

世界一のエンジン組立工場を 目指す磐田第5工場の紹介



磐田第5工場 製造技術課 塩 沢 晃

1. は じ め に

当社、製造事業部の戦略である〈高付加価値工場〉構想の一環として建設された磐田第5工場は、生産拠点が国際化していく中で、国内工場の位置づけを明確にし、国際競争力のある工場作りを目指しており、全世界のヤマハ工場群へのエンジン供給基地としての使命を受け昭和62年5月より本格稼動を開始した。今回は世界一のエンジン組立工場を目指す、当社の最新鋭工場の紹介をしたい。

2. 磐田第5工場建設の目的と狙い

第5工場建設の目的は国際競争力のあるエンジン作りであるが、これはただ単に本社工場、浜北工場、掛川に分散しているエンジン組立の集約による合理化だけでなく、複数の狙いを持っている。それは円高やアジアNICSに対する防衛のみではなく、製造事業部の持てる力の全てを結集して可能性へ賭けた挑戦である。生産技術と生産管理、工場の持つハード・ソフト技術、それにマネジメントまで含めたヤマハの総合力を世に問う場であり、ヤマハの物の作り方や製造の体質を根底から一新する壮大な構想の一実験プラントなのである。

我々、計画部門には一貫生産化による物流効率の追求と、徹底した合理化案による生産の流れの革新と、そこに働く人間を変革する為の組織設計

が要求されたのである。



写真1 磐田第5工場全景

3. 工場設計のコンセプト

ヤマハらしい工場を作ろう。それが、我々タスクチーム全員の願望であった。社長方針である、人を大切にするという人間性尊重の精神をベースに、若々しく、常に新しいものがクリエイトされているヤマハらしいイメージを具現化した工場を設計しよう、と3つのコンセプトが作られた。

1) 人間性尊重の誇れるヤマハ。

(人を活かし、人にやさしい工場です。)

2) 先進F Aの誇れるヤマハ。

(明日の技術を見ることが出来る工場です。)

3) 高付加価値の誇れるヤマハ。

(お客様に喜ばれ、信頼されるエンジンを作る

工場です。)

以上3つのコンセプトをベースに第5工場の全ての設計が進められた。

3-1 人間性尊重への配慮

第5工場建設における主眼点は、人間尊重の環境づくりであり、時代に対応したFAであり、又会社、顧客に対応した高付加価値化である。ここでは人間尊重の環境づくりについて述べる。

(1)人間性尊重の機能展開

人間性尊重とは一体何か、人間の労働価値感どのように変化して来ているのか、人間の持てる力を引き出すことができる仕組みは何か等、人間の行動科学的なアプローチを経て、マズローの5段階の欲求を評価の基準とした。

		1	2	3	4	5
		生理的欲求	安全・安定の欲求	社会的欲求	自我・尊敬の欲求	自己実現の欲求
人間性尊重	物的側面	静かな環境		○		
		落ちついた配色		○		
		明るい採光		○		
		冷暖房完備		○		
		快適なトイレ・食堂	○			
		休息できる休憩所	○			
		自由な服装				○
		人間と機械の仕事の分離	○			
	精神的側面	個性の尊重				○
		仕事の中での生きがい				○
		人を育て生かすしくみ				○
		リズム感			○	
		ブロック制度				○

表1 人間性尊重の評価

(2)希望の調査

まず、組立工場の工場長以下の全管理職に人間性尊重の側面からどんな工場にしたいのか、インタビューして意見を頂いた。そして実行可能なも

のは全て設計に織り込んだ。工場の若人からなるヤンググループも結成され、トイレの数、休憩所の仕様、食堂への希望、工場の色彩、サイン等、種々の希望を集めてイメージ作りを行ったのである。

