

AQ フリッカーによる疲労評価に関する研究

川野常夫^{*1} 福井 裕^{*2}

Study on Human Fatigue Evaluation using AQ Flicker Tester

Tsuneo Kawano^{*1} and Yutaka Fukui^{*2}

Abstract - The purpose of this study is to evaluate the performance of a new flicker tester ("AQ Flicker": High Accurate and Quick Flicker Tester) through the field-test for truck drivers and office workers. The AQ Flicker has been developed to eliminate subject's arbitrariness and deceptiveness using multiple LEDs which are flickered by program control. In the field the fatigue of the participants before and after work were evaluated using the AQ Flicker. Furthermore, subjective fatigue feelings, visual acuity, reaction time, balance, and heartrate R-R interval were measured. In the result the flicker values of AQ Flicker were well correlated with mental fatigue, nervous fatigue, and muscle fatigue, respectively.

Keywords: new flicker tester, AQ Flicker, human fatigue, field-test, and truck driver

1. はじめに

点滅光の点滅の閾値を測定するフリッカー検査は、中枢神経系の疲労の検出や精神疲労、身体疲労の判定などに利用されてきており、人間工学や生理学の分野では定番の検査法となっている^[1-4]。代表的な検査器では、赤色 LED を 60Hz の点滅から周波数を徐々に下げていき「ちらつき」を判別できるようになったときの周波数のことをフリッカー値と言う（下降系列のちらつき閾）。フリッカー検査の方法は簡便ではあるが、1 回の測定に時間がかかること、「ちらつき」の判別に迷いが生じる場合があること、さらに、恣意性、虚偽性の問題を含んでいる。

このような問題に対して、複数の LED とその点滅周波数をプログラムで制御することにより、恣意性、虚偽性を排除して、より正確に、より迅速にフリッカー値を測定するためのフリッカー検査装置「AQ フリッカー」(High Accurate and Quick Flicker Tester)が開発された^[5]。しかしながら、その実用性あるいは有効性を確認できる実測データは示されていない。

本研究では、AQ フリッカーを用いて、フィールドテストを行い、その実用性および有効性の実証を目的とした。フィールドテストでは、トラックドライバーを中心として、AQ フリッカーによる検査、自覚疲労症状調査および視力、反応時間、平衡機能、心拍による R-R 間隔などを測定した。

2. AQ フリッカー

図 1 に本研究で使用した AQ フリッカー検査装置を示す。三脚で支えられた左の四角のケースが AQ フリッ

カーの本体であり、正面には 8 個の LED が一列に並び、ケースの中にはマイコンと LED 制御ボードが収納されている。右のノート PC にインストールされた検査プログラムによって、より正確なフリッカー値が求められる。ディスプレイには検査手順や回答するボタン番号などが表示される。

検査の際には、AQ フリッカーとノート PC を机などの上に置き、被検者から LED が正面に見えるよう AQ フリッカー本体の向きを調整する。ノート PC の検査プログラムを実行すると、検査が開始される。8 個の LED は、基本的に左の方が点滅周波数が低く、右の方が点滅周波数が高く設定されている。被検者は、8 個の LED の中からちらつきを判別できる最右端の LED を見つけ、その番号を回答する。もし、すべての LED がちらついて見える場合は、シフト機能を用いて、より高い点滅周波数の LED が 8 個の中に並ぶように左方へシフトする。逆にすべての LED がちらついて見えない場合は、より低い点滅周波数の LED が 8 個の中に並ぶように右方へシフトする。被



図 1 AQ フリッカー（疲労検査装置）
Fig.1 AQ Flicker (Fatigue tester)

