

投射型スクリーンを持つシールドルームの雑音特性評価 Noise characterization of shielded room with a projection screen

板井 亮佑[†] 松井大輔[†] 霧 浩二[‡]
Ryosuke Itai Daisuke Matsui Koji Tsuru

1. はじめに

近年、一般の利用者を対象とする自動機器や情報機器が普及し、使いやすく分かりやすい機械、人に優しい機械の重要性が認識され、ヒューマンインタフェースという技術が重要視されている^[1]。ヒューマンインタフェースは、人間と機械が情報をやり取りするための手段であり、より多くの人が直感的に機器を操作することのできる汎用性が求められている。現在、人間が機械に情報を与える手段として、スイッチやリモコン、マウス、キーボード等がある。最近では、タッチパネルや音声認識など、より直感的な操作が行えるヒューマンインタフェースが開発されている。しかし、これらは手足や声などを利用しているため、筋力の衰えた老人や重度の運動障害者には扱う事が難しい。

そこで現在、脳のはたらきを利用したヒューマンインタフェースであるブレインコンピュータインタフェース (Brain-Computer Interface : BCI) が注目されている。これは、脳や脳神経系から有効な信号を取り出し、それによって機械やコンピュータを操作するという技術である。なかでも、定常状態視覚誘発電位 (Steady-State Visual Evoked Potential : SSVEP) を利用した BCI は、事前の訓練を必要としないことから盛んに研究がすすめられている^[2]。筋萎縮性側索硬化症 (Amyotrophic Lateral Sclerosis : ALS) 患者など重度の運動障害者は、明確な意思を持っているにもかかわらず、その意思を周囲に伝えることができないために、患者や周囲の人々にとって心理的に大きな負担となる。SSVEP を利用した BCI では、視覚的な刺激に誘発される脳波成分を利用するため、手足を動かすことのできない人や、眼球運動すらできなくなった 人でも意思疎通できる可能性があり、その実用化が期待されている。

脳波測定において大切なのは測定データに含まれるアーチファクトを低減することである。脳波測定では微弱な信号を扱うため、わずかな雑音が測定結果に大きく影響を与える。まばたきや体動など被験者に由来するアーチファクト以外での主要なアーチファクトは交流電源によるものである。これは、実験室の蛍光灯や交流電源で駆動する測定装置から発せられる電磁波によるものである。特に SSVEP の検出には被験者に対して視覚刺激を与えることが不可欠であり、最近では液晶ディスプレイを利用したパターンリバーサル刺激を用いることが一般的である。しかし、交流電源で駆動する液晶ディスプレイもアーチファクトの原因となり得る。このような外部からの輻射雑音によって広い周波数領域において背景のノイズレベルが上がり、脳波のような微弱な信号は明瞭に観察されないことがある。

交流電源による雑音を低減する方法として、ノッチフィルターを用いる方法やシールドルームを用いる方法が考えられる。本来、BCI のようなヒューマンインタフェース

には、シールドルームのような特殊な環境以外でも利用できることが求められるが、研究の段階においては、フィルターなどの利用をできる限り避け、理想的な環境で研究を進めることが必要であると考ええる。永塚らは、光透過性のあるシールドガラスを使った特殊なシールドルームを設計し、その効果を確認している^[3]。

そこで、本研究では、BCI への応用が期待されている SSVEP の検出を目的として、外部から視覚刺激を与えることのできるシールドルームの製作を行なった。シールドルームの外部から視覚刺激を与える投射型プロジェクタとスクリーンを利用する方法を確立し、交流電源による 60Hz の成分を大きく低減できることを雑音特性の評価によって確認した。

2. 脳波測定

2.1 シールドルーム

シールドルームは、その内外の電磁環境を電磁氣的に隔離するための部屋である。外部から到来する電磁波を室内に入れない、または内部で発生する電磁波を室内に閉じ込めて外部に漏らさないことが目的である^[4]。脳波測定で用いられるシールドルームは、主に交流電源や測定装置による電磁波を遮断し、測定データへのアーチファクトの混入を防ぐことが目的である。

