

“手直し不要”を実現するはんだ付け専用ロボット メイコーが提唱する常識を覆す“真”理論

(株)メイコー / 伊東 薫

1

はじめに

～はんだ付けロボットの落とし穴～

昨今、生産現場のロボット化(自動化)にともない、はんだ付け業界においてもロボット化に注目が高まっている。しかし、ロボット化が成功しているケースは少なく、成功するどころか日々変化するはんだ付け不良に生産現場は頭を悩ませている。

その大きな原因は、ロボットの性能不足であり、はんだ付け動作への適正不足である。

その結果、「歩留まりが悪い、手離れが悪い」というネガティブな評価がはんだ付けロボット業界に向けられている。

本稿では、こういった風潮に一石を投じるべく、メイコー製はんだ付けロボット(写真1)及び、メイコーが提唱するロボットはんだ付けの“真”理論を紹介する。



写真1 LEATHER-α(メイコー製はんだ付けロボット)

2

ロボット化の理由

～動機3点～

まず、ユーザーサイドから見た場合、ロボット化(自動化)が求められる理由として主に次の3点が挙げられる。

- ① 品質管理の確立
- ② ワーカー不足
- ③ 働き方改革

品質管理の確立とは、作業者によるはんだ付けでは品質管理が難しいという理由である。仮にNGワーク(酸化・腐食が進んでいるワーク)が混在していても、作業者は一見良品の様に仕上げてしまう傾向があり、それが市場クレームのリスクに繋がる。

また、昨今の経営課題として挙げられている「ワーカー不足」や「働き方改革」による省人化や作業環境の改善の風潮も後押しになっている。

さらに近年、中国市場における賃金高騰や米国との貿易摩擦等にもともない、製造業の国内回帰を推進している企業が増加していることもあり、はんだ付け工程のロボット化の需要は国内外ともに高まっている。

表1、表2、表3に、参考資料として、こて式及びレーザ式はんだ付けロボットの導入実績及び予測を示す(「Global Soldering Robot Market Research Report 2019」QY Research Private Limitedより引用)。

3

ロボットの理想と現実

～そのはんだ付け不良、真の原因はロボットです!～

ロボットを導入する場合、一般的には手はんだ付けの各動作(こて先及びはんだ送りなど)を分析して、ワークに合わせた条件出しを行う。

その各条件における最適な数値化をおこない、プログラム



を作成することでロボット化が実現する。

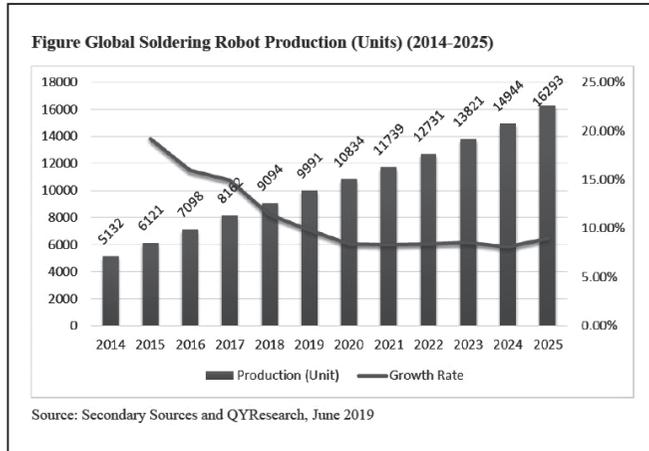
結果、理論的には高い生産性と高品質なはんだ付けが実現できるはずである。

しかし、現実にはうまくいっていない。その原因は、はんだ付けの土台となるロボットの性能不足であり、「ロボットはんだ

付け」を追求した仕様になっていないからである。

この「ロボットの性能不足」とはアームの速度・精度やこて先の温度等、個々のスペックの優劣ではなく、はんだ付けにとつて最も重要な点が見落とされているということである。

そのため、せっきく合理化や品質向上を期待してロボット化しても、生産現場では日々不安定な品質に頭を悩ませており、「今日は付いたけど、明日付くかどうか分からない」など本気とも冗談ともつかない声が多く聞かれる。



Source: Secondary Sources and QYResearch, June 2019

表1 2014～2025年 グローバル導入(製造)台数の結果と予測

4 メイコー製 はんだ付け“専用”ロボット ～独自性と優位性～

それでは、「ロボットはんだ付け」を追求した性能・仕様とはどのようなものなのか?

