

平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高周波誘導加熱による錫めっきウイスキーの抑制技術と
加熱処理の工程短縮、省エネルギー技術の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成 24 年 3 月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人名古屋産業振興公社

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
1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	5
1-3 成果概要	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	10
第2章 本論	10
2-1 高周波誘導加熱リフロー処理による錫めっきウイスキーの抑制技術の開発	10
2-2 水中高周波誘導加熱処理による錫めっきウイスキーの抑制技術の開発	12
2-3 水中高周波誘導加熱によるワーク洗浄力の向上技術の開発	16
2-4 高周波処理品に関する表面及び断面解析	17
最終章 全体総括	23

第一章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

現在、電子回路に使用される錫めっき部品において錫めっき表面から発生するウイスキの発生による回路短絡による不具合が問題となっている。現状のウイスキ対策としては、錫めっきの合金化、錫めっきのリフロー処理^(注1)が行われているが、合金化においては環境負荷物質の鉛を使用したはんだめっきに勝るものは未だ発見されていない。また、リフロー処理においても従来の熱風を使用したものについては、表面が酸化しやすく処理後のはんだ付け性が劣化したり、処理が均等でない場合にリフロー不完全によりウイスキが発生する等の不具合に至る可能性がある。

これらの課題を解決するため、本研究開発では、錫めっきされた部品を次に掲げる方法で高周波誘導加熱^(注2)し、錫めっき皮膜の改質を行うことで現状の問題点を解消したはんだ付け性の良い錫めっきウイスキの低コスト抑制技術を開発することを目的とする。また、製造現場では洗浄効果の向上による省資源、省エネルギー化が強く求められているため、錫めっき後の水洗工程でめっき部品を高周波誘導加熱し、めっき皮膜表面の清浄度を低コストで向上させる技術を開発することを目的とする。

イ) フープ材^(注3)を大気中で高周波誘導加熱方式によるリフロー処理を行い、錫と下地金属の拡散層を形成させ、ウイスキ抑制効果を評価する方法。

ロ) フープ材およびバレル部品^(注4)を、無酸化雰囲気の水中で、高周波誘導加熱方式による加熱処理を行い、錫と下地金属の拡散層を形成させ、ウイスキ抑制効果を評価する方法。

注1) めっきされた部品を加熱しめっき皮膜を溶融させることをいい、ウイスキ抑制等を目的として行われる処理。

注2) 高周波電流の流れるコイルの中に置かれた導電体（ここでは錫めっきされた部品）が、電磁誘導作用等によって導電体に内部熱が生じ、急速に加熱される現象のこと。外部からの加熱方式に比して、内部も含めた導電体全体を比較的均等に加熱することができる特徴を有する。

注3) 帯状の薄い平板（もしくは平板をプレス加工した部品が連鎖したもの）がリー

ル状に巻き取られた条材。

注4) バレルという樹脂製の樽状の容器に入れ回転させながらめっきする部品。

研究の概要

1. 高周波誘導加熱方式のリフロー処理による錫めっきウイスキアの抑制技術の開発 (リフロー処理の工程短縮、省エネルギー)

現在のリフロー技術では、リフロー処理による表面酸化を起因とするはんだ付け性の劣化や、リフロー処理による錫と下地金属の界面における拡散層生成状態の不均一性等の問題があり、ウイスキアの抑制及び実装面での問題が完全に解決したとはいえない。

本研究開発においては、主にリフロー処理の方法に着目し、短時間で確実なリフロー処理が可能な方法を、高周波誘導加熱を利用し開発する。これは、従来の熱風方式に比べて、短時間で加熱されて錫を溶融するため、酸化の度合いが小さく、はんだ付け性劣化の高い抑制効果も期待できる。

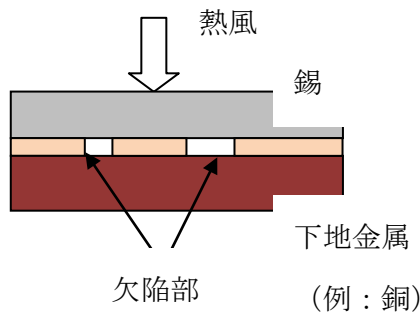
平成22年度の補正事業において、高周波誘導加熱リフロー処理により錫めっきウイスキアを抑制するための適正条件を見出し、はんだ濡れ性試験やウイスキア荷重加速試験、自然放置試験を実施してその効果を実証した。継続して観察をし、一部目標を達成した。しかし、リフロー処理でのめっき皮膜溶融に部分的なむらがあり均一性の改善などの課題も見つかった。本事業では、めっき皮膜の均一性、ウイスキア抑制力、ハンダ濡れ性等を継続して試験して品質を市販化レベルまで向上させる。

また、工程短縮、時間短縮、省エネルギーの観点から、高周波誘導加熱方式のリフロー処理により、消費電力と処理時間を次のように削減できると考えている。

熱風方式の場合：約4 kW → 高周波誘導加熱方式の場合：450 W

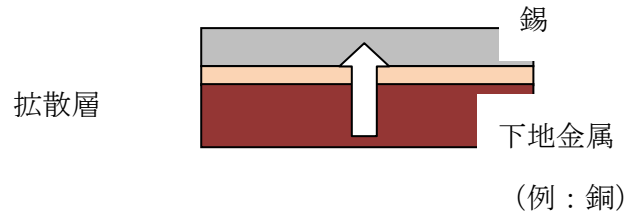
熱風方式の場合：4～5秒 → 高周波誘導加熱方式の場合：2秒以下

従来の熱風リフロー



錫の表面から素材に熱が伝わるため
拡散層に欠陥部分が発生しやすい

高周波誘導加熱によるリフロー



素材から表層の錫に熱が伝わる
拡散層に欠陥が発生しにくい

2. 水中高周波誘導加熱方式のリフロー処理による錫めっきウイスキアの抑制技術の開発

水中でワークに高周波をあて誘導加熱することで下地金属と錫めっき皮膜の界面に拡散層を形成させ耐ウイスキー性に効果のある皮膜改質をする実験を行う。現状の熱風加熱方式によって生成される拡散層 Cu_6Sn_5 合金であっても、一定のウイスキー抑制効果が得られることは知られているが、無酸化雰囲気の中で、かつ、高周波誘導加熱方式によって Cu_6Sn_5 合金の拡散層を生成させ、これまでに前例のない錫めっき表面を熔融させることなくハンダ付け性の良いウイスキー抑制技術の確立を目指す。

平成22年度の補正事業において、フープを対象とした水中高周波処理の検討により、自然放置試験の結果からウイスキーの抑制力を確認した。ただし、水中での高周波処理では、水の抵抗で効率が低下し試料が加熱されない課題があり、外圧に対するウイスキー抑制に有効な拡散層は形成できなかった。本事業では、誘導加熱コイルの改善、処理条件の検討により、大気中リフローと同様に外圧に対するウイスキー抑制効果を持つ拡散層の形成条件を見出す。フープと同様にバレル部品についても同様の検討を行う。

3. 水中高周波誘導加熱によるワーク洗浄力の向上技術の開発（熱処理に係る技術）

現在バレルめっきに限らず、フープめっきに於いても、めっき後の最終洗浄工程の

洗浄力を向上させるために、湯洗を利用している場合があるが、水洗中に高周波誘導加熱でワークを加熱することで、湯洗と同様な洗浄力を持たせることが出来ると考えられる。水中であっても誘導加熱されたワーク表面は、水の沸点温度を超え、最表面では水は沸騰する。これを利用すれば、ワーク表面は湯洗した場合と同様な状況となっていると考えられ、特に湯洗のように温度維持が必要ないため、流水中で処理できる事により洗浄力は湯洗以上となるはずである。また、水洗→湯洗という工程が必要であった部品のバレルめっきなどは、水洗1工程に短縮でき、湯洗のように浴の温度維持をしなくとも良いため、大きな工程短縮と省エネ効果が期待できる。

