

水系洗浄剤対応ソルダペーストの開発

Development of Solder paste cleanable with water-based cleaning agents

川上 貴也

Takaya Kawakami

研究開発カンパニー 研究開発センター 電子材料開発室

Electronic Materials Development, R&D Center, R&D Company



1 はじめに

2020年3月から商用開始された第5世代移動通信システム（5G）は超高速・大容量・低遅延・多数同時接続を可能にすることから、身の回りのあらゆるモノがネットワークにつながるIoT時代のICT基盤として期待されている¹⁾。IoTとは、モノのインターネット（Internet of Things）の略称で、私たちの身の回りにあるさまざまなモノにセンサーと通信機能が備わり、人手を介さずにインターネットに接続し、相互に通信する情報処理ネットワークシステムのことである。IoTはAI（Artificial Intelligence）と組み合わせることで、生活や産業の効率・安全・利便性を飛躍的に高めると期待されている²⁾。

情報通信分野では、IoTの普及に伴い、通信端末機器の小型化や高機能化が進み、電子部品の小型化に伴った電子基板の高密度実装化が加速し³⁾、加えて、センサーや通信デバイスには、より高い品質や信頼性が求められている。ここで、電子基板の信頼性を確保するために、電子部品と回路基板をはんだによって一括接合した後、電子基板を洗浄する工程が重要となっている。

本稿では、電子基板を洗浄する目的や方法、洗浄剤の種類とその特徴について述べる。次に、世界各国における工業用途の洗浄剤に関する規制の現状について報告する。そのあと、環境負荷の少ない水系洗浄剤に着目したうえで、水系洗浄剤でフラックス残渣の洗浄が可能なソルダペーストの開発とその洗浄性について紹介する。

2 電子基板の洗浄とは？

2-1 電子基板を洗浄する目的

電子基板を洗浄する際に対象となるのは、はんだ溶融後に発生するフラックス残渣である（図1）。ソルダペーストは、はんだ合金粉末と、ロジンや有機酸、溶剤などを含むフラックスによって構成されている。リフロー工程における高温加熱により、はんだ粉が溶融し一体化すると、はんだの周辺部にフラックスは排出され、フラックス残渣となる。このフラックス残渣が基板上に残存することは、

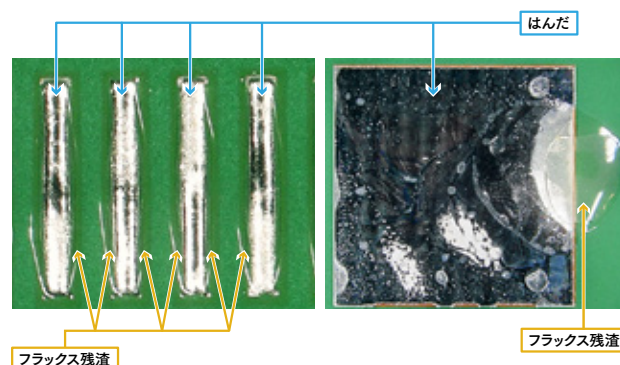


図1 はんだ溶融後に発生するフラックス残渣

図2に示すような、樹脂封止性の低下、接合不良、部材の腐食といった物理的および電氣的トラブルの原因となる。一般的にフラックス残渣は、加熱後に表面が硬化して安定的な状態で存在している。そのため、日本国内における基板実装では、約9割が無洗浄プロセスとなっている。しかしながら、自動車、医療機器、通信機器など高い信頼性が要求される分野においては、フラックス残渣による悪影響を排除するため基板洗浄が必要とされている。

不良モード	不良内容
	フラックス残渣が封止樹脂の硬化を阻害する
	フラックス残渣が電極上での接合を阻害する
	フラックス残渣が金属電極を腐食する

図2 フラックス残渣が原因で発生する不良

2-2 洗浄方法とその特徴

電子基板の洗浄には複数の方法があり、代表的なものとして図3に示す噴流方式、超音波方式、スプレー方式が挙げられる。噴流方式は、ポンプ等で洗浄剤を循環させ、浸漬した基板を洗浄する方法である。部材へのアタック性が弱く、安全に基板を洗浄できる一方で、基板と部品との間

