

## 原著論文

# 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

福井 裕<sup>1)</sup>, 川野 常夫<sup>1)</sup><sup>1)</sup> 摂南大学理工学部

## A New Flicker Tester Using Multiple LEDs to Eliminate Subject's Arbitrariness and Deceptiveness

Yutaka FUKUI<sup>1)</sup>, Tsuneo KAWANO<sup>1)</sup><sup>1)</sup> Faculty of Science and Engineering, Setsunan University

**Abstract:** The purpose of this study is to develop a new flicker tester (AQ Flicker: High Accurate and Quick Flicker) allowing to eliminate subject's arbitrariness and deceptiveness using multiple LEDs. LEDs are arranged in a line on the front of the subject. Flicker frequencies of each LED are controlled by a microcomputer connecting with a tablet computer via USB cable. A subject is asked to select the LED where he/she subjectively perceives the flickering and respond the LED by tapping the button on the touch screen. In this study, a judgment algorithm has been proposed to eliminate the subject's arbitrariness and deceptiveness when responding, and the resulting high accuracy measurement of the critical fusion frequency of flicker (CFF) has been achieved. The algorithm consists of three repeating tests for the CFF. In the first test, the tentative CFF of the subject is measured using the AQ Flicker. In the second and third tests, it is confirmed whether the CFF is reliable or not.

**Keywords:** flicker tester, multiple LEDs, arbitrariness, deceptiveness, high accuracy

**キーワード:** フリッカー検査装置, 多点 LED, 恣意性, 虚偽性, 高精度

### 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、70 年以上前から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]。フリッカー値は、ちらつきの臨界融合頻度 (Critical fusion frequency of flicker :CFF)とも呼ばれ、代表的な測定器では、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言う(下降系列のちらつき閾)。また、20Hz の点滅から周波数を徐々に上げていき「ちらつき」が判別できなくなるときの周波数(上昇系列の融合閾)を扱うこともある。

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。

これまでに、中心に 1 個の LED と円周上に 4 個の LED を配置した多点フリッカーを作業負担度評価に用いた研究はあるが、これは周辺視でのフリッカー値を測定するためのもので、

1 個 1 個のフリッカー値の測定方法は従来の方法と同様である[5]。また、多くの LED を用いた例[6]はあるが、それは多くの被検者を同時に測定しようとするためであり、測定方法は従来と変わらない。

昨今、モバイル端末のディスプレイ上で、視標のコントラストを一定の周波数で 2 段階に変化させることにより「ちらつき」を与える方法が開発されており、恣意性を排除するため、4 つの視標のうち 1 つだけをちらつかせ、その位置を答えさせる工夫がなされている[7]。

本研究では、フリッカー検査本来の赤色 LED を使い、より客観的で高精度なフリッカー値を、より迅速に測定できる検査装置の開発を目指す。そのため、多点 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、フリッカー値を測定するフリッカー検査装置「AQ フリッカー」(High Accurate and Quick Flicker Tester)を開発した。虚偽には、実際は疲労しているのに「疲労していない」と申告する場合と、疲労していないのに「疲労している」と申告する場合の 2 通りがある。本研究では、労働環境において事故やミスの発生原因になると考えられる前者の虚偽の申告を扱う。

### 2. AQ フリッカー検査装置の開発

図 1 に本研究で開発した AQ フリッカー検査装置を示す。左の箱が AQ フリッカーの本体であり、正面には一列に並べた

2016 年 1 月 27 日受理。2016 年 3 月 10 日シンポジウム「モバイル '16」にて発表



図 1 開発したフリッカー検査装置 (AQ フリッカー)

8 個の LED が、ABS 樹脂製の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。ケースの底面に脚の角度を変えられる小型の三脚を取り付け、本体が所望の向きを維持できるようにした。右のタブレットコンピュータ (以下、タブレット) には独自に開発した検査プログラムをインストールし、ディスプレイに検査手順や被検者が回答するためのボタンを配置し、タブレットが被検者とのインタラクションを担う。

AQ フリッカーとタブレットを USB ケーブルで接続し、AQ フリッカーを駆動するのに必要な電源はタブレットから供給する。また、タブレットの検査プログラムから LED の点滅指示信号と、その周波数をシリアル通信により AQ フリッカーへ送る。タブレットには Surface Pro 2 (マイクロソフト製) を用い、検査プログラムは開発環境 Visual Studio と C# 言語を用いて開発した。

