

大形非量産工場における
ファクトリーオートメーション —重電機器—
Factory Automation for Heavy Electric Equipment

重電機器製作工場での生産性向上は、NC、ロボット、FMS化など直接作業合理化を柱として今まで進めてきた。しかし、CADが進むにつれて、このデータを有効利用し、将来のCIMへの拡大が要求されるようになり、日立製作所日立工場でも、これをFAシステムとして総合合理化を進めることになった¹⁾。

昭和56年から主要部品であるタービンプレード、原子力プラント用配管、電動機コイルを対象に、

- (1) QAレベルの抜本的向上
- (2) 精度向上と工程長短縮
- (3) 現地据付工程との同期化
- (4) 安全な職場環境作り
- を目的に3部門FAプロジェクトを同時に計画した。

六谷隆志* Takashi Rokutani

二宮岩夫* Iwao Ninomiya

畑山直勝* Naokatsu Hatayama

加藤 浩* Hiroshi Katô

矢野英昭** Hideaki Yano

1 緒 言

電子機器、自動車機器に代表される量産品の製作ラインでも、最近のニーズの多様化に伴う混流生産などのラインのフレキシブル性が強く要求されるようになってきている。日立製作所の重電機器製作では、従来から非量産品の手配を余儀なくされており、1ロット当たりの手配数をみても、300個以上で流れるものは月当たり数件しかないのが実情である。

そこで、非量産工場の自動化を推進するに当たり、大きく二つに分けてシステム化を進める必要があると考えられる。一つは、比較的物量の多い群であり、これは高能率加工機を特徴とするFA(Factory Automation)化の方向、すなわちFMS(Flexible Manufacturing System)ラインを組み合わせた無人化を、また、ロット当たりの物量の少ない群は、特に加工信頼性の高い、段取り時間短縮形のFMCを特徴とする無人加工システム化を志向する必要がある。

本稿は、非量産工場の中でも比較的物量の多い前者のFA化事例のシステム構成と生産管理を組み合わせた紹介であるが、

今後は残された小ロット部品群の信頼性の高いシステム作りが命題と言えらると思えている。

次章以降に三つのFA事例、すなわち蒸気タービン、原子力配管及び電動機コイルの例を示す。これらのシステムは、表1に示すように昭和56年から同時に計画が進められたものである。全体期間を三つに分け、事前準備の分析から始め、上流のCAD(Computer Aided Design)整備を中心にした第1期、工作機FMSラインを導入した第2期、これらをつなぐコンピュータ及びネットワークを含むシステム化というふうに、順次グレードアップする手法を用いた。特に最終段階のネットワーク導入に当たっては、光ネットワークを中心にした高信頼性を重視したことが特徴となっている。

これらのFAシステムを作るに当たり、表2に示すような種々の工夫が加えられ、今後のシステム拡大に備えている。マシニングセンタの使い方、CADデータからNC(Numerical Control)データを展開する手法、NCデータの伝送、更に特殊ロボットの応用法などが参考にならうと考えられる。

表1 FA導入の経緯 FA導入に当たり、設備投資を3期間に分け、段階的に進めた。

年 号	項 目	内 容
昭和56年	FAのための業務分析	1. WM手法を用い、現場作業分析を実施 2. 設計から現場までの手配の分析
昭和57年	システム設計(第1期FA)	1. CADの推進及び図形処理端末の導入 2. FA全体システム設計(火力、原子力、電動機)
昭和58年	工作機の導入(第2期FA)	1. 工作機、塑性加工機の導入 2. マイクロコンピュータ制御による単能機運転
昭和59年	制御コンピュータ導入(第3期FA)	1. LAN設置による単能機の接続 2. 自動搬送、LAN接続による全体システムの稼動

注：略語説明 FA(Factory Automation)
WM(Work Measurement)
CAD(Computer Aided Design)
LAN(Local Area Network)

2 蒸気タービンプレード加工のFA

蒸気タービンのブレードは、蒸気のもつエネルギーをロータを回転させる運動エネルギーに変えるタービンの心臓部部品であり、高精度・高信頼性が要求される。その形状が3次元の翼形をしていることから、製作には複雑な加工工程が必要である。また、110万kW級原子力タービンの場合、数量は70段落約1万5,000本にものぼり、同一寸法の100本から300本のブレードが一つの段落を形成し環状にロータへ植え込まれている。このため、ブレードの生産は多品種少量のジョブショップ生産形態をとっている。これらの作業スケジュールを自動的に決定し、加工の進捗度、優先度に応じ設備の能力を自由に調整できるフレキシブル生産システムを導入した。

図1に、今回タービンプレード生産で実現したFAシステムの全体構成を示す。このシステムは、フレキシブル生産・自

* 日立製作所日立工場 ** 日立製作所生産技術部

表2 FAシステム開発技術 3 FAシステム作成時に開発したはん(汎)用技術を示す。

部 門	内 容
蒸気タービン	1. 階層、分散構成形コンピュータシステムによる自動段取り、自動搬送機能を備えた高機能FMSラインの開発 2. オンラインデータベースによる生産計画、生産管理、生産制御一元化システムの確立 3. CADシステムにリンクしたNC情報作成、伝送システムの確立 4. システムの拡張性、耐故障性を重視した自律分散システムの確立
原子力配管	1. 現地据付計画に基づいた管理単位により設計、現地据付までの一貫管理体制の確立 2. CAD/CAM情報一元化により変更への即応性、効率向上、信頼性向上 3. 対話形CAD/CAMによる柔軟性のあるシステム構築 4. コンピュータ制御による集約加工センターを実現し、品質向上、生産性向上
電動機コイル	1. コイルの製作工程をワーク形状に合った専用の特殊搬送グリッップをもったロボットでつないだ一貫生産ラインの開発 2. 段取り軸のNC化とオンライン加工情報の取込みによるFMSの確立 3. パーソナルコンピュータLANによる生産準備、自動機の生産制御、生産管理システム確立

注：略語説明 CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)
FMS(Flexible Manufacturing System)
NC(Numerical Control)

動化と、設計から製造の情報の一元化を大きな特徴としている。このため、現場には段取りロボットや搬送ロボット、寸法計測などの機能を備えたマシニングセンタ(日立精工株式会社製)や専用機から成るワークセンタ(FMSライン)を配備し、LAN(Local Area Network)によりブレード工場を統括制御するミニコンピュータ(HIDIC V90/30)とつないでいる。各FMSラインはマイクロコンピュータ(MC-68)によりワークセンタ制御が行なわれる。また、HIDICはホストコンピュータ HITAC M-180及びM-200Hとつなぐ設計CADや工場全体の情報管理ともリンクされ、分散階層形コンピュータ構成のシステムを形成している。タービンプレード生産の設計から製造までを包含した規模の大きさと、その自動化レベルで最先端をゆくFAシステムである。

