

日本音響学会東北支部 60周年記念事業



「音で体をみる」

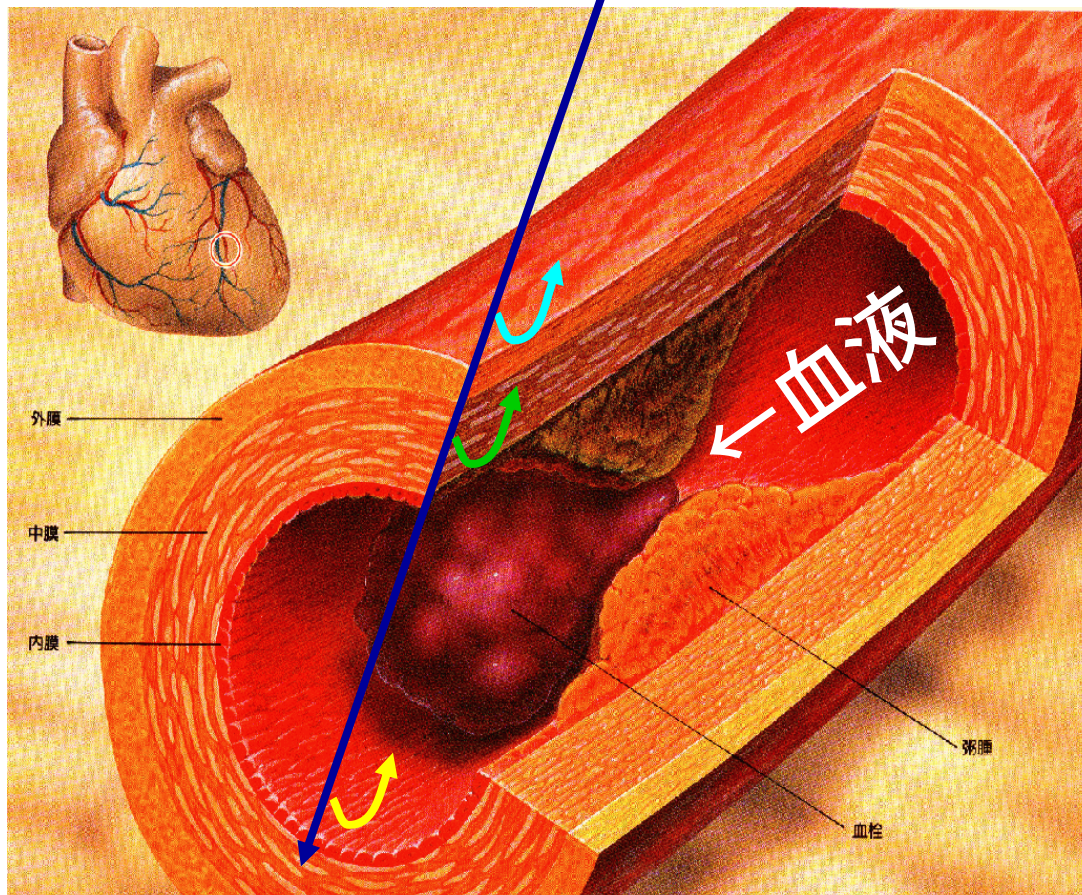
東北大学 大学院 工学研究科 電子工学専攻
大学院 医工学研究科 医工学専攻
教授 金井 浩



東北大学 片平キャンパス 1

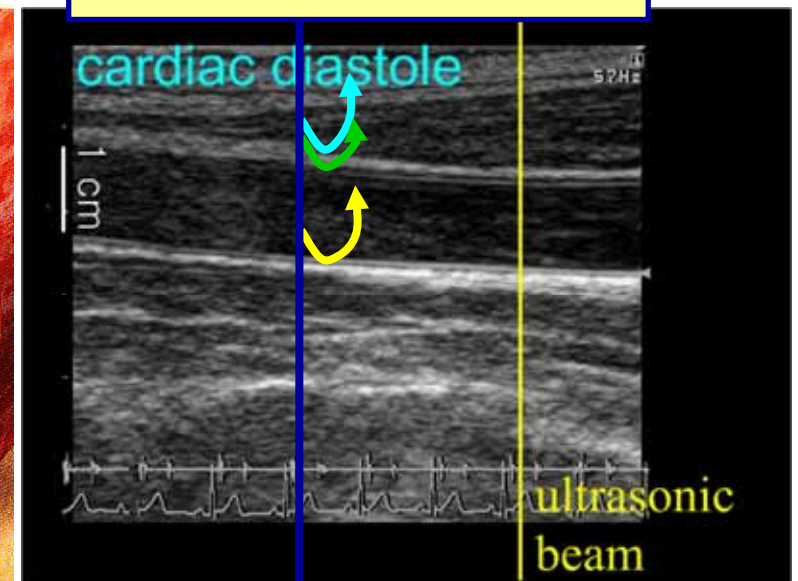
超音波で切らずに 体の中を見る仕組み

超音波



「ニュートン」より

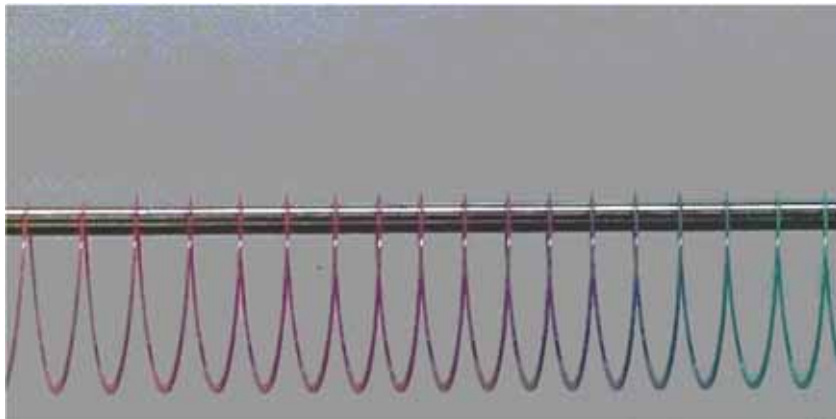
超音波プローブ



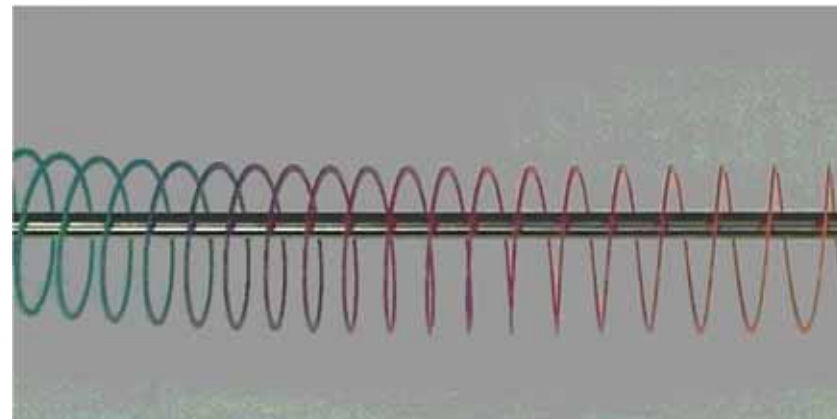
反射した音の大きさ
大→白
小→黒

波の種類

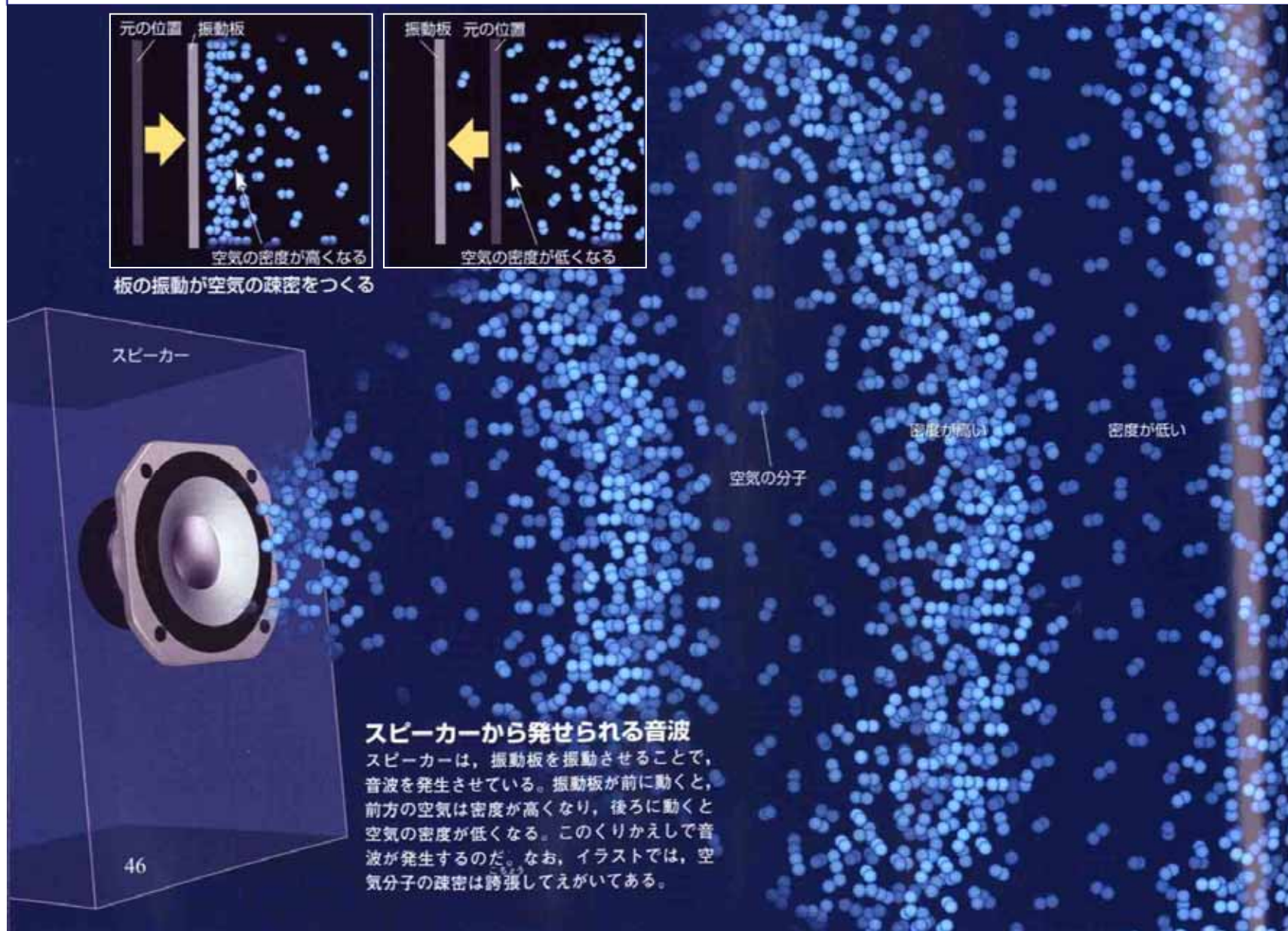
縦波



横波



利用する超音波は，縦波(スピーカから発せられる音波と類似)



