

平成 2 7 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「電子回路基板の多品種変量生産を実現する
常圧過熱水蒸気を用いた
高熱効率・均一加熱リフロー装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 8 年 3 月

委託者： 九 州 経 済 産 業 局

委託先：公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

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
1－1－1	研究開発の背景	1
1－1－2	研究開発の目的	1
1－1－3	研究開発の目標	1
1－2	研究体制	5
1－2－1	研究組織及び管理体制	5
1－2－2	管理員及び研究員	7
1－2－3	経理担当者及び業務管理機関の所属、氏名	8
1－2－4	他からの指導・協力者名及び指導・協力事項	9
1－3	成果概要	10
1－4	当該プロジェクトの連絡窓口	11

第 2 章 均一加熱プロセス技術の開発

2－1	はじめに	12
2－2	実施内容	12
2－2－1	D P Hはんだ接合評価用試験機の設計・製作	12
2－2－2	D P Hはんだ接合評価用試験機の評価	13
2－3	まとめ	16

第 3 章 過熱水蒸気の飽和で低酸素化

3－1	はじめに	17
3－2	実施内容	17
3－3	まとめ	19

第 4 章 低熱容量の炉体開発

4－1	はじめに	20
4－2	実施内容	20
4－2－1	二重構造炉の検討	20
4－2－2	ヒータ付き二重構造炉の検討	20
4－2－3	炉内可視化の検討	22
4－3	まとめ	23

第 5 章 必要ゾーン数の最小化

5－1	はじめに	24
5－2	実施内容	24
5－2－1	D P H式はんだ接合評価用試験機による検討	24

5-2-2	D P H式リフロー装置試作機による検討	2 5
5-3	まとめ	2 5
第6章 排気液化ユニットの開発		
6-1	はじめに	2 6
6-2	実施内容	2 6
6-2-1	水冷方式の検討	2 6
6-2-2	フィン方式の検討	2 6
6-2-3	排気中のフラックス成分分析	2 7
6-3	まとめ	2 8
第7章 D P H式リフロー装置試作機の開発		
7-1	はじめに	2 9
7-2	実施内容	2 9
7-2-1	D P H式リフロー装置試作機的设计・製作	2 9
7-2-2	D P H式リフロー装置試作機の評価	3 0
7-3	まとめ	3 1
第8章 過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の開発		
8-1	はじめに	3 2
8-2	実施内容	3 2
8-2-1	過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機的设计・製作	3 2
8-2-2	過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の評価	3 4
8-3	まとめ	3 9
第9章 製造現場における評価、検証		
9-1	はじめに	4 0
9-2	実施内容	4 0
9-2-1	実装品質評価	4 0
9-2-2	機種切替時間	4 1
9-2-3	消費電力	4 2
9-2-4	ランニングコスト	4 2
9-3	まとめ	4 3
最終章	全体総括	4 4

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

現在生産現場で使用されている熱風加熱式のリフロー装置に対して、加熱条件設定時間の短縮、省エネ・省スペース化等の要望があり、これらの改善は急務となっている。

1-1-2 研究開発の目的

今後、多品種・変量生産への対応が求められる携帯電子機器（スマートフォンなど）用プリント基板実装メーカーからの 5 つの要望、①歩留まりの向上、②生産品切り替えによる加熱条件設定変更時間の短縮、③省エネ・省スペース、④低コスト化、⑤環境対応を一挙に解決すべく画期的な高熱効率・均一加熱リフロー装置を開発・実用化し、日本の半導体分野でのものづくり技術を世界にアピールし、その競争力を向上させ生き残りを図る。

1-1-3 研究開発の目標

画期的な高熱効率・均一加熱リフロー装置を開発・実用化するためには、①均一加熱プロセス技術を開発し、②その技術を基礎としたリフロー装置を開発する必要がある。そこで、それぞれをサブテーマとした。すなわち、サブテーマは以下の通りとした。

【1】均一加熱プロセス技術の開発

【2】過熱水蒸気によるプロセスを基礎としたリフロー装置の開発

【1】「均一加熱プロセス技術の開発」に関して、スマートフォンに代表される電子機器や車載機器などの幅広い分野で使われている電子回路の製造現場では、はんだ印刷機・電子部品実装装置・はんだリフロー装置等で構成された製造ラインが稼働している。その電子部品実装製造現場、特に高密度実装のデバイスを製造している企業が抱える課題・ニーズを整理すると概ね以下の 5 点に集約される。

①熱ダメージ低減

大型部品と微小部品が混載される為、熱伝達の違いから必要以上に高温（はんだ熔融設定温度 + 20℃以上）になる部品が生じる恐れがあり、それが破損し易く歩留りが低下する。

②切り替え時間の短縮

多品種変量生産に対応するようになると、生産品の切替えが頻繁に発生し、その都度リフロー炉の温度プロファイル測定とヒータ温度設定が必要となり、その為に 60 分以上の切り替え時間を要し生産効率が低下する。

③省エネ・省スペース

製造ラインにおいて多くのスペースを占めていた電子部品実装装置が小型化された今、リフロー装置の占めるスペースの削減も、ライン増設に悩む製造部門の課題になっている。

④低コストでの低酸素化

窒素ガスを使用して低酸素雰囲気を作り良好なはんだ接合品質を得ているため、ランニングコストとして約50,000円/月/台の費用が発生しており、この削減が望まれている。

⑤対環境対応

はんだ接合時に発生するフラックスガスを大気中へ排出しているため、その対策が必要である。

これらの課題を解決し多品種変量生産に対応した次世代リフロー装置の開発を行うために図1-1に示す開発項目を設定した。

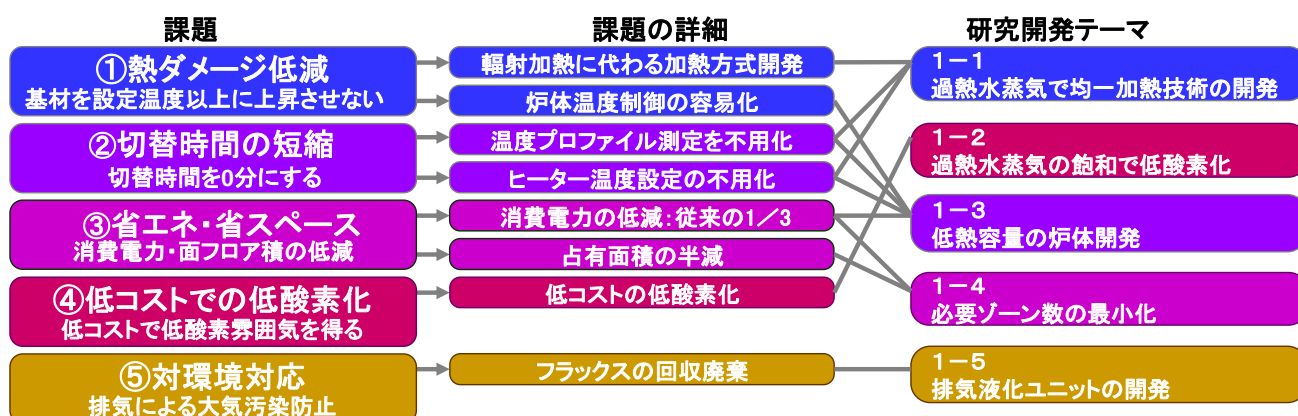


図1-1 課題を解決するサブテーマ

【開発項目1-1】過熱水蒸気での均一加熱技術の開発

過熱水蒸気の対流伝熱と輻射効果を使用することによって基板全面を均一加熱する。これにより過温による部品損傷が防げ、炉体の温度制御が容易になる。更に設定条件切り替え時間の大幅な短縮が図れる。

【開発項目1-2】過熱水蒸気の飽和で低酸素化

炉体内の隅々まで過熱水蒸気で飽和させ、炉内空気を外部へ押し出し低酸素状態とする。

【開発項目1-3】低熱容量の炉体開発

炉体内ヒータが不要になるため、炉体の小型化が可能になる。併せて炉体加熱の容量を最小限に抑えることで消費電力を削減し、その制御性を向上させる。

【開発項目1-4】必要ゾーン数の最小化

過熱水蒸気の加熱により基板の温度追従性を高め、これにより従来必要な加熱プロセスを短縮、ゾーンを削減し、昇温、予熱、接合、冷却の主4ゾーンでの構成を実現し、装置長さを短縮する。

【開発項目1-5】排気液化ユニットの開発

フィルタを利用した水中フラックス回収ユニット。

【開発項目1-6】DPH式リフロー装置試作機の開発

以上の開発項目の内容を盛り込んだ試作機を開発する。

【2】「過熱水蒸気によるプロセスを基礎としたリフロー装置の開発」に関しては、(1) 量産プロトタイプ機を開発し、(2) 製造現場において評価、検証する必要がある。そこで、それぞれを開発項目とした。すなわち、開発項目は以下の通りとする。

【開発項目2-1】過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の開発

対象基板仕様は、スマートフォン電子基板（330mm×250mm）に準ずる。搬送ユニットは熱容量の低いチェーン構造の搬送コンベアとし、炉内熱量の外部流出が最小限となるよう設計する。設備寸法は3mを基本とし、従来リフロー装置の半減以下となるよう設計する。

【開発項目2-2】製造現場における評価、検証

実装品質（従来レベル30ppm以下）、生産性（基板通過時間300sec以下）、機種切替え（15分以下）、ランニングコスト（電気使用量+窒素使用量対比）に関して、週間単位でテスト生産を実施し、各指標値に対して評価、検証を行う。また製造現場からの顧客要求と要望も合わせてヒアリングし、設備へフィードバックする。

それぞれのサブテーマについて、3年間の研究開発で達成を目指す開発項目毎の仕様を以下に示す。

【1】均一加熱プロセス技術の開発

（1-1）過熱水蒸気で均一加熱技術の開発

基板の設定温度に関して、錫・3%銀・0.5%銅組成の鉛フリーはんだペーストの融点219℃に対し+10℃以上高温であれば、はんだ接合界面の合金拡散が良好な状態を得ることができるので到達温度の下限を230℃とし、この温度に対して、各種部品を搭載した基板の四隅及び中央部の到達温度が230℃～235℃の範囲内に入ることを到達温度の目標値とする。

（1-2）過熱水蒸気の飽和で低酸素化

低酸素化の目標値は、既存の窒素ガスを使用したリフロー装置の実績値1,000ppmを参考に、リフローゾーンの酸素濃度100ppm～2,000ppmとし、過熱水蒸気の炉内（チャンバ）流入速度等での調整法を見出す。

（1-3）低熱容量の炉体開発

高熱伝達の熱媒体による加熱と、低熱容量の炉筐体を開発することにより、従来技術によるリフロー装置の消費電力の平均値60kVAに対し、1/3の20kVA以下を実現する。

（1-4）必要ゾーン数の最小化

高熱伝達の熱媒体で加熱することにより、リフロー工法を構成する昇温、予熱、接合、冷却の必要4ゾーンで装置を設計する。昇温ゾーン前半と冷却ゾーン後半には、過熱水蒸気結露防止ゾーンを含む。省スペースに関しては、従来技術によるリフロー装置の平均値12㎡に対し、1/2の6㎡とする。

（1-5）排気液化ユニットの開発

フラックス回収率は、フィルタ性能に依存するが、目標値として80%とする。現状は全て屋外へ排出している。

(1-6) DPH式リフロー装置試作機の開発

上記【1】(1-1)(1-2)(1-3)(1-4)(1-5)を組み込んだリフロー装置を開発する。対象基板サイズは、携帯電話生産で使用されている330mm×250mm以上とする。

【2】過熱水蒸気によるプロセス技術を基礎としたリフロー装置の開発

(2-1) 過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の開発

上記【1】(1-6)の検討で得られた成果を反映させて、量産プロトタイプ機を開発する。対象基板サイズは、携帯電話生産で使用されている330mm×250mm以上とする。

(2-2) 製造現場における評価、検証

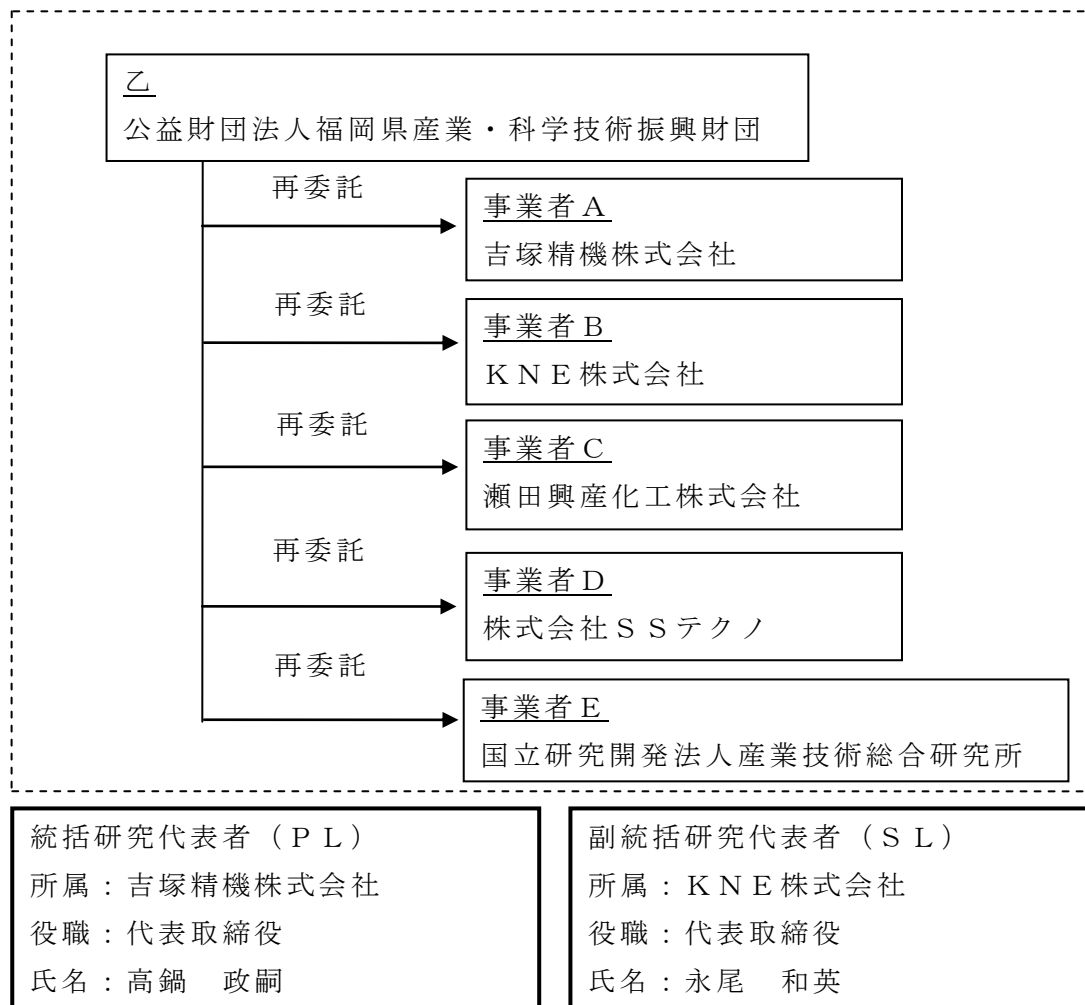
過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機について、製造現場に近い環境にて以下の項目を評価、検証する。

- ・実装品質
業界要求の30ppm
- ・生産性
基板リフロー通過時間 現状値5分⇒3分以内
- ・生産品切替時間
現状値60分⇒目標15分以内
- ・ランニングコスト
現状コスト（電気料金＋窒素代）の1／2以下

