

5320 肉伝導による体内音計測システムの開発

Development of Body Sound Measurement System by Flesh Conduction

○ 寺田 怜史 (早大大学院) 上杉 繁 (早大科健機構)
正 三輪 敬之 (早大学術院)

Satoshi SIRNOVIZZINI TERADA, Graduate School of Waseda University
Shigeru WESUGI, ASMeW, Waseda University
Yoshiyuki MIWA, Waseda University, 3-4-1, Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo

Auralization of information has higher time resolution than visualization. We focus on flesh conduction to acquire human body sound sensitively. Flesh conduction is a phenomenon to provide an effect as if a microphone is implanted in body by covering a diaphragm with material of which acoustic impedance equivalent with that of human body. This paper describes new multichannel measurement system to map body sound with flesh conduction microphone. This system comprises of flesh conduction microphone, 4ch amplifier and analysis software. Authors tested the system by use of acoustic phantom and showed superiority to stethoscope in measuring low audiofrequency range (20~100[Hz]). And we demonstrate that the system can acquire body sound from 4 positions on the body at the same time.

Key words: Flesh Conduction, Acoustic Impedance, Multichannel, Auralization

1. 緒言

1816年にLaennecが聴診器を発明して以来、人類は非侵襲的に身体内部状況を観察することが可能になり、医療や治療の研究に役立ててきた。現在では胃カメラ等の身体内部へ直接侵入させる方法や、CT、MRI等の外部から計測する方法が実現されている。聴診器に代表される可聴化技術は、可視化技術に取って代わられているのが現状である。しかし可聴化技術は、空気の影響で超音波エコーでは可視化できない箇所の計測や、造影剤無しにリアルタイムで計測する等の利点がある。著者らはこうした音の特性に着目し、身体内部の音(体内音)を直接捉え、新たな表現として体内音マップを作成することを提案する。そこで本稿では体内音を非侵襲的に取得する方法として肉伝導による多チャンネル計測システムを提案し、その設計および開発を行ったので報告する。

2. システム設計

体内音を直接捉えるには、マイクロホンを直接体内へ埋め込む方法や飲み込む方法が考えられるが、侵襲性の問題があり、身体のような場所を自由に計測するのは困難である。そこで本研究では肉伝導という現象^[1]に着目した(Fig. 1)。

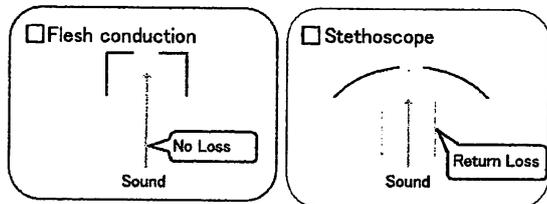


Fig. 1 Concept of flesh conduction

肉伝導に基づく計測とは、マイクロホン素子の振動板を人体各部位と同じ音響インピーダンスを持つ素材で覆うことにより、マイクロホン素子を体内へ埋め込んだかのような効果が得られる技術である。また、聴診器と異なり反射による集音を利用する必要がないため、ケーシング構造の音響特性を考える必要がなく、軽量化と小型化が可能である。肉伝導技術の実現のためには、人体と等価な音響インピーダンス(平均値 $1.5 \times 10^5 [N \cdot s/m^2]$)かつ、人体に密着する軟らかさを有する素材の選定と小型軽量のケーシ

ング構造、感度の良いマイクロホン素子が必要となる。更にマイクロホン素子からの微弱信号を増幅するためのアンプとコンピューターで記録するためのA/D変換ボードが必要となる。複数点を同時に計測するために、まずは4chに対応することにした。更に取得した信号の解析に際し必要となるソフトウェアには、時間・周波数領域両方での編集と解析が可能である機能が要求される。

