

要旨

ヤマハ発動機株式会社(以下当社)の MC(モーターサイクル)組立工場(静岡県磐田市)では35モデルを4つの組立ラインのコンベヤー方式で生産をしてきた。近年の生産台数減少と市場要求の多様化に対して、市場追従するため4つの組立ラインを AGV (Automatic Guided Vehicle)を用いた多品種変量生産に対応する2本の組立ラインへ集約した。また、月に1回しか生産がなかったモデルもほぼ毎日生産し、製品を市場に安定供給することが求められている。そのため、従来のロットサイズ40台の生産方式から、1台多品種変量生産方式の実現に向けて、汎用化と段取り改革を柱に技術開発を行った。

汎用化を目指し、従来の工程合致の考え方を変え、工数合致という視点で工程設計を実施した。工数合致をしていくことで、ラインバランスを最適化し、どのモデルを生産する時でも組立ライン内は同じ工数で作業ができ安定した生産を実現した。

モデルごとの工数差についてはシステムによる制御をし、AGV バイパス方式を用いることで解決した。

段取り改革において、従来ロットサイズでは40台ごとにあった段取り作業が、1台多品種変量生産では1台ごとに発生する。その課題を解決するために、自動化・共通化・最短化という視点で改善に取り組んだ。

本報では汎用化と段取り改革の取り組み内容を紹介する。

Abstract

At Yamaha Motor Co., Ltd.'s (hereinafter referred to as "the Company") motorcycle (MC) assembly plant in Iwata City, Shizuoka Prefecture, 35 models have traditionally been produced using a conveyor system with four assembly lines. In response to declining production volumes and increasingly diversified market demands in recent years, the four assembly lines were consolidated into two. These lines now utilize automated guided vehicles (AGVs) to enable high-mix, variable-volume production that adapts to market trends. Moreover, models that were previously produced only once a month must now be produced almost daily to ensure a stable supply of products to the market. To address this challenge, the Company developed technologies focusing on generalization and setup reforms, enabling the shift to a high-mix, variable-volume production system. This allows for the production of just one unit at a time, rather than the conventional 40-unit lot size.

In pursuit of generalization, the traditional process of matching specific tasks to models was rethought, and a new approach was adopted—designing the production process based on matching man-hours instead. By matching man-hours, the line balance was optimized, and stable production was achieved with the same number of man-hours in the assembly line regardless of which model was being produced.

By optimizing man-hour balance, stable production was achieved across all models, regardless of which was being assembled, while maintaining the same man-hours per assembly line. Any differences in man-hours per model were controlled through the AGV bypass system.

In terms of setup reform, tasks that were previously performed for every 40 units in lot-size production are now executed for each individual unit in this high-mix system. To streamline this process, improvements were made in automation, standardization, and reducing setup times.

This report will introduce the initiatives undertaken for generalization and setup reform.

1

はじめに

リーマンショック以降、モーターサイクル(以下 MC)生産台数の減少とともに市場からの要求が多様化してきた。MC 組立工場では35モデルを4つの組立ラインのコンベヤー方式で生

産をしてきた。MC の生産はスポーティ／ツーリングモデルやオフロード／コンペティションモデル等のカテゴリー別組立ライン(図1)にすることで効率を高めていたが、その反面、モデルごとの生産量は季節ごとに大きく増減するため工程や人員をそれに合わせていた。さらに完成車の出荷場も4ヵ所あり、同じ

仕向け地のコンテナが一杯になるまで待っているため出荷までのリードタイムが長かった。

また、見込み生産では市場の要求台数と生産台数との間にズレが生じてしまい、市場の需要に対応できないという課題もあった。

この課題を解決するべく市場追従性と損益分岐点経営の両立を目標に掲げ、1台のオーダーでもタイムリーに生産して世界中のお客さまに喜んでもらえることを考え、生産台数の変動に対応した生産方式を成立させた。



