

特集：MAZDA CX-60

27

高効率混流生産を実現する防府第2車両組立工場の進化 Evolution of Efficiency Mixed Production at Hofu No2 Vehicle Assembly Plant

岡林 直道^{*1} 細木 信吉^{*2} 越智 元基^{*3}
Naomichi Okabayashi Nobuyoshi Hosogi Motoki Ochi
山縣 英雄^{*4}
Hideo Yamagata

要約

ラージ商品群を全世界に提供するための生産体制を構築するべく、防府第2車両組立工場（以下、H2組立工場）をリニューアルした。

今回のリニューアルでは、これまでマツダが大切にしている働く人に優しい工程づくりを継承し、進化させながら、車両構造の電動化シフトや、少子高齢化による労働人口減少の中でも、お客様へ最新の車を、高品質でタイムリーに提供できる工場を目指した。

それを実現するため、三つの基本コンセプト、「1. 車両の変化に柔軟に対応できる根の生えない設備*」、「2. 作業者の能力を最大限発揮できる高効率混流生産ライン」、「3. 働きやすさを追求した作業者に優しいライン」の具体化に取り組み、マルチソリューション戦略の商品群を既存の車種も含めて効率的に混流生産できる工場へと一新した。

本稿では、その取り組みについて紹介する。

*：低投資かつ短期間でレイアウト変更できる設備に対する通称。

Abstract

In order to supply 7th Generation large products to all over the world, Mazda renovate Hofu No2 Vehicle Assembly Plant (H2). We think it is important to design the human friendly base line concept.

We estimate increasing EV structure, on the other hand labor shortage caused by decline of working population in near future. Mazda must produce state-of-the-art products with high quality, timely, and sustainably. New H2 can produce state-of-the-art products based on multi solution strategy and current products in high productivity.

This report describes Mazda's activity based on 3 concepts.

1. Non-fixed facility that can accept products diversity.
2. Flexible production line by maximum utilization of human power.
3. Human-friendly line that pursues ease of work.

And it describes their approaches and the effect obtained.

Key words : Production • Manufacture, Continuous production, Equipment, Human engineering, Physical burden, Environment • Energy • Resources, Environment-Oriented production design

1. はじめに

現在、自動車業界を取り巻く環境は100年に一度の大変革期と呼ばれるほど大きな変化を迎えている。CASEやカーボンニュートラルに代表される外部環境の変化の中で

も、将来も使い続けることのできるフレキシブルな生産ラインを目指して、理想の工程を描くことが重要と考えた。

H2組立工場は1992年の操業開始、当時最新の自動化技術によって大物部品の組み付けをロボットで自動搭載することにより作業者の負担を軽減する生産方式を続け

*1~4 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

てきた。しかし、大物部品の組み付け自動化は設備が大がかりになるため、車両重量や車両サイズなど工程能力スペックを超えるクルマや部品に対応する際の多大な投資と長期の工事期間が問題となっていた。より広い居住空間を実現する大きなクルマや環境性能の高い電動車の需要が高まり、クルマのサイズと重量が上がる傾向にある中で、短期間に低投資で生産できる体制を構築し、また、お客様に喜ばれる価値のある車をお届けするとともに、組み立て作業員に対しては働きやすい作業環境を提供できる生産ラインを実現した。

2. 車両組立ラインの特徴と課題

2.1 車両組立ラインの特徴

車両組立ラインは、お客様に最も近い最終加工区であり、クルマ全体の品質を造り込む加工区である。車両組立ラインでは、2800点以上の多くの車両部品を取り扱っている。

組み立て作業の要素には、締結、嵌め込み、貼り付け等さまざまな組み付け方法の部品が混在しており、作業内容が多岐にわたり、自動化への課題が多い。そのため、作業員の技能を十分に発揮できることが重要になる。

また、多車種混流生産を行っていることがマツダの特徴である。エンジンレイアウトや使用燃料、駆動系及び車両サイズの異なるさまざまな商品を1つのラインで混流生産している。生産ボリュームの大きい自動車メーカーでは単一車種をラインに流して効率を上げることが一般的であるが、スモールプレイヤーのマツダは車両の構造違いによる作業時間差を吸収可能な混流生産によって生産ボリュームの大きいメーカーに匹敵する生産効率を実現している。