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

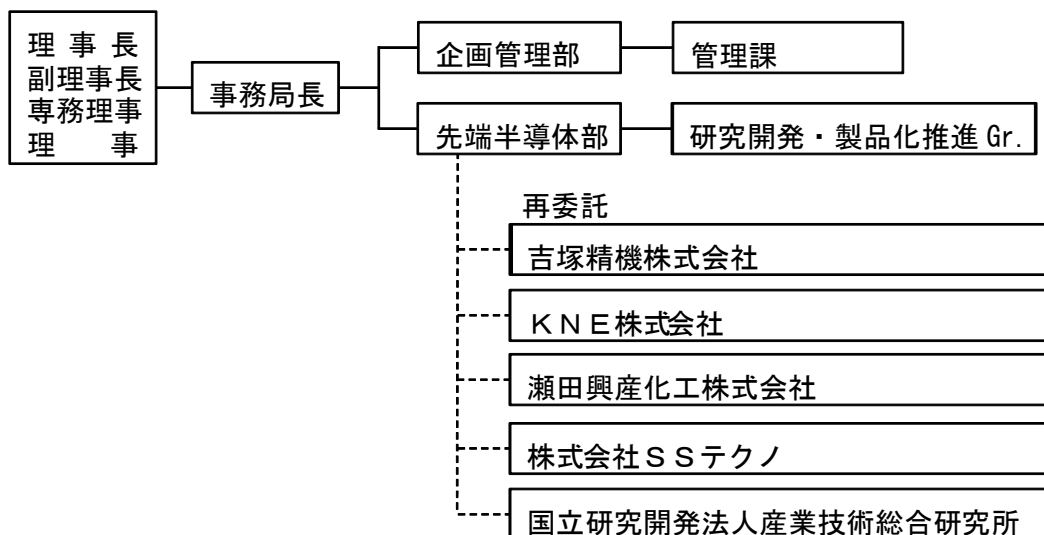
(1) 研究組織（全体）



(2) 管理体制

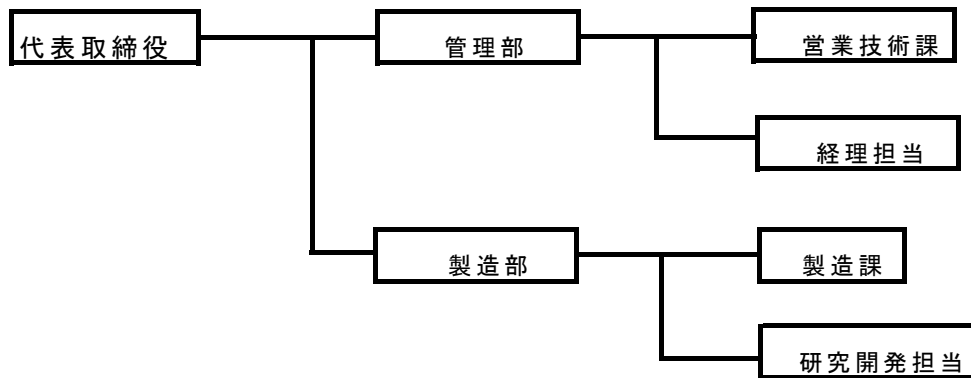
① 事業管理者

[公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団]

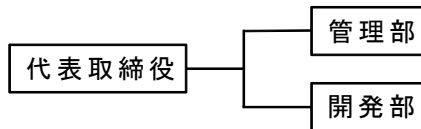


②再委託先

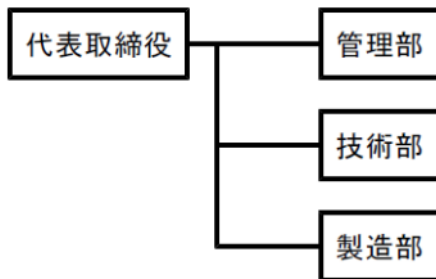
[吉塚精機株式会社]



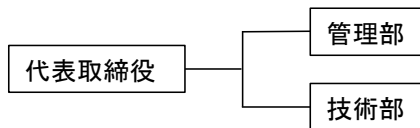
[K N E 株式会社]



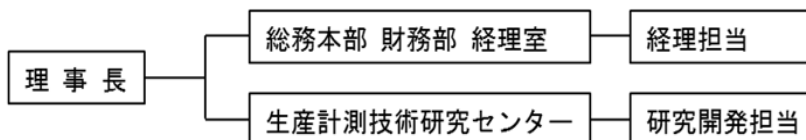
[瀬田興産化工株式会社]



[株式会社 S S テクノ]



[国立研究開発法人産業技術総合研究所]



1-2-2 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

①管理員

氏 名	所属・役職	備考
櫻谷 洋一	先端半導体部 部長	
川畑 将人	先端半導体部 主幹	
藤吉 国孝	先端半導体部 専門研究員	
島田 雅博	先端半導体部 研究員	
白谷 久美	先端半導体部 主任	
森 真由美	先端半導体部 主事	
久家 修児	企画管理部 管理課長	
青木 純子	企画管理部 事務主査	
河行 誠人	企画管理部 主任主事	

【再委託先】※研究員のみ

吉塚精機株式会社

氏 名	所属・役職	備考
高鍋 政嗣	代表取締役	
上田 英典	製造部 次長	
松尾 浩和	製造部 研究開発担当	
南 宏典	製造部 研究開発担当	
桐野 隆司	製造部 研究開発担当	

KNE株式会社

氏 名	所属・役職	備考
永尾 和英	代表取締役	

瀬田興産化工株式会社

氏 名	所属・役職	備考
内堀 義隆	代表取締役	

株式会社SSテクノ

氏 名	所属・役職	備考
小山 賢秀	代表取締役	

国立研究開発法人産業技術総合研究所

氏 名	所属・役職	備考
菖蒲 一久	生産計測技術研究センター 上級主任研究員	
田原 竜夫	生産計測技術研究センター 研究チーム長	

1-2-3 経理担当者及び業務管理機関の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

(経理担当者) 企画管理部 管理課長 久家 修児

(業務管理者) 先端半導体部 部長 櫻谷 洋一

(再委託先)

吉塚精機株式会社

(経理担当者) 管理部 営業次長 高鍋 聡

(業務管理者) 製造部 製造次長 上田 英典

KNE株式会社

(経理担当者) 代表取締役 永尾 和英

(業務管理者) 代表取締役 永尾 和英

瀬田興産化工株式会社

(経理担当者) 取締役 内堀 やよい

(業務管理者) 代表取締役 内堀 義隆

株式会社SSテクノ

(経理担当者) 管理部 部長 小山 和枝

(業務管理者) 代表取締役 小山 賢秀

国立研究開発法人産業技術総合研究所

(経理担当者) 総務本部経理部 経理決算室長 新井 清和

(業務管理者) 生産計測技術研究センター 上級主任研究員 菖蒲 一久

1 - 2 - 4 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

推進委員会委員

(外部推進委員)

氏 名	所属・役職	備 考
高山 慎也	株式会社アリーナ 代表取締役社長	アドバイザー
松葉 頼重	ハリマ化成株式会社 研究開発カンパニー 知財戦略部長	アドバイザー
鈴木 孝和	国立研究開発法人産業技術総合研究所 イノベーション推進本部地域連携推進部 産業技術指導員	アドバイザー

(内部推進委員)

氏 名	所属・役職	備 考
高鍋 政嗣	吉塚精機株式会社 代表取締役	
上田 英典	吉塚精機株式会社 製造部 次長	
永尾 和英	KNE株式会社 代表取締役	
内堀 義隆	瀬田興産化工株式会社 代表取締役	
小山 賢秀	株式会社SSテクノ 代表取締役	
菖蒲 一久	国立研究開発法人産業技術総合研究所 製造技術研究部門 上級主任研究員	
田原 竜夫	国立研究開発法人産業技術総合研究所 製造技術研究部門 研究チーム長	
後郷 吉彦	公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団 地域連携コーディネーター	
櫻谷 洋一	公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団 先端半導体部 部長	

1-3 成果概要

本研究の目標値と現時点での達成度および今後の課題は、以下の通りである。

① 過熱水蒸気で均一加熱技術の開発

(目標)

過熱水蒸気を用いて、最高到達温度230℃以上で、はんだ付けを行うプリント配線基板内の温度ばらつきが5℃以内の均一加熱方法を開発する。

(達成度)

到達温度234.8℃、加熱ゾーン内の最高温度と最低温度の差が3.5℃のデータが得られ、過熱水蒸気を用いて、最高到達温度230℃以上で、はんだ付けを行うプリント配線基板内の温度ばらつきが5℃以内の均一加熱方法を開発できた。

② 過熱水蒸気の飽和で低酸素化

(目標)

低酸素化の目標値は、既存の窒素ガスを使用したリフロー装置の仕様値と同じく、酸素濃度100～2,000ppm間での調整法を見出す。

(達成度)

熱風炉の風量を調整することにより酸素濃度の制御が可能であり、酸素濃度100～2,000ppm間で調整可能であることを確認した。

(課題)

酸素濃度とはんだ接合性能の関係を明らかにし、過熱水蒸気リフローに適した酸素濃度について検討する必要がある。

③ 低熱容量の炉体開発

(目標)

消費電力20kVA以下（現行の熱風リフロー装置の1／3以下）

(達成度)

ピーク電力は約33kVAとなり、目標達成には至らなかった。目標の20kVAには到達していないが、現行の熱風リフロー装置の半分程度になっており、ユーザーに聞き取り調査を行ったところ、約30kVAでも十分であるとのことであった。また、ユーザー企業からの強い要望であった炉内可視化についても検討を実施し、はんだ熔融状態をリアルタイムで観察できることを確認した。

(課題)

更なる改善に向けて、負荷分散によるピーク電力低減化、ボイラー変更による安定時電力低減化等を実施する必要がある。

④ 必要ゾーン数の最小化

(目標)

設備占有面積6㎡以下。

(達成度)

熱風炉にプリント基板冷却機能と結露防止機能を付加することにより3ゾーン化を実現し、目標値を上回る設備占有面積を達成することができた。

⑤ 排気液化ユニット開発

（目標）

フラックス回収率 80 % 以上。

（達成度）

フィン方式をベースとした機構とすることにより回収率（排気液化率）82.7 % を達成することができたが、排気中のフラックス成分についてはサンプル量不足のため分析することができなかった。

（課題）

長期使用に伴う炉内へのフラックス付着状況を引き続き評価していく。

⑥DPH式リフロー装置試作機の開発

（目標）

はんだ接合が可能なことを確認する。

（達成度）

DPH式リフロー装置試作機によるはんだ接合を実施し、濡れ、光沢、ボイド共に良好であることを確認した。

⑦過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の開発

（目標）

接合強度試験、接合部解析等により既存設備と同等（剥離強度、クラック、ボイドがユーザー要求以上）のはんだ接合が可能なことを確認する。

（達成度）

接合強度試験、接合部解析等により既存設備と同等（剥離強度、クラック、ボイドがユーザー要求以上）のはんだ接合が可能なことを確認した。

⑧製造現場における評価、検証

（目標）

実装品質 30 ppm 以下、基板通過時間 300 sec 以下。

（達成度）

実装品質 136 ppm、基板通過時間 300 sec 以下に調整可能。

今後、最適条件を検討することで実装品質は向上すると考えられ、実装品質 30 ppm の達成に向けた見通しが得られた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団 先端半導体部

TEL : 092-832-7155 FAX : 092-832-7158

第2章 均一加熱プロセス技術の開発

2-1 はじめに

過熱水蒸気ではんだ付けを行う装置「DPHはんだ接合評価用試験機」を製作し、各加熱ゾーンが所定の温度まで加熱できるかどうか、各加熱ゾーン内が均一温度（最高温度と最低温度の差が5℃以内）に保持できるかどうか、更に、実際にはんだ付けを行い、はんだ接合状態について評価検証を行った。

2-2 実施内容

2-2-1 DPHはんだ接合評価用試験機の設計・製作

過熱水蒸気を用いた加熱方式ではんだ付けを行う装置として、DPHはんだ接合評価用試験機（図2-1）を設計・製作した。本試験機は、3台のDPH（Dual Packs Heater；過熱水蒸気発生装置）を使用し4ゾーンリフロー構成を簡易的に実現するものであり、評価用に各種計測器も備え付けたものである。

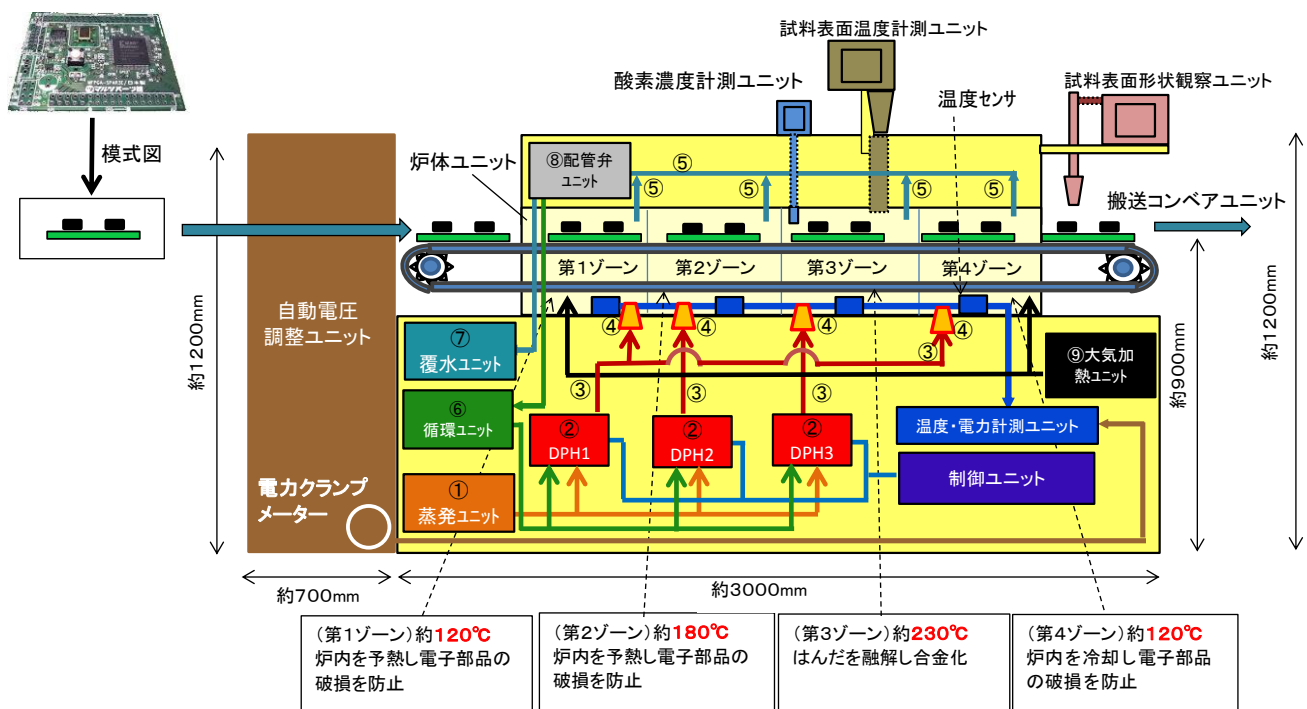


図2-1 DPH式はんだ接合評価用試験機の模式図

具体的には、以下の①～⑨から構成される。

- ①貯水タンクより供給される水を、飽和水蒸気に加熱する「蒸発ユニット」
- ②飽和水蒸気を二次加熱し指定温度へ過熱する「DPH」
- ③炉内（加熱ゾーン）へ過熱水蒸気を導入する「配管ユニット」
- ④試料に対して過熱水蒸気を供給する炉内の「吹き出しノズルユニット」
- ⑤炉内（加熱ゾーン）から使用された過熱水蒸気を炉外に排出する「排出経路ユニット」
- ⑥排出された過熱水蒸気を「DPH」へ循環させる「循環ユニット」

- ⑦使用後の過熱水蒸気を水に戻すための「覆水ユニット」
- ⑧循環と回収経路を振り分ける「配管弁ユニット」
- ⑨大気昇温、冷却ゾーンに高温大気を供給する「大気加熱ユニット」

2-2-2 DPHはんだ接合評価用試験機の評価

製作したDPH式はんだ接合評価用試験機の性能評価を行った。120℃および230℃に設定した時の炉内30点の温度変化を図2-2に、18分後における内部30点の温度を表2-1に示す。各設定温度における最高温度と最低温度の差は、120℃設定では3.1℃、230℃では3.5℃と小さく目標である加熱ゾーン内最高温度と最低温度の差が5℃以下を達成できた。このように、加熱方式として過熱水蒸気を用いることで、試料の均一加熱は可能だと考えられる。

更に、第1ゾーン～第4ゾーンのそれぞれのゾーンについても、目標としていた温度が達成できており（表2-2）、はんだ付けを行う上で必要なプロファイルを設定可能な装置が開発できた。

