
調色・調光型有機EL照明の開発

Development of Color Tunable and Dimming OLED Lighting

大下 勇

Isamu Ohshita

要 旨 筆者らはホール注入層に塗布型材料を導入し、世界初の調色・調光型有機EL照明を開発した。パネルは発光エリアサイズが123.1mm×123.1mmで、発光特性は白色1,000cd/m²で寿命Typ8,000時間（LT70；輝度が初期から30%減衰するまでの時間）、発光効率31lm/W、演色性Ra=84。発光層は蒸着法によりR/G/Bストライプに塗り分けて調色が可能である。モジュールは通信機能を備え、国際標準規格DMX512-A制御及びDALI制御により、多様な光演出ができる。なお、新機種も順次開発した。初代機種と同じパネルサイズに加えて、回路基板分離型やパネルサイズ小型版もラインナップに揃えた。この新機種は発光層をR/Y/Bにすることにより、白色2,000cd/m²で寿命Typ8,000時間（LT70）、発光効率50lm/W（1,000cd/m²時）を実現した。

Summary We developed the world's first color-tunable and dimming organic light emitting diodes (OLED) having a hole injection layer formed by wet process.

Our OLED lighting consists of an OLED panel and a drive/control circuit board.

The OLED panel has the light emitting area of 123.1mm×123.1mm, lifetime of around 8,000hours (LT70; time to loss 30% of initial luminance), luminous efficiency of 31lm/W, and Color Rendering Index Ra of 84 at the white luminance of 1,000cd/m².

In addition, the panel has red, green and blue stripe light emitting layers fabricated by vacuum deposition method, so it can change the emitting color.

The drive/control circuit has communication functions compatible with international standard DMX512-A and DALI. Thus, our OLED lighting can provide various lighting effects with an external controller.

And also, we developed new models that are an equal-sized model, a small-sized one and a circuit-board-separated one.

We introduced red, yellow and blue light emitting layers into them, so we have realized lifetime of around 8,000hours (LT70) at the white luminance of 2,000cd/m² and luminous efficiency of 50lm/W at the white luminance of 1,000cd/m².

キーワード：有機EL，照明，塗布型，ホール注入層，調色，調光

1. はじめに

CO₂削減のために、エネルギー消費を抑えることが社会的なニーズとなっている。電気エネルギー消費の約20%を占める照明において、欧州ではEU環境指令に基づき、発光効率の極めて低い白熱電球の一部例外を除くワット数の高いものから順次製造・販売を禁止する動きが進んでおり、2016年には省エネランプへの完全移行が計画されている。中国や米国でも時期の違いはあるものの同様な動きが進んでいる。そのような環境配慮への潮流の中、白熱電球からの切替えに比較的障壁の少ない類が電球型蛍光灯である。電球型蛍光灯は白熱電球と互換性のある口金で、電球に近い発光色も存在し、発光効率が高く、つまり電気代も抑えられ、寿命が長い等の利点から消費者としても買い求めやすいランプである。しかしながら電球型蛍光灯は白熱電球には含有されていない微量の水銀を含んでおり、適切な廃棄処理がなされないと環境に悪影響を及ぼす危惧があるが、消費者全体にその意識が根付くか、の懸念がある。

そこで最近の照明市場では水銀を含まないLED照明が急速な発展を遂げてきた。発光効率の改善は目覚ましく、時代のニーズと共に価格も急激に下がり、省エネランプの代名詞とも言われるようになった。

LEDの動向と並行して次世代照明と期待されるもうひとつのランプが有機EL照明である。LEDと同じく水銀を含まない有機EL照明は、LEDの高性能化及び低価格化の勢いに苦戦しつつも、特徴である薄型、面光源、光の良質さ等の優位性が評価され、参入企業が増えていると共にパネルの発光効率や寿命等の性能向上も著しい。⁽¹⁾⁽²⁾

その有機EL照明も近年、研究開発から製品化ステージに入った。参入企業のほぼ全社が白色照明を開発、製造している現状に対し、筆者らと東北パイオニア（株）（以降、筆者らと記す）は連携して、これまで培ったメタルマスクによる塗り分け蒸着技術を応用し、R/G/B 3色ストライプ発光の強弱で調色・調光可能な有機EL照明を新たに開発した。この調色機能を十分に発揮するため点灯制御方式には照明の通信に関する国際標準規格DMX512-A (Digital Multiplex with 512 pieces of information) 及びDALI (Digital Addressable Lighting Interface) を搭載して、演出照明システムを始めオフィスビル/店舗用システム等にも柔軟な対応を可能とした。

本稿では筆者らが開発した世界初の調色・調光型有機EL照明の特徴について述べる。

2. モジュールの構造

東北パイオニア（株）にて製造した本モジュールは有機ELパネル部と回路部とを合体させた一体型構造である。光取り出しフィルムから封止ガラス裏面までのパネル部に相当する厚みは約2.4mmで、その背面には取付け用と均熱効果を兼ねるアルミ材の均熱板を接合し、更に駆動と点灯制御を担う回路基板を背負う。回路基板にはDC24V入力及び外部制御用コネクタを搭載している。フロントガラス表面には光取り出しフィルムを備える。図1にモジュールの外観、図2にモジュールの厚さを示す。

