

“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“真”理論2.0】

(株)メイコー / 伊東 薫

1 はじめに ～前回記事の反響～

昨年(2019年)の本誌8月号にて「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」理論を発表してから1年が経過した。

発表後の反響は当方の想像をはるかに超えて大きく、展示会などはるばる遠方から駆けつけていただいた読者の方も多おられた。

また、当社ロボットの導入のご検討をいただくケースも多く、感謝とともにノウハウの流出を覚悟でペンを取った甲斐があったと感じている。

一方、読者(生産技術部門、製造部門の方々)とお話をさせていただき、改めてはんだ付けロボットへの関心の高さを伺い知ることができた。

らに高まっている。

その理由は、以下3点が挙げられる。

(1) 品質管理の問題

作業者による手付けでは品質にバラつきが生じる
微細化・高密度化が進む昨今では品質管理が難しい

(2) 人手の問題

人手不足
作業者の高齢化による後継者不足

(3) コロナ騒動の影響

テレワークなどの普及により、製造現場においても省人化は推進されてゆく

上記3点の問題を解決する存在として、はんだ付けロボットに注目と期待が集まっている。しかし、はんだ付けの自動化について、ここに大きな盲点が存在している。

2 当論の主旨 ～最新動向を踏まえた加筆版～

今回の主旨としては、下記を述べてゆく。

- (1) 現在のロボット化における実情
- (2) (1)の原因
- (3) (2)を克服する当社ロボット(以下、メイコーロボット)の紹介

主に、メイコー以外の他社製はんだ付けロボット(以下、X社ロボット)を比較材料にしながら解説を進める。

3 ロボット化の理由 ～動機3点～

前回(一年前)から比較して、現在のロボット化への機運はさ

4 やはり、うまくいっていない ～ロボット化の盲点～

前回も指摘したが、(X社ロボットを使用した)自動化は業界全体としてうまくいっていない。つまり、1年経過した現在においても状況は改善していない。その理由は、前項にて触れた「はんだ付けロボットの盲点」と深く関連している。

では、その盲点とは何か? それは、(X社の)はんだ付けロボットに問題がある。その問題により、はんだ付けの品質は不安定になる。加えて、その問題はロボット導入後の量産時に露見する、というものである。

そして、導入前のはんだ付け実験(10～20ワーク程度)では問題が生じないケースが多い。導入後の量産に入ると、品質(不良率、不良個所、不良内容)において不安定さが露見される。ここが盲点なのである。

しかし時すでにおそし、そこから対策を講じても抜本的な改善は見込めない。これがX社ロボットの問題による盲点なのだ。その結果としてユーザーは日々対応に追われ、「今日は付いたけど、明日付くかどうか分からない」という状況に陥る。

5 原因はロボットです ～X社ロボットの構造的問題～

安定した品質と省人化を見込んでロボットを導入しても、うまくいかない。なぜなら原因は(X社製)ロボットに問題があり、はんだ付けの自動機として性能不足であるからだ。それではどこが問題なのか? 具体例を挙げて述べてゆく。

まず、前提として、メイコー以外のX社ではロボットの設計は行わず、市販の汎用ロボットを製品化している。

ここに構造的な問題が潜んでいる。つまり汎用ロボット自体の仕様制限により、はんだ付け動作への悪影響が生じている。その悪影響により、はんだ付けの安定化を阻害する結果となる。

ここではX社ロボットの具体的な問題点として3点を挙げて解説する。

- (1) アームスピード不足
- (2) ピストン構造によるこて先移動の制限
- (3) こて先とはんだ送りの連動不足

(1) アームスピード不足

こて先(ロボットアーム)は、高い移動速度や運動速度が求められる。その理由は、スピード不足の場合、はんだ付けポイント間の移動中にこて先の状態悪化を招くからである。

具体的には、こて先上のはんだの酸化や劣化が急速に進行してしまう。結果的に、はんだのぬれ性・切れ性が低下し、はんだ付け不良の要因となる。そのようなこて先では不良発生器と化してしまい、全ポイントにおいてははんだ付け不良のリスクをもたらす。

