており、その性能は充分実用的なものである。本研究では、新たに音声伝送の開発は行わず、Microsoft 社の NetMeeting[45] を使用して、双方向の音声伝送を行うことにした。

また、環境映像を撮影・伝送することで、相手側の状況を把握しやすいように支援する。

3.3.2 画像の圧縮・伝送

患者側から医師側へ患部画像と超音波動画像を伝送する手法について述べる。患者側で撮影した患部画像と、超音波動画像は、計算機に取り込み、圧縮処理を施した後に医師側へ伝送する。

現在，計算機で動画を扱う場合の圧縮手法としては，MPEG方式が多く用いられている．しかし，MPEGでは，複数フレームの情報を元に圧縮を行っているため [46]，伝送時にパケット落ちが発生して画像データが損なわれると，その影響が数フレームに及んでしまう恐れがある．

本システムでは，画像を1枚ずつ圧縮し，伝送することで，パケット落ちが発生した際の影響を1フレーム内にとどめることにした．画像の圧縮にはJPEG方式を導入し，圧縮処理の実装には，Independent JPEG Group(IJG)が開発・配布している，libjpegライブラリを用いた [47]．

また，画像の伝送には，TCP(Transmission Control Protocol)よりも実時間性の高い，UDP(User Datagram Protocol)を選択した [48]．信頼性の高い伝送を実現するためには，TCPを用いることが望ましいが，順序制御や再送制御を行っているため，ネットワーク遅延が大きい環境などでは，高速な伝送回線を利用しているにもかかわらず，実質上は高速な伝送速度を得ることができない場合がある．一方，UDPは信頼性の面ではTCPに劣るが，制御のための情報交換が不要なため，高速に動作可能である．本システムでは，実時間での円滑な情報交換を実現するため，実時間性の高いUDPを選択した．

3.3.3 教示情報の伝送

プローブ操作に必要な情報を分類し，パラメータのみを伝送することで，狭帯域回線でも的確な情報を実時間で伝送できるようにする．

超音波検査を行うとき，患部から必要な情報を得るために，プローブを操作して適当な断層像を獲得する必要がある．また，同じ患部でも様々な位置・方向からプローブをあて，断層像を得る．

例えば，心臓の断層像を得るためには，体表上から超音波を送波し目的とする心臓構造物からの十分な超音波の反射が得られなければならない．このための超音波入射部位は音響窓と呼ばれ，胸壁上を中心にいくつか存在し，それぞれ名称が付けられている (図 3.6) [49, 50]．

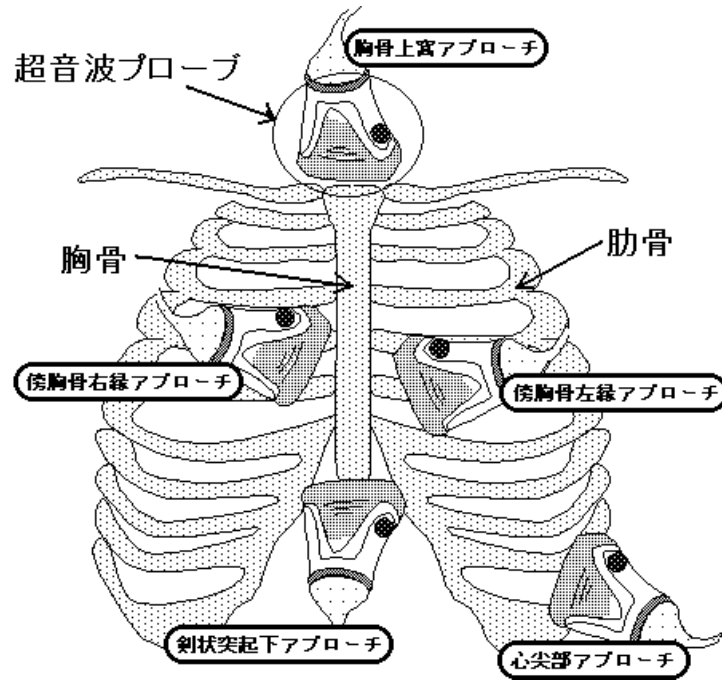


図 3.6 代表的な胸壁上の音響窓

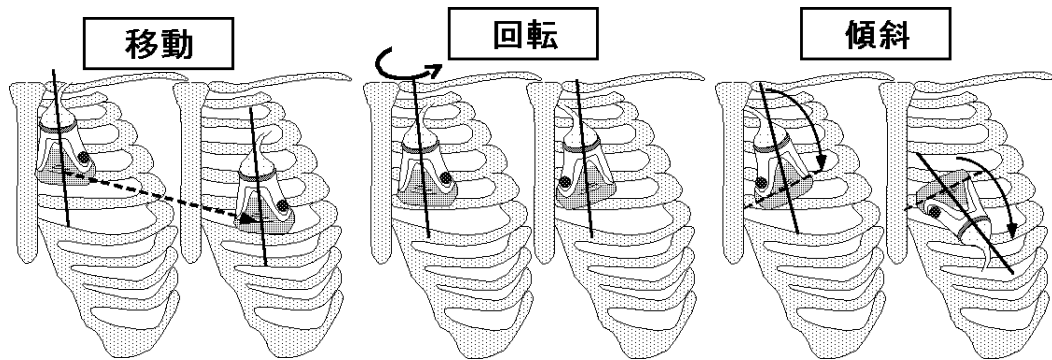


図 3.7 超音波プローブの基本操作

また、適切な超音波画像の基本断面を描出し、さらに目的とする断面の検索をすすめるための超音波入射方向の移動を探触子操作といい、移動・回転・傾斜があり(図 3.7) [49]、それぞれの操作には表 3.1に示すような意味がある。

表 3.1 プローブ操作の分類

移動	計測対象の捕捉
回転	断層面の変更
傾斜	断層面の調整

従って、プローブ操作を遠隔地から教示するためには、現在のプローブの位置・角度に加え、プローブの動き(移動・回転・傾斜)を適切に伝える必要があるが、このような空間的な情報を音声だけで指示するのは困難である [51]。

また、計測者に対して、専門医からの教示情報を、直感的にわかりやすく提示するためには、教示情報は計測者の目の前に提示し、さらにはプローブ操作の対象である患者の体と関連付け易く提示することが望ましい。

提案システムでは、教示情報をCGで表現し、液晶プロジェクタを介して患者体表面上に直接投影する方式を導入した(図 3.8)。

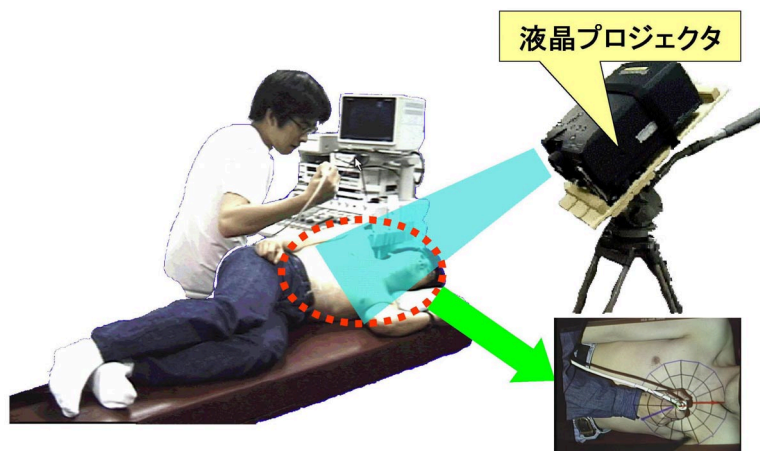


図 3.8 計測者への情報提示

3.4. まとめ

本章では、本研究で提案する体表投影型強調現実感装置を用いた遠隔教示システムについて説明した。

提案システムでは、遠隔地に存在する患者・計測者と医師が、AR 技術を用いて互いの情報を共有する「共有 AR 空間」を構築し、仮想的に対面しているかのような超音波画像診断環境を実現する。

医師側では、専門医が仮想的に眼前へ提示された患者画像を元に、プローブ操作の教示を行う。このとき、専門医が操作するインターフェースは、通常の超音波検査と同様のインターフェースであることが望ましい。

また、患者側では、液晶プロジェクタを介して専門医の教示情報を患者の体表に投影することで、計測者が直感的に教示情報を受け取れるインターフェースを構築する。このとき、患者の体表面に投影される教示情報は、計測者が一目で内容を理解できるものである必要がある。

第4章

CGプローブと6Dディジタイザを用いた遠隔教示システム

本章では、専門医と計測者が、特別な学習をしなくても操作を行えるように、実際の超音波検査と同様のインターフェースを備えたシステムについて説明する。

4.1. システムの概要

患者側では、教示情報を直感的に計測者に提示する手法として、3次元プローブ像をCGで表現する“CGプローブ”を用いた教示情報の出力インターフェースを実装した。また、医師側では、仮想的にプローブを持った状態で操作可能な“6Dディジタイザ”を用いた入力インターフェースを構築した(図4.1)。

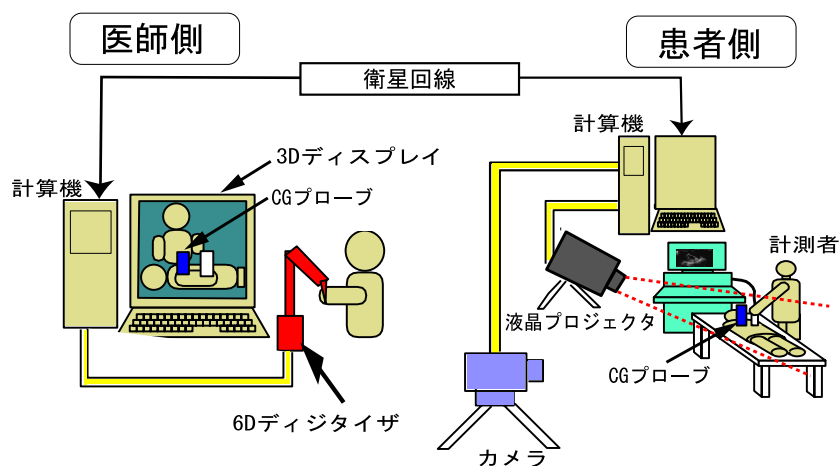


図 4.1 CGプローブと6Dディジタイザを用いたシステムの概要

4.2. CG プローブを用いた教示情報提示

プローブの位置・角度情報を共有するためにCG プローブを用いた情報提示を行う。円滑な超音波検査の支援を行うために、CG プローブは次のような特徴を持っていることが必要である。

- 位置・角度情報が正確に伝わること
- 超音波画像の断層面が明確にわかること
- 移動・傾斜・回転などの追加プローブ操作が正確に伝わること

これらの条件を満たすためにCG プローブは図4.2のような形状にした。

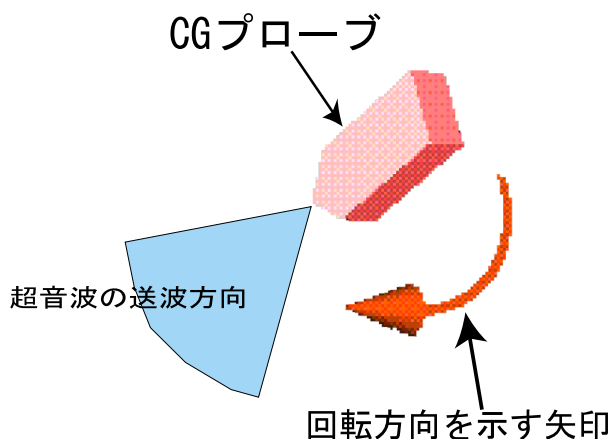


図 4.2 教示用 CG プローブ

CG プローブは、実物の超音波プローブと同じ形状であり、超音波送波方向は五角形の矢印形で示している。また、プローブの超音波の送波面は薄くしてあり、プローブの姿勢が明確に判断できる。このCG プローブは、6軸の自由度を持ち、移動・傾斜・回転の追加プローブ操作を表現できる。特に動きのわかりにくい回転については、時計方向・反時計方向が計測者に正確に伝わるように、矢印のCGを用いて提示する。これらのCG プローブの提示に関する表4.1の情報は、医師側・患者側双方で共有する。

表 4.1 共有する CG パラメータ

CG プローブの位置・角度 ($x, y, z, \theta, \psi, \phi$)
矢印の表示 / 非表示
矢印の向き (時計方向 / 反時計方向)

計測者は、CG プローブの位置・姿勢どおりに超音波プローブを患者に当てることで、専門医の指示どおりにプローブ操作を行うことが出来る。

4.3. 6D デジタイザによる教示

プローブ操作の教示は、CG プローブを用いて行う。CG のパラメータ入力には、様々な方法が考えられる (表 4.2)。

表 4.2 様々な入力デバイスの特徴

入力デバイス	特徴
マウス	軽量・取り扱いが容易 3次元空間での入力には不向き
磁気式センサ	軽量・3次元空間での入力が容易 ノイズの影響を受けやすく、固定しにくい
6D デジタイザ	3次元空間での入力が容易・精度が高い 拘束感がある

CG プローブの操作には、位置・角度の情報が精度良く正確に伝わる必要があり、また計測中は、超音波プローブをあてる位置に固定した状態でCGを表示する必要がある。本システムでは、医師側の入力装置として、図 4.3のような6軸の自由度を持つデジタイザ (FARO Technologies 社製, FARO Arm) を導入した (図 4.4)。



図 4.3 6D デジタイザ

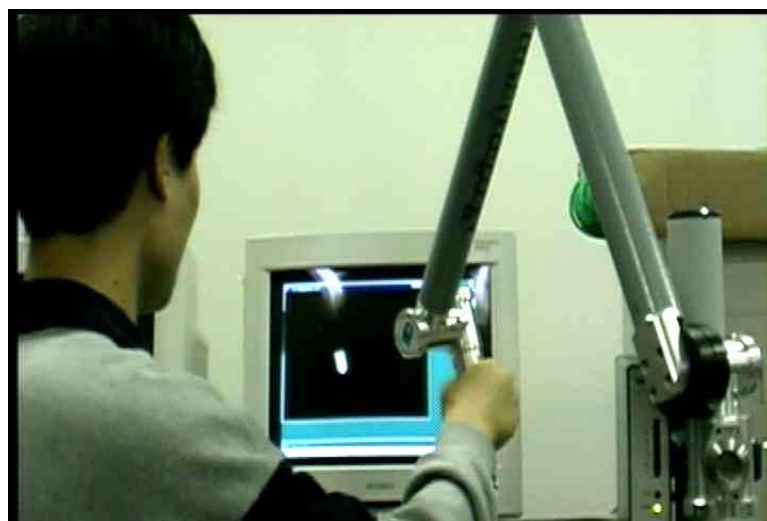


図 4.4 デジタイザを用いた CG プローブの操作

専門医はデジタイザの先端を操作し、CG プローブを希望の位置・角度まで移動させる。同時に、デジタイザの先端の3次元の位置 (x, y, z) およびオイラー角 (θ, ψ, ϕ) を計算機に取り込む。これらの6パラメータを取得する速度は7.7回/秒である。このデジタイザの先端には2つのボタンがついており(ボタン1, ボタン2)、パラメータを入力するとき用いる。ただし、スライド (x, y, z) ・傾斜 (θ, ψ) の場合は、ボタン1を押しているときのみ、回転 (ϕ) はボタン2を押しているときのみ値が取得される。

