

図 2-5 水槽内に固定した豚大腿骨顆部関節軟骨および超音波プローブ

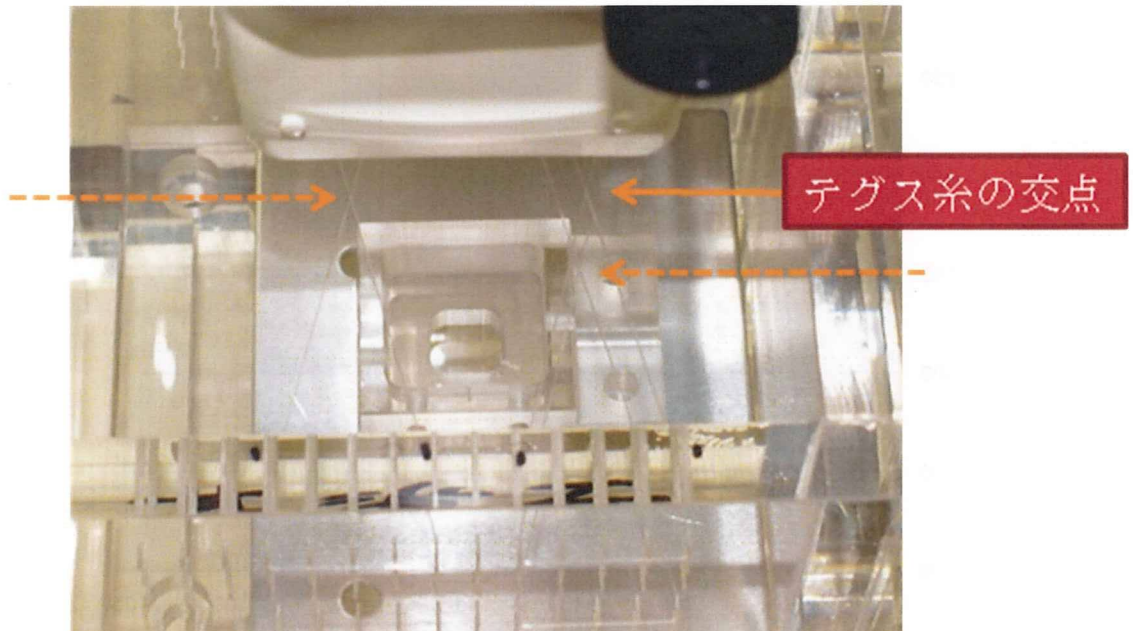


図 2-6 水槽内に張ったテグス糸
6本のテグス糸により既知の位置に3ヶ所に交点を作成
B-mode 画像にて交点を確認することで撮像断面の空間的位置を検出した

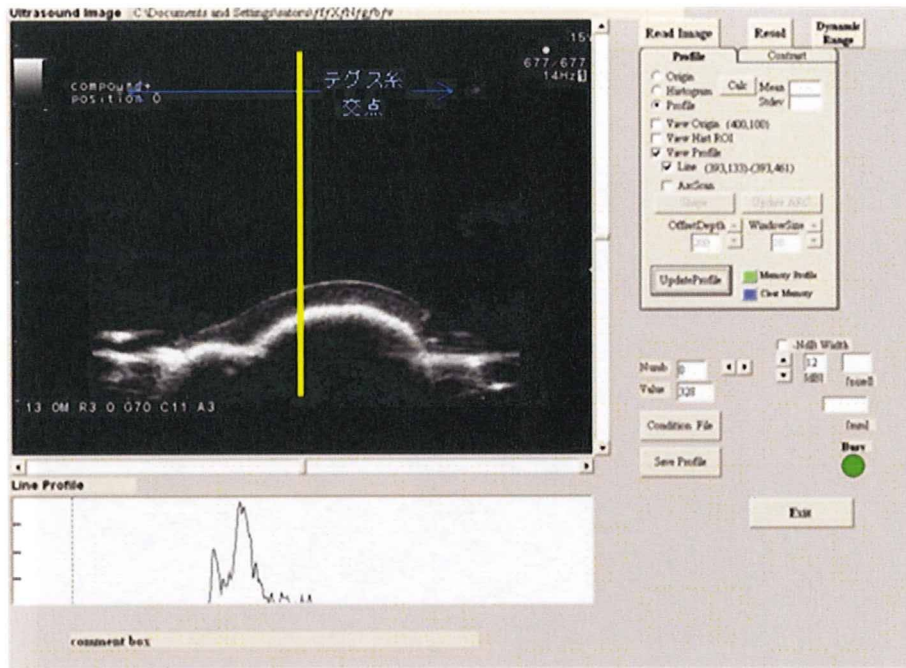


図 2-7 関節軟骨 B-mode 画像の取得および輝度ラインプロファイルの出力
 B-mode 画像中の黄色線上のラインプロファイルが下にプロットされている
 テグス糸の交点を結ぶ線分の垂直二等分線がホルダーの中心を通るようにセッティングされており、この中央線より 0.5mm 間隔に左右にラインプロファイルデータを取得した

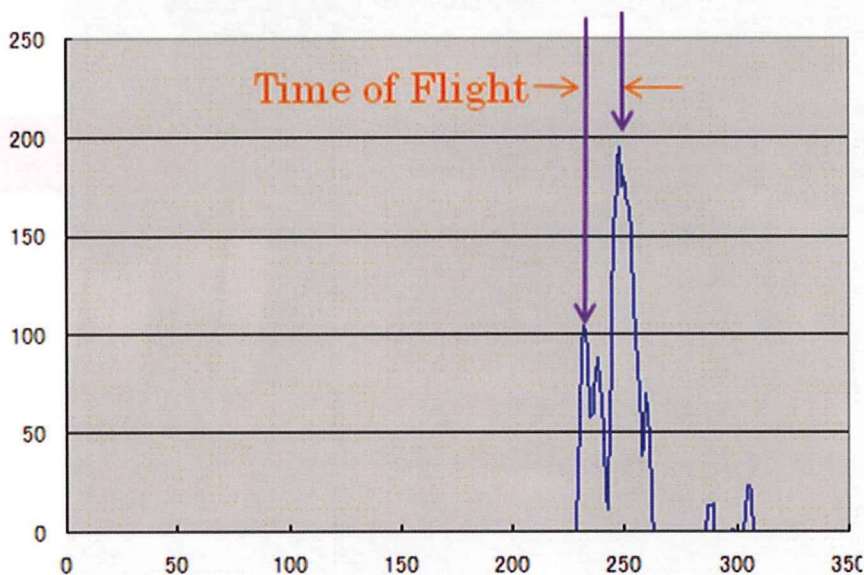


図 2-8 ラインプロファイルデータを用いた軟骨厚計測
 B-mode 画像の輝度ラインプロファイルデータにおいて、第一ピークを軟骨表面、第二ピークを骨軟骨境界と定義し、その時間間隔 (TOF: Time of Flight) を計測した
 TOF にそれぞれの音速値を乗じた値を超音波軟骨厚とした

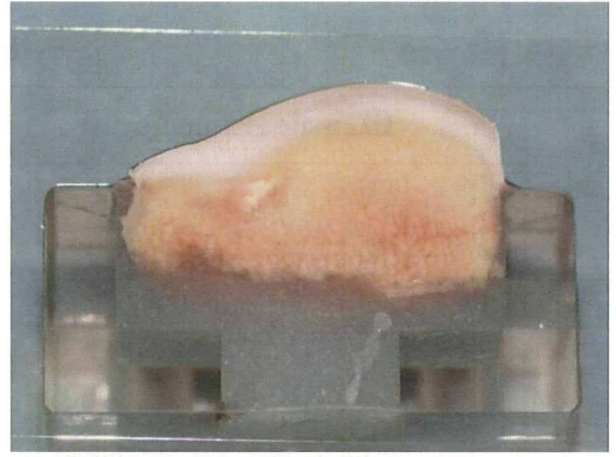
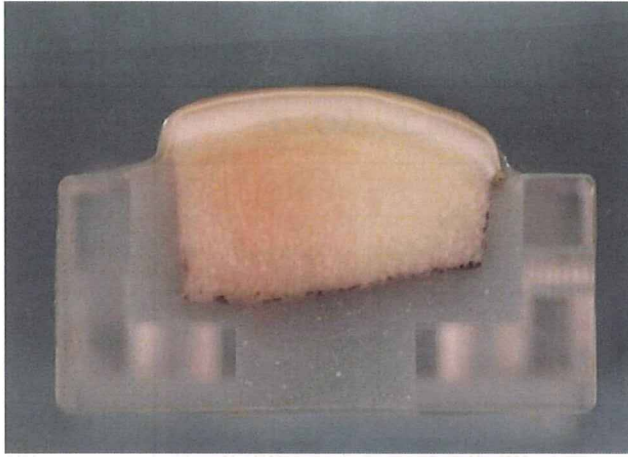
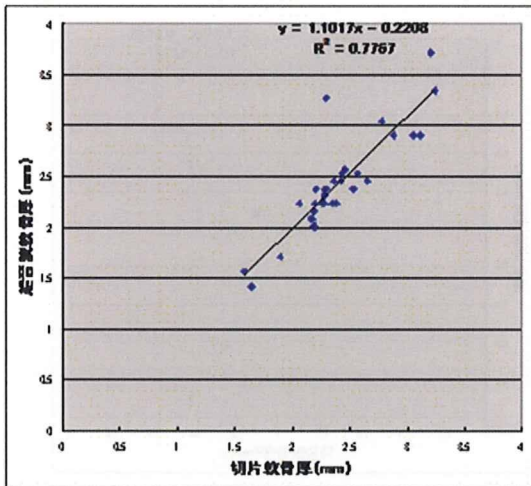


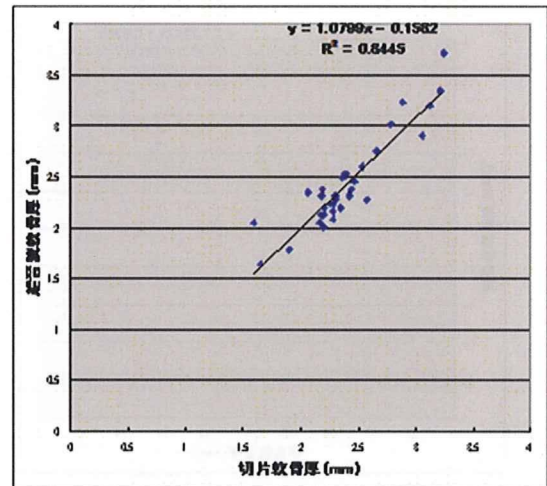
図 9 ダイヤモンドソーによる骨軟骨試料切断面
左：生後 6 ヶ月の豚（幼豚）、右：生後 3 年の豚（親豚）