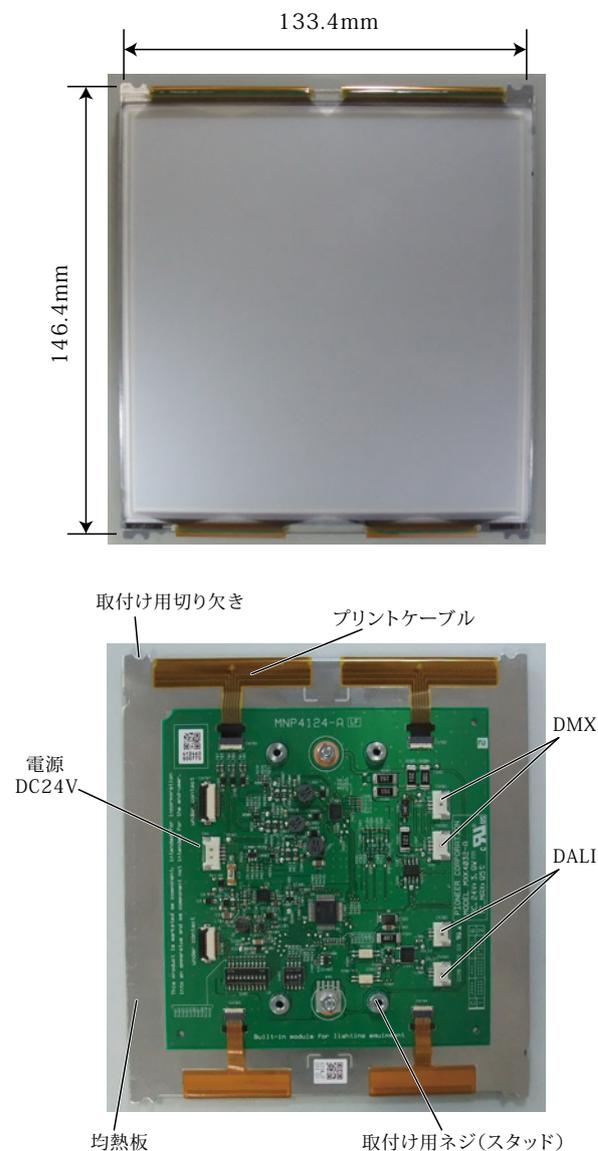


図1 開発した有機EL照明モジュールの外観

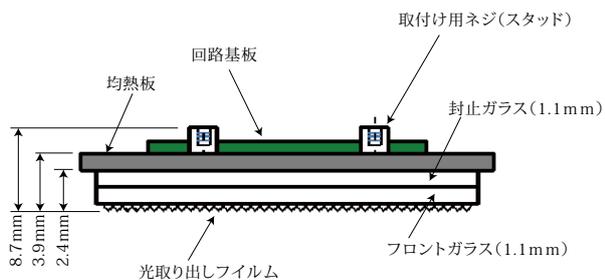


図2 モジュールの厚さ

3. 塗布型材料を用いた有機EL素子

東北パイオニア(株)は1997年の世界初有機ELの量産化以降、これまで数多くのパッシブ駆動型有機ELディスプレイ製品を世に送り出しており、携帯電話のサブディスプレイ用途や車載用途等への累計出荷台数は1億台を超える。最近では大型映像装置のタイリングディスプレイが公共施設等に採用されている。ディスプレイ市場では低価格化はもちろんのこと、求められる製品性能が益々高まり、より高輝度化、より大型化、そしてより長寿命化が望まれている。これらの要求は照明分野でも通じるところがあり、筆者らは製造技術の大半を共通化できる有機EL照明でのブレークスルーの可能性を探っていた。転機は塗布型ホール注入材料の適用であった。

有機EL素子は陽極となる透明導電膜(ITO; Indium Tin Oxide)と有機薄膜及び金属陰極膜の積層構造からなり、有機薄膜と金属陰極膜を形成する装置は真空蒸着機が一般的である。真空蒸着法では形成する薄膜の良好な膜厚均一性を得るために蒸発源からガラス基板までの距離を十分に取る必要があり、そのため四方に飛んだ材料が真空槽の内壁にも付着してしまい、材料使用効率が劣る。また蒸発した材料は直線的に飛んでいくため、図3に示すようにガラス基板上に凸状の段差や異物があると水平面には付着するが、影になる段差の側壁やふもとには付着しにくいという特徴がある。

