

## プロジェクションアッセンブリーシステムによる 電動船外機組立工程の構築

Construction of Electric Outboard Motor Assembly Process using a Projection Assembly System

影山 浩明 浦川 和也

当論文は、日本プラントメンテナンス協会(JIPM)の2022年度 TPM 優秀論文賞を受賞した内容に基づくものです。

### Abstract

Yamaha Motor (hereinafter “the Company”), in its marine business, has launched a marine version of its CASE strategy, which utilizes cutting-edge technology to transform customers’ marine life into an even safer and more comfortable experience. Electric as a key element, is about the provision of comfort, and aims to appeal to the customer by providing the quietness of the electric propulsion unit using the system. The “HARMO”, developed as the basis of this system, was produced as a limited model of only 200 units, as it was a predecessor model working towards electrification and autonomous driving. The challenge in this limited production was to achieve a process setup that is not dependent on work proficiency and ensures stable quality with minimal investment (Figure 1). This paper describes the process of setting up the “HARMO” assembly process, which achieved both reduction in investment and ensuring all pass products by using the projection assembly system to solve this issue.

## 1 はじめに

ヤマハ発動機(以下、当社)はマリン事業において、最先端の技術を駆使しお客さまのマリンライフをさらに安心・快適な経験に変えるマリン版 CASE 戦略を打ち出している。その一角を担う Electric は快適の提供であり、電動推進器ユニットの静寂性をシステムで提供することで快適性の顧客提供価値を訴求する。このシステムのベースとして開発された「HARMO」は、電動化と自動運転に向けた将来への先行モデルのため、生涯生産台数200台の少量限定生産となった。この限定生産での課題は、作業習熟に依存せず、安定した品質確保が可能な工程設定を最小投資で実現することである(図1)。ここでは本課題解決に向け、プロジェクションアッセンブリーシステムを活用することで、投資抑制と全数良品確保の両立が可能となった「HARMO」組立工程設定の過程を述べる。

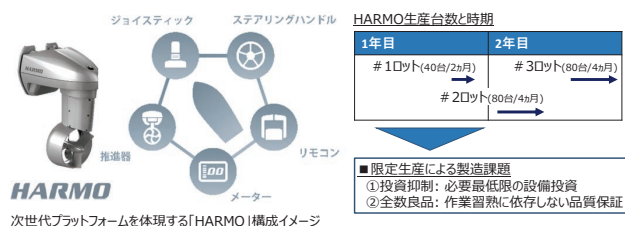


図1 HARMO 商品概要と製造課題

## 2 現状分析(生産方式の選定と課題)

まず初めに「HARMO」の生産方式の選定を実施した。当社袋井南工場(静岡県袋井市)の主な生産方式は量産向けの“ライン生産方式”であるが、日製1台の生産能力しか必要としないことから、多品種少量生産向けの“セル生産方式”を採用した。しかし、袋井南工場において従来から“セル生産方式”を採用している工程は、十数点の少量部品の組立を行うサブ組立工程のみであった。そのため、多品種の単純な組立作業に見合った工程として、作業台に簡易的な治工具が設置された工程を標準としている。また、ボカヨケ(作業ミスを防止する仕組みや装置)においても組み立て部品点数に適した注意式を主に使用しており、投資と品質のバランスを両立させている。一方「HARMO」組立工程においては一人で数百点の部品を扱うことから、工程設定の条件として規制式のボカヨケと作業実績管理は必須であり、現行工程設定の流用では安定した生産性と品質の確保に課題が残る(図2)。そこで、上記課題の対応として市販でパッケージ化されているプロジェクションアッセンブリーシステムを活用することで「HARMO」セル生産工程の実現を目指した。

| 概要   | 袋井南工場 組立工程の実状                |                             | HARMO組立工程                     |
|------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
|      | ライン生産方式                      | セル生産方式                      |                               |
|      | 少品種多量生産向き                    | 多品種少量生産向き                   | HARMO組立工程へ採用                  |
| 採用工程 | 主要組立工程<br>例) エンジン ASSY組立     | 前サブ組立工程<br>例) カバーランク ASSY組立 |                               |
| 作業内容 | 部品 十数点/1人組立                  | 部品 十数点/1人組立                 | 部品 数百点/1人組立                   |
| 品質管理 | 主に 規制式ポカヨケ<br>(組立コンベア連携)     | 主に 注意式ポカヨケ                  | 規制式ポカヨケ 必須<br>(作業台連携)         |
| 工程管理 | 生産性: 作業実績管理有<br>品質: 品質履歴一部管理 | 生産性: 作業実績管理無<br>品質: 品質履歴管理無 | 生産性: 作業実績管理必須<br>品質: 品質履歴管理必須 |