^{*1}: 摂南大学 理工学部

^{*2}: 大阪府立大学 工学域生産技術センター

^{*1}: Faculty of Science and Engineering, Setsunan University

^{*2}: College of Engineering, Osaka Prefecture University

検者は以上の操作を3回繰り返す。このとき、ちらつきを判定できる最右端のLEDの場所は、毎回ランダムに異なる。2回目と3回目では、ちらつきの判別の後に、AQフリッカーの特徴である恣意性、虚偽性の判定が行われ、NGと判定されると、最初からやり直しとなる。3回の検査の判定がよければ、ノートPCの画面にフリッカー値が表示され、検査が終了する。

以上の検査では、3回の繰り返しが必要であるが、ちらつきの判別を「正確に」、「正直に」回答すれば、検査は短時間に終了する。もし、不正確な回答や虚偽の回答があると、やり直しとなり、所要時間は長くなる。

3. フィールドテスト

3.1 疲労測定の概要

AQフリッカーの実用性ならびに有効性を確認するため、実際に勤務するトラックドライバーを対象として、疲労評価実験を行った。被検者は15名、内トラックドライバー9名(54.1±7.4歳)、事務系職員6名(38.0±19.2歳)、いずれも男性とした。トラックドライバー9名のトラック運転経験は、20.3±14.4年であった。トラックドライバーの仕事は、2～10トン車のトラックの運転と荷積み荷下ろしで、早朝3時前後に配車センターを出発し、12時前後に戻る者6名、8時前後に配車センターを出発し、14時前後に戻る者3名であった。事務系職員は約8時間の日勤とした。

疲労の測定は、それぞれの仕事前と仕事後に行った。

測定項目は、AQフリッカーによる検査、自覚疲労症状調査、および視力、光に対する反応時間、平衡機能、心拍によるR-R間隔などとした。

なお、本研究は摂南大学・医療研究倫理審査委員会の承認(承認番号 2016-010)を受けたのち、被検者からインフォームドコンセントを得て実施した。

3.2 測定項目

AQフリッカーが疲労を適格に評価するものであるかどうかを実証するため、従来の疲労測定法によるものと同時に評価を行い、それぞれの相関関係を検討する。従来の疲労測定法として、以下の7とおりの測定項目を取り上げる。図2には、被検者の属性調査を含めて、8とおりの測定項目および測定機器を示している。次に7とおりの疲労項目について、簡単に測定方法を記す。

(1) 身体疲労部位調査(日本産業疲労研究会選定)

身体を17の部位に分け、それぞれの部位で、痛みやだるさを4段階評価する。合計得点が高いほど疲労していると判定する。

(2) 自覚疲労症状調査(日本産業衛生学会産業疲労研究会作成)

身体各部の疲労症状(25問)について、主観的に5段階評価を行う。合計得点が高いほど疲労していると判定する。

(3) 視力測定(コンパクト視力計 CA-1000, トーメーコーポレーション製)

両目による静止視力を測定する。次のフリッカ

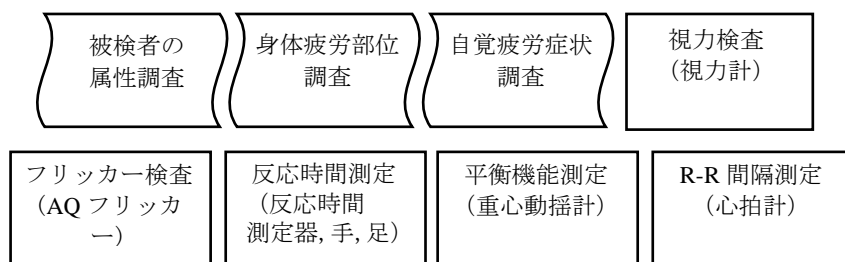
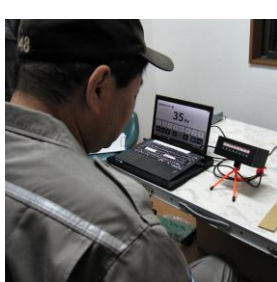


図2 疲労測定項目と測定機器

Fig.2 Measurement items and measuring devices for fatigue



(a)測定器類
(a) Measuring instruments



(b)AQフリッカー検査
(b) AQ Flicker test



(c)反応時間(足)
(c) Reaction time (Leg)



