

平成27年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「めっきプライマーインクと3D形状対応印刷技術による
部分めっき技術の開発と自動車部品への応用」

研究開発成果等報告書

平成28年3月

委託者 東北経済産業局

委託先 公益財団法人みやぎ産業振興機構

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制	2
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

【1】	ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発	
【1-1】	めっきプライマーインクの必要膜厚の実験・評価	8
【1-2】	ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発1 (インク側からのアプローチ)	8
【1-3】	ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発2 (印刷機側からのアプローチ)	10
【1-4】	触媒効果の確認	12
【2】	3D形状対応印刷技術の開発	
【2-1】	見切許容範囲の検討	14
【2-2】	立体形状適応性の検討	15
【2-3】	めっきプライマーインクの対応検討	15
【2-4】	量産化技術の検討	16
【3】	無電解めっきの量産技術開発	
【3-1】	無電解銅めっき	17
【3-2】	無電解ニッケルめっき	18

第3章 全体総括

3-1	研究開発成果	19
3-2	研究開発後の課題・事業化展開	20

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) 研究開発の背景

一般的な装飾用の樹脂めっきは、樹脂表面に密着性のあるめっきを施すため六価クロム酸を用いたエッチング、触媒付与ならびに活性化といった前処理を行った後、無電解めっきと電解めっきの工程があり、非常に工数が多く、その結果、樹脂めっきの加工賃が高くなっているのが現状である。また、デザインの観点から内外装部品全面にめっきを施すのではなく、部分的にめっきを施す部分めっきの要求が高いが、部分めっきはさらに工数が多くなり、またマスキング資材も必要となるため、部品コストが高くなる。

このような現状から、川下自動車メーカーでは工程を簡素化した低コストの部分めっき処理プロセスを開発し、めっきを内外装として採用したいとのニーズがある。

上記ニーズに対応する為、立体形状を持つ樹脂部品に対して、十分なめっき密着強度、環境に配慮したプロセス、コスト削減のために、めっき前処理で六価クロムを使用しない「めっきプライマーインクによる従来工程数を大幅に削減する前処理法」と「3D形状対応印刷技術の導入」による新たな部分めっき工法を開発する。

(2) 研究目的

東北地区で生産されるコンパクト車と軽自動車との販売競争において、内外装の商品力向上は急務である。商品力を上げるアイテムの1つとしてめっきが上げられるが、部分的にめっきを施し意匠性を付与するにはコストが高くなる。

そこで、本研究ではコスト低減、意匠性向上、環境負荷低減の3つを解決する手法としてめっきプライマーインク及び3D形状対応印刷技術の融合により生産性の高い新たな部分めっき工法を開発し事業化する。

(3) 最終目標

本研究の最終目標として、以下の項目を達成させることである。

◆めっき品質

対象基材	品質基準
ABS, PP	外観品位 (平滑で光沢があり, シミ・膨れ等の欠陥なき事)
	各種耐久試験を満足する事
	密着性は, 5N/cm以上のピール強度を確保する事

*めっき構成：無電解-電解銅-電解Ni (10 μ m以上) -電解Cr (0.1 μ m)

◆3D形状適応性

※工程：めっきプライマーインク塗布-無電解めっき-電解めっき

- ・見切許容範囲 : 設計見切位置に対して ± 0.1 mm以内
- ・立体形状適応性 : ワーク外側テーパー $180\sim 135^\circ$
高さ10mmまで対応可能の事
ワーク内側テーパー $0\sim 45^\circ$
高さ10mmまで対応可能の事