AQ フリッカーの構造を図 2 に示す。内部が見えるよう、図にはケースを描いていない。LED の点滅を制御するためのボード (TLC5940NT 用 16LED・PWM 制御ボード、スイッチサイエンス製) に 8 個の赤色 LED (φ3mm、640nm) を 13mm の間隔で横 1 列に並べた。LED それぞれの光は、厚さ 5mm の ABS 樹脂の板に開けた φ3mm の孔を通して、被検者の目に届くようになっている。LED の眩輝を抑えるため、板の被検者側に厚さ 0.15mm のトレーシングペーパー (F-81、Ostrich 製) を貼り付けている。各 LED には被検者から見て左端から順に 1~8 までの番号を付与している。

各 LED を所望の周波数で点滅させるための ON/OFF 制御には、図中に示すマイコンボード (Arduino UNO、Arduino SRL 製) を用いている。その制御プログラムは、PC で開発環境 Arduino IDE を用いて作成し、ON、OFF 命令と、ON、OFF それぞれの持続時間を指定する Delay 命令を組み合わせて構成した。プログラムはコンパイルした後、マイコンの ROM に転送して実行される。

ここで、開発した AQ フリッカーの各 LED がプログラム設定通りの周波数で点滅しているかどうかを確認するため、ハイスピードカメラ (EXILIM EX100、カシオ計算機製) を用いて LED の点滅の様子を 1000fps で撮影した。カメラに記録された動画を再生すると、各 LED が点灯、消灯を繰り返す様子が確認される。この点灯から消灯までを 1 サイクルとし、1 秒間に含

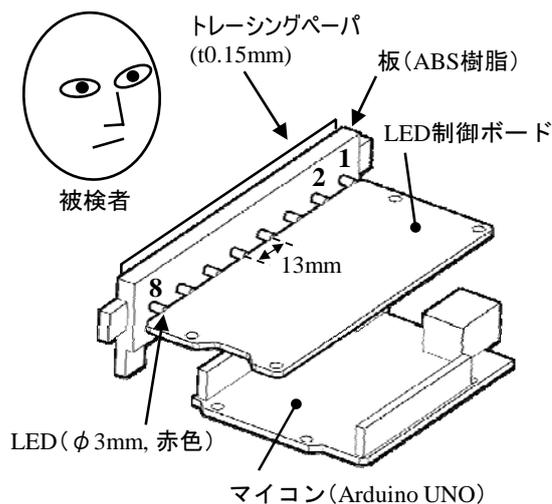


図 2 AQ フリッカーの構造

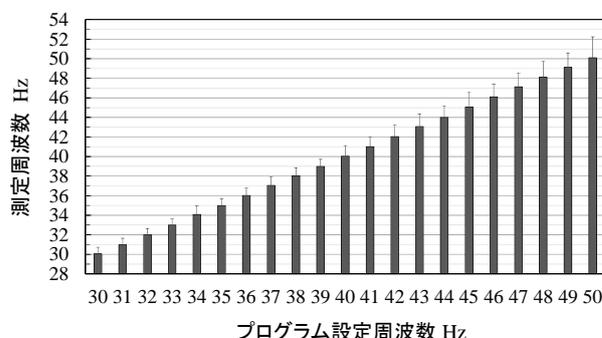


図 3 ハイスピードカメラによる LED 点滅周波数の測定結果

まれる全サイクルの平均時間を求め、そこから周波数を算出した。

結果を図 3 に示す。横軸はプログラム設定した周波数、縦軸はハイスピードカメラで測定した周波数を表している。図に示すように 30Hz から 50Hz について確認を行ったが、多少のばらつきはあるものの、周波数が隣の LED と一致したり逆転したりすることはなく、プログラム設定通りの周波数が実現できていると考えられる。

### 3. AQ フリッカーによる検査方法

AQ フリッカーとタブレット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。タブレットの検査プログラムを実行すると、検査が開始される。

検査の流れを図 4 に示す。検査は 3 つのテストから構成される。被検者はそれぞれのテストにおいて、8 個の LED の中から、ちらつきを判別できる境界を見つけ、その番号を回答する。テスト 2 とテスト 3 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る。NG と判定されると、図の矢印のようにテスト 1 に戻される。テスト 2 とテスト 3 とともに OK と判定されると、結果表示のステップへ進み、

