

有機 EL を配列した大型表示装置 - オーロラビジョン OLED - の開発

原善一郎[†] 切通聡[†] 森部幹人[†] 奥村貴典[†] 寺崎信夫[†] 宮原浩二[†]

表示素子を配列する大型表示装置において、多数の表示素子を 1 枚の表示デバイスのように構成する目地レス配列(seamless tiling)について、いくつかの方法が検討されている。我々は画素配列を適正化することで目地レス化を実現する方法を検討し、画素ピッチ 3mm の有機 EL 方式大型表示装置の開発に適用した。本論文では、目地レス配列に適した新たな画素配列について、理論的根拠を明らかにし、その配列を適用した有機 EL 方式の大型表示装置について述べる。有機 EL は、目地レス配列を実現することで、曲面を含む任意サイズの大型表示装置を構成できることから、今後の応用範囲の拡大が期待される。

Development of Large size Tiled Display with OLED

ZENICHIRO HARA[†] SATORU KIRIDOSHI[†] MIKIHITO MORIBE[†]
TAKANORI OKUMURA[†] NOBUO TERAZAKI[†] KOJI MIYAHARA[†]

In a tiled large display area, several technologies have been developed in order to realize seamless tiling. We studied a new pixel structure that is suitable for the seamless tiling and applied the new pixel structure to the development of 3mm pixel pitch tiled OLED display. This report clarifies the theoretical base of the new pixel structure and describes the development of seamless tiling of OLED. Realizing the seamless tiling, OLED can compose the various size of tiled display including curved surface, and many applications can be expected.

1. まえがき

各種表示デバイスは、年々大型化してきた。表示デバイス単体での大型化には技術的な制約があり、超大型の分野は、小型の表示デバイスを表示素子として多数配列する大型表示装置がその役割を担っている。フルカラーの大型表示装置は、1980 年に実用化され、競技場を中心に普及してきた。1995 年ごろからは、LED を配列する方式が登場し、現在では屋外の超大型の分野から屋内の高解像度の分野まで、ほとんどの大型表示装置が LED 方式である。一方、LED 方式は、高解像度化すると、LED の配列が高密度化して単位面積当たりのコストが高くなる。高解像度の大型表示装置では、コストパフォーマンスに優れた有機 EL などの高画素密度の表示素子を配列する方式が検討されている¹⁾²⁾が、多数の表示素子を 1 枚の表示デバイスのように構成する目地レス配列(seamless tiling)が課題である。特に有機 EL は、表示素子の封止部、電極端子部および配列の公差に対応する表示素子間のギャップなどが目地レス化を難しくしており、目地レス化を実現できれば、曲面を含む任意サイズの大型表示装置を構成できるようになる。

本稿では、まず表示素子の目地レス配列の検討事例とそれぞれの課題を明らかにする。次に目地レス配列に適した表示素子構造として、画素配列を適正化する方法について検討し、その適用例として画素ピッチ 3mm の有機 EL 方式大型表示装置について述べる。

2. 表示素子の目地レス配列への取り組み

図 1 は、有機 EL を配列した例で、表示素子間の継目が目地として目立っている。ここでは、このような目地を最小化し、全体を 1 枚の表示デバイスのように構成する目地レス配列について、我々が経験した事例とそれぞれの課題について説明する。