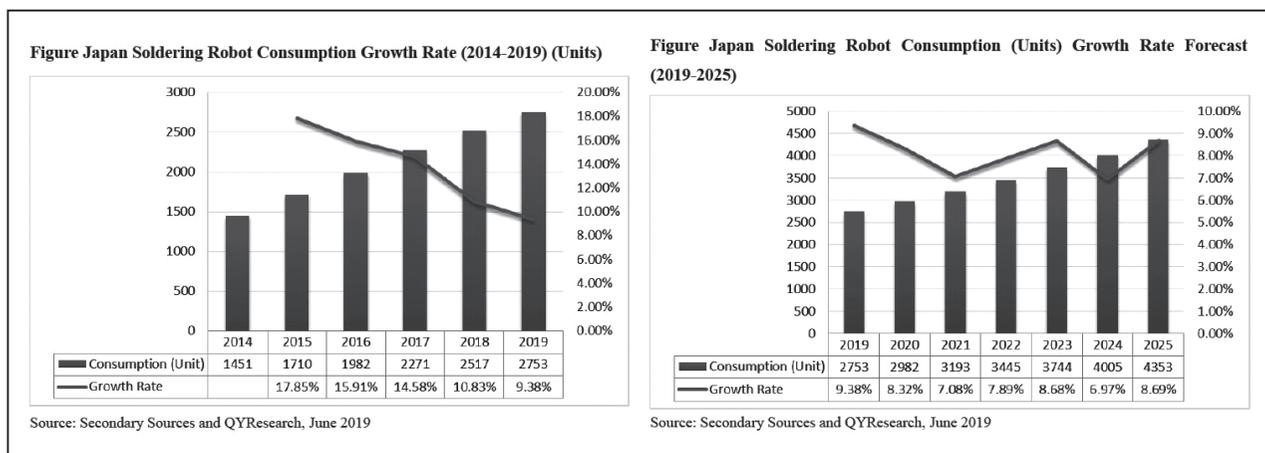
以下、理想的なロボットはんだ付けを提案するメイコー製はんだ付けロボット『LEATHER-α』の開発コンセプト、仕様、機能特徴などを紹介する。

Table Global Soldering Robot Consumption (Units) Forecast by Application (2019-2025)

Consumption (Unit)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Consumer Electronics	4677	5091	5578	6062	6559	7102	7801
Appliances Electronics	2257	2433	2609	2869	3157	3425	3690
Automotive Electronics	1608	1726	1845	1961	2140	2301	2512
Others	1449	1584	1707	1839	1965	2116	2290
Total	9991	10834	11739	12731	13821	14944	16293

Source : Secondary Sources and QY Research, June 2019

表2 2019～2025年 グローバル導入(製造)台数の業界別予測



Source: Secondary Sources and QYResearch, June 2019

Source: Secondary Sources and QYResearch, June 2019

表3 2014～2025年 日本市場における導入台数の結果と予測

FEATURE

F E A T U R E

1. 「最適なタイミング」の追求

～理想的なはんだ付けプロセス～

主にPCB実装の後工程などにおいておこなわれるこて先を使用したはんだ付け(写真2)は、一般的にこて先温度が320～380℃になり、この高温の中では、はんだは瞬時に状態が変化してしまふ。

これが「0.1秒は長時間」「はんだは生き物」といわれる所以である。

その状況の中で、理想的な「ロボットはんだ付け」を追求するには、「タイミング」が最も重要であると考え。具体的には、使用する糸はんだに含まれるフラックスの効果を最大限に活用することである。

つまり、以下2点のタイミング(状態)における、はんだ付けの実現がカギとなる。

- ① はんだの酸化が少ない
- ② フラックスの劣化が少ない

この結果、主に以下2点のメリットが生まれる。

- ① 今までの常識では考えられない、高速なはんだ付けが実現(タクト向上)
- ② はんだと母材間の接合も高いレベルで安定(品質向上)

まず、高速なはんだ付けが実現する理由は何か?