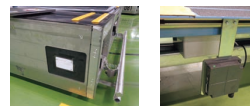
図1 組立ライン別モデル一覧

工程は作業しやすくすることができるが、工程編成によって場所を自由に移動できない。

車両搬送 AGV 側にリフター機能を搭載することや(図2)、大物部品のハンドリング設備は大物部品を前工程で組み合わせることで、組立ライン内の固定設備数を減らすことに成功した(図3)。また、AGV にターンテーブルを組み込むことで、車両の向きを360度変えることができるようにし、これまでは車両に対して常に同じ方向からでしか作業できなかったが、モデルや工程ごとに車両の向きを変えて最適な作業をすることができるようになった。



- 寸法：長さ2400×幅1300×高さ400 (mm)
- 重量：700kg
- 稼働台数：135台
- 特徴：
 - ・駆動方式：電動モータ式
 - ・自動走行：磁気テープトレース
 - ・常時無線通信：
 - AGV動作随時監視、トラブル時迅速な対応
 - ・自動リフター昇降：作業性を向上
 - ・RFIDタグ：設備自動切替のトリガー
 - ・無線給電：充電作業レス
 - ・安全機能：障害物センサー停止（レーザー）
 - バンパー停止（リミットスイッチ）



RFIDタグ：無線によるIDタグ



無線給電：非接触急速充電

図2 車両搬送 AGV

2 平準化

2-1. 工程設計

従来の組立ラインは、カテゴリごとに工数・構造差の少ないモデルを集めて最適化した専用組立ラインで生産していた。しかし、汎用組立ラインとするためには、工数・車体構造差のあるモデルを同じ組立ラインで生産する必要がある。そのため、構造に合わせて工程を編成する“工程合致¹⁾”の考え方から脱却し、どのモデルを生産する時でも常に同じ仕事量かつ一定のラインピッチで生産することができる“工数合致²⁾”の考え方で工程設計をすることにした。

- 1) 工程合致とは、同じ作業者が常に同じ構造の似た作業となるように工程を合わせる考え方をいう。
- 2) 工数合致とは、同じ作業者が常に同じ仕事量の作業となるように工数を合わせる考え方をいう。

工数合致させるための課題は2つある。設備制約とモデルごとの工数差があげられ、これらの課題を解決することが必要である。

1つ目の設備制約の取り組みとして固定設備を排除した。従来の組立ラインで設置されていた作業者の高さを調節する固定リフターや大物部品のハンドリング設備は、設置されている

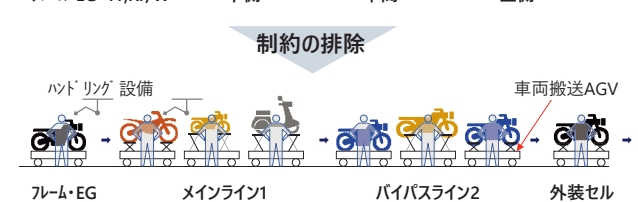
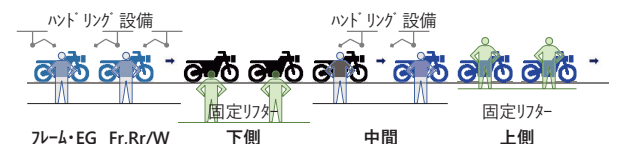


図3 設備制約を排除した汎用組立ライン

2つ目の工数差に対応する仕組みとして、AGV バイパス方式を採用した。AGV バイパス方式とは、メインとなる組立ラインの工数を一定にし、工数がオーバーする作業を別に分けたメインライン2や組立セルで吸収させる方法である。今回の汎用組立ラインでは、AGV バイパスラインと組立セルを組み合わせ、工数の大小に応じてルートを変えて流すことで、どんな組立工数のモデルも同じ組立ラインでロス無く生産できるようになった。

2-2. AGV バイパスラインのためのシステム

2-1で述べたAGVバイパス方式を成立させるために必要不可欠な手法は、システムを用いて車両搬送AGVのルートを工数やモデルに合わせて自由に選択する制御である。

車両によって組立工数は大きく異なる。そのため、車両搬送AGVが積載している車両別にルートを変更して疑似的にライン長を伸び縮みさせることで、工数差を吸収している。図4のように、メインライン1はすべての車両が流れるが、メインライン1を出た後に工数“小”のモデルはそのまま完成検査へ直行する。工数“中”のモデルは外装セルへ向かい、工数“大”のモデルはメインライン2および外装セルを経由して完成検査へと向かう。

