

平成 21-23 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「超大画面ディスプレイの軽量化・低消費電力化に資する
要素技術の開発」

研究成果報告書

平成 23 年 10 月 31 日

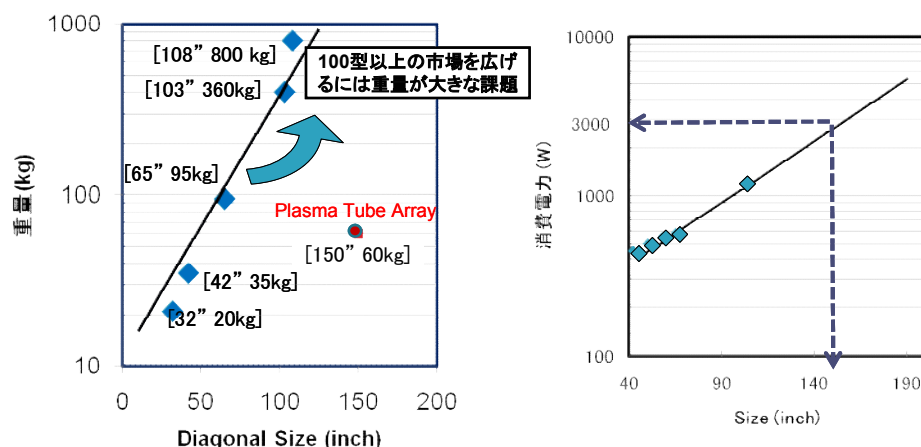
委託者 近畿経済産業局

委託先 篠田プラズマ株式会社

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

本研究開発の最終目的は室内用の 100 型から 300 型の超大画面・薄型・軽量表示装置を実現することである。この表示装置を実現する従来技術の候補としては PDP, LCD, LED がある。しかし、これらの技術で実現しようとする図 1 に示すような 2 つの課題がある。①重量が大きすぎる：最近 PDP の 103 型や LCD の 108 型が実用化されているがいずれも、1 図のように数 100kg の重さになるという課題がある。もし、150 型を実現しようとする 1 t を超える可能性がある。②消費電力が大きすぎる：150 型を実用化すると 3000W を超える可能性があり、壁面ヒーターになる恐れがある。この二つの課題を解決しないと普及させることができない。そこで、150 型で 100kg 以下の重さで 1200W 以下の消費電力で実現できる技術が望まれる。



重量と消費電力が大型化における大きな課題

図 1 従来技術の課題

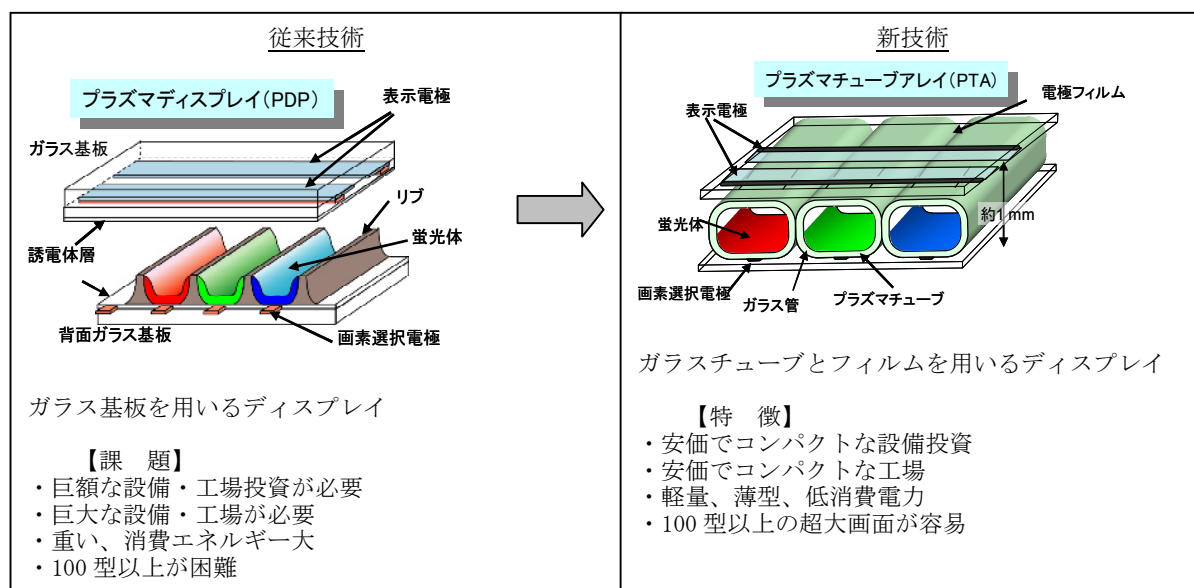


図 2 従来技術と新技術の比較イメージ

ここで開発する技術は全く新しいディスプレイ方式でプラズマチューブアレイ（PTA）ディスプレイといい、図2のイメージ図の右に示すものである。これにより上記の 150 型で 100kg 以下の重さと 1200W 以下の消費電力という目的が達成できるディスプレイが実現できる。

図2の左は従来の PDP を示している。従来のディスプレイはガラス基板を使用するために、大画面になるとガラス基板自身の重さに加えて、ひずみによるガラスの割れを防止するために固定枠などを頑丈に作る必要があり、これも重量を重くする原因である。さらに、重量の重いディスプレイ部を支えて安定化するために、ベースとなる支持台を重く頑丈にする必要がある。これらを解決するには、超軽量でひずみにも割れないディスプレイを開発することが必要である。そこで、図3に示すような薄い樹脂フィルムをベースとした新方式ディスプレイを提案して、1998 年より研究開発を開始している。

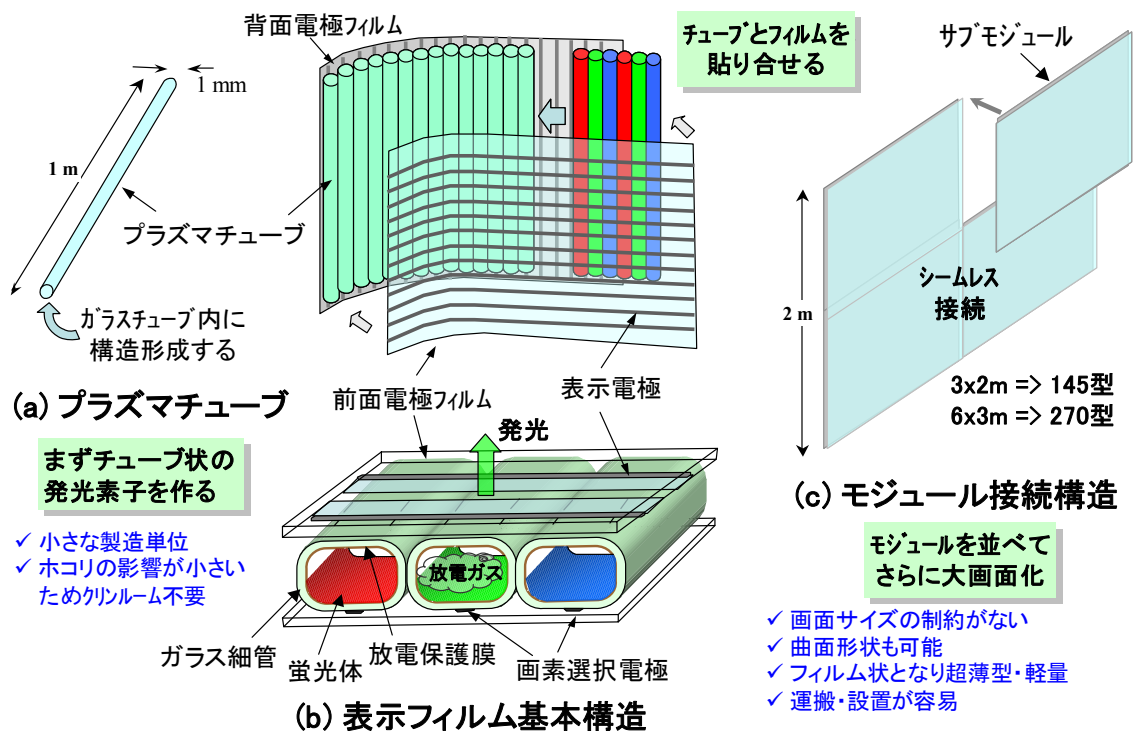


図3 プラズマチューブアレイの原理図

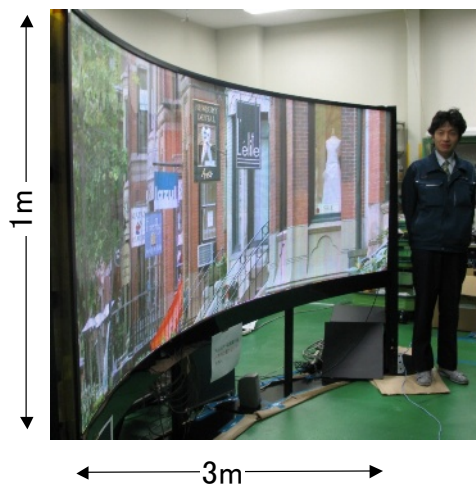
図3 (a)に示すように、1 mm φ程度の1 m 長のガラスチューブの内部に放電ガスと蛍光体から成る発光構造を形成して封じ込む。このプラズマチューブを(b)に示すように RGB 順に多数並べて、両側から電極を形成したフィルムで挟みこみディスプレイ素子（表示フィルム）を形成する。(b)下側の断面構造図で示すように、電極フィルムから電圧を加えてガラス管内で放電をさせると三原色の発色ができる。この構造を採ることにより厚さが1 mm の超薄型のフィルム型ディスプレイが可能になるほか、超軽量（従来のディスプレイの1/10）でフレキシブルなディスプレイ素子となる。このため、超大画面を作っても、ひずみで割れる心配がなくなり、軽量な支持板でディスプレイ部を作ることができる。

さらに、ガラスチューブの径が約1 mm であり、したがって、赤、青、緑間のピッチは約1 mm となる。これは従来の PDP の 0.1~0.3 mm 程度に比べて非常に大きい。一般に放電現象では放電の空間が大きいと、放電のエネルギーが隔壁などに失われることなく、可視光の発光に有効に使えるために発光の効率が高くなる。ちなみに、開発中のプラズマチューブアレイでは発光効率が従来の PDP の2~3倍程度改善される。このためにディスプレイに使用

する消費電力も半分以下に低減できる。このディスプレイの駆動原理はプラズマディスプレイ（PDP）と同じであり、外部に PDP の駆動回路をつけることにより、従来のプラズマテレビのような映像を表示することができる。

H20 年度までに、図 4 に示す $3 \times 1 \text{ m}^2$ の PTA ディスプレイを試作しているが、消費電力は 200 W/m^2 程度と従来の PDP に比べて半分以下である。したがって、150 型 ($3 \times 2 \text{ m}^2$) のディスプレイが 1.2 kW 以下で駆動できる、非常に低消費電力なディスプレイが実現でき、H21 年度にはこの $3 \times 2 \text{ m}^2$ ディスプレイ試作機を完成させた。

しかし、このディスプレイの課題は赤、青、緑用のガラスチューブを 1 本ずつ作るために、それぞれの構造のバラツキなどによりそれぞれの輝度がばらつくことである。この輝度ばらつきにより、表示しようとする原画像の階調がディスプレイ上に正確に表示されない、また原画像には無いスジ状の表示ムラが目視される可能性がある等、画質を低下する問題点がある。図 5 は本研究開始時点における $3 \times 2 \text{ m}$ PTA 試作機の表示画面の輝度ムラを実測している様子である。右側の写真のように、画面を撮影して写真画像のコントラストを上げると、縦筋状に表示ムラがあることが目視できる。



開発仕様

- ・画面サイズ $3 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (R3.0m 曲面)
- ・画素数 $960(\text{H}) \times 360(\text{V})$
- ・画素ピッチ 3.1 mm ($1 \text{ mm} \times \text{RGB}$)
- ・表示フィルム部 厚さ 1 mm , 重量 約 3.6 kg
- ・シーム幅 1 mm 以下
- ・消費電力 最大 600 W , 標準 400 W

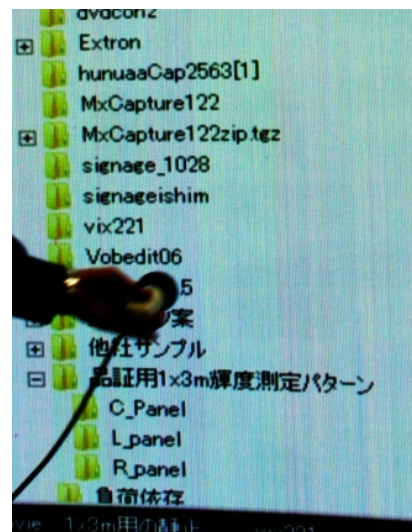
構成

- ・ $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ PTAサブモジュール $\times 3$ 面
- ・水平表示電極接続 (3 m 長)
- ・駆動回路セット一式

図 4 $3 \times 1 \text{ m}$ (125 型) の PTA 試作機



3x2m表示装置 画像表示例 (2009年5月)



画面写真の撮影後に
コントラストを約10倍拡大

図 5 チューブの輝度バラツキ、表示ムラの例 (本研究開始時点)

本研究開発では、これらの輝度のバラツキを補正しながら、かつ高い階調精度を実現して、PDP 並みの高画質を実現することが目的である。そのために、プラズマチューブの輝度を 1 本ずつ自動的に測定して、輝度バラツキをあらかじめ確認する。しかる後にそのデータをプラズマチューブアレイ特有の駆動方法に反映して高い階調を実現して、高画質の映像を実現する。このために画像処理用の LSI を開発し、さらに、それらを制御するためのアルゴリズムを開発する。

本研究で開発する内容は図 6 に示すとおり、

(1) 輝度の自動測定技術および測定装置

その自動測定された輝度補正データを自動実装可能な、

(2) 画像処理 LSI の開発

およびその LSI に搭載する

(3) 輝度補正アルゴリズムの開発と (4) 階調駆動制御技術の開発

からなる。

実際のディスプレイ上では赤 (R)、青 (B)、緑 (G) のチューブがすでに交互に配列されているが、ディスプレイ上で各色のバラツキを自動的に測定し、このデータを画像 LSI に取り込むことにより、階調駆動法の各画像データに自動的にフィードバックされて、実際のディスプレイ上で、高画質表示を実現する。

