

# 医療装置およびデバイスに見る アナログ技術の重要性と面白さ

## 概要:

最近の医療装置や医療デバイスは先端エレクトロニクス技術の塊です。

これら医療装置では、様々な物理現象(光、超音波、X線、核磁気共鳴など)を利用し体内を非侵襲で観測します。これら医療装置やデバイスの高性能化はアナログ技術(センサ、アナログ回路、アナログ半導体技術など)、デジタル技術およびデジタル信号処理技術やIT技術などが支えています。

最近の「医療装置およびデバイスに見るアナログ技術の重要性と面白さ」を垣間見てみたいと思います。

2017年11月7日

群馬大学非常勤講師

東京電機大学非常勤講師

中谷 隆之

## 本日の内容:

### 1) 医療検査&治療装置

- ・内視鏡/カプセル内視鏡
- ・超音波診断装置
- ・X線CT装置
- ・MRI装置
- ・陽子線治療装置など

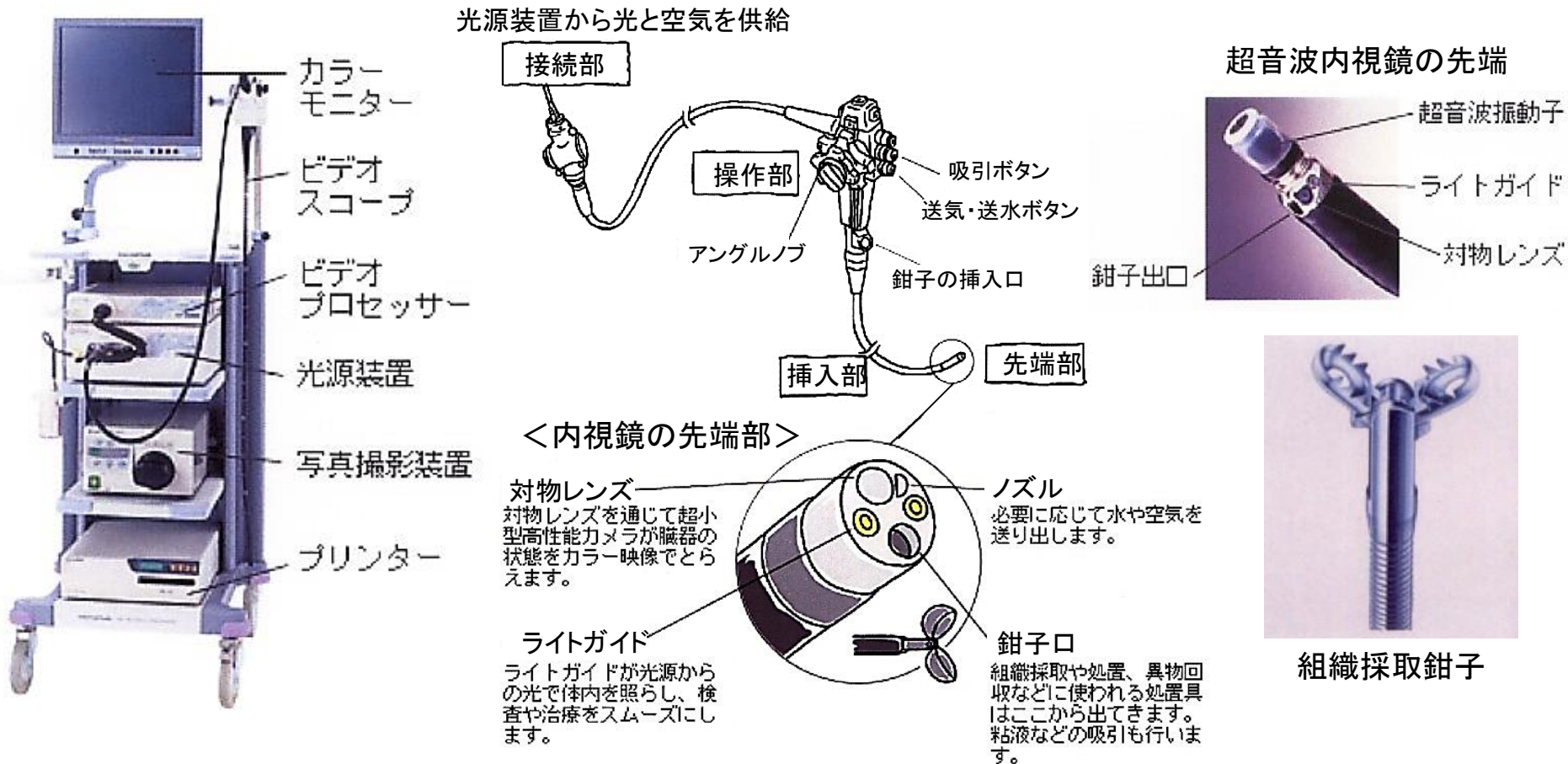
### 2) 興味深い医療&ヘルスケアデバイス

# 内視鏡

内視鏡は、“見る”器具から“処置や治療する”器具に進化している。

“見る”機能も進化し高精細なハイビジョン対応、LED照明による特徴検出や超音波診断も可能。

“処置や治療する”機能として、組織採取や異物の摘出、出血を止める、腫瘍の摘出、胆石の破砕などの治療も可能としている。



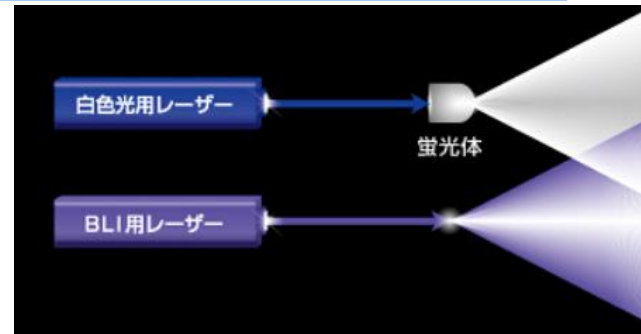
複数の波長光源を使用

# 内視鏡光源システム

2種類のレーザーの発光強度比を変えることで、白色光観察と狭帯域光観察それぞれに適した光を照射し、画像処理との組合せによって観察タイプを切替えて使用できる。

胃壁粘膜の様子を詳細に診断できる。

## BLI(Blue LASER Imaging)画像



[ 短波長狭帯域光成分 ]

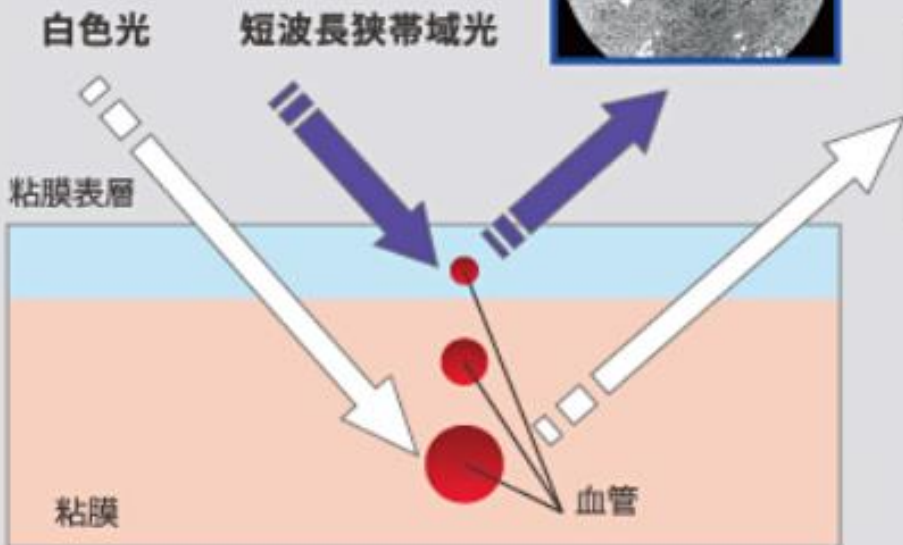


[ 白色光成分 ]



信号処理

BLI 画像



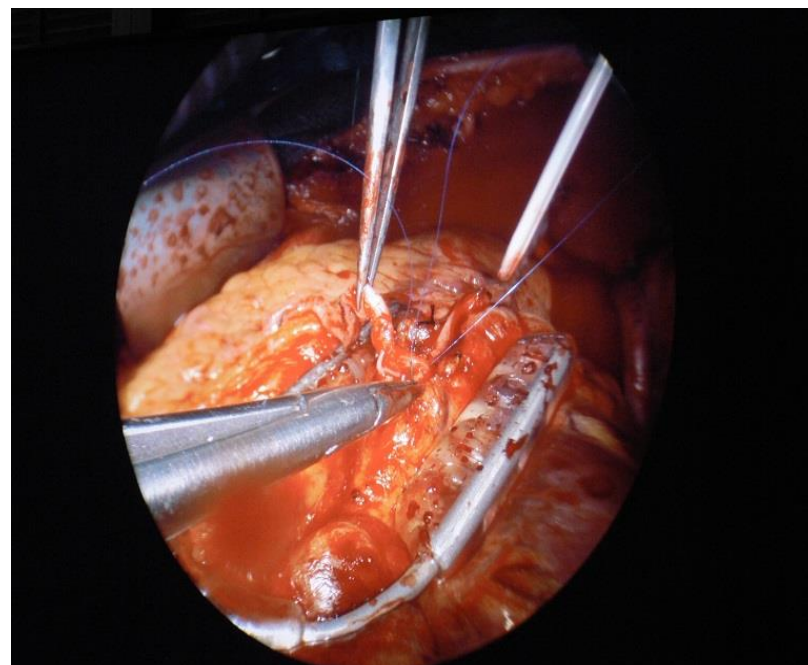
# 手術用8K硬性内視鏡システム

2017年9月

- ・ベンチャー企業のカイロスが世界初の外科手術用8K(8000×4000画素級)内視鏡システムを開発
- ・「内視鏡手術では、血管や神経など大事なものがきちんと見えることが一番大切。8Kは2Kや4Kとは非連続な質感を備えた究極の画像で、外科医が使う一番細い手術用糸なども明瞭に見える」
- ・8K硬性内視鏡の臨床上的メリットとして、
  - (1)術野局所をデジタルズームで拡大できる、
  - (2)術野と内視鏡先端の間の距離をとれるため手術空間を拡大できる、
  - (3)切開範囲の小さい手術が可能になる、
  - (4)手術時間の短縮などによる医療経済学的な効果も見込める

SharpやNHK  
などが技術協力

価格は約6000万円



# 手術ロボット・ダヴィンチ搭載3D内視鏡システム

米国インテュイティブ・サージカル社が開発した内視鏡下手術用ロボット。2000年アメリカにて承認

3Dカメラが患者さんの体内をリアルな立体画像で捉える

ズーム機能搭載で、術野を最大約15倍の拡大視野で捉える

人の手よりも1本多い3本のアームを自分の腕のように自由に操作

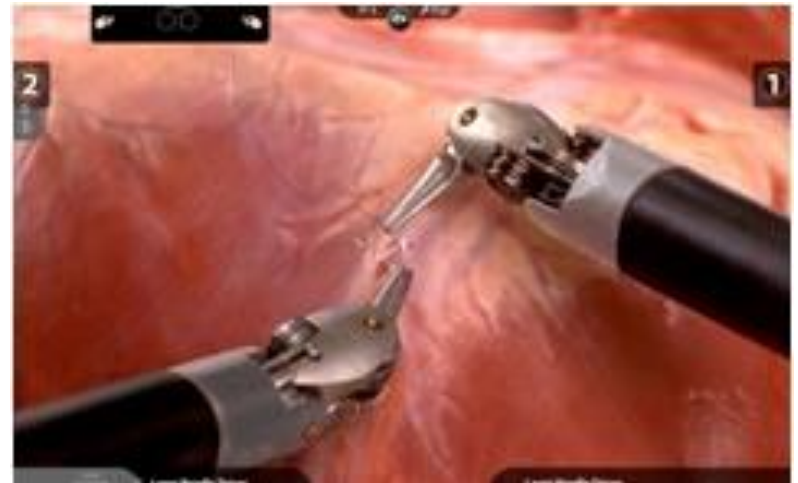
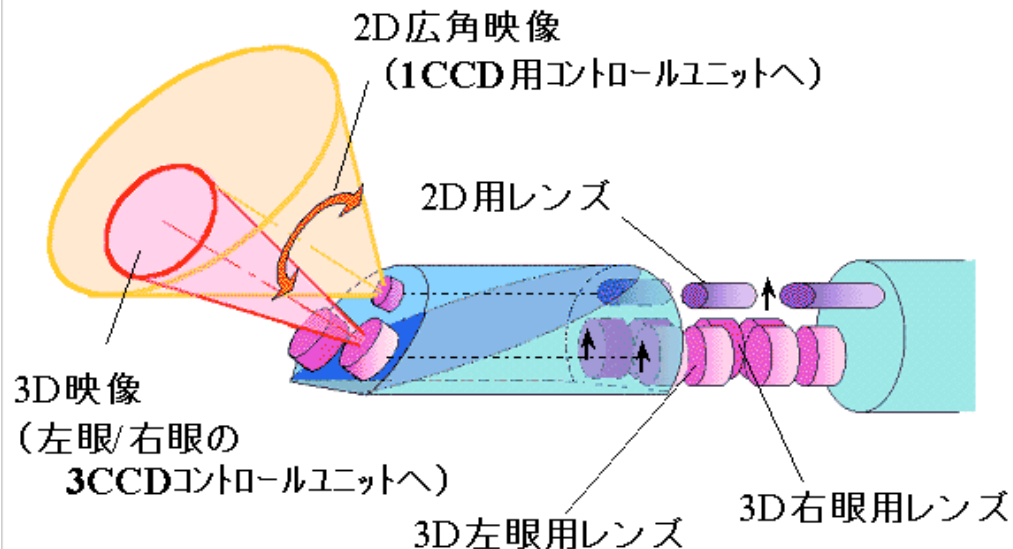
2回転以上もまわるリスト、つかむ、はがすも自在、自分の手指のような鉗子