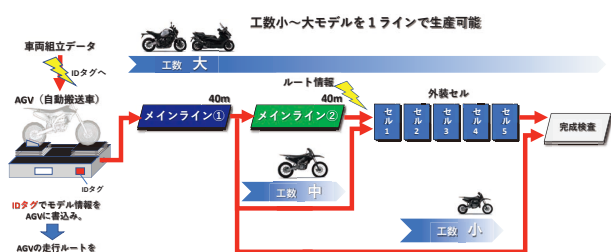


図4 組立工数差に対応する仕組み

上記の方式を可能にしたのは YMSL (ヤマハモーターソリューション (株)) が開発したシステム「FA-MES (Factory Automation-Manufacturing Execution System)」である。

車両搬送 AGV は Moxa 製の無線 LAN 機器を搭載しており、AP 局 (Access Point) と Wi-Fi 通信することで OPC サーバー (Object Linking and Embedding (OLE) for Process Control) と接続することが可能である。それゆえ、システムは OPC サーバーを介して車両搬送 AGV にアクセスしてデータの書き込みや取得をすることができる (図5)。

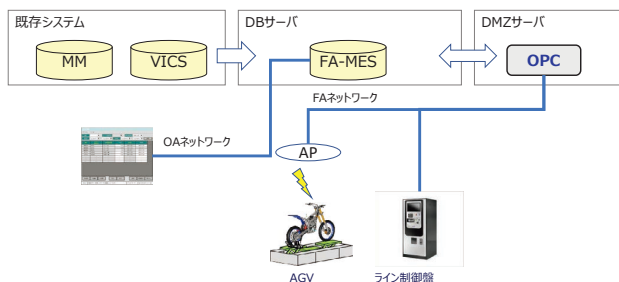


図5 設備の通信接続状態

基本的に書き込む情報は“ルート情報”、“昇降高さ情報”そして“CT(サイクルタイム)情報”の3つである。ルート情報とは、車両搬送AGVがどのルートを走行するのか指示するための情

報である。車両搬送 AGV の走行ルートには、システムとの連携ポイントが合計21ヵ所存在する。車両搬送 AGV は連携ポイントごとに次の連携ポイントまでの指示を受け取ることで、ルートを自由に選択しながら走行することを可能にした。昇降高さ情報とは、工程ごとに作業高さを変更するためのリフター高さ情報である。マーカー番号に昇降高さ情報を紐付けて、車両搬送 AGV がマーカーを読み込んだタイミングで昇降高さ設定通りにリフターが昇降する。CT 情報とは、工数差を吸収する目的である組立セルにおける機種ごとの車両搬送 AGV 停止時間である。CT 情報もマーカー番号と紐付けて、マーカーを読み込んだタイミングで車両搬送 AGV は一時停止し、一定時間経過後に再発進する。

情報を書き込むフローについて説明する。AGV がメインラインの前工程にある連携ポイントで停止している時、システムが次に投入する車両を照合し、RFID(Radio Frequency IDentification) タグの AGV 番号を読み込んで積載する車両情報と車両搬送 AGV を紐付ける。その後、システムが車両搬送 AGV に積載されている車両を確認し、その車両に適したルート情報を車両搬送 AGV に指示する(図6)。

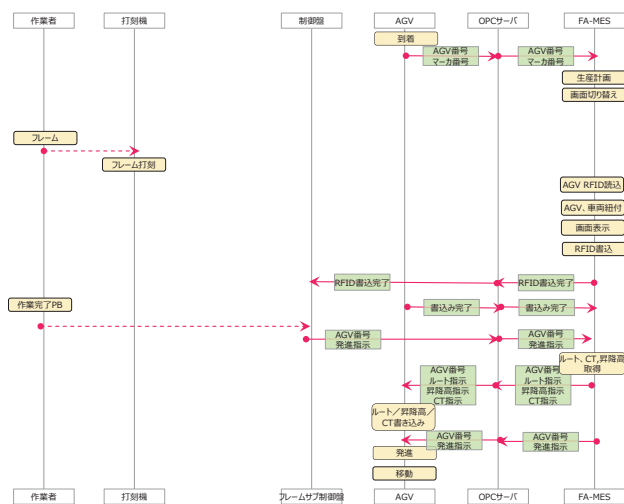


図6 車両搬送 AGV への情報書き込みフローチャート(一例)

