新構造LED-B／Lを搭載したTFT-LCD

國生崇文* 糸賀賢二**
森 明博* 岩崎直子***
境 誠司*

A Novel LED-Backlight System for TFT-LCD

Takafumi Kokusho, Akihiro Mori, Seiji Sakai, Kenji Itoga, Naoko Iwasaki

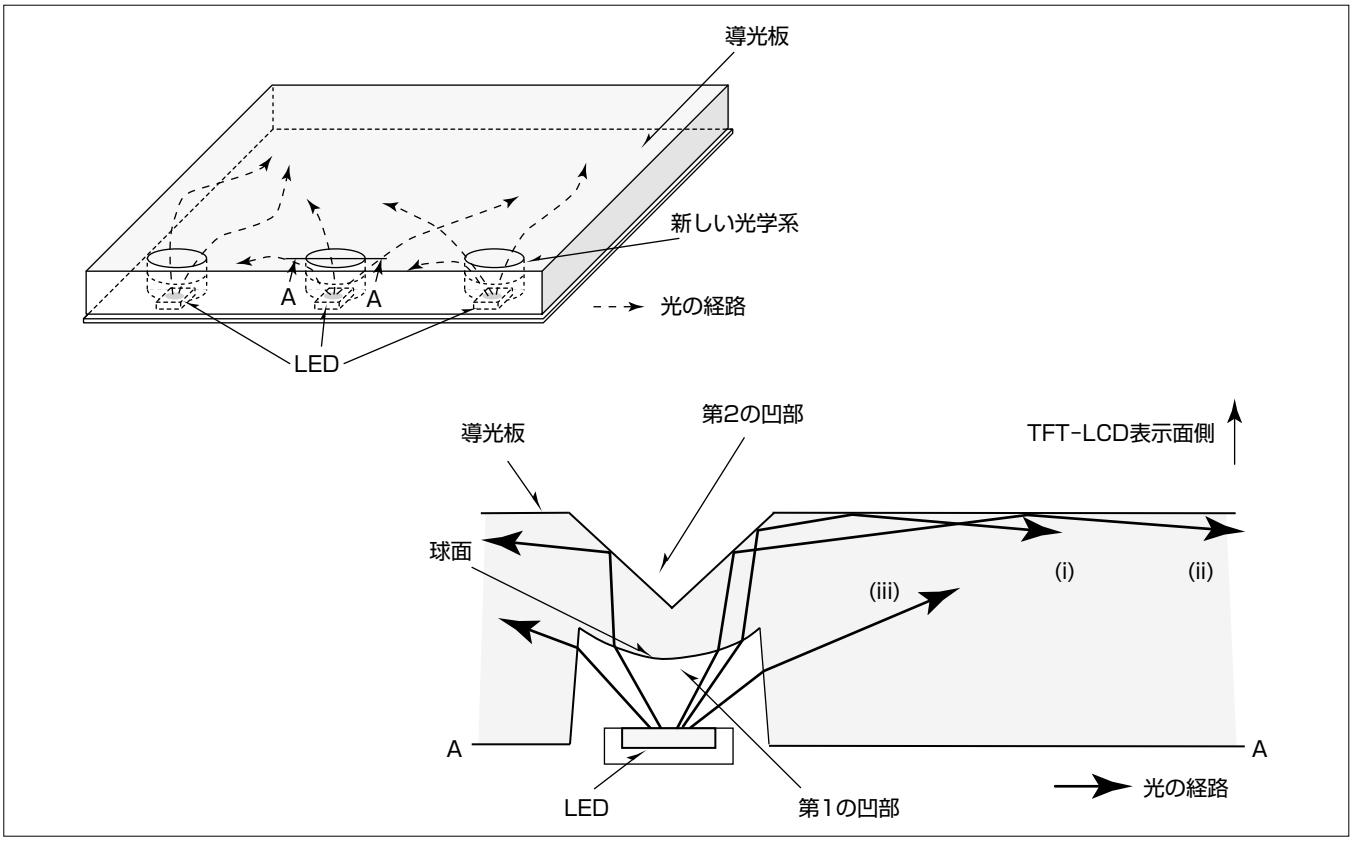
要 旨

最新のLED(Light Emitting Diode)の性能を最大限に活用し，使用するLEDの数を大幅に削減できるTFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display)用新バックライト(Backlight：B／L)を開発した。

