

2024年度 新産業創出研究会「研究成果報告書」

「電子部品高密度実装基板の高品質はんだ付けを実現する溶融はんだ流動制御技術の開発」

〔岡山理科大学・教授〕 〔桑木 賢也〕

1. はじめに

現代社会で使用されている電子機器のほぼ全てにプリント基板が使われている。その製造過程でチップ部品のはんだ付けは必要不可欠な工程である。従来チップ部品のはんだ付けの常識はリフロー工法か傾斜式噴流工法に限定されてきた。リフロー工法は材料や工法としてコスト高になるため、傾斜式噴流工法が多い。傾斜式噴流工法は図1に示すように4度程度傾斜し基板を搬送する。はんだ付けの必要箇所には溶融はんだ槽を設置し、その中ではんだが噴流している。この上を基板が通過することで、チップ部品や必要箇所にはんだが付着し接合する。この傾斜が、ブリッジ(短絡)防止やチップ部品をはんだ付けする上でフラックスの有機溶剤が気化したガス抜きを果たしている。

一方、その他の工法として少量多品種対応セル生産方式である図2に示す全面噴流工法がある。この全面噴流工法は基板の上面までのはんだ上がりを良好にすることが特徴であり高い評価を受けている。そのためこの工法でチップ部品へのはんだ付けが可能になるような装置にして欲しいという要望が大きい。しかし、この工法においては、はんだ付け時に溶融はんだの中に基板を浸漬させるので基板下にフラックスの有機溶剤がガス化したものがとどまってしまう未はんだとなることが課題となっている。

本研究では全面噴流工法でチップ部品のはんだ付け不良の解決のため、溶融はんだ槽内の流動を制御し、原因と思われるフラックスの有機溶剤のガスの除去を試みている。その上で、全面噴流工法でチップ部品のはんだ付けを可能にすることを目指している。

2. 概要

全面噴流工法におけるはんだ付け不良の問題は基板下に発生するフラックスの有機溶剤のガスの気泡によると考えられる。この原因に関しては図3に示すようなメカニズムを考えている。基板下面にフラックスを塗布するが基板を溶融はんだ槽に浸漬させた時にフラックス内の有機溶剤が気化しガス化した気泡部分には、はんだが基板に接触しないため、未はんだになる。このガスを何らかの効果で消滅させるか、ガスを横向きに移動させ、基板に覆われていない液面から抜くしかない。このようなガス(気泡)解析は学術的にもあまり見られないため、ガス(気泡)を移動させる知見は非常に少ない。そこで本研究では固体壁下の気泡挙動の解析を行い、ガス(気泡)の移動メカニズムを明らかにしようとする。その上で流動によりガス(気泡)を移動させる最適制御方法を模索する。

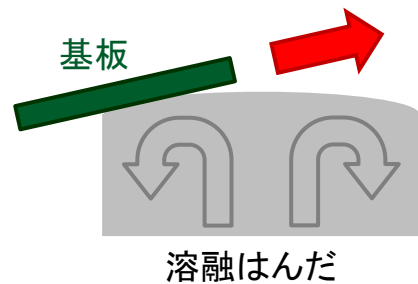


図1 傾斜式噴流工法

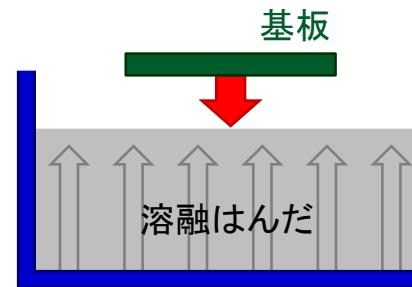


図2 全面噴流工法

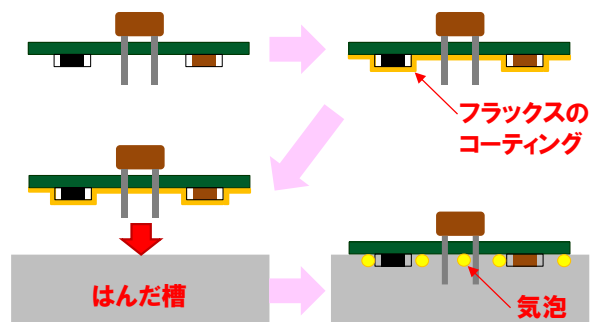


図3 はんだ付け不良が発生する原因

その際、ガス(気泡)除去が可能なはんだ槽の形状やはんだの噴流の向きや流量の検討において実験的な検討では容易なパラメータ変更は難しい。そこで CFD(数値計算力学: Computational Fluid Dynamics)を使用し、ガス(気泡)除去が可能な溶融はんだの流動制御を目指している。具体的には溶融はんだの斜め上方噴流で、基板面に同一方向に流動させ、ガス(気泡)を押し流し除去する。

