

液晶テレビ用LEDバックライトの現状と将来動向

御子柴 茂 生

Present and Future of LED Backlights for LC-TVs

Shigeo MIKOSHIBA

Abstract

Among various backlights for liquid crystal televisions (LC-TVs) including cold cathode fluorescent lamps (CCFLs) and organic electroluminescent lamps, light emitting diodes (LEDs) have features that cannot be attained by other backlight technologies. LC-TVs suffer from blurring and color separation of images when expressing moving objects. These artifacts can be reduced by high speed and precise on-off control of light which can be performed by LEDs without difficulty. To reduce power consumption, local dimming operation as well as independent luminance control of red, green, and blue LEDs are required. This can never be realized with white CCFLs.

Eleven-bit gray levels can be expressed with a precise control of LEDs at low luminance levels. This allows to design arbitrary gamma characteristics of displayed images, and also to enhance contrast. LEDs' narrow emission spectra yield wider color gamut compared to other technologies. Another important feature of LEDs is that they do not contain mercury, unlike CCFLs, and therefore there is no environmental concern. One of the negative features is high cost. The cost of a CCFL is typically 7 yens per lumen. That of LED, however, is about 20 times higher. Also about 2,000 LEDs have to be arranged at the back of an LC panel having a 40-inch-diagonal screen, whereas only 20 lamps are necessary for CCFLs. A keyword to the future backlight would be "an intelligent backlight." The backlight is no more a simple light source, but it is controlled by TV signal for achieving better picture quality and lower power consumption.

1. はじめに

液晶素子はバックライト光のシャッターとして機能し、これにより画像を表示する。ただしシャッターを最大限に開いても、わずか5%の光しか透過しない、極めてエネルギー効率の悪いデバイスである。原因はRGB光の平均透過率が1/3であるカラーフィルターや、白色光の

表1 LC-TVに必要な改善項目

- ・ 動画のボヤケ、色分離低減
- ・ 暗室コントラスト改善
- ・ 中間調表示特性改善
- ・ 消費電力低減
- ・ 色再現範囲拡大
- ・ 対環境性
- ・ 価格低減

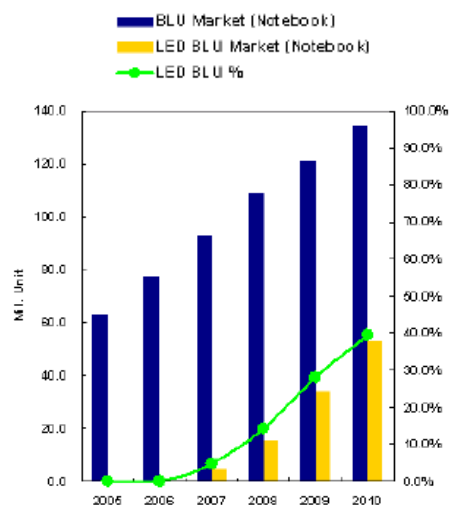


図1 バックライトユニットの出荷台数

Received on July 1, 2008.

Professor Emeritus, The University of Electro-Communications (Department of Electronic Engineering)

電気通信大学名誉教授(元電子工学科教授)

エスベック(株)発行web雑誌「ESPEC技術情報」(2008年1月7日発行)に掲載されたものである (http://www.espec.co.jp/tech-info/tech_info/index.html)

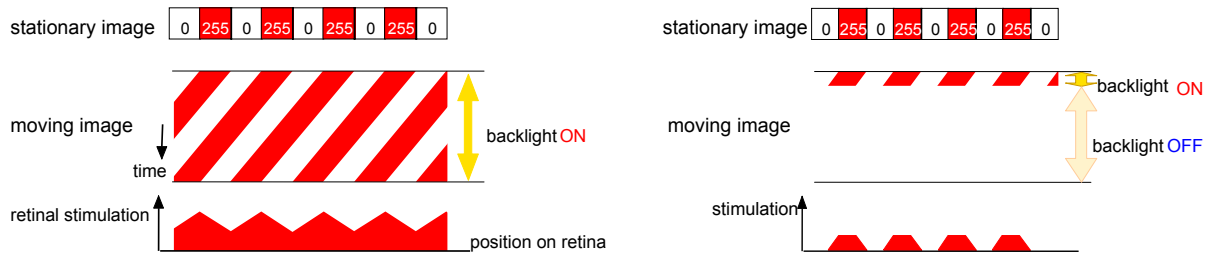


図2 動画像のボヤケ。(左)バックライト常時点灯 (右)バックライトを1/8期間のみ点灯。最上行の画像が最下行のように視認される。右の方が、視認画像にボヤケが少ない。

