

CA-410 技術資料



KONICA MINOLTA

初版 2017年11月27日
第2版 2018年9月1日 2019年1月7日 誤記修正

コニカミノルタ株式会社

本書に関するご注意

- ・見出しに「☞ さらに詳しく」のマークがあるものは、非常に詳細な説明をしていることを表しています。内容によっては、省略して読み進めてください。
- ・本書の内容の一部または全部を無断で転載することは、禁止されています。
- ・本書の内容に関しては、将来予告なしに変更することがあります。
- ・本書は内容について万全を期していますが、万一不審な点や誤り、記載もれなどでお気づきの点がございましたら、ご購入の販売店または“サービスのご案内”に記載のお問い合わせ窓口までご連絡ください。
- ・当社は、本器の誤使用・誤取扱、無断改造等による損害、および、本器の使用または使用不能による間接的、付隨的損害（事業利益の損失、事業の中止等）につきましては責任を負いかねますのであらかじめご了承ください。

目 次

1. 概要	2
1 - 1 色度と測色について	3
1 - 2 色彩計について	5
1 - 3 マトリクス校正	11
1 - 4 光学系の特長	15
1 - 5 検出回路系の特長	17
1 - 6 同期測定の重要性	20
1 - 7 フリッカーの測定	23
1 - 8 Waveform 測定	35
2. 確度定格・繰り返し性の定義	39
2 - 1 「輝度・色度」 確度定格・繰り返し性の定義	40
2 - 2 「フリッカー」 確度定格・繰り返し性の定義	43
3. 関連規格	46
3 - 1 IEC 規格と CA-410 の関係	47
3 - 2 IDMS 規格と CA-410 の関係	50
3 - 3 sRGB とは	55
3 - 4 BT.2020 とは	56

CA-410 技術資料

1. 概要

1 - 1 色度と測色について

1 - 1 - 1 色度とは

色を定量的に表すために、これまでに様々な表色系が考えられてきました。なかでも、最も簡単な表色系として RGB 表色系があります。この RGB 表色系は、全ての色を RGB の混色比で表わそうとしたもので、国際照明委員会 (CIE) は R として 700.0nm、G として 546.1nm、B として 435.8nm の単色光を選定しました（この単色光を原刺激と呼びます）。ところが、この表色系では、一部の色を表現する場合に混色する値がマイナスとなることがあります、それが問題視されていました。この問題を解決するため、全ての混色比がプラスとなるように、別の原刺激を選びました。これが、1931 年に国際照明委員会 (CIE) によって規定された XYZ 表色系 (CIE1931) で、現在最も広く用いられている表色系です（※注 1-1-1）。この表色系の色度図を図 1-1-1 に示します。

他方、この表色系の問題点として、この表色上での色差（2 つの色の差、表色系上での 2 つの色の距離のこと）と実際に人に認識される色差に相違が生じることがあります。例えば、緑単色付近のある色と青単色付近のある色を x, y それぞれ同じ量ずつ変化させた場合、人は、青色付近の色の方が大きく変化したように認識します。この問題を解決した表色系が $u'v'$ 表色系です。この $u'v'$ 表色系においては、全ての色範囲において同じ大きさの色差は、人にほぼ等しく認識されるようになっています。この利点から、この表色系を使用する場合も多くあります。この表色系の色度図を図 1-1-2 に示します。

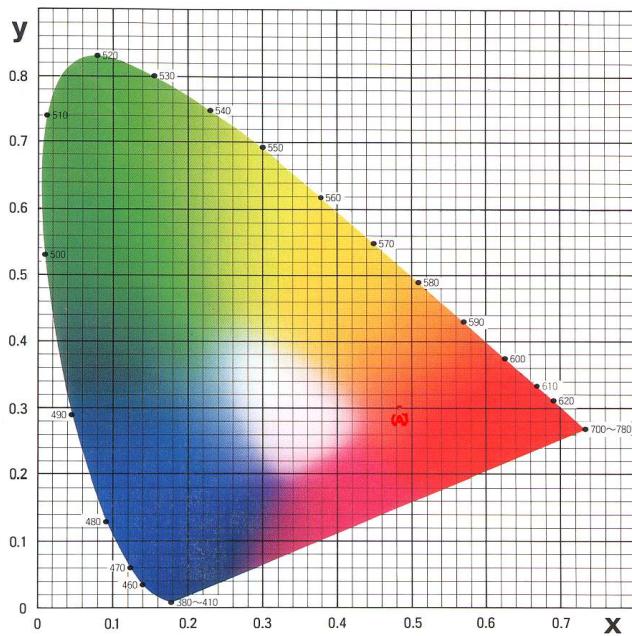


図 1-1-1 xy 表色系

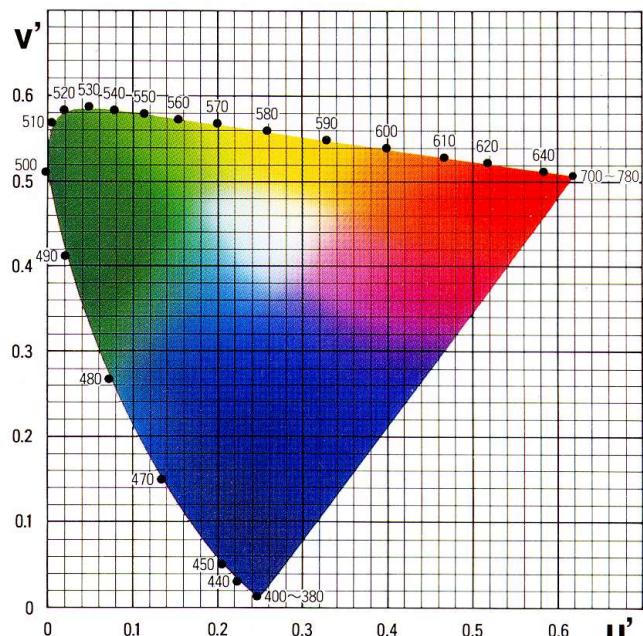


図 1-1-2 u'v' 表色系

（※注 1-1-1）

2015 年に CIE により新たな XYZ 表色系 CIE2015 (TR170-2) のテクニカルレポートが発表されています。

1-1-2 測色について

XYZ 表色系で光源を測色するためには、まず、図 1-1-3 に示すような x, y, z の等色関数と同じ分光感度をもったセンサーの出力 (X, Y, Z) を得ます。

この出力を下記式に従って演算する事により、色度を求めます。

$$X = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$Y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

u'v'表色系では、 X, Y, Z を用いて下記式に従って演算する事により、色度を求めます。

$$u' = \frac{4X}{X + 12Y + 3Z}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 12Y + 3Z}$$

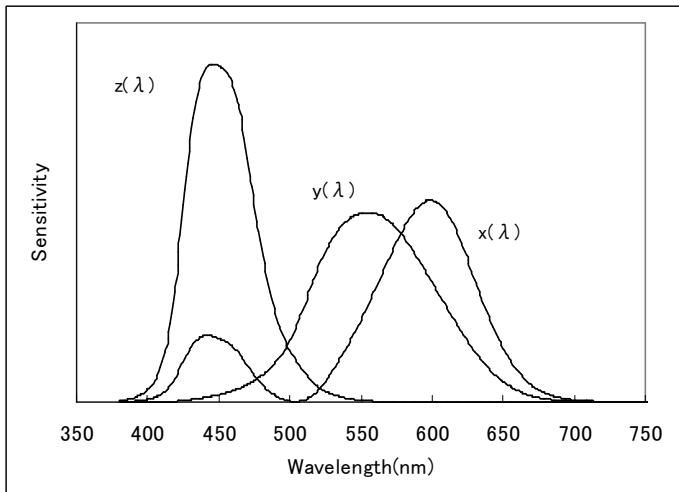


図 1-1-3 等色関数

1 - 2 色彩計について

色彩計は測色方法の違いによって刺激値直読式色彩計と分光色彩計の大きく2つに分けることができます。ここでは、それぞれの色彩計の原理、特長の説明を行います。

1 - 2 - 1 刺激値直読式色彩計

刺激値直読式色彩計では、CIE1931で規定された等色関数に近似された分光応答度をもった3つのセンサーの出力を用いて色度、輝度を求めます。図1-2-1に、センサーの分光応答度の例を示しています。これらのセンサーは一般に光学フィルター、受光素子から構成されています。

被測定光源の分光放射輝度を $S(\lambda)$ 、センサーの各分光応答度を $x'(\lambda), y'(\lambda), z'(\lambda)$ とすると、各センサーの出力 X, Y, Z は、

$$X = \int S(\lambda) \cdot x'(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Y = \int S(\lambda) \cdot y'(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Z = \int S(\lambda) \cdot z'(\lambda) \cdot d\lambda$$

(ここで、 λ は波長。波長範囲は可視光の波長領域。)

となります。ここで、得られた出力を用いて、下記の演算を行うことにより、色度、輝度を算出します。

$$X = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$Y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$L_v = Y$$

1 - 2 - 2 分光色彩計

分光色彩計では、まず被測定光源の各波長ごとのエネルギー量を求めます。次に、この量にCIE1931で規定された各等色関数を各波長ごとに乗じる演算処理を行うことにより色度、輝度を求めます。

この測定器は一般に以下のよう構成をとります。被測定光源からの光を対物レンズを通して集光し、この光を分光します。この分光された光を、ラインセンサー上に投射し、ラインセンサーの各素子の出力により、各波長ごとのエネルギー量を得ます。

ここで、各センサーの出力である分光放射輝度を $S'(\lambda)$ 、等色関数を $x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$ とすると、

$$X = \sum S'(\lambda) \cdot x(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$Y = \sum S'(\lambda) \cdot y(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$Z = \sum S'(\lambda) \cdot z(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

(ここで、 λ は波長。波長間隔は、センサーの波長分解能。波長範囲は可視光の波長領域。)

以下、刺激値直読式色彩計と同様の計算式を用いて、色度、輝度を算出します。

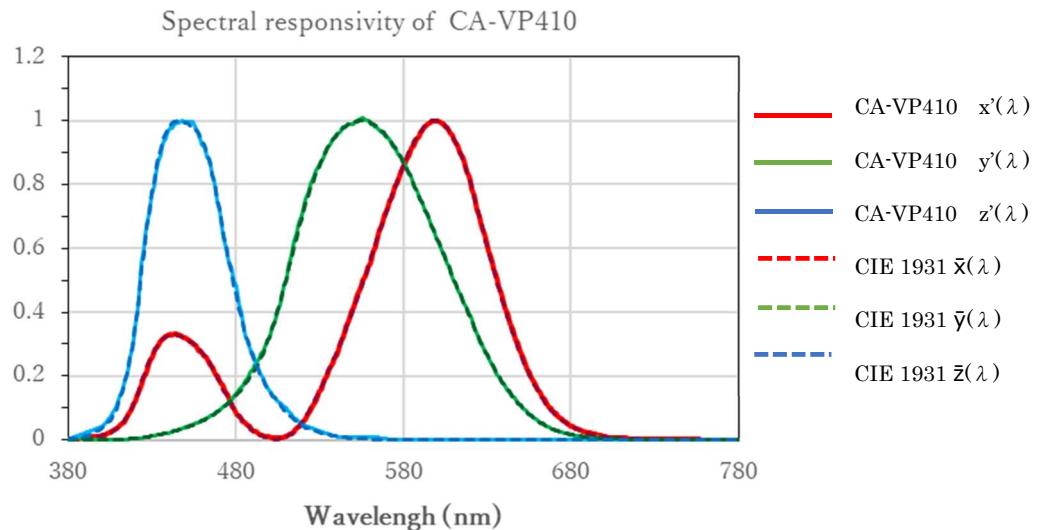


図 1-2-1 等色関数とセンサーの分光応答度

1-2-3 刺激値直読式色彩計の絶対値誤差

ここでは、刺激値直読式色彩計に絶対値誤差が発生する理由について説明します。

一般に、刺激値直読式色彩計の各々の分光応答度は、光学フィルターやレンズなどの光学系の分光透過率と受光素子の分光応答度の合成で決まります。

この分光応答度が、CIE1931 で規定された等色関数と完全に同じであれば、刺激値直読式色彩計で求めた色度は、任意の光源を測定しても絶対値誤差は生じません。しかし、現在のフィルター技術では等色関数に完全に一致させることはできず、この等色関数との差が絶対値誤差の原因となります。(図 1-2-1 の CA-VP410 においても、一致度は高いものの完全ではありません。)

このメカニズムを、以下に説明します。

ここでは、簡単のため、1 つのセンサーの出力について考えます。例えば図 1-2-2 に示すように、CIE1931 の等色関数 $\bar{y}(\lambda)$ (図の破線) に対して、測定器のセンサーの分光応答度 $y'(\lambda)$ (図の実線) が、長波長の方向にシフトしている場合を考えます。ここで、短波長域より長波長域で分光放射輝度が大きい光源 $S(\lambda)$ を、異なる分光応答度 $\bar{y}(\lambda)$, $y'(\lambda)$ をもつ、それぞれのセンサーで測定した場合の出力を考えます。

これは、

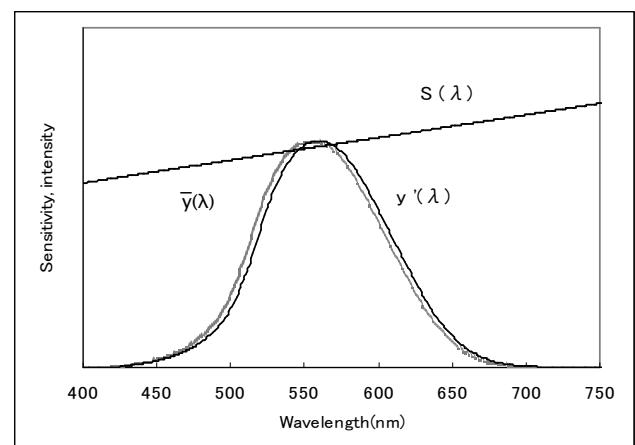
$$Y = \int S(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Y' = \int S(\lambda) \cdot y'(\lambda) d\lambda$$

となり、長波長側の分光輝度が大きいため

$$Y < Y'$$

となります。したがってこのケースでは、センサーの出力は真値 (CIE1931 の等色関数から求められる値) より大きくなります。

図 1-2-2 光源 $S(\lambda)$ と分光応答度 $\bar{y}(\lambda)$, $y'(\lambda)$

($\bar{y}(\lambda)$ と $y'(\lambda)$ のピーク高は同じと仮定)

この差を無くすために、センサーの出力 Y' に適当な係数を乗じ、結果を真値 Y と一致させます。これを「校正」といいます。具体的には、

$$Y / Y' = k y$$

を求め、以降、 $k y \cdot Y'$ を用いて色度を算出します。この時の真値 Y には、高精度につくられた分光色彩計など、分光応答度が CIE1931 の等色関数に非常に近い測定器の測定値を用います。

これは、図 1-2-3 に示す通り、元の分光応答度 $y'(\lambda)$ に $k y$ を乗じた新たな分光応答度 $y''(\lambda)$ (図の実線) を持つセンサーと等価となります。すなわち、分光応答度は

$$y''(\lambda) = k y \cdot y'(\lambda)$$

となり、センサー出力 Y'' は

$$\begin{aligned} Y'' &= \int S(\lambda) \cdot y''(\lambda) d\lambda \\ &= \int S(\lambda) \cdot k y \cdot y'(\lambda) d\lambda \\ &= k y \cdot \int S(\lambda) \cdot y'(\lambda) d\lambda \\ &= (Y / Y') \cdot Y' \\ &= Y \end{aligned}$$

X, Z についても同様に $k x, k z$ を求め、以降、この係数を用いて色度を算出するようにすることで、誤差を低減することができます。

以上のように「校正」を行えば、同じ光源を測定する場合には、分光色彩計と同じ絶対値精度を得ることができます。ここでは、「校正」を行った光源と異なる光源を測定する場合を考えます。

例えば、図 1-2-2 で示した光源に対して「校正」を行った後、長波長側より短波長側で強度が大きい光源 $S'(\lambda)$ を測定する場合を考えてみます (図 1-2-4)。この場合、両センサーの校正前の出力は

$$Y = \int S'(\lambda) \cdot y(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Y'' = \int S'(\lambda) \cdot y''(\lambda) \cdot d\lambda$$

となります。図 1-2-4 より、光源 $S'(\lambda)$ は長波長側より短波長側で強度が大きく、また $y''(\lambda)$ の応答度のピーク高は $y(\lambda)$ のピーク値より小さいので、

$$Y \neq Y''$$

となります。

つまり、ある光源に対し「校正」を行った場合、その校正值を用いて、同じ光源を測定した場合には真値を示しますが、他の光源を測定した場合には真値を示さないことがわかります。

ところで、「校正」は、測定器の出荷時に工場内で実施されています。また、仕様には「校正」に用いた光源が示されている場合が一般的です。

ここで、例えば、校正光源が A 光源である刺激値直読式色彩計があったとします。すると、この色彩

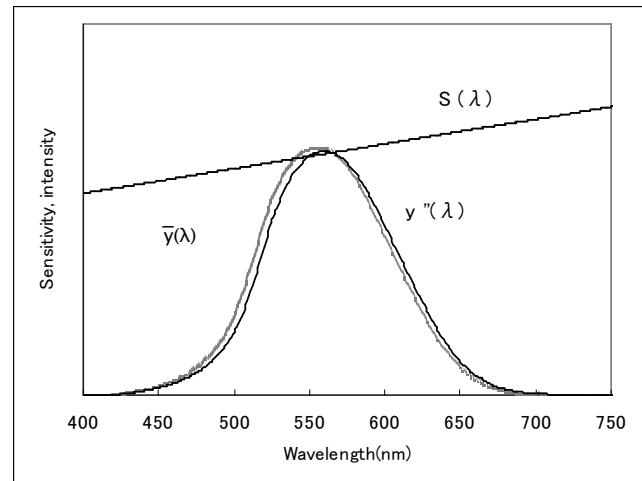


図 1-2-3 光源 $S(\lambda)$ と分光応答度 $\bar{y}(\lambda)$, $y''(\lambda)$
($\bar{y}(\lambda)$ と比べて $y''(\lambda)$ のピーク高は低くなる)

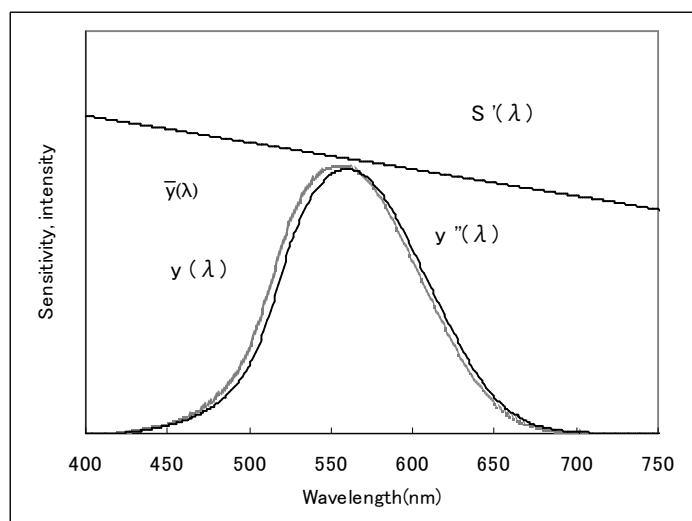


図 1-2-4 光源 $S'(\lambda)$ と分光応答度 $\bar{y}(\lambda)$, $y''(\lambda)$

計では、A光源を測定した場合には真値を示しますが、それ以外の光源を測定した場合は真値を示さないことがあります。

その時の真値との差が、刺激値直読式色彩計における絶対値誤差となります。

この絶対値誤差は、校正光源と被測定光源の分光放射輝度の差に依存することが容易に推測できます。

言い換えれば、校正光源と被測定光源の分光放射輝度の差が小さい場合、この絶対値誤差は小さいものとなります。

1-2-4 刺激値直読式色彩計のユーザー校正

「校正」が、測定器の出荷時に工場内で実施されていることを述べました。この工場出荷時の校正以外にも、測定器を使用される方が光源を選んで実施する校正（ユーザー校正）もあります。ここでは、このユーザー校正についての留意点について述べます。

図1-2-5に示すように、CIE1931の等色関数 $\bar{y}(\lambda)$ （図の破線）に対して、測定器のセンサーの分光応答度 $y'(\lambda)$ （図の実線）が、長波長の方向にシフトしている場合を考えます。また、工場出荷時の校正に用いた光源の分光放射輝度が、短波長域から長波長域まで等しい $S''(\lambda)$ であったとします。この場合、センサーの分光応答度 $y'(\lambda)$ のピーク高は図1-2-5に示すように、等色関数 $\bar{y}(\lambda)$ のピーク高に一致します。つまり、工場出荷状態でのセンサーの分光応答度は図1-2-5の $y'(\lambda)$ になっていることになります（ $k y = 1$ ）。

ここで、図1-2-2に示したような、短波長域より長波長域で分光放射輝度が大きい光源 $S(\lambda)$ を測定した場合の出力を考えると、絶対値誤差が発生します。この誤差をなくす操作がユーザー校正です。

