

平成23年度第3次補正予算事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「光硬化プロセスによる通電性と密着性に優れた導電ペーストの開発と  
高密度・高精度かつ低コストな回路パターン形成技術開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成25年 1月

委託者 中部経済産業局

委託先 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

## 目 次

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	5
1-3 成果概要	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 導電ペーストの開発	9
第3章 高精度高速印刷機の開発	19
3-1 ツールローリング機構の研究	19
3-2 滑らかなドクタリング機構の開発	22
3-3 UVプレキュア装置の開発	26
3-4 ベンチテスト用高精度高速印刷機の開発	29
第4章 印刷物の評価	31
第5章 事業化の取り組み	32
第6章 全体総括	33

## 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. 研究の背景

プリントドエレクトロニクス分野は、省資源であり、プロセス低温化による省エネルギーに寄与し真の低炭素化社会をもたらすスケーラビリティを有するものである。高度成長期よりエレクトロニクス分野は日本が先進国として先鞭を切ってきたが、欧州においては2000年頃よりRFID等の大規模プロジェクトを進める動きが出てきた。その中でもドイツに至っては国家プロジェクトとして数百億円規模の開発費が投入され、すでに一部の商品は上市されている。これを推進する大手電機メーカーや化学薬品メーカー、さらにベンチャーがディスプレイ、2次電池、有機ソーラー技術を確立しつつある。そして、近隣の台湾、韓国に至っても国家主導の組織的活動に目を見張るものがある。すでに多くのタッチパネル製造技術やLSI技術では日本の技術水準に迫り凌駕しつつあり、プリントドエレクトロニクス分野でも $L/S = 75/75 \mu m$ レベルは通常に行われている。特にスマートフォンと呼ばれる携帯端末のタッチパネルは台湾メーカーが主導権を握っており、韓国においてはすでにPDPでの配線やタッチパネルへのグラビアオフセット印刷の展開が図られている。しかし、転写体の膨潤による影響で最大100枚ほどしか連続で印刷できない事やペーストの乾燥の問題でも連続印刷に難がある。

国内においてもプリントドエレクトロニクスが見直され、スクリーン印刷とフォトリソグラフィの間を埋める技術のニーズが高まっている。しかしながら研究は個々の企業にゆだねられ、ペーストメーカー、転写体製造業、印刷機メーカーなどが独自開発を行っているのみで、統合された技術が確立されていない。特に転写体とペーストのマッチングが図られていないことから極細線印刷に対するニーズが満たされていない。

#### 2. 研究目的及び目標

本研究は、川下企業が求める市場ニーズにこたえる事はもとより、独立独歩の開発状況をトータルで考え実現できる「トータルソリューション」を目指し、国際競争力のある技術開発とプリントドエレクトロニクス市場における優位性を確立することを目的とした。

#### 3. 研究内容

##### (1) 研究概要

導電ペーストの高通電性と高密着性を同時に実現するため、光硬化技術を用いて、高密度（線間： $30 \mu$ 以下）、極精細（線幅： $30 \mu$ 以下）、高精度（膜厚精度： $\pm 5\%$ 以下）で、800シート/時の高い連続生産性を可能とする新たなパターン形成技術の開発を目指す。研究実施テーマは次の3分野とした。

##### ①導電ペーストの開発

光硬化性樹脂の配合により、ドクターリング時には粘性が低く転写時にはUV光でプレキュアさせ表面の粘性を上げることによって被印刷物への接着性を高めることのできるペーストを開発する。

ダイレクトグラビアではドクターによりペーストがせん断されるため、そのストレス値によりペーストの粘弾性に変化が起き、連続印刷性のみならず基本的転写に不具合を生じる恐れがあるため、レオメーターを使用して分散性のよいTI値（Thixotropy index：粘弾性率）を導き出す。

さらにUV光によるプレキユア作用を併用し、接着面を半硬化させて印刷物に対する接着性を高めることで安定した膜厚制御をおこなう。

### ②高精度高速印刷機の開発

電子デバイス分野においてプリント配線基板の高度集積化は高機能化とダウンサイジングに対し重要な要素となっている中、従来からのスクリーン印刷やグラビアオフセット印刷では限界となってきたおり、川下企業のニーズの高まりに対し実現できる手法がなくなってきた。

また、今日の急激な円高により、川下企業は新興国での生産に対しコスト面で対抗する術を求められており、本研究開発ではクリーンローラーによる版清掃の機構も組み入れ、安定的に1000シート連続印刷を実現できる研究を行う。

#### (回路形成手法における量産比較)

	スクリーン印刷	グラビアオフセット	フォトリソ	本研究開発の目標
高集積回路形成(L/S)	50/50 $\mu$ m	30/30 $\mu$ m	10 $\mu$ m以下が可能	30/30 $\mu$ m
装置費用	100(基準)	500	10000	500
スループット(h)	400シート/h	300シート/h	100シート/h	800シート/h
連続印刷性	800シート	300シート	—	1000シート
ペースト使用量 生産量/kg	400シート (基準)	2400シート	—	3200シート
エネルギー消費	小	小	大	小

### ③印刷物の評価

極細線狭ピッチでの回路形成の場合、印刷再現性で滲み・太りが発生すると配線の短絡によるショートや断線となる。川下企業ではこのリスク低減のため、スクリーン印刷の場合は不良発生時にすぐ版の清掃作業を行うなどメンテナンスにより品質の安定を図っている。

本研究ではスクリーン印刷では量産できていない50 $\mu$ m以下の回路形成(目標値:30 $\mu$ m)を安定的に行えるよう、高精度高速印刷機にて連続運転した印刷物を評価し、印刷物の安定条件を導き出す。

本研究では印刷結果の各種画像撮影などを通じて印刷物の精緻な分析を行いペースト並びに印刷機などの各種パラメーターの最適化を図る。

## (2) 実施内容

### ① 導電ペーストの開発

(実施者：株式会社ミノグループ)

株式会社ミノグループが開発したグラビアオフセット用導電性ペーストの開発知見を基にダイレクトグラビア用導電ペーストを新たに開発する。接触印刷であるダイレクトグラビアでは、グラビアオフセット印刷以上にペーストの組成・分散性が重要となるため、レオメーターを使用し粘度とT I 値を最適値にすることにより分散性の良い特性を持ちながら、UV光で硬化する導電性ペースト（比抵抗値： $1 \sim 3 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ ，接着力：3H，UV硬化量： $1500 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ （ポストキュア））を開発する。

### ② 高精度高速印刷機の開発

#### ②-1 トゥルーローリング機構の研究

(実施者：株式会社ミノグループ)

版駆動と延伸方向の完全同期を、回転はサーボモータによるダイレクトドライブ、延伸はリニアサーボ2軸をモーションコントロール制御で実現することで、版と被印刷物の接触圧（距離）を一定にし、特に大面積への印刷時パターン伸び率  $\pm 0.01\%$  の精密印刷を実現する。

#### ②-2 滑らかなドクターリング機構の開発

(実施者：株式会社ミノグループ)

版面に対しペーストの掻き取り装置（ドクター）が常に同一面で接触する場合、線条痕の発生が懸念され、連続印刷時の歩留まり率に影響を及ぼすので、1000シート連続して印刷できるプロセス実現のため、株式会社ミノグループが開発した精密スクリーン印刷機に装着した印圧制御機構を本研究開発印刷機のドクター部に応用し、版に対し均一な圧力でドクターの押し当てを制御するとともに、摺動機構を組み込む。

さらに、川下企業の求める安定的な連続印刷に寄与するため、粘着性クリーンローラーにより版に残る残存ペーストとごみなどの異物除去を行う自動清掃機構を研究する。

#### ②-3 UVプレキュア装置の開発

(実施者：株式会社ミノグループ)

UV光により硬化するペーストの場合、乾燥プロセスで高温乾燥炉を必要とせず瞬時の硬化ができるため製造プロセスでの低エネルギー化が実現できるメリットがある。しかしUV光が当たらないと流動体であるため転写時の滲みを発生すると膜厚が一定にならないため、版の凹面に充填されたUV硬化型ペーストを被印刷物への接触点とドクターの間でUV照射器で照射することで半ゲル化させ、被印刷ワークへの受理を高める（版からの転写率60%）ための機構装置を開発するとともに、その工法の特許出願を目指す。

#### ②-4 ベンチテスト用高精度高速印刷機の開発

(実施者：株式会社ミノグループ，岐阜県情報技術研究所)

量産指標速度（ $350 \text{ mm} / \text{sec}$ 、1000シート連続印刷（1時間当たりスル

ーット800枚) ) を満たし、将来の高精度印刷位置決め機構を検証できる  
量産試作機を開発し、③において印刷物を評価する。

③ 印刷物の評価

③-1 印刷物の評価・測定

(実施者：岐阜県情報技術研究所)

高精度高速印刷機にて連続印刷（時間当たり 800 シートの印刷を 1000 シー  
ト以上連続して印刷）した印刷物の転写率（60%以上）及び転写膜厚のレベ  
リング（±5%）を測定し、印刷物の安定条件を検証する。

④ 事業化の取り組み

(実施者：株式会社ミノグループ)

タッチパネルに用いられる電極配線の細線化（30 $\mu$ mライン）を熱硬化タ  
イプ導電ペーストで実証する中、並行しUVプレキユア導電ペーストの開発を  
進める。また各種展示会において川下企業のニーズを収集するとともに、岐  
阜県情報技術研究所の協力により検証した印刷物のデータとそのサンプルを  
川下企業に持ち込みその評価を依頼する。

⑤ プロジェクトの管理・運営

(実施者：公益財団法人岐阜県産業経済振興センター)

プロジェクトに係る研究開発の進捗管理及び経理処理等を行い、研究開発委  
員会の運営、事業報告書の作成等の研究開発の全体管理・運営を行うととも  
に、研究実施企業に対して川下企業ニーズを提供する等事業化を支援する。

4) 所在地

① 事業管理機関

公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

(最寄駅：東海旅客鉄道 東海道本線 西岐阜駅)

〒500-8505 岐阜県岐阜市藪田南五丁目 14 番 53 号

② 研究実施場所（下線部は主たる研究実施場所）

株式会社ミノグループ機械事業部 (最寄駅：長良川鉄道 大矢駅)

〒501-4101 岐阜県郡上市美並町上田 8 番 2

株式会社ミノグループ資材事業部 (最寄駅：長良川鉄道 山田駅)

