

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「拡散光制御（DLC）理論に基づくフロントスクリーンの超精密成形
技術を基盤とする製造技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年3月

委託者 東北経済産業局

委託先 東北イノベーションキャピタル株式会社

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1 - 2 研究体制
 - 1 - 2 - 1 研究組織及び管理体制
 - 1 - 2 - 2 研究員及び管理員
 - 1 - 2 - 3 他からの指導・協力者及び指導・協力事項
- 1 - 3 成果概要
- 1 - 4 当該プロジェクト連絡窓口

第2章 本論 - 拡散光制御 (DLC) 理論に基づくフロントスクリーンの超精密成形技術を基盤とする製造技術の開発

- 2 - 1 ナノレベル形状形成に対応したメーター級 UV 方式ロール転写技術の開発
 - 2 - 1 - 1 ロール金型技術の実現
 - 2 - 1 - 2 ロール転写装置の開発
 - 2 - 1 - 3 UV樹脂材料の選定
 - 2 - 1 - 4 転写プロセスの開発
 - 2 - 1 - 5 洗浄及び離形工程の構築
 - 2 - 1 - 6 検査及び信頼性評価技術の開発
- 2 - 2 高反射金属の選択的部分成膜
 - 2 - 2 - 1 選択的部分成膜
 - 2 - 2 - 2 検査及び信頼性評価技術の開発
- 2 - 3 光吸収層の形成技術の開発
 - 2 - 3 - 1 光吸収材料の最適化
 - 2 - 3 - 2 光吸収層形成工程の最適化
 - 2 - 3 - 3 信頼性評価技術の開発
- 2 - 4 光学フィルムの貼合及びタイリング技術の開発
 - 2 - 4 - 1 貼合用接着材料
 - 2 - 4 - 2 貼合工程
 - 2 - 4 - 3 タイリング
 - 2 - 4 - 4 検査及び信頼性評価技術の開発
- 2 - 5 光学設計技術の開発
 - 2 - 5 - 1 光学設計
 - 2 - 5 - 2 光学フィルム及びフロントスクリーンの評価技術の開発

第3章 全体総括

- 3 - 1 研究開発成果
- 3 - 2 残された課題と今後の事業展開

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

1-1-1 研究開発の背景

従来、プロジェクター用スクリーンには、白色樹脂に単純な凹凸を付けただけの均一拡散型のホワイトマットスクリーンが使われてきた。従来のスクリーンでは、映像投射光以外の照明光や窓周り等から入射する外光が、スクリーンで反射・拡散し、映像投射光と分離されることなく観察者に認識され、映像コントラストの大幅な低下を招いている。そのため、外光を可能な限り低減する（真っ暗にする）ことで視認性を確保してきた。近年、高輝度である等、高性能化したプロジェクターが登場し、会議室やイベント会場でも利用されるようになった。しかし、図1(a)に示すように、使用可能な環境は従来と同様に暗所であり、会議資料の視認や筆記作業が困難な状況にある（図1の映像は合成して作成した）。



図1 従来のプロジェクター用スクリーン(a)，本事業で開発する拡散光制御(DLC)理論に基づくフロントスクリーン(b)での利用環境

前記課題を解決する方法が東北大学大学院 工学研究科 内田研究室によって提案されている。具体的には、映像コントラスト低下の原因となる外光をプロジェクター光から分離し、スクリーン面で反射・拡散されたプロジェクター光のみを観察可能とする拡散光制御(Diffusion Light Control : DLC)理論に基づくフロントスクリーン技術である。原理の模式図を図2に示す。同技術は、同研究室によって理論的に確立し、かつ明るい環境でも圧倒的に高いコントラストと優れた視認性が得られることが実証確認されている。これにより使用環境を選ばないロケーションフリーなフロントスクリーンの実現が可能となる。これまで、A4サイズの当該フロントスクリーンを試作し、DLC理論及び製造技術の検証も行ってきた。しかしながら、実用化を実現するためには、ナノオーダーの鋸歯状の形状を制御する超精密成形技術等を駆使し、メーター級サイズに渡り均一且つ再現良く製造可能とする技術の確立が必要である。本研究開発では、

特許：第 3563397

名称：「フロントプロジェクションディスプレイ用スクリーン」

発明者：片桐 麦 他 3 名

出願人：内田 龍男（東北大学大学院工学研究科内田研究室）

特許公開：2009-271263

名称：「片側鏡面鋸歯状反射板を用いたフロントプロジェクション用スクリーンとそれを用いたフロントプロジェクション型表示装置と情報処理装置」

発明者：内田 龍男 他 3 名

出願人：国立大学法人 東北大学

の特許技術が基本技術となっている。特許権者（発明者）である東北大学大学院 工学研究科 内田龍男教授指導の下で本研究開発を行うため，上記の 2 件の特許への抵触の懸念はない。また，形状等は特許公開：2009-271263 で明確に記されており，類似の特許は見当たらない。

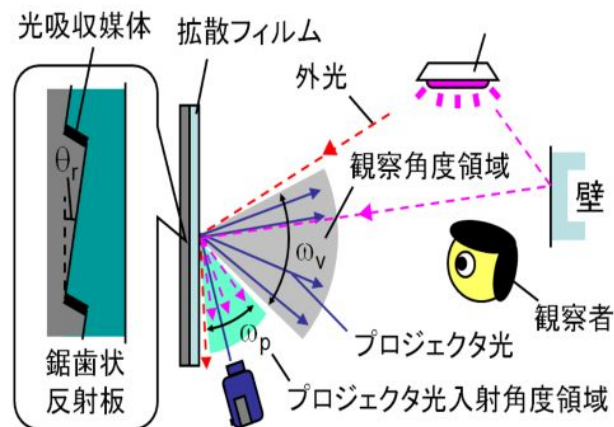


図2 DLC理論に基づくフロントスクリーン技術の原理を示す模式図

1 - 1 - 2 研究目的及び目標

従来のプロジェクター用スクリーンは暗所使用を前提としており，窓への暗幕を必要とすること，部屋の照明を落とす必要があること，このため手元資料の確認がしづらいこと等の問題があった。これに対し，本開発では東北大学大学院工学研究科内田研究室で確立したプロジェクター用フロントスクリーンの製造技術を確認し，明るい環境でも圧倒的に高いコントラストと優れた視認性を有するスクリーンを実現する。具体的に本事業では，ナノレベルの微細形状を付与したプラスチックフィルム，微細形状への部分反射膜形成，当該フィルムと拡散フィルムを貼り合わせる製造技術の確立を目的とする。

これまでラボレベルで，約 A4 サイズの DLC フロントスクリーンを試作し，当該スクリーンの性能と基礎的な製造方法の確認がなされており，数 $10\mu\text{m}$ ~ $100\mu\text{m}$ の鋸歯状形状の形状再現性が不十分であると，当該スクリーンの性能低下が起こることが分かっている。この他，金属の部分成膜，塗料塗布，貼合工程の不具合も表示のコントラスト或いは欠陥，ムラに影響を与えることが分かっている。本開発ではナノオーダーの超精密成形技術を基盤とし，UV硬化を用いたロール転写方式で，部分成膜，光吸収層，及び貼合技術について，メーター級サイズ（ $W1000\text{mm}\times H800\text{mm}$ ）の製品を均一，且つ再現良く実現する製造技術を確認することを目指し，下記条件を満たす加工を実現することを目指す。

- ・ロール転写後の形状ピッチ 100 $\mu\text{m}\pm 1\%$ ，反射面角度 15.7 度 $\pm 1\%$ ，吸収面角度 68.7 度 $\pm 1\%$ ，ピークバレー形状 R2 μm 以下，膜厚ピーク部厚さ 40～60 μm とする。
- ・金属成膜の成膜率を理想面に対して $\pm 10\%$ 以内，反射率を 91%，膜厚を 80～150 nm(100nm 目標)とする。
- ・光吸収層の吸収率を 99%以上，膜厚を 100 $\mu\text{m}\pm 10\%$ とする。
- ・光学フィルム貼合に係る，異物の付着及び気泡の有無について，作成した限度見本を満たす仕様を達成する。

