

### 埋め込み型補聴器（人工中耳）について

ヒトの鼓膜および耳小骨は、低インピーダンスの外耳から高インピーダンスの内耳へ、広い帯域の音を効率よく伝音することが出来る。しかし、その受動的伝音効率には限界があり、能動的増幅により聴覚とQOLの向上が得られる難聴者は多い<sup>1)</sup>。入力された音を増幅し音として出力するのが気導補聴器であり、振動として出力するのが埋め込み型補聴器（implantable hearing aid）あるいは人工中耳（middle ear implant）である。埋め込まれた振動子が耳小骨を駆動し内耳に伝音するのが耳小骨駆動型であり、耳小骨以外の骨（主に側頭骨）を駆動するのが骨導型である。2005年3月にリオン社が、人工中耳の製造・販売を中止して以降、本邦で認可されている人工中耳はない。現在、骨導型の代表であるコクレア社のBAHA（bone anchored hearing aid）が臨床治験を終了し、認可申請中である。また、耳小骨駆動型の代表であるメドエル社のVibrant Soundbridgeが臨床試験を開始しようとしている。イアホン型の気導補聴器と比較し、埋め込み型補聴器の利点は、1）音質が自然、2）騒音環境下での明瞭度が良好、3）ハウリングが少ない、4）耳栓が不要で外耳道の閉塞感がない等が挙げられる。一方、欠点としては、1）手術が必要、2）高価、3）長期耐久性が不確実、4）高度感音難聴に適應がない等がある。埋め込むための手術は不可避であるが、その他の欠点は克服可能である。我々は現在、厚生労働科学研究費・感覚器障害研究事業の補助を受け、メイド・イン・ジャパンの新しい埋め込み型補聴器を開発している。開発中のデバイスは、安価、安全、安定、高出力の全条件を満たす超磁歪素子の振動子を採用することで、従来の埋め込み型補聴器の利点は維持し、欠点を克服することが可能と考えている。

### 骨導補聴の現状と問題点

近年、骨導補聴の基礎研究が進み、骨導の伝音経路、中耳の修飾、内耳での聴覚メカニズムが徐々に解明されつつある<sup>2)~7)</sup>。これらの研究では、外耳道の音圧や正円窓および基底板の振動解析を用い、骨導は気導と遜色ない良好な聴覚が得られる伝音システムであることが証明されてきている。埋め込み式でない経皮伝音の骨導補聴器は、本邦でも多くの伝音難聴者、特に先天性外耳道閉鎖症や難治性中耳炎等の患者で頻繁に使用されている。近年では眼鏡式やヘッドバンド式だけでなく、ヘルメット式や電話受話器等、様々な骨導補聴器が開発、販売されているが、これらは全て皮膚上に振動子を当てるため、

皮膚や皮下組織に振動エネルギーが吸収されて伝音効率が悪く、特に高音域では加振力不足が顕著である<sup>8)</sup>。また、強く押し当てる必要があるため、装着時には皮膚の痛みや違和感を伴う。スウェーデンで開発されたBAHAは、耳後部に埋め込んだチタン振動子がosseointegrationにより高度に骨に融合することを骨導補聴に応用したデバイスである<sup>9)</sup>。BAHAは、音の振動エネルギーが皮膚、皮下組織の伝音減衰なく、チタン振動子を介して直接骨に伝わるシステムを確立した。従来の経皮伝音する骨導補聴器と比べ音質が改善され、特に高周波域の情報が増加した。1996年のFDA認可後、欧米を中心として急速に広まり、一側聾への適応拡大の影響もあり、現在では7万耳を超える埋め込み実績を有している。BAHAの問題点<sup>10)</sup>としては、1）皮膚面への金属露出による審美上の問題、2）露出したチタン振動子周囲の皮膚炎や痂皮形成、3）サウンドプロセッサの接続に慣れが必要、4）サウンドプロセッサが帽子等に触れると出力が低下、5）通常機種では45dB（ハイパワー機種で60dB）より高度の感音難聴には適應がない等が挙げられる。また、振動子が皮膚面へ露出するBAHAの問題点を改良した、Audiant Bone Conductorという埋め込み型骨導補聴器が米国スタンフォード大学にて開発され、ゼオメッド社より販売されていた（図1）。これはチタンコーティングした磁石を耳後部の側頭骨に埋め込み、皮膚の外から電磁コイルで駆動する仕組みである。審美的には優れていたが、出力が弱く、骨導聴力が15dBより良好な先天性外耳道閉鎖症に適應が限定されていたため普及せず、現在は製造を中止している。

