

電子機器組立て技能における 新しい技能向上システムの検討

Investigation of a New Skill Improvement System for Electronic Device Assembly Skills

田中 翔大¹ 小林 由征¹ 貴志 浩久¹ 田村 仁志¹ 不破 輝彦¹

Shota TANAKA¹, Yoshiyuki KOBAYASHI¹, Hirohisa KISHI¹, Hitoshi TAMURA¹,
and Teruhiko FUWA¹

¹職業能力開発総合大学校

¹Polytechnic University

Abstract: The purpose of this study was to develop a new skill acquisition method and a soldering evaluation support system to improve electronic device assembly skills. We conducted two studies: (1) measurement and analysis of biometric information during soldering operations, and (2) verification of the feasibility of soldering evaluation on board images.

1 はじめに

近年、少子高齢化が進み、労働力の低下が問題視されている。就業者数の年齢別割合を見ると、若年層である34歳以下の割合は2002年の32.6%に対し、2020年には24.9%と7.7ポイント低下している。また、高齢就業者にあたる65歳以上の割合は2002年の7.5%に対し、2020年には13.6%と6.1ポイント上昇している[1]。このように、就業者の中で技能の担い手である若年層が減り、技能を有する熟練者の高齢化が進んでいる。そのため、熟練者が引退する前に技能を伝承しなければならない問題がある。この技能伝承における問題は、2007年に団塊世代が定年を迎えることから「2007年問題」と呼ばれ、問題視されるようになった。これは2016年を過ぎても解決されず、今なお多くの企業の課題となっている[2]。この問題に対して、各企業はデジタル技術を活用した技能伝承を試みてはいるが、デジタル人材の供給が十分でないといった課題もあり[3]、技能伝承の問題は依然として残されている。

労働政策研究・研修機構（JILPT）の調査「デジタル技術の進展に対応したものづくり人材の確保・育成に関する調査結果」[4]によると、主力製品の製造に当たって重要な作業として「電気・電子組立」、「半田付け」が挙げられている。また、どちらの作業も5年後の見通しについて、調査した企業の半数以上が「今までどおり熟練技能が必要」と回答している。一方、国家検定「技能検定試験」に電子組立、はん

だ付け作業を有する電子機器組立て職種がある。この職種の基礎級から特級までの受検申込者数の推移を図1に示す。図1より、この検定の受検申込者数は、コロナ禍で一度は落ち込むものの増加傾向であったことが分かる。また、毎年平均1万人ほど受検しており、電子機器関連の企業はもちろん、工業高校や工学系の職業能力開発短期大学校からの受検者も多い。以上のことから、製造業界において「電子機器組立て」の技能は、デジタル化が進んだ近年においても、重要な技能であると考えられる。当校は技能五輪全国大会「電子機器組立て」職種に携わっている方々も多く、前述した情勢も鑑みて「電子機器組立て」の技能の習得法に着目した。

現在、学校や企業等で行われる電子機器組立ての



図1: 電子機器組立て（全等級）の受検申込者数の推移（文献[5][6]のデータに基づき作成）。

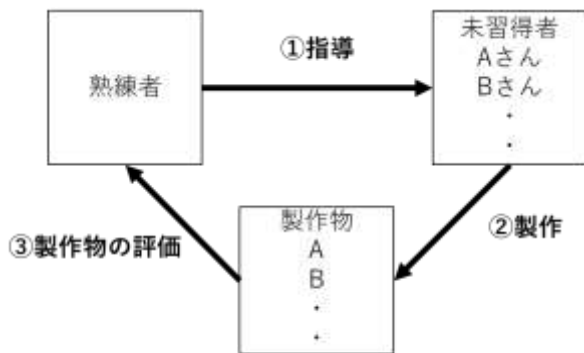


図 2: 技能訓練全体像.