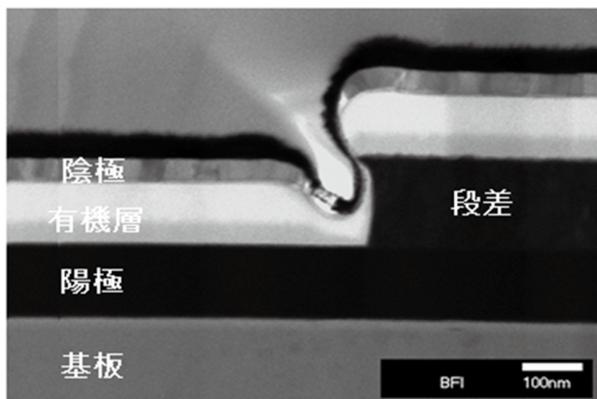


図3 蒸着により成膜した素子の凸段差の断面写真

ガラス表面の傷、ITO表面の凹凸や異物は有機薄膜の平坦性を阻害し、この課題解決が高輝度を発する有機EL素子には急務であった。

図4のように凹凸等で局部的に有機薄膜の平坦性が失われた箇所では、陽極と陰極との距離が狭くなることがあり、その後の通電でその箇所の絶縁性が保たれない状態に陥り、最終的には絶縁破壊(ブレイクダウン)を生じて駆動電流がリークする不良症状を引き起こす。平坦性の乱れにより陽極と陰極が接触してショートしてしまうことも少なくない。

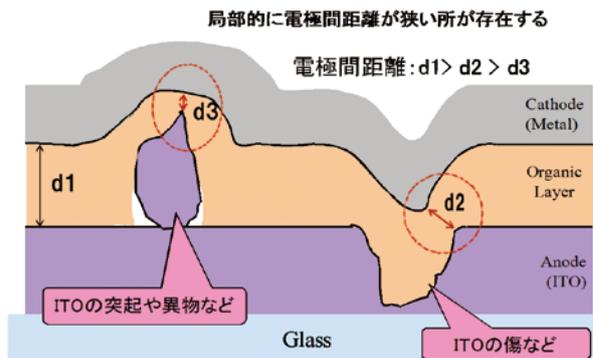


図4 電極間距離の不均一性

その課題を克服するために、図5に示すようにITO上のホール注入層(HIL)に三菱化学(株)製の塗布型材料を採用した。液体である塗布型材料を下地層として大気圧下で塗り、乾燥・焼成した後以降の層を蒸着法により形成する。これにより凹凸への被覆性が格段に向上し、有機薄膜が局部的に薄くなることを回避でき、製品品質レベルに達した。図6に凸状の段差が被覆された状態を示す。

塗布型材料のもうひとつの優位点として挙げられるのが材料使用効率である。蒸着法と比較すると塗布法は膜形成したい領域に選択的に材料塗布ができるため使用効率が向上し、結果としてモジュールコストを抑えることができる。

