

体導音を検出する高感度センサの研究開発 (082305002)

Development of high-sensitivity body-conducted sound sensors

研究代表者

平原達也 富山県立大学工学部
Tatsuya Hirahara Toyama Prefectural University

研究分担者

鹿野清宏[†] 川波弘道[†] 大谷亨^{††} 小幡健一^{†††} 岩城一隆^{†††} 増田恵介^{†††}

Kiyohiro Shikano[†], Hiromichi Kawanami[†], Tooru Ooya^{††}

Ken'ichi Obata^{†††}, Kazutaka Iwaki^{†††}, Keisuke Masuda^{†††}

[†]奈良先端大学院大学情報科学研究科, ^{††}神戸大学大学院工学研究科

^{†††}日本エレクトロニクスサービス株式会社

[†]Nara Institute of Science and Technology, ^{††}Kobe University,

^{†††}Nippon Electronics Service Co., Ltd.

研究期間 平成 20 年度～平成 21 年度

概要

本研究課題では、頸部を伝導してくる微弱な音声を検出する NAM マイクの原理を用い、センサの実装法、センサの音響設計、センサに使用する高分子材料を最適化することによって、体内に発生源があり体内を伝播してきた音を体表で安定して検出する、小型で装着が容易で高感度な有線および無線型の体導音センサを開発した。この体導音センサによって、日常生活をしながら心音、血流音、呼吸音、蠕動音などの体導音を安定して検出できることを確認した。

Abstract

We have developed compact wire/wireless-type body-conducted sound sensors with high sensitivity and bond durability to skin. By optimizing acoustical design and implementation method of the sensor as well as by optimizing polymer material used in the sensor, design method for a high sensitivity compact body-conducted sound sensor was established. It was confirmed that variety kinds of body-conducted sound such as cardiac sound, blood-flow sound, vesicular sound, muscle murmur, bowel peristalsis sound etc. in everyday lives can be recorded stably with the sensors.

1. まえがき

私たちが普段聞いている音は空気を伝播してくる気導音だが、体内の骨や軟組織を伝わってくる音も存在する。ヒトの体の内外にある音源から発せられ、体内を伝播し、体表で検出される音を体導音と呼び、それらを検出するセンサを体導音センサと呼ぶ。体導音には、心音のように生理機能に起因して体内に音源があるもの、歩行音のように運動や動作に起因して体表に音源があるもの、そして体外に音源がある気導音が体内に伝わったものの三種類がある。

体の軟組織は高域成分を大きく減衰させるので、体導音は低周波成分を多く含む。ヒトの聴覚は気導音を聴くために発達しているため、これらの体導音は通常聴こえない。そこで、医師は聴診器を用いて心音や呼吸音を聴き、臓器が正常に機能しているかを判断する。日常生活しながら長時間に渡って体内の状況や行動を反映する体導音を検出するセンサがあると、生活者の健康管理や見守りなどの技術に利用できる。これまでに、圧電セラミックを用いた心音センサや、頸部を伝わってくる微弱な声道共鳴音を検出する NAM マイクなどが開発されているが、低域の感度、形状と重量、体表装着性などに問題があった。

本研究開発課題では、NAM マイクの原理を用いて、センサの実装法、音響設計、使用する高分子材料を最適化することによって、高感度で小型で装着が容易な有線および無線型の体導音センサを開発し、日常生活をしながら体導音を安定して検出することを目指した。

2. 研究内容及び成果

2-1 小型体導音センサの構造

新たに開発した体導音センサは、図 1 に示すように、ダイヤモンドを露出したエレクトレットコンデンサマイクロホン (ECM) を増幅回路が搭載されたプリント基板に半田づけし、その上に円錐状あるいは円筒状の窪みを持つセンサ筐体を嵌め込み、窪みにウレタンエラストマーを充填して ECM のダイヤモンドを覆う。このような構造を用いることにより、機構的な再現性が向上するとともに、実装が容易になった。また、金属製のセンサ筐体を使用することでセンサを皮膚に装着した際の誘導ハムノイズが低減した。アルミニウム製筐体を用いたセンサ (L=10φ, D=4) の質量は約 2g であった。

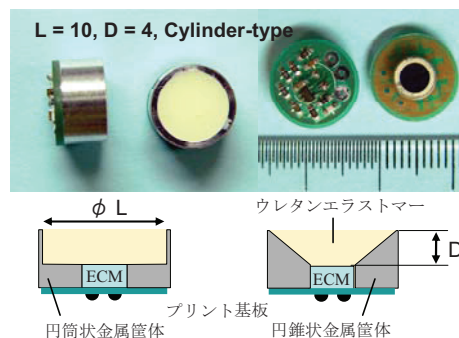


図 1 開発した体導音センサの構造

2-2 体導音センサの高感度化

体導音センサの感度特性計測システムの開発、体導音センサに用いる ECM の吟味、2-1 で確立した小型体導音センサの試作と評価、体導音センサに実装する超小型プリアンプの開発などを行った。その結果、最大で -40 dB (0 dB = 1 V/Pa) の音圧感度を持つ体導音センサを開発した。体導音センサの周波数特性は平坦ではなく、円錐型筐体を用いたセンサの 50 Hz \sim 1 kHz での最低感度は -55 dB であった。しかし、開発した 20 dB のプリアンプを用いると、いずれの周波数においても -35 dB 以上の感度が確保できた。プリアンプを使用しない場合でも、開発した体導音センサの低域における加速度感度は、市販の皮膚伝導マイクや小型加速度センサより 30 dB 以上高かった。

