

大型航空機胴体パネル混流製造ラインの開発

Development of Large-sized Aircraft Fuselage Panel Mixed Flow Production Line



民間機セグメント
民間機事業部組立工作部

当社主力製品である大型航空機胴体パネルの市場環境は、ボーイング社とエアバス社の競争激化により、生産変動やコストダウンに迅速に追従できる製造・生産体制へ変革することが求められている。当社では、その解決手段として熟練作業者を中心とした多くの大型定置式治具に依存した現在の生産システムを見直し、生産柔軟性をもち省人化可能な自動化設備を組込んだ混流製造ラインの開発に取り組んだ。本稿では、新開発した混流製造ラインの紹介をする。

1. 新製造ラインの開発背景と特徴

1.1 製品の特徴と航空機製造の難しさ

当社では、[図1](#)に示す航空機の後部胴体を機体前後方向と円周方向に分割した胴体パネル形状で生産している。十数枚ある其々の胴体パネルは、単曲面や複曲面を持ち全ての形状が異なる、胴体外板のように長尺で板厚が薄く変形しやすい非剛性部品を数多く所有する部品構成、長尺・非剛性部品にもかかわらず組付け精度は 1mm 以下、という特徴を有している。そのため、現在の生産システムでは、[図2](#)に示すような胴体パネルごとに専用の大型定置式治具を組立工程ごとに整備し、大型定置式治具へ構成部品を機体形状に保持してパネルの生産を行ってきた。しかし、定置式治具を使用した生産では多くの狭隘作業が発生し熟練技能者による作業が主体となるため自動化設備が適用しにくい、複数の胴体パネルを複数工程で同時に組立てるため工程管理に労力を費やすなどの非効率要因を抱えていた。

また、製品が治具を移動していきながら組立を行うため定置式治具を移動することに組立誤差が累積され、精度維持が複雑なものになっていた。

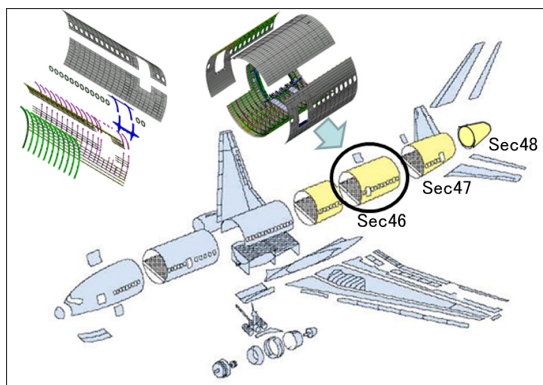


図1 胴体分割概略図



図2 従来型定置式治具

1.2 新製造ラインに求められる機能とコンセプト

新たな組立ライン構築にあたり熟練技能者依存の脱却と省人化，定置式治具を排除しフレキシビリティ向上を基本方針に定め，下記コンセプトの混流製造ライン M-PAL (Multi-panel Pulse Assembly Line) の開発に取り組んだ。

- 1) 非剛性・長尺部品を保持し機体形状を高精度に保ち工程を移動する移動式治具の適用
- 2) 組立パネルの工程間移動の組立誤差排除
- 3) 十数種類のパネルを製造できる混流製造ラインの実現
- 4) ハンドリングロボット，新型オートマチックリベッター，検査装置等，自動設備の積極導入
- 5) 製造工程を標準化し，直線的に配置した一貫生産ラインによる工程管理の容易化
- 6) IoT 技術を活用した高度統合ラインによる製造ステータスとヘルスマonitoringシステムの導入

2. M-PAL (Multi-Panel Pulse Assembly Line)の仕様

M-PAL の構成を図3に示す。M-PAL は大きく4つの工程で形成させ，作業ステーションは全13ステーションを設定した。

- ① 胴体外板のセット工程 : 胴体外板/内部骨格部品の位置決め・仮結合
- ② 胴体外表面の穴明け・打鉚工程 : 胴体パネル結合部他のパネル外表面の穴明け・打鉚
- ③ 内部骨格の穴明け・打鉚工程 : 胴体パネル内部に取り付く骨格部材の穴明け・打鉚
- ④ 形状検査 : 胴体パネルに要求される外形寸法の検査