一方、こて先(ロボットアーム)のハイスピード化にはどんなメリットが生じるか? それは移動先のポイントにおいて、タイミング良くはんだ(フラックス)をこて先へ供給することができる。そして、フラックスの還元力により、こて先の状態は良好に維持され、高品質・高安定なはんだ付けをもたらす。

少々解説が長くなったが、X社ロボットにおいては、このアームスピードが不足している。

また、逆説的なようであるが、スペックだけを比べるとX社

ロボットの方がはるかに高い。

じつは、ここにも盲点が潜んでいる。盲点とは、この数値は“最大速度”であるということだ。

一方、はんだ付けのワークエリアは200×200mm内など狭いエリアが対象となる。しかし、このエリアにおいてロボットアームは最大速度に到達することはない。つまり、着目すべきは最大速度ではなく、加速度・減速度などの機敏性なのである。

しかし、X社ロボットでは、アーム重量やモータの制限により、はんだ付けに適した機敏性を実現できていない。また、それらを改善したくても汎用ロボット(購入品)であるため、ハードウェアの改造は特に難しい。

(2) ピストン構造によるこて先移動の制限

はんだ付けの際、こて先ははんだ付けポイント(パッドやスルー孔)へ移動する。こてのあて方・逃げ方など、移動ルートやスピードの設定はワークにより一様ではない。これらの合理性・効率性の追求が“条件出し”(※)の鉄則となる。

(※)“条件出し”の定義

- ✓ こて先・はんだ・フラックスの選定から始まり、
- ✓ こて先及びはんだ送りの動作(当て方/逃げ方/予熱加熱/はんだ量など)の中から、
- ✓ 生産性・安定性・信頼性を兼ね備えたシーケンスを探求してゆく作業

しかし、X社ロボットではこて先の動きに制限が生じる。具体的には、X社ロボットに採用されるエアシリンダを用いたこて先のピストン構造が原因になる。

このピストン構造により、こて先のアプローチ(あて方/逃げ方)が単調な直線往復運動に制限される。これはロボットによる“条件出し”には大きなビハインドになる。結果、ワークに対して非合理・非効率なこて先の動きに制限される(図1)。

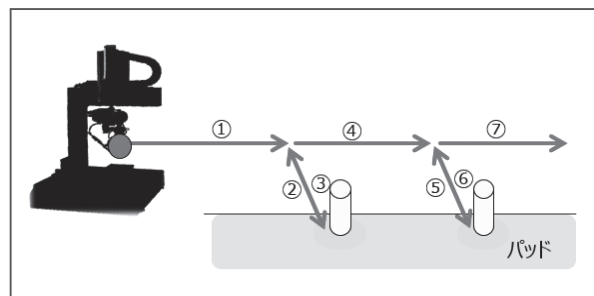


図1 X社ロボット：こて先の単調な直線往復運動

また、ピストンのストロークスピードの設定にも難がある。いわゆるスピコンによりエア調整をおこなってゆくのであるが、これがアナログ的で難しく、再現性が取れない。

そのため、基板自体のたわみや製造誤差などを考慮して、ワークを破損させないように保険をかける場合が多い。つまり、必要以上に低速にするのである。

繰り返すが、“条件出し”においては、こてのあて方／逃げ方における設定自由度の高さは重要である。それにも関わらず、こて先の動きが制限されるピストン構造とはいかにナンセンスであろうか。

(3) こて先移動とはんだ送りの連動不足

汎用ロボットをベースにするX社の場合、はんだ送り(フィーダ)などは独立した外部ユニットとしてつくられる。そして、通信制御は汎用ロボットの外部I/Oを介しておこなわれる。

この構造は、こて先(ロボットアーム)との連動において問題を内在している。それは、外部I/O通信によるタイミングロスである。そのため、こて先がポイントに到達しても、同期してはんだ送りを実行することができない。