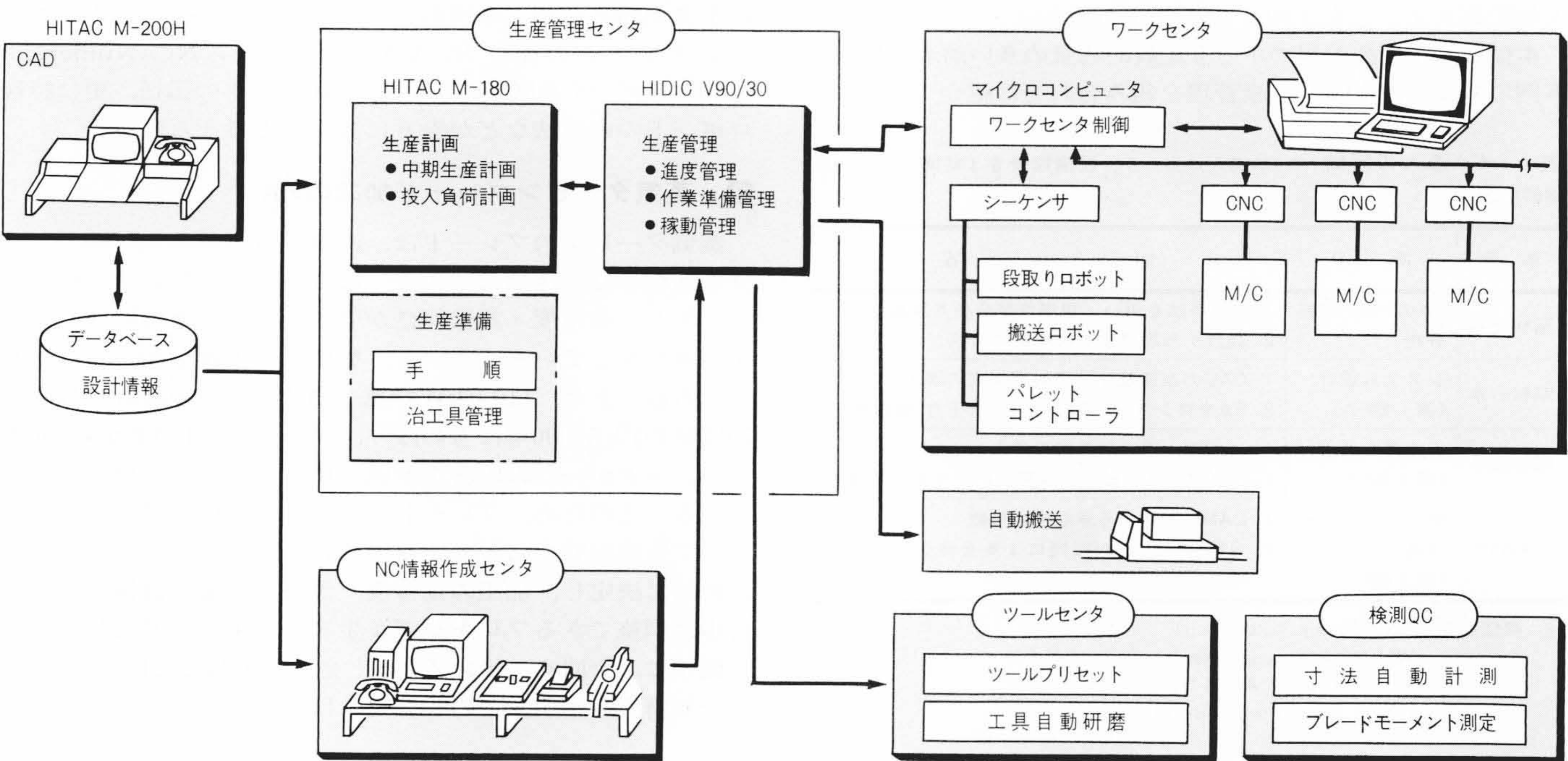
次に、各サブシステムの概要と特徴について紹介する。

(1) CADシステムは、設計情報データベースをもとに、大形コンピュータと対話形で自動設計を行ない、その結果を図面

情報としてデータベースに格納し、自動製図やNC情報作成に利用する。CAD/CAM (CAD/Computer Aided Manufacturing)直結の結果、短時間で製品加工に着手できるだけでなく、NC加工により新設計への対応性の向上や既設タービンプラントのアフターサービス、効率向上対策としての新形ブレードへの改造作業などにも容易な対応を可能とした。

(2) 生産計画・生産管理システムは、ブレード生産作業スケジュールを自動的に決定し、作業指示や進捗状況把握をオンラインリアルタイムに処理し、結果をビジュアルにディスプレイ表示してマンマシン コミュニケーションの便を図ったシステムである。特に進捗管理では、各NC機の加工開始時刻と加工完了信号をLANを介してHIDICへ取り込むことにより、作業進捗状況をオンラインリアルタイムに把握できるシステムとなっている。

(3) NC情報システムは、設計情報データベースをもとに、NC加工情報を自動プログラムにより自動作成し、現場の各NC機



注：略語説明 CNC[Computer NC(数値制御)], M/C(Machining Center), QC(Quality Control)

図1 タービンプレードFA全体構成 生産管理センタの計算機を利用して、ワークセンタへ制御、NCデータを流すシステム構成を示す。

へ伝送するシステムであり、テープレス運転を実現した。

(4) 通信システムは、大形コンピュータからマイクロコンピュータまでの分散階層形のオンラインリアルタイム情報伝送を行なう。また、各ワークセンタは光ファイバーによる自律分散式のLANでつながれているため、高信頼性と併せ異常処理、システムの拡張・保守が容易である。

(5) ワークセンタ(FMSライン)は、各々数台のNC機で構成されマイクロコンピュータで群制御される。各ワークセンタは、段取ロボットや搬送ロボットによりワークのローディング、アンローディングを自動的に行なうとともに、加工後の寸法計測や各機械の異常監視も自動で行なう。また、進捗状況、優先度に応じて一つの工程を加工する機械の台数を自由に変えフレキシブル生産を行なう。

