

平成28年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「インクジェットを用いた導光板用超微細金型製造技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成28年3月

担当局 東北経済産業局
補助事業者 公益財団法人福島県産業振興センター

目次

	頁
第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	3
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 本論	8
2-1 マイクロレンズ成形用インクの開発	8
2-1-1 微少液滴インクジェット装置より吐出するインクの 表面エネルギー調整の研究	8
2-1-2 吐出される樹脂板に塗布する撥水膜の 表面エネルギー調整の研究	12
2-2 導光板製造装置の開発	13
2-2-1 光学設計データに合わせた配置にインクを 吐出する装置の研究開発	13
2-2-2 吐出液滴量の安定性及び液滴量補正ソフトウェアの開発	16
2-2-3 吐出されたインクを紫外線硬化させる光源及び環境の 研究開発	17
2-2-4 インクカートリッジの開発	19
最終章 全体総括	21

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

研究開発の背景

導光板は、液晶バックライト装置中にあり、光出力を制御する最も重要な部材であり、携帯機器向けでは通常射出成型により製造される部品である。近年の射出成型技術は、回折格子など微細加工された金型のパターンを転写できるなど非常に高度になってきているが、導光板の金型加工技術は、このような微細加工を精密に行うことができない。導光板は薄くなるに従い、発光パターンとなるマイクロレンズを小さくする必要がある（図1-1）。従来型の導光板は厚み0.4~0.6mm程度の厚みであったが、最新の計画モデルでは0.2~0.3mm、更に将来的には0.1mmのレンジを視野に入れた導光板となっていくことが想定されている。このため、従来は製造できなかった、直径15 μ m以下のマイクロレンズを生成することが本研究開発の目的である。また、スマートフォン等の携帯機器は開発段階では加工技術の高度化、開発速度の向上が求められており、生産段階では製品の低コスト化、短納期化も求められており、これらを同時に解決する事が望まれている。

