

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「環境に配慮した低コスト無線ＩＣタグの開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成26年3月

委託者 中部経済産業局

委託先 公益財団法人富山県新世紀産業機構

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。

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
- 1-2 研究開発の概要
- 1-3 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口
- 1-5 成果概要

第 2 章 新製造プロセスにおける試作品の妥当性の確認（ジャンパー被覆線を用いたオーバーブリッジ（コイルアンテナ巻き始めと巻き終りの結線方法）工法の確立）

- 2-1 研究目的及び目標
- 2-2 新製造プロセスの検証と試作
- 2-3 試作品の電気諸特性の確認
- 2-4 ジャンパー線の平角加工装置と接合機の導入
- 2-5 試作品の信頼性確保

第 3 章 超音波溶融はんだめっき装置の導入、調整（超音波はんだ槽による紙ベース基材への乾式めっき工法の確立）

- 3-1 研究目的及び目標
- 3-2 溶融はんだめっき条件の選定
- 3-3 冷却プロファイルの検討

第 4 章 低温はんだによる低コストなフリップチップ I C 実装技術手法開発と、専用実装機の構築（接着剤含有特殊はんだを用いたベア I C チップのフリップチップ I C 実装工法の確立）

- 4-1 研究目的及び目標
- 4-2 特殊はんだを用いたベア IC チップ実装における塗布量の検討
- 4-3 高温タイプの特殊はんだを用いたベア IC チップ接合

第 5 章 事業化の検討

- 5-1 事業化の検討

第 6 章 全体総括

- 6-1 研究開発の成果
- 6-2 課題と今後の取組み

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

近年新たな自動認識技術として、RFID（Radio Frequency Identification）が注目されている。これは電波を使って識別・認識対象に対し通信を行い、可視化に関係なく情報の読み書きを行う自動認識装置の総称である。

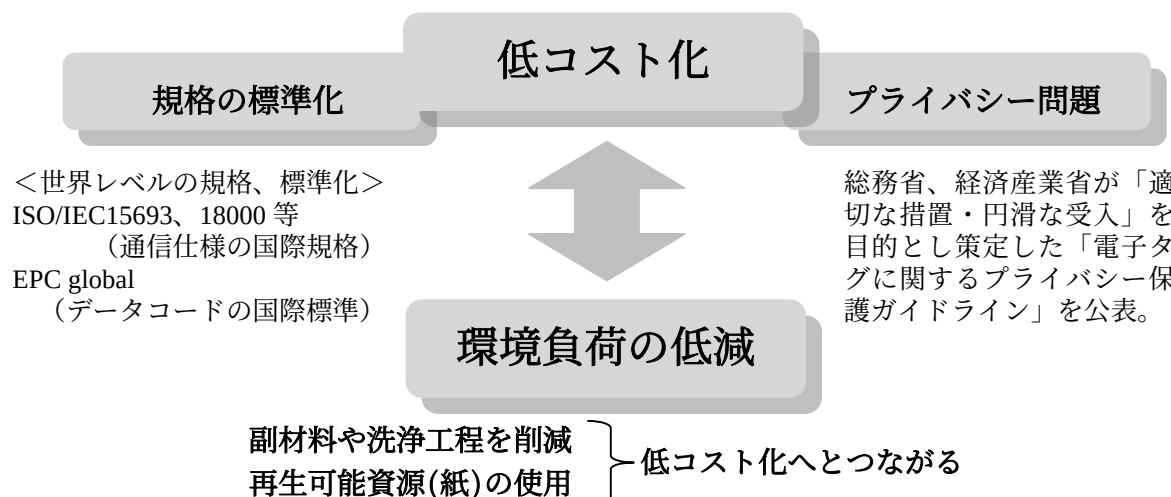
RFID の技術を使った情報通信機器として代表的なものは無線 IC タグと非接触 IC カード（Suica,PASMO など）がある。無線 IC タグは、電子タグ・RFID タグ・RF タグ・IC タグ・RFID（広義の意味での RFID）とも呼称され、これを使用することで、物品等の在庫管理・輸送管理・履歴管理等を効率的に行うことができるため、実用化が始まっている。なお、非接触 IC カードも内容は同じだが、用途としての違い（モノにつける⇒タグ、人が持ち運ぶ⇒カード）に応じて分類されており、本研究開発では呼称を「無線 IC タグ」として統一している。

無線 IC タグはバーコードに代わる商品識別・管理技術として研究が進められてきており、社会の IT 化・自動化を推進する上でのユビキタスな情報通信機器の基盤技術として注目が高まってきている。具体的には、製造段階から、運搬・販売・消費者に至るまでの一貫通貫したサプライチェーン全体の合理化など、業界間に誇るオープンな分野で無線 IC タグを活用することにより、ユーザー企業の競争力強化に貢献し、日本ユーザー産業界の国際競争力を維持・強化することが期待される。（参考：経済産業省 HP 内情報政策ホーム「電子タグ（IC タグ）・電子商取引（EDI）活用」より）

しかしながら、実際に無線 IC タグの実用化・普及が進んでいる分野は、企業内でリユースするクローズドな分野にすぎず、出版や製造をはじめとするサービス・流通・物流の分野など、複数の企業や組織にわたったオープンな分野では実用化されていない。課題として、規格の標準化やプライバシー問題等が上げられるが最大の課題はコストである。消耗品として使用するには高価なため、今後無線 IC タグを普及させるためには価格低減が重要である。また、最近では省エネ、環境対応も世界的な課題となっており、無線 IC タグにおける重要課題は、低コスト化及び環境負荷の低減にあると言える。

無線 IC タグにおける重要な課題

⇒無線 IC タグを普及させる為には



無線 IC タグは、起電する手段として表 1-1、図 1-1 で示した磁界と電界の 2 種類があり、各々使用する周波数と特徴がある。本研究では、使用用途、普及率が高いパッシブタイプ 13.56MHz (HF 品)、900MHz 帯 (UHF 帯品) を研究対象とし、低コストで環境に配慮した無線 IC タグの量産技術の開発、開発製品の市場投入、新工法を開発することを目的とした。その基本となるのは、「低コストで環境に配慮した無線 IC タグの量産技術の開発」であり、具体的な技術課題と目標値は以下のとおり示す。

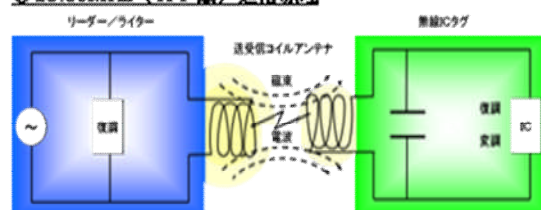
技術課題	目標値
超音波はんだ槽による紙ベース基材への連続溶融はんだめっき工法の確立	パターン幅及び間隔が 150 μ m 以下の実現
下地インク中の銀含有率低減	現状の 50%以下に低減
被覆線を用いたオーバーブリッジ工法の確立	基材への印刷の際に邪魔にならないジャンパー線の加工技術の確立
接着剤含有特殊はんだを用いたベア IC チップのフリップチップ IC 実装方法の確立	± 0.2 mm の精度でも可能とする実装方法、及び $\phi 20$ mm の巻きつけ 100 回しごき試験でも剥離しない接合強度の確保
試作品の信頼性、特に耐熱性の確保。 高温タイプの特種はんだの採用	200 $^{\circ}$ C1000 時間後でも初期状態の 90%以上の通信性能の確保

表 1-1 無線 IC タグの種類

	構成		特徴	
パッシブタイプ	外部からエネルギーを供給		小型化、低価格化が可能	
アクティブタイプ	本体にバッテリーを内蔵		通信距離が長い、高価格	

項目	~ 135kHz	13.56MHz (通称:HF品)	900MHz帯 (通称:UHF帯品)	2.45GHz
通信距離	~数10cm	~60cm前後	~5m前後	~1.5m前後
起電方式	磁界	磁界	電界(電波)	電界(電波)
水、人体の影響	○	○	△	×(大きい)

○13.56MHz (HF品) 通信原理



○900MHz帯 (UHF帯品)通信原理

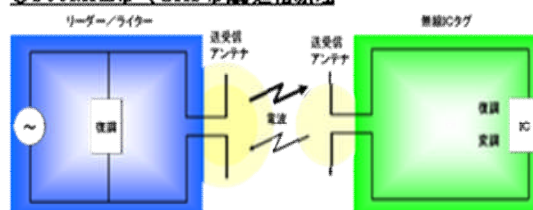


図 1-1 無線 IC タグの仕組み

1-2 研究開発の概要

無線 IC タグは、主にベース・アンテナ・IC チップ・オーバーブリッジ（被覆）から構成され、従来の無線 IC タグ（図 1-2）の製造工法に代わり、低コスト化及び環境負荷の低減のためのシンプルで有害物質を全く使用しない新規製造工程を開発が必要となる。新技術を実現するために解決する研究課題として、主に 3 つの新工法を確立する。具体的な工程を図 1-3 に示す。

- ①超音波はんだ槽による紙ベース基材への乾式めっき工法の確立。
- ②ジャンパー被覆線を用いたオーバーブリッジ（コイルアンテナの巻き始めと巻き終りの結線方法）工法の確立。
- ③接着剤（熱硬化性樹脂）含有特殊はんだを用いたベア IC チップのフリップチップ IC 実装工法の確立。

エッチングを用いる従来工法では、大量の廃液が発生するだけでなく、図 1-2 に見られるようなオーバーブリッジのための多層構造、超音波及び異方性導電接着剤を用いた高精度な IC チップの接続方法、貴金属を用いた電極などを必要とするデメリットがある。一方、新工程では、安全な乾式工法であるため全く廃液を出さず、ジャンパーブリッジ工法は多層構造や高精度 IC チップ接続が不要となる。このように、従来工法のデメリットがないばかりでなく、材料的にも環境への負荷が小さく、工程の簡略化でコストも低く抑えられるため、従来の課題である、低コスト、環境負荷の低減を解決することができる。

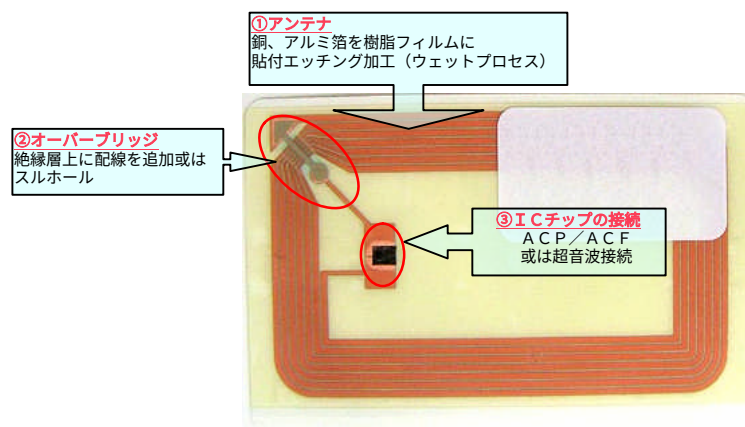


図 1-2 従来工法での完成品

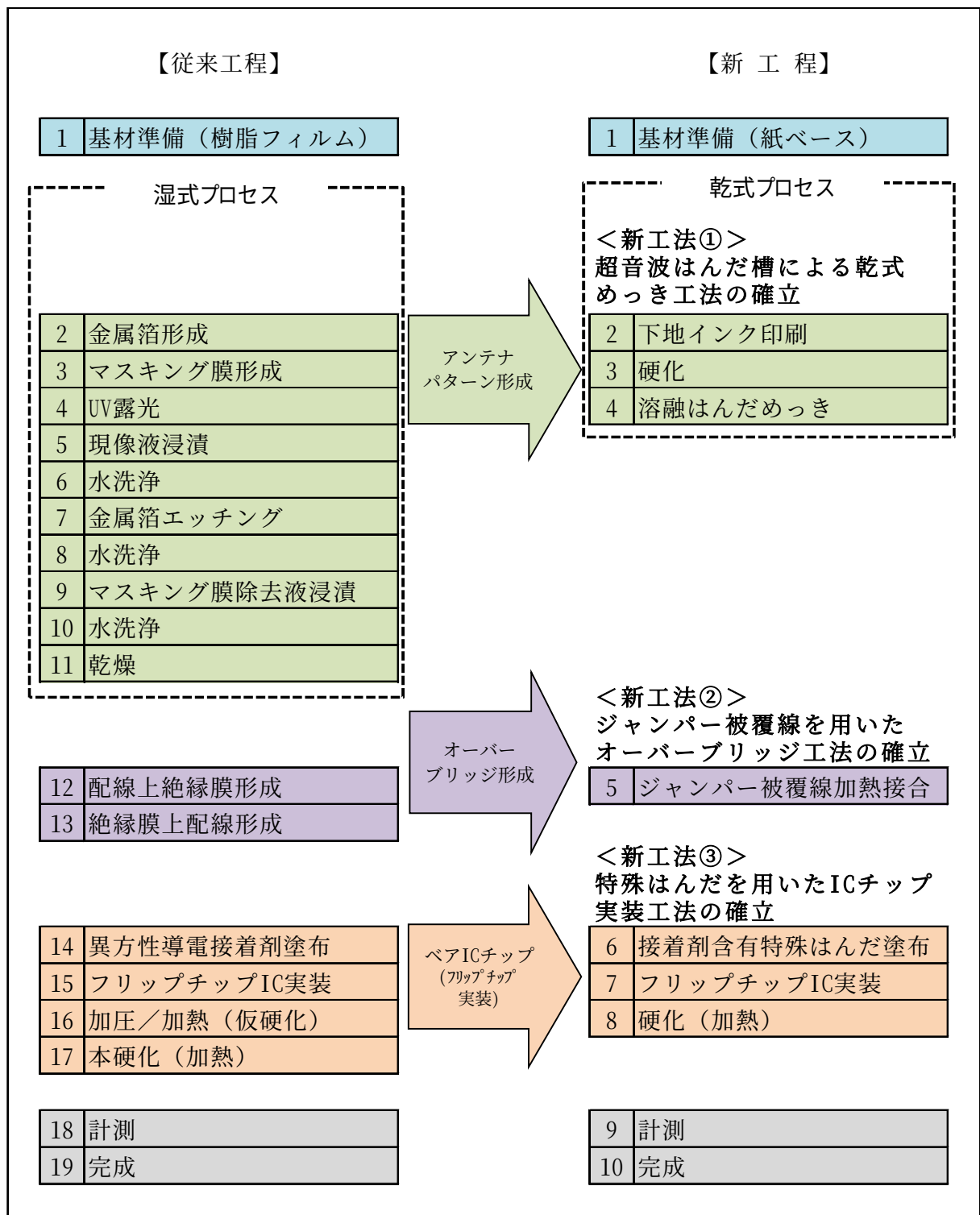
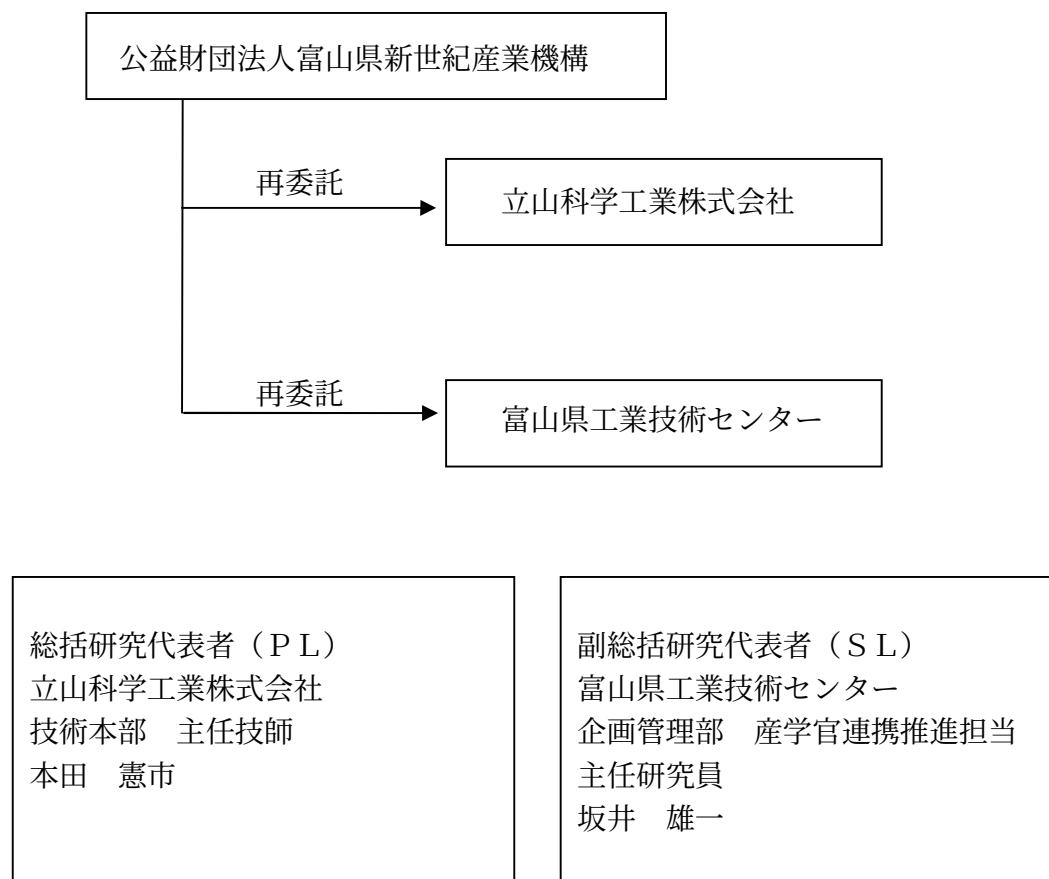