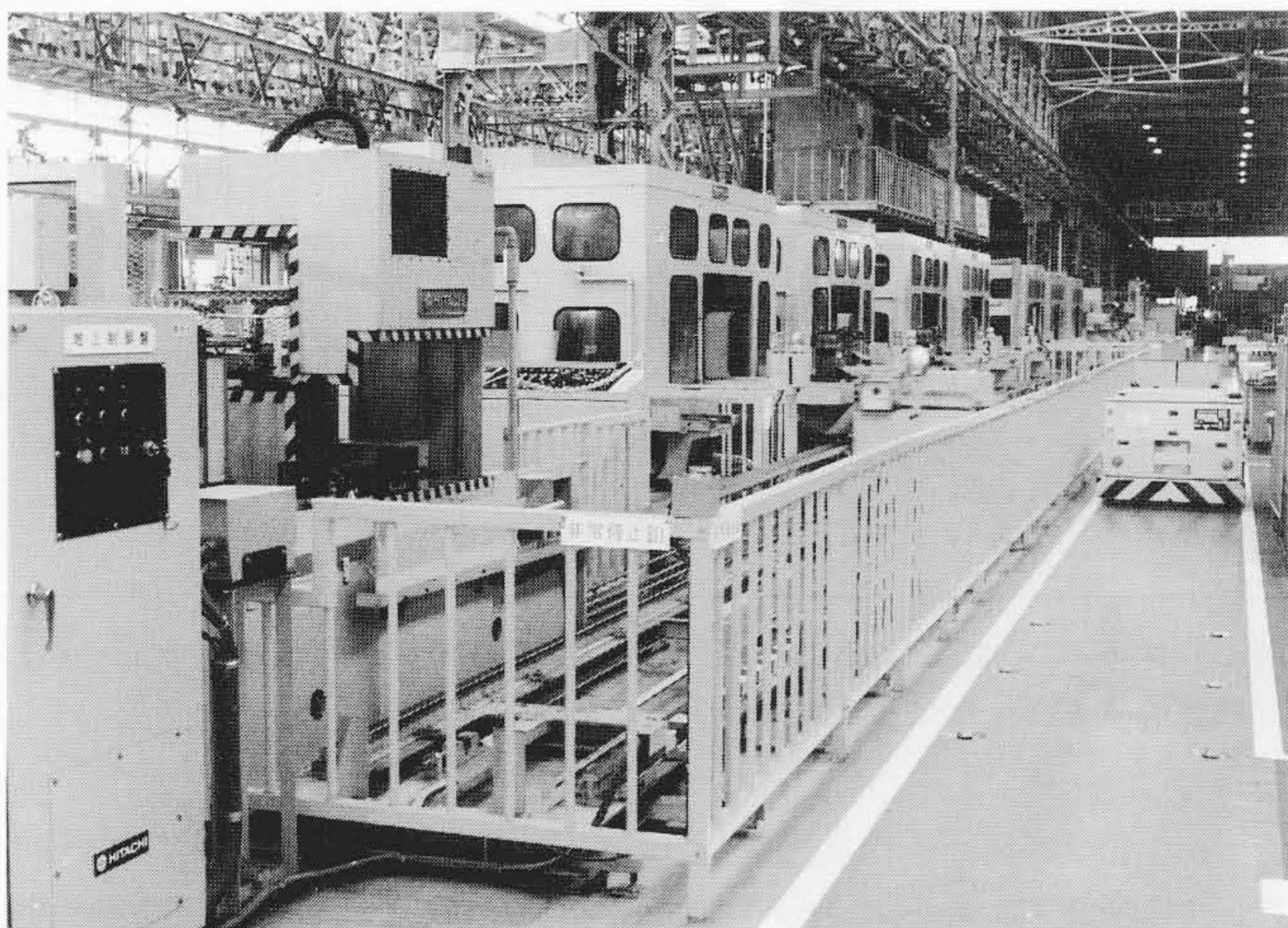


図2 タービンプレードFA工場 無軌道自走式台車(右側), 及びマシンニングセンタ群(左側)を示す。すべて光ファイバケーブルによるオンライン制御をさせている。

(6) 周辺設備としては、各ワークセンタの工程間搬送を行なう無人搬送車や、各機械から排出される切粉の自動集中処理装置など、自動運転のための周辺機能を多数具備している。

以上により、作業者は操作ディスク上のディスプレイに表示される作業指示、スケジュール情報に従い素材をワークストック上に並べておくだけで、後は押しボタンによりNC情報が自動的に伝送されてくるとともに、ロボットが作動し、寸法の自動計測を含め所定の加工が自動的に行なわれる。図2に、タービンプレードFAシステムの外観を示す。

3 原子力配管加工のFA化

原子力発電プラントを構成する要素として、配管は量的にも質的にも大きなウエートを占めている。

近年、この配管の信頼性向上及び作業合理化を目的としてエルボレス化、すなわち部品としてのエルボを用いずに直管を曲げて配管経路を作る方法がますます増加の傾向にあり、日立工場でも自社設備による曲げ管製作を行なってきた。今回更に、膨大な配管物量を現地プラント建設工程に合わせて効率よく生産するために、曲げ加工を中心として、材料の払い出しから開先加工までの配管下ごしらえ作業のFA化を図った。

FA化のねらいは次の3点である。

- (1) CAD/CAM連携による設計から製造、据付までの情報の一元化
- (2) 現地据付工程と工場製作工程の同期化
- (3) 変更に応じて追従性と信頼性の確保

図3に原子力配管FA工場の全体概要を示す。

生産ラインは、口径50～250mmまでの配管を加工する中径管ラインと、口径150～1,000mmまでの配管を加工する大径管ライン及び各ラインへ配管材料を供給する材料管理設備から構成されており、口径150～250mmの範囲はラインの作業量バ

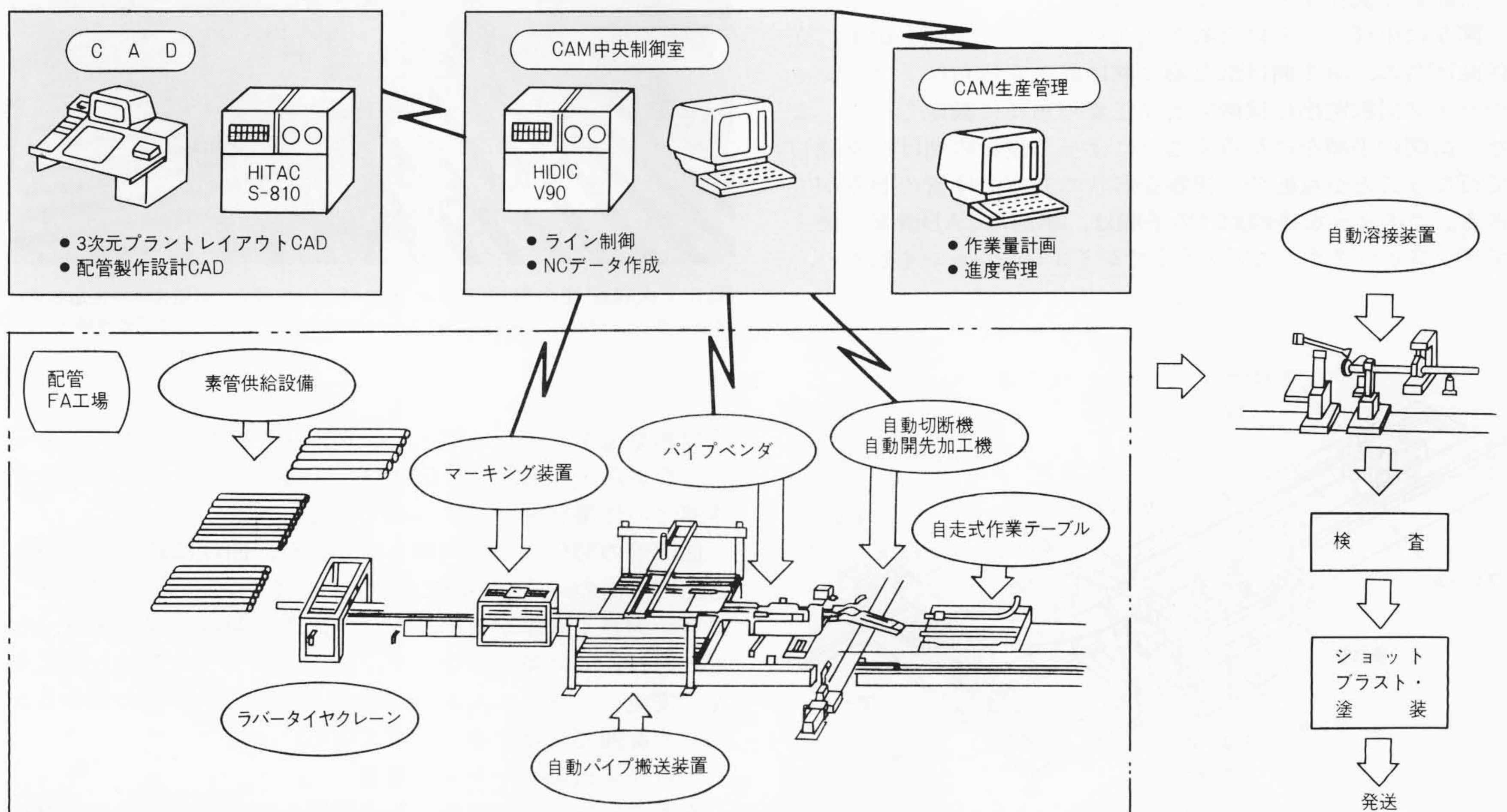


図3 配管工場のFA構成 CADで作られたNC制御データを現場にオンラインで結び、各種装置で配管加工させる。

ランスを考慮し、中径管ライン、大径管ラインのいずれでも加工可能としている。

それぞれのラインには、材料管理、マーキング、曲げ、切断、開先加工の各工程に自動化設備を導入し、光ループネットワークを介して、これらの設備を制御用コンピュータ(HIDIC V90/30)で統括制御している。

現場の主要設備には、マイクロコンピュータ(MC-68)と制御用コンピュータ端末(セミグラフィックディスプレイ)を設置し、HIDICからの情報により設備を制御する機能、及びHIDICと設備間の加工データ、作業指示、進捗管理データの授受の機能を受け持たせている。

また、HIDICはホストコンピュータであるスーパーコンピュータS-810と結ばれ、設計CADや生産計画、生産準備のCAMとも連携を取り、CAD/CAM一貫のトータルFAシステムを構成している。