透過率が1/2である偏光フィルターの使用、さらに薄膜トランジスタ (TFT) により開口率が制限されるためである。発光効率改善のために種々の策が採られてきたが、バックライトによっても効率の改善が期待できる。画質の改善も見込まれる。表1に液晶テレビに必要な改善項目を挙げる。バックライトユニット (BLU) の出荷台数は、図1に示すように4年でほぼ倍増のペースである。LEDを用いたBLUの成長は、これよりもさらに早い。

2. 動画像の乱れ低減

LCDに動画像を表示すると、画像にボヤケが発生する。 v [pixel/TV field] を1TVフィールドの時間内に画像が何画素分動いたかという速さ、 T [TV field] を何TVフィールド間画素の発光が続いたかという発光期間とすれば、ボヤケの幅は vT [pixel] で表すことができる。通常、TFT-LCDの発光時間 T は1TV field、16.7msである。従ってたとえば速度 v が10[pixel/TV field] である画像を表示すると、ボヤケ幅は10画素の範囲に広がり、解像度は大きく低下してしまう。

ブラウン管の蛍光体発光時間は $1\mu s$ 程度であるため、このボヤケ幅は画素サイズの0.1%程度にしかならず、従ってブラウン管にボヤケは発生しない。この例が示すように、ボヤケを低減するにはバックライトの発光時間を短縮すれば良い。図2中最上行は表示したいパターン、第2行はこのパターンが動いたとき網膜に映る像の時間的変化、最下行は視認されるパターンである。左図のバックライトが常時点灯している場合は、パターンが著しくボヤケ、コントラストが低下している。右図は発光時間を1/8に短縮した場合であり、ボヤケは著しく改善されている。実際には液晶が十分に立ち上がったときにバックライト光も立ち上がっているように調整が必要である⁽¹⁾。この点、LEDは冷陰極蛍光管 (CCFL) と異なり立ち上がり時間が無視できるため調整が比較的容易である。

図2の例では、ボヤケは改善されるが表示画像の輝度が1/8に低下してしまう。この対策としては、フ

レーム周波数を高くすればよい。NHKは480Hzを提案している。またフィリップスはstandard definitionでは120Hz、high definitionでは200Hz、1080p駆動のfull-specification high definition (FHD) では325Hzを提案している。昨今市販され始めた120Hz駆動 FHDでは、未だ十分な画質は得られていない。

たとえば6倍速の高周波駆動する場合、図3に示すように2つのフィールド間に新しい画像を5枚内挿せねばならない。これには画像の動き検出が必要である。しかし例えばMPEG2の検出法は、テレビ表示には不十分である。物体が同一輝度のまま単に上下左右に平行移動するならば動き検出は容易であるが、実際には図4に示すようにズームイン/アウト、フェードイン/アウト、あるいは笑うときに眉毛が上がり目頭が右にずれ目尻が下がる、など微妙な顔の表情の変化を検出するのは容易ではない。信号処理によるノイズが混入する場合もある。

