

論文・解説

32

フレキシブル車体組立ラインの進化 Evolution of Flexible Body Assembly Line

向原 明*¹ 五島 泰明*² 山口 英毅*³
Akira Mukouhara Yasuaki Goto Hidetake Yamaguchi

要約

宇品車体工場では、2004年12月から新型プレマシーの生産を開始した。この新型プレマシー導入を機に、車体組立領域の懸案であった、アンダーボデー組立ラインのフレキシブル化技術の開発と実用化に取り組んだ。

本稿では、マツダにおける多種変量車体組立ライン開発の歴史と課題、今回実用化したロボットを中心としたフレキシブル生産システムの概要を紹介する。

Summary

Timed to the production start-up of new Premacy at Ujina-plant's body shop in December 2004, we grappled with the long-awaited application of our flexible production system into the Underbody assembly.

This paper indicates history and challenges of Mazda's "flexible body assembly line," as well as the outline of Mazda's "flexible production system," shedding lights on the industrial robots we deployed this time.

1. はじめに

かつて製造業では、大量生産、大量消費を前提とした生産システムを開発し生産活動を行ってきた。しかし、時代の移り変わりとともに、ユーザのニーズは多様化し、激しく変化する市場環境への柔軟な対応が求められるようになり、高品質で安価な多種類の商品を、タイムリーに供給できるFMS (Flexible Manufacturing System: 多種変量生産方式) の開発、実用化が、我々生産技術者の重要な任務となった。

1990年代、自動車業界各社がこの課題に取り組み、マツダでも多種変量車体組立ラインを構築し、市場の要求に応えてきた。しかし、近年、業界内の熾烈な競争に打ち勝つためには、お客様の求める車を、より短期間に低コストで開発し、市場に提供することが絶対条件となっている。

そこで、今回、車体組立ラインのフレキシビリティをより向上させることを軸に、最小限の期間と設備投資でさまざまな車種に対応できる車体組立ラインの開発に取り組んだ。

2. 車体組立ラインの現状

車体組立ラインの多種変量生産技術は、1990年前後の、いわゆるバブル経済期に、電動ロボットの性能向上と適用技術の強化に伴い飛躍的に進歩した。マツダでも、防府工場増設にあたり、多種変量車体組立システムの開発に取り組み、C-BAL (Circulation of Body Assembly Line) と称する、車格や車型に関係なく繰り返し生産できる多種変量生産ラインを構築した⁽¹⁾。

C-BALは以下のコンセプトで開発された。

- ① 陳腐化しない生産方式
10年以上の長期にわたって使用しても、他社との競争力を失うことのない、最高レベルの生産システムを実現する。
- ② ボデー構造の革新
ボデー構造を開発領域まで踏み込んで評価し、部品構成の標準化、積木構造の廃止などに取り組み、作りやすいボデー構造を実現させる。
また、C-BALで導入された代表的な多種変量生産技術には次のようなものがある。

*1~3 車体技術部
Body Production Engineering Dept.

① パレット台車循環方式

従来の生産ラインでは、モデルチェンジ時、溶接治具や搬送装置に大幅な改造を要したが、溶接治具を持つ車種専用パレット台車を循環させることで、パレット台車の入替のみで対応できるようにした。

② 溶接治具三面切替装置

多車種混流の溶接治具が成立しない工程では、車種ごとに専用職場を設ける必要があった。そこで、工程内に溶接治具三面切替装置を設置することで、同一職場で常時3モデルの混流生産を可能にした。モデルチェンジ時には溶接治具の入替のみで対応できる。

C-BALのコンセプトと生産システムは、その後、宇品工場やAAI (Auto Alliance International, Inc.) などにも展開され、多種変量生産技術に改善や見直しを加えながら今日に至っている。

これにより、設備投資額ベースで75%以上の汎用化が実現し、モデルチェンジ時は初期投資の40%以下で対応できるようになった。

3. 現状の課題

しかしながら、近年の自動車業界における競争の激化に伴い、次のようなC-BALの現状の問題点を解決し、現在の車体組立ラインをより競争力のあるものに進化させなくてはならない。