術者の手ぶれを制御して繊細な手技をサポート

大きな動きも小さな動きに、操作速度をコントロール



## ダヴィンチ3D内視鏡システム



内視鏡では検査困難な小腸や大腸の検査を可能とする

# カプセル内視鏡

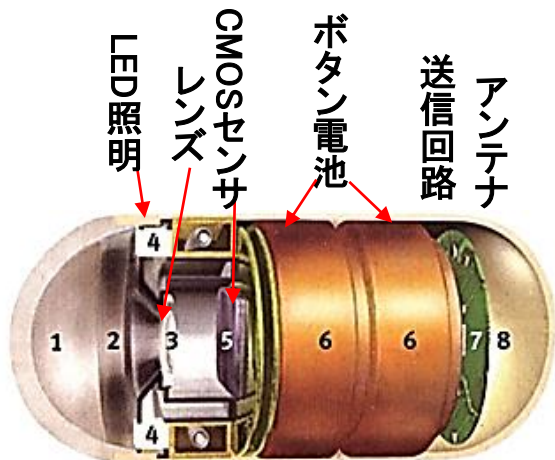
カプセル内視鏡では従来の内視鏡では難しかった小腸などの病変を観察できる。

カプセル内視鏡は、イスラエルのGiven Imaging社で開発された。

アイデア発想1986年、供用開始2001年と実に長期間かかっている。

## Given Imaging カプセル内視鏡

大きさ: 11x26mm

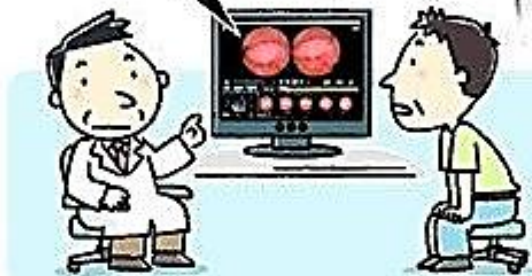


画像センサーを搭載したカプセルをのみ込んで、小腸の内部を撮影する



### ●カプセル内視鏡の長所

- 検査の際、ほとんど苦痛がない
- 従来の内視鏡や胃カメラでは難しかった小腸の病変を発見することが可能に



# カプセル内視鏡構造 : Given Imaging社

サイズ: 11x26mm

重さ: 4g

19万画素CMOSセンサ

撮影分解能0.1mm

視野角140度

撮像: 2枚/秒

最大撮像時間: 8時間

撮像枚数: 5万7千枚

白色LED6個

ボタン電池2個

電圧: 1.55Vx2

電流容量: 55mAh

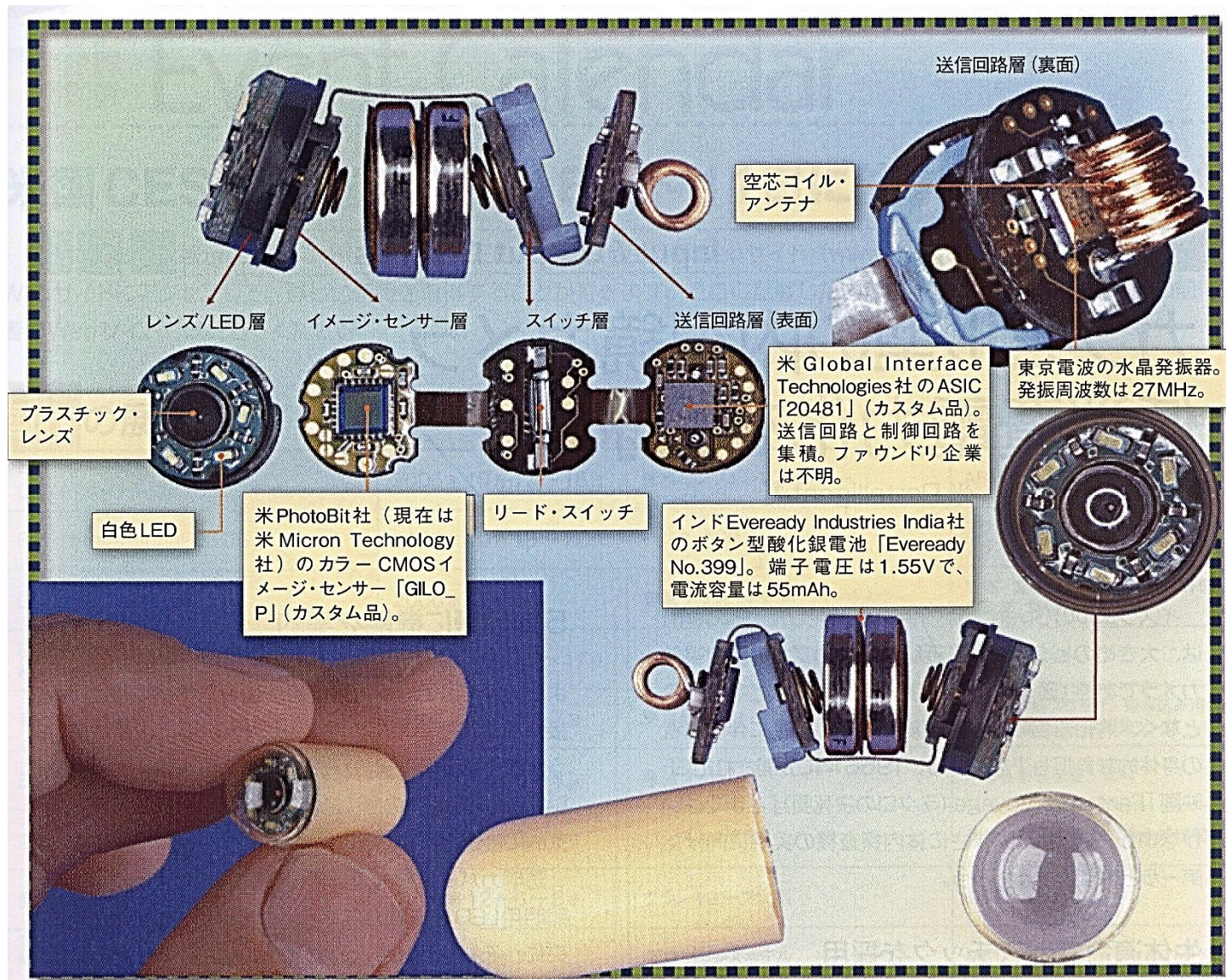
消費電力: 20mW/H

送信周波数: 433MHz

変調方式: MSK

アンテナ: 空芯コイル

パッケージ開封でON



# カプセル内視鏡撮像画像



カプセル内視鏡が捕らえた小腸内部：矢印部に出血



画像から異常を検出する「読影」技術が極めて重要。普及にはAI活用が有効

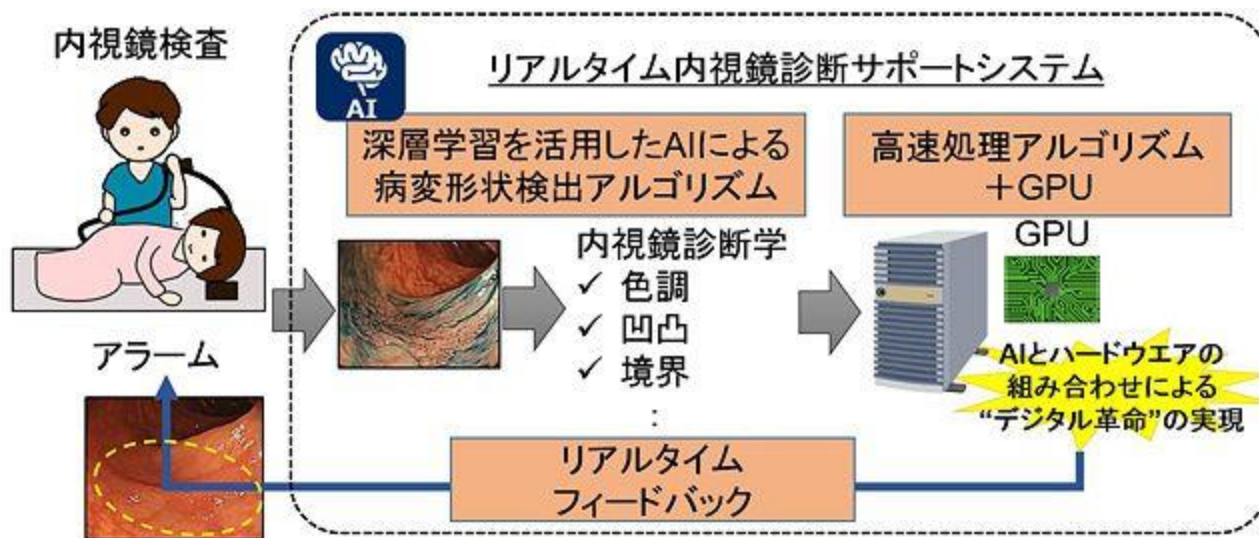


# リアルタイム内視鏡診断サポートシステム

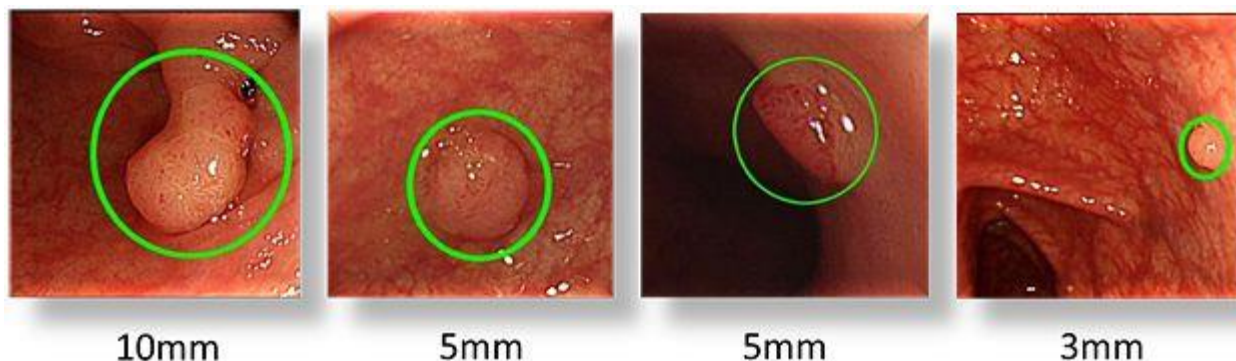
2017年7月

**大腸がんなどの病変をAIで98%検知**するリアルタイム内視鏡診断サポートシステム  
画像解析に適した深層学習を活用したAI技術、高速処理アルゴリズム、画像処理に適したGPUを搭載し、1台のPCで動作

高速処理アルゴリズム  
や画像処理に適した  
GPUを搭載し、動画各  
フレームにおける病変  
の検知と結果表示を約  
33ms以内(30fps)に抑  
えることに成功



ポリープ検出の例



## カプセル内視鏡の今後：DDS投薬機能

DDS:ドラッグ・デリバリー・システム

アールエフ社カプセル内に40%のフリーエリアがあり、2つのタンクに分かれている。

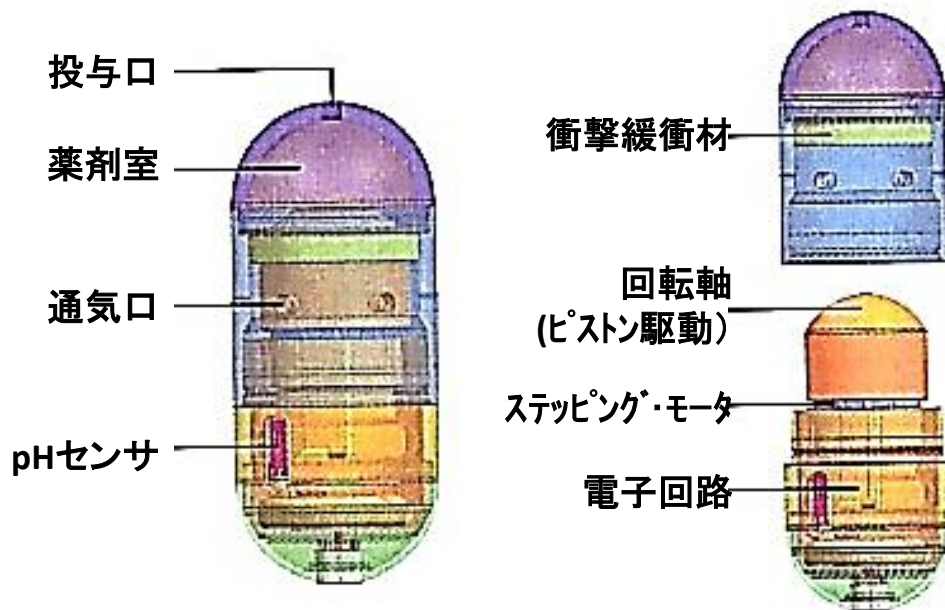
- ・ここに治療用の薬液を格納し、空気圧などを利用して患部に薬液を噴射。
- ・2つめは超小型のハサミやメスを内蔵させ、生体のサンプル取得を行う。
- ・pH(ペーハー)などを測定するセンサ類を格納

### DDSカプセル内視鏡 アールエフ社



### DDSカプセル内視鏡 Philips社

投薬位置は消化管内のpH値の違いを判別

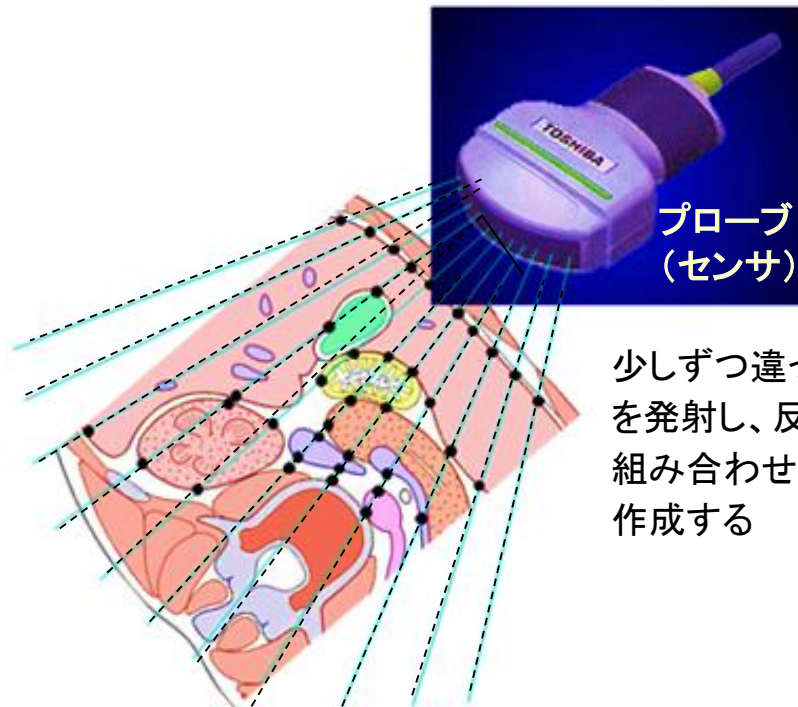
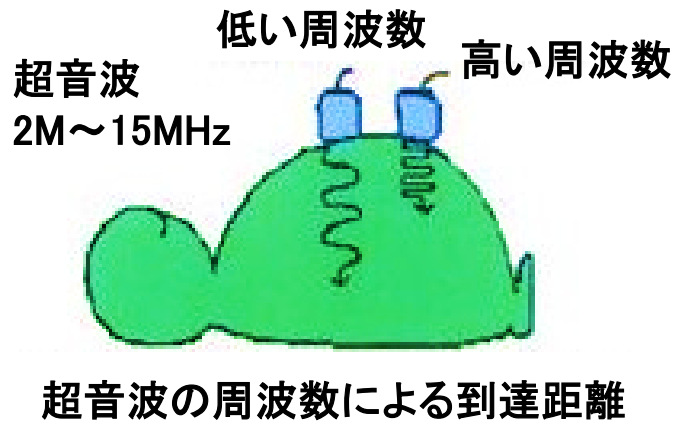


# 超音波診断装置

超音波を対象物に当ててその反響を映像化することで、対象物内部の状態を非破壊的に調査することのできる画像検査法。

プローブを検査の対象物に当て超音波を発生させると、ごく短い時間のうちに、その音は対象物の中を進んでいき、固いものに当たると反射。プローブでその反射音波を測定し、反射音が返ってくるまでの時間から距離を計算、内部の様子を可視化する。

超音波の周波数が高い(波長が短い)ほど、解像度は良くなり距離分解能が向上する。しかし、生体による吸収が大きいので、透過性が低下し、深部臓器の映像化は困難となる。



少しずつ違った方向に超音波を発生し、反射してきた信号を組み合わせて体の断層像を作成する

# 超音波診断装置の構成

超音波診断装置  
本体



検査に使用する超音波周波数: 2MHz~15MHz

人体での超音波信号の減衰: 約1dB/cm/MHz

計算例:

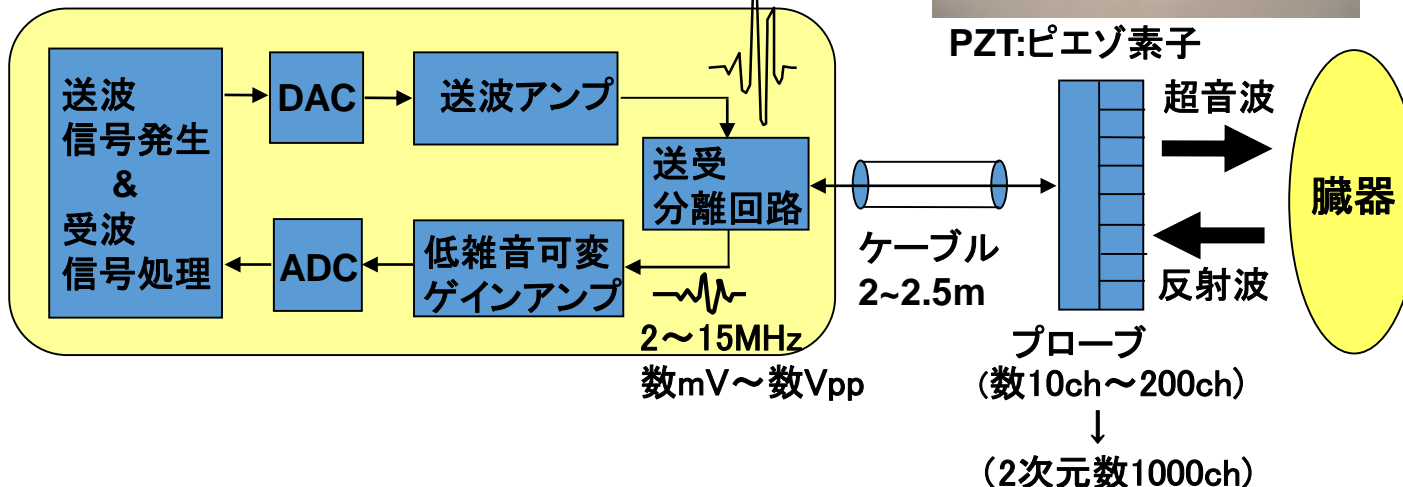
8MHzで4cm深さ(行き帰りで8cm)の信号は64dB (約1/1,600)の減衰  
必要分解能50dB、その他ロスを考慮すると

**約120 dB( $10^6$ )のダイナミックレンジが必要**



プローブ

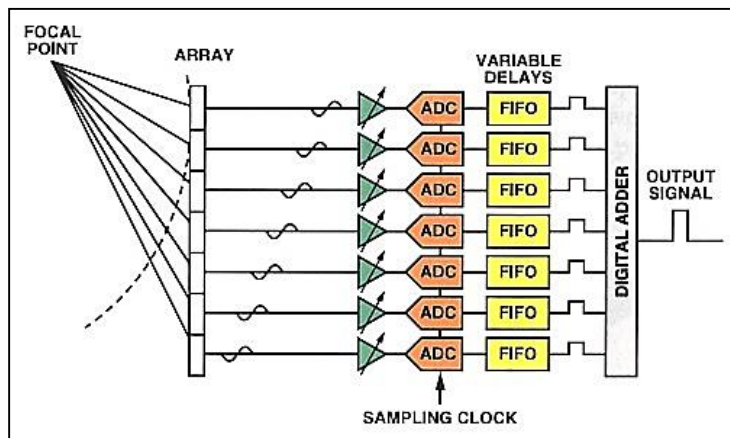
2~15MHz  
数V~200Vpp



20MspsのADCを用いた  
5M~10MHz装置での  
空間分解能は  
約0.7mmx0.3mm

40MspsのADCでは  
空間分解能を  
70μmまで高められる

# 超音波診断装置の電気回路構成



## Beam former

センサアレイからの信号の位相(ディレイ)を各Ch毎に制御して、焦点をコントロールする(送信および受信)

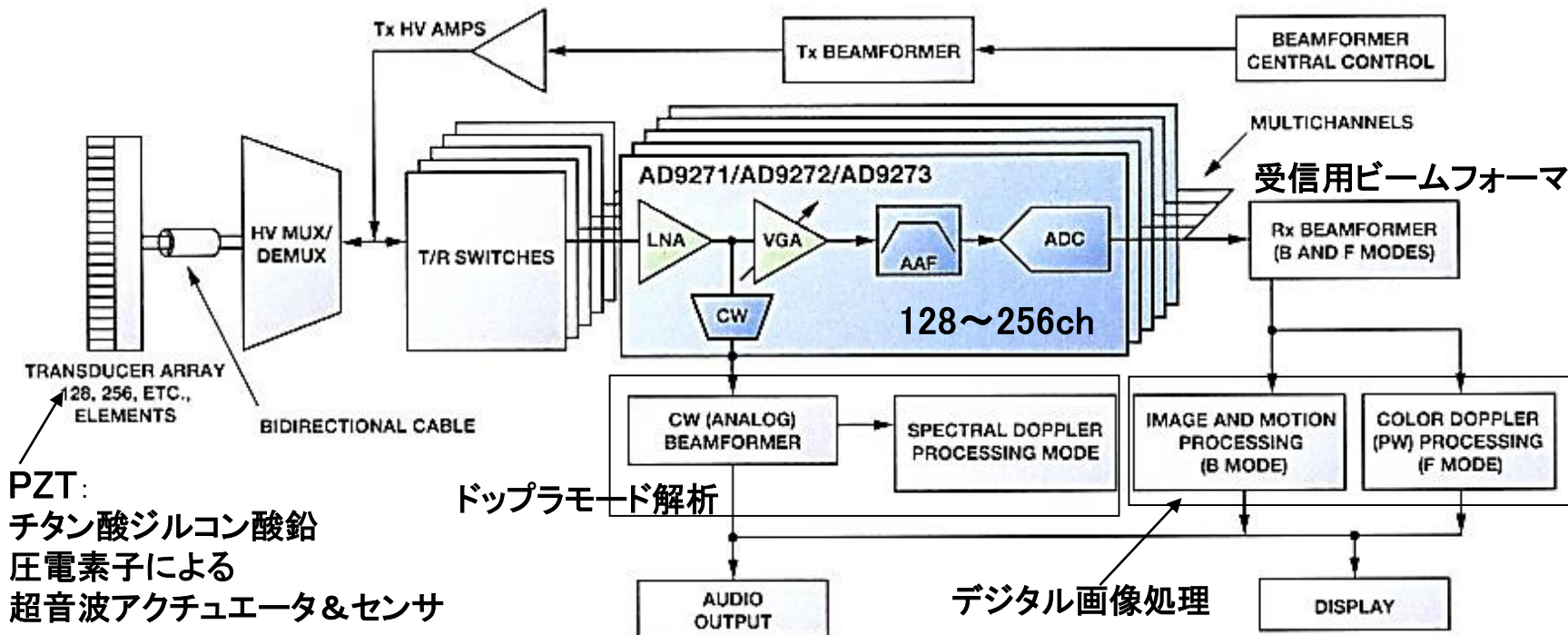
LNA:多数の低雑音アンプ必要

ADコンバータ:12ビット50Mps

チャンネル数:64~256ch(ハイエンド品)

