

4CGL 溶接機 J-dscom[®] 導入

Introduction of J-dscomTM to No. 4 CGL Welding Machine

川上 太聖 KAWAKAMI Taisei JFE スチール 西日本製鉄所 (福山地区) 制御部 制御技術室
志賀 駿介 SHIGA Shunsuke JFE スチール 西日本製鉄所 (福山地区) 制御部 冷延制御室長
森 貴雄 MORI Takao JFE スチール 西日本製鉄所 (福山地区) 制御部 制御技術室 主査

要旨

自動車用鋼板に用いられる溶融亜鉛メッキ鋼板の製造ラインでは、連続生産を可能とするため、入側に装入された帯鋼板の尾端と先端を溶接する溶接機が設置されている。炉のある連続ラインでは、溶接機の故障はライン停止のみならず溶接異常による炉内破断を生じるため、生産への影響は甚大である。そこで、当社で開発された設備異常予兆検知システム (J-dscom[®]) を溶融亜鉛メッキ鋼板製造ラインの溶接機に適用することで、設備異常の予兆を検出し生産への影響を抑止した。

Abstract:

In the production line of hot-dip galvanized steel sheets used for automotive steel sheets, a welding machine is installed to weld the tail end and the leading end of the steel strip loaded on the entry side to enable continuous production. In a continuous line with a furnace, a failure of the welding machine not only causes a line stoppage but also results in breakage of the strip within the furnace due to welding anomalies, significantly impacting production. Therefore, by applying an equipment anomaly prediction detection system developed by JFE Steel to the welding machine in the hot-dip galvanized steel sheet production line, signs of equipment anomalies are detected and the impact on production is mitigated.

1. はじめに

近年、自動車用鋼板には強度、加工性、軽量性に富んだハイテン材や耐食性を備えた溶融亜鉛メッキ鋼板が多く用いられている。これらの鋼板は連続焼鈍ライン (Continuous Annealing Line: CAL) や連続溶融亜鉛メッキライン (Continuous Galvanizing Line: CGL) で生産される。上記の自動車用鋼板製造ラインでは、連続生産を可能とするため入側に装入された帯鋼板の尾端と先端を溶接しており、溶接機が故障するとライン停止に陥る。CGL, CAL には鋼板を焼鈍する炉があり、ライン停止が長時間になると炉の立ち下げ、立ち上げの時間も生じるため生産への影響は計り知れない。また、溶接機の設備異常は溶接不良にも繋がるため、炉のある連続ラインでは溶接部の炉内破断トラブルリスクも大きい。そのため溶接機の安定稼働が求められている。

本稿では、当社で開発した設備の異常予兆検知システム (J-dscom[®])^{1,2)} の、溶接機への適用による異常検知事例について述べる。

2. 背景

2.1 マッシュシーム溶接機の概要

自動車用鋼板製造ラインでは、薄板鋼板の溶接に適したマッシュシーム溶接機が多く導入されている。マッシュシーム溶接は抵抗溶接の一種であり、鋼板の重ね合わせた部分を電極輪で加圧しつつ溶接電流を流し板幅方向に移動させることで、鋼板の抵抗熱による入熱で溶接をおこなう。マッシュシーム溶接の主要溶接パラメータには、溶接電流、溶接速度、電極加圧力の三つが挙げられる。抵抗熱での溶接のため、溶接電流が増加するほど入熱が増加し、電極輪を移動させる溶接速度が遅くなるほど電流の流れる時間が長くなり入熱が増加する。また、電極加圧力が小さいと板との接触面積が小さくなり、電流の流れる鋼板の面積が減少することで鋼板の抵抗が大きくなるため入熱が増加する。鋼板の板厚が厚くなるほど必要な入熱が増加し、硬度が高くなるほど大きな電極加圧力が必要である。

図 1 に溶接機の概要図を示す。溶接動作では電極輪を搭載したコの字型キャリッジを板幅方向に走行させて溶接するため、キャリッジの走行速度が溶接速度となる。

2.2 溶接機のキャリッジ走行設備故障事例

キャリッジ走行設備はサーボモータにより駆動しており、

2025 年 3 月 3 日受付

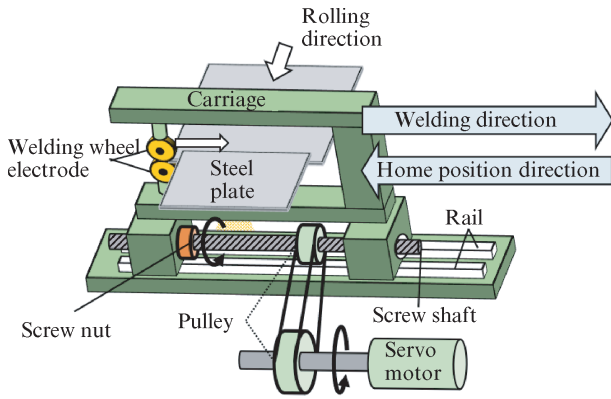


図1 マッシュシーム溶接機概要図

Fig. 1 Outline drawing of mash seam welding machine

表1 溶接機の走行設備故障実績

Table 1 Welding machine operation equipment failure case

Year	Faulty component	Downtime (H)
2018	Screw nut	7.3
2019	Screw nut, Screw shaft, Pulley	13.8
2020	Screw nut	4.9