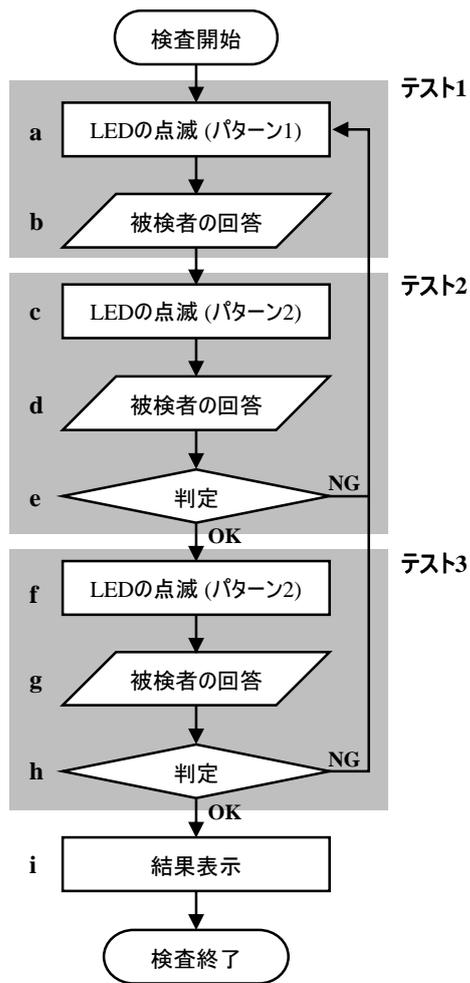


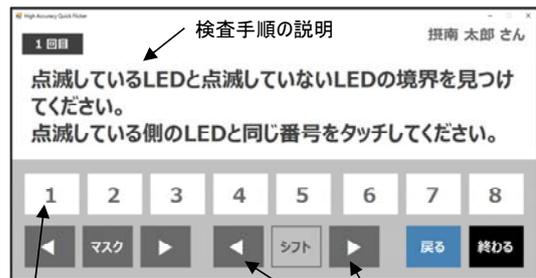
図4 AQフリッカーによる検査の流れ

タブレットの画面にフリッカー値が表示され、検査が終了する。

3つのテストは「8個のLEDの中から、ちらつき判別の境界を答える」という被検者にとってはどれも同じ手順であるが、実際には、テスト1では、被検者のフリッカー値を測定し、テスト2とテスト3では、被検者の恣意性や虚偽性を排除するための判定を行っている。また、被検者にはLEDの実際の点滅周波数を知らせることなく、全てのテストにおいてLEDの番号を回答させる。各テストの詳細については次節以降で述べる。

### 3.1 フリッカー値の測定 (テスト1)

テスト1が始まると、図5(a)に示す画面がタブレットに表示される。上半分には検査の説明を、下半分には被検者が回答するための数字ボタン(1~8)が表示される。同時に、タブレットからAQフリッカー内部のマイコンへLEDの点滅指示信号と点滅周波数が送信され、マイコンのON/OFF制御によりLEDが点滅する。このときのLED点滅パターンを図6(a)に示す。図中の円は8個のLEDを、円の中の数字はそのLEDの点滅周波数を示している。また、円の下に数字はLED番号を示している。図のように、テスト1では1番のLEDから、番号の昇

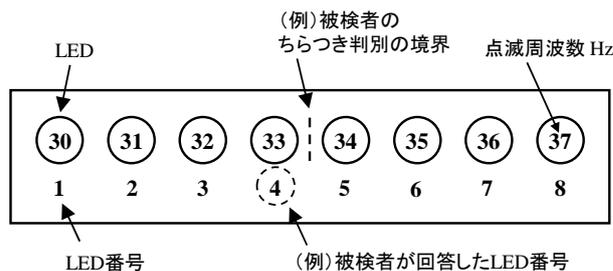


(a) テスト1~3の画面

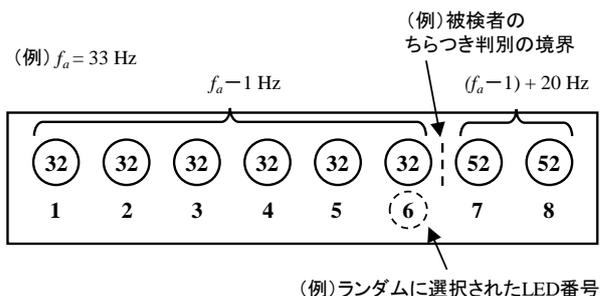


(b) フリッカー検査結果画面

図5 検査プログラムの画面



(a) 点滅パターン1 (テスト1で使用)



(b) 点滅パターン2 (テスト2、3で使用)

図6 LEDの点滅パターン

順に周波数を1Hzずつ増やしている。図の例では、1番から8番のLEDは、それぞれ30Hzから37Hzで点滅する。各LEDの点滅周波数は次式により表される。

$$f_n = f_1 + (n - 1) \tag{1}$$

ここで、 $n$ はLED番号を、 $f_1$ は1番のLEDの点滅周波数を、

$f_n$  は  $n$  番目の LED の点滅周波数を表す。

テスト 1 では点滅周波数が単調増加していることから、被検者から見ると、8 個の LED のどこかで、光のちらつきが判別できる(点滅して見える)LED と、判別できない(点灯して見える)LED との境界が見つかる。このとき被検者は、境界の左側の LED、すなわち、ちらつきが判別できる側の LED の番号をタッチパネルのボタンを押して回答する。同図(a)では、例として 4 番と 5 番の間に境界があると想定しており、被検者はちらつきが判別できる側の 4 番を回答する。AQ フリッカーでは、テスト 1 で被検者が回答した番号の LED の点滅周波数(例では 33Hz)をフリッカー値として採用する。

