

平成31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

「ドライ・ウェット複合めっきプロセスによる

IoT制御用小型RFIDタグの開発」

研究開発成果等報告書

令和2年3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人さいたま市産業創造財団

目次

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 -
1-1-1 研究開発の背景.....	- 1 -
1-1-2 研究目的.....	- 1 -
1-1-3 研究目標.....	- 2 -
1-2 研究体制.....	- 4 -
1-2-1 研究組織.....	- 4 -
1-2-2 管理体制.....	- 7 -
1-3 成果概要.....	- 9 -
1-3-1 成果概要.....	- 9 -
1-4 当該研究開発の連絡窓口.....	- 11 -
1-4-1 研究実施機関.....	- 11 -
1-4-2 事業管理機関.....	- 11 -
第2章 本論.....	- 12 -
2-1 高度化目標.....	- 12 -
2-1-1 高度化目標.....	- 12 -
2-2 【① めっき法を用いた磁性膜形成】.....	- 13 -
2-2-1 【①-1 低真空スパッタ条件の検討】.....	- 13 -
2-2-2 【①-2 磁性めっき膜の磁気特性の改良】.....	- 14 -
2-2-3 【①-3 磁性分散めっき膜による磁気特性の改良】.....	- 17 -

2-3 【②めっき法を用いた銅めっきアンテナパターン形成】	- 20 -
2-3-1 【②-1 銅配線アンテナのめっき法の検討】	- 20 -
2-4 【③ドライ・ウエット複合めっきプロセスによるRFID タグ製作の設計】	- 21 -
2-4-1 【③-1 RFID シミュレーション】	- 21 -
2-4-2 【③-2 RFID タグの性能評価】	- 23 -
2-4-3 【③-3 実用化時のコスト算出、事業化ステップへの課題抽出】	- 26 -
運営委員会等実施状況.....	- 27 -
最終章.....	- 28 -
全体総括.....	- 28 -

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

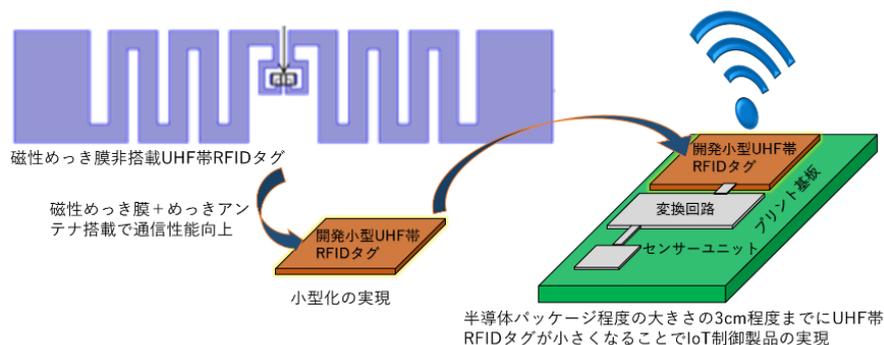
1-1-1 研究開発の背景

ドライ・ウエット複合めっきプロセスを用い、高周波数帯域の磁気特性に優れた磁性めっき膜の平滑樹脂面上への成膜を可能にすることで、小型化された UHF（900 MHz 帯の電磁波）周波数帯域のパッシブ型 RFID（Radio Frequency Identifier）タグの作製を行う。

離れた所から広範囲で、個体情報との通信を行う特長を持つ「UHF 帯 RFID」の活用は、困難とされていた個体識別システムが開発され、また国内電波規制が緩和されるに連れ、様々なシーンでの利用が始まっている。特に物流や製造現場においては、製品に UHF 帯 RFID タグを取り付けることで、多くの製品情報を一括で読み取ることが出来るようになり、在庫や工程管理の効率化が行われるようになってきている。また、これら製造工程管理の効率化といった従前からの用途に加えて、有線で管理されていたセンサー情報の取得を、無線で管理する制御システムが自動車や建築分野で提案されてきている。

RFID タグの中身をみるとタグサイズは、タグを構成する中で最も大きなアンテナの大きさによって決められている。HF 帯 RFID タグ（13.56 MHz の電磁波を情報伝達に利用）に較べて、UHF 帯 RFID タグは、原理的にアンテナの小型化が可能であるものの、現在の RFID タグは、金属などの導電体に置いたときには、電磁波干渉が発生して、読取精度の低下や場合によっては全く通信ができないといった事象が発生する。このため導電体設置した場合で、数メートルの通信距離を確保するための RFID タグの大きさは、数センチと大きく、また厚みも数センチあるために数十グラムの重さを持つモールドタグが使用されている。モールドタグは、潜在市場はあるものの、その大きさと重さ、そして RFID タグの中でも高価格帯に位置しているため、開拓は不十分であった。

アンテナサイズを大きくする他に、アンテナサイズが小さなまま性能を高める手段には、RFID タグへの磁性膜の搭載がある。既に通信距離が数 10 cm 程度の短い HF 帯 RFID タグには磁性膜として「磁気シート」が搭載されている。しかしながら、HF 帯 RFID の磁気シートでは UHF 帯域をカバーすることが難しく、磁性膜の UHF 帯 RFID タグへの搭載は見送られてきた。



1-1-2 研究目的

本研究開発では、IoT 制御が加速する自動車や建築産業等におけるニーズに応えるために、ハードディスク用磁気ヘッドの搭載実績がある『磁性めっき膜』を RFID タグの通信性能を伸ばす材料として活用する。このために、RFID タグを構成する高性能磁性めっき膜とめっき小型アンテナパターンを形成するための「ドライ・ウエット複合めっきプロセス」として組み立て、各めっき膜積層により通信性能を向上させた小型 UHF 帯 RFID タグ（パッシブ型）の開発を目的とした。

1-1-3 研究目標

(七) 表面処理に係る技術に関する事項

1 表面処理に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

イ. 形成プロセスの微細化・精密化

UHF 帯 RFID タグを小型化するためには、良好な高周波数帯域の特性を有する磁性めっき膜を平滑な樹脂基板上に成膜する必要がある。本研究開発の「ドライ・ウエット複合めっきプロセス」は、従来標準の粗化プロセスとは異なる低真空スパッタの新しいドライプロセスを採用することで、樹脂面の平滑性を損なわせることなく、難めっき材の樹脂面をめっき可能面へと改質させる。低真空スパッタ装置はここ数年の間に実用化が始まり、現在は自動車用ヘッドライトのリフレクター層の成膜に用いられている。事前検討では、幾つかの樹脂やアルミ素材への金属および酸化物の直接成膜を実施することで、十分な密着性を有する表面粗化処理の代替として低真空スパッタの可能性を見出してきた。

ドライ・ウエット複合めっきプロセスは、現行めっきプロセスの腐食性溶液を用いた被めっき面の粗化処理を省略でき、環境負荷低減に大きなアドバンテージを持つ。腐食性薬品のうちフッ酸は、その後拭き取っても、触れるだけで皮下に染み込み、人体に大きな害を及ぼす毒劇薬である。また 6 価クロムは、RoHS 指令の規制対象物質である。またこれら処理液を用いた後には、処理液の洗い流しのために多量の洗浄水を必要にしているため、コスト面から、これら処理液の使用は望ましく無く、処理方法の代替が強く望まれている。

本 RFID タグ製造のためのドライ・ウエット複合めっきプロセスは、川下製造産業の小型 RFID タグそのものの開発ニーズに応える他、同時に輸出川下製造業者が必ず製造者に求める低環境負荷と低コストの製造プロセスの要件を満たすものである。また「ドライ・ウエット複合めっきプロセス」によるめっきプロセスの高度化は、RFID タグ製造の他、めっきを引き続いて先端成膜法として維持するために必要な検討と捉えている。

これらを踏まえ、本研究開発事業では、ドライ・ウエット複合めっきプロセスを用いた小型化された UHF 帯域のパッシブ型 RFID タグの開発を行うために、次を研究課題に設定し、さらに課題解決のために表 1-1 に示す 3 つの大項目に分けて検討を実施した。

【ドライ・ウエット複合プロセス法を用いた磁性膜形成と銅アンテナ形成】

本研究開発事業では、自動車電装メーカーのニーズに対応するべく、難めっき樹脂材上にめっき法を用いて電磁波の高周波特性に優れた磁性膜を成膜する。難めっき材の樹脂表面の平坦性を維持したまま、めっきを可能にする改質法として、本事業では、成膜プロセスへの低真空スパッタプロセスの導入を図る。低真空スパッタは素材表面を粗化することなく、腐食性溶液を用いなくて、表面をめっき可能面へと改質すると共に、めっき活性点としての金属膜の成膜を可能にする。従来の高真空スパッタ装置に比べ低真空スパッタ装置は成膜速度が格段に速いメリットを有しているが、難めっき材をめっき可能な表面へと改質をしつつ、数 nm から数 μm 程度の膜厚をスパッタ成膜するための最適な低真空スパッタ条件の検討が必要である。

低真空スパッタ上にめっき成膜する磁性膜については、学校法人早稲田大学が開発した磁性めっき膜をベースに開発を行った。RFID タグの通信性能を満たす磁性膜を低コストで成膜するための磁性めっき液

の改良を試みる。

【ドライ・ウエット複合プロセス法を用いた銅アンテナ形成】

RFID タグの基板樹脂には、低誘電率の特性を持つ材料が求められている。低誘電率な樹脂材料は概ねめっきが難しく、アンテナとなる銅めっき膜の密着性が低いという課題がある、本項では、RFID タグの機能と製造コストを両立させるために、銅配線は既往技術であるフォトリソとめっき組み合わせた方法、インクジェット法やスクリーン印刷、またスパッタ成膜について検討を進め、成膜法の選択をする。

【ドライ・ウエット複合めっきプロセス法によるRFID タグ製作の設計・評価】

ドライ・ウエット複合めっきプロセスを用いて作製するRFID タグの通信性能を増すための各材料の要求仕様についてシミュレーションによって決める必要がある。電気抵抗が高い磁気シートの設計時とは異なる磁性めっき搭載時のRFID タグの設計を課題にしている。このため実際の性能評価とシミュレーションとの比較を通じた改善点ピックアップと各課題へのフィードバックを行い、設定した性能を満たす取り組みを行う。