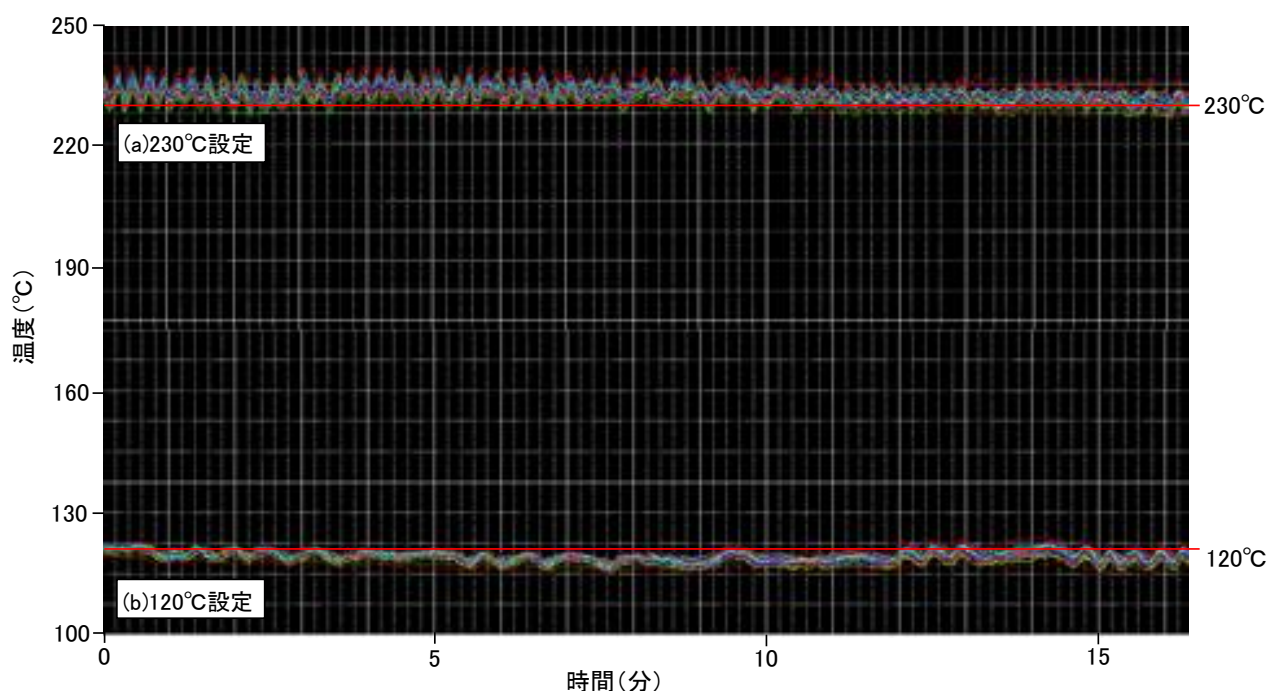


図2-2 DPH式はんだ接合評価用試験機炉内の温度変化

表 2－1 18分後におけるDPH式はんだ接合評価用試験機炉内の温度

計測点	温度(℃)	
	120℃設定	230℃設定
1	119.7	229.1
2	120.8	228.5
3	120.7	229.7
4	121.3	231.6
5	121.6	229.3
6	121.3	229.7
7	121.2	231.3
8	122.0	228.2
9	121.2	229.3
10	121.4	231.2
11	121.0	227.8
12	120.9	230.1
13	121.1	231.1
14	120.5	228.5
15	120.7	229.7
16	121.2	230.7
17	121.2	228.2
18	121.5	229.8
19	120.7	228.0
20	121.4	228.3
21	120.0	226.8
22	121.9	230.9
23	121.4	228.7
24	121.9	230.1
25	121.8	230.0
26	122.2	228.5
27	121.9	229.6
28	119.1	225.9
29	119.8	227.3
30	接触不良	225.3
平均	121.1	229.1
Max-Min	3.1	3.5

表 2－2 DPH式はんだ接合評価用試験機の各加熱ゾーンにおける目標温度と炉内温度

加熱ゾーン	目標温度 (℃)	炉内温度 (℃)
第1ゾーン	100～150	140.3
第2ゾーン	150～180	174.8
第3ゾーン	230～240	234.8
第4ゾーン	120～150	135.6

更に、実際に本試験機及び比較として熱風加熱型のリフロー炉ではんだ付けを行い、外観観察及び切断面解析を行った。

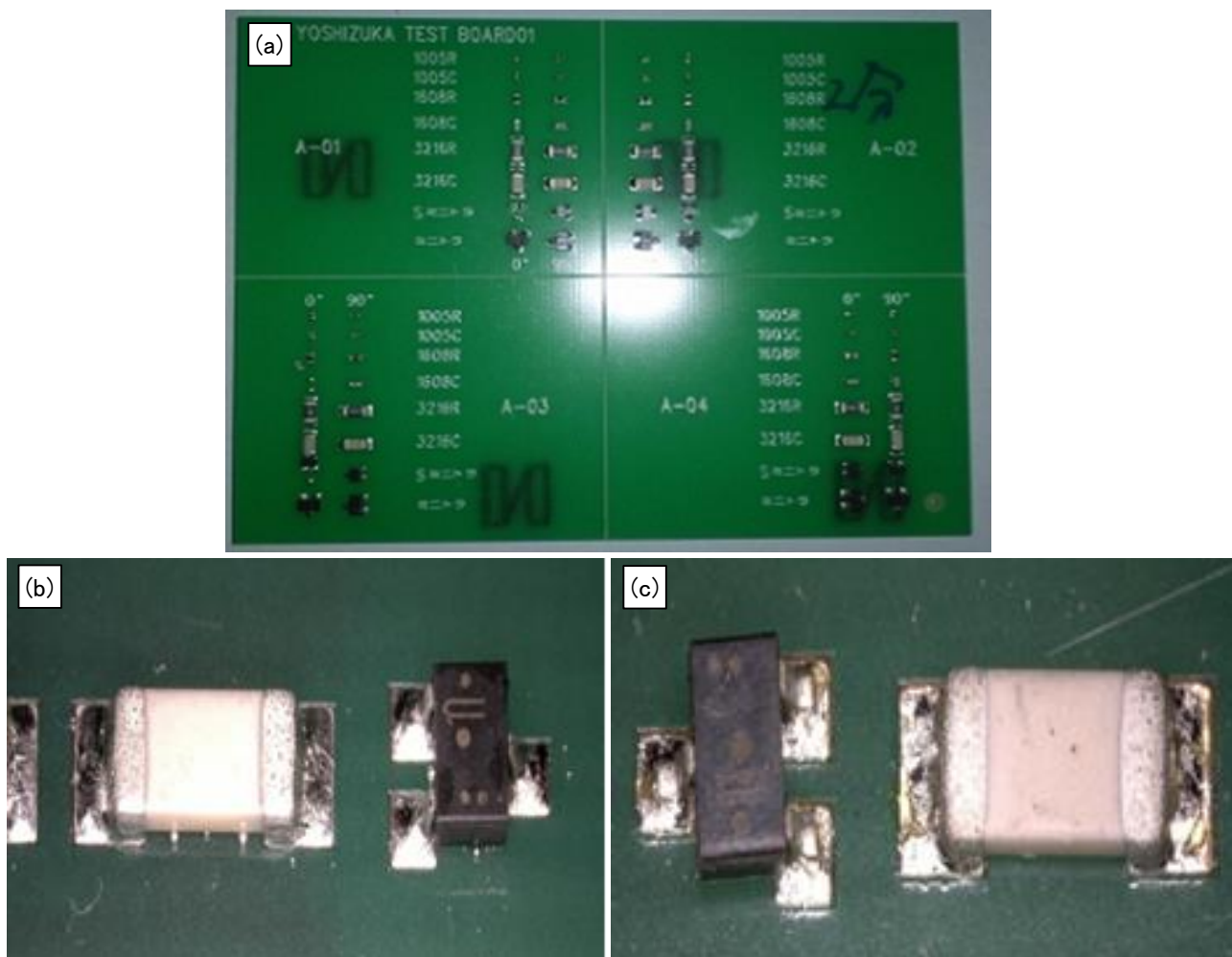


図 2－3 電子部品搭載プリント基板の加熱処理後の写真

(a) 外観写真、(b) 過熱水蒸気加熱した後、および、(c) 熱風加熱した後のはんだ拡大写真

電子部品搭載基板の加熱処理後の外観写真を図 2－3 (a) に示す。加熱処理により、はんだの融解および接合が確認できた。過熱水蒸気加熱処理後のはんだ拡大写真を図 2－3 (b) に、熱風加熱処理後のはんだ拡大写真を図 2－3 (c) に示す。熱風加熱した場合は、はんだの周囲が赤色に変色する不具合が見られた(図 2－3 (c))。一方、過熱水蒸気加熱した場合にはこのような現象は見られず、光沢もあり、非常に良好なはんだ状態であった(図 2－3 (b))。

更に、電子部品のはんだ接合部を切断し、電子顕微鏡観察を行った。熱風加熱型リフローで接合したミニトラと過熱水蒸気型リフローで接合した S ミニトラのはんだ接合部について、走査型電子顕微鏡での観察結果を図 2－4 に示す。過熱水蒸気の利用により、従来機と比べ特に問題となる欠陥は生じていないことが確認できる。左下図に見られるように、従来機によるとボイドの発生が度々観察され、場合によっては $100\mu\text{m}$ を超える粗大なものも観察された。これに対し評価用試験機によるものでは観察されるボイドは僅かであり、粗大なものは全く観察されなかった。

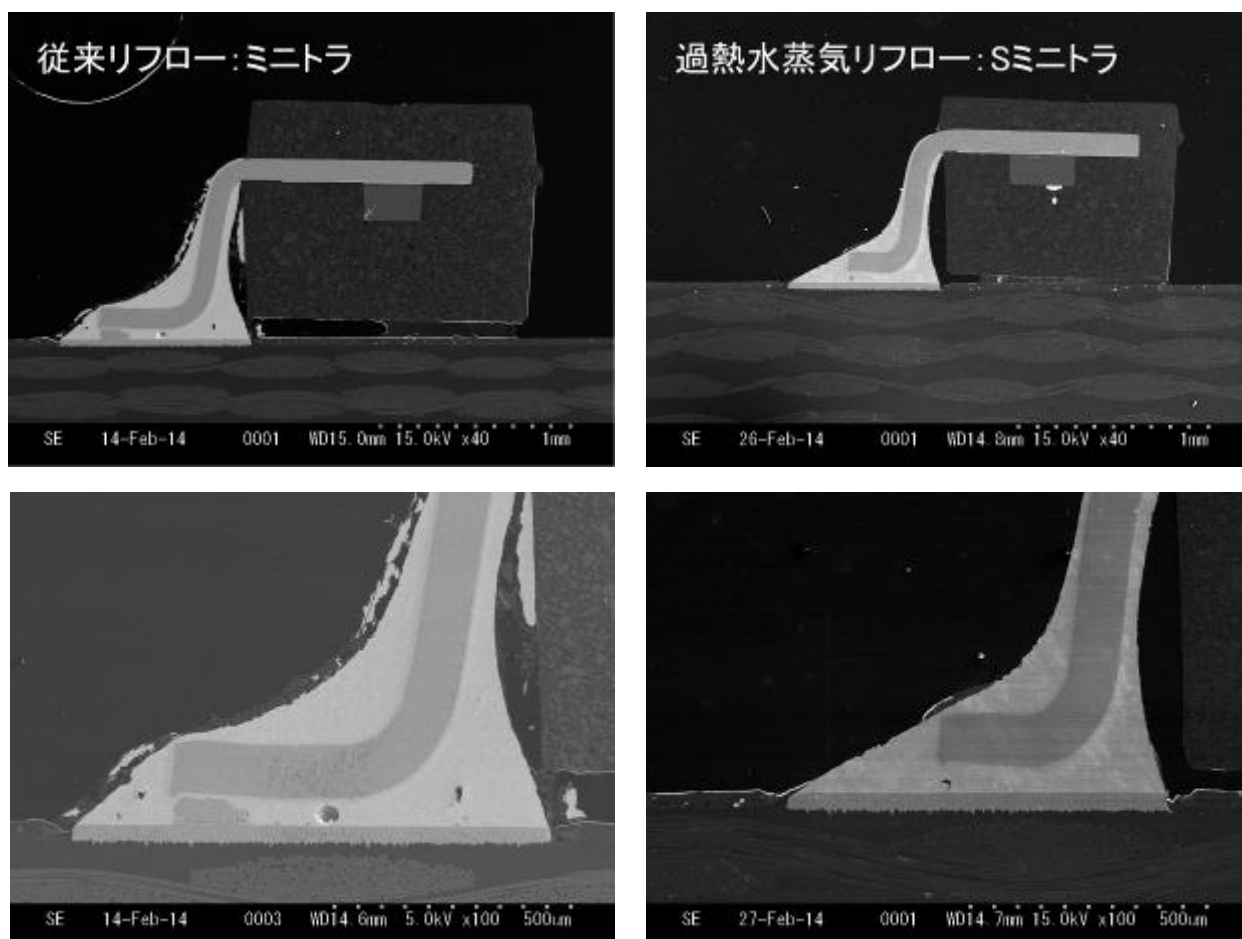


図 2 - 4 はんだ接合部の二次電子像

2 - 3 まとめ

製作したDPH式はんだ接合評価用試験機の性能評価を行った。その結果、過熱水蒸気を用いて加熱することで、均一加熱が可能(加熱ゾーン内の最高温度と最低温度の差が 5°C 以下)であることが評価検証された。また、各炉内温度は、第1ゾーン： $100\sim150^{\circ}\text{C}$ 、第2ゾーン： $150\sim180^{\circ}\text{C}$ 、第3ゾーン： $230\sim240^{\circ}\text{C}$ 、第4ゾーン： $120\sim150^{\circ}\text{C}$ の範囲内であることが確認できた。

更に、実際にはんだ付けを行い、はんだ接合状態について評価検証を行ったところ、良好なはんだ状態であることが確認できた。

第3章 過熱水蒸気の飽和で低酸素化

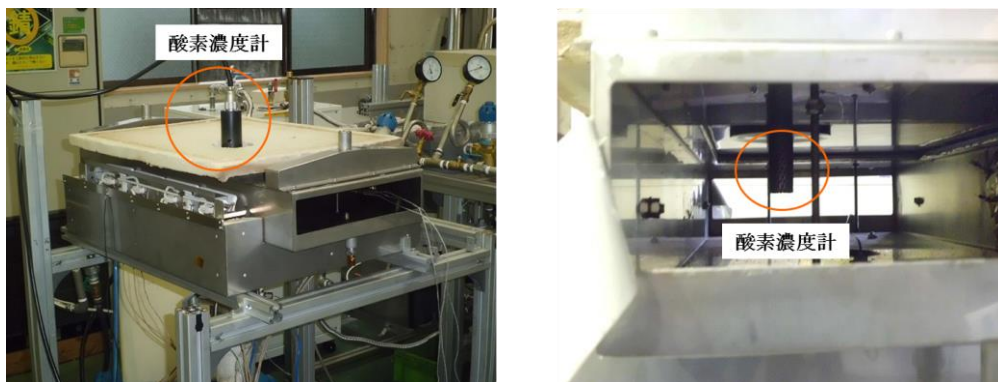
3-1 はじめに

現行のリフロー装置では、窒素ガスを使用した低酸素雰囲気によって良好なはんだ接合品質を得ているが、高額ランニングコストが発生しており、この削減が望まれている。本研究開発では、窒素ガスを使用している現行リフロー装置の酸素濃度の実績値1,000ppm程度を参考に、リフローゾーンの低酸素化の目標値を酸素濃度100ppm～2,000ppmと設定し、その調整方法について検討した。

3-2 実施内容

過熱水蒸気中の酸素濃度計測では、センサ部に結露が発生することが課題となっていた。市販されている種々の酸素濃度計を調査、検討した結果、センサ部分（ジルコニアセラミックス）を赤熱させた状態で計測するジルコニア式の酸素濃度測定方法が有効であることがわかった。これは、センサ内外面の酸素分圧の差から生じる電圧を測定して酸素濃度を算出する方式であり、センサ部分を700℃以上に高温加熱することから、過熱水蒸気中で使用しても結露が発生することはない。そこで、酸素濃度測定装置としてジルコニア式酸素濃度計を選定した。

図3-1に示すように、炉体上部に貫通孔を設けて酸素濃度計を設置した。DPHから炉内に過熱水蒸気を供給して充満させ、ヒータおよび過熱水蒸気によって炉内を加熱した。炉内温度が180℃（第2ゾーンを想定）および228℃（第3ゾーンを想定）の場合の炉内酸素濃度を測定した結果、図3-2に示すように、いずれの場合も酸素濃度は0ppmとなった。これらの結果から、炉内が過熱水蒸気で充満している状態においては、温度に依存することなく無酸素状態となる。