次に、主要設備についてその概要を紹介する。

(1) 高周波パイプベンダ

図4に高周波パイプベンダ(大径)の構造図を示す。

高周波曲げ加工の原理は、パイプ先端を旋回アームに、パイプ後端をプッシャにクランプした状態で、高周波誘導加熱コイルによりパイプを狭い幅で加熱しながら、プッシャによりパイプを一定速度で前進させることによって、加熱コイル近傍の狭い範囲に加熱、熱間塑性変形、急冷というプロセスを連続的に生じさせ曲げ管を形成させるというもので、旋回アームの回転中心とパイプ中心の距離を変えることにより、曲げ半径を自由に選択することができる。

高周波パイプベンダの加工条件は、パイプ口径、肉厚、材質、曲げ半径などにより異なり、形状、寸法も含めるとほとんど製品ごとに加工データを設定する必要があるが、生産準備システムでCAD情報から作成された加工データをマイクロコンピュータ(大径ベンダ)又はマイクロコンピュータ-NC(中径ベンダ)に取り込み自動運転を行なうことによって、L形、Z形、U形、3次元立体形状など、種々の形状の曲げ管を安定した品質で製作することができる。

図5に中径ベンダによる3次元立体曲げの手順を示す。立体曲げ時の、第1曲げ部と第2曲げ部の立体角は、プッシャのパイプ回転割出し機構により任意の角度に設定できる。また、同図の手順を繰り返すことによって複数の曲げを連続して行なうことが可能で、複雑な形状の立体曲げ管の製作ができる。このような連続曲げの手順は、事前にCAD情報を使ってグラフィックディスプレイ上でシミュレーションを行ない、