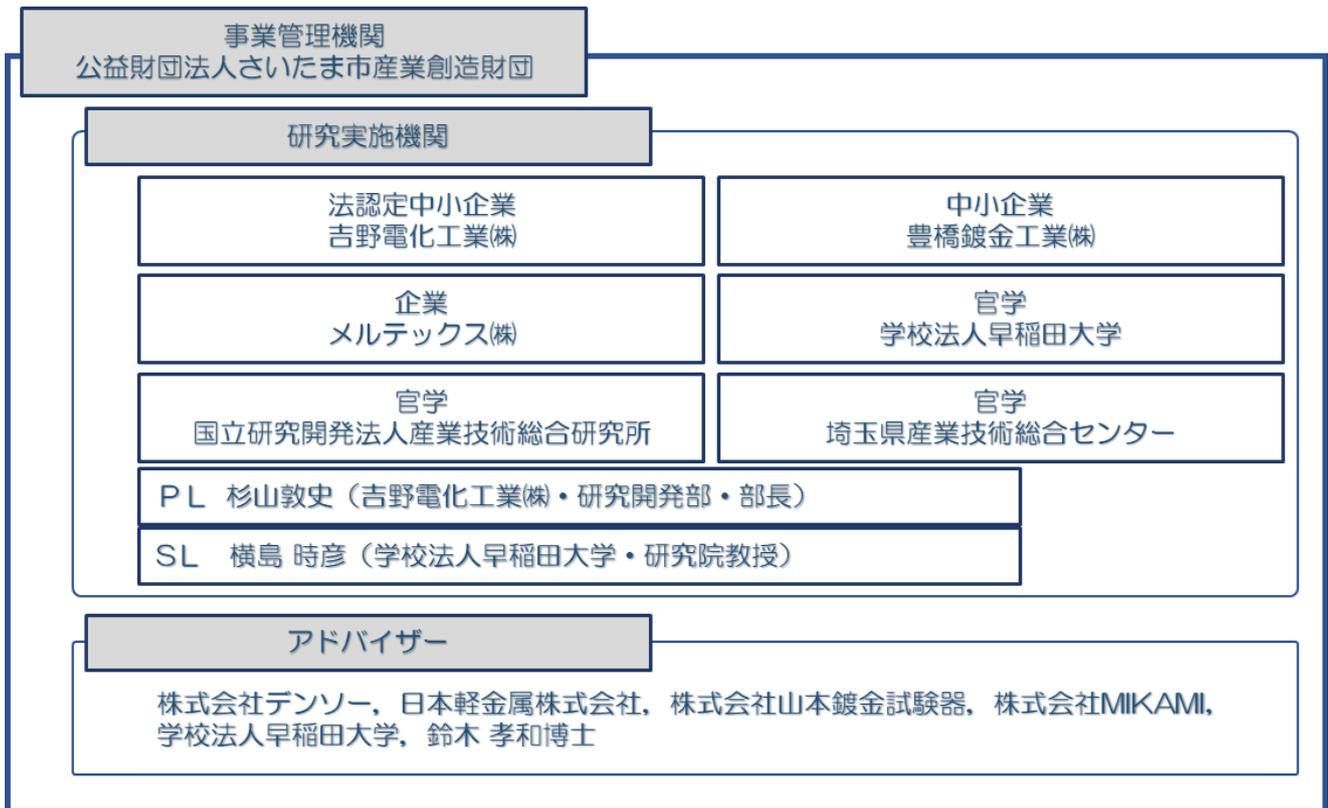
表 1-1 検討項目、内容、目標

大項目とサブ項目	開発内容と目標
【① めっき法を用いた磁性膜形成】	
【①-1 低真空スパッタ条件の検討】	スパッタ膜上への磁性めっき層の厚さを変化させて、通信性能評価用RFID タグに供し、磁性めっき膜の膜厚および膜質のチューニングを行う。
【①-2 磁性めっき膜の磁気特性の改良】	バッチ試験において、磁性めっき面積 1dm ² /1L 以上、¥30/dm ² /L を達成するためのアノード面積、材質によるめっき液の高寿命化の検討を行う。
【①-3 磁性分散めっき膜による磁気特性の改良】	磁気特性良化が見られたナノダイヤ分散めっきについて、CoNiFe 磁性めっき膜中のCo 量を低下させたときの高周波帯における磁気特性の確認を行う。体積抵抗率の目標指標は 20×10 ⁻⁶ Ω・cm。
【② めっき法を用いた銅めっきアンテナパターン形成】	
【②-1 銅配線アンテナのめっき法の検討】	【②-1 RFID タグのシミュレーション】 のシミュレーションで求められた銅配線アンテナパターン仕様を実現するための成膜法を検討した。RFID タグ製作に適し、コストメリットの高い成膜法の選択を行う。コストを試算する(1個当たり¥20)。
【③ ドライ・ウエット複合めっきプロセスによるRFID タグ製作の設計】	
【③-1 RFID タグのシミュレーション】	磁性膜を搭載RFID について、通信距離 3m を満たす 1センチ以下サイズの仕様を計算する。
【③-2 RFID 性能評価】	導入した評価装置を用いて、開発RFID タグの通信性能を確認する(3m以上の通信距離)。磁性膜搭載によるRFID タグ通信性能の向上を確認する。

【③-3 実用化時のコスト算出、事業化ステップへの課題抽出】	ドライ・ウエット複合めっきプロセスを用いた製造コストの算出し、1枚当りの原材料費¥70以下に資する条件を確認する。
--------------------------------	-----------------------------------------------------------

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織



1) 事業管理機関

役割	機関名 代表者役職・氏名	役職	氏名
事業管理機関	公益財団法人さいたま市産業創造財団 理事長・山縣 秀司	理事長	山縣 秀司
		支援・金融課・課長	佐々木 哲也
		産学コーディネータ	古河 宏一
		支援・金融課・主査	平松 寿典
		産学連携支援センター埼玉 支援・金融課 産学連携支援	伊藤 隆司

2) 研究実施機関

役割	機関名 代表者役職・氏名	区分	役職	氏名
研究等実施 機関 法認定中小 企業	吉野電化工業株式会社 代表取締役・吉野 寛治	○△	専務取締役 統括事業部長	吉野 正洋
		○△	研究開発部・部長	杉山 敦史 (PL)
		○△	研究開発部・次長	曾根 倫成
		○	研究開発部・係長	多賀谷 理子
		○	研究開発部・研究員	藤井 智美
		○△	総務部	中村 英輝
研究等実施 機関	学校法人早稲田大学 ナノ・ ライフ創新研究機構 機構長・黒田 一幸	○	研究院教授	横島 時彦 (SL)
研究等実施 機関	豊橋鍍金工業株式会社 代表取締役・高木 幹晴	○△	代表取締役社長 技術部長	高木 幹晴
		○	技術部	藤本 剛史
		○	技術部	安間 晴穂
		○	技術部	藤田 将史
研究等実施 機関	メルテックス株式会社 代表取締役社長・古橋 勝美	△	取締役	川島 敏
		△	技術開発部・部長	相木 文男
		△	技術開発部 先端技術サー ビスグループ 先端技術サ ービス課・課長	箱守 広明
		○△	技術開発部 先端技術サー ビスグループ 先端技術サ ービス課	初川 拓郎
		○	技術開発部 ESG 応用技 術開発課	永倉 雅之
		○	技術開発部 ESG 応用技 術開発課	アティカ・ピン ディ・ジャスニ
研究等実施 機関	国立研究開発法人産業技術 総合研究所 理事長・中鉢 良治	○△	物理計測標準研究部門 電 磁気計測研究グループ・ 研究グループ長	堀部 雅弘
		○	物理計測標準研究部門 電 磁気計測研究グループ・ 研究員	加藤 悠人
		○	物理計測標準研究部門 電	坂巻 亮

			磁気計測研究グループ・ 研究員	
研究等実施 機関	埼玉県産業技術総合センタ ー センター長・中村 雅範	○	技術支援室 電気・電子担 当・ 専門研究員	能戸 崇行
		○	技術支援室 電気・電子担 当・ 専門研究員	本多 春樹

*区分欄については、研究員には「○」、管理員には「△」、両方を兼ねる場合は「○△」として記入した。

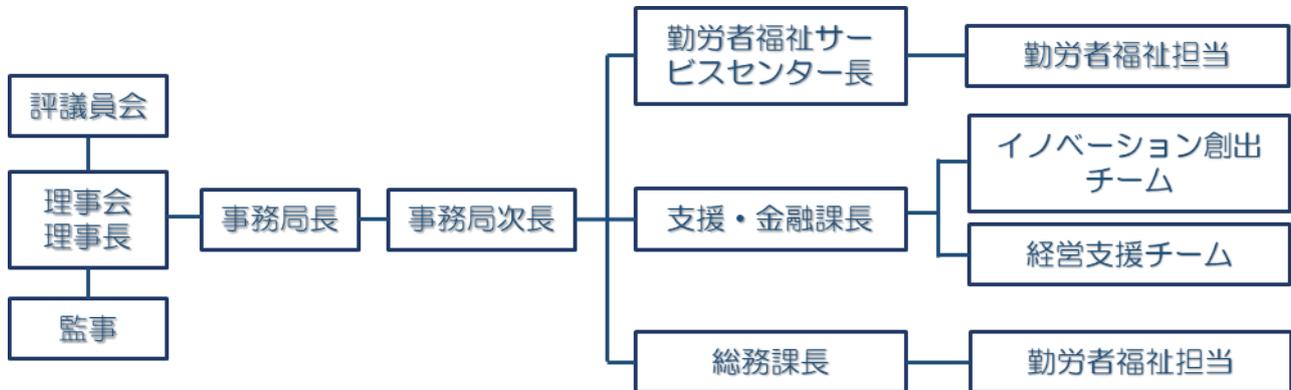
2) アドバイザー

機関名	所属・役職・氏名	協力内容
学校法人早稲田大学	ナノ・ライフ創新研究機構・特任 研究教授・逢坂 哲彌	磁性めっき開発の第一人者として、本開 発のコアとなるRFIDに適した磁性めっき 膜について助言。
株式会社デンソー	材料技術部表面技術室・担当係 長・石原 康生	川下製造産業として、RFID 製品製造プロ セスおよび事業化の助言を行う。
日本軽金属株式会社	商品化事業化戦略プロジェクト室 成長戦略グループサブリーダー・ 蜂巢 琢磨	ドライ・ウエット複合めっきプロセス他 への展開に対して助言をする。
株式会社山本鍍金試験 器	代表取締役社長・山本 渡	めっき装置製造メーカーとして、実用化 時のめっきシステムについての助言をす る。
株式会社 MIKAMI	代表取締役社長・三上 誠	平滑性が要となるRFID 基板樹脂の加工に ついてのアドバイスをを行う。
有識者	鈴木 孝和	めっきアドバイスとプロジェクト進捗の 助言をする。

