

平成21年度戦略的基板技術高度化支援事業

「液晶用バックライトに用いる次世代超薄型 導光板成形加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 中 国 経 済 産 業 局
委託先 財団法人 鳥取県産業振興機構

<目次>

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標	1p-3p
1-2 研究体制	4p-6p
1-3 成果概要	7p-9p
1-4 当該研究開発の連絡窓口	9p

第2章 本論

2-1 光学設計技術	10p-14p
①-1：シミュレーションソフトの検討・改良	
①-2：初期光学設計（1）	
①-3：成形試作（1）後シミュレーションソフトを用いた光学補正設計（2）	
2-2 金型設計技術の確立	14p
②-1：初期金型設計（0.5mm～0.4mm 対応）	
②-2：成形試作（1）後の金型修正（2）	
2-3 超高速射出成形技術の確立	14p-15p
③-1：成形試作（1）	
③-2：試作評価（1）	
2-4 ゲート・パーティングライン処理技術の確立	15p-17p
④-1：品質との関連調査	
④-2：処理方法の最適化検討設備作製	
④-3：処理実験・問題点抽出	
④-4：問題点対策	
④-5：完成	
2-5 次世代超薄型導光板の評価	17p-18p
⑤-1：バックライト試作（1）・光学評価	
⑤-2：信頼性試験評価（1）	

第3章 光学シミュレーションシステムから得られた新たな知見

3-1 バリサイズと表示面に対する影響	18p-19p
3-2 バリ処理後の形状と表示面に対する影響	19p
3-3 導光板端部から微小光学制御パターン開始点までの距離と表示面に対する影響	19p-20p
3-4 異物サイズ・存在場所と表示面への影響	20p
3-5 異物の見えやすさと導光板厚みの関連性	20p-21p
3-6 バリの欠け具合による表示面への影響	21p
3-7 導光板入光部ラッパ形状と有効光線との関連性	21p-22p
3-8 光学制御パターンのグラデーションのシミュレーションへの影響	22p
3-9 12インチサイズフル光学シミュレーション	23p

第4章 目標に対する達成度合い

23p

第5章 全体総括

5-1 事業実施により得られた結果	23p
5-2 今後の課題	24p
5-3 事業化展開	24p

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

(1) 研究開発の目標

プラスチック成形加工技術は光学機器の基本的な部品に適した技術であり、すでにレーザープリンター、レンズ、情報機器など多くの分野で用いられている。情報機器分野をみると、マン-マシンインターフェースとして表示デバイスが必須で、とりわけ液晶表示が最も多い。液晶は自発光ではないためバックライトが必須であるが、このバックライトに光学的・超高精度なプラスチック成型品が使用されていることはあまり知られていない。身近なノートPCの市場規模についてみると、今やPC市場全体の成長率を上回る勢いで拡大しておりさまざまなメーカーが参入している。下記図1-1に全世界のPC出荷台数とノートPCの比率を示す。このデータでは2009年で約3億台に届く勢いであり、グラフから年々上昇傾向にありノートPC比率も増加している。

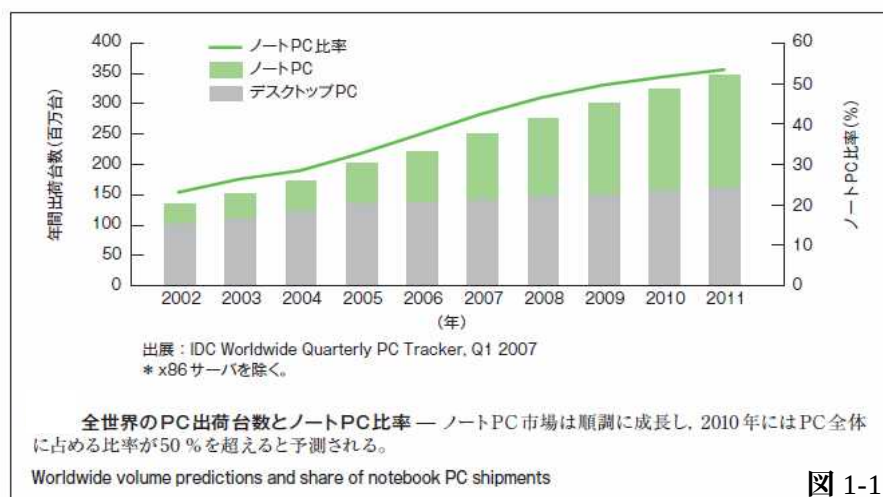


図 1-1

ノートPCは日本の東芝 DYNABOOK が1993年頃から築き上げた市場であるが、台湾・韓国・中国メーカーが参入し価格が大幅に下落するとともに日本の優位性は失われてきた。日本メーカーは再びシェアを奪回すべく高付加価値製品にする方針を打ち出している。例えば従来画面比率が4:3に対し、16:9といったワイド画面、より薄型、バックライト光源にLEDを用いて色再現範囲を広げる、低消費電力化などである。この方向性は日本の力を発揮できる分野である。

この戦略では今まで以上の薄型化（軽量化）・コストダウンが要求される。PC製造業者は部品の小型化・高密度実装を研究し、表示部の液晶メーカーはガラス研磨による極薄液晶パネルを研究している。これら川下製造業者の要求はバックライトに対しても同様で、これまで以上の薄型化とコストダウンである。この要求は材料使用量が低減する（厚みが半分→材料費も半分：コストダウン 50%）→環境にやさしい、薄い→デザイン自由度大、といったメリットがある。

次にバックライトについて簡単に説明を行う。

- バックライトは液晶表示裏側に配置され、その存在は見えない。
- 液晶パネル部分の厚みは0.6mm程度、バックライトは3~5mm程度と厚い。
- バックライト厚みの大半は「導光板」と呼ばれるプラスチック成型品が占める。
- 導光板は光源である冷陰極放電管（CCFL）あるいはLEDといった、直線（CCFL）

あるいは点光源（LED）を2次元平面光源に変換する重要な機能部品である。
液晶モジュールの一般的な断面構造を図1-2に示す。

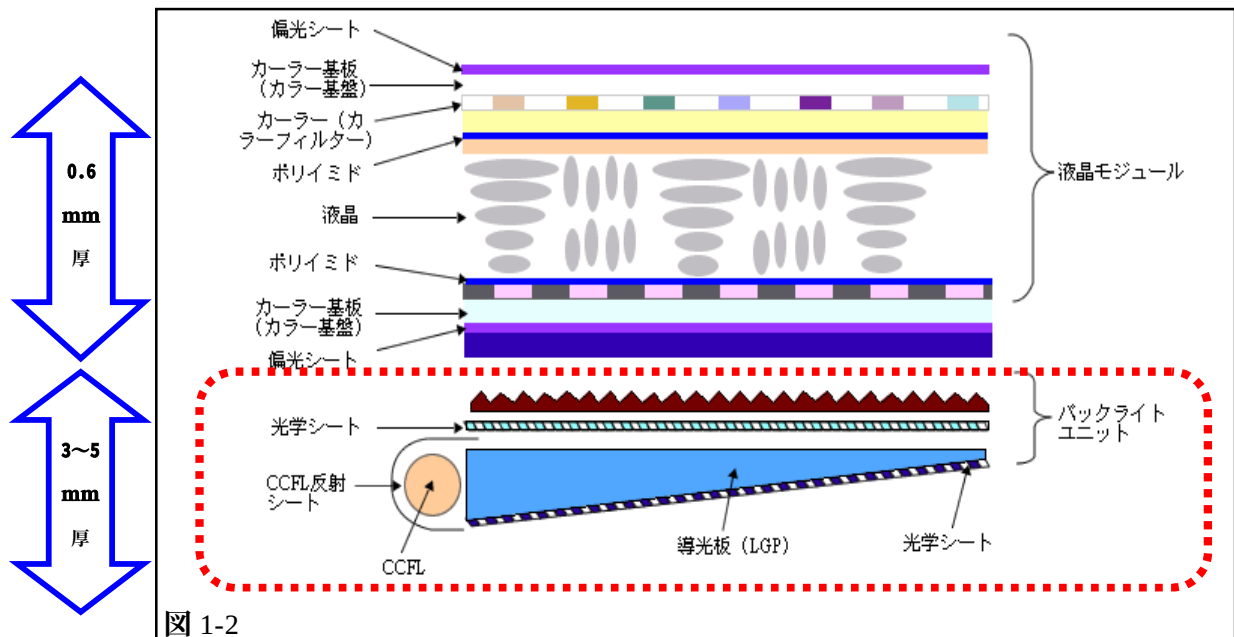


図 1-2

この「導光板」は一樣の厚みではなく、くさび状あるいはLED光源の場合はラップ形状となっている。（図1-3）

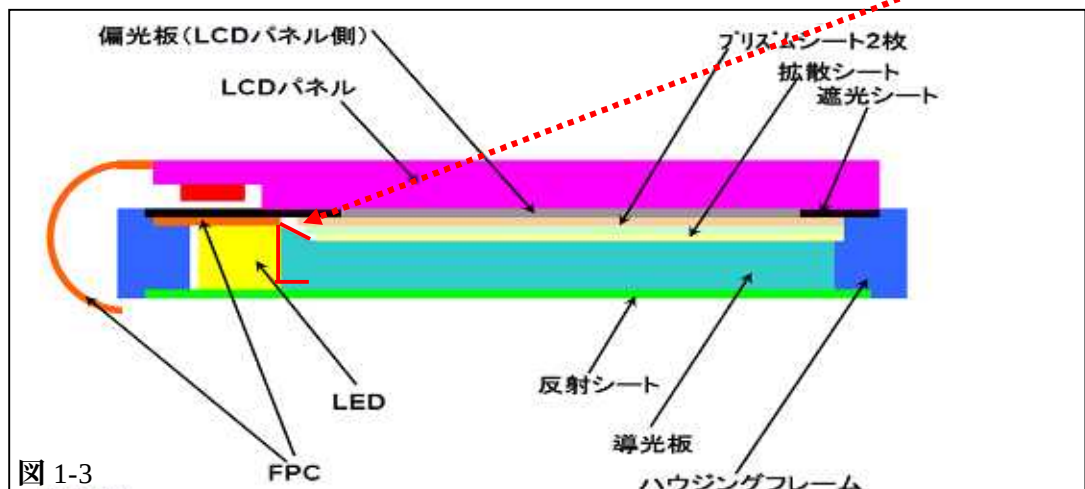


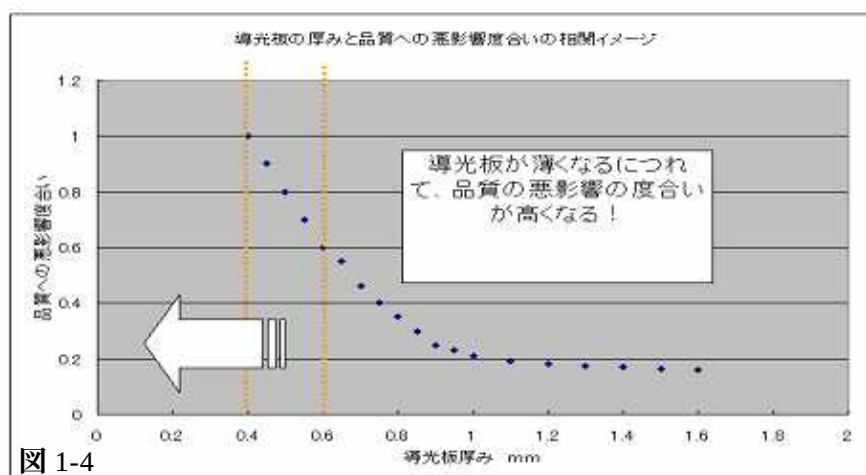
図 1-3

くさび・ラップ形状のような厚み方向非対称の薄型成形は超高速射出成形を用いる必要があり、また「導光板」は表裏に光学制御のための微細パターンを形成しているのでパターン転写も光学機能上極めて重要である。また金型剛性・樹脂流動特性などのパラメーターと成形条件とのマッチングも重要となる。さらに従来の厚みでは全く問題とならなかった金型パーティングによる極僅かなバリが製品品質への多大な影響を及ぼす事がわかってきたのでゲート・パーティングライン処理技術もあわせて研究する必要がある。ライツライン株式会社では導光板を薄くするため以下の取り組みを実施してきた。