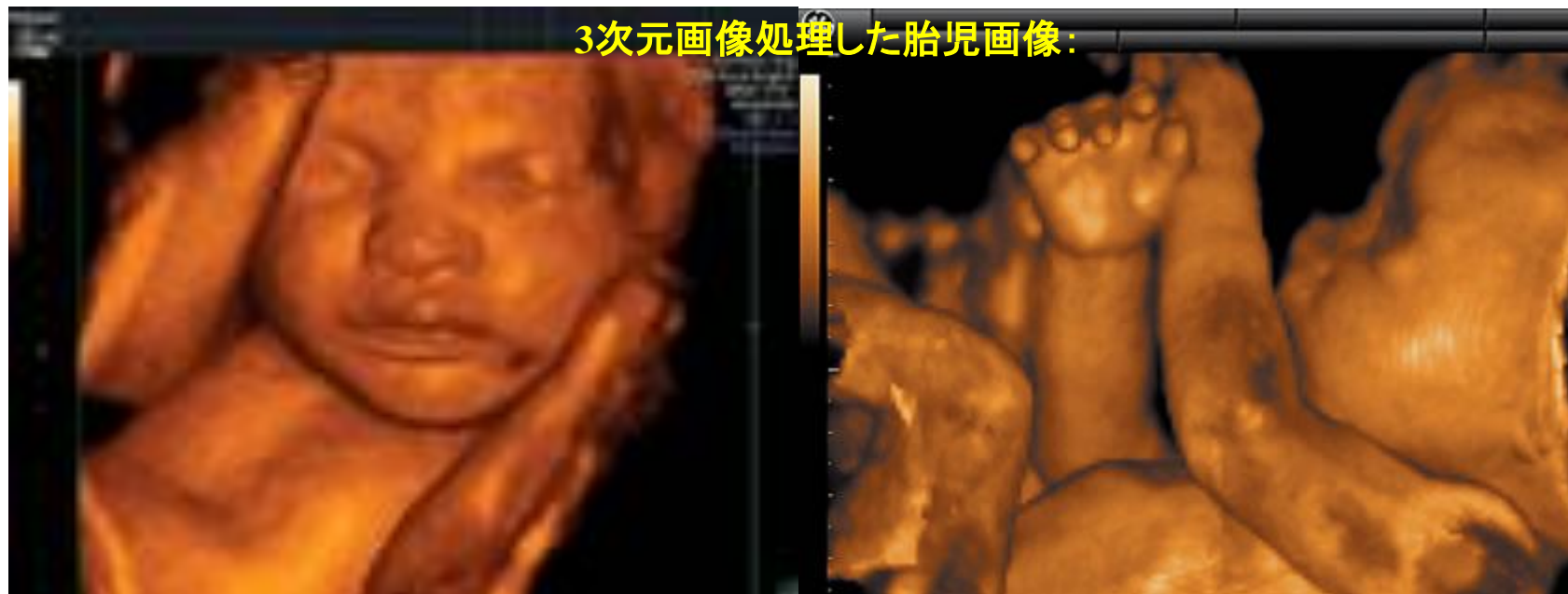
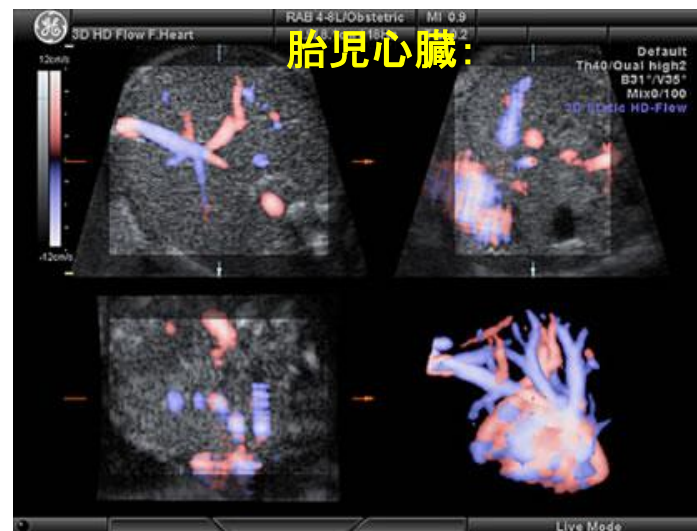
16~64ch(ポータブル品)

## 送信用ビームフォーマ



PZT:  
チタン酸ジルコン酸鉛  
圧電素子による  
超音波アクチュエータ&センサ

# 超音波診断装置が捕えた胎児像



# 牛の霜降り度を超音波診断装置で推定

(株)ロジカルプロダクト

## 肥育牛脂肪交雑(霜降り)推定ロボット「しもふりマスター」



- 牛肉の脂肪交雑（霜降り）を超音波診断画面を分析することで肥育中に推定。
- 屠畜せずに交雑具合を推定することで、出荷前に収益を予測し、出荷時期や飼育方法の検討に役立つ。
- 現場での使い勝手を考慮した製品構成：
  - 脂肪交雑を推定する端末は、タブレット型端末を採用
  - 持ち運びに便利なアタッシュケース型の筐体



皮膚直下の血管を詳細に画像化できる

# 光超音波顕微鏡

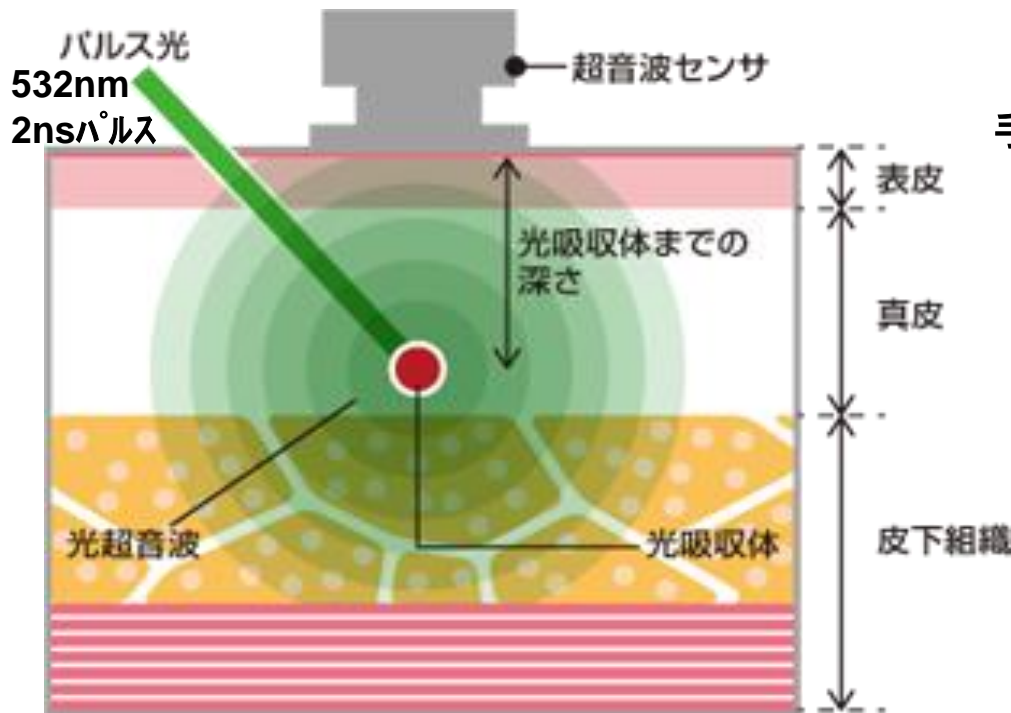
Advantest

超音波技術では、皮膚内の血管を詳細に画像化するのは困難。(皮膚と血管の硬さ違いが少ないため)

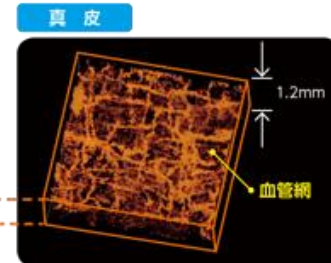
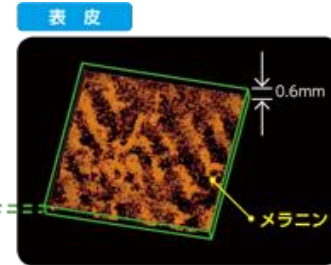
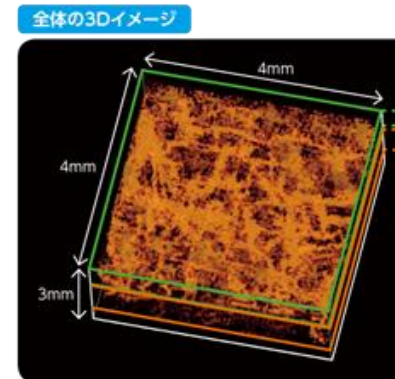
光超音波技術を用いると、皮膚化数mm内での血管を詳細に画像化できる。生体にパルス光(波長532nm)を照射すると血液中のヘモグロビンが選択的に光のエネルギーを吸収し超音波を発生。この超音波を生体表面のセンサで受信することで、その伝播時間から測定対象を正確な深さ情報と共に高コントラストに画像化することが可能となる。



Hadatomo  
5100

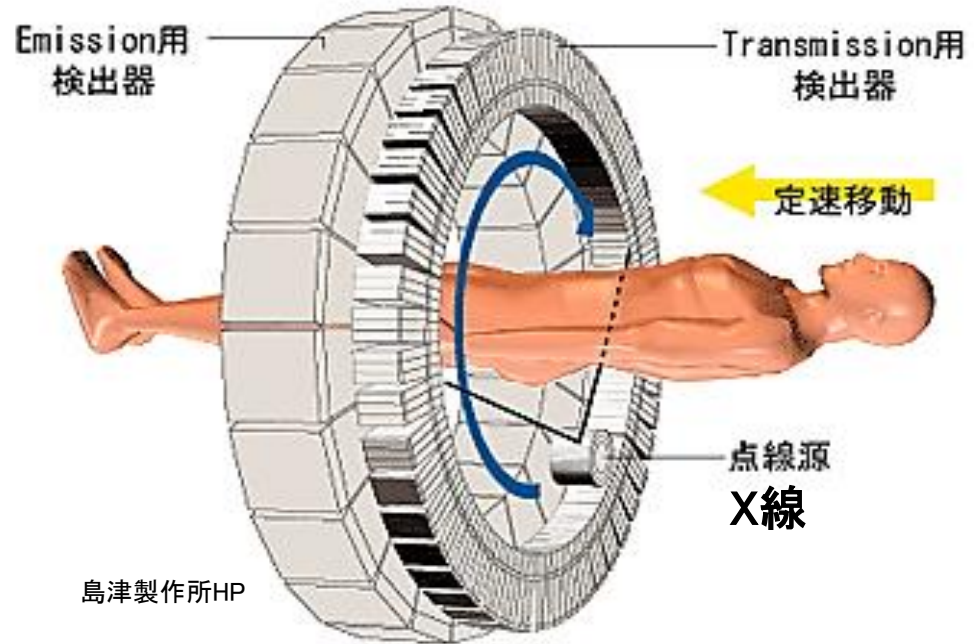


## 手の皮膚下~3mmの観察

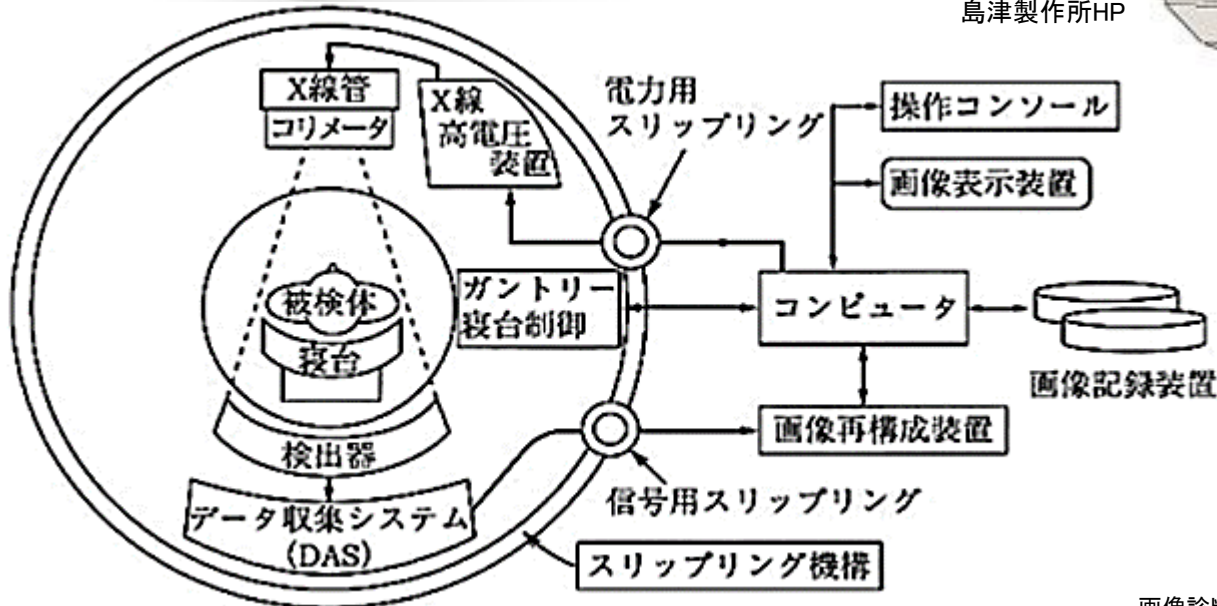




# X線CT診断装置



島津製作所HP

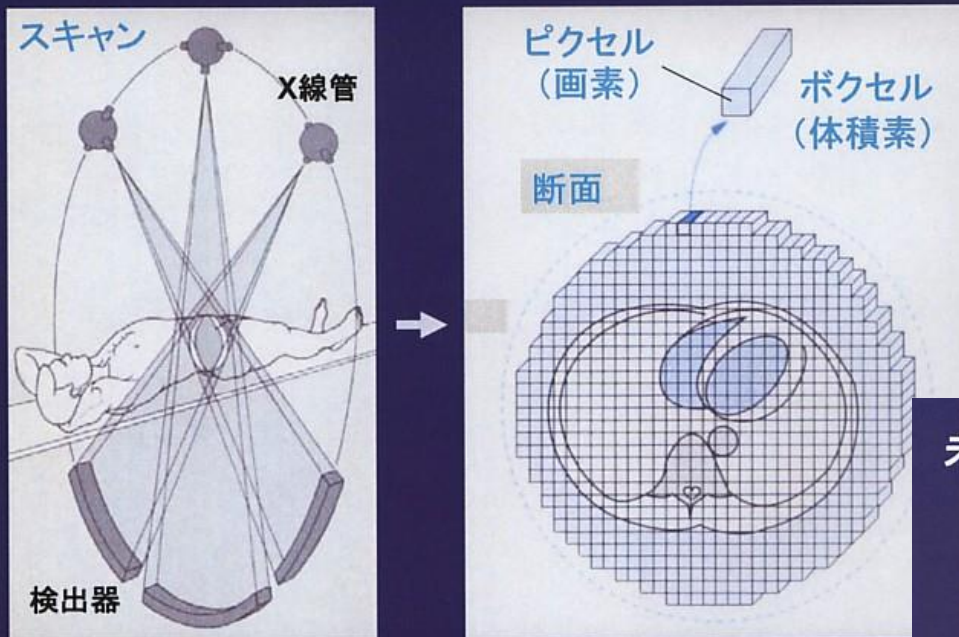


## CT装置構成:

- ①大きな輪の「ガントリ(架台)」
- ②患者が横たわる「クレードル(寝台)」
- ③操作するコンピュータの「コンソール」

# X線CT (X線コンピュータ断層撮影法) 原理

## X線コンピュータ断層撮影法: CT



断面を画素(ピクセル)に分解し、各方位から通過するX線量から各画素の減衰量を演算する。

### 各画素の減衰量の計算

この図は考え方で、実際にはこの方法で計算しない。次数が極めて大きく計算は非現実なため。

### CT画像の再構成する数学的手法:

- ・逆マトリクス法
- ・逐次近似法
- ・単純逆投影法

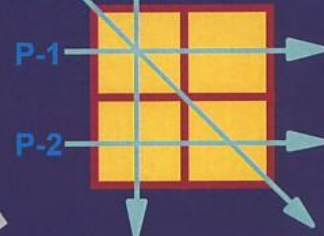
### ◎フィルタ補正逆投影法

(コンホリューションバックプロジェクション: CBP法)

### 未知の線減弱係数

$\mu_1$	$\mu_2$
$\mu_3$	$\mu_4$

### X線投影



### 連立方程式

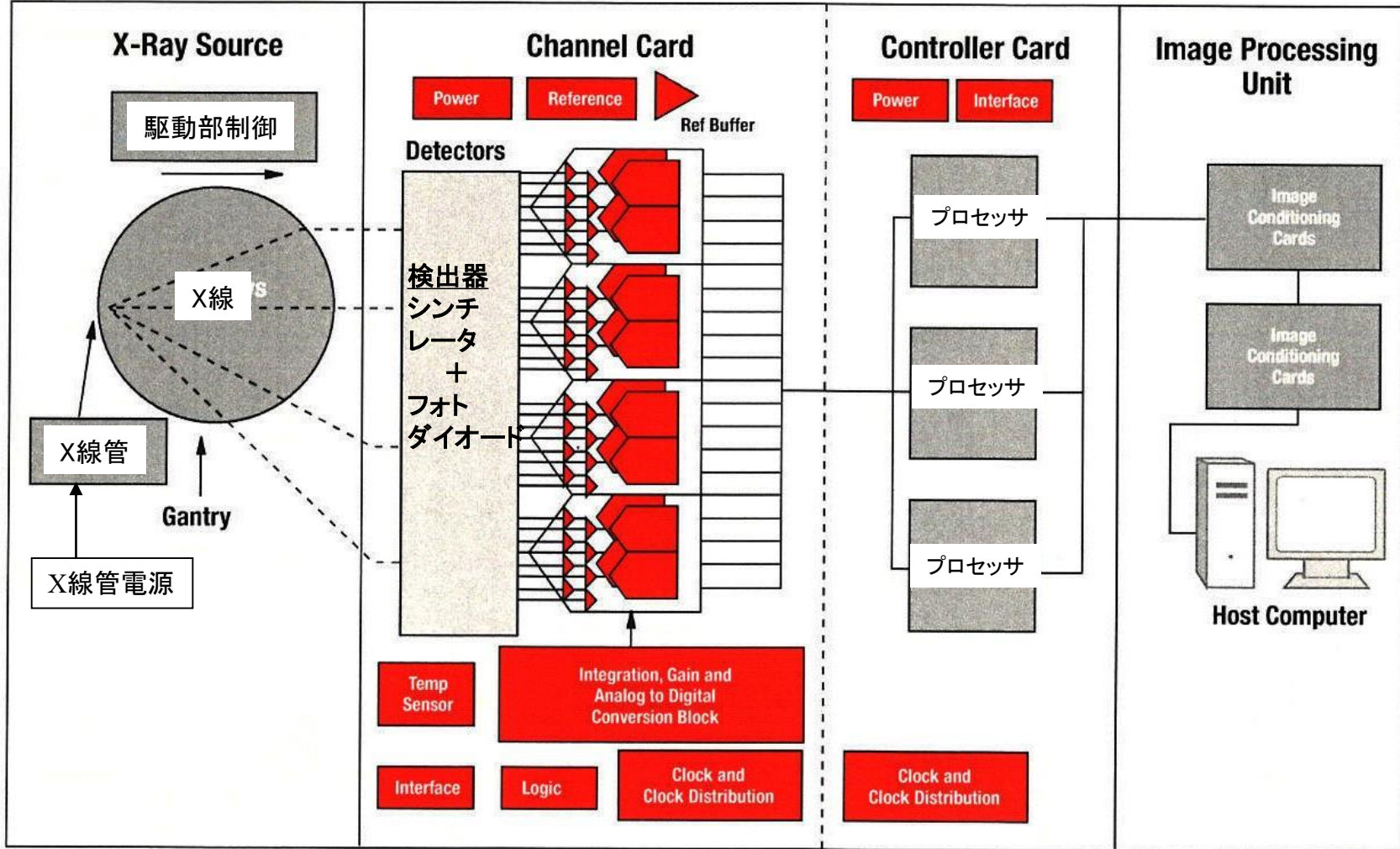
- P-1;  $\mu_1 + \mu_2 = 8$
- P-2;  $\mu_3 + \mu_4 = 9$
- P-3;  $\mu_1 + \mu_3 = 6$
- P-4;  $\mu_1 + \mu_4 = 5$