外装セルは1ラインにつき5つあるため、セルへの進入前に改めてシステムから行先指示を貰う必要がある。セルへの進入前のシステム連携ポイントで車両搬送 AGV は一時停止し、停止している間にセルの空き情報をシステムが判断する。空いているセルがある場合、そのセルまでのルート情報をシステムが車両搬送 AGV へ指示する。同時にシステムは車両搬送 AGV へ走行指示も送信することで、AGV は走行を再開して目的のセルへ進入する。

3 ハイサイクル生産対応

3-1. 段取り改革

段取りとは、モデルに対して使用する設備や治工具の設定変更や交換を行う作業である。従来のロットサイズ40台の生産では、40台に1回の段取り作業が発生する。1回の段取り作業には1台分の間隔を空けて、段取り作業を行っていた。ハイサイクル生産とは、4台に1回または1台に1回のペースで機種が切り替わる。そのため段取り作業が発生し、大きなロスとなり段取り改革を行った(図7)。

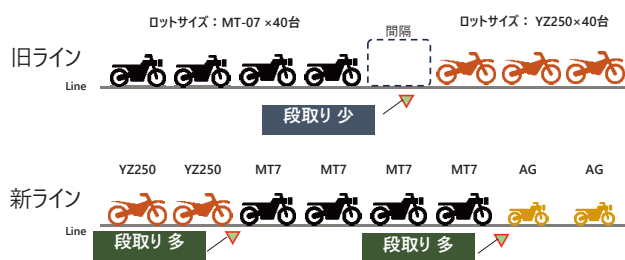


図7 段取り概要図

段取り改革では ECRS (Eliminate/Combine/Rearrange/Simplify) の原則を基に3つの考え方で改善を行った。

1. 自動化(設備／ツール)
2. 共通化
3. 最短化(ワンタッチ化)

3-1-1. 自動化

従来まではデジスイッチによる手動での設備機種切り替えやツールの入れ替えを行っていたが、多大な時間を要するため機種間に1台分の空台を入れていた。この課題を解決するため

に開発したのが RFID タグを使用した設備の自動切替ができる仕組みである。

AGV に車両を搭載する際に、車両情報と各設備の設定情報を書き込む。各設備が RFID タグを読み込み、対象の設備情報を取得することで、設備の自動切替を実現した。

また、この RFID タグの情報をもとに、車両のボルトを締付する締付ツールのトルク値を自動で変更し、モデルに合った締付トルクの切り替えが可能になった。

これにより締付ツールの段取り作業も自動化することができた。

3-1-2. 共通化

従来はモデル専用で治具を持っていたため、段取り作業が必ず発生していた。モデル単体ではなく、生産されているすべてのモデルの特長と必要な機能を整理することで、同じ機能でもモデルごとに形状が異なるため専用で持っていた治具を1つにすることができた。

3-1-3. 最短化

治具の中では共通化が不可能なものには、段取り作業の目標時間を0.1分(6秒)以内と設定し、その時間内に段取り作業が可能な形状を追求した。

合わせて、部分共通化と軽量化を意識した改革を行った。

大きな治具では従来は治具全体を交換して時間がかかっていたが、大部分を共通化させることにより、段取り替えをする箇所を限定し、一部だけをワンタッチでの段取り替えができる設計をした(図8)。