電磁波とは互いに直行する電界と磁界が時間的に変化するしながら空間や物質中を伝播する現象であり、電界と磁界の両方の性質を持っている。そのため、遮蔽するためには電界と磁界の両方について対策を施す必要がある。電界を遮蔽するための方法は、導体で対象を囲んでその導体を接地することである。一方、磁界を遮蔽するためには、磁性体で対象を囲む必要がある。しかし、非磁性体であっても銅やアルミニウムのように導電率の高い材料であれば、磁力線の変化を打ち消すように渦電流が発生するため磁気遮蔽の効果を期待できる。

シールド材料として用いられるのは、鉄箔や銅箔、アルミニウム板、金属メッシュ、エキスパンドメタル、鋼板のような金属材料が主であるが、プラスチックシートや布などの非金属材料の表面に金属を蒸着したり、めっきすることによって電磁シールド材料とされることがある。この他にも、シートの形態をしたものや、導電性塗料を用いる場合もある。これらは一般に金属材料と比較して電磁シールド性能は劣るが、その軽量性や柔軟性などの点から、金属材料と比較して扱いやすい材料と言える。

2.2 EEG

EEG (Electroencephalogram) とは、脳内で発生する電気活動を頭皮上の電極で記録する方法のことである。

人間の脳は、活動に伴って絶えず電流が発生しており、基準となる電極と測定対象の部位に設置した電極との電位差を脳波として記録する。電極は、国際臨床神経生理学会の推奨する国際 10-20 法を用いることが望ましい。

本研究では、視覚刺激に対する誘発電位を研究対象としているため、後頭部の視覚野上である O1, O2 に EASYCAP 社^[5]のアクティブ電極を配置した。また、参照電極、基準電極は両耳朶からとった。生体アンプ(メロンテクノス社製 8 チャンネル小型生体アンプ)によって増幅された脳波のアナログ信号は、A/D コンバータ(National Instruments 社製 NI USB-6218)によってデジタルデータに変換され、記録用 PC に記録される。尚、記録用 PC では LabView によって作成したプログラムを用いて測定データの記録を行った。図 1 に、本研究における測定システムの概略図を示す。なお、シールドルームによる実験では、被験者と電池駆動の生体アンプ、外部から USB 給電の A/D コンバータをシールドルームの内部に設置し、外部の記録用 PC と信号線を用いて接続した。

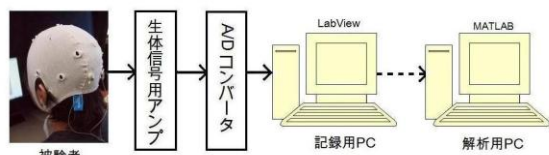


図1 測定システム

2.3 定常状態視覚誘発電位

脳波には、自発的に発生する自発電位と、光や音などの外界からの刺激や自発的な運動反応に対応して発生する誘発電位がある。視覚刺激に対する誘発電位のことを視覚誘発電位 (Visual Evoked Potential : VEP) といい、この潜時は約 300ms 程度とされる^[6]。つまり、300ms より短い時間間隔で視覚刺激が提示された場合、視覚誘発電位が生じている最中に再び視覚誘発電位が生じることになり、視覚誘発電位は視覚刺激の提示間隔で生じることになる。これを定常状態視覚誘発電位 (Steady State Visual Evoked Potential : SSVEP) という。SSVEP は、視覚刺激と同じ周波数をもつ正弦波状の電位であり、視覚刺激に注意を向けることによって、振幅量および刺激に対する位相同期度が増大する。また、SSVEP を誘発するためには、必ずしも視覚刺激を注視する必要はなく、眼球を動かさず視覚刺激へ意識を向けることのみでも SSVEP が誘発することも判明している^[6]。

3. 実験方法

3.1 設計方針

SSVEP を検出するための脳波測定において交流電源による影響を低減させることを目的としてシールドルームを製作した。SSVEP に関する研究の測定環境としてシールドルームを製作するにあたって設定した条件は、

- ① 交流電源によるアーチファクトを低減すること
- ② 外部から被験者に対して視覚刺激を与えられること
- ③ 測定装置を設置して被験者 1 名が窮屈に感じないスペースを確保すること

