

プラズマディスプレイ (PDP) 技術の進展

—画面輝度・発光効率を中心に—

大石 巖*

Recent Progress in Plasma Display Technologies

Iwao OHISHI

Recently Plasma Display Panels (PDPs) are putting into the market of the TV-like video image displays in which CRTs have been the one and only devices for a long time. However, some problems are remained to be improved, yet, such as the insufficient brightness and high power consumption in order to widely spread into homes. These problems are due to the insufficient luminous efficiency of the devices. This paper describes a historical review on the improvement of the luminance and luminous efficiency in PDPs, and discusses about the necessity for further improvement of the luminous efficiency.

1. まえがき

1990年代は、プラズマディスプレイ(PDP)にとってまことにエキサイティングな年代であった。それまでの地道な基礎開発の成果が実って、最初の本格的フルカラー表示の21型が、1993年に富士通(株)により製品化されたのを皮切りに、内外各社において、ほぼ同様なパネル構造で、40型クラスを中心として大形フルカラーAC-PDPの実用化開発、公開展示、製品化、さらには量産設備投資計画などが相次いで発表されるなど、順に実用化への動きが活発になって行った。最初は、VGA表示でNTSCカラーテレビも表示可能というものであったが、1998年のエレクトロニクスショーでは、フル仕様ハイビジョン表示(1920×1080画素)の42型が展示されるなど、いよいよ念願の高精細度壁掛けテレビが現実のものとなりつつあるとの印象を与える状況となった。

筆者はNHK技研在職中の1972年に、PDPを将来のHDTV用大画面表示に対する有力候補と位置づけ、その後今日まで長期にわたることになった研究開発を始めた張本人の一人でもあり、一しお感慨の深いものがある。筆者はその後数年

にして研究開発の現場からは離れる立場となったが、内外の学会等の活動を含め、PDPの研究の進展については、とりわけ関心をもって注目して来た。また、最近では、PDP技術討論会や電気学会PDP放電調査専門委員会などの委員として、研究開発の支援・促進活動の一端を担って来た。

PDPが今後ほんとうにHDTV表示の主力製品として普及して行くためには、コストダウンが最大の課題であるが、それは製造技術のリファインと量産効果に期待するところが大きい。一方、性能面では、輝度、明室コントラスト、消費電力といった点になお課題が残っているというのが、大方の見方である。これは、つまるところ発光効率がなお充分ではないということで、この問題は研究を始めた当初から最大の課題であったし、これまでの多くの努力がこの点に向けられて、当初から見れば、長足の進歩を遂げて来ているとはいえ、まだ充分とはいえないということである。

本論文では、PDPの輝度と発光効率の進歩の歴史をふりかえって概観するとともに、今後一層の改良・発展の道を探る上において、筆者なりに考えているところを述べる。

* 東京工芸大学工学部画像工学科教授
1999年9月17日受理

2. プラズマディスプレイ(PDP)の概要

現在、プラズマディスプレイ(PDP)と呼ばれているデバイスのルーツは、大別して2種類ある。1つは、1964年にイリノイ大学で発明された壁電荷メモリ動作のAC駆動型(AC型)で、¹⁾現在製品化されている大画面PDPはこのタイプの発展したものである。プラズマディスプレイ(PDP)という名称はもともとイリノイ大学で名付けられたものであったが、現在はすべてのガス放電を用いるディスプレイパネルの総称として認知されている。もう1つは、ほぼ時を同じくして、フィリップス社やバロース社から発表されたDC駆動型(DC型)であった。²⁾

いずれの型も原理的な基本構造は同じで、微小な放電管をドット・マトリクス状に並べたようなものと考えることができるが、実際には、全体を一体のものとして構成し、たとえば図1のように、対向する行電極群と列電極群とが交差した部分に局在化した放電を形成する。図の中間シートの各孔は表示画面を構成する単位となり、放電セルと呼ばれる。

図1はAC型の基本構造になっており、電極表面は誘電体層で覆われていてその静電容量を介して放電セル空間に交流パルスが印加され、両電極上の誘電体表面はパルスの極性に応じて交互に陰極、陽極として動作する。AC型の動作の特徴は、放電によって電極面上誘電体層表面に生ずる電荷(壁電荷と呼ぶ)の作用を利用する特有のメモリ動作にある。図2に示すように、常時全セルに約50kHz程度の維持パルスと呼ばれる交流パルス電圧 V_s が印加されているが、これだけでは放電開始電圧 V_f 以下であって放電は起こらない。ここで、発光させたいセルには、そのセルの属する行選択走査時に維持パルスに重畳して書き込みパルス V_r を加えると合わせて V_f 以上になり、放電を生じ発光する。このとき、放電過程の電離によって生じた電子と正イオンはセル内の電界の作用でそれぞれそのときの+電位、-電位の電極に移行し、電極上の誘電体表面に付着する。この電荷が壁電荷で、壁電荷によって生ずるセルの電位差を壁電圧と呼ぶ。

