

論文・解説

33

## エンジン組立自己完結生産システムの開発

### Development of Independent Production System for Engine Assembly

品川 裕史\*<sup>1</sup> 上迫 博文\*<sup>2</sup> 川上 真一\*<sup>3</sup>  
Hiroshi Shinagawa Hirofumi Uesako Shinichi Kawakami  
神南 裕巳\*<sup>4</sup> 森尾 宏基\*<sup>5</sup>  
Hiromi Kannami Hiroki Morio

#### 要約

昨今の自動車業界を取り巻く環境の変化や顧客嗜好の多様化により、消費のトレンドを予測することは台数的にも仕様のにも大変難しい状況にあるといえる。このような環境の中で、コストや品質面で競争力のある商品をタイムリーに提供していくためには、従来からの高効率な生産を維持した上で台数変動や仕様変動に迅速に対応可能な生産システムを作ることが求められている。本稿では、上記変動によって発生する生産タクトの変化や混流している機種間の組立時間差に、最も影響を受けるマニュアル工程のラインバランスに対して、ロスなく迅速に対応可能な自己完結生産方式に問題解決の可能性の一端を見だし、その第1ステップとして多種少量生産である旧型エンジンの組立ラインへ適用した事例について紹介する。

#### Summary

During the progress of changes in the surroundings of the automobile industry and a wide variety of consumer preferences, it is very difficult for us to estimate future consumption trends in production volume or specifications. To timely provide low-priced and high-quality competitive products even in these surroundings, we should create a production system that can promptly accommodate the changeable production volume or specifications while maintaining highly efficient conventional production. We found one potential solution to the issues surrounding the development of the independent production system capable of promptly responding, without losses, to line balancing of manual processes most susceptible to changes in yield cycle time caused by the changes in production volume or specifications or time differences in assembly between models on a mixed production line. This paper introduces one of applicable examples of the independent production system for a wide-variety/low-volume assembly line used for obsolete-model engines, which was adopted as the 1st step activity.

#### 1. はじめに

地球環境や安全への関心などの社会要請や顧客嗜好の多様化、海外生産の拡大、更に世界規模での開発競争の激化に加え世界経済の先行きの不透明な今日、市場は複雑にかつ急速に変化を続けている。こうした環境下にあっても我々は情熱と誇りとスピードを持ち、積極的にお客様の声を聞き、期待を上回る創意に富んだ商品とサービスを提供

していくために、高効率かつ高品質な生産を維持した上で生産量の増減や仕様変更に対応可能な生産システムを作ることに挑戦している。

このような観点から従来のエンジン組立ライン作りを振り返って見てみると、これらの変動に即応できるラインとするために解決すべき多くの課題がある。

まず、生産量への即応という観点から見た場合、仮に生産要求台数が組立ラインの基準台数を下回る場合には、島

\*1~5 パワートレイン技術部  
Powertrain Production Engineering Dept.

工程の編成ロスはもちろんのこと、組み付け作業への部品供給間口が広がることから発生する歩行ロス、設備能力が余剰となるなどの固定費ロスを生みながらの生産となる。これを解決するために、生産台数の少ないものを同一ライン上に異機種混流することで生産量を確保するなどの施策を実施することもあるが、組立時間差のある機種を混流することにより作業編成が複雑となり、変動への即応との両立が課題となる。

逆に基準台数を上回る場合には、短いサイクルタイムにより、作業編成の自由度が制限され編成ロスが発生したり、能力増強のための設備対策を行う期間が必要となり、機会損失が発生することもある。また、仕様変動の観点から見ると、組立ラインには少なからず自動化設備が導入されているが、これまでのような自動化設備では、製品形状の変更や工法の変更に対して、設備そのものの構造の変更が必要なことから、多くの改造投資と改造リードタイムを要することとなる。