技能訓練は、図 2 に示すように、①熟練者が作業方法を未習得者に指導し、②未習得者が指導に従って課題等を製作し、③その製作物の評価を熟練者が行う。さらに、再度①に戻り製作物の評価を踏まえた指導を行う、このような循環構造であると考えられる。

この循環には、大きく 3 つの問題がある。1 つ目は①指導における問題である。熟練者の指導は必要不可欠であるが、技能そのものを客観的に説明し指導することは困難である。その理由として暗黙知が挙げられる。暗黙知はラスムッセンの行為の 3 階層モデルのスキルベース行動によるものだと考えられる。スキルベース行動は「環境からの情報が感覚から入力されると、高度に統合された「滑らかな行動パターン」が自動的に生成される。そして、意識的な制御を伴わずに運動パターンが生成されて、身体が動作し、その動作が環境に作用する」[7]とされている。このスキルベース行動が暗黙知の要因となり「熟練技能者に見られる暗黙知にもとづく反射的、半自動化されたスキルベース作業は、一般の作業者にはムリ・ムラを強いられるいわゆるカン・コツ作業になる」[8]と考えられている。この暗黙知に関係する力の入れ具合やタイミングのような各個人によって異なる感覚的なものを熟練者が未習得者に伝えることは非常に難しい。そのため「見て覚えよ」といった指導になり、見て覚えた内容の反復練習を行うことが技能訓練の主となることで習得に多くの時間を要する。

2 つ目は③製作物の評価における問題である。製作物の評価項目は多く、製作物を 1 つ評価するのにも時間がかかるため、未習得者が増加すると評価すべき製作物も増え、評価時間が人数に比例して増加する。また、未習得者には熟練者の評価が終わるまで待機する時間が発生し、循環が停滞するため技能習得に多くの時間を要する。3 つ目は熟練者が技能訓練において必要不可欠なことである。①指導および③製作物の評価は熟練者によって行われるため、技能訓練の循環において熟練者は欠かせない。

そこでこれらを解決するために、本研究の目的は、電子機器組立て技能を対象とした新しい技能向上システムの構成を検討することである。このシステムの概要を図 3 に示す。このシステムは主にⅠ～Ⅲの 3 つの要素から構成される。要素Ⅰは、熟練者の作業中の生体情報である。これは、生体情報を測定し、作業工程毎の分析で得られた、熟練者の力の入れ具合やタイミング等の情報である。要素Ⅱは、未習得者の生体に要素Ⅰをフィードバックする機能である。これは、作業中の未習得者の生体情報を測定・分析し、分析結果に合わせて要素Ⅰから熟練者の力の入れ具合やタイミング等を、未習得者の生体にフィードバックさせる機能である。要素Ⅲは、製作物の評価補助機能である。これは、製作物の基板を撮影した画像を用いて評価することで、熟練者の評価を補助する機能である。

最終的には熟練者による評価が必要ではあるが、このシステムの利点は、熟練者を必要とする場面が今までと比べて少なくなるところにある。そのため、このシステムを用いることで、未習得者が技能訓練の一部を熟練者なしで行え、効率的な技能の向上につながると思っている。

今回は、要素Ⅱの「未習得者の生体に要素Ⅰをフィードバックする機能」における未習得者の電子機器組立ての各作業の工程と生体情報の分析を行うための実験として、当校の技能検定「電子機器組立て 2 級」に関する実習を受講した学生を対象に生体情報の測定実験を行った。また、Ⅲの要素の「製作物の評価補助機能」ための検証として、基板画像のはんだ付け評価の可能性を確認するために、はんだ付けの二次元画像に対する評価を行った。以上 2 つの実験について、それぞれ 2 章と 3 章で報告する。