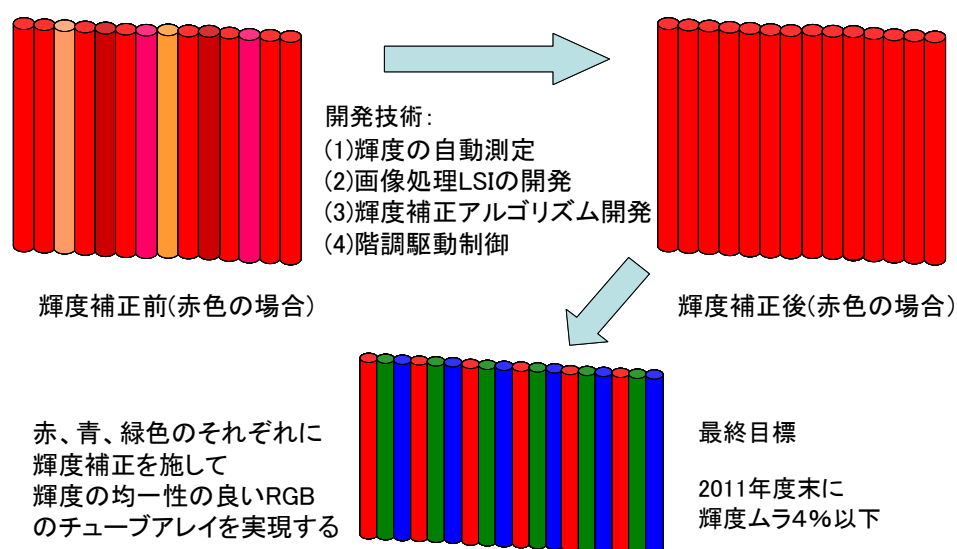


図 6. 本開発によるバラツキ補正の方法

本研究開発では、開発した輝度ムラ低減要素技術を最終的に室内用超大画面・薄型表示装置に適用することを目標とする。その表示装置の主要性能・仕様は以下の通り。

大画面	150 型 (3 x 2 m ²) 以上 300 型 (6x 4 m ²)	
軽 量	100Kg 以下 (3x2 m ²)	
薄 型	ディスプレイフィルム部 1 mm 程度	曲面表示: 可能
消費電力	200w/m ² 以下	
輝 度	300cd/m ² 以上	輝度ムラ: 4%以内

開発期間 3 年で、輝度ムラ 4 %以内を実現するため LSI 化可能な高画質化信号処理技術を開発する。また、輝度情報の自動計測から画像処理回路への自動実装まで総合制御する計測系と制御ソフトウェアの開発を行う。

本研究の H22 年度上期までの研究開発の結果から、輝度自動測定と補正データを用いた信号処理に併用して、ガラス管のバラツキを計測してプラズマチューブを製作し、バラツキ範囲に応じて分類しつつプラズマチューブをアレイ化することで輝度ムラ低減目標（4%以内）を早期に達成できる見通しがついた。本技術を早期に事業化するため、計画を全般前倒し実施し、前倒しに必要となるガラス管形状の高速自動計測技術・装置の開発を進めた。この前倒しにより、当初 H24 年 3 月に目標達成としていたところを、7 ヶ月早めて H23 年 8 月末を目標達成時期とした。

これら開発を、以下の 3 つの実施項目に分けて進めた。

① チューブ毎の輝度補正技術

PTA 特有の輝度バラツキに対して最適な、チューブ 1 本毎の個別の輝度ムラ制御アルゴリズムの開発及びこれらのソフトウェアを搭載した画像処理エンジン(LSI)の開発を行う。この輝度補正処理は、電力を効果的に使い画面全体の輝度・階調を総合的に制御する処理と連携して実装することにより、PTA 方式の高臨場感の映像表示と低消費電力を両立する超大画面ディスプレイを実現できる。

② 輝度補正データ自動実装技術

③のガラス管高速自動検査装置、および輝度自動測定装置と合わせて、計測結果から自動でチューブ 1 本内のバラツキ補正用の係数データ、およびチューブ 1 本毎のバラツキ補正用の係数データを生成し、チューブ製造工程、アレイ化工程、モジュール回路実装がお互いにリンクした情報として、PTA 表示装置に補正データ実装する工程制御技術、ソフトウェア技術を開発する。

工程内でのデータ取得は、最終工程での輝度自動測定に加えて、前半工程のガラスチューブ加工工程での 1 本ごとのガラス管形状計測データ（チューブ 1 本ごとの輝度情報に相当）を元に、輝度ランク分けしてアレイ化する工程が新たに加わる。このため 1 本ごとのガラス管形状計測の工数が大幅に増大する課題があったため、③でさらなる自動計測技術の開発としてガラス管形状自動検査装置の開発を行い、工数を増やすことなく輝度ランク分け方式を工程導入することを目標とした。

③ 自動測定技術の開発（チューブ状発光部品の輝度自動測定技術）

PTA ではチューブ 1 本ごとの発光輝度均一性が求められと同時に 1000 本程度のチューブを並べた際の画面全体に渡る輝度均一性が求められる。計測手段として、撮像素子を利用した二次元計測と、その計測情報からチューブ 1 本ごとの輝度情報を抽出する手法および処理ソフトウェア、さらに計測情報から画面全体に渡る輝度バラツキ情報を抽出する手法および処理ソフトウェアを開発し、総合的な輝度自動測定技術を確立する。

輝度計測値から算出した輝度補正係数を用いてパネル試験システム（H22 年度設備）にて補正画像の評価を行うと、補正ズレのある画素が見られた。補正係数の精度が不足していると考えられ、輝度補正係数を検証する手段を輝度自動計測に組み込む事とした。このため、装置に改良を施し、輝度自動測定データ取得後すぐに、対象パネルに対して輝度補正処理を行い補正精度を検査する機能を追加する。また、上記②で述べた輝度ランク分け方式の導入のために必要となる、チューブ 1 本ごとの輝度と相関を持つ、ガラス管形状（管断面幅、高さ）を高速に自動計測する技術、プラズマチューブ工程内に形状計測を導入するためのガラス管自動ハンドリング技術を開発する。

上記①～③の開発実施項目に対して、以下の目標値を置いた。

① チューブ毎の輝度補正技術

1×1 m²画面サイズの PTA に対して輝度ムラが 20%（2008 年度末）あったものを、2011 年 8 月末 4 %以下に低減することを目標とする。

② 輝度補正データ自動実装技術

チューブ 1 本ごとのガラス管自動計測値を元に管をランク分けしてその後のチューブ製作工程を進め、ランクごとにまとめてチューブ配列して 1×1 m² PTA 表示フィルムを製作するプロセス技術を開発する。1×1 m²画面サイズの PTA に対して、輝度自動測定データを用いて、輝度補正データ算出する。続いて、駆動制御回路へ補正係数データを自動実装する。これらを一貫して合計工数 1 時間以内に処理できるプロセス方式と制御ソフトウェアを開発することを目標とする。

③ 自動測定技術の開発（チューブ状発光部品の輝度自動測定技術）

現状 2008 年度におけるプラズマチューブ輝度測定工数は現在 4 時間/m²かかっていた。これを 2011 年 8 月末までに 1/3（80 分）に低減することを目標とする。

また、ガラス管形状自動測定では、ガラス管形成とその後のトレイ収納の間に連続・一貫処理することで、実質的な工数増加ゼロの処理プロセス原理確立を目標とする。

最終的には本研究開発の成果を 3 x 2 m²のディスプレイにも実装して、本委託事業終了後に、開発成果による効果を総合的に検証、フィールド試験などを行い製品適用検討を進めてゆく。開発した機械装置についても本委託事業終了後に生産ラインへ適用できるよう改良を継続し、新規生産ライン導入などの機会を捉えて生産工程内に導入してゆく。

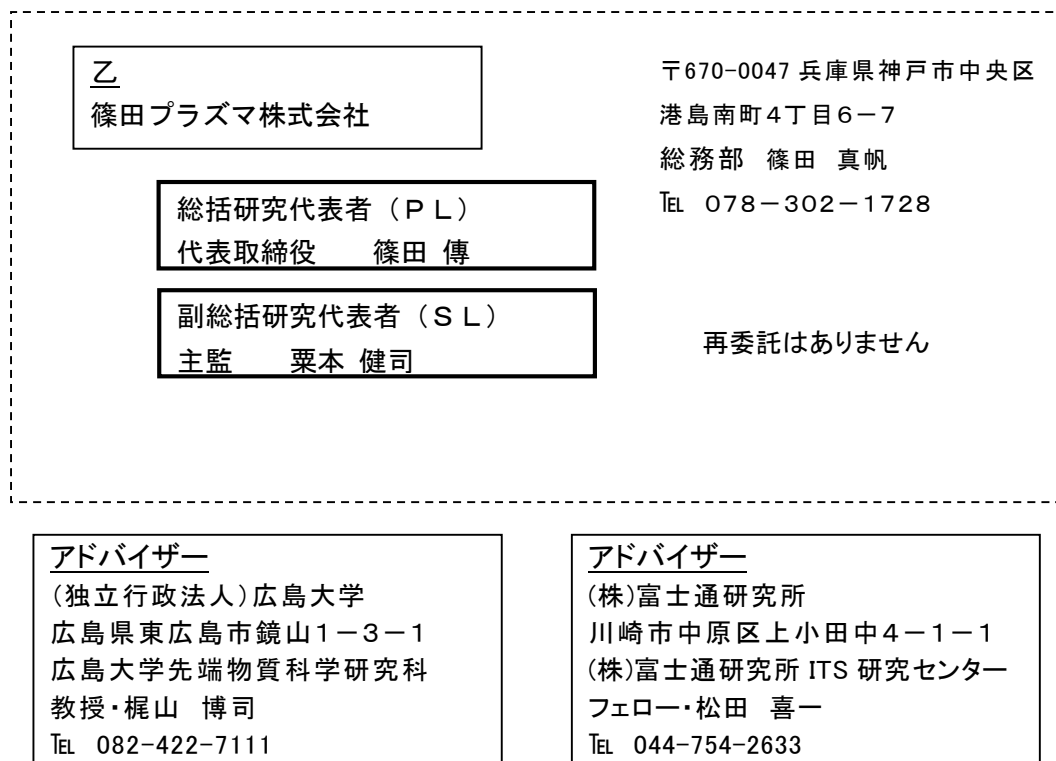
①～③の開発実施項目に対する 3 年間の進捗を以下の表に示す。

(3) 実施進捗日程

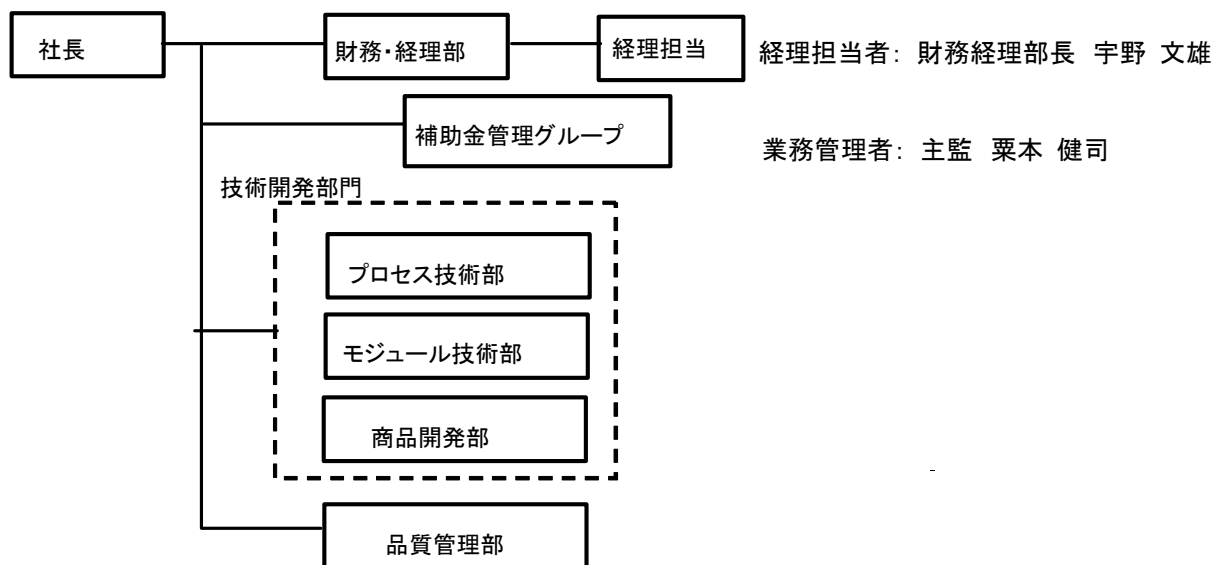
実 施 内 容	H21年度		H22年度				H23年度	
	10-12月	1-3月	4-6月	7-9月	10-12月	1-3月	4-6月	7-8月
①チューブ毎の輝度補正技術の開発								
・補正方式検討、原理実験用回路試作	←→							
・回路試作・LSI(FPGA)・ソフト開発	←→							
・補正回路評価実験と改良、ASIC化検討					←→			
②輝度補正データ自動実装技術の開発								
・方式検討、原理実験用回路試作	←→							
・装置試作とデータ取得実験		←→						
・装置改良と回路実装、駆動試験システムによる総合評価							←→	
③チューブ状発光部品の輝度自動測定技術の開発								
・チューブ輝度自動測定の方式検討	←→							
・自動測定装置試作の評価と改良		←→						
・ガラス管高速自動計測の方式検討					←→			
・ガラス管高速自動計測機の評価・改良						←→		
・工程導入可能な装置の検討と改良							←→	
④プロジェクトの管理・運営								
・進捗報告会	△ △		△	△	△	△	△	△
・報告書作成		△				△		△

1－2 研究体制

研究組織および協力者（アドバイザー）を以下に示す。



管理体制を以下に示す。



管理員および研究員を下表に示す。

【事業管理者】 篠田プラズマ株式会社

①管理員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
栗本 健司	主監	①、②、③、④
宇野 文雄	財務・経理部	①、②、③、④

②研究員

氏 名	所属・役職	実施内容番号
篠田 傳	代表取締役	①、②、③
栗本 健司	主監	①、②、③
研究員 A	技術開発部門 研究員	②、③
研究員 B	技術開発部門 研究員	②、③
研究員 C	技術開発部門 研究員	①、②
研究員 D	技術開発部門 研究員	①、②
研究員 E	技術開発部門 研究員	①、②
研究員 F	技術開発部門 研究員	③
研究員 G	技術開発部門 研究員	②、③
研究員 H	技術開発部門 研究員	①、②

1－3 研究成果概要

実施状況

H21 年度、H22 年度前半まほぼ計画通りの進捗を得て、残る課題として補正後の輝度ムラを 7 % から 4 % に低減すること、工程全体での補正方式実装にかかる増加工数を 1 h / m² 以内にすること、および輝度自動計測とガラス管形状自動計測にかかる増加工数を 120 分から 80 分 / m² 以内にすることが残っていた。

H22 年 12 月には前倒し申請を進め、最終目標に向けた改良実験用の信号処理回路、実験制御回路、およびこれらに組み込むファームウェアの検討、設計を行い、専門業者による外注開発・試作を活用しながら効率よく研究開発を進めた。新たに開発したガラス管ランク分け方式を採用して、全体計画の前倒しと、最終目標の早期達成を目指した。

