

平成20年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「高速・高精細ニッケル厚付け積層めっき技術の開発」

研究開発成果報告書

平成21年3月

委託者 九州経済産業局

委託先 熊本県中小企業団体中央会

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	3
1-2 研究体制	5
1-3 成果概要	7
1-4 当該プロジェクト連絡窓口	7
第2章 平成19年度研究開発	
平成19年度研究開発	8
第3章 平成20年度研究開発	
平成20年度研究開発	10
第4章 研究開発実施内容の総括	
研究開発実施内容の総括	11

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・研究目的

めっき業界においては「電子部品の端子めっき」「装飾めっき」等を中心とした付加価値の低い電解及び無電解めっきの加工は海外へ流出しており、国内ではこのビジネスは成立たなくなってきた。

しかし、MEMS部品を見ると、めっき技術の必要性が見直されており、特に他のデバイスとの融合(例えば圧電体上にめっき技術を用いて構造体を形成する事でマイクロメカをつくる等)、新しい付加価値の創造が期待されていると同時に、生産性向上・低コスト化を実現する多種多様なめっき技術の開発が必要となっている。

このような状況下において、認定企業である西日本エレクトロニクス工業株式会社においては、川下メーカーよりオンデマンド印刷機用ラインヘッドの低コスト化を目的とした三次元構造体の開発依頼を受けた。

このため、従来の切削加工技術、接着技術では実現不可能な基板上に直接、素子や構造体を形成してデバイスの機能を付加する「高速・高精細ニッケル厚付けめっき技術の開発」を川下メーカーのアドバイスを受けながら取り組むこととなった。

これによって、今後、更なる小型化、高密度化、高集積化が求められる情報家電デバイス等の将来の需要に対応する技術を確立する。

(2) 高度化目標

中小企業の特定制品のづくり基盤技術の高度化に関する指針

(十七)めっきに係る技術

カ. その他性能(膜厚精度、膜硬度、高集積化、高積層化、高平滑化)の向上

(3) 技術目標

①平成19年度技術目標

高速・高精細ニッケル厚付けめっき技術を確立し、インクジェットラインヘッドのインク流路を作製する技術を確立する。

現状	開発目標
SUS: 30~100 μ 厚	Ni : 80~150 μ 厚
孔径: 100 μ	孔径: 100 μ
層数: 9層	層数: 3~6層
総厚: max500 μ	総厚: max500 μ
接着: 熱拡散接	接着: 接着レス

現在、SUS 流路は、9層の熱拡散接合で製作しているが、エッチング形状が不均一で、積層ズレ及び Lap によるダレ(熱拡散結合による表面荒れ)、加工コスト等の課題が多い。

このため、高速・高精細ニッケル厚付けめっき技術を確立し、流路部分を滑らかな形状で、積層ズレ(現状 50 μ ⇒ 5 μ)及び Lap ダレ(現状 20 μ ⇒ 2 μ)を低減し、低コスト化(現状の 1/3)を図る。

②平成20年度技術目標

ニッケル厚付け積層めっきの表面に腐食防止処理や接着材との相性を改善する処理等、表面処理技術の研究開発を行い、インクジェットヘッドデバイスの実用化開発やマイクロ金型製作への応用開発を行う。又、電気泳動メカニズム解析を行い、技術の裏付けを行う。

i) インクジェットヘッドデバイスの実用化開発

平成19年度に開発したインクジェットヘッドのインク流路部品の事業化を実現すると共に平成20年度は低コスト化、高アスペクト化、大基板化等、スケールのUPを図り、量産化技術の確立を行う。また、めっきの品質安定化、効率化を図る為、電気泳動メカニズム解析を行い、電気化学的見地からめっき組成、条件の最適化を実施する。