本研究開発では、錫めっき直後のフープめっき、バレルめっき品に対し、次の3種の洗浄方法を比較し、高周波加熱の最適条件を見出す。

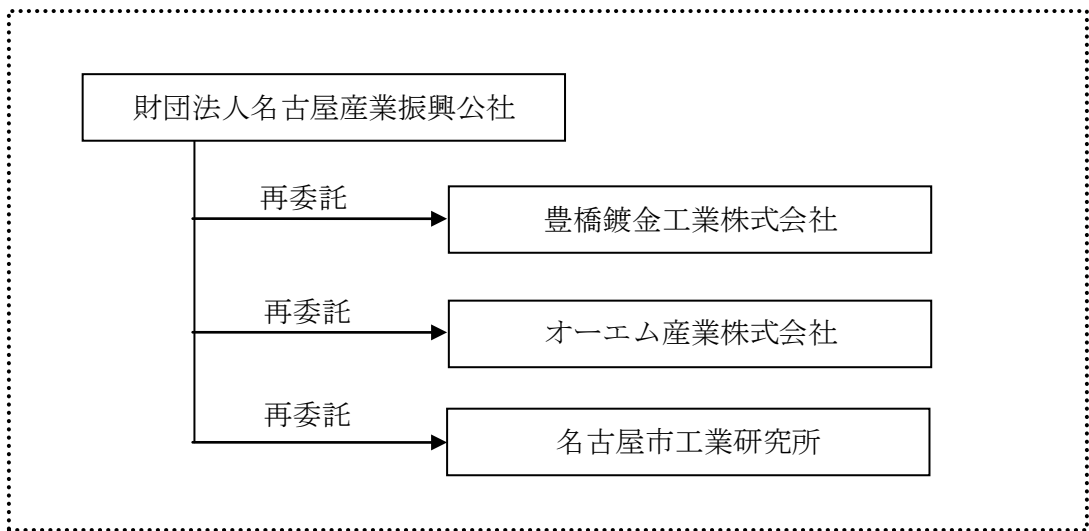
- イ) 通常の水洗のみ
- ロ) 水洗+湯洗
- ハ) 高周波誘導加熱処理水洗

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)



総括研究代表者 (P L)
豊橋鍍金工業株式会社
代表取締役社長 高木 幹晴

副総括研究代表者 (S L)
オーエム産業株式会社
取締役めつき部長 高見沢 政男

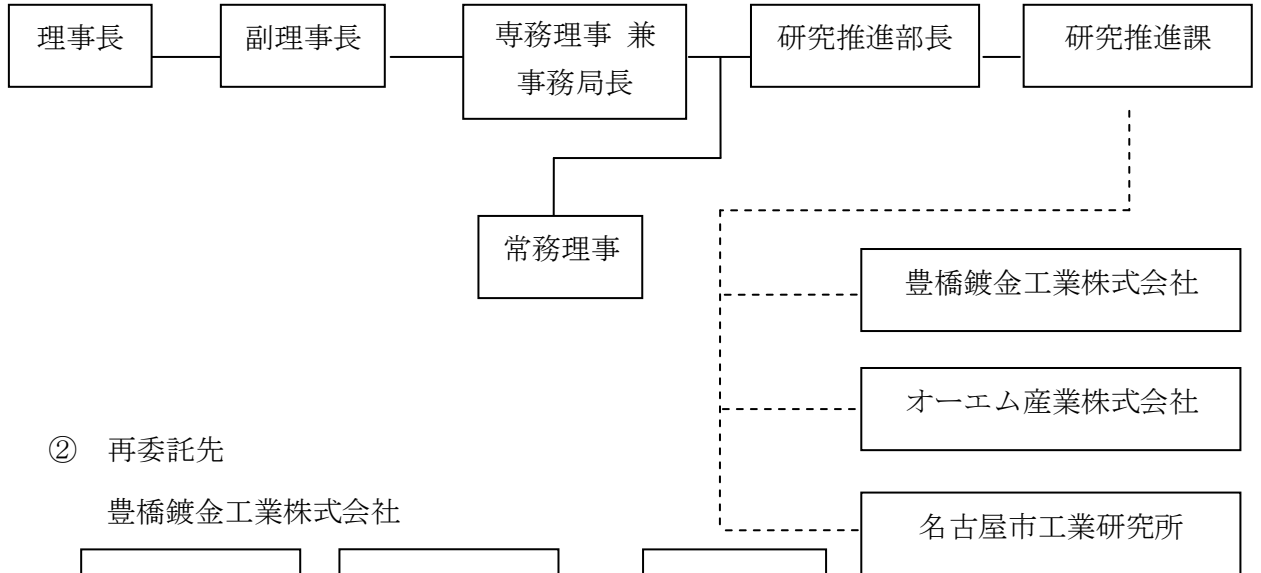
アドバイザー

- ・ ソニーイーエムシーエス株式会社 ・ 日本圧着端子製造株式会社
- ・ 株式会社デンソー ・ 名古屋大学 エコトピア科学研究所

2) 管理体制

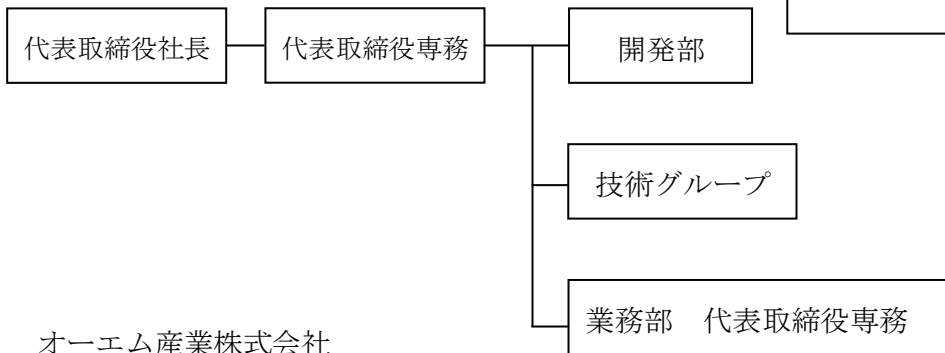
① 事業管理者

財団法人名古屋産業振興公社

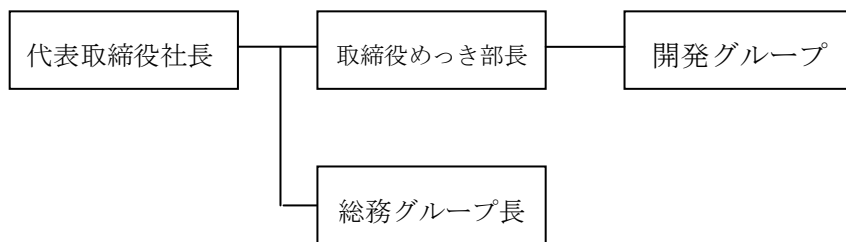


② 再委託先

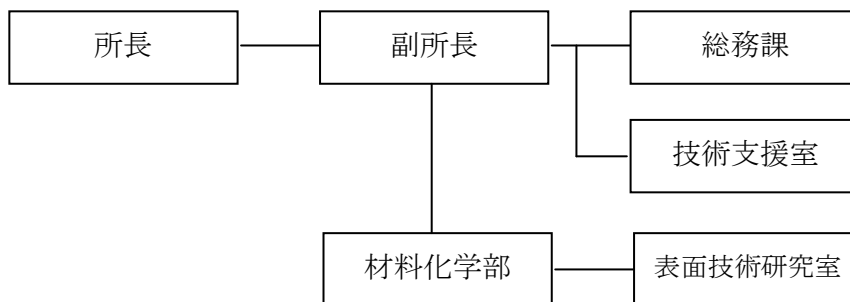
豊橋鍍金工業株式会社



オーエム産業株式会社



名古屋市工業研究所



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人名古屋産業振興公社

管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
小島 雅彦 数井 宏充 白浜 さおり	研究推進部長 研究推進課長 研究推進課	⑤