ユーザー校正も、センサーの出力に適当な係数を乗じ、結果が真値と同じとなるようにする点で、工場出荷校正と同じです。したがって、図1-2-2の光源 $S(\lambda)$ に対してユーザー校正を行った場合、センサーの分光応答度は図1-2-3に示した $y''(\lambda)$ となります。次に、この分光応答度 $y''(\lambda)$ を用いて、図1-2-4に示した長波長域より短波長域で分光放射輝度が大きい光源 $S'(\lambda)$ を測定した場合を考えてみます。センサーの分光応答度のピーク高が等色関数 $\bar{y}(\lambda)$ と一致していた場合（図1-2-2に相当）ですら、センサー出力は真値より小さくなるのですから、光源 $S(\lambda)$ に対してユーザー校正を行った後では、さらにセンサー出力は小さくなり、真値との差は大きくなります。

- 光源 $S'(\lambda)$ を工場出荷状態で測定した場合に発生する誤差と比較して、光源 $S(\lambda)$ に対してユーザー校正を行った後、光源 $S'(\lambda)$ を測定した場合、絶対値誤差がむしろ大きくなっていることが判ります。
- 光源 $S'(\lambda)$ を測定する場合にも、光源 $S'(\lambda)$ に対してユーザー校正を行えば真値が得られます。つまり、刺激値直読式色彩計においても、測定光源ごとにユーザー校正を行えば、真値を得ることができます。

一般的に、刺激値直読式色彩計では複数のユーザー校正值をメモリーする機能を有し、このメモリー機能を用いて、様々な光源に対して真値を得ることができるようしています（※注1-2-1）。このメモリー機能を有効活用することで、刺激値直読式色彩計は、精度の高い測定器として活用いただくことができます。

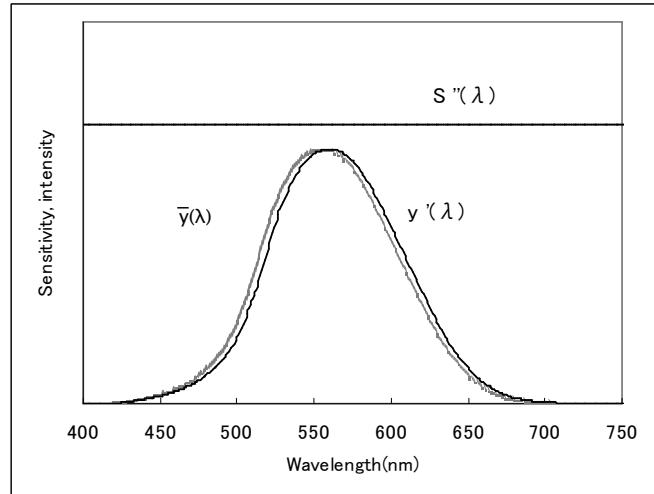


図1-2-5 光源 $S''(\lambda)$ と分光応答度 $\bar{y}(\lambda)$, $y'(\lambda)$

$\bar{y}(\lambda)$ と $y'(\lambda)$ のピーク高は同じになる

1-2-5 刺激値直読式色彩計の器差

刺激値直読式色彩計では、器差が問題にされることがあります。

現在の技術では、機器間の光学フィルターの分光透過率バラツキをなくす事は困難であり、このバラツキが、測定器の器差として現れます。以下に、このことを説明します。

ここに、2台の刺激値直読式色彩計があり、それぞれの分光応答度が図1-2-3のようであったとします（図の $\bar{y}(\lambda)$ を1台目、 $y'(\lambda)$ を2台目、とします）。光源 $S(\lambda)$ で工場出荷校正された状態では、光源 $S(\lambda)$ に対するセンサー出力は2台とも等しくなります。

この測定器で、図1-2-4で示した光源 $S'(\lambda)$ を測定した場合には、2台のセンサー出力が異なります。この差が器差となって現れます。

この器差を小さくする方法としても、ユーザー校正機能を使用することができます。具体的には、2台の測定器を使用する場合、測定する光源に対して、まず1台で測定し、測定値を覚えておきます。次に、もう1台で同じ光源を測定し、ユーザー校正を行い、先の1台と同じ測定値になるようにします。

以上の操作をすれば、以降、同じ光源を測定する場合に、器差のない測定をすることができます。

1-2-6 刺激値直読式色彩計と分光色彩計の比較

● さらに詳しく

ここでは、分光色彩計と刺激値直読式色彩計の光学系の特長を示した後、両色彩計の長所、短所を項目を示し、その理由について説明します。

まず、両色彩計の光学系の構成概略図を図1-2-6(a)（分光色彩計）、図1-2-6(b)（刺激値直読式色彩計）に示します。刺激値直読式色彩計は、被測定光源からの光を対物レンズによりセンサー部に集光するという構成をとります。また、一度集光した光を光ファイバーにより各センサーにまで導光することにより、光利用効率をあげる方法がとられることがあります。

分光色彩計は、被測定光源からの光をレンズを通して回折格子に照射します。入射光は回折格子で分光され、レンズを介してラインセンサー上に投射し、ラインセンサーの各素子の出力により、各波長ごとのエネルギー量を得ます。

以上から、光学系の構成を比較すると、分光色彩計が刺激値直読式色彩計に比べて複雑であることが分かります。

次に、両色彩計の長所、短所を表1-1-1に示します。光源を測定する場合には、各特長を把握した上で、刺激値直読式色彩計、分光色彩計を使い分ける必要があります。

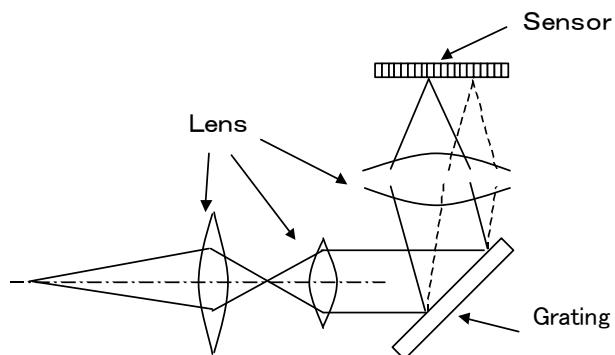


図1-2-6(a) 分光色彩計の構成概略図

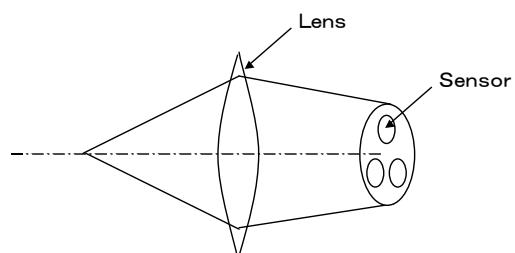


図1-2-6(b) 刺激値直読式色彩計の構成概略図

表 1-1-1 刺激値直読式色彩計と分光色彩計の比較

	刺激値直読式 色彩計	分光色彩計	理由 (刺激値直読式色彩計を刺激値型、 分光色彩計を分光型、として説明)
絶対値精度 (分光放射輝度の影響を) 輝度の影響)	(分光放射輝度の影響を) 受ける	(分光放射輝度の影響を) 受けない	分光型はコストをかけ精密な設計と校正を行うことにより、分光応答度を等色関数に厳密に近似させ、その差をなくすことにより精度を向上させることができます。ただし、安価な分光型では刺激値直読式色彩計より精度が劣る場合もあります。
処理速度	速い	遅い	刺激値型はセンサーが 3 個と少ないのに対し、分光型はセンサー数が数 100 個となり、処理データ量が多くなります。
大きさ	センサー部が 小型	センサー部が 大型	図 1-2-6(a)、図 1-2-6(b)に示したように、刺激値型が対物レンズ部とセンサー部から構成されるのに対して、分光型は 3 つのレンズ部、センサー部に加え、回折格子も必要となり、多くの光学部品が必要となります。さらに各レンズ部では結像のために、一定の空間距離を必要とします。
価格	安い	高い	図 1-2-6(a)、図 1-2-6(b)に示したように分光型はセンサー部の構成部品が多く、且つ高価な部品を使用する場合が多いです。
偏光の影響	小さい	大きい	分光型は、偏光の影響を受ける光学部品である回折格子 (Grating) を使用したものが多く、刺激値直読型よりも変更の影響を受けやすい機種が多いです。

(※注 1-2-1) 例えば、CA-410 では 1 本のプローブに 99 のユーザー校正係数をメモリーすることができます。

1 - 3 マトリクス校正

1 - 3 - 1 マトリクス校正概要

従来、3刺激値色彩計での校正（以下白色1点校正と呼びます）とは、ある光源のある色に対する測定値を既知の値に一致させることを意味していました。ところで、この白色1点校正では、同じ光源（ディスプレイ）であっても、ある色に対して得た校正值を用いて同じディスプレイの他の色を測定した場合、誤差が生じ得ます。特に、白色に対して得た校正值を用いて単色（R,G,B）を測定した場合の誤差は大きなものとなります。[（1-2-3 刺激値直読式色彩計の絶対値誤差）参照](#)

マトリクス校正とは、RGBの加法混色（※注1-3-1）が成立するディスプレイに対して適用できる校正方法で、1色に対してではなく、RGBWの4色に対して同時に校正を行う方法です。この方法を採用することで、あるディスプレイに対して、広い色範囲において誤差の小さい測定値を得ることができます。

1 - 3 - 2 マトリクス校正概念説明

この概念を、図を用いて説明します。

あるディスプレイにおいて測定値と真値（所望の値）の関係が、図1-3-1(a)のようであるとします。この例では、ある白色に対する測定値を○印、真値を×印で示しています。この測定値は真値よりxがマイナス方向、yがプラス方向に誤差をもっていることになります。また、ディスプレイの色再現範囲は測定値を用いた場合、実線で囲んだ領域となり、真値では破線で示す領域となることを示しています。

白色1点校正とは、白色1点の測定値（○印）を真値（×印）に一致させることであると言えます。この結果、図1-3-1(a)の測定値に対応する実線で示した領域（3角形）は矢印方向に移動し、測定値と真値の関係は図1-3-1(b)に示すようになります。この結果、図から分かるように、白色1点においては測定値と真値は一致するものの、白色以外の範囲では、依然、測定値と真値の間に差が残っていることが分かります。図の例では、白色1点校正を行うことによって、R単色においては誤差が拡大しています。

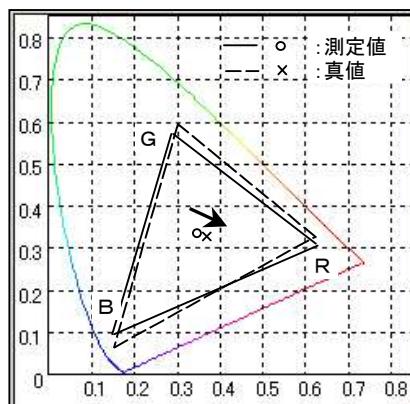


図1-3-1(a) 白色1点校正前の測定値と真値

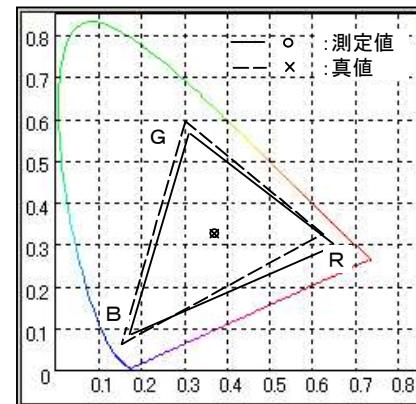


図1-3-1(b) 白色1点校正後の測定値と真値

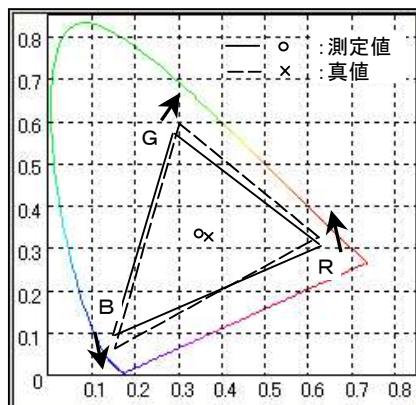


図1-3-2(a) マトリクス校正前の測定値と真値

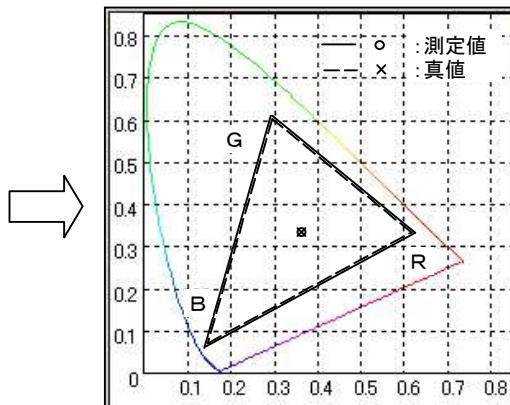


図1-3-2(b) マトリクス校正後の測定値と真値

図 1-3-2(a), 図 1-3-2(b)にマトリクス校正前後の測定値と真値の関係を示します。

マトリクス校正では、単色においても測定値と真値を一致させるようにします。すなわち、図 1-3-2(a)のように、各単色において、測定値と真値に差がある場合に、矢印で示す方向に測定値が変化するように測定値(実線)に対し線形変換(1次変換)を行うことにより、測定値と真値を一致させます(図 1-3-2(b))。言い換えると、マトリクス校正を行うこととは、その1次変換係数を求めることを意味します。

1-3-3 マトリクス校正処理内容説明 1 (RGB校正) さらに詳しく

まず、校正対象となる R,G,B(基準 R,G,B と呼びます)に対して校正值 x,y,Lv を設定します(マトリクス校正入力を意味します)。この設定された x,y,Lv 値から X,Y,Z カウントを算出することができます。この R,G,B に対する校正值から算出される X,Y,Z カウントを、それぞれ、 X_r', Y_r', Z_r' 、 X_g', Y_g', Z_g' 、 X_b', Y_b', Z_b' とします。

ここで、ある色 W' を測定した場合、それを構成する R,G,B 強度を k_r, k_g, k_b (基準 R,G,B に対する比) とすると、色 W' の色度を算出するにあたって用いるべき X_w', Y_w', Z_w' は、その色 W' を構成する R,G,B に対する X,Y,Z カウントの和となりますから、下式のように表わすことができます。

$$\begin{pmatrix} X_w' \\ Y_w' \\ Z_w' \end{pmatrix} = k_r \begin{pmatrix} X_r' \\ Y_r' \\ Z_r' \end{pmatrix} + k_g \begin{pmatrix} X_g' \\ Y_g' \\ Z_g' \end{pmatrix} + k_b \begin{pmatrix} X_b' \\ Y_b' \\ Z_b' \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots (1-3-1)$$

つまり、 k_r, k_g, k_b が求められれば、R,G,B に対する校正值を用いて、任意の色 W' に対する X,Y,Z は容易に求められます。この X,Y,Z を用いて、 x, y, Lv 値を算出します。

次に、 k_r, k_g, k_b を算出する原理について説明します。

基準 R,G,B に対する x, y, z センサーの出力をそれぞれ、 X_r, Y_r, Z_r 、 X_g, Y_g, Z_g 、 X_b, Y_b, Z_b とします(これは「マトリクス校正」操作を本器に対して行うことにより、測定器が自動的に実施するものです)。

ある色 W' を測定した場合、色 W' の x, y, z センサーの出力 X_w, Y_w, Z_w は、R,G,B に対する x, y, z センサー出力の和となりますから、下式のように表わすことができます。

$$\begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{pmatrix} = k_r \begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{pmatrix} + k_g \begin{pmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{pmatrix} + k_b \begin{pmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots (1-3-2)$$

$$= \begin{pmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_r \\ k_g \\ k_b \end{pmatrix}$$

よって、基準 R,G,B の発光強度に対する、各強度比 k_r, k_g, k_b は

$$\begin{pmatrix} k_r \\ k_g \\ k_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots (1-3-3)$$

で算出することができます。

1-3-4 マトリクス校正処理内容説明 2 (RGB+W校正)

さらに詳しく

ところで、ディスプレイによっては完全には加法混色（※注1-3-1）が成り立たないものがあります。この場合、R, G, Bに対するマトリクス校正を実施しただけでは、単色での測定値は校正值に一致するものの、白色付近の測定で誤差が発生することがあります。

この問題を解決するために、R, G, Bマトリクス校正により得られた測定値に対してさらに白色1点校正を行うという方法があります。

以下に、この方法における処理内容を説明します。但し、

R, G, Bマトリクス校正係数を用いて得られた校正用白色に対する測定カウント値をXw', Yw', Zw' 校正用白色に対する校正設定値x, y, Lvから算出されるカウントをXw1, Yw1, Zw1とします。

白色1点校正係数は、単純にX, Y, Zの比となりますから、

$$\begin{aligned} k_x 1 &= Xw1 / Xw' \\ k_y 1 &= Yw1 / Yw' \\ k_z 1 &= Zw1 / Zw' \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (1-3-4)$$

となります。

また（1-3-1）式は、

$$\begin{pmatrix} Xw' \\ Yw' \\ Zw' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Xr' & Xg' & Xb' \\ Yr' & Yg' & Yb' \\ Zr' & Zg' & Zb' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} kr \\ kg \\ kb \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots (1-3-5)$$

と書けます。

よって、「R, G, Bマトリクス校正係数に白色1点校正を加えた」校正により最終的に得られるカウントをXw2, Yw2, Zw2としますと、（1-3-4）（1-3-5）式より、

$$\begin{pmatrix} Xw2 \\ Yw2 \\ Zw2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_x 1 & 0 & 0 \\ 0 & k_y 1 & 0 \\ 0 & 0 & k_z 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Xr' & Xg' & Xb' \\ Yr' & Yg' & Yb' \\ Zr' & Zg' & Zb' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} kr \\ kg \\ kb \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots (1-3-6)$$

となります。（※注1-3-3）

（※注1-3-1）

2種類以上の原色を混合させることを意味します。

ここでは、原色R, G, Bを用いてカラー画像を表示するディスプレイにおいて、例えば、ある白色画像に対するXYZ値と、その白色を構成する各原色画像に対するXYZ値を合計した値が一致する場合を、加法混色が成り立つと表現しています。

（※注1-3-2）

数値実験では、加法混色が成り立つとの条件で行っています。

また、分光器で測定した3刺激値色彩計の分光応答度x(λ), y(λ), z(λ)、市販のあるLCDの分光放射輝度S(λ)を使用し、センサーの出力が

$$X = \sum S(\lambda) \cdot x(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$Y = \sum S(\lambda) \cdot y(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$Z = \sum S(\lambda) \cdot z(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

で得られるとして色度誤差を算出しています。

(※注 1-3-3)

CA シリーズではマトリクス校正として、この「R,G,B マトリクス校正係数に白色 1 点校正を加えた」方法を採用しています。

参考文献

- ・Y.Ohno ,S.W. Brown : Proc. of the IS&T sixth color imaging conference 65--68(1998)
「Four-color Matrix Method for Correction of Tristimulus Colorimeters-Part2」
- ・特許 特開平 6-323910

1 - 3 - 5 CA-410 シリーズの校正

CA-410 シリーズは工場校正として、弊社基準光源に対し、1-3-4 に記載しました「R,G,B マトリクス校正係数に白色 1 点校正を加えた」RGB+W 校正方法を採用しています。

また、CA-410 シリーズを使用される方が、基準光源（ディスプレイ）を選んでユーザー校正される場合、その校正方法として、白色（あるいは単色）1 点で校正する方法と、RGB+W で校正する方法が選択できます。特定の同型の光源（ディスプレイ）で白色のみを被測定光源として使用される場合、測定器の分光応答度や被測定光源の分光放射輝度により、どちらの校正方法が優位とは一概に決まりませんが、被測定光源の分光応答度が基準光源のそれと極めて類似した特性であれば、大きな差異は発生しません。

1 - 4 光学系の特長

1 - 4 - 1 光学系の構成

CA-410 シリーズは特殊な光学系を用いることでディスプレイ測定に最適化されています。CA-410 シリーズの代表例として、CA-P427 の光学系の構成を図 1-4-1 に示します。

主な光学構成要素は、対物レンズ、光ファイバーブロック、センサーです。光源からの光は、対物レンズにより、光ファイバーブロックの入射部へ集光されます。この集光された光は、光ファイバーブロック内でミキシングされると同時に 4 分割され、 x, y, z フリッカーの各センサーが受光します。(CA-VP410、CA-VP427 は、フリッカーセンサーがなく、3 分割され、 x, y, z の各センサーが受光します。)

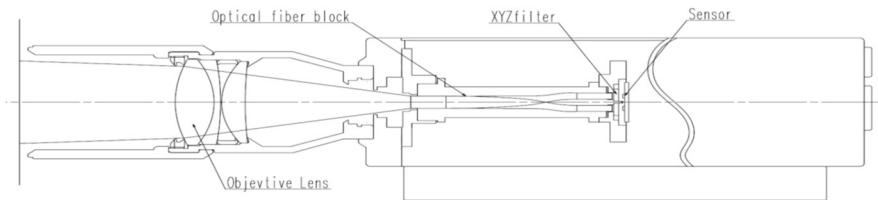


図 1-4-1 CA-P427 光学系の概略構成

1 - 4 - 2 光学系と測定上の特長

1-4-2-1 低輝度測定の実現

より低輝度までの測定を実現するためには、入射光をセンサーに導くまでの光量のロスをどれだけ小さくできるかがポイントとなります。従来は、図 1-4-2 に示すように入射光をレンズを通してそのまま、3 つのセンサー (x, y, z センサー) 上に集光する方法などが採られてきました。この方法では、センサーのない部分にも光が照射されることになり、損失が大きくなるという問題がありました。

CA-410 シリーズは光ファイバーを用いることにより、光の伝達効率を向上させています。具体的には、図 1-4-1 に示すように、入射光は、レンズを通して光ファイバーブロックへ集光します。次に、この光は、光ファイバー内を通過し、ファイバーから出射された光は直接オンチップ・レンズによりセンサー上に集光させています。この結果、光の伝達ロスをなくし、低輝度測定が可能になっています。