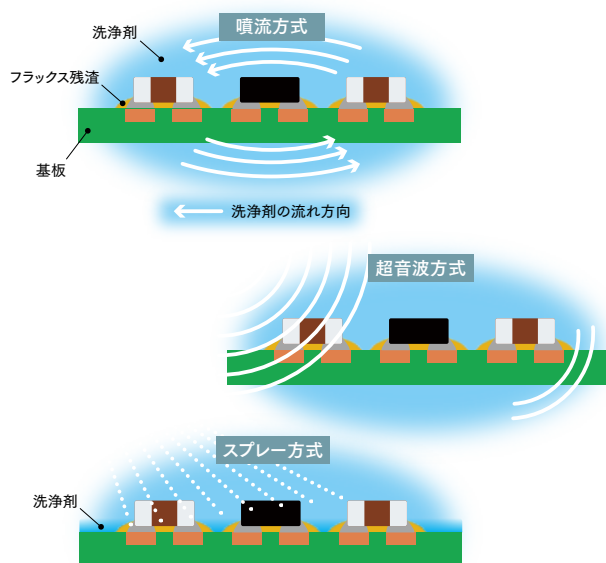


図3 電子基板の洗浄方式

が狭い部分の洗浄性に劣る。超音波方式は、超音波によるキャビテーションや加速度によって洗浄する方法で、微細な部分まで洗浄が可能である。ただし、条件によっては部材がダメージを受ける場合がある。スプレー方式は、洗浄剤をシャワーのように吹き付けることで洗浄する方法で、液置換性に優れ、微細なところも洗浄できるが、条件によっては部材がダメージを受けたり、洗浄剤が届きにくい場所の洗浄性が劣ったりする。これらの洗浄方法にはそれぞれ一長一短の特徴があり、実装する部材や1日の処理枚数などから最適な洗浄方法と洗浄条件を選定する必要がある。

2-3 フラックス洗浄剤の種類

フラックス洗浄剤は大きく「溶剤系」「準水系」「水系」の3つに分類される（図4）。溶剤系洗浄剤は、フラックス中のロジンなど樹脂成分の溶解性は高いが、設備の防爆対策が必要で電子部品へのアタック性が高い。準水系洗浄剤は水が添加されているため、引火点がなく安全性も高いが、洗浄剤の水分管理が必要になる場合がある。水系洗浄剤は、構成成分のほとんどが水であるため、多くは非危険物となり、安全性が高い。しかし、フラックスにアマイド系ワックスなど水に難溶な成分が含まれている場合、洗浄が困難になることがある。これらの洗浄剤は、それぞれ異なる特性を有しているため、洗浄対象となる基板によって

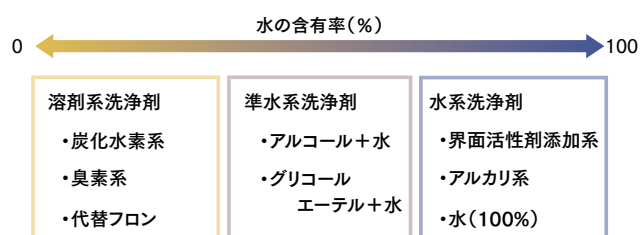


図4 フラックス洗浄剤の分類

最適な洗浄剤を選定する必要がある。

2-4 世界各国の洗浄剤に関する規制

日本ではこれまで排ガス規制はあるものの、洗浄剤に関するVOC（揮発性有機化合物）含有量に関する規制は設けられていない。そのため、溶剤系洗浄剤が普及してきた。普及の背景には、低価格であること、蒸発速度が速く乾燥性に優れていること、さらに蒸留再生を用いた連続運用も可能であることなどが挙げられる。しかし、有機溶剤成分が気化して大気中に拡散してしまうと完全な回収は実質的に不可能であり、大気中の浮遊粒子状物質（SPM）や光化学オキシダントの原因となる。近年は、排気中のVOC除去技術であるスクラバーが普及したことや、環境規制が強化されたことから、VOC排出総量は大幅に削減されてきているが、温暖化等の環境問題は年々深刻化しており対応が望まれている⁴⁾。