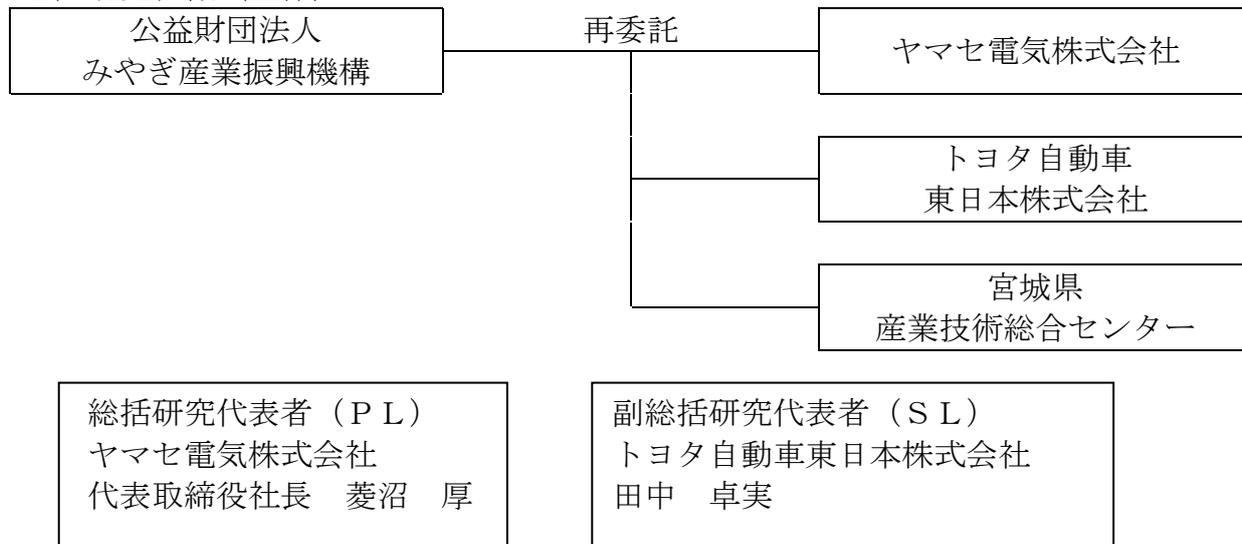
◆生産性：無電解めっき前処理工程 (印刷→乾燥) としてタクト30分以内

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

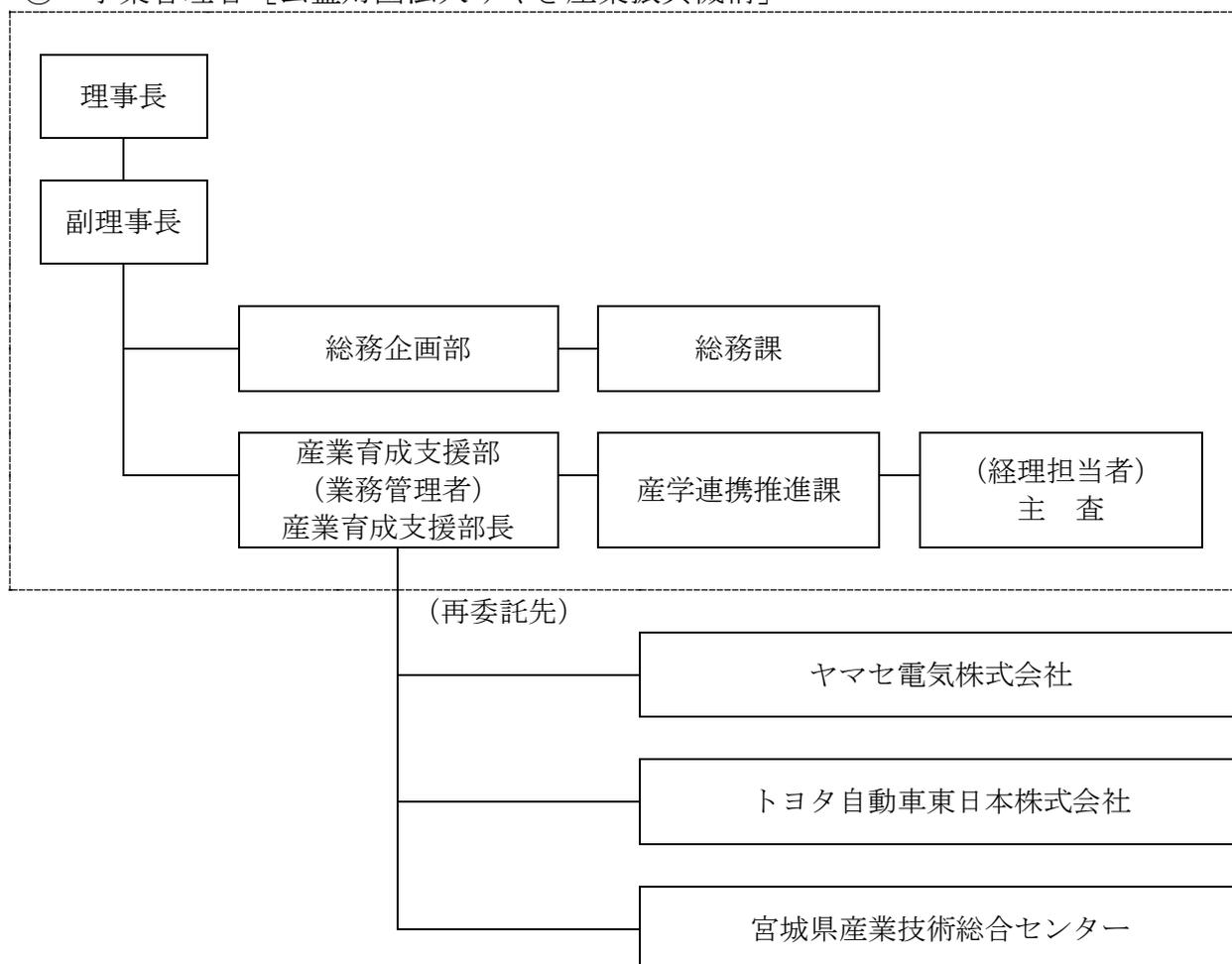
(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

① 事業管理者 [公益財団法人みやぎ産業振興機構]



(2) 研究員及び管理員（役職・実施内容別担当）

【事業管理機関】 公益財団法人みやぎ産業振興機構

②管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
中塚 朝夫	産業育成支援部長	【4】
田村 敏宏	産業育成支援部産学連携推進課 課長	【4】
平野 重成	産業育成支援部産学連携推進課 課長補佐	【4】
天野 浩治	産業育成支援部産学連携推進課 主幹	【4】
小野寺桂三	産業育成支援部産学連携推進課 技術力向上専門委員	【4】
八重樫順一	産業育成支援部産学連携推進課 技術力向上専門委員	【4】

【再委託先（研究員）】

ヤマセ電気株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
菱沼 厚	代表取締役社長	PL 【1】 【2】 【3】
山田 学	新規事業創出課 係長	【1】 【2】 【3】
阿部 進	アイネックス 印刷課 課長	【2】

トヨタ自動車東日本株式会社

氏名	役職・所属	実施内容 (番号)
田中 卓実	材料・電子技術部 材料技術室 技術開発G	SL 【1】 【2】 【3】

宮城県産業技術総合センター

氏名	役職・所属	実施内容 (番号)
佐藤 勲征	材料開発・分析技術部 主任研究員	【1】 【3】
四戸 大希	材料開発・分析技術部 技師	【2】
今野 奈穂	材料開発・分析技術部 技師	【1】 【3】

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属, 氏名

【事業管理機関】

公益財団法人みやぎ産業振興機構

(経理担当者) 産業育成支援部産学連携推進課 主幹 天野 浩治
 (業務管理者) 産業育成支援部 部長 中塚 朝夫

【再委託先】

ヤマセ電気株式会社

(経理担当者) 経理課 課長 宍戸 俊志
 (業務管理者) 代表取締役社長 菱沼 厚

トヨタ自動車東日本株式会社

(経理担当者) 経理部 部長 安斉 茂夫
 (業務管理者) 開発企画部 主査 川村 洋一

宮城県産業技術総合センター

(経理担当者) 事務局 主任主査

(業務管理者) 自動車産業支援部 部長

門脇 勝彦

古川 博道

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考	
菱沼 厚	ヤマセ電気株式会社 代表取締役社長	P L <input type="checkbox"/>	
山田 学	同 新規事業創出課 係長		
阿部 進	アイネックス 印刷課 課長		
阿部 勉	トヨタ自動車東日本株式会社 執行役員		
小山 悦伸	同 開発企画部 部長		
川村 洋一	同 開発企画部 主査		
北川 一哉	同 開発企画部 開発統括室 東北技術G GM		
田中 卓実	同 材料・電子技術部 材料技術室 技術開発G		S L <input type="checkbox"/>
古川 博道	宮城県産業技術総合センター 自動車産業支援部 部長		
長岩 功	同 自動車産業支援部 主任研究員		
岩沢 正樹	同 自動車産業支援部 副主任研究員		
太田 靖	同 材料開発・分析技術部 部長		
佐藤 勲征	同 材料開発・分析技術部 主任研究員		
四戸 大希	同 材料開発・分析技術部 技師		
今野 奈穂	同 材料開発・分析技術部 技師		
坪井 英明	トヨタ自動車東日本株式会社 開発企画部 開発統括室 室長	アドバイザー	
中村 克弘	株式会社イオックス 代表取締役	アドバイザー	
落合 博	同 取締役 開発営業担当	アドバイザー	
伊藤 浩志	国立大学法人山形大学 教授	アドバイザー	
中塚 朝夫	公益財団法人みやぎ産業振興機構 産業育成支援部 部長		
田村 敏宏	同 産業育成支援部 産学連携推進課 課長		
平野 重成	同 産業育成支援部 産学連携推進課 課長補佐		
天野 浩治	同 産業育成支援部 産学連携推進課 主幹		
小野寺桂三	同 産業育成支援部 産学連携推進課 技術力向上専門員		
八重樫順一	同 産業育成支援部 産学連携推進課 技術力向上専門員		

アドバイザー氏名	主な指導・協力事項
坪井 英明	川下企業の設計ニーズ, 車両採用に向けた製品要件提示および製品評価におけるアドバイス
中村 克弘	めっきプライマーインクの開発および調整についての技術的アドバイス
落合 博	めっきプライマーインクの塗工に関する技術的アドバイス
伊藤 浩志	めっきプライマーインクの特性評価および密着原理などについて技術的アドバイス

1-3 成果概要

【1】ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発

【1-1】めっきプライマーインクの必要膜厚の実験・評価

無電解銅めっき処理における銅の析出に必要なめっきプライマーインク膜厚を実験的に検証した。めっきプライマーインク wet 膜厚が厚くなるほど銅の析出反応性が低下し、60 μm を超えるあたりから、析出ムラが多くなることが確認された。Wet 膜厚 60 μm までの膜厚で反応性を向上させるのに、ナノサイズの粒子の添加が効果的であることがわかったが、60 μm を超えた場合は、無添加と同様の結果であった。

電気めっき後の密着性を向上させるには、無電解銅が内部に入り込み、しかし入りすぎない程度の膜厚が必要であり、その膜厚は wet 膜厚で 40 μm 程度必要であることを実験結果や断面観察から明らかとした。この膜厚であれば、特段の後処理をせずとも目標となる密着 5N/cm を超える。

【1-2】ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発 1 (インク側からのアプローチ)