(3)色彩計画、サイン計画

色彩計画はGKへ依頼され、全体計画を踏まえて、そこで働く人間と、人間をとりまく物との関係をよりよくして行こうと設定された。

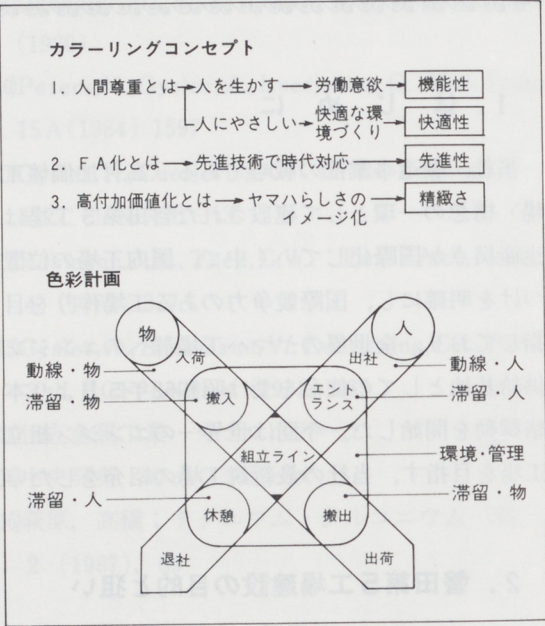


表2 色彩計画対象物の体系化

工場内の配色はコンピューターシミュレーションを行い、A・B・Cの3案が作られた。

A案——「信頼感」

- ・組立工場作業の信頼感の表現
- ・伝統、規模共に第一級企業イメージを醸し出す配色案

B案——「若々しさ」

- ・ニューヤマハを標榜するにふさわしい、若々しさを表現

C案——「楽しさ」

- ・職場の活性化、現代の多面的な感覚表現を目指し、楽しく、モダンなイメージの優先

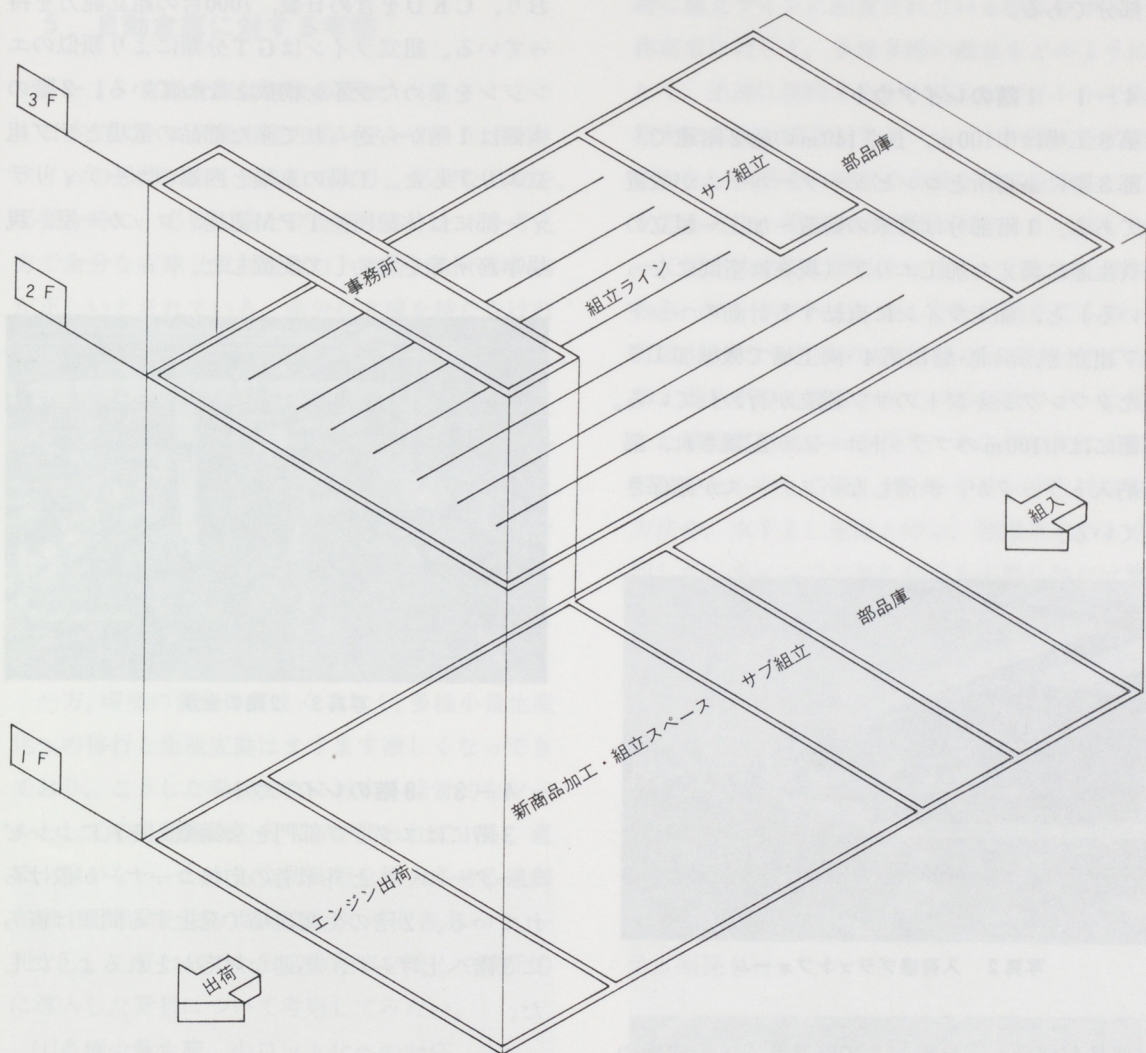


図1 第5工場レイアウト図

この中から全員一致で「B案」が選ばれ、青・緑の2色を基調として、若々しさ、クリアーな感覚をつくり出すと共に、青・緑を、物系・人系にそれぞれ対応させて構成された。

4. プラント・レイアウト

生産の要素4M（人・機械・材料・方法）の物理的集合である工場は、建て替えや大幅な変更を加える事が困難である為、基本レイアウトの思想が重要であり、その優劣は生産性に重大な影響を

