

パッド印刷に関する研究

関戸 正信

佐賀県窯業技術センター

陶磁器産業におけるパッド印刷等の工程では、作業環境の安全性確保(VOC 削減)や廃液処理コストの低減が課題となっており、現像プロセスの環境改善が求められている。

従来のアルコール現像から水現像へ移行するにあたっては、水温、浸水時間、および積算光量の最適化が必要である。今回、光源にLED モジュールを採用して安定した光量を確保することで、精度の高い安定した画像形成が可能となった。

キーワード:陶磁器印刷、パッド印刷、水現像、UV-LED、紫外線感光樹脂、凹版印刷

Research on pad printing

SEKIDO Masanobu

Saga Ceramics Research Laboratory

In the ceramics industry, improving the environment for printing processes, such as pad printing, has become essential from the perspectives of ensuring workplace safety (VOC reduction) and reducing waste liquid treatment costs.

In transitioning from conventional alcohol-based development to water-based development, it was necessary to optimize parameters such as water temperature, immersion time, and cumulative light exposure. By adopting LED modules as the light source to ensure a stable output, consistent and high-quality image formation has been achieved.

Key Words: : Ceramic printing, pad printing, water development, UV-LED, UV-sensitive resin, intaglio printing

1. はじめに

陶磁器が私たちの日常生活に広く普及した要因として、明治期以降に銅板転写をはじめとして、ゴム印、シルクスクリン印刷、パッド印刷などの印刷技術の発展があったことがあげられる。

主な印刷の変遷時代ごとにみると次のとおりである。

- ・明治 20 年～30 年代:銅版転写
- ・昭和 10 年～20 年代:ゴム印
- ・昭和 30 年～40 年代:シルクスクリン印刷
- ・昭和 40 年～50 年代:パッド印刷

陶磁器における印刷技術は現在も有効な手法として利用されているが、一部の技術を除き、銅板転写はシルクスクリンを利用した印刷に、ゴム印はシリコンゴムを利用したパッド印刷など、多くの場面で利用されるようになった。

一般に陶磁器の印刷(シルク・パッド印刷)では、パソコンでデザインを作れるようになった現在でも、インクを転写する「版」を作る工程が不可欠である。

この工程では、光で固まる特殊な樹脂にデザインを焼

き付け、洗浄剤で不要な部分を洗い流すことで、精密な凹凸や穴を作る。

近年、パッド印刷の工程においては、現像過程で扱う洗浄剤(メチルアルコール)の取り扱いが、安全上問題となってきており、企業においては、専用の設備整備や安全対策を講じる必要が出てきた。

さらに肥前地区では 2021～2022 年にかけてアルコール現像タイプの樹脂版の供給が停止され、産地では水洗いタイプへの移行を急いだが、業界がこれまでに習得したアルコール現像(手現像)の経験や技術では、良好な結果が得られない状況であった。

水現像樹脂版については 1977 年、(株)東洋紡がパイオニアとして市場を切り拓き、同時期に(株)タカノ機械製作所による専用製版機の製造も開始された。しかし、水現像樹脂版は水による膨潤速度が速いという特性を持つため、手洗いを主体とする肥前地区においては、精度の維持が困難であり、今日まで導入が進んでこなかった。

現在、肥前地区では繊細な線画や手描き特有の「濃淡

(だみ)」の表現が求められており、金属版(エッチング)ではこうした階調表現の再現が不可能であるため、今後も樹脂(フォトレジスト)による製版技術は不可欠である。アルコール現像タイプ樹脂版の供給停止が懸念される現状において、水現像タイプへの移行は、産地にとって避けでは通れない唯一の選択肢といえる。

そこで本研究は年間を通じ、製版に関する評価や助言が行えるよう新規に現像機の整備を行い、水現像の環境を整えた。また、従来の光源(ケミカルランプ)が生産を終了(2027年)することから、光源には、単一波長の直行光を持つ UV-LED (365nm)を採用し、適正な積算光量を得るため、装置の制御条件の検討を行った。

