

氏名・(本籍)	Singh, Balbir ( インド )
学位の種類	博 士 ( 工 学 )
学位記番号	生工博甲第 2 9 0 号
学位授与の日付	平成 2 9 年 3 月 2 4 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	A Mathematical Framework to Optimize Methods for De-noising and Features Extraction of EEG Signals and Perspectives on Applications of Experimental Observations (脳波信号解析に注目したノイズ除去、特徴抽出、実験観測 応用を最適化する数理基盤に関する研究)
論文審査委員会	委員長 教 授 夏目 季代久 委 員 准教授 我妻 広明 委 員 准教授 堀尾 恵一 委 員 教 授 永原 正章

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、動作中の脳信号解析において微弱な脳波が筋肉誘発電位へ混在している場合の信号分離課題に取り組み、現在よく用いられている ICA 法などの多信号独立性による一般的な従来法に対し、本研究ではスパース信号表現の観点から、脳波の時系列特徴に注目して信号分離する MCA (Morphological Component Analysis) 法を導入し、頭蓋内実計測脳波と人工眼球運動誘発電位による定量的解析方法を新たに提案、MCA 法で脳波・眼電位分離において有効に動作するフィルタ群が特定したことに加え、注目すべき定性的脳波の特質として未知の立ち上り動作における運動準備電位の存在を明らかにし、同信号分離の重要性を示したものである。本研究によって、眼電位が混在した脳波を始めとして電位差が大きく異なる多種生体信号の信号分離を可能とする基盤が構築され、多岐にわたる人の日常 (社会) 活動中の脳波計測の展望が得られた。

学位論文は、序論として研究概要、研究背景・目的から、一般的な MCA 法についての解説を記述し、続く章において、本研究で注目する電位差が大きく異なる多種生体信号の一つとして、眼電位が混在した脳波計測の問題点と課題を取り上げている。その問題を解決する新たな理論基盤として、ウェーブレット縮退法 (Wavelet Shrinkage) を多種生体信号に適用する場合の問題点を解析し、その問題を解決する二段ウェーブレット縮退法を提案するとともに、頭蓋内実計測脳波と人工眼球運動誘発電位による定量的解析方法を定式化している。更に、その方法を発展させた MCA 法において脳波・眼電位分離において有効に動作するフィルタ群を比較解析し、有効性の検証を行っている。

実験的知見として、立ち上がり動作時の準備電位の問題に取り組み、その存在と解析方法について議論を行っている。

論文構成は、第1章を序論、第2章として研究背景および研究目的、第3章にMCA法概説、第4章より提案方法の理論定式化、実験的検証、続章でMCA法への展開、更に立ち上がり動作時の準備電位の実験検証が詳解、分析され、最終章で考察と今後の展望がまとめられている。

第4章では、本研究において提案された二段ウェーブレット縮退法が詳察されている。従来から、一般的な信号解析の方法として、ウェーブレット信号分解した際に、信号を再構成するのに必要な係数のうち、微小値のものは削除して再構成するウェーブレット縮退法が提案されており、ノイズ除去の効果があることが議論されてきたが、本研究では眼（筋）電位と脳波では大きく電位差が異なることから、従来法で縮退（削除）される部分に脳波を表現する成分が含まれており、必要な信号成分が従来法では消えてしまうという根本的な問題が理論的に明らかにされている。本研究では、その問題を解決する方法として二段ウェーブレット縮退法が提案され、その効果の定量的検証方法として、頭蓋内実計測脳波と人工眼球運動誘発電位による定量的解析方法が新たに定式化されている。その検証の結果、提案方法が眼電位、脳波成分の分離において有効に機能することが示されている。

第5章では、スパース信号表現の観点から前章の方法を拡張した理論としてMCA法を導入し、前章で定義した頭蓋内実計測脳波と人工眼球運動誘発電位による定量的解析方法に対して、有効性を向上させ、その場合、脳波-眼電位分離において有効に動作するMCA法のフィルタ群（本理論ではディクショナリと呼ぶ）は、UDWT、DST（もしくはDCT、LDCT）およびDIRACであることが特定された。

第6章では、注目すべき定性的脳波の一特質として立ち上り動作における運動準備電位の存在を明らかにしている。

本研究の提案解析手法は、一例として眼電位が混在した脳波に適用したものであるが、電位差が大きく異なる多種の生体信号混在における信号分離の基盤となる一般性の高い理論が示されたもので、多岐にわたる人の日常（社会）活動中の脳波計測の展望が得られることとなった。

## 学位論文審査の結果の要旨

本論文に関し、調査委員から、従来法と比較した新規性、有効性、脳波実験におけるオンライン適用の可能性などについて質問がなされたが、いずれも著者から満足な回答が得られた。

また、公聴会においても、十分な数の出席者があり、MCA法はどの部分を本研究で改良したのか、妥当性、新規性は十分あるのか、またはディクショナリの新規学習の可

能性など、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。