塗布型材料の採用は現時点ではホール注入層のみであるが、ホール輸送層(HTL)や発光層(EML)への適用も開発中で、それにより更なる低価格化が期待できる。

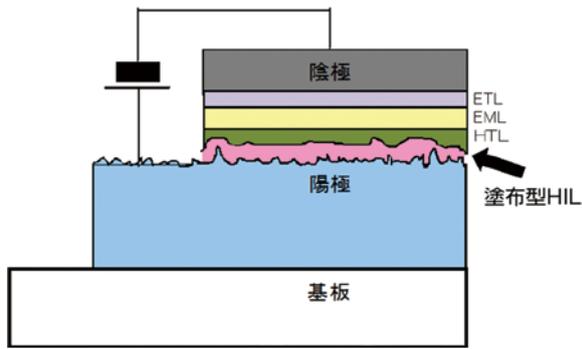


図5 塗布型ホール注入材を用いた素子構造

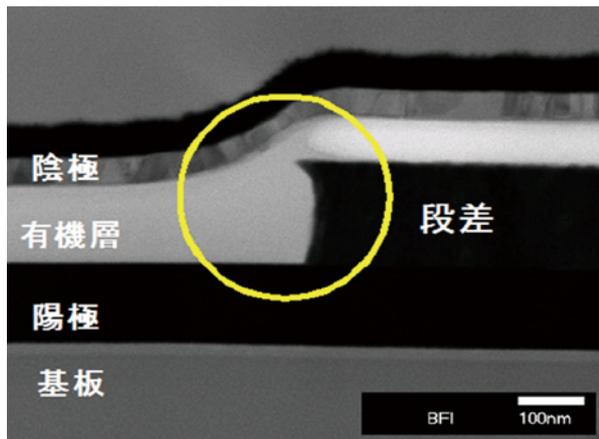


図6 塗布型ホール注入材を用いた素子の凸段差の断面写真

点があり、LEDや他社の白色有機EL照明との差別化ができる。

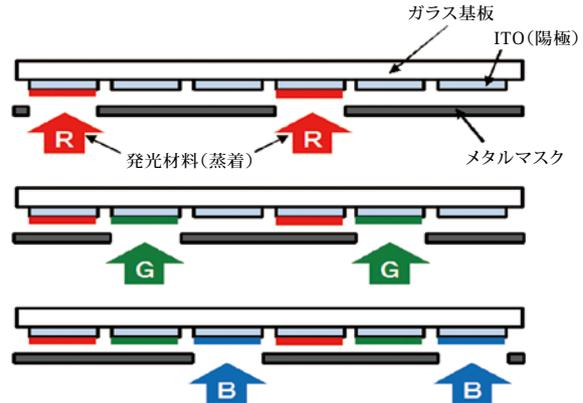


図7 並置型3色塗り分け蒸着法

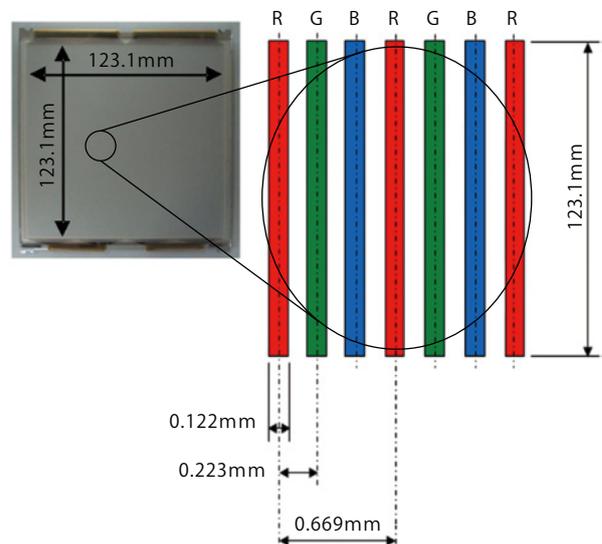


図8 3色ストライプ配列

4. モジュールの特徴

4.1 R/G/B 3色ストライプ構造

パネル部の設計では、HILに関わる要素以外はこれまでのパッシブ駆動型有機ELディスプレイの製品設計基準を適用した。調色機能はフルカラー有機ELディスプレイ技術で十分に実績のあるメタルマスクによるR/G/B並置型3色塗り分け蒸着法で実現する(図7)。

発光エリアサイズは123.1mm×123.1mmの正方形で、ストライプピッチ0.223mm×3(RGB)、ストライプ本数184本×3(RGB)、開口率54.7%である(図8)。

発光色は図9に示す三角形の内側の範囲で、R/G/B各色1,000階調の調色が可能である。モジュールは白発光の色温度3,000Kで輝度1,000cd/m²に調整して出荷する。白色は1,200K~6,500Kの色温度調整が可能である。

調色機能を備えることで、①装飾的な付加価値の創出、②出荷前に白色の色温度及び輝度の調整をすることにより、3,000K-1,000cd/m²のバラツキが極めて小さい、③エンドユーザーでも色調整が可能、という利

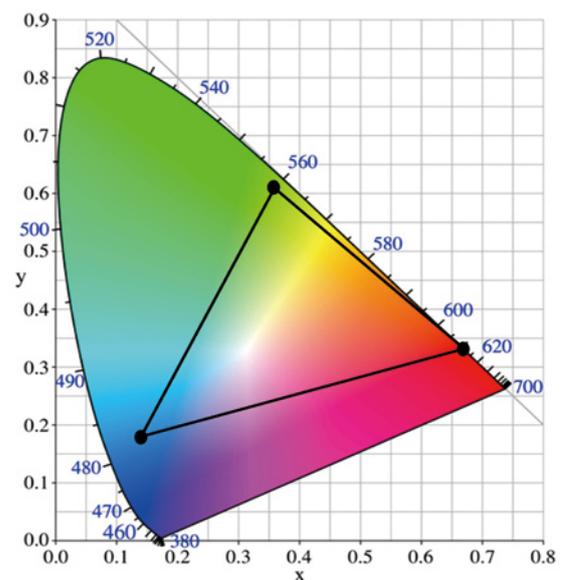


図9 調色範囲

4.2 光取り出しフィルム

図10に示すように発光層で発した光は全方位に広がるが、ガラスとITO、あるいはガラスと空気との屈折率差で生じる全反射により、外に出てこない光はパネル内部で減衰してしまう。実際には外に出てくる光量は全光量の約20%しかないため、閉じ込められてしまう光を有効的に外に取り出す工夫が必要である。

筆者らはフロントガラス表面に光拡散タイプの光取り出しフィルムを貼付することにより、貼付しないものに比べ、正面輝度を1.3倍に上げることができた。図11に示すように光拡散タイプはストライプを目立たなくする効果もある。

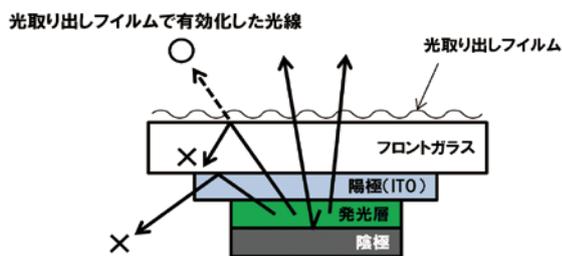


図10 光取り出しフィルムの効果

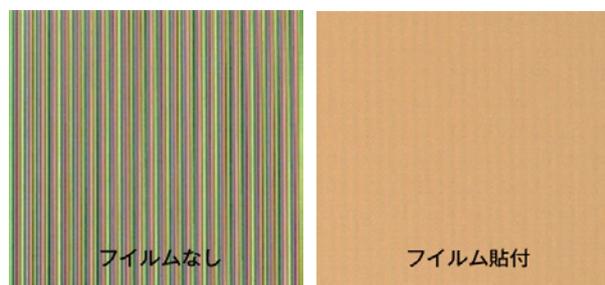


図11 ストライプの見え方

4.3 視野角依存性

前述の光取り出しフィルムを用いることで、輝度アップとストライプのぼかし効果の他に、視野角による色度変化を抑制することができる。

図12は光取り出しフィルムを貼付したパネルと貼付しないパネルを3,000K-1,000cd/m²で発光させ、正面から見た鉛直方向を0°とし、そこから10°刻みで傾けたときの色度の軌跡を示す。光取り出しフィルムを貼ると色度変化は改善するものの、黄緑色～シアン色側に変化していることがわかる。これは図13に示すように、R/G/B各色の配光分布の差により生じるもので、有機薄膜構造と光取り出しフィルムとの組み合わせの更なる最適化が必要である。