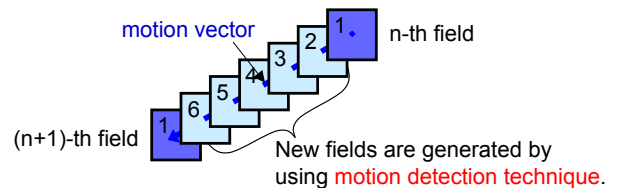


図3 高周波駆動と新しいフィールドの内挿

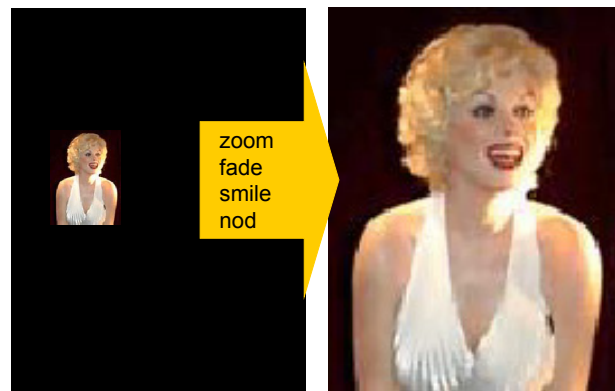


図4 動き検出の困難な例

3. コントラストの改善

LCDの明室コントラストは高い。カラーフィルタと偏光フィルタが外光を吸収するためである。しかし暗室コントラストは高くない。これは、LCD信号電圧を0にしても、液晶の透過率が完全には0にならないためである。暗室コントラストは、バックライト発光面をいくつかのマトリクス状ブロックに分け、それぞれのブロックの明るさをテレビ信号に応じて調光するローカル・ディミングにより大幅に改善することができる。図5の例において、説明上わかりやすいようにバックライトを上ブロックと下ブロックの2つに分ける。上ブロックには明るい太陽があるため、バックライトを最高輝度で点灯する。一方下のブロックに発光する物体はないから、バックライトの輝度を0とする。この結果、コントラストは無敵大となる。

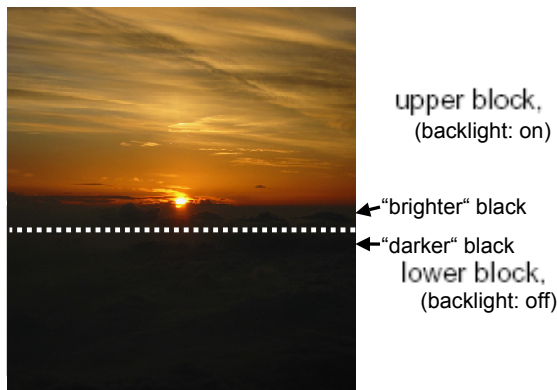


図5 ローカル・ディミングと黒レベルの不均一性

実はこの方式には落とし穴がある。中央白点線のすぐ上の黒い部分は、液晶の光のリークのため、輝度は0とにならない。一方すぐ下の黒い部分の輝度は0である。従って、白点線をはさんで様な黒とはならない。これを補うためには誤差拡散*1やディザー*2などの追加手段が必要となる。

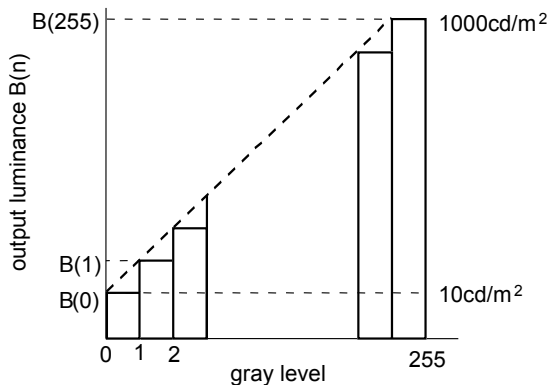


図6 線形入力に対し輝度計で測定した出力輝度

4. 中間調表示

図6は、線形入力信号に対して線形出力を有するデバイスの輝度特性である。縦軸の出力輝度 B は、輝度計などで機械的に測定している。このディスプレイを人間が観測すると、図7のように視認輝度 P が高輝度部で飽和する。例えば天井に照明用蛍光灯が100本並んだ部屋を考えよう。最初の1本を点灯すると、未だ暗いが物が見え、さらにもう1本点灯すると倍の明るさになるように感じる。しかし99本点灯した状態で100本目を点灯しても、その差は殆ど分からない。室内入力信号レベル254と255の視認輝度 P の差を d としたとき、入力信号レベル0と1の視認輝度差は d の84倍となる。つまり眼は低輝度レベルの明るさに対して極めてセンシティブなのである。従って階調表示特性として8ビット、256階調では、低輝度レベルにおいて量子化ノイズが発生してしまう。