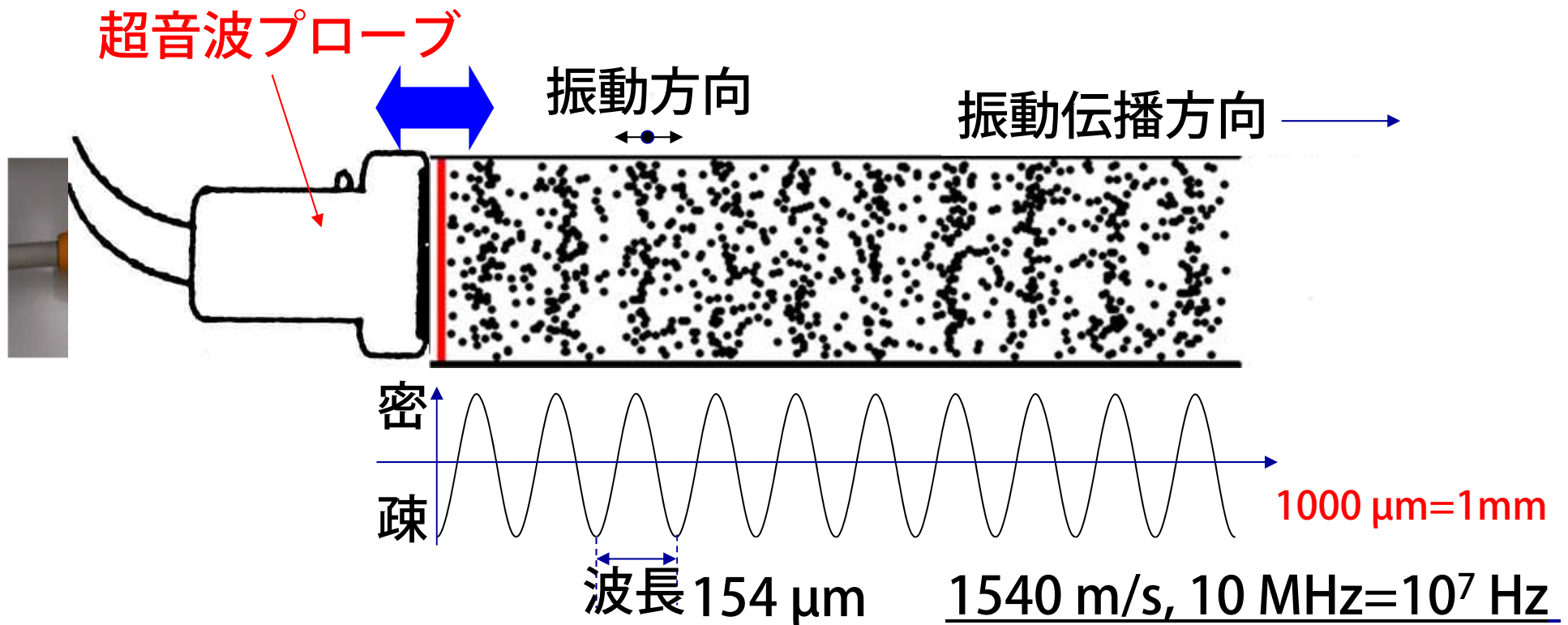
利用する超音波は，縦波



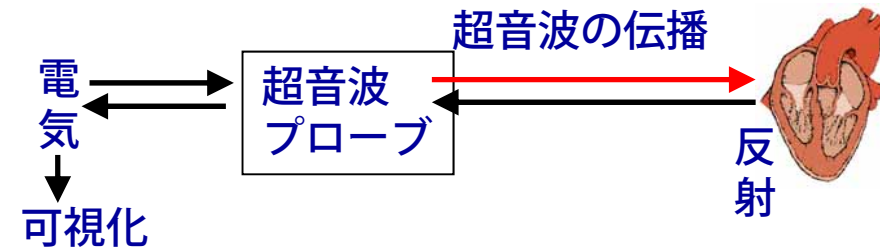
横波： 液体・気体中では伝播できない



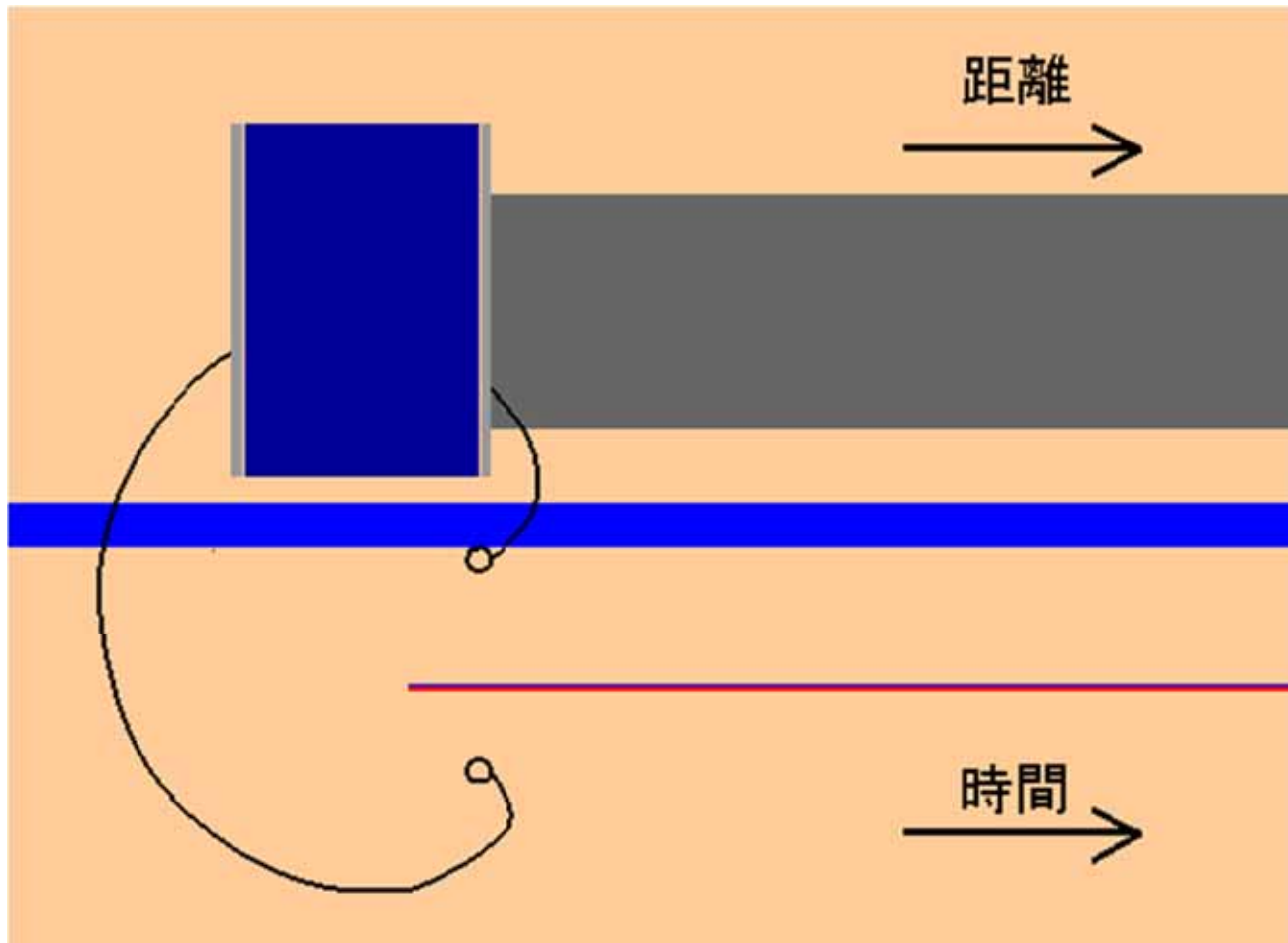
縦波： 振動伝播方向と振動方向が一致



電気を振動に変える“圧電体”(模型)→スピーカの役割



② 圧電体が伸縮

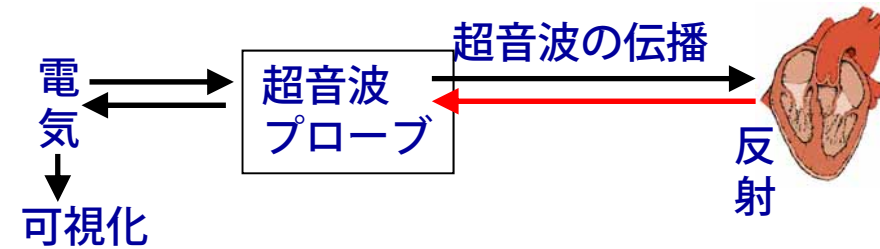


③ 振動(波)が発生

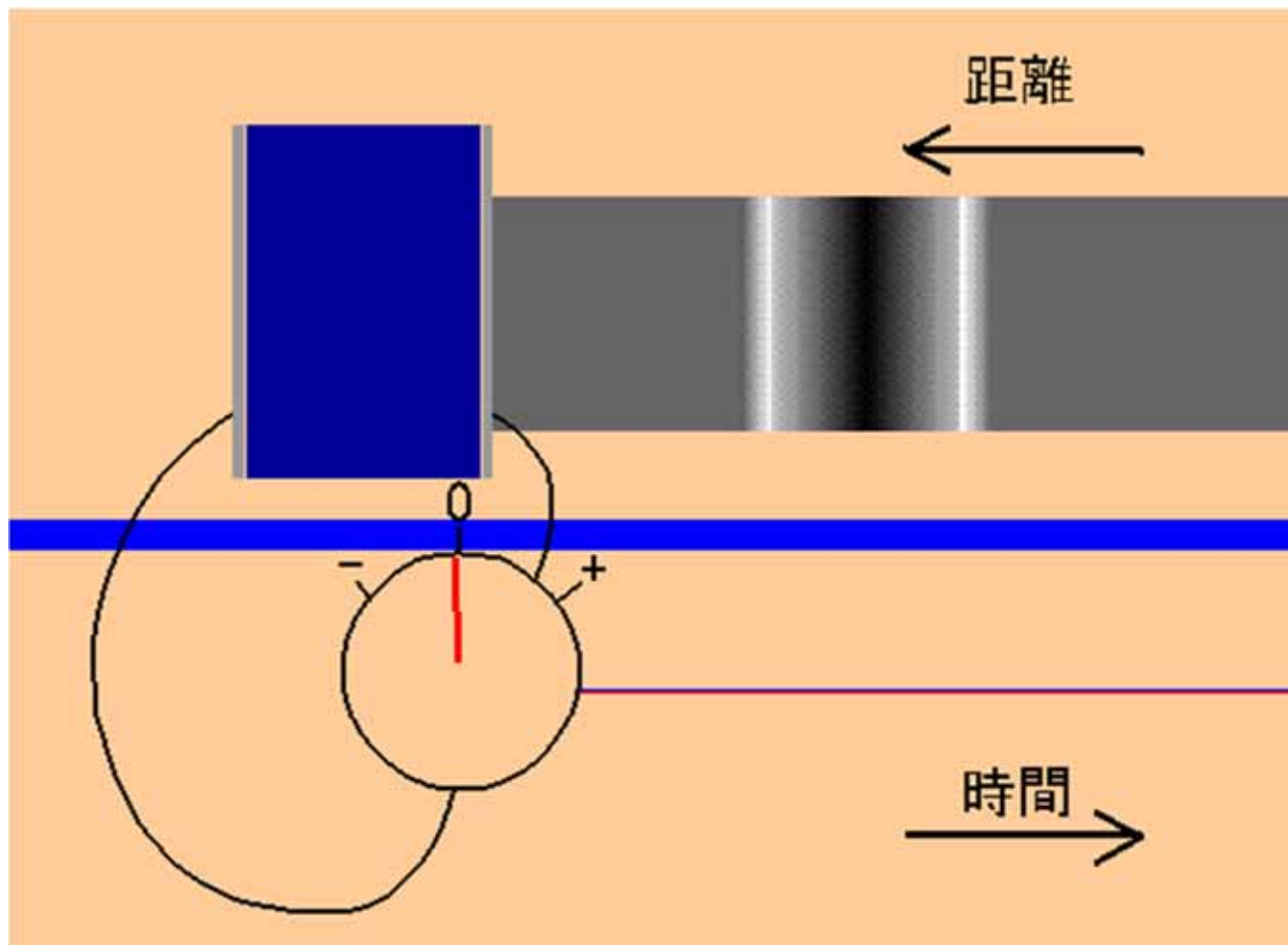
④ 振動(波)が伝播

① 圧電体に
電気を印加

同じ“圧電体”で、振動を電気に変える(模型)→マイクの役割



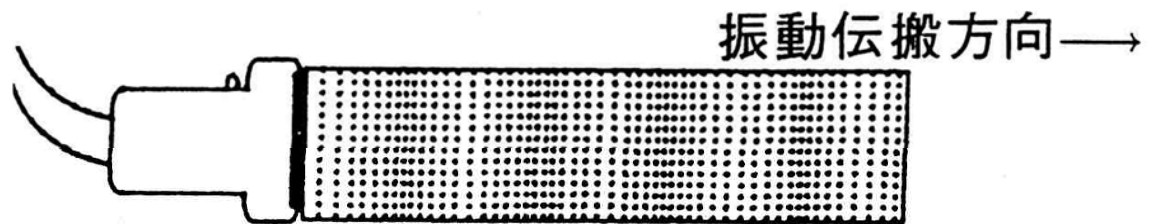
② 圧電体に力が加わる



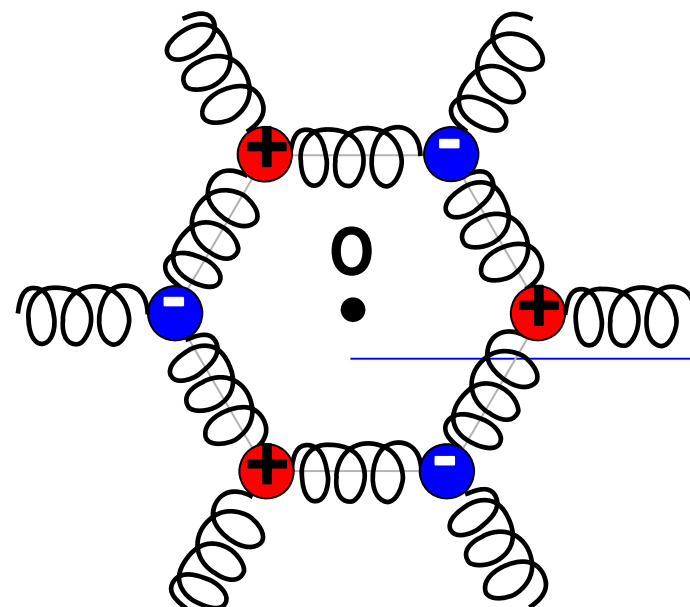
① 振動(超音波)が
到来

③ 圧電体が
電気を発生

圧電体に
電圧を印加すると
波が出来るのは
どういう訳か？



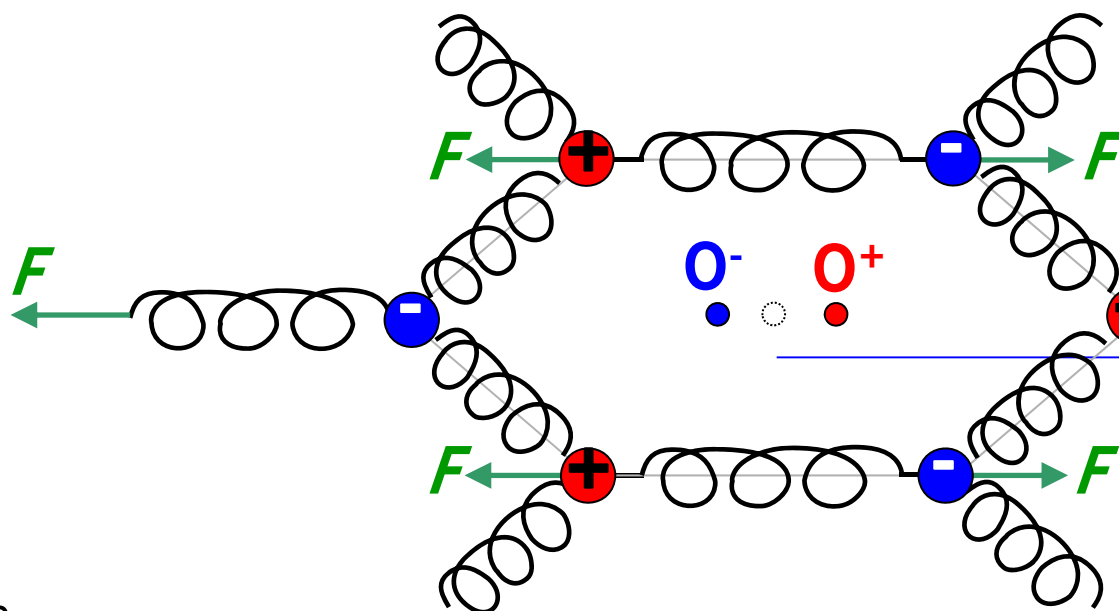
圧電体を力 F で引っ張ると電界 E が生じる



+電荷中心 O^+ と
-電荷中心 O^- は一致
→電界生じない

$$E=0$$

外部から印加した機械的
圧力で電氣的分極
(圧電効果)



$$E \propto \text{歪み}$$

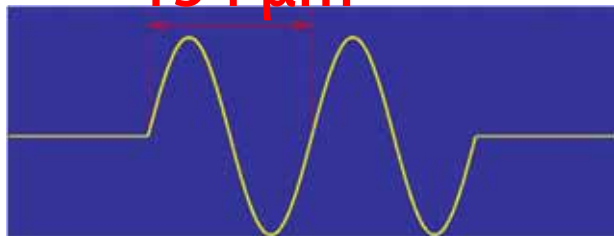
逆に結晶に電界を掛け
ると歪みや応力が発生
(圧電逆効果)