〒501-4616 岐阜県郡上市大和町島 2 7 7 番

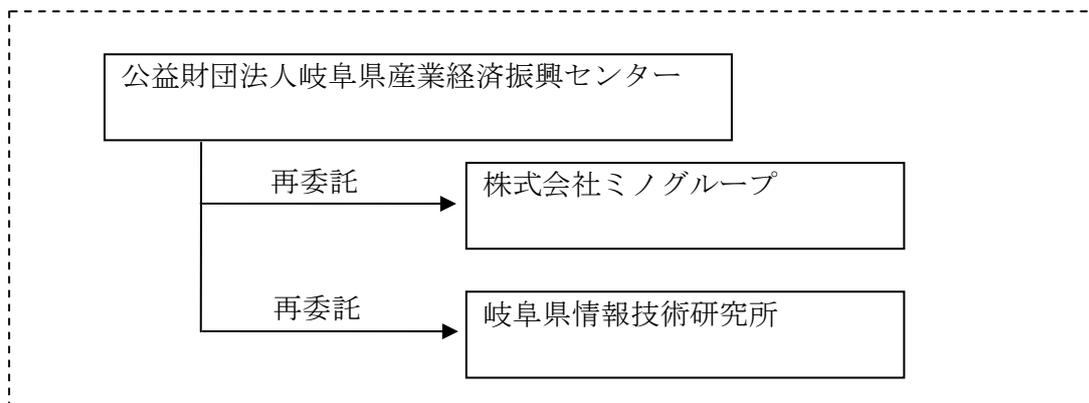
岐阜県情報技術研究所 (最寄駅：東海旅客鉄道 高山本線 蘇原駅)

〒509-0109 岐阜県各務原市テクノプラザ一丁目 2 1 番

## 1-2 研究体制

### 1. 研究組織及び管理体制

#### (1) 研究組織（全体）



#### 総括研究代表者（P L）

所属：株式会社ミノグループ  
役職：代表取締役社長  
氏名：川井 昭司

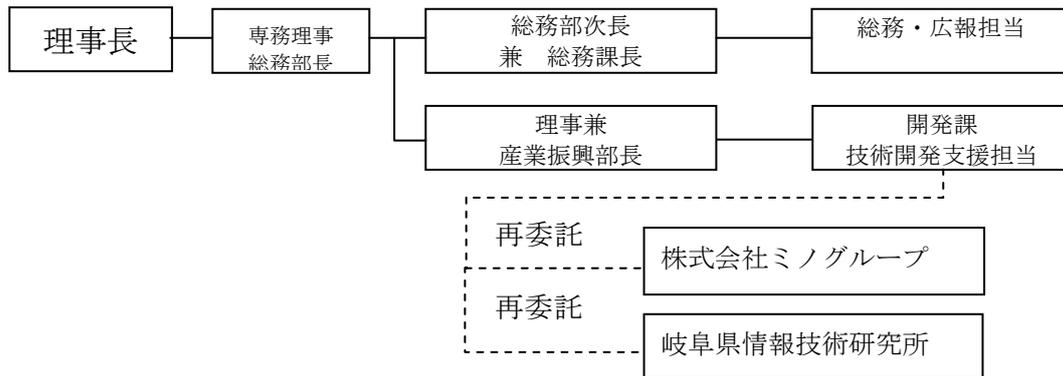
#### 副総括研究代表者（S L）

所属：岐阜県情報技術研究所  
役職：メカトロ研究部長  
氏名：遠藤 善道

(2) 管理体制

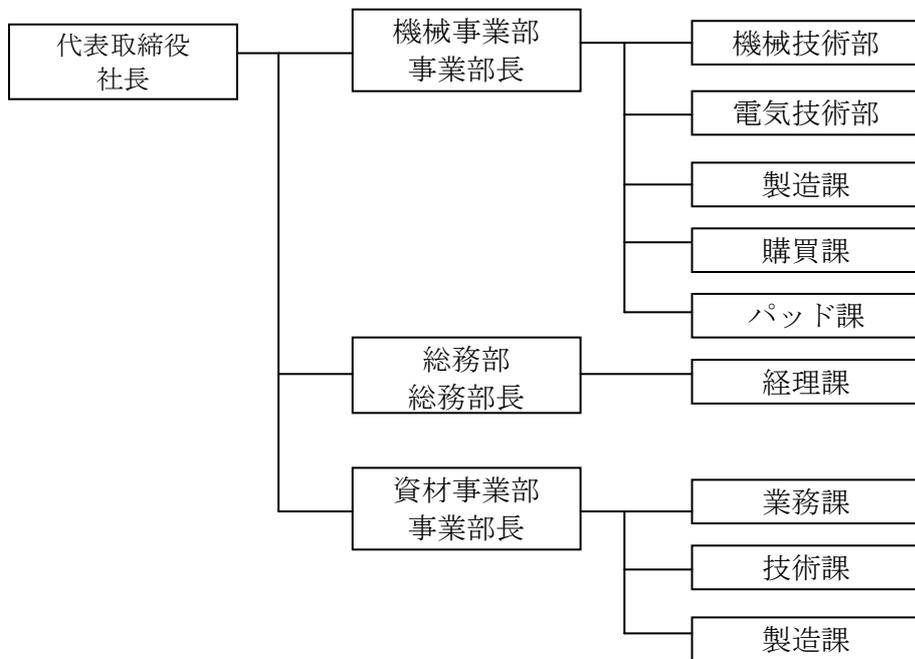
① 事業管理機関

公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

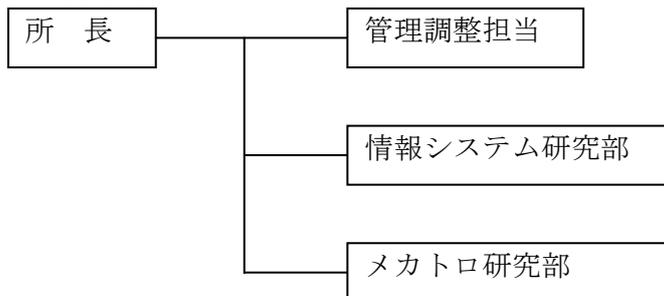


② 再委託先

株式会社ミノグループ



岐阜県情報技術研究所



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター  
管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
石樽 芳直	理事兼産業振興部長	⑤
山田 博義	開発課 技術開発支援担当統括主査	⑤
小川 誠	同 主査	⑤
瀬瀬まゆみ	総務部 総務・広報担当主任	⑤

【再委託先】

研究員  
株式会社ミノグループ

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
川井昭司	代表取締役社長	①, ②-1, ②-2 ②-3, ②-4, ④
岩崎佐一郎	取締役機械事業部長	②-1, ②-2, ②-3 ④
野々田剛	機械技術部部長	②-1, ②-2, ②-3 ②-4
松原直樹	電気技術部部長	②-1, ②-2, ②-3 ②-4
稲葉守親	パッド課課長	②-1, ②-2, ②-3 ②-4, ④
池戸裕明	パッド課課長	②-1, ②-2, ②-3 ②-4, ④
金子寛	技術課課長	①
山下由季	パッド課技術員	①

岐阜県情報技術研究所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
遠藤善道	メカトロ研究部 部長	②-4, ③-1
坂東直行	メカトロ研究部 主任研究員	②-4, ③-1

### 1 - 3 成果概要

#### 技術的達成値

項目		目標値	達成値
高集積回路形成 (L/S)		30/30 $\mu\text{m}$	30/30 $\mu\text{m}$
導電ペースト開発	比抵抗値	1 ~ 3 $\times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$	3 $\times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$
	接着力強度	3 H	3 H
	UV硬化量	1500 $\text{mJ}/\text{cm}^2$ (ポストキュア)	1500 $\text{mJ}/\text{cm}^2$
高速・高精度機構の開発	印刷時パターン伸び率	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.006\%$
	スループット (時)	800シート	900シート
	連続印刷枚数	1000シート以上	500シート確認
	版からの転写率	60%以上	評価サンプル準備中
転写膜厚のレベリング		$\pm 5\%$	評価サンプル準備中
ペースト使用料 (生産量/kg)		3200シート	評価サンプル準備中

ペーストの性能に関する部分では目標値をほぼ達成した。

また、面内精度のパターン伸び率 $\pm 0.01\%$ 以内を達成したことにより、中間素材メーカーから採用検討をいただいている。

連続印刷枚数に関しては、高速で印刷を行い、フィルムロール1本を使い切った時点でほぼ500枚となり連続しての1000枚は確認できなかったが、課題であった高速印刷時のフィルム巻き上がり現象は解決できたことから達成は確実である。高集積回路形成においては、印刷機自体の精度は確立し500枚印刷時には達成した。

版からの転写率、並びにレベリング性に関しては簡易的な評価では達成したが、引き続き量産時における精度が高い評価を実施する必要があると考えている。同じく、ペーストの使用量に関しても転写率などからの計測になるため継続検証課題となる。

当初計画した、タブレット端末用タッチパネル、結晶型太陽電池パネル用は勿論のこと、中間素材向けにも本研究開発成果が適用されることとなり、国内先端産業分野の国際競争力向上に貢献することが出来る。

また、東日本大震災被災地復興へは、東北地方の研究開発企業をはじめ、電子デバイスメーカーからもテストの要望を受けており、地域の技術力向上と雇用拡大へ貢献するべく、実用化を目指す。

#### 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

所属 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター  
 氏名 産業振興部 開発課技術開発支援担当主査 小川 誠  
 電話 058-277-1093  
 F A X 058-273-5961  
 E-mail [gifu-sapoin@gpc-gifu.or.jp](mailto:gifu-sapoin@gpc-gifu.or.jp)

## 第2章 導電ペーストの開発

### 2-1 研究目的

株式会社ミノグループが開発したグラビアオフセット用導電性ペーストの開発知見を基にダイレクトグラビア用導電ペーストを新たに開発した。接触印刷であるダイレクトグラビアでは、グラビアオフセット印刷以上にペーストの組成・分散性が重要となるため、レオメーターを使用し粘度とT I値を最適値にすることにより分散性の良い特性を持ちながら、UV光で硬化する導電性ペースト（比抵抗値： $1\sim 3\times 10^{-5}\Omega\cdot\text{cm}$ ，接着力：3H，UV硬化量： $1500\text{mJ}/\text{cm}^2$ （ポストキュア））開発を目的とした。