また治具そのものの軽量化を図ることで、短時間で段取り替えをすることができるようになった。

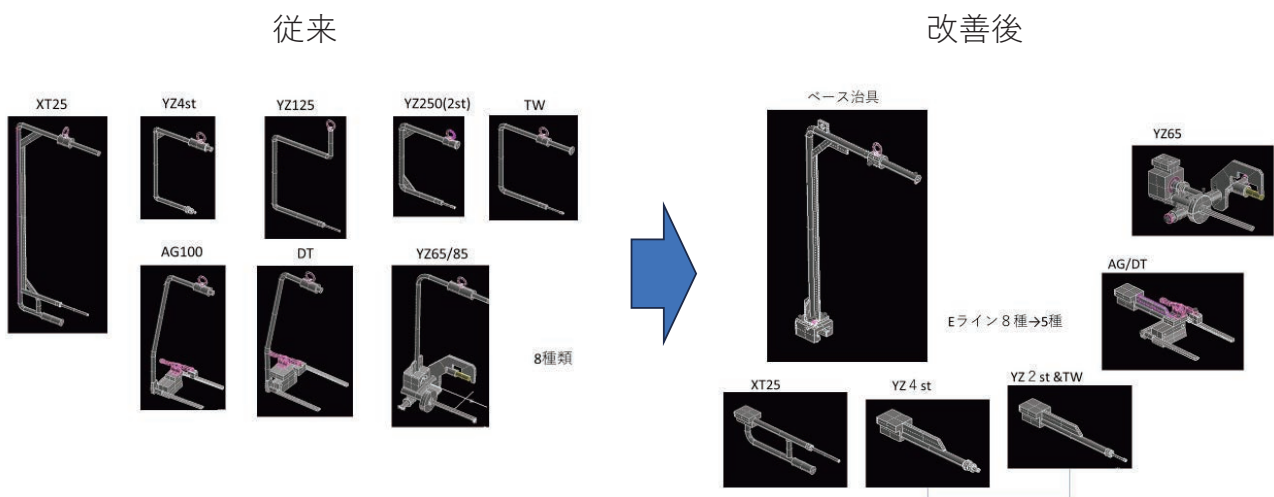


図8 治具段取り改善

3-1-4. 段取り改革の効果

今回の段取り改革により、従来必要であった機種切り替え段取り用の空台を排除できた。それは、モデルごとの設備の自動切換え＋同機能の治具の共通化＋治具の最短化（軽量化と部分的に交換可能な治具導入とワンタッチ化）の実現によるものである。

3-2. 部品供給

ハイサイクル対応にあたり、部品の供給方法も変更した。

これまでのロットサイズ40台の生産では、コンベヤー周辺に機種ごとの部品台車を配置し、機種が変わるごとに1ロット分の部品が載った台車を交換して対応していた。しかし、ハイサイクル生産では4台ごとに機種が変わるため、機種別で台車を並べて対応するには、スペース不足や台車交換のための段取りロスが多くなり、その改善が必要であった。

この課題への解決策として、組立ライン内で1台の車両を組立するのに必要な部品をあらかじめ台車に搭載し、組立ラインを流れる車両に同期して流す方法がある。

そのためには、部品台車の供給と空台車の返却を人で行うと、組立ラインのピッチに合わせて供給返却を行う必要から、多くの人員が必要になるか、人員抑制のために運搬距離に制約が必要になる。また、ライン形態が AGV バイパス方式となり、行き先が複雑化したため、車両搬送 AGV に載っている車両に紐付いた部品を、正確にメインラインやセルに供給する必要がある。

これらの必要性から、組立ラインや組立セルで使用する1車両分の部品を台車に載せ、システムと連携しながら台車を自動で運搬する仕組みを新たに構築した(図9)。以下ではその内容について説明する。

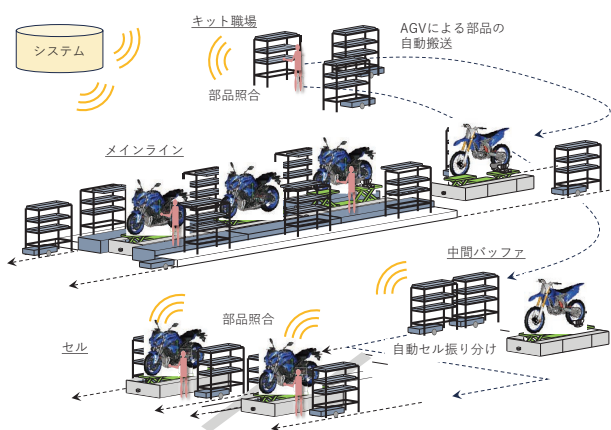


図9 部品自動搬送

3-2-1. 部品搭載

メーカーから供給された部品はまず、生産計画に基づいて、工場内外で一車両分の部品になるように、トレーやケースへ仕分けされる。仕分けされた部品を載せたトレーやケースは、組立順序に従って台車に搭載され、工場内にある組立ラインや組立セルへ部品を供給する部品管理職場へまとめて搬送される。