図 1-3 無線 IC タグ製造プロセスの従来工程と新規工程の比較

1-3 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

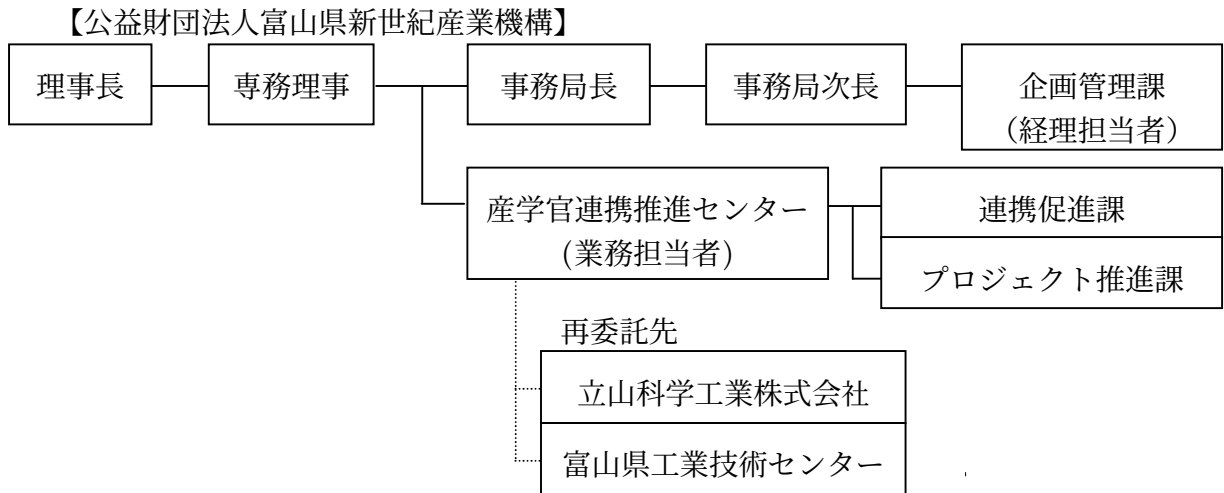
(1)研究組織・管理体制

研究組織



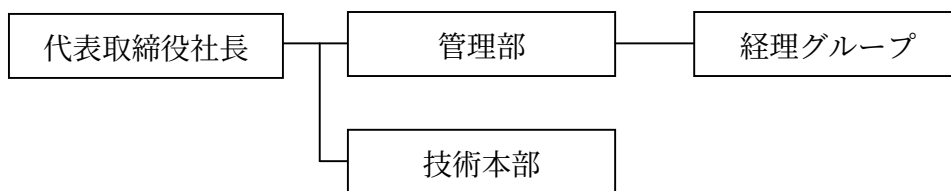
管理体制

①事業管理機関

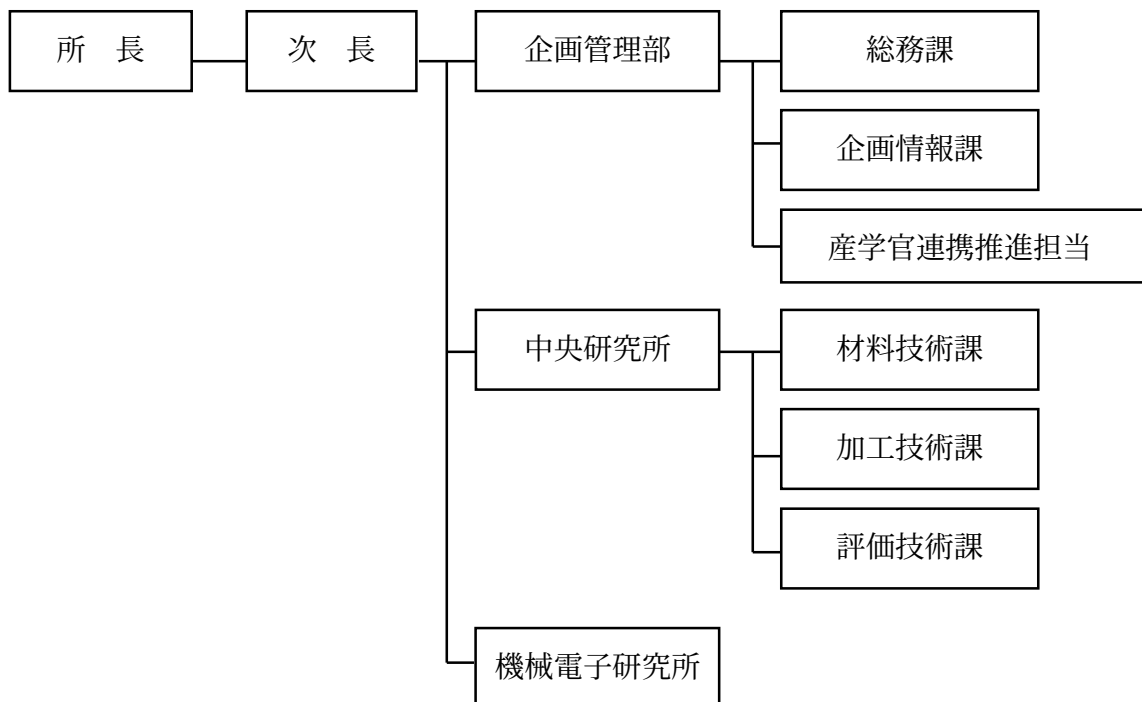


②再委託先

【立山科学工業株式会社】



【富山県工業技術センター】



(2)研究者氏名

立山科学工業株式会社

氏 名	所属・役職
森 喜代志	技術本部 グループマネージャー
本田 憲市	技術本部 主任技師
一ノ瀬 邦夫	技術本部 主任技師
廣瀬 慶一	技術本部
猪田 明宏	技術本部 技師

富山県工業技術センター

氏 名	所属・役職
二口 友昭	次長兼機械電子研究所長
坂井 雄一	企画管理部 産学官連携推進担当 主任研究員
佐々木 克浩	中央研究所 評価技術課 主任研究員

(3)協力者（アドバイザー）

氏 名	会社名・所属・役職
加藤 靖祝	小林クリエイト株式会社 ソリューション企画本部 第一ソリューション企画部 エキスパート
吉岡 稔弘	株式会社A I 総研 代表取締役社長

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(1)事業管理機関

公益財団法人富山県新世紀産業機構（代表者 理事長 寺林 敏）
〒930-0866 富山県富山市高田 5 2 9 番地
連絡担当者氏名、所属役職名：藤城 敏史 産学官連携推進センター 部長
T E L：076-444-5636
F A X：076-444-5630
e - m a i l：fjk@tonio.or.jp

(2)総括研究代表者

氏 名：本田 憲市
組 織 名：立山科学工業株式会社
所属役職名：技術本部 主任技師
e - m a i l：k-honda@tateyama.or.jp

(3)副総括研究代表者

氏 名：坂井 雄一
組 織 名：富山県工業技術センター
所属役職名：企画管理部 産学官連携推進担当 主任研究員
e - m a i l：sakai@itc.pref.toyama.jp

(4)研究実施者

機関名	代表者役職氏名	連絡先
立山科学工業株式会社	代表取締役社長 水口 昭一郎	〒930-1305 富山県富山市下番 3 0 T E L：076-483-3088 F A X：076-483-3089 技術本部 主任技師 本田 憲市 k-honda@tateyama.or.jp
富山県工業技術センター	所長 榎本 祐嗣	〒933-0981 富山県高岡市二上町 1 5 0 番地 T E L：0766-21-2121 F A X：0766-21-2402 企画管理部 産学官連携推進担当 主任研究員 坂井 雄一 sakai@itc.pref.toyama.jp

1-5 成果概要

(1)新製造プロセスにおける試作品の妥当性の確認（ジャンパー被覆線を用いたオーバーブリッジ（コイルアンテナ巻き始めと巻き終りの結線方法）工法の確立）

新たに提案した製造プロセスの妥当性、有効性を検証するため、「超音波溶融はんだめっき装置」を使用した試作を行った。

試作品について、一般的な信頼性試験（ヒートサイクル、屈曲試験、耐湿試験）に加え、顧客から確認依頼があった、通信温度特性（通信性能限界温度）、200℃1時間繰り返し限界確認（20回以上）、耐薬品（脱脂液、酸洗浄液）性確認を行い、実用上性能に問題がないことを確認した。

また、熱可塑性樹脂への埋設の要望があったため、熱可塑性樹脂の埋設実験を行った。射出成型時の金型中への設置状態を最適化し、ICチップ実装に使用する特殊はんだを高温タイプのものとする事で埋設時に300℃となっても性能が維持できるということが確認された。解析結果から、さらに高温の熱処理にも耐えうる可能性が示された。

太陽電池パネルへの内蔵試作を行い、太陽電池パネルの試験規格にそった温度サイクル試験と耐湿性試験を実施したが、太陽電池パネルおよび内蔵された無線ICタグともに性能劣化は見受けられず、実用レベルであると考えられた。なお、ICチップ実装部に使用する特殊はんだは低温、高温、どちらのタイプの試作品でも問題がなかった。また、ガラス繊維布をベース基材に使用した試作品では、技術課題目標である「200℃1000時間後でも初期状態の90%以上の通信性能の確保」を達成することができた。

UHF帯（920-950MHz）タグの周波数特性評価では、専用治具とリアルタイムスペアナ、ネットワークアナライザを組み合わせた専用システムを構築、実験室と電波暗室の周波数測定の違いを確認し、電波暗室の環境が正確な周波数特性の測定に非常に重要であることを確認した。また、電波吸収材を組合せて電波暗室と同様な測定結果を省スペースで得られる電波暗箱を作製することに成功し、以後、簡単に測定できるようになった。本プロセスによる試作品は従来の湿式プロセスによる銅やアルミによる金属箔アンテナと同等の通信性能であった。

HF帯（13.56MHz）タグは、ループアンテナの巻き始めと巻き終わりをアンテナパターンをまたいで結線（オーバーブリッジ）する必要がある。独自の低融点ウレタン被覆線を平角加工しジャンパー線としてもちい、オーバーブリッジする手法を提案し、専用の「平角加工ジャンパー線接合装置」を導入し、実験を行った。その結果、装置にて想定どおりの構造を持たせることが可能であったが、屈曲試験で接合部分のジャンパー線破断が発生し、さらなる最適条件を見出す必要があることが明らかとなった。

(2)超音波溶融はんだめっき装置の導入、調整（超音波はんだ槽による紙ベース基材への乾式めっき工法の確立）

超音波はんだ槽による乾式めっき工法の確立のため、専用実験装置である超音波溶融はんだめっき装置を導入し試作実験を行った。各種パラメータを最適化することによって、従来の湿式プロセスによる銅やアルミによる金属箔アンテナと同等のはんだ金属箔を紙ベース上に形成可能となった。

(3)低温はんだによる低コストなフリップチップIC実装技術手法開発と、専用実装機の構築

(接着剤含有特殊はんだを用いたベアICチップのフリップチップIC実装工法の確立)

特殊はんだを用いたベアICチップ実装工法の確立のため「ディスペンサー・加熱ユニット」と「ベアICチップ用自動実装装置」を導入し、特殊はんだのベアICチップ実装に対するセルフアライメント効果が発揮できる最適条件及び限界実装ズレ量の確認を行ったところ、最適条件下においては水平・垂直方向それぞれ技術課題目標の±0.2mm及び、傾き±20°の精度でも可能とする実装方法であることが明らかとなった。また、ベアICチップの金レス化によるコストダウンを目的として、ニッケル電極ICチップを用いて試作を行ったところ、本プロセスに対し有効であることが確認された。特に高温タイプの特種はんだを使用することで、高温タイプの特種はんだの融点(215-220℃)近くまで接合が安定しており耐熱性も向上させることが可能となった。

(4)事業化の検討

本プロセスは量産設備を構築した際は、最終的に「ローコスト」をメリットとした市場介入は可能だと思われる。しかしながら当初は実績もなく無名からのスタートになるため、最初は従来の無線ICタグでは真似できない市場を狙い、実績と知名度を上げることが優先と判断した。具体的には、耐熱性を活かした「自動車焼付塗装管理用」や紙自身の破れやすい特徴を活かした「偽造防止 NFC 栓用」などの用途をアドバイザーから紹介を受け対応を行っている。また、それ以外にリネンタグや耐腐食性用途にも企画が進行している。

さらに、本プロセスの「紙・ガラス繊維布への溶融はんだめっき」と「特殊はんだによる実装技術」を展開し、独自で「フレキシブル LED 電極シート」の検討を開始した。これについても全く新しい市場であるが、特に欧州からの具体的な引合いが多く、事業化の可能性が十分高い状況にある。

第2章 新製造プロセスにおける試作品の妥当性の確認

2-1 研究目的及び目標

「超音波溶融はんだめっき装置」、「平角加工ジャンパー線接合装置」を設計、導入し、タグの試作を行い、新製造プロセスの妥当性を検証した。さらに、試作サンプルについて各種特性評価、耐久試験を実施し、問題がないことを確認した。

2-2 新製造プロセスの検証と試作

図 2-2-1 で示す通り、本プロセスに従い無線 IC タグ製造工程（以下、新製造プロセス）で試作を行った。試作する IC タグは図 2-2-2 に示すような共振周波数が UHF 帯（900MHz）品の標準サイズ（アンテナサイズ；127.6×2.53mm）と図 2-2-3 に示すような共振周波数が HF（13.56MHz）品の標準サイズ（アンテナサイズ；75.0×45.0mm）とした。

- (1)下地印刷
- ↓
- (2)硬化
- ↓
- (3)はんだコート
- ↓
- (4)ジャンパー線接合
(HF 品のみ)
- ↓
- (5)IC チップ接続
- ↓
- (6)動作確認

