

# スキャナー用照明モジュールにおける分岐型導光体の開発

Development of Branch-type Light Guide in Scanner Lighting Module

大澤 聡子\*  
Satoko OHZAWA

田中 雅彦\*  
Masahiko TANAKA

## 要旨

近年では省エネ意識の高まりとLED (Light Emitting Diode) の発光効率向上及び低コスト化に伴い、一般照明においては白熱電球や蛍光灯をLEDに置き換える動きが加速している。スキャナー用照明においても、現在ではLED照明を用いる事が主流になっている。コニカミノルタでも2008年以降、複合機のスキャナー用照明には主にLEDを用いており、2016年発売のbizhub 227/287/C368では更なる省電力化を目指して、照明モジュールの新規導光体の開発に取り組んだ。本稿ではスキャナーに必要な照明特性について説明するとともに、bizhub 227/287/C368に搭載されている、ひとつのLEDでスキャナーに必要な照明特性を達成した分岐型導光体の技術について紹介する。

スキャナーに必要なライン状かつ読取り位置を左右から両側照射する照明として、従来は導光体と反射鏡を対に配置する構成をとっていた。しかしこの構成では導光体からの直接光と反射鏡を介した間接光の断面配光特性に差異があるため、安定した合成光を得る事が難しく、導光体や反射鏡の組立誤差による断面配光の変化が大きいため、組立バラつきによる歩留まりの低下を招くという問題があった。

また年々上昇しているLED発光効率を鑑みると、省エネ、コストダウンのためにはひとつのLEDで必要な特性を得られる導光体の開発が必要であると我々は考えた。そこでひとつのLEDかつ従来機の問題を解決する構成として、分岐型導光体を考案し、開発を行った。

分岐型導光体の要となる分岐形状及び断面形状のパラメーターを、品質工学の手法であるTM (Taguchi Method) を用いて最適化し、LEDの位置ずれに対してロバスト性の高い設計を実現した。また更に配光をコントロールする工夫をプリズムに施したことにより安定した配光が得られた。

結果として従来同等の光学仕様を満たした上で効率を24%向上させ、省電力化及び環境問題対策に貢献することが出来た。

## Abstract

In general lighting today, demands for energy saving, emission efficiency, and lower costs continue to shift the market from incandescent and fluorescent lighting to LED lighting, including scanner light sources, where LEDs are now mainstream.

Since 2008, Konica Minolta has lowered power consumption by improving LEDs as MFP scanner light sources, most lately culminated in a new branch-type light guide for the scanner lighting modules found now in the bizhub 227/287/C368 series, placed on the market in 2016. Presented here is a branch-type light guide that achieves the lighting characteristics required with a single LED.

Conventional scanner structure employs a pair of a light guide and a reflector that illuminate the reading position from both the left and right sides. But with conventional structure, the characteristics of illumination distribution in the sub-scanning direction differ between direct lighting from the light guide and indirect lighting via the reflector. This undermines stability in the combined direct and indirect light. Further, illumination distribution in the sub-scanning direction is highly susceptible to light guide and reflector assembly errors, lowering production yield.

To avoid these drawbacks, we developed a branch-type light guide that uses only a single LED. Combined with the yearly-improving luminous efficiency of LEDs, this branch-type light guide has won additional energy saving and cost reduction. Our design strategy was to control the two parameters that determine the shapes of the light guide's branch and cross-section. We optimized these parameters by applying the TM (Taguchi Method) and achieved a design that robustly guards against LED position aberration. In addition, the use of prisms to control illumination distribution resulted in stabilized illumination distribution.

This new branch-type light guide has improved luminous efficiency by 24% in the bizhub 227/287 while satisfying all other performance measures, significantly saving power and contributing to environment safety.