1Dプローブ

① Tissue Harmonic

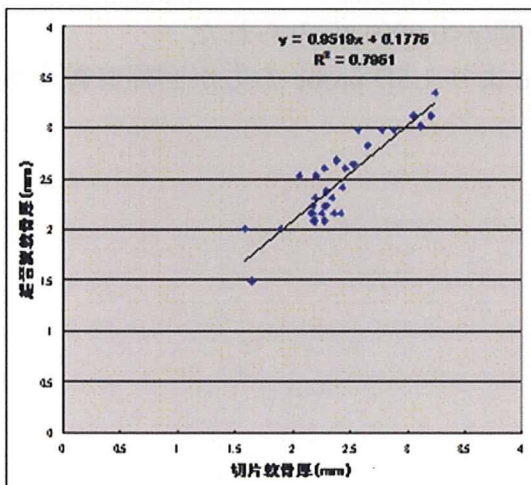


② 空間コンパウンド



1.5Dプローブ

③ Tissue Harmonic



④ 空間コンパウンド

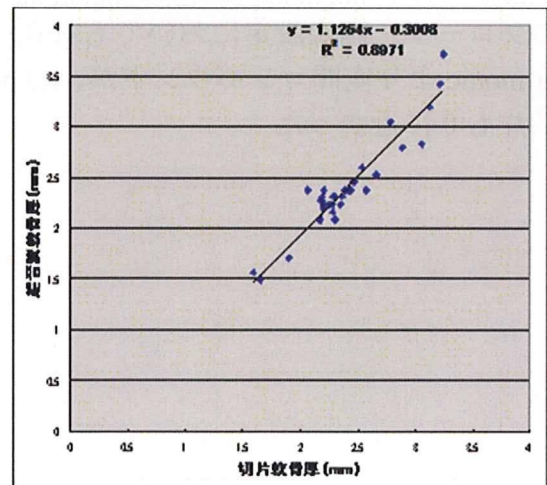
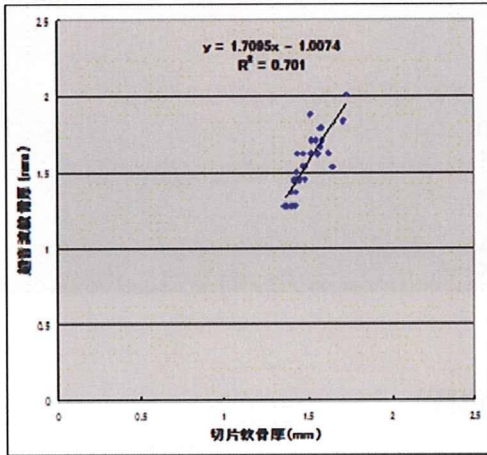


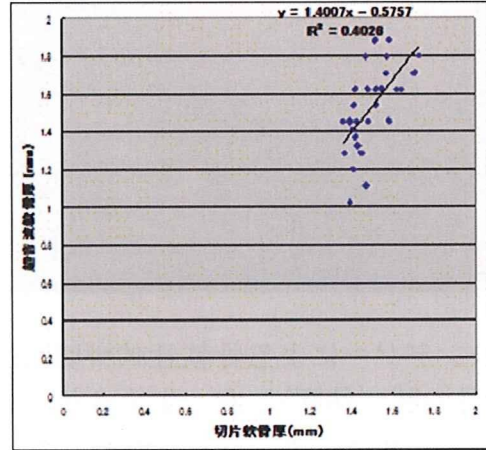
図 2-10 切片軟骨厚 (Tc) と超音波測定軟骨厚 (Tc-US) の関係 (豚、生後 6 ヶ月)
いずれのプローブ、画像設定においても有意な相関($p < 0.0001$)がみられた
相関係数は Tissue harmonic より空間コンパウンドが 1D probe より 1.5D probe の方が高かった

1Dプローブ

①Tissue Harmonic

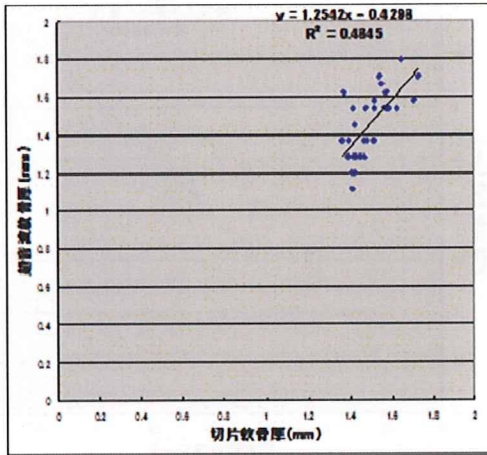


②空間コンパウンド



1.5Dプローブ

③Tissue Harmonic



④空間コンパウンド

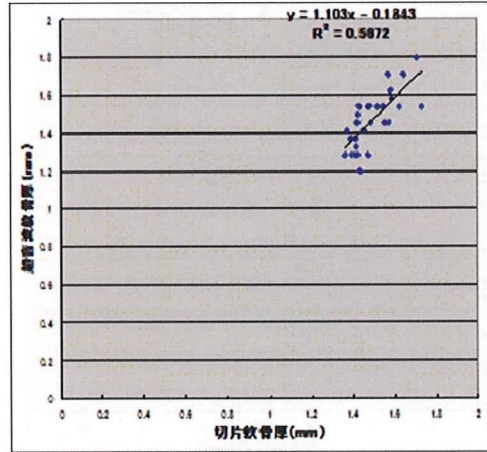


図 2-11 切片軟骨厚 (Tc) と超音波測定軟骨厚 (Tc-US) の関係 (豚、生後3年)
いずれのプローブ、画像設定においても有意な相関($p < 0.0001$)がみられた