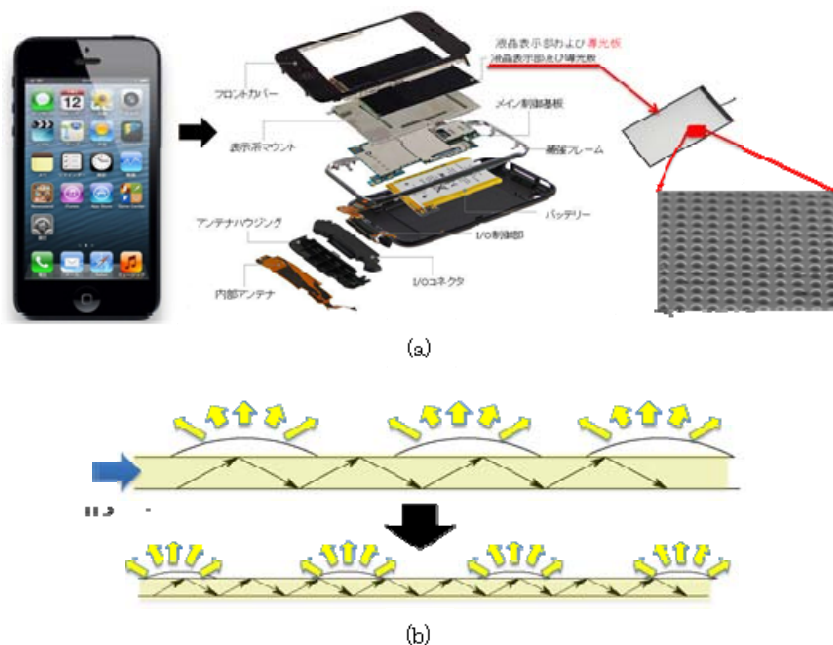


図1-1 導光板

(a) 液晶バックライトの主要部品

(b) 導光板からの光取り出し

導光板の厚みが薄くなるに従い発光パターンとなるマイクロレンズの微細化技術が重要となるが従来技術には課題があるため、本研究により新技術の実用化を図る（図1-2）。

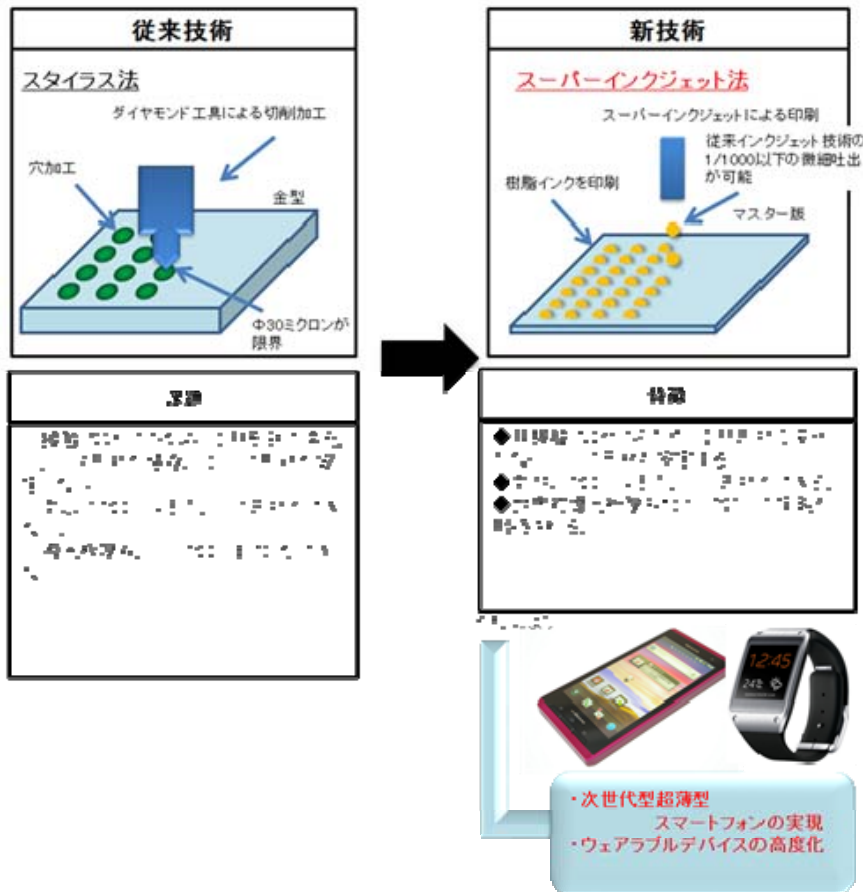


図1-2 従来技術と新技術

研究目的及び目標

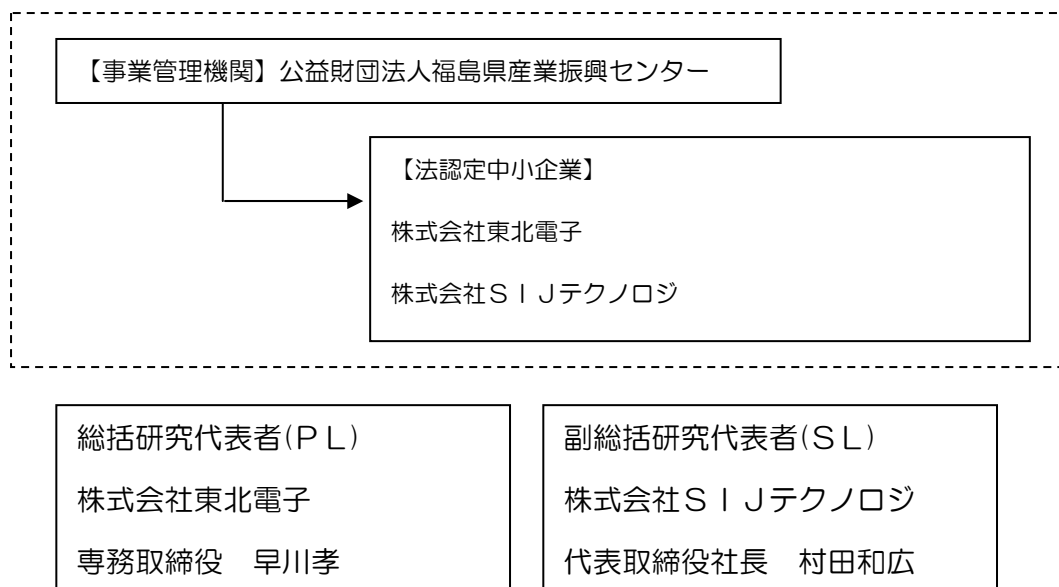
新技術では導光板厚み $100\mu\text{m}$ に対応したマイクロレンズ形成技術を開発し、最終的には電鍍型を作成することができる技術の確立を目的とする。

導光板厚みターゲットからマイクロレンズの直径は $15\mu\text{m}$ 、高さは $0.85\mu\text{m}$ とし 24 時間以内に 100 万個形成できることを目標とする。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織(全体)



2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人福島県産業振興センター

氏名	所属・役職	実施内容
大内 繁男	技術支援部 技術振興課 課長	管理員
齋藤 宏	技術支援部 技術振興課 課長代理	管理員

【法認定中小企業】株式会社東北電子

氏名	所属・役職	実施内容
早川 孝	専務取締役	統括、1、2
渋川 達弘	品質管理部長	1-1、1-2 2-1、2-2、2-3
篠田 清郁	技術部主任	2-1、2-3、2-3
岡田 武	技術部リーダー	2-1、2-2、2-3
箱崎 博昭	技術部	2-1、2-2、2-3
斉藤 健一	技術部	2-1、2-2、2-3
菅野 和也	技術部	2-1、2-2、2-3

【法認定中小企業】株式会社S I Jテクノロジー

氏名	所属・役職	実施内容
村田 和広	代表取締役社長	副統括、1、2
田代 直樹	開発・営業部 マネージャー	1-1、1-2 2-1、2-4
宮川 俊彦	開発・営業部 リーダー	1-1、1-2 2-1、2-4
荒井 紀子	開発・営業部	1-1、1-2 2-1、2-4
吉野 順子	開発・営業部	1-1、1-2 2-1、2-4

3) 他からの指導・協力者氏名及び・協力事項

(外部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
三瓶 義之	福島県ハイテクプラザ 生産・加工科 主任研究員	アドバイザー
谷川 謙	オムロンプレシジョンテクノロジー株式会社 代表取締役社長	アドバイザー

1-3 成果概要

2-1. マイクロレンズ成形用インクの開発

2-1-1. 微少液滴インクジェット装置より吐出するインクの表面エネルギー調整の研究 目標

- 吐出安定性及び UV 硬化性を向上させたインクの開発
- 電鍍金型にて剥離しない密着性の高いレンズインクの開発
- 電鍍金型で作製された導光版の凸レンズが直径 $15\ \mu\text{m}$ で高さ $0.85\ \mu\text{m}$ が形成できるインクの開発

成果

- 吐出安定性及び UV 硬化性を向上させたインクの開発として、100万ドットを安定的に印刷できるインクを開発した。
- 電鍍金型にて剥離しない密着性の高いレンズインクを開発した。
- 電鍍金型で作製された導光版の凸レンズが直径 $15\ \mu\text{m}$ で高さ $0.85\ \mu\text{m}$ が形成できるインクを開発した。