図 2-2-1：工程フロー

<実験内容>

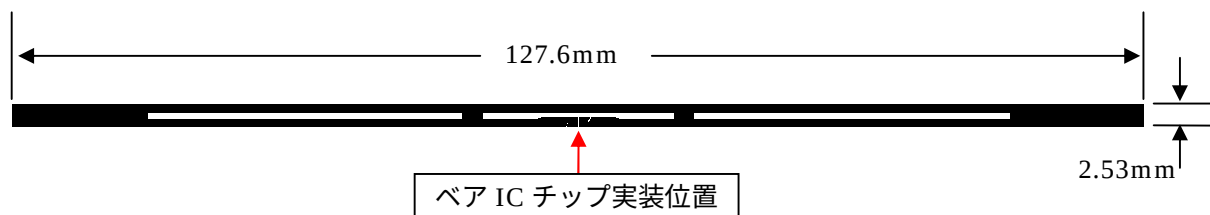


図 2-2-2 UHF 帯品アンテナパターン

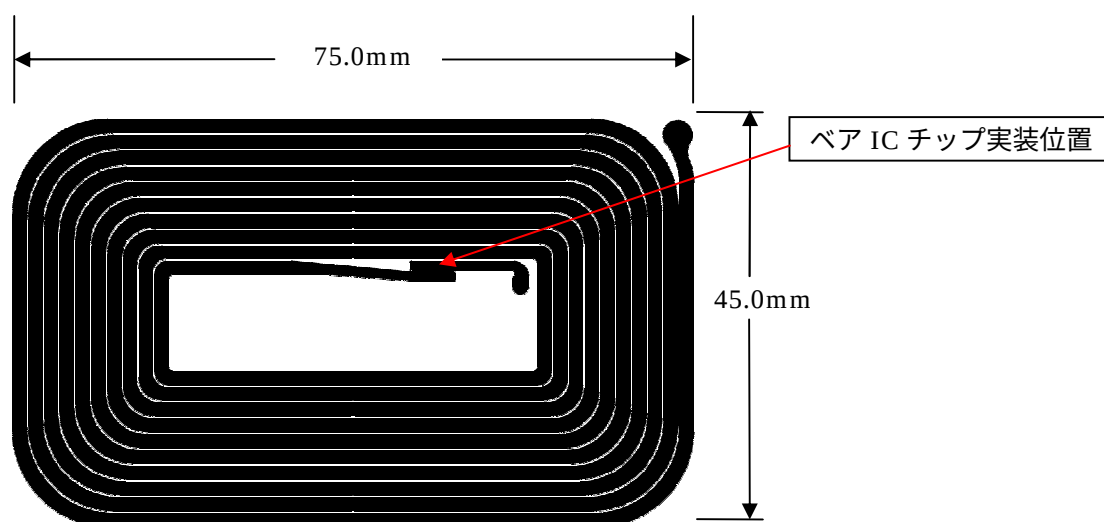


図 2-2-3 HF 品アンテナパターン

(1)下地印刷～(2)硬化工程

基材にスクリーン印刷ではんだ濡れ性を有する下地インクを印刷し加熱硬化を行った。

(3)はんだコート工程

はんだ材料には鉛フリーかつ銀フリーのはんだを用い、導入した「超音波溶融はんだめっき装置」を使用して、下地印刷された用紙の上にはんだコートを行った。

(4)ベア IC チップ接続工程

Sn-58Bi 系はんだボール（融点 139℃）と熱硬化性樹脂の混合物である低温タイプの特殊なはんだペーストを使用した。このペーストは、図 2-2-2 及び図 2-2-3 に示したベア IC チップ実装部分の中心に塗布される。その後、ベア IC チップがマウントされホットプレート上で加熱することでベア IC チップとアンテナを仮接続し、その後別途加熱方法で本硬化を行った。

また、耐熱品に対しては融点が高い（215-220℃）Sn-3Ag-0.5Cu 系はんだボールと熱硬化性樹脂の混合物である高温タイプの特殊なはんだペーストを使用した。

(5)動作確認

電波暗室で試作タグをリーダ/ライタ（UHF 帯品：DOTR-910J；(株)東北システムズ・サポート、HF 品：EFG310TD01(株)ウェルキャット+PC）に近づけ、試作タグの認識の有無について確認した。

<結果>

いずれの工程も問題なく、無線 IC タグの作製が可能であった。試作品の外観を図 2-2-4 に示す。試作したタグは HF 帯タグ、UHF 帯タグいずれも、リーダ/ライタに近づけたところ、応答を示すブザー音が鳴り、タグとして認識されていると推察された。また、UHF 帯タグについては、パターンサイズを変更したものと、ベース紙に耐熱性に優れているアラミド紙を使用した試作を行った。外観を図 2-2-5、2-2-6 に示す。いずれの試料においても動作を確認することができた。

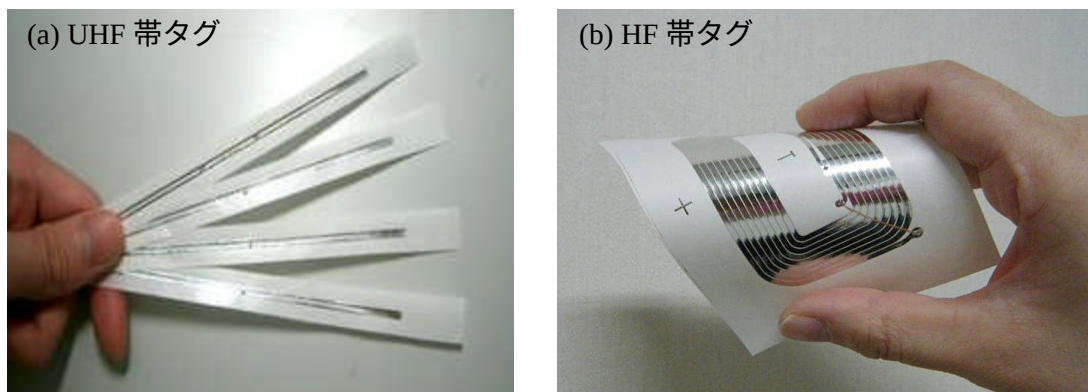
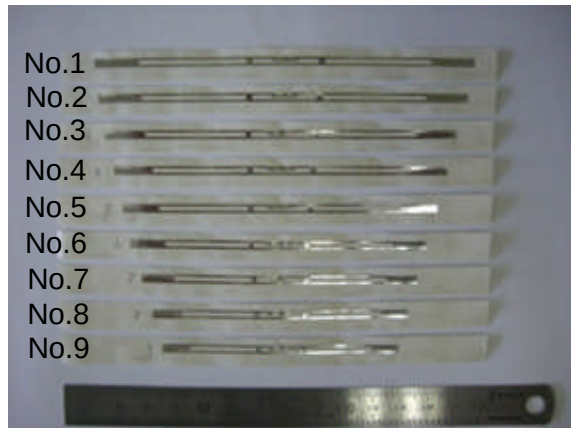


図 2-2-4 試作品外観

(a) グラシン紙



(b) アラミド紙

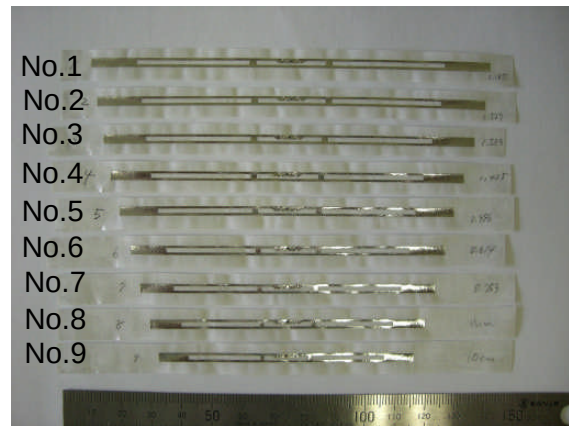


図 2-2-5 (a)グラシン紙および(b)アラミド紙に形成した UHF 帯タグ試作品

(a) グラシン紙

(b) アラミド紙

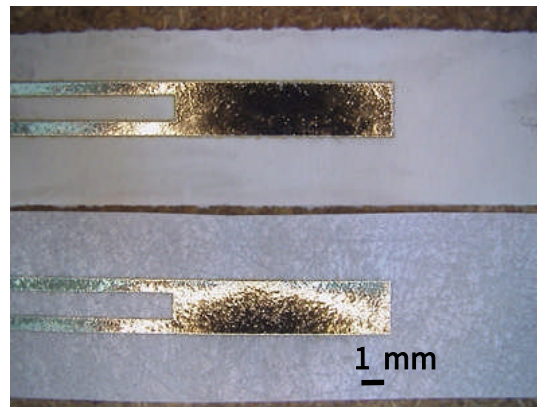


図 2-2-6 UHF 帯タグ試作品（拡大）

2-3 試作品の電気諸特性の確認

2-3-1 HF 帯タグの共振周波数の測定

<実験内容>

ジャンパー線の接続位置を変更したタグを作製し、対向する 2 つのループアンテナの間に試作したタグを設置した。ネットワークアナライザで S_{21} を測定し、 S_{21} のピークトップを共振周波数とした。

<結果>

ジャンパー線の接続位置を変更させた試作タグについて S_{21} の周波数依存性を図 2-3-1 に示した。ピークが最大となる周波数が共振周波数であるが、接続箇所を変更することで共振周波数が変わった。これは、接続位置を変えることでタグの C （容量）が変化し、それにともない共振周波数も変化するためと考えられる。このように簡単に共振周波数を変更できることは本工法の特徴である。

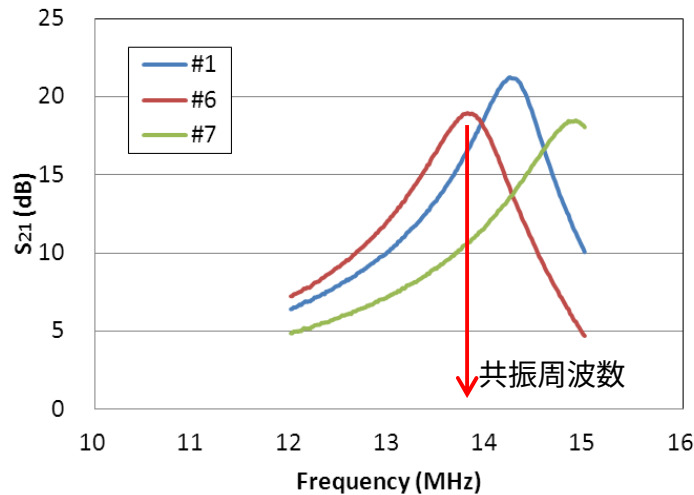


図 2-3-1 ジャンパー線接続位置の異なる IC タグの S_{21} 信号

2-3-2 HF 帯タグの通信距離の測定

<実験内容>

タグの通信距離を測定するため、図 2-3-2 のような治具を作製し、リーダ/ライタが試作したタグを認識する距離を測定した。試作した HF 帯タグ、および 6 種類の市販のタグについて測定を行い、図 2-3-1 と同様の手法で得られた共振周波数のデータと合わせることで、通信距離の周波数依存性を求めた。

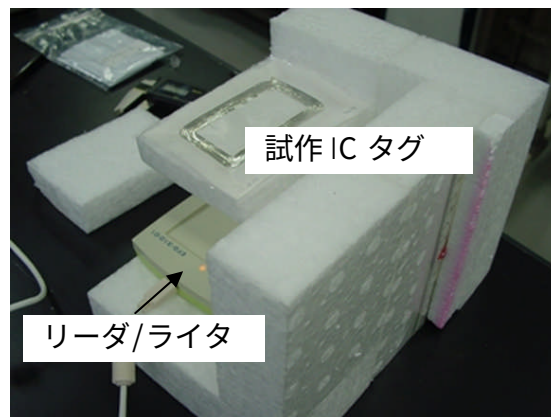


図 2-3-2 IC タグの通信距離測定

<結果>

図2-3-3に通信距離の共振周波数依存性を示す。通信距離は共振周波数付近で最大となった。また、試作タグの通信距離は、市販品と比較しても遜色がないことがわかった。

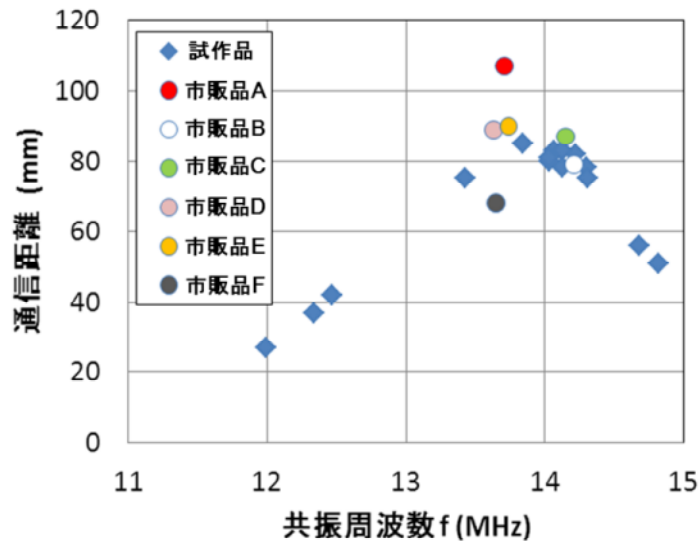


図 2-3-3 IC タグの通信距離の共振周波数依存性

2-3-3 UHF 帯タグの共振周波数の測定

<実験内容>

試作した UHF 帯品タグの共振周波数を確認するため、図 2-3-4 に示すような測定系を構築、電波暗室内に設置し、ネットワークアナライザ（E5071C；アジレント・テクノロジー株）を用いて、周波数特性を測定した。試作したグラシン紙およびアラミド紙のタグのうち、図 2-2-5 で示した No.1～4 と No.6 の試料について周波数特性の測定を行った。

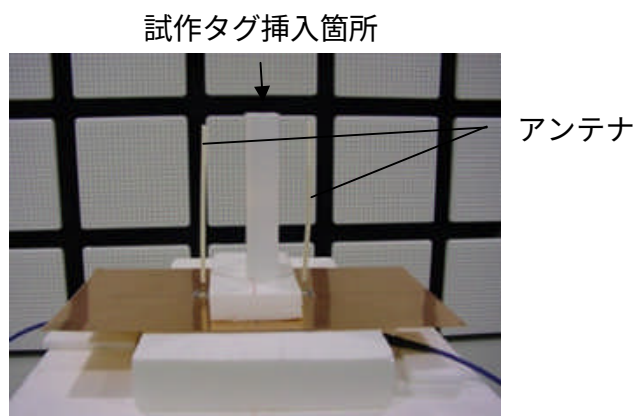


図 2-3-4 共振周波数測定冶具

<結果>

グラシン紙で試作したタグの周波数特性の測定結果を図 2-3-5(a)に、アラミド紙で試作したタグの周波数特性の測定結果を図 2-3-5(b)に示す。No.1 から No.6 にかけて、アンテナが短くなっている。グラシン紙ではアンテナが短くなるに伴って共振周波数が高くなった。アラミド紙においてもアンテナが短くなるにつれて共振周波数が高くなる傾向が見られたが、No.2 が No.1 とほぼ同じ共振周波数を示した。No.2 の共振周波数が低めとなったのは、アラミド紙のグラシン紙と比較して厚みや密度のばらつきが大きく、アンテナの形成箇所によって、誘電率が変化したためと考えられた。

