

量産工場における組立ロボット応用システム

VTRメカニズム自動組立システム

Assembly Robot Application Systems for Mass Production Automatic Assembly Systems for VTR Mechanism

FMSを前提とした自動組立システムには、組立ロボットが重要な要素となっている。今回開発した3自由度水平多関節の組立ロボットA3020の開発経緯と、これを利用したVTRメカニズム自動組立システムの概要を、システムの中核をなすロボットステーションを中心に述べるとともに、本システム開発に当たっての基本的考え方、稼動シミュレーションによる目標設定及び現在の状況について紹介する。

松永 誠* Makoto Matsunaga
井下 智司* Tomoji Inoshita
網谷 茂* Shigeru Amiya
大橋敏二郎** Toshijirô Ôhashi

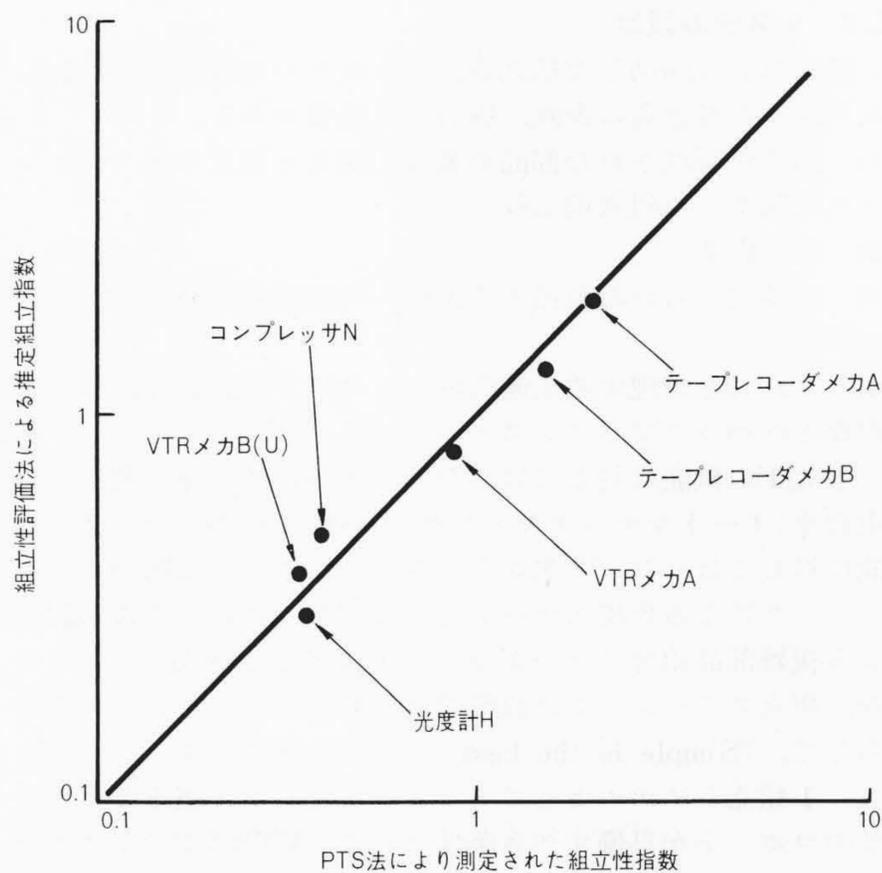
1 緒言

近年、FMS(Flexible Manufacturing System)を指向した組立要素として組立ロボットが実用化されてきた。これは従来、塗装、溶接など環境条件の悪い熟練を要する作業の専用ロボットが一般的であったが、ロボットのもつ柔軟性は複雑な多種の作業に適しているためと考えられる。加えて、エレクトロメカニズム製品の普及とあいまって、その製品サイクルが非常に短縮され、その製品製作の自動化が短い製品サイクルに同期して開発されなければならないという状況下になって、ますますフレキシビリティのある組立要素が求められるようになった。家庭用VTR(ビデオテープレコーダ)も典型的なエレクトロメカニズム製品であり、製品化サイクルも短く、激しい市場競争下に、常に自動化、合理化を考慮した設備開発が必要である。今回合理化を指向したVTR「VT-11シリーズ」を開発するに当たり、全社的な開発プロジェクトを組織し、その一環として水平多関節組立ロボットA3020と、それを適用したVTRメカニズム自動組立システムを開発した。本稿は、そのシステムを中心をなす組立ロボットの実現に至るまでの経過とその対応を述べるとともに、システム全体の開発経過を紹介する。システムの開発思想は、昭和54年度大河内記念技術賞を受賞したテープレコーダメカニズム自動組立システム¹⁾で確立したもので、その製品設計の段階で「組立性評価法」により製品設計を生産技術的にアセスメントを行ないデザインする。更に、製品設計と同期してシステム設計²⁾を行なうが、その組立設備に関してはモジュール化、標準化を主眼とした開発を図る。したがって、組立要素として組立ロボット、ピックアンドプレイスユニットを用い、1ステーション、1組立ユニット、1制御装置、1組立部品化を図る。周辺装置としてはジャストインタイムに供給される部品配膳のためのシステムを計画する。以上、今回開発したVTRメカニズム自動組立システムは、量産工場での典型的な自動組立システムであり、昭和57年10月から本格的に稼動し、現在までに既に200万台に及ぶVTRメカニズムの生産を行なっている。

2 組立ライン自動化システムの開発

2.1 製品設計

製品設計は商品の生涯特性を決める重要なアクティビティである。したがって、自動組立システムにとってもその成否



注：略語説明 PTS(Predetermined motion Time Standard)
VTR(ビデオテープレコーダ)

図1 組立性評価法のPTS法に対する整合 組立性評価法によって評価された組立指数と、PTS法によって評価された組立工数はよく整合する。

は90%以上製品設計に依存する。「自動組立に適した製品設計」であることを製品設計の段階で実現する必要がある。これに対しては既に日立製作所で開発実用化されている「組立性評価法」が製品設計をアセスメントする方法として有効である。ちなみに、組立性評価法によって評価された組立指数とPTS(Predetermined motion Time Standard)法によって評価された組立工数を対比すると図1に示すようによく整合する。組立性評価法に考慮される評価要素は、

- (1) 組立方向の垂直一方向化
- (2) 機能の単純化、標準化、モジュール化
- (3) 締結の単純化
- (4) 機能構造の兼用化、複合化
- (5) 部品整列、分離の容易化

