

LED ディスプレイの明るい未来 圧倒的な美しさとそれに見合う価格

モーリー・ライト

LED技術が、ミニLEDからマイクロLEDへと進行する中、自発光型LEDビデオディスプレイの屋内利用が増加している。技術は既に魅力的だが、価格はまだかなり高い。

米コーディッシュカンパニーズ社 (The Cordish Companies) が米国主要都市で運営するスポーツレストラン／バー「Live!」の1つに足を踏み入ると、自宅の高精細度 (High Definition: HD) テレビの画質に幻滅するだろう。4Kテレビで4Kコンテンツを見ていたとしても。ジョージア州アトランタ、テキサス州アーリントン、ペンシルベニア州フィラデルフィア、ミズーリ州セントルイスに位置する4店舗のレストランに設置された、自発光型または直視型の巨大ビデオディスプレイを見ていると、ま

るで自分が試合会場にいるかのように感じる (図1)。輝度とコントラスト比は素晴らしい。その体験を自宅に持ち込もうとすれば、それよりもはるかに小型で、居間の壁ほどのサイズであったとしても、100万ドル近くはする。それでもLEDやディスプレイのメーカーは、そのような体験を一般消費者に提供したいと考えている。ミニLED技術やマイクロLED技術は成熟し、固体照明 (Solid State Lighting: SSL) 業界は製造上の障害を乗り越えている。この直視型ディスプレイは、膨大

な量のLEDエピタキシャル面積を消費する応用分野になろうとしている。

自発光型LEDディスプレイの現在と未来について、この後すぐに説明するが、まずは簡単に過去を振り返りたいと思う。自発光型ディスプレイは、主要なスポーツ会場の屋外、タイムズスクエアや中国の大都市などの主要大都市圏のビル外壁、さらにはデジタル掲示板や看板に、広く採用されている。そうした用途にはLEDが唯一の選択肢である。LEDは、日光の下でもディスプレイが見えるだけの光出力を生成できるためだ。そのような屋外ディスプレイは安価ではないが、それが設置されるのは、その技術を導入するだけの経済的能力がある会場である。本誌



図1 コーディッシュカンパニーズ社が運営する4店舗の「Live!」レストランには、LEDを採用した直視型ビデオディスプレイが設置されている。写真は、テキサス州アーリントンに設置されている対角100フィートのディスプレイで、ピクセルの高速オン/オフと卓越したコントラスト比によって、HDRと呼ばれる超現実的な画質を提供する。(写真提供: コーディッシュカンパニーズ社)

はかつて、この技術が当たり前になるよりも前に、屋外LEDディスプレイに関する記事を定期的に掲載していた。記憶に残るプロジェクトとしては、2011年のNASCARレーストラックが挙げられる。

このような大型屋外ディスプレイのピクセル間隔(ピッチ)は比較的大きい。特にビル外壁に取り付けられる場合、視聴者は通常、遠く離れた位置から屋外ディスプレイを眺めることになるため、そのピッチは数インチに及ぶか、少なくとも数十mmはある。ピクセルピッチは、自発光型LEDディスプレイのコストを引き上げる要因である。これについては後述する。一部の屋外ディスプレイは、何らかのプラスチック製円盤型パッケージにRGB(赤色、緑色、青色)LEDを実装したものを各ピクセルとし、その列またはメッシュで構成される。

屋内または屋外の主要なスポーツ会場で見られるHD品質のディスプレイには、RGB LEDが平面基板またはプリント回路基板(Printed Circuit Board: PCB)に実装された、長方形または正方形のパネルが使われる。それでもピッチは、アメフトスタジアムなどの屋外会場では特に、本稿で取り上げる新しい屋内ディスプレイよりもはるかに大きい。

LEDディスプレイ技術のもう一端には、LEDディスプレイとして位置付けられるテレビやコンピュータモニターがある。しかしこれらは例外なく、LEDバックライト装置付きの液晶ディスプレイ(Liquid Crystal Display: LCD)である。2006年に、このようなLEDバックライト方式の40インチ型テレビが3000ドルで発売された。当然ながら、現在販売されている少数の自発光型有機ELテレビを除き、業界のほぼ全体をLEDバックライト方式のテレビが占めている。

