

製鉄所における自動材料試験システム

Materials Testing System Incorporating Factory Automation

鉄鋼商品に対するニーズの多様化により、品質保証の手段である材料試験の量は年々増加する傾向にある。従来この材料試験は試験片加工・試験での部分的な自動化にとどまっていた。特に自動加工技術の点で精度・信頼性・処理能力など多くの問題を抱えており人手に頼っていた。そこで一貫した自動化による生産性の向上と大幅な省力化が望まれていた。

このような状況の中で、日立製作所は材料試験にFAを全面的に採り入れた自動材料試験システムをNKK福山製鉄所に納入した。

本システムは、試験材の受け入れから検査証明書作成までの一連の処理工程の自動化を可能とし、材料試験の工期短縮、労働生産性の向上、大幅な省力化、品質保証体制の強化などの効果をもたらした。

小川 旭* Noboru Ogawa
前田孝三* Kôzô Maeda
田村祐二** Yûji Tamura
安部隆介*** Ryûsuke Abe
木下春夫*** Haruo Kinoshita
熊山治良**** Jirô Kumayama

1 緒 言

鉄鋼業では、生産した鉄鋼商品のそれぞれについて試験片を採取し機械的性質を材料試験によって計測することにより品質を保証するとともに、試験結果を生産ラインにフィードバックして品質の向上を図っている。

近年、この材料試験の量が年々増加する傾向にある。これは鉄鋼商品に対するニーズの多様化と高級化要請によってより詳しい材料特性の測定が必要となったためである。しかし、多量・多種多様な試験片を高精度に加工できる柔軟性と信頼性を持ち、かつ低コストの自動加工システムの開発が立ち遅れているため、従来の材料試験は部分的な自動化にとどまり生産性が低く、そのため一貫した自動化が望まれていた。

日立製作所は、このニーズに対応してFAを全面的に取り入れた自動材料試験システムを完成した。これは、試験片の自動加工・自動試験・識別管理・物流管理・一貫生産管理などを有機的に結合し、トータルFAを指向したシステムである。このシステムでは世界でも初めて主要試験である引張試験・シャルピー衝撃試験・エリクセン試験について試験材の受け入れから検査証明書の作成までを完全自動化している。

このシステムの導入の効果は、(1) 材料試験の工期をおおむね半分に短縮化、(2) 材料試験要員の大幅な削減、(3) 試験情報の一元化と自動化による品質保証体制の強化などである。

2 材料試験システムの課題

現在、材料試験プロセス要素技術のうち自動試験技術を除

く自動試験片加工技術、識別管理、一貫生産管理はまだ緒についたばかりの段階で、材料試験のトータルシステム化を達成するためには次に述べるような課題を解決する必要がある。

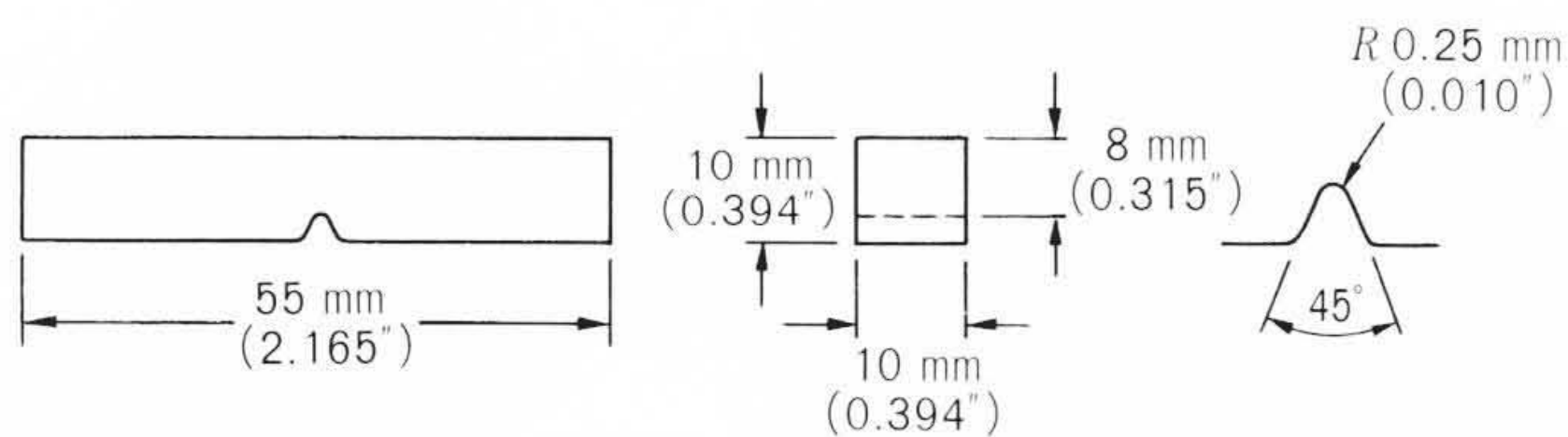
(1) 試験片の自動加工¹⁾

一貫製鉄所の材料試験で加工する試験片は、月間10万本にも達する。試験片の形状は商品の用途と、国内外の種々の規格によって300種類にも及び、その寸法公差および加工仕上げ程度は厳しく規定されている。代表的な試験片としてシャルピー衝撃試験片を図1に示す。これらの試験片の加工は、数種類の工作機械による人手作業が一般的となっている。また自動化されたとしても、処理工程のなかの部分的な範囲に限られていて、完全な自動化は実現されていない。これは、現状の加工技術では高精度加工、特に加工時に発生するのろ〔溶断残渣(さ)〕・ばりを完全に除去することが技術的に困難であり、この部分の処理を人手作業に任せざるを得ないためである。

(2) 試験片の識別管理

試験材および試験片の識別のための識別番号のマーキングは、品質保証の面で重要である。現状は、ダイスタンプまたはスタンプマーク方式などが手動または半自動で行われているが、自動読取りに供する均質な文字は得られない。そのうえ現在100%信頼に足る自動読取り装置がなくマーキング方式・装置とあわせて開発する必要がある。

* NKK 福山製鉄所 ** 日立製作所 システム事業部 *** 日立製作所 日立工場 **** 日立製作所 大みか工場



許容差は下記のとおり

相隣れる2面のなす角	90°±10°
断面寸法	±0.025 mm(0.001 インチ)
試験片の長さ	+0, -2.5 mm(0.100 インチ)
ノッチ角度	±1°
ノッチ半径	±0.025 mm(0.001 インチ)
ノッチ底までの寸法	8±0.025 mm (0.315±0.001 インチ)
仕上げ度	ノッチのある面とその反対面 Max.63 マイクロインチ(1.6 μm) 他の2面 Max.125 マイクロインチ(3.2 μm)