及ぼすことになる。特に今後自動化やFMS、FA化の方向は必然の流れであるため、最終的な工場のあるべき姿のイメージを描きつつ、段階的にそれを実行していく姿勢が必要である。

第5工場のレイアウト計画はSLP (Systematic, Layout, Planning) 法により、物の流れ、アクティビティ（ある機能を持った施設の基本的な分割単位）相互関係から最終的なレイアウトへの絞り込みを科学的に行ってきた。

プラント、レイアウトは生産活動の舞台の重要なポイントであり、我々が最も時間と精力を費し

た部分である。

4-1 1階のレイアウト

第5工場は巾100m、長さ140mの総2階建て、1部3階に事務所とコンピュータールームが設置してある。1階部分は将来の鋳造～加工～組立の一貫生産に備えた加工エリア（現在は空間になっている）と、加工ラインに直結する計画のヘッドサブ組立と、浜北・磐田第4・両工場で機械加工されたクランクシャフトのサブ組立が行われている。南側には巾100mのプラットホームが配置され、部品納入トラックが、渋滞しないスペースが確保されている。

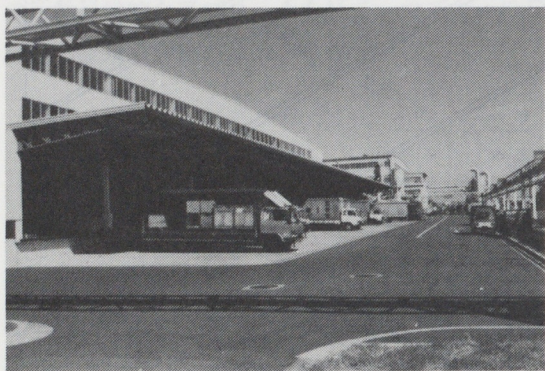


写真2 入荷場プラットフォーム

部品がプラットフォームで降されると、建物の中へ運ばれるが、中には小物部品用と中物部品用の2種類のロータリーラックと呼ばれる自動倉庫が配置され、社内や協力メーカーから納入された部品は全てこのラックに収納される。但し大物部品やヤマハ標準バケットを使用していない部品はエレベーター等の別ルートで2階に運搬される。1階北側は完成エンジン出荷場となっており、2階で組立てられたエンジンは全てこの出荷場自動倉庫へ収納され、車体工場の要求に応じて自動出荷される。

4-2 2階のレイアウト

2階には全部で11本の組立ラインが配置されて

おり、CKDを含め日製、7000台の組立能力を持っている。組立ラインはGT分類により類似のエンジンを集めたライン構成となっている。2階の南側は1階から送られて来た部品の置場とサブ組立エリアとした。工場の東端と西端のユーティリティー部には休憩所やTPM道場、ロッカー室、現場事務所等を集約して配置した。

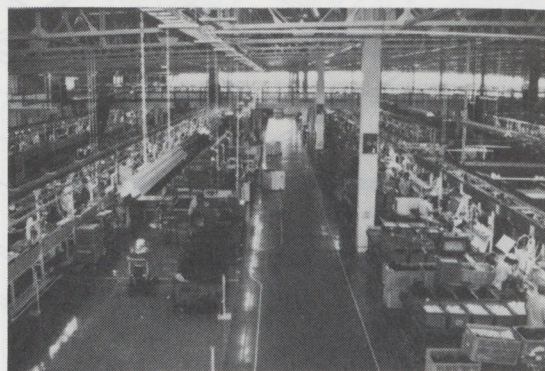


写真3 2階の全景

4-3 3階のレイアウト

3階にはスタッフ部門と会議室、それにコンピュータールームと外来者の応接コーナーが設けられている。2階の生産現場で発生する問題は直ちに3階へ上げられ、迅速な対応がとれるようにした。



写真4 3階システムコントロールセンター

5. 自動倉庫に対する考察

5-1 自動倉庫は何故必要か

日本ではトヨタ式生産方式＝ジャスト・イン・タイムの思想が広く普及しており、必要な品物を、必要な時に、必要な量だけ生産する、という考え方で余分な在庫（資材を含む）は持たないやり方が正しいとされている。余分な在庫を持たなければ倉庫は不要である、という考え方は正論である。しかし、在庫を持たないノンストック生産はあくまで理想であり、現実には種々の理由により、各工程間のプラット、フォームには適正なバッファ、即ち、一定量の在庫が存在することは避けられないのである。そこにこの適正バッファを合理的に収納するハードである自動倉庫の必要性が生じてくる。