1つのラインの中で乗用車とSUVを混流生産することを「縦スイング」、同じ車種を国内や海外の複数の生産ラインにまたがって生産することを「横スイング」と呼ぶ。縦スイング、横スイングの混流生産により、需要の変動に柔軟に対応し、マツダの国内外複数の生産ラインがあたかも一体の工場のような生産システムを構築することで、世界中のお客様にお待ちいただくことなく、タイムリーにお届けできる生産基盤を整えている (Fig. 1)。

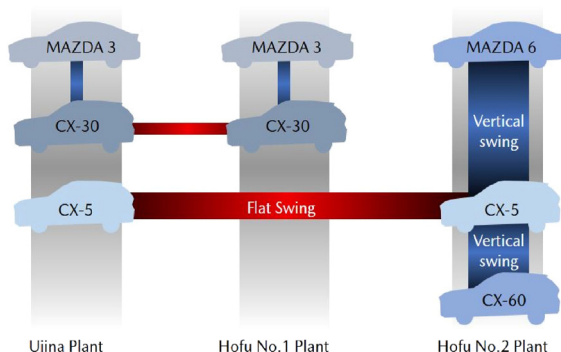


Fig. 1 Flexible Production by Swing

2.2 車両組立ラインの構成

車両組立ラインは、メインラインとサブラインで構成している。塗装工場で塗装されたボディーへ部品を組み付けて完成車へ仕上げるラインをメインラインとし、エンジンやサスペンション、インパネなどのメインラインで組み付ける前にあらかじめ大きなモジュールへ仕上げるラインをサブラインとしている。

混流生産において、車種間で発生する作業時間差はサブラインで吸収し、メインラインでは、あらゆるクルマを同一工程、同一設備で組み立てられる「シンプルベースライン」の考え方によって、混流生産での生産効率を高めつつ、縦横スイングを短納期かつ低投資で行うことが可能なライン構成としている。

2.3 車両組立ラインの課題

マツダは、多様なお客様の要望にお応えすることができ、BEVやPHEVなどマルチソリューション戦略の商品をタイムリーに提供し続けることを目指している。そこで、異なる構造のクルマを効率的に混流生産するために作業時間の差を吸収する必要がある。更には、労働人口減少に対応しながら、技能を発揮することができる、作業員にとって優しい工程を実現することが課題である。

その課題を解決する3つコンセプトを考え、H2組立工場のリニューアル工事に織り込んだ。

(1) 車両の変化に柔軟に対応できる根の生えない設備

1つ目は、車両構造の変化に即応すると同時に、投資を抑制するためのコンセプトである。クルマの大型化や、電駆化に伴う新機能部品の増加によって1工程当たりのスペースを拡張したり、既存の工程では不足し対策を行う場合、エンジン・サスペンション自動搭載などの大掛かりな設備における改造の工事が長期化することが問題となっていた。その問題を解決するため、工程数やレイアウトを柔軟に変更できる「根の生えない設備」をコンセプトとすることで、短期間かつ低投資で進化するラインを目指した。

(2) 作業員の能力を最大限発揮できる高効率混流生産ライン

2つ目は、混流する際の車種間の作業時間差によるロス問題を解決するコンセプトである。例えば、エンジンと電駆ユニットを両方搭載したPHEVでは既存の内燃機関と車両構造が大きく異なり、組み付け部品が多く、84分もの作業時間差があり、その差を効率的に吸収し、同時に、工程内でねらいの機能を造り込むことである。シンプルベースラインの考え方を、作業員のもつ能力を活かす観点で進化させる「作業員の能力を最大限発揮できる高効率混流生産ライン」をコンセプトとした。

(3) 働きやすさを追求した人に優しいライン

3つ目は、少子高齢化に加えて、定年延長による作業員の平均年齢の上昇などの人員構成変化の問題を解決す

るコンセプトである。若手からベテランまで、多様な作業員を受容できる「働きやすさを追求した人に優しいライン」をコンセプトとした。

以上に挙げた3つのコンセプトによるH2車両組立ラインの進化のポイントを、第3章で紹介する。

3. H2 車両組立ラインの進化

3.1 車両の変化に柔軟に対応できる根の生えない設備

車種によって構造が異なるサスペンションやパワートレイン、ホイールベースに対する設備の汎用性を低投資で高める「根の生えない設備」をコンセプトに工程設計を行った。その3つの事例を紹介する。