それはフラックスの効果(還元力)を最大限に活用することにより、はんだのぬれ広がりが速くなるからであり、言い換えると「ゼロクロス時間」(*)内ではんだ付けが完了するからである。

その結果、適正なフィレット形成および、はんだと母材間の接合も高いレベルで実現することになる。



写真2 こて先によるはんだ付け(イメージ)

(※)用語解説：はんだ付けにおけるゼロクロス時間について

はんだの世界における「ゼロクロス時間」とは、はんだを融かし始めてからそのぬれ性が最大の状態になるとされるまでの時間(はんだ送り時間+加熱時間)であり、当該の糸はんだと温度との関係から導き出される。

糸はんだには母材比重に対して3～4%のフラックスが線材の中心部分に存在している。

このフラックスの働きがぬれ性に大きく関わっている。フラックスの働き、つまり還元力が発揮される溶融温度は一般的に250℃付近であり、ゼロクロス時間は1～2秒となっている(表4)。

また、このゼロクロス時間を経過すると、酸化により急激にフラックスの効果が低下し、ぬれ性が低下する。したがって2秒以下の短時間ではんだ付けを完了することが重要である。

2. メイコー製ロボット概要

～LEATHER-α～

メイコーでは「最適なタイミング」のロボットはんだ付けを目指し、スカラ型ロボットを含めたメカ・ハード・ソフトの自社設計開発をおこない、「業界唯一」のはんだ付け「専用」ロボットを製品化した(主な仕様については、表5に示す「ロボット基本仕様」を参照)。

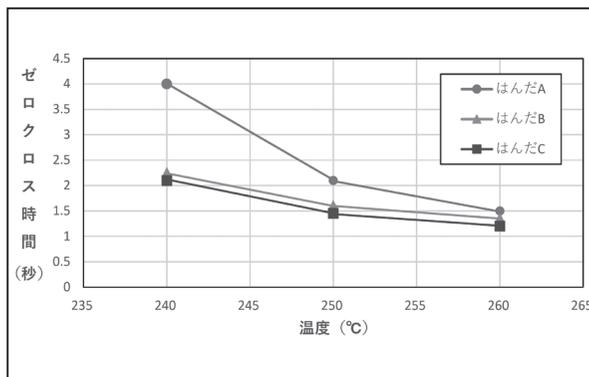


表4 フラックスD 温度別ゼロクロス時間の比較

1. スカラ型ロボット	計6軸 (X・Y・Z・θ 各1軸、はんだ送り2軸)
2. 同時5軸制御	① 第1アーム (X・Y方向)
	② 第2アーム (X・Y方向)
	③ 上下 (Z方向)
	④ リスト (θ回転)
	⑤ はんだ送り (2軸制御)
3. こて式はんだ付け	ロボットによるこて先の直接制御 (シリンダ方式は不採用)
4. こて先ヒータ	130 / 260 / 390Wから選択

表5 ロボット基本仕様

3. 機能・特徴

～追求すべきは、「はんだ供給タイミング、こて先の移動制御」～

はんだ付け“専用”ロボットとして、「最適なタイミング」を実現するために様々な機能・特徴を生み出した（代表的なものについては表6に示す「機能・特徴比較一覧表」を参照）。

そして、その各機能により実現すべき、ロボット動作のポイントは、「はんだ供給タイミング、こて先の移動制御」であると考え。各機能における他社製ロボットとの比較について、代表的なものを以下3点解説する。

(1) 「はんだ送りダブルモーター機構」

糸はんだポビンからこて先までチューブで通し、ギアに押し出される形で糸はんだは供給される。

この送りギアはモータによって駆動するが、その送り機構について、メイコーでは2つのモータ（「ダブルモーター」）を用いる方式を業界に先駆けて開発した（19年6月、メイコー調べ）。

