

技術論文

溶接ロボット稼働率モニタ

Operating Rate Monitoring System for Welding Robots

稲田 孝治

Koji Inada

岸本 祐輝

Yuuki Kishimoto

山中 伸好

Nobuyoshi Yamanaka

従来、溶接ロボットの稼働率やサイクルタイムは人によるタイムスタディによって調査が行われてきた。しかしながら、大型建設機械のなかにはサイクルタイムが10時間を超えるものもあり、人による調査は現実的な方法とは言えなかった。そこで、溶接ロボットの稼働率やサイクルタイムを自動でモニタリングするシステムを開発した。モニタリングされた情報は解析アプリケーションによって、サイクルタイム、溶接効率、エラー頻度、エラー発生箇所などに分類され、最終的にはデータベース化される。データベースはWEBアプリケーションと連動し社内ネットワークを通じて閲覧できるようにした。

The operating rate and the cycle time of the welding robots have conventionally been analyzed by means of the time study involving humans manually measuring the time. A cycle time, however, can be more than 10 hours for some heavy-duty construction machines, making the time study virtually unpractical. To solve this problem, the authors developed a monitoring system that automatically monitors welding robots for operating rate and cycle time analysis. Data thus gathered is sorted using an application software for analysis into the cycle time, welding efficiency, frequency of errors, areas where errors occurred and other items, and eventually compiled into a database. The database is in conjunction with an Web application to offer accessibility on the company network.

Key Words: 稼働率モニタ, 溶接, ロボット, データベース, モニタリング

1. はじめに

生産のグローバル化、生産現場の情報化の進展、近年の中国の躍進など、顧客の多様化や競争激化で製造業の環境は大きく変化している。このような中で、生産の高効率化や高品質化の技術開発に積極的に挑戦している。自動車産業や建設機械産業で見られるライン生産方式で効率よく生産するためにはネック工程の把握やチョコ停（ロボットがエラーによって停止する）の低減が必要になってくる。特に、建設機械産業は多品種少量生産となるため、サイクルタイム（各ロボットが製品1個を仕上げるのに必要な時間）やチョコ停頻度は製品ごとに違ってくる。それゆえ、現状把握や課題の確認が難しい。そのような中で、溶接ロボット工程はネック工程になりやすく、またチョコ停も頻発する工程の一つである。従来、このネック工程やチョコ停を把握するにはタイムスタディと呼ばれる作業が必要で、人がストップウォッチを片

手に時間を計測し、エラー回数をカウントする以外に方法がなかった。しかしながら、建設機械のように大型の溶接構造物になると、製品によってはサイクルタイムが10時間を超えるものも出てくるため、現実的な方法ではなかった。このような状況では改善は進みにくく、生産効率の向上は期待できなかった。上記のような問題を解決するには溶接ロボットから情報を収集し、解析、表示するシステムが必要と考え「溶接ロボット稼働率モニタ」を研究・開発した（図1）。また、生産のグローバル化に合わせて、海外生産で使用されている溶接ロボットについても状況把握ができるようにネットワーク化に対応したシステムとした。本研究では、溶接ロボット専用のアプリケーションソフトを複数開発したが、データ収集、データ解析、ネットワーク化、全てをまとめて「溶接ロボット稼働率モニタ」と呼ぶことにする。