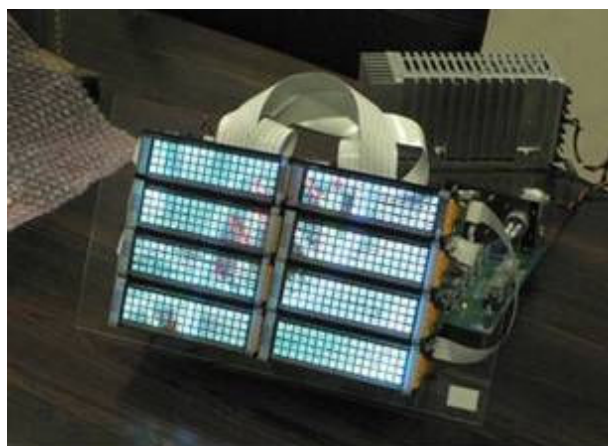


図1 有機 EL の配列

[†] 三菱電機株式会社
Mitsubishi Electric Corporation

①目地の光学的解消：図2は、蛍光表示管を配列した例である。右側が蛍光表示管を直視し、左側が個々の蛍光表示管の表示をライトガイドで拡大している。このライトガイド方式は、目地を軽減できるが、目地の完全な解消は難しく、視野角も制限される。

②目地幅の最小化：図3は、画素ピッチ5mmの反射型表示素子を配列した例である。表示素子は、反射率を確保するために画素の開口率を100%近くに設計した。表示素子の封止幅と表示素子間のギャップを最小化して目地幅を1画素幅に設計しているが、目地は気になる。

③画素配列の適正化：図4は、各画素間に目地幅相当のギャップを挿入することで、目地レス化を実現した表示素子の例である。画素ピッチ15mmの各画素間に5mmのギャップを挿入しており、画素の開口率は制約される。画素間のギャップは、表示素子の封止部を含み、安易な短縮は難しく、高解像度の表示素子においては、開口率の制約が顕著である。

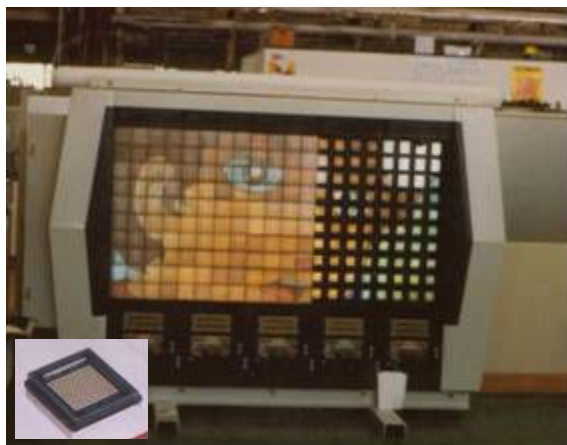


図2 蛍光表示管の配列例（左側はライトガイド装着）



図3 反射型表示素子を配列した例



図4 目地レス配列用表示素子の例

3. 目地レス配列に効果的な画素配列

画素の開口率拡大対策として、図5のような画素配列を不等ピッチ化して画素面積を拡大方法が屋外用大型表示装置に適用されている。有機ELの表示素子設計では、この方式が適用できると考えられ、不等ピッチ化の特徴を画像のスペクトル構造をもとに明らかにする。



図5 高開口率画素配列の適用例

3.1 画像のスペクトル構造

図6の座標系において、 x, y を画像が表示される二次元の座標、 x_0, y_0 および α, β を、それぞれ x, y 方向の画素ピッチおよび画素寸法とする。各画素が標本化された画像情報にもとづいて発光することで画像が表示される。各画素間には、目地幅と同等のギャップ gp が設けられる。

まず原画とそのフーリエ変換を、 $h(x, y)$ および $H(\mu, \nu)$ で表す。 μ, ν は、それぞれ x, y 方向の空間周波数である。ここで二次元の標本化関数を

$\delta \sum_m \sum_n (x - mx_0, y - ny_0)$ とすると、標本化され

た画像は(1)式で表され、さらにフーリエ変換すると
(2) 式を得る.

$$hs(x, y) = h(x, y) \cdot \sum_m \sum_n \delta(x - mx_0, y - ny_0) \quad (1)$$

$$Hs(\mu, \nu) = \frac{1}{x_0 y_0} \cdot \sum_k \sum_l H\left(\mu - \frac{k}{x_0}, \nu - \frac{l}{y_0}\right) \quad (2)$$

(2) 式は物理的には微少面積の点画素を配列したディスプレイ上の画像に対応する. 表示される画像は(2)式の画素面積にわたる総和で表され, 総和を積分で表すと次式(3)を得る.