屋内用直視型ディスプレイ

では早速、新たに登場した屋内用直視型LED市場を見ていこう。ここで対象とするのは、(一般的に提供されている液晶テレビよりも大きな)対角100インチ程度のものから、対角が100フィート(約30m)ほどもあり、ビデオウォールとも呼ばれるディスプレイまでである。このようなディスプレイは、これまでの用途の多くがダイナミックサイネージであったため、看板と呼ばれる場合もある。映画館や、前述のLive!レストランのような娯楽施設などのより広範な用途と並行して、そうした利用方法も続く見込みである。

大型ディスプレイは、コンベンションセンターなどの場所で目にする機会が増えている。イベントの主催者が看板をレンタルして、契約スポンサーの表示に利用する。同様に、ホテル業界も早期導入を果たしている。そしてこの技術は、企業の役員会議室や商業的な販売活動にまで利用されつつある。

投資対効果(ROI)

このようなビデオディスプレイを購入する企業の多くは、初期投資を直接的に回収するビジネスモデルを持っている。その1つの例が、前述のコンベンションセンターにおける看板レンタルである。企業の役員会議室では、ディスプレイはほぼステータスシンボルにすぎない。一方、レストランでは、おそらくはより多くの常連客を呼び込むことで、投資が回収される。

Live!レストランを見てみよう。本誌は、アトランタ・ブレーブス(Atlanta Braves)の新しいスタジアムであるセントラスト・パーク(SunTrust Park)に隣接するエンターテインメント地区「The Battery」内にある、「Sports & Social Atlanta - Live!」のスクリーン

を見る機会に恵まれた。レストランのメインディスプレイは、対角32フィート(約9.8m)のHD構成である(幅28フィート[8.5m]、高さ16フィート[4.9m])。

コーディッシュ社からも、いずれかのディスプレイメーカーやAVインテグレーターからも、同プロジェクトの詳細は公表されていない。しかし、調査会社ディスプレイ・サプライチェーン・コンサルタント社(Display Supply Chain Consultants: DSCC)の創設者であるボブ・オブライエン氏(Bob O'Brien)は、そのようなスクリーンのピクセルピッチは2.7mm程度だろうと推測している。その場合で、RGB LEDピクセル数は500万個以上となる。しかも実際のところ、各ピクセルは3つのLEDチップで構成されている。

そのようなディスプレイの価格を推測してくれる人が見つからなかったが、数百万ドルはすると本誌は見積もっている。実際、オブライエン氏によると、そのようなディスプレイのコストは、サイズよりもピッチに比例するという。ピッチによって、必要なLEDとドライバICの数が決まるためである。Live!の別の店舗には、それよりもはるかに大きなディスプレイが設置されている。セントルイスのBallpark Villageにある「Fox Sports Midwest Live!」に設置されているディスプレイは、40フィート(約12m)である。本誌の表紙にも掲載したこの設備は、かなり明るい周辺光(この場合は日光)の下でもこのようなディスプレイがどれだけ高い性能を発揮するかを、はっきりと実証するものになっている。ちなみに、アーリントン・エンターテインメント地区にある「Live! Arena - Texas Live!」には、100フィートのスクリーンが設置されている。

一方、米オーバーン大(Auburn

University)のジョーダンハーレスタジアム(Jordan-Hare Stadium)には、全米カレッジフットボールで最大規模のビデオボードが設置されている。ディスプレイを供給したのは、米ダクトロニクス社(Daktronics)である。190×57フィート(約58×17m)のディスプレイには、LEDが8700万個しか使用されていない。ピクセルピッチが、本稿で取り上げている屋内ディスプレイよりもはるかに大きいためである。

LEDディスプレイのアーキテクチャ

次に、直視型LEDディスプレイの構造またはアーキテクチャについて説明する。エンドディスプレイは、ディスプレイやビデオウォールのビルディングブロックと同様に、正方形または長方形のパネルまたはモジュールで構成される。最良の液晶パネルで構成しても、ビデオウォールには必ず継ぎ目が見えるが、このパネルは、視聴者に継ぎ目が見えないように隙間なく並べられる。また、図2に示したピクセルフレックス社によるプロジェクトのように、このパネルを新しい方法で組み合わせることによって3Dディスプレイを構成することも可能だ。

