

## 自動溶接機向け電圧条件推薦システム Voltage-condition Recommendation System for Automatic Welding Machine

高橋 正和<sup>†</sup>      安井 拓郎<sup>†</sup>      室 啓朗<sup>†</sup>  
Masakazu Takahashi    Takuro Yasui    Keiro Muro

### 1. はじめに

製造業において Internet of Things(IoT)技術の活用が進んでいる。製品、環境、作業者等に関するさまざまなデータを収集し、利活用することで、売り上げ向上や仕損費削減等の経営指標(KPI)改善を得る事例が増えている[1]。

本報告が対象としている自動溶接機を使用した工程においても、現場管理者を中心に IoT を活用した品質向上に取り組んでいる。溶接機に設置したセンサから IoT データを収集し、最適な製造条件の確立や不良発生原因の分析、製造中の製品・設備の状態監視に利用している。IoT データやドメイン知識によって得られた製造条件や分析結果、監視項目などは多岐に渡り、現場作業員に知識や経験に基づいた判断が要求される。特に品質改善の対策実施は、作業員の知識や経験の共有が難しいため、全体的な対策成功率の向上につながらないという問題がある。

そこで、本研究では対象工程において、品質低下時に作業員が実施する対策の一つである電圧条件調整の成功率を改善し、品質及び稼働率を向上する電圧条件推薦システムを提案する。提案システムは、対象工程の現場で作業員に推薦結果を提示し、電圧条件の実施を支援する。

本報告では、電圧条件推薦システムの構成と、過去の現場データを用いた評価による、対策成功率向上の効果の評価結果について報告する。

### 2. 製造業における IoT データ活用と KPI

製造業においても IoT 技術の活用が進んでおり、例えば、自動車製造において、製品、設備、作業員に関するデータから製造状態に関するイベントを抽出し、設備の可用性や製品種類ごとの製造リードタイムを提示するシステムが開発されている[2]。また、設備の IoT データとメンテナンス記録の分析により、設備異常発生時に設備の状態に応じて、現場作業員や現場監督者、設備技術者に対して適切なメンテナンス情報を提供するシステムに関する報告もある[3]。

IoT 技術の活用効果を評価するための KPI として、対象工程においては不良率と工程能力を使用している。

不良率は、製造した製品に占める不良品の割合であり、低下により不良品の製造によるロスコストを削減できる。

不良率は削減効果が仕損費削減に直結する KPI であるが、不良が発生していない短期間の品質を表すことができない。そのため、不良が発生しない期間も含めた品質管理のための KPI として、定められた規格内で製品を生産できる能力を表す工程能力を使用する。工程能力には複数の種類が存在するが、本報告においては、規格の中心と実測データの平均との偏りを考慮した指標である  $Cpk$  を用いる。上限規格値を  $USL$ 、下限規格値を  $LSL$ 、測定値の標準偏差を  $\sigma$ 、平均値を  $\mu$  とすると、 $Cpk$  は以下の式で表される。

$$Cpk = \min \left[ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right]$$

<sup>†</sup> 日立製作所 Hitachi, Ltd.

### 3. 対象工程における課題

対象工程では自動溶接機を使用しているが、作業員による作業も存在し、品質低下時の対策実施については、現場作業員の知識や経験に基づいており、実施判断が属人的でばらつきがあり、必ずしも品質が向上しないという問題がある。対策の失敗は品質が低下するだけでなく、失敗による実施回数の増加は設備停止時間が増加するため、稼働率の低下につながる。

品質低下時に実施される対策には、設定値変更や部品交換が存在する。例えば、最も多く実施される電圧条件調整は成功率（工程能力が上昇したケースが全体に占める割合）が 69%にとどまっている。この原因を調査するために作業員に対してヒアリングした結果、成功する確信がない対策をとりあえず実施していたり、逆に品質低下時でも対策を実施しなかったりする場合があった。