ii) 表面処理技術の確立

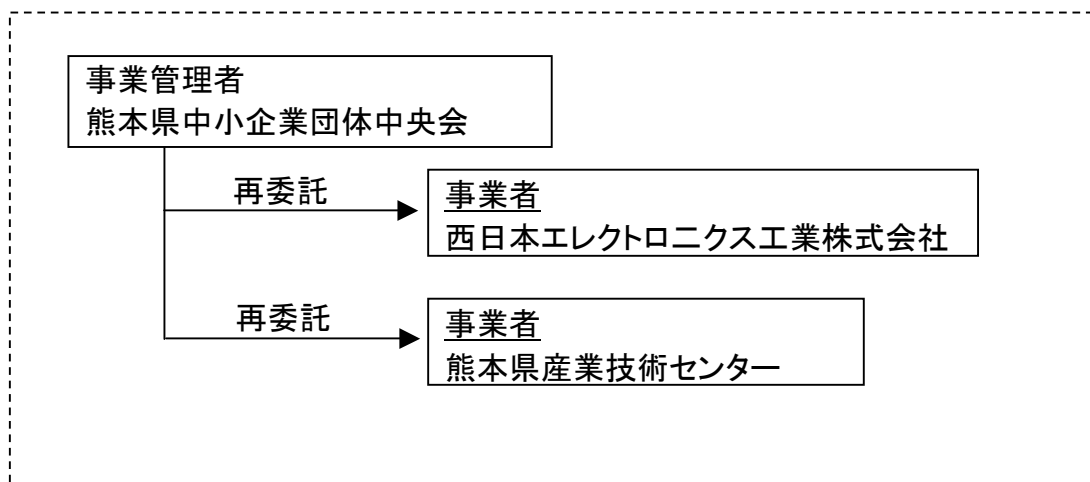
インクジェットヘッドのインク多様化に対応する為の表面処理技術を付加する。マイクロ金型への応用に必要な離型性を有する表面処理技術の研究開発に新規に取り組みを開始する。

平成20年度の技術開発目標

		19年度目標	20年度目標
基板サイズ	mm	75～□100	□100～150
素子数	個	1600～4800	4800～9600
素子サイズ (μm)	幅	100	20～100
	長さ	25000	25000
	厚み	500	500
パターン精度		±3%	±3%以下
めっき層数		積層	積層
めっきレート	$\mu\text{m/hr}$	80	80以上
アスペクト比		5	5
応力(反り/全長)		0.0007	0.0007以下
表面処理		無し	有り

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(全体)