- ① 超高速射出成形機の選定
- ② 超高速射出成形による薄型導光板の試作と評価
- ③ 超高速射出成形における成形条件の妥当性確認
- ④ 超高速射出成形のための金型構造の検討

⑤ 薄型導光板を用いたバックライトの試作と各種評価

その結果、0.62mm厚導光板に関しては量産技術を獲得したが、薄型化に対する次の課題がクリアとなった。それは導光板が薄くなるほど品質への悪影響度合いがさらに大きくなることである。これが本研究開発の背景でありそのイメージを示す。(図 1-4)



現在量産している液晶用バックライトに用いる導光板は、12.1 インチサイズの場合、厚みが 0.62～0.65mm 程度であり、高輝度・高速射出成形による導光板製造技術は日本が優勢にある。現時点においては台湾・韓国勢は簡単に量産できないため、平板印刷方式による安価路線を歩んでいるが、この先海外勢の開発も遅からず進むことが予想されることから、日本の優位性を維持するためには現在のレベルをより薄型化することが必要である。

そこで本研究では、液晶用バックライトのさらなる薄型化を目的とし、バックライト厚みの大半を占める「導光板」に焦点を当てる。具体的には、次世代超薄型プラスチック成形加工技術（光学設計、金型設計、成形、ゲート・パーティングライン処理）を研究し次世代超薄型導光板を作製する。さらにバックライト組込み後の不良率を低減（目標：1%以下）させ、製品化を目指すとともにコストダウンを図る。

(2) 研究開発の目標

次世代超薄型導光板について、以下を研究開発の目標値とする。

＜平成 21 年度補正予算事業において達成すべき目標＞

目 標：12.1 インチサイズ 厚み 0.50mm（薄型化率 19.3%）

光 学 特 性：現行レベルの光学特性（中心輝度・輝度ムラ・見栄え）を維持できること

信頼性特性：現行レベルの信頼性試験（高温高湿試験・傷付き性・振動・輸送試験）をクリアできること

＜最終的に達成すべき目標＞

目 標：12.1 インチサイズ 厚み 0.40mm（薄型化率 35.5%）

光 学 特 性：現行レベルの光学特性（中心輝度・輝度ムラ・見栄え）を維持できること

信頼性特性：現行レベルの信頼性試験（高温高湿試験・傷付き性・振動・輸送試験）をクリアできること

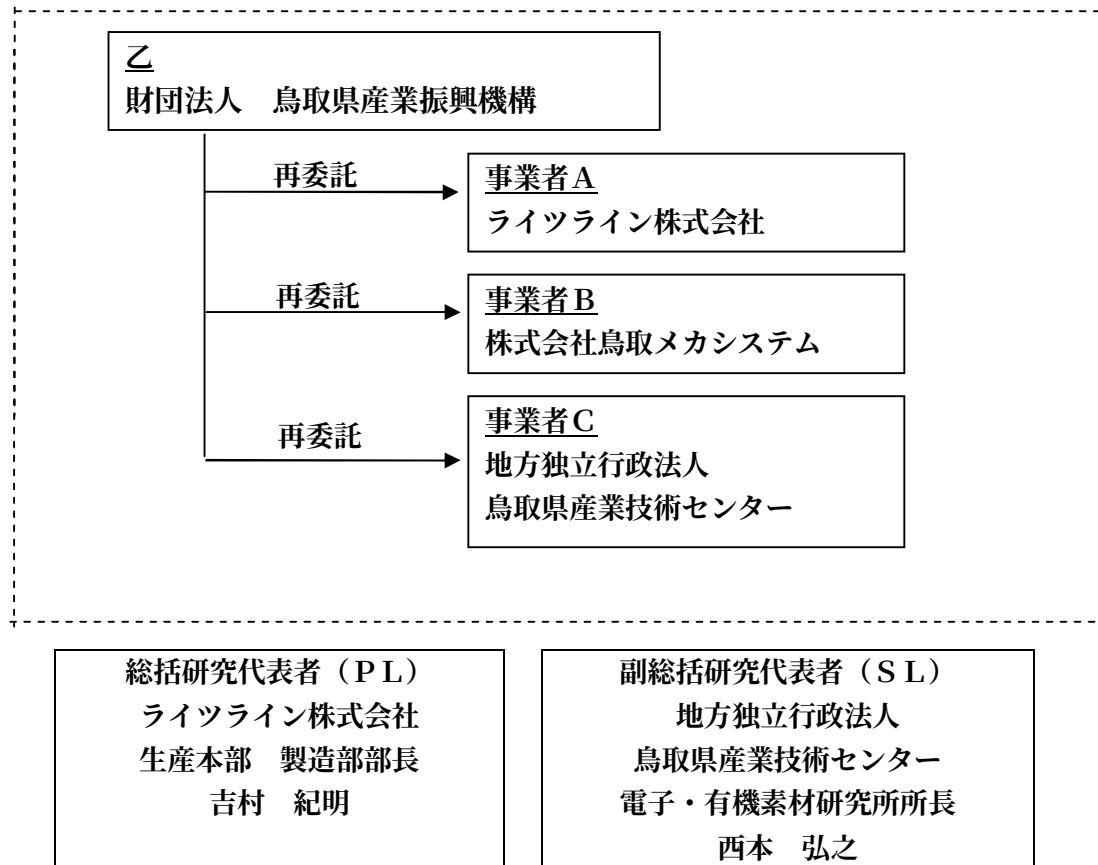
品 質 目 標：輸送振動等によるバックライト見栄え不良を 1/10 以下にする

注：ここで定義する現行レベルとは、導光板厚み 0.62mm のバックライト製品レベル

1－2 研究体制

(1) 研究組織（全体）および管理体制

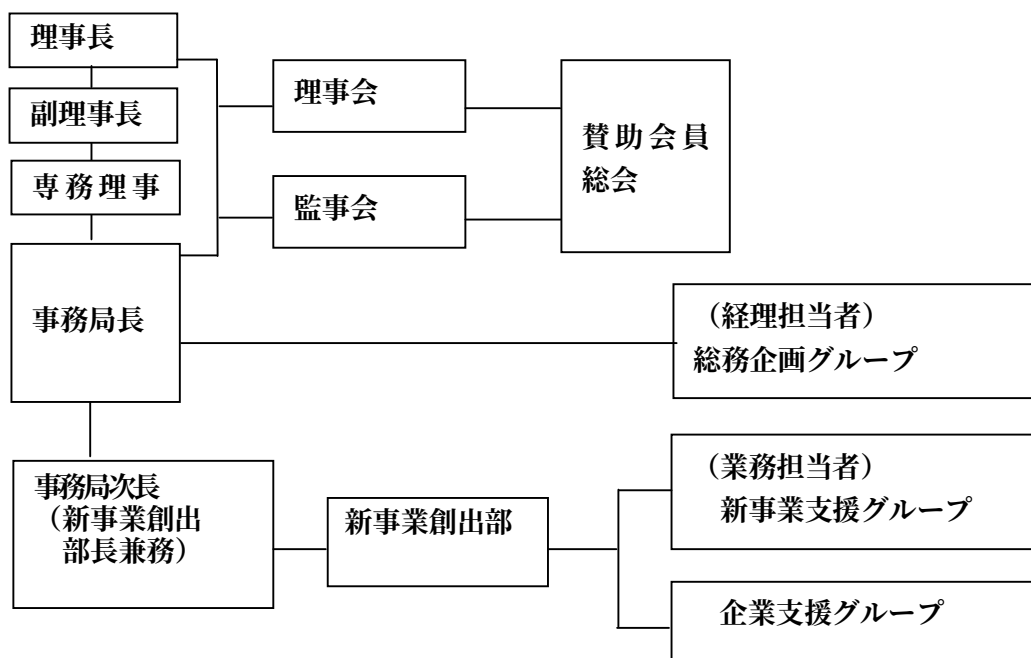
1) 研究組織



2) 管理体制

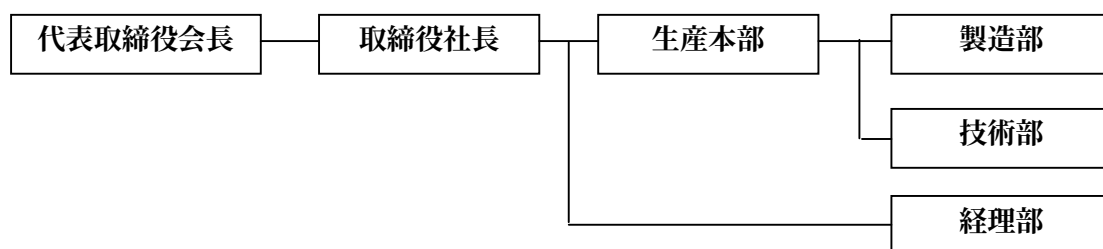
①事業管理者

【財団法人鳥取県産業振興機構】

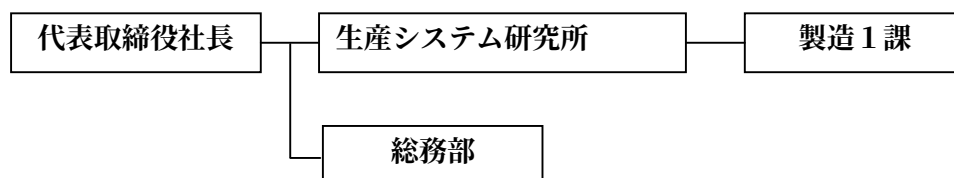


②（再委託先）

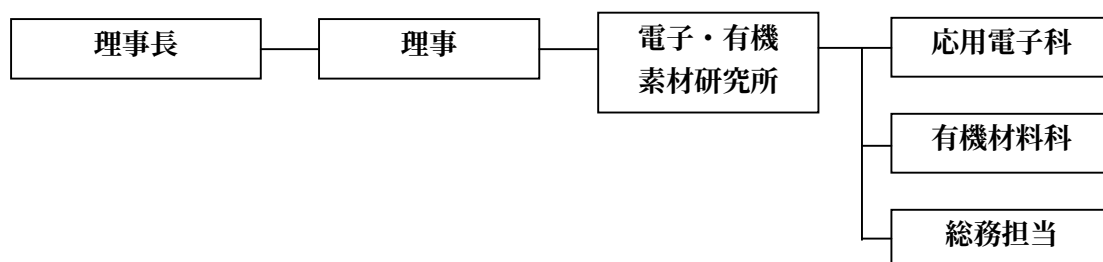
【ライツライン株式会社】



【株式会社鳥取メカシステム】



【地方独立行政法人鳥取県産業技術センター】



（２）管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人鳥取県産業振興機構
管理員

氏 名	所属・役職
三王寺 由道	事務局次長（兼新事業創出部長）
小坪 一之	新事業創出部新事業支援グループ特別研究員
岡島 加奈	新事業創出部企業支援グループ主事
奥田 美也子	新事業創出部新事業支援グループ事務員
伊藤 昭子	総務企画グループ事務員