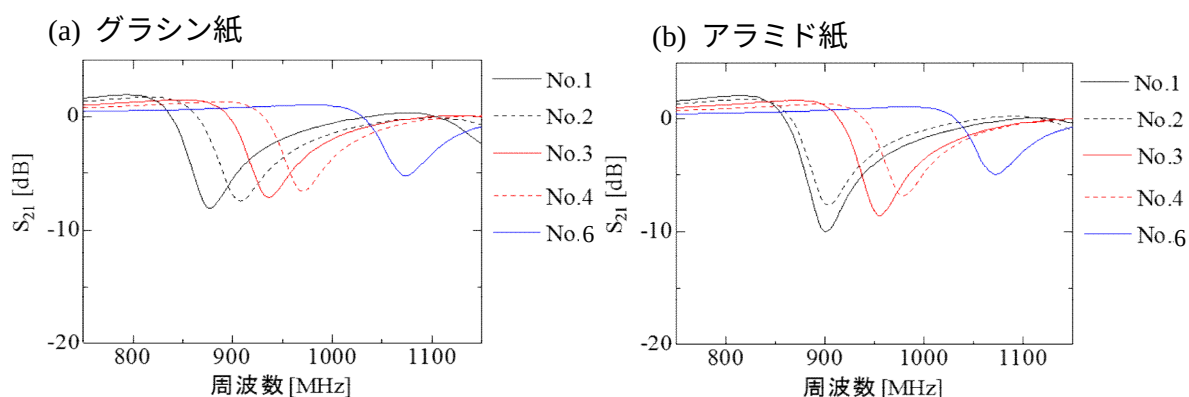


図 2-3-5 試作した UHF 帯タグの周波数特性

2-3-4 UHF 帯品タグの通信距離の測定と共振周波数との関係

<実験内容>

2-3-3 で周波数特性を測定した UHF 帯品タグについて通信距離の測定を行った。現在、UHF 帯タグは 950MHz 帯から 920MHz 帯への移行期間であるため、950MHz 帯のリーダー/ライターおよび 920MHz 帯のリーダー/ライター (DOTR-910J; ㈱東北システムズ・サポート) を用い、通信距離の測定を行った。

<結果>

タグの通信距離の測定結果をもとに、通信距離と共振周波数の関係を図 2-3-6 に示した。共振周波数が 950MHz を超えると通信距離は急激に低下した。

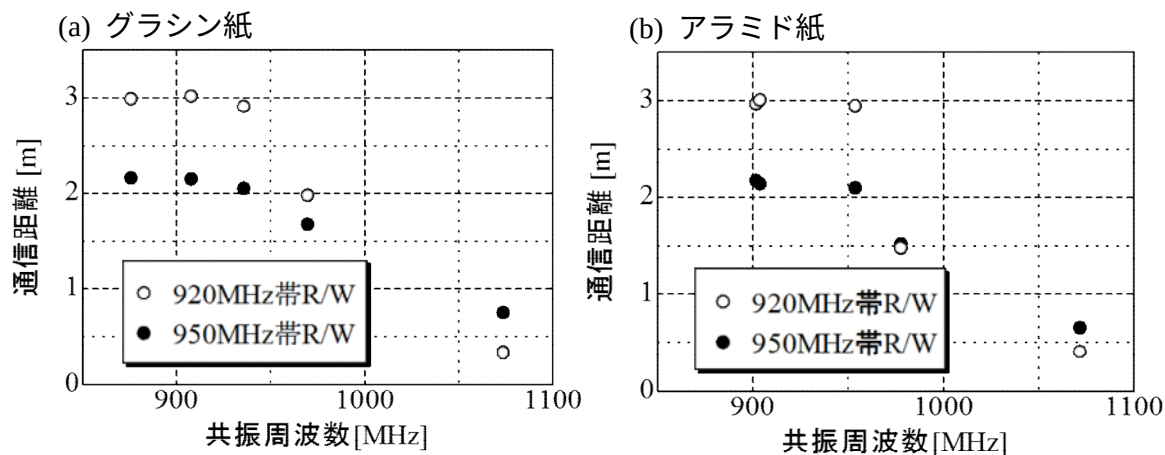


図 2-3-6 UHF 帯タグの共振周波数と通信距離の関係

2-3-5 UHF 帯タグの簡易測定系の構築

UHF 帯タグは、添付する材質の誘電率によって共振周波数に変化し、最適なアンテナ寸法が変化するので、試作タグの共振周波数を評価する必要がある。ノイズや周囲の影響のない電波暗室を利用した測定は、実験が大がかりになってしまうため、実験室でもタグの共振周波数を簡単に確認できるような簡易測定系(暗箱)を構築した。

＜実験内容＞

図 2-3-7 に示す模式図のような測定系を、以下の 3 点の指針のもとに構築することとした。

- ①非接触方式で簡易・小型なシステムであること。
- ②IC タグの共振周波数の相対変化を測定可能であること。
- ③誘電体に IC タグを接着した際の波長短縮効果を考慮し、周波数範囲は 920MHz を中心に 850MHz～950MHz 程度とする。

電波吸収材の反射減衰特性を図 2-3-8 に示す。③を考慮し、900MHz 付近での吸収特性の良好な IR-B009 を内部に貼り付ける電波吸収材として選択した。

構築した簡易測定系(暗箱)で、試作タグの周波数特性を測定し、電波暗室での測定結果と比較した。

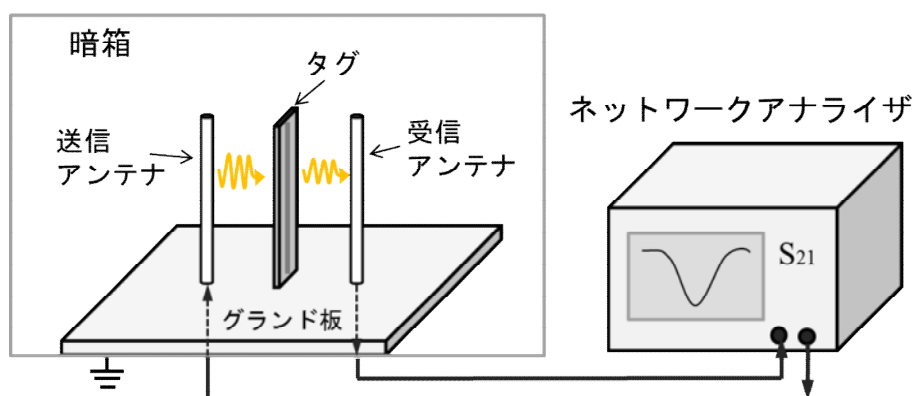
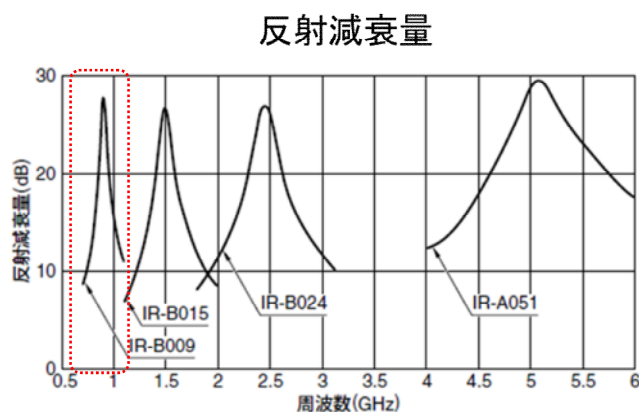


図 2-3-7 簡易測定系の模式図



TDK株式会社 ホームページ
http://www.tdk.co.jp/tjfx01/j9e_bdj_003.pdf より引用

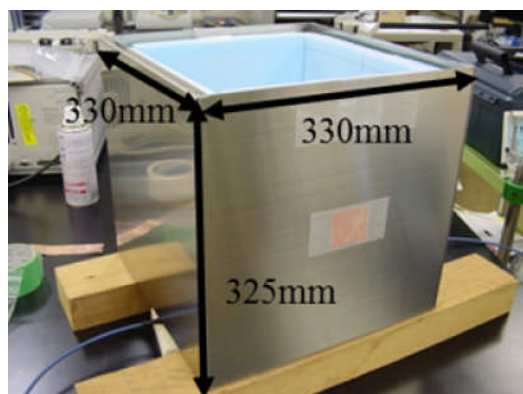
図 2-3-8 電波吸収材の特性

＜結果＞

作製した暗箱の概観と内部の様子を図 2-3-9 に示す。4 側面に電波吸収材を配置した。上面にも電波吸収材を配置した場合でも、4 側面のみの場合と特性が変わらなかったため、軽量化を図るために上面の電波吸収材は使用しないこととした。暗箱で測定した試作タグの周波数特性を図 2-3-10 に示した。(試料番号は、図 2-2-5 に示した試作品の番号に相当する。) 暗室での測定結果(図 2-3-5)と同様の傾向を示した。より詳細な検討を行なうために、図 2-3-11 に暗箱と暗室での測定値の差を示した。周波数範囲が 870～

950MHz では共振周波数の測定結果が 4MHz (0.5%) 以内の差であり、今回検討した暗箱は、UHF 帯タグの共振周波数(920MHz)評価用としては十分な性能であった。1000MHz 以上では、暗室と暗箱の差が大きくなったが、図 2-3-8 に示すように使用した電波吸収帯の特性で 1000MHz 以上では反射減衰量が小さいためと考えられた。

(a) 概観



(b) 内部 電波吸収材

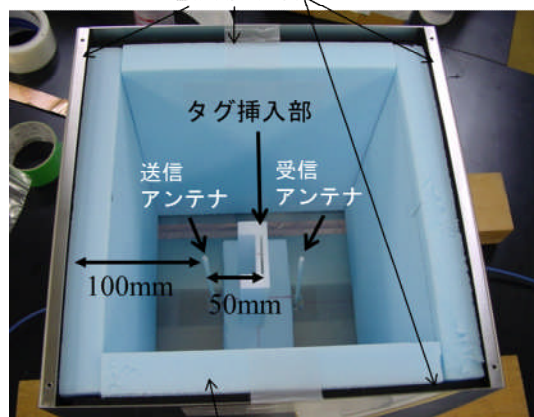
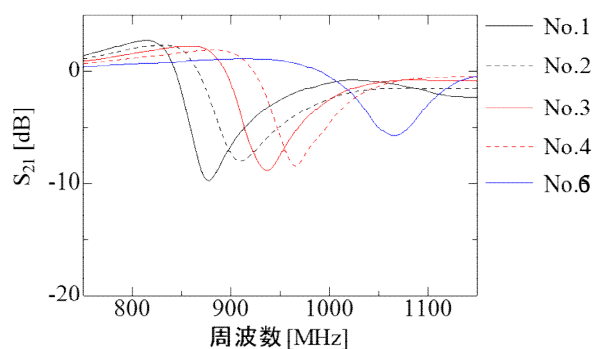


図 2-3-9 暗箱の概観と内部

(a) グラシン紙



(b) アラミド紙

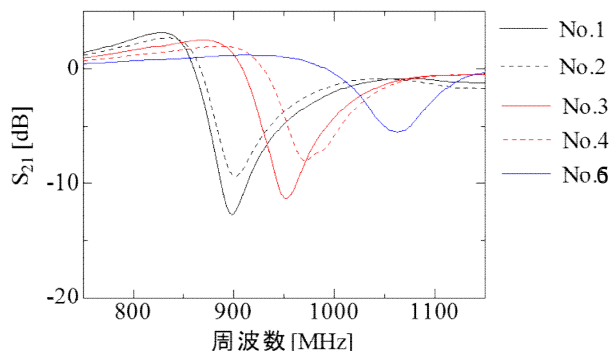


図 2-3-10 暗箱で測定した UHF 帯タグの周波数特性

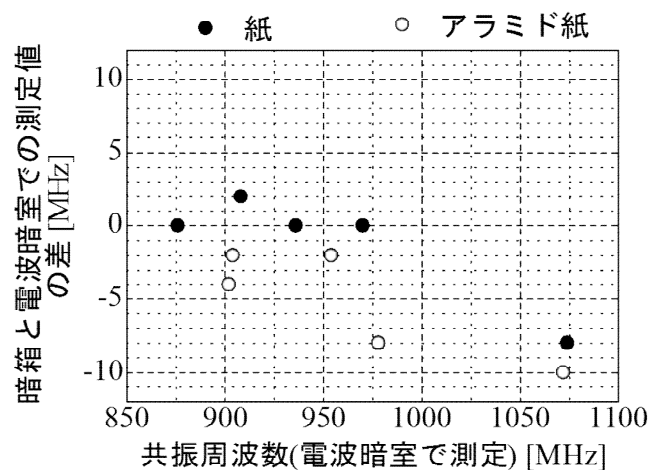


図 2-3-11 暗箱と電波暗室での測定値の差

2-4 ジャンパー線の平角加工装置と接合機の導入

2-4-1 実験装置の導入

HF（13.56MHz）帯タグは電磁誘導を利用しているため、アンテナはコイル状となっている。通常、平面アンテナでは、そのコイルアンテナのパターン上に絶縁層を設けて、さらに、その上部に巻き始めと巻き終わりを結ぶ導体パターンを形成するという、複雑なオーバブリッジ構造が必要なため、UHF 帯に比べコスト高な構造となっている。

本研究課題では、ウレタン被覆線をオーバブリッジ用のジャンパー線として使用した。アンテナ表面がはんだであるという特徴を活かし、図2-4-1に示すように、加熱によって、ウレタンが消失するとともにはんだが溶融し、接合可能であり、プロセスの大幅な簡略化が期待できる。図2-4-2のようなプロセスの構築を目標として、図2-4-3に示す平角加工したジャンパー線をアンテナにフラックスレスではんだ付けする「平角加工ジャンパー線接合装置」を設計、導入した。