### 解答

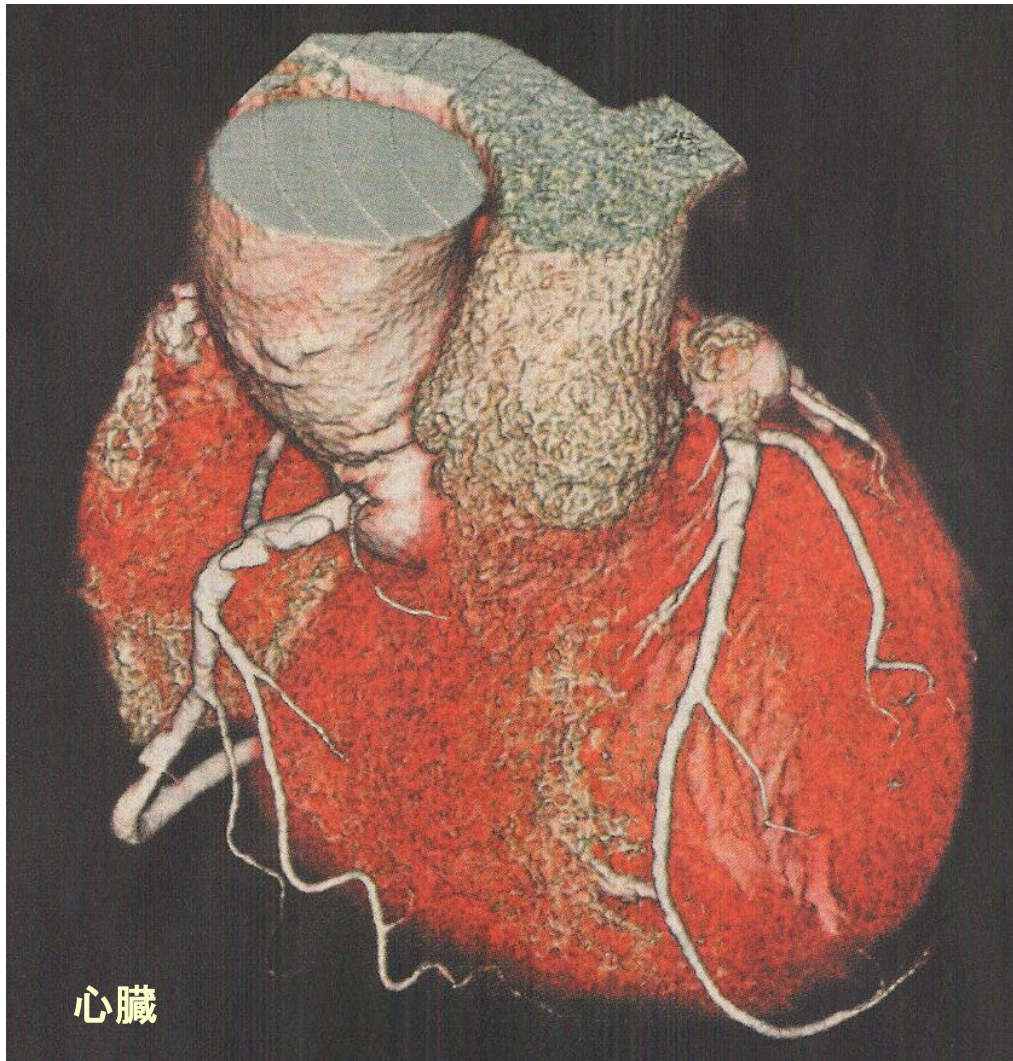
1	7
5	4

# X線CT装置:エレクトロニクス構成

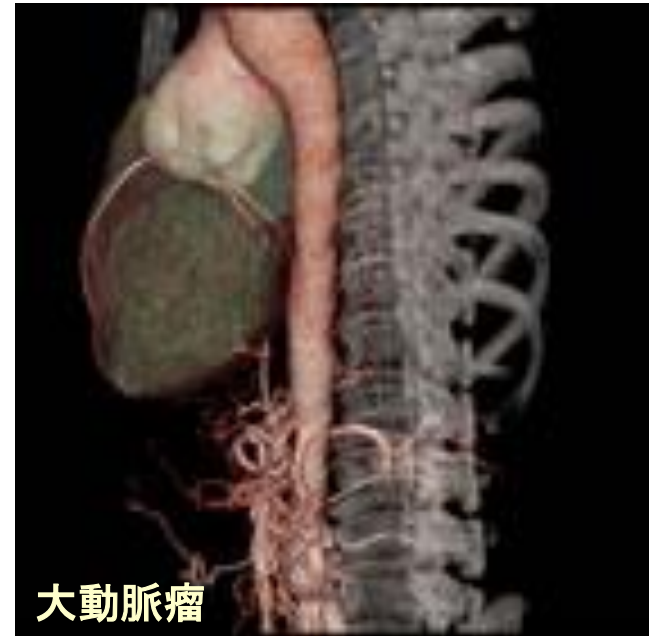
2次元配列されたX線検出器は、チャンネル方向に約1000個、スライス方向に最大64列。よって、フォトダイオード素子数64,000個 このフォトダイオード出力をI-V変換してマルチプレクサで切替て、複数のADC (16~18bit/250K~1MSPS)でデジタル化



# X線CT撮像画像



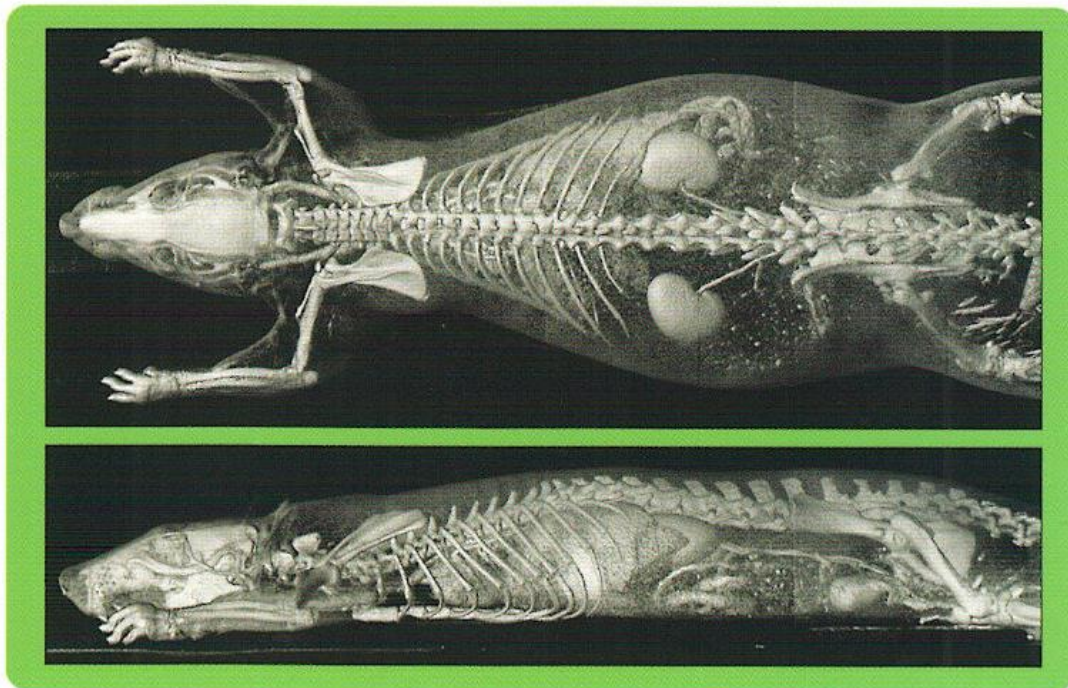
日刊工業新聞 東芝広告2012.9.13



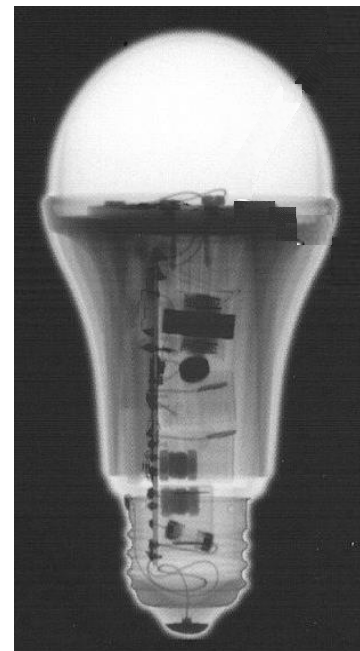
X線CT装置は、産業用や研究用にも広く使われている

## 産業用X線装置

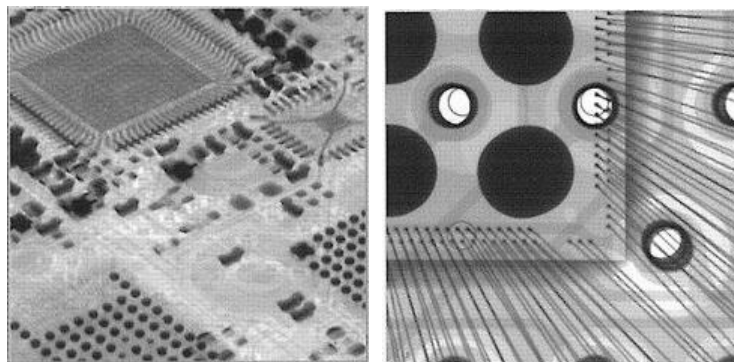
正常ラットの3次元画像



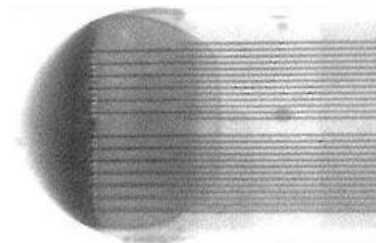
LED電球



電子回路基板や  
パッケージ内部の  
非破壊検査



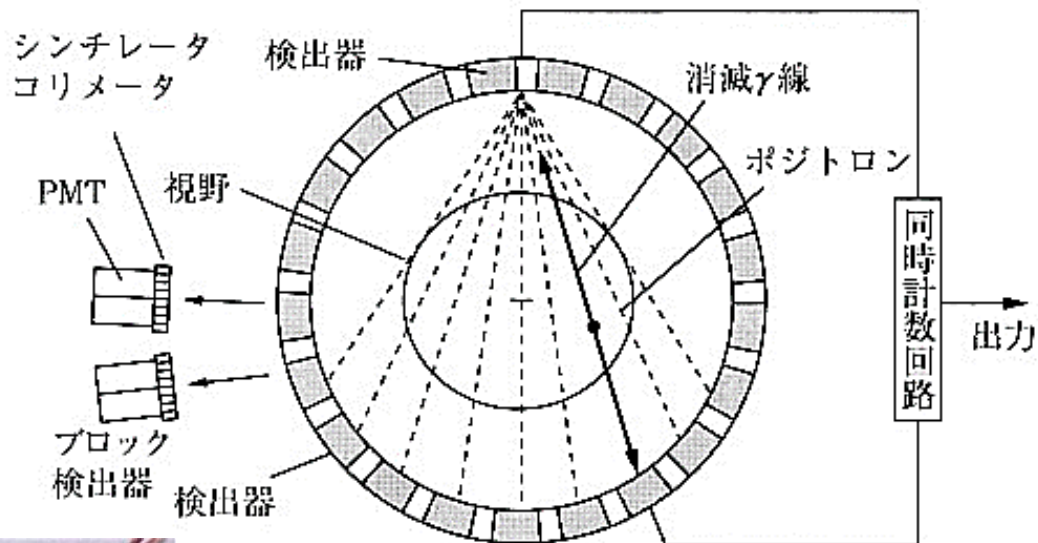
積層チップ型コンデンサの断面



ガン検査に使用される

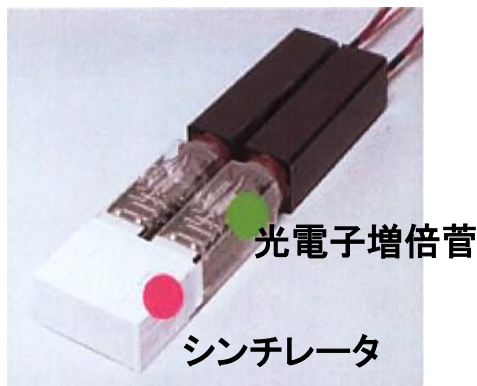
# PET(Positron Emission CT:ポジトロン断層法)

ガン組織に集まった放射性医薬の核から放出される放射線は、180度方向に2本の $\gamma$ 線なので被験者を挟んで検出器で同時検出すれば、両検出器を結ぶ線上に存在する標識化合物を検出できる。検出器を体軸まわりにリング状に配列する。

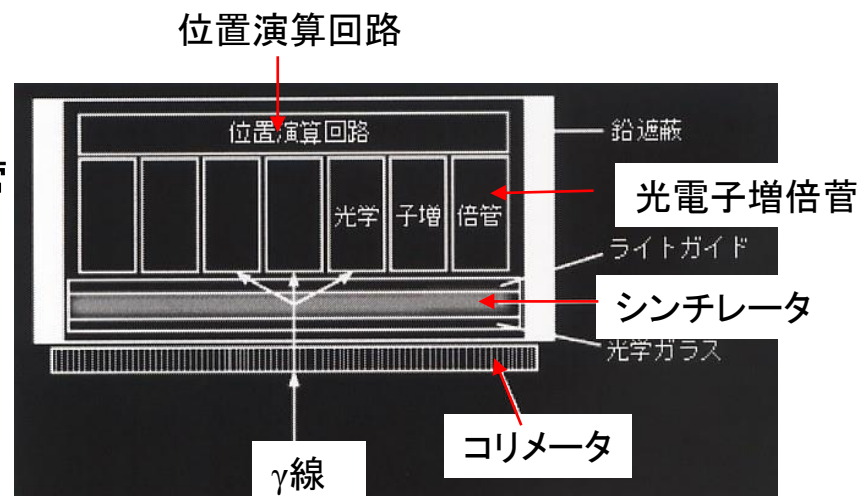


## 検出器構造と原理

シンチレータ (Scintillator)  
入射した $\gamma$ 線を光に換える。  
通常、結晶体を用いるため  
クリスタルともいう。



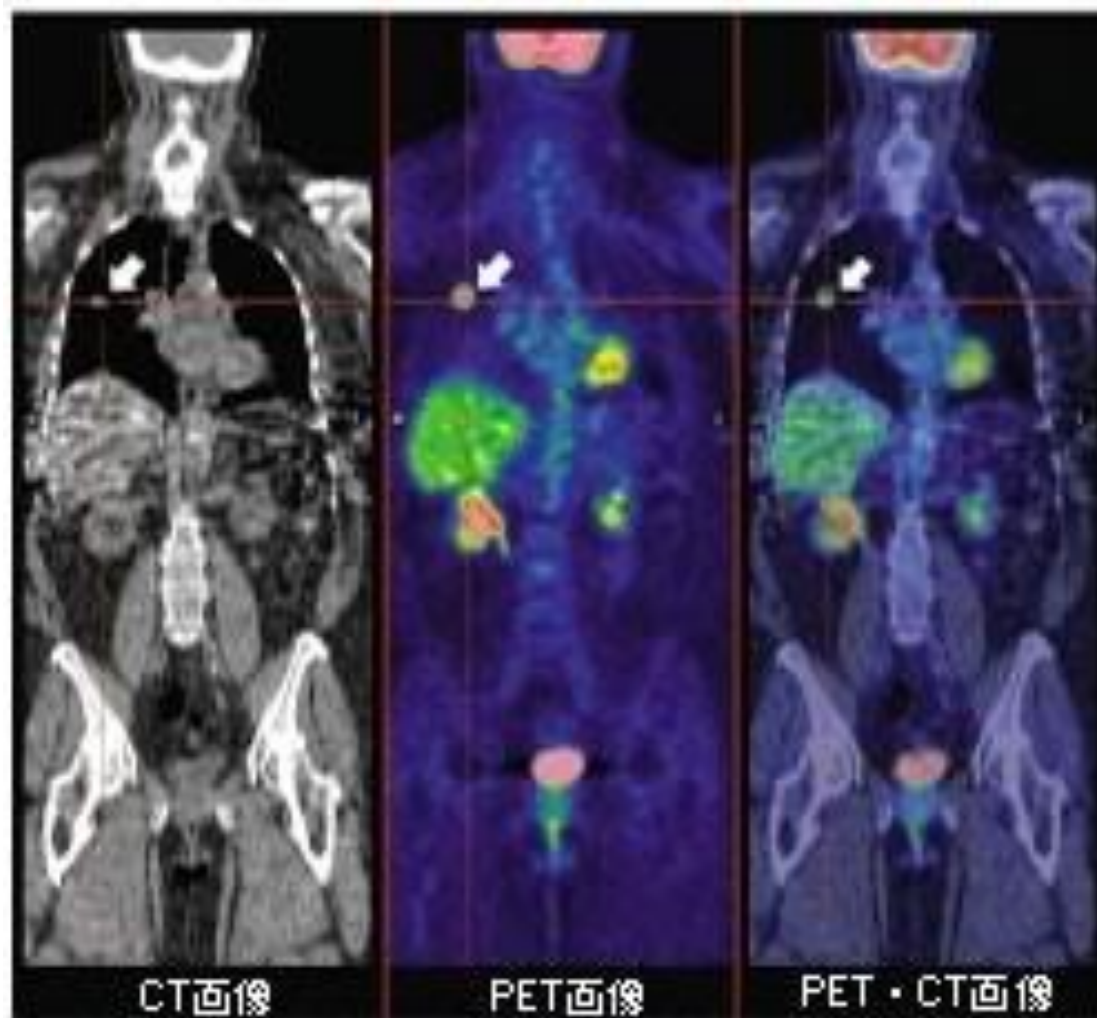
光電子増倍管 (Photo Multiplier Tube: PMT)  
光を増幅し、その光量に対応した電気信号を出力する。  
数百個の入力光子を $10^7 \sim 10^{10}$ 個に増幅



最近では光電子増倍管に代わり、半導体検出器  
Silicon Photo Multipliers (SiPM)も使用される

# PET・CT装置での撮像画像

X線CTだとガン判別困難PET画像だけだと場所の特定が難しい。  
X線CT画像にPET画像を合成してガン部位の特定を行う

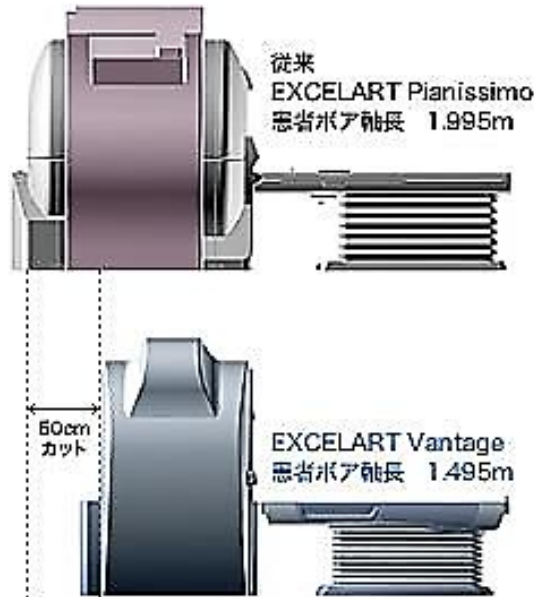


脳や血管の検査に活躍

# MRI(磁気共鳴断層撮影装置) Magnetic Resonance Imaging

MRIとは、核磁気共鳴(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)現象を利用して生体内部の情報を画像化  
被験者に高周波の磁場を与え、人体内の水素原子に共鳴現象を起こさせる際に発生する電波を受信  
コイルで取得し、得られた信号データを画像に構成する仕組み。  
水分量が多い脳や血管などの部位を診断することに長けている。

