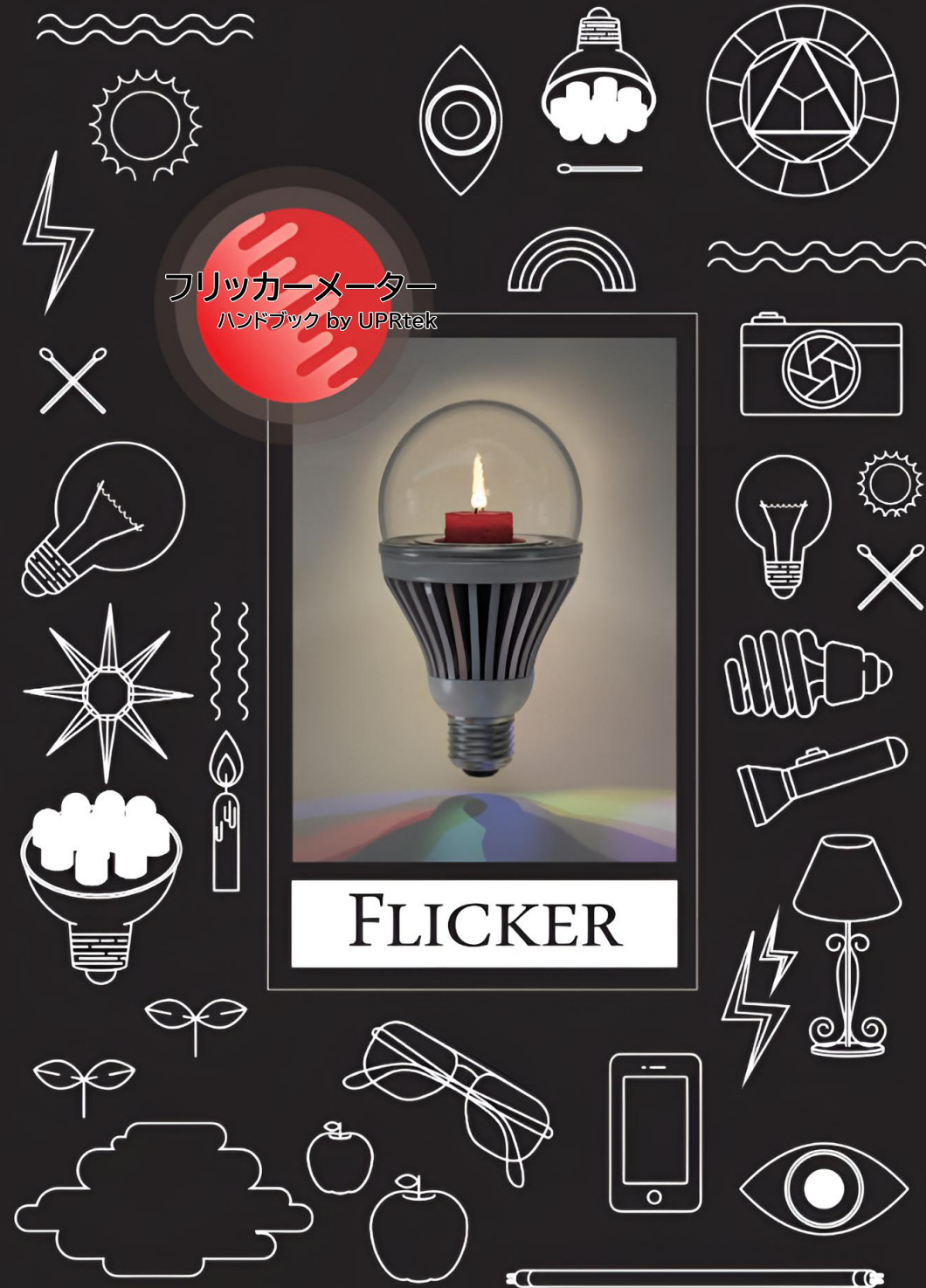


 旭光通商株式会社
www.kyokko.com





フリッカー解析



MK350S Premium

空間照明の研究・ハンドヘルド分光放射計



NIST DIN JIS



MK350N Premium

産業用LED測定の研究・ハンドヘルド分光放射計



目次

なぜなのかわかりませんでした..... 1

フリッカーとは何ですか?..... 2

フリッカーの悪影響..... 3

なぜフリッカーを心配するのでしょうか？ 4000分の1.... 5

フリッカーの原因は何ですか？ ACとDC..... 7

 DC - 懐中電灯はちらつきません..... 7

 AC - 壁コンセントとフリッカー..... 8

 エジソン対テスラ..... 9

 ACセーブ..... 10

一部のライトが他のライトよりも点滅する理由..... 11

フリッカーに影響を与えるその他の要因..... 11

電球メーカーがフリッカーにどう対処するか..... 13

 蛍光灯とフリッカー - 戦いは勝利しました..... 13

 LEDライトとフリッカー - 戦いはまだ始まったばかりです..... 15

 調光器とフリッカー..... 17

フリッカー測定..... 21

フリッカーパーセント..... 21

フリッカーインデックス..... 23

フリッカーはどのように測定しますか?..... 25

 1. 光の波を確認する..... 25

 2. 数字を確認する..... 27

 3. 周波数を確認する..... 29

 4. 診断を行う..... 30

リアルタイムポイントとモニター..... 31

次はどうすれば良いですか?..... 33

ストロボ効果..... 35

FFT - 高速フーリエ変換..... 37

新しいアプローチ..... 43

 PST、PLT..... 43

 SVM - ストロボ視程測定..... 43

 CIE の推奨事項..... 45

参考文献..... 46

なぜなのか分かりませんでした...



蛍光灯



Christian Taube, White Balance Deglr6328
- CC-BY-SA 2.0 - Germany

1940年代生まれの私の友人サラは、子供の頃は学校に行くのが好きではなかったと言いました。もちろん理由を尋ねると、彼女はいつも頭痛がするからだと言いましたが、理由はわかりませんでした。

フリッカーとは何ですか？

潜伏性と混乱を招きます

フリッカーは、人工光源（白熱灯、蛍光灯、LED 電球など）の脈動または変動する光の現象です。ほとんどの種類の人工照明は、家庭や会社の壁コンセントや電源に接続するとちらつきが発生する可能性があります。最新の照明環境では、おそらく目立ったちらつきは見られないでしょう。ただし、ちらつきが見えないからといって、ちらつきがないわけではありません。

すべての電球がちらつきます



白熱灯

Sun Ladder - Creative Commons Attribution-Share Alike



蛍光管



LED

いくつかの専門用語

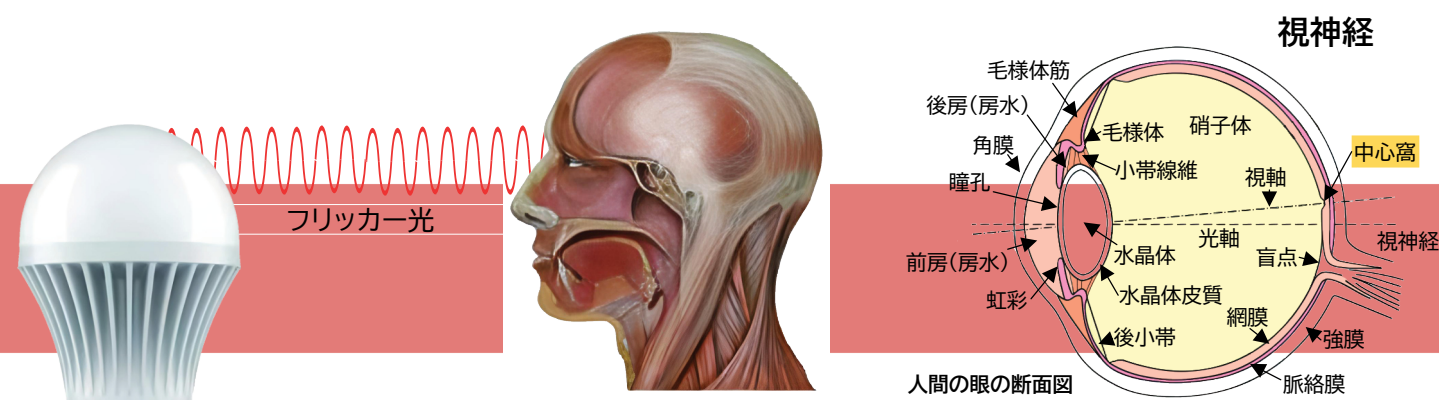
TLA (Temporary Light Articact) は、フリッカー関連の文献でよく見かける用語です。光源からの異常な光現象を指します。

ストロボ効果とは、移動する物体の視覚的な歪みを指します(後で説明する荷馬車の車輪効果と同様)。これは、光のちらつきによる間接的な結果です。フリッカー効果とストロボ効果は両方ともTLAに基づいて評価されます。

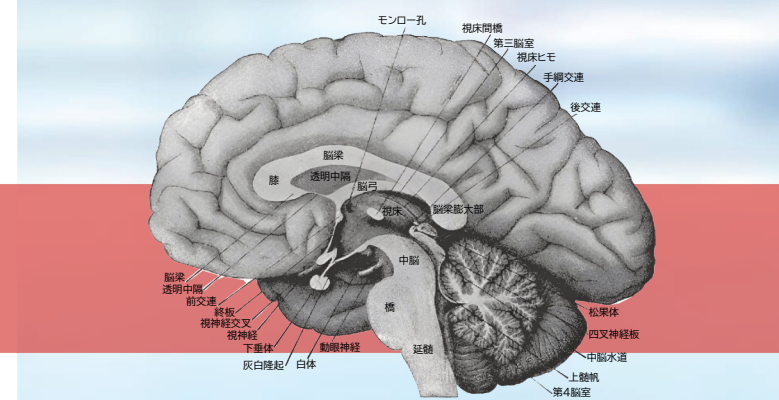
フリッカーの悪影響

フリッカー(可視光線と非可視光線)による悪影響への疑念は、蛍光灯が職場に導入された1950年代頃から存在していました。フリッカーの影響は十分に研究されており、頭痛、片頭痛、眼精疲労、疲労、さらにはてんかん発作など、様々な症状が報告されています。

フリッカーは目に見えなくても、目から入り込み、網膜に到達し、神経回路を通して中枢神経系(脳)へと伝わり、感覚を刺激し、深刻な障害を引き起こす可能性があります。つまり、フリッカーは静かに、そして時には目に見えない、潜在的に問題となる可能性があるのです。



Patrick J. Lynch, Medical Illustrator, C. Carl Jaffe MD - CC-BY-2.5 Generic



誰もが光のちらつきに敏感なわけではなく、実際に光のちらつきに敏感な人口の割合を数値化することは困難です。私たちが見つけた情報源によると、せいぜい4000人に1人が光過敏性てんかん発作(光過敏発作)を患っていると推定されています。また、どの程度のちらつきが安全と健康の閾値を超えるかを正確に数値化することも困難です。私たちの視覚と中枢神経系は複雑で、人によって異なります。年齢、視力、体内の化学物質の違いによっても大きく異なり、それが問題をさらに悪化させます。



複数の光源からの周囲光もフリッカーの複雑さを増します。複数光源環境はフリッカーを軽減するのか、増加させるのか、あるいはその両方なのでしょうか？



このように多様で流動的、かつ多面的な環境において、どの程度のフリッカーの深刻度であれば安全と言えるのでしょうか？つまり、これは理解するのが非常に難しい問題です。



なぜ
フリッカーを
心配する

4000分の1

光感受性てんかん発作を患う人が4000人に1人、つまり人口のわずか0.25%しかいないのに、なぜ心配する必要があるのでしょうか？

まず、てんかん発作のような壊滅的な事態が、たとえわずかな可能性であっても、自社の敷地内で発生するリスクを負う覚悟がありますか？特に、ほぼ完全に回避できるのであればなおさらです。

次に、発作以外にも、フリッカーによって引き起こされる健康問題には、頭痛、片頭痛、自閉症的な行動反応、労働疲労など、十分に文書化され研究されているにもかかわらず、明確に定義されていないグレーゾーンが数多く存在します。

さらに、ちらつきは時折起こる頭痛や片頭痛だけではありません。他の研究では、フリッカーのない環境では生産性が8%向上し、全体的な気分評価(幸福度、幸福度)も33%向上するとされています。これは、企業が毎日、一日中、あらゆる時間帯において懸念すべき事項です。

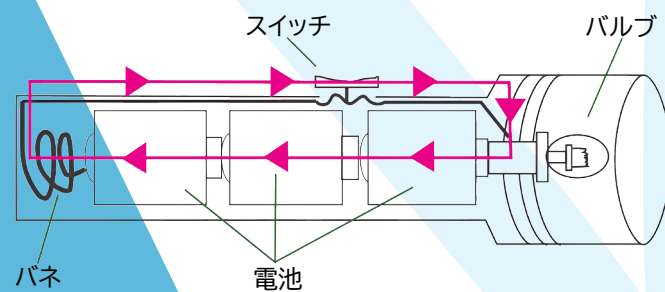


フリッカーの原因は何ですか？

光がちらつく理由はいくつかありますが、まずは根本から考えてみましょう。

DC - 懐中電灯はちらつきません

直流と交流についてご存知ですか？消費者が利用できる電気のほぼすべては、直流か交流のいずれかの形で供給されています。直流では、懐中電灯のように、電気は一方方向に流れます。懐中電灯には、電池のプラスとマイナスに接続されたシンプルな配線があります。電気はぐるぐると回り続け、小さな電球をちらつきなく連続的に点灯させます。



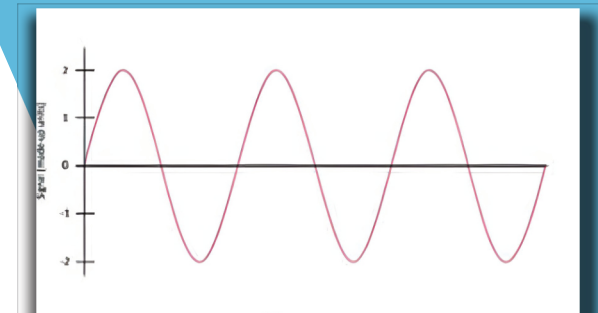
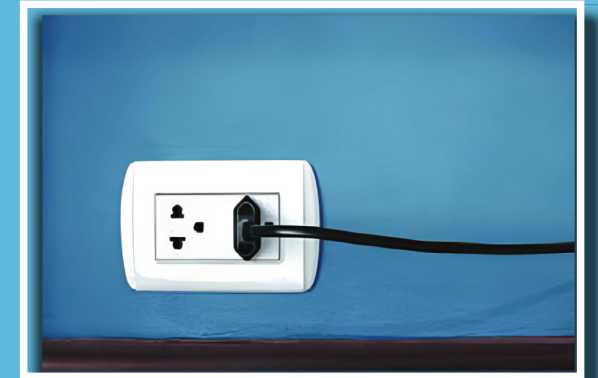
フリッカーの悪影響は必ずしも白黒はっきりしているわけではありませんが、検出と防止はほぼ確実に可能です。フリッカーを測定するツールと、それを排除する技術は存在します。