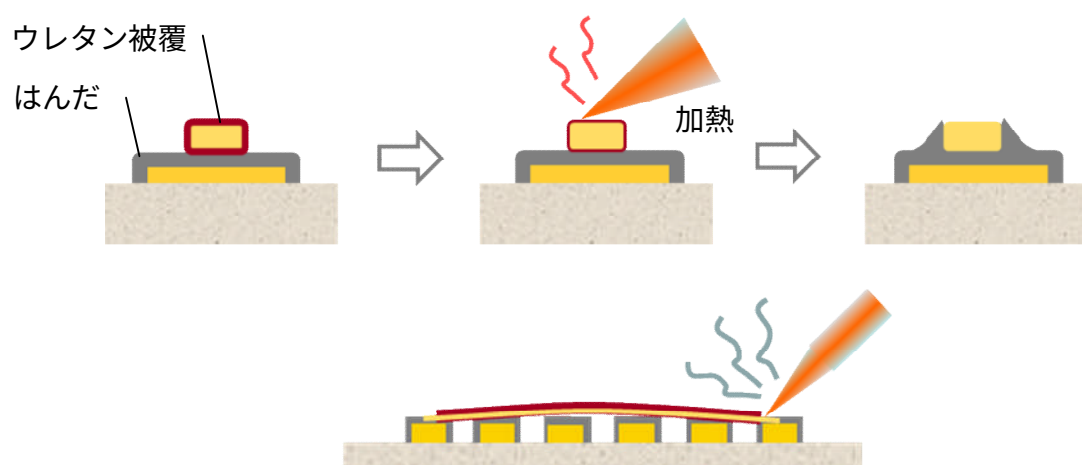


図 2-4-1 オーバブリッジ工法模式図

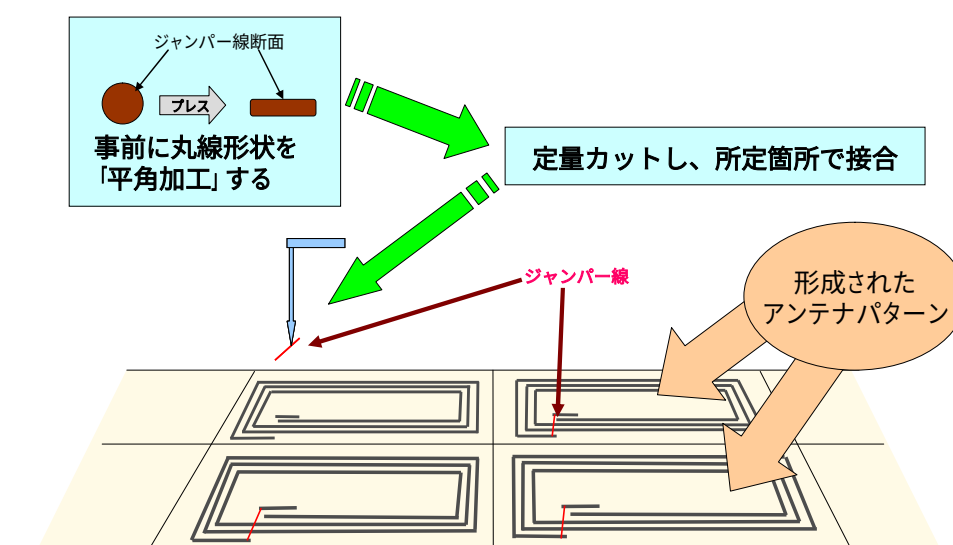


図 2-4-2 オーバブリッジ形成工程模式図

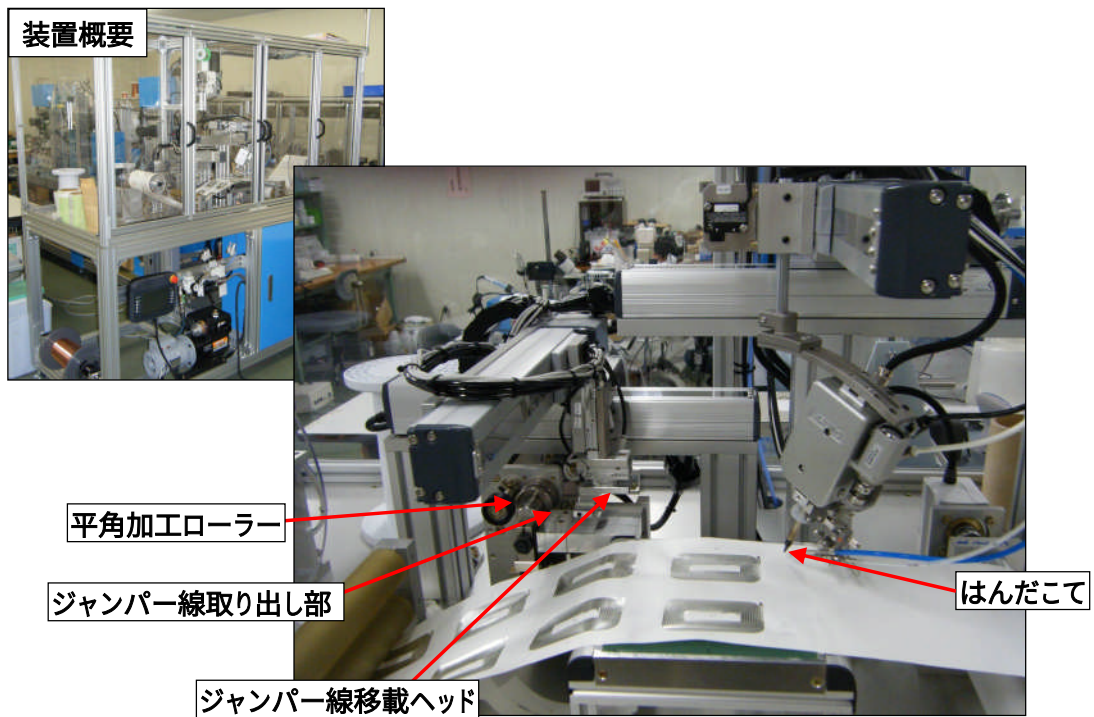


図 2-4-3 平角加工ジャンパー線接合装置

2-4-2 試作品の屈曲試験

導入した装置でジャンパー線接合の試験を行った。試作品について図 2-4-4 に示す条件で屈曲試験（100 回往復）を行ったところ、接合箇所にて図 2-4-5 に示すようなジャンパー線の破断（断線）が発生した。

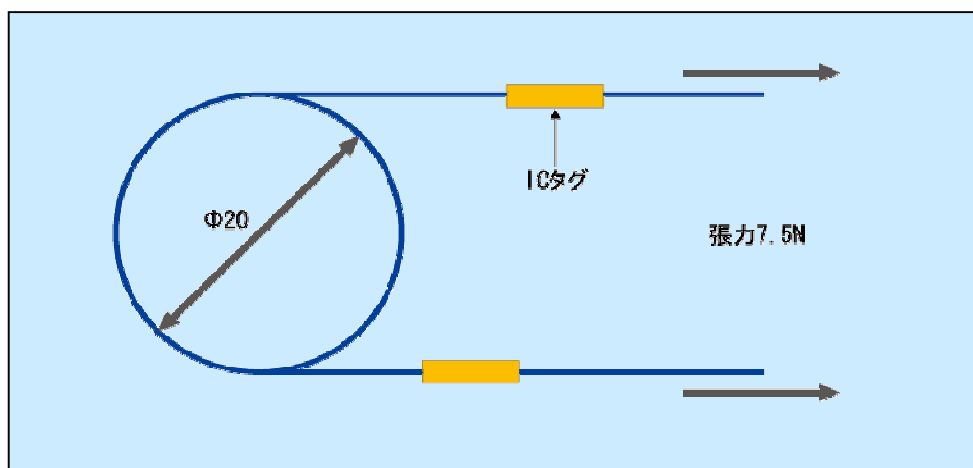


図 2-4-4 屈曲試験法

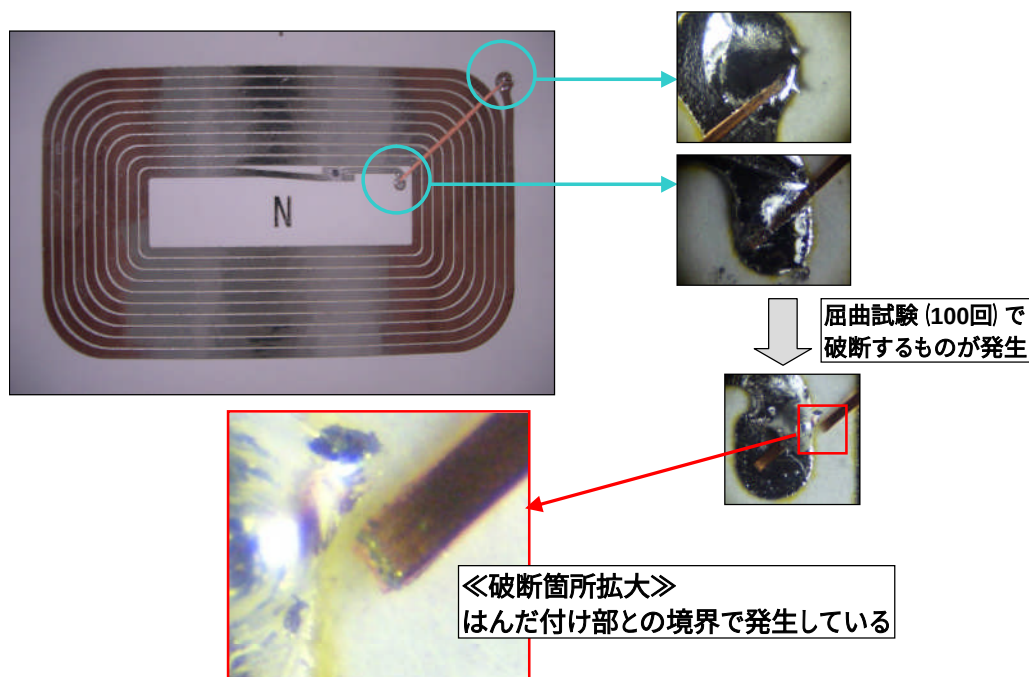


図 2-4-5 ジャンパー破断箇所概観

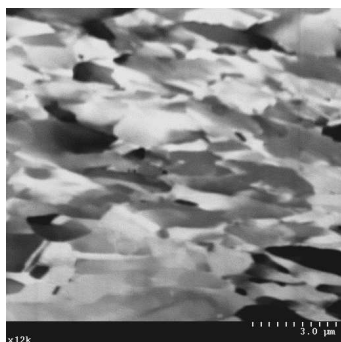
2-4-3 ジャンパー線接合部の解析

屈曲試験でジャンパー線が断線した HF 帯タグの断面解析を行った。接合機による接合前のジャンパー線、屈曲試験で断線が起こったジャンパー線について収束イオンビーム加工機(FIB、FB2200；(株)日立ハイテクノロジーズ)を用いて、イオンによる断面だしと SIM 像の観察を行った。

<結果>

接合前、および NG 品のジャンパー線の断面 SIM 像（走査イオン顕微鏡）を図 2-4-6 に示した。結晶方位によってコントラストがつき、結晶粒が観察された。NG 品の結晶粒のサイズは、加工前よりも増加していた。金属の結晶粒が粗大化していることから接合時にジャンパー線に対する熱の影響があったものと考えられた。今回、接合部の加熱後の冷却速度が適切でなかったため、断線が発生したものと考えられ、接合のみならずジャンパー線への熱の影響も考慮した熱履歴の管理が必要であることが明らかとなった。

(a) 接合前



(b) NG 品

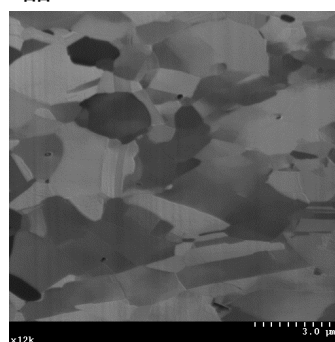


図 2-4-6 接合前、および NG 品のジャンパー線の断面 SIM 像

2-5 試作品の信頼性確保

UHF 帯タグについて、IC チップの実装に用いる特殊はんだについて、低温タイプと高温タイプを用いた試作を行った。特に高温タイプの特殊はんだでの試作については従来の金バンプ電極品ではなく、より低コストなニッケルバンプ電極の IC チップで試作を行い、各種信頼性試験を行った。

2-5-1 各種信頼性試験

＜低温タイプの特殊はんだを用いた試作品＞

試作品に対し、ヒートサイクル試験(-65℃⇔125℃/各 20 分、100 サイクル)、耐湿試験(85℃85%RH、1000 時間)、屈曲試験(図 2-4-4 参照、200 回)、耐寒試験(-60℃もしくは-80℃、240 時間)を行った結果を図 2-5-1 に示す。いずれの試験においても問題ないこと確認した。

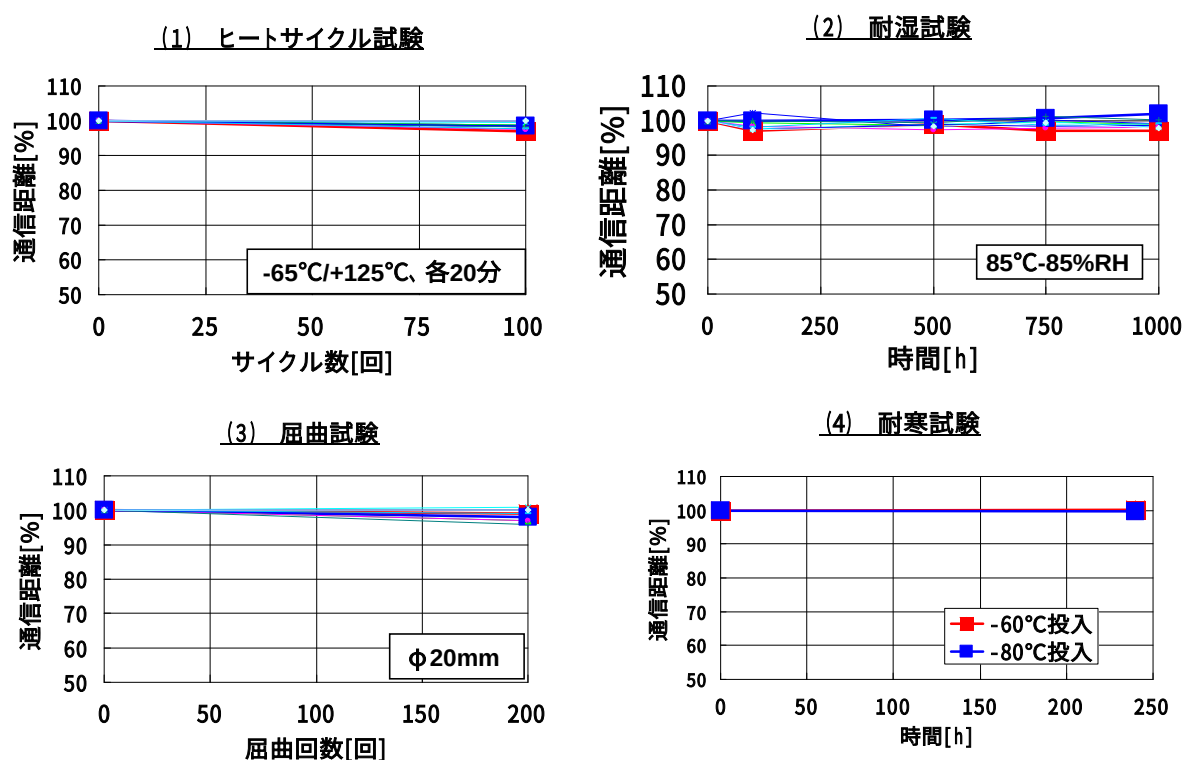


図 2-5-1 低温タイプの特殊はんだを使用した試作品の各種試験結果

＜高温タイプの特殊はんだを用いた試作品＞

試作品に対し、耐熱試験(230℃、60 分)、ヒートサイクル試験(-65℃⇔125℃/各 20 分、100 サイクル)、耐湿試験(85℃85%RH、1000 時間)、屈曲試験(図 2-4-4 参照、200 回)、を行った結果を図 2-5-2 に示す。いずれの試験においても問題ないこと確認した。

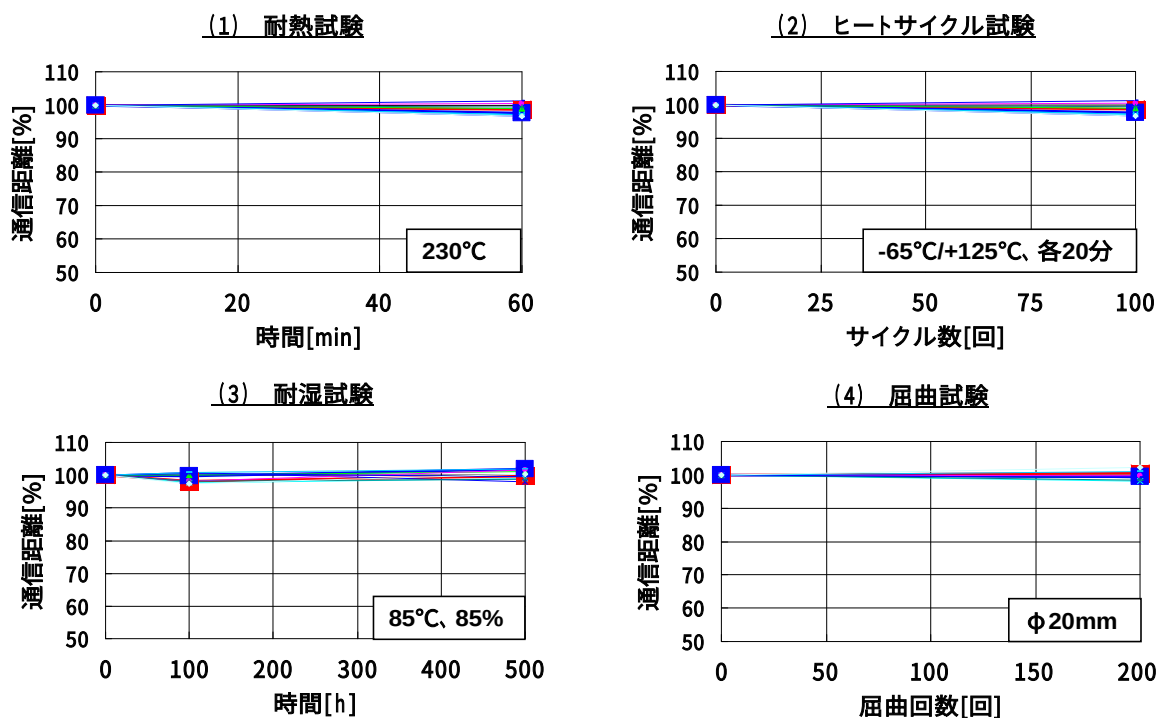


図 2-5-2 高温タイプの特種はんだを使用した試作品の各種試験結果

<顧客要求試験結果>

通信温度特性（通信性能限界温度）、200℃1 時間繰り返し限界確認（20 回以上）、耐薬品（脱脂液、酸洗浄液）性の確認要望が顧客からあり、ニッケルバンプ電極のベア IC チップと高温タイプの特種はんだを用いた試作品について、試験を行った。その結果を図 2-5-3 に示す。