H23 年度は、方式に対する改良と性能検証を中心に進めた。このほか、実施計画に沿って研究管理グループによる進捗管理ミーティングを開催して、随時研究推進に努めた。

目標達成状況

①チューブ毎の輝度補正技術の開発：

プラズマチューブ 1 本ごとの輝度ばらつきにより画面の輝度ムラが 20 % であったものを、H22 年度までの進捗で輝度ムラを 7 % まで低減していた。今期は、これまでの成果である補正処理回路に対して、追加機能として複数の表示モジュールへの画像分割と同時処理に対応した回路を開発し、輝度ばらつき補正実験結果から 8 月末目標（輝度ムラ 4 % 以下）を達成した。

②輝度補正データ自動実装技術の開発：

工程内でのデータ取得を昨年度は最終工程での輝度自動測定のみとしていたが、今期は、前半工程のチューブ製作工程での 1 本ごとの輝度計測データを元に、輝度ランク分けしてアレイ化する手法を採用した。ランク分したアレイ化で輝度バラツキを 1/2 程度に抑制でき、これに信号補正処理を併用することで、①の最終目標である輝度ムラ 4 % 以下が可能となった。1 本ごとの輝度測定は工数が大幅に増大するため、③でガラス管形状自動計測技術の開発に取り組み、工数課題に対応した。今期はさらに、工程内で実際に発生し得る、バラツキ要因（駆動パルス電圧の揺らぎ、電極フィルムの精度誤差内でのゆらぎ、等）を調査して、これら外的なバラツキ要因が加わることへの対応も含めて、工程全体での輝度補正データ自動実装方式を確立することができた。

③チューブ状発光部品の輝度自動測定技術の開発：

H21 年度に製作したパネル輝度自動測定システム設備を用いて、2 次元輝度自動計測と補正データ抽出の検証実験を進めると共に、自動測定制御ソフトの改良、測定精度の改善を進めた。輝度計測値から算出した輝度補正係数を用いてパネル試験システムにて補正画像の評価を行うと、補正ズレのある画素が見られた。補正係数の精度が不足していると考えられ、この場合は輝度計測やり直しとなるため、工数増大を招く。これを防ぐため、輝度補正係数の妥当性を検証する手段を輝度自動計測に組み込んだ。装置に改良を施し、輝度自動測定データ取得後すぐに、対象パネルに対して輝度補正処理を行う機能を追加した。補正精度を検査し、不良箇所だけを再度輝度計測する仕組みを取り入れた。これにより画面 1 m²あたりの計測は約 60 分となり、従来比 1/3（80 分）以下の目標値を達成した。

上記②にも述べたチューブ 1 本ごとのガラス管形状の自動測においては、ガラス管ばらつきの要因、特長を継続して調査・分析することで、計測精度を改善するとともに計測ミスを防ぎ、ガラス管形状自動計測による管ランク分けの基本技術確立した。

本研究開発の課題の本質は、プラズマチューブ 1 本ごとの輝度ばらつきにあり、ばらつき補正技術の開発と並行してその発生要因の詳細調査を進めてきた。H22 年度は、輝度ばらつき要因のうちガラス管形状誤差によるものが見出した。またガラス管形状の各パラメータが輝度値に及ぼす影響も調査した。これらバラツキ要因の特性を利用して、輝度補正を補足する手法を考案し、目標達成前倒しの目処を立てた。当初計画よりも、より簡易な信号補正処理回により輝度ムラ低減目標を達成でき、より低コストでの画質改善に取り組んだ。H23 年度も継続して輝度ばらつき発生要因の詳細調査を行った。駆動電圧の変動や、電極フィルム部材の形成精度揺らぎなど、変動要因があった場合にも、輝度ムラ補正精度を保てるよう、これら変動要因の影響調査と、対策検討を進め、対策を施した。

研究開発の概要

本開発技術のような超大画面ディスプレイの普及が始まっており、高品質画像の PTA 表示装置を早期に市場投入することが求められており、目標達成期間短縮に取り組んできた。目標達成のための研究開発内容の概要を以下に述べる。

①チューブ毎の輝度補正技術の開発（篠田プラズマ株式会社）

PTA 特有の輝度バラツキに対して最適な、チューブ 1 本毎の個別の輝度ムラ制御アルゴリズムの開発及びこれらのソフトウェアを搭載した画像処理エンジン(LSI)の開発を行う。この輝度補正処理は、電力を効果的に使い画面全体の輝度・階調を総合的に制御する処理と連携して実装することにより、PTA 方式の高臨場感の高画質な映像表示と低消費電力を両立する超大画面ディスプレイを実現できる。

従来のディスプレイでは、画面全体に対して行う輝度補正か、あるいは LED アレイに適用される発光素子(LED) 1 個ごとの輝度調整の技術が開発されている。しかし、PTA 方式は、細長いチューブ状の発光部品を作り、これを多数並べてプラスチックフィルムの電極シートで挟み込む構造である。本方式のようなチューブ状の発光部品を並べる構成では、チューブの特性そのもののバラツキやフィルムの張り合わせ状況に関連して特有の輝度バラツキが発生する。輝度バラツキはチューブ 1 本内のバラツキと各チューブごとのバラツキを考慮して、それぞれに適応した補正アルゴリズムを開発することでより効果的な補正が可能となる。このバラツキを補正して、表示アドレス期間分離階調駆動法(ADS 法)に適した画像データを形成して、高品位なディスプレイ画像が実現できる。この方法は、これまで開発された例がなく、従来の輝度補正技術は適用できない。

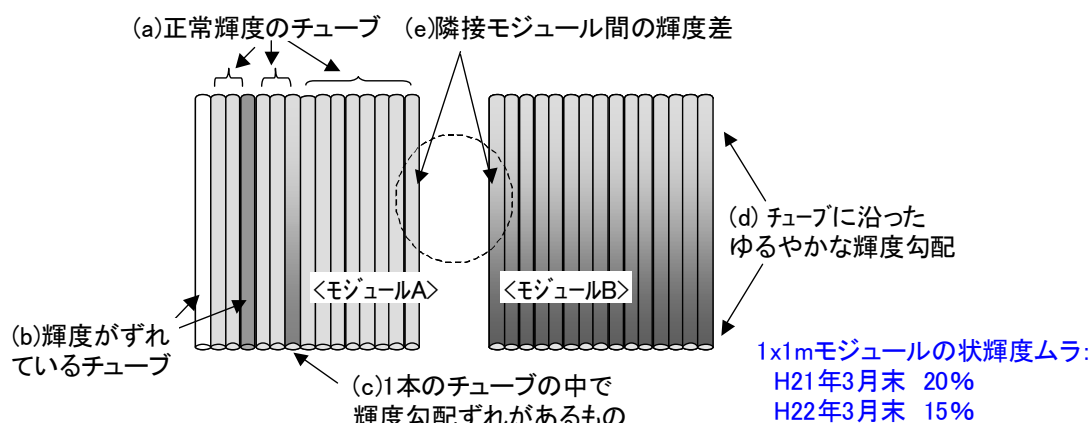


図7 PTAにおける輝度バラツキ課題

PTA 方式における輝度バラツキ課題の現状を図7示す。図のように正常なチューブの輝度を(a)とすると、これに比べて (b)輝度が明るいまたは暗い方向にずれているチューブ、(c)1本のチューブの中で輝度勾配ずれがあり部分的に輝度がずれるものがある。さらに、本方式ではモジュール型表示画面をさらに複数並べて大画面を形成するので、1つのモジュールの中で全体に、(d)チューブに沿ったゆるやかな輝度勾配がある場合に問題となる。また(e)隣接させたモジュール間で平均輝度に差がある場合は、画面全体で見た場合に輝度バラツキとなる。

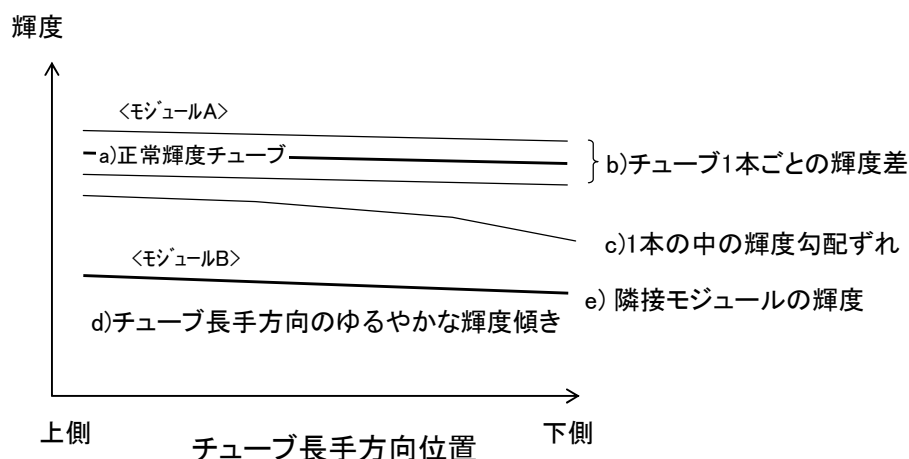


図8 輝度バラツキのあるチューブの輝度値

これらを輝度値グラフに分類して図8に示す。輝度は1本ごとにばらつくほかチューブ1本内の輝度勾配、モジュール全体のゆるやかな輝度傾きがある。このため、これらバラツキを信号補正処理する場合の複雑さにつながる。

PTA では中間階調輝度を制御するため PDP テレビと同様の ADS サブフィールド法を用いている。これは、ある1画面を表示させるときに、1枚の画像を輝度値の異なる複数の画像(サブフィールド)に分解して(例えば8枚)、高速に各画像を表示発光させ、人間の目の中で分割された輝度情報が合成されて画像が見えるという方式である。このため、同じ輝度を出そうとする2本のチューブのうち、一方に輝度補正を行う場合、複数の画像に分割するときの分割画像ごとの発光がお互いに異なることとなる。この場合、補正を受けたチューブとそうでないチューブの間に発光時間のずれによる微妙な輝度差

(人間の目の中で合成される時の輝度差) が現れる可能性がある。さらに、上記サブフィールドへの分解は入力画像の状態（主に電力負荷）に合わせて切り替えられるため、入力画像に応じた輝度補正の制御も必要となってくる。また隣接させるモジュール間のつなぎ目の輝度差も考慮した補正が必要である。

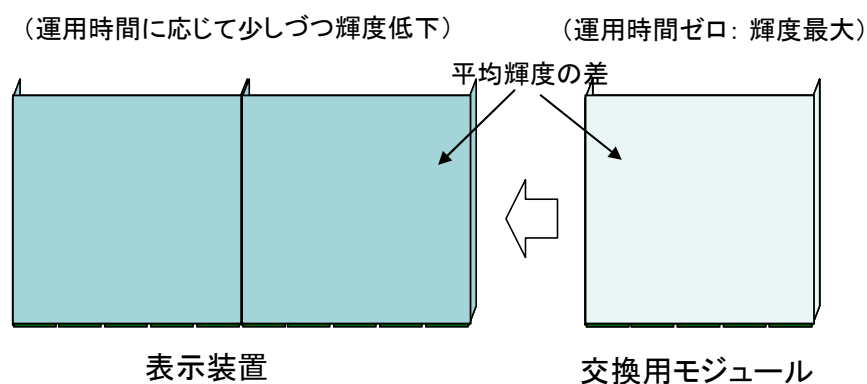


図9 PTA モジュール表示装置運用上の輝度ばらつき課題

モジュール型の PTA では、図9に示すように、運用上でのモジュール間輝度バラツキがある。ある程度の運用時間を経過した表示装置では少しずつ輝度低下するが、図のように既設の表示装置モジュールの隣接に運用時間ゼロの交換用モジュールを配置する場合は、平均輝度に差があるため、これも補正する必要がある。

以上のような PTA 特有の輝度バラツキ課題に対して、チューブ 1 本ごとの輝度差をゼロに近づけるのは非常に開発コスト・製造コストがかかり現実的ではない。本研究開発では、製造コストを上げることなく高い画像品質を提供することを目標とし、下記のような補正アルゴリズムを持つ回路 (LSI) の開発を行った。

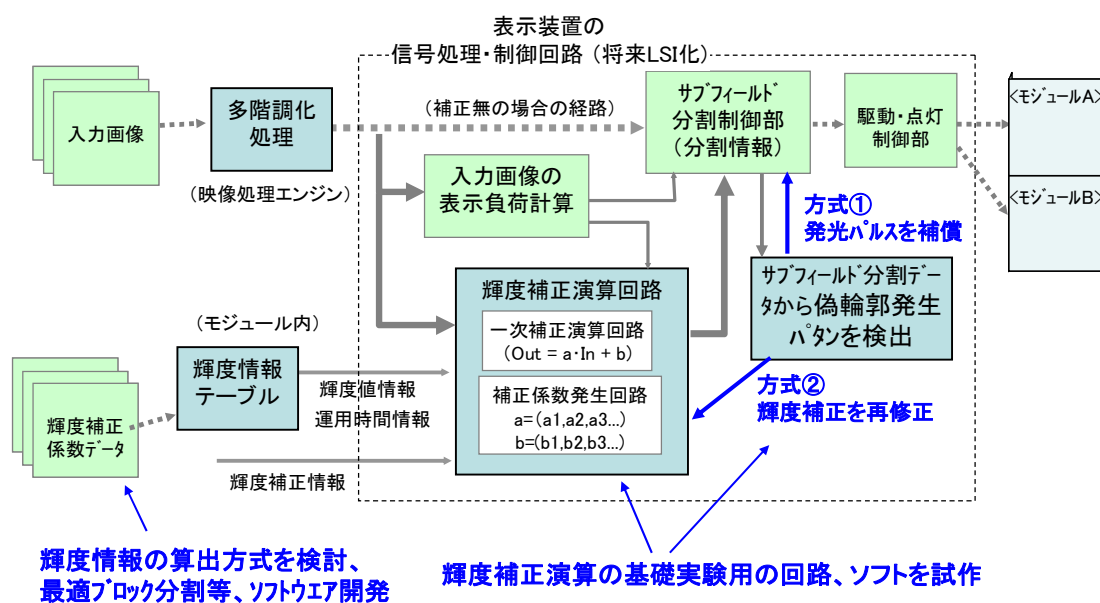


図10 信号処理・制御回路での輝度ばらつき補正基本構成

まず、信号処理制御回路での画像信号データ演算を行う基本構成を図10に示す。輝度補正を行うための演算処理回路は、HDTV 画素数に対応するためには高速処理が要求

されるので、演算自体はできるだけ単純化し、その係数切り替えを高速で行うことで、図8に示した各バラツキ状態に最適化した演算を行う回路を開発する。この係数切り替えは、補正係数発生回路により、モジュールからの輝度情報、当社からの運用時間や生産ロットに応じた輝度補正情報、入力画像からリアルタイムで得られる表示負荷情報、を元に総合的に計算・生成される。この係数生成回路が開発ポイントの一つであった。

