



Title	動画用大画面薄型ディスプレイの高画質化に関する研究
Author(s)	山本, 敏裕
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/69715">https://doi.org/10.18910/69715</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 動画用大画面薄型ディスプレイの 高画質化に関する研究

提出先 大阪大学大学院情報科学研究科

提出年月 2018年1月

山本 敏裕



# 内容梗概

本論文は、筆者が 1987 年から 2017 年にかけて日本放送協会 放送技術研究所において、および 2017 年に大阪大学大学院情報科学研究科 博士後期課程在学中に行った、動画用大画面薄型ディスプレイの高画質化に関する研究の成果をまとめたものである。

2000 年に衛星デジタル放送、2003 年には地上デジタル放送が開始され、高精細なハイビジョン番組が放送されるようになった。これに伴い、高画質な映像を大きな画面で楽しみたいという要望が高まり、ブラウン管 (CRT: Cathode Ray Tube) では難しかった大画面表示が可能なプラズマディスプレイパネル (PDP: Plasma Display Panel) や液晶ディスプレイ (LCD: Liquid Crystal Display) などの薄型平面ディスプレイ (FPD: Flat Panel Display) の需要が伸びてきた。その結果、CRT から FPD への急速な置き換えが進み、軽量で薄い FPD で迫力ある大画面を一般家庭でも楽しめるようになってきた。また、2016 年にはスーパーハイビジョン (SHV: Super Hi-Vision) の試験放送が始まり、さらに高臨場感の得られる大画面で超高精細なディスプレイが期待されるが、大画面のディスプレイを家庭内に導入するには、丸めて室内に持ち込むことができるプラスチック基板を用いたフレキシブルディスプレイが望まれる。このように、放送の進化と共に薄型テレビの大画面化、フレキシブル化が進んでいくが、このためには高精細化や動画表示特性、均一性などを含めた一層の高画質化が重要となる。

PDP や有機 EL ディスプレイなどのマトリクス画素構造の FPD は、CRT とは異なった構造を持ち、また発光原理や画像表示・駆動方法も表示デバイスによって異なるため、動画を中心とする画像表示特性が CRT とは異なっている。特に画面の大型化・多画素化に伴い、表示の均一性や動画質、高速応答性、消費電力が課題となってくる。

本研究は、家庭用テレビを目指した、ハイビジョン用 PDP と超大画面シート型ディスプレイに関して、動画像を中心とした画質改善を実施することを目的としている。

ハイビジョン用 PDP は、ハイビジョン放送の研究開始とともに大型テレビの候補の一つとして検討が開始されたが、大画面ディスプレイの作製プロセスや多画素化の際の駆動方法などに課題があり、開発当初は、対角 40 インチもの大画面 PDP を実現することが難しいと

考えられていた。そこで PDP による大画面テレビの実現を目指し、大型化に際して発生した不均一な表示の原因を、波形観測とシミュレーション解析により解明するとともに、これを改善する駆動方法を提案する。そして、これを用いて対角 40 インチ PDP へハイビジョン映像を表示し、大画面で薄型のディスプレイが PDP を用いて実現可能であることを示す。さらに、大画面化に伴い顕著に表れてきた動画像に対する画質劣化の原因と改善策について述べるとともに、この知見を基に開発した対角 42 インチの高精細 DC 型 PDP について述べる。

また、シート型ディスプレイは、対角 100 インチ級の超大画面で巻き取ることが可能なテレビというこれまでとは異なった概念のテレビであり、材料や作製プロセス、駆動・表示方法を基本から検討する必要がある。本論文では、高画質化の観点から、トランジスタの特性を補償する駆動法やプラスチック基板上へのトランジスタ素子の作製方法、および低消費電力化と高画質化を両立させる表示法について提案する。

本論文は以下の全5章から構成される。

第1章では、放送の進展に伴って CRT に代わり進化が進む薄型ディスプレイの現状について述べ、本研究の背景と目的を明らかにするとともに、研究内容と成果について概説する。

第2章では、家庭用ハイビジョン薄型テレビの実現を目指した PDP の可能性を示すとともに、PDP の大画面化に伴い発生した駆動面での課題に対して実施した駆動波形の改善について述べる。

第3章では、大画面 PDP に動画像を表示した際に発生する偽輪郭状のノイズに関して、ノイズを定量評価するとともに、シミュレーションを用いて画質劣化を改善する手法の検討を行い、3つの手法を組み合わせた動画質改善手法を提案する。

第4章では、SHV 用大画面ディスプレイを目指したプラスチックフィルムを基板に用いたシート型ディスプレイの開発に関して、有機薄膜トランジスタを用いたディスプレイの表示画質を改善する駆動方法、プラスチックフィルムを基板に用いた高輝度ディスプレイの新しい作製プロセス、および超大画面化を想定した際の省電力化のための階調制御方式について述べる。

第5章では、本研究で得られた成果を要約し、結論とする。

## 発表論文リスト

<博士論文の内容>

### [学会誌採択論文]

1. T. Yamamoto, T. Kuriyama, M. Seki, T. Katoh, T. Takei, T. Kawai, H. Murakami and K. Shimada: “A 40-Inch-Diagonal HDTV DC Plasma Display”, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.42, No.5, pp.847-855 (1995)
2. 山本敏裕、石井啓二、栗田泰市郎、小浦壽三、高野善道、国分秀樹、村上宏: “PDPにおける動画偽輪郭妨害による動画質劣化の改善”, 映像情報メディア学会誌, Vol.54, No.5, pp.717-725 (2000)
3. T. Yamamoto, K. Ishii, T. Kurita, T. Koura, Y. Takano, H. Kokubun, M. Seki, H. Murakami, K. Ohtake, I. Kawahara, and M. Kasahara: “Method to Improve Moving Picture Quality of PDPs Affected by Dynamic False Contour Artifacts”, SMPTE Journal, Vol.110, No.4, pp.248-257 (2001)
4. T. Yamamoto, Y. Nakajima, T. Takei, Y. Fujisaki, H. Fukagawa, M. Suzuki, G. Motomura, H. Satoh, S. Tokito and H. Fujikake: “New Driving Scheme to Improve Hysteresis Characteristics of Organic Thin Film Transistor-Driven Active-Matrix Organic Light Emitting Diode Display”, Japanese Journal of Applied Physics 50, 024201 (2011)
5. T. Yamamoto, T. Takei, Y. Nakajima, Y. Fujisaki, T. Furukawa, M. Hosoi, A. Kinoshita and H. Fujikake: “Simple Transfer Technology for Fabrication of TFT Backplane for Flexible Displays”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.48, No.5, pp.1662-1667 (2012)

## [国際会議採択論文]

1. T. Yamamoto, T. Kuriyama, M. Seki, T. Katoh, H. Murakami, K. Shimada and H. Ishiga: “A 40-in Diagonal HDTV Plasma Display”, 1993 SID International Symposium Digest of Technical Papers, Vol.24, 14.2, pp.165-168 (1993)
2. T. Yamamoto, K. Ishii, H. Kokubun, T. Kurita, K. Kobayashi, Y. Takano, T. Koura, K. Majima, K. Yamaguchi and H. Murakami: “Improvement of Moving-Picture Quality on a 42-in.-Diagonal PDP for HDTV”, 1997 SID International Symposium Digest of Technical Papers, Vol.28, 15.2, pp.217-220 (1997)
3. T. Yamamoto, T. Takei, Y. Nakajima, Y. Fujisaki, H. Fujikake, T. Furukawa, M. Hosoi, A. Kinoshita and S. Tokito: “Flexible OTFT Backplane Fabricated by Transfer Technology”, Proceedings of 10th International Meeting on Information Display and International Display Manufacturing Conference and Asia Display 2010 (IMID/IDMC/Asia Display 2010), pp.14-15 (2010)
4. T. Yamamoto, T. Takei, Y. Nakajima, Y. Fujisaki, T. Furukawa, M. Hosoi, A. Kinoshita and H. Fujikake: “Transfer Technology for Fabrication of Flexible OTFT Backplane”, IEEE Industry Applications Society ANNUAL MEETING 2011 Conference Record, 2011-ILDC-330 (2011)
5. T. Yamamoto, T. Okada, T. Usui, Y. Fujisaki and T. Onoye : “Picture Level Control Method for Super Large-Area Display”, Proceedings of the 24th International Display Workshops (IDW '17), VHF6-1, pp.1028-1031 (2017)

## [研究会発表論文]

1. 山本敏裕、村上宏、河井貴志、関昌彦、坂井徹男：“パルスメモリー方式放電表示パネル用ハイブリッド IC の試作”，テレビジョン学会技術報告，Vol.17, No.1, IDY93-3, pp.13-18 (1993)
2. 山本敏裕、石井啓二、栗田泰市郎、高野善道、小浦壽三、国分秀樹、小林希一、村上宏、山口孝一：“PDP における動画質改善の評価”，電子情報通信学会技術研究報告 EID 電子ディスプレイ，Vol.97, No.519, EID97-97, pp.143-148 (1998)

## 目次

第1章 序論 .....	1
1.1 研究の背景 .....	1
1.2 本研究の目的 .....	4
1.3 論文の構成 .....	7
第2章 ハイビジョン用プラズマディスプレイの実現に向けた駆動・表示方法の改善 .....	9
2.1 緒言 .....	9
2.2 プラズマディスプレイの表示方法 .....	9
2.2.1 動作原理 .....	9
2.2.2 駆動方法 .....	10
2.2.2.1 パネル構造 .....	10
2.2.2.2 パルスメモリー駆動方式 .....	12
2.3 大型プラズマディスプレイの実現に向けた駆動波形の改善 .....	14
2.3.1 安定駆動を目指した駆動波形の改善 .....	14
2.3.2 ハイブリッド IC の開発 .....	17
2.3.3 大画面プラズマディスプレイの試作 .....	21
2.3.4 パネル作製プロセスの改善 .....	24
2.3.5 ハイビジョン表示システム .....	27
2.4 結言 .....	31
第3章 プラズマディスプレイにおける動画偽輪郭の改善 .....	32
3.1 緒言 .....	32
3.2 プラズマディスプレイにおける動画偽輪郭の改善 .....	33
3.3 動画質改善手法の提案 .....	38
3.4 発光期間時間圧縮駆動の実現 .....	45
3.5 動画質改善法の評価 .....	49
3.5.1 シミュレーションによる評価 .....	49
3.5.2 主観画質評価 .....	52
3.6 高画質 42 型ハイビジョンプラズマディスプレイの開発 .....	54
3.7 結言 .....	57
第4章 超大画面スーパーハイビジョン用シート型有機 EL ディスプレイの画質改善 .....	58

4. 1	緒言	58
4. 2	家庭用超大画面シート型ディスプレイ	59
4. 2. 1	ディスプレイの構造	59
4. 2. 1. 1	シート型ディスプレイ構成要素	59
4. 2. 1. 2	シート型ディスプレイの構造	63
4. 2. 2	有機 EL ディ스플레이の駆動方法	65
4. 3	階調表示特性劣化の改善に向けた駆動方法	69
4. 3. 1	有機トランジスタ駆動有機 EL ディ스플레이	69
4. 3. 2	TFT のヒステリシス特性に起因する画質劣化	69
4. 3. 4	有機 EL ディ스플레이を用いた改善手法の検証	76
4. 4	シート型ディスプレイ作製プロセスの提案	80
4. 4. 1	提案する転写法	80
4. 4. 2	TFT バックプレーンの試作	83
4. 4. 3	試作バックプレーンの評価	86
4. 5	超大画面シート型ディスプレイ省電力化のための階調制御方式	89
4. 5. 1	大画面有機 EL ディ스플레이の電力試算	89
4. 5. 2	提案手法による階調制御方式	93
4. 5. 2. 1	提案手法	93
4. 5. 2. 2	シミュレーション評価	98
4. 5. 3	提案手法の改善	100
4. 5. 3. 1	HSV 色空間を用いた改善手法	100
4. 5. 3. 2	改善手法のシミュレーション評価	101
4. 6	結言	103
第 5 章	結論	106
	謝辞	109
	参考文献	111

# 第 1 章 序論

## 1. 1 研究の背景

1953 年にテレビ放送が開始されて以来、長い間ブラウン管（CRT: Cathode Ray Tube）がテレビの主役を担ってきた。2000 年に衛星デジタル放送、2003 年には地上デジタル放送が開始され、高精細なハイビジョン番組が放送されるようになると、高画質な映像を大きな画面で楽しみたいという要望が高まった。しかし、当時のテレビに用いられていた CRT で大きな画面のテレビを作ろうとしても、非常に重く、また大きな体積を必要とするため、日本の家庭内に設置することは困難であった。そこで、40 インチ以上の大画面でも家庭に導入しやすい薄型平面ディスプレイ (FPD: Flat Panel Display) の開発が始まった。

図 1.1 には主なディスプレイの分類を示す。様々な表示デバイスを用いたディスプレイが研究開発されてきたが、動画表示のための高速応答性、階調表示特性、大型化の容易さ、効率（低消費電力）、寿命などの観点から、大型テレビ用としては、プラズマディスプレイパネル (PDP: Plasma Display Panel) と液晶ディスプレイ (LCD: Liquid Crystal Display) に絞られて研究開発が盛んに進められ、CRT では難しかった

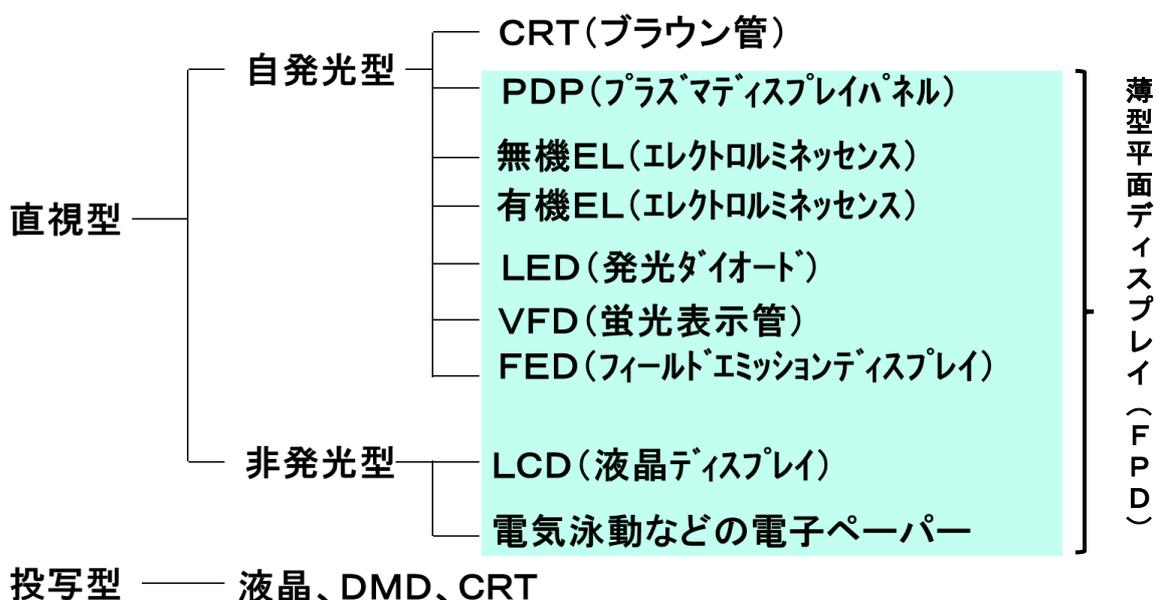


図 1.1 主なディスプレイの分類

大画面表示が可能な PDP と LCD の需要が伸びてきた。その結果、図 1.2 に示すように、CRT から FPD への急速な置き換えが進み、軽量で薄い FPD で迫力ある大画面を一般家庭でも楽しめるようになってきた。

また、2016 年にはスーパーハイビジョン(SHV: Super Hi-Vision)の試験放送が始まり、さらに高臨場感の得られる大画面で超高精細なディスプレイが期待されるが、SHV 映像に適した 100 インチ級の大画面ディスプレイを家庭内に導入するには、丸めて室内に持ち込むことができるプラスチック基板を用いたシート型ディスプレイが望まれる。このように、放送の進化と共に薄型テレビの大画面化、フレキシブル化が進んでいくが、このためには高精細化や動画表示特性、均一性などを含めた一層の高画質化が重要となる。

ディスプレイの表示方法としては、図 1.3 に示すように、点順次、線順次、面順次表示方式がある。全面白画面表示を行ったディスプレイにおいてある一瞬を見た場合、1 画素が発光しているものが点順次、1 ラインで発光しているものが線順次、画面内全画素が発光しているものが面順次方式である。CRT は点順次方式のディスプレイであるのに対して、LCD、有機 EL(Electroluminescence)ディスプレイや PDP では面順次方式が採用されており、これらのディスプレイでは 1 つの画素に注目すると 1 フィールドの間表示状態を継続する、いわゆるホールド型の表示方式である。さらに PDP の場合には、後述するサブフィールド法という特殊な階調制御方式が採用されており、

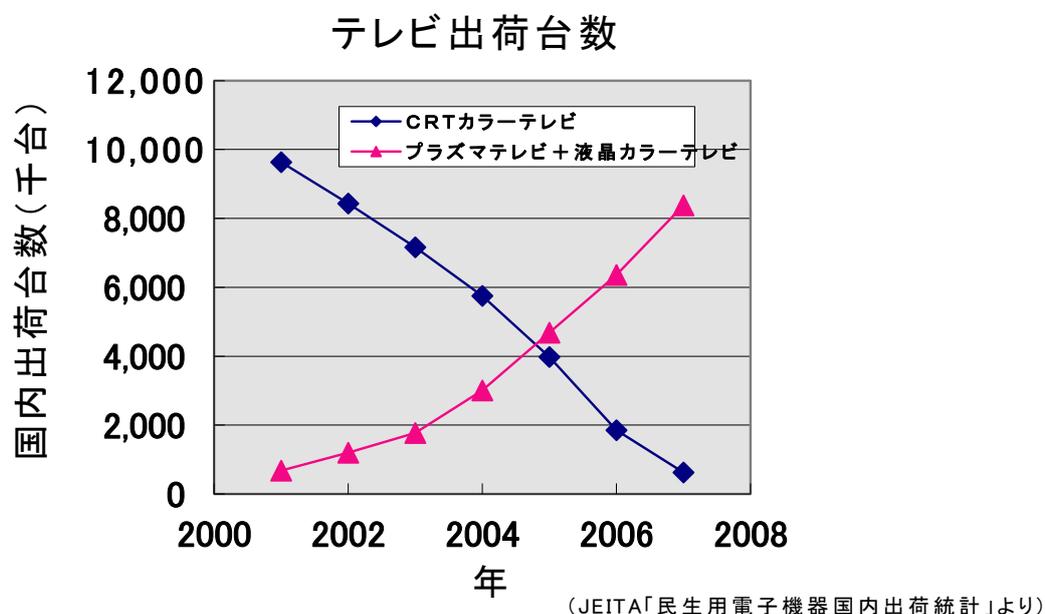


図 1.2 国内テレビ出荷台数の推移

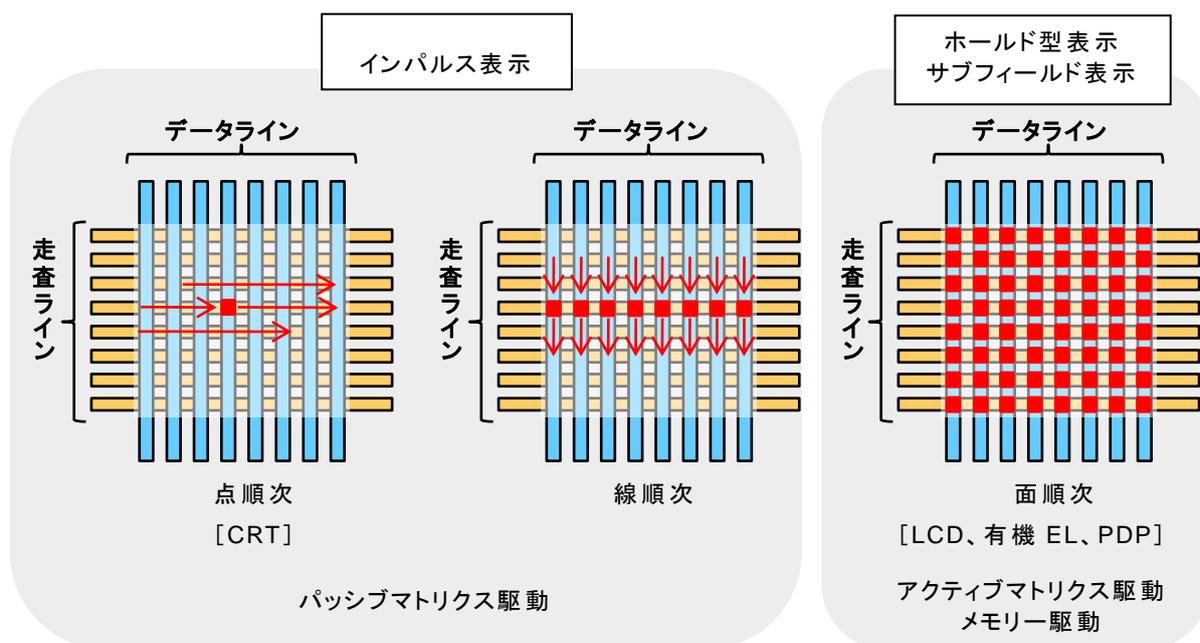


図 1.3 ディスプレイの走査方式

表示デバイスが異なると、動画像の表示方式が異なることとなる。この表示方法の違いがディスプレイの動画表示特性に影響を及ぼす。また、CRTは1つの電子ビームを偏向させることにより2次元の画像を形成しているが、FPDでは、図1.3に示すように縦横に直交する形で多数の電極が形成され、それらの交点を1画素としている。このようなマトリクス型ディスプレイであるFPDでは、ディスプレイパネルの作製精度により画素間のばらつきが生じやすく、パネルの均一性を向上させることも画質向上のポイントとなる。

実際PDPは、高電圧パルスを印加することによる大画面化の際の安定性や特殊なサブフィールド表示法による動画質表示特性に課題を有していた。一方、設置が容易なプラスチックベースのフレキシブルディスプレイは、デバイスとしては近年寿命や発光効率が改善されてきた有機ELが有望であるが、プラスチック基板上へ形成する画素TFT(Thin Film Transistor)の特性はまだ十分ではなく、特性改善の必要がある。このように、CRTとは構造や駆動方法が異なる薄型ディスプレイでは、大画面に高画質な映像を表示するためにそれぞれいくつかの課題を有している。そこで本研究では、大画面・高精細FPDの画質を向上させることを目的に、各種薄型ディスプレイについて課題を検討し、その素子構造や信号処理法、駆動法を開発することを目的とする。

## 1. 2 本研究の目的

こうした背景を踏まえて本研究は、動画用大画面薄型ディスプレイの高画質化に主眼に置いて開始されたものである。筆者はまず、高精細なハイビジョン番組を家庭でも大画面で視聴できることを目指して、高画質なハイビジョン用 PDP の開発を目標に設定した。具体的には、CRT とはデバイス構造や発光方式の異なる PDP に適した駆動方法や動画表示方法の開発に取り組んだ。

ハイビジョン番組は、きめ細かな画像を大画面で見ることにより臨場感や迫力を得るもので、対角 40 インチ以上の大型ディスプレイで視聴することにより、その性能を大きく引き出すことができる。大型ディスプレイの一般家庭への普及には、CRT のような重くて奥行きのあるものではなく、FPD による大画面で薄く軽量な、いわゆる壁掛けテレビが必要である。PDP は、1) 大型化の容易さ、2) 高速応答性、3) 自発光で高視野角、等の特徴を持ち、ハイビジョン用大型平面ディスプレイの実現に対して有力な表示デバイスである。

PDP は、表示セルと呼ばれる小さな蛍光放電管を多数並べ、それぞれの表示セルの明るさを制御して画像を表示するが、構造の違いから、AC 型と DC 型に分類される。図 1.4 に AC 型 PDP と DC 型 PDP の構造を示す。どちらも放電により発生した紫外線により蛍光体を発光させるが、AC 型 PDP では、電極が誘電体層と MgO 層に被覆されているのに対して、DC 型 PDP では、誘電体層や MgO 層は無く、電極が放電空間に露出している。PDP の研究開発は多くの研究機関で行われており、筆者が研究開発を開始した当時は AC 型 PDP が 21~30 インチの大きさと実用化のレベルに達していた [1]。しかし筆者らは、DC 型 PDP は構造が単純なため、大型のパネルを安い費用で作るという点で有望であると考えた。

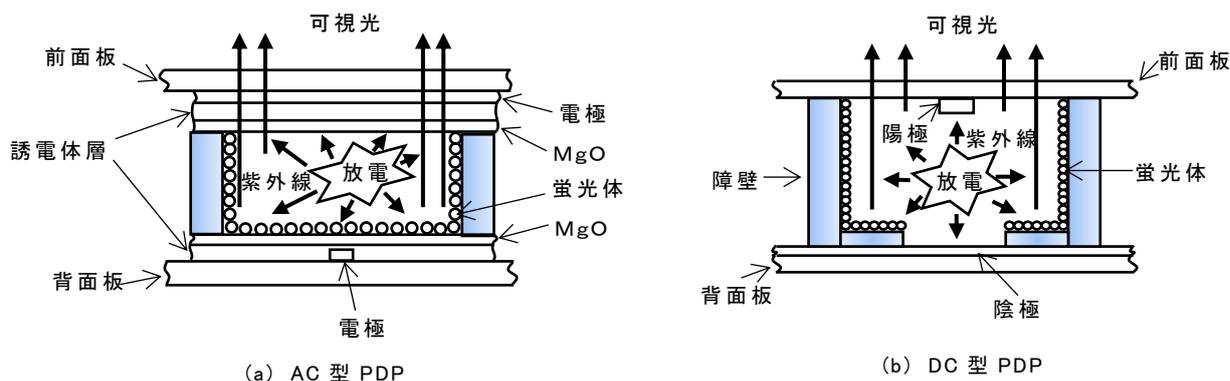


図 1.4 PDP の構造

PDP の駆動方式には、G. E. Holz の提案 [2]を基にしたパルスメモリー駆動方式 [3]を採用しているが、大画面化に伴い、画面全体に安定に画面表示することが難しくなってきた。そこで、この原因を突き止めるとともに、これをもとに大画面 PDP に安定なハイビジョン映像を可能とする駆動方法の検討を行った。

また、画面の大型化とともに顕著になってきた動画表示時の画質劣化については、PDP 特有の表示方法であるサブフィールド表示法に起因することがわかってきた。これを改善するための様々な方法が提案されていたが、それぞれの改善手法に対して定量的な評価が確立しておらず、それらの改善効果は明らかにはなっていなかった。筆者らは、PDP における動画画質劣化に対してシミュレーションによる評価法を示すとともにこれを用いて動画画質劣化を改善する駆動方法・表示方法に取り組んだ。

また、次世代のテレビ方式である SHV 映像の魅力を、家庭においても大画面で楽しむことができるフレキシブルなディスプレイにおいて、発光デバイスとして有機 EL に着目し、大画面有機 EL ディスプレイの高画質化を目指した駆動方法とディスプレイパネル試作プロセスの開発を目標とした。

フレキシブルな基板としてプラスチックを用いたフレキシブルディスプレイは、小型のものが既にスマートフォン用として実用化されている。しかし、100 インチを超える大画面のディスプレイについては、小型フレキシブルディスプレイの技術をそのまま使用することができない。例えば、小型のディスプレイでは、画素回路として使用される TFT に低温ポリシリコン (poly-Si) 半導体を用いられているが、低温 poly-Si は大画面形成が難しい。また、小型のディスプレイでは、フィルムに高耐熱のポリイミドフィルムが用いられているが、単価が高く、大型ディスプレイに用いると、相当高価なディスプレイとなり、家庭用としては現実的ではない。このように、超大画面のフレキシブルディスプレイの実現には、フィルム、半導体、発光デバイスなどの構成要素に使用する材料や、パネルの作製方法、ディスプレイの駆動方法、低消費電力化などの多くの課題を有している。これらの課題である材料、作製方法、駆動方法はいずれもディスプレイの表示画質に影響を与えるものであり、その選択は慎重に行う必要がある。そこで、本論文では、フレキシブルな大画面ディスプレイの高画質化という視点から、これらの課題に対して検討を進める。

プラスチック基板を用いた家庭用シート型ディスプレイの実現を目指し、筆者らは、まず使用する部材の検討を進めた。その結果、基板には安価なプラスチックフィルム、

TFT に使用する半導体にはプラスチック上に低温で形成可能である有機半導体、発光デバイスにはバックライトが不要で薄型化が可能な有機 EL に着目して研究を進めることとした。そして筆者らは、2009 年までに対角 5.8 インチの有機 TFT 駆動のフレキシブル有機 EL ディスプレイを試作し、このディスプレイ上への動画表示に成功した [4]。しかし、試作したディスプレイでは、有機半導体を用いた TFT がヒステリシス特性を示しており、表示画像が正しい階調を表現することができておらず、画質という点では満足いくものではなかった。そこで、有機 EL ディスプレイの画素回路に、ヒステリシス特性を有する TFT を用いた際にも、正しい階調が表示できる駆動法の検討を行った。

また、更なる大画面化について検討を進めたが、SHV の画素数を有する 100 インチクラスのディスプレイを駆動するためには、画素に使用する TFT に  $12\text{cm}^2/\text{Vs}$  以上、できれば  $20\text{cm}^2/\text{Vs}$  の電荷移動度が必要であることが回路シミュレーションにより判明した [5]。有機半導体材料は、柔軟で低温形成可能であるためプラスチック基板との相性は良かったが、安定に動作する TFT としては電荷移動度  $1\text{cm}^2/\text{Vs}$  程度に留まっており、大幅な改善を早期に達成することが難しい状況であった。一方、新規半導体材料として報告された酸化物半導体 [6]は、多くの機関で研究が行われて特性の向上が進み、大面積形成が可能であるとともに移動度  $20\text{cm}^2/\text{Vs}$  の実現が可能となってきた。そこで筆者らは、シート型ディスプレイに使用する TFT に、酸化物半導体を活性層に用いた酸化物 TFT を使用することを検討した。酸化物 TFT は、スパッタ法を用いて形成することができるため、poly-Si TFT に比較して、大画面形成が容易、低温形成が可能という特長を有するが、閾値特性、時間安定性、移動度などの TFT 特性を安定化させるためには  $200\sim 300^\circ\text{C}$  程度のアニールが必要である。前述した 5.8 インチの試作パネル [4]では、プラスチックフィルム上に、TFT や電極などのデバイスを直接形成していたため、プラスチックフィルムの耐熱性の問題から、 $200^\circ\text{C}$  以上の温度プロセスを適用することができなかった。そのため、それまでと同様のプラスチックフィルム上にデバイスを直接形成するプロセスでは、安定な酸化物 TFT の特性を得ることができず、結果的に高画質な SHV 映像が表示できないことがわかってきた。そこで、フレキシブルディスプレイの作製プロセスとして、 $200^\circ\text{C}$  以上の温度プロセスを可能とする新しいディスプレイの作製手法の検討を行った。

さらに家庭用のディスプレイを考えた場合、消費電力が課題となる。100 インチ級

の超大画面ディスプレイでは消費電力が大きくなることが予想される。有機 EL ディスプレイのような発光型ディスプレイの場合には、暗い画面を表示する際には電力は少ないが、明るい画面を表示する際には大きな電力を消費する。そのため、通常大画面ディスプレイにおいては、明るい画面を表示する際には、信号レベルを制御して画面全体の輝度を低下させることにより消費電力を抑えることが行われている。この制御方法についてはいくつかの手法が採用されているが、これらの手法では高輝度部の白とびや低輝度部の黒つぶれが発生し、画質の低下が発生することになる。そこで、家庭用超大画面ディスプレイを想定し、画質低下をできるだけ抑えつつ消費電力を抑える新しい階調制御方式の検討を進めた。

以上の研究経緯の中で示したように、筆者は、放送メディアの進化に伴い発展を遂げる大画面の薄型ディスプレイの実現を目標に、一貫して画質の向上という視点でディスプレイの開発を進めてきた。本論文は、これまで進めてきたハイビジョン用 PDP、および SHV 用の超大画面なフレキシブルディスプレイの高画質化を目的するものである。

### 1. 3 論文の構成

本論文は上記の観点から、家庭用テレビを目指した動画用大画面薄型ディスプレイの高画質化に関する研究成果を 5 章の構成にまとめたものである。

まず第 2 章では、ハイビジョン用薄型テレビを目指した PDP の動作原理と基本的な駆動方法に関して述べた後、大画面化に伴い発生した放電の不均一性改善に向けて、この原因を解明するとともに、これをもとに大画面の PDP を安定に駆動する駆動波形の改善について述べる。

第 3 章では、PDP 特有の表示方法であるサブフィールド表示法に起因する画質劣化を改善する駆動方法・表示方法について述べるとともに、この表示方法を用いた対角 42 インチのハイビジョン用 PDP の開発について述べる。

続く第 4 章では、SHV 用大画面ディスプレイを目指したプラスチックフィルムを基板に用いたシート型ディスプレイの開発に関して、その概要について述べた後、ヒステリシス特性を有する TFT を備えたディスプレイに対しても正しく階調表示を行うことを可能とする駆動方法、プラスチックフィルムを基板に用いた高輝度ディスプレイの新しい作製プロセス、および超大画面化を想定した際の省電力化のための階調制

御方式について述べる。

第5章は結論であり、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の発展について考察し、本研究の結論を述べている。

## 第2章 ハイビジョン用プラズマディスプレイの実現に向けた駆動・表示方法の改善

### 2.1 緒言

ハイビジョン用大画面ディスプレイの実現を目指して、CRTに代わる薄型ディスプレイとして、プラズマディスプレイパネル（PDP）の研究開発を進めた。PDPは、テレビの表示デバイスとして長い歴史を有していた CRT とは異なるデバイス構造であり、そのため、駆動方法や表示方法も CRT とは大きく異なっている。開発当初は、薄型のディスプレイで対角 40 インチもの大画面ディスプレイを実現することが難しいと考えられていた。そこで筆者らは、まず PDP を用いて大画面で薄型のディスプレイが実現可能であることを示すために、CRT よりも大きくて薄い対角 40 インチの PDP の試作に取り組んだ。この取り組みの中で、PDP の大型化に際して、駆動方法に起因する課題が発生した。本章では、大画面化に伴い発生した画質劣化の原因と改善策について述べるとともに、この知見を基に開発した対角 40 インチの高精細 DC 型 PDP について述べる [7]。

### 2.2 プラズマディスプレイの表示方法

#### 2.2.1 動作原理

第 1 章で述べたように、PDP では表示セルと呼ばれる小さな蛍光放電管を多数並べ、それぞれ表示セルの明るさを制御して画像を表示する。筆者らが研究・開発を進めた PDP は図 1.4(b)に示す DC 型 PDP である。同図において、セル内にはヘリウム（He）やキセノン（Xe）などの混合ガスが封入されており、陽極－陰極間に電圧を印加することにより放電を生じさせる（点弧）。その放電により発生した紫外線が放電セルの内面に塗布した蛍光体を励起し、フォトルミネッセンスの原理により可視光を発生する。カラー表示を行うためには、RGB3 色の蛍光体を各セルに塗り分け、それぞれのセルにおける発光強度を制御する。

この表示セルに印加する電圧を制御して、放電の ON/OFF を行う。図 2.1 に、前述したパルスメモリ駆動方式の原理を示す。この方式は、放電によりセル内に生じた準安定粒子などが放電停止後時間とともに減少していく点と、このような粒子が存在すると再点弧しやすい現象を利用して維持パルス放電を継続するものである。すな

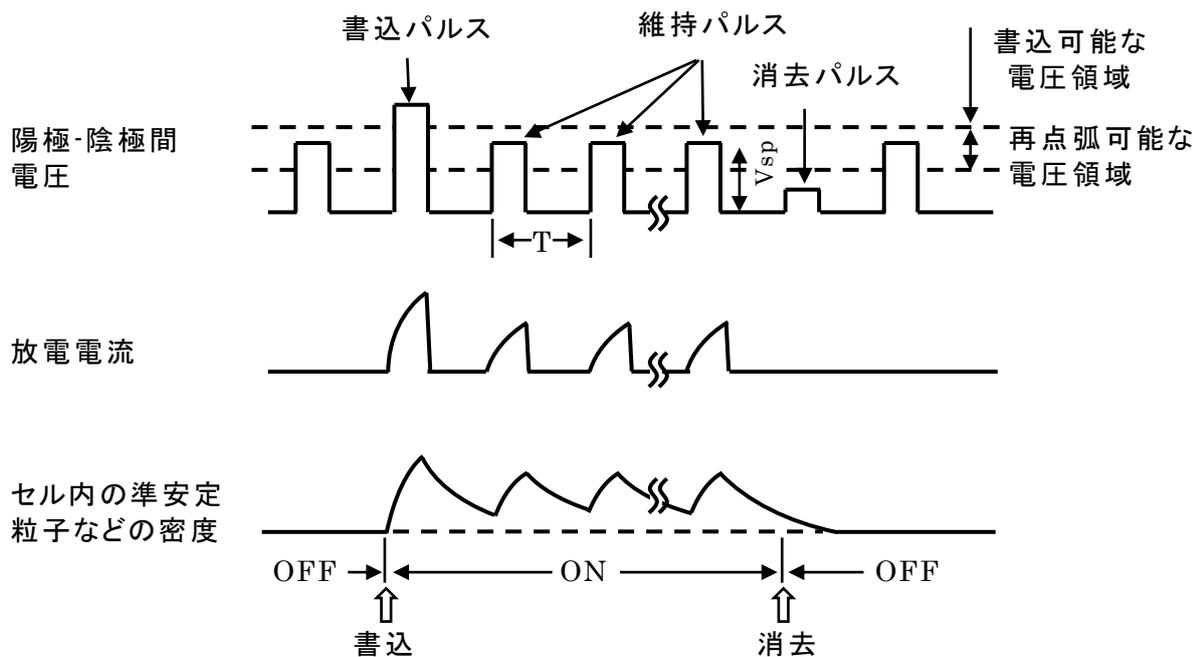


図 2.1 パルスメモリー駆動方式の動作原理

わち、書込放電によって最初の粒子を発生し、以後維持パルスによって放電を繰り返して維持させる。

通常は放電を開始しない電圧に設定された維持パルスを、陰極－陽極間に与えている。この状態で、大きな書込パルス電圧を印加して点弧させると、準安定粒子などの働きで、維持パルスの度に次々と放電が持続する（ON 状態）。消去パルスなどにより一旦放電を停止させると、準安定粒子などがなくなるため、その後維持パルスが印加されても放電が生じなくなる（OFF 状態）。このように、同じ維持パルスに対して ON と OFF の 2 つの状態を取ることができるので、書込パルスが印加されていない期間でも放電を継続させることが可能となり、PDP の高輝度化が可能となる。

## 2. 2. 2 駆動方法

### 2. 2. 2. 1 パネル構造

大画面 PDP の開発にあたり、筆者らが採用した PDP パネルの構造を、40 インチパネルを例にとり図 2.2 に示す。このパネルを筆者らは、平面構成パルスメモリーパネル（PPM パネル：Planer Pulse Memory パネル）と呼んでいる。この構造は、大型化に向け順次試作した 20 インチパネル [8] と同じ構造である。パネルは前面板、背面板