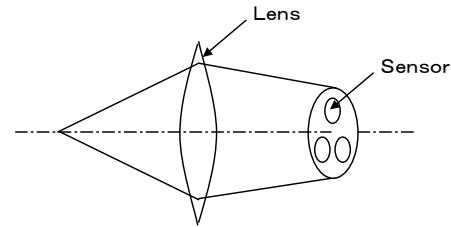


図 1-4-2 従来の測定器の構成

1-4-2-2 狹い開口角

人がディスプレイを見る場合、比較的狭い角度の発光成分のみを視認しています。よって、人が視認する輝度、色度と相関性の高い測定値を得るために、測定器の受光角度範囲（開口角）も同じように狭い角度であることが必要になります。一般に、液晶ディスプレイは、視野角度特性を持っているので、異なる開口角度で測定すると、測定値が異なってしまいます。液晶の測定方法の規格である液晶 IEC 61747-6 においては、液晶を評価する場合の測定器は開口角が 5° 以内であることが示されています（開口角とは、図 1-4-3(a)の $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 、図 1-4-3(b)の Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 のこと）。

CA-P427、CA-VP427 は開口角が 5° で、この規格を満足しています。

CA-P410、CA-MP410、CA-VP410 は開口角が 10° 、CA-VP410 は開口角が 17° ですが、視野角特性が良好（どの方向から見ても輝度、色度の変化が小さい）なディスプレイにおいては、開口角が $10^\circ, 17^\circ$ の測定器でも問題ありません。

従来の測定器における、「測定エリア内の位置」と「測定器への入射角」の関係を、図 1-4-3(a)に示します。なお、ここでは、測定器は被測定物発光面に垂直に設置するものとします。図 1-4-3(a)に示すよう

に、従来の測定器では「測定エリア内の位置」の違いによって、被測定光源の法線方向(図の破線)を基準として考えた場合に、測定器の最大の受光角度 (図の $\theta'1$, $\theta'2$, $\theta'3$) は、大きく異なります。

これに対し、CA-410 (CA-P410, CA-VP410) ではテレセントリック光学系を採用することで、図 1-4-3(b)に示すように、測定エリア内のどの位置においても、受光角度範囲が、被測定光源の法線方向を基準として、対称となるよう考慮されています。

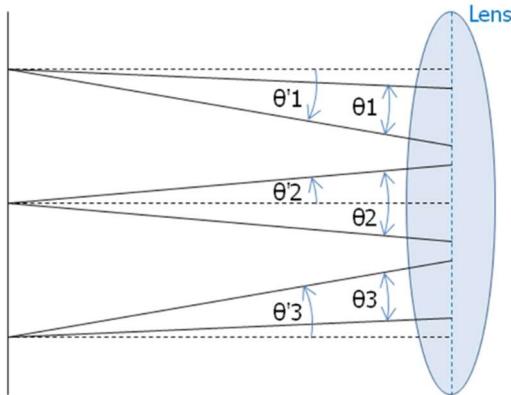


図 1-4-3(a) 従来測定器の測定位置と入射角度

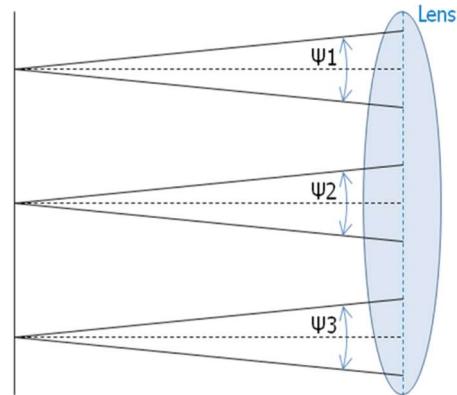


図 1-4-3(b) テレセントリック光学系の測定位置と入射角度

1-4-2-3 輝度、色度むらの影響の軽減

一般に測色計の課題として、測定対象物の輝度、色度むらが色度測定値に影響するということがありました。

この影響を軽減するために、光学系に拡散板などを含む構成とする方法などが採られてきました (図 1-4-4(b))。ところで、この方法では、輝度むらの影響を軽減できる代わりに、センサーに導く光量が減少し、その結果、感度が低下するという問題がありました。

CA-410 シリーズでは、図 1-4-4(a)に示すように、異なる測定位置からの光を一様に光ファイバーブロック入光部に集光させ、光ファイバーブロックを通してセンサーが受光する構成を採用しており、感度を低下させることなく、輝度、色度むらの影響を軽減することを実現しています。

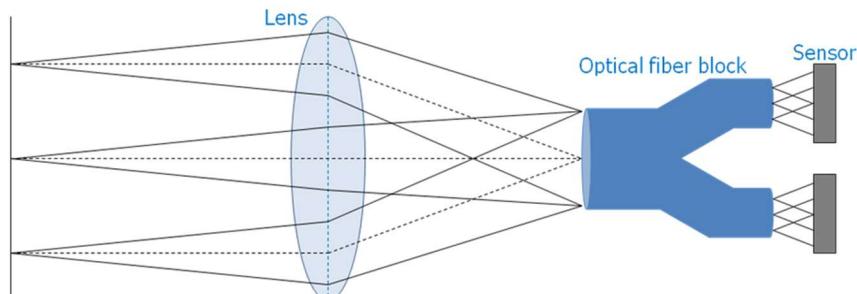


図 1-4-4(a) CA-410 シリーズの光学系による輝度、色度むらの影響の軽減

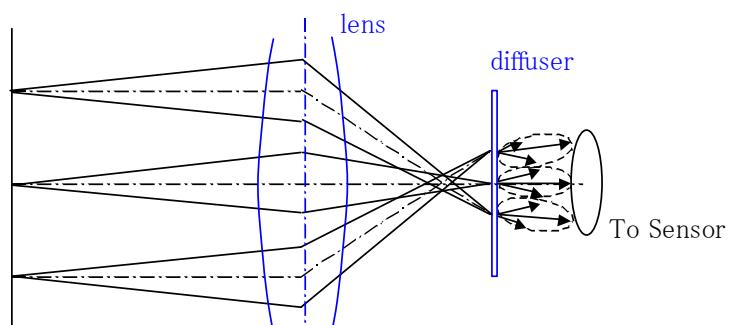


図 1-4-4(b) 従来の拡散板による、輝度、色度むらの影響の軽減

1 - 5 検出回路系の特長

CA-410 シリーズでは、より低輝度域での測色を可能するために、検出回路 (Output Sensor) を電荷蓄積方式に刷新しました。ただし、CA-P410/P427/MP410 では、フリッカー測定における CA-310 シリーズとのデータ互換を考慮して、従来の CA-310 シリーズと同じ電流-電圧変換方式の検出回路を併設しています。ここでは、電荷蓄積方式を「Wide Frequency モード」、電流-電圧変換方式を「CA-310 モード」と呼びます。表 1-5-1 に検出回路方式と CA シリーズとの関係を示します。

表 1-5-1 検出回路方式と CA シリーズとの関係

方式	検出回路 (動作モード名)	CA-310	CA-410	搭載機種	特徴
電荷蓄積 方式	XYZ (Wide Frequency Mode)	—	搭載	CA-410 全モデル	高周波の輝度変動を計測 できる
電流-電圧 変換方式	Flicker (CA-310 Mode)	搭載	搭載	CA-P4**, CA-MP410	人間が認知できない高周 波の輝度変動をカット

1 - 5 - 1 従来の検出回路と CA-410 の検出回路の相違点

1 - 5 - 1 - 1 検出方式

CA-310 シリーズでは、光センサー (X,Y,Z) からのアナログ出力信号から AD 変換 (アナログ・デジタル変換) 値を得る方法として、電流-電圧変換方式が採用されてきました。この方式は、センサーの出力電流を抵抗に流すことにより電圧に変換し、その出力を一定期間 A/D 変換を実行し、得られたデジタル値を積算/平均化します。

これに対し、今回 CA-410 シリーズで採用した回路は、電荷蓄積回路 (C-V 変換)、AD 変換器がワンパッケージされた IC を採用しており、一定時間にコンデンサーに蓄積されたセンサー電流を 1 回の AD 変換でデジタル値を得ます。内部の積分コンデンサーの容量レンジの切り替えや電荷積算時間制御をすることにより、幅広い輝度条件下で良好な SN 比が得られるよう制御を行っています。

1 - 5 - 1 - 2 周波数特性

従来の検出回路と CA-410 の検出回路のブロック図を図 1-5-1 に示します。CA-310 シリーズの方式 (CA-310 モード) では、規格の定義に従って人間が認知できないとされる高周波の輝度変動はあらかじめ検出回路上で減衰させています。これに対し CA-410 の新規方式 (Wide Frequency モード) では、時定数が極めて小さい電荷蓄積方式を採用しており、より高周波の輝度変動の計測が可能です。ただし高周波成分を計測できるため、同期ズレに対する誤差感度が高く、正確な輝度・色度計測を実現するためには、同期測定が重要となります (1-6 参照)。

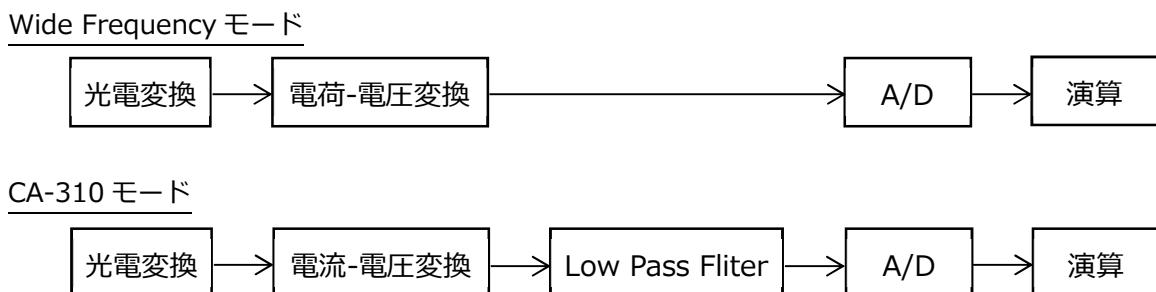


図 1-5-1 各モードの検出回路ブロック図

1 – 5 – 2 CA-410 シリーズの回路の長所

1) より低輝度まで測定が可能

低輝度の測定においては、信号量と比べ相対的にノイズ量が大きくなるため、測定するたびに異なった数値となり、繰り返し性が悪くなります。従い、測定できる最低輝度範囲を拡張するということは、SN 比を向上させることと等価であり、重要なポイントとなります。

CA-310 シリーズの方式は、低輝度下でセンサーの出力電流が極めて小さい場合、電流-電圧変換回路の抵抗値を大きくするか、または長時間測定を行い平均化回数を増やすことで SN 比を向上させます。AD 変換を n 回実行することで、ノイズ（対信号比）は \sqrt{n} に比例して軽減する、つまり測定時間を n 倍にすれば、SN 比は \sqrt{n} 倍向上しますが、近年の OLED ディスプレイ等で要求される極めて低輝度域での測定においては、測定時間の制約、高抵抗値の限度、それに伴う直線性の悪化等の問題があり、その実現が難しくなります。

CA-410 シリーズの回路は、測定時間によらずノイズ量はほぼ一定であり、測定時間を n 倍にすれば SN 比は n 倍向上することになります。従い低輝度でセンサー電流が小さいときでも、ある一定時間以上の電荷積分を行えば、SN 比を大きく向上させることができ、同等の測定時間で CA-310 で測定できなかった輝度範囲（0.001cd/m²～）を実現しています。

図 1-5-2 に CA-310（Φ27mm）と CA-410 シリーズの高感度 Φ27mm モデルである CA-VP427 の SN 比の測定時間依存性を示します。

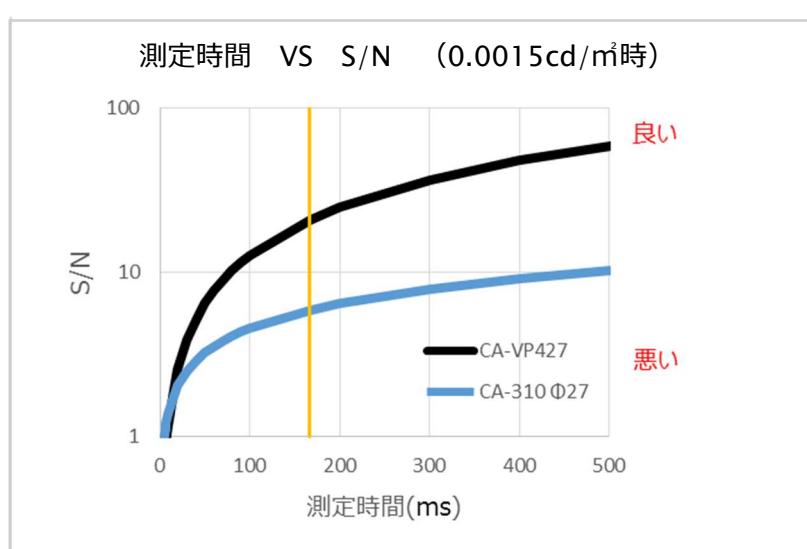


図 1-5-2 SN 比の CA-310 比較

図中の縦線は通常測定に使用する NTSC 垂直同期周期の 10 倍の測定時間（約 167ms）です。この測定時間において、CA-VP427 は CA-310 の 3 倍以上の SN 比を確保することができます。

2) 測定時間が短縮できる

この検出回路の特徴として時定数が極めて小さいため、CA-310 シリーズで採用している電流-電圧変換方式で必要であった輝度変化によるレンジ切り替えの待ち時間は、ほとんど必要としません。

図 1-5-3 に、ディスプレイのガンマ測定（0.01～500cd/m² 64 階調）を想定した測定時間短縮のシミュレーション結果を示します。この図から、測定時間の短縮に加え、レンジ切り替えの時間が大幅に短縮されていることが分かります。

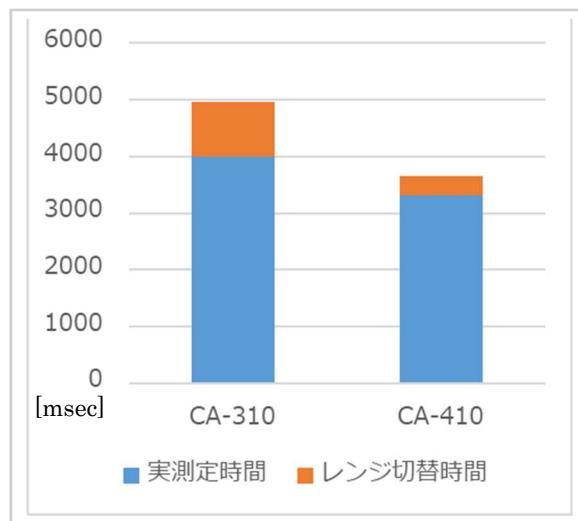


図 1-5-3 速度比較

* CA-310:CA-P32 使用 CA-410: CA-P427 使用
測定同期モード…NTSC
測定スピードモード…CA-310 : AUTO, CA-410:LTD.AUTO
0.01 - 500 cd/m² のガンマ測定 (64 階調) の場合
ディスプレイ駆動に係る時間は除く

1 - 6 同期測定（積分時間を同期周期に合わせること）の重要性

本章では、同期測定の重要性について説明します。

時間に対して図 1-6-1(a) のように発光量が変化している光源を測定するものとします。このような光源を測定する際、露光時間は、光源の発光周期の整数倍になるように設定する必要があります。これが同期測定です。

例えば、図 1-6-1(b) のように、同期がずれた状態で測定した場合を考えてみると、図 1-6-1(c) で塗りつぶされた部分のデータが測定されることとなり、測定結果には図 1-6-1(d) のようなばらつきが生じてしまします。（同期ずれによって生じる測定値は、周期性を持ってばらつくという特徴があります。）

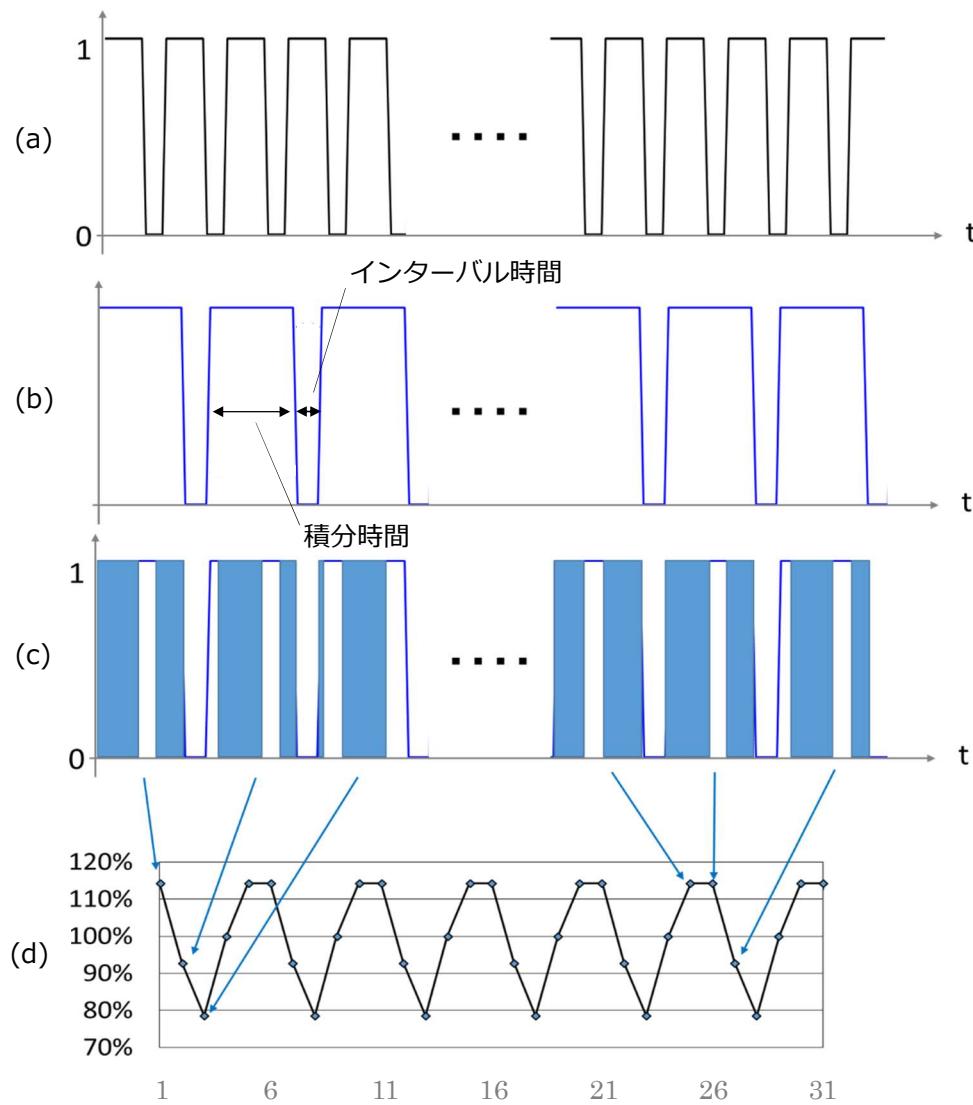


図 1-6-1 同期測定説明図

(a) 光源の発光波形

(b) 測光信号(CA-410 内部の信号)

(c) 積分時間内にとらえた光源の発光波形を青く塗りつぶしている

(d) 測光量(平均値を 100%とした)

上記のような、測定時の同期ずれによって発生する測定値のばらつきの波形は様々で、光源の発光波形や測定器の測光信号(積分時間、インターバル時間)に起因します。以下に、光源の発光波形、積分時間、インターバル時間が変わると、同期ずれによって発生する測光量のばらつきがどのように変化するのか示します。

測定値のばらつきの周期、波形は光源の発光波形に依存します(図 1-6-2)。

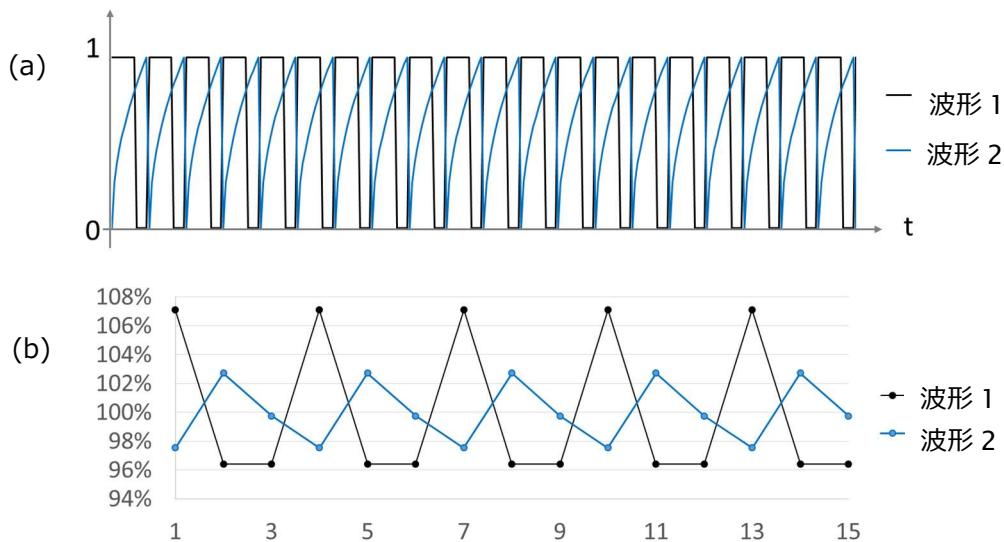


図 1-6-2 同期ずれによる測定バラツキ例

(a) 光源の発光波形

(b) 測光量(平均値を 100%とした)