自動溶接機から収集した IoT データを活用して電圧条件調整の成功率向上を実現するために、電圧条件推薦システムを提案する。このシステムは、IoT データと電圧条件調整ログを利用して、品質低下時に作業員に対して電圧条件を推薦する機能を提供する。本機能により作業員の知識や経験によらない電圧条件調整が可能となり、作業員の判断よりも高い成功率を実現できる。

### 4. 溶接機電圧条件推薦システム

自動溶接機向けの電圧条件推薦システムの全体アーキテクチャを図 1 に示す。本システムは、過去の IoT データと作業ログから過去の対策による工程能力の変化を算出・蓄積し、蓄積したデータと現在の IoT データと比較して工程能力が向上した場合と類似の条件を探索し、その電圧条件を推薦する。

本システムにおける推薦処理は、過去の電圧条件調整実施前後の特徴量と工程能力から対策ログを作成する「ログ作成フェーズ」と、対策ログから現状のデータと類似する対策を抽出し、工程能力が向上する対策を推薦する、「推薦フェーズ」からなる。

ログ作成フェーズでは、まず、電圧条件調整の実施前後それぞれ 100 データ（約 10 分）を取得する。その後、取得したデータから特徴量として、調整対象である電圧の平均値  $\bar{V}$  と、工程能力に関する変位量の平均値  $\bar{Q}$  と変位量の標準偏差  $Q_{SD}$  を算出する。さらに、電圧条件調整の成否を判定するためのパラメータとして、電圧条件調整前後の変位

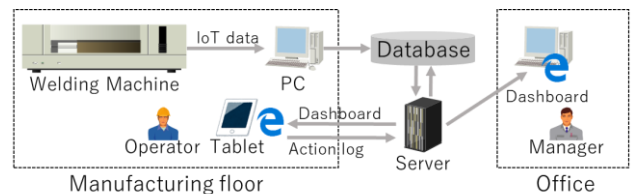


図 1 溶接機電圧条件推薦システムのアーキテクチャ

量の工程能力をそれぞれ算出する。最後に、算出した特徴量と工程能力を対策実施ログとしてデータベースに格納する。

対策推薦フェーズでは、まず、直近 100 データを取得し、ログ作成フェーズと同じ特徴量を算出する。次に、対策実施ログから対策実施前の特徴量が直近の特徴量と類似する状況の対策を取得する。類似する状況の対策としては、 $\bar{V}, \bar{Q}, Q_{SD}$  のしきい値をそれぞれ  $t_{\bar{V}}, t_{\bar{Q}}, t_{Q_{SD}}$  としたとき、 $\bar{V} \pm t_{\bar{V}}$  かつ  $\bar{Q} \pm t_{\bar{Q}}$  かつ  $Q_{SD} \pm t_{Q_{SD}}$  の条件に当てはまる対策を抽出する。 $t_{\bar{V}}, t_{\bar{Q}}, t_{Q_{SD}}$  はグリッドサーチを用いて決定する。スコアには、電圧条件調整の成功率（工程能力が上昇したケースが全ケースに占める割合）とカバー率（推薦した成功例がログに含まれるすべての成功例に占める割合）の重み付き調平均を用いる。重みは成功率側を 5 とする。

最後に、取得結果から調整後の電圧値別に成功率を算出する。成功率が 50% より大きい電圧値の上位 1 件を推薦値として出力する。ただし、工程能力が上昇したケースが 1 件のみ取得された場合は成功率 51% として扱い、推薦する場合は注釈付きで出力する。また、成功率が 50% より大きいケースが存在しない場合は推薦しない。

## 5. 溶接機電圧条件推薦システムの評価

### 5.1 評価の概要

本評価では、過去の電圧条件調整について直近 100 データを入力として推薦電圧値を算出し、実際の電圧条件調整結果と比較して推薦の成功率を評価した。電圧条件調整の成否については、電圧条件調整前後 100 データの工程能力を比較し、増加した場合を成功、同じか減少した場合を失敗とした。評価条件を表 1 に示す。なお、対策の成功は変位量の工程能力に基づいて判断する。

