

人間福祉テクノロジー研究ステーションセミナー

鼻耳科領域の医工連携研究

小池卓二

知能機械工学専攻

■ 研究内容

生体のモデル化

有限要素法による聴覚器の振動挙動解析

医用装置の開発

耳小骨可動性測定装置の開発

・耳小骨可動性の術中診断 → 術後成績の向上・安全化

新駆動方式補聴器の開発

・皮下埋め込み型骨導補聴器

体表振動計測装置の開発

・鼻腔内視鏡手術リスク低減装置

他覚的聴力検査装置の開発(耳音響放射の計測)

・マウスを用いた遺伝子異常解析

生物の機能解析および環境保全への応用(異分野コラボレーション例)

昆虫が発する(超)音波振動解析

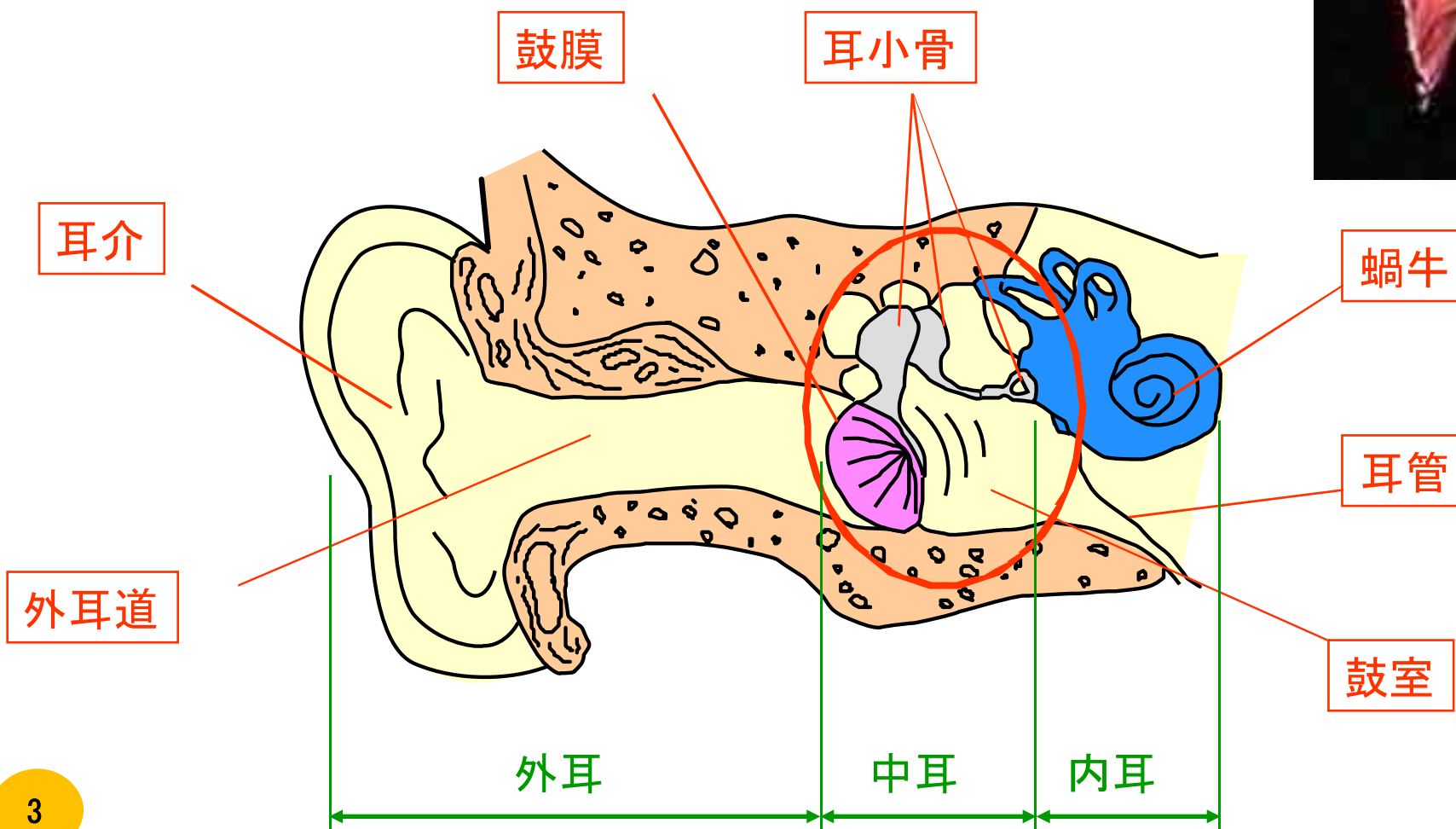
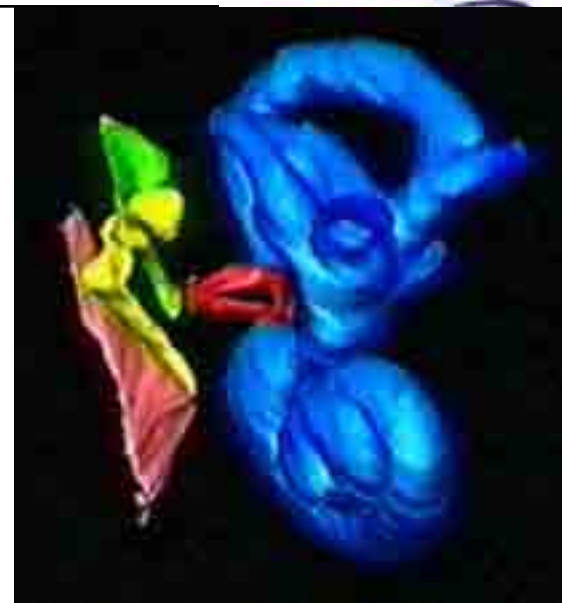
樹木が発する(超)音波振動解析

コウモリの聴覚器振動解析

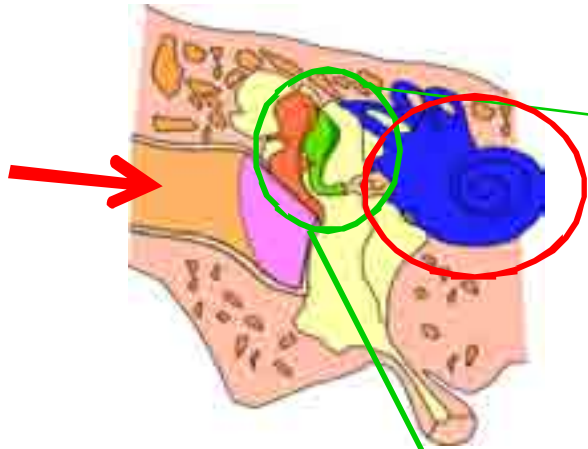
→ 害虫駆除システムの開発

→ 高精度エコロケーションセンサの開発

ヒト聴覚器の構造



■ 鼓膜・耳小骨

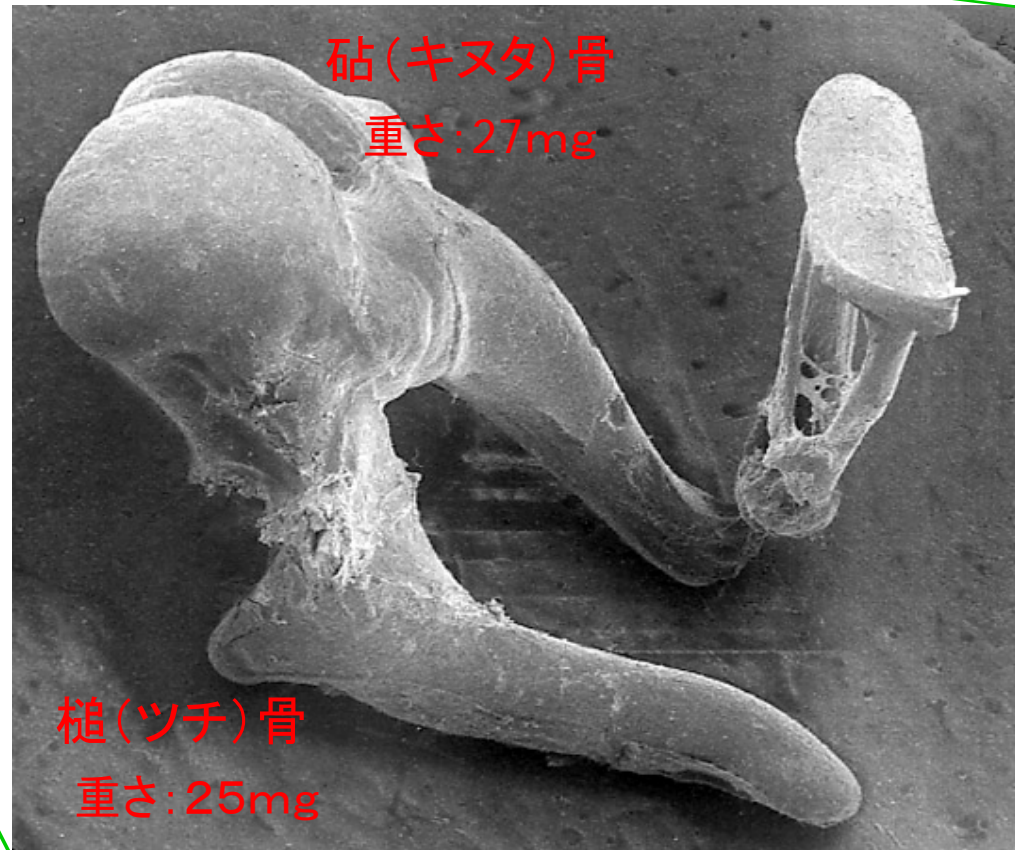
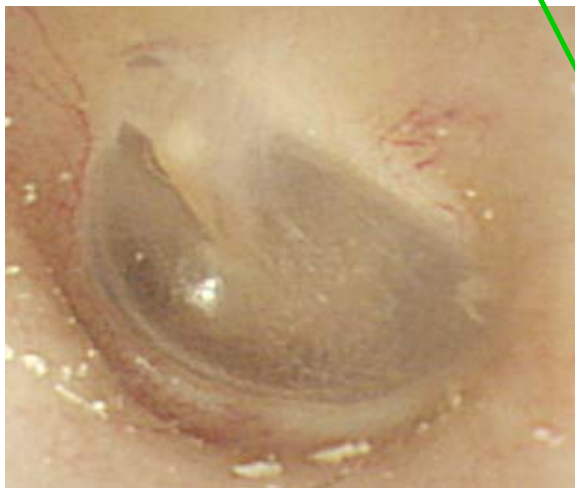


