

(技術資料)

ICT活用による建機走行モータ製造ラインの品質管理強化

Use of ICT in Traveling Motor Production Line to Strengthen Quality Management



辻 敏之*¹
Toshiyuki TSUJI



市川伸介*²
Shinsuke ICHIKAWA



弓場一人*²
Kazuhito YUMIBA



友澤雅典*²
Masanori TOMOZAWA

In 2016, Kobelco Construction Machinery Co., LTD. began the in-house production of traveling motors in its hydraulic-excavator production plant. Compared with conventional in-house built components, each of these traveling motors consists of a greater number of parts and is assembled through more complex procedures. Upon the commencement of in-house production, there was a need for a mechanism that allows stable and highly accurate assembly without relying on the skills of the assembly operators. There also were issues throughout the process, including the fact that it took a long time to utilize inspection data, since they had been recorded on paper. Hence, a mechanism was established for instructing and checking the work contents to prevent mistakes in the assembly process. A data management system that manages process information in an integrated fashion was also introduced.

まえがき = コベルコ建機（株）においては、2016年度より従来の内製品と比較して高精度な加工技術および品質管理技術が要求される走行モータの生産を開始した。走行モータの製造工程のとくに組立工程では従来に比べてオペレータの担当作業数が多く、誤組立を起こさないようオペレータをサポートする仕組みが生産にあたり必要とされていた。また、品質検査データが紙媒体で記録されており、データ活用に向けた効率面などでの課題が全工程の共通課題として存在した。

以上から、走行モータの内製開始に向け、ICT活用による組立作業支援システムおよびデータ管理システムの開発を行った¹⁾。本報では、これらについての技術詳細を報告する。

1. 組立作業の品質向上に向けた取り組み

1.1 組立作業における課題

走行モータの組立作業は1人あたりの作業工数が多く、オペレータが作業内容を習熟するためには多大な教育時間が必要である。また、出荷前の性能試験工程において誤組立に起因する手戻りが発生した場合には、分解して不具合要因を特定し、再組立して再出荷前検査を実施する必要がある。生産性が大きく低下する。上記課題を解決するために、誤組立の発生要因を整理し、オペレータの技能に関わらず安定して高精度な組立が可能となるよう組立作業支援システムを開発・実用化した。

1.2 工程分析による作業ミス発生要因の整理

まず、品質に関わる組立作業全てに対して、誤組立が生じる要因について分析した。具体的には、工程を作業単位に分解して作業や検査の難易度、試作時の誤組立発

生頻度などを評価し、誤組立を起こす可能性が高い作業を抽出した。

つぎに、抽出した作業を要因ごとに分類することを試みた。この結果、「誤認識や忘れによる作業手順の間違い（または作業漏れ）」と「確認の難しさによる部品の組付け向き間違い」、「誤認識による作業箇所間違い」に大別できることがわかった。以降、各要因について説明する。

1.2.1 作業手順間違い（作業漏れ）

誤認識や忘れによる作業手順間違いとは、部品組付けや検査等の作業手順を誤ることと、作業自体を忘れてしまうことである。これらを防止するために、紙に書かれた手順書を読みながら作業をすることは作業性の観点から好ましくない。それよりも工程自体を自動認識して対応する手順書をモニタ類に自動表示するシステムが求められる。加えて、組付け手順を誤った場合には注意喚起を行い、さらに誤組立を起こす可能性が高い作業工程においては、誤組立を防止する対策システム類を自動的に起動し、組付け状態の確認等を漏れなく実施する機能も求められる。

1.2.2 部品の組付け向き間違い

確認の難しさによる部品の組付け間違いとは、部品の組付け向きや位置の目視確認ミスである。部品は間違った向きや位置に組付けできないよう開発段階で設計されている。しかし、一部には対策を実施することができない部品が存在する。その中には、部品外観の違いが明白でないため目視確認が容易でない部品（外観が左右非対称だが左右の外観差が微小なものなど）が存在する。このような部品は組付け後の向き確認で誤認識を起こす可

