

ICT分野をターゲットとした分光測色計CF-300の開発

Development of the CF-300 Spectrophotometer Targeting the Field of ICT

石田 耕一*
Kouichi ISHIDA

佐藤 真*
Makoto SATO

久保 直樹*
Naoki KUBO

川崎 貴志*
Takashi KAWASAKI

要旨

工業製品の分野では色の品質管理を定量的に行うために、測色計を使用した色管理が行われている。近年ICT分野の製品の色管理においては、従来の測色計では測定が難しいケース、例えばデザイン性の高い形状や微小部品の測定、タクトタイム短縮やメンテナンスフリー化、測色計間で発生する測定誤差（以下、器差とする）抑制や製品を傷つけない非接触での測定が求められる。

我々はこれらの課題を解決するため、微小エリアの測定が可能で、かつ非接触で高速に測定できる分光測色計『CF-300』を開発した。

CF-300では、超微小エリアを測定する場合に試料の測定位置を確認するために、測定光路内に測定位置観察用光源LEDを出し入れ可能な構成で配置することにより、容易なメカ構成で正確な位置に点像を投影できるポインター機構を実現した。また、タクトタイムの短縮やメンテナンスフリーのために測定用照明光源としてLED光源を採用し、LED個体ごとの励起波長ばらつきを補正するスペクトル補正技術により器差の抑制を実現した。さらに、非接触測定の際の試料と測色計の間の距離の変動により生じる測定誤差を抑制するために、①大型積分球（Φ152mm）の採用と、②測定開口の大型化の2点の設計上の対応を行うことにより、非接触測定時の課題を解決した。

本稿では、主にICT分野で求められるデザイン品質を確保するため、生産現場で求められる色管理に適したCF-300のコア技術について紹介する。これら技術はいずれも、高品質な製品を生産する顧客にとって有用であり、生産現場での変革に貢献している。

Abstract

Among industrial products, color management using a colorimeter is carried out in order to quantitatively control color quality. In recent years, there have been various demands in the color management of products in the field of ICT (information and communication technology). These demands include: shorter takt time; freedom from maintenance; damage-free, non-contact measurement; reduction in instrumental measurement error; and measurement of complexly shaped products or of minute components which are difficult to measure with conventional colorimeters.

In response, we have developed the CF-300 spectrophotometer, which can perform non-contact, high-speed measurement in small areas. To specify a measurement point in a minute area on a measurement sample at the time of measurement, the CF-300 employs a simple pointer mechanism to project a light spot. This pointer mechanism employs an LED (light emitting diode) light source for measurement point positioning which is retractable along the optical path of measurement. In addition, an LED is used as a measurement light source for shorter takt time and freedom from maintenance, and to correct variations of the excitation wavelength among individual LEDs so that spectral correction is realized. In addition, to reduce measurement error caused by the variation of the distance between a sample and the CF-300 at the time of non-contact measurement, a large integrating sphere with a diameter of 152 mm is employed, and a measurement aperture is designed larger than earlier instruments.

This paper introduces the core technologies of the CF-300, which is technologies are suitable for the color management required on production sites to secure the quality of design required in the ICT field.

*産業光学システム事業本部 センシング事業部開発部

1 はじめに

工業製品の分野では色の品質管理を定量的に行うために、目視による色管理に代わって測色計を使用した色管理が行われている。

近年ICT分野、特にスマートフォンなどのデザイン性の高い形状の部品やサイズの小さな部品などにおいては、従来の測定エリアが大きな測色計では、正しい測定値を得ることができず、色管理ができないケースが増えている。

また、製品の生産現場で測色計を使用して色管理を行う場合には、タクトタイムの短縮やメンテナンスフリー化が求められている。複数台の測色計を使用する場合には、測色計間で発生する器差も抑える必要がある。さらに、製品に測色計を接触させて測定すると、製品が傷つく恐れがあるので、測色計を接触させないで測定を行うことが求められている。

我々はこれらの課題を解決するため、微小エリアの測定が可能で、かつ非接触で高速に測定ができる分光測色計『CF-300』を開発した (Fig. 1)。



Fig. 1 CF-300 spectrophotometer.