モジュール式のアプローチには、ほぼ任意のサイズのディスプレイに対して同じモジュールを製造して使用できるなど、多数のメリットがある。しかし、スクリーンの保守性も重要な要素である。設置済みディスプレイの一部が故障した場合、保守担当者は故障したモジュールを簡単に交換でき、ほぼすべての設計で、正面からディスプレイの保守ができるようになっている。

屋内ディスプレイ用のパネルは前述のとおり、主に表面実装部品(Surface Mount Device : SMD)パッケージの

LEDで構成されている。SMD LEDは、個々のRGB LEDチップがパッケージ内に実装されたものである。現在、パネルはほぼ例外なく、自動ピック&プレイス技術によってPCBなどの基板上に組み立てられている。

サプライチェーン

そのようなRGB LEDのサプライチェーン構造は非常に難解である。英IHSマーケット社(IHS Markit)の調査および分析アソシエイトディレクターを務めるタニカ・ベダ氏(Tanika Bheda)によると、日亜化学工業は、屋内および屋外用LEDビデオディスプレイ市場最大のサプライヤーであるという。しかし日亜化学工業は、この市場を手掛けていることさえも特に公表していない。日亜のウェブサイトの特殊照明のセクションには、RGB LEDが掲載されている。米クリー社(Cree)も、SMDカラーLEDポートフォリオでビデオディスプレイをターゲットとしている。同社は、1辺が1mmとい

う小さなRGB製品を提供している。

独オスラム・オプト・セミコンダクターズ社(Osram Opto Semiconductors)は、ディスプレイ分野をターゲットに「Displx」というLEDポートフォリオを提供している。その1つを図3に示す。パッケージLED上に曇った色の一次光学部品が搭載されているのは、意図した目的があるためである。ディスプレイメーカーは、電源を落としたときにはディスプレイ表面が完全に黒色になることを望む。オスラム社の光学部品は、ディスプレイに入射する光(日光や、娯楽施設のエンターテインメント照明)が、LEDの金ボンディングワイヤなどで反射ないように設計されている。パネルメーカーがパネルに黒色のコーティングを施すのも、同じ理由に基づいている。そのような対策はすべて、ある程度の輝度低下につながるが、コントラスト比が高まるため、一般的な画質は向上する。

オスラム社は、最小で1辺0.8mmのDisplx製品を製造している。そのよう



図2 ピクセルフレックス社は、米国を拠点にLEDを採用したパネルや直接発光ディスプレイ製品を提供するメーカーである。(写真提供:ピクセルフレックス社)

な部品があれば、1mmピッチのディスプレイが可能だが、今日のほとんどのディスプレイで、ピッチはまだそれよりもはるかに大きい。パネルやディスプレイを製造するピクセルフレックス社の最高マーケティング責任者を務めるデビッド・ヴィーナス氏(David Venus)によると、今日の屋内市場の最適ピッチサイズは3~6mmであるという。

サプライチェーンの話に戻ると、直視型LED市場のシェア獲得を目指す新規参入企業が存在し、その多くが中国企業である。IHSのベード氏は、中国はこの市場の独占を目指していると述べた。中国ネーションスター社(Nationstar)や米マルチカラー社(Multi-Color Corporation:MCC)などの企業から、かなり安価なRGB LEDが市場に投入されているが、その品質や信頼性についてはほとんど情報が無い。また、これらの企業は、個々のLEDをRBB部品としてパッケージ化しているが、個々のLEDは製造していないようである。それでも、ダクトロニクス社のような大手ディスプレイメーカーさえも、こうした低コストLEDの一部を選択肢の1つとして提供していることを、本誌は把握している。

