

氏 名	毛 利 佳 之
国 籍 ・ 本 籍	愛知県
学 位 の 種 別	博士（工学）
学 位 の 番 号	甲第273号
学位授与の日付	平成29年 3 月17日
学位授与の要件	名城大学学位規程第 3 条第 3 項該当
学 位 論 文 題 目	生理的磁気刺激による居眠り運転防止覚醒 保持効果および睡眠リバウンド現象の抑制 効果に関する研究
論文審査委員	主 査 山 田 宗 男
	副 査 渡 邊 晃
	副 査 中 野 倫 明

論 文 内 容 の 要 旨

居眠り運転は、交通死亡事故の原因として最も多くの割合を占めており、引き起こされる事故の危険性も問題視されている。これまでに、まばたきや脳波、心拍数といった生体情報からドライバの眠気度合を判定し、眠気を催している場合には、警告音や振動などの知覚刺激によって強制的に覚醒させる手法が数多く検討されており、一部は実用化され一定の効果を挙げている。しかし、強制的に覚醒を促す手法には、強制覚醒後に誘発される居眠りがより深いものになってしまう「睡眠リバウンド現象」が引き起こされてしまうという懸念が、居眠り運転防止手法の開発現場にて問題視されている。本研究は、睡眠リバウンド現象が実際にはどういったものなのかを解明するとともに、睡眠リバウンド現象を発生させない、生理的磁気刺激による覚醒手法を新たに提案し、さらに、これまでに開発されてきた知覚刺激による覚醒手法と組み合わせることによって、睡眠リバウンド現象を抑制可能な、これまでに無い居眠り運転防止手法を開発することを目的としている。

本論文の第 1 章では、交通事故状況の推移やドライバの状態検知および覚醒手法についての現状と問題点を解説し、本研究の目的について述べている。

第 2 章では、運転中における睡眠リバウンド現象についての定義を行う。さらに、これまで開発されてきた、警告音・警告画面、身体振動、ガム咀嚼、香り刺激による、各々の強制覚醒手法に対し、睡眠リバウンド現象が発生するか否かについて検証実験を行い、その結果について述べている。

運転中のドライバに睡眠リバウンド現象が発生しているか否かを検証するには、ドライバの覚醒

の度合を把握する必要がある。本研究では、簡便性および正確性から、脳波を用いて覚醒の度合を判定することとしている。脳波の解析方法としては、 δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波の各バンド帯域が占めるパワースペクトルの比率を算出するパーシャルオーバーオール法を用いることとし、覚醒時に現れる α 波と β 波を覚醒脳波、睡眠時に現れる δ 波と θ 波を睡眠脳波と分類し、両者の比率を求めることでドライバの覚醒の状態を評価する手法を提案した。この手法は、個人差を軽減することができ、安定した評価が行えるものとなっている。

実験に際しては、定置型ドライビングシミュレータを用いることとし、被験者には眠気を催しやすくするため、夜間の高速道路を模擬した単調なコースにおいて、センターライン上を定速で走行するタスクを与えた。被験者が居眠りに陥ったと判定された時点で、知覚刺激による強制覚醒を行わない場合にはその時点での覚醒指数を、強制覚醒を行う場合には、一度覚醒を促した後、再度居眠りに陥った時点での覚醒指数を求め、それぞれの実験開始前の覚醒状態における覚醒指数との比率を求めることで、覚醒の度合を評価し、睡眠リバウンド現象が発生しているか否かを検証した。なお、居眠りの判定には運転パフォーマンスと視察判定を用いた。

検証実験の結果、警告音・警告画面、身体振動、ガム咀嚼、香り刺激のすべてにおいて、睡眠リバウンド現象の発生が確認でき、知覚刺激による強制覚醒手法において睡眠リバウンド現象が発現することを明らかとした。

第 3 章では、睡眠リバウンド現象を発生させない新たな覚醒手法として、磁気プロトニクス原理に基づく覚醒手法を提案し、その覚醒効果についての実験と結果について述べている。

磁気プロトニクス原理とは、(財)名古屋産業科学研究所研究部の磁気プロトニクス原理研究会が提唱している、超低周波微小交流磁界の印加による生体活性化原理である。生体に超低周波の微小交流磁界を印加すると、生体内の水分子クラスターが集合し、自由プロトンが発生することで生体内のエネルギーである ATP の生成能が向上する。運転動作においては、ハンドルやアクセル・ブレーキの操作に必要なエネルギーを ATP の消費によって得ている。しかし、ATP を消費すると睡眠物質であるアデノシンが発生するため、運転動作を継続して行うことは居眠りの発生につながる。そのため、ATP の生成能を向上させることは、居眠り運転の防止に有効であると考えられる。

実験に際しては、覚醒中枢が存在する中枢神経系が存在している脊柱部を刺激する場合と、腹腔神経叢があり交感神経が存在している鳩尾部を刺激する場合の 2 通りを行った。磁気刺激を行う方法としては、複数個の集団で配置することで周期的な交番分布静磁界を発生する磁性橄欖岩の粉末を焼結したものをを用い、磁化焼結球を充填したチューブを脊柱部に配置したベスト、焼結球を鳩尾部に密集させたペンダントをそれぞれ用意して実験を行った。また、磁気刺激を与えない場合についても、同様の形状のダミーをそれぞれ用意することで、完全なるブラインドテストにて行った。実験条件は第 2 章と同様とし、実験の開始前の覚醒状態における覚醒指数と、20 分の走行後の覚醒指数の比率を求めることで、覚醒の度合の評価し、覚醒効果の検証を行った。