体内部の断層像の測定と可視化

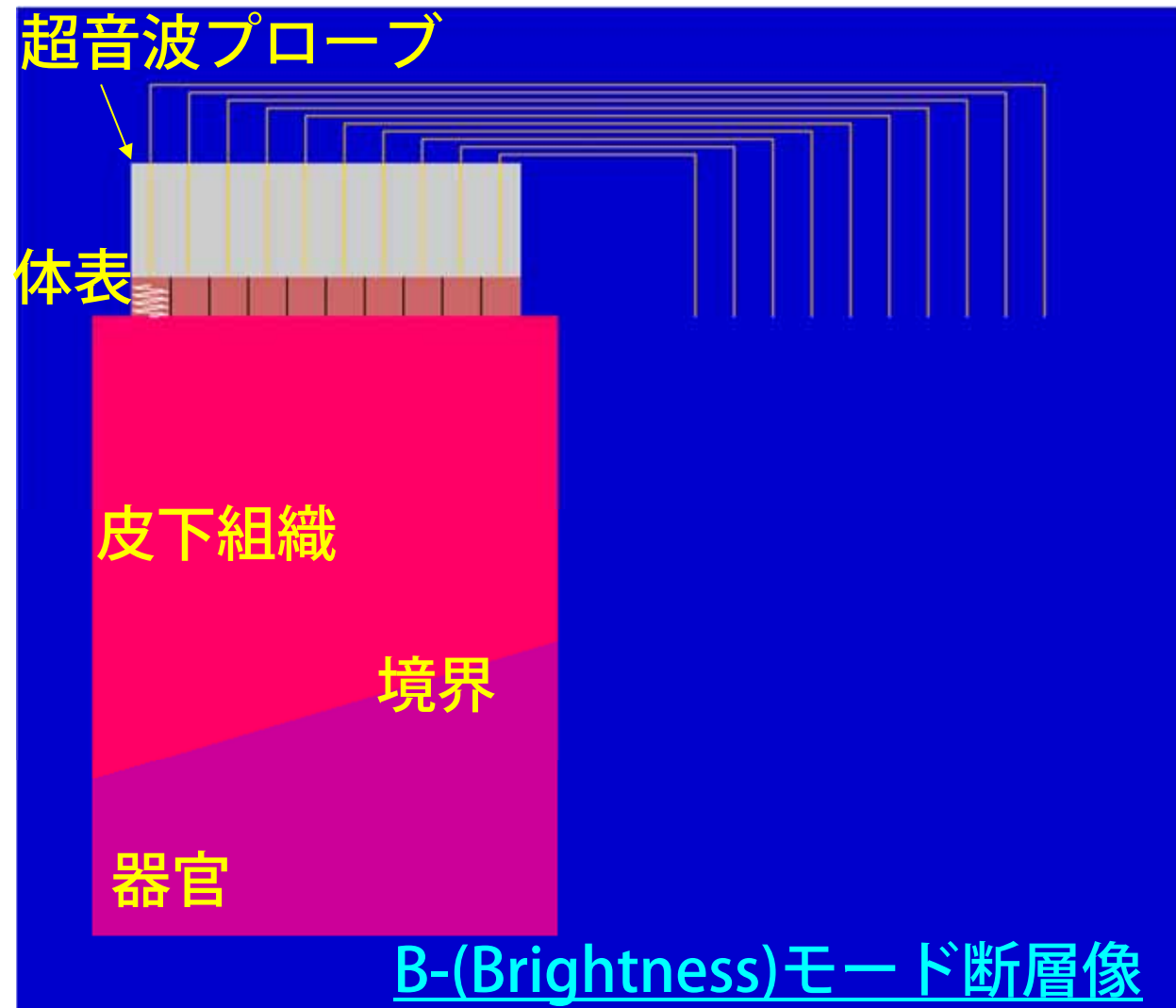


“超音波”診断装置

周波数: 数~10 MHz
154 μm



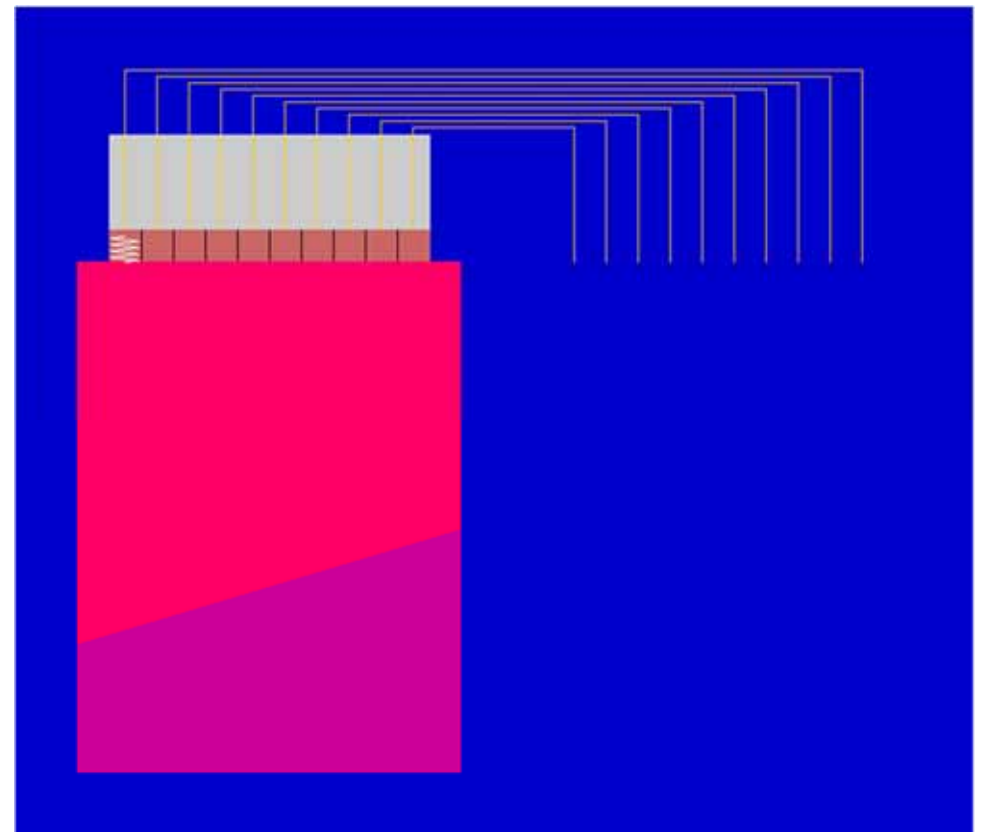
例) 10 MHz, 1540 m/s



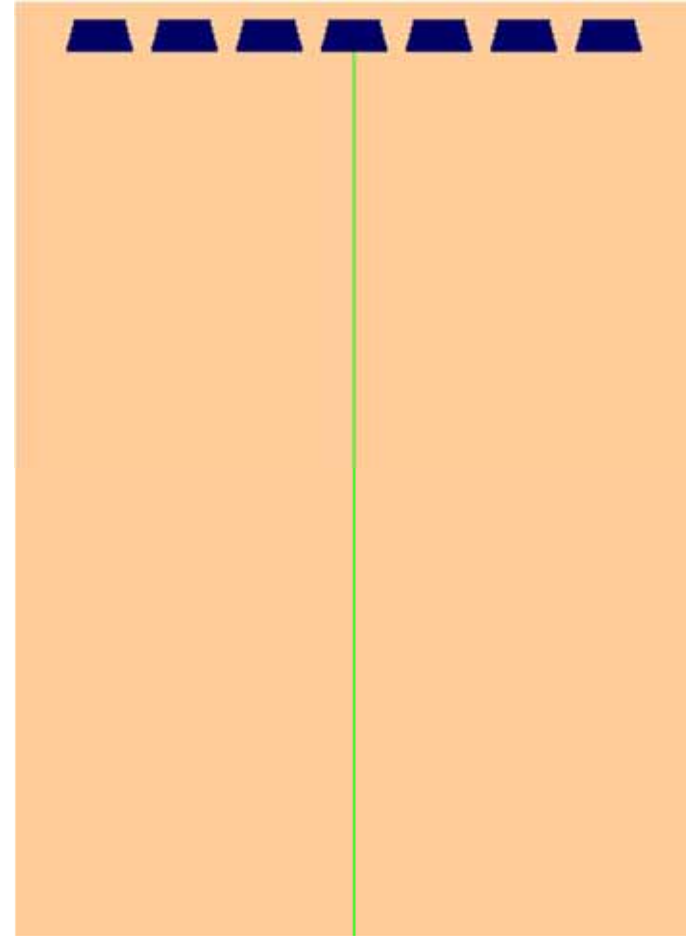
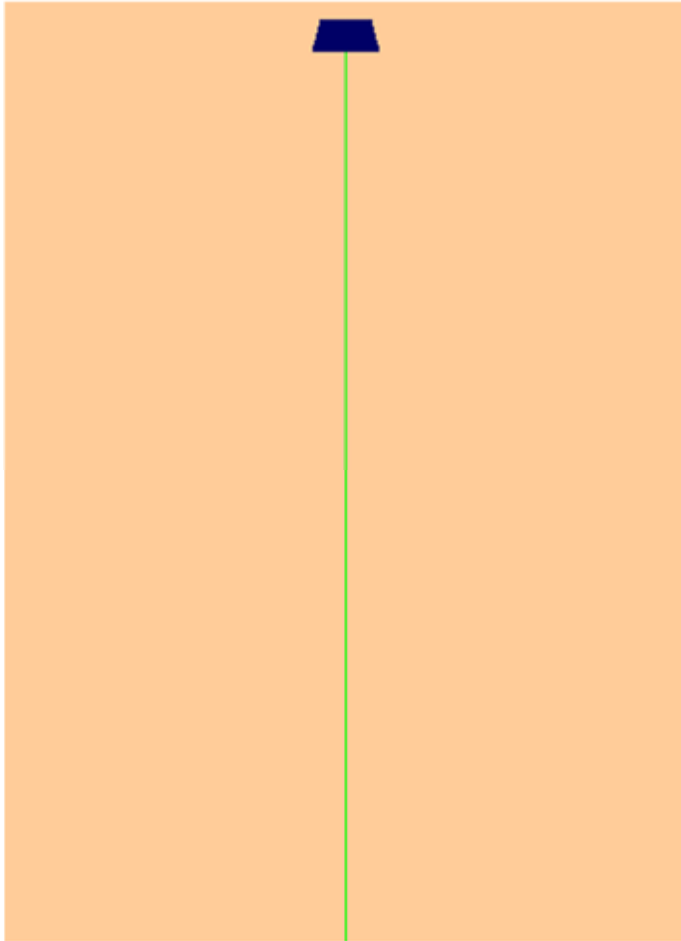
体を傷つせずに体内の断層像を計測可能

- ある点に波を発生させると
「波面は同心円状に広がる」
のでは？

- 超音波ビーム
を作るとは？

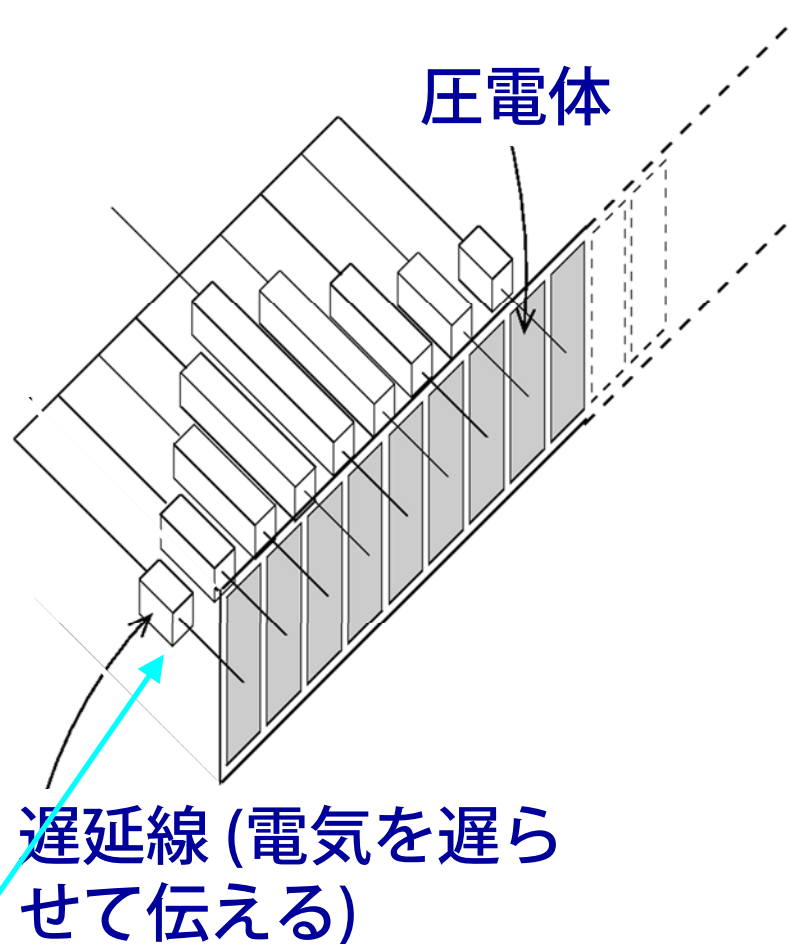


1つの音源（スピーカ）から出た音の波面は丸く広がる



多くの音源（スピーカ）
から同時に音を出した時

診断用超音波探触子(超音波プローブ)



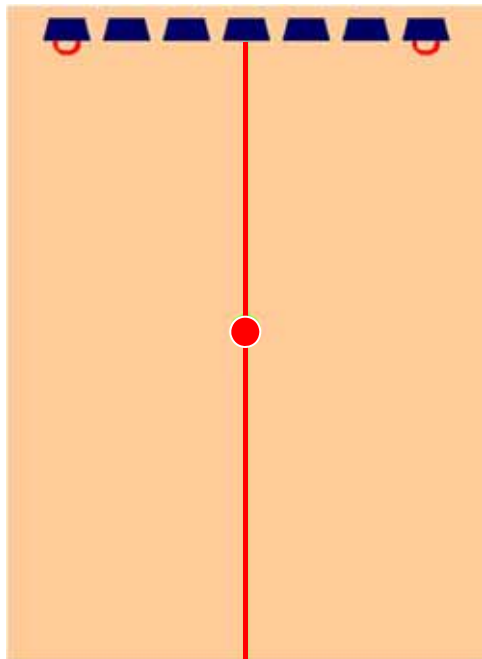
多くの音源を有する
(振動子1個の幅≒100ミクロン)

超音波伝播の様子(シミュレーション)