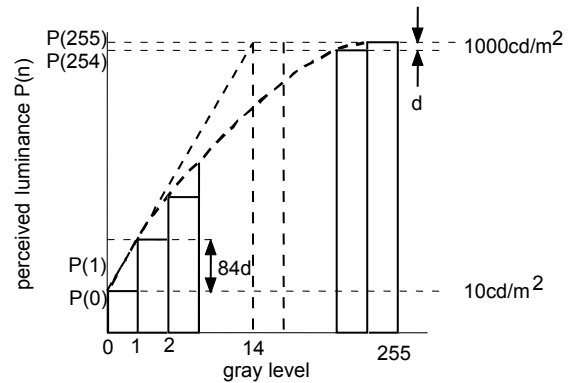


図7 線形入力に対する視認輝度

液晶分子やTFTは非線形特性を有するため、例えば11ビットの多階調表示をすることは困難である。ところがLEDバックライトの輝度レベルに3ビットを与えて8ビット表示のLCDと組み合わせれば、合計11ビット表示が可能となる。図8に8ビットおよび11ビット

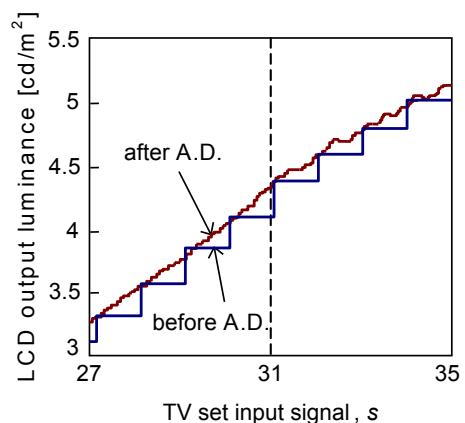


図8 液晶とバックライトを組み合わせた11ビット中間調表示。A.D.: adaptive dimming、バックライト調光。

表示をしたときの輝度の実測値を示す⁽²⁾。中央の縦破線は、バックライト輝度を変えた信号レベルを示している。破線の前後で表示輝度はジャンプも反転もしていないことが判る。

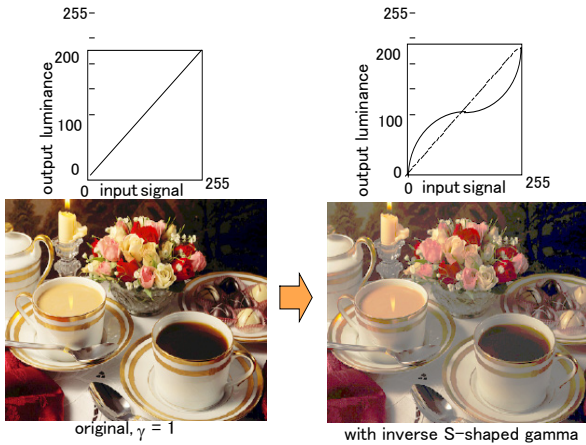


図9 ガンマ値の最適化による画質改善

さらに8ビット入力信号に対して例えば11ビット表示の能力がある場合、ガンマ特性をいろいろと変えることができる。図9左図は入力と出力とが比例した、 $\gamma = 1$ 特性による表示である。右図は、逆S字型の γ 特性を与えており、特に中間の輝度レベルに対する階調表示特性を強調した例である。このように画像の表現能力が増大する。

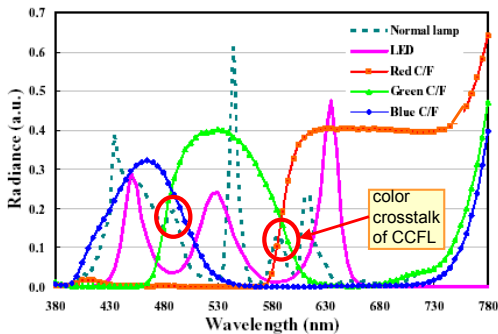


図10 CCFL、LED、およびカラーフィルタのスペクトル

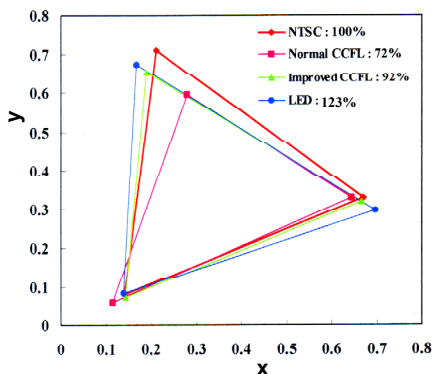


図11 CIE色度図上の色再現範囲

5. 色再現範囲

図10に通常のCCFL、LED、およびRGBカラーフィルタのスペクトルを示す⁽³⁾。図中に示した2つの丸印は、CCFLに対して混色が発生し、色純度が低下してしまう原因を示している。LEDに対してはこのようは混色が発生せず、従って色再現範囲は図11に示すように広い⁽³⁾。