① 専用部の準備期間と投資

C-BALで導入した技術によって、多種変量生産が可能になった。しかし、前述したパレット循環方式や溶接治具三面切替装置は、溶接治具の段取り換えシステムであり、溶接治具本体は専用部としてモデルチェンジごとに作り変えることが必要であった。そのため、モデルチェンジ時には専用部である溶接治具の設計、製作等の調達期間が必要となり、市場投入までのリードタイム短縮の妨げとなっている。また、設備投資の60%を占める溶接治具は「使い捨て」となり、追加車種導入時の設備投資を減らせない一因にもなっている (Fig.1)。

② ラインの専用化による台当たりコストの上昇

C-BAL構想では、開発部門と生産技術部門が共同で「標準ボデー構造」の開発に取り組み、作りやすいボデー構造にすることで多種変量生産を実現させていた。中でもデザインなどの影響を受けにくい、自動車の車台にあたるアンダーボデーは、改良を加えながら2~3世代使い続けることを前提としていた。

しかし、フォードを軸としたグローバルな車種展開や、消費者の安全意識の高まりに伴い、まったく新しい構造のアンダーボデーが開発、導入されるようになった。そしてマツダの標準構造ボデーのキャリアオーバを前提に作られたアンダーボデー組立ラインは、工程の変更や搬送装置の改造、多車種生産に対応した部品供給が困難なため、追加

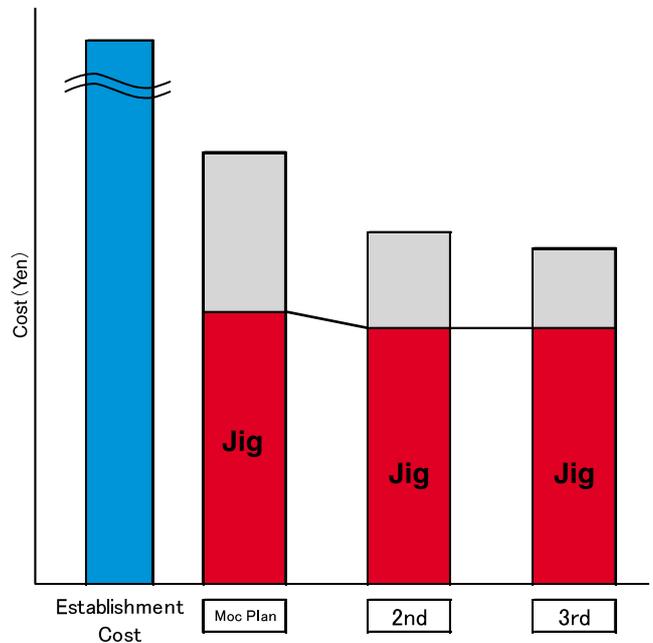


Fig.1 Transition of Model Change Cost

車種を投入することができず、生産台数が設定台数に満たない場合は、台当たりの生産コストが上昇するという問題が発生している (Fig.2)。

以上のことから、まず、車種専用ではなく、車種が変わっても使い続けることができる、フレキシビリティを持った溶接治具を開発し実用化すること。そして、アンダーボデー組立ラインにも多種変量生産の技術を導入し、さまざまな車種に即座に対応可能な車体組立ラインとすることが重要な課題である。

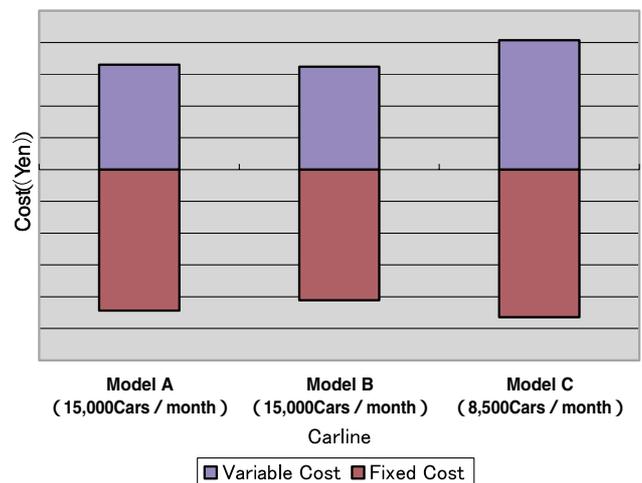


Fig.2 The Rise of Per-vehicle Cost

4. アンダーボデー組立ラインのフレキシブル化への取り組み

新型プレマシーは宇品工場で生産され、車体組立領域は第2工場第2ラインへの導入となる。このラインはC-BAL構想を具体化した多種変量組立ラインであるが、アンダーボデー組立ラインは車種専用ラインをスクラップアンドビルド方式で展開していく必要があり、モデルチェンジ時に多くの時間と多額の投資を必要としている。そこで、新型プレマシー生産にあたり、アンダーボデー組立ラインを最新の多種変量組立ラインとすることを目指し、フレキシブル化技術の開発と導入に取り組んだ。