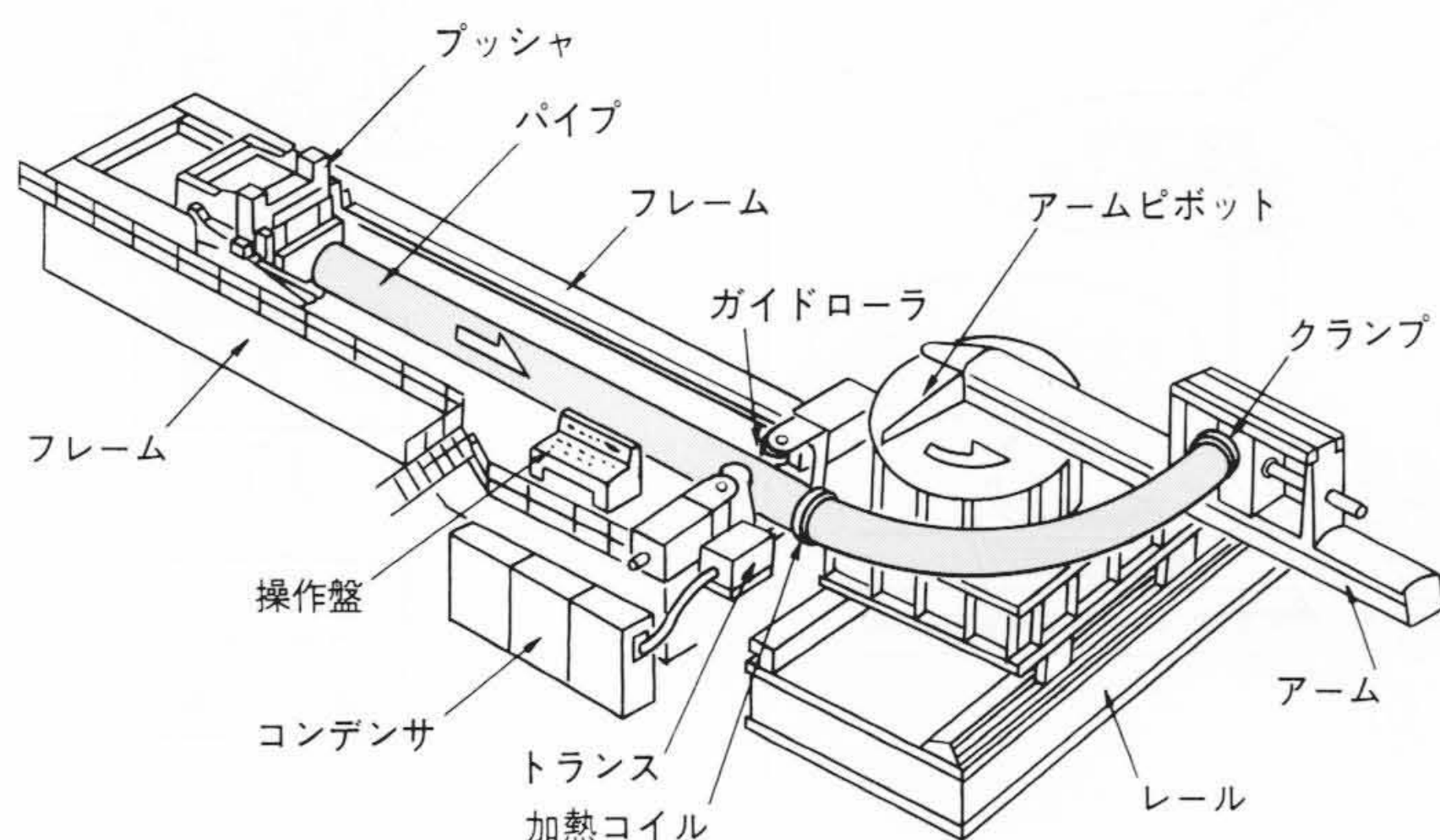


図4 大径ベンダの外観構造図 加熱コイルでパイプを局部リング状に加熱し、曲げを順次行なわせる状況を示す。

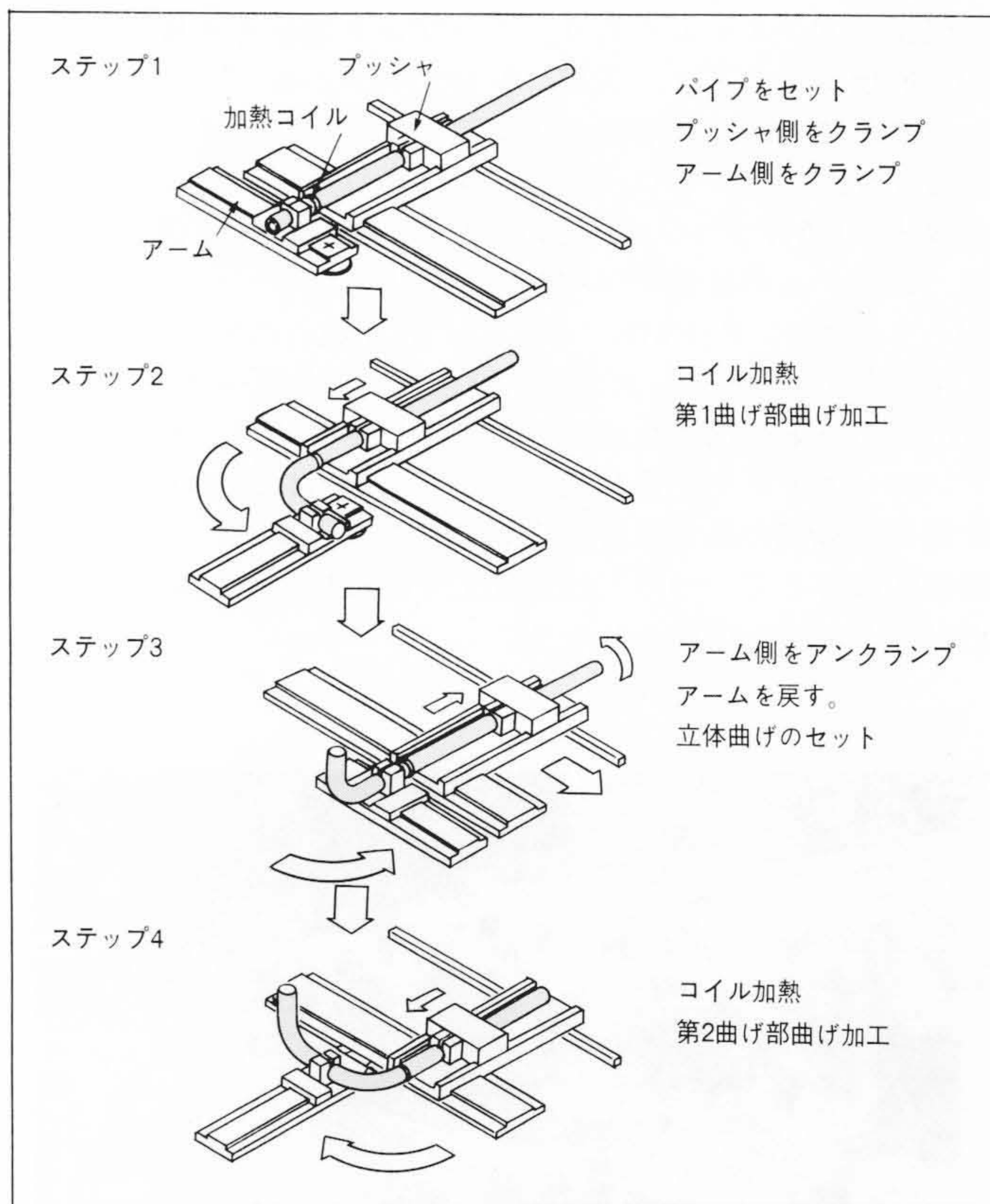


図5 中径ベンダによる3次元立体曲げの手順 ステップ1～4に順次曲げ位置を変えながら立体曲げを進める。

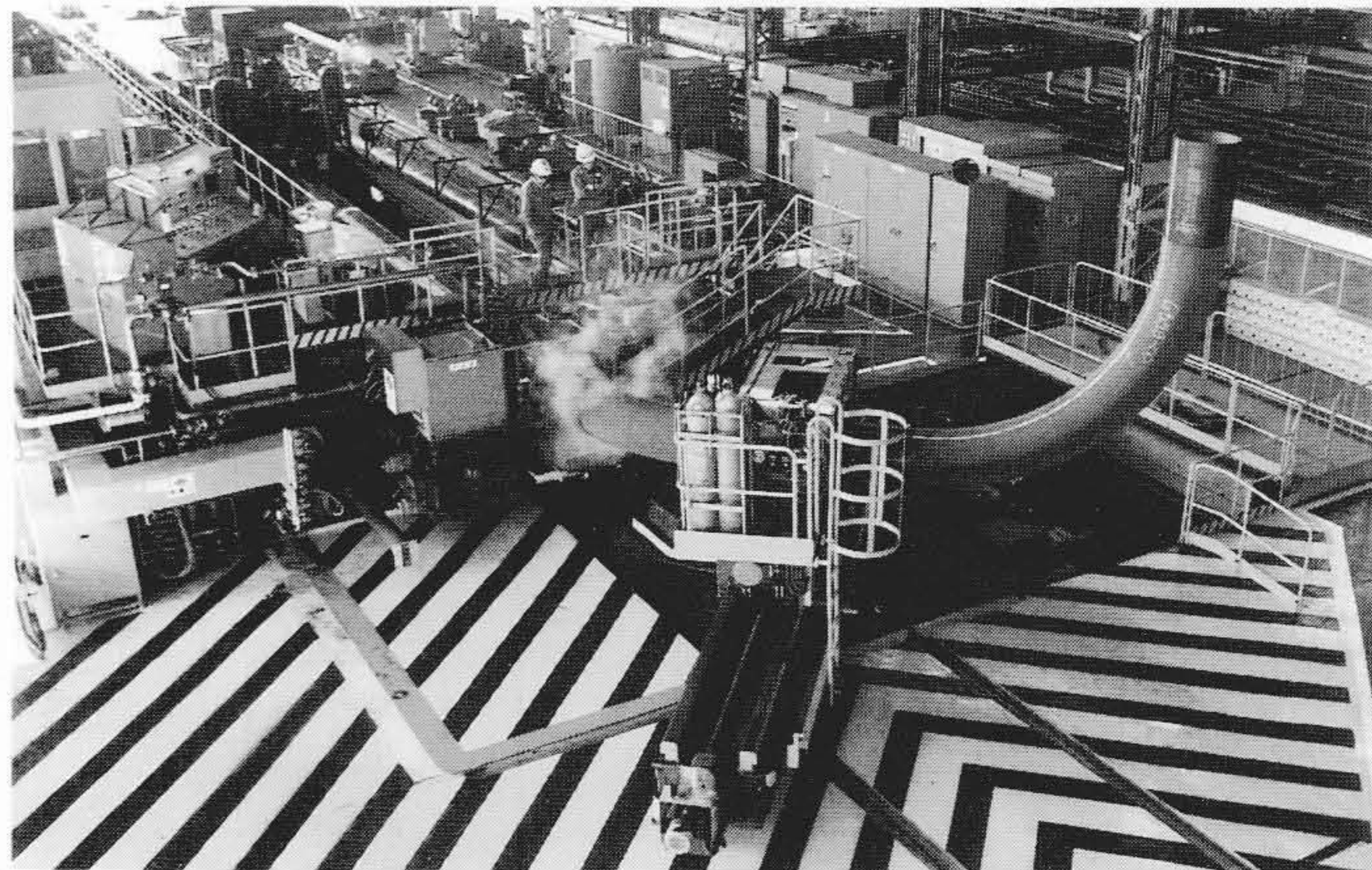


図6 大径配管の高周波による曲げ 局部的に高周波で帯状加熱をして曲げる。この動作を連続的に行ない、案内型なしで指定の曲げ管を得る。

曲げ作業途中でのパイプとベンダ、床などとの干渉をチェックしながら決められる。図6は、大径ベンダによる3次元立体曲げの作業状況を示す写真である。

曲げ管の製作でまず問題となるのが、曲げ部断面の長円化と曲げ外側の減肉をいかに小さく抑えるかということであり、口径が大きく肉厚が薄くなるほど、また曲げ半径が小さくなるほど技術的に難しくなるが、加工ノウハウの蓄積と加工条件の安定により、エルボと同等の小半径の曲げ管の製作もかなりの範囲で可能となってきた。

(2) 中径管自動マーキング装置

原子力配管では、材料の製造履歴を明らかにしておくため材質、材料メーカーの製造番号などを加工前に刻印しておく

ことが必要である。この刻印作業と、配管の加工寸法や管理情報のマーキング作業を合理化するために、物量の多い口径50～250mmの中径管を対象として自動マーキング装置を開発、実用化した。

この自動マーキング装置は、電磁加振式のドット刻印装置と4色フレイムマーキング装置とを同一ヘッドに搭載した3軸NC機で、マイクロコンピュータと接続されており、HIDICから伝送されてくるNCデータにより自動運転される。刻印装置の打刻力制御は、振動発生装置の周波数と波高値を制御することにより行ない、刻印、マーキングの文字及び記号の形状、大きさはNCソフトにより任意に変更可能である。

自動マーキング装置のヘッド部外観を図7に示す。

(3) ラバータイヤクレーン

材料保管場所での材料ハンドリング設備として、ラバータイヤクレーンを導入した。このクレーンは図8に示すように、ゴムタイヤによってコンクリート軌道上をX-Y2方向走行する門形クレーンで、動力はディーゼル発電機、操作は地上無線操作方式となっている。

材料保管場所には番地が設定されており、材料管理システムによりHIDICから光ループネットワーク、SS(スペクトル拡散)通信を介して出される指令に従って、コンクリート軌道に埋め込まれた検出板を検出しながら番地間の自動走行ができる。また、コンクリート軌道には誘導線が埋め込まれており、自動走行中にクレーンが軌道から脱輪するのを防止している。物量の多い口径50～250mmのパイプはラックに格納し、ラックを自動的に着脱できる専用つり具を用いてラック単位でハンドリングすることにより、前述の自動走行機能と合わせて、効率のよい材料入、出庫を可能としている。