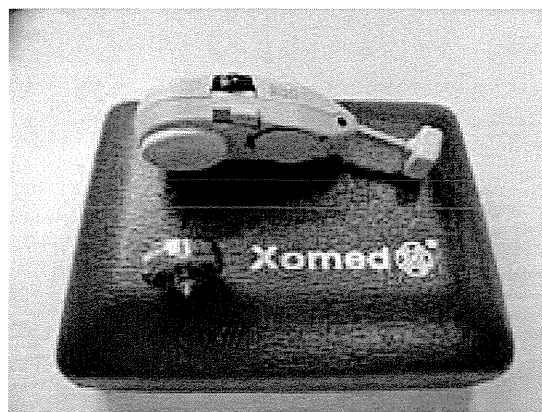


図1 製造中止となったXomed社のAudiant Bone Conductor

### 超磁歪（じわい）素子とは

磁歪とは、外部から磁場をかけることによって、金属が伸びたり縮んだりする物理現象のことである。超磁歪素子は近年量産化が可能となった鉄を主体とした合金で、磁力により超高速に伸縮、大変形することが可能である。骨導の振動子として、その伸縮スピードやパワーは、既存の電磁コイルや圧電素子を圧倒する優れた駆動能力を持っている。列挙すると、1) その大変形率から骨振動に十分なパワー、2) 超音波まで出力可能な広い周波数応答、3) 高速応答性により振動の制御が容易等の利点を持つ。これらの特性により、従来十分な利得が得られなかった骨導補聴器を革新し、高度難聴者にも良好な装用価値をもたらすことが可能である。超磁歪素子を用いた音響機器は既に多数市販されている。フォスター電機の「GY-1」は、机や床など触れる物を超磁歪素子で振動させることで、スピーカー化することができる製品で、1万円台の価格で販売されている。TDK社の「Xa-Master」は、アクリル板に超磁歪素子を接続し、高音質の音楽鑑賞が可能で2万円台のフラットパネルスピーカーである。TEAC社の「Filltune」は、ヘッドバンドにて外耳道前方の皮膚に超磁歪素子の振動子を押し当てることで、従来の製品より高周波音が聴取可能となった骨導ヘッドホンで、3万円台で購入可能である。これらの製品は全て高性能であるが安価である。理由は成形技術の改良により、超磁歪素子が任意の形状へ安価に大量生産できるようになったためである。この超磁歪素子を振動子として使用することで、高性能かつ安価な埋め込み型骨導補聴器の開発が可能となった。

### 埋め込み型骨導補聴器の開発コンセプト

開発する埋め込み型骨導補聴器のシステムは、体外と体内ユニットに分かれる半埋め込み型である（図2）。体外ユニットで集音プロセッシング後、コイルで音情報を体内ユニットに送信し、磁場で超磁歪振動子を駆動させる。超磁歪素子はチタンカプセルに封入し骨への融合を確実にする。BAHAとの主たる違いは、1) 皮膚面への露出がない埋め込み型振動子、2) 超磁歪素子で駆動するため高利得、広周波数対応が可能であることである。現在、体内ユニットは試作機が完成し、振動および音響の解析により特性の検証を行っている。また、体外ユニットのマイク、コイル、サウンドプロセッサ部は設計段階であるが、これらには既存の人工中、内耳や補聴器のテクノロジーを流用可能である。体外ユニットにはノンリニア増幅や周波数圧縮機能を完備させ、高音障

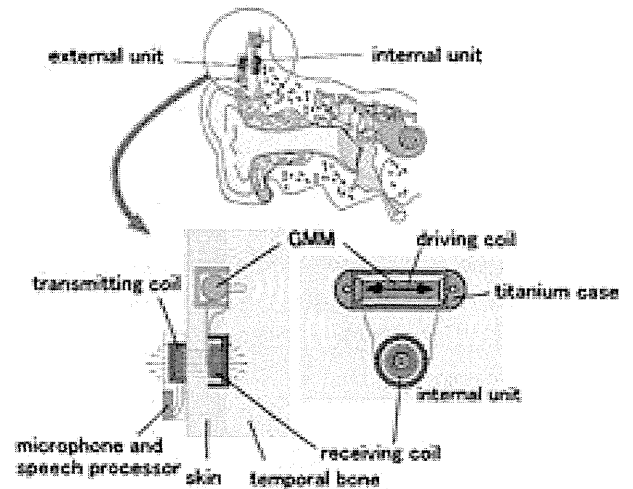


図2 開発中の埋め込み型骨導補聴器のデザイン

害型高度感音難聴、特に現状の気導補聴器では十分な聴覚補聴が困難な、本邦で700万人と推定される老人性感音難聴患者にも適応拡大できるデバイスとして開発を行っている。なお、本デバイスの側頭骨へのインプラントは、耳後部皮膚を切開後にチタンネジで体内ユニットを側頭骨皮質骨に固定し皮膚縫合するだけであり、局所麻酔下で30分程度の低侵襲な外来手術で行える予定である。これらの開発コンセプトに関しては、既に国内および国際特許の申請を行っている。

### 研究の現状

現在、超磁歪素子を用いた埋め込み型骨導補聴器の振動子の設計、試作機の開発、ご遺体と硬質樹脂製側頭骨モデルを用いた振動および音響解析を遂行中で、自動車というエンジン部分の研究開発段階にある。その後シャーシーやフレーム、オペレーションシステムの開発、安全性試験へと移る予定で、臨床試験に向けたデバイス完成には、まだ数年の歳月が必要と考えている。具体的には、補聴器メーカーと共同で体外ユニットの試作に取りかかり、効率のかつ自然に近い聴覚を獲得するためのシステム設計とプログラム開発、経皮伝送部の開発を遂行する。また、動物実験にて埋め込み補聴器の骨導聴覚特性を検証し、安全性試験に向け長期埋め込み実験を行う。以下にこれまでにに行った、研究結果を列挙する。