上記の目標を達成するために以下の開発項目を実施した。

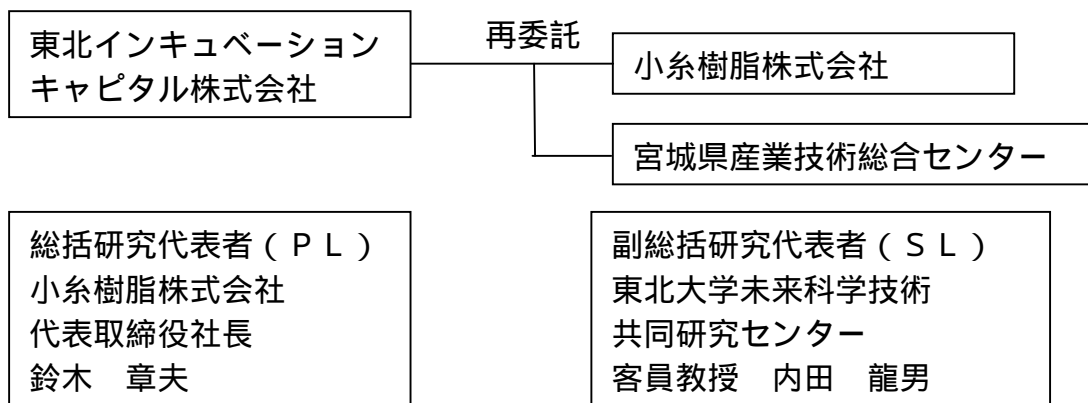
- ナノレベル形状形成に対応したメーター級 UV 方式ロール転写技術の開発
- 高反射金属の選択的部分成膜
- 光吸収層の形成技術の開発
- 光学フィルムの貼合及びタイリング技術の開発
- 光学設計技術の開発

1 - 2 研究体制

1 - 2 - 1 研究組織及び管理体制

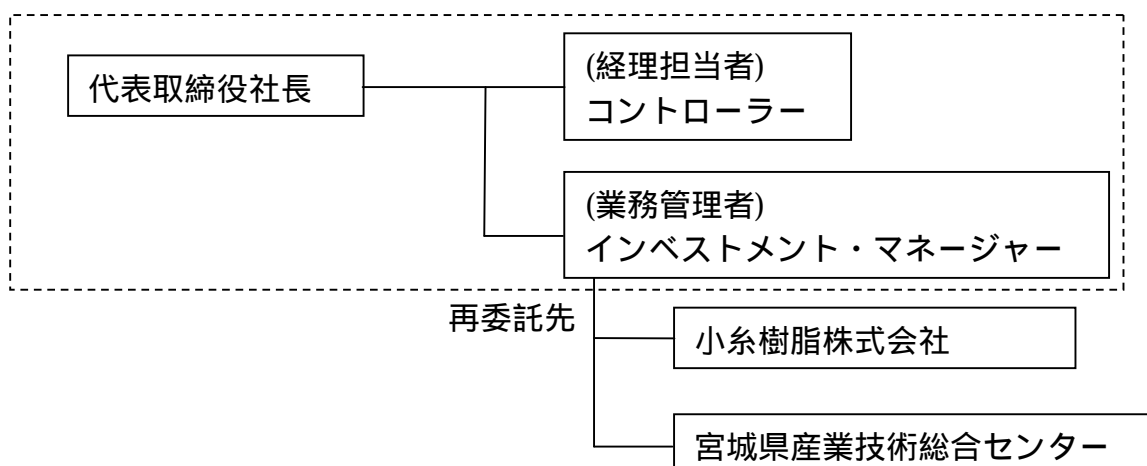
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)

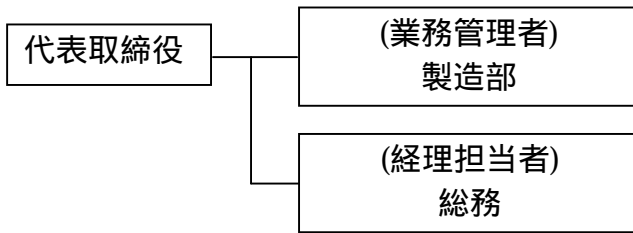


2) 管理体制

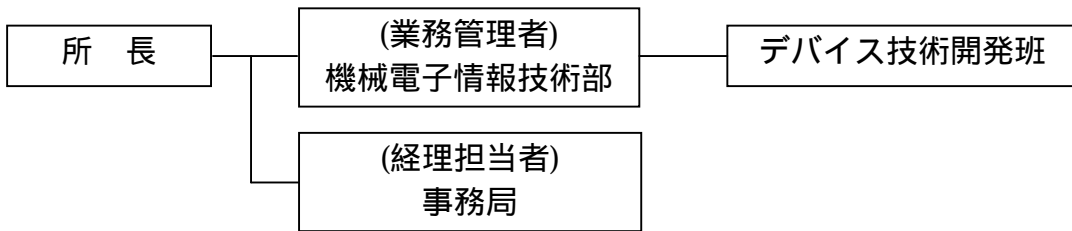
事業管理者 [東北イノベーションキャピタル株式会社]



(再委託先)
小糸樹脂株式会社



宮城県産業技術総合センター



1 - 2 - 2 研究員及び管理員

(1) 事業管理者 東北イノベーションキャピタル株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
竹井 智宏	インベストメント・マネージャー	全体総括及び
北原 賢五	インベストメント・マネージャー	進捗管理他

(2) 再委託先 (研究員)

小糸樹脂株式会社

氏名	役職・所属	実施内容 (番号)
阿部 晃一	製造部 副部長	, , , ,
及川 和彦	製造部 2 課長	, , , ,
後藤 雅二	製造部 2 係長	, , , ,
渡辺 怜士	開発部 開発室長	, , , ,
高橋 正典	開発部 開発顧問	, , , ,
鈴木 靖弘	取締役	, , , ,
関 斎	開発部	, , , ,
菅原 宏之	開発部	, , , ,

宮城県産業技術総合センター

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
熊谷 実	機械電子情報技術部・部 長	, , , ,
堀 豊	機械電子情報技術部・班 長	, , , ,
高田 健一	機械電子情報技術部・班 長	, , , ,
阿部 宏之	機械電子情報技術部・研究員	, , , ,
林 正博	機械電子情報技術部・研究員	, , , ,
家口 心	機械電子情報技術部・研究員	, , , ,
石井 克治	機械電子情報技術部・技 師	, , , ,

1 - 2 - 3 他からの指導・協力者及び指導・協力事項

アドバイザー 氏 名	主な指導・協力事項
木村 久雄	ロール転写装置の開発
那須 潜思	光学設計技術の開発
鈴木 芳人	光学設計技術の開発
片桐 麦	光学設計技術の開発
鹿野 満	光学設計技術の開発

1 - 3 成果概要

拡散制御（DLC）理論に基づくフロントスクリーンの超精密成形技術を基盤とする製造技術の開発を行い、以下の成果を得た。

- (1) メーター級 UV 式ロール転写装置及び簡易 UV 式ロール転写装置を導入し、ロール金型に形成された鋸歯微細構造を UV 硬化樹脂にロール転写する技術を開発した。
- (2) 各種パラメーターを変更して転写を行い、転写形状の測定と観察を行った。その結果、転写パラメーターの変化が転写形状に大きな影響を与えないことを明らかにした。
- (3) 次期の開発目標としている三次元形状の反射板形状を形成した小片平板金型および小径ロール金型を用いた実験を行い、メーター級ロール金型での転写の実現可能性を示した。
- (4) 抵抗加熱の蒸発源による高反射金属の蒸着成膜において、蒸着源を二箇所にするにより反射フィルム全面で最終製品となる DLC フロントスクリーン光学特性の発現に必要な膜厚の金属成膜を可能とした。
- (5) 光吸収材料の最適化を行い、反射面となるアルミ蒸着膜に悪影響を及ぼさない光吸収材料を選定した。
- (6) 貼合機メーカーにての貼合サンプル作製結果により、市販されている枚葉式貼合機によってメーター級の光学フィルムを貼合できる可能性を示した。
- (7) 表面形状による拡散反射制御について、計算ファイルを使用し所望する光学特性の反射板形状が導出可能になった。また、スクリーンの評価項目、評価パターンを検討し、最終製品となるメーター級 DLC フロントスクリーンの評価ができる見通しを得た。
- (8) メーター級 UV 式ロール転写装置で作製した転写フィルムを使用し、130 インチサイズ DLC フロントスクリーンの作製に成功した。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