* 日立製作所東海工場 ** 日立製作所生産技術研究所

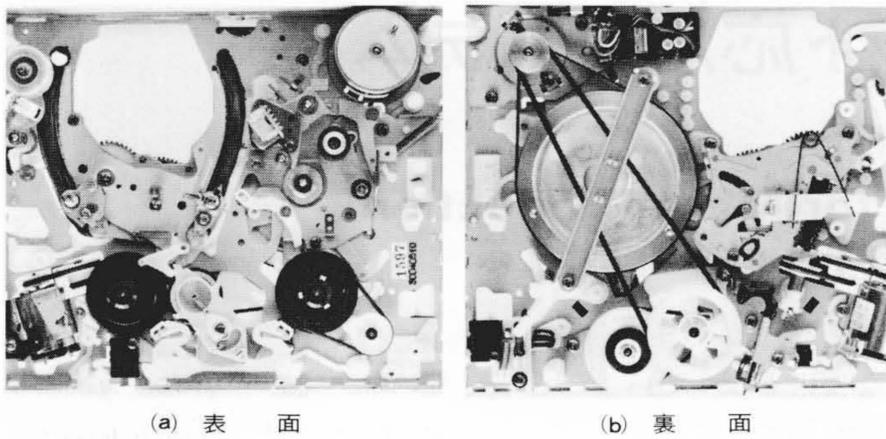


図2 自動組立用VTRメカニズム(U) 本メカニズムは、「組立性評価法」によりデザインアンドアセスメントを行なったものである。

(6) 構成部品要素の最少化

であり、これを定量化したものである。今回開発のVTRメカニズムも、本法によってデザインアンドアセスメントを行ない、図2に示すメカニズムを設計した。

2.2 システム設計

製品設計に同期した組立自動化システムの設計を考えると、次の四つの要素別に企画、統合する必要がある。

- (1) 品質を管理された部品の製作、購入と組立ステーションへの配膳までの組立前工程
- (2) 組立作業
- (3) 組み立てられた製品の次工程への配送を前提とした納倉、出庫
- (4) これらを管理する生産管理、システム稼働管理、品質管理などのバックアップシステム

上記(1)の機能に対しては、今回は既設自動倉庫の利用と自走台車(オートマチックキャリヤ)の採用で対処した。(2)の機能に対しては、ピックアンドプレイスユニットと振動ボールフィーダによる専用ステーション及び組立ロボットA3020による複雑部品組付ステーションを主体として構成した。その際、組立ステーションは設備設計の製品設計への同期化を考慮して、「Simple is the best」の思想を徹底し1ステーション、1組立システムとしてモジュール化した。組立要素としてのロボットが具備すべき条件として、VTR及びラジオカセットテープレコーダなどの組立部品重量展開及び組付自由度を分析した結果、図3に示すようになった。すなわち、VTR

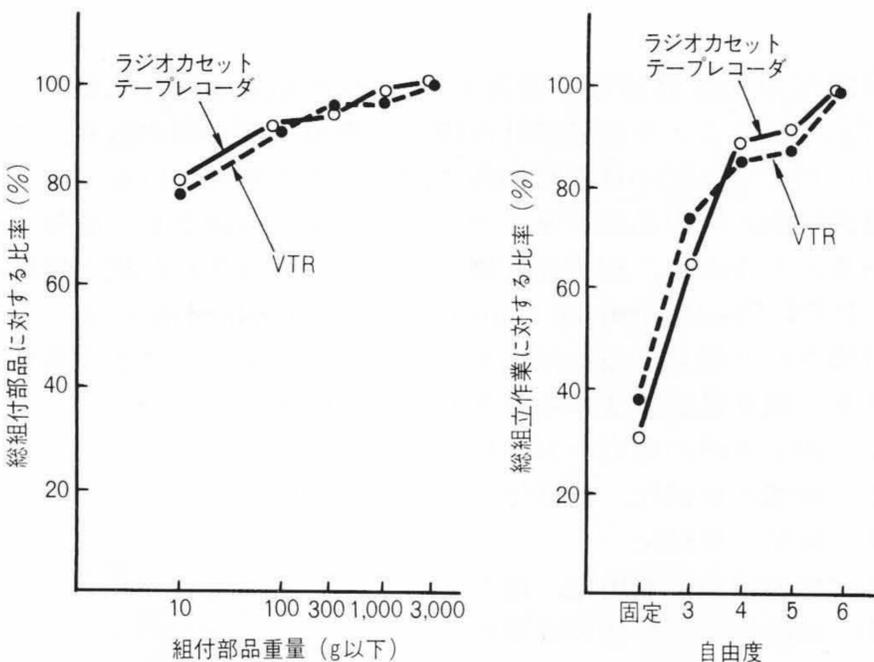
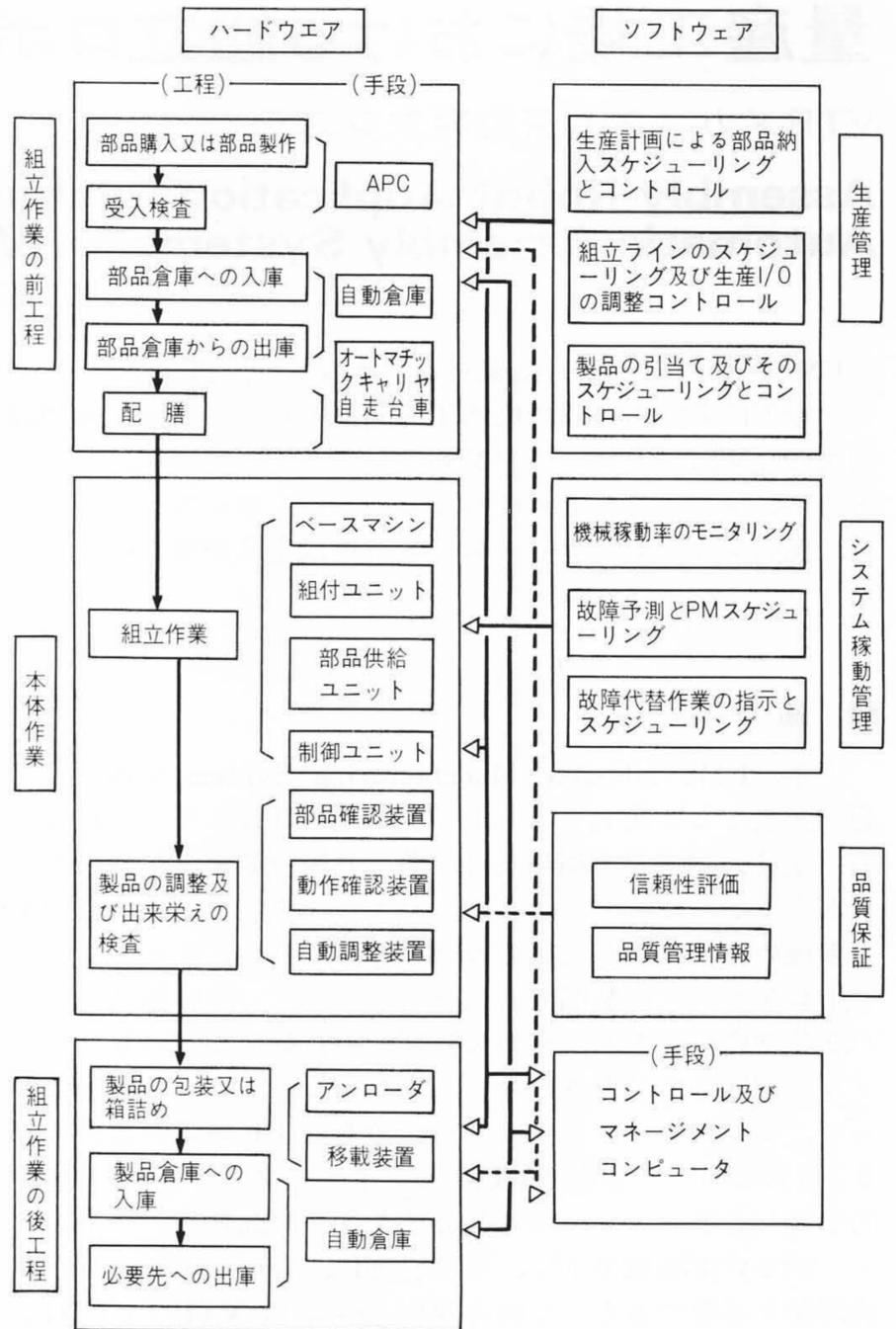