- ・ 通信温度特性：130℃までは通信距離、データの読み書きに全問題は無いが、140℃から全てのタグにデータ化けが発生。
- ・ 200℃1 時間放置繰り返し：20 回繰り返したが、特に通信距離の劣化なし。
- ・ 耐薬品性：脱脂液（pH11～12、45℃3 分浸漬）酸洗浄液（pH3、35℃3 分浸漬）

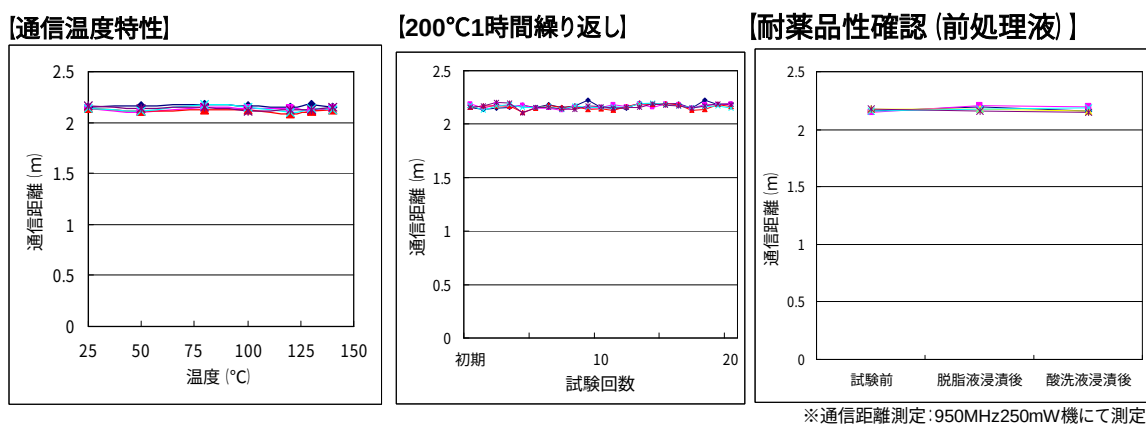


図 2-5-3 高温タイプの特種はんだを使用した試作品の各種試験結果

2-5-2 顧客要望加工実験

顧客からの要望・協力で、図 2-5-4 のように HF 帯タグの熱可塑性樹脂（ポリプロピレン）の射出成型実験を行った。その結果、アンテナ面からの射出条件においては、はんだ箔金属および高温タイプの特種はんだの融点以上である加熱温度 300℃でも性能が維持できるということが明らかとなった。一方、紙面から射出した試料はすべて動作 NG であった。

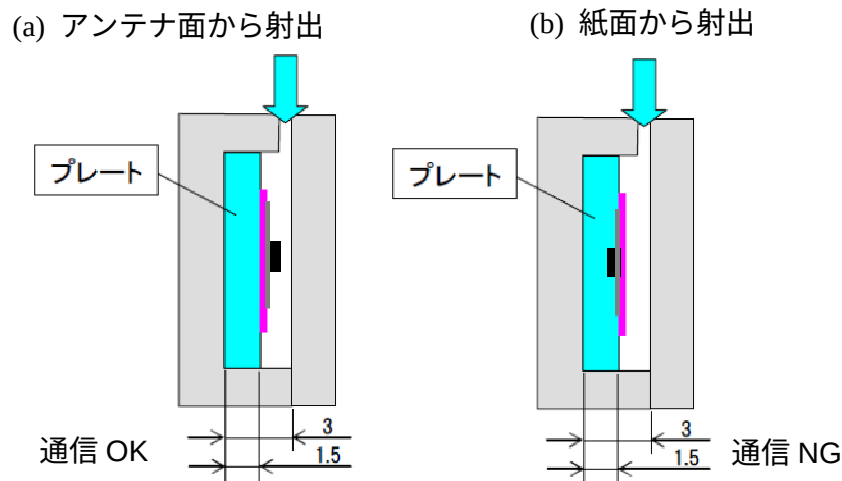


図 2-5-4 ポリプロピレン埋め込みタグの射出方向

<NG 品の解析>

紙面から射出した通信 NG 試料について樹脂を除去し、アンテナパターンの観察を行った。さらに、NG 試料をエポキシ樹脂にて包埋、機械研磨、切断の後、イオンミリング（E-3500；株式会社日立ハイテクノロジーズ）を用いて、Ar イオンによるイオンミリングで研磨を行った断面試料を作製した。作製した試料は、光学顕微鏡で観察するとともに、反射電子像による観察も行った。

<結果>

ポリプロピレンを除去し、アンテナ部分を光学顕微鏡で観察した結果を図 2-5-5 に示した。はんだの融点を超える 300℃で加工した試料においても、外観や抵抗値に異常は見られず、通信不良の原因はアンテナの溶融等によるものではないことが確認された。

通信 NG タグの IC チップ接合部断面の光学顕微鏡像および反射電子像を図 2-5-6 に示す。光学顕微鏡像を見ると、本来 IC チップ接合部から左右に水平に伸びているはずのアンテナが湾曲し、上に向かったのちに水平に伸びていた。このアンテナの湾曲部分を反射電子顕微鏡像で確認すると、点線で囲んだ部分では、はんだで形成されたアンテナが IC チップのエッジに押され、切断寸前となっていた。これにより、アンテナのインピーダンスが変化し、IC タグは動作不良になったものと考えられた。得られた結果を元に考えられる動作不良発生機構を図 2-5-7 に示す。アンテナ面から射出した場合、タグの変形はほとんどないため問題なく動作する。一方で、紙面から射出した場合、流れ込んだ樹脂に押し付けられ、基材である紙が押し付けられて変形する。それに伴ってアンテナも変形し、IC チップのエッジに押し付けられる形となり、切断寸前もしくは切断してしまい、動作不良となる。

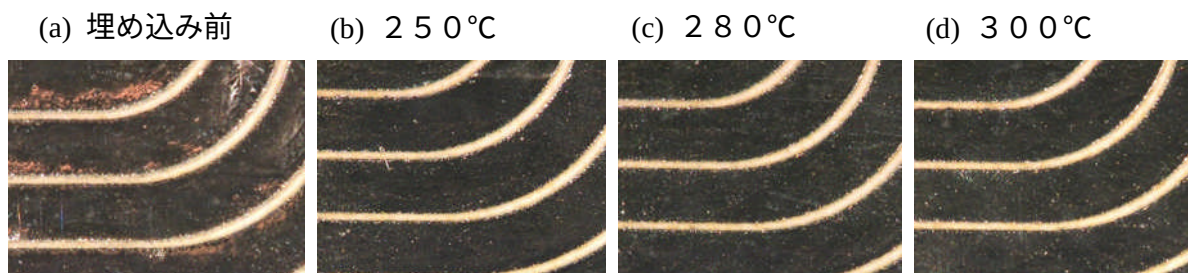


図 2-5-5 ポリプロピレン埋め込みタグのアンテナ部分の光学顕微鏡像

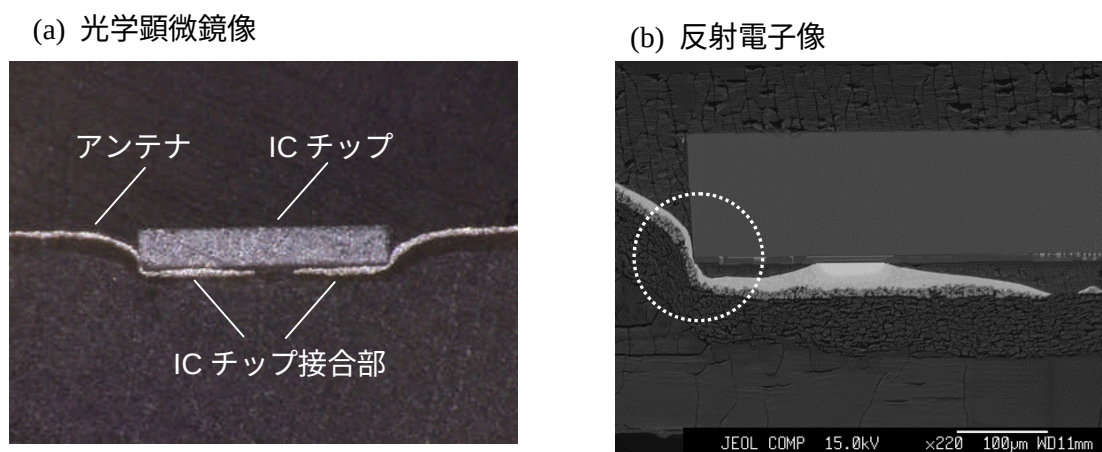


図 2-5-6 IC チップ接合部の光学顕微鏡像および反射電子像

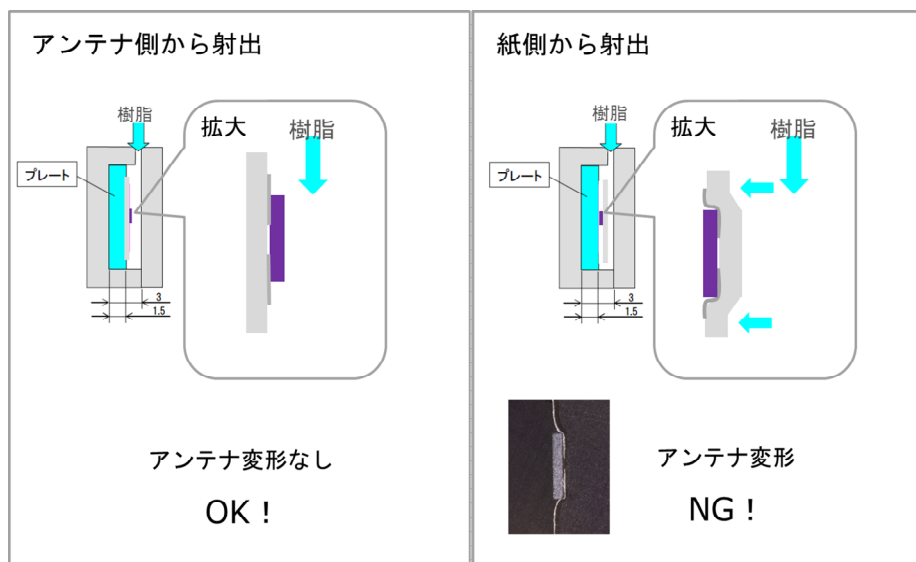


図 2-5-7 動作不良発生機構模式図

2-5-3 太陽電池パネルへの内蔵試作実験

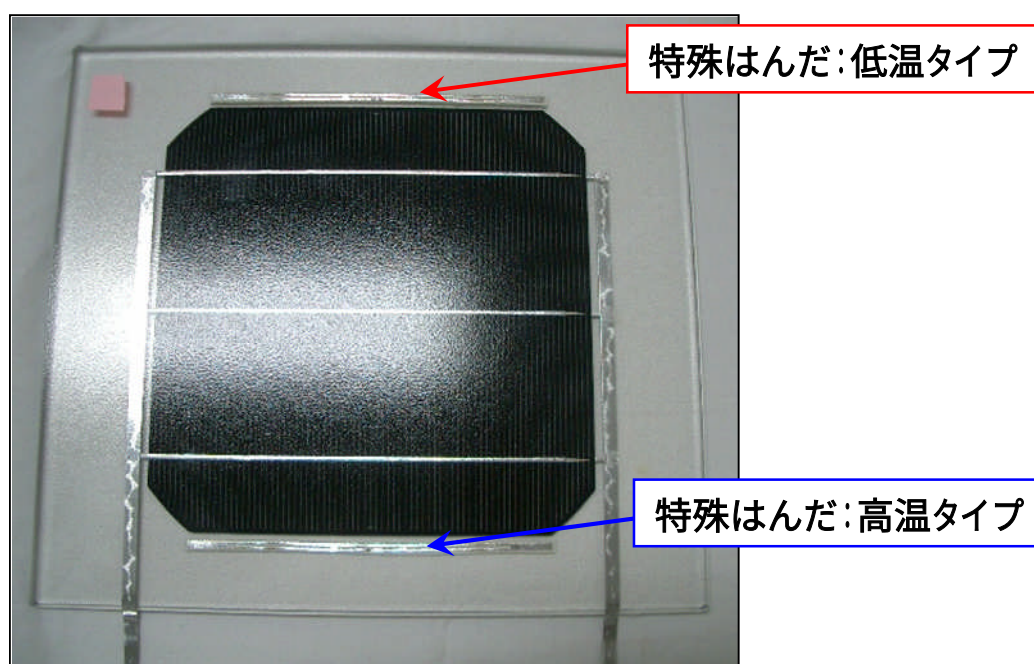


図 2-5-8 太陽電池パネルへの内蔵試作品

市場要求に対し、図 2-5-8 の通り、太陽電池パネルへの内蔵試作を行い、太陽電池パネルの試験規格にそって耐久試験を行った。

<試験内容>

- ・ 温度サイクル (90°C⇔-40°C200 サイクル)
- ・ 耐湿性 (85°C85%RH1000 時間)

どちらの試験後も、太陽電池パネル、内蔵された無線 IC タグ、ともに性能劣化は見受けられず、実用可能と考えられた。その際、特殊はんだを低温と高温の両タイプの試作品を使用した、すべて問題なかった。

2-5-4 耐熱無線 IC タグの試作検討

「環境」「ローコスト」以外に「紙ベース+はんだ」という従来の樹脂フィルムベース品と異なる特徴を活かした優位性も見出すために、耐熱性タグの耐熱評価継続及び性能向上を行った。まず、はんだ、ジャンパー線など、各材料レベルでの 200°C1000 時間放置試験を行ったところ、ベース材料である「紙」以外は、初期値の 90%以上の性能を維持していることが確認された。そこで、ベース基材を耐熱性布であるガラス繊維布に変更して試作検証を行った。

その結果、技術課目標である「200°C1000 時間後でも初期状態の 90%以上の通信性能の確保」を達成することができた。布特有の繊維の凹凸によってベア IC チップの接合が不安定になり断線しやすい状態であることも明らかとなったが、布をあらかじめ平滑化コートすることで断線対策が可能であった。

第3章 超音波溶融はんだめっき装置の導入、調整（超音波はんだ槽による紙ベース基材への乾式めっき工法の確立）

3-1 研究目的及び目標

超音波はんだ槽による乾式めっき工法の確立のため、はんだ濡れ性樹脂を印刷した紙ベースに対し、連続的に溶融はんだめっきするための図3-1-1のような「超音波溶融はんだめっき装置」を設計、導入し、当該装置で金属箔アンテナ形成がフラックスレスで連続的にできることを確認する。さらに、この装置におけるはんだ箔形成に関し各パラメータの影響度を確認、量産可能な条件を見出すことを目標とした。