*Pianissimo*  
Air-Slim Pianissimo™





## MRIは、NMR(核磁気共鳴)現象を利用

NMR(核磁気共鳴):

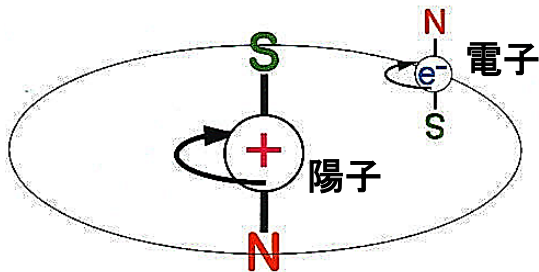
- ・水(H<sub>2</sub>O)に含まれる水素原子核(プロトン)は、スピン(自転)している集団
- ・スピンしている集団を高磁場に入れると、スピンは磁気モーメントを持つため磁場に平行に並ぶ
- ・高磁場の中でプロトンは、コマの動きと同じような首振り運動(歳差運動)を行う
- ・歳差運動の角周波数は、磁場強度をH<sub>0</sub>(テスラ)、電子核による固有定数をγ(ガンマ)とすると

ラーモアの式:  $\omega = \gamma H_0$

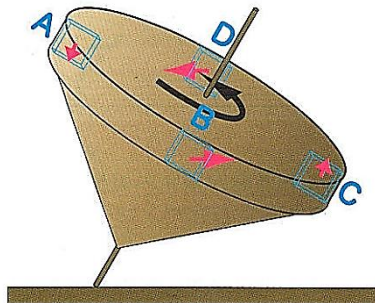
1.5テスラの磁場強度を有する全身用MRI装置では、プロトンの歳差運動は約 64MHz

- ・歳差運動は周囲に振動する磁場を作り、電磁誘導の法則で高周波信号が発生。歳差運動に一致する周波数の電磁波を外部から与ると、プロトン歳差運動の位相が揃い核磁化し“NMR:核磁気共鳴”現象が起こる。
- ・外部からの電磁波を止めると、FID (Free Induction Decay: 自由誘導減衰)と呼ばれるNMR信号が発生。このNMR信号を、装置のアンテナで捕える。

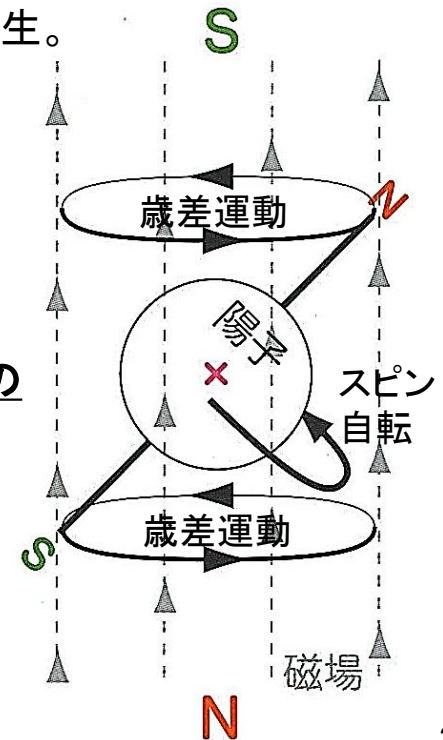
水素原子のスピン



コマに見る歳差運動

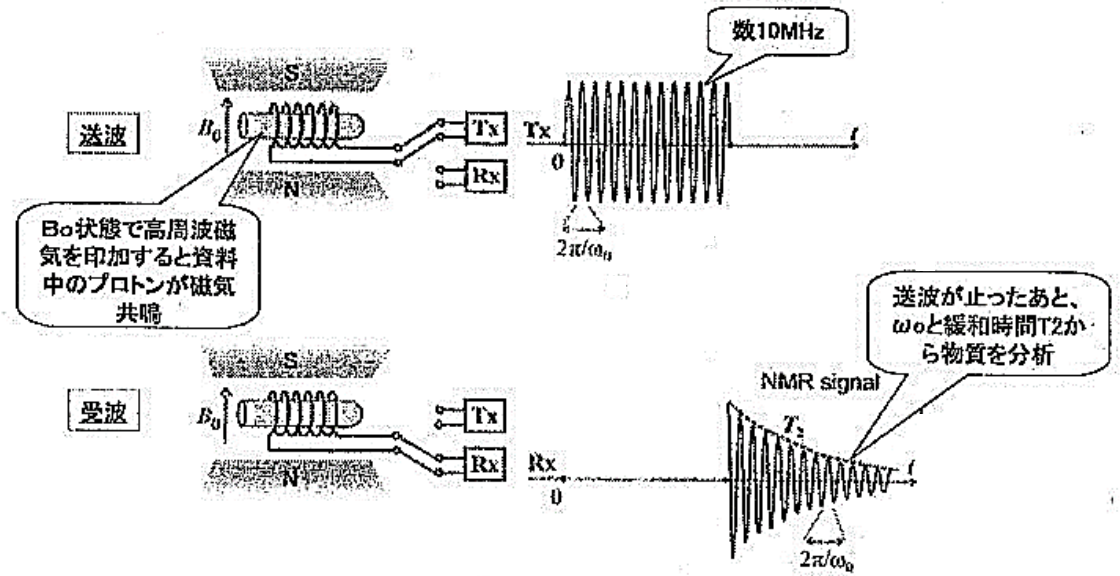


水素原子の歳差運動



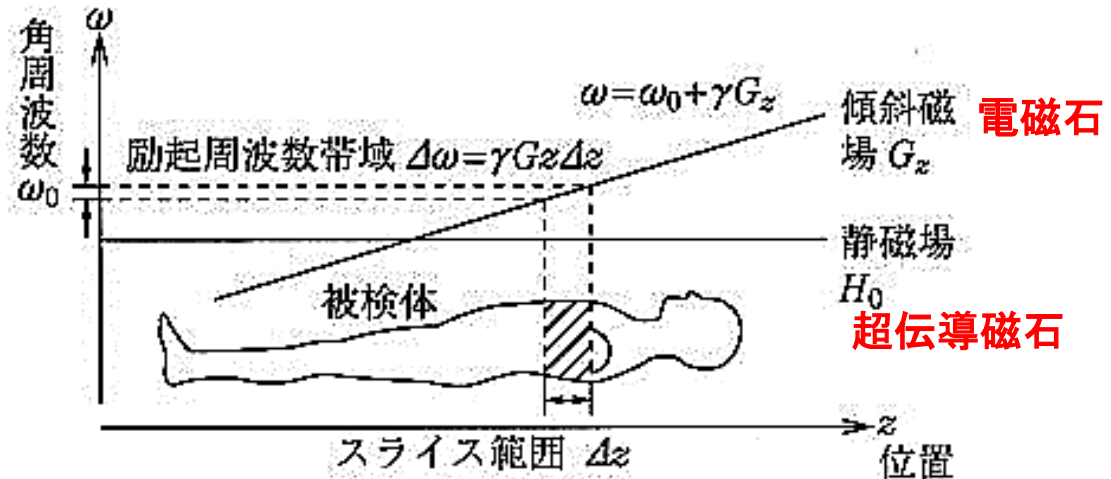
# MRI装置の測定原理

高周波信号を切ると、歳差運動は徐々に減衰しFID信号も減衰していく。この減衰時間の時定数を求める。(信号強度が36.8%に達する時間) 通常は、数msから数秒の範囲。この減衰特性が正常組織と病変部とで異なる(プロトンの密度が異なる)ことを利用して、組織内部を画像化するのがMRI装置。



## X,Y,Z座標をいかに求めるか?

超伝導磁石による強い静磁場に電磁石による傾斜(勾配)磁場を可変してX,Y,Z方向に加える。傾斜磁場によるNMR信号の周波数および位相変化をフーリエ解析してx、y、z座標位置と、座標位置での信号(減衰時間特性から)を求め画像化

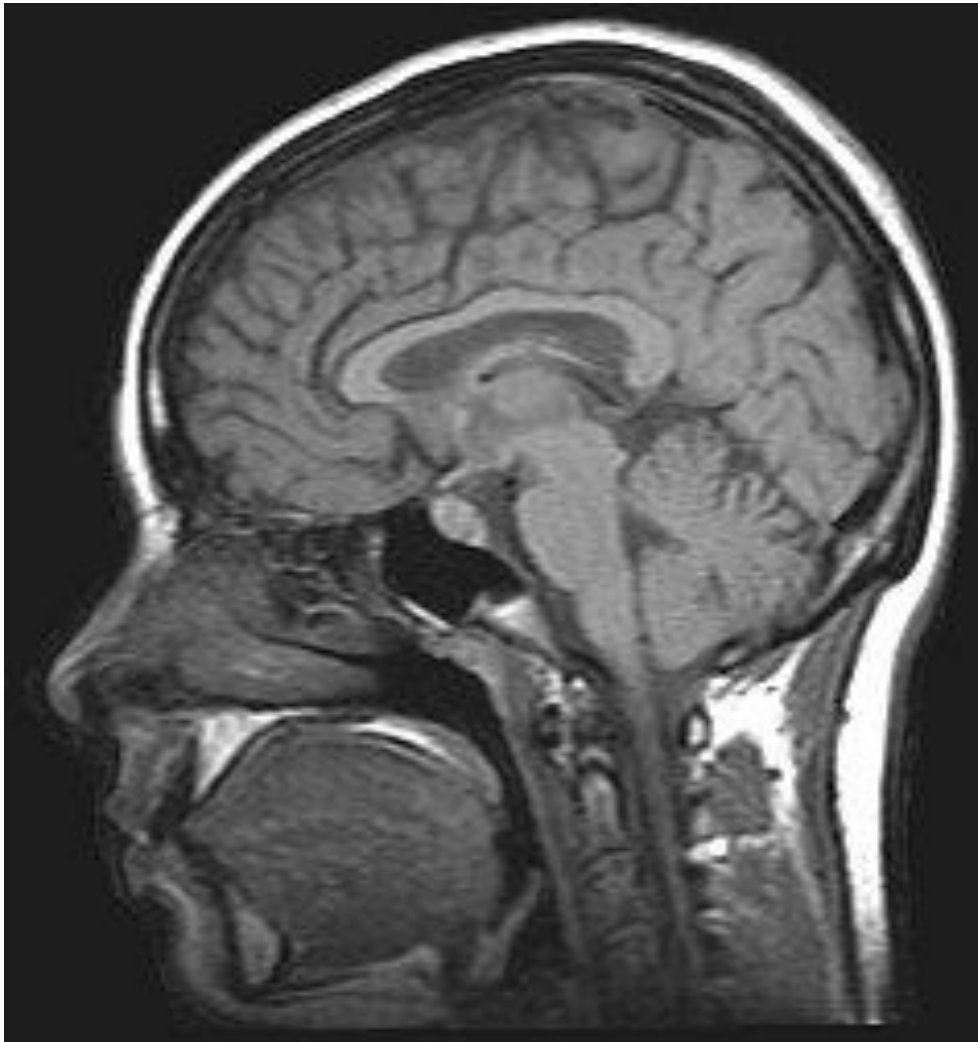


傾斜磁場 $G_z$ による断面設定



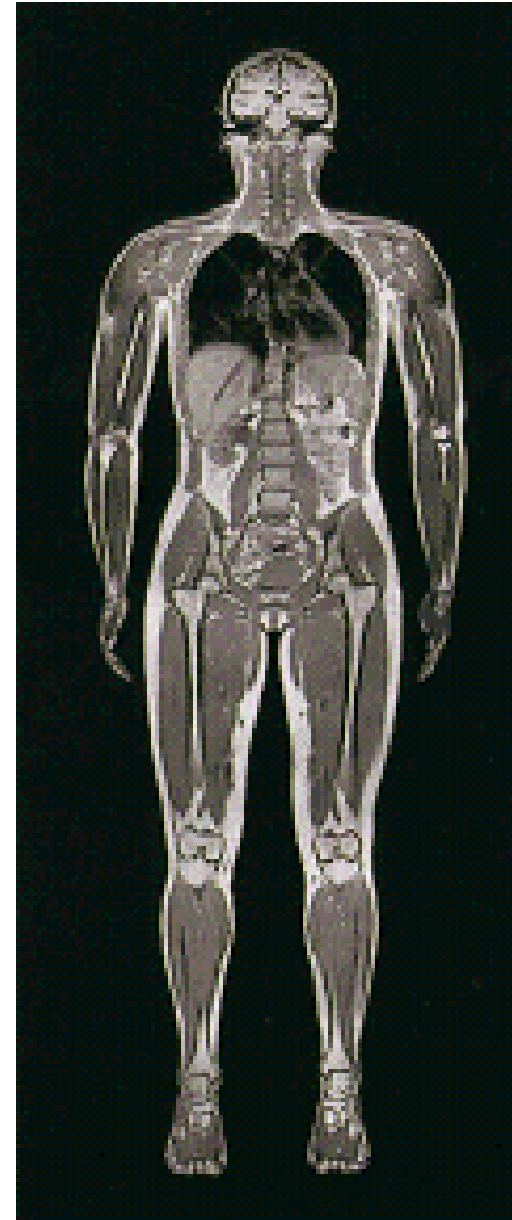
# MRI撮像画像

## 頭部のMRI(T1強調・T2強調)画像



**fMRI装置は脳科学で多用される**

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%A0%B8%E7%A3%81%E6%B0%97%E5%85%B1%E9%B3%B4%E7%94%BB%E5%83%8F%E6%B3%95><http://www.hospital.ono.hyogo.jp/cms/page110.htm>



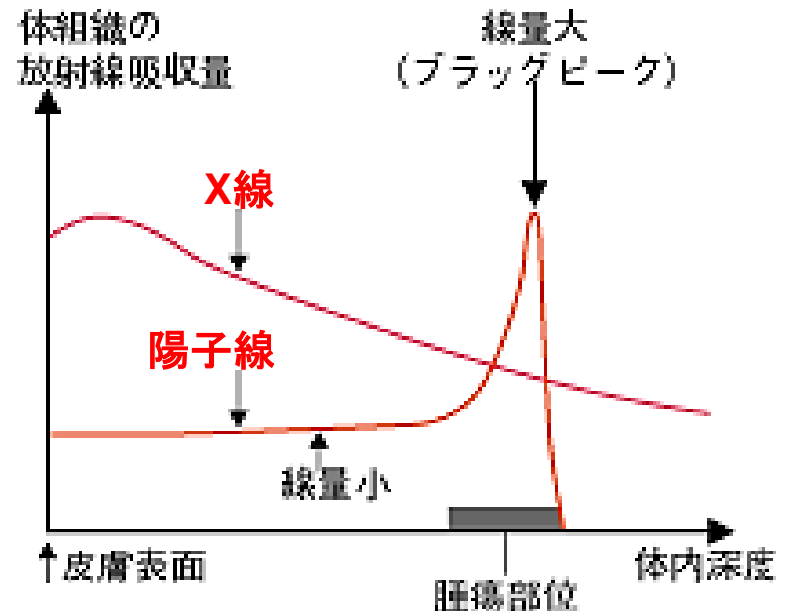
# 陽子線治療システム

- ・がんの治療方法は、手術などの外科療法、薬物投与などの化学療法、そして電子線やX線による放射線治療などがある。
- ・現在、注目を集めているのが放射線治療のひとつである陽子線治療。
- ・陽子線は、体内に進入した直後の線量が小さく、ある体内深度で線量が最大(ブラッグピーク)になり、その後急激に減少するという性質がある。
- ・この特長を生かし、陽子線の線量が最大になる深度を調整することで、電子線やX線と比較して、周囲の正常な細胞への影響を小さくし、がん細胞に線量を集中させて治療する方法が陽子線治療
- ・陽子線治療は、肝臓、前立腺、肺などのがんに広く用いられ、世界的に普及への期待が大きい

## 陽子線

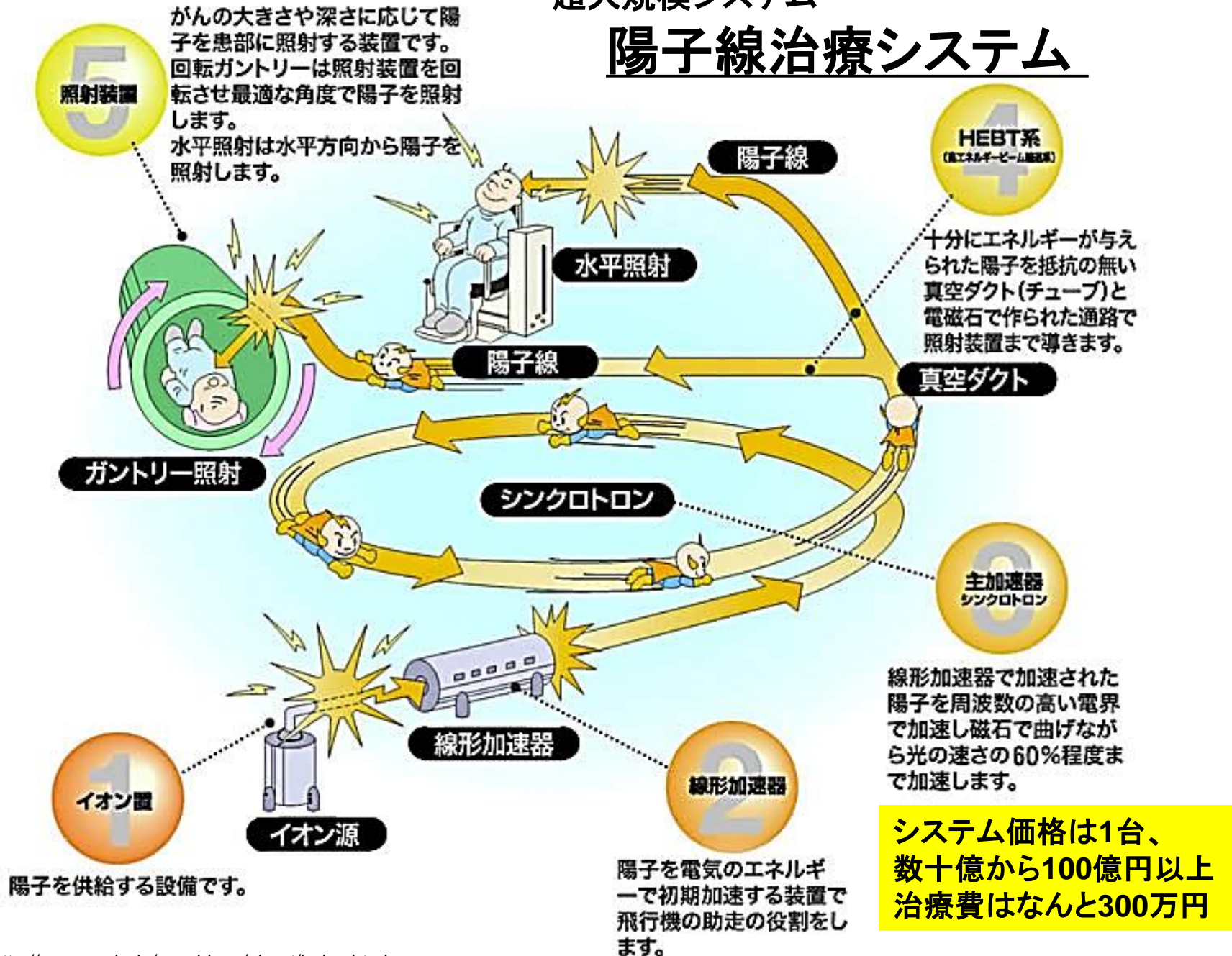
- ・“陽子”とは、水素の原子核のことで、プラスの電気を帯びた粒子。
- ・陽子は、水素ガスを材料として高温のプラズマ状態の水素原子から電子を引き離してつくる。
- ・特別な装置を用いてたくさんの陽子を真空中で一気に加速すると、体のなかへの透過が大きいがん細胞を破壊する力をもつ“陽子線”となる。
- ・このとき用いる装置を加速器とよび、陽子のスピードは光速の70%近くになる。