同じ発光波形の光源を測定するとき、図 1-6-3 のように積分時間やインターバル時間を変更しても同期ずれによる測定値のばらつきの大きさは変わりませんが、ばらつきの周期は変わります。

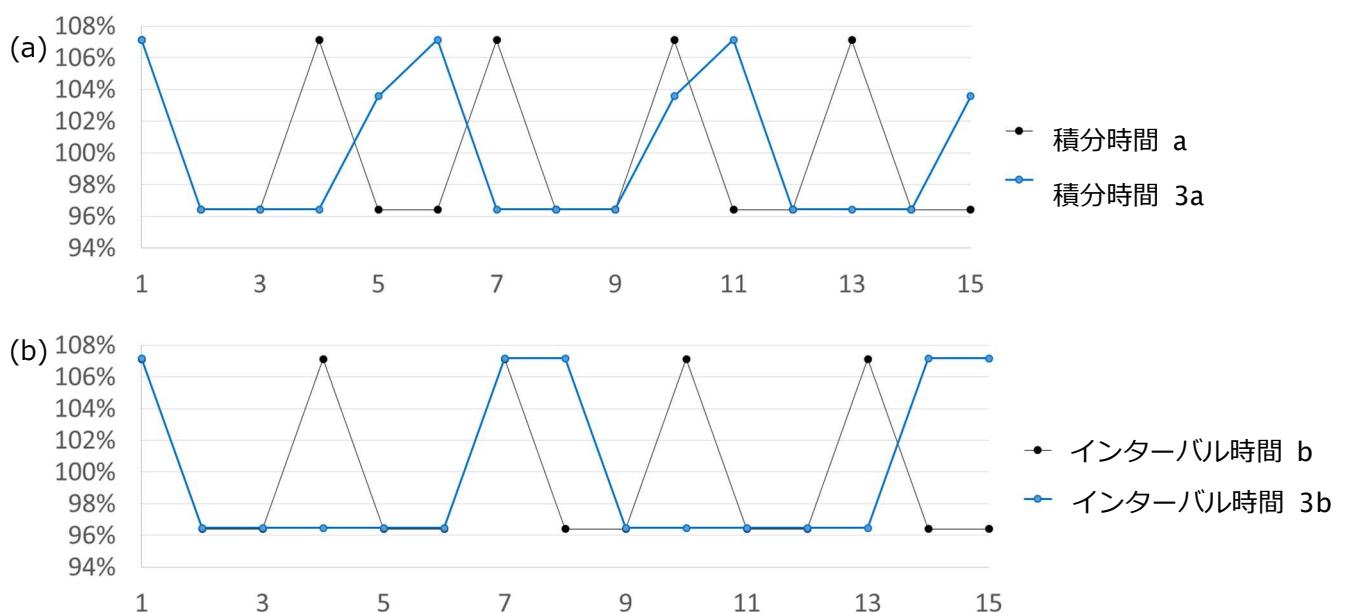


図 1-6-3 同期ずれによる測定ばらつき例

(a) 測定器の積分時間別の測光量(平均値を 100%とした)

(b) 測定器のインターバル時間別の測光量(平均値を 100%とした)

以上より、測定値のばらつきを抑えるためには、同期測定を行う必要があります。

また、後述（1-7-2）のようにフリッカーが発生している光源を測定するときも注意すべきことがあります。フリッカーが発生している状態では、フレーム周波数の1／2の周波数で映像信号が変化するので、測定器でそのような光源を測定する際は、同期周期の2倍の積分時間で測定しないと測定値がばらついてしまいます。CA-410は積分時間をマニュアルで指定することができるので、積分時間をマニュアル入力する際は注意して入力してください。

なお、取扱説明書に記載している通り、CA-410の測定同期モードをNTSC、PAL、EXT、INTの何れかに設定している場合、測定時間は垂直走査期間の2倍に設定されます。

1 - 7 フリッカー測定

フリッカーとは、画面の“ちらつき”的現象です。物理的には、光が明滅する現象、または揺らぐ状態のことと言います。また狭義には、これらのうち人間の目で認識される状態のことを示します。人間の目の場合、高周波の現象は観測できず、感度の周波数特性を考慮したフリッカーを評価することができます（後述）。

フリッカーの発生要因はディスプレイの方式によっても異なります。本章では、まず一般的な発生要因について述べ、次に液晶ディスプレイでの極性反転により生じるフリッカーについて述べます。

1 - 7 - 1 ディスプレイにおけるフリッカー

一般的に、ディスプレイの画面は一定時間間隔で書き換えられており（リフレッシュ）、その時間内（1フレーム内）で明るさが変わらず、各フレームの明るさが同じであれば原理的にフリッカーは発生しません（図 1-7-1(a)）。各フレームの明るさに変動があれば、リフレッシュ周波数でのフリッckerが発生します（図 1-7-1(b)）。

また各フレームでの明るさが一定でも、フレーム内で明るさが変動する場合は、高周波のフリッckerが発生します。ただし、通常この周波数は人間の目に見える周波数よりも高いため、人には認識されません。近年モバイル機器における低消費電力化のために、リフレッシュを低周波で行うこともあり、フレーム内の明るさ変動に起因するフリッckerが注目されています。フレーム内で明るさが変動する要因としては、1) 非発光時間がある場合（リフレッシュ時非発光（図 1-7-1(c)）、PWM 制御（図 1-7-1(d)）、等）、2) 非発光時間はないが発光強度が変動する場合（図 1-7-1(e)）、などが挙げられます。1)は、有機 EL(OLED)ディスプレイにおける低輝度制御に用いられることがあります、また 2)は発光回路のリーコ等により発生します。

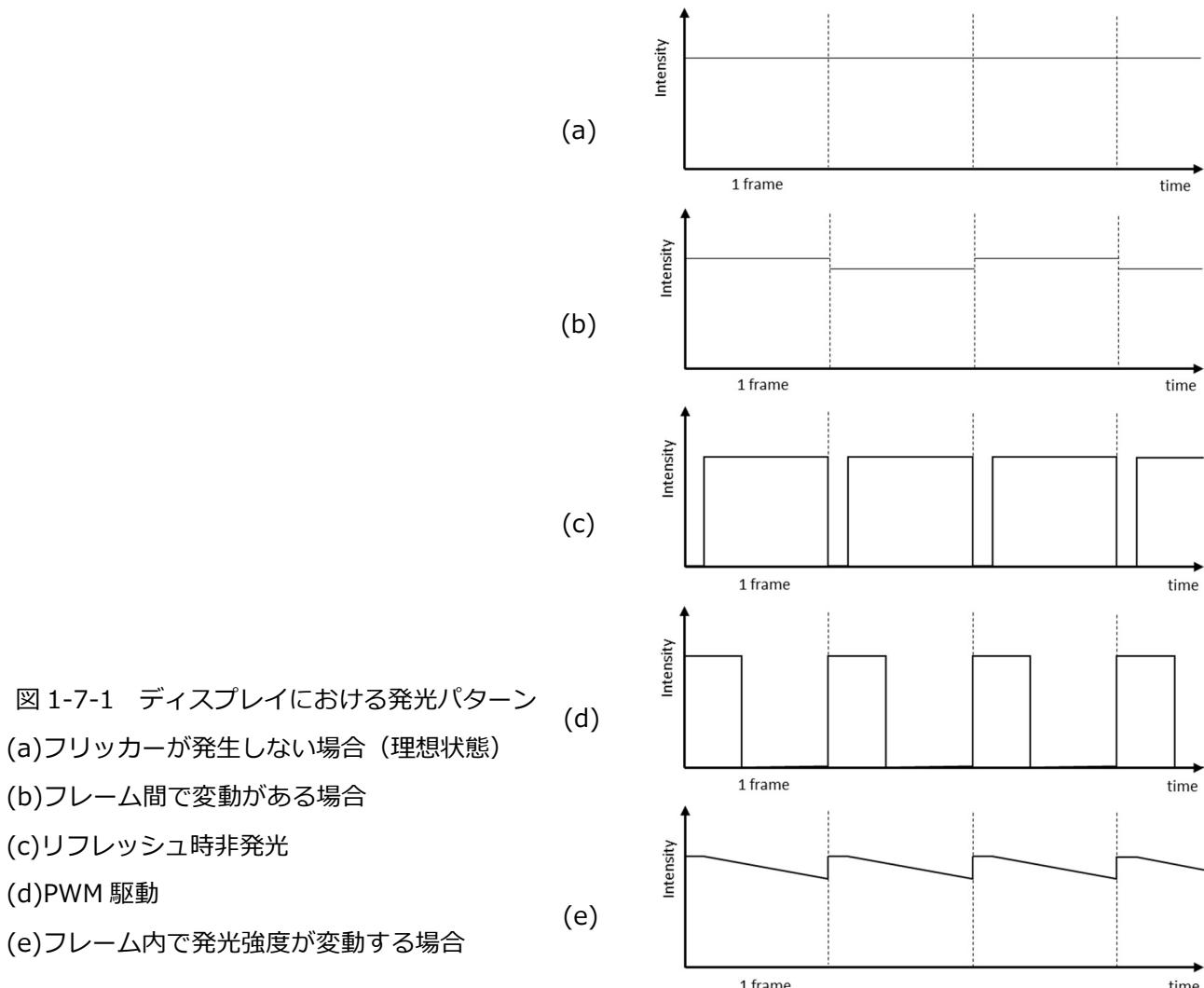


図 1-7-1 ディスプレイにおける発光パターン
 (a)フリッckerが発生しない場合（理想状態）
 (b)フレーム間で変動がある場合
 (c)リフレッシュ時非発光
 (d)PWM 駆動
 (e)フレーム内で発光強度が変動する場合

1-7-2 液晶ディスプレイにおけるフリッカーとは

液晶ディスプレイでは、上記と異なる要因のフリッカーが発生します。ここでは液晶ディスプレイの場合について詳しく説明します。

1-7-2-1 フリッカー発生のメカニズム (LCD)

液晶表示デバイスに直流の映像信号を入力し続けると液晶パネルの寿命が短くなることが判っています。また、液晶表示デバイスは正極性電圧でも負極性電圧でも応答します。そこで液晶デバイスに入力する映像信号は、一般に1フレーム（垂直同期周期）ごとに極性を反転させるようにしています。

ここで、同じ画面を表示し続ける場合を考えます。図1-7-2に示すように、各フレームの画像が同じレベルとなるためには、基準電位が、映像信号の振幅中心に一致している必要があります。これに対し、図1-7-3に示すように、基準電位がずれている場合、正負の映像信号成分が異なることになります。この結果、フレーム周波数の1/2の周波数で映像信号が変化することになります。

例えば、垂直同期周波数が60Hzの場合、30Hzで映像信号が変化することになり、人間の目に応答する周波数以下となるため、人間に“ちらつき”（フリッカー）として認識されることになります。

液晶にフリッカーが発生すると、画面が非常に見づらくなるので、一般的に、液晶パネルでは、製造工程で基準電位の調整を行っています。

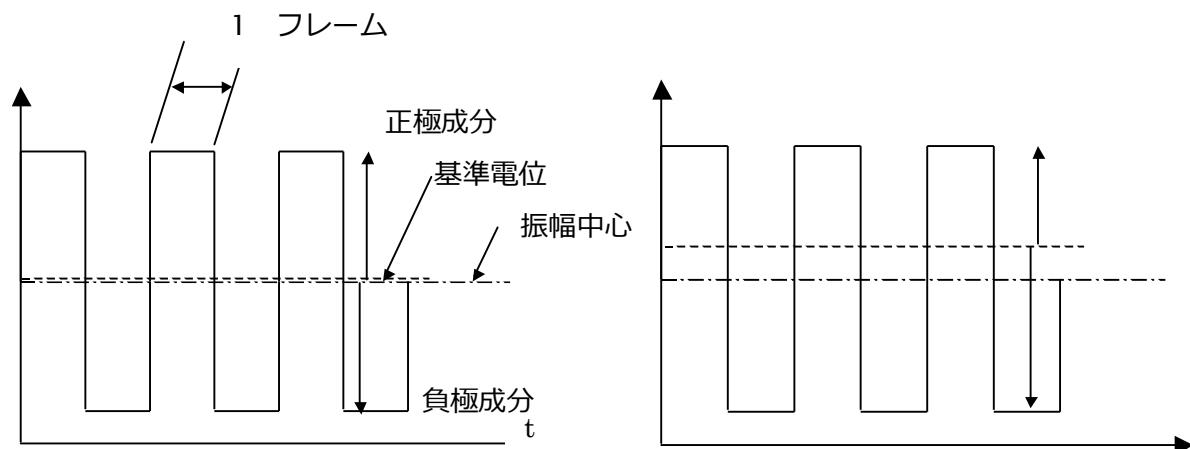


図1-7-2 各フレームの画像レベルと基準電位
(理想状態)

図1-7-3 各フレームの画像レベルと基準電位
(フリッカー発生時)

1-7-3 フリッカーの測定方法

1-7-3-1 フリッカーの測定

フリッckerが発生している時の時間と輝度の関係は図1-7-4のようになります。この図からわかるように、輝度レベルは周期的に変化しており、この振幅が大きいほど“ちらつき”としてはっきり認識されます。

液晶ディスプレイの場合、この輝度レベル変化の周期は、ディスプレイの垂直同期周期の2倍に一致します（「1-7-2 液晶ディスプレイにおけるフリッckerとは」参照）。

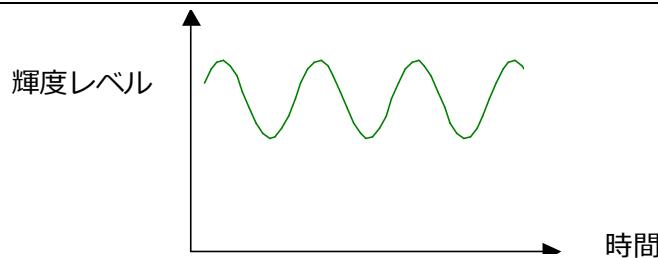


図 1-7-4 フリッカー発生時の時間と輝度の関係

フリッカーを測定するための測定方式は、大きく 2 つの方式に分けることができます。

- ① 図 1-7-6 の輝度レベル変化を直流成分と交流成分の合成ととらえ、両成分の比からフリッカーを求める方式
- ② 図 1-7-6 の輝度レベル変化を周波数成分に分解し、直流成分と最大交流成分の比からフリッckerを求める方式

CA-410 シリーズは、①の方式を“コントラスト方式”，②の方式を“JEITA 方式”と呼び、フリッckerの測定を行ないます。

また 1-5-1 で述べた通り、CA-410 シリーズ (CA-VP410, CA-VP427 を除く) は周波数特性が異なる 2 種類の検出回路を持ち、フリッcker 計測時に 2 種類の回路のいづれかを選択することができます。

Wide Frequency モード：電荷蓄積方式 高周波の輝度変動も計測できる。

CA-310 モード：電流-電圧変換方式 人間が認知できない高周波の輝度変動をカットしている。
(CA-310 互換モード)

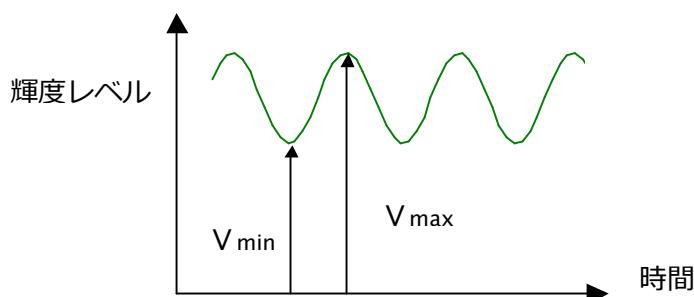
以下では、まずフリッcker の測定方式について説明し、その後、モードの差異によって生じるフリッcker 出力値の違い、および推奨する使い分け方を説明します。

1-7-3-2 コントラスト方式フリッcker 測定の説明

1-7-3-2-1 コントラスト方式フリッcker 測定の概要

ディスプレイの輝度レベルが図 1-7-5 のように変化している場合、これを、直流成分の上に交流成分が積み重なっているのものと考えます。この交流成分／直流成分をフリッcker 量として定義したものが“コントラスト方式”フリッcker 値（以降、コントラスト・フリッcker 値と言います）です。

コントラスト方式では、交流成分を $V_{max} - V_{min}$ 、 直流成分を $(V_{max} + V_{min}) / 2$ であるとし、式 (1-7-1) でフリッcker 値を求めます。

図 1-7-5 コントラスト方式の V_{max} , V_{min}

フリッcker 値

$$= \text{交流成分} / \text{直流成分}$$

$$= (V_{max} - V_{min}) / \{(V_{max} + V_{min}) / 2\} \times 100 \quad [\%] \quad \dots \dots \quad (1-7-1)$$

1-7-3-2-2 コントラスト方式のデータ処理詳細 (CA-310 モード)  さらに詳しく

センサーの出力データ取得からフリッカー値算出にいたるまでの測定器内の処理内容を図 1-7-6 に示すフローに従い説明します。

- (A) ~ (C) : 輝度センサーの出力信号に対して、高周波成分を除去する電気的処理を行い、フリッカーに対応する信号を取り出します。
- (C) ~ (D) : 高周波成分除去後のアナログ信号に対して、一定期間 ($= t_1$)、A/D 変換をおこない、演算に必要なデジタル値を得ます (図の●印)。 (D) ~ (E) : デジタル値に対して、最大値、最小値を検出し、それぞれを V_{max} , V_{min} と定義します。
- (E) ~ (G) : この値に対し、(1-7-1) 式を適用することで交流成分／直流成分比を算出し、フリッカー値とします。 交流成分算出にあたっては、交流成分の周波数に基づき、ローパス処理で減衰した成分を補正しています。

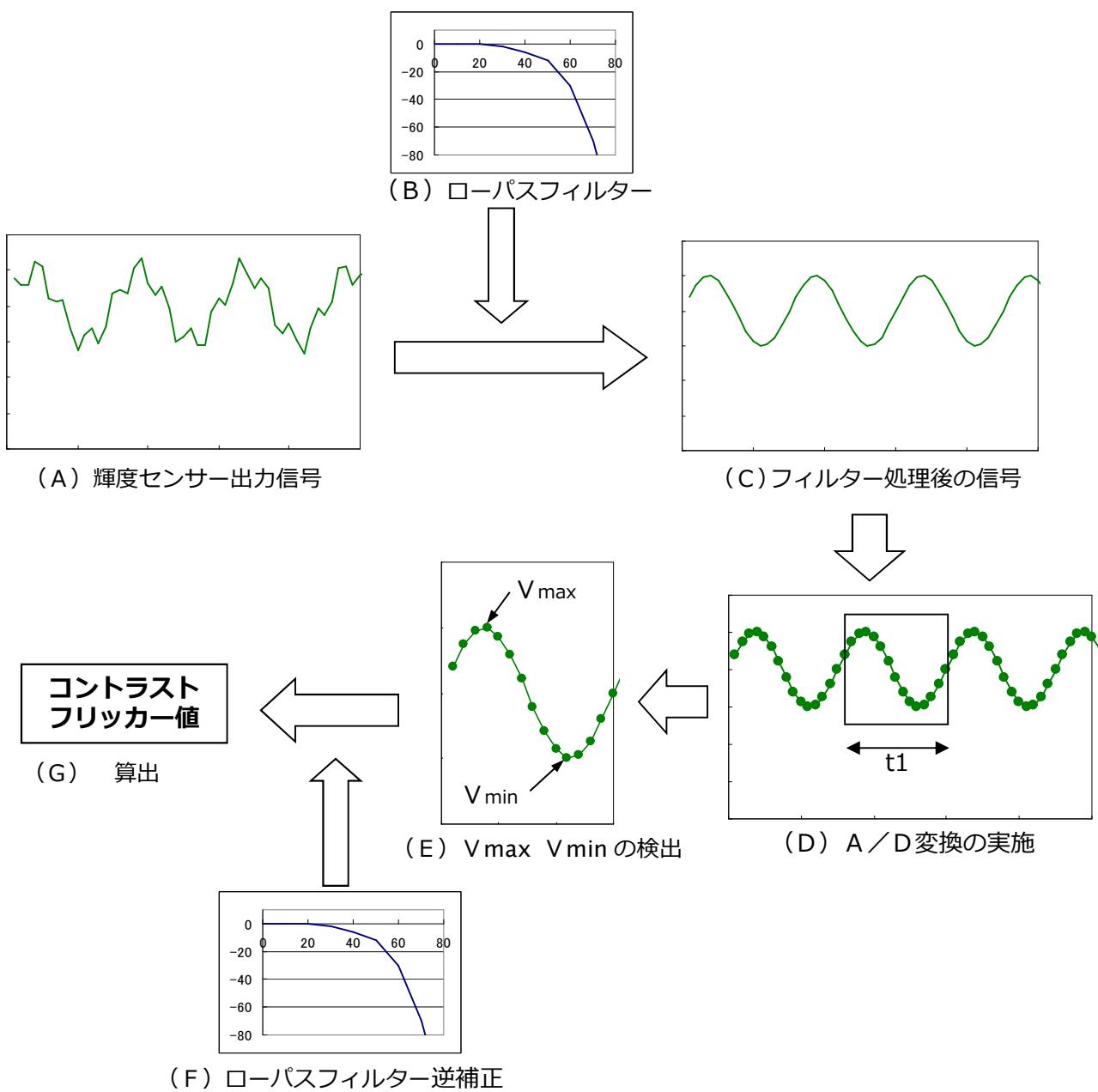


図 1-7-6 コントラスト方式 (CA-310 モード) の輝度センサー出力からフリッcker値算出までの処理フロー

1-7-3-2-3 コントラスト方式のデータ処理詳細 (Wide Frequency モード) さらに詳しく

センサーの出力データ取得からフリッカー値算出にいたるまでの測定器内の処理内容を図 1-7-7 に示すフローに従い説明します。CA-310 モードとの違い、Wide Frequency モードでは高周波成分を除去していません。そのため、元波形の Peak to Peak を検出することとなり、CA-310 モードよりも大きな値を出力します。