一方、環境の変化は目まぐるしく、多種少量生産化への移行と生産変動はますます激しくなっており、こうした環境変化に対する経営的なツールとしての自動倉庫のあり方が問われている。直接、稼がない、しかも金利負担を増大させる過剰在庫や死蔵品を生む温床であり、「有害あって、一利なし」と言われている自動倉庫を取って積極的に導入した背景について考察してみたい。

(1) 多種少量生産、小ロット化への対応

大量生産から多種少量へと言われてから久しい。特に最近はその傾向が顕著で、物を大量に作っても売れず、逆に種類は多様化の一途である。加えてモデルの寿命が短命化し、ライフサイクルはますます短くなっている。特に円の変動が激しい状況の中で、需要の予測は困難を極めており、何をどれだけ作ればよいのか誰にもわからないこの不透明な時代の中では、受注した分だけを、出来る限り小ロットで、最短のリードタイムで生産をしてゆく必要があることは十分認識されよう。

では、工場で、特に組立工場で小ロット生産を行う為のハード的な課題は何だろうか。

それは、段取替えと、部品の供給、管理である。

特に組立ラインに配置されている組立ロボットや、作業員に対して、多種多様の部品をどのように正しく、迅速に供給するかが最大のポイントである。組立に必要な部品をラインサイドの棚へ全て並べておき、作業員の判断で必要な部品を取出して組立てる方法、部品供給専用のパレット（板）を使って組立に必要な部品を一式セットにして並べておき、コンベヤー上を流しながら組立てるキット方式、（プラモデルのキットと同一意味）や、自動車工場を中心に導入されている組立ラインに同調した部品供給ラインを作り、そこに組立に必要な部品をセットして置くマーチャリングと呼ばれる方法や、水すまし運搬と呼ぶ、運搬車をぐるぐる回して、ラインで必要な部品を必要な数だけ集めてくれる方法等、各業界で種々な方法が試みられている。

要は組立作業員に振り向き動作や、歩行のムダを発生させていないか、又、誤って他の部品を組立てないような配慮がしてあるか、等を考える必要がある、こうした中から第5工場では、自動倉庫と、一部無人車との組み合わせで、正しい部品をタイムリーに作業員へ供給することができるシステム開発を行ったのである。

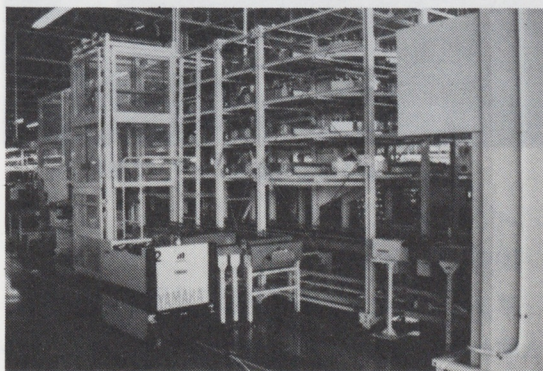


写真5 第5工場で活躍する自動倉庫と無人車

(2) F A 化への対応

多種少量生産の技術として普及しているFMSやロボット化に代表されるFAは“受注から出荷に至るまでの生産活動における生産システム全体

の効率的な管理と制御を行うことをいう”と定義されている。要するにコンピューターにより生産工場全体の制御と情報管理を行う事を狙っているのである。

第5工場のF Aの中で部品の情報管理面に於ては、部品庫からラインサイドまで含めて、すべての部品をビス1本に至るまで、ミクロンオーダーに在庫精度を管理している。リアルタイムに現状の在庫を正確に掴み、生産を計画通り実行し、新規発注を必要最少限にしないと在庫は低減しない。こうした管理はコンピューターが最も得意とする所であり、ここにコンピューターと連動した自動倉庫の必要性が生じてくる。そこに存在する自動倉庫は自動化された物置き場ではなく、情報ネットワークの一員としての役割を持つハードとしての自動倉庫であり、倉庫と呼ぶより、コンピューター、コントロール、高速ピッキング装置の名称が相応しい。

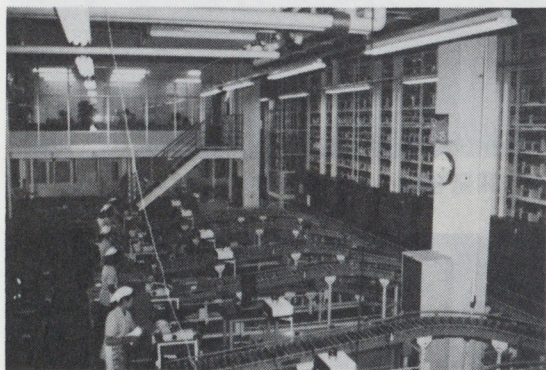


写真6 第5工場の高速ピッキング装置

(3)少人化への対応

単なるフレキシブルな生産システムを望むなら人間が最も適している。人間に勝るフレキシブルなマシンは存在しない。だが、F A化はフレキシブル化と同時に、自動化、無人化を指向しているのであり、少人化が達成されなければ無意味である。自動倉庫のメリットを単なる少人化のみで論ずるのは誤りである。少人化もメリットの一部であると考えた方が無難ではあるが、自動倉庫は