*¹ 技術開発本部 生産システム研究所 *² コベルコ建機株式会社 グローバルエンジニアリングセンター ものづくり推進部

能性が高いと考えられる。このため、組付け時に目視よりも高精度に部品の特徴形状を認識して、組付け向きの正誤判断を行う仕組みが必要である。

1.2.3 作業箇所間違い

誤認識による作業箇所間違いとは、複数の同一部品に対して実施する作業において、オペレータが作業内容や作業状況を誤認識することで生じるものである。例えば、多数の同径ねじの対角締め作業がある場合に、締め付け済み箇所とその他の箇所との混同による同一箇所の多数回締め付けなどが挙げられる。このような作業は進捗状況を目視やカメラ等で確認することは困難である。したがって、組付け後の状態確認に代わり状況判断を補助する対策が求められる。このような場合には、該当の組付け作業中に、リアルタイムに作業箇所を教示することが対策の一つとして有効であると考えられる。

1.3 組立作業支援システム

前節で抽出した誤組立要因ごとの特性に合わせて組立作業支援システムを開発した。このシステムは「作業手順管理システム」、「組付け向き正誤診断システム」および「作業箇所教示システム」からなる。システム全体のフロー図を図1に示す。「作業手順管理システム」ではカメラを利用し、組立部品の使用状況から工程を自動識別する仕組みを構築した。この識別情報を利用して手順監視を行い、さらには同情報をトリガとして「組付け向き正誤診断システム」と「作業箇所教示システム」を起

動することで確認作業等の実施漏れ防止を実現した。「組付け向き正誤診断システム」では、対象工程での部品の組付け向き間違いを防止する。また、「作業箇所教示システム」は作業箇所間違いを防止する。「組付け向き正誤診断システム」および「作業箇所教示システム」は、それぞれカメラやプロジェクタを利用して構築した。この2つのシステムにより、部品の組付け状態の確認や作業箇所の教示を行うことで、確認ミスや作業箇所間違いの防止を実現した。以下に各設計の要点を記載する。

1.3.1 作業工程に連動した作業指示

作業手順管理システムでは、工程を自動認識する手段として、組立部品を積載したパレットをカメラにより監視して部品の使用状況から工程を識別した。パレット上部に監視のためのカメラを設置し、パレット全体が撮影可能となるレンズを選定した。

パターンマッチングのような部品の特徴形状を抽出して有無を識別する一般的な画像処理技術では、解像度等の面から1台のカメラで多数の部品を判別するのは困難である。そこで、1台のカメラでも高精度に部品の有無を判定できるよう、特徴形状の抽出によらず部品有無の判定を実現する手法を考案した。この手法を採用することにより、パレット上の部品有無の出現パターンから工程を認識するシステムが構築できた。このシステムにより、工程に応じた手順書の自動表示や手順逸脱時等の作業員への注意喚起が可能になった。