ギャップ = 課題

図2 袋井南工場  
組立工程の実状と HARMO 工程設定条件

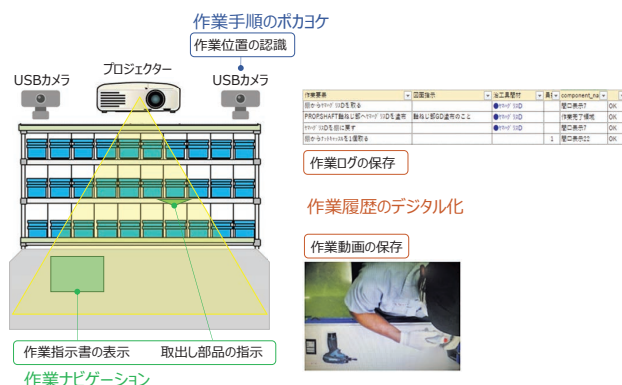


図3 プロジェクションアッセンブリーシステムの基本仕様

### 3 プロジェクションアッセンブリーシステムの標準機能

「HARMO」セル生産工程の課題「作業習熟に依存せず、安定した品質確保が可能な工程設定」の実現に活用する、プロジェクションアッセンブリーシステムの標準機能について説明する。本システムは大きく分けて3つの機能を有する(図3)。

1つ目は、プロジェクターによる作業ナビゲーションである。作業台に設置されたプロジェクターにより指示された棚から部品を取り出すことや、作業台に表示される作業指示書を見ながら組立作業を実施することができる。

2つ目は、USBカメラと作業手順のプログラミングによるポカヨケである。作業台の上部左右にUSBカメラを設置し、作業者による部品取り出し位置をカメラが認識することで正しく作業していることを確認する。また、作業手順や取るべき部品を誤った場合はアラートが表示され、正しい工程に戻ることができる。プログラミングされた手順に従って作業を実施し、作業完了信号を入力しないと次の手順へ移行することができない。これにより正しい手順通りに作業を行うことができる。

3つ目は、作業履歴のデジタル化である。作業手順ごとに作業結果(OK/NG)と信号取得日時、作業ログを履歴としてPCへ保存することができる。加えて、作業プログラム稼働中の作業動画の保存も可能であり、品質問題の解決や生産性改善のためのアイデア抽出の効率化に活用できる。

### 4 目標

「HARMO」組立工程において、全数良品確保を実現する工程設定の具体的な目標を以下に設定した。

1. 作業ナビゲーションの活用による記憶に依存しない作業指示の設定
2. 作業手順のポカヨケによるヒューマンエラー防止対策の織込み
3. 生産実績のデジタル化による品質&製造履歴の保管と活用

### 5 「HARMO」組立工程の構築

#### 5-1. 目標1: 作業ナビゲーションの活用による記憶に依存しない作業指示の設定

袋井南工場の標準的な作業指示はA4サイズの紙に印刷された作業指示書に複数行の作業要素が記載されたものであり、情報量が多いがゆえに活用するにも十分なスキルが必要であり、どこまで作業完了しているのかもよく注意を払う必要があった。一人当たりの作業量が少ない従来の組立工程では、指示書の内容を記憶して作業することが基本となるため、現状の指示書で役割を満足していると考えられる。しかし、一人当たりの作業量が膨大な「HARMO」組立工程においては記憶を頼りとした作業では成立せず、作業指示書としては不十分である。そこで、作業要素を現状の指示書よりもさらに細分化し、作業要素ごとに指示書を作成することとした。そして、指示書一枚ごとに作業完了信号を入力しなければ、次の作業指示が表示されない作業ナビゲーションの仕様とすることで、明確な作業指示を与え、かつ、作業飛ばしを防止する仕組みを構築した(図4)。