図3 VTR、ラジオカセットテープレコーダの構成部品重量及び作業自由度の展開 家庭電子製品では、自由度4以下、重量300g以下の部品組付作業で占められる作業比率はほぼ90%である。



注：略語説明 PM(Preventive Maintenance), I/O(入出力装置)
APC(Advanced Process Capability)

図4 VTRメカニズム自動組立におけるシステム設計 今後の自動化システムの課題としては、故障予知モニタリングや自己復帰機能の付加など、更に追求すべき問題がある。

で代表される家庭電子製品では、自由度4以下、重量300g以下の部品組付作業で占められる作業比率はほぼ90%であるといえる。これを基準として各組立要素の開発に当たった。(4)の機能はHITAC L-320を中心とした端末コンピュータによって構成した。なお、今後の自動化システムの課題としては、故障予知モニタリングや自己復帰機能の付加など更に追求すべき問題がある。図4にVTRメカニズム自動組立システム図を示す。

3 ロボット組立での要求精度とその対応

ロボットにより自動組立を行なう場合、部品のマガジンなどからの取出しミス及び組付けミスが稼働率低下の主要な原因となっている。これらは寄与する要因も様々で、単にロボットの停止位置精度向上だけでは解決できず、ユーザーの多くが苦勞している実用的問題点と思われる。本稿ではVTRメカニズムのロボット組立ステーション開発中に検討した組付工程上の問題点を二、三紹介する。

3.1 部品の取出し

ロボット組立ステーションでは平マガジンから部品を一つずつ取り出してコンベヤ上のVTRメカニズムに組み付ける。取出し位置教示の手間を軽減するために、配列間隔をプログ

ラムで指定し、先端取出し位置だけを教示すればよい、いわゆるパレタイズ機能を実用化してある。

部品取出しが失敗なく行なわれるためには、

$$G > R + M + W + C$$

が常に成立していなければならない。

ここで G : チャック及びマガジンの位置ずれに対する裕度

R : ロボットの繰返し位置再現精度

M : 部品の位置精度(マガジン精度を含む。)

W : 部品の寸法精度

C : パレタイズ機能による位置ずれ

R 及び W は、通常 $\pm 0.05 \sim \pm 0.1 \text{mm}$ 程度でほとんど無視できる程度であるが、マガジンは真空成形の比較的簡易なものを使用したため、成形時のゆがみ、マガジン内での部品のがたなどにより、 M 項が平面内、高さ方向共 $\pm 1 \text{mm}$ 程度となった。そこでチャックに部品の高さ検出センサを設け、センサが部品を検出するまでロボットがチャックを下降し、部品をつかむ方式をとった。

平面内の位置ずれは、上述のマガジンのほか、パレタイズ機能による位置ずれの影響が大きかった。この誤差は主にロボット内部座標系の誤差によるものである。マガジン全域を1個の教示点でカバーすると、誤差の総和がチャック及びマガジンの裕度を超えるため、マガジン領域を4分割し、各領域で1点ずつ教示することによって、パレタイズ機能の簡便さを生かし、かつ十分な取出しの信頼性を得ている。図5は位置精度とチャックの取出し性能の関係の一例を示したものである。

3.2 組付け

ほとんどの部品は製品設計改善によって、容易に組付けが行なえるようにしてあるが、一部の高精度部品や特殊な形状の部品では組付けの工夫を要した。

はめ合わせ技術は一般にはセンサフィードバック方式、RCC (Remote Center Compliance) に代表される受動はめ合い素子、SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) 式ロボットに代表されるロボットのコンプライアンスを利用する方式などが用いられているが、VTRのようなデリケートな部品では、これらの技術が使えない場合がしばしばある。