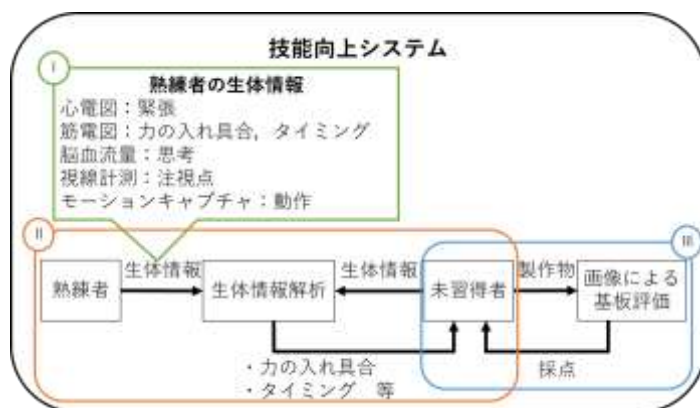


図 3: 新しい技能向上システム全体像.

2 電子機器組立て作業中の生体情報の測定・解析

2.1 概要

生体情報を測定して解析し、結果を指導法に使用する事例[9]は散見されるが、生体情報の解析に基づき、生体にフィードバックさせる事例は見られない。そのため、作業中の熟練者と未習得者にはどこに差があり、どのような生体情報をフィードバックできるか調査するために、はんだ付け作業中の生体情報の測定・解析を行った。

2.2 方法

2.2.1 実験方法

電子機器組立ての作業工程において、習得に時間を要するリード線（抵抗，コンデンサ等）の折り曲げ，切断，チップ部品の取り付け，はんだ付け作業について解析する。基板は電子機器組立て3級の基板を用いることとした。また同検定3級の部品の取り付け方法，はんだ付けの仕様に従って作業を行うよう被験者に指示をしている。

被験者は電子機器組立て2級の訓練を受けた8名の当校総合課程（学部相当）2年生（A～H）である。作業手順による個人間の差異をなくすため，表1の作業手順を指示した。作業手順は，部品別（チップ部品，リード線部品）かつ工程別（基板への取り付け，はんだ付け）とした。被験者には作業を開始する前に，部品の取り付け位置，順番を記載した仕様書を確認してもらい，作業工程（b）～（g）では各作業の終了を申告してもらった。

測定項目は，無線式計測システム（NeXus-10 MARK II，キッセイコムテック（株））を用いたCM5誘導による心電図，筋電アンプ（原田電子工業製）を用いた利き手の母指の屈曲動作を示す表面筋電位

表 1: 作業手順.

作業工程	作業内容
(a)	安静（作業前）※5分間
(b)	チップ
(c)	抵抗，ダイオード挿入前折り曲げ
(d)	抵抗，ダイオード挿入～切断
(e)	IC挿入～仮はんだ
(f)	コンデンサ挿入～切断
(g)	はんだ付け
(h)	安静（作業後）※5分間

である。心電図から交感神経活動の指標 LF/HF を求め，表面筋電位から利き手の母指の屈曲動作として力を加えた時間の推定を行う。また，近赤外分光法（NIRS）（WOT-100，（株） NeU）による脳血流量，上腕二頭筋の表面筋電位も測定したが，本研究では解析しない。被験者が組み立てた基板は技能五輪大会電子機器組立て職種の採点の経験者が採点（不良数を数える）を行う。また，作業工程（b）～（g）に要した時間を組立時間とする。

2.2.2 解析方法

測定中に作業の中断や電極はがれ等の不備があったデータは除外することとした。以下に心電図，表面筋電位の解析方法を示す。

心電図の解析は不破の解析方法[10]に基づき行う。心電図から得られる心拍変動の時系列（0.5 s 間隔）を作業工程毎に，周波数解析を行い，LF 成分（0.04～0.15 Hz）と HF 成分（0.15～0.4 Hz）のパワー比として LF/HF を求めた。求めた LF/HF を作業工程（a）の安静（作業前）を基準とし，正規化する。取得した表面筋電位の生データを MATLAB にて全波整流を行い，安静時の筋電位を閾値とし，閾値を超えたデータから，大まかに力を加えた時間を筋収縮時間（s）と定義して算出する。