\* 情報機器事業開発本部 第1製品開発センター 第13製品開発部

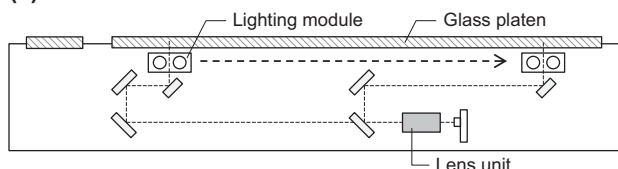
## 1 はじめに

近年省エネ意識の高まりとLEDの発光効率向上及び低コスト化に伴い、一般照明においては白熱電球や蛍光灯をLEDに置き換える動きが加速している。スキャナー用照明においては、古くはハロゲンランプから希ガス蛍光灯、冷陰極蛍光灯CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) 等が用いられてきた。しかし希ガス蛍光灯が製造中止になったことや、欧州での危険物質に関する制限、RoHS (Restriction of Hazardous Substances) の改正に伴って水銀を含んでいるCCFLの使用が禁止になることなどにより、現在のスキャナー用照明はLEDを用いる事が主流になっている。コニカミノルタでも低速機では2008年以降、中高速機においても2011年以降、LED照明モジュールをスキャナーに搭載し、省電力化に貢献している。本稿ではスキャナーに必要な照明特性について説明するとともに、更なる省電力化とコストダウンを目指してLEDチップひとつでスキャナーに必要な照明特性を達成した、新たな分岐型導光体の技術について紹介する。

## 2 スキャナーに求められる照明特性

画像読み取り用スキャナーは照明モジュールにより原稿を照射し、その反射光をラインセンサーで読み取るのが基本構成である。中速機であるbizhub C368ではミラスキャン方式のスキャナーを採用しており、この方式はFig. 1 (a) に示すように照明モジュールを走査して原稿を照射し、差動で動かしたミラーで原稿からの反射光を固定したCCD (Charge Coupled Device) センサーで読み取る方式である。一方、低速機のbizhub 227/287ではユニットスキャン方式のスキャナーを採用しており、この方式は照明、反射ミラー、結像レンズ、センサーが一体となったユニットを走査して原稿を読み取る方式である (Fig. 1 (b))。

### (a) Sectional view of a mirror scanner



### (b) Sectional view of a scan-unit scanner

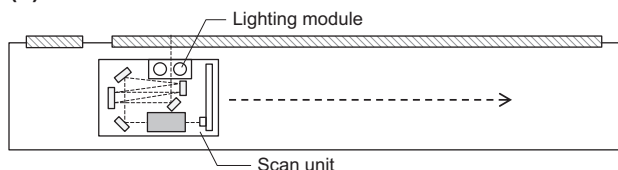


Fig. 1 Mirror and scan-unit scanners.

Mirror scanners (a) create images by using a lighting module to transmit light through a series of mirrors and then through a lens unit to a CCD sensor. Scan-unit scanners (b) create images similarly, but modularize the lighting module, mirrors, lens, and CCD sensor into a single scan unit.

どちらの方式においても、照明モジュールとして必要な性能は、①原稿面照度、②配光特性、③色特性などが挙げられる。その他にも、起動特性や時間による変化を示す照度安定性や寿命に関わる耐久劣化などの特性が必要となる。

### 2.1 原稿面照度

読取用の照明モジュールの特性として照明の明るさを表す指標である原稿面照度が重要になる。原稿面照度とはユーザーが載置する原稿ガラス面上の原稿に対し何luxの照度で照射するか仕様である。一般的に、単位時間あたりの読取枚数が多い高速機ほどCCD露光時間が短くなるため高い原稿面照度が必要になり、低速機ほど低い照度で良い。この仕様は読取速度だけで決まるものでなく、スキャナーに用いているレンズのF値やCCDセンサーの感度によっても変わる。