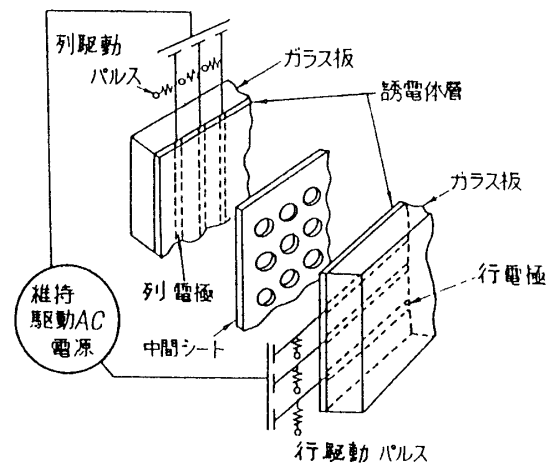
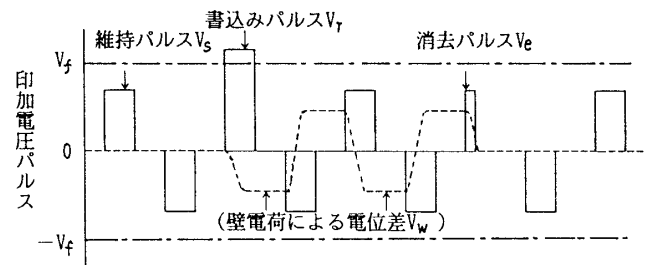
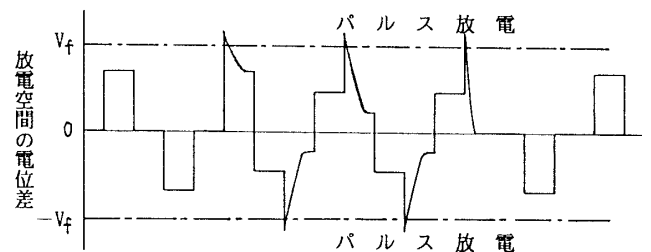


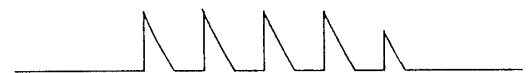
図1 プラズマディスプレイパネルの基本構造



(a) 書き込み、繰返しパルス放電、消去における各電圧波形



(b) 印加パルス電圧と壁電圧との重畳により、放電セル空間にかかるトータルの電圧



(c) 発光パルス

図2 AC型PDPの壁電荷メモリ動作の原理

壁電圧は印加電圧と逆極性で、書き込み電圧、維持電圧を打ち消す方向に働き、放電は発生して間もなく停止する。したがって発光は短いパルス状となる。書き込みパルスは一発でなくなるが、壁電荷はそのまま残っていてつぎの半周期の維持パルスが前と逆極性で加えられたとき、これに壁電圧

が同じ極性で加わる形となり、前とは逆極性に放電開始電圧を超えて再び放電する。このように維持パルスが来るたびに交互に逆極性で放電し、無限にパルス発光を繰り返す。この動作は一発の書込み情報が継続して表示されるという意味でメモリ表示動作であるといえる。この表示動作は、基本的に2値表示であるから、階調表示にはフィールド内時間分割駆動法といって、1フィールド期間を必要な階調ビット数の回数に分けて書込み、消去を繰り返すパルス数変調が用いられる。なお、消去には、幅の狭い消去パルスを与えてちょうど壁電荷が消失するような弱い放電を起こさせる。

DC型の場合は図1において、電極上の誘電体層がなく、放電セル空間には直接直流パルスが加わり、+側の電極が陽極、-側の電極が陰極になる。この場合、適当な補助放電を用いるとかなり低電流まで安定な放電が得られ、電流制御によるアナログ変調が可能で、初期には階調表示が容易であるとされていた。しかし、この方式では、行順次発光動作になるので、行数(走査線数)の増加とともに発光時間率が低下し、十分な表示輝度が得られない。DC型には本来メモリ機能はないが、放電停止後もしばらくは、準安定状態に励起された原子・分子が残っていて放電開始電圧が低下している期間があることを利用し、見かけ上AC型と類似したメモリ動作を得ることができる。この動作は G.E.Holz によって提案されたもので、³⁾ パルスメモリ駆動方式と呼ばれており、現在は DC 型もほとんどこの動作を用いるようになっている。

このような放電の性質をうまく利用したメモリ動作により、多走査線でもアクティブマトリクスのような手段を用いることなく、明るい画像表示が可能であり、量産的に製造しやすい構造にできることと合わせて、PDP は大画面高精細度の薄型フラットディスプレイの有力候補として期待されてきたのである。

封入するガスには、主として発光に寄与するガスに、ペニング効果などにより放電電圧を低下させたり、動作を安定化するためのガスを加えて通常2種類または3種類の希ガスの混合を用いる。

モノクローム表示のパネルでは、ネオンを主体とするガス中の放電による赤橙色の明るい可視発光を利用しており、1980年代までに商品化されたPDPのほとんどがこれであった。

カラー画像表示においては、可視発光はむしろできるだけ弱く、紫外線を強く放射するガスを封入する。この紫外線による励起で、セルごとに3色に塗り分けられたフォトルミネッセンス蛍光体を発光させる。モノクローム表示では、放電セル1個が1画素に対応するが、カラー画像表示では通常赤(R)、緑(G)、青(B)の放電セル3個で1画素を構成する。

3. フルカラーPDP開発の推移

本章では、いわゆるフルカラーPDP開発の歴史的推移について、とくに画面輝度、発光効率を中心に概観する。それらの定義については、次章に補足するが、原則として、画面輝度は全面一様に発光するとき得られる最高輝度をいい、発光効率はその全光束を発光に直接関わる電力で割った値を示す。

3.1 カラー化に対する初期のアプローチ

1964年にイリノイ大学で発明された壁電荷メモリ動作のAC型は、当初図1の基本構造に類似したモノクローム表示の対向放電構造で製品化されていた。1970年代に、カラー化についてもいくつかの試みがなされたが、放電中のイオン衝撃による蛍光体の劣化や、放電面に直接蛍光体が形成されるために壁電荷メモリの安定動作が保持できないなどの難点があった。

PDP開発の初期には、メーカーにとって当面の実用化目標は端末表示であった。当時この分野は文字・図形などを対象としていて当面フルカラーは必ずしも必要とせず、カラー化の実験データの少ないのは、その開発にもう一つ力が入らなかったと言うこともある。

こうした中で、NHK技研では、PDPを将来のHDTV用大画面表示に対する有力候補と位置づけ、1972年より比較的カラー化の容易と思われたDC型により基礎的研究を開始した。