【再委託先】

①ライツライン株式会社

氏 名	所属・役職
吉村 紀明	生産本部 製造部 部長
大藤 茂樹	生産本部 製造部 成形 G 課長
福井 朋納	生産本部 製造部 成形 G 主任
越永 義弘	生産本部 製造部 成形 G
土海 充	生産本部 技術部

松本 和彦 西浦 順一	生産本部 技術部 課長 生産本部 技術部 部長
----------------	----------------------------

②株式会社鳥取メカシステム

氏 名	所属・役職
竹山 幸信 松本 拓夫 源 耕作 竹田 正明 岸田 和之 中村 司	生産システム研究所 主任研究員 生産システム研究所 研究員 製造 1 課 製造 1 課 製造 1 課 製造 1 課

③地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

氏 名	所属・役職
西本 弘之 小谷 章二 木村 伸一 高橋 智一	電子・有機素材研究所 所長 電子・有機素材研究所 副所長 電子・有機素材研究所 有機材料科 科長 電子・有機素材研究所 応用電子科 研究員

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人鳥取県産業振興機構

(経理担当者) 総務企画グループ長 高橋 徹
(業務管理者) 新事業創出部新事業支援グループ特別研究員 小坪 一之

(再委託先)

①ライツライン株式会社

(経理担当者) 経理部 課長 遠藤 充一
(業務管理者) 生産本部 製造部 部長 吉村 紀明

②株式会社鳥取メカシステム

(経理担当者) 経理部 課長 塩根 透順
(業務管理者) 生産システム研究所 主任研究員 竹山 幸信

③地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

(経理担当者) 電子・有機素材研究所 総務担当 河上 久美
(業務管理者) 電子・有機素材研究所 所長 西本 弘之

1-3 成果概要

1) 光学設計技術

① 光学設計シミュレーションソフトの検討・改良

従来取り込めなかった部品表面の数 μm 凹凸・導光板端面形状・バリの影響・バリの処理についてシミュレーションに取り込めるよう定義付けの検討を行った。ソフトウェアは調査の結果2社の製品に絞り両者を比較し決定した。当初導光板表裏面・端面の粗さ等を物理的形状データとして取り込む方法を考えたが、あまりに天文学的な数量を扱うこととなり、現在世の中にあるソフトウェアでは対応不可能であることがわかった。そこで表面の形状によって光の散乱分布が変わる特性：双方向散乱分布（BSDF：Bidirectional Scattered Distribution Function）計測と前記物理的形状データの2つを適宜用いる手法を適用することで定義付けが可能となった。

② 初期光学設計（1）

初期光学設計は導光板厚み 0.5, 0.4mmのそれぞれの場合において入光部の厚みおよびその角度について光学シミュレーションを実施し、考えられうるもっとも良い設計値を金型設計に取り入れた。

③ 成形試作（1）後のシミュレーションソフトを用いた光学補正設計（2）

実際に試作・評価した結果とあわせてシミュレーションを実施し現状の問題点予測、今後の課題を抽出した。実施内容は以下の通り。

- ・バリサイズと表示面に対する影響
→0.05~0.2mmのサイズにてどのように見えるか実施。0.2mm時、現行バックライトでは見栄えに影響なきことを確認した。
- ・バリ処理後の形状と表示面に対する影響
→シミュレーション結果では処理寸法 0.5mmであってもバックライト発光面では影響が出ないことを確認した。実際の試作加工品でも全く影響は見えず良好であった。
- ・導光板端部から微小光学制御パターン開始点までの距離と表示面に対する影響
→導光板端部から微小光学制御パターン（プリズム）の開始点までの距離についてシミュレーションを実施。有効発光領域にのみプリズムがあればそれ以外は無くて良いことがわかった。
- ・異物サイズ・存在場所と表示面への影響
→バックライト内に存在する異物（サイズ・異物の存在場所）が見えるかどうかシミュレーションを実施。非常に時間はかかるがシミュレーションが有用と判断できた。
- ・異物の見えやすさと導光板厚みの関連性
→導光板が薄くなると経験的に異物が見えやすくなることがわかっているが、これをシミュレーションで検証した結果、薄くなると異物とその周辺とのコントラストが上昇し、結果異物が見えやすくなることがわかった。
- ・バリの欠け具合による表示面への影響
→導光板端部にバリが存在し、そのバリが欠けるとどの程度光学特性に影響を与えるか、幾つかの欠け具合をシミュレーションした。その結果バリ欠け後の突起量が0.04~0.05mmでは見栄えに全く影響ないことを確認した。
- ・導光板入光部ラッパ形状と有効光線との関連性

→入光部ラッパ形状と導光板内部への光の取り込み量の関連性、光の損失原因についてシミュレーションを実施。その結果光の損失原因はLEDの光が導光板の表裏面側に抜けてしまうことであった。この抜け具合は導光板の厚みによって上面・下面への透過光量比率が異なることがわかった。今後の薄型化を考えるとLEDの光をどれだけ有効に導光板内部に取り込めるかが重要なファクターとなる。ひとつの改善策はラッパ斜面上に光が当たった場合、意図的に導光板内部に伝播させる方向に光の進行方向を変化させる、他には斜面上に当たって裏面側に光が当たったときに裏側に抜けないように、かつ導光板内部側に意図的に反射させるなどが考えられる。

・光学制御パターンのグラデーションのシミュレーションへの影響

→導光板の表裏面に存在する凹凸の一部はBSDF計測結果により光学特性の定義付けを実施したが面内にアナログ的グラデーションが施されている場合、シミュレーション結果に段付が生じる可能性がある。そのため本研究では面内を5分割しそれらのデータをエリアごとに用いた。この条件下では面内の段付がかなり目立つ段差となることがわかり、今後のリアルシミュレーションにおいては改善の方向性（5分割を超える多分割・エリア間の補正方法などが今後必要）が確認された。

・12インチサイズフル光学シミュレーション

→これまで実施できなかった実部品をすべて含む12インチサイズのフル光学シミュレーションが今回導入した光学シミュレーションシステムで可能となった。

2) 金型設計技術の確立

①初期金型設計

超高速射出圧（過去調査で200Mpa以上）に耐えうる金型剛性、樹脂流動性向上、ガスベントGAPおよび駒合わせの検討を行い金型設計に盛り込んだ。

・主たる金型の仕様：

- ランナー方式・ガスベント方式・金型の板厚・肉厚の増大（剛性向上）
- ランナー形状の最適化、樹脂流動経路の面仕上げ、経路長・形状など
- サポート構造等の見直しによる金型剛性向上
- ゲート部分の設計はこれまで蓄積された実績から複数の形状案について、樹脂流動シミュレーションにより最適と判断されるゲートとした。成形試作によって最適なゲート形状を確認することが出来た。

②成形試作後の金型修正（2）

成形試作後、修正必要な箇所については修正実施を行った。

3) 超高速射出成形技術の確立

作製した金型を用いて成形条件最適化を実施、その結果導光板厚み0.5mmは成形可能であることがわかった。

重要パラメーターと評価項目を示す。

- 重要パラメーター：樹脂温度・射出速度・保圧
- 評価項目：光学特性・バリ・ヒケ・貼付ムラ・ひずみ

評価項目におけるひずみは本研究にて地方独立行政法人鳥取県産業技術センターで製作した偏光解析システムで評価実施。ひずみは確認されず良好な条件であることが確

認された。

4) ゲート・パーティング処理技術の確立

ゲート・パーティング部の処理方法として複数の方法を検討した。これを実現する設備を作製し、処理パラメーターの最適値を見出した。この最適条件下ではバックライトの光学特性・見栄えで全く問題ないことが確認できた。またバリ処理工程で発生する異物はこれまでの自社保有設備と比較して劇的に低減されていることも確認できた。

5) 次世代超薄型導光板の評価

①光学評価 (表 1-1)

導光板 0.5mmは現行量産 0.62mm品と比較して、すべての項目において良好であった。

目標値	項目	量産品	実施結果	変化率
12.1インチサイズ 厚み 0.50mm (薄型化率19.3%)		0.62	0.5	-19.4%
光学特性: 現行レベルの光学特性 (中心輝度・輝度ムラ・見栄え) を維持できること	中心輝度	3606	3881	7.6%
	平均輝度	3947.5	3558.9	-9.8%
	輝度ムラ	73.0	79.9	9.5%
	見栄え			0

表 1-1

②信頼性試験

現行 0.62mm品を基準に 0.5mm導光板を用いたバックライトにて各種試験(高温高湿・熱衝撃・振動・輸送)を実施した。結果は振動・輸送試験でのみ輝点・白点の増加が確認された。この原因はプリズムパターン側の微小バリであり金型修正により改善可能と判断する。

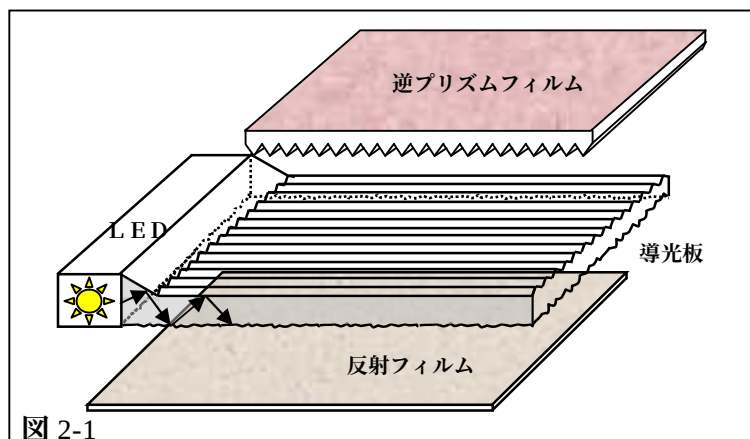
1-4 当該研究開発の連絡窓口

法人名: 財団法人鳥取県産業振興機構 代表者役職・氏名: 理事長 金田 昭 住所: 〒689-1112 鳥取県鳥取市若葉台南7丁目5番1号
連絡担当者名・所属: 新事業創出部 小坪 一之・岡島 加奈 Tel: 0857-52-6704 Fax: 0857-52-6673 E-mail: kkotsubo@toriton.or.jp・kokazima@toriton.or.jp

第2章 本論

本テーマに用いたバックライトの主構造を図 2-1 に示す。

バックライトは、全体の形状を保持するプラスチック等のフレームを枠に、反射フィルム、導光板、逆プリズムフィルムといった主に3つの光学部品および光源部で構成されている。光源部分は LED が複数配置されており、LED からの光は導光板の断面から入光する。LED の厚みは0.8mmなので入光部は LED の光をできる



