

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01428

研究課題名（和文）人工内耳装用者の聴覚検査法の研究

研究課題名（英文）Auditory Diagnosis of Cochlear Implant Patient

研究代表者

春田 康博（Haruta, Yasuhiro）

金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・教授

研究者番号：60538198

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：人工内耳装用者の聴覚検査法として、神経活動を高い時空間分解能で安全かつ簡便に観察可能な脳磁計の利用が期待されているが、内蔵されている機器によるアーチファクトの問題が解決できず、人工内耳装用者の脳磁計測はこれまで困難であった。本研究では、仮想リファレンスセンサの概念を導入した新たなノイズ除去アルゴリズムを提案し、並行して人工内耳の検査に適した脳磁計測システムを開発することで、健聴者による人工内耳を模擬した計測において聴覚誘発反応を検出することができた。この結果は人工内耳装用者の聴覚検査法に新たな診断法が提供できる可能性を示したものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、人工内耳による補聴効果の客観的な診断法の提供を目指したものであり、人工内耳装用者の手術後の補正や訓練を格段に改善するものと期待される。特に近年、人工内耳の乳幼児期からの早期装用が推奨されるようになった状況においては、難聴者やろう者の教育に要する社会資産の問題の改善に期待できるとともに、当事者の職業選択の幅を広げることに伴い、本研究の成果はわが国の医療経済と障害者の社会参加に貢献しうる意義高いものになると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Owing to its high spatiotemporal resolution and invasiveness, magnetoencephalography (MEG) is a prospective neuroimaging technique for diagnosing people using cochlear implants (CIs). However, due to the strong magnetic and electromagnetic artifacts caused by the CI device components, no MEG studies have been conducted for CI recipients before. In this study, we proposed a new artifact suppression algorithm by employing a “virtual reference sensor” and developed a dedicated MEG system designed to cope with the CI artifacts. We successfully detected auditory-evoked responses from normal-hearing volunteers under the noise of the CI. This result demonstrates the potential of the application of MEG in CI recipients.

研究分野：生体磁気計測

キーワード：生体磁気計測 画像診断 超伝導量子干渉素子 脳磁計 人工内耳 聴覚機能検査 ノイズ除去

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人工内耳は蝸牛内の聴神経を電気刺激することで聴覚を獲得または回復する装置である。電極数に制限があり、残存聴覚神経にも個体差があるため、患者にあわせた補正や訓練が必要とされている。最近では早期装用の有効性が認識され、小児への手術件数が増加しているが、小児特有の事情としてコミュニケーションの問題や検査への協力が課題となっていた。

脳磁計は神経活動を高い時空間分解能で安全かつ簡便に観察できるため、補聴効果の客観的な診断法として期待されているが、内蔵されている磁石や電子機器から発するノイズ等がアーチファクトとなって、これまで人工内耳を装用した被験者の脳磁計測は困難と見られてきた。

この問題に対し、われわれはこれまでに人工内耳装用者の脳磁計測を目指して、装置開発と信号処理の分野で基礎的な研究を進めてきた。その結果、健聴者を対象とした模擬実験では磁石によるアーチファクトを神経活動の検出が可能な水準にまで低減することができ、聴覚一次反応を確認することができた(図1)。しかしながら信号対雑音比など、実用レベルに達したとはまだ言えないのが現状である。また、電子機器から発する電磁アーチファクトやその他の残存ノイズについては未解決の課題となっていた。今後、乳幼児をも対象とした検査を安定して実施するためには、さらなる装置の改良と信号処理の高度化、最適化が必要である。

本研究ではこれまでの基礎研究の成果をベースにして実用化の研究を推し進め、聴覚障害者の支援につなげてゆくことで、医療分野への貢献と障害者の社会参加を促進する取り組みとなることを目指してゆくこととする。