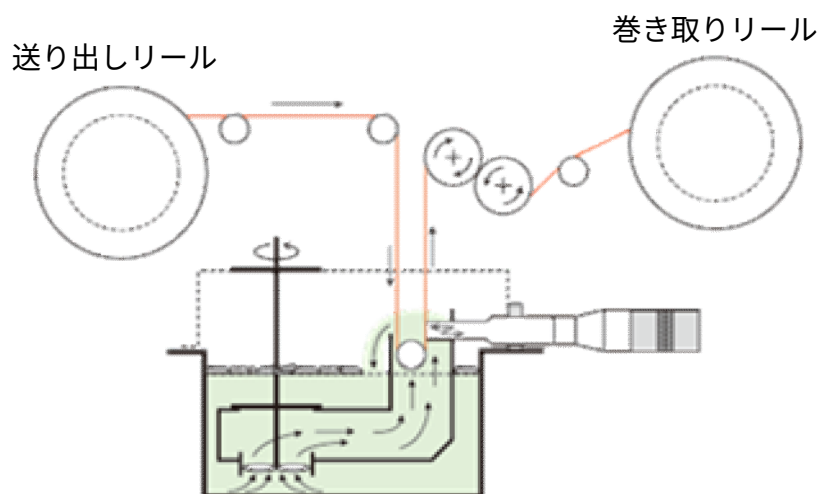


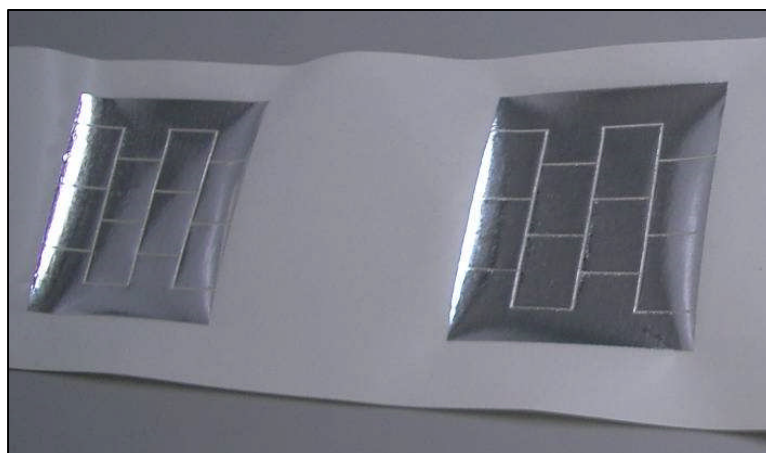
図 3-1-1 装置概要

3-2 溶融はんだめっき条件の選定

この装置を使い、はんだ濡れ性樹脂を下地インクとして印刷した紙ベースに対し、各条件を最適化することによって図3-1-2のような紙ベースに対する金属箔アンテナ形成を連続的にできることを確認することができた。



(a) HF品アンテナパターン



(b) ベタテストパターン

図 3-1-2 紙ベースへの溶融はんだめっき状態

3-3 冷却プロファイルの検討

当装置において、溶融はんだめっき中での冷却プロファイルの違い、すなわち搬送速度の違いによるはんだコートの品質影響の確認を行った。

<実験内容>

試験によって、はんだコートの金属箔としての柔軟性を評価するため図 3-1-3 のように直線状のパターンを用いて屈曲試験装置を用いて確認を行った。屈曲試験は、屈曲直径 $\phi 20\text{mm}$ 、張力 7.5N 、往復回数 100 回という条件で行った。試験前後で通信距離の測定と目視もしくは顕微鏡によるクラック発生有無の確認を行った。

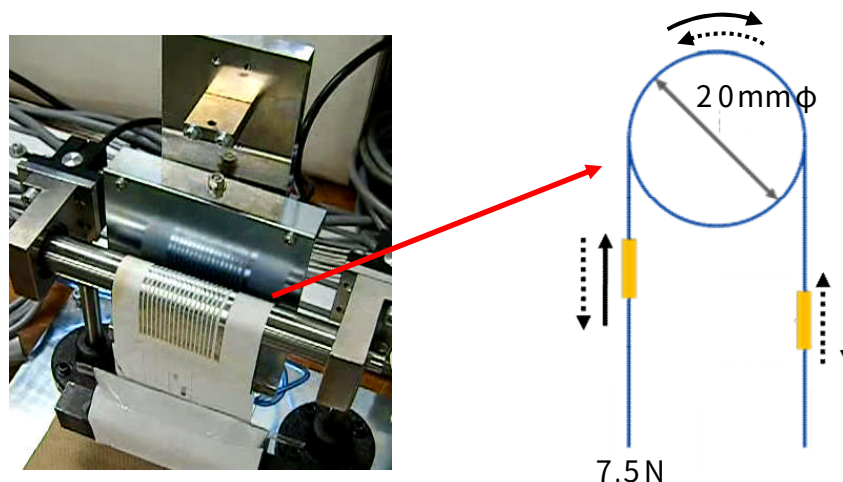


図 3-1-3 屈曲試験器と試験模式図

<結果>

屈曲試験前後ではんだ金属箔の抵抗値変化を図 3-1-4 に示す。低速（ 15 mm/秒 ）、高速（ 45 mm/秒 ）ともに抵抗値に大きな変化は見られず、屈曲試験後にクラックの発生は確認されなかった。以上により冷却プロファイルによる大きな差はないことが明らかとなり冷却プロファイルとはんだコートの特性について詳細な検討は必要ないものと考えられた。

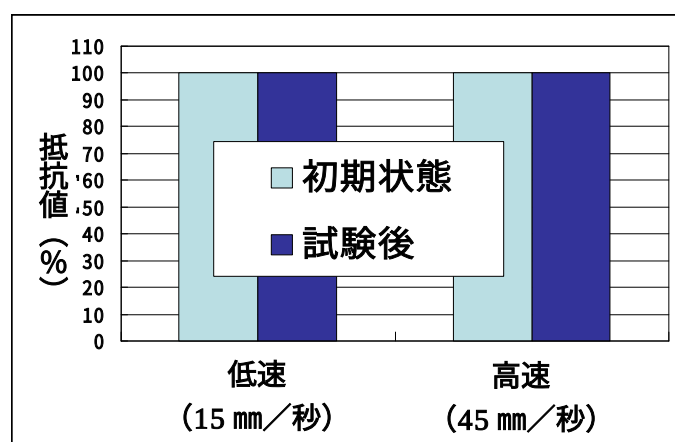


図 3-1-4 屈曲試験後の抵抗値変化

第4章 低温はんだによる低コストなフリップチップ IC 実装技術手法開発と、専用実装機の構築（接着剤含有特殊はんだを用いたベア IC チップのフリップチップ IC 実装工法の確立）

4-1 研究目的及び目標

はんだ粒子と熱硬化性樹脂を混合した特殊はんだを用いたベア IC チップ実装工法（図 4-1-1）の確立のための設備の導入と実験を行った。図 4-1-2 にその特殊はんだの溶融過程（はんだ粒子は溶融し合って電極上に移動し、接着剤のみ中央に集まる）を示す。

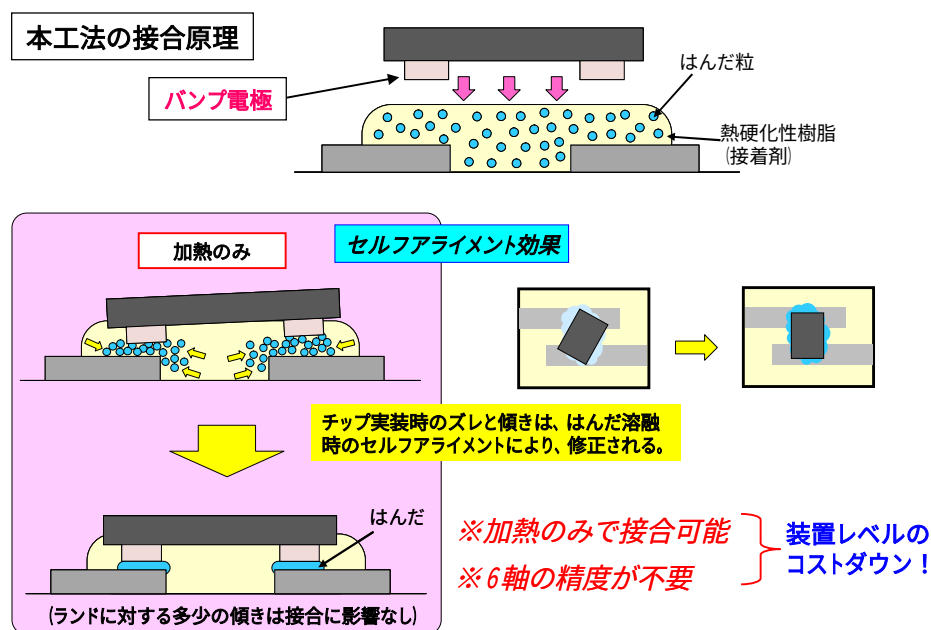
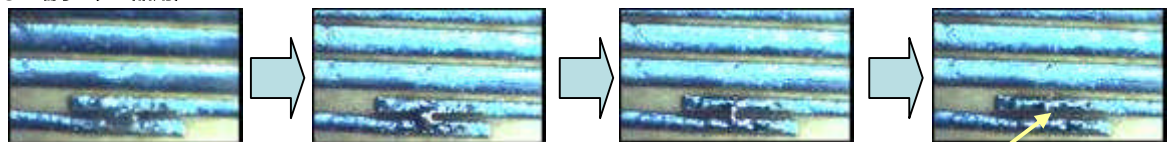
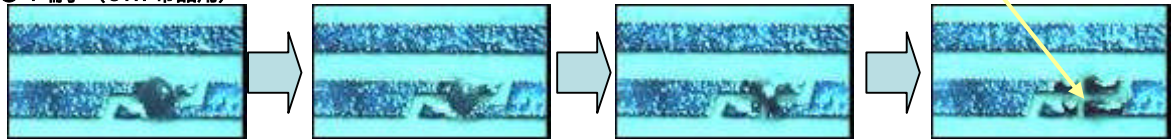


図 4-1-1 特殊はんだによるベア IC チップ実装工程概要

●2端子（HF品用）



●4端子（UHF帯品用）



接着剤（熱硬化性樹脂）

図 4-1-2 特殊はんだの溶融過程

4-2 特殊はんだを用いたベア IC チップ実装における塗布量の検討

特殊はんだを用いたベア IC チップ実装工法の確立のため、「ディスペンサー・加熱ユニット」および「ベア IC チップ用自動実装装置」を導入し、特殊はんだのベア IC チップ実装に対するセルフアライメント効果が発揮できる最適条件及び限界実装ズレ量の確認を行った。その結果最適条件下においては水平・垂直方向それぞれ技術課題目標の±0.2mmの精度でも可能とする実装方法であることが判明した。また、傾きズレに対しても±20°の精度でも対応可能であることが確認できた。

4-2-1 HF品（ベアICチップサイズ0.78×0.90mm²端子）

図 4-2-1 に示すように最適塗布量は 0.7mg～0.9mg であった。

画像倍率：2倍

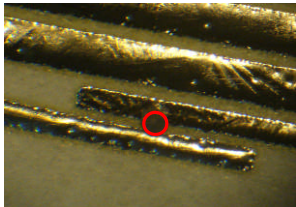
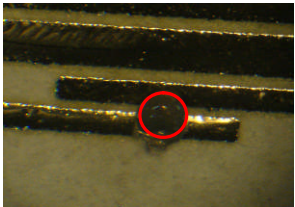
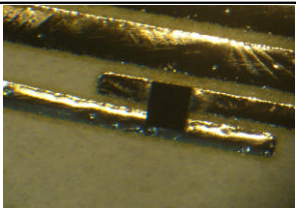
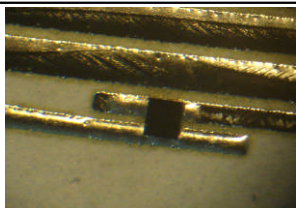
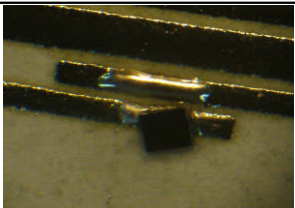
	NG	最適	NG
塗布量	0.5mg	0.8±0.1mg	1.6mg
塗布後			
加熱後			
結果	塗布量少、未導通多い (Yield=2/4=50%)	安定して導通を得られる (Y=5/5=100%)	塗布量多く、チップ移動 (Y=0/2=0%)

図 4-2-1 HF 品（2 端子）での最適塗布量確認

また、図 4-2-2 の通り、得られた最適塗布量にてセルフアライメントが有効に働く限界ズレ量を確認した。

その結果、±0.2mm のズレであればセルフアライメントは有効に働いた。

画像倍率：3倍

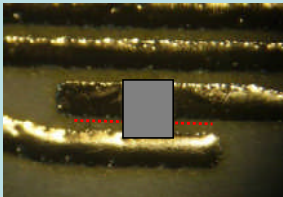
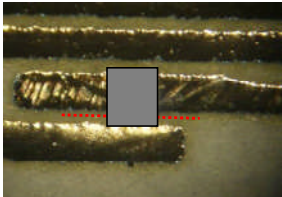
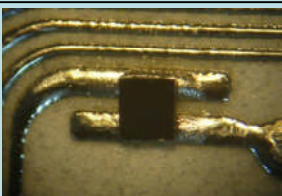
	最適	限界	NG
塗布位置	線間センター	0.2mm ずれ	0.4mm ずれ
実装後			
加熱後			
結果	安定して導通を得られる (Yield=3/3:100%) (Y=8/8:100%)		未導通多発 (Y=4/10:40%)

図 4-2-2 HF 品（2 端子）での実装ズレ確認

4-2-2 UHF帯品（ベアICチップサイズ0.66×0.66mm4端子）

図 4-2-3 及び図 4-2-4 に示すように最適塗布量は 0.4mg～0.5mg であり、縦・横方向ともに±0.2mm 以内のズレであれば、セルフアライメントが有効に働いた。

画像倍率: 3倍

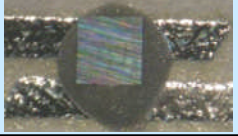
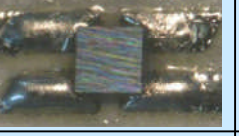
↑縦方向のズレ↓		OK	OK	OK	OK
	塗布量	0.3mg	0.4mg	0.5mg	0.6mg
	塗布後				
	実装後				
	加熱後				
	結果	安定して導通を得られる (Yield=2/2=100%)	安定して導通を得られる (Y=5/5=100%)	安定して導通を得られる (Y=5/5=100%)	安定して導通を得られる (Y=5/5=100%)

図 4-2-3 UHF 帯品（4 端子）での最適量確認（縦）

←横方向のズレ→

画像倍率: 3倍

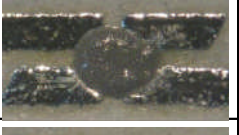
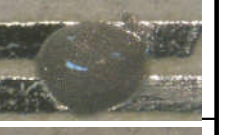
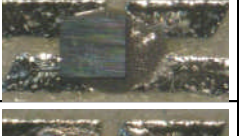
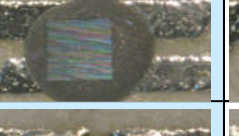
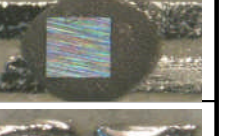
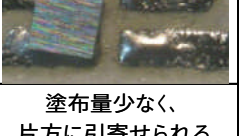
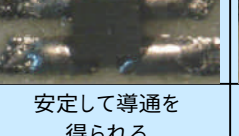
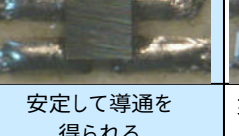
	NG	OK	OK	NG
塗布量	0.3mg	0.4mg	0.5mg	0.6mg
塗布後				
実装後				
加熱後				
結果	塗布量少なく、片方に引寄せられる (Yield=0/2=0%)	安定して導通を得られる (Y=5/5=100%)	安定して導通を得られる (Y=5/5=100%)	塗布量多く、ベアICチップが流される (Y=4/5=80%)

図 4-2-4 UHF 帯品（4 端子）での最適量確認（横）

また、限界実装ズレ量を把握するために傾き（回転軸方向）のズレ量についても確認を行った。その結果、図 4-2-5 の通り、最適塗布量にて±20°であれば十分セルフアライメント効果が発揮できることが明らかとなった。