### 2.2 配光特性

読取画像の品質を保証するためには、例えば均一な濃度の原稿を読み取ろうとした場合、最終的にレンズを通してCCDセンサーに照射される原稿からの反射光がどの場所においても均一であることが求められる。そのためセンサーと平行な主走査方向の特性 (以下、主配光と呼ぶ) はFig. 2 で示すように結像レンズの $\cos^4$ 乗則\*\*による端部光量低下を考慮して中央から端部にかけて明るくなるような配光特性とし、センサーと直交する副走査方向の特性 (以下、断面配光と呼ぶ) は部品精度による読取位置バラツキが発生しても一定の露光量変動に抑えられるように設計する必要がある。また読取対象がある程度原稿ガラス面から浮き上がった場所でも一定の反射光を得られるように高さ方向の変動量も規定する必要がある。また照明モジュールの構成としては読み取り位置に対する照射方向として斜めから原稿に光をあて直下の拡散光を読み取るのが一般的であるが、その際、片側からのみの照射では段差のある原稿では影の部分が出来てしまうため、両側から光をあてて影をなくす方式が推奨される。

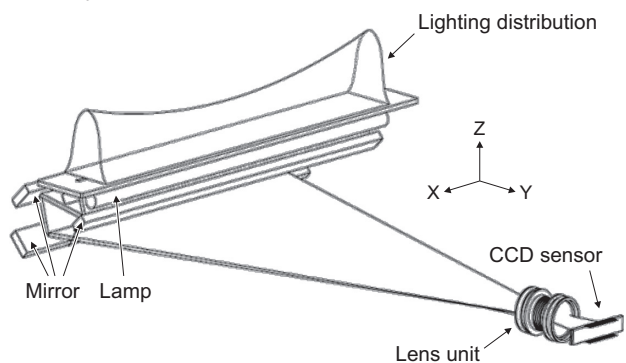


Fig. 2 Perspective view of optical system and lighting distribution.

Lighting intensity, strongest at the middle of the lamp, weakens in accordance with the cosine 4<sup>th</sup> power law as the ends of the lamp are approached. Therefore, lighting distribution is designed to gradually increase from the center of the lamp to its ends.

## 2.3 色特性

カラーキャナーが色情報を読取る方法として、センサー側にRGBのフィルターを設け、色分離を行うカラーフィルター方式と、RGBの光源を切り替えて色分離を行う光源切り替え方式がある。複合機のように高速読取が要求されるキャナーでは前者のカラーフィルター方式が主流である。光源に求められる色特性としては、可視光波長領域外の強度が低く、可視光波長領域内で強度が著しく低い波長域がないこと。また、白色基準を照射して読み取りを行った際のセンサー出力においてRGB毎の出力差が一定の範囲内におさまることが求められる。

またキャナー用照明は色特性として、どの場所でも読み取りを行っても同じ色情報が得られるように、原稿全域において色度及び分光波長の均一性が求められる。色度特性の不均一性は読み取り画像の色ムラの要因となり、同じ色の原稿を読み取ったはずが場所によって色味が異なるという問題を生じさせてしまう。

## 2.4 その他の照明関連特性

その他の特性として、

- ・起動特性…点灯させてから光量変動が一定の変動量になるまでの時間。ファーストコピータイムに影響。
- ・連続点灯時変動…連続点灯時の照度及び色度変動。ADF (Automatic Document Feeder) を用いた連続読取時のページ間色差に影響
- ・寿命…耐久変化。各種特性が経年で出来るだけ変化しないことが求められる。
- ・フレア…照明モジュールと原稿間の乱反射光量。フレアが大きいと読取対象の色が周辺色の影響を受けて変化してしまう。

などがキャナー用照明に求められる特性である。

## 3 LED照明技術

### 3.1 導光体方式とアレイ式

画像読取用キャナーでは一次元のラインセンサーを用いるため、照明としてもライン状の光源が必要である。点光源であるLEDをキャナー用照明に用いるために、LEDをライン状照明にする方法は大きく分けて2通りある。Fig. 3で示すように、長尺の導光体の端部に配置したLEDからの光線を導光体を介してライン状照明にする導光体方式と、数十個のLEDを長尺基板に並べるアレイ方式である。各方式の一般的な得失比較をTable 1に示す。

アレイ方式の方が多くのLEDを使用し、直接原稿を照射するため高い原稿面照度を容易いが、点光源であるLEDを間欠的に配置するためLEDのある部分とない部分で輝度に高低ができ、そのLEDの輝度ムラが読み取り画像に現れるため、輝度ムラ対策が必要となる。また、LED毎の色度バラツキが大きいと読取画像に色ムラが発生するという問題がある。