## 陽子線の体組織内挙動



## 超大規模システム

# 陽子線治療システム



システム価格は1台、  
数十億から100億円以上  
治療費はなんと300万円

集束超音波によって病巣を破壊する

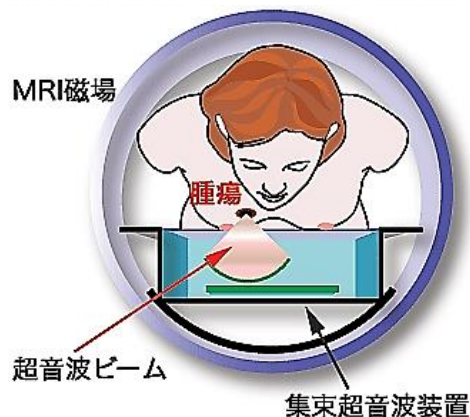
# MRガイド下集束超音波治療装置:FUS

FUS(MRgFUS:MRガイド下集束超音波手術)

イスラエル インサイテック社

- ・MRIで映った病巣を見ながら集束超音波によって病巣を焼灼する手術
- ・MRガイド下とは、MRIにて病巣の場所を正確に特定し、治療している場所や温度変化を常に把握しながら行うもので、治療はうつぶせの状態で行う
- ・さらに治療中は患者様の動きがある程度制限されるため、軽い睡眠剤を処方することもある
- ・MRIは磁力線のため人体に影響は全くなし
- ・本来は1本1本の弱い**超音波線を、沢山の束にして(集束して)約60℃まで温度をあげる**ことで瞬時に癌や腫瘍細胞を**高温で凝固壊死**させる
- ・メリットとしては、使用しているものが超音波(と磁力線)のため、人体に影響がない
- ・今まで手術をしないと取り除くことのできなかつた、乳がんをこのFUS(MRgFUS:MRガイド下集束超音波手術)で外科手術をせずに焼却可能

2016年12月19日に厚生労働省が承認



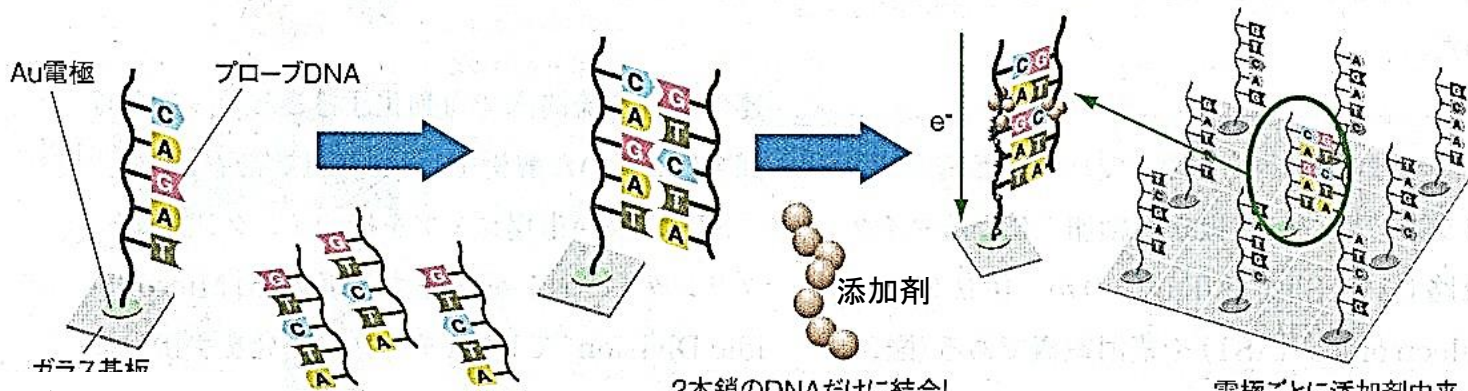
---

# 興味深い医療&ヘルスケアデバイス



# DNA解析システム：東芝DNAチップ

DNAチップとは、ヒトのDNAの塩基列の違いを検出し、薬の効き目や副作用、ガンなどの病気の初期診断を可能とする。東芝はCMOS回路と一体化しシステムを小型化して、検出感度を4桁上げたDNAチップを開発。

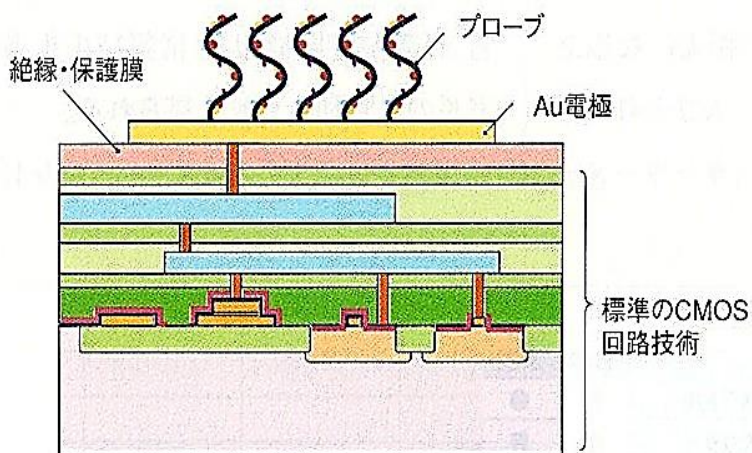


**DNA検出の原理**

2本鎖のDNAだけに結合し、電気化学的に活性な材料を添加

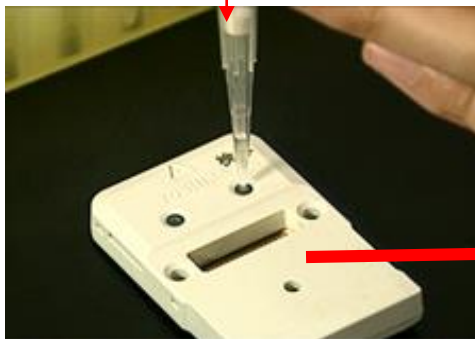
電極ごとに添加剤由来の電流の有無を検出

添加剤: 2本鎖DNAに特異的に結合。かつ電気化学的に安定



## DNA解析システム

サンプル注入



**DNAチップカセット**



# 血液検査システム：ローム

1滴(4  $\mu$ l)の血液から、10分程度の短時間で血液検査が出来る血液検査システム。

MEMSや半導体技術による検査チップを用い炎症マーカーであるCRPや糖尿病マーカーのヘモグロビンA<sub>1c</sub>を検査できる。

測定は、測定チップ内の試薬と注入した血液の反応による試薬の色(濃度)変化を光検出にて行う。

## CRP:

体内に炎症が起きたり、組織の一部が壊れたりした場合血液中に蛋白質の一種であるC-リアクティブ・プロテイン=CRPが現われる。

このCRPは、正常な血液のなかにはごく微量にしか見られないため、炎症の有無を診断するのにこの検査が行われる。

## 血液検査チップ:

・ポリスチレン基板に最小100  $\mu$ mのマイクロ流路をMEMS技術で形成。

流路内の前処理から計測まで(血球分離、計量、検査薬混合、廃液等)を数cm角チップで実現した  $\mu$  TAS (micro total analysis systems)

ローム、ウシオグループ、三和化学3社の共同開発

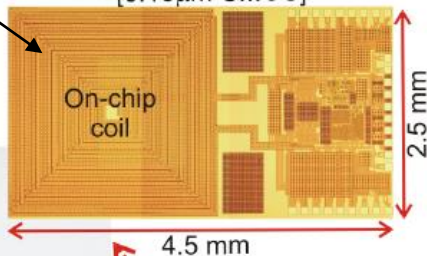


血液検査チップ

# ワンチップNMRシステム:ハーバード大他

オンチップ  
アンテナ

RF transceiver IC  
with on-chip coil  
[0.18 $\mu$ m CMOS]



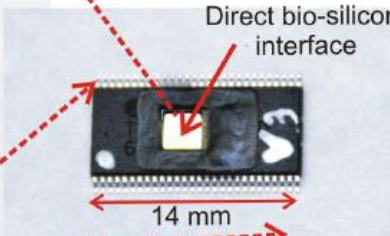
CMOSチップには  
RF送信回路やRF受信回路が搭載されている

強力磁石

Magnet (0.49 T)



Direct bio-silicon  
interface

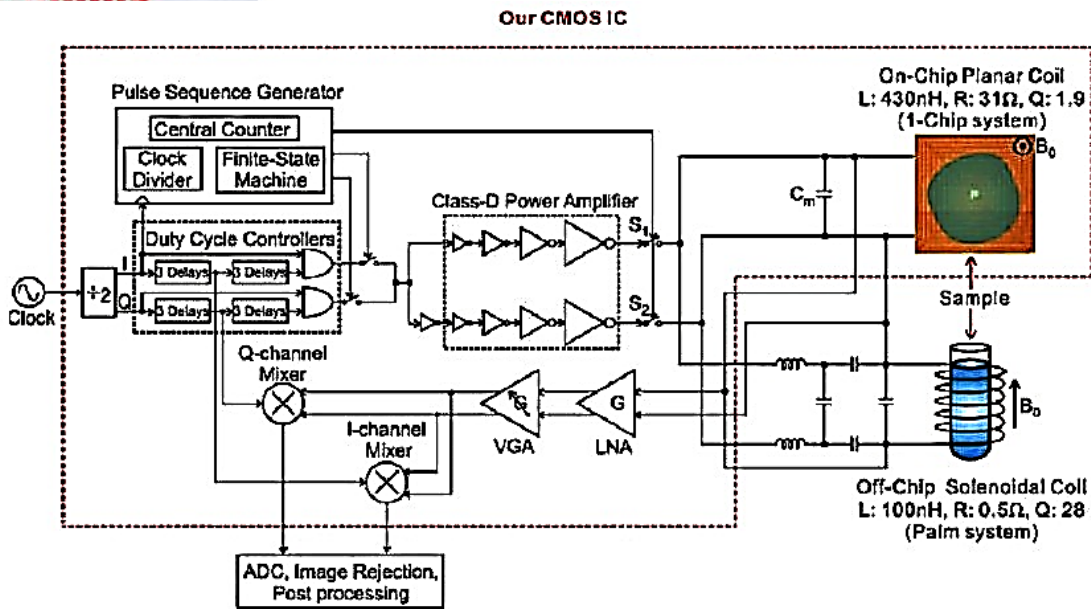


シリコンチップのアンテナ上に試料を載せる

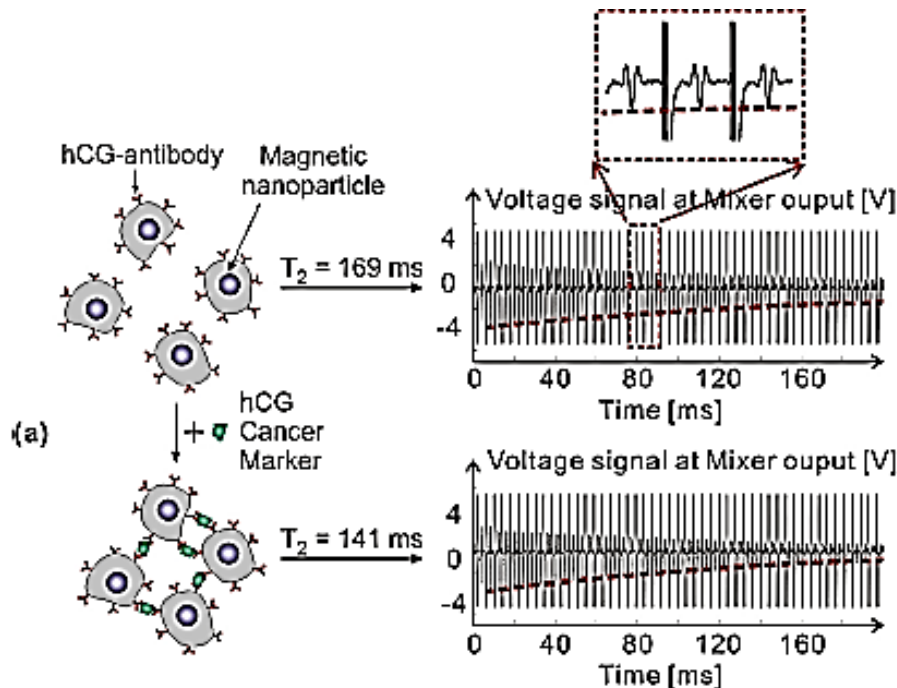
1-Chip NMR system (Lab-on-a-chip)

- Direct interface between bio-sample and on-chip coil
- Disposable sensor probe with on-chip coil

## 1チップNMRシステム構成



# ワンチップNMRシステムによる分析例



## 分析結果

### hCGマーカの検出:

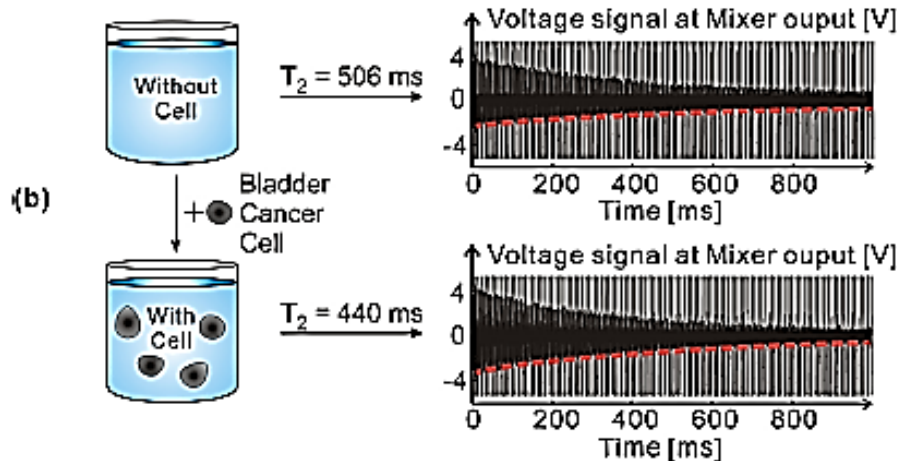
hCGは糖タンパク質からなるホルモンの一種。妊娠検査や一部ガンや腫瘍の検査に使用。

磁気ナノ粒子をhCG抗体でコートし5  $\mu$ lの水にいて、ワンチップNMRアンテナ上に置く。

hCG腫瘍マーカなしだと減衰時間: 169ms

hCG腫瘍マーカ有だと減衰時間: 141ms

120億個の水分子内で1hCG分子検出可能



### 膀胱ガン細胞の検出:

膀胱ガン細胞が無い時の減衰時間: 506ms

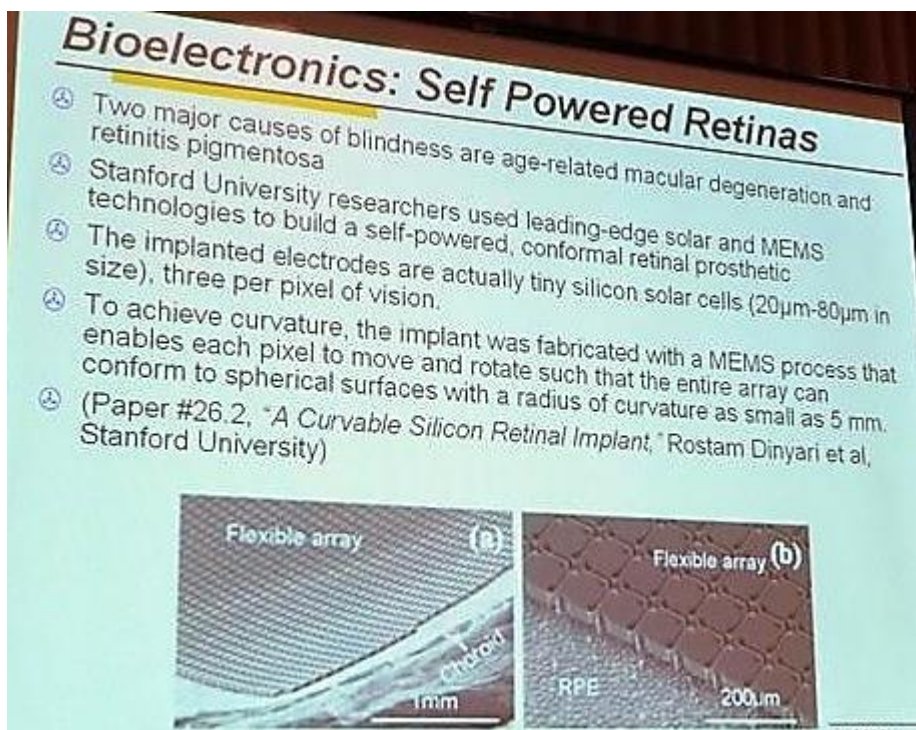
膀胱ガン細胞がある時の減衰時間: 440ms

検出感度は17.5細胞/ $\mu$ l

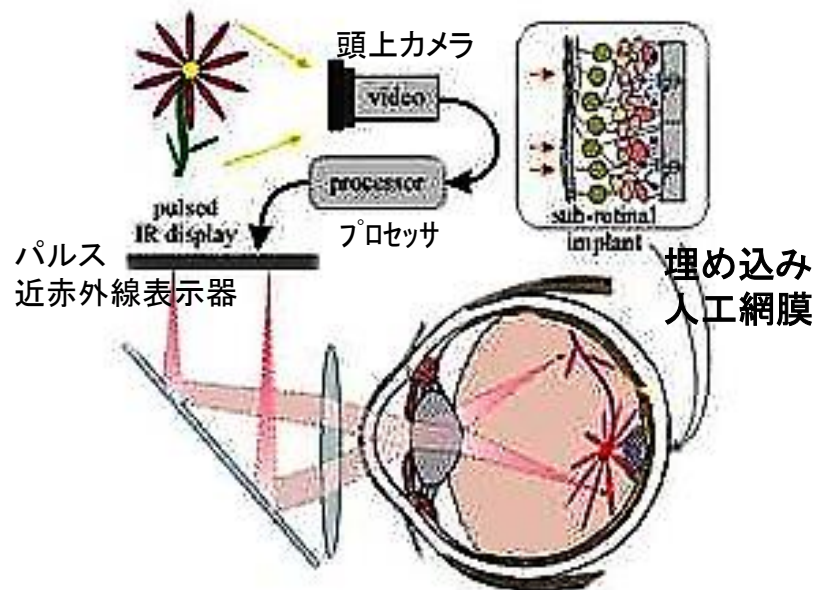
従来システムより60倍高感度

# 太陽電池内蔵人工網膜:スタンフォード

- ・太陽電池内蔵の曲がるシリコン人工網膜
- ・失明の2つの大きな要因は、加齢による黄斑の変性や、色素性網膜炎
- ・スタンフォード研究チームは先端太陽電池技術とMEMS技術を用い人工網膜を形成
- ・埋め込み電極は薄いシリコン太陽電池セル(サイズ: 20 $\mu$ m~80 $\mu$ m、3セル/ピクセル)
- ・湾曲を可能とするため埋め込み部はMEMS技術で形成  
5mm以下の曲率でも球面形状を維持する