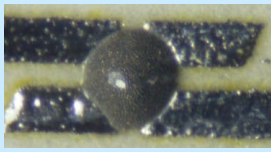
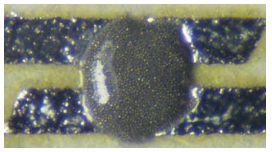
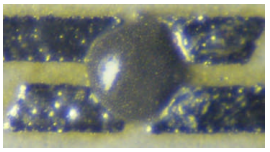
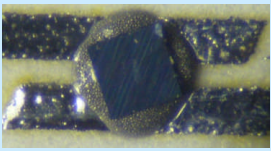
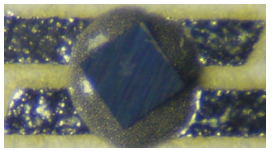
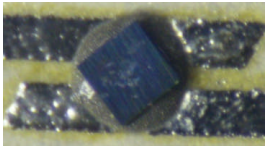
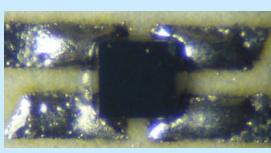
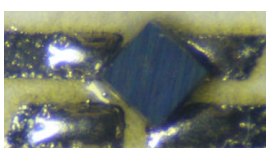
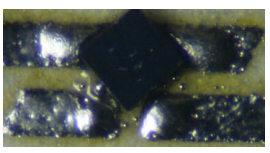
	OK	NG	NG
θズレ	~20°	20°~30°	30°~
塗布後			
実装後			
加熱後			
結果	安定して導通を得られる (Yield=10/10=100%)	安定して導通を得られない (Y=2/5=40%)	まったく導通を得られない (Y=0/5=0%)

図 4-2-5 傾きズレでのアライメント限界確認

4-3 高温タイプの特殊はんだを用いたベア IC チップ接合

本研究で行った金(Au)レスバンプ電極品の検討と同様に、大手ベアICチップメーカーもコストダウンのため、製品ラインナップを図4-3-1に示すようなニッケル(Ni)バンプ電極品に切り替えつつあるため、NiバンプICチップを入手し評価を行った。さらに耐熱向上を狙い、接合に用いる特殊はんだを錫(Sn)-ビスマス(Bi)系の低温タイプ（融点139℃）から錫(Sn)-銀(Ag)-銅(Cu)系の高温タイプ（融点215-220℃）に変更した。バンプ電極と特殊はんだを変更した試料について、230℃1hの高温試験後に接合部の解析を行なった。

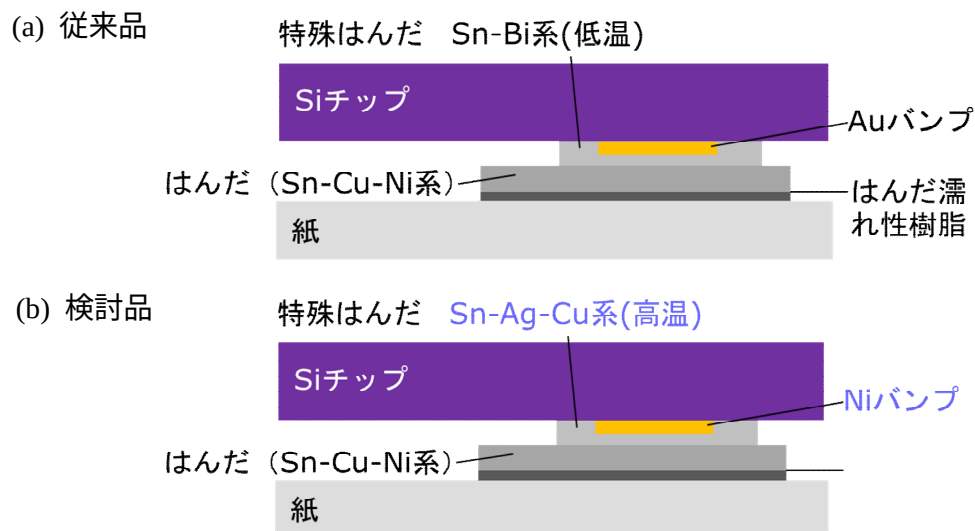


図 4-3-1 IC チップ接合部模式図

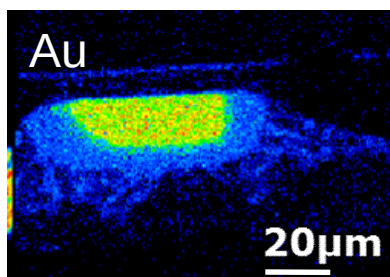
<解析方法>

Ni バンプ電極の IC チップに Sn-Ag-Cu 系の高温タイプの特種はんだでの接合した試料について、230°C1h の高温試験を行った。実装直後および 230°C1h の高温試験後の試料について、試作品のはんだ接合状態とともにのはんだ喰われ（溶融中のはんだに電極が溶け込み消していく現象）状態を解析するため、試料をエポキシ樹脂にて包埋、機械研磨、切断の後、イオンミリング（E-3500；株式会社日立ハイテクノロジーズ）を用いて、Ar イオンによるイオンミリングで研磨を行った断面試料を作製した。作製した試料は、EPMA（JXA-8200；日本電子株式会社）にて元素分析を行った。

<結果>

従来品(Au バンプ)の面分析結果を図 4-3-2 に示す。実装後に Au が拡散し始め、高温試験後には接合部全体に拡散した。電気的な導通は確保していたものの、使用の仕方によっては動作不良につながりかねない。一方で、図 4-3-3 に示した検討品の実装後および 230°C1h の高温試験後の Ni の面分析結果では、実装後および高温試験後においてもバンプ電極の形状を保っており、元素の拡散は見られなかった。また、ニッケルバンプ電極の IC チップを接合した試料に対しせん断強度を測定したところ、図 4-3-4 に示すように、耐湿試験（40°C95%RH1000 時間）後においても強度が劣化しないことを確認した。以上の結果から、Ni バンプ電極の IC チップを高温タイプの特種はんだで接合することで低コスト化と同時に信頼性も向上することが確認された。

(a) 実装後



(b) 230°C1h後

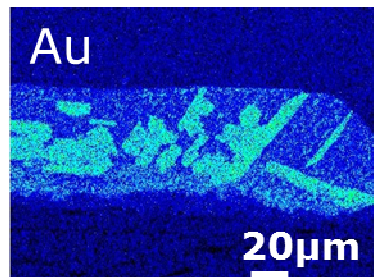
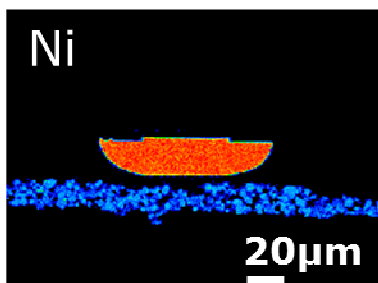


図 4-3-2 従来品の IC チップ接合部の元素分析結果

(a) 実装後



(b) 230°C1h後

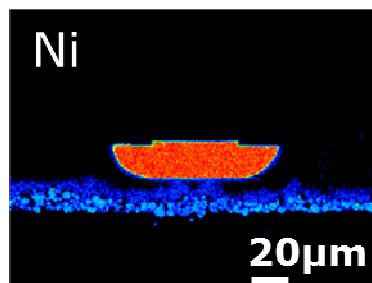


図 4-3-3 Ni バンプ品 IC チップ接合部の元素分析結果

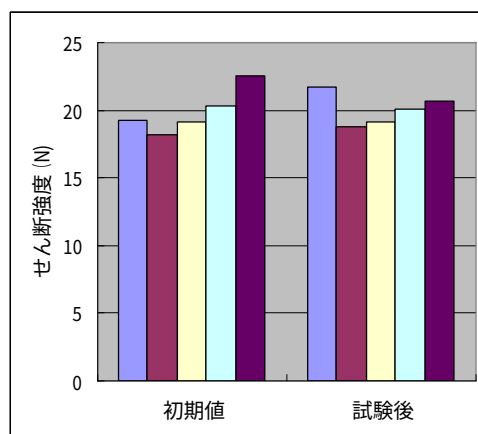
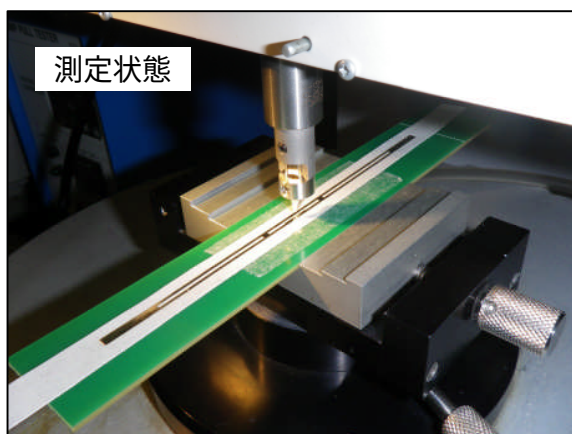


図 4-3-4 せん断強度測定結果（耐湿試験前後）

第5章 事業化の検討

5-1 事業化の検討

本助成事業は平成 23 年度からスタートしたものであるが、その後のアドバイザーからの意見を踏まえると、本プロセスは量産設備を構築した際は、当初の目的通り「ローコスト」をメリットとした市場介入は可能だと思われるが、従来のタグにはない特色を有しているため、最初は従来の無線 IC タグでは真似できない市場を狙い、実績と知名度を上げることが重要と判断し、下記の案件について対応を開始している。

- 1) 「自動車（焼付け）塗装管理（伝票裏）用」：アドバイザー提案案件
大手自動車メーカーにコンタクトして PR を完了した。
- 2) 「飲料品の中身すり替え防止 NFC 栓用」：アドバイザー仲介案件
大手包装容器メーカーから試作検討依頼を受け対応中。
専用の IC チップの提供を受け、無線 IC タグ（NFC タグ）の試作を行いサンプルを提出した。現在先方にて評価中となっている。先方は、破断しやすく、樹脂への成型内蔵も可能である IC タグを要望しており、本製品が目的に合致し、他に類似品がないことから期待を受けている。
- 3) その他：樹脂の射出成型内蔵の可能性に強い興味が持たれており、アラミド紙の強度も期待した以下の案件について検討を開始した。
 - ・ M 社：以前検討を断念したリネンタグの再検討。
（はんだ箔の耐腐食性にも期待）
 - ・ S 社：耐熱（180℃30 分程度）＋強度を活かした案件を企画中。

また、本プロセスの「紙・ガラス繊維布への溶融はんだめっき」と「特殊はんだによる実装技術」を応用し、「フレキシブル LED 電極シート」の商品化を開始した。（図 5-1）本商品については、特に欧州からの反響が強く、無線 IC タグ同様に従来の照明では容易に模倣できない市場をねらった事業化の検討を開始した。

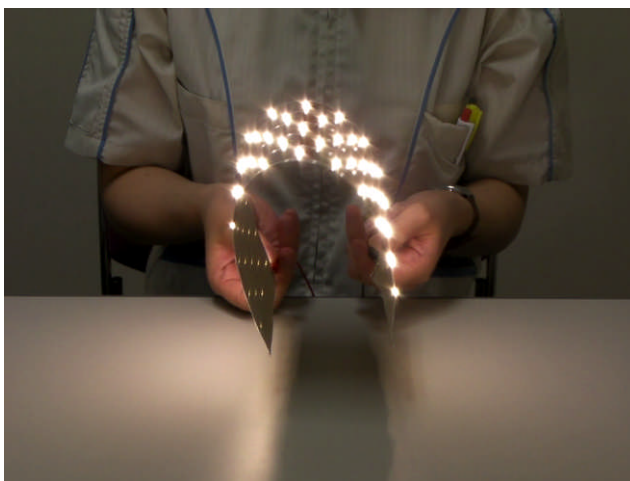


図 5-1 フレキシブル LED 電極シート

第6章 全体総括

6-1 研究開発の成果

本研究開発において、当初目標に掲げた研究開発内容 5 項目について、今年度までにすべてについて目標を実施することができた。以下にその概要を記す。

① 超音波はんだ槽による紙ベース基材への連続溶融はんだめっき工法

平成 23 年度に、目標としているパターン幅及び間隔が 150 μ m 以下を実現した。しかしながら、余剰めっきによるはんだ塊の発生によって安定した製造条件は見出せなかった。これに対し平成 24 年度に装置の稼動方法を抜本的に見直すことではんだ塊を解消する工法を見出し、平成 25 年度に稼動を安定化させるための装置の改造を行い、最適条件を見出した。

② 下地インク中の銀含有率低減

平成 24 年度に着手し、下地インク中に含まれる銅とニッケルの合金粒子の平均粒子サイズを 5 μ m から 9 μ m に変更することで、印刷性及びはんだ濡れ性を損なうことなく銀コート面積となる合金粒子の表面積を減少させることで、目標としている現状の 50%以下の低減を達成した。

③ 被覆線を用いたオーバブリッジ工法の確立

平成 25 年度に平角加工ジャンパー線接合装置を導入し、基本動作を確認するとともに最適条件を見出す実験を行った。狙い通りの工法になるものの、屈曲試験では接合部のジャンパー線が破断してしまう現象が発生した。解析の結果、接合時の適切な熱履歴管理が必要であることが明らかとなった。

④ 接着剤含有特殊はんだを用いたベア IC チップのフリップチップ IC 実装方法の確立

特殊はんだの最適塗布量を HF 品（2 端子）と UHF 帯品（4 端子）でそれぞれ見出し、目標としている「 ± 0.2 mm 以内の縦・横方向のズレ、さらに $\pm 20^\circ$ 以内の傾きズレでもセルフアライメントを利用した実装が可能であること」を確認した。また、 $\phi 20$ mm の巻きつけ 100 回しごき試験でも剥離しない接合強度であることが確認された。

⑤ 試作品の信頼性、特に耐熱性の確保

ベア IC チップメーカーが順次、金レス電極品として切り替えてきているニッケル電極の IC チップを採用して検証した。その結果、ニッケル電極の IC チップは高温タイプの特種はんだとの適用性が良く、UHF 帯タグが高信頼性を有することを確認した。また、紙ベースの代わりにガラス繊維布を採用することで「200 $^\circ$ C1000 時間後でも初期状態の 90%以上の通信性能を確保する。」という目標を達成することができ、この工法について特許出願を行った。

6-2 課題と今後の取組み

6-2-1 課題

本助成事業は平成 23 年度からスタートしおおむね当初の技術課題に対する目標値をクリアすることができた。現在は以下の 2 点の課題があると考えている。

1)被覆線を用いたオーバブリッジ工法の確立

HF 帯タグの屈曲試験時の接合部のジャンパー線が破断に対し、ジャンパー線接合に関する適切な熱履歴条件を見出す必要がある。

2)最新ベア IC チップへの適用の可能性検討

最近のベア IC チップの傾向としては、コストダウンのために、本テーマに挙げている金レス電極化のほかに、シリコンウェハーの使用量削減を狙い、厚みが従来の 150 μm から 100 μm 以下に薄くなってきている。しかしながら、それと同時にベア IC チップの強度も低下し、加圧を必要とする従来の異方導電性接着剤による接合ではベア IC チップが破損する。そこで、非常に小さな加圧条件で実装を行う本プロセスが有効性であると予想しているが、それを検証する必要がある。

6-2-2 今後の取組み

現在は、当初の目的の「ローコスト」を活かした市場より、実績と知名度を上げることを優先として、最初は従来の無線 IC タグでは真似できない市場を狙った案件に対応している。コストは製造する量によっても変化することから、当面は、他のタグにはない特徴を活かした用途を見出し、市場に提案を行っていく。

また、本プロセスを展開した「フレキシブル LED 電極シート」に関しては、パッシブ無線 IC タグの数マイクロワットから数ミリワットの非常に微弱な電力に対し、1000 倍近い電力を使用する。そのため、製品としての信頼性確認のためには、その電力下での各種試験が必要であり、今後その詳細な検証を行うことを予定している。そして、本プロセスでの成果については、従来技術にはない特徴を持っており、さらに用途を調査し、展開を検討する。