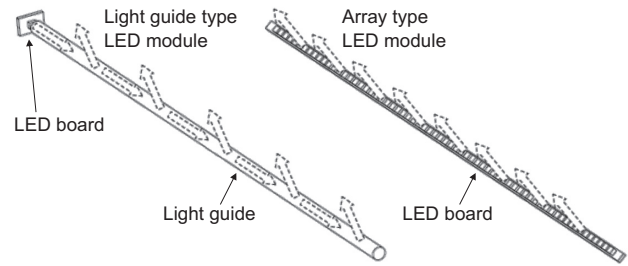


Fig. 3 Light guide type and array type LED modules.

A light guide type LED modules consists of a light guide and either a single LED or a small number of LEDs arranged on an LED board. An array type LED module consists of a large number of LEDs arranged on a long LED board.

Table 1 Light guide type and array type LED modules compared.

	Light guide type LED module	Array type LED module
Number of LEDs	1-4 pcs	20-50 pcs
Lighting efficiency	Good	Excellent
Evenness of illumination	Good	Fair
Evenness of chromaticity	Good	Fair
Low heat generation	Fair	Good

導光体方式は使用するLEDが1~4個程度と少なく、導光体を介して間接的に照射するためLED毎の色度差による色ムラが発生しにくく、輝度ムラも少ない。ただし導光体内から原稿面方向に反射させた光を取り出す必要があるため照明効率はいずれに比べて悪くなる。また大光量を得ようとすると大電流をLEDに流す必要があり、少ないLEDに熱量が集中し発熱の問題が大きくなる。

ここまでで述べたように、LEDをキャナー照明として採用するためには、「点光源であるLEDをいかにムラがなく、照射効率の良いライン状照明として形成するか」ということが重要である。

LEDの発光効率は年々上昇しているため、原稿面照度の面では1つの照明モジュールに必要なLED数は減少している。しかしLEDアレイ方式では先にも述べたようにLEDの個数を減らすと輝度ムラが顕著になり、その対策のために拡散部材等が必要になる。

一方、導光体方式は用いるLEDが少ないため、発光効率向上の恩恵を受けやすく、また導光体方式に用いるような高輝度LEDの方が発光効率の上昇幅が大きいことから、中高速機では導光体方式のLED照明モジュールを基本的に採用している。

### 3.2 導光体方式キャナー用照明の課題

2.2で述べたようにキャナー用照明では読取位置を両側から照射することが必要となる。導光体方式を採用したとき、最も単純な両側照射構成は読取位置を挟んで左右両側に導光体を置き、その両端にLEDを配置する4灯構成が考えられる (Table 2 (a))。また導光体の主配光を詳細に設計すれば、導光体の一方の端部にLEDを置く2灯構成も可能である (Table 2 (b))。

更にLED光源を減らすためには導光体と反射鏡を対にする方法もある (Table 2 (c))。読取位置の片側に導光体を、片側に反射鏡を設け、導光体から直接原稿に当たる光線 (直接光) と、対向する側に置いた反射鏡を介して原稿に当たる光線 (間接光) に分け、その合成光で両側照射を実現するものである。

従来機である bizhub C754/C654では導光体の両端にLEDを置き、反射鏡を置く Table 2 (c) の構成を取っていた。しかしこの方法では、直接光と間接光の断面配光特性に差異があるため、安定した合成光を得る事が難しく、また導光体や反射鏡の回転による断面配光の変化も大きいため、組立バラつきによる歩留まりの低下を招いていた。また、左右からの配光比率も6:4程度に左右不均等になり、段差があるような原稿をスキャンした際に段差の一方側にだけ影が出るという問題があった。

Table 2 Various light guide type LED modules.

