

音楽の特徴量に基づく覚醒水準維持に関する研究

Study on Maintaining Arousal Level Based on Music Features

精密工学専攻 47号 南 伸昌
Nobuaki Minami

1. はじめに

近年、自動車運転中における居眠り運転による事故が多発している。それに対して自動ブレーキのような運転支援システムが次々と開発され、ヒューマンエラーによる自動車事故は減少しつつある。しかし、自動運転技術が向上し運転者の負荷が軽減されるにつれ、覚醒が下がる傾向にあり、運転中の運転者の覚醒水準維持の重要性が増している。

そこで本研究では、運転中に聴取されることが多い音楽を使用し、運転者の覚醒水準を維持し、交通事故の防止につなげることを目的とする。

なお、本研究の全ての評価実験は、被験者に対して事前にインフォームドコンセントを得た上で実施している。

2. 覚醒水準維持に有効な特徴量の定義

2.1 音楽を加工した印象変化の把握実験概要

本実験では、事前アンケートにより選別した被験者の、好みの音楽1曲を使用し、評価方法として相対評価によるSD法を用いる。評価する形容詞対は覚醒感、快適感を考慮して選定した計16種類である。加工をしていない基準音と周波数特性を加工した評価音の比較をしやすいするため、モニターに音楽プレーヤーを映し出し、基準音と評価音を順序自由に何度でも再生できるようにし、被験者は納得いくまで音源の比較を行った後、各形容詞対の基準音に対する評価音の印象得点を評価用紙に記入する。なお、被験者は20代7名である。

2.1.1 曝露音源

基準音を1/1オクターブバンドの中心周波数から中心周波数までの音圧を10 dB上げた後、ラウドネスを統一した音楽を使用し、評価音源と加工をしていない音楽を含めた計8種である。本実験で使用する音源の心理音響尺度をTable 1に示す。

2.1.2 音楽を加工した印象変化の把握実験結果

因子分析により得られた因子負荷量より、「快適-不快」に代表される第1因子、「明るい-暗い」に代表される第2因子を抽出し、それぞれを快適因子、覚醒因子と定義する。それぞれの寄与率は33.5%、27.1%であり、累積寄与率は60.6%である。

Fig. 1に快適因子と覚醒因子の因子得点を示す。ここでは覚醒因子に注目する。覚醒因子の因子得点の傾向とシャープネスの値の傾向は一致しており、シャープネスの値が大きくなるほど覚醒感が高くなるという傾向がみられた。また、覚醒因子の因子得点とシャープネスの値の相関係数は0.68であり、正の相関がある。

2.1.3 音楽を加工した印象変化の把握実験考察

相関係数の値が低い原因として、基準音が好みの音楽であったことが考えられる。好みの音楽は覚醒水準維持効果があることが報告されている⁽¹⁾。好みである基準音を加工することにより、違和感を覚え、シャープネスの値が高くても覚醒因子の因子得点が低くなったことが考えられる。また、Fig. 2に基準音と比較した際の評価音の違和感を示す。ここで、3を違和感がある、0をどちらとも言えない、-3を違和感が

Table 1 Psychological sound scale

Sound	Processing frequency	Processing method	SPL [dBA]	Loudness [sone]	Sharpness [acum]
M0	None		50.0	About 7.0	1.56
M1	125-250Hz	10dBup	49.7		1.42
M2	250-500Hz		50.6		1.39
M3	500-1000Hz		52.1		1.41
M4	1000-2000Hz		53.4		1.48
M5	2000-4000Hz		51.2		1.61
M6	4000-8000Hz		49.5		1.99
M7	8000-16000Hz		49.8		1.72