今回、台数変動や仕様変動に迅速に対応可能なエンジン組立システムの構築にあたり、その課題抽出と基礎技術蓄積のための第一ステップとして、月あたり数十台レベルのサービス用の少量生産エンジンを対象に一つのラインで効率的に多種生産できるエンジン組立システムの開発に取り組むこととした。

## 2. ライン形態の決定

今回の検討対象エンジンは7シリーズあり、各シリーズには排気量違いや仕向け地別の仕様が存在するため、対象エンジンのバリエーションをエンジン型式ではV型6気筒・直列4気筒、排気量では1.3~3.0リットルとした。機種は延べ100機種を超える。

まず、ライン形態の決定にあたってコンベアによる分業方式について検討した。これは既存の分業ラインにおいて、30~80分の作業時間差のある3シリーズのエンジンを、分岐コンベアを用いることで効率よく混流している前例があったからである。

しかし、この方式では今回の作業時間がその構造上の理由により50~200分と更に大きく乖離していること、更に生産台数が少量であり、生産計画上で平準化したり、作業編成の工夫によるロス排除が難しく、ロスが許容できないほど増大することより不適当と判断した。

よって、今回は1台のエンジンを1人の作業者が最初から最後まで組み上げることで、作業者の能力を使い切り編成効率100%となる自己完結生産方式の開発へ具体的に取り組むこととした。

## 3. 自己完結生産方式における課題

自己完結生産方式の採用にあたっては、コンベア作業と同等あるいはそれを上回る生産性の確保をターゲットとした。これを受けて適用前に、本方式の課題を見極めるためテスト生産を行った。比較対象を既存のコンベアラインでの分業方式による作業とし、本方式ではコンベア作業と同一の組立器具を使用してエンジン本体への50部品の組み付けにかかる作業時間の比較を行った。

結果 (Fig.1) として本方式の組立作業時間が2割程度分業方式に及ばないことが判った。

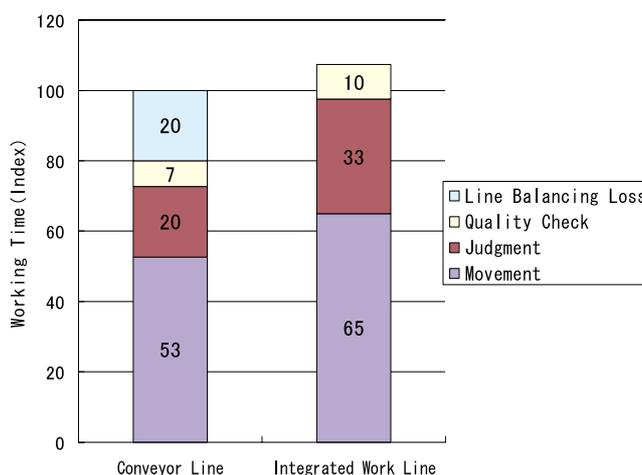


Fig.1 Working Time #1

これを各作業要素で詳細に分析することで、速度低下の要因を具体的に特定していった。

### 3.1 動作領域

動作領域のロスはエンジンに組み付ける部品の取り出しや、締付け・圧入・挿入工具などの組立治具の取り出し時間が余分にかかっていることで発生している。

部品や治具の取り出しについては、コンベア作業が必要な部品や治具だけが必要な工程の直近の場所に配置されていることに対して、自己完結生産方式では、すべての作業を1工程で完結させることから部品や治具を一ヶ所に持ち込んだため、取り出しのための作業動線が長くなったことが主な理由である。このため、部品や治具をいかに手元に集中配置できるかが課題となる。

またもう一つの理由としては、作業ペースの低下である。コンベア作業の場合、作業スピードはコンベアタクト以上にはあがらない反面、自作業者の遅れが自覚できるため自己制御により遅れを補正することが可能となる。しかし、自己完結生産方式では体調や疲れにより作業のばらつきが発生しても、作業が遅れていることに気が付かずマイペースになってしまう。このため作業進捗を作業者に伝えることが課題である。