1-2-2 管理体制

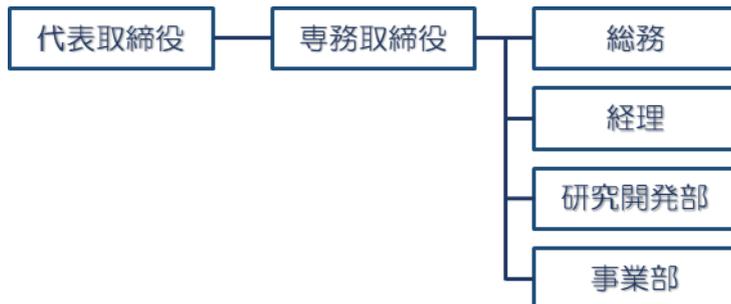
1) 事業管理機関

【公益財団法人さいたま市産業創造財団】

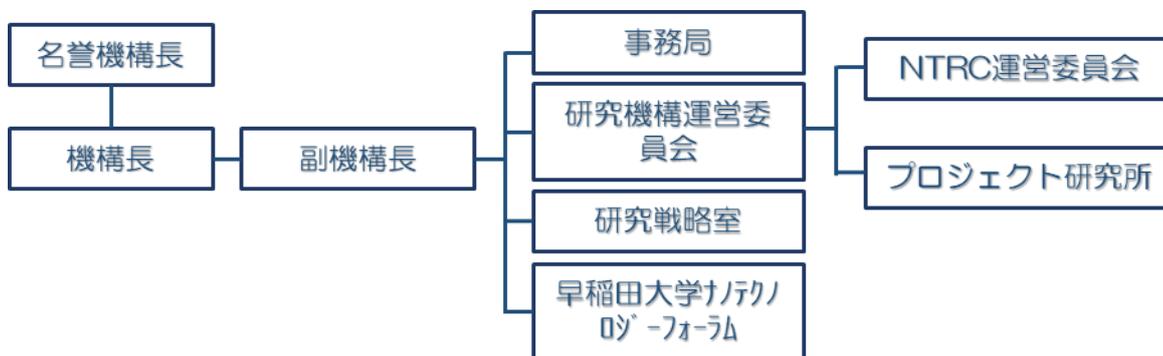


2) 研究実施機関

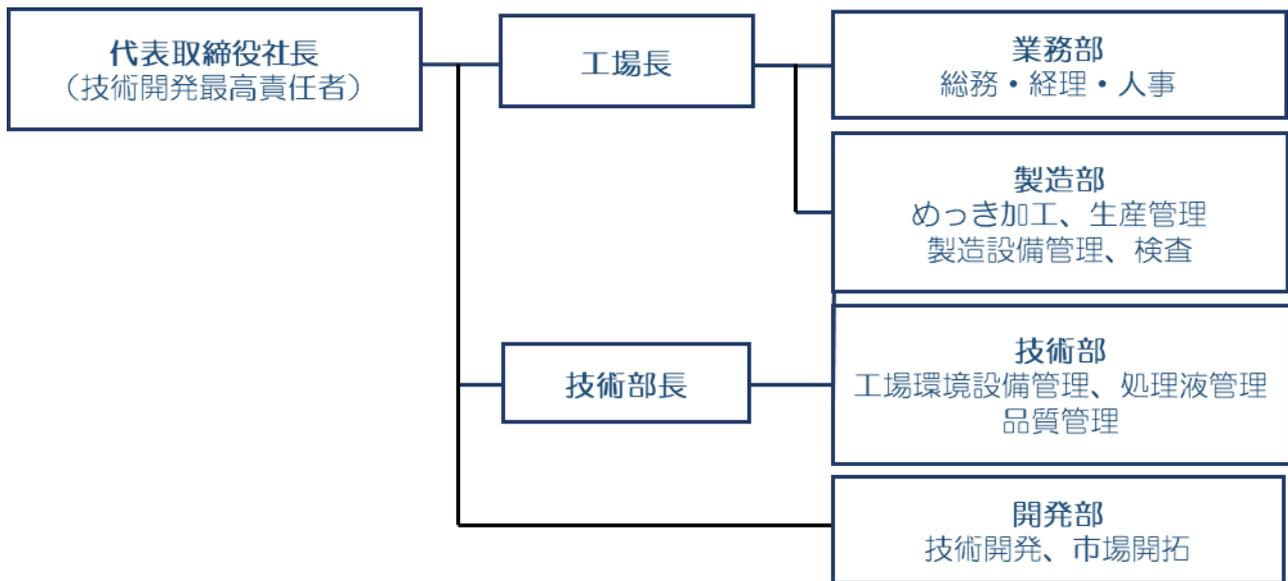
【吉野電化工業株式会社】



【学校法人早稲田大学】



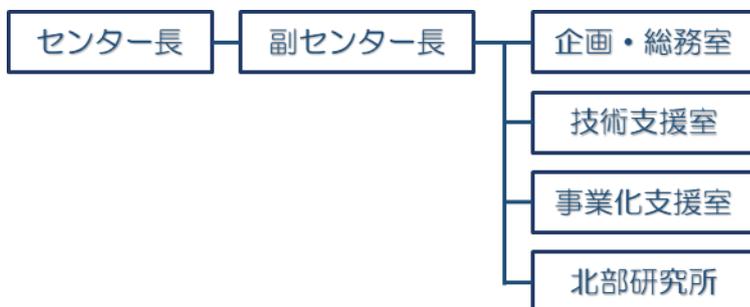
【豊橋鍍金工業株式会社】

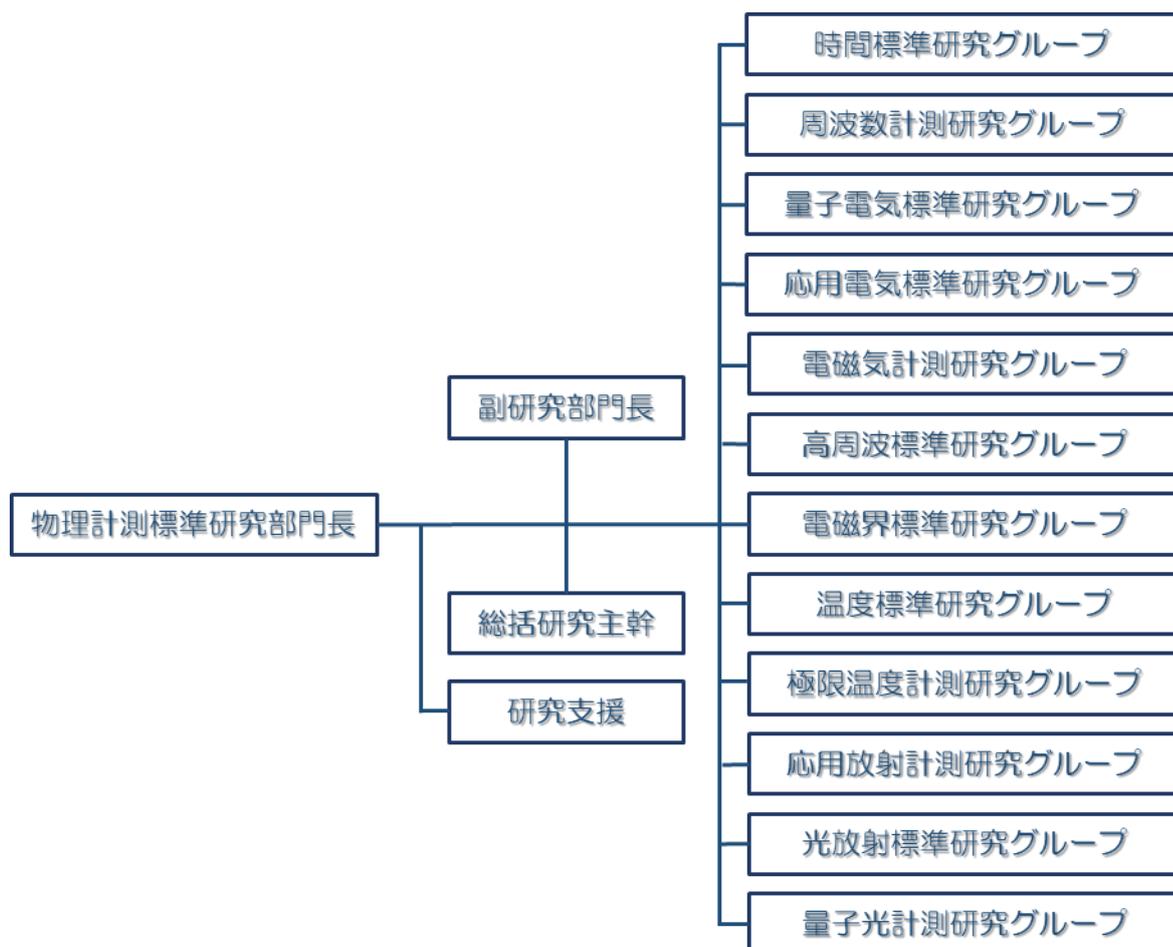


【メルテックス株式会社】



【埼玉県産業技術総合センター】





1-3 成果概要

1-3-1 成果概要

【①-1 低真空スパッタ条件の検討】

本項目においては、本事業コアであるドライ・ウエット複合プロセスについて、【①-2】と連動してドライ側から検討した。ドライ成膜装置としてスパッタリング装置を用い、難めっき素材面をめっき可能な面に改質するためのスパッタリング成膜の機能に関わる検討と、目標のRFIDタグ1枚当たりのスパッタ材料コスト¥30以下を満たす成膜条件について検討した。

その結果、Ni系スパッタ膜は、膜厚50 nmの薄さでも、その上にめっき加工が可能であることを確認した。またCuスパッタ膜に比べ、めっき膜の密着性およびRFIDタグの通信特性が高くなることを確認した。【②-1】の銅アンテナ形成を含めて、スパッタ材料コストは¥9.98（9 cm²サイズのRFIDタグ1枚当たり）が試算され、目標材料コストの¥30以下を達成した。

めっきの高度化目標であるドライ・ウエット複合プロセスについては、①腐食性溶液を用いない低環境負荷プロセス、②素材表面の粗化を行わないプロセス、③めっき法ではハンドリングが難しい薄い素材への成膜が可能、④めっき成膜が難しい材料に適用可能、⑤密着層を用いないスパッタプロセスの特徴が確認され、プラスチック素材への新しいめっきプロセ

スとしてのポテンシャルを示した。

【①-2 磁性めっき膜の磁気特性の改良】

本項目では、めっき液の市販化を視野に磁性めっき面積 $1\text{dm}^2/\text{L}$ 以上、 $\text{¥}30/\text{dm}^2/\text{L}$ 以下を達成するために、めっき液の高寿命化およびめっき液を構成する各原料の選定を行った。

第二年度検討までのめっき液の建浴には、試薬特級グレードの薬品を原料として用いた。このためめっき液のコストは高く、めっき液薬品原価だけで $\text{¥}785/\text{L}$ であった。そこで各原料を工業用製品に置き換えることでめっき液のコストダウンを図った。その結果、めっき液薬品原価を $\text{¥}180/\text{L}$ と大幅に低減することが出来た。またこのめっき液から得られた磁性めっき膜の磁気特性を測定した結果、試薬特級グレードで建浴しためっき液から得られた磁性めっき膜と同等の結果が得られた。

更なるコスト低減のために、バッチ式による連続めっき試験を行った。連続めっきについては、陽極に電気ニッケル板を用いることで電気分解によるpH変動が抑えられ、結果としてめっき液の高寿命化が実現できることを見出した。連続めっき試験を行った結果、目標である磁性めっき面積 $1\text{dm}^2/\text{L}$ 以上、 $30\text{円}/\text{dm}^2/\text{L}$ 以下を大幅に上回る、 $\text{¥}16/\text{dm}^2/\text{L}$ の達成を確認した。

【①-3】磁性分散めっき膜による磁気特性の改良】

本項目では、UHF帯域（当該RFIDタグで使用する900M Hzの電磁波の周波数帯域）における磁性めっき膜の磁気特性向上を図った。UHF帯域での磁気特性を向上させることでRFIDタグの通信性能を向上させることが可能である。磁気特性改良の手段として、カーボン系粒子を磁性めっき膜内に取り込ませる分散磁性めっき法を用い、磁性めっき膜の電気抵抗を大きくするアプローチにより高周波特性の改善を試みた。

ナノサイズのカーボン粒子を添加した磁性めっき浴から成膜した磁性めっき膜の体積抵抗率は、目標値4倍の $250 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上、磁気特性は目標の $B_s = 1.8\text{T}$ 以上を確認した。本磁性膜を③-2の通信性能の測定に供したところ、【①-2】のカーボン非分散の磁性膜より良好な通信性能が確認された。

【②-1】銅配線アンテナのめっき法の検討】

本項目では【③-1 RFIDタグのシミュレーション】のシミュレーションで求められた銅配線アンテナパターン仕様を実現するための成膜法を検討した。RFIDタグ製作に適し、コストメリットの高い成膜法の選択を行った。

銅配線アンテナの配線高さを変えて、③-2の通信性能の測定に供したところ、厚さ $1\mu\text{m}$ 程度までで性能の飽和が観測された。このため、成膜法としてスパッタ成膜を用いた場合のコスト試算を行った結果、銅配線成膜材料コストは、RFIDタグ1枚当たり5円が見積もられた。

【③-1 RFIDタグのシミュレーション】

めっき磁性膜を搭載した場合のUHF帯RFIDタグのシミュレーションを行った。離れた距離での通信性能を重視し、小型化に適した構造および磁性膜の材料特性仕様及びアンテナパターン仕様の課題解決を進めた。

磁性めっき膜上に誘電体膜を介して形成したパッシブ型アンテナについて数値解析等を行い、シミュレーション結果と試作したアンテナの特性を比較して性能の確認を行い、1～1.4 GHz帯でのアンテナ動作の確認をした。

【③-2 RFIDタグの性能評価】

【①】から【②】までの各項目で得られた結果を統合して、通信用評価用 RFID タグの製造を行い、RFID タグの性能を評価した。

埼玉県産業技術総合センター設備の電波暗室にて RFID タグの通信性能試験を実施した結果、磁性めっき膜を RFID タグに搭載することで、非搭載時に較べて、通信が安定することが確認された。また 3 cm での 3 m の通信距離が確認された。磁性めっき膜搭載による良化の理由を調査するために、RFID タグの共振反射特性の測定を実施したところ、共振波のブロード化による通信性能の安定性（広帯域化）が示唆された。

【③-3 実用化時のコスト算出、事業化ステップへの課題抽出】

ドライ・ウエット複合めっきプロセスを用いた RFID 製造コストの算出を行い、RFID タグ 1 枚当りの原材料費 ¥70 以下に資する条件の検討を行った。またドライ・ウエット複合めっきプロセスおよび磁性めっきを RFID 以外の分野に展開するために、展示会等を通じた技術発信をした。

ドライ・ウエット複合めっきプロセスを用いた RFID 製造コスト算出を行った結果、磁性めっき ¥3 円、¥スパッタ 10 円、フィルム材料費 ¥10 の RFID タグ 1 枚当たり計 23 円が製作費として試算され、当初の 3 年度目標値の ¥70/枚以下を確認した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