触媒、バインダー、溶剤から構成されるめっきプライマーインクにナノサイズの粒子を添加したインクで、各組成条件が粘度、めっき反応性、外観、密着性に与える影響を評価した。ABS 基材に対して、ロール to ロール生産方式に対応した粘度特性、無電解めっき反応性、めっき密着性、耐久性を満たしためっきプライマーインク組成とその効果を発揮させる工法を開発した。また、このインクは PP (TSOP) 基材に対しても、基材の前処理を施すことで応用できることもわかった。

PP (TSOP) 基材専用のめっきプライマーインクも開発した。このインクはめっき反応性、密着性も問題ないことが確認した。さらに、PP 専用めっきプライマーインクは乾燥・硬化時間を ABS 用インクに比べて短縮が可能であることも確認した。ただし、3D 形状対応印刷機での適応性には課題があった。

開発したインクを用いた電気めっき外観は、塗布工程や乾燥・硬化工程、めっき工程にも影響されるが、インク側からのアプローチとしてはインクに含まれる粒子状物質の分散状況に影響を受けることがわかった。インクのろ過工程を追加することでさらなる外観が向上することが期待される結果が得られている。

【1-3】ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発 2 (印刷機側からのアプローチ)

小型のロール式印刷機である印刷特性試験機を用い、3D 形状対応印刷機で使用する転写ロールに用いるゴム素材の耐性或印刷条件が印刷膜厚に与える影響を調査した。

ゴム素材の耐性は、インクに使用する代表的な溶剤での室温浸漬試験を行い、硬度、寸法、重量、外観の変化を評価した。その結果、検討した素材のうち、2種が候補としてあがり、そのうちの1種が柔軟性をコントロールできることから、その素材を選定した。また、その素材の柔軟性と印刷品質の兼ね合いから、新た

な構成の転写ロールを開発した。

印刷特性試験機に使用する金属版のセル容積と転写ロールの押し圧が印刷膜厚に影響を与え、セル容積が大きく、転写ロールの押し圧を低くすることで膜厚を厚く印刷できることを確認できた。ここで得られた結果をもとに、3D形状対応印刷機で使用する転写ロールの材質・構成を決定し、印刷条件と印刷膜厚の基礎データが得られた。

【1-4】触媒効果の評価

開発しためっきプライマーインクとそのインクを用いた工法の無電解めっき反応性と密着強度が発現するメカニズムを、XPSやTEM観察、AFM観察を行うことで明らかにした。

【2】3D形状対応印刷技術の開発

【2-1】見切許容範囲の検討

3D形状対応印刷機において、開発しためっきプライマーインクを使用し、金属ロール版の凹部構造や印刷機の操作条件を変え、見切ライン変化量の見極めを行った。

見切許容範囲の目標を達成するための凹部構造や条件の最適化を図ったが、長尺の成形品では印刷開始部と印刷最終部との展開率が大きく異なるため、現状の印刷機構のみでは、印刷開始から最終部までを目標の精度で印刷することは困難であることがわかった。

【2-2】立体形状適応性の検討

3D形状対応印刷機において、開発しためっきプライマーインクを使用し、転写ロールの物性や印刷機の操作条件を変え、3D形状成形品における立体形状適応性を検討した。

開発した転写ロールを用い、印刷条件を最適化することで外側テーパ一部に対する目標を達成することができた。しかし、内側テーパ部（凹部）には転写ロールが入り込まないため目標を達成することができなかった。

【2-3】めっきプライマーインクの対応検討

3D形状成形品に対して今回開発しためっきプライマーインクを用いて印刷を行い、めっきプライマーインクでの均一に印刷ができ、かつ、めっき反応性と密着性も良好な印刷機及び印刷条件の検討を行った。

その結果、開発した転写ロールを用いることで、ABS基材には開発したABS用めっきプライマーインクをPP(TSOP)基材には前処理を施した後にABS用めっきプライマーインクを使用することで、均一に塗布が可能で、めっき反応性及び密着性も良好であった。PP専用めっきプライマーインクは、低粘度であり3D形状対応印刷機での転写性が著しく悪く、且つ、溶剤乾燥が早いため金属ロール版上で乾燥硬化してしまうことから印刷特性が好ましくなかった。

【2-4】量産化技術の検討

3D形状対応印刷機を用いて、ABS及びPP(TSOP)基材への印刷にあたって、印刷の条件パラメーターのばらつきとして、転写ロールの劣化によるワークへの押込み圧の変化が大きいことがわかった。印刷後の製膜性や無電解めっきの反応性を評価し、良品を得るためのパラメーターの条件幅及び管理幅を決定した。

【3】無電解めっきの量産技術開発

【3-1】無電解銅めっき

ABS及びPP(TSOP)基材に対して、開発しためっきプライマーインクを塗布、乾燥・硬化後、均一に無電解銅めっきが塗布パターン通りに加工できるための前処理工程ならびに無電解銅めっき浴組成とめっき条件を確立した。また、量産化時に安定した部分めっき加工が行えるよう、各工程の処理条件等の管理幅を決定した。

【3-2】無電解ニッケルめっき

無電解銅めっきで確立した前処理工程に1工程追加することで、一般的な無電解ニッケルめっき処理液で処理可能であることがわかった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人みやぎ産業振興機構

〒980-0011 宮城県仙台市青葉区上杉1丁目14-2

TEL: 022-225-6638 FAX: 022-263-6923

産業育成支援部 部長 中塚 朝夫

産業育成支援部 産学連携推進課 課長 田村 敏宏

技術力向上専門員 小野寺 桂三 八重樫 順一

第2章 本論

【1】ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発

【1-1】めっきプライマーインクの必要膜厚の実験・評価

無電解銅めっき処理における銅の析出に必要なめっきプライマーインク膜厚を実験的に検証した。

実験には、触媒、バインダー、溶剤から構成されるめっきプライマーインクとそのインクにナノサイズの粒子を所定量添加したインクの2種類を用いた。2種類のインクをABS基材にwet膜厚を変えて塗布し、所定条件で乾燥・硬化させた。その後、無電解銅めっき液に浸漬させ、インク塗布面全体にめっきが析出するまでの経過時間でめっき反応性を評価した。

評価結果を図1にまとめた。図1より、ナノ粒子なしではwet膜厚が厚くなるほど反応性が低下していることがわかる。一方、ナノ粒子ありでは、60 μm よりもwet膜厚が厚い場合はナノ粒子なしと同様の結果であるが、印刷膜厚が薄い(60 μm 以下)場合に印刷膜厚依存に反応が低下しにくい結果が得られ、めっき反応性を得るにはナノサイズの粒子の添加が効果的であることがわかった。

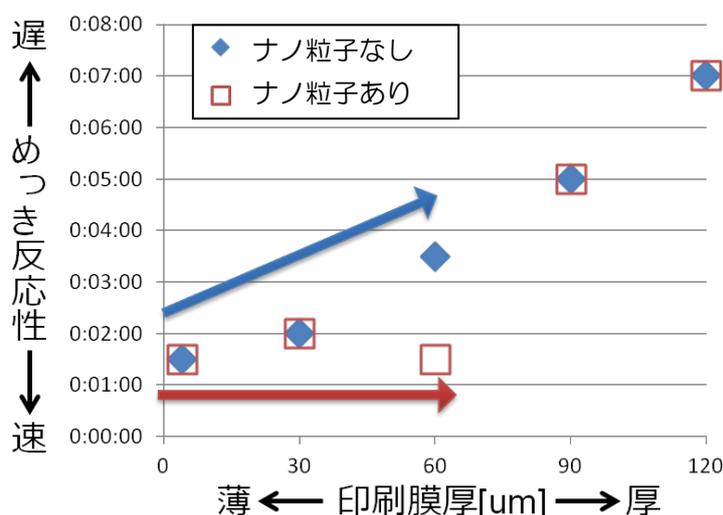


図1 無電解銅めっきの反応性

また、電気めっき後の密着性を向上させるには、無電解銅が内部に入り込み、しかし入りすぎない程度の膜厚が必要であり、その膜厚はwet膜厚で40 μm 程度必要であることを実験結果や断面観察から明らかとした。この膜厚であれば、特段の後処理をせずとも目標となる密着5N/cmを超える。