2.3 結果および考察

被験者8名のうちAは筋電位が取れていない，Fは作業途中に右手の母指の電極が外れる，Gは作業途中に測定機器による頭痛の訴えがあり作業を中断するといった測定上の不備があったため解析から除外した。図4に組立時間と不良数の分布を示す。図4の中央の縦点線は組立時間の平均時間，横点線は不良数の平均数である。組立時間は長い者の中には不良数が少ないBや多いEがおり，組立時間と不良数に一定の関係は見られなかった。そこで組立時間が短いC，Dと長いB，E，Hでグループ分けを行い，LF/HFと筋収縮時間の解析を行った。図5に作業工程に対する正規化 LF/HF を示す。短いグループは，作業工程に対する LF/HF 平均値の変化幅が小さく，安静時より作業中の方が LF/HF が高い。一方，長いグループは，LF/HF 平均値の変化幅が大きいという結果となったが，被験者数が少なく統計的検証を出来ないため，明確に差があるとは言えない。図6に作業工程に対する筋収縮時間を示す。統計的検証はしていないが，短いグループは組立時間に対して筋収縮時間が長く，長いグループは組立時間に対して筋収縮時間が短い可能性が示された。この結果については，実験前には想定していなかった結果となった。なぜこの結果となったかは，現在分析中である。

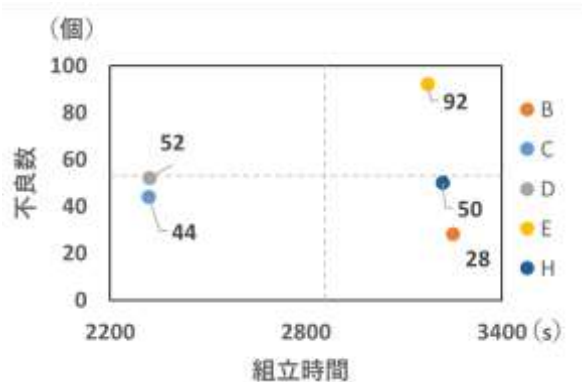


図 4: 組立時間と不良数.

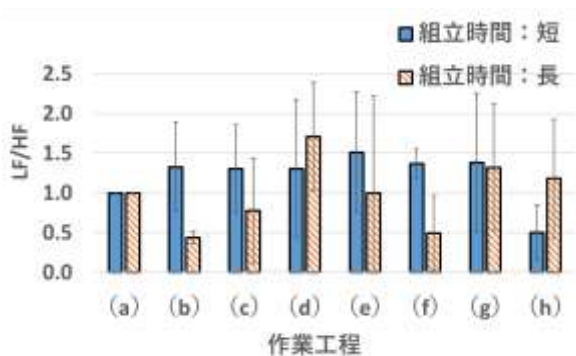


図 5: 作業工程に対する正規化 LF/HF.

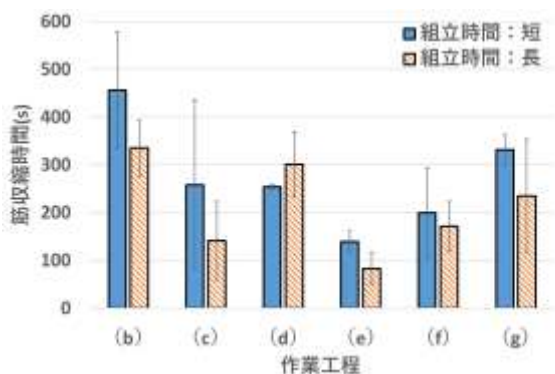


図 6: 作業工程に対する筋収縮時間.