小糸樹脂株式会社

開発マネージャー 阿部 晃一

〒983 - 0004 宮城県仙台市宮城野区岡田西町3 - 25

TEL : 022 - 288 - 6188 FAX : 022 - 288 - 7333

E-mail : koi_abeko@koito-j.com

第2章 本論—拡散光制御（DLC）理論に基づくフロントスクリーンの超精密成形技術を基盤とする製造技術の開発

2-1 ナノレベル形状形成に対応したメーター級 UV 方式ロール転写技術の開発

2-1-1 ロール金型技術の実現

これまでの基礎実験から、小型ロール転写実験機を用いて鋸歯形状の付与されたロール金型の機械的精度、表面の平滑性等の基本的要件を確認できており、メーター級サイズの仕様を満たす金型が製作可能なことを確認している。したがって、当該スクリーンにおけるロール金型の仕様書を作成し、委託先の担当者と打ち合わせ等を行い、より詳細な仕様を決定し、製作を委託した。受入検査として図3に示すようにサーチライトを使用した外観検査を実施した。また加工前と加工後に測定した刃物の形状が変化していないこと及び、ロール金型の形状の測定結果から所望の形状が前面にわたって形成されていることを、ロール金型と同形状の鋸歯微細構造が加工された小片金型を用いて確認した。

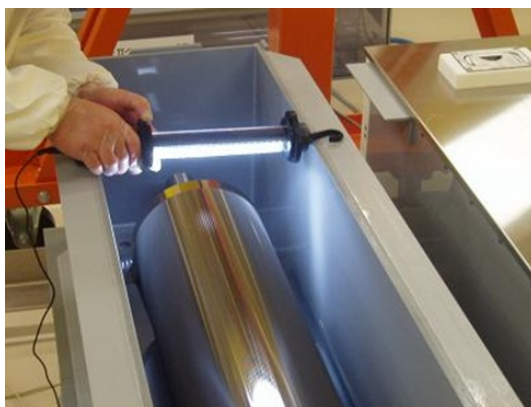


図3 サーチライトを使用した目視による外観検査

2-1-2 ロール転写装置の開発

当該スクリーンにおける鋸歯形状をメーター級サイズに渡り均一かつ再現性を確保した転写技術を確認するためにメーター級 UV 方式ロール転写装置を作製し、小糸樹脂株式会社に設置した。さらに、各種実験の効率化を図るため、小型の簡易 UV 式ロール転写装置も作製し、宮城県産業技術総合センターに設置した。装置作製においては小型のロール転写試作機を有し、ロール転写技術を踏まえた装置開発が可能な株式会社リードテック（福島県いわき市）に装置の設計・製作を委託した。リードテックの担当者と打ち合わせを行い、基礎実験による安定転写条件を反映させた仕様を決定した。メーター級 UV 式ロール転写装置と簡易 UV 式ロール転写装置の外観写真を図4と図5にそれぞれ示す。PET フィルムの原反がセットされた入口側からコンベアの出口側に向かって PET フィルムが流れる。

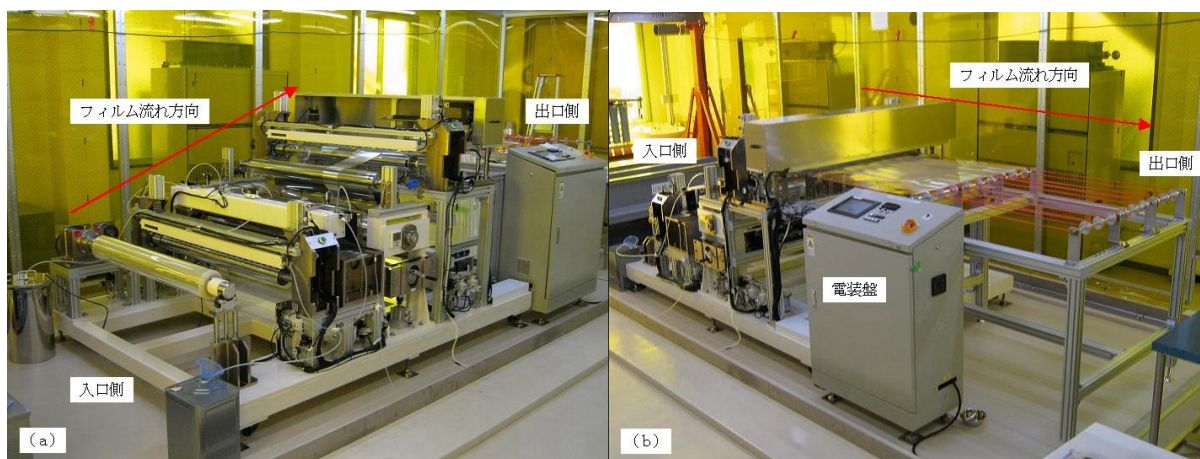


図4 メーター級 UV 式ロール転写装置の入口側(a)からと出口側(b)からの外観写真

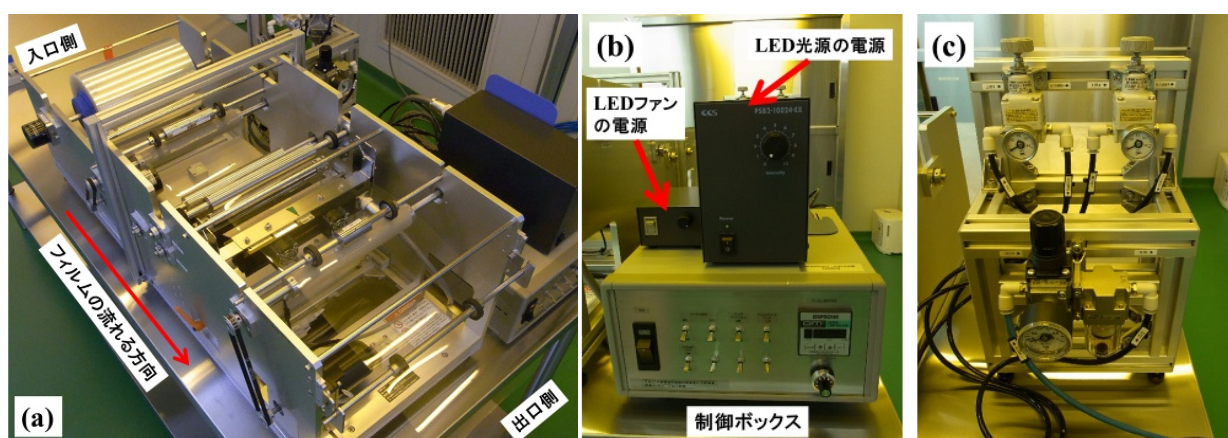


図5 簡易 UV 式ロール転写装置(a)，電気系制御ユニット(b)，空圧系制御ユニット(c)の外観写真

2-1-3 UV 樹脂材料の選定

これまでの基礎実験から、推奨照射量 $300\text{mJ}/\text{cm}^2$ の UV 樹脂を選定した。UV 樹脂の粘度の最適化のため、樹脂粘度 $100\text{ mPa}\cdot\text{s}$ (25°C)と $200\text{ mPa}\cdot\text{s}$ (25°C)， $300\text{ mPa}\cdot\text{s}$ (25°C)の UV 樹脂を用いて転写実験を行った。その結果、樹脂粘度 $100\text{ mPa}\cdot\text{s}$ (25°C)と $200\text{ mPa}\cdot\text{s}$ (25°C)の UV 樹脂では転写膜に目視で転写むら等の不具合が発生した。一方、樹脂粘度 $300\text{ mPa}\cdot\text{s}$ (25°C)で転写すると転写むらはほとんど発生しなかったため、これを基本条件として選定した。

2-1-4 転写プロセスの開発

2-1-4-1 メーター級 UV 式ロール転写装置による転写プロセスの開発

メーター級サイズの転写プロセスは本研究の最重要技術であり、製品となる DLC フロントスクリーンの十分な性能発現に向け金型形状が均一かつ安定的に転写再現されることが必要となってくる。特に鋸歯形状のピーク・バレー部の R 形状については $2\mu\text{m}$ 以下とすることが最終製品である DLC フロントスクリーンの特性上望ましい。

平成22年度は転写プロセスの基本条件を設定し、それにより転写フィルムを製作し最終製品であるメーター級の DLC フロントスクリーンの試作も完了した。しか

しながら，基本条件において UV 樹脂の使用量は最適化されておらず，フィルム搬送スピードも遅い。そのため，平成23年度は UV 樹脂使用量の最適化と，フィルム搬送スピードを上げ生産性の向上を図ることを目的とした。加えて金型形状の均一かつ安定的な再現性を図ることを目的とし，バックアップロールおよびフィルム駆動ロールのパラメーターを検討した。そのために，UV 樹脂使用量の最適化の見地から樹脂供給加圧タンクエア圧力を，生産性向上の見地からフィルム搬送スピードを，転写再現性見地からバックアップロール上昇シリンダのエア圧力を変化させ転写に対する影響を検証した。図6，図7に転写プロセスの概要を示す。