以上により原子力配管FAシステムでは、CAD/CAM一元化を図り、高周波曲げを中心としたユニークなFA工場を実現した。

4 電動機用コイル加工のFA

電動機の心臓部部品であるコイルは、高精度・高信頼性が要求され、その形状は複雑なきっこう(亀甲)形形状に成形・絶縁されるため複雑な工程を必要とし、自動化が難しくこれまで手作業や単能設備で製作されていた。このため、中形電動機のコイル生産を対象としてFA計画を推進してきた。

図9に今回開発した電動機FA工場の全体構成を示す。当コ

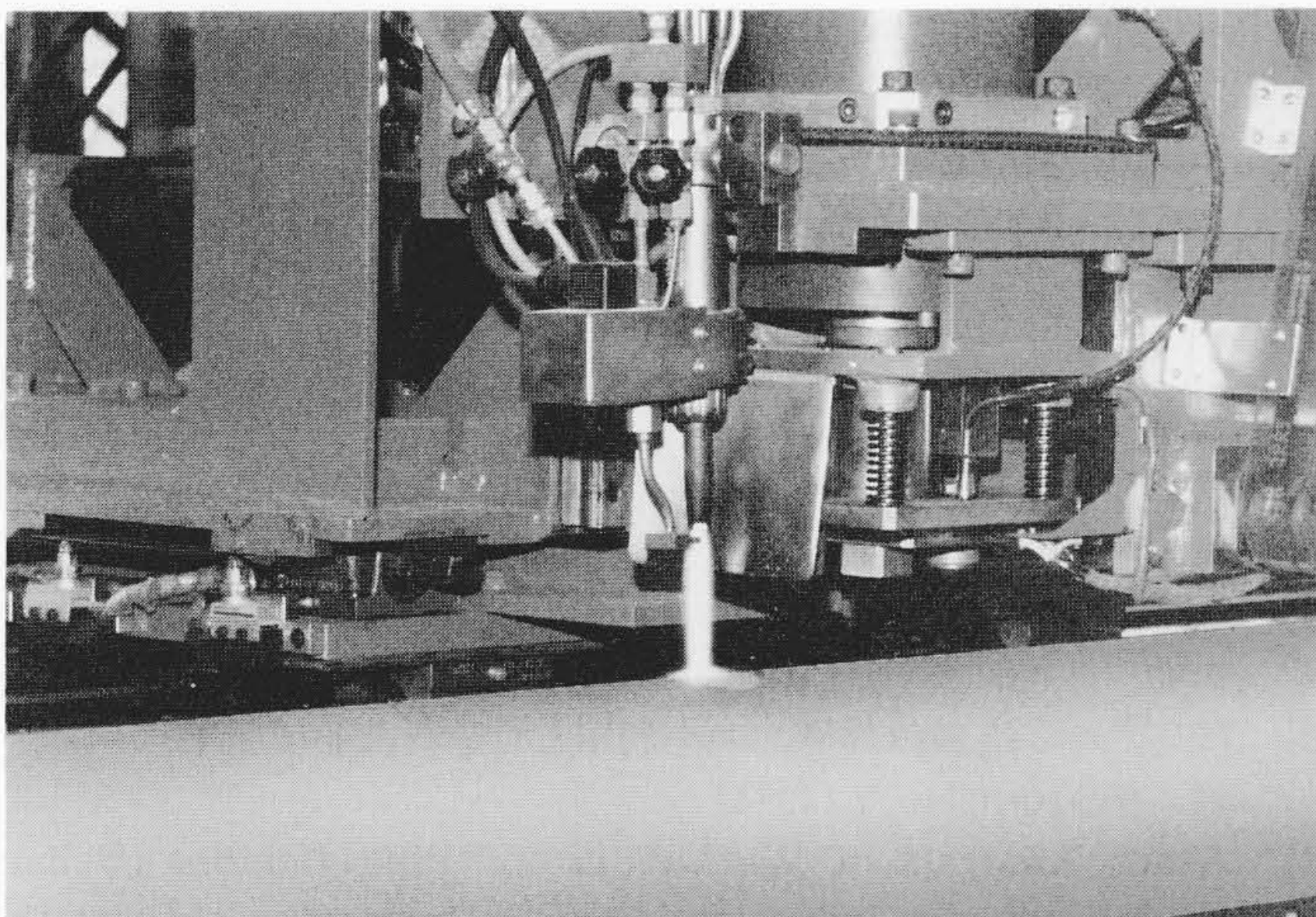


図7 自動マーキング装置のヘッド部外観 燃焼フレイムの中心に染色粉末を流し、管表面にこれを焼き付け文字表示をする。

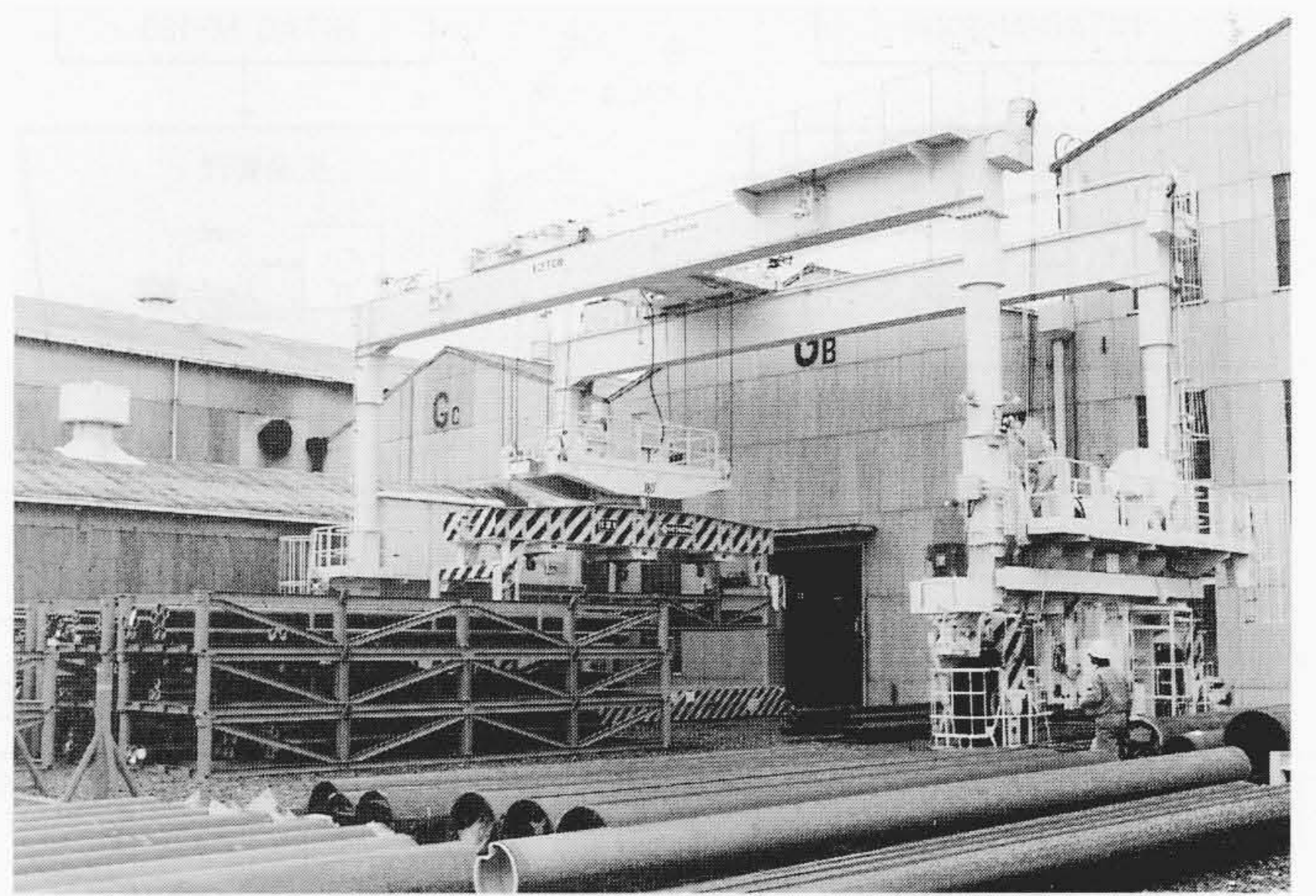


図8 材料管理用ラバータイヤクレーン ゴム車輪、ディーゼルエンジン搭載、無線コントロールによる自走式クレーンである。

イルFA工場では、最先端のマイクロコンピュータ制御・NC・画像処理技術を駆使した各種自動機(マザーマシン)を開発し、これを段取りロボット・搬送ロボット、自動クレーンで結んだFMSラインの実現を図った。これらコイル生産の自動化を図るとともに、コンピュータによるLANシステムにより設計CADや工場全体の情報管理用ホストコンピュータと各FMSラインを結び、電動機コイル生産の設計から製造までのCAD・CAE(Computer Aided Engineering)・CAMの各システムを有機的に結んだFAシステムである。