2. 実験方法

本研究では評価すべき製版工程の項目との検討を要する点は以下のとおりとした。

- ・原稿及び版下:濃度管理と適正な画像処理
- ・主露光:紫外線強度、積算光量の掌握
- ・洗い出し:水温管理、適正な露光時間
- ・乾燥:適正な温度管理と速やかな水の分除去
- ・後露光:完全硬化のための再露光
- ・後乾燥:長期保管のための完全乾燥

以下、整備した機器、各条件等を説明する。図1に製版機(アプトン株式会社製、DX-A2neo)を示す。



図1 製版機

表1に評価に使用する素材を示す。水現像の中では最も硬い硬度67° (シヨア D)のものを使用した。

表1 評価に使用した素材

ア プ ト ン	硬度	ベース	版厚	深度
	67°	スチール	0.43	0.2
		0.73	0.43	
		0.95	0.65	
		1.52	1.22	

2.1 原稿、版下データ

器等の立体物へパッド印刷を行う際、手書き原稿を正確にデジタル化するには「鉛筆転写(リバース)」が不可欠である。この手法は、曲面のデザインの歪みを最小限に抑えて平面へ展開する上で極めて有効となる。

転写原稿を基に Illustrator 等で製版データを作成する際は、出力設定に細心の注意を払う必要がある。特にベクターデータの書き出しやラスタライズ処理においては、ドキュメントの「ラスタライズ効果設定」を、標準の2倍以上(1200dpi 以上推奨)の高解像度に指定しなければならない。

これは、出力機が持つ本来の再現性を引き出し、微細な網点やエッジの鋭利さを担保するために避けて通れない工程である。

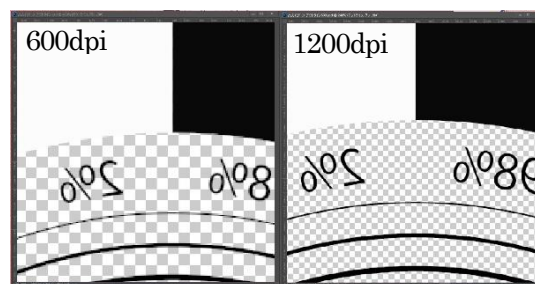


図2 解像度の設定による線描の違い。

また、手描きの「だみ」のような滑らかな階調を得るためにはあらかじめ、網点出力の校正作業を行う必要があり、事前にテストパターンを出力し、印刷の結果から網点の濃度補正を行うとよい。通常肥前地区では 85 線から 100 線ほどの解像度が好まれて使用されているが、ソフト(Photoshop)のフィルターによる非破壊編集、調整レイヤーとして追加できるので、後から何度でも編集が可能となる(図3)。

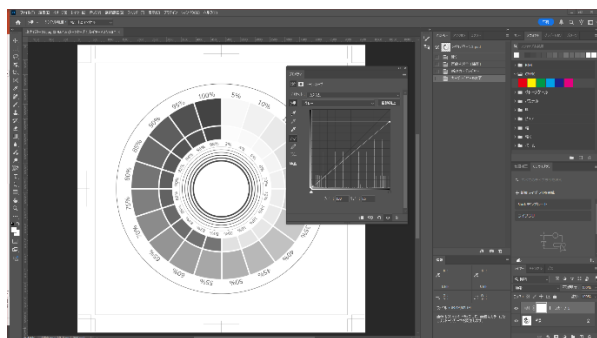


図3 Photoshopによるトーンカーブ補正

2.2 主露光

パッド印刷で使用する感光性樹脂版は波長 300～400nm の紫外線により硬化する。従来の紫外線ランプでは光が広範囲に拡散するのに対し、UV-LEDは直進性が高く非常に鋭いピーク特性を持っており、同じ積算温度でも樹脂層の表と深部では樹脂の硬化バランスが崩れ、網点形成に大きな影響を与える。

現在、使用されているケミカルランプ (20W)の特徴は、中心部が最も強く、中心部から離れるにつれ強度が低く設計されており、安定した領域は約 300mm の範囲内とされている(図4)。