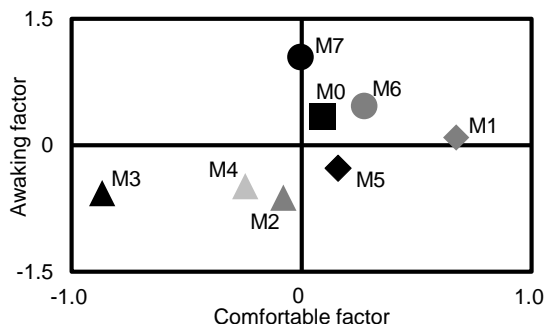


Fig. 1 Result of factor analysis for chord type

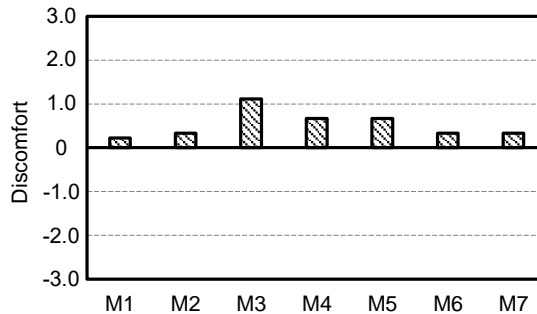


Fig. 2 Sound of discomfort

ないと定義した。全ての評価音に対して、違和感があるという傾向になり、違和感があるとシャープネスの値が高くても、覚醒因子の因子得点が低くなる可能性が示唆される。

実際の使用状況を考えると運転中には、運転者の聞きなれている音楽や好みの音楽を流すことが予想される。音楽を加工することによって、違和感を覚えるのはあまり望ましくない。そこで次節では、音楽を加工した際に運転者が違和感を覚えない音楽の特徴量を導出する。

2.2 違和感なく加工した音楽に対する覚醒評価

違和感を覚えないように加工した音楽に対して、主観評価、客観評価を行い、覚醒度の変化の把握を本節の目的とする。

2.2.1 覚醒評価に用いる音源

Table 2 に本実験で使用する音楽の心理音響尺度を示す。2.1 節に使用した音楽を被験者が違和感を覚えないように加工する方法として、ラウドネスの標準偏差を変更する手法を提案する。Fig. 3 に加工する前の 0.5 秒ごとのラウドネスの値と変更後のラウドネスの値を示す。

未加工の音源の時間軸において 0.5 秒ごとに音圧を ± 1 dB することにより、ラウドネスの標準偏差を大きくした。ここで、未加工の音源を R0、ラウドネスの標準偏差を大きくした音源を R1 と定義する。2.1 節と同様に違和感について評価を行った結果、評価結果は -1.3 であり、被験者は加工した音源において違和感を覚えていないことが確認できた。

2.2.2 覚醒評価に用いる実験タスク

実験参加者の前方 0.6 m に配置したノートパソコン (15.6 インチ液晶ディスプレイ) にて、ヘッドホンによる音刺激と同時に実験参加者はトラッキングタスクを行う。

タスクは Fig. 4 に示す縦 4.9 cm、横 11.9 cm の長方形内を直径 1.0 cm の円を、約 1.0 cm/s の速度で移動させ、その円の中心にカーソルが合うようにマウスを 10 分間操作するように教示した。

2.2.3 実験参加者と実験条件

実験参加者は、正常な睡眠および覚醒サイクルの生活を送っている健康な 20 代 3 名を対象とする。なお、被験者には前日に普段の時間以上の睡眠をし、暴飲暴食や過度な運動を禁止するように指示した。

本実験では、各実験参加者が R0、R1 の 2 通りの実験を行う。このとき、長時間の実験による疲労や眠気の蓄積の影響、概日リズムを考慮して、それぞれの実験を異なる日の同じ時間帯に実施した。各セットにおいて実験参加者は最初に VAS 評価シートを記入し、心電計測装置を装着する。その後、実験を 14 分間実施する。実験の開始と同時に心電計測を開始する。4 分間無音映像を鑑賞した後、R0 または R1 を聴取しながら、10 分間トラッキングタスクを実施する。トラッキングタスクの終了と同時に心電計測を終了する。その後、最初と同様に VAS 評価シートを記入する。

本実験は、温度：21~23 °C、CO2 濃度：1500 ppm 以下、照度：170 lux とした無響室内で実施した。

2.2.4 違和感なく加工した音楽に対する覚醒評価結果

主観評価として VAS を、客観評価として顔表情評定⁽²⁾、心電計測を評価した。以下に本実験で得られた評価結果について述べる。

a. VAS による主観評価結果

Fig. 5 に実験参加者全員の眠気の変化の平均値を示す。各

Table 2 Psychological sound scale

Sound	SPL [dBA]	Loudness [sone]	Sharpness [acum]	Loudness standard deviation
R0	50.0	About 7.0	About 1.56	0.95
R1	49.8			1.29