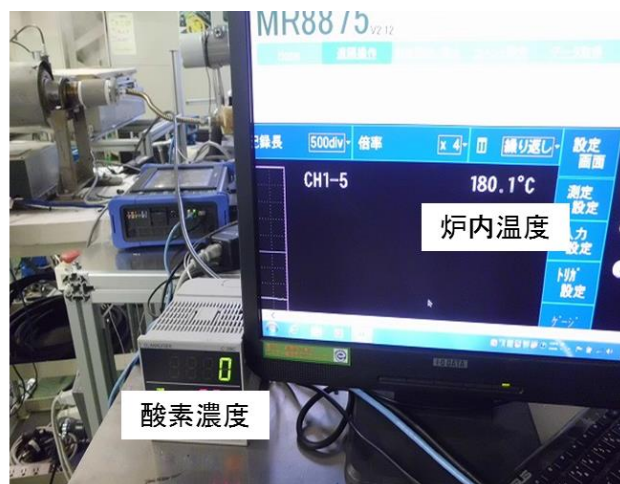
(a) 単体炉外観

(b) 単体炉内部

図3-1 過熱水蒸気の酸素濃度測定



(a) 228℃の場合



(b) 180℃の場合

図3-2 過熱水蒸気の酸素濃度測定結果

現行のリフロー炉では、無酸素状態でリフローするとはんだが濡れ過ぎるため、炉内の酸素濃度が1,000ppm程度となるように窒素ガス量を調整している。従って、DPH式リフロー装置試作機においても炉内酸素濃度の調整が必要となる可能性がある。そこで、第3ゾーン（リフローゾーン）の入口に酸素濃度計を設置して、リフロー時における過熱水蒸気の酸素濃度を測定し、その調整方法について検討した。DPH式リフロー装置試作機では、過熱水蒸気の炉外への流出を防止するため、第1ゾーン入口と第3ゾーン出口に熱風炉を設けている。そこで、熱風炉の風量調整により、炉内酸素濃度を制御する方法を試みた。

まず、プリント基板を投入しない場合で検討した。熱風炉を停止（風量0m³/min）して、炉内が過熱水蒸気で充満した状態においては、単体炉での検討結果と同様に無酸素状態（0ppm）となった。熱風炉を稼働させて風量を0.5m³/minとした場合は、酸素濃度は220ppmとなり、さらに風量を上げると酸素濃度が上昇した。このことから、熱風炉の風量によって外部から炉内に流入する酸素量に変化する、すなわち熱風炉の風量を調整することによって炉内酸素濃度を制御することが可能である。

次に、熱風炉の風量を0.5m³/minとしてプリント基板を投入し、酸素濃度の変化を確認した。基板投入時に熱風の一部が炉内に流れ込み、一時的に酸素濃度が2,000ppm近くまで上昇するが時間経過と共に徐々に低下し、目標の100ppm～2,000ppmの範囲に収まった。このことから、DPH式リフロー装置試作機においても、熱風炉の風量を調整することにより、リフローに最適な酸素濃度を維持できることを確認した。

一方で、目標として設定した酸素濃度は現行リフロー装置における最適値であり、過熱水蒸気リフロー装置試作機における酸素濃度とはんだ接合性能の関係は明らかとなっていない。平成25年度の研究成果からは無酸素状態でもはんだの濡れ性に問題はなかったことから、過熱水蒸気リフローに適した酸素濃度とその安定化について、今後検討する必要がある。

3-3 まとめ

D P H式リフロー装置試作機の炉内の酸素濃度調整方法について検討した。その結果、過熱水蒸気自体はその温度によらず無酸素であるが、熱風炉の風量を調整することにより酸素濃度の制御が可能であり、現行リフロー装置の適正值である酸素濃度100～2,000ppmの範囲で維持できることを確認した。

今後、過熱水蒸気リフローにおける酸素濃度とはんだ接合性能の関係を明らかにし、最適酸素濃度について評価検討する。

第4章 低熱容量の炉体開発

4-1 はじめに

現行のリフロー装置では平均消費電力が約60kVAであり、ランニングコストを押し上げる要因の一つとなっている。また、ユーザー企業に対するニーズ調査から、装置の立ち上げ時間を現行リフロー装置と同程度にする必要がある。そこで、消費電力を約1/3である20kVA以下、装置の立ち上げ時間を同程度の30分以内とすることを目標として定めた。

一方で、平成25年度に開発したDPH式はんだ接合評価用試験機の各種データから総合的に判断すると、DPH式はんだ接合評価用試験機に搭載している炉体ユニットでは、その構造、サイズに起因する熱損失が大きく、目標を達成することは極めて困難である。そこで、DPH式はんだ接合評価用試験機を改造して炉体ユニットのサイズを縮小かつ断熱を強化し、目標を実現可能な新炉体の開発に向けて各種評価を実施した。また、その結果をDPH式リフロー装置試作機及び過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の炉体開発に反映させた。

4-2 実施内容

4-2-1 二重構造炉の検討

目標である消費電力20kVA以下、装置の立ち上がり時間30分以内を実現させるため、改造炉体は内炉と外炉の二重構造とし、周囲を断熱材で覆うことにより熱損失を低減させた。その結果、DPH温度を450℃として炉内に過熱水蒸気を供給した結果、改造前の炉体では最大235℃程度であった炉内温度が、改造炉体では最大250℃まで到達可能となり、断熱性能が大幅に改善していることを確認した。

4-2-2 ヒータ付き二重構造炉の検討

一方、温度プロファイルを確認したところ、試料温度の停滞が認められた。これは、サンプルの予熱が不十分であり、過熱水蒸気が充満した炉内に搬入された際に結露が発生していると考えられる。結露ははんだの品質に悪影響を及ぼすことから、予熱の強化が必要であるが、過熱水蒸気の強化は消費電力量の増大が予想されることから、実現は困難である。過熱水蒸気のみではこれ以上の熱量向上は見込めないため、他の加熱方式との併用について検討した。その結果、図4-1に示すように、内炉の内部を過熱水蒸気で、外面をヒータで加熱する炉体構造（以後、「ヒータ付炉体」）を考案した。従来の炉体では、外炉を経由して内炉に過熱水蒸気を供給しているため、立ち上げ時に内炉と外炉間で温度差が生じ、これが結露を引き起こす要因の一つとなっていた。ヒータ付炉体も二重構造を採用しているが、内炉の外面4ヶ所に400℃仕様のセラミックヒータを設置し、ヒータで十分に加熱した後に内炉に過熱水蒸気を直接供給するため、熱量不足と結露問題を同時に解決することが見込まれる。

ヒータ付炉体の単体炉を作製した。DPH温度を450℃、ヒータ温度を400℃（過熱水蒸気投入前）、300℃（過熱水蒸気投入後）に設定した場合の、炉内温度の到達時間

を図4-2に示す。ヒータ無の従来炉では、250℃までの到達時間が約40分で、それ以上の温度にはできなかったが、ヒータ付炉体では、出入口の開閉に関わらず約20分で250℃、約30分で300℃にすることが可能であり、大幅に性能が改善されていることを確認した。本炉体構造をDPH式リフロー装置試作機の炉体開発に反映させた。

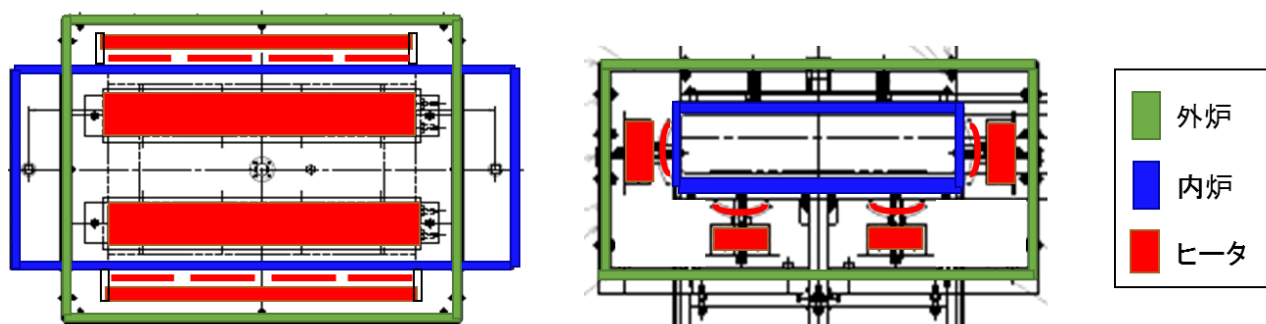
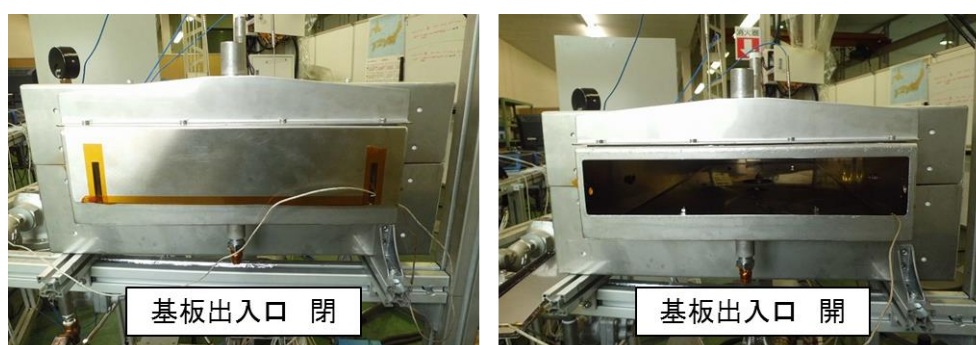


図4-1 ヒータ付炉体の概要



項目	DPH温度	ヒータ温度設定		内炉雰囲気温度到達時間		
		蒸気投入前	蒸気投入後	250℃	280℃	300℃
新炉体 (出入口-開)	450℃	400℃	300℃	19分15秒	24分46秒	33分45秒
新炉体 (出入口-閉)	450℃	400℃	300℃	19分11秒	24分45秒	31分17秒
従来炉 (出入口-開)	450℃	—	—	約40分	—	—

図4-2 新炉体（ヒータ付炉体）と従来炉（改造試験機炉体）の炉内温度と到達時間

上述の研究成果を反映させたDPH式リフロー装置試作機を用いて、消費電力および立ち上げ時間の評価を行った。消費電力の大きいボイラー、面状ヒータ、DPHの個別の電流値を測定し、消費電力の概算値を算出した。炉体を3ゾーン構成として、全ての炉内温度を230℃に設定した場合、DPH稼働直後が最もトータル電流値が高くなり（約140A）、ピーク電力は概算で28kVAとなったが、安定時の平均電力については18kVAとなり、目標の20kVA以下を達成することができた。一方で、立ち上げ時間については約42分となり、立ち上げ時間、ピーク電力低減のため、以下の取組を実施する。

- ①設備立ち上げ時、ボイラー、ヒータなどの立ち上げを分散することでピーク電流を軽減する。

- ②ボイラーの機種変更により、立ち上げ時間を短縮し、純水供給後のボイラーON時間の間隔を短くする。また、DPH用インバータ出力を抑えることにより、設備の立ち上げ時間の短縮と安定稼働時の消費電力を軽減する。
- ③ヒータの立ち上げ時間が設備立ち上げ時間に大きく影響しているため、炉の厚みおよびヒータ押さえ板厚を薄くして質量を軽減することにより、加熱に要するエネルギーを軽減し、ヒータ立ち上げ時間を短縮する。

4-2-3 炉内可視化の検討

ユーザー企業からの強い要望により、炉内可視化についての検討を行った。現行リフロー装置ではその構造上、炉内の可視化は不可能であり、はんだ接合状況をリアルタイムで確認することはできなかった。そこで、図4-3に示すように、DPH式リフロー装置試作機の第3ゾーン（リフローゾーン）の上面を簡易的に耐熱ガラス二重構造として検討した。まず、通常炉では第3ゾーンの炉内温度が設定通りの 260°C となる条件で検討したところ、ガラス炉では熱損失が大きくなるため設定温度に到達せず、はんだ溶融には至らなかった。そこで、第2、第3ゾーンの温度設定を上げると、約100分の時間を要したが第3ゾーンの炉内温度は 260°C 以上に到達し、図4-4に示すように、はんだ溶融をリアルタイムで観察することができた。これらの結果から、通常炉と比べてより多くの熱量と到達時間を必要とするが、炉内可視化が可能であることを確認した。

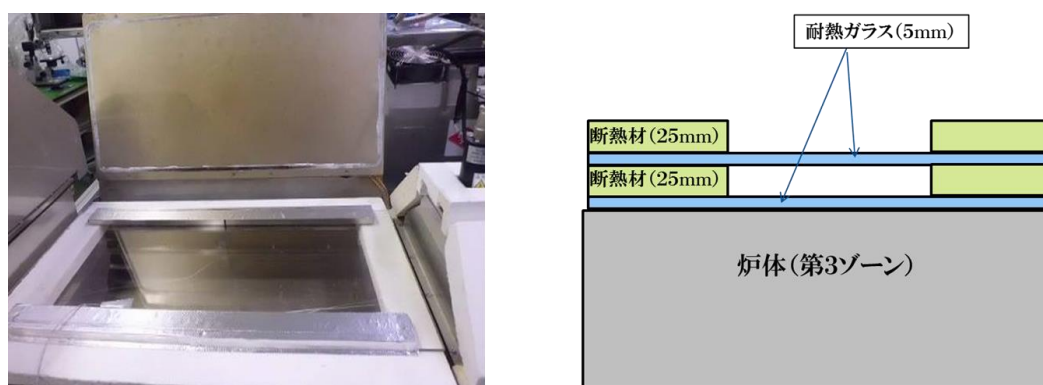
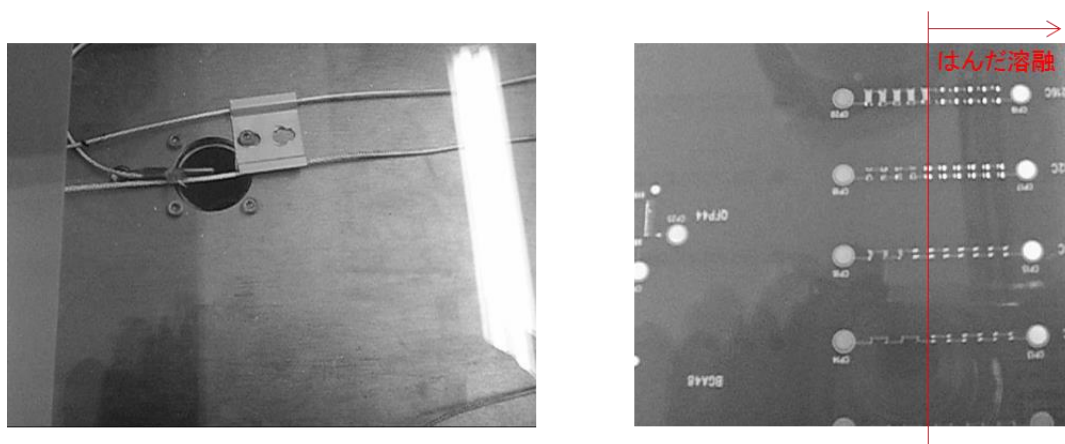


図4-3 DPH式リフロー装置試作機の可視化



(a) 通常時

(b) プリント基板通過時

図4-4 炉内可視化状況

4-3 まとめ

D P H式はんだ接合評価用試験機を改造して、目標である消費電力20kVA、立ち上げ時間30分以内を実現可能な新炉体の開発に向けて各種評価を実施した。その結果、炉体の熱容量を確保するための機構および炉体構造を見出し、D P H式リフロー装置試作機の炉体開発に反映させて、安定時電力については目標を達成することができた。また、ユーザー企業からの強い要望であった炉内可視化についても検討し、はんだ溶融をリアルタイムで観察できることを確認した。

第5章 必要ゾーン数の最小化

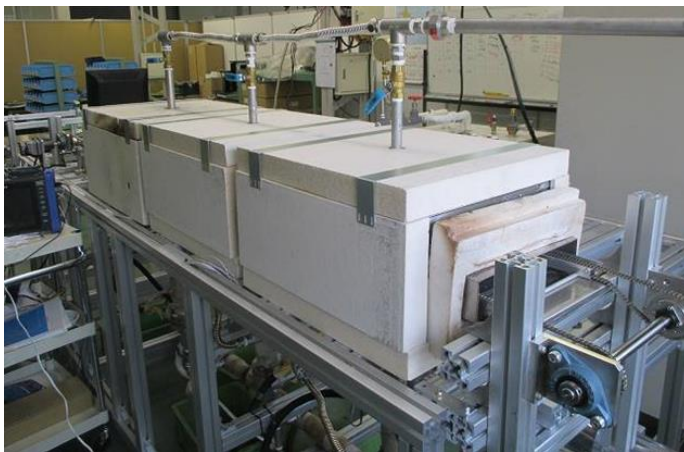
5-1 はじめに

プリント基板実装メーカーの製造ラインにおいて、電子部品実装装置が多くのスペースを占有していたが、近年の技術革新により小型化が実現している。一方で、リフロー装置においては多くの加熱プロセスを必要とするため小型化が困難であり、製造ラインの増設を阻む要因の一つとなっている。そこで、設備占有面積を従来リフロー装置の平均値 12 m^2 の半分以上となる 6 m^2 以下とすることを目標として、必要ゾーン数の最小化について検討した。