④ 軽量で分解・組立が容易に行なえること

とした。①と②の条件から、導電性と光の透過性を併せ持った材料を用いて被験者の前にスクリーンを設置し、外部から投射型プロジェクタによって視覚刺激を提示する方法を考案した。図 2 に、製作したシールドルームの概観を示す。



図2 シールドルームの概観

3.2 シールドルームの構成

シールドルームの大きさは、測定装置と被験者 1 名が入ることを考慮して幅 1000mm、長さ 2000mm、高さ 2000mm の直方体とした。また、投射型プロジェクタによって視覚刺激を投影するためのスクリーンを前面に設置した。また、材料としてはその軽量性や加工性からアルミニウム板を用いた。アルミニウムの長所は比重 2.7 と比較的軽い点や導電性が高い点であり、短所は現場での溶接が難しいことや、接合部の酸化皮膜によって性能低下の恐れがある点などである。これらの短所への対策として、ボルトとナットによって接合を行い、隣り合う板同士の電気的な導通は、圧着端子と導線を用いて確実にを行った。アース線は、実験室の接地端子につながぐことで確実に接地を行った。また、内部の測定装置と外部の記録用 PC を接続する信号線は、露出している部分ができる限り短くなるようにした。表 1 に製作したシールドルームの仕様を示す。

壁や天井、床には厚さ 1mm のアルミニウム板を用い、隣り合う面同士を幅 40mm のアルミニウム製アングルで接合した。さらに、導線を用いて全ての面を確実に接地した。スクリーン部分は、600mm×600mm の正方形とし、住友スリーエム株式会社製の電磁波シールドフィルム (RE35AMAR)、アクリル板、紙製のスクリーン、ステンレス製の網で構成した。シールドルーム内部から見た、スクリーンに投影されたプロジェクタの表示を図 3 に示す。この図から、パターンリバーサル刺激を被験者に対して明瞭に与えられていることがわかる。

表 1 シールドルームの仕様

項目	仕様
材料	アルミニウム
寸法	1000(W) × 2000(L) × 2000(H)
スクリーン寸法	600 × 600



図3 視覚刺激呈示用スクリーン

3.3 性能の確認

製作したシールドルームの雑音性能を確認するために、従来の室内および検証するシールドルーム内のそれぞれで脳波測定を行なった。測定の方法は、シールドルーム内部の被験者に対して、外部からプロジェクタを用いてスクリーンに視覚刺激を投影し、その間の EEG を記録した。これを Matlab で作成したプログラムによって FFT を施した結果を比較することで、シールドルームの雑音性能を検証した。検証するシールドルームの種類として次の3種類で測定を行った。

- ① スクリーン部分のシールド材料として電磁波シールドフィルムのみを用いた場合
- ② スクリーン部分のシールド材料として電磁波シールドフィルムとステンレス製の金網を併用した場合
- ③ 視覚刺激を与えるためのスクリーンを施工する前の状態

それぞれの環境を、測定環境①～③とする。これらと従来の環境での測定結果を比較することによってシールドルームの性能の確認とした。図4に測定環境①及び②のスクリーン部分の断面図を示す。測定環境③はスクリーン部分をもたず、6面をアルミ板に囲まれた状態である。この環境では、外部から視覚刺激を与えることができないため設計条件を満たしていないが、スクリーン部分のシールド材料を検討する際の参考とするために測定を行った。図5にシールドルームの平面図を示す。

また、測定環境②の天井部分をパンチングメタルに交換したものを測定環境④とし、これらも比較を行なう。これは、閉鎖的な環境による圧迫感や息苦しさなど、被験者への配慮のためである。ここで用いたパンチングメタルは、孔の直径 10mm、隣り合う孔の中心間の距離が 15mm のアルミ製のもので、開孔率は 40.2%である。

