

(技術資料)

高精度部品の安定生産に向けた技術開発 — 走行モータ 新規内製 —

Technology Development for Stable Production of High-precision Parts- New In-house Production of Traveling Motor



市川伸介*¹
Shinsuke ICHIKAWA



弓場一人*¹
Kazuhito YUMIBA



友澤雅典*¹
Masanori TOMOZAWA



嘉村浩之*²
Hiroyuki KAMURA



辻 敏之*³
Toshiyuki TSUJI

The manufacturing technology of a traveling motor was pursued. The motor requires higher accuracy in machining and assembling than do the other parts constituting a hydraulic excavator. The complicated machining and high accuracy requirements caused an issue in tool management. As for assembly, it took a long time for an assembly operator to learn the work procedure, due to the large number of parts and complicated process. In addition, the enormous amount of inspection data, which had to be recorded in each production process, provoked the desire for a reduced recording load. Hence, a mechanism was devised for the machining process so that tool information could be entered without human intervention. A mechanism was also devised to detect an abnormal machining load during machining and abort the process. Yet another mechanism instructs and manages work content during assembly so as to prevent errors. Furthermore, the unified management of process information was realized.

ま え が き = 油圧ショベルは、掘削性能、サイクルタイム、省エネ性能など幅広い商品性能が要求されている。これらの商品性能を実現するため、走行モータなどの油圧機器の性能向上や効率改善の技術獲得が求められてきた。

コベルコ建機(株) (以下、当社という) では、油圧ショベルの主要部品としてスィベルジョイント、旋回減速機、旋回ベアリング、ローラ、アイドラなど(図1)を生産してきており、精密部品加工や熱処理、油圧機器部品組立などの生産技術を蓄積してきた。その技術を活用し、さらに高精度な機械加工、およびきめ細やかな組立技術と品質管理技術が要求される走行モータの生産を開始し、さらなる安定生産に向けた技術開発を進めてきた。

走行モータの製造工程は、機械加工、洗浄、組立、お

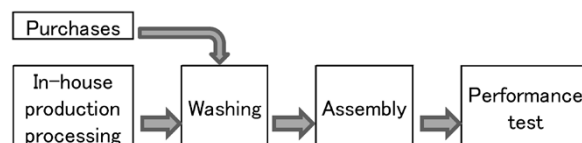


図2 走行モータの生産工程
Fig. 2 Production process of traveling motor

よび試験工程があり(図2)、各工程はさらに細分化された工程設計となっている。そのため、各工程における品質不良は、工程内の手戻りだけでなく工程間の手戻りも発生し、生産性の大きな低下につながる事となる。

機械加工工程では、工程数150以上、加工時間1.5時間以上、加工精度は数 μm であり、一つの機械加工精度不良が大きな生産性の低下につながる。そのため、不良が発生しても次工程に流さず、不良をリアルタイムに検知してラインを停める仕組みが必要とされていた。

組立工程では、一人のオペレータが100種類以上の部品を組み込む作業を実施している。そのなかには、組立完成後には目視で確認できない内部組込部品が多数あり、出荷前の性能試験工程において誤組立などに起因する手戻りは内部組込部品の再確認作業が必要になるなど、生産性を大きく低下させる。そのため、オペレータをサポートし、誤組立を防止する仕組みが必要とされていた。

さらには、検査データの記録負荷の低減および数多くの品質情報の一元管理など、工程保証体制の確立が必要であった。

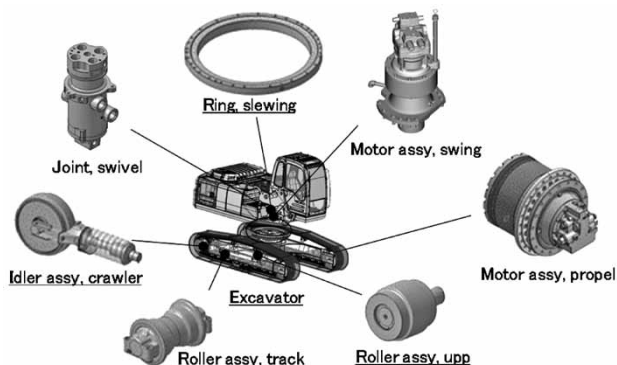


図1 油圧ショベルに搭載する主要生産部品
Fig. 1 Major production parts mounted on hydraulic excavators

*¹ コベルコ建機(株) 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 *² (株)神戸製鋼所 技術開発本部 材料研究所
*³ (株)神戸製鋼所 技術開発本部 生産システム研究所