TFT-LCDパネルを背面より照射するB／Lの光源としては，従来，冷陰極管(Cold Cathode Fluorescent Lamp：CCFL)が用いられてきたが，水銀フリー，低消費電力等のメリットによって近年急速にLEDへの置き換えが進んでいる。光源として使用されるLEDの発光量(光束)は年々増加しており，発光効率は年20～30%向上している。このような，高光束のLEDをB／Lに適用すると，LEDの数を削減でき低消費電力化が可能となる。しかし，これまでのLED用のB／LではLED数を減らすと点光源であるLED間の距離が広がるため，LED近傍の輝度均一性が得にくくなるという課題があった。

今回，LEDから導光板へ入射する光を放射状に広げる新しい構造の光学系を用いることによって，少ないLED数でLED間の距離が広がっても高い輝度均一性を実現できるB／Lを開発した。この新しいB／L方式を12.1インチSVGA(Super Video Graphics Array) TFT-LCDに適用した結果，従来方式と比較して約40%のLED数で同等の輝度及び輝度均一性を得ることができた。

この新B／L方式を適用することによって，最新の高光束LEDの性能を最大限に活用した製品設計が可能となる。



新方式B／Lの構造及び新しい光学系の断面

LEDから出射された光のうち，導光板底面側の第１の凹部の上面から入射する光はLED上の球面で屈折し，導光板上面側に設けられた円錐(えんすい)状の第2の凹部によって水平方向へ反射される(i)，(ii)。一方，第1の凹部の側面へ達する光は，屈折して導光板内へと入射する(iii)。この作用によってLEDから出射された光を効率良く放射状へ広げることが可能となり，光の広がりに制約がある従来方式の欠点を克服することができる。

*液晶事業統括部 **先端技術総合研究所(工博) ***同研究所

1. まえがき

TFT-LCDパネルを背面から照射するB／Lの光源としては，従来，冷陰極管が用いられてきたが，水銀フリー，低消費電力等のメリットによって急速にLEDへと移行してきている。光源となるLEDの発光量は年々増加しており，その発光効率は年20～30%向上し続けている。これによって，最新の光量の多い高光束LEDをB／Lに適用することで，必要となるLED数を削減できる。しかし，従来方式のLED-B／Lでは，LED数を減らすと点光源であるLED間の距離が広がり，その結果，LED近傍で輝度均一性が得られないという課題がある。

本稿では，最新のLEDが持つ性能を最大限に活用し，高い輝度均一性を得ながら，使用するLED数の削減ができる新方式LED-B／Lの開発について述べる。

2. 従来のエッジライト方式の課題

従来のエッジライト方式LED-B／Lを搭載したTFT-LCDモジュールの構造を**図1**に示す。B／Lの構成部材としては，光源となるLED，導光板，輝度向上のためのレンズシートなどの光学シート類，及び，それらを挟持するフレーム類からなる。導光板の側面にLEDが配列され，LEDから出射された光は導光板へと入射する。この時，**図2**に示すように導光板へ入射した光の広がる範囲はSnellの法則(式(1))によって制限される。

$$n_a \sin\alpha = n_b \sin\beta \quad \cdots\cdots(1)$$

例えばアクリル樹脂(屈折率：1.49)の導光板の場合，最大でも$\beta = \sin^{-1}(1/1.49) = 42.15^\circ$である。LEDから導光板へ入射する光は最大でも法線に対して$\pm 42.15^\circ$の範囲にしか広がらない。このため，LED間の距離が広がると**図3**(a)に示すようにLED近傍で光の届かない暗部が発生し，明暗のむらとして視認される。そのため，高い輝度均一性を得るためには，**図3**(b)に示すようにLEDの間隔を近づける必要があった。高光束LEDを使用する場合，LEDの数を減らすことは可能となるが，各LEDの間隔は広がることになり，輝度の均一性が得られない。結果として，最新の高光束LEDを使用しても，多数のLEDを配列する必要があり，LEDの性能を最大限に発揮させることができなかった。