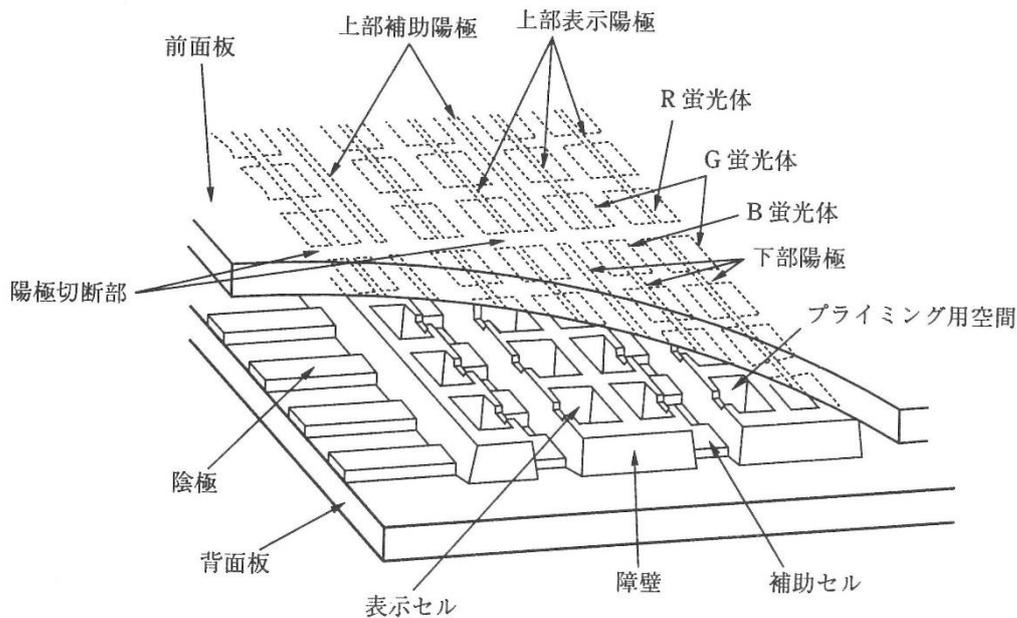


図 2.2 40 インチハイビジョンパネルの構造 [7]

の 2 枚のガラス板からなっている。前面板には陽極と 3 色蛍光体が、背面板には陰極と隔壁が形成されている。ガラスの厚さはそれぞれ 3mm であり、その間には He-Xe（ヘリウム-キセノン）混合ガスを封入している。蛍光体を除く部品の形成には厚膜印刷を用い、蛍光体はフォトリソグラフィーで塗布している。PPM パネルは、比較的構造が簡単であり、パネル製作過程で大型化に困難な工程を経ていないため、他の平面ディスプレイに比べて対角 55 インチ程度の大型ディスプレイを作製しやすいという利点を有している。

図 2.2 において、表示セルは画像表示の最小単位を構成する空間であり、ガス放電による紫外線放射により、3 原色の蛍光体を励起させ可視光を得る。また、補助セルは、ここで弱い放電を行わせることにより発生した準安定粒子などを、プライミング用空間を通して表示セルに拡散させることにより、表示セルを短時間で安定に放電させるために設けた溝状の空間である。グリーン(G)のセル数が他の色に比べて多い理由は、G が人間の目に対して感度が良いため、G を多くしてそれぞれのセルに異なった情報を表示することにより、見かけ上の解像度を上げるためである。

## 2. 2. 2. 2 パルスメモリー駆動方式

PDP の場合、ある瞬間での状態は放電するかしないか、つまり ON か OFF かの 2 値の状態しか取ることができない。テレビ表示のような階調を持った画像を PDP で表示しようとする場合には、単位時間当りの放電時間を制御すれば、目の積分効果を利用して階調を得ることができる。また、DC 型 PDP でそれを実現する場合、パネル自身にメモリー機能を持たないため、PDP パネルでは駆動回路でメモリー機能を持たせている。

パルスメモリー駆動方式は、DC 型 PDP に駆動波形によりメモリー機能を持たせるものであり、G. E. Holz によって提案されたもの [2] を改善した方式 [3] である。

図 2.3 にパルスメモリー駆動を行う時に各電極に加える電圧のタイムチャートを示す。表示陽極には、画像データに従って放電を起こすための書込パルスと、開始した放電を維持させるための一定周期  $T=4\mu\text{s}$  の維持パルスを加える。一方、陰極には、種火となる補助放電を起こすと同時に、書込放電を行う行を選択する走査パルスと、維持発光の期間を制御する放電継続パルスと消去パルスを線順次で加える。書込速度は 20 インチと同じく  $4\mu\text{s}$  とし、維持パルス周期  $T$  も書込速度と同じ  $4\mu\text{s}$  としている。

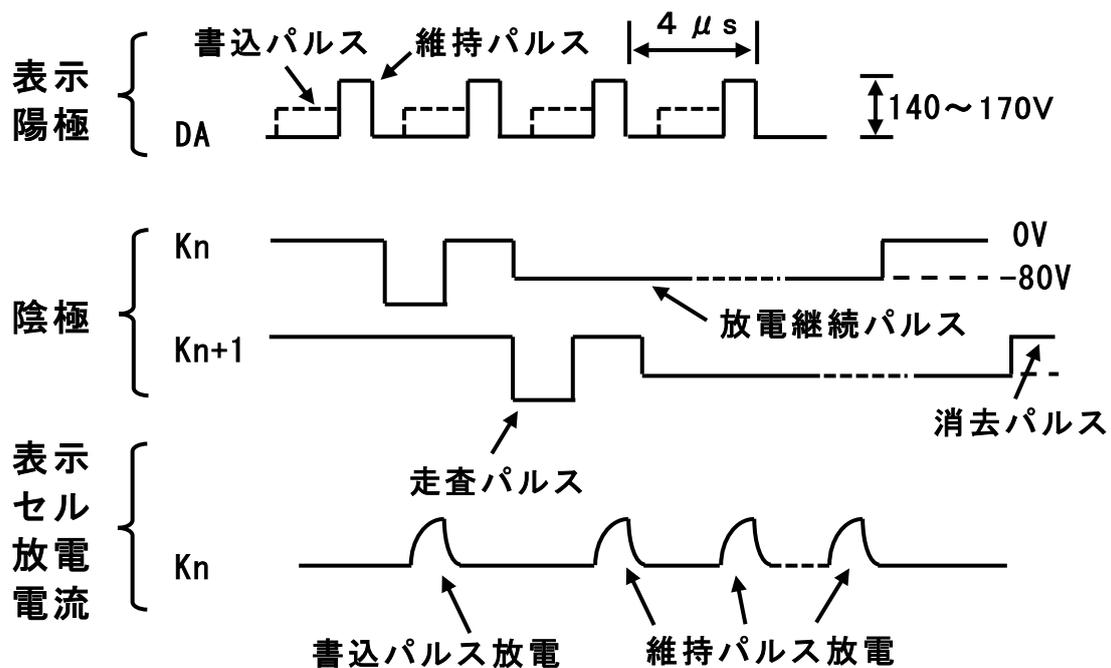


図 2.3 パルスメモリー駆動波形

維持パルスと放電継続パルスの電圧は、それらだけでは放電を開始しない電圧に設定されている。しかし、書込パルスと走査パルスによってひとたび放電が開始すると、維持パルスによって放電が継続する電圧となっている。そして、消去パルスによって放電は停止する。テレビ画像表示を行うためには速い書込速度を要するが、このために走査パルスにより補助セルにパネルの上から下へと弱い放電を常に起こしている。この放電により生じた荷電粒子がプライミング用空間を通して両隣の表示セルでの書込放電を生じやすくし、速い書込速度を得ている。

パルスメモリー方式では、維持放電の回数を制御することにより、階調を得ている。図 2.4 に示すように、256 階調（8 ビット）のテレビ画像表示を行うために 1 フィールドを 8 つのサブフィールドに分け、それぞれに各ビットを割り当てた。そして、各サブフィールドでは対応するビットで重みづけされた回数だけ放電するように維持パルス放電の回数を制御した。どのサブフィールドを組み合わせせて発光させるかにより、256 階調を表現することが可能となる。

なお、書込の後、維持発光開始まで若干の時間をおいている。これは以下の理由による。書込には高い電圧を印加するため、書込放電によって発生した最初の準安定粒子の密度は高くなり、周囲の表示セルにも荷電粒子が拡散することで本来発光させたくない表示セルも放電を開始してしまう可能性がある。そこで、維持パルス電圧を 1 つ分だけ印加しないことにより、その間に準安定粒子の密度を低減させ、走査パルス直後の、同一陰極上の非書込セルにおける誤放電を生じにくくしている。

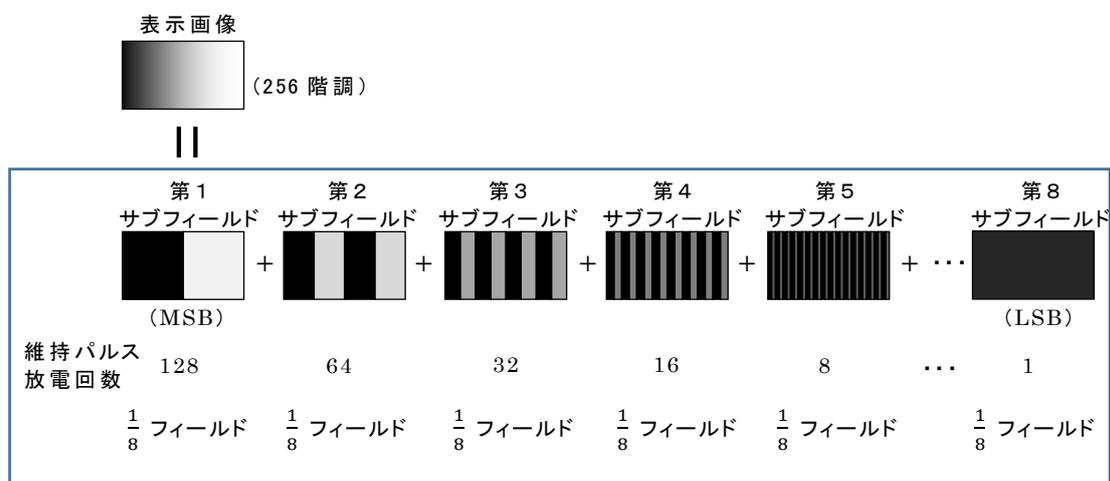


図 2.4 パルスメモリー方式における階調表示法

## 2. 3 大型プラズマディスプレイの実現に向けた駆動波形の改善

### 2. 3. 1 安定駆動を目指した駆動波形の改善

8インチ程度の小型パネルをパルスメモリー方式で駆動する際には、特に大きな問題はなかったが、パネルの大型化に伴って局所的に安定に表示ができない状態が発生した。この現象を解明するために、20インチパネルにおける維持パルス放電の発光波形を測定した。その結果を図2.5に示す。同図は、パネル面内のほぼ四隅における維持パルス波形である。蛍光体を塗布していない表示セルの可視発光強度の時間変化を、マイクロフォトメーターを用いて測定したものである。パネルー測定系間の距離に多少差異があるため、各測定波形の絶対値を正確には比較できないが、パネル右上部では、発光波形が鋭い立ち上がりを示し、オーバーシュート気味の波形となっているのに対し、パネルの他の領域では、発光波形は緩やかな立ち上がりを示している。これは、それぞれの表示セルにける放電電流が同様の波形であることを示しており、パネル内の特定領域では、維持パルスの放電状態が異なっていることがわかる。この結果、パネル面内で局所的に放電状態が変化し、輝度むらとして現れた。また、この局所的な放電状態の変化がメモリーマージン（安定にメモリー動作を行うことのできる電圧範

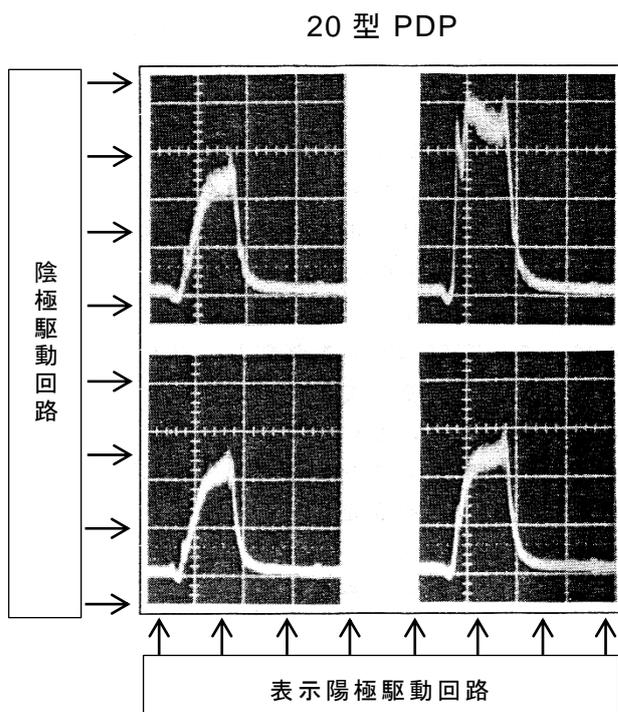


図 2.5 20 インチパネルの各部における維持パルス可視発光波形 [9]

困) の低下を引き起こした。

この現象の原因としては、パネルの電極の L、R、C 成分が考えられる。維持パルスの振幅は、百数十 V と高く、その立ち上がりも速いため、パネルの L、C、R 成分によりオーバーシュートを発生し、表示セルに加わる維持パルス波形を変化させる。小型パネルでは駆動面積が小さいためこの現象の程度は小さいが、パネルの大型化とともに問題となってくる。大型パネルでは駆動回路の負荷としてパネル全体が電気的な分布定数回路となり、表示セルに加わる維持パルス波形に差が生じるようになったと推測できる。

そこで、表示セルに加わる維持パルス波形のシミュレーションを行った。20 インチパルには約 29 万個の表示セルがあり、各セルを考慮した厳密な過渡特性の計算は非常に困難となる。そこで、ここでは簡単化しパネルの四隅のセルのみに着目した図 2.6 の等価回路により、主に電極長の影響についてシミュレーションを試みた。維持パルスの立ち上がり時を想定し、ステップ波形を入力した際の各表示セル両端の電圧波形を計算した。

図 2.7 には、陽極・陰極とも最大長となるパネル右上端と、両者とも最短な左下端との表示セル両端の電圧応答波形の一例を、それぞれ  $v_2(t)$ 、 $v_1(t)$  で示す。同図より、パネル右上部では、パルス立ち上がり時に発生する振動により、表示セル電圧が印加電圧の倍近くにも達していることがわかる。また、左下部では、右下部よりこれらの振動電圧は小さくなっている。

このシミュレーションは各表示セルに印加される電圧を厳密に計算しているもの

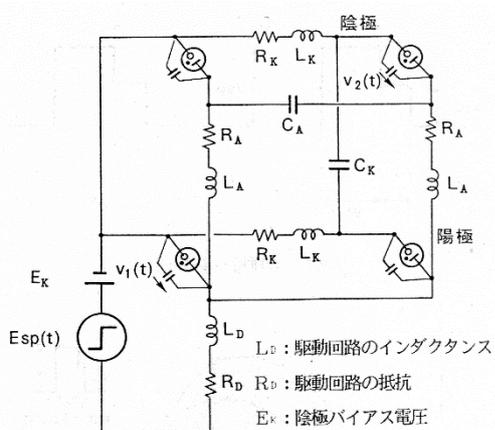


図 2.6 シミュレーションに用いた等価回路 [9]

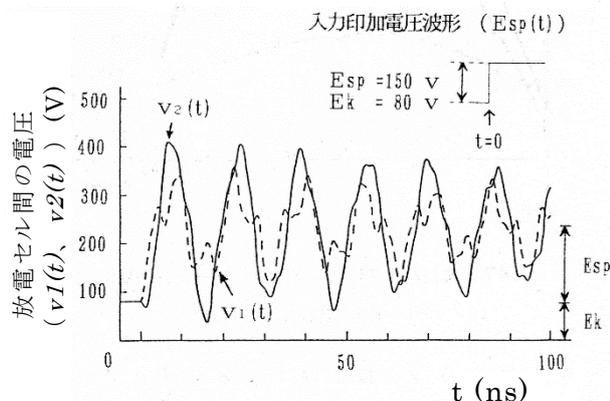


図 2.7 立ち上がり時の電圧波形のシミュレーション結果 [9]

ではないが、パネル内の場所により、表示セルに印加される電圧が異なることを示すものである。この結果から、維持パルスの立ち上がり時に生じる過渡振動がパネル面内の一部の表示セルに加わる電圧を局部的に上昇させているものと推測できる。これにより、パネル全体にわたる維持パルスのメモリーマージンが狭くなるとともに、図 2.5 に示すように表示セルの放電発光にも影響し、輝度むらにつながったと言える。

これを改善するために、図 2.8 に示すように、維持パルスの立ち上がりを階段状にし、初段の電圧  $V_{sp}'$  および時間幅  $\tau$  を適切に設定することにより立ち上がり時の振動を減少させた。振動の状況はメモリーマージンに影響するため、これを波形振動の指標とすることで波形の最適化を図った。図 2.9 は、 $V_{sp}'$  および  $\tau$  とメモリーマージン  $V_m$  との関係である。ここで、メモリーマージン  $V_m$  は  $(V_{sp})_{max} - (V_{sp})_{min}$  であり、 $(V_{sp})_{max}$  と  $(V_{sp})_{min}$  は、それぞれパネル全体で誤放電を起こすことなく印加できる維持パルス電圧の最大値と、正常なパルス放電を維持できる維持パルス電圧の最小値である。このため、 $V_m$  は正の値でなければパネルは安定なメモリー動作を行うことができない。同図は、従来の波形 ( $V_{sp}' = 0V$  に相当) の場合、メモリーマージンが負となり、安定なメモリー動作ができないことを示している。これに対して階段波形にすることでマージンが増加し、初段の電圧  $V_{sp}'$ 、幅  $\tau$  をそれぞれ

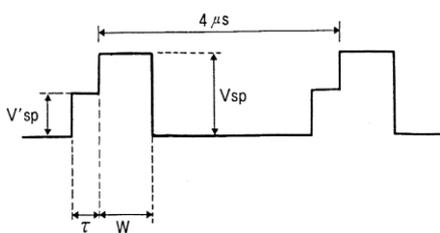


図 2.8 新維持パルス波形 [9]

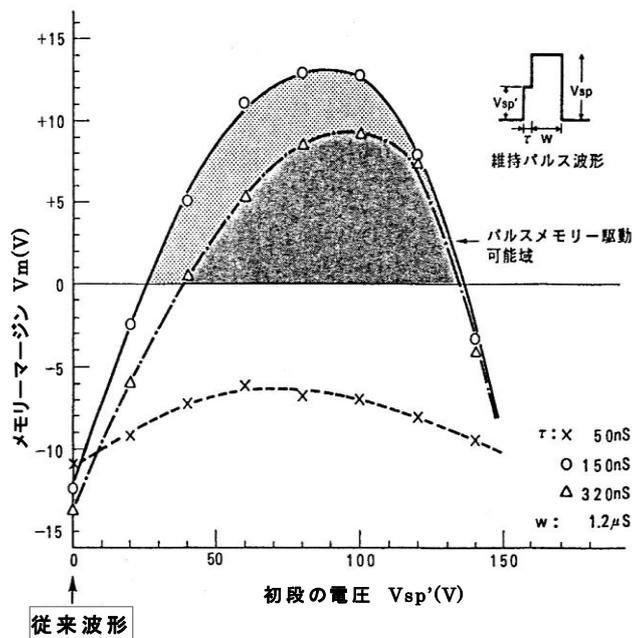


図 2.9 維持パルスによるメモリーマージンの変化 [9]  
(  $V_m = (V_{sp})_{max} - (V_{sp})_{min}$  )

80 ~ 100 V、150 ns 程度に設定するとき最大のメモリーマージンが得られることがわかる。この時、約 13 V のメモリーマージンが得られている。

図 2.10 には階段状維持パルスを使用した際の可視発光波形を示す。図 2.5 の従来の駆動波形使用時のような、パネル内の位置による波形の変化は見られず、輝度むらも抑えられた [9] [10]。

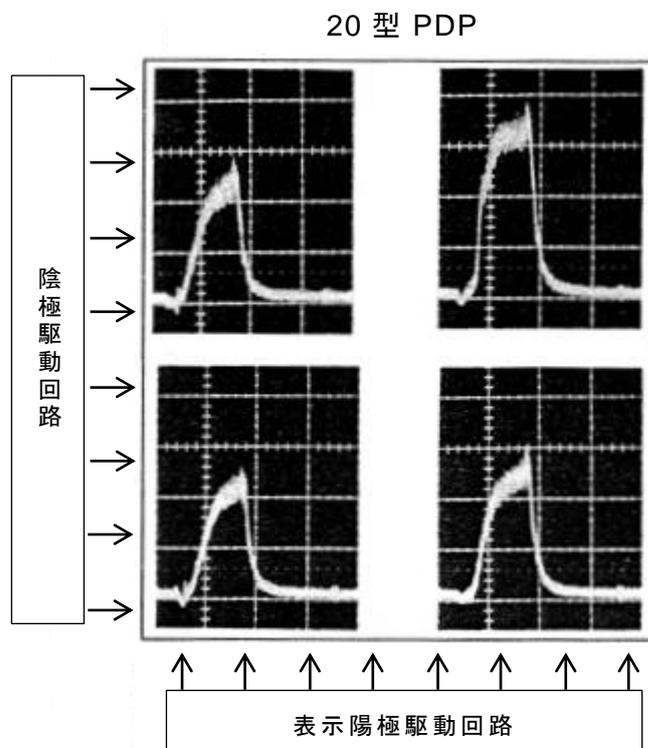


図 2.10 維持パルスに階段状パルスを用いた際の可視発光波形 [9]

### 2. 3. 2 ハイブリッド IC の開発

パルスメモリー駆動方式では、特殊な駆動法でパネルを駆動し、パネルにメモリー機能を持たせている。そのため、多少回路が複雑であり、これまでの実験では電極駆動部を全てディスクリートな部品で組んでいたため、大きなものとなっていた。40 インチ表示装置では、回路面での実用化の第 1 ステップとして電極駆動用のハイブリッド IC (HIC) を試作し、回路のコンパクト化を計った。

今回の HIC の試作には、市販されている NEC 製の 3 種類の PDP 用 IC を使用した。これらの市販 IC を使用することは、HIC の小型化、高機能化に非常に有効であ

る。これらの IC はいずれもシフトレジスタ、ラッチ、及び高圧ドライバーからなり、ロジック部は 5 V で動作する。これまでの駆動回路における信号レベルの概略を、表示陽極駆動回路を例にとり図 2.11 に示す。PDP の駆動電圧は、陽極で 80~150V、陰極で 200V 程度と高圧のパルスを用いるため、信号処理装置で発生したロジック信号 (TTL レベル) を、図 2.11 に示すようにフォトカプラを用いてレベルシフトすることにより駆動トランジスタのゲート電圧を制御していた。このため、インターフェイス部の回路規模が大きくなっていた。市販の IC を用いることにより、伝送系の信号が TTL レベルで伝送可能となり、約 3 分の 1 の回路規模とすることができた。

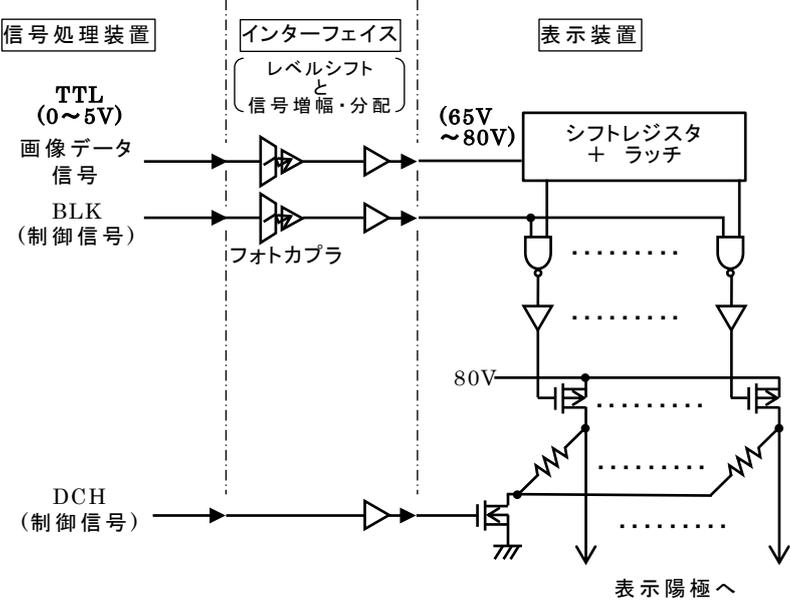


図 2.11 従来の陽極駆動回路の概要

(1) 表示陽極 HIC

維持パルスは各表示陽極共通の信号であり、多くの回路は必要ないため、維持パルスの発生部は従来通りディスクリット部品を使用した。書込パルス発生用として 2 種類の HIC (HDA-1、HDA-2) を、書込パルスと維持パルスを混合する部分に 1 種類の HIC (HDA-3) を試作した。各 HDA の構成を図 2.12 に示す。

HDA-1 と HDA-2 はそれぞれ  $\mu$  PD16306 と  $\mu$  PD6337 を使っている。HDA-3 は 2 段階立ち上げ用としてタイミングの異なる 2 種類の維持パルスを加えられるようにしている。これらの 3 種類の HIC で 64 本の表示陽極を駆動できる。

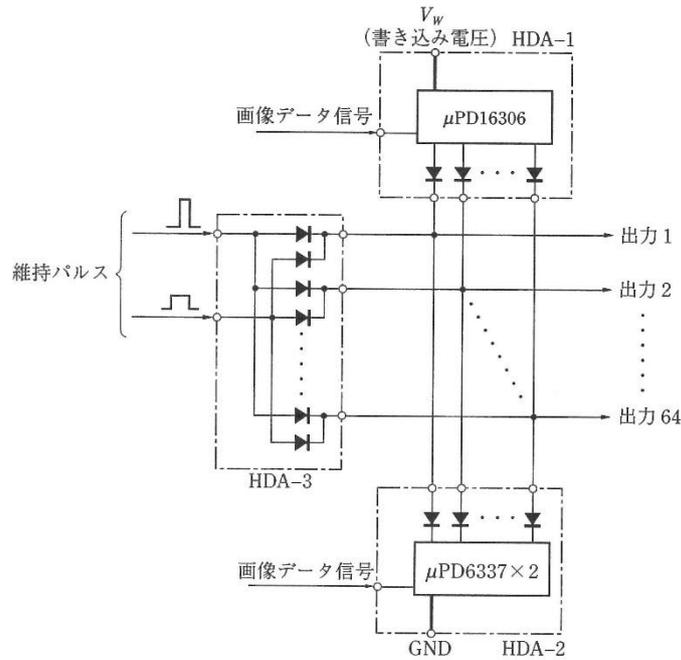


図 2.12 表示陽極用 HIC の概略構成 [7]

### (2) 補助陽極用 HIC

補助陽極用 HIC はトランジスタチップ、抵抗、コンデンサよりなる定電流回路である。1 個の HIC で 32 本の補助陽極を駆動できる。

### (3) 陰極 HIC

図 2.13 に陰極用 HIC の概略構成を示す。1 個の HIC で 32 本の陰極を駆動できる。 $\mu$ PD16309 と  $\mu$ PD6337 はそれぞれ消去パルスと放電継続パルスの発生に使用している。走査パルスは 200V を超す電圧と、40 インチパネルでは 1 A を超すピーク電流を扱うので、走査パルス発生用として MOS トランジスタチップを  $\mu$ PD16306 でドライブして使用した。

これらの HIC を使用することにより、従来の基板と比べて、陰極基板の大きさは約 4 分の 1 に、陽極基板の大きさは約 3 分の 1 とすることができた [11]。

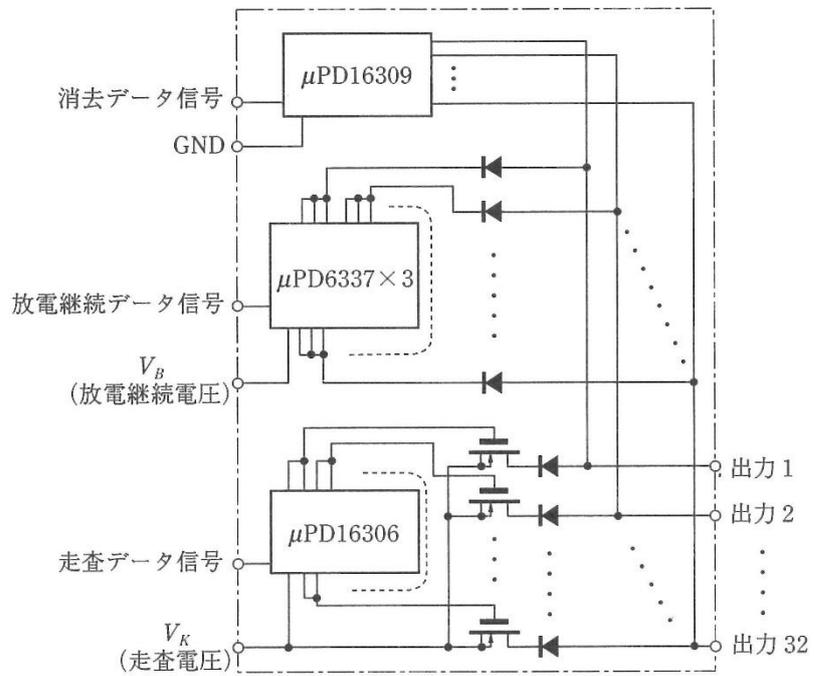


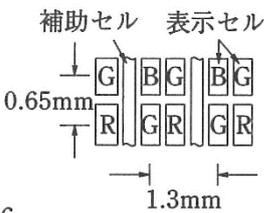
図 2.13 陰極用 HIC の概略構成 [7]

### 2. 3. 3 大画面プラズマディスプレイの試作

PDPを用いて大画面薄型ディスプレイが実現可能であることを示すために、対角 40 インチの PDP 試作を試みた。表 2.1 に試作した PDP の仕様を、図 2.14 にパネルのサイズを示す。

基本的な駆動法は 20 インチパネルの場合と同様であるが、40 インチパネルへのテレビ表示方法として、次の 2 つの特徴がある。

表 2.1 試作した 40 型 PDP の仕様

有効表示面積 (mm <sup>2</sup> )	520×874
表示セル数	800×1,344 (1,075,200)
平均表示セルピッチ (mm)	0.65
セル配列	
パネルの厚さ (mm)	6
パネルの重量 (kg)	8
R	(Y, Gd) BO <sub>3</sub> : Eu <sup>3+</sup>
蛍光体 G	BaAl <sub>12</sub> O <sub>19</sub> : Mn
B	BaMgAl <sub>14</sub> O <sub>23</sub> : Eu <sup>2+</sup>
ガス組成	He-Xe (8%), 200Torr

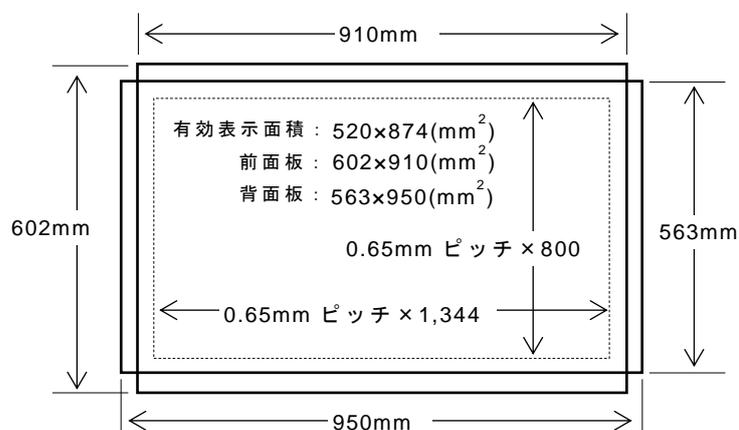


図 2.14 40 インチパネルのサイズ

1) 2行同時書込

PPM パネル構造のところで述べたように、陰極数が 800 本ある 40 インチパネルの陽極は上下に 2 分割されている。これは、パルスメモリ駆動法によるテレビ表示方法からきたもので、次の理由による。

256 階調のテレビ画像を表示するために 1 フィールド (1/60 秒) を 8 つのサブフィールドに分割し、各サブフィールド期間内に発光時間 (パルス数) に重みづけしたビット面を表示している。また、周期  $4 \mu s$  で陰極へ順次書込を行っている。このため、陽極を分割しない場合、つまりパネル上で 1 行ずつしか書込を行わない場合に駆動できる陰極数は最大約 500 本となる。

以上の理由から、陽極を 2 分割して 2 行同時に書込、消去を行なっている。

図 2.15 にパネルの垂直走査タイミングチャートを示す。今回、1 フィールド長は

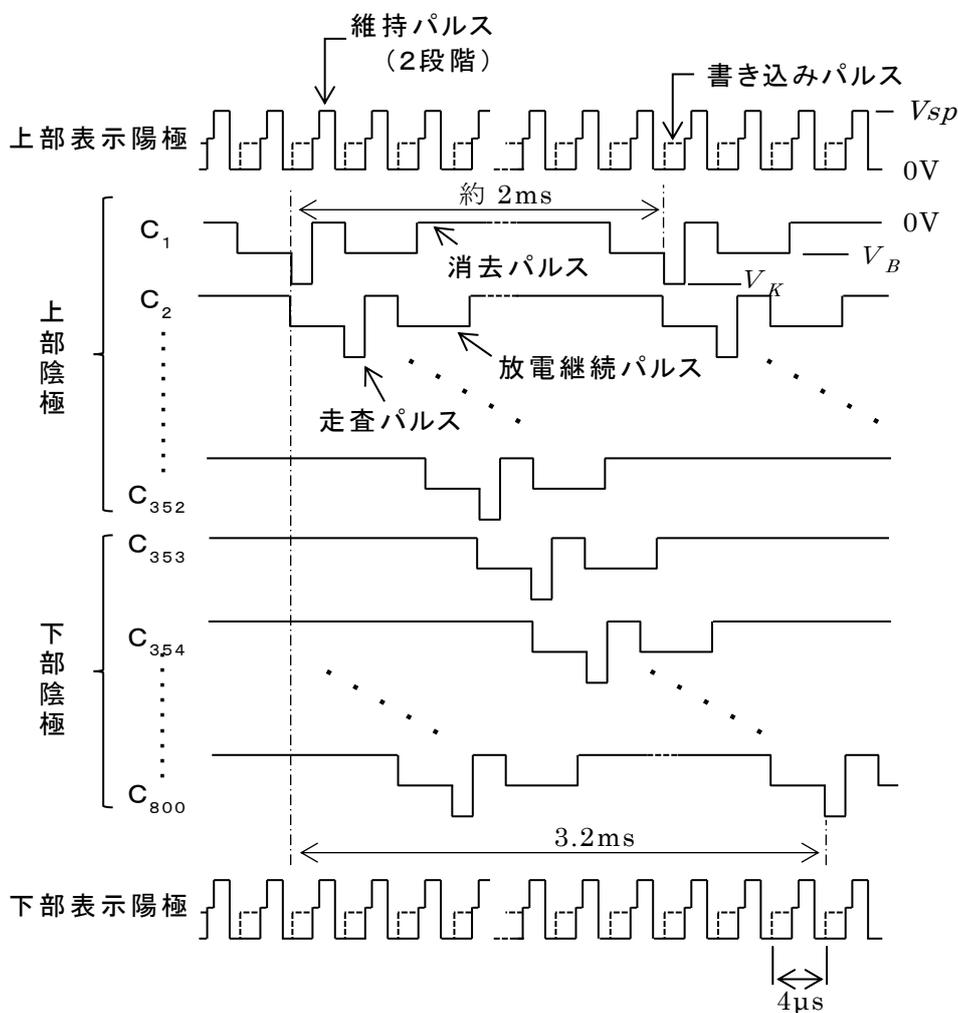


図 2.15 40 インチ PDP におけるパルスメモリ駆動波形 [7]

1/60 秒、つまり 16.6 ms のため、この間に 8 サブフィールドを設けるためには、1 サブフィールド長は約 2ms となり、この間に陽極上の全画素に対して書き込みを行う必要がある。今回は図 2.15 に示すように 1 陰極上のセルの書込時間は 4  $\mu$ s であるから、1 つのサブフィールドにおいて 800 本の陰極を書き込むには 3.2ms かかる。しかし、その時点では次のサブフィールドの書込が始まっているので、1 パネル上で 2 行同時書込になっている。

2 行同時書込を行う際には、分割点で誤放電が生じたり放電が不安定にならないこと、動画像において上下画像の境界で動きの再現に不連続が生じないようにすることが必要である。上部陰極の最下行 C<sub>352</sub> と下部陰極の最上行 C<sub>353</sub> との書込を図 2.15 のように連続的にすることにより、これらの問題は解決でき、上下分割による画質の劣化は見られなかった。

## 2) 維持パルス波形の階段化

前節での知見を活かして、40 インチパネルの駆動波形においても図 2.16 に示すように維持パルスに階段状の 2 段階波形を採用した。同図には、この波形を用いて 40 インチパネルを駆動した際の維持パルスのメモリーマージンの測定結果も示す。20 インチパネルの場合と同様に、2 段階波形とすることで、維持パルスメモリーマージンが確保できていることがわかる。メモリーマージンが最大となる条件は、2 つの段差が等しくなる  $V_{sp}' = 70 \sim 90$  V である。

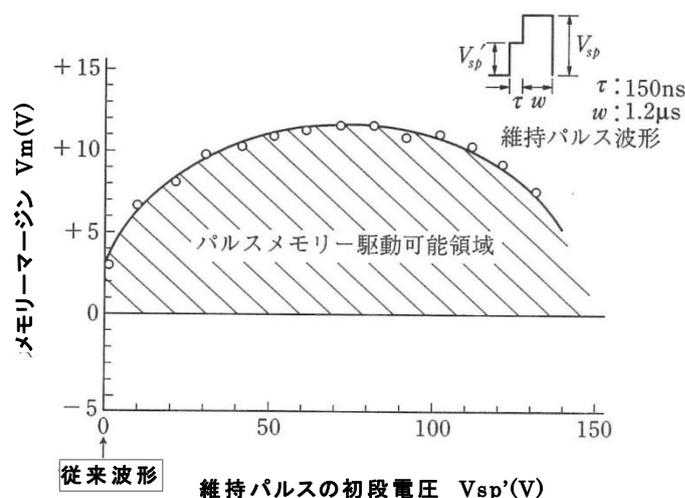


図 2.16 40 インチパネルにおける  
2 段階維持パルス波形と維持パルスマージン [7]

## 2. 3. 4 パネル作製プロセスの改善

図 2.17 に 40 インチパネルの製作工程を示す。背面板では、陰極端子と陰極を厚膜印刷、焼成した後、厚膜印刷の重ね刷りにより障壁を形成、焼成する。前面板では、陽極端子、陽極を厚膜印刷、焼成した後、3色蛍光体をフォトリソグラフィーにより塗り分け、焼成する。次に、前面板と背面板のアライメントを取ってフリットガラスにより封じ、中の空気をポンプで引く。最後に、He-Xe 混合ガスを封入し、エージングにより各セルの放電特性を揃えた後、水銀を拡散する。