以上の機能を満たすシステムを肉伝導計測装置とし、更にその性能を評価するための装置も併せて開発する。実際の人体を用いて評価するには、体内から試験信号を出力する必要がある。位置の微妙なずれによって音響特性が変化するなどの問題がある。そこで音響インピーダンス、拡散、減衰が人体と等価な素材(ファントム)を作り、任意信号を出力可能とすることで客観的な評価を行う実験装置も構築する。

3. システム開発

肉伝導技術を用いた肉伝導マイクの音響材として、複数の材料から音響インピーダンスが人体に近く、軟らかいソフトシリコン材・デュプリコーン(松風社)を選定した($1.25 \times 10^5 [N \cdot s/m^2]$)。マイクロホン素子には単一指向性のエレクトレットコンデンサーマイクロホン(ECM)であるMB6022USC-3(knowles社)を選定し、感度を上げるために振動板を剥き出した。ケーシングの形状としてはシリコン充填部の形状や大きさが異なる複数の種類を試し、最も感度が高くなる小型円筒形状のものを軽量化のためアクリル樹脂で成形した。接着剤により肉伝導マイクを人体へ接着後、更にマイクが人体へ密着するようケーシングを二重とし、ねじを締めることで内部の肉伝導マイクが移動し、適切な深度を調節できる構造とした。このケーシングへECMを設置後シリコンで充填した。完成した肉伝導マイクをFig. 2に示す。

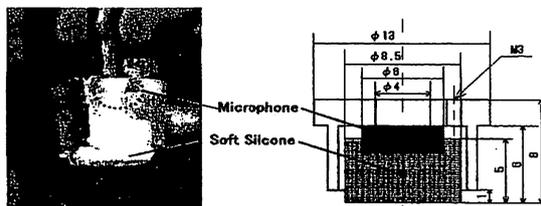


Fig. 2 Structure of flesh conduction microphone

アンプは4ch分の基板を導電材を塗布したアクリルケースで覆い、A/D変換ボードは4chのアナログ入力に対応するE-MU1820m (creative社)を選定した。取得ソフトはCubaseVST(Steinberg社)を利用し、解析ソフトウェアは標準化やFFTといった時間・周波数領域両方の編集・解析機能を有し、GUIと共に実装した。システムの評価を行うためのファントム素材としては成形が容易な水基材とし、音響パラメータを調整可能な材料としてn-プロパノール(音速)、炭素粉末(拡散・減衰)を選択し、寒天で固めた。ファントム素材を接着性の高いシリコンで、試験信号出力用の圧電スピーカと隙間無く結合しアクリルケースに収めた(Fig. 3)。