#### 1) 振動子設計とシミュレーション

超磁歪素子の振動子のデザインは、コンピューターシミュレーションの結果、 $2 \times 15\text{mm}$ の円柱状形状が最適であると判断した。この超磁歪素子にシミュレーションで磁場を与えると十分な出力が得られ、 $500 \times 500 \times 5\text{mm}$ の骨板では、 $500\text{Hz}$ と $8000\text{Hz}$ で同等の加振力が得

られることが明らかとなった。

## 2) 振動子の作製と発生力の確認

GMMテック社の協力下にシミュレーションで最適形状と考えられた超磁歪素子を成形し、コイルで磁場を発生させ、トランスデューサーで発生力を確認した。結果、0.5、1.0、2.0、4.0kHzで発生力が確認され、これまでの人工中耳の限界を超える、高出力の振動子が完成した。

## 3) 体内、体外ユニット間の経皮伝送方法の検証

本デバイスは体内部に複雑な回路や電池を必要としない。外部ユニットにマイクとプロセッサ、電池、送信コイルを置き、経皮伝送で内部ユニットのコイルに十分な磁場を発生させる必要がある。これは信号伝送にAM波を用いること、超磁歪素子の自己復調力を利用することで問題点をクリアした。

## 4) 試作機の音響および振動解析

チタンカプセル内に超磁歪素子振動子と受信コイルを入れる大型と、受信コイルを別にする小型の2種類の試作機(図3)を作製し発生力の評価を行った。硬質樹脂製の側頭骨モデルとヒト献体で検証した。大型と小型で発生音圧に差はなく、モデルと献体間でも同様の結果であった。なお、発生音圧は入力電流に対し線形性があり、外耳道に超磁歪素子の長径が垂直に近くなるよう設置した方が高出力であった。

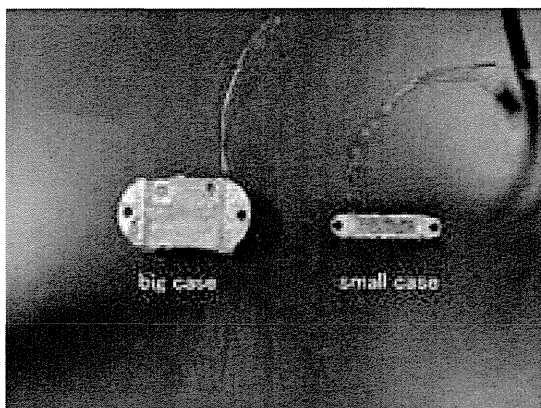


図3 大型(左)と小型の(右)の試作機

## まとめ

我が国で補聴器を必要とする難聴者の数は、推定で1250万人とも言われ、今後高齢化社会を迎え益々増加していくと予想される。気導補聴器の進歩も目覚しいが、その補聴効果に満足せずハウリングや外耳道の不快感を訴える難聴者も多い。埋め込み型補聴器は、過渡応答特

性に優れ周波数歪みのない音信号を内耳に伝える特性を持つため、人工中耳が最良の補聴手段である難聴者は少なからず存在する。特に、通常的气導型補聴器の装用が困難な、先天性外耳道閉鎖や耳漏を伴う中耳炎患者にとって、開発する埋め込み型骨導補聴器は社会参加を可能とする画期的ツールである。高度感音難聴にも対応可能な、より良いデバイスが開発されることにより、埋め込み型補聴治療が一般化され、多くの難聴者のQOL改善手段となることが期待される。

## 参考文献

- 1) Hol MK, Spath MA, Krabbe PF, et al.: The bone-anchored hearing aid: quality-of-life assessment. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 130: 394-399, 2004.
- 2) Stenfelt S, Hato N, Goode RL: Factors contributing to bone conduction: the middle ear. J Acoust Soc Am 111: 947-959, 2002.
- 3) Stenfelt S, Wild T, Hato N, et al.: Factors contributing to bone conduction: the outer ear. J Acoust Soc Am 113: 902-913, 2003.
- 4) Stenfelt S, Puria S, Hato N, et al.: Basilar membrane and osseous spiral lamina motion in human cadavers with air and bone conduction stimuli. Hear Res 181, 131-143, 2003.
- 5) Stenfelt S, Hato N, Goode RL, et al.: Fluid volume displacement at the oval and round windows with air and bone conduction stimulation. J Acoust Soc Am 115: 797-812, 2004.
- 6) Stenfelt S, Hato N, Goode RL: Round window membrane motion with air conduction and bone conduction stimulation. Hear Res 198: 10-24, 2004.
- 7) Eeg-Olofsson M, Stenfelt S, Tjellström A, et al.: Transmission of bone-conducted sound in the human skull measured by cochlear vibrations. Int J Audiol 47: 761-769, 2008.
- 8) Håkansson B, Eeg-Olofsson M, Reinfeldt S, et al.: Percutaneous versus transcutaneous bone conduction implant system: a feasibility study on a cadaver head. Otol Neurotol 29: 1132-1139, 2008.
- 9) Tjellström A, Håkansson B: The bone-anchored hearing aid. Design principles, indications, and long-term clinical results. Otolaryngol Clin North Am 28: 53-72, 1995.