注：略語説明 ASTM (American Society for Testing and Materials)

図1 ASTMシャルピー衝撃試験片寸法 ASTM規格での寸法許容差は±0.025 mm, 許容表面粗さはノッチ溝部で最大1.6 μmである。

(3) 一貫生産管理

加工機・試験機の自動化, 識別管理について, 現在までかなりの努力がなされてきている。しかし, 今一步のところでは加工から試験までの完全自動化は達成されていない。これは加工機と試験機を接続するための周辺付帯装置の開発遅れ, および物流管理, 試験片トラッキングなどに代表される一元管理システム導入の遅れによるものである。

3 自動材料試験システムの概要

3.1 材料試験システム自動化のための技術開発^{2)~4)}

材料試験システム自動化の課題を解決するため次に示す技術開発を行い, 全自動化を達成した。

(1) 多品種対応形自動加工システムの開発

従来一貫自動化のネックとなっていたシャルピー衝撃試験片・平型引張試験片加工について汎(はん)用のマシニングセンタを核とした加工ステーションを開発し, 合わせてばり取り, 表面仕上げのための工具・加工方案を開発することによって約40種類の試験片加工の全自動化を可能とした。

(2) 試験材加工の全自動化

各種試験材から試験片用の短冊状の材料(一次試験片)を切り出すガス溶断・打抜き工程を完全自動化した。特に, ガス溶断後ののろ除去装置の開発, 打抜き後の材料の自動取り扱い技術の開発は自動化に大きく貢献した。

(3) 全品種の加工・試験一元管理システムの導入

試験片の完全トラッキングと識別管理システムの確立, 各種生産管理システムの導入によって一元管理システムを確立した。

3.2 自動材料試験システムフロー

自動材料試験システムのフローを図2に示す。製鉄所内の各工場から受け入れた各種試験材をまずプロセス計算機の管理情報と照合する。照合完了後試験材に試験片番号を刻印する。刻印が完了した試験材は自動ガス溶断によって一次試験片に切断する。一方, 薄板試験材は刻印後パンチングプレスで一次試験片に打ち抜く。打ち抜いた一次試験片は所定のパレットに入れ保管する。

自動溶断または打抜きした一次試験片はさらにシャルピー衝撃試験・平型引張試験・落重試験・曲げ試験などの試験工程に合わせた試験片に加工・洗浄後保管する。加工完了した試験片は試験機からの要求で出庫し, 無人台車で自動試験機へ自動搬送する。

自動試験機に搬送した試験片をロボットによりパレットから1個ずつ取り上げ, 試験片番号読取り装置に受け渡す。ここでプロセス計算機の指示する検査番号と試験片番号を突き合わせ, トラッキング情報と現品の整合性を確認する。試験結果はプロセス計算機に伝送され合否の判定をしたうえでセンター計算機に伝送される。

以上本システムは, 従来手作業であった試験片加工の自動化の達成を基盤にエンジニアリング技術を駆使し, 試験材の受け入れから検査証明書の作成までの一連の材料試験工程の全自動化を可能にした。

4 自動加工・自動試験技術

4.1 自動溶断

厚鋼板・熱間圧延鋼板の試験材から試験片を加工する前加工として, 一次試験片を切り出す工程である。

この工程自動化の課題は,

- (1) 広範囲な板厚に対するのろの最小化および均一化
- (2) のろの除去
- (3) 処理速度の後工程とのマッチング
- (4) 溶断パターン変更・増加に対応できるNC(数値制御)ソフトの構築

などである。これらを解決する手段として,

- (1) 板厚に応じた火口の自動選択, 最適な溶断速度の自動設定
- (2) のろの自動除去装置の開発
- (3) ダブルステージ回転式ガス溶断機の開発
- (4) 一次試験片単位のNCデータ組み合わせによる溶断(溶断パターンの非固定化)

などを行った。この結果, 板厚6 mmから50 mm, 最大寸法□550 mmの鋼板をプロセス計算機から指示された試験片の採取順番に自動溶断し, のろのほぼ100%除去を可能とした。試験材1枚当たりの処理サイクルは, 一次試験片3枚取りの場合で平均3分である。自動溶断の状況を図3に示す。