部品管理職場では、台車に搭載されたトレーやケースを組立ライン・組立セルへ供給するために、マーシャリング台車（図10）へ順番に搭載する。ここで、オペレーターはトレーやケースに貼られた QR コードを機器で読み取り、供給先の車両搬送 AGV に載っている機種の部品との照合をシステムで実施する。このときマーシャリング台車と搭載されている部品の情報を紐付ける。



図10 マーシャリング台車

3-2-2. 部品搬送 AGV

部品が搭載されたマーシャリング台車は、オペレーターによって専用の搬送口にセットされ、部品搬送 AGV によって組立ライン・組立セルへ自動搬送される。組立ラインと組立セルでは部品搬送 AGV の制御が異なるため、分けて説明する。

組立ラインへの運搬：組立ラインでは、運搬されたマーシャリング台車をリフターで持ち上げ、地面より高い位置で台車を流すことで、下側を部品搬送 AGV がすり抜けられる構造になっている。

マーシャリング台車の引き渡し・引き取りはすべて、組立ラインの制御と部品搬送 AGV 間で光センサを用いた通信により、自動的に行われる。これにより、必要なマーシャリング台車の数に対して少ない台数の部品搬送 AGV での自動運搬が可能となっている。

組立セルへの運搬:組立セルは組立ラインと異なり、複数セルを1職場で対応するため、システムによる車両搬送 AGV の各セルへの振り分けと部品搬送 AGV の組立セルへの振り分けを合わせる必要がある。そのため、部品供給職場から送り出された部品搬送 AGV は一度、中間バッファとして溜めておき、組立ラインから出てくる車両搬送 AGV に合わせて、組立セルへの行先指示をシステムから部品搬送 AGV へ光センサを用いて書き込みを行い、車両搬送 AGV と同じ組立セルに向かうように制御する。

組立セルでは部品の確認のため、台車に紐付けられた部品の機種情報を読み取り、車両搬送 AGV に載っている車両の機種情報を比較し、システムによる照合確認を行う。

4 効果

4-1. 4ライン→2ライン

汎用組立ラインにすることによって、車体組立ラインはこれまででカテゴリ別に分けられていた4本のラインから、どんなモデルでもロスを最小限に抑えて流せる2本の汎用組立ラインに集約することができた。

この2本の組立ラインをほぼ同じ形にすることで、季節によって変わる生産量の増減を2本のラインで補い合い、生産負荷の調整が容易になった(図11)。これまでは負荷変動のためにモデルを違う組立ラインで生産する場合、工程・人・設備などの準備に長い時間が必要だったが、この期間を短縮でき、市場の要求台数に対し、柔軟な対応ができる生産体制を構築することができた。

汎用性と市場対応力

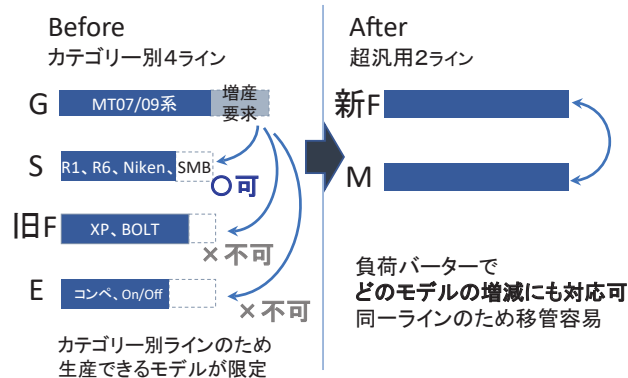


図11 専用ライン→汎用ライン

4-2. 小ロット化

ハイサイクル対応への取り組みにより、生産ロットサイズは40から4へと小ロット化をロス無く実現することができた。大き

な効果としては、段取りロスの削減があげられる。

生産ロットサイズを40台から4台とするにはロット間の段取りロスが課題だった。従来はロット間に段取り時間のための間隔1台分を空けるロスを設定しながら生産していたため、そのまま生産ロットサイズを小さくして段取り回数を増やしてしまうと、それだけロスが増えてしまう。段取り改革により段取りを最少化することで、この間隔を空けるロスを発生させることなく生産することが可能となった。