### 2-2 研究内容

#### ① 印刷適性判断のため、IRタイプ（熱硬化型）ペーストによる基礎実験

ダイレクトグラビアに使用する旭化成イーマテリアルズ<sup>(株)</sup>製の「ADLESS-EL」は弾性を持った樹脂製ロールのため、ドクターで掻き取る（ドクタリング）際に凹面のみペーストを残し、平面はきれいにペーストを掻き取ることが第一義に求められる。これは電気配線の場合線と線の間にはペーストが残ることでショート（マイグレーション）を発生する恐れがあることから避けなければならない必須事項となるため、ドクタリング性に優れたペーストの組成開発を最初に行った。

#### ② 良好なドクタリング性を備えたペーストの開発

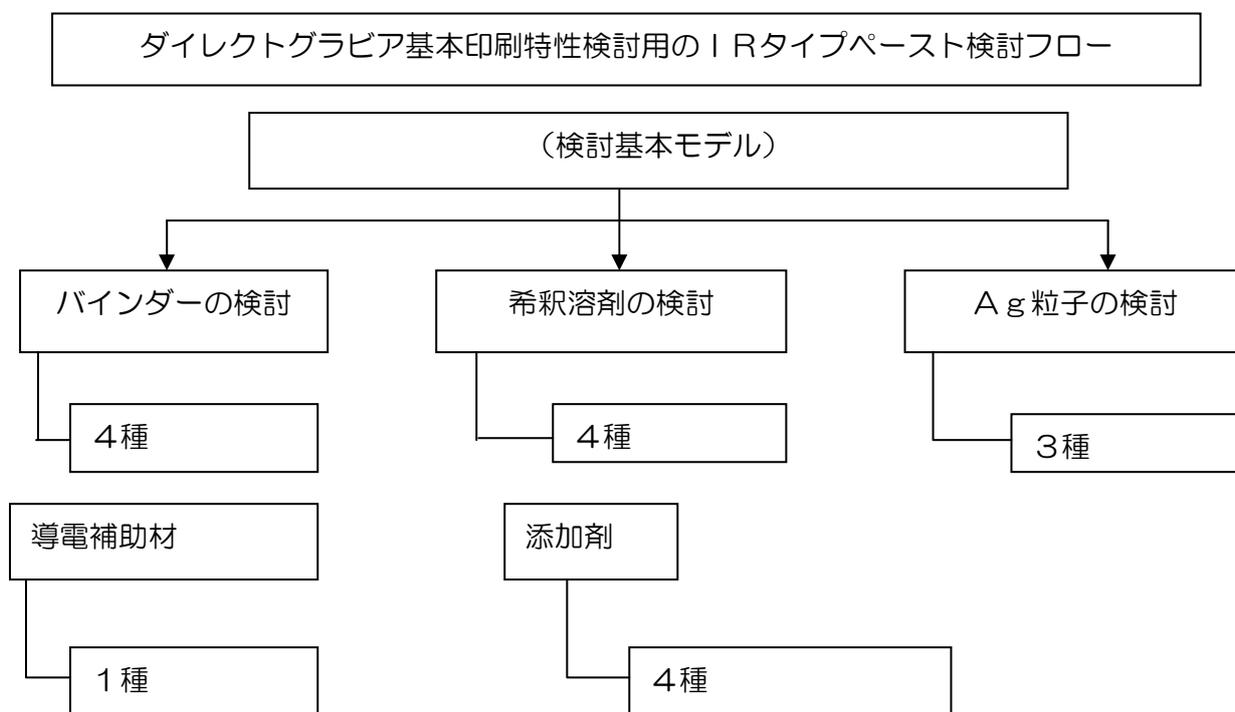
ダイレクトグラビアではドクタリングされた凹面に残るペーストを直接、被印刷物に押し付けることでパターン形成を行う。グラビアオフセットでは、その橋渡しを行うブランケットが存在し、良好な転写のメカニズムを支えているが、ダイレクトグラビアでは凹面から被印刷物へのペーストの移行を自己の粘着性に大きく依存するため、IRタイプをもとにその転写性の確保される粘度、組成などを検討した。

#### ③ プレキュアUVタイプペーストの開発

ドクタリングされた凹面のペーストにUV光を当てることにより、ペーストの自己粘着性を上げ被印刷物への転写性を上げる方法とし、IRタイプをもとに樹脂成分に紫外線硬化型の樹脂を配合し、短時間のUV照射でセミキュア状態を形成できるペーストの研究を行った。

## 2-3 研究成果

### ① 印刷適性判断のため、IRタイプ（熱硬化型）ペーストによる基礎実験成果



検討基本モデルに材料を配合することで、基本組成としてのIRタイプペーストを検討した

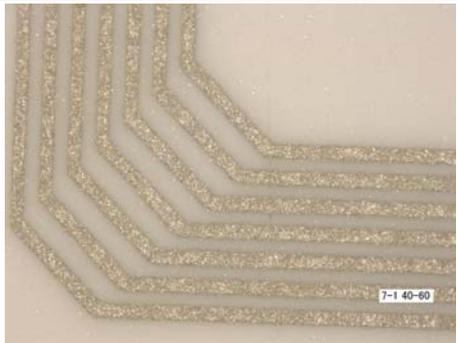
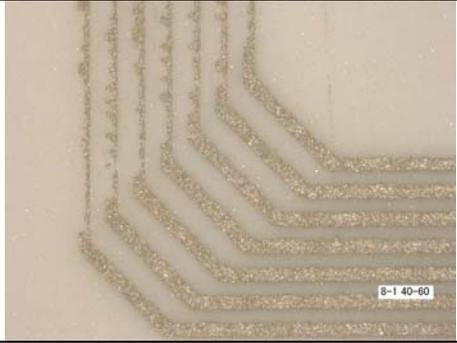
ペーストNo	Ag粒子の配合検討（抜粋）		
	形状①	形状②	形状③
1			
2	37.50	37.50	
3	50.00	25.00	
4	75.00		
5	42.50	32.50	
6	30.00	40.00	
7	37.50		37.50
8			75.00
9			95.50
10		40.00	30.00

導電性ペーストにおいて導通性の確保は必須であり、それを満たしたうえでパターン再現性が求められる。

銀粒子の形状により、印刷後の導通性が変わってくる。たとえば、粒形の銀粒子のみでは低温焼成状態で銀がそのままの形状を保持するため、粒形と粒形の銀粒子が接する面が少なく抵抗値が上がってしまう

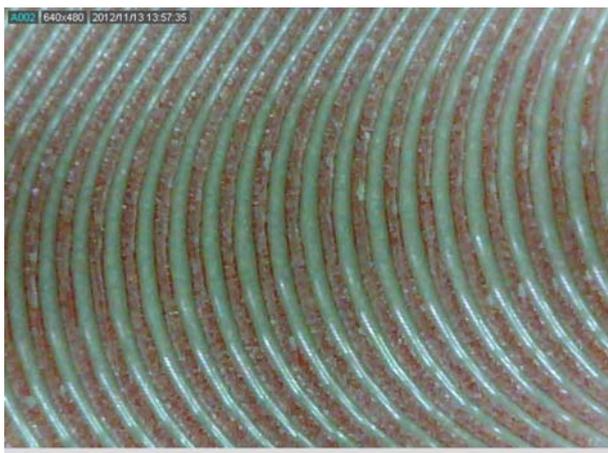
## ② 良好なドクタリング性を備えたペーストの開発

ダイレクトグラビアで印刷適性を決定づける一つの要因として、粘度とT I 値に着目しその変化に伴う印刷結果を検証した。

粘度	T I 値	画像
3917	4.00	
3930	3.43	
3532	3.52	

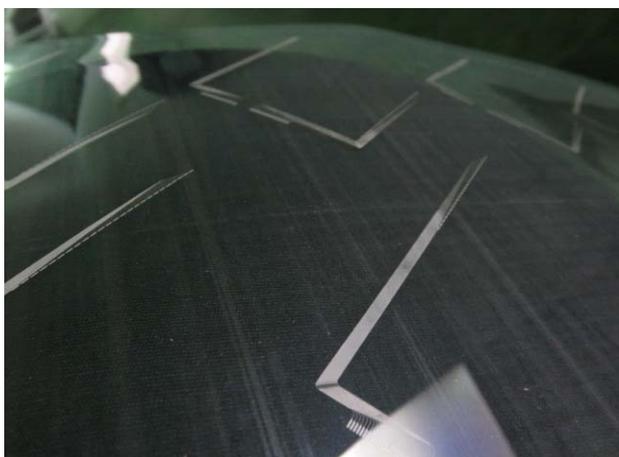
上記の比較は、銀粒子などの配合は同じとし、内部溶剤を変えることにより粘度とT I 値を変化させ、その印刷結果を検証したものである。ほぼ同一粘度ではT I 値が低いほど印刷適結果は悪い。

#### T I 値と粘度の差による不具合の検証



ペーストをドクタリングした状態での版表面観察。

理想とし、凹部のみにペーストが残され平面部はきれいに掻き取られなければならないが、塗り広げられたようになっている



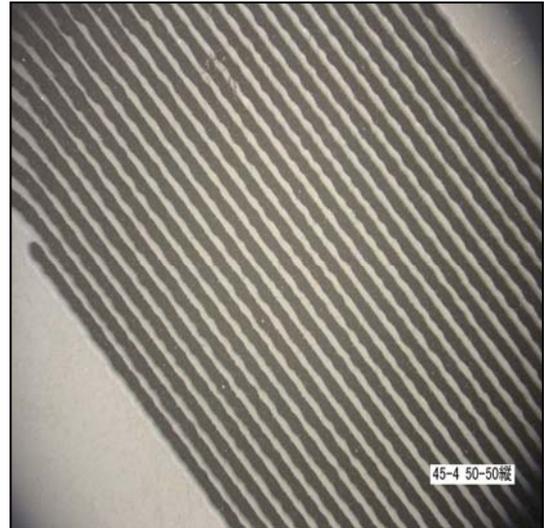
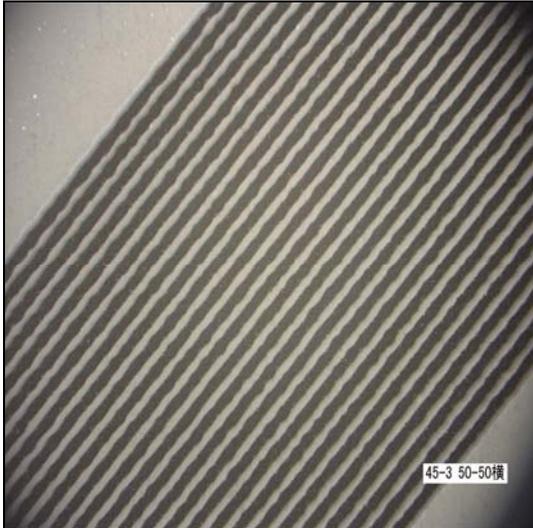
上記の掻き取状態（良好でないドクタリング）で印刷をしたフィルムの写真  
斜め方向にテクスチャー状のペースト痕が無数見られる