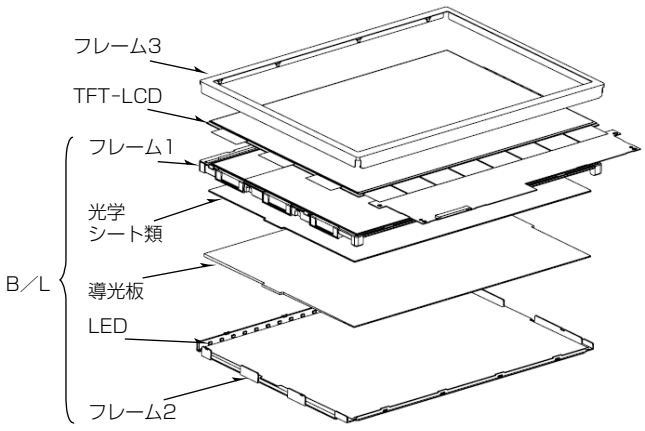


図1．TFT-LCDモジュールの分解斜視図

3. 新方式LED-B／Lの開発

3.1 新方式LED-B／Lのコンセプト

先に述べた従来方式の課題を克服するために，**図4**(a)に示すように導光板へ入射した光を放射状に広げる新しい方式の開発に取り組んできた。LEDから導光板へ入射した光の範囲を広げることによって，明暗むらの発生を抑え，少ないLED数でB／Lを構成することが可能となる。

図4(b)には新方式におけるLED周辺の断面形状を示す(**図4**(a)の断面A-A)。導光板の底面側にLEDを配置し，導光板に設けた新光学構造によってLEDから出射された光を効率良く導光板へ放射状に広げる構造となっている。上方向へ進む光は，第1の凹部の上面に形成された球面で屈折され，さらに導光板上面側に設けられた円錐状の第2の凹部によって水平方向へ反射される(**図4**(b)の(i)，(ii))。

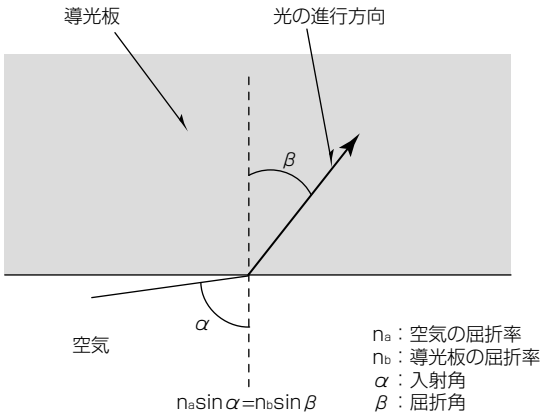


図2．Snellの法則

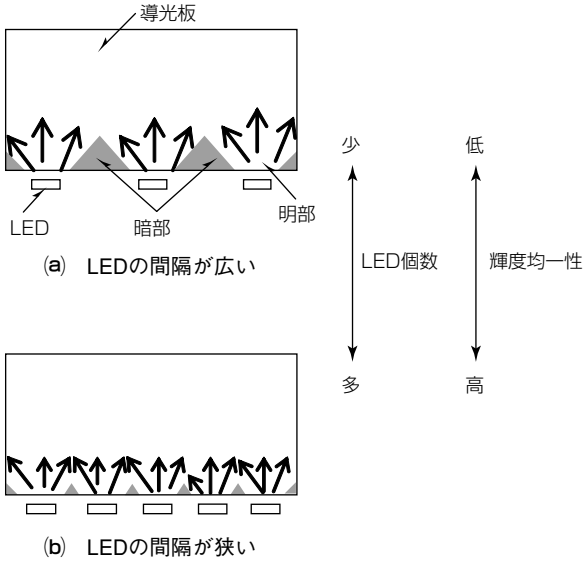


図3．エッジライト方式の入光範囲

一方，LEDから出射された光のうち導光板底面側の第1の凹部の側面へ達する光は，全周から導光板内へと入射する(**図4**(b)の(iii))。この作用によって，LEDから出射された光を効率良く導光板内へ導き，放射状へ広げることが可能となり，従来方式の課題を克服することができる。