UPRtek

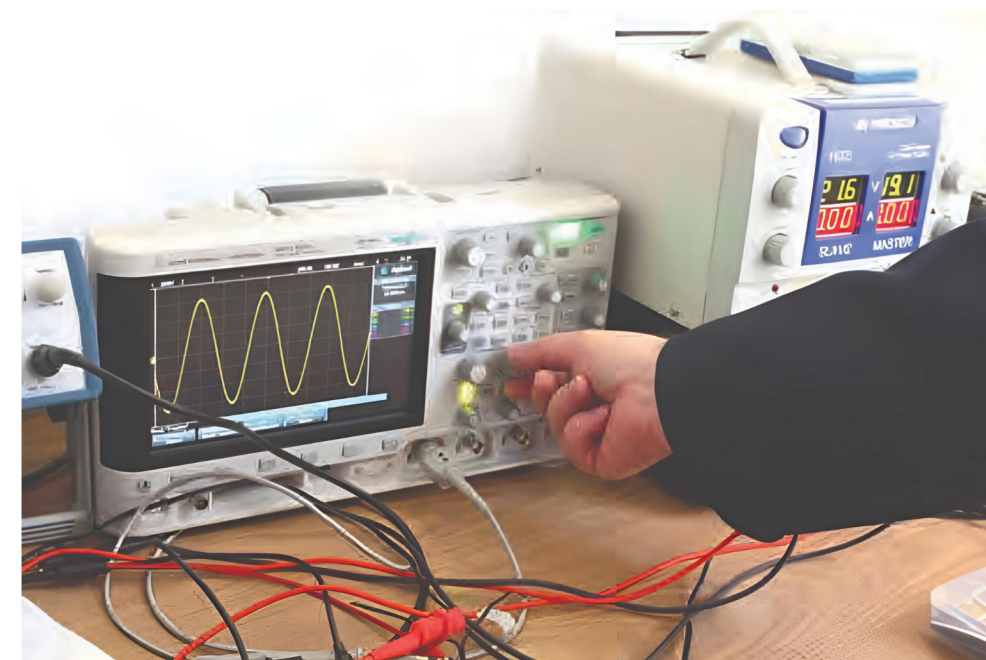
AC vs. DC

AC - 壁コンセントとフリッカー

AC(交流)は、家庭や職場で主電源や壁コンセントを通して使用される電気です。交流電流と呼ばれるのは、電流の方向が周期的に変化し、一定した一貫性を保つためです。ランプを壁コンセントに差し込むと、交流電流が使われます。この電流の周期的な反転が、フリッカーの脈動特性を引き起こします。



家庭用電源に接続されたオシロスコープは、時間の経過に伴う交流の変動を反映する正弦波を表示できます。

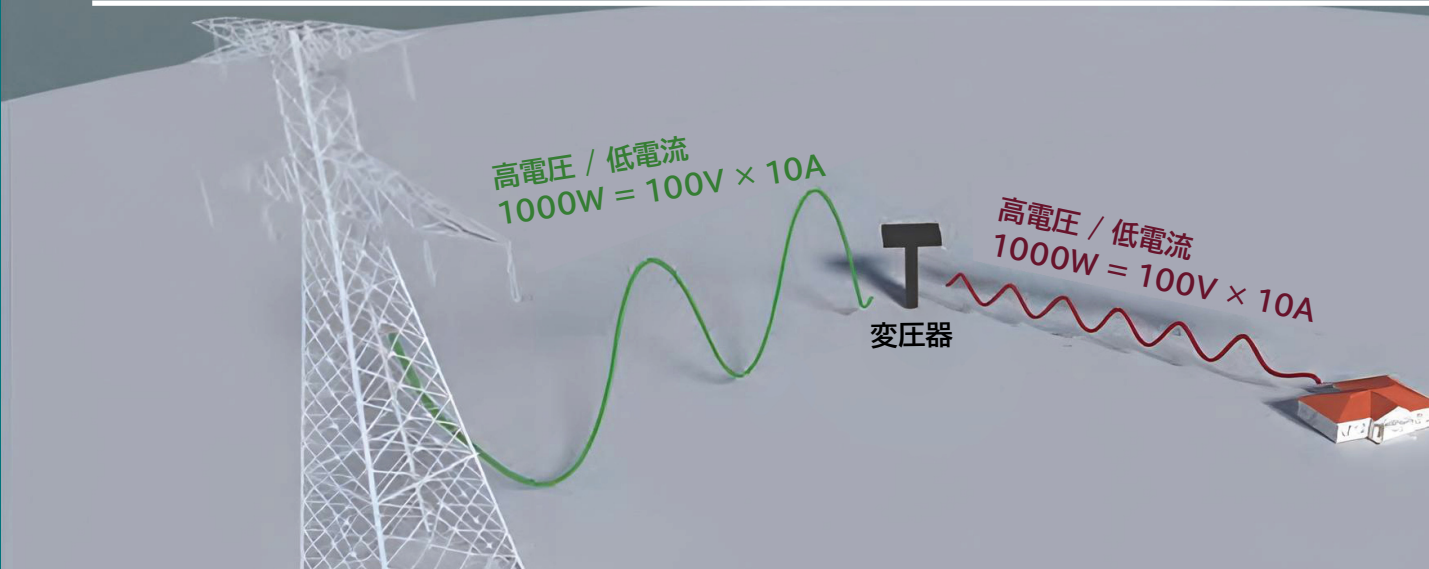


直流はちらつきを生じないのに
交流は生じるのなら、なぜ全てを
直流にしなかったのか？

エジソン VS テスラ

電流戦争

19世紀後半、広範囲に電力を供給する手段として直流と交流のどちらを使うべきかという大きな論争がありました。トーマス・エジソン(直流派)とニコライ・テスラ(交流派)が争ったこの戦争は、「電流戦争」と呼ばれました。



ACを使用するには十分な理由があり、多くのものと同様に、経済的な理由も一部あります。ACでは、変圧器と呼ばれる装置によって電圧を簡単に増減できます。長距離に電力を供給する場合、低電圧・高電流ではなく、高電圧・低電流で電力を伝送するのが最適です。低電流は長距離輸送中の熱エネルギーの損失を減らすため、はるかに効率的です。AC電気が職場や自宅に到着したら、電圧を簡単に下げて(これもACを使用)、家庭や職場で安全に使用できます。ACが交流であるがゆえに、電力供給は実用的です。しかし、この交流の性質が照明のちらつきの原因にもなります。

光波(右)は、明滅する光の強度が最大と最小の時を表すグラフです。交流電流の周期的なパターンによってどのように影響を受けるかがわかります。波の高さ、形状、周波数、幅はすべて、明滅の程度を決定する特性です。この図は授業全体で頻繁に使用されるので、よく理解しておくといよいでしょう。光波については後ほど詳しく説明します。

電圧と電流の違いについて学ぶ(ビデオをご覧ください)

http://www.diffen.com/difference/Current_vs_Voltage

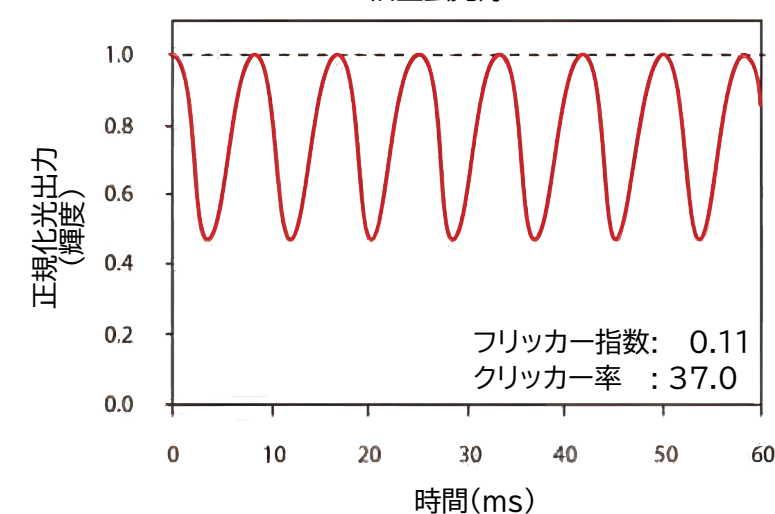
UPRtek

フリッカーメーターを使えば、光のちらつきを測定できます。光波を表示できるメーターです。

- MK350S Premium
- MK350N Premium



旧型蛍光灯



フリッカーに影響を与えるその他の要因



交流電源に加えて、フリッカーを誘発したり影響を与えたりする要因が他にもあります。壁のコンセントや主電源に接続された冷蔵庫や溶接機などの高消費電力家電製品は、回路内の電力を消費し、光波の特性を変化させてフリッカーを引き起こす可能性があります。

調光器は電球からの光の出力に影響を与え、フリッカーにも影響を与えます(調光器については後述します)。

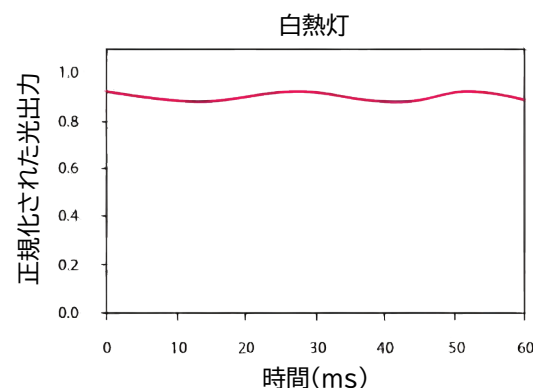


Busch-Jaeger-CC-BY-SA-3.0

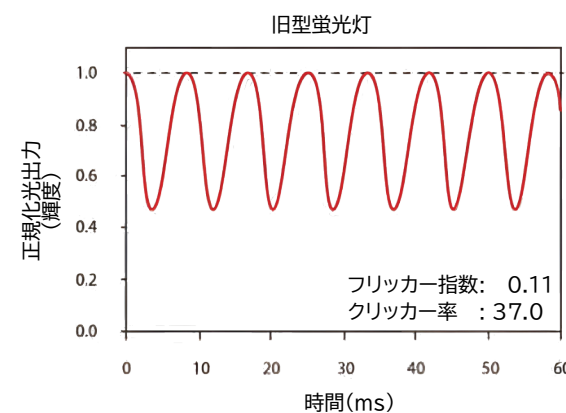
なぜ照明の種類によってちらつきが激しいのでしょうか？

従来の白熱電球について少し触れておきましょう。確かにちらつきはありますが、ほとんどの場合、無視できる程度です。白熱電球にはフィラメントがあり、電流によって加熱されると白熱します。フィラメントからの熱と光は、まるで赤熱した鉄が煮えたぎるように、ちらつきの周期の山と谷を過ぎても長く続くため、通常はちらつきの問題は発生しません。白熱電球でも交流電流は変動しますが、フィラメントが長時間連続して点灯するため、ちらつきは軽減されます。

右のグラフは白熱灯の光波形です。ちらつきはまだ残っていますが、高輝度と低輝度の差が小さいため、ほとんど目立ちません。



蛍光灯とLED電球では、光の作り方が異なります。フィラメントを燃やすのではなく、電子が飛び跳ねる現象(UPRtek サバイバルハンドブックの説明を参照)によって光が生成されます。この現象によって、ほぼ瞬時に光が消灯・点灯します(蛍光灯はミリ秒単位、LEDはマイクロ秒単位)。以下は蛍光灯の光波形です。



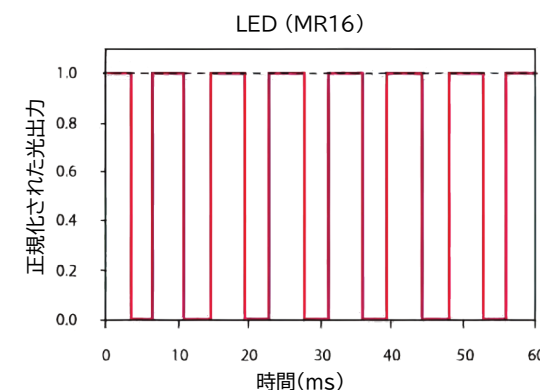
蛍光灯



Sun Ladder - Creative Commons Attribution-Share Alike

以下はLEDライトの光波形です。高輝度と低輝度の間で急激に低下する鋭角的なカーブに注目してください。これはLEDの急激なオン/オフ特性(蛍光灯よりも速い)を示しています。(LEDには後述の「ドライバー」を取り付けることができ、波形の形状を大幅に変化させることができます。)

LED

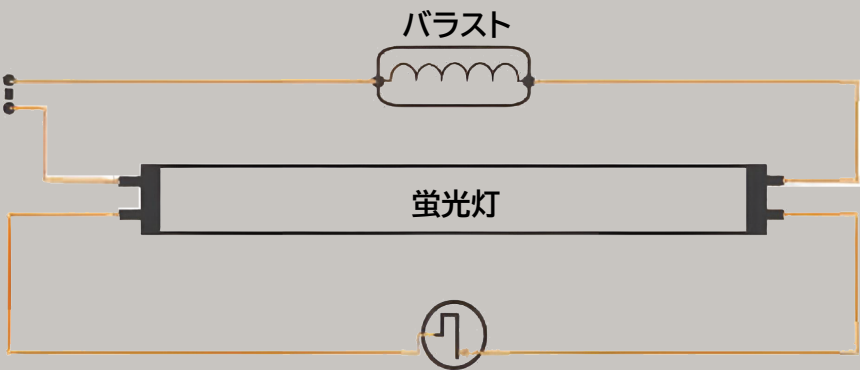
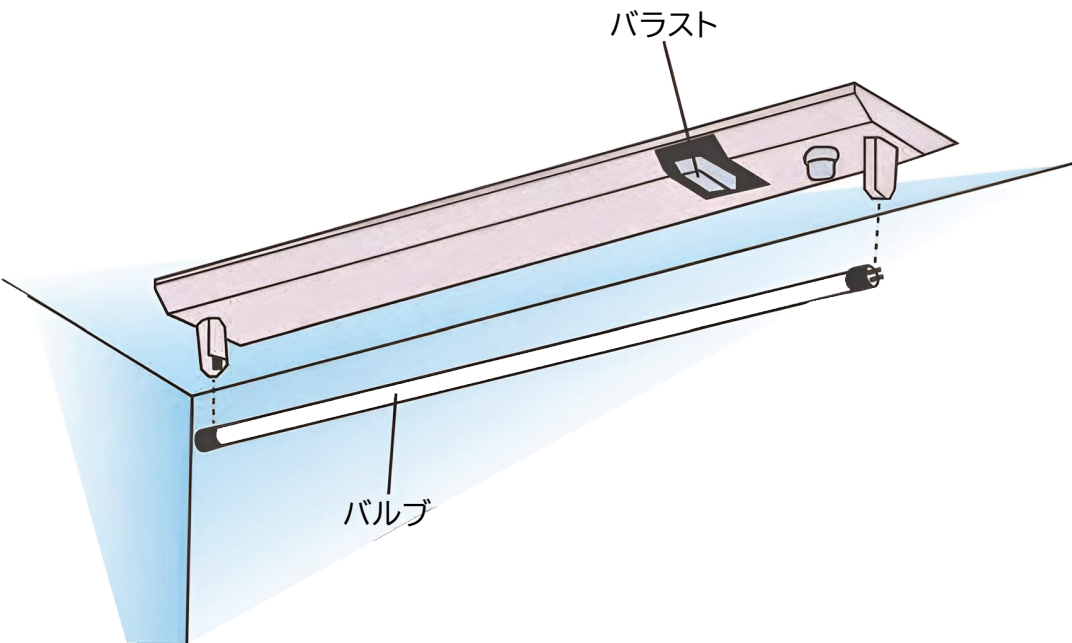


電球は光のちらつきにどのように対処するのでしょうか？

蛍光灯とちらつき - 解決済み

蛍光灯には、安定器と呼ばれる装置が搭載されており、流れる電流を制限/低減することで、過大電流やサージ電流から保護します。

これらの安定器は電球自体の回路に組み込まれているか、複数の照明を制御できる独立したユニットです。古い蛍光灯には、いわゆるマグネティックバラストと呼ばれるものが搭載されています。これは、シンプルな構造(単一コイル)で電流のサージを緩和しますが、交流電流には対応していません。これらの安定器を使用すると、光がちらついたり、ブーンという音が出ることがあります。