転写メカニズムを探るうえで、ペーストが凹部に均一に充てんされることが重要であることが分かった。これはドクターを当てた状態でペーストが自己攪拌し溝に入り込むローリング性を向上させることになる。ここでも重要になるのがせん断力に対する粘度変化が、ストレスがない状態ではやや高く、せん断力が加わることで粘度が下がる組成が望まれる。すなわち、粘度はある程度高く、T I 値を下げることとなる。更にローリング性を高めるうえで、印刷機のを上げていくことで良好な結果が得られた。



### クリーンローラーの検証

版かぶりの一因となる転写残りのペーストや異物除去の目的のため、版胴シリンダー上部にクリーンローラーユニットを取り付け、ドクタリング前の版を清掃する機構を取り付けた。粘着力の差による効果などをさらに検証する必要があるが、版上の観察においては異物除去の効果がみられた。



検討の結果得られた、IRタイプによる印刷の結果

単一のバインダーやAg粉末のみでは良好な結果が得られないため、それらを最適化される配合を求めた。

ペーストに求められる印刷適性とその解決手法

1： 版にかぶりが発生しない

→ バインダーの変更と銀粒子の組み合わせ

2： 均一に凹面にペーストが充てんされる

→ 粘度をある程度高くし、TI値を下げることで、せん断による粘度変化をペーストに持たせ、ローリング性を高める

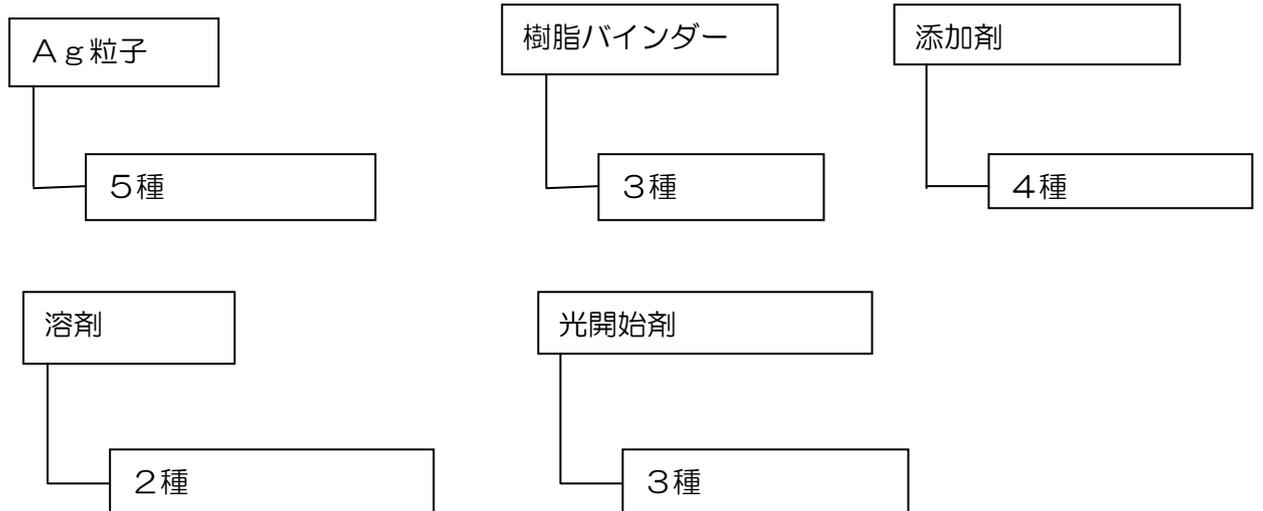
3： 転写性の向上

→ 凹面から印刷基材への転写性をバインダー樹脂のタック性により向上させる

この結果を踏まえて、さらにUVペーストの開発を行った。

### ③ プレキュアUVタイプペーストの開発

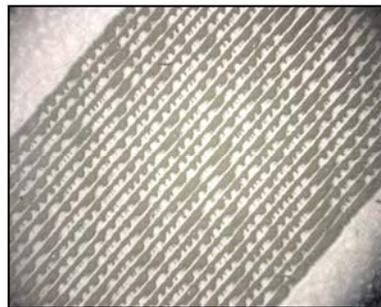
ダイレクトグラビアにおけるペーストの組成基礎はIRタイプで検証できたが、UVタイプの場合、光重合作用のための光開始剤やモノマー、ポリマーを組み合わせる必要があり、さらに多くの種類の材料検討を行った



#### UVペースト検討で現れてきた不具合現象



全体に薄くしか転写されない



パターンの乱れ

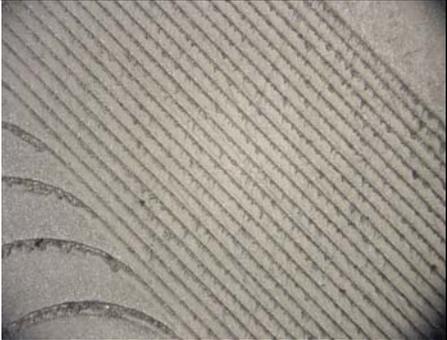
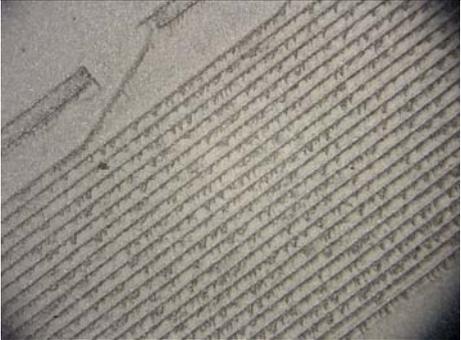
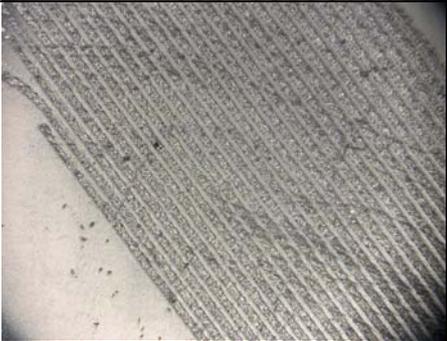
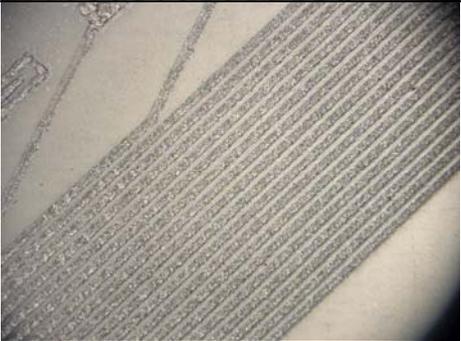


滲みによる潰れ

## 各種不具合の原因検証

### \*版のかぶり

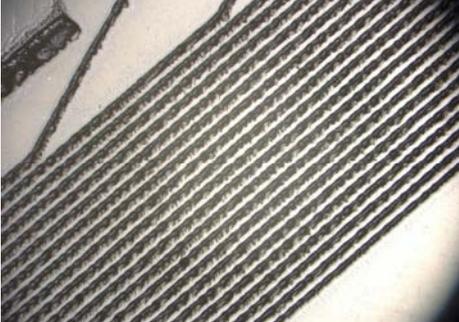
①特定の銀粒子の場合、導通性の確保とパターン再現性には優れるため、IRタイプに比べ光重合反応を起こす樹脂を含むUVタイプペーストでは有効になると考え使用したが箔がドクタリングで凹部からはみ出しパターン形成を阻害することが分かった。

タイプ①：タイプ②	水平側ライン	垂直側ライン
1：1		
4：3		

タイプ①の配合を増やすことにより垂直ラインでは顕著にライン形成がシャープになってくるのが分かるが、全体にペーストが広がったようにかぶりが発生している。

タイプ①とタイプ②の併用は、タイプ①のみの場合はT I値が高くなるため混合での使用を行った。

②版かぶりがタイプ①に起因するため、これを除外しT I 値をコントロールするため導電補助材の追加と、添加剤①を追加することでその効果を検証した。

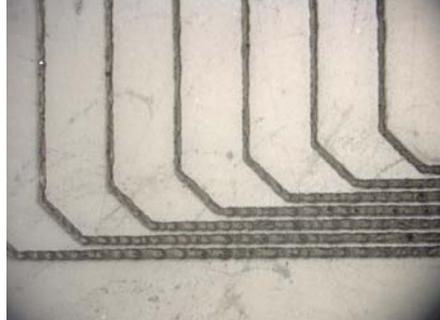
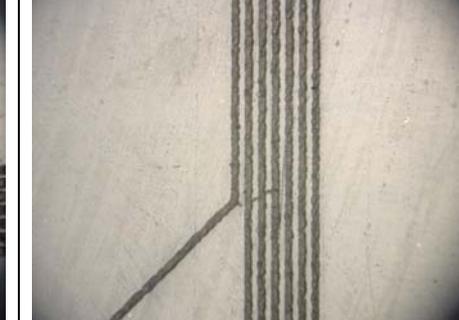
タイプ③：タイプ②	水平側ライン	垂直側ライン
4 : 3		

版かぶりの対策としては有用であったが、水平側ラインで再現性に劣る。

＊パターンの再現性

パターンの再現性が悪い原因の一つは版のかぶりであり、ここまでの検証でタイプ①を除き導電補助材によりT I 値を制御したが、被印刷物に転移させる場合に凹部からの転移を促進させる必要がある。

これにはUVプレキユア装置を併用するが、ペーストの基本特性を上げておくことが必須となる。これはペーストに自己粘着性（タック性）をある程度付与することである。しかし、UV光重合のみではタック性が不足するため、その補助的物質の添加を行った。

	水平方向ライン	垂直方向ライン
補助剤追加		

## UVペーストにおける導電性の検証

UVペーストの場合、モノマーとポリマーが含まれるため、IRタイプに比して抵抗が上がってしまう。本研究開発での目標値である比抵抗値： $1 \sim 3 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ の実現のため、A<sub>g</sub>の組み合わせによる抵抗値を計測した。(抜粋)

