

鉛フリーソルダーペーストのぬれ性評価装置の研究開発 (第1報)

宮本 博永・平川 寛之・清水 章良・八代 浩二・宮川 和幸
平本 清*1・荘司 郁夫*2

Development of Evaluation Methods for Solder Wettability (1st Report)

Hironaga MIYAMOTO, Hiroyuki HIRAKAWA, Akio SHIMIZU, Kouji YATSUSHIRO
Wako MIYAGAWA, Kiyoshi HIRAMOTO*1 and Ikuo SYOJI*2

要 約

本研究で開発に取り組んでいるぬれ性の評価方法は、実際のリフロー実装環境下において、チップ部品の鉛直方向の変位を連続計測し、時間に対するそのプロファイル形状からぬれ性の評価を行うものである。一定の条件の下、ぬれ性の異なる2種類のはんだを使った実験を実施した。得られた変位プロファイルを所定の区間に分割し、それぞれの区間に対応する変位プロファイルについて検証した。その結果、ある区間に要する時間等を比較することにより、2種類のはんだ間のぬれの違いを評価できることがわかった。

1. 緒 言

はんだのぬれ性は実装不良の大きな要因の一つであり、電子製品の安全性及び品質に大きく影響している。最近では、チップ部品の小型化や扱いの難しい鉛フリーはんだへの移行に伴い、その傾向が一層顕著となっている。この問題を解決していくためには、はんだのぬれ性を定量的に評価していくことが必要であるが、残念ながら適切な評価方法は今のところまだ確立されていない。

本研究では、ぬれ性を評価するための新しい手法を開発することで、実装技術の向上を図り、製品の安全性及び品質の向上に繋げていくことを目的とした。

2. 実験方法

2-1 ぬれ性の評価方法

本研究で開発に取り組んでいるぬれ性評価方法の概要を図1に示した。本法は実際のリフロー実装環境下において、チップ部品の鉛直方向の変位を非接触センサーにより連続計測し、時間と変位の関係からぬれ性の評価を行うものである。

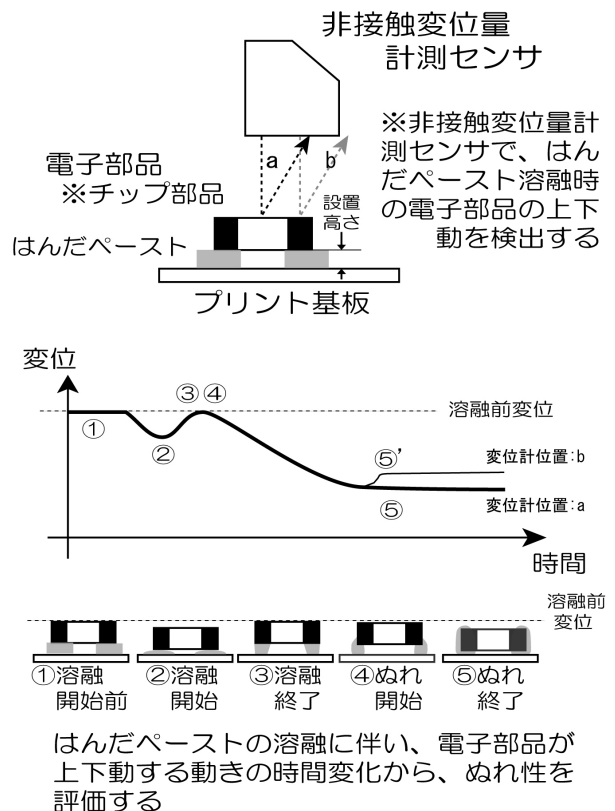


図1 ぬれ性評価方法の概要

*1 山陽精工株式会社

*2 国立大学法人群馬大学

2-2 はんだ，チップ部品，加熱等の実験条件

本実験では表 1 に示す 2 種類のはんだを使用した（以後，それぞれはんだ 1 及びはんだ 2 と呼ぶ）。

表 1 実験に使用したはんだ一覧

	化学成分	粒径 [μm]	フラックス 含有量[%]	粘度 [Pa·S]
はんだ 1	Sn-0.3Ag-0.7Cu	20-38	12.23	226
はんだ 2	Sn-3Ag-0.5Cu	20-38	12.22	199