この外部I/O通信のロス分により、はんだ付けの品質や安定性に悪影響を与える。

なぜ、このレベルのロスを見逃してはならないのか? はんだ付けの世界では「はんだは生き物」、「0.1秒間にはんだ付けでは長時間」といわれる。

また、350℃前後の高温において、熔融した糸はんだ(フラックス)は一瞬にして状態が変化してしまう。原因はこて先における酸化であるが、その度合いの予測はできない(例えば、何℃のこて先に、何mmのはんだを供給して、何秒加熱すると何%劣化する、などの結果は一定しない)。仮に同じ温度のこて先であっても、下記の不安定要素に影響されてしまうからである。

周辺環境 … 温度、湿度、空調の変化

糸はんだ … 保管状態や経過日数による品質の変化、製造上のフラックスのばらつき

つまり不測の不安定要素を考慮すると、通信レベルのロスであっても見逃すことはできない。

しかし、X社ロボットの場合、外部ユニットという存在により、タイミングレベルのロスやバラつきを制御できない。つまりは構造的に不安定なロボットということになる。

そして、それら構造的な欠陥を自覚したX社は、枝葉末節の試みとして様々なオプションを提案してくる。

一例としては、カメラによるこて先の位置補正、窒素ガスによる酸化パージ、こて先の温度復帰性能の追求など。しかし、これらは本質的な解決策にはなりえず、オプションという名のコストアップにつながる。

それにもかかわらず、長年のX社によるPR活動の結果、業界全体にこのような認識が広まってしまった。これも「ロボット化の盲点」となり、最終的にはユーザーにしわ寄せが来る結末となる。

6 原因はロボットです ～ユニット単品販売の弊害～

ここ数年のうちに「ユニット単品売り」が流行している。これは、こて先ヘッドやはんだ送り機構を外部ユニットとして単品販売するビジネスモデルである。

イニシャルコストという観点では、ユーザーの既存設備(ロボット)を活用できるので一見メリットがあるように思われる。数百万円の「ロボット購入コスト」が浮くからだ。しかしこれにも大きな盲点がある。“条件出し”を誰がおこなうのか? という問題である。

また、“条件出し”に対して、非常に遺憾ながら、「ただこてをあてて、はんだを送れば、自然にはんだが付く」というのが業界全体の認識である。しかし、そんなに甘い世界ではない(ユーザーの皆様は身に染みていらっしゃる)。

話を戻すと、ユニットメーカーには条件出しを行う義務はない。ロボットを絡めた条件出しは保証範囲外である。結局は現場のユーザーが自力で試行錯誤してゆくしかない。

そのなれの果ては、日々安定しないはんだ付けとの格闘であり、生産性の低下に陥ることとなる。

7 メイコーはんだ付け“専用”ロボット ～独自性とコンセプト～

(1) 独自性 ～スカラロボットの独自設計～

前項までは、メイコー以外のX社ロボットの問題点を指摘してきた。そしてその問題の解決策は何かと問われたら、「X社ロボットの使用をやめてください」となる。

そこで本項では、理想的な自動化を実現するメイコーロボット『LEATHER-α』を紹介してゆく。

まずメイコー独自性は何か? 最大の独自性は、はんだ付け専用機となるスカラロボットの独自設計である。

そして、この独自設計のロボットをベースにして、アームの軽量化や独自の制御方式、はんだ送りの「ダブルモーター」化などにより、汎用ロボットでは実現できない特徴を生み出した（各特徴の詳細は後述）。

写真1及び表1に『LEATHER-α』の基本仕様を記載する。

(2) コンセプト ～タイミング良く、はんだを付ける～

メイコーでは、“最適なタイミング”を一貫したコンセプトに位置付けている。これは製品開発やエンジニアによる条件出し時にも共通するコンセプトである。

この“最適なタイミング”とは、

はんだの酸化が少ない
フラックスの劣化が少ない

この2点の条件（タイミング）を満たした状態において、はんだ付け作業をおこなう事をいう。その結果、はんだのぬれ性・切れ性が高次元で維持される。

ぬれ性や切れ性のメリットは以下の通りである。

ぬれ性の向上

- パッド上やスルー孔に対して、はんだが速くぬれ広がることにより、赤目の防止やトータルタクトの向上



写真1 LEATHER-α(メイコー製はんだ付けロボット)

