

画像計測の技術動向

田中敏幸

慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科

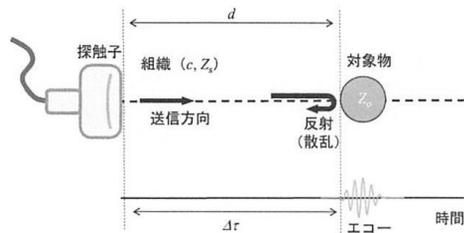
1. 超音波画像診断装置

- 超音波の生態に対する良好な透過性の利用
- 生体内部の臓器形状情報や血流の動態情報を可視化
- リアルタイム性：X線CTやMRIに勝る

- 超音波エコー信号の振幅情報を画像化
(B-mode)
- 位相情報の変化→流速の二次元分布を画像化
(ドップラ法)

1.1 パルスエコー法

- 収束超音波ビームの送受信、エコー信号の到達時間から対象物までの距離を推定する
- 生体内における超音波の伝搬速度が一定（1,530 m/s）と仮定



計測と制御、第58巻、第7号、pp.489/493より引用

$$d = \frac{c \cdot \Delta\tau}{2}$$

- $c \cdot \Delta\tau$ は伝搬速度（音速）と伝搬時間
- 波長がエコー源より十分に小さい場合、エコー信号の強度は、音響インピーダンスの差により決まる反射係数に比例する。
- 音響インピーダンスは媒質固有の値であり、媒質の密度 ρ と音速 c の積で定義される。

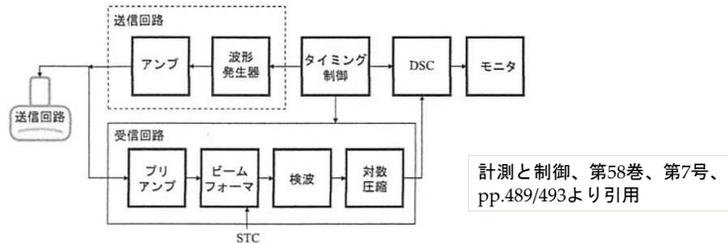
$$Z = \rho \cdot c$$

- 二つの媒質が接している状況で、媒質1の方向から音波が入射する場合の反射係数 R は次のようになる。

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

1.2 B-mode画像の構成原理

- 超音波エコービームを二次元あるいは三次元的に走査させ、受信エコー信号の強度情報をもとに再構成した画像をB-mode (Brightness-mode) という。



- Pulse repetition period (パルス繰り返し周期)
- STC (Sensitivity time control)
- DSC (Digital scan converter)

1.3 超音波ドップラー法

- エコー信号の干渉により起こるスペックルと呼ばれる斑紋状模様をフレームごとに追跡する。
 - 1. その位置情報から速度を評価する方法
 - 2. ドップラー効果によっておこる周波数偏移をフーリエ変換もしくは自己相関により定量化する方法
- 汎用的にはドップラー法が利用される
 - 連続波ドップラー法
 - パルスドップラー法

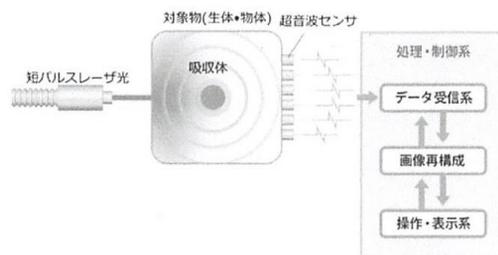
2. 超音波を用いた生体音響特性

- 生体組織の病理学的な組織組成と物理的性質の関係性
- 組織性状評価 (tissue characterization: TC)
- QUS (Quantitative ultrasound)

- 後方散乱係数
- 振幅包絡特性
- 固有音響特性の評価
 - 音響インピーダンス
 - 音速

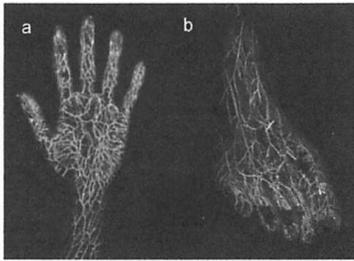
3. 光超音波による3次元画像

- パルス光を対象に照射し、対象内部の吸収体が光エネルギーを吸収し、温度上昇により体積膨張して生じる光音響波を検出し、取得した信号から光吸収分布像として画像再構成する。