ペースト No	タイプ①	タイプ②	タイプ③	タイプ④	タイプ⑤	抵抗 $\Omega \cdot \text{cm}$
1			75%			$3 \times 10^{-5}$
2			35%	35%		$\infty$
3	75%					$2 \times 10^{-5}$
4		37.5%	37.5%			$1 \times 10^{-5}$
5	30%				40%	$3 \times 10^{-5}$
6			30%		40%	$3 \times 10^{-5}$
7	35%		20%		20%	$3 \times 10^{-5}$

### 第3章 高精度高速印刷機の開発

#### 3-1 ツールローリング機構の研究

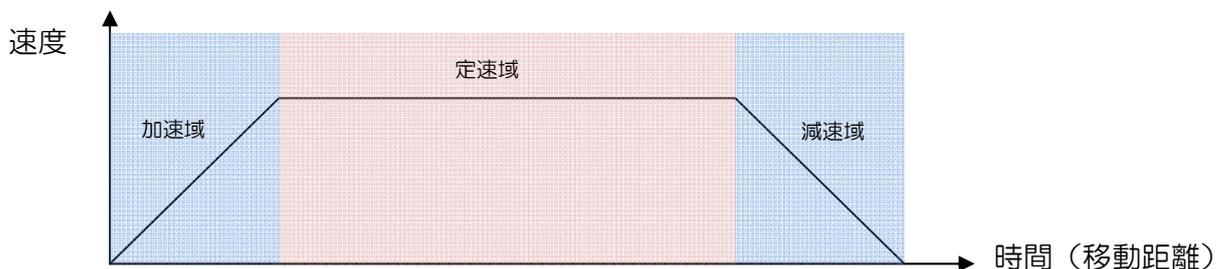
##### 3-1-1 研究目的

版駆動と延伸方向の完全同期を、回転はサーボモーターによるダイレクトドライブ、延伸はリニアサーボ 2 軸をモーションコントロール制御で実現することで、版と被印刷物の接触圧（距離）を一定にし、特に大面積への印刷時パターンの伸び率  $\pm 0.01\%$  の精密印刷実現を目的とした。

##### 3-1-2 研究内容

本研究開発で製作した高精度高速印刷機では、版を回転させながら延伸方向へ駆動させるため、リニアサーボとACサーボモーターを使用した。

サーボモーターである一定の重量物を駆動させる場合は、動作に伴う慣性が働くため、加速→定速→減速というトルク変動を行い器機にダメージが及ばないように、ソフト制御する必要がある。



#### ツールローリング機構

本研究開発では上記の加減速プログラムを使用し回転軸と平行移動軸を同期させることにより、パターン設計に対し伸縮のない正確な印刷をめざし、サーボモーターをモーションコントロールにより同期させ、ツールローリング機構の研究開発を行った。

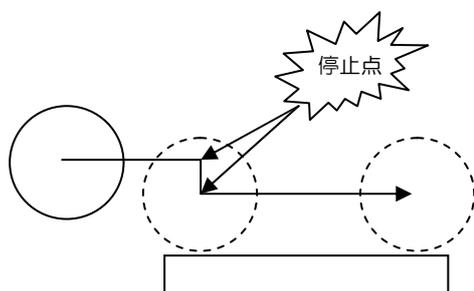
\*同期しないことによって生まれる不具合

- 設計値に対し印刷が伸びる（回転<延伸）
- 設計値に対し印刷が縮む（回転>延伸）
- 印刷速度を上げることによるズレの拡大（主軸と延伸軸の加減速域のズレ）

## 版胴シリンダーの動作

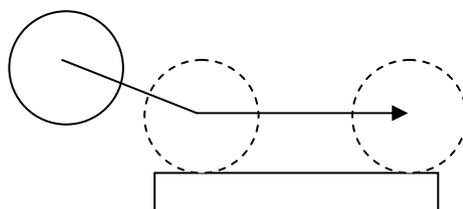
- ①回転開始
- ②印刷位置移動
- ③印刷テーブルへ下降
- ④印刷開始（回転＋延伸）
- ⑤印刷終了で上昇

サーボモーターにて上記動作を行うと、②から③動作への移行時に一旦停止動作を入れ動作移行を行わなければならない、印刷速度の遅れにつながる。



一般的な動作モード

版胴シリンダーが下降前に一旦停止する



電子カムを利用した動作

版胴シリンダーを回転させたまま下降・延伸を行う

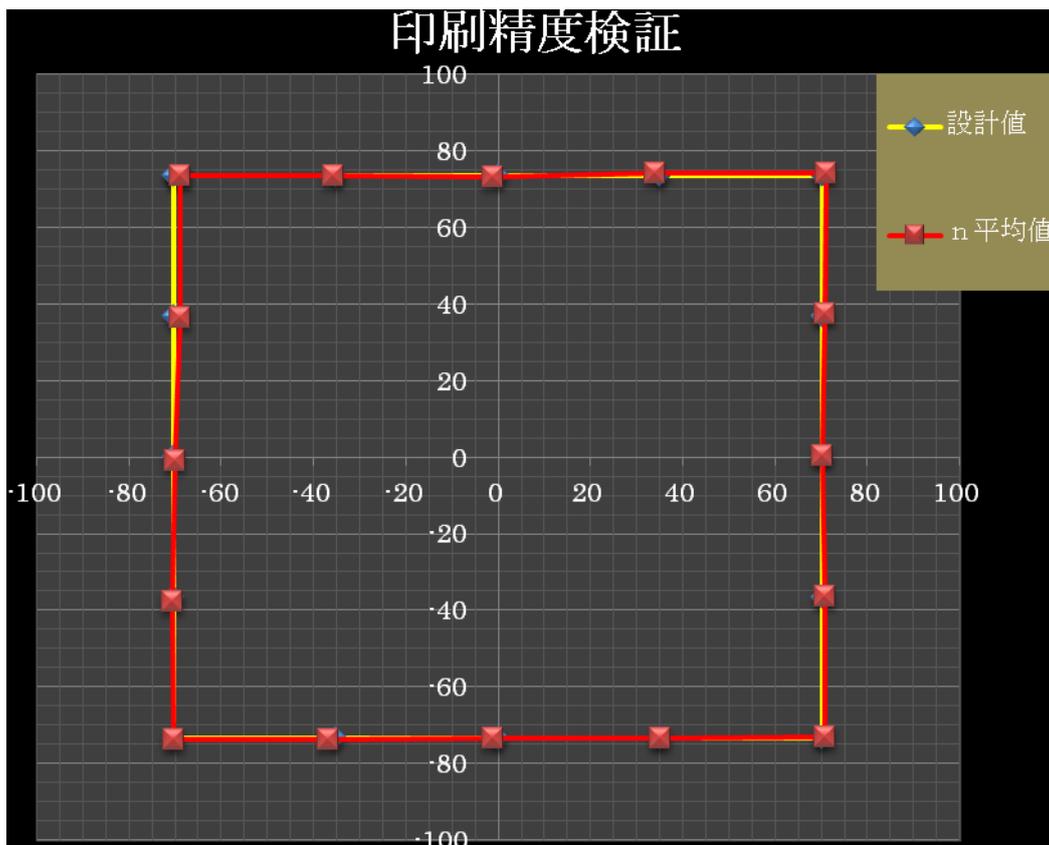
モーションコントロールで同期させた版胴シリンダー回転と左右の移動を電子カムにて印刷位置まで下降させる。

### 3-1-3 研究成果

設計値データと差がなく印刷ができているのかを検証するため、パターン外周部の数点に計測ポイントを設け、 $n=5$ のサンプリング印刷を行った。

その平均値を座標にプロットし、設計地に対するズレ量を確認したところ、最大値で $10\mu$ 以内に収まり、当初目標値である伸び率 $\pm 0.01\%$ を達成した。

$450\text{mm} \times 0.01\% = 45\mu\text{m} < \text{本研究開発} : 10\mu\text{m}$



現在、川下企業の生産現場で主流となっているスクリーン印刷では、PDP用の高精度スクリーン印刷機でも $\pm 30\mu\text{m}$ と言われている。この精度実現のためには、環境の厳密な管理や、製品とスクリーン版の隙間（クリアランス）を微妙に制御することや、版自体の塑性変形、弾性変形を抑える工夫など高度な管理が必要で、トータルコストの上昇にもつながっている。

本研究開発の成果は、一般工場レベルの環境内で実証されたものであり、実地に即した高精度といえる。

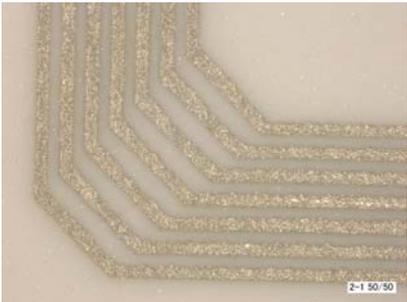
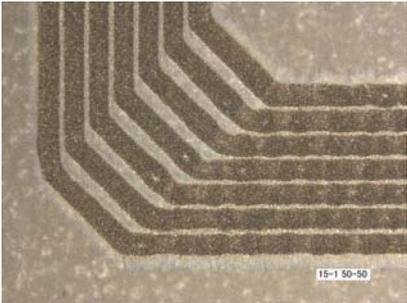
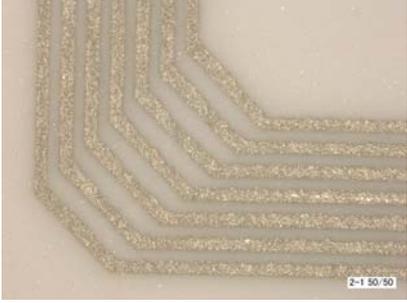
### 3-2 滑らかなドクタリング機構の開発

#### 3-2-1 研究目的

版面に対しペーストの掻き取り装置（ドクター）が常に同一面で接触する場合、線条痕の発生が懸念され、連続印刷時の歩留まり率に影響を及ぼすので、1000シート連続して印刷できるプロセス実現のため、株式会社ミノグループが開発した精密スクリーン印刷機に装着した印圧制御機構を本研究開発印刷機のドクター部に応用し、版に対し均一な圧力でドクターの押し当てを制御するとともに、摺動機構組み込んだ。