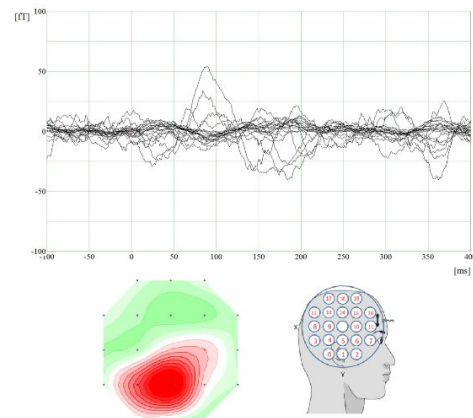


図1. 磁石ノイズ除去後の健聴者聴覚誘発反応

2. 研究の目的

本研究では、人工内耳を装用した被験者の聴覚誘発反応を安定的に検出するための脳磁計の高度化と解析法の研究に取り組むこととする。

そのために、以下の研究を行う

- (1)人工内耳から発生するノイズの解析と、各ノイズに対応したノイズ除去法の開発
- (2)人工内耳装用者の聴覚機能検査に最適な脳磁計測システムの開発

人工内耳に内蔵されている磁石ノイズの大きさは、目的信号である聴覚誘発反応の10000倍にもなる。また、電子回路から発するノイズも数百倍に及んでいる(図2)。このような条件下において目的とする聴覚誘発反応を安定して検出するため、各ノイズの特性を把握したうえで新たなノイズ除去法を開発する。また、装置に関しては、巨大なノイズに埋もれた微弱な神経信号を十分な情報量を確保しつつ収録するための最適な脳磁計測システムを開発する。

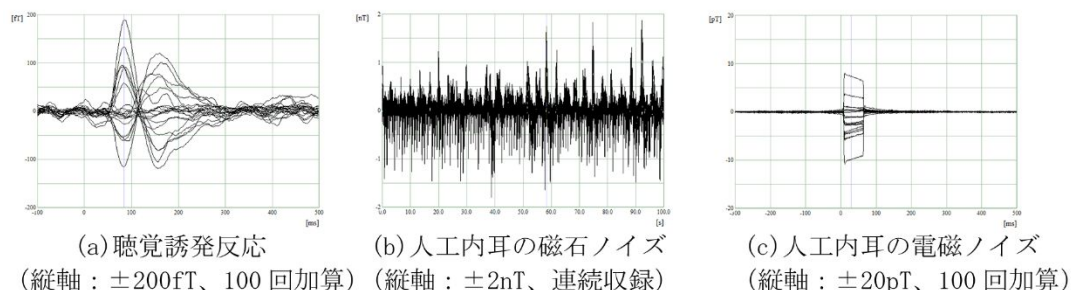


図2. 人工内耳の磁石ノイズと電磁ノイズ

3. 研究の方法

最初に、計算機シミュレーションやファントム実験、過去の測定結果などを用いて解析手法の基礎的な検討を行う。並行して、高精度のデータ収録を可能とする人工内耳用脳磁計の試作を行う。次いで、試作した装置を使って健聴者を被験者とした計測を行い、問題点を収集しつつ技術情報を蓄積する。またわれわれと研究協力の関係にある豪州 Macquarie 大学と連携して人工内耳装用者の計測も行い、実用時の課題も検討する。

人工内耳装用者の聴覚検査を行う上で最大の障害とみられていた磁石ノイズについては、先行研究で克服できる見通しが得られた。一方、内蔵された電子機器が発するノイズ等については、未解決の課題となっていた。そこで、まず磁石を含めたすべてのノイズに関する分析を行うことで各原因を特定し、それぞれのノイズが持つ特徴の把握、対策の立案に取り組むこととする。

以上の検討結果を基礎にして、実評価と最適化を中心とした研究に移行する。高精度の計測が可能となったため、計測信号に含まれるノイズ成分のより高度な分析も可能になる。こうして得られたデータに対して立案したノイズ除去法を順次適用してゆく。その後は実評価の場として外部の共同研究機関も加えて、実際に人工内耳の装用者を被験者とした脳磁計測にも取り組むこととする。

4. 研究成果

われわれはこれまでに人工内耳装用者用の脳磁計測システムを開発し、共同研究先である豪州マッコーリー大学内の KIT-Macquarie Brain Research Laboratory に設置して研究を重ねてきた。設置した装置の概要を図3に示す。