【再委託先】

研究員

豊橋鍍金工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
高木 幹晴 藤本 剛史 鈴木 督久 福田 新之助	代表取締役社長 開発部 技術グループ リーダー 技術グループ	①-1～①-4 ②-1～②-4 ③、④

オーエム産業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
高見沢 政男 仲 俊英 秦泉寺 真琴	取締役めっき部長 開発グループ 主任 開発グループ	①-1～①-4 ②-1～②-4 ③

名古屋市工業研究所

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
林 幸裕 加藤 雅章	材料化学部表面技術研究室 室長 材料化学部表面技術研究室 研究員	①-2～①-4 ②-2～②-4 ③

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人名古屋産業振興公社

(経理担当者) 研究推進課 白浜 さおり

(業務管理者) 研究推進部課長 数井 宏充

(再委託先)

豊橋鍍金工業株式会社

(経理担当者) 代表取締役専務 高木 伸江

(業務管理者) 代表取締役社長 高木 幹晴

オーエム産業株式会社

(経理担当者) 総務グループ 川中 良太

(業務管理者) 取締役めっき部長 高見沢 政男

名古屋市工業研究所

(経理担当者) 総務課事務係長 鈴木 宏始

(業務管理者) 技術支援室主幹 大岡 千洋

1-3 成果概要

開発テーマ		目標	成果	
①高周波誘導加熱方式のリフロー処理による錫めっきウイ スカーの抑制技術の開発	高周波処理後のハンダ濡れ性劣化の抑制	【ハンダ濡れ性】 PCT：4時間実施後のハンダ濡れ性時間：2秒以下 前処理未処理との劣化：50%以下	大気中リフロー	【フープめっき部品】 高周波処理直後：0.39秒 PCT後：0.39秒 PCT処理後は2秒以下であり、前処理前後で全く劣化の無い被膜特性が得られた。 目標達成
			水中高周波誘導加熱	【フープめっき部品】 高周波処理直後：0.28秒 PCT後：0.42秒 PCT処理後は2秒以下であり、前処理前後で50%の劣化という被膜特性が得られた。 目標達成
			【バレルめっき部品】 高周波処理直後：1.6秒 PCT後：1.8秒 PCT処理後は2秒以下であり、前処理前後でほぼ劣化のない被膜特性が得られた。 目標達成	

① 高周波誘導加熱方式のリフロー処理による錫めっきウイスキーの抑制技術の開発	高周波処理後によるウイスキー発生抑制	①ボール荷重試験 240時間 : 50 μ m 以下	大気中リフロー	【フープめっき部品】 ①ボール荷重試験 240時間: 45 μ m ②アクリル加圧試験 240時間: 発生無し ③自然放置試験 1000時間: 発生無し 目標達成
		②アクリル加圧試験 240時間 : 50 μ m 以下		【フープめっき部品】 ①ボール荷重試験 240時間: 27 μ m ②アクリル加圧試験 240時間: 26 μ m ③自然放置試験 1000時間: 発生無し 目標達成
		③自然放置: 1000時間 : 発生無し		【バレルめっき部品】 ①ボール荷重試験 240時間: 42 μ m ②アクリル加圧試験 240時間: 25 μ m ③自然放置試験 1000時間: 発生無し 目標達成
② 高周波誘導加熱によるリフローの工程短縮及び省エネ	乾燥含め 400mm (処理時間 2秒以下)	処理時間: 2秒 目標達成	水中高周波誘導加熱	電力: 100~200W 目標達成
		電力: 450W		電力: 100~200W 目標達成
③ 水中高周波誘導加熱によるワーク洗浄力の向上技術の開発	めっき後の表面清浄度が湯洗浄以上 めっき後の濡れ性で確認	フープ材に関しては湯洗以上の効果があることを確認したが、2kW という大きな電力が必要であった。 バレル品に関しては 10kW 以上という大きな電力量が必要であり省エネ化が図れないため水中での洗浄に高周波を用いることは不向きであると考えられる。		
④ 事業化に向けた検討	技術の権利化に向けた特許申請	2011年 高周波によるウイスキー抑制法に関する特許を出願。		

1-4 当該研究開発の連絡窓口

総括研究代表者

豊橋鍍金工業株式会社 代表取締役社長 高木幹晴

TEL : 0532-31-6217 FAX : 0532-32-5182

E-mail : m.takagi@toyohashiplating.co.jp

事業管理者

財団法人名古屋産業振興公社 研究推進部 研究推進課 小島 数井 白浜

TEL : 052-736-5680 FAX : 052-736-5685

第2章 本論

2-1 高周波誘導加熱リフロー処理による錫めっきウィスカーの抑制技術の開発

2-1-1 フープめっきにおけるリフロー適正条件の検討

評価用錫めっきフープ材の作成

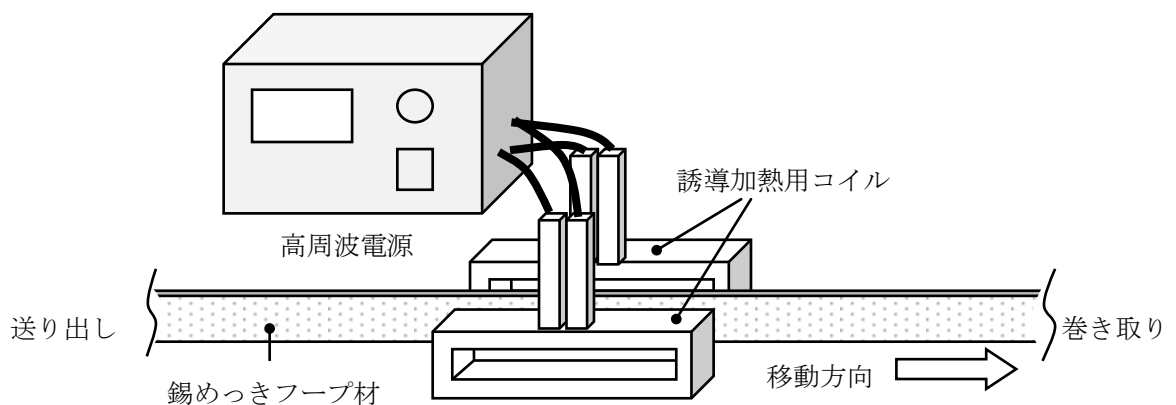
コネクタ用に使われている連鎖した端子のフープ材（基材:リン青銅）に下記の仕様で錫めっきを施し高周波処理用を行うための「評価用めっきサンプル」とした。