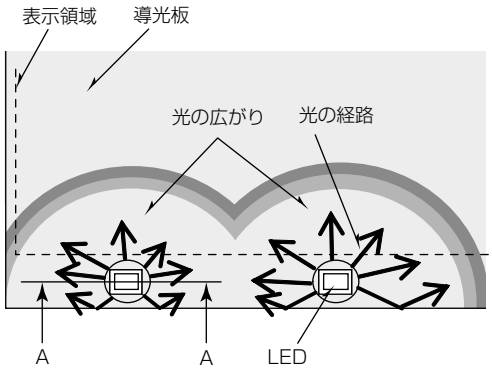
3.2 入光部光学系形状の最適化

3.1節に示した新方式で，目的のLED数削減を実現するには，LEDからの光が導光板へ入射する入光効率を高く保つことは不可欠である。そこで，高い入光効率を実現するために，光学系の形状に関して光学シミュレーションで最適化を行った。**図5**に示す寸法をパラメータとして入光効率が最も高くなるようにシミュレーションを行った。パラメータの中で特に第2の凹部の形状及び球面の曲率が入光効率に影響を与える。一例として，第2の凹部の深さ(**図5**のC)及び球面の曲率(**図5**の1/R)を変化させたシミュレーションの結果を**図6**に示す。入光効率はC及び1/Rに依存して変化する。球面によって屈折される光の角度と円錐形状の斜面の角度によって，光が透過するか反射して導光板内へ伝播(でんぱ)するかが決まる。これらのパラメータを最適化することによって，従来方式と同等以上の効率で導光板へと光を入射させることが可能となる。最も入光効率が高いC＝1.8，1/R＝0.35を選択した場合，入光効率は従来方式の約90%に対して93%となり，同等以上の入光効率を得ることができた。

3.3 光学系の性能シミュレーション

新方式の光学系による輝度均一性改善の効果を確かめるために，**3.2節**で入光効率を最適化した形状を用いて，光学シミュレーションによって実際のB／Lの輝度均一性を計算した。導光板に10個のLEDを配置し，同じLED数で新方式と従来方式との比較を行った。シミュレーションに用いたモデルを**図7**に示す。表示領域から10mm離れた位置における光の分布を計算した結果を**図8**(a)に示す。新方式ではLED間の明暗のむらが視認されることはなく，従来方式と比較して，より均一に光が広がっていることが分かる。新方式を用いることによって，少ないLED数でも良好な輝度の均一性が得られることが確認された。**図8**(b)には従来方式のLED数を20個及び30個とした場合の同シミュレーションの結果を示す。従来方式でLED数30個の場合と新方式で10個の場合で，輝度均一性が同等となる。

これらのシミュレーション結果から，新方式を適用することによって，従来方式と同等以上の入光効率を実現しながら輝度均一性の課題を克服できることが分かる。これによってB／Lに搭載するLED数を削減することが可能となる。



(a) 新方式LED−B／Lの平面図と光の広がり

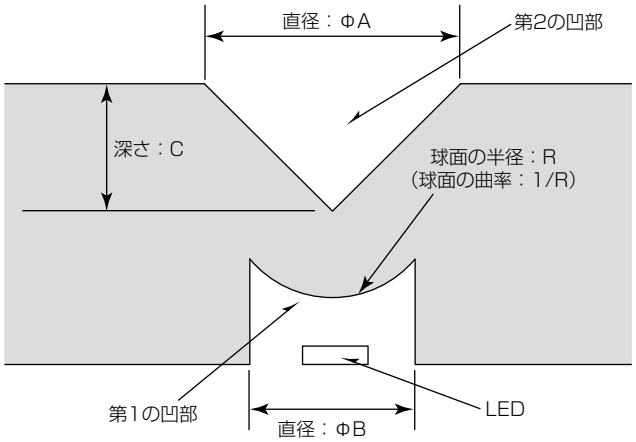
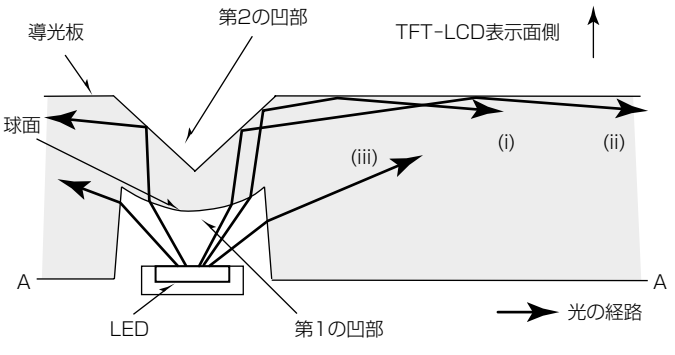