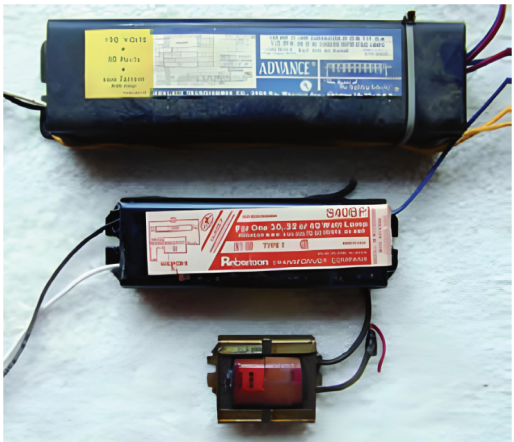
電子安定器は、やや高度な構造(複数のコイル)を備え、周波数を最大20000Hzまで大幅に高めることができます。1秒間に20000回の点滅では、人間の視覚系はそれほど速く点滅するものを認識できないため、点滅によるリスクはほとんどありません。

実際、人間が見える点滅は50~60Hz以下です。また、研究によると、目に見えない160Hzまでの点滅だけが生理的な影響を与えることが示されています。つまり、速いほど良いのです。

この2種類の安定器の争いは、すでに決着がついています。電子安定器は小型化、エネルギー効率の向上、導入の容易化、そしてコスト効率の向上を実現しています。

磁気安定器は過去の遺物になりつつありますが、多くの古い建物や住宅で今でも見かけます。

マグネティックバラスト



wikicommons cc-by 2.5 by Alant

蛍光灯

OSRAM FH 14W/840
LUXILUX Cool White
Recyclable Italy CE
Christian Taube, White Balance Deglr6328- CC-BY-SA
2.0 - Germany



原因は分からなかった

前述の通り、ちらつきの問題は職場に蛍光灯が導入されて以来(1950年代以降)、存在していました。

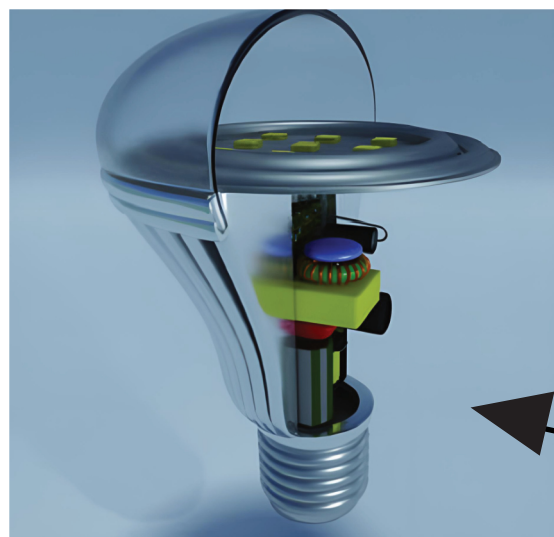
50年ほど前、私の友人が子供の頃、教室でそのような頭痛に悩まされていたのも、おそらくこれが原因でしょう。

電子安定器



LEDライトとフリッカー - 戦いは始まったばかり

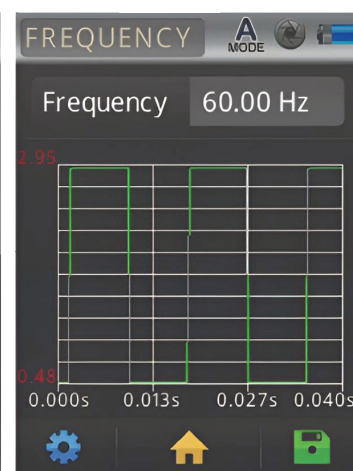
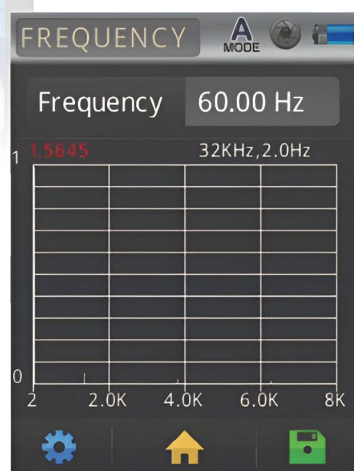
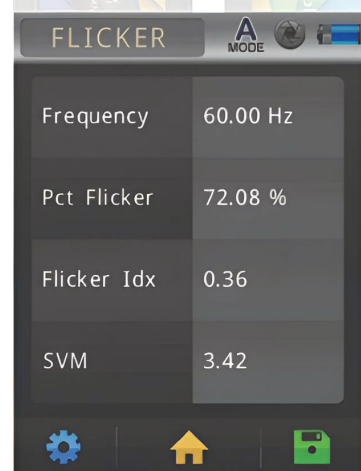
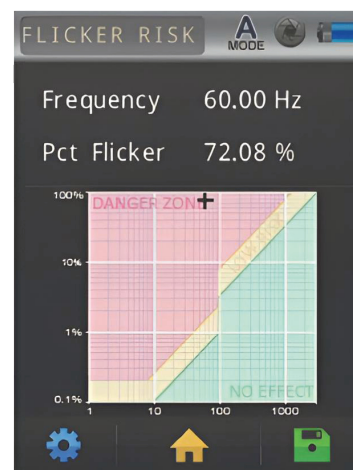
LEDライトのフリッカーを軽減する方法は、少し異なります。LEDには「ドライバー」が搭載されており、一定の電力を供給してAC電源ラインからの不要な変動を平滑化します。懐中電灯のDC定電流とフリッカーのない光を覚えていますか？LEDのドライバーは、AC電流をLEDライト自体に到達する前にDC電流に変換することで、フリッカーを排除します。しかし、高品質のドライバーは高度なデバイスであり、製造コストが高く、LEDの価格を押し上げます。



市場には、それほど高度ではない低品質のドライバーを搭載したLED電球が数多く存在し、それらははるかに安価で、時には高品質の電球の半額以下で販売されています。これらの電球は、フリッカーが発生する可能性が高くなります。

ドライバー

- MK350S Premium 分光放射計
- MK350N Premium 分光放射計



MK350D
コンパクト分光放射計

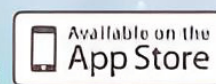
MK350N PREMIUM
分光放射計

MK350S PREMIUM
分光放射計

PG200N
ハンディ型
分光放射照度計
PARメーター

CV600
分光色彩計

5FTU/CZ/45



© www.UPRtek.com sales@uprtek.com

UPRtek

調光器とちらつき



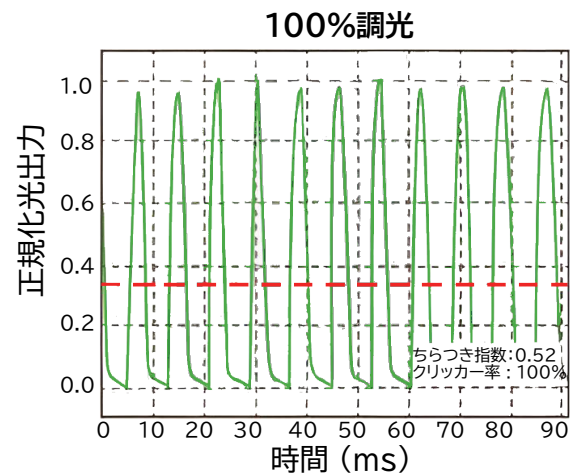
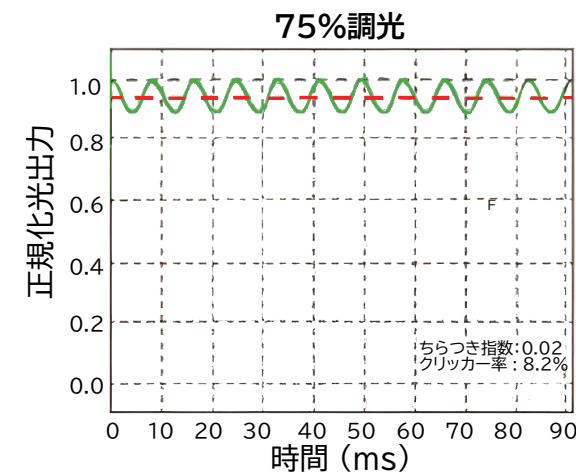
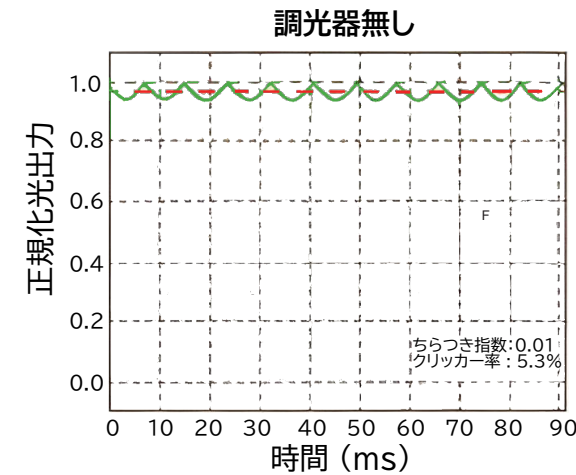
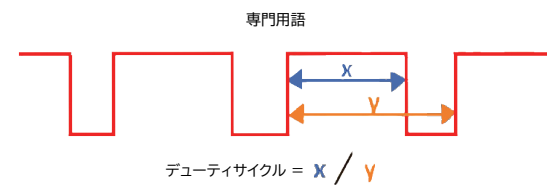
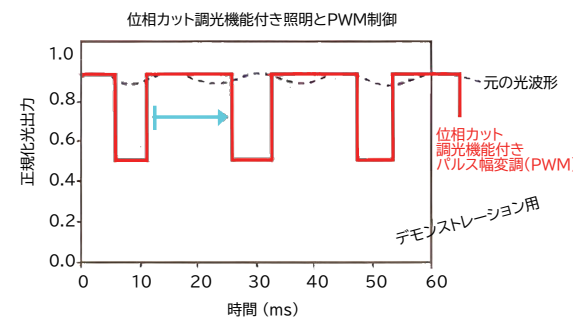
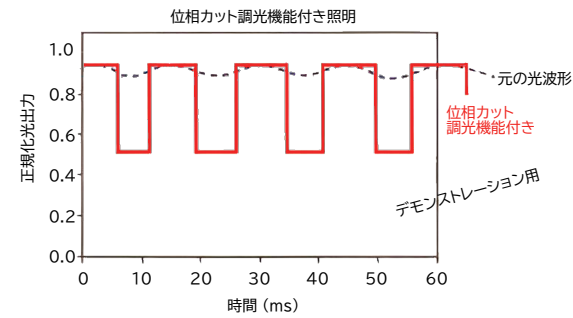
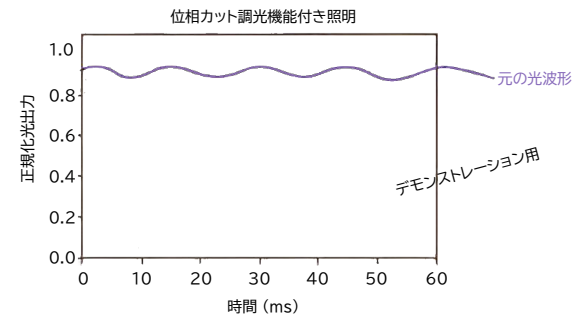
Busch-Jaeger - CC-BY-SA-3.0

調光は、これまで見てきたものとは少し逆のプロセスです。まず、LEDドライバが壁のコンセントから交流(AC)電力を直流(DC)電力に変換し、LEDに送ります。これにより、ちらつきなく点灯します。

ライトを暗くする場合、ドライバーはフェーズカットと呼ばれる技術を使用して光の流れに切れ目を入れます。この小さな切れ目によって総光出力が減少し(調光)、切れ目は人間の目には気づかれないほど短い時間で発生します。しかし、結果として得られる光の波形は、これまで見てきた波形に似たものになります。もちろん、これを行うことで、ちらつきという現象が再び生じます。

調光器(または実際にはドライバー)は、PWM(パルス幅変調)を使用することで、前述の例のちらつきを改善できます。PWMは光波中の高輝度光の量を増加させ、高輝度と低輝度の比率を高めることで、ちらつきを軽減します。

高輝度フェーズの幅を表す特別な用語があります。これはデューティサイクルと呼ばれ、高輝度フェーズの時間を1サイクル全体の時間で割った比率です。私たちの場合、デューティサイクルが大きいほど高輝度の光量が増え、ちらつきが少なくなります。



左側の光の波形は、調光されていない光を示しています。

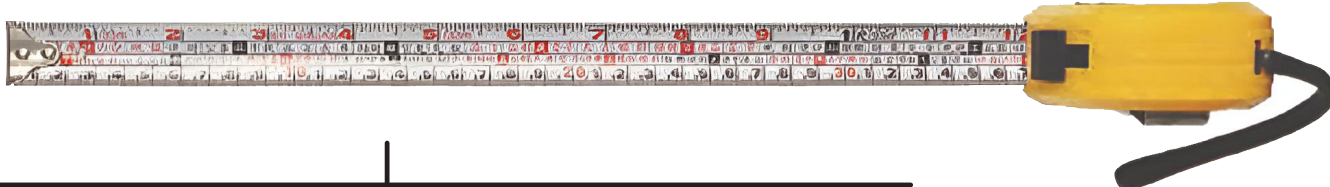
次の波形(左)は、調光されたときの実際の光波形を示しています。調光が進むにつれて位相カットが徐々に深くなり、フリッカーが強くなることに注意してください。繰り返になりますが、調光器に起因するフリッカーは、デューティサイクルを上げるか、フリッカーが人間の目で見える範囲(50Hz~60Hz超)と網膜で感知できる範囲(160Hz超)を超えるまで周波数を上げることで軽減できる、適切に設計されたドライバーです。