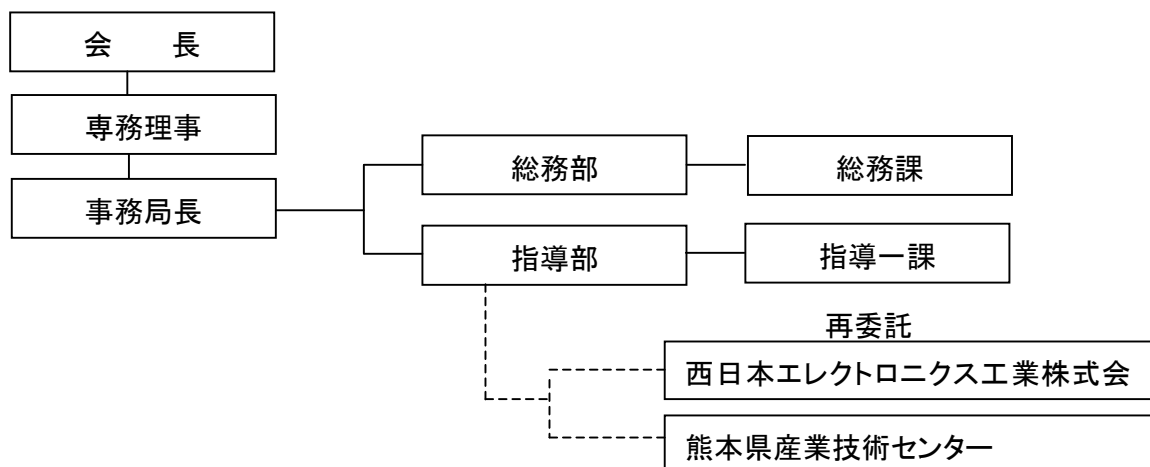


(2) 研究実施場所

- ①西日本エレクトロニクス工業株式会社 熊本工場
〒862-0937 熊本市長嶺西1丁目8番34号
- ②西日本エレクトロニクス工業株式会社 合志工場
〒861-1113 熊本県合志市栄3415番30号
- ③熊本県産業技術センター
〒862-0901 熊本県熊本市東町3-11-38

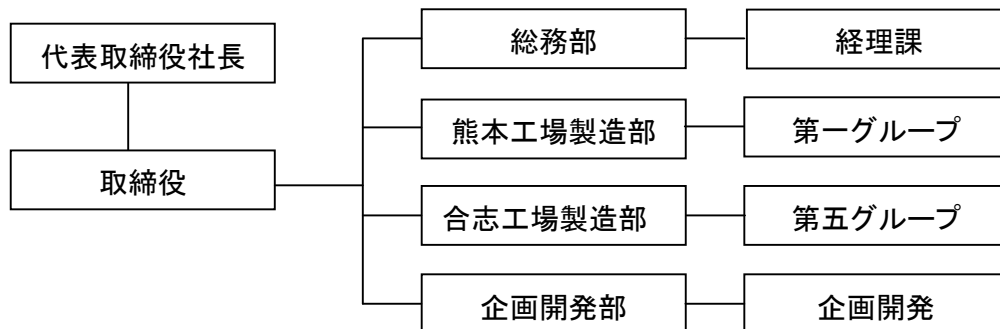
(3) 管理体制

- ①事業管理者
[熊本県中小企業団体中央会]

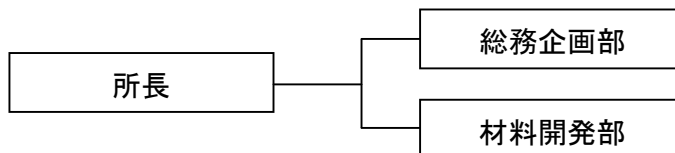


②(再委託先)

[西日本エレクトロニクス工業株式会社]



[熊本県産業技術センター]



(4)研究者・協力者氏名

	氏名	所属機関名
総括研究代表者(PL)	後藤純正	西日本エレクトロニクス工業株式会社
副総括研究代表者(SL)	笠置保裕	
研究者	村山禎一	
	山部雄基	
	西山文尚	
	永田正典	熊本県産業技術センター材料開発部
協力者	渡邊 修	パナソニックコミュニケーションズ株式会社 インクジェットデバイスプロジェクトチームリーダー
	富田健二	アドバイザー 元パナソニックコミュニケーションズ株式会社 インクジェットデバイスプロジェクトチームリーダー

1-3 成果概要

19年度、20年度の研究開発の取組みとして以下の7つのテーマを掲げて研究開発を実施してきた。又、実用化検討として川下製造業者より開発依頼を受けてインクジェットヘッドデバイスの三次元構造体の製作検討を開始し、事業化に向けてデバイスの低コスト化、品質の安定化に取り組んできた。概要は以下の通り

- ・ 19年度、20年度の具体的な取組み内容（テーマ）
 1. 高精細パターンの形成（19年度テーマ）
 2. めっきの積層化（19、20年度テーマ）
 3. めっきの超高速化（19、20年度テーマ）
 4. 積層めっき応力の制御（低減と緩和）（19、20年度テーマ）
 5. 積層めっきの均質化（19、20年度テーマ）
 6. 表面処理による機能性付与（20年度テーマ）
 7. 電気泳動メカニズム解析（20年度テーマ）
- ・ インクジェットヘッドデバイス部品の試作状況