3 はんだ付けの二次元画像評価

3.1 概要

はんだ付けの評価では、X線や三次元画像処理カメラを利用し、三次元情報によるはんだの検査を行なう装置[11-12]等がある。しかし、これらは高価、大型のシステムであるため、技能訓練現場において

導入は容易ではない。また、二次元画像からはんだ付けの状態を識別する研究[13-14]があるが、技能検定、技能五輪で用いられる採点基準で評価をしたものや、楕円ランドの評価をした報告はない。そこで、本システムでは市販のデジタル一眼カメラを使用した、簡便なはんだ付け評価補助システムを目指し、基板上面から撮影したはんだ付けの二次元画像に対する評価をできるか検証を行った。

3.2 方法

3.2.1 実験方法

はんだ付けの二次元画像を評価する際、どれだけ正確に画像を採点できるか検証するために、同一の基板に対し、実物に対する採点と、二次元画像に対する採点を行い、その結果を比較した。採点は、技能五輪の「電子機器組立て職種」の評価経験者4名(I~L)によって行なう。経験年数は、Iから、18年、17年、9年、5年である。採点に用いる基板には、当校総合課程の学生4名(技能検定二級基板を用いた「電子機器組立て」の訓練を受講済み)が各1枚製作した基板(基板 $\alpha \sim \delta$)を使用する。評価する基板のうち1枚を図7に示す。基板には、楕円ランド、丸ランド、表面実装(SMD)のランドがあり、それぞれのランドのはんだ付けの例を図8に示す。左から楕円ランド、丸ランド、SMDのランドにはんだ付けしたものである。ランドの数はそれぞれ楕円ランド54箇所、丸ランド122箇所、SMDのランド87箇所があり、すべてのランドのはんだ付けを採点する。



図 7: 基板画像.



楕円ランド 丸ランド SMDのランド

図 8: 各ランドのはんだ付け.

採点は、各採点者が $\alpha \sim \delta$ の基板に対して、実物 4 枚、画像 4 枚の計 8 枚の採点を行う。その際、実物と画像で連続して同じ基板を採点しないように、実物と画像を交互に採点した。採点する項目については、特に二次元画像では判断が難しいと考えられる 5 つの不良項目（はんだ過剰、はんだ不足、はんだのつもの、はんだの凸凹、リード線の高さ）とした。採点手順は、ランドを 1 つずつ確認し、良か否の二段階評価で評価用紙に不良項目を記述する方法とした。使用した評価用紙を図 9 に示す。評価用紙には、基板と同じ位置にランドが書かれており、そのランドに対して不良項目を記述する。実物での採点は、採点者毎に異なる照明環境ではあるが、採点しやすい照明環境にて評価対象の基板を目視で行なう。画像での採点は、Hisense 社の 55 インチ 4K テレビ 55U7H に画像を表示し、拡大縮小を適宜利用しながら行う。

使用する画像の撮影は同一条件下で行った。基板を固定台で机に対して水平に固定し、カメラは基板から約 40 cm の高さの位置に水平に設置した上で、基板を真上から撮影した。使用カメラ及び設定を以下に示す。

- 使用カメラ：デジタル一眼カメラ α 7R IV (ILCE-7RM4)
- 解像度：9504 pixel x 6336 pixel
- 撮影モード：絞り優先プログラムモード
- ISO 速度：ISO-100
- 絞り値：f/10

光源については規定しなかった（実験室の一般的な照明と窓からの太陽光を使用）。また、基板面が白飛びしないように、部屋の照明光を遮る対策を行った。

3.2.2 解析方法

各基板の採点から、不良（「否」と評価されたラン

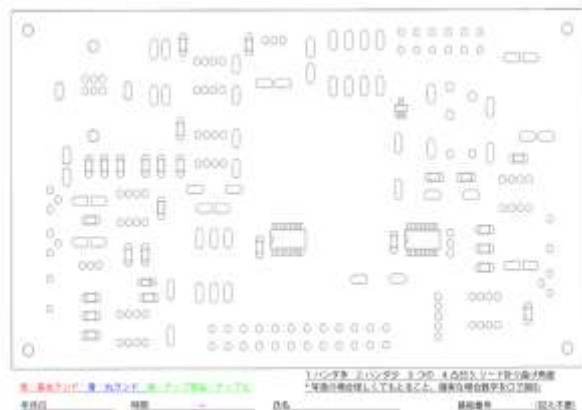


図 9: 評価用紙.