オーダーピッキング（組立ライン別に必要な部品を集める方式）を行っている入荷場の部品庫や、車体工場の要求に応じて、必要なエンジンを自動倉庫の中から呼び出して自動出荷をしている、エンジン出荷場での少人効果は $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ と画期的な効果を生み出している。又、ピッキング・ミスの排除効果や、素人でもピッキング作業が可能である等の効果も大きい。

(4)空間活用への対応

最近、空間を積極的に活用した工場が建設されてきている。物流経路を平面的に配置するより、立体構成にした方が効率的である、という考え方で、自動倉庫や物流機器との組み合わせで、高層化を実現している。又一方では地価の高騰により、工場建設用地の確保が困難となっており、工場の立体化と空間利用は今後、拡大してゆくと考えられる。第5工場も空間の積極的な活用を図り2階建てのメリットを活用して、物流経路を大巾に短縮すると共に、自動倉庫の導入により約30%以上のスペース・セービングを実現した。

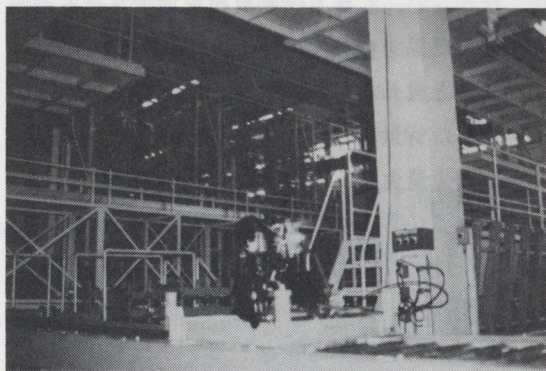


写真7 第5工場のエンジン出荷場

(5)人間性尊重への対応

高度成長期には生産の効率追求が優先で人間性の側面は後手になっていた感があった。第5工場のコンセプトは人間性尊重である。

工場内で重い部品を手で持ち上げ、運搬車へ乗せてラインサイドまで供給する毎日を送りたい、という希望者は多くない。又、高齢者対策も企業

としては重要な課題である。

いかにして人間の精神的、肉体的苦痛の少ないシステムを提供するかが今後の生産技術者の配慮すべき点であろう。その意味からも重い部品を軽々と持ち上げて収納してしまう自動倉庫の役割は大きい。

(6)第5工場の自動倉庫

以上自動倉庫に対する考察を述べて来たが、第5工場には、部品の入荷場に6基、エンジン出荷場に6基、サブ組立ストック用に1基、計13基のロータリーラックを導入している。

ロータリーラックの特徴は、水平循環型のトラックを多段式に組み合わせ、各段毎の旋回機能を持ち、各段が個々に旋回するため、必要な物が載っている棚のみを旋回させて、手元へ呼び出すことができる。各段は30m/分の高速旋回をすることができ、8秒以下に必要なバケットやエンジンを取出すことができ、高速ピッキングに適している。スタックークレーン式の場合、約100秒を必要とするのに比べ、いかに高速であるかが判る。各段毎の個別駆動である為、機械の長さも、30~35mまでの設定が可能であり、自動入出庫装置を取付けることにより、種々な組み合わせのシステムを構成することができる。

第5工場の物流システムは、PYMACの情報で動く、ロータリーラックを中心とした物流機器で構成されており、この自動倉庫の果たす役割は極めて大きく、かつ重大である。自動倉庫には種々のタイプがある中で、ロータリーラックに絞り込むことができたのは、ラッキーであったと思う。

6. 自動組立

当社に於ける自動組立の歴史はCAMEロボット開発の歴史と考えるのも良い。CAMEロボットは社内の自動組立のニーズによって誕生し、育って来た。今、第5工場では108台のCAMEロボットが活躍し、生産性向上の一翼を担っている。第5工場で生かされている当社の自動組立技術について特徴を挙げてみたい。

6-1 自動組立システムの3要素

自動組立システムは3つの基本機能から成立する。それは、移送(Transfer)、組付け(Assembly)、部品供給(Parts,Feeding)である。

第5工場の自動組立システムは、全て当社で開発されたエレメントで構成されており、設計から、導入まで全て、生産技術と生産課の手で行われたのである。図2にその基本構成を示す。