主要な技術的検討課題は次のようなものである。

- ① 溶接治具のフレキシブル化
- ② 工程の追加、削減などの変更が可能なライン構造
- ③ 搬送装置のフレキシブル化
- ④ 多車種生産に対応した物流システム

以下、今回主に取り組んだ①②の課題への取り組みについて紹介する。

4.1 溶接治具のフレキシブル化

(1) フレキシブルロケータの導入

溶接治具とはプレス加工された複数の板金部品を高精度に位置決めする要具であり、車体組立ラインでは、部品を溶接治具で把持した状態で溶接加工を行い、ボデーを組み立てている。ここで組み付けられる部品形状は車種ごとに異なるため、溶接治具の部品把持位置も車種ごとに異なり、かつ、高い精度を要求されるため、溶接治具の多車種対応は困難とされてきた。そこで今回、溶接治具ベースにACサーボモータ駆動の多軸ロボットを用いることで、車種ごとに異なる位置への対応を可能にした。このロボットはフレキシブルロケータ (Fig.3) と称し、高精度リニアガイドを用いたX/Y/Z方向の直交3軸を持つタイプと、6軸多関節タイプを設定した。ボデーのフロア面を位置決めする比



Fig.3 Flexible Locator

較的簡素な治具形状となる部位には直交3軸タイプを、部品形状が複雑で直交3軸タイプではアクセスできないような部位には、より自由度の高い6軸多関節タイプを適用し、ほぼ全工程への導入を実現した。フレキシブルロケータ導入にあたり、次のような取り組みを行った。

① フレキシブルロケータに即した製品評価

溶接治具による部品の把持部を加工基準と呼ぶが、フレキシブルロケータによる部品把持で、従来の溶接治具の機能が満足できるように、形状や位置、数などを見直す加工基準の適正化を行った。また製品開発段階からフレキシブルロケータに対応した製品構造評価を行い、フレキシブルロケータ導入を可能にするとともに、生産要件として次期導入車種にも適用させるようにした。また、フレキシブルロケータの動作範囲は、過去のさまざまな車種の部品構成と加工基準を比較検討した上で設定し、幅広い車種に対応できるようにしている。

② フレキシブルロケータの位置精度保証

車種専用の溶接治具は、製作後、大型の3次元測定装置で精度確認してからラインに据え付けていた。しかしフレキシブルロケータを用いた溶接治具は、ライン内で自由に位置を変更できるため、据え付け後も精度確認を行う必要がある。そこで、移動式の小型3次元測定装置を導入し、ライン内で溶接治具の精度保証を行う仕組みを作った。これにより、新車種導入時フレキシブルロケータの位置を設定した際も、即座に短時間で精度確認と修正を実施することが可能となり、溶接治具の精度確認時間を、従来の方式に比べ大幅に削減することができた。

③ 3Dデータによる溶接加工作業性の確認

フレキシブルロケータの駆動部は、従来の溶接治具に比べかなり大型化しており、これがロボットによる溶接作業性を阻害する恐れがある。今回、加工基準が最も多く設定される工程では、1工程に18ユニットのフレキシブルロケータを設置するため、フレキシブルロケータの配置と溶接作業との両立が課題であった。そこで、全工程においてフレキシブルロケータを3Dデータで精密に再現し、CAD上



Fig.4 3D Verification by CAD

でNCロケータや溶接ロボットの設置位置、溶接ガン形状の評価を綿密に行い、フレキシブルロケータの導入と溶接加工を成立させた (Fig.4)。また、今回は、従来困難とされた溶接ロボットのケーブル類の3Dデータ化にも取り組み、より精度の高いCAD上の適用検討を行い、現地不具合の削減に大きな成果をあげている。