3.3 mm



鐙(アブミ)骨

重さ: 3.4mg



砧(キヌタ)骨

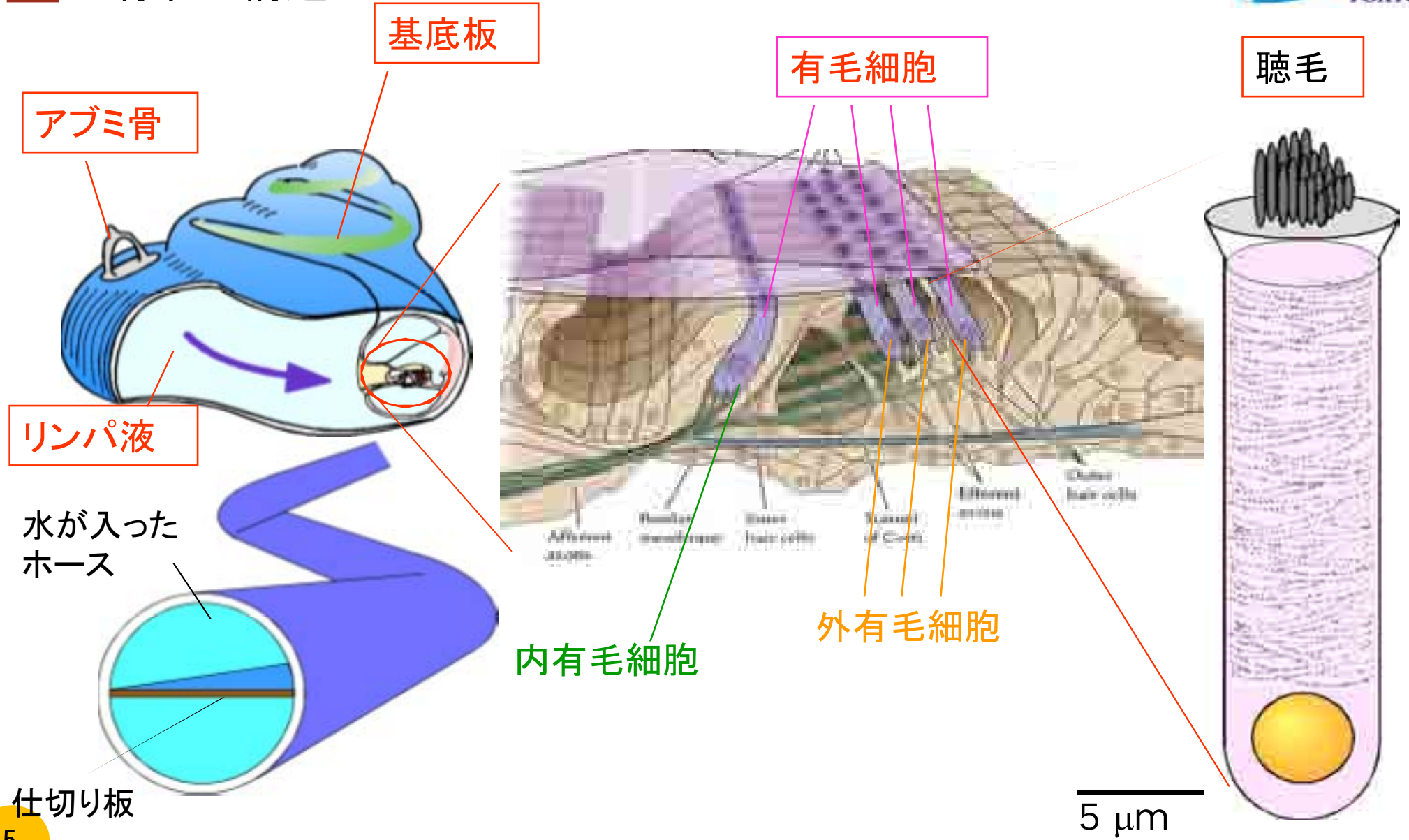
重さ: 27mg

槌(ツチ)骨

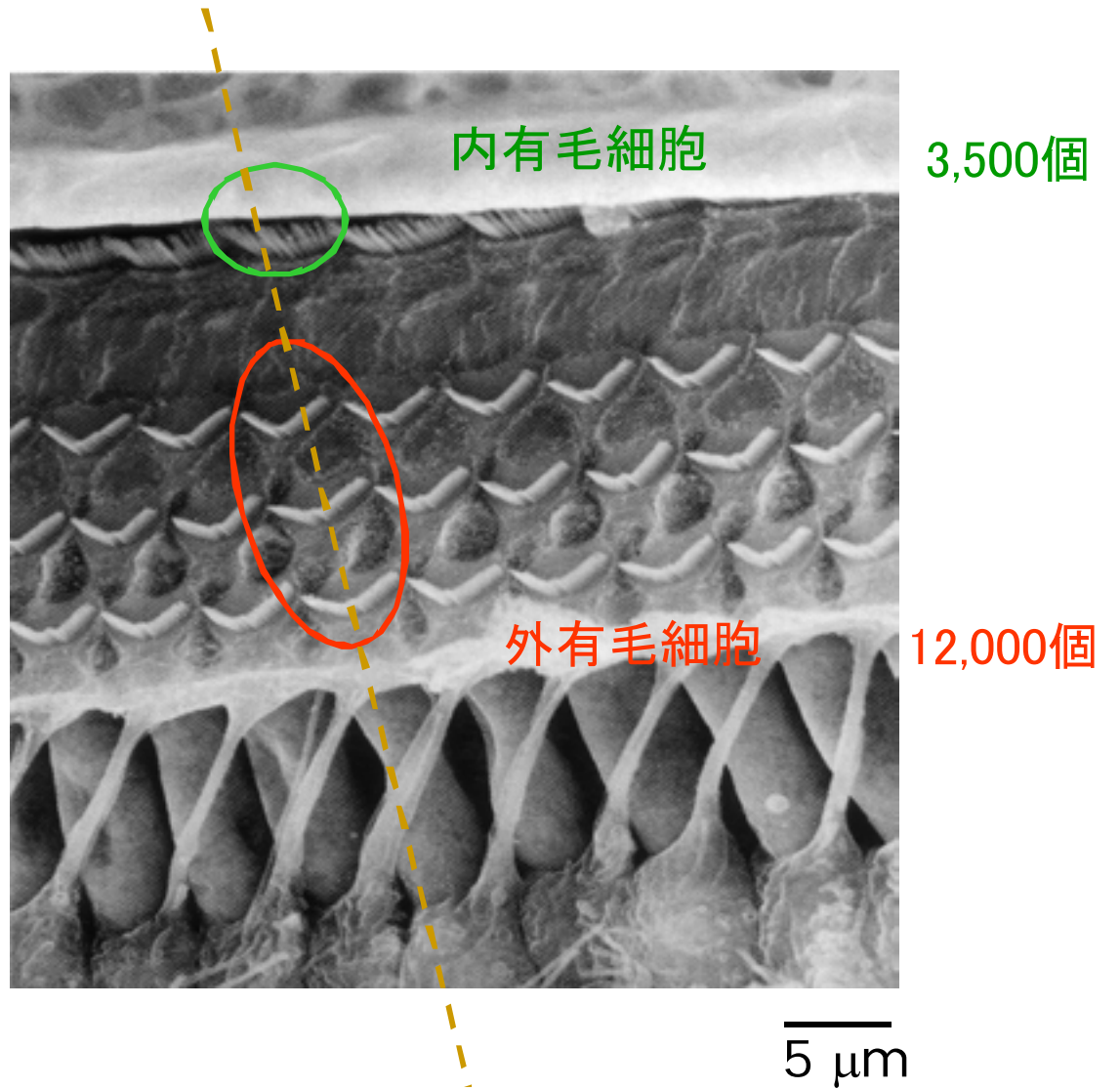
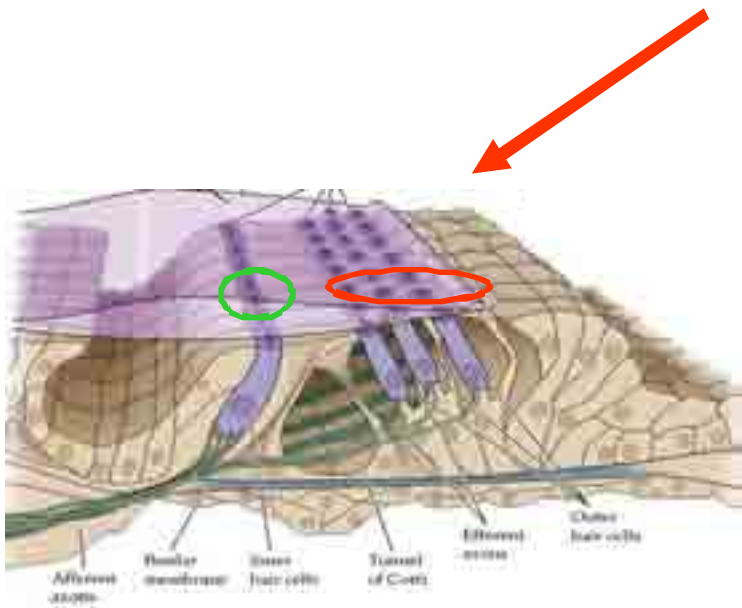
重さ: 25mg

5 mm

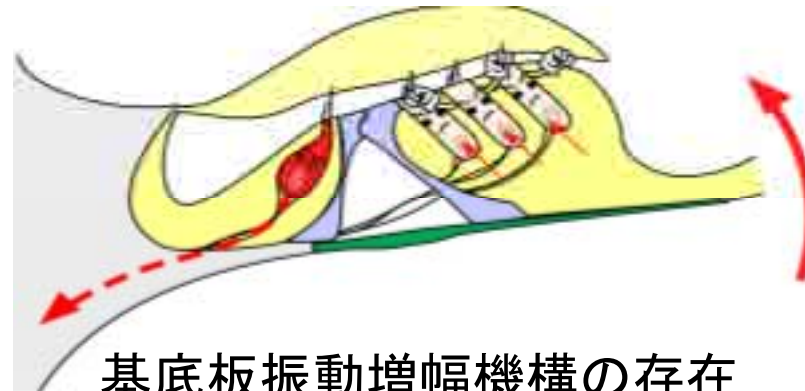
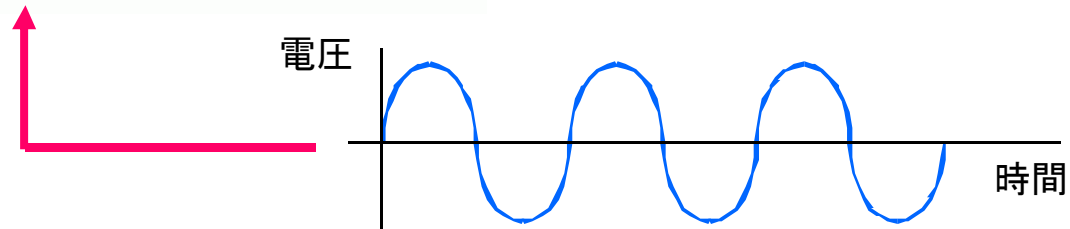
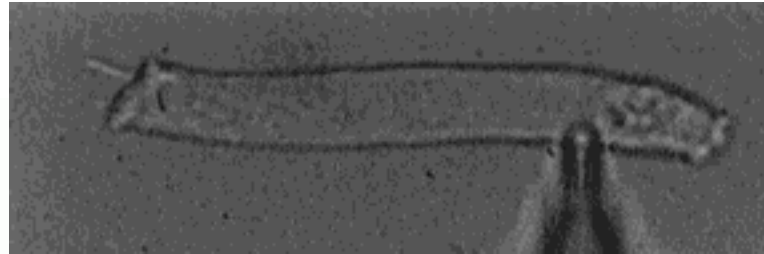
■ 蝸牛の構造



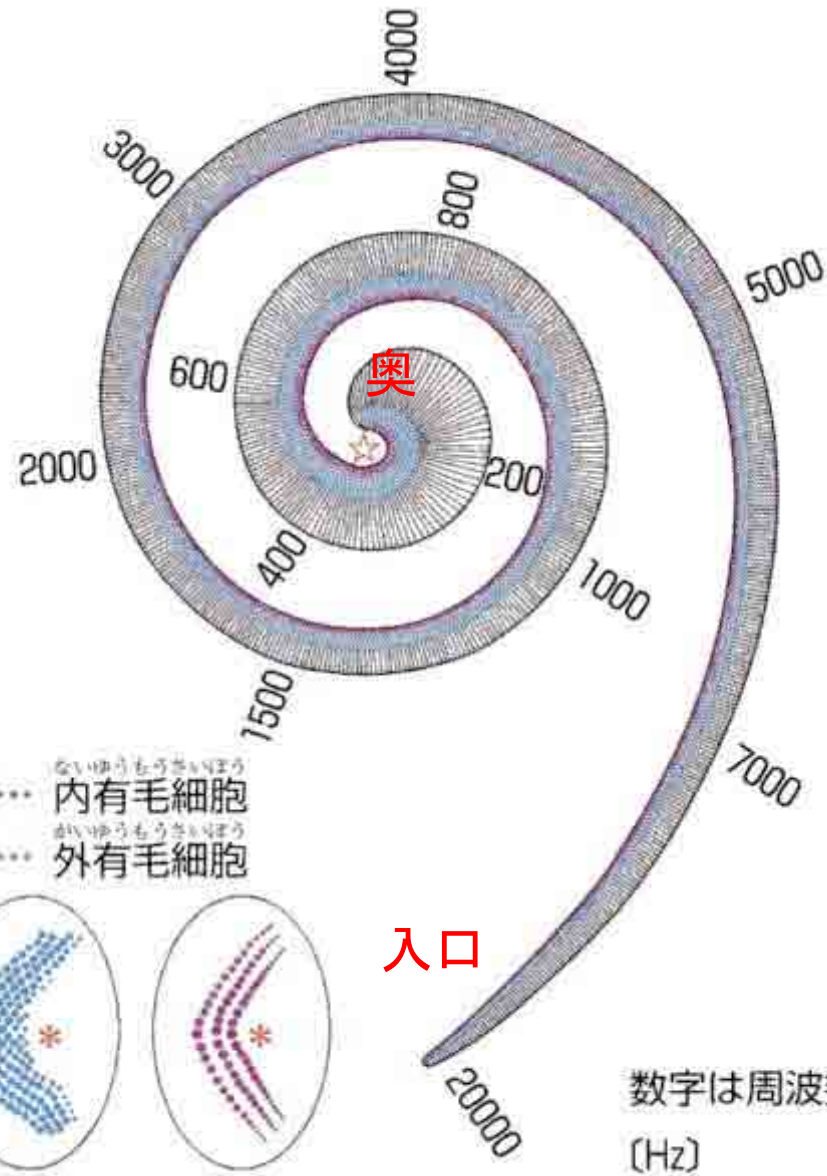
有毛細胞の並び



■ 外有毛細胞の伸縮運動



蝸牛特徴周波数分布



■ 研究内容

生体のモデル化

有限要素法による聴覚器の振動挙動解析

医用装置の開発

耳小骨可動性測定装置の開発

・耳小骨可動性の術中診断 → 術後成績の向上・安全化

新駆動方式補聴器の開発

・皮下埋め込み型骨導補聴器

体表振動計測装置の開発

・鼻腔内視鏡手術リスク低減装置

他覚的聴力検査装置の開発(耳音響放射の計測)

・マウスを用いた遺伝子異常解析

生物の機能解析および環境保全への応用(異分野コラボレーション例)