デジタイザ先端の位置姿勢を表すベクトル p を、

$$p = [x, y, z, \theta, \psi, \phi]^T \quad (4.1)$$

として、CG プローブの位置姿勢を表すベクトル q を、

$$q = [x_c, y_c, z_c, \theta_c, \psi_c, \phi_c]^T \quad (4.2)$$

とすると、CG プローブの位置姿勢ベクトル q は(4.4)式のように取得された p を、前回取得されたパラメータと比較し、差をとることにより相対座標での位置・姿勢が決定する。

$$q_0 = p_0 \quad (4.3)$$

$$q_n = \begin{cases} q_{n-1} + (p_n - p_{n-1}) & (\text{ボタンが押されているとき}) \\ q_{n-1} & (\text{ボタンが押されていないとき}) \end{cases} \quad (4.4)$$

ただし、 p_0, q_0 は初期値。 p_n, q_n はそれぞれ n 回目にデータを取得したときの値を表す。

教示情報提示 教示は患者側から伝送された患者側患部画像にCG プローブを重ねた画像(図4.5)を見ながら行なわれる。医師側では、3次元のCG プローブをディスプレイに表示するため、2.5次元空間でプローブ操作教示情報の提示を行う(図4.6)。さらにステレオカメラで計測風景画像を取得しておけば、3Dディスプレイを用いて立体提示することもできる。

また、動画像受信と画像描画は別プロセスにしておく。このことによりCG プローブの描画を高速化が可能となり、デジタイザの動きに遅延なく追従する。したがって、専門医は違和感なくCG プローブを操作することができる。

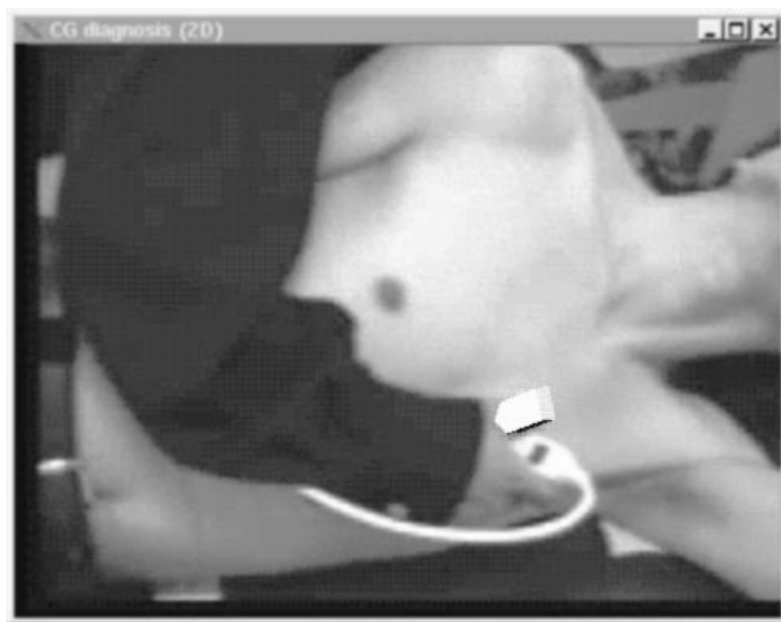


図 4.5 医師側の教示画面



図 4.6 医師側の教示の様子

4.4. 評価実験

本システムを用いて超音波プローブ操作の教示を行うことが、遠隔超音波画像診断においてどれだけ有効であるかを検証する評価実験を行った。

実験では、専門医が本システムを用いてCGプローブで指示を行ってから、どれだけの時間で目的の超音波画像が得られるかを計測する。また、専門医に使用感を確認してもらい、プローブ操作支援を行うためにはどのようなインターフェースが適切であるかを確認する。

4.4.1 実験システム構成

評価実験は、札幌(医師側) 奈良(患者側)を図4.7のように衛星回線(1.5Mbps)で結んだ環境で実施した。医師側・患者側で用いた計算機及び機器は表4.3の通りである。

また、このとき診断動画像伝送には、超音波診断画像の扇形の部分を抽出しDCT(離散コサイン変換)・量子化を行なって圧縮・伝送を行う手法を用いた。超音波診断画像伝送に用いた帯域は1.2Mbpsである。

衛星回線を利用した通信

本システムでは、通信衛星(JCSAT-1)を用いて、医師側と患者側の間で通信を行なった。衛星回線は衛星に電波が届く範囲であればどんなに離れた距離でも通信可能である上、高い周波数帯を用いることにより広帯域の情報伝送が可能である。離島・地上回線の通っていない地域でも利用することができ、地震などの災害時に切断された地上回線の代わりに用いることもできる。このため、地理的状况・災害などに左右されることなく、遠隔医療を行うことができる。

また1.5Mbpsと大きな帯域を持つため、動画像の伝送にも十分耐えうる事ができる。また診断画像だけでなく、他のデータも同時に伝送することも可能である。

衛星回線システムは、医師側・患者側双方に配置したパラボラアンテナ、インドユニット(IDU)、衛星通信用計算機で構成される。送信データは送信元の計

表 4.3 本システムに用いた計算機及び機器

計算機の仕様	医師側	患者側
CPU	Pentium Pro 200MHz	Pentium Pro 200MHz
メモリ	64MByte	64MByte
ビデオカード	Matrox MilleniumII×2 (VRAM 12MB)	Matrox MilleniumII (VRAM 4MB)
ビデオキャプチャボード	–	Argocraft AC/VC (Max 30frame/sec)
OS	Linux2.0.30	Linux2.0.30
X-server	Accerelated-X(Multi-head)	Accerelated-X
ディジタイザ	FARO Technologies 社 FARO Arm	–
カメラ	–	Sony CCD-G100ST
プロジェクタ	–	Panasonic TH-P5000

算機からイーサネットを通過して衛星通信用計算機に伝送され、IDU で衛星通信に用いられる変調方式に変換される。この信号はパラボラアンテナから衛星へ送信される。受信側では、パラボラアンテナで受けた信号を IDU で復調し、衛星通信用計算機からイーサネットを経由して転送先計算機にデータを伝送する。

4.4.2 実験方法

医師側では専門医が CG プローブを操作し、超音波プローブをあてるべき位置・角度を計測者に指示を行う。患者側ではその指示に従って超音波プローブを操作する。本システムと同時に患者側で撮像された超音波診断画像を医師側に伝送し、必要な画像が計測できているか医師に判断してもらった。

医師側では、北海道大学循環器内科の専門医、または超音波診断装置の扱いに熟練した奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科の学生が教示を行った。医師側からは心臓の胸骨左縁左心室長軸 (図 4.8)、もしくは心尖部四腔断面 (図 4.9) のどちらかの超音波診断画像を計測するような位置・角度を CG プローブを用いて指示してもらった。

計測者は、超音波診断装置を扱ったことがない情報科学研究科の学生が行った。

教示時間は医師側から CG プローブで指示を与えてから、目的の超音波診断画像が得られるまでの時間を計測した。

実験では、以下の場合に分け各 5 回ずつ 5 人の計測者で試行し、その際の教示時間を計測し、比較を行なった。

1. 計測側患者患部画像と音声のみで指示した場合
2. 本システムと音声を用いて指示した場合
 - (a) 入力デバイスにマウスを用いた場合
 - (b) 入力デバイスにデジタイザを用いた場合

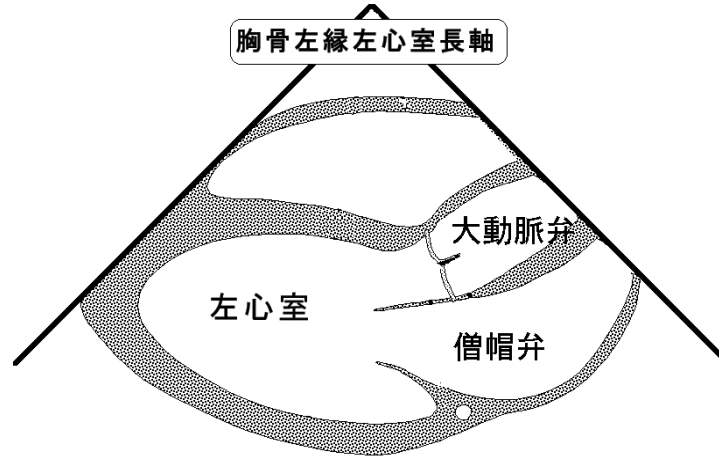


図 4.8 評価実験に用いた超音波診断画像 (胸骨左縁左心室長軸像)

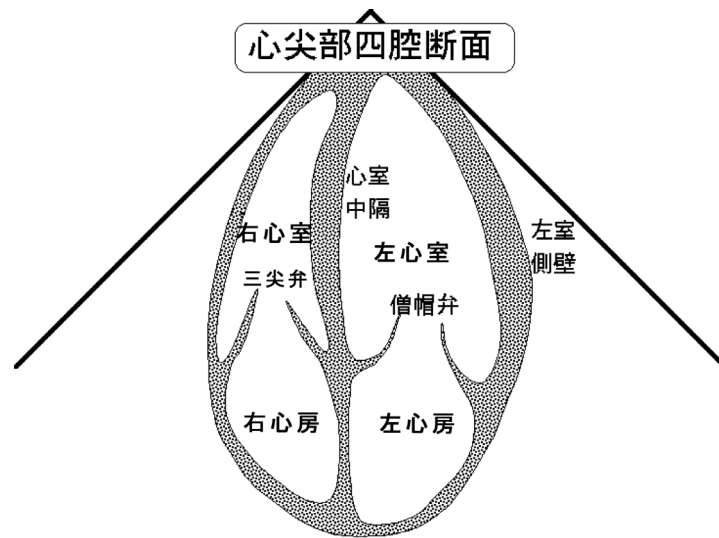


図 4.9 評価実験に用いた超音波診断画像 (心尖部四腔断面像)

4.4.3 結果及び考察

超音波プローブ操作教示システムを用いて，診断画像が得られるまでの時間を図 4.10，平均教示時間を表 4.4に示す．

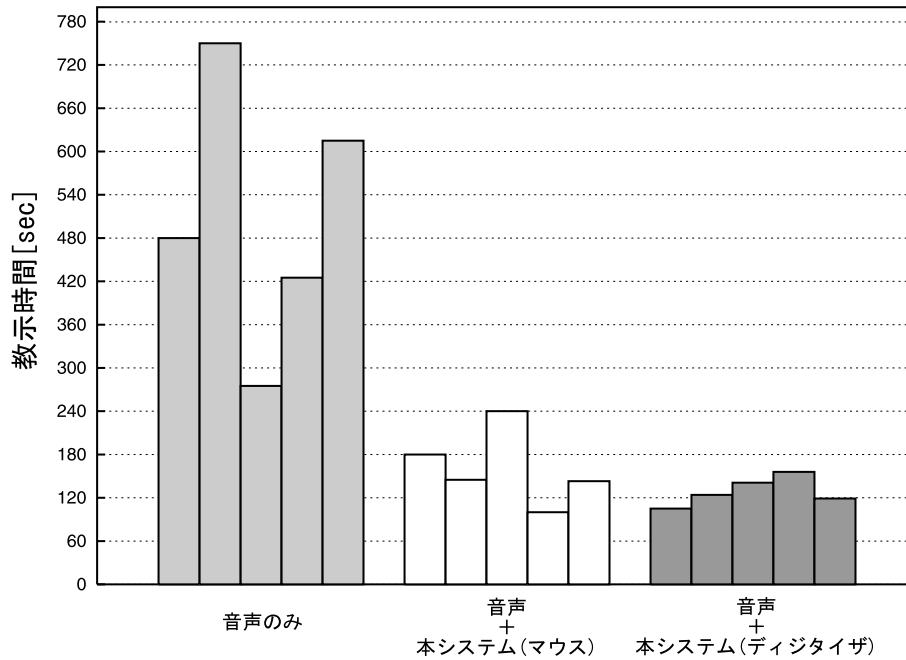


図 4.10 教示時間の比較

表 4.4 平均教示時間

	平均教示時間 [sec]
音声のみ	509
音声 + 本システム (マウス)	162
音声 + 本システム (6D デジタイザ)	129

4.5. まとめ

本章では，“6D デジタイザ”を用いた医師側の入力インタフェースと，“CGプローブ”を患者体表に投影する患者側インタフェースを用いることで，通常の超音波検査と同様の操作でプローブ操作の教示を行えるシステムについて説明した．

医師の協力の下，プローブ操作の遠隔教示実験を行った．その結果，音声のみを用いた場合より，本システムと音声で教示を行なった場合の方が明らかにプローブ操作教示の時間が短縮された．これは音声のみで超音波プローブの位置・角度を伝えることが非常に困難であり，本システムのように，視覚的な情報提示が効果的であることを示している．

しかし，デジタイザは機械リンク式の3次元位置入力デバイスであり，精度が高いという利点があるものの，操作者に対して大きな拘束感を与えるという問題点が明らかになった．この問題は，機械リンクを使わない，他の方式の入力インタフェースを用いることで解決できると考えられる．

一方，CGプローブをプロジェクタで投影する手法の問題点も見受けられた．計測者がCGプローブに対して超音波プローブを当てた際に，CGプローブが計測者の手と重なってしまい(図4.11)，専門医からの次の指示を受け取ることができない場面があった．CGプローブを計測者の手から離れた場所に提示することで対応することもできるが，患者の体表面との対応付けが困難になる．この問題を解決するためには，CGプローブとは別の形で教示情報を提示する必要がある．



図 4.11 計測者の手による CG プローブの隠蔽

第5章

Web-Mark と液晶ペンタブレットを用いた遠隔教示システム

本章では、第4章で説明したシステムの問題点を考慮し、より円滑にプローブ操作の遠隔教示を実現可能なシステムについて説明する。

5.1. システムの概要

患者側では、CG プローブの問題点を解消し、教示情報をより明確に提示するために、プローブ操作に必要な情報を図式化した“Web-Mark”による教示情報の提示手法を導入した。また、医師側のインターフェースとして、拘束感の無い“液晶ペンタブレット”を用いた入力手法を導入した(図5.1)。

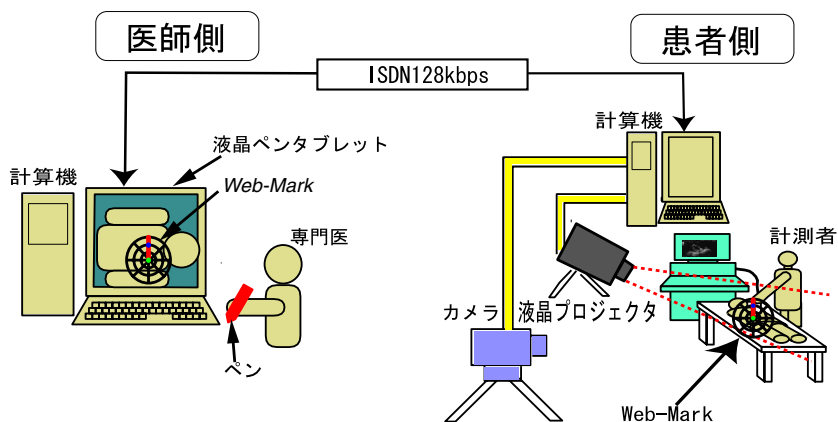


図 5.1 Web-Mark と液晶ペンタブレットを用いたシステムの概要

5.2. Web-Mark による教示情報の提示

第3章で述べたとおり，プローブ操作は3種類に分類される．これらのパラメータを，個別に明確に表現するため，図5.2のようなWeb-Markを導入した．

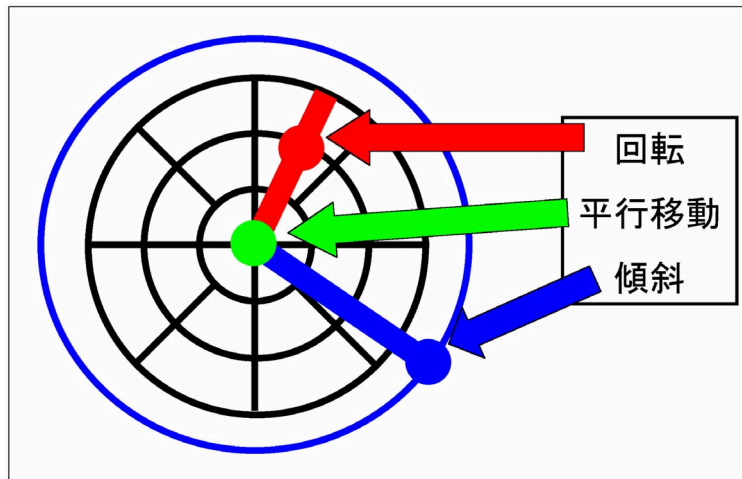


図 5.2 Web-Mark

Web-Mark は図 5.2の矢印で示すような3つの操作点を持ち，各々を操作することでパラメータの変更を行うことができる．また，傾斜については，ペンの傾きを直接 Web-Mark に反映させることも可能である．