ここで、8 個の LED の点滅周波数の範囲によっては、人によって LED が全て点灯、あるいは、全て点滅して見えることがあり、そのときは、ちらつきの境界が 8 個の中に見つからない。そのとき被検者は、図 5(a)で示すタブレットの画面下部の点滅周波数の範囲を変更するボタンを操作し、ちらつきの境界が 8 個の LED の中に入るようにする。

被検者が LED 番号を回答すると、自動的にテスト 2 へ進む。

### 3.2 恣意性・虚偽性の判定アルゴリズム(テスト 2,3)

テスト 2 の LED 点滅パターンを図 6(b)に示す。はじめに、タブレット上の検査プログラムが、LED の中からランダムに 1 つの LED を選択する(図の例では、6 番)。つぎに、それを含む左方向全ての LED (1~6 番)を、テスト 1 で被検者が回答した番号の点滅周波数(フリッカー値、例では 33Hz)から 1 を引いた周波数(32Hz)で点滅させる。最後に、右方向の残りの LED (7~8 番)を、6 番の LED の周波数(32Hz)に 20 を加えた周波数(52Hz)で点滅させる。これにより、左右に点滅周波数の異なる 2 つのグループが構成される。各 LED の点滅周波数は以下の式で表される。

$$f_n = f_a - 1 \quad (n \leq r) \quad (2)$$

$$f_n = (f_a - 1) + 20 \quad (n > r) \quad (3)$$

ここで、 $r$  は検査プログラムがランダムで選択した LED 番号を、 $f_a$  はテスト 1 で被検者が選択した LED の点滅周波数を表す。

被検者は、テスト 1 と同様に、ちらつきを判別できる LED とちらつきを判別できない LED との境界を見つけ、ちらつきを判別できる側の LED 番号を回答する。

図 6 に示した例では、図(a)のテスト 1 で被検者は周波数 33Hz のちらつきを判別できたことから、図(b)で示す、テスト 2 の 6 番の 32Hz のちらつきも判別できると考えられる。1 つ右の 7 番の 52Hz は 20Hz も高周波であることから、ちらつきの判別はできないと考えられるため、ちらつきの境界はこの 6 番と 7 番の間に現れる。このとき、被検者が 6 番を選択した場合、正直に回答したとして OK 判定とし、テスト 3 へ進ませる。もし 6 番以外を選択した場合、恣意的または虚偽的な回答の疑い

があるとして NG 判定とし、テスト 1 からやり直しさせる。なお、テスト 2 では、画面下部の点滅周波数の範囲を変更するボタンは無効化し、被検者の操作を受け付けずにしている。

以上のように AQ フリッカーでは、複数 LED の点滅パターンをプログラマブルに制御することにより、ちらつき判別の境界を人為的に設け、被検者がその境界を回答するか否かによって、回答に恣意性、虚偽性がないか判定するアルゴリズムを提案した。

ここで、式(2)において、テスト 1 で被検者が回答した LED の周波数から 1Hz を引いている理由は、そのままの周波数では、被検者のちらつきの判別能力の限界値であるため、正直に回答したとしても、確実にちらつきを判別できるとは限らない。式(2)を  $f_n = f_a$  とした予備実験では、間違っ回答してしまうことが起こり、テスト 1 からやり直すことになって、検査に時間がかかった。この問題を解決するため本アルゴリズムでは、ちらつきの判別限界から 1Hz 分の余裕を持たせることにした。

最後のテスト 3 は、テスト 2 と同じ内容である。すなわち、同じ判定をもう 1 回繰り返す。これは、1 回の判定では、被検者の回答が偶然に正解してしまう確率は、LED が 8 個あることから、8 分の 1 となる。判定を 2 回行うことによって、偶然に正解する確率が 64 分の 1 に下げる。このテスト 3 の判定で OK になると、結果表示のステップへ進み、画面には図 5(b)で示すようにフリッカー値が表示され、AQ フリッカーによる検査は終了となる。

### 3.3 判定アルゴリズムの適用例

被検者が検査の成績がよくなるように虚偽の回答をしたと想定し、そのときの判定アルゴリズムの適用例を図 7 に示す。この例では、同図(a)のテスト 1 において、実際には 4 番の LED (33Hz) までしかちらつきを判別できないところ、周波数が高い、6 番の LED (35Hz) を回答したと想定する。