【1-2】ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発 1 (インク側からのアプローチ)

ABS基材向けめっきプライマーインク

触媒、バインダー、溶剤から構成されるめっきプライマーインクにナノサイズの粒子を添加したインクで、各組成条件が粘度、めっき反応性、外観、密着性に与える影響を評価した。

実験は、めっきプライマーインクの、触媒濃度、バインダー濃度、溶剤種、ナ

ノ粒子の組成・粒径・添加量などを変更し、ABS 基材を対象に無電解めっきの反応性や密着性を評価した。インクの調整には分散機を用い、バーコータ等で基材に塗布し、所定の条件で乾燥・硬化した。その後、無電解銅めっき液に浸漬し、その反応性を評価した。無電解銅めっきで異常のなかった組成は電気めっきを行い、その密着性を評価した。また、ロール to ロール生産方式に対応可能かどうかは粘度の測定と小型のロール式印刷機である印刷特性試験機での印刷試験によって評価した。

ナノ粒子を添加しないめっきプライマーインクでは無電解銅めっきがパターン通りに析出しないが、触媒濃度を上げることで反応性は改善する。一方、ナノ粒子を所定量添加しためっきプライマーインクでは触媒濃度を上げずとも塗布パターン通りにめっきが析出し、良好な結果が得られた。ただし、一部のナノ粒子と希釈溶剤組み合わせでは、ナノ粒子を添加しても印刷パターン通りのめっき析出が得られないものもあることがわかった。

無電解めっきの反応性が良好なものについては、その後に硫酸銅めっき、半光沢ニッケルめっき、光沢ニッケルめっき、クロムめっきを順に処理し、どの工程で剥離するか、クロムめっきまで到達したものについてはその密着性をピール強度にて評価した。また、一部の実験では、無電解めっき後に硫酸銅めっきにて厚付けを行い、その段階で密着性を評価した。

その結果、一部のインク組成では硫酸銅めっき後に剥離したが、条件を満たした組成のインクはクロムめっきまで到達し、目標値を超える密着性が得られた。密着性が得られたサンプルについては耐久性を評価し、その規格も達成している。

ABS 用めっきプライマーインクにて製作した電気めっきサンプルで外観が低いものについて、その外観不良となる原因を SEM 観察及び元素分析で特定した。電気めっき後の主な外観不良は、めっき面に微少な凸部（いわゆるブツ）が生じているものである。不良原因を調査するため、めっきプライマーインク硬化塗膜の表面を SEM により観察したところ、ナノ粒子の凝集物が観察され、これが電気めっきを施した後もブツとなりめっき外観を低下させている要因の一つと推定された（図 2 参照）。この現象に対して、インク組成面、工程面から対策を施し、電気めっき外観を改善した（図 3 参照）。

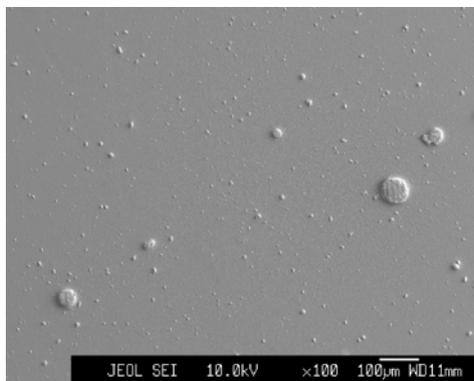


図 2 対策前のインク膜表面

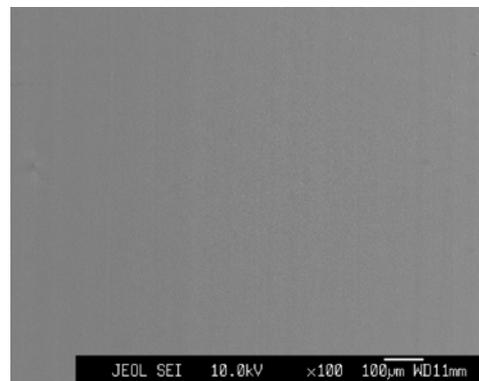


図 3 対策後のインク膜表面

PP(TSOP) 基材向けめっきプライマーインク

PP(TSOP) 基材専用のめっきプライマーインクとして、触媒は ABS 同様とし、バインダーと溶剤の種類を基材向けに改良したもの(トヨタ自動車東日本株式会社と株式会社イオックスが先行開発したもの)を使用し、ABS 同様の評価を行った。その結果、無電解めっき反応性と電気めっき後の密着性は、目標を達成することができた。さらに、PP 専用めっきプライマーインクは乾燥・硬化時間が ABS 用インクに比べて短縮できることも確認した。しかし、PP(TSOP) 基材専用のめっきプライマーインクは固形分濃度が低く、低粘度であるため、ロール to ロール生産方式の対応に課題がある。

上記の検討とは別に、開発した ABS 用めっきプライマーインクを PP 基材に応用することも検討した。この時の課題は、ABS 用めっきプライマーインクの基材への密着であったが、PP 基材表面を前処理する工程を追加することで、無電解めっき反応性と電気めっき後の密着性の目標を達成することができた。また、この手法は、3D形状対応印刷への適応性についても良好であった。

【1-3】ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発 2 (印刷機側からのアプローチ)

小型のロール式印刷機である印刷特性試験機を用い、3D形状対応印刷機で使用する転写ロールに用いるゴム素材の耐性や印刷条件が印刷膜厚に与える影響を調査した。

ゴム素材の耐性は、インクに使用する代表的な溶剤での室温浸漬試験を行い、硬度、寸法、重量、外観の変化を評価した。その結果、検討した素材のうち、2種が候補としてあがり、そのうちの1種が柔軟性をコントロールできることから、その素材を選定した。図4に耐性評価のうちの寸法変化率のデータを、表1に評価結果をまとめた。

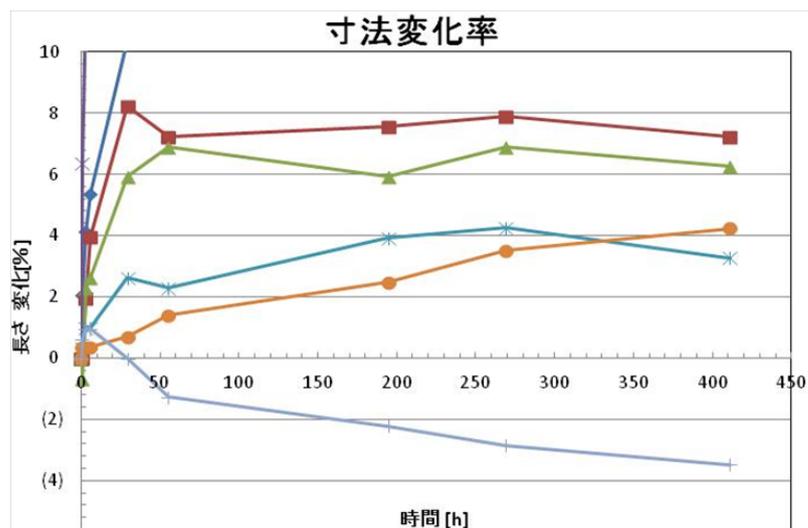


図4 ゴム素材の耐性評価 (一例)