Tissue harmonic より空間コンパウンドが、1D probe より 1.5D probe の方が回帰直線の傾きが 1 に近く、切片も 0 に近かった

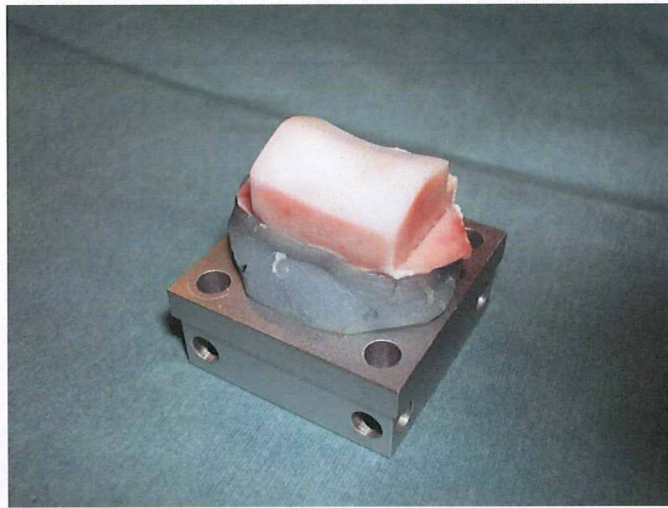


図 3-1 カッティング後の豚骨軟骨片（膝蓋骨）

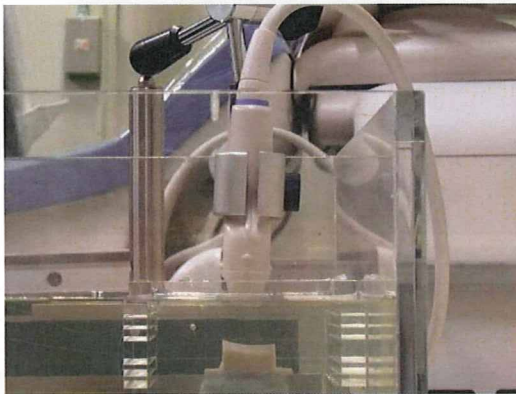


図 3-2 骨軟骨片およびプローブのセッティング

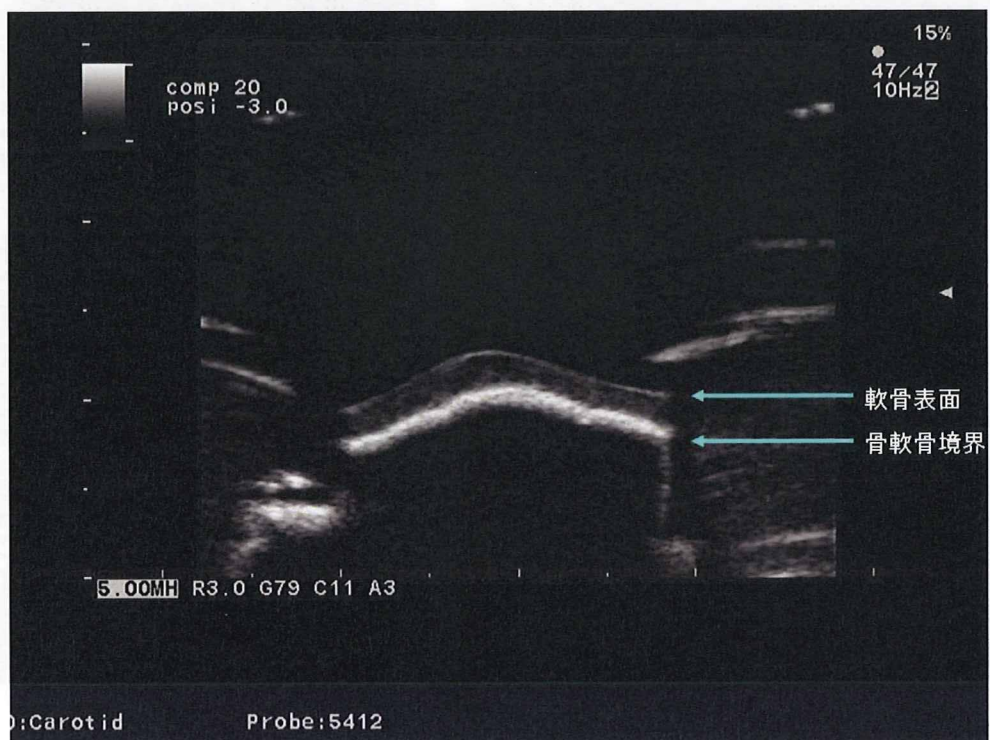


図 3-3 超音波 B-mode 軟骨画像

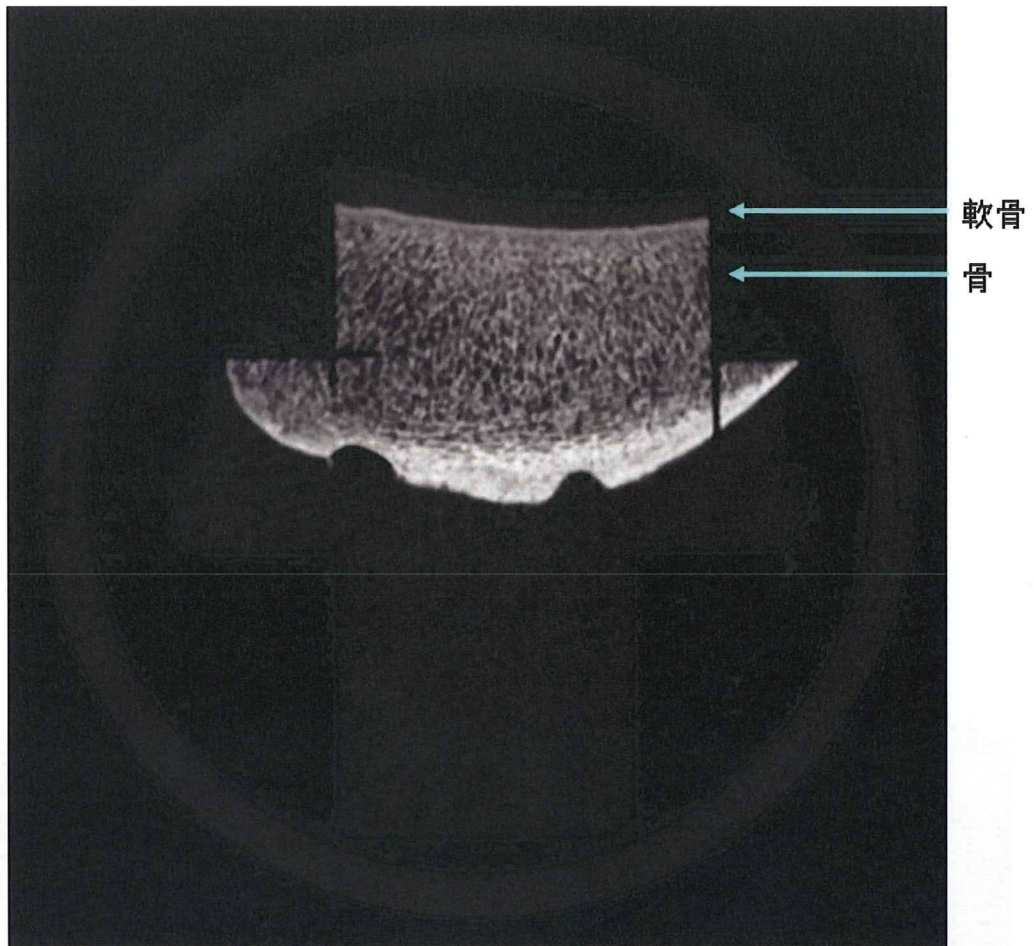


図 3-4 高解像度 CT 像

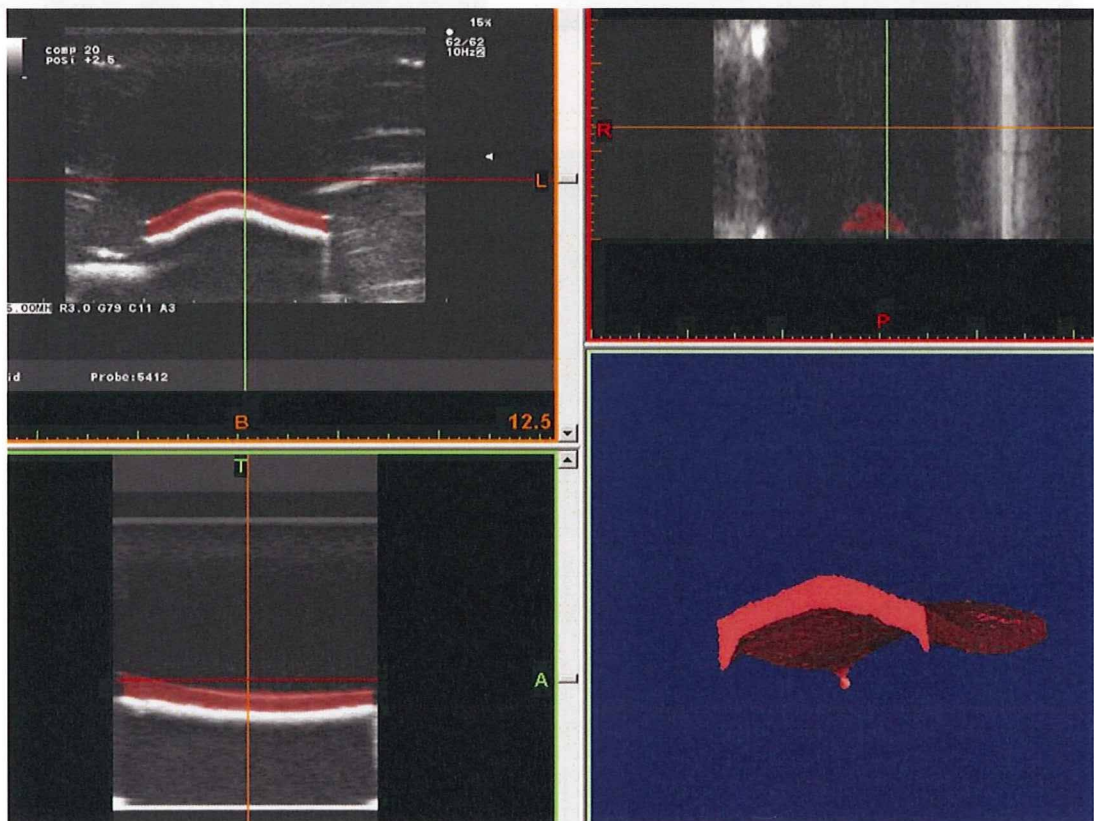