チップ部品については Sn めっきが施された 1608 チップ型コンデンサーを使用し，ランド形状は，チップ部品へのぬれを明確にするため，小さめの形状（図 2）に設計した．使用するはんだの量は，チップ部品の片側で $0.6\text{mm} \times 0.8\text{mm} \times 120\mu\text{m}$ （高さ） $=0.0576\text{mm}^3$ で一定とした．これら実験の諸条件を表 2 にまとめた．また，加熱温度はリフロー実装時によく利用されている図 3 の加熱プロファイルを使用した．

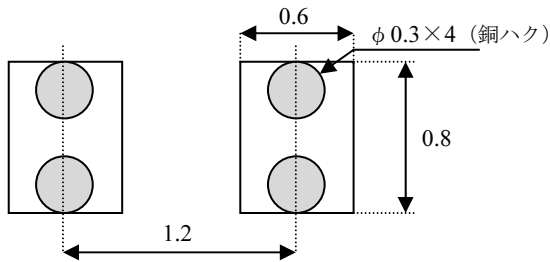


図 2 ランド形状

表 2 実験に使用した諸条件

チップ部品	1608 チップ型コンデンサー（Sn めっき）
基板	FR4 表面ブリフラックス処理 $t=0.8\text{mm}$
はんだ量	0.00576mm^3 ($0.6\text{mm} \times 0.8\text{mm} \times 120\mu\text{m}$)
加熱方式	輻射式加熱

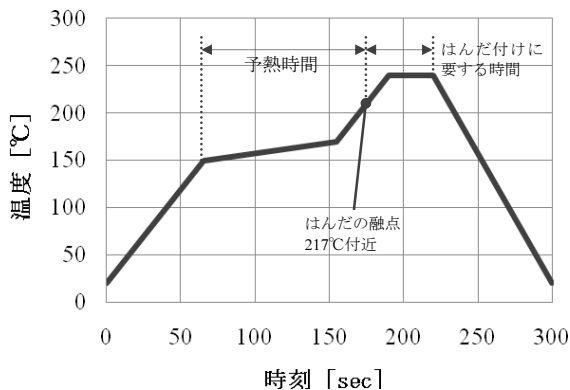
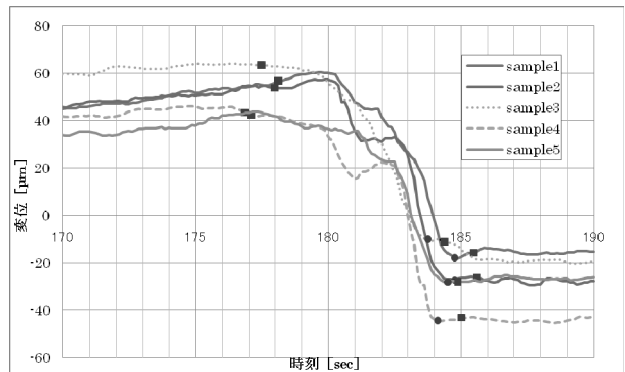


図 3 加熱温度プロファイル

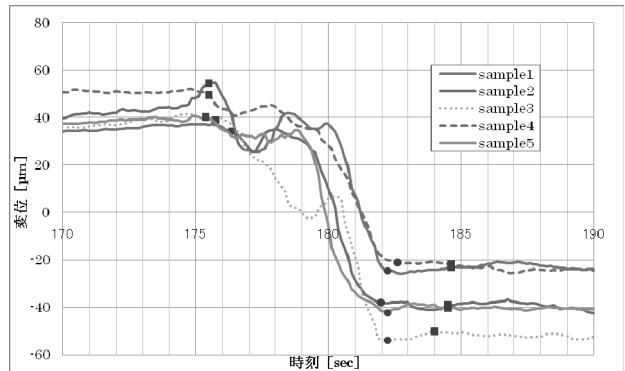
3. 結果及び考察

3-1 実験で得られた変位プロファイル

前述の条件は，実験の利便性等を考慮しつつ，実際のリフロー実装環境に極めて近い状況を再現しようとしたものである．最後に，チップ部品の設置高さを $100\mu\text{m}$ （はんだの初期高さが $120\mu\text{m}$ であることから，はんだ量は同じで，チップ部品を $20\mu\text{m}$ 上から押し込んだ状態と言える．）とし，実験を行った．なお，はんだ 1 及びはんだ 2 ともに製造直後のものを使用している．その結果，得られた変位プロファイルは図 4 のとおりである．