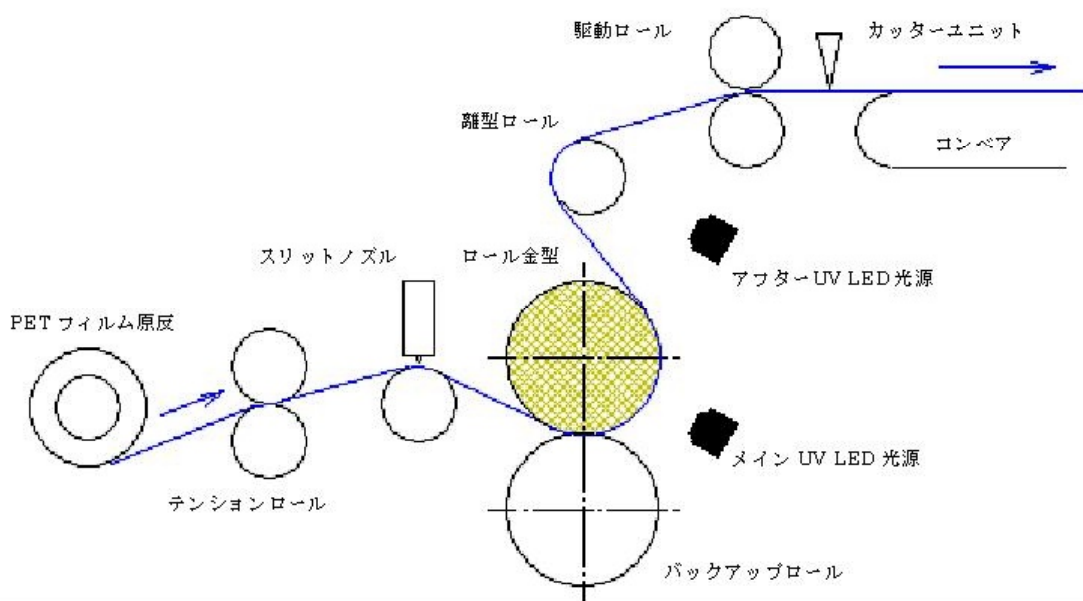


図6 転写プロセス工程図

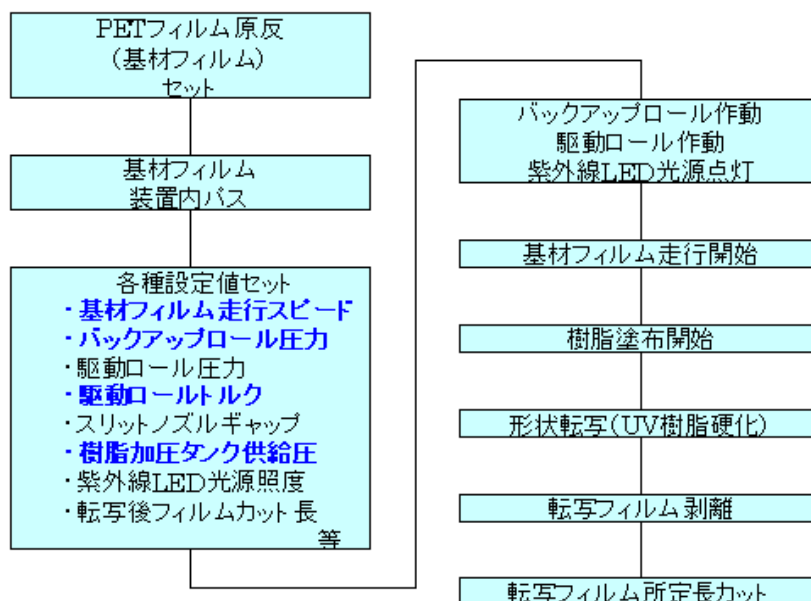


図7 転写プロセス概要

1 樹脂供給加圧タンクのエア圧力変化による塗布状態および転写膜厚への影響

樹脂供給加圧タンクのエア圧力を変化させ基材フィルムに塗布される UV 樹脂量を増減させ、転写前のスリットノズルから基材フィルムへの UV 樹脂の塗布状態の観察と、転写後の転写膜厚の測定を行った。塗布状態観察については目視にて、転写膜厚は転写フィルム上で樹脂非塗布領域を基準として、ロール金型の形状非形成部を通過した領域との厚みの差をマイクロメーターで測定した。

基本条件から加圧タンクへのエア圧を上昇させても塗布状態としては均一になされる。エア圧を下降させていくとフィルム進行方向に平行な筋状の塗布むらが観察される。転写膜厚は基本条件から加圧タンクへのエア圧を上昇させても大差は生じなかった。

2 フィルム搬送スピード変化による転写形状への影響

フィルムの搬送スピードを上昇させると当然のことながら UV 樹脂塗布量が基本条件では不足する。そのため、フィルム搬送スピード変化による基材フィルムへの塗布状態の観察も並行して行い、各搬送スピードにおける基材フィルムへの塗布状態が良好になるよう加圧タンクエア圧力を調整し転写した。塗布状態については目視観察にて、また転写形状の再現性についてはデジタル顕微鏡カメラによる鋸歯形状の断面観察にて行った。

この装置で設定可能な搬送スピード範囲における転写フィルムの鋸歯形状の断面については特に大きな変化は見られなかった。このことにより、当転写装置においてフィルム搬送スピードによる転写への影響は少ないと考えられる。

3 バックアップロールの圧力変化による転写形状への影響

転写形状に影響を与えるものとしてロール金型への印加圧力となるバックアップロール上昇エアシリンダのエア圧力が考えられる。よってこれを変化させ転写形状の再現性に与える影響を調査した。

バックアップロールを上昇させるエアシリンダのエア圧力はロール金型への印加圧力となる。エア圧を変化させ転写し、鋸歯の断面形状を観察した。その結果、バックアップロール圧力を変化させても転写形状に大差はなく、当転写装置におけるバックアップロール上昇エアシリンダのエア圧力は今回の設定範囲において転写形状に影響を与えないと考えられる。

以上で述べてきたように、各フィルム搬送スピードにおいて、UV 硬化樹脂を均一に塗布するための最も低い樹脂供給加圧タンクのエア圧力を導出した。その基本条件よりエア圧力を下降させると塗布むらが観察される。エア圧力を基本条件より上昇させても転写形状に影響は見られなかった。これにより基本条件で塗布することを UV 硬化樹脂の使用量の観点から選択した。

また、フィルム搬送スピード及びバックアップロールの圧力を変化させても転写形状に影響は少なかった。これはメーター級 UV 式ロール転写装置の各パラメーターの設定範囲に、事前に小型転写試作機を用いて行った基礎実験から得られた安定転写条件を反映させたためである。今回の実験の結果、安定転写条件がメーター級 UV 式ロール転写装置においても適用可能であることを実証した。

2-1-4-2 簡易 UV 式ロール転写装置による転写プロセスの開発

1 はじめに

本事業で開発を進めている DLC フロントスクリーンでは、PET フィルム上に形成された鋸歯微細構造の形状再現性が不十分であるとコントラスト低下などの性能低下が生じる。これまで、小型転写試作機を用いた基礎実験により転写パラメータはある程度最適化されていたが、転写パラメータと転写形状との関係は明確になっていなかった。そこで、宮城県産業技術総合センターに設置した簡易 UV 式ロール転写装置を使用し、基礎データを得るための各種試験を実施した。