本稿では、顧客課題の解決のための原動力となっている「超微小エリア測定」、「LED光源の使いこなし」、「非接触測定」の技術について紹介する。

2 測色原理と本体構成

物体の色は見る方向や照明する方向によって違って見える。そのため測色計で測色する場合、センサーで受光する方向と光源によって照明する光の入射方向の条件が、CIEやJISの規格で「照明および受光に関する幾何学的条件」として定められている。

CF-300では幾何学的条件として、試料をあらゆる方向から均等に照射するJIS Z 8722の幾何条件c、ISO 7724/1に準拠した「拡散照明/8°方向受光 (以下、d:8ジオメトリ)」を採用している (Fig. 2)。

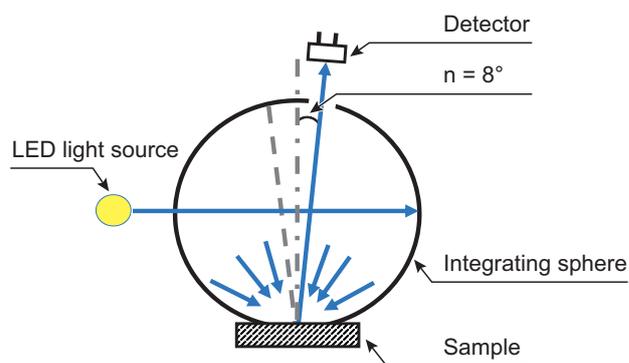


Fig. 2 Illumination/viewing system.

The CF-300 employs an optical system structure realizing diffused illumination/8° light receiving, which uses diffused light to illuminate a sample from all directions and conforms to JIS (Japanese Industrial Standard) Z 8722 and ISO 7724/1.

d:8ジオメトリでは、LED光源からの放射光を積分球の内壁面で拡散反射させて、試料に対してあらゆる方向から均等に光を照射する。そして、試料からの反射光のうち、試料面の法線に対して8°の角度に反射する光を回折格子により分光して、センサーで受光する。センサーの出力値から各波長の反射率を算出し、算出した反射率の値から色の数値化を行う。

通常は試料と測色計を接触させた状態で測定を行うが、CF-300では試料と測色計を離れた非接触状態での測定も可能にした。

CF-300の本体構成をFig. 3に示す。構成要素として、LED光源と積分球から構成される照明部と、受光レンズ、回折格子とセンサーで構成される受光部に大別される。

LED光源を採用したことにより、1秒間に5回的高速測定と、光源の長寿命化によるメンテナンスフリーを実現した。

また、受光光学系の新規設計により、標準的な測定エリアの測定 (Φ8mm) と超微小エリア (0.75×1mm) の測定を可能にした。

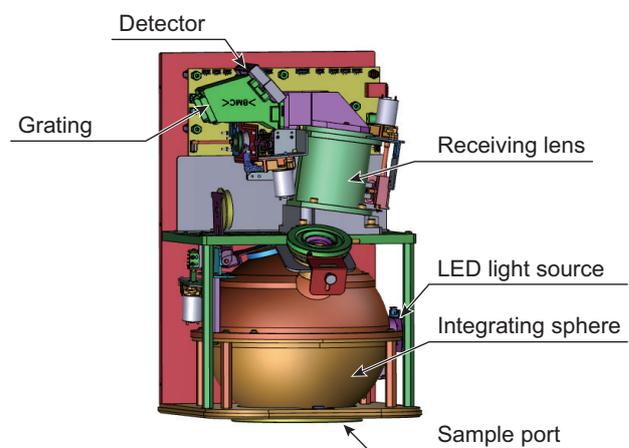


Fig. 3 Main body structure of the CF-300.