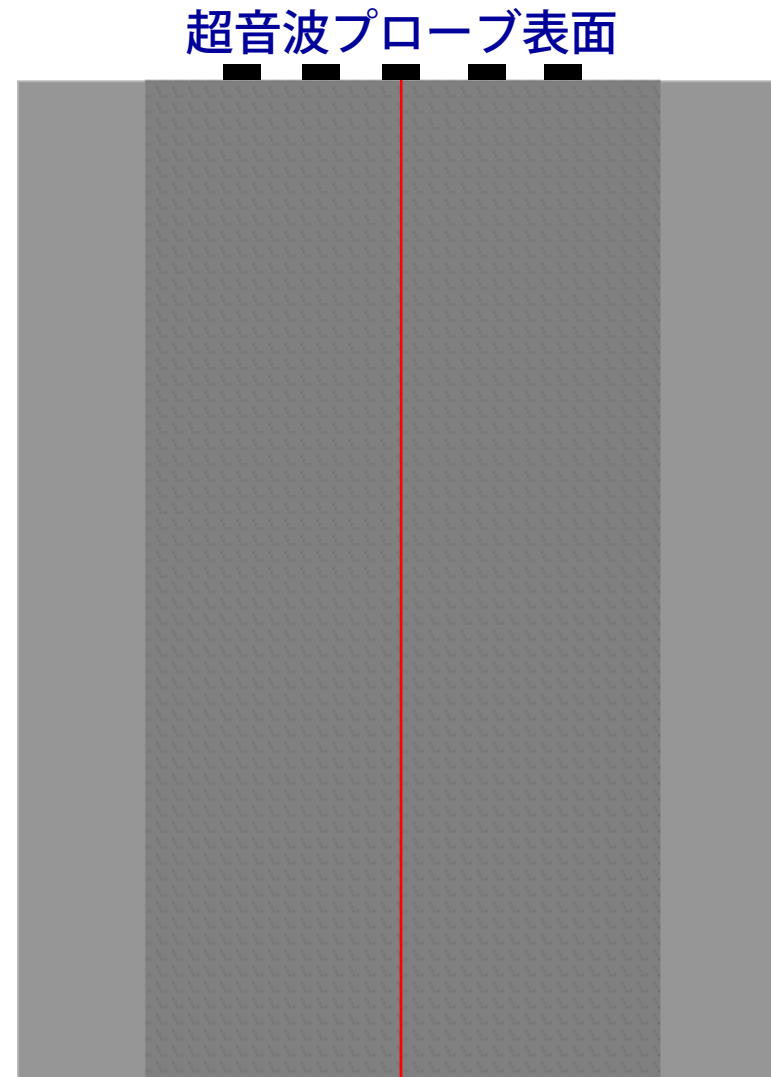
複数の音源(圧電体)を
各々遅延時間を設けて
駆動



超音波強度が赤線に
沿って増大
→超音波ビーム形成



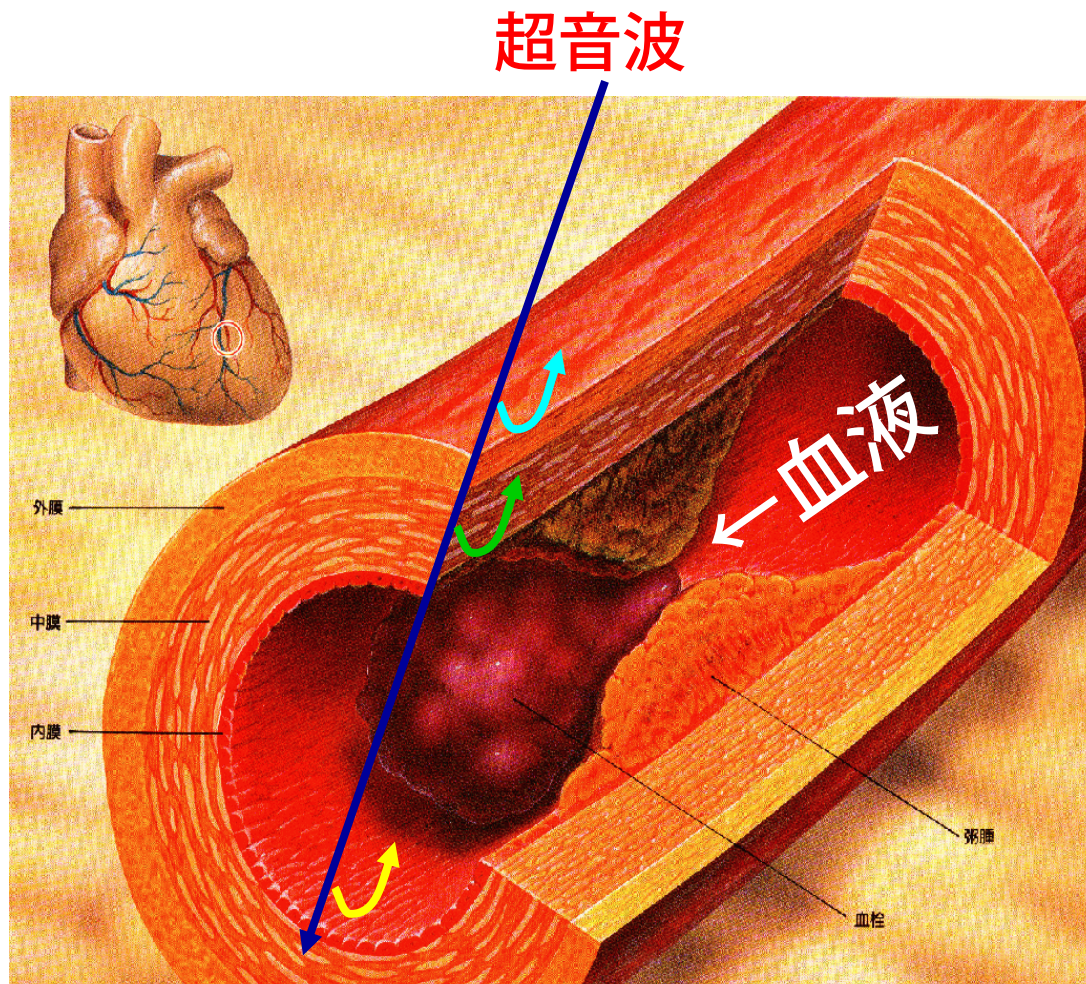
深さ



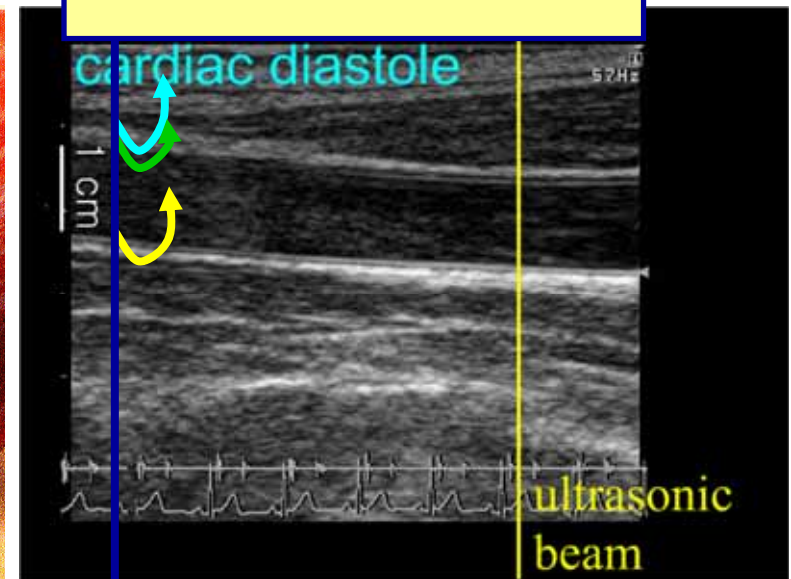
横方向距離

超音波は体のあらゆる個所で反射する

例えば，血管では，

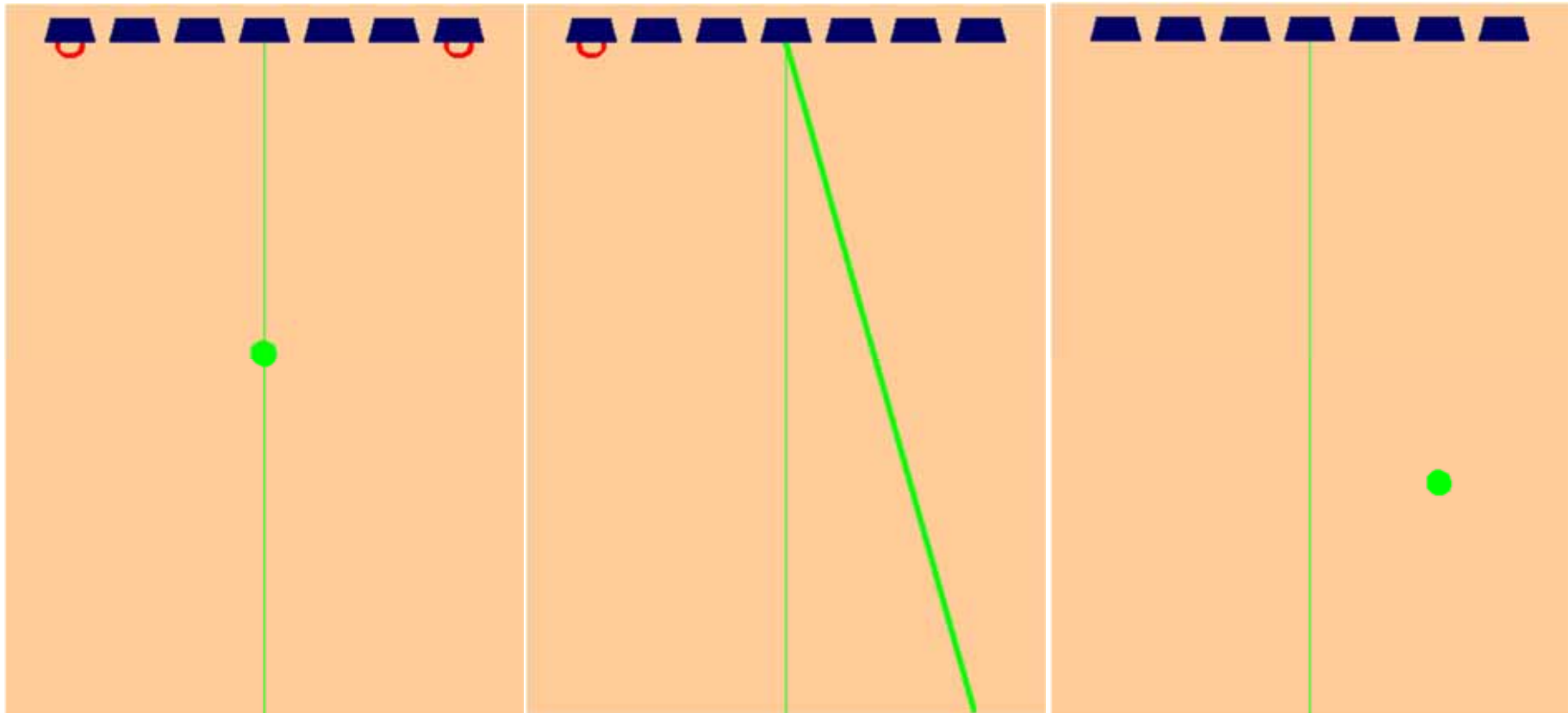


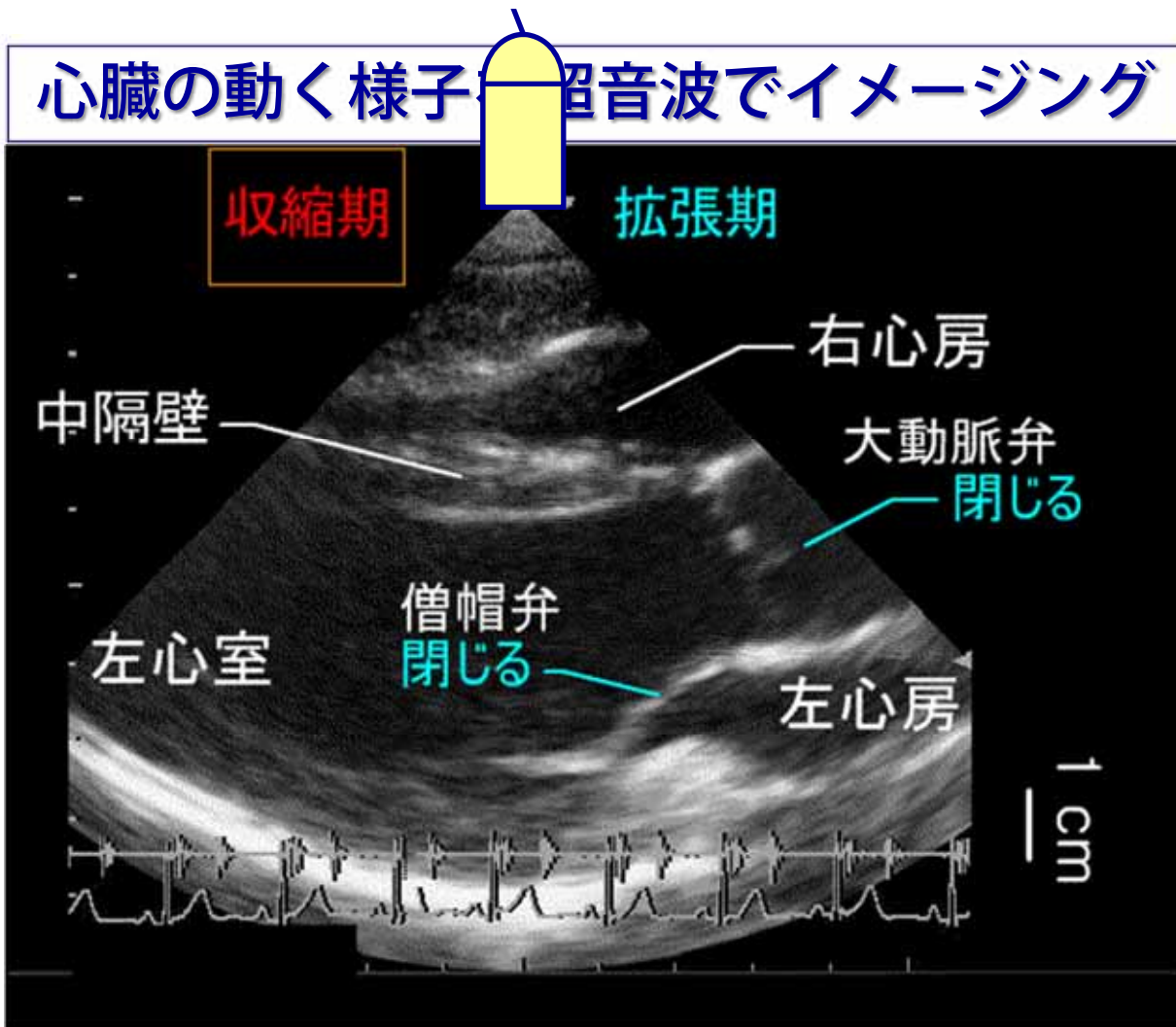
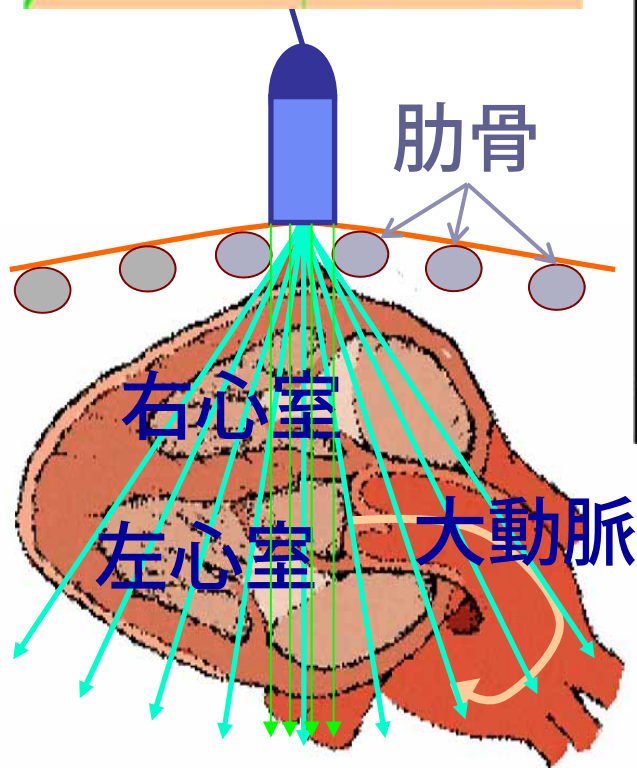
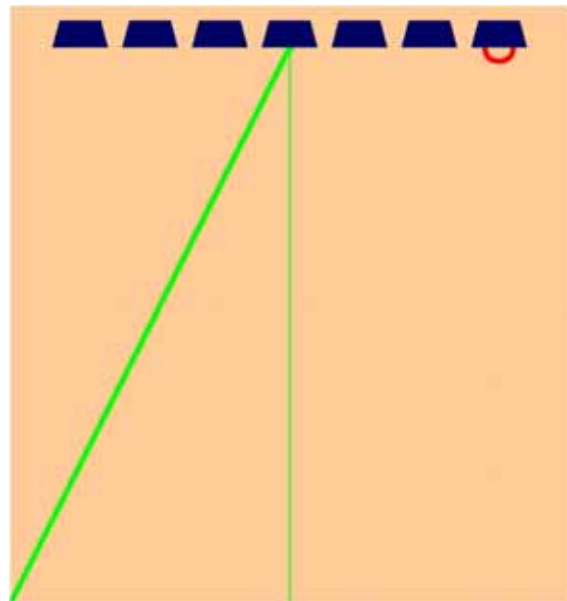
超音波プローブ