2-1-2. 吐出される樹脂板に塗布する撥水膜の表面エネルギー調整の研究

目標

- 接触角度 13° が形成できる撥水膜用樹脂を見出す
- 電鍍金型にて剥離しない密着性の高い撥水膜用樹脂を開発

成果

- 接触角 13 度のレンズを作製することができた。
- 密着性試験においてもレンズインクは剥離しない撥水膜用樹脂を開発した。

2-2. 導光板製造装置の開発

2-2-1. 光学設計データに合わせた配置にインクを吐出する装置の研究開発

目標

- 導光板製造装置の開発

成果

- 導光板製造装置を開発した。

2-2-2. 吐出液滴量の安定性及び液滴量補正ソフトウェアの開発

目標

- ・自動焦点合わせ機構の基本動作設計と、レンズ輪郭抽出の照明設計及び実験を行い、輪郭部の抽出が目視できうる状態にする。

成果

- ・輪郭部を画像検知出来るソフトウェアを開発した。

2-2-3. 吐出されたインクを紫外線硬化させる光源及び環境の研究開発

目標

- ・レンズ直径が安定する硬化方法の開発

成果

- ・レンズ直径が安定する硬化方法を開発した。

2-2-4. インクカートリッジの開発

目標

- ・インクカートリッジ寸法検査用装置の開発
- ・インク充填システムの開発

成果

- ・インクカートリッジ寸法検査用装置を開発した。
- ・インク充填システムを開発した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社東北電子（法認定中小企業）

品質管理部 部長 渋川達弘

電話番号：0246-72-1601

E-mail：tshibukawa@mcp-hybec.co.jp

株式会社S I Jテクノロジー

開発・営業部 マネージャー 田代 直樹

電話番号：029-896-5110

E-mail：n-tashiro@sijtechnology.com

第2章 本論一（1）

2-1. マイクロレンズ成形用インクの開発

2-1-1. 微少液滴インクジェット装置により吐出するインクの表面エネルギー調整の研究

【背景】

株式会社東北電子ではすでに、予備研究として大容量液滴の場合に吐出できるインクが開発が終了している。大容量液滴の場合にはレンズ接触角が 42° と大きく設定されているが、生成されたレンズは球体の一部を成すレンズ形状であることが確認されている。写真の最小液滴量は3ピコリットルである。（図1-1-1）

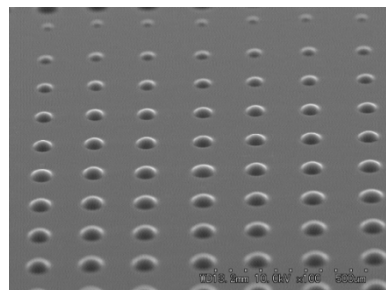


図1-1-1

大液滴のレンズ（SEM 画像）

【課題】

目標である直径 $15\mu\text{m}$ 高さ $0.85\mu\text{m}$ のマイクロレンズを得るためには、直径及び接触角がともに非常に小さいレンズを生成することになる。これは、マイクロレンズを生成する樹脂板上の撥水膜と、レンズ用インクの表面エネルギーの差が小さいことを意味しており、この状態で上面から見て歪みの少ない、安定して真円形のマイクロレンズを生成できる条件を見出すことが課題である。

【実験内容】

インク内に添加する表面エネルギー調整材料及びスリップ材料の添加量を変化させて樹脂板上に目標となるレンズ形状が生成できる添加量を実験にて探る。また、樹脂板上の撥水膜の状態も変化させて、目的の形状を得る。

【目標】

- 直径 $15\mu\text{m}$ で高さが $0.85\mu\text{m}$ の凸レンズが形成できるレンズ用インクを見出す
- 吐出安定性及びUV硬化性を向上させたインクの開発
- 電鍍金型にて剥離しない密着性の高いレンズインクの開発
- 電鍍金型で作製された導光版の凸レンズが直径 $15\mu\text{m}$ で高さ $0.85\mu\text{m}$ が形成できるインクの開発

【成果】

表面調整剤を、レンズインクに添加し、テスト結果をフィードバックしながら直径 $15\mu\text{m}$ 高さが $0.85\mu\text{m}$ の凸レンズが形成できるマイクロレンズ成形用インクを開発した。