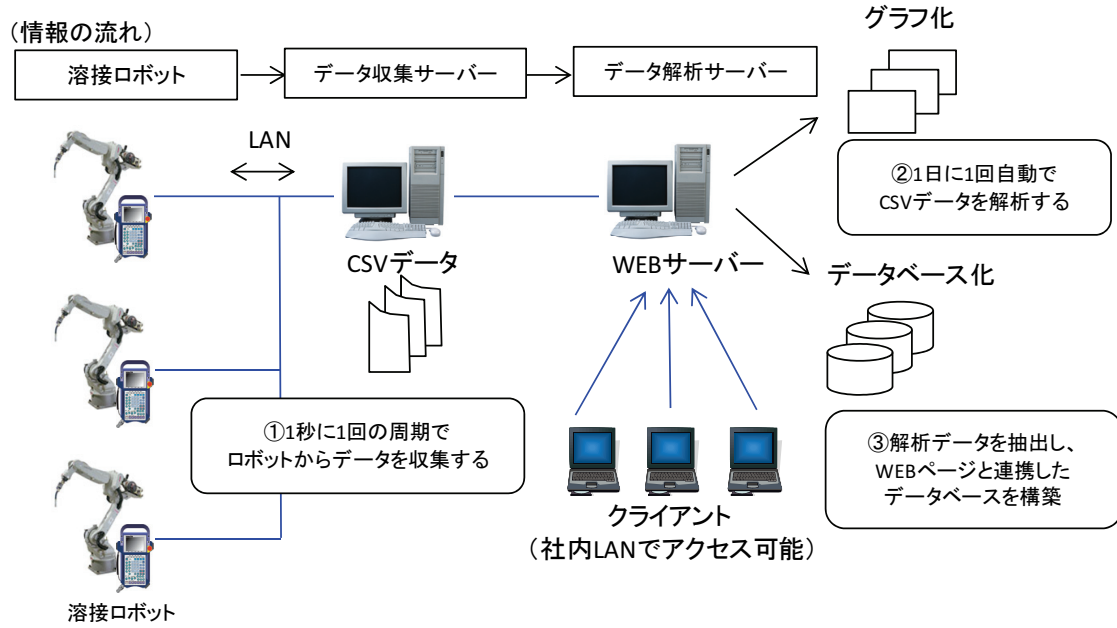


図1 溶接ロボット稼働率モニタシステム構成概要図

表1 溶接ロボット稼働率モニタシステムを構成するアプリケーション一覧

番号	アプリケーション	役割	開発
①	収集アプリケーション	溶接ロボット情報の収集(サンプリング周期:1回/秒)	Windowsアプリケーション(VB.net)
②	解析アプリケーション	CSVデータの解析(解析周期:1回/日)	Windowsアプリケーション(VBA)
③	データベースアプリケーション	データベースの構築とWEBアプリケーションとの連動	Windows SQL サーバー, Windowsアプリケーション(ASP.net)

2. 開発の経緯とねらい

まず、「溶接ロボット稼働率モニタ」という名称から、リアルタイムでロボットの状況を把握しその場で表示するイメージを持つかもしれない。しかしながら、生産現場で溶接ロボットの異常を知らせる機能はすでに設備に組み込まれており、リアルタイムで溶接中、移動中などの情報を表示して欲しいというニーズはなかった。それよりも、「一体、どのロボットの生産効率が高く、どのロボットが低いのか」といった情報を知りたいといったニーズの方が強かった。そのため、リアルタイムで情報を表示するのではなく、溶接ロボットの課題を洗い出し、現場の改善活動に利用できる情報を表示するシステムを

開発した方が役に立つと考え、開発に至った。表2に開発時の課題と要望の一例を示しているが、できる限りユーザー側の要望を織り込み使いやすいシステムとなるように開発を行った。

そういうわけで、稼働率モニタは、溶接ロボットの稼働状況だけでなく、生産性の指標となる溶接効率や、エラー頻度・内訳等の情報も提供している。これは溶接ロボットが持つ情報を分かりやすい形で「見える化」し、社内でも活用してもらうことが主な目的だからである。そのため、最終的にネットワーク化を実施し社内ネットワークを通じて誰でも情報を閲覧できるようなシステムとした。

表2 稼働率モニタ開発時の課題と要望

開発時の課題	対策
・コマツ社内に複数種類あるロボット (C3,Cxx,KXRC,NX) への接続方法	それぞれの通信専用基板を製作しロボットにアドオンした
・工場ごとの通信インフラの整備	各工場にはデータ収集サーバーのみを設置し、解析は一極で行った
開発時の要望	対策
・一目でライン全体の状態を分かるように欲しい	データベースと連携したWEBプログラムを作成し全情報を表示した
・サイクルタイム、溶接効率、エラー発生具合の評価の指標が欲しい	E値、エラー頻度などの指標を出力するプログラムを作成した
・溶接ロボットシステム1台で複数機種を生産するため機種ごとの情報が欲しい	ロボット側に機種情報を出力させる機能を追加した

3. 溶接ロボットからのデータ収集

コマツ社内には数種類の溶接ロボットが混在しているが、それぞれの設備において通信用基板を製作しアドオンすることでロボットに通信機能を持たせた (C3ロボットはNIC (Network Interface Card) を内蔵しているため不要)。図2に通信用基板の外観を示す。通信インターフェイスはRS-232CもしくはEthernetを用い、通信用PCを接続しデータ収集アプリケーションを稼働させれば溶接ロボットが保持している情報が自動的に収集される。