だけ導光板内部に取り込むようにラッパ形状となっている。導光板の内部を反射伝播する光は、伝播過程で発光面が均一に光るように光を射出する構造となっている。

2-1 光学設計技術

液晶用バックライトに用いる導光板の光学設計は導光板表裏面の微小光学制御因子の設計である。導光板断面から入光した光は内部を伝播しつつ表裏面に形成された微小光学制御因子にて導光板表面から光を射出する。この設計にはモンテカルロ光線追跡法が良く用いられる。しかし実際には導光板端面・側面（伝播終端部）、周辺のバックライトフレームからの光の反射の影響があり光学設計は単純ではなく、導光板の薄型化に伴いその影響が極端に大きくなる。よって光学設計は導光板端面・側面・周辺（フレーム等による反射）状況を加味することが重要である。

本研究では導光板の端面実形状・導光板を取り囲む周辺部品の影響を加味したシミュレーションソフトの検討を行った。具体的には従来取り込んでいた導光板パターン情報だけでなく、取り込めなかった情報（導光板の実端面情報・周辺を取り囲む部品の情報）をシミュレーションソフトの前提条件に取り込むためにどのようにすべきか検討し、その結果を元にシミュレーションを行うものである。また本シミュレーションシステムには必要なハードウェアを含むものとする。

①-1：シミュレーションソフトの検討・改良

従来取り込めなかった部品表面の数 μm 凹凸・導光板端面形状・バリの影響・バリの処理についてシミュレーションに取り込めるよう定義付けの検討を行った。

本テーマでソフトウェアの適用を検討していたところ、以下の問題点が確認された。

- ・導光板又は各種フィルムの表面に形成されている微小な凹凸を3D-TXTでデータ作製するとあまりにも天文学的な数量（10億単位を越える）となりソフトウェア上で扱えるレベルをはるかに超えてしまう。従ってこの微小凹凸のデータ量を何らかの方法で圧縮した取扱いを見出さなくてはならない。

この問題を解決する検討を重ねた結果、個々の部品に適した以下の方法に辿り着いた。

反射フィルムは双方向散乱分布（BSDF：Bidirectional Scattered Distribution Function）の計測を行い、この部品の反射界面に埋め込むことが最適と判断した。BSDFは図2-2のような計測である。一般に透明フィルムなどに外部から光を照射した場合、表面で反射する光と透過する光が存在する。これらの光は透明フィルム表面に凹凸がある場合、その凹凸によって散乱が生じる。この散乱分布関数を以下のように定義している。

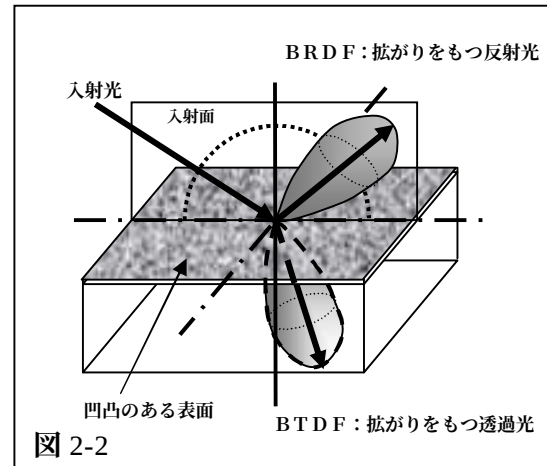


図 2-2

- ・双方向散乱分布：BSDF（Bidirectional Scattered Distribution Function）
 ※BSDFはBRDF/BTDFの両方を含めた表現として今後用いる。
- ・双方向反射散乱分布：BRDF（Bidirectional Reflectance Distribution Function）
- ・双方向透過散乱分布：BTDF（Bidirectional Transmittance Distribution Function）

次に導光板は、発光表面側に幅数十 μ mのプリズムパターンが形成されており、裏面側にはおよそ数 μ mの微小凹凸が形成されている。導光板については先の反射フィルムと異なり光は厚み方向に進行するのではなく、導光板内部を光が伝播する。前述の反射フィルムと同じような厚み方向の反射・透過特性であるBSDF計測結果を用いたのでは、表面のプリズムパターンと裏面凹凸パターンの両方の影響を含む厚み方向の設定となり、内

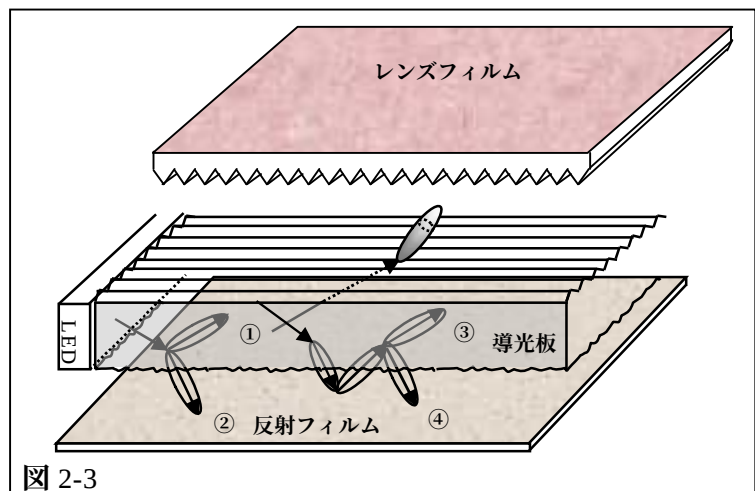


図 2-3

部伝播による表面および裏面のパターンによる光の挙動変化を分離・定義できない。導光板内部の伝播モードは以下のような4つの形態が存在する。

- ①：導光板内部から来た光の反射散乱
- ②：導光板内部から光の透過（出射）散乱
- ③：導光板の外から来た光の透過（入射）散乱
- ④：導光板の外から来た光の反射散乱

わかりやすくするために次項に4つの伝播モードの概念図を図2-3に示す。

検討の結果、導光板裏面の微小凹凸面は双方向散乱分布BSDFを用い、発光面側のプリズム形状は3D-TXTを用いる、つまり2つを組合せる手法とした。

次に導光板端面はレーザー顕微鏡評価で表面粗さ Ra が $0.5\mu\text{m}$ 以下であり、光学的影響は少ないと判断した。端面のバリは実形状を簡略化して追加することとした。

最後にレンズフィルムについて断面構造を示す。レンズフィルムは基材となる PET フィルムを準備し、発光表面に「マット面」と表現される微小凹凸表面を形成し、裏面側は PMMA を用いて数十 μ ピッチのプリズムを形成している。つまりフィルムの厚さ方向で材質が異なる構造をもっている。（写真 2-1～2-2、図 2-4～2-5 参照）

この部品は導光板とは異なり、光が裏面から表面に貫通するので、単純に双方向散乱分布（透過・反射：BSDF）のデータを計測しこれを部品特性に反映させることとし、3D-TXT による形状定義付けは行わない方法を当初考えたが、その後以下の問題に直面した。

それは下部のプリズムの影響で BSDF に光学的異方性が発生することである。BSDF 計測は入射面（幾何光学で定義される言葉で、反射面に垂直な面で入射光線と反射光線を含む面）に対して 180°

範囲で計測する。このとき入射面がプリズム方向に対してどの位置にあるかによって BSDF の光の進行方向が変化する。概念図を図 2-6 に示す。

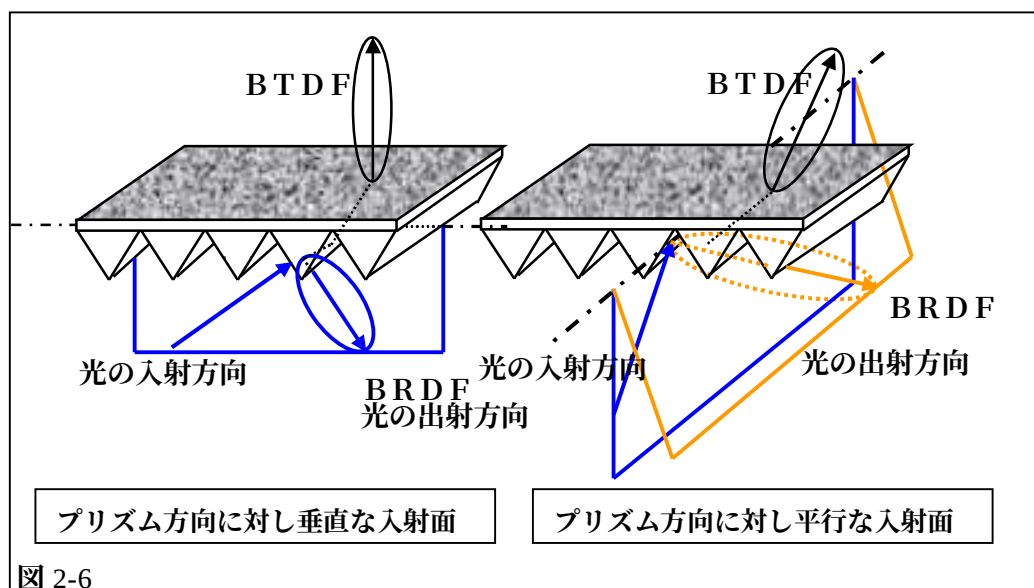
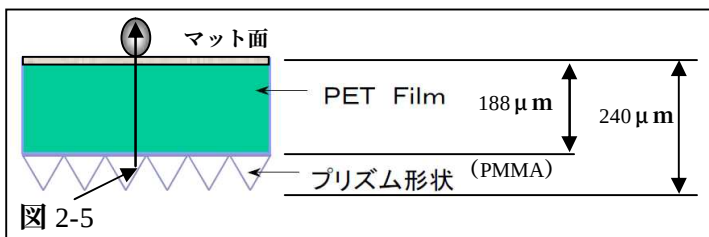
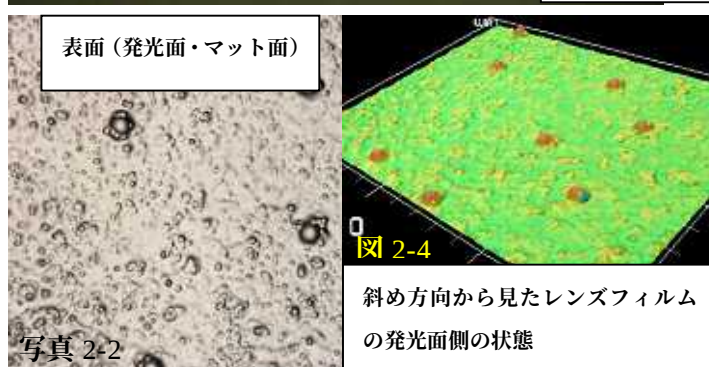
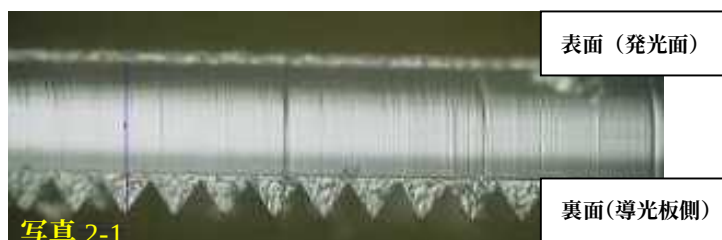