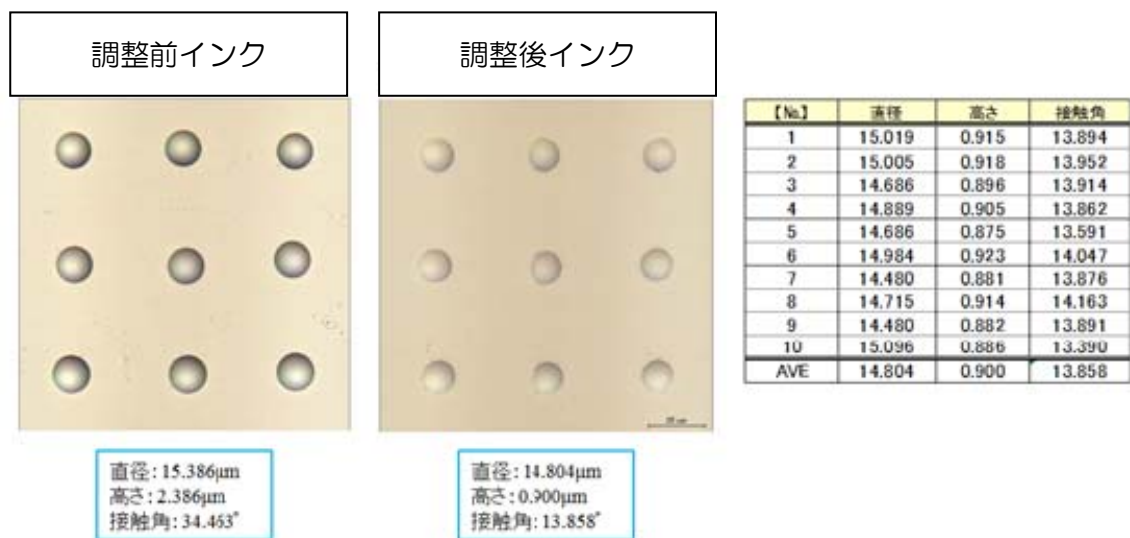


図1-1-2 直径15 μ mで高さ0.85 μ mに調整したマイクロレンズ

・吐出安定性及びUV硬化性を向上させたインクの開発として、100万ドットを安定的に印刷できるインクを開発した。

以下は、100万ドットを安定させて吐出し、UV照射器で硬化させ、硬化試験にて問題無く硬化出来た原板である。

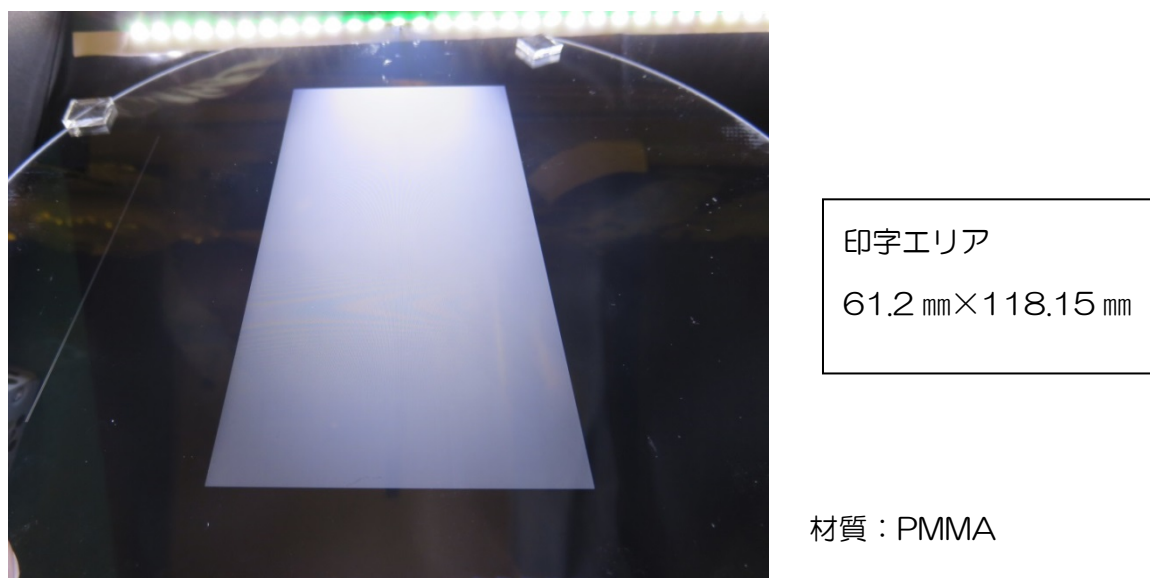


図1-1-3 100万ドットを安定させて吐出し、UV照射器で硬化させた原板

この原板を使用して作製した電鍍金型は以下のとおり
電鍍金型においてもマイクロレンズが剥離することなく形成出来たことから
密着性の高いレンズインクを開発した。

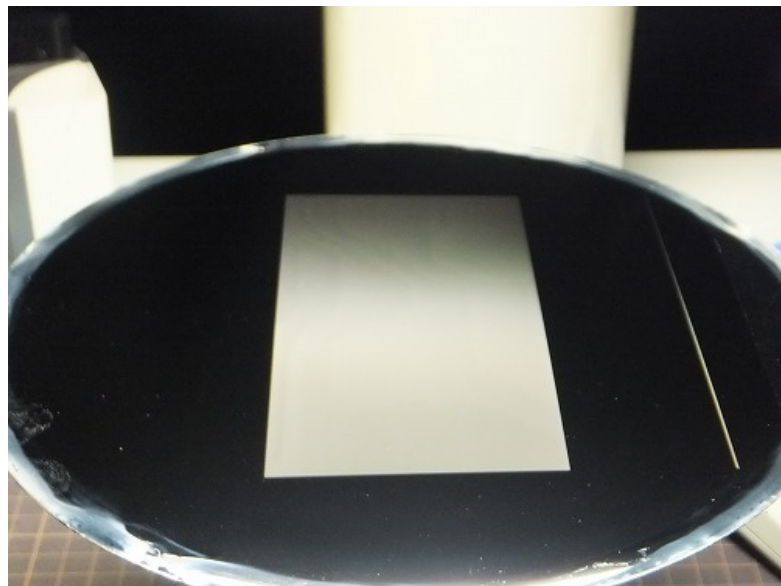


図 1-1-4 原板を基に作製した電鍍金型

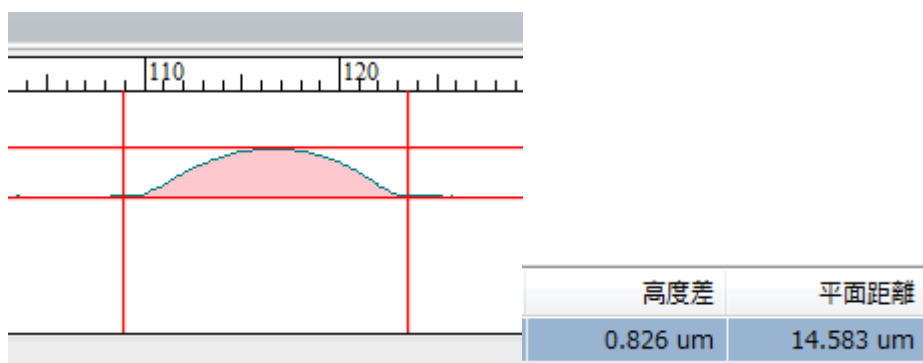
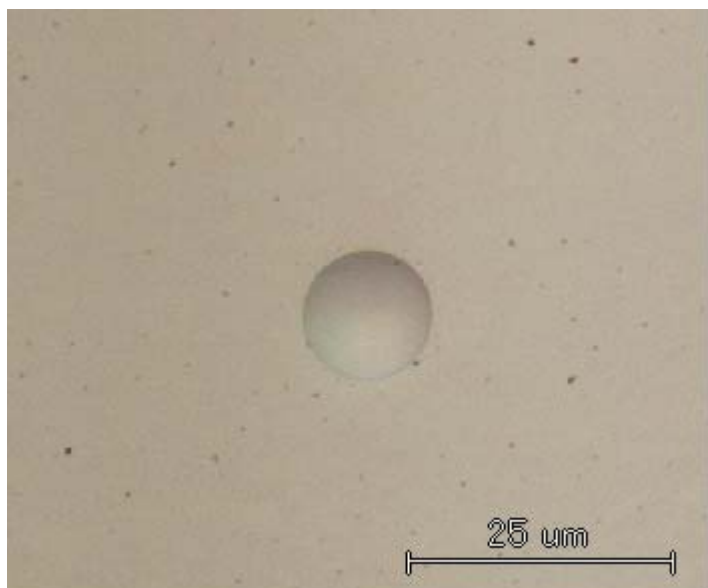
この電鍍型を使用して作製された成形品は以下のとおり



材質：PC、厚み：0.02 mm

図 1-1-5 電鍍金型を使用して作製した成形品

- 電鍍金型で作製された導光版の凸レンズが直径15 μmで高さ0.85 μmが形成できるインクを開発した。以下は接触角13°品による成形品の測定結果



接触角 12.926°

図 1-1-6 接触角 13 度品による成形品の測定結果

2-1-2. 吐出される樹脂基板に塗布する撥水膜の表面エネルギーの調整の研究

【背景】

株式会社東北電子がすでに有する樹脂板面に塗布する撥水膜は1-1で説明したように接触角度が 42° と大きいため新規開発が必要である。

【課題】

事前研究により接触角度を 19° まで低下させることには成功しているが、この接触角度を下回るとレンズの真円形に影響があることが確認されている。レンズ体積と真円形についての関係も未知であり、更に接触角を下げるための添加材料と添加量を見つける必要がある。

【実験内容】

レンズ体積が微少となった場合の挙動を観察し、新たな添加材料と添加量を調査する。また、この実験を行う際には、環境温度、環境雰囲気の高い安定性が求められるので、2-1で開発した装置内で実験を行う。

スピナーによる樹脂膜作製においては、回転数、回転時間、スロープ設定の調整により、UV硬化後の樹脂膜厚 700nm を狙うものとする。