$$Hd(\mu, \nu) = \int_{-\beta/2}^{\beta/2} \int_{-\alpha/2}^{\alpha/2} H_s(\mu, \nu) \cdot \exp(-2\pi j\mu x) \cdot \exp(-2\pi j\nu y) dx dy \quad (3)$$

画素内の発光を均一と考えて積分を実行すると, 画像は次式(4)で表される.

$$Hd(\mu, \nu) = \alpha\beta H_s(\mu, \nu) \cdot \frac{\sin \pi\mu\alpha}{\pi\mu\alpha} \cdot \frac{\sin \pi\nu\beta}{\pi\nu\beta} \quad (4)$$

(4) 式は, 例えば $\alpha/x_0=0.5$ のとき, μ 成分について規格化すると図 7 で表される. 図 7 は, 基本周波数成分に高調波が付加された画像のスペクトル構造を表し, 高調波が平面ディスプレイ特有の画素の目立ちやざらつき感に対応する. 適切な視距離では, 高調波が視覚のフィルタによって除去され, 基本周波数成分が画像として認識される³⁾.

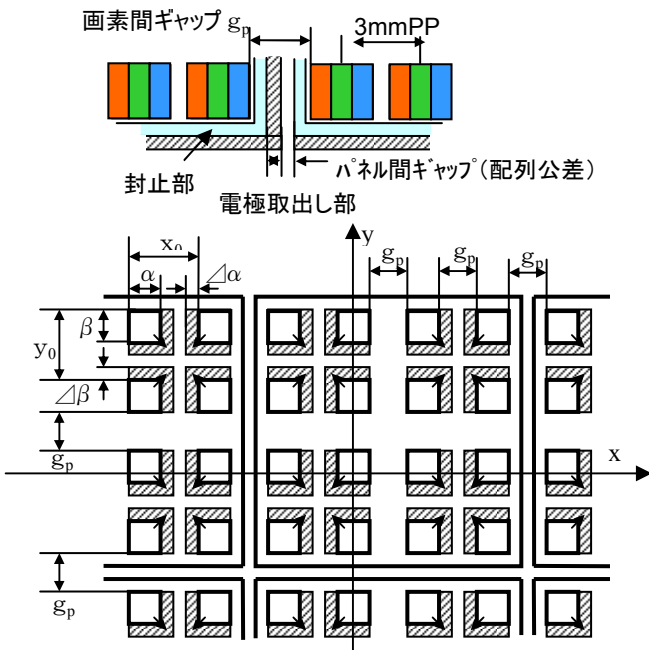


図6 画素面積の拡大による不等ピッチ画素配列

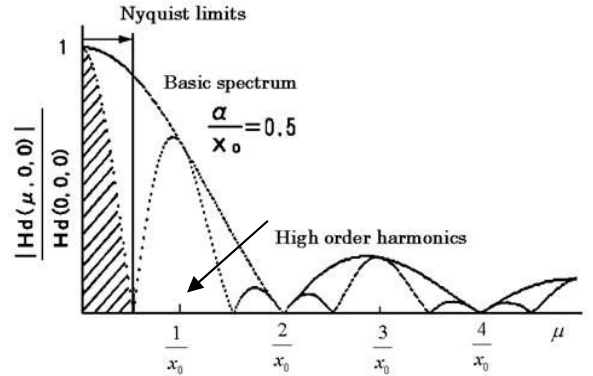


図7 一次元空間周波数スペクトル

3.2 高開口率化の検討

図 6 の斜線部は, 開口率の拡大を示しており, x 方向の幅を $\Delta\alpha$ とする. 画像の特徴を明らかにするために画像のスペクトル分布を水平, 垂直両方向について同等と考え, (3)式の μ 成分に注目する. (2)式に対応する画像の標本化を次式(5)で表わし, (3)式の積分範囲を画素の拡大方向の異なる偶数番目と奇数番目の画素に分けて検討する.

$$H_s(\mu) = H_{s1}(\mu) + H_{s1}(\mu) \cdot \exp(-2\pi j\mu\alpha_0) \quad (5)$$

(5)式は, (2)式の μ 成分に対応する. ここで,

$$H_{s1}(\mu) = \frac{1}{2x_0} \sum_k H\left(\mu - \frac{k}{2x_0}\right) \quad (6)$$

表示画像は(5)式の画素面積にわたる総和として, 次式(7)で表される.