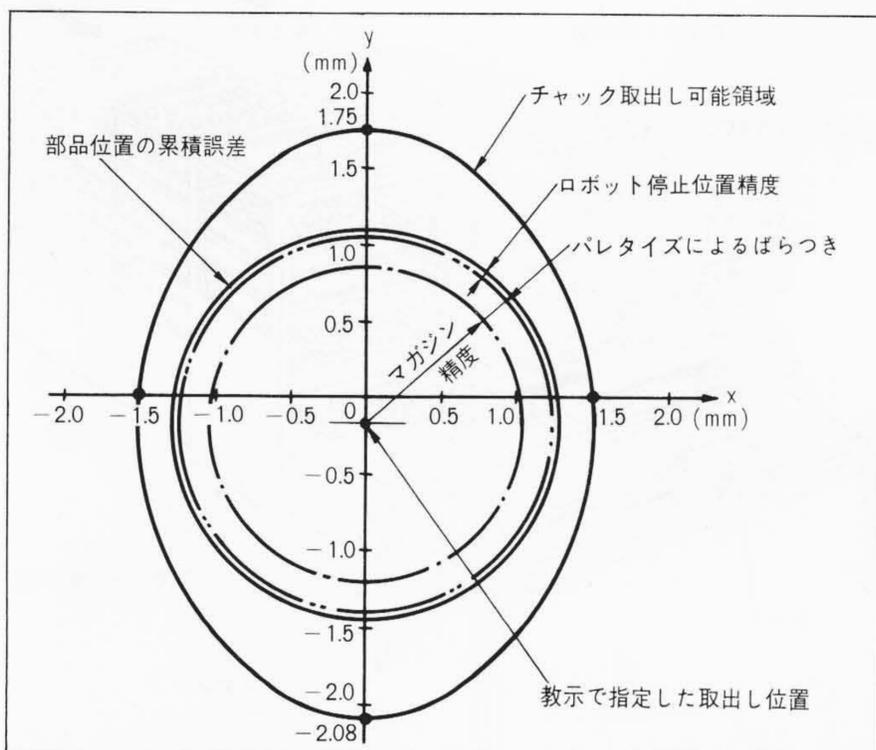


図5 リール台チャック取出し可能領域 取出し部品の位置精度とチャックの取出し性能の関係の一例を示した。

図6はキャプスタンフライホイールの組付チャックであるが、軸先端の面取りと、チャックの簡単な工夫によって、 $5 \mu\text{m}$ から $15 \mu\text{m}$ 程度の精密なはめ合いの軸を瞬時に組み付けている。

図7は部品の位置決め精度と、チャックの組付け可能な領域を示したものである。

このほか、小形・薄肉化のため、十分な大きさの面取りや組立ての案内部分が設けられない部品では、ロボットが部品を組付け予定位置近傍で被組付部に軽く押し当てたまま一定の経路でさぐり動作を行なって組付けをしている。この方法によって、センサを用いることなく十分な信頼性で組付けが行なえている。

4 組立ロボットステーション

4.1 ロボット導入対象部品と製品改善

ロボット導入対象部品としては、主としてサブアセンブリ部品や電気部品などパーツフィーダで供給困難な複雑形状部品を対象とした。これら対象部品についても「組立性評価法」で評価し、製品改善を行なった。表1にロボット導入対象部品の製品改善例を示す。

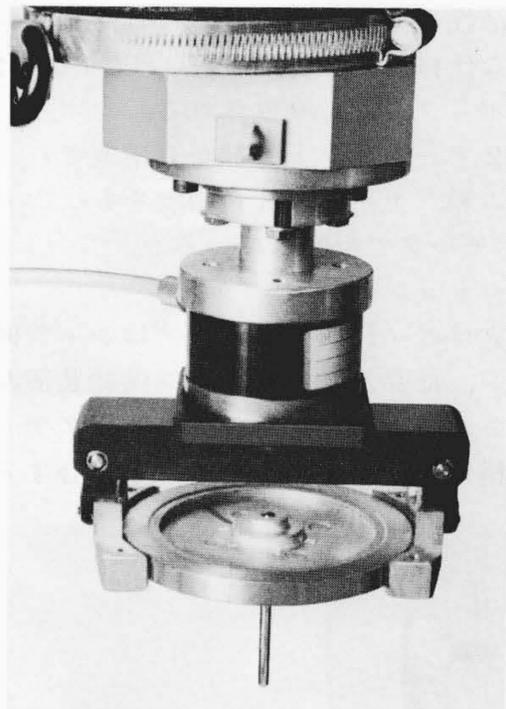


図6 フライホイール用チャック フライホイール軸先端の面取りとチャックの簡単な工夫によって、 $5 \mu\text{m}$ から $15 \mu\text{m}$ の精密なはめ合い作業を瞬時にこなしている。

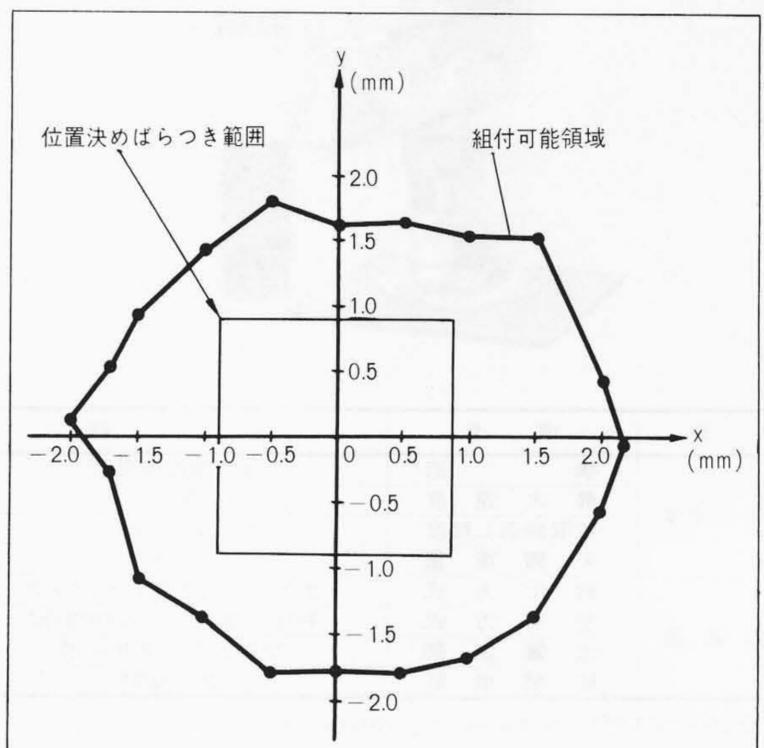


図7 フライホイール組付可能領域 組付部品の位置決め精度とチャックの組付け可能な領域を示した。

表1 ロボット導入対象部品の製品改善例 「組立性評価法」で評価後、製品改善を行ない組立の容易化を図っている。

部品名	キャプスタンモータ	ロードギヤAS	A/CヘッドAS	BソウサスライダAS	FRアイドラAS
部品形状					
改善前		3-φ4.6穴			
改善後		(1) φ4.6穴 (2) 幅4.6の長穴 (3) φ5穴			
備考	1. コネクタ化 2. チャック用平行部とガイド部の設置	3穴はめ込みを容易化するため、穴径を大きくする。	1. コネクタ化 2. チャック用平行部とガイド部の設置	チャック用平行部の設置	チャック部を3箇所設置