#### 3-2-2 研究内容

##### ① ドクターの刃先形状を変えることで最適なドクタリングを行える研究を行った

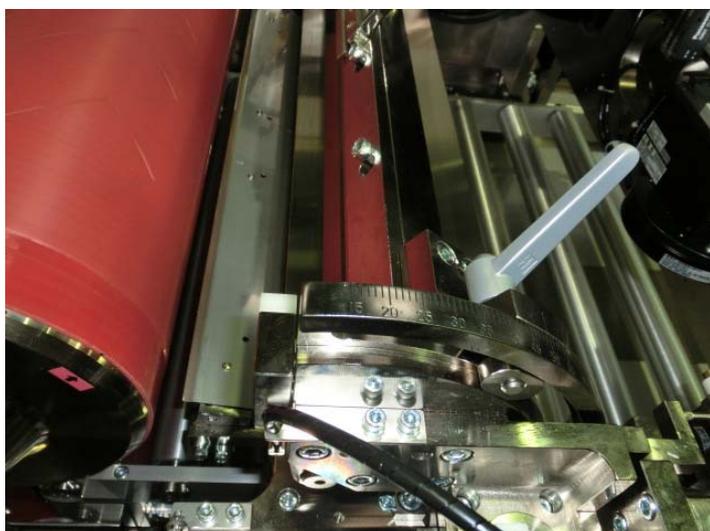
ドクター形状	印刷画像
0.15mmベベル30°	
リバースアングル	
0.3mm段付きラウンド	

\*ライティングによる画像の色差が出ている

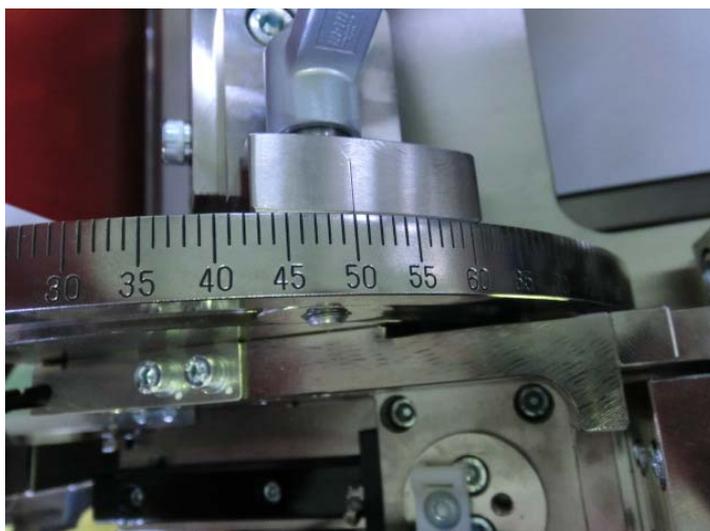
同一条件でのドクター形状変更での差異を検証した。この段階で大きな差異は見られないようだが、印刷に関し単一な条件のみが印刷結果を左右するわけではなく、ペーストの組成+ドクター形状+印刷条件パラメーターを揃える必要がある。

このドクター形状の検証では、ペーストによりかきとり（ドクタリング）を多くしたい場合はベベルタイプも良いが、全般にわたり良好な結果を得られるのは、0.3mm段付きラウンドが良かった。

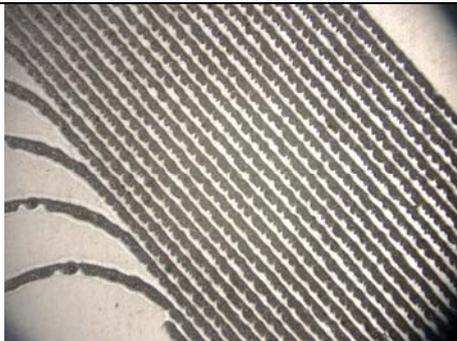
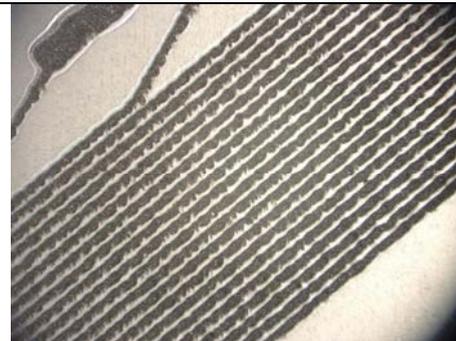
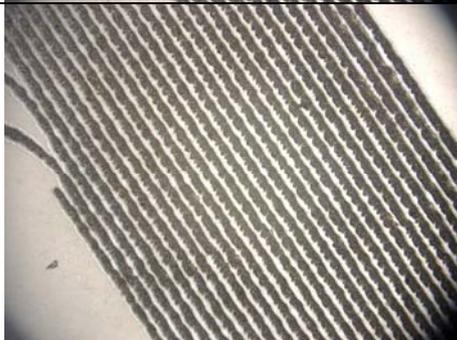
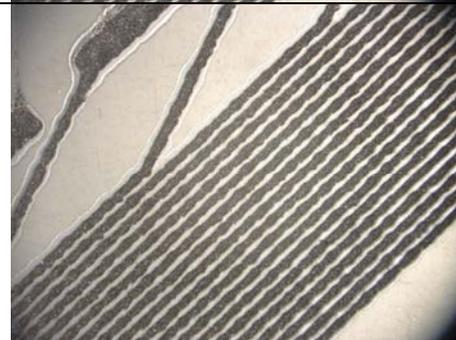
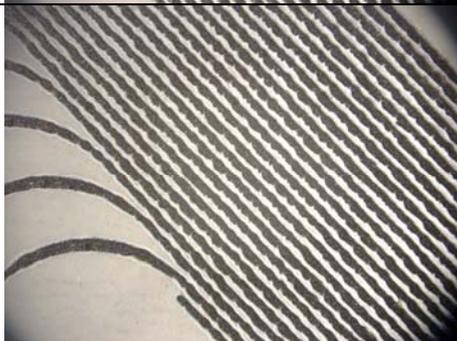
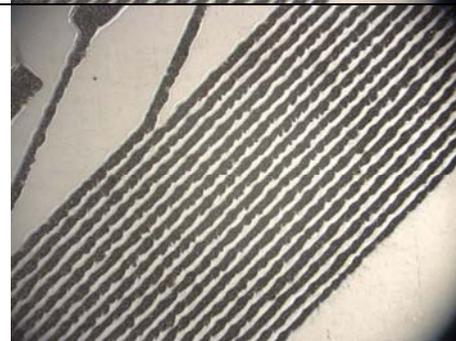
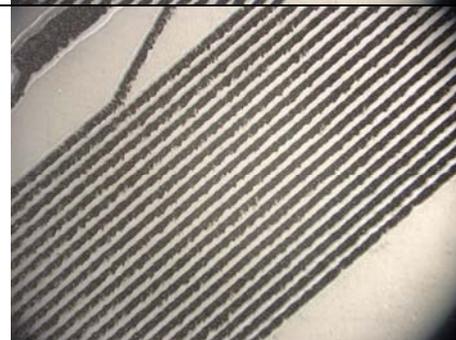
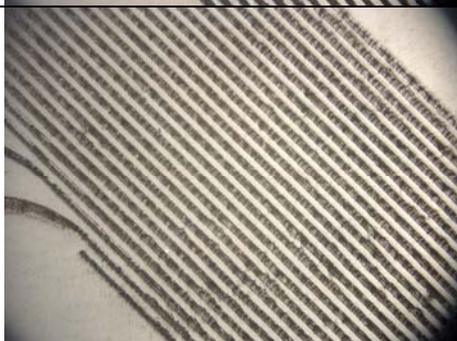
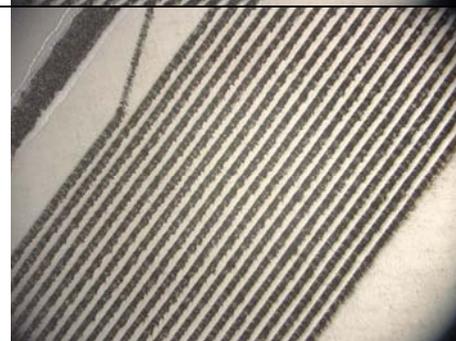
- ② 高精度高速印刷機にドクターの角度調整機構を設け、角度によるドクタリングの違いを研究した



ドクターの角度調整機構



ドクター取り付け部に設けたスケールで角度を調整し、その影響を検証した

ドクター接触角	水平側ライン	垂直側ライン
60°		
70°		
75°		
80°		
85°		

- ③ ドクターの押し当て量を左右で調整できる構造とし、その0点から押し込み量をマイクロメーターで確認し、左右均一のドクター圧をかけられることと、押し当て量の差による印刷結果の差を研究した



マイクロメーターによる押し込み量の微調整機構

### 3-2-3 研究成果

0.07~0.15mmの間で状態に合わせ最適化を図る必要がある。

ドクター押し込み量	水平側ライン	垂直側ライン
0.07mm		
0.10mm		
0.15mm		
0.20mm		

### 3-3 UVプレキユア装置の開発

#### 3-3-1 研究目的

UV光により硬化するペーストの場合、乾燥プロセスで高温乾燥炉を必要とせず瞬時の硬化ができるため製造プロセスでの低エネルギー化が実現できるメリットがある。しかしUV光が当たらないと流動体であるため転写時の滲みが発生すると膜厚が一定にならないため、版の凹面に充填されたUV硬化型ペーストを被印刷物への接触点とドクターの間でUV照射器で照射することで半ゲル化させ、被印刷ワークへの受理を高める（版からの転写率60%）ための機構装置を開発するとともに、その工法の特許出願を目的とした。

#### 3-3-2 研究内容

本研究開発では、UV照射装置を版の近くの機械内部に取り付けるため、省スペースで自己発熱を抑える機構が必須であり、アドバイザーのシーシーエス株の協力により、面内均一な照射エネルギーが得られる装置を開発した。

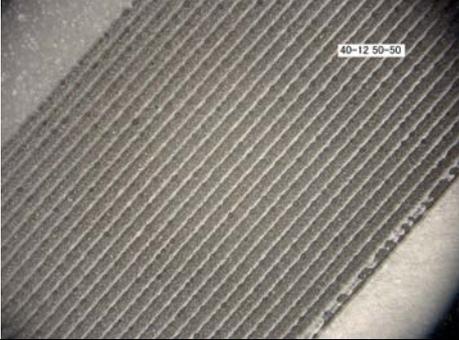
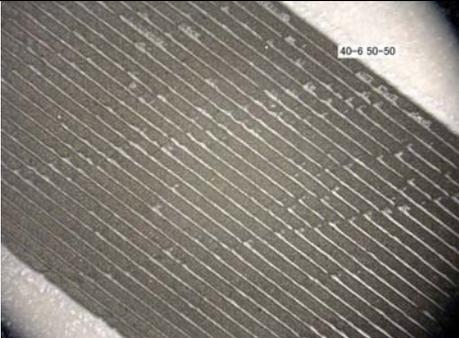
#### 3-3-3 研究成果