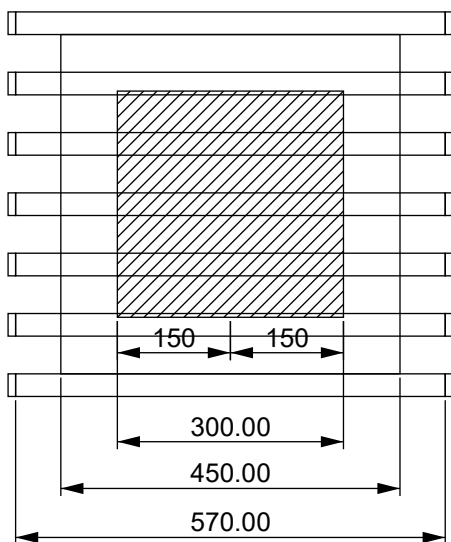


図4 従来光源を利用したときの安定する照度の範囲

そこで、正確に現状を把握するために、紫外放射照度計による測定を行った。図5は現場に直接出向き計測している様子である。ケミカルランプ光源下では図6の様な結果を示した。ケミカルランプの光源直下(距離=約 50mm)

では 1.6 mW/cm² を示し、フィルムの下では、照度 0.4 mW/cm² の値を示した。本来であれば届くはずの紫外線は約 75%遮光カットされ十分な光量が確保されなかった。十分に光量が届かない場合、適正に現像することは困難なことから、より透過性の高いフィルムの選択が望ましい。



図5 積算光量計による測定の様子。



図6 照度測定値結果、右の値がフィルム下の値

版面強度と積算光量の関係は以下の式で求められる。

(ケミカルランプ)

$$\text{強度(mW/cm}^2\text{)} \times \text{時間(s)} = \text{積算光量(mj/cm}^2\text{)}$$

- 強度:1.6mW/cm²
- 時間:180s
- 積算光量:1.6×180=288mj/cm²
- ↓透過性の高いフィルムへの交換(透過率=78%)
- 強度:1.6mW/cm²×0.78=1.248mW/cm²
- 積算光量:1.248×180=224.64mj/cm²

透過率が高まることで、十分な硬化が期待でき、耐刷強度が向上、樹脂深層の安定した形成につながると考えられる。ケミカルランプの特徴として波長範囲が広く拡散する性質から光が回り込みやすくハイライトの領域は浅くなることから注意が必要である。

2.2 版下(ポジフィルム)

ポジフィルムは、製版の「設計図」となり、印刷したい絵柄部分が黒(遮光)、それ以外が透明(透過)になっている。樹脂版の上にこのフィルムを重ねて紫外線を照射すると、透明な部分だけが硬化し、黒い部分が未硬化のまま現像で洗い流されて「インクが入る凹み」になる。

製版の成否は、フィルムと樹脂版の密着性で決まるが、隙間があると光が回り込み、エッジがぼやけたり網点が潰れたりすることから、図7のように主露光にかける前処理として膜面を乳剤面と合わせ空気をかき出しながら密着させていく必要がある。また、この時の膜面はフィルム下、鏡像処理されなくてはならない

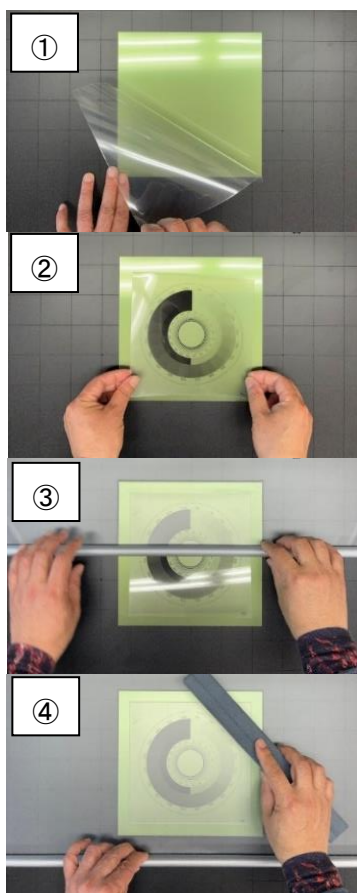


図7 主露光前処理工程①カバーフィルムを剥離、②③④ポジフィルムの真空引き作業

3. 製版条件の最適化

具体的な補正值を求めるために、以下の要素を含んだテストターゲット(チャート)を作成し、版に焼き付け・現像を行った。スキージーで掻き取る際、個々の網点が規則正しく形成されることが最も重要である。網点はハイライト～シャドウ域(5～100%)を5%ごとに刻み出力値とした。