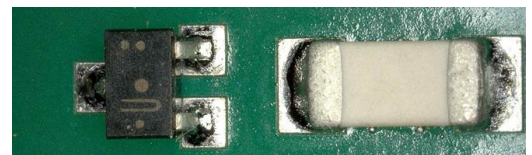
5-2 実施内容

5-2-1 DPH式はんだ接合評価用試験機による検討

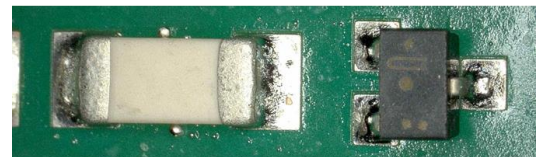
平成25年度に開発したDPH式はんだ接合評価用試験機では、炉体を4ゾーン構成（昇温：第1ゾーン、予熱：第2ゾーン、接合：第3ゾーン、冷却：第4ゾーン）としていた。第4ゾーンの役割はプリント基板の冷却と結露防止であるため、第4ゾーン後の大気加熱ユニット（温風発生器）にこれらの機能を付加することで、第4ゾーンを省略できる可能性がある。そこで、DPH式はんだ接合評価用試験機の改造機（以後、「改造試験機」）を活用して検討を行った。炉体を3ゾーン構成とした場合の改造試験機とはんだ接合状態を図5-1に示す。大気加熱ユニットの温風温度を 150°C として、第3ゾーン通過後のプリント基板を冷却した結果、4ゾーン構成時と同様にはんだ接合が可能であることを確認した。



(a) 改造試験機（3ゾーン構成）



基板前方



基板後方

(b) はんだ接合状況

図5-1 DPH式はんだ接合評価用試験機の改造機

5-2-2 DPH式リフロー装置試作機による検討

改造試験機での結果を踏まえて、DPH式リフロー装置試作機の3ゾーン構成について検討した。4ゾーン構成および3ゾーン構成時の炉体構成を図5-2に示す。DPH式リフロー装置試作機では、過熱水蒸気の流出防止用として第3ゾーン出口に熱風炉を設けているため、この熱風炉にプリント基板の冷却機能と結露防止機能を付加した。熱風の温度を 150°C 、風量を $0.5\text{ m}^3/\text{min}$ として、3ゾーン構成ではんだ接合を実施した結果、はんだ接合状態は良好であり、熱風炉による冷却、結露防止が十分に機能していることを確認した。また、3ゾーン構成において最適な温度プロファイルを見出すことができた。4ゾーン構成時と比べて炉体ユニットの全長を約 800 mm 削減することができるため、設備占有面積は約 3.9 m^2 となり、目標値 6 m^2 を上回る省スペース化を達成することができた。

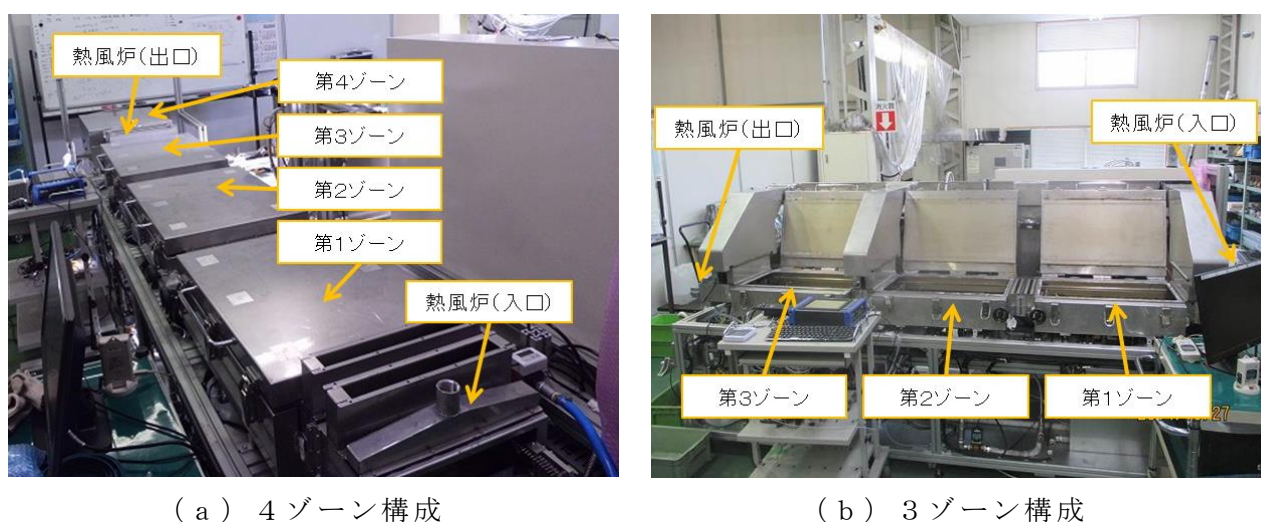


図5-2 DPH式リフロー装置試作機の炉体構成

5-3 まとめ

DPH式はんだ接合評価用試験機の改造機を活用して、炉体ユニットの3ゾーン化について検討し、大気加熱ユニットにプリント基板冷却機能と結露防止機能を付加することにより、3ゾーン化が可能であることを確認した。その結果を踏まえて、DPH式リフロー装置試作機の3ゾーン化について検討し、改造機と同様に熱風炉を有効活用することにより、実現可能であることを確認した。その結果、設備占有面積は約 3.9 m^2 となり、目標値 6 m^2 を上回る省スペース化を達成することができた。

第6章 排気液化ユニットの開発

6-1 はじめに

現行のリフロー装置では、はんだ接合時に発生するフラックスガスを全て大気中に放出しているが、環境配慮の観点からその回収が望まれている。そこで、フラックス回収の目標値を回収率（排気液化率）80%と定めて、フラックスを含む過熱水蒸気（排気）を液化して回収する方式について検討し、排気液化ユニットを製作、評価した。

6-2 実施内容

6-2-1 水冷方式の検討

過熱水蒸気の発生源となるボイラーへの供給水を冷却水として、炉体から放出された過熱水蒸気（排気）を熱交換により結露させて、同時にボイラー供給水を加熱する機構を考案した（図6-1）。試作したユニットをDPH式はんだ接合評価用試験機の改造機（以後、「改造試験機」）に取り付けて評価を行ったところ、試作ユニットに送り込まれた過熱水蒸気の全てがユニット内部で完全に結露（液化）することを確認した。

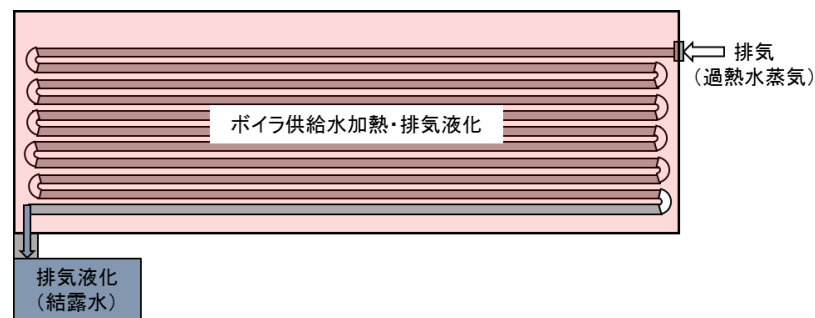


図6-1 水冷式排気液化試作ユニットの評価

しかし、改造試験機と比べて排気量の多いDPH式リフロー装置試作機にて同様に検討したところ、ユニットが予測以上に加熱されて10分程度で冷却不能となり、排気はダクト内に滞留あるいは蒸気のまま外部に排出された。これは、排気量に対して排気液化ユニットの冷却能力が不足しているためであると考えられる。

6-2-2 フィン方式の検討

次に、ユニットを大型化させることなく効率的に排気を冷却し、さらに強制的に排気をユニットに引き込む方法について検討し、排気を真空引きでユニットに引き込み、フィン方式によって排気液化する機構を考案した。しかし、ユニット内の空気排出が不十分で真空状態を作り出すことができなかったため、図6-2に示すようにファンによって強制的に排気を引き込んだところ、ほぼ全ての排気をユニット内に引き込むことができた。しかし、排気のフィンへの誘導に課題があり、排気液化率は50%程度となった。

排気液化率を向上させるため、排気の経路とフィンの設置位置の最適化を図り、さらにユニットの小型化も併せて実施した。ボイラーが使用した水量と回収（排気液化）した水

量より排気液化率を算出したところ 82.7% となり、目標の 80% を達成することができた。

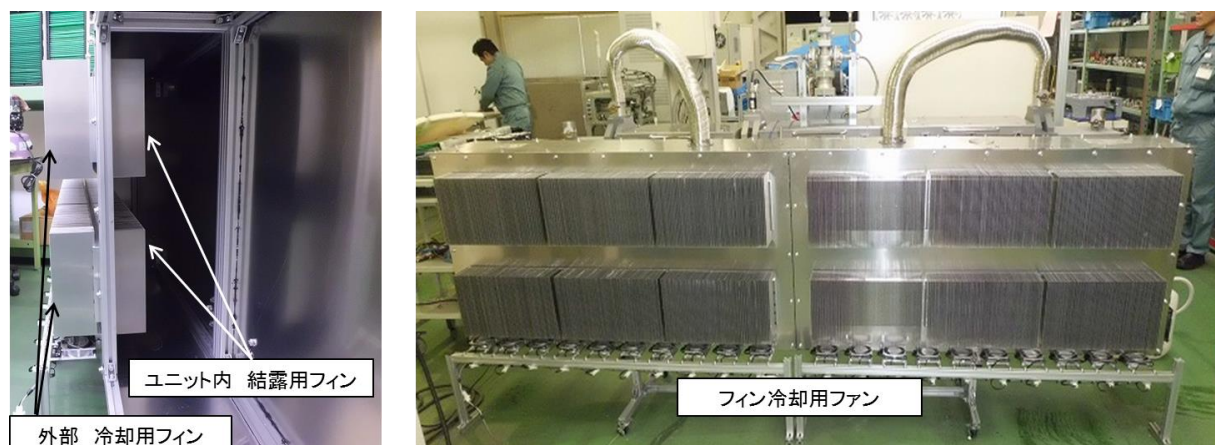


図 6 - 2 排気液化ユニット（フィン方式）

6 - 2 - 3 排気中のフラックス成分分析

はんだ接合時にははんだペーストに含まれるフラックスの一部が気化して過熱水蒸気と共に排出され、排気液化ユニットを経由してボイラーへの給水タンクに戻される。この過程において、排気液化ユニット内に排気（結露水）とフラックスを分離可能なフィルタを設置することによって、フラックスの回収が可能となる。しかし、はんだ接合時にフラックスのどの成分が排気として放出し、どの成分が炉内に留まるのかは明らかとなっていない。

最適な分離フィルタの選定や炉内清掃などのメンテナンス指針の策定に必要な基本データを取得するため、排気中のフラックス成分分析を実施した。ろ過フィルタ（0.1 μ ）を用いて、回収した排気（結露水）からフラックスを抽出し、赤外分光法にて成分分析を行った。フラックスの抽出状況を図 6 - 3 に示す。フィルタ内部にフラックス成分の一部と思われる物質を確認することができた。抽出したサンプル（2 mg）の成分分析を専門機関に依頼したが、分析には最低 10 mg は必要であるため、信頼性の高い分析結果を得ることはできなかった。



（a）ろ過フィルタ



（b）抽出したフラックス

図 6 - 3 ろ過によるフラックスの抽出

はんだ（ソルダーペースト）中には、一般的にはフラックス成分（樹脂成分）が数％（体積％）含まれており、リフローによるはんだ付けの際には数分間加熱処理される。これに対して、フラックス成分のみを１０分間加熱することで、加速試験を実施した。

２００℃ではフラックス（ロジン）の物性上揮散せず、排気中に混入しているとしたら低分子量の酸成分であると考えられる。よって、過熱水蒸気の排気を液化して回収した水のpHを調べることで、排気中にフラックスが存在しているかどうかを、簡易的にリトマス試験紙を用いた方法で検討した。しかし、排気回収水のpHは、使用前の純水と変わらず、排気中へのフラックスの混入は確認できなかった。

また、現在市販されている熱風リフロー装置では、長期使用に伴い、炉内にはんだ（ソルダーペースト）に含まれるフラックスの揮散に由来すると考えられる汚れが発生する。今回は、長期間の使用ではないが、大量のフラックスを加熱処理したため、本来なら炉内が汚染されても不思議はないが、試験後の炉内の目視観察において、フラックスの揮散に由来すると考えられる汚れは特に確認できなかった。

以上の結果から過熱水蒸気を用いた場合、フラックス成分の揮散は少ないと推察された。

6-3 まとめ

DPH式はんだ接合評価用試験機の改造機などを活用して排気液化ユニットの機構について検討し、改良を重ねた結果、フィン方式をベースとした機構とすることにより回収率（排気液化率）８０％以上を達成することができた。

排気中のフラックスの混入に関して各種分析を行ったが、排気中にフラックス成分は検出されず、過熱水蒸気を用いた場合、フラックス成分の揮散は少ないと推察された。今後、補完研究にて、装置の長期使用に伴う炉内のフラックスによる汚染状況について検討していく予定である。

第7章 DPH式リフロー装置試作機の開発

7-1 はじめに

本研究開発では、過熱水蒸気を用いた全く新しい方式のリフロー装置を開発する。平成25年度にDPH式はんだ接合評価用試験機を製作し、その基本性能について評価検証を行った。平成26年度は、DPH式はんだ接合評価用試験機およびその改造により得られた課題や成果を反映させて、DPH式リフロー装置試作機を設計、製作し、はんだ接合性能について評価検証を行った。

7-2 実施内容

7-2-1 DPH式リフロー装置試作機の設計・製作

DPH式リフロー装置試作機の構想図（模式図）を図7-1に示す。本試作機は4台のDPHを使用し、4ゾーンリフロー構成を実現するものであり、以下の①～④のユニットから構成される。

①DPH・蒸発ユニット

蒸気ボイラーより供給される飽和水蒸気から過熱水蒸気を生成し、炉体に供給する。

②排気液化ユニット

炉体から排出される排気（過熱水蒸気）を取り込み、冷却し、復水する。

③制御システムユニット

炉内の温度および搬送コンベア速度を制御する。

④本体炉体ユニット

炉体、昇温／徐冷ゾーン、配管、搬送コンベア、フレームなどで構成される。

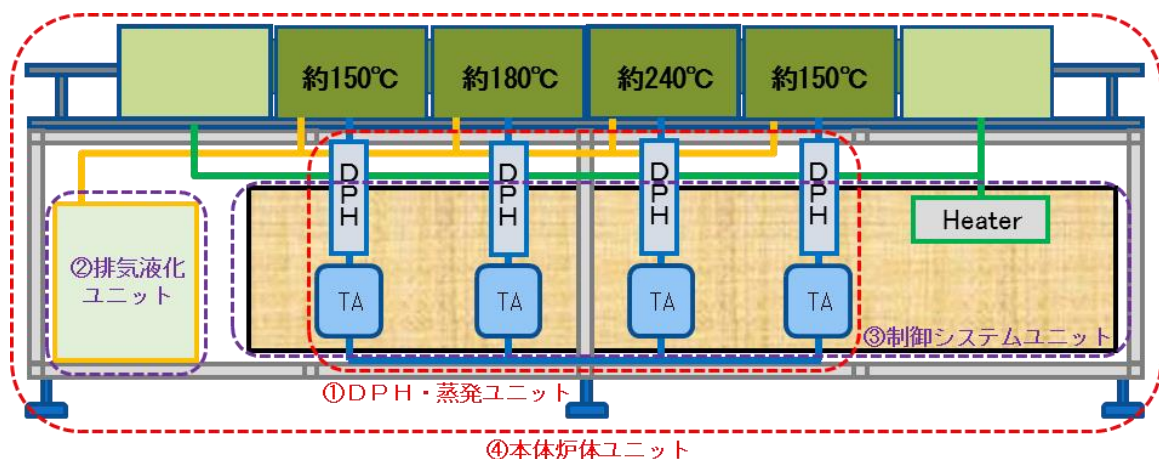


図7-1 DPH式リフロー装置試作機の模式図

各ユニットの主な仕様は以下の通りである。

①DPH・蒸発ユニット

過熱水蒸気の吹き出し温度は300℃以上、設定温度に対する到達時間は1分以内、

誤差は±2℃以内となるように設計した。

②排気液化ユニット

炉体から排出される排気（過熱水蒸気）を回収、冷却、復水する機能を搭載し、最大18L/hの処理能力が可能な構造設計とした。

③制御システムユニット

炉内温度（～300℃）、および、プリント基板の搬送速度（2～20mm/sec）を制御可能なPLC（Programmable Logic Controller）制御システムを設計した。