20年度事業化を目標に推進してきたが、残課題があり、対策中。21年度の事業化に向けてデバイスの最終評価及び設備、体制の整備を推進している。

取組みテーマの目標に対する成果は以下の通り

取組みテーマ	達成目標	成果
高精細パターンの形成	①めっき時に浮き、剥離なき事 ②寸法精度 ±3%以下	OK(安定化設計) ±3%以下確認
めっきの積層化	①めっき間に剥離なき事 ②構造欠陥が無い事	OK(前処理最適化) OK(XRFで解析)
めっきの超高速化	①めっきレート 80 μm/hr 以上	OK、但し、この条件で デバイス試作は課題有
積層めっき応力の制御 (低減と緩和)	①基板内での反り 反り/全長で0.0007 以下	OK、50mm 全長で 35 μm 以下を達成
積層めっきの均質化	①めっきの均一性 寸法精度、反りの目標達成	OK、6 基板治具で 目標達成
表面処理による機能性 付与	①材料の選定(耐酸、耐溶剤) ②離型処理膜の選定	OK(常温、500hr) PTFE 共析めっき選定
電気泳動メカニズム解析	電気化学的に技術メカニズムを 解析し、裏付けを取る	学会等を通じて技術成 果報告を実施予定

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

(1) 事業管理者

熊本県中小企業団体中央会 指導部指導一課 専門指導員 中村栄孝

〒860-0801 熊本県熊本市安政町3番13号(熊本県商工会館7F)

電話:096-325-3255 FAX:096-325-6949 E-MAIL nakamura@kumachu.or.jp

第2章 平成19年度研究開発

(1) インク流路の課題と目標

高速・高精細ニッケル厚付けめっき技術確立し、インクジェットラインヘッドのインク流路を作製する技術確立した。

従来の SUS 流路は、9層の熱拡散接合で製作していたが、エッチング形状が不均一で、積層ズレ及び Lap によるダレ(熱拡散結合による表面荒れ)によって、インク吐出方向の曲がりやノズル/圧力室とのズレ(歩留りの低下)等の課題、加工コスト等の課題が多かった。このため、高速・高精細ニッケル厚付けめっき技術確立し、流路部分を滑らかな形状で、積層ズレ(現状 $50\mu \Rightarrow 5\mu$)及び Lap ダレ(現状 $20\mu \Rightarrow 2\mu$)を低減し、低コスト化(現状の1/3)に係る技術開発を実施した。

平成19年度技術目標値

基盤サイズ	100mm × 100mm
素子数	4800
素子サイズ	幅 100 μ m 長さ 25000 μ m 厚み 500 μ m
パターン精度	±3%
めっき層	積層
めっきレート	80 μ m/hr
アスペクト比(厚み/パターン幅)	5
応力(反り/全長)	0.0007

(2) 研究開発実施内容

本研究開発における目標値、目標達成の為に具体的取組み項目及び研究開発実施内容について以下に記述する。尚、研究開発においては川下製造業者より開発依頼を受けた内容を基本に三次元超微細形状構造体(素子)の目標値を設定した。19年度の目標値はインクジェットヘッドのインク流路部品を開発する上で必要な項目であり、開発推進中の実力値との比較を実施している。又、20年度の目標値は19年度の技術開発をベースにMEMS部品、マイクロ金型への応用展開を行う上での必要な目標値を設定した。

表 1 研究開発の目標値

		現状	19年度目標	比率	20年度目標
基板サイズ	mm	52 X 75	100 X 100	2.5	150 X 150
素子数	個	1600	4800	3	9600
素子サイズ (μm)	幅	115	100	-	20
	長さ	1200	25000		25000
	厚み	150	500		500
パターン精度		$\pm 5\%$	$\pm 3\%$		$\pm 3\%$ 以下
めっき層数		単層	積層		積層
めっきレート	μm	60	80	1.3	80以上
アスペクト比		1.3	5	3.8	5
応力(反り/全長)		0.0014	0.0007	2.0	0.0007以下
表面処理		無し	無し	-	有り