サブフィールドに分割された画像は、輝度補正演算による発光時間ずれの影響を再度修正するための補正が必要に応じて行われる。また、演算による補正では、基本的に輝度の低いチューブに高輝度チューブの画像データを合わせ込むことになるので、画像データの階調表現数が若干減る可能性がある。このため画像入力部前段で階調数を予め増やしておく多階調化処理も必要となる。

H21年度の開発において、複数のバラツキ要因が複合したチューブ1本ごとの輝度ばらつきを解析した結果、チューブ長さ方向に渡る輝度バラツキは現状チューブでは、各チューブ代表輝度値での補正では効果が少なく、長さ方向にかなり多くのブロック分割を行い、各ブロックごとの代表輝度で補正する必要があると判った。輝度ばらつきの発生要因ごとの特徴を抽出した結果から、複合的なバラツキ要因にも対応できる補正手法を検討した。H22年度においては、ブロック間の境界部での微小な輝度ずれへの対応など、年度目標をクリアするための新規方式「最適ブロック分割法」の追加を検討した。また、ADS駆動特有のサブフィールド法に対する輝度補正の影響（明線、暗線の副作用であり、偽輪郭と呼ばれる）が現れることが判った。この、輝度補正の副作用である偽輪郭を低減するための回路方式の検討を進め、方式案として、暗線に対応する位置に発光パルスを追加する方法（方式1、発光補償型）、偽輪郭発生が予測される画素位置の輝度補正を遡って再度修正する方式（方式2、特定パターン監視型）を検討した。H22年度の実験結果から、上記二方式でなくとも偽輪郭を抑制可能と判った。H23年度開発において最終的には輝度補正をチューブ1本ごとの補正係数で行うのではなく、1本のチューブ内をさらにランダムに選んだ数画素ごとの補正係数を用いるか、または全画素個別の補正係数を用いる方式が有効と判り、これを実施できる回路・ファームウェア開発を進めることとした。

H22年度は、1×1 m²画面サイズのPTAに対して、輝度ムラを7%以下に低減できることを目標とし、さらにガラス管ランク分け法で最終目標である「輝度ムラ4%以下」を早期に達成できる目処を立てた。後術するガラス管形状計測データからチューブごとの輝度をランク分けして、同一ランク内のチューブを集めてアレイ化、PTAモジュール製作を行う事でモジュール内の輝度バラツキを抑え、これに図10の信号補正処理を併用する方式を採った。この補正方式での輝度補正を図11に示す。図の左側は、輝度ランク分けされたチューブを用いて、同一ランク（ランクAとB）でアレイ化したモジュールの輝度ばらつきを示す。全チューブ間のばらつき20%に対して、モジュール内では約1/2のバラツキに抑制される。それぞれのモジュールに対して、補正信号処理を行う事で、右図のように各モジュール内で4%以下のばらつきに抑えられる。このとき、モジュールA,B間に輝度差があるが、このモジュール間の輝度補正値を加えて補正信号処理を行う事で全画面を4%以内の輝度ムラに抑えることができる。ただし、補正後の輝度を見ると、チューブの上側・下側での輝度差が残る。このため、複数のPTA表示フィルムモジュールを並べて画面形成する場合には、隣接部の輝度差をさらに補正することが必要となる。

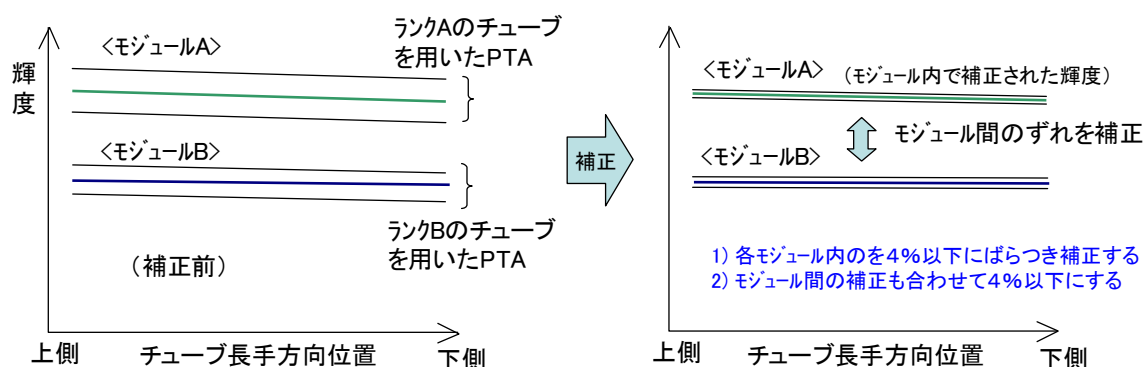


図 1 1 チューブ輝度ランク分けを併用した輝度ばらつき補正

上記の新しい補正信号処理を行う回路の基本方式を検討・試作すると同時に、さらにバラツキ要因解析を進め、ブロック分割法のアルゴリズム補強を進めた。この回路では所定の輝度補正值をメモリテーブルから読み出しつつ、入力画像に応じて、ゲイン補正係数値を線形補間により生成し、入力画像データに対するゲイン演算を順次高速に行う。これら信号処理を実装する回路基板を試作し、動作実験と効果検証を行った。H23 年度はこの信号処理回路を用いて、実パネルの輝度補正実験による効果検証を行い、最終的に輝度ムラ 4 % 以下の実証データを得た。

②輝度補正データ自動実装技術の開発（篠田プラズマ株式会社）

本研究開発のサブテーマ「①チューブ毎の輝度補正技術」の結果をふまえ、後述するサブテーマ「③チューブ状発光部品の輝度自動測定技術」による計測結果から自動で、チューブ 1 本内のバラツキ補正用およびチューブ 1 本毎のバラツキ補正用の係数データを生成するための輝度情報テーブルを、チューブ製造工程とリンクした情報として PTA 表示装置に実装するソフトウェア技術の開発を進めた。

前述のサブテーマ①で述べたアルゴリズムは、製造工程での輝度情報を用いた工程内フィードバック、輝度情報のモジュール製品実装から、実際の表示装置に搭載される信号処理制御回路での画像信号データ演算、さらにはフィールド設置後のモジュールからのフィードバックを合わせたシステムを想定している。工場生産から表示装置までの一連の輝度補正全体のアルゴリズムを図 1 2 に示す。

H22 年度の当初計画では、チューブ製作の段階で、各チューブ 1 本ごとの輝度測定を行い、測定結果によるランク分けの工程を追加していた。チューブごとの輝度を大まかに測定して輝度高低ランク分けして、ランクごとにチューブをアレイ化した PTA モジュールを製作することで、信号処理による輝度ばらつき補正の効果を高めることを想定していた。

しかし、画面全体に対する 2 次元輝度自動計測に比べて、チューブ 1 本ごとの輝度測定は非常に作業効率が悪く、工数が大幅に増加することが判った。チューブ製作工程での単体輝度測定と、モジュール製作工程での 2 次元輝度測定の工数を合わせると、従来の輝度測定工数（4h/m²）よりも増加する。

これを解決するため、チューブ 1 本ごとの輝度計測に代えて、図 1 2 左（チューブ

製作工程) に示すように、ガラス管形状の詳細測定を行って、そのデータから輝度ランクに相当するチューブ選別・ランク分けを行う方式を考案した。従来、ガラス管は管幅計測により良品選別管理を行っていたが、今回、図 13 に示すように、管の高さ、扁平部の幅についても計測する。このシステムはそれぞれ以下のような流れで運用される。

- 1] ガラス管製作に連動してチューブ 1 本ごとの断面形状を高速に自動計測し、輝度異常チューブを選別するほか、各チューブの形状パラメータ（高さ、扁平部の幅）でランク分けし、選別する。（管高さが高くなると輝度低下、扁平部の幅が狭くなると輝度低下する。）
 - ⇒ チューブ選別情報、ランク分け情報をパネル工程にフィードバック
 - ⇒ モジュールごとに使用したチューブの輝度ランク、およびロット情報を記録
- 2] モジュール完成後に全画面に渡り 2 次元輝度計測を行い、チューブ並び方向（水平方向）、およびチューブ長さ方向（垂直方向）に輝度分布を算出
 - ⇒ 輝度補正值テーブルを作成し、モジュール上のメモリに実装
- 3] 実際の輝度バラツキ補正のための演算処理はセット側の信号処理制御回路で行う
 - ⇒ モジュール上の輝度補正情報を表示装置側の信号処理制御回路に読み出す
 - ⇒ 既設モジュールについては各モジュール運用（点灯）時間情報等も読み出す
 - ⇒ 各モジュールごとの輝度情報を総合して、全画面の輝度補正データを生成
 - ⇒ 各チューブごとのバラツキをメモリテーブルから読出しながら演算実行

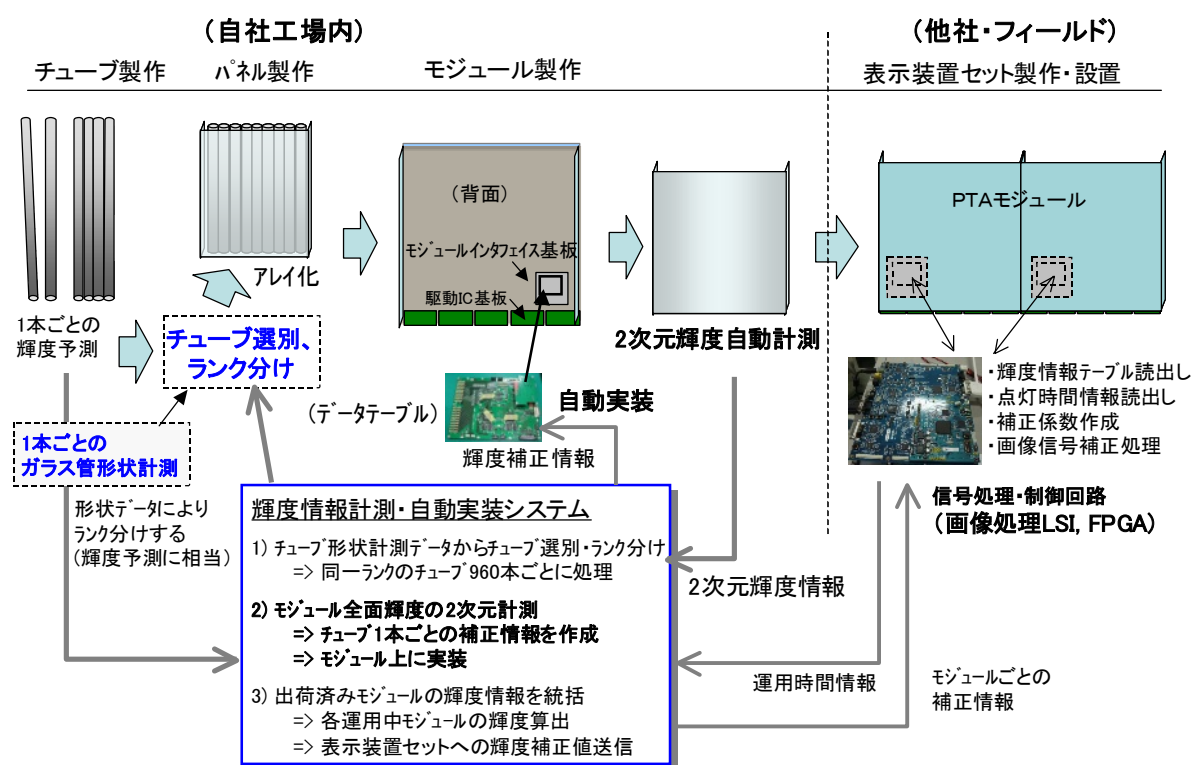


図 12 PTA モジュール輝度ばらつき補正全体アルゴリズム

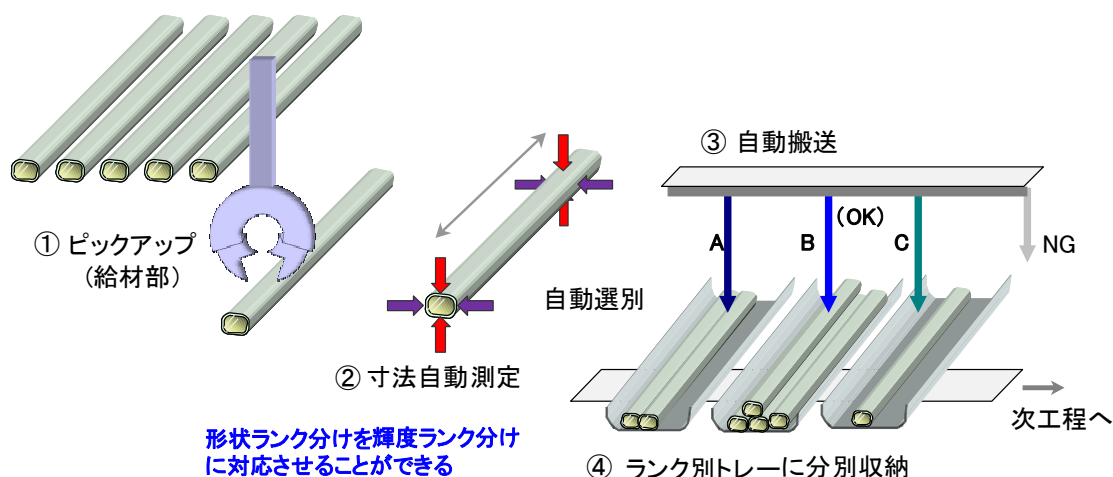
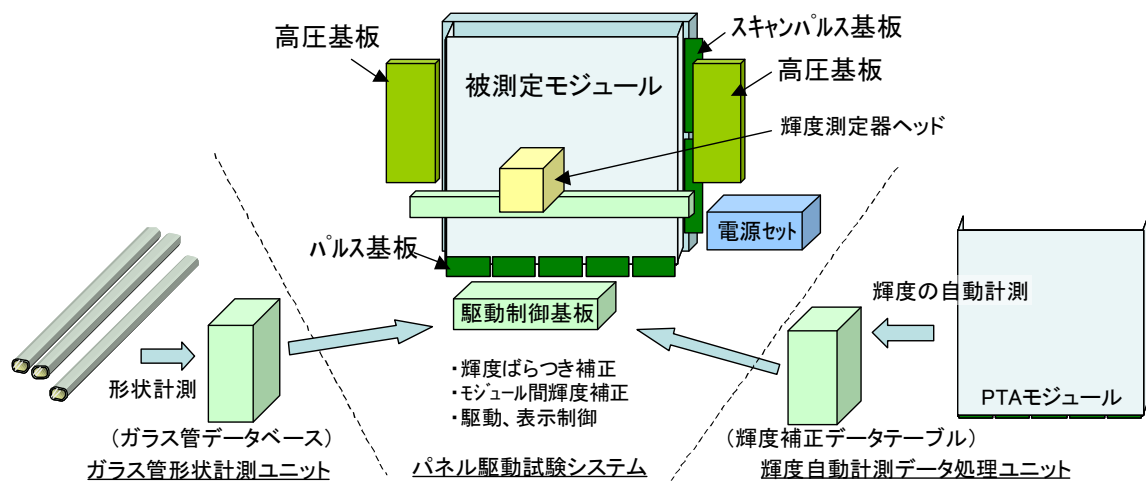