④本体炉体ユニット

・全体

寸法4,000mm×1,000mm×1,500mm以下となるように設計した。

・炉体（加熱ゾーン）

面状ヒータ付き二重構造炉とし、炉内温度が第1ゾーンで150℃以上、第2ゾーンで180℃以上、第3ゾーンで240℃以上、第4ゾーンで150℃以上を実現できるように設計した。

・昇温／徐冷ゾーン

熱風発生方式とし、炉内温度が150℃以上を実現できるように設計した。

・配管

耐熱温度が300℃以上となるように設計した。

・搬送コンベア

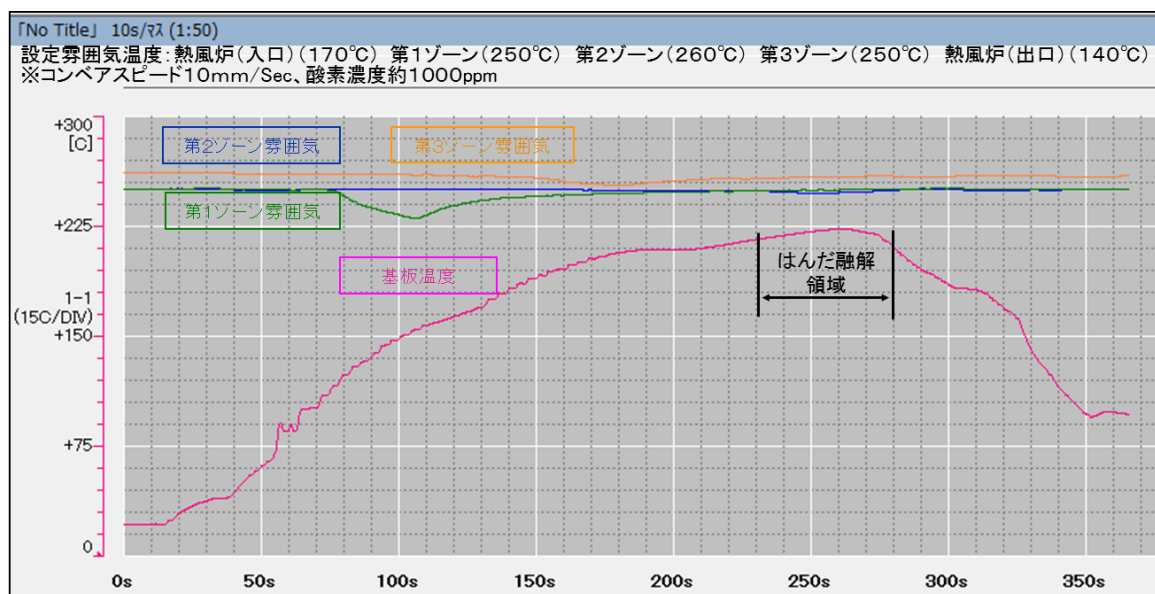
チェーン式コンベア方式とし、搬送速度は2～20mm/sec、対象基板サイズは80mm×80mm～330mm×250mm（スマートフォン用基板サイズ）に対応できるように設計した。

第2章～第6章で述べたように、事前検討を実施し、その結果を踏まえて適宜基本設計を修正して、各ユニットを製作した。本体炉体ユニットについては、3ゾーン構成への切り替えを容易に実現するために、第4ゾーンを分離できるような構造に変更した。製作したユニットを組み合わせ、DPH式リフロー装置試作機を製作した。

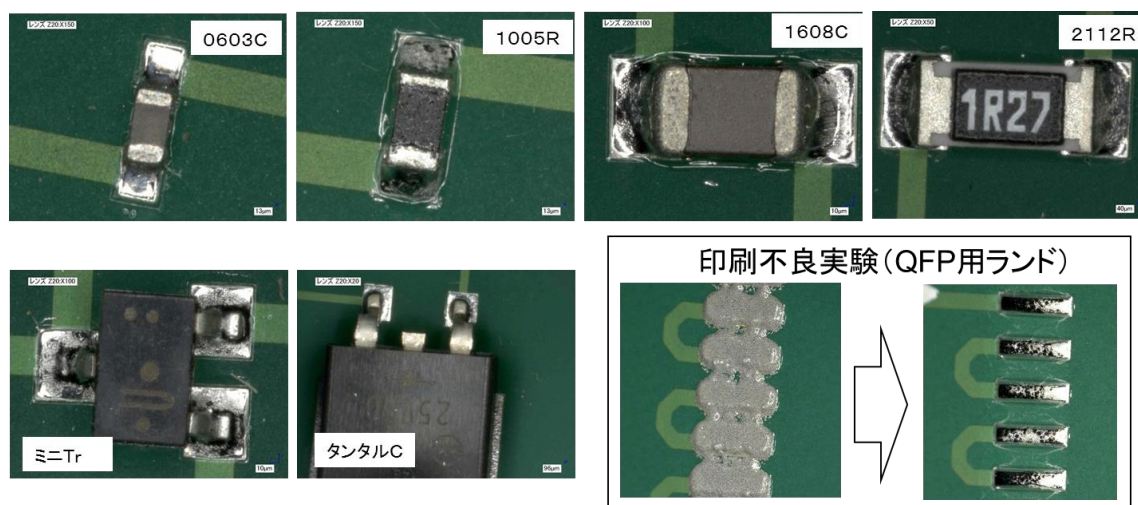
7-2-2 DPH式リフロー装置試作機の評価

第5章の結果から、DPH式リフロー装置試作機を3ゾーン構成にして評価を行った。搬送速度を10mm/secに固定し、炉内温度を変化させて温度プロファイル計測を行い、はんだ接合評価を実施した。その結果、良好なはんだ接合を実現可能な温度プロファイルを見出すことができた。現状で最適と考えられる温度プロファイルおよびはんだ接合状態を図7-2に示す。はんだ熔融時間は約50秒（はんだ熔融温度219℃以上）確保することができており、はんだ接合状態は、どの大きさのチップ部品においても、濡れ、光沢共に良好で、はんだボールもほとんど確認できなかった。さらに、はんだペーストがランドを大きくはみ出すように印刷した基板で評価したところ、熔融後のはんだがランド上

に集結することを確認した。このことから、印刷不良時においてもはんだ接合が可能であると考えられる。



(a) 温度プロファイル



(b) はんだ接合状態

図 7-2 温度プロファイルとはんだ接合状態

7-3 まとめ

過熱水蒸気を用いた全く新しい方式のリフロー装置であるDPH式リフロー装置試作機を設計、製作した。はんだ接合評価の結果、濡れ、拡散、光沢共に目視レベルでは良好であった。

第8章 過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の開発

8-1 はじめに

これまでに得られた成果を基に、過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機を設計・製作し、評価を実施した。

8-2 実施内容

8-2-1 過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の設計・製作

図8-1に示す過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機を設計・製作した。

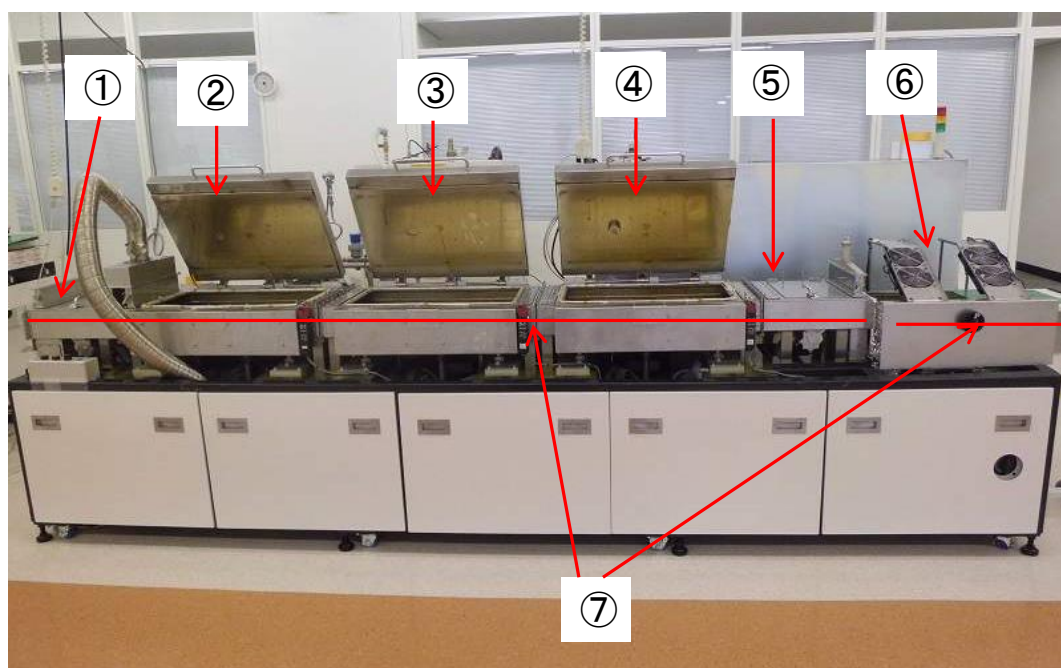


図8-1 過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の外観写真

製作した過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機は、①入口側熱風層、②ゾーン1、③ゾーン2、④ゾーン3、⑤出口側熱風層、⑥冷却ユニット、⑦基板搬送コンベア等から構成される。次に概要を説明する。

①入口側熱風層

150℃設定の温風を吹き付ける機能を有する。常温のプリント基板に過熱水蒸気が接すると、基板に結露が発生する。そこで、150℃の温風で予めプリント基板を加熱し、結露の発生を防ぐ役割を果たしている。また、ゾーン1内の過熱水蒸気の流出を防ぎ、かつ、ゾーン1内に大気が入り込んで酸素濃度が上昇するのを防ぐ、エアーカーテンの役割も果たしている。

②ゾーン1及び③ゾーン2

ヒータ及び過熱水蒸気にてプリント基板を加熱する機能を有する。ゾーン1では基板到達温度目標を約150℃に、ゾーン2では約180℃に設定している。はんだ付けはゾー

ン3にて約230℃で行うが、急激な温度変化は電子部品に悪影響を与えるため、ゾーン1及びゾーン2にて、予熱を行うことを目的としている。内部には、下面に直径5mmの吹き出し口を42か所設置しており、下面から過熱水蒸気を吹き付ける構造とした。

④ゾーン3

面状ヒータ及び過熱水蒸気にて電子部品搭載プリント基板を加熱する機能を有する。ゾーン3では基板到達温度目標を約230℃に設定しており、はんだ付けを行う。なお、ゾーン3には酸素濃度計を取り付けており、ppmオーダーでの計測が可能である。

⑤出口側熱風層

150℃設定の温風を吹き付ける機能を有する。ゾーン3にて230℃に到達した電子部品搭載プリント基板は、急激に冷却されるとヒートショックで悪影響が発生する。そこで、150℃の温風で徐冷を行う。また、ゾーン3内の過熱水蒸気の流出を防ぎ、かつ、ゾーン3内に大気が入り込んで酸素濃度が上昇するのを防ぐ、エアーカーテンの役割も果たしている。

⑥冷却ユニット

回転数可変式のファンを4機搭載しており、外気を吹き付け空冷する機能を有する。電子部品搭載プリント基板を次の工程へと移す際には、70℃以下に冷却しておく必要がある。

⑦搬送コンベア

電子部品搭載プリント基板を搬送するコンベアであり、搬送速度を2mm/sec～20mm/secの間で設定し、熱処理時間を調整することができる。

<過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプの特長>

その他の特長は以下の通り。

(ボイラー供給水の変更)

平成26年度に製作したDPH式リフロー装置試作機では、軟水をボイラーに供給し、過熱水蒸気を発生させていた。しかし、長期使用に伴い、ボイラー内や炉内等にカルキ成分と考えられる汚れが発生した。よって、極力不純物の混入を防止するために、ボイラー供給水として純水を採用することにした。

(ユーザーインターフェイス)

本体設置の操作盤には、操作しやすいタッチパネルを採用した(図8-2左図)。更に、タブレット(図8-2右図)から無線での操作も可能とし、メンテナンス性を向上させた。本体に大型のタッチパネルを搭載するとコストアップとなるが、タブレットは大型でも端末単価が安く、コストダウンを実現できた。



図 8 - 2 操作画面の外観写真

(左：本体に設置のタッチパネル（下は酸素濃度表示パネル）、右：タブレット)

(装置の吊り上げ移設)

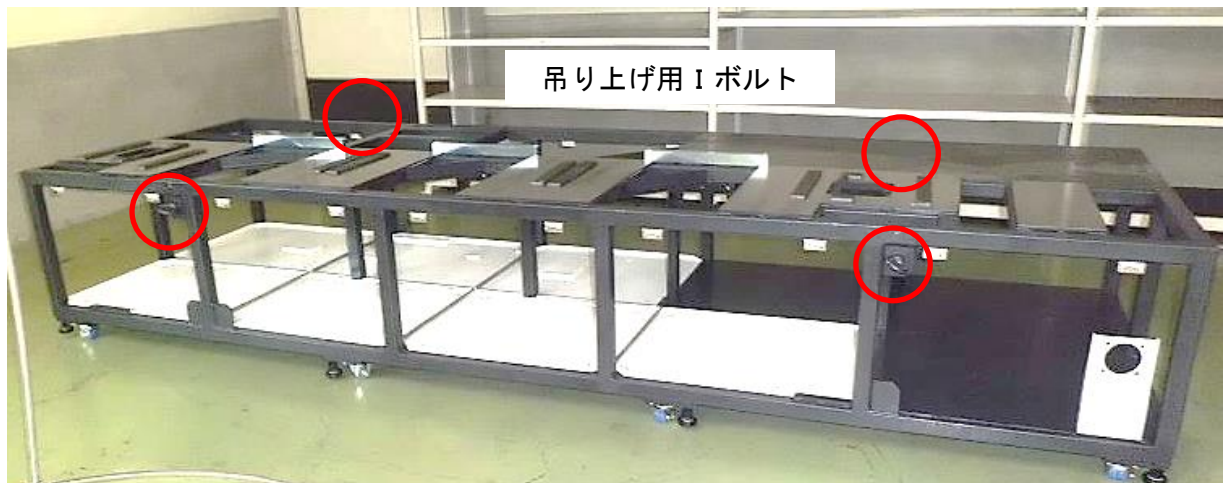


図 8 - 3 架台の外観写真

装置の移設を容易にするため、架台を角柱の溶接式に変更し、I ボルトにより装置本体を吊り上げ可能とした。なお、架台サイズは、長さ：3, 917 mm、奥行：1, 327 mm、高さ：600～700 mmで、設置面積は約5, 200 cm²である。

8 - 2 - 2 過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の評価

<はんだ接合部の目視検査>

過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機でテスト基板のはんだ接合を行い、マイクロ스코プにてはんだ接合部の目視検査を行い、はんだの濡れ、拡散、光沢について評価を行った。

まず、角チップ電子部品のはんだ接合評価を実施した。過熱水蒸気リフロー後の外観写真を図 8 - 4 に示す。左図は2125C、右図は1608Rである。はんだの濡れ及び光沢は問題無く良好であり、フィレットが形成されウィッキング現象が確認でき、はんだ接合は良好であった。