金型を作製する際には、離型時に剥がれない密着性も要求される為、密着性についての確認も行う。確認方法としては、コート膜・レンズ印字済みサンプルハスコッチ3M#600テープ（幅 19mm ）を貼り付け、アスピアプロプレアIIを使用して、テープを押し付け、テープに気泡が入らないように貼り付けた後（押付量 約 2kg ）、3分間放置し、テープを瞬時にはがし、コート膜の剥がれを確認するものとする。

【目標】

- 接触角度 13° が形成できる撥水膜用樹脂を見出す
- 電鍍金型にて剥離しない密着性の高い撥水膜用樹脂を開発

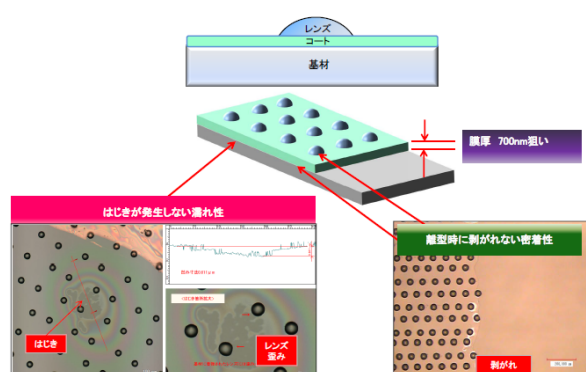


図1-2-1 撥水膜の表面エネルギー調整

表面エネルギーの調整には、表面コートインクに表面調整剤を添加して接触角を低くすることが可能である。しかし、この方法では、表面調整剤の添加量が少なくなることで基板への濡れ性が低下し、インクはじきを発生する可能性がある。この場合、インクはじき箇所に着弾したレンズ形状には歪みが発生する。このため、基板表面がわずかに汚染されていたとしても十分な濡れ性をカバーできる表面コートインクが必要となる。そこで、表面コートインクから表面調整剤を減らし、低接触角レンズを作製することができた。しかし、インクはじきが発生したため、低接触角のレンズ作製には、レンズインク側でのインク調整を行うこととした。

【成果】

撥水膜用樹脂膜の作製には、スピンドーターを使用した。回転数、回転時間、スロープ設定等を変えて試験し、UV 照射後の撥水用樹脂平均膜厚 715nm の樹脂膜を作製することができた。この撥水膜用樹脂上に表面自由エネルギー調整剤を添加したレンズインクを従来型のインクジェット設備で吐出し、本研究開発で狙いとする接触角 13度のレンズを作製することができた。

2-2. 導光板製造装置の開発

2-2-1. 光学設計データに合わせた配置にインクを吐出する装置の研究開発

【背景】

株式会社東北電子で事前研究を行っているインクジェット装置では吐出体積が大きく、本研究で目標とするマイクロレンズ形状は得られない。

【課題】

本研究では24時間以内に100万レンズの生成を目標とするので、その時間に合わせた移動速度、また光学設計データに合わせた位置精度が構造的に要求される。また、インクジェット先端からワークまでの距離は、一定である必要があり、事前にターゲット樹脂板の表面をレーザー測長し、インクジェットを移動した場合に、常にインクジェットとワーク位置を一定距離に保つ必要がある。また、レンズは表面張力を利用して生成されるので、雰囲気中の二酸化炭素濃度、および温度よりレンズの接触角度が変化するので、恒温でさらに低二酸化炭素濃度を維持できる構造の装置が必要となる。