まず、図3に示すようなデマウンダブル式の

バローズ型を模擬した DC 放電セルにより各種放電ガスと、計約 300 種類の蛍光体の実験を行い基礎的データを集めた。^{4) 5)} その結果希ガスの中では紫外線放射ガスとして Xe が最もすぐれており、ペニング混合ガスとしては He または Ne が最もすぐれていることがわかった。その共鳴放射(147nm) に対し、すぐれた発光特性を示す三原色蛍光体の開発がNHK技研と大日本塗料(株)との共同により行われた。⁶⁾

この研究によって得られた混合ガス組成と3色蛍光体はその後のカラーPDP開発のベースとなっており、セル構造や動作モードの変遷により、組成比等については最適化がなされてきたが、基本材料は現在でもほとんど変わっていない。

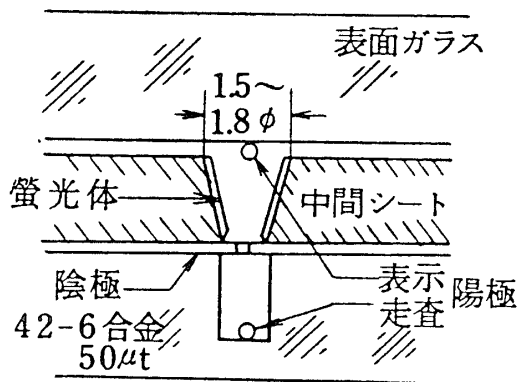


図3 放電ガス組成と蛍光体に関する基礎データを求めた放電セルの構造

これらの基礎開発と並行して試作カラーパネルによるカラーテレビ画像の表示実験も行われた。NHK技研では1974年5月の一般公開において同所として最初の展示実験を行った。このパネルは図3のバローズ型類似の構造で、中間シートを薄くし前面板内面に蛍光体を塗布した負グローを用いるDC型の8型サイズで輝度 14cd/m^2 、発光効率(白色) 0.03lm/W であった。⁷⁾

その後NHK技研では、初期のものと同じ構造ながら、蛍光体材料および蛍光面塗布をはじめとするパネル製作技術の改良を重ねて輝度の向上と大形化を進め、1979年には、16型サイズの試作パネルで、輝度 24cd/m^2 、発光効率(白色) 0.075lm/W と報告されている。⁸⁾ また、同所で

は、一方で1978年に平面陽光柱型の10型パネルも試作し、それによるカラーテレビ表示の報告の中で輝度 22cd/m^2 、発光効率(白色) 0.085lm/W のデータを示している。⁹⁾

3.2 1980年代を中心とする基礎開発

1980年代に入ると、AC型では面放電構造、DC型ではパルスメモリ駆動方式に、実用的なフルカラー画像表示パネルへの活路を見だし、精力的な基礎開発が進められて行った。

(1) 面放電構造AC型

AC型のカラー化における難点を解決するため、富士通(株)では蛍光面へのイオン衝撃を避けた面放電構造によるカラーPDPの検討を1979年に開始した。その最初の発表は1980年単色カラーの実験パネル(0.5mmピッチ, 100×100 セル)で、その面平均輝度は、赤、緑、青それぞれ、 $120, 240, 41\text{cd/m}^2$ で、発光効率はそれぞれ、 $0.36, 0.7, 0.13\text{lm/W}$ と報告されている。¹⁰⁾ また、横沢らは、3色に塗り分けた面放電構造の実験パネルで、カラーテレビ画像の表示実験を行い、その発光特性は白色で $25\text{cd/m}^2, 0.2\text{lm/W}$ と報告されている。¹¹⁾ 図4は、面放電構造を対向放電構造と対比して示したものである。

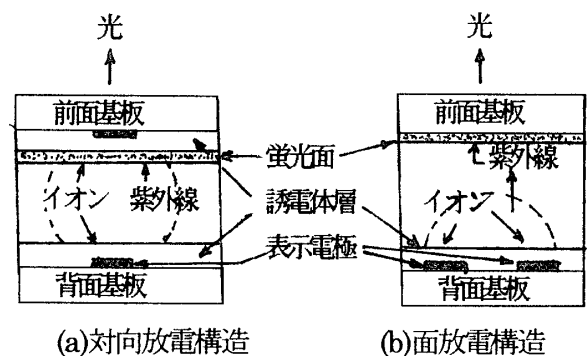


図4 AC型における放電セル構造の断面図

さらに実用化に向けての大きな前進は、維持パルス放電を行う表示電極と分離して、片側の面板に書き込み電極を持つ3電極型面放電構造の開発であった。これは、1984年に篠田ら¹²⁾により、1985年にG.W.Dick¹³⁾により提案された。Japan Display '86におけるDickらのデータ表示用実験パネルの発表の中に、蛍光面発光を透過形式で

見る方式(透過型)で緑色で輝度 83cd/m^2 、発光効率 0.8lm/W と報告されている。¹⁴

篠田らはこの構造をベースに、性能、生産性の両面で改良を重ねて行ったが、輝度、発光効率の面での大きな前進は、1989年の蛍光面発光を反射形式で見る反射型の導入であった。これにより、当時の白色輝度、発光効率の比較で、透過型での 39cd/m^2 , 0.25lm/W に対し、反射型では 73cd/m^2 , 0.46lm/W と約2倍に改善されたと報告されている。¹⁵ 図5に、透過型と反射型の3電極面放電構造放電セルの断面図を示す。