プーリ、スクリー軸、スクリーナットにより回転を軸方向の移動へと変換している。ある連続ラインの溶接機におけるキャリッジ走行設備の故障実績を表1に示す。走行設備の駆動部は、ボールスクリーのナット、軸、プーリが1年ごとに故障する劣化しやすい設備である。溶接機の電極輪は銅素材であり、毎溶接の完了ごとにカッターで研磨して表面の荒れを整えている。図1で示したように溶接機の走行設備は一般的に溶接機の下方にあり、電極輪研磨時に生じた銅片が走行設備の駆動部分に入り込むため劣化が進行しやすいと考えられる。

3. 主成分分析による異常予兆検知

本システムにおける主成分分析を用いた異常検出方法を図2に示す。本手法ではCT、PLG等のセンサで取得した電気信号を設備の制御装置から受け取り、監視区間を切り出して正常時の基準データ波形を複数取得する。この正常時

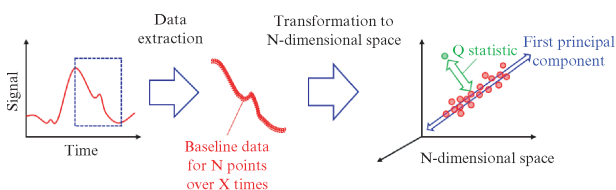


図2 主成分分析概要図

Fig. 2 Overview chart of principal component analysis

の信号波形に主成分分析をおこない、1つの信号波形を構成するデータ個数をNとし、N点のデータをN次元空間の1点としてプロットする。基準データ波形の取得回数をXとし、X個の波形を同様にN次元空間にプロットした際のデータ分布の広がり最大の方向を第1主成分、第1主成分に直交かつ広がり最大の方向を第2主成分、第1、第2主成分に直交かつ広がり最大の方向を第3主成分、同様にして任意の第N主成分まで決定する。このとき第1~Nの範囲で指定した主成分に直交する方向の変化量であるQ統計量が異常度の指標として用いられる。上記の手法により複数の正常データから得られたQ統計量を基準とし、作業時のデータを判定対象としてQ統計量を算出することで設備の劣化に伴う波形変化の兆候をQ統計量の推移として可視化し、閾値を設けることで異常を検出する。主成分分析では、従来の閾値による監視手法では検出できない正常範囲内での波形変化をQ統計量として捉えることができる。

4. 溶接機走行設備への適用

溶接機のキャリッジ走行はモータの回転と駆動部の動作で行われるため、駆動部の状態変化がモータの負荷電流波形の変化に現れると考えられる。監視タイミングはキャリッジの溶接動作と原点復帰動作の2つが考えられるが、溶接動作は溶接速度の設定が材料ごとに異なり負荷電流もそれに伴い変化するため、動作の異常性の評価が困難である。一方で溶接後の原点復帰中の動作ではキャリッジの全ストロークを毎回一定速度で走行するため、劣化の経時変化を捉えやすいと考えた。そこで負荷電流の監視タイミングとして原点復帰中の動作を選定した。

図3に監視対象であるサーボモータの負荷電流波形と、収集条件として使用したキャリッジ現在位置、原点復帰指令を示す。キャリッジ走行の監視では、どの位置で異常波形が生じているかが分かるように走行ストロークの全幅を監視対象とする必要がある。そこで原点復帰動作の開始直後の「現在位置 X m」以下かつ「原点復帰指令 ON」を監視