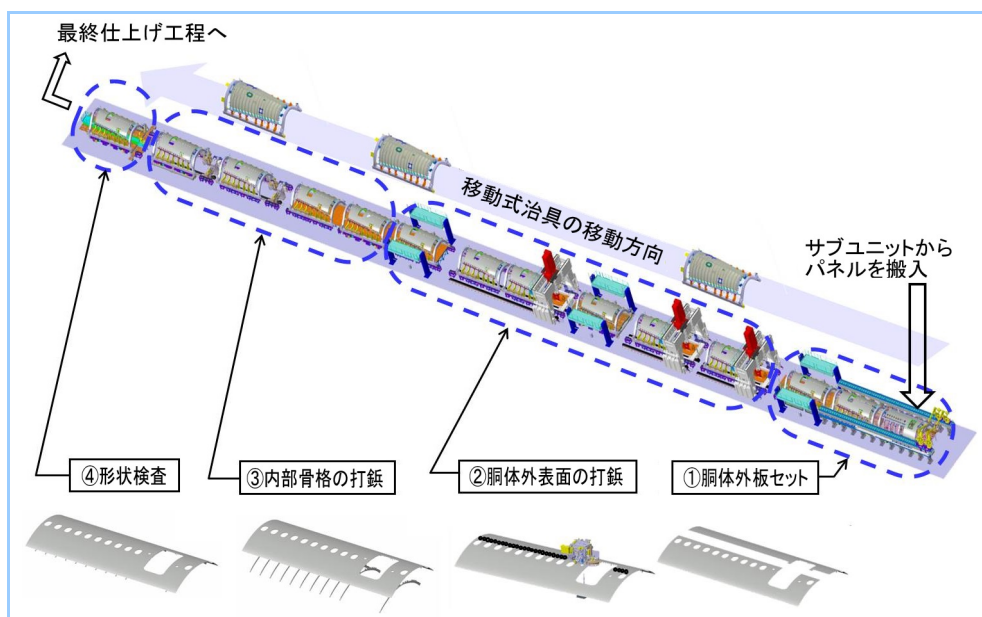


図3 MPAL 工程概略図

2.1 ラインを構成する組立工程

胴体パネルには搭乗用のドア構造の有無，単曲面，複曲面の表面形状の違いなどがあり，組立作業の工程や作業ボリュームが大きく異なるため十数種類の胴体パネルの混流生産が可能な組立ラインとする必要があった。そこで，各胴体パネルの共通作業と固有作業に分離し共通作業を組立ライン内へ並べた上で，各パネル固有の作業も加味してステーションの数を決定した。この工程とステーションの設定にはシミュレータを活用し，作業ボリュームの異なるパネルが円滑に生産できるよう繰り返しシミュレーションし，ラインの成立性を確認した。

2.2 オートマチックリベッターのインライン化

本混流製造ラインでは省人化のポイントとなる自動で穴明け・打鉚をするオートマチックリベッターを中心とした組立ラインの機器構成を考えた。これまでオートマチックリベッターには胴体パネルの搭載，荷卸しのハンドリング作業に時間を要する弱点があるため胴体パネルハンドリングの

効率化が図れるよう治具とコンベアシステムの仕様を決定した。具体的には、第2工程における胴体パネル外表面のオートマチックリベッターは、胴体パネルのハンドリングが必要のない門型構造タイプ(図4)を選定した。これによりオートマチックリベッターを直線的に配置することを可能にし、オートマチックリベッター作業の相互バックアップと前後作業の異なる胴体パネルへの対応柔軟性を確保できるようにした。また、内部骨格の打鉚工程で胴体パネル内面側に取付く骨格部品を打鉚するオートマチックリベッター(図5)もラインに組み込み、大幅に自動打鉚の適用範囲拡大を図った。

