

<研究課題> 浴槽内で使用できるバイタルセンサの開発

代表研究者	富山県立大学工学部	講師	塚越 拓哉
共同研究者	富山県立大学工学部	講師	野田堅太郎
	富山県立大学看護学部	講師	青柳 寿弥
	富山県立大学看護学部	講師	伊藤 裕佳
	富山県立大学看護学部	助教	米山 真理

【まとめ】

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 音響センサを利用して、通常入浴時のバイタルサインを計測し、ヘルスケアの観点から意味のある信号を抽出するための解析手法を確立した。体動、発声、シャワーの音などの擾乱があっても、心音を抽出することに成功した。また、発声や呼吸も分離抽出できることもわかった。

1. 研究の目的

1-1 心音計測の社会的意義

日本では高齢化にともない、浴槽内での溺水・溺死事故が増えており、こうした事故で亡くなる人の数は交通事故を上回っている。とりわけ、独居高齢者の入浴中の事故を防ぐことが社会全体として喫緊の課題となっている。しかし、浴室という高度にプライベートな空間にはカメラなどの視覚的デバイスを設置することができないという事情が、体調の急変を検知することを妨げている。ガス漏れや火災の検知器と同程度のさり気なさを有するバイタルセンサが望まれる。

1-2 MEMS 音響センサによる心音計測

MEMS 技術を活用することで、微弱な音や力を高感度に検出可能な、超小型の音響センサを実現することができる。音響センサの本体であるシリコンチップは2mm角程度の非常に小さな構造であり、これに音響増幅構造や防水対策を施すことで、非常に小さい水中マイクとすることができる。本研究課題では、MEMS 音響センサを改良し、日常の入浴において心音を検出できるようにすることを目的とした。

2. 研究方法と経過

2-1 浴槽内用音響センサの作製

浴槽内で心音を計測するために作製した音響センサの外観を図1に示す。防水のための筐体を3Dプリンタにより作製し、内部にセンサチップを固定した上で封止した。筐体内部には

図2に示すセンサチップが基板に実装した状態で納められている。センサと基板とは太さ50 μm のAuワイヤーで接続され、コネクタを介して電気信号を外部へ取り出す。

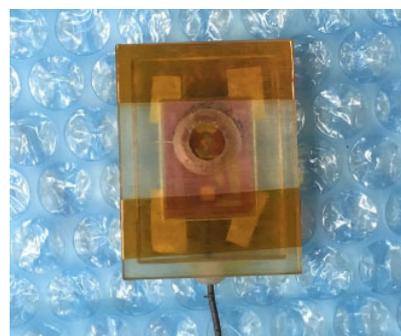


図1 使用した音響センサの外観

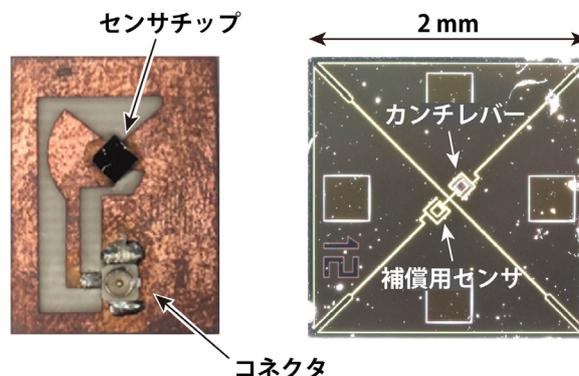


図2 センサ基板(左)とセンサチップ(右)