1. 機械加工工程における工具管理

多工程にわたる油圧機器の機械加工において、高精度な加工を安定的に行うには、工具管理を徹底するとともに機械加工ミスが発生させない仕組みが必要である。量産工程で発生する工具に関わるトラブルは、①ヒューマンエラーに起因した工具の破損、②工具の摩耗や折損に起因した加工不良がある。人手を介さずにこれらのトラブルを未然に防止するシステムとして、工具情報管理システム、および加工中の工具の摩耗や折損状態を検知するシステムを開発・導入した。

1.1 ヒューマンエラーの発生を防止する工具情報管理システムの構築

NC加工機は、加工工具の長さや径などの補正值を基に自動的に加工する。このとき、補正值の入力作業はオペレータにより行われていたため、誤入力の可能性があった。間違った工具情報を加工機に入力することは、工具の破損や製品の寸法不良、あるいは最悪の場合、加工機の故障にまでつながってしまう。そこで、走行モータの量産ラインでは、工具形状測定機と加工機とをオンラインで接続し、測定した工具長、径の補正值、および工具番号などの情報を、人手を介さずに加工機へ自動送信する工具情報管理システムを導入した。これによって、加工時に発生し得るヒューマンエラーを回避した。

1.2 工具の摩耗、折損に起因した加工不良によるトラブル発生を抑制するシステムの構築

1.2.1 工具寿命管理方法の課題

工具に関わるトラブルとして、工具の摩耗、折損に起因した加工不良がある。工具寿命時間は現場オペレータの経験と判断で設定されることが多く、明確な寿命時間設定の指標やルールがない。このため、より安定的な生産を実現するため、工具の交換タイミングを少し早めに設定することによって工具摩耗、折損に起因した加工不良を防いできた。

しかしながら、短めに設定した寿命時間においても加工トラブルが発生する場合があります。工具使用時間で工具寿命管理では加工不良によるトラブル抑制の維持管理に限界があった。また、工具摩耗が少ない状態で工具の再研磨、交換を行うことが多く、コスト面で問題があった。

1.2.2 摩耗を可視化する仕組みの導入

センサを活用することによって機械加工中の工具摩耗、折損などの状況を可視化し、その情報を基に工具の寿命を適切に管理することは、加工不良（品質不良）の発生を未然に防ぐため、また工具コストを低減するためにも有用である。

そこで、油圧機器の量産ラインにおいては、従来の時間による工具寿命管理ではなく、センサを活用した工具寿命管理システムを構築した。油圧機器の加工工程では、フライスや総型工具、小径ドリル、リーマなどのさまざまな形状の工具が使用されるため、摩耗や折損などの工具状態を直接観察することは難しい。そこで、主軸消費電力を用いることによる工具状態の間接的な可視化

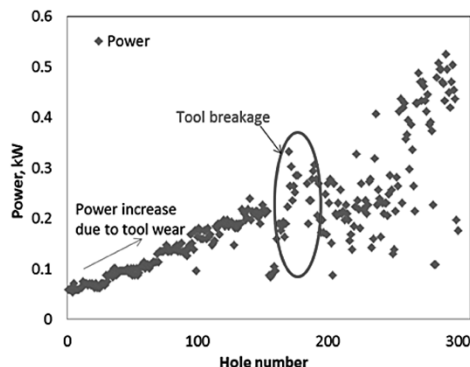


図3 リーマ加工回数と加工中の最大主軸電力の関係
Fig.3 Relationship between number of reaming processes and maximum electric consumption of spindle during machining

手法に着目した。図3はリーマ加工回数と加工中の最大主軸消費電力の関係を示したものである。工具摩耗による切削負荷の上昇に伴って主軸消費電力も増加しており、工具摩耗を主軸消費電力で間接的に評価できることが分かる。そのため本手法の実用化にあたっては、入力された工具情報に基づき、あらかじめ設定した主軸消費電力のしきい値を越えた場合に工具交換アラームを出力するシステムを構築した。走行モータの量産ラインにおける工具管理システムとして本システムを適用することにより、加工不良および工具コスト低減を図っている。

1.3 工具管理における今後の展望

前節で述べたように、主軸消費電力の変化を捕えることによって工具摩耗や折損を検知し、工具寿命を管理するシステムを構築した。今後は、他の量産ラインへ展開していく考えである。また、さらに高精度な加工が要求される内径研磨を対象に、製品精度（真円度/円筒度）を安定的に達成するために本手法での工具（砥石）管理を実施し、工具摩耗による寸法不良や製品精度不良の発生抑制を目指す。

2. 誤組立防止に向けた取り組み

走行モータ組立作業は作業工数が多く、作業習熟までに多大な時間が必要である。また、誤組立が発生すると、分解、不具合要因分析、再組立、および再出荷前検査の実施を余儀なくされ、生産性が著しく低下する。そのため、オペレータの技能によらず組立が可能な施策が必要である。そこで、組立作業で想定され得る全てのヒューマンエラーを分類し、その汎用的な対策手法を確立の上、現場導入することでエラー防止を実現した。以下に具体内容について記載する。