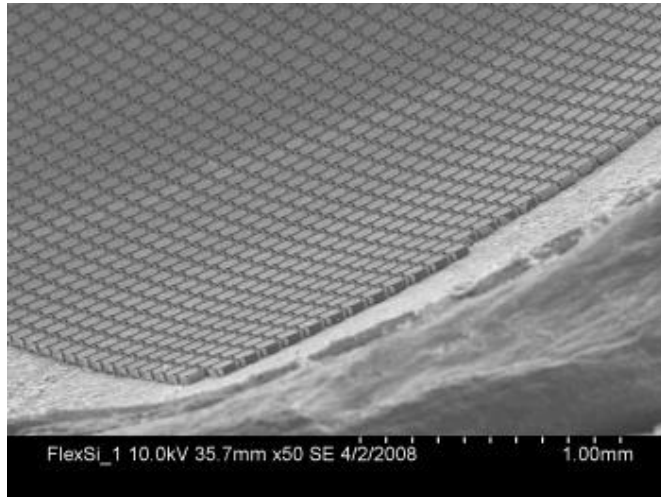
## 人工網膜システム



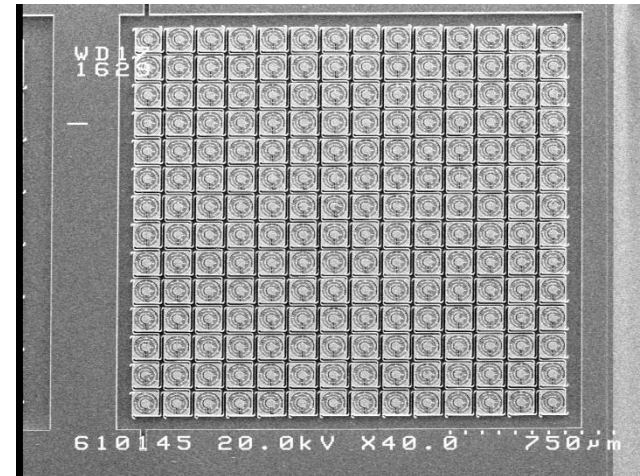
頭上のカメラからの信号を信号処理し、光学系を介して赤外線で人工網膜に送る。人工網膜上の太陽電池で赤外線を受けると、電気パルスに変換して神経細胞を刺激する。

# 太陽電池内蔵人工網膜:スタンフォード

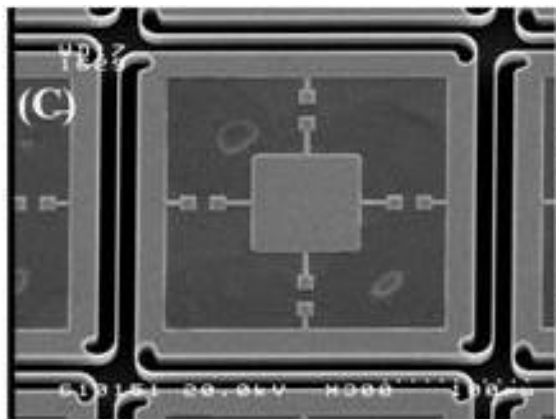
眼球の曲率に併せた形状を採る人工網膜  
5mmの曲率が可能。厚みは30um



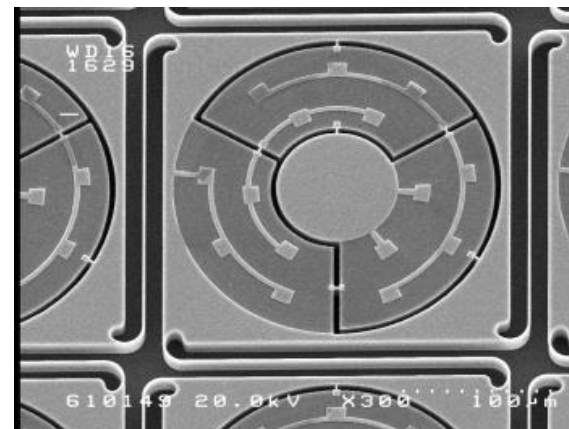
人工網膜チップ:機能部分のサイズは2mmx2mm  
1セルの機能部分サイズは115umx115um



人工網膜の1画素(シングルダイオードタイプ)



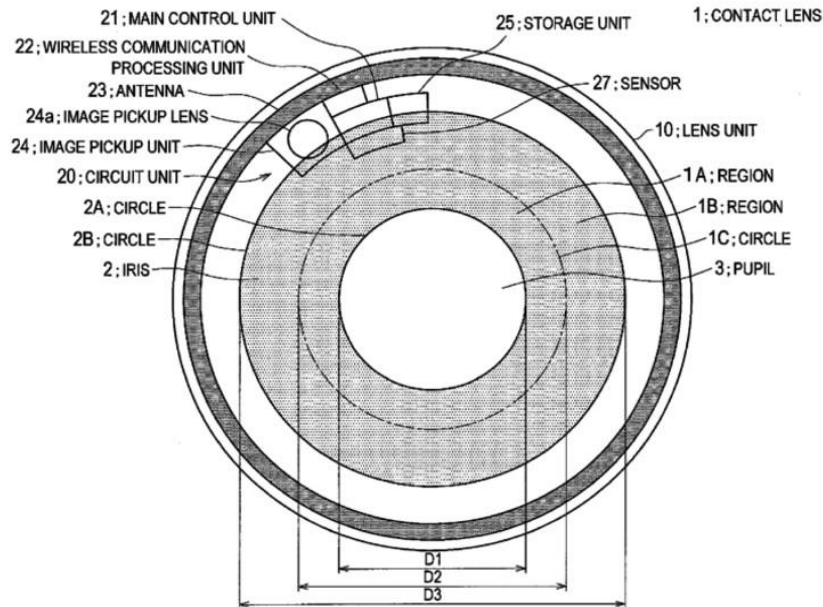
人工網膜の1画素(3ダイオードタイプ)



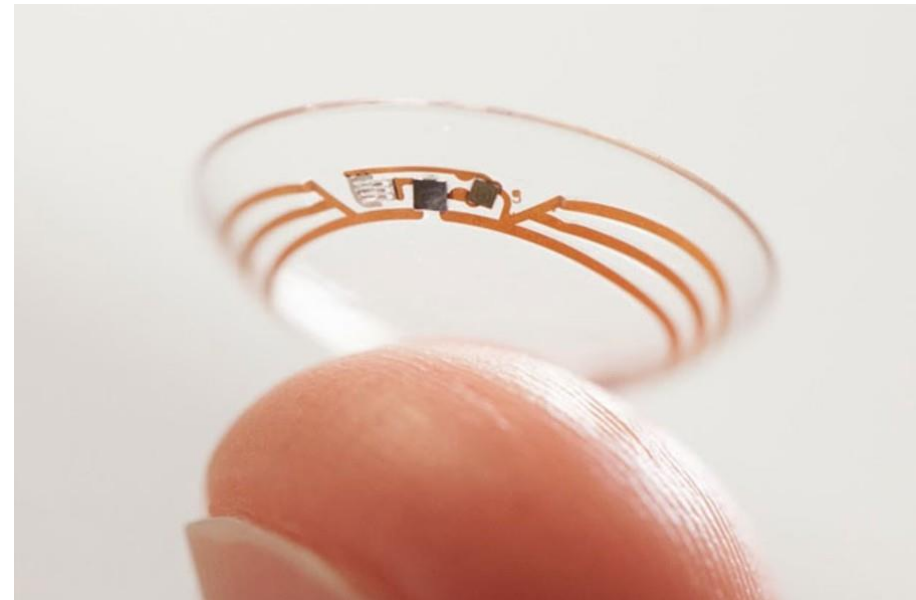
# スマートコンタクトレンズ

- ・2016年にソニーが特許を申請したスマートコンタクトレンズは、**コンタクトレンズの中に極小のカメラユニットが埋め込まれ、ストレージ、イメージセンサ、撮像レンズ、無線通信ユニットなどを搭載**
- ・撮影時のシャッターはまばたきで切ることができ、絞り調、ズーム、焦点を合わせるなどの操作が可能  
眼球の動きによる画像のブレを防止する機能まで搭載
- ・2014年1月、グーグルは**糖尿病患者が装着するスマートコンタクトレンズ**の試作品を完成  
これは**涙に含まれるグルコース(ブドウ糖)を1秒間に1回という割合で測定可能**であり、  
針を使わずに血糖値を連続的に測定できるという画期的な技術

## ソニーが特許申請したスマートコンタクトレンズ



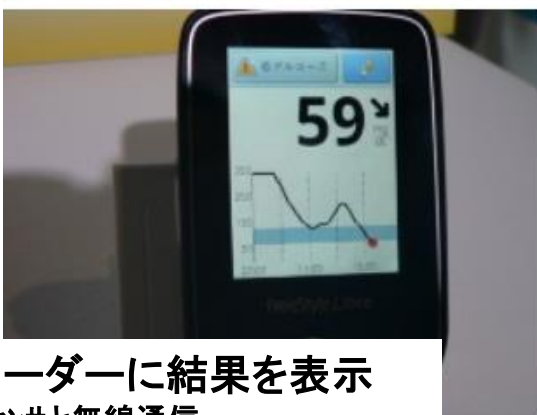
## Google医療用スマートコンタクトレンズ



# 採血なし血糖自己測定: FreeStyle リブレ アボット社

- FreeStyle リブレは、組織の間質液中のグルコース値を測定する500円玉大のパッチ式センサと、センサからの測定値を読み取り表示するリーダーから構成。
- センサを上腕後部に装着すると、センサの極細フィラメントが皮下に挿入され、グルコース値を測定
- センサは直径35mm、厚さ5mmと小型。最長14日間、1分毎に測定し、15分毎にグルコース値を記録
- グルコース値の変動を分かりやすいグラフで表示

## センサは上腕後部に装着



## パソコンソフトウェア上で見る変動チャート

平均グルコース値

**184** mg/dL

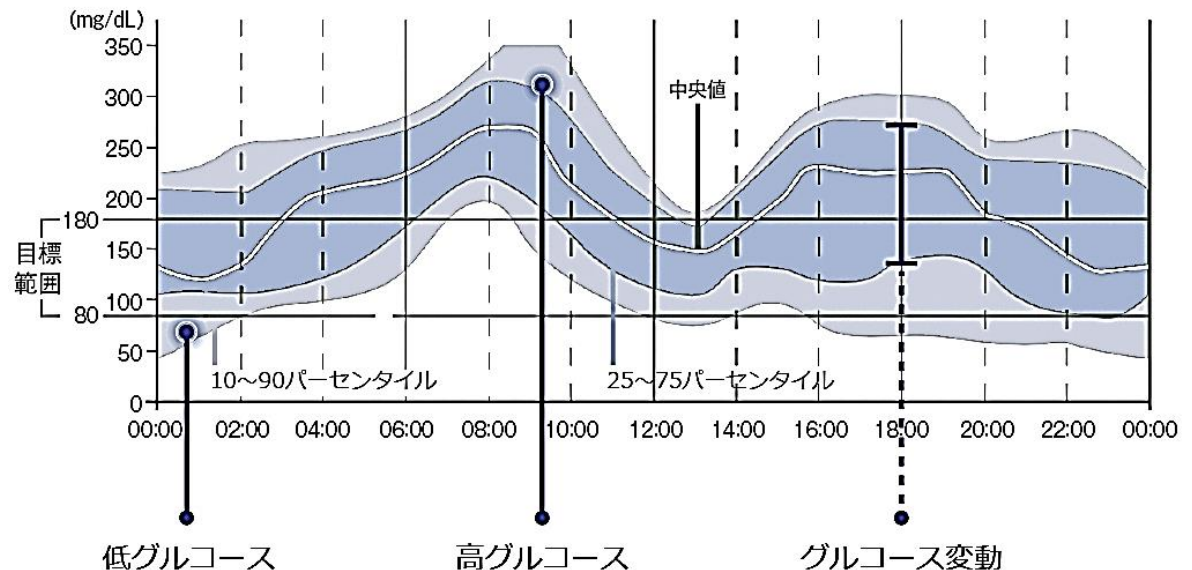
目標範囲内時間

**57%**

推定A1c

**7.8%**

HbA1c値  
ヘモグロビン・エーワンシー  
6.5%以上が糖尿病判定



リーダーに結果を表示  
センサと無線通信



# 無痛で薬を体内に取り込こむ

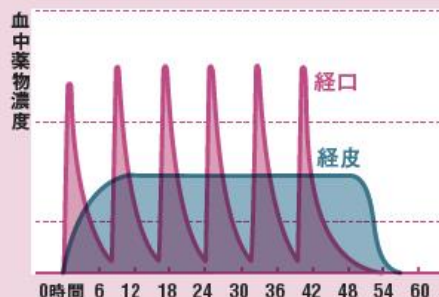
皮膚から薬を投薬する経皮吸収は副作用が少なく体への負担が軽い。

**400個の微細な穴をあけて薬を投薬。**

熱で皮膚に穴をあけて投薬する「マイクロポレーション」技術

経皮吸収は体への負担が少ない

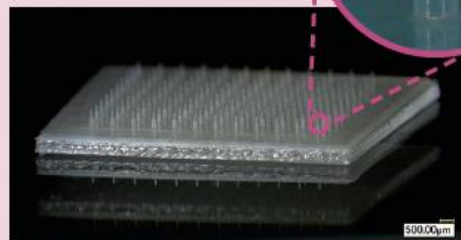
● 経口と経皮の血中薬物濃度の差イメージ



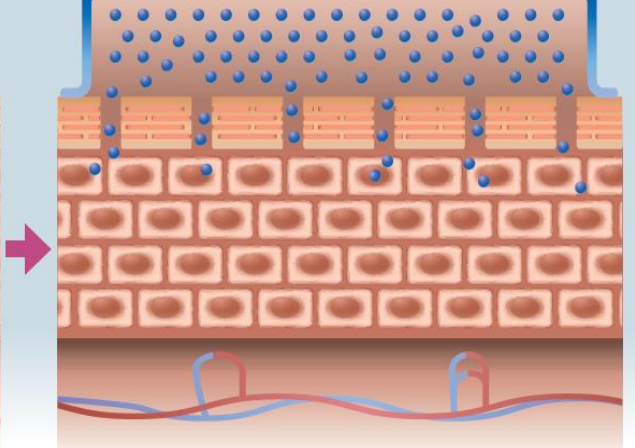
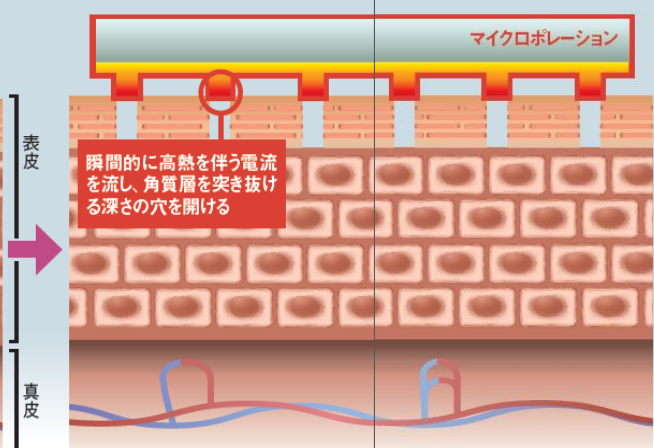
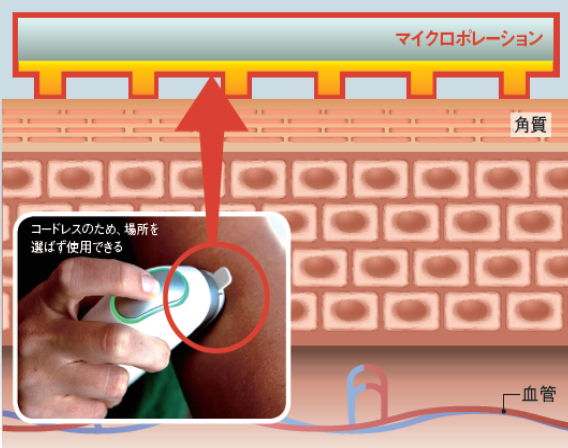
薬を口から飲んだ場合、即効性はあるものの血中薬物濃度が急激に高くなりやすい (出所:日東電工)

2段階針で確実に肌に針を刺す

メドレックスが開発しているマイクロニードル。針は2段階になっており、薬は先の細い部分にのみ塗る。通常の針に比べ先鋭性が高い



肌に浅い穴を開け、そこから投薬



1 機器に搭載された金属プレート部分を、肌に直接当てる。ボタンを押すと瞬間的にプレート部分が発熱して、表皮の角質層に微細な長方形の穴が開く。機器は手で持ち運びができる小型サイズ

2 表皮の角質層(10~30マイクロメートル)を突き抜ける程度の深さの穴が開く。最大400個開けることが可能。

3 トル)を突き抜ける程度の深さの穴が痛点に届かないため痛みはない

# センサー内蔵の錠剤「デジタルメディスン」

2015年9月

- ・シリコン製のセンサーチップを内蔵した錠剤の新薬承認申請を、米国FDAが2015年9月8日に受理
  - ・大塚製薬の抗精神病薬「エビリファイ錠」に、米Proteus Digital Health社のセンサーを内蔵
  - ・薬が胃に到達すると、患者の体に貼り付けたパッチ型検出器に対し、内蔵したセンサーが信号送信
  - ・このパッチはセンサーから送られる服薬時刻などの情報に加え、体の傾きや活動量などの身体情報を集め、時間と併せて記録する。
  - ・収集したデータはスマートフォンやタブレット端末にBluetooth Low Energyで転送
- 
- ・あらかじめ錠剤の中に埋め込んでおく
  - ・チップは寸法約1mm角のSi製IC
  - ・Siチップの重さは0.02g
  - ・薬を飲んだときに胃酸と反応して発電  
胃酸を電解質として利用する発電方式
  - ・チップが信号を送信できる時間は10分程度
  - ・飲み込んだチップは、「砂粒を飲み込んだ時のように体外に排出される」