図 2-6

つまり入射面がプリズム方向に対して垂直か平行かによって BSDF の進行方向が変化し、また平行-垂直間の任意の角度でもプリズム方向の影響を受けてしまう。さらにレンズフィルムは厚み方向に材質が異なるので、この材質・大気間界面の反射・屈折も加味しなければならない。

そこでレンズ部分を光学的に分離し、PET フィルムとマット面のみに依存する BSDF 計測を行い、このデータの屈折率を補正した上でプリズムフィルムのマット面の特性に反映させ、プリズム形状は 3D-TXT を用いることで定義付けを行うこととした。

その他導光板を取り囲むフレームなどの部品は実際の形状をそのまま適用し、反射率等の情報を追加して光学部品として取り扱うこととした。

①－2：初期光学設計（1）

初期光学設計においては、入光部分の寸法形状をいくつか条件設定しシミュレーションを実施した。入光部は導光板より厚い LED の光を効率よく取り込めるように、ラップ形状とする必要がある。LED の光を 100% 導光板内に取り込めることが理想的であるが、寸法形状の組み合わせによっては光が外部に漏れてしまうことがあるのでいくつかの設計条件で最も良い設計条件を抽出した。導光板内部に導くことができる有効光量他を見てもっとも良いと判断したのは、t5-5 である。基準の現行量産機種と比較し表 2-1 のように予測された。

導光板内部への有効光比較 (0.5mm厚)				
MODEL		基準 (現行量産)	t5-5	効率差
導光板厚み	mm	0.62	0.5	(基準) - (t5-5)
入光部の厚み	mm	0.8	0.7	
導光板入光部の入射効率	map1	90.3%	80.2%	-10.1%
導光板内部への有効効率	map2	85.9%	73.2%	-12.7%

表 2-1

シミュレーションの結果で、導光板の入光部に LED の光が入った瞬間は、

現行量産機種で、LED 全光量のうち 90.3%

t5-5 の場合で、LED 全光量のうち 80.2%

つまり入光した時点で現行量産機種に比較し 10.1%の損失が発生する予測である。

つぎにラップ形状から平板側に有効な光として導くことのできる有効光は、

現行量産機種で、LED 全光量のうち 80.2%

t5-5 の場合で、LED 全光量のうち 73.2%

となり、現行量産機種に比較し 12.7%の損失が発生する。この損失については、後述のバックライト光学評価の全体平均輝度と関連する。

0.4mmタイプについても同様のシミュレーションを実施し入光形状を決定した。

①－3：成形試作（1）後シミュレーションソフトを用いた光学補正設計（2）

成形試作を実施しそのバックライト評価を行った結果、光学特性は初期光学設計で予測された結果と一致し、中心輝度、輝度ムラは良好な結果（第2章 2-5 参照）であった。よって大規模な光学補正設計は特に必要なかった。見栄えについては、光

学シミュレーションと現実との比較を実施した。この詳細については「第3章 光学シミュレーションシステムから得られた新たな知見」に記載する。

2-2 金型設計技術の確立

②-1：初期金型設計（0.5mm～0.4mm 対応）

超薄型導光板を実現するには超高速射出圧（過去調査で 200Mpa 以上）に耐えられる金型剛性・樹脂流動性向上、ガスベント GAP の最適化および駒合わせの最適化が必要である。そのため以下の点を金型に盛り込むこととした。

【金型剛性の向上】

- ・スライド方式ブロックを一部固定ブロック化
- ・サポート構造の見直しによる金型剛性向上
- ・金型の空洞部を減らし金型剛性向上

【ゲート・ランナー部の形状】

ゲート・ランナー部の形状については、地方独立行政法人鳥取県産業技術センターの協力を得て樹脂流動シミュレーション（MOLD-FLOW）を実施した。シミュレーションは、充填時間・V-P 切り替え時の圧力・フローフロント温度・コア層配向・スキン層配向・圧力・ヒケ指標・体積収縮・反り・充填完了時の圧力・充填完了時の固化層比率・充填完了時のバルク温度の 12 項目を実施・評価し、結果 2 つの仕様に決定した。

【ガスベント GAP の最適化】

キャビティ内を真空化し、可能な限り樹脂が入り易いように工夫した。ガス抜き位置は樹脂の充填部に合わせた設計とした。

【駒合わせの最適化】

駒の分割が増加すると当然パーティングラインも増加しバリも増加する可能性がある。スライド構造→固定ブロックとし、駒合わせが精度良くできる構造とした。

②-2：成形試作（1）後の金型修正（2）

成形試作（1）の結果でバリのある箇所について修正を実施した。

2-3 超高速射出成形技術の確立

③-1：成形試作（1）

超高速射出成形を実施。各種条件を検討し、最適な成形条件を見出した。

③-2：試作評価（1）

・外観評価

導光板厚み 0.5mm の試作品外観はヒケ・うねりなど特に見えず良好であった。

・寸法評価（外形・厚み・厚みの面内分布・厚みの繰返し再現性）

外形寸法は基準としている量産導光板とほぼ同レベル。厚み・面内分布・成形繰返し安定性については量産品に比べ若干劣る程度であった。

・バリ状態

バリについてはバリ処理装置にて処理を行うこととした。またプリズムパターン側（発光面）に極めて微小なバリが確認されたが、金型修正で容易に改善できると判断し、試作品としてはこのまま用いることとした。

・バリの欠落性評価

バリは欠落することが確認されたので、バリ処理装置にて処理を行うこととした。

- ・微小光学制御因子転写率評価

レーザー顕微鏡にて設計値および金型実形状に対する転写率を評価した。成形した形状は98%以上再現されており、良好な転写であることを確認した。

- ・偏光特性からみた内部応力評価

成形による内部応力はその後の経時変化や高温高湿環境などで導光板の反り・うねりなどの異常を発生させる原因となるため、応力残留の有無を偏光解析により評価した。評価装置は地方独立行政法人鳥取県産業技術センターで製作した。(写真2-3)この偏光評価装置は、上下に配置された偏光板(個々に回転可能)と、光源、受光部の組み合わせで構成されており、上下の偏光板の間に導光板を配置し偏光板を回転させながら導光板内の複屈折状態を検出することにより応力の状態を確認することができる。

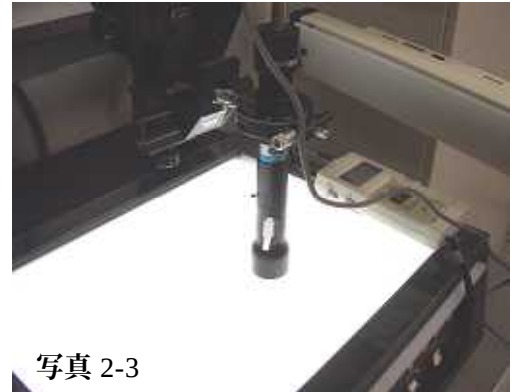
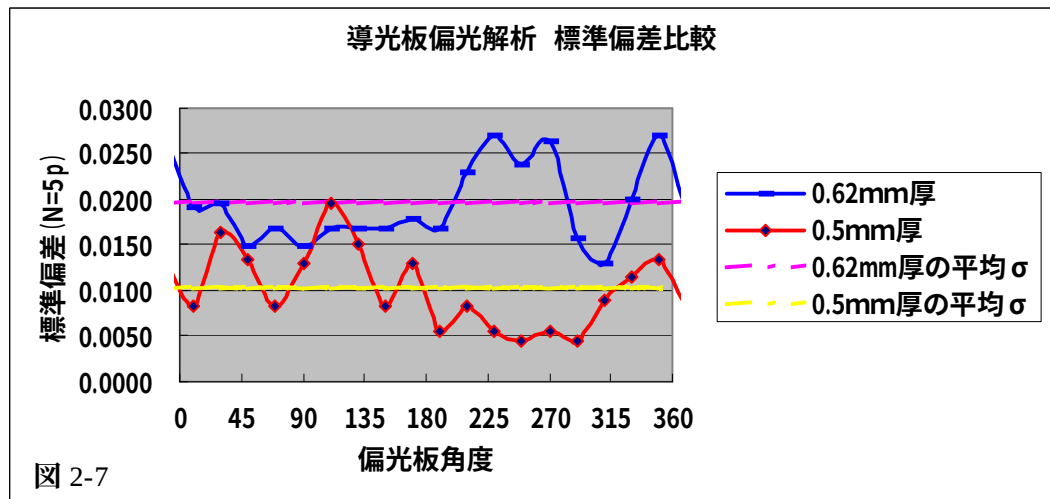


写真 2-3

受光側の偏光板の角度回転で正弦波的強度変化が生じる中で、面内5箇所のみにつき幅が小さいほど、つまりグラフの重なり幅が小さいほど良好な試料と判断できる。偏光板の角度に対する面内の標準偏差をプロットしたグラフを図2-7に示す。



このデータから0.5mmの導光板は内部応力が小さく、良好な品質と判断できる。以上の複数の評価結果から導光板厚 0.5mm品は量産成形可能なレベルと判断した。

2-4 ゲート・パーティングライン処理技術の確立

成形品のパーティングラインのバリは導光板の薄型化に伴って光学特性・表示品位に多大な影響を及ぼし、またバリの欠けや欠落も製品品質に深刻な影響を及ぼす事がわかってきた。よってバリサイズと品質の関連性を調査し、パーティングラインの最適処理方法を見出す研究を行った。

④-1：品質との関連調査

現時点のバリ・異物によるバックライトへの影響について調査を行った結果、導光

板端部のバリが欠け、これが異物となって品質に影響を及ぼすことがわかった。品質へ影響を及ぼす異物の 60%以上は 40 μ m以下のサイズであった。

④－2：処理方法の最適化検討設備作製

バリ・パーティングバリの処理方法にはいくつかの方法が考えられる。共同研究者間で協議の上、メカ加工方式を選択した。

この方式で懸念される課題を示す。

- ・処理工程中での処理カスの飛散
- ・加工カスの残渣
- ・加工ツールへのカスの残渣
- ・導光板への付着
- ・加工面の光学的影響

これらの課題に対して、改善策を盛り込むこととした。完成した導光板バリ処理装置を写真 2-4 に示す。

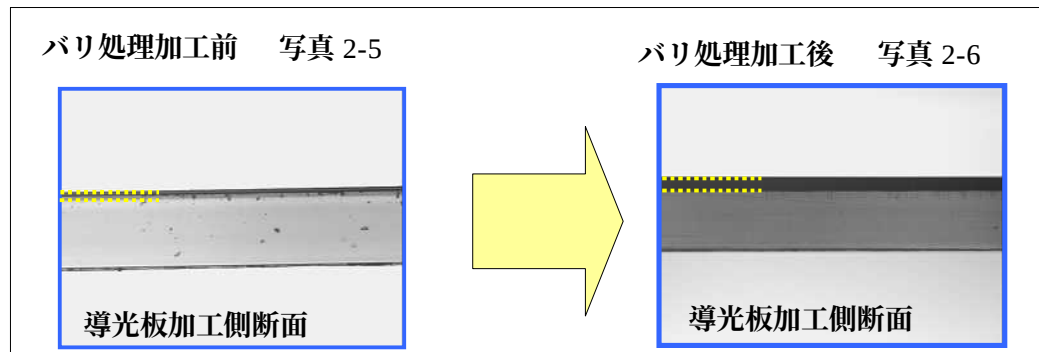


④－3：処理実験・問題点抽出

装置の加工前、加工中のパーティクル計測結果を実施したところクリーンルームのパーティクル汚染は問題ない事を確認した。

導入直後の実験で確認した問題点はステージで導光板に傷が発生することであった。この問題点は、傷発生を引き起こす箇所の研磨により容易に解決できた。

次に本装置で加工条件の最適化実験を実施し、その条件を見出した。バリ処理加工前後のバリ状態を写真 2-5～2-6 に示す。



バリ処理加工により端面は非常に綺麗に仕上がっていることがわかる。また加工による切削カスの付着・飛散は確認できない。本設備による加工は既存加工設備に比べ加工による異物発生を劇的に改善できることがわかった。