3.2 判断領域

判断領域のロスは、コンペア作業では数分程度の短いサイクルタイム内での繰り返しとなるため、決められた作業手順の一挙手一投足まで体が覚えている。それに対して自己完結生産方式では、数十分以上の作業を一人で行うことから、次の作業が何であるかを常に頭で考える必要がある。

この結果、現在の作業に集中できず最善の作業手順が踏めなかったり、次の作業へ移るまでの判断時間を要している。この判断ロスを排除するためには、次の作業が何であるかを作業者に伝える仕組みが必要となる。

また動作ロスと同様に部品や治具が一工程に集中したため、多くの部品あるいは工具の中から、どれを選択すればよいかを選択判断する時間が発生している。これらの時間の排除には動作ロスの課題に加え、必要なものが判断なしで取り出せる仕組みが必要となる。

3.3 品質確認領域

品質確認のロスは、自分が行った作業の出来不出来を確認している時間である。コンペア方式では後工程の人が前工程の作業の出来栄をチェックしたり、ポカヨケ（フルプルーフ）により不良流出防止策がとられているのに対して、今回のテスト生産は流出防止策を講じない状態で実施していること、また自己完結生産方式特有の出来栄に対する意識の高まりが必要以上の品質確認作業を行わせていると推定される。これらの排除には、品質確認を作業者まかせにせず、ポカヨケを織り込むことが課題となる。

4. 自己完結生産システムの構築

以上の課題に対する具体的施策を織り込み、今回、自己完結生産システムを開発した（Fig.2）。以下に具体的取り組みについて説明する。



Fig.2 Integrated Work Line

4.1 作業ナビゲーション

前述のロスのうち、判断や選択に関わるロスを排除するために以下の三つの機能を織り込んだ作業ナビゲーションシステムを開発した（Fig.3）。



Fig.3 Work Navigation

(1) 音声と画面による作業指示

今回の対象エンジンでは、最高400以上の作業手順があり、更に機種ごとに異なる作業をすべて覚えてロスなく作業することは困難である。そのため、次に行うべき作業を音声で指示するとともに作業のポイント図、組付部品、使用治具などの情報を画面に表示するシステム（Fig.3,4）でサポートすることにした。次作業情報の表示は、手元のタッチスイッチ、足元のフットスイッチなどで作業しながら任意のタイミングで次の作業指示を表示することができるようにしている。また、締付け作業などのツールを使用している工程では、作業完了・品質確認の信号で次作業表示を行い作業者の負担を少なくしている。

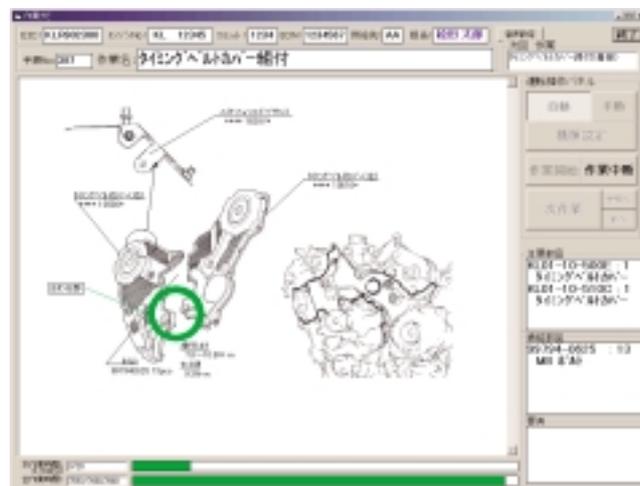


Fig.4 Example of Picture

## (2) 作業と同期した設備指示とポカヨケ

音声と画面による作業指示と同時に、その作業に同期して必要なツールへの指示を行っている。具体的には、締付け作業時に、締付け位置、締付け本数、締付けパラメータを該当するツールのコントローラへ送信し、確実な品質保証を実現するシステムとしている。また、作業に応じた手持ち締付けツールの昇降などを行い動作ロスの発生防止に貢献している。