調光器は、光の強度に応じて変化する光の色も維持する必要があります。

つまり、「調光」は非常に難しい課題であり、色品質とフリッカーのない性能を維持するには、優れたドライバーが必要です。

ちらつきの深刻度を最終的に決定する 測定単位は何ですか？

100万ドルの質問



良い仕事

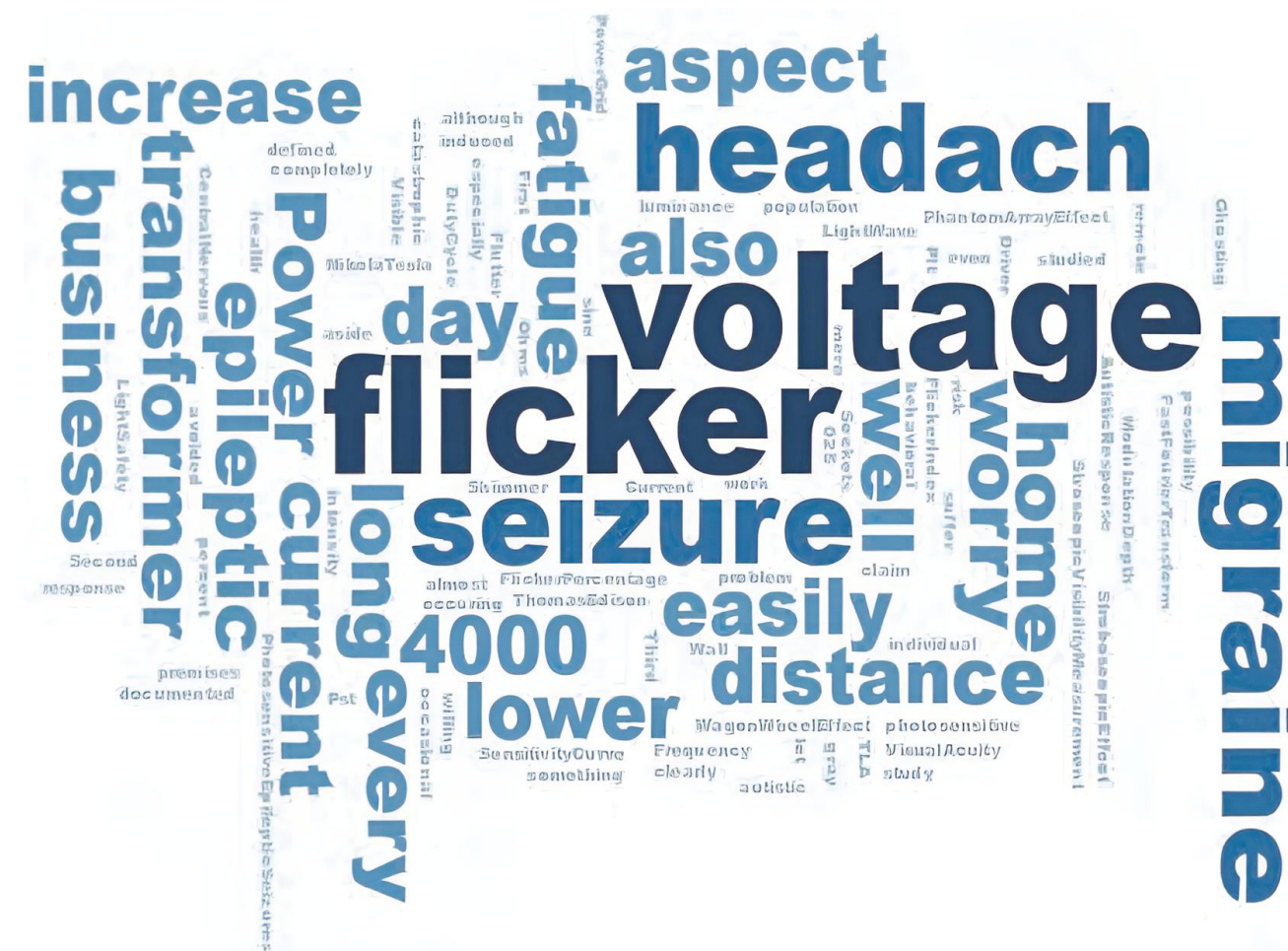
光のちらつきとその影響については数多くの研究が行われており、多くの標準化団体が、許容できないちらつきの重大度の指標としきい値を定義するために熱心に取り組んでいます。



町で最高のゲーム？

実を言うと(この記事の執筆時点では)、フリッカーの許容できないレベルを定義するための、広く普及し、統一され、明確に定義された指標は標準として確立されていません。

そしてこれは、無数の要因、状況、順列、そしてそれらすべての最大の変数である人体、つまりさまざまな化身によるものです。ただし、フリッカー測定指標は確かに存在し、単一の指標が100%完璧とは言えなくとも、それらを組み合わせれば、おそらく現時点で最良の選択肢となるでしょう。

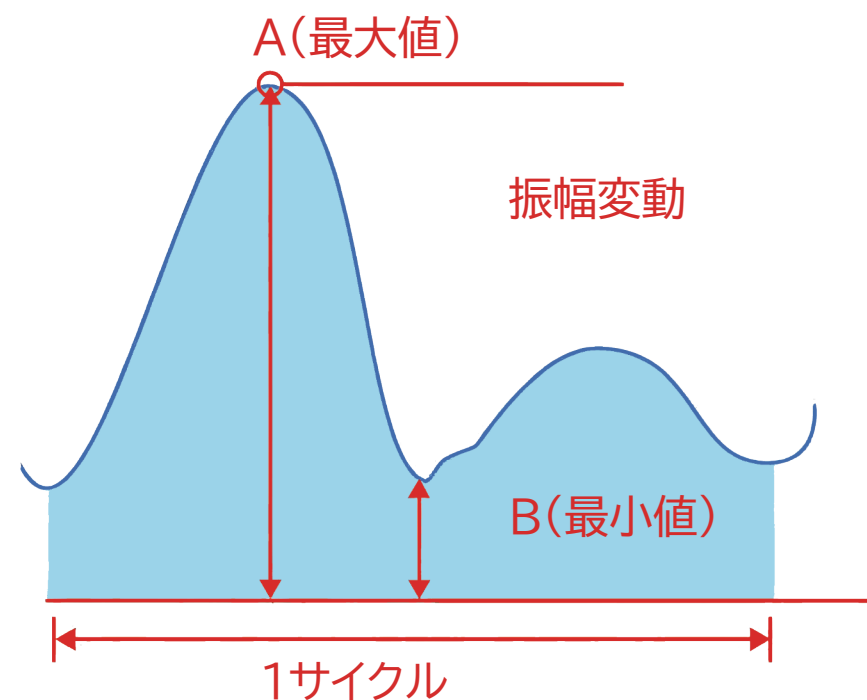


最初のフリッカーメトリクス

フリッカーパーセント

1980年代初頭、最初のフリッカーメトリクスのいくつかは、IESNA(北米照明工学協会 - IESNAハンドブック参照巻1981)の文献で見ることができました。最初のメトリックはフリッカー率と呼ばれるもので、理解と計算が比較的簡単です。光波の1サイクルにおける最高強度ポイントと最低強度ポイントを比較するだけで、パーセンテージが得られます。

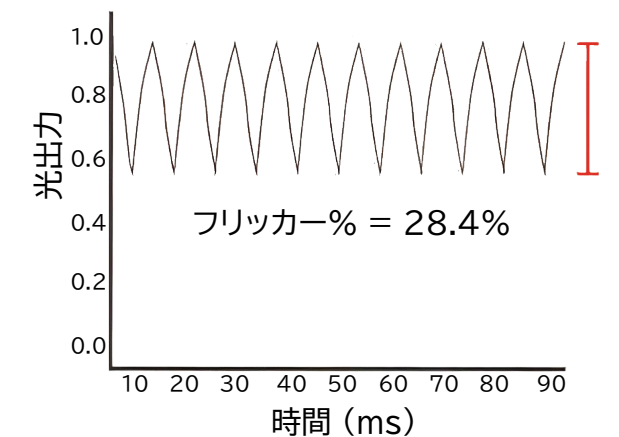
$$\text{フリッカーパーセント} = 100 \cdot (A-B) / (A+B)$$



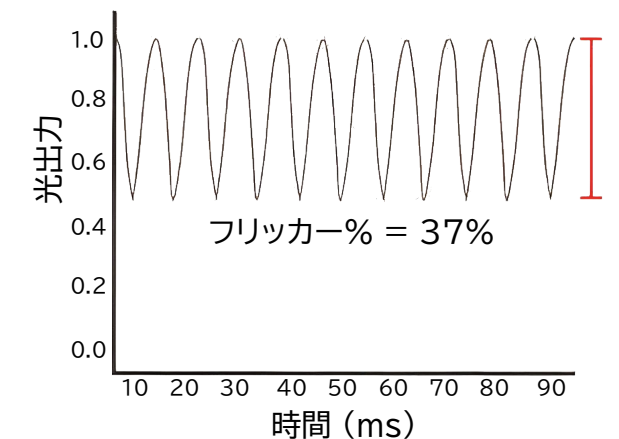
$$\text{フリッカーパーセント} = 100\% \cdot \frac{A-B}{A+B}$$

基本的に、高輝度点と低輝度点の差が大きい場合、フリッカーは大きくなります。これは、フリッカーパーセントが計算しているもの、つまりフリッカーの重大度を数値で表したものです。フリッカーパーセントが高くなるほど、高強度と低強度の光の間の不一致が大きくなり、フリッカーの重大度が高くなります。

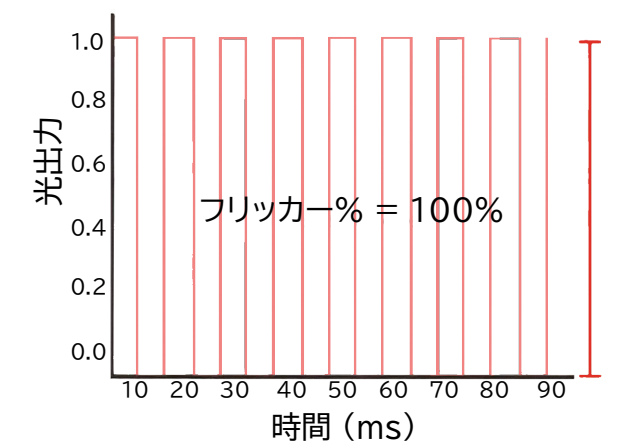
最初の例(右)では、フリッカーパーセントは28.4%と計算されます。



2番目の例では、波が深くなり、最高点と最低点の間の差が大きくなっているため、フリッカーパーセントが37.0%と高くなり、フリッカーの機会が生じます。



最後に、最後の例は、強度0で底に到達する波を示しています。これは、これらの間隔で光が完全に途切れていることを意味します。このような場合、フリッカーパーセントは100%で最も深刻になります。



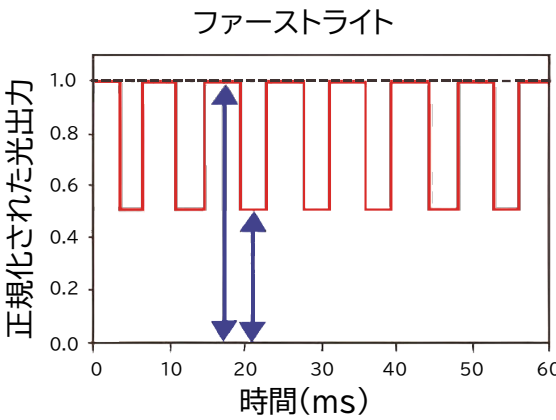
専門用語

フリッカーパーセントは、変調深度と呼ばれることもあります

フリッカーインデックス

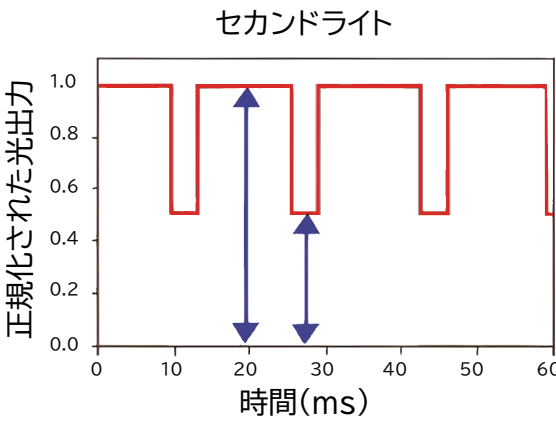
フリッカーパーセントは計算して理解するのが簡単ですが、欠点もあります。特に、高さのみを比較する1次元にすぎません。時間についても言及できていません。言い換えれば、高強度の光が照射されている時間と低強度の光が照射されている時間の長さです。

右の最初の例を見てください。
フリッカーパーセントは33%です。



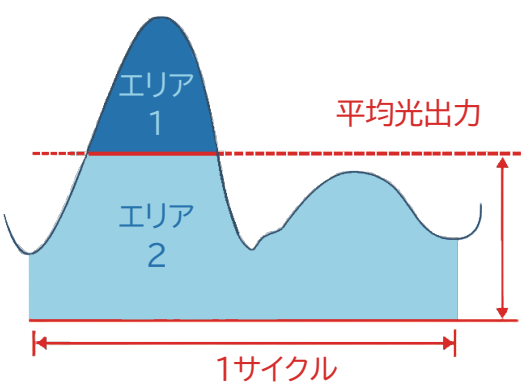
$$\text{フリッカー\%} = 100 \times \left(\frac{1.0 - 0.5}{1.0 + 0.5} \right) = 33\%$$

次に2番目の例(右)を見てください。光の波は最初の例とは著しく異なりますが、フリッカーのパーセントは同じ値(33%)を示しています。問題はそこにあります。フリッカーパーセントでは、グラフの水平方向、つまり時間は考慮されません。

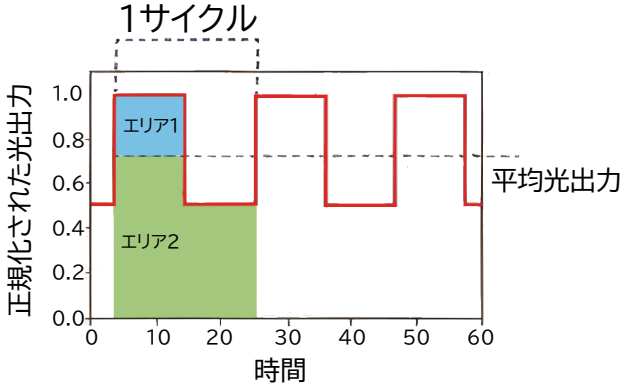


$$\text{フリッカー\%} = 100 \times \left(\frac{1.0 - 0.5}{1.0 + 0.5} \right) = 33\%$$

次のメトリクスはフリッカーインデックスと呼ばれ、1サイクルで何が起きているかを考慮することでフリッカーパーセントを改善します。最初は、この測定基準は光波の下で「面積」を測定して比較するため、少しわかりにくいように思えるかもしれません。基本的には時間の経過に伴う光の強度(xとy)を測定するため、面積を光の量のように考えることができます。簡単に言えば、1サイクルにわたる高強度での光の量と低強度での光の量を比較することです(ただし、詳細は少し難しくなります)。

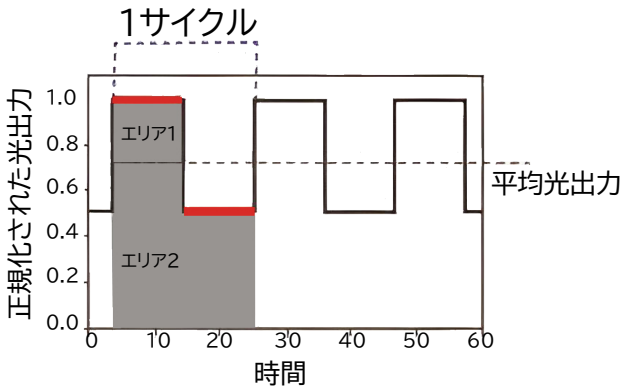


$$\text{フリッカーインデックス} = \frac{\text{エリア1}}{\text{エリア1} + \text{エリア2}}$$



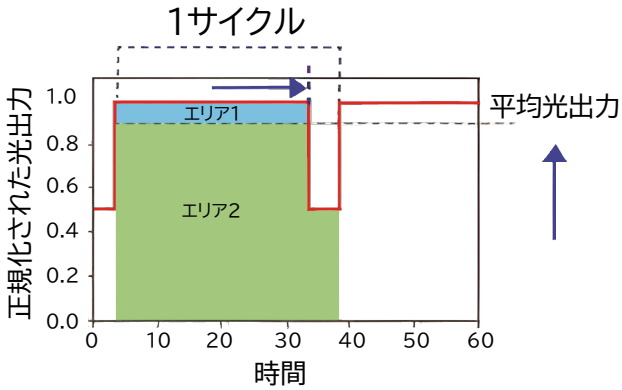
$$\text{フリッカーインデックス} = \frac{\text{エリア1}}{\text{エリア1} + \text{エリア2}}$$

$$\text{フリッカーインデックス} = .38$$



$$\text{フリッカーインデックス} = \frac{\text{エリア1}}{\text{エリア1} + \text{エリア2}}$$

$$\text{フリッカーインデックス} = .38$$



$$\text{フリッカーインデックス} = \frac{\text{エリア1}}{\text{エリア1} + \text{エリア2}}$$

方形波を使用した簡単な例(左)から始めましょう。その面積は理解しやすいものです(面積 = L x W)。この例の領域1は、低強度の光に対する高強度の光の量の差を表します。領域2は、高強度の光と低強度の光の両方が共有する残りの光の量を表します。フリッカーインデックスを計算するには、エリア1/エリア1 + エリア2になります。基本的には[フリッカー%]のようなパーセンテージですが、100を掛けることはできません。