上記、目標達成を行う為、以下の5つの項目を研究開発実施内容(テーマ)として挙げて熊本県産業技術センターと共同で課題設定を行い、解決の為の取組みを実施した。尚、具体的な実験においては川下製造業者から科学的手法として安定化設計手法の活用、指導を受け、課題解決の効率化を図った。又、熊本県産業技術センターへは電気化学メカニズムの解析、X線回折等を通して技術的な裏付けを行うと共に要素技術の蓄積を実施した。

具体的な取組み内容(テーマ)

1. 高精細パターンの形成
2. めっきの積層化
3. めっきの超高速化
4. 積層めっき応力の制御(低減と緩和)
5. 積層めっきの均質化

第3章 平成20年度研究開発

①インクジェットデバイスの実用化開発

20年度においては、19年度での研究成果をベースにインクジェットヘッドのインク流路の実用化開発に取り組んだ。すなわち低コスト化を図るための大面積化およびめっきの均一性向上の技術確立を行なう。

②表面処理技術の確立

インクジェットのインク多様化に対応するためのインク流路内部の表面処理技術の確立を行い、新たな機能特性の付与を実施する。また一方、新規展開としてマイクロ金型への応用に必要な離型性を有する表面処理技術の研究開発に取り組む。

表6-1 20年度技術開発目標

項目	19年度目標	20年度目標
基板サイズ (mm)	75~100	100以上
膜厚 (μm)	500	500
パターン精度	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$ 以下
めっき層数	積層	積層
応力 (列/全長)	0.0007	0.0007以下
表面処理	無し	有り

具体的な取り組み内容

3-2 めっきの均一性および大面積化

- 1) 基板内・厚み方向の特性分布を前処理、めっき液組成、基板治具について安定化手法で得られた過去の知見に基づいて最適化を行う。
- 2) めっき治具、および設備（液流、電流分布、遮蔽板等）の検討を行なう。
- 3) 経時安定性を確保するため、各めっき薬品の濃度を規定する。また、めっきによる消費に応じためっき薬品の添加方法を規定する。

3-3 表面処理による機能性付与

- 1) インクジェットヘッド流路内壁への耐インク処理およびマイクロ金型への離型性の付与を目的として、めっき技術を用いたウェット工法によって機能を形成する研究開発を行なう。
- 2) 溶剤、耐インク耐性のあるめっき可能材料（金属、めっき、樹脂等）の選定
- 3) フッ素樹脂含有複合めっき等、撥水性を付与するめっき材料の検討

3-4 電気泳動メカニズム解析

めっき浴中に存在する金属イオン、添加剤等の影響を実めっき状態と電気泳動解析を行い、めっき液の開発、組成の最適化、液管理方法について技術的裏付けを明確にする。

第4章 研究開発実施内容の総括

研究開発実施内容の総括

19年度、20年度の研究開発の取組みとして以下の5つのテーマを掲げて研究開発を実施してきた。又、実用化検討として川下製造業者より開発依頼を受けてインクジェットヘッドデバイスの圧力室の製作検討を開始し、事業化に向けてデバイスの低コスト化、品質の安定化に取り組んできた。19年度、20年度の具体的な取組と目標に対する成果を以下に示す。

- ・ 19年度、20年度の具体的な取組み内容（テーマ）
 1. 高精細パターンの形成（19年度テーマ）
 2. めっきの積層化（19、20年度テーマ）
 3. めっきの超高速化（19、20年度テーマ）
 4. 積層めっき応力の制御（低減と緩和）（19、20年度テーマ）
 5. 積層めっきの均質化（19、20年度テーマ）
 6. 表面処理による機能性付与（20年度テーマ）
 7. 電気泳動メカニズム解析（20年度テーマ）
- ・ インクジェットヘッドデバイス部品の試作状況