2 実験方法

(1) 転写装置

転写試験には、平成22年度に導入した簡易 UV 式ロール転写装置（以下、簡易転写装置）を用いた。簡易転写装置の外観写真を図8、構成図を図9に示す。

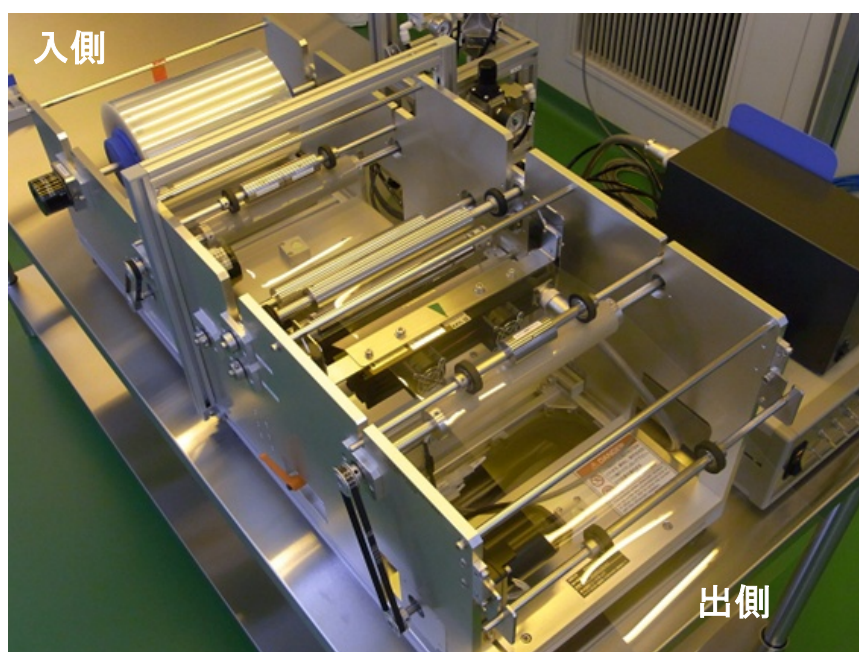


図8 簡易 UV 式ロール転写装置の外観

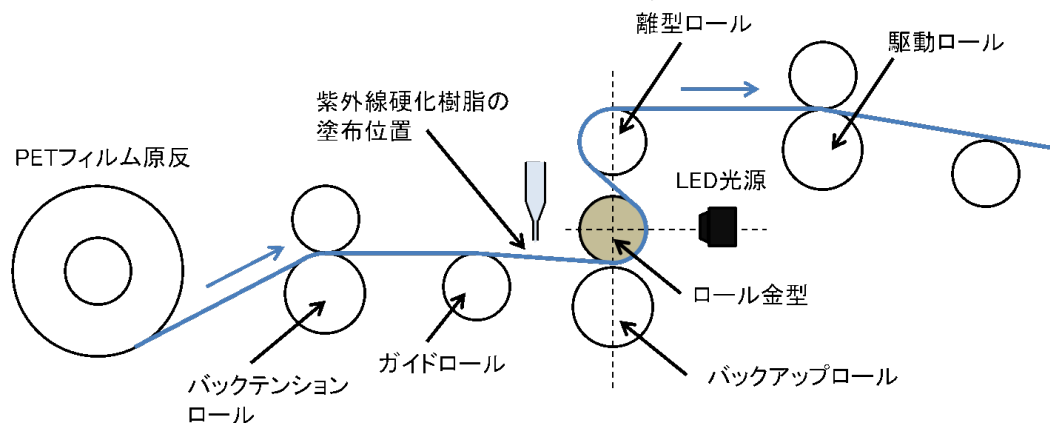


図9 簡易 UV 式ロール転写装置の構成図

転写試験に使用した金型ロールはステンレス製で、表面に無電解 Ni-P めっきを施し、ダイヤモンドバイトで切削加工を行い、鋸歯形状を形成した。めっき表面にはフッ素系離型剤による離型処理を行った。

(2) 転写条件

本研究では、転写パラメーターとして、バックアップロール押圧、フィルム送り速度、紫外線照度、紫外線照射位置の4点に着眼し、各条件を変更して転写を行う試験を行った。樹脂は 300mPa·s (25℃)の粘度の紫外線硬化樹脂を使用した。

鋸歯形状を形成したフィルムから、フィルム中央 (C) と両端部 (L, R) のサンプルを採取し、形状評価を行った。

(3) 評価方法

転写した鋸歯微細構造の形状評価は 2-1-6 で後述するように、触針式の表面粗さ・形状測定機 (アメテック株式会社 フォームタリサーフ PGI 1250A) を用いて行った。測定長さは 2mm で、得られた断面曲線から連続した 10山を抽出し、形状測定に供した。頂点角度は、鋸歯の急斜面及び緩斜面を直線で補完し、それぞれの交角の角度を測定した。山間隔は急斜面及び緩斜面を補完した直線の交点の間隔を測定した。また、10山の鋸歯をそれぞれ個別に抽出し、水平出しを行った後の最大高さ (Pt) を山高さとした。

3 評価結果

(1) バックアップロール押圧の影響

簡易転写装置による転写試験を行った結果、L 側の端部で筋状の転写ムラが見られた。さらに、転写ムラを生じた部分の鋸歯形状測定を行った結果、緩斜面部の樹脂が十分に充填されておらず、段差が生じていることが分かった。金型ロールの左右を入れ替えて転写を行うと反対側の R 側で転写ムラが発生することから、転写ムラの発生は金型ロールの非対称な鋸歯形状に依存していると考えられる。転写ムラ低減のために各種転写パラメーターの影響について調査した結果、バックアップロール押圧を低くすることで転写ムラの発生領域が減少することが分かった。

(2) フィルム送り速度の影響

フィルム送り速度変更試験は、紫外線照度とバックアップロール押圧を一定とし、駆動ロール回転数を変化させて転写を行い、転写フィルムの断面形状を評価した。試験の結果、フィルム送り速度と鋸歯形状の測定値との間に明確な傾向は見られなかった。

(3) 紫外線照度の影響

紫外線照度変更試験は、フィルム送り速度、バックアップロール押圧を一定とし、LED 光源の照度調整ボリュームの数値を変化させて転写を行い、転写フィルムの断面形状を評価した。試験の結果、照度調整ボリュームと鋸歯形状の測定値との間に明確な傾向は見られなかった。

(4) 紫外線照射量と樹脂硬化度の関係

紫外線照度を一定としてフィルム送り速度を速くした場合、また、フィルム送り

速度を一定として紫外線照度を低くした場合は、樹脂に照射される紫外線量が減少し、樹脂の硬化が十分促進されない可能性がある。そこで、鋸歯断面測定結果から樹脂の硬化について知見が得られないか検討を行った。

フィルム送り速度が 23mm/min の場合、鋸歯の先端は正常な形状であるが、フィルム送り速度が速くなるに従って頂点の変形が大きくなることが分かった。これは、表面粗さ・形状測定機の触針の移動方向と一致しており、測定時の触針の移動に伴って生じた変形と考えられる。したがって、照度調整ボリューム 5、フィルム送り速度が 57mm/min より速い転写条件では、樹脂の硬化が不十分で、容易に変形が生じる状態にあることが分かった。

(5) 紫外線を照射する角度の影響

ロール金型の表面から紫外線 LED 光源までの距離を 50mm に固定し、紫外線を照射する角度を変更して転写を行い、鋸歯微細構造の形状を測定した。

転写を行う前に、紫外線光源の角度を変えたときに、ロール金型上で紫外線が照射される領域を確認した。紫外線が照射される領域を確認するために紫外線が照射されると色が変わるシートを用いた。使用した UV ラベルは、直径 18mm の円形で、紫外線照射前には白色であるが、紫外線が当たると赤紫色に変色する。UV ラベルを PET フィルムの端部に進行方向に 3 枚並べて貼り付け(a)、金型の位置で停止させて(b)紫外線を照射(c)した。紫外線が照射された位置に対応したラベルが赤紫色に変色した(d)。金型の長軸方向から見た模式図を図 10 に示した。ロール金型の水平軸に平行に照射されるときを角度 0°とし、UV ラベルを青、緑、赤のラインで示した。図 11 に紫外線を約 140mJ/cm² だけ照射したときの結果を示す。角度 17°では、UV 硬化樹脂が金型から離型する直前の位置付近に紫外線が照射される。角度 -10°~-20°では、金型の円周方向の中央部付近で UV 硬化樹脂に紫外線が照射される。また、角度が -40°以下になるとバックアップロールの陰になるため照射される領域が狭くなることがわかった。