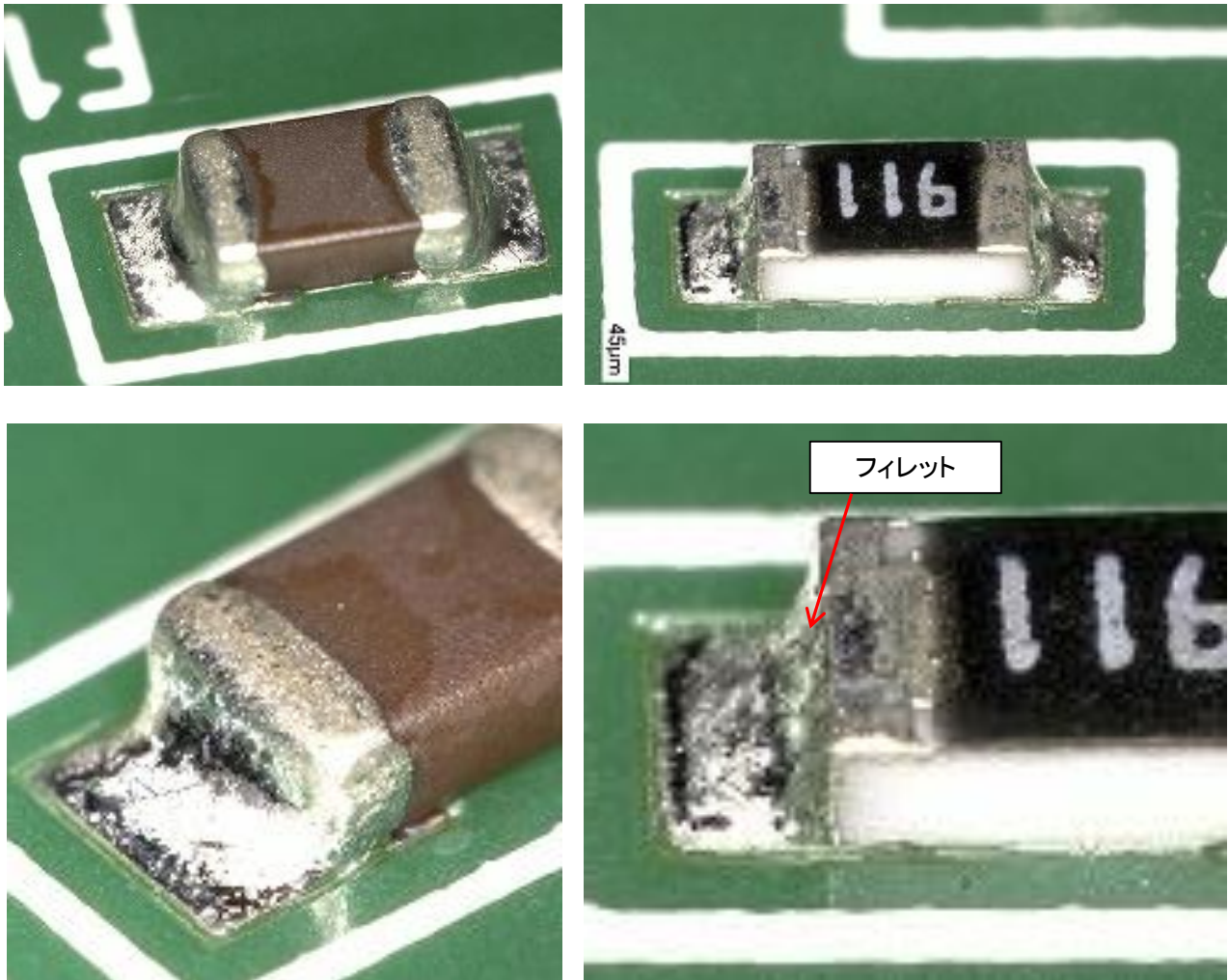


図 8－4 角チップ電子部品のはんだ接合後の外観写真
(左：2125C、右：1608R)

次に、足付き電子部品のはんだ接合評価を実施した。過熱水蒸気リフロー後の外観写真を図 8－5 に示す。左上は S S ミニトランジスタ、左下は $\phi 4$ アルミ電解コンデンサである、右図は 6 P T r (S O P) であるが、右上は上面からの写真、右下ははんだ接合部拡大写真である。いずれも、はんだの濡れ及び光沢は問題無く良好であり、フィレットが形成されウィッキング現象が確認でき、はんだ接合は良好であった。

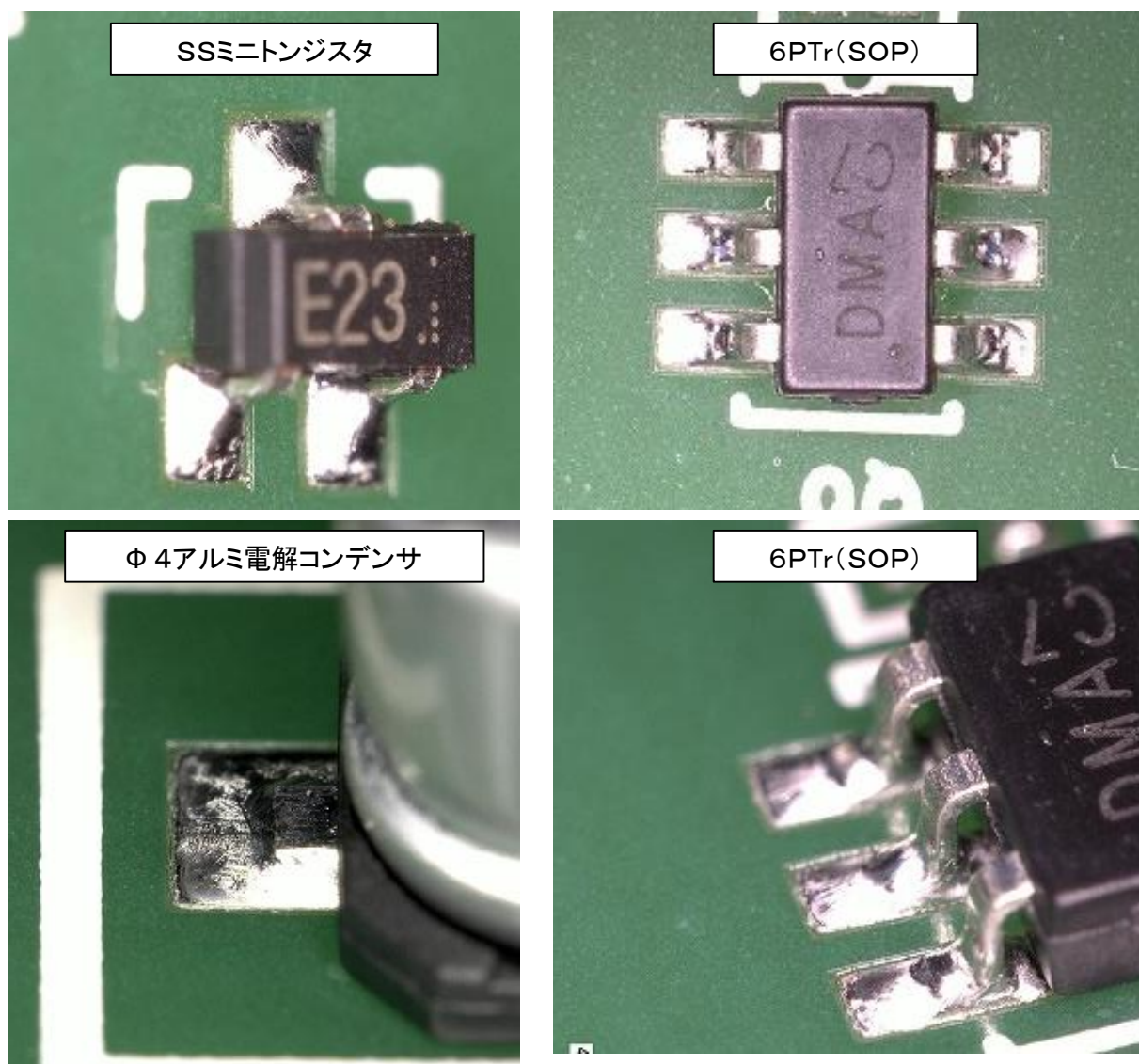


図 8－5 足付き電子部品のはんだ接合後の外観写真
 (左上：SSミニトランジスタ、左下：φ4アルミ電解コンデンサ、
 右上：6PTr (SOP) の上面写真、右下：はんだ接合部拡大)

<剥離強度試験>

はんだ付けに関する評価の一つとして、剥離強度試験を実施した。過熱水蒸気リフロー装置ではんだ付けした電子部品について、各チップのボディーをバネ測りで引っ張り、剥離の際の強度を測定した。なお、 solderペーストとしてはフラックス含有量9%品とフラックス含有量14%品の2種類を用い、電子部品としては、1608R、2125C、SSミニトランジスタ、Sミニトランジスタを測定対象とし、表8－1に記載の個数について測定した。また、市販のPC基板についても同様に測定し、比較対象とした。

表 8－1 剥離強度試験結果

加熱 方式	ソルダーペースト	剥離強度			
		1608R	2125C	SS ミニ Tr	S ミニ Tr
過熱 水蒸気	フラックス 9%含有品	3.2～3.5kg (N=10)	5kg 以上 (N=10)	0.9～1.3kg (N=5)	
	フラックス 14%含有品	2.7～3.0kg (N=10)	5kg 以上 (N=10)	1.0～1.7kg (N=5)	
熱風	市販 PC 基板	1.2～1.4kg (N=10)	3.0～3.2kg (N=10)		3.2～3.5 (N=3)

剥離強度試験結果を表 8－1 に示す。市販 P C 基板と比較し、2 倍以上の剥離強度を有しており、強度的に問題ないことが明らかとなった。

＜はんだ接合部の断面観察＞

電子部品を搭載したプリント基板から所定の部位を切出して断面観察用試料とした。この断面試料をアクリル系樹脂に埋包した後に切断面を段階的に機械研磨し、最終的にコロイダルシリカを用いて仕上げ研磨して検鏡用試料とした。観察には光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡（SEM）などを使用し、ボイドやクラックなどの欠陥の発生状況やはんだ組織などを評価した。

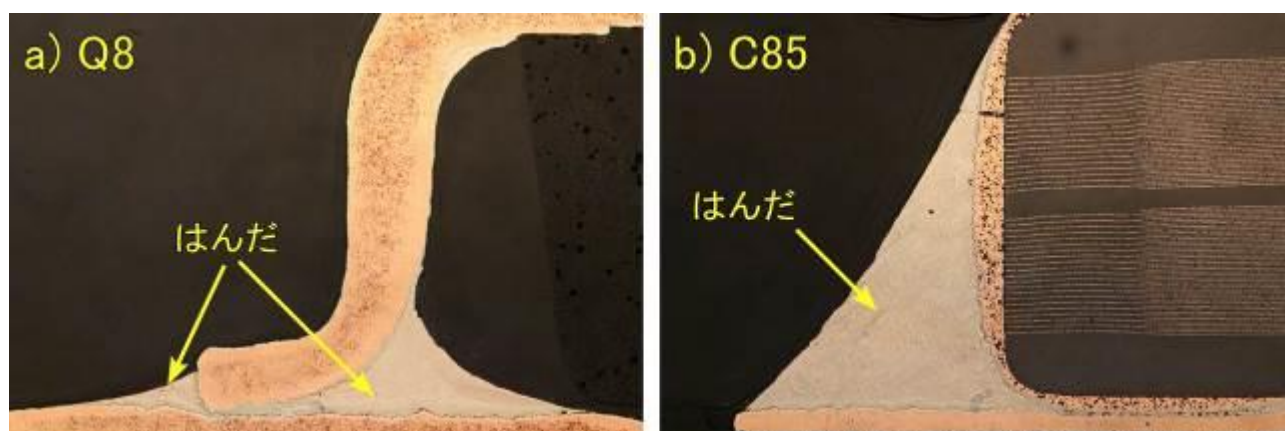


図 8－6 リフロー量産プロトタイプ機で大型プリント基板上に実装した Q8 ならびに C85 素子断面

図 8－6 は Q8 ならびに C85 の断面試料の光学顕微鏡像である。Q8 素子のリード部や C85 素子の外部電極と Cu ランドとの間も十分にはんだが濡れていることがわかる。またフィレットの形状も良好で、粗大なボイド等も確認されていない。大型基板の他の位置に実装した素子断面の様子も同様に良好であったことから、量産プロトタイプ機によるはんだ実装に特段の問題は生じていないことを確認した。

3216 サイズのチップ抵抗 (3216R) の断面 SEM 像を図 8－7 に示す。a) では、表面の導電コート膜が剥がれていたり、フィレット内に微小なボイドが観察されていたりするものの、100μm を超え問題を

生じる恐れのある粗大なボイドなどは見られなかった。b)ではボイドの発生は一切なく、また c)においても微小なボイドが一点見られるだけであった。いずれの場合もフィレットの形状等も良好で全く問題はなかった。つまりはんだのタイプが異なっても、過熱水蒸気リフロー装置で 3216R 素子を良好な状態で表面実装できることがわかる。3216R 以外にも 1608 や 1005 等のサイズの電子部品の断面組織観察を行ったが、同様にはんだタイプの違いによる明瞭な差異を確認するには至らなかった。

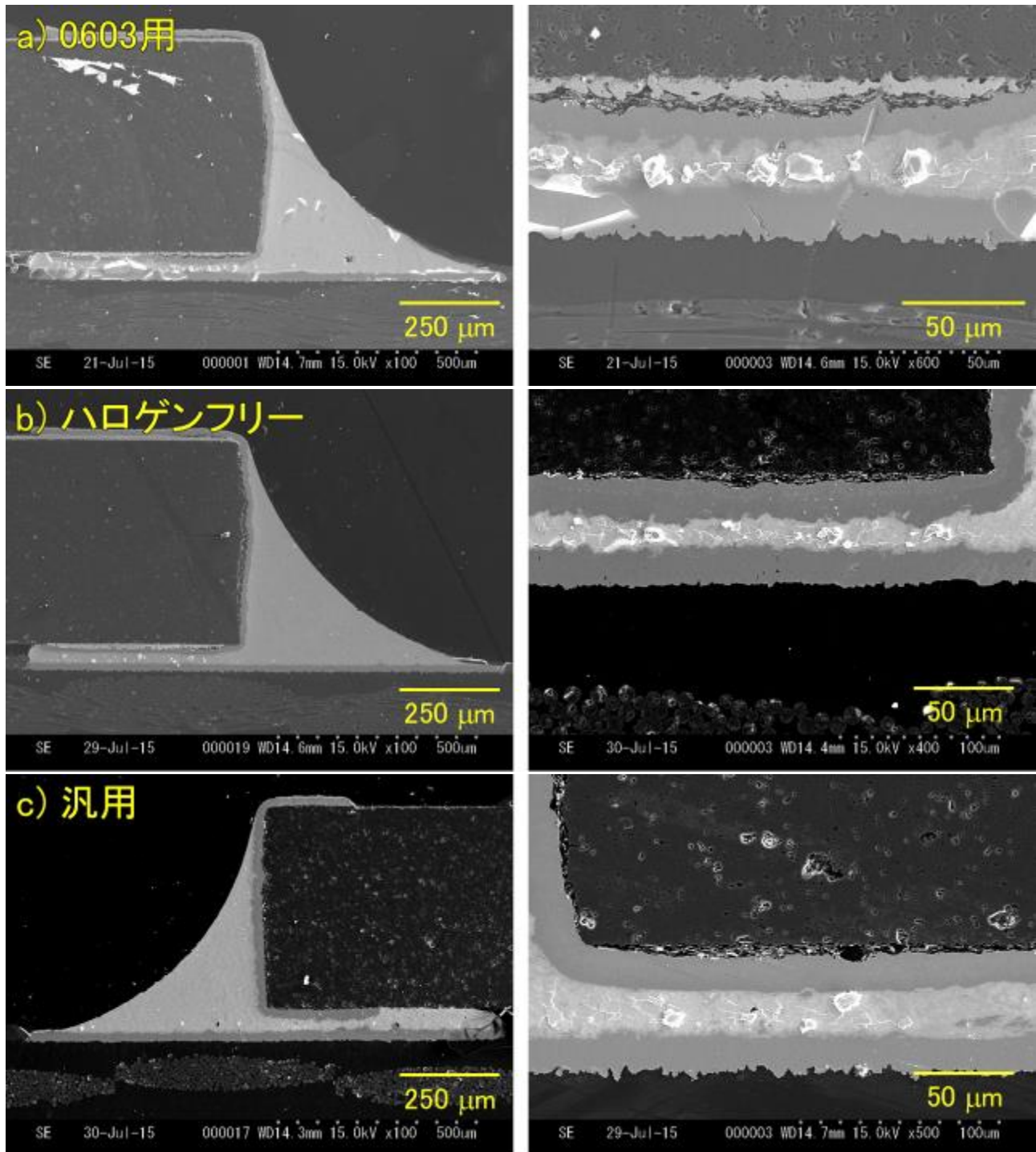


図 8-7 各種 SAC305 はんだを使用して 3216R 素子を実装した際の断面組織（左図）フィレット全体の様子、（右図）素子とランドとの界面部の様子。

8-3 まとめ

平成25年度に製作・評価検証した評価用試験機及び、平成26年度に製作・評価検証した試作機で得られた知見を基に、過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の設計、製作を行った。製作した過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機を用い、評価用基板のはんだ接合を行ったところ、目視検査では、はんだの濡れ、拡散、光沢は良好であり、クラック等は見られなかった。また、走査型電子顕微鏡による断面観察ではボイドやクラックに特段の問題は無く、剥離強度試験では現行熱風リフローでののはんだ接合以上の剥離強度で良好であることが確認できた。