## (3) 作業進捗の表示

作業の進み遅れについては、作業手順ごとの設定時間により、作業単位の進捗と全作業の進捗を進み遅れに応じた色のバーで表示し、作業者にペースメーカーとして伝えている。

このシステムのすべてのパラメータはデータベースで一元管理しており、機種追加などに対しては、パラメータの追加変更のみで対応できるようにしている。また、締付け実績などの品質実績や作業時間実績も蓄積し、改善へのアクションに繋げている。

### 4.2 締付けツール

自己完結生産方式において、従来のエア工具を採用した場合、締付け力が単一であり、締付けトルクや特種別に十数本のエア工具と締付けソケットが必要となるため、膨大な設置スペースを確保しなければならない。これは動作ロス・判断ロスを招く要因となるため、自己完結生産システムでは電動ナットランナを採用した。この理由は、電動ナットランナが締付けプログラムの切り替えと数本のソケット交換で柔軟に対応できることと、締付け精度が安定しているためトルクレンチによる締付け確認も廃止可能であること、更に異常締付けの検出ができるため、品質確認ロスも排除できるからである。

電動ナットランナ採用での技術的課題は、異なる締付け方法（トルク法・角度法）と広範囲なトルク（2~200Nm）の制御を可能とし、締付け順序規制がある場合には位置検出も行わなければならないことである。しかし、一般的なナットランナはトルク検出器の能力上、使用範囲が限られていることや、締付けスピードが遅いため、品質とサイクルタイムに問題が生じる。また、ナットランナを用いる場合、反力受けアームを取り付ける必要があり、作業エリアに制限が生じる。そこで、限られたスペースの中で締付けツールを収納するため、締付けの特性により2種類の高精度ナットランナを開発した（Fig.5）。

その開発にあたっては、V型6気筒・直列4気筒の7シリーズエンジンの全部位に対応でき、機種追加に伴う仕様変更が迅速に対応できることをターゲットとした。

まず、高トルク・角度法・締付け順序規制があるものは、反力受けアーム付ナットランナで位置検出をしながら締付けを行うこととし、低トルク・トルク法・締付け順序規制のないものは電動手持ちナットランナで締付けを行うこと

とした。

以上のことにより、エンジンの全締付けを2種類のナットランナで対応可能とし、締付けツールの判断ロス低減を図った。



Fig.5 Nutrunner for High Torque Use

### 4.3 工具の手元出し

判断ロス・動作ロスを限りなく低減するために、工具の手元出しラックを開発した（Fig.6）。これはエンジン組立

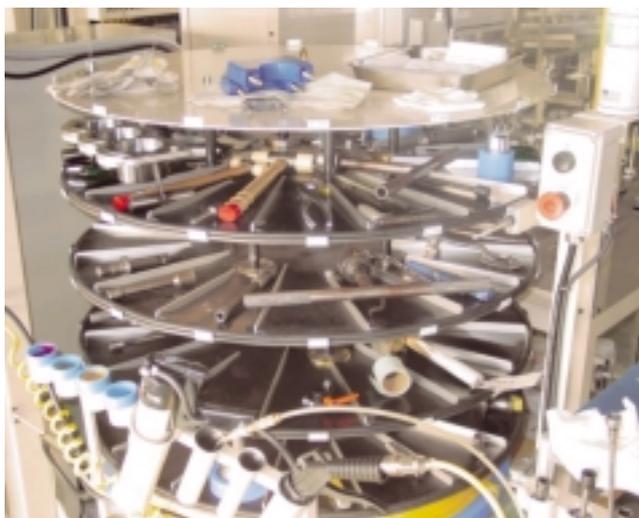


Fig.6 Tool Rack

に必要とされる締付け・圧入・挿入工具など40手順で使用する組立治具をラック内にすべて配置し、組立治具の取り出し時間の短縮を目的としたものである。

工具の取り出し位置はエルゴノミクスを考慮した上で、全作業員の平均身長から無理な姿勢なく取れ、作業動線に最短距離になるポイントとした。また、システムとして作業ナビゲーションと連動させることで、エンジン組立作業中に治具が必要となるタイミングで必要工具が手元近くに来る機構を有するものとした。更にポカヨケとして取り出し/返却確認機構を持たせている。