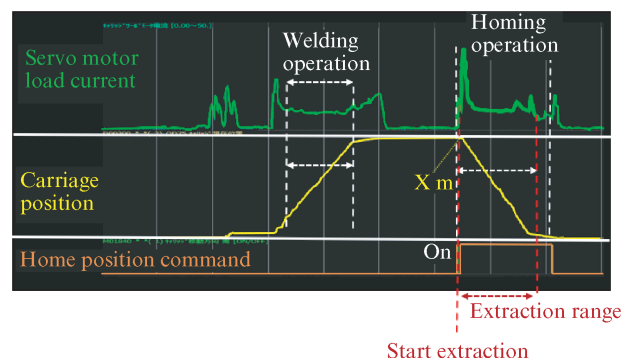


図3 監視対象とタイミング

Fig. 3 Monitoring targets and timing

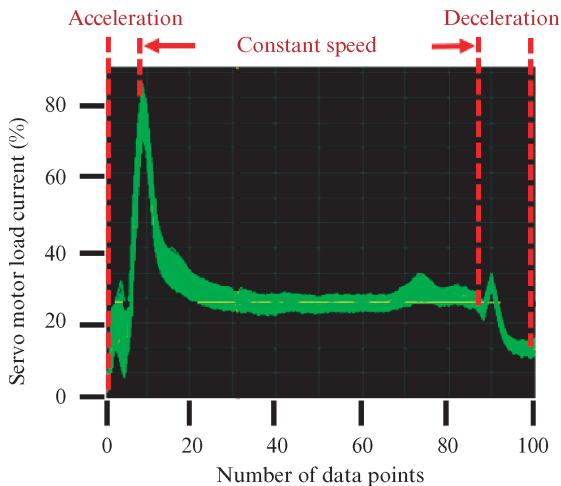


図4 複数の正常データから作成した基準波形

Fig. 4 Reference waveform created from multiple normal data

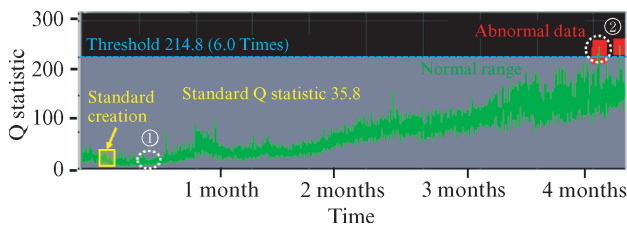


図5 基準波形作成から4か月間のQ統計量の推移

Fig. 5 Q statistics for 4 months since the creation of reference waveform

開始条件とした。データを収集するキャリッジの動作時間はストローク範囲と原点復帰速度から算出した。本システムでは1つの信号波形につき最大速度1 msecで300点のデータ収集が可能であり本事例では150 msec、100点のデータを収集して監視した。

図4に基準波形として収集した溶接100回分のデータを示す。原点復帰時の波形は加減速により凹凸が生じるが、監視タイミングが揃っているため多少のバラつきがあるものの波形が重なっている。このバラつきに基づいて主成分とQ統計量が算出され、この基準波形と形状の異なる判定データではQ統計量が上昇する。

5. 溶接機の異常検知事例

図5に基準波形作成から4か月間のQ統計量の推移を示す。閾値範囲内のデータは緑でプロットされ、閾値を超えたデータは赤色でプロットされている。基準から算出されたQ統計量は35.8であり、表1の故障実績より1年の間に故障が生じると考え、故障前に予兆として検出するために10か月後の上昇量を推定し、閾値を基準の6倍で設定した。本事例ではQ統計量が1か月目に一度上昇し、2か月经過後から4か月目にかけて上昇が止まらず、4か月经過前に閾値

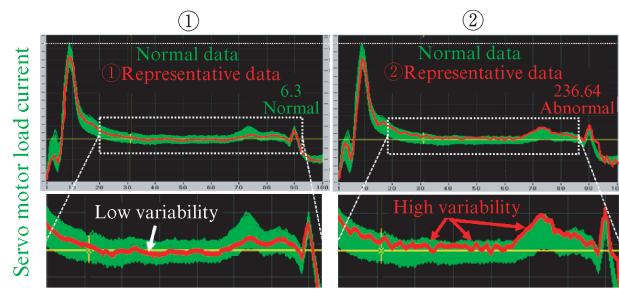


図6 正常データと代表データの比較

Fig. 6 Comparison of normal and representative data

越えが発生した。閾値越えから2週間後の定修における点検でボールスクロウの軸とナットの損傷が見つかり、Q統計量の上昇との整合性が確認された。

今回、本システムの予兆検知を活用し、計画補修を実施したことにより、突発故障を未然に防止できた。

図6に図5①、②で示した箇所の収集波形を示す。緑色の波形が基準波形であり赤色の波形は①、②それぞれの代表波形である。拡大部分の代表波形の変化をみると①の基準波形作成直後の波形では変動が小さく、②の4か月目の波形では細かく波打つような変動が顕著に見られる。Q統計量の上昇はこの波打つ変動の増加に伴い上昇したと考えられる。この波形変化は正常波形の分布範囲内で異常データが変動していることから、従来の負荷電流の閾値判定による監視方法では異常を見つけられない。主成分分析を用いることにより、正常データの分布範囲内であっても、正常データと形状の異なる波形の増加がQ統計量の上昇となり、異常を検出できる。

6. おわりに

溶接機への異常予兆監視技術の導入により、従来の閾値監視では検出できない溶接機のキャリッジ走行設備の異常予兆を、主成分分析による異常診断でQ統計量の変化として捉えることで、故障を未然に防止できることが分かった。本事例は溶接機の事例であるが、溶接機のみならずあらゆる製造設備にも同様に異常予兆検知システム(J-dscom[®])の適用が可能であることから、幅広い領域で設備トラブルの生産への影響の抑止が期待できる。

参考文献

- 1) 平田丈英, 蜂谷由佳子, 鈴木宣嗣. データサイエンス活用の異常予兆監視技術. JFE 技報. 2020, no. 45, p. 14-18.
- 2) 平田丈英, 松下昌史, 飯塚幸理, 鈴木宣嗣. データサイエンスに基づく鉄鋼プロセス設備のレベル別異常予兆検知技術. 鉄と鋼. 2021, vol. 107, no. 11, p. 897-905.
- 3) 川上太聖, 志賀駿介, 森貴雄. 溶接機の設備異常予兆検知. 電気学会研究会資料, 産業応用部門ものづくり研究会. 2024, MZK24007, p. 29-31.

本稿は、主執筆者が同じく執筆した参考文献3)の論文の一部表現を変更して転載しております。