- ぬれの速さに比例してワーク表面の汚れや酸化物が除去され、接合面も十分に生成

切れ性の向上

- ブリッジやツノの防止や、パッドーこて先間におけるはんだボールの低減
- 高速なスライド付け(引きはんだ付け)による生産性の向上

一方、X社においては、糸はんだへのV溝加工をオプションとして推奨している。これは“最適なタイミング”のコンセプトに反した手法であると考え。理由は、こて先への供給時において、糸はんだ内のフラックス成分が気化しやすくなる為である。その結果、本来パッドへ流れるべきフラックスが白煙とともに失われ、はんだ付け性を大きく損なう恐れがある。メイコーではこのような提案していない。

8 メイコーはんだ付け“専用”ロボット ～特徴3点～

ここでは、メイコーはんだ付けロボットの主な機能・特徴を紹介する。併せてX社ロボットによる問題点(3点)の克服も視野に入れて論じてみたい。

- (1) 「アームスピード不足」の克服
- (2) 「ピストン構造によるこて先移動の制限」の克服
- (3) 「こて先とはんだ送りの連動精度不足」の克服

(1) 「アームスピード不足」の克服

前項にてアームスピードの重要性とX社ロボットの問題点を述べた。

メイコーではロボットアームの設計するにあたり、軽量化を図った。軽量化により、アームスピード、つまり狭いワークエリア内での機敏性を重視した。具体的には、アームに対して金属材料は採用せず、ガラス繊維を含んだ樹脂系材料を採用した(業界唯一)。(※2020年7月現在、メイコー調べ)

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1 ロボット基本仕様

また、リスト(θ)の回転においても、スピード重視の設計コンセプトを採用している。具体的には、汎用ロボットレベルの分解能(1/1000スペック)は、はんだ付けにおいてはオーバースペックであると考え。ゆえに回転スピードを追求した設計をおこなっている。これによりX・Y・Z・ θ 軸の総合的な機敏性を実現している。

(2) 「ピストン構造によるこて先移動の制限」の克服

メイコーロボットではこて先のピストン構造は採用せず、アームの先端にこて先を装着している。ゆえに空間的に自由な条件設定を実現している。

以下、図1、図2を比較していただければ分かるが、“ピストン構造”はどのようなワークに対しても同一の往復運動しか選択できない。また、前述で述べたストロークスピードも一般的に低速になることから、タクト・品質面において不利は否めない。