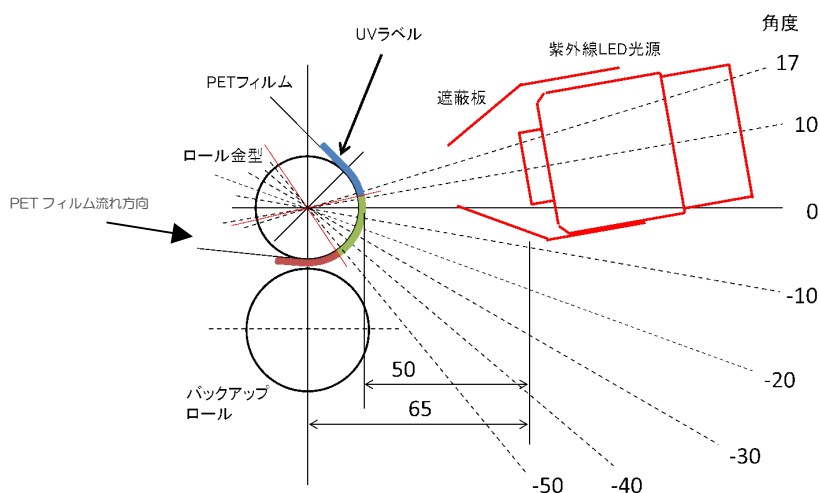


図 10 ロール金型の長手方向から見た紫外線照射の状況を示す模式図

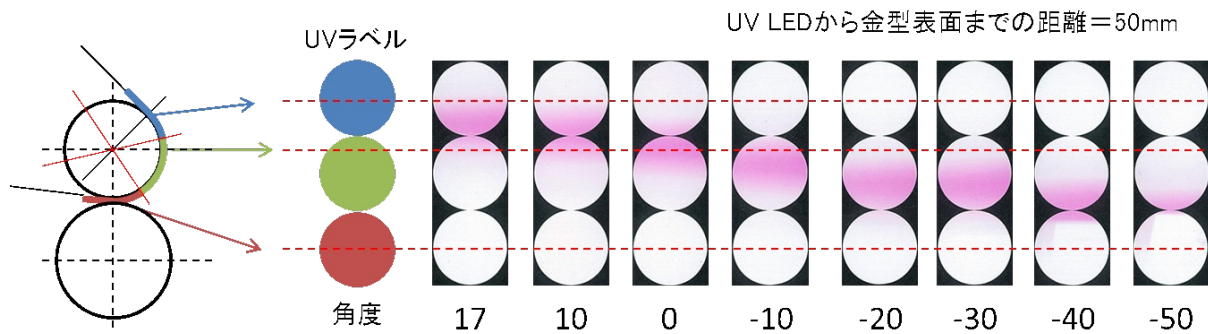


図1.1 UVラベルでの紫外線照射領域の確認

次に、ロール金型の表面から紫外線 LED 光源までの距離を 50mm、バックアップロールの圧力をレギュレータの値で 0.14MPa、PET フィルムの送り速度を 23mm/min に固定し、紫外線を照射する角度を 17°から-40°まで変更して転写を行った。紫外線を照射する角度の他に UV 硬化樹脂の粘度、照射量を変更した。転写した鋸歯状微細構造のラインプロファイルを測定した。測定したプロファイルから緩斜面・急斜面・頂点の角度、頂点間の距離、鋸歯の高さを導出した。

粘度 300mPa・s (25°C)の UV 硬化樹脂で、紫外線照度を中央部で 25mW/cm²とした場合と 150mW/cm²とした場合のいずれも紫外線を照射する角度が形状に対する影響は見られなかった。

4 まとめ

- ・低照度または高速で樹脂の転写成形を行うと、表面粗さ・形状測定機の触針による頂点形状の変形が生じることが分かった。このことにより、樹脂が十分に硬化するための紫外線照度及びフィルム送り速度を導出することができた。
- ・これまで定性的にしか分かっていなかった転写パラメーターが鋸歯微細構造への影響を明らかにし、装置の仕様の範囲内では紫外線照度、フィルム送り速度、照射角度が鋸歯の断面形状に及ぼす影響はあまり大きくないことを明確化した。

2-1-5 洗浄及び離形工程の構築

ロール転写を安定的に行うにはロール金型に付着する異物・樹脂を除去する洗浄及び離型処理が重要な技術となってくる。洗浄処理及び離型処理については、小片金型を使用した実験を繰り返し、良好と思われた結果から暫定条件を設定し、ロール金型の洗浄・離型プロセスとした。

さらに離型効果が高く、効果が持続する離型剤を探索するため、離型テストを行った。新規に開発された3種類の離型剤が市販の離型剤よりも離型効果が高いことを示した。

2-1-6 検査及び信頼性評価技術の開発

DLC フロントスクリーンが所望の性能を得るためには、ロール転写の工程で鋸歯形状が設計値通りに形成される必要がある。しかし、鋸歯形状を正確に測定する方法はこれまで確立されていないため、この鋸歯形状の評価技術も開発すべき重要な課題と言える。さらに、実際の生産において日常的に鋸歯形状を測定するためには、測定の方法は極力簡便であることが望ましい。そこで、各種の測定機器を用いて鋸歯形状の評価を試みた。

検討した測定機器と主な仕様を表1に示す。触針式の表面粗さ・形状測定機（アメテック株式会社 フォームタリサーフ PGI 1250A）、赤色レーザープローブ式非接触三次元測定機（三鷹光器株式会社 NH-3SP）、白色光干渉式非接触三次元表面粗さ測定機（アメテック株式会社 タリサーフ CCI6000）、共焦点レーザー顕微鏡（オリンパス株式会社 OLS3100）、および断面画像からの解析が可能な測定顕微鏡（株式会社キーエンス VHX1000）を用いて鋸歯形状の傾斜角度、頂点角度、山の間隔、山の高さの測定を行った。また、寸法の測定は不可能であるため、表1には記載していないが、走査型電子顕微鏡（株式会社トプコン EM-3000）による鋸歯形状の形態観察も行った。その結果、以下のことを明らかにした。

- 1) 触針式の表面粗さ・形状測定機では、サンプルを傾斜させることにより、緩斜面、急斜面ともに、確実な形状測定が可能である。しかし、谷底部に関しては触針先端 R により、実際の形状を測定できない。
- 2) 赤色レーザープローブを用いる非接触三次元測定機では、測定限界角度(5とブリュースター角(反射率がゼロになる角度)の存在により、サンプルを傾斜させても急斜面角度の正確な測定が困難である。
- 3) 白色光干渉式非接触三次元表面粗さ測定機では急斜面の測定が不可能である。しかし、緩斜面に限定されるものの、鋸歯状反射板の表面粗さの測定に適する。
- 4) 共焦点レーザー顕微鏡では急斜面の測定が不可能である。
- 5) 測定顕微鏡では、測定する端面を変形やバリ等がないように切断する必要があり、手間と技術を要する。また、平均線解析ができず、測定者が測定位置を指定するため、測定結果に個人差が生じやすい。
- 6) 走査型電子顕微鏡では寸法の測定は不可能であるものの、頂点や谷底の形状を含め転写性の定性的な評価が可能である。

以上を踏まえ、鋸歯状反射板の形状測定には表面粗さ・形状測定機が、表面粗さの測定には非接触三次元表面粗さ測定機が適する。また、鋸歯形状の頂点や谷底部の成形性の定性的な評価には走査型電子顕微鏡が適すると判断した。

表1 鋸歯形状の評価に使用した測定機器

	a	b	c	d	e
測定機名	表面粗さ・形状測定機	非接触三次元測定機	非接触三次元表面粗さ測定機	共焦点レーザ顕微鏡	測定顕微鏡
機種	フォーカサーフ PGI1250A	NH-3SP (対物レンズ 100X)	カサーフ CCI6000 (対物レンズ 50X)	LEXT OLS3000 (対物レンズ 50X)	VHX-1000 (対物レンズ 1000X)
メカ	テラホブツ	三鷹光器	テラホブツ	オリパス	キエツ
測定方式	触針式	レーザプローブ式	白色光干渉式	レーザ顕微鏡	マイクロプローブ
プローブ	2 μ mR/30°	635nmレーザ	白色光	408nmレーザ	
接触圧	0.75mN	0	0	0	0
作動距離	0	3.18mm(100X)	3.4mm(50X)	0.3mm(50X)	25mm
Z測定レンジ	12.5mm	100mm	0.1mm	0.3mm未満	
評価エリア	X方向で200mm以内	150×150mm以内	360×360 μ m	256×192 μ m	300×230 μ m
水平分解能	125nm	任意設定可	360nm	250nm	190nm
高さ分解能	0.8nm	1nm	0.01nm	0.01 μ m	
測定限界角度	60°	55°	27.7° (50X)	55° (50X)	
ファイバ	×	○	×	×	×
平均線解析	○	○	×	×	×

2-2 高反射金属の選択的部分成膜

2-2-1 選択的部分成膜

本研究開発のスクリーンにおいて、外光とプロジェクター光を分離するために鋸歯形状の適正部位への金属成膜が必要になる。可視領域の光を反射する反射膜形成には物理的気相成膜法におけるスパッタリング法や真空蒸着法が多用されている。今回は抵抗加熱の蒸発源による真空蒸着法で行った。