表 1 評価条件

データの期間	2年間(2016年2月~2018年2月)
溶接ユニット数	4
特徴量	電圧(平均) 変位量(平均, 標準偏差)
検証方法	Leave-One-Out 交差検証

### 5.2 評価結果

各溶接ユニットで検出された電圧条件調整の総数と電圧条件調整の成功数、成功率を表 2、システムによる推薦値と実際の電圧条件調整結果が一致した場合の結果を表 3 に示す。また、図 2 に推薦電圧と実際の電圧条件調整結果との差による成功率の変化を示す。図中の点線は、表 2 に示した、過去に作業員が実施した全電圧条件調整の成功率を示す。

表 2 検出した電圧条件調整の回数

溶接ユニット	全体	成功数	成功率
W01	2558	1403	54.8%
W02	76	53	69.7%
W03	369	204	55.3%
W04	2153	1417	65.8%

表 3 推薦値と実際の電圧値が一致した場合の調整回数

溶接ユニット	推薦数	成功数	成功率	向上効果
W01	258	195	75.6%	+20.8pt
W02	11	10	90.9%	+21.2pt
W03	22	19	86.4%	+31.1pt
W04	333	267	80.2%	+14.4pt

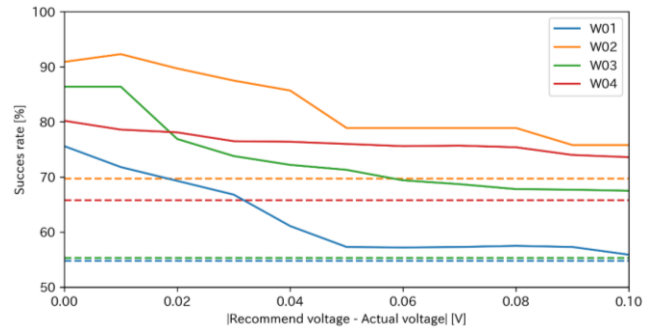


図 2 推薦値と実際の電圧値が一致しない場合の成功率

### 5.3 考察

システムによる推薦値と実際の電圧条件調整結果が一致した場合は、作業員による電圧条件調整に比べて最小で W04 が 14.4pt、最大で W03 が 31.1pt 高かった。一致しない場合は、システムが提示した推薦電圧と電圧条件調整結果の差が大きいほど成功率は低下した。しかし、推薦電圧と電圧条件調整結果の誤差が大きい場合においても、推薦が提示される場合の成功率は作業員による電圧条件調整と同等かそれ以上であった。この結果より、システムが推薦電圧に従うと電圧条件調整の成功率が向上すると考えられる。

## 6. おわりに

自動溶接機を使用している工程において問題となっている電圧条件調整のばらつきを改善し、稼働率・品質向上するための、IoT を活用した溶接機電圧条件推薦システムを提案した。

本研究では、この課題を解決するために過去のログに基づき工程能力が向上する電圧条件を作業員に提示する機能を開発し、現場過去データを用いて電圧条件推薦適用時の対策成功率の効果及び品質向上効果の評価した。その結果、システム導入によりすべての溶接ユニットで電圧条件調整の成功率が少なくとも 14.4pt 向上した。

今後は、電圧条件調整以外の作業についても推薦できるようにシステムの機能拡張を実施する、また、本システムの他工程、他工場にける有効性を検証する。

### 参考文献

- [1] Ministry of Internal Affairs and Communications. Information and Communications in Japan. White paper, 2015.
- [2] Alfred Theorin, Kristofer Bengtsson, Julien Provost, Michael Lieder, Charlotta Johnsson, Thomas Lundholm, and Bengt Lennartson. An Event-Driven Manufacturing Information System Architecture. IFAC-PapersOnLine, 48(3):547 – 554, 2015.
- [3] Konstantinos Sipsas, Kosmas Alexopoulos, Vangelis Xanthakis, and George Chryssolouris. Collaborative Maintenance in flowline Manufacturing Environments: An Industry 4.0 Approach. Procedia CIRP, 55:236 – 241, 2016.