下地めっき：銅（青化銅めっき浴） $1.5\sim 3.5\mu\text{m}$

表層めっき：半光沢錫めっき（有機酸浴） $1.0\sim 3.0\mu\text{m}$

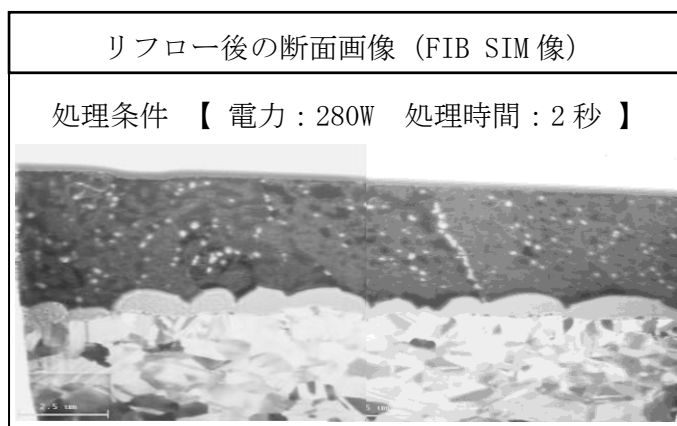
フープ材の高周波誘導加熱方法

下図のように、プレス部品が連鎖した条材のフープ材を挟むように誘導加熱コイルを設置し、フープ材を誘導加熱した。



適正条件の検討結果

加熱条件を検討した結果、出力 100W~300W の電力に於いて適切なリフローが行われるいくつかの条件が確認された。※実験では周波数、コイル間距離を変えて行い、適正電力と周波数、コイル間距離の関係を検討した。



高周波リフローは熱風式に比較し拡散層が均一な形成をしており良好であり、錫めっき被膜は十分に溶融している。

2-1-2 ハンダ濡れ性試験 (試料作成含む)

〈はんだ濡れ性測定条件〉	
SWET-2100e (タルチンケスター製)	
(測定条件)	
浸漬速度 :	2.0mm/s e c
浸漬深さ :	0.20mm
浸漬時間 :	5.0 s e c
はんだ槽 :	M-705 (成分) Sn-3.5Ag-0.5Cu_ (温度) 245°C
フラックス :	CF-100VB (原液)
(PCT 処理条件)	
時間 :	4 時間
条件 :	飽和
温度 :	105.0°C



評価用フープめっき端子を、2-1-1 で得られた条件内で大気中高周波リフローし、作成したサンプルをはんだ濡れ性試験を行い濡れ性の確認をした。

目標 : PCT (プレッシャークッカー試験) 4 時間の前処理実施後、はんだ濡れ時間を 2 秒以下、前処理なしとの劣化が 50% 以下

成果 : 「前処理なし……0.39 秒、PCT 処理後……0.39 秒」

という全く劣化の無い皮膜が得られ目標達成をした。

2-1-3 ウィスカー荷重加速試験

①ボール荷重試験	②アクリル板加圧試験
 A photograph of a ball load test apparatus. It consists of a metal base with three vertical shafts. Each shaft has a cylindrical weight on top and a ball-shaped tip at the bottom. The tips are positioned to press down on a sample.	 A photograph of an acrylic plate press test apparatus. It is a metal frame with two vertical posts. A white acrylic plate is held between the posts, and a sample is placed on top of it. A label with handwritten text is attached to the right post.
錘を付けたシャフトの先端に取り付けたボール形状のチップをめっき皮膜に自重で押し付け、外圧で発生するウィスカーを確認する。	アクリル板でめっき試料を挟み込み、その四隅を一定の力でボルト締め、外圧によるウィスカーの発生を観察する。