しかし、「平均光出力」と呼ばれる、高低を分ける奇妙な線とは何でしょうか?これは、左側に示されている2本の赤い線内のすべての点の平均になります。この線は、高強度と低強度の差を定義する領域の境界を定めており、最終的には2つの極端な値の間のどこかになります。

3番目の例(左)では、光が最高強度にある時間を延長すると(デューティサイクルを増加すると)何が起るかを確認できます。

この領域が広がると、「光出力の平均」ラインが徐々に上に移動し(最初の例との比較を参照)、領域1が減少し、フリッカーインデックスも減少します。

したがって、高輝度部分(デューティサイクル)の幅を増やすと、本質的にフリッカーが減少します。

一部の調光器やLEDドライバーは、フリッカーを減らすために意図的にこれを行います。これは、前に説明したパルス幅変調(PWM)と呼ばれる方法です。

では、フリッカーをどのように測定するのでしょうか？

ライトのフリッカーを分析することは、医師が体調が悪いときに診察するのと似ています。医師はまずあなたの顔を見て、脈拍をチェックし、心臓の音を聞き、咳をするよう指示し、黒いバッグに入っているすべての道具を使って適切に診断します。

また、フリッカーの問題の検索もほぼ同じであり、適切なツールも必要であり、完全なフリッカーメーターから始めるのが良いこともわかります。検査を始めましょう。



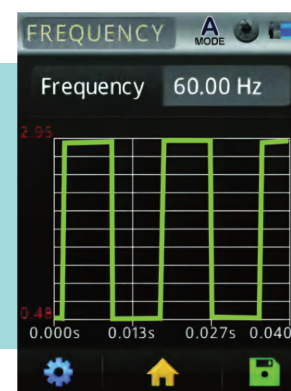
1 光の波をチェックする

初めてフリッカーメーターで光を検査するとき、最初にできることの1つは、光の波を見て目で簡単に評価することです。



1- 一目見ただけで、光の波と光の強度から基本的な情報が得られます。振幅は0.43～0.44の間で推移します。ちらつきが少ないことがわかります。

これは、優れたドライバーを備えたLED、電子安定器を備えた蛍光灯、または単なる白熱灯を示します。



ただし、前に説明したように、鋭く角のある波が見られる場合もあります。前述したように、これらの波は低品質ドライバーを備えたLEDで時々見られ、光強度の急激な低下により高いちらつきが記録されます。



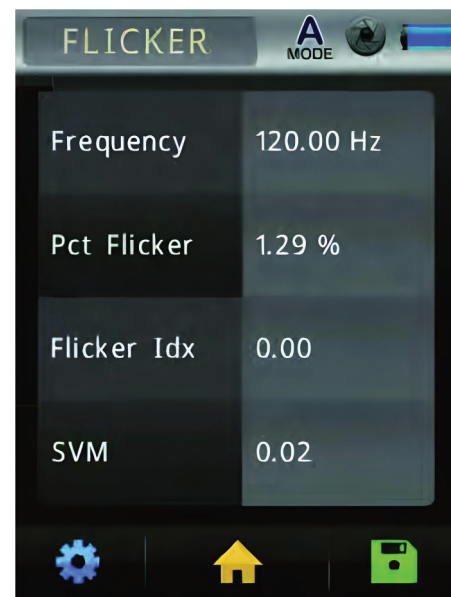
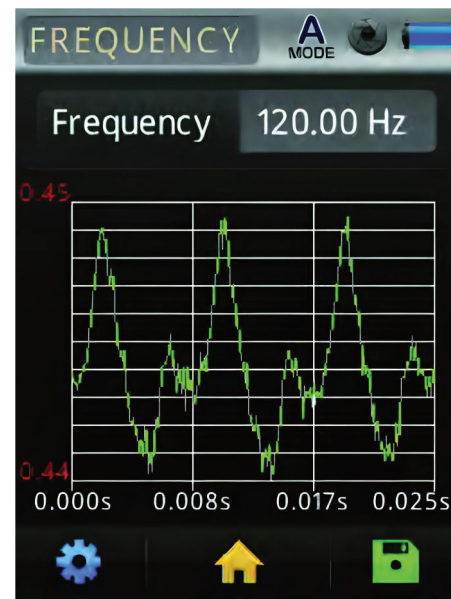
古い蛍光灯を使用している建物がまだたくさんあるので、ちらつきがないか確認してください。10年以上前に設置した蛍光灯の明かりの読書です。私の推測では、かなりのちらつきを示唆しているため、古いマグネティックバラストチューブが使用されていると思われます。

LEDの専門家やエンジニアは、光波を使用して振幅変化を分析することをお勧めします。一般ユーザー向けには、フリッカー状態を直感的かつ簡単に識別できる「フリッカーリスクモード」をチェックすることをお勧めします。この機能については後ほど紹介します。



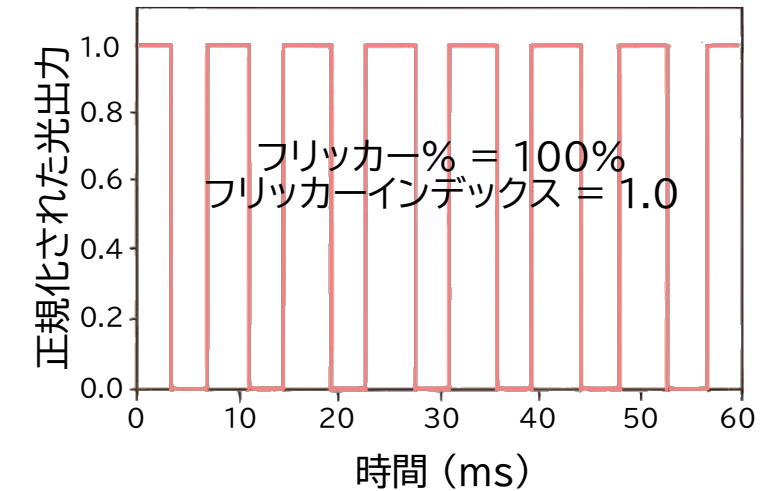
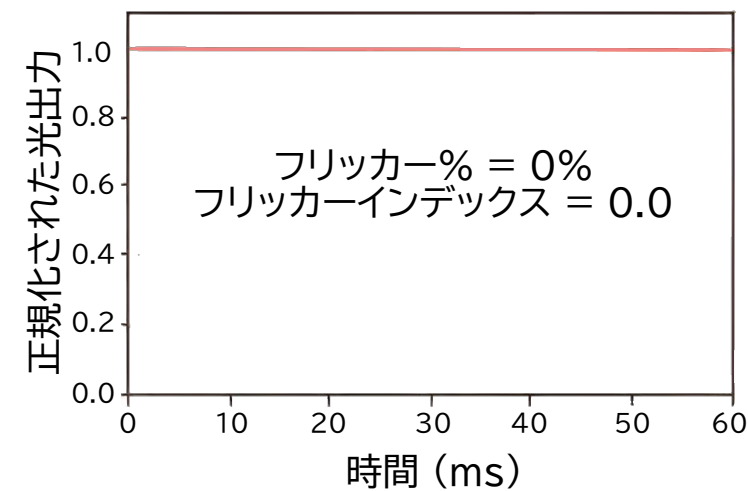
数値を確認しましょう

前回の例では、有害なちらつきが発生している可能性のある照明器具があることがわかりました。さあ、数値を確認しましょう。



極端な例を理解する

まず、フリッカーをほぼ完全に抑制できる照明(LED、蛍光灯、白熱灯)があることを理解する必要があります。それらの照明では、フリッカーパーセントとフリッカーインデックスはどちらもゼロに非常に近い、あるいはゼロです。また、フリッカーパーセントの最大値は100%、フリッカーインデックスの最大値は1.00(最悪の場合)であることもご存知でしょう。これにより、フリッカーの極端な例がわかり、照明の数値がどの程度になっているかを把握できます。



運が良ければ、数値はこれらの極端な値に近い値になり、診断がはるかに容易になります。つまり、フリッカーの問題がある(フリッカーパーセント99%)か、そうでない(フリッカーパーセント0.1%)かのどちらかです。

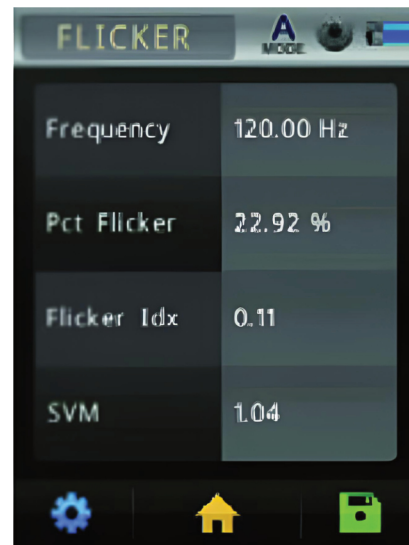
しかし、数値が中間値に収まる場合、フリッカー問題の解決はより困難になります。どこで線引きをすれば良いのでしょうか？フリッカーパーセントは1次元であり、フリッカーインデックスは1サイクルのみを考慮しているため、フリッカー指標としては不十分と言えるでしょう。

しかし、時間という別の次元を考慮する重要な項目がもう1つあります。

3 周波数を確認する

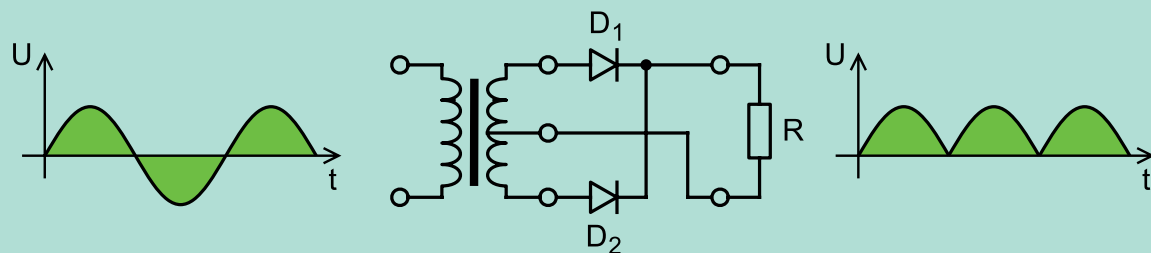
この記事の冒頭で述べたように、私たちの目は50～60Hz(1秒あたり50～60フラッシュ)までのフリッカーを視覚的に認識できます。しかし、それを超える周波数(目に見えないフリッカー)でも、160Hz(1秒あたり160フラッシュ)までは生理的な影響を与える可能性があります。

つまり、周波数が160Hzをはるかに超えている場合は、フリッカーパーセントやフリッカーインデックスを気にする必要はありません。速いほど良いのです。つまり、周波数もフリッカーの決定に大きな役割を果たします。さらに複雑なことに、周波数と他の要因の間にも相関関係があり、フリッカーは周波数、光波の高さ、デューティサイクルなどの相互作用によって決まります。



なぜ周波数は120Hzなのでしょう？

主電源の交流周波数が60Hzなのに、なぜメーターは常に120Hzを示すのでしょうか？電球や照明器具の内部には、交流の変動を平滑化するために、交流を直流に変換するプロセスがあります(前述の通り)。これは「整流」と呼ばれるプロセスで、交流電流の逆方向成分を以下のように順方向成分に変換することで行われます(交流から直流へ)。これにより、周波数は120Hzに倍増し、フリッカー(%)は低下し、周波数は高速化されます(右側の光波)。



4 診断

例に戻りましょう。ちらつきの問題は発生しているのでしょうか？発生していないのでしょうか？私たちの光波は確かにちらつき特性を示しており、フリッカーパーセントとフリッカーインデックスはどちらも高く、周波数は目で感知できる範囲(視覚ではない)にあります。

結局のところ、ちらつきのレベルが深刻かどうかを判断する基準はどこにあるのでしょうか？片頭痛を起こしやすい人に影響を及ぼすほど深刻なのでしょうか？眼精疲労の基準はどこにあるのでしょうか？てんかん発作の基準はどこにあるのでしょうか？60歳未満の人(ちらつきの影響を受けやすい若者)の基準はどこにあるのでしょうか？

2015年、IEEEは、フリッカーパーセントと周波数を用いたシンプルで合理的な基準(IEEE規格1789-2015)を策定しました。

この規格では、以下の点が推奨されています。

- 1) 周波数 * 0.08 ($120 * 0.08 = 9.6$) を計算します。
- 2) フリッカー% (22.92) と計算値 (9.6) を比較します。

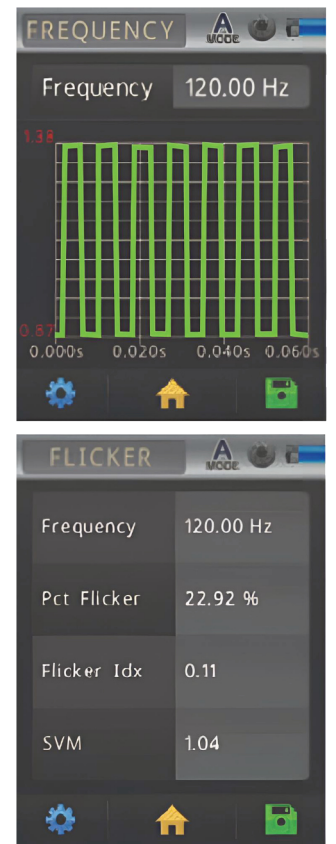
フリッカーパーセントが1で計算した値より大きい場合(この例では $22.92 > 9.6$)、照明にフリッカーの問題が発生しているため、対策(交換または新規購入)を講じる必要があります。

では、もしも(高血圧)の場合はどうなるのでしょうか？

しかし、LED電球を20個購入して設置し、計算結果が以下の通りだったとしたらどうでしょうか。

$$14 > 120 * 0.08 = 9.6$$

ちらつき率(14)は9.6の上限を超えていますが、その差はわずか5パーセントポイント未満で、前の例の50ポイントの差よりはるかに良好です。電球を交換するべきでしょうか？現時点では、この質問に明確に答えられる人はいません。上限を超えると、グレーゾーンに入ってしまうからです。これは高血圧に似ています。高血圧の基準値は140/90ですが、血圧が141/91の場合、薬を服用すべきでしょうか？血圧が139/89の場合はどうでしょうか？



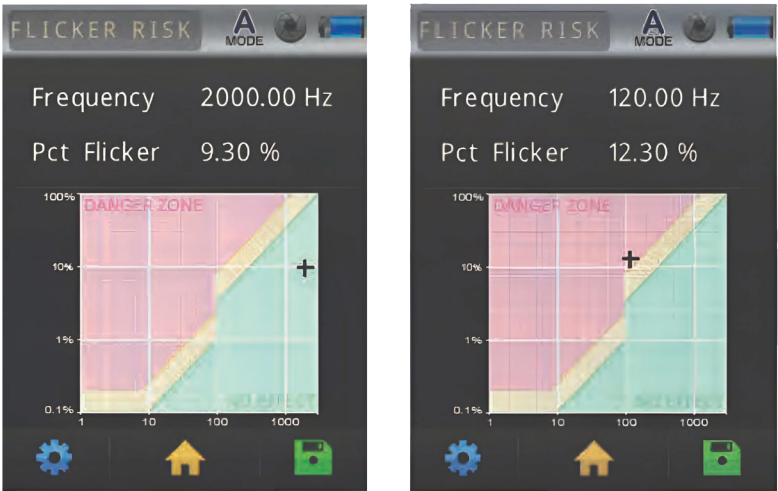
IEEE PAR1789 推奨プラクティス

工場には200個の蛍光灯が設置されています。一部の照明は、経年劣化によりちらつき始めることが分かっています。

IEEE PAR 1789-2015 フリッカー安全規制と、内蔵のポイントフリッカーマップ解析(フリッカーリスクモード)に基づきます。このサービスにより、ユーザーは「光源ターゲット」のリスク値をより直感的でシンプルに評価できます。