抵抗加熱の蒸発源による高反射金属の蒸着成膜において、蒸着源が一箇所有的时候は 500~2500 Å の膜厚分布であったが、蒸着源を二箇所にするによりアルミ蒸着膜厚を所望する 800 Å 以上とすることが可能となった。また、成膜部分を選択的に行うことについても概ね良好な結果が得られていることが観察された。このことは、最終製品の DLC フロントスクリーンにおいて面内輝度のばらつきの低減が図れる等、光学特性の向上に寄与することが期待できる。

2-2-2 検査及び信頼性評価技術の開発

高反射金属膜の成膜においては、鋸歯形状の適正部位への選択成膜と膜厚制御がスクリーンの性能を左右する重要なポイントになる。また、成膜した高反射金属の反射率もスクリーンの性能に影響を与える。しかしながら、本研究開発のスクリーンにおいては、これらの項目を正確に評価する手法が確定していない状態である。そこで、成膜した高反射金属の成膜部位、膜厚、反射率の評価方法を検討した結果、以下のことを明らかにした。

- 1) 成膜部位の評価については、透過型光学顕微鏡及び SEM 観察で成膜状況を推定することができた。
- 2) 膜厚の測定については、鋸歯状微細形状の緩斜面側に成膜された高反射金属の膜厚を測定することは不可能であるため、モニター用ガラス基板に成膜した高反射金属の膜厚を測定することで膜厚管理を行う。
- 3) DLC フロントスクリーンを光軸に対して傾斜させることで、鋸歯状微細形状の緩斜面側に成膜された高反射金属の反射率が測定可能であることを示した。

2-3 光吸収層の形成技術の開発

2-3-1 光吸収材料の最適化

エナメル塗料（フタル酸樹脂）とラッカー塗料（アクリル樹脂）、前記塗料にバインダーを添加したもの、常温圧着と加温圧着の両面テープ、2液混合のシルクインキ、3種類のUVインキの10種類の材料を選定し、目視での外観検査、密着性・透過性・反射特性の評価を行った。その結果、2液混合のシルクインキが最も高い評価であった。

しかしながら、高温高湿試験の結果、反射膜として形成されているアルミ蒸着膜が変質した。このアルミ蒸着膜の変質が輝度の低下につながる。調査の結果、ウレタン系シルクインキに使用されている成分（塩ビ酢ビ重合体）がアルミ蒸着膜を変質させる原因として考えられた。そこで、別のシルクインキの成分を調査・検討し、アクリル系とポリエステル系の2種類のハロゲンフリーインキを選定した。このハロゲンフリーインキでは、アルミ蒸着膜の変質が発生しなかった。併せて行った密着性の評価では、ポリエステル系のハロゲンフリーインキが剥離したため、アクリル系のインキを採用した。

2-3-2 光吸収層形成工程の最適化

採用したインキが2液型のスクリーンインキであるため光吸収層の形成をスクリーン印刷方法で行う。図12に示すように光吸収層の形成を手作業で行い、目的とする光吸収層の形成手法を確立した。今後、作業効率の向上及び品質の安定化に向け、自動化が可能な設備を導入予定である。



図12 手作業によるスクリーン印刷作業

2-3-3 信頼性評価技術の開発

信頼性評価については、2-4-4において、最終製品のDLCフロントスクリーンの形態で行った。

2-4 光学フィルムの貼合及びタイリング技術の開発

2-4-1 貼合用接着材料

DLC フロントスクリーンの材料構成を図13に示す。接着材料が使われるのは、鋸歯状反射フィルムとベース板の貼合工程である。また、拡散フィルムと低反射フィルムは、予め接着層が付いた状態で販売されている。そこで、鋸歯状反射フィルムとベース板の貼合に使用する接着材料の選定と予め接着層が付いた状態で販売されている拡散フィルムと低反射フィルムの接着層の劣化・剥離の有無を確認した。

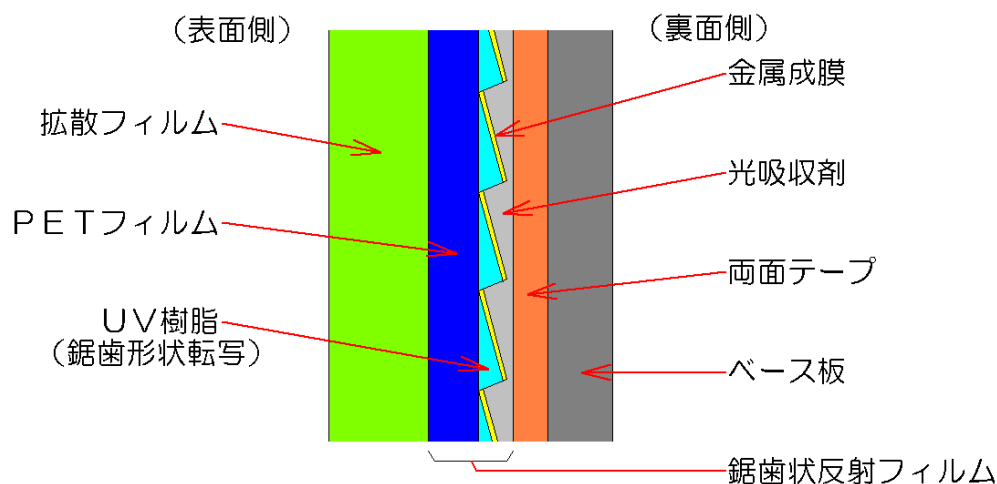


図13 DLCフロントスクリーンのスクリーンの構成概略図（断面）

鋸歯状反射フィルムとベース板の貼合実験で使用する接着剤については、仕様を検討し、2メーカー3種類の1液性弾性接着剤、3メーカー5種類の両面テープを選定した。貼合実験結果、弾性接着剤については、3種類すべて粘性が高く、均一に塗布することが困難であった。さらに、貼り合わせたときにうねりが発生し、平滑にならず、スクリーンの性能を低下させる恐れがあると判断した。両面テープについては、5種類中4種類がほぼ均一に接着されたことが目視により確認できた。材料費を考慮して、アクリル系粘着剤付両面テープを使用することに決定した。

拡散フィルムと低反射フィルムは、予め接着層が付いた状態で販売されている。鋸歯状反射フィルムと拡散フィルム、拡散フィルムと低反射フィルムとの貼合における接着材料が劣化し、フィルムが剥離しないかを加速試験を行って調査した。接着材料では、化学反応・加水分解の進展による劣化が考えられるため、高温試験と高温高湿試験を行った。いずれの試験においても、鋸歯状反射フィルムと拡散フィルム、拡散フィルムと低反射フィルムとの貼合部に剥離は見られなかった。

今後、接着材料の密着強度について、評価方法の検討を含めて実施する予定である。

2-4-2 貼合工程

DLC フロントスクリーンの貼合工程を調査・解析し、気泡等の発生を防止するために真空状態で貼合後、オートクレーブ処理をするのが望ましいことに加え、メーター級サイズの貼合には枚葉式貼合機が適していると結論した。枚葉式貼合機を導入する計画であるため、現在販売されているメーター級の枚葉式貼合機の調査・検討を行なった。その結果、2社を選定し貼合サンプルの作製を委託した。両社における貼合実験の結果、枚葉式貼合機によるメーター級 DLC フロントスクリーンの貼合が可能であるとの見解に至っている。

今後、貼合機を導入することにより、社内でのメーター級サイズの DLC フロントスクリーンの貼合が可能となる。

2-4-3 タイリング

スクリーンを数枚タイリングすることで大サイズのスクリーンとする場合、各スクリーンの切断面の良し悪しがスクリーン同士の繋ぎ目に影響してくる。したがって、切断面を直線性・平滑性よく切断することが重要な作業要素になってくる。各種切断方法（カッターナイフ、ロールカッター、超音波カッター、レーザー加工機）を検討した結果、カッターナイフによる切断が比較的直線性よく切断できた。

2-4-4 検査及び信頼性評価技術の開発

DLC スクリーンの信頼性評価のために、液晶パネルの試験内容を参考として、表2に示す試験を実施した。

表2 環境試験における温度、湿度、時間、設備

試験	温度[°C]	湿度[%RH]	時間[時間]	設備
高温高湿	60	95	500	PL-3G (タバイエスベック株式会社)
高温	70	30	240	PSL-2KPH (タバイエスベック株式会社)
低温	-20	制御なし	240	
熱衝撃	-20°C , 30分 → 70°C , 30分 を 10サイクル			エタックNT1230A (楠本化成株式会社)