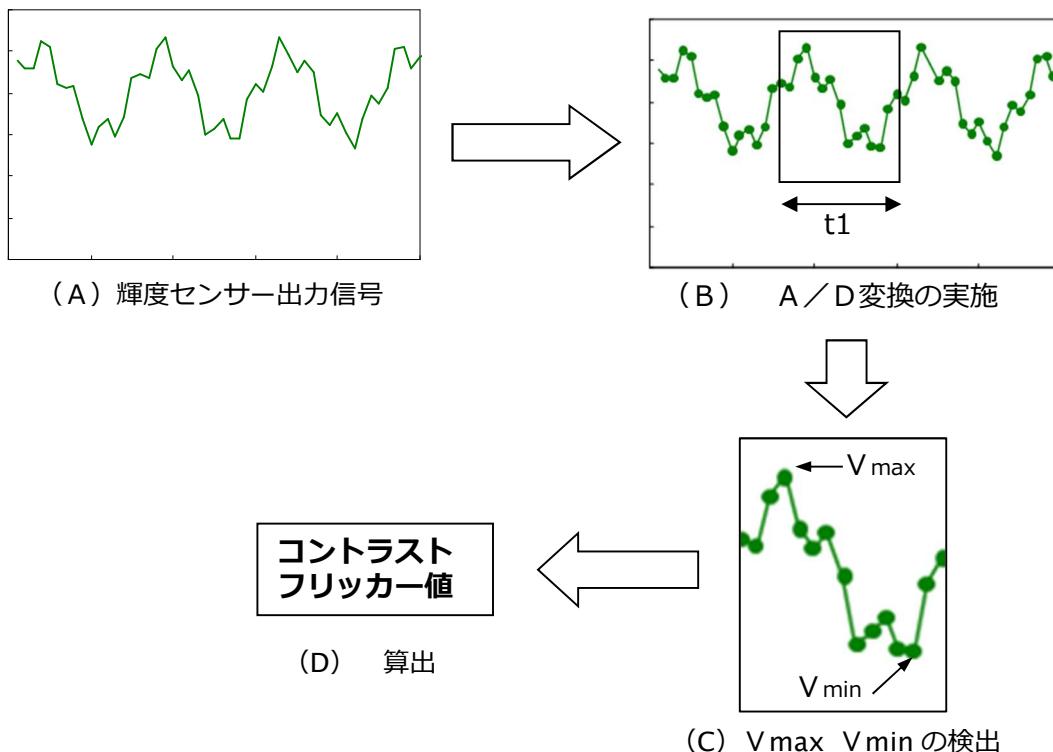


図 1-7-7 コントラスト方式 (Wide Frequency モード) の処理フロー

1-7-3-2-4 コントラスト方式での推奨モード

表 1-7-2 に各モードの特徴を整理します。コントラスト方式 (FMA 方式) のフリッカー計測には、人間が認知できない高周波の輝度変動の影響を低く抑えた CA-310 モードを推奨します。

表 1-7-2 検出回路方式と CA シリーズとの関係

モード名	周波数特性	フリッカー出力	CA-310 互換	搭載機種	推奨
Wide Frequency モード	高周波の輝度変動も測定	原波形の Peak to Peak 値に相関した値	なし	CA-410 全モデル	
CA-310 モード	人間が認知できない輝度変動を減衰	視認できる周波数に配慮した値	あり	CA-P4**, CA-MP410	★

1-7-3-3 JEITA方式フリッカー測定の説明

1-7-3-3-1 JEITA方式フリッカー測定の概要

JEITA 方式フリッカー測定（※注 1-7-1）は、人間の目の周波数応答特性を正確に反映させた上でフリッカ一値を定量化する方式です。人間の目の周波数応答特性を図 1-7-18、表 1-7-3 に示します。

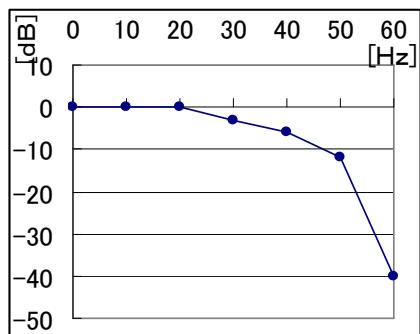


図 1-7-8 JEITA による人間の目の周波数応答特性

表 1-7-3 JEITA による人間の目の周波数応答特性

Frequency [Hz]	Factor [dB]	Factor [ratio]
0	0	1.000
10	0	1.000
20	0	1.000
30	-3	0.708
40	-6	0.501
50	-12	0.251
60	-40	0.010

ディスプレイの輝度レベルが図 1-7-7 のように変化している場合、このフリッカー光を、直流成分の上に複数の周波数成分が積み重なっているのものと考えます。そこで、まず、この「対時間の輝度変化データ」を、周波数成分（直流成分、及び各交流成分）に分解します。 次に、各周波数成分の出力を“人の目の周波数応答特性”を考慮した値に変換します。

ここで得られた、各周波数成分のうち、0Hz（直流成分）以外で最大となるパワースペクトルを P_x 、直流成分のパワースペクトルを P_0 とすると、式（1-7-4）でフリッカ一値（以降、JEITA・フリッカ一値と言います）を求めます。

$$\text{フリッカ一値} = 10 \times \log_{10} (P_x / P_0) \quad [\text{dB}] \quad \dots \dots \quad (1-7-4)$$

1-7-3-3-2 JEITA方式のデータ処理詳細 さらに詳しく

具体的な例を挙げて、JEITA・フリッカ一値算出にいたるまでの測定器内の処理内容を図 1-7-10 に示すフローに従い説明します。 ここで、被測定光源は図 1-7-9（4）に示すように、発光周波数の異なる（1），（2），（3）3種類の光源が合わさったものであるとします。

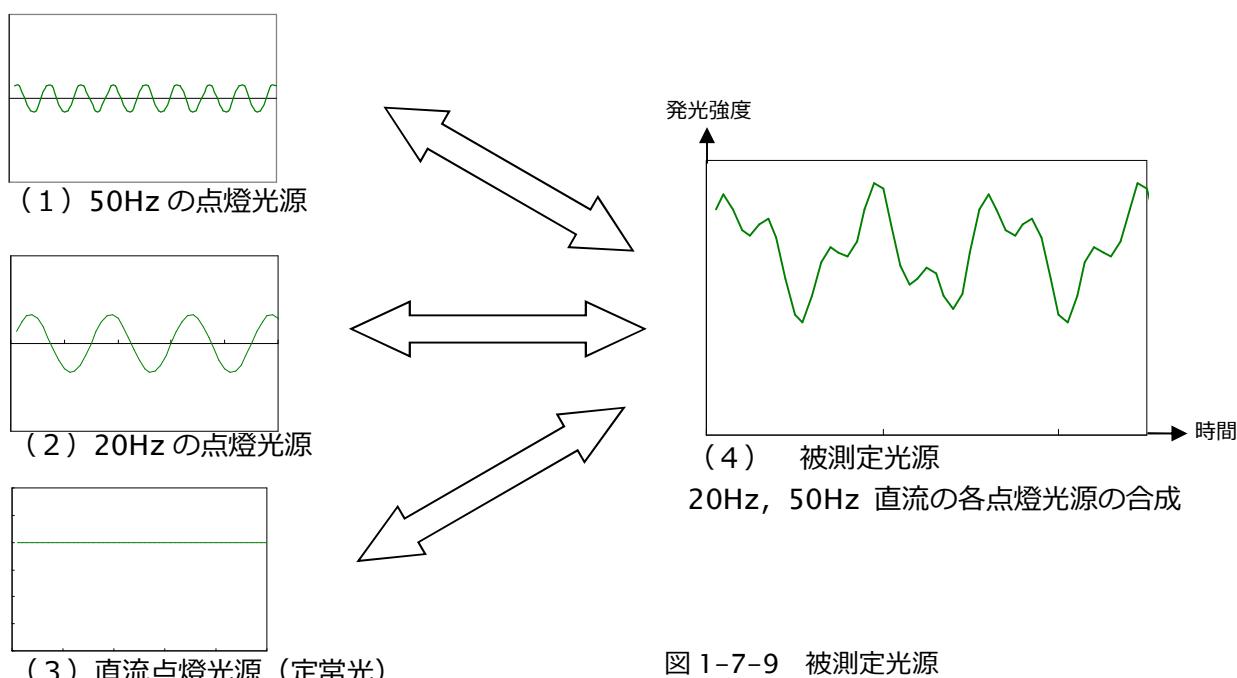


図 1-7-9 被測定光源

- (A) : センサーの出力信号に対して、一定期間 ($= t/2$)、A/D 変換を繰り返し実行し、演算に必要なデジタル値 (サンプリングデータ) を得ます (図の●印)。
- (A) ~ (B) : このデジタル値に対して、デジタル・フーリエ変換を行い、各周波数成分に分解します。被測定光源は図 1-7-9 に示した (1), (2), (3) 3 種類の光源を合成したものですから、これを分解するということは、図 1-7-9 の (1), (2), (3) 光源の周波数と振幅値のデータを得ることと同じことを意味します。
- この結果、(B) のデータを得ます。
- また、デジタル・フーリエ変換特有の誤差を軽減するために、このデジタル値に適当な「窓関数」処理を行っています。 (※注 1-7-3)
- (B) ~ (D) : この周波数成分に対して、(C) 及び表 2 に示した人間の目の周波数応答特性 (積分器) を反映させます。 表 1-7-3 より、0Hz、20Hz 成分は減衰しないのに対し、50Hz 成分は 0.251 倍になることがわかります。この結果 (D) を得ます。 (※注 1-7-4)
- (D) ~ (E) : (D) から、0Hz 以外で最大の成分 (この例では 20Hz) を交流成分として選択します。また、0Hz の成分を直流成分とします。
- これから直流成分、交流成分のパワースペクトルをそれぞれ求め P_0 , P_1 とし、(1-7-4) 式によって、JEITA・フリッカー値を算出します。

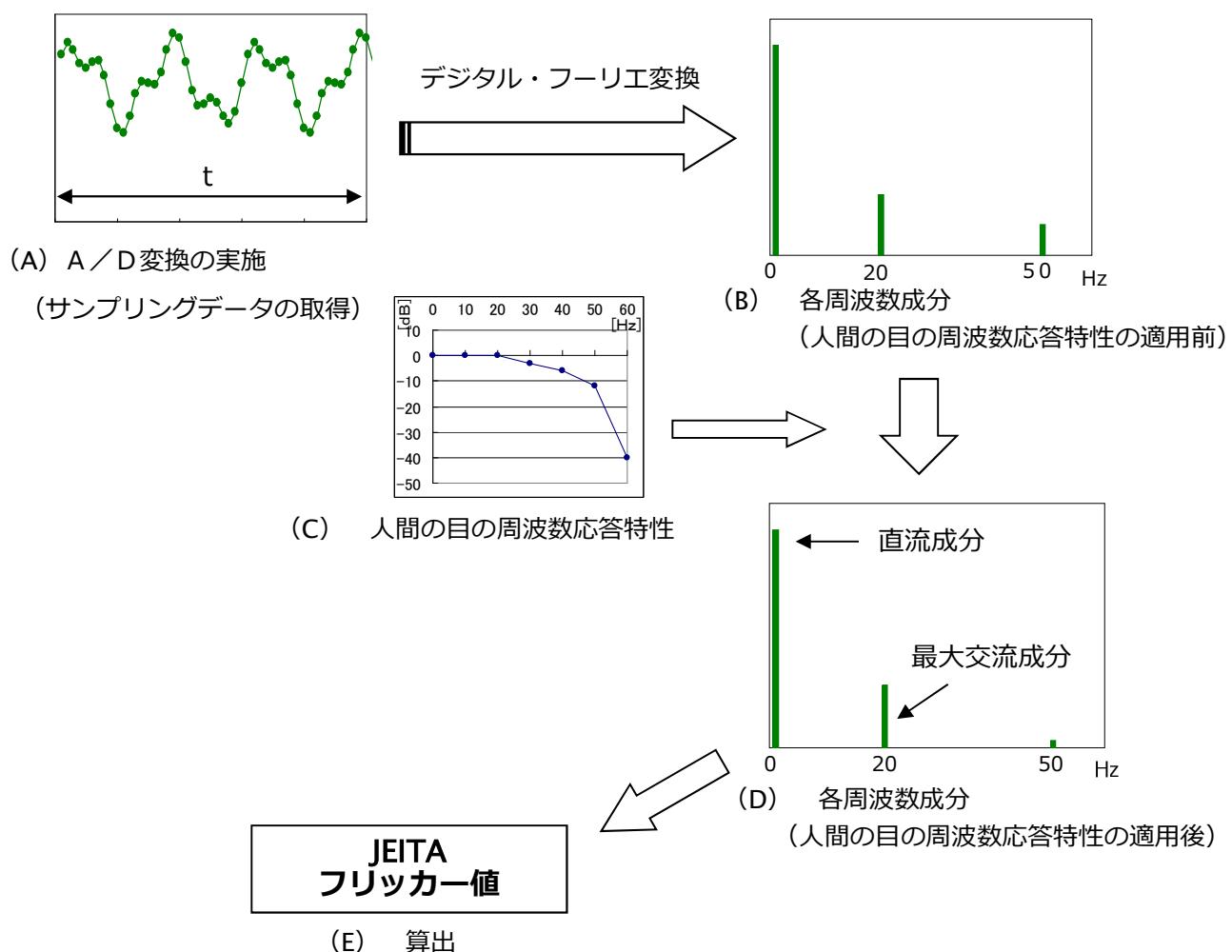


図 1-7-10 JEITA 方式のフリッカー値算出までの処理フロー

最後に、コントラスト方式との違いを説明します。

図 1-7-9 (4) の光源を測定した場合、コントラスト方式ではセンサー出力そのままの最大値、最小値の差 (図 1-7-13(b)の矢印) を交流成分ととらえます。これに対して、JEITA 方式では、周波数分解しますので、20Hz のみを取り出して、その最大値、最小値の差 (図 1-7-11(a)の矢印) を交流成分と捉えることになります。また、最大交流成分周波数が 20Hz 以上の場合は、人間の目の周波数応答特性による減衰率が考慮されることも相違点です

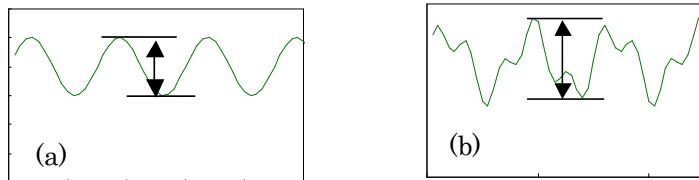


図 1-7-11 JEITA 方式(a)とコントラスト方式(b)の違い

1-7-3-3-3 JEITA 方式の CA-410 シリーズのデータ処理内容 ☞ さらに詳しく

ここでは、CA-410 シリーズが、センサー出力取得、デジタル・フーリエ変換処理を経て JEITA・フリッカーバルを算出するまでの導出内容を説明します。

1-7-3-3-3-1 JEITA 方式の算出式

CA-410 シリーズは、式 (1-7-5) に従い、JEITA・フリッカーバルを算出しています。

$$20 \times \log \frac{(\sqrt{2} \times \text{weight}(k) \times \text{FFT}(k))}{\text{weight}(0) \times \text{FFT}(0)} \quad \dots \dots \dots (1-7-5)$$

ここで

k : 周波数

$\text{weight}(k)$: 周波数 k における人間の目の周波数応答特性 (積分器定数)

$\text{FFT}(k)$: 周波数 k の FFT 出力のうち、 $\text{weight}(k) \times \text{FFT}(k)$ が最大のもの ($k > 0$)。

$\text{FFT}(0)$: DC 成分の FFT 出力

1-7-3-3-3-2 JEITA 方式の算出式の説明

フリッカーバル JEITA 方式によるフリッカーバルは (1-7-6) 式で定義されています。

$$10 \times \log (P_k / P_0) \quad \dots \dots \dots (1-7-6)$$

P_k : 人間の目の周波数応答特性(積分器)を通した後の交流成分の最大のパワースペクトル

P_0 : 人間の目の周波数応答特性(積分器)を通した後の直流成分のパワースペクトル

(EIAJ ED2522 による)

直流成分 ($f(t)=1$) と交流成分 ($f(t)=\sin t$) における FFT 出力、パワースペクトルの比の関係は表 1-7-4 のようになります。

表 1-7-4 FFT 出力、パワースペクトルの比の関係

	① 直流成分 ($f(t)=1$)	② 交流成分 ($f(t)=\sin t$)
FFT 出力	1	0.5
パワースペクトル	1	0.5

- ① と②においては、振幅という概念で捉えた場合、同一であるべきですが、FFT 出力は 1 : 0.5 の関係にあり、交流成分のみ 2 倍することで、同一となります（逆に言うと、FFT では、交流成分が直流成分の 1/2 となって出力されます）。

すなわち、直流成分と交流成分の整合性をとると

$$\text{交流成分の振幅} \quad 2 \times \text{FFT}(k) \quad (=A_k) \quad \dots \dots \dots (1-7-7)$$

$$\text{直流成分の振幅} \quad \text{FFT}(0) \quad (=A_0) \quad \dots \dots \dots (1-7-8)$$

これをパワースペクトルに変換する場合、直流成分は振幅の 2 乗、交流成分は振幅の 2 乗の 1/2 とすればよいので、式 (1-7-6) は

$$\begin{aligned} & 10 \times \log \frac{(2 \times \text{wFFT}(k))^2 / 2}{\text{wFFT}(0)^2} \\ &= 10 \times \log \frac{(\sqrt{2} \times \text{wFFT}(k))^2}{\text{wFFT}(0)^2} \\ &= 20 \times \log \frac{(\sqrt{2} \times \text{wFFT}(k))}{\text{wFFT}(0)} \quad \dots \dots \dots (1-7-9) \end{aligned}$$

ここで、 $\text{wFFT}(k) = \text{weight}(k) \times \text{FFT}(k)$, $\text{wFFT}(0) = \text{weight}(0) \times \text{FFT}(0)$

よって、式 (1-7-5) が導出されます。

1-7-3-3-3 JEITA 方式の算出式の補足

実効値の考え方から、(1-7-6) 式は、交流成分のみを($\sqrt{2}$)で除すればよいので

$$10 \times \log \frac{(A_k / \sqrt{2})^2}{A_0^2} \quad \dots \dots \dots (1-7-10)$$

ここで、 A_k 、 A_0 は交流成分、直流成分の振幅と書けます。ここで (1-7-7) 式、(1-7-8) 式を適用すると

$$\begin{aligned} &= 10 \times \log \frac{(\sqrt{2} \times \text{wFFT}(k))^2}{\text{wFFT}(0)^2} \\ &= 20 \times \log \frac{(\sqrt{2} \times \text{wFFT}(k))}{\text{wFFT}(0)} \quad \dots \dots \dots (1-7-11) \end{aligned}$$

となり、式 (1-7-1) に一致します。

つまり、(1-7-5) 式は実効値の考え方と整合性がとれていると言えます。

(※注 1-7-1)

JEITA 方式は、LCD ディスプレイのフリッカーを対象として、人間の目の周波数応答特性が定められています。人間の目は、30Hz 付近以上の周波数より徐々に感度が低下し、60Hz 以上では知覚できなくなる特性をもっています。（図 1-7-8, 表 1-7-3）

PWM 駆動等で発生するフリッカーを対象とする場合には、この応答特性ではなく、他の特性を使用する場合があります。CA-410 シリーズの PC ソフトウェア CA-S40 では、"Weighting Factor" により、任意の周波数特性を設定できます（JEITA 方式）。

(※注 1-7-2)

(1-7-1) 式は、正確には、 $(V_{\max} - V_{\min}) / V_{d\ c} \times 100 \ [\%]$ と規定されています。

ここでは、 $V_{d\ c} = (V_{\max} + V_{\min}) / 2$ としています。

(※注 1-7-3)

デジタル・フーリエ変換特有の誤差とは、フーリエ変換が無限長さ時間のデータを扱うことを前提にしているのに対して、デジタル・フーリエ変換が有限長さ時間のデータを扱い演算していることに起因する誤差のことです。

「データ取得期間 t_2 」と「交流成分の周期の整数倍」の差が大きい場合に誤差が大きくなる傾向があります。この誤差を軽減するために一般に「窓関数」が使用されます。

この結果、交流成分の検出精度は向上しますが、他方、検出分解能は低下します。

例えば、図 1-7-12 のようにある交流成分（例えば 30Hz）が存在する場合、窓関数を使用せずにデジタル・フーリエ変換を行うと、図 1-7-12 (B) のように、真値より小さい値が算出されることがあります。他方、窓関数を使用してデジタル・フーリエ変換を行うと、30Hz の成分は真値を得ますが、その成分の前後にもある成分が出力されてしまいます。ただし、この場合、30Hz の成分の真値を得ているため、JEITA・フリッカーレベルを正確に求めることができます。