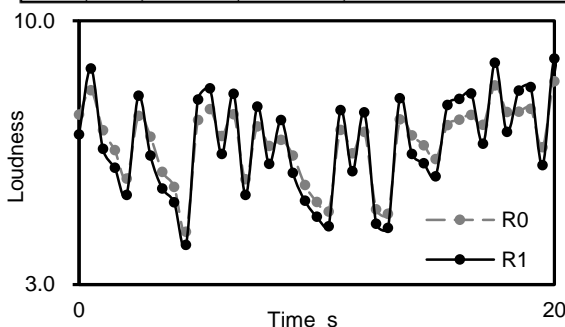


Fig. 3 Sound of loudness

条件ともに眠気が上昇していることから、本タスクを実施することで眠気が増加することが確認できる。また、各条件において眠気に差があることが確認できる。

b. 心電計測による客観評価結果

心電計測はローレンツプロット面積 (以下、LPs) で評価する。LPs は個人差が大きいので、タスク中の 10 分間における LPs を無音映像鑑賞中の 4 分間における LPs で割ることにより基準化を行った後に各条件を比較する。

Fig. 6 に 3 名の被験者の基準化した LPs の平均値を示す。Fig. 6 より R0 よりも R1 のほうが LPs の値が大きいことが確認できる。

c. 顔表情評定による客観評価結果

実験開始から終了までの評定者による 5 秒ごとの顔表情評定結果の覚醒水準の平均値を Fig. 7 に示す。Fig. 7 より、ラウドネスの標準偏差が小さいほど覚醒水準維持に有効である可能性が示唆された。そこで、本研究では、シャープネスの大きさとラウドネスの標準偏差を覚醒水準維持に有効な音楽の特徴量として定義する。

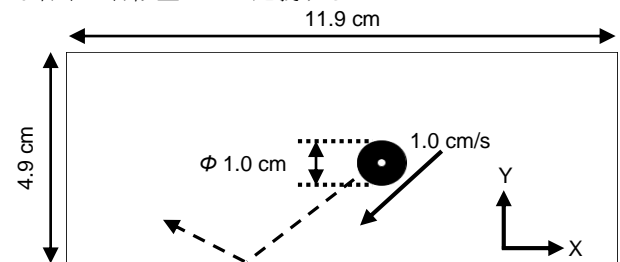


Fig. 4 Tracking task

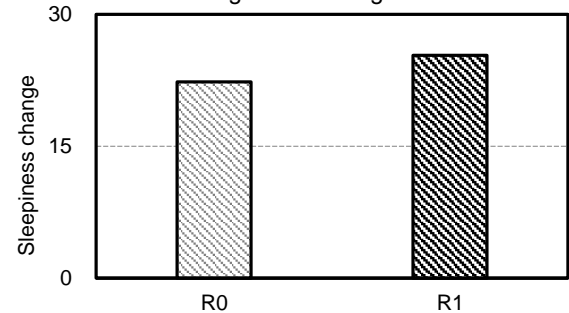


Fig. 5 VAS results

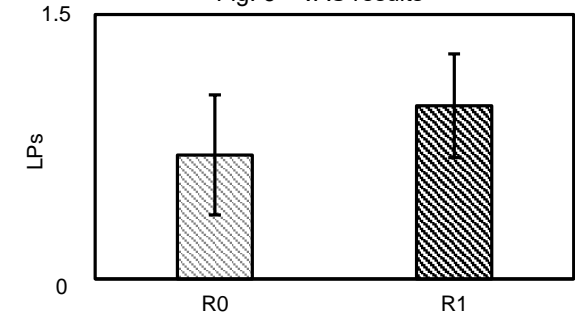


Fig. 6 LPs results

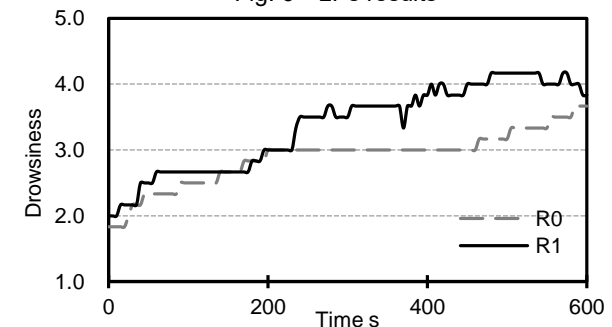


Fig. 7 Time of averaged sleepiness

3. 音楽における覚醒基礎実験⁽³⁾

3.1 音楽における覚醒基礎実験概要

本章では、音楽の有無や2章で導出した特徴量の違いに着目し、音楽が覚醒水準維持に与える影響把握を行う。実際の使用状況を想定し、特徴量の違う未加工の音楽を用いて、着衣条件や環境条件を統一し、長時間のトラッキングタスクを用いたマウスによる追従タスクを実施し、被験者の覚醒水準を主観評価、客観評価、行動評価を用いて統合的に評価する。