- ・線数:100lpi
- ・版厚:0.43mm

4. 考察、機械現像

図8にタカノ機械製作所(現、株式会社アプトン)製による機械現像の様子を示す。現像(水洗い洗浄)は装置上部に配置された専用のブラシにより40秒洗浄される。UV-LED光源により積算光量 $300\text{mj}/\text{cm}^2$ を確保、10%の出力で56秒の露光、10分の乾燥後に後露光を4分が、0.43mmの樹脂版の限界であった。

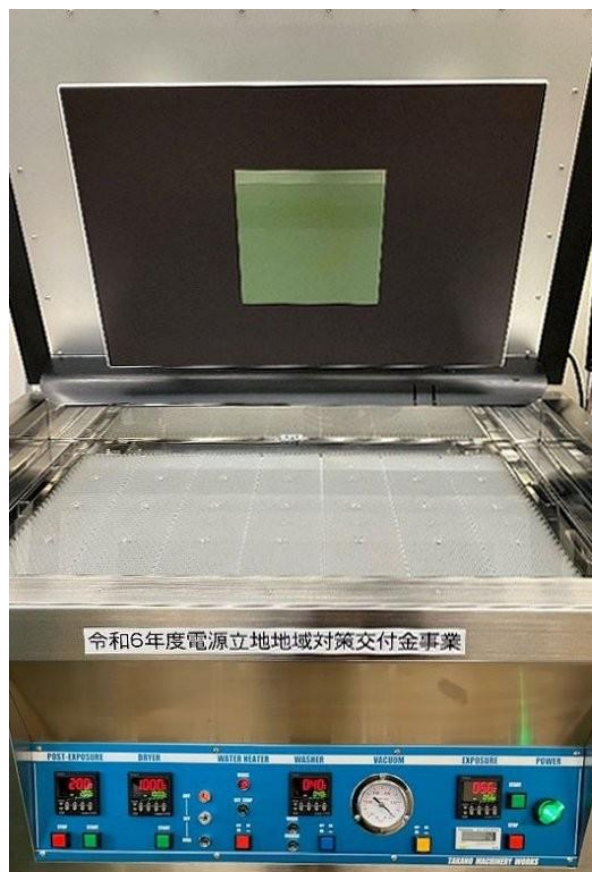


図8 機器による洗浄(上蓋が稼働し水槽内のブラシにて洗浄)。

洗浄直後は樹脂が水に溶解しており、速やかに洗浄を行わないと図9のように溶けだした樹脂により凹みがふさ

がれてしまう。なお、この図は補正前の版のため、100%の領域の落版が生じている様子である。



図9 洗浄直後の樹脂が溶け出した状態

これは、速やかに洗い流すほか、十分な乾燥と後露光による樹脂の硬化が必要であった。

網点の最高濃度(100%=ベタ)は、完全に遮光されず、洗浄時には樹脂の溶解が進行することが確認されたことから、調整レイヤーによる補正(図10)を行い、テスト用のターゲットとした。図11に補正後の樹脂版を示す。