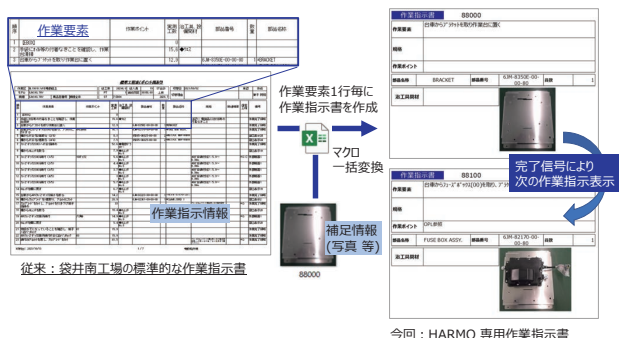


図4 作業指示書の仕様

## 5-2. 目標2:作業手順のポカヨケによるヒューマンエラー防止対策の織込み

袋井南工場の従来のセル生産工程は、一台の作業台で多品種の組立作業を行うため、全ての製品に対して作業手順の規制式ポカヨケを設定することが困難であった。今回はプロジェクションアッセンブリーシステムの基本機能を応用し、指示された作業が確実に実行されているかを判別する仕組みを構築したため、その主な仕様を以下に述べる。

### 5-2-1. 作業手順ポカヨケの仕組み

プロジェクションアッセンブリーシステムの仕様上の制約として、作業エリアの幅を1,500mm以内に収める必要がある。この制約を考慮した上で「HARMO」の製品構造を加味し、作業手順・姿勢が最適となるように組立工程を大きく6工程へ分割した。次に、分割した6工程では各々使用する部品や作業手順が異なることから、工程ごとに部品棚の入れ替えが可能な作業台の仕様とし、1工程に対し1つの部品棚を使用する工程設定とした。そして、各部品棚に対象工程のQRコードを設置し、QRコードを読み込むことで各工程の作業ナビゲーションが開始される仕様とした(図5)。

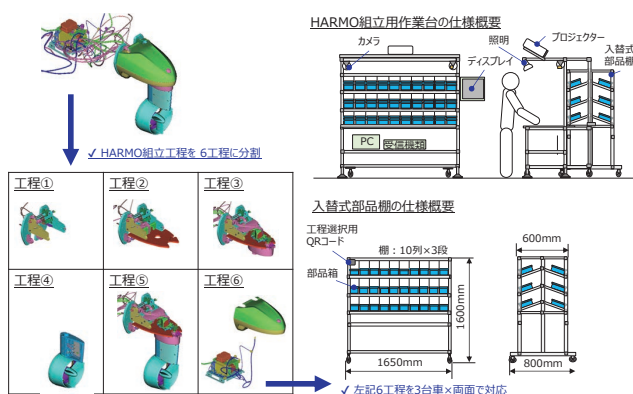


図5 HARMO組立作業台の仕様

### 5-2-2. 部品取り出しポカヨケの仕組み

使用部品の間違いや欠品については、標準機能として備わっている“部品取り出し位置をカメラで認識するシステム”で保証することができるが、部品が正しい位置へ仕立てられていることが前提となる。そこで、既存の部品現品表QRコードをトリガーとし、部品の仕立て位置を指示し、仕立てた位置をカメラが認識して作業が完了する部品仕立てプログラムを作成した。このプログラムを仕立てが必要な全ての部品に適用することで、部品取り出しポカヨケの仕組みを構築した。

### 5-2-3. 作業手順ポカヨケと外部機器の連携

上記で述べた部品取り出しに加え、完了ボタンと外部機器からの信号の3つを作業ナビゲーションの完了信号に設定し、いずれかの入力がないと次の作業へ移行できない仕様とした。工夫した点は、組立作業で高い割合を占めるネジ締結には、プリセットレンチと高精度電動ドライバーのみを使用し締付トルクの精度を保証するとともに、全ての締結ツールから締結完了信号を取得できる仕様としたことである(図6)。