(1) 自動化ユニーク要件を排除した汎用性の高いライン

従来は、省人化のねらいからエンジン・サスペンション全自動搭載システムを採用していた。搭載隙要件を満たすため高い位置決め精度が必要であり、ボディー側、エンジン・サスペンション側の双方を設備で位置決め固定を行っていた。また、車種によってサスペンションをつかむ位置が異なるため、車両構造に対して専用の設備が多く必要であった。そのために、新車追加時に多額の投資や、長期の設備改造期間が発生し、また位置決めや固定方法に関して、車両構造側の制約条件が必要となっていた。そこで、自動搭載設備を重可搬AGVに変更し、ボディー側の搭載位置決めピン合わせや、サスペンションをボディー側締結位置へ誘導する作業を作業員が行えるようにしてフレキシブル性を高めた。

(2) ソフトのパラメーター変更で柔軟に対応できる設備

これまでの自動搭載設備は地下ピットを要するため、簡単に設置場所を変更することができなかった。そこで、AGVに搭載リフター機能を付与し、生産台数を増やしたい場合はAGVを追加し、工程レイアウトはソフトで簡単に変更できるようにした。

また、搭載AGVに非接触センサーを活用し、フロント側の搭載AGVがボディーハンガーの形状を読み取ることによって追従走行し、リア側のAGVがフロント側のAGVとの距離を認識し、リアルタイムでコントロールさせることで追従精度を高め、ホイールベース長の違いをソフトのパラメーター設定のみで変更できる設備を実現した (Fig. 2)。

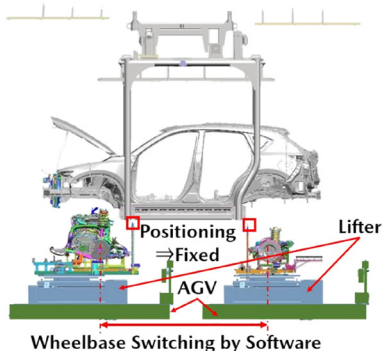


Fig. 2 Engine・Suspension Lifter AGV

(3) 多種のパワートレインを組み立てできる汎用設備

多種のパワートレインでも同一の設備で生産するために、部品を組み立てるための加工基準を車種間で共通の「固定」と定義し、車種ごとに造り分けたい諸元や性能の差を「変動」と定義し、車両設計と設備設計を同時に行っている。

具体的には、エンジンやサスペンションなどの大型モジュール部品のボディーへの取り付け方法を固定とし、パワートレイン間で共通化している。一方で、アクスルは車高や車幅、車両重量に合わせて変動とし、車種によって取り付け位置を変えている。変動部は、位置決め具の取り付け取り外しのみで簡単に切り替え可能な設備にすることで、同一工程での組み立てを可能とした (Fig. 3)。

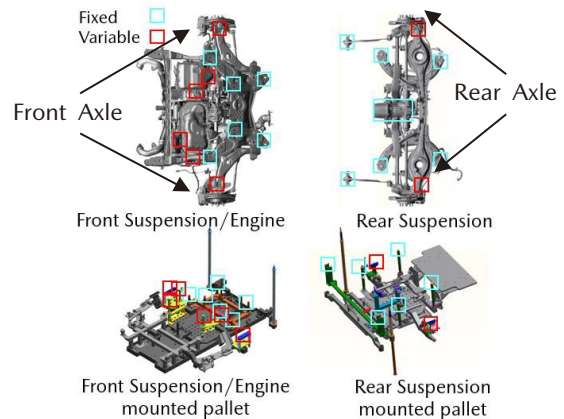


Fig. 3 Fixation and Change of Vehicle and Facilities

3.2 作業員の能力を最大限発揮できる高効率混流生産ライン

混流生産においては、商品仕様の違いにより、組み付ける部品点数が異なり、その作業時間差の吸収が効率生産の課題である。特に、従来の横置き内燃エンジンに加え、縦置きエンジンや、電気駆動のモーターでは、さまざまな部品のレイアウトや組み付け方向が異なり、適切な作業員配置が難しくなっている (Fig. 4)。

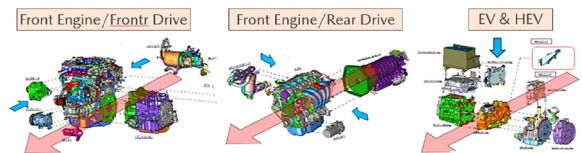


Fig. 4 Parts Layout of Various Power Trains

従来のコンベア搬送では、コンベアで作業員の動線が分断され、前後からの作業アクセスが困難であったが、AGVによるマルチアクセス搬送方式 (Fig. 5) に変えることで、作業員が左右に自由に行き来できるようになり、歩行ロスのない工程が可能となった。同時に全方位からの作業を可能とすることで、無理な作業姿勢を排除し、作業員の負担を減らして効率的な作業が実現した。