この Web-Mark は，患者側に伝送され，液晶プロジェクタを介して患者の体表面に投影される．また，第4章で述べたCGプローブを投影した際には，計測者の手とCGプローブが重なることで，次の指示が把握できなくなるという問題があったが [42, 52-54]，Web-Mark は放射状の線分で構成されており，計測者の手よりも十分に大きく投影されるため，周囲の線分から中心位置を把握することが可能である (図 5.3) ．

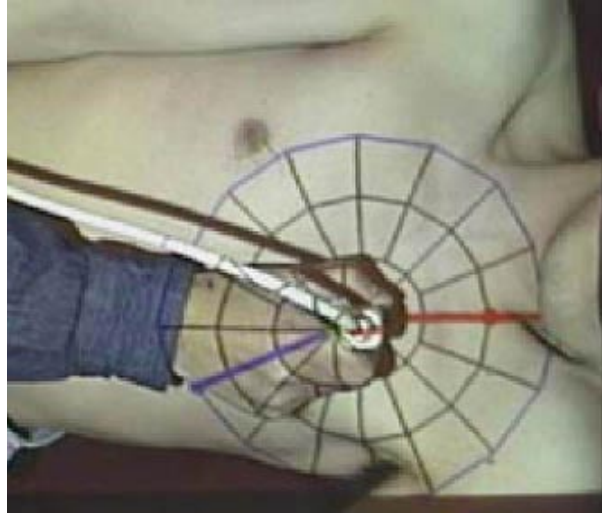


図 5.3 患者の体表面に投影された Web-Mark

計測者は、患者体表面に投影された Web-Mark の中心に直接超音波プローブを当てることで、超音波動画像を取得できる。

Web-Mark は、次のように各パラメータを表現する。

1. 並行移動

中心位置が移動することで、プローブの先端位置を指示する。

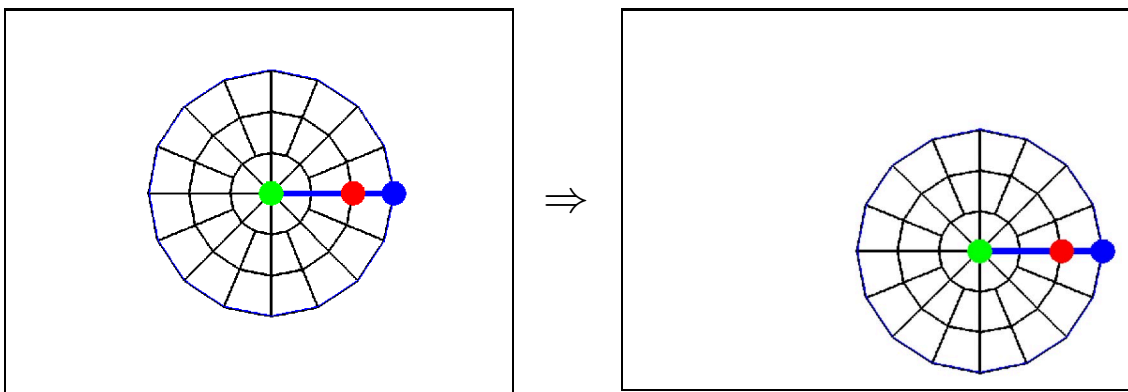


図 5.4 中心の移動

2. 回転

赤いラインが回転することで，プローブの向きを指示する．

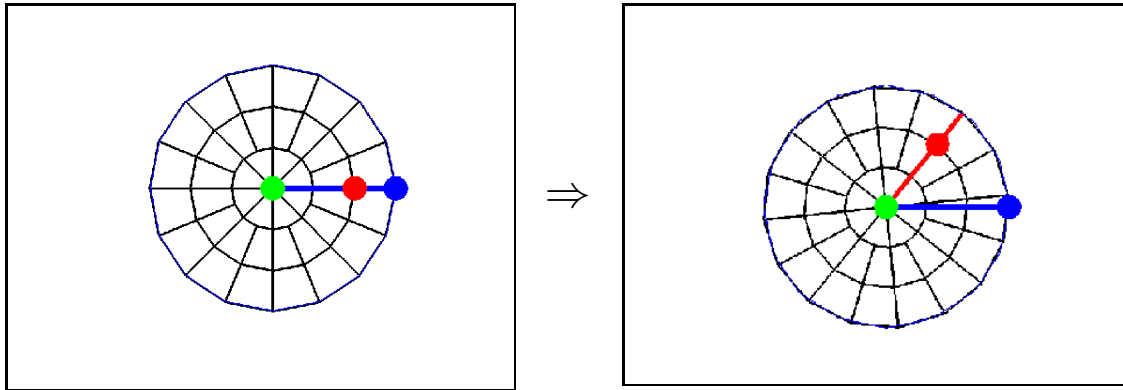


図 5.5 回転角の変更

3. 傾斜

青いラインが回転することで，プローブを倒す方向を指示．

青い円の直径が変化することで，傾斜角を指示する．

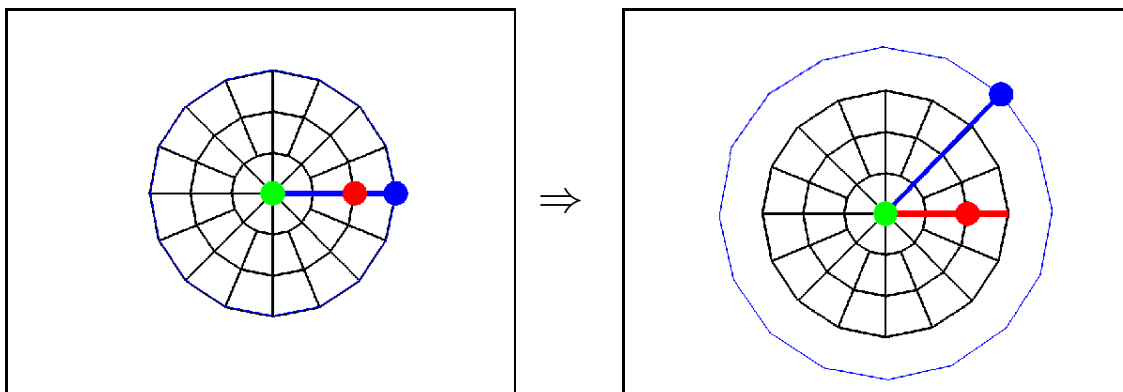


図 5.6 傾斜角の変更

Web-Mark が表現する教示情報は、表 5.1 に示すように 6 種類の数値データとして伝送される。

表 5.1 Web-Mark の情報量

教示情報	サイズ [Byte]
中心座標 (x,y)	8
マークの直径	4
回転角	4
傾斜方向	4
傾斜角度	4
合計	24

データの総量は 24 バイトであるため、画像データや音声データの伝送に与える影響は少ない。

また、Web-Mark を患者の脇腹付近に投影した際に、Web-Mark の一部が欠けてしまい、傾斜の教示情報がわかりにくくなることがわかった。患者側では、計測者が教示情報の変化を認識しやすくするために、患者に投影される Web-Mark に対して情報の付加を行った (図 5.7, 図 5.8, 図 5.9)。特に、傾斜の教示情報については、反対側に傾斜方向を示すマークを追加することで、教示情報の補助を行うようにした (図 5.9)。この補助情報により、わき腹の部分でマークが欠け、傾斜情報の欠落が起こっても、傾斜の教示情報を表現することが可能となっている (図 5.10)。

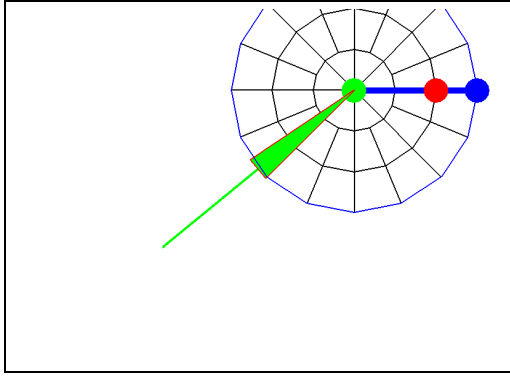


図 5.7 中心の移動

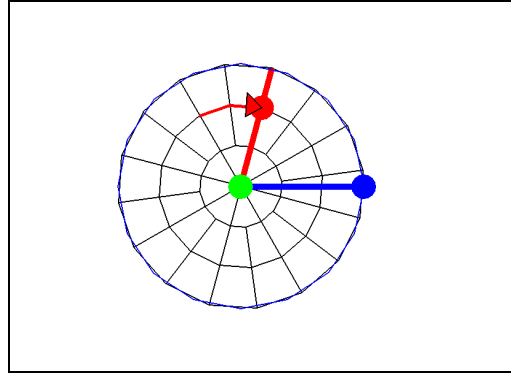


図 5.8 回転角の変更

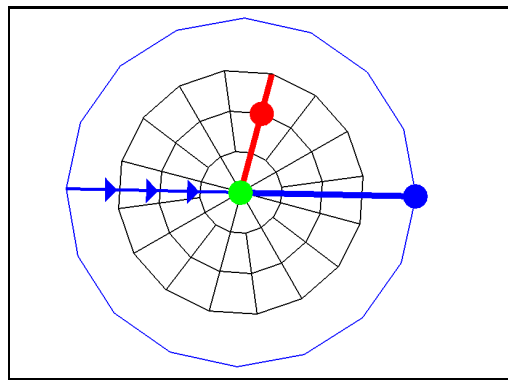
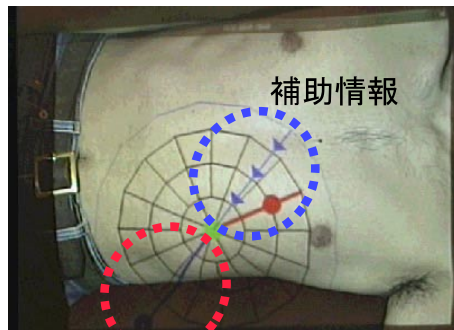


図 5.9 傾斜角の変更



情報の欠落

図 5.10 わき腹での傾斜情報の欠落

患者側に設置する液晶プロジェクタには、専門医の目の代わりとなるアクティブカメラが取り付けられてあり (図 5.11)、患者の患部画像を撮影する。



図 5.11 液晶プロジェクタとアクティブカメラ

アクティブカメラは、パン・チルト、ズーム操作を、リモコン、または計算機を接続することにより行うことができるカメラである [55]。専門医は、送られてきた患部画像を元に、適切な教示情報を計測者に伝送する。計測者は、患者体表面に投影された情報に対して直接超音波プローブを当てることで、超音波動画像を取得できる。

このシステムでは、専門医と計測者は、プロジェクタの投影面とアクティブカメラが撮影した画像を介して、患者の体表面情報と、教示情報を共有していると言える。

より正確に情報共有を行うためには、超音波プローブを当てる患部に応じて、患者側で液晶プロジェクタの設置場所を変更し、カメラの位置合わせを行う必要がある。

位置合わせは以下の手順で行う。

1. 投影範囲内に患者の患部が入るように液晶プロジェクタを設置し、焦点を合わせる。
2. リモコンでアクティブカメラの撮影方向を調整する (図 5.12→ 図 5.13)。

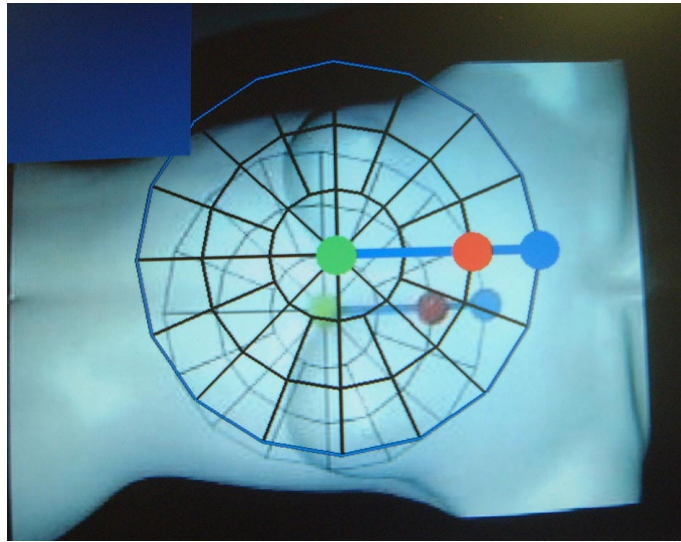


図 5.12 カメラとプロジェクタの位置合わせ前

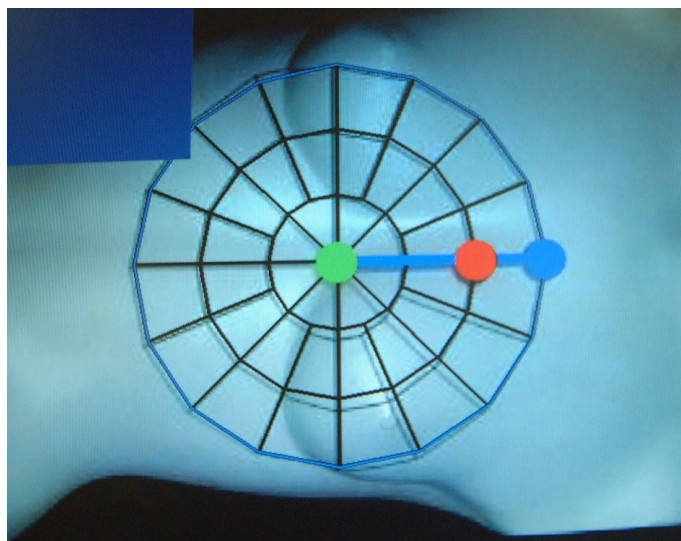


図 5.13 カメラとプロジェクタの位置合わせ後

5.3. 液晶ペンタブレットによる教示

専門医が仮想的に窓から患者を見下ろし、指を差す感覚で指示を行える環境を実現する手法として、液晶ペンタブレット [56] を用いたインタフェースを構築する。専門医は、液晶ペンタブレットを介して、仮想的に患者に触れながら、教示を行うことができる。