図 1 3 ガラス管形状の自動計測

図 1 3 のガラス管高速自動計測装置開発は、ガラス管形成工程からの部材をピックアップして計測機構にセットするハンドリング部と、自動計測部から構成される。自動ハンドリング部分は、直径 1mm のガラス管をキズを付けず高速に扱う機構の難易度が高いが、原理実験機を試作と通じてノウハウを蓄積して方式開発に成功した。さらに、これらの装置について実際の PTA 製作工程内へ、工数増大させない連続処理として導入可能な装置方式・運用方式検討を進めた。

以上のようなガラス管自動計測・ランク分け、輝度自動計測・輝度補正值テーブルの実装を一貫して行うことにより、チューブ製造工程において多少輝度バラツキがあっても、それらを良品ジュール化でき、チューブ特有の各輝度バラツキを均一化し、高品質画像表示が可能となる。本アルゴリズムでは、モジュール間にまたがる輝度バラツキ情報も補正可能となり、モジュール組合せ構造である PTA に最適な輝度補正運用が可能となる。また、高速演算に対応できるバラツキ補正アルゴリズムであり、将来の超高解像度化にも対応できる。

H22 年度末には、輝度自動測定装置を用いることで、モジュール製作工程での二次元輝度測定から輝度補正データテーブル算出まで 1 時間以内で行える目処が立っていた。ガラス管高速自動計測装置を開発し、実際にガラス管をランク分けして、同一ランクのみの PTA 表示フィルムを試作し、図 1 2 のチューブ製作からモジュール製作までの工程を模擬した実験を行い効果を確認した。H23 年度の実験では、図 1 3 のパネル駆動試験装置を用い、チューブ工程でのランク選別データと補正係数データの、駆動制御回路への自動実装まで合わせて、全体で 1 時間程度で処理できるソフトウェア処理系の開発を進めた。



パネル駆動試験システムに、ガラス管計測データベースと輝度補正值テーブルを接続し、補正情報自動実装、補正処理、画像確認の基礎実験を行う

(ガラス管データベースからのデータ実装を追加)

図 1 3 パネル駆動試験装置を用いた実験系構成概要

H23 年度には、さらに各装置の改良を進め、上記の管形状自動計測・選別とチューブアレイ化工程へのフィードバック、PTA モジュールの 2 次元輝度自動測定と $1 \times 1 \text{ m}^2$ モジュールに対する輝度補正データ算出とモジュール上のメモリへのデータ自動実装まで、合わせて、1 時間以内に処理できる実験系と制御ソフトウェアを開発させた。

③チューブ状発光部品の輝度自動測定技術の開発（篠田プラズマ株式会社）

PTA ではチューブ 1 本ごとの発光輝度均一性が求められる。また 1000 本程度のチューブを並べた際の画面全体に渡る輝度均一性が求められる。計測手段として、撮像素子を利用した二次元計測と、その計測情報からチューブ 1 本ごとの輝度情報を抽出する手法および処理ソフトウェア、さらに計測情報から画面全体に渡る輝度バラツキ情報を抽出する手法および処理ソフトウェアを開発し、総合的な輝度自動測定技術を確立する。この自動測定技術を搭載した輝度自動測定装置の構成概要を図 1 4 に示す。輝度測定器ヘッドとして感度補正され正確な輝度値に変換された出力が得られる光精度撮像素子を用いたカメラを用いる。これに高精度な自動ステージ、位置決め装置と制御ユニット、カメラデータ処理ユニットを組み合わせ、各制御、データ処理アルゴリズムとソフトウェア開発を行う。装置試作・効果検証実験により、サブテーマ①②と合わせて総合的に開発技術検証を行う。

H21 はステージ構造と制御方式の開発、画面点灯を撮像した二次元センサー出力値から、1 画素ごとの輝度値を精度よく算出する方式（画素輪郭自動検出と輪郭内積分による輝度算出を組み合わせるソフトウェア）を開発した。H22 年度は、測定装置の計測ヘッド位置精度の改善と評価、位置決め機構制御ソフトウェアや補正係数算出処理ソフトウェアの改良・高速化を行い、測定工数の従来比半減（2 時間程度）を達成した。H23 年度はさらに、H22 年度までの性能評価、課題調査を元に、追加改良を施し実用化課題への対応を進めた。

実際の PTA 製作工程内への導入可能な装置仕様の検討を進めるため、主に図 15 に示した、制御用 PC への制御ソフトウェア追加、計測ヘッド改良による輝度計測の高速化、輝度計測データ処理改良による補正值算出の高速化、および、試験画像用 PC と画像表

示制御系への補正プロセッサ追加による、輝度補正機能の追加を行った。これにより輝度自動測定とガラス管形自動測定を合わせて、工数を従来の 1/3 (80 分/m²) に低減することを目指した。

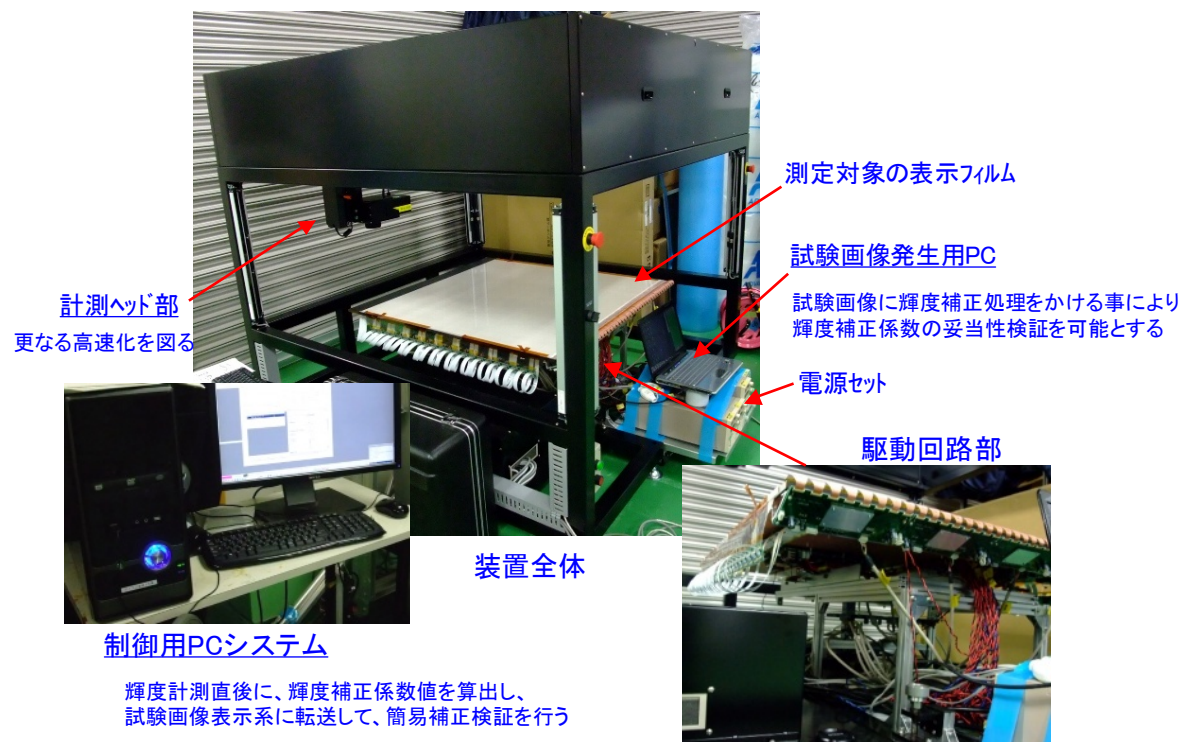


図 1 4 輝度自動測定装置の全体と各部構成、実用化に向けた改良点

1-4 当該研究開発の連絡窓口

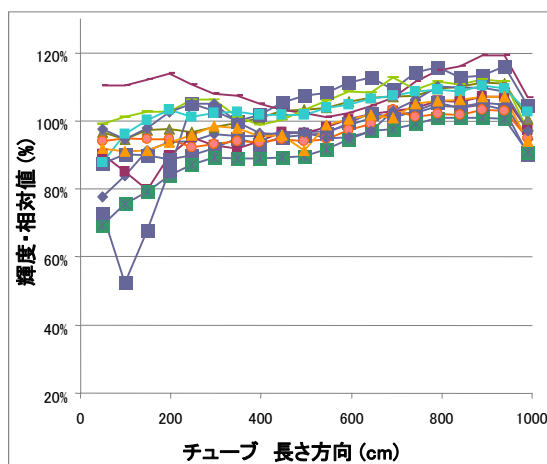
篠田プラズマ(株) 主監 栗本 健司 e-mail: awamoto@shi-pla.com
Tel: 078-302-1728 Fax: 078-302-1768

第2章 本論

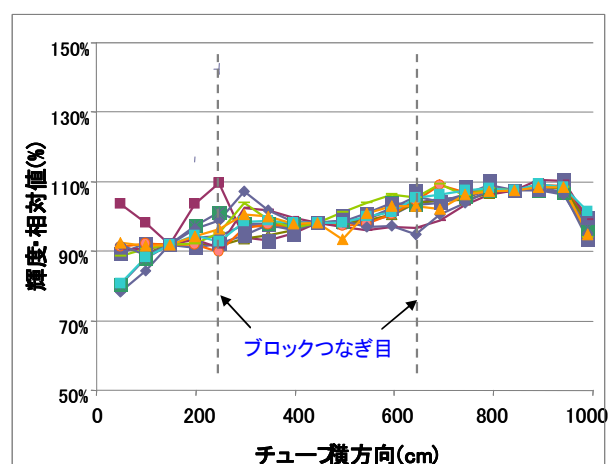
2-1 チューブ毎の輝度補正技術の開発

本開発で対象としている輝度ムラは、テスト画像を用いた主観評価において4%以下にすれば視聴者には輝度ムラとして認知されないという評価結果が得られている。まず、輝度補正方式の原理検討を行うため実験回路を構築して、補正演算のための係数データ（ゲイン係数、オフセット係数など）を予め輝度計測値からPC上で演算により求めておき、補正情報を回路基板へ伝送して、画像補正・画質評価実験を進めた。基本的な画像信号処理アルゴリズムの開発とFPGA実装・動作検証を行ったのち、複数PTAモジュールを組み合わせたPTA大画面表示装置セットに対応する補正処理制御技術の開発を進めた。4%以下であればよいという主観評価結果であるので、回路自体の演算精度は8bit ($1/256 = \text{約} 0.4\%$) あれば良いことになる。

1本のチューブにつき、管長手方向に複数エリアに分割してそれぞれ補正を行う方式を開発して、H21年度は回路構成、処理アルゴリズムなど基礎的な開発を行った。このエリア分割方式の課題としては、ブロックのつなぎ目で特定のチューブの輝度がずれて、分割位置を変えても、別のチューブで輝度ずれが増えるなど各チューブごとの輝度ばらつきの状態差が影響することが懸念された。H22年度では、ブロック分割法、エリア内の輝度補正值算出法について開発を行い、補正方式としての有効性を検証した。開発した結果を掲載した補正処理の結果を図15に示す。20ブロックに分割計測した輝度のばらつき・元データ（左）と、チューブ長手方向3ブロックに分割補正した結果（右）を示している。ガラス管長手方向全体に輝度の傾きがあるため、ブロックのつなぎ目での輝度一致を優先させた処理方式では、緩やかな輝度傾きが残る結果となった。この輝度傾きは、別の補正アルゴリズム追加により処理可能である。管端の特異画素を除くと、ブロック内での輝度ムラは7%以下となるので、緩やかな輝度傾きを全体的に補正することで7%以下の輝度ムラとなる。



各プラズマチューブの長さ方向20点の輝度を計測
(ばらつき補正前)



(ばらつき補正後)
計測した20ブロックのうち、3、9、17ブロック目を代表輝度として、ブロック分割(1-5、6-12、13-20)してゲイン補正

図15 1x1m表示モジュールに対する補正結果（3ブロック分割方式の効果）

このように、ブロック間の境界部での微小な輝度ずれへの対応など、新規方式「最適ブロック分割法」の改良を進め、1×1 m²画面サイズの PTA に対して、輝度ムラを7%以下に低減できることにめどが立ったが、さらに以下の手法で最終目標である「輝度ムラ4%以下」を早期に達成できることが判った。これは、後述するガラス管形状計測データからチューブごとの輝度をランク分けして、同一ランク内のチューブを集めてアレイ化、PTA モジュール製作を行う事でモジュール内の輝度バラツキを抑え、これに信号補正処理を併用するものである。この補正方式での輝度補正の概念を図16に示す。

図16(左)は、輝度ランク分けされたチューブを用いて、同一ランク（ランクAとB）でアレイ化したモジュールの輝度ばらつきを示す。全チューブ間のばらつき20%に対して、同一ランク内では約1/2のバラツキに抑制される。それぞれのモジュールに対して、補正信号処理を行う事で、右図のように各モジュール内で4%以下のばらつきに抑えられる。このとき、モジュールA,B間に輝度差があるが、このモジュール間の輝度補正值を加えて補正信号処理を行う事で全画面を4%以内の輝度ムラに抑えることができる。ただし、補正信号処理後にもチューブ長さ方向の輝度の傾きが少し残ることが判っている。このため図16(右)のように、モジュールAとBをお互いに左右どちらに配置するかでモジュール間輝度補正量が変化する。PTA 表示装置では、ほとんどの場合、複数のPTA 表示モジュールを並べて大画面化するため、このようなモジュール位置に応じた輝度補正が必要となる。