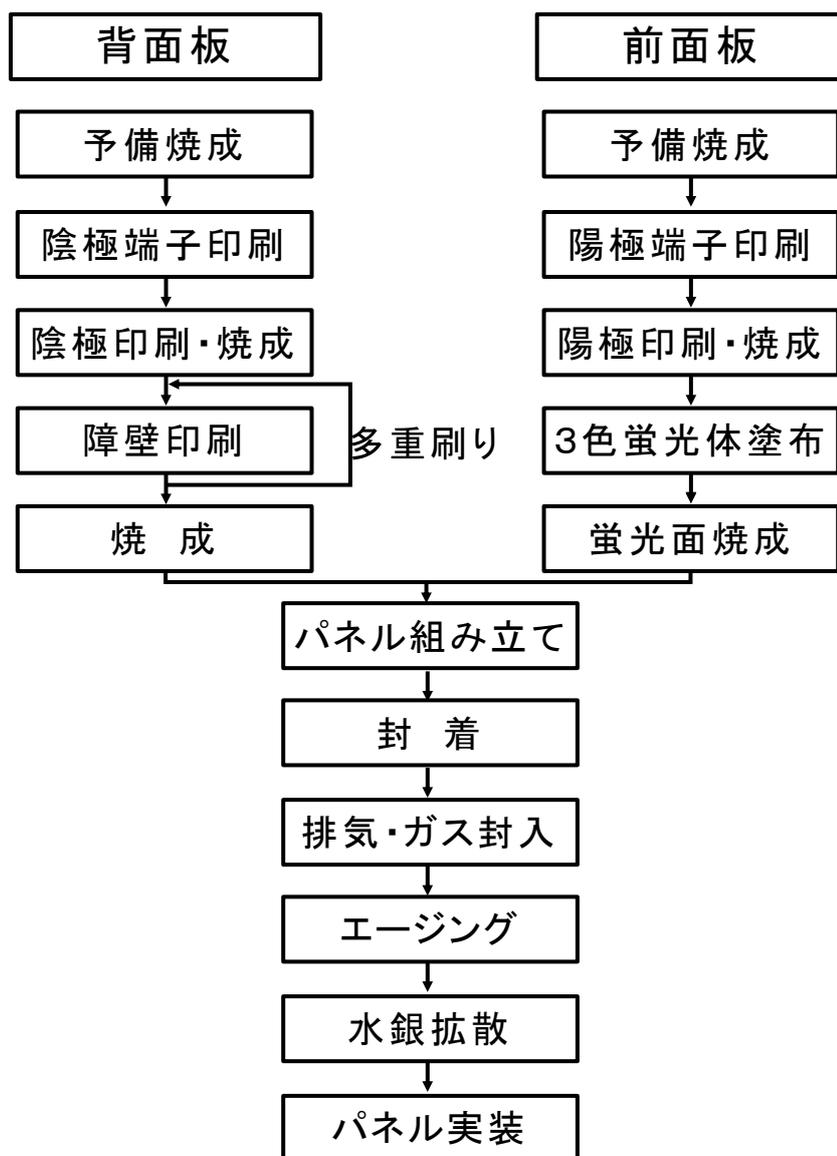


図 2.17 40 インチパネルの製作工程

### (1) パネル製作工程の改善

一般にメモリー付きパネルの駆動は、線順次駆動の場合に比べて放電を安定に保つ条件が厳しくなってくる。従って、40インチパネルを安定にパルスメモリー駆動させるには、画面全体にわたり放電セルを正確に組み上げる必要がある。上述のように多くの焼成過程を含む工程においては、2枚のガラス板が焼成の度に伸び縮みを繰り返すため、最終的に正確なアライメントを合わせる工夫が必要となる [12]。これまでの実験では、PPM パネルにおいては前面板と背面板のアライメントのずれ（アライメント誤差）は  $50\mu\text{m}$  以内に入らなければならない（20インチパネルの実験）。40インチパネルはこれまでのパネルに比べてガラス基板が大型化したことにより、より厳しい焼成条件が必要となった。

一般にガラス基板は歪点以上の高温にして冷却すると、高温保持後の冷却速度が基板のサイズに影響し、低速で冷却すると収縮し、速く冷却すると伸張する。使用しているガラス基板はソーダ石灰ガラスで、歪点は  $510^{\circ}\text{C}$  前後とプロセス温度 ( $580^{\circ}\text{C}$ ) より  $70^{\circ}\text{C}$  程度低いので、焼成によるパターン歪が大きくなりやすい [13]。

図 2.18 に、封着する直前の 40インチパネル前面板上の陽極ラインの歪を示す。破線は設計値を、実線は測定値を示す。図 2.18(a)は試作初期のもので、前面板は横方向に大きく膨らんでいる。これはパネルの各部での、冷却速度の差によって生じたものと考えられた。そこで、ベルト炉の温度制御の最適化を行い、パネル各部での冷却速度の違いをできるだけ少なくした。図 2.18(b)は、改善後の前面板である。設計値からの歪は最大でも  $50\mu\text{m}$  に抑えることができた。

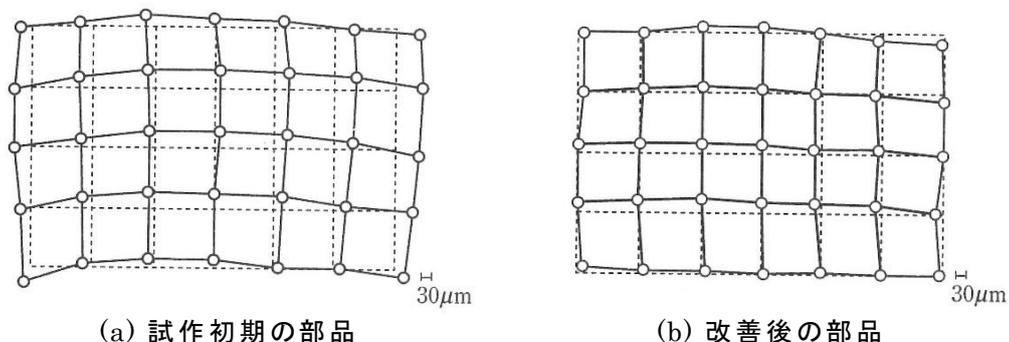


図 2.18 陰極形成後の形状歪 [7]

## (2) 蛍光体の改善

これまでの 20 インチパネルでは、グリーン蛍光体に  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4\text{:Mn}$  を使用していた。PPM パネルに動きの少ない画像を表示する際には問題は生じなかったが、動きの激しい画像を表示すると、緑色の尾を引く現象が目についた。これは、グリーン蛍光体の残光によるもので、特にパネルが大きくなってくるとパネル上での画像の動きが大きくなり、特に目につくようになってきた。そこで、グリーン蛍光体を残光の少ない  $\text{BaAl}_{12}\text{O}_{19}\text{:Mn}$  に変更した。 $\text{BaAl}_{12}\text{O}_{19}\text{:Mn}$  は  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4\text{:Mn}$  に比べて約半分の残光時間であり、動画像表示に対しての画質を大幅に改善することができた [14]。

## 2. 3. 5 ハイビジョン表示システム

### (1) 信号処理装置

図 2.19 に表示システムの全体構成を示す。入力されたハイビジョン信号は、信号処理装置によってパルスメモリ駆動に必要な信号に変換された後、表示装置に送られる。

信号処理装置は大きく分けて、順次走査変換を行う部分、階調処理を行う部分及びパルスメモリ駆動に必要な信号を発生する部分から構成される。まず、入力されたハイビジョン信号は、デジタル変換された後、動き適応型の走査線補間処理によってフィールド周波数 60Hz の順次走査信号に変換される。図 2.20 には、40 インチパネルの表示セルとハイビジョン信号との対応を示す。1920 サンプル／ラインのサンプル点を単純に各表示セルに対応させている。

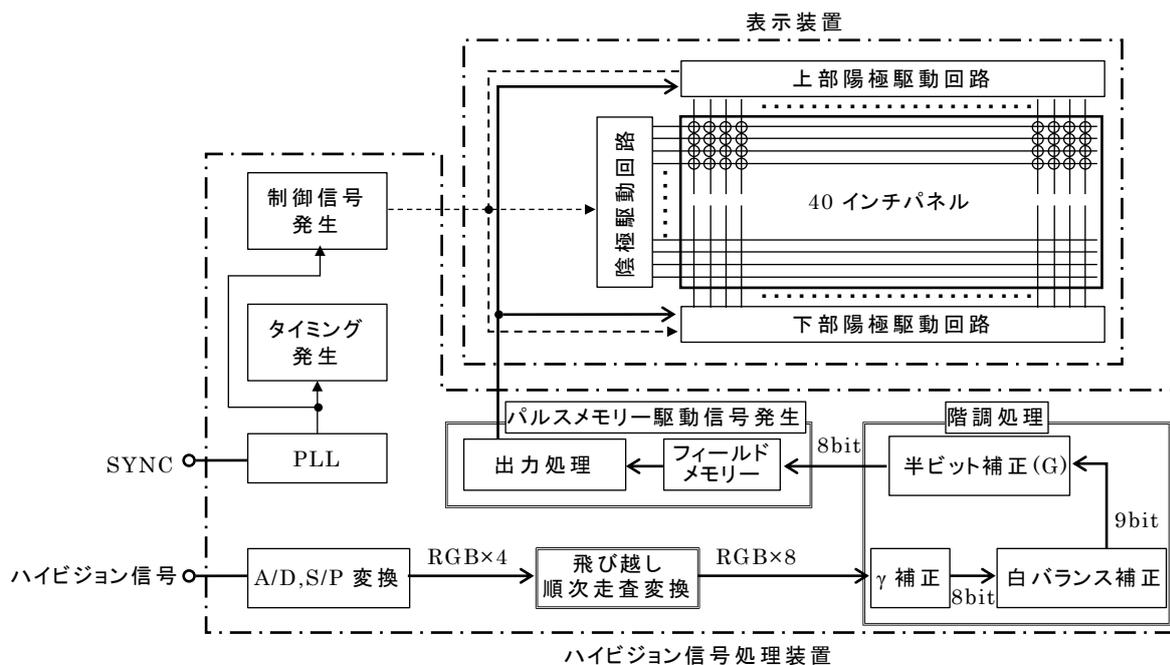


図 2.19 40 インチパネルのハイビジョン表示システム

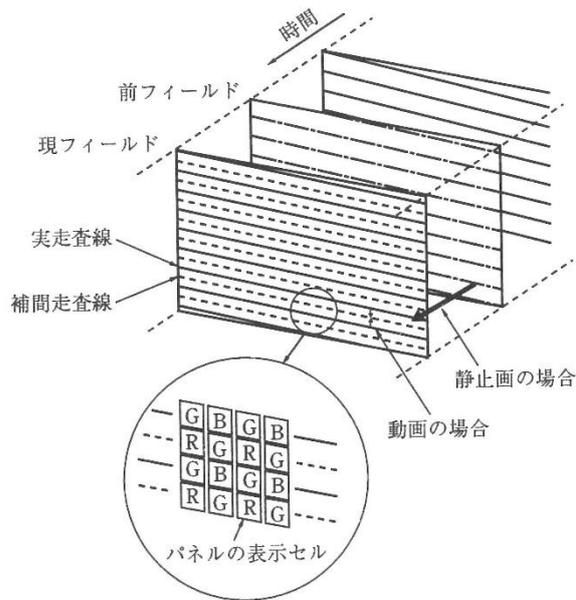


図 2.20 表示セルとハイビジョン信号との対応 [7]

次にこの信号に階調処理を行なう。階調処理は、 $\gamma$ 補正、白バランス補正、半ビット補正から構成されている。PDPでは、階調再生を2進化した発光パルス数で変調を行うため、階調特性は線形になる。一方、ハイビジョン信号には撮像側 $\gamma$ がかけられている。従って、PDP用信号処理装置では撮像側 $\gamma$ に対する逆補正をかけて直線特性に直す必要がある。また、40インチパネルの画素配列は、表2.1のようにGの画素が多い配列となっている。このため、白バランスをとるためゲイン調整をする必要がある。具体的には乗算器を用いてデジタル値でゲインを設定する。通常白バランス補正を行えば、GゲインがR、Bの約 $1/2$ になる。このためG信号は7ビット以下の精度になり、疑似輪郭が発生しやすくなる。そこでLSBの半分のレベル(半ビット)の処理を行って疑似輪郭の発生を抑えている。これを半ビット補正と呼ぶことにする。半ビット補正としては、半ビットを1フレーム、つまり2フィールドで処理し、片方のフィールドにLSB分を加え、他方のフィールドでは加えない事により実現している。また、フリッカー防止のため、LSB分を加えるフィールドを、隣り合うラインのグリーンでは異なるようにしている。図2.21にはこの半ビット補正によるGセルの発光パターンを示す。

■ 発光セル

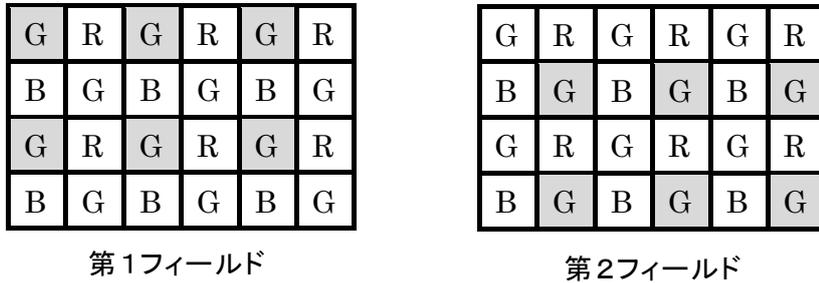


図 2.21 半ビット補正による緑セルの発光パターン(LSBサブフィールド) [7]

この後、40 インチパネルの画素配列に従ってデータが選ばれてフィールドメモリに入力される。そして、パルスメモリ駆動に必要なデータ形式で読み出され、表示装置に送られる。

(2) 40 インチパネルへのハイビジョン画像表示

HIC を使用したことにより、インターフェイス、陽極駆動部、陰極駆動部が大幅にコンパクトになった。特にインターフェイスは、以前試作した 33 インチ PDP ディスプレイ [15]で 12 枚あった基板が 1 枚となり、大幅に簡単化された。その結果、プリ



図 2.22 ハイビジョン画像表示例 [16]

Copyright © 1995 IEEE

ント基板をパネルの裏面に3層に積層するだけで済み、表示装置の厚さを8 cm に抑えることができた。図 2.22 に 40 インチパネルにハイビジョン画像を表示した結果を示す。壁掛けスタイルで安定に表示することができた [16]。

## 2. 4 結言

本章では、CRT に代わる、ハイビジョン用薄型 PDP の実現を目指して、ディスプレイの大型化に伴い発生した放電の不均一性改善に向けて、この原因を解明するとともに、これをもとに大画面の PDP を安定に駆動する駆動法の改善を行った。

具体的には、PDP を大型化した際に発生する駆動電圧マージンの低下に対して、駆動波形を提案するとともに、パネル試作プロセスにおける温度制御の最適化を行い、大画面に対しても安定な動画表示が行えることを確認した。これを基に、提案した波形を実現するハイブリッド IC を試作し、これを用いた厚さ 8cm の表示装置を試作することに成功した。これにより、PDP を用いて大画面の薄型テレビが実現できることを実証した。

## 第3章 プラズマディスプレイにおける動画偽輪郭の改善

### 3.1 緒言

前章で述べたように、筆者らは PDP によるハイビジョン用壁掛けテレビの実現を目指して、さまざまな面から研究開発を進めた結果、1992年に世界で初めて40インチ PDP の試作とハイビジョンの表示に成功した [17]が、その後各方面でも開発・実用化が進められてきた [18] [19] [20]。筆者らは、1998年に長野で開催された冬季五輪に向けて、対角42インチの高精細 DC 型 PDP を用いたハイビジョン PDP ディスプレイの試作を試みた。この42インチハイビジョン用 PDP ディスプレイの開発を行うにあたり、PDP の動画像に対する画質が問題となった。一般に、PDP ではその特有の表示方式（サブフィールド法）のため、テレビ画像のような動画像を表示した場合に偽輪郭状の画質妨害が発生することが知られていた [21] [22] [23]。この画質劣化を改善するために様々な方法が提案されていた [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30]。これらの手法は大まかには、①発光期間を時間圧縮 [24] [25] [26]、②サブフィールドの重みを分割 [26] [27] [28] [29]、③サブフィールド重み順の並べ替え [26] [27] [28] [29]、④等価パルスの付加 [30]、に分類される。いずれの方法も一定の効果は得られているが、各々の方法による改善効果は定量的に明らかになっていなかった。また、ハイビジョンのような高画質を要求される画像に対しては、よりいっそうの改善が求められたため、長野五輪に向けたハイビジョン PDP ディスプレイの開発にあたり、この動画画質劣化に対する改善検討を行った。

種々試みた結果、筆者らの実験においては、いずれの方法を用いても単独では十分な画質が得られなかった。しかしその中で、サブフィールドの時間配置を1フィールド内の短い時間に集中させる駆動方法 [24] [25] [26]（以下、時間圧縮駆動）を用いることで大幅に改善効果があること、また、この方法に、重みの大きい上位ビットのサブフィールドを分割する手法 [26] [27] [28] [29]（以下、上位ビット分割）を併用するとさらに改善効果が増すことが明らかになった。そして、その効果をシミュレーションと主観評価実験により定量的に明らかにする。特に、動画偽輪郭妨害の画質への影響に関しては、主観評価実験により定量的に明らかにされた例は見あたらない。

加えて、筆者らの印象では、上記の手法を用いても、表示画像に動画偽輪郭妨害に起因する若干のノイズ感が残った。そこでこれを低減するため、目立ちやすい動画偽

輪郭妨害の発生頻度を低減させるサブフィールドの適応制御法を提案する。

提案する手法のうち上位ビット分割と SF 適応制御については、基本的な駆動方法は通常の PDP の駆動方法で実現できるが、時間圧縮駆動については駆動方法を変える必要がある。偽輪郭妨害に対する動画質改善を目的とした圧縮駆動が大型高精細パネルに適用された例はこれまでに報告されていなかった。本論文では、時間圧縮駆動を DC 型の大型高精細パネルにおいて実現できる具体的な手法についても提案する。

### 3. 2 プラズマディスプレイにおける動画偽輪郭の改善

通常、PDP においては中間調表示を行うためにサブフィールド表示法が用いられている [31]。この方法では、1 フィールドの時間内で輝度値に比例した時間幅の発光を行うことで中間調を得ている。具体的には、2 のべき乗で重み付けされた時間幅を持つ各発光パルス（サブフィールド）を 1 フィールド内に分散配置し、画像の輝度に応じて各サブフィールドの発光を ON/OFF することにより、視覚系の時間積分効果によって中間調を得ている。

図 3.1 は、DC 型 PDP で従来行われてきたサブフィールドの発光パターン（発光スキーム）を示す。同図では、画像信号は 8 bit（256 階調）の場合を示している。このような発光スキームにおいて、例として画面の左側が 128 のレベル、画面の右側が 127 のレベルの画像が右方向に移動している場合を考える。図 3.2 にサブフィールド法における動画像偽輪郭発生の原理を示す。画像が静止しており視線も固定している場合は、図 3.2(a)のように、各サブフィールドで表示された画像は網膜上で正確に積分さ

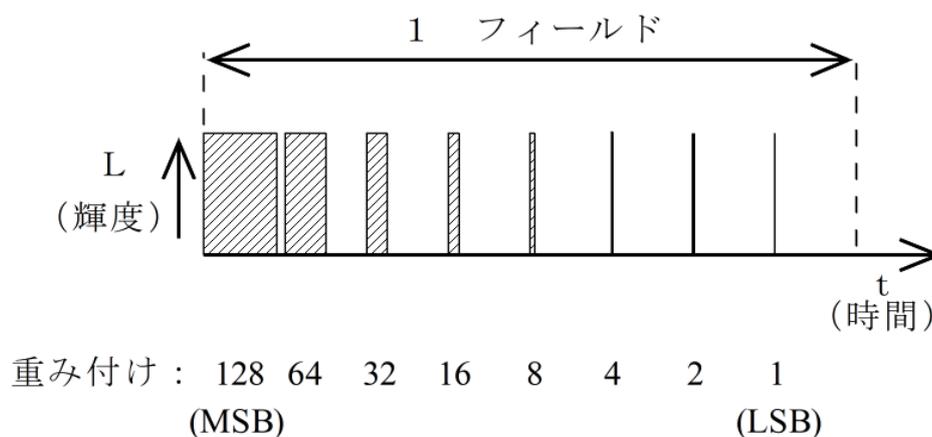


図 3.1 従来のサブフィールド発光スキーム

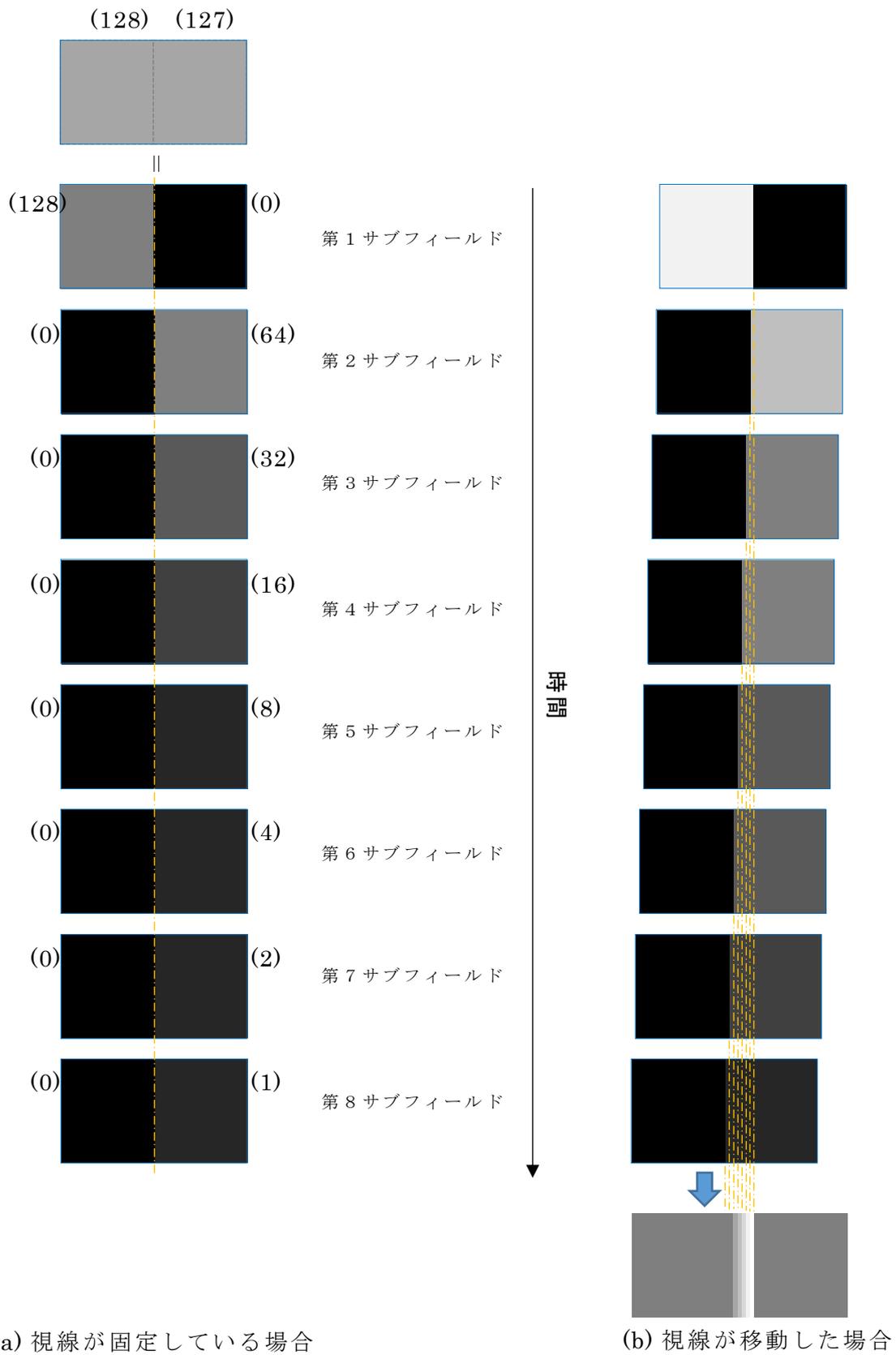


図 3.2 サブフィールド法における動画像偽輪郭発生の原理

れるため、正しい階調で画像を認識することができる。しかし、視線が右に移動した場合には、網膜上では相対的に画像が左に移動していることになるため、図 3.2(b)のように各サブフィールドで表示された画像が空間的にずれた形で積分され、原画像にはない偽輪郭状のノイズが発生することになる。

図 3.3(a)には、この偽輪郭状のノイズレベルを定量化するための計算方法を示す。同図において、横軸は画素の水平位置を、縦軸は時間を示している。時刻  $t$  におけるパネル水平位置  $x$  での発光状態を  $a(x,t)$  とする。ここで、発光している状態を  $a(x,t)=1$ 、非発光の状態を  $a(x,t)=0$  とする。また、視線が水平方向に移動する速度を  $v$  (画素/フィールド) とする。ここでは便宜上、時間軸は LSB の発光時間で正規化し、1 フィールドの時間を 1024 と置いている。このとき視覚系では、眼球の追従運動により図に示す実線に沿ってサブフィールドの明るさの積分が行われる。

この場合、人間の目で知覚される水平方向の位置を  $h$  とすると、目の網膜上のある一点は、時間とともにディスプレイ上の位置

$$x = \frac{v}{1024} \times t + h \quad (\text{式 3.1})$$

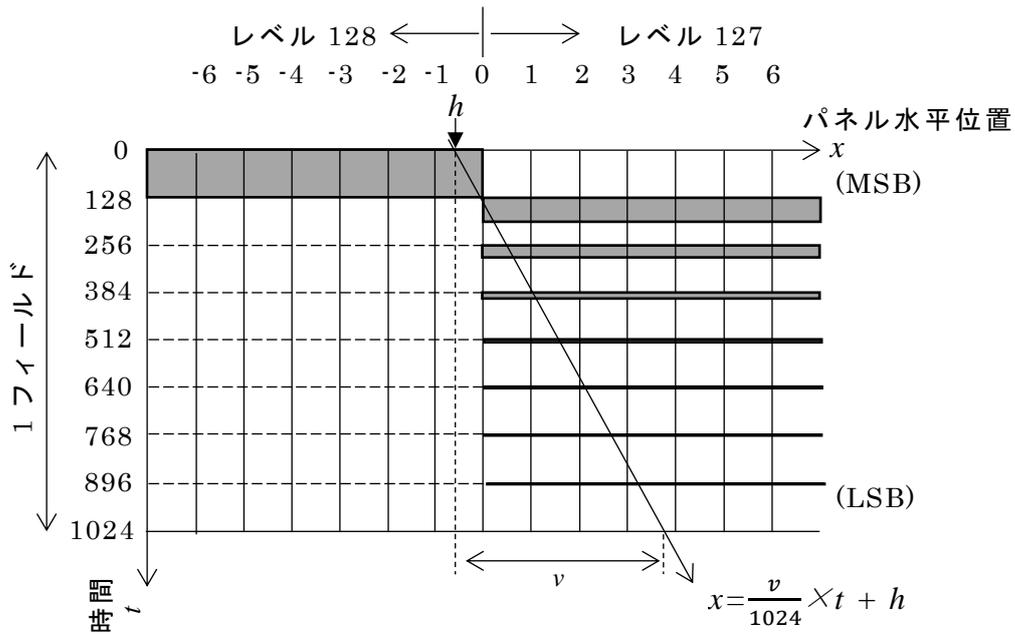
をトレースして見ることとなる。従って、目の網膜上のある一点は、1 フィールド内で、

$$a(x,t) = a\left(\frac{v}{1024} \times t + h, t\right) \quad (0 \leq t < 1024) \quad (\text{式 3.2})$$

の発光を見ることとなる。

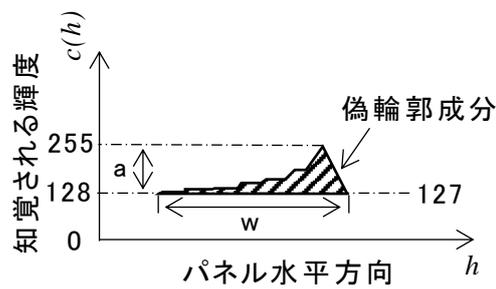
(式 3.2) を 1 フィールド時間で積分することにより、以下の (式 3.3) ように人が知覚する輝度成分  $c(h)$  を計算することができる。

$$c(h) = \int_0^{1024} a\left(\frac{v}{1024} \times t + h, t\right) dt \quad (\text{式 3.3})$$



時刻  $t$  におけるパネル水平位置  $x$  での発光状態を  $a(x,t)$   
 発光 :  $a(x,t)=1$ 、非発光 :  $a(x,t)=0$

(a) 動画偽輪郭ノイズレベルの計算方法



(b) 動画で知覚される輝度

図 3.3 サブフィールド法における動画偽輪郭ノイズレベル

例として、図 3.2 と同様に、パネルの左側が 128、パネルの右側が 127 の信号レベルが表示され、視線が右に動いたと仮定して計算をすると、 $a(x,t)$  は

$$a(x,t) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & (x < 0, 0 \leq t < 128) \quad (\text{パネル左側 : 重み } 128) \\ 0 & (x < 0, 128 \leq t < 1024) \\ \\ 0 & (0 \leq x, 0 \leq t < 128) \\ 1 & (0 \leq x, 128 \leq t < 192) \quad (\text{パネル右側 : 重み } 64) \\ 0 & (0 \leq x, 192 \leq t < 256) \\ 1 & (0 \leq x, 256 \leq t < 288) \quad (\text{パネル右側 : 重み } 32) \\ 0 & (0 \leq x, 288 \leq t < 384) \\ 1 & (0 \leq x, 384 \leq t < 400) \quad (\text{パネル右側 : 重み } 16) \\ 0 & (0 \leq x, 400 \leq t < 512) \\ 1 & (0 \leq x, 512 \leq t < 520) \quad (\text{パネル右側 : 重み } 8) \\ 0 & (0 \leq x, 520 \leq t < 640) \\ 1 & (0 \leq x, 640 \leq t < 644) \quad (\text{パネル右側 : 重み } 4) \\ 0 & (0 \leq x, 644 \leq t < 768) \\ 1 & (0 \leq x, 768 \leq t < 770) \quad (\text{パネル右側 : 重み } 2) \\ 0 & (0 \leq x, 770 \leq t < 896) \\ 1 & (0 \leq x, 896 \leq t < 897) \quad (\text{パネル右側 : 重み } 1) \\ 0 & (0 \leq x, 897 \leq t < 1024) \end{array} \right.$$

と置くことができる。これを (式 3.3) を用いて計算すると、図 3.3(b) に示すように、観視者には図のような原画にないレベルの輝度が知覚される (この例では 255)。

この現象は、動画像内でサブフィールドの発光パターンが変化する位置で観視されるが、観視される妨害の振幅 (明るさ) は、サブフィールドの発光時間幅の重み付けの大きさに比例する。MSB に対応するパターンの変化点 (127→128、128→127) では、図 3.3 に示すように妨害成分の振幅の最大値  $a$  は、ほぼ  $255 - 127 = 128$  である。また、この妨害成分の発生する幅  $w$  は視線が速く移動する (図に示す矢印の傾きが大きくなる) ほど広くなる。一般の画像において、この現象は、輝度値がなだらかに変化するような位置で目立ちやすく、例えば、人の顔や青空のような部分で偽輪郭状の妨害となって現れる。そのため、この妨害成分の  $a$  と  $w$  を低減することが重要となる。

このように、偽輪郭状の妨害成分は視線が移動することにより知覚されるため、静止画像を表示している際にも視線を移動すると妨害成分が知覚される。逆に、表示画像が移動していても視線をパネル上の 1 点に強引に固定していれば、妨害成分は認められない。しかし、通常の観視条件では表示画像が移動すると視線がその画像に追従

して移動してしまうため、以下では、画像が移動すると妨害成分が知覚されるとして議論を進める。

図 3.1 の発光パターンにおける動画質劣化、すなわち動画偽輪郭妨害のシミュレーション結果の例を図 3.4 に示す。この画像は、静止画像を横方向に一定速度で移動させたと仮定して、図 3.3 の原理により計算したシミュレーション画像である。人の顔や花などの部分に、偽輪郭状の妨害が発生していることがわかる。

### 3. 3 動画質改善手法の提案

前述の画質劣化を改善するために、従来から提案されている手法 [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30]を基に、①発光期間を時間圧縮、②サブフィールドの重みを分割、③サブフィールド重み順の並べ替え、④等価パルスの付加について改善効果を検証した。その結果、高画質化を目指すためには、前章で述べた偽輪郭妨害に対して、妨害成分の幅、妨害成分の振幅の両項目についてそれぞれ抑える必要があることがわかった。そのため、従来から提案されている2手法、(I)「発光期間の時間圧縮」と(II)「上位ビットの分割と配置最適化」、を併用する手法を提案する。しかし、筆者らが42インチPDPで観測した印象では、これらの手法を用いても、表示画像に動画偽輪郭妨害に起因する若干のノイズ感が残った。そのため、これを低減するために、妨害成分の発生頻度を抑える手法(III)「サブフィールド適応制御(適応SFC: adaptive Sub-Field Control)」を提案し、これも併せて使用することでさらなる高画質化を目指した [32]。



図 3.4 動画偽輪郭妨害のシミュレーション画像 [45]

### (I) 発光期間の時間圧縮

動画偽輪郭による動画質劣化が目立ちやすい大きな要因は、図 3.1 および図 3.3 に示すようにサブフィールドの発光が 1 フィールド内に分散しているため、図 3.3 に示す妨害成分の発生幅  $w$  が広いことにある。そこで、図 3.5 に示すようにサブフィールド間の非発光部分を短縮し、1 フィールド内での発光期間を短く 1 カ所に集中させる改善手法が知られている [24] [25] [26]。図 3.6 は図 3.5 に示した発光スキームを用いて図 3.3 と同様の画像を表示した際に知覚される明るさのレベルを示す。1 フィールド内での発光期間を短く 1 カ所に集中させることにより、図 3.3 に比べて妨害成分の発生幅  $w$  が減少することがわかる。フィールド内での全発光期間は、図 3.1 に示す発光スキームと同様の輝度を得る場合を考えると、1 フィールド長の 4 分の 1 以下にまで圧縮することが可能である。

### (II) 上位ビットの分割と配列最適化

前述したように、妨害成分の振幅（明るさ）は、重み付けされた発光期間の大きさに比例して増加する。このため、サブフィールド数を増加させ、個々のサブフィールドの重みを分割することで妨害の最大値を小さくすることができる [26] [27] [28] [29]。しかし、サブフィールド数があまり多くなると、駆動速度が大幅に上昇することにより安定した画像表示が困難となる。そこで、上位 2 ビットを 48 の重み付けをした 4 つのサブフィールドに分割することとした。この場合、妨害成分の最大値  $a$  は

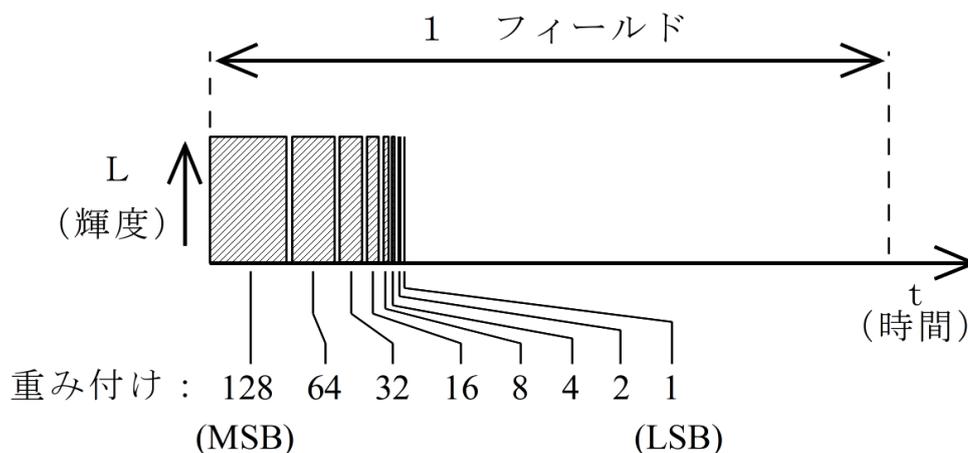


図 3.5 時間圧縮された発光スキーム（8 サブフィールド）



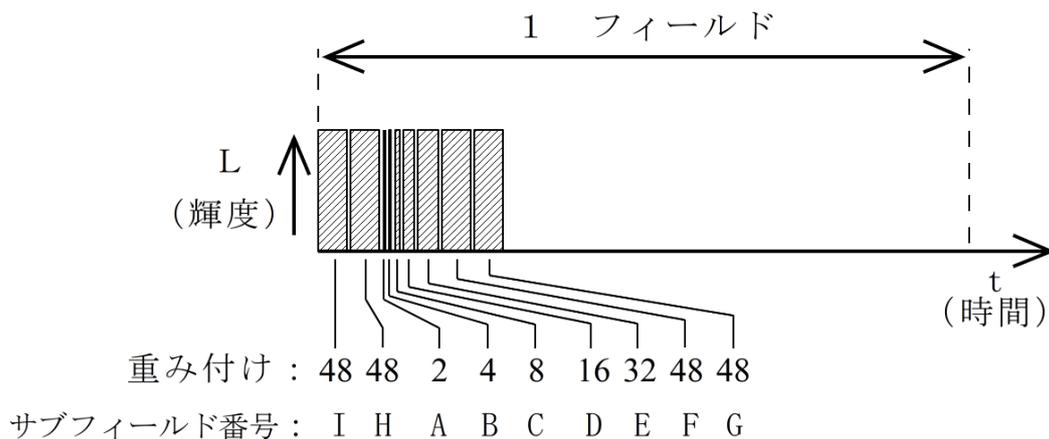


図 3.7 提案する 9 サブフィールド発光スキーム

### (Ⅲ) サブフィールド適応制御 (適応 SFC)

上述の 2 つの方法で一定の改善効果があるが、これらを用いても人の肌などの滑らかな画像におけるざらつき感や画像全体のノイズ感がやや残留する。図 3.7 の発光スキームで発生する最大の偽輪郭妨害は 48 の輝度振幅を持つが、この振幅を持った偽輪郭の発生頻度を低減させることで、ざらつき感やノイズ感を改善することができる。

図 3.7 の発光スキームでは、48 の輝度レベルを表現する際に、重み付け 48 のサブフィールド 1 つを発光させる場合と重み付け 32 と 16 の 2 つのサブフィールドを発光させる場合を選択でき、また、48 のサブフィールドを選択する場合にも F ~ I のどのサブフィールドを発光させるかという選択肢が存在し、48 以上のレベルに対しては複数の発光パターンが考えられる。これまでもこの冗長性を利用して、複数の発光パターンを各発光セルに対してランダムに割り当てることにより、偽輪郭状の妨害成分をノイズとして広範囲に拡散させることで偽輪郭状の成分を目立たなくする方法が提案されている [29]。ハイビジョンのような高画質を要求される画像に対しては、このノイズ成分もできるだけ取り除きたいと考え、その手法の検討を行った。その結果、48 の振幅を持った偽輪郭を拡散させるのではなく、偽輪郭の発生頻度自体を低減することがノイズ感の改善には有効であると判断した。そして、これを行うため、図 3.7 の F ~ I のサブフィールドの発光状態が画面全体にわたりできるだけ均一となるよう制御することとした。均一とすることで 48 のサブフィールドの ON/OFF 回数が減