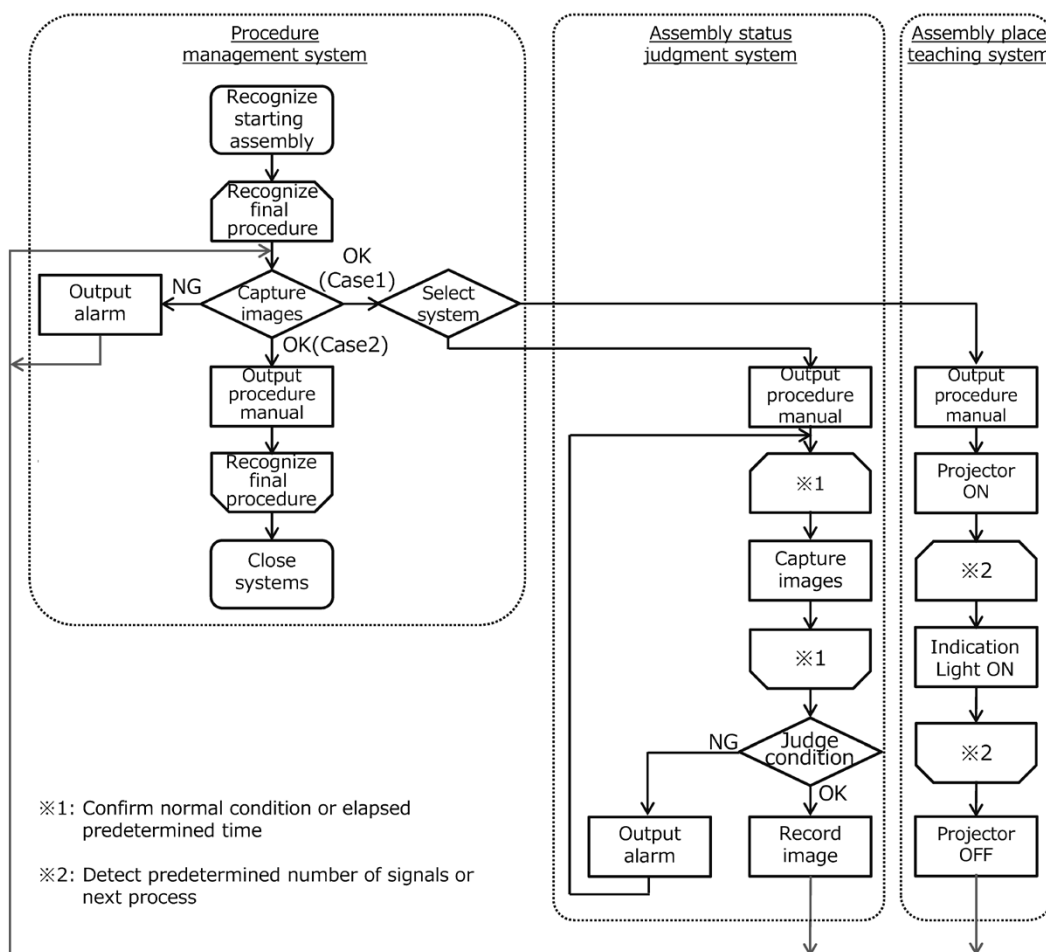


図1 システムフロー

Fig. 1 System Flow

部品番号	LC15V00045F2 (29t & 35t)	作業場所	3ステーション
作業名	エアリーク試験結果		
施工箇所	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; width: 100px; margin: 0 auto;">合格</div>		
注意及び管理項目		<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; text-align: center;">パレット撮影画像 および 部品有無認識状態 表示箇所</div>	
作業内容 1. エアリーク試験装置の エアを抜く 2. エアリーク試験装置の プラグを外す 管理項目			
工程 台帳	システム状態等表示エリア		

図2 作業と連動した手順書の自動表示

Fig. 2 Automatic display of procedure manual linked with work

実際に工程認識を行い、対応する手順書画面を表示した例を図2に示す。後述する「組付け向き正誤診断システム」と「作業箇所指示システム」の制御（起動および終了トリガ）にも認識した工程情報を活用している。これにより、各システムを使用すべき手順において自動起動する仕組みとした。なお、工程認識がパレット上の部品有無だけでは不十分な場合には、組立作業に使用する生産設備からの信号も利用してトリガ信号を補間している。また、認識パターン、表示する手順書、システム起動のタイミングなどは、今後の部品設計変更等の可能性も考慮して容易に設定変更可能な仕様とした。

1.3.2 組付け向きの正誤診断

カメラおよび画像処理を利用した「組付け向き正誤診断システム」では、対象部品の組付け状態が確認できる位置にカメラを設置し、特徴部位が高解像に撮影可能な焦点距離のレンズを適用箇所ごとに装備した。また、組付け後は部品が見えなくなり組付け後に状態確認ができないものは、組付け作業中に状態判定が必要となり、カメラと部品間の距離が変動する。距離の変動による画像ぼけが生じないようにレンズを絞って極力焦点深度を深く設定し、輝度は露光時間で確保した。正誤判定処理は、部品中の各加工部位を特定して加工部位の位置関係から部品の向きを特定することにより実現した。周辺部位との境界で光が散乱して画像中の輝度が低くなることから、加工部位の特定には輝度変化のパターンマッチングを利用した。また、今後の部品設計変更などの可能性も鑑み、画像処理アルゴリズムは画像処理内容や正誤判断基準などの設定変更が可能な仕様とした。

