

心拍データに基づく振動刺激による覚醒手法の研究

Study of Awakening Method by Vibration Stimulation Based on Heart Rate Data

電気電子情報通信工学専攻 羽鳥 航
Wataru Hatori

1 はじめに

近年社会環境が変化し、それに伴い精神的なストレスが原因で睡眠障害になる人が増えてきている。日本では成人の5人に1人、約1500万人2000万人の人が不眠に悩んでいると言われている。そもそも睡眠には疲労を回復する働きがある。そのため睡眠が量的に不足、または質的に悪化すると健康上の問題が生じてくる恐れがあり生活習慣病のリスクにつながることが明らかになってきた。また日中の眠気がヒューマンエラーに基づく事故にもつながることが明らかになっている。そこで人間の健康状態を考える際、睡眠・覚醒のバランスの重要性が見直されている。人の睡眠、覚醒の状態推移を制御するにあたって振動に着目する。振動刺激は全身振動と局所振動の2種類に分類される。全身振動は乗り物への乗車時のように身体全体に受ける振動であり、局所振動はマッサージ器等のように身体の一部に受ける振動である。このような振動刺激は覚醒効果、睡眠導入効果や場合によっては不快感を与える可能性もある。そこで振動のパラメータを変え任意の振動を生成し、それに対する生体反応の入出力の関係を明らかにする。

先に述べた日中の眠気によるヒューマンエラーについては、特に交通事故への影響が考えられる。ASV(Advanced Safety Vehicle) 技術をはじめ、自動車運転の安全性の向上が進んでいる。そのため自動車や道に起因する交通事故は減少傾向にある。一方、漫然運転や居眠り運転を含むヒューマンエラーが原因となる交通事故も減少傾向にあるものの、自動車交通事故を占める割合は増加している。そのため、無意識下でドライバーの状態をセンシングし状況に応じてフィードバックを行う必要がある。

よって本研究では振動刺激による覚醒効果について検討する。これまでの先行研究などでは振動刺激による様々な効果をその振動の入力とヒトに現れる出力のみに着目してきた。本研究ではその間にある入出力関係に着目し基礎検討を行う。振動による生体情報の変化を求め、そこで得られた情報から入出力モデルを求めることができればヒトの覚醒度の制御など様々な応用が可能となる。本研究では振動刺激を与えることによる眠気度の制御を目指しているた

め、入力を振動、出力を心拍数の変化として捉えモデル化を行い、アプリケーションとして運転時覚醒度の制御システムの開発を行う。

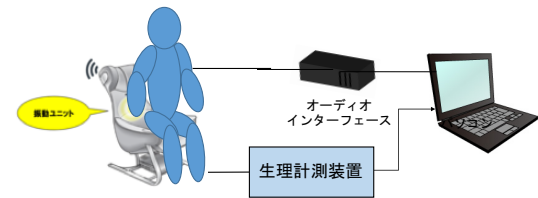


Fig.1.1: 覚醒水準の制御システム

2 心拍データに基づく眠気推定手法

2.1 心拍数変動からの眠気推定

眠気推定手法に関しては、心拍、脳波、顔表情などによる眠気推定が存在する [1][2][3]。しかし運転中のドライバーの生理計測を行うにあたりドライバーへの拘束性は無くさなければならぬ。最も有用とされる脳波に関しては、計測にキャップの装着や頭皮へのジェルの添付など拘束感が非常に高いため開発するシステムに組み込むことは不可能である。よって本研究では計測が容易かつ眠気との相関が高いとされている心拍変動 [4][5] を用いる。