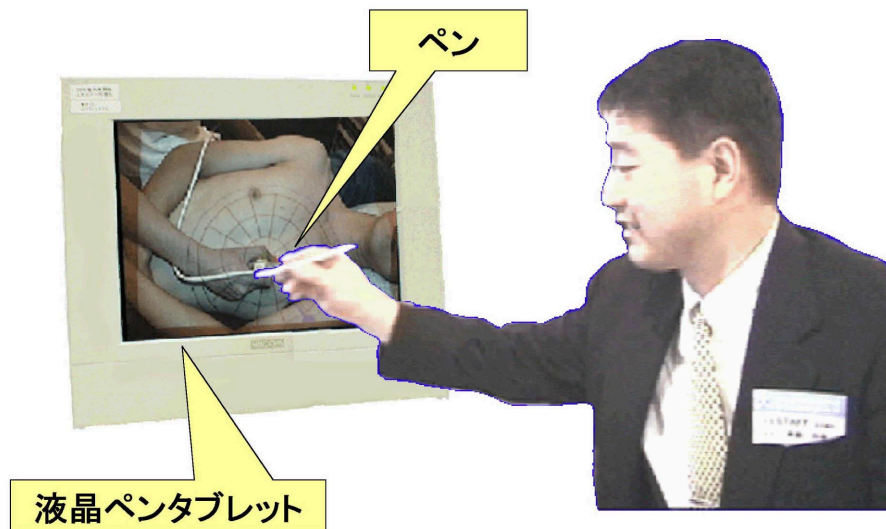


図 5.14 医師側システム概観

液晶ディスプレイには、患者側から伝送された患者の患部付近の映像と Web-Mark が提示され、専門医はペンを用いて映像に直接触れることで Web-Mark を操作し、計測者に指示を与える。これにより、専門医は、仮想的に患者に触れた感覚を受けることができるため、直感的な教示を行うことができる。

また、液晶ペンタブレット用のペンに磁気センサ (Fastrak; Polhemus 社製) を取り付け (図 5.15)、ペンの姿勢を直接 Web-Mark の「傾斜」パラメータに反映させるようにした。プローブを操作している感覚で教示をすることができる。

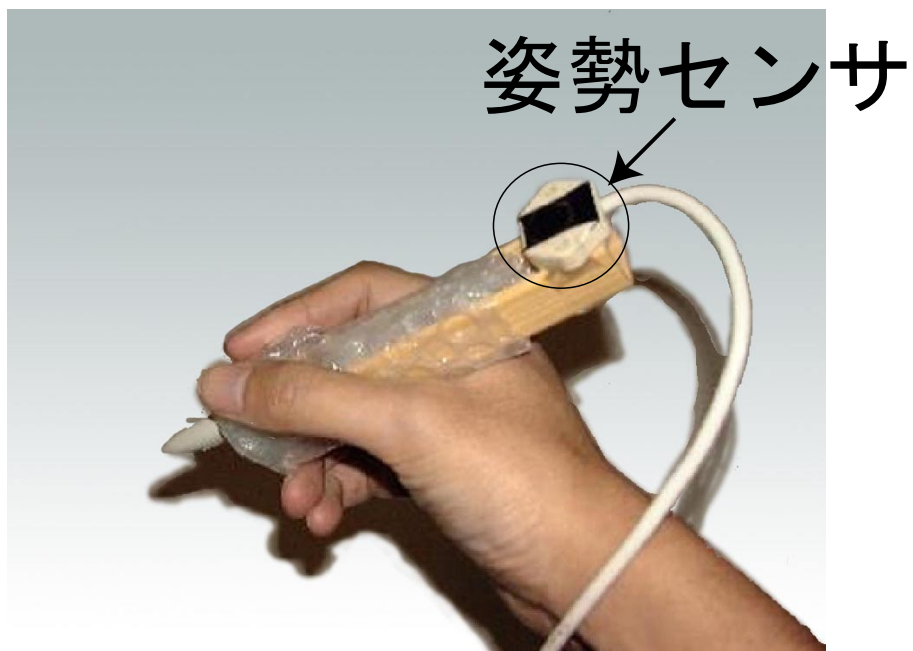


図 5.15 姿勢センサ付きペン

5.4. 評価実験

提案システムの有効性を確認するために、評価実験を行った。実験は、奈良先端科学技術大学院大学の実験室内で行ったものと、奈良先端科学技術大学院大学と外部機関を結んで行ったものの2種類に分けて行った。

5.4.1 患者側インタフェース評価実験

まず、Web-Mark による教示情報の提示手法に関する有効性を確かめる予備実験を行った [57]。

(1) 実験の概要

この実験では、奈良先端科学技術大学院大学実験室内に患者側システムと医師側システムを構築し、計測者役を像情報処理学講座の学生2名、専門医役を筆者が担当し、医師側から教示をして、所望の超音波動画像が得られるまでの時間を計測した。

この実験では、はじめに心臓の胸骨左縁左心室長軸像 [49] (図 5.16) を取得し、次に左心室短軸僧帽弁 [49](図 5.17) の取得できるまでの時間を計測した。

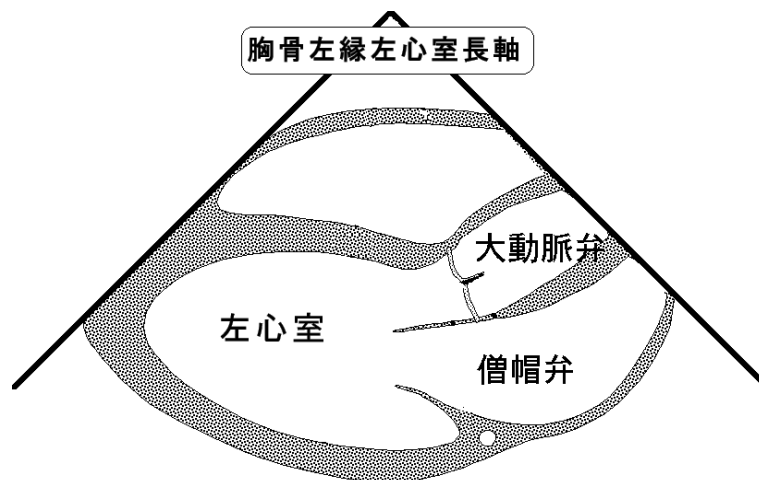


図 5.16 評価実験に用いた超音波診断画像 (胸骨左縁左心室長軸像)

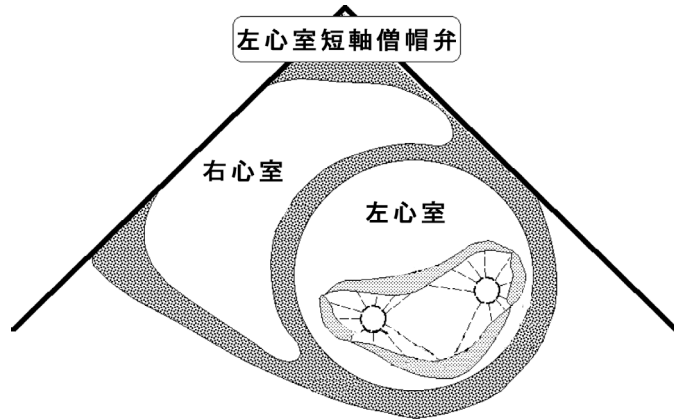


図 5.17 評価実験に用いた超音波診断画像 (左心室短軸僧帽弁像)

この実験で用いたシステムは，以下の通りである．

- 医師側システム
マウスによるインタフェース．
- 患者側システム
プロジェクタによる Web-Mark の投影．患者画像は無圧縮で伝送．超音波動画像の伝送は行わない．

(2) 結果と考察

実験結果および，音声のみで教示した場合 [53] との比較を図 5.18 に示す．

本実験の様子を図 5.19 と図 5.20 に示す．計測者が最初の「胸骨左縁左心室長軸像」の取得までにかかる時間は，20 秒以内であり，教示を行ってから，Web-Mark にプローブを当てた時点で，すぐに超音波断層像を取得することが可能であった．音声のみの教示と比べた場合の教示時間の差を生んだ大きな要因は，位置情報を明確に伝えることが出来た点であったと考えられる．

この結果より，Web-Mark による教示情報提示が，プローブ操作の遠隔指導に有効であることを確認することができた．

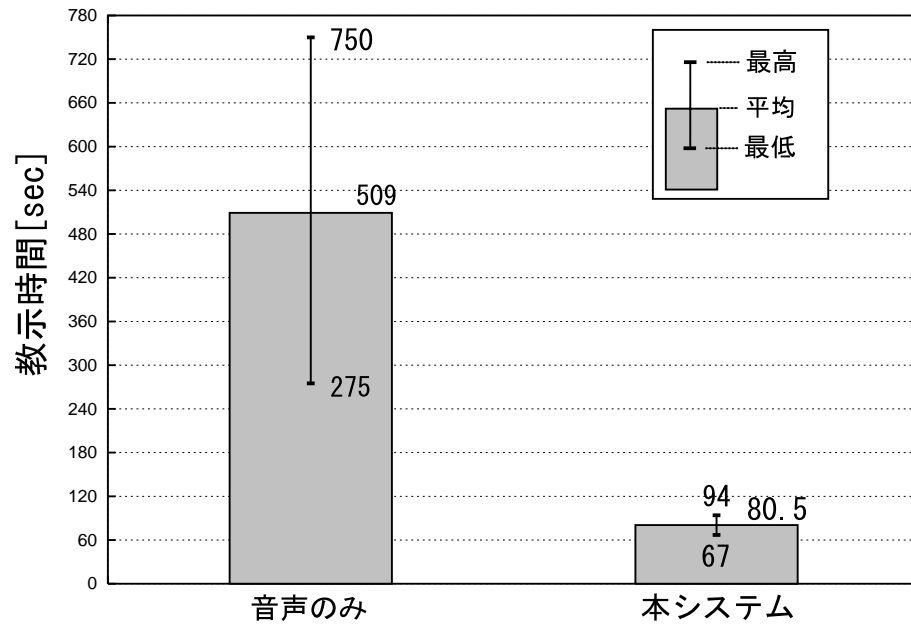


図 5.18 教示時間の比較

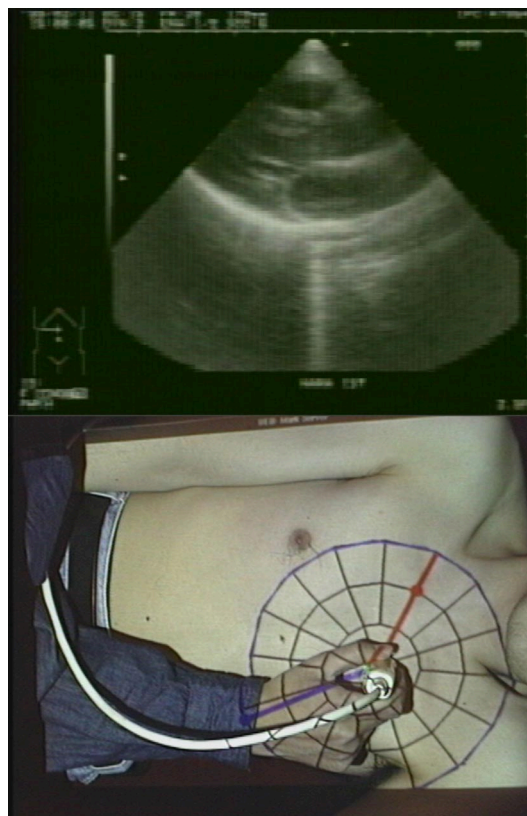
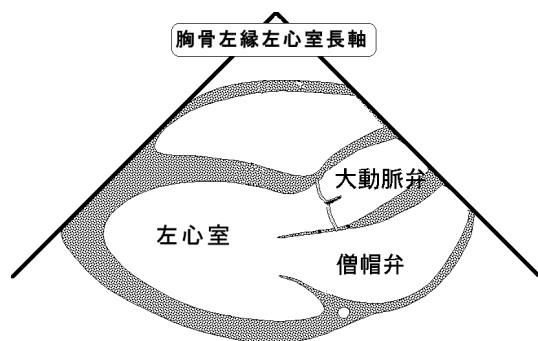


図 5.19 取得した胸骨左縁左心室長軸像

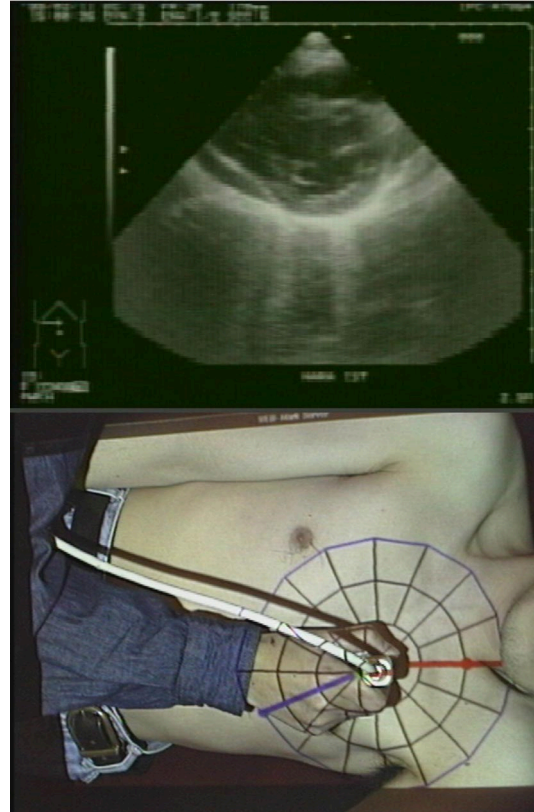
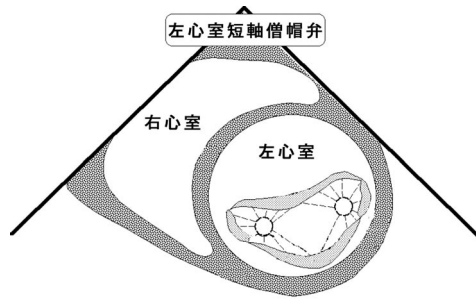


図 5.20 取得した左心室短軸僧帽弁像

5.4.2 医師側インタフェース評価実験

本実験は、平成11年6月23日から25日まで北海道で開催された「日本超音波医学会」において、北海道と奈良を結んで行った [58,59]。

(1) 実験の概要

専門医役は北海道大学の医師，計測者役は本学の学生1名で行い，超音波動画像の取得を行い，医師側インタフェースの使いやすさと，患者側への教示情報の伝わりやすさを評価した．本実験で取得する画像は，胸部(図5.21)と，脇腹(図5.22)からの心臓の超音波動画像で，脇腹の教示を行う際の Web-Mark の歪みによる影響も評価した．