	(a)	(b)	(c)	(d)
Number of LEDs	4	2	1 or 2	1
Number of light guides	2	2	1+1 mirror	1
Left-to-right illumination ratio of paired LED module elements	5:5	5:5	6:4	5:5

## 4 分岐型導光体の設計

新規スキャナー用照明を開発するにあたり、導光体には3.2で述べたような従来機の問題を解決することが求められた。また年々上昇しているLED発光効率を鑑みると、今後の効率向上の恩恵を継続的に受けられるようにひとつのLEDで必要な特性を得られる導光体である必要があると考えた。そこで我々はTable 2 (d) のような分岐型導光体を検討した。

基本構成として、導光体端部中央に置いたLEDからの光線を、原稿面に光を照射させる両側2本のロッド部に入射させるための分岐形状を設ける。これにより2本のロッド部を1部品として扱うことができ、組立バラツキによる特性変動が低減できる。また左右のロッド部に均等に光量が分けられるため、左右の配光比率も5:5になる。この構成は導光体の設計及び製造の難易度は高いが、我々の金型・成型技術により実現可能であると判断し、開発に着手した。

本章ではこの分岐型導光体のパラメーター設計や生じた課題に対して採用した技術について紹介する。我々はこれらの検討・設計にあたり、光学シミュレーションソフト及びTMを用いて実物と相関を取りながら全てのパラメーターを最適化した。シミュレーションを活用することで試作の回数を最低限に抑えられた。

### 4.1 分岐形状

分岐型導光体の一番の課題は分岐部での光量損失である。LEDは垂直方向の光線が最も強く、周辺に行くほど光量が落ちるという特徴がある。また、分岐面の頂点には加工上必ずR面が存在する。それにより垂直方向付近の最も強い光線がR面で予期せぬ方向に反射するか導光体から漏出すれば、大きな光量損失となる。

分岐形状での光量損失を防ぐため光線を2段階で分岐することを考えた。まず垂直方向付近の光線を導光体入射面に設けた小さなV字状の溝部で2方向に屈折させ、その後導光体内側の大きな分岐面で2方向に完全に光線を分ける構成とした (Fig. 4)。

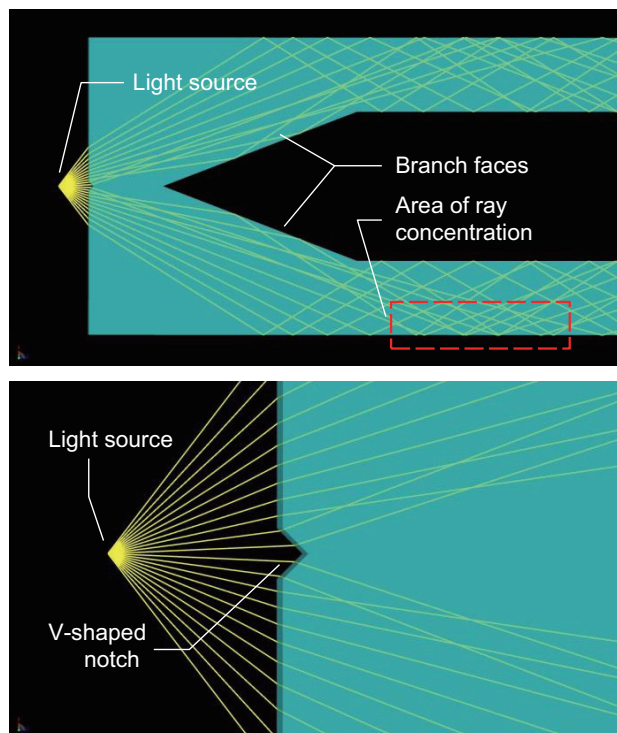


Fig. 4 Channeling light rays in a branch-type light guide.

To avoid losing those light rays most perpendicular to the light guide, a V-shaped notch channels that light down the two branches of the light guide.