- 10) de Wolf MJ, Hol MK, Mylanus EA, et al. : Bone-anchored hearing aid surgery in older adults: implant loss and skin reactions. Ann Otol Rhinol Laryngol 118 : 525-531, 2009.

---

論文受付 22年 6 月26日  
論文受理 22年 6 月26日

別刷請求先：〒791-0295 愛媛県温泉郡重信町志津川  
愛媛大学医学部耳鼻咽喉科学教室 羽藤 直人

---

## 超磁歪素子を用いた埋め込み型骨導補聴器の開発

小池 卓二<sup>\*</sup>、羽藤 直人<sup>\*\*</sup>、神崎 晶<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>電気通信大学大学院 情報理工学研究科 知能機械工学専攻

<sup>\*\*</sup>愛媛大学大学院 医学系研究科 頭頸部・感覚器外科学

<sup>\*\*\*</sup>慶應義塾大学 医学部 耳鼻咽喉科

Development of an implanted bone-conduction hearing aid using giant magnetostrictive material

Takuji Koike<sup>\*</sup>, Naohito Hato<sup>\*\*</sup>, Sho Kanzaki<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems, UEC Tokyo (The University of Electro-Communications)

<sup>\*\*</sup>Department of Otolaryngology, School of Medicine, Ehime University

<sup>\*\*\*</sup>Department of Otolaryngology, School of Medicine, Keio University

To circumvent some of the disadvantages of conventional hearing aids such as sound distortion, feedback, and cosmetic factors, implantable hearing devices have been developed. However, these hearing devices also have problems such as insufficient output at high frequencies and inflammation.

In this study, a new subcutaneously implanted bone-conduction hearing aid with an external unit and an internal unit is proposed. The external unit consists of a microphone, a speech processor, and a transmitting coil, which send the sound signals and energy to the internal unit by generating a magnetic field. The internal unit consists of a receiving coil, a driving coil, and a vibrator made of giant magnetostrictive material (GMM), which deforms its body by changing the magnetic field. The internal unit is surgically embedded in the temporal bone under the skin and vibrates the skull when the magnetic flux is applied by the external unit. For the first stage in the development of the new bone-conduction hearing aid, a prototype was made and its fundamental properties were examined.

The GMM vibrator has a good linear response and high output especially at high frequencies. In contrast, the output at low frequencies is relatively lower than that at high frequencies. To enhance the output of the implanted bone-conduction hearing aid at low frequencies is an issue in the future.

---

**Key words** : bone-conduction hearing aid, giant magnetostrictive material (GMM), vibration, measurement

**和文キーワード** : 骨導補聴器, 超磁歪素子, 振動, 計測

---

### 論文要旨

通常の気導補聴器の装用が困難な、先天性外耳道閉鎖症や難治性中耳炎患者は、その聴覚障害によりQOLを著しく損なっている。そこで、BAHAに代表される骨導による補聴器が開発されているが、骨導端子が皮膚に露出するために炎症が生じやすいことや、出力が不十分である点等課題も多い。これらの問題を解決するため、振動子として超磁歪素子を用いた、側頭骨の皮下に埋め

込むタイプの骨導補聴器の設計・試作を行った。開発した骨導振動子の加振力評価を行った結果、本補聴器の出力は良好な線形性を有し、特に高周波数域の補聴に有効性が高いことが明らかとなった。一方で、低周波数域の加振力は相対的に低い可能性があり、マグネットと超磁歪素子によるハイブリッド型振動子を開発することにより、広い周波数域で高い補聴能力を実現することが今後の課題となった。

## はじめに

骨導補聴器は、外耳や鼓膜を介さない聴覚経路である骨導を用いた補聴器であり、より良い聞こえを実現可能な場合が多く、また、気導補聴器の欠点であるハウリングや外耳道の閉塞感などを克服できることから注目されている。骨導補聴器には、ヘッドバンド式骨導補聴器のように、皮膚を介し骨を加振することで補聴を行う器具があるが、加振源と骨との間に皮膚が介在するため、音質は不良であり、また、加振源を皮膚に押しつける際に痛みを伴うため、継続して使用することが困難である。そこで、骨導端子を耳後部に埋め込み、頭蓋骨を直接加振して補聴する、Bone Anchored Hearing Aid (BAHA<sup>®</sup>) が開発され<sup>1)</sup>、普及してきている。しかし、BAHAは、端子が皮膚表面に露出し感染が生じやすいことや、出力不足などの問題がある。これらの問題を解決するため、我々の研究グループでは、側頭骨の皮下に埋め込むタイプの骨導補聴器を試作し、補聴性能の評価を行ってきた。本稿では、新型骨導補聴器の概要を紹介し、現状と課題について報告する。