り、偽輪郭の発生頻度を低減できる。

具体的には、まず、表 3.1 に示すように  $48=32+16$  であることを利用して、レベル 48～63、96～111、144～159、192～207 に対してサブフィールド D～I の発光が異なる 2 通りの発光パターン（発光モード）を設定する。ある注目画素においてどちらのモードで表示するかを決定する際には、以下の手順に従う。ある注目画素において、ON となる重み 48 のサブフィールド数が、その 1 画素左の画素での ON となる重み 48 のサブフィールド数と同じとなるようにモードを選択する。1 画素左の画素と同じにならない場合には、1 ライン上の画素を参照して同様の判断を行う。このようなアルゴリズムにより、ラスタ走査されている画像信号に対して画素毎に順次適切なモードを選択することができる。このための制御信号は、簡単な回路で発生できる [35]。

表 3.1 サブフィールド適応制御の発光パターン [45]

	モード	モード1						モード2									
	サブフィールド	A-C	D	E	F	G	H	I	A-C	D	E	F	G	H	I		
	重み付け		16	32	48	48	48	48		16	32	48	48	48	48		
輝度レベル	0-15	Binary							Binary								
	16-31		ON							ON							
	32-47			ON								ON					
	48-63				ON							ON	ON				
	64-79		ON		ON						ON		ON				
	80-95			ON	ON							ON	ON				
	96-111				ON	ON					ON	ON	ON				
	112-127		ON		ON	ON					ON		ON	ON			
	128-143			ON	ON	ON						ON	ON	ON			
	144-159				ON	ON	ON				ON	ON	ON	ON			
	160-175		ON		ON	ON	ON				ON		ON	ON	ON		
	176-191			ON	ON	ON	ON					ON	ON	ON	ON		
	192-207				ON	ON	ON	ON			ON	ON	ON	ON	ON		
	208-223		ON		ON	ON	ON	ON			ON		ON	ON	ON	ON	
	224-239			ON	ON	ON	ON	ON				ON	ON	ON	ON	ON	ON
	240-255		ON	ON	ON	ON	ON	ON			ON						

これにより、たとえば図 3.8 に示すようにパネル上で画像レベルが 48 未満から 64 以上に多少の変動を持ちながら連続的に変化する場合を考えると、ただ 1 か所のみで 48 の妨害成分が発生することになり、モード 1 やモード 2 のみを固定的に使用する場合に比べて妨害発生頻度を大幅に低減可能である。ただこの手法は、もともと重みを分割した 48 の振幅を持つ偽輪郭妨害の発生頻度を低減するものであるため、この手法による全体的な画質改善効果としては大きなものではないことも考えられる。しかし、高画質を達成する一要因として、画面全体のざらつき感やノイズ感を改善することが可能である。

以上のように、方法 (I) (II) (III) は動画偽輪郭妨害改善に関して各々異なる役割を担っており、それぞれ単独で使用したのでは動画画質改善の効果が不十分であるため、高画質な動画表示のためには 3 つの手法を併用すべきである。

図 3.9 に、これら 3 つの手法を併用した場合のシミュレーション画像を示す [36]。図 3.4 と比べて、画質劣化が大幅に低減されていることがわかり、実用上問題ないレベルとなっている。

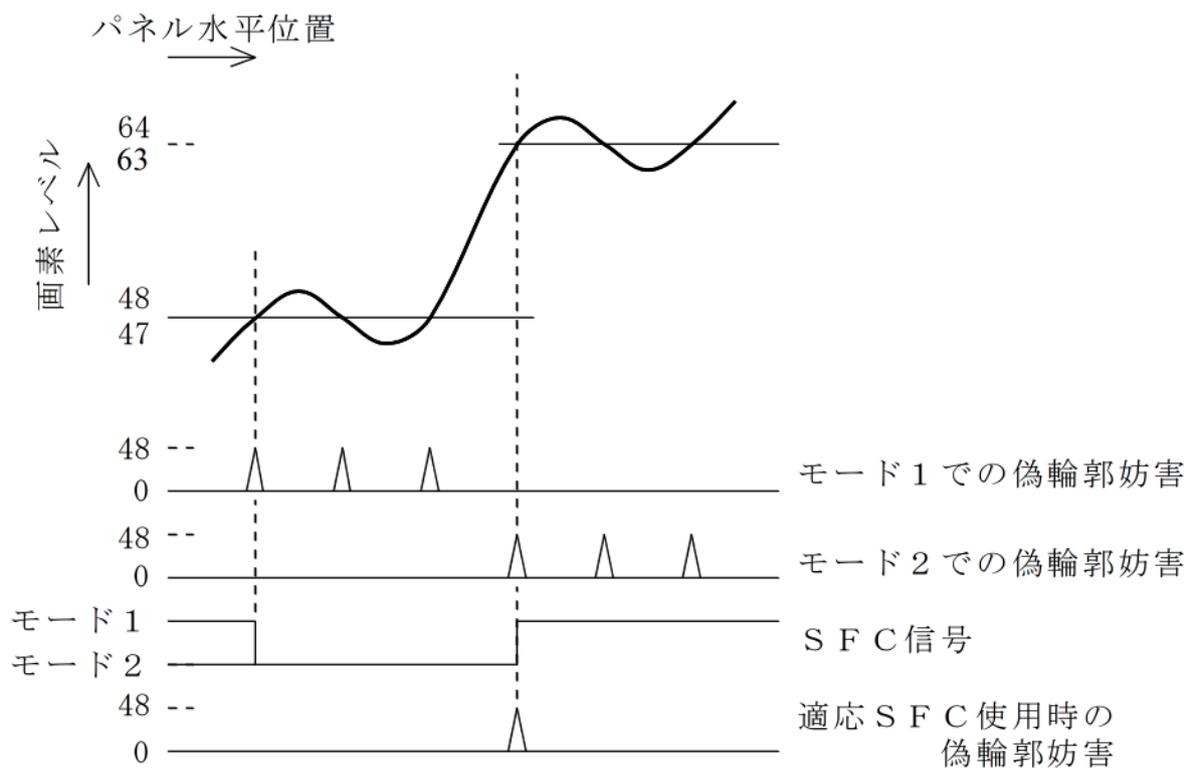


図 3.8 適応 SFC の効果 [45]



図 3.9 提案法を用いた動画偽輪郭妨害のシミュレーション画像 [36]

### 3. 4 発光期間時間圧縮駆動の実現

前節で述べた動画質改善手法のうち、(Ⅱ)(Ⅲ)は信号処理のみで実現できる。しかし、(Ⅰ)の時間圧縮については駆動方法そのものの変更が必要である。大型パネルに対しても安定かつ画質を損なうことなくこの駆動を実現するため、駆動方法に関して以下の改善を行った。

#### (1) 補助走査パルスの導入

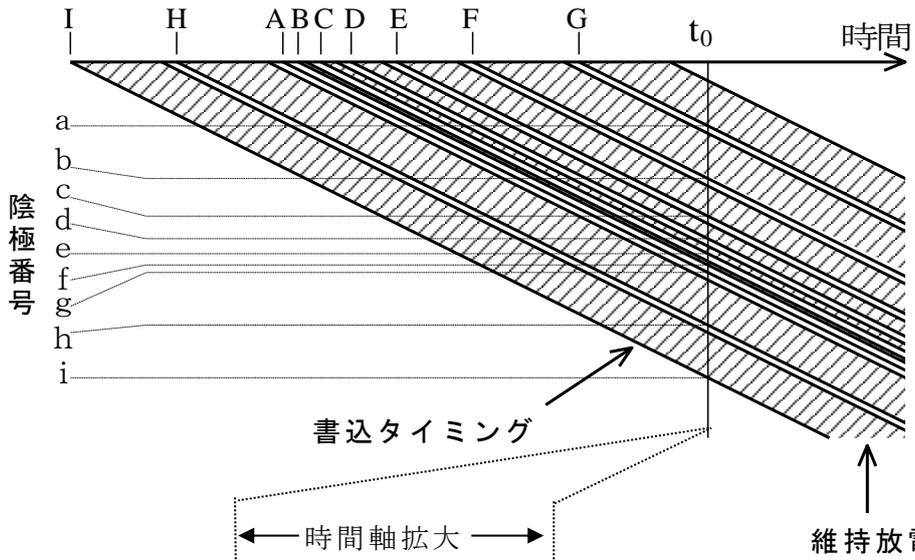
発光期間の時間圧縮は動画偽輪郭の抑制に大きな効果があるが、DC型PDPにおいては補助放電を安定に生じさせるため、従来法とは全く異なる新しい駆動法の開発が必要である。

図3.10の上に圧縮駆動の陰極アクセスの順番を示す。これは、横軸に時間、縦軸に走査する陰極番号をとった図である。さらに図3.10の下には、時刻 $t_0$ 前後の時間軸を拡大した詳細な陰極のアクセスタイミングを示す [25] [37]。図において、 $a, b \dots i$ は陰極番号を示す。たとえば陰極番号 $a$ の陰極は上から $a$ 本目の陰極を表す。また、 $A, B \dots G$ はサブフィールド番号(図3.7参照)を、●は対応する陰極に書き込むタイミングを表している。

この場合、1行のアクセス時間をここでは $3.5 \mu s$ とすると、圧縮駆動法では、アクセスされるサブフィールドは $3.5 \mu s$ 毎に変化する。その順序はサブフィールド番号の順(IH $\dots$ Gの順)で周期的であり、周期はサブフィールド数の9となる。図では、陰極番号 $i$ の陰極に対してサブフィールド番号Iのデータを書き込み、その $3.5 \mu s$ 後に、陰極番号 $h$ の陰極にサブフィールド番号Hのデータが書き込まれている。従って、書き込む陰極は図に示すように時間的に見ると飛び飛びとなる。その結果、隣接する陰極へのアクセス間隔は、1行のアクセス時間の9倍の時間( $3.5 \mu s \times 9 = 31.5 \mu s$ )必要となる。すなわち、 $31.5 \mu s$ ごとに隣の陰極にアクセスすることになる。

DC型PDPにおいては、表示セルにおいて安定にかつすばやく書込放電を生じさせるため、補助セルにおいて発光に寄与しない補助放電を生じさせている [31]。従来法では $3 \sim 4 \mu s$ ごとに走査していたが [38]、上述のように長い時間間隔の走査に対しては、補助セルでの安定な補助放電が得られなくなる。そこで、図3.11の電極駆動波形に示すように、補助放電を行う走査パルスの前に補助走査パルスを加え、補助放電をつなぎの放電により継続させることで補助放電が下の陰極へスムーズに転移するようにする。この補助走査パルスの放電は余分な放電電力を必要とするが、補助走査パ

サブフィールド番号



サブフィールド	...	G	I	H	A	B	C	D	E	F	G	I	H	A	B	C	D	E	F	G	I	...
...																						
a-1		●																				
a											●											
a+1																					●	
...																						
b											●											
b+1																					●	
...																						
c											●											
c+1																					●	
...																						
d											●											
d+1																					●	
...																						
e											●											
e+1																					●	
...																						
f											●											
f+1																					●	
...																						
g											●											
g+1																					●	
...																						
h											●											
h+1																					●	
...																						
i											●											
i+1																					●	
i+2																						●
...																						

図 3.10 時間圧縮駆動の陰極選択順 [45]

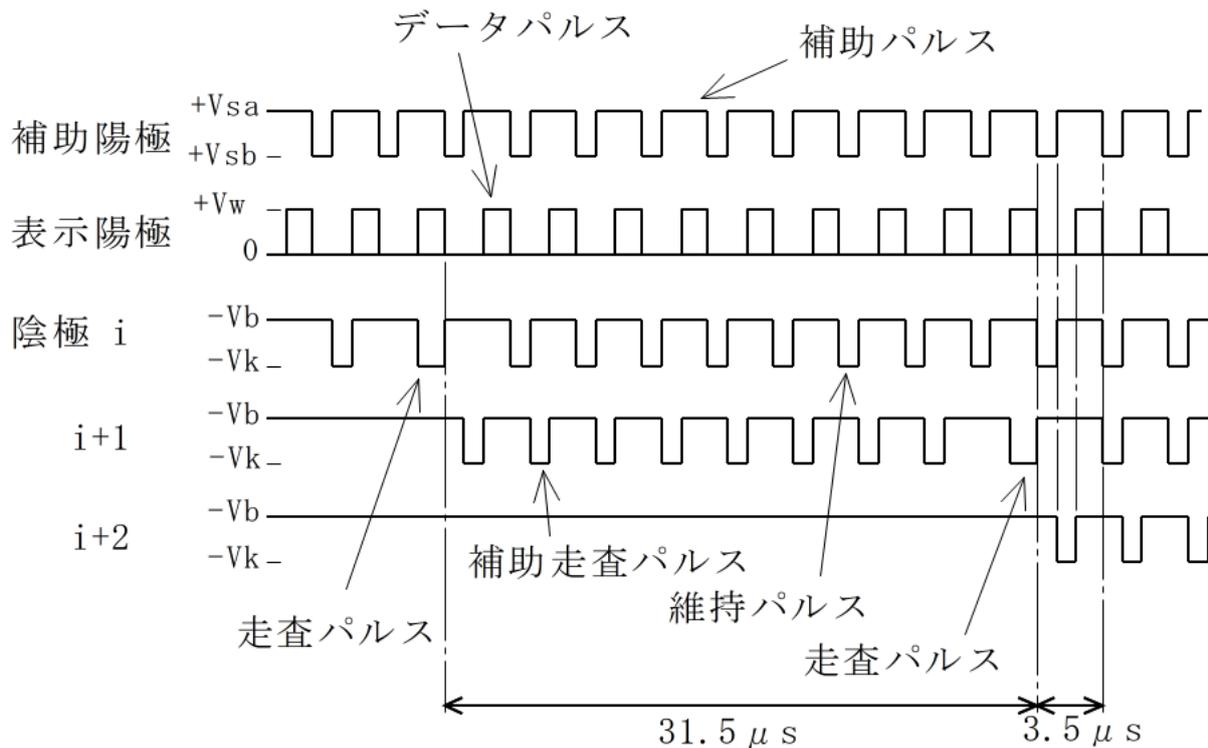


図 3.11 圧縮駆動の駆動波形 [45]

パルスの導入により陰極を飛び飛びにアクセスする時間圧縮駆動でも、安定した駆動が可能となる。

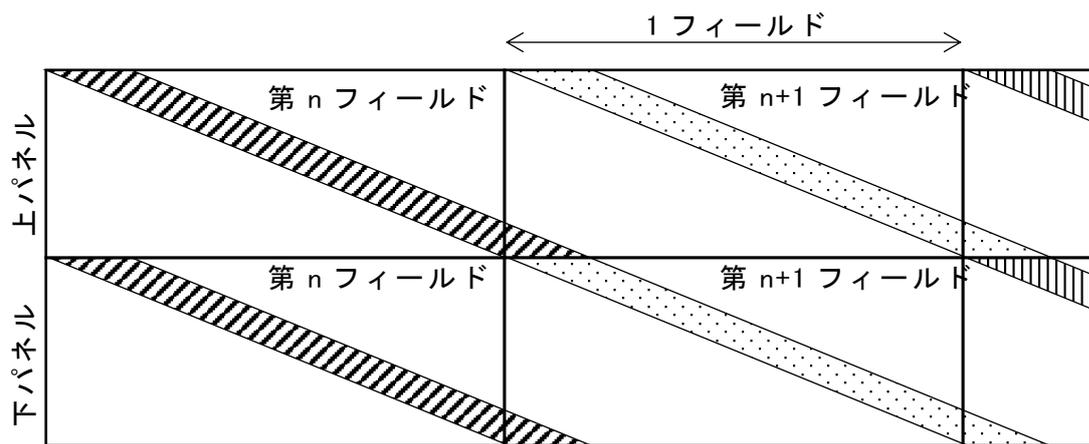
(2) 2ライン同時駆動

陰極数 1035 本を持ったハイビジョン用 42 インチ PDP では、アドレス速度を  $3.5 \mu s$  とすると、全陰極をアドレスするためには、

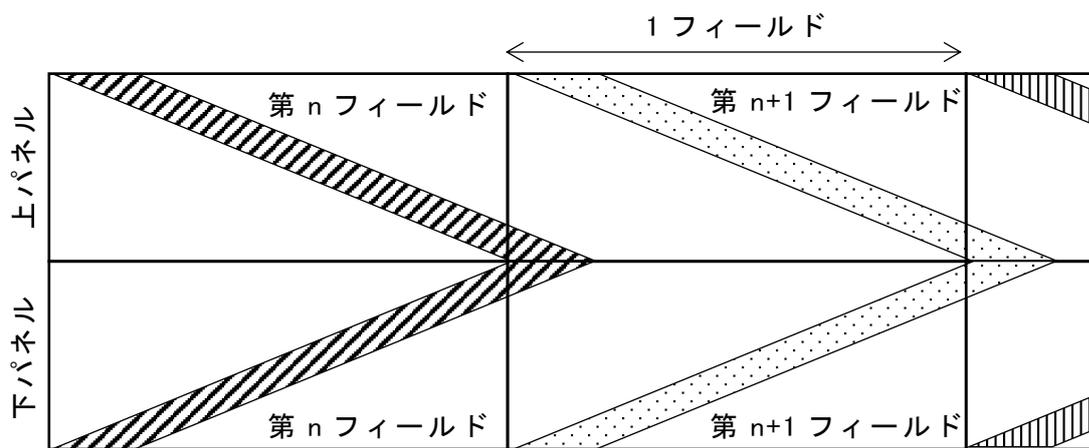
$$3.5 (\mu s) \times 9 (\text{サブフィールド}) \times 1035 (\text{本}) = 32.6025 (\text{ms})$$

の時間が必要となるため 1 フィールド (約  $16.7 \text{ms}$ ) 内では全陰極をアドレスすることができない。そこで、2.3.3 項と同様に、陽極を上下 2 分割して 2 ライン同時駆動を行うことにより 1035 本の陰極を持ったパネルで発光期間の圧縮が可能となる。

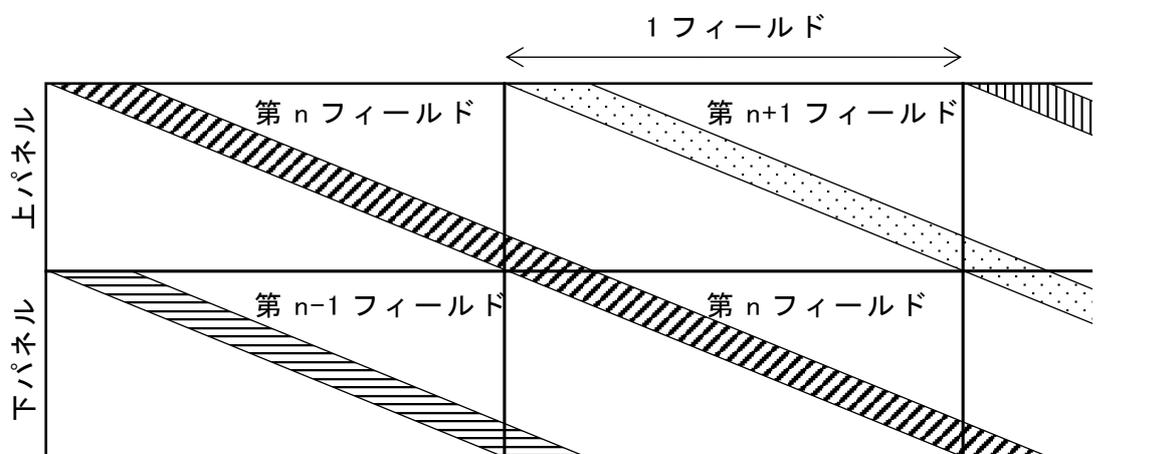
この同時駆動の方法としては、図 3.12(a)(b)(c)のような方法が考えられる。画像が横方向へ移動する場合には、画像の移動とともに視点も移動するため、図 3.12(a)の方法では縦線の中央が不連続になってしまうことが確認されている [25] [39]。つまり、



(a) 上下並列型



(b) 上下対称型



(c) 上下連続型

図 3.12 2 ライン同時駆動方式 [45]

下画面最初のラインの表示時刻は上画面最終のラインの表示時刻と連続していなければならない、図 3.12(a)の表示方法は動画像表示法としては不適切である。図 3.12(b)の方法については、これまでに小型パネルによる表示実験が報告されているが、大きな問題は観測されていなかった [25]。しかし、対角 42 インチの大型 PDP を用いて同様の表示実験を行った結果、同時駆動による妨害が検知され、縦線に「<」「>」のような変曲点を生じることが確認された。これは、小型パネルでは画素数が少ないことや、表示画像が同じであっても画像が移動している場合、小型パネル上での移動速度の方が大型パネル上での移動速度よりも遅いことにより、劣化の程度が目立ちにくいからではないかと考えられる。

これに対して、図 3.12(c)では、妨害は動く縦線の傾きとして現れるため、移動速度が非常に速い場合以外は検知されない。そのため、実用上問題ないと考えられる。この場合、パネル上に同時に 2 フィールドの映像が表示されることになるが、上記以外の問題は認められなかった [40]。そこで、図 3.12(c)の方法を採用した。

### 3. 5 動画質改善法の評価

#### 3. 5. 1 シミュレーションによる評価

##### (1) シミュレーション方法

サブフィールド表示法における動画質妨害の量は、サブフィールドの発光パターンと、人間の目が追従している対象物の移動速度により決定される。そこで、静止画像を原画像として、これを水平方向に等速で移動させたときに知覚されると推測される画像をシミュレーションにより作成する。そして、原画との差分をとることにより発生する妨害量を S / N 比として計算することができ、各改善法による改善量の目安を知ることができる。計算の方法を以下に述べる [41]。

- ① 静止画像が右方向に一定速度で移動すると仮定し、図 3.3 に示したように、目が追従する軌跡に沿った発光時間の積分を行い、観視される明るさを画素ごとに計算する。
- ② 計算で得られた画像と原画像との間で、それぞれの画素ごとのレベル差（明るさの差）を取り、これを妨害成分とする。
- ③ 画像全体について妨害成分の 2 乗平均値を求め、これにより S / N 比を求める。

評価は、表 3.2 に示す 4 方式について行った。評価画像は、BTA ハイビジョン標準静止画像（肌色チャート、エッフェル塔）を使用した。

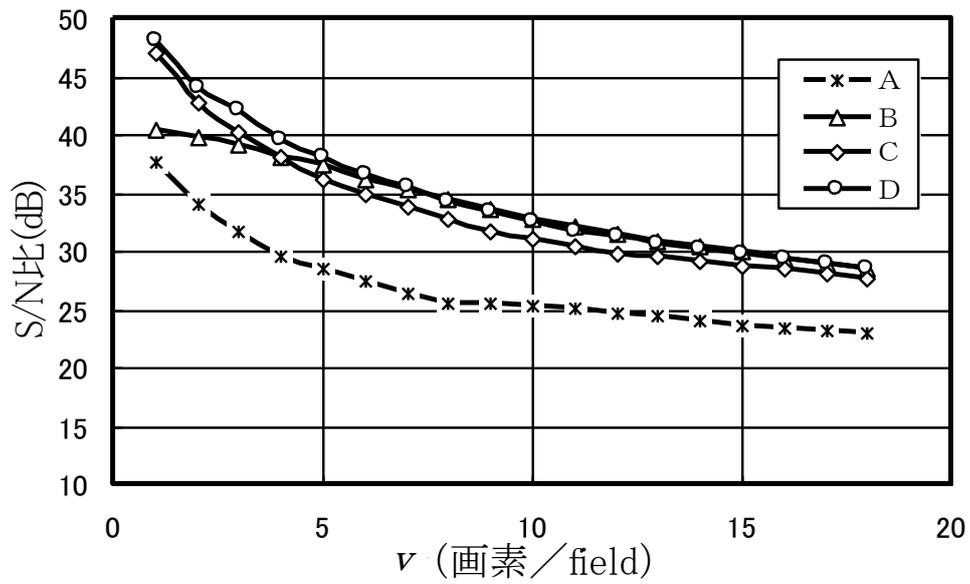
表 3.2 評価した表示方式

方式	発光時間の圧縮	サブフィールド数	発光スキーム	適応 SFC
A(従来方式)	×	8	図 3.1	なし
B	○	8	図 3.5	なし
C	○	9	図 3.7	なし
D	○	9	図 3.7	あり

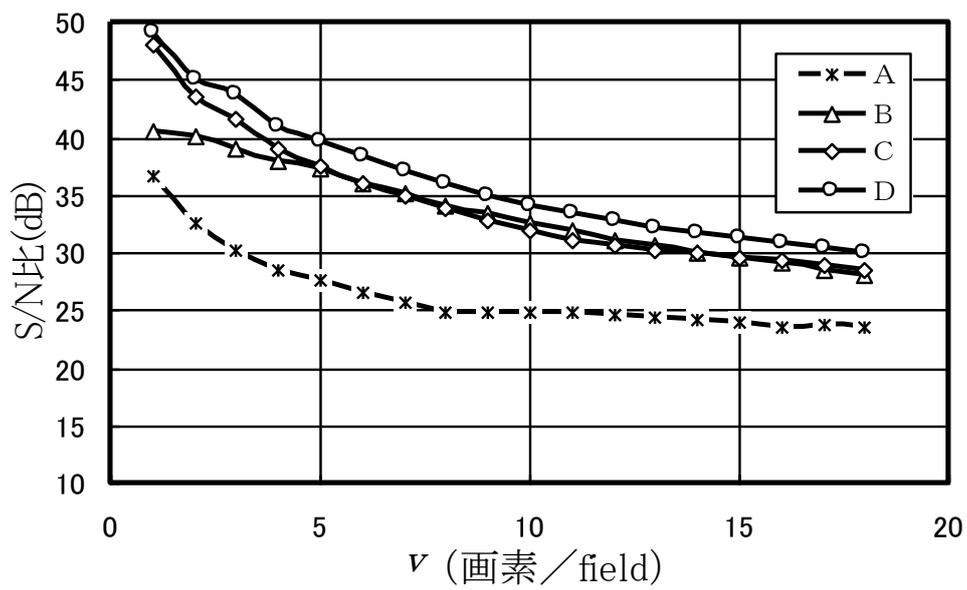
## (2) シミュレーション結果と考察

図 3.13 に 2 枚の画像による評価結果を示す。図の横軸は、画像の移動速度  $v$  を示し、縦軸は S / N 比を示している。これらの結果より、以下のことがわかる。

- ・ いずれの方式においても、速度が増加すると S / N 比は低下する。
- ・ 時間圧縮を行った B、C、D の方式で大幅な改善がみられる。
- ・ 8 サブフィールドより上位ビット分割を行った 9 サブフィールドの方が、また、さらにサブフィールド適応制御を行った方が若干ではあるが改善効果がみられる。



(a) 肌色チャート



(b) エッフェル塔

図 3.13 シミュレーションによる評価結果 [45]

### 3. 5. 2 主観画質評価

#### (1) 評価実験方法

前述したシミュレーションによる評価に加えて、2重刺激劣化尺度法（EBU法）により画質主観評価実験を行った [42]。この場合、静止画像を基準画像として、これを水平方向に一定速度で移動させた画像を評価画像とした。

評価実験では、シミュレーションでも使用した BTA ハイビジョン標準画像（肌色チャート、エッフェル塔）を使用し、表示方式も表 3.2 に示した 4 方式について、それぞれ 8 種類の移動速度（左右両方向に、それぞれ 20、12、8、4 (pixel/field)）で評価実験を行った。

#### (2) 実験結果と考察

図 3.14 に主観評価実験の結果を示す。横軸の移動速度  $v$  は、画像を右に移動させた場合を正に、左に移動させた場合を負としている。すべての組合せに対して各評定者が 2 回ずつ評価を行い、2 回の評点が 2 ランク以上異なる場合は、それらの評点は無効とした。

これらの結果より、以下のことがわかる。

- ・主観評価実験の結果もシミュレーションによる評価と同様に、いずれの方式においても移動速度が増加すると評価値は低下している。
- ・方式 B は方式 A よりも 2 ランク以上改善されており、発光時間の時間圧縮による改善効果が大きい。しかし、この方式では画像の移動速度が速い場合、画質は許容限（評価値 3.5）以下となってしまう。
- ・方式 C は方式 B よりも改善されており、上位ビット分割の改善効果があることがわかる。この方式では、画像の速度が速い場合でも許容限程度以上の画質が得られている。
- ・サブフィールド適応制御の効果は、方式 C と方式 D との差であるが、今回の評価では、明確な差は現れていない。今回主観評価した画像の種類は少ないが、この適応制御有効性を明確に確認するためには、実際の動画像など他の画像でも評価を行う必要があると考えられる。
- ・移動速度が速い場合には、評価値は、いずれの画像に対しても検知限（評価値 4.5）以下となった。これは、蛍光体の残光（特に緑色）やサブフィールドの発光時間幅による動きボケ [43] など、偽輪郭以外の要因も関与しているものと考えられる。

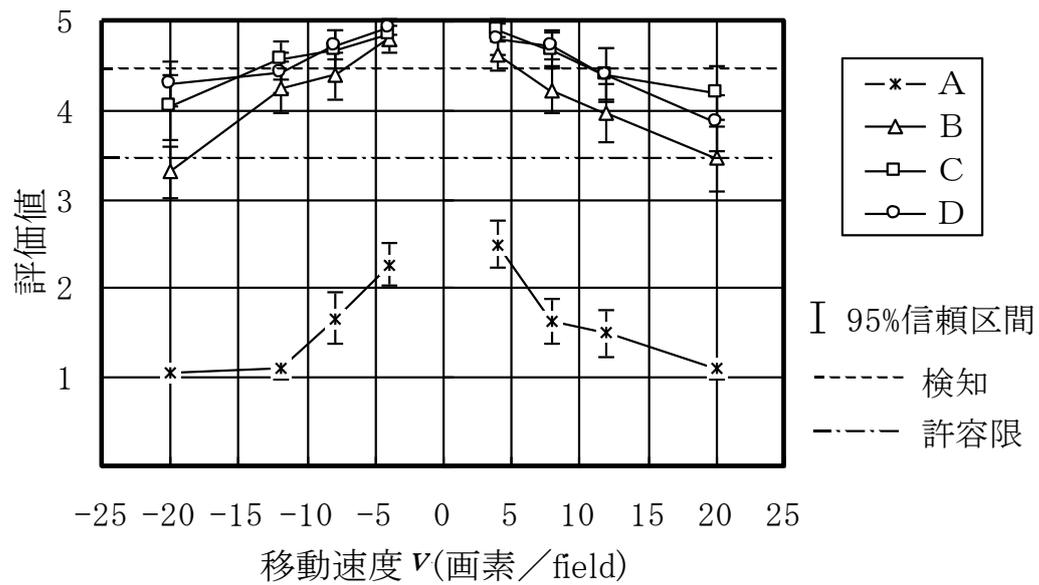
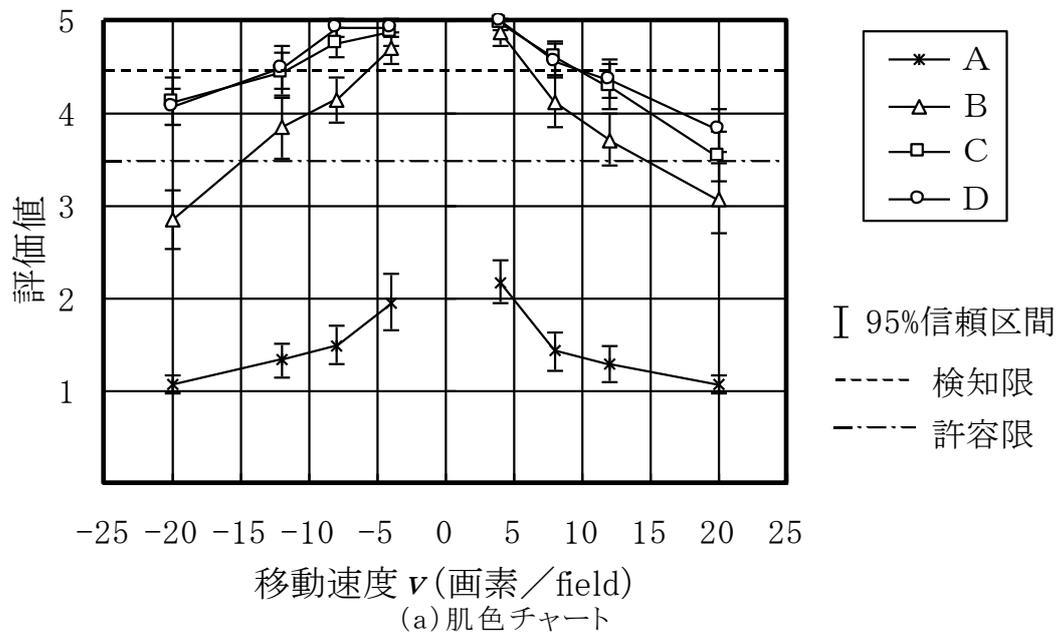


図 3.14 主観評価結果 [45]

以上のように、提案した表示方式CおよびDでは、どちらの画像に関しても評価した速度の範囲において、許容限以上の評価が得られている。提案した改善手法を用いることにより、ハイビジョン用ディスプレイとして許容できる画質で動画像を表示可能なことが確認できた [44] [45]。

なお、シミュレーション結果と主観評価実験結果の相違については以下のように考えられる。

前述したシミュレーションでは、評価画像として使用した画面全体の妨害成分の2乗平均により評価値を計算しているので評価値としては一意的に決まるのに対して、主観評価実験では、評価者が画像のどの部分を注目していたかによって評価値が異なる可能性がある。また、シミュレーションによる評価は今回用いた DC 型 PDP のセルの色配列を考慮していない点や人間の視覚特性の MTF を考慮していない値であるなど厳密なモデルとはいえない。しかし、図 3.13 と図 3.14 より、両者の結果はほぼ同様の傾向を示しており、今回使用したシミュレーション方法に大きな誤りはないと考えられる。従って、シミュレーションは手法の改善における 1 つの指針として有効と考えられる。シミュレーションで求めた評価値が改善されれば画質も改善される可能性が高い。

### 3. 6 高画質 42 型ハイビジョンプラズマディスプレイの開発

前節で開発した動画画質改善手法を、ハイビジョン PDP ディスプレイに適用した [46]。開発した 42 インチ PDP の仕様を表 3.3 に示す [47]。前節で述べたように、PDP の表示には特有の表示方法を用いるため、信号処理法も PDP の表示方法に適したものが必要となる。図 3.15 に、信号処理 LSI と駆動 IC を組み込んだ、PDP 用のハイビジョン表示システムを示す。LSI に組み込んだ主な機能は、順次走査変換、画素間引き、プリフィルタ、そして動画偽輪郭対策である [48] [49]。この LSI を対角 42 インチのハイビジョン PDP に適用したところ、静止画、動画ともに放送用ディスプレイとして十分な画質でハイビジョン映像を表示することができた。

表 3.3 42 型ハイビジョン PDP の仕様

画面サイズ	922mm × 518mm				
アスペクト比	16:9				
セルピッチ(横 × 縦)	0.48mm × 0.50mm				
セル数(横 × 縦)	1920 × 1035				
セル配列	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>R</td> <td>G</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>B</td> </tr> </table>	R	G	G	B
R	G				
G	B				
輝度	$> 150 \text{ cd/m}^2$				
階調数	256				
蛍光体	R: $(\text{Y,Gd})\text{BO}_3:\text{Eu}$ G: $\text{Zn}_2\text{SiO}_4:\text{Mn}$ B: $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}$				
封入ガス	He(90%)+Xe(10%)				
寿命	$> 10,000 \text{ hours}$				

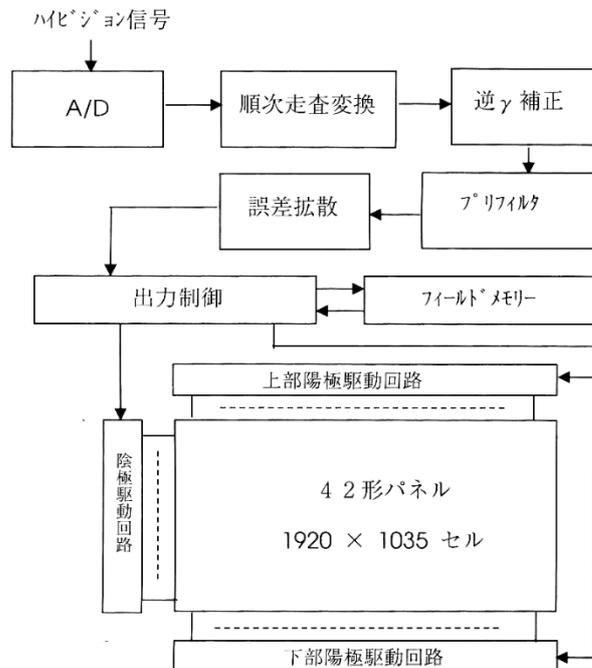


図 3.15 信号処理システムのブロック図 [46]

図 3.16 に、開発した対角 42 インチの高精細ハイビジョン PDP ディスプレイを示す。同ディスプレイは、1998 年に行われた長野オリンピックの放送を、高画質で表示することができた [50]。

本節では、動画像偽輪郭改善手法について DC 型 PDP を例にとり述べているが、偽輪郭の発生がサブフィールド法による中間調表示方式に起因していることから、採用した改善手法は、AC 型 PDP をはじめ、サブフィールド表示法を用いるその他のディスプレイにも有効であると考えられる。



図 3.16 開発した対角 42 インチ高精細ハイビジョン PDP ディスプレイ [46]

### 3. 7 結言

本章では、ディスプレイの大画面化に伴い顕著になる動画表示時の画質改善手法の提案を行った

具体的には、表示画面を大きくした際に顕著に発生する動画画質劣化に対して、その発生メカニズムについて検討を行い、PDP 特有の表示方法であるサブフィールド表示法に起因した画質劣化を改善する手法を提案するとともに、シミュレーションおよび主観画質評価を行って定量的に評価し、提案手法が有効であることを示した。さらに、提案する表示方法を用いて、世界で初めて対角 42 インチの高精細ハイビジョン PDP ディスプレイを開発した。開発したハイビジョンディスプレイは、1998 年に行われた長野冬季オリンピックの期間中、オリンピック関連施設や全国の公開展示場所で展示され、好評を博した。

この開発を契機に、液晶ディスプレイやプラズマディスプレイによる大画面テレビの研究・開発が加速し、高精細なハイビジョン映像を誰でも大きな画面で楽しめるようになった。さらに、CRT では表示が難しかった画面周辺の明瞭な文字表示が可能になったことから、交通情報や気象情報などの生活情報を大画面上で容易に入手できるようになった。その結果、さらなる大型化の要望も高まり、これに応えるべく薄型テレビの大型化・高性能化がテレビメーカーで競って進められるようになった。このように、本成果はテレビ業界の発展にも大きく寄与したと言える。