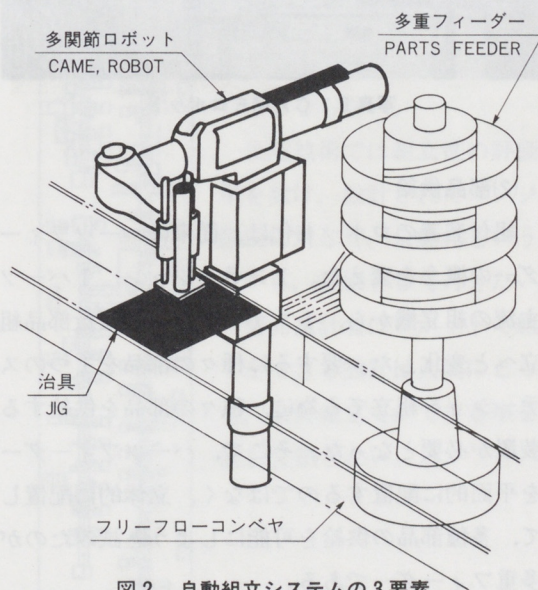


図2 自動組立システムの3要素

(1)組付寸装置

現在、世界的に組立ロボットの主流となったスカラ型と呼ばれる組立ロボットは山梨大学、牧野教授の発案であるSelective, Compliance, Assembly, Robot, Armの頭文字から名付けられた。

牧野教授のプロト機が実験室で改善を加えられている頃、当社のCAMEが生産ラインへ導入され内外の注目を集めた。

CAMEは人間の腕をイメージして作られた関節型ロボットで、腕の長さ＝作動範囲は人間並みで10kgまでの荷重に耐え、人間以上のスピードで作業ができる性能を目指して開発された。

生産技術部内で産声を上げた当時は、関節部分の関節炎（ガタ）や手首の中風（振動）に悩んだが、序々に改良されて、IM事業部の商品として外販されるまでに至っている。

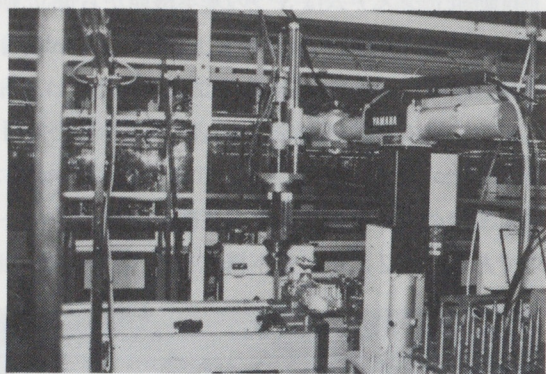


写真8 CAMEロボット

(2)部品供給

組付装置のロボット化は、従来のパーツフィーダーの概念を変えた。1ステーション、1パーツ主流の組立機から、1ステーション、複数部品組立へと変化した。要するに種々の部品を1つのステーション組立てる為に、種々の部品を供給する装置が必要となった。そこで、パーツフィーダーを平面的に配置するのではなく、立体的に配置して、多種部品の供給を可能にしようと試みたのが多重フィーダーである。

この多重フィーダーは当社、生産技術部と、金沢大学の横山教授と共同で開発されたもので、世界的にも例のない、画期的なフィーダーである。第5工場では、全て社内製の多重フィーダーを採用しており、ロボット組立ラインの部品供給の1つの姿として注目されている。

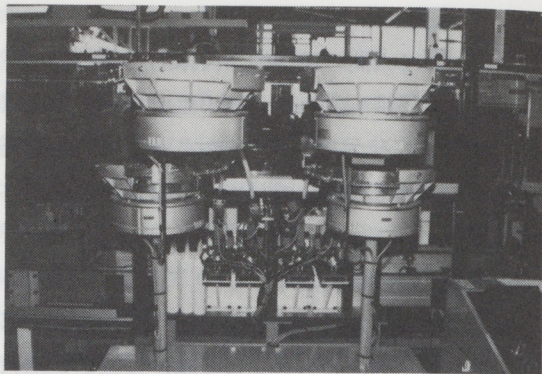


写真9 日経メカニカルに紹介された多重フィーダー

(3)移送装置

第5工場へ導入された組立ラインは全て当社で開発されたモジュール式フリーフローラインで構成されている。

コンベヤーの長さを5～10m単位でモジュール化し、長さの変更やレイアウト変更に対しての自由度が大きい。照明やエア配管、各種の配線もコンベヤと1本化されており、ピットを掘る必要もない事と合せて、フレキシブルな生産ラインを構成することが可能となっている。