表1 ゴム素材の耐性等評価

	ゴムA	ゴムB	ゴムC	ゴムD	ゴムE	ゴムF	ゴムG
柔軟性	-	-	-	-	△	○	○
耐溶剤	△	×	×	×	○	×	○

上記の結果から、ゴム G を転写ロールの素材として選定したが、印刷回数を増していくと徐々にゴム素材の添加剤がブリードする現象が起こり、その結果、めっきプライマーインクがはじき、均一な製膜が出来ないことがわかった（図5）。

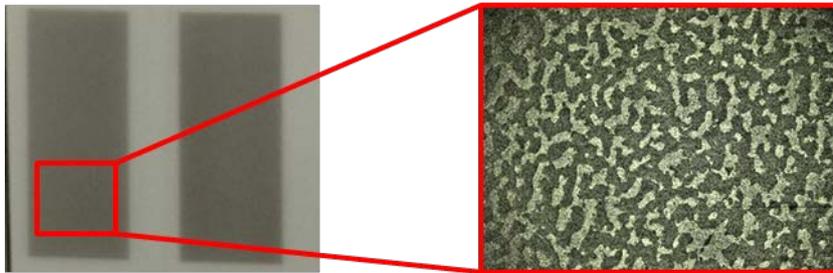


図5 めっきプライマーインク表面の観察結果

この課題の解決と柔軟性の維持ができる新たな構成の転写ロールを開発した。その結果、めっきプライマーのはじきを解消し、良好な無電解めっき反応性とその後の電気めっきにも問題がないことを確認した（図6）。

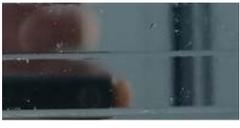
	めっき後外観	めっき反応性	めっき密着性	結果
無電解銅めっき後		○	○	量産浴でめっき反応あり
電解クロムめっき後		—	○	電解クロムめっきまで達成

図6：開発した転写ロール用いた評価結果

印刷条件が印刷膜厚に与える影響を調べるため、小型のロール式印刷機である印刷特性試験機を用い、金属版のセル容積と転写ロールの押し圧が印刷膜厚に及ぼす影響を調べた。

実験には、セル容積の異なる金属ロール版を3種類使用した。これは、いずれも彫刻により製作したもので、一つ一つの凹部はピラミッド形状となっている（図7参照）。また、印刷パターン例も図7に記した。

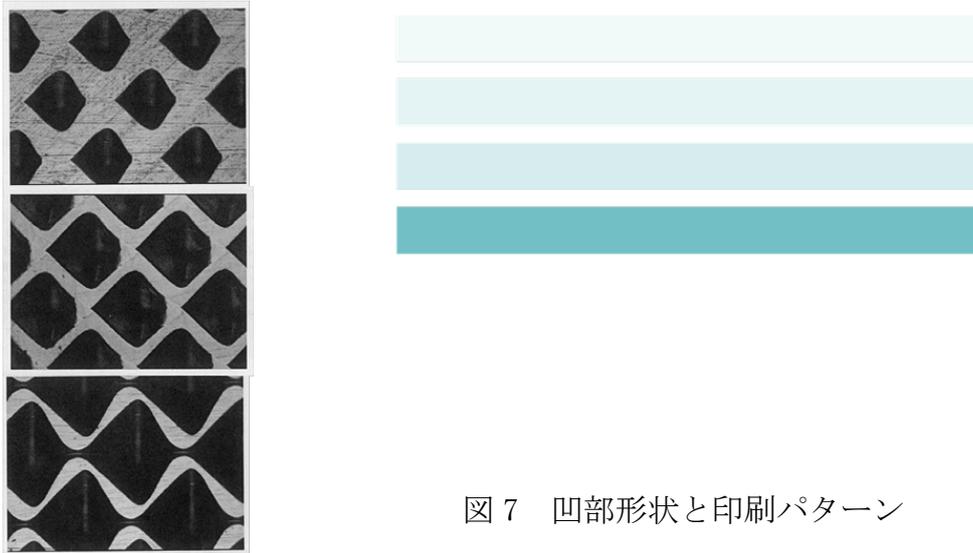


図7 凹部形状と印刷パターン

印刷条件パラメーターは、転写ロールの押し圧を2水準とし、印刷した結果と膜厚計により計測した値を図8に示した。図8より、4つのパターンとも、押し圧が低い方が膜厚が厚く印刷できることを確認できた。

押し圧	50N	200N
外観		
膜厚(相当)	①106nm ②115nm ③126nm ④144nm	①93nm ②96nm ③117nm ④131nm

図8 押し圧をかえた印刷結果

ここで得られた結果ももとに、3D形状対応印刷機で使用する転写ロールの材質・構成を決定し、印刷条件と印刷膜厚の基礎データが得られた。

【1-4】触媒効果の評価

開発しためっきプライマーインクとそのインクを用いた工法の無電解めっき反応性と密着強度が発現するメカニズム解明のため、XPSによる表面分析やTEMによる断面観察及び元素分析、AFMによる表面観察を行った。

ナノ粒子を添加しためっきプライマーインクを塗布、乾燥・硬化したサンプルのXPS分析例を図9に、TEM観察・分析例を図10に、AFM観察例を図11に示した。これらの結果から、無電解めっき反応性と密着強度が発現するメカニズムを推測した。

