HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	脳磁界計測用多チャンネルSQUIDセンサシステムの設計と試作
Author(s)	平田, 恵啓; 栗城, 真也
Citation	電子科学研究, 1, 86-87
Issue Date	1993
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24291
Type	departmental bulletin paper
File Information	1_P86-87.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

脳磁界計測用多チャンネルSQUIDセンサシステムの設計と試作

量子計測研究分野　平　田　恵　啓，栗　城　真　也

量子計測研究分野では，これまでのSQUIDデバイスの開発及び脳磁界計測で培ったノウハウをもとに，新たに脳磁界計測用の多チャンネルSQUIDセンサシステムの設計と試作を行っている。このシステムは，デバイス・グラジオメータ・エレクトロニクス・デュワー・ガントレー・シールドルーム等のハードウェア及びソフトウェアから成り立つ。本報ではそのハードウェアの概要について述べる。

1．はじめに

量子計測分野では，これまで超高感度の磁束センサであるSQUIDを用いたシングルチャンネルでの脳磁界計測を行ってきた。脳内部の活動領域を推定するためには，頭皮上の磁場分布を求める必要がある。シングルチャンネルの測定では一つの分布を得るのに数十回の測定を繰り返す必要があり，そのため一つの測定に数日を要すこともあった。近年，生体磁気計測用の多チャンネルSQUIDシステムが市販されており，わが国でもいくつかの大学病院で高度先進医療の適用が認められてきた。当研究室では，これまでにSQUIDデバイスの研究および脳磁界計測で培ったノウハウをもとに，現在，新たに多チャンネルSQUIDシステムの設計と試作を行っている。本報告では，センサシステムのハードウェアの概要について述べる。

2．SQUIDと駆動用エレクトロニクス

センサシステムの磁束分解能は，SQUIDおよび駆動用エレクトロニクスのノイズレベルによって決定される。今回SQUIDセンサに用いたデバイスは，ダブルワッシャー型，largeβ_L，R-shunted SQUIDで，その磁束ノイズは$5\times10^{-6}\Phi_0/\sqrt{\mathrm{Hz}}$以下である。また，エレクトロニクスのプリアンプ部に低雑音のFET，OPアンプ等を用いた結果，後で述べるインサートに結合した状態でのノイズは$1\,\mathrm{nV}/\sqrt{\mathrm{Hz}}$以下であった。その結果，エレクトロニクスノイズを含むSQUIDの磁束換算ノイズは$1\sim2\times10^5\Phi_0/\sqrt{\mathrm{Hz}}$となった。これにグラジオメータを取り付けた場合の入力磁場換算ノイズは$5\sim10\,\mathrm{fT}/\sqrt{\mathrm{Hz}}$であり，本システムは脳磁界を測るために十分な感度を有している。

3．デュワー

本システムに使用しているSQUIDは液体ヘリウムの中で動作するため，液体ヘリウムを保持するためのデュワーが必要になる。液体ヘリウムは潜熱がきわめて小さいので，蒸発量を抑えるためにデュワーの材質には熱伝導率の低いFRPを使用している。デュワーの先端はヒトの頭部に密着させることができるように10.5 cmの曲率を与え，この曲面に対して同心円状に19個のグラジオメータを配置した(図1)。このデュワーの容積を30 lと決め，蒸発量の目標値を3 l/日以下として試作改善の結果，デュワー単体では0.1 l/時以下の特性が得られた。よって後で述べるインサートの導線の熱流入を加えても，一回の液体ヘリウムの補給で約1週間の測定が可能である。

4．グラジオメータ(GM)とインサート

頭皮上の磁束をSQUIDへ導くためのピックアップコイルとして，本システムでは2次微分型のGM(D = 18 mm, BL = 30 mm, 2ターン)を用いている。これにより地磁気などの一様な磁場と傾斜磁場を取り除き，勾配磁場のみを検出することが可能である。またGMの先端はデュワーの曲面に合わせて，傾斜角度が0°，