1-4-1 研究実施機関

吉野電化工業株式会社・研究開発部

部長・杉山敦史

電話 048-993-1130 / FAX 048-993-1131

URL <http://www.yoshinodenka.com>

E-mail a.sugiyama@yoshinodenka.com

1-4-2 事業管理機関

公益財団法人さいたま市産業創造財団 支援・金融課

電話 048(857)3901 / FAX: 048(857)3921

第2章 本論

2-1 高度化目標

2-1-1 高度化目標

本補助事業で目標にした事業化のための高度化の目標を表 2-1 にまとめた。磁性めっき膜を搭載した RFID タグを作製するための要素として3つの高度化目標を掲げている。この3つの高度化を達成するために表 2-2 に示すように関連した高度化に開発項目を割り振り、磁性めっき膜を搭載した RFID タグの開発を進めた。

以下では、表 2-2 の開発項目に沿って成果を報告する。

表 2-1 高度化の目標

	内容	効果
事業目標	磁性めっき膜を搭載した UHF 帯 (900MHz) RFID タグの製作	<ul style="list-style-type: none"> RFID タグの性能向上による市場参入 (製品化、技術供与)
①高度化 1	プロセス開発：RFID タグを作製するための『ドライ・ウエット複合プロセス』 ドライ：スパッタ法によるめっき活性層の形成 ウエット：めっきに磁性膜の形成	<ul style="list-style-type: none"> プラスチック素材への新しいめっきプロセス 腐食性溶液を用いない低環境負荷プロセス 素材表面の粗化を行わないプロセス⇒ (伝送損失の低下)
②高度化 2	めっき開発：長寿命磁性めっきの開発	<ul style="list-style-type: none"> 低コストの磁性めっき液の販売
③高度化 3	めっき開発：分散磁性めっきによる磁気特性改良 (新規の高比抵抗化法)	<ul style="list-style-type: none"> 高周波帯への磁性めっき膜の利用展開
事業化ポイント	磁性めっき膜の効果 (性能の優位性)	①高度化 1、 ②高度化 2、 ③高度化 3
	プロセス	①高度化 1
	材料コスト	②高度化 2

表 2-2

磁性めっき膜を搭載した RFID タグを作製するためのドライ・ウエット複合めっきプロセスの開発		
製品化の要素	開発項目	内容
磁性めっき膜を搭載した RFID タグの作製プロセス開発 高度化 1	【①-1 低真空スパッタ条件の検討】	めっきシードとしてのスパッタ膜の検討
	【②-1 銅配線アンテナのめっき法の検討】	Cu アンテナの形成の検討⇒スパッタ成膜
	【③-1 RFID タグのシミュレーション】	RFID タグの基本仕様検討

性能に見合う作製コストの提示 高度化2と3	【①-2 磁性めっき膜の磁気特性の改良】 高度化2	スパッタシード上への密着性および磁気特性が良好なめっき開発と磁性めっきの低コスト化
	【①-3 磁性分散めっき膜による磁気特性の改良】 高度化3	磁性めっき膜の性能向上
磁性めっき膜搭載によるRFIDタグ性能向上の確認	【③-1 RFID タグのシミュレーション】	RFID タグの基本仕様提出
	【③-2 RFID 性能評価】	RFID タグの通信性能評価
	【③-3 実用化時のコスト算出、事業化ステップへの課題抽出】	コスト試算、性能提示、展示会・商談会参加、プロトタイプ的外部評価

2-2 【① めっき法を用いた磁性膜形成】

2-2-1 【①-1 低真空スパッタ条件の検討】

(吉野電化工業株)

本項目においては、本事業コアである高度化1『ドライ・ウエット複合プロセス』について、開発項目【①-2】のウエットと連動してドライ側から検討した。ドライ成膜装置としてスパッタリング装置を用い、難めっき素材面をめっき可能な面に改質するためのスパッタリング膜の機能に関わる検討と、目標のRFIDタグ1枚当たりのスパッタ材料コスト¥30以下を満たす成膜条件について検討した。

スパッタ成膜の役割は、電気めっきを加工するための導電体金属であるめっき下地層の形成である。スパッタ材料コストの低減のためには、スパッタ膜厚が薄いこと、機能要件の第一はめっき膜の密着性確保にある。検討では、スパッタ成膜種として、Cuの他、幾つかの金属種について試験した。その中でNi系スパッタ膜は、膜厚50 nmの薄さにおいても、仕様を満たすめっき加工が可能であることを確認した。またCuスパッタ膜に比べ、めっき膜の密着性、RFIDタグの通信特性も良くなることが確認された。

開発項目【②-1】の銅アンテナ形成を含めて、スパッタ材料コストは¥9.98円(9 cm²サイズのRFIDタグ1枚当たり)が試算され、目標材料コストの30円以下を達成した。

図2-1は、プラスチック上にCu(左)あるいはNi系(右)の金属膜をスパッタ製膜して、その上にCoNiFe電気めっきを加工した2つのサンプルについて、VSMを用いて測定した磁化曲線を示す。両者とも目標値の飽和磁束密度の1.8 T(≈1430 emu/cc)の達成が確認された。しかしながら、Ni系スパッタシードの場合は、磁化曲線の立ち上がりがより急激であり、最大透磁率は増加傾向にあった。

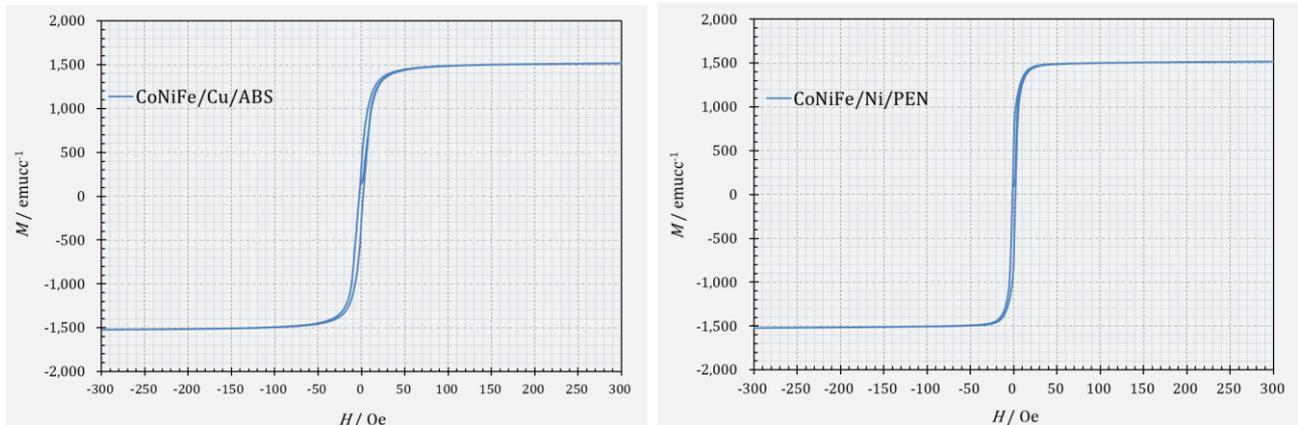


図 2-1 VSM 測定による CoNiFe 膜の磁気曲線。(a) Cu スパッタ時。(b) Ni 系パ
ッタ膜をめっき下地として成膜したとき。

2-2-2 【①-2 磁性めっき膜の磁気特性の改良】

(メルテックス株、早稲田大学、吉野電化工業株)

本補助事業のキー材料である軟磁性薄膜（磁性めっき膜）は、組成や構造により様々な磁気パラメータが変化する。さらにベースと考えている電気めっき法により成膜する CoNiFe 薄膜は高付加価値な『磁気ヘッド材料』として実用化されたが、現状の成膜プロセスでは『IoT 制御用小型 RFID タグ』のコストレベルには見合っていない。そこで、CoNiFe 薄膜めっき形成に関わる様々な成膜条件について検討を行い、IoT 制御用小型 RFID タグに適用可能な軟磁気特性を有する磁性材料の選定とコストレベルに見合うためのめっき成膜条件の最適化について検討を行った。

① 界面活性剤の変更の検討

(学) 早稲田大学開発浴(基本浴)を表 2-3 に示す。

表 2-3 CoNiFe 磁性めっき基本浴組成

薬品名	濃度
ホウ酸	0.4 mol/L
塩化アンモニウム	0.28 mol/L
硫酸コバルト 7 水和物	0.063 mol/L
硫酸ニッケル 6 水和物	0.2 mol/L
硫酸鉄(II) 7 水和物	0.01515 mol/L
ドデシル硫酸ナトリウム(SDS)	0.1 g/L
pH 調整(希硫酸)	pH 2.63

一般にめっき液にはめっき界面のめっき液組成の均一化のために、めっき中の起泡吸着防止の目的で界面活性剤が使用される。本項目においては、界面活性剤としてドデシル硫酸ナトリウム(SDS)をこれまで

使用してきた。しかしながら、SDS を添加しためっき液は非常に起泡性が大きくなり、液循環システムの使用が予想される量産設備ではこの起泡性(泡立ち)が大きな障害となる。そこでメルテックス株の製品である、無起泡低表面張力型の界面活性剤であるメルプレートウエッターGE への変更を検討した。得られためっき膜の磁気特性結果(磁化曲線)を図2-2に示す。

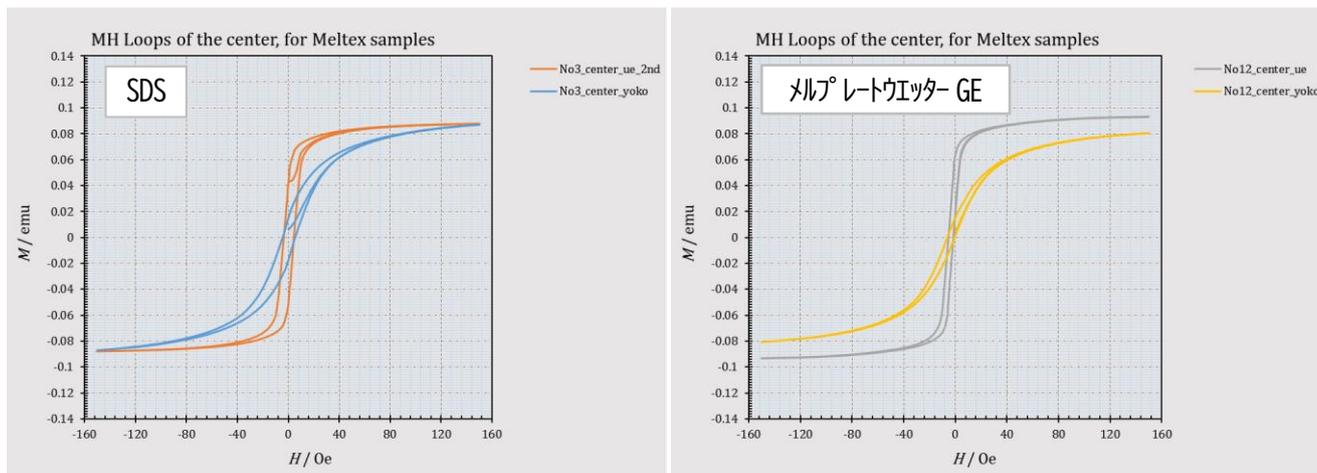


図2-2 SDS 及びメルプレートウエッターGE を用いためっき膜の磁化曲線

図2-2の結果より、界面活性剤を変更しても磁気特性に大きな影響を及ぼさないことが分かり、これ以降の基本浴を表3のように変更した。

表2-4 CoNiFe 磁性めっき基本浴組成(改良浴)

薬品名	濃度
ホウ酸	0.4 mol/L
塩化アンモニウム	0.28 mol/L
硫酸コバルト 7 水和物	0.063 mol/L
硫酸ニッケル 6 水和物	0.2 mol/L
硫酸鉄(II) 7 水和物	0.01515 mol/L
メルプレートウエッターGE	30 mL/L
pH 調整(希硫酸)	pH 2.63

② 陽極種の検討

めっきシステムの陽極には不溶性陽極(酸化イリジウム)を用いていた。しかし電解と共にめっき液のpHが大きく低下し、めっき液の安定化のためには大量のアルカリ剤(アンモニア)を必要としていた。このpH低下の原因は陽極での水の電気分解による水素イオンの増加にあると仮定し、可溶性の陽極を検討した。