【実験内容】

マイクロレンズを生成する座標位置は、おおむね100 μ mピッチであるので、装置による

各座標への移動速度は15ミリ秒以内とし、この状態における加速減速がスーパーインクジェットに影響を及ぼさないかどうかを実験により確認する。専用空調装置で循環され装置内を $23\text{°C}\pm 0.1\text{°C}$ にて安定化させる、装置内にはリニアモータ等の発熱体があり、温度分布によるレンズ生成に影響が無いかどうか実験する。

【目標】

- 導光板製造装置の開発

【成果】

導光板製造装置を開発した。

図2-1-1に導光板製造装置全体を示す。装置内は専用空調装置で循環され装置内が $23\text{°C}\pm 0.1\text{°C}$ で安定している。またレーザー測長の機能を活用しインクジェット先端からワークまでの距離は、常に一定である。

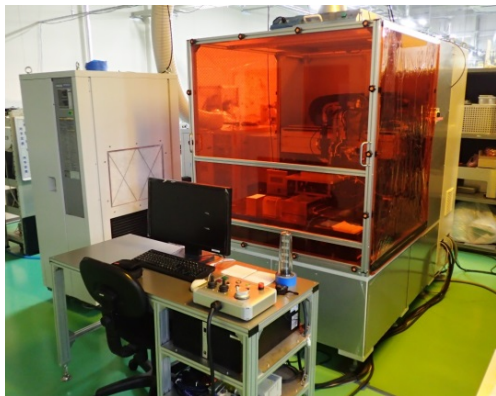


図2-1-1 導光板製造装置全体

開発段階初期では図2-1-2に示すとおり吐出ムラが発生した。

検証1:従来と同条件にて50万ドットを印刷

【内容】

LED対応インク②による連続50万ドット印刷

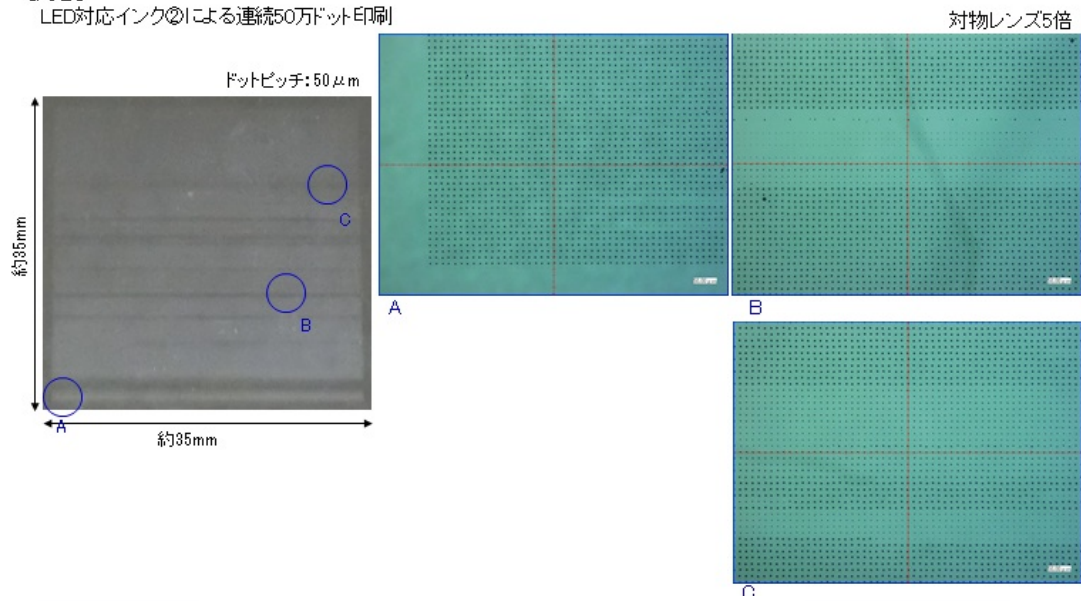


図2-1-2 吐出ムラの発生

吐出ムラに関して以下（図2-1-3）の実験を行い、改善につながる条件を見出した。

実験項目	実験内容	吐出ムラの状況	結果
機内温度、湿度の変化による吐出ムラの可能性確認	精密空調を使用しない条件で実施	吐出ムラ発生	温度、湿度を一定に保つことが必要
インクのフィルタリング	フィルター実施前のインクによる吐出確認	未吐出部の発生が発生	インクのフィルタリングが必要 (目安 0.45μm 以下)
印刷フローの見直し	印刷フローを変更し吐出確認 旧：印刷終了後にUV照射 新：印刷とUV照射を繰り返す	吐出ムラ改善	印刷とUV照射を繰り返すフローとする
エアアシスト	インク吐出時にエア加圧を行い実施	吐出ムラ改善	エアアシストを使用する

図2-1-3 吐出ムラの改善対策

以下（図2-1-4）は、インクジェット先端とワークを一定とした条件で 24 時間以内（UV 時間含む）に印字し、UV 照射器で硬化させた原板であり、吐出ムラはみられない。