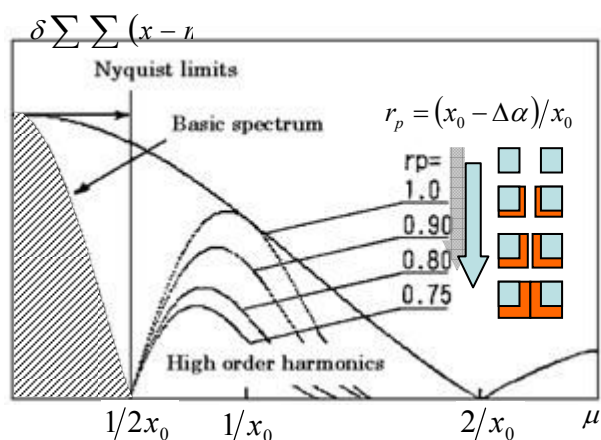
$$H_d'(\mu) = \int_{-\alpha/2}^{\alpha/2+\Delta\alpha} H_{s1}(\mu) \exp(-2\pi j\mu x) dx + \int_{-\alpha/2-\Delta\alpha}^{\alpha/2} H_{s1}(-1)^k \exp(-2\pi j\mu x) dx \quad (7)$$

画素内の発光を均一と考えて積分を実行すると, 次式(8)を得る.

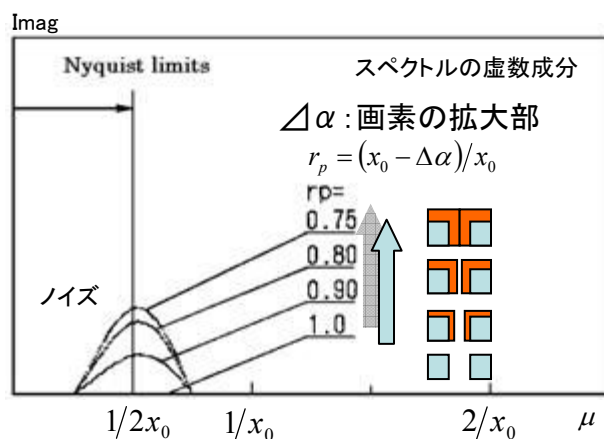
$$H_d'(\mu) = \frac{\sin\{\pi\mu(\alpha + \Delta\alpha)\}}{\pi\mu} \cdot \frac{1}{2x_0} \sum_l H\left(\mu - \frac{2l}{2x_0}\right) \cos(\pi\mu\Delta\alpha) - j \frac{\sin\{\pi\mu(\alpha + \Delta\alpha)\}}{\pi\mu} \cdot \frac{1}{2x_0} \sum_l H\left(\mu - \frac{2l+1}{2x_0}\right) \sin(\pi\mu\Delta\alpha) \quad (8)$$

(8)式は, $\Delta\alpha = 0$ のとき(4)式の μ 成分と一致する. 画素の増分 $\Delta\alpha$ による画素配列の特徴を記述するため

に不等ピッチ率 $rp=(x_0-\Delta\alpha)/x_0$ を定義する. $\Delta\alpha$ を拡大して画素配列を不等ピッチ化すると, (8)式は, rp をパラメータとして図 8 で表わされる⁴⁾.