リスクレベル、曝露確率、曝露の重症度に基づいて、複数の研究から得られたデータをプロットしました。

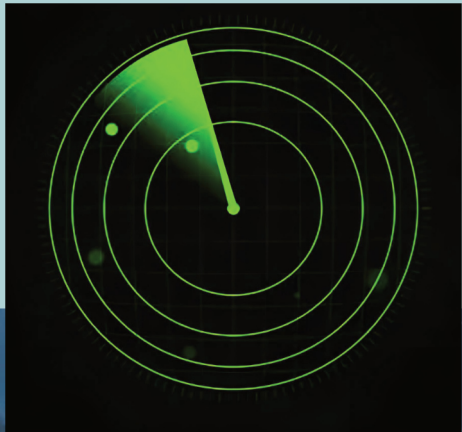
出典:
https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/miller%2Blehman_flicker_lightfair2015.pdf



- 赤色の領域:危険区域

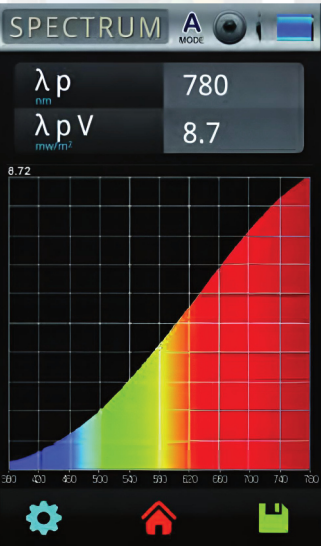
黄色の領域:低リスク

緑色の領域:EPPECTなし



次はどうすればいいですか？

照明が望ましくない範囲でフリッカーを起こしていることが判明しましたが、カバー付きの高天井に設置されている光源の種類(白熱灯、蛍光灯、LED)をどのように判断すればよいでしょうか？フリッカーメーターの便利な機能の一つは、スペクトラム表示です。スペクトラム表示を使えば、カバーの下にある照明の種類を特定できるため、何を修正すればよいかを把握できます。



白熱灯自体にちらつきは通常ありませんが、調光器の影響を受けたり、高出力の電化製品によって電流が流れたりする場合があります。

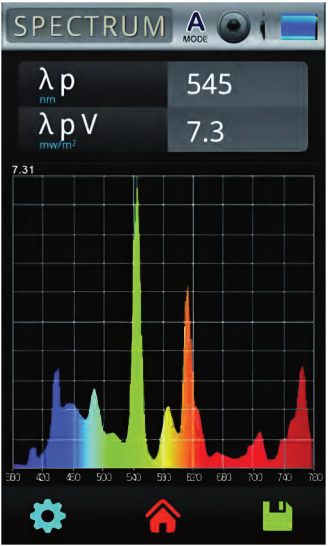


KMJ - GFDL - CC-SA-3.0

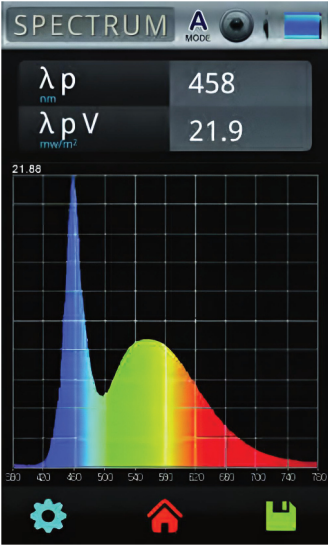
Sun Ladder - Creative Commons Attribution-Share Alike



蛍光灯がちらつくのは、古いタイプの磁気安定器が原因である可能性があります。電子安定器に交換する必要があります。あるいは、電球が古くなって摩耗している可能性もあります。



現代の環境でちらつくLEDライトは、通常、AC電圧の変動や調光に対応できない低品質のドライバーを使用していることを意味します。これらのライトは、激しいちらつきと中程度のちらつきの両方を示す場合があります。



ストロボ効果

前述の通り、ストロボ効果はTLA(時間的光アーティファクト)の一種です。しかし、フリッカーの厄介な性質とは対照的に、ストロボ効果は衝撃的で壊滅的な結果をもたらす可能性があります。

映画で似たような現象を見たことがあるかもしれません。「ワゴンホイール効果」と呼ばれるもので、ワゴンが高速で走行しているときに、車輪のスポークが停止したり、方向転換したりするように見える現象です。映画に登場するヘリコプターのブレードにもこの現象が見られます。これはTLAには分類されませんが、メカニズムは同じです。それでもまだよくわからない場合は、下の動画をご覧ください。10秒あたりでワゴンホイール効果が確認できます。

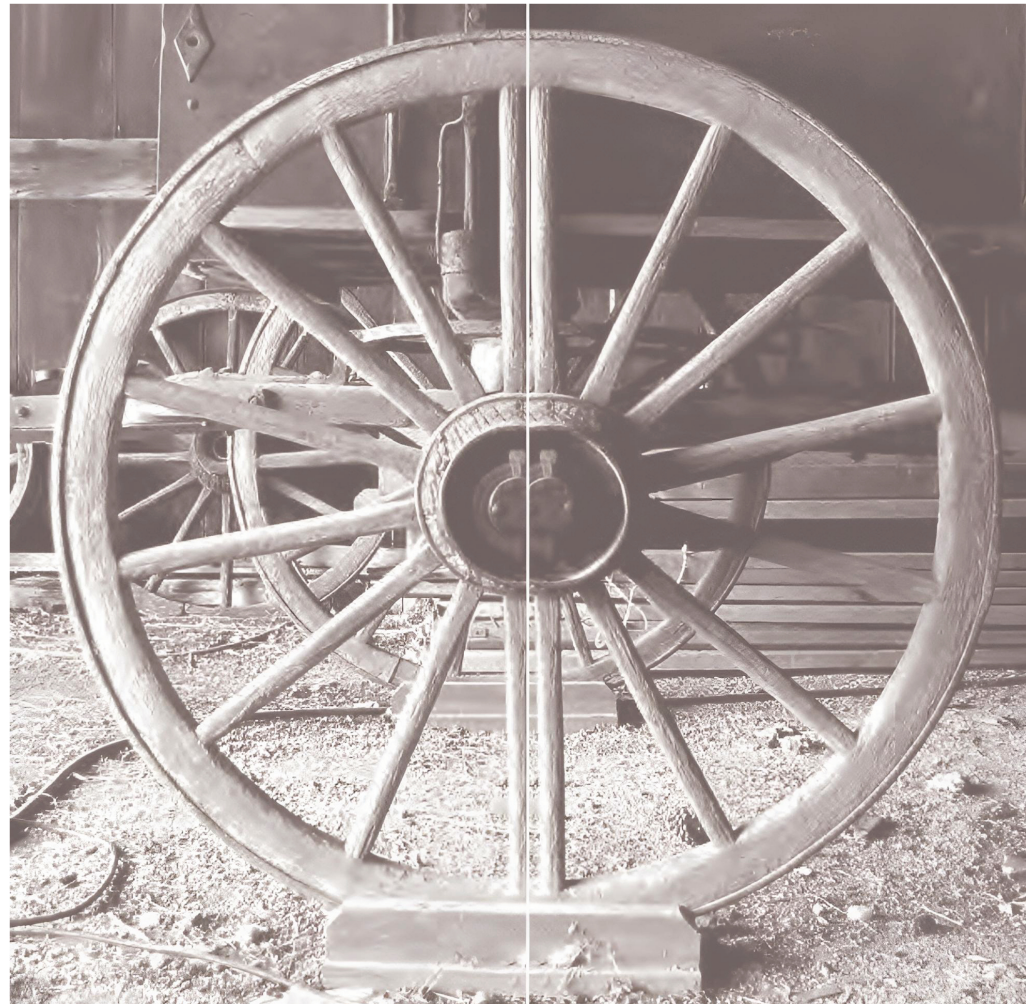
<https://www.youtube.com/watch?v=6XwgbHjRo30>

「ワゴンホイール効果」とは、車輪のスポークが止まったり、方向転換したりしているように見える現象です。ビデオカメラは連続した動きを記録するのではなく、通常24/30フレーム/秒(古い映画の場合)の間隔で一連の画像(フレーム)を高速で撮影します。これらのフレームが次々に表示されると、ページをめくるアニメーションのように、1つの連続したストリームとして表示されます。しかし、カメラは1秒間に24/30フレームしか撮影できないため、スポークが中心を中心に回転する微細な角度をすべて捉えることはできません。そのため、カメラが連続してフレームを撮影する際、スポークが毎回同じ位置で撮影されることがあります(実際には異なるスポークである場合もあります)。以下の短いクリップをご覧ください。

https://en.wikipedia.org/wiki/Stroboscopic_effect#/media/File:Strobe_2.gif



このクリップ(上記リンク)では、左側のボックスは現実世界で起こっていること(秒針が回転する時計)を表しています。2つ目のボックスでは、カメラが1秒ごとにフレームを撮影している様子を想像してみてください。



John Vetterli CC-SA 2.0

ボックスの背景が白く点灯することでそれが分かります。しかし、秒針が12時の位置に来た時だけスナップショットが撮影されていることに気づくでしょう。つまり、全ての写真を繋げると、秒針はその位置に静止した状態で表示されます。

さて、カメラをあなたの目に置き換えて、白い背景のフラッシュが時計に1秒に1回の点滅光を当てていると想像してみてください。点滅する光は、回転する秒針が12時の位置に止まるのと同期しているため、見えるのは12時の位置に置かれた秒針だけです。

しかし、実際にはもう少し複雑です。点滅する光でストロボ効果を実現するには、多くの要素を考慮する必要があります(例えば、光の強度、デューティサイクル、変調度、周波数、目が情報を受け取る仕組みなど)。

さて、ここからが話の核心です。

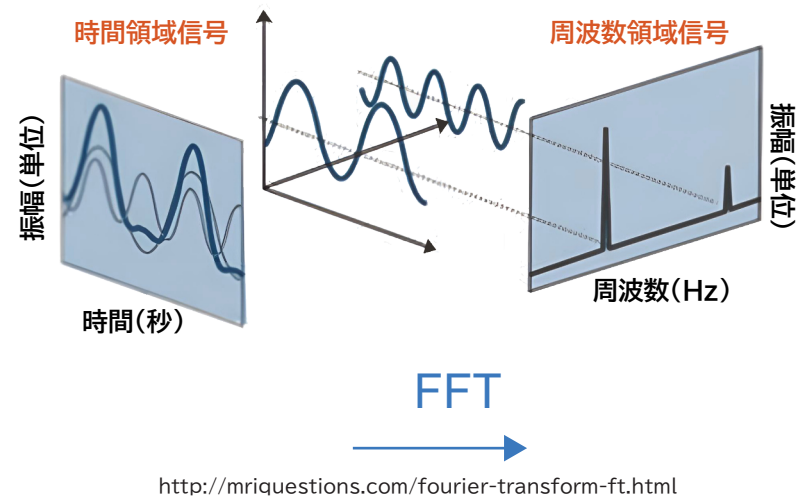
騒々しい工場にいるところを想像してみてください。テーブルの片側に丸鋸があります。あなたは目の前で何か雑務をこなしながら、目の端で丸鋸の近くにある定規に手を伸ばします。視界の端では、鋸の歯は安全に静止しているように見えますが、実際には猛スピードで回転しています。分かりますか？衝撃的ですよね？



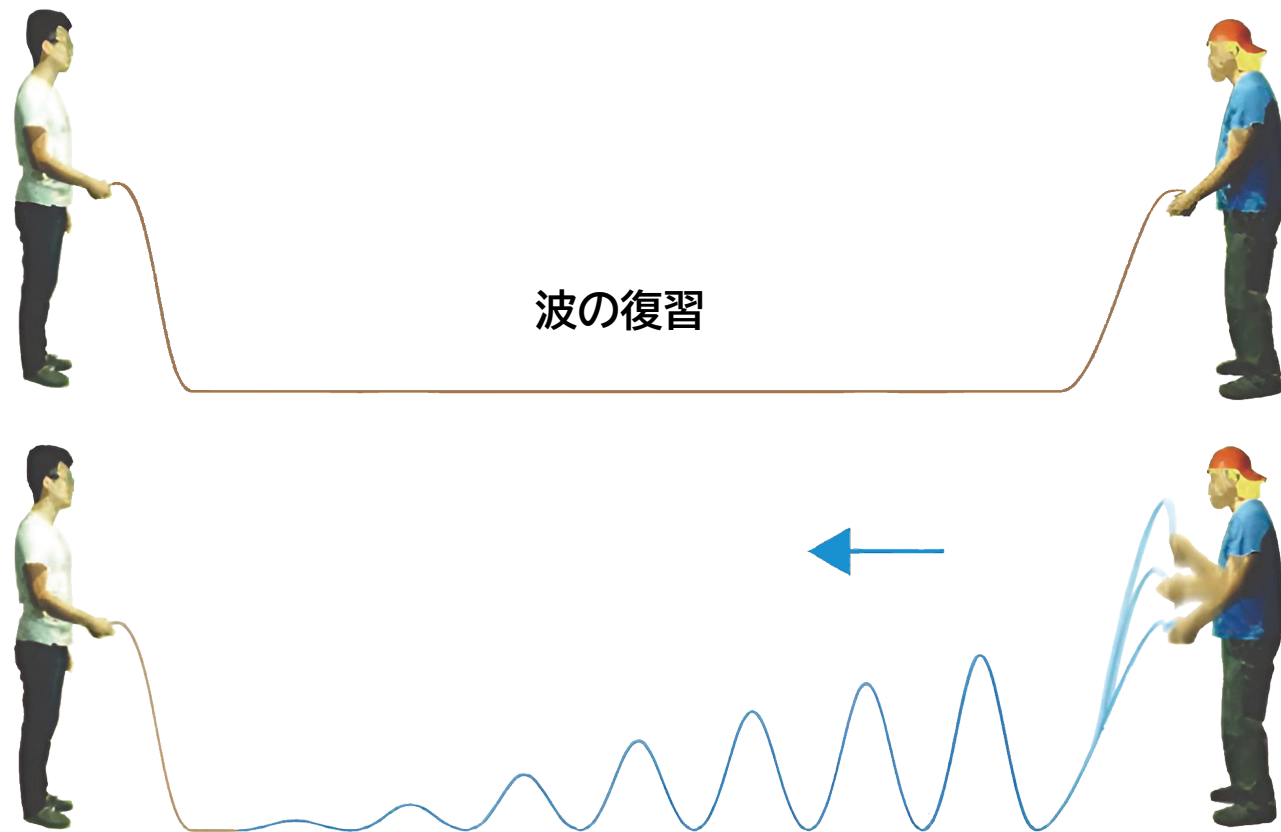
基本的に、工場の頭上の照明が明滅しているために鋸歯が静止しているように見えるため(幌馬車効果)、指が極度の危険にさらされます。