図 3-5 軟骨超音波 3D モデル

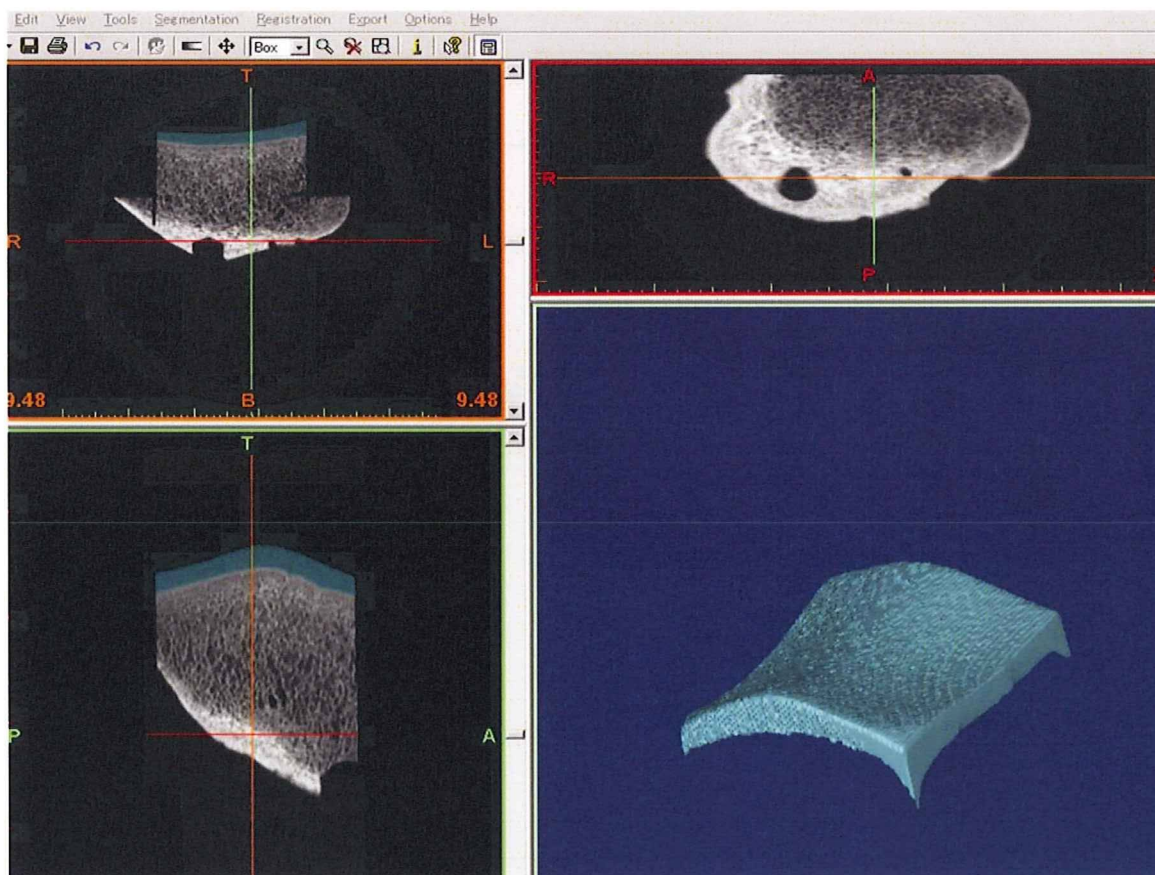


図 3-6 軟骨高解像度 CT 3D モデル

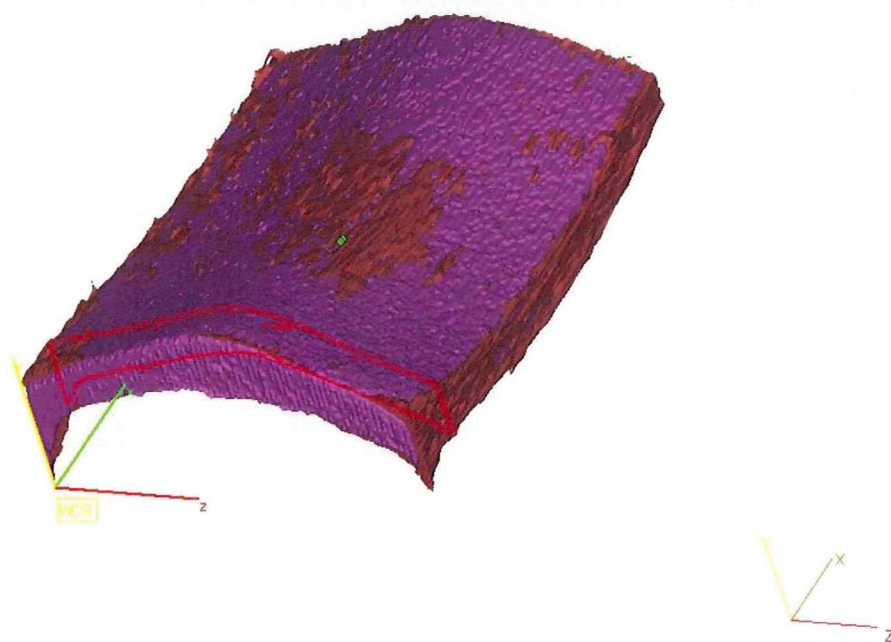


図 3-7 3D モデル レジストレーション後

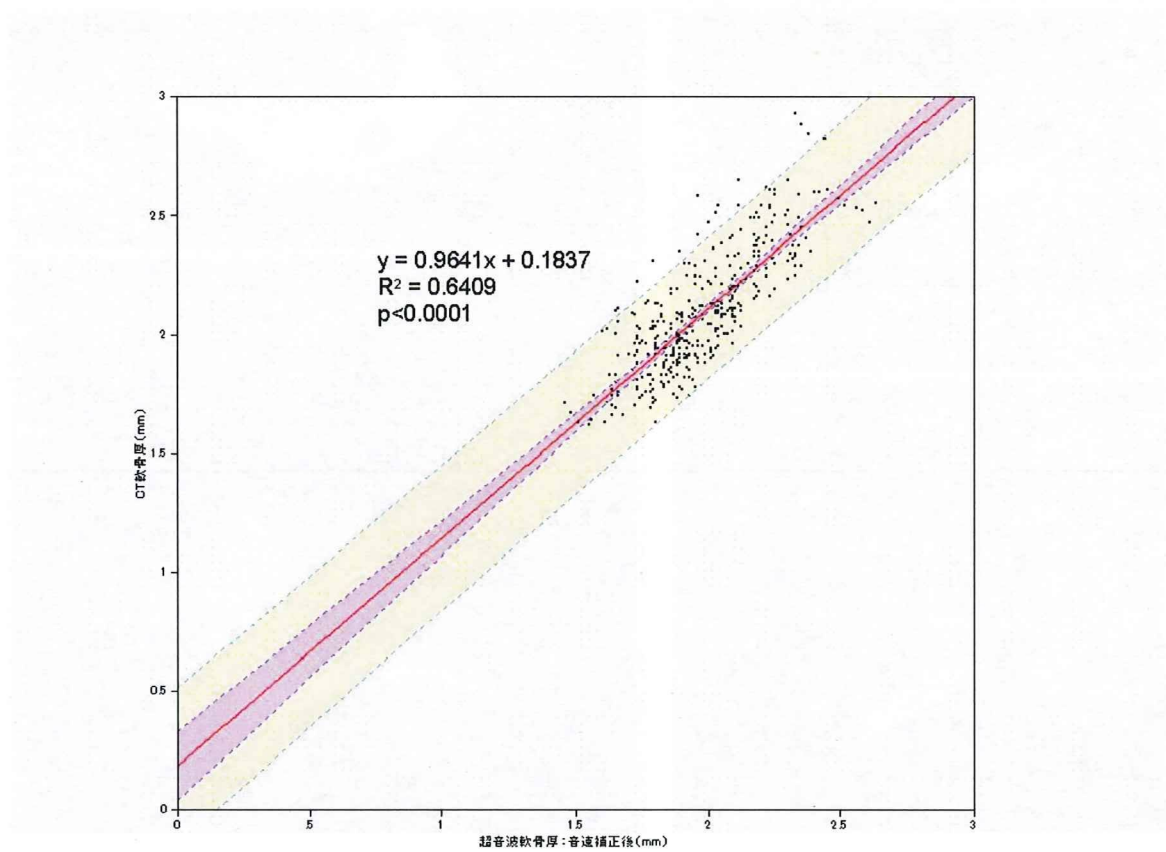


図 3-8 CT 軟骨厚（縦軸）と超音波測定軟骨厚（横軸）の関係

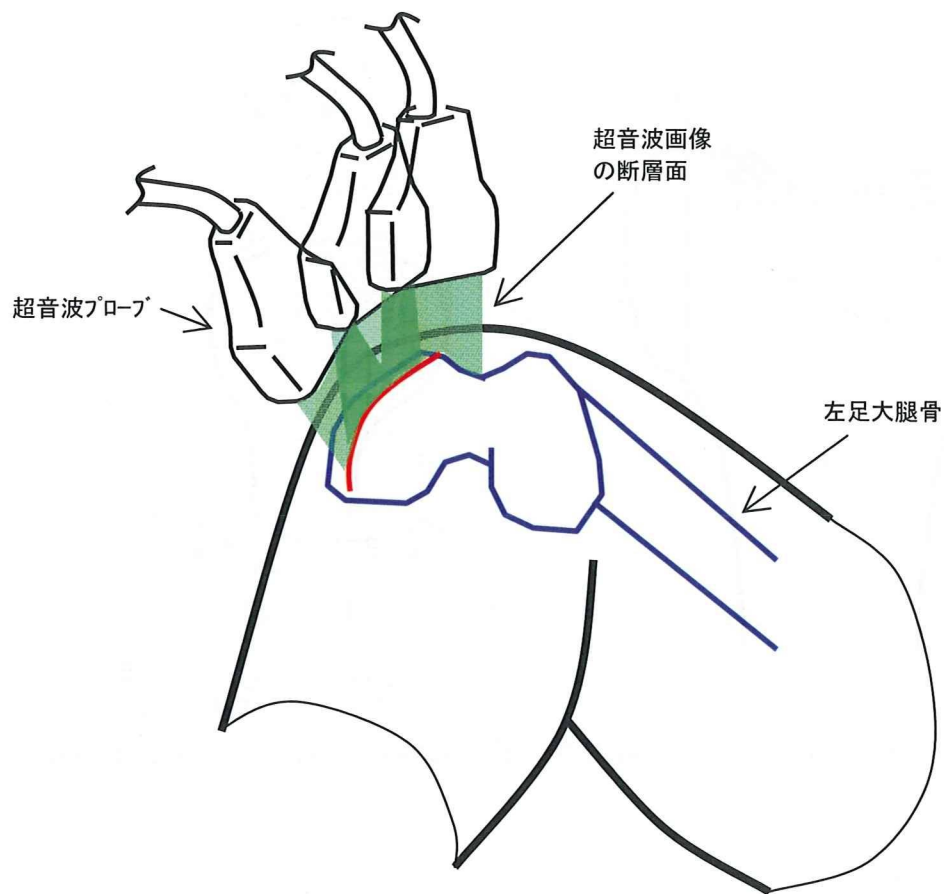


図 4-1 超音波画像取得モード図

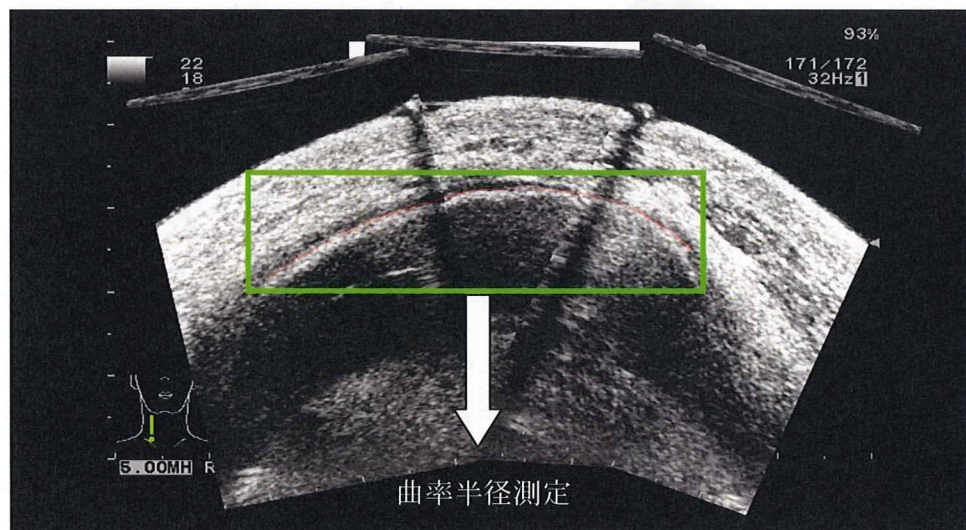


図 4-2 取得超音波 B-mode 画像