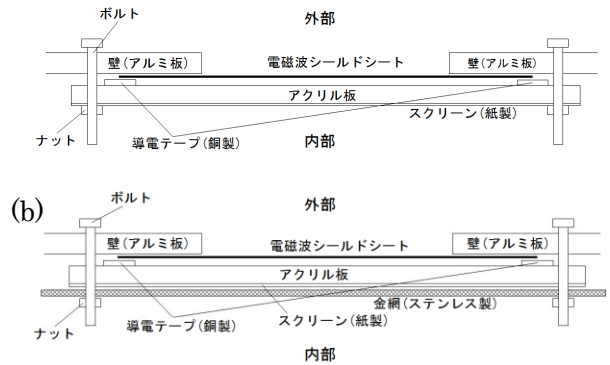


図4 スクリーン部分の断面図

(a):測定環境① (b):測定環境②

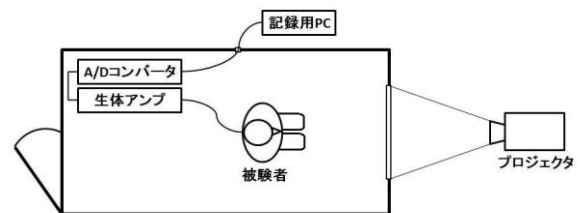


図5 シールドルームの平面図

4. 実験結果

図6に従来環境と測定環境①～④の EEG データの周波数スペクトルを示す。なお、図中には参考としてパワーが 10^{-8} の値をガイドラインとして示した。また、60Hz の交流輻射成分を矢印で示した。図6(a)は、従来の室内で測定を行った結果であり、強い 60Hz の成分が含まれていることがわかる。また、全体のノイズレベルの平均は、約 10^{-6} である。この成分と全体のノイズレベルの低減がアーチファクト対策として重要であると考えた。図6(b)は、スクリーン部のシールド材料として電磁波シールドフィルムのみを用いた場合の測定結果である。この結果からは、従来環境と比較した 60Hz の成分のパワーは 100 分の 1 程度であり、他の周波数成分と比較からも未だ交流成分が強く含まれていることがわかる。全体のノイズレベルの平均は約 10^{-7} である。図6(c)は、スクリーン部のシールド材料として電磁波シールドフィルムとステンレス製の金網を併用した場合の測定結果である。この結果からは、従来環境と比較して 60Hz の成分をおよそ 10 万分の 1 にまで低減できていることがわかる。全体のノイズレベルは、約 10^{-8} である。図6(d)は、スクリーン部分を施工する前の状態で測定を行った結果である。全体のノイズレベルの平均は約 10^{-8} 程度である。この結果は、スクリーン部分の電磁シールドの対策によって改善できる限界を示すためのものである。

図6(e)は、測定環境②の天井部分のアルミ板をパンチングメタルに交換したものであるが、従来環境と比較した 60Hz の成分のパワーは 1 万分の 1 程度であり、全体のノイズレベルの平均は 10^{-8} 程度である。

(a)