この方式の目的は以下3点の安定化である。

① はんだ送りのタイミング

② はんだ送りの速度

③ はんだ送りの量

いっぽう、1つのモータ（「シングルモーター」）の場合は、送りタイミング・速度・量が不安定になる。

その原因は、送りチューブ内のクリアランスにより発生する糸はんだの「たわみ」である。

この「たわみ」の分だけ、送り出すタイミング・速度・量が不安定になり、結果としてはんだ付け品質の不安定に繋がる。

最近ではこの欠点を補う対応策として、アーム先端（こて先）付近に糸はんだポビンを搭載するケースが見受けられる。しかし、先端重量の増加（約1kg）によるこて先の移動スピード低下や、はんだ付け時に発生するヒューム（煙）による糸はんだポビンへの悪影響が生じる。

メイコーでは、2つのモータを用いることで、このたわみ分の影響を排除することに成功した（図1）。

実際このたわみ分によるロス（影響）はコマ何秒のわずかな時間であるが、この小さなロスの積み重ねが、はんだ付けの世界では大きなトラブルの原因になるのである。

比較項目	メイコー製（スカラ型）	他社製①（卓上型）	他社製②（スカラ型）	メイコー製のメリット
1. ロボット部分	自社設計開発	市販の汎用ロボット	市販の汎用ロボット	はんだ付けのタイミングを追求可
2. はんだ送り機構	ダブルモーター	シングルモーター	シングルモーター	はんだ送りのタイミング・速度・量の安定化
3. こて先ルートの自由度	ワークエリア内自由	シリンダー方式で固定化	ワークエリア内自由	最適な条件出しを追求可
4. こて先スピードの最適化	容易（1～30段階から選択）	最適な設定が難（スピコン）	最適な設定が難（MAXの何%）	容易な条件出しが可能
5. アーム・リストの高速化	実施（樹脂材料を採用など）	汎用ロボットなので難	汎用ロボットなので難	はんだ付けに適した機敏性・加減速実現
6. こての取り付け角度（位置）	固定	可変	可変	ロボットの“再現性”を踏襲したノウハウ

表6 機能・特徴比較一覧表

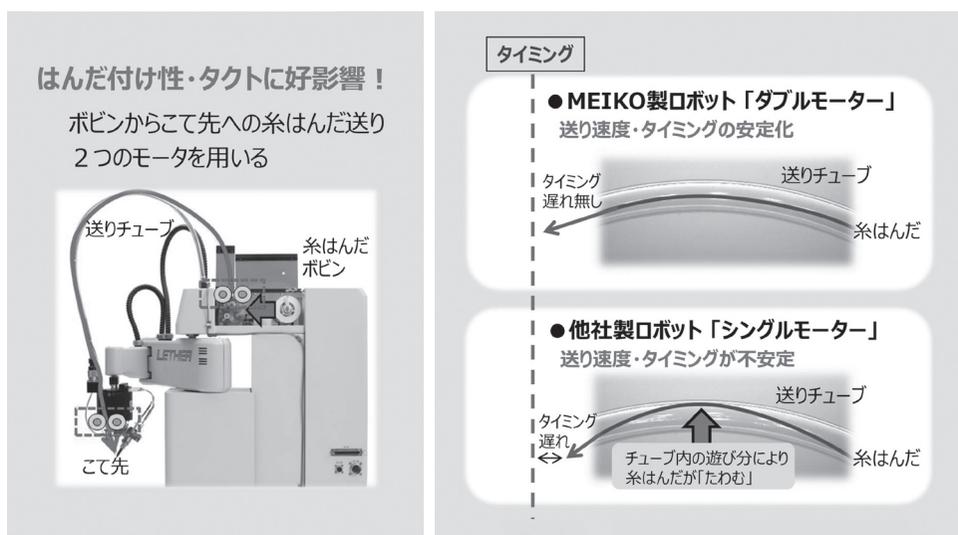


図1 「ダブルモーター機構」とタイミング比較

(2) 自由自在なこて先のアプローチ

他社製ロボットの場合、ワークに対するこて先のアプローチについて、シリンダによるピストンストローク方式（いわゆるシリンダ方式）を採用しているケースが多くみられる（主に卓上型ロボット）。