つづく、図(b)で示すテスト 2 では、検査プログラムが 5 番の

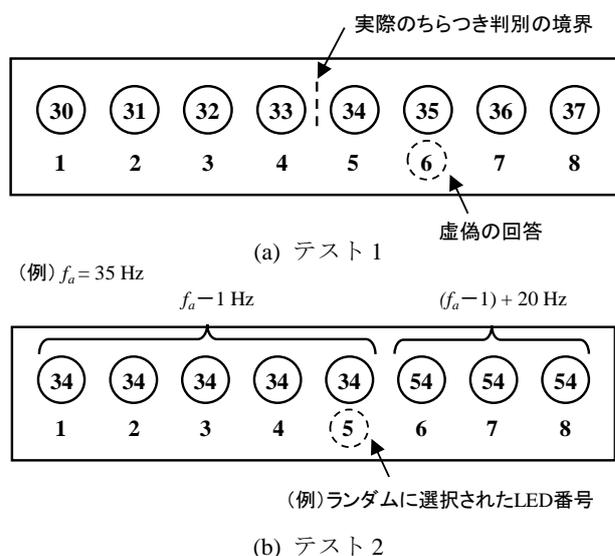


図 7 虚偽の回答をした場合の例

LED をランダム選択したとする。式(2)および(3)から、5 番から左方向全ての LED(1~5 番)は、テスト1で被検者が回答した点滅周波数(35Hz)から 1Hz を引いた 34Hz で点滅させる。他方、6 番から右方向全ての LED(6~8 番)は 34Hz に 20Hz を加えた 54Hz で点滅させる。

テスト2が OK と判定されるには、5 番の LED(34Hz)と 6 番の LED(54Hz)の境界の左側の 5 番を回答する必要がある。この例では、被検者が実際にちらつきを判別できる周波数は 33Hz であり、全ての LED の周波数はこれより高いため、全ての LED が点灯しているように見える。これにより、ちらつきの境界を正確に答えることはできない。この場合、被検者は恣意的(デタラメ)に回答することになるが、テスト2およびテスト3を続けて通過する確率は前述の通り 64 分の 1 となり、その可能性は十分小さい。

ここで先ほどの例とは異なり、被検者が実際にちらつきを判別できる 4 番の LED(33Hz)から、周波数が 1Hz 高い 5 番の LED(34Hz)を回答したとする。つづくテスト 2 では、先の例と同様に検査プログラムが 5 番の LED をランダム選択したとする。このときの 5 番の LED の周波数は式(2)より 33Hz が設定される。ここで、回答者は 33Hz のちらつきを判別できることから、5 番と 6 番の LED の間に、ちらつきの境界を判別できる。このとき、被検者がテスト 1 と同様に、実際の境界より高い周波数の LED 番号を回答すると、判定アルゴリズムは、正しく NG の判定を下す。しかし、被検者がテスト1とは異なり、テスト2では正直にちらつきの境界を回答すると、作為的に設けた境界を正しく回答することになり、OK 判定が出され、テスト 3 へ進むことができる。テスト 3 も同様の方法で通過すれば、この被検者のフリッカー値は 34Hz と判定され、実際のフリッカー値より 1Hz 高い値となる。

被検者がこのような回答をすると、この判定アルゴリズムでは 1Hz の誤差が生じることになるが、一般的なフリッカー検査では、1 回の測定値で判断することなく、同一被検者の時間や日の経過によるフリッカー値の変化から疲労度合いを判断することから、実用上問題はないと考えられる。

また、現在の判定アルゴリズムでは、テスト1において、実際のちらつきの境界よりも低い周波数の LED を回答すると、つづくテスト2およびテスト3で検査プログラムが設ける境界の周波数は、テスト1で回答した周波数よりさらに 1Hz 低い周波数になるため、テスト2、テスト3を通過することができる。すなわち、実際は疲労していないのに「疲労している」という虚偽の申告ができる。しかしながら、実際の労働環境で事故やミスの発生原因となるのは、実際は疲労しているのに「疲労していない」という虚偽の申告であり、これは本アルゴリズムで排除できると考えられる。