一方、メイコーロボットの場合は一見複雑なシーケンスに見えるが、ワークに対する最適なこての当て方・逃げ方やストロークスピードを追及できるメリットがある。

(3) 「こて先とはんだ送りの運動精度不足」の克服

前項で紹介した、MOC(メイコー・ワン・コントロール)制御の内部バス図(図3)を添付する。ロボット内のCPU(コント

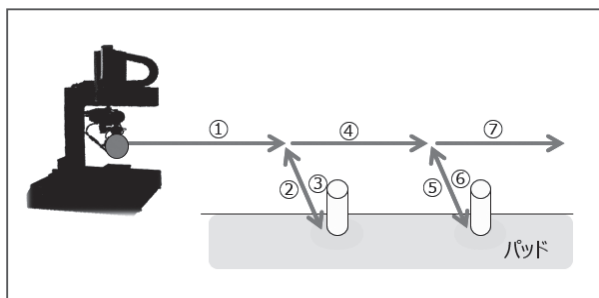


図1 X社ロボット：こて先の単調な直線往復運動

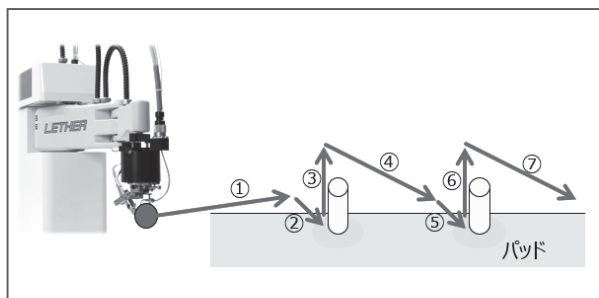


図2 メイコーロボット：ワークに適したメイコーのこて先移動

ローラー)から各モータを直接的、並列的に制御をおこなえるメリットがある。それにより、X社ロボットのような、外部ユニット通信によるタイミングロス克服した構造となっている。また、はんだ送りは2か所に搭載しているのも、メイコーロボットは6軸制御ロボットとなる(業界唯一)。(※2020年7月現在、メイコー調べ)

9 メイコーはんだ付け“専用”ロボット
～はんだ送りの「ダブルモーター機構」～

はんだ付けロボット業界における、エポックメイキング的な特徴を紹介する。

メイコーロボットは、はんだ送り機構を2か所に搭載している(「ダブルモーター機構」。図4)。こちらも業界唯一のソリューションである。(※2020年7月現在、メイコー調べ)

はんだ送りの構造を説明すると、ロボットに糸はんだポビンが取り付けられ、こて先までは送りチューブを介して繋がる。そして、ポビン側とこて先側に搭載されたはんだ送り機構において、ギア間から押し出されるかたちで糸はんだが送られる。

話を戻すと、この「ダブルモーター機構」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

一方、X社ロボットでは1か所のはんだ送りのみである(「シングルモーター機構」)。その結果、はんだ送りタイミング・速度・量が不安定になる。

原因は、送りチューブ内における糸はんだの“たわみ”である。具体的には、チューブ内のクリアランス(糸はんだとの

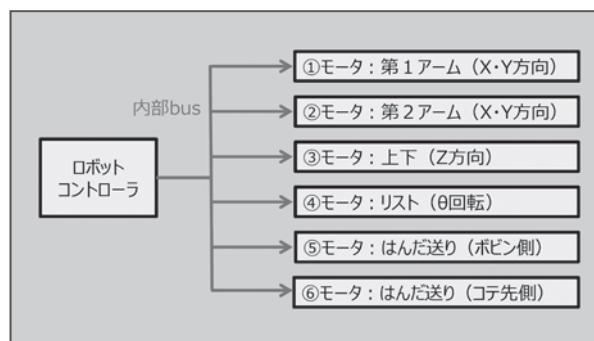


図3 MOC(メイコー・ワン・コントロール)制御

隙間)の分、糸はんだがたわむ。そのたわみにより、はんだ供給のタイミングが遅れ、速度や量がバラついてしまう。

メイコーでは、この「ダブルモーター機構」により、このたわみ分の影響を排除することに成功した。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。しかし、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。メイコーではこのロスも見逃さずに対応できている。

10 メイコーはんだ付け“専用”ロボット ～こて先の長寿命化～

メイコーロボットのメリットとして“こて先の長寿命化”が挙げられる。こて先の寿命(ライフサイクル)の良し悪しはランニングコストに直結し、ユーザーによるロボット選定の重要なファクターとなる。

メイコーでは、X社ロボットとの比較として、こて先の長寿命化を謳っている(ライフサイクルの定量的な提示は難しいが、少なくともX社ロボットの50%増は見込める)。

その根拠は何か? これは前述にある、メイコーロボットによるはんだのぬれ性の高さが要因となる。

はんだのぬれ性が高い、すなわちパッドへのぬれ広がりが増えれば、ポイント当たりのタクトも速くなる。その分、ポイント当たりのこて先の負担が少なくなり、結果的により多くのポイント(ショット)をこなせるようになる。