それと同時に、ベード氏によると、中国を拠点とする液晶パネルメーカーは、今後LED技術への移行が進むのは明らかであることを理由に、LEDパネル市場への参入を図っているという。「コストの低下を理由に、すべてのLCDメーカーが直視型ディスプレイに参入しようとしている」と同氏は述べた。LEDビデオディスプレイの2019年の出荷面積は36.7%増加して110万平方メートル、売上高は51億ドルに達すると、ベード氏は予測した。出荷面積は2023年までに200万平方メートルに到達すると見込まれるという。

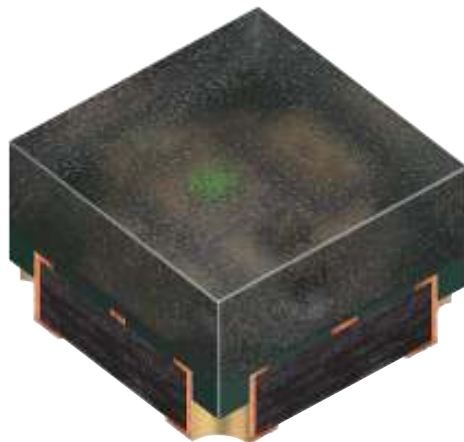


図3 カレント社の屋外照明工場の出荷エリアでは、可視光通信(VLC)によって、フォークリフト、ひいては最終製品の屋内位置特定が行われている。

技術の移行

しかし、コスト低下を持続させるには、LEDコストの低下だけでなく、技術の進歩が必要である。いずれかの時点で、ディスプレイ上の数百万個のLEDに対してピック&プレイスを適用することが意味をなさなくなる。また、LEDの小型化に伴っても、ピック&プレイスは機能しなくなる可能性がある。未来の消費者向けテレビには100 μ m(ミクロン)未満のマイクロLEDが使われるようになり、100~300 μ mのミニLEDはバックライトに取って代わると考えるテレビメーカーもある。

そうした小型LEDには、小さな表面面積から必要な輝度を得る方法、熱緩和策、小さな接触面で信頼できる電気接続を確立する方法など、多数の課題がある。しかし最大の課題は、LEDを基板に実装する方法である。LEDを一度に1つずつ基板上に配置するのではなく、費用対効果の高い何らかのマス・トランスファー(大量移載)手法が求められる。

ヘッドアップディスプレイや拡張現実(Augmented Reality:AR)ヘッドセットなど、ウエハから直接スライスされたモノリシック型LEDのアレイが利用できる、モノクロの用途が存在する。英プレッシー社(Plessey)は、そのよ

うな技術を追求する企業の1つである。またオスラム社は最近、そうした手法を自動車のヘッドランプに採用することを発表している。

しかし、カラーディスプレイでは、RGB LEDを組み合わせるピクセルを構成することが必要で、それら3つの単色LEDはそれぞれ異なるウエハから得られる。米アップル社(Apple)の他、韓国サムスン社(Samsung)やソニーなどの大手民生エレクトロニクス企業が、多額の資金を投入して、マス・トランスファーの概念に取り組んでいる。しかし、アップル社は、かなり小さな「Apple Watch」のディスプレイにおいても、この技術の費用対効果をまだ高められずにいる。

橋渡し役としてのCOB技術

実際問題として、LEDビデオディスプレイ市場の微小ピッチ側では、現時点で既にマス・トランスファー手法が必要な状態にある。そこで導入されているのが、COB(Chip On Board)技術である。COBという頭字語が非常に頻繁に、多数の小さなLEDチップで構成され、目玉焼きのような黄色がかかった橙色の蛍光体で全体が覆われた、高出力または超高出力のパッケージLEDを指して使われることに注意

してほしい。しかし一般的にCOBとは、専用の部品パッケージに封入されたものとは異なり、アプリケーションレベルの基板に直接配置される、パッケージ化されていない半導体(LEDを含む)チップを指す。

IHSのベータ氏は、COB技術の利用がビデオディスプレイにおいて既に増加していると認識していると述べた。しかし、本誌が知る限り、企業各社はその用語を正確に、または一貫して使用していないようである。例えばピクセルフレックス社は、「PixelShield」技術を搭載する、同社の最小ピクセルピッチの「FLEXUltra」製品を、COBベースとしている。しかし、同社のウェブサイトの写真からは、SMDパッケージのLEDが使われているのが明らかに見てとれる。PixelShieldは、上述のディスプレイからの反射をなくすための技術の1つである。