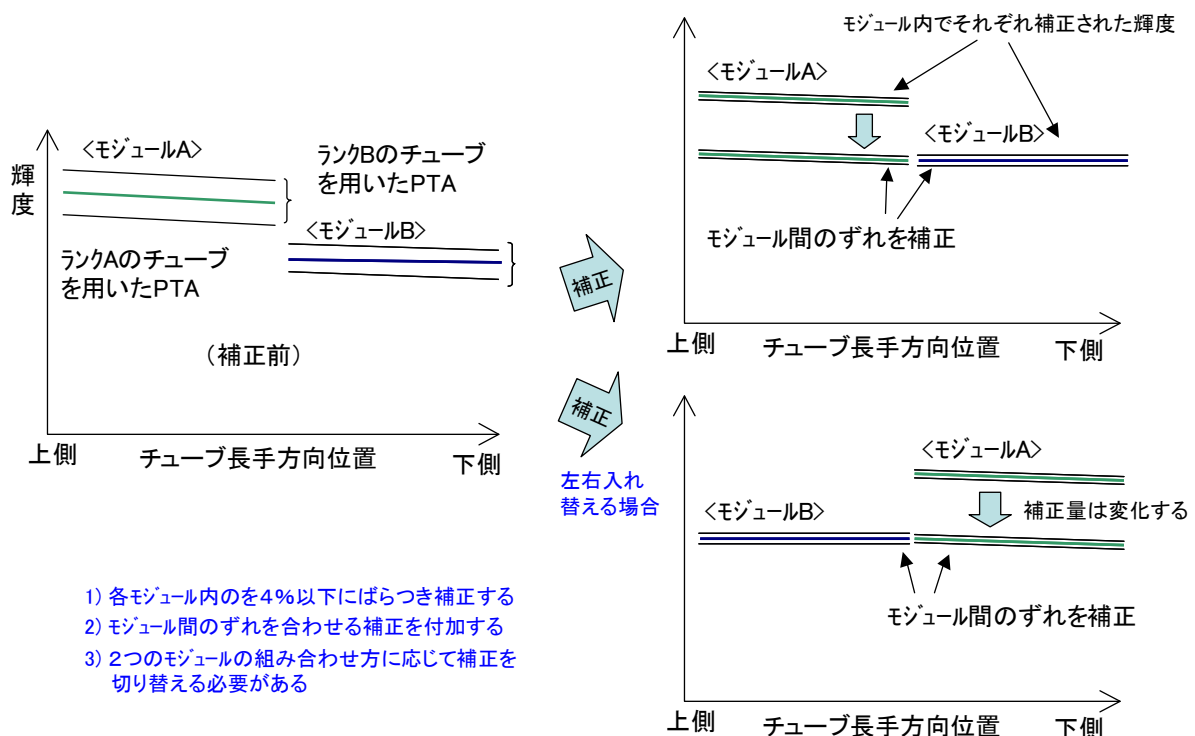


図16 チューブ輝度ランク分けを併用した輝度ばらつき補正

上記の補正信号処理を行う回路の基本構成は前章の図10に示したものと同様である。バラツキ要因解析をさらに進め、ブロック分割法のアルゴリズムについても補強を行い、補正方式確立を目指した。H23年度はこの回路構成の信号処理回路を用いて、実

パネルの輝度補正実験による効果検証を行い、輝度ムラ4%以下の実証実験を進めた。さらに、本回路は今後の製品搭載の際に、小型化が必要であるため、単一FPGA内への移植や将来の専用LSI化の検討も進めた。

新たに判明した課題として以下のことがある。本補正技術では、モジュール内のチューブごとの輝度差を補正する信号処理と、複数のモジュールを並べて大画面を構成したときの、各モジュール間の輝度差を埋める信号処理の二つからなる。ここで、後者の各モジュール間の輝度差を埋める信号処理を評価したところ、以下の検討課題が判った。

- 1) 1つのモジュールに対して、図17に示すように隣接モジュールに接する上下左右、4つの接続部分があり、各接続部全てにおいて輝度差が目視されないように最適処理する必要がある。
- 2) 大画面化した複数のモジュールは、場合により頻繁に組み替えられる事がある。これは、イベント・展示会用途などにおいては、会場で、ある画面サイズ・構成にて一定期間使用し、その後分解して別の会場に運搬して、別の画面サイズ・構成にて再度組立・調整して利用する場合が想定される。この場合、組立現場において、どのモジュールの隣接組み合わせであっても、上記1)の上下左右接続部の輝度差が目視されないよう、短時間で再調整する機能が必要となる。

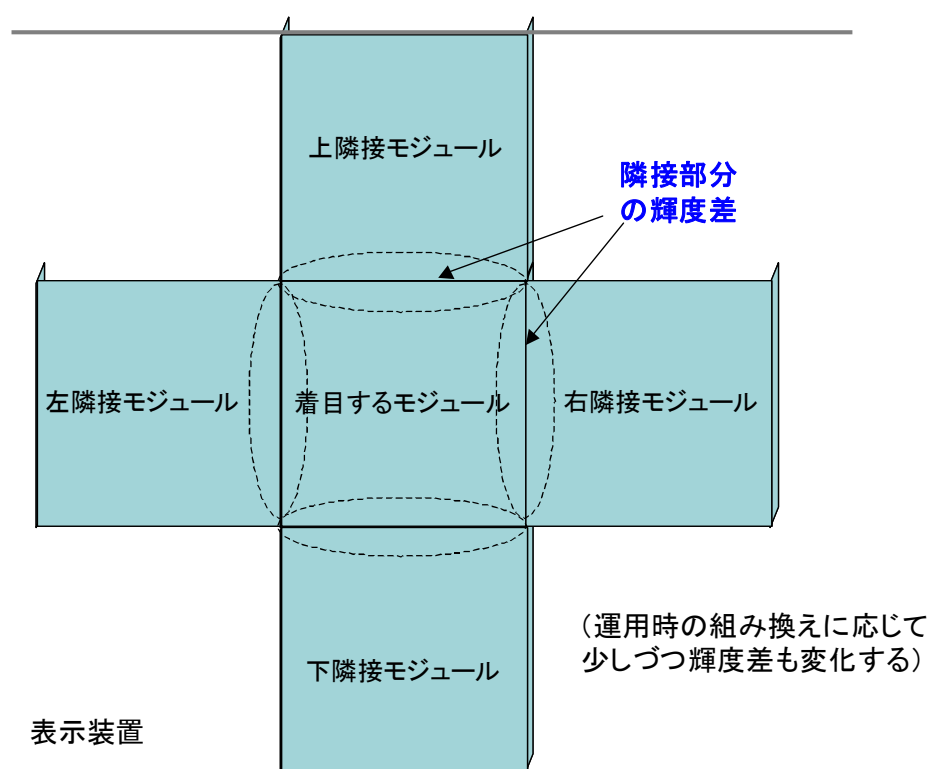


図17 PTAモジュールを用いた表示装置 大画面化時の隣接輝度差

このようなモジュール組み換え時においても、モジュール間の輝度補正を容易行うため、図18に示すような画像信号制御回路の基本構成を検討した。元々PTA表示装置では、ユーザーが表示する画像を1x1mサイズのモジュールに適合するよう分割する機能を持っている。この分割は図18のDVIスプリットボードが行っており、ここにモジュール間の輝度補正機能を持たせる構成とした。これにより、補正值データの情報

データベースを持つノート PC などの制御ツールを接続し、運用現場においてモジュール間補正の組み換えを容易に行う事が出来る。(これまでは、各 PTA モジュール内の制御基板にて、モジュール内の輝度補正と隣接間輝度補正を合わせた補正データテーブルを作成して一度に補正する構成としていた。) モジュール間の補正を分離したことで、1つのモジュールに対して図 1 7 の 4 つの接続部の補正を最適化した補正値を PC 内で計算し、回路基板に伝送して、最適補正が可能となる。

実際に図 1 8 の複数モジュールを接続した構成で実験を行える DVI スプリット回路基板を設計・試作して総合評価・検証実験を行った。実験データについては次の 2-2 節で述べる。

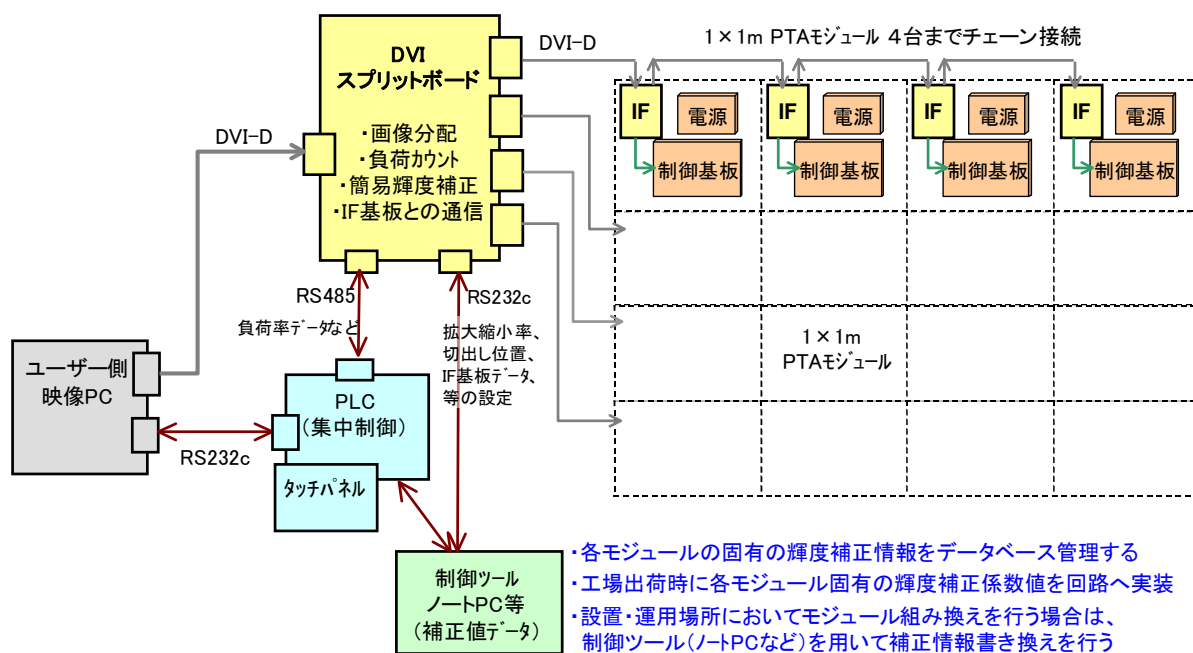


図18 複数の PTA モジュールを考慮した画像信号制御回路の基本構成

2-2 輝度補正データ自動実装技術の開発

1×1 m²画面サイズの PTA に対して輝度自動測定を行い、そのデータを用いて輝度補正演算用の係数データ算出する。続いて、駆動制御回路へ補正係数データを自動実装する。製造工程内での自動計測から出荷モジュールへのデータ実装までを合わせて 1×1 m²あたり 1 時間以内で処理することを目標としている。本年度開発では、係数データ算出方式、モジュールへの搭載方式の検討と検証、生産から設置・運用まで含めた補正データの取り扱い方法の検討を進めた。

前述のサブテーマ①で述べたアルゴリズムは、製造工程での輝度情報を用いた工程内フィードバック、輝度情報のモジュール製品実装から、実際の表示装置に搭載される信号処理制御回路での画像信号データ演算、さらにはフィールド設置後のモジュールからのフィードバックを合わせたシステムを想定している。工場生産から表示装置までの一連の輝度補正全体のアルゴリズムは図 1 2 に示した通りである。

前述のように、各チューブ 1 本ごとの輝度測定を行い、測定結果によるランク分けを行うのでは非常に作業効率が悪く、工数が大幅に増加するため、チューブ 1 本ごとの輝度

計測に代えて、図12中に示すように、ガラス管形状の詳細測定を行って、そのデータから輝度ランクに相当するチューブ選別・ランク分けを行う方式を採用した。本方式では図19に示すように、管幅に加えて、管の高さ、扁平部の幅についても計測する。特に管断面高は、ガラス管内の放電発生位置に対する蛍光体層の位置に直接影響を及ぼすため、蛍光体発光に直接影響することが判ったため、特に重要な制御パラメータと判った。

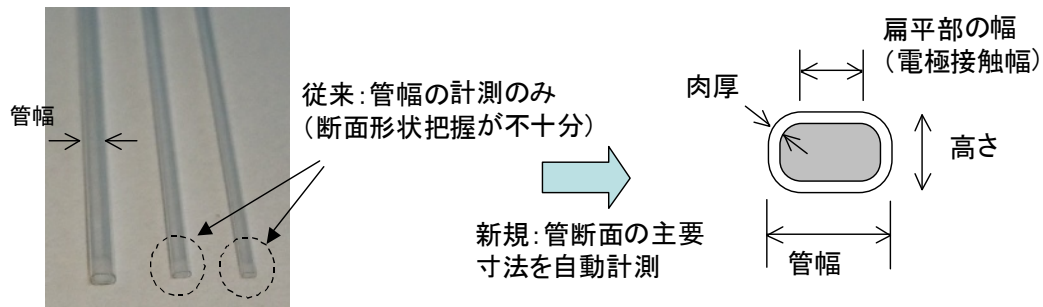


図19 ガラス管形状の自動計測（計測パラメータ）

H22年度の開発では、輝度自動測定実験設備を用いることで、2次元輝度測定からチューブ選別の工程へのフィードバック情報（輝度ランク情報）算出まで1時間以内で行える目処が立った。H23年度は上記の管形状自動計測・選別とチューブアレイ化工程へのフィードバック、PTA表示フィルムの2次元輝度自動測定、1×1 m²モジュールに対する輝度補正データ算出、およびモジュール回路上のメモリへのデータ自動実装まで、合わせて、1時間以内に処理できる実験系と制御ソフトウェアの開発を進めた。

改良・実験評価を進めて行く中で、工程内での時間短縮を進める上でネックとなる新たな課題が判明した。これは、ある1 x 1 m-PTA表示フィルムの全画素の輝度を自動計測し、補正係数データを作成したのち、このデータを伝送・実装した回路基板を当該PTA表示フィルムと合わせてモジュール組立てして、画像表示検査を行った際に、輝度補正処理を行っても所定の輝度ムラ基準値以下にならない場合がある。これは画面内の一部のみで輝度ムラが残る現象として目視される。この要因としては以下の事が考えられる。

- 1) 輝度自動計測において、計測値が外乱・ノイズなどの影響により誤差を含んでいる。
- 2) 輝度自動計測を行った時点での計測値は所定の精度内であったが、モジュール組立・画像表示試験を行うまでの間に、駆動パルス電圧の若干の調整があり、その駆動パルス電圧差により特定の画素、チューブで輝度が変化している。

これら要因を実測・調査したところ、上記1)2)いずれの場合もある頻度で起こっている事が判った。1)では、自動計測時の外乱・ノイズなどの影響を抑制する対策は進めるものの、いずれにしても外乱・ノイズによって計測値がずれていることを判別する仕組みは必要である。2)では、輝度自動測定装置に搭載する回路基板・電源装置の個体差がある事と、モジュール最終試験では、駆動安定度を優先した駆動パルス電圧設定調整を行うことから、若干の電圧差は避けられない。駆動パルス電圧が若干変化しても本来はほとんど輝度変化しないと考えているが、輝度値の電圧依存度が無視できない特定のチューブが存在する可能性はあるため、その特定チューブを検出して排除するか、または電圧変動があった場合に対して、その輝度変化ができるだけ目視されないような輝度