## 第 4 章 超大画面スーパーハイビジョン用シート型有機 EL ディ스플레이の画質改善

### 4. 1 緒言

超高精細テレビ規格の一つであるスーパーハイビジョン（SHV、8K：7680×4320画素）はハイビジョンの 16 倍もの超高精細映像と 22.2 チャンネルの立体音響で高い臨場感を生み出す次世代テレビである。2016 年 7 月に試験放送が開始され、現在、実用を目指して番組制作・伝送・視聴にわたる技術の研究開発が盛んにおこなわれている。SHV の臨場感を楽しんで頂くためには 100 インチ程度の大画面で視聴することが望ましく、さらに家庭用としては薄くて軽いシート状のディスプレイの実現が期待される。また携帯型のテレビにおいても、より軽く、収納性に優れたものが望ましい（図 4.1）。これらのディスプレイを実現する候補の一つが「フレキシブルディスプレイ」である。柔軟な基板上に作られたフレキシブルディスプレイは、従来のガラス基板を用いた FPD と比べて、より薄型・軽量なため、設置の自由度が広がると共に、曲げられる、あるいは丸められるといった特徴から携帯性・収納性に優れる。さらに落としても割れにくいなど、耐衝撃性が高い利点もある。特に、自発光で薄型の有機 EL（Electroluminescence）を表示素子として用いたフレキシブル有機 EL ディ스플레이は、超薄型で優れた表示性能を持つディスプレイとして実現が期待されており、世界中で研究開発が進められている。筆者らは、2003 年頃から本格的にフレキシブル有機 EL ディ스플레이の研究を始め、材料や素子および作製技術の開発を行い、パネルの



(a) 大画面・高臨場感テレビ



(b) 携帯型テレビ

図 4.1 フレキシブル（シート型）ディスプレイの応用イメージ

試作を進めてきている [51]。特に、SHV の持つ高臨場感を家庭でも味わっていただくために、対角 100 インチを超えるような超大画面のフレキシブルディスプレイを想定した研究を進めている。このような超大画面のフレキシブルディスプレイのことを、本論文では「シート型ディスプレイ」と呼ぶこととする。

シート型ディスプレイの実現には、フィルム、半導体、発光デバイスなどの構成要素に使用する材料や、パネルの作製方法、ディスプレイの駆動方法、低消費電力化などの多くの課題を有している。これらの課題である材料、作製方法、駆動方法はいずれもディスプレイの表示画質に影響を与えるものであり、その選択は慎重に行う必要がある。そこで、本章では、シート型ディスプレイの高画質化という視点から、これらの課題に対して検討を進める。

## 4. 2 家庭用超大画面シート型ディスプレイ

SHV の魅力である高臨場感を家庭においても味わっていただくためには、100 インチ程度の大画面ディスプレイが望ましい。しかし、このような大画面のディスプレイを、ガラス基板を用いた FPD で実現すると、重量が非常に重くなり、また階段、エレベーターや玄関を通して家庭内に搬入することが難しい、などの課題が存在する。しかし、曲率半径が 40cm 程度以下の柔軟性を有するシート型ディスプレイが実現できれば、上記の課題は解決され、一般家庭においても SHV 放送の高い臨場感を本格的に味わうことが可能となる。

### 4. 2. 1 ディ스플레이の構造

#### 4. 2. 1. 1 シート型ディスプレイ構成要素

シート型ディスプレイ特長は (1) 薄くて軽いことと、(2) 柔らかくて曲げられることにある。このような特長を有するディスプレイを実現するために、まずシート型ディスプレイの構成要素の選定を行った。具体的には、1) 表示素子、2) 柔らかくて曲げられるフレキシブルな基板、3) 画素内に配置する TFT に使用する半導体材料、についてである。

#### 1) 表示デバイス

表 4.1 に、シート型 (フレキシブル) ディ스플레이に使用可能と考えられる表示デ

バイスの比較を示す。

液晶ディスプレイは、ガラス基板を用いた FPD の中では完成度が高く、現在では他のデバイスに比べて圧倒的な生産量を有している。このため、フレキシブル液晶ディスプレイは、その実現にあたって既存の製造技術・設備を利用しやすいことや、また、物性的に長期間の信頼性・安定性を確保しやすいという長所がある。しかし、液体状の液晶材料を保持するために2枚の基板が必要なことや、液晶は自ら発光しないためバックライトが必要なことがあり、薄型化、柔軟化には限界があると考えられる。

また、電荷を帯びた粒子が電界によって移動する現象を利用する電気泳動は、映像を書き換えた後は電流を流し続けなくてもその表示を維持することが特徴で、超低消費電力化が可能のため、電子ペーパーなどで実用化されている。しかし、応答速度が遅く、高速表示は困難なため、動画表示用としては適していない。

一方、有機 EL は、有機材料による固体の自発光デバイスであり、薄い有機膜の積層構造であるとともに、バックライトが不要なため、柔軟化、薄型化に適している。このため、現在ではフレキシブル有機 EL ディスプレイの研究開発が世界的に活発に進められている。筆者らが検討を進めるシート型ディスプレイにおいても、薄さや柔軟性、および高画質化を考慮すると、薄膜で自発光のデバイスである有機 EL が適していると考え、本論文では有機 EL を採用したシート型ディスプレイについて検討を進めていく。

表 4.1 ディスプレイ用表示素子の比較

表示デバイス	主な利点	主な課題
有機 EL (OLED)	自発光で薄膜	寿命・省電力化
液晶	既存技術の応用	薄型化に限界
電気泳動	低消費電力	高速動画は困難

## 2) フレキシブル基板

フレキシブルディスプレイが、現在実用化されている有機 EL ディスプレイと最も大きく異なる点は、まず柔軟な素材で構成された基板、いわゆるフレキシブル基板を用いていることである。このフレキシブル基板上に TFT や有機 EL が形成されるた

め、基板には洗浄や乾燥、成膜、露光・現像などの作製プロセスに必要な耐熱性や低線膨張率、低吸水性、耐薬品性が求められる。また、数百 nm 厚程度の有機 EL 層を形成するためには基板の平坦性が必要であり、発光した光を取り出す側の基板には高い透過率も望まれる。さらに、長寿命化のためには有機 EL 材料の劣化原因である水蒸気や酸素を遮断するための封止性能も重要な条件となってくる。封止性能としては、一般的には、水蒸気透湿度は  $10^{-6} \text{g/m}^2 \cdot \text{day}$  より小さく、酸素透過率は  $10^{-3} \text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$  より小さい値が必要であるとされている [52]。

フレキシブルディスプレイ用の基板としては、表 4.2 に示すように超極薄ガラスや金属薄膜、プラスチックなどの材料が報告されている。超極薄ガラスや金属薄膜は耐熱性や封止性能に優れており、従来の有機 EL 作製プロセスを使用することが可能である。しかし、超極薄ガラスは柔軟性や衝撃に対する耐性に課題を抱えており、金属薄膜は不透明であるために発光を取り出す側の基板に使用できない、平坦化が必要などの課題を有している。一方プラスチックは将来低コスト化が期待されるとともに、「より薄く、軽く、壊れにくい」という特長を有している。しかし現在のところ、超極薄ガラスや金属薄膜に比べて耐熱性や吸水性、封止性能などに課題があり、低温でのプロセス開発や表面に封止膜を形成するなどのバリア性能改善に向けた対策が必要となっている。

各基板については一長一短の特徴を有するが、家庭用大画面ディスプレイ用としては、軽量で安価であることが望まれるため、本論文では、フレキシブルな基板としてプラスチックフィルムを用いたディスプレイの実現を目指して検討を進めることとする。

表 4.2 フレキシブルディスプレイの基板

超極薄ガラス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 従来プロセスが使用可</li> <li>・ 封止性能良</li> <li>・ 柔軟性小</li> <li>・ 衝撃に弱い</li> </ul>
金属薄膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高い温度でのプロセス使用可</li> <li>・ 封止性能良</li> <li>・ 平坦化が必要</li> <li>・ 不透明</li> </ul>
プラスチック	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 柔軟性大</li> <li>・ 薄く、軽く、衝撃に強い</li> <li>・ 耐熱性に弱い</li> <li>・ 封止性能に弱い</li> </ul>

### 3) 半導体材料

表 4.3 に示すように、半導体材料としては有機半導体や酸化物半導体、アモルファスシリコン(a-Si)半導体など、様々な材料が試みられている。低温ポリシリコン(poly-Si)半導体は高い移動度を示すが、結晶化にレーザーなどの高温化プロセスを必要とし、大面積に形成することが難しい。一方 a-Si 半導体は poly-Si 半導体に比べて移動度は低いが大面積への成膜が行いやすい。また、酸化物半導体は室温形成可能であり、比較的高い移動度を示す材料として近年注目されている材料である [6]。現在盛んに研究が行われている有機半導体は室温形成可能、塗布形成可能という特徴を有するが、移動度の改善や大気安定性に課題を残している。

このように各半導体材料はそれぞれ特徴を有している。半導体材料の選択に際し移動度などの特性は重要な要素であるが、使用する作製プロセスに基板が適応できるかということも大切である。耐熱性を備えた超極薄ガラスや金属薄膜を用いた場合にはシリコン半導体、特に高い移動度の poly-Si 半導体の使用が可能であるが、プラスチック基板を用いた場合には、同じ有機物であり低温プロセスで形成可能な有機半導体材料との相性が良いと考えられる。

表 4.3 シート型ディスプレイ用として検討されている半導体材料

有機半導体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大面積形成容易 (塗布型)</li> <li>・ 移動度 <math>\mu = 0.05 \sim 1.5</math> [<math>\text{cm}^2/\text{Vs}</math>]</li> <li>・ 安定性に課題</li> </ul>
酸化物半導体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大面積形成容易 (スパッタ成膜)</li> <li>・ 移動度 <math>\mu = 1 \sim 80</math> [<math>\text{cm}^2/\text{Vs}</math>]</li> <li>・ 比較的安定</li> </ul>
a-Si 半導体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大面積形成容易 (スパッタ成膜)</li> <li>・ 移動度 <math>\mu = 0.5 \sim 1.5</math> [<math>\text{cm}^2/\text{Vs}</math>]</li> <li>・ 特性の経時変化大</li> </ul>
低温 Poly-Si 半導体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 大面積形成難</li> <li>・ 移動度 <math>\mu &gt; 100</math> [<math>\text{cm}^2/\text{Vs}</math>]</li> <li>・ 特性ばらつき大</li> </ul>

そこで、本論文では、まず、印刷形成が可能で大画面形成に対して低コスト化が期待できる有機半導体を用いてシート型ディスプレイを試作して、シート型ディスプレイの実現可能性を示す。次に、超大画面ディスプレイに必要な移動度や大面積形成の

観点から、ディスプレイ用 TFT として早期に実現可能と予想される酸化物半導体について検討する。

#### 4. 2. 1. 2 シート型ディスプレイの構造

シート型有機 EL ディスプレイの断面構造の一例を図 4.2 に示す。大きな特徴の一つが、プラスチックフィルムなどの柔軟性のある基板上に微細な画素が形成されていることである。各画素は、赤・緑・青（RGB）に発光するサブピクセルから成る。特に、高輝度で高コントラストの表示性能を持つディスプレイを実現するには、各画素の有機 EL を TFT で制御するアクティブ駆動が不可欠である。アクティブ駆動型有機 EL ディスプレイの場合、各サブピクセルの中には画素電極上に形成された有機 EL と少なくとも二つの TFT が必要になる。この二つは、画素を選択する選択用 TFT (Sw-TFT) と有機 EL へ電流を供給する駆動用 TFT (Dr-TFT) である。最表面は柔軟性のある封止膜によって覆われ、有機 EL などの素子を劣化させる要因となる水蒸気や酸素の侵入を外部から防ぐ構造になっている。

##### (1) 有機 EL

有機 EL は、非常に薄い有機材料に電流を流すことによって発光する自発光型の表示素子である。有機 EL の断面構造の一例を図 4.3 に示す。二つの電極間に、電荷注入層や電荷輸送層、発光層など様々な役割を持つ有機薄膜が、それぞれ数十ナノメートルの厚みで積層されている。この素子に電圧を印加することによって電流が流れ、電気エネルギーが光に変わる。有機 EL の種類は発光のメカニズムから大きく二つに

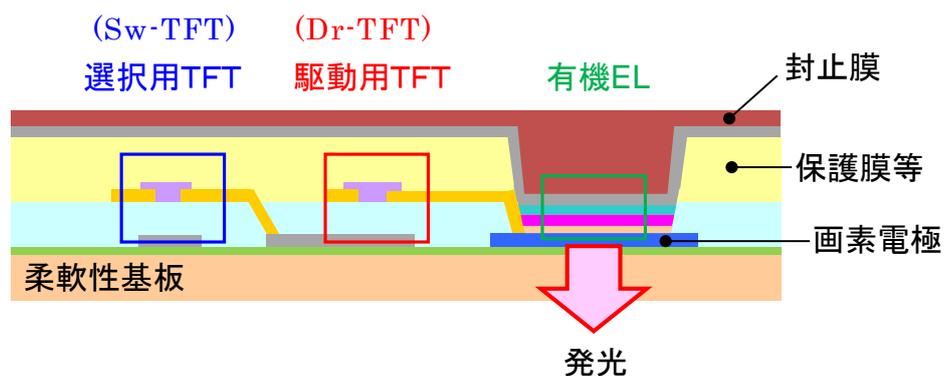


図 4.2 シート型有機 EL ディスプレイの断面構造 (1 サブピクセル分)

分けることができる。一つは蛍光で、もう一方がリン光である。特にリン光は、最大で蛍光の4倍の発光効率が期待でき、低消費電力化に有効であると考えられる。

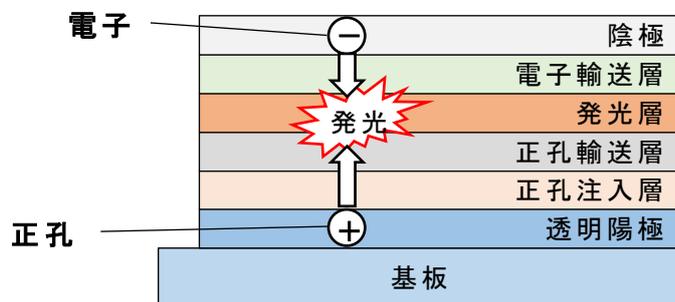


図 4.3 有機 EL の断面構造

## (2) プラスチック基板

構造の中で柔軟性に大きく影響するのが基板や封止膜である。前述したように、薄さや軽さ、ディスプレイにした際の扱いやすさを考慮すると、プラスチックフィルムが有利だと考えられ、本論文内では、主に厚み 0.1 mm 程度の透明なプラスチックフィルムを基板に用いる。プラスチックフィルム基板に求められる性能としては、TFT 作製時の加熱に対する耐熱性や低熱膨張性、さらに耐薬品性や低い吸水性などが挙げられる。また、ボトムエミッション構造の場合には、透明性も必要になる。この様にディスプレイの構造や作製プロセスに応じた柔軟性基板の選択が重要である。

## (3) 画素回路

高画質を実現するアクティブ駆動型のディスプレイは、各画素に TFT が配置され、外部からの電気信号により表示素子を制御する画素回路を有している。画素回路は基板上へマトリクス状に形成され、外部回路と配線によって接続される。ここで TFT の構造や動作について説明する。TFT の断面構造の一例を図 4.4 に示す。基板側からゲート電極、ゲート絶縁膜、半導体膜、ソース・ドレイン電極が積層されている。ゲート電極に印加する電圧（ゲート電圧）を変化させることによって、ソース・ドレイン電極間の半導体中を流れる電流（ドレイン電流）を制御できる。半導体膜と

しては、従来の FPD では主にシリコン系の材料が用いられてきたが、TFT の電気特性や柔軟性基板への作製工程の制約から、シート型有機 EL ディスプレイでは半導体膜に有機材料を用いた有機 TFT や酸化物材料を用いた酸化物 TFT を用いた。有機 TFT は半導体中の電荷の動きやすさを示す指標である移動度が a-Si と同程度であり、プラスチックフィルム上へ低温で形成できる特長を持つ。酸化物 TFT は、a-Si よりも一桁以上大きな移動度を示し、画素数の多いディスプレイを駆動するのに有利である。

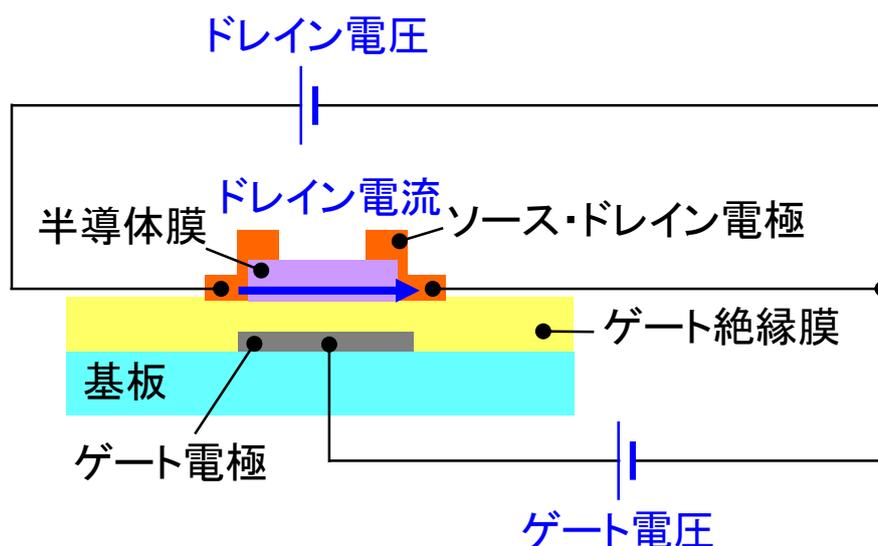


図 4.4 TFT の断面構造の一例

#### 4. 2. 2 有機 EL ディスプレイの駆動方法

シート型ディスプレイを含むマトリクス駆動タイプのディスプレイにはそのほとんどにアクティブマトリクス (AM: Active-Matrix) 駆動方式 (各画素ごとにトランジスタを設け、このトランジスタにより各画素の発光を個別に制御する駆動方法) が採用されている。第 1 章でも述べたが、従来のディスプレイの中心であった CRT では、画面内のある 1 点に着目すると図 4.5(a)に示すように 1 フレーム内のある一瞬のみ発光し、残りの時間は発光していない。この方式はインパルス型と呼ばれており、発光する瞬間には非常に大きな輝度を必要とする。一方、AM 駆動のディスプレイでは、図 4.5(b)に示すように、1 フレーム内で、ある程度の時間にわたり発光が継続してい

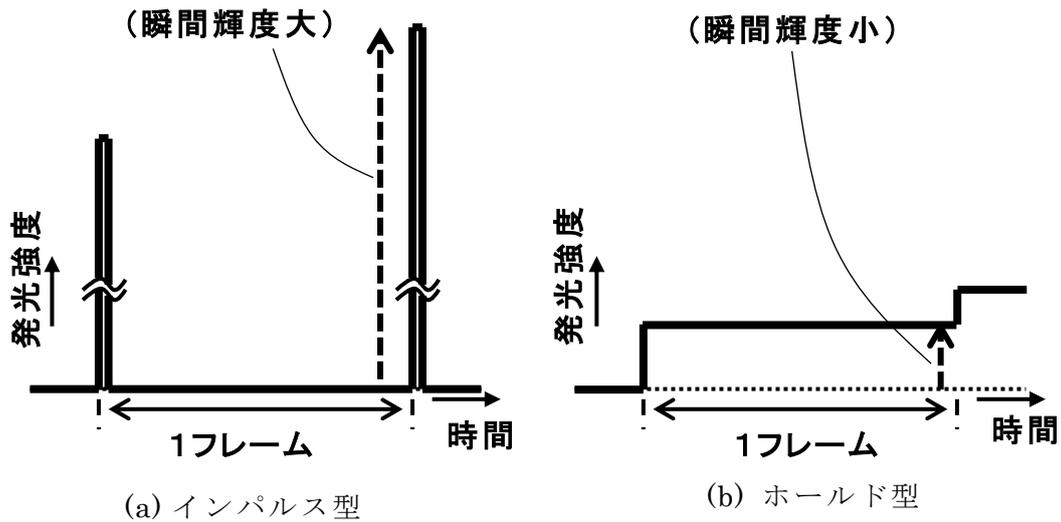


図 4.5 ディスプレイ画素の発光形態

る。この方式はホールド型と呼ばれており、インパルス型と比較して発光時間が長い  
ため、それほど大きな瞬間輝度は必要とされない。このホールド型表示方式を実現す  
るのが画素内に配置した TFT である。

アクティブマトリクス型有機 EL (AMOLED: Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode) ディスプレイにおける 1 画素の基本的な等価回路を図 4.6 に示す。この等価回路では 2 つの TFT と 1 つの保持容量が設けられている。2 つの TFT のうちの 1 つは画素を選択するための選択用 TFT (Sw-TFT: Switching TFT) であり、他の 1 つは有機 EL の発光に必要な電流を流すための駆動用 TFT (Dr-TFT: Driving-TFT) である。書き込みについては、Sw-TFT のセレクト信号を ON にすることでデータ信号を画素内に取り込むとともに保持容量に書き込む。セレクト信号が OFF になっても保持容量に書き込まれた電圧によって駆動用 TFT が制御され、設定された電流を有機 EL に流し、次の書き込みが行われるまでその状態を保持する。

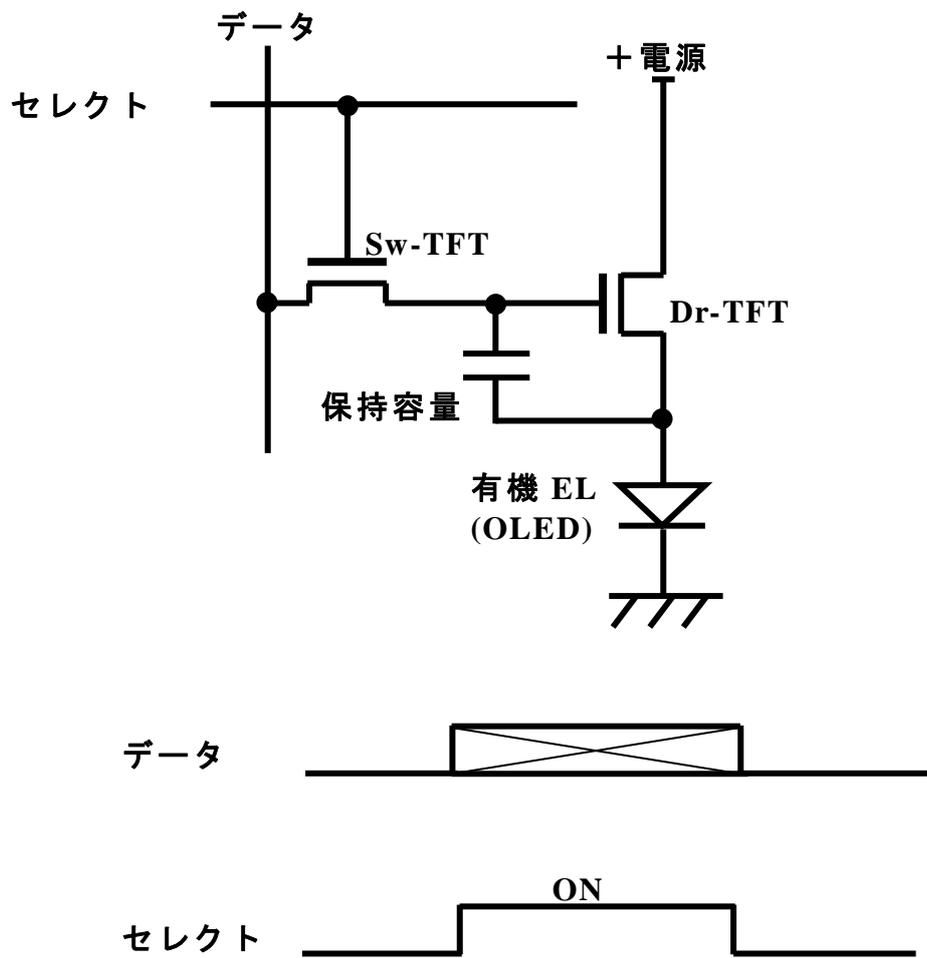


図 4.6 AMOLED ディスプレイにおける 1 画素の基本的な等価回路

図 4.7 に有機 EL ディ스플레이全体の回路構成を示す。通常、画面の上側の走査ライン（図中の S1 ライン）からラインを選択するパルス（選択パルス）が印加され、選択パルスが印加された行のみが書き込み可能となる。その際に、データラインに印加された情報（電圧）が Sw-TFT を通して保持容量に蓄えられて、この電圧を基にして Dr-TFT に流す電流が決定される。この動作が上側の走査ライン（S1）から下方のライン（S2、・・・、Sn）で順次実行され、画面全体で画像表示が可能となる。

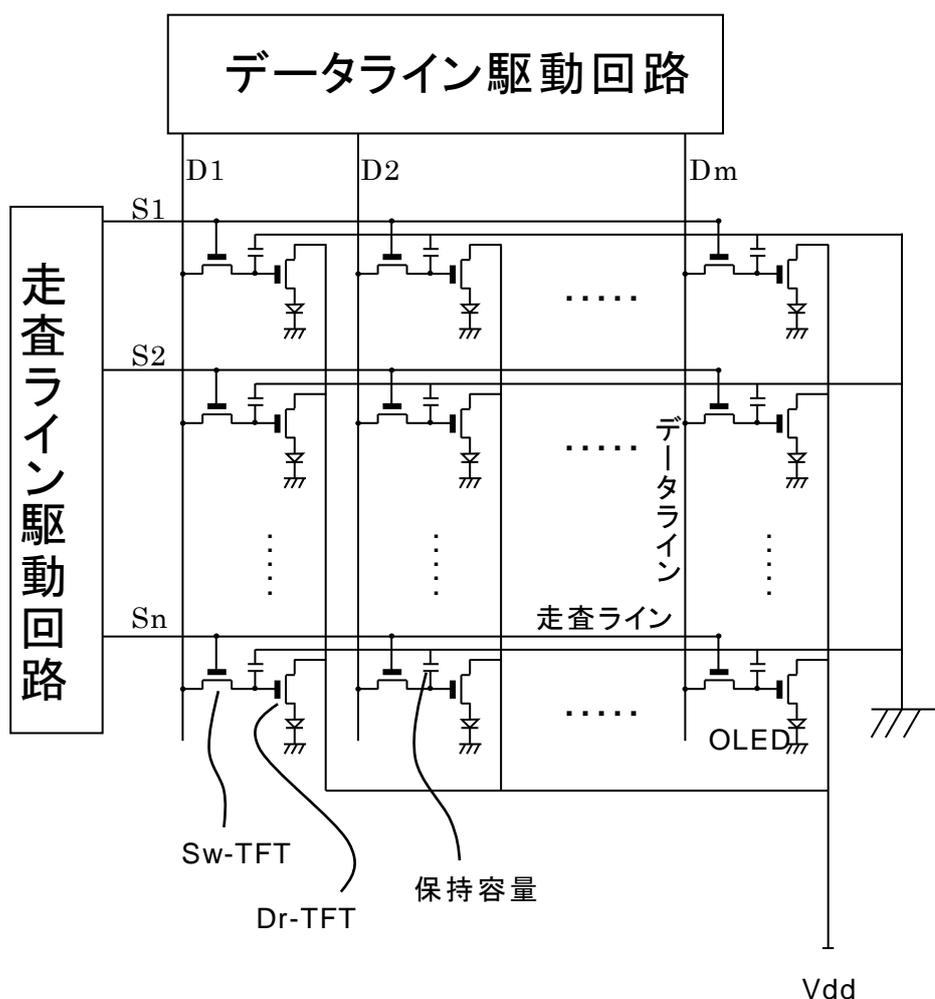


図 4.7 有機 EL ディ스플레이の回路構成

#### 4. 3 階調表示特性劣化の改善に向けた駆動方法

##### 4. 3. 1 有機トランジスタ駆動有機 EL ディスプレイ

プラスチック基板を用いたディスプレイは耐熱性が課題であるため、トランジスタには室温で印刷形成可能な有機半導体が適している。しかし、有機トランジスタ (OTFT: Organic Thin Film Transistor) は、移動度が低い、ヒステリシス特性を有しているなどの課題を有している。移動度の低さに対しては、チャネル幅やチャネル長などのトランジスタの設計パラメーターである程度対応可能であるが、トランジスタのヒステリシス特性については、AMOLED ディスプレイにおいて階調が正しく表現できないことにより、画質劣化を生じることとなる。高画質化を目指した AMOLED ディスプレイの駆動方法に関して多くの発表がなされている [53] [54] [55] [56] [57] [58] が、いずれも poly-Si TFTs を用いたディスプレイに対してである。poly-Si TFT は高い移動度を有するため、TFT の特性ばらつきは 1 水平書き込み時間 (1H) の短い時間の間に高速に補正動作を行うことが可能である。しかし、有機 TFT は移動度が低く、TFT のサイズを大きくして電流を確保する必要から、1 画素内に多くのトランジスタを配置することができず、poly-Si TFT のような補正回路を高精細なディスプレイの画素内に設置することが難しい。

そこで、ヒステリシス特性を有する有機 TFT を用いた AMOLED ディスプレイに高画質画像を表示するための新しい駆動方法を開発した。本手法は、画素内のトランジスタ数を増やすことなく、外部からの駆動方法のみで補正できる非常にシンプルな方法であるが、低移動度でヒステリシス特性を有する有機 TFT を用いた際にも画質を改善することが可能となる。この効果を実際の有機 TFT 駆動の AMOLED ディスプレイに適用して確認した。

##### 4. 3. 2 TFT のヒステリシス特性に起因する画質劣化

高輝度、高コントラスト、長寿命な OLED ディスプレイ実現のためには、各画素に TFT を形成したアクティブマトリクス駆動方式が必要である。OLED は電流を流すことにより自身で光を発する自発光型のデバイスであり、図 4.7 の画素回路に図 4.8 の駆動波形を印加することにより発光させる。プラスチックフィルム上に低温で印刷形成した OTFT は、チャージトラップに代表されるような材料の不安定性を有しており、これがゲート電圧  $V_{gs}$  に対するドレイン電流  $I_d$  の特性においてヒステリシス特性を

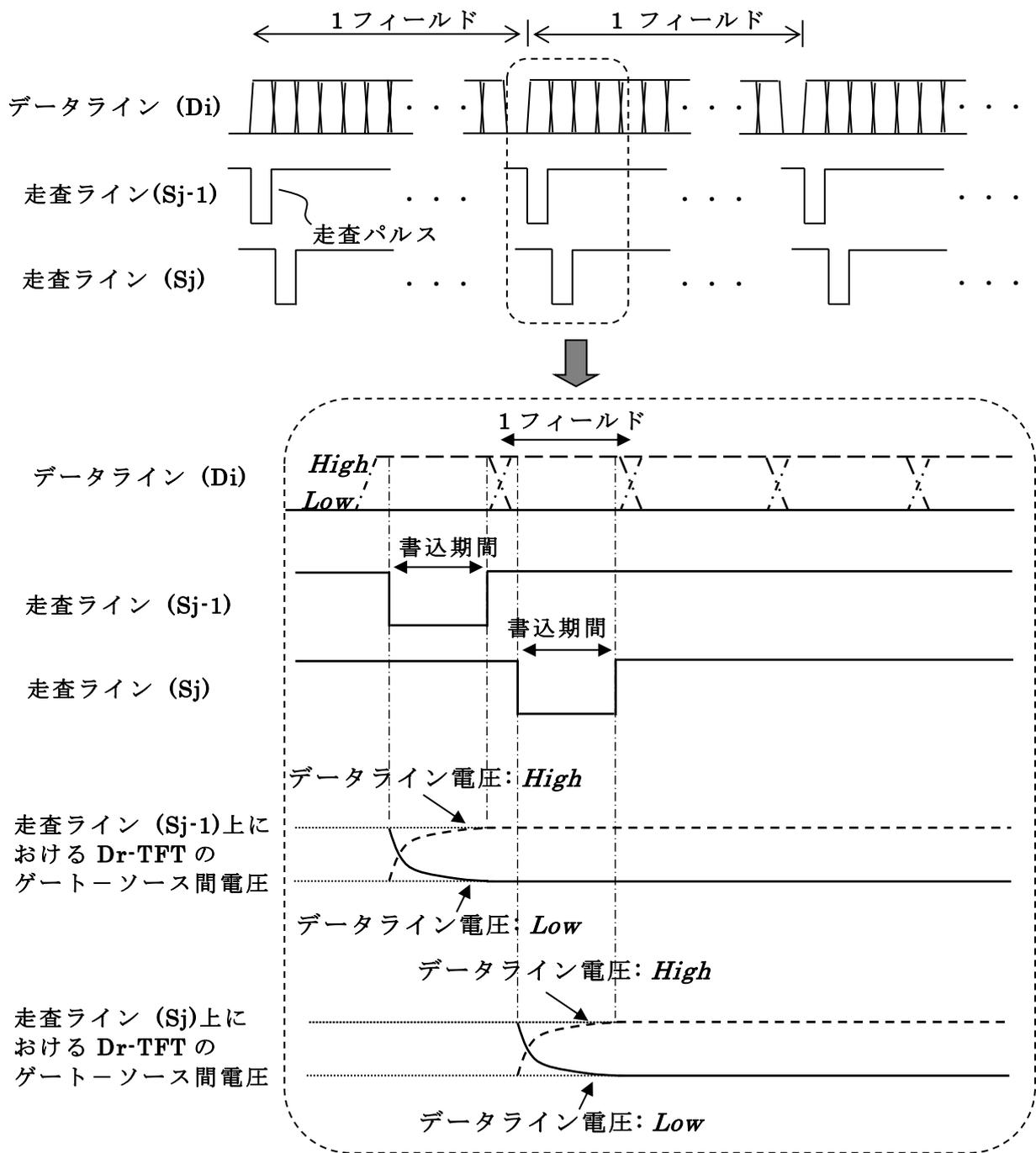


図 4.8 AMOLED ディスプレイの基本的な駆動波形

示しやすくなる原因となる。このような特性を Dr-TFT が有する場合には、データラインに同じ電圧が印加されても異なった輝度を提示してしまう原因となる。

例えば図 4.9 のように、あるフィールド [第(n-1)フィールドとする] において、画面の右側が黒表示、画面の左側が白表示をしており、次のフィールド [第 n フィールド] で左右とも同じグレーレベルの信号が入力されたと仮定すると、第 n フィールドでは、同じ信号が入力されたにも関わらず、画面上では異なった輝度で表示されることとなる。この現象により、正しい階調を表現できなくなり、画質劣化が生じることとなる。

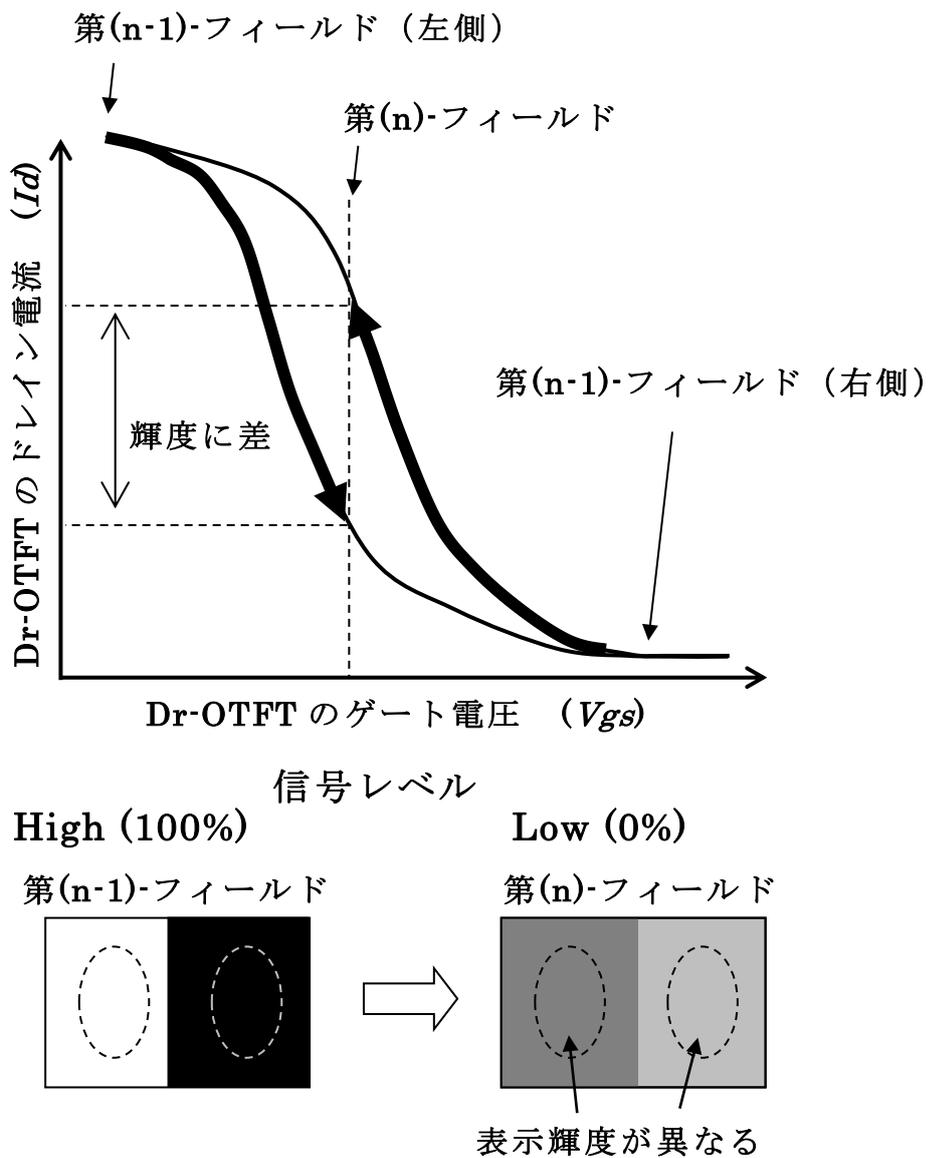


図 4.9 駆動トランジスタのヒステリシス特性による階調表示特性 [60]

#### 4. 3. 3 ヒステリシス特性に起因する階調特性劣化の改善に向けた駆動方法

Dr-OTFT のヒステリシス特性に起因した画質劣化を改善するための新しい駆動方式を検討した。この方式では、画素への書き込み動作の前に Dr-OTFT のゲート電圧を負値 (Dr-OTFT が ON 状態) にセットする (図 4.10)。これにより、ヒステリシス特性を有する TFT を用いた場合にも、直前のフィールドにおける状態にかかわらず所定の電流をトランジスタに流すことができる。そのため、前述のように直前のフィールドにおいて異なる輝度表示を行っていた場合にも、同じ信号を入力すれば同一の輝度を提示することが可能となる。