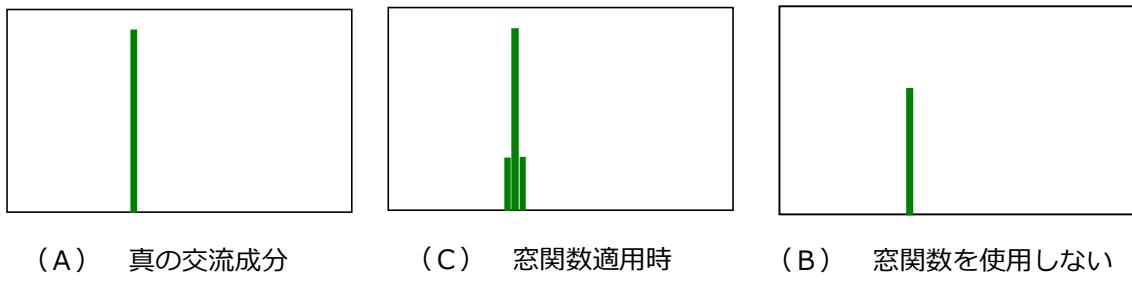


図 1-7-12 窓関数の影響

(※注 1-7-4)

フリッカーレベル算出手順は、

「JEITA 規格」：「輝度計信号取得」 → 「積分器処理」 → 「FFT アナライザー処理」 → 「パワースペクトル演算」
 CA-410 シリーズ：「輝度計信号取得」 → 「FFT アナライザー処理」 → 「積分器処理」 → 「パワースペクトル演算」

となっており、両者で「積分器処理」、「FFT アナライザー処理」の順序が入れ替わっています。

しかし、いずれの順序をとっても、「パワースペクトル演算」に入力されるデータは同じとなるため、両者は同じフリッカーレベルを得ることになります。言い換えると、等価な演算処理を行っていることになります。

参考文献

VESA 305-4/305-5

EIAJ ED-2522

南茂夫 「科学計測のための波形データ処理」(CQ 出版)

中村尚五 「デジタル・フーリエ変換」(東京電機大学出版局)

1-7-3-3-4 JEITA 方式での推奨モード

モードによる JEITA フリッカーレベルの違いは、検出周波数帯域に現れます。

CA-310 モードでは、人間が認知できない高周波成分を検出回路にて減衰させているので (LPF : Low Pass Filter)、出力できる周波数成分の帯域は 65Hz 以下になります。上記の LPF 処理は、A/D 変換処理を行う前に実施しているので、エイリアシング (サンプリングによって生じる高周波成分の折返し雑音) を抑えることができます。また微小なフリッカーレベルでも精度良く計測できます。

これに対して Wide Frequency モードでは、高周波での計測を可能とするため、検出回路に LPF 機能を設けておりません。得られる周波数成分の最大周波数は、標本化定理に従うナイキスト周波数によって原理的に決まります。

$$\begin{aligned}
 \text{ナイキスト周波数} &= \text{フーリエ変換により元波形を周波数成分に分解できる最大周波数} \\
 &= \text{サンプリング周波数} / 2
 \end{aligned}$$

精度を確保するために出力周波数に上限を設けおり、200Hz 以下に制限しています。Wide Frequency モードでは、200Hz までの計測が可能となった代わりに注意すべき事があります。測定対象がナイキスト周波数以上の高周波数域に対して大きな振幅値を持つ場合、エイリアシング（折返し雑音）が発生する場合があります。例えば、この雑音が発生すると、図 1-7-13 の様に、スペクトル特性に誤差を生じさせてしまいます。折返し雑音周波数はナイキスト周波数と相関があります。折返し雑音の有無は、ナイキスト周波数を変える、つまり、周波数解像度、もしくはサンプリングデータ数を変更することで確認することができます（サンプリングデータ数は、SDK でのみ変更可能となります）。PC ソフト CA-S40 では定義済み固定値となります）。

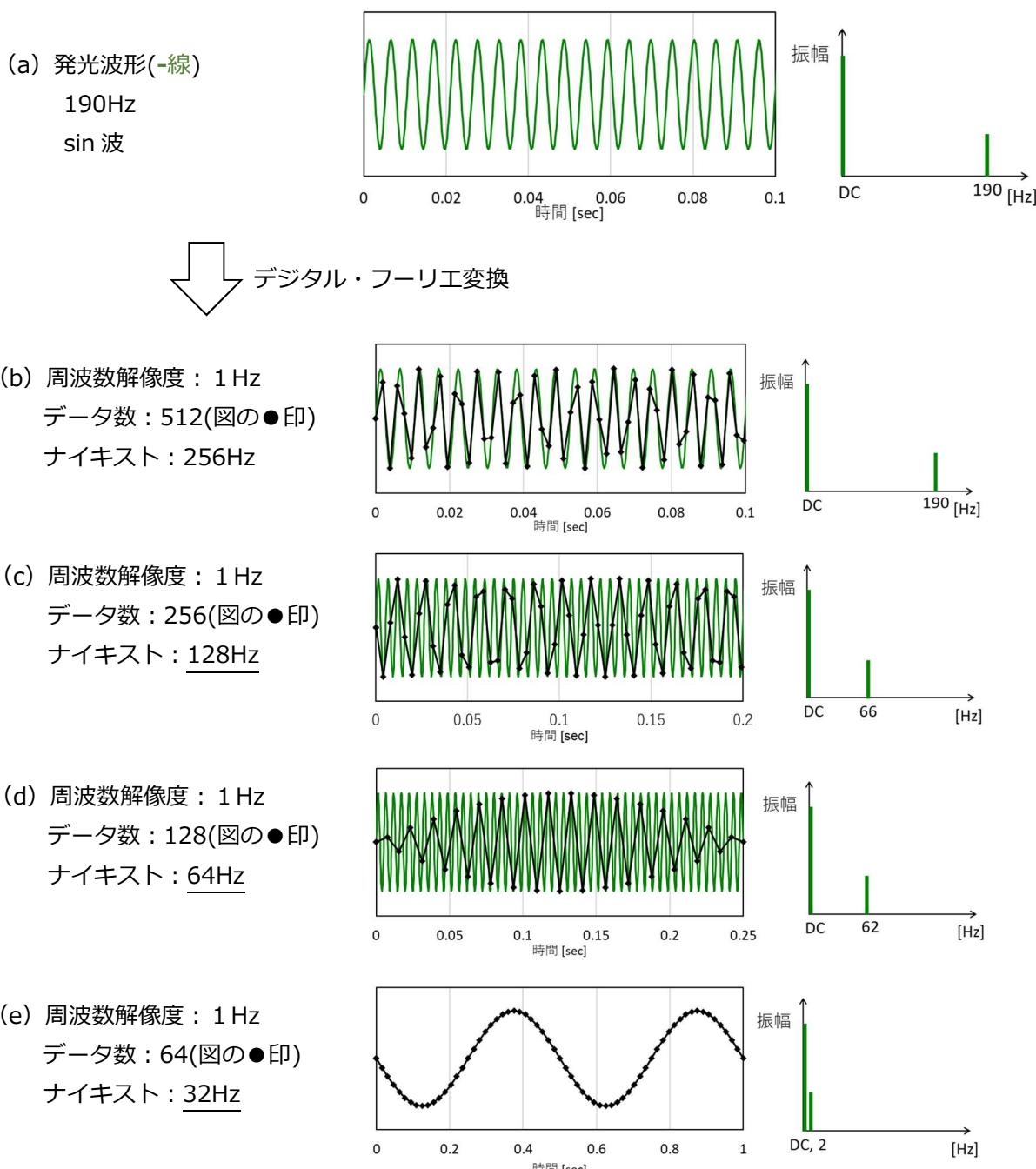


図 1-7-13 エイリアシングによる折返し雑音

以上を踏まえ、表 1-7-5 に推奨モードを整理します。JEITA フリッカーを計測したい場合は、CA-310 モードを使用してください。任意の周波数応答特性 (wight(k)) を活用することにより高周波フリッカを計測する場合には、Wide Frequency モードをご使用下さい。

表 1-7-5 検出回路方式と CA シリーズとの関係

目的	推奨モード
JEITA フリッカー計測 (微小フリッカーを含む)	CA-310 モード
高周波フリッカー計測 (任意の周波数応答特性を使用)	Wide Frequency モード

CA-410 シリーズでは、JEITA フリッカー測定条件として、周波数解像度とサンプリングデータ数を変更できるようになりました（サンプリングデータ数は、SDK でのみ変更可能となります）。

サンプリングデータ数を多くするほど繰返し性が向上します。一方でサンプリングデータ数増加に伴い演算時間が増加するため測定時間が若干増加します。

周波数解像度は、観測したい周波数の整数分の一に設定すると確度誤差を最小化することができます。測定対象の周波数が不明である場合は、周波数解像度を小さくするほど観測したい周波数に一致し易くなるため確度の向上が期待できますが、一方で測定時間が増加します。CA-310 と条件を合わせる場合には、周波数解像度 1Hz を選択ください。

1 – 8 Waveform 測定

CA-410 シリーズでは、測定対象の光波形を計測できるようになりました。1-5-1 で述べた通り、CA-410 シリーズ (CA-VP410, CA-VP427 を除く) は周波数特性が異なる 2 種類の検出回路を持ち、光波形計測時に 2 種類の回路のいづれかを選択することができます。

Wide Frequency モード : 電荷蓄積方式 高周波の輝度変動も計測できる。

CA-310 モード : 電流-電圧変換方式 人間が認知できない高周波の輝度変動をカットしている
(CA-310 互換モード)

以下では、まず光波形測定について説明し、その後、モードの差異によって生じるの取得光波形の違い、および推奨する使い分け方を説明します。

1 – 8 – 1 Waveform 測定の概要

ディスプレイの瞬間光量を一定の時間間隔で取得します。光量のサンプリング周期は、検出回路で異なります。最小サンプリング周期は、Wide Frequency モードでは 333μsec、CA-310 モードでは 33μsec、です。取得した光波形は、任意の周波数特性で重み付けすることができます。

1 – 8 – 2 Waveform 測定のデータ処理詳細

任意の周波数特性で重み付けされた光波形を取得にいたるまでの測定器内の処理内容を図 1-8-1 に示すフローに従い説明します。

(A) : センサー及び上記の検出回路の出力信号に対して、一定期間 A／D 変換を繰返し実行し、演算に必要なデジタル値を得ます (図の●印)。CA-310 モードでは、すでにここで高周波成分がカットされています。

(A) ~ (B) : このデジタル値に対して、デジタル・フーリエ変換を行い、各周波数成分に分解します。
この結果、(B) のデータを得ます。

(B) ~ (D) : この周波数成分に対して、任意の周波数応答特性 (C) を掛け合わせます。
この結果 (D) を得ます。

(D) ~ (E) : (D) を逆フーリエ変換することにより光波形 (E) を出力します。

Waveform 測定では、これら一連の処理を行うことにより、任意の周波数特性で重み付けする前の光波形 (A) と重み付け後の波形 (E) を取得します。

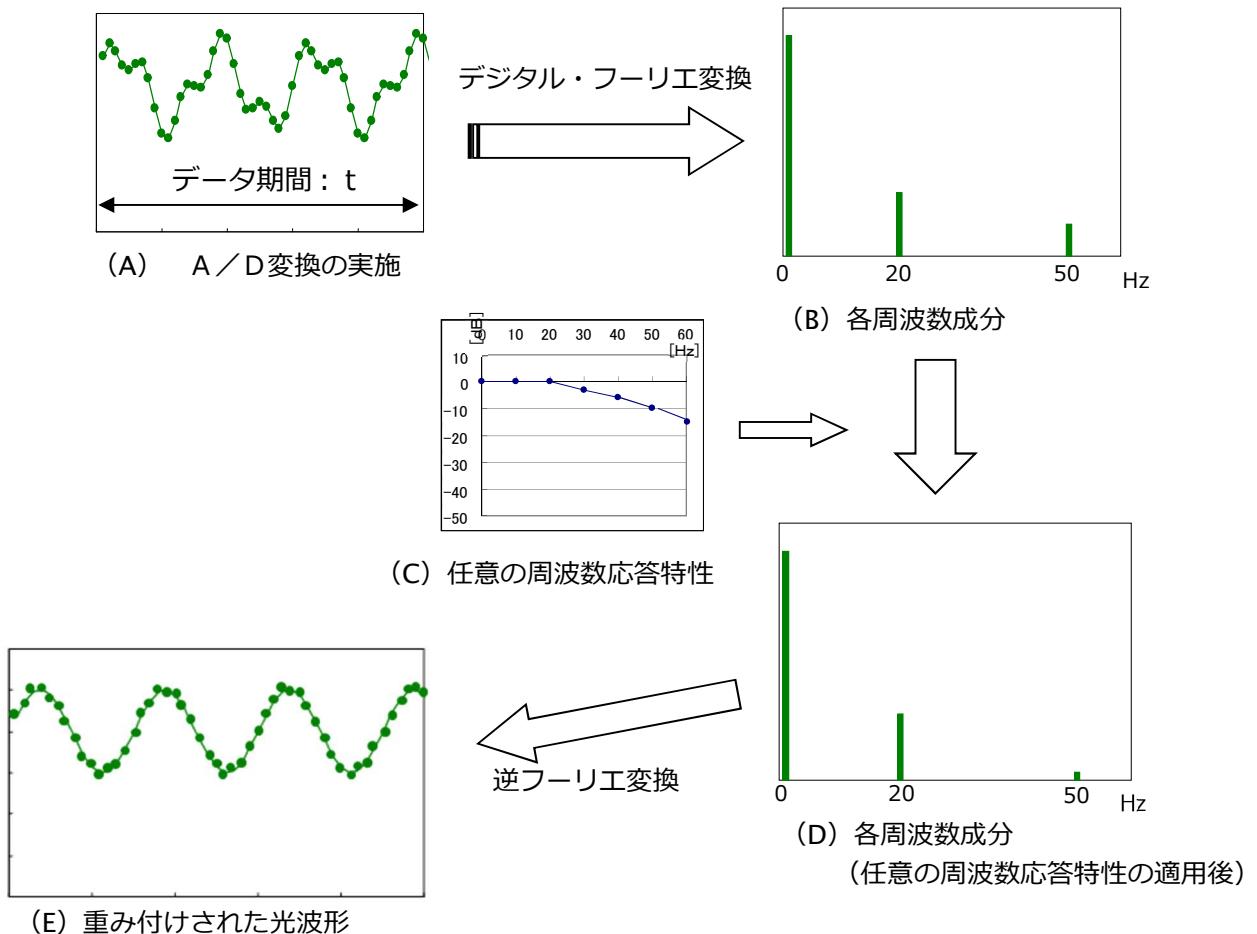


図 1-8-1 Waveform の処理フロー

任意の周波数特性で重み付けした波形 (E) を取得するにあたって、注意すべきことがあります。取得した光波形 (A) のデータ期間 (t) が輝度変動周期の整数倍では無い場合、任意の周波数特性で重み付けを行うと、演算後波形 (E) の先端部と後端部が歪むことがあります。これは、(*注 1-7-3) でも説明されていますが、本来フーリエ変換は無限長さ時間のデータを扱うことを前提にしているのに対して、デジタル・フーリエ変換が有限長さ時間のデータを連続的に無限に繰りかえされることを前提に演算していることに起因しています。

この波形歪み現象を解決するには、データ期間 (t) が、輝度変動周期に整合させる必要があります。CA-S40 では、解決手段として同期計測機能設定を備えております。輝度変動周波数が設定されると、サンプリング周期および取り込みデータ数を自動的に調整することによりデータ期間 (t) を光波形の周期に整合させます。なお、フリッカーレベルが大きい液晶ディスプレイを測定する場合には、図 1-7-3 で説明されるように、輝度変動周期の設定値を垂直同期周期の 2 倍値とすることを推奨します。

図 1-8-2 に Sin 波形で発光しているディスプレイを Low Pass Filter 掛けて取得した時の光波形例を示します。同期計測機能を有効にすることにより取得波形の先端／後端部で生じる歪みが解消されます。

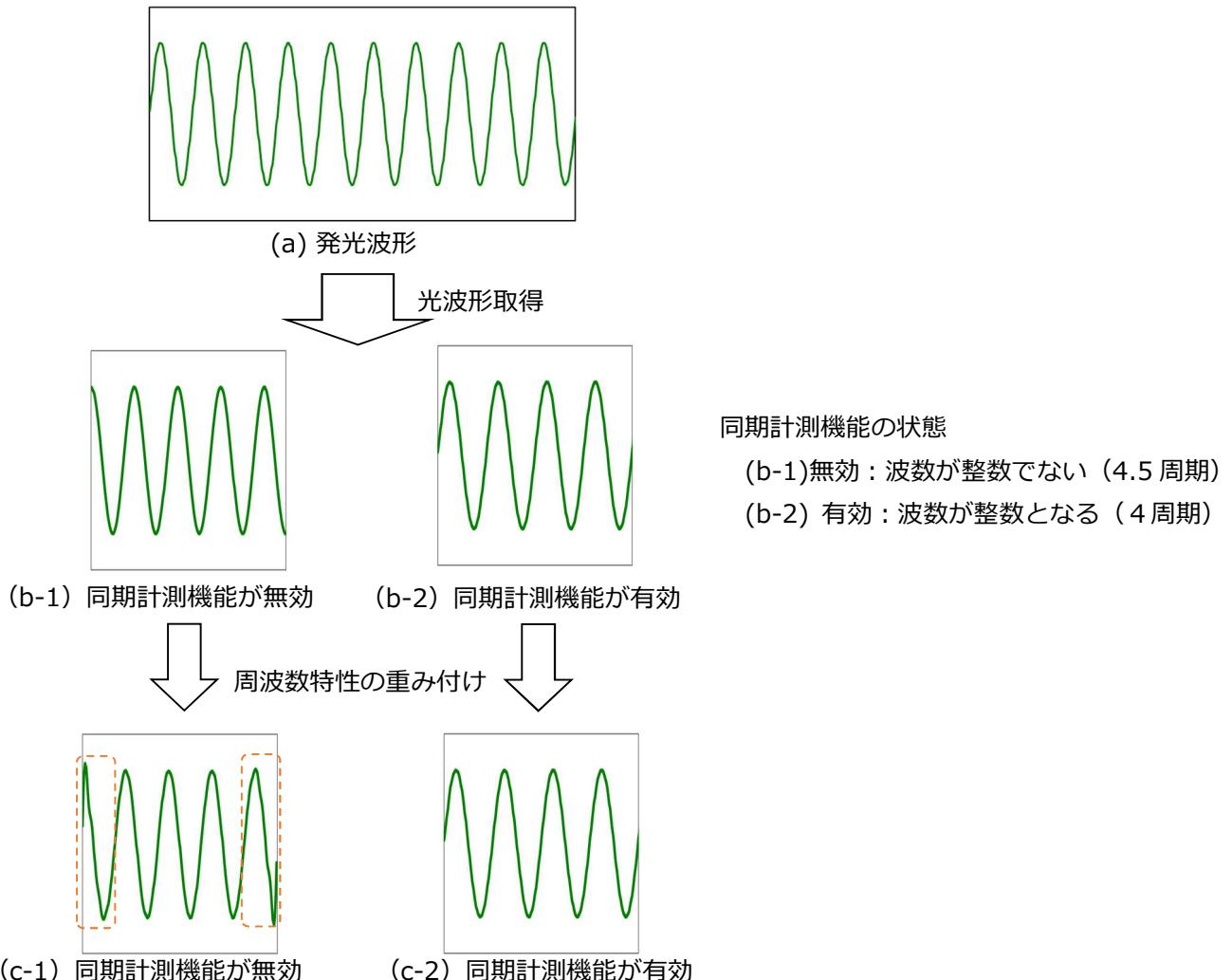


図 1-8-2 同期整合時の波形例

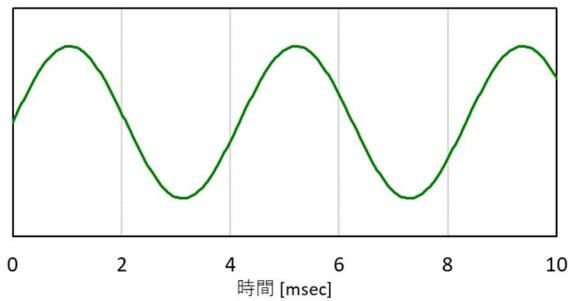
1 – 8 – 3 Waveform 測定の推奨モード

表 1-8-1 に各モードの特徴を整理します。Waveform 計測には、Wide Frequency モードを推奨します。

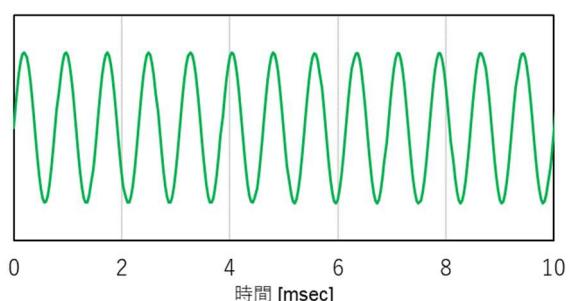
表 1-8-1 検出回路方式と CA シリーズとの関係

モード名	周波数特性	取得光波形	搭載機種	サンプリング周期(最小)	推奨
Wide Frequency モード	高周波の輝度変動も測定	発光波形に忠実な波形	CA-410 全モデル	333μsec	★
CA-310 モード	人間が認知できない輝度変動を減衰	視認できない高周波成分をカットした波形	CA-P4**, CA-MP410	33μsec	