## 使用目的と効果：

「患者の服薬状況や身体状態を正確に把握でき、薬効がより確実に発揮される。

個人の服薬パターンやライフスタイル、日頃の活動を知ることによって、個々人に最適な薬の処方が行えるようになる」

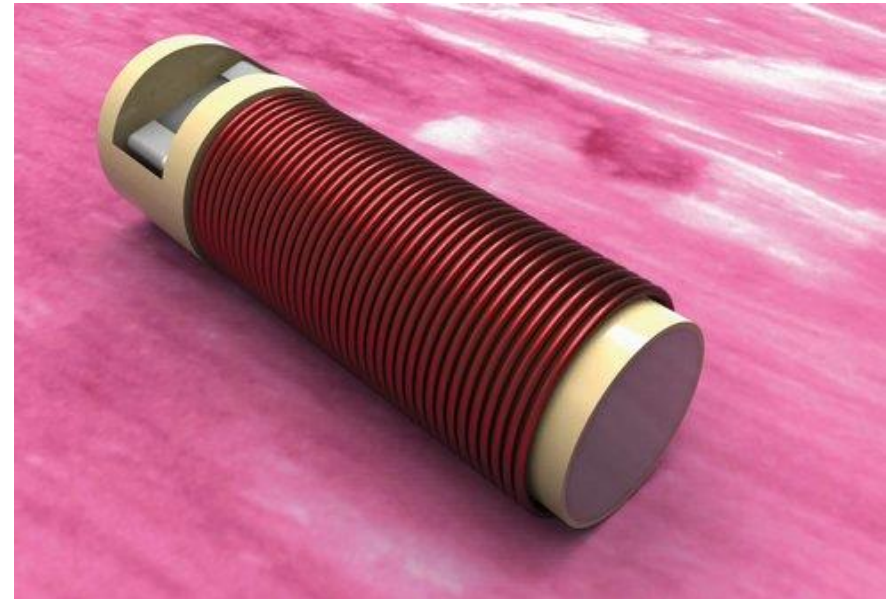
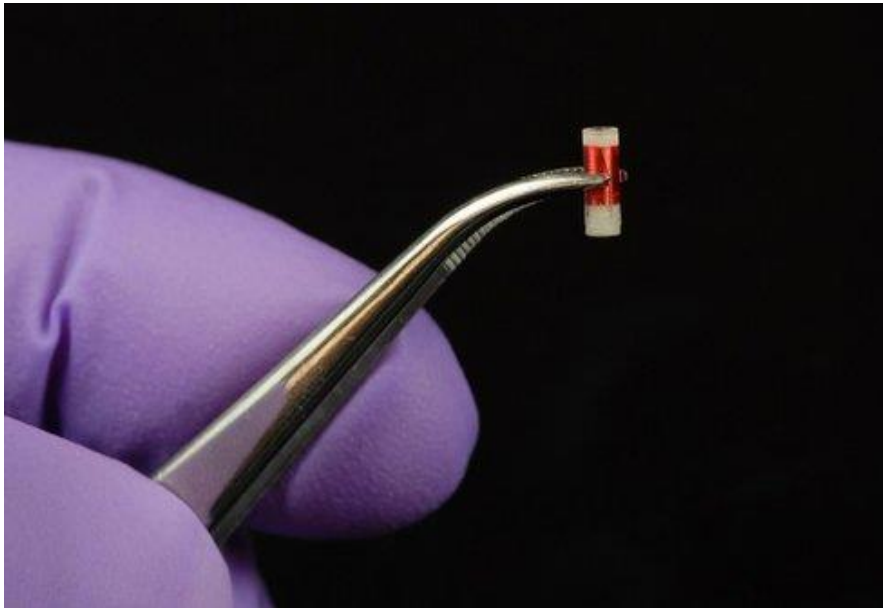


# がん組織に埋め込むセンサー、無線でデータ送信

2015年8月

- ・米国のがん研究機関Koch Institute for Integrative Cancer Researchは、がん組織に直接埋め込み、バイオマーカーのデータを無線でリアルタイムに送信するセンサーを開発
- ・本センサーは、生体適合性のある医療用プラスチックで作られていて、生体検査用の針先でつまめるほど小さい。pHと溶存酸素のデータをリアルタイムに外部リーダー端末に送信
- ・pHと溶存酸素は、抗がん剤などに対するがん組織の反応を見るバイオマーカー
- ・センサーは、最初の生体検査の時に埋め込み、後はデータをモニタリングするだけ
- ・センサーとリーダー端末の両方にコイルが搭載しワイヤレス給電によって、センサーを充電

がん組織は治療薬に反応すると、より酸性になる。また、がん組織の内部環境は低酸素なので、酸素レベルを知ることは、医師が放射線治療や薬物療法で、適切や照射量・投薬量を判断するために役立つ。

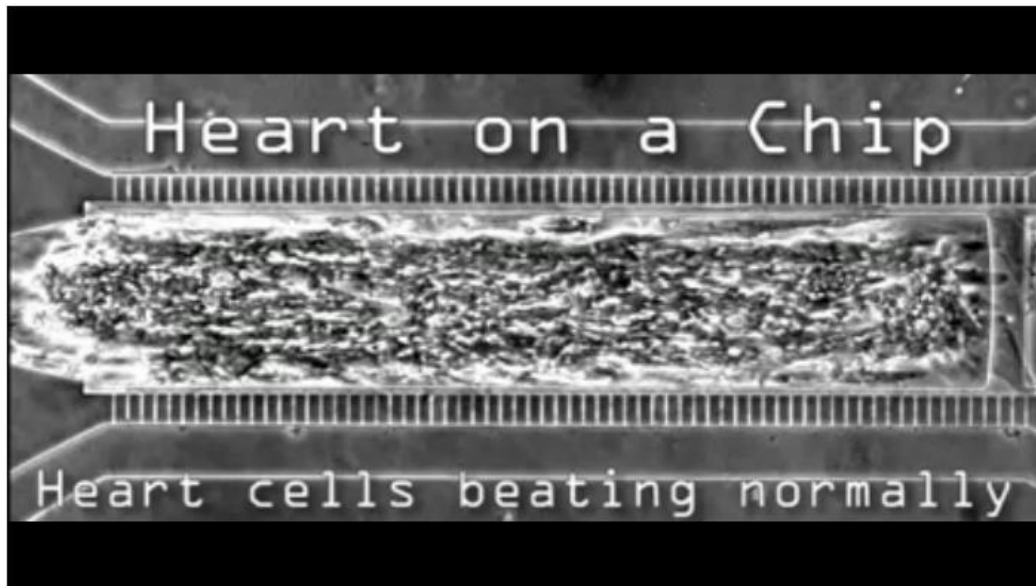


# 半導体チップ上に人工心臓を作る iPS細胞を利用 2015年3月

米国の大学が、iPS細胞（人工多能性幹細胞）を使って、半導体チップ上に人工の心臓を作ること成功したという。他の人工臓器をチップ上に形成し、マイクロ流路で接続すれば、薬剤が各臓器に与える影響などを研究できる可能性がある。

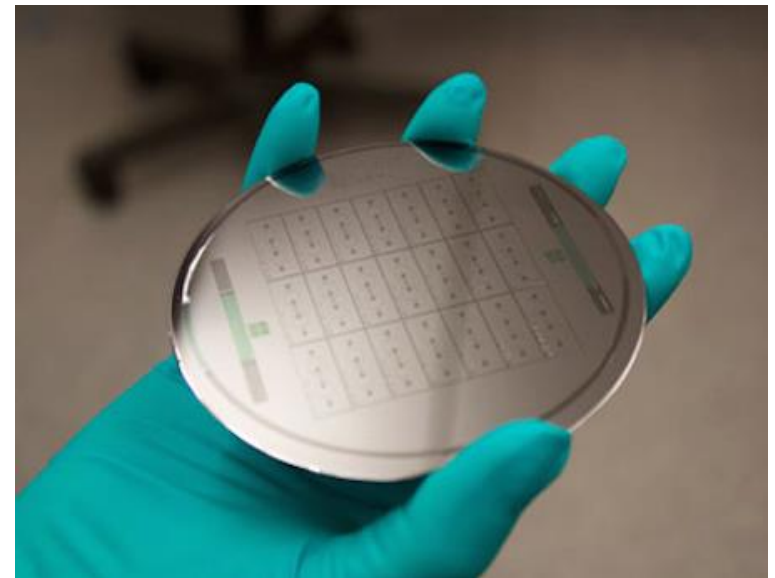
また、マイクロ流路を使って各臓器を接続し、血液や生体液を運ぶことから、ウエハー上に人間のシステムを構築することによって、さまざまな臓器間における薬物の相互作用についても研究できるようになると考えられる。

**マイクロ流路: MEMS (半導体技術) で作られた微小なパイプ**



University of California at Berkeleyが公開した、チップ上に形成した心臓のデモ。  
“鼓動を打っている”様子がよく分かる 出典：University of California at Berkeley

“心臓”を形成した4インチウエハー  
University of California at Berkeley

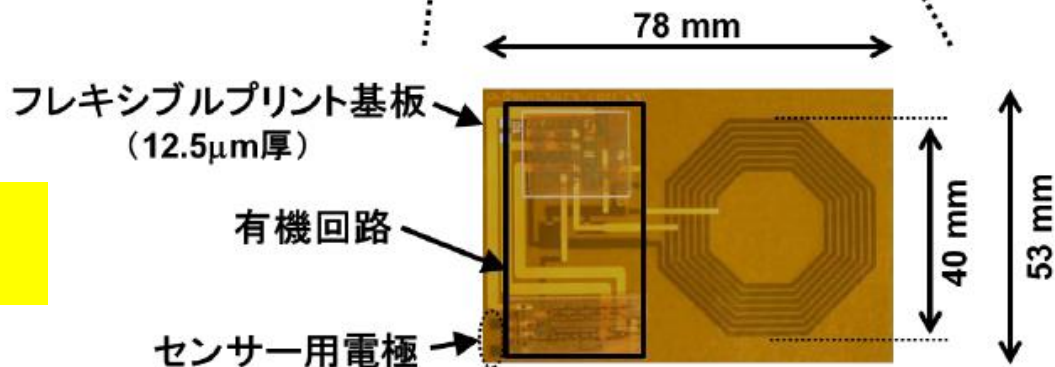
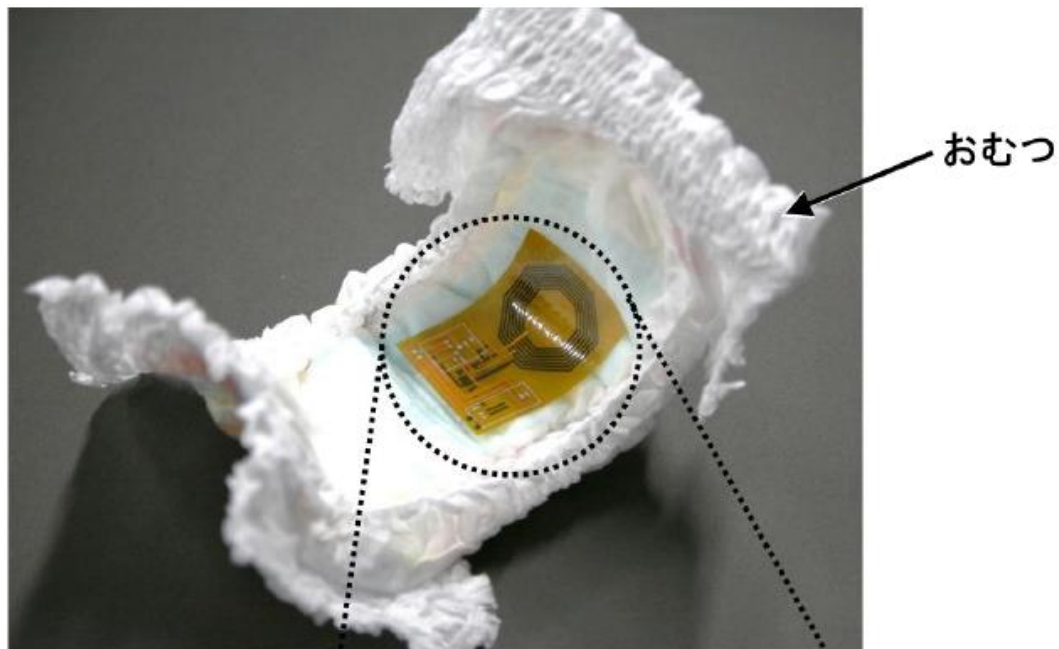


# 有機センサシステム

東大 桜井研究室+染谷研究室 ISSCC2014

厚さ $12.5\mu\text{m}$ の高分子フィルム上にセンサや集積回路(有機トランジスタや有機ダイオードなどの有機デバイス)を作製。電力はワイヤレス給電にて供給。無線タグで広く使われている周波数 $13.56\text{MHz}$ 帯において、 $10\text{V}$ の低駆動電圧で $20\text{mA}$ の大電流を流すことができる。

ワイヤレスで電力とデータを伝送できるフレキシブルな水分検出センサシートを開発した。センサは、水分を検出すると、数Hzの信号を出力する。周波数が $3\text{Hz}$ の時、センサの消費電力は $1.4\mu\text{W}$



同研究室では $0.02^\circ\text{C}$ 感度の有機温度センサも開発

# 着るだけで心電を測れる「hitoe」 NTTドコモ

生体情報計測用ウェアは、専用の無線通信装置とスマートフォンを組み合わせることで、これにより**心拍数や心電波形のリアルタイムでの把握**が可能となる。

hitoeを用いたウェア型の心拍計測デバイス。  
素材は東レが開発。  
胸部に装着しているのが「hitoeトランスミッタ」。



生体情報計測用ウェアは、ウェアの裏側、具体的には胸の左右と左胸の下側辺りに、電極となるhitoe製の四角い布地を貼り付け。左肩には専用の無線通信装置を取り付けるコネクタを組み込み、同コネクタと前述の電極をつなぐ配線となる導電性の糸(表面を被覆して絶縁性を持たせたもの)を縫い込むことで実現



# 排尿、排便予知ウェアラブル「DFree」

2016年  
トリプル・ダブリュー・ジャパン

DFreeは内蔵された超音波センサで排尿、排便のタイミングを予測

DFreeは、超音波センサで体内の動きをモニタし分析、排尿や排便のタイミングを予知

専用ゲルパッド/専用テープ / ベルト型装着補助具を使って下腹部に装着

「DFree」はBluetooth接続でスマホアプリと連携。「現在、〇〇%溜まっています。〇〇分後にトイレの時間がきます」と、排泄のタイミングを事前に知らせる。

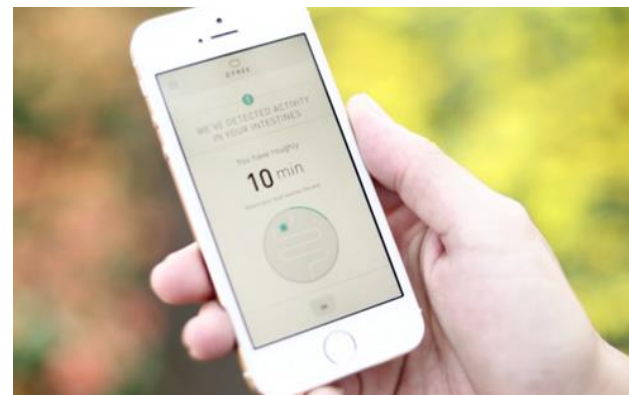
## ----- DFree 製品仕様(予定) -----

- 寸法 : 35 × 53 × 8mm
- 重さ : 20g
- 素材 : プラスチックなど (生体適合が認められた素材)
- 連続稼働時間 : 約60時間
- 充電方法 : USBケーブルを用いて充電
- 通信 : スマホとBluetooth(BLE)接続

## アプリ

- App Store、Google playから無償ダウンロード
- 対応機種 : BLE対応のAndroid, iOS搭載機種
  - \* 尿意、便意のタイミングには個人差があるため、事前の個別の調整(アプリ上)が必要
  - \* 目安として1週間程度の初期学習期間が必要

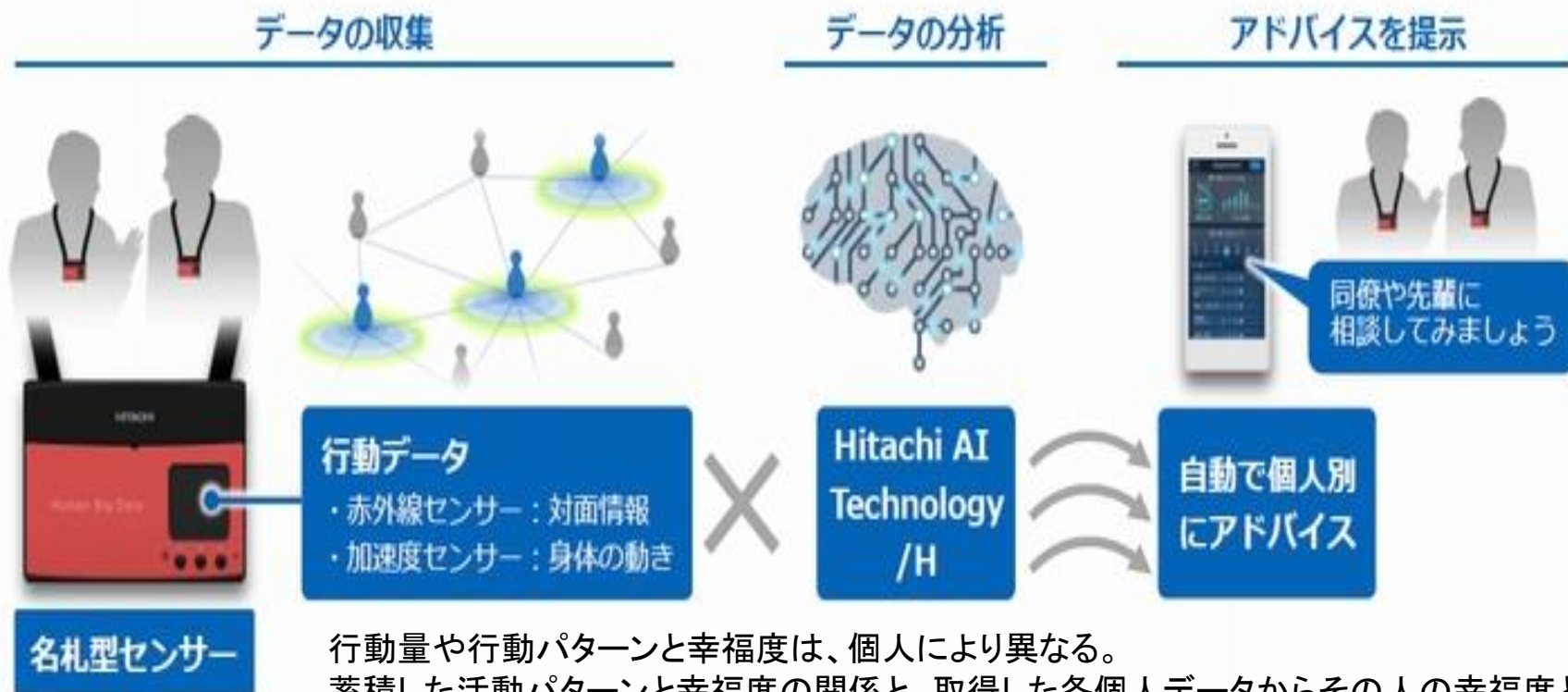
トリプル・ダブリュー・ジャパンは2014年  
日本人起業による米国発ベンチャ  
日本でも2016年クラウドファンディングで資金調達



# 個人の活動量からハピネス度(幸福度)を計測

2016年6月

- ・日立は、AI技術を活用し働く人の幸福感向上に有効なアドバイスを、各個人の行動データから自動で作成する技術を発表。
- ・各個人の大量行動データを名札型ウェアラブルセンサで所得し、人工知能(AI)でビッグデータ分析し、職場でのコミュニケーションや時間の使い方など、一人ひとりの幸福度の向上につながる行動についてのアドバイスを自動的に作成し各個人スマホに配信



行動量や行動パターンと幸福度は、個人により異なる。  
蓄積した活動パターンと幸福度の関係と、取得した各個人データからその人の幸福度と行動パターンの関係を明らかにする



# まとめ

---

- ・家電や汎用品は中国やアジアへシフト。医療分野は今後日本が注力すべき分野
- ・医療検査 & 治療装置は高度エレクトロニクス技術と、医療従事者の知見が集約されたシステム
- ・様々な物理現象(光、超音波、光超音波、X線、核磁気共鳴etc)を利用し、体内を非侵襲でセンシングし画像化
- ・画像化は高精細化し、2Dから3Dへそして4Dへ進化
- ・医療装置の高性能化は、デジタル信号処理(DSP)技術支援による高度アナログ技術(センサ、アクチュエータ、アナログ半導体、アナログ回路技術など)が不可欠
- ・医療 & デジタルヘルスデバイスも極めて興味深い技術が多用されている

興味を持たれた学生諸子には、ぜひ取り組んでもらいたい。

**ご清聴ありがとうございます。**