使用できる可溶性陽極はめっき液への不純金属の混入を避けるためコバルト、ニッケル、鉄板の3種に限られるが、コバルト板は高価であること、鉄板は大気中で容易に酸化する(錆びる)ことを考慮し、電

電気ニッケル板を陽極とする検討を行った。

図 2-3 に電解量とめっき液 pH の関係、図 2-4 に各電流密度における電解量とめっき液 pH の関係を示す。これら結果から陽極に電気ニッケル板を用いると、電解量に従い pH が僅かに上昇することとなった。また電流密度を変化させてもその挙動は同じであり、陽極に電気ニッケル板を用いることで、めっき液を長く安定化させられることを見出した。

③ 磁気特性に及ぼす電流密度、浴温度、浴 pH の影響

磁気特性に大きな影響を及ぼすのはめっき膜組成である。一般にめっき膜組成の変動要因となる作業条件(電流密度、浴温度、浴 pH)が磁気特性に及ぼす影響を検討した。

組成範囲を $10 \text{ at}\% \leq \text{Ni} \leq 20 \text{ at}\%$ 、 $15 \text{ at}\% \leq \text{Fe} \leq 30 \text{ at}\%$ 、 $50 \text{ at}\% \leq \text{Co} \leq 75 \text{ at}\%$ の組成を有する各めっき条件範囲内では、概ね保磁力 $< 2 \text{ Oe}$ 、飽和磁束密度 $> 1.8 \text{ T}$ を示した。各因子を変化させたときの最大透磁率の結果から、電流密度は $20 \sim 50 \text{ mA/cm}^2$ の範囲で安定することが分かった。また浴温度、浴 pH は試験した全ての範囲で安定した値となった。この結果から、電流密度の最大値を設定すれば、浴温度、浴 pH の管理幅を緩くできることがわかった。

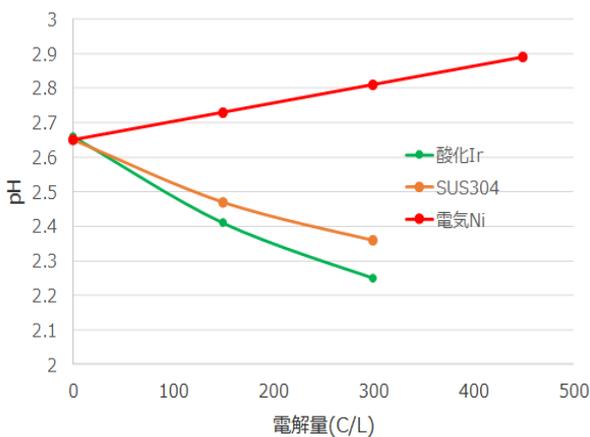


図 2-3 各陽極種のとときの電解量と pH の関係

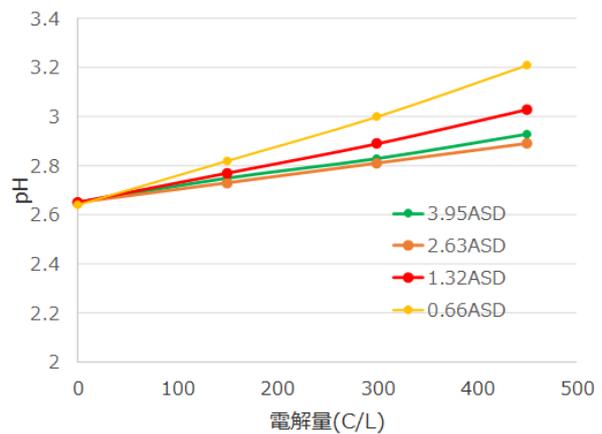


図 2-4 各電流密度のとときの電解量と pH の関係

④ めっき浴寿命試験

上記の検討まで使用していためっき液には試薬特級グレードの薬品を用いて建浴していた。このため、めっき液の材料コストは高く、めっき液薬品原価だけで¥785/Lであった。そこで各原料を工業用製品に置き換えることでめっき液のコストダウンを図った。工業用製品を用いることで、めっき液薬品原価を¥180/Lと大幅に低減することが可能になる。またこのめっき液から得られた磁性めっき膜の磁気特性を測定した結果、試薬特級グレードで建浴しためっき液から得られた磁性めっき膜と同等の特性が得られた。

更なるコスト低減のために、バッチ式による連続めっき試験(同じめっき浴から複数回のめっきを行う試験)を行った。連続めっきについては、上記検討で効果を確認した電気ニッケル板を陽極板として用いた。連続 41 回までめっき試験を行ったときの磁気特性の結果を図 2-5 と 2-6 に示す。図 2-5 の保磁力の変化率では 1.4 倍程度になるときも見られた。しかしながら、図 2-6 の磁化曲線に示すようにでの 41 回の間でのループ形状の変化は小さく、保磁力は 2 Oe から 3 Oe に小さな値の中で変化するもので、RFID タグ性能への影響は

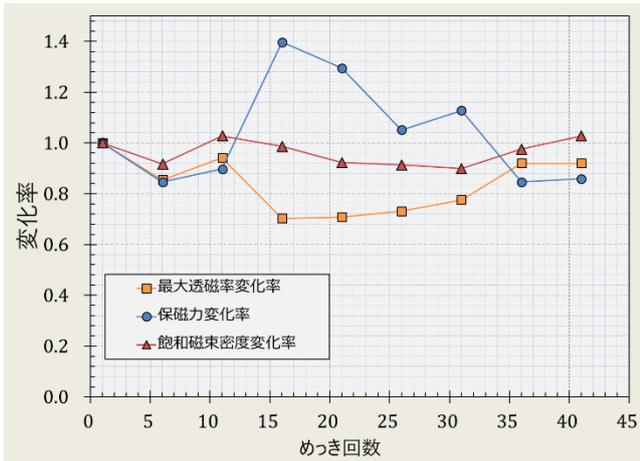


図 2-5 めっき回数による磁気特性の変化率

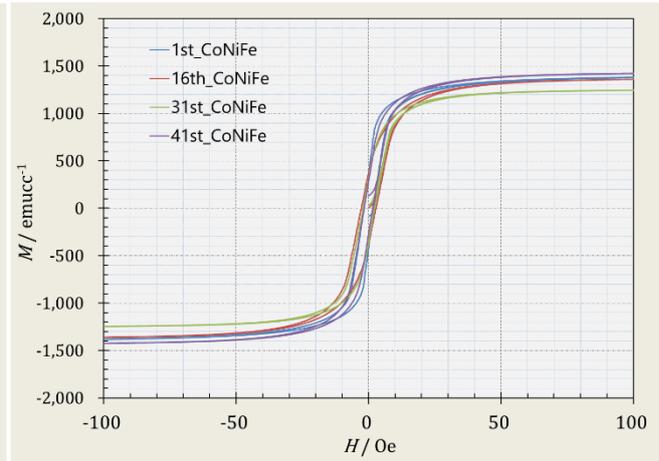


図 2-6 めっき回数による磁化曲線の変化

小さいと判断した。

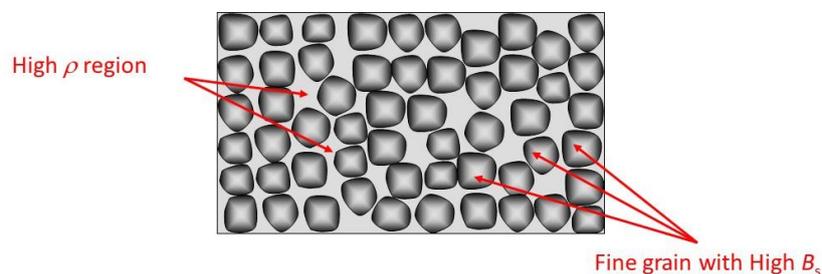
以上の結果から、目標である磁性めっき面積 $1\text{dm}^2/\text{L}$ 以上、 $\yen30/\text{dm}^2/\text{L}$ 以下を大幅に上回る、 $\yen16/\text{dm}^2/\text{L}$ がめっき材料費として試算された。

2-2-3 【①-3 磁性分散めっき膜による磁気特性の改良】

(豊橋鍍金工業(株)、早稲田大学、吉野電化工業(株))

本項目では、高周波帯域(当該 RFID タグで使用する 900MHz の周波数帯域)における磁性めっき膜の磁気特性向上を図った。高周波帯域での磁気特性を向上させることで RFID タグの通信性能を向上させることが可能である。磁気特性改良の手段として、カーボン系粒子(ナノダイヤ、グラフェン)を磁性めっき膜に取り込ませる分散磁性めっき法を選択した。カーボン系粒子のめっき膜への取り込みによって、磁性めっき膜の電気抵抗値を大きくなることが期待される。電気抵抗の増加は渦電流発生を抑制し、高周波帯での損失を抑制し、高周波特性を良化することが出来る。

軟磁性薄膜は、組成や構造により様々な磁気パラメータが変化するが、磁性めっき膜の目標値は、飽和磁束密度 B_s 1.8T 以上、保磁力 H_c 10Oe 以下の実現である。 B_s であるが、バルク B_s 値は合金組



$$H_c = \frac{K_1^4 D^6}{A^3 M_s}$$

M_s : $B_s / 4\pi$

K_1 : constant of magneto crystalline anisotropy

D : crystal grain size

A : exchange stiffness constant

図 2-7 高比抵抗を有する高 B_s 軟磁性薄膜の設計

成に比例することが知られている。そこで、 $10\text{at}\% \leq \text{Ni} \leq 20\text{at}\%$ 、 $15\text{at}\% \leq \text{Fe} \leq 30\text{at}\%$ 、 $50\text{at}\% \leq \text{Co} \leq 75\text{at}\%$ の組成を有するCoNiFe 薄膜化の高抵抗化について設計した。

Hcについては、特定の組成を除き、めっき膜を構成する結晶粒径に依存し、結晶粒径が小さいほど低Hcが得られ傾向にある。従って、Bsを低下させずにHcを下げるためには、結晶性が良く結晶粒径が小さく揃った金属結晶からなる薄膜の形成が目標となる。さらに高比抵抗を得るためには図2-7に示すように、結晶性のよい結晶の粒界に高比抵抗の領域を形成させることでいられることが報告されている。そこで結晶粒界にナノダイヤモンドを析出させることでの高抵抗化の試みを選択した。

①「超音波ホモジナイザー1連式循環システム」の効果検証

図2-8に「超音波ホモジナイザー1連式循環システム」を示す。本機を用いて酸化グラフェンの磁性めっき液への分散をより効果的に行った。磁性めっき液を超音波分散させながら、冷却システムに循環させることで、温度上昇を防ぎながら連続で運転可能なことを確認した。

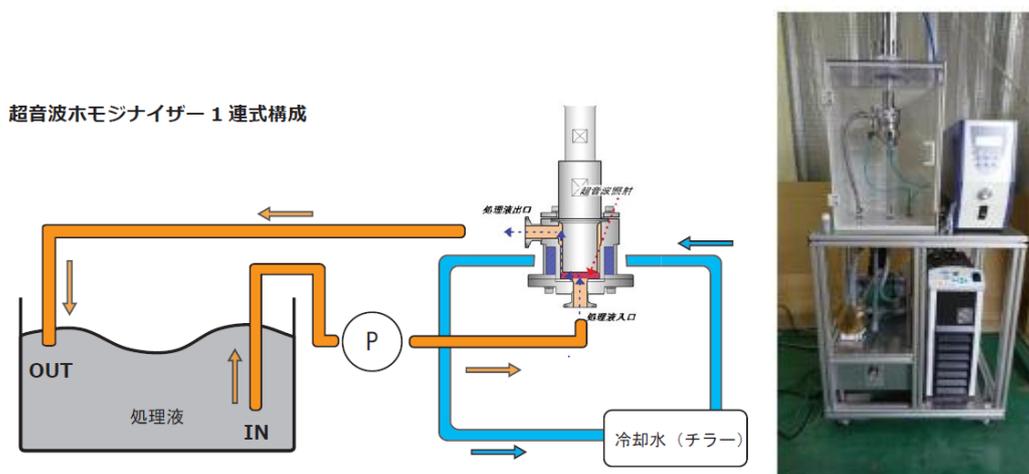


図2-8 超音波ホモジナイザー1連式循環システム (平成30年度導入)