The CF-300 is structured with an illumination unit consisting of an LED light source and integrating sphere, along with a light receiving unit consisting of a light receiving lens, a diffraction grating, and a photosensor.

3 顧客課題解決のための技術

3.1 超微小エリア測定技術

CF-300の特徴の1つである、超微小エリアでの測定を行う場合、ユーザーは微小な部品、もしくは製品の中の決められた微小なエリアを測定する目的をもっており、測定位置が、意図する位置から僅かにずれた場合であっても、微小エリアであるため、異なる部分を測定することになってしまう。

このため、測定エリアが微小である場合は、測定前に測定位置を確認できるようにすることが不可欠であり、CF-300では、ポリクロメーターユニット（以下、ポリクロとする）の測定光路内に、観察用光源LEDを出し入れ可能な構成で配置し、試料の測定エリアに点像を投影することが可能な、ポインター機構を搭載した（Fig. 4）。

ポリクロとは回折格子を用いて、各波長のスペクトル分布をフォトダイオードアレイ等の検出器を用いて同時測定できる分光器で、CF-300のセンサーユニットである。

ポリクロには分光器の半値幅を決めるスリットを備え、測定位置と受光光学系を介して光学的に共役な位置に配置されている。このため、測定光路中に配置されたポインターLEDの観察光によるスリットの像が、試料の表面に結像する位置は、測定位置と同一であるため、オペレーターはスリットの像を視認することにより測定位置を確認することが可能になる。

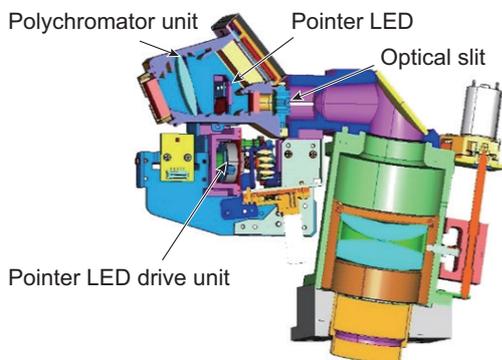


Fig. 4 Polychromator unit and LED pointer unit.

The polychromator is a spectroscope for simultaneously measuring the spectral distribution of a plurality of wavelengths using a photodetector such as a photodiode array, and the polychromator serves as the sensor unit of the CF-300. The CF-300 employs a pointer mechanism to project a light spot on the point of measurement. This pointer mechanism is realized by an LED light source retractable along the measurement optical path.

スリットと測定位置が光学的に共役であるため、ポインターLEDの位置がずれてもスリットの像が結像する位置は変わらない。

ポインターLEDは測定光路に退出可能に配置する必要があり、高精度に位置決めするには、高度なメカ機構が必要となる。しかし、スリットと測定位置が光学的に共役な位置に配置されているため、高精度の位置決めが不要で、容易なメカ構成で正確な位置へ点像を投影できる。

Fig. 5に示すように、ポインターLEDは、LED駆動ユニットによって測定時には測定光路から完全に退避し、消灯するような構成になっている。また、ポインターLEDを挿入する開口部から外光が入ると、測色性能に大きな影響を与えてしまうため、ポインターLEDごと遮光ケースで覆う構造とした。さらにポインターLEDの退出の駆動は最小限のクリアランスで構成できるように、回転方向での入力とし、回転軸と軸受けの嵌合をきつくし、かつ嵌合長を大きくとるようにして高いレベルで遮光できる構造とした。これにより、測定性能には完全に影響のない構成としている。また、この遮光ケースにはゴミや異物の侵入も防止する機能も有する。ポインター機構による点像を確認するため、積分球の一部に開口部を設け、カメラを装着できる構造としている。

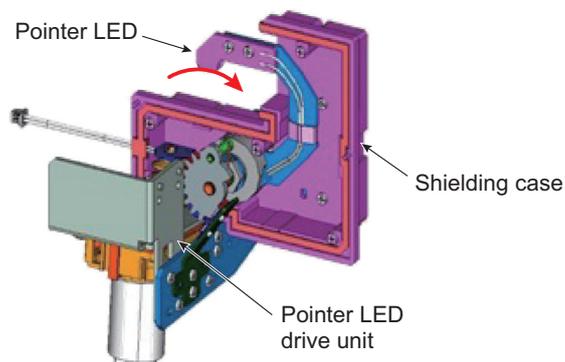


Fig. 5 Pointer LED drive unit.