6. 消費電力低減

入力テレビ信号に適応して調光を行うローカル・ディミングによる消費電力低減の原理を図12を用いて説明する⁽⁴⁾。図の最上行は、高輝度画像を表示する場合である。入力信号、バックライト輝度、表示輝度、およびバックライトの消費電力を100%とおく。2行目の、たとえば入力信号が25%の輝度レベルを表示する場合、従来の方式ではバックライト輝度を100%に保つため、バックライトの消費電力は100%のままである。3行目のローカル・ディミングにおいては、信号レベルを4倍の100%に拡大し、同時にバックライト輝度を1/4に落とす。すると表示輝度は25%のままであるが、バックライト電力が25%に低下する。

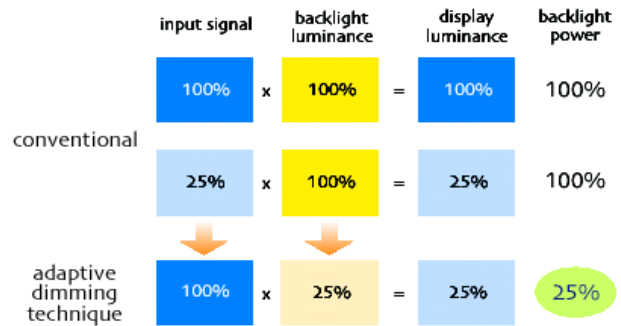


図12 ローカル・ディミングによる消費電力低減の原理

ローカル・ディミングには、図13に示すように0次元(0D)、1次元(1D)、および2次元(2D)ディミングがある。0Dディミングは例えば平板状蛍光ランプに、1Dディミングは、CCFL、EEFLなどの線状ランプに、また2DディミングはLEDやマトリクス構造を有するOLEDなどに用いることができる。それぞれのディミングの方法を用いて図14の“Sunset”および“Statue of Liberty”と称する10秒のサンプル動画に対するバックライト消費電力を試算したところ、表2の結果が得られた⁽⁵⁾。それぞれの動画のガンマ補正後の時間平均APLは10.3%および8.0%である。“Sunset”は、0Dディミングでは電力は低減されていない。画像に極めて明るい点が存在するためである。また2Dディミン

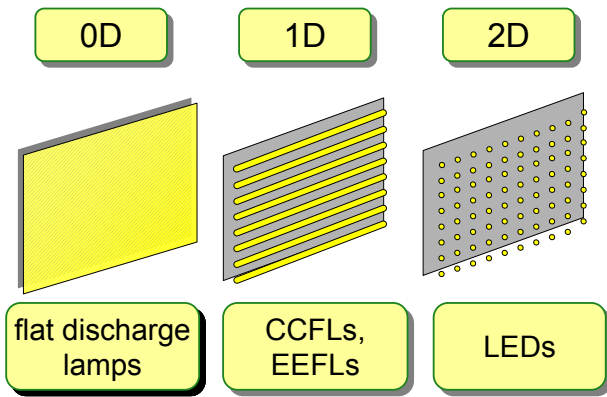


図13 0D、1D、および2D構造バックライト

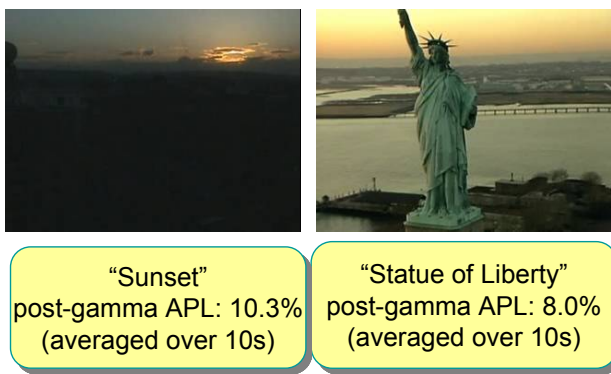


図14 2つのサンプル動画

表2 2つのサンプル動画に対する平均消費電力

	Sunset	Statue of Liberty
0D dimming	100% (no power saving)	83%
1D dimming	72%	71%
2D dimming	43%	50%
post-gamma APL (averaged over 10s)	10.3%	8.0%