その後に確認した結果設備の問題点は以下ようになる。

<問題点>

- ・バリ処理加工の加工設定値に対するずれ
→導光板形状がきっちりとした四角形状ではなく、充填・収縮などの影響で太鼓形状・台形状などになっている場合、バリ処理部の寸法が変化する。
- ・バリ処理加工面の不定期的な面変化
→バリ処理加工面の不定期的な面変化は加工面から発光面側に差し込むような輝線発光を僅かに発生させる。バックライトでは問題はないが今後製品が狭額縁化されると見栄えに影響を与えることが懸念される。

④－４：問題点対策

設備問題点の対策として以下のことが今後考えられる。

- ・バリ処理加工部の加工設定値に対するずれ
→導光板形状を計測認識し、２軸ステージで形状に合わせ加工処理を行う。
- ・バリ処理加工面の不定期周期の面変化
→筐体の剛性不足から生じる共振と考えられ設備の剛性を向上させればよい。
２つのどちらも現行設備の今後の改造で可能と見られる。

④－５：完成

設備導入直後の傷発生問題点は早急に解決して完成となった。

④－４で抽出した問題点は改善可能と見られ今後の課題とする。

２－５ 次世代超薄型導光板の評価

⑤－１：バックライト試作

(１)・光学評価

測定条件は表 2-2 に示し、結果を図 2-8,表 2-3 に示す。

中心輝度+7.6%向上、平均輝度は-9.8%と低下しており、これは発光表面から放出される全光量が 10%程度低下している。この原因は①－２の初期光学設計(１)で光の損失が発生する予測がなされていた(最大-12.7%)のでほぼ予測通りの結果といえる。

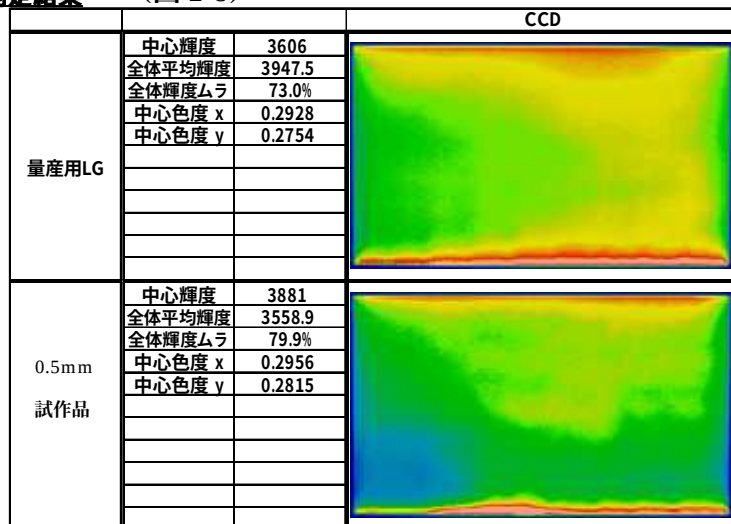
輝度ムラについては+9.5%と向上し面内分布が量産品に比較して良くなったことを示している。見栄えについては量産品

と遜色なく、さらにゲート・パーティングラインの処理部分は目視で異常発光等の現象が確認できず良好な見栄えであった。

光学測定条件 (表 2-2)

電流	10.3mA/LED	測定日	2010.3/12
視野角	2 Deg	測定者	土海
測定距離	500mm	室温	25±3℃
測定ポイント	9×9 Point	使用機器	鳥取技術 BM-7 No.2
I-ジグ時間	5分		

測定結果 (図 2-8)



目標値	項目	量産品	実施結果	変化率	判定	備考
12.1インチサイズ 厚み 0.50mm (薄型化率19.3%)		0.62	0.5	-19.4%	○	
光学特性: 現行レベルの光学特性 (中心輝度・輝度ムラ・見栄え) を維持できること	中心輝度	3606	3881	7.6%	○	
	平均輝度	3947.5	3558.9	-9.8%	-	目標値外
	輝度ムラ	73.0	79.9	9.5%	○	
	見栄え			0	○	

表 2-3

⑤－２：信頼性試験評価 (１)

評価試験は以下の通り。

- ・高温高湿試験：50℃－80% RH、1000H r：バックライト状態
- ・熱衝撃試験：－20℃ (1H r) ⇔ +65℃ (1H r)、200 サイクル：バックライト状態

- ・振動試験：10Hz～500Hz、1.5G、XYZ各30分：梱包状態
- ・実輸送試験：ライツライン⇄折返地点まで輸送トラック1往復（950km）
上記試験結果を表2-4に示す。

目標値	項目	量/製品	実施結果	変化率	判定	備考
信頼性特性：現行レベルの信頼性試験（高温高湿試験・傷付き性・振動・輸送試験）をクリアできること	高温高湿試験	0個		0	○	駒合せ修正で改善可能
	熱衝撃			0	○	
	振動試験（3p合計値）	0個	輝点増加 白点増加	+9個 +7個	△	
	輸送試験（3p合計値）	0個	輝点増加 白点増加	+15個 +8個	△	

表 2-4

以上の結果より、振動・輸送試験の2試験のみ、基準となるバックライトと比べて輝点・白点が増加した結果となったが、それら以外の試験は遜色なく、良好な結果であった。振動・輸送試験での輝点・白点増加はプリズムパターン側（発光面）に存在する極微小バリが原因でこの改善は金型修正による駒合わせで改善可能と判断する。

第3章 光学シミュレーションシステムから得られた新たな知見

3-1 バリサイズと表示面に対する影響

光学シミュレーションシステムを用いて導光板端面に発生するバリがバックライトでどのように見えるかシミュレーションを実施した。バリ形状・サイズはSEMを元に相似形状とした。モデルは簡素化し、レンズフィルムは導光板端部まで面一の設定、発光面に被るフレームはカットして端部まで見えるようにした。（図3-1）

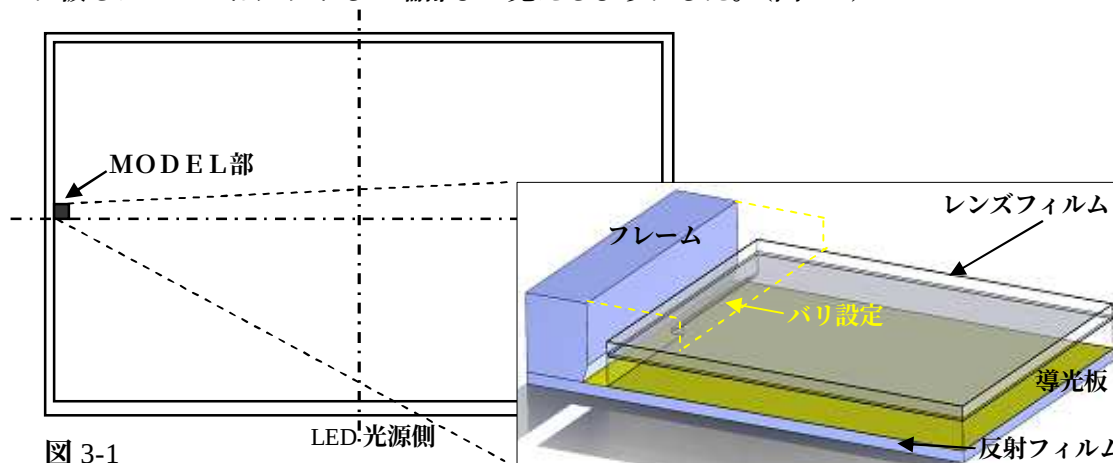


図 3-1

バリサイズは0.05～0.2mmとした。0.2mm時のシミュレーション結果を図3-2～3-4に示す。

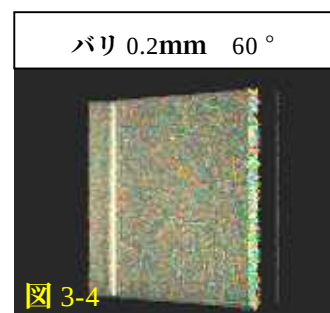
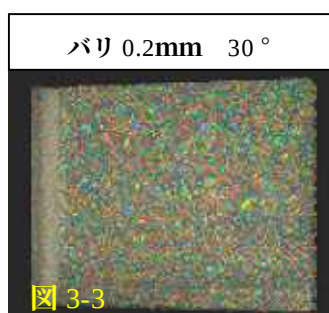
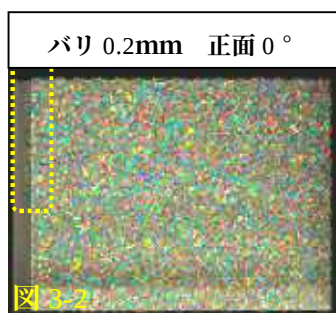


図 3-2

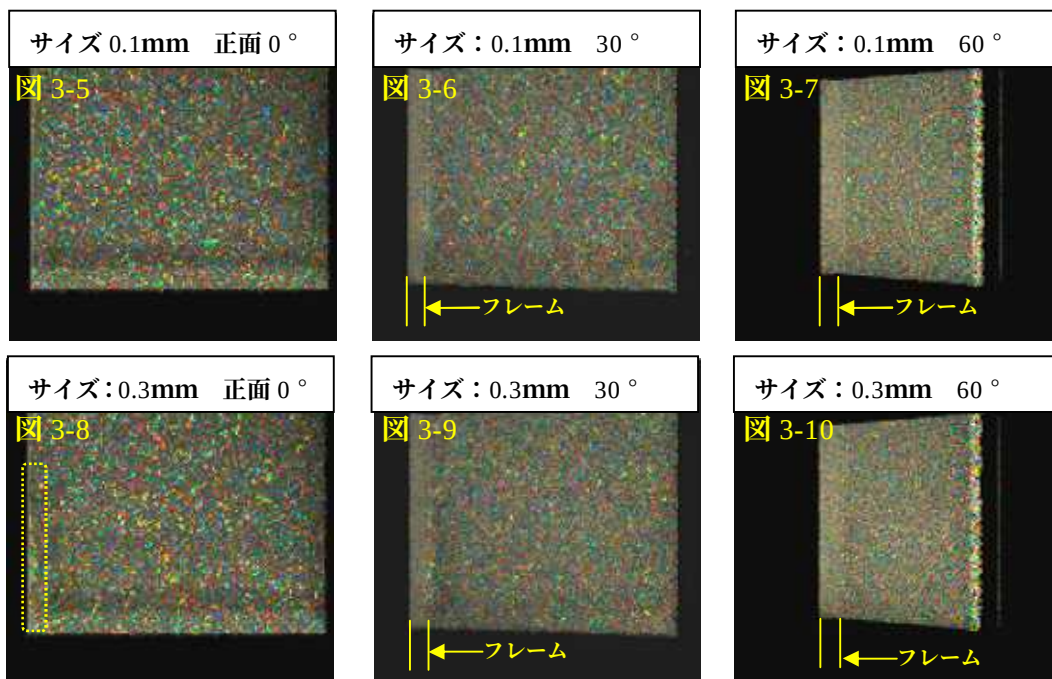
図 3-3

図 3-4

正面 0° でバリ部は僅かに見え、角度を傾けると確認できない。実際のバックライトでも同様の結果であった。

3-2 バリ処理後の形状と表示面に対する影響

バリ処理装置での処理サイズと表示面に対する影響を光学シミュレーションシステムで検証した。パラメーターは導光板端部のバリ処理サイズとし、評価はバックライトの正面視および視野角 30、60° とした。結果を図 3-5~3-10 に示す。