(a) 空間周波数スペクトルの実数成分



(b) 空間周波数スペクトルの虚数成分

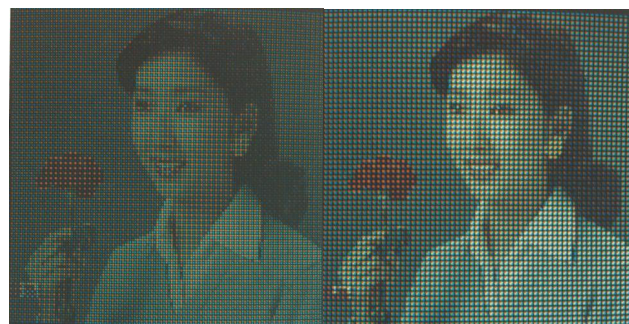
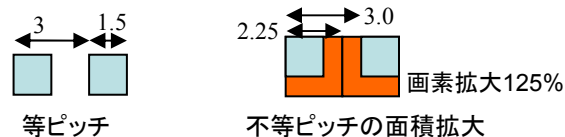
図8 不等ピッチ配列の画像のスペクトル構造

3.3 画質の特徴

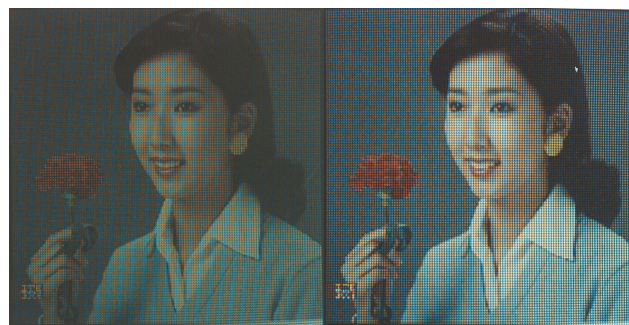
不等ピッチ化された画素配列の特徴は, 図 8 に基づいて説明できる. 図 8 において, 実数部は, 基本周波数成分に高調波が付加された画像のスペクトル構造を表す. $rp=1$ のとき図 7 と一致する. 不等ピッチ化 (高開口率化) により, 高調波の減衰とともに基本周波数成分の高域が低下することを示している.

虚数部は, 不等ピッチ化により, 2 画素毎の画素構造の目立ちに対応する高調波が発生することを示す. この高調波は, 画像の基本周波数成分には影響せず, 原理的にフィルタによって除去することができるが, 実用的には視覚がフィルタの役割を果たすことから, 適切な視距離からの観視が必要と考えられる. 図 9 はシミュレーション画像の例である. (a)は, 近距離からの観視に対応し, 画素構造が目立つ. (b)は, 十分

な視距離からの観視に対応し, 画素構造は目立ち難く, むしろ高開口率化に対応する輝度の向上が画質の印象を良くしている.



(a) 近距離からの観視に対応 (左: 等ピッチ 右: 不等ピッチ)



(b) 十分な視距離からの観視に対応

(左: 等ピッチ 右: 不等ピッチ)

図9 シミュレーション画像の例

4. 有機 EL の試作と画質の検証

有機 EL の設計では, 画素間ギャップ gp を最小化し, さらに gp を電極の取出しに利用する新素子構造を考案した. 画素の開口率は, 不等ピッチ化により約 2 倍に拡大された. 屋内用の大型表示装置では, 近距離からの観視が想定され, 不等ピッチ化や gp 値が画質に与える影響の検証が必要である. ここでは実際の試作過程における表示から不等ピッチ化の影響を考察する.