こうした背景から、世界各国では安全衛生や環境保護の観点からVOC規制が強化されている。たとえば、中国では洗浄剤の種類ごとに規制値（表1）が定められており、溶剤系洗浄剤の使用には厳しい管理が求められている。そのため、準水系や水系洗浄剤が主流となっているが、規制も年々厳しくなっており、深圳市では2026年2月から、水系洗浄剤に対してVOC含有量が40g/L以下というより厳しい規制が施行される予定である⁵⁾。アメリカにおいても、排出制御システムの制御効率が85%以下の場合、洗浄剤のVOC含有量を50g/L以下に制限することが推奨されている⁶⁾。このように、世界的にVOC規制は今後さらに厳しくなると予想され、VOCをほとんど含まない洗浄剤の需要が高まると考えられる。

表1 中国における工業用洗浄剤の規制値一覧

中国における工業用 洗浄剤の規制値	規制値		
	水系	準水系	溶剤系
VOC含有量(全国)	≦50g/L	≦300g/L	≦900g/L
VOC含有量(深圳市)*	≦40g/L	≦250g/L	≦800g/L

* 2026年2月施行予定の規制値

3

水系洗浄剤対応ソルダペーストの開発背景と課題

3-1 水系洗浄剤対応ソルダペーストの開発背景

水系洗浄剤に対応したソルダペーストの開発に着手した背景には、主に2つの理由がある。1つ目は前章でも述べたように、世界的に見てVOC規制が厳しくなり、低VOC洗浄剤で洗浄可能な製品へのニーズが高まっている点である。2つ目は、洗浄剤をまったく含まない純水洗浄による洗浄性の課題である。図5に示すようなBGAなどの基板と

部品下の空間が狭い低スタンドオフ部品では、基板と部品下との間の空間が狭く、表面張力が高い純水では部品下への浸透性が低くなり、十分な洗浄性を確保できない課題がある。また、フラックス残渣に水溶性を付与するためアミン系ポリオール樹脂等を添加した場合、洗浄工程においてこれら樹脂を含むフラックス残渣が洗浄槽に溶解し、洗浄剤である純水のpHが変化する。このpH変化は、電子基板の部材腐食の原因となり、洗浄槽の安定的な管理が難しくなると考える。これらの課題解決のため、水系洗浄剤での洗浄性に優れ、信頼性の高い電子基板製造を可能にする水系洗浄剤対応ソルダペーストの開発に取り組んだ。



図5 低スタンドオフ部品 (BGA) 模式図

3-2 水系洗浄剤対応ソルダペーストの開発課題

当社が過去に取り組んだ水系洗浄剤対応ソルダペースト開発では、2つの課題を確認できている。1つ目はフラックスのベース樹脂を水溶性樹脂にして親水性を高めた場合、使用中にソルダペーストが経時的に吸湿し、低粘度化が顕著になる点である。2つ目は部品実装性を確保するために高活性なフラックス設計とする場合、時間の経過とともにはんだ粉末とフラックス間で反応が生じペースト性状が変化してしまう点である。これらはともにソルダペーストの印刷性やはんだ付け性低下を招くため、水系洗浄剤で洗浄可能かつペースト印刷時に吸湿や反応を生じないフラックス設計が必要と考え、フラックスのベース樹脂から検討を行った。

4 洗浄性と性能安定性の両立した水系洗浄剤対応ソルダペーストの開発

4-1 フラックスのベース樹脂の選定

初めに、18種類の樹脂を用いてフラックスのベース樹脂の選定を行った。選定にあたっては、洗浄剤への溶解性と吸湿性を評価した。洗浄剤への溶解性は、メタルマスク（マスク厚：150 μ m）を用いて10mm $\square$ サイズにベース樹脂を印刷した後、スターラーで攪拌している60℃の洗浄剤に浸漬し、樹脂の溶解時間を測定した。吸湿性は、樹脂5.0gをポリカップに秤量し、40℃ $\times$ 90%Rhの恒温恒湿槽に5時間放置した後、カールフィッシャー水分計にて測定することで放置後の水分増加率を算出した。