3.研究成果および今後の課題

3.1 解析方法

数値シミュレーションには気液二相流解析手法の一つで気液界面の追跡を行うVOF(Volume of Fluid)法を用いた。解析コードには OpenFOAM を用いた。解析モデルを図4に示す。溶融はんだ槽全体の流動と気泡の挙動の両方を解析するためには、気泡に計算メッシュを割り当てつつ、はんだ槽全体にメッシュを切っていく必要があり、その場合、最低でも数十億メッシュが必要となり、パソコンなど一般的な計算機では実行が不可能である。そのため、図4中に赤色破線で示す一断面に限定しシミュレーションを行った。

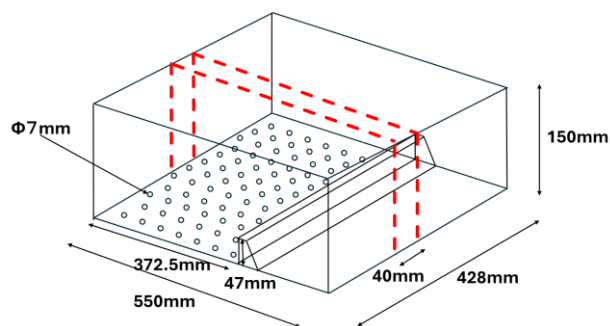


図4 解析モデル

はんだ付け不良の発生原因と考えられるフラックスが気化した気泡の確認と挙動の解析を行うため、基板の代わりに耐熱ガラスを用いて、気泡の可視化を行った。フラックスを塗布した耐熱ガラスを全面噴流工法の実機に浸漬させ実験を行った。

3.2 可視化結果

図1に気泡の可視化結果を示す。ガラス板を溶融はんだに接触した瞬間からガラス板に塗布したフラックスが気化し、小さい気泡が発生し、時間の経過とともに近く同士の気泡が合体していき、大きい気泡に成長していく様子が観察された。

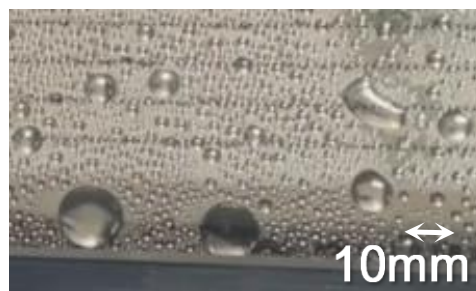


図5 気泡の可視化結果

3.3 流入速度の推定

シミュレーションを行うにあたり流入速度を入力する必要がある。しかし、実験ではインペラーの周波数により、溶融はんだ槽底面のノズルから流入する量を調整している。対象が液体金属であるため、流速や流入量を測定することは難しい。そこで、溶融はんだ槽の液面高さが流入量に増大に従い上昇することに着目し、実験とシミュレーションの両者を行い、インペラーの周波数と流速の関係を求めた。