① ボール荷重試験

目標：240時間-50 μ m以下

成果：「240時間-45 μ m」と目標を達成した。

② アクリル加圧試験

目標：240時間-50 μ m以下

成果：「240時間-発生無し」と目標を達成した。

2-1-4 ウィスカー自然放置試験

③ ウィスカー自然放置試験

目標：1000時間-発生無し

成果：「1000時間-発生無し」と目標を達成した。

2-2 水中高周波誘導加熱処理による錫めっきウィスカーの抑制技術の開発

2-2-1 フープ、バレルめっきにおける皮膜改質適正条件の検討

評価用錫バレルめっきサンプルの作成

コネクタ用の端子に使用されているポストピンに下記の仕様で錫めっきを施し

高周波処理用を行うための「評価用めっきサンプル」とした。

※以降全てのバレルでの試験はこの評価用サンプルを使用

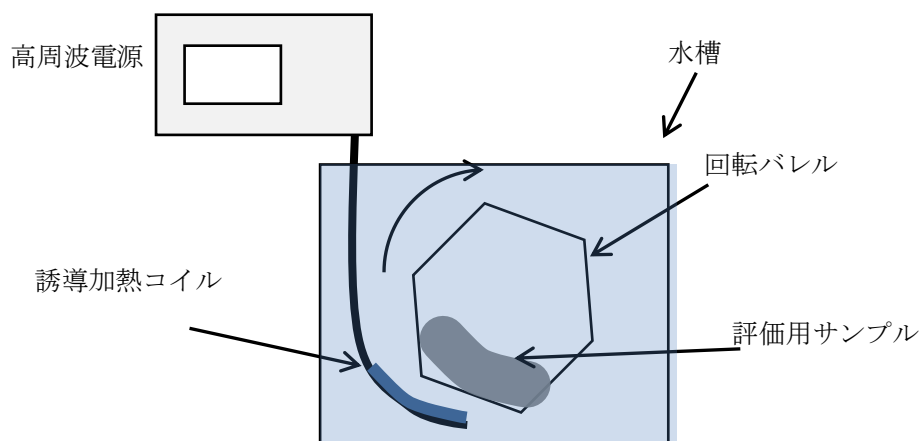
基材：黄銅

下地めっき：銅（青化銅めっき浴） $1.0\sim 3.0\mu\text{m}$

表層めっき：光沢錫めっき（硫酸浴） $3.0\sim 6.0\mu\text{m}$

バレル品の水中高周波誘導加熱方法

下図のように、回転バレルに評価用めっきサンプルを一定量入れ、水槽の中で回転バレルに沿うような形で設置した誘導加熱コイルで、評価用めっきサンプルを誘導加熱した。



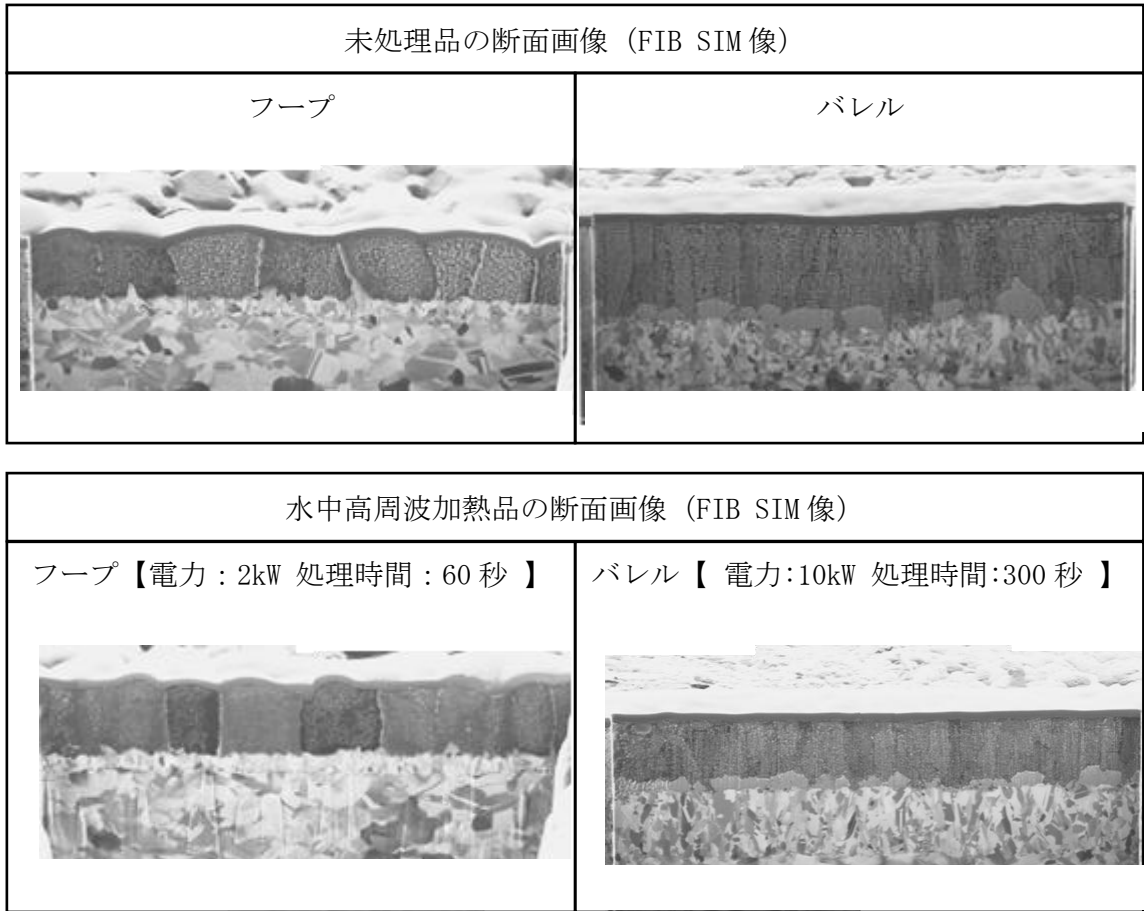
フープ材での適正条件の検討結果

加熱条件を検討した結果、電力と周波数、コイル間距離の関係を検討した結果、 $2\text{kW}-40\sim 50^{\circ}\text{C}$ に於いて適正な条件が確認された。

バレル部品での適正条件の検討

加熱条件を検討した結果、電力と周波数、コイル間距離の関係を検討した結果、 $10\text{kW}-40\sim 50^{\circ}\text{C}$ に於いて実験に採用する適正な条件が確認された。

水中高周波加熱 前後の試料 FIB 断面写真



2-2-2 ハンダ濡れ性試験 (試料作成含む)

対象部品……フープ

目標： PCT4 時間の前処理実施後、はんだ濡れ時間が 2 秒以下

前処理なしとの劣化が 50%以下

成果：「前処理なし……0.28 秒 PCT 処理後……0.42 秒」と目標を達成した。

対象部品……バレル

目標： PCT4 時間の前処理実施後、はんだ濡れ時間が 2 秒以下

前処理なしとの劣化が 50%以下

成果：「前処理なし……1.6 秒 PCT 処理後……1.8 秒」と目標を達成した。

バレルの場合はフープに比べ構造上ワークと誘導加熱コイルの距離が離れているので、誘導加熱効率はフープに比較し悪い。そのため処理条件は水の温度はフ

ープより高めに、時間は長めにしなければならない事が解った。

2-2-3 ウィスカー荷重加速試験

対象部品……フープ

① ボール荷重試験

目標：240 時間-50 μm 以下

成果：「240 時間-27 μm 」と目標を達成した。

② アクリル加圧試験

目標：240 時間-50 μm 以下

成果：「240 時間-26 μm 」と目標を達成した。

対象部品……バレル

① ボール荷重試験

目標：240 時間-50 μm 以下

成果：「240 時間-42 μm 」と目標を達成した。

② アクリル加圧試験

目標：240 時間-50 μm 以下

成果：「240 時間-25 μm (銅下地)」と目標は達成した。

ニッケル下地でも試験を行ったが効果があることが確認できた。

また、水の温度を 10℃と 40℃近辺とで比較を行った場合、10℃の低温領域ではウィスカーの発生が高周波処理を行った場合に多くなり、40℃に加温した場合はウィスカーが減少するという結果となった。このように水中高周波処理では FIB、電子顕微鏡等の画像からはあまり変化がないように考えられたものがウィスカーの抑制力を持っていることが分かる。

以上のことから、水中高周波誘導加熱品については、現在の構造解析だけではウィスカー抑制の解析は困難であり信頼性に欠けるため、事業化のためには今後解析方法を検討してウィスカーの抑制機構についての再検討が必要である。

2-2-4 ウィスカー自然放置試験（試料作成含む）

③ ウィスカー自然放置試験（試料作成含む）

対象部品……フープ・バレル

目標：1000 時間・発生無し

成果：「1000 時間・発生無し」と目標は達成した。

2-3 水中高周波誘導加熱によるワーク洗浄力の向上技術の開発

目標：錫めっき直後のフープめっき品の表面清浄度を湯洗以上に上げる事を目的とする。

成果：フープ材について、めっき後に 2kW で水中高周波処理したものを PCT にて前処理をし、その後ハンダ濡れ性試験を行い濡れ性の向上を確認することで、湯洗以上に表面清浄性があることが確認された。但し、バレルについては 10kW 以上という大きな電力量が必要な事、フープにおいての一般的な脱脂についても、現状より大きな省エネにならないと判断したのでバレル処理及び一般的な脱脂洗浄については断念した。

水中高周波誘導加熱による表面清浄効果の確認

目的：水中高周波誘導加熱による錫めっき表面の清浄度を、加速試験後のはんだ濡れ性によって未処理、湯洗浄品と比較・確認する。

方法：フープめっき品に於いて未処理品、湯洗浄品と水中高周波加熱品を PCT（プレッシャークッカ試験）にて 16 時間前処理を行った後のはんだ付け試験を行い濡れ性を比較した。

水中高周波誘導加熱による表面清浄効果							ハンダ濡れ性試験結果			
No.	加熱 雰囲気	めっき仕 様	高周波処理条件			処理後の 変色防止	PCT16 時間後			
			周波数 KHz	消費 電力 KW	処理時間 (秒)		ゼロクロスタイム(秒)			
							1	2	3	平均
1		SSn/Cu	ブランク (PCT 無し)			○	0.20	0.26	0.21	0.22
2		SSn/Cu	ブランク			○	0.53	0.46	0.43	0.47
3		SSn/Cu	湯洗浄	80℃	120 秒	○	0.42	0.35	0.39	0.39
4	湯 50 ℃	SSn/Cu	200	2	60	○	0.40	0.41	0.30	0.37
5		SSn/Cu	ブランク (PCT 無し)				0.18	0.17	0.24	0.20
6		SSn/Cu	ブランク				0.82	0.73	0.65	0.73
7		SSn/Cu	湯洗浄	80℃	120 秒		0.45	0.60	0.50	0.52
8	水	SSn/Cu	200	2	60		0.46	0.54	0.51	0.50

結果

一般的に錫めっき後の表面には僅かながら不活性皮膜やめっき液に使用される有機物の残渣が存在し、それが原因で経時劣化し促進され、高温多湿等の条件下では特に表面活性度が劣化しはんだ付けでの濡れ性等が劣化するため、この劣化を防ぐためにはめっき表面清浄向上が重要である。