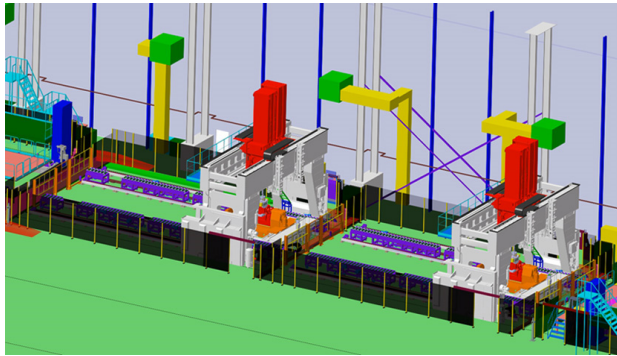


図4 門型オートマチックリベッター

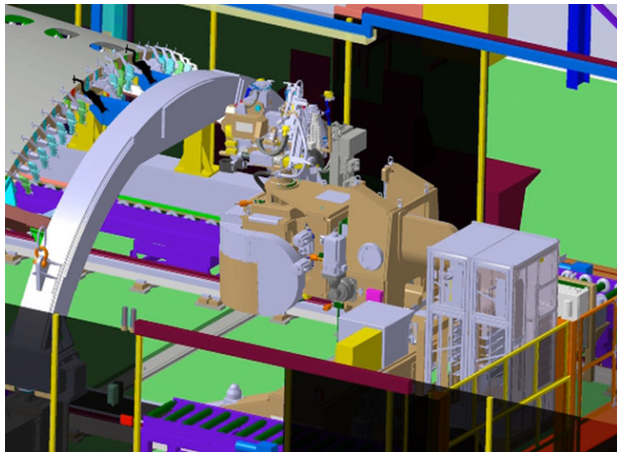


図5 内部骨格用オートマチックリベッター

コンベアシステムは混流製造ラインの13のステーションを一直線に繋げており、オートマチックリベッターへの胴体パネル投入が容易となるようにした。胴体パネルは移動式治具にセットし、そのままの姿勢でオートマチックリベッターに送られ、自動で作業が開始される。この時、コンベアシステムはライン内へ投入された製品が認識できるようにICタグの読取機能を設け、上位システムからの対象プログラムがダウンロードできるしくみとした。また、オートマチックリベッターなどの各機器の作業完了を以て移動可能となるインターロックを設定した。

2.3 治具構想

従来型の定置式治具は、作業者の作業姿勢を考慮し胴体パネルは縦置き構造となっている。それに対しM-PALでは、オートマチックリベッターのサイズとコンベア走行時の安定性確保を考慮し横置き構造とした。また、オートマチックリベッターの打鉚範囲が広く確保できる様、移動式治具はパネル外周部を保持しパネル中央部の保持機能を排除し、自動化装置のアクセス性を向上させた。この時、M-PALの第1工程では、パネル構成部品のサポートとパネル形状の維持をさせるため、パネル中央部の保持機能を保有するHeader Tool(図6)と移動式治具を一時的に組み合わせることでパネル形状精度を保証するようにした。Header Toolは単曲面、複曲面形状等それぞれ異なる形状の十数種類の胴体パネルを自在に位置決めできるようNC自動制御を組込んだ。これにより、大型定置式治具から移動式治具に変えた治具構想で、形状維持・精度確保が保証できるようにした。

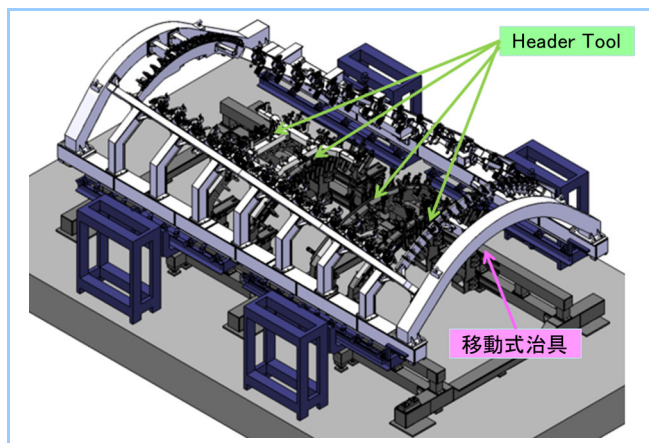


図6 Header Toolと移動式治具

また、従来型の固定式治具では工程間でパネルを載せ替える度に治具間誤差が生じ製品精度に影響を与えていたが M-PAL では移動式治具を使用し組立作業を進めていくことで載せ替えによる治具間誤差をなくした。