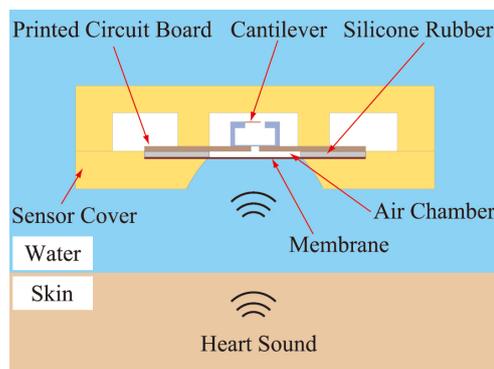


図3 心音計測の概念

この実験では心音を非接触で計測する必要があるため、図3に示すような心音計測を想定した。皮膚と空気との音響インピーダンスは4桁も異なるため、空気中で非接触で心音を聞くことはできない。しかし、皮膚と水との音響インピーダンスは比較的近い値であるため、浴槽内では心音を検出することが可能となる。センサの筐体には膜を介して空気チャンバが設けられているため、水中を伝搬してきた心音を効率よくカンチレバーへ伝えることができる。

2-2 センサ特性の確認

音響センサの特性を確認するために、差圧によるキャリブレーションを行った。市販の圧力校正器に特別な密閉構造を介して音響センサを接続し、カンチレバーの表と裏に微小な差圧を与えた。差圧を $-10 \sim +10 \text{ Pa}$ の間で変化させ、センサ出力を計測した結果を図4に示す。測定から直接得られるのは電圧値であるが、これを抵抗変化率 $\Delta R/R$ に換算して示した。この結果からわかるように、作製した音響センサは良好な線形性を示し、 1 Pa 程度の微小差圧も問題なく検出できる。

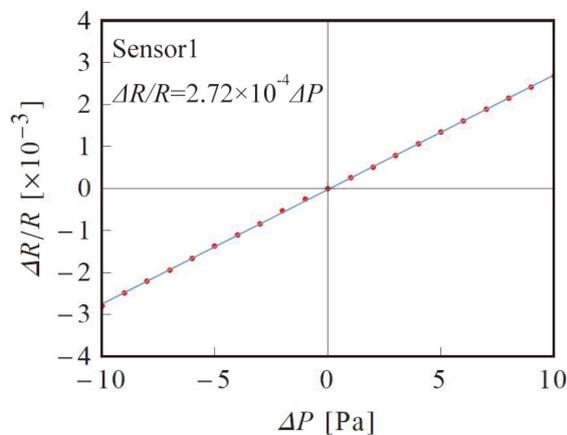


図4 差圧によるキャリブレーションの結果

3. 研究の成果

3-1 浴槽内での心音計測実験

一般家庭の浴槽にお湯を張り、被験者（22歳男性）が入浴した状態で、心音の計測を行った。図5に示すように、湯船にセンサ固定用の棒を固定し、その先端にMEMS音響センサを取り付けた。センサからの信号はアンプを介してデータロガー（Scope Coder）で検出・記録した。

商用電源の周波数（60 Hz）がノイズとしてデータに混入するのを極力抑えるため、アンプとデータロガーはともにバッテリー駆動のものを用いた。

最初に、入浴者は浴槽内に静かに座り、声や呼吸音を極力発さないようにして、皮膚とセンサとの距離を変えながら心音を計測した。次に、一般的な入浴の場面を想定し、深呼吸、発声、シャワー、追い炊き、換気扇などの音をあえて発生させて、同様に心音計測を行った。

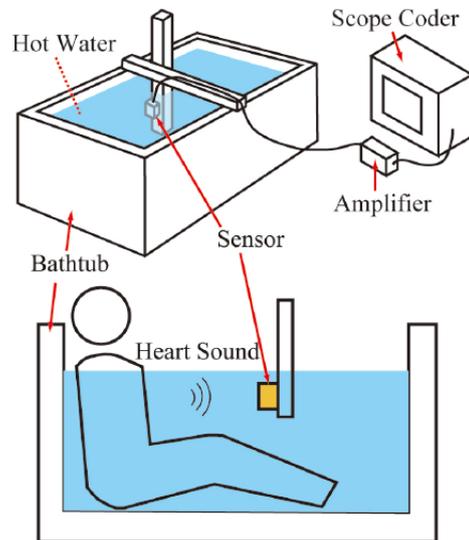


図5 浴槽内実験のセットアップ

3-2 実験の結果

データロガーに記録された心音計測のデータを図6に示す。入浴者が静かに座っている場合には、規則正しい拍動を示す心音のはっきりと捉えられていることがわかる。ただし、特に後半のデータには、体動に起因するお湯の揺れと思われるノイズが重畳されている。入浴者が話をする時、心音による波形が発声に埋もれてしまった。湯面にシャワーをかけた場合には、