システムの概要と特徴は、製品の工程管理などを行なう生産管理システムと各FMSラインに加工情報を供給する生産制御システムの2系統から成り、相互に協調してシステム全体の効率を上げている。

また、ネットワークの伝送路として加工情報・NC情報を伝達するため、より高い信頼性を確保する必要がある、耐ノイズ性に優れた光ファイバケーブルを採用した光ネットワークシステムとした。

次に、各サブシステムの概要と特徴について紹介する。

(1) CADシステム

設計情報データベースをもとに、大形コンピュータによる最適自動設計を行ない、その結果を図面情報としてデータベースに格納し、自動製図や以下の各システムの基本データとして活用している。

(2) CAEシステム

CADからの図面情報データをもとに、最適FMSラインの選定を行ない、LANシステムのホストコンピュータのデータベースに図面情報を伝送する。更に、設計者支援の強度計算などの各種技術計算をCADデータを用いて行なわせている。

(3) 生産制御システム

CAD、CAEを介して蓄積された図面情報データからFMSラインで必要なデータを選択し、FMS用のデータとするための各種処理やNC情報の作成を行ない各ラインにデータを供給する。

(4) FMSライン

光LANシステムに接続されたFMSラインは、加工情報、NC情報を受け取り、マイクロコンピュータ制御・NC制御される数台の専用自動機と、それらの自動機にワークのローディング、アンローディングを自動的に行なう搬送装置で構成され、日立製作所独自の自動化技術を盛り込んだ世界でもトップレ