3.1.1 曝露音源

実験に用いる各音楽の心理音響尺度をTable 3に示す。音楽のジャンルはS1:ロック, S2:カントリー, S3:クラシックである。

3.1.2 実験参加者と実験スケジュール

実験参加者は、正常な睡眠および覚醒サイクルの生活を送っている健康な20代4名を対象とする。なお、被験者には前日は普通の睡眠時間以上の睡眠をし、暴飲暴食や過度な運動を禁止するように指示した。

本実験は、各実験参加者が音楽3種に加えて、無音を含めた4通りの実験を行う。このとき、長時間の実験による疲労や眠気の蓄積を考慮して、それぞれの実験を連続で行わず異なる日に行い、概日リズムを考慮してそれぞれの実験を同じ時間帯に実施した。

3.1.3 実験環境

実験は環境量をそれぞれ、温度:21~23℃, 照度:700 lux ±10%, CO2濃度:1500 ppm以下とした。また、着衣量は1.0 cloに統一した。

3.1.4 音楽における覚醒基礎実験評価結果

主観評価としてアンケート調査を、客観評価として顔表情評定、行動評価としてタスクのエラー率を評価した。以下に本実験で得られた評価結果について述べる。

a. アンケート調査による主観評価結果

タスクの前後で、自身の状態に当てはまる快適度を7段階で申告してもらい、得られた申告結果より、タスク前後の差(タスク後-タスク前)を求めた。なお、快適度は+3を非常に快適、0をどちらとも言えない、-3を非常に不快と定義した。Fig. 8に実験参加者全員の快適度の変化の平均値を示す。全ての条件において、快適度が低下していることが確認でき、各条件において快適度に差があることが確認できる。

b. 顔表情評定による客観評価結果

曝露音ごとの実験参加者全員の実験開始から終了までの評定者による5秒ごとの顔表情評定結果の覚醒水準の平均値をFig. 9に示す。Fig. 9より、無音は音楽を流した場合と比較して、覚醒水準の値が低く、音楽を流すことで覚醒水準の低下を抑制できることが確認できる。S1が最も覚醒度が高く、S3が最も覚醒度が低いことが確認できる。

c. タスクのエラー率による行動評価結果

トラッキングタスクにおいて、カーソルが円内にある時に0、円から外れた際に1と60 fpsで出力される。円から外れたデータの総量を各実験のトラッキングタスクのデータの総量で割ることにより、エラー率を算出した。Fig. 10に曝露音ごとの実験参加者全員の実験開始から終了までの5分ごとのエラー率の結果の平均値を示す。S1とS3は実験開始直後はエラー率が低く、実験後半になるにつれてエラー率が上昇する同じような傾向が確認できる。S2はS1、S3と比較すると実験開始直後からエラー率が高い傾向であることが確認できる。無音は音楽を流した場合と比較して、エラー率の値が高く、音楽を流すことでエラー率の低下を抑制できることが確認できる。

3.1.5 音楽における覚醒基礎実験評価考察

音楽を流した場合の、アンケート調査の傾向と顔表情評定

Table 3 Psychological sound scale

Sound	SPL [dBA]	Loudness [sone]	Sharpness [acum]	Loudness standard deviation
S1	57.6	About 11.2	1.81	0.57
S2	57.0		1.14	1.60
S3	61.2		0.65	1.85

