



室温動作 36 チャンネル心磁図計を開発し、世界で初めての計測に成功

概要

九州大学大学院総合理工学研究院の笹田一郎教授らの研究グループは、液体ヘリウムや液体窒素で冷却すること無く、室温で動作する磁界センサによって心磁界分布の計測に成功していましたが（平成 26 年 5 月 22 日付けプレスリリース参照）、今回、36 チャンネル心磁計と合わせて軽量低価格な磁気シールド（※1）を開発し、室温動作磁界センサ（※2）の 36 チャンネルもの規模で計測することに世界で初めて成功しました。

心電図の計測では胸部等に電極を直接取り付けする必要がありますが、心磁界の場合は衣服を着たまま計測することができます。心臓の神経に流れる電流が作る磁界の計測に基づく心磁図（※3）の両方を利用することで、心臓の健康に関するより多くの情報が得られるとともに、人の体表での電圧計測に基づく心電図と併用すれば診断精度をさらに高められることが期待されます。

本研究成果は、平成 27 年 10 月 28 日（水）～30 日（金）に新潟朱鷺コンベンションセンターで開催される、電気学会主催の第 32 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウムで報告する予定です。

背景

心磁界は、自動車や地下鉄車両の往来、エレベータの稼働などによって簡単に掻き消されてしまうほど微弱で、これまでは、液体ヘリウムあるいは液体窒素で冷却された多数の SQUID（超伝導量子干渉素子）（※4）素子を用いて計測していました。このため、装置が大がかりになり心磁図を用いる診断技術は普及していません。現在は、心臓の動作を体表面に現れる電圧に基づく心電図によって計測していますが、心筋の何処に電流が流れているかを推定することはできません。心臓の神経に流れる電流が体外に作る磁界を用いれば電流推定ができ、より基礎的な診断のための情報が得られ、より詳細な診断が可能になることが期待されます。

内容

本研究グループは、基本波型直交フラックスゲート磁界センサ（※5）の原理を 2001 年に発見し、その高感度化と低雑音化を押し進めてきました。このたび、長さ 45 mm 外径 3 mm のセンサヘッド 36 本を 4 cm 格子に配置し、胸部を 20 cm 平方の正方形領域でカバーする 36 チャンネルセンサアレイ（※6）からなる心磁計を開発しました。冷却や加熱を一切必要とせず、低コストかつ容易に取り扱うことができ、両手首からの心臓の動作に伴って発生する電圧波形も同時に計ってそのピーク時点をトリガーとして 2 分間ほどの計測で心磁図が得られます。これまで、冷却・加熱の不要なセシウムガスを封入したガラス球に 2 本のレーザー光を照射し、光ポンピングで励起したセンサの 19 チャンネルで心磁図を計測した例があるだけで、室温動作センサで 36 チャンネルもの規模で計測したのは本研究が世界で初めてです。

心臓磁界の最大は、100 pT（ピコテスラ）で地磁気の百万分の 1 程度でしかなく、電車やエレベータが発する磁気ノイズを十分に遮断しておく必要があるため、上部がスライドする軽量の能動磁気シールドも併せて開発しています（図）。健常な 20 代男性について心磁図を計測し、磁場の等高線図を描くことで、R 波や T 波の前後で N 極と S 極が発生消滅する様子も見るすることができます。センサヘッドに使用する部品は、アモルファス磁性ワイヤと呼ばれる直径 120 μm の金属線と銅線からなるコイルで安価に製作することができ、それを駆動する電子回路についても本研究グループでは、既に、6 チャンネルを 1 ユニットとして AC アダプタで電源を供給することで簡単に動作する小型の装置を製作しています。



図. 36 チャンネル FM-OFG アレイと上下分離型能動磁気シールド。シールド上側は被験者の足側にスライドした状態。

■効 果

心臓の動作は、心臓内部にある神経に流れる電流が心筋の収縮弛緩を巧みにコントロールしているので、その現象を精度良く体外から計測することで心疾患の診断に大きな効果をもたらすことが期待できます。電気現象は、電圧と電流の数値がわかればより詳細な解析が可能となるので、心臓についても、現在広く用いられている心電図の情報に心磁図の情報を加えることで、より詳細な解析が可能になると思われます。心磁図の計測は、心電図とは異なり服を着たままでも可能なため、今後症例との対応づけが数多くなされれば診断により便利なツールとなり、3大成人病の1つである心疾患が早期発見できるようになることが期待されます。

■今後の展開

心磁図の計測には、2分間程度の測定とその間の平均化が必要なため一過性の現象の計測はできないが、安価で取り扱い容易な心磁計を提供し、SQUID心磁計で既に行われている電流源推定などを進めていく予定です。心臓の挙動を電界と磁界で捉えることで、心臓電気生理のより深い理解と心疾患診断技術の深化に役立つよう、まずは、研究用途に役立つような装置にし、心磁計の利用価値が広く認められるよう発展させる予定です。今後実績を積むことで、より高精度のSQUID心磁計の導入も進むと考えられます。この段階まで進展することにより、本装置で心疾患のスクリーニングを行い、より精密な検査にはSQUID心磁計を用いるというような棲み分けになるのではないかと期待しています。心磁計測には磁気シールドが不可欠であるので、今後はセンサ系と一体として開発を進めていく予定です。

【用語解説】

(※1) 磁気シールド：外乱となる磁場が計測する空間に入らないようにする装置。

(※2) 室温動作磁界センサ：冷却や加熱を必要としない磁界センサ。

(※3) 心磁図：心電図では胸壁に電極を貼ってその電圧波形を観測するが、心磁図は心臓から出る磁場を胸壁に非接触に多点計測し（通常32～64チャンネル）、その強弱などを2次元画像化したもの。心電図に比べ、心臓の活動に関するより多くの情報を含む。

(※4) SQUID（超伝導量子干渉素子）：液体ヘリウム温度（絶対温度4.2度）で冷却して動作させるものと、液体窒素（絶対温度77度）で冷却して動作されるものがある。磁場が入力されると電圧へ変換する。

(※5) フラックスゲート磁界センサ：室温動作磁界センサの中でもSQUID磁束計につぐ感度を持つ。研究グループでは、2001年にフラックスゲート磁界センサの雑音を1/100にする技術を開発し、心磁界のような微弱な磁界計測が可能となった。センサヘッドは長さ数cmの細長い磁性体とその周囲に巻かれた銅線コイルからなり極めて安価。

(※6) 36チャンネルセンサアレイ：6x6の36個のセンサが20cm四方の平面に4cm格子間隔で配置されている

【お問い合わせ】

大学院総合理工学研究院

教授 笹田一郎

電話：092-583-7594

FAX：092-583-7596

Mail：sasada@ence.kyushu-u.ac.jp