1.3.3 作業箇所の指示

例えば、多数の同径ねじの対角締め作業では、「締め付け対象ねじを光で照射し、締め付けが完了した段階で次の締め付け作業対象となる対角位置のねじを光で照射する」ような作業箇所をリアルタイムに指示する必要がある。このため、プロジェクタを用いて対象物上に光を投影するプロジェクションマッピングを作業箇所指示システムでは利用した。

指示が必要な組立工程では、部品上に投影が可能な位置にプロジェクタを設置した。また、プロジェクタ～部品間の距離が短く、製造現場のプロジェクタ取り付けスペースに制約もあった。したがって、短焦点型の小型プロジェクタを選定し、視認性を上げるために投影面積中で単位面積当たりの輝度が十分に高い製品を採用した。

組立作業中に部品は固定した位置にあり、プロジェクタと部品間の距離関係も常に一定である。したがって、指示光が所定の場所に投影されるようあらかじめ指示光部と背景の配色や形状を調整した画像データを作成しておき、対象工程の作業タイミングで同データを照射するようプロジェクタの制御を行った。また、プロジェクタで使用するLEDの長寿命化のため、組立作業中のみ自動点灯する仕様とした。生産部品ごとに、プロジェクタを使用する組立作業の開始および完了のタイミングで、プロジェクタの電源制御を行った。

2. 品質検査データの一括管理体制の構築

2.1 品質検査データの管理および活用上の課題

従来、製造工程における検査データは紙媒体に記録されていた。計測後に検査データを目視で確認し、トレーサビリティ確保のために部品ごとに加工機等で刻印した文字情報と併せて、オペレータは紙媒体に手書きで記録を行っていた。また、データの確認や活用の際には、一つの製品に対して複数の記録用紙に分散したデータを集約し、さらに分析用PCにデータを転記して利用していた。

このように、人手による転記作業が介在すると転記ミスが生じる可能性があるため、人手作業をなくすことが求められる。また、製造現場においても、記録ミスの削減や作業効率向上の観点から可能な限り記録作業を自動化する必要がある。さらに、データの確認や活用を迅速に行うため、データを自動的に集約し、一括管理する仕組みが必要である。

2.2 品質検査データの自動記録と一括管理

前節で紹介した背景から、転記作業をなくしてデータ記録を自動化し、データを一括管理するシステムおよび運用体制を構築した。

2.2.1 品質検査記録のデジタル化

データ活用時の転記作業をなくすため、製造現場にタブレット型PCを配備した。紙媒体と同様のフォーマットでのデータ入力ができるよう画面を作りこみ、記録段階からデータをデジタル化するシステムを構築した。また、デジタル化したことにより、入力値が検査規格から外れた場合にリアルタイムにアラームを出力するなど、誤入力の防止や不良品の次工程への流出防止の機能を設けた。

このように転記作業を不要とし、さらには異常時にアラームを出力することなどにより警告し、データ品質の向上にもつながった。

2.2.2 データ記録作業の自動化

現状では、記録作業の対象となっているデータは、主に生産部品を識別するための文字情報（以下、識別子という）と品質検査データである。そこで、識別子をセンサで自動記録すべく、識別子自体の見直しを行った。一般的に識別子の付与方法は2種類に大別される。一つはICタグやコード類（バーコードまたはデータマトリクスなどの2次元コード）が印刷されたシールなどを部品に貼り付け、間接的に付与方法である。もう一つは、

表 1 識別子選定に向けた比較
Table 1 Comparison of identifiers

Process	Comparison item	Indirect					Direct (laser marker)			Direct (stamp)		
		Electronic tag	Character	Code			Character	Code		Character	Code	
				1D	2D	Others		1D	2D		1D	2D
Giving identifiers	Risk of peeling	x	x	x	x	x	○	○	○	○	○	○
	Presence of handy type machine	-	-	-	-	-	x	x	x	○	○	○
Reading identifiers	Difficulty reading by sensors	○	△	○	○	○	△	○	○	x	○	○
	Space saving	○	x	△	○	○	x	△	○	x	△	○

従来のように部品に刻印機やレーザーマーカなどで直接的に識別子を付与する方法である。製造工程では複数の工程を経るため、間接的手法では識別子のはがれなどが起こるリスクがある。