### 4.2 断面形状

分岐形状端部から左右のロッド部に入射した光線は内面で全反射を繰り返して進み、何もなければそのまま他端から抜け出てしまう。その光線をロッド部の底面に配置するプリズム形状によって導光体の臨界角を超える角度で反射させることで、導光体の外部に射出させ、狙いの照射領域に集める。

狙いの領域に光線を集める断面形状の設計は、プリズム形状及び配置と、またそのプリズム形状で屈折させられた光線を集光または拡散し、光線の方向をコントロールする射出面の形状が要となる。

ここでスキャナー照明の理想的な断面配光について説明する。スキャン動作中に機械的な要因によって読取位置が左右にずれるような場合でもスキャン画像にムラが

生じないように、照明は一定の光量で読取位置を照射する必要がある。そのため読取位置周辺は既定の範囲内で光量が一定でなければならない。一方、読取に不要な領域に光線が当たると、それはスキャン画像にとって有害光となるため、既定の範囲外には可能な限り光線が当たらないことが望ましい (Fig. 5)。

それらを踏まえて本導光体では台形部分の底面にプリズム形状を設け、射出面のR形状で集光させる Fig. 5 下部に示すような断面形状を採用した。

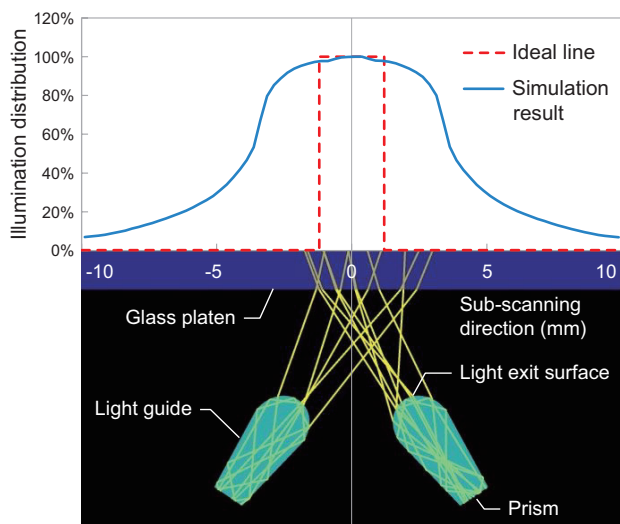


Fig. 5 It is desired that illumination distribution in the sub-scanning direction remains constant in a certain area while, ideally, no light falls on any other area. To achieve this segregation, a cross-sectional shape was adopted so that light is condensed at the rounded exit surface by rendering the bottom of the trapezoidal section prism-shaped.

### 4.3 TMを用いたパラメータ最適化

Fig. 4 は光源を点光源とみなした理想的な状態での光線分岐状態を示しているが、実際にはLEDは、製造誤差や組立誤差により傾きや位置ずれが生じる。LEDの位置ずれが生じると左右のロッド部へ向かう光量に差が生まれ、断面配光が崩れる。そのような誤差に対してロバスト性を持たせたパラメータ最適化を行うため、TMを用いた。

V溝角度、V溝高さ、分岐面角度、更にロッド部断面形状の各寸法をパラメータとし、LEDの理想的な位置からのずれ量をノイズと設定し、光線追跡シミュレーションを行った。

まず第1段階として標準SN比 (Fig. 6 (a)) で評価を行い、必要な領域でLED位置がばらついても配光の変動が少なくなる水準を選定した。

次に第2段階として、前段階で選定した水準は維持し、影響の少なかった因子を選択因子として、Fig. 5 の理想的な断面配光に近づけるため、必要領域の光量は高く、不要領域の光量が低くなる最適条件を選定した (Fig. 6 (b))。