## 超磁歪素子を利用した埋め込み型骨導補聴器

本研究で提案する補聴器の構成を図1に示す。本補聴器は、送信コイル、マイク、サウンドプロセッサからなる信号送信器（体外ユニット）と、受信コイル、小型振動子からなる骨加振器（体内ユニット）とで構成されている。体外ユニットと体内ユニットはコイルの相互誘導により経皮的に信号伝送を行う。体内振動子部分には、超磁歪素子（Giant Magnetostrictive Material, GMM）を用いている。GMMとは、外部磁界に応じて寸法を変化させる性質を持ち、圧電材料に比べ、変形率、応答速度ともに優れた素子である。GMMにコイルを巻き、そ

のコイルに音に応じた電流を流すことで、音に合わせて伸縮させることができる。GMMは、磁界-変形特性が非線形であるため、バイアス磁界を与え比較的線形な領域を利用する<sup>2)</sup>。GMMには、駆動コイルとして銅線を直接巻き、GMM両端にはバイアス磁界を与えるネオジム磁石を設置し、受信コイルと駆動コイルは直列に接続してある。本補聴器は、上記の小型振動子を、側頭骨の皮下に完全に埋め込む事で骨導補聴を行う。本補聴器は、既存の骨導補聴器よりも侵襲や埋め込み後の感染症へのリスクが小さく、患者の負担が軽減されるという利点がある。

図2に試作した体外ユニットおよび体内ユニットを示す。体外ユニットは既存の補聴器（パナソニック、ONWAモデルJJ）をベースとして作成した。振動子は、銅線を130巻きしたGMM（ $\phi 2 \times 10\text{mm}$ ）の両端にネオジム磁石（ $\phi 4 \times 1.5\text{mm}$ ）を取り付けたものをチタン製のケースに挿入し作成した。チタン製のケースは、GMMを挿入する部分と、骨に固定する部分で構成されている。振動子の固定方法は、乳突部にチタン製のタッピンネジ（M3×8mm）を用いて固定する。振動子およびコイルはシリコンゴムで覆い防水加工としてある。

## 加振力評価実験方法

本実験では、GMMを用いた振動子を試作し、遺体側頭骨の乳突部に取り付け駆動させ、そのときに発生する側頭骨表面の振動および外耳道内音圧を計測することで、振動子の評価を行った。

振動子の加振方法は、入力電流をモニタリングするため、試作した体外ユニットではなく、計測制御用グラフィカルプログラム開発環境であるLabVIEW（NATIONAL INSTRUMENT）により作成した信号を

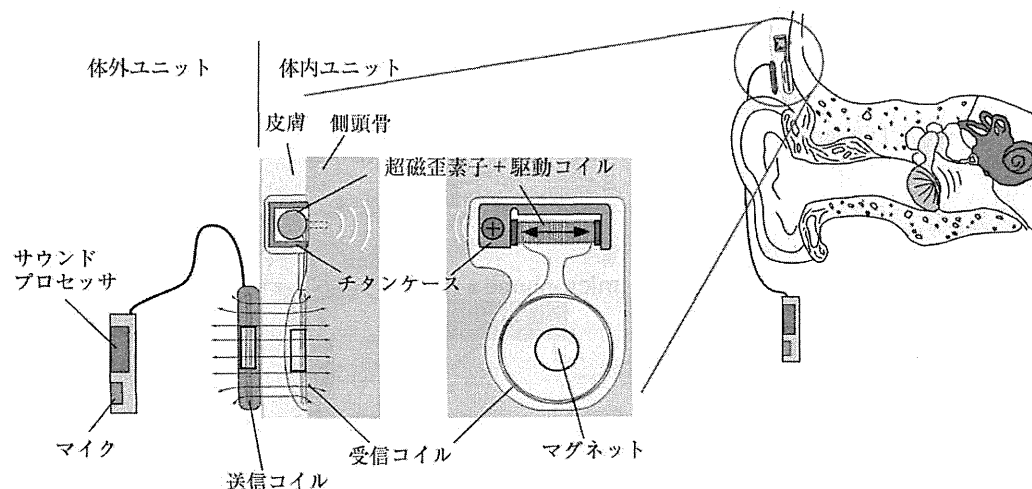


図1 補聴器の構成

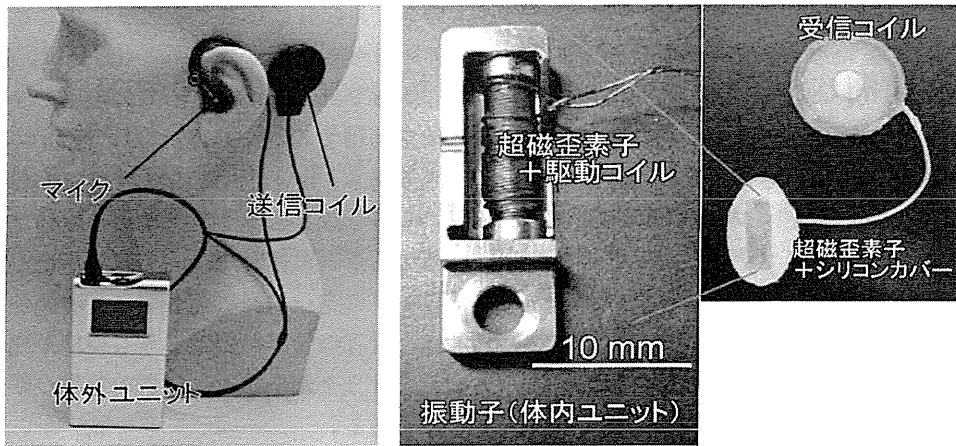


図2 試作補聴器

PCからDAQ デバイス (NATIONAL INSTRUMENTS、NI USB-6251)、アンプ (NF、HSA4011)、電流計 (YOKOGAWA、WT210) を介し送信コイルに電流を入力した。送信コイルに流す電流値は100mA<sub>rms</sub>とした。