(d)重心動揺
(d) Body sway

図3 疲労測定機器と測定風景

Fig.3 Measuring instruments and appearance

一検査に影響がないかを確認する。

(4) フリッカー検査 (AQ フリッカー)

先に述べた AQ フリッカーの検査プログラムに従って、1 つのフリッカー値[Hz]を求める。この値は小さいほど疲労していると判定する。

(5) 反応時間測定 (反応時間測定器, 竹井機器工業製)

発光装置の赤色ランプが光ると、手 (指) または足でスイッチを押すと、反応時間が 1,000 分の 1 秒単位で測定できる。手の反応時間と足の反応時間のそれぞれを測定する。これらの値は大きいほど疲労していると判定する。

(6) 平衡機能測定 (重心動揺計, アニマ製)

閉眼状態で両足裸足で直立し、重心移動軌跡を 30 秒間求める。疲労評価は、重心動揺面積[cm²]と重心動揺総軌跡長[cm]で行う。それらはいずれも大きいほうが重心動揺が大きく、特に筋疲労が大きいことを示す。

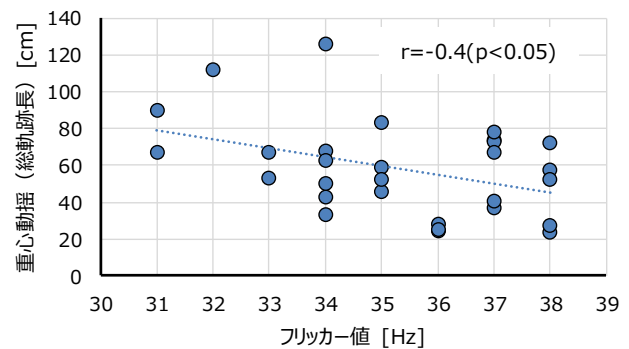
(7) 心拍計による R-R 間隔測定 (ニホンサンテック製)

心電の測定時間は 1 人につき 1 分間とし、R-R 間隔をレコーダーに記録する。評価にあたっては、自律神経解析プログラム (MaP1060) を用いて交感神経指標 (cardiac sympathetic index; CSI) と副交感神経指標 (cardiac vagal index; CVI) を求める。R-R 間隔の低周波成分 LF (Low Frequency) は、交感神経活動 (暗算負荷などの精神的ストレスなど) によって増加、高周波成分 HF (High Frequency) は、呼吸などの副交感神経活動によって増加するといわれている。

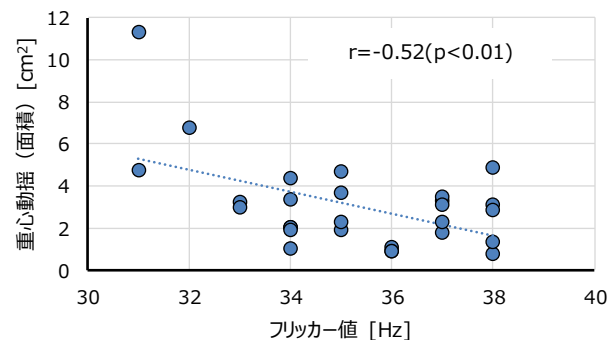
4. 疲労測定結果

15 名の被検者が仕事前と仕事後に実施した合計 30 回の測定データについて、AQ フリッカーの値と他の疲労指標との相関分析を行った。図 4 に、重心動揺と AQ フリッカー値の関係を示す。同図(a)は重心動揺の総軌跡長の指標の場合を、(b)は重心動揺の面積の指標の場合を示している。いずれの場合も、フリッカー値とそれらの指標との間には有意な負の相関 ($r=-0.4(p<0.05)$, $r=-0.52(p<0.01)$) が認められた。すなわち重心動揺が高くなると AQ フリッカー値が低くなることが示された。重心動揺は筋肉疲労に影響を受けると考えられ、AQ フリッカー値は筋肉疲労と負の相関がある、すなわち、筋肉疲労が高くなると AQ フリッカー値が低くなることがわかった。