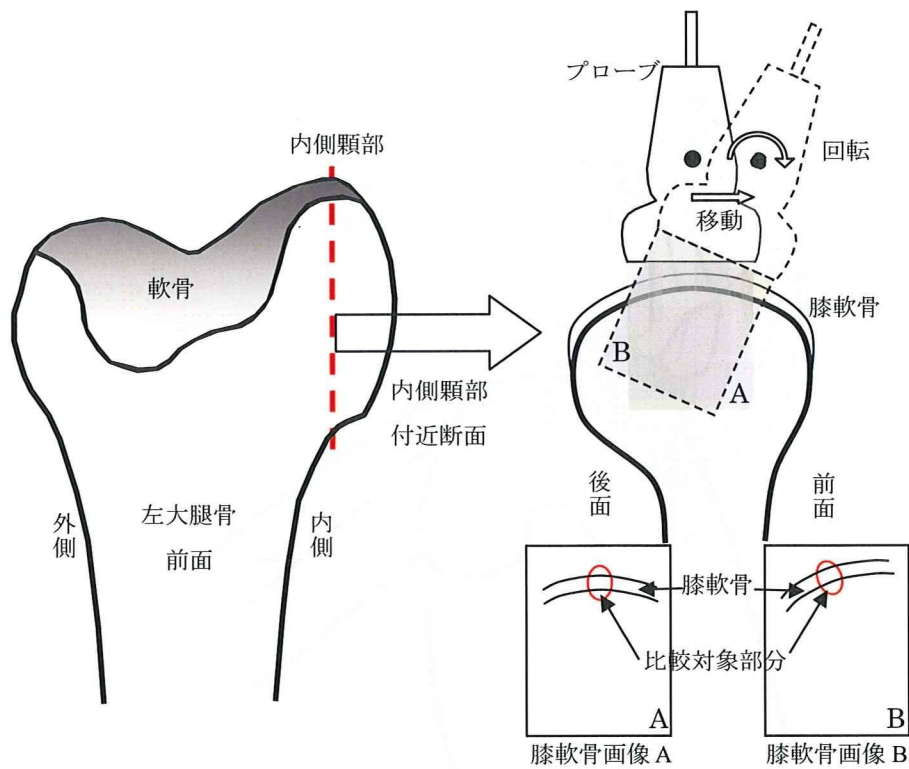


図 4-3 超音波ビーム入射角の許容範囲検討のためのデータ収集方法

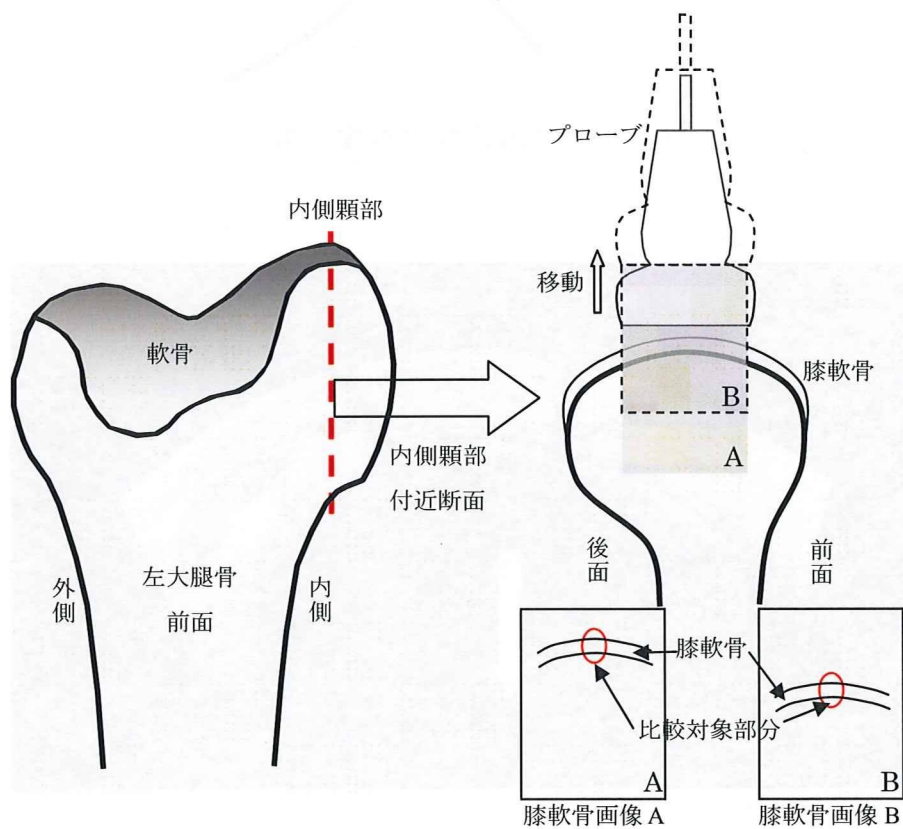


図 4-4 超音波ビームの送信フォーカス深度と対象物深度との差の許容範囲検討のためのデータ収集方法

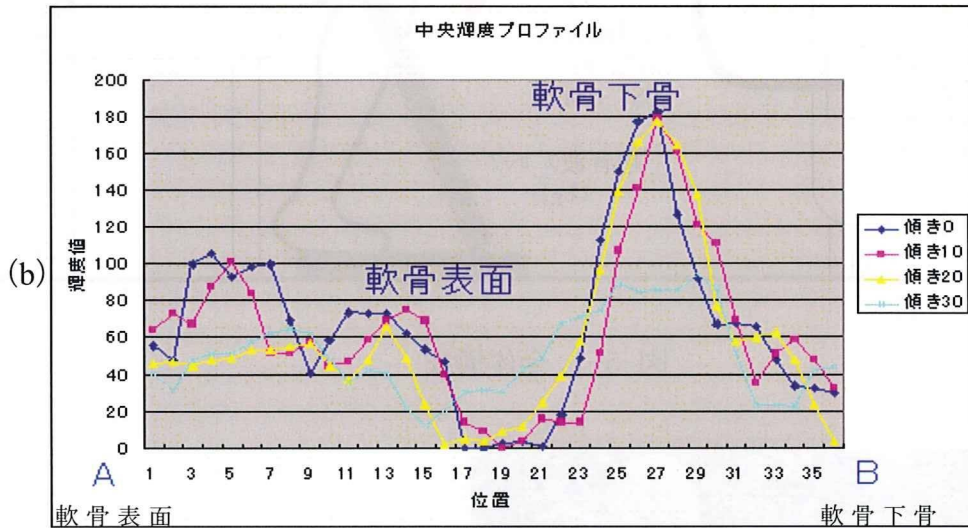
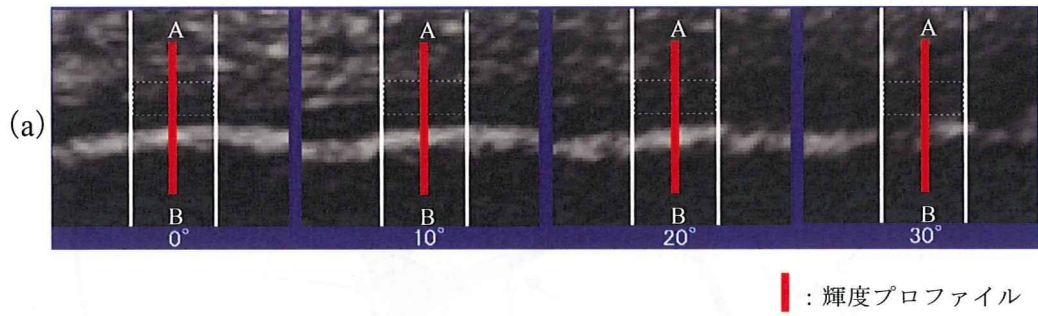


図 4-5 超音波ビーム入射角度の許容範囲検討のための画像と輝度プロファイル

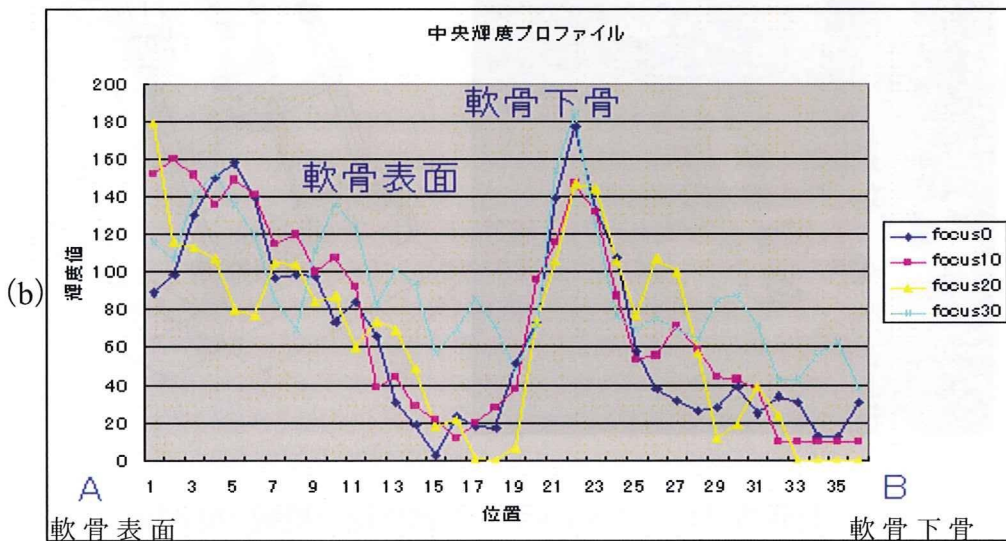
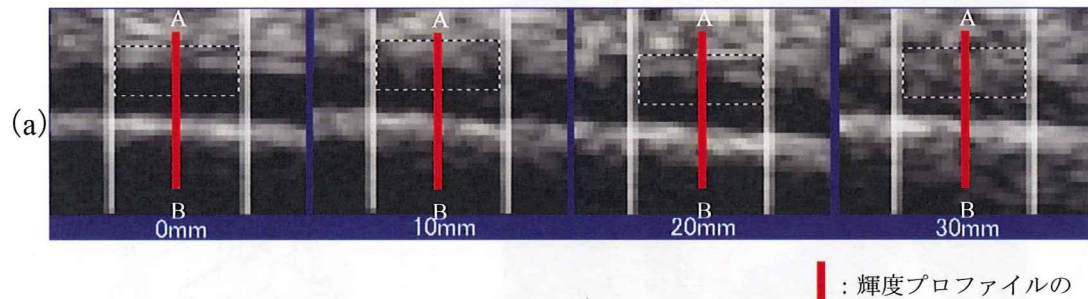