ド) の総数および、実物と画像での採点が一致した数を求めた。実物での採点の不良の数を X 、画像での不良の数を Y 、不良の採点が一致した数を Z として、次式で定義した一致率 W を求めた。

$$W = Z / (X + Y - Z) \quad \dots (1)$$

この一致率が高ければ、実物での採点と画像での採点の差が少ないことが示され、二次元画像による採点でも実物を採点する場合と遜色無いといえる。

3.3 結果および考察

採点者毎の一致率の傾向を検証するため、各採点者の基板毎および平均の一致率を求めた。結果を表 2 に示す。表 2 より、平均列の一致率を見ると、一致率の高さの順位は経験年数の長さの順位と一致しているという傾向が見られた。経験年数の長い採点者は、実物で採点する際、経験の短い採点者と比べ、より多くの特徴を無意識に捉えて採点しており、画像上でもその特徴を無意識に捉えることで一致率が高くなったのだと考えられる。そのため深層学習技術を用いて、無意識で捉えている特徴を学習することで、画像での採点ができるようになる可能性がある。

また、二次元画像上での採点において不良項目毎の傾向を検証するため、各不良項目の基板毎および平均の一致率を求めた。結果を表 3 に示す。表 3 より各一致率を見ると、不良項目毎に一致率が大きく異なり、二次元画像での不良を検出できる精度に差があることが分かる。特にはんだ過剰は、一致率が平均で 32.8% とあり不良項目の中で最も高いことが

表 2: 採点者別の一致率

採点者 (経験年数)	一致率 [%]				
	基板 α	基板 β	基板 γ	基板 δ	平均
I (18)	42.7	31.2	48.3	32.1	38.6
J (17)	24.8	29.7	30.8	13.0	24.6
K (9)	17.8	23.2	25.5	22.6	22.3
L (5)	14.6	36.5	12.6	22.4	21.5

表 3: 不良項目別の一致率.

不良項目	一致率 [%]				
	基板 α	基板 β	基板 γ	基板 δ	平均
はんだ過剰	31.5	32.1	38.3	29.1	32.8
はんだ不足	6.1	10.7	0.5	3.9	5.3
はんだのつもの	1.4	0.0	0.0	3.8	1.3
はんだの凸凹	17.3	20.9	2.1	8.6	12.2
リード高さ	1.4	0.0	100.0	19.0	30.1

示された。リード高さに関しては、30.1%となったが、不良の母数が少なかったため値が0.0%~100.0%と幅が非常に大きく、信頼性が低い。また、はんだのつものにおいては、一致率が非常に低く、画像での採点が難しいことが示された。この結果から、画像による評価において最も不良の検出が容易な項目は、はんだ過剰であることがわかった。また、その他の項目においては、画像による検出は困難であることもわかった。

4 まとめ

電子機器組立て技能における新しい技能向上システムの構成を検討し、未習得者の電子機器組立ての各作業の工程と生体情報の分析を行うための実験と、はんだ付けの二次元画像に対する評価を行った。

電子機器組立ての作業と生体情報の分析を行なうための実験では、LF/HF、筋収縮時間の解析を行ったが、被験者数が少ないため明確な差があるとは言えない結果となった。今後は被験者数を増やし統計的に解析を行うことで、明確な傾向が見られるかどうか検証する。さらに、作業タイミングや緊張度等を生体にフィードバックすることで新たな技能習得法に繋げていきたい。