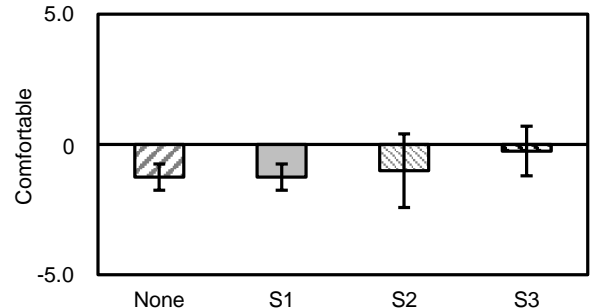


Fig. 8 Questionnaire survey results

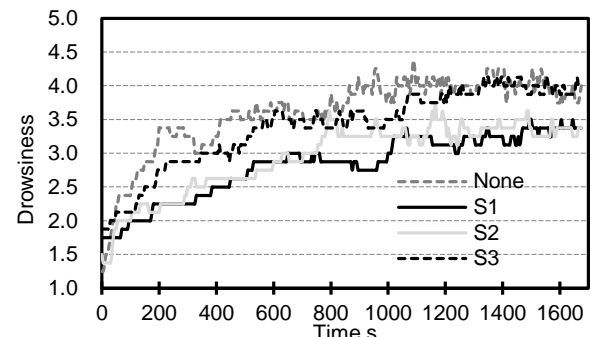


Fig. 9 Time of averaged sleepiness

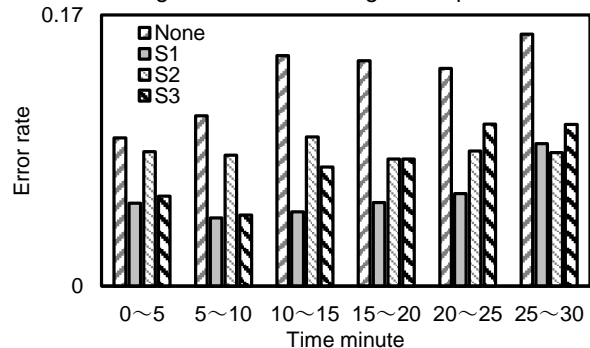


Fig. 10 Time of averaged error

の結果の傾向が一致していることから、覚醒水準が低下すると快適度が向上する可能性が示唆される。

タスクのエラー率と顔表情評定の結果が一致しなかったが、タスクのエラー率には覚醒度だけでなく集中力や疲労等が関係していると考えられる。タスクのエラー率だけでは、覚醒度が予想できないと推察される。

4. 音楽における覚醒応用実験⁽⁴⁾

音環境の異なる条件下にて、高速道路走行を想定したドライビングシミュレータ(以下、DS)を用いた前方車追従タスクを実施し、眠気の変動量を求め、運転精度の向上を検討する。

4.1 覚醒実験ドライビングタスク

実験参加者の前方1.5 mに配置した54.2インチ液晶ディスプレイにて、スピーカによる音刺激と同時に実験参加者はドライビングタスクを行う。

タスクは道路上で80 km/hで定常走行する前方車を追従する。被験者にはハンドル操作、アクセル操作、ブレーキ操作

を用いて車間距離を一定に保つように教示し、走行車線のみを走行するように教示した。

4.2 覚醒実験に使用する曝露音源

組み合わせ条件を Table 4 に示す。2 章により定義した音楽の特微量により選定した 15 個の音楽を組み合わせることで 2 条件で実施する。実験時間は計 41 分間とし、覚醒度が中間傾向の音楽 11 分間と覚醒度が低い傾向の音楽 30 分間を組み合わせる条件を Drowsy、覚醒度が中間傾向の音楽 11 分間と覚醒度が高い傾向の音楽を 30 分間組み合わせる条件を Arousal とする。

4.3 実験参加者と実験条件

20 代 10 名を対象として、評価音 2 種で実験を実施した。長時間の実験による疲労や眠気の蓄積の影響、概日リズムを考慮して、それぞれの実験を異なる日の同じ時間帯に実施した。

本実験は、温度：21~23 °C、CO2 濃度：1500 ppm 以下、照度：170 lux とした無響室内で実施した。着衣量は 1.0 clo とした。

4.4 音楽における覚醒応用実験評価結果

主観量として眠気に対するアンケート調査、客観量として評定者による顔表情評定、さらに行動量としてドライビングタスクのスコアを評価した。以下に本実験で得られた評価結果について述べる。

4.4.1 アンケート調査による主観評価結果

タスクの前後で、自身の状態に当てはまる眠気を 5 段階で申告してもらい、得られた申告結果より、タスク前後の差(タスク後-タスク前)を求めた。なお、眠気は 5 を非常に眠い、1 を全く眠くないと定義した。

Fig. 11 に実験参加者全員の眠気の変化の平均値を示す。各条件ともに眠気が上昇するが、眠気に差があることが確認できる。

4.4.2 顔表情評定による客観評価結果

実験開始から終了までの評定者による 5 秒ごとの顔表情評定結果の覚醒水準の平均値を Fig. 12 に示す。時間経過により評定値が上昇することから、本タスクを実施することで時間経過により覚醒水準が低下することが確認できる。

また、実験開始から 15 分までは条件による評定値に差はないが、それ以降は、音楽の特微量によって覚醒水準に差が生じることが確認できる。

4.4.3 運転精度による行動評価結果

前方車追従の運転タスクによる車間距離のばらつきに着目し、車間距離の時刻歴データから標準偏差を算出し、車間変動(I)を定義した。同様に、走行車線中心からの位置のずれのばらつきに着目し、ふらつき率(W)を定義した。

