

平成 2 1 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「超小型部品の鉛フリー実装技術における細密溶接技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 東北経済産業局
委託先 財団法人福島県産業振興センター

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	
1-2	研究体制	
1-2-1	研究組織	
1-2-2	管理体制	
1-2-3	研究者氏名	
1-2-4	協力者	
1-3	成果概要	
1-4	当該研究開発の連絡窓口	
第2章	鉛フリーを実現するレーザー等による直接細密接合技術の開発	6
第3章	インライン化した細密接合評価技術の開発	15
第4章	レーザーと連動した精密位置決め技術と高速実装技術の開発	17
第5章	全体総括	25

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

本研究開発は補聴器に代表されるような超小型の医療機器に内蔵される電子部品の接合と実装に関するものである。

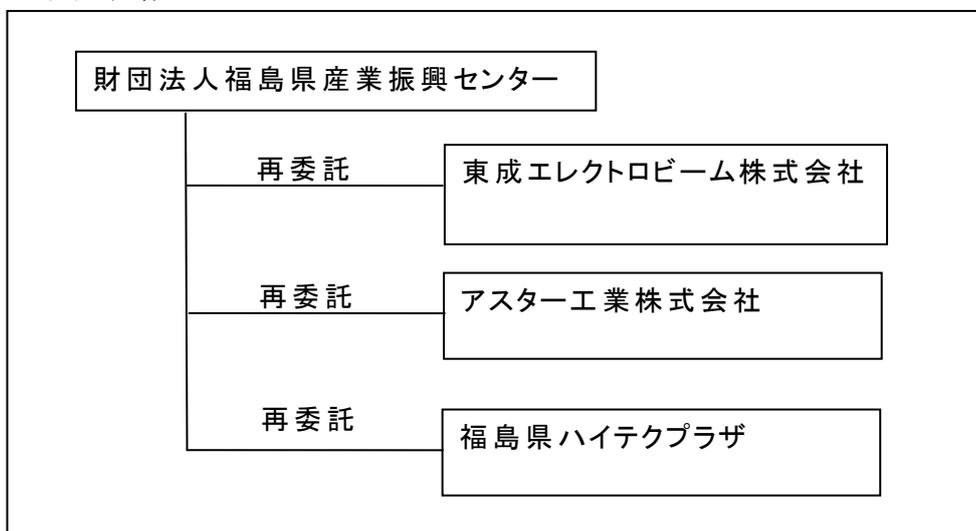
補聴器は医療機器であり薬事法上の障壁がある。このため新たな製品開発には時間を要するのが一般的であり、製品サイクルも長かった。しかしながら高齢化社会の進展とデジタル化という時代の流れで、更なる高性能化、小型化、軽量化が切望され、製品サイクルも短期間になっている。必然的に実装部品の小型化・集積化のため配線の細密化が必要となっている。また医用電子機器の分野においても WEEE や RoHS 指令等による鉛フリー化が必至であり、他の電子機器分野よりは遅れているものの早急な環境面への配慮も重要な課題となっている。

これまで一般的であった共晶はんだの鉛フリー化がこの分野でも進んでいるが、不良率の増加などを招いている。このような状況のなかで、鉛を含まないはんだやはんだそのものを使用しない微細部品の実装技術ならびに接合技術の向上が強く望まれている。この研究開発ではレーザー等による直接細密接合技術の開発を目指し、また同時にこの技術による高速実装技術の開発を併せて行う。

来るべき超高齢化社会において補聴器の需要が高まり、その高性能化、微細化、低コスト化、且つ低環境負荷性にも対応した微細部品の接合技術並びに実装技術の向上が強く望まれている。本研究では上記の要求を満たすために最新のレーザー技術を超小型部品へ入熱の少ない最適溶接条件の研究やレーザーと連動して高速で実装する技術の研究開発を行ない、これまでのマウンタとリフローを用いる生産方式に置き換わる超小型電子部品の直接レーザー接合による新たな生産方式の開発を行う。

1 - 2 研究体制

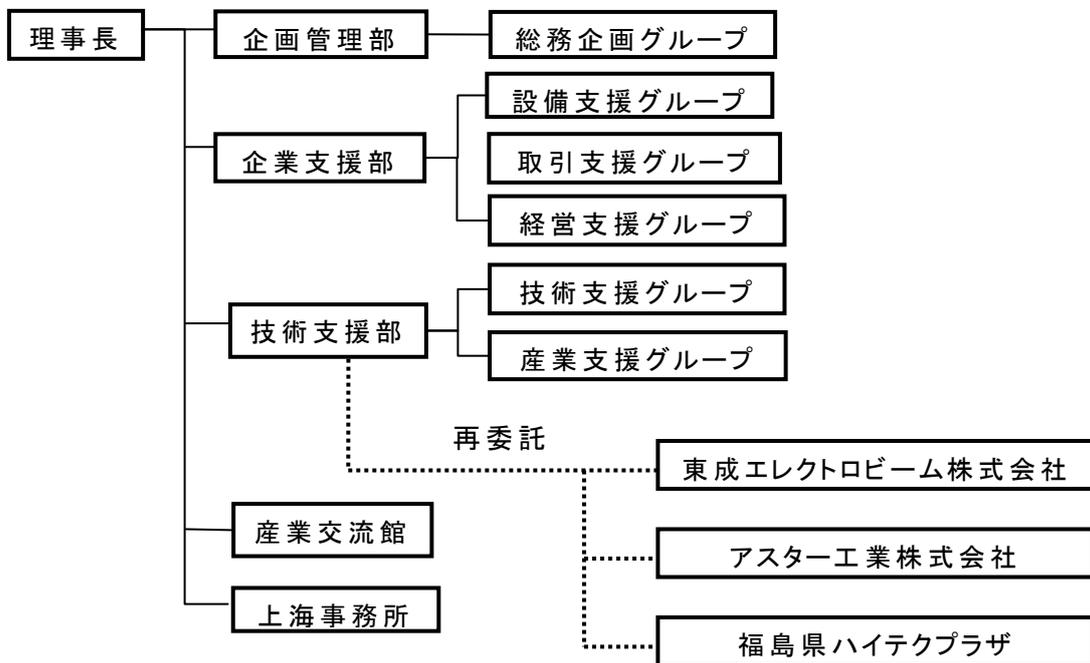
1 - 2 - 1 研究組織



<p>総括研究代表者（P L）</p> <p>所属：東成エレクトロビーム株式会社 研究開発課</p> <p>役職：課長代理</p> <p>氏名：高島 康文</p>	<p>副総括研究代表者（S L）</p> <p>所属：アスター工業株式会社 FATM 事業部</p> <p>役職：部長</p> <p>氏名：橋本 一秋</p>
---	---

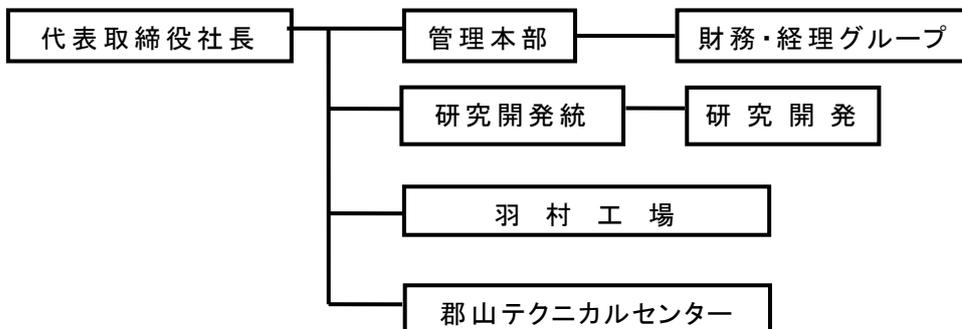
1 - 2 - 2 管理体制

研究組織（全体）

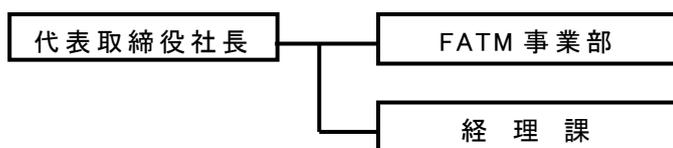


再委託先

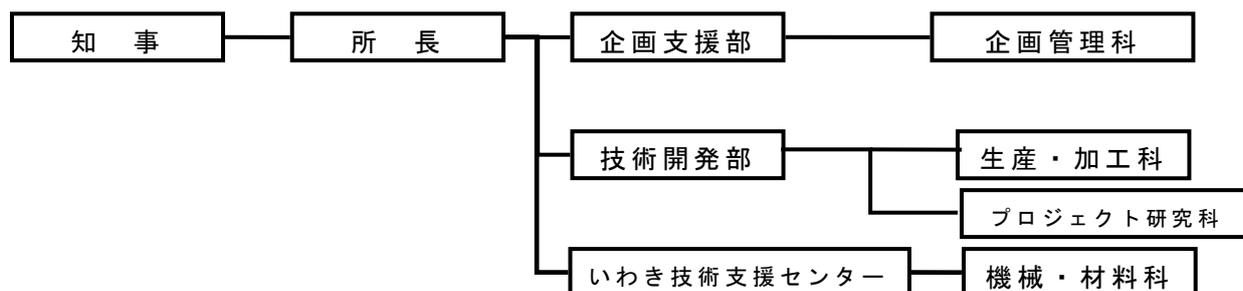
東成エレクトロビーム株式会社



アスター工業株式会社



福島県ハイテクプラザ



1-2-3 研究者氏名

石井 明 東成エレクトロビーム株式会社 相談役
高島 康文 東成エレクトロビーム株式会社 研究開発統括部研究開発課 課長代理
西原 啓三 東成エレクトロビーム株式会社 研究開発統括部研究開発課 担当主任
金澤 悠介 東成エレクトロビーム株式会社 研究開発統括部研究開発課 課員
石井 裕司 東成エレクトロビーム株式会社 郡山テクニカルセンター
研究開発統括部研究開発課 主任研究員
石川 宏幸 アスター工業株式会社 取締役部長
橋本 一秋 アスター工業株式会社 FATM事業部 部長
国分 均 アスター工業株式会社 FATM事業部 課長
山崎 浩康 アスター工業株式会社 FATM事業部 課長
西片 弘治 アスター工業株式会社 FATM事業部 研究員
菅野 陽一 福島県ハイテクプラザ 研究開発部長
栗花 信介 福島県ハイテクプラザ 生産・加工科 科長
濱尾 和秀 福島県ハイテクプラザ 生産・加工科 主任研究員
吉田 英一 福島県ハイテクプラザ 生産・加工科 副主任研究員
伊藤 嘉亮 福島県ハイテクプラザ プロジェクト研究科 科長
佐藤 善久 福島県ハイテクプラザ 機械・材料科 主任研究員
三瓶 義之 福島県ハイテクプラザ 生産・加工科 主任研究員