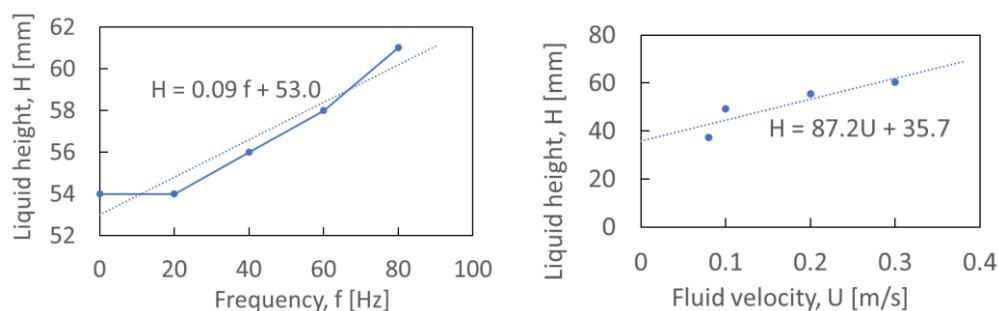


図6 インペラー周波数と流速の関係

同じ液面で、同じ流速であると仮定するとインペラー周波数 f と流速 U の関係は以下の式で表される。

$$U = 0.001f + 0.19 \quad (1)$$

図4に示すように溶融はんだ槽の底部には複数のノズルが設けられていて、その上部の液面ではノズルからの流れによって液面が盛り上がる。その液面の盛り上がりは全体に渡って均一であるが、底面からの流速を一様ですと、流れの下流側(図4の堰があるオーバーフロー側)で盛り上がりが見られない。これは、実際の装置では底面の下部に邪魔板を設けており、液面盛り上がり均一にしているためと考えられる。そこで図7に示す2種類の速度分布でシミュレーションを行った。その結果、オレンジ色で示す流速分布では下流側で盛り上がりは見られなかった。一方、青色の速度分布で行ったところ、液面上昇は実験と同様に全体的に盛り上がった。そのため、実際の装置では青色の速度分布になっていると考えられる。

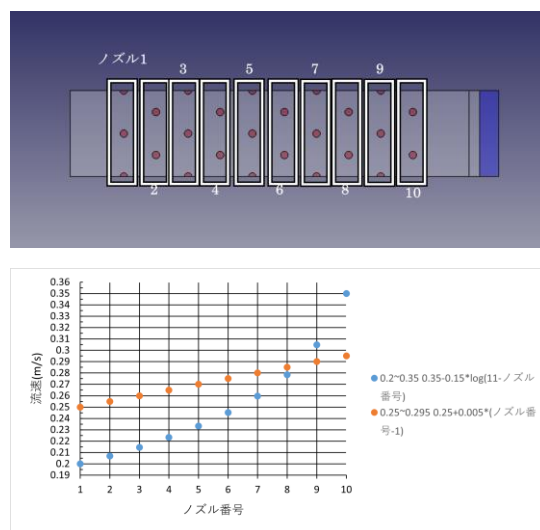


図7 流速分布の設定

3.4 気泡挙動の解析

次に気泡挙動の解析を行ったところ、図5に示す可視化結果で得られる気泡の動きよりシミュレーションの結果の方が大きいことが分かった。この原因に関して考察を行ったところ、気液界面にはんだの主成分であるスズが酸化した被膜があるためではないかと考えた。そこで酸化被膜の存在を検証するため、気液界面の境界条件を検討した。気液界面に酸化被膜がある場合、界面での流速は酸化被膜が動かない場合、速度0となり non-slip 条件となる。しかし VOF 法ではその解法上、界面での速度は液体と気体の混合速度で定義され、slip 条件となる。

そのため non-slip 条件を適用することが難しい。そこで、気体の粘度 μ_0 を変化させることで簡易的に non-slip 条件が再現できないか検討した。気泡の可視化結果では、ガラス板を溶融はんだに接触した瞬間からガラス板に塗布したフラックスが気化し、小さい気泡が発生し、時間の経過とともに近く同士の気泡が合体していき、大きい気泡に成長してく様子が観察された。この様子とシミュレーションとの比較を行った。

図9に気体の粘度を変えた時の気泡挙動を示す。粘度が空気の数値と100倍にした時は気泡が分裂し、実際の合体していく挙動と逆であった。粘度が500倍以上で可視化結果に見られる径が10mm以上の大気泡が安定して存在していることが分かる。また流れを生じさせたときは500倍でも分裂が起り、可視化結果に見られる大気泡を安定して再現するためには粘度を1000倍程度にする必要があった。また速度分布の結果から気液界面ではほぼ速度0であり、non-slip 条件が再現できていた。大気泡の安定性とシミュレーションでの速度分布の結果から、間接的に酸化被膜の存在が確認できた。

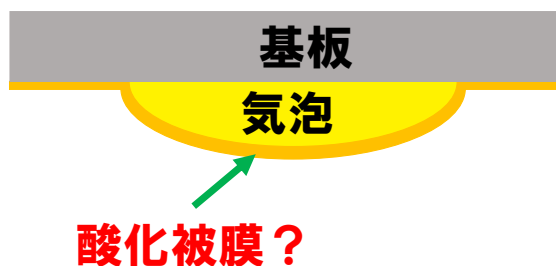


図8 酸化被膜のモデル図

4. おわりに

プリント基板のチップ部品のはんだ付け工程のうち、全面噴流工法におけるはんだ付け不良を解決するため可視化実験と数値シミュレーションを行った。その結果、原因と考えられる基板下の気泡が確認された。この気泡に関してシミュレーションを行ったところ可視化実験の気泡の動きが実際に異なることが判明した。これは酸化被膜の影響ではないかと考え、その存在を前提としてシミュレーションを行ったところ、