以上の検討によって分岐型導光体の要となる分岐形状と断面形状のパラメータを最適化した。

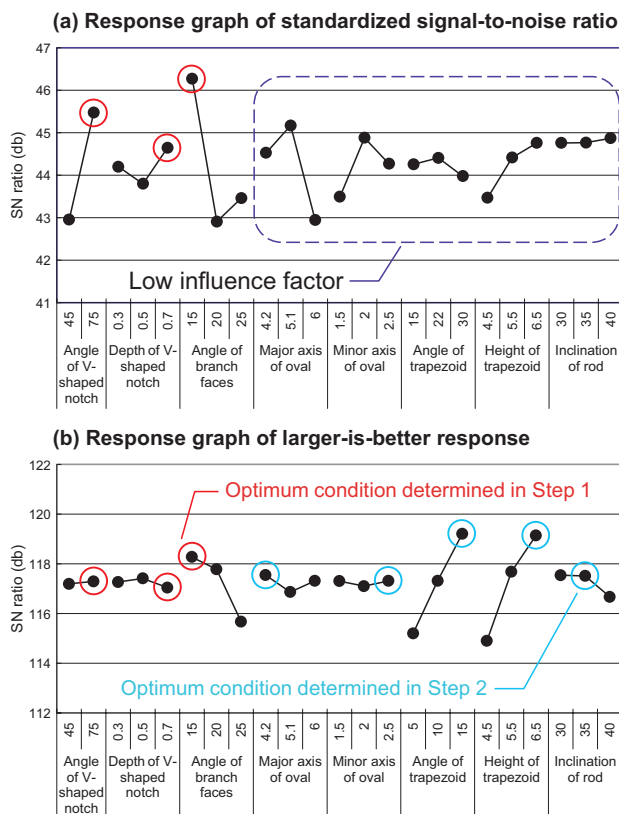


Fig. 6 Taguchi Method (TM) response graph.

In Step 1, factors were chosen so that variation of the illumination distribution is low even if the LED position fluctuates (a). In Step 2, optimum conditions were selected so that there is more light where required and less light where it is not required (b).

### 4.4 光線集中部の回避

4.3で決定したパラメータ設計による導光体のロッド部に、反射要素として長尺方向に略三角形のプリズムを多数付加し、2.2で述べた主配光特性となるようにプリズム配置間隔を調整しながら設計を行った。このとき生じる分岐型導光体特有の問題として、分岐直後の反射面に光線集中部が生じるということがある。

光線集中部とは Fig. 4 の赤枠に示すように、光源から直接到達する光線と分岐面を介して到達する光線とが重なり、導光体内での光量が周囲に比べて極端に高くなる場所の事である。このような領域にプリズムを配置すると、原稿面照度が局所的に上がる。そこで我々は光線集中部の影響を回避するため Fig. 7 に示すように、光線集中部にはプリズムを配置しない対策をとった。これにより、局所的な配光変化が抑えられ、安定した主配光を得ることができる。

### 4.5 プリズム角度

導光体の特性を決める重要な要素である断面形状パラメータは設計の早い段階で決定させる必要がある。そのためパラメータ最適化の検討段階では、白色面等の仮の反射要素を置いてシミュレーションを行った。その後4.4で紹介したような光線集中部の回避や他の特性を満足させるために、プリズムの形状や大きさ、間隔を変

えながら数百通りものシミュレーションを行いながら検討する中で、同じ断面形状であっても断面配光特性が変わってくることもある。

試作段階であれば他の要素の最終形状に応じて断面形状を再度最適化する事も考えられるが、断面形状を変更すれば他の特性も変化することもあり、また金型化以降でそのような変化が生じれば、大きな追加加工または金型の作り直しが生じる。

そのような問題に対する対応策の一つに、反射面に配置するプリズムの角度がある。通常プリズムは主方向に対して垂直な角度に刻まれるが、本導光体はFig. 7に示すように角度 $\theta$ で傾けたプリズムを配置している。この角度を変えることによって、光線の射出方向を変えることが可能になり、断面配光の調整が可能になる。

したがって、他の設計パラメーターを変更する事によって断面配光が変化した場合でも、導光体の外形である断面形状を変更する必要がなく、プリズムの角度変更だけで断面配光の調整が可能になる。

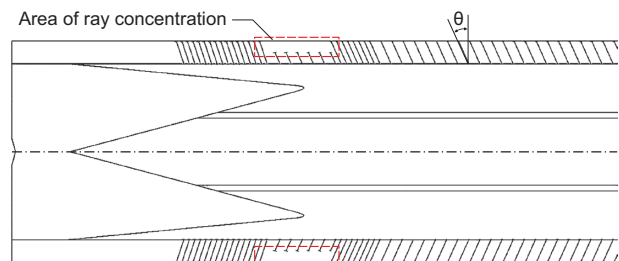


Fig. 7 Bottom of light guide (enlarged).