注：略語説明 AS(Assembly), FR(Fast Forward-Rewind)

4.2 組立ロボットステーション

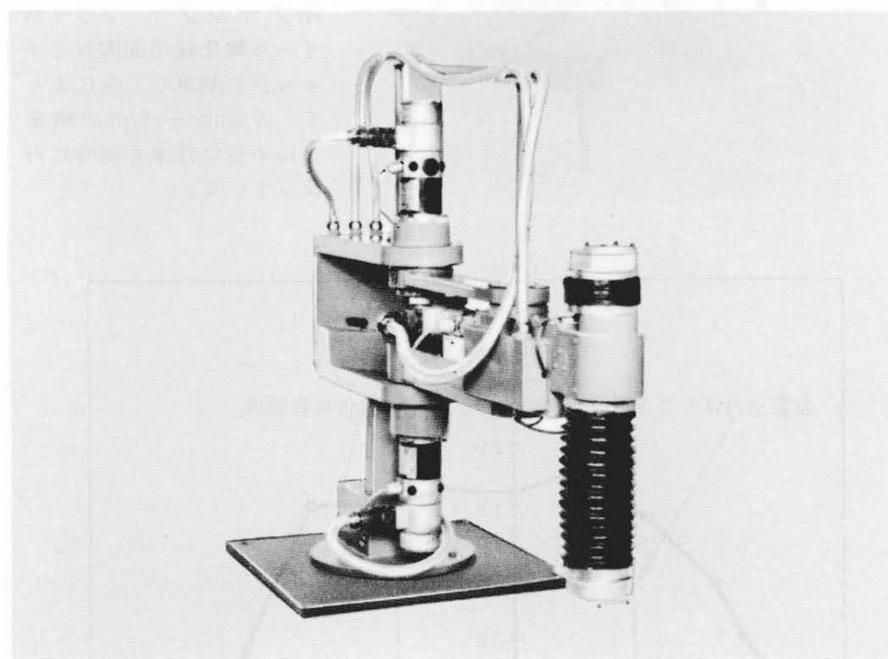
(1) 組立ロボット

量産ライン向きに経済性を考慮して開発した日立組立ロボットA3020の外観と主な仕様を図8に示す。ロボットは本体、制御盤、ティーチングボックスから構成される。ロボット本体はベース、第1・第2アーム及び上下部から構成され、第1アーム軸、第2アーム軸、上下軸の3自由度をもっている。これら3軸共DCサーボモータで駆動している。

(2) 組立ロボットステーションの構成

図9に示すように組立ロボットステーション³⁾はシャシ搬送位置決め用ベースマシン、部品供給用マガジン供給装置及び組立ロボットから構成される。ベースマシンは組付ステーションとして独立できる構造としたため、これらを結合するこ

とによって任意長さのフリーフロー組立ラインが構成できる。また、部品の供給は共通のアウトーマガジンに部品ごとに形状の異なるインナーマガジンを締結させたマガジンを使用し、8段積みになったマガジンを日立機電工業株式会社製「オートマチックキャリヤ」で自動倉庫からマガジン供給装置に運搬する方式とした。マガジンがマガジン供給装置に移載され、デパレタイズ後、ロボット作業範囲内で位置決めされると、ロボットが部品をマガジンの端から1個ずつつかみ、ベースマシン上に位置決めされたシャシに組み付ける。表2にロボットの組付動作例を示す。ローディングモータAS(Assembly)やFR(Fast Forward-Rewind)アイドラASは単に上から組み込むだけでは組付けが困難であるため、組立ロボットのZ軸がDCサーボモータ駆動であること、及び経路制御がCP(Continuous Path)制御であることを利用し、組み付けるようにした。なお、ベースマシン、マガジン供給装置はロボット本体とは別に日立製コントローラHIZAC P120で制御した。



区分	項目	仕様
ロボット本体	構造	3自由度関節形
	最大速度	1,500mm/s
	位置繰返し精度	±0.05mm
	可搬重量	2kgf
制御装置	教示方式	ティーチングプレイバック
	制御方式	PTP, 補間によるCP制御
	位置制御	ソフトウェアサーボ
	補間機能	直線補間

注：略語説明 PTP(Point To Point), CP(Continuous Path)