要するに、開発と利用がある程度まで進んでいるCOB技術には、ゆくゆくはマイクロLEDに適用されるマス・トランスファー、実装、電気接続方法が既に活用されている。LED、パネル、ディスプレイのメーカーのすべてが、その課題を追求している。それは段階的に実現される可能性が高い。オスラム社の製品マーケティング担当シニアマネージャーを務めるマイク・マーテンズ氏(Mike Martens)は、LEDメーカーがレベル2モジュールを照明企業に供給するのと同様に、上流で付加価値を与えたいと同社は考えていると述べた。一方、LEDのパッケージングを手掛ける企業は、マルチピクセルのLEDモジュールを提供しようとしている。台湾TSLC社(財政難に苦しむ米セミエーディーズ社[SemiLEDs]傘下)は、SMDパッケージに収容された4×4で16ピクセルのアレイを発表し、64

ピクセルのパッケージを開発中だとしている。

問題は、そのような技術がどれだけ迅速に広く利用可能になり、製造工程からどれだけコストが削減できるかである。IHSはマイクロLED市場の調査も実施しており、スマートウォッチ用の1.5インチのマイクロLEDのコストが、2026年には現在の10%になると述べている。同様に、75インチディスプレイ用のマイクロLEDのコストは、現在の20%にまで低下するという。

コストと市場の現状

ここで現在の状況を確認しておく。まずは、最もハイエンド側の製品である。数年間にわたってマイクロLEDテレビのプロトタイプを披露してきたソニーは、「Crystal LED」ディスプレイシステムを一般販売することをCEDIA Expoで発表した。モジュール式の製品であるため、消費者は任意のサイズと解像度を指定してCrystalシステムを注文することができる。16×9フィート(約4.9×2.7m)で4K解像度のディスプレイの価格は、87万7000ドルである。少なくとも設置料金と5年間の保守契約が含まれるはずだ。さらに小ピッチで16K解像度の場合、価格は数百万ドルに達する可能性がある。

しかしローエンド側は、そこまで驚くほどの価格ではない。ピクセルフレックス社のヴィーナス氏は、確かに一部のプロジェクトは数十万から数百万ドル規模に達するが、数万ドル程度のプロジェクトも同社は多数手掛けていると述べた。前出のニューヨークオフィスプロジェクトは6万ドル未満で、指定されるピッチとLEDによってはそれよりもはるかに低価格に収めることができるという。その価格帯ならば、増収効果を理由にか

なり容易に正当化できる。

予期していなかった応用分野であってもLED技術が促進される可能性がある。映画館だ。LEDディスプレイは、プロジェクタに勝る多くのメリットを備えている。まずは、輝度が高く、明るく照らされた環境で非常に見やすいことである。そのために、スポーツ観戦を主体としたレストランで利用されている。しかし、映画館に行く人は、暗い環境での映画鑑賞に慣れているし、おそらくそれを好む。したがって、輝度はそれほど重要ではない。

しかしサムスン社は、同社のシネマシステム「Onyx」の設置を世界中で推進している。最初にこれが設置されたのはアジアで、1年以上前のことである。同社によると、現在はテキサス州の「Star Cinema Grill」という高級映画館を含む、16カ国に設置されているという。

しかしDSCCのオブライエン氏は、映画業界におけるLEDディスプレイの導入は穏やかなペースで進行すると予想する。複合映画館では、おそらく1つの劇場にLED技術を導入し、LEDを設置した劇場で、映画の定期上映以外のイベントを開催できるようにする可能性が高いと、同氏は述べた。しかし、サムスン社は設置を促進するために、顧客に対する融資支援も行っているようである。

直視型LEDがもたらすのは、驚嘆させられるほどの体験である。その輝度は素晴らしい。また、その高速なピクセル応答速度によって、ハイダイナミックレンジ(HDR)とビデオ業界で呼ばれる画質が実現される。マス・トランスファーの課題が克服されれば、ビデオディスプレイは直ちに、最大のLEDエピタキシャル面積を消費する応用分野になる可能性がある。