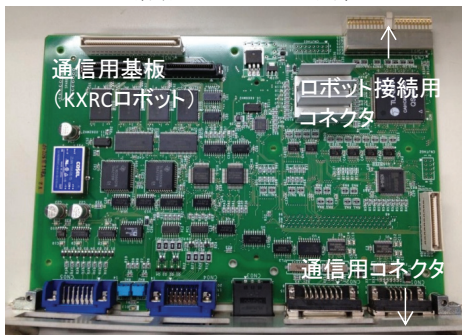


図2 通信用基板 (KXRCロボット専用)

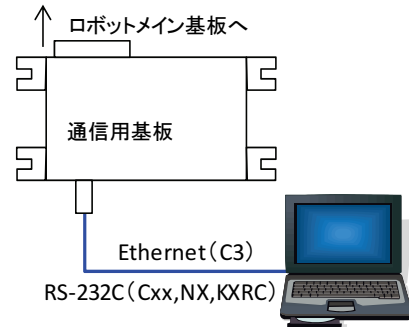


図3 スタンドアロン (1台) 接続例



図4 データ収集アプリケーション

表3 通信仕様

	C3	Cxx,NX,KXRC
インターフェイス	Ethernet	RS-232C
通信プロトコル	TCP/IP	非同期 (ASYNC) ※詳細は省略
サンプリングタイム	1~10秒/回	1~10秒/回
通信速度	-	9600,19200,38400 bps
最大接続台数	40台	40台

図3はスタンドアロン接続の例だが、複数台の接続を行う場合はLANを構築することで最大40台まで溶接ロボットの接続が可能である (RS-232C→Ethernet変換が必要)。図4にデータ収集アプリケーションを、表4に通信仕様を記述する。データ収集アプリケーションはWindowsアプリケーションとして作成し、通信は1秒間に1回行い、溶接ロボットの状態が変化するとデータを保存するようにした。溶接ロボットの状態の変化は①溶接 ②移動 ③待ち ④サーチ ⑤停止 ⑥電源オフの6通りで判断している。ロボットは状態の変化をそれぞれに対応した数値で出力する。例えば、溶接の場合は1、移動の場合は2といったように出力され、通信用PCには数値がcsv形式で保存される。

4. 収集したデータの解析

通信用PCに保存されたデータは解析用アプリケーションにより解析される。解析は毎日自動で実施され、結果はすべてグラフとして出力される。図5に解析アプリケーションへの入力データと出力データを示す。出力データはロボット搭載ワークごとに作成される。例えば1台のロボットで3種類のワークを製作している場合は3種類すべてのワークについて解析結果が得られる。

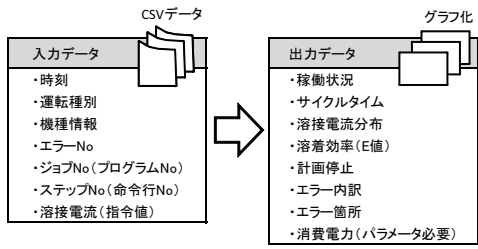


図5 解析アプリケーションへの入力と出力

出力グラフの簡単な説明と改善への活用方法を以下に記述する。

4.1 ロボット稼働状況

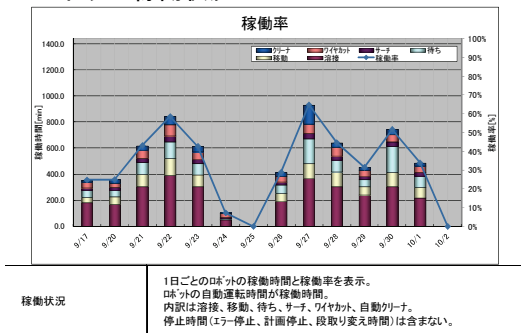


図6 ロボット稼働状況の表示

溶接中か、停止中かの判別だけであれば、溶接機のI/O監視で済むが、溶接ロボットは溶接だけ行っているのではなく、ワーク間の移動、接点待ち、サーチ（溶接線を探す）、ワイヤカット（溶接前に溶接ワイヤを最適な長さにする）、ノズル清掃（溶接で発生するスパッタを除去する）などの付帯作業がある。こうした溶接以外の作業も判別するために、通信用PCに出力される運転種別情報（溶接、移動、待ち、サーチ、停止）と実行ジョブ（プログラムNo）の組み合わせで作業を判別できるようにした。これらの作業（溶接と溶接の付帯作業）時間の積算値を1日の稼働時間とし、24時間で除すことで稼働率を算出する仕様とした。