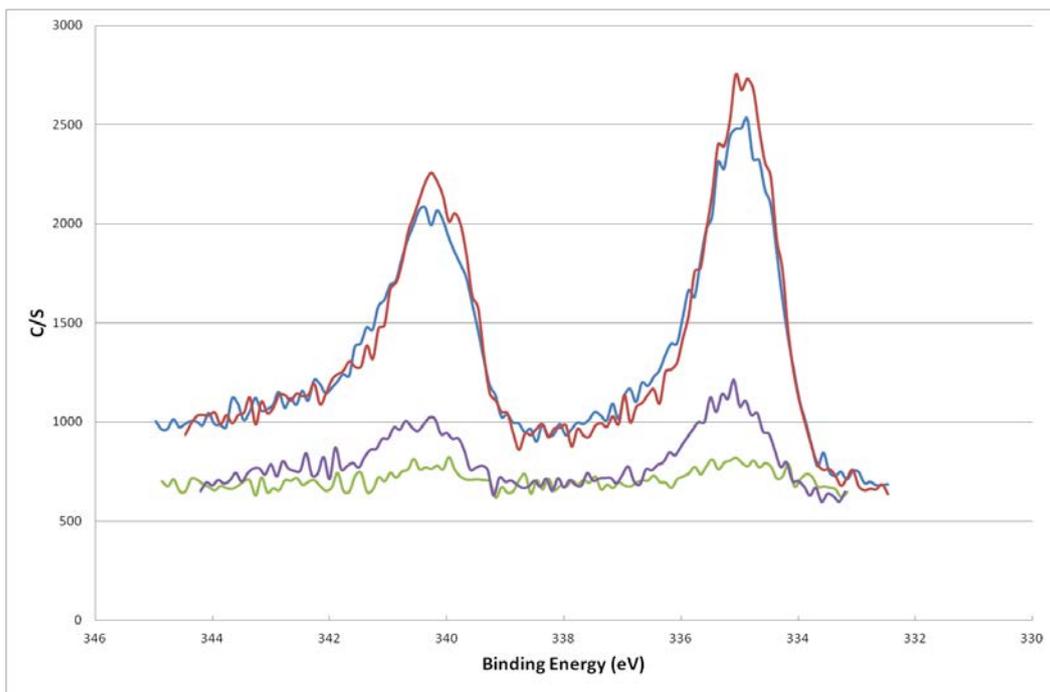


図9 XPS 分析例

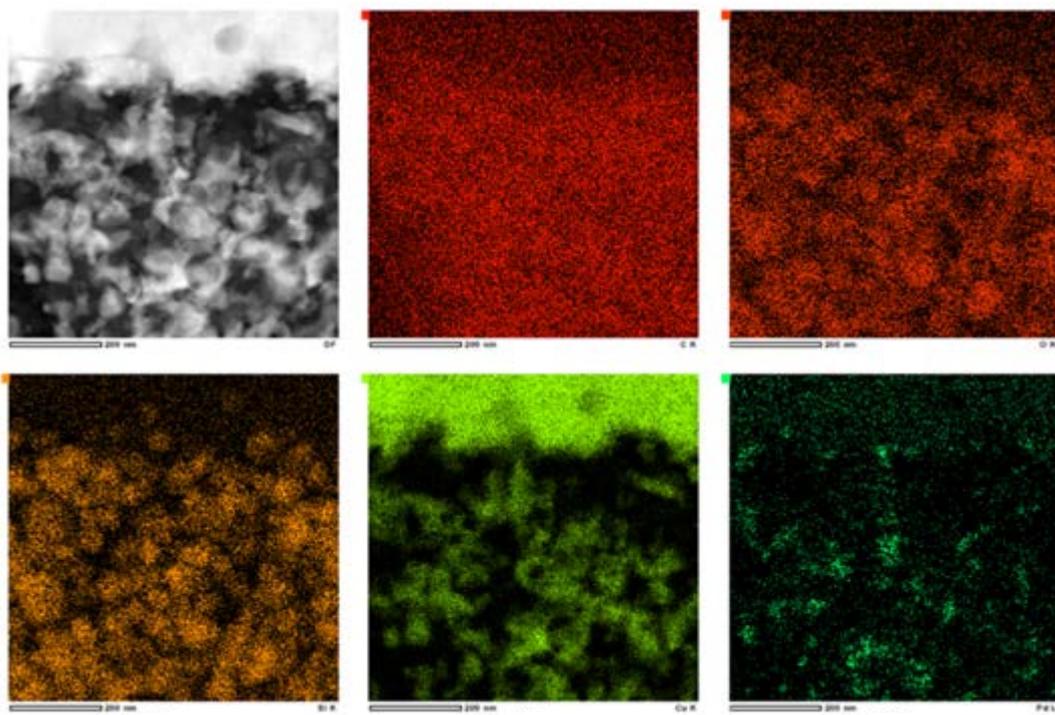


図10 TEM 観察・分析例

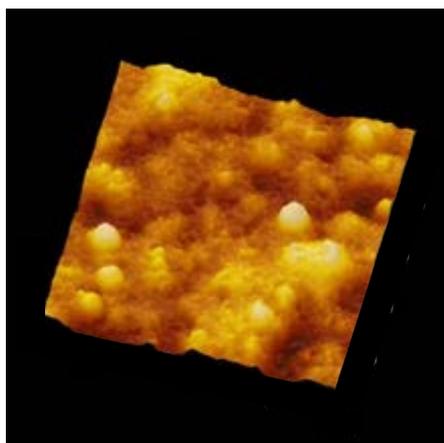


図 11 AFM 観察例

【2】3D形状対応印刷技術の開発

【2-1】見切許容範囲の検討

3D形状対応印刷機において、開発しためっきプライマーインクを使用し、金属ロール版の凹部構造や印刷機の操作条件を変え、見切ライン変化量の見極めを行った。

開発しためっきプライマーインクは一般的なロール to ロール生産方式に使用されるインクに比べ、低粘度である。このインクにあった金属ロール版の凹部の構造を検討し、安定した金属ロール版から転写ロールへの転写を可能とした。その後、見切りラインの変化量を見極めるため、印刷ワーク（図 12 参照）に対しての転写ロールの押し込み量をパラメーターとして、印刷試験を行い、設計位置から実際の印刷位置との変化量を調査した。なお、印刷パターンの変化量は印刷ワークの印刷開始部（0mm）と中間部（100mm）及び印刷完了部（200mm）の3か所で測定を実施した。その結果、押し込み量にかかわらず、設計位置と印刷位置との変化は目標値以内になることがわかったが、印刷開始から100mm時点まで転写ロールの弾性変形の安定に必要なこともわかった。すなわち、長尺の成形品において、現状の印刷機構のみでは、印刷開始から最終部までを目標の精度で印刷することは困難であり、この解決が課題として残った。

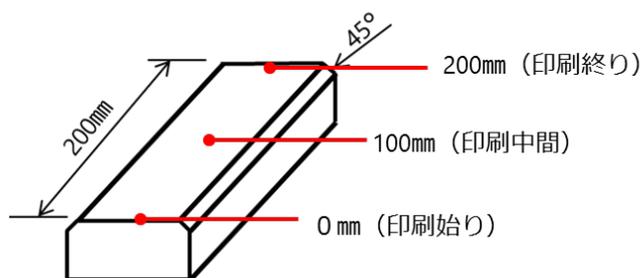


図 12 印刷ワーク

【2-2】立体形状適応性の検討

3D形状対応印刷機において、開発しためっきプライマーインクを使用し、転写ロールの物性や印刷機の操作条件を変え、3D形状成形品における立体形状適応性を検討した。

実験は、【1-3】で選定・開発した転写ロールを用い、【2-1】同様に、転写ロールの印刷ワークへの押し込み量を変えて印刷し、目標値である外側テーパーと内側テーパーへの印刷深さを評価した。外側テーパーでの評価結果を図13に示した。図13より、転写ロールを印刷ワークに対して一定量以上押し込むことにより目標を達成できることがわかった。

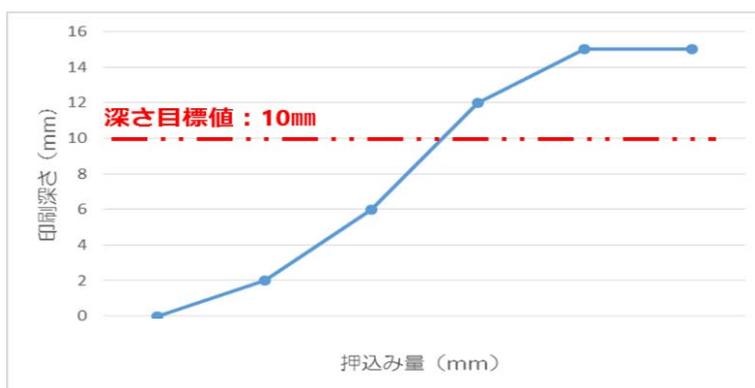


図13 外側テーパーへの押し込み量と印刷深さ

開発した転写ロールを用い、印刷条件を最適化することで外側テーパー部に対する目標値を達成することができた(図14-1参照)。しかし、内側テーパー部(凹部)には転写ロールが入り込まないため目標を達成することができなかった。