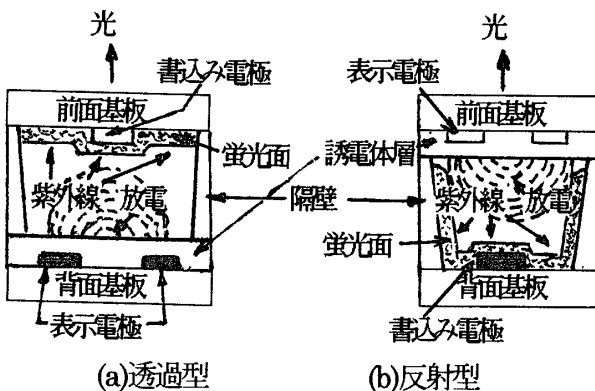


図5 3電極面放電構造AC型放電セルの断面図

内池らは面放電型において輝度と発光効率の向上を目指し、新しい電極構造の研究を進めたが、その中で1986年曲線形ギャップを持つ電極構造を提案し、 0.3mm ピッチの4型実験パネル(透過型)で白色輝度 230cd/m^2 、発光効率 0.18lm/W が得られたと報告している。¹⁶内池らはさらに傾斜した障壁の側壁に維持放電電極を設け、蛍光面を放電路を囲むように塗布して透過と反射のハイブリッドの形で見える構造の障壁電極型セルを提案し、 800cd/m^2 , 1.5lm/W (Zn_2SiO_4 緑色蛍光体)の実験データを発表している。¹⁷ この構造については、その後改良型が内外論文誌に詳しい解析を含めて報告され、 0.5mm ピッチの試作パネルにおいて 850cd/m^2 , 0.65lm/W の値を示している。¹⁸

(2) パルスメモリ駆動方式のDC型

DC型は、それまでの行順次発光リフレッシュ表示では、行数(走査線数)の増大とともに十分な表示輝度を得ることが困難であり、発光効率の大幅な向上も期待できなかつたため、NHK技研を

中心に、DC型でもメモリ表示の検討が進められ、パルスメモリ駆動方式を採用するとともに、セル構造の面でも紫外線や可視発光の有効利用をはかることで、輝度と発光効率の大幅な向上を目指した。1982年には、パロース型類似の実験パネル(1mm ピッチ, 59×50 セル)でカラーテレビ画像の表示実験が報告された。最大面輝度は、白色で 247cd/m^2 、発光効率は 0.35lm/W と報告されている。¹⁹ NHK技研では、この実験パネルをベースに8型サイズのパネルを試作し、8ビット階調でカラーテレビ画像の表示実験を行った。その白色の輝度、発光効率は、それぞれ、 137cd/m^2 , 0.34lm/W と報告されている。²⁰

しかし、このパネル構造は大形・高精細化に難があつたため、比較的構造が簡単で圧膜印刷で製作容易な平面構成パネルが提案された。²¹ その最初の小形実験パネルは、輝度 58cd/m^2 、発光効率 0.11lm/W (いずれも白色)²² であつたが、以後、NHK技研ではこれをベースに改良を重ねるとともに大形化の試作を進めて行った。1988年には、20型で輝度 86cd/m^2 、発光効率 0.17lm/W (いずれも白色) と報告された。²³ さらに1989年には33型、²⁴ 1993年には40型²⁵の試作もなされ、白色の発光特性はそれぞれ、 68cd/m^2 , 0.16lm/W 及び 65cd/m^2 , 0.15lm/W と発表された。これらはまた透過型蛍光面であつたが、その後各セルに抵抗膜を付加してピーク電流を抑え、高ガス圧で寿命を改善するとともに、²⁶1995年には新しい蛍光面塗布技術の開発により背面板に形成される表示セルの内壁と底面に蛍光体を塗布した反射型が試作され、当時の改良された透過型の 93cd/m^2 , 0.2lm/W に対し、 150cd/m^2 , 0.4lm/W と約2倍に向上した。²⁷

(3) タウンゼント放電モードを用いるDC型

Japan Display 83において、基礎研究段階ながら発光効率の飛躍的改善に関する注目すべき論文が発表された。それは、御子柴らによるタウンゼント放電モードを用いる抵抗型DCパルスメモリ駆動方式の放電パネルで、約 $0.2\mu\text{s}$ の極めて短いパルスによる放電で非常に高効率に紫外線を放射することに着目したものである。この放電セ

ルは放電路を 2mm と長くとした円筒形セルで、Xe ガスを用い緑で 3.3lm/W、白で 2lm/W の発光効率が報告されている。²⁹⁾ 1986 年にはこの動作モードとセル構造を用いた試作パネルにより、カラーテレビの表示実験結果が発表され、白色で輝度 685cd/m²、走査用補助放電も含めた発光効率で 1.6lm/W と報告されている。²⁹⁾

3.3 1990 年代における実用化開発

これまでの成果をベースに、一層の表示輝度と発光効率の向上を目指す基礎開発が進められるのと並行して、いよいよ実用化・製品化に向けての開発が活発になって行った。

現行カラーテレビ表示も可能なフルカラー AC PDP の最初の量産・市販は、1993 年富士通(株)により主に情報端末表示用(VGA 表示規格、21 型)として開始された。その白色ピーク輝度、発光効率はそれぞれ、200cd/m²、0.7lm/W と報告されている。³⁰⁾ そのパネル構造は、3 電極面放電方式で図 6 のような構造になっている。