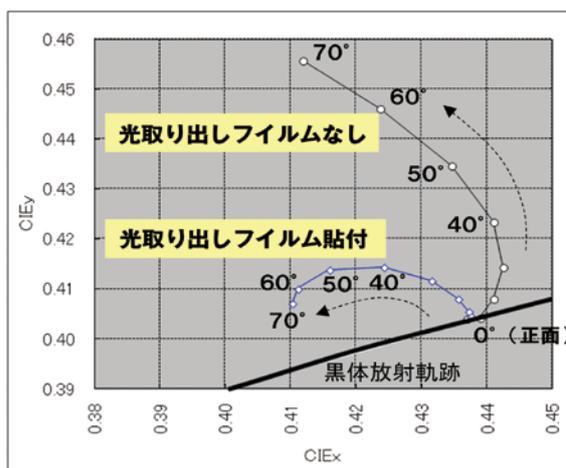


図12 視野角依存性

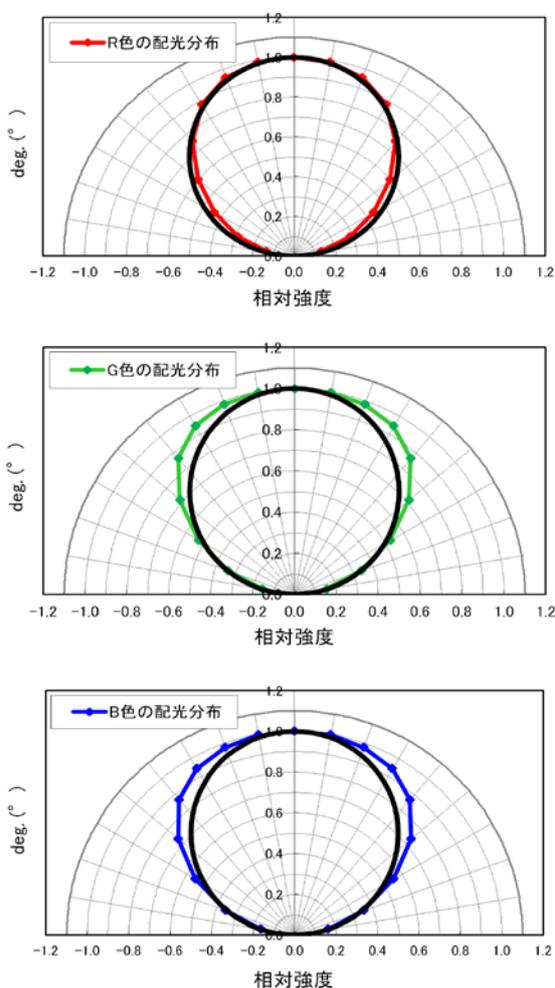


図13 各色の配光分布

4.4 演色評価数

照明分野では物体を照らしたときにその照らされた物体の色の見え方を表す語として「演色性」を用い、自然光に近いものを演色性が高い（良い）と表現する。それを数値化した指数に演色評価数があり、平均

演色評価数(Ra；R1～R8の平均値)と特殊演色評価数(R9～R15)がある。表1に本モジュールの演色評価数を記す。LEDや他社の白色有機EL照明に比べ、R9が優れていることが特徴である。

表1 本モジュールの演色評価数

Ra	84	平均演色評価数
R1	76	暗い灰
R2	86	暗い黄
R3	97	深い黄緑
R4	72	黄緑
R5	75	薄い青緑
R6	72	薄い青
R7	97	薄い紫
R8	95	赤みの紫
R9	85	赤
R10	73	黄
R11	58	緑
R12	65	青
R13	76	西洋人の肌の色
R14	96	木の葉の緑
R15	85	日本人の肌の色

4.5 機械的強度

本モジュールは照明器具となる最終形態ではない裸状態であるため、顧客により器具や建材物等に組み込んで使用してもらう必要がある。よってモジュールの機械的剛性が不十分だと、顧客が器具へ組み込む際にモジュールを破損してしまったり、過度な押し込みにより有機薄膜を損傷して発光不良を起こしてしまう恐れがある。そこで従来の有機ELディスプレイ製品の標準信頼性試験項目に加えて、裏面の取付けネジ部（スタッド部）からの押し付け強度試験及びねじり強度試験を実施した。