グでは、画面内明暗変化の穏やかな“Statue of Liberty”に比べて変化の激しい“Sunset”の方が電力低減が大きい。OD、1D、2Dを比べると、いずれの動画に対しても2Dディミングで最も大きく電力が低減されている。従ってLEDバックライトは重要である。但し2Dにおいても消費電力とAPL値との差は未だ大きく、さらに消費電力低減の努力が必要である。

7. おわりに

LEDバックライトは高速応答、2Dディミング、RGB独立制御、温度による特性変化少、輝度の微細な調整可、

色再現範囲が広い、水銀を含まず環境に適合するなど、CCFLやEEFLやOLEDでは置き換えることのできない特性を有している。一方、表3に示す欠点がある。バックライト点滅による輝度の低下を防ぐためには高輝度化が必要であるが、そのためには発光効率も高めねばならない。100ルーメン*3/ワット以上が望ましい。LED毎に輝度と色がばらつくためLEDの選択が必要であるが、このプロセスは無くしたい。LEDの輝度および色は温度、電流、あるいは経時変化に依存するため、それぞれのLEDに受光素子を設けてフィードバックによる発光の制御が必要である。LEDは点光源であるため、RGBの3色を混合するためには、BLUにある程度の厚みが必要となる。LED BLUの部品点数は極めて多く、例えば40型LCD-TVには、2,000個のLEDが必要である。この結果、コストが上昇してしまう。しかし多数の研究が勢力的に行われている。また2017年には照明用LEDが5000億円市場に発展するとの予測もある。これもコストダウンの追い風となろう。

表3 LEDバックライトユニットの欠点

- ・低発光効率
- ・LED毎の輝度と色のばらつき
- ・輝度と色の温度、電流依存性
- ・輝度と色の経時変化
- ・色混合のため、BLUに厚み要
- ・部品点数大
- ・高価格

将来のバックライトユニットのキーワードは、「インテリジェント・バックライト」であろう。図15に示すように、LCDとバックライトの両者をテレビ信号でコントロールすることにより、高画質、低消費電力のテレビを実現することができる。

The backlight unit with TV function create high quality pictures with less power consumption.

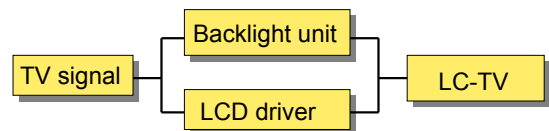


図15 バックライトユニットの将来

急速なLCD技術の発展に対応して、国際標準化が進んでいる⁽⁶⁾。画像評価法の標準化など15の文書が発行されている。またBLUの標準化も予定されている。エスペック(株)技術開発本部(受賞当時)ご所属の池田あゆみ殿はその活動の中心的人物であり、多大な功績により2007年10月15日に経済産業省から「国際標準化奨励者表彰」を受賞された。

[用語解説]

- * 1 誤差拡散
元画像と比べて実際に表示した画像輝度の誤差を周囲の画素に拡散させ、この誤差を目立たなくする手法。
- * 2 ディザー
擬似的に、より多くの階調を表現するための画像処理手法。
- * 3 ルーメン
光束の単位。1秒間に放射される光の量。

[参考文献]

- (1) K. Kalantar, et al., JSID Vol. 14, pp. 151-159, 2006.
- (2) S. Shimizukawa, et al., IDW '06, pp. 1743-1746, 2006.
- (3) S. Y. Lee, "LCD Backlights," Sci. Tech. Co., Ltd., p. 13, 2006.
- (4) T. Shiga, et al., SID 03 Digest, pp. 1364-1367, 2003. Also T. Shiga, et al., SID 05 Digest, pp. 992-995, 2005.
- (5) T. Shirai, et al., SID 06 Digest, pp. 1520-1523, 2006.
- (6) <http://www.iec.ch/cgi-bin/procgi.pl/www/iecwww.p?wwwlang=e&wwwprog=TCboard.p&progdb=db1&committee=SC&TC=110&Submit=OK>