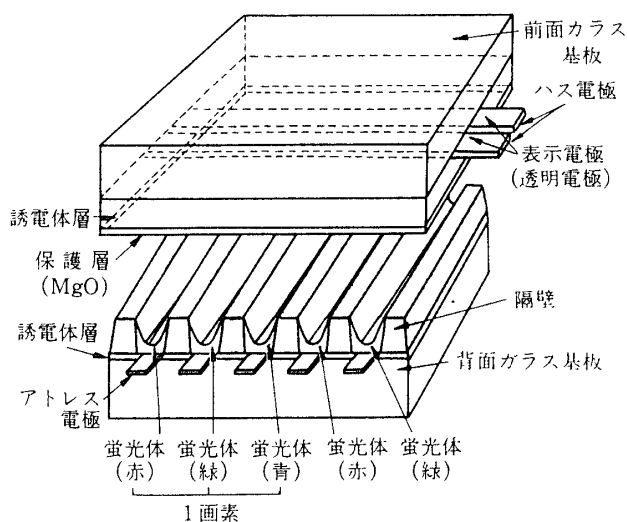


図6 最近のフルカラー ACPDP のパネル構造

これに続き、内外各社において、ほぼ同様なパネル構造で、40 型クラスを中心として大形フルカラー AC-PDP の実用化開発、公開展示、製品化、さらには量産設備投資計画などが相次いで発表されるなど、頓に実用化への動きが活発になって行った。これとともに、関連する学会等への報告も数多くなされたが、ここでは発光効率に

言及している主なものについて簡単に紹介する。

Plasmaco 社は富士通製品とほぼ同様な 21 型を開発し、L.F. Weber は電極寸法やガス組成の最適化をさらに押し進めた結果、白色ピーク輝度 250cd/m²、発光効率 1.0lm/W に改善されたと報告している。³¹⁾

NEC は 1994 年 40 型で TV 表示の展示を行い、1996 年に 33 型と 42 型の製品化を発表し、布村により 33 型の白色ピーク輝度、発光効率はそれぞれ 200cd/m²(フィルタ付き)、1.3 lm/W(フィルタなし)、42 型の白色ピーク輝度は 350cd/m²(フィルタなし)と報告されている。³²⁾

富士通は 1995 年に、480 行ワイド TV 対応の 42 型を商品化した。³³⁾ 42 型は発光セルが 21 型の 0.22mm に対し 0.36mm と大きくなったことなどで、発光特性は大幅に向上し、N.T.Nguyen らによりその白色ピーク輝度、発光効率はそれぞれ 350cd/m²、1.5lm/W と報告されている。³⁴⁾

パイオニアは 1996 年に VGA 表示の 40 型を製品化し、M.Uchidoi らによりその白色ピーク輝度、発光効率はそれぞれ 350cd/m²、1.2lm/W と報告されている。³⁵⁾ このパネルは表示電極に T 字形電極を採用するなどにより、発光効率を約 30% 向上しており、50 型 XGA ワイドパネルでも発光効率 1.0lm/W を得たと報告されている。³⁶⁾

松下電器は、1998 年フル仕様ハイビジョン表示の高精細度 42 型を展示し、その白色最大輝度は 450cd/m²、と発表されている。³⁷⁾

一方、DC 型では、1997 年家庭用ハイビジョンを目指した実用化モデルとして、NHK と松下電子との共同で 42 型を開発し、その白色最大輝度は 150cd/m²、発光効率は 0.4lm/W と報告されている。³⁸⁾

以上、この約 30 年間に学会等で報告されたカラー PDP のディスプレイパネルとしての発光効率のデータについて主なものを簡単に紹介してきた。これらは、開発段階のレベルや測定条件などが異なるため、個々の値を同列に比較することは必ずしも適切ではないと考えられるが、全体として大まかな推移を概観することはできよう。

すなわち、1980 年以前は基本的にカラー化の

可能性を検討した時代で、白色輝度は数十 cd/m^2 、発光効率は $0.03\text{lm}/\text{W}$ 程度から始まって $0.1\text{lm}/\text{W}$ に近づいたというレベルであったが、1980年代には実用的なセル構造の工夫とそれを実現する製造方法の開発により実験パネルで $0.4 \sim 0.5\text{lm}/\text{W}$ (AC型) に達した。そして1990年代は、いよいよ実用化時代に入り、材料設計の最適化と製造技術の確立を進めて21型VGAで $200\text{cd}/\text{m}^2$ 、 $0.7\text{lm}/\text{W}$ の実用化出発点に立った。

以降基本的には同じ構造で大形化と製造技術のリファインを競った結果、40型クラスVGAでピーク輝度 $350\text{cd}/\text{m}^2$ 以上、発光効率 $1.2 \sim 1.5\text{lm}/\text{W}$ が得られ、現在に至っている。図7は、上述以外の公表されたデータも含め、PDPの発光効率向上の推移を図示したものである。

なお、モノクローム表示AC-PDPの発光効率については、1989年、P.S.Friedmanらの見積もりによれば、当時の新しいデータとして約 $0.7\text{lm}/\text{W}$ と報告されており、³⁹⁾ 現在のフルカラーはそれを超えている。