昆虫が発する(超)音波振動解析

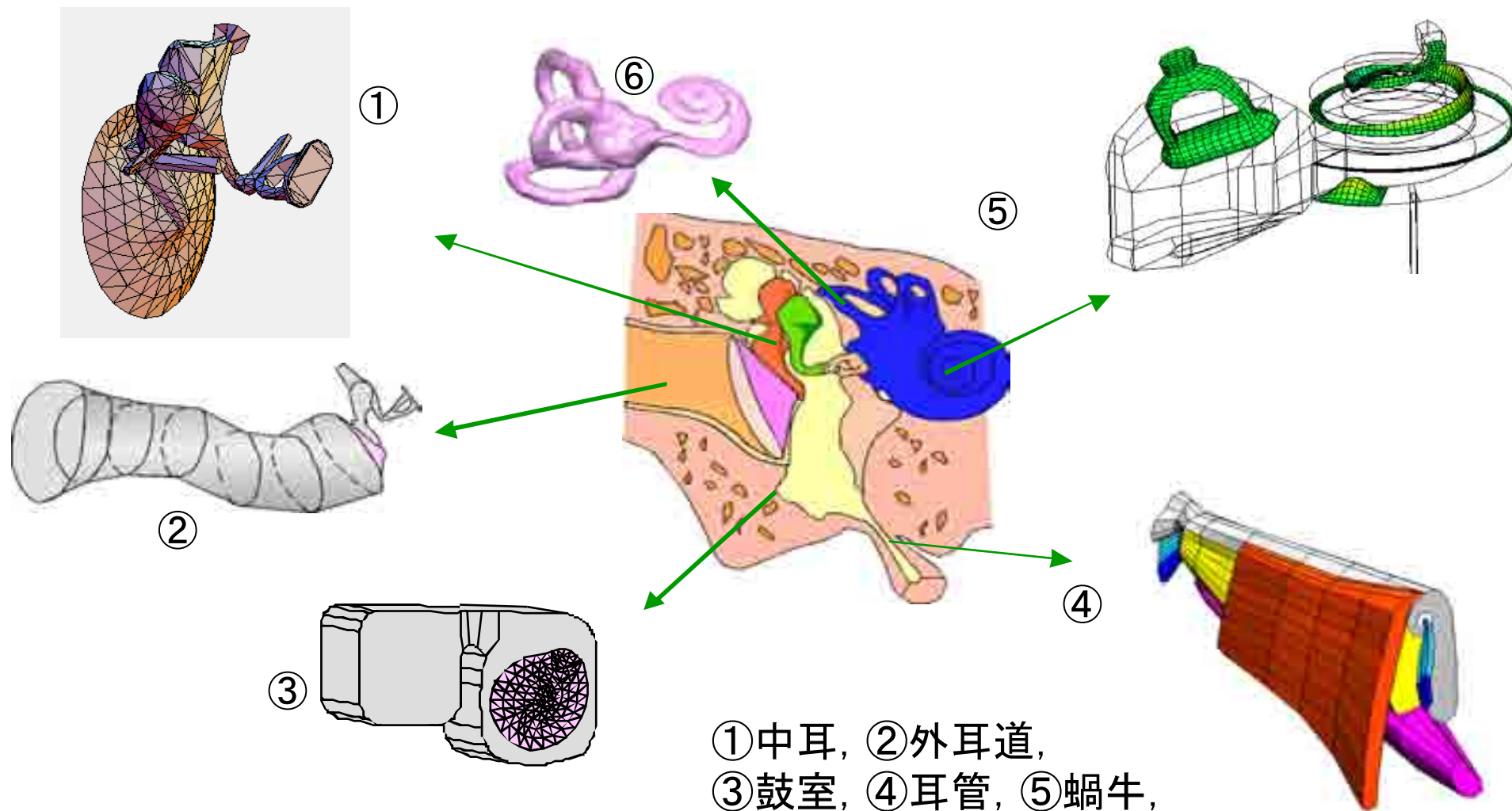
樹木が発する(超)音波振動解析

コウモリの聴覚器振動解析

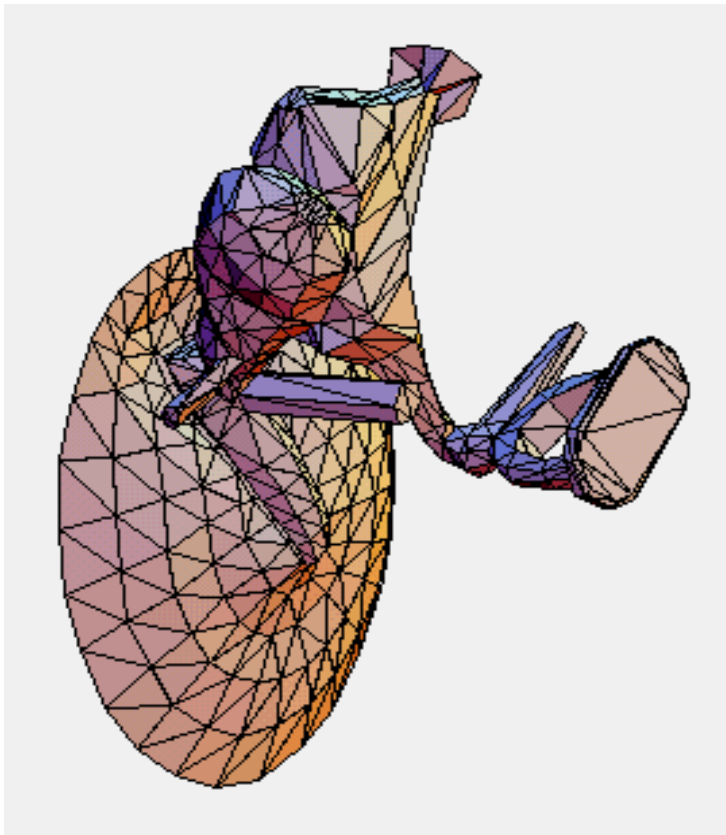
→ 害虫駆除システムの開発

→ 高精度エコロケーションセンサの開発

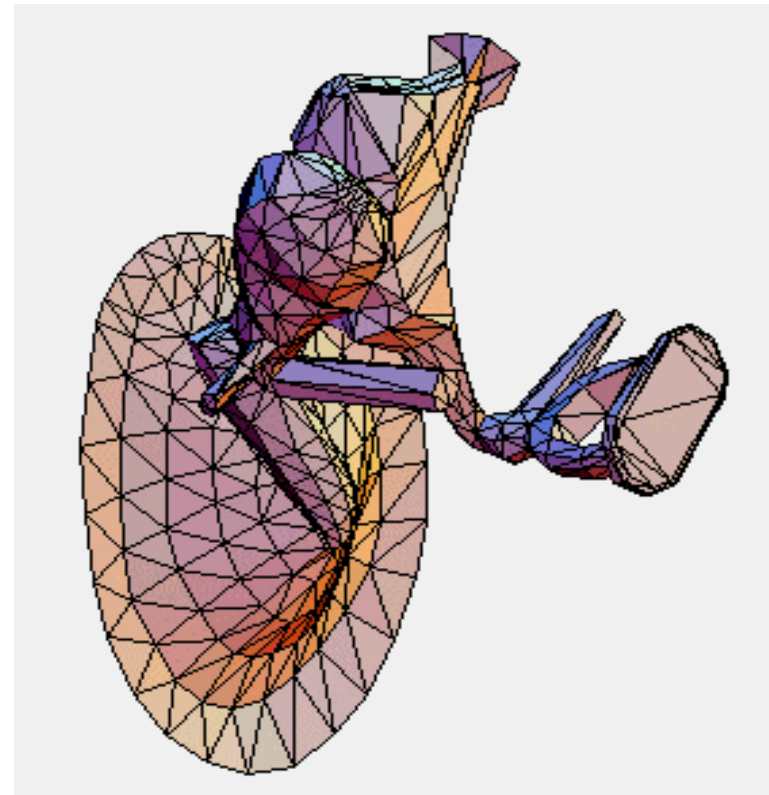
聴覚器官のコンピュータシミュレーション (nmオーダーの生体振動の解明)



■ 中耳振動

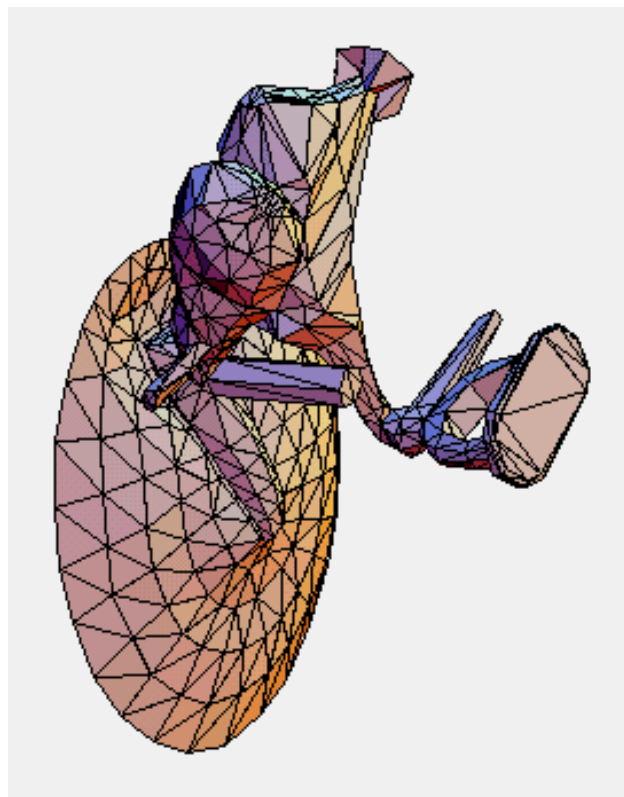


0.5 kHz

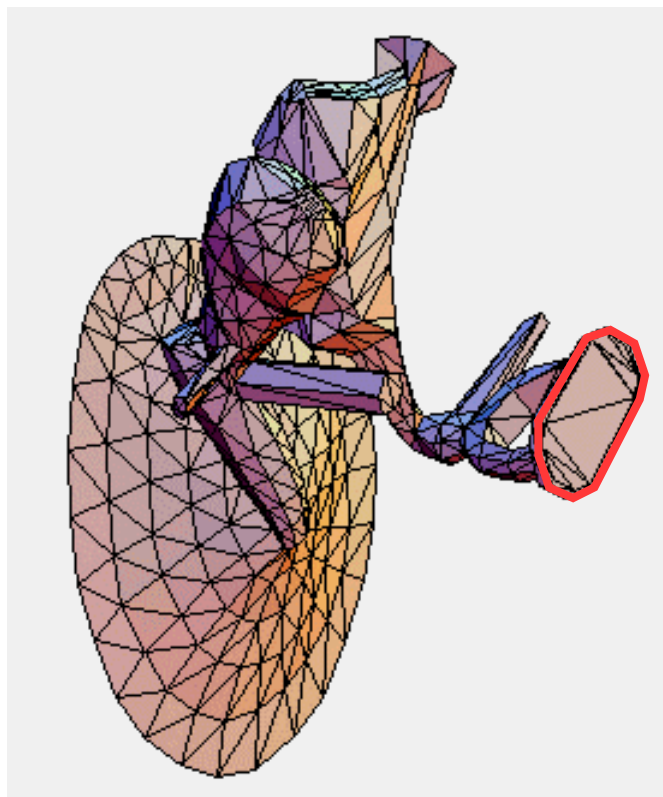


2.0 kHz

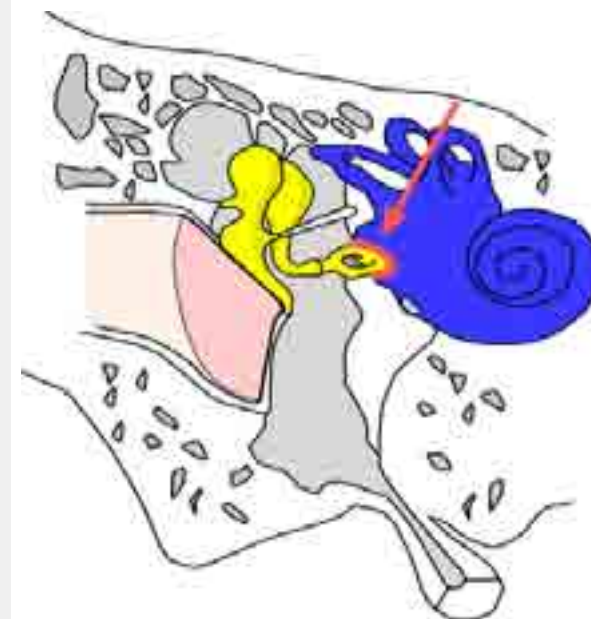
■ 耳硬化症のシミュレーション



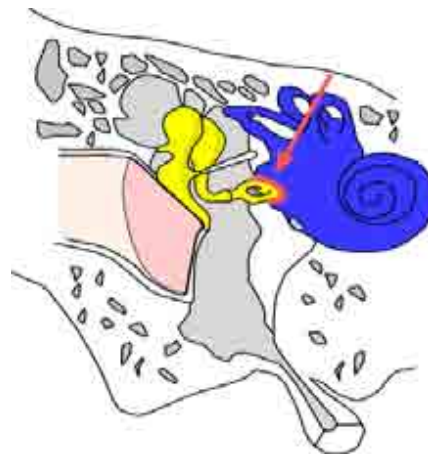
Normal (base model)



Fixation of the annular ligament (E X 1000)

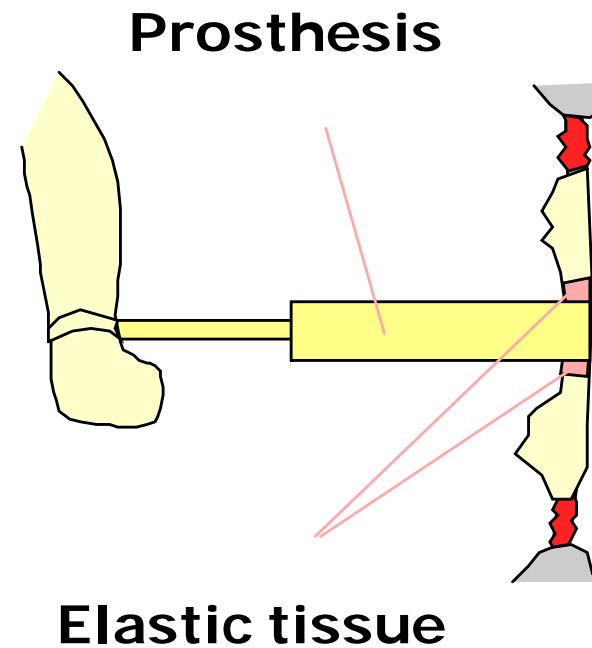
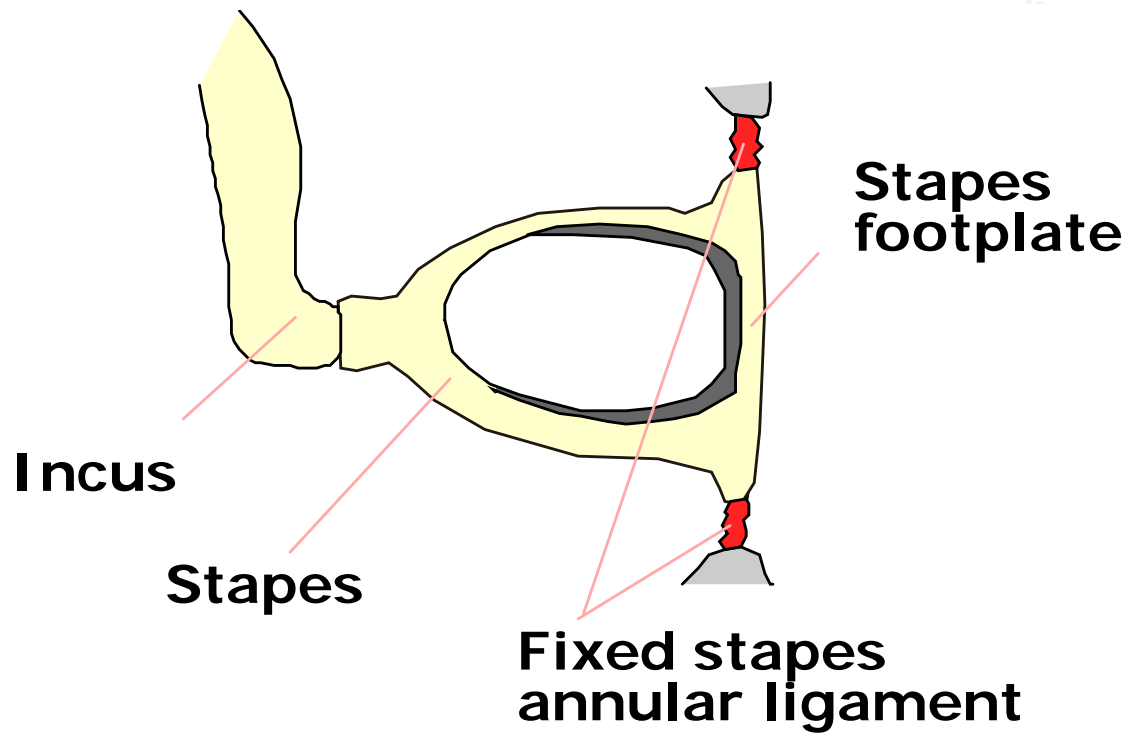