したがって、直接的に識別子を付与する方法を選択すべきである。また、金属表面に存在する識別子を自動的に読み取らせる場合、従来の文字は読取安定性の観点から識別子として好ましくない。とくに、ハンディタイプのリーダ（OCRリーダ）を利用する場合、金属表面の文字は、照明の当たり方により文字形状の一部が認識できず類似文字と誤認識する可能性が高い。このため、安定した読み取りが可能で、なおかつ小面積で大容量のデータを表現できる2次元コードを識別子に選定した（表1）。識別子を付与する刻印機とともにデータマトリックスリーダを現場に配備し、読取の自動化を実現した。

つぎに、品質検査データの記録自動化について検討した。検査工程の中には、専用の自動検査装置で検査を行う工程が存在する。従来はオペレータが検査結果を確認し、紙媒体に結果を転記していたが、装置の制御用PCで検査結果を整理し、後述するデータ管理システムにて定期的にこの結果を自動的に抽出する仕組みとした。さらに、従来は試験前に目視にて行っていた試験条件や設備状態の確認も、検査データから評価に必要な特徴値を自動的に抽出し、検査結果に関連付けて記録する仕組みとした。このように、従来以上に検査自体の健全性を保証する仕様にした。

2.2.3 データの一括管理と活用

タブレット型PCや検査装置から得られるデータを一括管理するデータ管理システムを整備した。データの流れを整理したイメージ図を図3に示す。本システムにより、製造現場でデータが入力段階からデータベースに自動的に集約されるため、従来の紙媒体からデータを集約する作業が不要となる。また、従来どおりトレーサビリティを確保すべく、部品が生産ラインに投入された段階で識別子を付与する。以降は、検査工程ごとに識別子情報と関連付けてデータが記録される。組立工程では、部品の組み合わせ情報の記録も行っている。工程ごとに記録された識別子情報を利用し、任意の期間の検査データを、生産順に構成部品の検査データ類も関連付けて整理して出力する機能をシステムに設けた。これは、社内ネットワーク上のどこからでもアクセス可能なシステムとした。

上記のように、データを一括管理して、データの確認や活用が迅速に実施できるシステムが完成した。現在

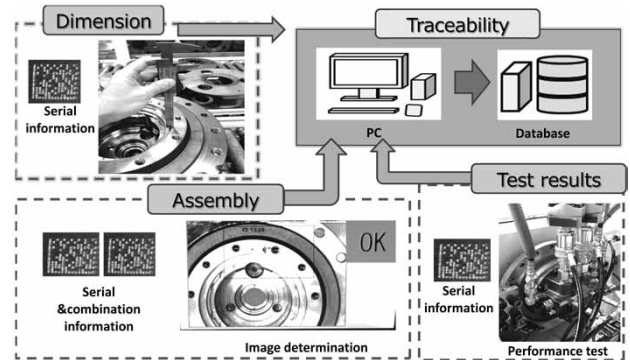


図3 データ一括管理の概要図

Fig. 3 Schematic diagram of collectively managing data

は、データの活用方法について検討を進めている。品質データを傾向管理することにより、品質や設備の異常予兆検知を実現する取り組みを進めている。そこでは、過去から現在までの品質データ等をグラフ化して製造現場で常時自動表示する仕組みを整備するなど、さらなる品質管理体制の高度化に向けて活動を進めている。

むすび＝組立作業において、ヒューマンエラーを防止するソリューションを開発・導入し、オペレータの技能に依存しない組立ラインを実現した。これにより、一般的には数百ppm程度発生するであろうと予測されている組立作業ミスの発生抑止が可能となった。また、品質検査データの一括管理システムを構築し、データの記録から活用までに起こりうる誤記録や転記ミスリスクを徹底的に低減した。さらに、データ整理機能を設け、迅速にデータ活用が可能な体制となった。

これにより、従来は紙媒体の検査記録表から関連するデータを見つけ出して、転記やグラフ化などを行い分析するといった日単位で行っていた作業を瞬時に実施することが可能になった。

今後に向けて、各システムの横展開や新たな機能開発、得られたデータの活用方法を検討している。これらにより、さらなる品質管理高度化を目指す。

参考文献

- 1) 市川伸介ほか. R&D神戸製鋼技報. 2018, Vol.68, No.1, p.57-60.