ここでテスト2、テスト3では、式(2)で示したようにランダムに選択した番号から左方向全ての LED が同じ点滅周波数( $f_a$ -

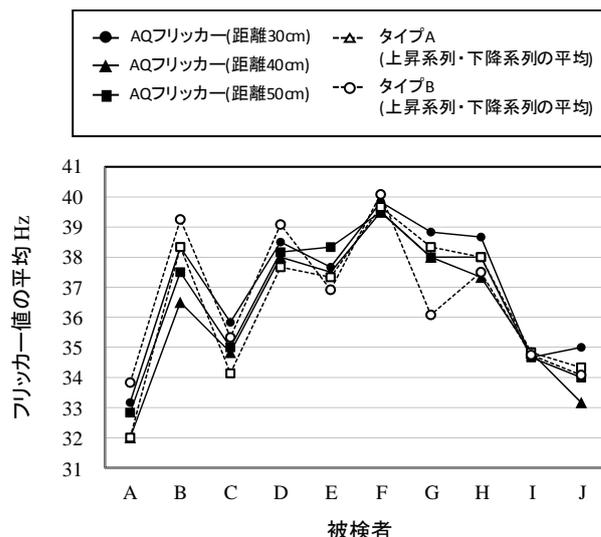


図8 各被検者の従来装置とのフリッカー値の比較

1)となるようにした。これは  $f_a$  が被検者により意図的に高く申告された虚偽の値である場合に、被検者がちらつきを判別できる LED の存在をなくすためである。テスト1と同様にテスト2、テスト3でも点滅周波数を左方向へ徐々に減少させるパターンも考えられるが、通常、被検者にとって実際にちらつきを判別できる LED が存在することになり、それを基準として意図的な策を講じることができる。この場合、本研究のアルゴリズムでは、テスト1で意図的に sHz だけ高く申告しておき、つづくテスト2、テスト3では(s-1)Hz だけ高く申告すれば虚偽の回答でも検査が正常に終了するといった抜け道ができあがってしまう。このような問題を解決するために、テスト1で虚偽の申告をするとテスト2、テスト3では、すべての LED でちらつきがわからなくなるように式(2)が示すパターンとした。

#### 4. 検証実験

##### 4.1 AQ フリッカーと従来装置との比較

AQ フリッカーで測定したフリッカー値の妥当性を検証するため、従来の検査装置による測定値との比較を行った。従来の検査装置として、市販されている次の2機種を取り上げた。1つは、装置前面の窓から両目で LED を覗き込む卓上型の装置(X社のタイプAと表記)を、もう1つは、手で把持して左右の目のどちらか片目で覗き込む携帯型の装置(Y社のタイプBと表記)を用いた。

被検者として男性10名を検査の対象とした。10名のうち、8名は年齢  $24 \pm 1.46$  歳、両目視力は  $1.4 \pm 0.1$  であった。1名は37歳で両目視力は1.2、残りの1名は60歳で、両目視力は1.5であった。部屋は通常の蛍光灯を点けた状態で、被検者の付近の照度は 500lx であった。

実験では、AQ フリッカーについて目と LED との距離を 30cm、40cm、50cm の3通り、タイプAについて上昇系列、下降系列の2通り、タイプBについて左右の目それぞれについ

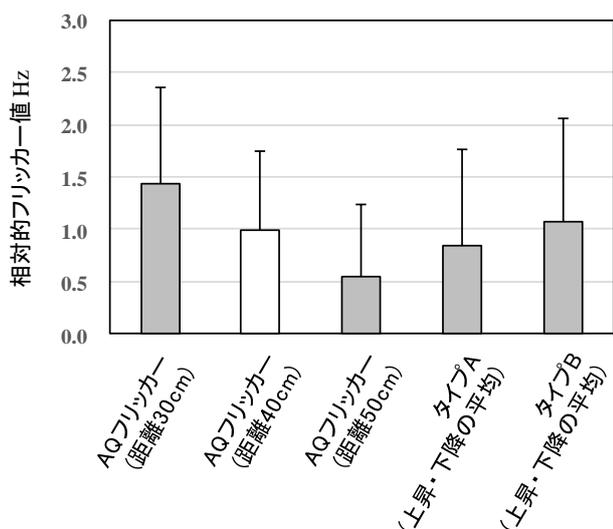


図9 フリッカー値の測定条件間での比較

て上昇系列、下降系列の 2 通りの合計 9 通りについて、それぞれ 3 回ずつの測定を繰り返した。各装置の測定順序はランダムとし、各装置間に 5 分以上の休憩を挟んだ。

図 8 に各被検者における AQ フリッカーと従来装置によるフリッカー値の比較結果を示す。横軸は被検者 10 名を、縦軸は 3 回ずつ測定した平均値を示している。従来装置では上昇系列と下降系列の値の平均を求めた。図から AQ フリッカーの測定値が従来装置とほぼ同等の値となっていることがわかる。

フリッカー値を条件間で比較した結果を図 9 に示す。ここでは、次の方法で測定値を基準化した。各被検者において、AQ フリッカーは距離 30、40、50cm、従来装置はそれぞれ上昇系列・下降系列の平均の、計 5 条件になるが、各被検者において、5 条件の測定値の最小値と 5 条件それぞれの測定値との差を求め、これを相対的フリッカー値と定義する。図は、各条件の平均値を示している。図から、AQ フリッカーの場合、LED と目の距離が近づくほど相対的フリッカー値が上昇することがわかる。また、AQ フリッカーにおける目の距離が 40cm の場合の相対的フリッカー値が従来装置 2 機種に値に近いことがわかる。2 条件間の t 検定をそれぞれの組み合わせで行った結果、AQ フリッカーにおける距離が 40cm の場合の値とタイプ A、およびタイプ B との p 値がそれぞれ 0.78、0.70 となり、有意な差は認められなかった。