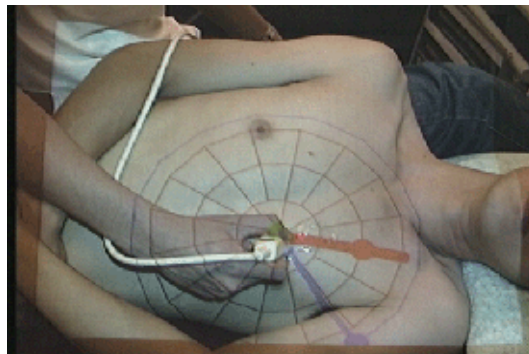


図 5.21 胸部からの画像取得



図 5.22 脇腹からの画像取得

教示中の画面を図 5.23，図 5.24に示す．



図 5.23 医師側風景

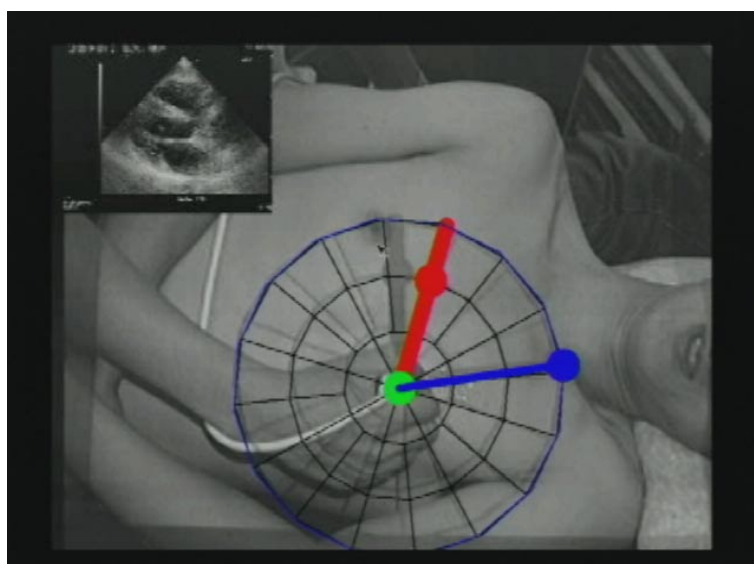


図 5.24 実験中の医師側システム画面

(2) 結果と考察

専門医が指示を出してから、どの程度指示のやり直しを行ったかで、意思の伝わりやすさを評価した(付録 A 参照)。

- 位置
胸部・わき腹共に正確に伝わっており、指示のやり直しは見られなかった。
- 回転
わき腹では、医師が指示を繰り返す場面も見られたが、画像の取得が可能であった。
- 傾斜
わき腹では、医師が指示を数回繰り返すことで、画像の取得を行うことができた。

本システムを用いることで、通常は専門知識と経験が必要な心臓の超音波画像の取得を、検査経験の無い学生でも専門医の指示の下で容易に行うことができた。

胸部に対しての指示は問題なく行えたと考えるが、脇腹に対しての指示は伝わりにくいことが実験で明らかになった。本システムでは、患者の体表面をスクリーンに見立て、プロジェクタを用いて教示情報を技師に提示する。つまり、3次元のプローブ操作を2次元の Web-Mark に投影しているため、比較的平面に近い胸部では教示情報の歪みが少なく、わき腹などの部分では教示情報が歪んで投影されてしまう。このことが、専門医の指示が繰り返し行われた原因であったと考える。

医師側の入力インターフェースに関しては、専門医が Web-Mark を操作する際、ペン先で Web-Mark を操作するのではなく、実際にプローブを当てるように、ペンを傾けて液晶ペンタブレットに触れる場面が見られた。本システムでは、Web-Mark の各パラメータを個別に指示できるように、ペン先で操作を行う設計になっていた。しかし、専門医が無意識にペンを傾けて入力しようとしたことから考えると、ペンの姿勢による入力の方が直感的であると言える。

5.4.3 医師側インタフェースと伝送画像の評価実験

本実験は平成 11 年 11 月 25 日と 26 日の 2 日間に渡り，川崎医療短期大学において行った。

(1) 実験の概要

本実験では，前述の実験とは異なる専門医の協力のもと，医師側インタフェースの使用感の評価を行うとともに，伝送画像の画質についても評価を行った。

(2) 結果と考察

実験の様子を図 5.25 に示す。



図 5.25 医師側風景

● 教示インタフェースについての考察

Web-Mark による教示方法に関しては，時計の文字盤のように，周囲に数字を配置すると良いのではないかという提案があった。それから，計測者役の川崎医療短大の学生の意見では，マークで教示を受けている最中に，専門医から音声が届かない状態が続くと，自分の操作が正しいのか，間違っているのか，不安に感じることがあるということであった。

• 画像伝送についての考察

患者画像については、鮮明な画質は必要無いということだった。その理由としては、プローブ操作の際に重要な情報の一つである肋骨の状態は、たとえ患者が目の前にいたとしても、目視では把握できないため、画像の鮮明さは問題にならないということであった。しかしながら、教示を行う際に計測者の手元とプローブの状態を把握するためには、鮮明な画像が必要になるという意見であった。

超音波動画像については、検査装置と同じ解像度が望ましいという意見だった。しかし、「実際の診断に耐える画質」という意味ではなく、「普段見慣れているので診断しやすい」という意味合いの意見であった。

本実験では、160×120pixel の画像と 320×240pixel の画像を 800×600pixel の画面に拡大表示した場合で画質の評価を行ったが、患者画像、超音波動画像共に、160×120pixel(付録 B.2,B.5参照) では不十分で、320×240pixel(付録 B.3,B.6参照) 以上の画質は必要であるという意見であった。

また、本実験では画像伝送のフレームレートについては調査しなかったが、従来研究によると、心臓の診断を行う場合の超音波動画像のフレームレートは、最低 15fps(frame per second) は必要であるという結果が出ているため [60]、将来的には同程度の性能が必要になると考える。

5.4.4 Web-Mark に補助情報を付加した 患者側インタフェースの評価実験

本実験では、主に医師側インタフェースの使用感と、補助情報を付加した Web-Mark による教示情報の伝わりやすさを評価した。

(1) 実験の概要

専門医役は大阪大学大学院医学研究科の医師 1 名、計測者は本学の学生 2 名、患者役は本学の学生 3 名で実施した。

専門医役の医師には、実験前に 2・3 分程度、システムの概要と使用方法を伝えただけで実験を開始した。

医師側の実験風景を (図 5.26)、患者側の実験風景を (図 5.27) に示す。



図 5.26 医師側風景



図 5.27 患者側風景

(2) 結果と考察

専門医には、システムの操作方法について特別なトレーニングをしなかったが、問題無く指示が行えることが確認できた。また、専門医役の医師からは特に不具合・問題点の指摘も無かった。このことから、液晶ペンタブレットによる教示方法の有効性が確認できた。特に、これまでの実験ではわかりづらいとされてきた「傾斜」の指示に関しては、姿勢センサによる入力手法を説明したことで容易に理解してもらうことができた。

超音波画像の取得については、胸部から腹部にかけて、Web-Mark を使った教示を問題なく行うことができた。Web-Mark のゆがみが原因で困難だった脇腹の画像取得については、改良した Web-Mark を使うことで、計測者が教示情報の変化を把握しやすくなり、適切なプローブ操作を行うことができたと考える。

これらの結果より、液晶ペンタブレットを用いた拘束感の無いインタフェースと、Web-Mark と補助情報による、計測者への教示情報提示手法の有効性が示された。

5.5. まとめ

本章では、専門医に拘束感を与えない入力インタフェースとして、“液晶ペンタブレット”と“姿勢センサ付きペン”を用いた医師側インタフェースについて説明した。また、体表投影型強調現実感装置用のインタフェース画像として導入した、プローブ操作に必要な情報のみを表現する“Web-Mark”について説明した。

構築したシステムは、北海道と奈良、岡山と奈良、奈良先端大の実験室内において、医師の協力のもと評価実験を行った。その結果、液晶ペンタブレットと姿勢センサ付きペンを用いた医師側インタフェースにより、事前に特別な訓練をすることなく、プローブ操作の教示を行うことが可能であることを確認した。Web-Markによる教示情報の提示については、補助情報を付加することにより、専門医が教示したプローブ操作情報を正確に表現できることを確認できた。また、液晶プロジェクタを用いて患者体表に Web-Mark を直接投影することで、患者患部と教示情報の対応付けを容易にし、計測者が専門医の指示どおりのプローブ操作を実現できることを確認した。

以上の結果により、Web-Mark を患者体表に直接投影する出力インタフェースと、液晶ペンタブレットを用いた入力インタフェースが、超音波プローブ操作の遠隔教示作業を円滑に実施するうえで有効であることを確認することができた。

第6章

没入型提示装置を用いた環境情報提示

本章では、専門医が直感的にプローブ操作を教示するためのインタフェースと、遠隔地にいる患者の情報を提示する手法として、没入型提示装置を用いた環境情報の提示手法について述べる。

6.1. 遠隔超音波診断に必要な情報の分類

本研究で提案した超音波プローブ操作の遠隔教示システムは、遠隔実験において、超音波診断装置の操作経験の無い学生でも、専門医の指示のもと、良好な超音波動画像を取得することができ、提案システムの有効性を確認することができた。

専門医が、よりの確にプローブ操作の教示を行うためには、患者の姿勢・体位の情報や、計測者の挙動など、より多くの環境情報が必要となると考える。遠隔診断において、環境情報がどのような役割を果たしているか調査するため、遠隔超音波診断システムの先例研究 [33] と、本研究で提案したシステムで取り扱ってきた情報を分類し、各情報の効果について検討を行なった。

先例研究と、提案システムが専門医に提示した情報をまとめると、次の2種類に分類できる。

- 「音声データ」と「顔画像」: 専門医と技師・操作者の間で円滑なコミュニケーションを図るために有効な情報である。中でも、音声データは技師・操作者に安心感を抱かせる効果があり、特に経験の浅い人にとっては、音声が無いと自分が正しい操作をしているか不安になるという意見であった。
- 「患部画像」と「超音波動画像」: 必要な情報のみを限定して伝送しているため、情報に冗長性が無く、専門医は患者側で行われているプローブ操作に集中して観察・教示することができた。

これらの情報だけで、遠隔医療の実施が可能であることが確認されたが、それ以外にも専門医から次の情報を要求される場面が見受けられた。

- 患者の姿勢: 超音波検査を行う場合には、検査中の患者の姿勢が重要になる。臓器は体内で固定されていないので、検査時間が長引くと臓器の位置が移動する。従って、臓器の移動に合わせて、超音波プローブの当て方を調整する必要がある。従来システムでは、患者の体全体の映像が無かったために、専門医が適切な指示を出せない場面が見受けられた。
- 超音波診断装置のコンソール映像: 超音波診断装置を操作する者が初心者であった場合、プローブ操作以外に、超音波動画像のコントラストや計測深度の調整を指示する必要がある。専門医が患者側にある超音波診断装置のコンソールの配置を知っていれば音声で指示できるが、そうでない場合には専門医にコンソールの画像を伝送する必要がある。

これらの意見から、より高度な診断を実現するためには、従来の患部画像と超音波画像などの限定された情報だけでなく、患者周囲の環境映像などの、より広範囲の情報が必要であるといえる。

6.2. 環境情報の提示手法

検査をする際には、専門医は患者の体表面情報だけでなく、計測者の表情や手の動きなど、周辺の情報も利用している様子が見受けられた。これまでの実験においては、患者の患部付近の情報のみを CRT(Cathode Ray Tube) や液晶ペンタプレットを介して専門医に提示していた。本節では、患者側の様子を、より多く専門医に提示する手法として、没入型提示装置 (Immersive Projection Display; IPD) を導入した試作システムを構築した。

本実験で用いた IPD は、94 インチの大型スクリーンを 3 面配置し、人間の視野全てをカバーすることが可能である (図 6.1)。

このディスプレイに提示する画像は、HyperOmni Vision を用いて撮影した (図 6.2)。HyperOmni Vision は双曲面ミラーを用いた全方位視覚センサであり、センサ周囲 360 度の映像を一度に取得できる [61]。



図 6.1 没入型提示装置

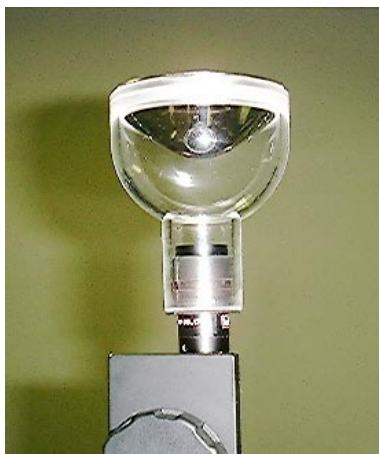


図 6.2 HyperOmni Vision

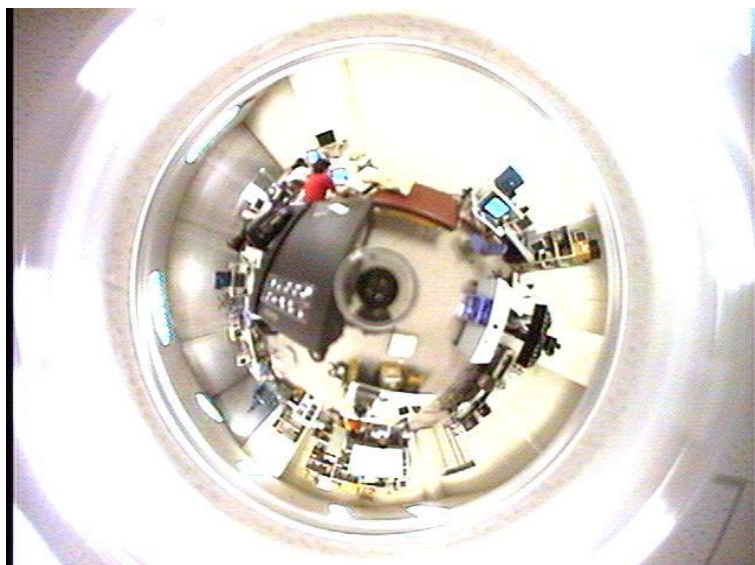


図 6.3 全方位画像

全方位画像からパノラマ画像(図 6.4)を生成し、IPDに表示することで、専門医は遠隔地の検査室の状況を把握することが可能になる。



図 6.4 全方位画像から生成したパノラマ画像

また、パノラマ画像に他の情報を重畳することで、全ての情報を一度に提示できるため、専門医は全ての情報を常に参照することが可能となっている(図 6.5, 図 6.6, 図 6.7)。



図 6.5 左画面
超音波診断画像を重畳



図 6.6 中央画面
患者画像を重畳



図 6.7 右画面
技師・操作者の顔画像を重畳

HyperOmni Vision から得た画像を大型ディスプレイに表示した場合，画像は大幅にぼけてしまい，細部が分かり難いため，患者の映像に関しては，別のカメラで撮影した映像をパノラマ画像に重畳することで対処した(図 6.6)。

6.3. 評価実験

第5章で説明した，WebMark と液晶ペンタブレットを用いたシステムに，没入型提示装置を組み合わせた環境下で評価実験を行なった．実験は，奈良先端科学技術大学院大学内の異なる実験室を結んで実施した．

この実験では，計測者役2名，患者役3名について，専門医の指示のもと，超音波画像取得を行った(図6.8)．画像取得は，左心室長軸像(図4.8)，心尖部四腔断面(図4.9)と左心室短軸僧帽弁(図5.17)の3種類について，没入型提示装置による環境映像の有無により(図6.10, 図6.9)，教示時間にどの程度の違いが出るかを計測した．



図 6.8 患者側の様子



図 6.9 医師側の様子 (環境映像無し)



図 6.10 医師側の様子 (環境映像有り)