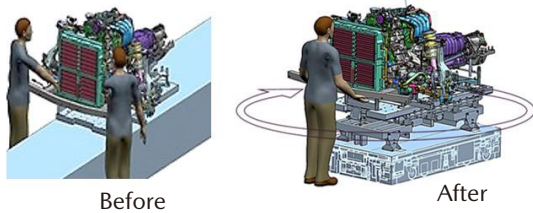
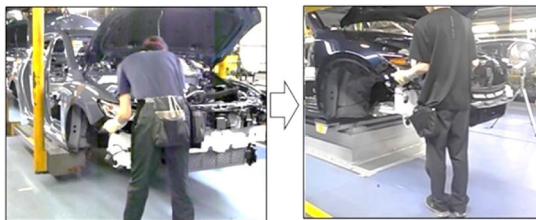


Fig. 5 Multi-Access Carrier

3.3 働きやすさを追求した人に優しいライン

H2 組立工場のリニューアルでは、少子高齢化社会を見据え、作業者にとって働きやすいラインの実現を目指した。このコンセプトを具現化するためには、初期構想の企画段階において、作業のしやすさを妨げる作業負荷を徹底的に低減する工程設計を行い、設備工事の計画に織り込むことが重要である。

その 1 例として、台車昇降搬送方式による腰曲げ作業等の難姿勢を廃止するストライクゾーン工程設計に取り組んだ (Fig. 6)。



Before Working Posture After Working Posture
Fig. 6 Improvement of the Difficulty Posture

(1) ストライクゾーン工程設計

ストライクゾーン工程設計について説明する。従来から、エルゴノミクス基準に基づいた作業負荷の低減を行ってきた。しかし、高負荷の作業が全作業時間内にどのくらいの割合を占めているかを基準とするエルゴノミクスの考え方から、作業時間割合によらず、腰を曲げるなどの作業負荷の高い難姿勢を廃止するという、より高い目標を設定し取り組んだ。

具体的には、作業のしやすさの指標を作業姿勢とし、作業負荷の高い姿勢パターンを分類した (Fig. 7)。良い作業姿勢として腰曲げ量 20°以下など定義し、その基準を達成する工法の検討と工程設計を行った。以下、前述した昇降台車搬送方式によるストライクゾーン工程設計について説明する。

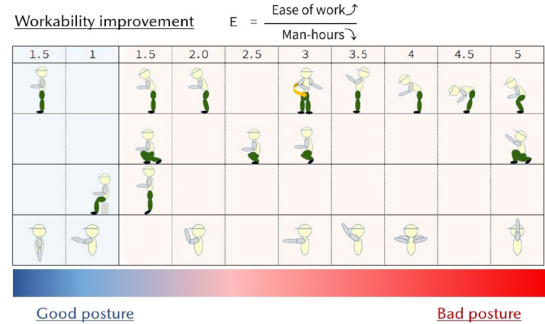


Fig. 7 Classification of the Work Difficulty

(2) 昇降台車搬送方式によるストライクゾーン工程設計
従来は、一度設置すると後から高さ変更が困難な工場梁から吊ったハンガーラインで車両を運搬し、その両サイドに作業員を配置していた。そのため、作業者とボディーの相対的な高さが固定化し、人にやさしい作業高さにできておらず、更にハンガー自体のアーム構造が邪魔で、ボディーへの寄り付きが制限されていた。加えて、動くボディーに作業者が歩きながら追従するという作業負荷の高い工程であり、従来のエルゴノミクス基準は満足させてきたものの、それ以上の改善は難しい状況であった。そこで、昇降台車搬送方式を新たに採用した。この方式により、作業工程ごとにボディー高さを可変し、作業員中心の最適な高さに設定した。また、ハンガー構造での寄り付き制限もなく、より負荷の少ない作業姿勢が可能となった。

加えて、台車のフロア自体が進行方向へ動くため、このフロアに乗っている作業員は、ボディーに追従して歩行するという負荷もなくなった。成果として、従来のハンガー搬送方式と比較して 348 件の難姿勢を改善し、作業時間として 8 分の削減効果が得られた。