2.1.1 眠気推定式

眠気を算出するために眠気推定式を導入する。生理学的眠気を求める際の (2) 式の HR_{stand} は基準心拍数であり、 G は眠気度のゲインを表す。また HR_{stand} 及び G は個人パラメータであるため、個人ごとに値は変化する。心拍数の変化が大きい人に対しては G を小さく設定し、心拍変動があまり見られない人に対しては G を大きく設定する。(1) 式の Si は (2) 式に示すように Sp の積分要素であり、眠気の蓄積を考慮している。

$$S = Ki * Si + Kp * Sp \quad (2.1)$$

$$Sp = G * (HR_{stand} - HR_{ave}) \quad (2.2)$$

$$Si = \sum_{t=1}^n Sp(t) \quad (2.3)$$

2.2 眠気推定手法の検証実験

上記の積分項を考慮した眠気推定式を用いて眠気推定の検証する。被験者は2名で実験は30分間、ドライブシミュレータを使用し模擬運転を行ってもらい、1分毎にVASに書き込んでもらう。主観的眠気、心拍変動から算出される生理的眠気の2つを測定し相関を確認する。実験の結果、生理学的眠気と主観的眠気との相関係数は0.66,0.88となり相関が見られた。よって先行研究による眠気推定式により主観的眠気を推定することが可能であることが示された。

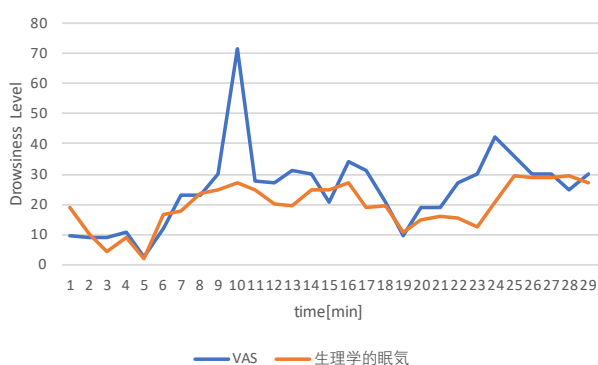


Fig.2.1: 主観的眠気 (VAS) と生理学的眠気の結果

3 振動パターンの選定

振動子によって触覚刺激に訴えることで覚醒および警告の通知を行う。先行研究でもドライバのシートを振動させることで覚醒効果を生むといった報告がある [6]。単調な振動刺激は一時的な覚醒効果は認められるものの、慣れなどの影響により覚醒効果が維持しないという課題もある。また覚醒効果を高めるために振幅をランダムにするなどの不快な振動を与える方法も考えられるが、不快さゆえに利用されないといった問題に繋がる。基礎検討として音楽の理論を振動波形に応用し、一般的に心地よいとされる協和音で構成された周波数を用いる。このように新たに作成したハーモニック振動が不快感なく、同時に覚醒効果があることを実験によって確認する。

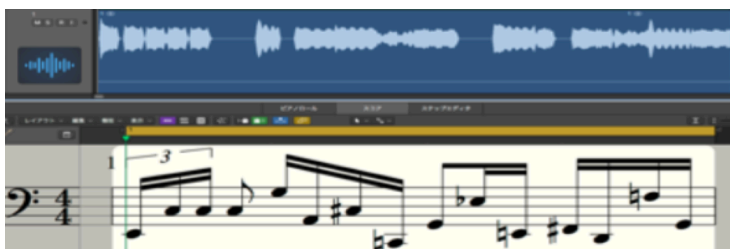


Fig.3.1: 協和音

3.1 振動刺激の評価実験

作成したハーモニック振動による覚醒効果と不快感について生体情報の変化及び主観評価を求めるため評価実験を行う。ボイスコイル型振動子を椅子の背もたれに取り付け、着座した被験者に振動刺激を与えることで被験者の反応を計測する。振動刺激の生成としてはパソコンで波形を作り、信号をアンプによって増幅し振動子へ入力する。この時の心拍変動による生理反応の測定と主観評価によるアンケートを行う。被験者は健康な成人男性10名(平均年齢23.4歳)。覚醒効果については心拍数の変動を用いて評価する。不快感についてはSTAIのFormXの点数の変動を用いて評価する。