図 4-6 超音波ビームの送信フォーカス深度と対象物深度との差の許容範囲検討のための画像と輝度プロファイル

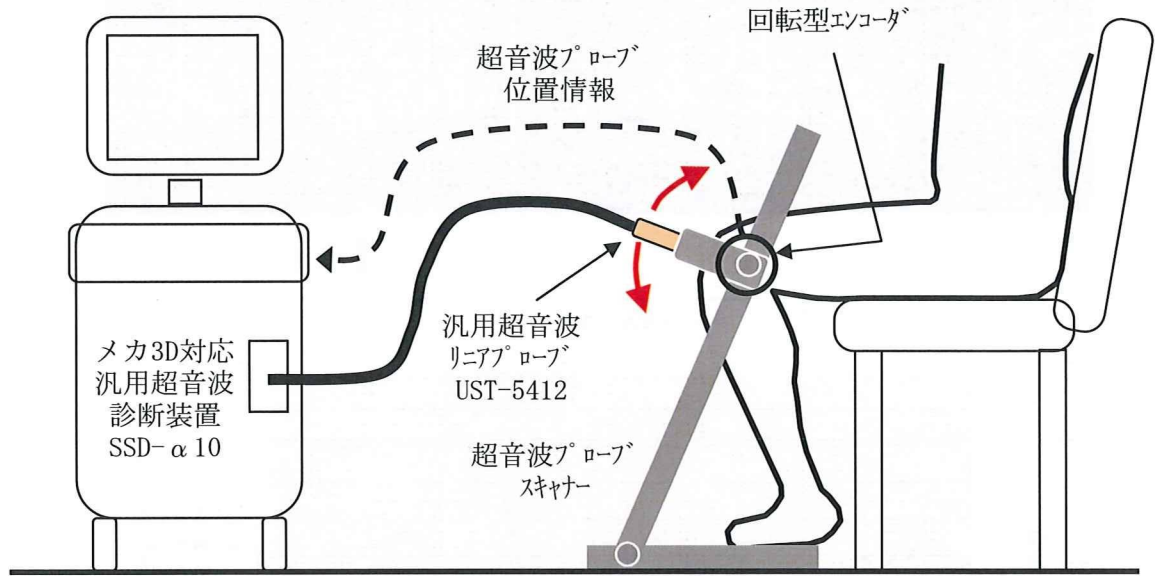


図 5-1 全体構成

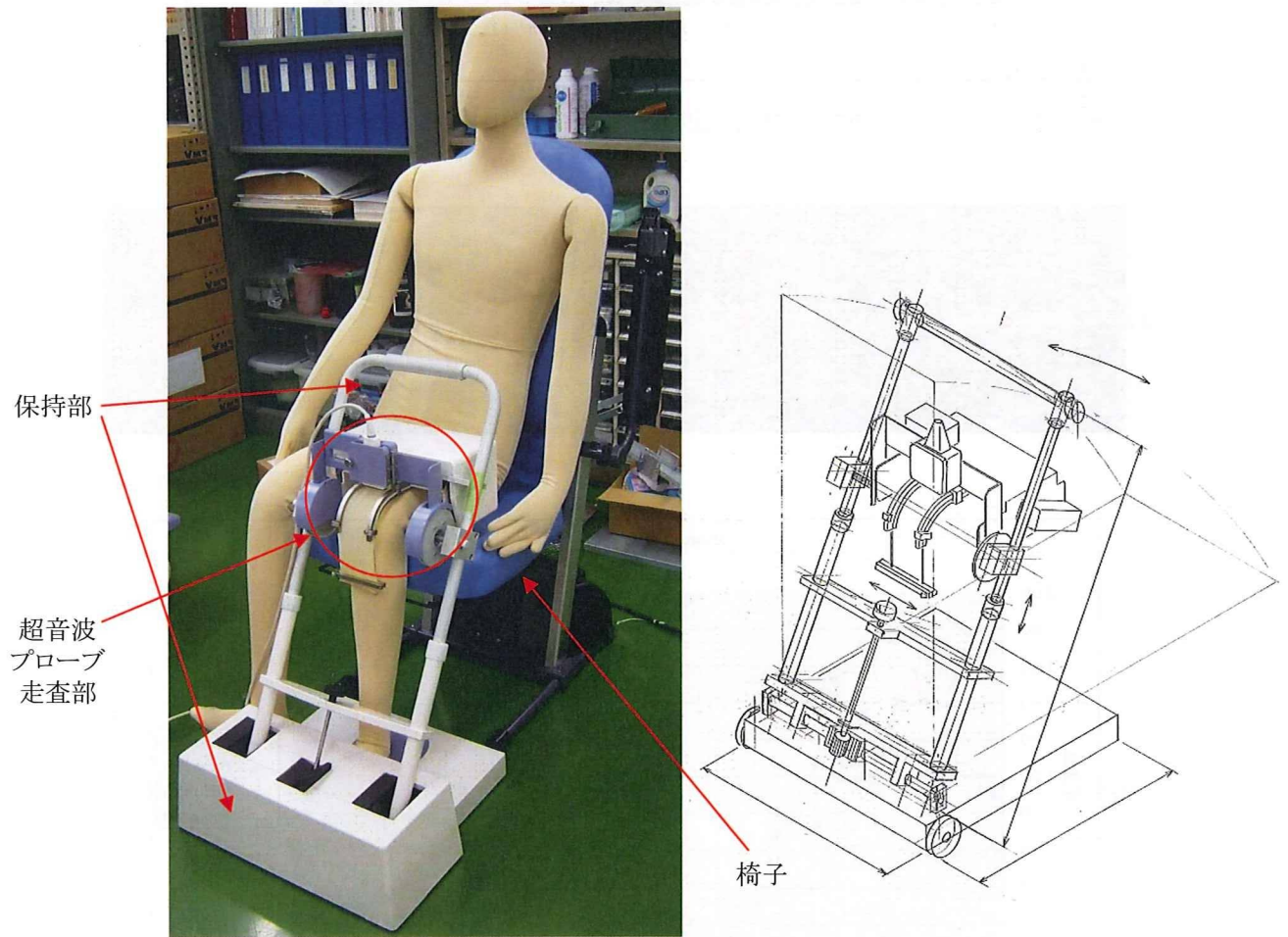


図 5-2 超音波プローブスキャナーの試作機の概観と模式図

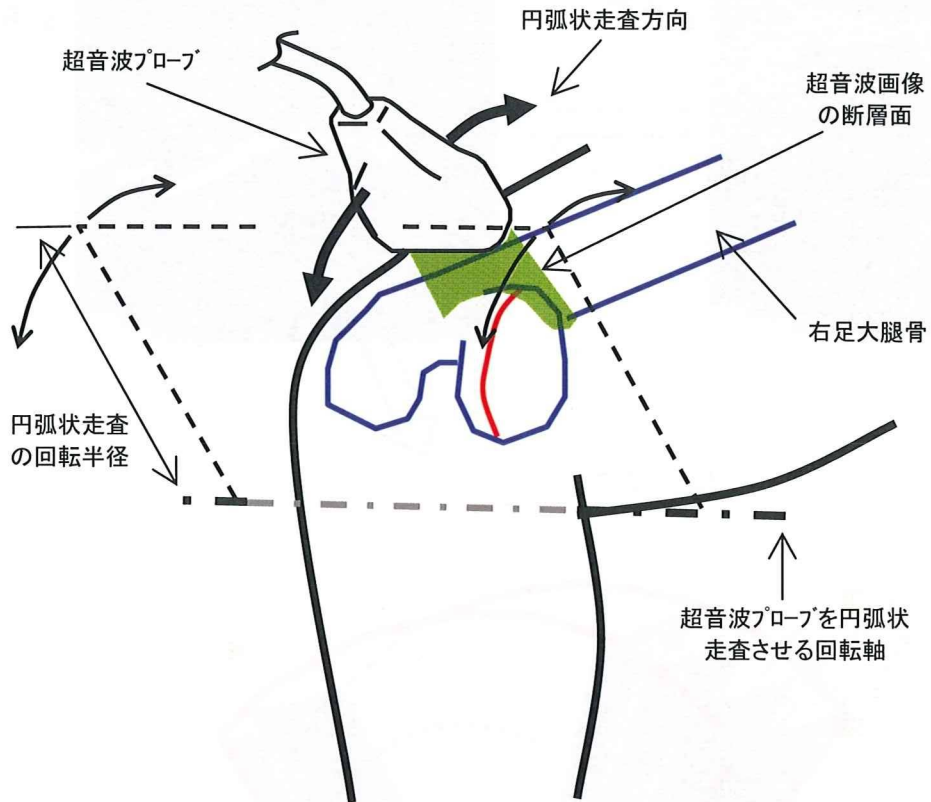


図 5-3 超音波プローブ走査部の模式図

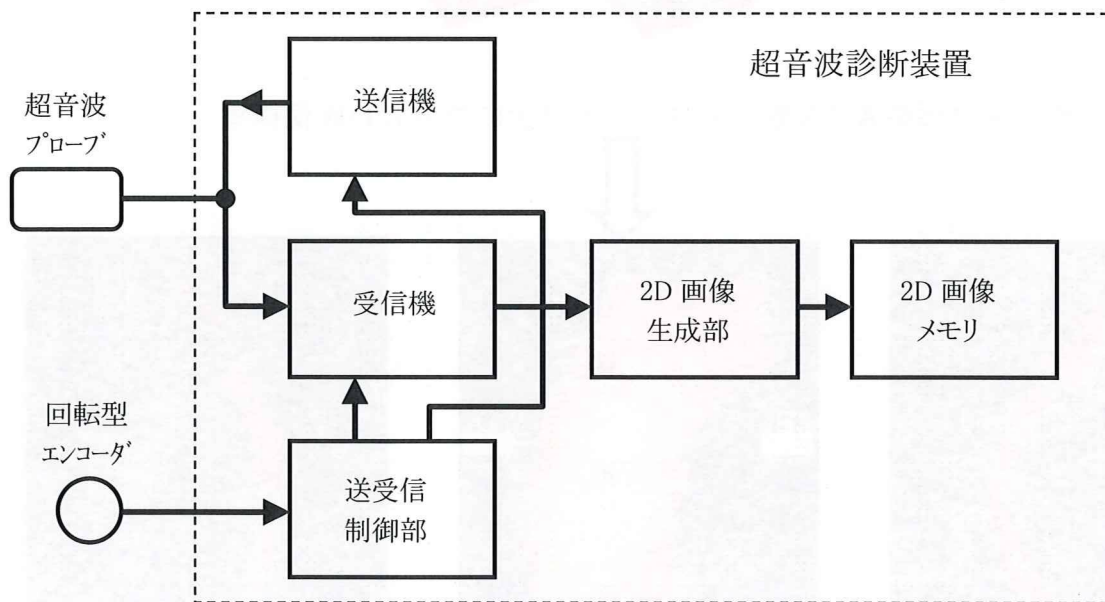
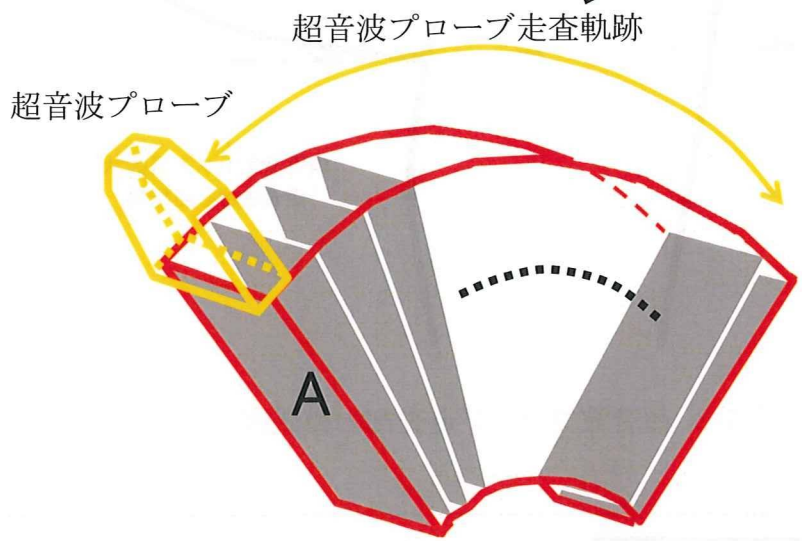
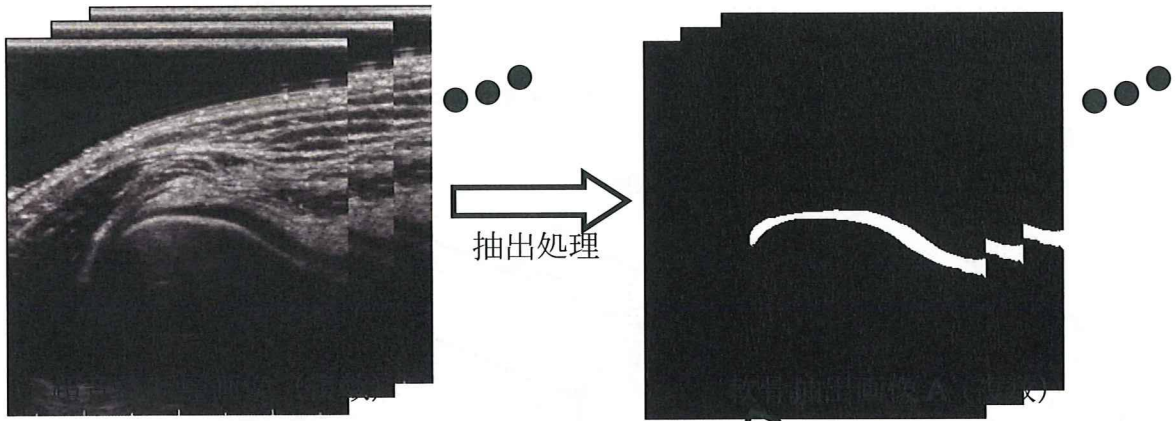
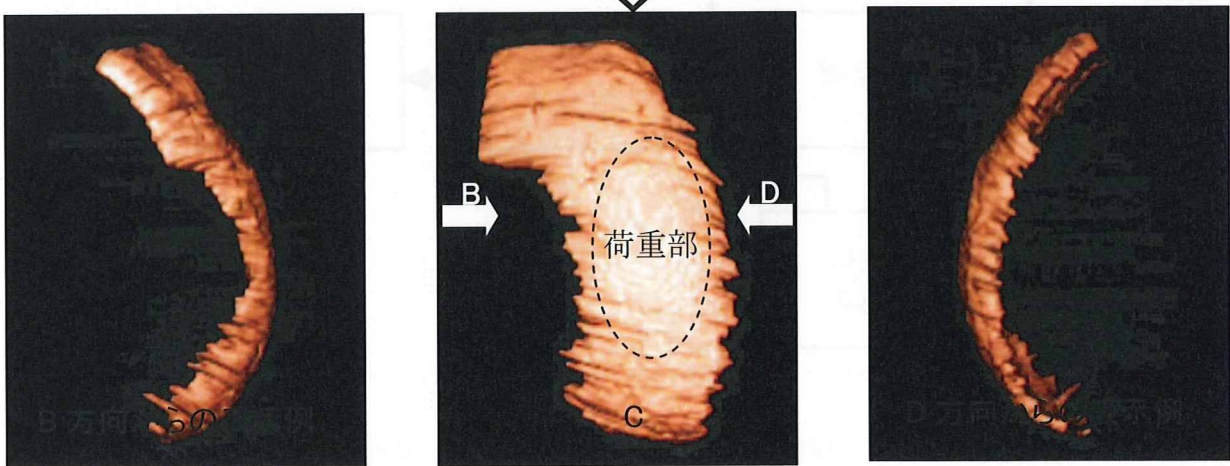


図 5-4 超音波プローブ、回転型エンコーダ、および超音波診断装置の構成



軟骨抽出画像 A (複数) をコンケイブ状に並べ 3D 画像構築



膝軟骨三次元画像表示例

図 5-5 膝軟骨の2D断層画像から3D表示までの流れの模式図



図 6-1 下肢保持具・プローブスキャナー

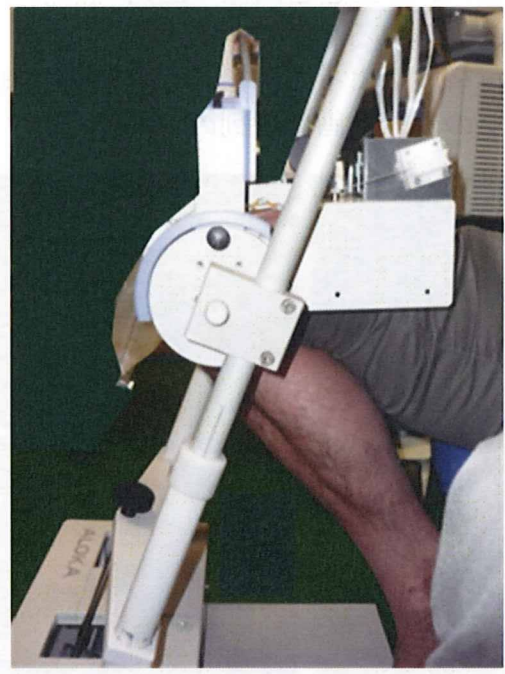


図 6-2 大腿骨内側顆部撮像風景 (左：撮像開始位置、右：撮像終了位置)