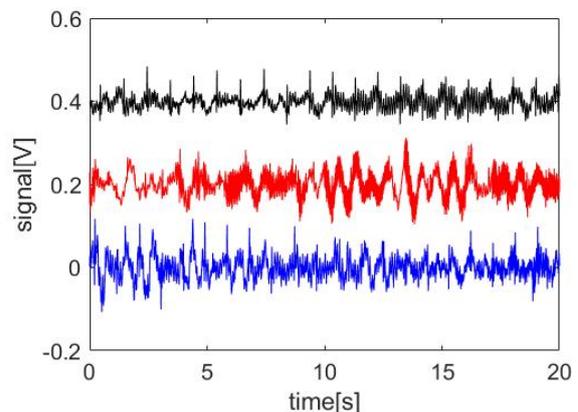


図6 浴槽内での心音データ 黒は静かに座った場合、赤は発声をした場合、青はシャワーを湯面にあてた場合（曲線の色は以後のグラフでも同様である）（3つのデータを見やすくするため、0.2 V ずつ上下にずらして表示した。図8～10も同様）

時間帯によって心音が確認できたり、できなかったりしたことがわかる。

入浴者が静かに座った状態では、皮膚とセンサとの距離が 30 cm 程度までは、心音波形が観察された。

3-3 データ解析

浴槽内での実験で得られた心音波形（図6）を高速フーリエ変換（FFT）したものを図7に示す。静かに座った場合に比べて、発声したケースでは 50~150 Hz の帯域に、シャワーをあてたケースでは 2~5 Hz および 150~300 Hz の帯域に、それぞれ強い信号が見られる。

これらの FFT 解析から、心音、発声、シャワー、体動などによる影響は、周波数帯域によって区別できる可能性が考えられる。

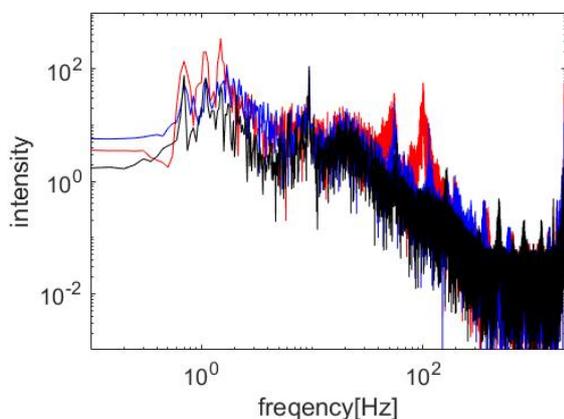


図7 心音データの FFT 解析

そこで、FFT スペクトル（図7）の様々な帯域を切り出し、逆FFTを施して時間波形に戻すことを試みた。つまり、検出したデータに対してポスト処理としてバンドパスフィルタをかけることに相当する。ここで大切なことは、フィルタリングにより所望の現象を抽出することなので、解析を複雑にする窓関数等は用いず、所定の帯域だけをそのまま切り出した。

この結果、10~30 Hz の帯域を切り出すと、きれいな心音波形を抽出できることがわかった（図8および図9）。このことは、心音を構成する音波の主成分は 10~30 Hz であり、発声やシャワーなどの環境ノイズがあっても帯域が異なっていれば周波数解析によって取り除くことが可能であることを示している。

また、30~150 Hz の帯域を切り出すと、発声だけが復元されることもわかった。しかも、発声が含まれることだけでなく、いづれぐらいの音量で声を発したかも明確に確認できる（図10）。この方法をさらに発展させれば、