2.1 誤組立防止対策①：手順書の自動表示

組立作業においてはこれまで、オペレータは紙の標準作業手順書を確認しながら作業を行っており、作業性が低下するという問題があった。そこで走行モータラインでは、作業状況に合わせてリアルタイムに作業手順をディスプレイに表示することとした。その際、作業工程と手順書表示ページを連動するには、現状の作業工程を識別する必要がある。そこで、パレットに整列した状態で供給される組立部品の整列状態をカメラと画像処理によって監視した。さらに、トルクレンチなどの組立工具と

連動させることで現状工程の識別を実現し、作業手順書をリアルタイムに自動表示するシステムを実現した。図4にそのシステムの画面一例を表示する。画面左側は作業手順と合否判断を示し、画面右側に払い出しされた部品の状態を示している。なお、本システムは以下ミス防止施策②、③の制御トリガとしても活用する。

2.2 誤組立防止対策②：画像による組立状態の認識

組付け部品は基本的に、間違った向きや位置に組付けできないよう開発段階で対策が施されているが、一部対策を実施することができない部品がある。これらの部品は、組付け後の向きや位置が正確かを確認しながら組立を行う必要がある。しかしながら、識別判断が部品の外観やオペレータの姿勢によっては容易でない部品もあり、うっかりミスの懸念が残る。

そこで、組付け時あるいは組付け後に組立状態を画像によって判定するシステムを導入した。このシステムにより、組付け部品の向きや位置に誤りがある場合にはリアルタイムに警告を発し、修正を促す体制を実現させることができた。

2.3 誤組立防止対策③：光による作業指示

多数の同径ねじの締め付けなど、同一部品に対する多数回の繰り返し作業では、オペレータが作業内容や作業状況を誤認識しやすく、作業後の確認が目視やカメラなどでは困難な作業が存在する。とくに対角締めを行う場合には、対角位置や締め付け位置の認識ミスによる同一箇所への多数回のねじ締め作業などを誘発する懸念がある。

そこで上記のような作業時には、プロジェクトの光を当てることによって作業箇所を教示するシステムとした(図5)。光の大きさや色を変化させ、位置の指示だけで

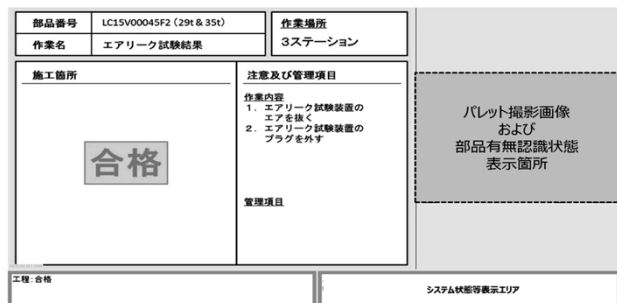


図4 作業と連動して自動表示された手順書

Fig. 4 Screen image of procedure manual automatically displayed in conjunction with task



図5 光による作業位置、作業内容の指示

Fig. 5 Instructions by light of work position and work contents

なくさまざまな教示が可能なシステムを構築することによって、正確かつ効率的に作業ができる体制を構築した。

2.4 誤組立防止ソリューションの今後の展望

2.1~2.3節で述べたように、誤組立を防止するソリューションのコンセプト設計を確立し、組立オペレータの技能に依存しない組立ラインを実現した。100 ppm程度で発生するであろうと予測される組立作業ミスに対して、従来は後工程の性能検査においてミスを発見し、分解および再組立を行うことで対応するしかなかった。しかしながら、本ソリューションの確立によってミス自体の発生を抑止できるようになった。今後は本ソリューションを他の組立工程へも展開する。

3. データ管理システムの構築

品質検査データは紙媒体の記録管理が主であり、品質管理などでデータを再活用するときに、①データ整理や分析のためのデータ転記作業に時間を要する、②文字や数値の認識ミス、転記ミスのリスクが存在する、③製品のシリアル番号に対し情報が複数の記録用紙に分散して保存されており品質トレースに時間を要する、などの問題があった。そこで、①~③の問題に対応し、図6に示したように寸法、組立部品の製品シリアル番号や画像判定結果、および性能試験結果をPCに取り込んでデータベースによって管理するシステムを構築した。