反射した音の大きさ
大→白
小→黒

音を放射方向を制御





東北大学（我が国）における医工連携

1929年マグノスコープ（真空管式高声聴診器，芝浦製作所製）

医学部小児科 佐藤 彰 教授

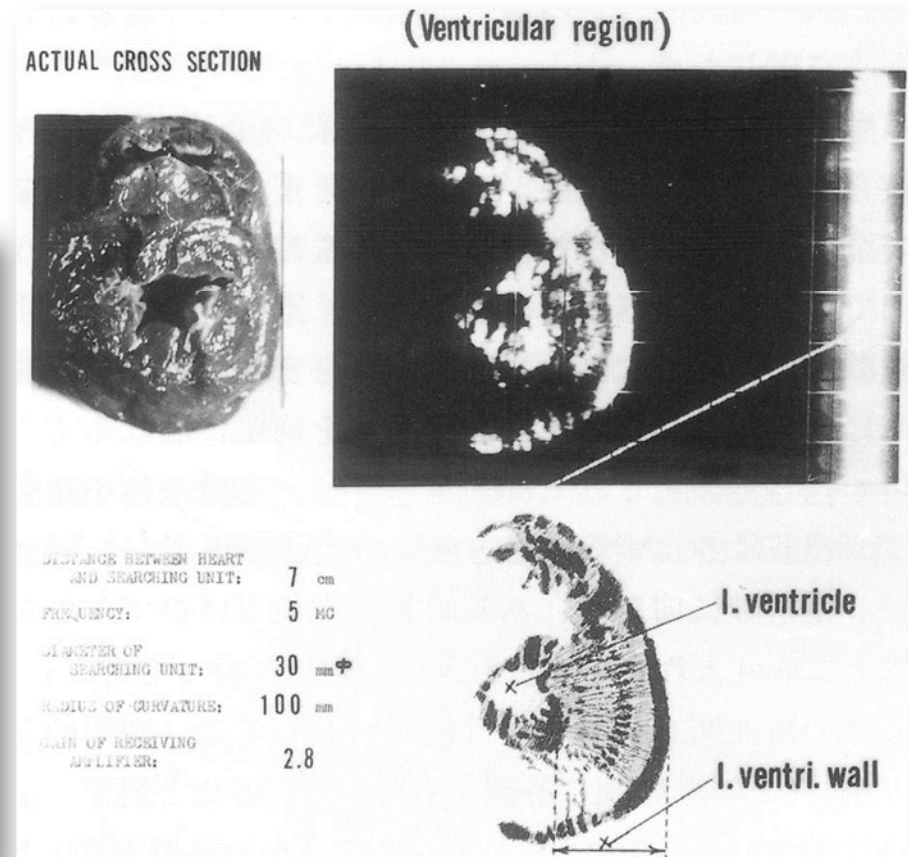
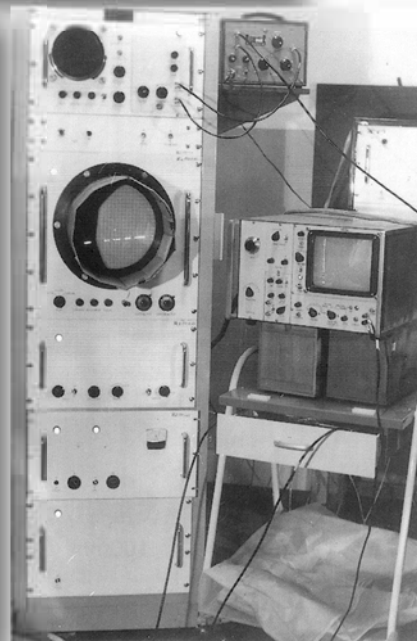
工学部電気工学科 抜山平一 教授



東北大学における医工連携(超音波による)



1962年 世界初の心臓断層像
抗酸菌病研究所 (加齢医学研究所)
田中元直 教授
電気通信研究所 菊池喜充 教授



東北大学には医工連携・医療機器研究開発の長い歴史がある

1929年 **電気聴診器**(小児科佐藤教授と電気工学抜山教授: 日本初医工連携)

1932年 日本初の超音波発生装置

1945年 **X線廻転断層撮影法の原理**(放射線科 ^{二本松出身}高橋信次教授) (CTの基本原理解)
^{1979年ノーベル医学生理学賞}

1962年 世界初の**超音波心臓断層像**(菊池喜充教授と田中元直教授)

2002年～ 21世紀COE(佐藤正明教授), 2007年～ gCOE(^{会津出身}山口隆美教授)

2003年-2007年 先進医工学研究機構

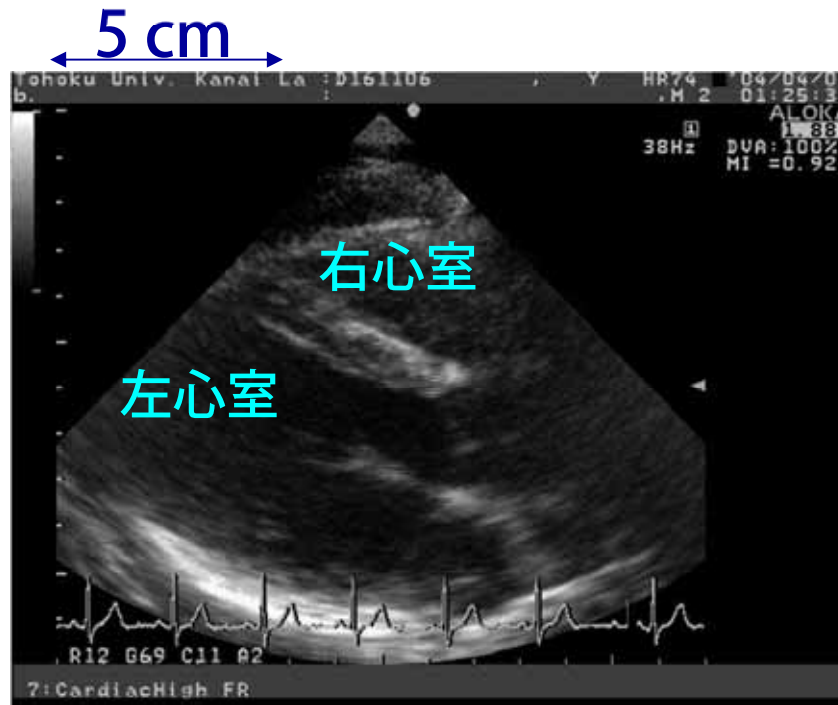
2008年 日本初の**大学院 医工学研究科**(医学と工学を連携から融合に)

2004年～ 医療工学技術者創成のための再教育システム(REDEEM)

2008年～ 未来医工学治療開発センター(トランスレーショナルリサーチ
(TR)センター, 治験や先進医療, 創薬や医療材料・機器の創出)

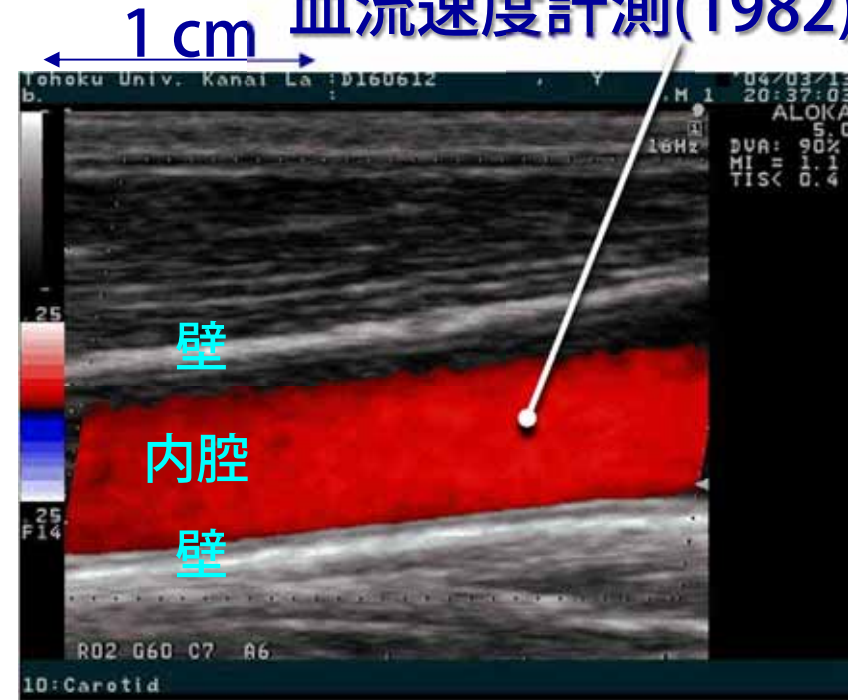
2010年～東北先進医療研究開発連携拠点(TAMRIC, 宮城県, 仙台市, 東北大学, 東北経済連合会が協力し医療関連の産学官連携を推進)

医用超音波診断の現状



ヒト心臓の断層像

ドップラー効果による 血流速度計測(1982)



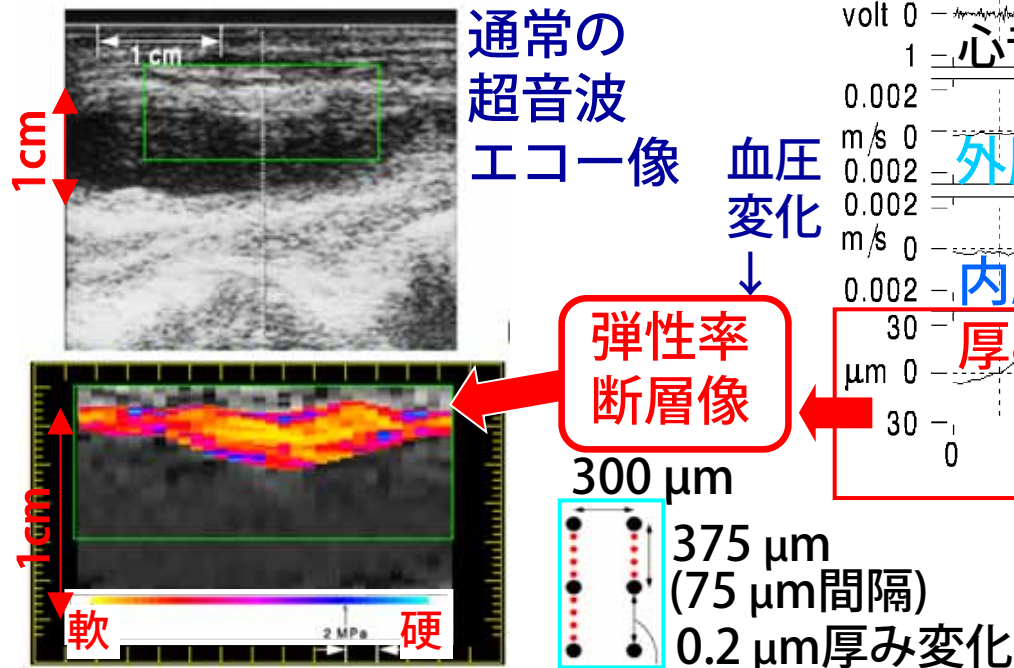
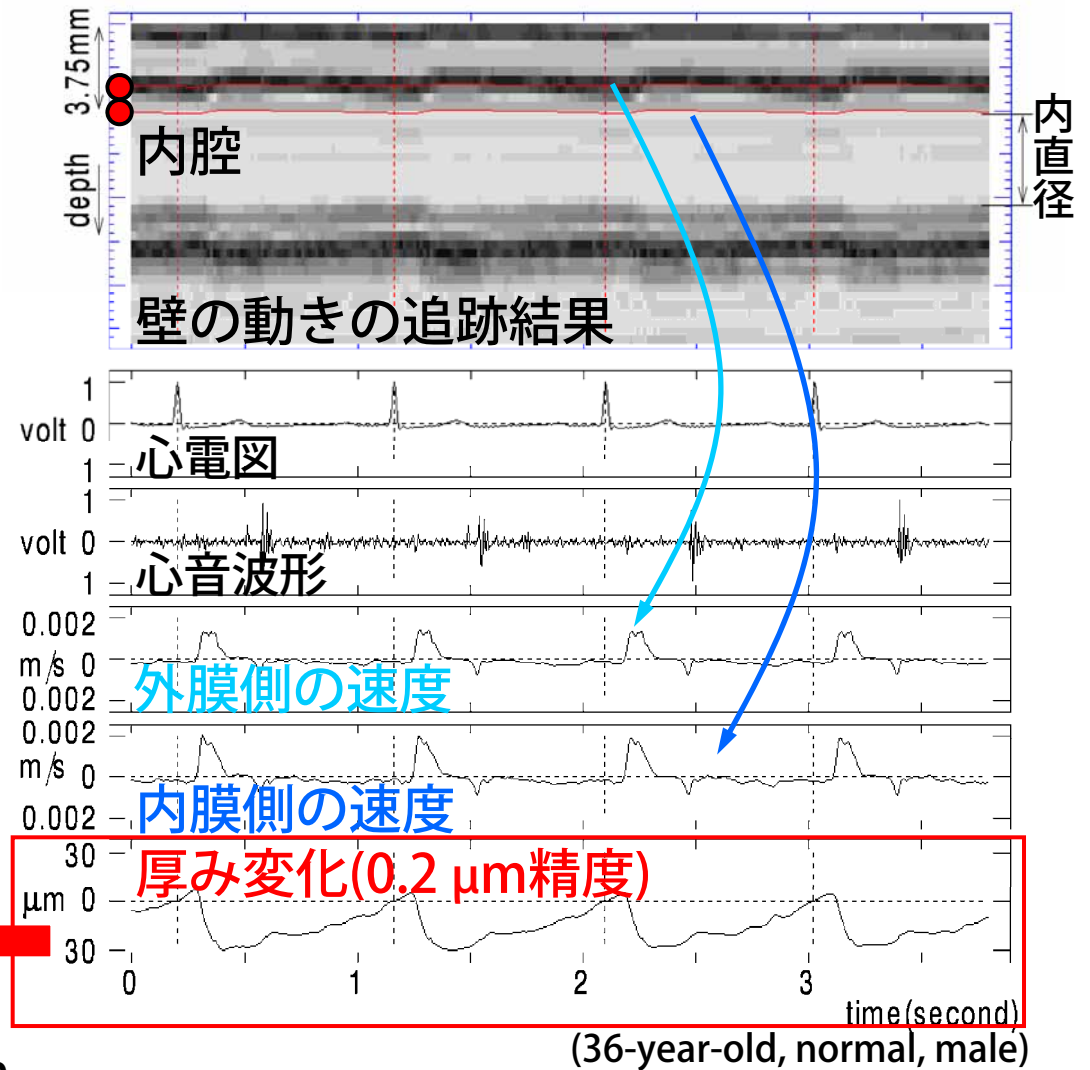
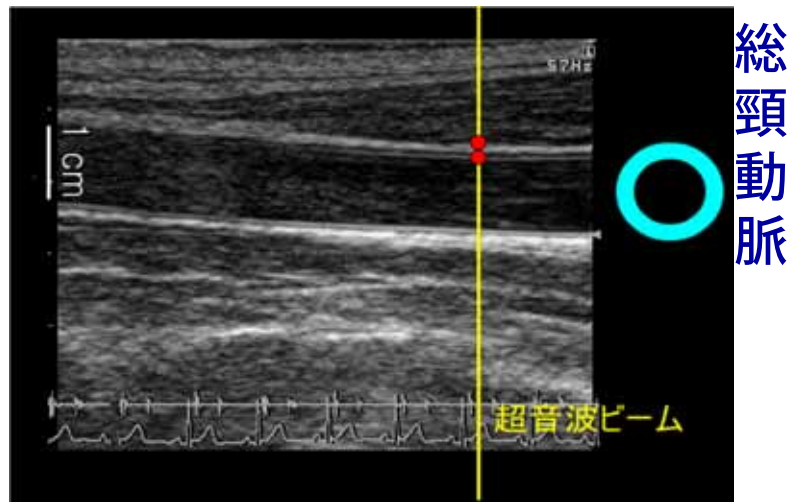
ヒト頸動脈の断層像

形状・肉眼で確認できる(低周波・大振幅)動き・血流を
観察可能→非常に有用. **しかし, まだ有効利用されて
いない情報があるのでは?**

例えば, 心筋の収縮機能・拡張特性, 動脈壁の組織性状?