今回の試験では上記のように湯洗浄以上の大きな効果が確認され、水中高周波処理によりめっき後の錫めっきの表面清浄度が大きく向上したことが確認された。

2-4 高周波処理品に関する表面及び断面解析

2-4-1 実験方法

高周波加熱前後の錫めっき製品について電子顕微鏡観察を行った。高周波誘導加熱の条件については大気中が 200W、2 秒、水中では 2kW、5 分を標準とした。走査電子顕微鏡 (S-4800: 日立ハイテク) による表面・断面観察、および汎用透過電子顕微鏡 (H-800) 超高压電子顕微鏡 (1250ST) により断面観察を行った。分析はエネルギー分散型 X 線検出器によりおこなった。酸化膜の測定にはオージェ電子分光を使用し

た。測定は名古屋工業大学 大型設備基盤センターにて実施した。アルゴンスパッタにより表面を削り、スパッタと測定を繰り返すことで深さ方向の元素分布を調べた。スパッタの条件は 2kV、1mm 角、10 秒で行った。SiO₂ 換算で一回あたり 2nm 削れる条件である。15 回程度を目安に炭素、酸素、銅、錫の部分スペクトルを測定し、酸化層の膜厚を見積もった。

2-4-2 実験結果および考察

2-4-2-1 錫めっきの表面形態に及ぼす高周波リフローの効果

図 1 に未処理(a)、大気中高周波リフロー(b)、水中高周波誘導加熱(c)した端子の表面形態を走査電子顕微鏡で観察した結果を示す。処理前ではめっき粒子が明瞭に観察された。線平均で見積もった平均結晶粒径は 1.4 μm であった。水中高周波誘導加熱処理後は処理前と大きな変化がなく、加熱処理によって錫めっきの溶解が起こっていないと考えら

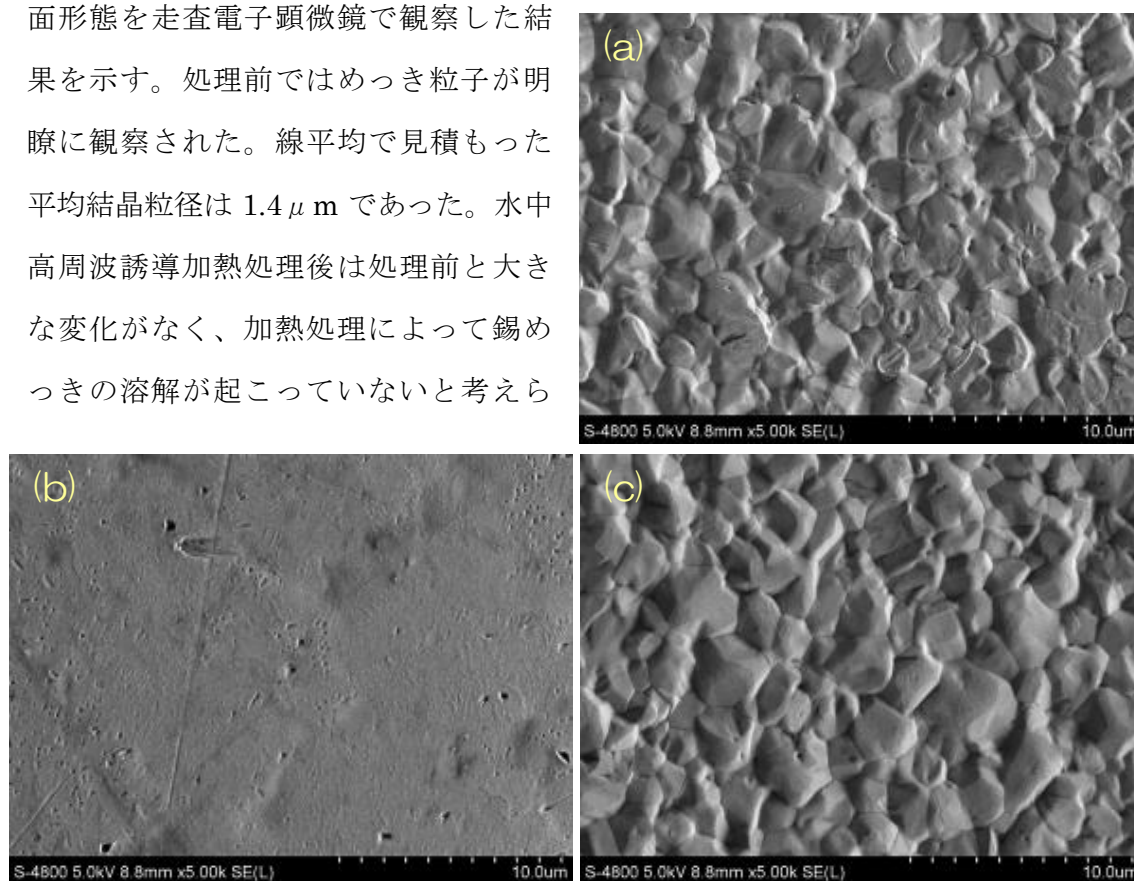


図 1 端子の表面形態 (a) 処理前、(b) 大気中リフロー、(c) 水中高周波誘導加熱される。処理前と比較するとやや丸みの帯びた結晶になっているように見える。表面からみた平均結晶粒径は 1.5 μm で処理前とほぼ一致した。一方、大気中リフロー処理後の表面形態は平坦な状態であり、錫めっきが溶解したことがわかる。また表面には

さらに細かい粒子が見られ、反射電子像で確認すると母相錫に比べては暗く見える（図2）。この粒子は透過電子顕微鏡による電子線回折により、 Cu_6Sn_5 析出物と同定された。また反射電子像で結晶粒子のコントラストが見えることから表面の清浄度（酸化や汚れが少ない）が高いといえる。

目視による外観観察において処理前は無光沢外観で、水中高周波誘導加熱処理品も同様の無光沢外観を有する。一方大気中リフロー品では光沢があり、リフロー処理による溶解の有無は目視による外観検査で区別することができる。実際にリフロー処理条件の調査段階では品物に部分的に光沢の出ていないものが確認され、溶解の有無を判断することが可能である。

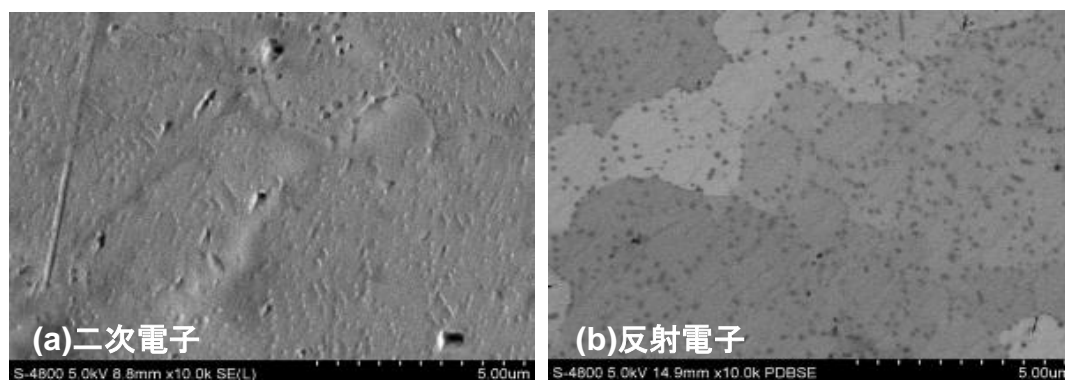


図2 大気中リフロー処理後の表面形態 (a) 二次電子像、(b) 反射電子像

図3に未処理(a)、大気中高周波リフロー処理(b)、水中高周波誘導加熱処理(c)した端子の表面の元素分析の結果を示す。未処理では錫(Sn)のピークのみが検出され、酸素のピークは検出されなかった。X線分析で見ると表面はほとんど酸化（錆も含む）していない、きれいな表面であることがわかる。水中高周波誘導加熱についても同様に錫のみが検出され酸化膜は極めて薄いものと考えられる。大気中リフローについても同様に酸素は検出されなかった。従って高周波リフローでは顕著な表面酸化は生じないことがわかった。大気中リフローでは銅(Cu)のピークが検出された。表面観察（図2(b)の粒子状析出物）で確認された Cu_6Sn_5 析出物によるものと考えられる。