The pointer LED drive unit rotatably drive the pointer LED in the red arrow direction to remove it from the measurement optical path, and the pointer LED is then turned off.

Fig. 6は実際にポインターで測定位置に点像を照射した状態を、装着したカメラで撮影した画像である。

測定エリアである「#」マークの中心部分が測定できることが容易に確認できる。また、光源には比視感度の高い緑のLEDを用いることで、試料の色や表面状態の影響を受けにくく、高い視認性を確保した。

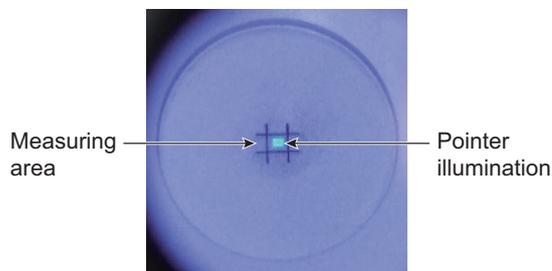


Fig. 6 LED pointer spot projected on sample.

The pointer spot is projected to make it easy to ensure that the sample is measured in the center of the hash mark.

3.2 高速測定

CF-300では1秒に5回の高速測定を実現するため、光源としてLED光源を採用している。コニカミノルタの物体色測色計では、発光光量が大きく、可視光波長域にお

いてほぼ一様な光源スペクトルを持っていることから、ほとんどの機種で光源としてパルスキセノンランプを採用している。しかし、パルスキセノンランプは一度発光させると再度発光するまでに充電が必要となり、高速連続測定には向かない。一方、LED光源は高速で連続発光させられるが、可視光波長域において急峻な光量変動があることや、個体毎に励起波長にバラつきがあることが、器差が生じる要因となるため、採用する場合、それらを改善する技術が必要となる。CF-300では、個々のLED光源のスペクトルに合わせて影響を補正するLEDスペクトル補正技術を採用し、器差の抑制を実現した。

Fig. 7 と Fig. 8 に CF-300 に採用する LED 光源の光源スペクトルと分光器が持つ分光応答度を示した。分光器のセンサー間の中心波長間隔は約 10 nm で半値幅は 10～15 nm 程度である。LED 光源は励起光波長の 405 nm 付近に急峻な強度ピークを持っており、その波長域に相当するセンサーの分光応答度は、急峻な強度ピークの影響を受けて重心波長が変動してしまう。例えば、Fig. 9 に示されるように重心波長が約 396 nm のセンサーでは、約 4.5 nm 長波長に重心波長がシフトする。結果として、測定される分光反射率には、LED の励起波長付近において波長ずれ誤差が生じる。

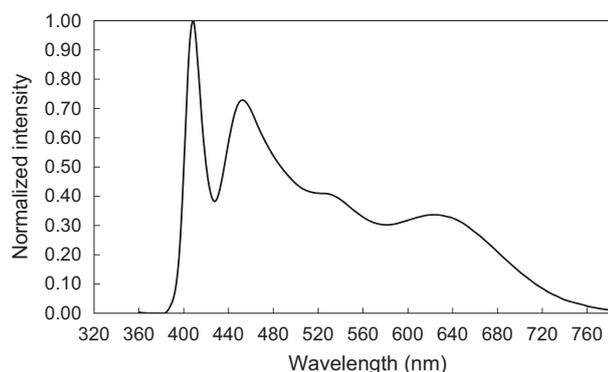


Fig. 7 CF-300 LED light source spectrum.
The LED light source has a steep peak at around 405 nm, which is its excitation wavelength. Excitation wavelengths vary among individual LEDs.