図 5 に、足の反応時間と AQ フリッカー値の関係を示す。神経疲労が現れる反応時間 (足) と AQ フリッカー値の相関係数は、 $r=-0.48(p<0.01)$ となり、神経疲労 (反応時間 (足)) が高くなると AQ フリッカー値が低くなることがわかる。なお、手の反応時間と AQ フリッカー値の関係は、反応時間が長くなると AQ フリッカー値が減少する傾向は見られたが、有意な相関は認められなかった。



(a) 重心動揺総軌跡長の指標の場合
(a) In the case of the total length of the body sway



(b) 重心動揺面積の指標の場合
(b) In the case of the area of the body sway

図 4 AQ フリッカーによるフリッカー値と重心動揺
Fig.4 Body sway and flicker value with AQ Flicker tester

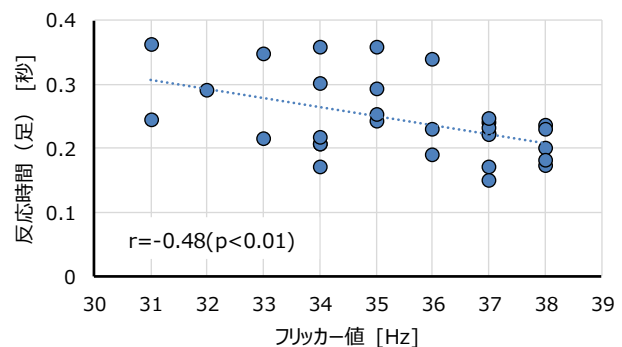


図 5 AQ フリッカーによる
フリッカー値と反応時間 (足)
Fig.5 Reaction time of the leg
and flicker value with AQ Flicker tester

図 6 に、自覚疲労症状調査と結果と AQ フリッカー値の関係を示す。精神疲労が現れる自覚疲労症状調査と AQ フリッカー値の相関係数は、 $r=-0.50(p<0.01)$ となり、精神疲労 (自覚疲労症状調査) が高くなると AQ フリッカー値が低くなることがわかった。

図 4 から図 6 の結果は、一般に人が疲労するとフリッカー値が低くなるという原理と極めてよく一致した。

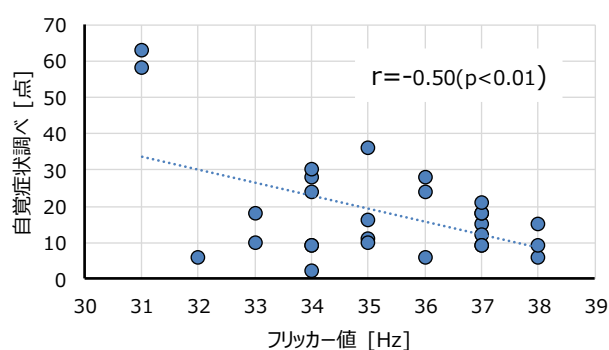


図 6 AQ フリッカーによる
フリッカー値と自覚症状調べ
Fig.6 Subjective fatigue feeling
and flicker value with AQ Flicker tester

測定項目(7)の心拍計による R-R 間隔測定は、トラックドライバー 5 名について実施し、仕事前と仕事後の合計 10 回の測定データについてまとめた。図 7 に交感神経指標(CSI)と副交感神経指標(CVI) の関係を示す。両者には傾向として負の相関が認められ、精神的ストレスが反映される交換神経指標と呼吸によるリラックス時の副交感神経指標の両者は相反事象であることがわかる。

図 8 には、AQ フリッカー値と副交感神経指標(CVI) の関係を示す。相関係数が 0.66(p<0.05)であることから、フリッカー値が高いほど、副交感神経指標(CVI) が高くなる、すなわち精神的ストレスがない状態に移行することがわかる。本研究のフリッカー値は精神的ストレスを評価する指標として機能することが、この結果からも裏付けられる。