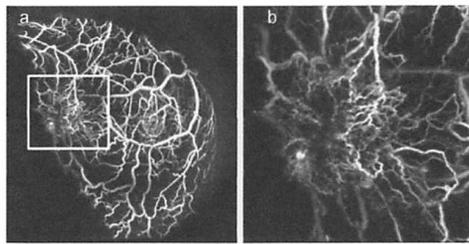


計測と制御、第58巻、第7号、
pp.499/503より引用

- 光の特徴である吸収体の光吸収特性を描画でき、超音波の特徴である高い到達深度を合わせ持つ。
- 光超音波3Dイメージング技術



手の血管を撮影した画像



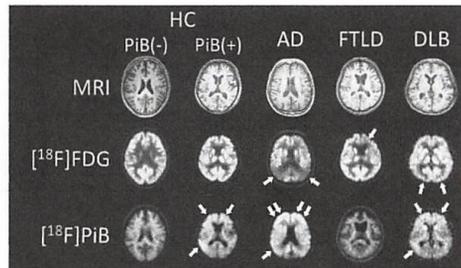
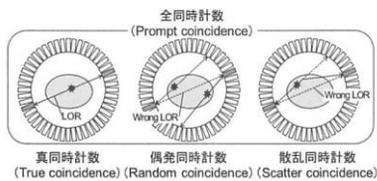
乳がんの光超音波計測画像

計測と制御、第58巻、第7号、pp.499/503より引用

- 医療・健康への応用
 - 微細な血管を3Dイメージングと酸素飽和度イメージングが可能
 - 乳がんの画像検診への応用
 - 術前術後検査
 - 治療後の予後検査
 - 生活習慣病リスクの評価

4. PETと臨床応用

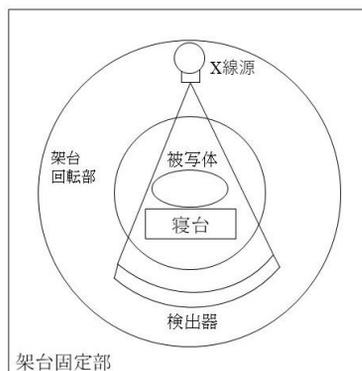
- 陽電子放出断層撮像 (positron emission tomography: PET)
- 放射性薬剤を投与し、体内から放出される放射線をPET装置で計測する
- PET/CT