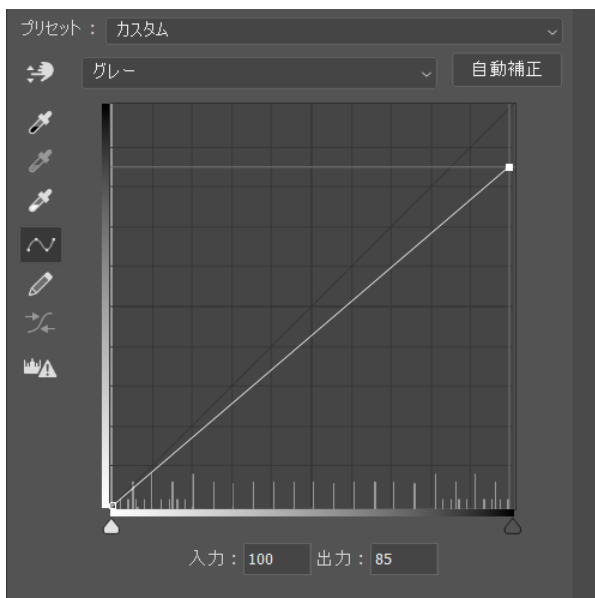


図10 調整レイヤーによる補正

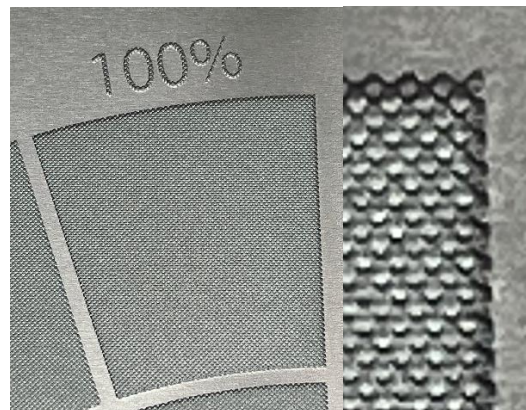


図11 補正後の樹脂版

洗い出しによる損傷はなくなっており、網点は規則正しく配置され、きれいなグリッドを描いている。表2は網点の出力補正と版の深度の計測値であり、シャドウ域では約100 μ mの深さが確保されていた。これ以上の深度が必要な場合には、主露光の時間を相対的に短くするとよい。(参考:版厚0.43mmの樹脂層は200 μ mである)

表2 網点の出力補正と版の深度

入力値 (%)	出力補正(%)	深度(μ m)
20	17	36.5
25	22	53.6
40	34	77.2
50	42	89.0
60	51	96.2
80	68	109.5
95	81	110.3
100	85	125.3

5. 結果

補正にはいくつかの手段がある。

- ・デザイン段階での修正(デザインの段階で、出力値を補正するとイメージに支障をきたす)
- ・トーンカーブによる補正(オリジナルデータを壊さず、製版のみの補正が容易に可能)
- ・出力RIPによる補正(専用のソフトと知識が必要。コストの負担が大きい)

ソフトウェアによる補正は低コストかつ確実性が高い。そこで、トーンカーブによる補正を行うことで、遮光性を

15%低下させた版下(ネガ)を容易に得ることができ、現像時の落版を抑制する技術が確立した。補正された版による印刷結果を図12に示す。

網点指示 100%の領域のまで十分な濃淡が得られ、水現像タイプ樹脂版の制御が可能となった。

この結果を基に、産地内の企業へテスト用の樹脂版を配布し求評を行い、従来の印刷手法よりも発色が安定していると高い評価を得ることができた。

これは、使用した LED 光源の波長特性により網点の凹凸形状がシャープに形成された結果、転写される絵具(インク)量が十分に確保されたためと考えられる。

るよう本研究成果を普及していきたい。

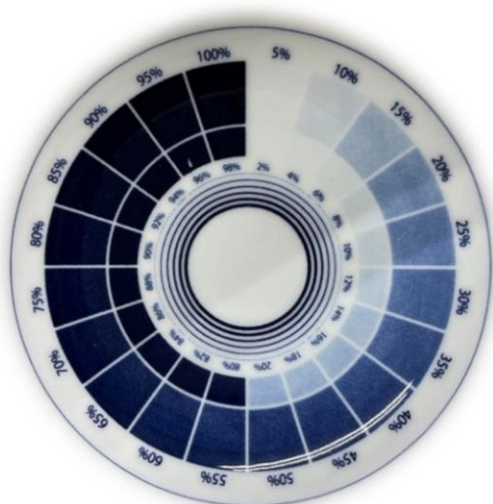


図12 補正された版による印刷結果 (1300°C 焼成後).

6. まとめ

本研究で様々な製版条件を検討した結果、水洗浄タイプの樹脂版でも良好な製版ができる装置条件を見出すことができた。また、肥前地区の窯元 10 数社を訪問し現状を調査した結果、共通の課題として、現像時間の長時間化および硬化時間の検討不足が確認された。これについては本研究の成果を基に現在、物性テストの実施を継続しており、現場での微調整を進めている段階である。

水現像タイプの樹脂版は、従来のアルコールタイプと異なり溶媒(水)に溶解しやすく、より丁寧な洗浄工程を要する。今後、品質を安定させるためには、熟練した人材の確保を必要とするが、それに加えて、迅速な処理を可能にする製版機の整備や最適な作業環境の構築が進められ