図8 組立ロボットA3020の外観と仕様 3自由度水平多関節形で、高さ方向の任意位置設定が可能なロボットである。

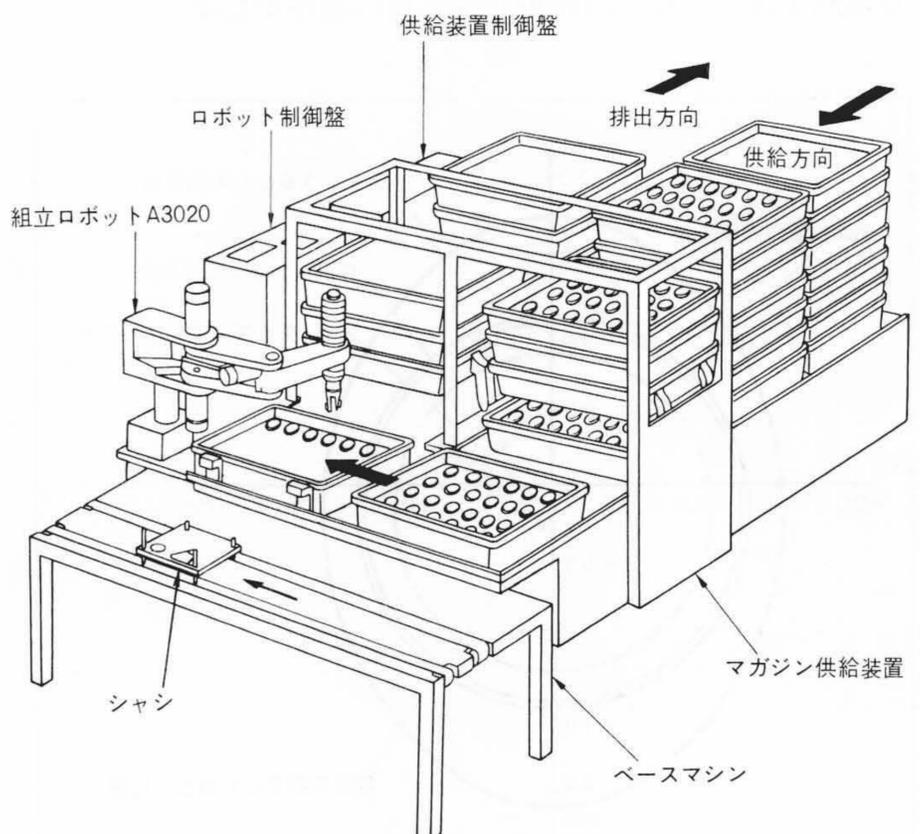
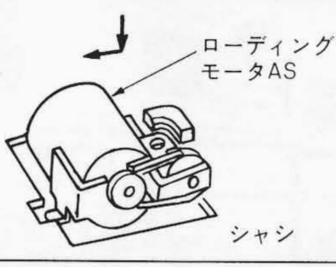
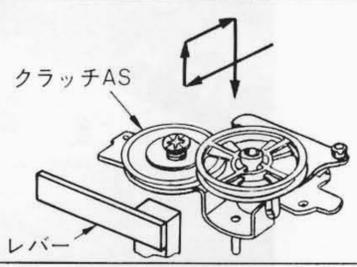
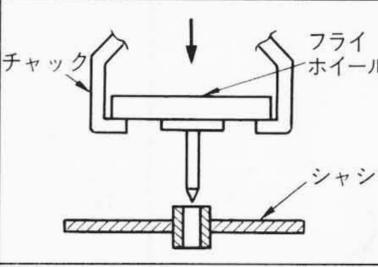
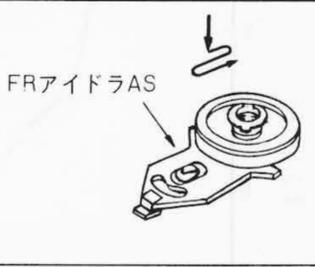


図9 組立ロボットステーションの外観 組立ロボットステーションは、組立ロボットとマガジン供給装置及びベースマシンで構成されている。

表2 ロボットによる組付動作の例 3自由度の構造を生かして、組付動作を行なわせている。

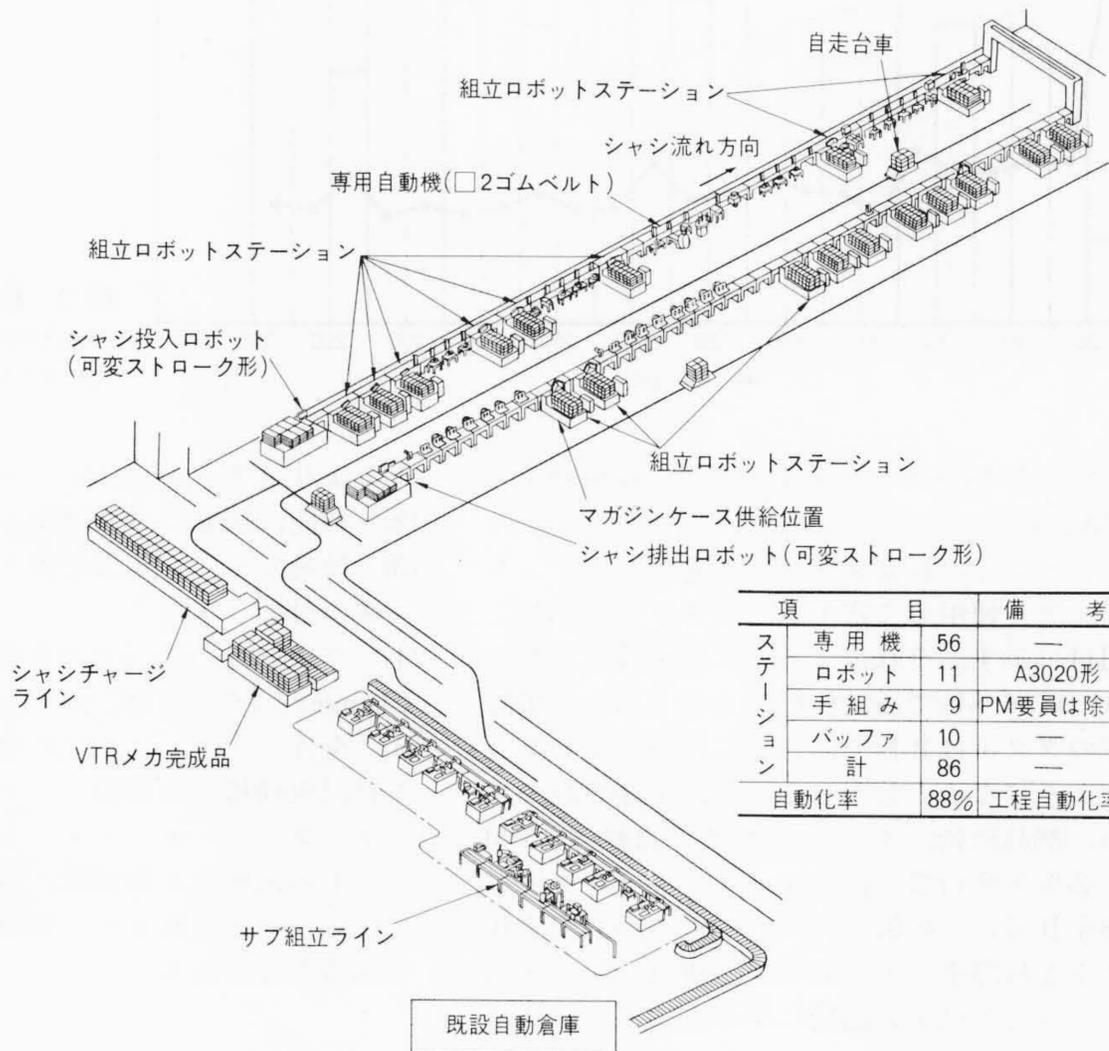
組付	部品名	ローディングモータAS	クラッチAS	フライホイール	FRアイドラAS
組付					
備考		下降後、横移動し、ひっかけ動作をする。	不安定部分を、レバーに押し当て安定させた後、組み付ける。	クリアランス5 μ mのはめ合い作業をする。	下降後、ピン溝を探り組み付ける。