(1) 一次試作

一次試作は, 封止幅, 端子取出し幅を最小化した設計に, 画素間ギャップ gp から電極を取出す新開発の端子加工技術を適用した 8×32 画素から成る表示素子を開発した. 図 10 は, 一次試作の表示例で, 表示素子 16 枚を配列している. 表示素子間の目地は解消されたが, この写真でも不等ピッチに対応する画素構造

は目立つ。

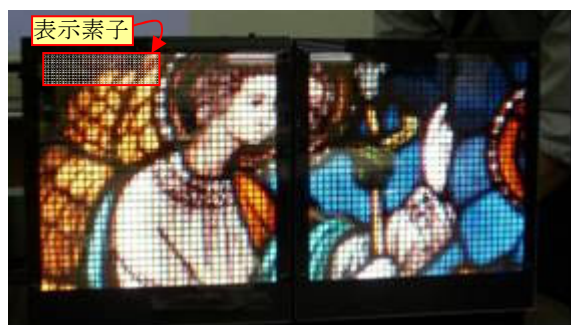


図10 一次試作；192x192(mm)×2セット（各 16 表示素子）

(2)二次試作

二次試作は、表示素子 4 枚と駆動回路を実装した 32×32 画素のサブユニットを 84 枚配列した。図 11 は、表示例である。ここでは、画面の組立を通じて不等ピッチ化や画素間ギャップ gp 値などの設計値の妥当性を検証し、さらに画素構造が気にならない視距離を主観評価実験によって測定した。実験は、縦ストライプ画素に対応する横型画面と横ストライプ画素に対応する 90° 回転した縦型画面について、同じ動画と静止画を表示し、画素構造が見える距離と、見えるが気にならない距離を被験者 17 名から聴取した。図 12 は、実験結果で、平均値と標準偏差を示しており、画素構造が気にならない視距離は 6m 程度であった。また、横ストライプ画素は画素構造の目立ちが軽減され、視距離が近くなる⁵⁾ことから、この設計を三次試作に適用した。

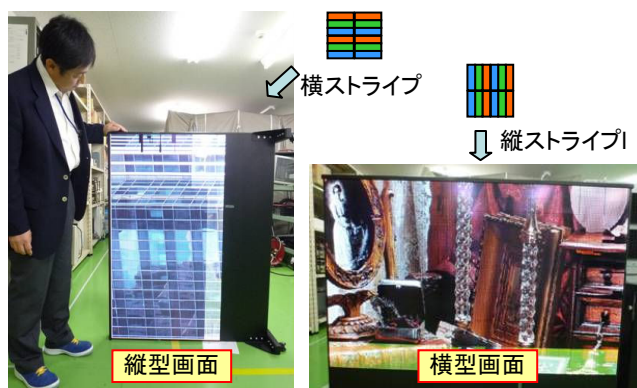


図11 二次試作；1152x672(mm)（336 表示素子）

(3)三次試作

三次試作は、32×32 画素のサブユニット 4 枚をユニット化し、このユニット 180 個で 155 型画面を構成した。画素構造は横ストライプである。図 13 に試作品のディスプレイを示す。画質は、約 6m 以上の視距離では、不等ピッチ化に対応する画素構造は気になら

ず、開口率の 2 倍化による輝度の向上が印象を良くしており、実用化への期待が高まった。この第三次試作後に、オーロラビジョン OLED として実用化した。

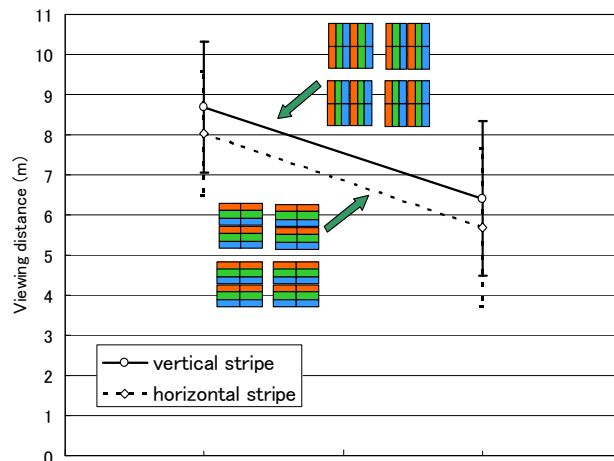


図12 主観評価実験



図13 三次試作；1920x3456(mm)（2880 表示素子）

5. 有機 EL の特徴と応用例

図 14 は、有機 EL の指向特性を示す。有機 EL は、薄型の平面表示素子であり広視野角を特徴とする。オーロラビジョン OLED は、このような有機 EL を目地レスで配列する技術を確認したことで、曲面を含む任意のサイズを構成できるようになった。図 15 は、曲面ディスプレイの例として、有機 EL を円筒型に目地レス配列したときの表示例、図 16 は、有機 EL で球面の一部(1/3)を構成した時の表示例である。これらの曲面は、平面の表示素子をわずかに傾斜させて配列し