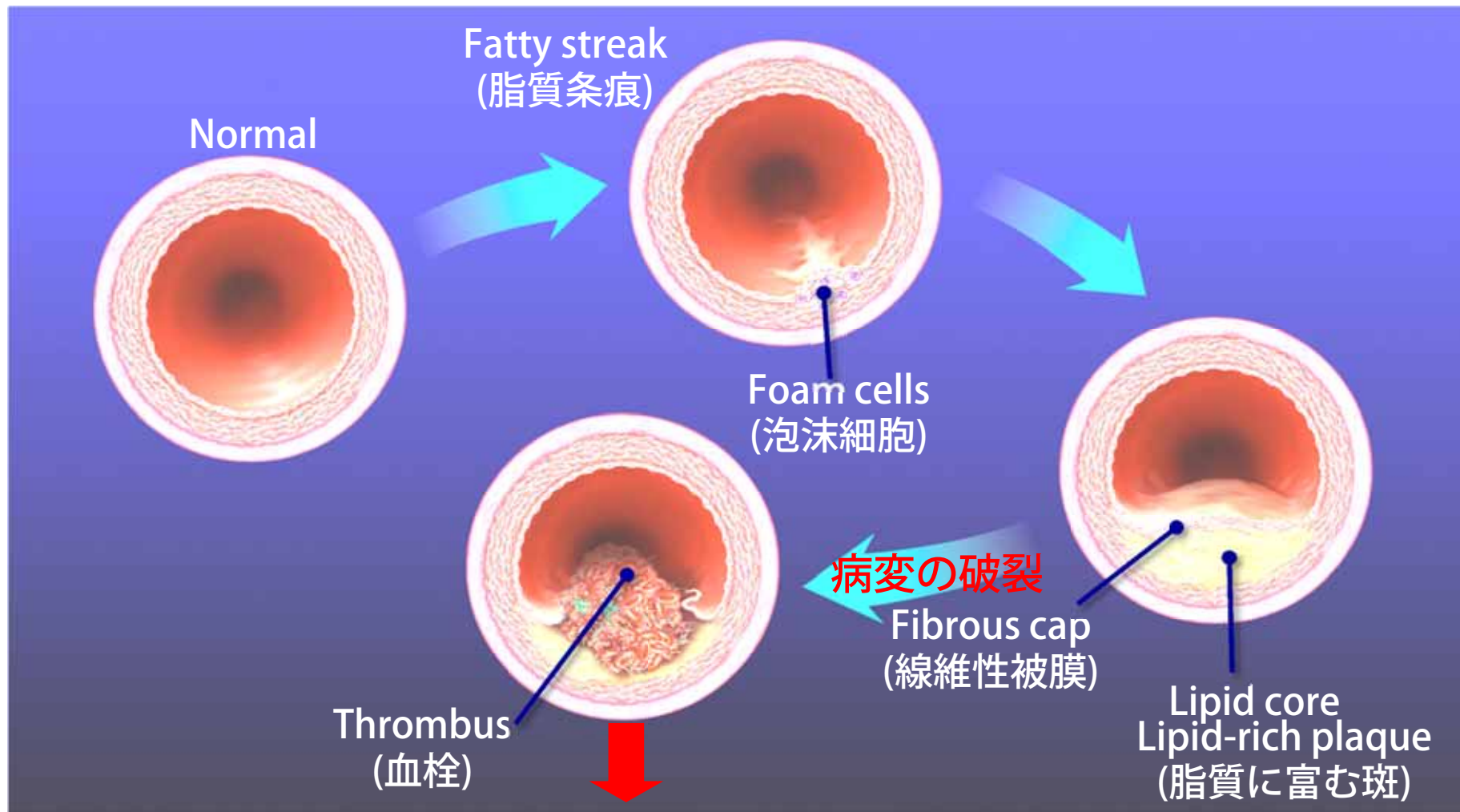
動脈硬化症の 新しい診断のため

血管壁厚み変化の超音波計測 → 弾性率算出*



動脈壁の弾性率(硬さ・軟らかさ)の断層像の非侵襲的計測が可能

粥状動脈硬化病変(Atherosclerotic Plaques)の生成



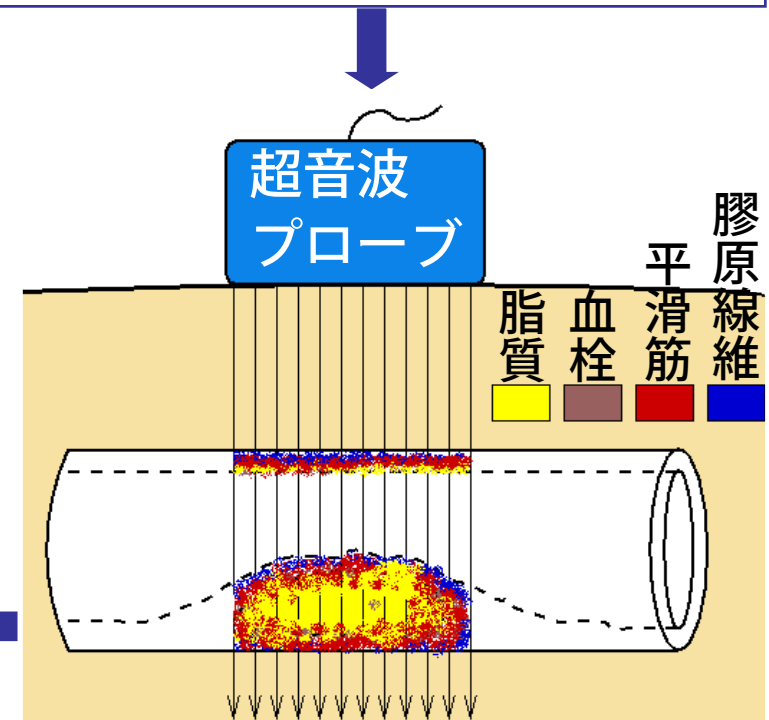
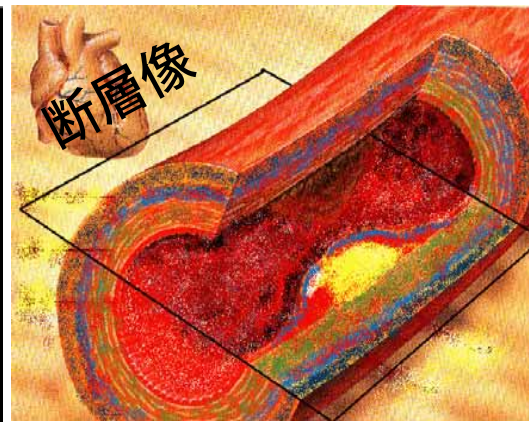
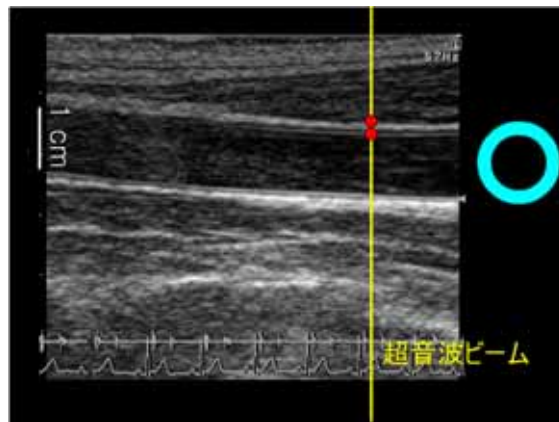
血栓の形成, 末梢動脈への血流途絶

重篤な循環器系疾患(急性心筋梗塞・急性脳梗塞)の発症→予後が悪い

動脈壁病変の“電子染色”

現状：超音波エコー
形態計測が中心

体の外から無侵襲で断面の組織を
同定する「電子染色」を実現



「生体顕微鏡」の実現

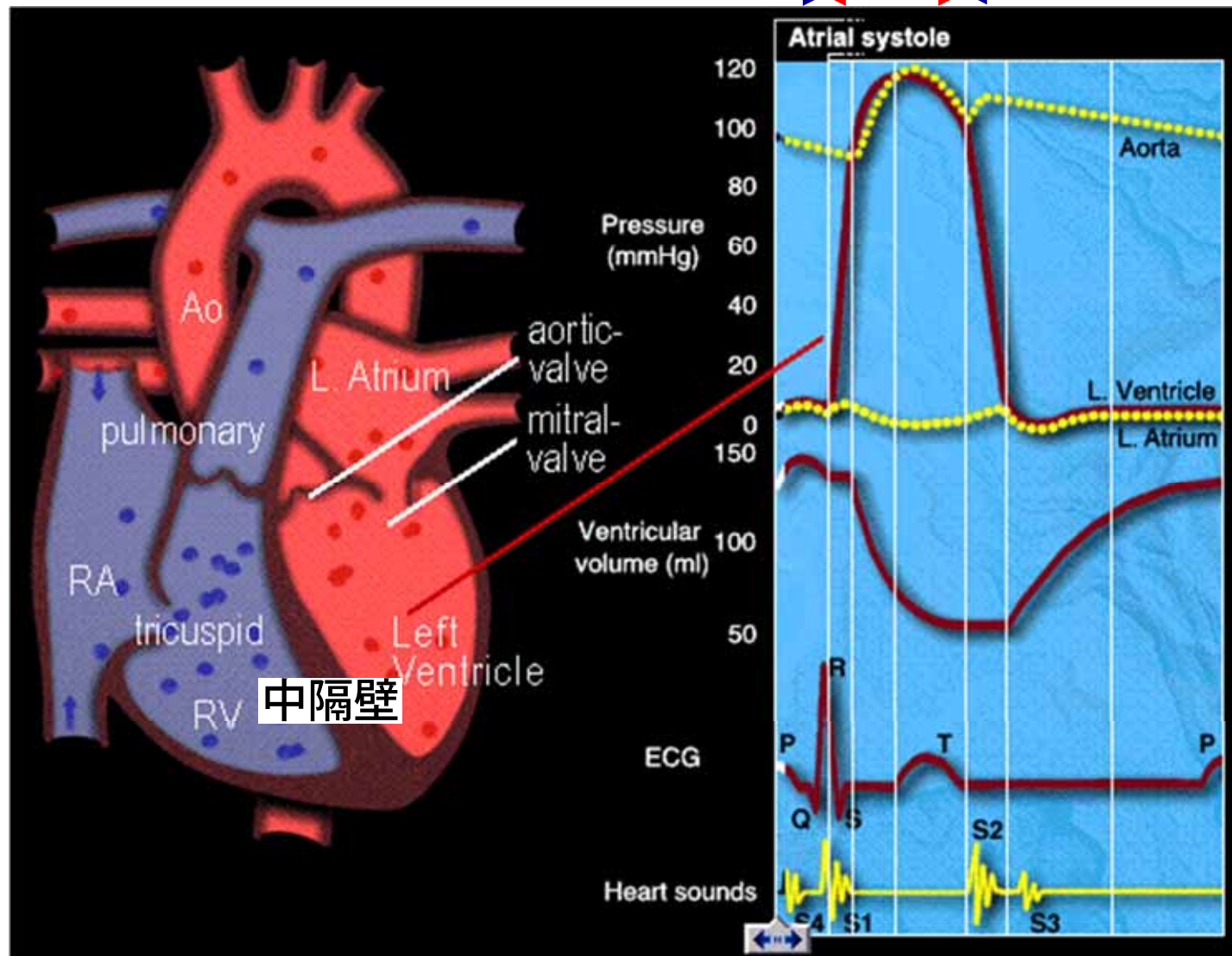
- ①病変部破綻の危険性予測→心血管イベント(急性心筋梗塞・脳梗塞)の予防
- ②治療効果の高精度評価 →生活習慣の是正・的確な治療選択

心臓壁心筋の 新しい診断に向けて

心臓弁開閉で振動が発生・伝播

心音“lub-dub sequence”

収縮期 拡張期



大動脈圧

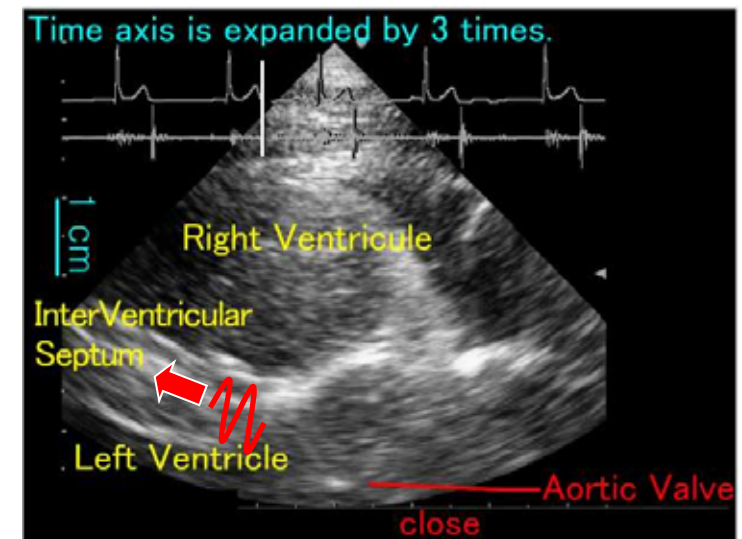
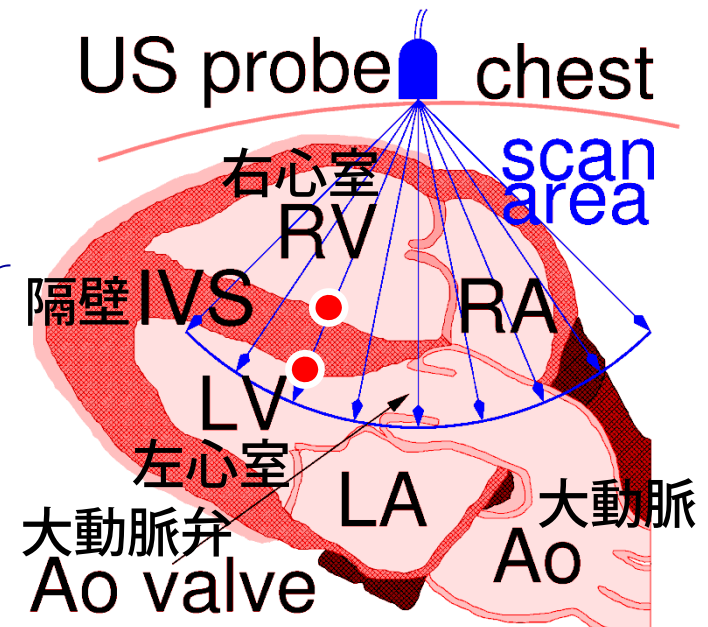
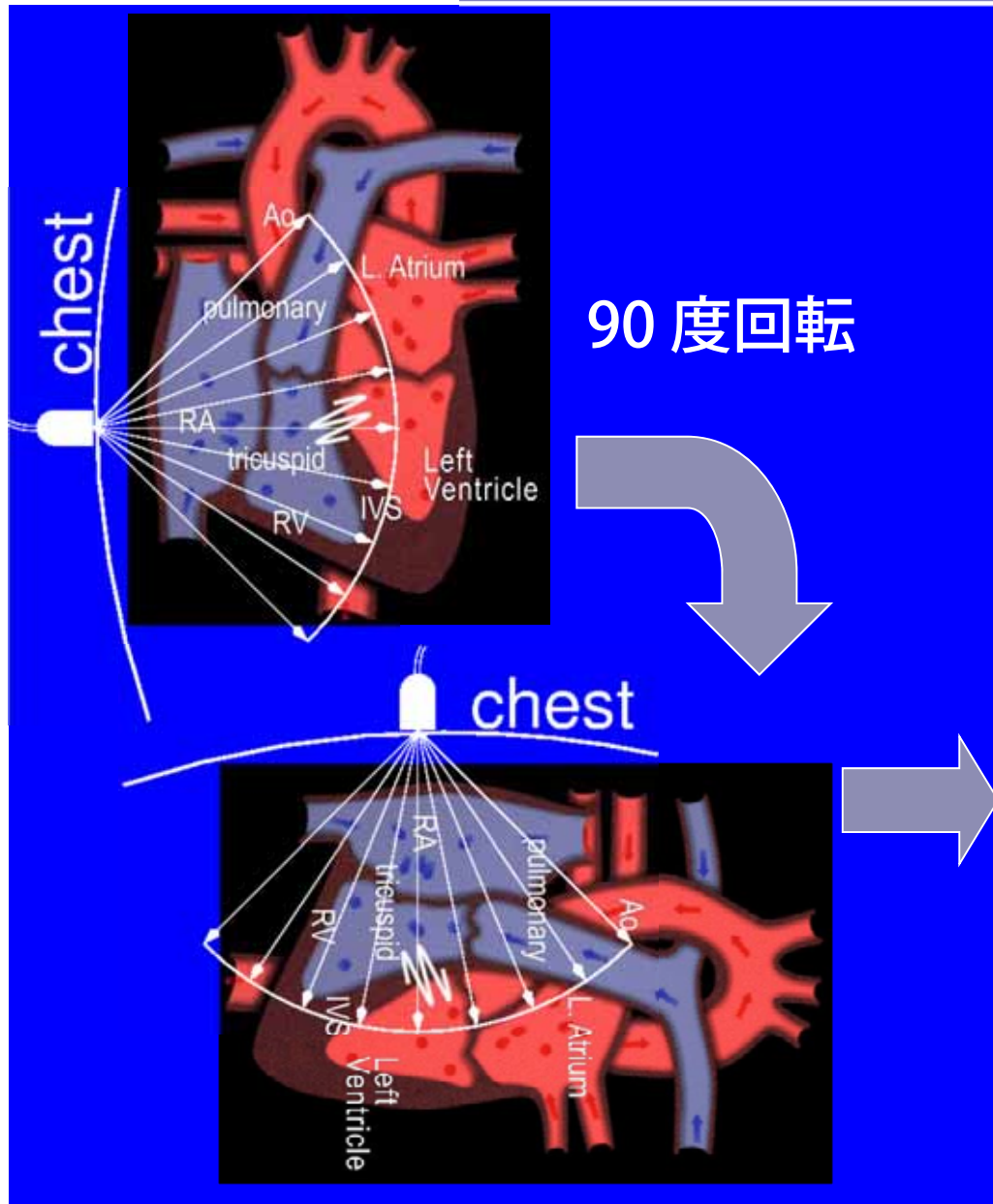
左心室圧
左心房圧
左室容積