1-2-4 協力者

合田 秋則 リオン株式会社

1-3 成果概要

「超小型部品の鉛フリー実装技術における細密溶接技術の研究開発」というテーマで我々プロジェクトメンバーは H19 年から取り組み H21 年度は 3 年目で最終年に当るが、初年度の計画した目標に対してはほぼ 80%、今年度に設定した課題に対してはほぼ 90% クリアし目標を達成することができた。

大きな成果としてリフローを使う従来方式と異なる生産設備であるレーザ溶ダリング方式の装置を開発することが出来た。またこの装置の特徴としては 1 台の装置で従来のマウント・接合・検査と 3 つの工程を行うものである。

製作した設備は鉛フリーハンダ用レーザ溶ダリング装置である。初年度の計画では、左記の鉛フリーハンダ用レーザ溶ダリング装置の後、直接接合用レーザ溶ダリング装置にステップアップする予定であったが、残念ながら断念し鉛フリーハンダ用レーザ溶ダリング装置のみとなった。

変更となった理由として大きく 2 つあるが、まずレーザ溶ダリングの接合評価に関してハンダ用及び直接接合用ともに実際に評価し始めると多くの課題が見つかり容易ではないことが判明しかなりのボリュームの評価が必要になってきた。次にハード的にも問題があり、ハンダ用と直接接合用とではレーザヘッドの大きさが約 50~100 倍ほど異なり、搭載するにはどちらかしか対応できない状態となったためである。

開発した装置に関する詳細の性能結果及び各プロセスに対する技術開発についてサブテーマごとに報告する。

まず「鉛フリーを実現するレーザ等による直接細密接合技術の開発」についてであるが、電子機器部品及びプリント基板に対する熱影響を調べるため、2 台のレーザを用いた同時照射環境下でレーザ照射による加熱状態をサーモカメラにより観測した。その結果から部品への熱影響度がわかり、狙いとしている条件で大きく熱が入っていないことを確認した。

直接接合に関しては実装機に搭載した実機評価ではないが、社内システムに搭載し簡易治具などを用いて基礎評価は実施した。かなり難航したが、接合する条件を導出することができた。しかし、理想である銅同士の接合に関しては不安定な部分もあって断念したが、その他の材料を用いた異材接合では接合すること確認した。品質面でも強度が約 1.5kg あることを確認しており、今後接合面積を増やすことでこれ以上の強度も可能である。更に実際にフレキシブル基板上にも照射して接合することを確認している。

レーザ溶ダリングの品質に関しては、本年度購入した高速度カメラを用いて詳細に接合時の状態を観察・撮影し、従来では観測・判定が難しかったハンダ接合時のエラーを改善することが出来、安定化技術に寄与することができた。また、電気伝導度も測定しており、レーザ溶ダリングにより接合されたチップ抵抗に対して抵抗値がレーザの熱により変化していないことを確認した。

次に「インライン化した細密接合評価技術の開発」についてであるが、マウンタ実装後のチップ部品の位置ずれ及びレーザ接合後のチップ部品の位置ずれ検出を行うことを目指した画像処理外観検査システムの開発を行った。

本年度は、位置ずれ検出画像処理システムの自動化処理の開発を行った。電子部品の画像を取り込み位置ずれ量の自動算出とマウンタとの連動処理に対応した。更に輪郭抽出を行う画像処理の検出率や検出精度を向上させるため、フィルタ処理について実験を行い、システムに機能を搭載した。サブテーマの目標として接合する電子部品の 75 μ m の位置ずれが検出可能であるとしていたが、こちらも問題ないことを確認した。

最後に「レーザと連動した精密位置決め技術と高速実装技術の開発、高速実装機的设计及び製作」についてであるが、開発した特殊実装機は3つのことを行うことから実装部とレーザ部とカメラ部の3つのユニットに分かれる。1台で3工程を行うことからそれぞれ制御部がお互いのユニットの動作をコントロールしてスムーズに動作する必要がある。まず3つのユニットが問題なく連動し一連の動作を行うことを確認した。次にこの一連の動作を繰返し連続してレーザ溶ダリングの動作を行うことを確認した。更にこの動作に対して数値目標を掲げているが、タクトタイム（繰返し動作を行うときアウトプットからみて部品1個当りに掛かる時間）が ≤ 2.0 秒/個と設定していたが、現状の実力値では 2.6 秒/個となり若干オーバーする結果となった。今年度スタート時は 5.4 秒/個というタイムでその後治具の改善やパラメータの見直し更に装置の改造などを実施して 1.8 秒/個になったが、現在いろいろ複雑な問題を抱えている為、安定して動作させるためには現在のところ 2.6 秒/部品になってしまった。ユニット単体では実測で実績があり実力が発揮できれば理論上は 2.0 秒/個になる見込みである。

開発した装置でレーザ溶ダリングしたサンプルの品質についても評価を実施しており、接合強度の目標 300g に対して本命としている条件付近で約 1.5kg 以上を達成しており問題ないことを確認した。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

所 属	財団法人福島県産業振興センター
氏 名	技術支援部産業支援グループ課長 宇野 秀隆
電 話	0 2 4 - 9 5 9 - 1 9 5 1
F A X	0 2 4 - 9 5 9 - 1 9 5 2
E - mail	htuno@f-open.or.jp

第2章 鉛フリーを実現するレーザ等による直接細密接合技術の開発

2-1 レーザ照射による電子部品及びプリント基板への熱影響評価

(サブテーマ①-1)

【東成エレクトロビーム】

2-1-1 緒言

昨年度購入したサーモカメラを用いて、レーザ溶ダリング時における電子部品及びプリント基板上の熱履歴を観察した。昨年度は装置の関係上、片側照射のデータであったが、実際の実装機は両側から同時照射を行うので半導体レーザ2台を用いて2台同時照射環境下での評価を実施する。表2-1-1にサーモカメラの仕様を示す。

メーカー		NECAvio 赤外線テクノロジー
機種		TVS500EX
空間分解能	[μm]	63
測定温度範囲	[$^{\circ}\text{C}$]	0~500
フレームレート	[Hz]	60
測定距離	[mm]	56

表 2-1-1 サーモカメラ仕様

2-1-2 実験方法

図2-1-1に示すようにレーザヘッドなどにサーモカメラが干渉しレーザ光路を遮ることのないようにサーモカメラをセッティングし、レーザ照射中の各部分の状態を上方から観察できるようにした。

レーザ照射条件は昨年度までの結果を踏まえて表2-1-2のように設定し、2台同時照射の環境下でレーザ照射条件を変化させ電子部品への入熱量を評価した。



図 2-1-1 サーモカメラセット状態

レーザ発振器	⋮	半導体レーザ 2台
照射時間	⋮ [sec]	0.3~ 0.6

表 2-1-2 レーザ照射条件

2-1-3 実験結果及び考察

熱履歴測定の結果を述べる前に、測定方法、測定箇所について説明する。サーモカメラは観測対象物から放射される赤外線を受光し、その量を温度に変換して表示している。図 2-1-2 のようにチップ抵抗表面のセラミック部分（黒色）が抵抗部分であるため、ここを測定箇所として統一した。

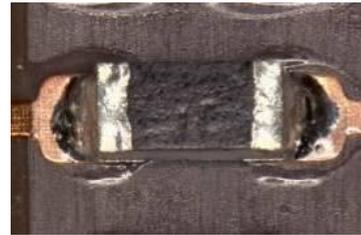


図 2-1-2 1005 抵抗チップ
(サーモカメラ観察角度より撮影)

図 2-1-3 は 1005 チップ抵抗に対してレーザ出力を固定してレーザ照射時間を変化させた場合のレーザ照射中における温度履歴を、図 2-1-4 は 1005 チップ抵抗に対してレーザ照射時間を固定してレーザ出力を変化させた場合のレーザ照射中における温度履歴の結果を示している（出力 $a < b < c < d < e$ ）。両者共にレーザ照射直後に急激な温度上昇が始まり、その後一定の温度上昇をし、レーザ照射終了と同時に下降していくことがグラフから分かる。