それでは、こて先の負担とは具体的には何か? 主には、すす喰われによるこて先の劣化である。具体的には、はんだ内の錫にこて先上の鉄めっきが溶け出して、形状変化などによりこて先の機能を果たさなくなる現象である。また、加熱時間が長ければ、すす喰われの影響も大きくなる。

一方、メイコーロボットでは“最適なタイミング”によるロボット動作により、はんだが速くぬれ広がることによって、タクト短縮とこて先の長寿命化を実現している。

11 メイコーはんだ付け“専用”ロボット ～生産性と信頼性の両立～

メイコーロボットにより“最適なタイミング”ではんだ付けをおこなえば、タクトも速く、かつ、はんだ付けの信頼性も高まる(はんだ付けの信頼性とは、はんだとの接合面に生成される金属間化合物の品質をいう)。

しかし、読者の方の印象として、タクトの速さと信頼性とは






MEIKO はんだ送りのダブルモーター	X社 はんだ送りのシングルモーター
▶ 2か所搭載：糸はんだの「たわみ」防止	▶ 1か所のみ：「たわみ」発生リスク
	
2か所搭載 ①ボビン側 ②先端ヘッド側 	 
はんだ送りタイミング・速度・量の安定化	はんだ付け品質の不安定化?

図4 はんだ送り機構の比較

両立しないと思われているのではないかと。経験上、当社HP内のはんだ付け動画集をお見せすると、タクトが速ければ速いほど、熱不足に対する懸念をあらわす方が多い。これもまた“盲点”である。

ここで、はんだ接合面に生成される金属間化合物(合金層)について、信頼性に関わる以下4つの性質を紹介する。

- (1) 硬い
- (2) 脆い
- (3) 電気を通しにくい
- (4) はんだをはじく

じつは、合金層は極めて悪質な性質があり、生成される厚みは薄いほど良い。具体的には、金属顕微鏡で1000倍まで拡大しても合金層が確認できない厚みが理想である。なおかつ、合金層の厚みは加熱温度の高さ、および加熱時間の長さ に比例して厚くなる。よって、過度に温度を上げることなく、なおかつタクトを短縮することで最適な厚みの合金層になり、信頼性が確立される。

メイコーロボットによる“最適なタイミング”の結果として、生産性と信頼性の両立が可能になる。

12 おわりに ～ロボットが主役～

以上、X社ロボットとの比較を交えながら、メイコーロボットの優位性及びその“真”理論を述べた。

いかがであったでしょうか？ 今回も初公開の内容を多分に含んだ為、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、不安定なはんだ付けに対するユーザー(生産現場)の悲痛な声が絶えない。その中で、生産性の向上及び業界の底上げに寄与すべく、ノウハウのさらなる流出も覚悟の上で今回もペンを取った次第である。

そして、最後に申し上げたいのは、自動化の“主役”はあくまでもロボットということである。どうしても、エンジニアによるはんだ付け(条件出し)ノウハウに注目されてしまう。優秀なエンジニアの手にかかれば、どのようなロボットであっても、はんだ付けの結果に大差はないのではないかと。という盲点である。しかし良質な条件出しを担保するのは、そのベースとなるはんだ付けロボットの性能である。

どんなに良い条件出しのイメージをもっている、ロボットの性能がはんだ付けに適していなければ、絵に描いた餅になる。

そのため、今回はロボットの話に重点をおいた。

なお、メイコーロボットを体感したい方は、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。メイコーロボットをベースにしたノウハウはワークの数だけにとどまらない。極端に言えば、同じ設計の基板でも製造するメーカーやロットによって特性が変わってくる。もちろん、それに対応するノウハウも変わってくるのである。

「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」などご相談があれば、お問い合わせをいただきたい。

なお、本稿でご紹介した内容及び、動画コンテンツも含めてメイコーのHPに掲載している。こちらを併せてご参照をいただきたい。

<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)



<引用文献>

1)「カラー写真で見える マイコンソルダリング不良解析 基本現象からBGA不良を徹底追跡」(長谷川正行、日本工業新聞社、2008年)