た擬似曲面ではあるが、有機 EL が面発光で視野角が広く、表示素子内の輝度も均一なことなどから、擬似曲面がなだらかにカーブした曲面に見える。

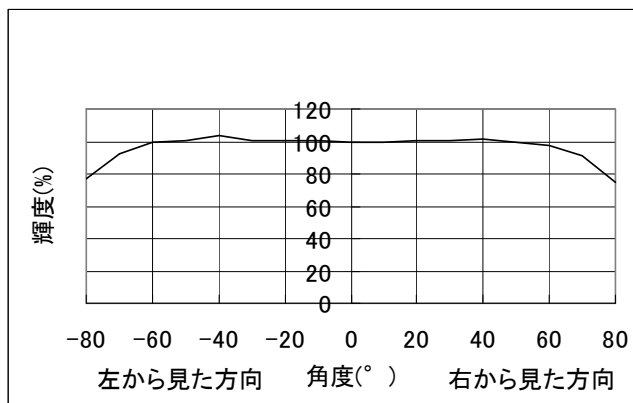


図14 有機 EL の指向特性



図15 円筒型ディスプレイ



図16 1/3 球形形状型ディスプレイ

6. むすび

有機 EL は、一般に大画面化が難しいとされる。我々は有機 EL の目地レス配列の技術を確認することで、画素ピッチ 3mm の有機 EL を表示素子として配列した超大型画面を実現した。

表示素子の目地レス配列では、各画素間の目地幅相当のギャップが開口率を制約する。有機 EL のような自発光の表示素子では、輝度、寿命を改善する上で高開口率化は重要であり、我々は画素配列を不等ピッチ化することによる開口率拡大を検討した。

画像のスペクトル構造によれば、画素構造の目立ちは、画像の基本周波数成分に付加される高調波で説明されるが、不等ピッチ化に対応して発生する高調波は、画像の基本周波数成分には影響しない。この種の高調波は、適切な視距離において、視覚のフィルタによって除去されると考えられ、実際の画質を評価して不等ピッチ化の影響を検証した。不等ピッチ化の影響は、主観評価実験によれば、適切な視距離において気にならなくなり、高開口率化に対応する輝度の向上が画質の印象を良くすることが実証された。

有機 EL の目地レス配列技術は、有機 EL の持つ高画質の表示能力を生かしながら、様々な形状およびサイズの幅広い用途での応用が考えられる。有機 EL の材料は、年々改善される傾向にあり、オーロラビジョン OLED は、今後さらなる応用範囲の拡大と性能改善が期待される。

参 考 文 献

- 1) Mark Aston, "Design of large-area OLED displays utilizing seamless tiled components", Journal of the SID 15/8 (2007)
- 2) John W. Hamer et al., "Thin, Flexible, Full-Color, Large-Area OLED Displays Using Tiles", SID 10 DIGEST, pp714-717 (2010)
- 3) 原善一郎ほか：「大画面ディスプレイにおける画素配列と画質」, 信学論, Vol.J77-C- II [3], p148-159 (1994)
- 4) 原,白松,「画像の時空間モデルによる平面ディスプレイの画質解析」,映像情報メディア学会誌 Vol.55,No.3,pp.422-430 (2001)
- 5) Zenichiro Hara et al., "The High Performance Scalable Display with Passive OLEDs", SID 10 DIGEST, pp357-360 (2010)