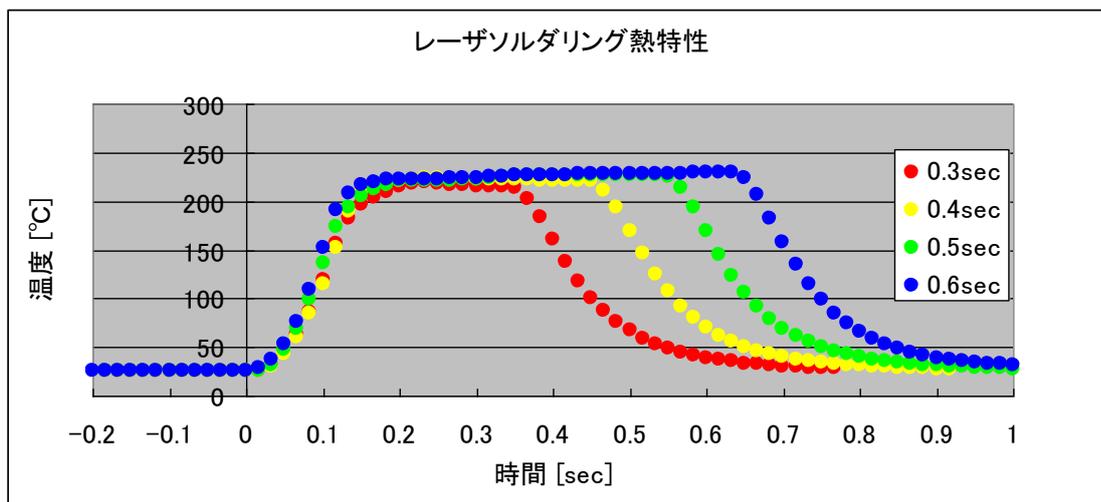


図 2-1-3 チップ抵抗への熱影響（レーザ照射時間依存特性）

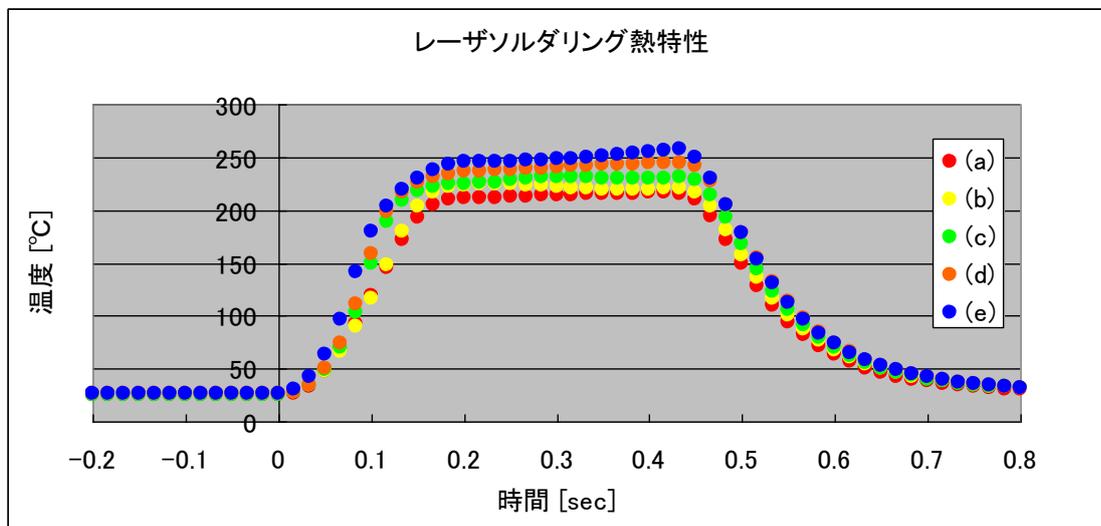


図 2-1-4 チップ抵抗への熱影響（レーザ出力依存特性）

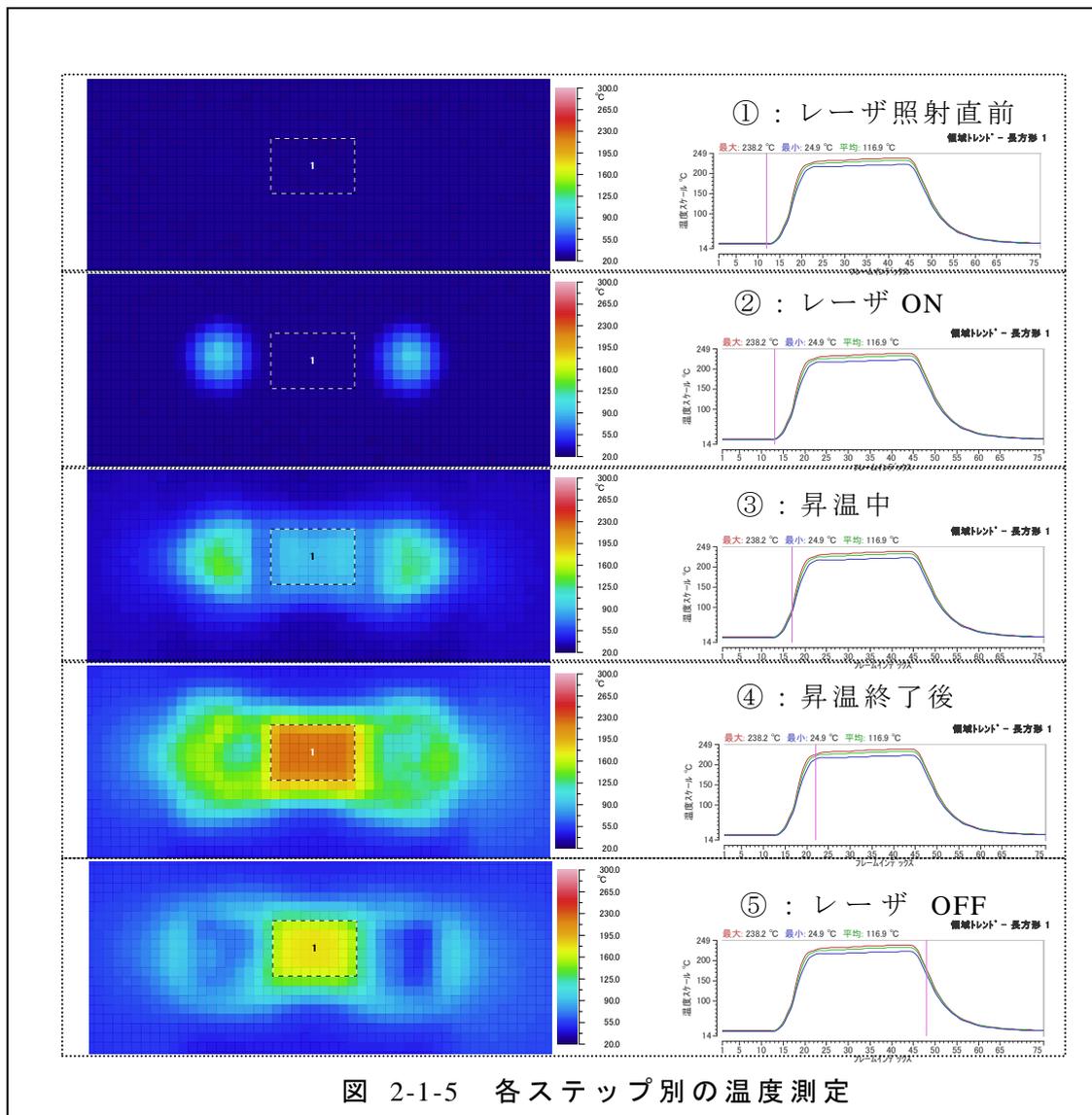


図 2-1-5 は各ステップの温度分布を示しており抵抗部分以外の箇所の温度も表示されている。同一温度であっても材料の種類、状態によって各々放射率が異なる。図中では抵抗部分のみに放射率補正をかけているため、他の部分は表示温度と実温度は必ずしも一致しないことには注意して頂きたい。

2-1-4 結言

出力変化の条件 e で若干 250°Cオーバーしたが、現状出力に関しては b 以下で検討しており、リフロー方式で鉛フリーハンダを使用する際に推奨される温度プロファイルの最大温度は 250[°C]であることから、電子部品への熱影響はないと考えられる。今回サーモカメラにて、2 台のレーザを用いた同時照射環境下でレーザ照射による加熱状態を観測する事が出来た。このデータを基にして他の検証結果と合わせ、ハンダが溶け残る事のなく電子部品に悪影響を及ぼさず、且つ高い接合強度を有する最適なレーザ照射条件を導出する。

2-2 高速度カメラを用いたレーザ照射条件の適正評価

(サブテーマ①-2)

【東成エレクトロビーム】

2-2-1 緒言

本年度は2台同時照射環境下でレーザソルダリングの照射条件の可否を判定しているが、本年度購入した高速度カメラを用いて詳細に接合時の状態を観察・撮影し、さらなる条件の最適化に寄与させる。表 2-2-1 に高速度カメラの仕様を示す。

メーカー	KEYENCE
機種	VW-6000
素子解像度	640×480
最大記録解像度	24000 [fps]

表 2-2-1 高速度カメラ仕様

2-2-2 実験方法

図 2-2-1 に示すようにハンダを塗布したプリント基板上へマウントした電子部品に半導体レーザ2台を用いて同時照射し、その様子を高速度カメラで観察・撮影した。条件としてはレーザ出力及び照射時間を調節してハンダの状態を確認する。評価で使用したレーザ照射条件を表 2-2-2 に示す。

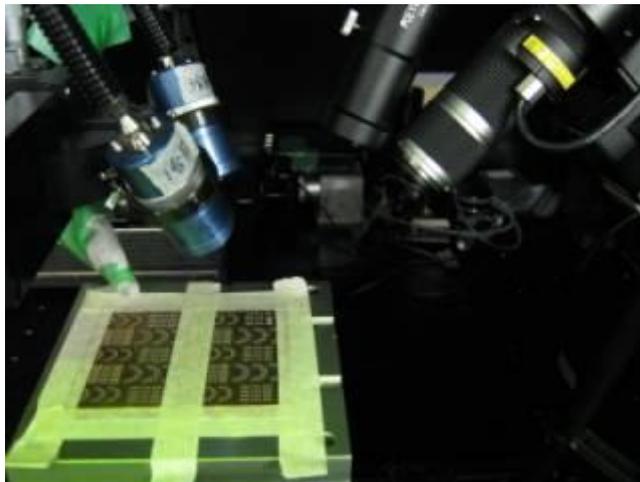


図 2-2-1 高速度カメラセット風景

レーザ発振器	∴	半導体レーザ2台
照射時間	∴ [sec]	0.2~0.6

表 2-2-2 評価で使用したレーザ条件

2-2-3 実験結果及び考察

あるレーザ出力のハンダ状態変化について図 2-2-2 に示した。写真中の白煙はハンダ中のフラックスが熱で気化したものである。(a)はレーザ照射直前でハンダは溶けていない状態なの、(b)でレーザが照射されるとレーザが当たった箇所が溶けて球状になり、時間が経過するとランドが濡れてフィレットを形成する。その後(c)になってレーザ照射が終わるとハンダの温度が低下して凝固した状態になった。塗布されたハンダの位置が基板ごとにわずかに異なる、またはチップ抵抗を全て手作業で設置しているためにチップ抵抗の設置位置がサンプル別に多少違う等の理由から、ハンダの溶け方はサンプル別に多少誤差を持つが、 n 数増しで検証したサンプルは全て同様のハンダの溶け方を示し、130[ms]程度でハンダが全て溶けた状態になった。この時間があるレーザ出力での最短ハンダ溶解時間とした。この検証を他の出力でも実施した結果、出力ごとの最短ハンダ溶解時間を得ることが出来た。