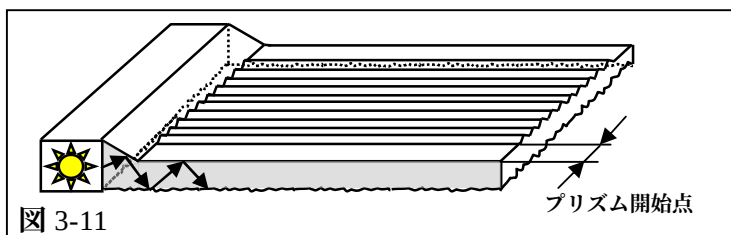
処理サイズ 0.1mmでは正面~60°まで確認できない。(図 3-5~3-7) 処理サイズ 0.3mmでは正面 0°時にほぼ同じ幅で僅かに明るい部分が見え、30°、60°では暗い部分として認識できる。(図 3-8~図 3-10) 実際のバックライトのフレームをシミュレーションと同じくカットして斜め 30°で処理面を見ると、極僅かに暗く見える。これはシミュレーションの結果とほぼ一致した。

3-3 導光板端部から微小光学制御パターン開始点までの距離と表示面に対する影響

導光板端部から微小光学制御パターン（プリズム）の開始点までの距離について開始点の妥当な範囲を検証した。検証モデルを図 3-11 に示す。

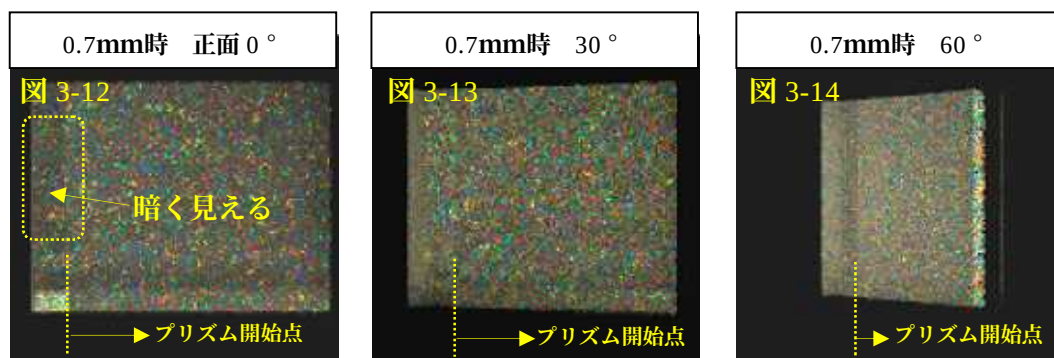
開始点距離 0.7mmの結果を図 3-12~3-14 に示す。

図 3-12 を見ると発光面端部が暗いエリアとなっていることがわかる。端部からの距離は 0.7mmであり



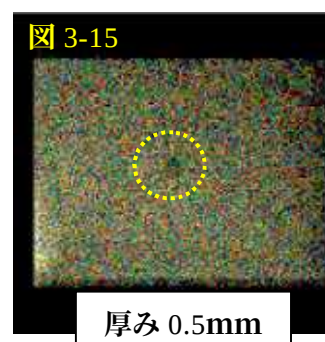
プリズムのないエリアと同一サイズでことがわかった。30°では逆にほとんど見えず、60°で再び見えるようになる事がわかった。

つまり有効な発光領域にのみプリズムがあればそれ以外は平面構成としても良いことがわかった。



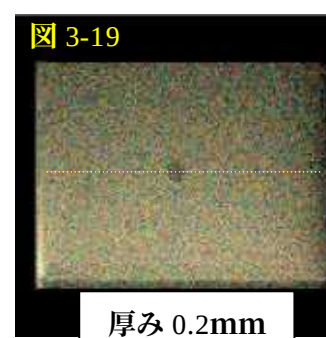
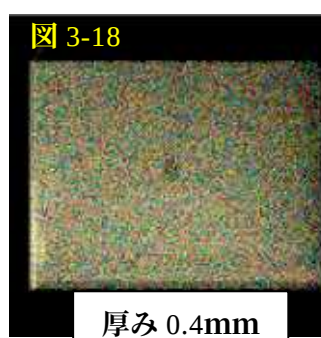
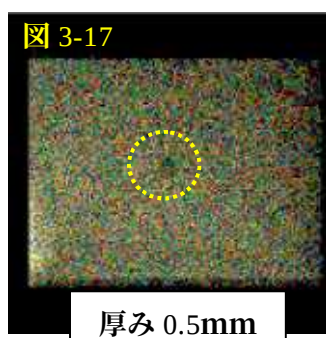
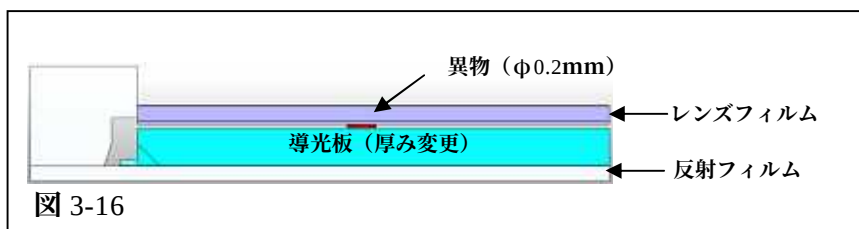
3-4 異物サイズ・存在場所と表示面への影響

バックライト内部に存在する異物は存在場所によってその異物が見えたり見えにくかったりする。ここでは任意の場所に、あるサイズの異物が存在した場合に光学シミュレーションシステムが有用か検証した。導光板の光学設計とは異なり、異物の見え方シミュレーションは計算時間を非常に要することが想定されたため、数mm角のモデルで導光板発光表面に異物を載せレンズフィルムを介して受光面の設定をした。異物サイズ0.2mmの設定で異物は中央部に黒く確認することが出来た。(図3-15) 異物の見え方に関するシミュレーションは計算時間を要するものの、本光学シミュレーションシステムで可能と見られる。

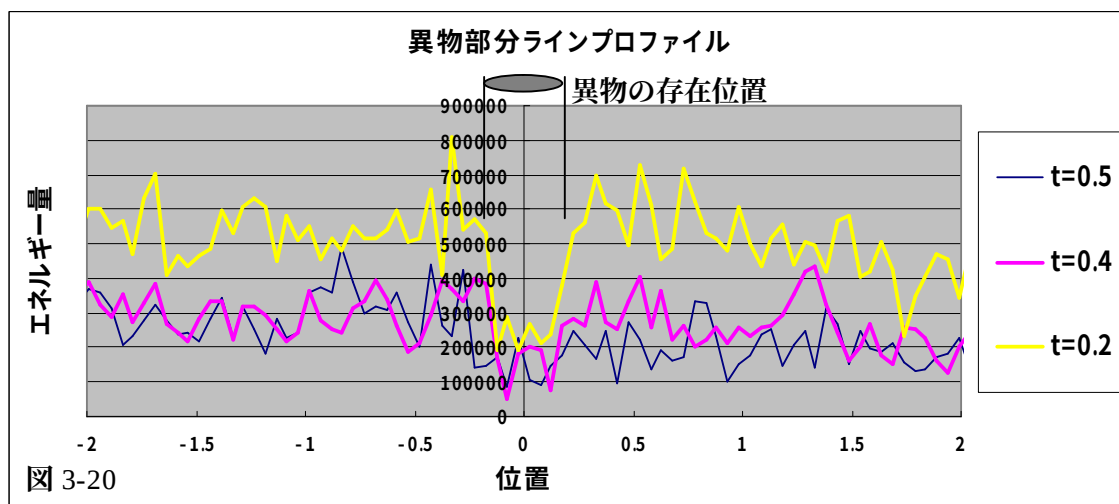


3-5 異物の見えやすさと導光板厚みの関連性

導光板の厚みが薄くなるにつれて導光板内部での多重反射が増加し、経験的に異物が見えやすくなると考えている。これを実証するために、前述3-4モデルを用いて任意のサイズ・存在場所において導光板の厚みと目視での見えやすさについて検証を行った。光源のエネルギー量はすべて同じとした。検証モデルを図3-16に示す。



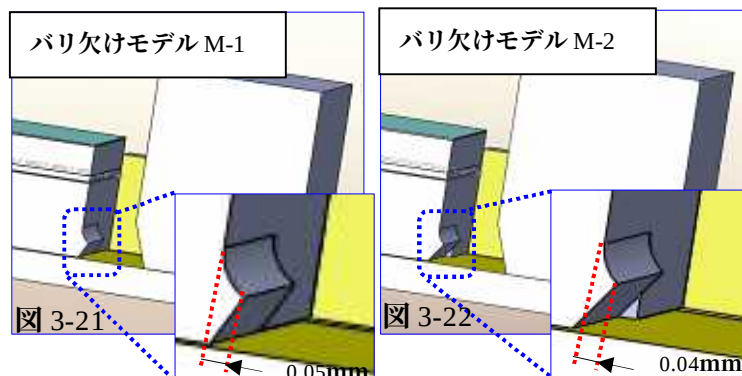
結果を図3-17～3-19に示す。厚み0.5mm→0.4→0.2mmと薄くなるにつれて、異物のはっきり見えてくる。写真横線位置のエネルギーラインプロファイルを図3-20に示す。



これより導光板厚みが薄くなるとグラフ自体が上昇し全体光量が増加する。その結果異物のある場所とそれ以外のコントラストが上昇して異物が見えやすくなることがわかった。つまり、同一光量が導光板内部に存在する場合は、経験的に感じる「導光板が薄くなると異物が見えやすくなる」ことが検証できた。