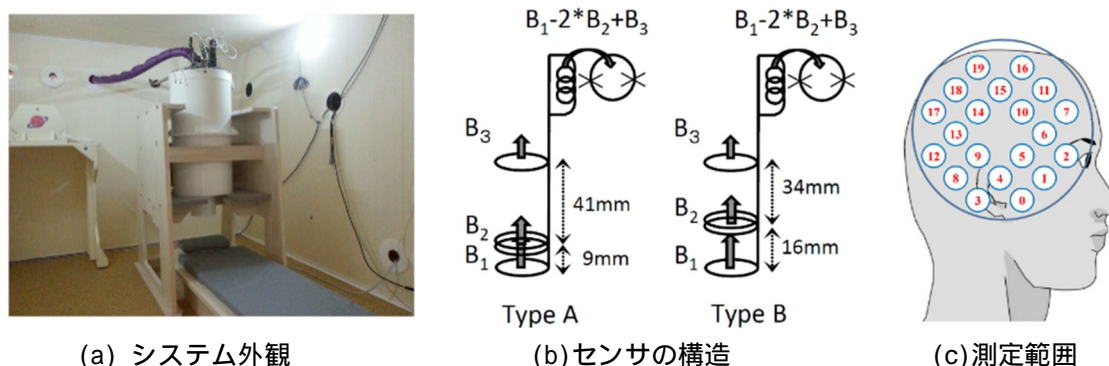


図3. 人工内耳用脳磁計測システム

この装置を用い、主として健聴者を対象に人工内耳を模擬した脳磁計測を行うことで研究を進めた。以下では、本研究の代表的な成果である2つのノイズ除去法の研究および高分解能人工内耳用脳磁計測システムの開発について紹介する。

(1) 仮想リファレンスセンサによるノイズ除去法の研究

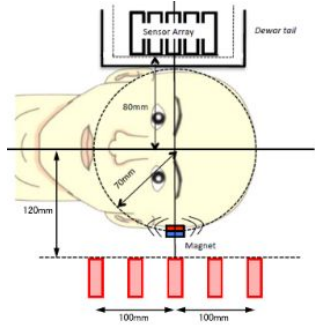
本節では、人工内耳装用者の聴覚誘発反応の検出を目的に立案した、測定されたデータから数値計算で仮想的なリファレンスセンサを構築して人工内耳から発生するノイズを除去するアルゴリズムについて述べる。

