1706 フローハンダ付け工程の CFD シミュレーション (斜め方向引き上げの場合)

CFD simulation of flow soldering process (Case of oblique lifting)

○学 後藤 亮太 (富山県立大院) 正 中川 慎二 (富山県立大) 正 小泉 雄大 (コーセル)
正 畠山 友行 (富山県立大) 正 石塚 勝 (富山県立大)

Ryota GOTO, Shinji NAKAGAWA, Katsuhiko KOIZUMI, Tomoyuki HATAKEYAMA, Masaru ISHIZUKA
Toyama Prefectural University, Kurokawa 5180, Imizu, Toyama 939-0398, Japan

Flow soldering process is one of major soldering process used in the manufacture of electronics. One of the defects in soldering is a bridge, which connects adjacent components and results in a short circuit fault. It is necessary to clarify the conditions under which the bridge occurs. Flow soldering process with a simple model has been studied experimentally and numerically. The purpose of this study is to clarify the relation between the lifting velocity and the solder volume on the joint. The printed circuit board mounted with electronics components is dipped into a solder bath and detached from the bath at constant velocities. The angle between the PCB and the lifting velocity is 20 degree. CFD simulation qualitatively reproduced the experimental result.

Key words: Flow soldering process, Bridge, CFD, Solder volume

1. 緒言

電子機器の部品実装に採用されるハンダ接合方法の一つに、フローハンダプロセスがある。近年、電子機器の小型化に伴う部品間距離の減少や、生産効率の向上を目指した引き上げ速度の向上が必要とされている。これらは、隣接したリード同士が余剰なハンダで短絡する不具合(ブリッジ)の発生を誘発する。ブリッジは発生を防ぐため、現状では、基板設計の検討には試作と実験で、多くの工数が必要である。設計期間の短縮に向けて、ブリッジの起きない条件を予測したいという要求がある。

既報¹⁾では、単純な形状の部品モデルを用い、ハンダ槽から垂直方向に引き上げる場合を対象として、数値シミュレーションと実験を行った。境界条件および初期条件を適切に与えることで、CFD シミュレーションによって、実験結果を再現できることが明らかとなった。

本報では、より実際の製造条件に近い条件でのシミュレーションを行うことを目指し、基板の引き上げ方向を垂直から斜め上方へと変更した。基板と引き上げ速度方向の成す角度は 20° である。CFD シミュレーションにおいて、計算負荷を抑制しながら、実験を再現するために必要な数値モデルの構成方法および各種条件を明らかにすることを目的とする。

2. 実験内容

図 1 に本研究の対象であるフローハンダプロセス実験で用いた電子基板の形状を示す。樹脂基板には、高さ 3mm、幅 2mm の金属ランド部を設けた。ランド中央に部品を搭載する直径 1.2mm の穴があり、断面が 0.75mm×0.7mm のリード線を挿入する。リード線は基板から 3.0mm 突出している。

この基板を水平にして溶融ハンダ槽に浸けた後、一定の速度で斜め上方(基板に対して 20°)に引き上げた。この引き上げ速度を変化させ、リード線に残ったハンダの量を調べた。実験条件はハンダ槽温度が 250℃、引き上げ速度が 10, 50, 100, 200 mm/s であり、各速度 3 回ずつ実験を行った。

3. 解析方法

図 2 に解析モデルの全体図を示す。図 1 に示した基板形状が左右対称であることから、解析モデルとして、2 分の 1 モデルを採用した。リード線から離れた位置でのメッシュ数を減らすために円柱型モデルとし、ヘキサメッシュとポリヘドラルメッシュの複合メッシュを用いた。重要となるリード周りにはヘキサメッシュ、それ以外はポリヘドラルメッシュである。格子数は、ヘキサメッシュ部分で 198,484、ポリヘドラルメッシュ部分で 182,852 とした。

基板から突出したリード線の向きを重力方向と一致させた。基板とともに等速度で運動する領域をモデル化した。モデル全体が基板とともに移動している座標系に固定されていると仮定し、ハンダ液が基板から離れていく様子を、モデルからハンダ液が流出することで再現した。モデル側面は、基板の引き上げ速度ベクトルに平行とした。

図 3 に境界条件を示す。対称面には対称境界条件、リードや基板にあたる面および円柱側面には滑りのない壁面境界条件を与えた。ただし、基板とリードには異なる接触角を与えた。基板部およびリード部の接触角の値は、文献²⁾および予備実験から、それぞれ 135°と 43°とした。また、円柱側面にはハンダ槽液面の降下速度と同じ速度を与えた。流入境界条件から空気を速度一定の条件で流入し、流出境界条件から圧力一定条件でハンダを流出させた。流入空気の変えることで、ハンダ液面の平均降下速度が基板引き上げ速度と同じになるようにした。