3-6 バリの欠け具合による表示面への影響

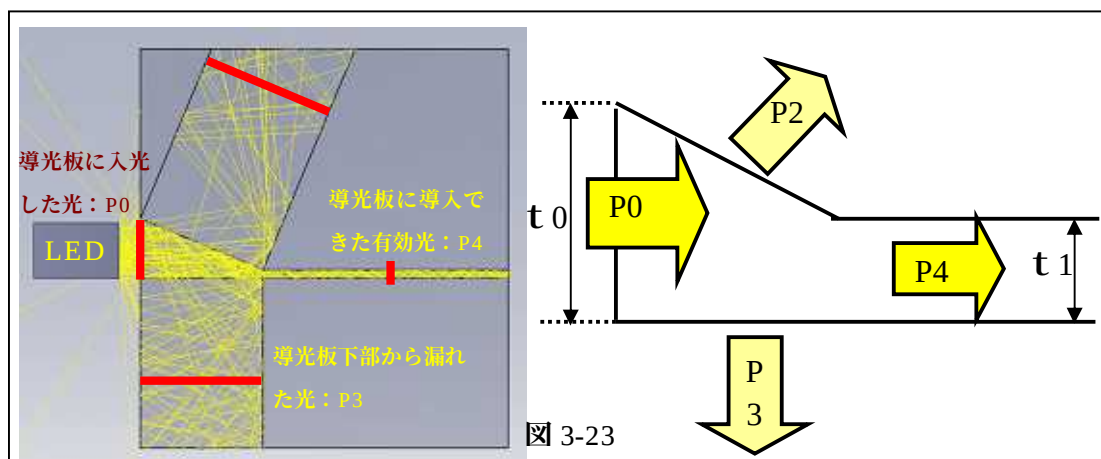
次に導光板端面に存在しているバリがあると仮定し、バリの先端が欠けると発光面の異常として認識されるのかをシミュレーションした。バリの欠け具合については2つの場合を想定した。フレームは影響を見るため一部をカット (図



3-21,3-22) した。バリ欠けは上記サイズの場合、発光面に影響の無いことがわかった。

3-7 導光板入光部ラップ形状と有効光線との関連性

導光板の入光部形状はLEDの光を有効に取り込むためにラップ形状としているが、LED光量と導光板内部に取り込める有効な光量の関連を検証した。(図 3-23)



現状の試作導光板に合わせて入光側厚み t_0 は 0.7mm 固定とし、 t_1 厚み 0.5mm を 0.1~0.7mm まで可変させて計算を実施した。結果を図 3-24 に示す。

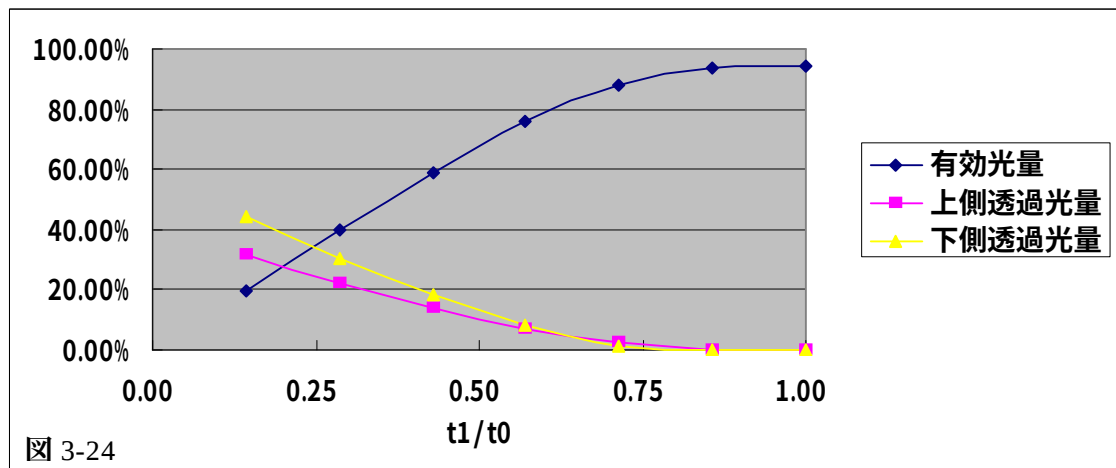


図 3-24

ら

LED の光は導光板を薄くすればするほど、導光板内部に取り込める光が減少していく。光の損失原因は LED の光が導光板の表裏面側に抜けてしまうことであり、この抜け具合は導光板の厚みによって上面・下面への透過光量比率が異なることがわかった。

今後の薄型化を考えると LED の光をどれだけ有効に導光板内部に取り込めるかが重要なファクターとなる。ひとつの改善策はラッパ斜面に光が当たった場合、意図的に導光板内部に伝播させる方向に光の進行方向を変化させること、他には斜面に当たって裏面側に光が当たったときに裏側に抜けないように、かつ導光板内部側に意図的に反射させるなどが考えられる。この具体的な手法が今後の課題となる。

3-8 光学制御パターンのグラデーションのシミュレーションへの影響

発光面表面の数 μm の凹凸配列が、光源のある入光側から反入光側に行くにしたがってアナログ的なグラデーション配置を行っている点に関して、今回は単純に入光→反入光まで

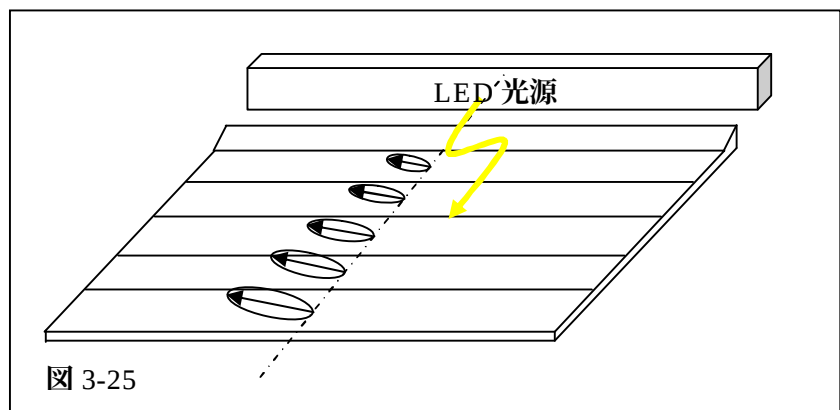


図 3-25

のエリアを 5 分割し、その面の平均的 BSDF 計測を行い、エリア毎に定義付けを行うこととした。（図 3-25 参照）懸念点としてエリアの境界で段付が生じることが想定された。

実施の結果以下のことがわかった。

1. シミュレーション結果でエリア境界において予想を越える大きな段付が発生した。
2. 原因について今後再考する必要がある。
3. 段付をより緩和するには 5 分割よりももっと多くのエリアデータを計測するか、あるいはエリアの BSDF 計測結果を全エリアにおいてなだらかな補間補正を行うなどの追加処理が必要でありこれは今後の課題である。

3-9 12インチサイズフル光学シミュレーション

12インチサイズの実部品を用いたフルシミュレーションを実施。

これまで全部品を用いたシミュレーションは出来なかったが今回導入した光学シミュレーションシステムにより可能となった。反射フィルムは BSDF、導光板は BRDF（代表1データで分割無し）+3D-TXT、レンズフィルムは BTDF+3D-TXT、その他フレーム形状および LED ニアフィールドデータを全て盛り込んだ結果を図3-26に示す。

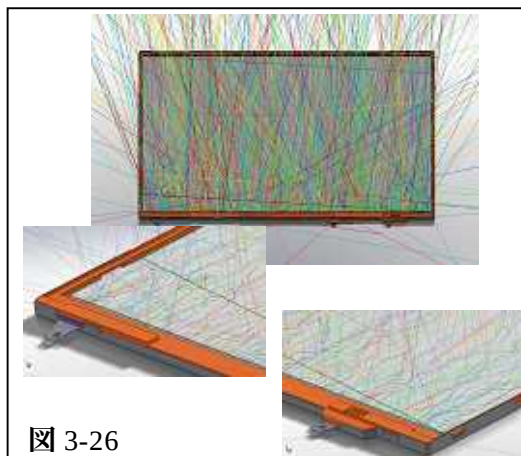


図 3-26

第4章 目標に対する達成度合い評価

＜平成21年度補正予算事業において達成すべき目標＞

目 標：12.1インチサイズ 厚み0.50mm（薄型化率19.3%）

光学特性：現行レベルの光学特性（中心輝度・輝度ムラ・見栄え）を維持できること

信頼性特性：現行レベルの信頼性試験（高温高湿試験・傷付き性・振動・輸送試験）をクリアできること

目標：12.1インチサイズ 厚み0.5mmは実際に成形可能なレベルに到達した。

光学特性・信頼性試験結果については、以下の表4-1のとおり。

目標値	項目	量産品	実施結果	変化率	判定	備考
12.1インチサイズ 厚み0.50mm（薄型化率19.3%）		0.62	0.5	-19.4%	○	
光学特性：現行レベルの光学特性（中心輝度・輝度ムラ・見栄え）を維持できること	中心輝度	3606	3881	7.6%	○	
	平均輝度	3947.5	3558.9	-9.8%	-	目標項目外
	輝度ムラ	73.0	79.9	9.5%	○	
	見栄え			0	○	
信頼性特性：現行レベルの信頼性試験（高温高湿試験・傷付き性・振動・輸送試験）をクリアできること	高温高湿試験			0	○	
	熱衝撃			0	○	
	振動試験（3p合計値）	0個	輝点増加 白点増加	+9個 +7個	△	駒合せ修正で改善可能
	輸送試験（3p合計値）	0個	輝点増加 白点増加	+15個 +8個	△	

表 4-1

信頼性試験の振動・輸送試験だけ△であり、これを除く他の項目はすべてクリアできた。

△の要因は金型修正による駒合せで改善可能と判断している。全8項目中6項目が目標達成できた。

第5章 全体総括

5-1 事業実施により得られた結果

- ①単年度目標 0.5mm導光板が成形できた。（超高速射出成形機+高剛性金型+成形条件検討）
- ②導光板バリ処理装置の実施効果はバックライトでは見栄えに影響なく・品質向上が期待できる。
- ③光学シミュレーションシステムにおける光学部品の新たなモデリング方法を確立できた。

- ④シミュレーションで異物・加工処理面の見え方を検証するのは膨大な時間が必要だが可能と見られる。
- ⑤0.5mm導光板を用いたバックライトは信頼性目標以外達成できた。
- ⑥信頼性試験は振動・輸送で輝点・白点が増加。原因はプリズム側微小バリで、金型駒合わせ修正で容易に解決可能と判断する。

5－2 今後の課題

- ①プリズム側バリ改善した信頼性評価の追試を行う
- ②0.4mm導光板成形の試作
- ③0.4mm導光板における導光板バリ処理装置の効果確認
- ④バリ処理装置の処理面の改善が今後必要（狭額縁化を想定し、設備剛性向上）
- ⑤導光板の形に沿ったバリ処理可能な装置
 - 導光板が台形・太鼓形状であってもバリの処理が一様にできること
 - 2D/3D 形状認識＋形状に合わせたステージ移動による処理が改善の方法案
- ⑥光源と導光板入光部の効率的なカップリング方法
 - 導光板内部に光を効率取り込む方法（光学シミュレーションシステム）
- ⑦光学シミュレーションで異物・加工処理面の見え方を検証するに必要な膨大な時間を短縮する方法・MODEL の検討が必要

5－3 事業化展開

プリズム側微小バリを改善したサンプルの信頼性評価追試結果が良好であれば、顧客に対して 0.5mm導光板を用いたバックライトサンプル・信頼性試験結果のプレゼンテーションを行い、エンドユーザーを含めて次期新製品への導入を積極的にアピールする予定である。

薄型製品は徐々に数量が増加しており、今後の主力と判断する。本研究テーマの 0.5mm導光板は次世代バックライトとして有望と見ている。