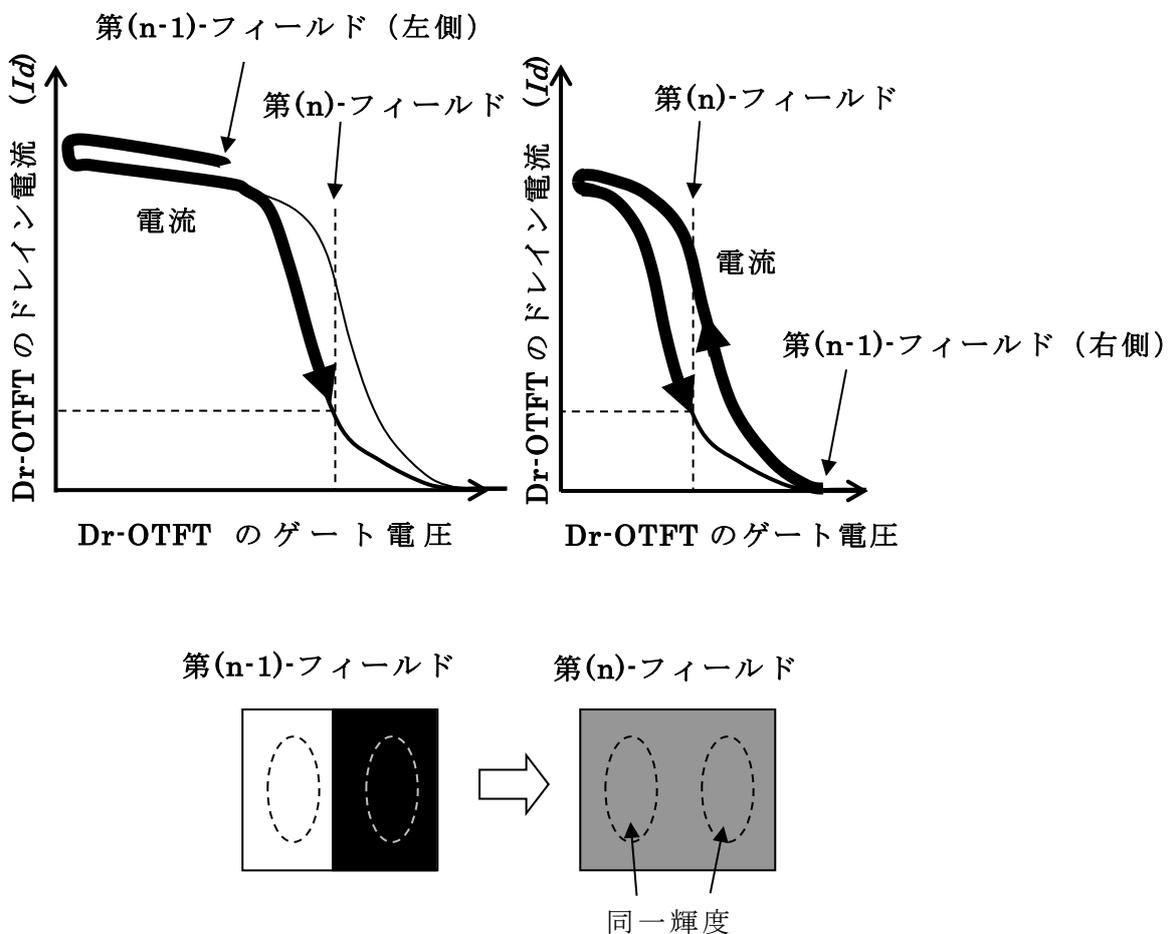


図 4.10 階調表示特性改善のための駆動方法 [60]

これを実現する手法を図 4.11 に示す。この駆動方式では、書き込み期間である 1H をリセット期間と書込期間の 2 つの期間に分割する。リセット期間ではデータラインに負値の電圧を印加し、書き込み期間では表示を行うデータ値をデータラインに印加する。そのため、Dr-OTFT のゲート電圧にはリセット期間に負値を印加し、書き込み期間には表示したい輝度に対応した電圧をゲートに印加する。これにより、TFT がヒステリシス特性を有していても、図 4.10 に示すように直前のフィールドにおける状態にかかわらずリセット期間に Dr-OTFT のゲート電圧を一旦負値 (Dr-OTFT が ON 状態) にセットすることができ、正しい階調を表示することが可能となる。しかし、TFT の電荷移動度がそれほど大きくない場合にはリセット期間と書き込み期間の間に信号を切り替えるという高速動作を行うことが難しい。

そこで、新しい画素構造と新しい駆動方法を開発した。図 4.12 に AMOLED ディスプレイの新回路構造を示す。保持容量(Cs)の一端は制御ラインに接続されており、コントロールラインに印加する新しい信号を導入する。図 4.13 に本方式における駆動波形を示す。通常の方法と同様に、画素に表示する輝度に対応する信号をデータライン(Di)に、走査パルスを順次走査ライン(Sj)に印加する。従来の駆動方法と異なる点は、制御ライン (Cont) に制御パルス印加する点である。制御パルスは、走査パルスと時間的に重ならないように制御ラインに印加する。

この駆動方式では、書き込み期間に信号データに対する電圧を Sw-TFT を通して Cs

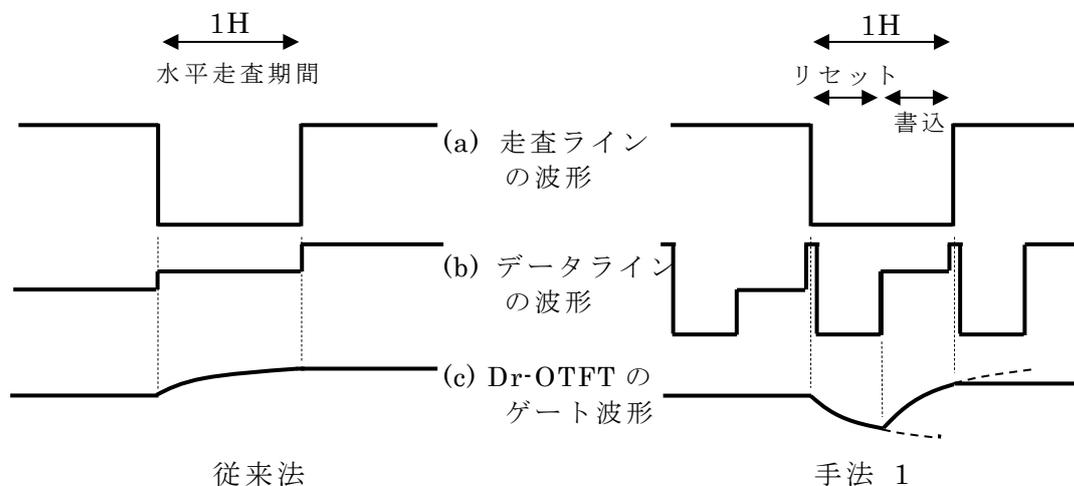
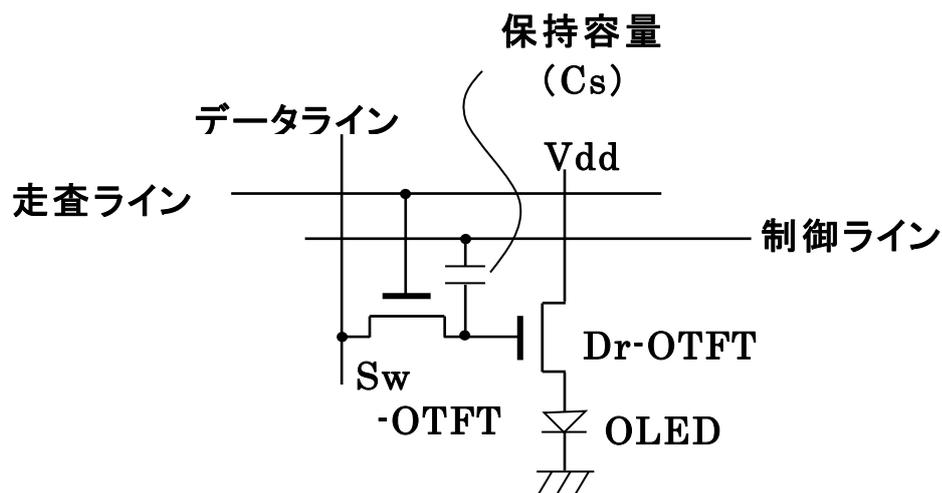
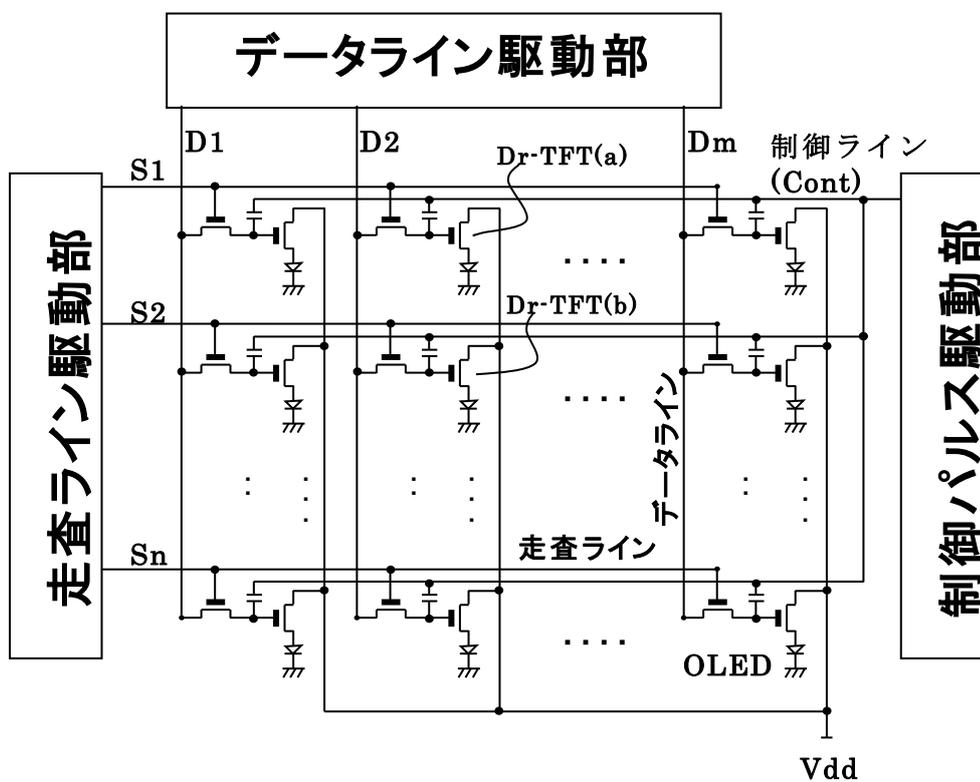


図 4.11 改善方法を実現する駆動方法 I [60]



(a) 画素回路



(a) パネル回路構成

図 4.12 AMOLED ディスプレイの新回路構成 [60]

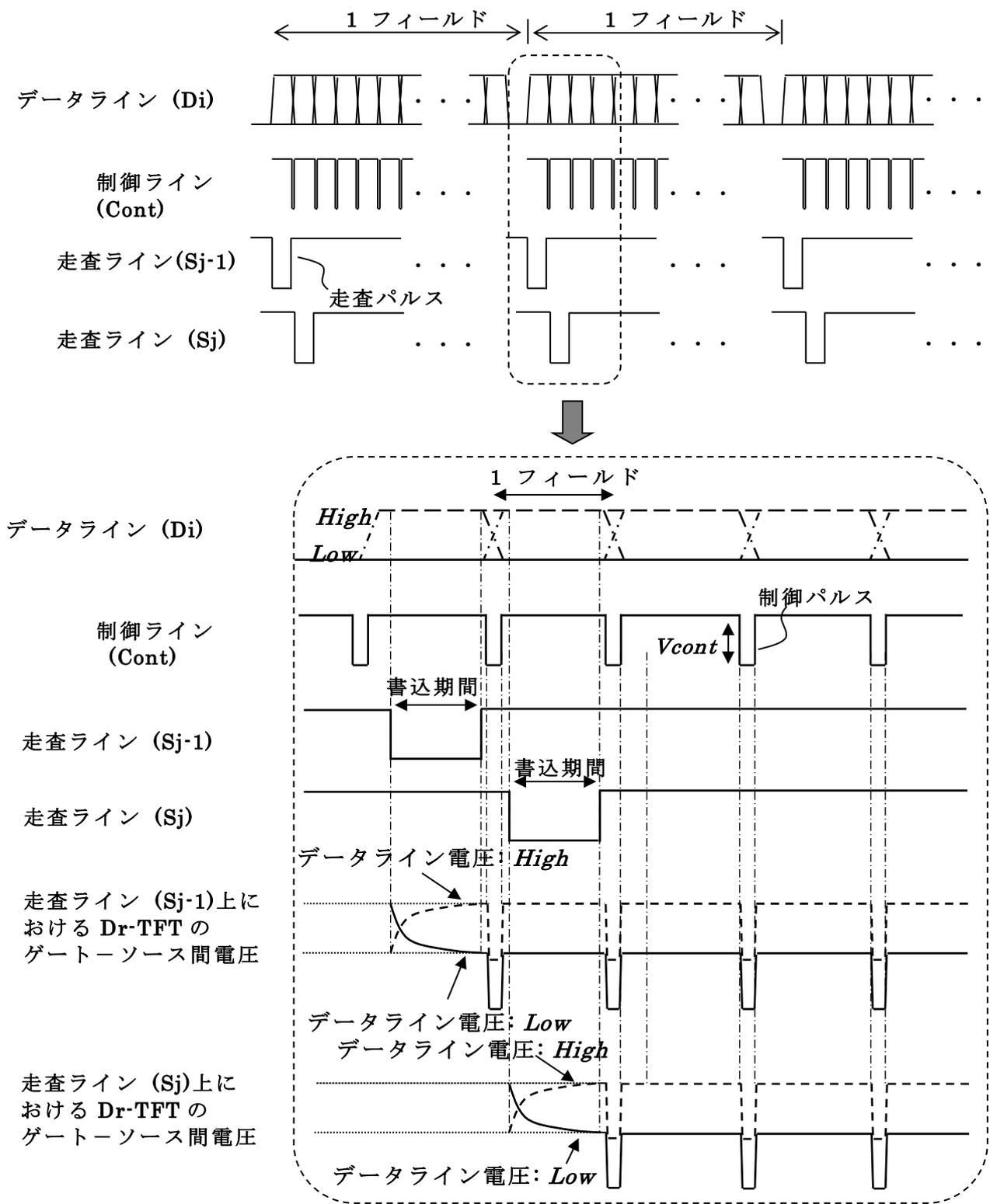


図 4.13 新駆動法における駆動波形 [60]

に蓄積する。Dr-OTFT のゲート電圧には、この期間に所望の電圧が印加されるが、図 4.9 に示すように、Dr-OTFT のヒステリシス特性のために、この時点ではドレイン電流は確定していない。走査パルス後に制御ラインに印加される制御パルスは、保持容量を通して Dr-OTFT のゲート電圧を低下させ、Dr-OTFT を初期状態に設定する。これにより、Dr-OTFT のドレイン電流は入力信号レベルに対して一定の電流値に決定される。次の書込パルスまで複数の制御パルスが印加されるが、制御パルス直後のゲート電圧は一定値となる。ドレイン電流で決まる OLED の輝度は、Dr-OTFT のヒステリシス特性にかかわらず、ディスプレイ全体で保持されることとなる。制御パルスを印加することにより OLED の輝度は若干上昇することとなるが、制御パルスの幅を 1 H に比べて極めて短く設定することにより、制御パルスの印加に伴う影響を低減することができる。

#### 4. 3. 4 有機 EL ディスプレイを用いた改善手法の検証

新駆動方式を用いた OTFT 駆動のフレキシブル AMOLED ディスプレイを試作した。図 4.14 および図 4.15 に、試作バックプレーンの断面図と画素の顕微鏡写真をそれぞれ示す。バックプレーンとは、TFT アレイを形成した基板のことである。基板にはポリエチレンナフタレート (PEN) フィルムを使用し、Sw-OTFT と Dr-OTFT の 2 つの有機 TFT が 1 画素の中に形成される。2 つの有機 TFT と保持容量のゲート絶縁層には、陽極酸化によって形成した五酸化タンタル ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) を使用した [59]。五酸化タンタルの比誘電率は 24 と非常に高く、OTFT の低電圧化とともに、1 フィールド長 (16.6ms) の間、電圧を保持容量において保持されることが出来る。半導体層にはペンタセンを用いた。データラインと Vdd ラインはそれぞれの画素に垂直方向に接続され、制御ラインは水平方向に接続される。表 4.4 には試作したパネルの仕様を示す。

図 4.16 に有機 EL (OLED) を形成前の Dr-OTFT の伝達特性を示す。この図に示すように、Dr-OTFT にはヒステリシス特性を有している。この TFT バックプレーン上に OLED を形成したパネルを用いて、本手法を用いて駆動実験を行った。図 4.17 に実験における駆動波形を示し、図 4.18 には、試作パネルを用いて測定した、表示輝度と印加信号レベルとの関係を示す。破線に従来の駆動法の場合 ( $V_{cont}=0V$ ) の結果を、実線に新駆動法の場合 ( $V_{cont}=50V$ ) の結果を示す。ここで、制御ラインに印加

する制御パルスの幅は、ヒステリシス特性を改善でき、かつ黒レベルの浮きを最小にするパルス幅として設定した。図 4.17 では、制御パルス幅は約  $10\mu\text{s}$  と大きな値であるが、パネル内の配線容量により、画素内の Dr-OTFT のゲートには鈍った波形が印加されていると推測できる。そのため、図 4.18 において、十分低い黒レベルとなっている。

図 4.18 において、従来駆動法における特性にはヒステリシス特性を示しているが、新駆動法ではヒステリシス特性を示していない。このことは、新駆動方法がヒステリシス特性を有する Dr-TFT を用いた OLED ディスプレイに対して有効な手法であるといえる [60]。

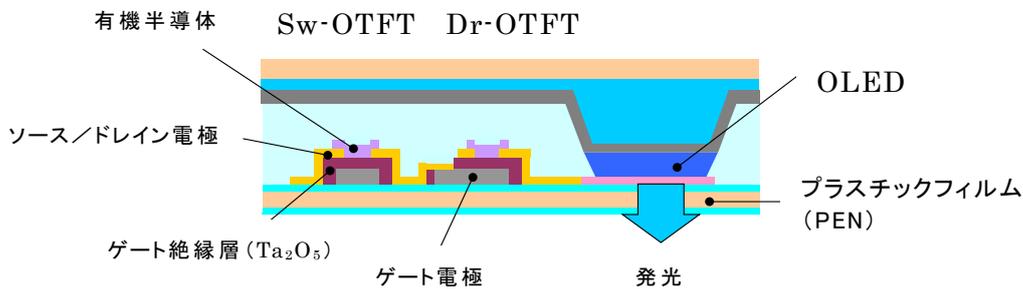


図 4.14 試作した有機 EL ディスプレイの断面構造

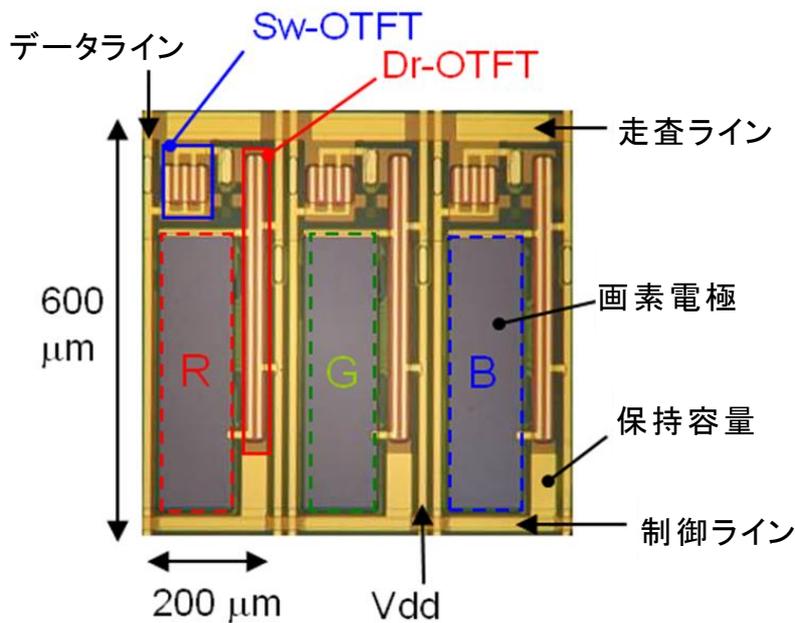


図 4.15 試作した OTFT 背面板の顕微鏡写真 [60]  
Copyright 2011 The Japan Society of Applied Physics

表 4.4 試作 AMOLED ディスプレイの仕様

プラスチックフィルム (厚さ)	PEN (125 $\mu\text{m}$ )
画素ピッチ	600 $\mu\text{m}$
画素回路構成	2 TFT - 1 Capacitor
Sw-OTFT (W/L)	200 $\mu\text{m}$ / 5 $\mu\text{m}$
Dr-OTFT (W/L)	400 $\mu\text{m}$ / 5 $\mu\text{m}$
開口率	30%

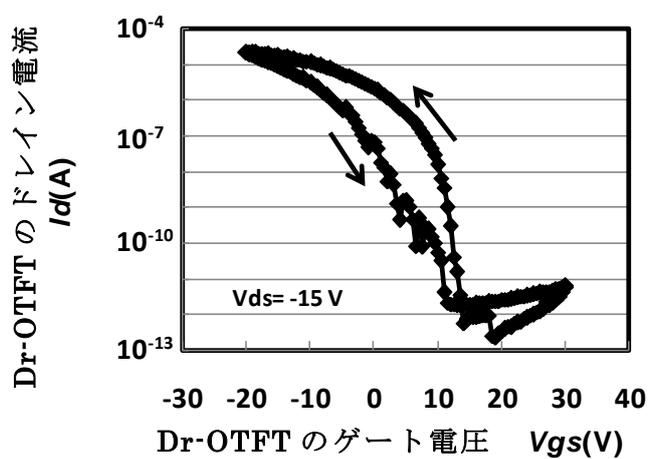


図 4.16 試作パネル内の駆動 TFT の伝達特性 [60]

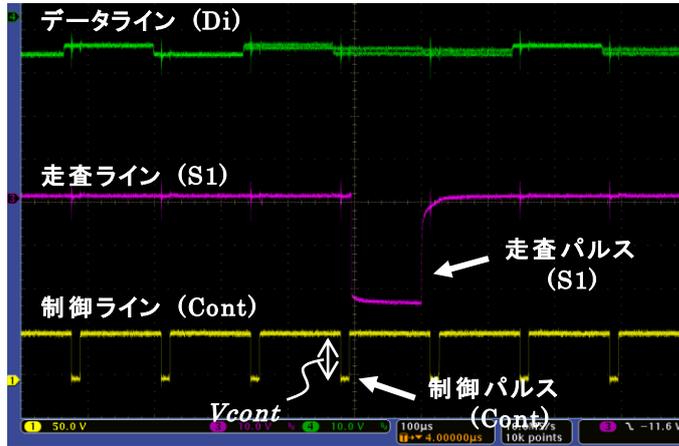


図 4.17 新駆動方法の波形 [60]  
 Copyright 2011 The Japan Society of Applied Physics

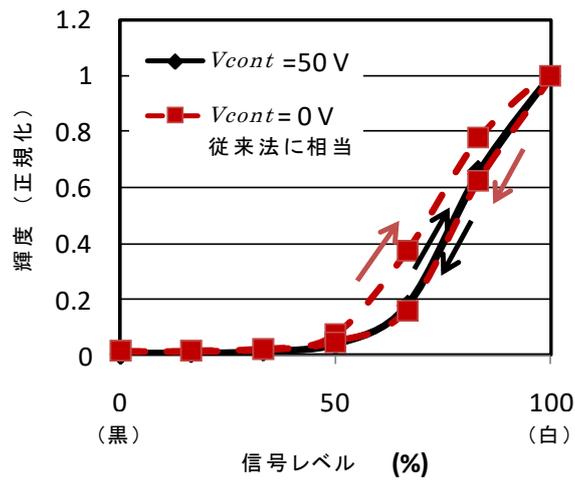


図 4.18 階調表示特性 [60]

#### 4. 4 シート型ディスプレイ作製プロセスの提案

シート型ディスプレイの基板としてプラスチックを用いる場合、その耐熱性の低さ、伸び縮みによる寸法誤差、耐溶剤性等の課題からパネル作製プロセス、材料選択、画素設計に大きな制約が生じる。ガラス基板上に形成したデバイスをプラスチックフィルムへ転写する“転写法”は、この課題を解決する有望な方法と考えられ、これまでも転写技術に基づくフレキシブルディスプレイの作製法が報告されている [61] [62] [63] [64]が、これまでの転写法は、レーザー照射を用いる方法、ガラス基板をフッ化水素 (HF) を用いてエッチング除去する方法、2 回の転写工程を必要とする方法等、複雑なプロセスを必要とするものであった。それに対し、我々は従来とは異なる、よりシンプルな転写技術を用いて、ガラス基板上に作製した有機 TFT アレイをプラスチックフィルムに写し取り、フレキシブル有機 TFT アレイを試作する手法を提案する。

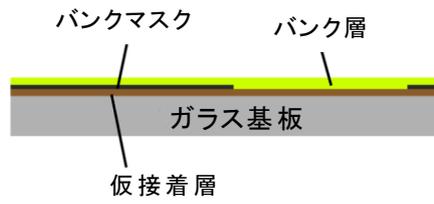
##### 4. 4. 1 提案する転写法

OLED ディスプレイは、前述したように、図 4.2 のような断面構造を有している。それぞれの画素には、駆動時に画素を選択する Sw-TFT と有機 EL を発光させる Dr-TFT の 2 つの薄膜トランジスタが形成されている。薄く、軽く、柔軟なディスプレイ実現のためには、基板にプラスチックフィルムを用いる。従来の方法では、2 つの TFT および OLED をプラスチックフィルム上に直接形成していたが、この方法だと、耐熱性、耐薬品性、試作プロセス中の温度工程による形状歪が問題となる。そこで、これらの課題を解決する方法として、次節に述べるシンプルな転写法を提案する。

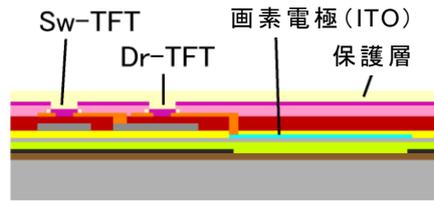
今回提案する転写法の概要を図 4.19 に示す。

- 1) ベース基板としてガラス基板を使用する。この上に、仮接着層を形成する。その後、転写後に発光部を開口させるためのバンク用のマスクを形成し、バンク層を形成する。
- 2) 透明電極 (ITO) と、2 つの TFT (Sw-TFT と Dr-TFT) を通常の写真リソグラフィ法を用いて形成する。次に、保護層となるポリバラキシリレンと二酸化ケイ素 ( $\text{SiO}_2$ ) を形成する。
- 3) 接着層を介して、プラスチック基板を貼り付ける。

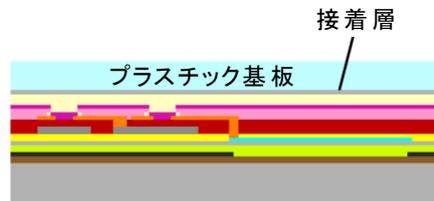
1. 仮接着層、バンクマスク、バンク層の形成



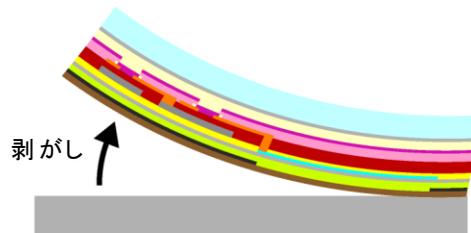
2. TFT、画素電極、保護層の形成



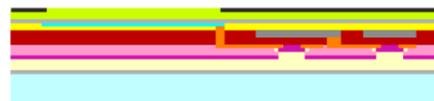
3. プラスチック基板の貼り付け



4. 転写



5. 仮接着層の除去



6. バンク形成

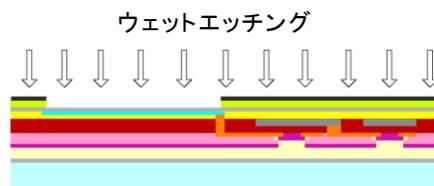


図 4.19 転写法の作製プロセス [70]

- 4) プラスチック基板を貼り付けた TFT 背面板を、仮接着層部分で剥がし取る。
- 5) 仮接着層をウェットエッチングで取り除く。
- 6) バンク層をバンク用のマスクを通してウェットエッチングでパターンニングする。

この部分は、後で ITO を形成して有機 EL 層を形成する部分となる。

上記のように、TFT アレイの作製に際して、ガラス基板上で熱工程と溶液を用いたプロセスを経た後、TFT アレイをプラスチックフィルムに転写する。そのため、提案する転写法は、以下の 3 つの利点を有する。

- i) 200°C を超える作製プロセス温度に対する耐性
- ii) 変形の少ないガラス基板上での高精度なパターンニング
- iii) 高い耐溶剤性

そのため、プラスチックに転写された TFT アレイは少ない歪で形成されることになる。さらに、提案する方法は、レーザー等を使用することなく、通常の写真リソグラフィを用いた作製プロセスを用いることができる。そのため、本手法では、TFT ハックプレーンに従来と変わらない材料を用いることができるとともに、高価なフィルムを使用する必要もないという利点もある。

#### 4. 4. 2 TFT バックプレーンの試作

まず、本手法の有効性を検証するために、ガラス上に形成した仮接着層の上に、有機半導体、および酸化物半導体を活性層にそれぞれ用いた 2 種類の TFT アレイを形成してプラスチックフィルム上に転写した。キャリア基板としてのガラス板の厚さは 0.7~1.1 mm であり、プラスチックフィルムにはポリエチレンナフタレート (PEN) 基板を用いた。

##### A. 有機 TFT アレイ

まず、以前直接形成法で試作した対角 5.8 インチのワイド QQVGA 画素用のフレキシブル有機 TFT バックプレーン [65] [66]と同様のパターンをベース基板上に形成して、転写法によりフレキシブルな TFT バックプレーンを試作した。ゲート電極、ソース/ドレイン電極、有機半導体層には、それぞれアルミニウム (Al)、金 (Au)、ペンタセンを用いた。図 4.20 に試作した有機 TFT バックプレーンの断面図を示す。構造は、以前直接形成により作製したボトムゲート構造のバックプレーン [65]と同じ構造である。直接形成時の最大プロセス温度は 130°C だったが、今回作製時の最大プロセス温度は直接形成時の温度よりも高い 230°C である。

表 4.5 に試作した有機 TFT バックプレーンの仕様を示す。試作有機 TFT アレイは 213(×3)×120 画素、画素ピッチは 0.6 mm である。Sw-TFT のチャンネル幅とチャンネル長はそれぞれ 190 μm、5 μm であり、Dr-TFT のチャンネル幅とチャンネル長はそれぞれ 310 μm、5 μm である。

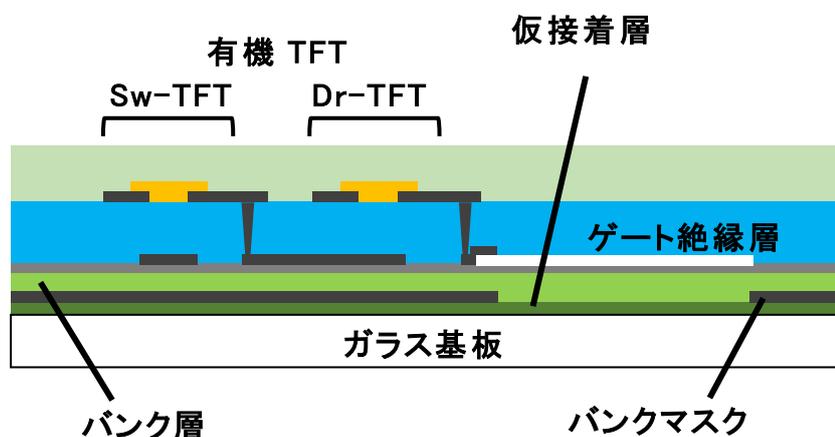


図 4.20 仮接着層上の有機 TFT バックプレーンの断面図

表 4.5 フレキシブル有機 TFT バックプレーンの仕様

画面サイズ	対角 5.8 インチ
画素数	213 (RGB) × 120
画素ピッチ	600 $\mu\text{m}$
Sw-OTFT のサイズ(W/L)	190 $\mu\text{m}$ / 5 $\mu\text{m}$
Dr-OTFT のサイズ(W/L)	310 $\mu\text{m}$ / 5 $\mu\text{m}$
開口率	30%

図 4.21 にプラスチックフィルム上に転写した有機 TFT バックプレーンの写真を示す。ガラス基板上で作製された有機 TFT と電極は、エリア全体において非常に良い精度でプラスチックフィルムへ転写形成されている。

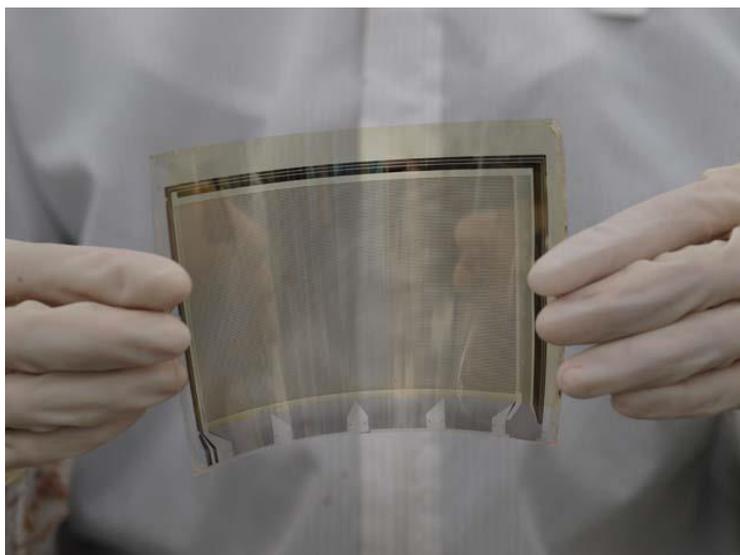


図 4.21 プラスチックフィルムへ転写した有機 TFT バックプレーンの写真 [70]  
Copyright © 2012 IEEE

## B. 酸化物 TFT アレイ

酸化物 TFT バックプレーンは有機 TFT よりも電荷移動度が高いため、OLED ディスプレイ用バックプレーンとして期待されている [6]。酸化物 TFT は 200°C を超える温度でアニールすることにより、良好な特性を得ることができる。転写法の利点の一つに、そのような高い温度においても高い耐性を有することがある。そのため、提案する転写法は、プラスチックフィルム上への酸化物 TFT 形成に適している。そこで、仮接着層上への酸化物 TFT の形成も試みた。

ゲート電極とソース／ドレイン電極には金 (Au) を、酸化物半導体として非晶質 InGaZnO<sub>4</sub> (インジウム－ガリウム－亜鉛酸化物：IGZO) を用いる。図 4.22 に試作した IGZO TFT バックプレーンの断面図を示す [67]。有機ゲート絶縁膜を用いたトップゲート構造とした。

表 4.6 に試作した対角 5 インチの QVGA 酸化物 TFT バックプレーンの仕様を示す。酸化物 TFT アレイは 320(×3) × 240 画素、画素ピッチは 0.318 mm である。Sw-TFT のチャンネル幅とチャンネル長はそれぞれ 76 μm、7 μm、Dr-TFT のチャンネル幅とチャンネル長はそれぞれ 255 μm、7 μm である。

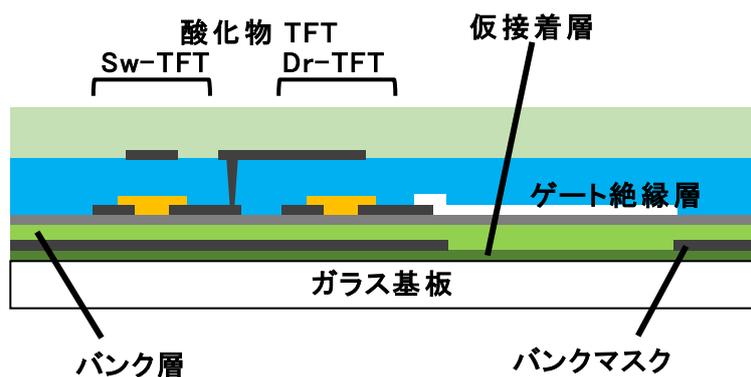


図 4.22 仮接着層上の酸化物 TFT バックプレーンの断面図

表 4.6 フレキシブル IGZO-TFT バックプレーンの仕様

画面サイズ	対角 5 インチ
画素数	320 (RGB) × 240
画素ピッチ	318 μm
Sw-OTFT のサイズ (W/L)	76 μm / 7 μm
Dr-OTFT のサイズ (W/L)	255 μm / 7 μm
開口率	20%

### 4. 4. 3 試作バックプレーンの評価

#### A. 有機 TFT アレイ

図 4.23 に、有機 TFT バックプレーンの転写前と転写後の顕微鏡写真を示す。図 4.23(a)に示すように、転写前の電気回路は、ガラス上で形成されたため、精度良く形成されている。提案する転写法と従来法による形成精度を評価するために、両手法による有機 TFT アレイの歪を測定した。支持基板上で形成する直接形成法では歪率は 30ppm であったが、転写法により形成した基板では、高温のプロセス温度を経たのにも関わらず、20 ppm 以下であった。図 4.23(b)に、転写後の有機 TFT バックプレーン上に形成された画素の顕微鏡写真を示す。転写を行ったため、図 4.23(a)のパターンを裏面から見た写真となる。同図に示すように、剥がし取った TFT フィルムの両面から見ても、すべての電気回路は精度良く形成されていることが確認できる。

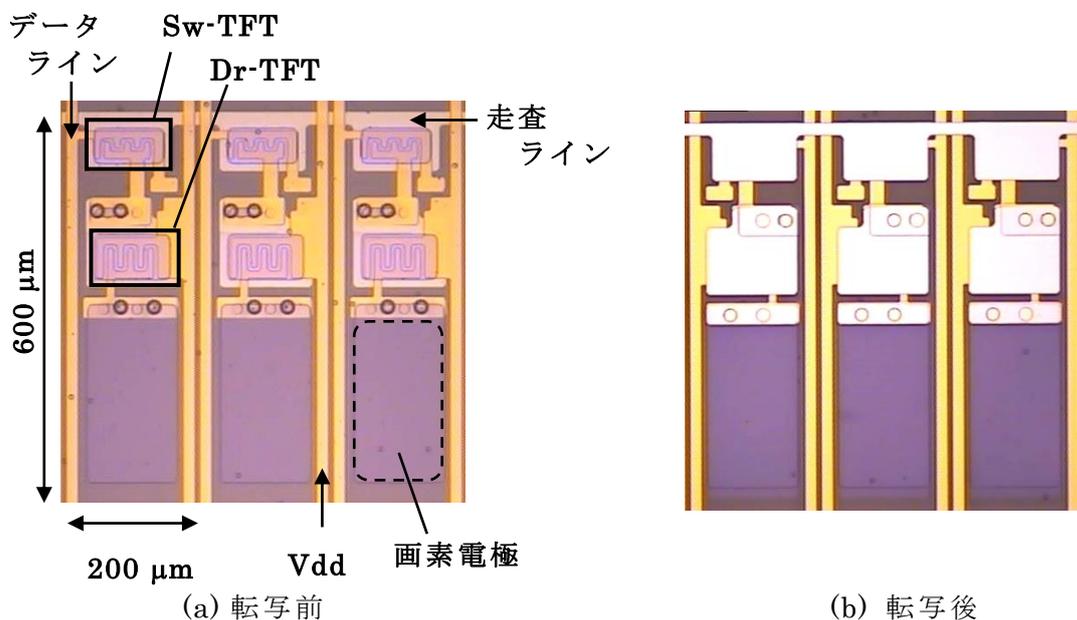


図 4.23 有機 TFT バックプレーン上の画素の顕微鏡写真 [70]  
Copyright © 2012 IEEE

#### B. 電気特性

図 4.24 に転写前後の有機 TFT の伝達特性を示す。転写前には、20V のゲート電圧振幅に対してドレイン電流のオン／オフ比  $10^6$  が得られている。これは、仮接着層に形成した有機 TFT が十分なトランジスタ特性を示すことを意味している。