解析にはオープンソース CFD「OpenFOAM1.4」を使用した。支配方程式は Navier-Stokes 方程式、連続の式であり、VOF (Volume of Fluid) 法により自由表面を計算した。表 1 に解析で使用した空気とハンダの物性値を示す。

Fig. 1 Dimensions of model

Fig. 2 Overall view of simulation model

Fig. 3 Boundary conditions

Table 1 Material properties

	Air	Solder
Density [kg/m ³]	1	7400
Kinetic viscosity [m ² /s]	1.48×10^{-5}	2.703×10^{-7}
Surface tension [N/m]	0.49	

4. 解析結果および考察

図4に引き上げ速度と残留ハンダ体積の関係を示す。横軸が引き上げ速度[mm/s]、縦軸が残留ハンダ体積[mm³]である。白抜き記号はブリッジが発生しないこと、黒塗り記号はブリッジが発生したことを表す。

実験結果と解析結果を比較すると、定量的に違いはあるが、引き上げ速度が増加するにつれて、基板に残るハンダ体積も増加する傾向は一致している。

ブリッジが発生するのは、実験では引き上げ速度が100mm/s以上、解析では120mm/s以上である。実験の100mm/sと解析の120mm/sにおける残留ハンダ体積はそれぞれ5.28mm³、4.65mm³である。また、解析において、ブリッジが発生しなかった110mm/sの残留ハンダ体積は3.42mm³であった。このことから、残留ハンダ体積がおよそ4mm³以上になるとブリッジが発生することが推測できる。

既報¹⁾の垂直引き上げの場合には、ブリッジが発生する残留ハンダ体積は5.66 mm³であり、ブリッジが発生しなかった残留ハンダ体積は3.25 mm³であった。リード線間の距離およびランド形状が同一である場合、残留ハンダ体積とブリッジ発生との関係は、引き上げ方向に依存しないと考えられる。

図5に引き上げ途中のハンダ液面形状を示す。シミュレーションではVOF値が0.5の等値面を表示することでハンダ表面形状を表現している。

実験と解析を比較すると、リード左側のハンダ槽での液面の形状が異なることが確認できる。実験のハンダ液面は、ほぼ平坦であるか、あるいは、リード線から離れると若干下がる。これに対し、解析結果では、リード線の後方（図の左）で、液面が上がっている。これは解析モデルに課した境界条件によるものである。解析モデルの円柱側面には滑りのない壁面境界条件を与え、接触角を90°とした。リード線と円柱側面が平行でないため、リード線の前方と後方で、ハンダ槽の液面が水平からずれる原因となる。

解析結果のハンダ槽液面を実験に近づけるためには、円柱側面での接触角を位置によって変化させる必要がある。現在のモデルでは、円柱側面に一つの境界条件を与えることしかできないため、モデルの改良が必要である。

図6に、引き上げ速度が50mm/sと200mm/sの場合について、ハンダ槽液面がリード間のハンダから分離する時刻の様子を示す。引き上げ速度の小さい場合には、基板からハンダが離れ、リード間にハンダが残らない。引き上げ速度の大きい場合には、リード下部でハンダが伸び、ハンダ槽液面側で切れる。そのため、基板に残るハンダ量が多くなる。このハンダの離れ方の違いが残留ハンダ体積に影響を与えていると考えられる。

5. 結言

部品を搭載した基板がハンダ槽から斜め方向に引き上げられる場合の数値解析を行い、実験結果と比較し、以下の知見を得た。

- ・ 引き上げ速度の増加により、残留ハンダ体積が増加する傾向は実験と解析で一致している。
- ・ 残留ハンダ体積が約4mm³を越えるとブリッジが発生する。

参考文献

- (1) 後藤ら, フローハンダ付け工程の CFD シミュレーション, 第22回計算力学講演会(2009) CD-ROM 1507
- (2) 高尾ら, 接触角計測システムを用いたはんだめね性評価技術の開発, エレクトロニクス実装学会誌 Vol.6 No.6 (2003), p.488-495.

Fig. 4 Solder volume as a function of lifting velocity

Fig. 5 Shape of solder surface (Side view; W=100 mm/s)

Fig. 6 Shape of solder surface (Front view; Simulation)