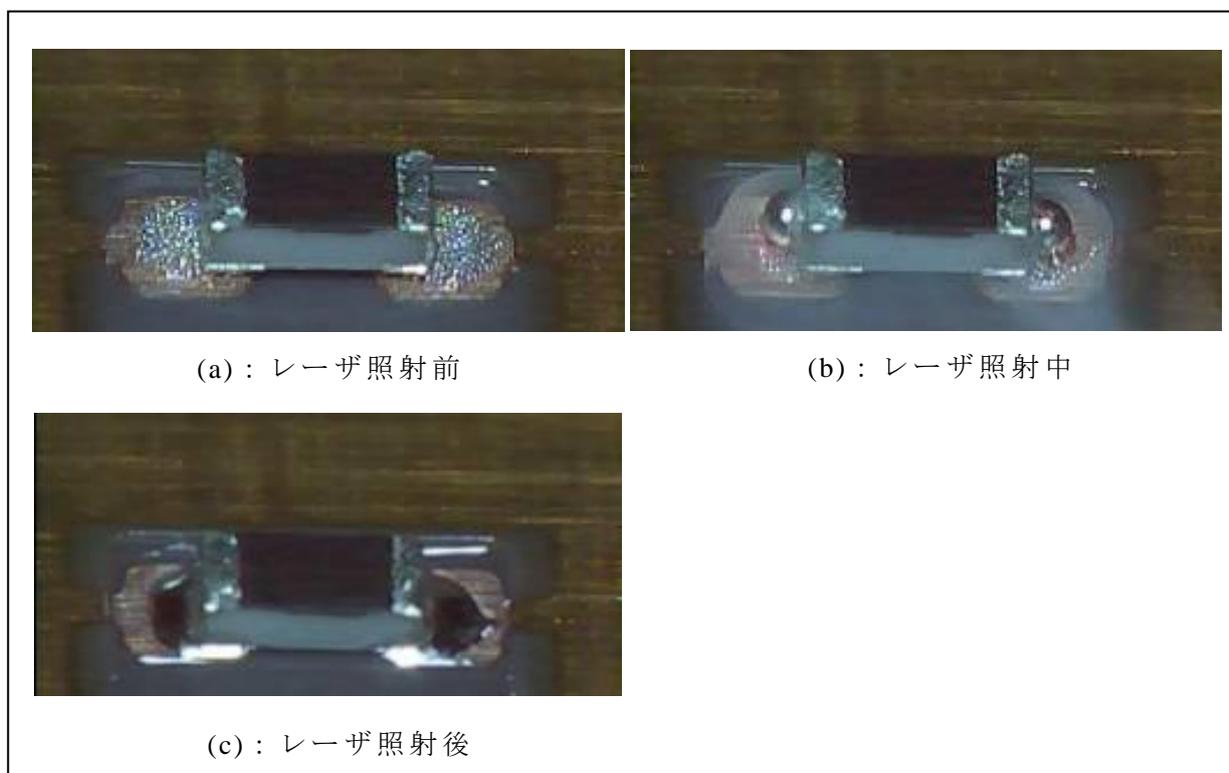


図 2-2-2 レーザ照射前後でのハンダの状態変化

さらに高速度カメラによる検証を進めると、レーザを照射してハンダが溶けている状態で、図 2-2-3 のように条件によってはまだ溶けていないハンダの粒が溶ける前に飛散してしまう現象や、溶けたハンダがランド外へこぼれ落ちるハンダボール現象が発生した。それを受けて条件を調節したところ、図 2-2-4 のようにハンダ飛散現象やハンダボール現象を抑制する事が出来た。

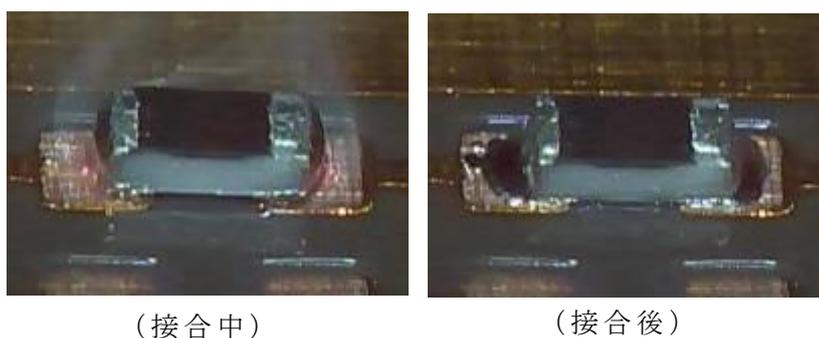
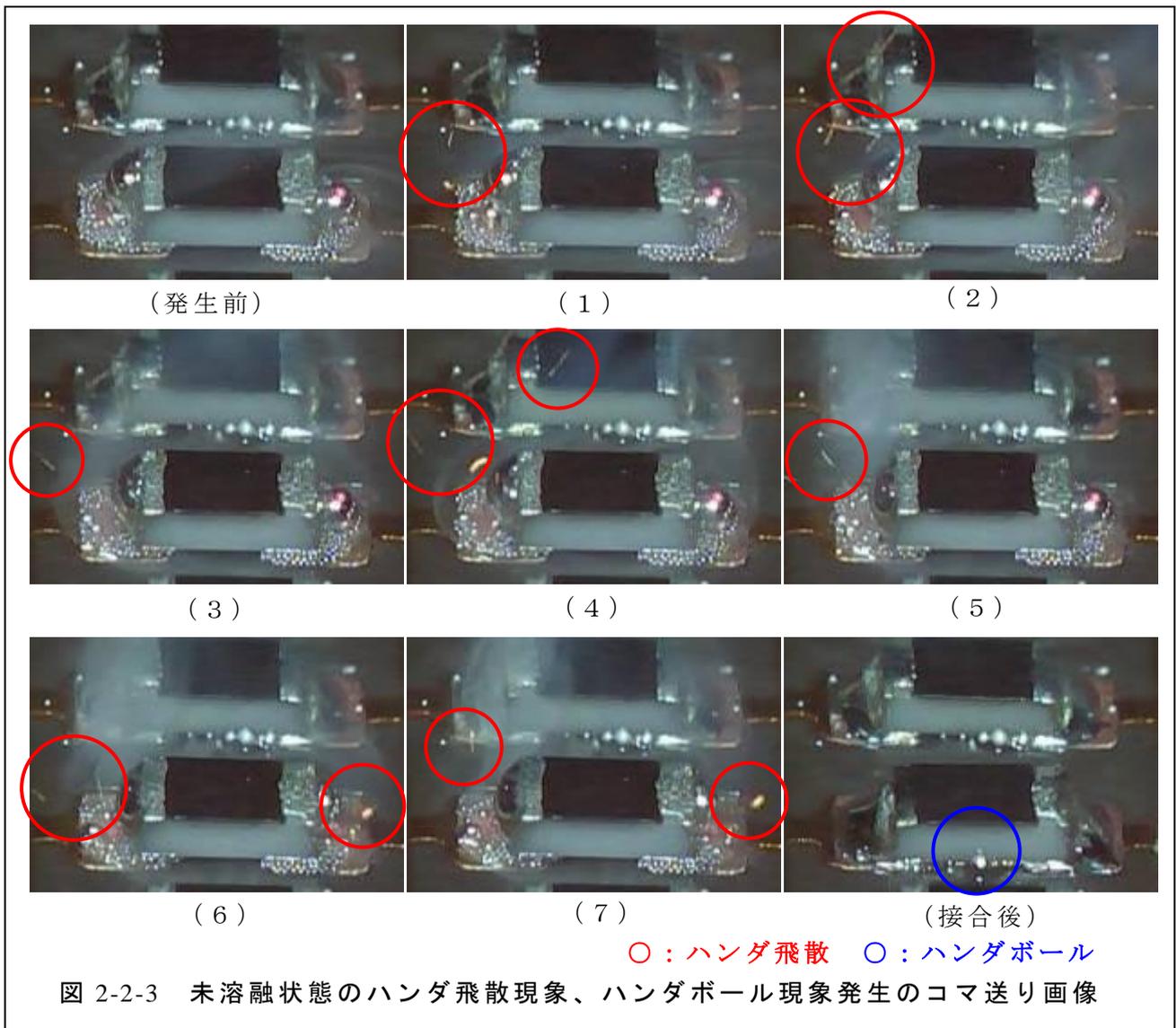


図 2-2-4 ハンダ飛散現象、ハンダボール現象を改善した時の静止画

2-2-4 結言

高速度カメラを用いてハンダ接合部を詳細に観察した結果、出力別の最短ハンダ熔融時間を測定することが出来、また従来では観測・判定が難しかったハンダ接合時のエラーを改善することが出来、安定化技術に寄与することができた。

2-3 直接接合評価

(サブテーマ①-2)

【東成エレクトロビーム・福島県ハイテクプラザ】

2-3-1 緒言

プリント基板上の電子部品をレーザ溶ダリングする以外にハンダそのものを使用しない直接接合の評価も同時に進めている。昨年度までの評価を踏まえて今年度はスキャナー光学系を用いた異材接合に関して評価を実施した。