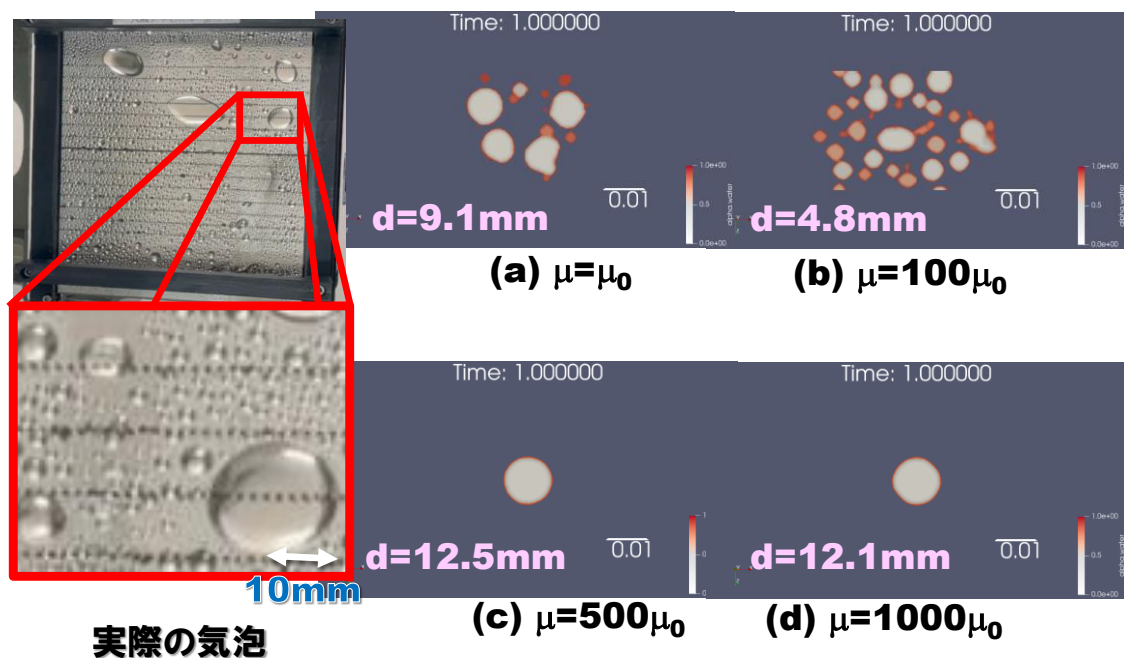


図9 気泡挙動に及ぼす気相の粘度の影響

間接的にその存在を確認した。酸化被膜がないと仮定したシミュレーションと比較して気泡の動きが小さく、また大気泡を生成する傾向が強いため、酸化被膜が気泡の除去にマイナスの影響があることが分かった。

5. 本研究の今後の計画

全面噴流工法におけるはんだ付け不良の原因と考えられる気泡を流れによって除去を行おうとした場合、酸化被膜の影響が大きいことが分かった。そのため、まずは窒素雰囲気下で実験を行い、酸化被膜がない状態での気泡の挙動を確認する。その上で、気泡が除去できる最適な流動パターンをシミュレーションで求める予定である。

6. その他

(1) 出願特許(タイトル・出願番号・発明者・特許権者など)

なし

(2) 投稿論文(タイトル・学会名等)

安藝拓真, 桑木賢也, 平野博之, 牧祥, 固体壁下に付着した液体金属内気泡に及ぼす流れの影響, 第33回日本流体力学会中四国・九州支部講演会, 2024年6月1-2日, 徳島大学

桑木賢也・安藝拓真, 大塚陽斗, 中村武, 光岡輝男, 長田和真, 固体壁下に発生する液体金属内気泡に及ぼす流れの影響, 化学工学会第90年会, 2024年年3月12-14日, 東京理科大学

(3) 本研究会の参加企業・団体名

大阪アサヒ化学株式会社 機器製作所(岡山県赤磐市山口 2122-3)