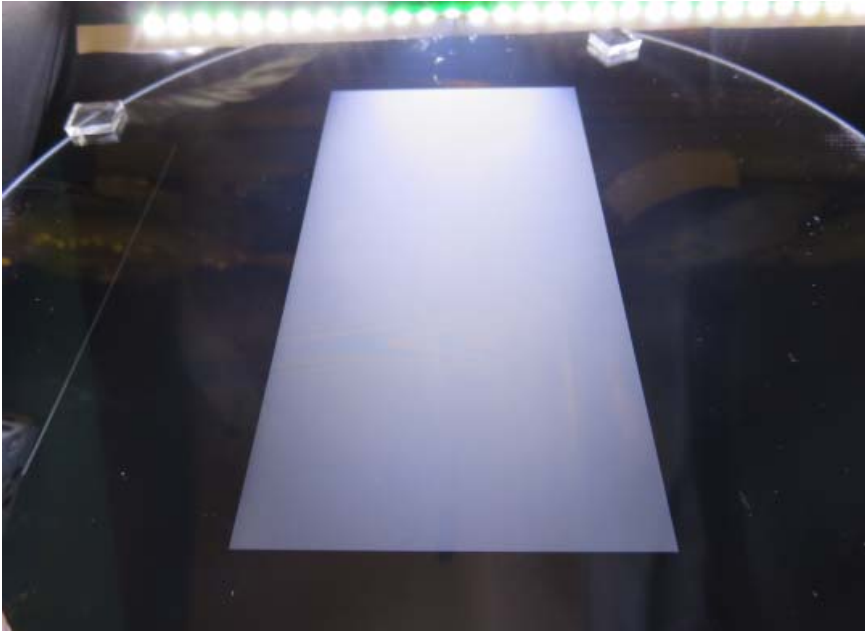


図2-1-4 吐出ムラ改善後

2-2-2. 吐出液滴量の安定性及び液適量補正ソフトウェアの開発

【背景】

株式会社東北電子での予備研究で使用したヘッドは多ノズル（636ノズル）式ヘッドであり、ノズル1本ずつの吐出量を調整することはできなかつたため、液滴量補正はおこなっていない。

【課題】

現在製品化されているスーパーインクジェット装置は単ノズル（1ノズル）であるので、多量のマイクロレンズを同時に生成はできないが、微少液滴を吐出できるため、従来できなかった小さい直径のマイクロレンズが生成可能である。更に、1ノズルであるので、このノズルから出る液滴量を観察し、精密な吐出量に常時合わせる事が可能である。吐出量の再現性と連続吐出時の安定性を確保するために、吐出量補正が重要であり、この微少物体を画像処理するためには、高倍率レンズを使用し輪郭だけに焦点を合わせる機構が必要となる。

【実験内容】

高倍率レンズを使用し、輪郭だけに焦点が合うように自動的に焦点合わせをする機構をソフトウェアで構築する。意図的に焦点距離をずらして、輪郭エッジの検出を繰り返すことにより焦点を合わせ、輪郭を画像処理で抽出して、マイクロレンズの直径を測定する。

【目標】

- 自動焦点合わせ機構の基本動作設計と、レンズ輪郭抽出の照明設計及び実験を行い、輪郭部の抽出が目視できる状態にする。

【成果】

自動焦点合わせ機構のプログラム作成を行った。

自動焦点合わせ機構を図2-2-1に示す。

この機構は、高倍率レンズをZ方向に移動しながら輪郭抽出を行い、レンズの焦点合わせを行うものである。輪郭抽出時には、取得したデータより焦点が合致しているかどうか判定を行う機構である。

この機構によりドットの直径を測定し、吐出の安定性を評価することが可能となった。

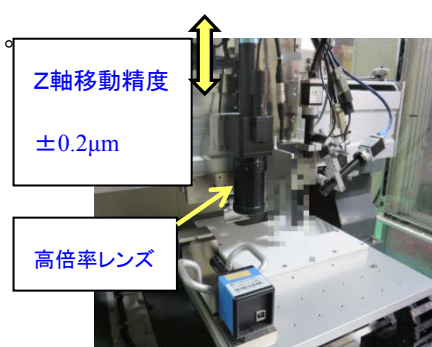


図2-2-1

自動焦点合わせ機構

2-2-3. 吐出されたインクを紫外線硬化させる光源及び環境の研究開発

【背景】

株式会社東北電子での予備研究では、紫外線硬化を妨げる酸素阻害状態を、強力なUV光源を使用することで解決している。

【課題】

本研究で生成するマイクロレンズは、予備実験で生成した直径30 μm以上のレンズとは、使用するインク体積が大きく異なる。30 μmのレンズは体積で3ピコリットルであるが、本研究のレンズは約0.124ピコリットル（124フェムトリットル）となる。体積に対する表面積比率は約6倍となり、酸素阻害の影響を解決する必要がある。また、紫外線光源による熱影響でレンズの接触角等に影響がでないように硬化させる必要がある。

【実験内容】

紫外線硬化装置を導光板製造装置に搭載し、統合試験を行う。また、装置には基礎実験で得られた、条件を満たすように、一部変更が必要となると考えている。特に1-1、1-2

のインクに対する添加剤の添加量を変更することにより、この硬化条件が従来の値と異なるため、この部分については装置による実験結果を踏まえて、更に導光板製造装置の改良を加える必要があると考えられる。

【目標】

- ・レンズ直径が安定する硬化方法の開発

【成果】

・インク吐出ユニットを導光板製造装置へ搭載し、実際に吐出しながら動作確認した結果、温度以外にも湿度条件でレンズの吐出体積が変化することがわかった。

(図2-3-1) これにより、湿度も一定の環境に出来る装置が必要である。

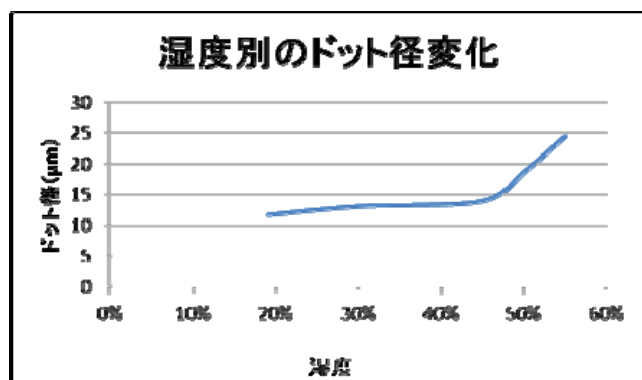


図2-3-1 湿度別ドット径変化

紫外線硬化装置はLED照射ユニットを使用し、硬化試験にて問題無いことを確認しているが、目標とする24時間以内に100万レンズの生成を行うには、吐出されたレンズインクを短時間で硬化させる必要がある。