基本的な手順は次の通りである。概念図を図4に示す。

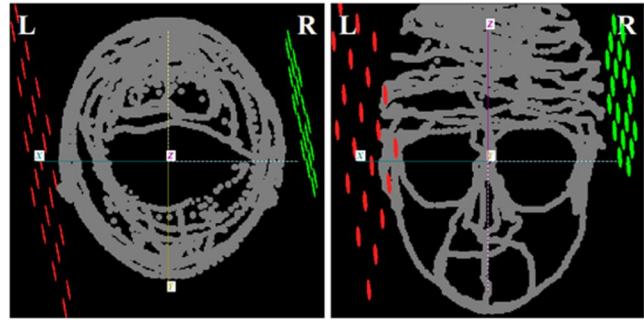
ノイズ源の周囲に仮想的なリファレンスセンサを設定する

仮想リファレンスセンサにおける測定値を推定する

測定データ中のノイズ成分を仮想リファレンスセンサの線形結合で推定し、これを測定データから差し引くことでノイズを除去する



(a) 仮想リファレンスセンサの設計
 ・側頭部に 5×5=25 箇所（赤色）
 ・ノイズ成分を効率的に収集

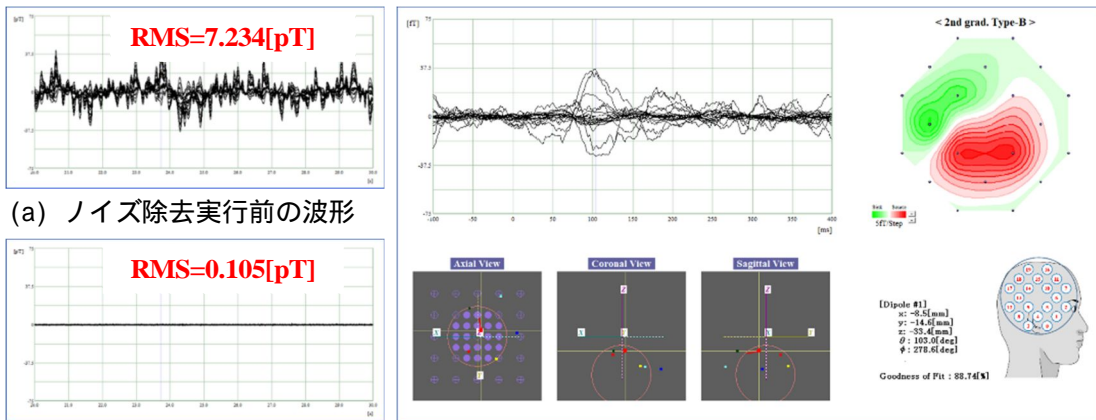


(b) 実際の仮想リファレンスセンサの例
 緑色：通常センサ
 赤色：仮想リファレンスセンサ

図4．仮想リファレンスセンサを用いたノイズ除去法の原理図

本手法の有効性を評価するため、健聴者を対象にした模擬計測を実施した。計測は被験者の左側頭部に人工内耳の磁石を装着し、右側頭部が脳磁計センサの中心となるようにセッティングして 1kHz の tone burst 音を 1 秒～2 秒の刺激間隔で左耳に呈示することで行った。なお、ここでは人工内耳のサウンドプロセッサはオフとした。これをオンとしたときに重畳する電磁ノイズを含めた対策については次節で紹介する。

測定されたデータと仮想リファレンスセンサによるノイズ除去後のデータおよび信号源解析を行った結果を図5に示す。重畳していた磁石ノイズが本手法によって大幅に低減され、刺激呈示後 100ms 付近に観察される聴覚一次反応を明瞭に確認することができる。



(a) ノイズ除去実行前の波形 (b) ノイズ除去実行後の波形 (c) 聴覚刺激呈示後約 100ms における信号源解析結果

図5．健聴者による人工内耳を模擬した脳磁計測結果（磁石を装着、サウンドプロセッサ Off）

(2) 聴覚刺激によるノイズ除去法の研究

前節によるノイズ除去法は内蔵された磁石によるノイズに対しては極めて有効であった。磁石ノイズは心拍と同期していることから血流の変化に起因するものと考えられ、刺激はこれとは非同期であるため分離が容易であったと考えられる。一方、人工内耳が発生するアーチファクトには磁石のほかに電子機器から発生する電磁ノイズがあり、これは刺激に同期しているため磁石ノイズに対して有効であった前節の手法では十分な効果が得られないことが判明した。

この問題に対し、われわれは聴覚刺激音に高周波帯域の白色雑音を加えることで電磁ノイズを定常化してこの影響を抑える方法を開発した。呈示した刺激音の模式図を図6に示す。

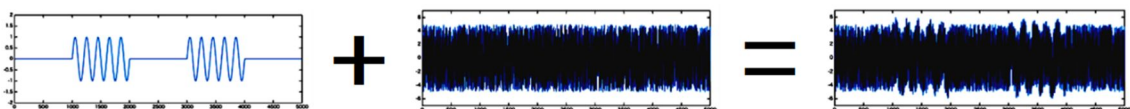


図6．呈示した刺激音の時系列波形（左：刺激音、中央：白色雑音、右：合成した呈示音）

図7の(a)(b)に、白色雑音を加えた場合と加えなかった場合の加算平均後の波形を示す。白色雑音を加えることで刺激に同期した電磁ノイズが大きく減少していることが確かめられる。

この方法を用い、前節で述べた仮想リファレンスセンサによるノイズ除去も併用して解析した結果を図7の(c)に示す。ノイズは前節に比較してやや増加したものの、刺激呈示後約100msの聴覚一次反応を確認することができた。