5. おわりに

本研究では、フリッカー検査器に潜在する恣意性や虚偽性を排除し、疲労を高精度に、しかも迅速に測定できるように開発された「AQ フリッカー」のフィールドテストを行った。その結果、人の筋肉疲労、神経疲労、精神疲労を評価できることが示唆された。今後、トラック業界をはじめ、バス、タクシー業界、また、病院や介護施設などの徹夜勤務を伴う労働者の労務管理の現場において、フィールドテストを実施し、労働者の過労をよりはやく発見するしくみを構築することが課題である。

参考文献

- [1] 橋本邦衛: Flicker 値の生理学的意味と測定上の諸問題, 一Flicker Test の理論と実際一, 産業医学, vol. 5 (9), pp.563-578 (1963).
- [2] 齋藤友幸, 内山尚志, 福本一朗: 労働時精神疲労の低減を目指した最適光環境条件の基礎研究, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 101 (332), p.59-64

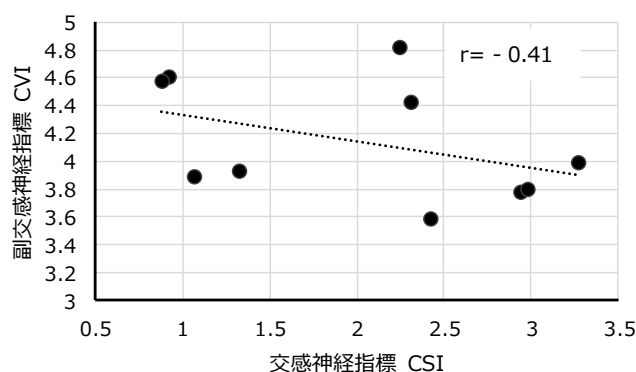


図 7 交感神経指標と副交感神経指標
Fig.7 Sympathetic and parasympathetic
nerve activity index

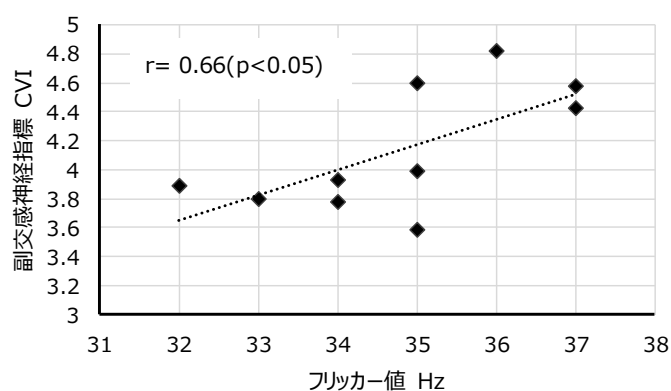


図 8 AQ フリッカー値と副交感神経指標
Fig.8 AQ Flicker value and parasympathetic nerve activity index

(2001).

- [3] 西川雅弥, 西原直枝, 田辺新一: 中程度の高湿環境下の長時間作業が作業効率と疲労に与える影響に関する被験者実験, 日本建築学会環境系論文集, vol. 74 (638), pp.525-530 (2009).
- [4] 高橋慶多, 杜下淳次, 田代洋行, 中村泰彦: 医用液晶ディスプレイを用いた X 線画像観察による目の疲労度の客観的な評価, 日本放射線技術学会雑誌, vol. 66 (11), pp.1416-1422 (2010).
- [5] 福井 裕, 川野 常夫: 被検者の恣意性や虚偽性を排除する多点 LED 式フリッカー検査装置の開発, モバイル学会誌, Vol.6 (2), pp.51-58 (2016)

謝辞

本研究は、JST, 研究成果展開事業, マッチングプランナープログラム「探索試験」平成 27 年度第 1 回(課題番号: MP27115663190) の研究助成により実施した。