はんだ付けの二次元画像に対する評価では、一致率を用いて実物と二次元画像の採点結果の比較を行った。不良項目のうち、はんだ過剰が32.8%と最も一致率が高いため、他の不良項目と比べて二次元画像から評価できる可能性が高い。しかし評価補助システムとしては一致率が低いため、現状では実用化は難しい。したがって、一致率を80%以上に向上させることを目標として、以下の検討を行なう。一致率の高い採点者が見ているはんだ付けの特徴を明らかにすることで、はんだ付けの画像判定に必要な特徴を分析する。また、カメラの角度、照明の数や位置の検討、さらに照明を格子模様にする等も検討している。一致率の向上を実現後、得られた画像よりデータセットを作成し、深層学習を行うことで熟練者と同様の採点をできる補助システムを検討していく。

*

本論文は、教育システム情報学会「2022年度学生研究発表会」の演題「はんだ付け技能向上のためのはんだ付け評価補助システムの開発」および「生体情報解析に基づく電子機器組立て技能の新たな習得法の開発」として2023年2月6日に投稿した発表論文の原稿を一部改変したものである。

参考文献

- [1] 経済産業省・厚生労働省・文部科学省編: 2021年版ものづくり白書, p. 117, (2021年)
- [2] 経済産業省・厚生労働省・文部科学省編: 2020年版ものづくり白書, p. 143, (2020年)
- [3] 経済産業省・厚生労働省・文部科学省編: 2020年版ものづくり白書, p. 114, (2020年)
- [4] JLIP: デジタル技術の進展に対応したものづくり人材の確保・育成に関する調査結果, p. 49, (2020年)
- [5] 厚生労働省: 令和3年度「技能検定」の実施状況を公表します, https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_27241.html, (参照 2023.02.01)
- [6] 厚生労働省: 平成27年度「技能検定」の実施状況まとめ, <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000133830.html>, (参照 2023.02.13)
- [7] 原圭吾, 新目真紀, 磯部真一郎, 市川博, 塚崎英世, 西澤秀喜, 平林裕治, 不破輝彦, 村上智広: 技能科学によるものづくり現場の技能・技術伝承, PTU 技能科学研究会, 日科技連出版社, p. 31, (2019年)
- [8] 和田雅宏, 圓川隆夫, 横山真弘, 平野健次, 池田知純, 飯田隆一, 中島均, 船木裕之, 菊池拓男, 塚崎英世, 高橋宏治: 「インダストリアルエンジニアリングの最前線—最新テクノロジーを活用した生産効率の向上—」, PTU 技能科学研究会, 日科技連出版社, p. 10, (2020年)
- [9] 芳田哲也: 日本の伝統技能を保存・継承するための「匠の技」の解析, 繊維機械学会誌, Vol. 60, No. 6, pp. 321-326, (2007年)
- [10] 不破輝彦, 本田寛亨, 大友勇人, 二宮敬一, 池田知純, 貴志浩久: 神経系計測に基づくフライス加工技能レベルの新しい定量的評価法, 技能科学研究, Vol. 38, No. 4, pp. 11-15(2022年)
- [11] I-Bit: FX-355xx 製品情報, <http://i-bit.co.jp/products/FX-355xx.html>(参照 2023.02.01)
- [12] KEYENCE: インライン 3D 外観・寸法検査の常識を変える インライン 3D 外観・寸法検査 画像処理システム XG-X シリーズ, https://www.keyence.co.jp/products/vision/vision-sys/3d_vision/index_pr.jsp(参照 2023.02.01)
- [13] 杉山謙太郎, 宮口達也, 菊池久和, 村松正吾, 小林淳一: 画像解析によるはんだ付け外観検査のための有効特徴量の調査, 社団法人映像情報メディア学会技術報告, Vol. 33, No. 31, pp. 5-8, (2009年)
- [14] 松嶋道也, 福本信次, 藤本公三: はんだ接合部のニューラルネットワーク視覚検査における主成分分析を用いた入力次元数削減効果, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.15, No.3, pp.206-216, (2013年)