4.4 部品供給

今回、1台のエンジンを最初から最後まで組み上げるために、エンジン1台を構成する約150種類の部品をピッキングしながら組み付けしなければならない。そこで、今回は台車に1台分の部品をあらかじめピッキングして組み付け順に並べ、組み付け時には台車から順番に取り組み付ける方式をとった。これにより、組み付けに必要な部品を取るための歩行ロスと部品選択の判断ロスを最小化している。

5. 自己完結生産方式の効果

自己完結型生産方式で課題となる(1)動作ロス(2)判断ロス(3)品質確認ロスの増大を、作業ナビゲーションシステム/共用締付けツール/工具手元出しラック/部品マーシャリングなどの自己完結生産における基礎技術を開発し解決してきた。効果の確認として再度、自己完結生産方式によるエンジン本体へ組み付ける50部品にかかる作業時間の比較を行った。総組立時間としてコンベア生産比28%の低減を確認した(Fig.7)。中でも、動作ロスは部品取り出しや治具取り出し時間の短縮、判断ロスは部品選択時間の短縮、品質確認ロスはトルクレンチによる締付け確認の廃止の寄与する部分が大であった。これは作業ナビゲーションシステムを核とした効果によるものであり、長いサイクルタイムであっても作業者が迷うことなく、最短の行動範囲での作業が実現できたためである。

また、締付けに関しては二本の締付けツールで全250ヶ所・8サイズのボルト(2.0~200Nm/角度締め)に対応し、持ち替えロスなく、更に締付け時の反力を抑え、人間に負荷を与えない高精度締付けを可能とした。

一方で、生産の主力である中量~多量ラインへの適用という面から見た場合、コンベア分業と比較してセル単位にツーリングが必要なことから設備投資が割高となることや、一連の作業を習熟するまでに一定の期間を要することから人員の確保が容易にできないなどの新たな課題も見えてきている。

今後は、自己完結生産方式のメリットを中量~多量ラインで最大限生かすべく、これらの課題を解決し、高機能・高品質な製品をより低価格でお客様へ届けられる新しい生産システムへ発展させていく所存である。

著者



品川裕史



川上真一



神南裕巳



森尾宏基

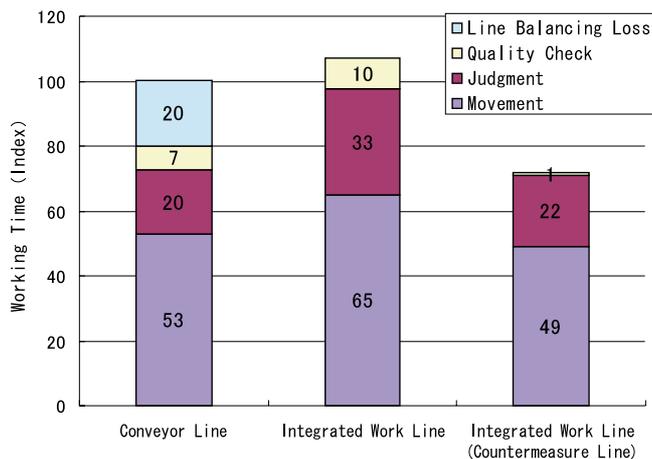


Fig.7 Working Time #2

6. おわりに

少量生産においては、従来のコンベアを使った分業生産方式と比較して、遜色ない生産性を持つシステムを確立できた。