転写前後の特性を比較すると、転写後の特性としては電荷移動度  $0.05\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 、立

ち上がり電圧 8V、ドレイン電流のオン／オフ比は  $10^5$  が得られている。転写後のオン電流は転写前の電流に比べて若干減少しているが、転写による大きな特性劣化はない [68]。図 4.25 は転写後の Dr-TFT の出力特性を示す。同グラフから、試作 TFT は良好な飽和特性を示していることがわかる。

図 4.26 に、直性形成法と提案法の転写法による TFT の伝達特性を示す。提案法では、直接法に比べてヒステリシス特性や閾値シフトが改善されている。このことから、直接法により作製された有機 TFT に比べて、高温プロセスにより形成した転写法を用いた TFT は、電気特性が改善されることがわかる [69]。

また、図 4.27 に IGZO 半導体を用いた試作 TFT の転写前後の電気特性を示す。若干ヒステリシス特性が認められるが、 $100\mu\text{A}$  を超える高いオン電流が得られていることがわかる。このオン電流の値は、前記した有機 TFT のオン電流の 100 倍である。また、転写前後の特性を比較すると、IGZO TFT の特性は、図 4.24 に示す有機 TFT の場合と同様に、転写後のオン電流は転写前に比べて若干減少していることがわかる [70]。

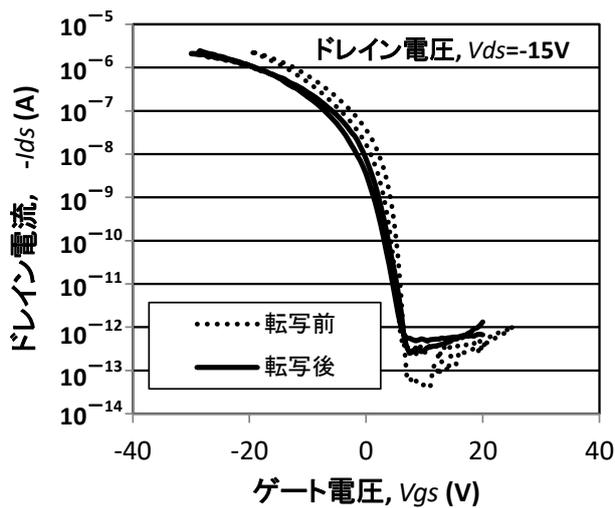


図 4.24 試作した有機 TFT の転写前後の伝達特性 [70]

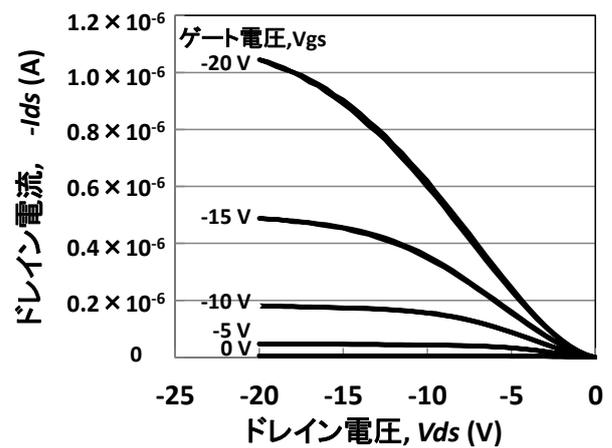


図 4.25 試作した有機 TFT の転写後の出力特性 [70]

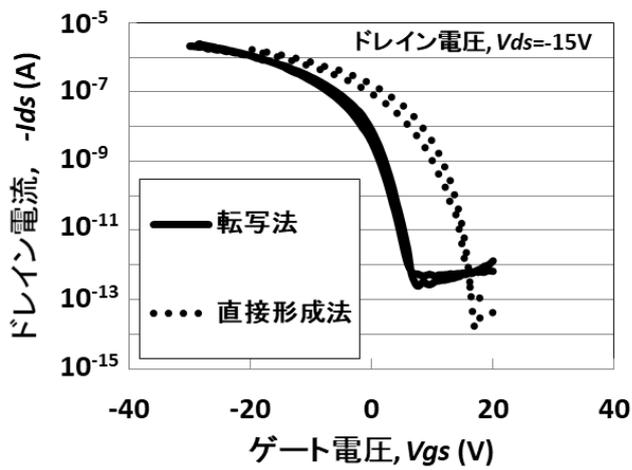


図 4.26 転写法と直接形成法による有機 TFT の伝達特性の比較 [70]

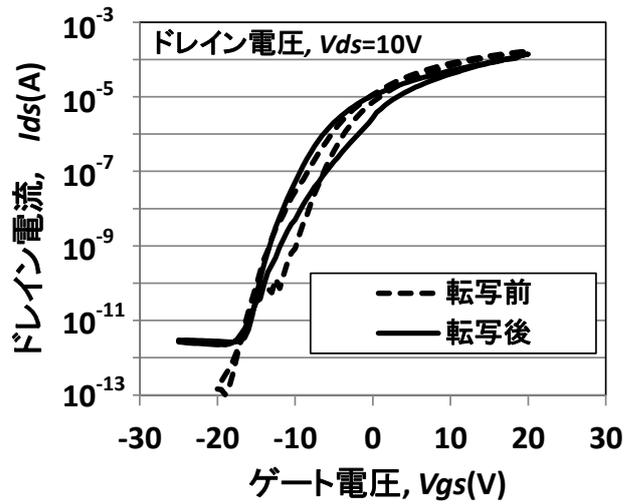


図 4.27 転写前後における IGZO-TFT の伝達特性の比較 [70]

有機 TFT バックプレーンと酸化物 TFT バックプレーンの転写法による作製実験では、転写プロセスを経ることにより若干の電流減少が認められたが、TFT アレイ作製プロセスに 200°C 以上のプロセス温度を適用することが可能となったため、直接フィルム基板上に形成した TFT に比べて大幅に特性が向上した。このことから、提案する転写法はシート型ディスプレイの作製プロセスに有効な手法であると考えられる。

## 4. 5 超大画面シート型ディスプレイ省電力化のための階調制御方式

ハイビジョンの 16 倍の画素数を持ち、臨場感・実在感を提供する 8 K スーパーハイビジョン(8 K)映像は、超大画面ディスプレイで視聴することにより、高臨場感を得ることができる。一方、ハイダイナミックレンジ (HDR) 映像システムでは、1 枚の映像の中で、高輝度部から低輝度部までの広い輝度レベルを表示可能なシステムである。この HDR 方式を高精細 8 K 映像と組み合わせることにより、8 K システムの魅力を引き出すことが可能となる。HDR 映像は、有機 EL ディスプレイやバックライトディミング方式の液晶ディスプレイで表示可能である。しかし、明るい映像の表示時には消費電力が大きくなるため、高輝度映像が表示される際には輝度を低下させる必要がある。特に超大画面の 8 K ディスプレイでは、明るいシーンにおいて、ピーク輝度は劇的に低下することになる。その結果、低輝度部における黒つぶれや高輝度部における白とびが生じる。そこで、今回、これを改善する新しい階調制御方式を検討した。

本節では、家庭用超大画面ディスプレイの課題とその課題を改善する階調制御方式について述べる。

### 4. 5. 1 大画面有機 EL ディスプレイの電力試算

OLED ディスプレイやローカルディミングバックライト方式の液晶ディスプレイは、黒表示時には発光を生じさせないため、低い信号レベルを有する映像をきれいに表現することができる。しかし、これらのディスプレイは明るい映像を表示した際には大きな電力を消費する。特に 100 インチクラスの超大画面 8 K ディスプレイでは、平均輝度レベル(APL)が高い映像を表示すると非常に大きな電力を消費する。そこで、家庭用として考えた場合、明るい映像を表示する際には、通常電力制限が行なわれる。図 4.28 には OLED テレビにおける電力と APL との関係を示す。また、シミュレーションパラメータを表 4.7 に示す。このシミュレーションによると、画面全面白表示の際には、約 3 kW の電力が必要となる。家庭用ディスプレイとしては 3 kW は大きすぎるため、APL が高い映像を表示する際には輝度を低減させる必要がある。

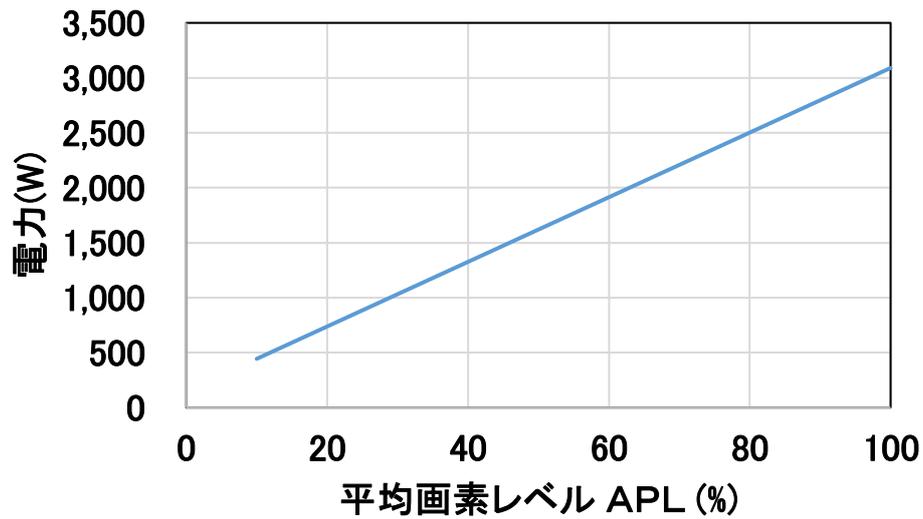


図 4.28 OLED ディスプレイにおける APL と消費電力との関係

表 4.7 シミュレーションパラメーター

画面サイズ	対角100インチ	
画素数	7,680 × 4,320	
フレーム周波数	120 Hz	
行電極	駆動電圧	15 V
	1電極当たりの容量	400 pF
列電極	駆動電圧	10 V
	1電極当たりの容量	100 pF
偏光フィルタの透過率	50%	
OLEDの発光効率(RGB 平均)	15 cd/A	
電源電圧 Vdd	10 V	
最大輝度	800 cd/m <sup>2</sup>	
その他 (チューナー等)	30 W	

図 4.29 に、100 インチディスプレイにおいて、入力信号の平均画素レベル（APL）と、電力制限した際に表示可能な最大輝度およびその際のディスプレイ上の平均画素レベル[APL(max)]との関係を示す。パネル最大輝度は  $800\text{cd/m}^2$  で消費電力を  $500\text{W}$  で抑えた場合の結果である。グラフでは、明るい画面では劇的に輝度を低減する必要があることを示している。この場合には、消費電力を  $500\text{W}$  に抑えるために APL(max) を約 12%に抑える必要がある。

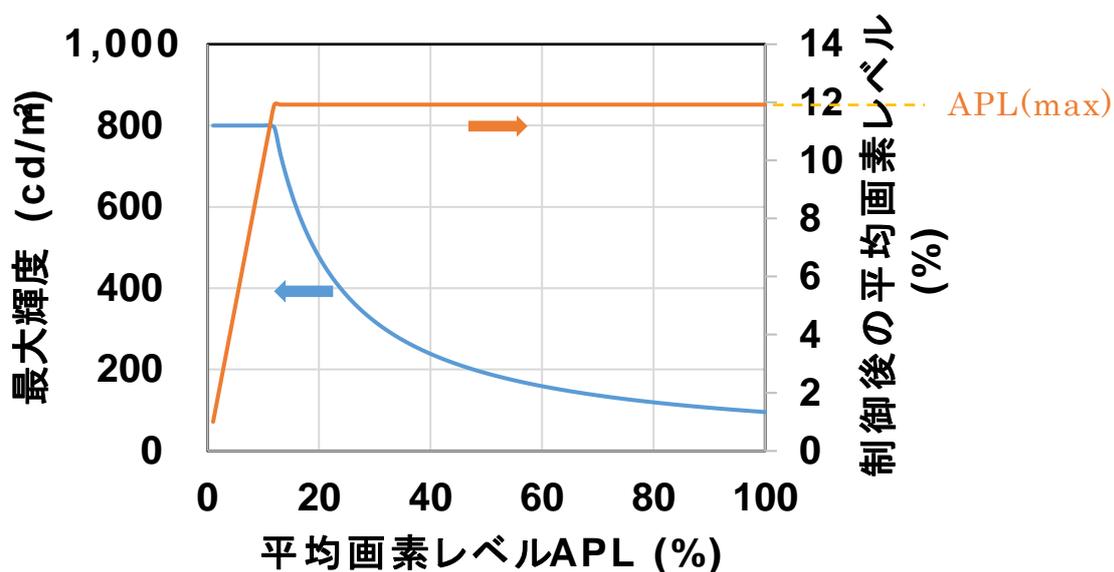


図 4.29 APL に対する輝度制御の例  
最大消費電力  $500\text{W}$  とした際の APL と最大輝度との関係

HDR 映像技術は、従来のテレビでは表示が難しい、高い輝度レベルと広い輝度レンジを表現することが可能となる利点がある。特にハイブリッドログガンマ（HLG）方式の HDR は標準ダイナミックレンジ（SDR）とコンパチビリティのある映像システムである [71] [72] [73]。

図 4.30 にハイブリッド・ログ・ガンマ方式 HDR の信号特性を示す。OETF(Opto-Electronic Transfer Function)は、カメラで捉えた光をビデオ信号に変換する伝達関数で、EOTF(Electro-Optical Transfer Function)は、ビデオ信号をディスプレイの光に変換する伝達関数である。HLG 方式の OETF は、映像信号レベル 0.5（相対輝

度=1/12) まではハイビジョンの OETF と同様の  $\gamma$  関数を持ち、映像信号レベル 0.5 以上では、対数関数を持つことでハイライトを圧縮する特性を持つ。

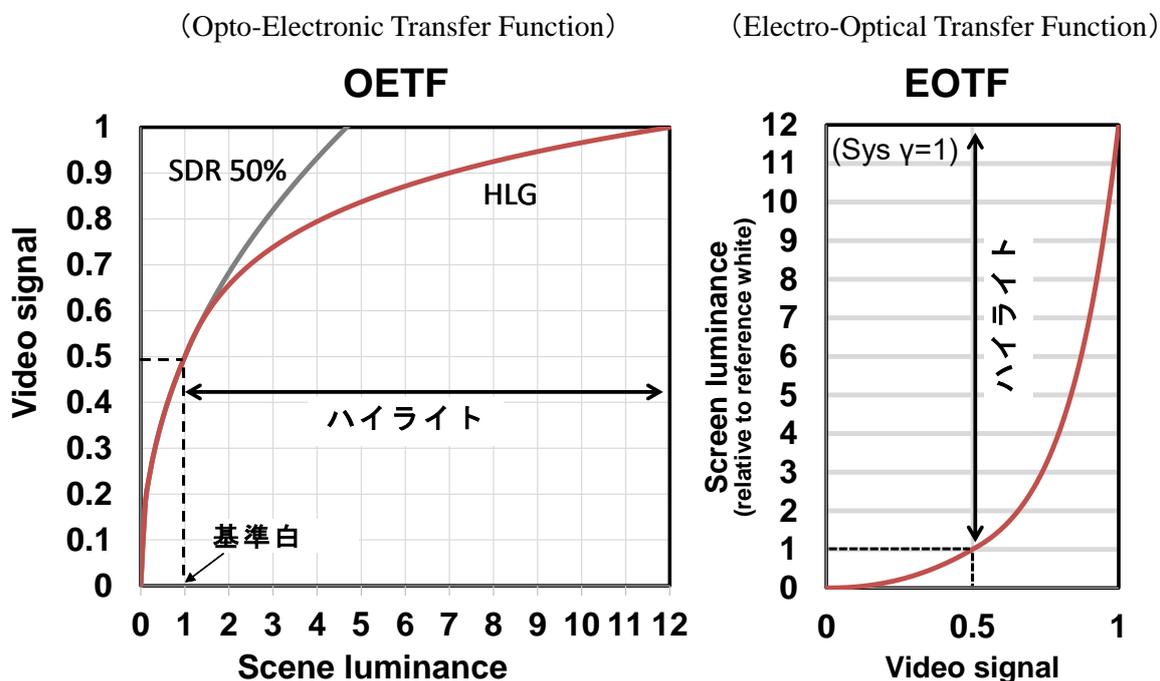


図 4.30 ハイブリッド・ログ・ガンマ方式 HDR の信号特性

HDR 映像を効果的に表現するためには高輝度ディスプレイを使用することが望ましい。しかし、図 4.29 に示すように十分な輝度が得られない状況においても、信号処理によって HDR 映像の画質を改善できるのではないかと考えた。

## 4. 5. 2 提案手法による階調制御方式

### 4. 5. 2. 1 提案手法

図 4.29 に示すような電力制限を行う階調制御方法としては、クリップ方式とゲインコントロール方式という 2 つのタイプに分類できる [74] [75] [76]。

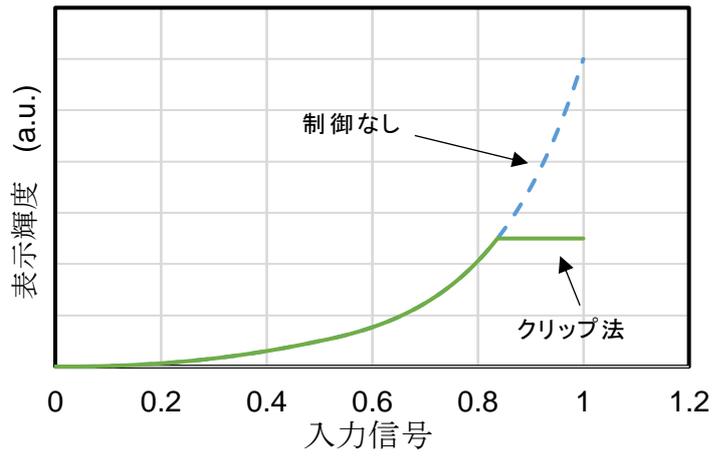
クリップ方式は、図 4.31(a)に示すように、入力画像の信号レベルに応じて画像の高輝度レベル部分をクリップする方式である。この方式は低輝度および中輝度レベル部分の階調は正しく表現可能であるが、高輝度レベル部分の階調情報は失われてしまう。ゲインコントロール方式は、図 4.31(b)に示すように、入力画像に 1 より小さい一定の係数を乗じることにより平均輝度レベルを抑制する方式である。この方式はすべての輝度レベルに対して階調を正しく表現することが可能であるが、低輝度レベルでは黒つぶれが生じてしまう恐れがある。

そこで、これらの現象を改善する新しい階調制御方式を提案する。図 4.31(c)に新階調制御方式の概要を示す。本方式では、低輝度レベルと高輝度レベルとを別々に制御することにより表示輝度を制御する。入力信号において、閾値レベルより低い信号を持つ画素（低輝度領域）に対しては信号レベルを変化させず、閾値レベルより高い信号をもつ画素（高輝度領域）に対しては信号レベルを制御する。閾値は、HLG 方式の  $\gamma$  関数において、ハイビジョンの OETF と同様の  $\gamma$  特性を持つ領域と対数関数の特性を持つ領域との接合部である映像信号レベル 50%とした。

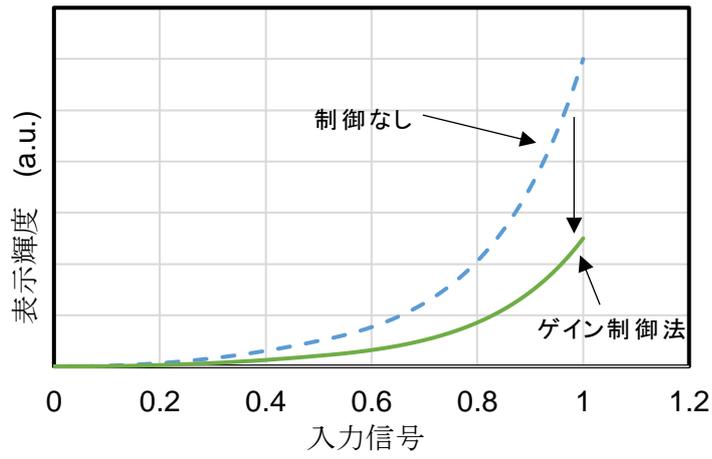
具体的な制御方法を以下に述べる。計算には、低輝度領域と高輝度領域の画素に対する信号レベルの和を用いる。図 4.32 に、低輝度領域と高輝度領域における信号レベルの和の計算方法を示す。同図では、ディスプレイ内の全サブピクセル数を  $N$  としている。サブピクセルとは、1 画素を構成する RGB 画素のことであり、発光を独立に制御できる最小の単位である。まず、全サブピクセルに対する入力信号を逆ガンマ変換したリニア信号レベルに変換し、これを  $s(i)$  ( $1 \leq i \leq N$ ) とする。補正前の元信号に対しての信号レベルの総和  $T_0$  は

$$T_0 = \sum s(i) \quad (\text{式 4.1})$$

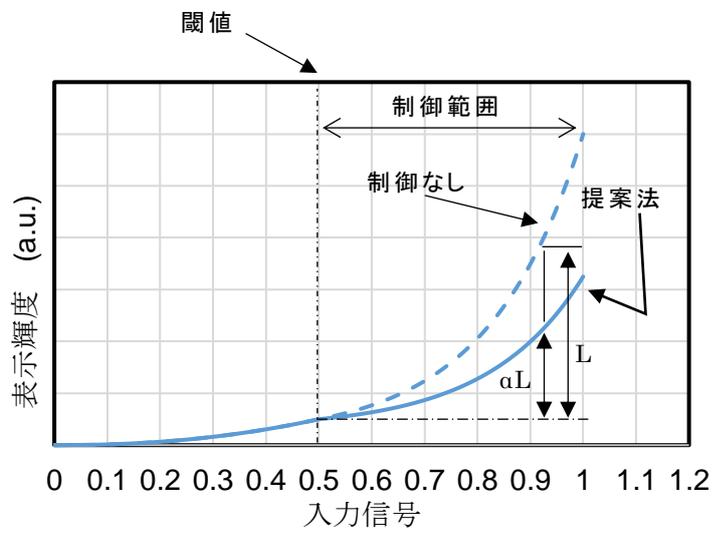
となる。次に、閾値レベル(0.5)を逆ガンマ変換したリニア信号レベル  $Sb$  を基準に、低輝度領域と高輝度領域の信号に分離する。さらに、高輝度領域の信号は、 $Sb$  と残りの信号成分とに分離する。この 3 つに分離した信号（低輝度領域の信号、高輝度領域の画素の  $Sb$  レベルの信号、高輝度領域の画素の  $Sb$  レベル以外の信号）の総和をそれ



(a) クリップ法

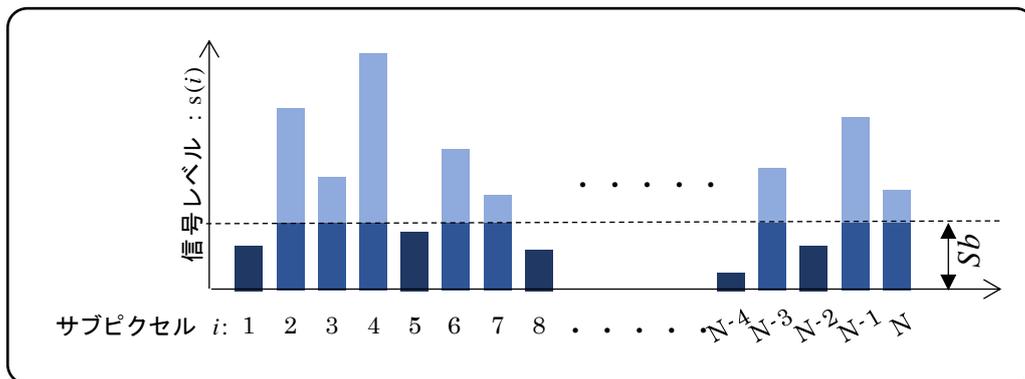


(b) ゲイン制御法



(c) 提案法

図 4.31 階調制御方法 [77]



高輝度領域と低輝度領域に分割  
(閾値:  $s(i)=S_b$ )

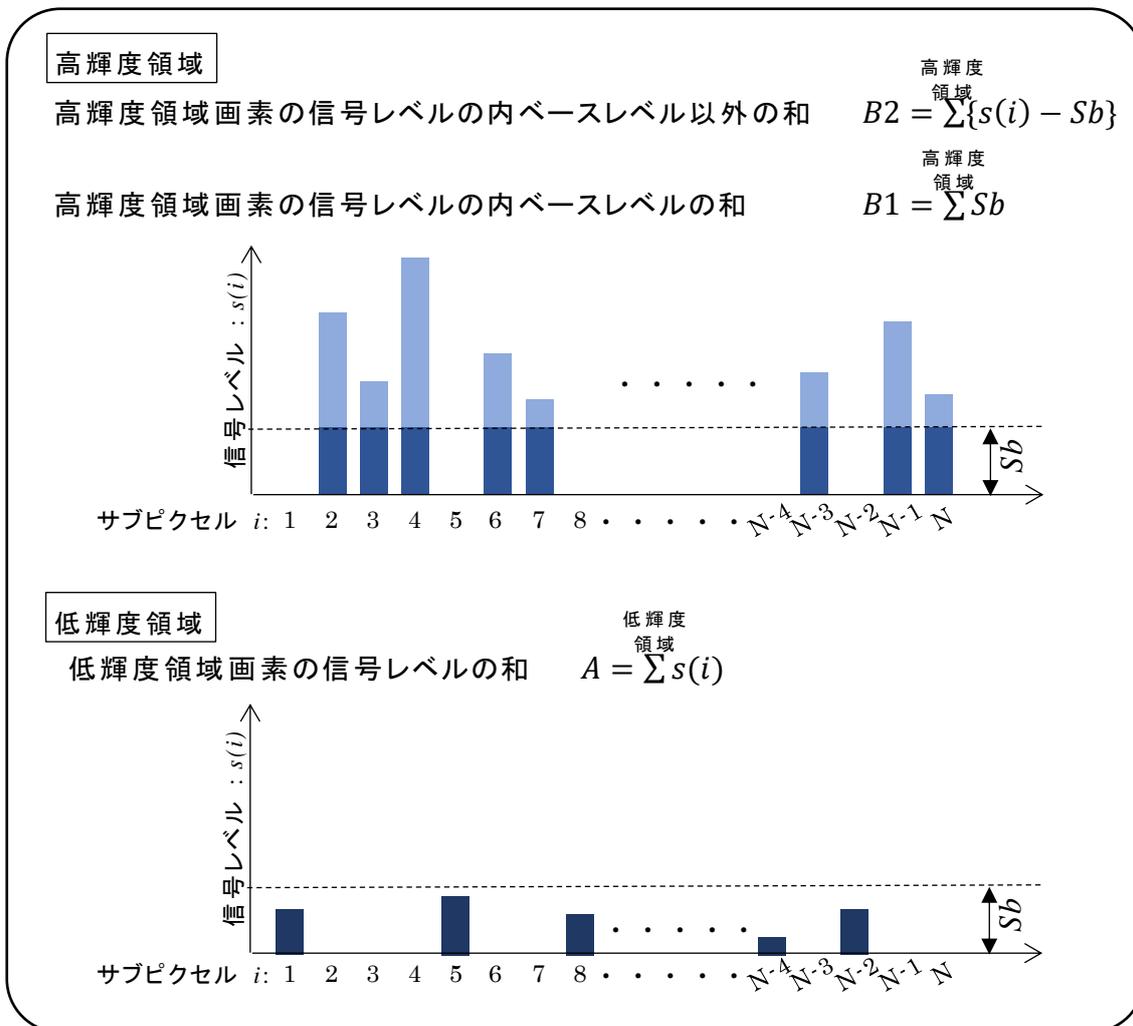


図 4.32 低輝度領域と高輝度領域における信号レベルの和の計算方法

それ  $A, B1, B2$  とする。補正前の元信号に対しての信号レベルの総和  $T_0$  は、

$$T_0 = A + B1 + B2 \quad (\text{式 4.2})$$

とも表わすことができる。

高い信号レベルの映像が入力され、電力を抑えるために平均画素レベルを  $APL(\text{max})$  に制限する必要がある場合 ( $T_0 > APL(\text{max}) \times N$ ) には、ディスプレイに表示する全画素の信号レベルの総和  $\sum s'(i)$  を  $APL(\text{max}) \times N$  に抑えれば良い。ここで、 $s'(i)$  は各サブピクセルにおける制御後の信号レベルである。

$$M = APL(\text{max}) \times N \quad (\text{式 4.3})$$

と置き、高輝度領域におけるゲインを  $\alpha$  とすると、

$$M = A + B1 + \alpha \times B2 \quad (\text{式 4.4})$$

を満たす  $\alpha$  により高輝度領域の信号を制御すればよい。よって、

$$\alpha = \begin{cases} \frac{M - A - B1}{B2} & (A + B1 + B2 > APL(\text{max}) \times N) \\ 1 & (A + B1 + B2 \leq APL(\text{max}) \times N) \end{cases} \quad (\text{式 4.5})$$

として  $\alpha$  が求まる。この  $\alpha$  を用いて、制御後の信号レベル  $s'(i)$  を以下のように定めることにより、ディスプレイに表示する全画素の信号レベルの総和  $\sum s'(i)$  を  $APL(\text{max}) \times N$  に抑えることができる。

$$s'(i) = \begin{cases} Sb + \alpha \times \{s(i) - Sb\} & (\text{高輝度領域}) \\ s(i) & (\text{低輝度領域}) \end{cases} \quad (\text{式 4.6})$$

次に、上記の制御方法を用いて、ピーク輝度の低いディスプレイに対して HLG 方式の HDR 映像を表示する場合の制御方法について述べる。HDR 映像は、低い輝度部分から高い輝度部分までの高いダイナミックレンジを持つ映像である。ピーク輝度の高いディスプレイで表示する場合には、暗い映像が表示されても低輝度領域は適切に表示可能であるが、ピーク輝度が低いディスプレイで表示した場合には、低輝度領域は黒つぶれが発生する可能性がある。そこで、低輝度領域の信号レベルを予め若干増加させることにより、ピーク輝度の低いディスプレイに対して HLG 方式の HDR 映

像を表示する制御方法を提案する。図 4.33 に、ピーク輝度の低いディスプレイに対する制御方法の概要を示す。

まず初期設定として、信号レベル 0.5 が入力された時のディスプレイの輝度が、そのディスプレイの最大輝度の 10%から 100cd/m<sup>2</sup>の間となるようにベースゲインを設定する。この値は、低輝度領域の黒つぶれを抑制し、かつ黒浮きを生じないような値として、シミュレーション画像より決定した。この後、信号レベルが最大の時に、使用するディスプレイの最大輝度となり、かつ、上述した入力信号レベル 0.5 の時の輝度と接続するように、高輝度領域の特性を補正することにより輝度対入力信号レベルのカーブを設定する。具体的には、図 4.33 に示すように、設定したベースゲインにおいて低輝度領域の輝度から想定される入力信号レベル 1 の時の本来の輝度と、実際のディスプレイの最大輝度から、高輝度領域でのゲイン  $\alpha_0$  を設定することにより行う。以上が初期設定である。

動作モードでは、基本的には前述した電力低減のための階調制御アルゴリズムと同様の制御を行う。異なる点は、初期設定を行ったことから、(式 4.2) が

$$T_0' = A + B1 + \alpha_0 \times B2 \quad (\text{式 4.7})$$

となる。そのため、高い信号レベルの映像が入力され、電力を抑えるために平均画素レベルを APL(max)に制限する必要がある場合 ( $T_0' > \text{APL}(\text{max}) \times N$ ) に、(式 4.5) によって高輝度域のゲインを算出してやれば良い。そのため、

$$\alpha = \begin{cases} \frac{M - A - B1}{B2} & (A + B1 + \alpha_0 \times B2 > \text{APL}(\text{max}) \times N) \\ \alpha_0 & (A + B1 + \alpha_0 \times B2 \leq \text{APL}(\text{max}) \times N) \end{cases} \quad (\text{式 4.8})$$

として  $\alpha$  が求まる。この  $\alpha$  を用いて、制御後の信号レベル  $s'(i)$  を以下のように定めることにより、ディスプレイに表示する全画素の信号レベルの総和  $\sum s'(i)$  を  $\text{APL}(\text{max}) \times N$  に抑えることができる。

$$s'(i) = \begin{cases} Sb + \alpha \times \{s(i) - Sb\} & (\text{高輝度領域}) \\ s(i) & (\text{低輝度領域}) \end{cases} \quad (\text{式 4.9})$$

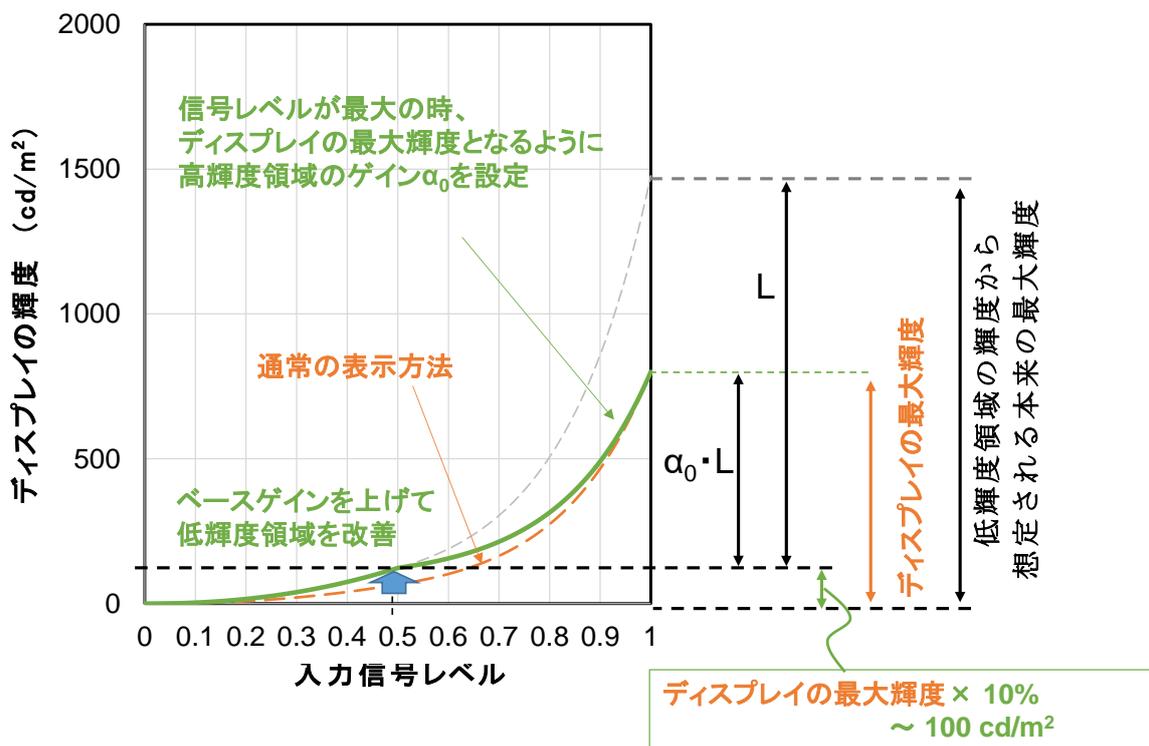


図 4.33 ピーク輝度の低いディスプレイに対する制御方法の概要

#### 4.5.2.2 シミュレーション評価

図 4.34 に HLG-HDR 映像を入力とした際の、クリップ法、ゲイン制御法、新階調制御法のシミュレーション結果を示す。シミュレーションの条件は図 4.29 の場合と同様である。観客席のような高輝度部分ではクリップ法で白とびが認められ、日陰のグラウンドのような低輝度領域ではゲイン制御法で黒つぶれが認められる。一方、新階調制御法のシミュレーションでは、白とびや黒つぶれの現象は認められない。しかし、新階調制御法のシミュレーション画像では、高輝度領域において、若干色が変化している部分が存在している。

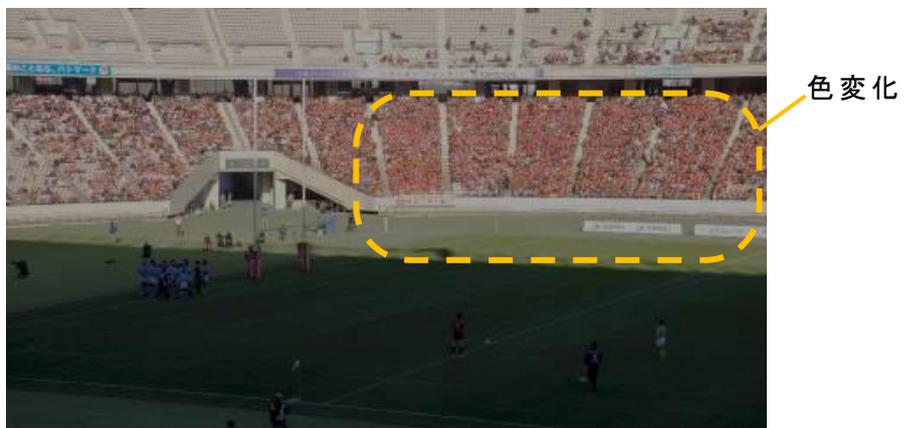


図 4.34 階調制御方式のシミュレーション結果 [77]

### 4. 5. 3 提案手法の改善

#### 4. 5. 3. 1 HSV 色空間を用いた改善手法

前節で述べた階調制御法は、RGB 色空間で階調制御を行ったが、この方法では RGB の各色単位でレベルを制御するため、色バランスが崩れやすい。そこで、提案した階調制御法に対して色の変化を改善するために、HSV 色空間を採用した。HSV 色空間は、色相 (Hue)、彩度 (Saturation)、明度 (Value) という人間の感覚に近い三つの数値の組み合わせで、色を表現する方法であり、明るさを示す指標 (Value) と色を示す指標 (Hue、Saturation) とが分離されているため、階調制御に、明るさを示す指標 (Value) を用いることとした。

図 4.35 に改善した新階調制御法のブロック図を示す。同図における階調制御法は、図 4.32 および図 4.33 と同様の処理を行う。入力信号を逆ガンマ変換したリニア信号は HSV 色空間の信号に変換する。図 4.32 および図 4.33 と同様の階調制御ユニットは RGB 信号を用いて計算するが、高輝度レベル部の制御に用いるゲイン  $\alpha$  は HSV 色空間の V(Value) 信号に適用する。HSV 色空間で処理を行った信号は RGB 色空間の信号に戻し、ディスプレイの  $\gamma$  特性に合わせた  $\gamma$  補正を行い、ディスプレイに送られる。