第9章 製造現場における評価、検証

9-1 はじめに

過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機を用いて、製造現場での使用を想定したフィールド試験を実施し、実装品質評価、機種切替時間の評価、消費電力及びランニングコスト試算等、装置の評価、検証を行った。

9-2 実施内容

9-2-1 実装品質評価

図9-1に示した検査基板を用い、図9-1左図に示した電子部品、部品点数1万点以上（14,700点）について、クラック、濡れ、拡散、光沢等のはんだ付け状態を目視（マイクロスコップ）にて評価した。

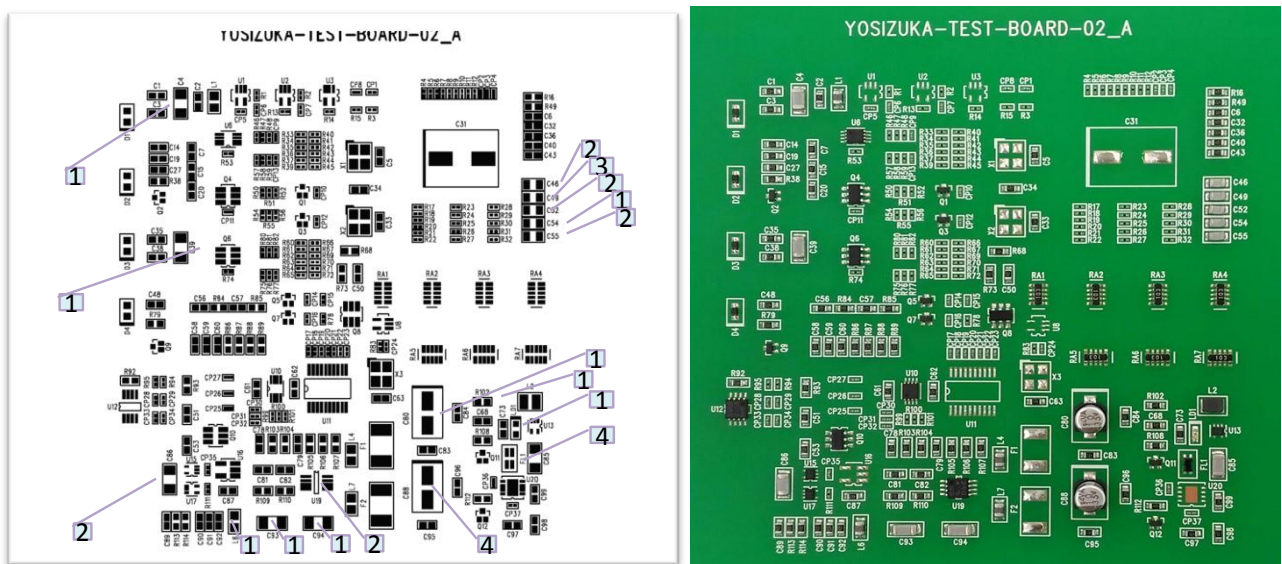


図9-1 実装品質評価用基板（左：検査箇所、右：評価基板）

その結果、繊維状の異物付着が1点（図9-2左図）と、ブリッジ及び融解不足が2点（図9-2右図）観測され、不良は合計3点であった。ここで、繊維状の異物付着は、明らかに過熱水蒸気リフロー装置以外の要因によると考えられることから除外して考えると、検査部品点14,700点中、不良2点であることから、実装品質は136ppmであった。なお、今回の試験では、温度プロファイルの設定条件や溶剤ペーストの選定等が不十分であったことから、今後、最適条件を検討することで、実装品質は向上すると考えられ、業界が要望している実装品質30ppm（ユーザーは実装品質30ppm以下を要望しているが、現在、30ppm以下を保障しているリフロー装置は販売されていない）の達成に向けた見通しが得られた。

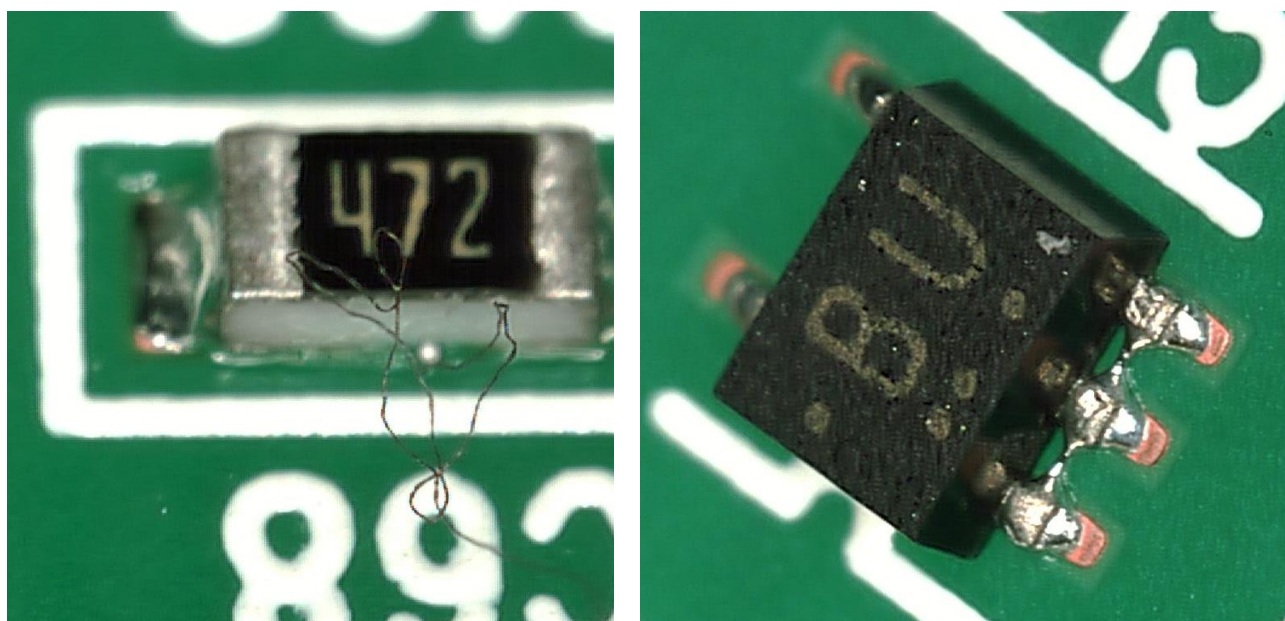


図 9－2 はんだ付け不良品の外観写真（左：異物付着、右：ブリッジ及び融解不足）

9－2－2 機種切替時間

現行の熱風リフロー装置では、設定温度を変更した際に、温度が安定化して生産開始までに 60 分程度を要する場合もあり、機種切替時間の短縮化が望まれていた。過熱水蒸気リフロー装置では、機種切替時間が短縮化できる設計としており、目標を 15 分とし、切替時間について評価を実施した。

具体的には、過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機において、炉内温度を 10℃ 上げた場合と、10℃ 下げた場合の、炉内温度の設定温度への到達時間を計測した。

表 9－1 昇温切替時間の検討結果

切替前温度	切替後温度	加熱方式	所要時間
255℃	265℃	通常過熱	1 分 30 秒

表 9－2 降温切替時間の検討結果

切替前温度	切替後温度	冷却方式	所要時間
265℃	255℃	自然冷却	11 分
		低温蒸気冷却	3 分

その結果、昇温切替時間は 1 分 30 秒であり、降温切替時間は自然冷却場合は 11 分、低温蒸気で冷却した場合は 3 分であり、目標の 15 分をクリアできた。

9-2-3 消費電力

現行の熱風リフロー装置では、消費電力が大きく、低消費電力化が望まれていた。過熱水蒸気リフロー装置では、消費電力を低減した設計としており、目標を現行の熱風リフロー装置の約1/3である20kVAとし、消費電力について評価を実施した。

その結果、立上げ後の平均消費電力は約30kVAであり、ピークは33kVAであった。目標の20kVAには到達していないが、現行の熱風リフロー装置の半分程度になっており、ユーザーに聞き取り調査を行ったところ、約30kVAでも十分であるとのことであった。

なお、消費電力約30kVAの内、ボイラーだけでも約20kVAの電力を消費しており、ボイラーの改善によって、更なる消費電力の低減も見込める。

9-2-4 ランニングコスト

現行の熱風リフロー装置と、今回開発した過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機について、電気代と窒素ガス代等を基に、ランニングコストを比較した。

一般的な現行リフロー装置は消費電力70kw/h（表9-3No. 1）であるが、最近、エコリフロー炉と呼ばれている低消費電力タイプ（消費電力50kw/h；表9-3No. 2）も販売されている。過熱水蒸気リフロー装置では、このエコリフロー炉よりも更に低消費電力である。

電気代以外には、熱風リフロー装置では窒素ガス代として年間約144万円必要であり、過熱水蒸気リフロー装置では純水代として年間約138万円が必要である。ここで、純水製造装置を既に保有していれば、必要なのは水道代と純水製造装置の保守費用のみとなり（表9-3No. 4）、目標としていたランニングコスト1/2を達成できる。

表9-3 ランニングコスト

No.	加熱方式	消費電力	年間電気代 ¹⁾	年間窒素ガス代 ²⁾	年間純水代 ³⁾	年 合計
1	熱風	70kw/h	7,257,600 円	1,440,000 円		8,697,600 円
2		50kw/h	5,184,600 円			6,624,000 円
3	過熱水蒸気	38kw/h	3,939,840 円		1,382,240 円	5,322,080 円
4						3,939,840 円

1) 年間240日稼働、18円/1kwで算出

2) 窒素ガス使用量5,760m³×240日稼働で算出

3) 純水使用量576L×240日稼働、10円/1Lで算出

○過熱水蒸気リフロー装置と熱風リフロー装置のランニングコストの比較

（過熱水蒸気リフロー装置のコスト）／（熱風リフロー装置のコスト）

$$= 3,939,840 \text{ 円} / 8,697,600 \text{ 円} \times 100 = \underline{45\%}$$

なお、純水製造装置は100万円程度であるため、数年間でのランニングコストを考慮すると、保有していない場合は新規に購入するのも有効であると考えられる。

9-3 まとめ

平成25年度に製作・評価検証した評価用試験機及び、平成26年度に製作・評価検証した試作機で得られた知見を基に、量産プロトタイプ機の設計、製作、評価を行い、フィールド試験を実施した。その結果、実装品質は136ppmであったが、今回の試験では、温度プロファイルの設定条件や溶剤ペーストの選定等が不十分であったことから、今後、最適条件を検討することで実装品質は向上すると考えられ、業界が希望している実装品質30ppmの達成に向けた見通しが得られた。

機種切替時間は、低温蒸気で冷却した場合は3分であり、目標の15分をクリアできた。

立上げ後の平均消費電力は約30kVAであり、ピークは33kVAであった。目標の20kVAには到達していないが、現行の熱風リフロー装置の半分程度になっており、ユーザーに聞き取り調査を行ったところ、約30kVAでも十分であるとのことであった。

ランニングコストは、現行の熱風リフロー装置（電気代＋窒素ガス代）と比較して1/2以下（純水製造装置を既に保有している場合）であった。

最終章 全体総括

吉塚精機株式会社、KNE株式会社、株式会社SSテクノ、瀬田興産化工株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所で連携を密にして研究開発に取り組み、各サブテーマについてはいずれも良好な結果が得られた。

特に、炉内可視化については、ユーザー企業からその成果を高く評価されており、事業化に向けて有力なオプションになると考えている。

①過熱水蒸気で均一加熱技術の開発

（目標）

過熱水蒸気を用いて、最高到達温度230℃以上で、はんだ付けを行うプリント配線基板内の温度ばらつきが5℃以内の均一加熱方法を開発する。

（達成度）

到達温度234.8℃、加熱ゾーン内の最高温度と最低温度の差が3.5℃のデータが得られ、過熱水蒸気を用いて、最高到達温度230℃以上で、はんだ付けを行うプリント配線基板内の温度ばらつきが5℃以内の均一加熱方法を開発できた。

②過熱水蒸気の飽和で低酸素化

（目標）

低酸素化の目標値は、既存の窒素ガスを使用したリフロー装置の仕様値と同じく、酸素濃度100～2,000ppm間での調整法を見出す。

（達成度）

熱風炉の風量を調整することにより酸素濃度の制御が可能であり、酸素濃度100～2,000ppm間で調整可能であることを確認した。

（課題）

酸素濃度とはんだ接合性能の関係を明らかにし、過熱水蒸気リフローに適した酸素濃度について検討する必要がある。

③低熱容量の炉体開発

（目標）

消費電力20kVA以下（現行の熱風リフロー装置の1／3以下）

（達成度）

ピーク電力は約33kVAとなり、目標達成には至らなかった。目標の20kVAには到達していないが、現行の熱風リフロー装置の半分程度になっており、ユーザーに聞き取り調査を行ったところ、約30kVAでも十分であるとのことであった。

また、ユーザー企業からの強い要望であった炉内可視化についても検討を実施し、はんだ溶融状態をリアルタイムで観察できることを確認した。

（課題）

更なる改善に向けて、負荷分散によるピーク電力低減化、ボイラー変更による安定時電力低減化、立ち上げ時間短縮化、炉体板厚変更による立ち上げ時間短縮化を実施する必要

がある。

④必要ゾーン数の最小化

（目標）

設備占有面積 6 m²以下。

（達成度）

熱風炉にプリント基板冷却機能と結露防止機能を付加することにより 3 ゾーン化を実現し、目標値を上回る設備占有面積を達成することができた。

⑤排気液化ユニット開発

（目標）

フラックス回収率 80 % 以上。

（達成度）

フィン方式をベースとした機構とすることにより回収率（排気液化率）82.7 % を達成することができたが、排気中のフラックス成分についてはサンプル量不足のため分析することができなかった。

（課題）

長期使用に伴う炉内へのフラックス付着状況を引き続き評価していく。

⑥DPH式リフロー装置試作機の開発

（目標）

はんだ接合が可能なことを確認する。

（達成度）

DPH式リフロー装置試作機によるはんだ接合を実施し、濡れ、光沢、ボイド共に良好であることを確認した。

⑦過熱水蒸気リフロー装置量産プロトタイプ機の開発

（目標）

接合強度試験、接合部解析等により既存設備と同等（剥離強度、クラック、ボイドがユーザー要求以上）のはんだ接合が可能なことを確認する。

（達成度）

接合強度試験、接合部解析等により既存設備と同等（剥離強度、クラック、ボイドがユーザー要求以上）のはんだ接合が可能なことを確認した。

⑧製造現場における評価、検証

（目標）

実装品質 30 ppm 以下

（達成度）

実装品質 136 ppm

今後、最適条件を検討することで実装品質は向上すると考えられ、実装品質 30 ppm

の達成に向けた見通しが得られた。

今後の予定

平成27年度に製作した量産プロトタイプ機を用い、フィールドテストを継続する。低コスト化、メンテナンスのしやすい構成などを検討し、市場ニーズに合った装置を開発し過熱水蒸気リフロー装置を早期に事業化すべく、以下の継続研究を続けていく。

- ①装置の低コスト化に関する研究
- ②装置の耐久性に関する研究
- ③ユーザーニーズに対応する機能改良・拡張の研究

平成 27 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業
「電子回路基板の多品種変量生産を実現する常圧過熱水蒸気を用いた高熱効率・均一加熱リフロー装置の開発」
研究開発成果等報告書

平成 28 年 3 月

委託者 九州経済産業局
〒812-8546 福岡市博多区博多駅東2-11-1

委託先 公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団
〒814-0001 福岡県福岡市早良区百道浜3丁目8番33号
TEL 092-832-7155 FAX 092-832-7158

【この印刷物は、表紙カバーにリサイクルに適さない資材を使用しています】