3.1 システムおよび運用体制とデータ入出力の流れ

製造工程における検査結果は、主に紙に印刷した記録フォーマットにオペレータが手書きしていた。これをデジタル化すべく、現場に設置したタブレット型PCに表示された入力フォーマットにオペレータが検査結果を直接入力する運用体制に変更した。また、タブレット型PCは社内ネットワークに接続しており、入力内容は随時データベースに転送される仕様とした。さらに、入力フォーマットや検査データは社内ネットワーク上のPCから閲覧(ダウンロード)でき、社内のどこからでも品質情報の把握およびデータ活用ができる体制とした。

3.2 入力作業効率化に向けたシステム機能の追加

3.1節で述べた取り組みによってデータ活用に向けた転記作業ミスのリスク軽減は実現できた。しかしながら、データ記録時の媒体が紙からタブレット型PCに変わっただけでは、作業負荷低減のメリットは生じない。

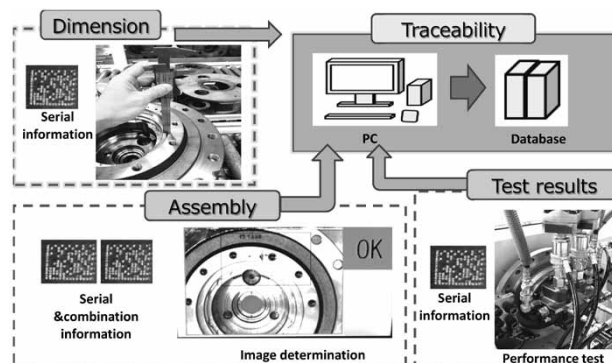


図6 生産情報の管理システム

Fig. 6 Management system of production information

そこで、システム導入のメリットを最大限に活かすべく、製造現場におけるデータ入力作業効率化の観点からシステム機能の追加を実施した。

3.2.1 生産品の個体識別手法

製品の構成部品単位で品質管理を行うにあたり、構成部品に加工機などで識別子（英字や数字で構成）を打刻し、これをオペレータが目視で確認して検査データと共にタブレット型PCに入力していた。この識別手法は作業性の観点から改善が必要と判断し、システムおよび運用の改良を行った。

すなわち、英字／数字で構成していた識別子を、より省スペースで情報量の多い二次元コードとした。また、二次元コードを作業性良く読み取る目的からハンディコードリーダを活用することにした。読み取ったデータはタブレット型PCに直接、転送することができるようにした（図7）。

3.2.2 専用試験機の品質データ登録自動化

検査工程の一部において、専用の自動検査装置によって検査を行う工程が存在する。これらの工程については従来、オペレータが検査結果を確認した上で、その結果を転記していた。そこで、本工程についても転記作業を省略すべく、自動検査装置の制御用PCを用いて試験ごとの検査レポートを作成し、データ管理システムが定期

的にレポート内容を抽出する仕組みとした。これによってオペレータは数値の入力が不要となったことから検査結果（OK／NG判定）のチェックを進めるだけで良く、作業効率を大幅に改善させることができた。

3.3 データ管理システムの今後の展望

前節までに述べたように、データ管理システムを構築して現場に実装することにより、データ活用に向けた基盤整備および製造現場のデータ記録作業に対する作業の効率化を実現した。これにより、例えば紙媒体の検査記録表から関連するデータを見つけ出し、転記およびグラフ化して分析する作業では、従来は日単位の作業となっていた。しかしながらデータ管理システムの実装後は、同じ作業が瞬時（分単位）で実施できるようになった。

今後は品質や保全面での異常予兆管理などに活用していくほか、さらなる作業効率化に向けて機能追加などの検討を進める予定である。

むすび＝加工工程および組立工程の各要所で設置した工程管理の仕組みから得られたデータを活用し、相互のデータを分析することにより、製品性能検査工程の定量値と加工工程、あるいは組立工程の検査成績情報との相関を知ることができる。さらに、その相関から、製品性能の低下に起因する工程を分析することによって改善案の抽出を行うだけでなく、製品性能の向上に寄与できるものとする。

また、設備情報の収集なども進めることによって生産履歴情報との相関を知ることができれば、生産ラインの維持、設備保全の管理ポイントを知ることができ、さまざまな管理基準を設定することができる。

さらには、獲得した製造技術により、ハイブリッドモーターなどの次世代機器の性能向上にもつなげていけることが期待される。

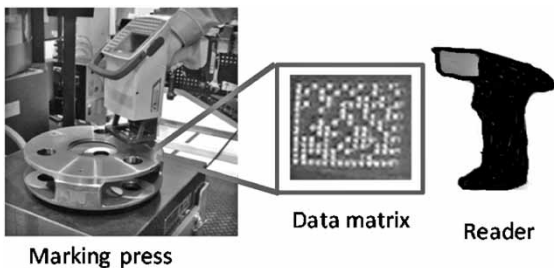


図7 個体識別管理方法
Fig. 7 Management method for individual identification