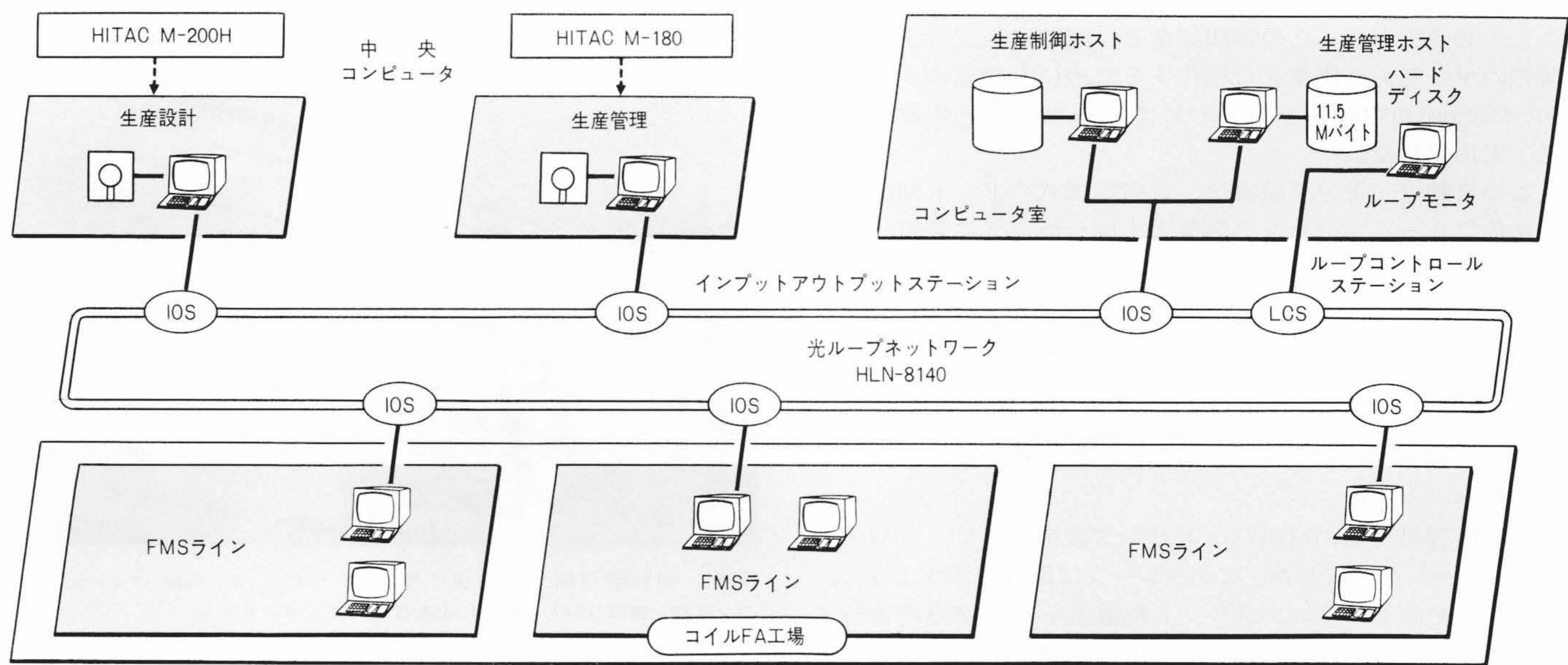


図9 電動機コイル工場のFA構成 パーソナルコンピュータ利用のネットワーク制御システムを用いてNCデータを伝送させる。

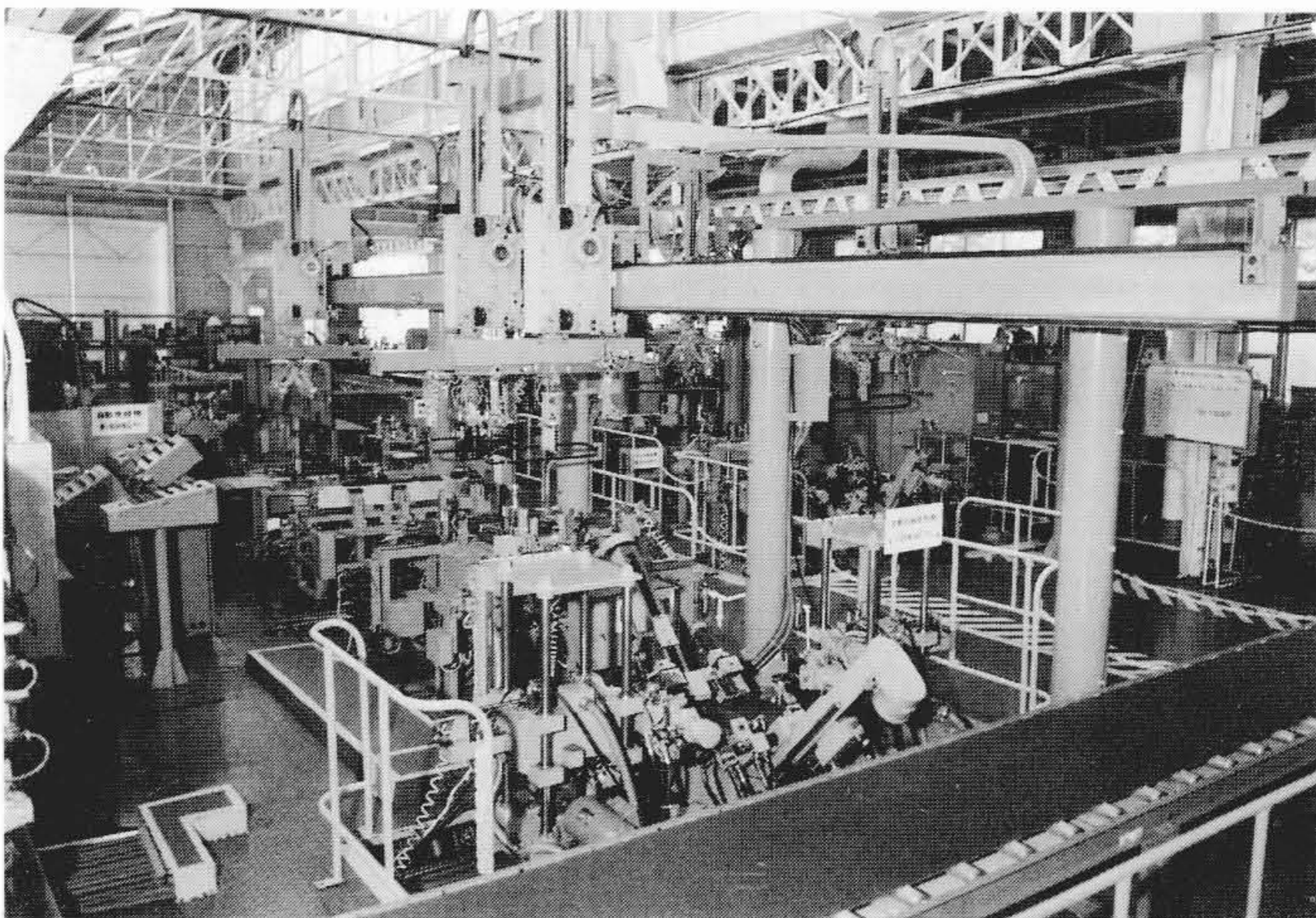


図10 コイルFA工場 直コイルをダイヤモンド形に塑性加工する装置、及びこのコイルを移送させる上部のロボットハンドを示す。

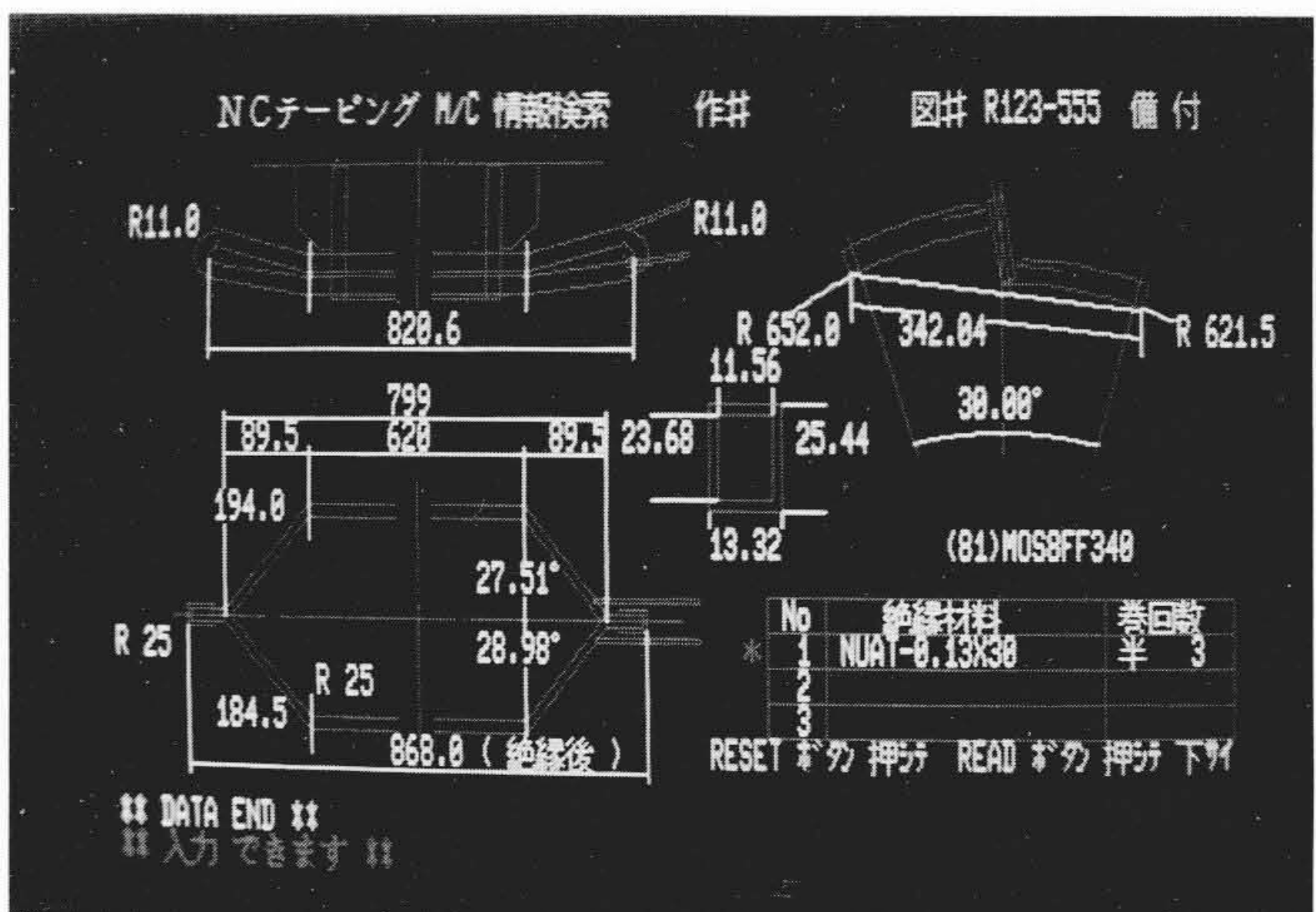


図11 コイルCADデータの表示 パーソナルコンピュータ現場端末に表示したダイヤモンドコイルの寸法図を示す。

ベルの自動化設備である。

(5) 生産管理システム

工場の情報管理用ホストコンピュータから作番情報、工程情報を取り込み、光LANシステムのホストコンピュータに伝送し、ネットワーク内の生産情報をよりきめ細かく管理し、的確な作業指示を行なうオンライン生産システムである。

以上により、中形回転機FAシステムでは、CAD/CAM一元化を図り、多品種少量生産に対応したフレキシブルな生産工場を実現した。図10に本システムの外観を、図11にCADデータ表示の画面例を示す。

5 結 言

三つの非量産FAシステムの事例を示したが、FMSラインによる複合加工により、繰り返し加工精度向上による加工品の寸法安定化、NC加工比率の向上による生産工程の把握の容易さと短縮化、通信機能向上による生産管理、同期化率の向上、更に手作業排除による作業の安全化など数々の効果を得ることができた。

先に述べたように、重電機製品を構成する部品は小ロット

品が圧倒的に多く、今後はCADデータの作成から、確実に加工ラインに流すことのできるシミュレーションシステムを含めた合理化が要求されている。

技術データの有効活用を図るために、データベースの作成、これを有効に利用するネットワーク技術の応用を含めたCIM (Computer Integrated Manufacturing)総合システム化を強化させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 六谷：重電機製造業におよぼしたME技術のインパクトーCIMへの橋渡しー，機械学会誌，第89巻，810号(昭61-5)
- 2) 浅尾，外：曲げ加工の基本特性の解明ー管材の局部曲げ加工の研究，第33回塑性加工連合講演会講演
- 3) 浅尾，外：高周波誘導加熱を利用した管材の曲げ加工，精密機械，第50巻，No. 3 (1984)
- 4) Asao：Analysis in Workability of Pipe Bending Using High Frequency Induction Heating, Proceeding of the 24th International Machine Tool Design and Research Conference, 1983