(a) はんだ 1 の変位プロファイル

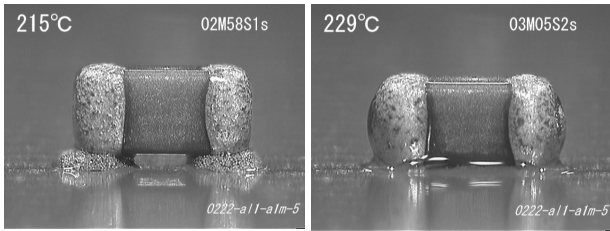


(b) はんだ 2 の変位プロファイル

図 4 変位プロファイル（設置高さ $100\mu\text{m}$ ）

最初に，目視による溶融開始時刻と濡れ完了時刻の計測を行った．それぞれの時刻の基準となる画像を図 5 に示す．溶融開始時刻は，隣接する粒形はんだ同士が一体になる瞬間であり，このとき同時に大量のフラックスが隙間からしみ出している．濡れ完了時刻は，溶融したはんだが，Sn めっき部分をぬれ上がりチップ部品上面に達する時刻を計測している．

そこでこれらの時刻を図 4 上にプロットした．■で挟まれた区間が，目視による溶融開始時刻から濡れ完了時刻までを表している（以後この間の時間をぬれ時間と呼ぶことにする）．なお，この時間は図 1 における区間①⑤に相当する．



(a) 溶融開始 (b) ぬれ完了

図5 溶融開始とぬれ完了時の様子

はんだ 1, はんだ 2 のどちらにもチップ部品の降下時の変位に大きなばらつきが見られる。特に はんだ 2 のように顕著に表れている。

ここで、部品が降下した直後の時刻（降下後最初の極値）を●でプロットした。次に、ぬれ完了時刻 T_e と極小値時刻 T_s との差 T_{wet} を表 3 に求めた。値は全て+であった。これにより、チップ部品が完全に降下した後に、ぬれ完了時刻、すなわち部品上面へのはんだ到達時刻を迎えていることがわかる。はんだ 1 とはんだ 2 を比較してみると、少なくとも 2 倍以上この値に差があることがわかる。はんだがチップ部品の側面及び上面をぬらすこの時間は、今後のぬれ性を評価する指標の一つとして重要である。

表3 目視によるぬれ時間とその平均値

はんだ 1 単位[sec]

	溶融開始 時刻: T_m	極小値 時刻: T_s	ぬれ完了 時刻: T_e	ぬれ 時間	T_{wet} $T_e - T_s$
sample1	178.10	184.75	185.50	7.40	0.75
sample2	178.00	184.75	185.60	7.60	0.85
sample3	177.30	183.88	184.30	7.00	0.43
sample4	176.90	184.13	185.00	8.10	0.88
sample5	177.10	184.50	184.90	7.80	0.40
平均値	177.48	184.40	185.06	7.58	0.66

はんだ 2 単位[sec]

	溶融開始 時刻: T_m	極小値 時刻: T_s	ぬれ完了 時刻: T_e	ぬれ 時間	T_{wet} $T_e - T_s$
sample1	176.40	182.25	184.60	8.20	2.35
sample2	175.50	182.00	184.30	8.80	2.30
sample3	175.70	182.25	184.00	8.30	1.75
sample4	175.50	182.63	184.60	9.10	1.97
sample5	175.30	182.25	184.50	9.20	2.25
平均値	175.68	182.28	184.40	8.72	2.13