2-3-2 実験方法

図2-3-1は直接接合で評価を行っている装置の外観写真と加工部の拡大写真である。表2-3-1は直接接合で実験に使用した機器類及び備品である。材料の組み合わせは同じであるが、レーザ光をスキャン（走査）させることで一点に集中する熱量を可変し、接合条件の最適化を図る。また、固定光学系の一点接合に対して、スキャンさせる形状によっては接合面積（距離）が増加し、接合強度の向上も同時に期待出来る。



図2-3-1 評価に用いた装置外観及び拡大写真

表2-3-1 実験に使用した機器類及び備品

レーザ発振器	ファイバーレーザ 100W (アイソレータ付き)
波形制御	パルスジェネレータ 任意波形を作成
光学系	スキャナー光学系
材料	ニラコ 薄板 t0.1mm Cu,Al,SUS304,Ni

2-5-3 実験結果及び考察

材料を変更する目的は、レーザ光による加工の安定性向上がある。その材料選定には銅より反射率が低いことが必須条件となるが、電子部品と基板の接合では抵抗やコンデンサなどの電気的特性を損なわないものであることも重要である。そこで、銅と

電気特性（特に電気抵抗値）が近似し、一般的に入手しやすい材料を選定した。

フレキシブルプリント基板（FPC）のベース材料が銅であることから下板は銅、上板を異材とした。図 2-5-2 に各材料を接合評価した一例を示す。アルミニウムは銅と同様にレーザー光に対して高反射材のため、入熱制御が困難であった。ステンレスおよびニッケルは安定して接合出来る条件の導出を達成出来た。

この２種類の内、電気抵抗が銅に近いニッケルで更に接合条件の最適化を図った。

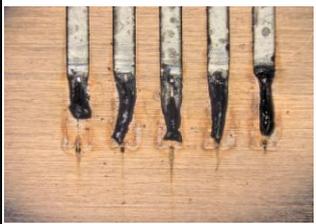
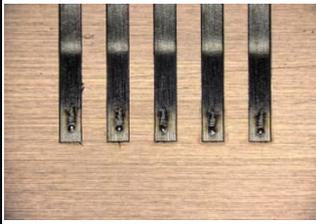
上板	下板	加工状態	接合可否
Al	Cu		×
SUS304	Cu		○
Ni	Cu		○

図 2-5-2 異材接合結果

2-5-4 追加実験とその結果

FPC の材料構成は図 2-5-3 に示すように、銅の下地にポリイミドなどの絶縁性樹脂がある。そのポリイミドは500度以上で熱分解されるため、FPCへ電子部品を接合する際には、下板である銅裏面への熱影響を極力小さくする必要がある。図 2-5-4 はレーザー条件の違いによる裏面状態を示している。上板と下板の接合はどちらの条件も満たしているものの、入熱過多の条件では下板裏面まで熔融状

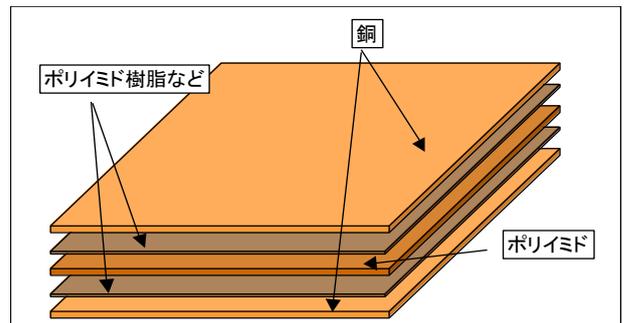


図 2-5-3 FPC の材料構成イメージ

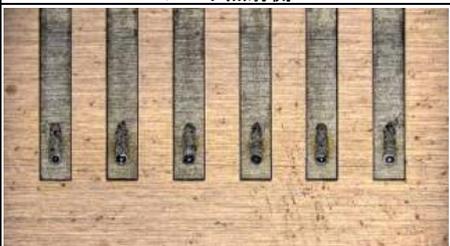
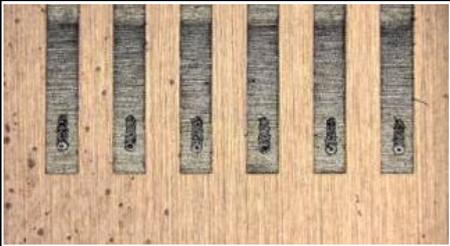
加工条件	加工状態		接合可否	裏抜け
	レーザー照射側	裏面		
不適			○	有
最適			○	無

図 2-5-4 接合写真₁₃(表面と裏面)

態が確認出来る。銅の融点は約 1080 度であることから最適化していない場合、ポリイミドが分解され、気化（爆発）することで FPC 上の銅を吹き飛ばしてしまう。一方、最適化された条件での銅裏面状態は焼けによる変色も確認出来ず、良好な接合となっている。

外観での判断不可能な部分もあるため、断面マクロによる接合状態の確認を実施した。図 2-5-5 にニッケルと銅を接合した断面マクロを示す。ニッケルが溶融し、銅側へ食い込むような状態が確認出来た。



図 2-5-5 Ni-Cu 接合の断面マクロ

2-5-5 FPC 基板上的の評価と結果

上項までの接合条件導出により、ニッケルと銅の接合が可能であることが確認出来た。そこで、レーザ溶ダリング評価で使用している FPC にも同様の接合が可能か評価を実施した。

図 2-5-6 に接合状態を示す。基礎評価の銅板厚は t0.1mm であったが、FPC の銅板厚は t0.035mm のためレーザ条件の変移は多少あったものの、ニッケルと FPC との接合が確認出来た。

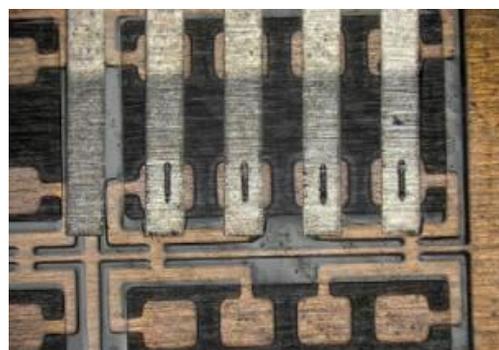


図 2-5-6 Ni-FPC 接合状態

2-5-6 シェア強度試験

表 2-5-2 にシェア強度試験結果を示す。Ni-Cu に関しては目標値 1500gf に近い強度が得られた。一方、Ni-FPC は Cu 寸法の制約上、一定面積の接合であったため目標値より低い値となった。しかしながら、接合面積の増加および FPC の銅厚みなどを変更することでシェア強度の増加は期待出来る。

表 2-5-2 直接接合シェア強度試験結果

Ni-Cu		Ni-FPC
1点接合	2点接合	1点接合
698	1489	506

単位:gf

2-5-3 結言

FPC へ電子部品を直接接合する手法を確立した。ただし、市場への展開となるといくつか条件が必要となり今後の課題となる。

第3章 インライン化した細密接合評価技術の開発

3-1 画像処理による部品位置ずれ良否判定技術の開発 (サブテーマ②-1)

【福島県ハイテクプラザ】

3-1-1 緒言

本サブテーマでは製造ラインに組み込んで、マウンタ実装後のチップ部品の位置ずれ及びレーザ接合後のチップ部品の位置ずれ検出を行うことを目指した画像処理外観検査システムの開発を行った。

CCD カメラ、レンズ、照明などの光学機器をマウンタ内に設置し、撮影された画像に画像処理を行い、自動で位置ずれを検出するシステムを開発した。使用した光学機器を表 3-1-1 に示す。

表 3-1-1 使用した光学機器

カメラ	145 万画素白黒 CCD カメラ KP-F120CL (有効画素数：縦 1040 画素、横 1392 画素)
レンズ	倍率 2 倍テレセントリックレンズ MML2-HR65D
照明	青色同軸落射照明 MCEL-CB8 照明用電源 MLEK-A230W2LRDB (デジタル 256 段階の調光が可能)