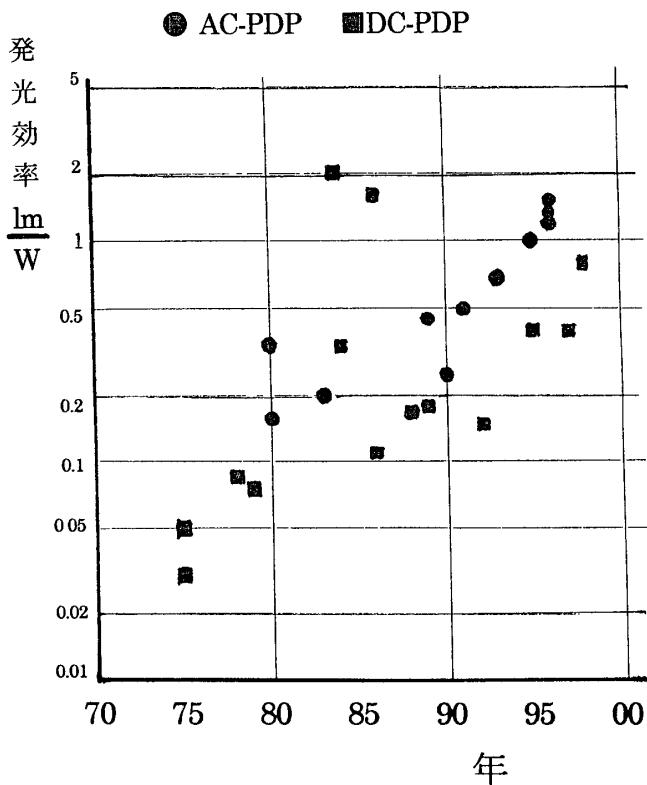


図7 PDP発光効率の推移

4. PDP映像表示の輝度、発光効率と消費電力の意味合いとCRTとの比較

3章において、とくに最近の実用化段階にあるパネルのデータについては、原則として以下のような定義によるものと考えられる。

4.1 ピーク輝度

多くの場合、ピーク輝度とは、全体に比較的暗い画面の中の小面積部分で、そのパネルが無理なく出せる最高輝度で、一様な白色ラスタで出せる最高輝度よりかなり高いレベルを示す。

現在、テレビのような映像表示では、映像信号の平均レベル (APL : Average Picture Level) に応じてピーク輝度を制御する方法がCRTディスプレイにおいて一般的に採用されている。すなわち、APLが比較的 low 全体に暗い場面での局所的に明るい部分のピーク輝度を、APLが高くて全体に明るい場面での最高輝度にくらべかなり高く出せるように設計・調整されている。これは、カソードやシャドウマスクの平均電流負荷を抑制する一方で、映像の臨場感、真迫感を与える輝き感など、ダイナミックレンジの広い感じの視覚的な画面効果を得るために工夫された方法である。

PDPによる映像表示においても同様な方法がとられているが、実際にAPLに応じてピーク輝度をどのように制御するかは各社の映像技術における絵作りのノウハウになっており、図8は最近公表された一例である。⁴⁰⁾

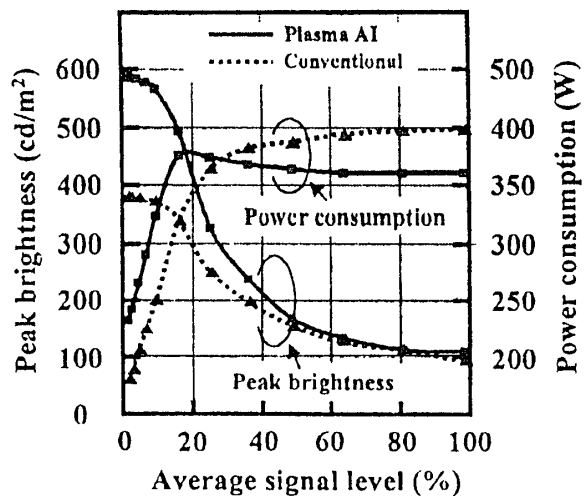


図8 平均信号レベルに適応してピーク電流を制御する方式の例⁴⁰⁾

上記のような定義によるパネルのピーク輝度は前述のように約 350cd/m^2 と発表されているが、これには明室中でのコントラストを確保するための光学フィルタは含まれておらず、その光透過率を 60% とするとセットとしてのピーク輝度は約 210cd/m^2 となる。CRT の場合光透過率約 50% の光学フィルタ (ダークティントフェース) を通って約 500cd/m^2 であり、蛍光面発光と比較すると約 3 倍明るい。

4.2 全面白色ラスタの最高輝度

全画素が一様に白色に点灯したときに、無理なく出し得る最高輝度であり、それを制限する要因は主としてパネルの過熱である。現在この値はパネル自体では約 100cd/m^2 といわれているが、光透過率 60% の光学フィルタを通ると約 60cd/m^2 となり、これがセットとしての平均的な値である。CRT では同様な値は約 120cd/m^2 で約 2 倍である。

4.3 発光効率

PDP 開発協議会でまとめた「発光効率の定義と測定法」によれば、光学フィルタなしのパネル自体の全面白色ラスタの輝度 $B [\text{cd/m}^2]$ の測定値から発光面を完全拡散面と仮定して換算した全光束 $[lm]$ と、そのとき発光放電に直接関わる消費電力 $P [W]$ とから求めることになっている。⁴⁰⁾ すなわち、 P はそのときの白表示電力と黒表示電力の差で求められ、発光部の面積を $S [m^2]$ とすれば、発光効率 $\eta [lm/W]$ は次式で与えられる。

$$\eta = \pi B S / P$$

最近の文献に発表されたデータはこれにしたがっていると考えられるが、以前のものもほぼこれに準じた考え方によっていると推測される

4.4 消費電力

図 8 にみるように、直接発光に寄与するパネルの消費電力は、映像信号の APL が約 30% を超えると最大になり、それ以降 APL100% までほとんど変わらないように設計・調整されているのが一般的である。

篠田によれば、現在製品化されている 42 型 PDP テレビセットの電力配分の一例として表 1 のような値が示されている。⁴²⁾

表 1 42 型 PDP テレビセットの電力配分の一例

セット全体	400W
TV チューナー	50W
PDP コントラ及び電源	130W
PDP モジュール	220W
直接発光に寄与する ^パ 初電力	145W
その他の ^パ 初関連電力	75W

これに対し、CRT テレビセットは、32 型 (NTSC) で約 180W、36 型 (HDTV) で約 240W であり、PDP テレビセットの消費電力を 250W 程度にすることを目標とするならば、直接発光に寄与するパネル電力は少なくとも半減する必要があると考えられる。

5. 発光効率改善に向けての考察

4 章までに述べたように、PDP の輝度、発光効率は長足の進歩を遂げてきてはいるが、なお、CRT と比較すると、端的にいつて輝度は約半分、消費電力は約 2 倍である。すなわち発光効率をさらに約 4 倍向上する必要がある、 5lm/W が一つの目標となる。