3-2 ローリングの影響

実験時の映像を確認したところ、降下時にチップ部品

が大きく傾く場合のあることがわかった (図 6 参照)。この現象を図 7 のように定義し、ローリングと呼ぶことにする。

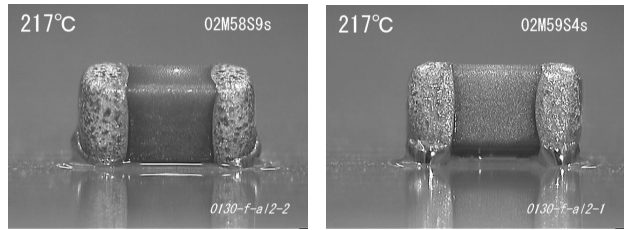


図6 ローリングの様子

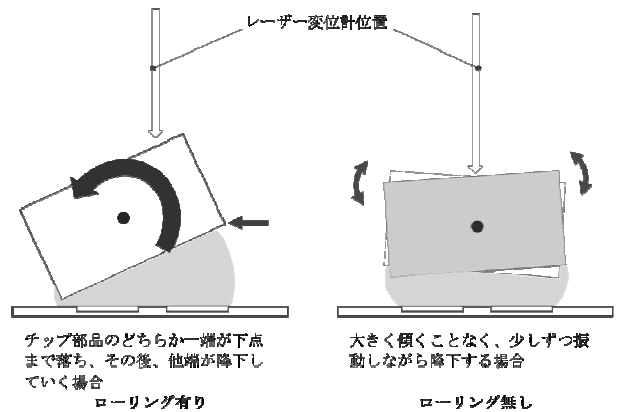


図7 ローリングの定義

ローリング有りと無しの場合におけるはんだのぬれ時間の比較を行ってみた。はんだ製造直後のデータ 5 サンプルだけでは、比較するのに不十分と思われるため、製造後一ヶ月後のサンプル 5 データも併せて用いた。表 4 ではその平均値を求めている。なお、図 4 (a) では、sample2 においてのみ明確なローリングが見られている。また、図 4 (b) では、全ての sample でローリングを確認している。

表4 ローリングの有無と濡れ時間

はんだ 1	濡れ時間 (平均)	はんだ 2	濡れ時間 (平均)
ローリング 有り (N=3)	6.80	ローリング 有り (N=1)	8.56
ローリング 無し (N=7)	7.25	ローリング 無し (N=9)	8.70

サンプル数が少ないため参考値程度であるが、ローリングの有無はぬれ時間に大きな影響がないものと思える。図 4 の変位プロファイルをもみても、ローリングの有無やその程度は、変位には影響を及ぼすものの、ぬれ時間にはそれほど影響を与えていないことがわかる。

3-3 設置高さとプロファイルの関係

ここでは、チップ部品の設置高さが変位プロファイルに及ぼす影響について検討した。前項と同じ条件で、設置高さを 100 μm から 0 μm まで 20 μm 刻みで変化させることにより実験を行った。(なお、印刷したはんだ上にチップ部品を押し込んでいるため、設置高さ 0 μm は実際には 10 μm ~20 μm の高さにしかなっていない)。はんだ 2 における変位プロファイルを図 8 に示す。

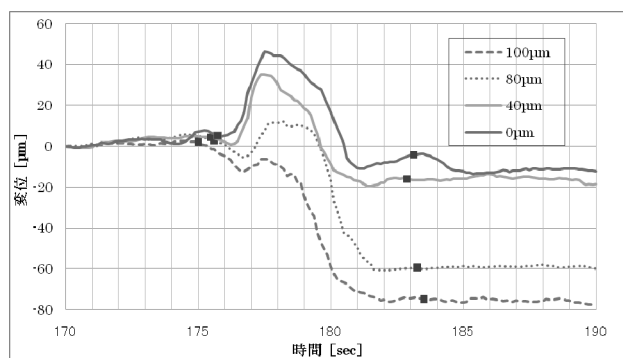


図 8 設置高さと変位プロファイル (はんだ 2)

比較の視認性を得るために 170 秒時の変位が 0 μm となるように各プロファイル曲線を平行移動させている。設置高さが 100 μm の場合の変位は、熔融開始後、僅かに上昇が認められるものの全体としては降下傾向にある。設置高さを 80,40,0 μm と低くするに従い、一端上昇してから降下するようになり、しかもピーク値が大きくなっているのが分かる。また、ぬれ完了時刻は設定高さによらずほぼ同時刻であった。