UV硬化性ペーストの反応基に対し、UV照射装置のボリュームを変えることで十分なエネルギー量が得られるのかを積算光量計を用いて確認をした。

ボリューム/64	時間(SEC)	積算光量(mJ/C m <sup>2</sup> )	ピーク照度(mW/C m <sup>2</sup> )
5	3	82.4	22
	5	122	
	10	222.4	
20	3	131.6	36
	5	19109	
	10	376.1	
40	3	193	53.3
	5	297.9	
	10	542.6	
60	3	240.9	69.9
	5	381.4	

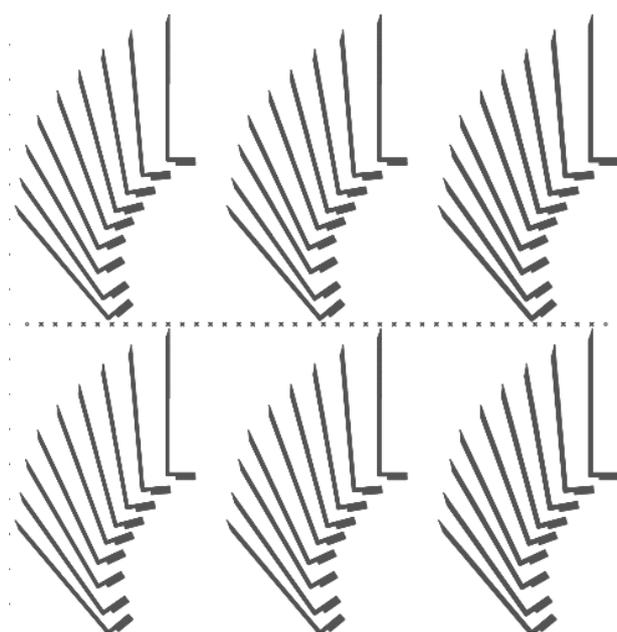
	10	700.3	
--	----	-------	--

UVプレキュア装置による印刷差異

	水平方向ライン	垂直方向ライン
UV-OFF		
UV-ON		

UVプレキュアの効果は見られるが、ライン間のスペースが狭くなっている。デザイン設計値をL/S等ピッチから、スペースを広げるパターンで検証必須となった。

L/S変更パターン検証



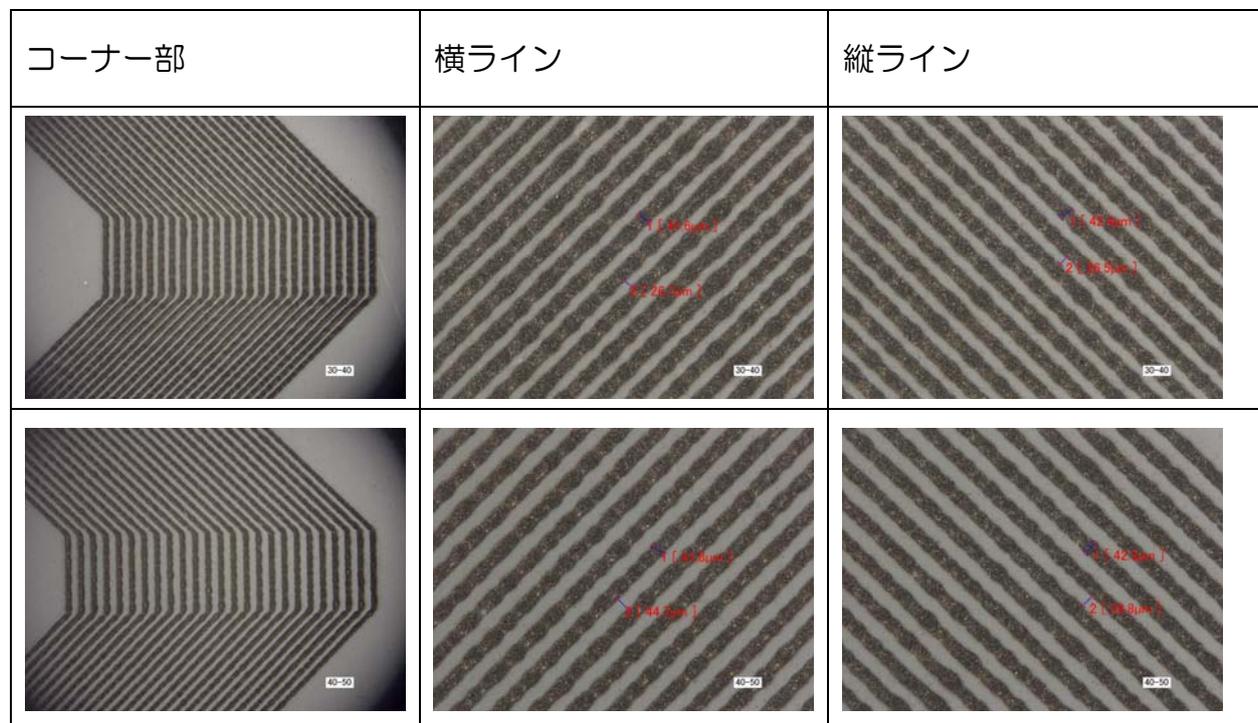
左から

L/S=40/60 $\mu$

L/S=30/40 $\mu$

L/S=30/50 $\mu$

ドクタリングの影響などで設計値よりも太る傾向のある印刷では、デザインを補正し仕上がり寸法に合わせる手法がとられるため、その検証を行った。



(図上段)

L/S=30/40 μの印刷結果

(図下段)

L/S=30/50 μの印刷結果

L/S=30/40 μ計測		設計値	印刷計測
横ライン	L	30 μ	41.6 μ
	S	40 μ	26.7 μ
縦ライン	L	30 μ	42.4 μ
	S	40 μ	26.5 μ

L/S=30/50 μ計測		設計値	印刷計測
横ライン	L	30 μ	41.8 μ
	S	50 μ	44.7 μ
縦ライン	L	30 μ	42.3 μ
	S	50 μ	38.8 μ

### 3-4 ベンチテスト用高精度高速印刷機の開発

#### 3-4-1 研究目的

量産指標速度（350mm/sec、1000 シート連続印刷（1時間あたりスループット800枚））を満たし、将来の高精度印刷位置決め機構を検証できる量産試作機開発を目的とした。

#### 3-4-2 研究内容

- ① 高精度の印刷結果が実現されること
- ② 高速での連続運転ができること
- ③ 既存設備（対象：スクリーン印刷機）と同等レベルの設置スペースであること

#### 3-4-3 研究成果

- ① 高精度の印刷結果が実現されること

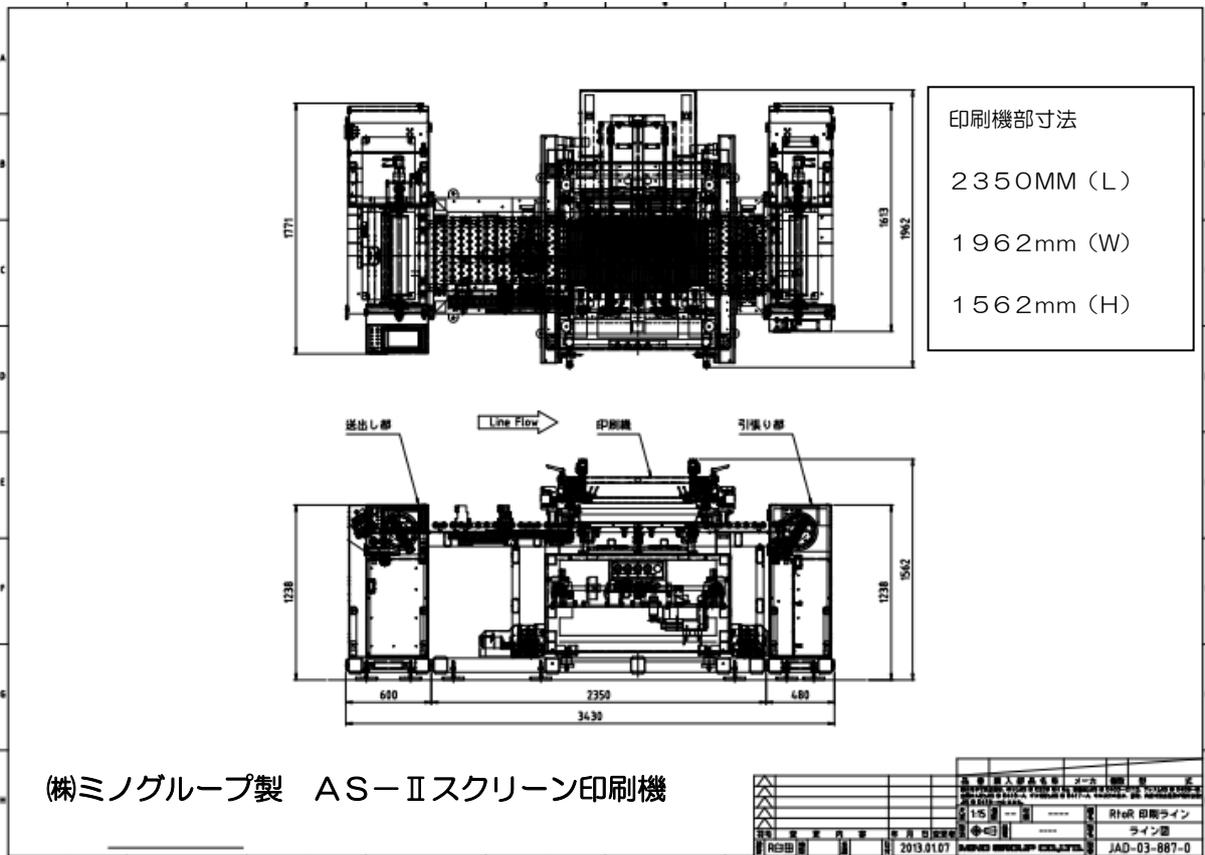
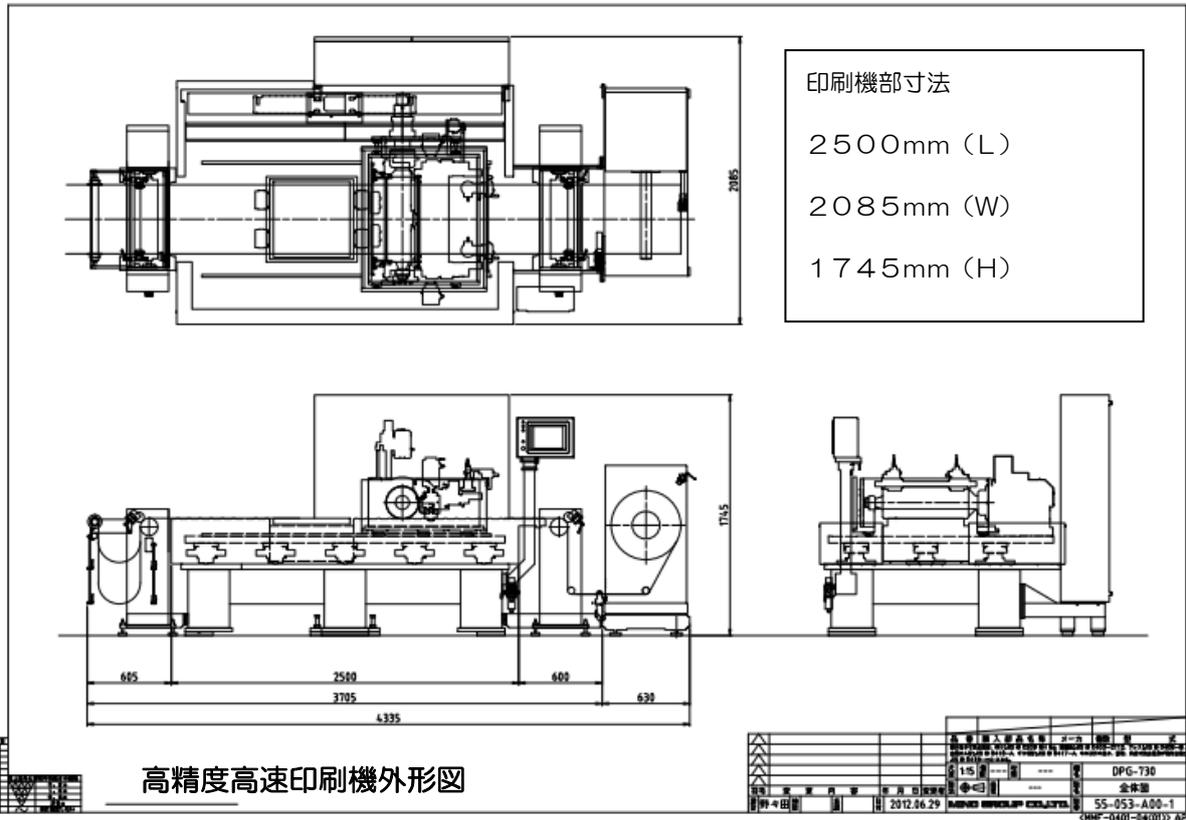
研究成果3-1-3の結果のように、面内でのズレをおさえたトゥルーローリング機構の開発に成功し高精度な印刷結果が確保できた。