心電図

心音

心臓壁を伝播する振動の伝播速度から、壁の弾性・粘性特性を推定する

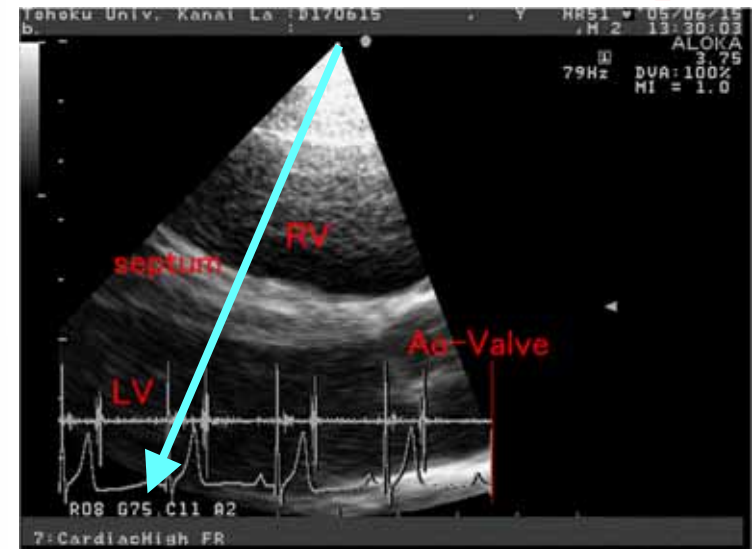
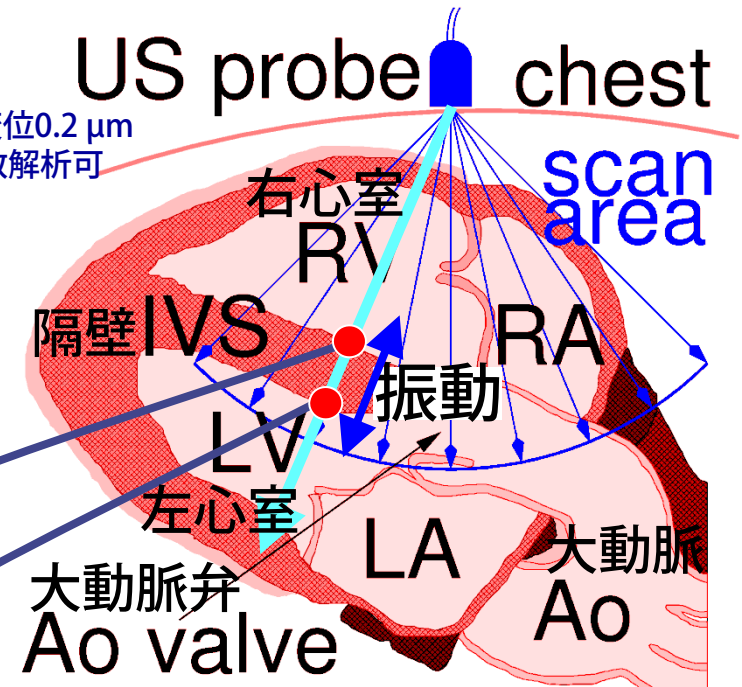
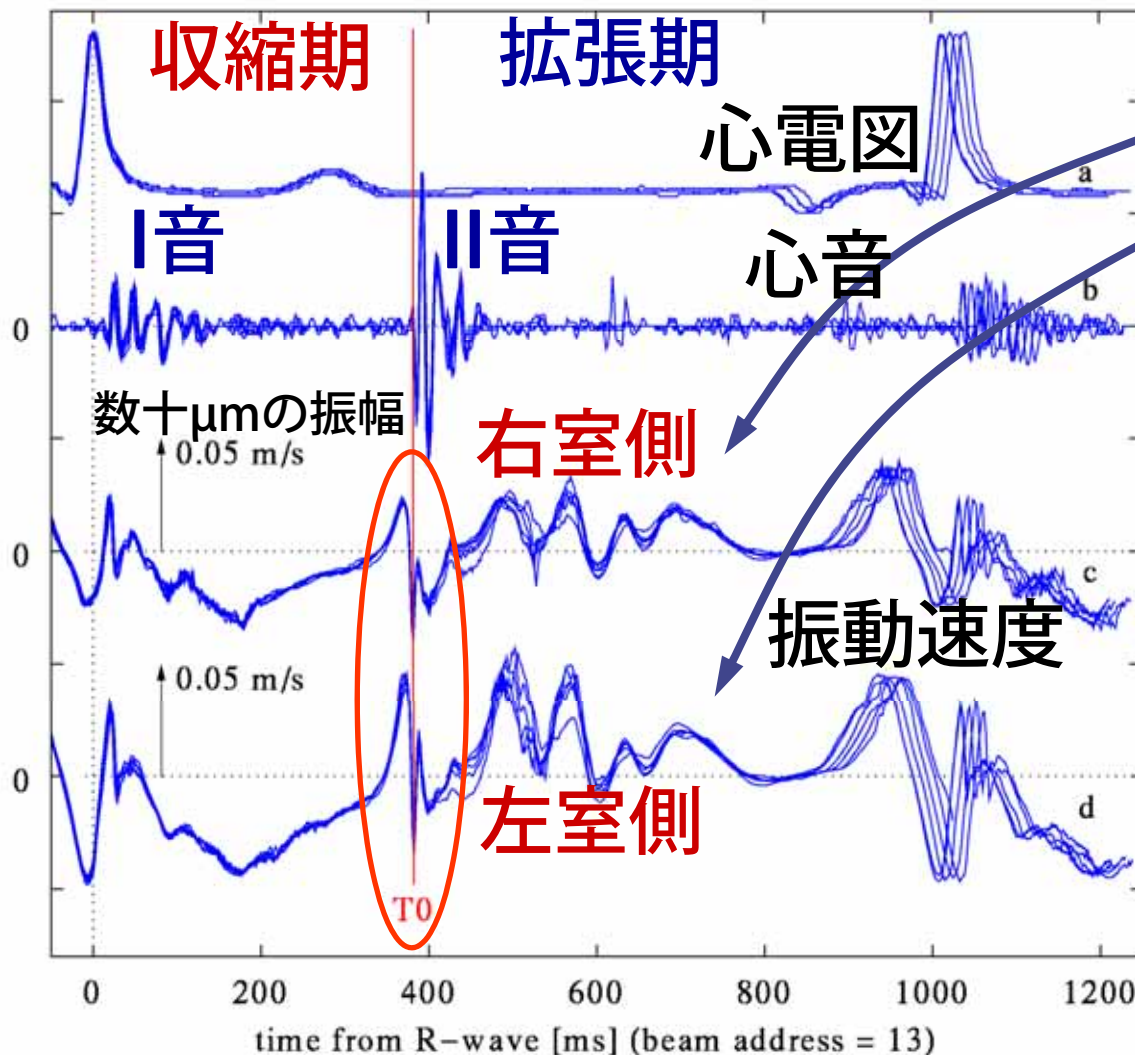
ここでの心臓断層像の表示方向



位相差トラッキング法*による 心臓壁振動の計測

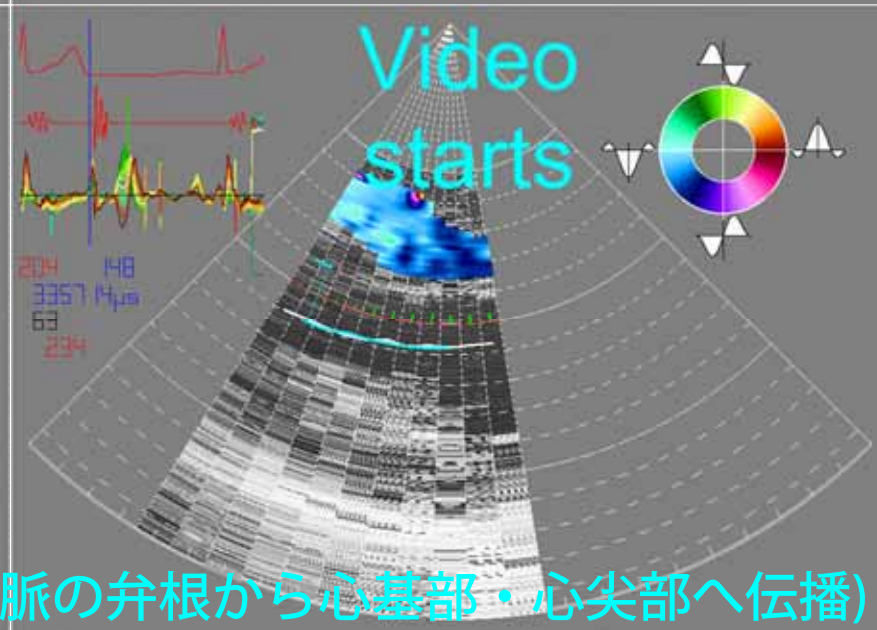
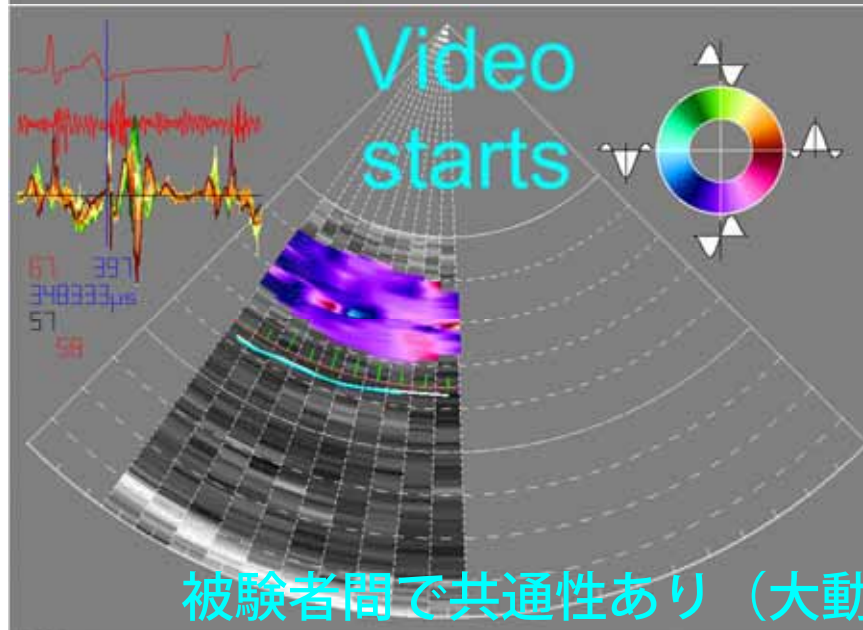
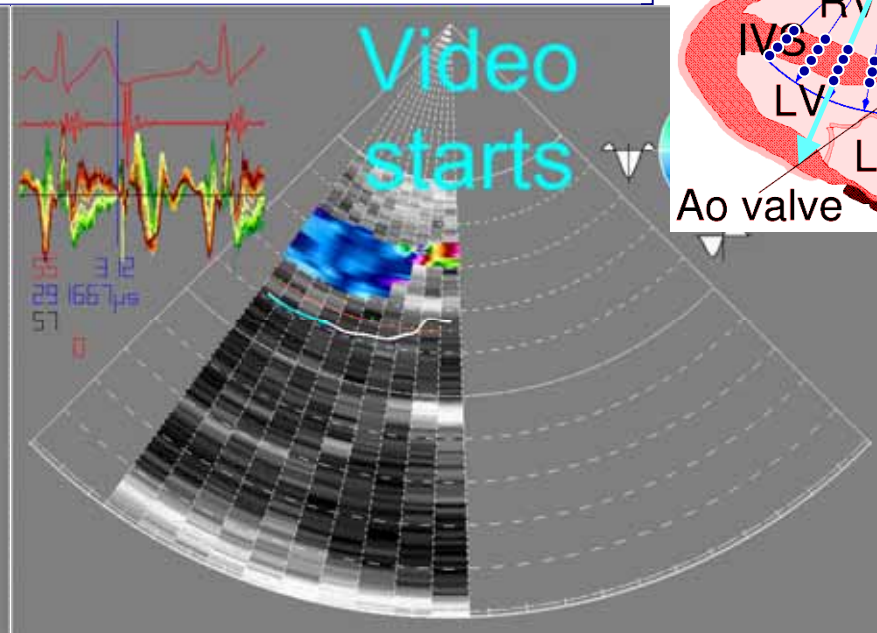
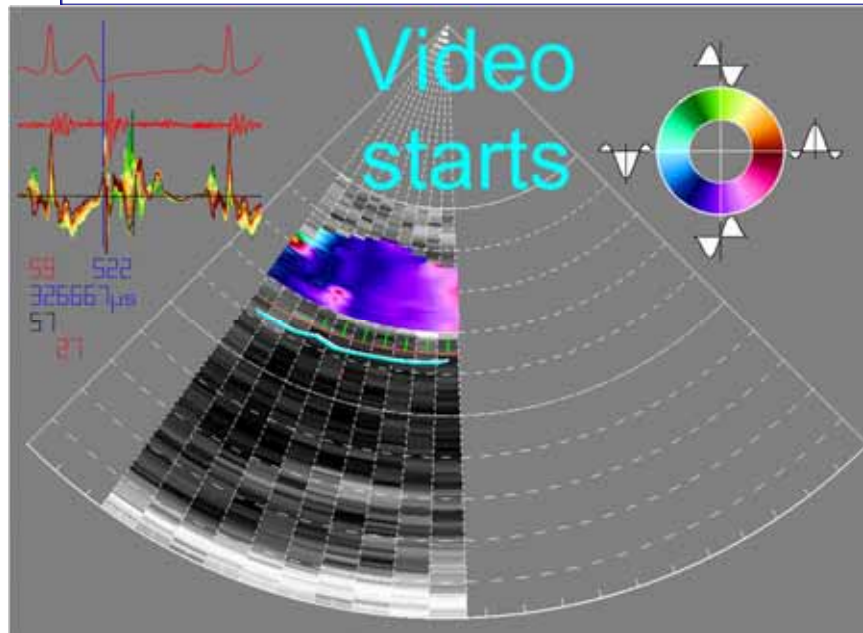
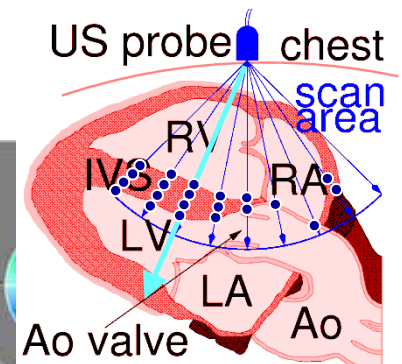
波形計測精度
速度0.1 mm/s, 変位0.2 μm
100Hzまで周波数解析可
数千点同時計測