4.5.1 押し付け強度試験

平面上にモジュールを置き、φ10mmのステンレス棒で発光面の中央部または裏面のスタッド部を押す。図14は横軸に押し込み変位（mm）、縦軸に荷重（N；ニュートン）を示した結果である。荷重曲線に変曲点が見られた時点で、パネル内部の有機薄膜が封止ガラス内壁や内蔵のシート状乾燥剤に接触したことを示し、その時の荷重を「圧迫耐力」と定義した。発光面中央部は100Nを超える十分な圧迫耐力があるが、裏面のスタッド部からの圧迫耐力は均熱板の厚みにより差異があることが解った。この結果より、モジュール構造上の安全率を考慮して厚さ1.2mmの均熱板を採用した。

φ10mmの棒で、この部分に荷重をかける

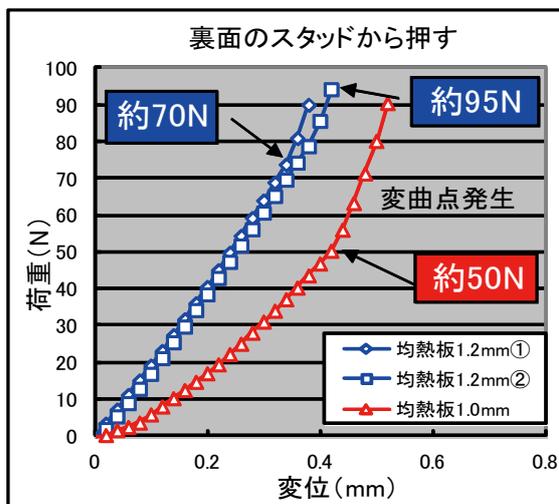
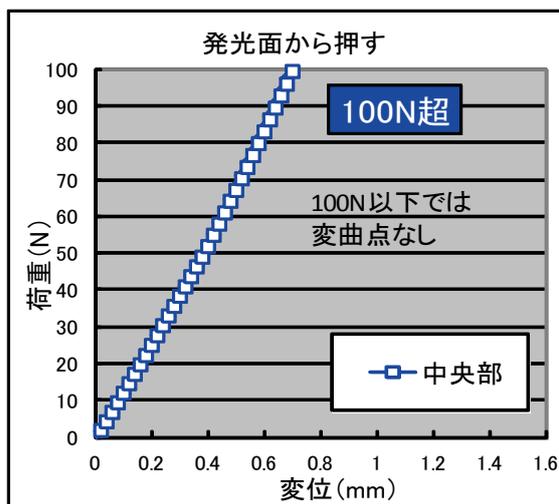
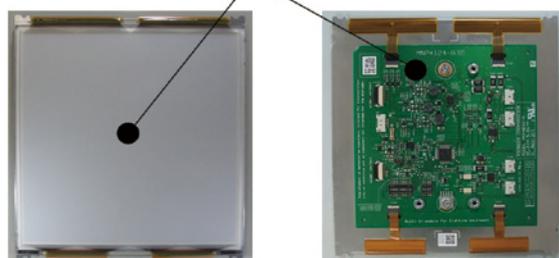


図14 押し付け強度試験結果

4.5.2 ねじり強度試験

モジュールの取付け用には前述の4箇所のスタッド部のほかに、均熱板の四隅にM3ネジ用の半円状の切り欠きを備えている（図1）。ねじり強度試験では各々の取付け方法において、3箇所を同一高さで固定し、残りの1箇所に意図的な変位（ねじり）を与えることによる変位量と故障モードとの関係を検証した。

結果は、スタッド部でねじって固定した場合は1箇所に2.5mmの変位を与えるとパネル内部の有機薄膜がシート状乾燥剤に接触した。また四隅の切り欠き部で

ねじって固定した場合では、1箇所5mmの変位を与えると封止ガラスと均熱板とを貼り付ける両面テープが剥れ始めた（図15）。この結果にばらつきと安全率を加え、スタッド部で取付ける際は平面度1mm以内、切り欠き部で取付ける際は平面度2mm以内、を取付け時の規格上限値と定めた。

なお、この規格上限値でねじった状態を維持した場合でも各種標準信頼性試験をクリアしている。

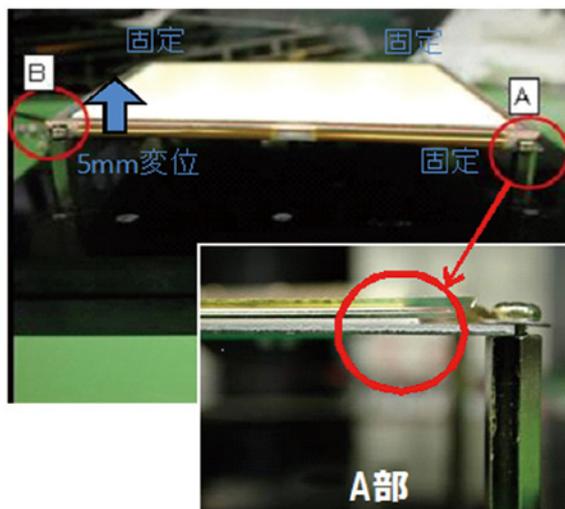


図15 ねじり強度試験結果の一例
(切り欠き部Bを5mm変位させると対面のA部で均熱板の剥れ発生)