3-1-2 位置ずれ検出処理

開発した位置ずれ検出システムの自動処理の流れ及び処理時間並びに評価結果を以下に記す。

3-1-2-1 自動処理

まず初めに、幾何サーチのために、左右画像共にサーチ用パターンをハードディスクから読み込む。

次に、理想とするチップ位置の左右上角座標を図 3-1-1 の左画像、右画像共に座標値をそれぞれ入力する。

連続処理開始ボタンを押すことにより、マウンタのシーケンサからの指令待ちに入り、位置ずれ量検出の連続処理が始まる。

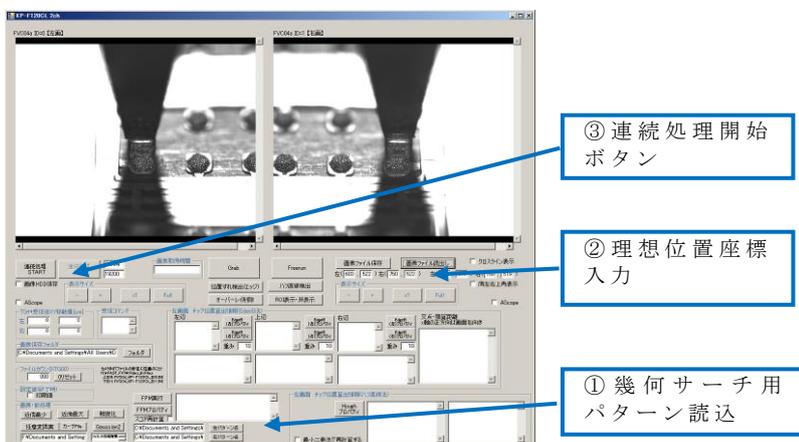


図 3-1-1 画面

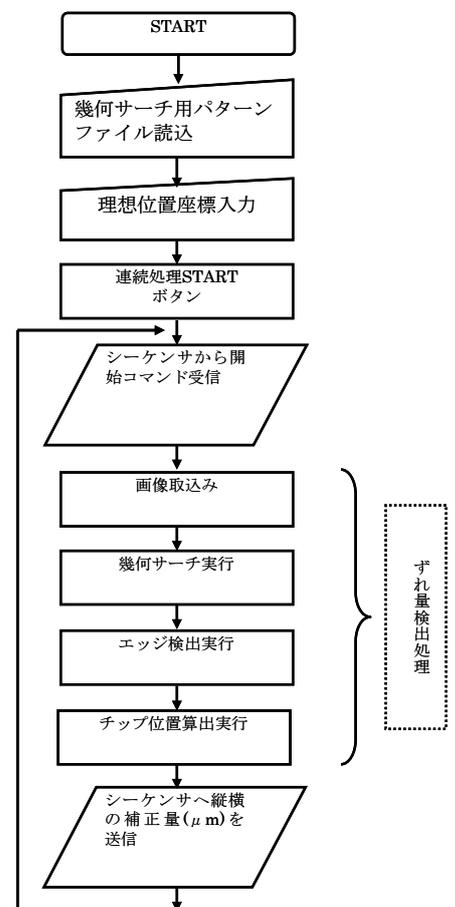


図 3-1-2

自動処理の流れ

位置ずれ検出処理の流れは図 3-1-2 のとおりである。なお、位置ずれ検出処理中にずれ量の検出ができなかった場合、ポップアップ画面を表示して、処理継続の有無を操作者に促すことにした。

3-1-2-2 処理時間

各プログラムモジュールの処理時間は表 3-1-2 のとおりである。

なお表中の処理時間は、Windows が他の処理を実施しながらのため、毎回同じ処理時間にはならずあくまで目安である。特にカメラからの画像取り込み、RS-232C 通信などの I/O を利用する場合は、処理時間に顕著な差が生じる。

本システムでは、グレーフィルタでの前処理を用いない設定で、182msec 前後で位置ずれ検出自動処理を実現している。

表 3-1-2 処理時間

RS-232C	画像取り込み	幾何サーチ	位置ずれ検出	RS-232C
部品実装受信	2画面取り込み	FPM サーチ	EdgeB 等	結果送信
23	110	25	1	23
グレーフィルタ				
近傍最小値	近傍最大	鮮鋭化	Gaussian2D	任意階調変換
5	5	5	125	12

単位:msec

3-1-3 位置ずれ検出評価

1005 チップ抵抗及びチップコンデンサを連続マウントさせて得た画像を使用し、位置ずれ検出システムで検出させたチップ位置の左上角の座標値と、同画像から目視で採取した座標値との差分を取ることで、位置ずれ検出性能の評価を行った。

その結果、目視との差分は最大でも 25 画素を超える誤差はなかった。大きな差が生じたものは、X 方向ではエッジ検出による誤差で、Y 方向ではサーチの失敗による誤差であることがわかった。また、全般的にチップコンデンサよりチップ抵抗の方が、検出誤差が少なかった。チップコンデンサは電極面が丸みを帯びていて、エッジ検出が難しいためであると考えられる。

3-1-4 結言

マウンタに搭載した光学機器により取得した画像、チップ部品の位置ずれを自動で検出するシステムを開発した。

1005 チップ抵抗やチップコンデンサを連続マウントして取得した画像により位置座標値を算出し、システムの性能評価を行った。その結果、位置座標の検出では高い検出率が得られたが、大きな検出誤差が生じる場合があった。検出誤差についてはサーチ及びエッジ検出の画像処理に起因するものであるため、パラメータ調整などの対応を行い、実用化に向けて改善していきたい。

第4章 レーザと連動した精密位置決め技術と高速実装技術の開発および高速実装機的设计・製作

4-1 高速実装可能な制御技術等の開発 (サブテーマ③-1) 【アスター工業】

4-1-1 緒言

マウンタ、画像認識、レーザ接合の連続動作が安定して行えるように安定化技術を開発し、より短時間で一連の動作が行なえるよう高速化技術についても開発する。

目標：タクトタイム 2秒/部品

4-1-2 システム全体の構成

以下写真(図4-1-1)は本研究で開発した特殊実装機システムであるが、右側はマウンタ(実装機)本体があり、左脇は画像処理パソコンとレーザ及びカメラ関係のユニットが入ったラックで構成されている。



図4-1-1 特殊実装機システム

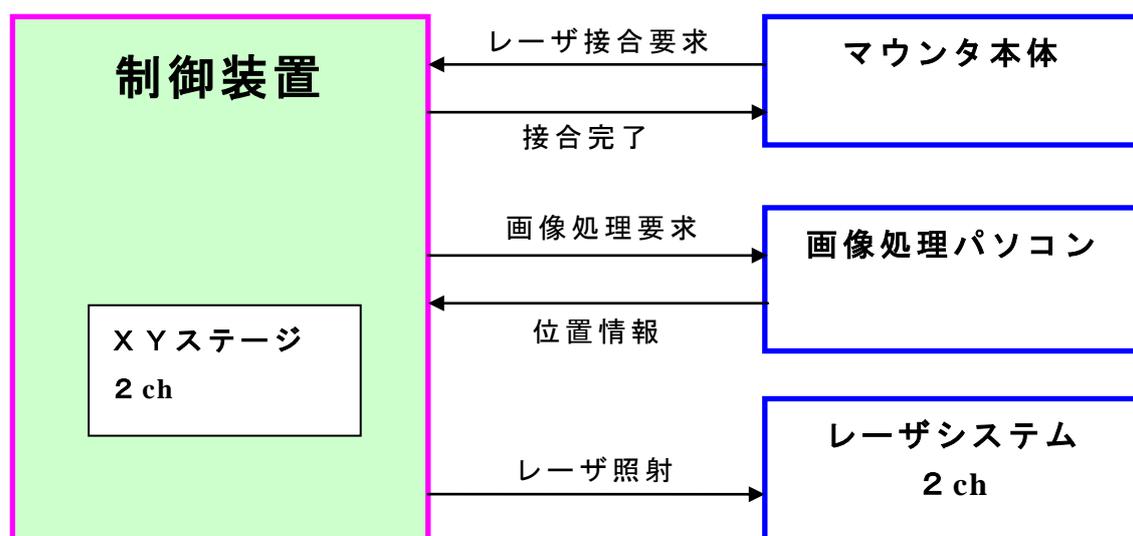


図4-1-2 制御システムの構成図

4-1-3 問題点

今年度スタートして計測のできるプログラムを組み込み1回目のトライとしてタクトタイムを計測したところ5.4秒/個であった。

＜1stトライ タクトタイム内訳＞

チップ搬送時間 1.5秒
画像処理時間 0.8秒
ステージ移動時間 2.0秒
レーザ照射時間 1.1秒

=====

合計 5.4秒

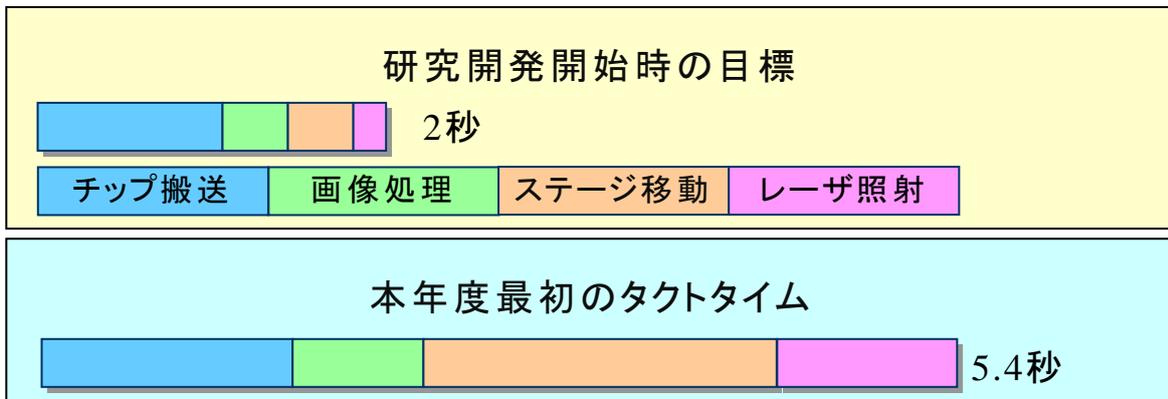


図 4-1-3 実装機タクトタイム図

上記タクトタイム図（図 4-1-3）からも判るように最初に測定したデータは目標の2秒/個とは大きくかけ離れたタクトタイムであった。プロジェクト始動時と差が出てしまった原因は大きく2つある。まず一つ目はマウンタの問題がある。当初、既製品のマウンタを使用するというので既製品の速度からタクトタイムを算出していたが、ノウハウになるので細かくは言えないがある問題が判明し、その問題を解決する為、特殊実装機の製作になった経緯がある。そのプロセスでマウンタのタクトが長くなってしまった。次に2つ目はレーザの照射時間である。当初直接接合を想定していたので0.1秒程度であったが、これも上記の特殊実装機に関わる問題とレーザのある問題で開発装置に搭載するのはハンダ接合だけに変更したのでレーザの照射時間が約コマ数秒程度とこちらも長くなってしまった。（但し、直接接合へ置き換えるために必要な基礎評価は進める。）

上記のこと以外にも複数問題点がありプロジェクトの目標に掲げたタクトタイムを大きくオーバーしている。

4-1-4 改善策

上記結果から目標達成に対して大きなハードルとなったが、0.1秒でもタクトタイムの短縮に繋がる項目をリストアップし改善を行った。

タクトタイムの短縮について具体的な内容を述べることは出来ないが、タイム

チャートを見直し待機時間の設定やステージ移動の初期速度の設定やその他取り付け金具の再製作などを行い大幅に短縮することができた。

更に装置側も改造を行い、装置のシーケンスのステップを変更した。これはこの研究の中である動作に対して問題ないことの確認ができたので、ステップを組み替えそのことによりタクトタイムが大幅に削減できた。その他にはハードの設定も変更し、例えば吸着ノズルの動きに関しても2軸それぞれ回転数設定の変更し、移動距離の短縮のための治具などを作成し少しでも短縮のための対処をおこなった。