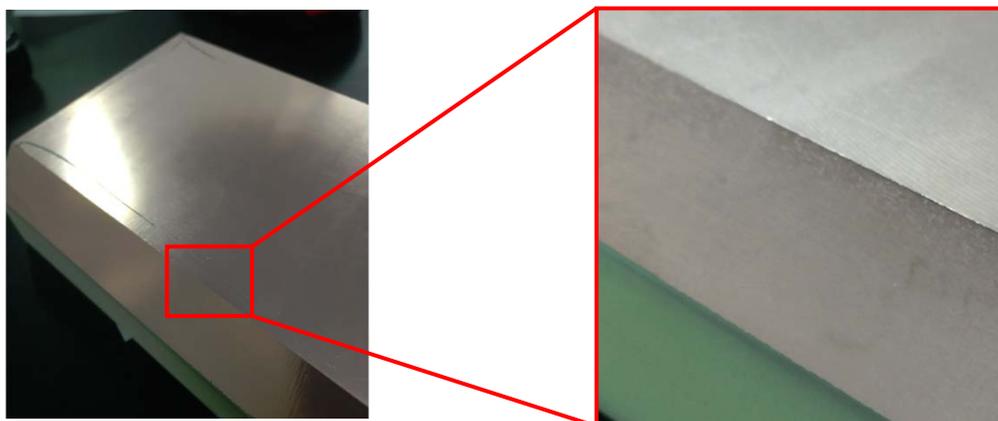


図14-1 3D形状成形品への転写状況

【2-3】めっきプライマーインクの対応検討

3D形状成形品に対して今回開発しためっきプライマーインクを用いて印刷を行い、めっきプライマーインクで均一に印刷ができ、かつ、めっき反応性と密着性も良好な印刷機及び印刷条件の検討を行った。

実験は、開発した転写ロールを使用しABS及びPP(TSOP)基材に対して開発した

めっきプライマーインクを印刷し、所定条件で乾燥・硬化させ、無電解銅めっき液に浸漬しめっきの反応性を評価した。その後、電気めっきを厚付けし目標値であるピール強度 5N/cm 以上が確保できているかを確認した。

その結果、ABS 用めっきプライマーインクを用いた ABS 平板への印刷、無電解めっき反応性、電気めっき後のピール強度いずれも良好な結果が得られた(図 14-2 参照)。



図 14-2 ABS 基材の評価結果

PP (TSOP) 基材に対しても、PP (TSOP) 基材に前処理を施した後に ABS 用めっきプライマーインクを使用することで、均一に塗布が可能で、めっき反応性及び密着性も良好であった。しかし、PP 専用めっきプライマーインクは、低粘度であり 3D 形状対応印刷機での転写性が著しく悪く、且つ、溶剤乾燥が早いため金属ロール版上で乾燥硬化してしまうことから印刷特性が好ましくなかった。

【2-4】量産化技術の検討

3D 形状対応印刷機を用いて、ABS 及び PP (TSOP) 基材への印刷を行うにあたって、印刷条件のばらつきとして、転写ロールの劣化によるワークへの押込み量の変化を取り上げ、転写ロールとワーク間の押込み量を 5 水準変化させ、実験を行った。評価項目として、めっきプライマーインク塗布面と無電解銅めっき面の光沢 (図 15 参照)、および電気めっきを厚付けしたあとのピール強度 (図 16 参照) とした。

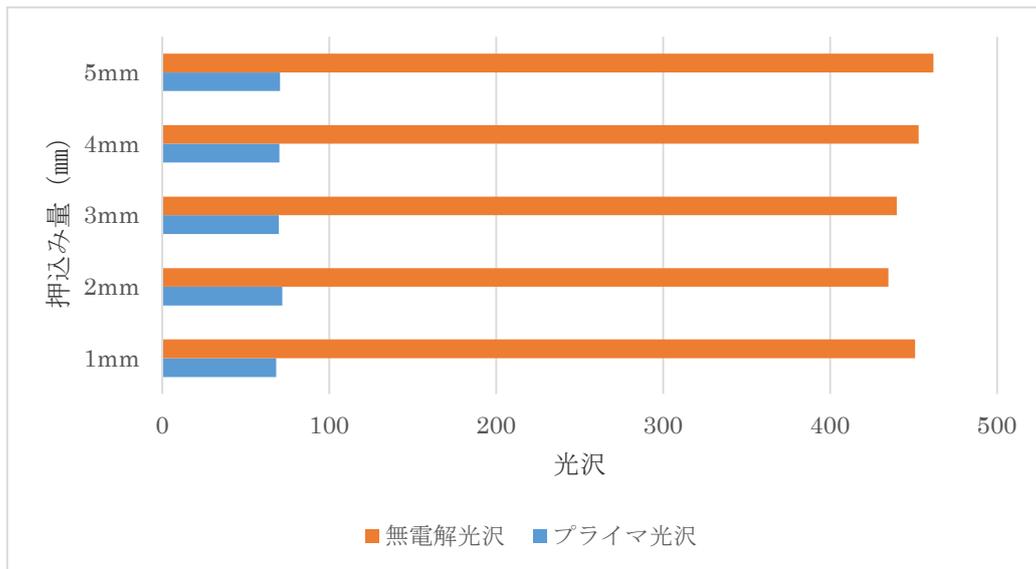


図 15 押込み量による光沢変化

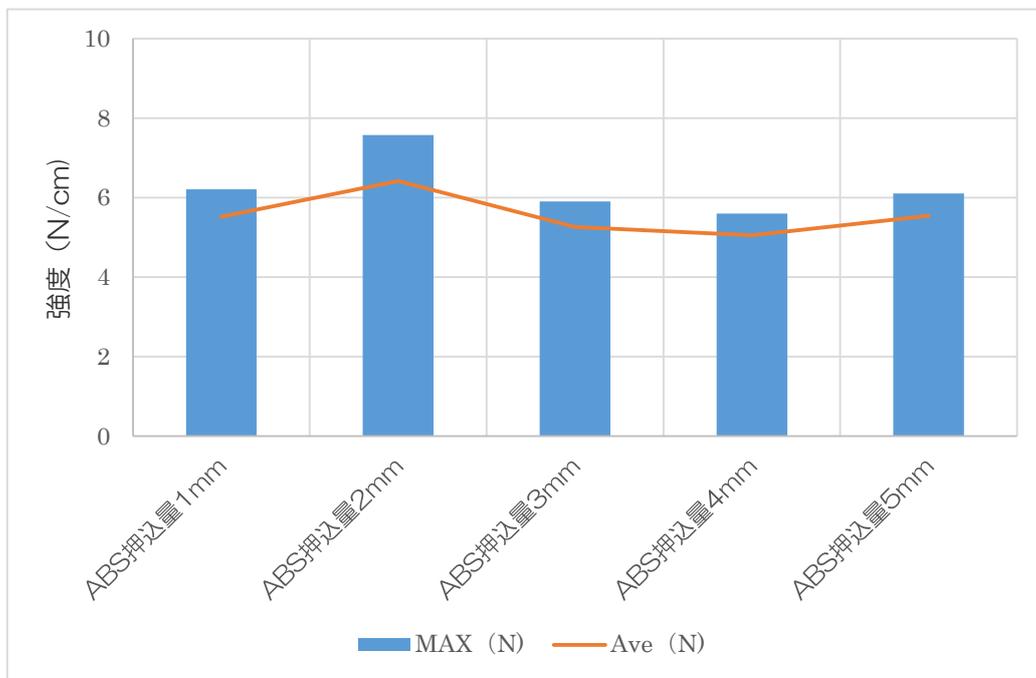


図 16 押込み量によるピール強度

図 15、16 より、今回検討した押込み量の範囲では光沢、ピール強度ともに問題がなく、この範囲であれば良品が得られることがわかった。

【3】無電解めっきの量産技術開発

【3-1】無電解銅めっき

ABS 及び PP(TSOP) 基材に対して、開発しためっきプライマーインクを塗布、乾燥・硬化後、均一に無電解銅めっきが塗布パターン通りに加工できるための前処理工程ならびに無電解銅めっき浴組成とめっき条件を確立した。一例として、前処理工程における処理条件がめっき反応性に与える影響を調べた結果を図 17 に