UV-LED照射器で試験を行った所、ピーク光量が不足し、吐出されたインクは硬化しなかった。その為、高出力の水銀キセノンランプにて試験を行った結果、ワークとの距離20mm、照射時間2秒にて完全硬化することを確認した。

しかし、UV照射器本体の発熱量が多く、装置に搭載した場合に、環境温度が上がり、吐出されたレンズインクの形状に影響を及ぼす可能性があることがわかった。

また、水銀キセノンランプは起動後に設定のピーク光量まで達するまでに時間を要するため、立ち上げが早いUV-LEDの高出力タイプについても搭載し評価を行った。

結果、高出力UV-LED照射器にて問題無くインクが硬化することを確認した。

また、窒素を吐出部に局所的に吹き付けることでインクが更に硬化し易くなることを確認した。

当研究の目標 24 時間以内に 100 万個のレンズを形成させるには、吐出とほぼ同じタイミングで UV 照射を行い、硬化させることが理想的であり、照射時間の短縮が重要である。

1-1, 1-2 で開発されたインクに応じて、UV-LED を選定し、導光板製造装置に搭載し統合試験を行った。

LED 方式 SPOT 型 UV 照射器を選定し、導光板製造装置に搭載し、窒素吹付方向をワーク搬送方向と同一にし、ノズルの吹付角度をワーク面と水平に近い 20 度で試験を行った結果、UV 硬化時のワーク搬送速度が 3mm/s から 20mm/s へ高速で硬化させることが出来た。

2-2-4. インクカートリッジの開発

【背景】

株式会社 S I J テクノロジーの研究開発用のインクジェット装置では、ディスポーザブル方式のインクカートリッジで、ユーザー側でインクを充填する方式である。研究開発用の装置であるために、充填するインク種に特に制限を設けていない。これによりユーザーは自由にインクを選定もしくは開発することができ、開発効率が向上するような仕様になっている。

本研究の事業化にあたっては、ユーザーは研究者で無く導光板金型製造を行うことが目的であるため、段取り替えやメンテナンスの容易化を目的とし、インクが予め充填されたインクカートリッジが提供できる体制を整える。

【実験内容】

インクカートリッジ寸法検査用装置の開発初期は、段取り替えの際の取り付け位置の再現性を得る為に必要な全長寸法やノズル穴径の寸法情報を把握するための画像検査機能及び検査時の位置決め機構を開発した。

ソフト面では、画像処理、位置決め用駆動軸の制御の構築に加え、検査結果情報を 2 次元コード化し外部出力する機能を開発した。

開発後期は、検査工程の半自動化に取り組み検査前トレイから検査台に移送、検査完了後決められた形状範囲に従って分別、収納するピックアップ機構を開発した。

インク充填システムは、充填方法の検討と検証を繰り返し行った。充填時の気泡混入及び充填時間の短縮化が特に課題となったが、最終的には 100 万ドット形成に必要な液量を短時間で十分に確保できるインク充填システムを開発した。

【目標】

- インクカートリッジ寸法検査用装置の開発
- インク充填システムの開発

【成果】

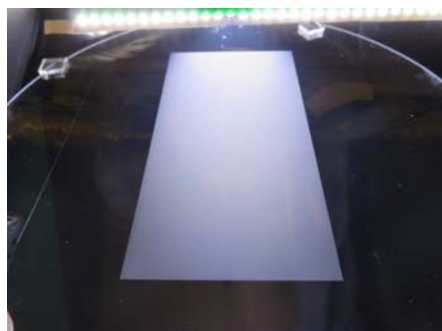
- インクカートリッジ寸法検査用装置を開発した
- インク充填システムを開発した

最終章 全体総括

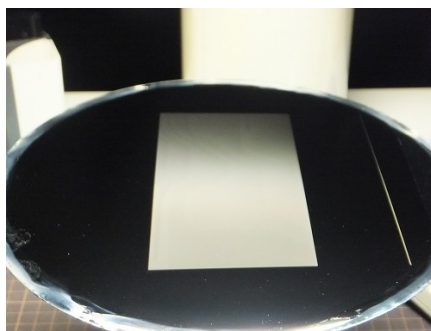
3 年間の研究開発により、インクジェットを用いた導光板用超微細金型製造技術の開発を進め、アクリル基板上に直径 $15\mu\text{m}$ 、高さ $0.85\mu\text{m}$ のマイクロレンズを 24 時間以内に 100 万個形成する技術開発を達成した。

また、電鍍型、成形プロセスにおいても有効であることを確認した。

- 本技術により形成した基板自体が導光板として使用出来ること。
- この基板から電鍍型を形成出来ること。
- 電鍍型から成形品が得られること。



100 万ドットを吐出し、UV
照射器で硬化させた原板



原板を基に作製した電鍍金型



電鍍金型を使用して作製した成
形品

本研究開発によって得られた微細マイクロレンズは、顧客の光学シミュレーションから得られた最適形状を満足できると共に、金型の高速生成に大きく寄与すると考えられる。

事業化展開においては、下記を計画している。

- 導光板製造装置の販売
- マイクロレンズを形成した金型マスター版の委託製造