また超音波分散時間による粒度分布の比較を行い、超音波照射時間を長くすることで凝集粒子径が小さくなるかについて検証した。その結果、メジアン径 (中央値)、超音波照射時間が長くなるに従い凝集粒子径を小さくできることが分かった。

② 酸化グラフェン粒子とナノダイヤモンド粒子の複合磁性分散めっきの磁気特性、電気特性

ナノダイヤモンド粒子 (ND) を用いた場合、用いない場合に比べて、飽和磁束密度 Bs は同程度、保磁力 Hc は無添加浴に較べて 3 Oe の増加であった。しかしながら磁化曲線の傾きが大きくなったことから透磁率の良化が予測され、UHF 帯域での磁気性能の向上が示唆された。

磁性めっき表面の凹凸については、ND 粒子無添加時よりも平坦化する傾向が確認された。一方、酸化グラフェン粒子 (GrO) の場合には、Bs は低下、Hc は 3 Oe 以上の増加、そして磁化曲線の傾きが小さくなっているために、透磁率の低下が推測された。

表2-5と図2-9に磁性めっき液への添加ND量と得られた磁性めっき膜の磁気特性の結果をまとめた。ナノサイズのカーボン粒子を添加した磁性めっき浴から成膜した磁性めっき膜の体積抵抗率は、目標値4倍の $250 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上、磁気特性は目標値 $B_s = 1.8 \text{ T}$ 以上を確認した。本磁性膜を【③-

2】の通信性能の測定に供したところ、【①-2】の磁性膜より通信性能の向上が確認された。

以上から、磁性めっき液に分散粒子を添加することで、磁性膜の性能を変えられることが示された。その理由については、前記通り磁性めっき膜に分散粒子の共析によって、①めっき膜の抵抗を上げ、高周波特性を阻害する渦電流の寄与を小さくすることでの高周波特性の向上の他、②磁性めっき膜を構成する金属結晶の縮小化のナノ結晶効果による還流磁区構造サイズ変化の2つが考えられる。NDの添加によって、保磁力は若干大きくなることから、①の効果が有力と考えている。

表 2-5 ND 分散磁性めっきのND 添加量と磁気特性のまとめ

サンプル No	ND 濃度 (ppm)	分散剤濃度 (ppm)	N 数	平均体積抵抗率 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	平均 B_s (T)	平均 H_c (Oe)	平均最大透磁率 (磁化曲線の傾き)
1	0	0	2	2.18E-05	1.88	2.17	1200.00
2	0	100	4	1.80E-05	1.89	10.44	1308.40
3	50	100	3	4.11E-05	1.87	7.32	1028.19
4	100	100	3	2.52E-04	2.03	8.28	896.86
5	150	100	3	2.36E-04	1.75	8.38	1105.52

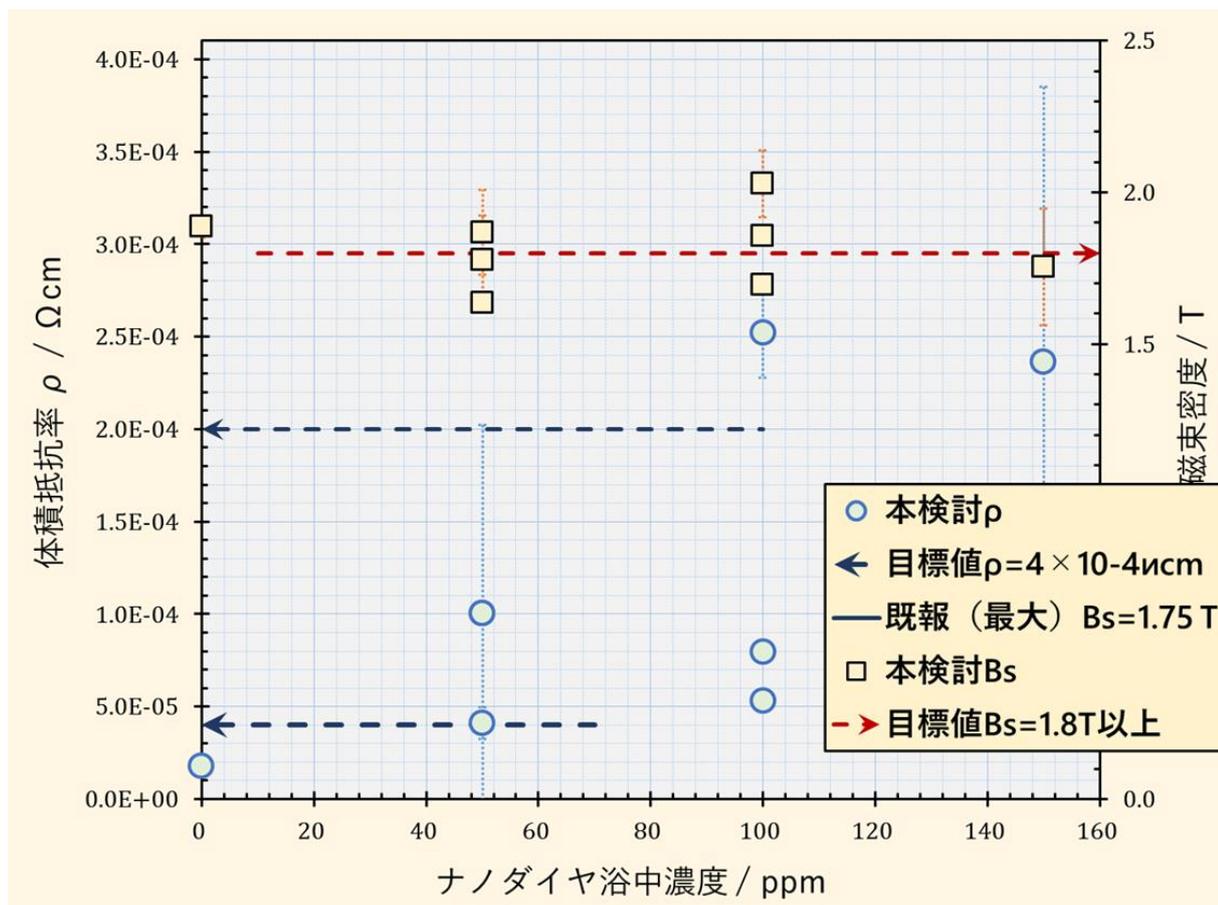


図 2-9 ND 分散磁性めっきのND 添加量と磁気特性のプロット

2-3 【②めっき法を用いた銅めっきアンテナパターン形成】

2-3-1 【②-1 銅配線アンテナのめっき法の検討】

(学)早稲田大学、吉野電化工業(株)

本検討は、【③-2 RFID タグの性能評価】のシミュレーションで求められた銅配線アンテナパターン仕様を実現するための成膜法について機能とコスト面から検討をした。

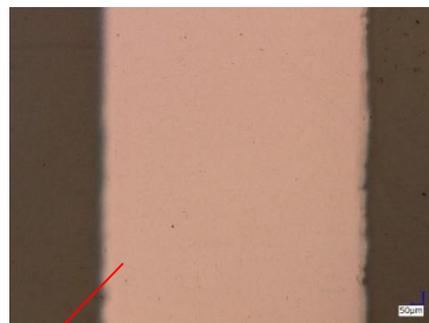
フォトリソグラフィ法+スパッタリング法、フォトリソグラフィ法+スパッタリング法+めっき法、インクジェット法+めっき法を用いて銅配線アンテナの製作を行い、【③-2 RFID タグの性能評価】における通信性能評価用 RFID タグの製作に供した。

銅配線アンテナの配線高さ(銅の膜厚)を変えて、【③-2】の通信性能の測定に供したところ、厚さ 500 nm~1 μm の膜厚範囲で通信性能の飽和が観測された。膜厚 1 μm は、低真空スパッタ装置で成膜対応が可能な厚さである。このため、成膜法としてメタルマスク+スパッタ成膜を用いた場合のコスト試算を行った結果、銅配線成膜材料コストは、RFID タグ 1 枚当たり 5 円が見積もられた。

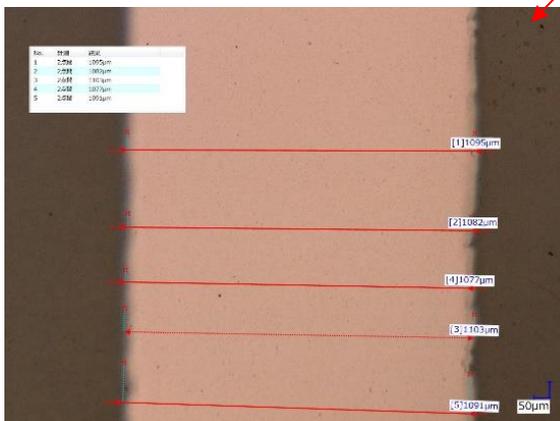
図 2-9 にメタルマスク+スパッタ成膜を用いて作製した銅アンテナパターンを示す。メタルマスクを使用してマスクングしたパターンにおいて、狙いの線幅 1100 μm の 5%以内の誤差で銅アンテナを形成できた。メタルマスクパターンをスパッタパターンへの転写精度は、スパッタ成膜回数に左右されることが考えられる。このため同じメタルマスク使用して銅配線アンテナの形成を行った。その結果、20 回形成しても、配線のやせ細りは、ほとんど確認されなかった。またメタルマスクはステンレス製のため、マスクに付着した銅はエッチング液を用いて銅を選択的に溶かすことで再利用は可能である。メタルマ



画面倍率 X20 倍のマイクロスコ-プ 像



X200 倍のマイクロスコ-プ 像



測定箇所	線幅(μm)
1	1095
2	1082
3	1077
4	1103
5	1091
平均	1089

図 2-9 メタルマスク+スパッタリング法で作製した銅アンテナパターン

ク使用の課題は、スパッタ成膜の熱によるマスクの歪みにあり、熱変形に強いステンレス材質への変更が必要であることが分かった。

2-4 【③ドライ・ウエット複合めっきプロセスによるRFID タグ製作の設計】

2-4-1 【③-1 RFID シミュレーション】

((国研)産業技術総合研究所)

① アンテナシミュレーション

本項目ではUHF 帯のRFID タグを製作するために、共鳴周波数が900MHz になるようにアンテナ構造決定し、寸法等の設計値を各項目の検討に提供した。

図2-10 に計算で用いたRFID タグのモデルを示す。基板としては樹脂基板(基板厚さ $t=0.25\text{ mm}$ 、誘電率 $\epsilon_r=2.3$)を用い、アンテナの大きさは $30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 以下になることを前提として、磁性膜の透磁率を変化させたときのアンテナの感度と関係するQ 値を計算した。アンテナ層と裏面のグラウンド層により構成され、磁性層面には厚さ $1\text{ }\mu\text{m}$ の磁性膜を用いることにした。

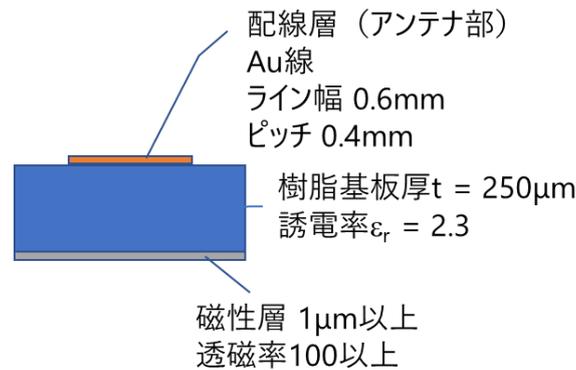


図2-10 アンテナの断面構造

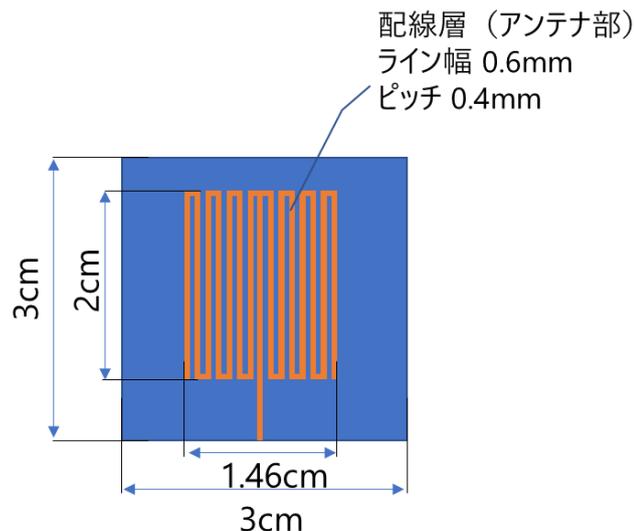


図2-11 シミュレーションで用いたアンテナ仕様

アンテナとしては、図 2-11 に示す配線アンテナパターンを用い、グランド面に (CoNiFe) を用いた構造において、透磁率を 200、250、300、400、600、1000、2000、3000、10000、100000、1000000 と変化させた際に得られる共振周波数のシミュレーション結果を図 2-12 に示す。シミュレーションの結果、透磁率が高いほど損失が数 dB 大きくなることが確認された (図 23 のプロットの①の領域)。900 MHz 付近 (877 MHz) において共振が得られる透磁率は 3000 以下が見積もられた。これら結果で得られた情報を各検討項目に展開した。