示した。

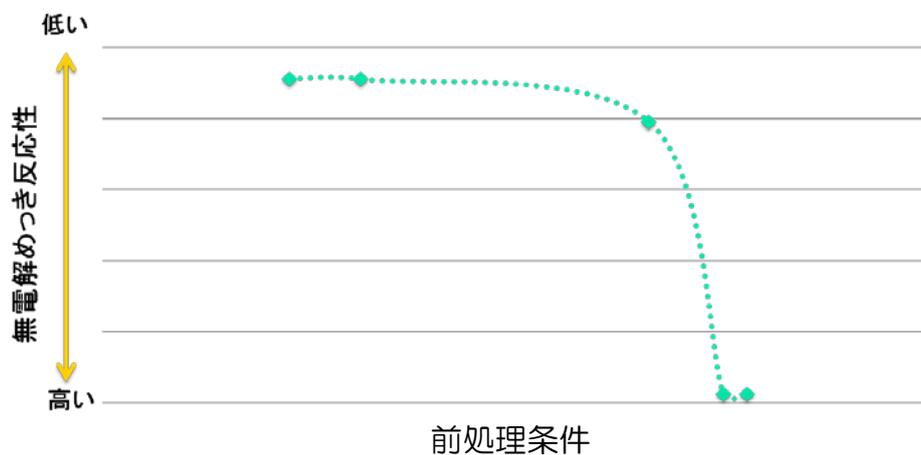


図 17 前処理条件がめっき反応性に与える影響

また、量産時に安定した部分めっき加工が行えるよう、各工程の処理条件等の管理幅を決定した。

【3-2】無電解ニッケルめっき

無電解銅めっきで確立した前処理工程に 1 工程追加することで、一般的な無電解ニッケルめっき処理液で処理可能であることがわかった。

第3章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

【1】ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発

ABS 基材に対して、ロール to ロール生産方式に対応した粘度特性、無電解めっき反応性、めっき密着性、耐久性を満たしためっきプライマーインク組成とその効果を発揮させる工法を開発した。また、このインクは PP (TSOP) 基材に対しても、基材の前処理を施すことで応用できることもわかった。

PP (TSOP) 基材専用のめっきプライマーインクも開発した。このインクはめっき反応性、密着性に問題ないことを確認した。さらに、PP 専用めっきプライマーインクは乾燥・硬化時間を ABS 用インクに比べて短縮が可能であることも確認した。ただし、3D形状対応印刷機への適応性には課題が残った。

めっきプライマーインクの塗布膜厚が厚くなるほど無電解めっき工程での銅の析出反応性が低下するが、その反応性を向上させるのに、ナノ粒子の添加が効果的であることがわかった。電気めっき後の密着性を向上させるには、めっきプライマーインクの組成も重要であるが、無電解めっきの銅が内部に入り込むことが必要で、入りすぎない程度の膜厚コントロールも重要であることを実験や断面観察から明らかとした。この結果、特段の後処理をせずに目標としためっき密着性 5N/cm を超えることを確認した。

また、3D形状対応印刷機で使用する転写ロールについて、ゴム素材の耐性試験や小型のロール式印刷機での印刷試験により、ゴム素材と構成を決定した。

【2】3D形状対応印刷技術の開発

3D形状対応印刷機と開発した転写ロールを用いることで、ABS 基材には開発した ABS 用めっきプライマーインクを、PP (TSOP) 基材には前処理を施した後に ABS 用めっきプライマーインクを使用することで、均一に塗布が可能で、めっき反応性及び密着性も良好であった。PP 専用めっきプライマーインクは、低粘度であり 3D形状対応印刷機での転写性が著しく悪く、且つ、溶剤乾燥が早いため金属ロール版上で乾燥硬化してしまうことから印刷特性が好ましくなかった。

3D形状対応印刷機において、開発しためっきプライマーインクを使用し、金属ロール版の凹部構造や印刷機の操作条件の最適化を図ることで、目標の見切許容範囲を設計見切位置に対して $\pm 0.1\text{mm}$ 以内に抑えることができた。しかし、長尺の成形品では印刷開始部と印刷最終部との展開率が大きく異なるため、現状の印刷機構のみでは、印刷開始から最終部までをこの精度で印刷することは困難であることがわかった。また、開発した柔軟性のある転写ロールを用い、印刷条件を最適化することで、立体形状適応性の目標値である外側テーパー 135° において高さ 10mm まで印刷することができた。しかし、内側テーパー部（凹部）には転写ロールが入り込まないため目標を達成することができなかった。

【3】無電解めっきの量産技術開発

ABS 及び PP (TSOP) 基材に対して、開発しためっきプライマーインクを塗布、乾

燥・硬化後、均一に無電解銅めっきが塗布パターン通りに加工できるための前処理工程ならびに無電解銅めっき浴組成とめっき条件を確立した。また、量産化時に安定した部分めっき加工が行えるよう、各工程の処理条件等の管理幅を決定した。無電解ニッケルめっき処理においても、無電解銅めっきで確立した前処理工程に1工程追加することで、一般的な無電解ニッケルめっき処理液で処理可能であることがわかった。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

今回の研究開発期間でいくつかの課題を残す結果となった。この課題については、ヤマセ電気株式会社を中心に、宮城県産業技術総合センターとトヨタ自動車東日本株式会社とともに解決を図り、事業化につなげる。残された課題を次に記す。

【1】ロール to ロール生産方式対応めっきプライマーインクの開発

- ・ABS 用めっきプライマーインクの硬化時間の短縮

硬化時間が短い(30分以下)各種バインダー樹脂を検討したが、検討した範囲の樹脂では、十分なめっき密着性が得られなかった。今回解明できためっき密着性向上のメカニズムの知見を活用し、同様の効果が期待できて、かつ、硬化時間が短い樹脂を調査・選定・評価する。

- ・PP 専用めっきプライマーインクの改善

インクの乾燥性と粘度を改善し、さらに印刷適性を上げる取り組みが必要である。具体的には、PPインクの溶剤組成を検討し、蒸発速度の遅い溶剤の添加や、適切な量のナノシリカ添加による粘度改善を検討する。

【2】3D形状対応印刷技術の開発

- ・立体形状適応性

特に、内側テーパー(凹部)への転写が今回採用したロール to ロール生産方式の印刷方法では対応が困難であった。パット印刷法など他の生産方式も検討し、凹部への転写印刷を行う。

これまでに、ABS基材については平板や立体形状のテストピースにおいて、自動車メーカーのめっき品質および性能をクリアしている。この結果をもとに、各種展示会において、自動車メーカーの車両企画に提案し、技術の認知を図っていく。その後、製品形状にてめっき品質および性能を達成することで、自動車メーカーの生産車種への採用提案を自動車メーカーの設計に実施し、採用候補アイテムとして検討を狙う。

まずは、現行方法で部分めっきを行っている内装品の置き換え需要をねらいつつ、これまで部分めっきが困難であったデザインや難めっき材への応用が可能であることを強くアピールする。

本研究開発の実施のニーズである「川下自動車メーカーでは工程を簡素化した低コストの部分めっき処理プロセスを開発し、めっきを内外装として採用したい」に応えるべく、自動車部品への応用を先行するが、その後は、家電・OAモバイル機器やサニタリー用品などの民生向けの加飾部品への他用途展開を図っていく。さらには、加飾以外に機能性をねらった用途も調査していく予定である。