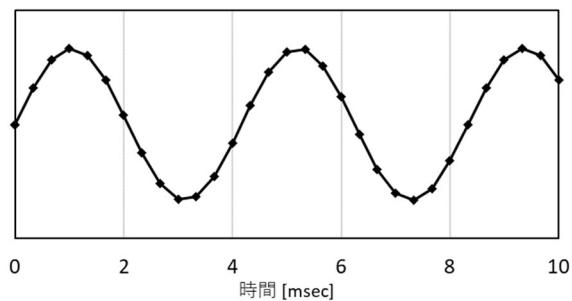
Wide Frequency モードでの取得波形の再現性を図 1-8-3 に示します。発光波形が高周波である場合は、光波形のサンプリングが輝度変動に追随できなくなります。このため波形再現性が低下するのでご注意下さい。



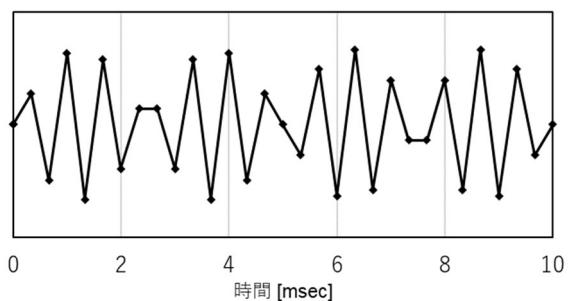
(a-1) 発光波形 240Hz



(a-2) 発光波形 1300Hz



(b-1) 取得波形 240Hz



(b-2) 取得波形 1300Hz

図 1-8-3 波形再現性 (Wide Frequency モード)

CA-410 技術資料

2. 確度定格・繰り返し性の定義

2-1 「輝度・色度」確度定格・繰り返し性の定義

2-1-1 確度

2-1-1-1 確度の定義

CCA-410 シリーズは国家標準へ遡ることが可能なトレーサビリティ体系を有しています（「[2-1-4 トレーサビリティ](#)」参照）。CA-410 の確度性能は、CA-410 トレーサビリティ体系の中に設けられた確度基準（基準測定器と基準光源）で規定される確度基準値からの差で定義されます。加えて、確度仕様を保証する所定の環境で生じ得る測定誤差を含め、製品の確度仕様として品質保証しています。

2-1-1-2 確度保証輝度範囲

カタログ等に記載の通り、CA-410 の確度仕様は輝度範囲ごとに規定、保証されています。これは測定対象の輝度に応じて電気回路に起因する誤差量が変動するためです。各輝度範囲ごとの仕様値は、輝度以外の諸特性（分光放射輝度、配光特性など）が変化しない光源を想定して決められています。

2-1-1-3 確度保証光源 さらに詳しく

刺激値直読式色彩計では、ある光源（ディスプレイ）を測定した場合に絶対値誤差がない場合でも、異なる光源を測定した場合には絶対値誤差が生じ得ます。また、同じ光源であっても、測定色が異なれば誤差が生じ得ます。（「[1-2-3 刺激値直読式色彩計の絶対値誤差](#)」参照）

従い、刺激値直読式色彩計では、確度保証する対象光源を規定しています。CA-410 はコニカミノルタが管理する確度基準光源にて確度仕様を保証しています。

分光放射輝度や配光特性などの光学諸特性が確度基準光源と類似する光源を測定する場合、絶対値誤差は小さいものとなります。そこで、CA-410 の確度基準光源には、測定対象となりうる中で最も一般的、標準的と言えるディスプレイの光学特性に類似する特性を持たせています。これにより、多くのディスプレイの測定において、優れた絶対値精度での測定が可能となっています。

なお、ここで述べた内容は、輝度、色度の両方について言えることです。

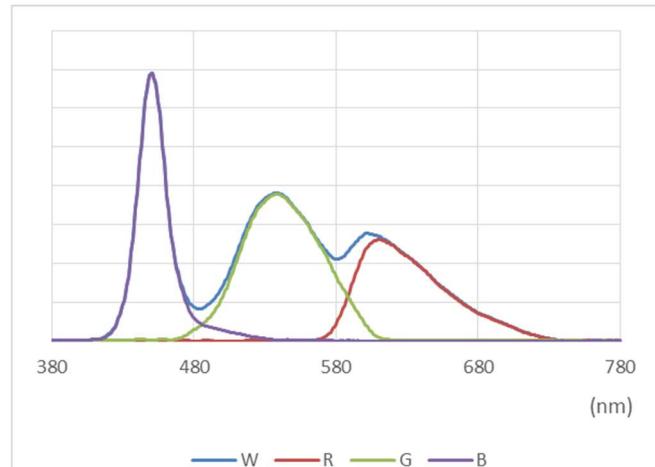


図 2-1-1 確度基準光源の分光放射輝度

2-1-2 繰返し性

2-1-2-1 繰返し性の定義

CA-410 の繰返し性は、同一条件下での複数回測定値の標準偏差の 2 倍 ($= 2\sigma$) で定義しています。

2-1-2-2 繰返し性の保証光源 さらに詳しく

CA-410 の繰返し性を保証する光源は 2-1-1-3 に記載の確度基準光源であり、測定色度については、6500K としています。これ以外の色を測定した場合は、繰返し性が異なります。白色 (6500K) と、それ以外の色である単色に対する繰返し性の実測結果を表 2-1-1 に示します。

表 2-1-1 CA-410 の繰返し性 (CA-VP427 の場合)

測定色	本体No	繰返し性		基準光		
		x	y	x	y	Lv
White	No.1	0.00002	0.00001	0.3137	0.3305	99.99
	No.2	0.00001	0.00001	0.3129	0.3296	99.68
	No.3	0.00001	0.00001	0.3129	0.3291	100.16
Red	No.1	0.00006	0.00004	0.6527	0.3457	21.43
	No.2	0.00005	0.00004	0.6526	0.3456	21.28
	No.3	0.00004	0.00003	0.6527	0.3457	21.45
Green	No.1	0.00002	0.00003	0.3072	0.6383	74.24
	No.2	0.00002	0.00003	0.3072	0.6383	74.01
	No.3	0.00002	0.00003	0.3072	0.6383	74.30
Blue	No.1	0.00002	0.00002	0.1506	0.0347	4.31
	No.2	0.00002	0.00001	0.1507	0.0350	4.37
	No.3	0.00002	0.00001	0.1506	0.0349	4.39

2-1-3 測定精度とは

確度には、繰返し性誤差は含まないことを述べました。つまり、確度と繰返し性は独立して定義しています。

従い、1 回測定した場合、測定値は真値に対し、図 2-1-2 に示すように「確度 + 繰返し」精度内にあることになります。

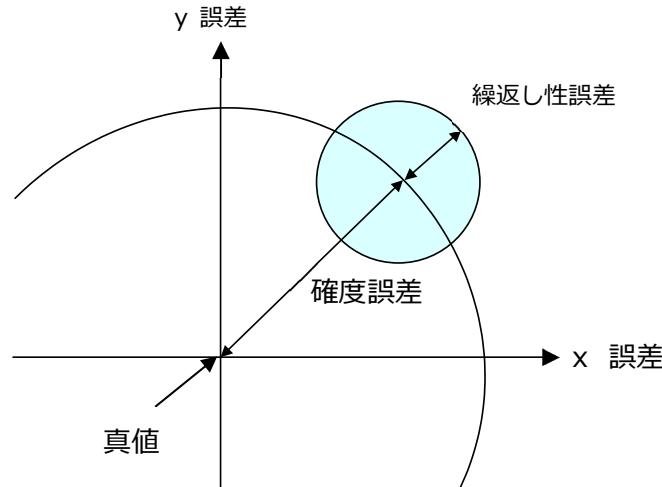


図 2-1-2 測定精度

2-1-4 トレーサビリティ

「測定器には厳密なトレーサビリティ体系を有すること」が求められており、CA-410 は図 2-1-3 に示すように国家標準へ遡ることが可能なトレーサビリティ体系を有しています。(※注 2-1-5)

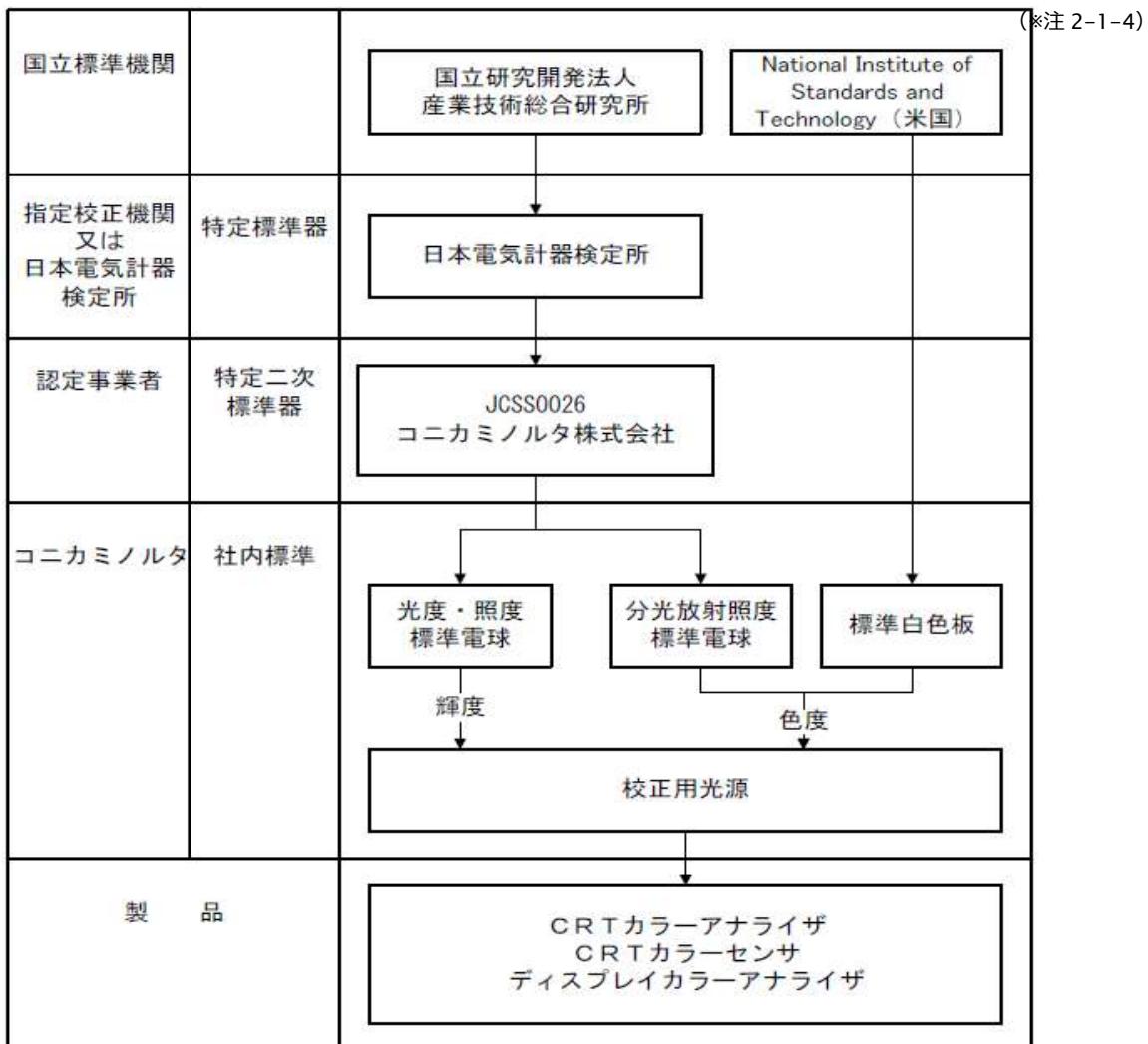


図 2-1-3 トレーサビリティ

(※注 2-1-4)

国立標準機関として

産業技術総合研究所（日本）

National Physical Laboratory（英国）

National Institute of Standards and Technology（米国）

等があります。

(※注 2-1-5)

例え、品質マネジメントシステムを規定した規格 ISO9001 : 2015 (JIS Q 9001:2015) の 7.1.5.2 項（測定のトレーサビリティ）には、

『測定のトレーサビリティが要求事項となっている場合、又は組織がそれを測定結果の妥当性に信頼を与えるための不可欠な要素とみなす場合には、測定機器は、次の事項を満たさなければならない。』

a) 定められた間隔で又は使用前に、国際計量標準又は国家計量標準に対してトレーサブルである計量標準に照らして校正若しくは検証、又はそれらの両方を行う。そのような標準が存在しない場合には、校正又は検証に用いたよりどころを、文書化した情報として保持する。』（以下省略）

と記載されています。

つまり、国際計量標準又は国家計量標準が存在する測定機器を使用する場合、その測定機器が国際計量標準又は国家計量標準にトレースされていることが義務付けられています。

2-2 「フリッカー」 確度・繰り返し性の定義 さらに詳しく

CA-410 シリーズの確度仕様を表 2-2-1 に示します。

この仕様に対する定義内容を以下に説明します。

表 2-2-1 CA-410 シリーズの確度仕様

フリッcker・コントラスト方式	測定範囲	CA-P410, CA-MP410 : 15~3000 cd/m ² CA-P427 : 5~1500 cd/m ²
	表示範囲	0.0~100.0%
	確度	±0.4% (30Hz AC/DC 10%正弦波) (※注 2-2-1) ±0.7% (60Hz AC/DC 10%正弦波) (※注 2-2-1)
	繰返し性	0.3% (2σ) (AC/DC 10%正弦波) (※注 2-2-1)
フリッcker・JEITA 方式	測定範囲	CA-P410, CA-MP410 : 15~3000 cd/m ² CA-P427 : 5~1500 cd/m ²
	確度	±0.35dB (30Hz AC/DC 4%, 1.2%正弦波)
	繰返し性	0.1dB (2σ) (30Hz AC/DC 4%正弦波) 0.3dB (2σ) (30Hz AC/DC 1.2%正弦波)

2-2-1 確度の定義

フリッcker値は直流成分と交流成分の比で表され、単位は無次元となります。従い、フリッcker値にはトレーサビリティ体系はありません。

仮に、フリッckerの絶対値が値付けられた光源が存在すれば、その光源を測定することで絶対値誤差（確度）を定義することができます。しかし、現実にはそのような光源は存在していません。そこで、CA-410 シリーズでは、以下の考え方に基づいて確度を定義しています。

2-2-1-1 基本的な考え方

CA-410 シリーズの、フリッcker測光系の構成及び確度の評価系の構成を以下に示します。(図 2-2-1)。

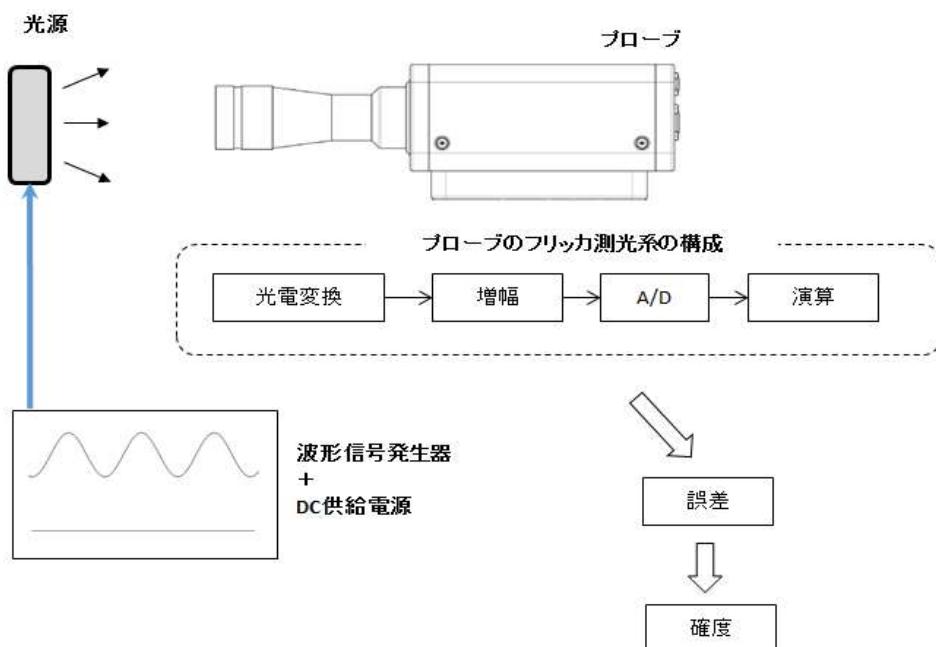


図 2-2-1 CA-410 の構成と確度

2-2-1-2 光源について

以下の実測に基づいて誤差を算出します。

波形信号発生器からの信号を重畠した供給電源で光源を駆動し、プローブに入射させます。波形信号発生器入力信号からのフリッカー値（※注 2-2-2）と出力されるフリッカー測定値の差を、絶対値誤差とします。この時の波形信号発生器から出力される信号は、

交流成分／直流成分比	10%
交流周波数	30Hz, 60Hz (JEITA 方式は 30Hz のみ)
信号波形	sin カーブ

としています。また、直流成分信号レベルは、

CA-P410, CA-MP410 ----- 輝度 15 cd/m²相当以上

CA-P427 ----- 輝度 5 cd/m²相当以上

としています。

2-2-1-3 プローブ部について

プローブのフリッカー測光系の構成は、センサーを含む光電変換回路、增幅回路、A/D 変換、演算部から構成されています。これら構成要素ごとに誤差因子を抽出し、その合計をもって絶対値誤差とします。

特に、増幅回路部はローパスフィルターを形成しており、素子バラツキが交流成分増幅比に影響を与えることで誤差が発生します。プローブ部の誤差は主に、この部分に起因しています。

設計上予測される素子バラツキから机上計算により算出される誤差の最大値を、絶対値誤差と定義しています。

2-2-1-4 CA-410 シリーズの確度

CA-410 シリーズの確度を定義するにあたっては、繰返し性誤差は含まないものとし、複数回測定した場合の平均値を用いています。コントラスト方式、JEITA 方式とも同じ考え方で確度を定義しています。

2-2-2 繰返し性の定義

CA-410 シリーズの繰返し性は、以下の①②の繰返し性に差がないことを、実機検証確認した上で、①に対して定義しています。繰返し性誤差は、その条件下での複数回測定値の標準偏差の 2 倍 (= 2σ) で定義しています。

① プローブ部から入力されるセンサー信号の代わりに、波形信号発生器から信号を本体に入力した時の測定値

交流成分／直流成分比	10%
交流周波数	20~75Hz (JEITA 方式は 30Hz のみ)
信号波形	sin カーブ

② 以下のように調整した液晶を測定した時の測定値

交流成分／直流成分比	10% (CA-410 シリーズ コントラスト・フリッcker 値)
垂直同期周波数	60Hz (フリッcker 交流成分周波数 30Hz)

2-2-3 測定精度

確度には、繰返し性誤差は含まないことを述べました。つまり、確度と繰返し性は独立して定義されています。従い、1回測定した場合、測定値は真値に対し、図2-2-2に示すように「確度+繰返し」精度内にあることになります。

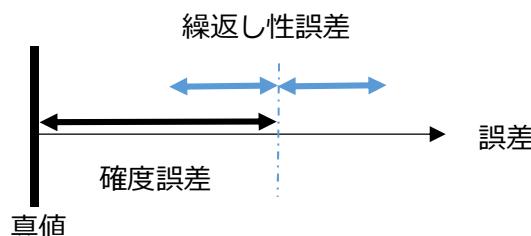


図2-2-2 測定精度

(※注2-2-1)

フリッカーコントラスト方式の“確度”と“繰り返し性”的単位である“%”は、交流成分／直流成分比のことです。例えば、フリッカーカー値10%において、確度±0.4%とは、確度が9.6%～10.4%以内であることを意味します。同様に、フリッカーカー値10%において、繰返し性0.3%（2σ）とは、繰返し測定した場合に、測定値が9.7%～10.3%の範囲でバラツキ（2σ）をもつことを意味します。

(※注2-2-2)

波形信号発生器入力信号から予測されるフリッカーカー値を算出する、交流成分、直流成分は波形信号発生器の設定値を用いています。例えば、

交流成分／直流成分比	10%
交流周波数	30Hz、60Hz（JEITA方式は30Hzのみ）
信号波形	sinカーブ

の信号波形に対して、コントラスト方式、JEITA方式のフリッカーカー値（真値）は以下のようになります。

・コントラスト方式では、
交流成分／直流成分比がそのままフリッカーカー値になるので、
フリッカーカー値は 10 [%]

・JEITA方式では、この例の場合
直流成分（0Hz）のFFT出力は400（=FFT(0Hz)）
交流成分（30Hz）のFFT出力は10（=FFT(30Hz)）
直流成分の積分器の增幅比（減衰比）は 100%（=weight(0Hz)）
交流成分30Hzの積分器の增幅比（減衰比）は 70.8%（=weight(30Hz)）
となります。

以上より、JEITA方式定義式に基づき、フリッカーカー値は

$$20 \times \log \frac{(\sqrt{2} \times \text{weight}(30Hz) \times \text{FFT}(30Hz))}{\text{weight}(0Hz) \times \text{FFT}(0Hz)}$$

$$= -32.03 \text{ [dB]}$$

となります。（[1-7 フリッカーカー測定](#)参照）

CA-410 技術資料

3. 関連規格

3-1 IEC 規格と CA-410 の関係

3-1-1 はじめに

ディスプレイパネルの評価方法を規定した規格としては、以下の2つの規格が有名です。

・IEC(International Electrotechnical Commission)による IEC61747-30-1 (Liquid crystal display devices - Part 30-1: Measuring methods for liquid crystal display modules - Transmissive type) および IEC 62341-6-3 (Organic light emitting diode (OLED) displays - Part 6-3: Measuring methods of image quality)

・ICDM(International Committee for Display Metrology)による IDMS ver1.03

ここでは、IEC61747-30-1 規格の概要を説明するとともに、CA-410 と規格に規定された評価方法との関係について述べます。

3-1-2 評価項目と CA-410 の関係

IEC61747-30-1 に規定されている評価項目は表 3-1-1 に示すように 12 項目あります。

色彩計の仕様上の特長から、評価項目によっては測定に不適な項目があります。この適／不適を判断する色彩計の性能仕様上の特長としては以下の点があります。

- ・白色を高精度に測定できる（輝度、色度）
- ・単色を高精度に測定できる（輝度、色度）
- ・低輝度で高精度に測定できる
- ・測定距離、深度が大きい（ディスプレイパネルを傾けても妨げとならない）
- ・m s オーダーの測定追随性がある
- ・多点測定が可能である

色彩計に要求される仕様と、色彩計で測定すべき評価項目の関係を表 3-1-1 に示します。特に、CA-410 が適している評価項目、備えている仕様を青字で示し、適さない評価項目、備えていない仕様を赤字で示しています。

表 3-1-1 色彩計の仕様と評価項目の関係

	評価項目	白色 輝度	単色	低輝度	距離	m s の 追随性	多点
6.1	Luminance - photometric	○		○			○
6.2	Contrast ratio	○		○			○
6.3	Chromaticity and reproduction of colour	○	○				
6.4	Viewing angle range	○			○		
6.5	Electro-optical transfer function - photometric	○					
6.6	Electro-optical transfer function - colorimetric	○					
6.7	Lateral variations (photometric, colorimetric)	---	---	---	---	---	---
6.7.3~6	Uniformity	○					○
6.7.7	Cross-talk	○		○			○
6.7.8	* Mura	---	---	---	---	---	---
6.7.9	* Image sticking	---	---	---	---	---	---
6.8	Reflectance from the active area surface	○			○		

6.9	Spectral transmittance factor						
6.10	Temporal variations	---	---	---	---	---	---
6.10.1	Response time	○				○	
6.10.2	Flicker / frame response (multiplexed displays)	○					○
6.11	Electrical characteristics	---	---	---	---	---	---
6.12	Warm-up characteristics	○					

* To be implemented in a later revision of this standard.