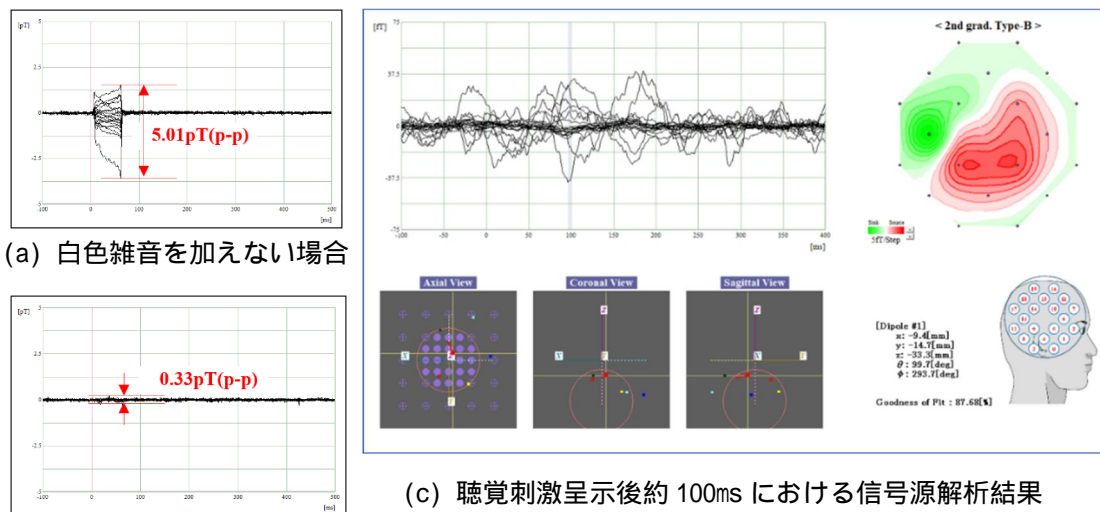


図7．健聴者による人工内耳を模擬した脳磁計測結果（磁石を装着、サウンドプロセッサ On）

(3) 高分解能脳磁計測システムの開発

人工内耳装用者の脳磁計測では、磁石等によるノイズは目的信号である脳磁の10000倍にも及ぶことがある。本研究で試作した人工内耳用脳磁計のAD分解能は当初16bitであったが、種々の信号処理が適用される状況を考えて十分とは言えない。そこで実際に人工内耳装用者を被験者とした計測データを用いて計算機シミュレーションを行った結果、分解能として24bitを採用すれば、標準的な誘発反応である25nAm程度の信号源を人工内耳のノイズ下でも検出可能になった。この結論に従って開発した24bit/48チャンネル脳磁計の操作部の外観を図8に示す。

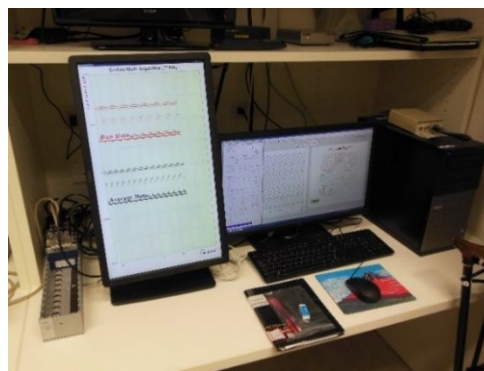


図8．24bit/48チャンネル人工内耳用脳磁計の外観

(4) 総合評価と今後の展望

本研究期間中に計測にご協力いただいた被験者は人工内耳装用者数名を含めて延べ60名以上に上る。その結果、信号処理の面では人工内耳のノイズ下での脳磁計測に見通しが得られた。

一方、今後の実用化のためには、被験者が安楽に検査を受けられるよう頭部の保持と体躯の安定を確保すること、小児を検査する場合には体動の補正が必要なこと、測定範囲を頭部全体に拡張することが望ましいこと、などの意見が主として検査実施者より寄せられた。

残念ながら試作した人工内耳用脳磁計は世界的なヘリウム逼迫の影響を受けて2019年3月に稼働の停止を余儀なくされた。そのため実際の人工内耳装用者による総合的な評価は不十分なままで終わらざるを得なかったが、今後は上記の指摘事項を踏まえつつ実用化に重点を置いた研究を継続することで、本研究の成果が医療と聴覚障害者の社会参加に貢献することを切に願うものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 春田康博、樋口正法、上原弦
2. 発表標題 Time-Shift PCAを用いた人工内耳装用者の脳磁計測の検討
3. 学会等名 日本臨床神経生理学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 春田康博、樋口正法、小山大介、上原弦
2. 発表標題 健常者の模擬計測による人工内耳装用者の聴覚機能検査の可能性の検討
3. 学会等名 日本臨床神経生理学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 樋口正法、小山大介、春田康博、上原弦
2. 発表標題 脳磁計における電磁波アーチファクトの低減
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuhiro Haruta, Masanori Higuchi, Gen Uehara
2. 発表標題 Detection of auditory evoked response under the magnetic field noise caused by a cochlear implant device
3. 学会等名 International Society for the Advancement of Clinical MEG (ISACM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	樋口 正法 (Higuchi Masanori) (50288271)	金沢工業大学・先端電子技術応用研究所・教授 (33302)	