5 VTRメカニズム自動化ライン

本自動化システムは図10に示すように、全長150mのU字形ラインで全部で86ステーションあり、「A3020組立ロボットステーション」が11、ピックアンドプレイスやねじ締め機など専用機のステーションが56、手組みステーション9、バッファステーション10で構成され、コイルスプリング掛け、ゴムベルト掛け、オイルグリス類も自動機で行ない、工程自動化

率88%である。その他シャシチャージライン、サブ組立ライン、既存の自動倉庫が直結している。

部品の供給はマガジン及びバケットに収納して3台の自走台車を使用し、部品製品の入出庫、出来高などの生産管理は日立オフィスコンピュータHITAC L320、日立制御用コンピュータHIDIC 80によって行なっている。また、個々の組立ステーションは統一されたモジュール形ベースマシンと組立ユニット、部品フィーダ、個別シーケンスコントローラによ



項目	数	備考
専用機	56	—
ロボット	11	A3020形
手組み	9	PM要員は除く。
バッファ	10	—
計	86	—
自動化率	88%	工程自動化率

図10 VTRメカニズム(U)自動組立システム 本組立ラインはU字形で全長150mあり、ベースマシンはダイレクトフィード(プラテンを用いない。)方式をとっている。

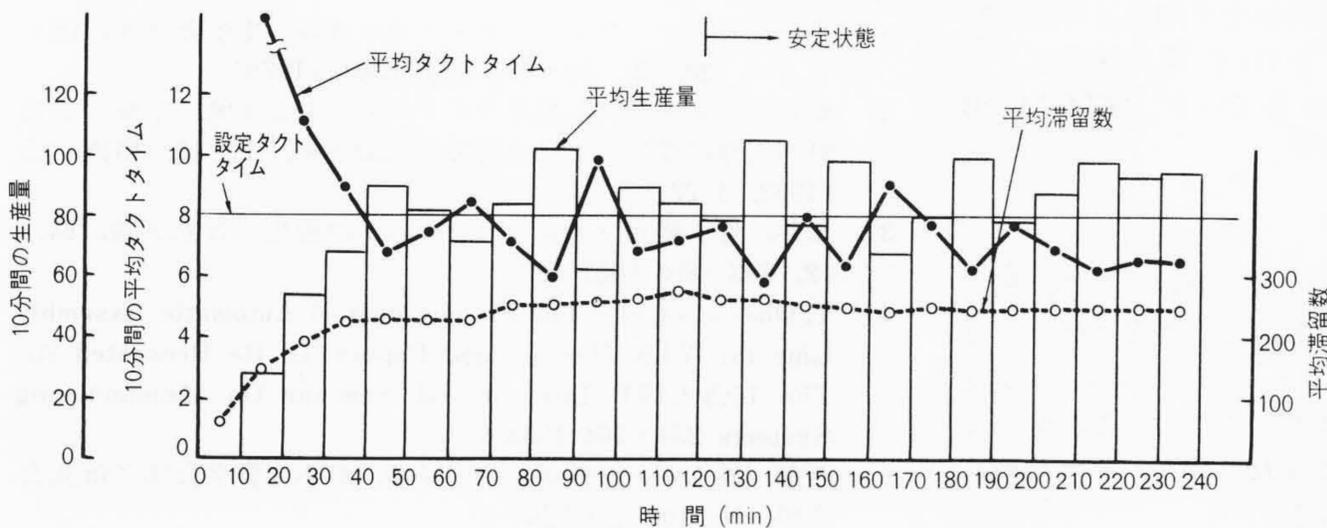


図11 稼働シミュレーション結果 ライン計画段階で稼働状況をシミュレーションし、事前評価を行なった。

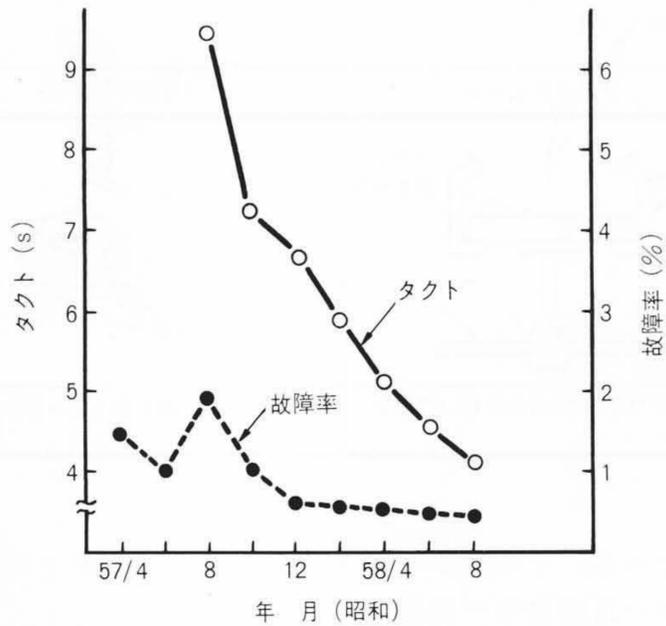


図12 タクトと故障率の推移 全ストローク中の停止回数を故障率とし、各々の自動機についてPMの徹底、故障修復時間の短縮化などを行ない、故障率改善とタクトアップを図った。