4-1-5 結果

上記の4-1-4にあるような改善策を順次行った結果、少しずつ短縮し、タクトタイムが図4-1-4のように約50%カットし2.6秒/個まで短縮することに成功した。しかし目標の2秒の達成までには至らなかった。



図 4-1-4 改善後のタクトタイム

4-1-5 結言

簡易テストでは当初計画していたタクトタイムを達成することが出来た。

(目標： ≤ 2.0 秒/個)

しかし、その後タクトタイムは安定化のため2.6秒/個まで延びてしまった。

原因を突き止め、個々ユニットの実力を出せれば2秒程度になるはずでありタクト短縮については今後の課題となる。

< 実用化への課題 >

- ① 実装可能チップの種類を増やす。
- ② 基板とベース板の吸着方法の見直し
- ③ レーザ照射条件 (時間、パワー) を個々に制御できない。
- ④ タクトタイムの短縮

4-2 レーザソルダリング品質評価（せん断強度）

（サブテーマ③-2）

【福島県ハイテクプラザ】

4-2-1 試験方法

図 4-2-1 に示すフレキシブル基板上に接合した表面実装用チップ部品に対して、図 4-2-2 に示すはんだ継手試験機（RHESCA 製 STR-1100）を用いてせん断強度を測定し、破壊位置の観察を行った。

測定は JIS Z 3198-7 鉛フリーはんだ試験方法－第 7 部：チップ部品のはんだ継手せん断試験方法に基づいて行った。測定概念を図 4-2-3 に示す。



図4-2-1 表面実装用チップ部品



図4-2-2 はんだ継手試験機

基板はフレキシブル基板を用い、図4-2-3のように測定ジグの移動方向と順方向および横方向にパターンニングされたランド上にチップ部品を接合した。チップ部品には 1mm×0.5mmの1005サイズのチップ抵抗およびコンデンサを用いた。サンプルはレーザー出力および照射時間を変化させて接合したのものを用いた。測定の際はフレキシブル基板が変形しないよう1mm厚のSUS板上に接着により固定して行った。サンプル作成条件を表4-2-1に、測定条件を表4-2-2に示す。

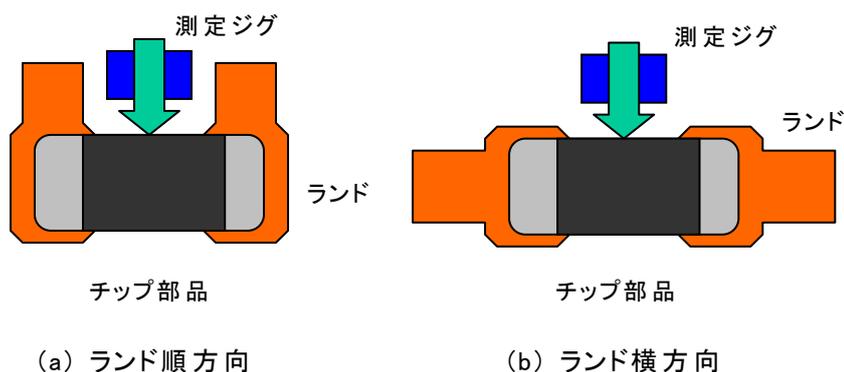


図4-2-3 せん断強度測定概念および測定ジグ移動方向

表 4-2-1 チップ部品接合条件

レーザ発振器	半導体レーザ	
チップ部品	チップ抵抗 (1005)	チップコンデンサ (1005)
レーザ出力	5 条件 A < B < C < D < E	4 条件 A < B < C < D
レーザ照射時間	0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6sec	出力 C : 0.2, 0.3, 0.4, 0.5sec 他出力時は 0.4sec 固定
基板	フレキシブル基板	

表 4-2-2 せん断強度測定条件

せん断強度試験機	RHESCA STR-1100
測定プローブ	LVZ10k (最大荷重 10kgf)
測定ジグ先端径	0.5 mm
ジグ / 基板間ギャップ	20 μm
ジグ移動速度	30 mm/min.

4-2-2 せん断試験結果および考察

4-2-2-1 チップ抵抗のせん断強度試験結果

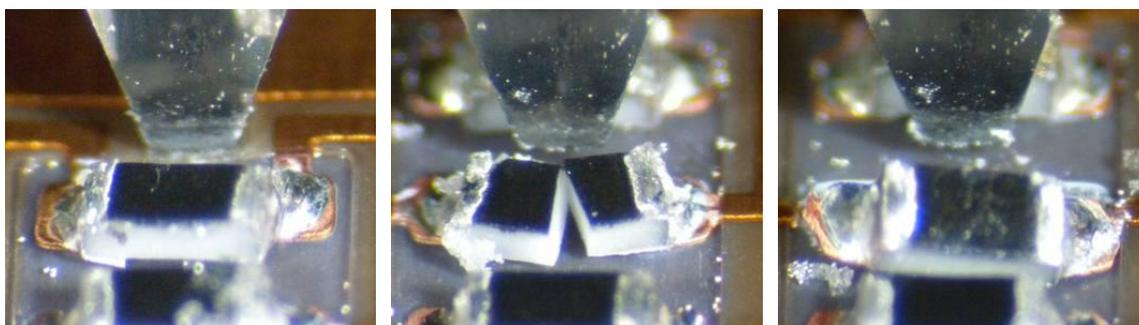
1005 サイズのチップ抵抗のせん断強度測定結果を表 4-2-3 に示す。表の水色部分は試験時にチップ抵抗が破損したサンプル、緑色部分はフレキシブル基板のランドの銅膜が破損したサンプルを示す。これらの破壊状況の代表的なものについて図 4-2-4 に示す。

表 4-2-3 チップ抵抗せん断強度試験結果

レーザ出力 (W)	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	
照射時間 (sec.)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	
強度 (gf)	ランド 順方向	1818	1728	2526	2233	1459	312	1916	2142	2306	2475	2239	2241	2539	2225	2058
		2003	1927	1697	2083	2062	1697	2401	2368	2214	2345	527	2225	2559	2438	2226
		1677	1482	2051	1933	1916	2004	2111	2264	2054	2109	2494	2369	2206	2225	2272
		2006	1785	2348	2480	2240	2223	2409	2257	1822	1984	2534	1938	1887	2486	2320
	ランド 横方向	1496	1915	2234	2308	2054	2004	2088	1894	2022	2118	1913	1624	2282	2228	1682
		1790	594	2393	1724	2259	1734	2120	2178	1987	2231	2022	2130	1623	2378	1856
		1787	1786	1976	2172	1853	2034	2309	2104	1616	2363	2852	2307	2050	2244	1358
		1489	1978	2027	2397	1900	2054	590	2066	2134	1745	1917	2528	1700	1868	1922
	平均強度 (gf)	1758	1649	2157	2166	1968	1964	1993	2159	2019	2171	2062	2170	2106	2262	1962

レーザ出力 (W)		D	D	D	D	D	E	E	E	E	E
照射時間 (sec.)		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
強度 (gf)	ランド 順方向	1943	2517	2091	2241	1563	2142	2031	1889	1079	553
		2507	2243	2167	2405	1202	2178	2211	2166	180	582
		2149	1562	2615	2192	965	1866	2219	2358	1733	517
		2128	2300	2661	2515	2047	2293	1897	1956	2290	699
	ランド 横方向	1749	1693	1974	316	795	1750	1684	1228	2336	1270
		1957	1949	1993	985	269	1474	2051	1942	792	640
		2083	2171	1658	908	246	2137	2121	1982	917	582
		2299	2180	1660	1575	1185	2253	2071	1730	1598	323
平均強度 (gf)		2102	2014	2102	1642	1034	2012	2036	1906	1366	646

 チップ部品破損
 ランド破損



(左)はんだ部破損、(中)チップ抵抗破損、(右)ランド破損

図4-2-4 強度測定後のチップ抵抗

表4-2-3より、すべての接合サンプルにおいて目標となる300gfの接合強度を達成できていることが確認できる。また、接合強度が高いサンプルでははんだ接合部が破壊に至る前にチップ抵抗あるいはフレキシブル基板のランドの破損が発生していることが確認できる。特に測定ジグの移動方向に対し横方向からランドが出ているサンプルではランドの破損頻度が高いことから、この状況ではすでに強度のボトルネックははんだ接合部ではなく、基板強度やチップ強度に左右される状態であり、バルク破壊を起こしている状態であると考えられる。

これらのことから、この接合方法では十分実用に足る接合強度を達成することが出来ていると考えられる。

また、これらの接合サンプルについて、接合強度の平均値を接合条件に対して配列し、接合条件と接合強度との関連を探った。接合強度の平均値を接合条件に対し配列させたものを表4-2-4に、それを等高線表示によるグラフ化したものを図4-2-5に示す。

表 4-2-4 セン断強度レーザー出力・照射時間

		レーザー照射時間 (sec)				
レーザー出力		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
A		1758	1649	2157	2166	1968
B		1964	1993	2159	2019	2171
C		2062	2170	2106	2262	1962
D		2102	2014	2102	1642	1034
E		2012	2036	1906	1366	646