図 8 のような設置高さによる変位プロファイルの違いは、映像を確認することで図 9 のように説明できる。

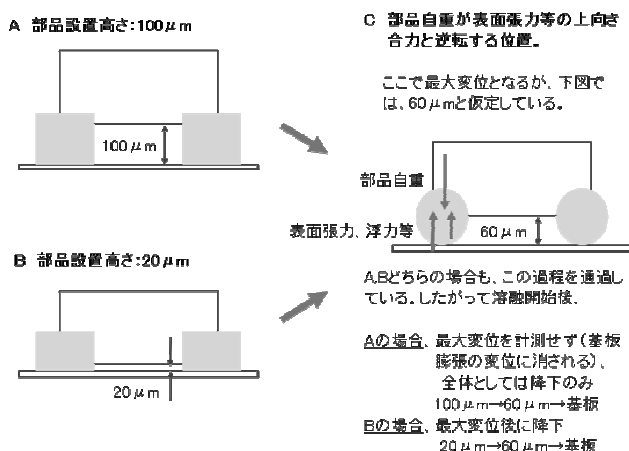


図 9 チップ部品設置高さと変位の関係

設置高さがどの場合も図 9 における過程 C を通過している。また、設置高さを 0 μm としたときに最も高い変位を計測する。

次に、設置高さを 0 μm と 100 μm とした場合、ぬれ時間にどのような関係があるのかを調べた。

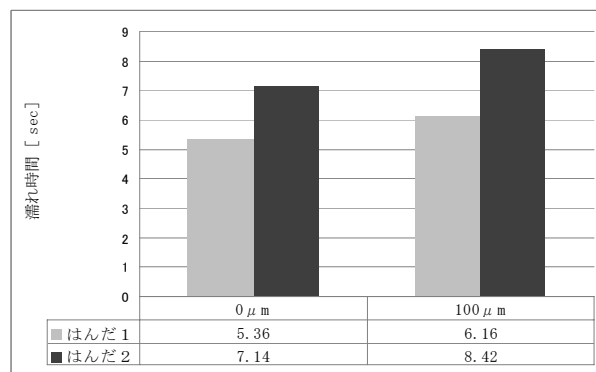


図 10 設置高さとぬれ時間の関係

図 10 は、はんだ 1 及びはんだ 2 についてそれぞれ 0 μm , 100 μm の設置高さで実験し、目視による測定値からぬれ時間の平均値 (5 サンプルずつ) を求めたものである。なお、はんだはそれぞれ製造後 2 ヶ月後のものを使用した。

はんだ 1, はんだ 2 とともに設置高さが低い 0 μm のほうでぬれ時間が短くなっていることがわかる。次に、はんだ 1 とはんだ 2 のぬれ時間の比を求めてみると、設置高さ 0 μm のとき、はんだ 1/はんだ 2=0.75, 設置高さ 100 μm のとき、はんだ 1/はんだ 2=0.73, となっており、ほぼ同じ値であった。ぬれ時間をぬれ性評価の指標として使うときは、評価するはんだ間で設置高さを同一にする必要がある。

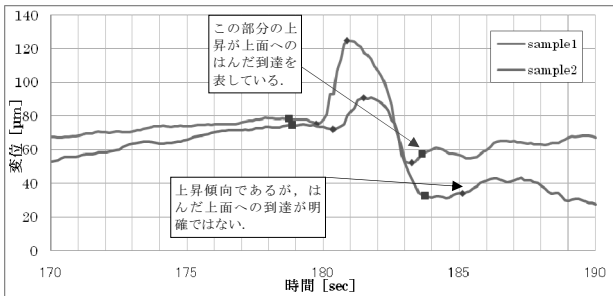
3-4 変位プロファイルからぬれ性の評価

設置高さを 0 μm に設定することで、ぬれの過程において、変位のピーク値が必ず計測できることを確認した。再現性のあるこのピーク値を掴むことは比較的容易である。後は、ぬれ完了時刻をプロファイル上で認識できれば、区間③⑤ (図 1) に要する時間を一定の手順により算出することが可能となる。一方で、Sn むっきが施されたチップ部品両端部では、ぬれが十分に進行すると、はんだはチップ部品上面までぬれ上がる。そこで、レーザー変位計をチップ部品上面 (図 1 の b 参照) に当て、その部分におけるはんだのぬれが計測できないか実験を試みた。なお、使用したはんだは製造後 2 ヶ月経過したものであった。