3. 各工程で適応した新技術

3.1 胴体外板のロボットによるハンドリング

従来型生産では、複数の作業者がスリングを使用して部品と治具の干渉をチェックしながら胴体外板を各専用治具にクレーンを使用して位置決めしていた。クレーン作業は作業安全への配慮と胴体パネル内側へ取付いた部品と専用治具の干渉に注意しながら、水平と垂直動作を繰り返して位置決めしなければならず時間を要する作業であった。これに対し M-PAL ではロボットが吸着パッドを持ち、胴体パネルを吸着した状態で円周方向の移動や面直方向へ移動するロボットハンドリングシステムを適用した(図7)。

ロボットハンドリングシステムでは1枚の胴体パネルを2台のロボットで吸着し協調してハンドリングを行う。2台のロボットの協調制御と 3D 補正システムにより長さ約 8m もの胴体パネルを治具上に設けられた基準位置に位置決めすることを可能とした。このロボットハンドリングにより従来から大幅削減した時間で胴体パネルの M-PAL 投入作業を行えるようにした。

3.2 形状自動検査

航空機胴体パネルは最終的に航空機胴体とする際に基準となる穴位置精度や形状精度が要求されている。これまでの生産方式では専用治具と専用ゲージを使用し合否判定を行ってきたが、M-PAL では組立精度の数値化と省人化を同時に満足できるように形状検査システムを適用した。この形状検査システムでは3次元写真計測器を持ったロボット(図8)が自動計測を行うことで、作業効率を向上させ、組立精度を数値化しデータを蓄積することで品質向上及び製品異常の早期発見に繋げるしくみを組込んだ。



図7 ハンドリングロボット



図8 形状検査装置

3.3 外観自動検査

これまでの生産方式では、組立作業が完了した後に、専門の検査員により製品表面の傷の有無の確認を行っていた。合否判断に定量的な指標が明確になっていないため、熟練検査員を必要としていた。そこで、M-PAL では、省人化と定量的指標の明確化を目的に外観検査システムを適用した。外観検査システムは高解像度カメラで撮像した画像から製品表面の傷を検出する AI を組込んだ画像処理システムで、学習により判別精度が向上するしくみとなっている。これにより熟練作業が必要であった判別指標の定量化を図った。

3.4 IoT の活用

本混流製造ラインでは、前述した工程間移動や各作業の自動化により作業効率の向上を図っているが、これら設備や作業の進捗を監視するために統合監視システムについても開発し適用した。統合監視システムは設備、治具のステータスや生産ステータスを監視するだけでなく、オートマチックリッターの NC プログラムのダウンロードもサポートし、設備の加工条件、品質記録もリアルタイムにデータ収集を行う。これらの情報は管理部門、現場事務所、部品製造部門等どこからでもモニタリングが可能となっており、収集したビックデータは、品質向上・作業改善にも活用していく計画である。

4. 今後の展望

航空機製造業の需要拡大と市場競争激化の中、航空機胴体パネル生産プロセスの革新が迫られており、技術革命に対する期待が大きい。当社では固定式治具による個別生産から脱却するため、M-PAL を開発することで、従来困難であった混流生産を航空機製造業に導入し、抜本的な効率化を図った。本年度は、ライン構築に向けて十数種類のパネルに対して各種自動化装置のプログラミングのデバックやティーチングをしながら実機生産へ適用を開始した。低レート生産での立ち上げ段階ではあるが、在来工法より縮小した製造エリアに作業員を集約でき、作業進捗の見える化ができるようになったなど、混流製造ライン導入による一定の効果がでてきている。今後さらなるラインバランスの平準化とタクトタイム短縮に向けた活動に取り組んでいく。