図5．入光効率最適化のパラメータ



(b) 新方式LED−B／Lの入光部断面

図4．新方式LED−B／Lの構造

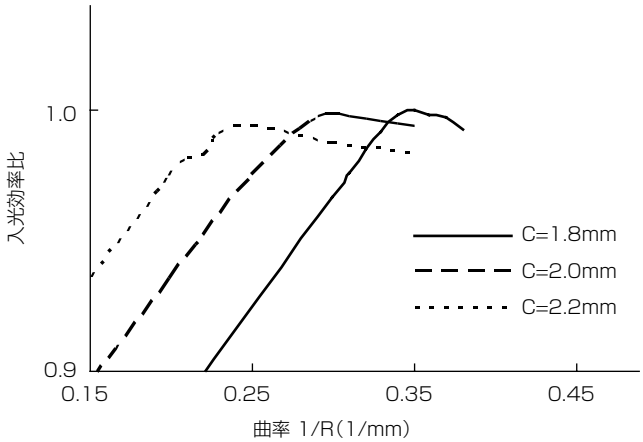
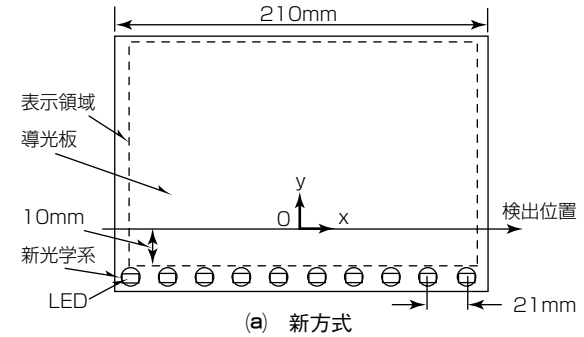
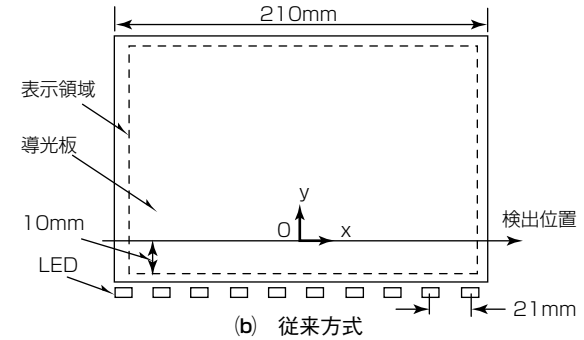