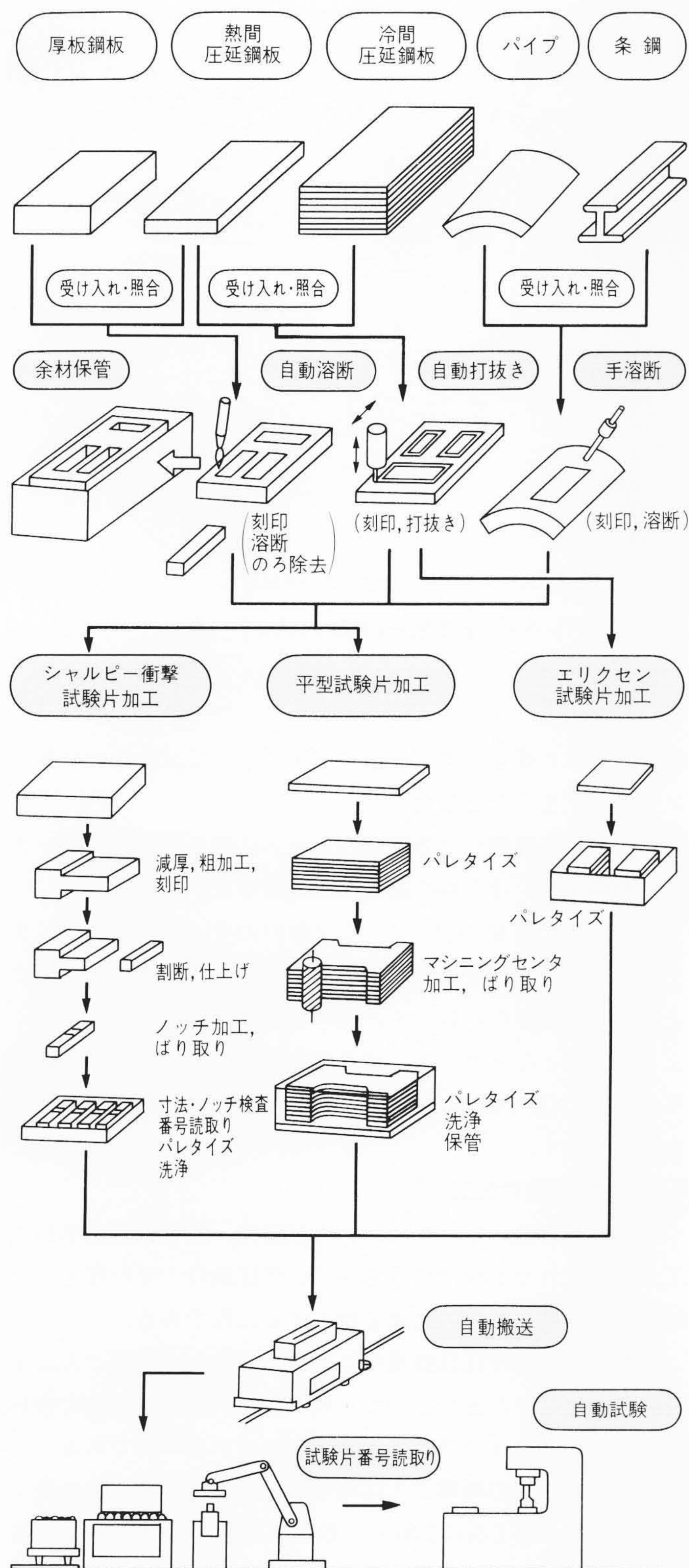


図2 自動材料試験システムフロー 試験材の受け入れから試験まで一貫した自動処理を行う。

4.2 シャルピー衝撃試験片加工

溶断された短冊状の材料をシャルピー衝撃試験片に加工する工程である。従来この種の自動化の例としては、自動フライス盤とロボットによる自動化、および専用機を並べた専用ラインの二つがある。前者について言えば、この加工の主作

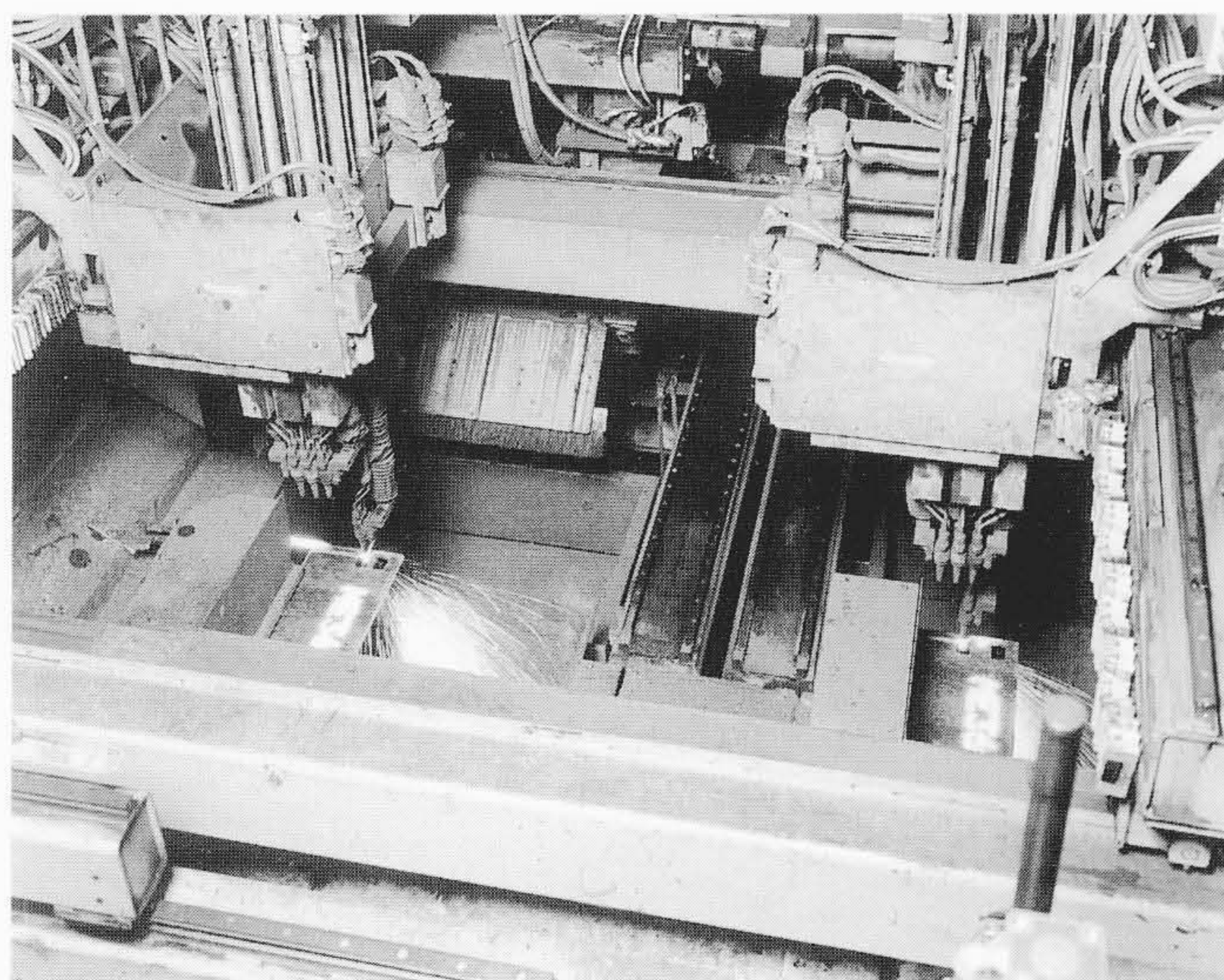


図3 自動溶断機 ダブルステージで同時に2枚の試験材を溶断する。

業であるノッチ溝の加工、加工後のバリ取り作業は手作業で行っており、単純な割断・面加工にとどまっている。後者の場合、粗加工から仕上げ加工までを20台以上の専用機を設け一貫加工するが、専用機の細部の調整、消耗品の交換などに相当の人員と時間を要するうえ、故障が1か所でも発生すると全ラインが停止し、著しく生産能率を下げる。そこでこのシステムでは、汎用性の高いマシニングセンタを核として、ロボット・コンベヤ・専用治具・特殊工具を組み合わせた多品種対応形自動加工ステーションを開発した。主な開発内容は、