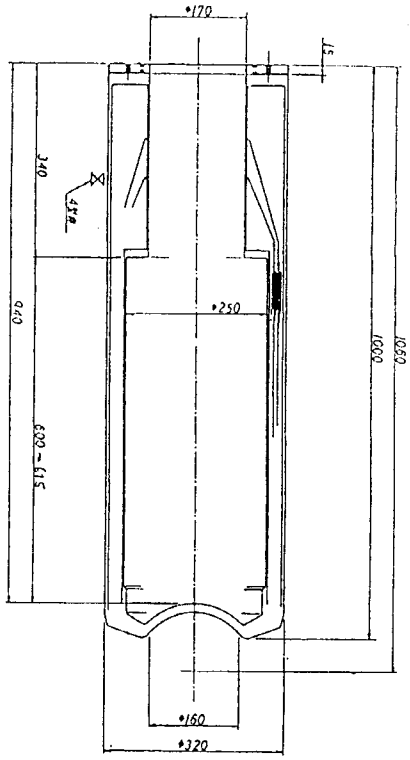

図1　液体ヘリウムと SQUID を収めるデュワー

15°, 30° の 3 種類を設計した。各々のチャンネルは 1 個の GM と 1 個の SQUID を 1 つのインサートに納めるようにした。そのため，19 個のセンサの内のいくつかに故障がみられた場合には，そのチャンネルのインサート毎交換すれば済むようになっている。本システムでは液体ヘリウムの蒸発量を極力抑えることを 1 つの目標として，銅に比べ熱伝導率の非常に小さなステンレススチール製の同軸ケーブルを採用し，1 チャンネルあたりのヘリウム蒸発量を 0.1 l/日以下とすることができた。このケーブルにエレクトロニクスを取り付け，ノイズを測定したが 1 nV/$\sqrt{\text{Hz}}$ であり，ケーブル自体の熱雑音に関しても問題はなかった。

5．ガントレーと電磁シールドルーム

液体ヘリウム，インサートをおさめたデュワーの総重量はおよそ 50 kg にもなる。そのため従来使用していた木製の架台では支えることができないので，新たにアルミ製のガントレーを設計した。このガントレーはヒトが実験に合わせて様々な姿勢をとっても頭部にデュワーの先端が密着するように，6 軸方向への駆動が可能となっている(図 2)(可動範囲：x 軸 = 1275 mm，y 軸 = 745 mm，z 軸 = 425 mm，左右傾斜 = ±35°，前後傾斜 = ±50°)。操作は手動とし空気圧制御のデュワー固定装置を取り付けた。測定時の環境雑音を低減するため，ガントレーを含むすべてのシステムは電磁シールドルーム(内寸：2410(W) * 2410(D) * 2280(H) mm)に収められている。電磁シールドは 2 重のパーマロイと銅箔からなる簡易型であり，DC～100 Hz の磁束遮蔽率は 0.05～0.01 である。

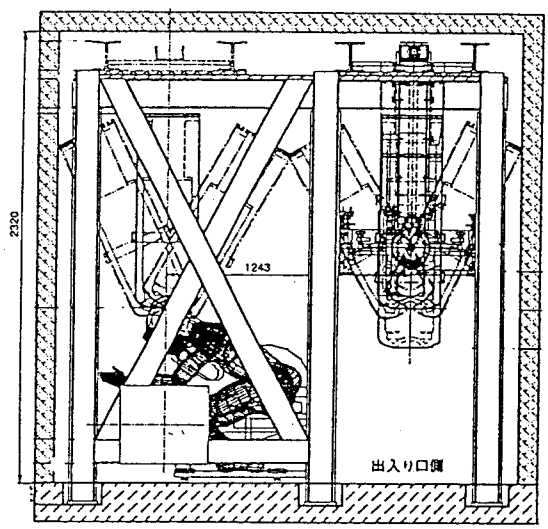

図2　電磁シールドルーム内のガントレーとデュワー

6．おわりに

本報では，脳磁界計測システムを設計する際に，考慮しなければならない仕様と試作中の性能について述べた。本システムが実際に稼働するためには，19 チャンネル分の SQUID センサ出力を記録できるデータアクイジションシステムが不可欠であり，今後ソフトウェアを含めたこの部分の仕様を設計することが必要である。