例えば鼻歌と苦しむ声を区別するなどして、バイタルデータとして活用できるかもしれない。

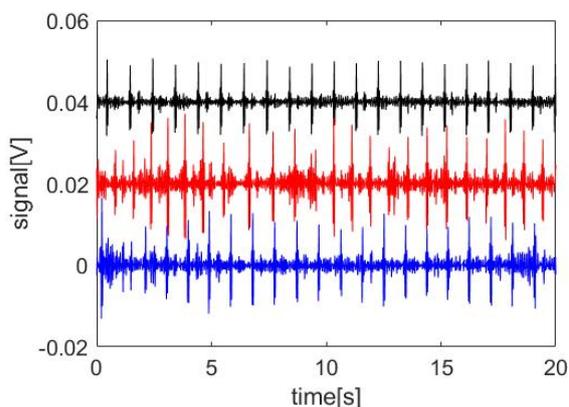


図8 バンドパスフィルタ（10~30 Hz）をかけた後の波形

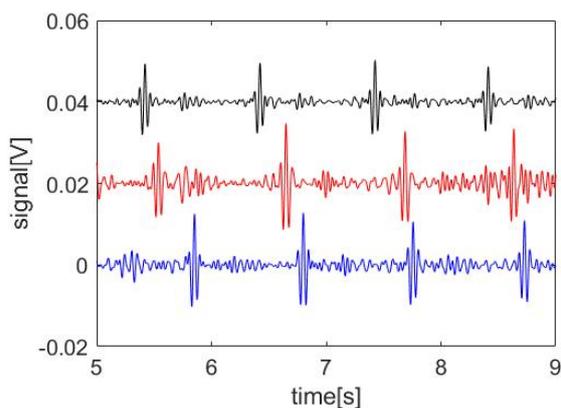


図9 バンドパスフィルタ（10~30 Hz）をかけた後の波形（拡大）

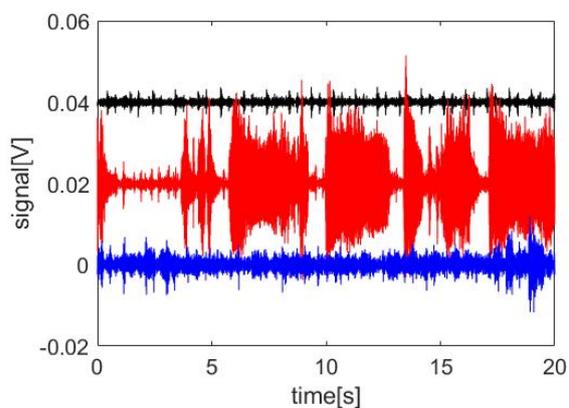


図10 バンドパスフィルタ（30~150 Hz）をかけた後の波形

4. 今後の課題

本研究課題では、浴槽に張られたお湯の中に MEMS 音響センサを固定し、入浴者の心音を検出した。発声やシャワーの音が混在する状況では心音を正確に捉えることはできないが、得られたデータに後処理としてバンドパスフィルタリングを施すことにより、心音のみならず発声などのバイタルデータとなりうる情報を得ることができた。

今後は、フィルタリング処理によって分離抽出したバイタルデータを分析し、入浴者の健康状態を判別することが求められる。例えば、本研究課題の主な計測対象である心音について、それが精密に計測できたとしても、そこから入浴者の健康状態を推定できなければ意味がない。しかも、この推定をセンシングシステムが自動で行うことが極めて重要である。そうやって初めて、入浴中に体調が急変した方に対して、お湯を抜いたり救急通報したりして命を救う

システムを構築することが可能となるからだ。

こうしたより実用的な安全システムを実現するためには、医療・看護・介護の研究者、あるいはセキュリティ関連企業などとも協力し、臨床データを集め、より高精度な推定アルゴリズムを開発することが必要である。有益な臨床データを集めるという観点では、発声や呼吸、あるいは体動の影響への期待もある。これらのバイタル情報は、被検者が意図的に作り出すことが可能であり、あらかじめ意味づけされたバイタル情報を蓄積できるからだ。

5. 研究成果の公表方法

本研究課題により得られた成果は、早急に論文として投稿する予定である。

以上