その理由は、コストの低減や条件出し（プログラム）検討の簡略化などであるが、はんだ付けにおける「最適なタイミング」の追求においてはデメリットとなる。

メイコーが考えるシリンダ方式のデメリットとしては、以下2点挙げられ、最適な条件出しの阻害要因となる。

- ① こて先移動ルートが固定される（ピストンストロークによる単調な往復運動）
- ② こて先移動スピードの最適化が困難（スピコンなどつまみで調整）

いっぽう、メイコー製ロボットは、スカラ型ロボットのアーム先端部にこて先を装着することで、こて先移動ルートの設定の自由度が増し、かつスピードの最適化が容易になり（1～30段階のパラメータから選択）、「タイミング」を追求しやすい仕様になっている。

さらにこて先のクリーニングにおいても優位性（差別化）が生まれる。手はんだ付けにおいてこて先のクリーニングがおこなわれている理由は、はんだ付け動作のばらつきにより、こて先に残ったはんだを除去するためである。

ロボットはんだ付けの場合は、動作にばらつきがなく、プログラム通りの適切なはんだ量しか供給しないため、こて先に過剰なはんだが残留することはなく、1シーケンスの途中でクリーニングをおこなう必要はない。しかし他社製のシリンダ方式においては、その単調な往復運動かつ低速動作により、はんだ付けポイントにおける進入・退避動作においてこて先にはんだが残留してしまうリスクがある。

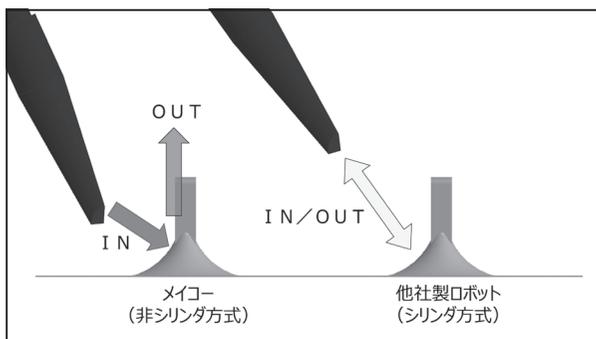


図2 はんだ付けポイントにおけるこて先進入・退避動作の比較

その上、その残留したはんだが次のはんだ付けポイントにもち込まれるなどの悪影響により、未はんだやイモはんだ化などの不良を引き起こしてしまう。

そのため、多ポイントのはんだ付けをおこなう場合、1シーケンスの途中で複数回のクリーニングを推奨しているメーカーもある。メイコー製ロボットでは、シリンダ方式を採用せず、その設定の自由度の高さと最適化追求の利便性により、たとえば、はんだ付け後にこて先をポイントの真上へすばやく上昇させるなど、はんだをこて先に残留させない工夫が可能となる（図2）。

その結果、良好なこて先の状態を維持できることになり、次ポイント以降への悪影響がなくなり、仮に1シーケンス数百ポイントのはんだ付けとなっても途中のクリーニングはまったく必要としない、などの優位性が生まれる。

(3) ロボットアームの軽量化

最適なタイミングのはんだ付けを実現するために、こて先の移動スピードは重要である。こて先の酸化が進む前に、次のポイントへ到達してこて先へはんだ（フラックス）が供給されなければ、こて先の酸化（悪化）は急速に進んでしまうからだ。

メイコーではロボットも含めた自社設計開発の強みを活かして、アーム及びリストの高速化を実現している。具体的にアームはガラス繊維を含んだ樹脂材料を採用し、軽量化を図っている。

その結果、はんだ付けロボットとして必要とされる強度を保ちつつ、狭いはんだ付けワークエリア内での最適なスピード、つまり高い加減速度や機敏性を追求している。また、リストについても、はんだ付けに必要なとされる分解能を備えつつ、回転スピードを優先した設計になっている（図3）。

いっぽう、他社製のように、汎用ロボットがベースになってい

● MEIKO製ロボット

自社設計によるアーム・リストの高速化
はんだ付け性・タクトに好影響！



図3 ロボットアームの軽量化

ると、そのロボット仕様の制限を受けて改造は容易にできないため、上記追求は困難になる。

(4) メイコー製ロボットの総合力

～ロボットによる潜在的なリスクを克服～

ロボットは人間のように目視確認ができない。

ロボットはんだ付けにおいて、こて先をワーク（端子やパッド）に当てて熱を伝える場合、ロット違いなどにより位置ずれが生じていると全ポイントで均一な熱伝導が困難になる。