また、本研究開発の中で開発した、CCDカメラによる位置合わせシステムを特許出願することとなった。

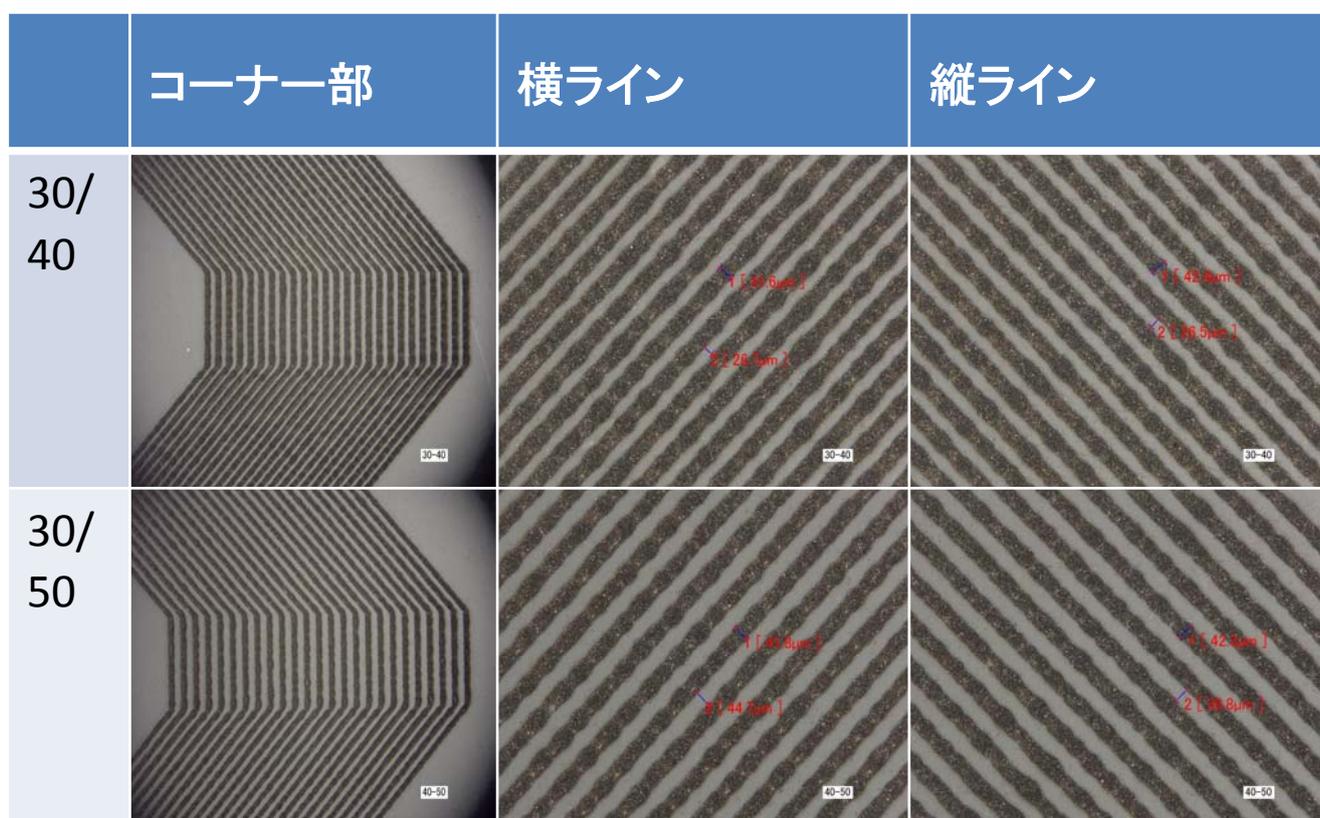
- ② 高速での連続運転ができること

機械動作としての動作速度を上げることは容易いが、印刷との条件を合わせるうえで、従来工法のスクリーン印刷の場合、細線化になるほどゆっくりとした動作速度でないと印刷できないという問題があった。凹面にペーストを充てんさせるうえで機械速度を上げることが良好ペーストのローリング性を高め印刷結果に反映される本研究開発では350mm/secでの連続印刷を実現した

③ 既存設備（対象：スクリーン印刷機）と同等レベルの設置スペースであること



## 第4章 印刷物の評価



テストサンプルの写真

L/S=30/40 $\mu$ および、30/50 $\mu$ とした結果、不均一性や異常部も見られず良好な結果となった。

詳細な観察は本結果が2013年1月に仕上がったことによりまだ行っていないが、引き続き、断面の計測などの詳細なデータを観察する。

## 第5章 事業化の取り組み

本研究開発期間中、(株)ミノグループを訪問された川下企業より多くの興味を持って本研究開発に付、質問等をいただいた。

### 川下企業の抱える課題

#### ① スクリーン印刷における面内精度

スクリーン印刷では版と被印刷物の間を開ける（クリアランス）が必ず必要であり、インクを押し出すスキージでスクリーンメッシュを押しさえることで印刷を行う。その必須事項であるクリアランスがスクリーンメッシュの伸びを伴い、製版デザインと印刷結果が1：1にならないことが課題としてある。昨今の高価なSUSメッシュを使うなどの選択を強いられている。

本研究開発では、研究成果3-1-3の高精度印刷が可能であることが実証され、多くの分野での採用検討をしたいという声をいただいた。

国内某大手の企業より導電体の印刷に採用できないかとの問い合わせを受け、数度にわたるテストの結果、現状の生産方法に対比しても数段上のレベルで精度確保が可能であることと、要求されるその他の条件をほぼ満たしており、近々にも試作機検討から量産検討へと話が進んでいる。

また、大手中間材料メーカーよりも次世代製品の検討として高精度高速印刷機の具体的問い合わせが来ている。

#### ② 高量産性

導電性ペーストで細線を印刷する場合、現状スクリーン印刷では50 $\mu$ が限界であり、30 $\mu$ 印刷に向け各種検討がなされているが、ペーストをメッシュスクリーンから押し出すため、高速で印刷を行った場合ラインが掠れるなどの問題で低速での印刷しか実現されていない。本研究開発と同程度のサイズを印刷する場合、約15sec/枚かかっている中、高精度高速印刷機では半分以下の速度で印刷が可能である。また、細線化のもう一つのカギを握るグラビアオフセットでは、スクリーン印刷に比べはるかに細線を印刷することが可能であるが、転写の用いるシリコーンブランケットの膨潤で連続印刷性が劣ることと、シリコーンブランケットの交換によ

るコストアップも課題となっている。本研究開発の版は各種溶剤に対しても耐性があり膨潤の問題もないことから、川下企業のニーズにマッチするもので、国内各種電子デバイスメーカーの担当者や研究開発部門より詳しい内容などの説明・社内プレゼンを求められている。

## 第6章 全体総括

本研究開発ではUV光を使った新たなペーストの開発と、高精度高速印刷機の開発を大きな柱として勧めてきた。

ペーストの開発では、UV硬化ペーストを開発する中、ダイレクトグラビア手法に適した組成に必要な条件が数々見付き、すでにIRタイプではかなり良好な印刷結果が得られるようになった。すでに具体的な動きも出始める中、さらにペーストの完成度を高め印刷基材に合わせたペーストの開発も行わなければならない。具体的には、ガラス基板やセラミック基板などがあげられる。

高精度高速印刷機に関しては、本研究開発で得たトゥルーローリング機構による高精度印刷と、電子カムを使った高速運転が実現された。今後は川下企業の各ニーズに即した仕様の印刷機の開発が課題となっていく。