■ アブミ骨手術

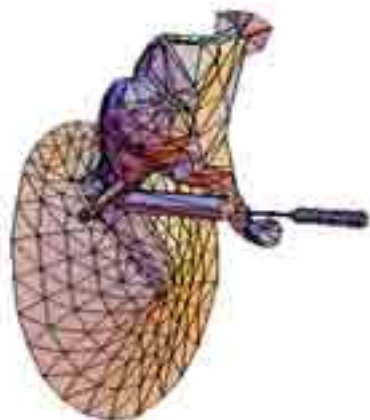


Before the surgery

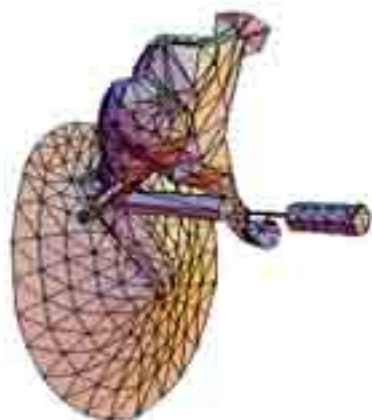
After the surgery



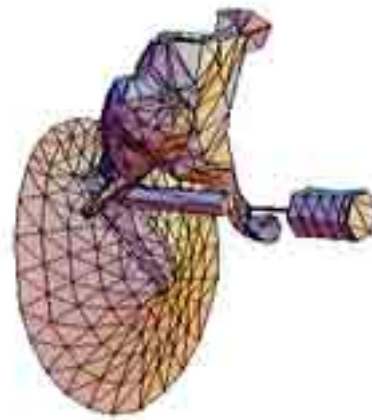
バーチャル手術



d = 0.4 mm

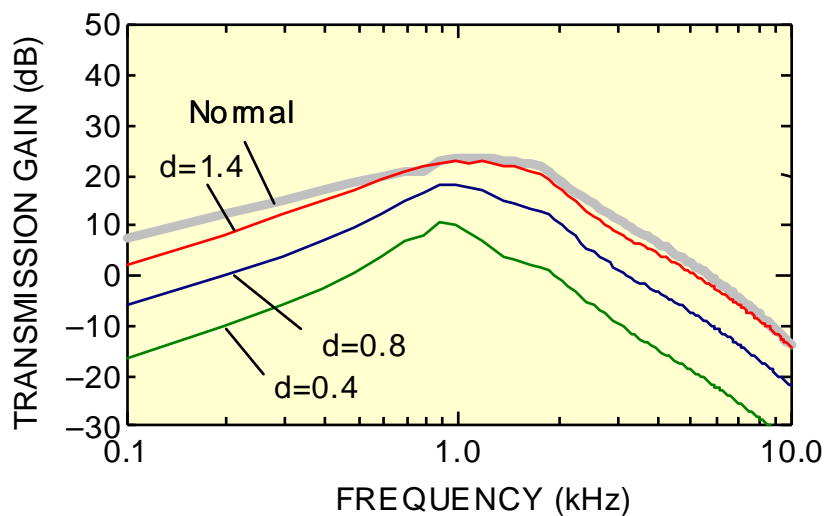


d = 0.8 mm

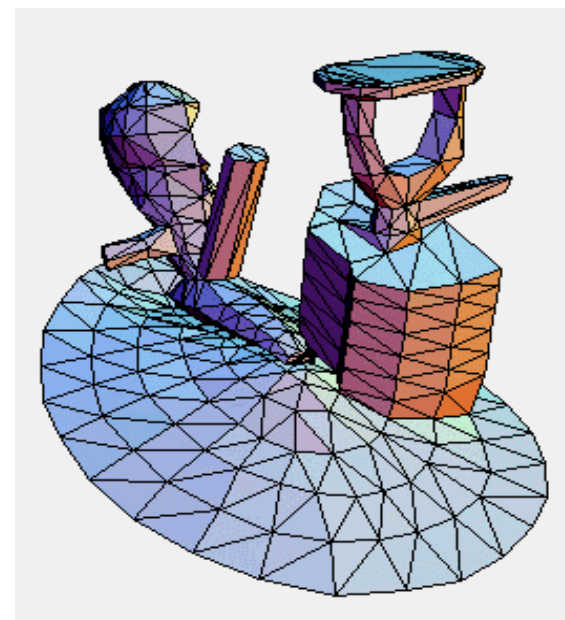


d = 1.4 mm

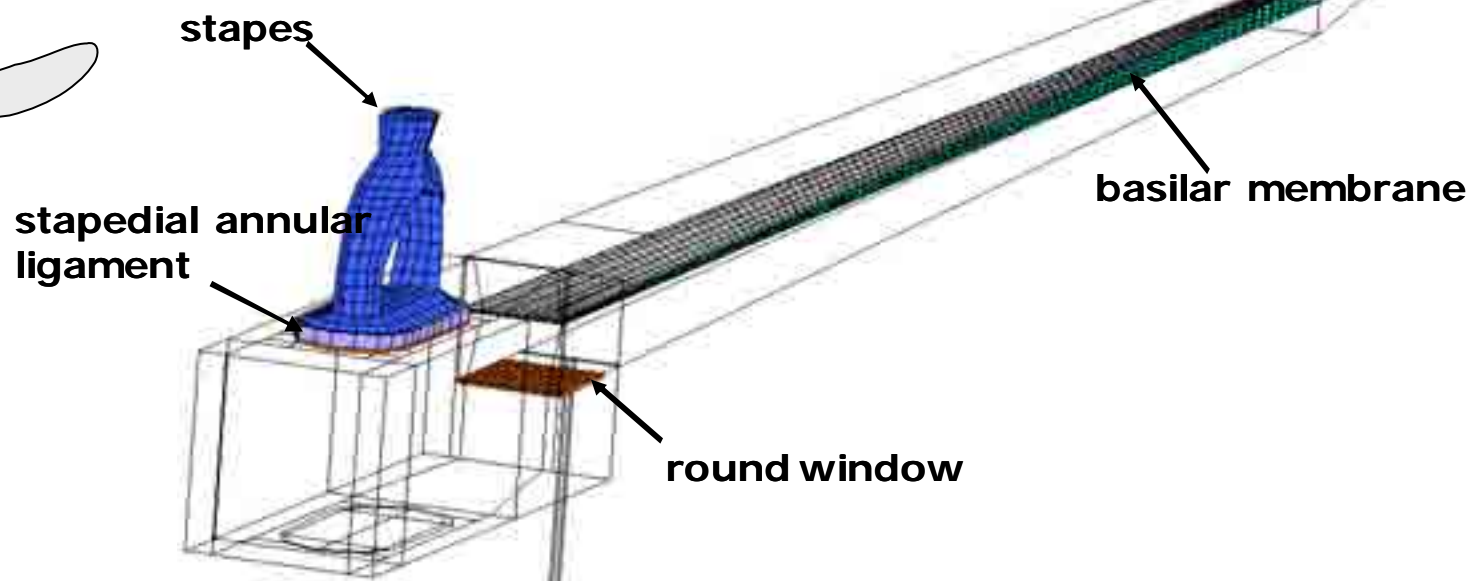
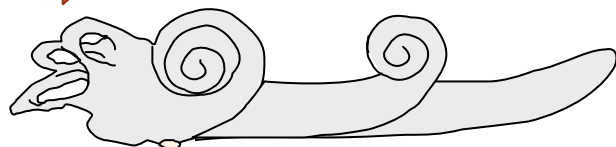
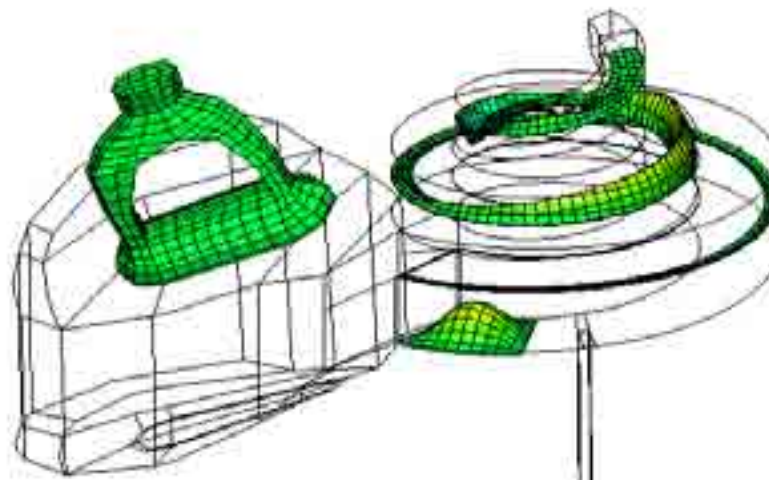
人工耳小骨の
 ・形状
 ・材質
 ・質量
 etc.



自家骨使用時の形状



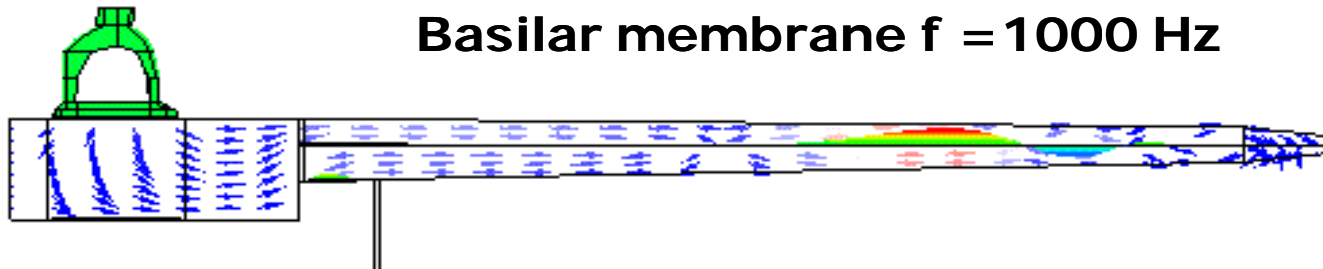
■ 蝸牛のモデル化



■ 蝸牛振動解析例

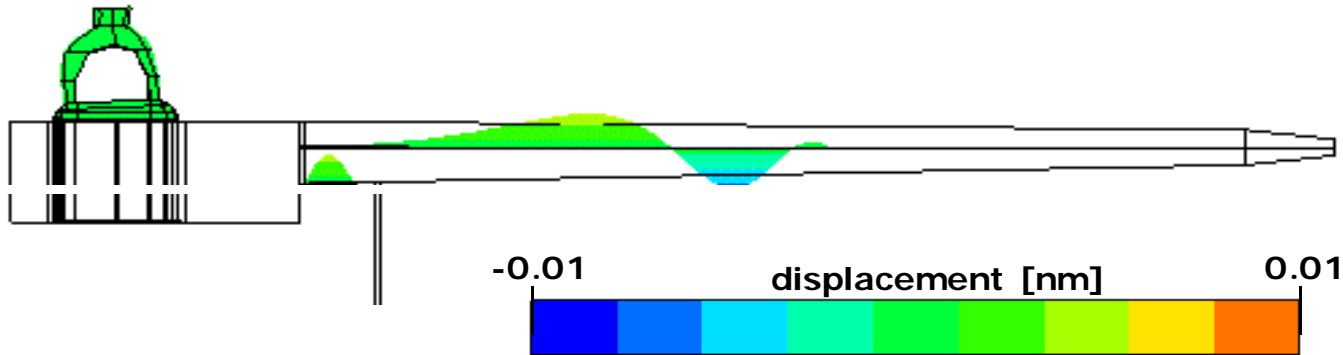


Basilar membrane $f = 1000 \text{ Hz}$



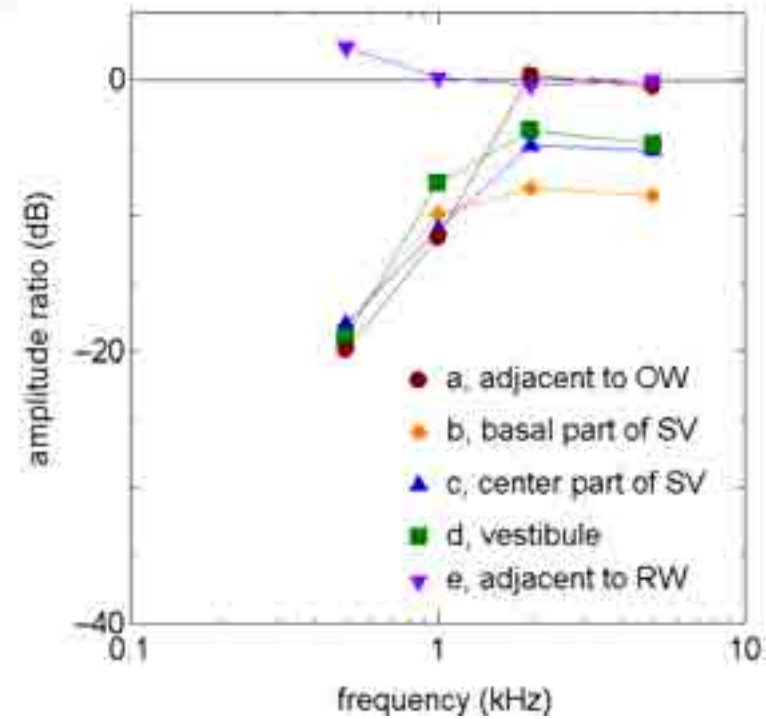
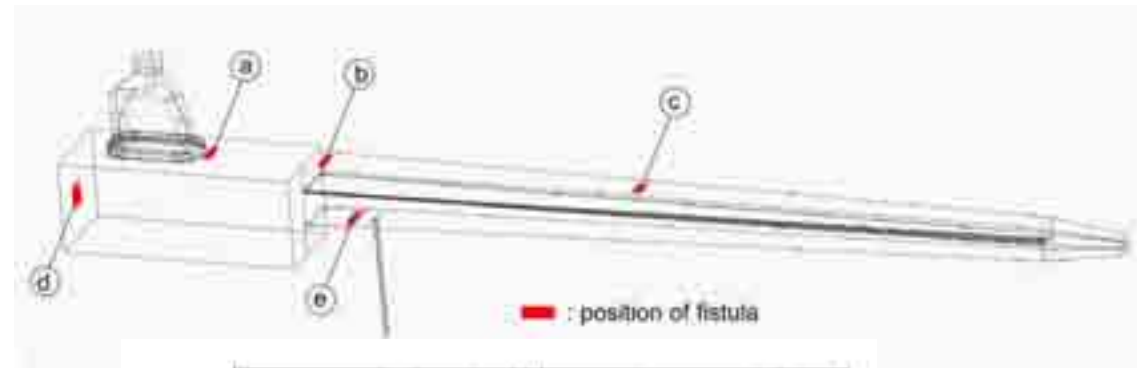
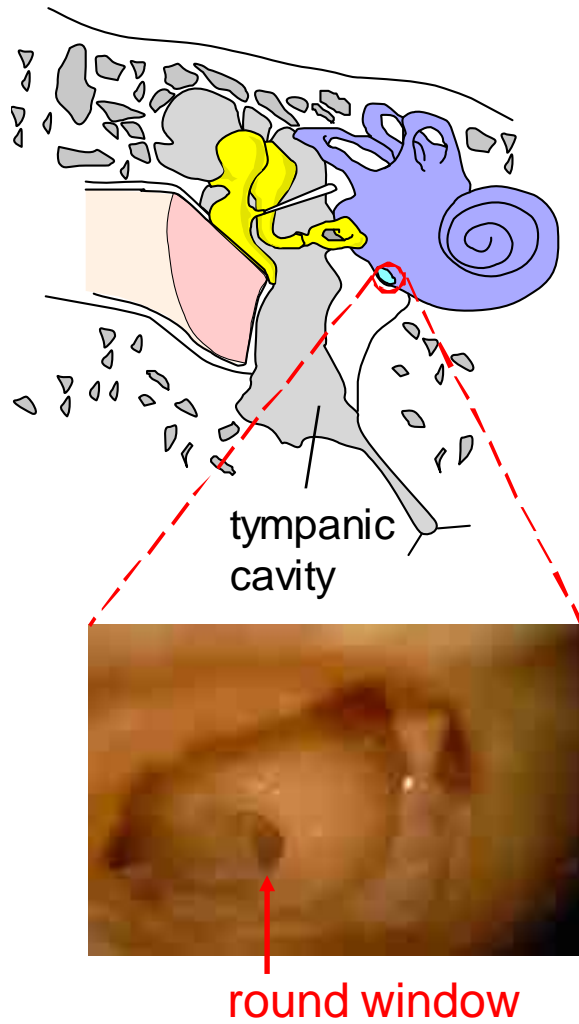
Vibration mode of the BM. Displacement was magnified 2×10^7 times.