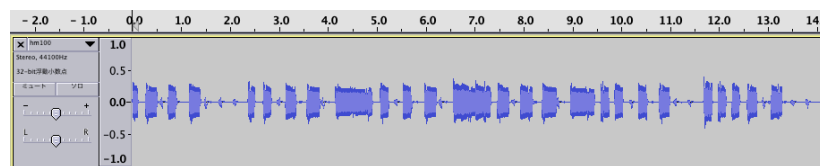


Fig.3.2: ハーモニック振動の波形

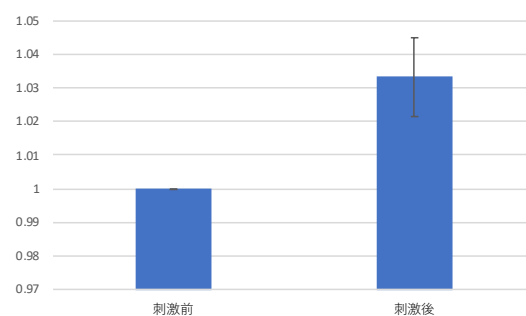


Fig.3.3: ハーモニック振動刺激による心拍数の変化

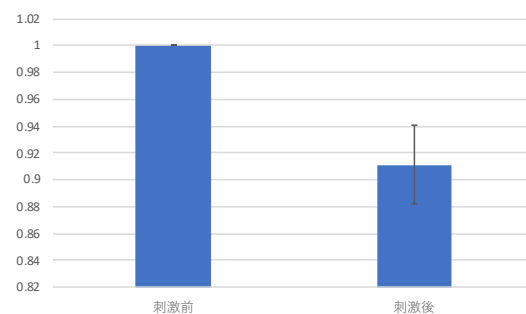


Fig.3.4: 被験者毎のハーモニック振動の STAI の点数

ハーモニック振動では10名中9名が心拍数の増加を示した。またハーモニック振動刺激による心拍数の変化に関してはt検定の結果、統計的に有意な差が認められた($t(18)=0.0076 < .05$)。STAIによる不安尺度の点数について、ハーモニック振動では10名中7名が減少している。ハーモニック振動刺激の前後での不安尺度の点数の変化はt検定の結果、統計的に有意な差が認められた($t(18)=0.039 < .05$)。覚醒効果を持ち、更に不安感を与えない振動を作

成することができたため、本研究で開発する覚醒システムではこのハーモニック振動を用いる。

4 振動による心拍数変動の制御

入力振動－出力心拍数のモデルを同定する．振動の入力の時間が長いほど心拍上昇は大きく，時間が短いほど心拍上昇は小さくなると考え，モデルは1次遅れ系になると考えた．生体情報のモデル化としては振動刺激による拮抗筋の運動までのモデルを検討したという報告もある [7]．まず振動刺激と心拍数変動の対応したデータをとるために実験を行った．ここで得られた入出力の対応するデータから求めたボード線図を Fig. に示す．この結果から1次遅れ系であることが確認できた．更に最適な係数を導き求めた伝達関数が