このことから、AQ フリッカーでは、被検者の目と LED の距離を 40cm にして測定すれば、従来装置の上昇系列と下降系列の平均値と同等の評価が行えることがわかった。

AQ フリッカーと従来装置 2 機種でフリッカー値の精度を比較した結果を図 10 に示す。本研究では、測定されるフリッカー値のばらつきが小さい、すなわち、安定したフリッカー値が得られることを高精度と定義する。図の縦軸は、各装置のフリッカー値の標準偏差を示している。各被検者の 3 回の測定からフリッカー値の標準偏差を求めて、全被検者の平均を求めた

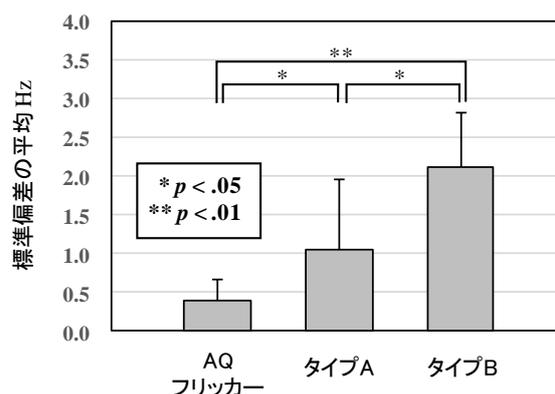


図 10 フリッカー値のばらつきの比較

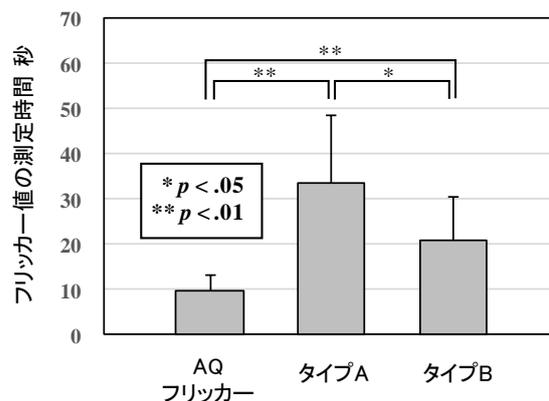


図 11 フリッカー値の測定時間の比較

後、さらに、AQ フリッカーは、距離 30、40、50cm の平均を、従来装置 2 機種は、それぞれ上昇系列と下降系列の平均を求めた。図から AQ フリッカーは、タイプ A およびタイプ B と比べて有意に標準偏差が小さいことがわかる。

なお、測定値の偏差の最大・最小の範囲は、AQ フリッカーが (-1.0Hz~+0.9Hz)、タイプ A が (-2.8Hz~+3.7Hz)、タイプ B が (-1.8Hz~+2.7Hz) であった。

また、フリッカー値の測定にかかる時間の比較結果を図 11 に示す。フリッカー検査法では、点滅周波数が変化することで、ちらつきの判定を迅速に行うことは容易ではなく、迷いなどにより測定値に変動が生じる。安定したフリッカー値を求めるためには、標準的に 3~5 回測定し平均をとってその測定時点の値とする[8-10]。すなわち、従来装置では、1 つのフリッカー値を求めるために、3~5 回の測定が行われる。一方、AQ フリッカーでは、テスト 1~3 を 1 セット測定することで安定した信頼性のあるフリッカー値が得られる。したがって、測定に要する時間の比較は、AQ フリッカーの 3 つのテストの 1 セットの時間と従来装置の 3~5 回の時間を比較するのが妥当と考えられる。

あるいは、AQ フリッカーではフリッカー値はテスト 1 のみで求め、テスト 2、3 は恣意性、虚偽性の判定のための処理であることを考えれば、AQ フリッカーのテスト 1 の時間と従来装置

の1回の時間を明示することが利用者の参考となると考えられる。従来装置は測定者によって、また装置のメーカーや機種によって測定反復回数が異なることを考慮して、ここでは、後者のそれぞれ1回の時間を求めて比較した。

図の縦軸は、各装置におけるフリッカー値の測定にかかる時間を示している。縦軸の値は、図10と同様に、まず、各被検者内で平均を求め、それを全被検者で平均した後、さらに、AQフリッカーでは、3種類の距離で、従来装置は、2種類の系列で平均を求めた。図から、従来装置のタイプAおよびタイプBと比べて、AQフリッカーの方がフリッカー値の測定にかかる時間が短いことがわかる。