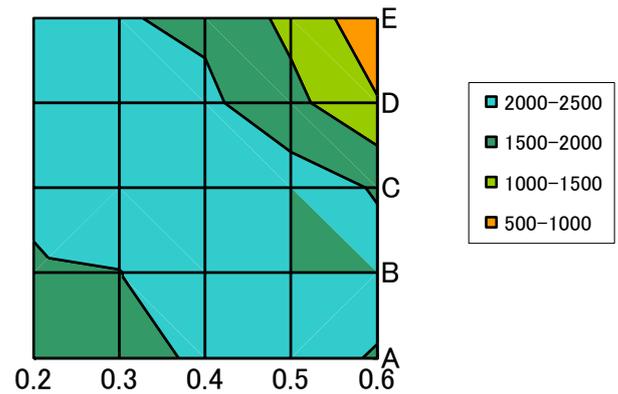


図4-2-5 セン断強度とレーザー出力、照射時間

表 4-2-4 および図 4-2-5 より、レーザー出力が小さい場合にはレーザー照射時間を長くすると接合強度が向上してゆき、ある点から逆に低下する、レーザー出力が大きい場合にはレーザー照射時間が短くすると接合強度が向上してゆき、ある点から逆に低下するという傾向を観察することができる。このことから、接合強度にはレーザー出力および照射時間から決まる投入エネルギーにより影響され、その値には最適量が存在しており、それより大きくとも小さくとも強度が低下することが考えられる

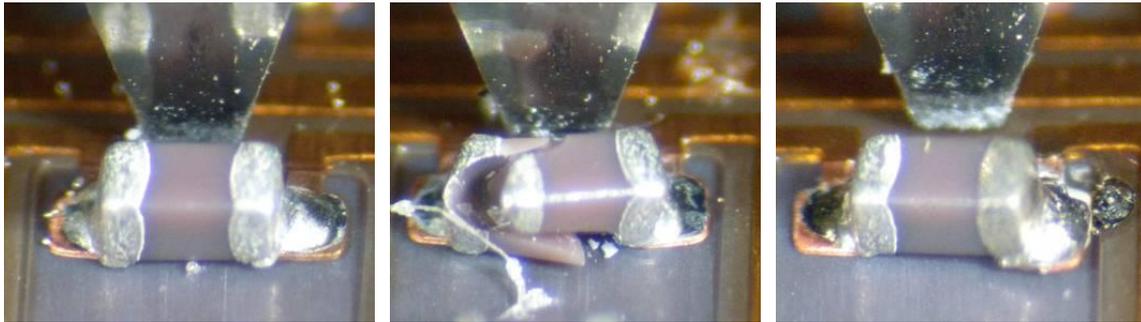
4-2-2-2 チップコンデンサのせん断強度試験

1005サイズのチップコンデンサのせん断強度測定結果を表 4-2-5 に示す。表の水色部分は試験時にチップコンデンサが破損したサンプル、緑色部分はフレキシブル基板のランドの銅膜が破損したサンプルを示す。これらの破壊状況の代表的なものについて図 4-2-6 に示す。

表 4-2-5 チップコンデンサせん断強度試験結果

レーザー出力 (W)		A	B	C	C	C	C	D
照射時間 (sec.)		0.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4
強度 (gf)	ランド 順方向	1887	1708	1732	1623	2064	1990	1903
		1918	2073	1552	2027	1824	1961	1052
		1715	1901	1642	1854	1963	1904	2011
		1691	1748	1406	1709	2023	1849	1877
	ランド 横方向	1947	1823	1505	無し	1755	1972	1869
		1723	1975	1557	1668	1590	1743	1829
		1751	1693	1481	1912	1632	1970	1862
		1749	1877	1047	1782	1560	1311	2076
平均強度 (gf)		1798	1850	1490	1796	1801	1838	1810

チップ部品破損
 ランド破損



(左)はんだ部破損、(中)チップコンデンサ破損、(右)ランド破損

図4-2-6 強度測定後のチップコンデンサ

表4-2-5より、チップコンデンサについてもチップ抵抗同様に目標となる300gfの接合強度を達成できていることが確認でき、破壊の状態においてもチップ部品やランドの破損といったバルク破壊をしている状態であると考えられる。チップ抵抗に比べてせん断強度が低く、ランドの破損頻度が低い原因としては、コンデンサが円筒形状をしているために接合部の面積がチップ抵抗に比べて小さいためと考えられる。

これらのことからチップコンデンサについてもチップ抵抗同様に十分実用的な強度を達成できていると考えられる。また、チップ抵抗、チップコンデンサいずれの場合においても十分な接合強度を有していることから、今回行ったレーザによる接合はチップ部品の種類によらず接合を行うことが可能であると考えられる。

第5章 全体総括

5-1 複数年の研究開発成果

5-1-1 H19年度成果

初年度となる H19 年度の成果としては開発技術の具体的検討及び必要な設備等の仕様検討及びデモ評価など行い選定を行ったことである。

「鉛フリーを実現するレーザ等による直接細密接合技術の開発」についてまず接合する部材（表面実装部品やプリント基板）の特徴や特性について調査しその結果及び産業的な意味も考慮して最適なレーザについて検討を行った。その結果、鉛フリーのハンダ接合の光源としては半導体レーザを選定した。またその半導体レーザの中からメーカーの選定や光学仕様の選定なども実施し仕様を決め導入することができた。次に直接接合に関しても上記と同様に最適なレーザを選定しファイバーレーザを導入することとした。評価に関してはハンダ用のみであるが簡易的な評価も実施しており、接合強度や電気伝導度などに関して問題ないような基礎的なデータを収集することが出来た。

「インライン化した細密接合評価技術の開発」についてはこちらも具体的に外観検査システム（画像解析）に必要な技術を調査及び検討しそこから必要な設備について詳細の仕様と取り決め設備を選定した。評価に関してもいくつか観察の条件を変えて CCD カメラによりプリント基板上の電子部品の画像を撮影し考察を行った。

「レーザと連動した精密位置決め技術の開発」についても同様に開発のために必要な技術や性能から装置の仕様を取り決め、設備を選定した。

またレーザとカメラを保持するヘッド部の製作についても対応した。

5-1-2 H20年度成果

2年目となる H20 年度は各3つの工程（実装・接合・画像解析）それぞれのキーとなる技術開発を進め手法の確立またはデータ収集を重ねた。

まず接合に関しては鉛フリーハンダ接合と直接接合の2種類について技術開発を行い以下の成果を挙げることができた。鉛フリーハンダに関してはパルスジェネレータを使うことでパルス波形を制御しハンダやプリント基板に対して最適な波形で最適な入熱の出来る条件を確立した。また品質に関しても確認したが接合強度目標 300gf に対して 1000gf 以上の結果が出ている。まだ開発した装置での評価ではないので正確なサンプルの評価ではないが、簡易的に実験した基礎評価の結果から目標はクリアできそうな目処はたった。一方、直接接合に関してはかなり難航し安定した条件は得られなかった。接合材料がレーザに対して反射率が大きく吸収しないため安定化が課題となった。しかし全く前に進まない状態ではなくマイナスのデータではあるが、それを積み重ねることで、安定する条件を予測し必要な条件を検討した。まだ推測の段階であるが、3年目に評価を行い実証する。

画像解析に関する成果は、主に画像処理に使用される光学系とソフトの開発である。実装機へも組み込み半自動ではあるが動作することを確認した。画像処理ソフトに関しては2つの画像処理方法をトライしどちらの方法でもチップ部品の輪郭が抽出できるこ

とを確認した。

実装に関してはレーザと画像認識カメラを実装機に組み込み連動操作のための確認を行った。レーザ焦点と画像認識カメラの焦点の調整機構を追加し、取り付け治具に関しても製作を行った。

5-1-3 本年度成果

最終年度の成果はレーザ溶ダリング方式の装置を完成させたことである。この装置は先ほどからの繰返しになるが、実装・接合・画像解析と3つの工程を1台の装置でプロセスをおこなう鉛フリーハンダ用レーザ溶ダリング装置である。

本年度の成果に関しては1-3の成果概要と重複するので簡易的に述べるが、「鉛フリーを実現するレーザ等による直接細密接合技術の開発」に関してはサーモカメラによる熱影響評価を行い問題ないことを確認した。また直接接合に関してもスキャナーを用いて安定して接合できる条件を導出し、接合強度もあることを確認している。

「インライン化した細密接合評価技術の開発」については、マウンタ実装後のチップ部品の位置ずれ及びレーザ接合後のチップ部品の位置ずれ検出を行うことを目指した画像処理外観検査システムの開発を行い、75 μ mの位置検出ができることを確認した。

最後に「レーザと連動した精密位置決め技術と高速実装技術の開発、高速実装機的设计及び製作」についてであるが、1台で3工程を行うことからそれぞれ制御部がお互いのユニットの動作をコントロールしてスムーズに動作する必要がある。この連続動作に対して、タクトタイムが ≤ 2.0 秒/個と数値目標を掲げたが達成することが出来なかった。かなりタクト短縮の対策を行ったが現状の実力値では2.6秒/個となり若干オーバーする結果となった。レーザ溶ダリングを行った品質に関しては300gf以上の接合強度があることを確認しこちらは目標を達成した。

5-2 研究開発後の課題・事業化展開

今後装置の製品化に対して課題がいくつかある。当研究で開発した装置は複数の電子部品を選択してレーザ溶ダリングする仕様にはなっていない。当然プリント基板には様々な種類またはサイズの電子部品が存在することからそれらを搭載させないと回路が成り立たない。よって今後ハード面でも多種部品に対応する必要があり、ソフトの変更も必要になる。更にプロセス的にも前記の複数の電子部品に対して2種類の部品でしか確認していないので、異なる部品でどのレーザ条件が最適かそれぞれ条件だしをする必要もある。その他にも画像認識の安定性や達成できなかったタクトタイムの改善など多数あり、事業化のためには一つ一つ対処する必要がある。特にタクトタイムは現状の仕様でも2秒以下になるように個々のデータは達成しているので何とか連続操作でも実現したい。

事業化展開として基本的に来年度も継続するため補完事業を計画している。しかし前記に述べたように課題が多くありこれらをクリアしないと市場へのリリースは厳しい状況である。しかし事業化へ向けて開発装置の特許化を進めておりまた展示会でのPRなども予定している。また今後実装機の改造などリリースにしてもメーカーの協力が

必要であるので連携して進めていく予定である。