2-4-2-2 高周波リフローした錫めっき品の断面金属組織

図4は錫めっき端子断面の全体像である。処理前は全体に均一にめっきされており、その膜厚はおよそ $2\mu\text{m}$ であった。水中高周波誘導加熱においても同様にめっき膜は全体に均一についており、加熱処理によって溶解した形跡は見られな

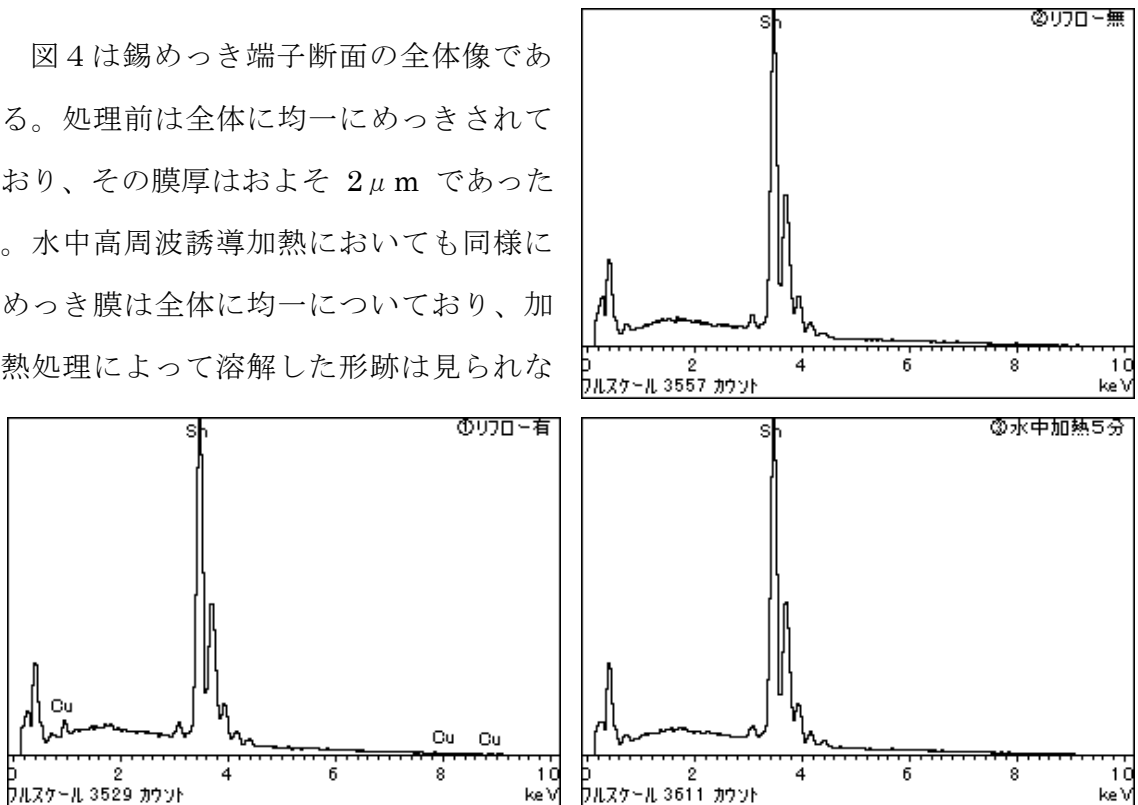


図3 表面分析EDX スペクトル

(a) 処理前、(b) 大気中リフロー (c) 水中高周波誘導加熱

かった。大気中リフローにおいて、めっき膜は端子の中央に寄った状態になっており、中央上では $8\mu\text{m}$ 、端部では $0.7\mu\text{m}$ になっていた。リフローによって錫め

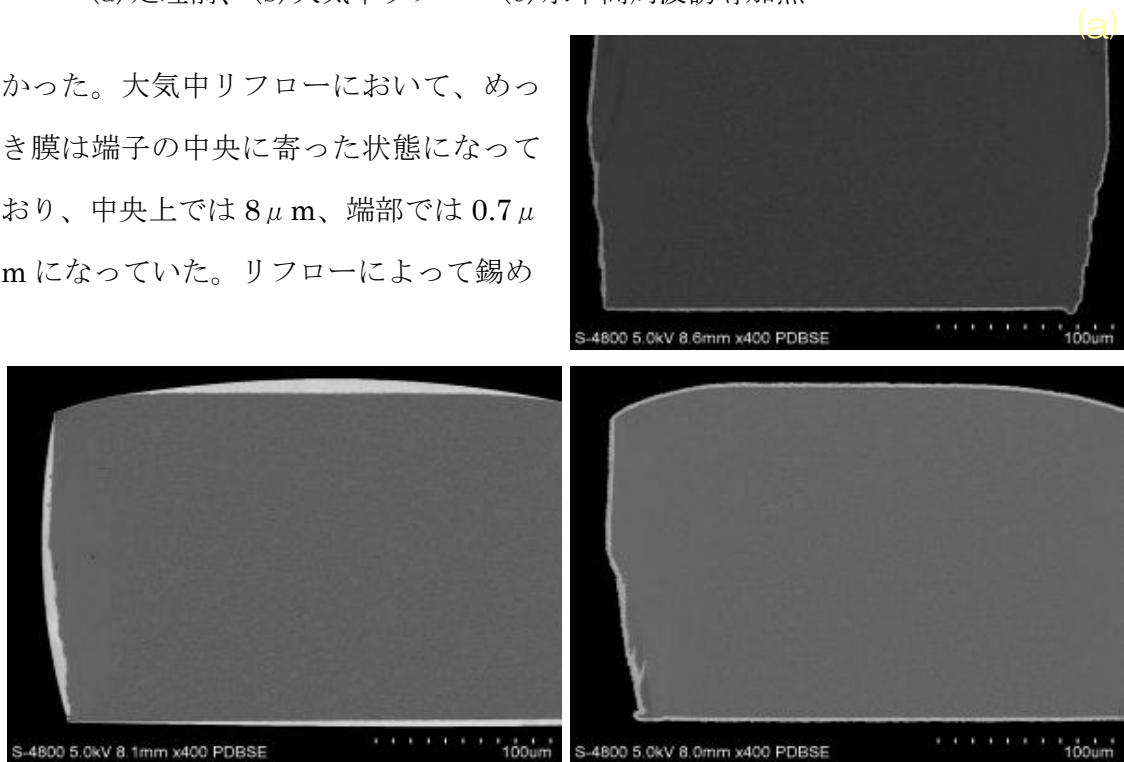


図4 端子断面の全体像 (a) 処理前、(b) 大気中リフロー、(c) 水中高周波誘導加熱

つきが溶解し、表面張力によって中央に盛り上がったと考えられる。

図5は図4における上部を拡大して示したものである。処理前のものでは錫めっき/銅素地界面に比較的大きな合金層がまばらに存在しており、錫めっきの結晶粒界に沿って形成していた。分析から Cu_6Sn_5 層であると推測される。水中高周波誘導加熱は処理前と比較して結晶粒の大きさ、合金層の状態など大きな変化は走査電子顕微鏡観察では確認できなかった。