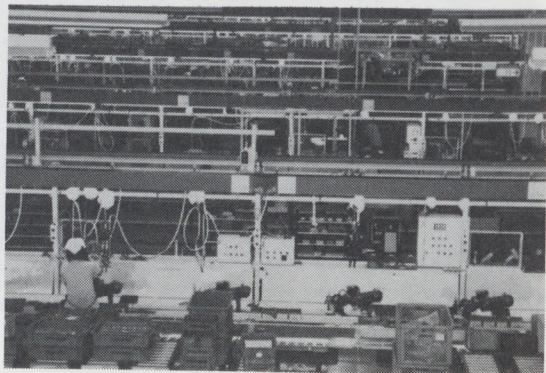


写真10 モジュール式フリーフローライン

6-2 第5工場の自動組立ライン

第5工場では自動組立ラインを3ライン導入した。中でもDラインはJOGのエンジンを中心に1000台／日を生産し、全体の60%の仕事をロボット化している。

Dラインの設計の基本思想は

1. 人の仕事とロボットの仕事を分離する。
人間でなくては出来ない仕事と、ロボットの仕事を分ける。

2. 離れ小島を作らない。
人とロボットのエリアを分け、ロボットとロボットの間にボツンと人を配置することを避けた。

これは人間性尊重の思想を反映したものであるが、生産量の変動に対する編成効率のバランスを取る意味からも有効であった。

3. ロボット工程の品質保証

ロボットが組付けた部品は、必ずロボットが全数チェックし、100%良品の保証をする。

4. ロボット用LAN

ロボットのチョコ停管理や稼働率の分析、検査データの集計等を、リアルタイムで行い、即、アクションが取れるようにし、稼働率の向上や、品質保証を行う。

5. 部品供給の自動化拡大

従来の多重フィーダーによる部品供給にプラスして、トレイ（部品を整列する為の板）による部品供給を導入する。

サブ組立職場から送られるクランクシャフトや、サブ組立機で組立られるトランスミッションはトレイに並べられ、無人車で各ステーションに自動供給をする。

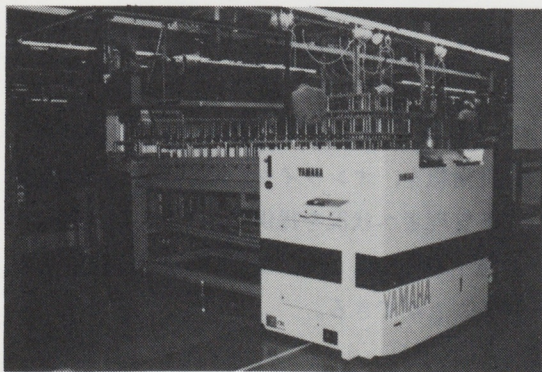


写真11 トレーによるクランクシャフト供給

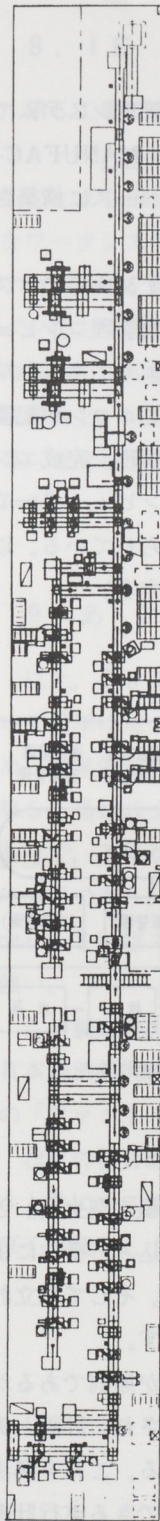


図3 ロボットラインのレイアウト

以上のような基本思想で設計されたDラインは、生産課、生産技術のチームワークに支えられて、順調に立上り、関係者を安心させたが、現状60%の自動化率を80%にまで上げるべく、計画を進めている段階である。その為には製品設計自身を自動化に対応できるように変えて行く必要があり、自動組立の為の製品設計のあり方が問われるようになる。従来の人手に頼った組立の製品設計から、ロボットで組立ができる製品設計に設計者の頭を切り替えて行く必要があるのである。これを実現して行く為には、生産技術者と製品設計者の一心同体活動が要求され、ロボットでも組立ができる為の知恵を双方で絞らなくてはならない。

生産技術では組立性の評価基準を設け、設計されたエンジン図面に対して、自動化という観点から、評価をして行きたい。

製品設計者はロボットで組立ができる設計は人間にとっても、楽に組立ができる事を銘記して頂きたい。

7. FA化

第5工場のFA化は当社の生産管理システムであるPYMAC(PAN YAMAHA MANUFACTURING CONTROL)の考え方をベースに構築されている。

全体概念を図4に示すが、PYMACのホストコンピューターに直結された工場管理コンピューターを持ち、その下にローカルエリアネットワーク(LAN)で結ばれる5台のミニコンが配置され、部品の受入、ラインの進捗管理、完成エンジンの出庫、物の流れを全て、コンピューターでコントロールできるシステムが作られている。以下第5工場のFA化について考察する。