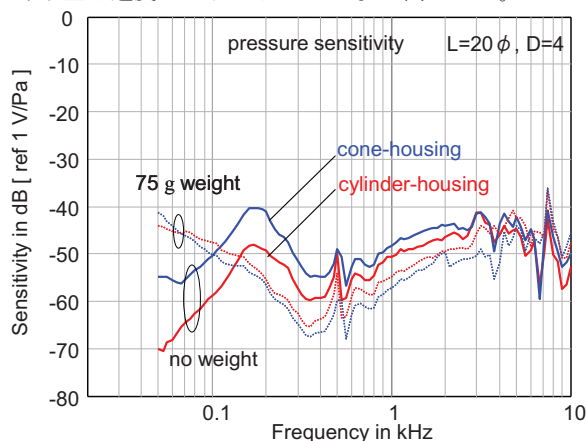


図2 開発した体導音センサの音圧感度特性の一例

2-3 体導音センサの装着性向上

体導音センサの皮膚装着性を向上させる新しい高分子材料を得ることを目的として、ナノファイバー化したセグメント化ポリウレタンと、アクリル酸、酢酸ビニル系のアクリレートと、ゲル化させたドーパミンメタクリルモノマーを合成し評価した。前二者は皮膚との粘着性は弱いことが分かったが、ゲル化させたドーパミンメタクリルモノマーを充填した体導音センサは手の甲に接着して逆さまにしても最低 30 分間は接着状態を保った。これは従来用いているウレタンエラストマーの 7 倍以上の保持時間である。この材料をナノファイバー化すると接触面積が向上する可能性があるため接着力の向上が見込めるが、ナノファイバー化のための条件は見いだせなかった。

2-4 体導音センサのワイヤレス化

超小型 FM 送信機、ZigBee 送信機、Bluetooth 送信機を用いた体導音センサ用ワイヤレス伝送装置を設計、試作し評価した。その結果、いずれを用いても、室内において、センサで検出した体導音信号をソリッドステートレコーダや PC などに無線伝送できることを確認した。

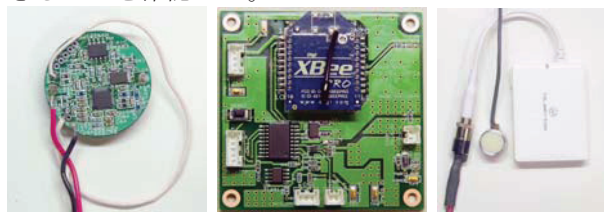


図3 体導音センサ用超小型 FM 送信機(左)、ZigBee を用いた体導音センサ用ワイヤレス伝送装置(中)、および、市販の Bluetooth 送信機と組み合わせた体導音センサ(右)

2-5 体導音検出性能の検証

開発した体導音センサを用いて、 30 数名から様々な体導音を収録した。その結果、従来の NAM マイクでは 100 Hz 以下の成分が、電子聴診器では数百 Hz 以上の成分が収録できないのに対して、体導音センサではその周波数特性に応じた 20 ~数 kHz までの成分が検出でき、心音、血流音、呼吸音、嚥下音、筋音、蠕動音、摺動音などの体導音を検出できることを確認した。代表的な体内音といえる心音については、心臓の上部に体導音センサを装着した場合だけでなく、対側の肋骨下部に装着した場合でも、明瞭な心音波形が検出できることを確認した。

また、体導音センサを日常活動中に長時間に渡って装着して体導音を収録した。データを詳細に検討した結果、心音や呼吸音以外にも、空腹に伴う腸蠕動音や飲料嚥下後の消化器系の反応音など通常のマイクでは収録できない音も収録できることを確認した。

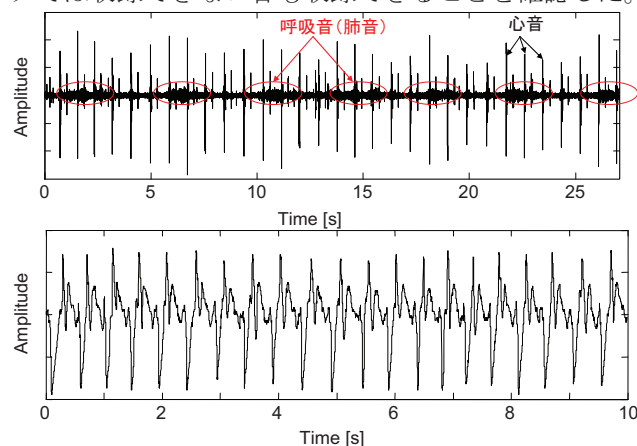


図4 Bluetooth を介してワイヤレス収録した就寝中の被験者の体導音波形(上)と ZigBee を介してワイヤレス収録した執務中の被験者の体導音波形(下)の一例

3. むすび

本研究開発では、高感度で小型で装着が容易な体導音センサと検出した体導音を無線伝送する装置を開発した。そして、開発した体導音センサによって、日常生活をしながら心音、血流音、呼吸音、蠕動音などの体導音を安定して検出できることを確認した。開発した体導音センサは、日常生活をしながら体内の状況や行動を反映する体導音を検出できるので、健康管理や見守りシステムやライフログなどの入力デバイスとして利用できる。

【誌上发表リスト】

- [1] 平原達也、清水奨太、小型体導音センサによる種々の体導音検出、日本音響学会講演論文集、pp.627-628 (2009)
- [2] 平原達也、清水奨太、小幡健一、岩城一隆、増田恵介、小型体導音センサの実装法、日本音響学会講演論文集、pp.705-706 (2010)
- [3] Tatsuya Hirahara *et al*, Silent-speech enhancement using body-conducted vocal-tract resonance signals," Speech Communication Vol. 52(4), pp.301-313 (2010)

【申請特許リスト】

- [1] 成川和彦、高木勝海、小幡健一、岩城一隆、平原達也、体導音センサ、特願 2010-41366

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

http://auris.pu-toyama.ac.jp/ResearchProject_J.html#BCS