- (1) 切削工具だけによる高精度($\pm 25 \mu\text{m}$ 以内)、精密仕上げ(鏡面仕上げ)加工、および確実なバリ取り加工諸元の開発
- (2) ノッチ溝加工時に発生するバリ取り専用ツールの開発
- (3) インライン計測による加工諸元の補正方法を開発

切削時の工具摩耗の進行に対しても、常に許容寸法内の加工を継続することを可能とした。

(4) 加工後の寸法・ノッチ溝のインライン自動検査システムを開発、ラインの異常を早期発見し不良品の大量発生を防止するとともに、従来人手による計測作業を不要とした。などである。この結果、図4に示すような試験材の受け入れからパレタイズまでの工程の完全自動化を可能とした。マシニングセンタ1台当たりの試験片1個の処理サイクルは約9分である。加工ステーションの状況を図5に示す。

4.3 薄板試験片加工

熱間圧延鋼板・冷間圧延鋼板・めっき鋼板などの薄板試験材から引張試験片・エリクセン試験片・ランクフォード試験片などを切り出す工程である。薄板試験材からの試験片採取本数は他品種と比較して多く、しかも試験片寸法がまちまちである。現在の加工はシャヤによるものが主導的であって、試験片1枚ごとに識別番号をマジックなどで記入し、引張試