5000 Hz



Displacement was magnified 2×10^8 times.

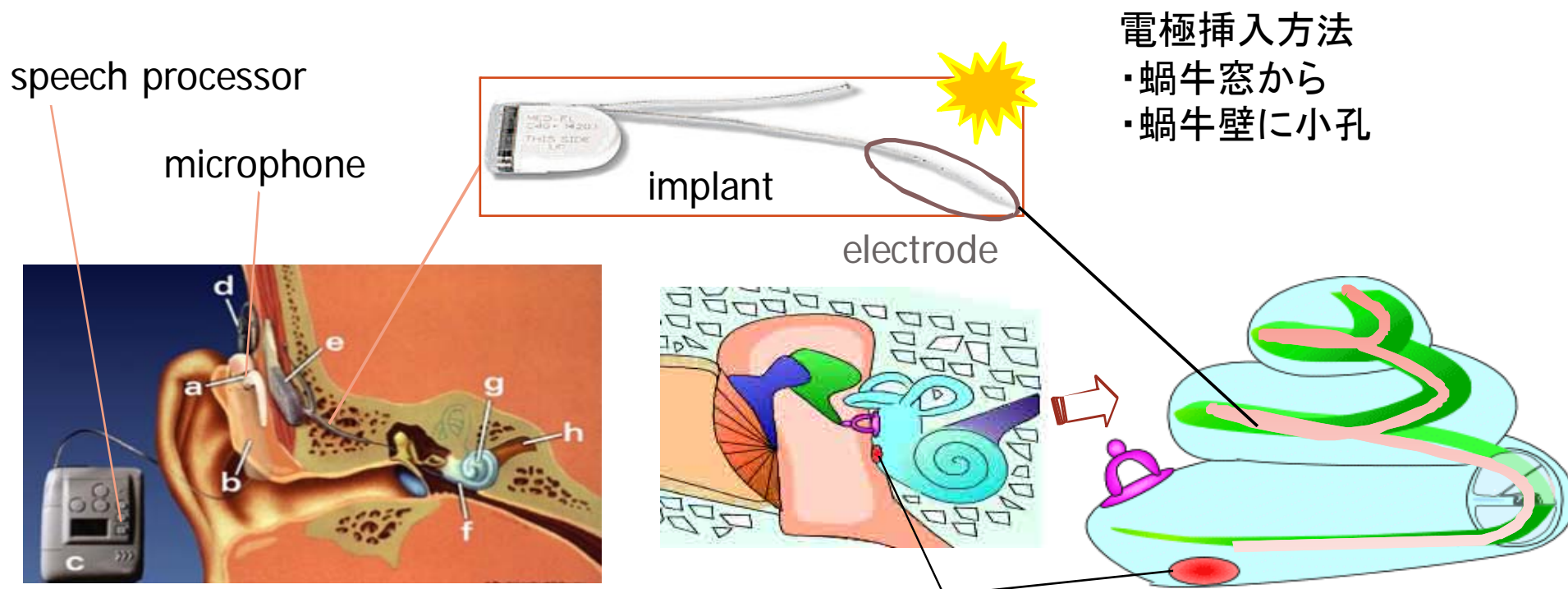
■ 外リンパ瘻シミュレーション



Ratio of the maximum displacement of the basilar membrane in the cochlea with a fistula to that in the normal cochlea.

人工内耳

蝸牛内感覚細胞の機能が低下することによる難聴→**感音性難聴**
 感音性難聴が重度で有る場合は**人工内耳(cochlea implant)**の装用が効果的



Schematic of the human auditory system and the cochlea implant.

Human ear and cochlea.

Electric-Acoustic Stimulation, EAS

難聴者の中には**低音域**の聴力が保存されている場合がある

高音域を人工内耳の**電気刺激**によって補聴し、**低音域**は音を補聴器で増幅することで、**残存聴力**を利用して聞きとる

High Frequency

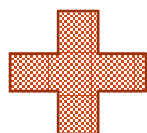


MEDEL社製の人工内耳(コンビ40プラス)

メリット

- ・音の高さの判別が良くなり
言語知覚能にすぐれる
- ・蝸牛への侵襲が小さい

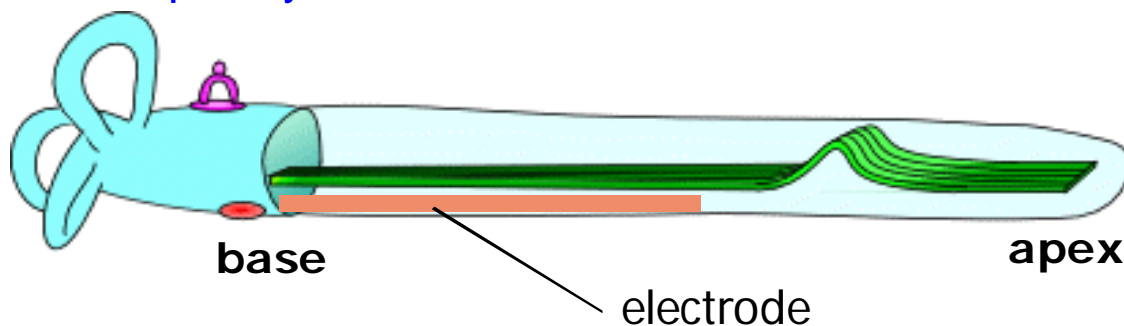
Low frequency



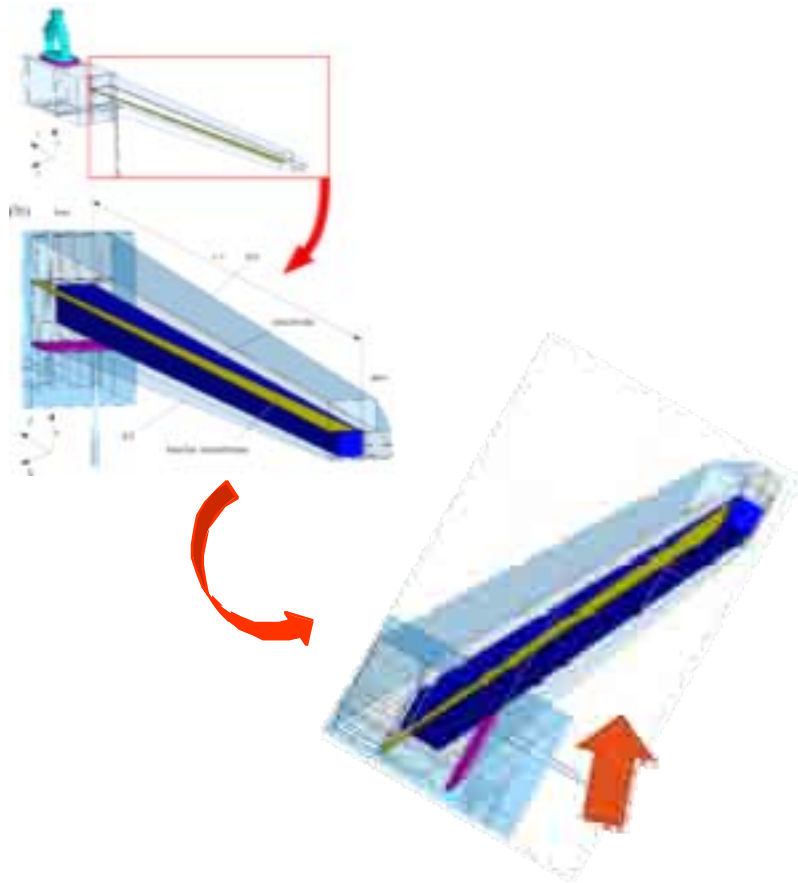
電極を想定した内耳モデルを作成



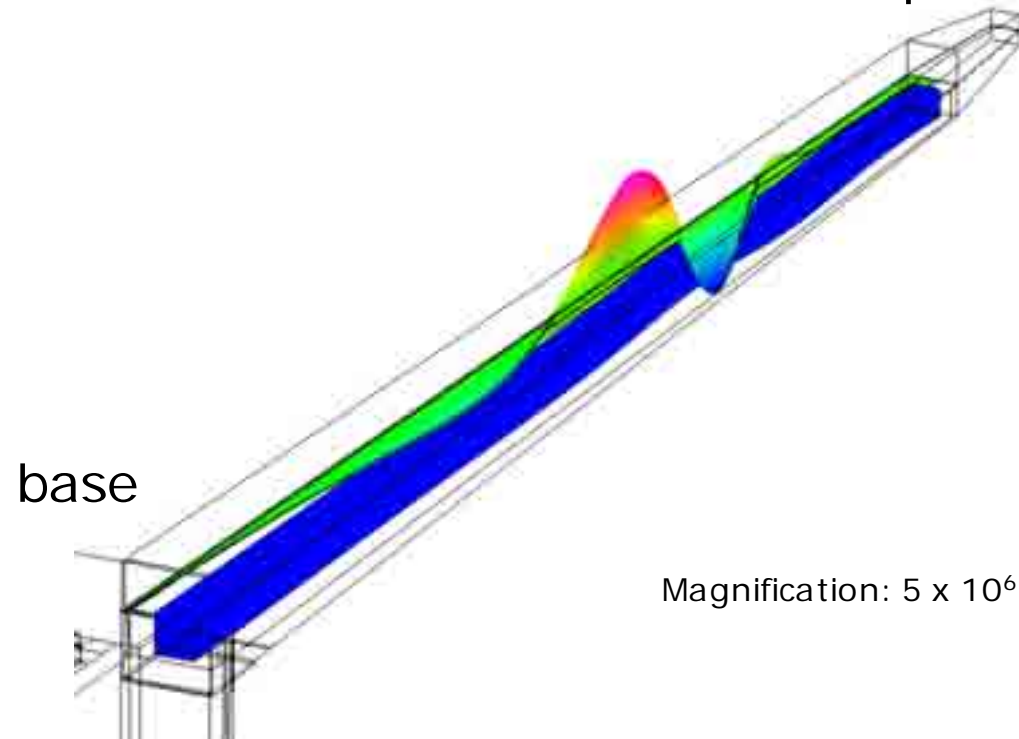
低音域の聴力評価
電極形状・材質・挿入法の最適化



Model of the cochlea with an electrode



Length: 1/1 of the BM
Volume: standard
Position: center
apex



RW: free
Vibration of the BM and the electrode
 $f = 500 \text{ Hz}$

■ シミュレーション結果の臨床へのフィードバック

- ・日本耳鼻咽喉科学会
- ・日本耳科学会
- ・日本聴覚医学会
- ・Association for Research in Otolaryngology
- ・International Society of Audiology
- etc.

「コルメラを用いた最適鼓室形成法の検討」
(中耳の最適手術法について)

→ 日本耳科学会奨励賞 **臨床** 部門

「ヒト蝸牛モデルによる基底板および内耳液振動解析」
(外リンパ瘻による聴力低下の機序について)

→ 日本耳科学会奨励賞 **基礎** 部門

(医学部以外初, 2部門受賞初)

■ 研究内容

生体のモデル化

有限要素法による聴覚器の振動挙動解析

医用装置の開発

耳小骨可動性測定装置の開発

・耳小骨可動性の術中診断 → 術後成績の向上・安全化

新駆動方式補聴器の開発

・皮下埋め込み型骨導補聴器

体表振動計測装置の開発

・鼻腔内視鏡手術リスク低減装置

他覚的聴力検査装置の開発(耳音響放射の計測)

・マウスを用いた遺伝子異常解析

生物の機能解析および環境保全への応用(異分野コラボレーション例)

昆虫が発する(超)音波振動解析

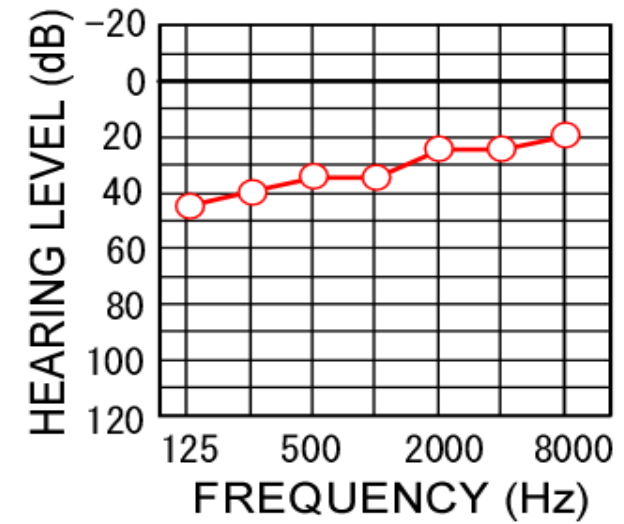
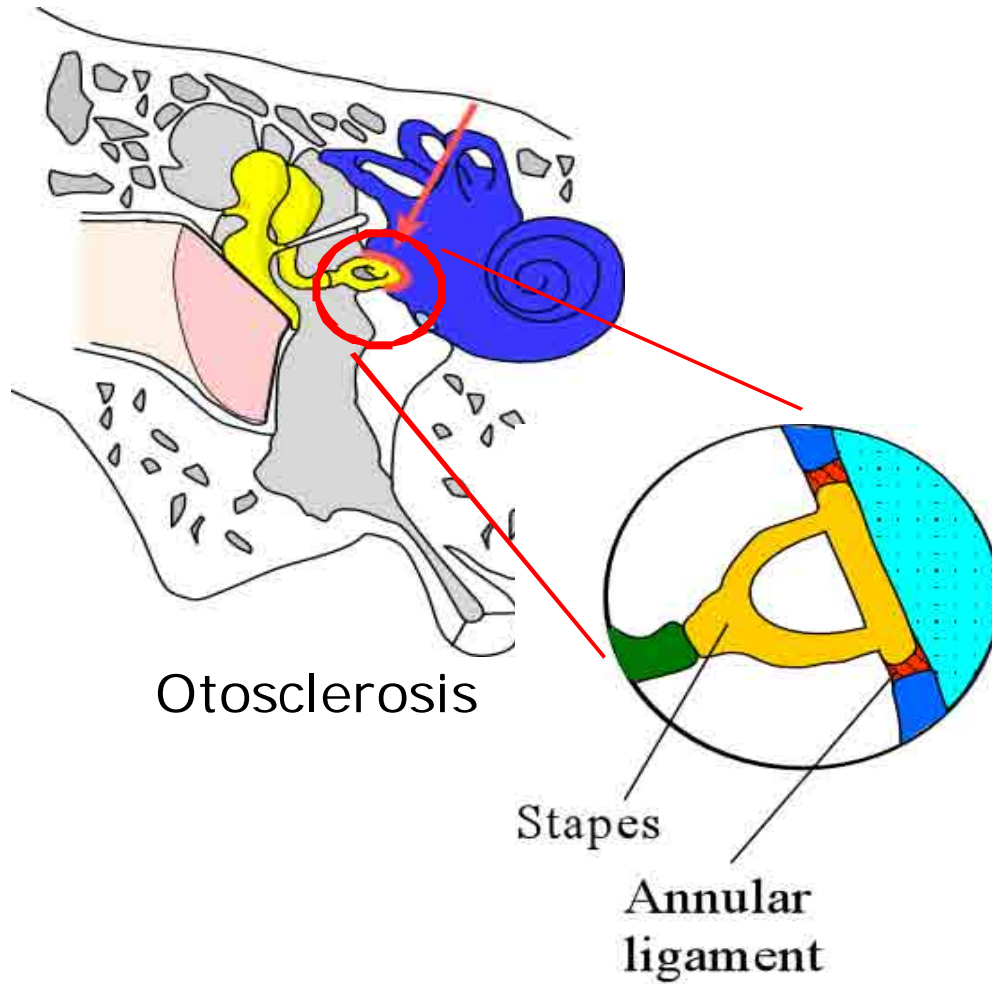
樹木が発する(超)音波振動解析