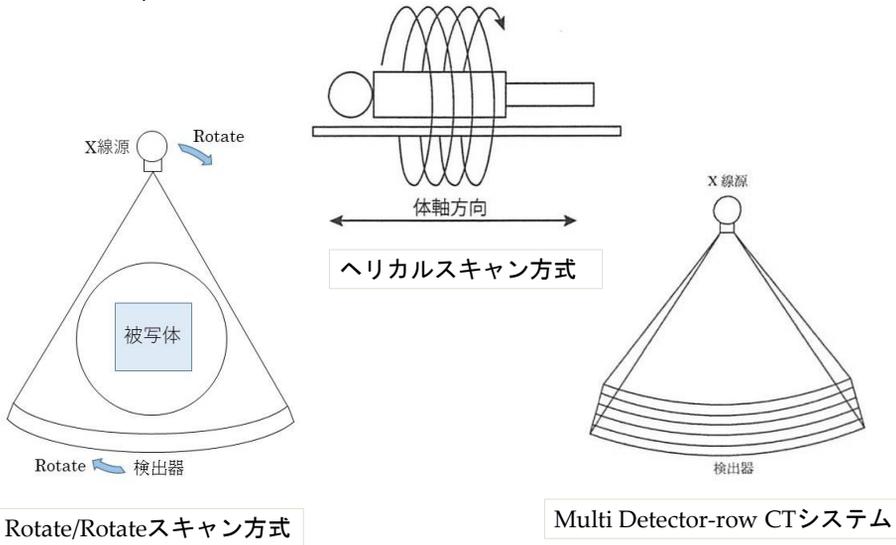
計測と制御、第58巻、第7号、pp.504/508より引用

5. X線CT

- システム構成
 - 架台固定部、架台回転部、寝台、X線源、検出器

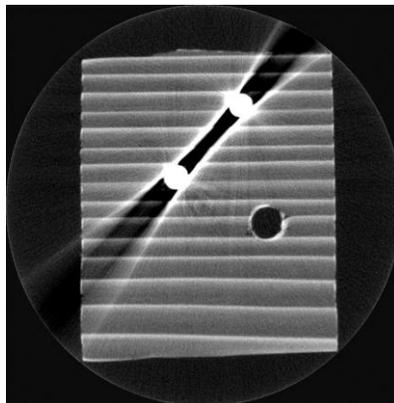


● スキャン方式



● 問題点

- 被ばく量、メタルアーチファクト、計算時間

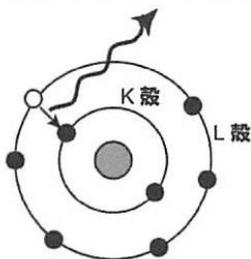


メタルアーチファクトの例

6. 蛍光X線CT

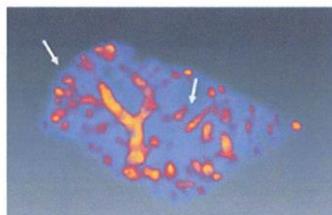
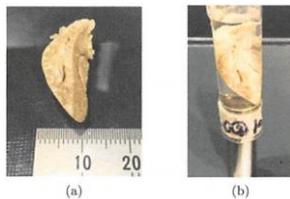
- 生体内の微量原子の検出
- 蛍光X線とは、光電効果に由来する2次X線である。

K α Fluorescent X-Ray



計測と制御、第58巻、第7号、pp.514/519り引用

- 蛍光X線CTとは、高感度微量元素分析法である蛍光X線分析にCT画像再構成の情報処理を組み合わせた計測技術である。



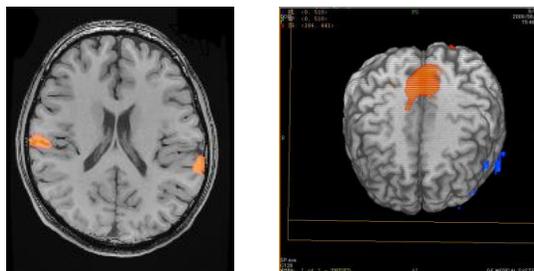
ラットの肝臓と再構成画像

- (a) ホルマリン固定されたラット肝臓
- (b) ホルマリンを満たした容器内に収容したラット肝臓
- (c) ラット肝臓内の血管内に付着するBaが描出されたXFCT画像

計測と制御、第58巻、第7号、pp.514/519り引用

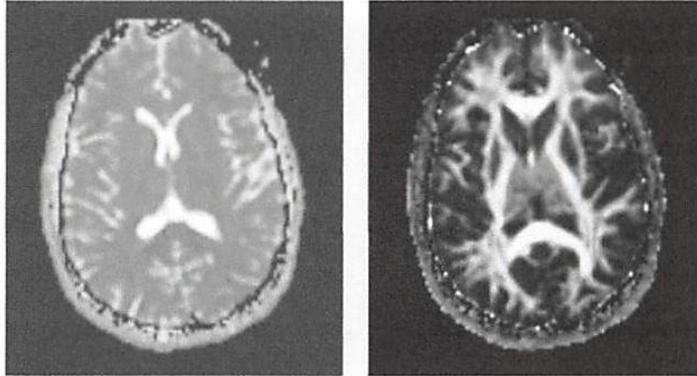
7. MR画像

- 磁気共鳴画像法 (magnetic resonance imaging: MRI)
- 人体内部の水素原子核が作る巨視的磁化に由来する核磁気共鳴信号から、人体の組織構造を画像化する。



8. 拡散MR画像

- 拡散MRIは、水分子の拡散の定量的計測が対象である。
- 拡散MRIは、単一の拡散強調像および異なる撮像設定値による画像群の組み合わせを得る撮像法の総称。
- 代表的：拡散テンソルイメージング
- 生体の微細構造により制限された拡散の計測に基づき、その構造を推定する。
- 構造情報の例として、脳白質や筋繊維の方向や、神経細胞の軸索系などが信号地モデルに含まれるパラメータやその派生物として得られる。