4.2 サイクルタイム

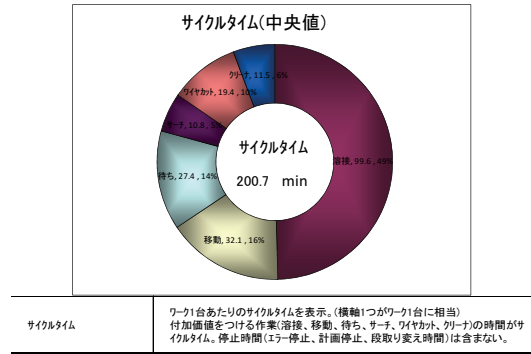


図7 サイクルタイムの表示

運転種別情報とカウンタ値（搭載機種情報）からサイクルタイムが算出される。サイクルタイムの定義は「溶接時間と溶接の付帯作業時間の和」であり、基本的にエラーによる停止がなければ、製品はサイクルタイムで完成することになる。図7にサイクルタイム内訳の例を示すが、解析結果を見ると、溶接以外では移動やワイヤカットに時間を要していることが分かる。このような情報は移動を短縮する方法や、ワイヤカット時間を減らす方法を優先的に検討すべきだという判断材料になる。

4.3 溶接電流分布、溶接効率

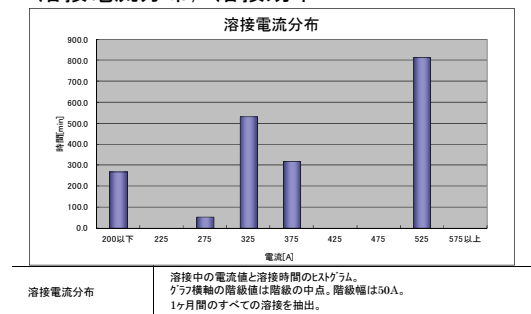


図8 溶接電流分布の表示

溶接電流値をヒストグラムで表示する機能を設けた（図8）。溶接電流が高いほど、溶着効率が高くなるので、生産性向上には高電流域で溶接が行われることが望ましい。しかしながら、溶接電流分布だけで高能率かどうかは判定できない。なぜならば、高電流で溶接を行なっても、サイクルタイムに占める溶接の割合が低い場合があるからである。そこで、溶接効率を示す値である、「稼働1時間あたりの溶接重量」（kg/h）を算出することで、溶接ロボットの溶接が効率良く行われているか一目で把握できるようにした（図9）。溶着重量（kg）は解析アプリケーションに保持されている近似式を用いて電流指令値

から算出される。管理者はこの値をチェックをするだけで溶接システムが効率良く生産しているかを把握することができる。

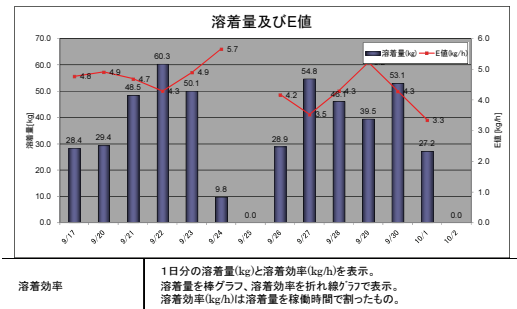


図9 溶着量，溶着効率の表示

4.4 停止

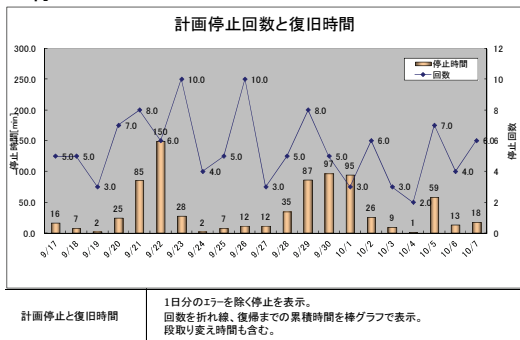


図10 停止時間の表示

サイクルタイム内における停止時間を算出する。この場合の停止時間にはエラーによる停止を含まない。ノズル清掃，多層盛時のスラグ除去，コンタクトチップの交換時などにロボットを停止させる必要があるためにプログラム上で自動運転を停止している。品質確保のためのチェック項目を廃止することはできないが，それ以外の停止時間は改善が可能である。例えば，ノズル清掃はノズルに付着したスパッタやヒュームを除去する工程であるが，人が実施しないで済むように自動ノズル清掃装置を開発し，対策している。