4.6 通信規格

本モジュールの最大の特徴である調色機能を、照明や舞台演出等を扱うプロフェッショナルにも受け入れられるように、点灯制御方式に有機EL照明では世界初の国際標準規格DMX512-A及びDALIを搭載した。どちらも照明機器の調光制御をする際に使用されるコマンド伝送方式の規格であり目的により使い分けられるが、双方の規格を搭載することでより多彩な制御が可能である。

【DMX512-A規格】

■ ANSI E1.11

Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories

【DALI規格】

■ IEC 62386-101 Ed. 1.0

Digital addressable lighting interface - Part 101: General requirements – System

■ IEC 62386-102 Ed. 1.0

Digital addressable lighting interface - Part 102: General requirements – Control gear

■ IEC 62386-209 Ed. 1.0

Digital addressable lighting interface - Part 209: Particular requirements for control gear – Colour control (device type 8)

図16 本モジュールの通信規格

4.7 環境対応と安全対応

本モジュールは国内販売だけではなく米国や欧州等でも販売するため、国際的な規制や規格を遵守する必要がある。例えば有害化学物質の規制であるRoHS (Restriction of Hazardous Substances) , REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) はもちろんのこと、表2に示す性能や構造上の安全規格に対しても満足するモジュールとした。

なお、UL8750とはUL (Underwriters Laboratories Inc.) が提唱するLEDチップをパッケージした状態、制御回路、電源へ適用される安全規格だが、申請当時は有機EL照明独自のUL規格が存在しなかったためULからの指示により、このUL8750を認証取得した。

表2 本モジュールの安全規格

種類	規格名
構造安全	IEC62031:2008 (1st Edition)
	UL 8750 (1st Edition)
	CSA C22.2 No. 250.0-08 (3rd Edition)
	<ul style="list-style-type: none"> • File# : E343192 • CCN : 00QA2/8 • Model : MXK4032-A • Product : OLED Module
EMC (エミッション)	EN55015:2006 + A1:2007 + A2:2009 注：制御線の試験は除外
	CFR 47 FCC Rules and Regulations Part 15 Subpart A and B
EMC (イミュニティ)	EN61547:2009
生体安全	IEC62471:2006

4.8 性能一覧

これまで述べた本モジュールの性能を表3にまとめる。

表3 性能一覧

パネル外形	133.4mm×146.4mm×8.7mm (取付け部含む)
発光エリア	123.1mm×123.1mm
ストライプピッチ	0.223mm×3(RGB)
開口率	54.7%
発光色	RGBストライプカラー 燐光R(0.664, 0.335) 燐光G(0.343, 0.613) 蛍光B(0.148, 0.163)
駆動方式	定電流DC駆動
輝度	3,000K, 1,000cd/m ²
寿命(LT70)	8,000時間(Typ)
Ra	84(Typ)
R9	85(Typ)
発光効率	パネル部 31lm/W(Typ)
定格消費電力	2.5W(Typ)、最大定格3.9W
点灯制御方式	DMX512-A, DALI
重さ	192g
安全対応	構造; IEC62031:2008 (1st Edition) UL8750 CSA C22.2 No. 250.0-08 (3rd Edition) EMC; EN55015:2006 + A1:2007 + A2:2009 CFR 47 FCC Rules and Regulations Part 15 Subpart A and B EMC; EN61547:2009 生体; IEC62471:2006
環境対応	RoHS指令適合 REACH規制適合

5. 新機種の特徴

筆者らは、調色・調光型の新機種を順次開発した。前述の初代機種との大きな違いは発光色をR/Y/Bにしたことである。これにより輝度が2倍の白色3,000K-2,000cd/m²で寿命Typ8,000時間(LT70)、発光効率50lm/W(1,000cd/m²時)を実現した。輝度を抑えて使用すれば、寿命を延ばすことができる。

安全対応では、ULにて新たにリリースされた有機EL照明向けの独自規格UL8752を認証取得した。

5.1 調色範囲

ストライプをR/Y/Bにしたことによる調色範囲は図17に示す三角形の内側になる。G色の調色領域が初代に比べて狭くなるが、白色の調色領域への影響はなく、この機種においても1,200K~6,500Kの色温度調整が可能である。

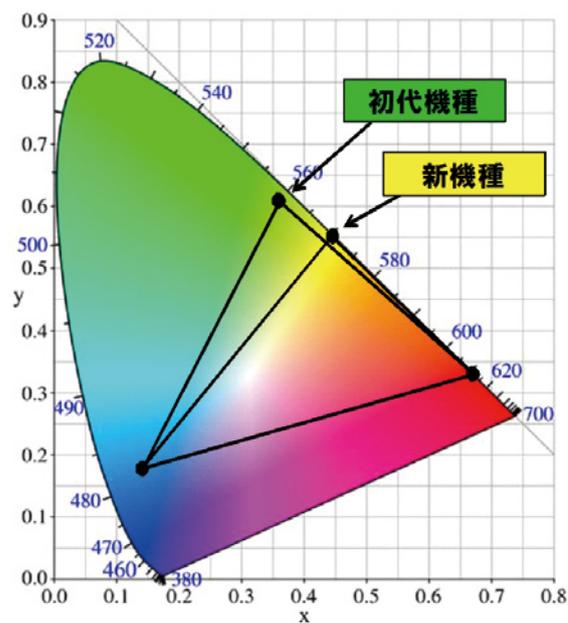


図17 新機種の調色範囲

5.2 回路一体型と分離型

新機種では初代と同じ回路基板一体型と、回路基板の別置きが可能な回路分離型の2つのバリエーションを開発した。

分離型のパネル背面はシンプルな中継用基板のみとし、駆動基板及び制御基板は独立してケース等に収納することができる。また制御基板1枚につき、パネルを最大6台まで制御することができる(図18-1, 2)。