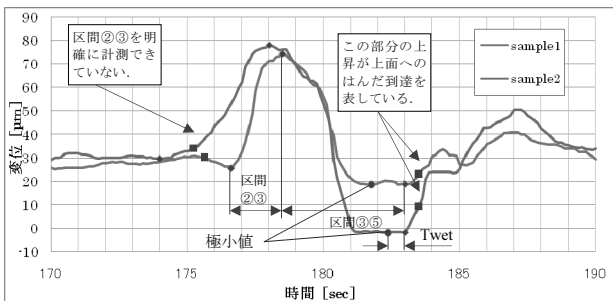
そのとき得られた変位のプロファイルが図 11 である。■で挟まれた区間はこれまでと同様に、目視により計測したぬれ時間である。

図 11 から、チップ部品の降下後にしばらくして、変位が上昇している様子が分かる。目視によるぬれ完了

時刻と比較してみたところ、この時刻とよく一致している。はんだは部品上面に到達した後も、さらに下からの濡れ上がりで、変位は一定時間上昇を続けることが映像より確認されている。目視によるぬれ完了時刻が、変位の最大点と一致していないのはこのためである。



(a) はんだ 1



(b) はんだ 2

図 11 めっき部分を計測した変位プロファイル

これらのことを踏まえ、変位プロファイルから変位ピーク値を求めるとともに、図 1 の②及び⑤に相当する時刻を 2 階差分値により得られる変曲点と近似して求めた。その後、それら値から区間②③及び区間③⑤の時間 (図 11 参照) を算出し表 5 にまとめた。

表 5 変位プロファイルから求めた区間②③、③⑤に要する時間

	はんだ 1 単位[sec]		はんだ 2 単位[sec]	
	時間 ②③	時間 ③⑤	時間 ②③	時間 ③⑤
sample1	1.25	2.38	2.13	4.50
sample2	1.38	3.63	4.13	5.00
sample3	1.88	1.88	3.38	3.13
sample4	1.50	2.88	2.25	3.13
sample5	3.75	3.25	2.88	5.63
sample6	2.38	2.13	5.50	4.25
sample7	1.38	2.50	2.25	3.63
平均	1.93	2.66	3.21	4.18

表 3 の目視によるぬれ時間ははんだ 2 のほうが長か

ったが、変位プロファイルから算出した時間も、はんだ 2 のほうが長く同様の結果が得られたことになる。

ただし、はんだ 1、はんだ 2 ともに得られた値のばらつきが大きい。特に区間②③において顕著に表れている。これは、図 11 (b) sample2 からみてもわかる通り、サンプルによっては区間②③が明確に計測されず、結果として区間①③の時間が算出されてしまったことによると考えられる。

計算結果をさらに正確にするため、目視による溶融開始時刻 (前述したとおり、図 1 の①に相当) を利用した。これによるとはんだ 1 及びはんだ 2 の平均溶融時刻はそれぞれ、178.78[sec]、175.88[sec]であった。これらの値を用いて、プロファイルから区間①③に要する時間を算出した。さらに、変位プロファイルから求めた Twet 値とともに表 6 に示した。

表 6 変位プロファイルから求めた区間①③に要する時間と Twet

	はんだ 1 単位[sec]		はんだ 2 単位[sec]	
	時間 ①③	Twet	時間 ①③	Twet
sample1	2.09	0.13	2.62	1.25
sample2	2.72	1.13	2.12	0.63
sample3	1.59	0.00	2.87	0.50
sample4	2.22	0.00	2.12	0.00
sample5	2.84	0.13	1.87	0.00
sample6	2.72	0.13	1.87	0.38
sample7	2.34	0.00	1.99	0.38
平均	2.36	0.21	2.21	0.45

区間①②に要する時間は、はんだ 1、2 間でほとんど差のない値を示している。これまで、ぬれ時間や区間③⑤に要する時間が、全てはんだ 2 のほうが大きい値であっただけに、このことは注目すべき点である。

これは、表面張力が高くぬれの悪いはんだ²⁾の場合、区間①→③へ移行が素早く進行すると考えられる。しかもぬれにくい分、最大変位は高くなることが予想される。ただ、ここでのデータは、最大変位におけるデータの信頼性が疑わしい (比較的小さい面積で緩やかな凸型になっているめっき部 (図 5 参照) が測定位置のため、振動によるノイズが大きい) ため、これを確認することが難しい。そこで、図 10 の実験時に得られたデータからはんだ 1 及びはんだ 2 の最大変位の平均値を算出してみた。その値は、はんだ 1 が 35.0μm、はんだ 2 で 45.4μm であった (それぞれ、170 秒における変位を 0μm とした)。

したがって、ぬれの悪いはんだは、区間①③に要する時間が短く、また最大変位が高くなる傾向があると考えられる。

これまでの結果から、2 つのはんだ間のぬれ性は次の比をもって評価できる。

表 7 2 種類のはんだ間のぬれ性評価の指標

	はんだ 1	はんだ 2	参 考
区間③⑤ b [sec]	2.66	4.18	小さい値ほどぬれやすい。 はんだ1/はんだ2 = 0.64
T _{wet} [sec]	0.21	0.45	小さい値ほどぬれやすい。 はんだ1/はんだ2 = 0.47
H _{max} /a	14.8	20.5	小さい値ほどぬれやすい。 はんだ1 H _{max} =35.0 μm a = 2.36 [sec] はんだ2 H _{max} =45.4 μm a = 2.21 [sec] はんだ1/はんだ2 = 0.72

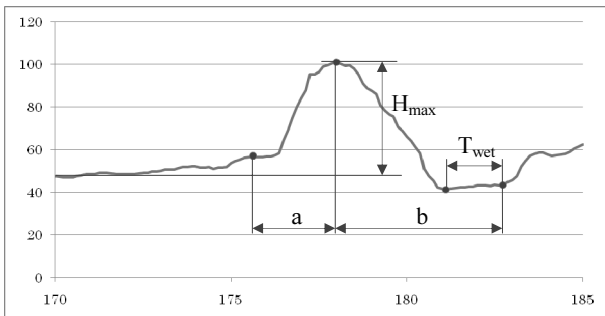


図 12 ぬれ性評価に用いた各データ

4. 結 言

一定の条件の下、ぬれ性の異なる 2 種類のはんだを使った試験を実施し、図 1 中①⑤の各区間に対応する変位プロファイルについて検証することで、はんだ間のぬれの違いについて検証した。その結果は次のとおりである。

- 1 チップ部品設置高さを、実際のリフロー実装条件に近づけ 100μm 程度の値とした時、最大変位 H_{max} は明確に計測されない場合がある。逆に、0μm に近づけることにより必ず計測することができる。
- 2 時刻③後のチップ部品降下時の変位の傾きは、ローリングの影響等によりサンプルごとのばらつきが大きい。区間③⑤に要する時間はほぼ一定であった。
- 3 Sn めっきが施されたチップ部品両端部では、ぬれが十分に進行すると、はんだはチップ部品上面までぬれ上がる。この部分の変位を計測することで、ぬれ完了時間⑤' を明確に計測することができる。2 種類のぬれの異なるはんだ間で区間③⑤' の時

- 間（または、チップ部品の側面と上面をぬらす時間 T_{wet}）を比較したところ、明確な違いを示した。
- 4 ぬれにくいほど、最大変位が高くなり、区間①③に要する時間 a が短くなるという結果が得られた。2 種類のぬれの異なるはんだ間で H_{max}/a の値に明確な違いがみられた。

参考文献

- 1) 三瓶英之：表面技術, Vol.58, No.4, P219. (2007)
- 2) JIS C 60068-2-20 (1996).
- 3) JIS C 60068-2-54 (1996).