コウモリの聴覚器振動解析

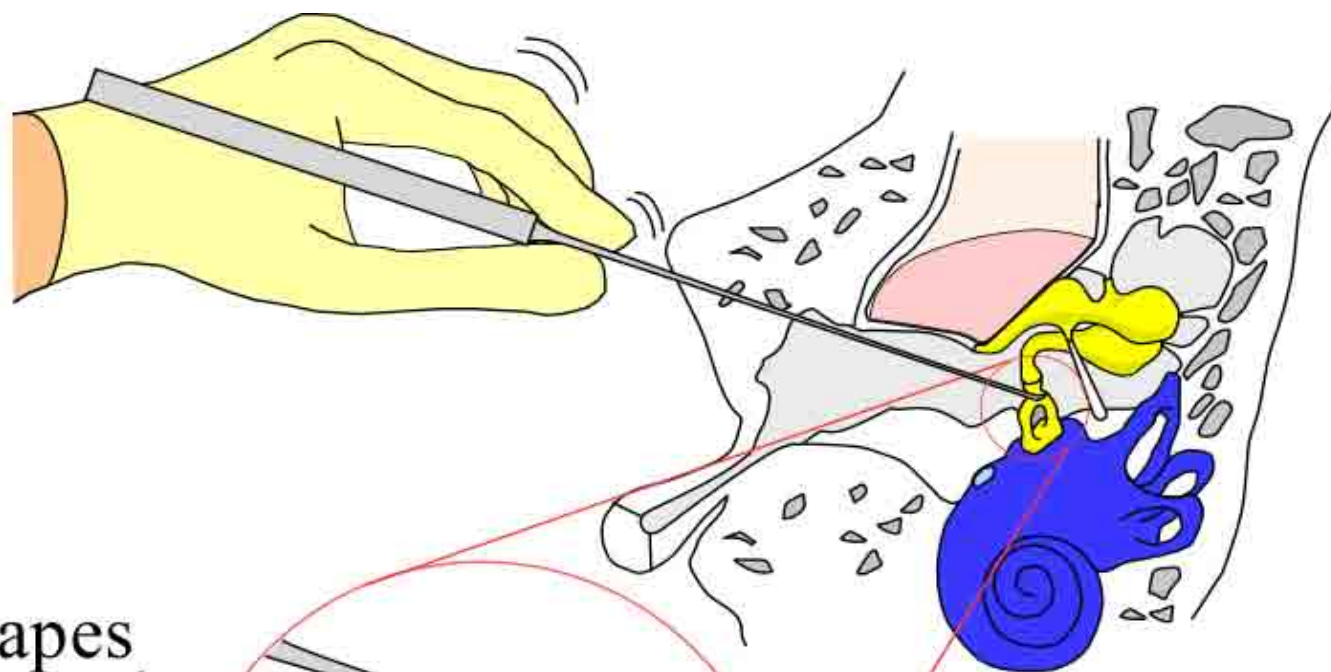
→ 害虫駆除システムの開発

→ 高精度エコロケーションセンサの開発

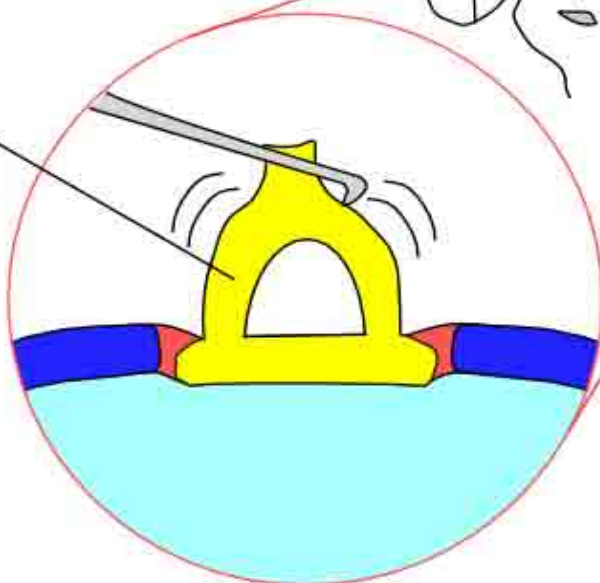
■ 耳小骨固着による聴力低下



■ 感覚に頼る耳小骨可動性評価



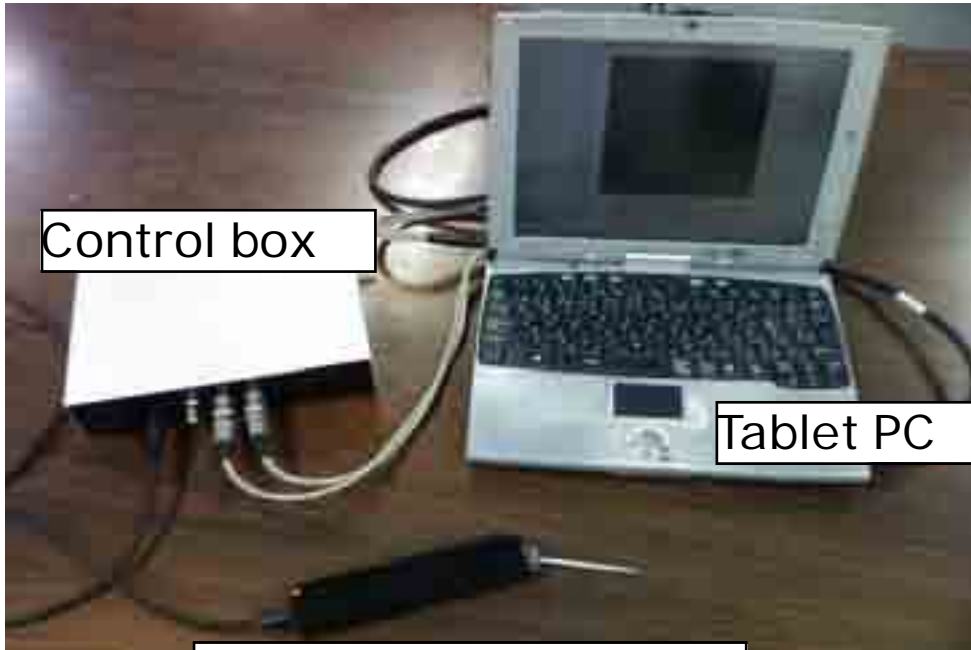
Stapes



The results depends on the surgeon's ability to use a hook

Quantitative evaluation of ossicular mobility has been difficult

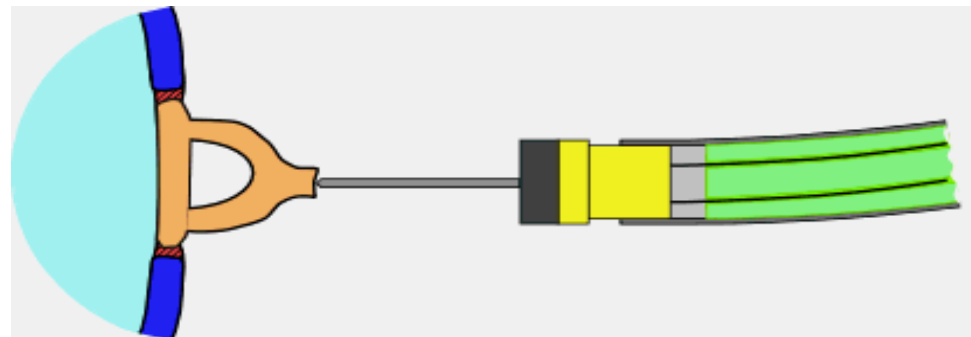
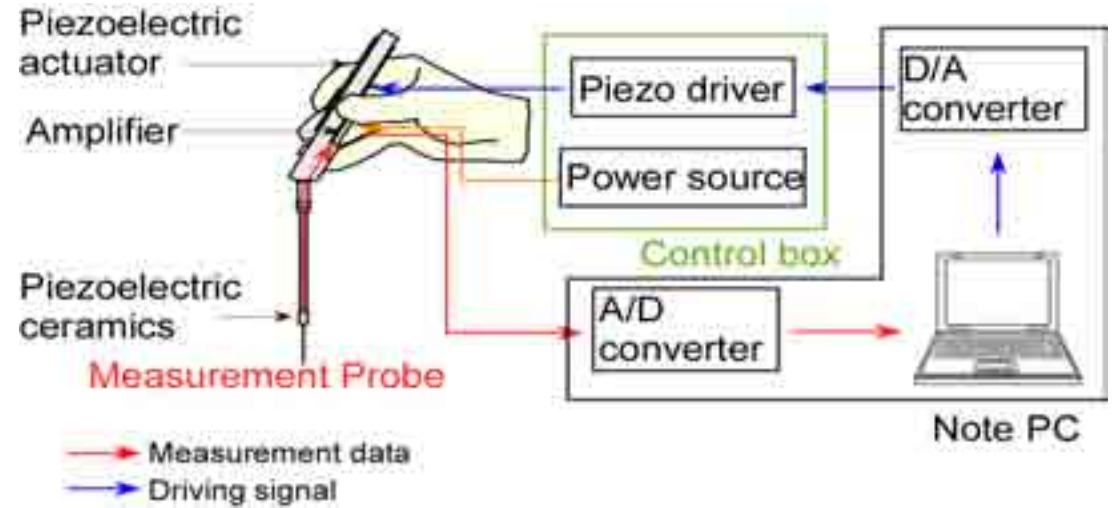
耳小骨可動性計測装置



Control box

Tablet PC

Measurement probe



ヒト側頭骨を用いた計測実験



Normal

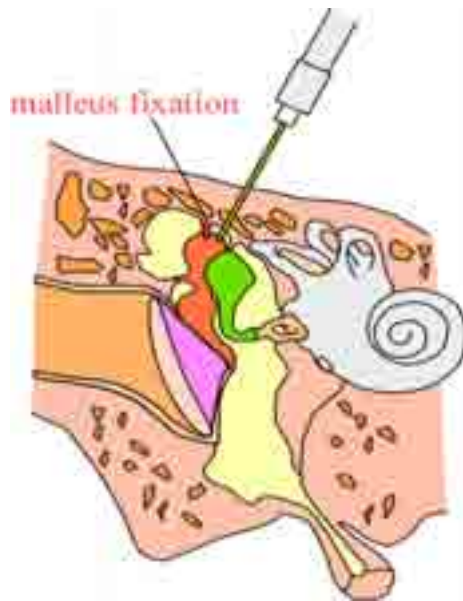


Malleus fixation

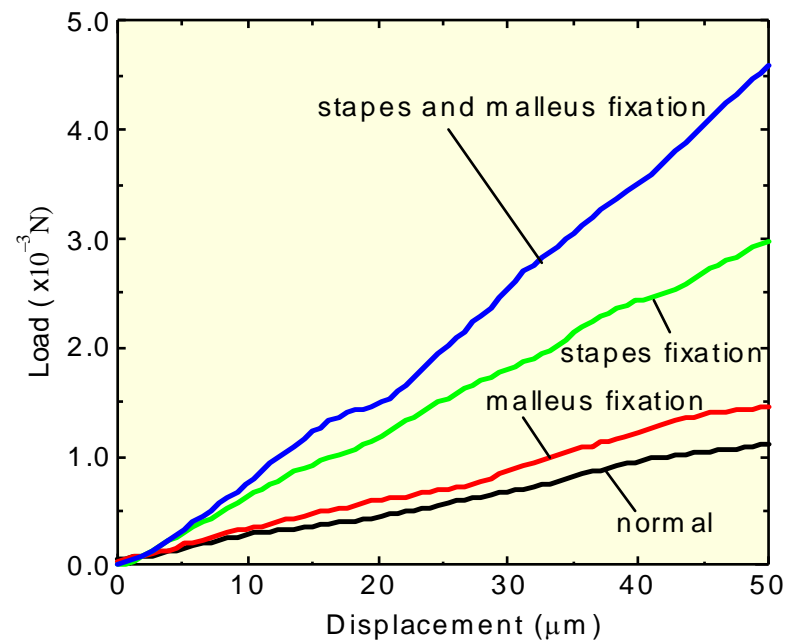
artificial fixation
used dental cement



@ Harvard and Stanford



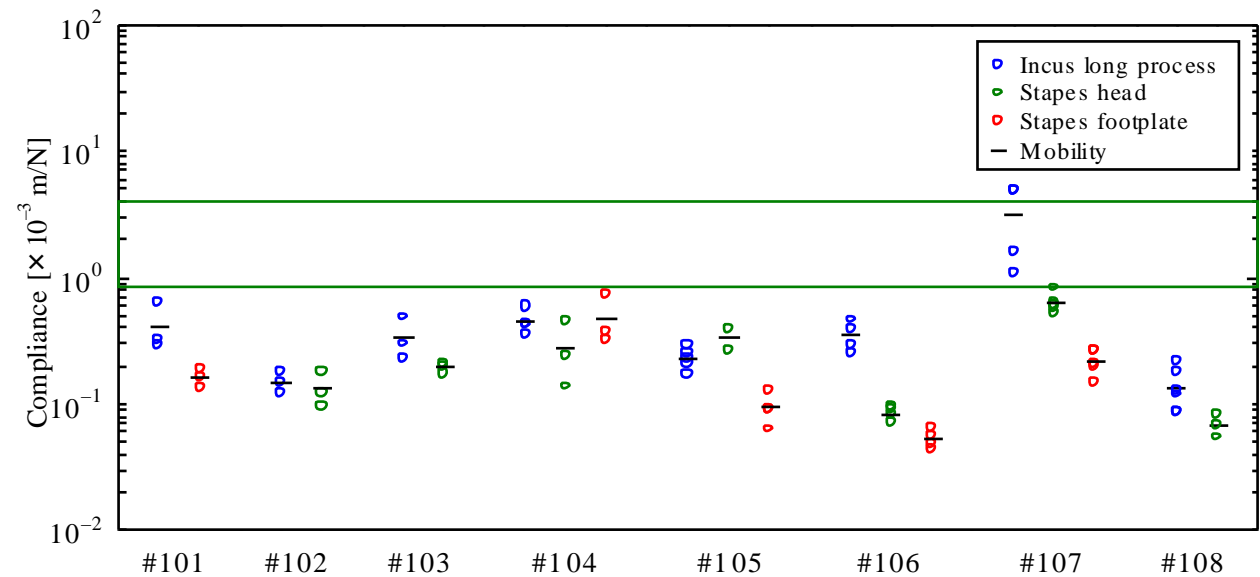
temporal
bone



臨床応用



@順天堂・慶應大学病院



■ 研究内容

生体のモデル化

有限要素法による聴覚器の振動挙動解析

医用装置の開発

耳小骨可動性測定装置の開発

・耳小骨可動性の術中診断 → 術後成績の向上・安全化

新駆動方式補聴器の開発

・皮下埋め込み型骨導補聴器

体表振動計測装置の開発

・鼻腔内視鏡手術リスク低減装置

他覚的聴力検査装置の開発(耳音響放射の計測)