6.4. 結果と考察

この実験で超音波動画取得に要した時間を図 6.11 に示す。各々の値は、計測者役の学生が画像取得に要した時間を表している。

環境映像が有るほうが、無い場合よりも若干短い時間で画像取得を行えたことがわかる。特に、左心室長軸像の取得において、環境映像の効果がよく現れている。

しかしながら、環境映像の有無による効果を明確に示すことができる結果を得ることはできなかった。

専門医の意見としては、環境映像有りの場合のほうが、患者の体位や計測者のプローブ操作する状況を把握しやすいとの意見であった。

教示時間の差はわずかであったが、専門医の意見により、没入型提示装置による環境情報提示が、遠隔教示システムにおいて効果的であることを示唆できる。

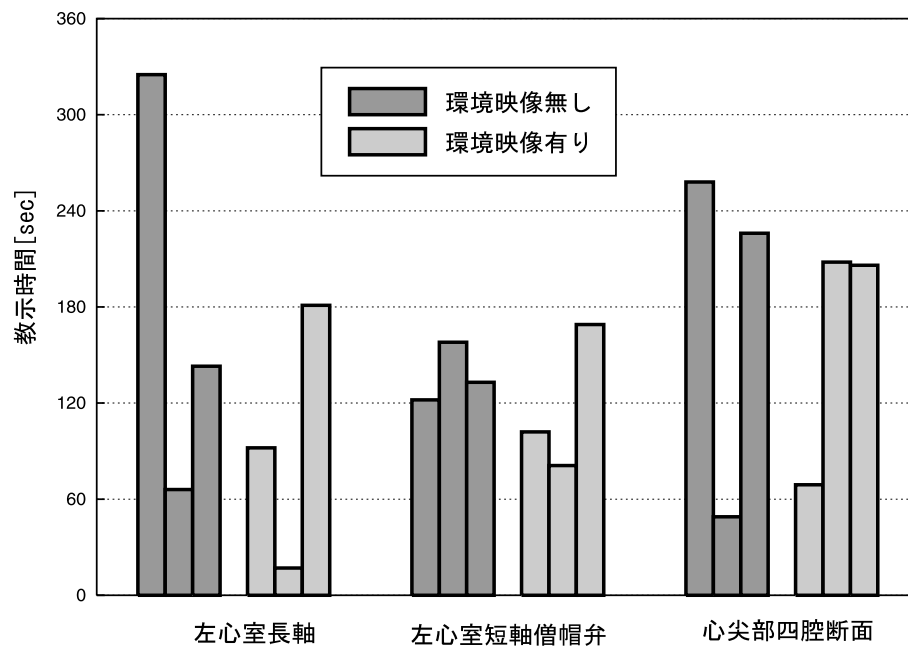


図 6.11 没入型提示装置による教示時間の変化

6.5. まとめ

本章では、没入型提示装置を用いて、患者側の環境画像を専門医に提示する環境を構築した。没入型環境を用いることで、専門医の遠隔診断という意識を減少させ、超音波プローブの操作状況や超音波診断画像以外の情報が、診断精度の維持向上に有用であるか検討を行った。

その結果、実験からは環境映像の効果を明確に示す結果を得ることができなかったが、医師の意見からは、より円滑にプローブ操作の遠隔教示を行う上で、没入型提示装置による環境情報提示の有効性を示唆することができた。

第7章

結論

現在研究されている遠隔医療の研究は、バーチャル・ホスピタルとも呼べるコミュニティをネットワーク上に展開し、より高品質の医療サービスを行うことを可能にした。しかし、社会が抱える医療サービスの地域格差を生む原因である、医師の局在化を解消するものではなかった。

本研究では、遠隔地間での超音波画像診断を実現するため、患者の体表面情報を共有する「共有 AR 空間」を構築し、超音波プローブの操作を Web-Mark を用いて的確に教示するシステムを提案した。

提案システムでは、液晶プロジェクタと液晶ペンタブレットを用いることで、患者の体表面情報を共有可能な体表投影型簡易強調現実感装置を構築した。また、専門医の教示情報を計測者に的確に伝送する手段として、プローブ操作に必要な情報のみを明確に提示可能で、伝送する情報量を削減することのできる“Web-Mark”を考案した。このシステムを、専門医の協力のもと、遠隔実験において評価を行った。

その結果、本システムを用いることで、通常は専門知識と経験が必要な心臓の超音波画像の取得を、検査経験の無い学生でも専門医の指示の下で容易に行うことが可能であることを確認した。また、専門医は、特別な訓練をしなくても、本システムを用いた教示を行うことができ、所望する超音波動画像を得ることができシステムを構築することが出来た。

また、専門医に対する情報提示の手段として、没入型提示装置を用いたシステムの構築を行った。動画像を多用することによるネットワークトラフィックの増加といった問題もあるが、専門医はより多くの情報を得ることが可能となり、より円滑に教示を行えることが確認できた。

これらの結果より，本システムが提供するインタフェースが，超音波プローブ操作の遠隔教示を行う際に有効であるとの結論を得た．

本研究が提案する遠隔教示システムは，一般に普及している超音波診断装置を利用し，遠隔地間で患者の情報を共有しながら対話的にコミュニケーションを行う環境を提供する．本システムを用いることで，医師と患者間の地理的関係を大きく改善することが可能になる．

従来型の遠隔医療システムで形成されたバーチャル・ホスピタルコミュニティが提供する高品質の医療サービスを，本研究で提案する遠隔指導システムによって地方都市の診療所などに伝えることが可能となれば，我々は，まさに「どこにいても高水準の医療を享受できる」環境を手に入れることができると考える．

謝 辞

本研究を進めるにあたり、主指導教官である情報科学研究科 千原國宏教授には、本研究の実験に対する直接の御助言から研究に対する姿勢まで、あらゆる面で有益な御指導をいただきました。ここに心から感謝の意を表します。論文執筆にあたり、御指導いただきました情報科学センタ 湊小太郎教授、情報科学研究科 山本平一教授、研究室の打ち合わせや学会発表、遠隔医療実験などで直接御指導いただきました情報科学研究科 眞鍋佳嗣助教授、先端科学技術研究調査センタ 大城理助教授に厚く御礼申し上げます。また、研究進捗にあたり、ミーティングや遠隔医療実験などで直接御指導いただいた情報科学研究科 黒田知宏助手、研究活動に対して様々な御助言をいただきました情報科学研究科 土居元紀助手、情報科学センタ 菅幹生助手に深く感謝いたします。

本研究の遠隔医療実験において、専門の立場にあられる現場の医師の方々にも多くの御助言をいただきました。学会のデモで実際に本システムを試用され、様々な御意見・評価をいただきました。北海道大学医学部循環病態内科 北畠顕教授、同大学医療技術短期大学部 三神大世助教授、同大学 斉藤尚孝医師に深く感謝致します。また、実験環境を提供していただき、貴重な御意見・評価をいただきました。川崎医科大学 医用工学教室 立花博之助手、豊田英嗣助手、重藤史行氏に深く感謝いたします。お忙しい中、本学にお越しいただき、本システムの評価を行って下さいました。大阪大学大学院医学研究科 近藤寛也医師に深く感謝いたします。遠隔医療実験の被験者として実験に参加して下さいました。川崎医療短期大学 臨床工学科 青山泰子氏、加藤真氏、笠井健一氏、筒井慶治氏、米澤昭一氏、京都大学医学部附属病院医療情報部 高橋隆教授、小森優講師、小山博史講師、堀謙太研究員、津田健氏、尾崎安彦氏に感謝いたします。

遠隔医療実験の準備や本システムを構築するにあたり、指導をしていただいた像情報処理学講座修了生 榎田敏之氏 (現 Université Catholique de Louvain)、南

部雅幸氏 (現 国立療養所中部病院 長寿医療研究センター), 伴 好弘氏 (現 神戸大学), 金谷一朗氏 (現 和歌山大学), 飯野恵秋氏 (現 帝人), 北出雅央氏 (現 日立製作所), 山田良和氏 (現 日本放送協会) に感謝いたします。

実験中のネットワークの設定・運用などは, 倉敷芸術科学大学 芸術学部美術学科 馬場始三講師, 情報ネットワーク講座 出水法俊氏 (現 ACCESS), 中澤省吾氏 (現 九州工業大学), 馬場章夫氏 (現 NTT DOCOMO 関西) に行っていただきました。同じ医用工学の研究を行う像情報処理学講座 増田泰氏, 世古登志洋氏 (現 京セラ), 中塚盛雄氏 (現 ソニー), 松坂勝彦氏 (現 ミノルタ), 井村誠孝氏, 小塚淳氏, 佐藤恭子氏, 須田淳一氏, 鎌田久美氏, 町田淳昇氏, 松崎大河氏, 同じくヒューマンインタフェースと Virtual Reality の研究を行う像情報処理学講座, 佐々木博史氏, 田畑慶人氏, 真狩和加子氏 (現 ポリゴン・ピクチュアズ), 中村厚士氏 (現 日立公共システムエンジニアリング), 中野眞明氏 (現 東芝), 佐々木一仁氏, 南広一氏, 村上満佳子氏, 立石敏隆氏には, ミーティングなどで助言をいただくと共に, 遠隔医療実験において様々な協力をしていただきました。ありがとうございます。

また, 本研究で実験の被験者として協力していただいたり, 研究を進めるにあたり様々な議論をしていただいた, 安室喜弘氏 (現 日本学術振興会 リサーチ・アソシエイト), 堀井千夏氏 (現 日本学術振興会 リサーチ・アソシエイト), 佐藤耕一氏 (現 九州旅客鉄道), 中島健氏 (現 シャープ), 小島佳幸氏, 白丸淳氏をはじめとする像情報処理学講座の在学生・修了生諸氏, 暖かい心配りをいただいた櫛本季子秘書, 音情報処理学講座 岡田有加氏 (現 横河電機), 情報科学センタ和泉順子氏に感謝いたします。

最後に, 著者を理解し, 暖かく見守り続けてくださった家族に深く感謝いたします。

末永貴俊

参考文献

- [1] 吉田晃敏, 亀畑義彦共著. 遠隔医療. 工業調査会, 1998.
- [2] 超音波指導医・専門医データ (2000年12月版), 日本超音波医学会, 2000.
- [3] 超音波検査士データ (2000年10月版), 日本超音波医学会, 2000.
- [4] 遠隔医療研究班総括班報告書. 医療情報の総合的推進に関する研究, 1997.
<http://square.umin.ac.jp/enkaku/>.
- [5] 遠隔医療研究班総括班報告書. 日本における遠隔医療 事例調査表 事例
66, 1999. <http://square.umin.ac.jp/enkaku/Proj/EnkProj-66.html>.
- [6] Applied Research and Development in Information Sciences and Mathematics. http://www.boeing.com/assocproducts/art/tech_focus.html.
- [7] Steven Feiner, Blair MacIntyre, and Doree Seligmann. Knowledge-based Augmented Reality. *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, pp. 52–62, 1993.
- [8] 厚生省編. 医療施設 (静態・動態) 調査・病院報告の概況, 1999.
- [9] 田中輝彦. 青森県中央病院に於ける tele-medicine の現況. 呼吸と循環, Vol. 43, No. 1, pp. 21–27, 1995.
- [10] 月橋こずえ, 中村亨弥, 木竜徹, 岡田正彦, 齊藤義明. インターネット技術で実現する日常生活での生理データのモニタリングシステム. 信学技報, MBE97-11, pp. 35–42, 1997.
- [11] 鈴木康之, 宮坂勝之, 中川聡, 阪井裕一, 中澤秀夫. 在宅医療支援と遠隔医療. *BME Vol.12, No.11*, pp. 42–46, 1998.
- [12] Jon C Bowersox, Paul R Cordts, and Anthony J LaPorta. Use of an Intuitibe Telemanipulator System for Remote Trauma Surgery: An Ex-

- perimental Study. *Journal of American College of Surgions*, Vol. 186, No. 6, pp. 615–621, 1998.
- [13] 光石衛. 遠隔手術 (Tele-surgery). *BME*, Vol. 12, No. 11, pp. 35–41, 1998.
- [14] 稲邑清也. 医用画像の遠隔診断. *画像電子学会誌*, Vol. 24, No. 4, pp. 365–371, 1995.
- [15] JPACS TOUR REPORT:. 北米放射線医学会 (RSNA) および北米主要病院での遠隔医療 (テレメディスン)・遠隔画像診断 (テレラジオロジー)・PACS に関する調査報告. *映像情報*, Vol. 30, No. 10, pp. 594–615, 1998.
- [16] 中島功, 澤田祐介, 十蔵寺寛. アジア・太平洋衛星医療ネットワークの成果報告. *信学技報*, MBE96-5, pp. 29–32, 1996.
- [17] 澤井高志, 宇月美和, 渡辺みか. 本邦における遠隔病理診断 (テレパソロジー) の現状と問題点. *BME*, Vol. 12, No. 11, pp. 15–23, 1998.
- [18] 和田稔, 橋本勉, 武田裕, 松村泰志, 松田哲也, 小森優, 湊小太郎. 広帯域 ISDN を利用した超高精細画像による遠隔医療カンファレンスシステム. *信学技報*, MBE97-11, pp. 49–56, 1997.
- [19] 湊小太郎. 遠隔医学カンファレンスシステム. *BME*, Vol. 12, No. 11, pp. 47–53, 1999.
- [20] 眞溪歩, 黒田知宏. 遠隔超音波画像診断. *BME*, Vol. 12, No. 11, pp. 10–14, 1998.
- [21] 黒田知宏, 末永貴俊, 大城理, 千原國宏. 強調現実感の遠隔画像診断への導入. 第 19 回医療情報学連合大会論文集, pp. 40–44, 1999.
- [22] 榎田敏之. 医用超音波動画像を利用した実時間遠隔医療システムに関する研究. 博士論文, 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科, 2000. NAIST-IS-DT9861003.
- [23] K.Kirk Shung, Michael B.Smith, and Benjamin Tsui. *PRINCIPLES OF MEDICAL IMAGING*. Academic Press, 1992.
- [24] オリンパス超音波診断装置, 2000.
<http://www.olympus.co.jp/LineUp/USME/sonosite180.html>.

- [25] 高沢謙二. 超音波検査の教育を考える (循環器医師部門). 日本超音波医学会, Vol.26, No.5, pp. 719–728, 1999.
- [26] 榎田敏之, 眞溪歩, 大城理, 山口英, 千原國宏. 実時間超音波画像伝送システム - Tele-Echo System -. 医用画像工学研究会 JAMIT Frontier '97, pp. 62–65, 1997.
- [27] 中島功, 鶴見豊彦, 澤田祐介, 前田利秀, 浜本直和. MPEG-2 による医療画像評価. 信学技報, MBE 97-9, pp. 61–66, 1997.
- [28] 榎田敏之, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏. 実時間医用超音波動画画像伝送システム. 第 38 回日本エム・イー学会大会論文集, p. 482, 1999.
- [29] 八木浩明, 眞溪歩, 大城理, 千原國宏. 遠隔診断における超音波動画画像転送手法について. 第 18 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム講演予稿集, pp. 229–230, 1998.
- [30] 北出雅央, 黒田知宏, 眞溪歩, 大城理, 千原國宏. 遠隔画像診断のための超音波 B モード像の圧縮手法の提案. 第 18 回医療情報連合大会論文集, pp. 150–151, 1998.
- [31] 濱本和彦, 梅村英昭, 平田和貴, 山田順一, 新上和正. 医療用超音波画像のための jpeg 量子化テーブルの最適化に対する高次元アルゴリズムの応用. 第 19 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム講演予稿集, pp. 263–264, 1998.
- [32] Kunihiro Chihara. Tele-echo system. *2nd Japan-Poland Symposium on Bio-Medical Engineering*, 1996.
- [33] Toshiyuki Umeda, Takatoshi Suenaga, Tomohiro Kuroda, Osamu Oshiro, and Kunihiro Chihara. A Real-time Telemedicine System for Ultrasound Image Sequence over the Internet. *Jpn J. Appl. Phys.*, Vol. 39, No. 5B, pp. 3236–3241, 2000.
- [34] 嶋本薫. 群馬大学における衛星通信実験. 1998 年度 実験・研究実施報告書, デジタル衛星通信の大学間高度利用研究協議会 (UNSAT 協議会), pp. 1–60–1–66, 1999.