図 7 にみるように、PDP の発光効率は、研究開発の多くの努力がこの点に向けられてこともあり、これまで年ごとに着実に改善されてきており、このままグラフを外挿延長すれば、数年のうちに 5lm/W も達成されるように思える。しかし、ここへ来てやや頭打ちのきざしがないでもない。

IDW '95 において報告された H.Doyeux の論文⁴³⁾ 及び最近の和邇の論文⁴⁴⁾ を参考にして、現在製品化されている 40 型クラス VGA 表示の AC-PDP における発光効率を要因別に見積もり、蛍光ランプと比較すると、概略表 2 のようになる。

通常の蛍光ランプも発光の基本原理はカラー PDP とまったく同様であり、PDP は微小な蛍光ランプを並べたものということもできる。しかし

表2にみるように、発光効率の点では両者に大きな差がある。これは主として放電放射効率、すなわち、放電を発生させるための電気的入力に対する紫外線放射のエネルギー変換効率の差に起因する。蛍光ランプは放射効率の高い長い陽光柱からの紫外線を利用できるのに対し、PDPの放電セルは放電電極間隔が0.1~0.5mmと短く、陽光柱はほとんど消失して負グローのみとなっている。⁴⁰⁾ 定常的なDCグロー放電では負グローでの共鳴放射の放射効率は1%程度と見積もられているが、現在のPDPでは維持放電パルスによる過渡的放電状態からの放射を用いていることと、気圧が $(5\sim6)\times 10^4\text{Pa}$ と高く共鳴放射よりも173nm付近の分子放射が主になっていることで、紫外線放射効率は数倍高く見積もられているが、それにしてもこの部分の低効率が全体の放射効率を大きく下げていることは間違いない。

表2 PDPと蛍光ランプの発光効率の比較

	PDP	蛍光ランプ
紫外線放射効率	0.04	0.6
紫外線利用率	0.6	0.95
蛍光体量子効率	0.9	0.9
同 量子エネルギー比	0.3	0.5
可視光利用率	0.7	0.9
総合放射効率	約0.45%	約23%
白色発光効率	約1.2lm/W	約70lm/W

蛍光体の可視光放射効率は、量子効率×量子エネルギー比となるが、量子効率はすでに1に近く、改良の余地はほとんどない。しかし、量子エネルギー比は長波長の紫外線放射が利用できれば2倍程度までは改善される。

紫外線利用率及び可視光利用率は、セル構造による因子で、これまでの発光効率改善は主としてこの点に関わるものであり、すでにかなり良い線に来ていると考えられる。

このように見てくると、今後の5lm/Wという目標はこれまでの延長線上でないかなりのブレークスルーが必要と考えられる。それは、一つには、

まだ必ずしも明確になっていない部分の多い微小中気圧放電の物理的解明に立ち返っての検討と、もう一つには、300~350nmの波長領域で強力な紫外線放射を生ずるガス組成の見直しではないかと考えている。

6. まとめ

プラズマディスプレイパネル(PDP)は、大画面でも場所をとらない薄型軽量で、メモリ動作によりアクティブマトリクスを用いず多走査線大画面でも高輝度の発光型表示が得られ、量産的に製造しやすい構造にできることなど、これからの大画面大規模(高精細度)ディスプレイの本命として期待されてきた。

最大の課題は、研究を始めた当初から発光効率の改善であり、多くの努力がこの点に向けられた結果、最初の暫定的な目標であった1lm/Wを超える見通しが得られ、1990年代後半の実用化時代を迎えるに至った。

しかし、真に輝きのある高臨場感表示がパネルを冷却することなく得られ、今後ますます大きくなる省エネルギー化への要請にも応えるため、さらに一層の発光効率向上が要望される。それは、当面5lm/Wが目標で、これにより、性能面でCRTと肩を並べることになる。この目標は、かなりチャレンジングな目標であるが、最近電気学会の委員会等で従来あまり眼を向けられなかった放電理論の専門家との議論の場も多くなっており、そのような中から大きなブレークスルーの生まれることを期待したい。