検証実験の結果、脊柱部および鳩尾部の何れにおいても、磁気刺激を行うことによって覚醒状態の維持効果が得られることを確認した。しかし、ウィルコクソンの符号順位検定を行ったところ、脊柱部刺激においてのみ有意差が見られたため、脊柱部に磁気刺激を与えることが、覚醒の保持に特に有効であるということも確認できた。

第 4 章では、第 3 章にて確立した、脊柱部への磁気刺激による覚醒手法について、睡眠リバウン

ド現象が発生するか否かの観点において行った検証実験と結果について述べている。

実験に際しては、磁気刺激を与える場合と与えない場合の2通りを行った。磁気刺激の方法と実験条件は第3章と同様とし、実験の開始前の覚醒状態における覚醒指数と、居眠りに陥った時点での覚醒指数の比率を求めることで、覚醒の度合いを評価し、睡眠リバウンド現象が発生しているか否かを検証した。

検証実験の結果、磁気刺激を与える場合と与えない場合における覚醒指数の比率はほぼ同値であった。また、有意差も確認されなかったことから、磁気刺激による覚醒手法においては、睡眠リバウンド現象は発現しないことを明らかとした。

第5章では、磁気刺激による覚醒手法に、知覚刺激を用いた覚醒手法を組み合わせた場合の、睡眠リバウンド現象の抑制効果についての検証実験と結果について述べている。

無意識・無感覚の刺激である磁気刺激は、覚醒状態を維持させる効果を持っており、睡眠リバウンド現象の発現もないが、一度睡眠状態に陥ってしまったドライバに対して強制的に覚醒させる効果は持っていない。そのため、ドライバを瞬時にかつ強制的に覚醒させることのできる知覚刺激と組み合わせることで、有効なドライバの覚醒手法を確立することができると考えられる。

実験に際しては、磁気刺激を与え、かつ知覚刺激である香り刺激による強制覚醒を行う場合と、刺激を与えない場合の2通りの実験を行った。実験の条件および評価の方法は第2章と同様とした。

検証実験の結果、磁気刺激と知覚刺激を組み合わせることにより、睡眠リバウンド現象の発生が抑制されることが確認でき、提案手法が、睡眠リバウンド現象を発現させない、より安全で有効な覚醒手法であることを明らかとした。

第6章では、本研究の成果と課題について述べ、結論としてまとめている。

本研究では、知覚刺激による覚醒手法における睡眠リバウンド現象の発生を確認し、睡眠リバウンド現象を発生させない手法として、磁気刺激による覚醒手法を新たに提案し、その効果を確認した。さらに、知覚刺激と組み合わせることにより、より安全で有効な覚醒手法となることを確認した。今後の課題として、最も効果のある刺激の組み合わせを探ることなどが挙げられる。

論文審査の結果の要旨

本学位論文は、居眠り運転の抑止技術に関するものであり、居眠り運転発生の生理的メカニズムの解明と、これまでに無い全く新規の居眠り運転防止技術の提案およびその有効性に関しての実験検証結果についてまとめたものである。

自動車運転事故の主要な要因である漫然・居眠り運転による死亡事故は依然後を絶たず、特にドライバの高齢化が加速する我が国においては、早急な対策が必要不可欠である。従来のドライバ覚醒技術は、視覚、聴覚、触覚、嗅覚などに対して、光、音、振動、香りなどによって一時的に刺激を与えることで行われてきた。これらの感覚刺激による覚醒技術は、即効性が高いためドライバの覚醒手段としては有効であると考えられる。しかし一方で、一時的な強制覚醒後に再度に陥る居眠りがより深い居眠り状態となってしまう「睡眠リバウンド現象」の発現が懸念され、ドライバの覚醒手段としては大きな問題を抱えている。

この問題に臨み本研究では、まず、居眠り運転発生のメカニズムを、生理学の観点から考察し解明すると共に、運転中のドライバにおける睡眠リバウンド現象の発現を実験検証によって確かめている。また、その結果に基づいて、居眠り運転を抑止可能な全く新規の覚醒手段について提案している。具体的には、水分子中の自由プロトンを活用可能な磁気プロトニクス原理を応用して、生体に超低周波微小交流磁界刺激を行うことによって、生体細胞内のミトコンドリアでのATP（アデノシン三リン酸）産生を促し、生体エネルギーの枯渇化を抑制することによって居眠り運転状態を引き起こしにくくする手段を考案した。さらに、この提案手法の有効性に関して、ドライビングシミュレータを用いて実被験者による検証実験を実施し、運転中のドライバの脊柱部に対して磁界刺激を行うことで、有効な覚醒効果が得られることを実証した。さらに、提案手法では、上述の睡眠リバウンド現象が抑制されることも実験検証によって明らかにした。

これら一連の研究成果は、学術的意義のみならず、将来の自動運転システムの実現においても重要な一助となるものであり、その実応用に寄与するところは極めて大きいと評価できる。

以上の観点から本研究は、学位論文としての条件を十分に備えていると評価でき、学位授与が妥当であると判断する。