横軸に溶解時間、縦軸に水分増加率をプロットし、ベース樹脂の洗浄剤への溶解性と吸湿性との関係をまとめたものを

図6に示す。溶解時間が短く、水分増加率が低い樹脂が最適と判断した。赤枠で囲んだ樹脂をフラックスのベース樹脂として適していると判定し、それらベース樹脂に、有機酸、溶剤、チキソ剤を混合したフラックスを調整し、はんだ合金粉末と混合してソルダペーストを作製した。作製したソルダペーストは、テスト基板への印刷・部品実装後、リフロー加熱による実装基板の作製を行い、部品実装性および加速試験によるソルダペーストの粘度安定性を評価した。6種類の樹脂を検討し、結果が良好であった樹脂を最も好適なベース樹脂として選定し、以降の開発を進めることとした。

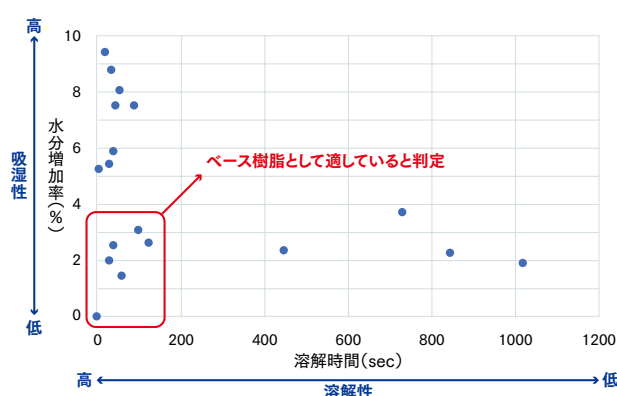


図6 ベース樹脂の洗浄剤への溶解性および吸湿性評価結果

4-2 洗浄剤とフラックス残渣の相溶性評価

選定した樹脂をベースにしてサンプルを作製し、実装基板を用いて洗浄性を評価した。洗浄試験は、水系洗浄剤を蒸留水で7%または20%まで希釈し、60℃に加温したビーカー内でスターラーにより攪拌した状態で、基板を5分浸漬させた。洗浄後、フラックス残渣中のカルボキシ基と反応して呈色するZESTRON®フラックステストを用いて、基板上のフラックス残渣の有無を判定した（洗浄後に残留したフラックス残渣は淡青色に発色するため、フラックス残渣の有無を視覚的に判別することが可能である）。

試験結果を図7に示す。洗浄剤濃度が7%の場合はフラ

洗浄試験 (60℃ $\times$ 5分)		検討品	
		3216チップ部品	ϕ 10mm
洗浄剤濃度	7wt% (残渣あり)		
	20wt% (残渣なし)		

図7 検討品の洗浄性評価結果

ックス残渣が基板に残留していたが、20%の場合には洗浄できていることが確認された。この結果から、フラックス残渣は洗浄剤と親和性があるが改良が必要であり、より低濃度の洗浄剤でも十分な洗浄性が得られるようフラックスの改良検討を実施した。

4-3 フラックスの改良とフラックス残渣の洗浄性評価

低濃度の洗浄剤でも十分な洗浄性を確保するため、フラックス中に含まれる溶剤の一部を、ベース樹脂との相溶性が高い溶剤へ置き換える検討を行った。図8に溶剤の一部を置き換えて洗浄性を評価した結果を示す。

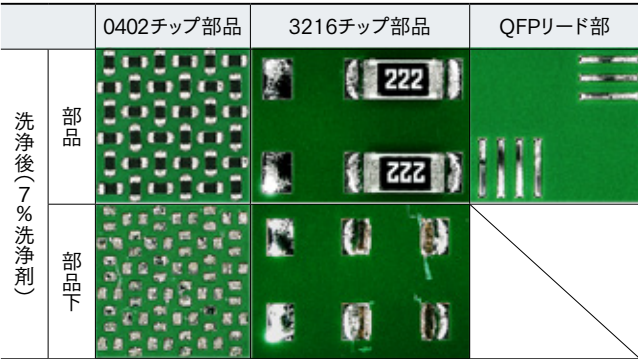


図8 洗浄性改良サンプルの洗浄性評価

結果として、部品周囲だけでなく部品を引き剥がした部品下においても、フラックス残渣が存在せず、洗浄剤濃度が7%で良好な洗浄性が得られた。これは、ベース樹脂と相溶性の高い溶剤を使用することで、フラックス残渣が洗浄剤に溶解しやすくなったと考えられる。さらに、印刷性やはんだ付け性など他の性能評価においても本サンプルは優れた結果を示したため、開発品として設定し、経時における性能安定性と吸湿性を評価した。