このストライクゾーン工程設計を早期段階で行うため、実際の工程条件を踏まえた作業姿勢を机上で数値化し、シミュレーションする手法を確立した。その取り組みについて 4 章で説明する。

4. 生産シミュレーション技術の進化

従来の働きやすさ (作業負荷) の検証手法は、作業高さや使用する設備、車両組み立て部品等を 3D データで再現したデジタル上の車両組み立て工程 (以下、デジタルファクトリー) において、検証者がディスプレイ画面を見ながら、デジタル人間モデルの身体を操作し、作業のしやすさや作業箇所の視認性などの項目を検証していた (Fig. 8)。

本手法は、その作業の難易度、身体の重心及び工程内一連作業のつながり動作などを考慮したデジタル人間モデル作成が検証者の経験や勘に頼っており、判断にばらつきが発生し、検証精度に課題があった。

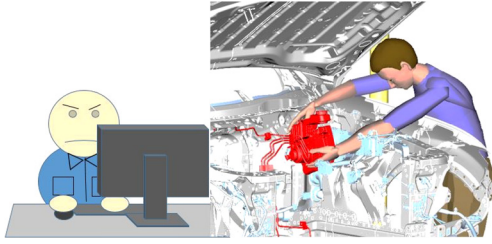


Fig. 8 Conventional Inspection Method

この課題を解決するため、MR（Mixed Reality）の技術を用いる手法確立に取り組んだ。具体的にはデジタルファクトリーで、実作業同等の環境再現により行った作業動作を、モーションキャプチャーシステムにより、デジタル人間モデルとして生成し、そのデジタル人間モデルから各関節可動角度を数値として抽出する手法である（Fig. 9）。

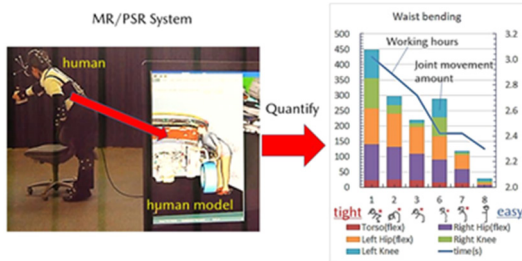


Fig. 9 The Latest Inspection Method by MR

この手法の確立により、検証者の経験や勘に頼らず、作業姿勢を数値化し、ストライクゾーンエンジニアリングによる効果を机上でシミュレーションすることが可能となった。

今後は、作業動作のデジタル人間モデル生成と作業負荷量の算出までを自動化する組み立て工程シミュレーションシステム（Fig. 10）を確立し、そのシステムを活用した効率的なエンジニアリングプロセスで、新たな工法を取り入れた働きやすさの追求を加速していく。

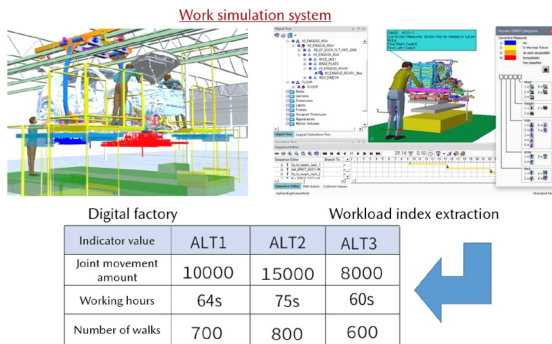


Fig. 10 Vehicle Assembly Process Simulation System

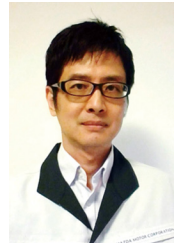
5. おわりに

本取り組みにより、H2 組み立てラインにおける既存車種とラージ商品群の混流生産効率を高め、同時に、将

来の車両構造変化へ柔軟に対応ができ、働く人にも優しいサステナブルな工場へ進化させることができた。

今後、カーボンニュートラル観点も加えて将来も使い続けることのできる工場へと更に発展させていく。具体的には、協調ロボット技術を活用し、複数の作業を同時にできるような工夫でマルチソリューション戦略の商品の混流生産効率を高める。加えて、作業者の能力を最大限発揮できる作業環境を追求していくことで、ライン長の短縮や作業に必要なスペースを縮小し、車両や大型部品の搬送エネルギー、空調や照明などのエネルギーを削減する。そのような、生産過程におけるCO₂排出量を極小化できる、世界最小のコンパクトファクトリーを実現していく。

■ 著 者 ■



岡林 直道



細木 信吉



越智 元基



山縣 英雄