現在、車体組立ラインは生産ロットサイズを4台まで小さくすることができおり、仕組みとしては1台にも対応可能となった。図12に生産ロットサイズの変更前後を示す。

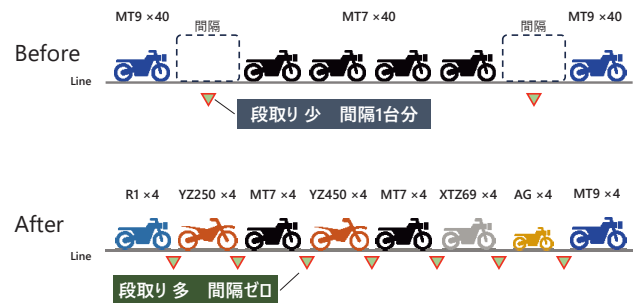


図12 生産ロットサイズ40台→4台

4-3. 毎日生産率

毎日生産率とは、各ラインで生産するモデルラインナップに対し、日々の生産するモデルの種類の割合のことである。

ロットサイズを40から4にすることにより、毎日生産率は従来生産の41%から90%まで向上することができた。これにより、例えば図13のモデルBのように、月に1回しか生産がなかったモデルもほぼ毎日生産することができ、製品を市場に安定供給することが可能となった。

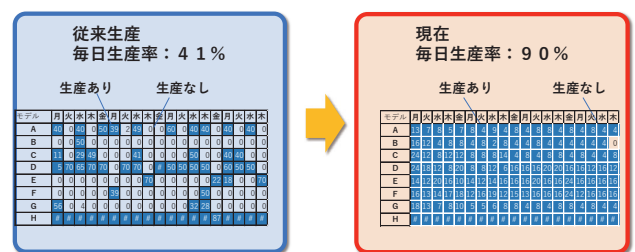


図13 毎日生産率

また、毎日生産することによって生産職場の組立作業が安定し、日々の生産能率の安定につながった。従来のロットサイズ40の生産では、月に一度しか生産しないモデルは組立作業者が作業を思い出すのに時間がかかり、最初の数台は作業スピードが上がらない上に、作業を間違えて品質不良が発生すること

も多く、その修正に要する時間も無視できなかった。そのため、生産頻度の少ないモデルは能率と品質を下げる要因となっていたが、ほぼすべてのモデルが毎日生産され、なおかつ1時間ごとにほぼ同じパターンでモデルが生産されることにより、作業者も作業を忘れることなく、安定したパフォーマンスで高品質な作業をすることができている。

新人作業者の育成についても、従来はすべてのモデルの教育・訓練を終えるまでに生産頻度が少なく完了までに時間を要していたが、毎日コンスタントに生産されるため作業者の習熟も上がりやすく、育成期間の短縮にもつながった。

5 まとめ

本報では、汎用化と段取り改革での取り組み内容を紹介した。

市場追従性において、従来のロットサイズ40台の生産方式から、1台のオーダーに対応できるようになり、必要な量を生産することができるようになった。これにより、市場のニーズにタイムリーに応えられるようになった。

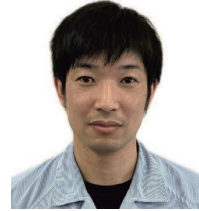
損益分岐点経営においては、まだ改善の必要がある。理想の姿を描き、理論値の視点でロスを見える化し、改善を進めて、経営への貢献に努めていく。

また組立ラインの汎用化によって、組立作業者はこれまで以上に多くのモデルの作業を高いパフォーマンスで正確に行うことが必要になる。そのため、今後のテーマとしてはヒューマンエルゴノミクスの研究を通して、人に優しく働きやすい環境作りにも貢献していく。

■ 著者



友田 祐介
Yusuke Tomoda
生産本部
製造技術統括部
組立技術部



小林 篤史
Atsushi Kobayashi
生産本部
製造技術統括部
組立技術部



深澤 伸吾
Shingo Fukazawa
生産本部
製造技術統括部
組立技術部



川口 貴之
Takayuki Kawaguchi
生産本部
製造技術統括部
組立技術部