・マウスを用いた遺伝子異常解析

生物の機能解析および環境保全への応用(異分野コラボレーション例)

昆虫が発する(超)音波振動解析

樹木が発する(超)音波振動解析

コウモリの聴覚器振動解析

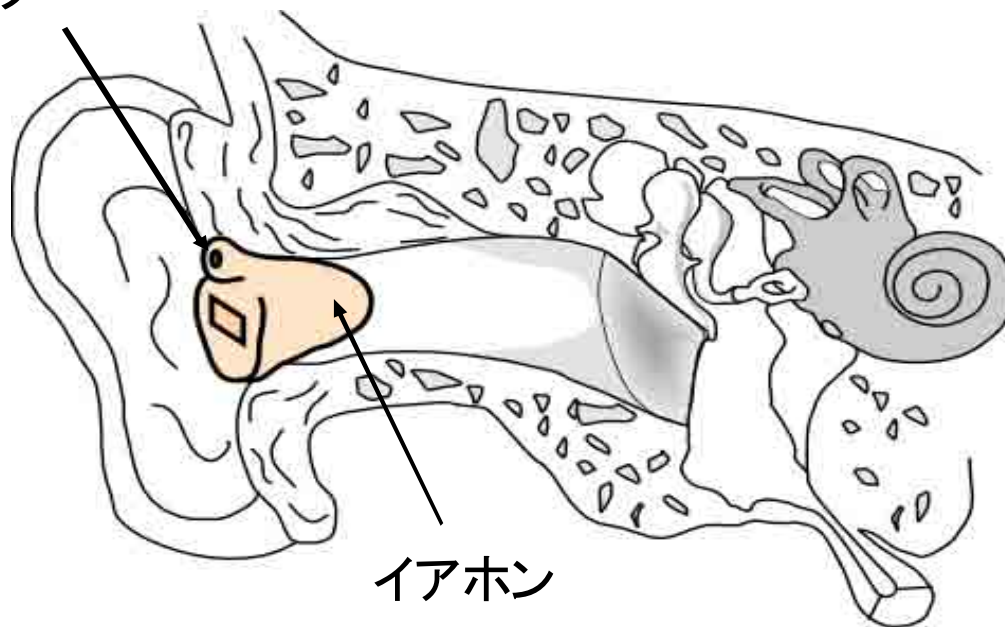
→ 害虫駆除システムの開発

→ 高精度エコロケーションセンサの開発

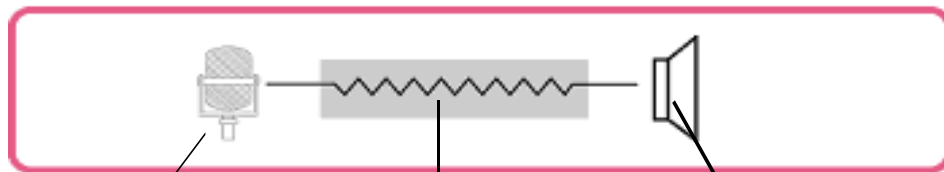
■ 緒言

一般的な補聴器

マイク



イヤホン



Mic.

Amp.

Earphone

問題点

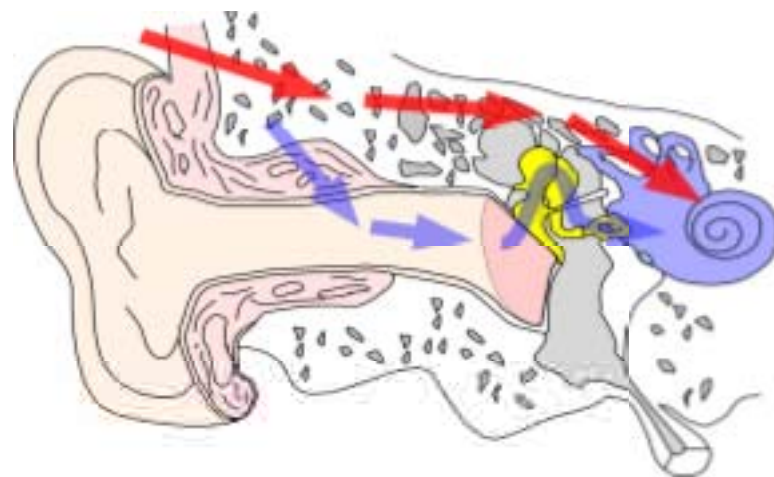
ひずみ

ハウリング

耳栓の必要性

緒言

骨導補聴器



BAHA



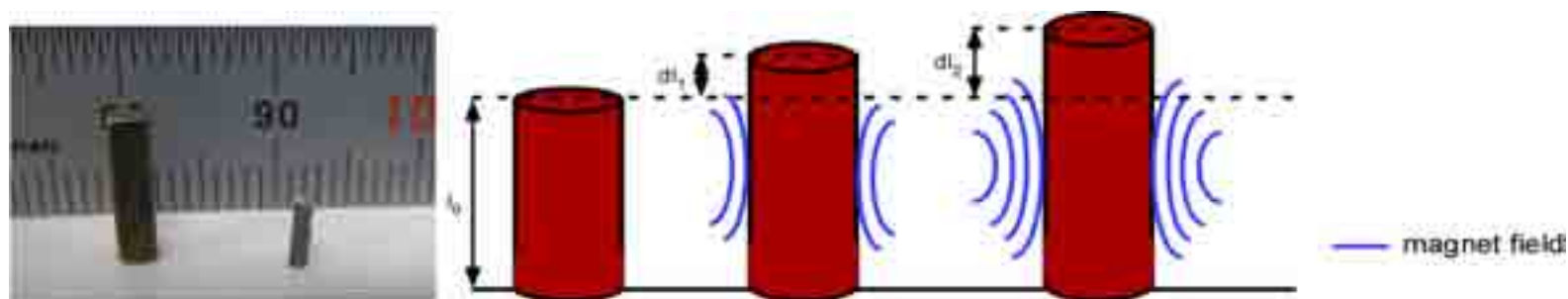
問題点

高音域における加振力不足
露出したチタン接合部まわりの炎症

■ 研究目的

超磁歪素子を利用し、皮下埋め込み型の高出力・高音質骨導補聴器の開発

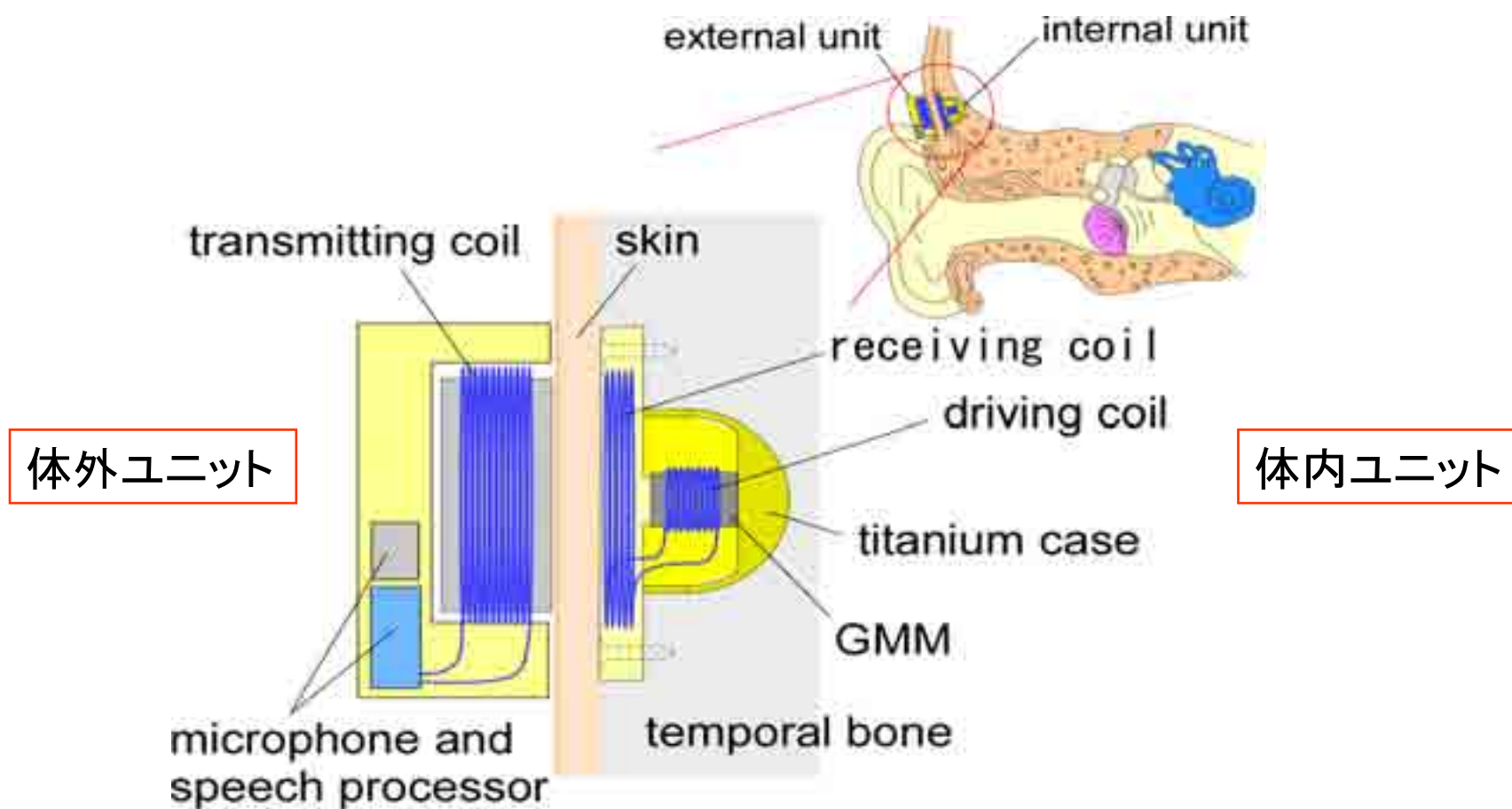
- 超磁歪素子 (Giant Magnetostrictive Material, GMM)



- 周囲の磁界の変化により、変形する金属素子
- 大変形率, 高速応答性

■ GMMを用いた骨導補聴器

- 装置構成

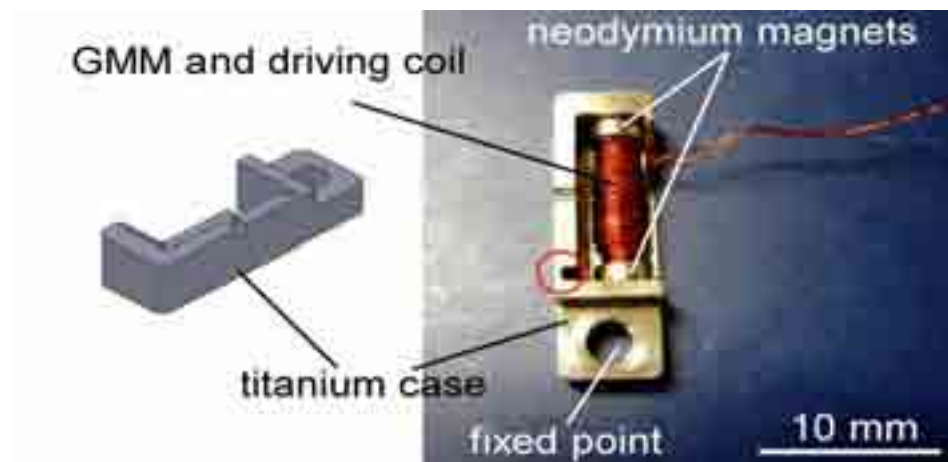


■ 試作および献体実験

補聴システム



体内ユニット



■ 研究内容

生体のモデル化

有限要素法による聴覚器の振動挙動解析

医用装置の開発

耳小骨可動性測定装置の開発

・耳小骨可動性の術中診断 → 術後成績の向上・安全化

新駆動方式補聴器の開発

・皮下埋め込み型骨導補聴器

体表振動計測装置の開発

・鼻腔内視鏡手術リスク低減装置

他覚的聴力検査装置の開発(耳音響放射の計測)

・マウスを用いた遺伝子異常解析

生物の機能解析および環境保全への応用(異分野コラボレーション例)

昆虫が発する(超)音波振動解析

樹木が発する(超)音波振動解析

コウモリの聴覚器振動解析

→ 害虫駆除システムの開発

→ 高精度エコロケーションセンサの開発

■ PVDFフィルムによる生体振動計測

プラスチック板にゴム板を貼り付け、PVDFフィルム（東京センサ, DT1-028K/L, 30x12 mm 厚さ28 μm)をFig. 1のように取り付け、PVDFフィルムとゴム板の間にスポンジを挟んだ(Fig. 2). このデバイスを額にゴムバンドで固定した.