- [35] 衛星通信を用いた遠隔医療に関する研究.
<http://www.nzt1.cs.gunma-u.ac.jp/gunma/shimamoto-lab/medi.html>.
- [36] 津久井陽. 遠隔超音波画像診断における CG を用いたロボット操作支援システム. 修士論文, 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科, 1997. NAIST-IS-MT9551066.
- [37] 光石衛, 津田太司, 樋口拓也, 小泉憲裕, 橋詰博行, 藤原一夫. 遠隔超音波診断システムの開発. 第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol. 1, pp. 435–436, 2000.
- [38] 小泉憲裕, 田中勝弥, 割澤伸一, 光石衛, 橋詰博行, 藤原一夫, 中島義雄. 遠隔超音波診断システムの制御系の構築. 第 18 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol. 1, pp. 437–438, 2000.
- [39] 光石衛. 遠隔医療. 電気四学会関西支部講演会「医用分野における情報処理と通信の将来展望」, 2000.
- [40] San-Lik Tang, Chee-Keong Kwoh, Ming-Yeong Teo, Ng Wan Sing, and Keck-Voon Ling. Augmented Reality Systems for Medical Applications. *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, pp. 49–58, 1998.
- [41] 伊福部達 (編纂). 人工現実感の評価 VR の生理・心理・社会的影響バーチャルリアリティの基礎 4. 培風館, 2000.
- [42] 末永貴俊, 飯野恵秋, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏. 遠隔超音波診断におけるプローブ操作教示システム. 電子情報通信学会論文集, Vol. J83-D-II, No. 1, pp. 324–332, 2000.
- [43] Nicholas Negroponte. MEDIA ROOM. *Proceedings of Society for Information Display*, Vol.22/2, pp. 109–113, 1981.
- [44] 田村博. ヒューマンインタフェース. オーム社, 1998.
- [45] Microsoft. *NetMeeting Home*.
<http://www.microsoft.com/japan/windows/netmeeting/>.
- [46] 藤原洋監修. 最新 MPEG 教科書. 株式会社アスキー, 1994.
- [47] Independent JPEG Group. <http://www.ijg.org>.

- [48] 金内典充, 今安正和. UNIX ネットワークプログラミング. オーム社, 1993.
- [49] 生理検査のホームページ. 心エコー検査資料集, 1996.
<http://square.umin.ac.jp/kennsa/>.
- [50] 越智淳三訳 (編). 解剖学 アトラス 第3版. 文光堂, 1990.
- [51] 眞溪歩, 伴好弘, 榎田敏之, 千原國宏. テレエコーシステム. 日本超音波医学会講演抄録集, Vol. 24, No. 9, p. 121, 1997.
- [52] 飯野恵秋, 末永貴俊, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏. 遠隔超音波診断におけるプローブ操作教示システム. 第38回日本ME学会大会論文集, 第37巻, p. 481, 1999.
- [53] 飯野恵秋. 遠隔超音波画像診断におけるプローブ操作教示システム. 修士論文, 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科, 1999. NAIST-IS-MT9751007.
- [54] Osamu Oshiro, Shigetoki Iino, Takatoshi Suenaga, Tomohiro Kuroda, and Kunihiro Chihara. An Instruction System to Manipulate US Probe in Tele-Echo. In *Proceedings of The First Joint BMES/EMBS Conference*, p. 1223, 1999.
- [55] パンチルト一体型 AF3 倍光学ビデオカメラモジュール EVI-G20, 1999.
<http://www.world.sony.com/JP/Electronics/ISP/products/color/EVIG20.html>.
- [56] WACOM, Co.,Ltd., editor. 液晶ペンタブレット PL-300 ユーザーズマニュアル.
- [57] 末永貴俊, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏. 遠隔超音波診断のための遠隔教示システムの構築. 第43回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp. 497–498, 1999.
- [58] 末永貴俊, 榎田敏之, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏. 遠隔超音波診断のための遠隔教示システムの構築. 日本バーチャルリアリティ学会第4回大会論文集, pp. 129–130, 1999.
- [59] Takatoshi Suenaga, Toshiyuki Umeda, Tomohiro Kuroda, Osamu Oshiro, and Kunihiro Chihara. A Tele-Instruction System for Ultrasound

- Tele-diagnosys. In *The 9th International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, pp. 84–91, 1999.
- [60] 北出雅央. 遠隔診断のための超音波 B モード像の伝送用圧縮手法. 修士論文, 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科, 1999. NAIST-IS-MT9751043.
- [61] 山澤一誠, 八木康史, 谷内田正彦. 移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚センサ hyperomni vision の提案. 信学論 (D-II), Vol. J79-D-II, No. 5, pp. 698–707, 1996.

付録

A. 遠隔医療実験における指示の記録

時刻	指示	モード	特記事項
0:15:47:00	短軸を出します		
0:15:50:15	時計方向に 90 度回します。		
0:16:28:13	少し傾けてもらえますか。上を見上げる感じです。		
0:17:02:23	時計方向にもう少し回してください。 短軸が出るように回します。		
0:17:26:06	少し下側に傾けます。		
0:17:33:11	左室の短軸を出します。		
0:17:51:11	弁の短軸になってますね。		
0:17:58:19		Diagnosis	
0:19:13:12		Instruction	
0:19:23:22	今度は少し上に傾けます。		
0:19:33:02	大動脈弁の短軸を出します。		
0:19:40:00			操作説明
0:19:55:20	見えてきましたね		
0:20:06:00	若干当てる位置を上にはずらします。 1 肋間ずらします。		
0:20:15:00	見えませんですね。さっきの位置に戻します。		
0:20:42:25		Diagnosis	
0:21:02:19			ゼリー補充
0:21:14:24			復帰

時刻	指示	モード	特記事項
0:21:26:21	見えてますね		
0:21:32:00		Instruction	
0:21:38:00	長軸を出します。		
0:21:41:18	反時計方向に回してもらいます。		
0:21:57:06	少しプローブを立ててもらいます。		
0:22:20:08	もうちょっとですね...		
0:22:30:09	反時計方向にもうちょっと回してもらいます。		
0:22:42:10			電話
0:23:31:18			復帰
0:23:42:04	少し時計方向に回してもらいます。		
0:23:59:06	若干当てる位置を下にずらします。		
0:24:34:21	少し胸骨寄りに上げます。		
0:25:12:00	また時計方向に 90 度回して行きます。		
0:25:14:24	左室の短軸を出します。		
0:25:31:15	一番良い長軸が出ましたね...		
0:25:40:03	肺がかぶってきましたね...		
			ゼリー補充
0:25:59:26	次は心尖部を当てます。		
0:26:46:12	これでチャンバーを...		
0:27:07:17	なるたけ傾けてください。患者の頭のほうに見上げる感じで傾けてもらいます。		
0:27:27:28	少し上に上げます。		
0:27:30:12	若干当てる位置を上上げます。		
0:27:59:28	もうちょっと外側から見上げる感じですね...		
0:28:29:18	反時計方向に回して行きます		
0:28:45:28	なんとなく長軸っぽく見えてますね...		
0:28:58:00	逆の 4 チャンバー？		
0:29:04:28		Diagnosis	
0:29:14:16	逆 4 チャンバーですね...		
0:29:18:14		Instruction	

A. 遠隔医療実験における指示の記録

時刻	指示	モード	特記事項
0:29:22:12	少し時計方向に回します		
0:29:29:04	若干...ゆっくり回してください。 大動脈弁が見えるように...		
0:29:49:01	当ててる位置をもう少し外側にずらします。		
0:30:01:11	ちょっと戻してください。 内側に少しずらしてください。		
0:30:32:14	時計方向に 90 度回して行きます。 ゆっくりと回してください。		
0:31:02:28	もう少し倒して、 見上げるように倒してもらえますか		
0:31:13:29			一瞬良い 画像が出た
0:31:20:14		Diagnosis	
0:31:34:06		Instruction	
0:31:39:00	これをゆっくりと時計方向に回してください。		
0:31:52:17	探触子を倒して見上げるようにして下さい。		
0:32:01:17	今良くなりましたね、4チャンバー...		
0:32:11:23	倒して見上げる感じです...一瞬良い画像出ました		
0:32:15:20	この辺の画像です		
0:32:22:08	スケールをちょっと小さくしてもらえますか。		
0:32:27:20	画像全体が見えるように...		画像の調整
0:32:27:20	スケールを調整してください。		
0:33:48:27	はい、そんなもんです。		
0:33:59:01	そして、また倒して見上げる感じでお願いします。		
0:34:10:04			なんとなく

時刻	指示	モード	特記事項
			出た感じ
0:34:16:15	若干反時計方向に少し回してもらえますか？		
0:34:37:18	探触子は倒して見上げる感じでお願いします。		
0:34:49:04	若干もう少し外側から見上げる感じになります。		
0:34:52:18	今、良い画像が出てきましたね		
0:34:56:01	今、ベストの画像です。		
0:35:02:06		Diagnosis	
0:36:52:20	もう一度先ほどの位置に当てます。		
0:37:33:23	2回目の指示		
0:37:50:20	もうちょっと外側に当てます		
0:38:27:06	むずかしいっすね...		
0:38:32:28	若干外側に当ててください		
0:38:35:19	倒して見上げる感じです		
0:39:02:19	もうちょっと倒してもらえますか？		
	これが限界ですか？		
0:39:26:07	若干反時計方向に少し回してください		
0:39:50:04	むずかしいっすね...		
0:39:59:07	もうちょっと外側ですね...外側から		
0:40:20:20	若干ちょっと上に上げてみます		
0:40:30:00	良いですね ..		
0:40:33:16	ここで、若干倒してください見上げる感じに		
0:40:51:28	少しだけ時計方向に回します		
0:41:03:16	良いですね ..		
0:41:06:05		Diagnosis	
0:42:20:03			電話
0:44:19:14			復帰
			ゼリー要求
0:44:29:25	胸骨さい??を出します。		
0:45:00:29	胸骨のすぐ横です		
0:45:06:29	探触子をなるたけ立ててもらいます		
0:45:31:09	少し時計方向に回します。		

A. 遠隔医療実験における指示の記録

時刻	指示	モード	特記事項
0:45:46:09	一つ下の肋間にずらしてみます。		
0:45:54:13	良いですね...あぁ良いですねえ		
0:46:00:28	スケールを大きくしてもらえますか。 心臓が大きく映るように		
0:46:23:28	若干反時計方向に少し回してもらいます		
0:46:43:13	ゆっくり時計方向に回してもらいます		
0:47:17:29	おいしい？		
0:47:21:03	短軸のほうが楽なんでしょうねきっとね..		
0:47:25:01	時計方向に90度回してもらいます。 短軸を出します。		
0:47:37:14	あ、ここですねえ		
0:47:53:14	今度は少し足のほうに倒します		
0:48:17:08	頭がわにプローブを倒して、足に向かうように...		
0:48:35:02	若干探触子を外側に向けて、 内側を向くようにお願いします。		
0:48:49:26	少し外側から内側を向くように 探触子を傾けてください。		
0:49:10:23	ちょっときびしいですねえ...		心臓が枠から ずれている
0:49:41:25	少し立ててもらいます		

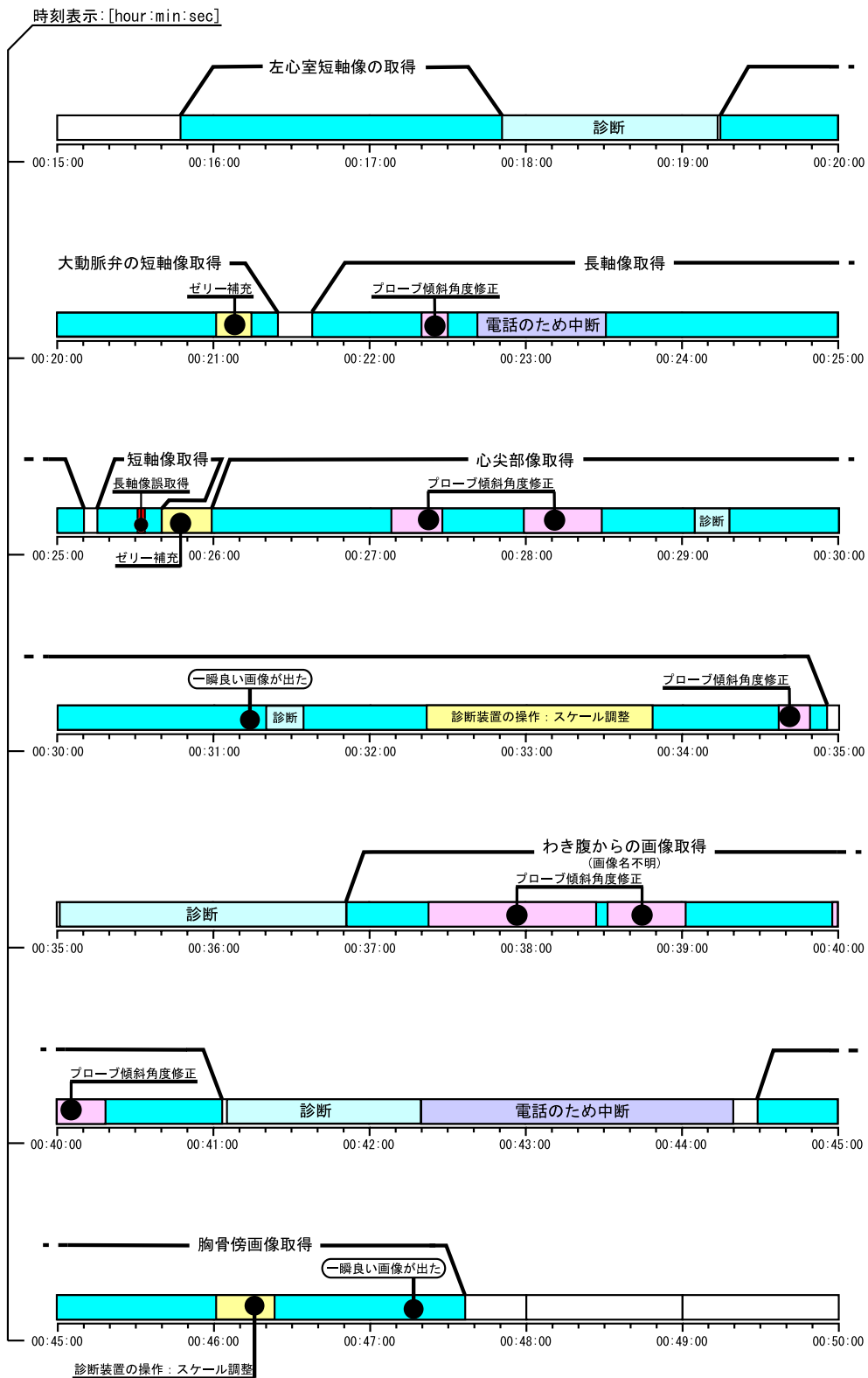


図 A.1 指示の記録を時系列に並べたもの

B. 伝送画像の画質評価

B.1 患者画像

元画像

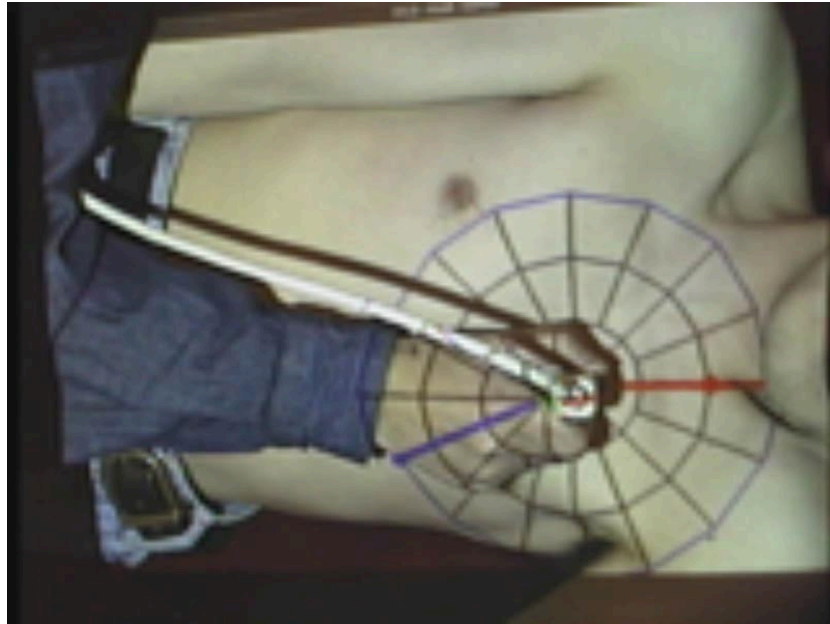


図 B.1 標準サイズの画像 (640×480pixel)