4-4 経時における性能安定性および吸湿性評価

開発品の長期使用時における性能安定性を評価するため、25℃×50%Rh雰囲気下で4時間連続スキージングを実施し、実使用時のソルダペーストの状態を再現した。スキージングの途中にサンプリングを行い、粘度および水分量を測定し、経時的な変化を評価した。連続スキージング時の粘度変化と水分含有率の推移を図9に示す。ここでは、ベース

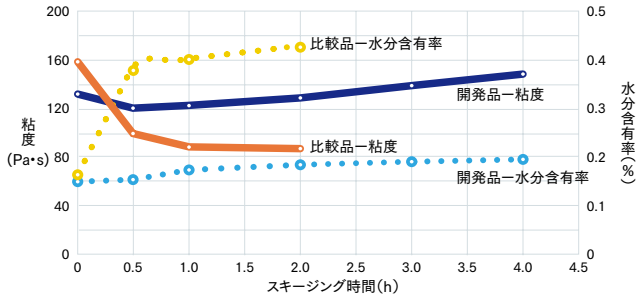


図9 連続スキージング中の粘度および水分含有率変化

樹脂に水溶性樹脂を使用したものを比較品として用いている。結果、ベース樹脂に水溶性樹脂を使用した比較品は、ソルダペースト中の水分量の増加に伴い、粘度が大幅に低下する傾向が確認された。一方、開発品では、4時間スキージング後においても粘度および水分量に顕著な変化は認められなかった。

さらに、連続スキージング後の開発品を用いて、部品実装性や他の性能評価を行い、初期状態との比較から性能安定性を評価した。結果を図10に示す。実装性評価においても、開発品の初期と4時間スキージング後で実装性の差はなく、長時間使用においても性能が維持されることが確認できた。

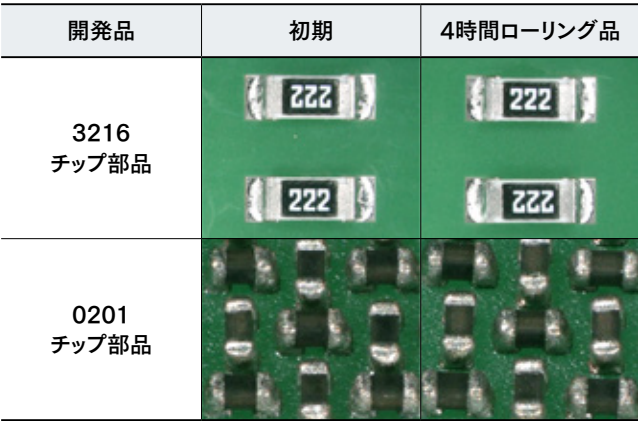


図10 連続スキージング後サンプルの実装性評価結果

以上の結果より、これまでの課題であった吸湿による性能劣化を抑制し、経時的な性能安定性に優れた水系洗浄剤対応ソルダペーストを開発することができた。

5

おわりに

今回、開発した水系洗浄剤対応ソルダペースト「WCL-1」は、ベース樹脂と溶剤の親水性と疎水性のバランスを最適化したフラックス配合により、水系洗浄剤での洗浄性と経時的な性能安定性の両立を実現することができた。また、本開発品は完全ハロゲンフリーであり、安全衛生や環境に配慮した製品でもある。持続可能な社会の実現に貢献できるよう、今後もエネルギーや環境問題に配慮した製品の開発に取り組んでいく。

参考文献
1) 令和2年度版情報通信白書(総務省ホームページ)
2) 境野 哲 IoTへの期待と課題～IoTシステム開発者・利用者の心得～ 情報の科学と技術 67巻11号,560-565 (2017)
3) 2024年JEITA実装技術ロードマップ,電子情報技術産業協会,p385-397 (2024)
4) 加納裕也 半導体の技術動向を探る 電子デバイス洗浄剤におけるSDGs-低リスク性能と洗浄性の両立- エレクトロニクス実装技術 40号,8836-48 (2024)
5) 深圳市地方标准 DB4403/584-2025 微电子和电子组装用清洗剂中挥发性有机物和特定有害物质限量
6) EPA-HQ-OAR-2006-0535 Control Techniques Guidelines: Industrial Cleaning Solvents