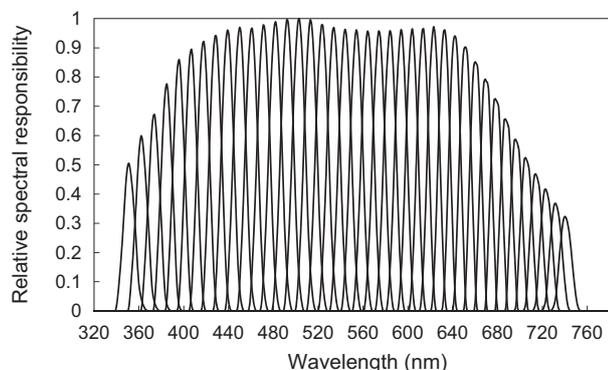


Fig. 8 CF-300 spectroscope spectral sensitivity.
Each sensor of the spectroscope has a half bandwidth of 10 nm to 15 nm, with the intervals between the peak wavelengths of the sensors being about 10 nm.

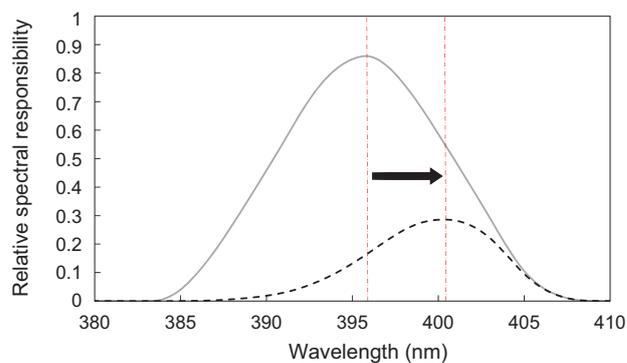


Fig. 9 Spectral sensitivity of spectroscope sensor.
Solid line: sensor alone. Dashed line: when using LED light source. The spectral sensitivity was measured for a sensor having sensitivity around 396 nm, where the peak wavelength of the LED light source based on the excitation wavelength is 405 nm. The centroid wavelength of the sensor shifts due to the steep change near the excitation wavelength in the intensity of the LED light source. Since the excitation wavelength of the LED depends on the individual LED, spectral correction is employed with individual CF-300s to eliminate this shift of the centroid wavelength.

測色計の測定時にセンサーで得られる出力は、分光応答度の影響を受けているため、従来機種においては、センサーで得られた出力に対し、分光応答度から求められる補正係数を掛け、分光感度の影響を除去するバンドパス補正を行っている。CF-300では、励起光の強度ピークによる重心波長変動を補正するため、このバンドパス補正を工夫した。予めLEDの光源スペクトルを測定しておき、分光器の分光応答度に掛けることで、光源スペクトルを含む分光応答度とし(式(1))、その分光応答度から補正係数を求めることで、分光応答度の影響と光源スペクトルの影響を合わせて補正する。式(1)において*i*はセンサー番号、 λ は波長である。

$$Response'(i, \lambda) = Response(i, \lambda) \cdot L_{LED}(\lambda) \quad (1)$$

Fig. 10 と Fig. 11 は異なる励起波長のLEDを搭載した3台のボディで、LED励起波長付近に急峻な反射率変化を持つ試料を測定した場合の、励起波長付近の補正前後の分光反射率と基準励起波長に近いLED(406 nm付近)のボディに対する器差である。