補正の仕組みが必要となる。

これら課題に対して、輝度自動実装工程の流れを見直して改良する対策と、後述する輝度自動測定装置（パネル計測システム）改良による対策を行った。

上記課題 1) に対応するため、輝度自動測定装置の画像表示部に、補正プロセッサと補正プログラムを組み込み、ある PTA 表示フィルムモジュールに対して輝度自動計測と補正係数算出を行った後、この補正係数を画像表示部に伝送して補正プロセッサで簡易補正を行う。輝度測定直後に補正結果を確認できるため、輝度計測時に規定以上の誤差を含む場合には検出して、再度輝度計測をその場でやり直すことができ、時間のロスを最小限に留めることができる。

課題 2) に対応するため、輝度自動計測時に、代表とする一部の画素エリアについて、駆動パルス電圧（具体的には駆動波形パルスのスキャンパルス電圧、アドレスパルス電圧、維持パルス電圧）を規定の幅だけ変化させてその時に起こる輝度変化を計測しておく。これにより電圧変動による輝度変化のレベルを事前に把握でき、想定する電圧変動内で輝度変化が無視できない画素、チューブが存在する場合は、駆動回路基板の電圧変動仕様に反映させる。

以上の開発を総合的に検証するための図 1 3 に示した実験系を構築し、試作した実験用 PTA 表示フィルムモジュールを用いて駆動と輝度計測実験を行った。

上記の各バラツキ要因による変動幅を調査し、その変動幅の外乱を与えて輝度計測を行う実験を行った。バラツキ要因の一例と実験データを図 2 0 に示す。この図は、輝度ムラ比較用に形成誤差をセレクトした 2 枚の前面電極シートを用いてチューブアレイを試作し、その輝度を測定したものである。図 2 0 (右) のようにチューブアレイに対して異なる電極形成精度のシートをラミネートし、各電極シートのチューブ中央部輝度を代表として計測した。この事例では、輝度は平均 6 %、1 本のチューブに対しては最大 1 0 % 程度ずれる事が判る。実際の製作では 1 枚の PTA 表示フィルムに対し 1 枚の電極シートを用いるので、上記のようなバラツキは発生しないが、複数の PTA 表示フィルム製作時に、お互いに平均輝度 6 % 程度のもジュール間輝度差が発生する可能性がある。これに対し、H23 には形成精度とラミネート位置合せ精度を改善できる新規前面電極シートを試作し、この輝度差を半減した。

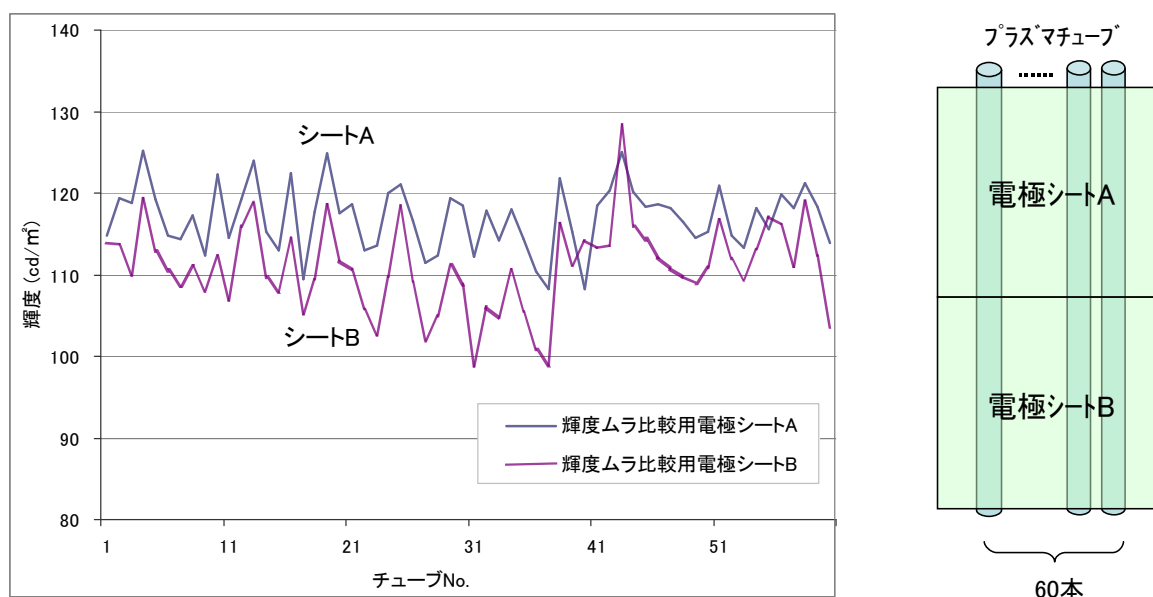


図20 バラツキ要因(前面電極シートの個体差)による輝度計測データ変化

以上述べたように、PTA 表示フィルムのデバイス自体のばらつき要因を低減すると同時に、輝度補正係数算出時の誤差もその場で検出・修正できるようになった。これらの効果を総合的に検証する輝度補正実験を行い図 2 1 に示す結果を得た。この実験では、チューブ長さ方向の上、中、下 3 ヶ所について、それぞれ 30 mm（約 10 画素数分）の輝度計測を行って、1 x 1 m画面を上下に接続する場合のモジュール間輝度ずれも含めて、目標値に入るかどうかを検証した。輝度自動計測装置に搭載した補正プロセッサで前面白表示画像を補正処理し、輝度計測した結果、図 2 1 のように輝度中心値に対して最大でも± 2 %（4 %）の範囲内にあることが判り、目標達成を確認できた。

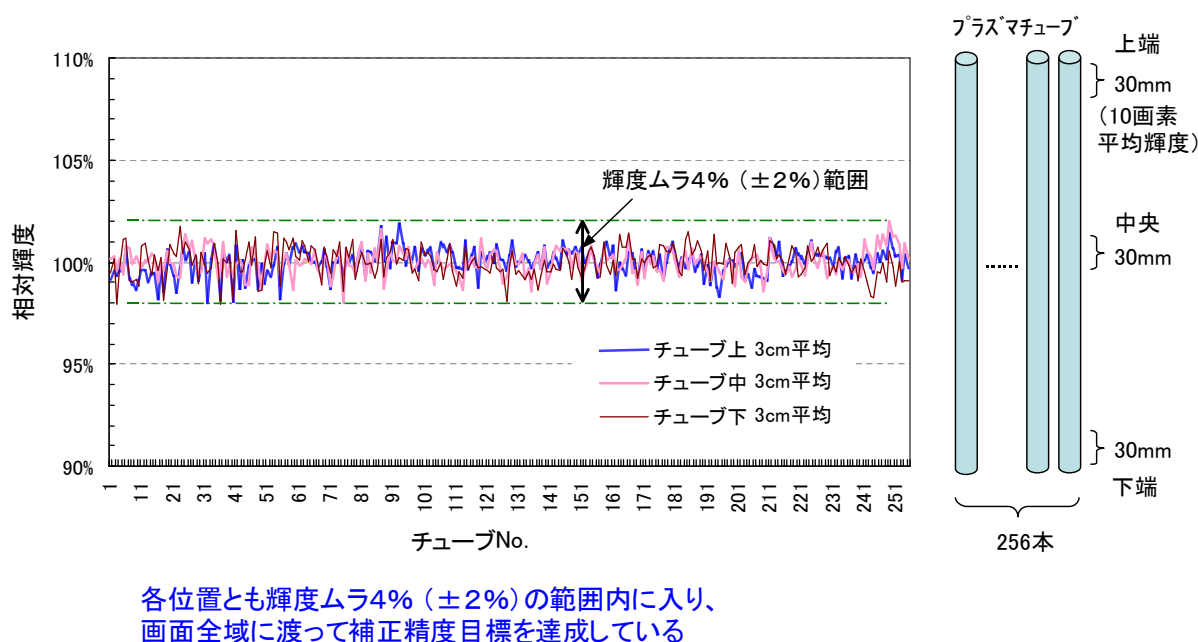


図21 輝度ムラ補正検証（実測した輝度補正係数を用いて補正処理を行い、再度輝度計測）

2-3 チューブ状発光部品の輝度自動測定技術の開発

輝度自動測定装置の開発では、まずステージ構造と制御方式の基礎検討から始め、点灯画面を撮像した二次元センサー出力値から、1画素ごとの輝度値を精度よく分離・算出する方法として、画素輪郭自動検出と輪郭内積分による輝度算出を組み合わせるソフトウェア処理方式を開発した。さらに、測定装置の機構改良と評価、制御ソフトウェアやデータ処理ソフトウェアの改良を行い、測定工数の従来比半減（2 時間以内）を達成していた。測定時間を制約しているのは、主に、PTA モジュールの基準画素位置の検出、計測ヘッドの位置制御における、各ブロック計測位置への位置あわせに要する安定化時間、ヘッド移動速度など、ハード、ソフト両面での改善ポイントが判明し、これら課題部分をそれぞれ改良し解決した。

また、新たに H22 年度から導入したガラス管形状自動計測装置については、装置開発と平行して、実際のチューブを多数計測する実験を行い、計測方式改良とチューブ自体の改良を進めた。

H23 年度はさらに、輝度の自動測定とガラス管形状自動計測装置の改良実験を進め、実際の PTA 製作工程内への導入可能な装置仕様の検討を進めた。ヒューマンインタフェ

イス（オペレータの操作）に要する時間の削減のため、輝度測定制御ソフトウェアを改良したほか、前章の図 15 に示した装置改良により、輝度自動測定とガラス管形自動測定を合わせて、工数を従来の 1/3（80 分/m²）に低減することを目指した。

ガラス管高速自動計測の開発：

ガラス管高速自動計測による管のランク分けに開発においては、まずばらつきの現状把握を進めた。下表に手動（マイクロメータ）による約 1400 本のガラス管断面高の実測結果を示す。計測した数値に対して、5 μ m ごとに上限・下限を設けたランクを決めて、分類を行った。ランクは A1 から D2 までの 8 ランク（それ以外は規格外、NG 品）とした。この結果を反映させて後述するランク分けトレイ搬送システムでは、最大 8 つのトレイを実装できる設計とした。

上記のガラス管形状分布も考慮して、図 2 2 に示すような、ガラス管形状自動計測とランク分けをプラズマチューブ工程導入するための要素技術開発項目①～④を挙げた。これら各開発要素について、機構実験治具を試作して、原理検討実験を行った。

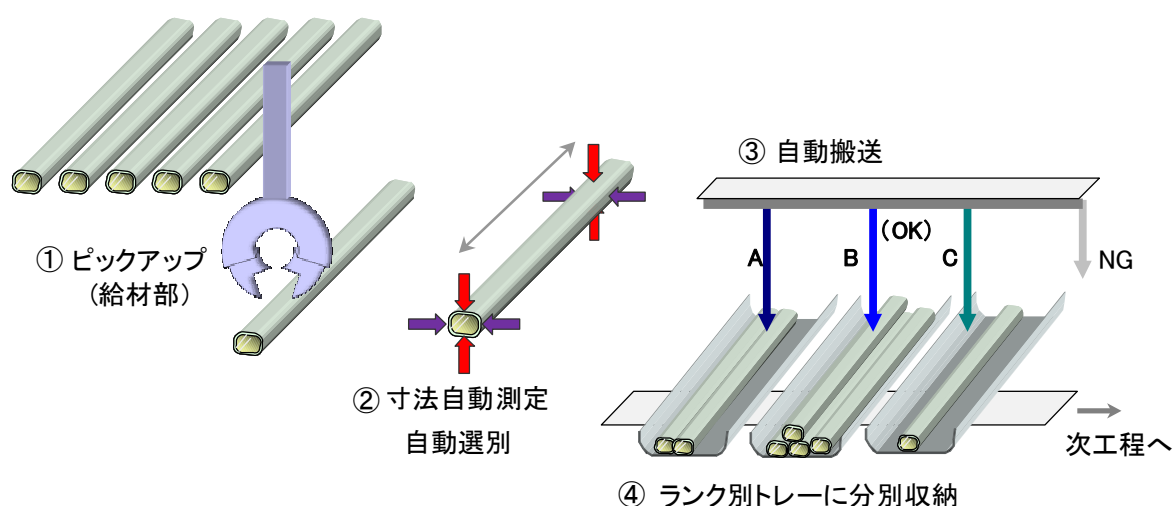


図22 ガラス管形状自動計測とランク分けをプラズマチューブ工程導入するための要素技術

実際に設計試作したガラス管高速自動計測装置と、サンプル管を用いて計測・ランク分け実験を行った様子を図 2 3 に示す。この実験では 6 段階のランクとして、6 本のトレイを用いた。

ガラス管高速自動計測による管のランク分け方式開発においては、継続してばらつき要因把握を進めた。管長さ方向に渡って緩やかに管高さと幅が変動する事例であったので、計測法を改良してこの緩やかな変動も検出できるようになった。

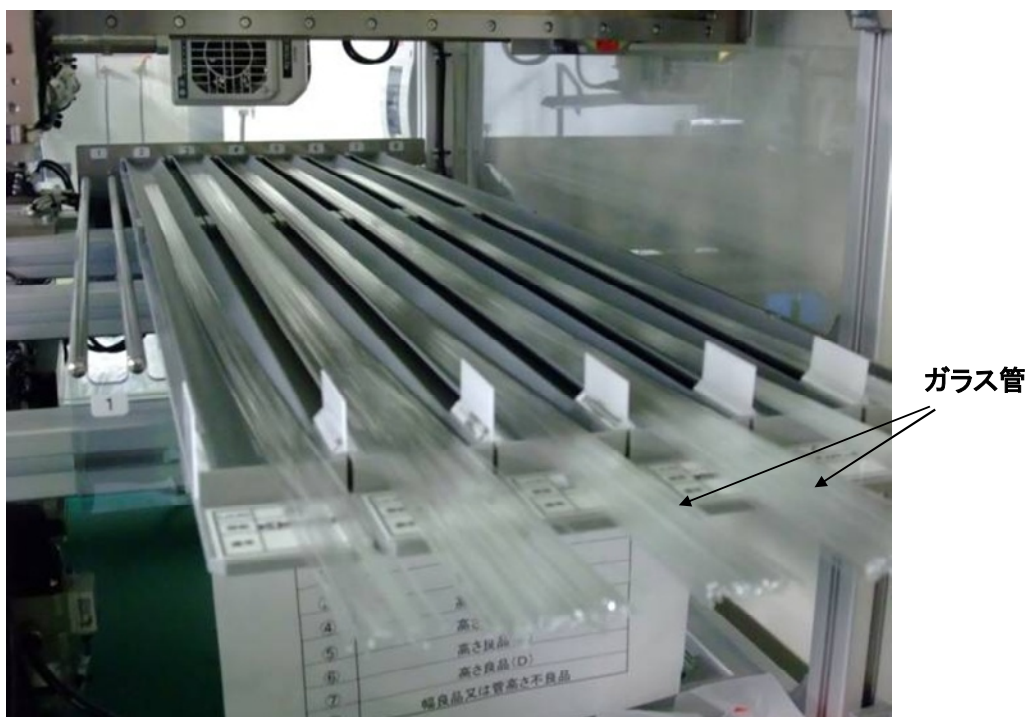


図23 ガラス管高速自動検査装置内部（ランク分けトレーにガラス管スタックされた状態）

輝度自動計測の改良：

前述した、輝度自動計測と輝度補正係数値算出に誤差が表れる場合の原因の一つとして、輝度計測における、二次元撮像データから 1 画素ごとの画素情報抽出にエラーがある場合が判明した。輝度が弱い場合、または外部からの散乱光が混入する場合に、1 画素のエリア確定が不確実になる。これに対して、1 画素エリア確定の精度を向上させ、1 画素ごとの輝度検出の誤差を改善した。