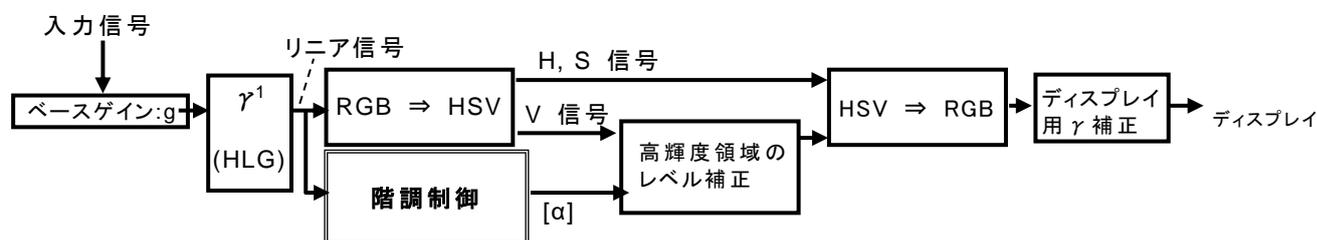


図 4.35 改善した提案階調制御法のブロック図 [77]

#### 4. 5. 3. 2 改善手法のシミュレーション評価

図 4.36 に改善した階調制御法のシミュレーション結果を、クリップ法、ゲイン制御法の結果と共に示す。図 4.34 の場合と同様に、クリップ法やゲイン制御法で認められる白とびや黒つぶれの現象は、提案法では改善されていることがわかる。さらに、HSV 色空間での階調制御法を採用することにより、色の変化も改善されている。

入力映像信号の APL は時間とともに変化するため、これらの映像に対する表示輝度は時間とともに制御していく必要がある。図 4.37 に動画像に対する APL 変動例を示す。同図では、提案した階調制御方式による APL 値のシミュレーション結果を入力映像自体の APL 値とともに示している。入力信号の APL 値は広い範囲で変動しているが、提案手法での APL 値は、図 4.29 を基にして予め設定した約 12% に制限されているのがわかる。

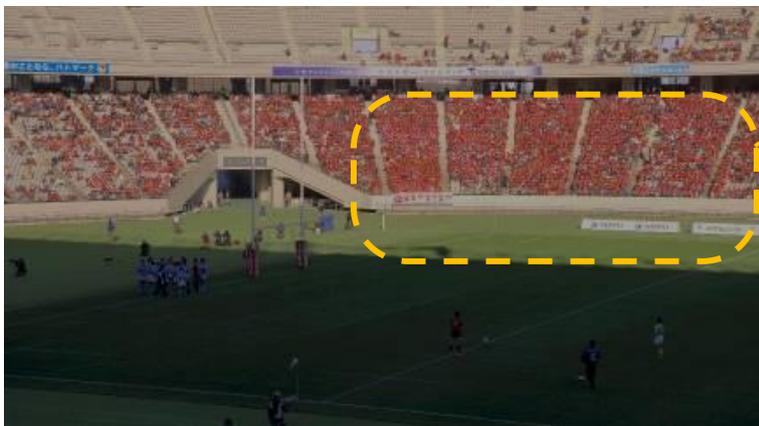
これらの結果は、提案した階調制御方式が、HDR 映像の画質をできるだけ保ちつつ、超大画面ディスプレイの電力制限を行うことができることを示している。ここでは OLED ディスプレイに対する信号処理のシミュレーションについて述べてきたが、提案法はローカルディミング制御バックライト方式の液晶ディスプレイのような他のディスプレイにも有効な手法である [77]。



(a) クリップ法



(b) ゲイン制御法



(c) 提案法

図 4.36 改善した提案階調制御法のシミュレーション結果 [77]

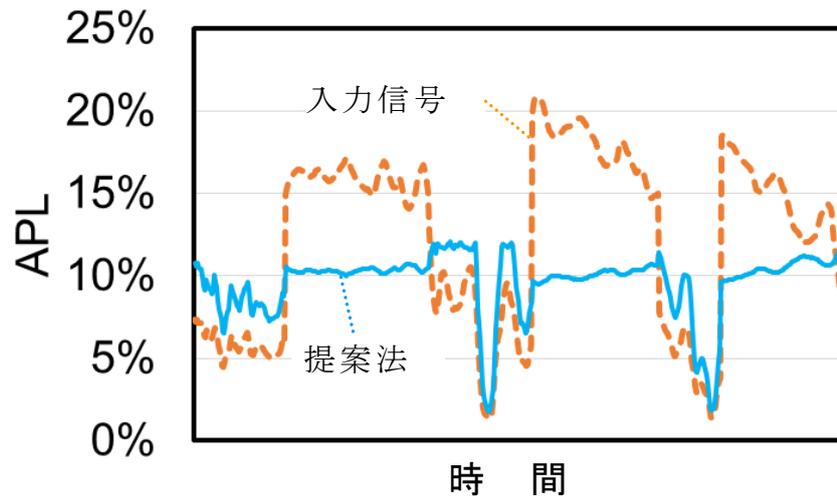


図 4.37 動画に対する APL の変動例 [77]

#### 4. 6 結言

本章では、将来の放送システムである SHV 放送を家庭で手軽に視聴できる、シート型ディスプレイを目指して、フレキシブルで超大画面のディスプレイを実現するための部材、駆動方法、表示方法について、高画質化の観点から検討を進めた。

フレキシブルなディスプレイに適した基板としてはプラスチック基板を選定した。画素に形成する TFT については、当初、プラスチック基板と相性の良い有機 TFT を候補として検討を進めた。現状では、有機 TFT は電荷移動度やヒステリシス特性に対して課題を有しており、これを用いたディスプレイでは正しい階調で映像を表現できていなかった。そこで、有機 TFT のヒステリシスによる画質劣化を改善する有機 EL ディスプレイの新しい駆動法を開発した。本方式は、TFT の動作において、常に電圧の変動方向を揃える駆動方法とする非常に単純なものであるが、低い移動度を有する有機 TFT の場合にも画質を改善することが可能である。本方式の効果を、OTFT 駆動のフレキシブル OLED ディスプレイに適用して確認し、プラスチックフィルムを用いたフレキシブルなディスプレイが実現可能であることを示すことができた。

しかし、更なる大画面化について検討を進めたところ、SHV の画素を有する 100 インチクラスのディスプレイを駆動するためには、現状の有機 TFT では電荷移動度が

十分ではないことがわかってきた。そこで新規半導体材料として報告された酸化物半導体を用いた酸化物 TFT を用いてシート型ディスプレイを目指すこととした。しかし、安定な酸化物 TFT を形成するためには、200℃以上のプロセス温度が必要であるが、従来から行ってきた、プラスチックフィルム上へ TFT などのデバイスを直接形成する方法では、プラスチックフィルムへダメージを与えるためプロセス温度を上げることができなかった。そのため、電荷移動度や閾値特性の十分ではない酸化物 TFT しかな形成することができず、これがディスプレイの画質を低下させることとなっていた。

そこで、プラスチックフィルム上に TFT アレイを作製するためのシンプルな転写法を提案した。この転写法は、ガラス基板上に仮接着層を介して作製したデバイスにプラスチックフィルムを貼り付け、仮接着層の部分からデバイスごと剥がし取る方法である。有機 TFT と酸化物 TFT を仮接着層上に形成して提案手法の有効性を検討したところ、直接プラスチックフィルム上に形成したバックプレーンに比べて提案手法を用いて試作したバックプレーンは歪が小さく、また電気特性も向上することを確認することができた。これは、提案する転写法では、温度プロセスや溶液プロセスを含む TFT アレイの全作製工程を、ガラス基板上で行うことに起因する。さらに、提案する転写法を用いて、対角 5.8 インチのワイド QVGA フレキシブル有機 TFT バックプレーンと対角 5 インチの QVGA フレキシブル酸化物 TFT バックプレーンを試作し、転写法を用いることにより大きな電気特性の劣化は認められないことを確認した。これにより、本提案手法が TFT バックプレーンを有するフレキシブルディスプレイの試作に関する主要な技術になると考える。

さらに、明るい画面が表示された際に電力を制限する必要がある超大画面ディスプレイ用の新しい階調制御方式を提案した。本方式では、画像信号を、高輝度レベルと低輝度レベルに対して別々に制御する。本方式では、ディスプレイ輝度が低下した際にも大幅な画質劣化を招くことなく画像表示することが可能となる。さらに、階調制御処理を HSV 色空間で行うことにより、色再現性の劣化も改善することが可能となった。本手法は家庭用超大画面ディスプレイに対して有効である。

プラスチックフィルムを用いたフレキシブルディスプレイについては、スマートフォン用等の小型のものが実用化されているが、100 インチサイズのディスプレイに対しては、小型ディスプレイと同様の部材や作製プロセスを採用することが難しい。本論文では、家庭用シート型ディスプレイの実現を目指して、使用する部材や作製プロ

セス、駆動方法・表示方法の見直しを行ない、それぞれの項目について SHV 用ディスプレイとして画質を確保できる手法を提案した。

現時点ではまだ、プラスチック基板を用いた大画面のディスプレイは試作できていないが、本章で述べた知見は、家庭用シート型ディスプレイの開発に対して有益な技術になると考える。

## 第5章 結論

薄く、軽いという特徴がある薄型平面ディスプレイは、ブラウン管に替わり家庭に広く普及してきている。しかし、その画質は、動画表示特性などのように、いまだブラウン管に比べて不十分な部分もあり、様々な改善が進められている。本論文では、放送のデジタル化に伴って高画質化したハイビジョンやスーパーハイビジョン用のディスプレイに代表されるような大画面・超高精細ディスプレイを目指した各種薄型平面ディスプレイにおいて画質に関する課題を取り上げ、その改善方法を検討したものであり、次のようにまとめられる。

第2章では、家庭用ハイビジョン薄型テレビの実現を目指したプラズマディスプレイの可能性を示すとともに、大画面化に伴い発生した駆動面での課題を解決した。放電を用いているプラズマディスプレイでは、大型になった際に、ディスプレイ内のキャパシタ成分やインダクタ成分により駆動波形に振動を生じ、画像を安定に表示できない現象が発生した。そこで、プラズマディスプレイの画面内での波形の状況をシミュレーションにより解析し、印加するパルスの電圧の立ち上げ方を制御することにより解決できることを見出した。そしてこの波形に対応した、プラズマディスプレイ駆動用のハイブリッドICを試作し、これを用いた40インチプラズマディスプレイを試作して、ブラウン管に比べて大幅に薄い8cmの薄さのテレビに安定な動画像を表示可能であることを示した。これにより、大画面かつ薄型のテレビがプラズマディスプレイで実現可能であることを実証した。

第3章では、大画面プラズマディスプレイにおいて動画像を表示した際、偽輪郭状のノイズが発生して、画質が劣化する現象が発生した。この現象は、プラズマディスプレイ特有の階調表示方法である“サブフィールド表示法”に起因しているが、シミュレーションを用いて画質劣化を改善する手法の検討を行い、3つの手法を組み合わせた動画画質改善手法を提案した。この手法の効果を確認するために主観評価実験を実施した結果、提案した手法を組み合わせることにより評価値が2ランク以上向上し、動きの速い画像に対しても許容限以上の画質が得られることを示した。これにより、提案した手法の有効性を確認した。この提案した動画画質改善技術を取り入れた42型ハイビジョンプラズマテレビでは、ハイビジョン放送を高画質で表示することができた。

第4章では、将来の放送システムであるスーパーハイビジョンを家庭で視聴するために、絨毯のように丸めて家の中に持ち込むことができる超大画面テレビに関して、駆動法およびパネル作製プロセスの両面から画質向上の手法を提案した。画素内に配置する TFT のヒステリシス特性に起因する画質劣化に対して、駆動方法により改善を試み、通常電源電圧ラインに接続されている保持容量ラインの一端を切り離し、これに補正パルスを加えることによりディスプレイとしてヒステリシス特性のない表示を行う有機 EL ディスプレイの駆動法を提案した。

また、プラスチックを基板に用いたシート型ディスプレイの作製において課題となるフィルム基板の膨張・収縮による位置ずれを解決する手法として、ガラス基板上に TFT アレイを形成し、ガラス基板からフィルム基板へ写し取るシンプルな転写法を提案した。

さらに、大画面シート型ディスプレイの家庭導入を目指して、消費電力を抑制するために輝度を低下させても、視覚的に画質劣化の少ない新しい階調制御法を提案した。この手法は、入力画像の低輝度部と高輝度部とを個別に処理を行うことにより、HDR（ハイダイナミックレンジ）映像を表示した際にも、暗部および明部ともに階調表現を失うことがなく、大画面ディスプレイへの表示を可能とする。

以上のように本論文では、ハイビジョン用の家庭用薄型テレビを目指したプラズマディスプレイと将来の放送システムであるスーパーハイビジョン用の超大型でフレキシブルなシート型ディスプレイの高画質化に対するアプローチについて述べた。ハイビジョン用プラズマディスプレイの研究開発における知見は、その後のハイビジョンプラズマテレビの開発に活かすことができ、1998年にテレビメーカーと共同で実用化した42型ハイビジョンプラズマテレビ「長野モデル」の実現につながった。これにより、CRTでは実現できなかった大画面でハイビジョン放送を視聴したいという要望が高まり、多くのテレビメーカーがハイビジョン用の薄型テレビ開発に取り組んだ。本論文で述べた内容は画質に関する部分のみであるが、上記のように、プラズマディスプレイや液晶ディスプレイといった薄型テレビの普及の一端を支えたものと考えられる。また、シート型ディスプレイの開発に関しては、これまでとは全く異なった概念である、巻き取ることが可能なテレビを実現するものであり、材料や作製方法、駆動方法などについて基本に立ち戻って検討を進めていかなければならない。そこで、スーパーハイビジョン用大画面シート型ディスプレイ実現に向けた課題を最後にまとめてお

く。材料に関する主なものは、発光材料、半導体材料、フィルム材料である。発光材料としては薄膜で発光する有機 EL が本命であるが、大画面テレビとして使用するためには、さらなる高輝度化、高発光効率化、長寿命化が課題となる。寿命については、通常、発光に伴う輝度劣化が注目されるが、プラスチック基板を用いた場合には、水蒸気や酸素がフィルムを透過して侵入してくることとなり、水蒸気や酸素に耐性のあるデバイスの検討も重要となる。半導体材料としては、現時点では酸化物半導体が有力であるが、大面積形成可能なポリシリコントランジスタの作製方法が開発されれば、フィルム基板上にドライバー回路を組み込むことができ、ディスプレイのコストを大幅に低減でできる可能性がある。高性能で低コストのシート型ディスプレイ実現のためには、ポリシリコントランジスタの大面積形成プロセスの開発が課題である。フィルムについても、長寿命化のための水蒸気や酸素に対するバリア性能が課題となる。また、画素内に組み込まれたトランジスタは閾値や移動度などの特性ばらつきを有するため、これがディスプレイの表示むらを引き起こす。これを改善するため、特性ばらつきを抑えるトランジスタの大面積形成方法や、トランジスタのばらつきを簡単な方法で駆動により補償する手法の開発も課題である。超大画面でフレキシブルなディスプレイの実現には、このようにまだ多くの課題を有しており、今後様々な角度から検討を行っていく必要があるが、本研究の成果はスーパーハイビジョン用ディスプレイの開発に少なからず貢献できるものと考ええる。

## 謝辞

本論文の作成にあたっては、大阪大学大学院情報科学研究科 情報システム工学専攻・尾上孝雄教授に熱心なご指導を頂きました。また、大阪大学大学院情報科学研究科 情報システム工学専攻・橋本昌宜教授および谷口一徹准教授からは、有益なご助言ならびにご示唆をいただきました。ここに心から感謝致します。

本論文は、筆者が日本放送協会放送技術研究所において、1987年から2017年の間に行った研究、および大阪大学大学院情報科学研究科に在学中に行った研究をまとめたものです。

本研究の機会を与えていただいた日本放送協会放送技術研究所の歴代所長の方々に深く感謝いたします。学位取得のため、職に身をおきながら、大学院に在学することを認めていただいた日本放送協会放送技術研究所の黒田徹所長、三谷公二副所長、およびNHKエンジニアリングシステムの藤澤秀一理事長に深謝いたします。

在職中、直接の上司としてご指導とご配慮をいただいた日本放送協会放送技術研究所の河村達郎元映像デバイス研究部長、設楽圭一元映像デバイス研究部長、倉重光宏元映像デバイス研究部長、村上宏元イメージデバイス研究部長、佐藤史郎元表示・デバイス部長、栗田泰市郎元材料・デバイス部長、時任静士元表示・機能素子部長、清水直樹元表示・機能素子研究部長、林直人元新機能デバイス研究部長、およびNHKエンジニアリングシステムの杉之下文康特許部長にお礼を申し上げます。

実験の遂行にあたっては、石井啓二部長、都築俊満副部長、藤崎好英上級研究員、薄井武順職員、岡田拓也職員をはじめとする新機能デバイス研究部の方々に多大なるご協力を頂きました。また、PDPの作製や画質評価に関しては、関昌彦元職員、高野善道元職員に適切なご助言をいただくとともに、PDP研究開発グループの方々に多大なるご協力をいただきました。また、シート型ディスプレイの研究に関しては、藤掛英夫元主任研究員に適切なご助言をいただくとともに、中嶋宜樹職員をはじめとするフレキシブルディスプレイ研究グループの方々に多大なるご協力を頂きました。ここに、ディスプレイ関係研究グループの上司、同僚の皆様は厚く謝意を表します。

さらに、ハイビジョンPDPの開発にあたり、大竹桂一氏、川原功氏、笠原光弘氏をはじめとする松下電器産業株式会社（現在、パナソニック株式会社）のPDP開発チームの方々にご協力を頂くとともに、シート型ディスプレイの転写プロセスの開発に関して共同印刷株式会社の古川忠宏氏、細井雅之氏、木下彰宏氏に、それぞれご助力を

頂きました。ここに厚くお礼申し上げます。

最後に、研究の遂行と本論文の執筆に関して様々な面で支えてくれた妻 久美子に心から感謝します。

## 参考文献

- [1] T. Shinoda, M. Wakitani, T. Nanto, K. Yoshikawa, A. Otsuka, and T. Hirose, “Development of technologies for large area color AC plasma displays,” SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.24, pp.161-164, 1993.
- [2] G. E. Holz, “Pulsed discharge display with memory,” SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.3, pp.46-47, 1972.
- [3] 村上宏, 鳥井直哉, “パルスメモリー駆動による放電パネルのカラーテレビ表示,” テレビ学技報, Vol.81, No.55, ED81-23, pp.49-54, 1980.
- [4] Y. Nakajima, T. Takei, T. Tsuzuki, M. Suzuki, H. Fukagawa, T. Yamamoto, and S. Tokito, “Fabrication of 5.8-inch OTFT-Driven Flexible Color AMOLED Display Using Dual Protection Scheme for Organic Semiconductor patterning,” Journal of the Society for Information Display, Vol.17, No.8, pp.629-634, 2009.
- [5] 佐藤弘人, 石井啓二, 薄井武順, 高野善道, 辻博史, 山本敏裕, “SHV 有機 EL ディスプレイの 120Hz 駆動性能シミュレーション,” 2014 年電子情報通信学会総合大会講演論文集、エレクトロニクス 2、C-9-3、p.48, 2014.
- [6] K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano, and H. Hosono, “Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors,” Nature, Vol.432, No.7016, pp.488-492, 2004.
- [7] 山本敏裕, 栗山孝夫, 関昌彦, 加藤俊宏, 武井達哉, 河井貴志, 村上宏, “ハイビジョン用 40 インチプラズマディスプレイ~等価蛍光面構造パネルによる第 1 次ハイビジョン表示実験~, ” NHK 技研 R & D, No.39, pp.28-42, 1996.
- [8] H. Murakami, T. Kuriyama M. Seki, T. Katoh, H. Nakagawa, T. Takahata, A. Ishikawa, K. Hirakata, R. Kaneko, Y. Takano, T. Sakai, T. Yamamoto, and Y. Miyata, “A 20-in color dc gas discharge panel for TV display,” IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED 36, pp.1063-1072, 1989.
- [9] 関昌彦, 中川仁, 山本敏裕, 村上宏, 金子隆一, 栗山孝夫, 加藤俊宏, 高島保, 石川秋男, 平片賢一, 大西宏, “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,” テレビ学技法, Vol.14, No.3, pp.83-88, 1990.
- [10] 関昌彦, 村上宏, 山本敏裕, 栗山孝夫, 加藤俊宏, 金子隆一, 中川仁, 高島保, 石川秋男, 平片賢一, 大西宏, 辻雅之, 山口典之, “33 型パルスメモリー方式放電パネルによるハイビジョン表示,” テレビジョン学会誌, Vol.46, No.3, pp.315-324, 1992.
- [11] 山本敏裕, 村上宏, 河井貴志, 関昌彦, 坂井徹男, “バルスメモリー方式放電表示パネル用ハイブリッド IC の試作,” テレビジョン学会技術報告, Vol.17, No.1, IDY93-3, pp.13-18, 1993.
- [12] H. Murakami, T. Kuriyama, M. Seki, T. Katoh, S. Sega, H. Nakagawa, R. Kaneko, Y.

- Takano, T. Sakai, T. Takahata, A. Ishikawa, Y. Miyata, and K. Hirakata, "Fabrication Techniques for a 20-in. Color DC PDP," SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.19, pp.142-145, 1988.
- [13] F. Okamoto, T. Hayashi, T. Inuzuka, M. Anma, and T. Araki, "Thermal Dimensional Stability of Fusion-Drawn Corning Code-7059 Glass Substrates," SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.22, pp.663-666, 1991.
- [14] J. Koike, T. Kojima, R. Toyonaga, A. Kagami, T. Hase, and S. Inaho, "New tricolor phosphors for gas discharge display," Journal of The Electrochemical Society, Vol.126, pp.1008-1010, 1979.
- [15] H. Murakami, R. Kaneko, T. Kuriyama, H. Nakagawa, T. Yamamoto, M. Seki, T. Katoh, T. Takahata, A. Ishikawa, H. Ohnishi, M. Tsuji, and N. Yamaguchi, "A 33-in.-Diagonal HDTV Display Using Gas Discharge," SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.22, pp.713-716, 1991.
- [16] T. Yamamoto, T. Kuriyama, M. Seki, T. Katoh, T. Takei, T. Kawai, H. Murakami, and K. Shimada, "A 40-Inch-Diagonal HDTV DC Plasma Display," IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.42, No.5, pp.847-855, 1995.
- [17] T. Yamamoto, T. Kuriyama, M. Seki, T. Kato, H. Murakami, K. Shimada, and H. Ishiga, "A 40-in. diagonal HDTV plasma display," SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.24, pp.165-168, 1993.
- [18] Y. Kanazawa, T. Ueda, S. Kuroki, K. Kariya, and T. Hirose, "High-Resolution Interlaced Addressing for Plasma Displays," SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.30, pp.154-157, 1999.
- [19] T. Nishio and K. Amemiya, "High-Luminance and High-Definition 50-in.-Diagonal Co-Planar Color PDPs with T-Shaped Electrodes," SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.30, pp.268-271, 1999.
- [20] Y. Sano, T. Nakamura, K. Numomura, T. Konishi, M. Usui, A. Tanaka, T. Yoshida, H. Yamada, O. Oida, and R. Fujimura, "High-Contrast 50-in. Color ac Plasma Display with 1365 X 768 Pixels," SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.29, pp.275-278, 1998.
- [21] 滝川啓, "PDP-TVの構成と画質," 信学技報, CS75-76, pp.65-72, 1975.
- [22] S. Mikoshiba, G. Izumi, T. Nakamura, and K. Igarashi, "Appearance of False Pixels and Degradation of Picture Quality in Matrix Displays Having Extended Light-Emission Periods," SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.23, pp.659-662, 1992.
- [23] T. Masuda, T. Yamaguchi, and S. Mikoshiba, "New Category Contour Noise Observed in Pulse-Width-Modulated Moving Images," Conference Record of the 14th International Display Research Conference, pp.357-360, 1994.

- [24] 滝川啓, “AC形プラズマパネルによるTV表示,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J60-A, No.1, pp.56-62, 1977.
- [25] 戸田幸作, 山口高弘, 増田健夫, 御子柴茂生, 鴻上明彦, “PDP動画表示における色の乱れと偽輪郭,” テレビ学技報, IDY96-64, pp.67-72, 1996.
- [26] 鴻上明彦, 御子柴茂生, “メモリ型ガス放電パネルを用いたテレビの中間調表示方式,” テレビ学技報, IDY90-99, pp.7-14, 1990.
- [27] T. Makino, A. Mochizuki, M. Tajima, T. Ueda, K. Ishida, and K. Kariya, “Improvement of Video Image Quality in AC-Plasma Display by Suppressing the Unfavorable Coloration Effect with Sufficient Gray Shades Capability,” Proceedings of the 15th International Display Research Conference (Asia Display'95), pp.381-384, 1995.
- [28] T. Toda, T. Yamaguchi, S. Mikoshiba, A. Kohgami, “A Modified-Binary-Coded Light-Emission Scheme for Suppressing Gray Scale Disturbance of Moving Images,” Proc. Asia Display' 95, pp.947-948, 1995.
- [29] T. Yamaguchi, K. Toda, and S. Mikoshiba, “Improvement in PDP Picture Quality by Three-Dimensional Scattering of Dynamic False Contours,” SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.27, pp.291-294, 1996.
- [30] Zhu Yi-Wen, 戸田幸作, 山口高弘, 志賀智一, 御子柴茂生, 上田壽男, 苅谷教治, 篠田傳, “動き補償等価パルス法によるPDP動画像の偽輪郭低減,” テレビ学技報, IPU96-63, pp.67-72, 1996.
- [31] H. Murakami and R. Toyonaga, “A pulse discharge panel display for producing a color TV picture with high luminance and luminous efficiency,” IEEE Trans. Electron Devices, Vol.29, pp.988-994, 1982.
- [32] T. Yamamoto, Y. Takano, K. Ishii, T. Koura, H. Kokubun, K. Majima, T. Kurita, K. Yamaguchi, K. Kobayashi, and H. Murakami, “Improvement of Moving-Picture Quality on a 42-in.-Diagonal PDP for HDTV,” SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.28, pp.217-220, 1997.
- [33] R. Floyd and L. Steinberg, “An Adaptive Algorithm for Spacial Gray Scale,” SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.6, pp.36-37, 1975.
- [34] T. Kurita, T. Yamamoto, Y. Takano, K. Ishii, T. Koura, H. Kokubun, K. Majima, K. Yamaguchi, and H. Murakami, “Improvement of Picture Quality of 40-in.-Diagonal HDTV Plasma Display,” Proceedings of the 3rd International Display Workshops (IDW'96), pp.287-290, 1996.
- [35] 栗田泰市郎, 山本敏裕, 石井啓二, 国分秀樹, “PDP動画質改善のためのサブフィールド適応制御法の検討,” 1998年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集, 19-1, pp.260-261, 1998.
- [36] 小浦壽三, 山本敏裕, 高野善道, 石井啓二, 国分秀樹, 馬嶋圭三, 栗田泰市郎, 山口孝一, 小

- 林希一, 村上宏, “ハイビジョン用 42 インチ PDP における動画像画質改善,” 映情学技報, IDY97-150, Vol.21, No.34, pp.1-6, 1997.
- [37] 加治哲徳, 水嶋正, 村山精一, 福島正和, “AC型プラズマディスプレイによる中間調動画表示,” 信学会画像工学研究会資料, IT72-45, 1973.
- [38] Y. Takano, H. Murakami, T. Sakai, T. Kuriyama and K. Takahashi, “A 40-in. DC-PDP with New Pulse-Memory Drive Scheme,” SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.25, pp.731-734, 1994.
- [39] 坂井徹男, 柿沼幸則, 佐古仁司, “2行同時駆動放電パネルの原理とテレビ画像表示方法,” テレビ学技報, ED414, pp.37-44, 1978.
- [40] 国分秀樹, 高野善道, 山本敏裕, 石井啓二, 小浦壽三, 馬嶋圭三, 栗田泰市郎, 山口孝一, 小林希一, 三橋哲雄, 村上宏, “42 インチハイビジョンPDPシステムの開発,” 1997 年映像情報メディア学会年次大会講演予稿集, 1997.
- [41] 石井啓二, 山本敏裕, 栗田泰市郎, 高野善道, 小浦壽三, 国分秀樹, 小林希一, 村上宏, 馬嶋圭三, 山口孝一, “サブフィールド表示法におけるPDPの動画質改善に関する検討,” 映情学技報, IDY97-205, pp.43-48, 1997.
- [42] 山本敏裕, 石井啓二, 栗田泰市郎, 高野善道, 小浦壽三, 国分秀樹, 小林希一, 村上宏, 山口孝一, “PDPにおける動画質改善の評価,” 映情学技報, IDY98-25, 1998.
- [43] 石黒秀一, 栗田泰市郎, “8倍速CRTによるホールド発光型ディスプレイの動画質に関する検討,” テレビ学技報, IDY96-93, pp.19-26, 1996.
- [44] 山本敏裕, 石井啓二, 栗田泰市郎, 高野善道, 小浦壽三, 国分秀樹, 小林希一, 村上宏, 山口孝一, “PDPにおける動画質改善の評価,” 信学技報, EID97-97, pp.143-148, 1998.
- [45] 山本敏裕, 石井啓二, 栗田泰市郎, 小浦壽三, 高野善道, 国分秀樹, 村上宏, “PDPにおける動画偽輪郭妨害による動画質劣化の改善,” 映像情報メディア学会誌, Vol.54, No.5, pp.717-725, 2000.
- [46] 関昌彦, 高野善道, 加藤俊宏, 山本敏裕, 河井貴志, 小浦壽三, 上田智志, 武井達哉, 田島利文, 栗山孝夫, 小池純郎, 村上宏, 高橋一夫, 笹岡康彦, 笠原光弘, “42形ハイビジョンDC-PDPの開発,” 映像情報メディア学会誌, Vol.54, No.2, pp.301-309, 2000.
- [47] M. Seki, T. Katoh, T. Kawai, T. Takei, S. Ueda, M. Ushirozawa, T. Kuriyama, T. Tajima, J. Koike, H. Murakami, Y. Sasaoka, T. Atsumi, F. Sakamoto, K. Kiriya, S. Uemura, and K. Takahashi, “Fabrication Techniques for High-resolution 42-inch HDTV PDP,” Conference Record of the 17th International Display Research Conference, pp.281-284, 1997.
- [48] H. Kokubun, Y. Takano, T. Yamamoto, K. Ishii, and T. Kurita, “VLSI Architecture of Signal Processing Chip Set for 42-inch DC PDP HDTV Receiver,” IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.44, No.3, pp.698-703, 1998.
- [49] 栗田泰市郎, 山本敏裕, 石井啓二, 国分秀樹, 関昌彦, 高野善道, 村上宏, 山本久米次, 香川

- 実, 笠原光弘, 細川拓央, “42形ハイビジョンPDP表示システムの開発,” 映像情報メディア学会誌, Vol.54, No 2, pp.310-318, 2000.
- [50] T. Yamamoto, K. Ishii, T. Kurita, T. Koura, Y. Takano, H. Kokubun, M. Seki, H. Murakami, K. Ohtake, I. Kawahara and M. Kasahara, “Method to Improve Moving Picture Quality of PDPs Affected by Dynamic False Contour Artifacts,” SMPTE Journal, Vol.110, No.4, pp.248-257, 2001.
- [51] NHK 放送技術研究所, 動画用フレキシブルディスプレイ 特集号, NHK技研R & D, 2010.
- [52] [ディスプレイ, 包装材料用] バイア材料の開発, 成膜技術とバリア性の測定・評価方法, 技術情報協会, 2004.
- [53] R. M. A. Dawson, Z. Shen, D. A. Furst, S. Connor, J. Hsu, M. G. Kane, R. G. Stewart, A. Ipri, C. N. King, P. J. Green, R. Y. Flegal, S. Pearson, W. A. Barrow, E. Dickey, K. Ping, C. W. Tang, S. Van Slyke, F. Chen, J. Shi, J. C. Sturm, and M. H. Lu, “Design of an Improved Pixel for a Polysilicon Active-Matrix Organic LED Display,” SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.29, pp.11-14, 1998.
- [54] R.M.A. Dawson, Z. Shen, D.A. Furst, S. Connor, J. Hsu, M.G. Kane, R.G. Stewart, A. Ipri, C.N. King, P.J. Green, R.T. Flegal, S. Pearson, W.A. Barrow, E. Dickey, K. Ping, S. Robinson, C.W. Tang, S. Van Slyke, F. Chen, J. Shi, M.H. Lu, and J.C. Sturm, “The impact of the transient response of organic light emitting diodes on the design of active matrix OLED displays,” Electron Devices Meeting, 1998. IEDM '98. Technical Digest, pp.875-878, 1998.
- [55] S.-M. Choi, O.-K. Kwon, and H.-K. Chung, “An Improved Voltage Programmed Pixel Structure for Large Size and High Resolution AM-OLED Displays,” SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.35, pp.260-263, 2004.
- [56] Y. Hong, J. Kanicki, and R. Hattori, “Novel Poly-Si TFT Pixel Electrode Circuits and Current Programmed Active-Matrix Driving Methods for AM-OLEDs,” SID Symposium Digest of Technical Papers, Vol.33, pp.618-621, 2002.
- [57] H.-J. In, B.-D. Choi, H.-K. Chung, and O.-K. Kwon, “Current-Sensing and Voltage-Feedback Driving Method for Large-Area High-Resolution Active Matrix Organic Light Emitting Diodes,” Japanese Journal of Applied Physics, Volume 45, Part 1, Number 5B, pp.4396-4401, 2006.
- [58] H.-J. In, P.-S. Kwag, J.-S. Kang, O.-K. Kwon, and H.-K. Chung, “Voltage-programming method with transimpedance-feedback technique for threshold voltage and mobility compensations in large-area high-resolution AMOLED displays,” Journal of the Society for Information Display, Vol.14, No.8, pp.665-671, 2006.
- [59] Y. Iino, Y. Inoue, Y. Fujisaki, H. Fujikake, H. Sato, M. Kawakita, S. Tokito, and H. Kikuchi, “Organic Thin-Film Transistors on a Plastic Substrate with Anodically

- Oxidized High-Dielectric-Constant Insulators,” *Japanese Journal of Applied Physics*, Volume 42, Part 1, Number 1, pp.299-304, 2006.
- [60] T. Yamamoto, Y. Nakajima, T. Takei, Y. Fujisaki, H. Fukagawa, M. Suzuki, G. Motomura, H. Satoh, S. Tokito, and H. Fujikake, “New Driving Scheme to Improve Hysteresis Characteristics of Organic Thin Film Transistor-Driven Active-Matrix Organic Light Emitting Diode Display,” *Japanese Journal of Applied Physics* 50, 024201, 2011.
- [61] S. Inoue, S. Utsunomiya, T. Saeki, and T. Shimoda, “Surface-free technology by laser annealing (SUFTLA) and its application to poly-Si TFTLCDs on plastic film with integrated drivers,” *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol.49, No.8, pp.1353-1360, 2002.
- [62] A. Asano and T. Kinoshita, “Low-temperature polycrystalline-silicon TFT color LCD panel made of plastic substrates,” *SID Symposium Digest of Technical Papers*, Vol.33, pp.1196-1199, 2002.
- [63] I. French, D. McCulloch, I. Boerefijn, and N. Kooyman, “Thin plastic electrophoretic displays fabricated by a novel process,” *SID Symposium Digest of Technical Papers*, Vol.36, pp. 1634-1637, 2005.
- [64] T. Hioki, K.Miura, S. Abe,M. Tanaka, Y. Onozuka, Y. Hara, M. Akiyama, and S. Uchikoga, “A 5-in flexible TFT-LCD using transfer technique,” *Proc. IDRC*, 2005, pp. 346-349., 2005.
- [65] Y. Nakajima, T. Takei, Y. Fujisaki, H. Fukagawa, M. Suzuki, G. Motomura, H. Sato, T. Yamamoto, and S. Tokito, “Improvement in image quality of a 5.8-in OTFT-driven flexible AMOLED display,” *Journal of the Society for Information Display*, Vol.19, No.1, pp.94-99, 2011.
- [66] Y. Nakajima, Y. Fujisaki, T. Takei, H. Sato, M. Nakata, M. Suzuki, H. Fukagawa, G. Motomura, T. Shimizu, Y. Isogai, K. Sugitani, T. Katoh, S. Tokito, T. Yamamoto, and H. Fujikake, “Low-temperature fabrication of 5-in QVGA flexible AMOLED display driven by OTFTs,” *Journal of the Society for Information Display*, Vol.19, No.12, pp.861-866, 2011.
- [67] M. Nakata, H. Sato, Y. Nakajima, Y. Fujisaki, T. Takei, T. Shimizu, M. Suzuki, H. Fukagawa, G. Motomura, T. Yamamoto, and H. Fujikake, “Low-temperature fabrication of flexible AMOLED displays using oxide TFTs with polymer gate insulators,” *SID Symposium Digest of Technical Papers*, Vol.42, pp. 202-205, 2011.
- [68] T. Yamamoto, T. Takei, Y. Nakajima, Y. Fujisaki, H. Fujikake, T. Furukawa, M. Hosoi, A. Kinoshita, and S. Tokito, “Flexible OTFT Backplane Fabricated by Transfer Technology,” *Proceedings of 10th International Meeting on Information Display and International Display Manufacturing Conference and Asia Display 2010 (IMID/IDMC/Asia Display 2010)*, pp.14-15, 2010.

- [69] T. Yamamoto, T. Takei, Y. Nakajima, Y. Fujisaki, T. Furukawa, M. Hosoi, A. Kinoshita, and H. Fujikake, “Transfer Technology for Fabrication of Flexible OTFT Backplane,” IEEE Industry Applications Society ANNUAL MEETING 2011 Conference Record, 2011-ILDC-330, 2011.
- [70] T. Yamamoto, T. Takei, Y. Nakajima, Y. Fujikake, T. Furukawa, M. Hosoi, A. Kinoshita, and H. Fujikake, “Simple Transfer Technology for Fabrication of TFT Backplane for Flexible Displays,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.48, No.5, pp.1662-1667, 2012.
- [71] ARIB STANDARD, “ESSENTIAL PARAMETER VALUES FOR THE EXTENDED IMAGE DYNAMIC RANGE TELEVISION (EIDRTV) SYSTEM FOR PROGRAMME PRODUCTION,” ARIB STD-B67, 2015.
- [72] “Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange,” Recommendation ITU-R BT.2100-0, 2016.
- [73] 日下部裕一, “HDR-TV の映像方式と ITU-R における標準化動向,” NHK 技研 R & D、No.162, pp.4-11, 2017.
- [74] 日本特許, “画像表示装置及びその駆動方法,” 特許第 4858041 号(P4858041), 2011.
- [75] 日本特許, “自発光表示装置、ピーク輝度調整装置、電子機器、ピーク輝度調整方法及びプログラム,” 特許第 4862369 号(P4862369), 2011.
- [76] 日本特許, “有機 EL 表示装置および駆動方法,” 特許第 6248352 号(P6248352), 2017.
- [77] T. Yamamoto, T. Okada, T. Usui, Y. Fujisaki and T. Onoye, “Picture Level Control Method for Super Large-Area Display,” Proceedings of the 24th International Display Workshops (IDW '17), pp.1028-1031, 2017.