試験サンプルに用いた DLC フロントスクリーンのベース板にはアルミ複合材、スチール複合材を使用した。アルミ複合材は、高温高湿試験で反ってしまうことがわかってきたが、スチール複合材と比較して軽量であり、重量の観点で優位性があることから、試験サンプルとして用意した。試験前後で、外観観察とスクリーン輝度の評価を行った。輝度の評価では、暗い環境下で DLC フロントスクリーン全面に、短焦点プロジェクタ（日本電気株式会社 U310W）で、白色のパターンを映して、輝度計（コニカミノルタホールディングス株式会社 LS-100）を用いた。

各試験の前後に行った外観検査の結果、輝度が劣化している部分や気泡などの発生はなく、試験前後で外観に変化はなかった。

高温高湿試験前後での輝度測定の結果、ベース板がアルミ複合材では、面内5点測定中4点にて、最大で8%の輝度低下が確認された。また、ベース板がスチール複

合材でも、面内5点測定中3点にて、最大で3%の輝度低下が確認された。高温試験前後での輝度測定の結果、ベース板がアルミ複合材では、最大で3%の輝度低下が確認された。また、ベース板がスチール複合材では、最大で2%の輝度低下が確認された。低温試験前後での輝度測定の結果、ベース板がアルミ複合材では、最大で3%の輝度低下が確認された。また、ベース板がスチール複合材でも、最大で3%の輝度低下が確認された。熱衝撃試験前後での輝度測定の結果を、ベース板がアルミ複合材では、最大で3%の輝度低下が確認された。また、ベース板がスチール複合材でも、輝最大で3%の度低下が確認された。

2-5 光学設計技術の開発

2-5-1 光学設計

DLC フロントスクリーンはプロジェクター光のみを拡散反射させ、外光を拡散反射させない制御にて成立しており、その制御は拡散フィルムと鋸歯形状反射板による構成で行っており、光学設計が重要である。そこで、メーター級 DLC フロントスクリーンに対応した最適光学設計技術を構築した。

現状の DLC フロントスクリーン構成での拡散制御は拡散フィルムを使用している。しかし量産を見据えた場合、コスト削減ため拡散制御を反射板の表面形状で行い拡散フィルムの削減が必要である。そこで、表面形状拡散反射板の計算手法を用い、所望の反射板形状の形状を導出可能とした。

これを基に新規構成（図14）を検討し、小径ロール金型（簡易 UV 式転写装置用）を製作・転写し検証した。本転写形状は設計値と測定値で乖離しており所望の拡散反射特性は得られなかったが、反射板形状による拡散反射は観察できた。これらより反射板形状が設計値と合致すれば所望の拡散反射特性が得られると考える。

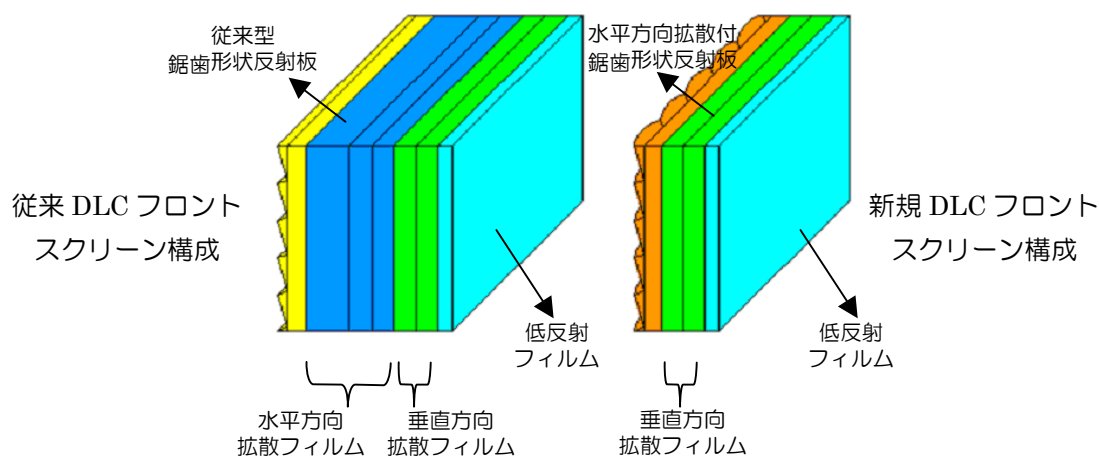


図14 従来構成と新規構成のイメージ像

2-5-2 光学フィルム及びフロントスクリーンの評価技術の開発

最終製品となるメーター級サイズの DLC フロントスクリーンにおいては光学特性の評価が必須であるため、評価技術を確立した。このことによって、今後新たな光学設計によって転写形状の変更等が生じた場合でも、DLC フロントスクリーンの評価が可能となる。

第3章 全体総括

3 - 1 研究開発成果

拡散制御（DLC）理論に基づくフロントスクリーンの超精密成形技術を基盤とする製造技術の開発を行い、以下の成果を得た。

2 - 1 ナノレベル形状形成に対応したメーター級 UV 式ロール転写技術の開発

- ・メーター級 UV 式ロール転写装置及び簡易 UV 式ロール転写装置を導入し、ロール金型に形成された鋸歯微細構造を UV 硬化樹脂にロール転写する技術を開発した。
- ・各種パラメーターを変更して転写を行い、転写形状の測定と観察を行った。その結果、転写パラメーターの変化が転写形状に大きな影響を与えないことを明らかにした。
- ・次期の開発目標としている三次元形状の反射板形状を形成した小片平板金型および小径ロール金型を用いた実験を行い、メーター級ロール金型での転写の実現可能性を示した。

2 - 2 高反射金属の選択的部分成膜

- ・抵抗加熱の蒸発源による高反射金属の蒸着成膜において、蒸着源が一箇所するときには膜厚が不足していたが、蒸着源を二箇所にするにより反射フィルム全面で最終製品となる DLC フロントスクリーン光学特性の発現に必要な膜厚の金属成膜を可能とした。

2 - 3 光吸収層の形成技術の開発

- ・スクリーン印刷方法による光吸収層の形成手法を確立した。
- ・高温・高湿試験でアルミ蒸着膜が変質する要因を光吸収材料の成分（塩ビ酢ビ重合体）と特定し、アルミ蒸着膜へ悪影響を及ぼさないハロゲンフリーの光吸収材料を選定した。

2 - 4 光学フィルムの貼合およびタイリング技術



- ・貼合機メーカーにての貼合サンプル作製結果により、市販されている枚葉式貼合機によってメーター級の光学フィルムを貼合できる可能性を示した。

2 - 5 光学設計技術の開発

- ・表面形状による拡散反射制御について、計算ファイルを使用し所望する光学特性の反射板形状が導出可能になった。また、最終製品となるメーター級 DLC フロントスクリーンの評価技術を確立した。

これらの成果と平成22年度の成果をもとに、70 インチサイズ DLC フロントスクリーンを作製した。従来品との比較を表3に示す。従来品と比較して、明環境下で視認性に優れていることを実証した。

表3 本研究で開発した DLC フロントスクリーンと従来品との性能比較

	従来品	DLC フロントスクリーン
コントラスト	9	125
明るさ (cd/m ²)	440	870
写真		

測定環境：300lx

さらに大型の 130 インチサイズ DLC フロントスクリーン（図 1 5 参照）の作製も可能にした。



図 1 5 130 インチ DLC フロントスクリーン

3 - 2 残された課題と今後の事業展開

残された技術的な課題を以下に示す。

- ・ 転写を長距離に行った場合，鋸歯微細構造が再現性よく，安定に転写できるか不確定である。
- ・ 新規反射板形状を形成したメーター級ロール金型の製作

これらの課題については，平成 2 4 年度以降の補間研究で研究開発を行う予定である。また，量産に向けて，DLC フロントスクリーンの製造工程毎に必要なマニュアルの整備，および良否判定基準を策定する予定である。また，各工程における作業性の改善等を随時行っていく。

今後の事業展開を以下に示す。

- ・ 教育機関，企業，イベント分野等で必要とされる大型表示デバイス市場に，100インチ超サイズの商品で進出する予定としている。
- ・ ここ数年，超小型プロジェクターが販売されはじめ，市場の拡大が予想されている。超小型プロジェクターとともに持ち運びが容易な小型サイズスクリーンの商品化を図っていく。
- ・ エントリーモデルの開発を含め，様々な商品ラインナップを充実させユーザーの要求に答えていく計画である。
- ・ DLC フロントスクリーンが活用できるニッチな分野を調査し，対応した商品を開発し，市場に展開していく。

これらの商品の販促を進めていくうえで，販売網の構築やプロジェクターメーカーとの連携を深めていく。