The illumination distribution in the main scanning direction was stabilized by placing no prism in the area of ray concentration (see Fig. 4). The illumination distribution in the sub-scanning direction is adjusted by arranging prisms at an angle of  $\theta$ .

## 5 結果

bizhub 227に搭載した分岐型導光体を用いたスキャナー用照明の断面配光をFig. 8に示す。実物測定結果がシミュレーション結果をほぼ再現していることが確認できた。

また、光学シミュレーションのモデル図をFig. 9に示す。

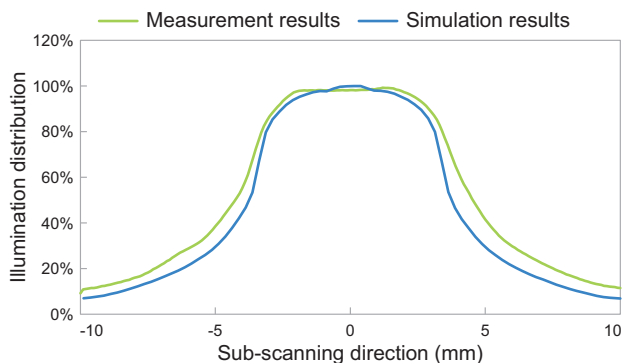


Fig. 8 Illumination distribution in the sub-scanning direction of the branch-type light guide used in bizhub 227. Measurement results closely matched simulation results.

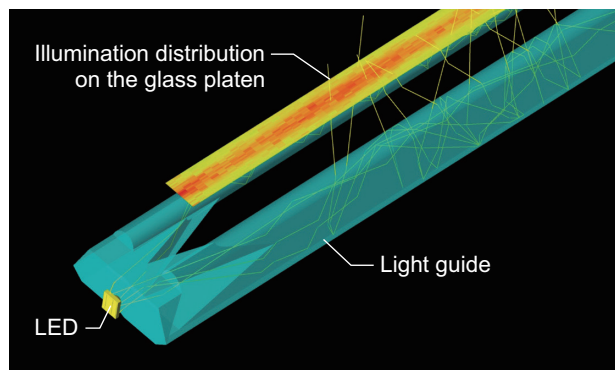


Fig. 9 Simulation of LED module Lighting.

主配光においても、シミュレーション結果と一致しており、仕様を満たしている事を確認した。

従来機との効率の比較をTable 3に示す。原稿面照度はスキャン速度に合わせ、低く設定している。

パラメーター最適化により、照射効率を従来比24%上げることができた。

Table 3 Performance of conventional lighting module and of the lighting module in the new bizhub 227. The optimization of parameters improved luminous efficiency by 24%.

	bizhub C754 lighting module	bizhub 227 lighting module
Color scan speed	60 opm	36 opm
Lamp illumination intensity	42,000 Lx	23,000 Lx
Power consumption	6.6 W	2.9 W
Efficiency	6,364 Lx/W	7,868 Lx/W

## 6 まとめ

従来の導光体方式の照明モジュールは反射鏡を用いており、不安定な断面配光に問題があった。そこで我々はその問題を解決できる高効率な導光体として、分岐型導光体を考案し、開発を行った。

分岐型導光体の要となる分岐形状及び断面形状のパラメーターを、TMと光線追跡シミュレーションを用いて最適化し、LEDの位置ずれに対してロバスト性の高い設計を実現した。また更に配光をコントロールする工夫をプリズムに施したことにより、安定した配光を得ることができた。

結果として従来同等の光学仕様を満たした上で効率を24%向上させ、省電力化及び環境問題対策に貢献することが出来た。

今後LED発光効率が更により高くなり、大光量のLEDを搭載することで高速機への展開も可能になると考えている。

\*\* 結像面上の照度は、画角のコサイン4乗に比例して低下するという法則