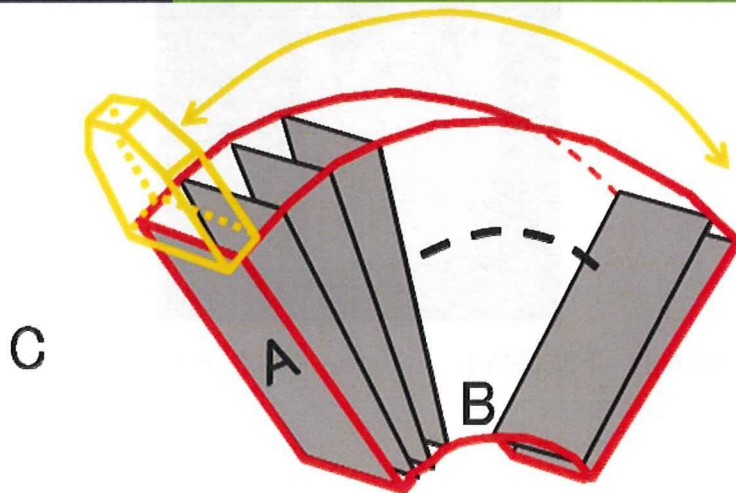
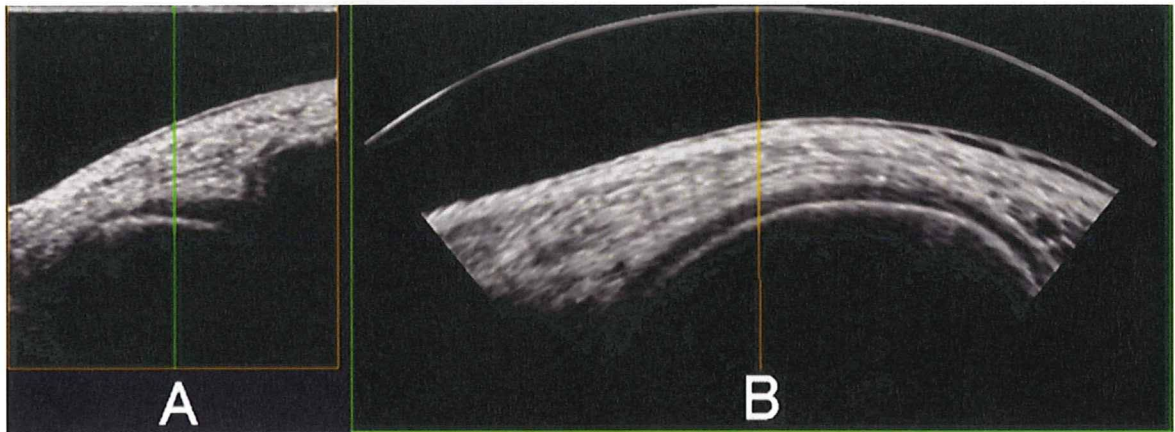


図 6-3 プローブの動きと画像の配列

A : 各位置で得られる超音波画像

B : 三次元再構成によって得られた関節軟骨側面画像

C : プローブの動きと画像配列の関係模式図

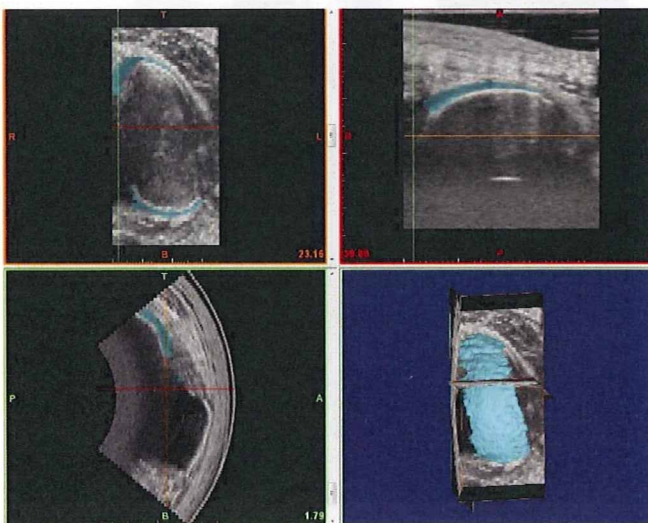


図 6-4 DICOM 画像処理ソフトを用いた軟骨領域抽出

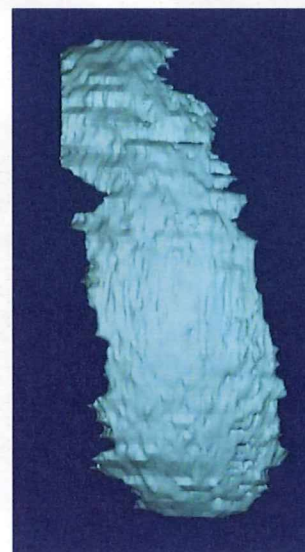


図 6-5 超音波画像より作成した 3 次元表面形状モデル

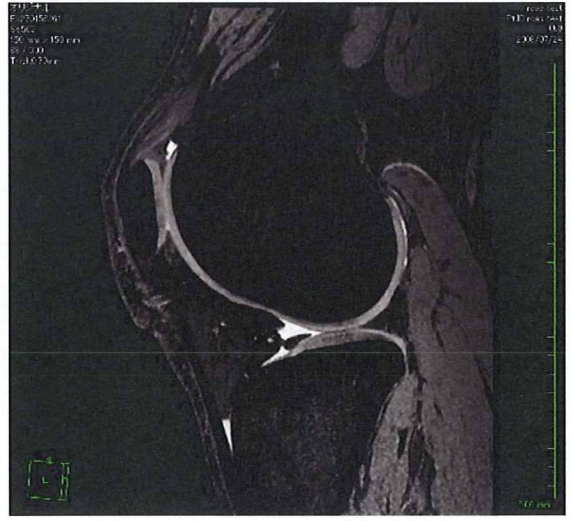
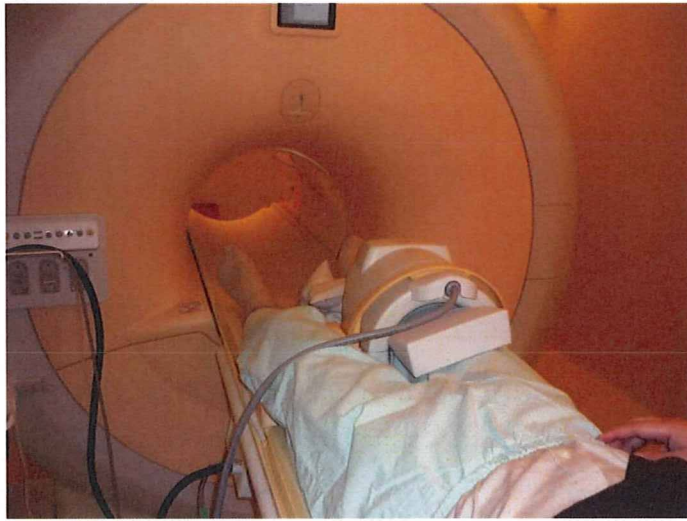


図 6-6 MRI による右膝関節撮像（左：撮像風景、右：撮像画像）

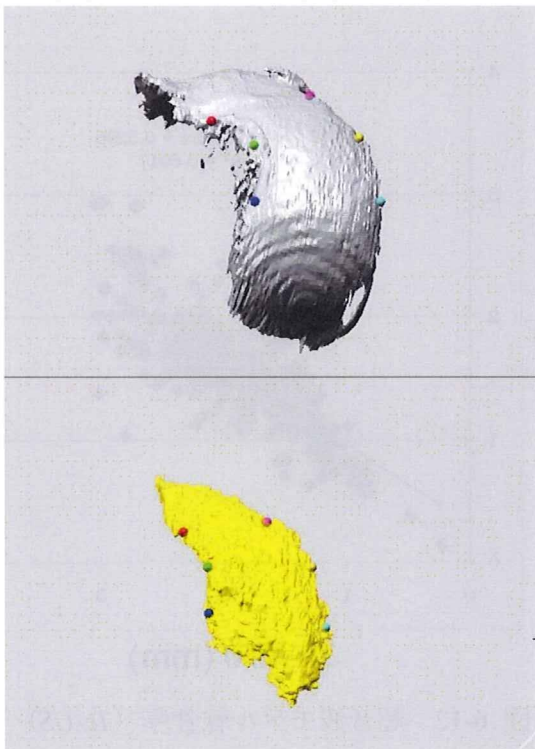


図 6-7 MRI 画像より作成した 3 次元表面形状モデル（上）および超音波モデル（下）

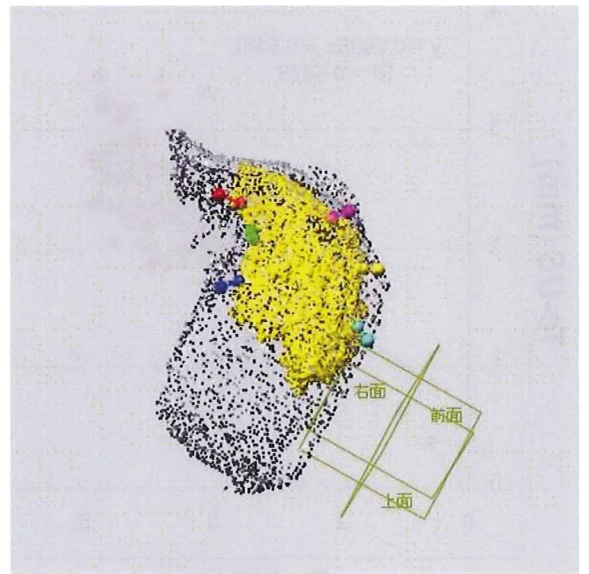


図 6-8 超音波関節軟骨モデルと MRI 関節軟骨モデルとの位置合わせ

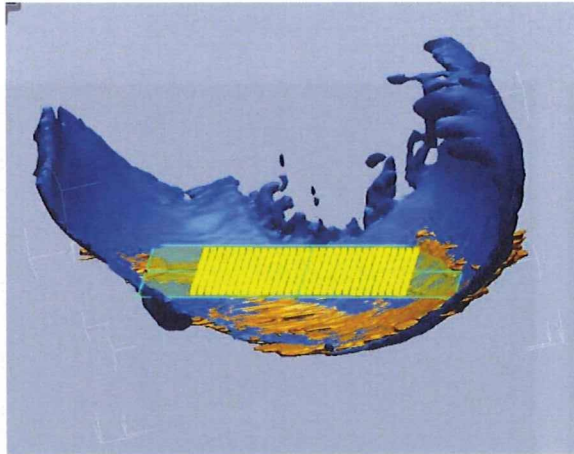


図 6-9 軟骨厚測定点を決定するための基準面を作成し、基準面上に関節軟骨厚測定基準点を1mm 間隔に作成

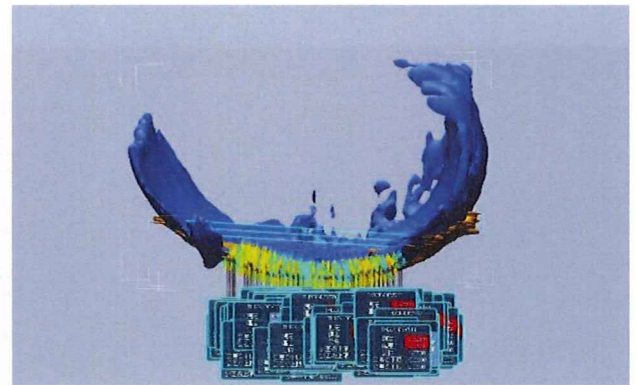


図 6-10 各基準点における基準面に対する法線と各三次元モデルとの交点における各三次元モデルの厚さを計測
超音波モデル、MRI モデルの各点の厚さをそれぞれ $Tc-US$, $Tc-MRI$ とした