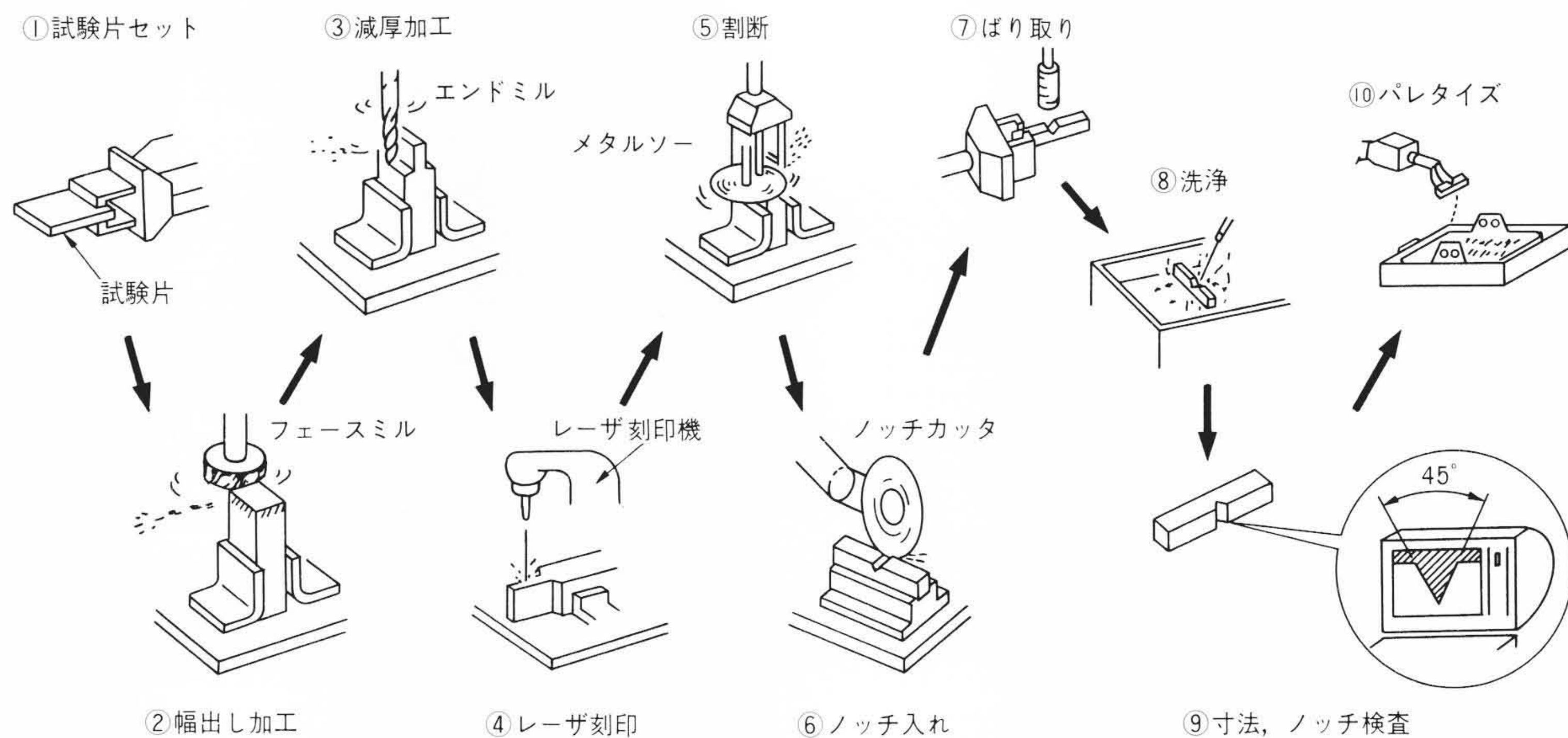


図4 シャルピー試験片の加工フロー 試験材の受け入れから試験片のパレタイズまでを完全自動で行う。

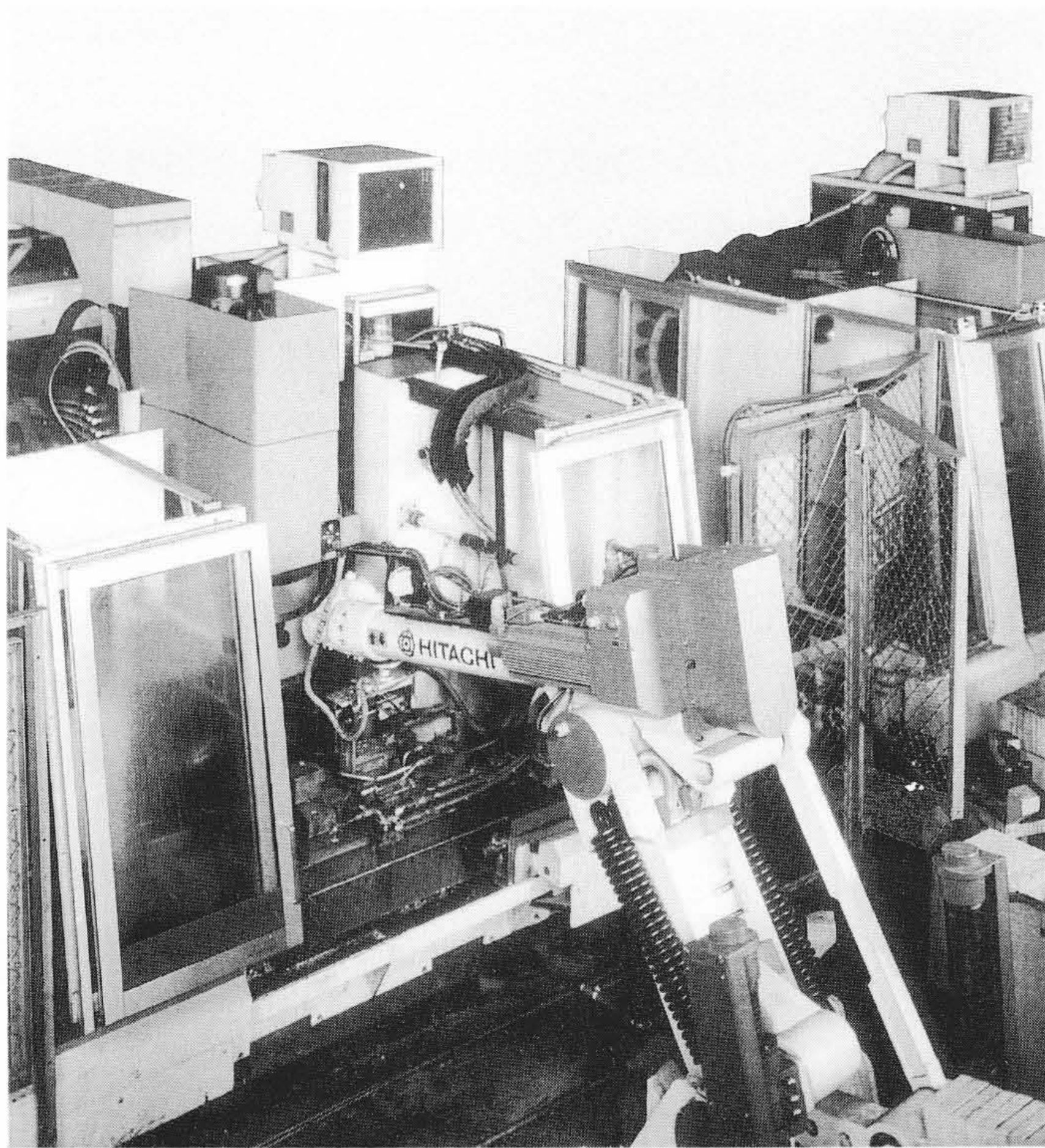


図5 シャルピー試験片加工ステーション ロボット，マシニングセンタ，加工用治具などによって完全自動処理する。

試験片に至っては種類ごとに層別分類し枠組みフライス加工としている。そこでこのシステムでは以下の開発を行い全自動化を達成した。

- (1) 高性能パンチングプレスによる広範囲板厚(0.4~7.0 mm)，高精度(± 0.25 mm)，高速(約25秒/試験片1枚)打抜き技術の開発により高精度・高能率加工を可能とした。
- (2) 打抜き時試験片の散逸を防ぐマイクロジョイント(1mm程

度の未打抜き部を残す。)技術の開発によって試験片の自動ハンドリングを可能とした。

- (3) 試験片を種類別に専用のパレットに積み上げる層別システムを開発し，後工程の高効率化を図った。

この結果，図6に示すような試験材の受け入れからパレタイズまでの工程の完全自動化を可能とした。本技術の完成により，約30種類の試験片を45種の打抜きパターンで打ち抜くことが可能となった。本工程での処理サイクルは，1試験材当たり約1.4分である。パンチングプレスでの打抜き作業状況を図7に示す。

4.4 平型試験片加工

薄板試験片加工で打ち抜かれた試験片，および自動溶断加工で溶断された試験片のうち平型引張試験片の平行部と曲げ試験片・落重試験片の側面を加工する工程である。

平型引張試験片は試験規格によって試験片の種類ごとに平行部の幅と長さが異なるので，現状では平行部の形状に合わせたフェイスミルでフライス加工するのが主導的である。この場合，試験片の種類ごとに相当数の工具を準備する必要がある。また，加工前に試験片を数十枚重ねて枠組みする作業，加工後の試験片のばり取り，枠組み解体などは人手作業が前提となっている。そこでこのシステムでは，シャルピー試験片加工と同じように多品種対応形自動加工ステーションを開発した。その内容は，

- (1) 層別システムで積み重ねた一次試験片をエンドミルで同時に加工し，処理能力を上げた。
- (2) 試験規格の規制を受けない部分の寸法の標準化などによって試験片を三つのグループに分類し，1台のマシニングセンタのテーブル上に3種類の治具を設けることで，全試験片に対応可能とした。