「Contrast ratio」「Cross-talk」の評価には、低輝度測定が必須です。また、「reproduction of colour」の評価には、単色で高精度に測定する必要があります。CA-410 は、これらの項目の評価が可能な仕様を備えており、表 3-1-1 に示したようにフリッカーメータ測定機能を含む計 9 個の小項目の評価を行うことができます。

IEC61747-30-1 では、標準的な液晶パネルを色彩計で評価する場合には、評価エリアは 500 ドット以上含むものであると規定しています。CA-410 はこの条件を満たしています。

表 3-1-1 に示した、色彩計を用いて評価する項目は全て、「暗室条件」(照度 1lx 以下) で行うこととしています。CA-410 は遮光筒を装着可能なので、「暗室条件」を実現し易くなっています。

また、多点測定が可能なため、複数点測定を必要とする場合に効率的な評価が可能です。

ところで、規格のうち、CA-410 の評価に適さない項目もあります。例えば視野角関係（鏡面反射率含む）の評価については、液晶に対して垂直方向からの測定は可能ですが、斜めの深い角度からの測定には、測定距離が 30mm であること、その前後方向の許容値は $\pm 10\text{mm}$ であることから、測定できる角度が限られる可能性があります。

3 – 1 – 3 評価項目の概要説明

以下に、IEC61747-30-1 に規定された評価項目のうち、CA-410 で測定可能な項目について概要を説明します。（詳細については、IEC61747-30-1 規格書をお読み下さい（※注-1-1））

Luminance

画面全体に白色、黒色を表示させ、それぞれの輝度 L_w 、 L_k を画面中央において測定します。

Contrast ratio

画面全体に白色、黒色を表示させ、それぞれの輝度 L_{max} 、 L_{min} を画面中央において測定し、コントラスト比を評価します。

評価する表示パターンは、画面全体表示、またはウインドウ（全画面の 1 / 6）表示のいずれかとします。特に、ウインドウ評価時には、白部分と黒部分にまたがって測定しないように留意する必要があります。

コントラスト = L_{max} / L_{min}

で定義します。

Chromaticity and reproduction of colour

白色の色度を評価します。

評価する表示パターンはコントラスト比を最大にした時の全白表示パターンとします。

また、コントラスト比が最大となる条件で液晶に R,G,B 単色を表示、測定することで色再現が可能な色度範囲を評価します。

Electro-optical transfer function – photometric

画面全体に駆動信号を供給し、光出力が安定するのを待った後、輝度を測定します。電気駆動状態の機能にしたがって輝度を得ます。

Electro-optical transfer function – colorimetric

画面全体に駆動信号を供給し、光出力が安定するのを待った後、色度を測定します。電気駆動状態の機能にしたがって色度を得ます。

Uniformity

表示面の輝度均一性を評価します。

評価する表示パターンはコントラスト比を最大にした時の全白表示パターンとし、測定点は、5点あるいは9点のいずれかとします。

$LNU = (L - Ld) / L [\%]$ (L : 輝度平均 Ld : 各点の輝度)

で定義します。

Cross-talk

周辺領域と中間領域を定義します。周辺領域、中間領域共に ON した際の周辺領域の輝度を $LONref$ とし、中間領域のみ OFF した際の周辺領域の輝度を $LOFF$ とした時、

クロストーク OFF/ON = $| (L OFF - L ONref) / L ONref | [\%]$

で定義します。

また、周辺領域、中間領域共に OFF した際の周辺領域の輝度を $LOFFref$ とし、中間領域のみ ON した際の周辺領域の輝度を LON とした時、

クロストーク ON/OFF = $| (L ON - L OFFref) / L OFFref | [\%]$

で定義します。

(あるエリアに表示している表示パターンの輝度・色度が、他の領域の表示パターンの輝度・色度の影響を受けて変化することをクロストークといいます)

Flicker

フリッカー発生時の輝度変化特性を測定し、その周波数成分を求めた後、DC成分パワースペクトル ($P0$) と最大周波数成分パワースペクトル (Pf) の比に基づいて下式に基づいてフリッカー値を算出します。

フリッカー値 = $10 \log (Pf / P0) [\text{dB}]$

なお、輝度変化特性は「人間の目の周波数応答特性」が反映されたものとします。(「1-7 フリッカーの測定」参照)

Warm-up characteristics

最大輝度表示となる条件での、通電後の輝度変化を経時時間に応じて(数分間隔で、輝度が十分安定するまで)測定します。通電前に温度を標準測定状態に十分合わせることに留意する必要があります。

(※注 3-1-1)

規格本文は以下の IEC の web site から購入することができます。

<https://webstore.iec.ch/publication/5759>

3-2 IDMS 規格と CA-410 の関係

3-2-1 はじめに

ディスプレイパネルの評価方法を規定した規格としては、以下の2つの規格が有名です。

- ・IEC(International Electrotechnical Commission)による IEC61747-30-1 および IEC 62341-6-3
- ・ICDM(International Committee for Display Metrology)による IDMS ver1.03

ここでは、IDMS 規格の概要を説明するとともに、CA-410 と規格に規定された評価方法との関係について述べます。

3-2-2 評価項目と CA-410 の関係

ICDM規格には10の大項目の下に、合計186の評価項目が規定されています。このうち多くの項目が、色彩計（輝度計）を用いて評価する項目です。これらの項目の内、主なものを表3-2-1に示します。

色彩計の仕様上の特長から、評価項目によっては不適な項目があります。この適／不適を判断する色彩計の性能仕様上の特長としては以下の点があります。

- ・白色を高精度に測定できる（輝度、色度）
- ・単色を高精度に測定できる（輝度、色度）
- ・低輝度で高精度に測定できる
- ・測定距離、深度が大きい（液晶パネルを傾けても妨げとならない）
- ・msオーダーの測定追随性がある
- ・μmオーダーの測定解像度がある
- ・多点測定が可能である

色彩計に要求される仕様と、色彩計で測定すべき評価項目の関係を表3-2-1に示します。表中の○印は、その評価項目を測定するために、色彩計に必要とされる仕様であることを意味します。特に、CA-410が適している評価項目、備えている仕様を青字で示し、適さない評価項目、備えていない仕様を赤字で示します。

表 3-2-1 色彩計の仕様と評価項目の関係

項目	評価項目	白色 輝度	単色	低輝度	距離	msの 追随性	μmの 解像度	多点
5.2	MEASUREMENT REPEATABILITY	○	○	○				
5.3	FULL-SCREEN WHITE	○						
5.6	FULL-SCREEN BLACK	○		○				
5.10	SEQUENTIAL CONTRAST	○		○				
5.14	FULL-SCREEN PRIMARY COLORS (R, G, and B)		○					
5.18	GAMUT AREA		○					
5.19	WHITE-POINT ACCURACY	○	○					
5.21	LUMINANCE ADJUSTMENT RANGE	○		○				
5.23	HALATION	○		○				
5.24	LOADING	○		○				
5.26	CHECKERBOARD LUMINANCE & CONTRAST (n x m)	○		○				○
5.28	CONTRAST OF CENTERED BOX		○					
5.29	TRANSVERSE CONTRAST OF CENTERED BOX	○		○				
6.1	GRAY SCALE	○		○				

6.2	PRIMARY COLOR SCALES		○	○				
6.15	GRAY-SCALE COLOR CHANGES	○		○				
7.1	LINE LUMINANCE & CONTRAST						○	
8.1	SAMPLED UNIFORMITY	○		○				○
8.1.1	SAMPLED CONTRAST UNIFORMITY	○		○				○
8.2.3	MURA ANALYSIS						○	
9.1	FOUR-POINT VIEWING ANGLES				○			
10.1	WARM-UP TIME	○						
10.2.2	RESPONSE TIME					○		
10.4	RESIDUAL IMAGE	○		○				
10.5	FLICKER	○						
11.1.1	LINEAR SUPERPOSITION & SCALING (REFLECTION)	○			○			

上表の大項目は、それぞれ以下の分類となります。

- | | |
|---|--------------------------------------|
| (5) FUNDAMENTAL MEASUREMENTS | (6) GRAY- & COLOR-SCALE MEASUREMENTS |
| (7) SPATIAL MEASUREMENTS | (8) UNIFORMITY MEASUREMENTS |
| (9) VIEWING-ANGLE MEASUREMENTS | (10) TEMPORAL MEASUREMENTS |
| (11) REFLECTION MEASUREMENTS | (12) MOTION-ARTIFACT MEASUREMENTS |
| (13) PHYSICAL & MECHANICAL MEASUREMENTS | (14) ELECTRICAL MEASUREMENTS |

3 – 2 – 3 評価項目の概要説明

以下に、ICDM 規格に規定された評価項目のうち、CA-410 で測定可能な項目について概要を説明します。

(詳細については、ICDM 規格書をお読みください (※注 3-2-1))

MEASUREMENT REPEATABILITY

画面全体に白色を表示させ、輝度、色度を評価します。

FULL-SCREEN WHITE

画面全体に白色を表示させ、その中央部の輝度、色度を評価します。

FULL-SCREEN BLACK

画面全体に黒色を表示させ、その中央部の輝度、色度を評価します。

SEQUENTIAL CONTRAST

画面全体に白色、黒色を交互に表示させ、それぞれの輝度 L_w , L_k を測定し、コントラストを評価します。

なお、画面全体に表示しない場合、あるいは垂直方向から測定していない場合には、その条件をコントラスト値に付記することとしています。

コントラスト = L_w / L_k

で定義します。

FULL-SCREEN PRIMARY COLORS (R, G, and B)

画面全体に R G B 単色を表示させ、その中央部の輝度、色度を評価します。

GAMUT AREA

画面全体に R G B 単色を表示させ、その中央部の輝度、色度を評価します。

WHITE-POINT ACCURACY

画面全体に白色を表示させ、その中央部の輝度、色度を評価します。

LUMINANCE ADJUSTMENT RANGE

輝度調整機能を具備しているディスプレイにおいて、調整可能な最大輝度（L max）、最小輝度（L min）を表示させ、測定します。

調整可能輝度幅 = $(L_{max} - L_{min}) / L_{max} [\%]$
で定義します。

HALATION

白色を背景色とし、その中央の黒色ウインドウ部の大きさを順次変化させ、その中央部の輝度を各々測定します。

この結果、黒色ウインドウ部の大きさと輝度の特性を得ることができます。

上記測定で得た最大輝度を L max、画面全体に黒色表示した場合の輝度を L k、画面全体に白色表示した場合の輝度を L w とすると、

ハレーション = $(L_{max} - L_k) / L_w$
で定義します。

LOADING

黒色を背景色とし、その中央の白色ウインドウ部の大きさを順次変化させ、その中央部の輝度を各々測定します。

この結果、白色ウインドウ部の大きさと輝度の特性を得ることができます。

上記測定で得た最大輝度を L ext、画面全体に白色表示した場合の輝度を L w とすると、

ローディング = $(L_{ext} - L_w) / L_w$
で定義します。

CHECKERBOARD LUMINANCE & CONTRAST (n×m)

市松模様（図 3-2-1）を表示し、その白色部、黒色部の輝度、コントラスト比を評価します。

コントラストの定義は「SEQUENTIAL CONTRAST」に同じです。

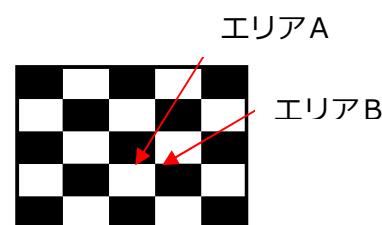


図 3-2-1 市松模様

CONTRAST OF CENTERED BOX

黒色を背景色とし、その中央に白色ウインドウ（全画面の 1/5 ~ 1/6）を表示させ、ウインドウ内の 1 点の輝度（L w）、ウインドウ外の周辺部 8 点の平均輝度（L k）を測定し、コントラストを評価します。

コントラスト = L_w / L_k
で定義します。

TRANSVERSE CONTRAST OF CENTERED BOX

黒色を背景色とし、その中央に白色ウインドウ（全画面の 1 / 5 ~ 1 / 6）を表示させ、ウインドウ内の 1 点の輝度（L_w）、ウインドウ左右 2 点の平均輝度（L_k）を測定します。
 コントラスト = L_w / L_k
 で定義します。

GRAY SCALE

画面に 9 段階のグレー色（あるいは 17 段階）を順次表示させ、その中央部の輝度を各々評価します。この結果、 γ 特性（入力信号—発光強度特性）を得ることができます。

PRIMARY COLOR SCALES

画面に 9 段階の RGB 単色（あるいは 17 段階）を順次表示させ、その中央部の輝度を各々評価します。この結果、RGB 単色の γ 特性（入力信号—発光強度特性）を得ることができます。

GRAY-SCALE COLOR CHANGES

画面全体に 9 段階のグレー色（あるいは 17 段階）を順次表示させ、その中央部の色度を各々測定します。

この結果、輝度変化に伴う色度変化を評価することができます。

色度変化量は u'v' 座標系上の距離で定義します。

SAMPLED UNIFORMITY

画面全体に白色、あるいは黒色、グレー色、カラー色を表示させ、画面上の 5 点（または 9 点）の輝度、色度を測定、比較することにより輝度ユニフォーミティ、色度ユニフォーミティを評価します。全測定値に対する最大輝度を L_{max}、最小輝度を L_{min} とすると

輝度ユニフォーミティ = (L_{max} - L_{min}) / L_{max} [%]

で定義します。

色度ユニフォーミティは u'v' 座標系上の測定値間の最大距離で定義します。

SAMPLED CONTRAST UNIFORMITY

画面全体に白色、黒色を交互に表示させ、画面上の 5 点（または 9 点）の輝度、色度を測定、比較することによりコントラスト・ユニフォーミティを評価します。

各測定点 i の最大輝度を L_{wi}、最小輝度を L_{ki} とすると

コントラスト C_i = L_{wi} / L_{ki} [%]

で定義します。

C_i の最大値を C_{max}、最小値を C_{min} とすると、

コントラスト・ユニフォーミティ = (C_{max} - C_{min}) / C_{max} [%]

で定義します。

WARM-UP TIME

白色表示において、通電後の経時時間に対する輝度変化を逐次測定することにより、時間あたりの輝度変化率が 5 %以下（安定時輝度を基準とする）となるまでの時間を評価します。

通電前に温度を標準測定状態に十分合わせることに留意する必要があります。

RESIDUAL IMAGE

市松模様を表示した後の、残像を評価します。

FLICKER

フリッカー発生時の輝度変化特性を測定し、その周波数成分を求めた後、DC成分と最大周波数成分の比に基づいてフリッカー値を算出します。輝度変化特性は「人間の目の周波数応答特性」が反映されたものとします。[〔1-7 フリッカーの測定〕参照](#)

(※注 3-2-1)

規格本文は以下の website からダウンロードすることができます。

<http://icdm-sid.org/downloads/idms1.html>

3-3 sRGBとは

従来より、画像出力機器（ディスプレイ、プリンター）が output する画像と実物の色に差があることが課題となっていました。

これを解決する手段として、以下の 2 つの方法が提言されてきました。

- ① 画像入出力機器が、それぞれ色補正プロファイルによる補正を行う。
- ② 画像入出力機器が、それぞれが共有する色空間（標準色空間）をもつ。

①の方式としては、ICC (International Colour Consortium) による方法が有名です。この方法は、忠実な色再現が可能であるものの、対象画像に入出力色空間のプロファイルを添付する必要があり、機器に求められる処理負荷が重くなるという問題があります。

②の方式では、画像入出力機器が標準色空間に基づき画像情報を管理することにより、機器に大きな負荷をかけることなく実物に忠実な色再現を行うことができるようになります。

sRGB とは、この②の方式に基づく標準色空間のひとつで、IEC-61966-2-1 として制定されました。現在、デジタルカメラ、液晶、CRT、プリンターなど、代表的な画像入出力機器において sRGB 準拠の製品が発売されています。また、多くの Web 言語、OS にもデフォルト色空間として採用されるに至っています。

sRGB で定義された標準色空間を表 3-3-1、図 3-3-1 に示します。また、ディスプレイが目標とすべきリファレンス条件を表 2 に示します。

表 3-3-3、図 3-3-1 には従来より CRT において定義されている NTSC 色空間も示しています。

表 3-3-1 sRGB の色空間座標

	R	G	B
x	0.64	0.30	0.15
y	0.33	0.60	0.06

表 3-3-2 sRGB のリファレンス条件

輝度レベル	80cd/m ²
白色点	D65 (x = 0.3127, y = 0.3291)
ガンマ特性	$\gamma = 2.2$

表 3-3-3 NTSC の色空間座標

	R	G	B
x	0.67	0.21	0.14
y	0.33	0.71	0.08

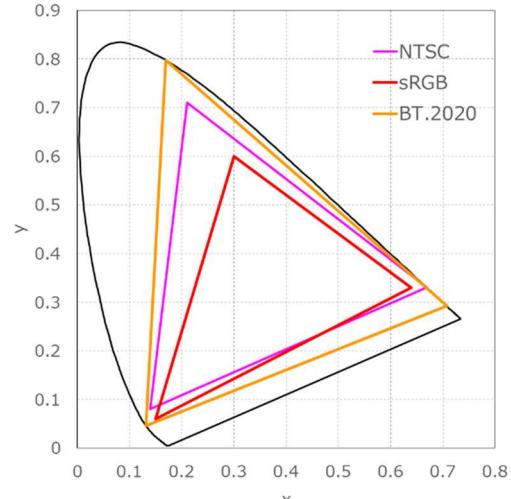


図 3-3-1 sRGB, BT.2020 の色空間

参考文献

- ・杉浦博明 : 映像情報メディア学会誌, Vol.56 No.8 1247-1248 (2002)

3 - 4 BT.2020 とは

従来より、表色系は、色域などの性能要求条件に加え、表示デバイスの技術的制約も考慮して定められてきました。HDTV を超える高い臨場感・実物感を提供するテレビジョンシステムとして超高精細度テレビジョン (UHDTV) の仕様が検討された 2000 年代後半には、CRT からフラットパネルディスプレイへの移行が進み、また、デジタルシネマで用いられる DCI-P3 や電子出版で用いられる AdobeRGB など HDTV よりも広い色域の映像が使用され、もはや CRT の蛍光体に基づく三原色を踏襲する必要はなくなりました。そこで、既存のテレビジョンや映画等の映像産業で使用されている色域を包含するとともに、実在する物体のほぼすべての色を RGB 三原色で表現可能な高色域表色系として、スペクトル軌跡上に三原色をとる高色域表色系が ITU-R 勧告 BT.2020 に採用されました。

BT.2020 で定義された色空間を表 3-4-1、図 3-3-1 に示します。

表 3-4-1 BT.2020 の色空間座標

Chromaticity coordinates (CIE, 1931)	x	y
Red primary (R)	0.708	0.292
Green primary (G)	0.170	0.797
Blue primary (B)	0.131	0.046
Reference white (D65)	0.3127	0.3290

参考文献

- ・西田幸博 : 映像情報メディア学会誌, Vol.70 No. 3 407 (2016)