高速フーリエ変換(FFT)とは一体何でしょうか？

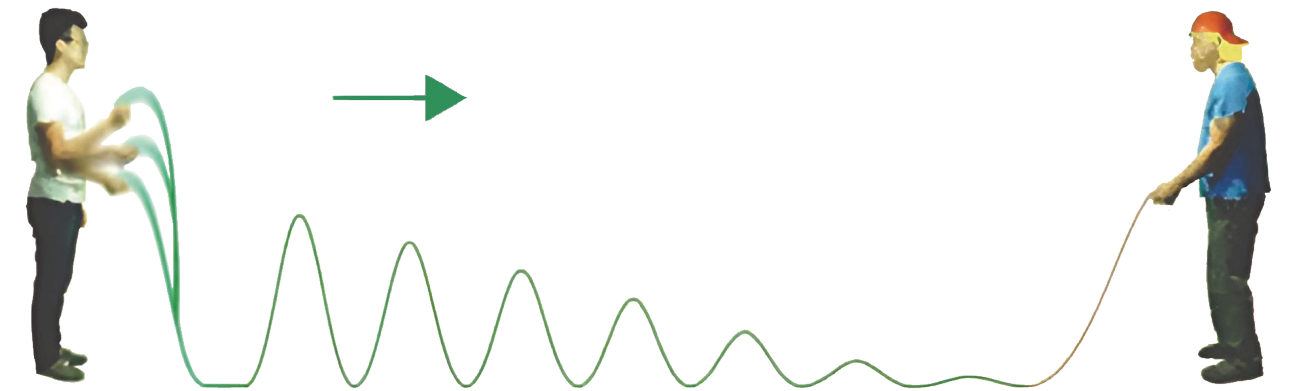
フリッカーに関する技術文献を見ていると、FFTという言葉に出会うことがあるかもしれません。まず、FFTは主に研究者や電球メーカーのエンジニアが使用するものだというのを知っておいてください。フーリエ変換という言葉聞いたことがない方は、少し難しそうに感じるかもしれません。GoogleやWikipediaで調べても、それが何なのか、電球とどう関係するのか、戸惑うかもしれません。



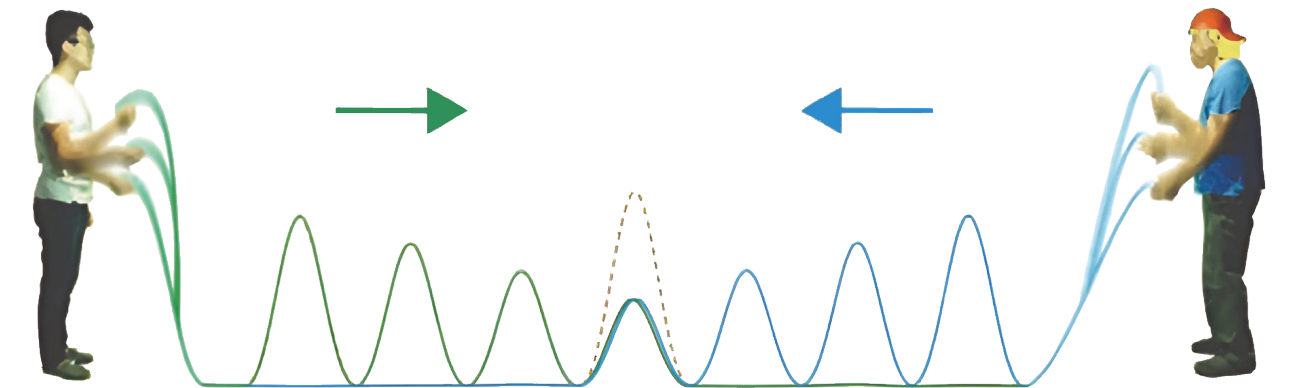
簡単に説明すると、フーリエ変換とは、波の特性を分析し、分析することです。ただし、光波だけでなく、音波、色波、津波など、あらゆる種類の波が対象となります。しかし、先に進む前に、波に関する知識を復習しましょう。



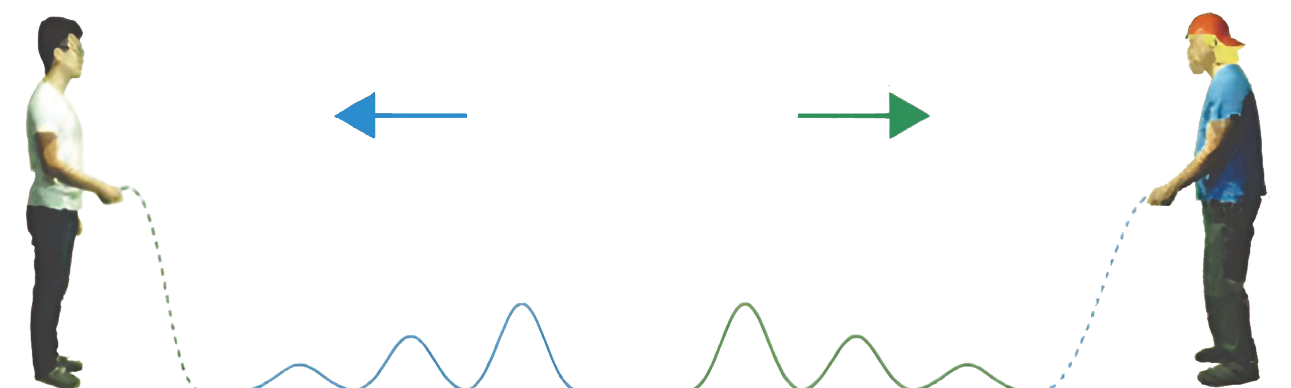
ロープの端を引っ張ることで波を作ることができます。波は床に沿って一定の方向に進みます。



同様の波を、反対側から反対方向に作ることもできます。



今度は、両端から波を起こしてみましょう。2つの波が中央で出会うと、2つの波は合成されて、2つの波の和である大きな波になります。

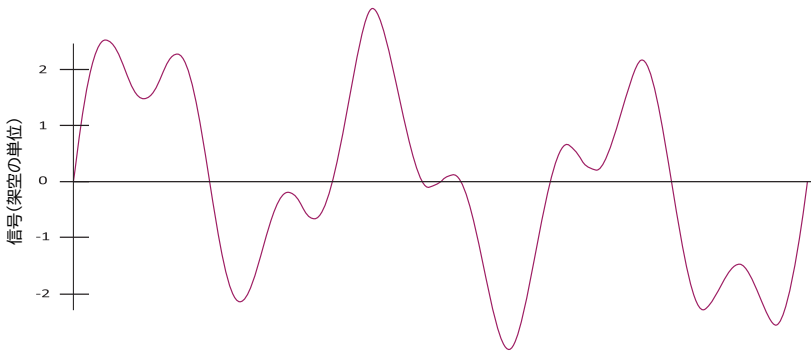


2つの波がすれ違うと、両方の波は元の方向、形、そして運動量に戻ります。

これが波の驚くべき特性です。2つの別々の波が単一の媒体上に存在し、衝突し、相互作用し、互いを通り抜けても、それぞれ独自の独立した特徴を維持したまま反対側から出てくることのできるのです。

FFT - では、フーリエ変換とは一体何を行うのでしょうか？

フーリエ変換に戻しましょう。部屋に3つの照明があるとします。光を測定すると、メーターは1つの波を記録します。この1つの波には、3つの波がすべて混ざり合っています。なぜなら、波は同じ場所に存在していても、それぞれ独立した波である場合があるからです。下の波形を見ると、1つの波がどこで始まり、もう1つの波がどこで終わるのかは分かりません。また、それぞれの波の特徴を見分けることも困難です。

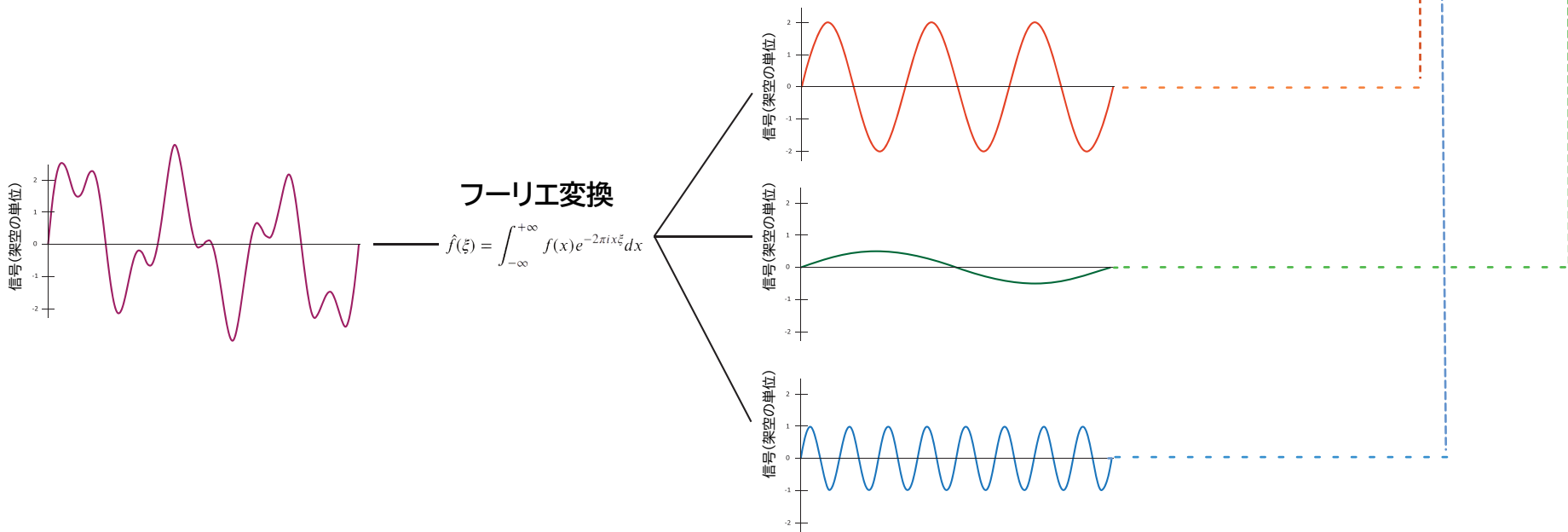


Joseph Fourier

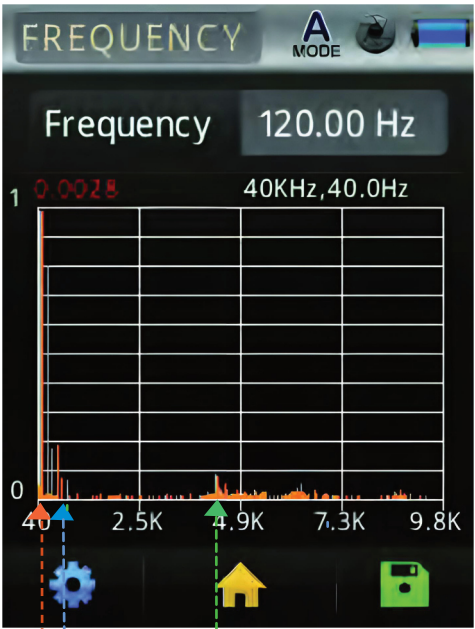


1768- 1830

前述のように、フーリエ変換は複雑な波のパターンを分析し、構成波を抽出することを目的としています。以下の例では、まさにそれが行われています。1つの複雑な波をフーリエ変換の公式を用いて、その中の個々の波を分離しています。



3つの波は部屋の3つの光を表しています。



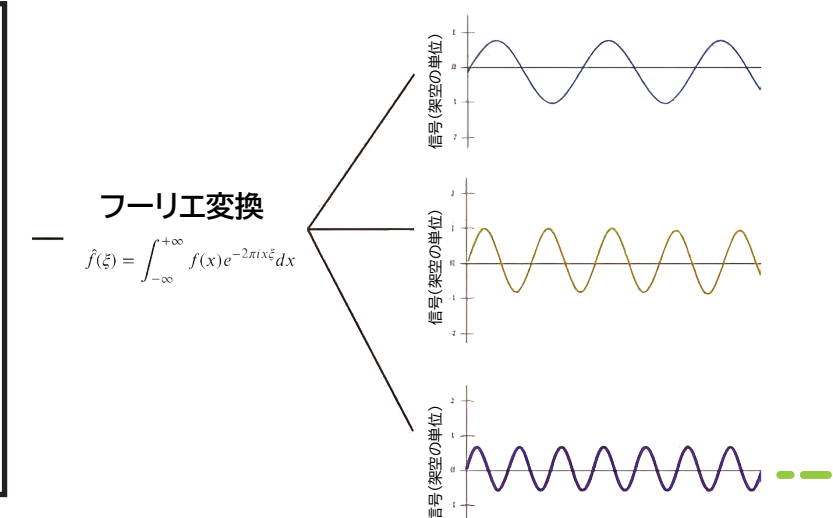
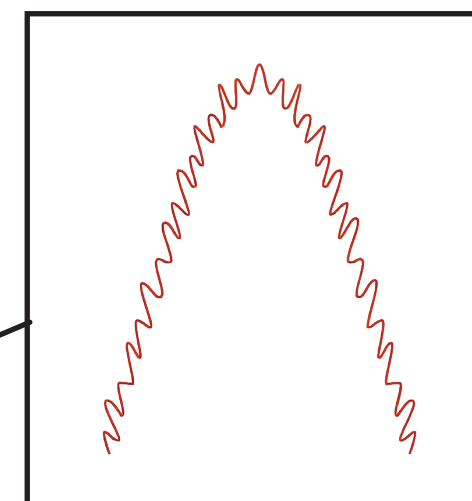
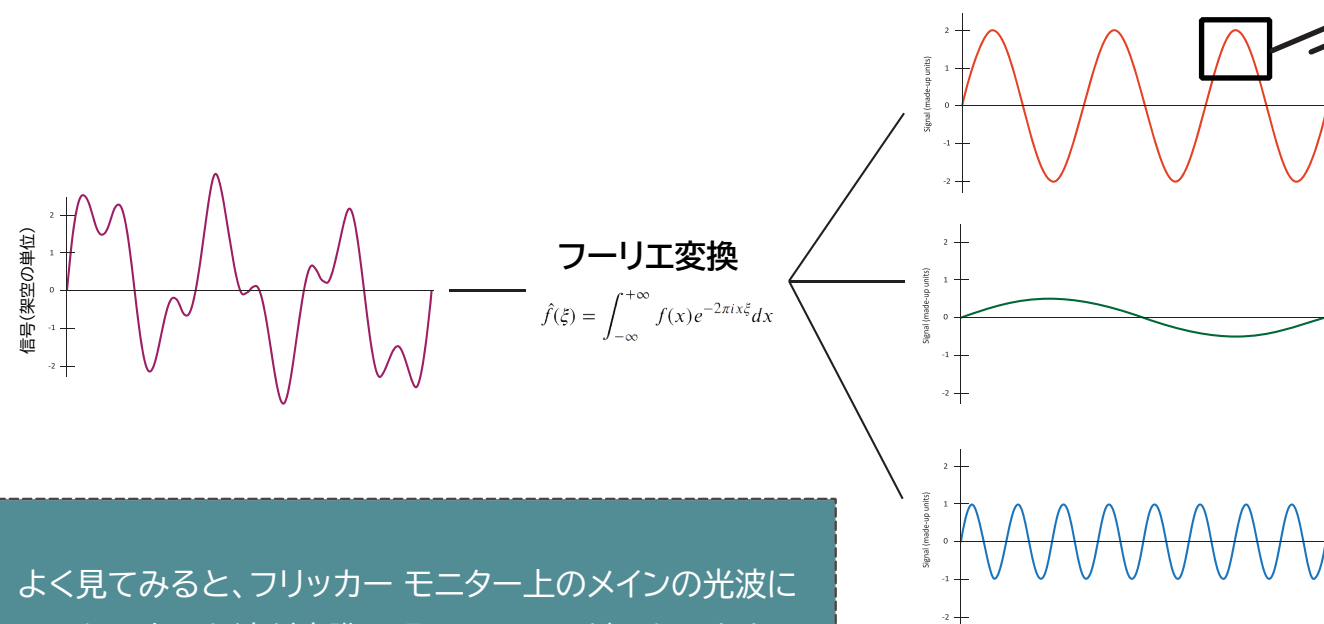
正面からの3つの波を表示するFFT画面を想像してください。この画面には、3つの波それぞれの最大強度が表示されます（高強度と低強度の差は表示されません）。