そこでワークへこて先を当てる前にはんだを供給し（予備はんだ送り）、こて先のはんだを媒介役にする事で均一的・効率的な熱伝導を可能にしている。

これはロボットにおいて自他ともに共通する一般的なプロセスではあるが、ここにリスクが潜んでいる。

ここで生じるのがゼロクロス時間の問題である。

こて先がシリンダ方式の場合、前述のルート及び速度設定の自由度の低さにより、はんだ付けがゼロクロス時間内に完了せず、はんだ不良の原因となる。

そのため、シリンダ方式のロボットではこのプロセス（予備はんだ送り）を回避するケースが多くみられる。

いっぽう、メイコー製ロボットでは、このプロセスを踏んでいるものの、「はんだ供給タイミング、こて先の移動制御」を追求した仕様、つまりロボットの総合力により、ゼロクロス時間内のはんだ付けが可能となり、ロボットによる潜在的なリスクを克服している。

5 ロボット化を阻む誤った常識

～メイコーが提唱する“真”常識～

メイコー製ロボットをベースにしたはんだ付けノウハウから見ると、「はんだ付け」に適していないロボットを元にしたノウハウ、つまり現状のはんだ付け業界を覆う常識は、「メイコーの非常識」となる。以下現在のはんだ付けロボット業界へのネガティブイメージの原因となった悪しき常識に対する、メイコー“真”理論を述べる。

1. メイコー“真”理論 ①

「赤目不良の原因はこて先の位置ずれではない」

業界の常識では「パッドの赤目不良」の原因はこて先を当てる位置のずれによるものだと考えられている。

しかしメイコーの見解は、そのような考え方とは真逆の立場にある。

なぜなら作業者による手はんだ付けにおいては、厳密にはこて先を当てる位置は毎回ばらついている。それにも拘わらず赤目不良の発生はない。それはこて先を当てる位置のずれが直接の原因ではないことを証明している。

赤目不良の原因は、性能不足なロボットにより「最適なタイミング」のはんだ付けが実現できておらず、はんだぬれ性が十分でないからである。

2. メイコー“真”理論 ②

「こて先による加熱時間と品質は比例しない」

業界の常識ではこて先を当てる時間（加熱時間）の長さに比例して、はんだ付け性が安定すると考えられている。

しかしメイコーの見解では、上記は「悪いタイミング」のはんだ付けにより引き起こされる発想である。

つまりフラックスの効果が低下した結果、はんだのぬれ広がりが遅くなり、その間加熱し続けなければならない、という負のプロセスに陥った結果といえる。

いっぽう、「良いタイミング」のはんだ付けを実現すれば、対照的な好循環（タクトと品質の両立）が生まれる。

3. メイコー“真”理論 ③

「バックフィレットの良し悪しとははんだ量は関係ない」

業界の常識ではスルー孔のバックフィレットを確保するには、はんだ量を増やしたほうが良いと考えられている。しかしメイコーの見解では、はんだ量の多少が問題なのではなく、前提条件としてスルー孔へはんだが流れ込みやすい状態をつくる必要があると考える。

具体的には、はんだを流す前にフラックスをスルー孔へすばやく流し込むことが必要であり、これができていないと後から幾らはんだを供給しても最適なバックフィレットは形成できない。

また、フラックスがすばやく流れるには、その還元力が高い状態でなければならない。これはスルー孔（バックフィレットの形成）に限った話ではなく、「最適なタイミング」ではんだ付けを行うことの必要性にも繋がる。

この場合、他社製ロボットでは、特に「予備はんだ送り」のプロセスが大きなネックになる。つまりロボットの機能的・構造的な問題により、予備はんだ送りからのワークへの一連のアプローチにおいて、こて先上のはんだの酸化及びフラックスの劣化（還元力の低下）が急速に進んでしまう。