側頭骨振動計測および外耳道内音圧計測の実験概要を図3に示す。側頭骨の振動計測には、スキャニングレーザードップラ振動計 (Polytec、PSV-400) を用い、振動の様子をアニメーション化した。音圧計測には、イヤプラグ付きのマイクロホン (Etymotic Research、ER-7C) とオシロスコープ (LeCroy、WaveJet 322) を用いた。外耳道内に挿入したイヤプラグ付きのマイクロホンによ

り取得した出力波形をオシロスコープで計測し、得られた波形をFFT解析することで変調成分の音圧を算出した。

振動子を皮膚下に埋め込んだ場合、振動子は皮膚から骨に向かって押しつけられる力を受けることになる。本実験では、この力による影響を確認するために、振動子に皮膚を被せた状態と振動子を露出させた状態における外耳道内音圧を計測した。なお、本実験は、慶応義塾大学医学部内倫理委員会の認可および遺族の承諾のもと行った。

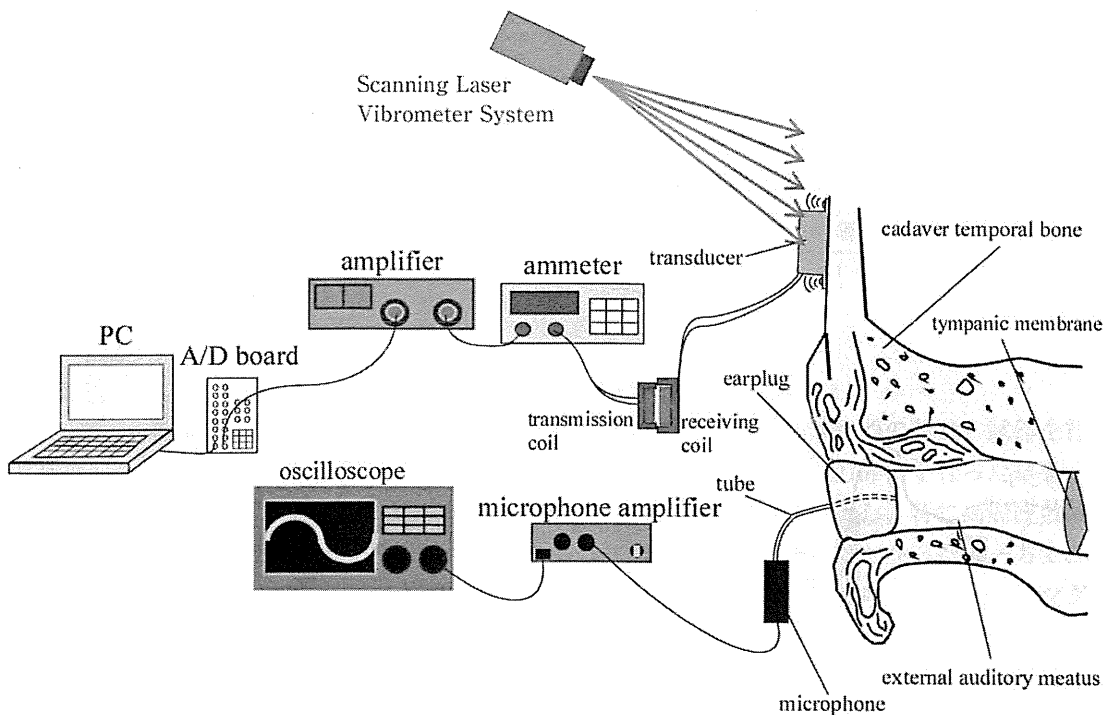


図3 計測方法

実験結果

図4に、振動子による側頭骨振動の様子を示す。側頭骨にはその面に垂直方向に振動が発生し、振動子の固定部分を中心として振動の波が側頭骨表面を伝播していく様子が確認できた。

送信コイルに入力する電流値を変化させた場合の外耳道内発生音圧を図5に示す。入力電流値と発生音圧の間には線形性が見られた。また、外耳道内に発生した音圧の周波数変化を図6に示す。遺体によってばらつきは見られるが、全体の傾向として、周波数の上昇とともに外耳道内発生音圧が上昇しており、振動子は高域に於いても側頭骨を加振可能であることがわかる。一方、低周波数域では音圧の低下がみられた。

図7に、振動子を露出させた場合と皮膚を被せた場合の、外耳道内発生音圧を示す。周波数が1 kHz以上の場合、振動子の埋め込み状態によらず、発生音圧は周波数の上昇とともに増加し、4 kHzでピークを示した。変調周波数が500Hzの場合は、振動子を露出させた状態では、発生音圧はノイズ以下となったが、皮膚を被せた状態では、53dB程度の音圧が計測可能であった。