参考文献

- 1) D.L.Bitzer, H.G.Slottow : "The Plasma Display Panel—a digitally addressable display with inherent memory" Proc. Fall Joint Computer Conf., pp.541-547, (1966)
- 2) W.J.Harman Jr. : "DC Gas Discharge Panel Displays for Alphanumeric Display System" IEEE Intercon. Tech. Papers, 33/3, (1973)
- 3) G.E.Holz : SID'72 Digest, pp.36-37, (1972)
- 4) 坂井 功 : "気体放電表示装置に用いる気体と蛍光体の組み合わせ実験" 1973 TV 全大予稿 pp.317-318 (1973)
- 5) Display Devices Research Group of NHK: "Gas-Discharge Panels for Displaying Color Television Images" Edit by B.Kazan Advance in Image Pickup and Display, Vol.6, p.97, (1983)
- 6) 小池 功 : "ガス放電表示用蛍光体の測定" テレビ誌, 28,[22],pp.1001-1006, (1974)
- 7) I.Ohishi, et al. "An Experimental Real Time Color TV Display with a DC Gas-Discharge Panel ", IEEE Trans., ED-22, 9, p.650, (1975)
- 8) Kojima, et. al : "Sixteen Inch Gas-Discharge Display with 2-Line at-a-time Driving " Proc.SID, 20/3, pp.153-158, (1979)
- 9) 金子 功 : "平面陽光柱型 10 インチ放電パネルによるカラーテレビ表示" NHK 技研月報,21,pp.480-485, (1978)
- 10) T.Shinoda, et al.: "Surface Discharge Color AC-Plasma Display Panels" Late News in Biennial Display Research Conf. (1980)
- 11) M.Yokozawa, et al.: "Color TV Display with AC-PDP" Proc. Japan Display '83, 14.4, pp.514-517
- 12) T.Shinoda, et al.: "Logically Addressable Surface Discharge ac Plasma Display Panels with a New Write Electrode"SID1984 Digest, pp.125-175, (1984)
- 13) G.W.Dick: "Three Electrode per Pel AC Plasma Display Panel"1985 Intern. Display Research Conf., pp.45-50,(1985)
- 14) G.W.Dick, et al.: "Phosphor Color-Conversion with a Visible Discharge, Three-Electrode, ac Plasma Display" Japan Display '86 pp.504-506 (1986)
- 15) T.Shinoda, et al.: "Improvement of Luminance and Luminous Efficiency of Surface-Discharge Color AC PDP" SID '91 Digest p.724 (1991)
- 16) H.Uchiike, et al.: "85-Lines per inch High Resolution Full-Color Surface Discharge AC Plasma Display Panels" Proc. Japan Display '89, 8.3, pp.206-209, (1989)
- 17) H.Uchiike, et al.: "Reflective Phosphor Deposition on the Barrier Electrode Structure of an ac Plasma Display Results in High Brightness and High Luminous Efficiency" SID '92 Digest, 28.6, pp.543-546, (1992)
- 18) 川井 功 : "障壁電極型 ac 形プラズマディスプレイ" でいぶれい 報と いしんぐ, 4, [2], pp.85-94, (1996)
- 19) H.Murakami, et al.: "Pulse Discharge Panel Display for Producing a Color TV Picture with High Luminance and Luminous Efficacy" IEEE Trans., ED-29, 6, pp.988-994 (1982)
- 20) H.Murakami, et al.: "An 8-in. Diagonal Pulse Discharge Panel with Internal Memory for Color TV Display" SID '84 Digest, p87 (1984)
- 21) 村上 功 : "平面構成ノビレスメモリー放電パネル" TV 全大, pp.103-104, (1984)
- 22) 村上 功 : "カラーテレビ表示用平面構成ノビレスメモリー方式放電パネル" テレビ誌, 40, 10, pp.953-960, (1986)
- 23) 関 功 : "20 型カラー放電ディスプレイにおけるテレビ画質の改善"テレビ技報, 14, 3, IDY 90-19, pp.45-50, (1990)
- 24) H.Murakami, et al.: "Fabrication of a 33-in. Color DC Plasma Display Panel" Proc. Japan Display '89, 8-5, pp.214-217, (1989)
- 25) T.Yamamoto, et al.: "A 40-in.-Diagonal HD-TV Plasma Display" SID '93 Digest, 14.2, pp.165-168, (1993)
- 26) K.Ishii, et al.: "New Resistor Structure of Long-Life DC Plasma Display Panels" Proc. Asia Display '95, S19-6, pp.393-396, (1995)
- 27) 村上 : "ノビレスメモリー方式DCカラープラズマディスプレイ" でいぶれい 報と いしんぐ, Vol.4, No.2, pp.75-84, (1996)

- 28) S.Mikoshiya, et al.: "High Efficacy Townsend Discharge Memory Panel for Color TV Display" Proc. Japan Display '83, 14-3, pp.510-513, (1983)
- 29) S.Mikoshiya, et al.: "A Common-Anode Configuration of a Townsend-Discharge Memory Panel for Color TV Display" SID '86 Digest, 17, p.387, (1986)
- 30) T.Shinoda, et al.: "Development of Technologies for Large-Area Color ac Plasma Displays" SID '93 Digest, 14-1, pp.161-164, (1993)
- 31) L.F.Weber: "The Performance and Promise of Color Plasma Displays" Proc. Asia Display '95, pp.373-376, (1995)
- 32) 布村: "33 型, 42 型カラープラズマディスプレイの開発" NEC 技報, Vol.49, No.10, pp.3-7, (1996)
- 33) 大塚: "大画面 ac 形カラープラズマディスプレイ" ていぶねいおと いめじんぐ, Vol.4, No.2, pp.67-73, (1996)
- 34) N. T. Nguyen, et al.: "Optical Characteristics of 42-inch Diagonal Color Plasma Display" IDW 96, Vol.2, pp.295-298, (1996)
- 35) M. Uchidoi, et al.: "Panel Design and Driving Method of 40 in. Diagonal AC Plasma Displays" IDW 96, Vol.2, pp.291-294, (1996)
- 36) 鳥嶋まか: "T字型電極面放電型 AC-PDP" 映像学技報, IDY99-19, Vol.23, No.1, pp.109-112, (1999)
- 37) 内池: "プラズマディスプレイ" 電学誌, 119, [6], p.347, (1999)
- 38) M.Yamamoto, et al.: "Improvement of Moving-Picture Quality on a 42-in.-Diagonal PDP for HDTV" SID '97 Digest, 15-2, p.271 (1997)
- 39) P.S.Friedman, et al.: "Analysis of the Luminous Efficiency for ac Plasma and ac Electroluminescent Displays" Proc. of SID, 30/3 (1989)
- 40) M.Kasahara, et al.: "New Drive System for PDPs with Improved Image Quality: Plasma AI" SID '99 Digest, 14.2, (1999)
- 41) PDP 開発協議会: "発光効率の定義と測定法" (1998)
- 42) 篠田: "PDP の電力と発光効率" 電学会 PDE 調査専門委資料, PDE-9-8, (1999)
- 43) H.Doyeux: "Luminance and Luminous Efficiency of PDPs" IDW '95, PDP-7, pp.53-56, (1995)
- 44) 和邇: "プラズマディスプレイの省電力化" 映像情報メディア誌, 53, [8], pp.1067-1070, (1999)
- 45) 大石: 電気学会技術報告第 688 号, 2-3-1, pp.13-16, (1998)