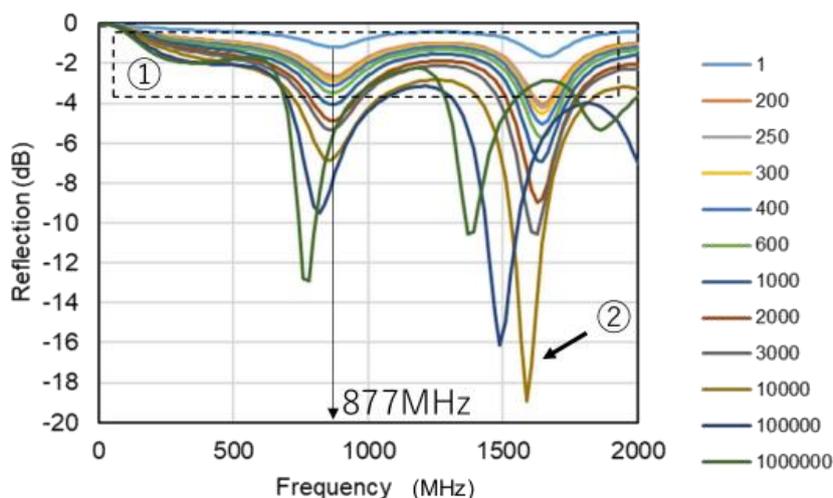


図 2-12 アンテナの共振特性シミュレーション結果

② アンテナ性能の確認

ベクトルネットワークアナライザ (Keysight Technologies 社製 PNA-X N5245A) により反射特性を測定した。その際、コネクタシグとして、クランプ式エンドランチコネクタを使用した (図 2-13)。評価結果を表 2-6、図 2-14 に示す。

測定は信号入力線の形状不良などから、いくつかのサンプルについては測定ができなかった。2つのサンプルについて、測定を行った結果、700 MHz~800 MHz での設計した共振周波数から低周波側へのシフトした結果が得られた。アンテナとしての機能は有していることは確認できた。

表 2-6 評価の可否

		アンテナ				
		1-1-1PEN	1-1-2PEN	1-1-3PEN	1-2PEN	1-2PET
メッキ板	3-1 Cu/CoNiFe0.8/ABS	×	○	×	○	○
	3-2 Cu/CoNiFe0.9/ABS	×	○	×	○	×
	3-3 NiV/CoNiFe0.9/ABS	×	○	×	×	×

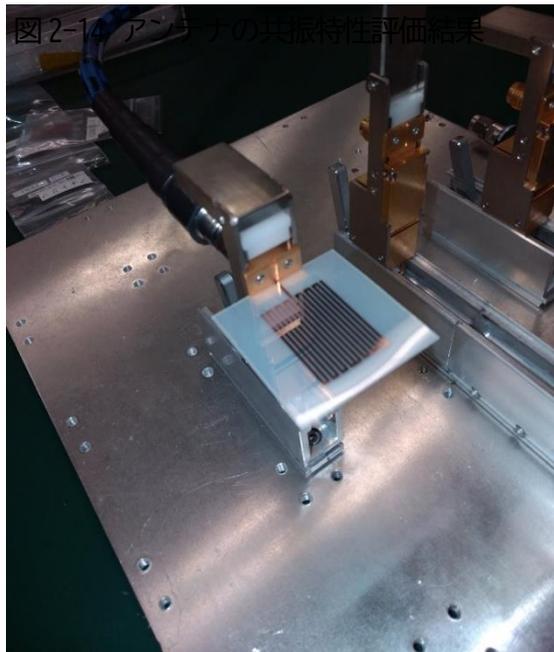


図2-13 クランプ式コネクタによるアンテナ特性評価

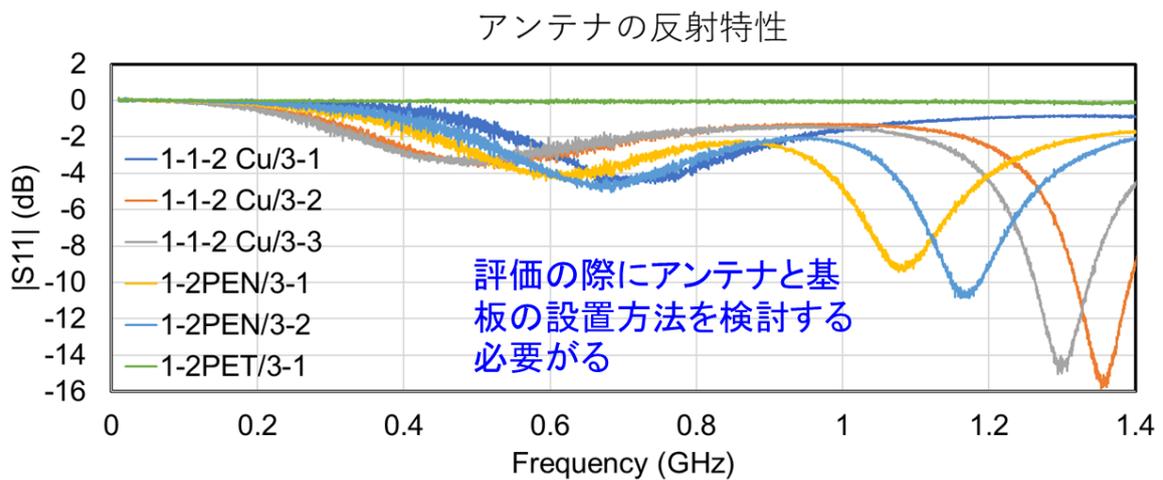


図2-14 アンテナの共振特性評価結果

2-4-2 【③-2 RFID タグの性能評価】

(埼玉県産業技術総合センター、吉野電化工業(株))

本項目では、【①】から【②】までの各項目で得られた結果を統合して、通信用評価用 RFID タグの製造を行った。電波暗室、電波室、居室環境下で RFID タグの通信性能試験を実施した。また RFID タグの経年劣化を評価するために、温度と湿度を制御できる環境試験機を導入して、RFID タグサンプルの耐久試験を行った。

図 2-15 に RFID タグの通信の様子を示す。写真内の段ボールの上に設置している緑色のものが RFID 送受信アンテナ（リーダーライター）を示す。リーダーライターと RFID タグ間の通信周波数には、920MHz 前後を用いた。接続した制御 PC により RFID タグのデータの読み取りおよび書き込みを行い、さらに通信状態をモニタリングし、リーダーライターアンテナと RFID タグとの間の距離を変えながら通信距離とカウンタ数を確認した。

図 2-15 の通信評価結果に示すように、磁性めっき膜を搭載した場合の RFID タグにおいて、通信距離の伸びを確認した。さらに、同じ距離における通信カウンタ数が増加し、より通信が安定に行われていることが示唆される。

以上の通信性能の評価は、吉野電化工業の廊下の環境で行った。しかしながら RFID の通信状態は、周囲の使用環境により影響を受けやすい。パッシブ型の RFID タグの動作原理は、リーダーライターが室内に作り出した電磁界からエネルギーを抽出し、回路を動作、リーダーライターの命令を解釈（復調）する。さらに、この命令に従って負荷値を変化（変調）させることによって自分の ID やデータをリーダーライターに伝えるためである。

このため現実の室内環境においては、リーダーライターからの電磁波は壁や柱、さらに床から反射をし、

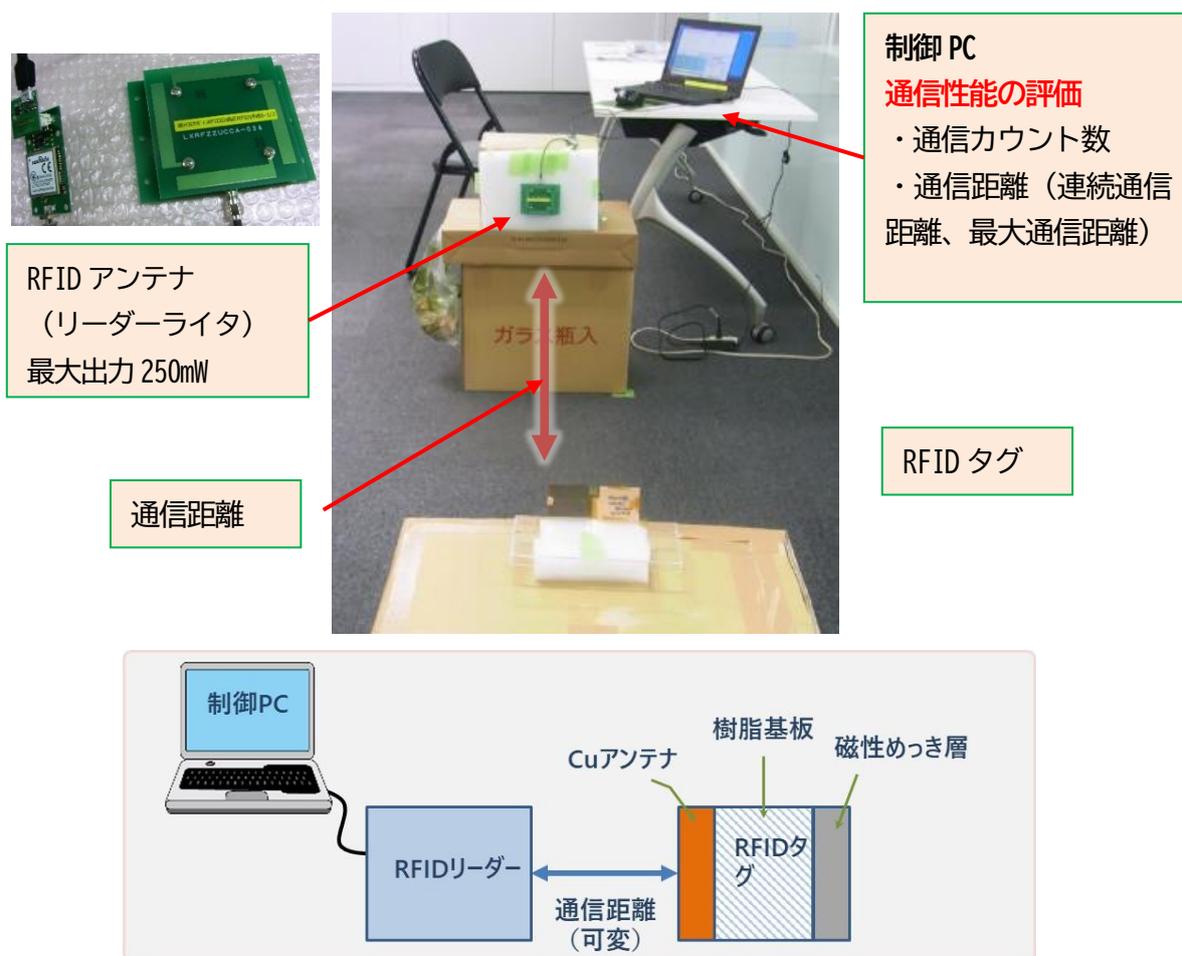
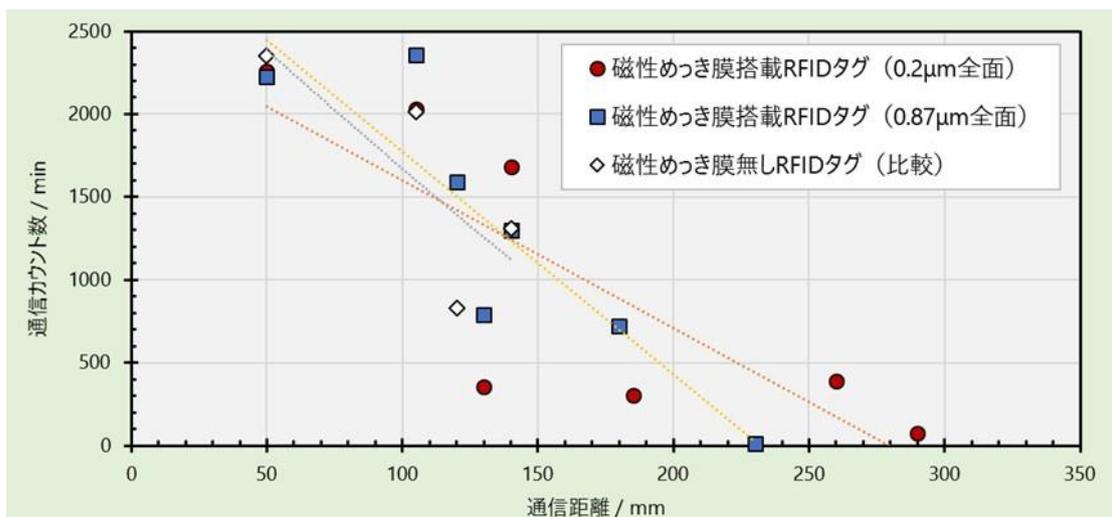