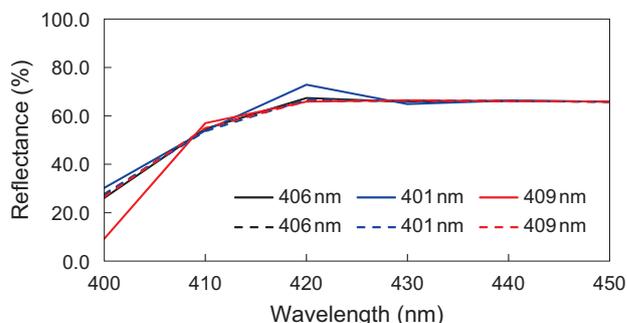


Fig. 10 Measurement results of reflectance using three measurement devices.
The three measurement devices have excitation wavelengths of 401 nm, 406 nm, and 409 nm. Solid lines: without spectral correction. Dashed lines: with spectral correction.

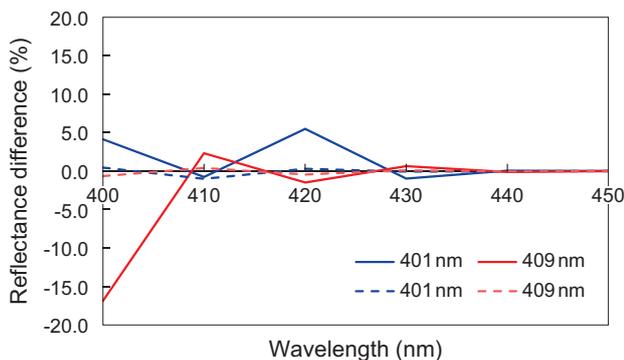


Fig. 11 Measurement results of Fig. 10 depicted as difference from measurement results of a measurement device having a 406 nm LED. Solid lines: without spectral correction. Dashed lines: with spectral correction. Spectral correction reduces instrumental error to 1% or less.

補正しない場合、LEDの励起波長によっては400nmで反射率で20%近い器差が出ているが、補正によって1%以内の器差に抑えられている。

3.3 非接触測定

例えばスマートフォンの筐体など外観部品の生産ラインにおいて、測色計に接触させて測定すると、製品表面に傷をつけてしまう恐れがある。生産ラインで使う測色計には、わずかでも測色計と試料の間にすき間を空け、生産ライン上を流れてくる製品に触れることなく、非接触で測定できることが求められる。従来の測色計では、開口の空いた測定マスクを積分球に装着した状態で、測定マスクに試料を接触させて測定を行う必要があった。CF-300では測定マスクと試料の間を1mm空けて測定できる非接触測定マスクを用意することで、非接触測定を可能とした (Fig. 12)。接触測定マスクで測定する時と、積分球と試料の位置関係を同じにすることで、接触測定と測定値に差が出ないようにしている。

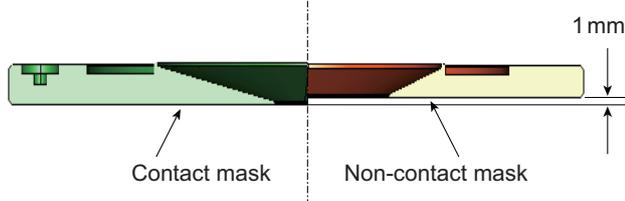


Fig. 12 Contact measurement mask and non-contact measurement mask.

The CF-300 allows for non-contact measurement using a measurement mask with which measurement can be conducted with a 1 mm space between the CF-300 and the sample to be measured.

非接触測定の際に課題となるのは、試料と測色計との間の距離の変動 (以下、高さ変動とする) によって生じる測定値の変動である。接触測定の場合、測色計に押し付けて測定するため、高さ変動は起こりにくいですが、生産ラインを流れてくる製品に触れず非接触で測定する場合、測定対象の高さバラつきがそのまま測定における高さ変動となってしまう。

一方、d:8ジオメトリ測色計では、積分球の拡散照明によって試料を照明するため、高さ変動が生じると測定開口によって試料に水平に近い角度で入射する光にケラレが生じ、照明光量が変動しやすい。この照明光量の変動が測定値の誤差を生むため、d:8ジオメトリの測色計は高さ変動に弱いことが分かっている。