テーマの推進にあたっては開発進捗会議の定期開催、技術検討 MTG の開催、関連部門、協力者と連携を図り、実行した。各テーマの目標に対する成果は以下の通り

取組みテーマ	達成目標	成果
高精細パターンの形成	①めっき時に浮き、剥離なき事 ②寸法精度 ±3%以下	OK(安定化設計) ±3%以下確認
めっきの積層化	①めっき間に剥離なき事 ②構造欠陥が無い事	OK(前処理最適化) OK(XRFで解析)
めっきの超高速化	①めっきレート 80 μm/hr 以上	OK、但し、この条件で デバイス試作は課題有
積層めっき応力の制御 (低減と緩和)	①基板内での反り 反り/全長で 0.0007 以下	OK、50mm 全長で 35 μm 以下を達成
積層めっきの均質化	①めっきの均一性 寸法精度、反りの目標達成	OK、6 基板治具で 目標達成
表面処理による機能性 付与	①材料の選定(耐酸、耐溶剤) ②離型処理膜の選定	OK(常温、500hr) PTFE 共析めっき選定
電気泳動メカニズム解析	電気化学的に技術メカニズムを 解析し、裏付けを取る	学会等を通じて技術成 果報告を実施予定

高精細パターンの形成の中では露光条件、現像条件の最適化を安定化設計手法を用いて実施。露光条件と現像条件はトレードオフの関係にあり、品質を確保するには条件の最適化が重要であった。特に露光条件は長くすると精度が悪くなるが、現像による DFR 残渣は良好な結果が得られるといったように相反する現象を最も制御し易い因子にて行う必要がある。複数の工程、条件が関与するフォトリソ工程の制御は長年の技能の蓄積と経験から導き出されているが、条件の最適化をデータの『見える化』を実施する事で効率的に導

き出す事ができた。高精細パターンの形状はテーパ角を持つ事が分かっており、露光時の光の減衰、マスクとの距離で形状が決定される。20年度の実験ではレジスト厚みを280 μm (ドライフィルム3層)とし、 $\phi 100$ の基板で新規マスクを設計し、露光条件、現像条件を最適化して実験を行った。めっき後のテーパ角は当初の予想(約10~15%)に反して非常に小さいテーパ(5.6%)で試作する事が出来た。今後、テーパ角を制御する条件、因子を検討すると共にレジスト残渣、硬化、除去のプロセスに至るまで、量産化に向けた技術の確立を継続して実施していきたい。

めっきの積層化においてはめっきの前処理の状態が密着性に大きく関与している。特にめっき厚みが厚くなるとパターン形成を行った基板上では電流密度の分布、形状による電流集中によりめっきの性状バラツキが大きくなる。研削及び電解研磨処理によって平坦化処理を行うと同時に加工による表面酸化膜が形成される。この酸化膜は積層時の密着性への悪影響と気泡の発生を促進させ、ピット等の形状不良を誘発する。従って、加工処理後とめっき前処理後の表面状態を解析(オージェ電子分析等)し、表面状態の安定化を図る事が重要である。又、内部欠陥についてはXRFによる解析が有効であり、今回の試作品の評価で解析の有効性を確認できた。今後、3次元構造体の詳細形状(深さ方向)の測定等、DFRパターンとめっきの性状について形状解析を行い、DFR形状精度向上を含めてめっきの積層数やめっきの条件を検討し、要求される形状を実現させていく。