(2) 治具レス溶接

溶接工程のフレキシブル化を進めるにあたって、最も短納期で安価、かつ自由度が高い方法は「溶接治具を使用しない」ことである。今回は加工基準の機能を属別し、フレキシブルロケータを用いない部位に、治具レス溶接を導入した。以下、治具レス溶接への取り組みについて述べる。

① 搬送マテハン上での溶接作業

アンダーボデー組立ラインでは、小型、中型部品の搬送はロボットで行っている。そこで、搬送用ロボットのマテハン (ロボットに設置している部品搬送のためのハンドリングツール) 上の部品を、もう1台の溶接ロボットが溶接する作業方式 (Fig.5) を導入した。この方式を用いることで、溶接治具内では困難な溶接作業も、部品と溶接ガン双方が姿勢を自由に換えられることから、格段に容易なものとなった。また、治具レスのため車種変更による溶接治具作り替えを必要としない上に、通常溶接ロボットにとっては待ち時間となる搬送中に溶接作業を行うため作業効率が上がる。なお、治具レス溶接であるが、部品精度を前工程の溶接治具内で凍結させることで、品質への影響を排除している。

② サーボガンによる部品位置決め

アンダーボデー組立ラインでは、溶接加工にACサーボモータを用いた電動溶接ガン (以下サーボガン) を使用している。サーボガンは電極の磨耗やガンアームのたわみに関わらず、一定のポイントを加圧、溶接できるよう制御されているが、この機能を、溶接治具のクランプユニットとして用いる、新しい部品位置決め方式を導入した。これにより、溶接治具を用いずに、さまざまな部品形状に対応で

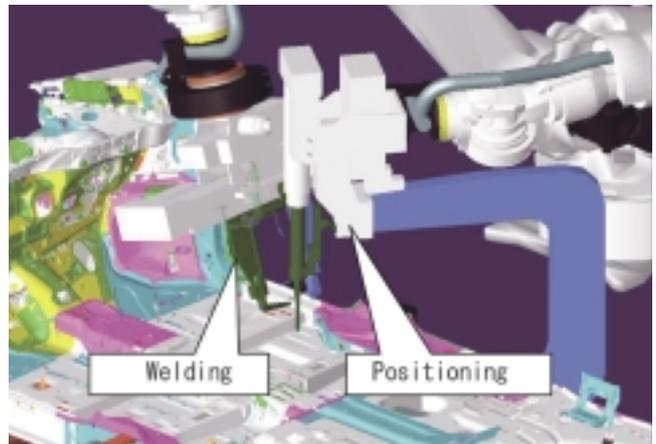


Fig.6 Positioning by Servo Gun

きる、安定した位置決めが可能となった。また、物理的に溶接治具の設置が困難な場合や、溶接治具設置により汎用性や溶接作業性が著しく妨げられるような場合でも、溶接ガンの挿入が可能であれば部品位置決めができる。今回サーボガンによる部品位置決めを実施したのは、アンダーボデー仮付工程である。アンダーボデー仮付工程は、溶接治具数が最も多い工程であるため、該当部位への溶接治具設置スペースの確保が課題であった。そこに、このサーボガンによる部品位置決めを導入することにより、溶接治具の汎用性を損なうことなく、製品品質の安定化を実現させた (Fig.6)。

4.2 ロボットによる大型部品搬送

今回のラインでは、工程の追加、削減にもフレキシブルに対応可能であること、最短の工期で生産を可能にすることを旨とし、ロボットによる部品搬送を全面的に導入した。従来、ロボットによる部品搬送は、小型、中型部品のみで行われていたが、今回は全長が4メートルを超えるような大型部品にも、ロボットによる搬送 (Fig.7) を適用し、大型部品搬送に使用してきた大型のシャトル式搬送装置を全廃した。