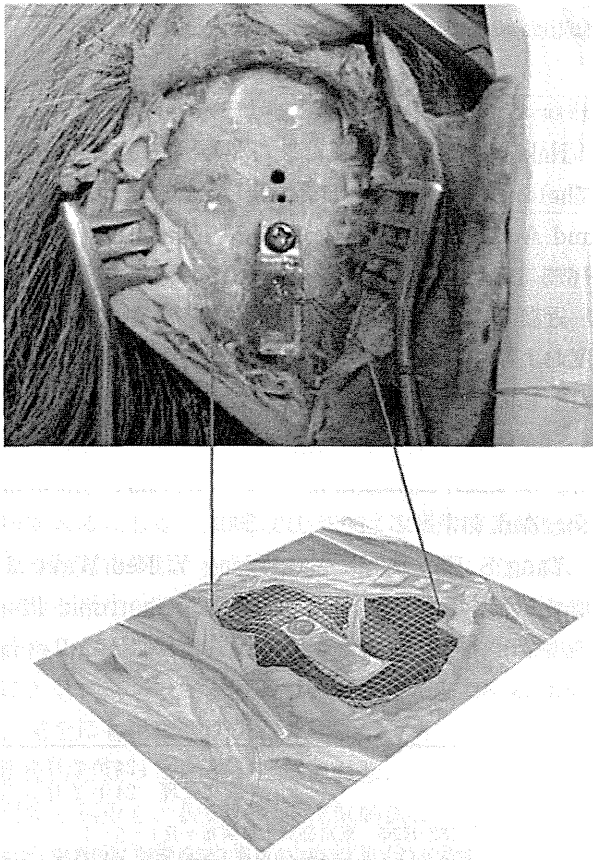


図4 側頭骨振動の様子

入力周波数4~40kHzで図の様な波が観測された。

補聴器の特徴と今後の課題

図5に示したように、新たに開発した骨導補聴器では、送信コイルに入力する電流値と加振力との間には良好な線形性が見られた。補聴器特性として、線形特性は重要であり、送信コイルに与える電流値を制御することにより、骨導補聴特性を容易に制御可能であることを示している。振動子の周波数特性としては、高音域で大きな加振力を有していることがわかる(図6)。一方で、低周