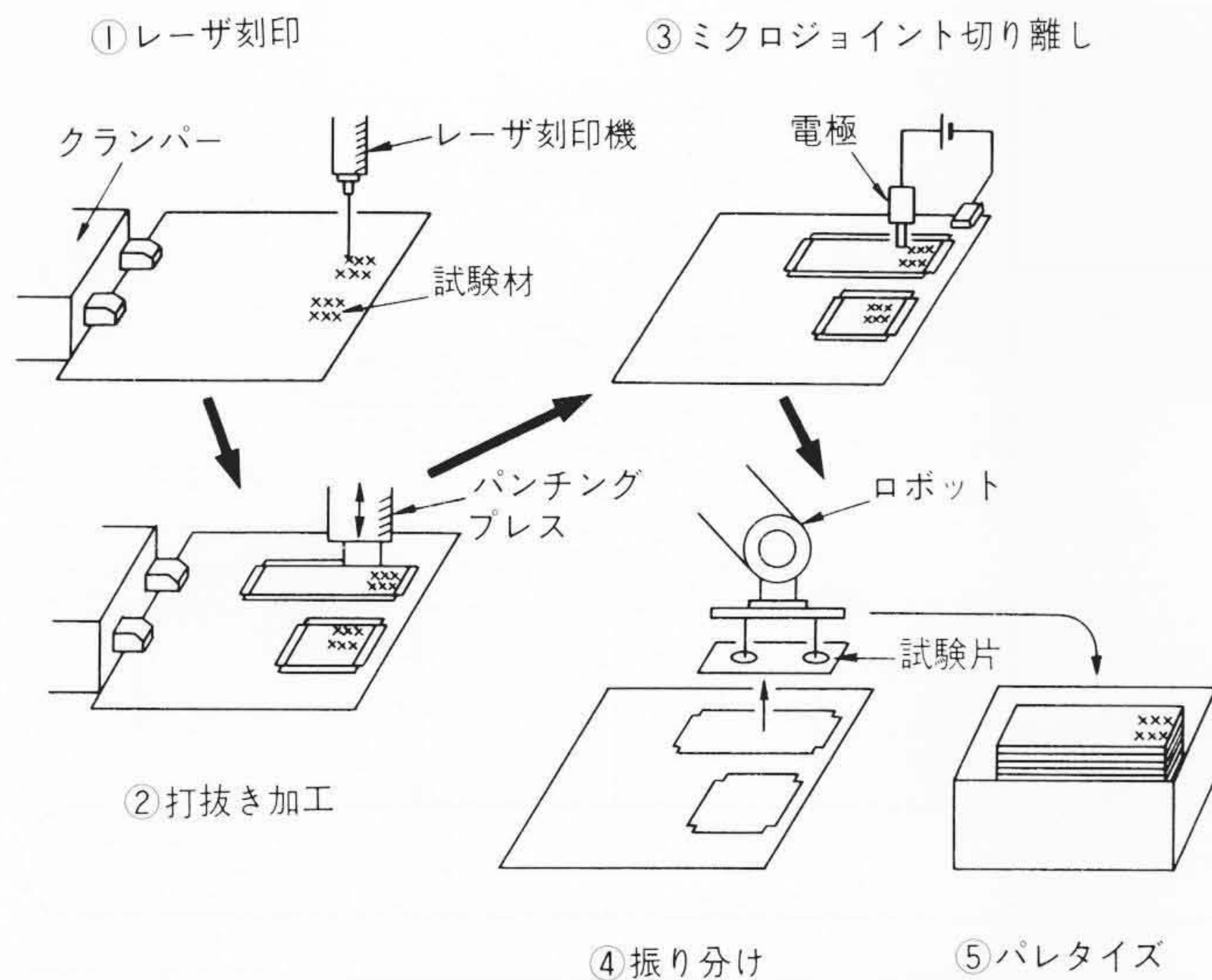


図6 薄板試験片の加工フロー 試験材の受け入れ、刻印、打抜き、振り分けおよびパレタイズを全自動で行う。

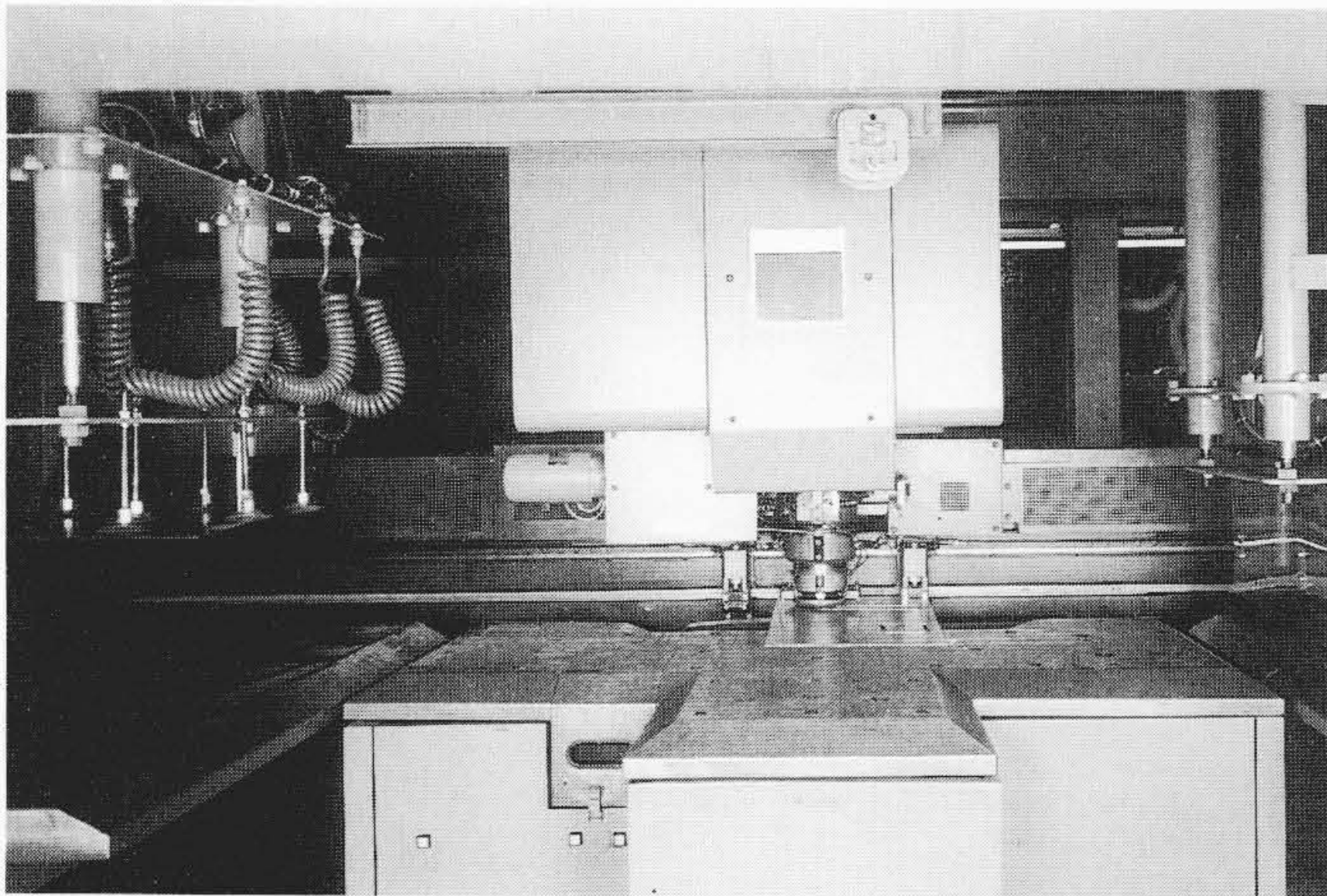


図7 薄板試験片の加工状況 シングルヘッドパンチングプレスにより、高速・高精度打抜きを実現した。

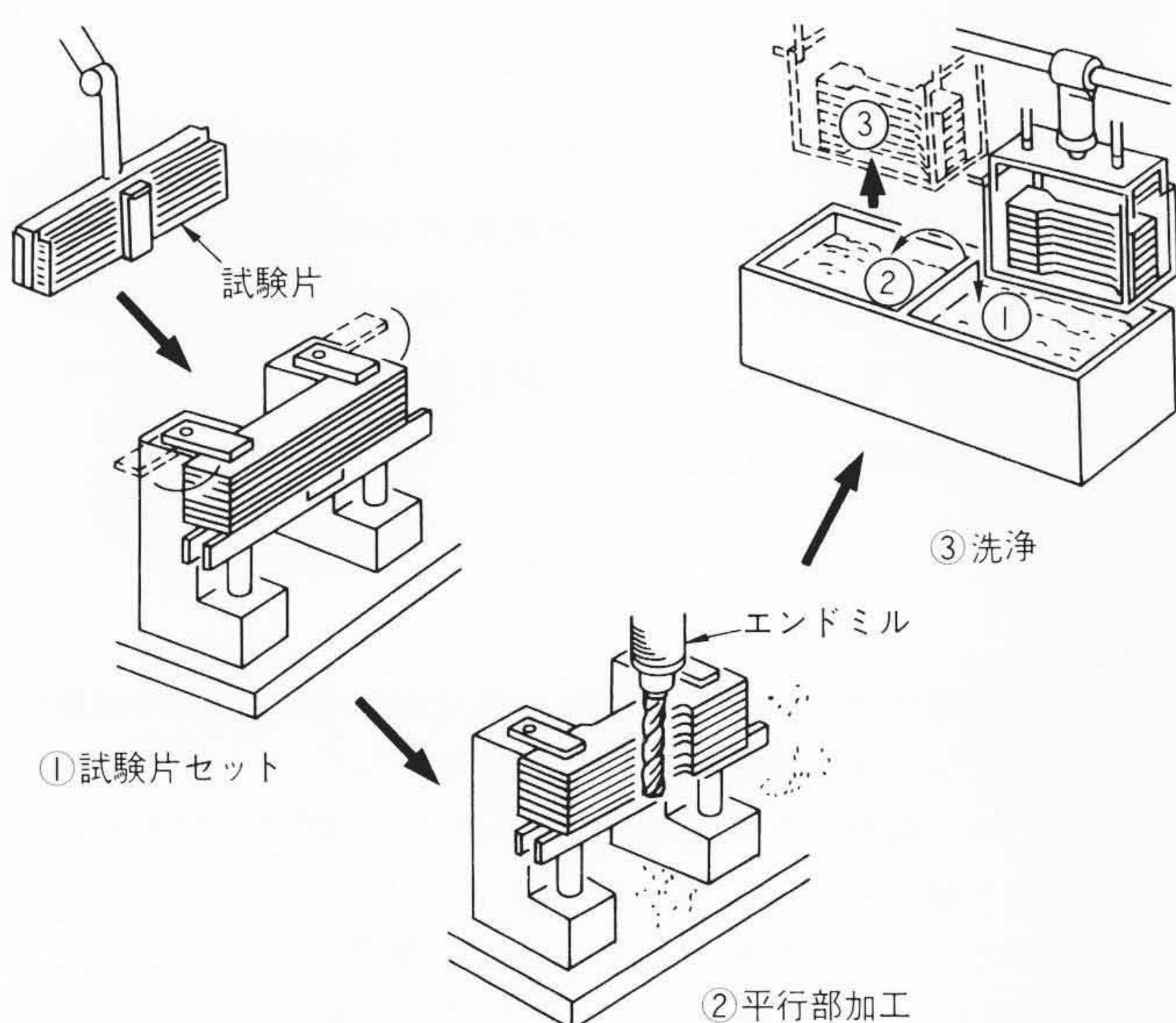


図8 平型引張試験片加工フロー 試験片セット、平行部加工、洗浄などを全自動で行う。

(3) 積み重ねた一次試験片の加工で上部と下部の幅寸法差を許容内にし、びびりを発生させない工具および加工諸元を開発した。

(4) 多数枚同時加工するとき、最上部と最下部の側面に発生するバリを除去する専用ブラシを開発した。

などである。この結果、約20種類の試験片の加工を1種類当たり平均約8分で処理することを可能にした。平型引張試験片加工のフローを図8に示す。

4.5 自動試験