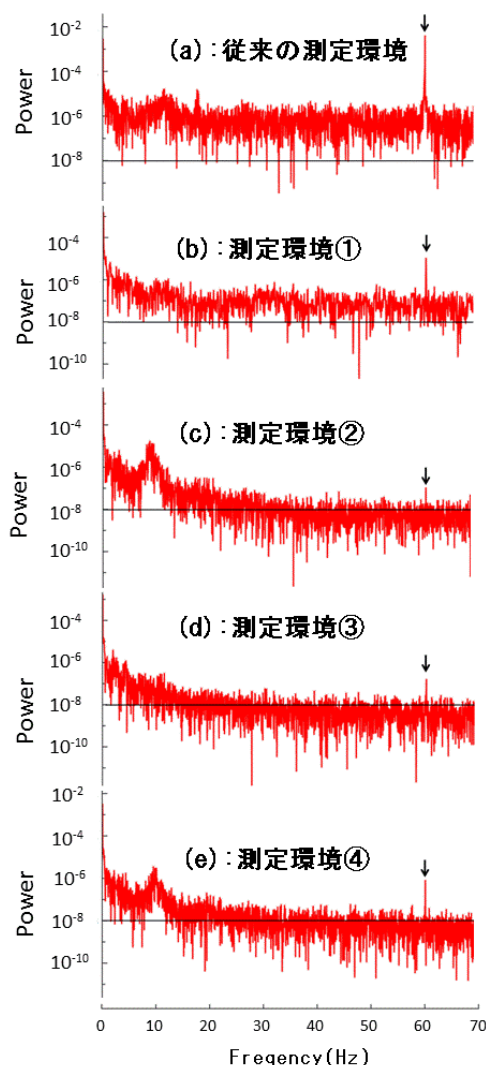


図 6 測定結果の周波数スペクトル

5. 考察

設計条件を満たすシールドルームとしては、測定環境②としたものが最も優れた性能を示し、交流成分のパワーを従来環境と比較しておよそ 10 万分の 1 にまで低減することができた。製作にあたって注意した点を次にまとめる。

- ①導線を用いてすべての面の電氣的接合を確実なものとする
- ②アースを確実に引き、基線のふらつきが生じないようにする
- ③交流電源によって駆動する装置や発振回路を有するような装置は外部に設置する
- ④外部と内部を結ぶ信号線はできる限り短くする

また、生体を対象とした実験を行なう際に最も注意しなければならないのは、被験者の健康状態である。脳波測定のように微弱な信号を扱う実験では、被験者の健康状態が結果に影響を与えるため、被験者に負担をかけた状態で測定したデータは信頼できるデータとは言えない。実験前には被験者の健康状態を確認し、実験中に被験者が体調不良を訴えた場合にはすぐに実験を中止するべきである。

今回、シールドルームを製作した目的は交流電源による雑音の低減であり、これは達成することができた。し

かし、測定環境①～③において被験者への配慮は十分でなかったと考える。被験者へ聞き取り調査を行なったところ、被験者は、密閉されていることによる閉塞感や息苦しさ、室温や湿度を調整できないことに対するストレスなど、さまざまな負担を感じていることがわかった。測定時には、こまめに休憩や換気を行なうなど、被験者がリラックスして課題に臨めるよう心がけたが、これは理想的な測定環境とは言えない。被験者が感じているストレスの多くは閉鎖的な環境によるものであると考えられる。そこで、測定環境②の天井部分のアルミ板をパンチングメタルへ交換したものを測定環境④として比較対象に加えることとした。その結果、60Hz の交流成分は測定環境②の約 10 倍、従来環境の 1 万分の 1 程度となった。これは、十分実用的な値であり、被験者の感じるストレスは大きく低減されたことから、脳波測定の実験環境としては、他の環境よりも適していると考えられる。

また、視覚刺激を与えるために設置したスクリーン部分には、ステンレス製の網を利用しているが、チェッカーパターンのサイズによっては、光学的な干渉であるモアレが発生することがわかった。この影響を小さくすることが必要である。

6. むすび

投射型スクリーンを持つシールドルームを製作し、交流電源による 60Hz の成分を 1 万分の 1 から 10 万分の 1 程度にまで低減できることを示した。また、シールドルームの外部からパターンリバーサル刺激を与える方法として、投射型プロジェクタとスクリーンを利用する方法を確立した。この環境を用いて SSVEP に関する研究を深めることで BCI への応用が期待される。

謝辞

本研究は、大分工業高等専門学校制御情報工学科の卒業研究として取り組みました。研究の機会を与えてくださった大分工業高等専門学校及び情報工学科の教員の皆様に深くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] ヒューマンインタフェース学会設立趣意書
http://www.his.gr.jp/office/syuisyo_old1.html
- [2] Robert Prueckl, Christoph Guger, 『A Brain-Computer Interface Based on Steady State Visual Evoked Potentials for Controlling a Robot』(2009)
- [3] 永塚守, 清水康敬, “視覚刺激による動向面積と脳波の変化” 電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界 J76-A(9), 1351-1358, (1993).
- [4] 社団法人日本建築学会, 『建築における電磁シールド材料と施工』, 三松株式会社, (2005).
- [5] EASYCAP 社
<http://www.easycap.de/easycap/>
- [6] 脳科学の世界
<http://brainsc.com/eeg/>

† 大分高専 制御情報工学科 Oita National College of Technology Department of Computer and Control Engineering
‡ 大分高専 情報工学科 Oita National College of Technology Department of Information Engineering