CF-300では高さ変動による測定誤差を抑制するために、①大型積分球 (Φ152mm) の採用、②測定開口の大型化の2点の設計上の対応を行った。①は単純に同じ高さ変動であれば、積分球が大きい方が相対的に影響が小さくなるため、大型積分球の方が高さ変動に対して有利になる。コニカミノルタの測色計のフラッグシップモデルであるCM-3700Aも同じ径の大型積分球を採用していることから、機種間差の発生も抑えられる。②は前述した試料に水平に近い角度で入射する光のケラレを減らすための工夫である。

Fig. 13はCF-300における通常の接触測定用マスク (開口Φ11mm) と非接触測定用マスク (開口Φ34mm) を用いた白色板測定における L^* の高さ変動特性の比較である。 $L^*a^*b^*$ 表色系において、 L^* は明るさ、 a^* と b^* は色味を表す。高さ変動による測定値の変動は照明光量の変化が要因であり波長依存性は小さいため、ほぼ L^* のみが変化する。従って、高さ変動特性の評価は L^* を評価指標とし、目標仕様は高さ変動 $\pm 0.3\text{mm}$ に対し $\Delta L^* < 0.08$ と置いた。Φ11mmのマスクでは $+0.3\text{mm}$ で ΔL^* は -0.6 程度となっており、目標とは大きな乖離がある。一方でΦ34mmのマスクではΦ11mmと比較して、高さ変動特性は約1/10に改善され、 $\pm 0.3\text{mm}$ で ΔL^* は -0.06 程度と目標仕様内に抑えることができています。

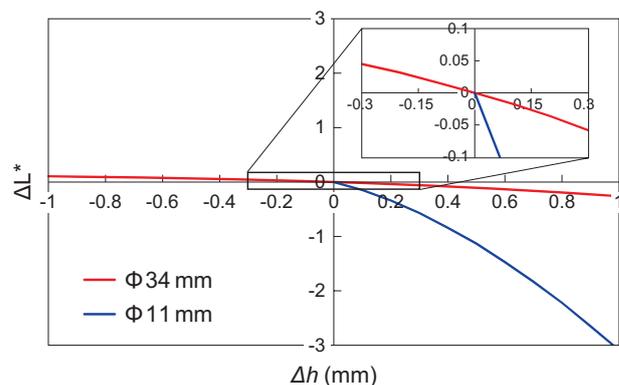


Fig. 13 Deviation ΔL^* of measurement results L^* from the measurement result at the standard sample position, for a white plate with two measurement masks having different opening diameters and with sample position varied.

The horizontal axis represents the deviation of the measurement sample position from the standard measurement position. The vertical axis represents the variation ΔL^* that is the difference from the measurement value L^* at the standard sample position. The measurement mask having a 34 mm diameter opening reduces the variation ΔL^* down to 1/10 of the variation ΔL^* with the measurement mask having an 11 mm diameter opening. As a result, ΔL^* is about -0.06 for $\pm 0.3\text{mm}$ deviation, which satisfies the target specification.

4 まとめ

本稿では、主にICT分野で求められるデザイン品質を確保するため、生産現場で求められる色管理に適したCF-300のコア技術について紹介した。

薄く小さくなる外観部品の色検査が安定して容易に測定できるように開発したLEDポインター、タクトタイム短縮とメンテナンスフリーを実現するためのLED照明とそのハンドリング技術、外観部品を傷つけないための非接触測定技術、いずれも高品質な製品を生産する顧客にとっては有用である。

今後は、めまぐるしく進歩する産業分野の顧客の要求に対して、更なるユーザビリティ向上と、品質管理の効率化、生産のダウンタイムリスクを減らすメンテナンスフリー化の技術を先鋭化すると共に、新しい顧客の課題を解決するソリューションを提供して、生産現場の変革に貢献したいと考えている。