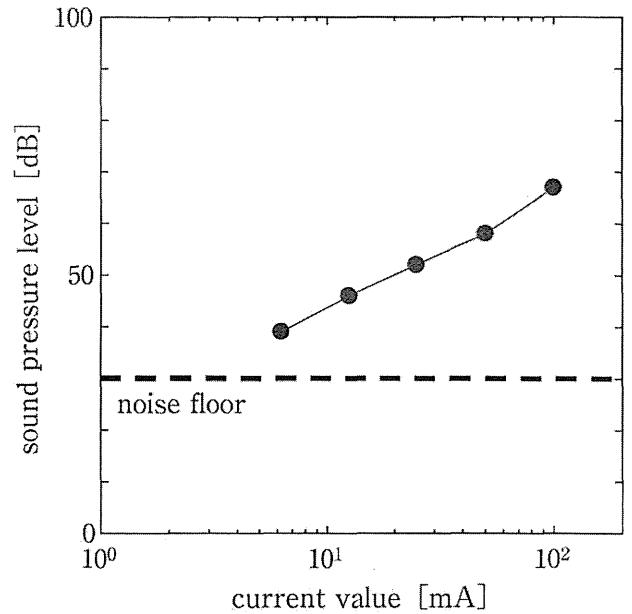


図5 振動子の線形性

送信コイル入力電流と外耳道内発生音圧との関係。

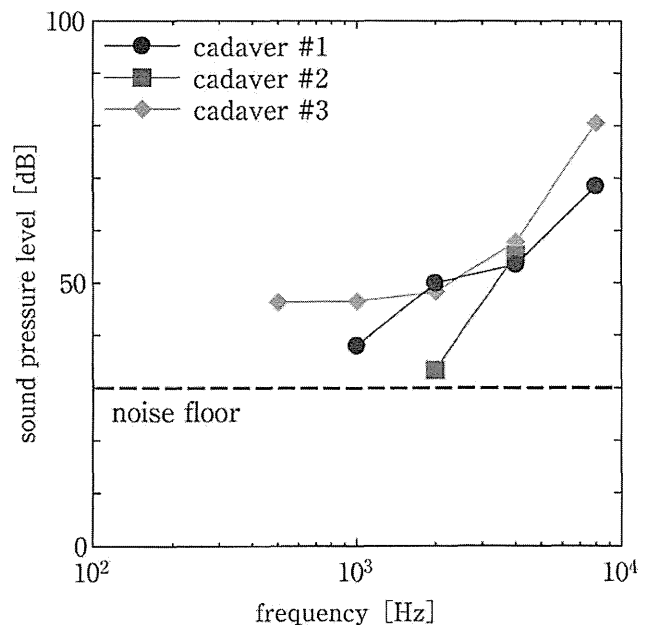


図6 振動子の周波数特性

外耳道内発生音圧の周波数変化。



波数域では相対的に出力が低下しているように見える。今回は、振動子の加振力評価方法として、外耳道内発生音圧を指標として用いた。しかし、骨加振によって外耳道内に発生する音の放射源の主成分は、外耳道内の軟組織であるという報告もあり<sup>3)</sup>、外耳道内に発生する音圧を計測することにより、骨導により蝸牛に伝わる音響エネルギーを正しく評価し得ているかどうかについては十分な検証を行えていない。すなわち、低域における外耳道内発生音圧の低下が、振動子の加振力の低下によるものなのか、側頭骨振動が外耳道内の空気振動に変換される効率の低下によるものであるのかは明確でない。骨導補聴器の出力については他覚的検査が難しく、特に本研究で提案した埋め込み型の場合は、実際に埋め込む前の確認は困難である。今後は実験動物によるABR検査や、BAHAを使用している患者に対し、そのインプラント部に本装置を取り付けることによる聴感検査を行っていく必要がある。

振動子を完全に皮下に埋め込む場合、振動子の動きは皮膚により拘束され、出力が低下する可能性がある。図7に示したように、本振動子に皮膚を被せた場合のほうが、振動子を露出させた場合に比べて低域において強い加振力を発生していることがわかる。GMMの駆動力は強く、皮膚により振動子ケースの動きが拘束されても素子自体の振動はほとんど変わらないため、振動子ケースが皮膚により拘束された分、その反力が振動子固定部により強く伝わったものと考えられた。

この様にGMMは強い加振力を持っており、骨導振動

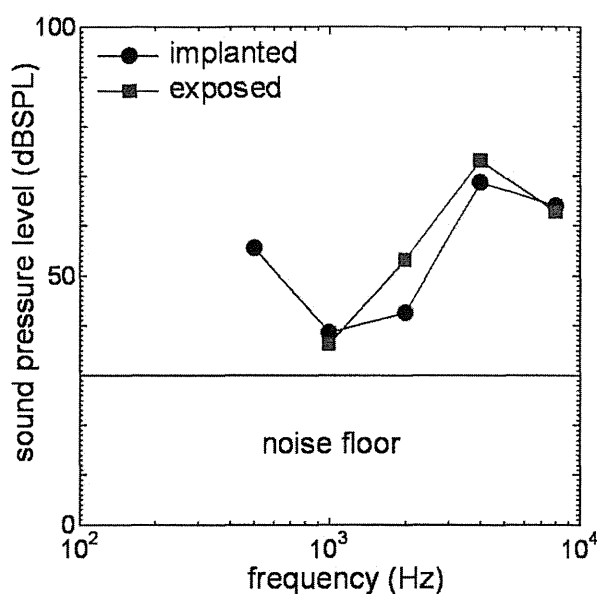


図7 振動子露出時と皮下埋め込み時の外耳道内発生音圧変化

子として有望であるが、一方で、その周波数特性(図6)を見ると、低音を発生させるためには、より大きな変位を側頭骨に与える必要があることが推察される。しかし、GMMの変位は分子構造変化が起源であるため<sup>4)</sup>、その最大変位には限界がある。その点、BAHAのような磁性体を磁力で振動させるタイプの振動子のほうが、加振力は小さいものの、GMMに比べて遥かに大きな変位が得られる。本研究で提案した骨導補聴システムでは、送受信コイルを頭部に固定するため、マグネットを体内ユニットに組み込んである。このマグネットは送信コイルが発生する磁界の変化により振動することが観測されているため、今後は、低域をマグネットにより加振し、音質に大きな影響を与える中～高域をGMMにより加振する、ハイブリッド型の骨導補聴器の実現を視野に入れて開発を進めていきたい。

## 謝 辞

本埋め込み型骨導補聴システムの試作にあたり、多大な協力をいただきましたパナソニックヘルスケア株式会社の川原武氏、松垣俊行氏に感謝いたします。

本研究は、平成21～23年度厚生労働科学研究費補助金障害者対策総合研究事業(感覚器障害分野)の研究助成を受けました。

## 参考文献

- 1) Håkansson B, Carlsson P, Tjellström A, Lidén, G : The Bone-Anchored Hearing Aid: Principal Design and Audiometric Results. ENT Journal 73 (9) : 670-675, 1994.
- 2) 近藤孝之、篠崎吉太郎、水谷八郎：超磁歪材料の強度および磁歪特性。機械技術研究所報 45-5 : 204-218, 1993.
- 3) Stenfelt S, Hato N, Goode RL : Factors contributing to bone conduction: The outer ear. J. Acoust. Soc. Am. 113 (2) : 902-913, 2003.
- 4) Yang S, Bao H, Zhou C, Wang Y, Ren W, et al. : Large Magnetostriction from Morphotropic Phase Boundary in Ferromagnets. Physical Review Letters 104 (19) : 197201, 2010.

論文受付 24年2月3日  
論文受理 24年2月3日

別刷請求先：〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1  
電気通信大学大学院 情報理工学研究所 知能機械工学専攻  
小池 卓二