一方大気中リフロー処理では素地界面に2種類の合金層の形成が確認された。素地界面には Cu_3Sn と推測される厚さ約 70nm、その上に Cu_6Sn_5 層が $1.5\mu\text{m}$ 程度に形成していた。

また錫めっき層には写真上やや暗く見える析出物が点在していた。前述したように Cu_6Sn_5 析出物であると推定される。表面観察と断面観察の結果を勘案すると高周波大気中リフローにより錫めっきが熔融し、溶解時に素地の銅原子が錫めつ

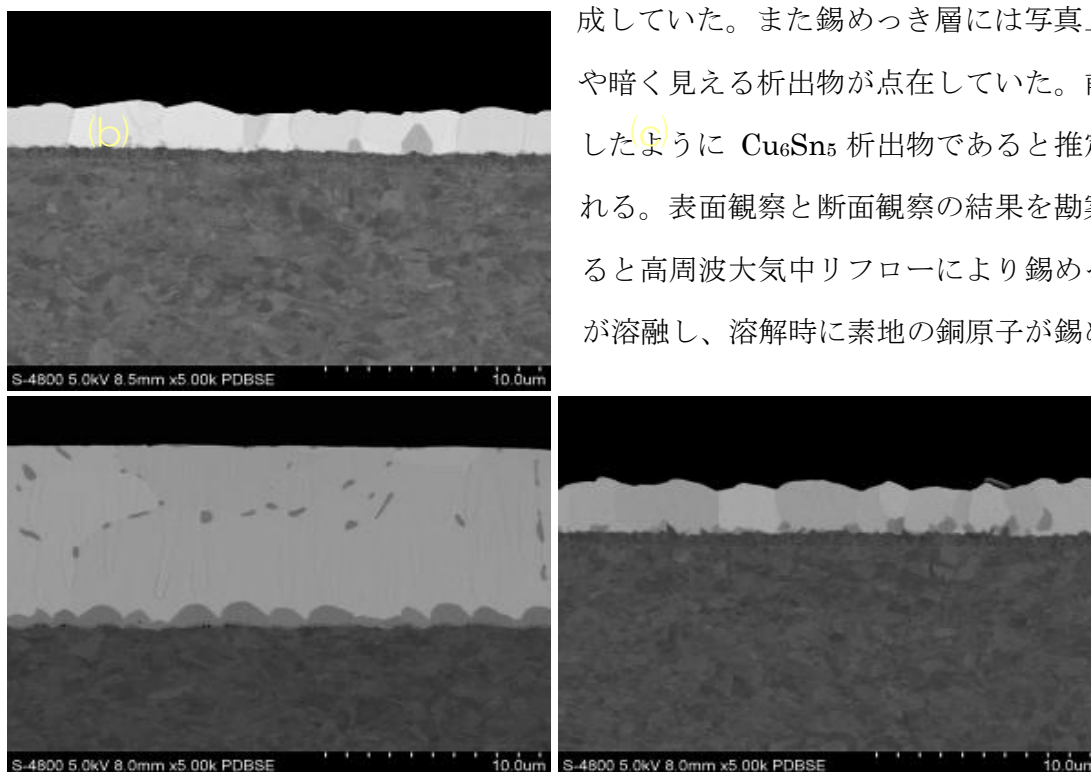


図5 端子上部中央のめっき断面組織

(a)処理前、(b)大気中リフロー、(c)水中高周波誘導加熱

き中に拡散し、錫銅合金めっきとなり、凝固時に共晶反応によって析出したものと考えられる。 Cu_6Sn_5 析出物は主として結晶粒界に析出していた。図6に大気中リフロー処理による錫めっきの構造変化についてまとめたものを示す。大気中リフローにおいては図5のように粗大化したように見える場合と図6のように微細化する場合とがある。

各種ウイスキー発生試験において、大気中リフローおよび水中高周波誘導加熱処理にはウイスキー抑制効果があることが明らかとなっている。大気中リフローでは界面における均質な合金層の形成、および錫めっき皮膜に微分散した析出物により原子の拡散が阻害されてウイスキー抑制効果を得られたものと考えられる。一方、水中リフローについては、走査電子顕微鏡による構造解析では処理前とほとんど変化が確認できなかった。水中高周波処理ではさらに微視的な構造変化がウイスキー抑制に効果を発揮していると推測される。めっきの構造を変化させる（特に溶解によるめっきの寄り）ことなく、ウイスキー抑制が出来るのであれば、製品を使用する側としては好ましいので今後の研究ではその解析が課題となる。

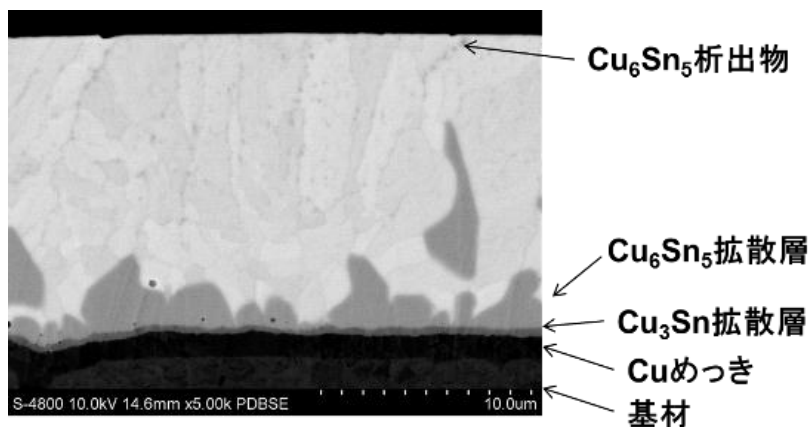


図6 大気中リフローによる錫めっきの構造変化

(a)

(b)

終章 全体総括

本研究では大気中リフローについては、省エネ、ウイスキーの抑制力、濡れ性の大きな改善という意味で熱風法と比べ大きな成果が得られた。しかし、水中高周波処理に関しては、コネクタに実装した製品評価の段階でいくつかのケースでウイスキーの抑制が出来なかった事例が発生し問題点を残した。これは大気中でめっき被膜を溶解させるリフローに比べ、処理後の表面状態に変化がない為に、誘導加熱が適正に行われたかの判断が非常に難しいことに起因していると考えられる。

現状では、大気中高周波リフローの事業化を行いながら、水中高周波処理についての問題点を中心に今後も研究を継続し事業化に向かう必要があると考えている。

<大気中高周波リフローの大きな利点>

- ・ウイスキー抑制力が大きい
- ・熱風式に比べ加熱処理時の表面酸化が殆ど無く濡れ性の劣化が少ない
- ・PCT等の加速試験後の劣化も非常に少ない
- ・高周波による直接加熱であるためリフローに必要な電力が、熱風式（電気ヒーター使用）に比べ1/10以下と大きな省エネ化が可能

<今後の事業化に向かったの研究と事業化計画>

2012年

- ① 高周波処理装置の見直し
- ② ウイスキーの発生した部品の解析と再現試験
- ③ 水中高周波処理に関するさらなる研究、解析とバレルめっき品の加熱法の再検討

2013年

- ① 高周波処理装置の量産試作装置への取り付け
- ② 大気中リフローのみの受注活動 → 商品化
- ③ 水中高周波加熱の事業化への最終的な検討
- ④ 水中高周波加熱の受注活動と高周波処理装置の商品化