図 2-15 通信距離測定の様子 (H30 年度設備品)



		連続通信距離 (cm)	最大通信距離 (cm)	最大距離向 上率 (磁性 膜無を基準)	距離105cmの ときのカウンタ 数	カウンター向上 率
1	磁性膜なし	105	160	-	2012	-
2	磁性膜搭載 (0.2μm)	110	230	144%	2030	101%
3	磁性膜搭載 (0.8μm)	105	290	181%	2360	117%

図 2-16 通信試験結果 (吉野電化工業(株)の廊下の環境下で測定)

または吸収が起こる。パッシブ型の RFID タグはリーダーライターからの電磁波だけでなく、環境からの反射電波も通信に利用している。さらに、湿度や近隣で動作している機器も通信に影響を及ぼす。このため、磁性めっき膜を搭載した RFID タグの評価結果は、環境依存の因子があるため、他者と共有できる評価結果とはならない。

そこで図 2-17 に示す埼玉県産業技術総合センターの電波暗室内で RFID タグの通信距離の測定を行った。電波暗室内では、安定した通信試験が可能である。電波暗室の内側では、外部の電磁波の影響がなく、リーダーライターからの電磁波 (発信源) からの直接波との通信を測定することができる。この環境においてはより再現性の高い通信距離の測定ができる。

以下の図 2-18 に、標準の銅アンテナのみを使用した RFID タグと磁性めっき膜搭載の RFID タグの通信測定の結果を示す。

①は標準の銅アンテナを使用した RFID タグ (磁性めっき膜非搭載) であり、②は①の裏に、磁性めっきを成膜した基板を貼った RFID タグ、③は①の裏に、豊橋鍍金工業検討の ND 含有磁性めっき浴から成膜した磁性めっき膜を用いた RFID タグである。

RFID タグの裏に、②の磁性めっき基板 (CoNiFe めっき) を貼ると通信状態が安定し、途切れ途切れにしか通信できなかった領域においてもスムーズに通信が行えるようになった。さらに、豊橋鍍金工業(株)検討の磁性めっき基板 (ND-CoNiFe) を貼ることにより、通信はより安定し、通信距離の伸びも確認された。以上の結果から、磁性めっき膜の搭載により RFID の通信品質の向上が確認された。

タグの用途の一つに設定した。また展示会出展を起点とする。HF 帯 RFID メーカーとの話し合いを行い継続して行い、HF 帯 RFID における本磁性膜の利用について試験実施のための打ち合わせを続けている。

ドライ・ウエット複合めっきプロセスを用いた RFID 製造コスト算出を行った結果、磁性めっき¥3、スパッタ¥10、フィルム¥10 の RFID タグ 1 枚当たり計 23 円が原材料費として試算され、当初の 3 年度目標値の¥70/枚以下を達成した（初年度目標は¥200/枚）。しかしながら、アパレル関係の使い捨てタグでは¥20/枚以下まで価格は下がっているのが現状である。このため開発した RFID タグは、Class1 Generation2（読み書き性能の向上）分野：性能を重視した生産管理、センサー用途への利用への販売戦略を主に取っている。

また本成果の一部は、表面技術誌 2019 年 11 月号の解説として掲載された。

運営委員会等実施状況

会議名	日時	場所	議題など
キックオフ	2017 年 9 月 5 日	吉野電化工業(株) (埼玉)	初年度計画
H29 年度第 1 回運営委員会	2017 年 11 月 22 日	早稲田大学 (東京)	磁性めっきの高度化
H29 年度第 2 回運営委員会	2018 年 2 月 19 日	新都心ビジネス交流プラザ (埼玉)	磁性めっきの高度化
H30 年度第 1 回運営委員会	2018 年 7 月 18 日	メルテックス(株) (埼玉)	第 2 年度計画。磁性めっきの高度化 (委員会では、前倒して RFID タグの製作が要望された)
H30 年度第 2 回運営委員会	2018 年 11 月 15 日	大宮ソニックシティビル (埼玉)	RFID タグの製作 (ドライ・ウエットの高度化)
H31 年度第 1 回運営委員会	2019 年 8 月 1 日	吉野電化工業(株) (埼玉)	第 3 年度計画進捗。RFID タグの評価。(委員会では、ドライ・ウエット複合プロセスの知財戦略の見直し、展示会はその後の指摘有った)
H31 年度第 2 回運営委員会	2019 年 11 月 26 日	埼玉県産業技術総合センター (埼玉)	第 3 年度の残務と事業終了後の計画
H29 年度中間ヒアリング	2018 年 1 月 15 日	TKP 新橋カンファレンスセンター	事業化。安定生産について指摘有り。
H29 年度中間ヒアリング	2019 年 1 月 31 日	TKP 東京駅八重洲カンファレンスセンター	コスト試算について指摘有り。
H29 年度最終ヒアリング	2019 年 12 月 23 日	丸の内二重橋ビルディング	事業化の指摘
展示会	展示商談会 BIZ SAITAMA(2018 / 2019)：建築分野の RFID タグおよび磁性めっき膜の商談。彩の国ビジネスアリーナ 2018：既存 RFID メーカーとの磁性めっき膜の利用について。		

最終章

全体総括

本補助事業では、めっき分野と電子・電気分野の異種分野の研究者からなる共同体を作り、磁性めっき膜を搭載した RFID タグを作製するための研究開発を行った。

RFID タグに搭載する磁性めっき膜については、早稲田大学逢坂研究室が開発した CoNiFe 合金磁性めっき膜を使用した。CoNiFe 合金磁性めっき膜は、数多くの磁性めっき膜の中でも、高い飽和磁束密度と低い保磁力のバランスが取れた磁性膜であり、ハードディスク磁気ヘッドの記録書き込み性能を飛躍的に上げた材料として知られている。

磁気ヘッドと本事業の RFID タグへの磁性めっき膜の成膜工程はおおよそ同じである。工程は、平滑な絶縁基板にスパッタ法で金属層を成膜することで電気伝導性の付与を基板に行い、次にスパッタ成膜した基板の上に電気めっきを用いて磁性めっき層を成膜する。同じ工程であるが、本事業の意義は製造コスト削減にある。磁気ヘッドは高付加価値の製品であり、その高い磁気性能を発現するために、材料およびプロセスとともに高コストが許されていた。コストを削減するために、工程の無駄を省く、あるいは工程効率化の対処では、性能とコストの両立が難しく、根本的なプロセスの見直しが必要であった。

本事業では、コストを大幅に削減するプロセス「ドライ・ウエット複合めっきプロセス」の開発を行った。「ドライ・ウエット複合めっきプロセス」の特色は、従来用いていたスパッタ装置と異なる低真空スパッタ装置を用いたことにある。磁気ヘッドのスパッタ装置と本事業の「ドライ・ウエット複合めっきプロセス」で使用したドライのスパッタ装置とは設計思想が異なっている。本事業の装置は低真空度で成膜が可能な、真空引きの時間を大幅に短縮させた高スループットのスパッタ成膜装置である。他産業分野では大型製品の生産機としての使用が開始されている。

しかしながら、当低真空スパッタ装置で成膜した金属膜を電気めっきの下地として用いるためには、めっき膜の密着性を満たす各種のスパッタ条件選定の取り組みが必要であった。本低真空スパッタ装置で成膜したスパッタ膜は、従来スパッタ装置で成膜したスパッタ膜とは膜質が異なり、めっき液に弱いという大きな問題を抱えていた。

このために、スパッタメーカーに問い合わせを行い、メーカー側での実機を用いて得られた装置情報の提供を受けるとともに、スパッタ専門家や共同体内で議論を繰り返し対策を練ることで課題解決を進めた。その結果、めっき下地に適した前処理条件およびスパッタ膜種の選定にたどり着くことが出来た。

またドライ・ウエット複合めっきプロセスは、①腐食性溶液を用いない低環境負荷プロセス、②素材表面の粗化を行わないプロセス、③ハンドリングが難しい薄い素材への成膜が可能、④めっき成膜が難しい材料に適用可能、⑤密着層を用いないスパッタプロセスの特徴が確認され、プラスチック素材への新しいめっきプロセスとしてのポテンシャルを示した。

また本事業では、RFID タグの製造コスト削減のために、磁性めっき液の長寿命化の検討を行った。前述したように CoNiFe 合金磁性めっき膜は、優れた磁気特性を有しているが、めっき液の寿命は短かった。電磁波シールド材等々として CoNiFe 合金磁性めっき膜の利用展開の要望はあったものの、めっき液のコストがこれら用途展開への障壁になっていた。長寿命化の検討は、めっき薬品の開発と販売をする共同体のメルテックス㈱および早稲田大学が主に取り組み、めっき液の構成とめっきシステムを見直すことで、NiFe めっき浴に匹敵するコストが確認された。

また豊橋鍍金工業㈱では、RFID タグの通信性能向上のために、ナノカーボン粒子を磁性めっき液に分散する取り組みによる体積抵抗率の増加について検討を行った。得られた磁性めっき膜は、目標値を大きくクリアする既報以上の体積抵抗率を示した。この膜を実際に RFID タグに実装したところ、非ナノカー

ボン磁性めっき液で得られた磁性膜より良好な通信性能が確認された。

電磁気計測トップの産業技術総合研究所および埼玉県産業技術総合センターの電気・電子部門の共同体への参画は、本事業の推進に大きな寄与を果たした。産業技術総合研究所および埼玉県産業技術総合センターは磁性めっき膜搭載 RFID タグの作製において、それぞれ入り口と出口の役割を担った。入口の産業技術総合研究所の検討において、磁性めっき膜搭載 RFID タグの基本仕様が選定され、出口の埼玉県産業技術総合センターでは、RFID タグを計測が行われた。入口と出口間の材料および成膜プロセスの検討を参画企業と早稲田大学が担った。

共同体の連携維持には、PL 以上に事業管理機関のさいたま市産業創造財団の支えが大きかった。開発者の開発ペースを落とすことをないように経理関係書類の整備を裏で支える他、運営委員会の調整、事業化に向けたルートを共同体に与え、また関連展示会出展の設定を事業管理機関は行った。

結果として、3年間の補助事業によって、研究開発目標を達成し、その間に磁性めっき膜を搭載した UHF 帯 RFID タグを作るためのプロセス開発とその性能確認を行い、事業化ステップに移るための成果が得られた。現在 RFID タグの事業化ステップ移行のために、検討補完している。