従来は開発が完了している自動試験機と物流・識別管理・生産管理システムを組み合わせ、引張試験・エリクセン試験・シャルピー衝撃試験について試験片の供給・回収、試験の指示、試験結果の伝送まで一連の工程の完全自動化を可能にした。自動試験の状況を図9に示す。

4.6 試験片の識別管理

試験片の加工から試験までの一貫した自動材料試験システムでは、現品確認を主体とする識別管理が必要である。今回試験片の刻印を画像処理を用いて自動読取りし、トラッキング情報と照合する識別管理方法を開発した。従来の機械的な刻印では均質な文字とならず確実な自動読取りが望めない。また試験材の表面性情は、金属光沢のものや酸化膜、めっきで覆われているものなど多種多様であり、安定した自動読取りが困難である。そこでこのシステムでは、(1) 試験片を切り離す前にあらかじめ刻印する位置を研磨し識別番号を刻印(転刻)する。研磨によって自動読取りに適した均質な表面性情が得られるうえ、転刻によりトラッキング情報と試験片の不一致を防ぐ。(2) 英・数字をレーザで刻印する方法を採用、試験片の識別を目視確認できるようにするとともに刻印文字品質の安定化を図るなどの方法を開発した。この結果、自動試験前での試験片の照合を完全自動化し、100%の識別率によって一貫自動工程の信頼性を高めた。