前章図 1 4 で示したように、輝度補正係数の妥当性を検証する手段を輝度自動計測に組み込んだ。装置に改良を施し、輝度自動測定データ取得後すぐに、対象パネルに対して輝度補正処理を行う機能を追加した。補正精度を検査し、不良箇所だけを再度輝度計測する仕組みを取り入れたことにより、補正係数データの誤差発生を防ぐことができるようになった。

オペレータの操作に要する時間の削減のための、測定制御ソフトウェア改良として、ユーザインタフェース画面の新規追加と改良を行った。図 2 4 に示すように、選択ブロックについて、全輝度データのヒストグラム表示、輝度補正係数を作成して計算上で補正を施したときの輝度ヒストグラム（輝度補正予測値）の表示を行えるようにした。

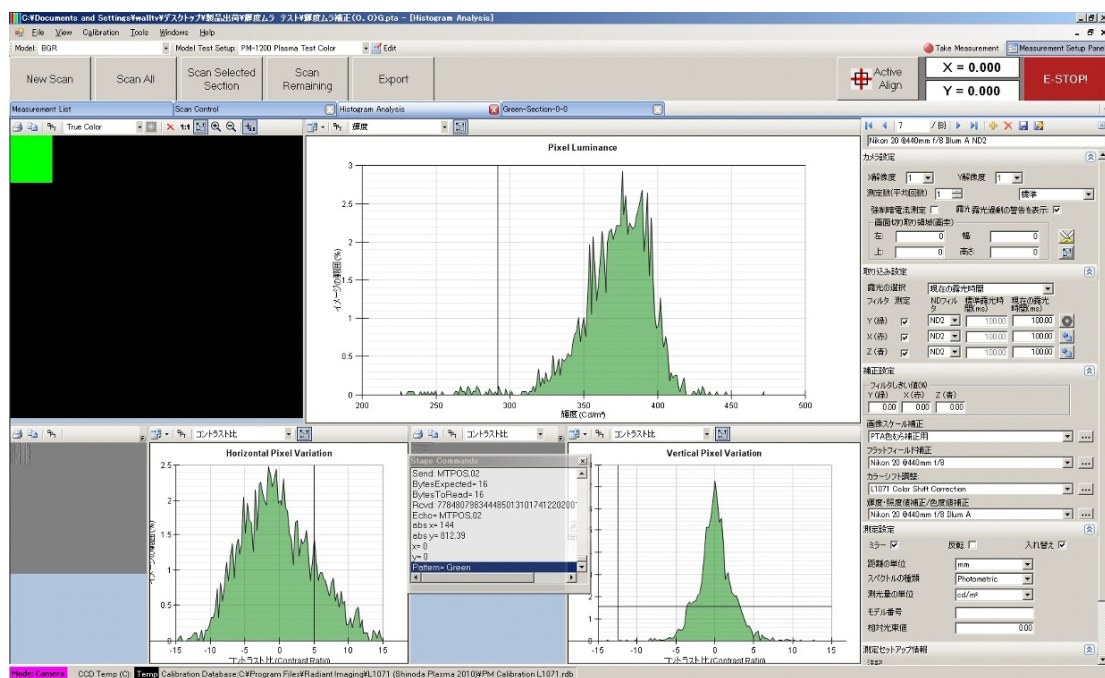
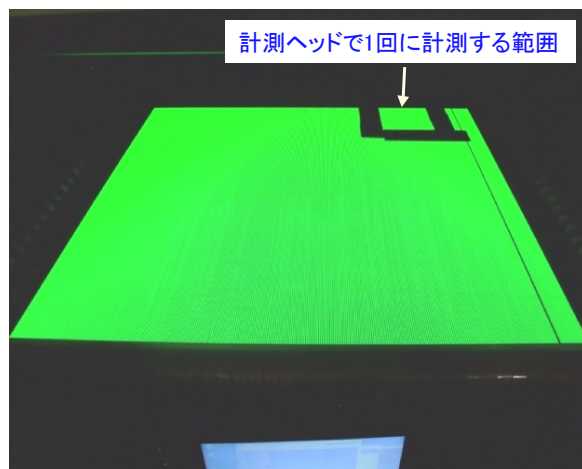
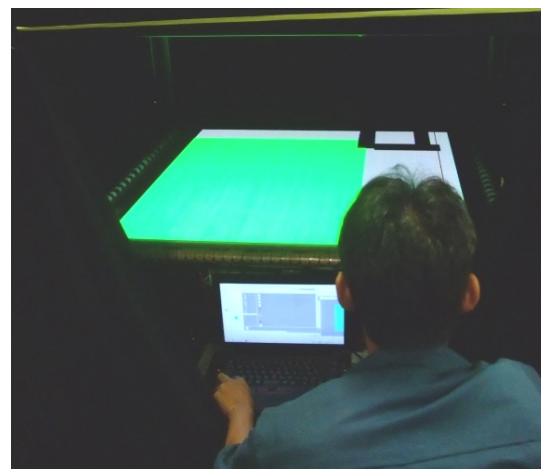


図24 計測制御ソフトウェアの改良(計測データと輝度補正後予測値のグラフ表示追加)

以上のソフトウェア改良により、輝度計測実行、電圧調整、計測データの妥当性確認、特定ブロックを指定した再測定など、一人のオペレータにより容易に操作・実行できるようになった。図25に改良システムによるオペレータ実験作業の様子を示す。



(a) 前面・単色(Green)点灯して計測する様子



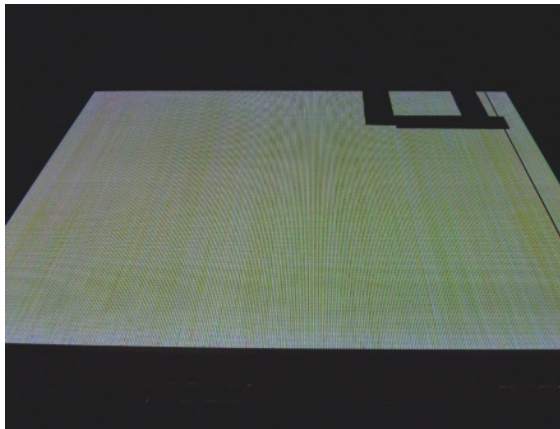
(b) 試験画像を操作する様子

図25 改良したソフトウェアを用いた輝度計測実験の様子

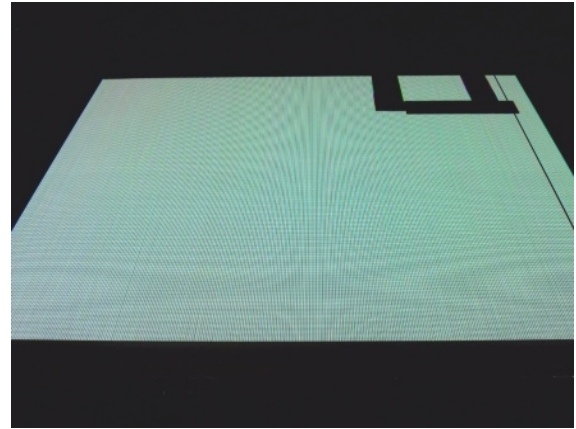
補正効果検証の総合試験として、画面全体に渡る補正処理実施での画像目視試験を実施した。実験の一例を図26に示す。(a)は輝度ずれのパターンを見るために、目視視認し易いように、Greenのみ補正しない全面白色点灯を行ったものである。(b)は全画素補正の場合の白色点灯(b)である。比較すると、(a)では、Red、Blueのチューブが信号補正されるため、輝度の低いチューブ・画素に合わせて輝度が抑制され、輝度が均一になると同時に、約10%程輝度低下する。Greenのチューブは補正されないため、ばらつきが残る上に、輝度がR,Bに比べて高い方にばらつくことになるため、目視でその輝度ムラパターンが容易に確認できる。全チューブ、全画素補正した(b)では目視ではほとんど判別できないまで輝度ムラが低減されていることが判る。(図21に示した補正後輝度ムラ

4%と同等の画像)

1 枚の PTA 表示モジュールに対する処理は約 60 分であった。(目標は 80 分以内) これら取り組みにより、輝度自動計測と輝度補正データ算出の方式・装置を確立した。



(a) Greenのみ補正信号処理なしの白色点灯



(b) 全画素補正信号処理した場合の白色点灯

図 2 6 補正効果検証総合実験 (全白画像に対する補正処理効果)

第3章 全体総括

3-1 全期間における研究開発成果

本研究開発期間の3年間において、輝度ムラ4%以内を実現するためLSI化可能な高画質化信号処理技術を開発し、また、輝度情報の自動計測から画像処理回路への自動実装まで総合制御する計測系と制御ソフトウェアの開発、自動測定方式と測定設備の開発を行った。これら開発を、以下の3つの実施項目に分けて進めた。

①チューブ毎の輝度補正技術の開発：

本研究開発事業開始時点でプラズマチューブ1本ごとの輝度ばらつきにより画面の輝度ムラが20%あったが、H21年度の補正演算回路開発により輝度ムラ15%への低減し、H22年度には、1本のチューブ内をさらに分割補正する方式を検討し、輝度ムラ7%以下の目処を立てた。さらに、H22年度に開発したチューブ1本ごとの輝度値と相関の高いガラス管形状計測データを元に、チューブを輝度ランク分けしてアレイ化する手法の効果による輝度ムラ半減と合せて、H23年度には最終目標である輝度ムラ4%以下を達成した。

②輝度補正データ自動実装技術の開発：

1×1 m²画面サイズのPTAに対して、輝度自動測定データを用いて、輝度補正データ算出し、続いて駆動制御回路へ補正係数データを自動実装する。これらを一貫して合計工数1時間以内に処理できるプロセス方式と制御ソフトウェアを開発することを目標とした。

H21年度の開発では工程内でのデータ取得を最終工程での輝度自動測定のみとしていたが、H22年度の開発では、前半工程のチューブ製作工程での1本ごとの輝度計測データを元に、輝度ランク分けしてアレイ化する手法を提案した。ランク分したアレイ化で輝度バラツキを1/2程度に抑制でき、これに信号補正処理を併用することで、実施項目①の最終目標である輝度ムラ4%以下の可能性を見出したが、1本ごとの輝度測定は工数が大幅に増大する課題が残った。そこでH22年度後半から、実施項目③でさらなる自動計測技術の開発として、ガラス管形状高速自動検査装置の開発を行い、工数を増やすことなく輝度ランク分け方式を工程導入することが出来るようになった。以上の結果を総合してH23年度はパネル駆動試験システム（画像表示による効果検証機）を中心に、パネル測定システム（実験パネルの輝度自動計測と補正データ生成）、およびガラス管形状高速自動測定装置（チューブの選別・ランク分け）とランクごとのアレイ化作業を一体で運用する実験を進め、PTA表示モジュール1枚あたりの従来の生産工程時間に対して1時間以内の工程時間付加で画像表示試験まで行えることを確認した。

③チューブ状発光部品の輝度自動測定技術の開発：

H21年度に製作したパネル測定システム設備を用いて、2次元輝度自動計測と補正データ抽出の検証実験を進め、画面1 m²あたりの計測を従来比1/2の2時間に低減できた。さらに、H23年度の最終的な改良型システムにおいては自動測定制御ソフトの改良、測定精度の改善を進め、1枚のPTA表示モジュールに対する処理は約60分に短縮され目標の80分以内を達成した。

上記②のチューブ1本ごとの輝度測定工数増大の課題に対しては、工数のかからないガラス管形状の自動測定結果によるチューブのランク分けを行う事で、輝度ランク分けと同等の結果を得るため、H22年下期は新たな研究として、管形状の高速自動計測技術を開

発した。この管形状自動計測の基本技術と①の信号処理輝度補正技術の開発により、H23年8月には輝度ムラ目標（4%以下）を達成した。

3-2 研究開発後の課題と事業化展開

本プロジェクトにより得られた技術を製品に適用するためには、開発技術の製品搭載設計と検証、フィールド試験、および生産投入するための工場設備開発・導入が必要となる。

①チューブ毎の輝度補正技術の開発成果については、比較的早く製品搭載が可能と考えている。本研究開発で試作した輝度補正実験回路基板とFPGA(Field Programable Gate Array)ファームウェアの基本設計を元に製品搭載回路の設計を行えば、今後6ヶ月程度で製品試作が可能で、その後検証実験と、フィールド試験に進める考えている。ただし、課題としてはFPGA半導体チップが高価であるため、基板当たりFPGAを3個用いる現状の輝度補正回路設計ではコスト増が大きい。今後の製品開発・設計では、より簡易な信号補正処理アルゴリズムを検討するなど、回路規模削減に取り組み、FPGA等の部品コスト低減にも配慮して製品化を進める必要がある。

②の輝度補正データ自動実装技術の開発成果は、既存のPTA生産工程の改装が必要であり、新規生産ラインの導入の際に採用するのが望ましい。そのためには、必要となる新規機械設備の設計を先行して進めておく必要がある。社外・設備メーカーとの協力も含めて、商品開発推進、工場・設備投資資金の調達など進めてゆく。

③のチューブ状発光部品の輝度自動測定技術の開発成果については、本研究で製作した実験機を元に、今後、生産導入に耐えられる高精度で操作しやすい生産装置を設計して行く。操作性などの改良を含めると生産工程への導入は約1年程度かかると予想している。ガラス管高速自動計測装置については現行製品の低コスト化にも効果があるため、先行して生産設備設計を開始し、半年を目処に工程導入する予定である。

以上のような状況から、開発技術のうち、信号補正処理回路は6ヶ月から1年程度で製品試作・検証を完了し、回路追加のコスト増をある程度吸収できるよう、一部のより大きな画面サイズの案件から順次搭載開始して行く。生産工程に導入する開発技術は、設備完成までに約1年かかり、さらに新規生産ライン導入のタイミングとの関係もあるため、1年から2年程度での事業化を考えている。