なお、AQフリッカーのテスト1～3の1セットに要する時間は、図11に示す時間の約3倍となる。

#### 4.2 恣意性・虚偽性の判定アルゴリズムの検証

本研究で提案した判定アルゴリズムの性能を確認するため、「正直」、「虚偽」、「気まぐれ(恣意的)」の3つのキャラクターを被検者にそれぞれ演じてもらい、提案したアルゴリズムが正しく判定できるかどうかを実験した。被検者には22～61歳の男性11名および22～55歳の女性5名に協力してもらった。

正直タイプは、嘘をつくことなく、実際のちらつきの境界を正直に回答する。虚偽タイプは、フリッカー検査の成績がよくなるよう、実際に判別できる境界から、周波数が高くなる、すなわち右方向に離れた番号を回答する。その距離は、3つのテストで同一とし、被検者に自由に決めさせた。気まぐれタイプは、デタラメにLED番号を回答する。各被検者に3つのタイプをそれぞれ演じてもらい、その順番はランダムとした。

結果は、虚偽タイプおよび気まぐれタイプを演じた全ての検査で、テスト2、テスト3の判定結果がNGになった。また、正直タイプを演じた全ての検査では、全てのテストの判定結果がOKになった。

### 5. おわりに

本研究では、これまでのフリッカー検査における問題を解決するため、多点LEDとその点滅周波数をプログラム制御することによって、恣意的、虚偽的な回答を排除できるフリッカー検査装置「AQフリッカー」を開発した。

検証実験において、被検者の目と装置の距離が40cmのとき、従来装置の上昇系列と下降系列の平均値と同等の評価が行えることがわかった。また、判定アルゴリズムの性能を確認する実験では、全ての検査において恣意性、虚偽性を排除できていることが確認された。また、従来装置とフリッカー値の精度と測定時間を比較した結果、AQフリッカーが優れていることが確認された。

今後は、LEDの色や輝度、LEDの配置間隔、LEDの個数などの検討を行う必要がある。また、実際の労働の現場でAQフリッカーを使用してもらい、その効果を検証していく必要がある。

現在のAQフリッカーは、装置本体と、被検者が操作するためのタブレットが分離しているが、将来的にはこれらを一体化した装置を開発する予定である。

### 謝辞

本研究はJST、平成27年度第1回マッチングプランナープログラム「探索試験」の研究助成により実施した。

### 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, -Flicker Test の理論と実際-, 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 (2001).
- [3] 西川雅弥, 西原直枝, 田辺新一: 中程度の高温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 線画像観察による眼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] 大崎紘一, 菊池 進, 三宅博文: 多点フリッカを用いた作業負担度の評価法, 日本機械学会論文集(C 編), vol. 52 (477), pp.1713-1718 (1986).
- [6] 大槻善樹, 米沢宣義, 田村武志, 大槻宏治, 高橋静昭: 集団を対象とするフリッカー値の同時測定とその基礎検討, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 93 (60), pp. 37-44 (1993).
- [7] 原田暢善, 岩木 直: モバイル端末を用いた精神的疲労計測システムの開発, モバイル学会誌, vol. 2 (3), pp.69-73 (2012).
- [8] 境信哉, 村井真由美, 青山宏: フリッカー測定による作業負荷の評価-七宝焼きとアンデルセン手芸の比較-, 山形保健医療研究, vol. 2, pp.51-55 (1999).
- [9] 片山徹也, 庄山茂子, 栃原 裕: 人間と生活環境, vol. 17 (1), pp.1-6 (2010).
- [10] 長谷川徹也, 筒江 修, 神代雅晴: 短時間の単純繰り返し作業における作業姿勢の組み合わせの効果, 日本経営工学会論文誌, vol. 51(2), pp.86-92 (2000).

### 著者紹介

#### 福井 裕(正会員)

2009 大阪府立大学大学院工学研究科博士後期課程修了、博士(工学)。同年より、摂南大学技師および大阪府立大学客員研究員、現在に至る。デジタルヒ



ューマンモデルやモバイル機器インタフェースの研究などに従事。モバイル学会、日本人間工学会、ヒューマンインタフェース学会、精密工学会などの会員。



**川野 常夫**(正会員)

1982 神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了、学術博士。神戸大学助手、大阪府立産業技術総合研究所研究員などを経て、1991 摂南大学助教授、2001 摂南大学教授、現在に至る。

人間工学、看護・介護動作解析、モバイル AR の応用などの研究に従事。モバイル学会 理事、日本人間工学会代議員、精密工学会、日本機械学会などの会員。