でも、まだあります！

フーリエ変換に関するこちらの動画をご覧ください。
<https://www.youtube.com/watch?v=spUNpyF58BY>

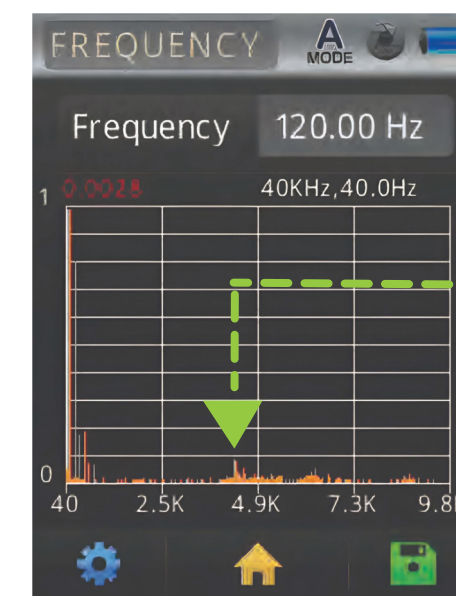
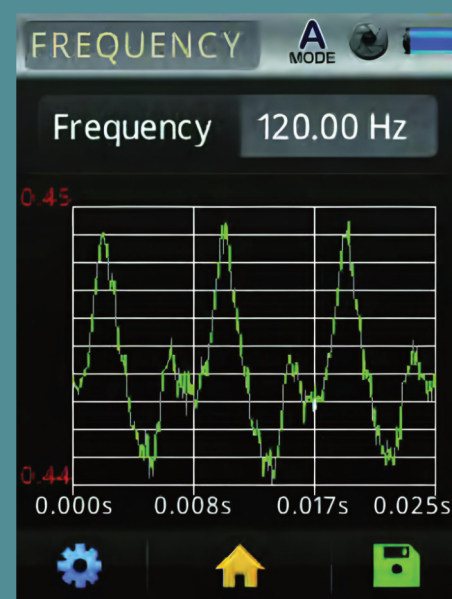
電球エンジニアが見たいもの。

波形を間近で見ると、実際には多数の小さな波で構成されています。これは「回線ノイズ」と呼ばれることもあり、電力線における微妙な変動です。これらの小さな波も識別され、小さな波の成分に分離されます。



これらの微小な波は、FFTグラフ上で非常に小さなスパイクとして現れることもあります。回線上のノイズが非常に不安定なため、これらの波は現れたり消えたりすることがあります。主波の高ささえも、主電源のわずかな変動によってわずかに変化します。照明エンジニアが製品のテストや実験を行う際に、これらが光波の詳細情報なのです。

よく見てみると、フリッカー モニター上のメインの光波にこれらの小さな波が実際に現れているのがわかります。



新たなアプローチ

新たな取り組みが始まっています。フリッカー率、フリッカー指数、周波数といった指標は単なる数値に過ぎず、実際の臨床的問題には対応していないことに、多くの組織が気づき始めています。フリッカーと人間の健康にはどのような関係があるのでしょうか？現在、実際の被験者を対象とした臨床試験を実施し、数値（デューティサイクル、周波数、変調度、フリッカー率、フリッカー指数など）とフリッカーによって引き起こされる問題（頭痛、疲労など）を関連付ける因果関係データを蓄積することで、これらの関連性を明らかにしようとしている組織があります。



IEEEは、世界最大級の技術専門団体の一つです。

Pst、Plt

PstとPltという指標は、それぞれ短期フリッカー（Flicker Short Term）と長期フリッカー（Flicker Long Term）と呼ばれ、IEEE（IEEE1453、IEC 6100-4-15規格）によって開発されました。「P」はフリッカー（Flicker）を表します。「st」は短期、「It」は長期を表します。これらの指標は実証的な臨床試験に基づいており、単純な測定をはるかに超えるものであり、それぞれ10分間と2時間測定する必要があります。実際、PstとPltは、フリッカー指数（1周期）や周波数（周期パターン）とは全く異なる方法で時間を測定し、時間経過に伴う光波の変動を測定します。前述の「電球エンジニアが見たいもの」で述べたように、電力系統は数秒間の光波の観測で見えるほど流動的ではありません。微弱ながらも重要な変化や変動が存在し、長期間にわたって観測することで初めて捉えることができるのです。PSTは他の重要な組織からも受け入れられ始めており、将来的には電球メーカーの業界標準となる可能性もあるようです。しかし、現場作業（例えば、照明工場におけるフリッカーの抜き取り検査）においては、長期間の試験は現実的ではない可能性があり、この点では従来の標準規格（フリッカー％、フリッカーインデックス、周波数）が依然として有用となる可能性があります。

SVM

ストロボ効果に関して、フィリップスはSVM（ストロボ視認性尺度）と呼ばれるストロボ効果を測定する指標を開発しました。PstやPltと同様に、SVMは被験者に照明要因（光強度、変調度、デューティサイクル、周波数など）の異なる組み合わせを観察させた臨床試験のデータを統合して開発されました。

興味深いことに、SVMを測定する際には、「ワゴンホイール効果」を探して移動または回転する物体を測定するわけではありません。目の前にある光の特性のみを測定するのです。



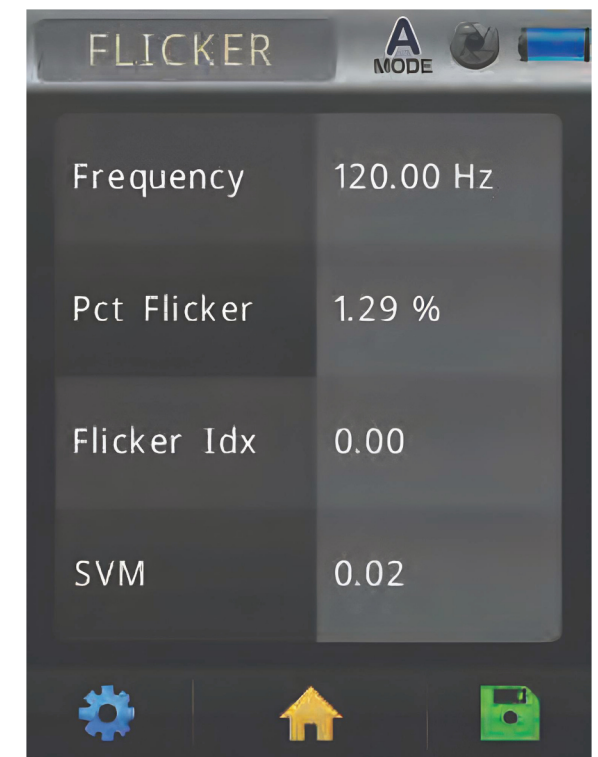
光の特性（周波数、光強度、デューティサイクル、変調度などの組み合わせ）は、ストロボ現象を引き起こすことが知られている特性と比較され、それに応じて等級分けされます。SVM値が高いほど、対象とする光からストロボ効果が発生する可能性が高くなります。

UPRtekは、ストロボ効果を測定するためのSVM指標をサポートしています。



● MK350S Premium 分光放射計

● MK350N Premium 分光放射計



CIE(国際照明委員会)

歴史的に見て、光と色彩に関する最も影響力のある組織の1つであるCIEは、フリッカーとストロボ効果に関する問題に対処するための推奨測定基準として、PstとSVMの両方を承認しています(CIE TN 006:2016)。



結論

LED技術の登場により、フリッカー問題は蛍光灯のちらつきの時代から再び醜い顔をのぞかせています。世界のほとんどの地域では、照明光源によるフリッカーは、問題の複雑さと基準の不確実性のために、依然として厳格に規制されていません。パーセントフリッカーやフリッカーインデックスといった指標は古くから存在していますが、全体像を把握する上で役に立っていないのが現状です。PstやSVMといった新しい指標は有望性を示しており、主要な組織もこれらの臨床に基づいた測定基準を支持し始めています。フリッカーを真に制御できるかどうかは、時間が経てば分かるでしょう。理想的な未来においては、LEDは蛍光灯と同じ道を辿り、費用対効果の高いフリッカーフリーのLEDへと移行するでしょう。しかし、これまで見てきたように、古いフリッカーのある蛍光灯は、古い建物や教室で今後も長きにわたって残るでしょう。フリッカー問題は必ずしも白黒はっきりしたものではありません。しかし、フリッカーの排除は重要です。私たちにはそれを測定するツールとそれを排除する技術があります。



NIST

光測定ソリューション

MK350N プレミアム

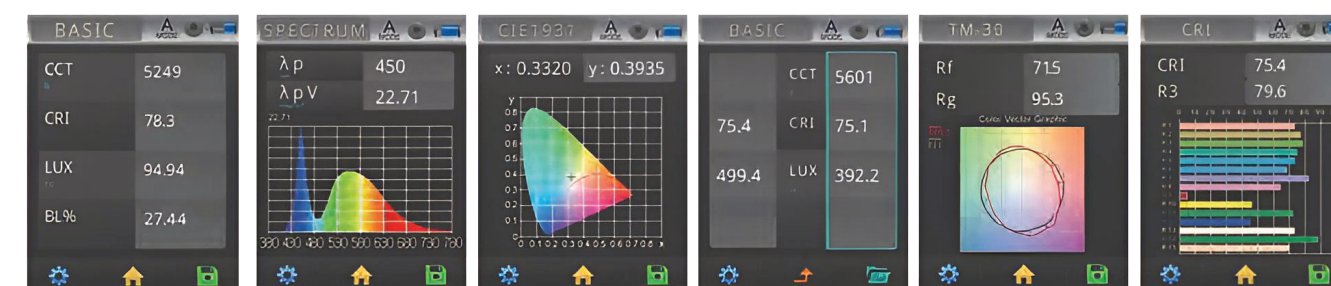
産業用LED測定研究用ハンドヘルド分光計

概要

先進のCMOS高速スペクトル技術を採用し、3秒以内にデータを取得。高速性、安定性、高精度を実現。

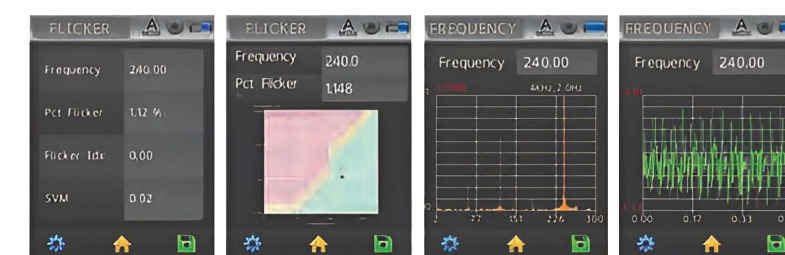


測定モード



高速フリッカーセンサー搭載

フリッカーインジケータ、時間領域モード、周波数領域モードを用いて、照明の問題を同時に検査し、厳格な照明品質管理を維持します。



参考文献

Pierre Beeckman, フリッカーとストロボ効果の定量的かつ客観的な評価のための指標、発行日：2016年7月

CIE(国際照明委員会)技術ノート:時間変調照明システムの視覚的側面 - 定義と測定モデル CIE TN 006:2016

M Perz, IMLC Vogels, D Sekulovski, L Wang, Y Tu, IEJ Heyndrickx, Lighting Research and Technology, 発行日:2014年5月13日

AZO Materials, LEDフリッカーによる健康と生産性への悪影響、<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12592>, 2016年2月4日

Sparkfun, 交流電流(AC)と直流電流(DC) <https://learn.sparkfun.com/tutorials/alternating-current-ac-vs-direct-current-de/alternating-current-ac>

Sparkfun, 「PWMを使うべきか、使わないべきか、それが問題だ」、<https://learn.sparkfun.com/tutorials/pulse-width-modulation>

Ethan Biery - LEDs Magazine, 「照明のちらつきのイライラを理解する(雑誌)」、<http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-11/features/flicker/understand-the-lighting-flicker-frustration.html>, 2015年12月4日公開

Tom Harris - HowStuffWorks Home & Garden, 「蛍光灯の仕組み」、<http://home.howstuffworks.com/fluorescent-lamp6.htm>

Naomi J. Miller, Brad Lehman(米国エネルギー省)「フリッカー:IEEEの新しい推奨基準の理解」、http://energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/miller%2Blehman_flicker_lightfair2015.pdf

Michael Grather(Luminaire Testing Laboratory, Inc.)「LED照明器具におけるフリッカーの評価」、http://www.cormusa.org/uploads/CORM_2009_-_The_Evaluation_of_Flicker_in_LED_luminaires_Grather.pdf

doityourself「電子式バラストと磁気式バラストの比較」、<http://www.doityourself.com/stry/whats-the-difference-between-an-electronic-ballast-and-a-magnetic-ballast>

Dra「ワゴンホイール効果とその説明」 <https://www.youtube.com/watch?v=6XwgbHjRo30>, 2013年9月6日

Zureks, Strobe 2.gif, https://en.wikipedia.org/wiki/Stroboscopic_effect#media/File:Strobe_2.gif, 2009年1月1日

Wanda Lau, LED:フリッカー対策、http://www.archilighting.com/technology/leds-fighting-flicker_o, 2014年4月23日

Steven Keepin(Digi-Key), 照明アプリケーションにおけるLEDフリッカーの特性評価と最小化、<http://www.digikey.tw/en/articles/techzone/2012/jul/characterizing-and-minimizing-led-flicker-in-lighting-applications>, 2012年7月17日

米国エネルギー省PNNL-SA-94791, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ss1/flicker_fact-sheet.pdf, 2013年3月

固体照明システム技術連合(ASSIST), 「固体照明システムのストロボ効果を低減するためのフリッカーパラメーター」、<http://www.1rc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/pdf/AR-Flicker.pdf>, 第11巻第1号, 2012年5月

Cree Inc., 「フリッカーは発生します。」しかし、本当にそうしなければならないのでしょうか? <https://www.euro-luce.be/wp-content/uploads/2018/11/Flicker.pdf>, 2013年

Diffen, 電流と電圧, http://www.diffen.com/difference/Current_vs_Voltage

Carl Joseph, ケーキの焼き直し - フーリエ級数/変換, <https://www.youtube.com/watch?v=Qm84XIoTy0s>, YouTubeで2015年8月4日に公開

NCBI, 米国国立医学図書館, 国立衛生研究所, 光およびパターン誘発性発作:米国てんかん財団ワーキンググループのためのレビュー, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16146439/>, 2005年9月

Luma Stream - LED照明と職場の生産性http://www.lumastream.com/sites/default/files/blog-thumbnails/lumastream_led_lighting_and_workplace_productivity-2.pdf

米国エネルギー省, 「IEEEの新しい推奨プラクティスを理解する」, https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/miller%2Blehman_flicker_lightfair2015.pdf, 2015年5月

オールインワン ワンインオール



スタンドアローン



PCビッグデータ



スマートコントロール



UPRtek Corp.

No.38, KEYI STREET, ZHUNAN TOWNSHIP, MIAOLI COUNTY
35059, TAIWAN
Tel:+886-37-580-885
FAX:+886-37-560-388
sales@uprtek.com
VAT No: 28131094

旭光通商株式会社

〒150-0013
東京都渋谷区恵比寿1丁目18番18号 東急不動産恵比寿ビル4階
TEL:03-6371-6908
FAX:03-6371-6933
<https://kyokko.com/contact/>
<https://kyokko.com/maker/uprtek/>