条件ごとの実験参加者全員のタスク開始から終了までの 41 分間における車間変動の平均値とふらつき率の平均値を Fig. 13 に示す。車間変動、ふらつき率ともに Drowsy よりも Arousal の値が小さいことが確認できる。

5. 研究成果

- (1) シャープネスと覚醒感には相関があり、シャープネスが大きくなると覚醒感が強くなることが確認された。
- (2) 好みの音楽は覚醒感が向上し、違和感を覚える音楽は覚醒感が低下する可能性が示唆された。
- (3) ラウドネスの標準偏差を小さくすることで、違和感を覚えさせずに覚醒度を向上できる可能性が示唆された。
- (4) 音楽を用いることで、覚醒水準の低下を抑制し、タスクのエラー率が抑制できることが確認された。
- (5) 特微量の違う音楽を用いることで、ドライバの覚醒水準が維持でき、ドライビング精度の向上により、交通事故

故の防止が期待できる。

参考文献

- (1) 里美雅行, 曹浣豪, 仲井渉, 久保谷寛行, 戸井武司, 好みの音楽が覚醒音の覚醒水準維持効果に及ぼす影響, 日本音響学会論文集(春), (2011) pp. 1095-1098
- (2) 北島洋樹, 沼田沖穂, 山本恵一, 五井美博, 自動車運転時の眠気の予測手法についての研究, 日本機械学会論文集, (1997) pp. 93-100
- (3) 南伸昌, 式井慎一, 戸井武司, 音楽の特微量に基づく覚醒維持に関する研究, 日本音響学会論文集(秋), (2019) pp. 1167-1168
- (4) 南伸昌, 式井慎一, 高橋弘毅, 戸井武司, ドライバの音楽聴取による覚醒維持に関する研究, 日本音響学会論文集(春), (2020) 1-11-6

Table 4 Combination conditions

Conditions	Music to use	
Arousal	Music with an intermediate sense of arousal	Music with high sense of arousal
Drowsy	Music with an intermediate sense of arousal	Music with low sense of arousal

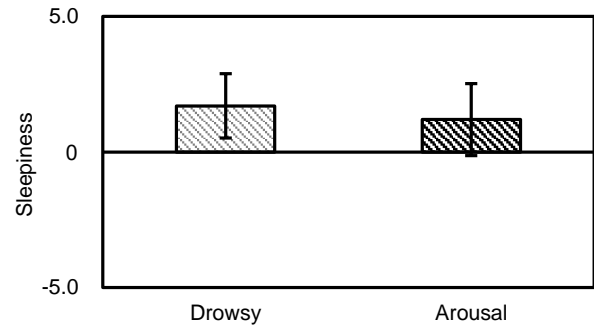


Fig. 11 Questionnaire survey results

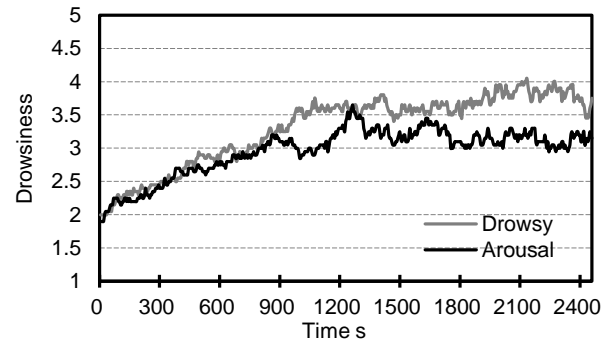


Fig. 12 Time of averaged sleepiness

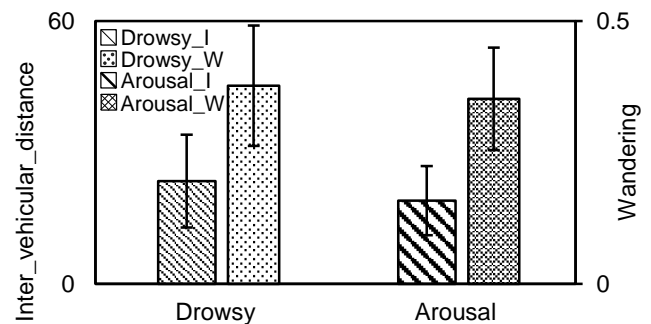


Fig. 13 Driving task score