拡散テンソルのパラメータ画像
左：平均拡散能、右：拡散異方性

計測と制御、第58巻、第7号、pp.525/529リ引用

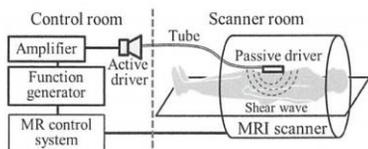


拡散テンソルTractographyの例
左：錐体路、右：白質全体と脳梗塞（紫）

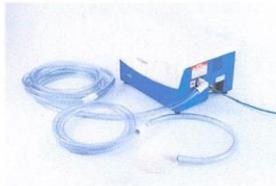
計測と制御、第58巻、第7号、pp.525/529リ引用

9. エラストグラフィ

- 撮影対象に応力を加えることによって、内部に生じる変位や弾性波の伝搬を捉え、非侵襲的に粘弾性などの力学的性質を画像化する手法を得ラストグラフィという。
 1. MRE (magnetic resonance elastography)
 1. 磁気共鳴画像装置を利用したもの
 2. USE (ultrasound elastography)
 1. 超音波診断装置を利用したもの
- 利用技術
 - ヤング率、ずり弾性率・剛性率、粘性率、粘弾性、ずり弾性波



(a) MR エラストグラフィのシステム概要図



(b) Resoundant 社の空気圧式加振装置



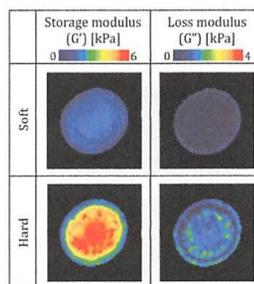
(c) 振動子



(d) 固定用ベルト



(a) 粘弾性ファントム



(b) 貯蔵および損失弾性率分布

エラストグラフィ用生体粘弾性模擬ファントム

空気圧式加振装置を用いたMRエラストグラフィ

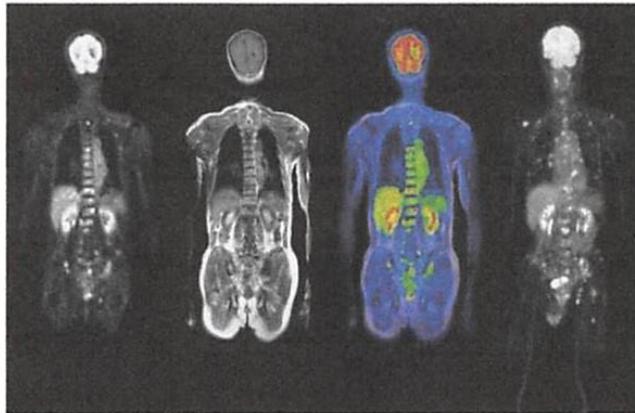
計測と制御、第58巻、第7号、pp.530/534より引用

10. PET/MRI装置

- PET (positron emission tomography)
- MRI (magnetic resonance imaging)
- 二つを組み合わせた装置

- 近年のPETは、CT (computed tomography) 装置と一緒にになってPET/CT装置となっている。
- CT → MRI に置き換わった装置が開発されている。(PET/MRI装置)

- PET/MRI装置の種類
 - シーケンシャル型
 - PET単体装置とMRI単体装置を直線状に配置
 - 共用する寝台がそれぞれに移動する
 - インサート型
 - MRI単体機の中にPET検出器を挿入
 - PET検出器のみの開発でよい
 - 通常はMRIとして利用する
 - 臨床的には使いにくい
 - 統合型
 - MRIとPETの両方の検出器が内蔵
 - MRIとPETの撮像中心が一致



(A) (B) (C) (D)

PET/MRI検査で得られた (A) PET画像、(B) T1強調冠状断像、(C) (A)と(B) の融合画像、(D) PETのmaximum intensity projection (MIP) 画像

計測と制御、第58巻、第7号、pp.535/540より引用

- PET/MRI検査の利点

- 組織や臓器が持つ解剖学的構造と機能を二つの異なる視点で画像化することができる。
- 一般的なPET/CTで得られる画像よりもコントラストが高い。
- MRIはX線被ばくがない。PETによる放射線被ばくのみとなる。

- 欠点

- PETは定量性の減弱補正を必要とする。CTからは補正用の μ マップを作成するためのデータを持つ。MRIには補正用データがない。
- 生体内デバイスを持つ患者には不適合。今後このような患者が増えると思われる。