積層めっきの応力制御については単層で安定化設計手法を用いて影響のある因子を抽出し、最適化を図った。特に電流密度、光沢剤の量が応力に影響を与えている事は過去の知見からも明らかであったが、安定化設計手法で再確認を行うと共に制御についてめっきによる経時変化についてもデータを確認した。今回の研究開発の難しい部分は川下製業者から基板が支給され、その基板上に厚付けのニッケルめっきを形成し、基板が保有している応力を含めて変化を制御する事である。今迄の評価では基板を含めた反りを変化量としてめっきの応力を計算していたが、基板の剛性、表面状態によりめっきの質も変化し、反りが大きく変わる事より正確な評価が出来難いという問題があった。つまり、ニッケルめっき自体の応力を測定する方法を構築し、めっきの安定性を直接、測定する手段が必要であった。今回の研究開発ではニッケルの(111)、(200)面の格子定数を測定し、理論値の差より応力状態が引張側にあるのか圧縮側にあるのか、その量はどのくらいなのかを基板上で直接測定する事より、めっきの応力制御を行うことを検討している。又、硬度も同時に変化をしており、硬度と応力を制御する為、20年度はCoを添加したNi-Co合金めっきを検討し、両者を満足する結果が得られた。実用性に関してもめっき液の安定性、制御性等、量産化に向けて問題が無い事を確認した。今後、MEMS部品、マイクロ金型への応用展開をしていく上でも基材の表面状態からくるエピタキシャル成長時の初期成長膜、厚膜時の結晶構造等、詳細に解析を行い、応力の制御が必要になると思われる。更にマイクロ金型形成では硬度のコントロールも必要になると考えられる。

高速化、均質化については20年度にニッケルシード付シリコン基板を用いてめっき液の金属濃度、電流密度、極間距離、攪拌の影響等の条件を最適化し、膜厚分布を測定する事でめっき中の電流分布を推定し、高速化、均質化に影響する条件を整理した。高速化をと均質化に関しては相反する条件でもあり、特に電流が集中する部分ではバリの発生等、めっき治具の構造も工夫が必要である。均質化に関しては極間距離を小さく(基板短尺/極間=1.88)、基板ホルダーに基板と垂直に遮蔽板(クリアランスなし)をつけ、めっき液を循環ポンプと攪拌することにより、ニッケルめっき膜厚分布(基板

表面の電流密度分布)を改善できることを示した。

マイクロ金型への応用や耐酸、溶剤に対する信頼性を上げる為、Ni めっき皮膜上に機能性を付与する実験を中心に20年度から取組みを開始した。金属材料ではNi-P 無電解めっきで膜厚を厚く(6 μ m以上)する事で優れた耐性を示す事が確認された。又、樹脂めっきではピンホールの影響を受ける為、膜厚は20 μ m以上、必要である事が分かった。Ni めっきの皮膜保護に関しては処理コストの面を考えるとめっき法が非常に有効であるが、素材とのイオン化傾向、密着性、ピンホールの排除が必要であると同時に耐薬品性に優れた金属のめっきは種類、物性に制約が多い事より、今後も材料の選択、めっき条件の最適化が必要になる。一般的に耐食性の高い金属は金、銀を除くと非常に硬く、脆い金属が多い事より、クラック等の対策を含めて合金化した際の皮膜物性の確保が必要になると思われる。次に離型性の検討として撥水性を評価指標にして PTFE 含有めっきの検討を行った。複合めっき皮膜中の微粒子の濃度の選定とめっき液中での分散状態が善し悪しを左右しており、性能と膜中への微粒子の分散状態が関与している事が分かった。

今回の研究開発で基本的な現象の確認とその解析手段、条件の最適化を推進してきた。特にメカニズムの解析については熊本県産業技術センターの協力を得ながら、手法とその定量化を推進し、幾つかの事象についてめっきの経験と勘で行ってきた事象が明確になりつつあると思われる。

研究開発の成果として川下製造業者とも連携して実デバイスの試作と課題抽出を同時並行して実施してきた。デバイスに求められる品質はめっき皮膜特性以外の条件、特性が必要であり、川下製造業者と共同で課題の共有化を行い、事業化に向けて開発をスタートした。20年度には一部の部品から事業化の予定であったが、幾つかの課題取組みに時間を要し、21年度にずれ込む予定である。今後、事業化を加速する為には実デバイスの試作を繰り返し行い、品質の安定化、めっき液の管理方法、フォトリソ条件の改善等を行い、デバイスの実現に向けて推進していく。