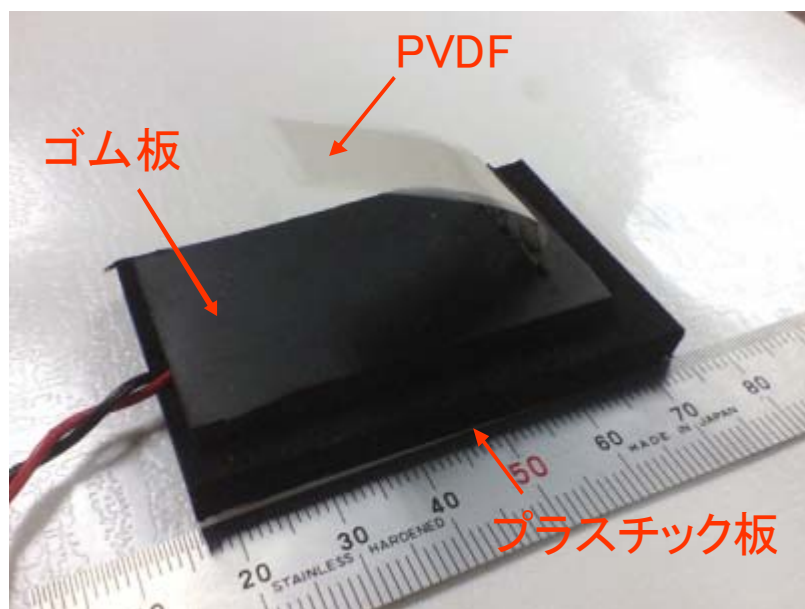


Fig. 1 試作デバイス

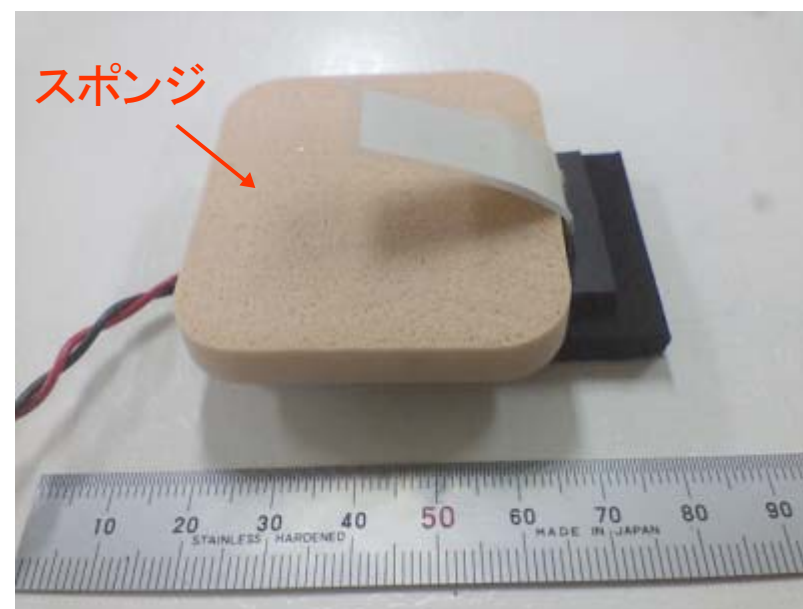
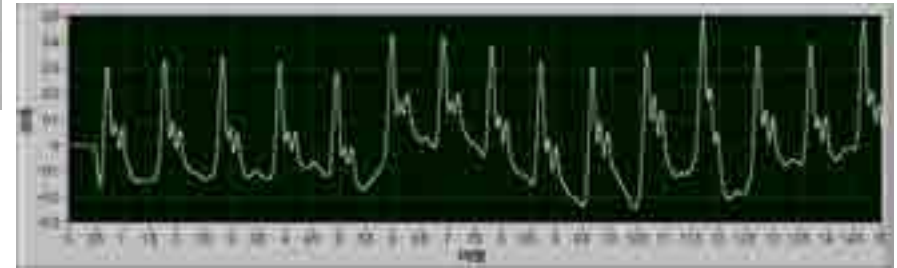
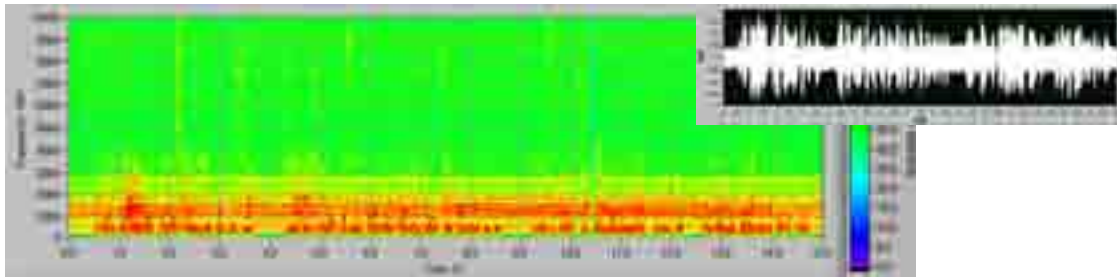


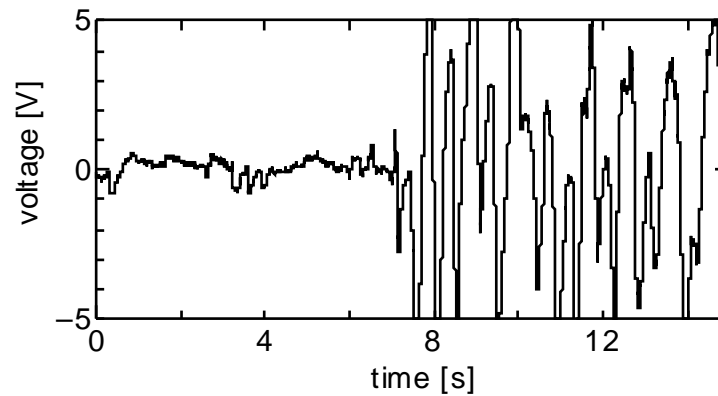
Fig. 2 試作デバイス(スポンジ付)

■ 応用例



高騒音下における音声計測
PVDF素子を前頭部に貼り計測

脈拍の計測
音声信号にlow-pass filterをかける



眼振/眼球振動の計測 PVDF素子を脛上に貼り計測

鼻腔内視鏡手術時の危険度判定

■ 研究内容

生体のモデル化

有限要素法による聴覚器の振動挙動解析

医用装置の開発

耳小骨可動性測定装置の開発

・耳小骨可動性の術中診断 → 術後成績の向上・安全化

新駆動方式補聴器の開発

・皮下埋め込み型骨導補聴器

体表振動計測装置の開発

・鼻腔内視鏡手術リスク低減装置

他覚的聴力検査装置の開発(耳音響放射の計測)

・マウスを用いた遺伝子異常解析

生物の機能解析および環境保全への応用(異分野コラボレーション例)

昆虫が発する(超)音波振動解析

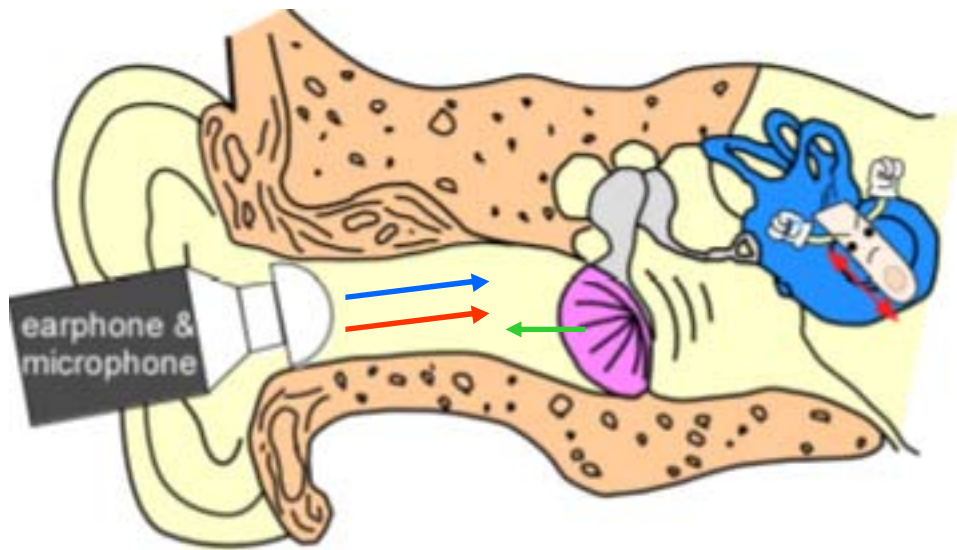
樹木が発する(超)音波振動解析

コウモリの聴覚器振動解析

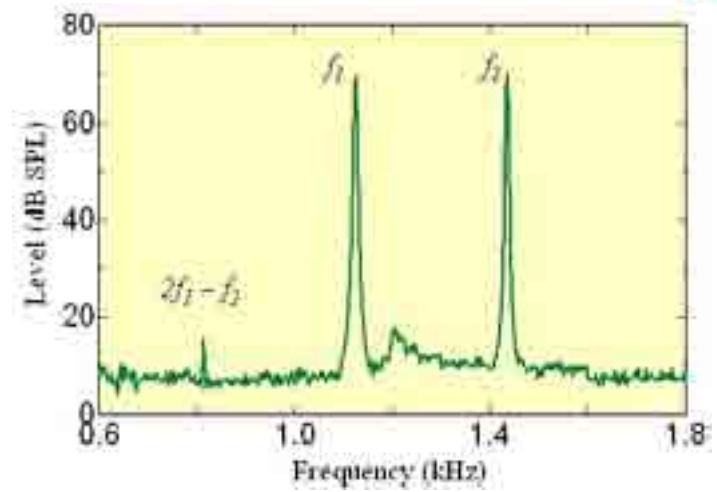
→ 害虫駆除システムの開発

→ 高精度エコロケーションセンサの開発

■ 耳音響放射計測



- pure tone f_1
- pure tone f_2
- ← DPOAE $2f_1 - f_2$



■ 研究内容

生体のモデル化

有限要素法による聴覚器の振動挙動解析

医用装置の開発

耳小骨可動性測定装置の開発

・耳小骨可動性の術中診断 → 術後成績の向上・安全化

新駆動方式補聴器の開発

・皮下埋め込み型骨導補聴器

体表振動計測装置の開発

・鼻腔内視鏡手術リスク低減装置

他覚的聴力検査装置の開発(耳音響放射の計測)

・マウスを用いた遺伝子異常解析

生物の機能解析および環境保全への応用(異分野コラボレーション例)

昆虫が発する(超)音波振動解析

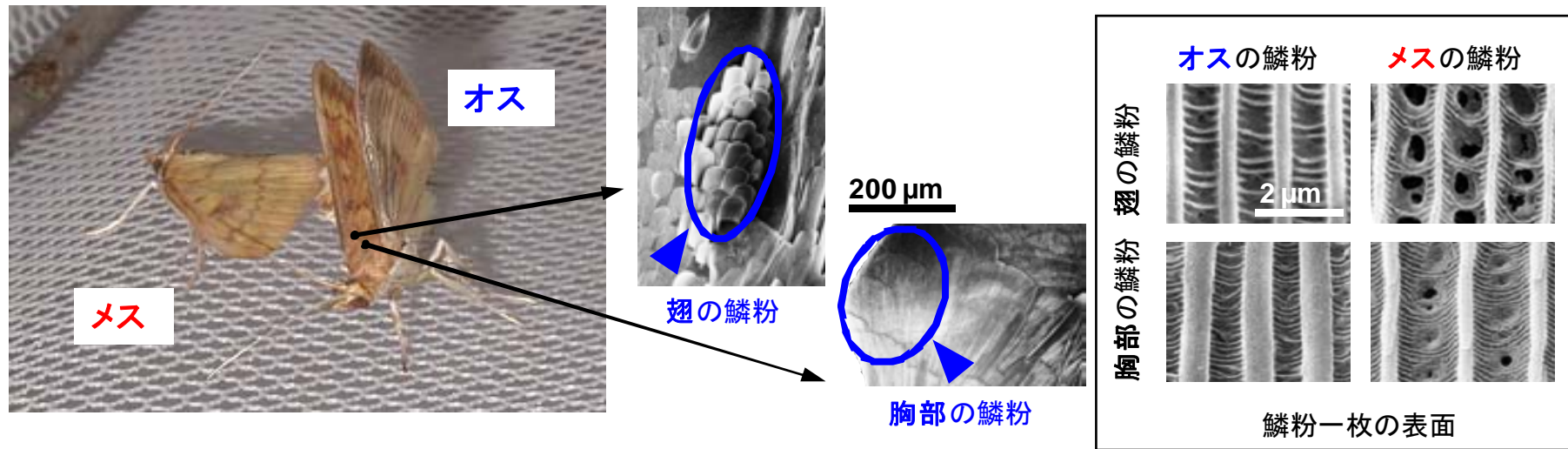
樹木が発する(超)音波振動解析

コウモリの聴覚器振動解析

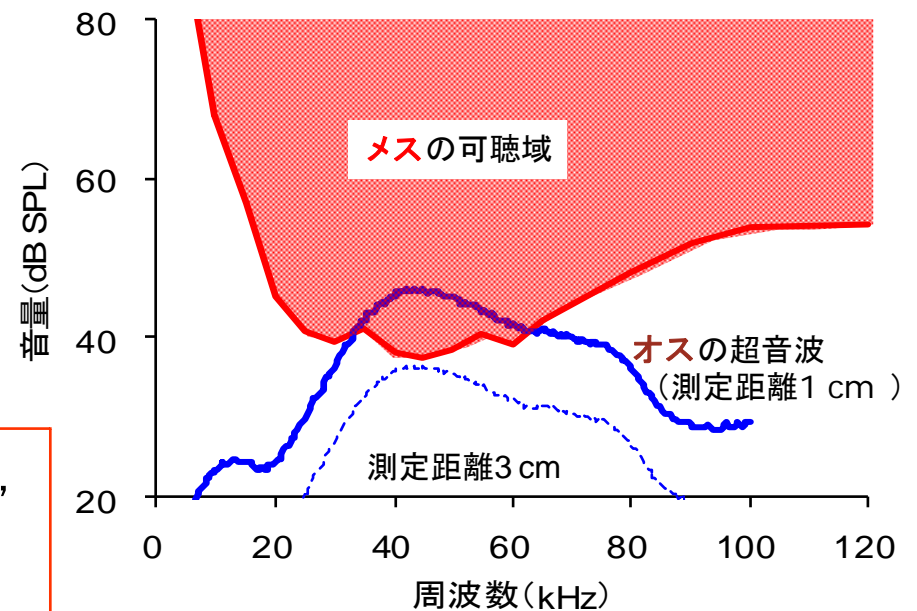
→ 害虫駆除システムの開発

→ 高精度エコロケーションセンサの開発

昆虫が発する振動計測 (森林総研, 東大農学部, 他との共同研究)



- ・特殊な鱗粉を擦り合わせて発音
- ・翅の鱗粉が共振することにより音波を増幅
- ・音圧は小さく, 聞き取れる距離は3cm程度
- ・超音波の有無により交尾の成功率に有意差



蛾は競争相手や天敵に気付かれないう、ひそひそ声でラブソングを歌う

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 105(33), 11812-11817 (2008)

■ コウモリの内耳挙動解析 (同志社大, 東北学院大との共同研究)

《研究背景》

コウモリは, パルス超音波音声を発し, 障害物や餌となる昆虫から反射して戻って来るエコーを聴いて, 衝突回避や捕食をおこなう.
(エコロケーション)



- ・聴覚中枢(大脳皮質および下丘)の機能?
- ・末梢聴覚器における処理?

《研究目的》

コウモリの優れたバイオ・センシング能力の基盤となる聴覚末梢系の生物ソナー信号処理メカニズムを音響学, 生理学, コンピュータシミュレーションを用いて明らかにする.

■ 共同研究（医工連携・他）