$$G(s) = \exp(-2s) \frac{0.52}{s + 0.037} \quad (5)$$

である．推定モデルの適合度の検証として導出したモデルからの測定出力と実際の出力と比較を行う．モデル作成に使用しなかったオリジナルデータの一部と比べる．黒線は

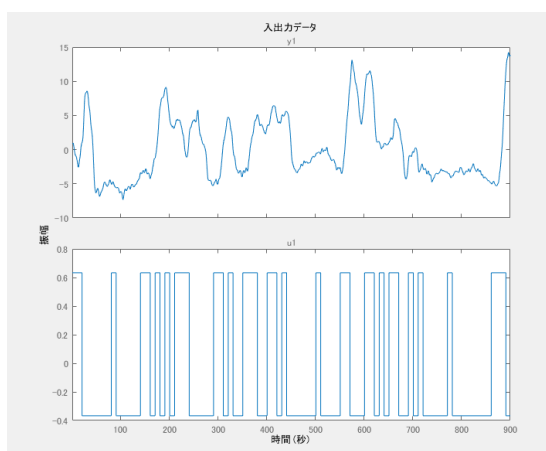


Fig.4.1: 振動刺激と心拍変動のデータ

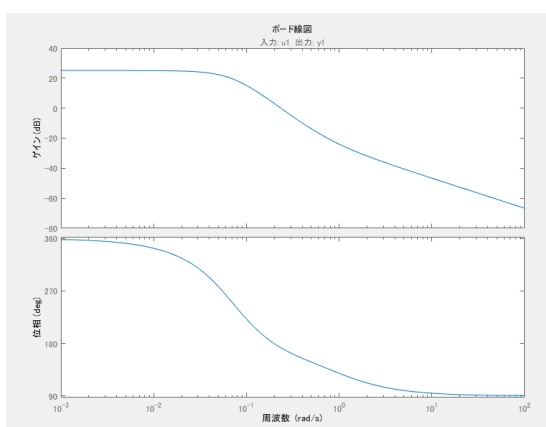


Fig.4.2: 振動刺激と心拍変動のボード線図

実際の応答結果に当たる心拍数の変動であり，赤線は振動刺激の入力である．また青線は作成したモデルの出力である．の結果からモデルの出力が実際の心拍数変動の特徴を

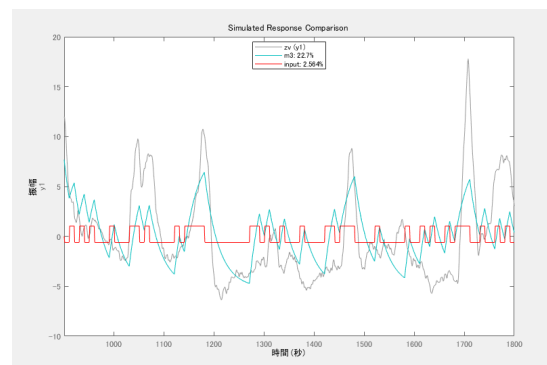


Fig.4.3: モデルの応答と実際の応答の比較

よく表していると考えられる．また振動の入力に対して，モデルの出力は遅れ要素を持って増加しているのが確認できる．

5 提案システムの評価実験

5.1 提案する心拍に基づいた振動覚醒システム

本システムはセンシングを行う生理計測部とフィードバックを行う振動生成部からなる．使用する機器は心拍を計測する生体センサー BITalino, 心拍から生理学的眠気を解析する PC, シートの背もたれに設置するボイスコイルモータ（振動子）, 振動子に PC から振動の信号を送る際に信号を増幅させるアンプである．本システムのソフトウェアは MATLAB/Simulink を用いて作成した．

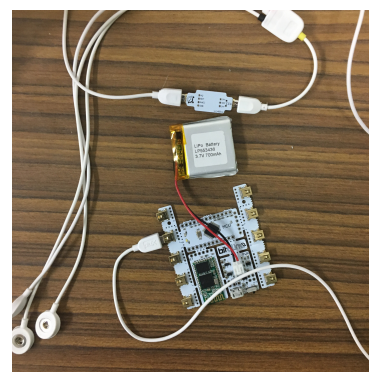


Fig.5.1: BITalino



Fig.5.2: ドライブシミュレータの環境

5.2 評価実験

被験者は2名で30分間でドライブシミュレータを使用し模擬運転を行った。シートには振動子を設置しており生理学的眠気が50を超えた場合、振動を出力する。生理学的眠気が70以下に抑えることを目標として実験を行った。