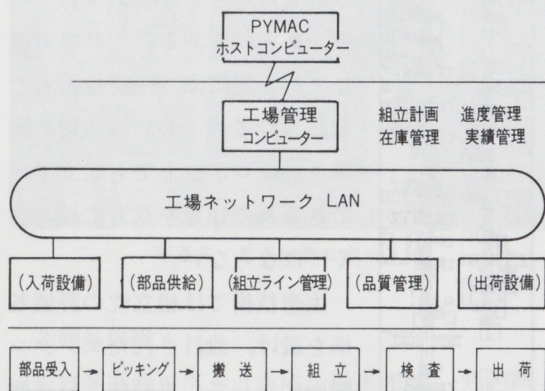


図4 FAシステム概念

7-1 生産計画管理

PYMACの生産形態は「受注組立型生産」と呼ばれ、見込みによって部品を仕込み、受注によって組立、出荷をするものである。そして組立計画は直近の10日間ずつの指示を出す。

PYMACの計画は厳守する事が原則であるが、現実には様々な理由でこれが阻害され、計画と実績の差異により現場に混乱が生じる。これを解決する為に、計画変更に対応できる実行計画を工場管理コンピューターで作ることができる。

7-2 部品供給管理

第5工場で取扱う部品点数は約1万点にも及び、その集められた部品を11本の組立ラインへ、タイミング良く、間違いのないように供給する為にどうするか。共通で使う部品もあれば、設変された旧部品もある。各ラインの進捗も計画通りとは行かない。これをサポートするのがPYMACである。

PYMACでは、組立ラインを6グループに区切り、そこで組立てられる部品のリストを作る。第5工場では更に1つのグループを3つに区切りステーションと呼んでいる。結局、1本の組立ラインは18のステーションに分割され、そこで使われる部品のリストをグループリストと呼ぶ。この部品表を基に部品が製作され、納入され、最終組立ラインのステーションへ配給されるのである。

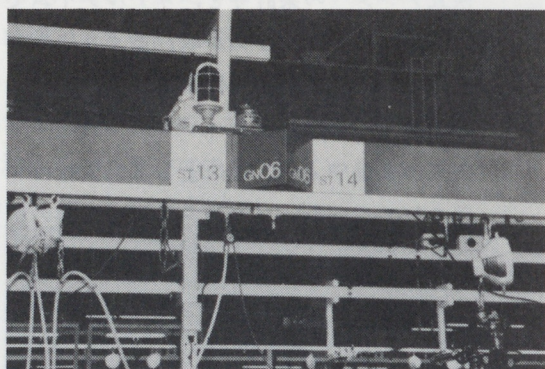


写真12 グループNoとステーションNoは組立ラインのサインボードに表示される。

7-3 ライン進捗管理

各組立ラインの組立治具にはバーカードが取付けられており、時々、刻々と変化する組立ラインの進捗情報を、オンライン、リアルタイムで収集し、各管理者へ状況を提供すると共に、部品供給への指示を出すことや、エンジン出荷場へ、情報を送ることができる。

7-4 エンジン出荷管理

完成されたエンジンは全て出荷場、ロータリー

ラックに一担、入れられ、車体工場の要求に応じて出荷をかける。

工場管理コンピューターは、20日分の出荷計画を持つが、出荷場ラックの制御コンピューターに、当日分と翌日分の計画を伝送し、下位では、その計画をベースに、トラックへの搭載計画を作り、出荷をする。

7-5 その他の機能

以上、第5工場の工場管理コンピューターの機能について述べたが、他にもサブ組計画管理、在庫管理、例外報告管理、等の機能を持ち、第5工場の間接業務の効率向上に貢献している。写真13は、入荷場を管理するコンピューター室である。



写真13 入荷場コンピューター室

8. I E

第5工場では徹底したI E改善活動を行い、パフォーマンス100を実現することを目指している。

I EとはIndustrial, Engineeringと呼ばれ、最適なワークシステムを志向するエンジニアリング・アプローチを意味する。組立ラインのショートライン化と本数の増加、ラインと同期する同期サブの実施、工程編成シミュレーションによる編成効率の向上、M3作戦と呼ぶ生産性向上活動の支援等、地味な活動ではあるが、確実に成果を上げている。

9. あ と が き

以上、第5工場の概要と設計のコンセプトについて簡単に述べたが、当社の最新鋭の工場である為、抽象的な表現が多い事を、お許し願いたい。第5工場建設タスクチームが結成されたのが60年9月で、工場が部分的に操業を開始したのが、61年9月であり、設計から稼動まで1年間というヤマハらしい超スピードで、走り抜けたという感が強い。

この製造の力を結集して作られた第5工場が、日本経済新聞社から、87全国優秀事業所賞日経21の「ファクトリー部門」の10社に選出された。

我々の努力が世に認められた事を素直に喜び合うと共に、この工場建設に協力して頂いた各位に厚く感謝申し上げる次第である。