図6．入光効率の最適化

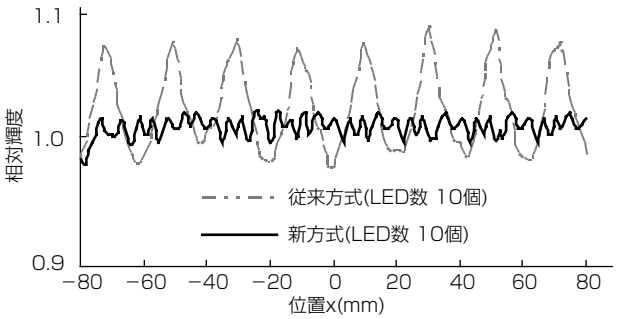


(a) 新方式

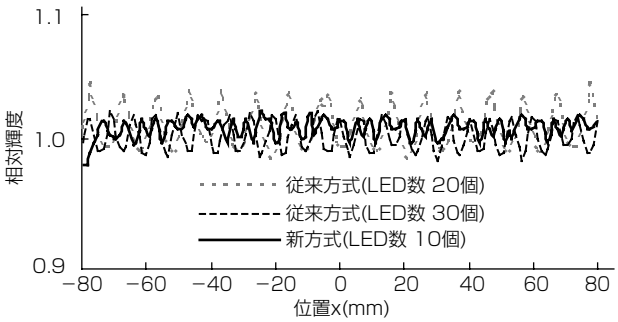


(b) 従来方式

図7．光学シミュレーションモデル



(a) LED数が同一の場合の比較



(b) LED数が異なる場合の比較

図8．光学シミュレーションの結果

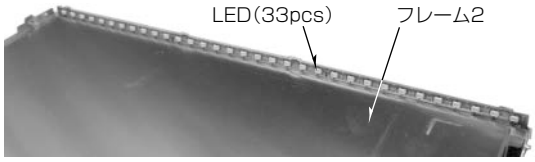
4. 新構造LED−B／L製品試作の評価結果

次に，光学シミュレーションの結果に基づき，新方式を適用した12.1インチSVGA TFT-LCDモジュールを開発した。**表1**に従来方式B／Lと今回開発した新方式B／Lを適用したTFT-LCDモジュールの仕様を示す。両者の光学仕様及び外形寸法は同一である。それぞれのサンプルの写真を**図9**に示す。**図10**には，実測におけるLED近傍の表示エリア端より10mmの位置の輝度の分布を示す。新方式は

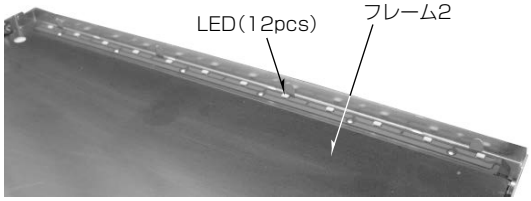
表1．TFT-LCDモジュールの仕様比較

	仕様	
B／L方式	従来方式	新方式
製品サイズ(mm)	260.5(H)×203(V)×9.5(D)	
色純度(%)	72-NTSC(CIE xy space)	
輝度(cd/m²)	500	
LED個数(pcs)	33	12
LED電流(mA)	50	150

NTSC：National Television System Committee
CIE　：Commission Internationale de 1'Eclairage



(a) 従来方式



(b) 新方式

図9．製品サンプルの比較

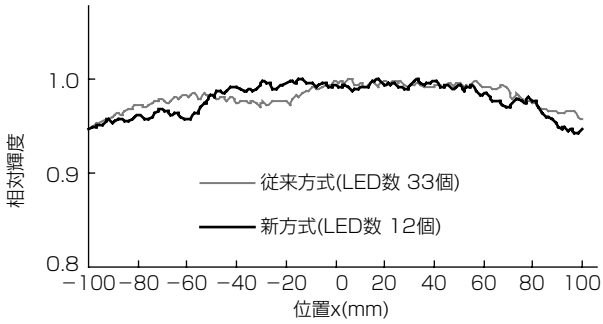


図10．輝度均一性の比較

従来方式と比較して，少ないLED数でありながら同等以上の輝度均一性を達成している。新しく開発したB／Lを12.1インチTFT-LCDに適用すると，従来方式と比較して約40%のLED数で高い輝度均一性を実現できた。従来方式では輝度均一性を得るために33個のLEDを必要としたが，新方式はわずか12個のLEDで同等の輝度均一性及び輝度を得ることができた。

5. むすび

今回，LED数を減らしながら高い輝度均一性を実現できる新しいLED-B／Lを開発した。12.1インチSVGA TFT-LCDにこの方式を適用し，従来方式と比較して約40%のLED数で同等の輝度及び輝度均一性を実現できた。

この新LED-B／Lを適用すると，近年の高光束LEDを最大限効率良く使用することができ，コスト低減，低消費電力化に貢献できる。