実験の結果、目標であった生理学的眠気を70以内に抑えるという目標を被験者2名とも達成することができた。

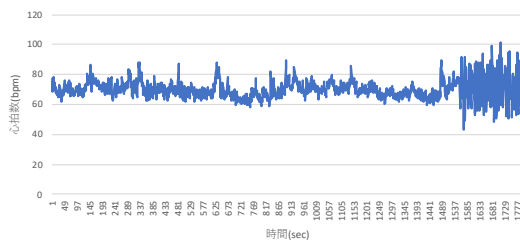


Fig.5.3: 心拍数変動の結果

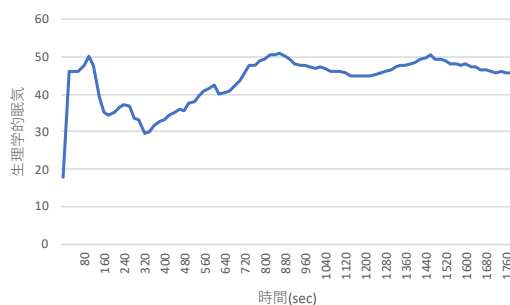


Fig.5.4: 眠気度の結果

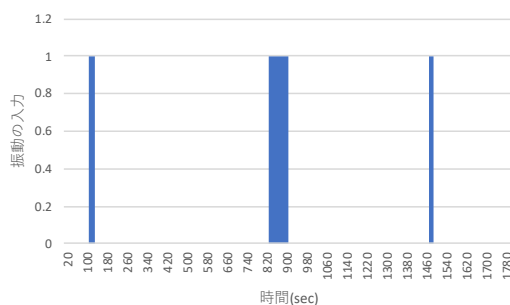


Fig.5.5: 実験中の振動の入力結果

6 おわりに

振動がヒトの身体にどのような影響を与えるのか明らかにすることで、現在のストレス社会をより豊かなものにしていくのでは無いかと考えた。本研究ではそのアプリケーションの一つとして振動心拍データに基づいて眠気度を推定し振動刺激によって覚醒させるシステムの開発とその評価を行った。一つは振動刺激によりヒトの覚醒水準の

上昇をさせるために必要な、覚醒効果のある、不快感の無い振動パターンを必要とする。そこで音楽理論を適用した振動パターンは実験の結果被験者の大多数にとって不快感の無いものであることを示した。生体のセンシングとフィードバックを行う上で、制御工学的アプローチを試みた。人を覚醒させる制御の基礎検討として、振動刺激の入力が入った際の心拍変動を出力として捉え、遅れ系のモデルとして同定を行った。推定したモデルから振動刺激の入力の周期が長いほど覚醒効果が高いことが確認できた。これらのモデルを用いたシミュレーションを行い心拍の制御が可能であることを示し、実システムを開発した。そして実装したシステムで被験者2名を対象に検証実験を行った。提案したシステムを30分使用したところ、いずれの被験者も心拍から算出される生理学的眠気は目標値以内に抑えることができた。

参考文献

- [1] 竹澤直剛, 中村壮亮, 橋本秀紀: ”容量結合型電極を用いた心電図計測による車載搭載用居眠り検知システムの開発”, 計測自動制御学会 2016, 3D2-3, 2016.12, 北海道
- [2] Takaya Sano, Koki Kurosawa, Mitsuo Yasushi, Hideki Hashimoto: ”Drowsiness Estimation using RR Interval Variation for Vehicle”, SAMCON2018
- [3] Taro Nakamura, Akinobu Maejima, Shigeo Morishima: ”Detection of Driver's Drowsy Facial Expression” IAPR Asian Conference on Pattern Recognition, 2013
- [4] 福島 怜, 金子 成彦, ”RR 間隔と眠気の強さの相関関係を利用した眠気推定手法の考案”, 日本機械学会, No.10-50, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 2010 公演論文集.
- [5] M. Mendez, A. M. Bianchi, O. Villantieri, S. Cerutti: ”Time-varying Analysis of the Heart Rate Variability during REM and Non REM Sleep Stages”: 2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
- [6] 小西建斗, 萩原啓: ”体感振動刺激が及ぼす生体反応と単調作業課題への影響”, モバイル学会誌, Vol.8, No.1・2, p.3-8 (2001)
- [7] Kazuo Kiguchi, Koki Honda: ”Effect of Frequency in Vibration Stimulation for Human Elbow Extension Motion Change: A Fundamental Study for Upper-Limb Perception-Assist”, 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics