

平成 28 年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「錫地金中の微量元素に着目した低コスト鉛フリーはんだ合金の開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 3 月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人 千葉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
1-2 研究体制	5
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論	6
2-1 微量元素の影響を検知するはんだ付け性評価法の確立【1】	6
2-2 錫地金中不純物におけるはんだ付け性への影響元素の特定【2】	7
2-3 はんだ付け性に優れる低コスト鉛フリー合金の開発【3】	8
2-3-1 高Sn はんだ（低コストはんだ）の開発【3-1】	9
2-3-2 高Bi はんだ（高温はんだ）の開発【3-2】	10
2-3-3 Sn-Bi 共晶系はんだ（低温はんだ）の開発【3-3】	12
2-3-4 川下ユーザによるサンプル評価【3-4】	15
2-4 販路開拓【4】	15
第3章 全体総括	15
3-1 研究開発成果	15
3-2 研究開発後の課題	16
3-3 事業化展開	16
3-3-1 想定市場について	16
3-3-2 事業化見込みについて	17
3-3-3 今後のスケジュールについて	17

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

□目的及び目標

電機、自動車等の産業分野ではグローバルな価格競争が進む中で、主要生産材である“はんだ”の低価格化の強い要求がある。特性の良いはんだとするために、高価な銀等を添加することが高価格の原因である。そこで、主成分である錫地金の銘柄によってはんだ特性が異なることから、地金中の不純物の影響が大きいことに着目し、はんだ特性の阻害元素および改善元素が何かを明確化する。そして、不純物中に阻害元素が少ない錫地金銘柄を選択するとともに、改善元素を追加添加することで、はんだ特性の向上を図る。この方法で、銀なしの低価格なはんだ合金の特性向上により低コスト化を実現する。

□従来技術の課題

- 1) 鉛フリーはんだの主成分である錫地金の特性が銘柄で異なるため、銘柄変更時は多額の費用を掛けて信頼性試験を行う必要がある。
- 2) 良好なはんだ特性を得るために、銀等の高価な金属を添加してはんだ合金にしている。

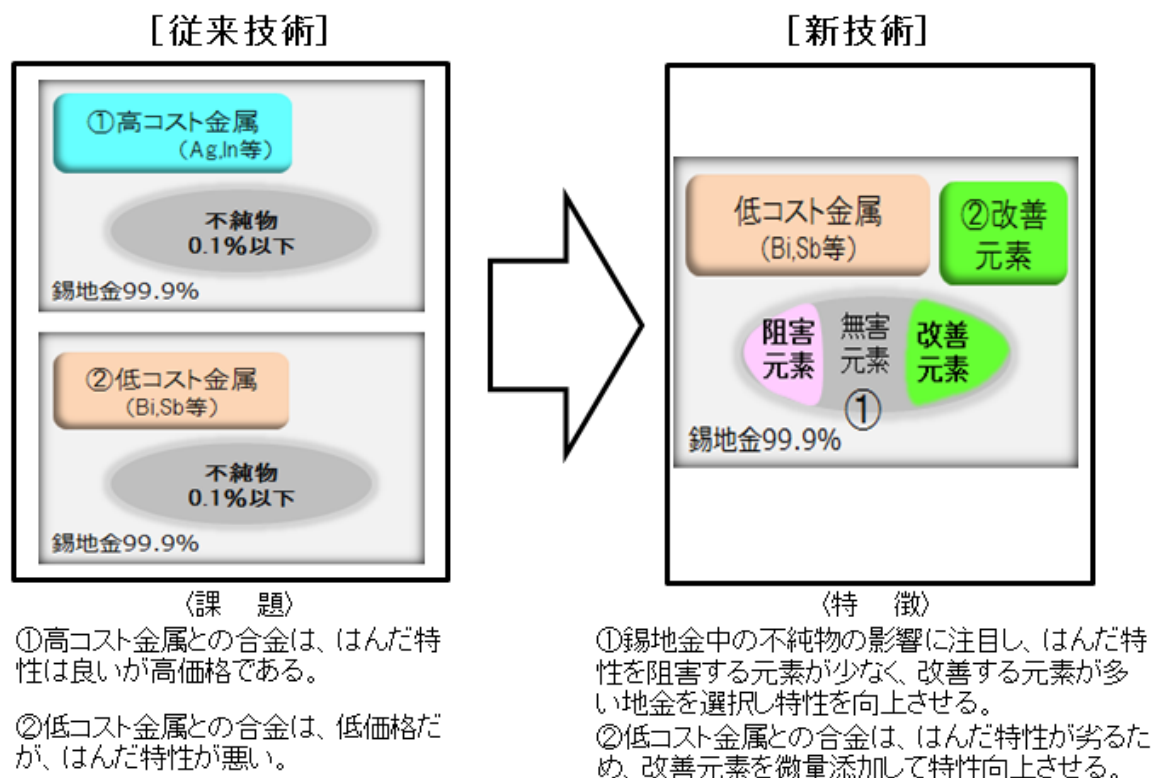


図1 従来技術と新技術の比較

□新技術を実現するために解決すべき研究課題

- 〔1〕微量元素の影響を検知するはんだ付け性評価法を確立する。
- 〔2〕錫地金中不純物におけるはんだ付け性への影響元素が何かを特定する。
- 〔3〕はんだ付け性に優れる低コスト鉛フリー合金として、耐熱性のある高温はんだ及び実装エネルギーを削減する低温はんだを開発する。

中小企業の特定期間のものづくり基盤技術高度化指針において、以下の項目に対応する。

（九）複合・新機能材料に係る技術に関する事項

1 複合・新機能材料に係る技術において達成すべき高度化目標

（3）川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

エ. 低コスト化

はんだのユーザである電子・電機メーカー、自動車メーカーなどの川下製造業者は、グローバルな価格競争が進む中で、製品原料となるはんだの低コスト化が喫緊の課題となっている。世界経済の中で資源高騰が進み、はんだの主要な原料である錫、銀、銅及び鉛は、表 1 に示す価格推移を示している。5 年前の 2009 年と 2014 年を比較すると各材料ともに約 2 倍にもなる高騰を示している。さらに、環境問題もはんだのコストアップを引き起こしている。2006 年に欧州で RoHS 指令が施行され、有害物質の電気・電子機器への使用を制限するため、鉛等の 6 物質が有害物質として使用制限された。このため、古来はんだの主流であった有鉛はんだ（錫鉛合金）は、これを機に“鉛フリーはんだ”に置き換わってきた。

代表的有鉛はんだ（Sn-37%Pb）と鉛フリーはんだ（Sn-3.0%Ag-0.5%Cu）を比較すると、前者 1524 円/kg に対し、後者 4209 円/kg と約 3 倍にもなる。

表1 錫、銀、銅および鉛の価格推移(円/kg)

地金	2009年1月	2014年1月
錫(Sn)	1,046	2,293
銀(Ag)	33,151	66,400
銅(Cu)	295	758
鉛(Pb)	114	213

なお、パワー半導体では、鉛を 85%以上含有する高鉛はんだが使われている。理由は、高鉛はんだは柔らかいため、半導体チップと基板間の熱膨張差による熱ひずみがあっても追従変形するためにクラックが生じないという特長があるからである。代替材料が見出されていないことから現在例外扱いされているが、2018 年更改予定の ELV 指令（使用済み自動車が環境に与える負荷を低減するための欧州連合(EU)での指令）では認められない可能性が高い。したがって、パワー半導体用の低コスト鉛フリーはんだは、早急の開発しなければならない状況にある。このように、原材料の高騰と環境問題による鉛フリー化により、はんだ合金のコストアップが著しいため、はんだ合金の低コスト化は、電子・電機メーカー、自動車メーカーなどから強く求められている。

研究開発の背景

[1] 微量元素のはんだ特性への影響

はんだの主原料である錫地金には、産地や精錬所により様々な銘柄がある。はんだに使われる錫地金の各銘柄の純度は、いずれも 99.9%であるが、わずか 0.1%の不純物ではんだ特性が変わるためユーザは錫銘柄を指定している（図2）。

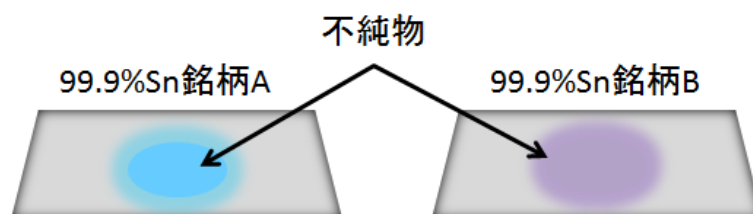


図2 純度が同じ錫地金も銘柄によって不純物構成が異なる

一方、埋蔵量最大の中国は錫を戦略物質として輸出を停止しており、コンゴ産錫は米国の「金融規制改革法」の中で「紛争鉱物」として使用が禁止されている。さらにインドネシアが 2013 年 8 月末から輸出規制を強化したため国際在庫が減少している等、現在錫地金の供給が非常に不安定になっており、指定錫地金の供給が突然ストップする恐れが出てきた。はんだ接合は電子機器の故障原因になるために、1 年以上の長期間にわたる様々な信頼性試験を経て最適のはんだ材料が選定されているため、銘柄の変更をするためには、多大な経費（車載関連では億円単位）をかけて信頼性試験を再び実施することになる。この様に錫銘柄の変更は容易ではなく、錫地金は、第二のレアアース問題になりかねないと危惧されている。銘柄によってはんだの特性が変わるのは、0.1%以下の不純物の構成が異なるためである。例えば微量元素の影響例としては、ゲルマニウムやコバルトがあると濡れ性が良くなる等の報告がある。よって、どの元素がはんだ特性に影響するのかを明らかに出来れば、成分分析値のみで錫地金の良否を判断でき、多大な時間と経費のかかる信頼性試験を回避できる。

[2] 銀を含まないはんだ合金の必要性

“はんだ”は、錫と鉛の合金が古来から主流であったが、環境問題から鉛の不使用が進んでいる。この結果、錫を主成分（9割以上）とし銀、銅などの元素を添加した合金が主流となっている。

図3は、鉛フリー化による合金コストの増加を示す。錫鉛合金の代表は Sn-37%Pb であり、鉛フリー合金の代表は Sn-3.0%Ag-0.5%Cu である。前者では 37%Pb のコスト割合はわずか 5%であるが、後者ではわずか 3%Ag のコスト割合は 5 割近くを占めている。すなわち、主成分である錫の約 30 倍ものコストである銀を含む限り、大幅な低コスト化は困難である。したがって、はんだの低コスト化には高コスト金属を含まないはんだ合金の開発が必須である。

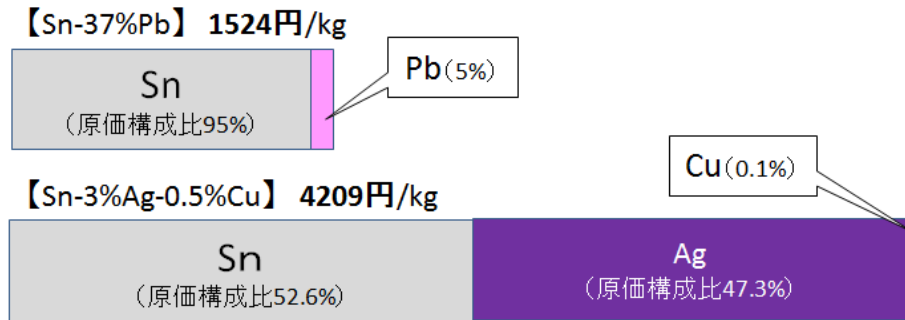


図3 鉛フリー化によるはんだ合金コストの増大

②高度化目標

エ. コスト低減に向けた取組

はんだ主成分である錫地金の銘柄によって特性が左右されることから、不純物微量元素の影響に着目し、阻害元素と改善元素を明確かつ定量化する。そして、不純物中に阻害元素が少ない錫地金銘柄を選択するとともに、改善元素を追加添加することで、はんだ特性の向上を図る。この方法で、銀なしの低価格なはんだ合金を特性の良いはんだとすることで低コスト化を実現する(図4)。

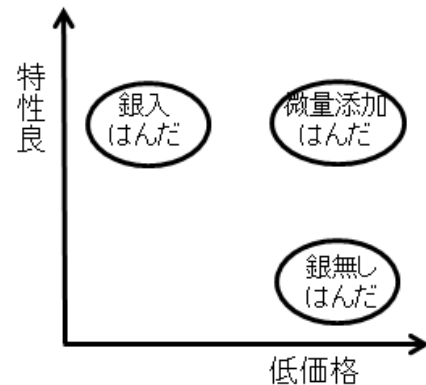


図4 低コストはんだのポジション

【1】微量元素の影響を検知するはんだ付け性評価法の確立

【1-1】評価試料の作製

はんだ組合メーカの生産使用材料から集める錫地金を8銘柄以上とする。成分分析においては、不純物量第3位元素までの測定ばらつきを5%以内とする。

【1-2】各種評価法の比較評価

銘柄間の濡れ性の違いを最も高い感度で検知できる試験法をはんだ特性の評価方法として選択する。銘柄間の特性値に有意水準5%の有意差で検知できること。

【2】錫地金中不純物におけるはんだ付け性への影響元素の特定

【2-1】重回帰分析による錫地金におけるはんだ付け性影響元素の推定

各不純物元素のはんだ特性への影響度を数値化するため、各銘柄錫のはんだ特性を各不純物元素濃度と影響度係数(偏回帰係数)の一次式で表わす。重相関係数は0.8とする。

【2-2】単体元素添加5N錫のはんだ付け性評価と影響検証

【2-1】で得た偏回帰係数(各元素の影響度数)の絶対値が大きい元素について、高純度錫(5N)に単体で添加することではんだ特性が大きく変化することを再確認する。元素の影響度を個別に評価することにより、【2-1】で求めた偏回帰係数の修正を行い、重相関係数を0.8から0.9にする。

【3】はんだ付け性に優れる低コスト鉛フリー合金の開発

下記 3 種の開発はんだの材料コストは、現行鉛フリー代表合金の半分以上を目標とする。

【3-1】高 Sn はんだ（低コストはんだ）の開発

Ag を含まない Sn-0.7Cu 共晶系の成形はんだの濡れ性を改善する。ニッケル板への接合面積率は 50～70%に収縮するが、これを 90%以上に改善する。

【3-2】高 Bi はんだ（高温はんだ）の開発

高 Bi 系はんだの延性と濡れ性を改善する。現状、引張試験での破断伸びは 0.1%であるがこれを 1%以上に改善する。銅板への濡れ広がり率を現状の 80%から 90%以上に改善する。

【3-3】Sn-Bi 共晶系はんだ（低温はんだ）の開発

Sn-Bi 共晶系合金の延性を改善する。現状、引張試験での破断伸びは 25%であるがこれを 50%以上に改善する。

【3-4】川下ユーザによるサンプル評価

上記 3 種の開発はんだが、ユーザ実機に適用可能であることを確認する。

【4】販路開拓

既存ユーザでのサンプル評価、展示会、社内セミナーで販路開拓を行う。

1-2 研究体制

分類	所属	研究者等
事業管理機関	公益財団法人 千葉県産業振興センター	田畑靖司
研究開発実施機関	二ホンハンダ株式会社開発部	三谷 進(PL) 渡邊 元 上方祥平 小川秀一
	学校法人東京電機大学 工学部機械工学科 教授	斎藤博之(SL)
アドバイザ	東京半田錫工業協同組合	山本晴一
	富士電機株式会社生産調達本部	渡邊裕彦
	NTT デバイスイノベーションセンタ	渡辺正満

1-3 成果概要

- 1) 流通している 3N 錫地金の成分分析を行い不純物の実態を明らかにできた。さらに、20ppm 以上含有される不純物元素 7 種と各種地金錫の濡れ性値とで重回帰分析を行い、濡れ性を改善または阻害する元素とその影響度を明らかにすることができた。
- 2) 高価な銀を含まない 99%以上の高 Sn はんだは、低コストであるが成形品の濡れ性が良くない。そこで、種々の微量元素の効果を調べた結果、顕著な濡れ性を改善できる元素を見出すことができた。
- 3) 有鉛高温はんだの代替材料として、高融点の Bi があるが、著しく脆いことが理由で実用化されていない。このため種々の微量元素の効果を調べた結果、脆さを大幅に改善す

ることができるようになった。ただし、製品仕様については、追加検討が必要であることが分かった。

- 4) 低温はんだとして知られる Sn-Bi 共晶合金の融点は、はんだ接合部に衝撃が加わると亀裂が生じる恐れがあることから、広く使用されていない。そこで、耐衝撃性を向上させるため元素の微量添加による Sn-Bi 共晶はんだの延性改善を検討した。各種元素を微量添加した各種はんだ合金の引張試験を行った結果、延性を大幅に向上させる元素を見出した。ただし、製品仕様については、追加検討が必要であることが分かった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

ニホンハンダ株式会社 開発部 三谷進/ 宮原潤

TEL 0436-60-7688 FAX 0436-60-7689

s-mitani@nihonhanda.com j-miyahara@nihonhanda.com

第2章 本論

2-1 微量元素の影響を検知するはんだ付け性評価法の確立【1】

1) 評価試料の作製【1-1】

(平成26年度実施) ニホンハンダ(株)

平成 26 年度は、7 種の銘柄錫を入手した。各地金の不純物は、グロー放電質量分析法 (GDMS)、ICP 発光分光分析およびスパーク放電 発光分光分析 (SPARK) の 3 種の分析法で定量化した。この結果、純度は同じ 99.9% でも各地金の不純物構成が異なることを明らかにした。

2) 各種評価法の比較評価【1-2】

(平成26年度実施、平成27年度実施) ニホンハンダ(株) 東京電機大学

本開発では、微量元素のはんだ付け性への影響を明らかにすることを目標としている。ただし、はんだ付け性には様々な要素があるので、表2に示す様々な評価方法を実施し、各不純物元素のはんだ付け性への影響の差異を検知した。

表2 微量元素のはんだ付け性への影響評価のための各種濡れ性試験法

評価試験名	試験法概要
メニスコグラフ法	溶融はんだ浴に試験片を一定速度で押し込み、濡れるまでの時間を測定。
セシルドロップ法	窒素雰囲気中で溶融はんだを吐出し、液滴サイズで表面張力を測定。
酸化膜対流温度測定法	窒素中ではんだを昇温し、表面酸化膜が内部へ取り込まれる温度を測定。
成形はんだ濡れ面積測定法	成形はんだを溶融させ、加熱前の面積と接合面積の比率を測定。
酸化膜電位測定	酸化被膜を有するはんだがイオンとして溶解する電流を測定。
酸化膜厚測定法	定電流を用いることにより酸化膜厚の測定と膜成分の同定を同時測定

平成 26 年度に実施したセシルドロップ法では不純物元素の差異を明らかにできなかった。平成 27 年度は、その他の試験法を試みた。その中で、メニスコグラフ法と成形はんだ濡れ面積測定法では、8 種の銘柄錫で特性値の違いを示し、不純物元素の差異を検知できることが分かった。一方、酸化膜対流温度測定法では、異なる銘柄錫でも明確な差異を示さず、特性比較試験法として不適であることが明らかになった。なお、酸化膜厚測定法は、電気化学的にナノレベルの錫の酸化膜厚を測定しようと試みたものであるが、精度よく測定できるようになった。しかし、不純物元素の差異で酸化膜が大きく変化していないことから、不純物差異の検出試験法としては使用できない。ただし、はんだ付け性は、酸化膜の影響を強く受けることから、はんだ合金の特性評価には有効な試験法であり、今後の製品開発には活かせる。

2-2 錫地金中不純物におけるはんだ付け性への影響元素の特定【2】

1) 重回帰分析による錫地金におけるはんだ付け性影響元素の推定【2-1】

(平成 27 年度実施) ニホンハンダ(株) 東京電機大学

8 種の銘柄錫の不純物元素量とのメニスコグラフ法および成形はんだ濡れ面積測定法による各測定結果について重回帰分析を行った。その結果下記のことが明らかになった。

- ① 錫地金の濡れ性に影響するのは、20ppm 以上含有する 7 種の不純物元素である。
- ② メニスコグラフ法における濡れ開始時間 T_o は、ソルダペーストのはんだ付け性の評価値であり、ぬれ面積法での不濡れ面積率 R_s は、成形はんだのはんだ付け性の評価値である。
- ③ メニスコグラフ法及びぬれ面積法における濡れ性改善元素および濡れ性阻害元素の元素数は表 3 のとおりである。

表 3 メニスコグラフ法とぬれ面積法による各元素のはんだ付け特性への影響

評価法	濡れ性改善	濡れ性阻害
濡れ開始時間 T_o	4 元素	3 元素
不濡れ面積率 R_s	3 元素	4 元素

2) 単体元素添加 5N 錫のはんだ付け性評価と影響検証【2-2】

(平成 27 年度実施) ニホンハンダ(株) 東京電機大学

8 種の銘柄錫は、いずれも純度 3N (99.9%) であり、実態として総量約 500ppm 未満の不純物を含んでいる。不純物元素は多種あるが、20ppm 以上の 7 元素がメニスコグラフ法の測定値 (濡れ開始時間 T_o) に影響を与える。これら 7 元素が同時に存在するが、相互作用が無い前提で重回帰分析を行い、各元素の影響度を算出した。しかし、相互作用が無いことは仮説であり、この仮説の確認が必要である。また、錫地金中に 20ppm 以上含有する元素の影響度は調べられるが、20ppm 未満の他元素の影響についても合金開発を行う上で知りたいところである。

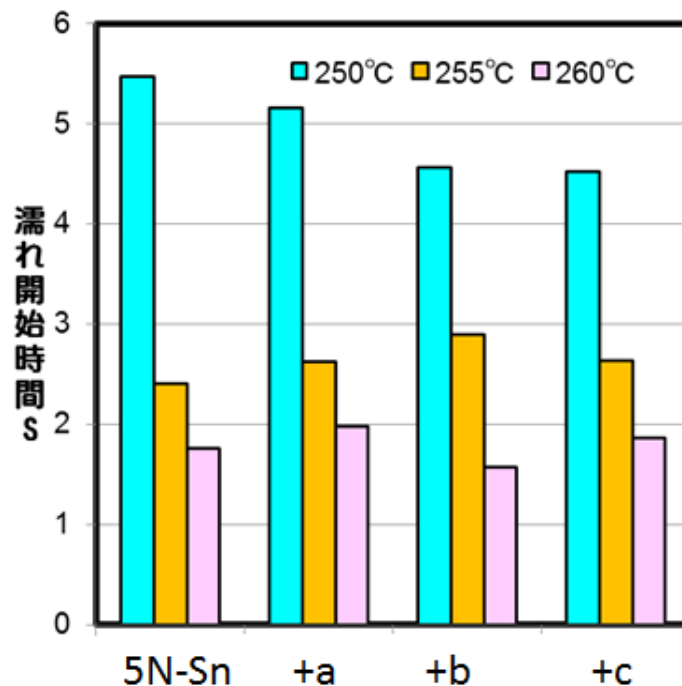


図5 5N 錫に3種の元素を微量添加した場合の濡れ開始時間

そこで、図5に示すように、不純物をほとんど含まない超高純度 5N (99.999%) とその 5N 錫に単一元素を添加することで相互作用の恐れを無くしてメニスコグラフ法の測定を行った。なお、単一元素として3元素 (a、b 及び c) を選んだ。元素 a と b は、相互作用の有無の確認のためである。また、元素 c は 7 元素以外で影響が未知の元素として選んだ。図5に、5N 錫に a、b 及び c を微量添加した場合の濡れ開始時間を示す。不純物を添加しない 5N 錫に対して、a、b 及び c を添加するといずれも濡れ開始時間は小さくなった。このことは、3 元素はいずれもはんだ付け性を改善する元素であることが分かる。したがって、【2-1】の重回帰分析結果と同じであり、3N 錫で不純物元素のはんだ付け性を評価した結果は妥当であると判断できる。

2-3 はんだ付け性に優れる低コスト鉛フリー合金の開発【3】

上記【2】の検討により、はんだ特性に影響を与える微量元素の特定とその限界濃度が解明された。次に、「低コストはんだ」「高温はんだ」「低温はんだ」の試作開発に進んだ。さらに、改善元素については、錫地金の改善にとどまらず積極的に添加を試みた。従来、改善が認められるにも関わらず添加が行われなかった元素は、錫に固溶させることが困難であったために用いられない場合が多い。その理由は、はんだメーカーに設備されている溶解炉の温度が、せいぜい 500°C 前後と低いためである。本開発では、固溶し難い元素を高温で溶解させ、急冷させることで母合金を実現させた（微量添加のためには、数%濃度の母合金をつくり、その一部を錫に溶解させる）。

2-3-1 高 Sn はんだ（低コストはんだ）の開発【3-1】

（平成27年度実施）ニホンハンダ(株) 東京電機大学

有害元素が少なく改善元素の多い錫地金の判別が可能になった場合に、先ずできるだけ添加元素の少ないはんだの特性改善を行うことが当然である。Sn-Cu 共晶合金は、組成が Sn-0.7%Cu であり、99%以上が錫であることから改善対象にした。また、この合金は、高価な銀を含まず低コストはんだ合金として知られるが、濡れ性が悪い。このため元素 X および Y を微量添加して、成形はんだのぬれ性向上を目指した。なお、濡れ性はぬれ面積率で評価した。添加元素 X はぬれ性を改善し、添加量 50ppm までは向上するが、それ以上の添加では低下する。ピークとなる 50ppm 添加でのぬれ面積率は、約 60%である（図6）。

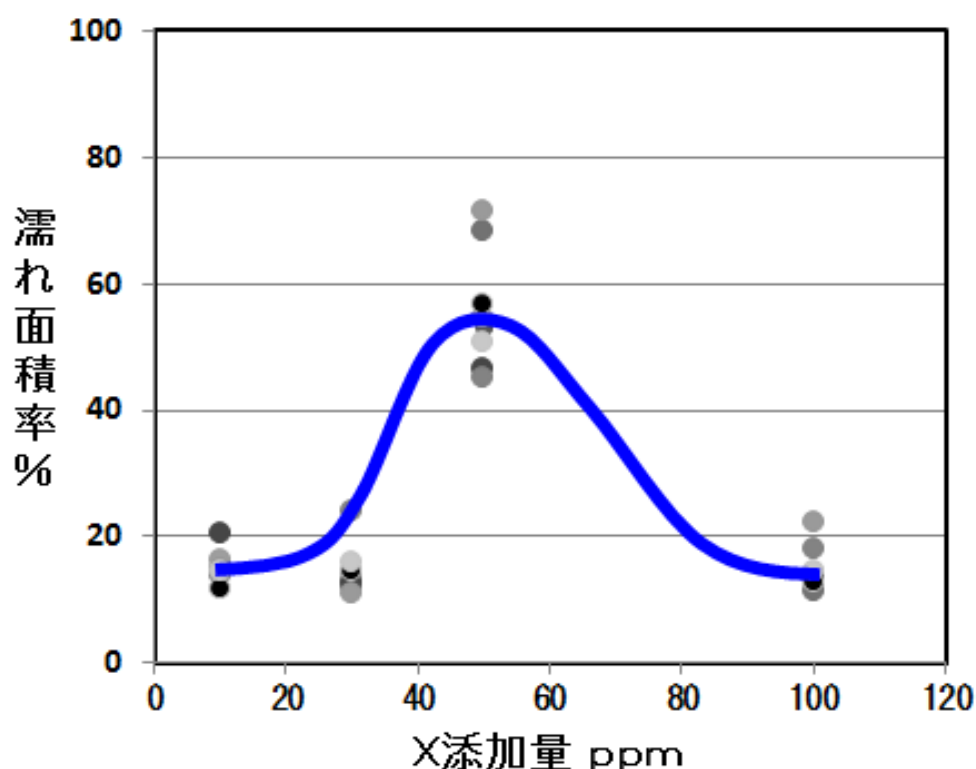


図6 濡れ面積率に及ぼす元素 X 添加の影響

一方、Y 元素添加は、X 元素よりも効果がある。10ppm 添加でも、ばらつきが大きいですが、ぬれ面積率 100%を示す場合がある。そして 1000ppm 添加で確実に 100%を示すことが明らかになった（図 7）。また、図8に図7に示した Y 元素添加の濡れ状況の写真を示す。以上の検討から、Y 元素添加によって Sn-Cu 共晶成形はんだの濡れ性を向上させることができた。

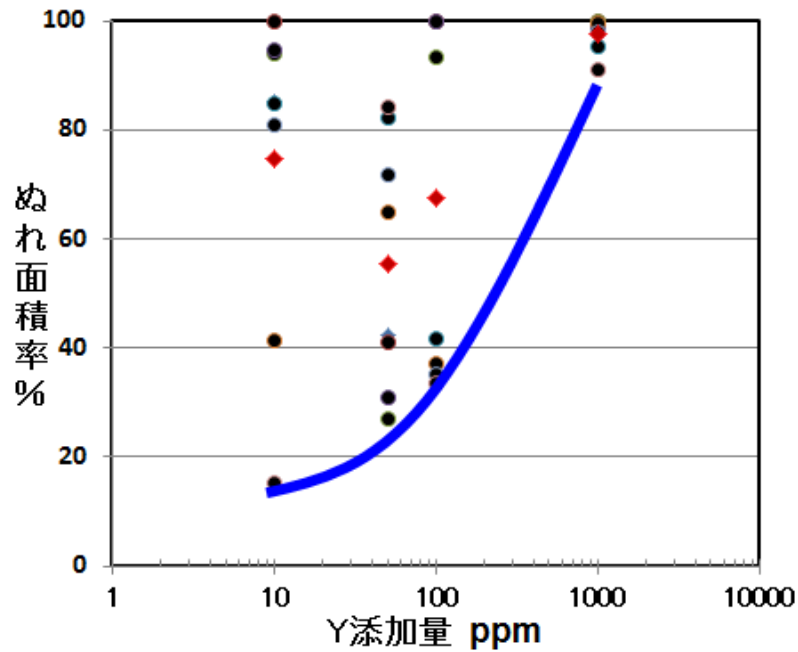


図7 濡れ面積率に及ぼす Y 元素添加の影響

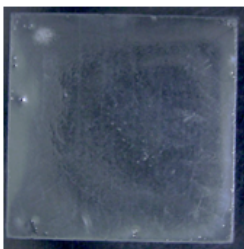
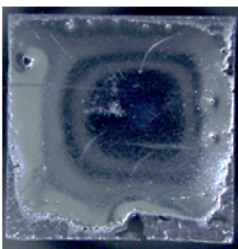
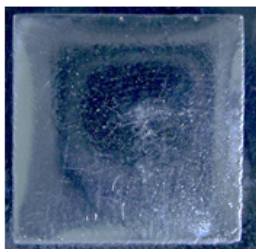
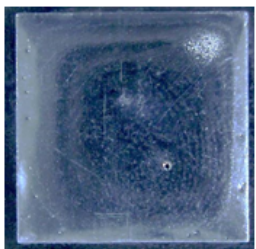
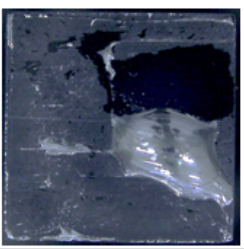
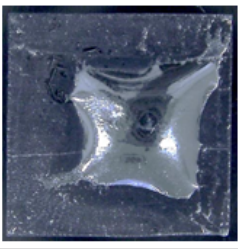
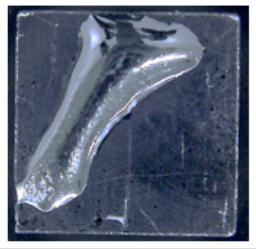
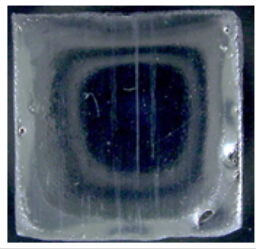
	10ppm添加	50ppm添加	100ppm添加	1000ppm添加
最良				
	100%	84.2%	100%	99.9%
最悪				
	15.4%	26.9%	33.4%	98.0%

図8 Sn-Cu 共晶に Y 元素添加した成形はんだのぬれ面積率 (n=8)

2-3-2 高 Bi はんだ（高温はんだ）の開発【3-2】

（平成27年度実施、平成28年度実施）ニホンハンダ㈱ 東京電機大学
鉛の環境問題から鉛フリー化が進んでいる。しかし、耐熱を必要とする高温はんだでは、特性を充たす合金がなく 85%以上の高鉛合金が使用されている。代替材料として高融点（271℃）の Bi（ビスマス）があるが、脆いことが理由で実用化されていない。このた

め各種元素を微量添加し、脆さの改善（延性の向上）を検討した。

製品形態としては、成形はんだ又は溶ダペーストがあるが、市場要求の多いのは後者と分かった。そこで、当初の成形はんだ製品の目標をペースト製品の目標として、Ni 基板への接合部ボイド率 10%を新たに設定する。図9に試作品完成までの検討プロセスを示す。

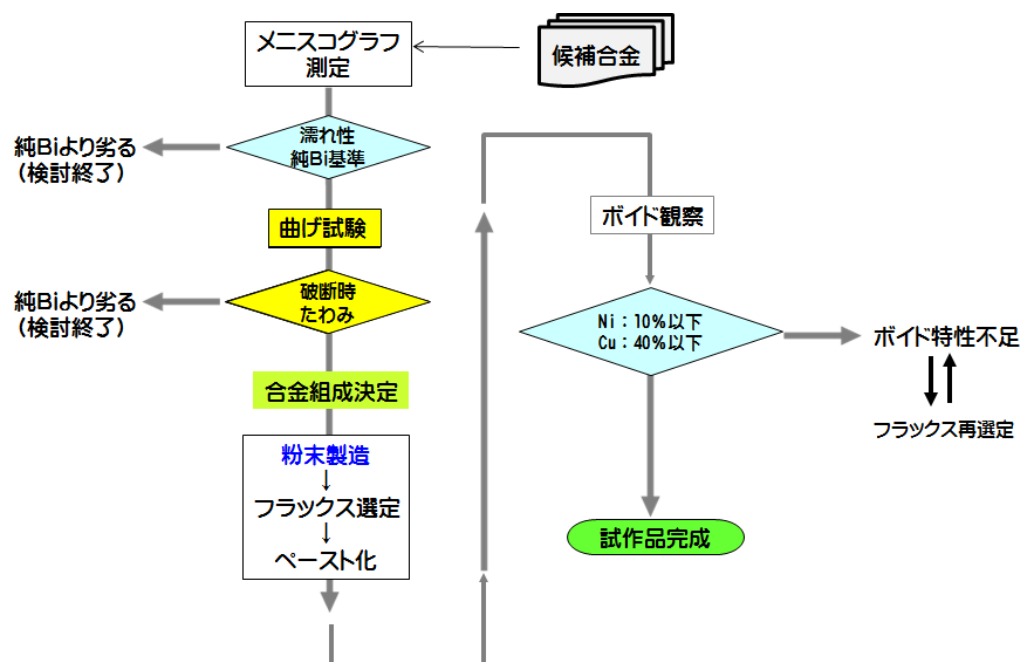


図9 Bi はんだ改善の検討プロセス

はんだの延性評価は、Bi が極めて脆く引張試験では測定が困難なことから 3 点曲げの抗折試験で評価を行った（図 10）。なお、試験片は、20×10×120 mmの角棒状とし、支持間隔を 130 mm、押込降下速度 10 mm/min で試験を行った。

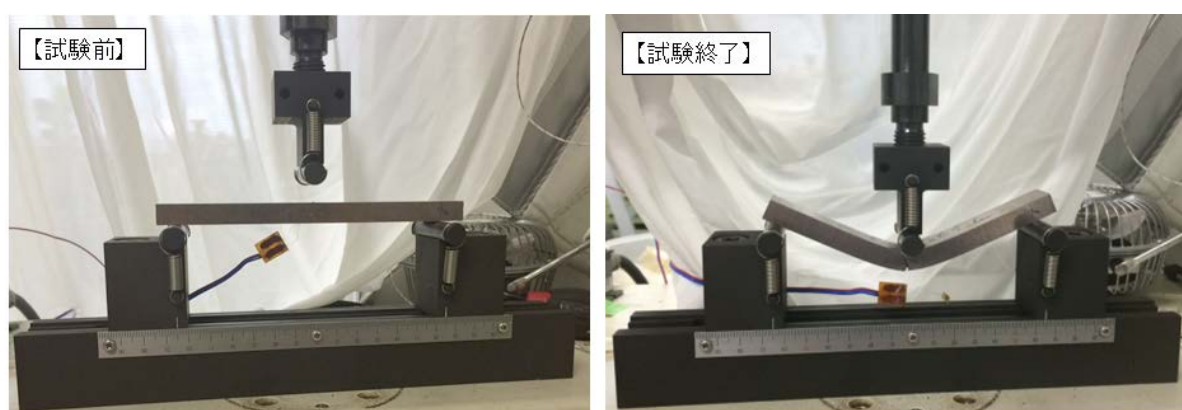


図 10 延性評価のための抗折試験

種々の微量元素添加の効果を調べる中で、わずか 5mm 以下の押込みで割れる Bi を 20mm 以上の押込に耐えるようにする添加元素を見出した（図 11）。この結果、Bi の融点を下げることなく脆さを大幅に改善することに成功した。



図 11 ビスマス（上）および微量元素添加ビスマス（下）の延性比較

上記の延性改善した微量元素添加ビスマスの粉末とフラックスを混錬し、ソルダペーストを試作した。この試作ソルダペーストにより Ni めっき基板同士を接合し、ボイド率を測定した。図 12 に Ni めっき基板への接合状況を示す。ボイド率は、平均 70%であるが、フラックスを十分選定すればボイド率 10%は達成できる。

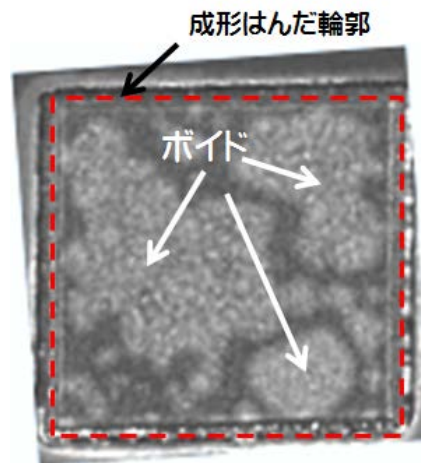


図 12 微量元素添加ビスマスはんだの Ni めっき基板への接合状況
(ボイド率 71%)

2-3-3 Sn-Bi 共晶系はんだ（低温はんだ）の開発【3-3】

（平成 28 年度実施）ニホンハンダ(株) 東京電機大学

Sn-58%Bi 共晶合金の濡れ性と脆さの改善を行う。本合金は、融点 139℃と極めて低いので、大幅な省エネルギーになることや耐熱性の低い樹脂があっても接合できるなど工程の削減も期待できる。しかし、ビスマスを多く含むために濡れ性が劣ることと衝撃に弱いことが障害になり、電子情報技術産業協会（JEITA）において標準化を検討しているが停滞している。ただし、Sn-Bi 共晶系はんだは、衝撃落下のある携帯機器ではなく静置されるテレビ等への制限的適用としている。そして、静置される機器は多く適用範囲は広い。Sn-Bi 共晶合金の濡れ性と脆さを改善元素の添加で実用化する。なお、はんだの製品形態であるペーストとしての目標として、Cu 基板への接合部ボイド率 20%を設定する。図 13 に試作品完成までの検討プロセスを示す。

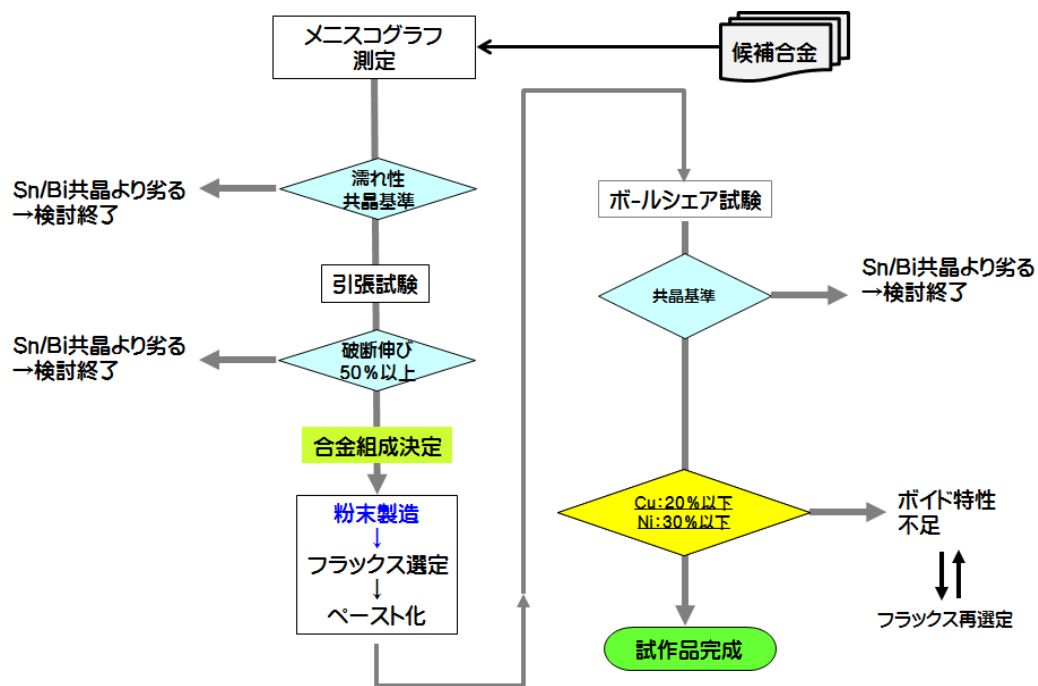


図 13 Sn-Bi 共晶はんだ改善の検討プロセス

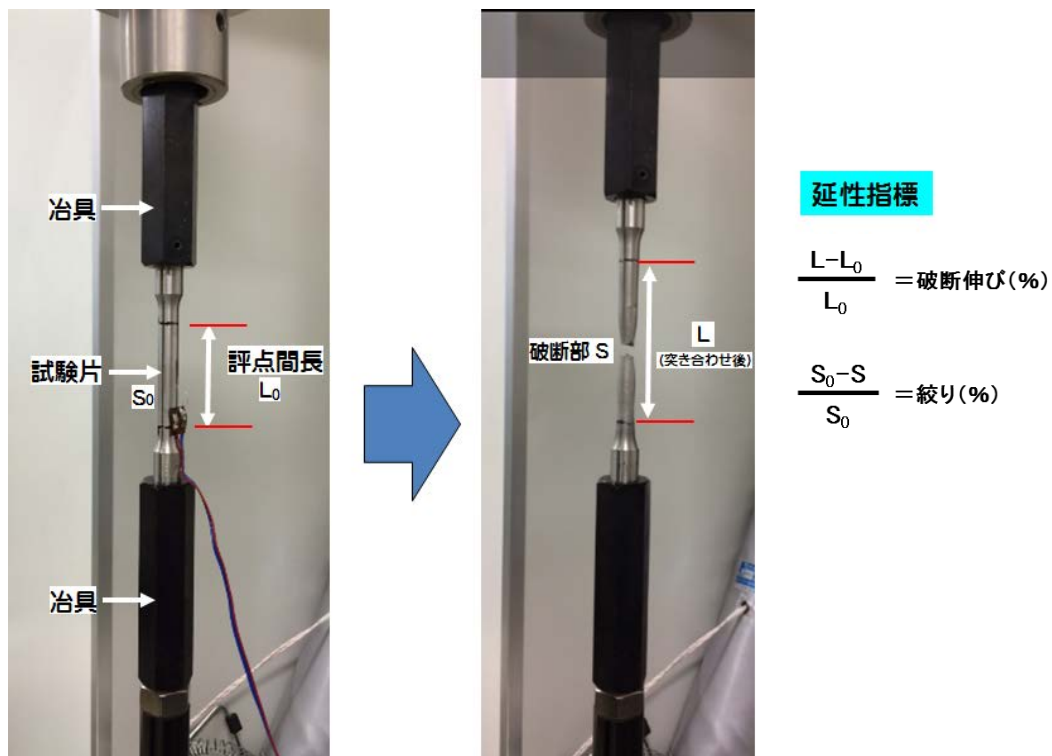


図 14 Sn-Bi 共晶はんだの引張試験（左：試験前 右：破断後）

図 14 に Sn-Bi 共晶はんだの引張試験の様子を示す。左図は試験前のセッティング状況であり、右図は引張破断後の様子である。微量元素を添加した各種のはんだの引張試験

結果を表 4 に示す。表 4 から、 α 元素や α 及び β 元素を添加した場合は、延性は低下するが、 β 元素のみの添加では延性が向上し、Sn-Bi 共晶に対し、破断伸びで 1.5 倍、絞りは 1.9 倍であり、大幅な延性向上である。このような延性向上により耐衝撃性は確実に向上する。

表 4 Sn-58Bi に微量添加したはんだの延性特性

はんだ合金	破断伸び(%)	絞り(%)
Sn-58Bi (基準)	44	36
Sn-58Bi- α	22	34
Sn-58Bi- β	67	69
Sn-58Bi- α - β	35	54

上記の延性改善した微量元素添加 Sn-Bi 共晶粉末とフラックスを混錬し、ソルダペーストを試作した。この試作ソルダペーストにより Cu および Ni めっき基板同士を接合し、ボイド率を測定した。図 15 に Cu めっき基板への接合状況を示す。ボイド率は、平均 18%であり、目標の 20%をクリアした。さらにフラックスを十分選定すればボイド率の低減ができる。

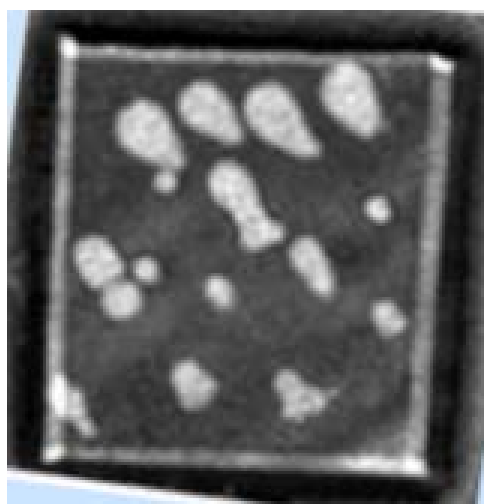


図 15 微量元素添加 Sn-Bi 共晶はんだの Cu めっき基板への接合状況
(ボイド率 18%)

図 16 は、微量元素添加 Sn-Bi 共晶はんだのボールシェア強度試験結果を示したものである。はんだ粉末での β 元素添加量の不足のため Sn-Bi 共晶はんだのボールシェア強度との有意差はないが、引張試験での大幅な延性向上から規定の含有量を確保すれば確実にボールシェア強度の向上は実現できる。

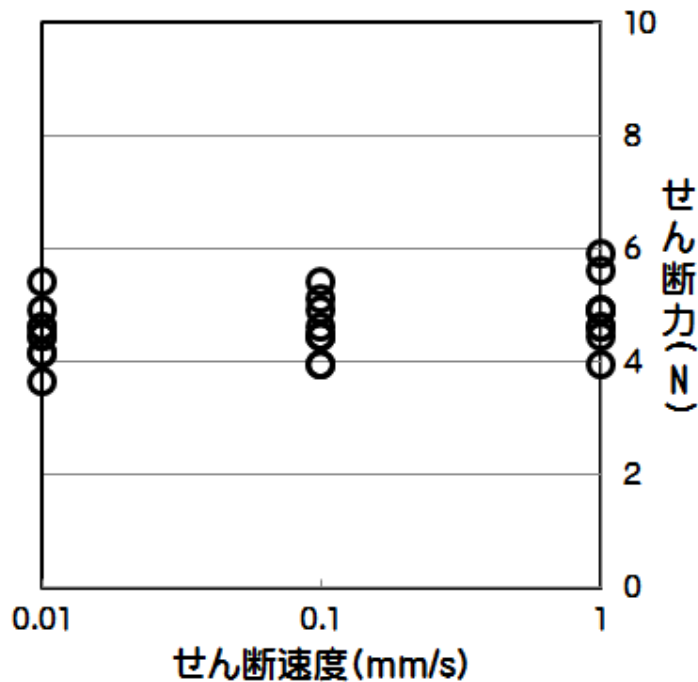


図 16 微量元素添加 Sn-Bi 共晶はんだのボールシェア強度

2-3-4 川下ユーザによるサンプル評価【3-4】

(平成28年度実施) ニホンハンダ(株)

開発がすでに完了している低コストはんだ(高 Sn はんだ)サンプルは、自動車メーカーに提供し、評価試験を実行中である。特に量産した場合に製品特性が安定するかに注力している。一方、高温はんだ(高 Bi はんだ)は、産業機器メーカーに提供する予定であり、低温はんだ(Sn-Bi 共晶はんだ)は、家電メーカー等に提供する予定である。

2-4 販路開拓【4】

(平成28年度実施) ニホンハンダ(株)

既存ユーザとして上記のサンプル評価先に加えて、実装関連展示会に会社としての出展があれば併せて行う予定である。また、200~300 名のユーザを集めて開催される社内セミナー開催があれば併せて製品紹介を行う予定である。また、他社の参入障壁化のために開発技術の特許化またはノウハウ化を目指すほか、早期に市場投入し、使用実績による信頼性の確立を行なうこととする。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

同じ純度(99.9%)の錫地金でありながら、銘柄が異なるとはんだ特性に違いが生じる現象があった。この原因が銘柄による不純物構成の違いによるものであるとして、20 ppm 以上含有される不純物元素7種のそれぞれの影響を明らかにした。

次にこの結果から、微量元素添加で3種のはんだ合金特性の向上を試みた。実験の結果、

先ず99%以上の高 Sn はんだ（成形はんだ）の濡れ性を向上させた。次に、有鉛高温はんだの代替材料候補である高融点の Bi はんだの脆性改善に取り組み大幅に延性を向上させ実用化を可能とした。最後に、低温はんだとして知られる Sn-Bi 共晶合金の耐衝撃性向上のために延性を向上させることに取り組んだ。その結果、微量元素添加で延性を大幅に向上させる元素を見出し、実用化を可能とした。

3-2 研究開発後の課題

3種の合金の実用化の目途を立てることができた。製品化において残された課題は、以下のとおりである。

○高 Sn はんだ（低コストはんだ）

すでに特定顧客と共同の評価段階に入っており、課題は量産化した場合に安定した製品になることである。

○高 Bi はんだ（高温はんだ）

高温はんだは、パワー半導体のダイボンドに使用される。重要部品なので信頼性データを充実することが課題である。

○Sn-Bi 共晶系はんだ（低温はんだ）

このはんだは、耐衝撃性が劣ることが理由で利用が広がらなかった。したがって、懸念を払拭する信頼性データを充実することが課題である。

3-3 事業化展開

3-3-1 想定市場について

◇パワー半導体市場

パワー半導体は、電力を制御する半導体であり省エネルギーに重要な役割を果たしている。パワー半導体の適用製品は、小は家電から大はエネルギー機器まで広範である。日本では総電力消費の5割がモータで消費されていることから、各種モータやエアコンなどでインバータ化やインバータの高効率化を推進すると、日本だけで原子力発電所 4 基分（CO₂ 排出量 1000 万トン）の省エネ効果を期待できるとの試算がある。

パワー半導体の市場規模は、現在 1 兆 7 千億円、2020 年に 2 兆 8 千億円に成長すると予想されている。パワー半導体用のはんだの占める割合が 1%と仮定すると、はんだの世界市場規模は、現在 170 億円、2020 年には 280 億円になる。なお、この分野では上位 10 社中に三菱電機や富士電機などの日本メーカーが 5 社入りシェア 60%である。

◇民生品市場

テレビやスマートフォンなどの民生品は、海外での生産や EMS（電子機器の受託生産サービス）に委託するなど低コスト生産が追求されている。使用するはんだは、RoHS 指令により完全に鉛フリーになっている。従来、Sn-3.0%Ag-0.5%Cu 合金が標準はんだとして広範に使われてきたが、低コスト化のためにはんだの大幅なコスト低減は不可避である。

低温はんだは、カメラ用の CMOS センサーやプリンターヘッドなど実装温度が高いとセンサーを損傷する場合に適用される。CMOS センサー市場ではソニーがシェア5割を占め、ルネサス鶴岡工場を買収し生産拠点にするなど成長製品と位置付けている。プリンターは、

キヤノン、エプソン、ブラザーなど国内メーカーが世界シェアの4割以上を占める成長分野であり、その主要部品であるプリンターヘッドも準じている。はんだの市場規模は、富士キメラ総研報告から推定すると現在 3000 億円程度であり、今後 30%以上で成長すると予想する。低温はんだは、このうちの少なくとも1割程度は占めると考えている。

3-3-2 事業化見込みについて

◇高 Sn はんだ（低コストはんだ）の製造販売

Sn に微量元素を添加したはんだであり、標準の Sn-3.0%Ag-0.5%Cu 合金に比べ、融点は 10℃高いためにパワー半導体に適用できる。高価な元素を含まないためコストが低いことに優位性がある。要求性能を満たせば共同開発ユーザが存在するので実現性はある。信頼性が重視される製品であるので信頼性データを充実すれば、他社への展開可能性はある。

◇高 Bi はんだ（高温はんだ）の製造販売

融点 271℃のビスマスは、高鉛はんだの代替になり得る金属である。ただし、脆さや濡れ性で劣るため実用化されていない。4 年後の ELV 指令では、高鉛はんだの例外扱いも認められない可能性が大なので、脆さや濡れ性が改善されれば優位になる。

SiC 半導体では、さらに高いジャンクション温度に耐えられる銀焼結材などに替わると考えるが、Bi 系はんだは、Si および初期 SiC の両半導体の要求に応える接合材と考える。要求性能を満たせば、低価格であることから実現性はある。信頼性が重視される製品であるので信頼性データを充実することが必須である。

◇Sn-Bi 共晶系はんだ（低温はんだ）の製造販売

融点が 139℃であり、Sn-3.0%Ag-0.5%Cu 合金の 219℃よりも 80℃も低い。このためカメラモジュールなど低温実装の要求に応えられる。また、実装エネルギーの削減できることから、コスト削減効果は大である。また、ウェアラブルは、注目製品であり、今後の市場展開があれば実現性がある。問題は、衝撃に弱いことであるが、改善されれば優位になる。

3-3-3 今後のスケジュールについて

◇高 Sn はんだ（低コストはんだ）の事業化においては、表5に示すように平成 29 年度末までで顧客の製品評価を受けるためにサンプル提供を行う。順調であれば、30 年度から生産販売を開始する。ただし、顧客評価によっては追加研究の必要が生じ、生産販売の開始が遅れる場合もある。

表5 高 Sn はんだ（低コストはんだ）の事業化スケジュール

事業年度	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度
サンプルの出荷	→				
追加研究					
設備投資					
製品等の生産		→	→	→	→
製品等の販売		→	→	→	→

◇高 Bi はんだ（高温はんだ）の事業化においては、表6に示すように平成 29 年度末まで

で顧客の製品評価を受けるためにサンプル提供を行う。順調であれば、30 年度から生産販売を開始する。ただし、パワー半導体の顧客評価は長期になる場合もあるので、生産販売の開始が遅れる場合もある。

表6 高 Bi はんだ（高温はんだ）の事業化スケジュール

事業年度	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度
サンプルの出荷	→				
追加研究					
設備投資					
製品等の生産					→
製品等の販売					→

◇Sn-Bi 共晶系はんだ（低温はんだ）の事業化においては、表7に示すように平成 29 年度末までで顧客の製品評価を受けるためにサンプル提供を行う。順調であれば、30 年度から生産販売を開始する。ただし、低温実装の実績が無いことから顧客の採用検討に時間を取られ、生産販売の開始が遅れる場合もある。

表7 Sn-Bi 共晶系はんだ（低温はんだ）の事業化スケジュール

事業年度	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度
サンプルの出荷	→				
追加研究					
設備投資					
製品等の生産					→
製品等の販売					→