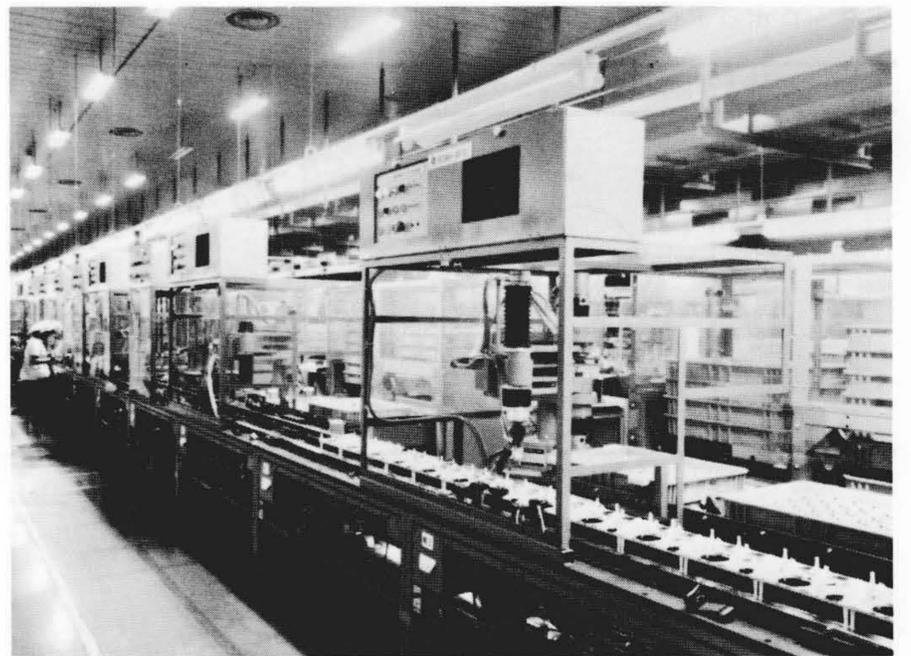


図14 VTRメカニズム自動化ライン外観 本自動化ラインには、組立ロボットA3020が11台導入されている。

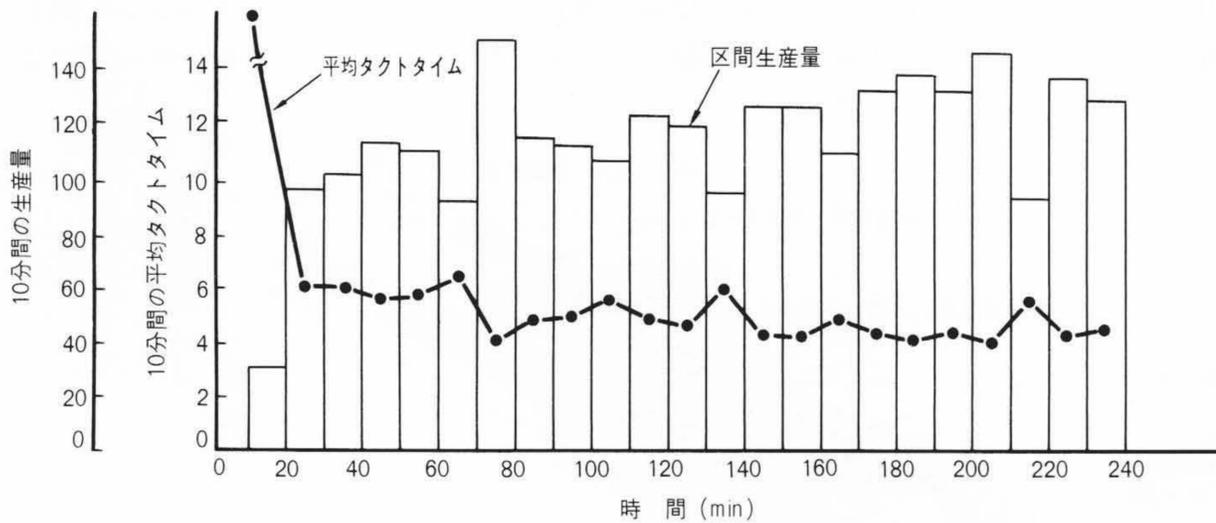


図13 稼働シミュレーション結果 昭和58年9月の実績データを基に、条件を修正しシミュレーションした。

って形成されている。なお、ライン設計の段階では稼働シミュレーション⁴⁾や騒音シミュレーションを実施した。

稼働シミュレーションでは日立製作所で開発したシミュレーションソフトウェアを使用して定常状態のタクトを予想した。その結果を図11に示す。それによると、突発故障を想定すると7.2秒、なければ6.8秒で設計仕様は8秒とした。実際全面稼働したときのタクトは8秒で、非常に近いシミュレーション結果を得たことになる。しかしその後、生産台数の増加に対処するため、部品供給、ストック、物流、自動機のPMの改善を行ない、必要生産台数を消化するためタクトアップを図った。昭和58年9月には4.0秒までのタクトアップを実現した。図12にタクトと故障率の推移を示す。現状のデータ入力によるシミュレーション結果は図13に示すとおりとなっている。

また騒音シミュレーションは日立製作所で開発した構造物周辺音場予測プログラム⁵⁾“NCONT”を用い、現在総組立ラインとの共存にも何ら支障のない結果を得ている。図14にVTRメカニズム自動化ラインの外観を示す。

6 結 言

以上、VTRメカニズム自動組立ラインを中心として、組立ロボットの開発経過及びロボットを応用した組立ステーションに関して紹介してきたが、FMSにとって組立ロボットが重要な構成要素になりつつあることは事実である。したがって今後、組立ロボットに期待するところ大である。そのためには次の課題を解決していく必要がある。

- (1) よりコストパフォーマンスの高い組立ロボットの開発
- (2) 機能、精度などに対する種々のメニューの取りそろえ
- (3) 簡易ビジョンをはじめとする目的に合ったインテリジェンスの付加
- (4) グリップ、チャックの多様化対応とAHC(Automatic Hand Changer)などのFMCへの対応
- (5) 全体システムとしての故障、稼働モニタリングの実用化と自己復帰機能の開発

ファクトリーオートメーションの進展に伴い、今後組立ロボットの汎用化と高精度、高機能化の2極分化の傾向が顕著になると考えられるが、合理化の重要な要素として適用拡大を図る考えである。

参考文献

- 1) 宮川, 外: テープレコーダ・メカニズムの生産合理化, IEレビュー, 20, 2, 58~63, 日本IE協会(1979)
- 2) 松永: フレキシブル組立ラインの考え方と実例, 精機学会自動組立専門委員会第51回研究発表会資料, 1~13, 精機学会(1983, 1-27)
- 3) 松井, 外: 組立ラインへのロボットの適用, 日立評論, 64, 12, 893~898(昭57-12)
- 4) T. Ohashi, et al.: The Development of Automatic Assembly Line for VTR Mechanisms, Papers To Be Presented At The 15th-CIRP International Seminar On Manufacturing Systems 254~264(1983-6)
- 5) 西部, 外: ポンプ機場の騒音予測, 日本音響学会騒音研究会資料, N-8103(3)(昭56-3)