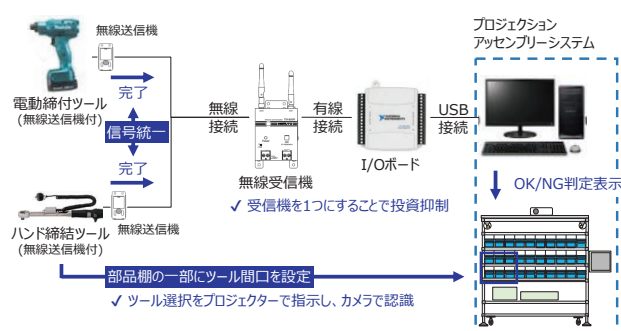


図6 締結ツール接続の仕様

## 5-3. 目標3:生産実績のデジタル化による品質&製造履歴の保管と活用

製造履歴管理として、製品一台一台に対して作業ログを紐付けて保存することが重要となる。そこで、生産計画を基に発行される製品の“号機シリアルNo.”の情報を読み込み、号機情報と作業動画、作業順序ごとの実績ログ(OK/NG)を記録する仕様とした。この履歴活用事例として、生産試作で発生したナット緩みの問題に対し、問題が発生した号機の組立状態(ネジ部のグリス塗布や締結)について作業ログと動画を確認し、正常な組立作業ができていたことが早期に確認でき、問題の原因特定をより迅速に行うことが可能となった。

また、生産性の管理面では、作業着手と完了実績より各工程の作業時間を把握することができるのに加え、作業要素ごとの細かい作業時間も取得することが可能なため、大小様々な粒



度による作業時間の分析が可能となった。従来の作業分析は作業風景を動画で記録し、その動画を用いて作業要素ごとの作業時間を測定することに多大な時間を要していたことから、生産性改善のアイデア抽出の効率化が期待できる(図7)。

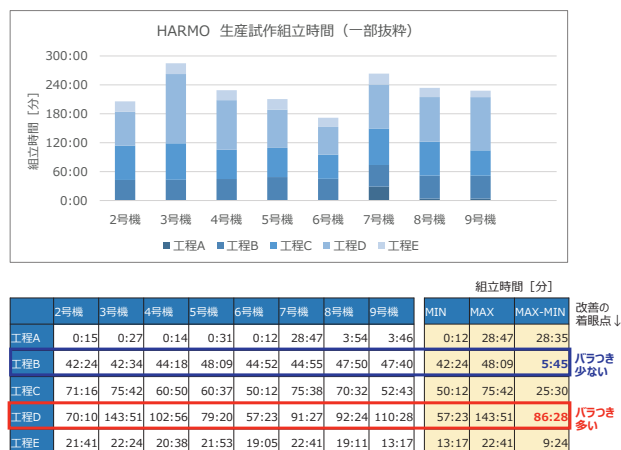


図7 事例)「HARMO」生産試作の作業実績

## 6 結果

結果として、全数良品確保と投資抑制（成り行き比△60%）を両立した「HARMO」組立工程を実現し、2021年9月に「HARMO」の生産を開始している(図8)。



図8 実際に導入したプロジェクションアッセンブリーシステムを用いた組立工程

## 7 おわりに

今回のプロジェクションアッセンブリーシステムの導入により、従来からセル生産工程で課題となっていた品質保証と生産実績管理の強化が実現できることを見出した。この取組みは、現在マリンエンジン製造部門が重点課題に設定しているスマートファクトリーの実現に向けた第一ステップである、製造工程の可視化へと繋がる。また、作業支援という視点においては近年課題となっている生産職場作業者の高齢化に対する製造工程のダイバーシティー対応（多様化）に応用ができると考えており、次の展開とする。そして、この継続した活動の成果としてさら

に信頼性の高いモノづくりの現場へと進化させることで、マリン版 CASE 戦略を実現し、お客さまのマリンライフをさらに安心・快適な経験に変えることへ貢献していきたい。

### ■ 著者



影山 浩明  
Hiroaki Kageyama  
マリン事業本部  
製造統括部  
マリンエンジン製造部



浦川 和也  
Kazuya Urakawa  
ヤマハ熊本プロダクツ株式会社  
技術部