6拍分を重ね表示



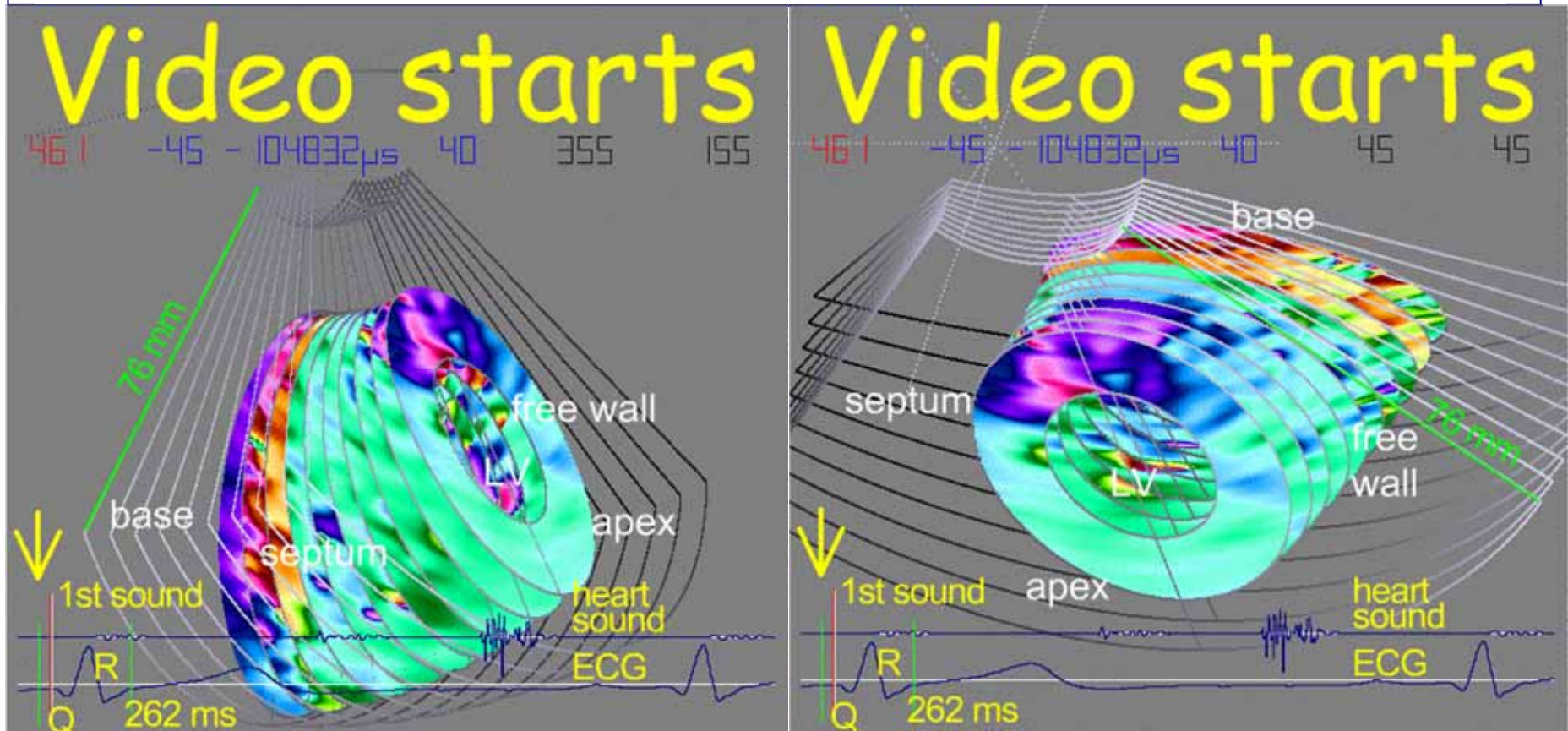
大動脈弁閉鎖のタイミングに
パルス状振動が中隔壁を伝播.

60Hz成分の位相の時間変化(等容性拡張期, 健常者4名)*



被験者間で共通性あり (大動脈の弁根から心基部・心尖部へ伝播)

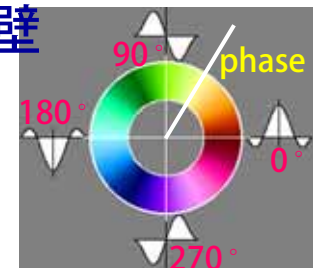
R波周囲での壁振動速度の40Hz成分の位相の3D表示(健常者A)



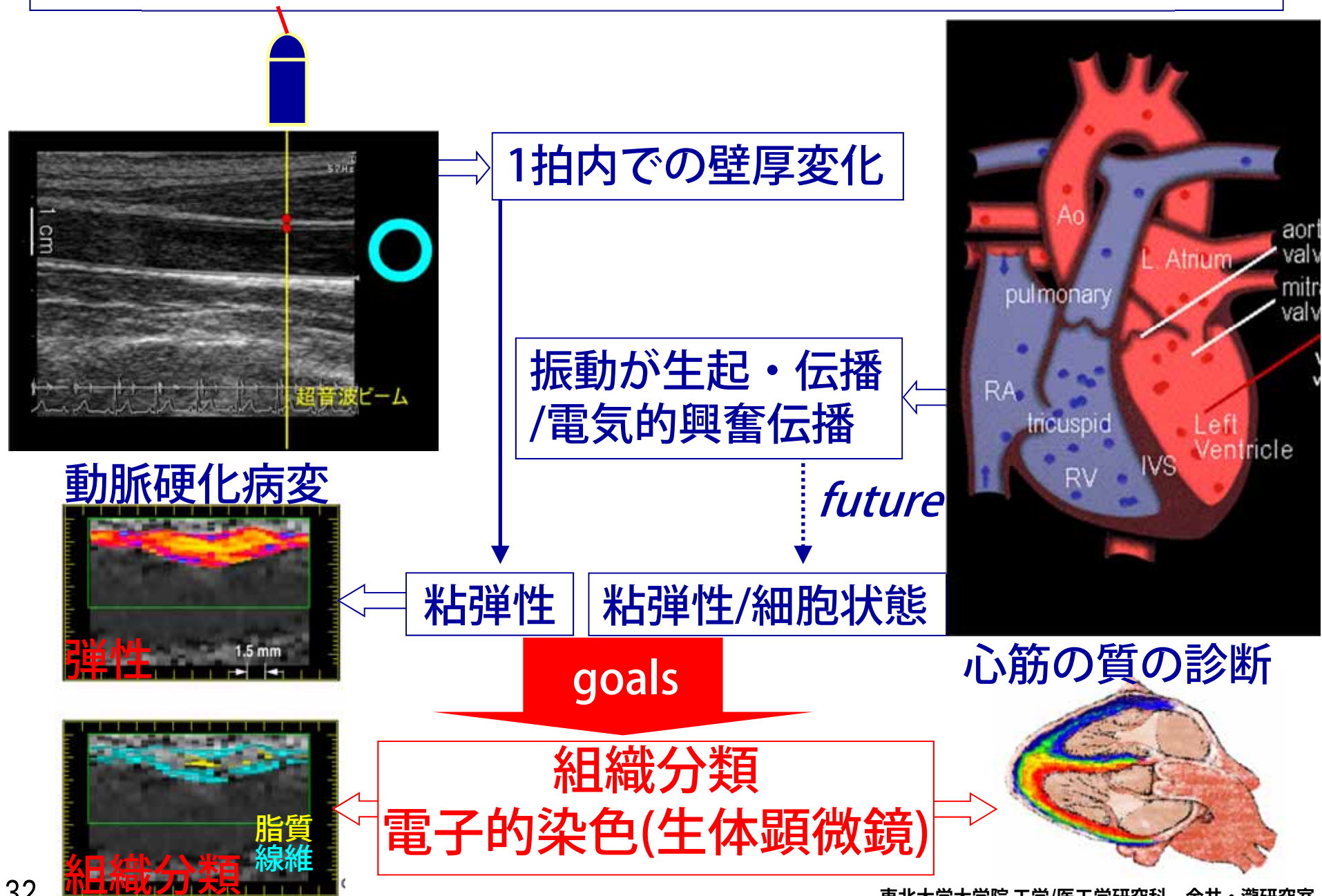
右側から見上げた左心室中隔壁

左側下から見上げた左心室壁

- Q波時から低速で伝播(心尖部から見て反時計回りに)
- 心Ⅰ音放射時には, 心基部から心尖部へ時計回りに



生理現象の超音波高精度計測による組織性状診断



大学までの 勉学の意義

“確立された知識を，活用可能な形で修得し，
「新しい価値創造の準備をする」ことにある”

工学は、何を目的とする学問か



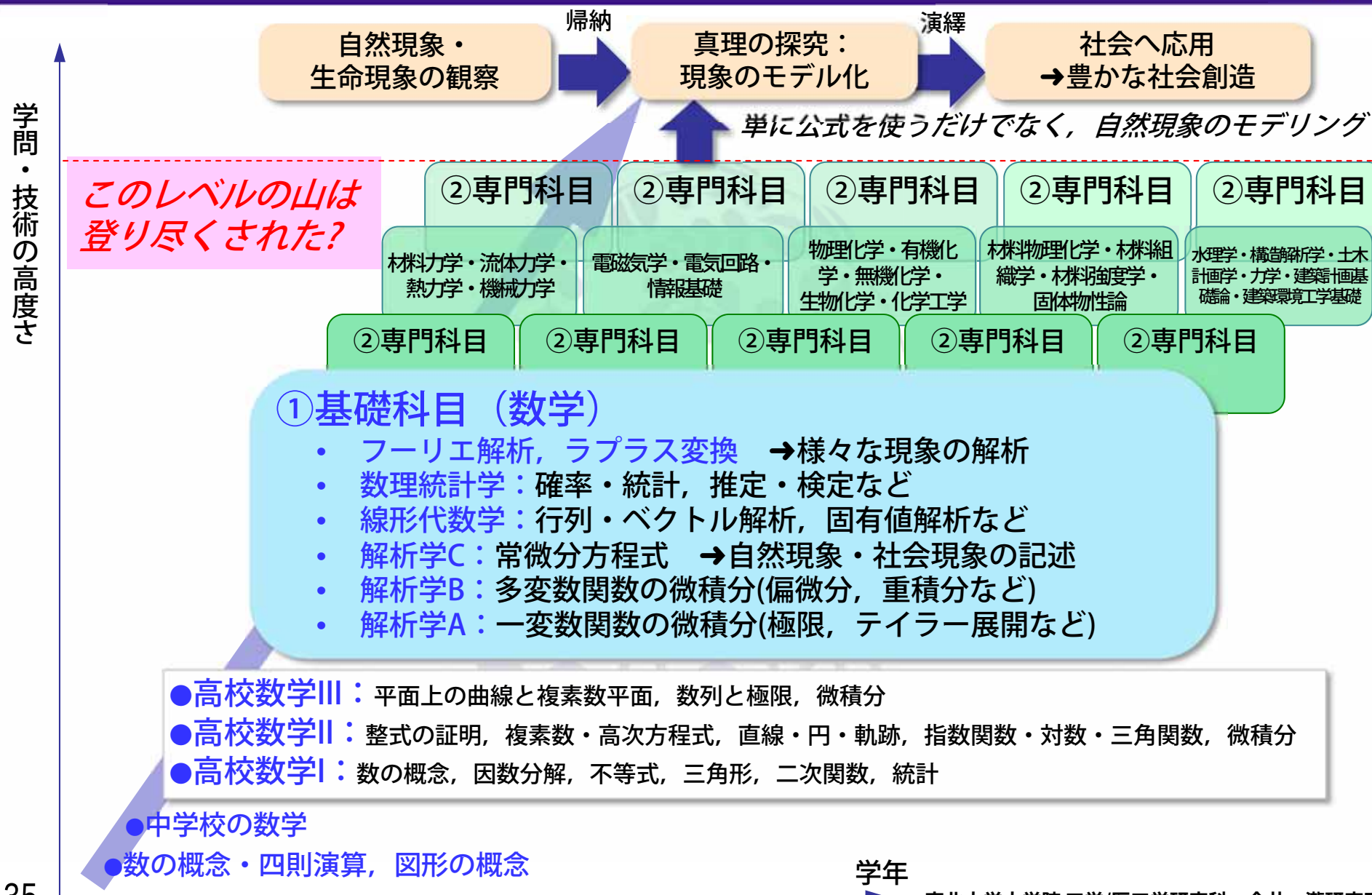
工学:「真理の探究」と「人類の幸福への貢献」両方
(発見) (発明)

(例) 地震の解析

理学:「地震モデル化・法則の発見」

工学:「理論と技術を結び付け、社会の安全安心に繋げる」

学問の「積上げ」の重要性：(例)数学



社会における価値創造に必要な能力①～⑤



社会の抱える課題

- ・ 少子高齢化対応, 医療費削減
- ・ 環境・エネルギー対応
- ・ グローバル社会でのものづくり復活
- ・ 豊かな持続可能社会構築

- ・ 一般教養科目
- ・ 工学倫理
- ・ 生命・自然の驚異
- ・ デザイン
- ・ トップリーダー育成の講義
- ・ 技術社会概論
- ・ 科学における失敗の歴史など

⑤ 価値創造力

- ・ 健全な価値観・哲学
- ・ 審美眼・デザイン思考
- ・ 社会からの要請の認識
- ・ 知的好奇心
- ・ どういう課題を選択?
- ・ 世に出すシナリオ
- ・ 他分野を理解する姿勢

学問では「課題発見能力」

④ 語学 (英語)

多様性の理解と活用

国際的に活躍する力

思考訓練

どの山に登るかを
的確に選択する力

正解を生み出す
べき課題
Creative

論理的思考力

個性

侃々諤々の
議論

情報
経験

広く深い選択肢

Basic & Broad

① 基礎科目 (数学・物理・化学)

豊かな人生

感動・自信

努力の末の成功

想像を超える 発見・創造

主体性

Ambitious

気概・情熱

幸運

根気良く
努力する能力

③ 課題解決能力

様々な要素間の関係の発見

より高い山に登るツール

登攀可能な山の高さは
理解の広さ・深さで決まる

体系的理解・活用
可能な形で修得

課題解決
社会貢献

新しい
価値創造

人間にとって
最も高貴な活動

面白い

「なぜ物理学者になろうと思ったか」の質問に対し



「世界を変える創造性に挑戦したい」

Sophie D'ambrosia

(原子分子材料科学高等研究機構研究員, 1986年仏生)



- 「物理学が好きだからです」
- 「研究者も芸術家も, どちらの職業も**創造性**が求められる。創造性を持たず, ただ大きな流れに身を任せ, 他者の後を追うだけだったら, 仕事としては寧ろ楽かもしれません。そのかわり, アインシュタインが相対性理論を発見したように, ローリング・ストーンズがロックを創り出したように, **特別な存在**にもなれないし, **世界を変えるようなもの**は何も生み出せないでしょう」
- 「数学と物理と化学, 材料科学との融合を目指すことは, とても**困難な挑戦**です。でも成功すれば, すべての分野を横断的に考えられるようになり, 劇的に研究が進むでしょう」

気概・情熱

⑤価値創造

words to young researchers



The summit you should genuinely challenge will only appear after reaching the highest ones.

本当に登るべき山(価値)は、
高い山に登らねば見つからない



写真：八ヶ岳の赤岳頂上から西方向：工学研究科国際交流室 Philippe Gaubert 特任准教授より



東北大学工学部・青葉山キャンパス

ご清聴を感謝します