4.5 エラー内訳，エラー発生箇所

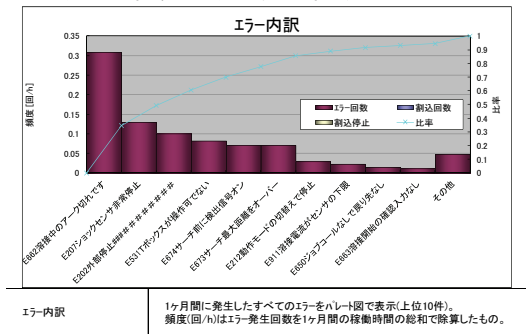


図11 エラー内訳の表示

エラーが発生した際の実行ジョブ，エラー番号，時刻をもとにエラー発生上位10件をパレート図で表示する(図11)。ロボットはエラー番号のみを出力するので，解析アプリケーション側でエラー番号とエラーメッセージの対応表を保持しておいて，解析の際に対応表どおりに表示する。溶接ロボットのエラーで上位に来るものは「アーク切れ」「サーチエラー」「ショックセンサー」等であり，溶接に関連したエラーが多いことが分かる。エラー発生箇所については，ロボットのエラーがプログラムのどこで発生しているのかを把握するために表示している。横軸にジョブNo(プログラムNo)，縦軸にステップNo(命令の行数)を表示し，バブルの大きさがエラー頻度を表し，バブルの色でエラーNoを区別している。

例えば，図12のグラフではジョブ1のステップ547で「サーチエラー(ティーチングポイントのズレでサーチに失敗する)」が発生していることが分かるので，プログラム修正箇所を簡単に把握できる。

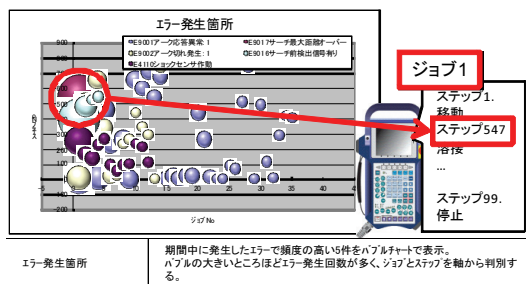


図12 エラー発生箇所の表示

5. データベースの構築とWEBページとの連携

毎日作成される解析結果から主要なデータを抽出，蓄積し，データベース化することで改善の進捗やライン全体の生産効率を把握できるようにした。また，データベースはWEBアプリケーションと連携させることで，社内ネットワークを通じて誰でも簡単に閲覧できるシステム

とした。図13にデータベースと連携したWEBページ画面を示す。横軸に期間、縦軸に設備名を表示し、設備の主要データである稼働率(%), 溶接効率(kg/h), エラー頻度(回/h)ごとにページが切り替わる。それぞれのデータは良い場合は緑色に、悪い場合は赤色に近くなり、一目でラインの良し悪しが判断できる。また、各設備ごとにリンクを設定し、直近一ヶ月間の詳細データを閲覧することが可能である。



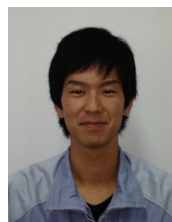
図13 データベースとWEBページの連携

6. おわりに

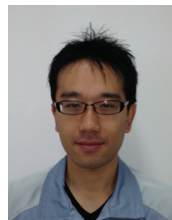
「溶接ロボット稼働率モニタ」の研究・開発において得られた結果を以下に記述する。

- (1) 溶接ロボット通信用基板の製作，およびデータ収集アプリケーションを開発し，溶接ロボットからの情報収集を可能にした。
- (2) データ解析アプリケーションを開発し，サイクルタイム，溶接効率，エラー頻度などの情報を「見える化」した。
- (3) データベースをWEBページと連携させ，社内ネットワークで情報を閲覧できるシステムを構築した。

筆者紹介



Koji Inada
いなだ こうじ
稲田 孝治 2010年，コマツ入社。
現在，生産本部 生産技術開発センタ所属。



Yuuki Kishimoto
きしもと ゆうき
岸本 祐輝 2006年，コマツ入社。
現在，生産本部 生産技術開発センタ所属。



Nobuyoshi Yamanaka
やまなか のぶよし
山中 伸好 1983年，コマツ入社。
現在，生産本部 生産技術開発センタ所属。

【筆者からひと言】

今後，生産現場においてICTが活用され，改善活動の手助けとなることを期待したい。そのためには，まず現場が知りたい情報が何なのかを把握しシステムを構築することを念頭において研究・開発を実施していきたい。