分離型は、①パネルの薄さを訴求、②器具施工性の向上、③駆動基板からの熱伝搬の防止、等の利点がある。

更に分離型では、発光エリアサイズが56.1mm×56.1mmの小型版もラインナップに加えた(図19)。

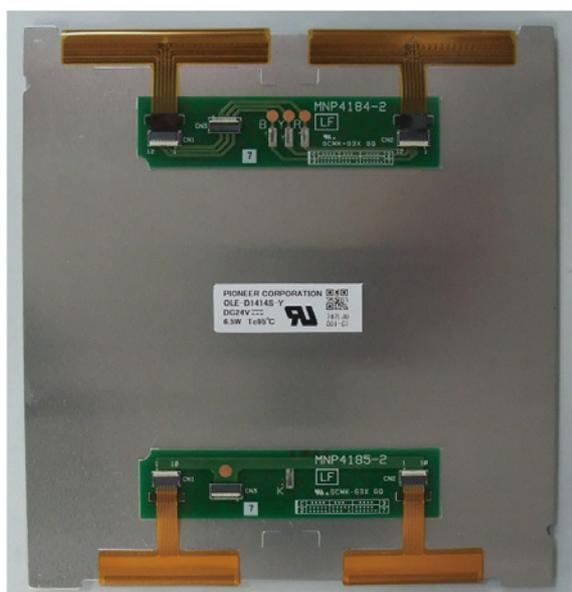


図18-1 分離型の背面

6. まとめ

筆者らは世界初の調色・調光型有機EL照明を開発し、装飾照明分野に一石を投じた。また輝度2倍、501m/W (1,000cd/m²時)、分離型、更にパネルサイズ小型版もラインナップに揃えた新機種も順次開発した。今後は性能向上と低価格化を目指し、販売拡大を目指す。

7. 謝辞

本モジュールの開発に際し、塗布型材料を開発、提供して下さった三菱化学(株)様、(株)三菱化学科学技術研究センター様、モジュールの製品化を担った東北パイオニア(株)、並びに研究開発部先行開発部、有機EL照明事業推進室に深く感謝致します。

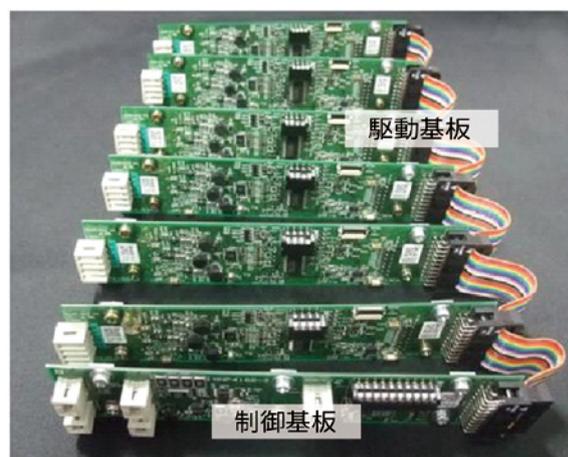


図18-2 駆動基板と制御基板の連結の例
(写真は6連結時)

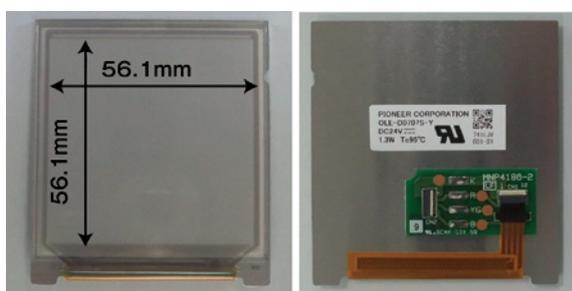


図19 分離型のパネルサイズ小型版

参 考 文 献

- (1) Keiji Sugi, Tomio Ono, Daimotsu Kato, Toshiya Yonehara, Tomoaki Sawabe, Shintaro Enomoto and Isao Amemiya, SID2012 DIGEST, 1548, (2012)
- (2) Takuya Komoda, Kazuyuki Yamae, Varutt Kittichungchit, Hiroya Tsuji, and Nobuhiro Ide, SID2012 DIGEST, 610, (2012)

筆 者 紹 介

大下 勇（おおした いさむ）

研究開発部EL研究部 所属。

産業用自動制御生産機器の設計，投影型プロジェクターの研究開発，有機ELディスプレイの開発を経て，現在は有機EL照明の開発に従事。