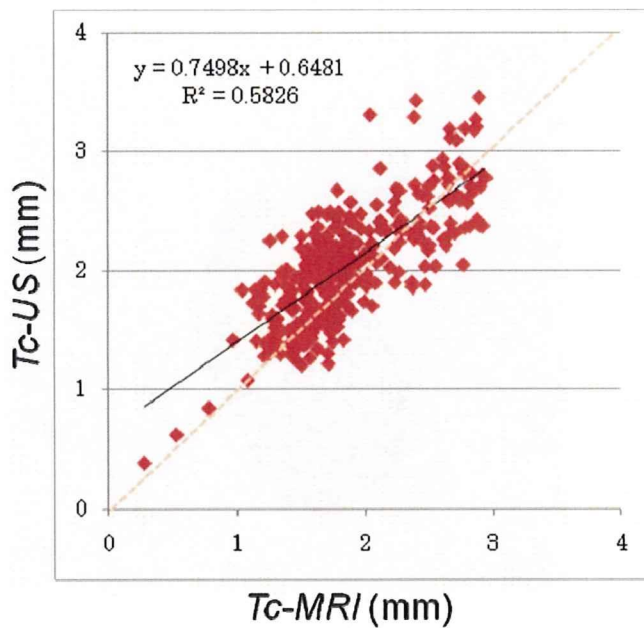


図 6-11 超音波モデル軟骨厚 ($Tc-US$) と MRI 軟骨モデル厚 ($Tc-MRI$) との関係 (36 歳男性)
有意な相関($p < 0.0001$)がみられた

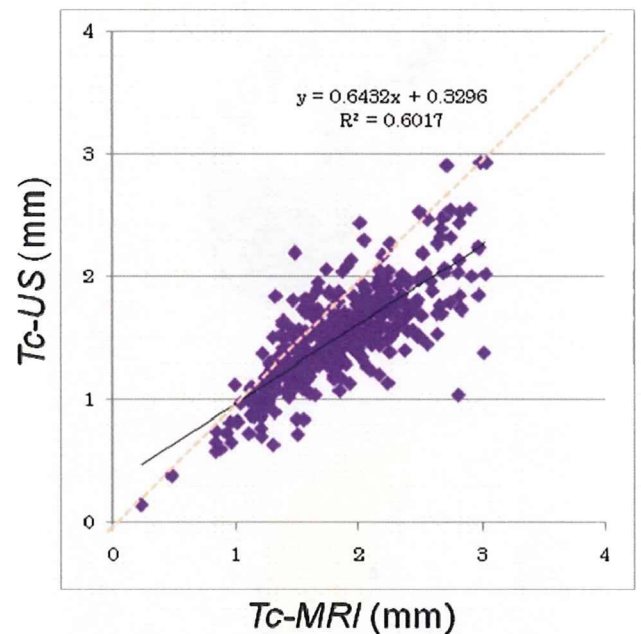


図 6-12 超音波モデル軟骨厚 ($Tc-US$) と MRI 軟骨モデル厚 ($Tc-MRI$) との関係 (59 歳男性)
有意な相関($p < 0.0001$)がみられた

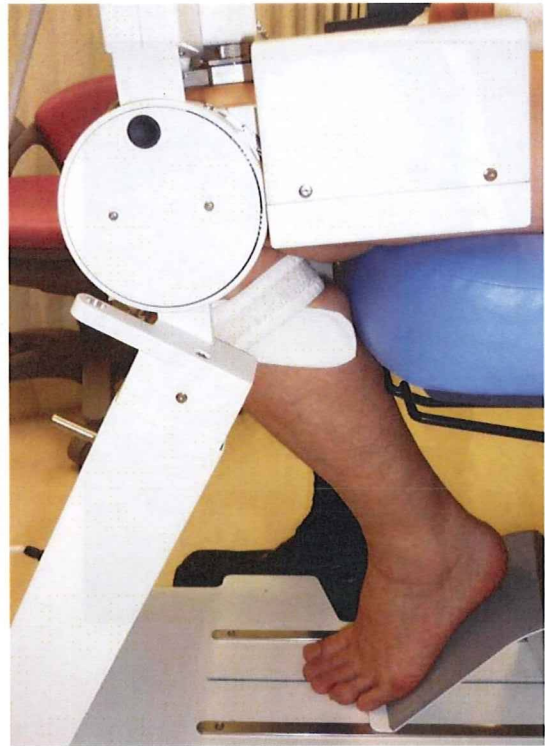
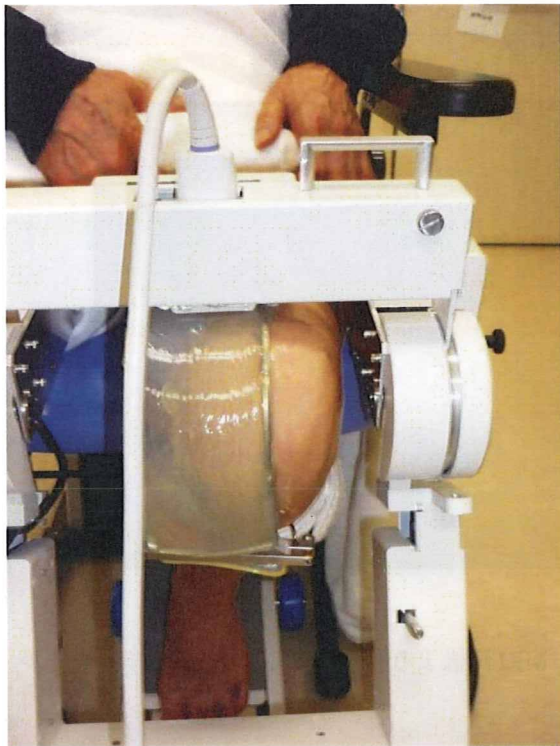


図 7-1 大腿骨内側顆部撮像風景 (左：正面像、右：側面像)

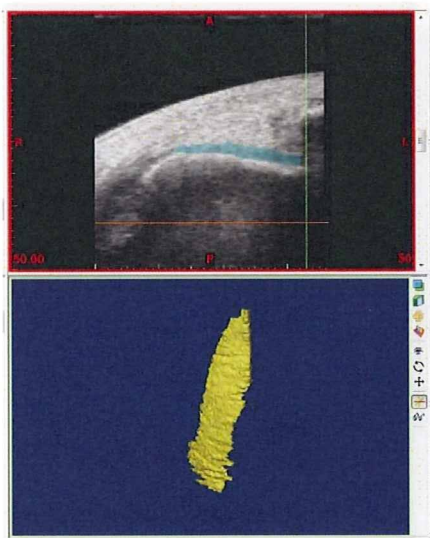


図 7-2 DICOM 画像処理ソフトを用いた軟骨領域抽出



図 7-3 超音波画像より作成した 3 次元表面形状モデル



図 7-4 MRI 膝関節像（矢状断面像）

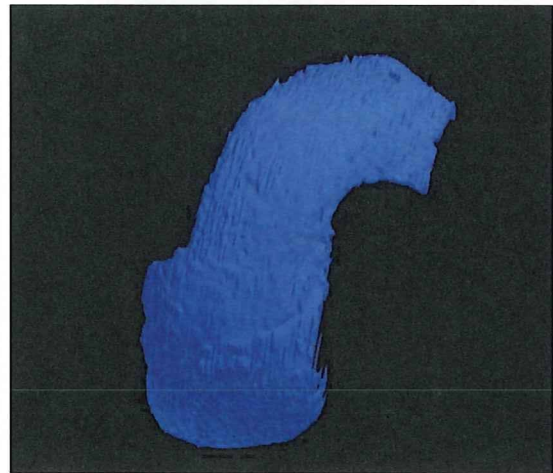


図 7-5 MRI 画像より作成した 3 次元表面形状モデル

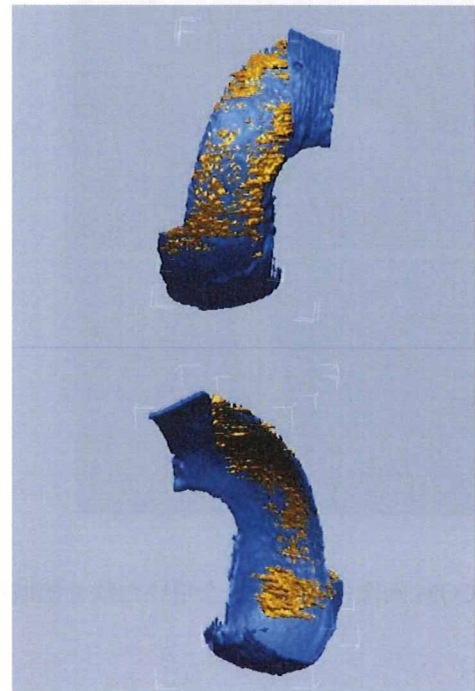
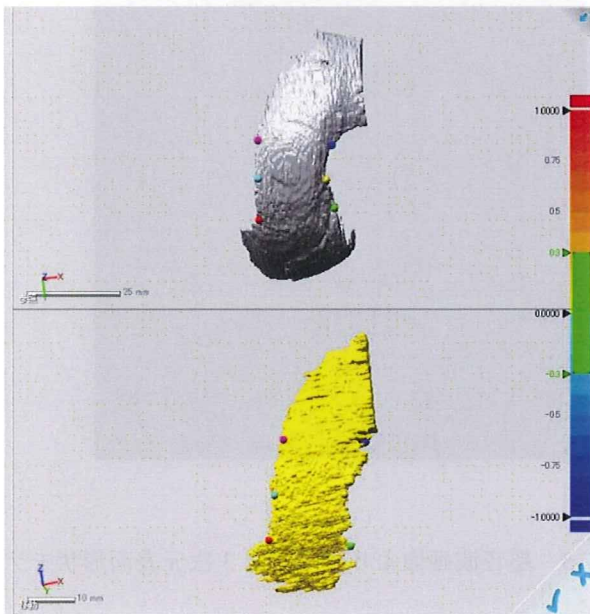


図 7-6 超音波関節軟骨モデルと MRI 関節軟骨モデルとの位置合わせ
 左 MRI 画像より作成した 3 次元表面形状モデル（上）および超音波モデル（下）
 右 位置あわせ後の MRI モデル（青）と超音波モデル（茶）