Fig.5 Spot Welding Without Using Jig

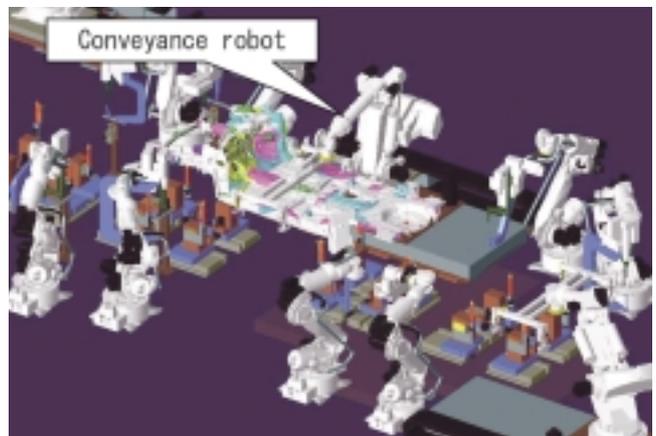


Fig.7 Large-sized Part Conveyance by Robot



Fig.8 Carrying by Robot

大型シャトル式搬送装置は、その構造上工程の追加、削減などに対応することは困難であった。また、全長が数十メートルに達するため、設備の搬入、据え付け、立ち上げに制約があり、多くの時間を必要としてきた。しかし、ロボットによる搬送を導入することにより、レイアウト変更が容易で、工程の追加、削減にもフレキシブルに対応可能なライン構造とした。また、工程変更による現地工事が容易である上、設置した工程から順次トライアルを実施することが可能となり、立ち上げ作業もスムーズに行えるようになった。

今回のアンダーボデーラインでは、工程間搬送電車にボデーを移載するためのリフタも廃止して、ロボットによる移載を実施（Fig.8）。大規模な改造工事を行うことなく工程数変更に対応可能とした上、工程間搬送電車の工期短縮も実現した。また、ロボットにライン外へのボデー搬出機能も兼用させるなど、機能性を高めている。

以上の取り組みにより、溶接治具は多車種に対するフレキシビリティを持ったものとなり、追加車種導入時の準備期間と設備投資を大幅に削減することが可能となった。また、従来のC-BAL構想における課題であったアンダーボデー組立ラインを多種変量生産に対応させることにより、追加車種導入が容易になり、生産台数減少による台当たり生産コストの上昇に対処することが可能となった。

5. 今後の課題

今回完成させたフレキシブル車体組立ラインの完成度を更に高め、より短期間、低コストでの車種導入と生産を実現するためには、今回の取り組みで具体化させるに至らなかった、以下の残課題を克服する必要がある。

① 搬送装置のフレキシブル化

a. フレキシブルマテハンの開発

溶接治具のフレキシブル化は、今回大きく前進したが、ロボットによる部品搬送に用いるマテハンには、依然、車種

ごとの改造を強いられている。ロボット搬送を全面導入したこともあり、マテハンのフレキシブル化が次の重要な課題である。

b. 搬送ロボットへの視覚センサの適用

今回ロボットによる部品取出 組付を大幅に導入したが、車種が増えるにつれ、パレット内の部品位置ずれや、パレットの精度不良に起因するライン停止の発生が懸念される。これに確実に対処するためには、車体組立工場特有の部品表面の油膜や、部品のばらつきに影響されない、より安価な視覚センサシステムを開発して、搬送ロボットに適用していく必要がある。

② 物流システムの開発

同一ラインでの多車種変量生産が実現すると、複雑になるのは部品供給システムである。特に組付部品が多いアンダーボデー組立ラインでは重要な課題である。部品の計画順序搬入を省スペースで実施するための多種混載パレットの開発、台数変動に左右されずに高い編成効率を達成できる搬送システムの開発などが求められる。

6. おわりに

今回の取り組みにより、アンダーボデーフレキシブル車体組立ラインを具現化するとともに、新型プレマシーの市場導入を計画通り成功させることができた。しかし、新規に導入した設備がその真価を発揮するのは、次期車種導入時である。より一層の改良と技術開発に取り組み、今後の状況変化にも柔軟に対応できるフレキシブルラインに進化させていく考えである。

末筆ながら、この車体組立ラインの開発、導入にあたって多大な御協力を頂いた、工場、開発部門、設備メーカーなど社内外関係者の方々へ、深く感謝の意を表すとともに、今後の更なる御指導、御協力をお願いする次第である。

参考文献

- (1) 前島ほか：多種変量車体組立ライン，マツダ技報，No.11，p.13-18（1993）

著者



向原 明



五島泰明



山口英毅