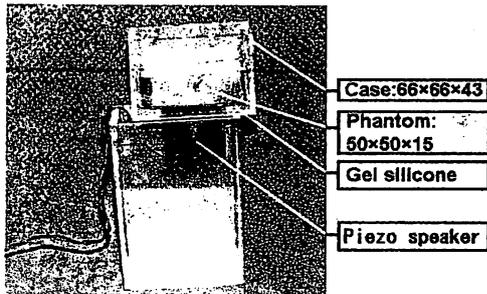


Fig. 3 Acoustic phantom

以上をFig. 4に示すように、体内音計測システムとして統合した。

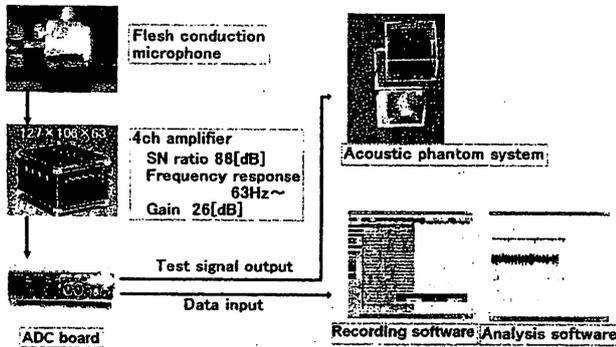


Fig. 4 Schematic diagram of Body sound measurement system

4. システムの評価

4.1 ファントムによる周波数特性評価

音響ファントムを利用して、開発したシステムの性能評価を行った。PCよりサウンドボードを介し、ホワイトノイズをファントムへ出力し、ファントム基材表面にセンサを指で圧着して音を採取した。肉伝導マイクの比較対象として、聴診器(Littmann社 classic2 SE)と同じ断面形状を持つハードシリコン製の聴診器型マイクを使用した。アンプ・マイクロホンは両センサとも同じものを使用した。各センサで10回ずつ20秒間測定したのち、解析ソフト上でスペクトル評価を行った(Fig. 5)。

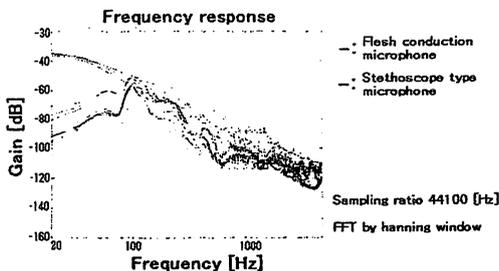


Fig. 5 Frequency response test

聴診器形状の周波数特性が100[Hz]前後にピークを持ち、低周波数帯域で減衰する特徴があるのに対し、肉伝導マイクは低周波数帯域での特性が優れていることがわかる。これは聴診器の特殊な形状による周波数特性が、肉伝導には存在しないからであると考えられる。また、両センサ共にゲインのばらつきがあるが、センサを圧着する際の微妙な力加減や振動で生じているものであると考えられる。

4.2 体内音の取得

開発した肉伝導マイクを用いて体内音の取得を行った。本研究の特徴である複数箇所の同時計測を行うため、肉伝導マイクをFig. 6の位置の4箇所に接着し、炭酸水を飲んで音の分布の時間変化を観察した。



Microphone No.2 and No.3

Fig. 6 Four flesh-conduction microphones on human body Fig. 7に示すように、喉から順に炭酸水が各マイクの箇所を通っていくのが、心音などの体内音と同時に確認できた。

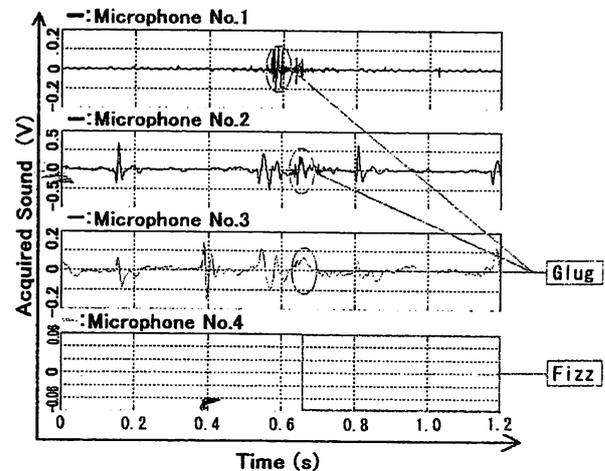


Fig. 7 Body sound from four flesh-conduction microphones

5. 結言

本研究では体内音を直接取得し、体内音マップの作成を目指した体内音計測システムの開発を行った。その結果、低周波数領域での聴診器に対する有意性を性能試験より明らかにし、実際に体内に接着することで体内を移動する飲食物の音の分布の様子を観察した。以上により、体内音計測システムの設計指針を得ることができた。今後の課題として、より適切な素材の選定や接着に優れたピックアップの設計、人体の深さ方向への計測を行ってほしい。さらには、小型であることを生かした日常生活で手軽に扱える健康センサなどへも応用展開したい。

参考文献

- [1] 中島淑貴: NAMインターフェース・コミュニケーション - その基礎としての肉伝導音声センサー開発と検討 - ; 奈良先端科学技術大学院大学 2005年度博士論文(2005)