そのため、こて先からのフラックスがすばやくスルー孔に流れ込まず、その結果としてバックフィレットの形成が困難となる。

フラックスの重要性に着眼していない場合、「はんだ量が適正ではない(不足している)」という発想になってしまう。

メイコー製ロボットでは、フラックスを最大限に活用する為の「最適なタイミング」を主眼としているので、スルー孔へのバックフィレットも問題なく対応することが可能である(※「予備はんだ送り」については、上述の、4項(4)の、「メイコー製ロボットの総合力 ～ロボットによる潜在的なリスクを克服～」を参照)。

4. メイコー“真”理論 ④

「Vスリットなどは、はんだボール対策として推奨できない」

業界の常識では、はんだボール削減の手法として、糸はんだへのVスリット加工・穴開け・プリヒートなどが有効であると考えられ、ユーザーへもさかんに提案されている。

しかしメイコーの見解として上記対策では、はんだボールを完全になくすことはできないばかりか、はんだ付け自体を大きく損なう恐れがあり、メイコーからの提案は行っていない。

はんだボールが発生する理由は多種多様であり、発生原理の一例としては、フラックス成分に存在する吸湿した不純物の爆発現象によってはんだが飛散してはんだボールとなる。

フラックス爆発現象の原因の一つとして高温のこて先による糸はんだの急激な温度上昇が考えられるため、「ダブルモーター」を使用した糸はんだの供給により、安定した供給速度を実現して爆発現象の防止に一定の成果をあげている。

5. メイコー“真”理論 ⑤

「窒素は無条件で活用すべきではない」

業界の常識では、はんだ付けにおいて窒素ガスを用いることは、はんだ付け性向上に有益であると考えられている。

しかしメイコーの見解では、窒素によるメリットは糸はんだ内のフラックスから十分に得られ、かつ窒素による品質管理上のデメリットもあることから、メイコーからの提案は行っていない。

窒素はリフロー工程では一般的に使用されており、その効果は確認されている。活用される理由はクリームはんだの酸化を抑制するためであるが、ロボットはんだ付け(後工程)における効果はどうか?

結論としては、窒素にはフラックスのような還元作用はないため、フィレット外観とはんだのぬれ性(接合面)にアンバランスな状態が生じる恐れがある。

仮にはんだと母材間の接合が不十分なワークであっても、窒素の酸化抑制作用による表面的には良好なフィレット外観のために、出荷検査をすり抜けてしまい、市場クレームへと繋

がるリスクもあることからメイコーでは窒素の提案はしていない。

コストアップをしてまで窒素に頼らなくても、「最適なタイミング」を追求し、糸はんだ内のフラックス(還元力)を最大限に活用することで高品質のはんだ付けが可能になる。

6 おわりに ～ロボット化の理想を求めて～

以上、他社製ロボットとの比較を交えながら、メイコー製ロボット「LEATHER-α」の優位性及びその“真”理論(ノウハウ)を紹介した。

如何であったらうか? 初公開の内容も多分に含んだため、生産現場の方々には少なからず衝撃を受けたのではないかと?

冒頭で述べたように、性能不足なロボットが引き起こす不安定なはんだ付けに日々追われるユーザー(生産現場)の悲痛な声が絶えない。その状況の中で、ユーザー(生産現場)の生産性向上及びはんだ付けロボット業界の底上げに寄与すべく、30年以上に渡り蓄積したノウハウの流出も覚悟の上で今回ペンを取った次第である。

なお、メイコー製ロボット及びそのノウハウを体感したい方は、実際のワークによるサンプルテスト(はんだ付け実験)をお勧めする。

メイコー製ロボットをベースにしたはんだ付けノウハウは無限にあり、そのワークの数だけ存在する。極端に言えば、同じ設計の基板でも製造する会社やロットによって特性が違い、それに対応するはんだ付けノウハウも変わってくるのである。

最後に、「ロボットは一度試したがうまくいかなかった」、「難しいワークなのでロボット化したい」などご相談・ご要望があればぜひメイコーまでお問合せを頂きたい。

なお、本稿でご紹介した内容及び、実際のユーザー様にて撮影した動画集も含めて、メイコーのホームページにて記載しているので、こちらも併せてご参照いただきたい。

<参考URL>

はんだ付けロボット紹介ページ(メイコーHP内)

https://www.meiko-elec.com/product/mechatronics/soldering_robot/

<QRコード>

はんだ付け動画ページ(メイコーHP内)