伝送画像

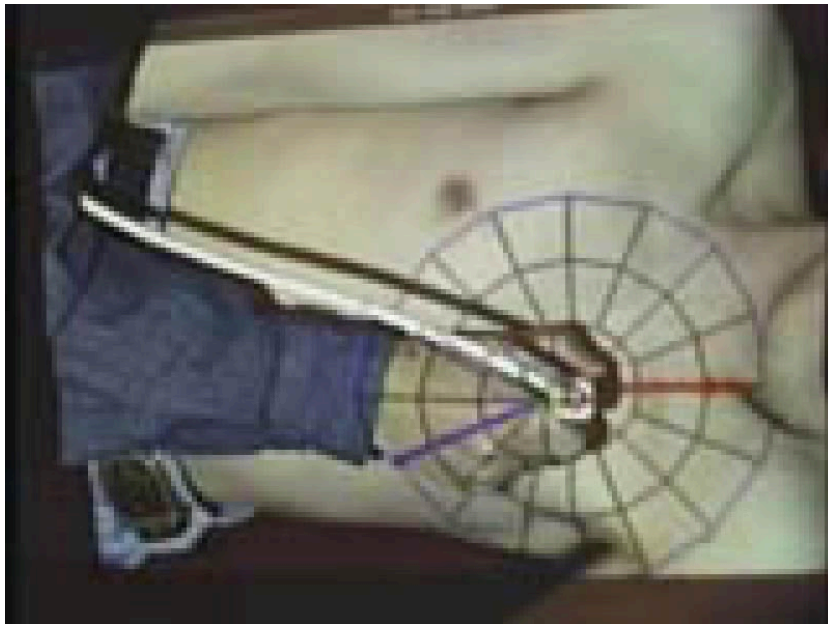


図 B.2 160×120pixel で取り込み，800×600 に拡大した画像

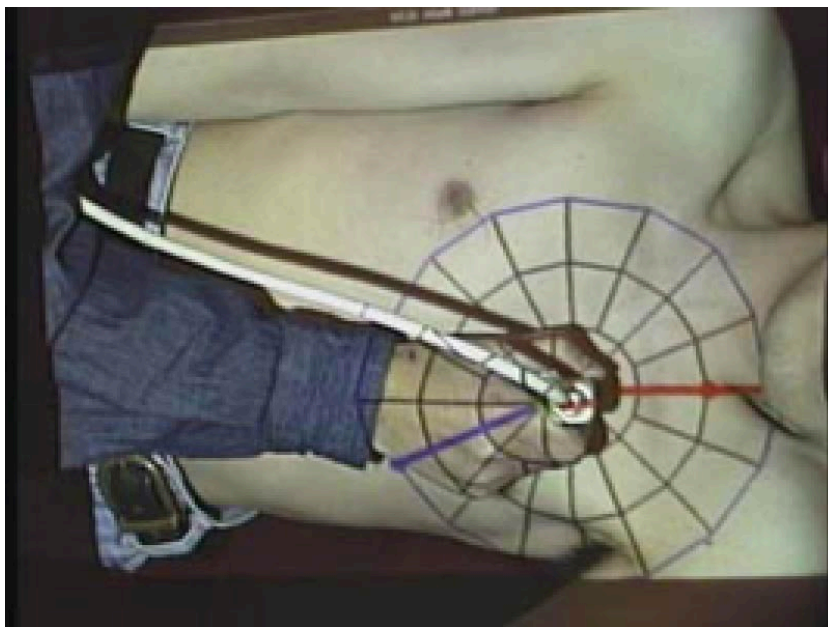


図 B.3 320×240pixel で取り込み，800×600 に拡大した画像

B.2 超音波診断画像

元画像



図 B.4 標準サイズの画像 (640×480pixel)

伝送画像



図 B.5 160×120pixel で取り込み，800×600 に拡大した画像



図 B.6 320×240pixel で取り込み，800×600 に拡大した画像

研究業績

学術論文

1. 末永貴俊, 飯野恵秋, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏: 遠隔超音波画像診断におけるプローブ操作教示システム, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-D-II, No.1, pp.324-334, 2000
2. Toshiyuki UMEDA, Takatoshi SUENAGA, Tomohiro KURODA, Osamu Oshiro and Kunihiro CHIHARA: "A real-time telemedicine system for ultrasound image sequence over the Internet", Jpn J. Appl. Phys., Vol.39, No.5B, pp.3236-3241, 2000

国際会議

1. Takatoshi Suenaga, Toshiyuki Umeda, Tomohiro Kuroda, Osamu Oshiro and Kunihiro Chihara: A Tele-Instruction System for Ultrasound Tele-diagnosis, The Ninth International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT '99), pp.84-91, 1999
2. Takatoshi Suenaga, Tomohiro Kuroda, Osamu Oshiro and Kunihiro Chihara: A Tele-Instruction System for Real-time Telemedicine, Cars2000: Computer Assisted Radiology and Surgery: Proceedings of the 14th International Congress and Exhibition, pp.498-503, 2000
3. Takatoshi Suenaga, Tomohiro Kuroda, Osamu Oshiro and Kunihiro Chihara: A Tele-Instruction System for Real-time Telemedicine, ICCHP2000: International Conference on Computers Helping People with Special Needs, pp.703-710, 2000.
4. Tomohiro Kuroda, Takatoshi Suenaga, Koichi Minami, Tomi Korpipää, Hiroshi Sasaki, Yoshitsugu Manabe, Osamu Oshiro, Kunihiro Chihara: Shared Augmented Reality for Remote Work Support, in Proceedings of IFAC-MIM 2000 Symposium on Manufacturing, Modeling, Management and Control, pp.339-343 in Pre-prints, 2000
5. Osamu Oshiro, Shigetoki Iino, Takatoshi Suenaga, Tomohiro Kuroda and Kunihiro Chihara; An Instruction System to Manipulate US Probe in Tele-Echo, Proceedings of The First Joint BMES/EMBS Conference, p.1223, 1999.

研究会・大会発表

1. 末永貴俊, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏: 遠隔超音波診断のための遠隔教示システムの構築, 第 43 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp.497-498, 1999.
2. 末永貴俊, 榎田敏之, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏, 遠隔超音波診断のための遠隔教示システムの構築, 日本バーチャルリアリティ学会第 4 回大会論文集, pp.129-130, 1999
3. 末永貴俊, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏: 実時間遠隔超音波診断のための遠隔教示システム, 第 44 回システム制御情報学会 研究発表講演会講演論文集, pp.437-438, 2000
4. 末永貴俊, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏: 遠隔超音波画像診断支援における環境情報提示に関する一考察, 電子情報 通信学会技術研究報告 MBE2000-83, pp.115-120, 2000
5. 飯野恵秋, 末永貴俊, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏: 遠隔超音波診断におけるプロープ操作教示システムの構築, 第 38 回日本 ME 学会大会論文集, JJME Vol.37 Suppl.,pp.481, 1999
6. 黒田知宏, 末永貴俊, 大城理, 千原國宏: 強調現実の遠隔画像診断への導入, 第 19 回医療情報学連合大会論文集, pp.40-41, 1999
7. 大城理, 末永貴俊, 井村誠孝, 黒田知宏, 千原國宏: 血流情報と遠隔医療. 第 14 回日本エム・イー学会秋季大会論文集,2RC1-1,p.85, 2000.
8. 末永貴俊, 黒田知宏, 大城理, 千原國宏: 共有 AR 技術を用いた遠隔超音波診断支援システム, 第 40 回日本エム・イー学会大会論文集, to be presented in May 2001.

共同研究

1. 堀謙太, 津田健, 末永貴俊, 黒田知宏, 菅幹生, 小山博史, 大城理, 湊小太郎, 千原國宏, 小森優, 高橋隆: 遠隔ロボット手術のための通信システムおよび情報支援システム, 第 20 回医療情報学連合大会 (20th JCMI) 論文集,pp.816-817, 2000
2. 津田健, 堀謙太, 末永貴俊, 黒田知宏, 菅幹生, 小山博史, 大城理, 湊小太郎, 千原國宏, 小森優, 高橋隆: 全周囲型 VR 装置を用いた遠隔手術環境の共有, 第 20 回医療情報学連合大会 (20th JCMI) 論文集,pp.712-713, 2000
3. 尾崎安彦, 津田健, 堀謙太, 小山博史, 末永貴俊, 菅幹生, 黒田知宏, 小森優, 大城理, 湊小太郎, 千原國宏, 高橋隆: 遠隔ロボット手術実施環境における全周囲型モニターの有効性, 信学技報 Vol.100 No.597 MI2000-91, pp.81-86, 2001.
4. 井村誠孝, 須田淳一, 末永貴俊, 菅幹生, 大城理, 湊小太郎, 千原國宏: 異種統合データを用いた脳内ウォークスルー, 医用画像情報学会春季大会, 2001.

賞

1. 第 15 回 電気通信普及財団賞 テレコムシステム技術学生賞 (佳作) 「遠隔超音波画像診断におけるプロープ操作教示システム」

講演

1. Takatoshi SUENAGA, Tomohiro KURODA, Osamu OSHIRO and Kunihiro CHI-HARA: NAIST TELE-ECHO PROJECT, Telemedicine Present and Future, EX-PO2000 Hannover, 2000

その他

1. “動画使い遠隔診断 奈良先端科学技術大学院大学がシステムを開発 超音波画像をネットで伝達 過疎地医療に威力”, 日刊工業新聞, 1999/07/22

1999年(平成11年)7月22日 木曜日 ☆12 日刊工業新聞

動画使い 遠隔診断

奈良先端科学技術大学院大学がシステムを開発

【奈良】奈良先端科学技術大学院大学(NAIST)情報科学研究科の千原隆宏教授らのグループは、医師が患者と離れた場所にいる場合でも、動画によりリアルタイムで超音波画像診断ができる遠隔超音波画像診断(テレエコー)システムを開発した。ネットワークを通じ、超音波画像や音声など患者側の総合的な情報を医師に伝達することも、現実と仮想世界を繋ぎ合わせる遠隔現実感(AVR)技術を活用し、医師の指示をわかりやすく伝えられるもので、緊急医療現場や過疎地医療などの分野で実用化に期待が高まっている。

(東大阪・竹内 章)

患者にエコーをあてているところ

液晶ペンタプレットを使用

超音波画像をネットで伝達 過疎地医療に威力

接続し出す方式を採用した。医師は液晶ペンタプレットを使用し、遠隔地からエコーを自由に操作する。

患者にエコーをあてているところ

液晶ペンタプレットを使用

「奈良」奈良先端科学技術大学院大学(NAIST)情報科学研究科の千原隆宏教授らのグループは、医師が患者と離れた場所にいる場合でも、動画によりリアルタイムで超音波画像診断ができる遠隔超音波画像診断(テレエコー)システムを開発した。ネットワークを通じ、超音波画像や音声など患者側の総合的な情報を医師に伝達することも、現実と仮想世界を繋ぎ合わせる遠隔現実感(AVR)技術を活用し、医師の指示をわかりやすく伝えられるもので、緊急医療現場や過疎地医療などの分野で実用化に期待が高まっている。

(東大阪・竹内 章)

テレエコーシステムの特長は、AVR技術により医師の指示が患者側に視覚的に伝達できること。音声だけでなく、患者側の超音波画像をリアルタイムで伝達し、医師の指示をわかりやすく伝えられること。緊急医療現場や過疎地医療などの分野で実用化に期待が高まっている。

また、超音波画像だけでなく、診断風景、音声も同時に伝達できるシステムは、奈良県、北海道、タイ、バンコクの3カ所に拠点がある。

奈良先端科学技術大学院大学(NAIST)情報科学研究科の千原隆宏教授らのグループは、医師が患者と離れた場所にいる場合でも、動画によりリアルタイムで超音波画像診断ができる遠隔超音波画像診断(テレエコー)システムを開発した。ネットワークを通じ、超音波画像や音声など患者側の総合的な情報を医師に伝達することも、現実と仮想世界を繋ぎ合わせる遠隔現実感(AVR)技術を活用し、医師の指示をわかりやすく伝えられるもので、緊急医療現場や過疎地医療などの分野で実用化に期待が高まっている。

(東大阪・竹内 章)

日刊工業新聞, 1999/07/22

2. 遠隔地から医師が指示する円形の的の中心にあて心臓の画像(動画)を転送する時のデータ圧縮技術を研究する研究生, 広報いこま, 1999/12/15

No.545
広報いこまは
毎月2回、1日、15日に発行

LOVELY TOWN
広報いこま
I・K・O・M・A
人権尊重の魅力あるまち

平成11年 1999
12/15

◆ 今月の特集

- コンピュータ西暦2000年問題 年末年始に向けた準備を!
- 介護保険制度「要介護認定等申請」の受け付けを行っています
- 生駒市職員の給与などの概要の公表

今月の人口(前月比)

- 人口総数 114,450 (+57)
- 世帯数 39,543 (+66)
- 男 55,312 (+36)
- 女 59,138 (+21)

12月1日現在、外国人登録を基に



✧ 生駒市民憲章

わたくしたちは、美しく豊かな自然環境のなかで、遠郷感をたいせつにして、文化の香り高い、個性的なまちを創造してゆくために市民憲章を定めます。

1. 美しい水と緑をまもりまします。
2. 明るいまちを築きます。
3. みんなで友誼の輪をひろげまします。
4. 進んでスポーツに親しみまします。
5. いつまでも進歩と向上をめざまします。

昭和53年1月1日制定

今月の表紙

遠隔地から医師が指示する円形の的の中心にカメラをあて、心臓の画像(動画)を転送する時のデータ圧縮技術を研究する研究生。奈良先端科学技術大学院大学では、今日も最先端の実験・研究が続く。

広報いこま 1999/12/15