図9 自動試験ライン 無人台車、ロボット、各種自動試験機などで構成し、完全自動処理をする。

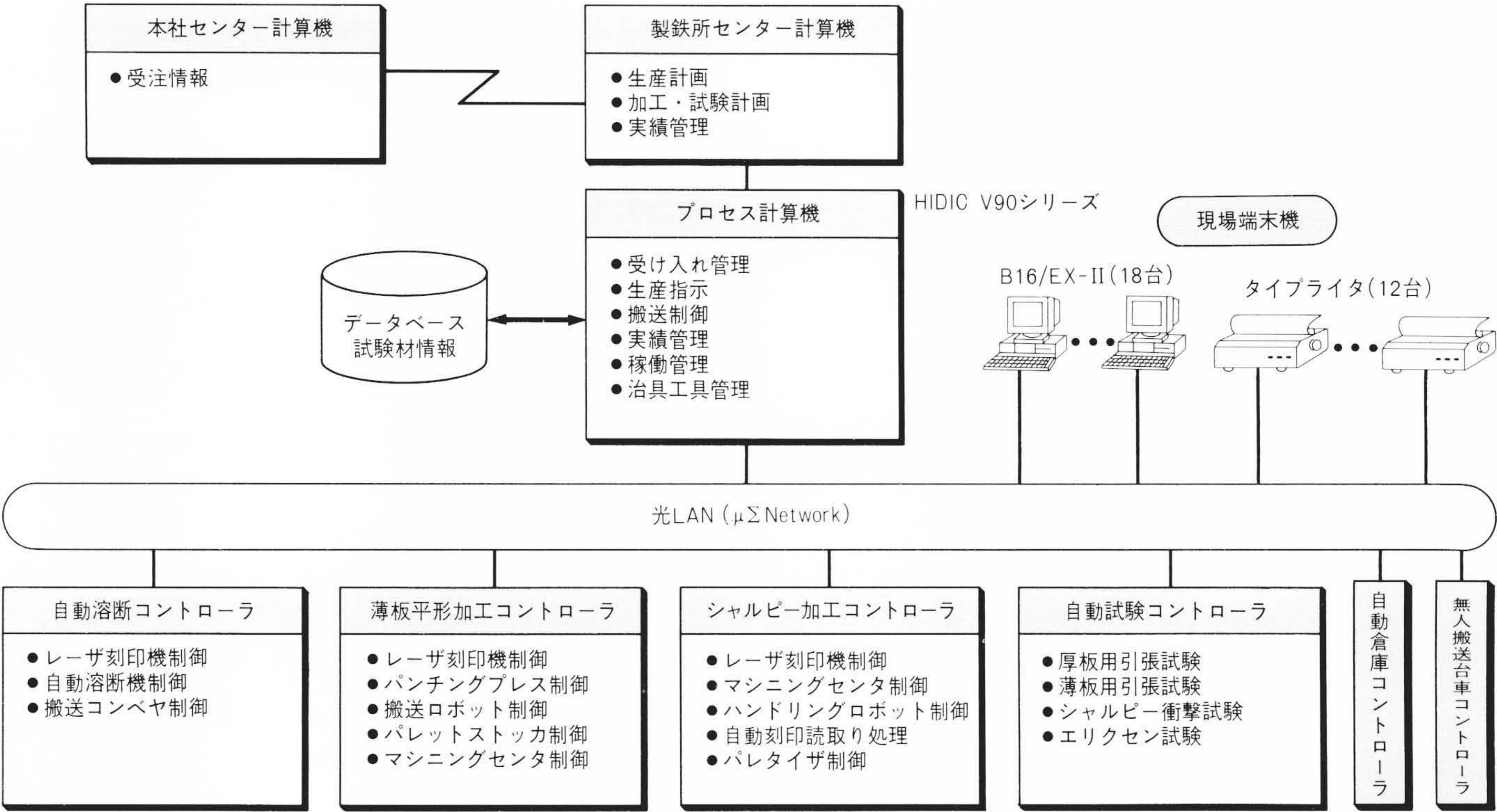


図10 生産管理システム全体構成 センター計算機、プロセス計算機および機器制御コントローラの3階層で構成する。

5 生産管理システム

生産管理システムは、以上述べたシステムのうえに立って、これらを有機的に結合しトータルFAを完成させるために受注情報から試験・検査諸元の作成，加工・試験の指示，材料試験センター内での物流管理，実績収集などのすべてを自動化する計算機システムである。

5.1 システム構成

計算機システムは、製鉄所全体を管理するセンター計算機，材料試験センターの情報を一元管理し物流・加工・試験を管理・指示するとともに，実績収集および生産管理を行うプロセス計算機(HIDIC V90シリーズ)，プロセス計算機と下位制御機器を結ぶLAN(μΣ Network)，加工機や試験機を制御する工程制御用コントローラなどで構成している。全体システム構成を図10に示す。

5.2 システム機能

- (1) センター計算機は、受注情報から材料試験センターで必要な情報(品種・検査番号・試験の種類)を作成する。
- (2) プロセス計算機はこのシステムの中核を成し、センター計算機からの情報をもとに加工・試験ロットの編成を行い、試験材の受け入れから試験完了まで試験片1本単位の管理を行うほか、自動加工機・試験機への指示，加工実績・試験実績の収集・管理，試験片の物流管理を行う。特に大量の情報の一元管理を効率よく行うために、ADF/RS(Advanced Data Management Facilities for Real Times System)を採用し、データ検索の高速化と信頼性の向上を図る。また高効率のシ

ステム運用を図るため、加工・試験の仕掛け状況とバッファの使用状況を管理し試験片の搬送指示を行う。

- (3) 工程制御用コントローラはプロセス計算機の指示情報をもとに、工程内のトラッキングと機器制御および実績情報の生成を行う。

6 結 言

製鉄所での材料試験を材料の受け入れから試験まで一貫して自動処理する技術と，材料試験情報の一元管理を行う生産管理システムを開発することにより，トータルFAを指向した自動材料試験システムの構築を可能にした。このシステムの導入で，以下の効果を得ることができる。

- (1) 材料試験の工期を従来に比べ約 $\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{3}$ に短縮できる。
- (2) 材料試験情報の一元管理と識別管理を含め，徹底した自動化によって品質保証体制をいっそう強化できる。
- (3) 従来，手作業に頼っていた試験片加工の自動化により，要員の大幅な削減が可能となる。

参考文献

- 1) 日本産業用ロボット工業会：24時間稼働型機械的材料試験総合省力化システム策定研究報告書(昭51-3)
- 2) 斉藤，外：鋼材の全自動材料試験システムの開発，日本鉄鋼協会，鉄と鋼，Vol.76，No.4，584～591(1990)
- 3) 土屋，外：福山新材料試験センターの概要，日本鉄鋼協会第117講演大会，CAMP-ISIJ Vol.2，515(1989)
- 4) 前田：福山製鉄所新材料試験センター(FAシステム)，日本鉄鋼協会，第99回計測制御部会前刷集(平1-4)