

---

鋼片工場の探傷システム

Defects Detection Systems in Billet Mill

山崎 順次郎(Junjiro Yamasaki) 馬場 和史(Kazushi Baba) 石渡 英房(Hidefusa Ishiwatari) 中西 輝行(Teruyuki Nakanishi) 三浦 隆義(Takayoshi Miura) 得丸 豊久(Toyohisa Tokumaru)

---

要旨：

水島製鉄所では、条鋼用素材合理化にともない、鋼片 1 品単位で品質情報の把握・蓄積のできる探傷システムを鋼片工場に開発した。このシステムは、全自動運転を基本とする各探傷装置を計算機と結合し、鋼片の品質情報を一括管理することをねらいとしている。探傷装置は、熱間表面探傷装置 1 基、冷間表面探傷装置 2 基、冷間内部探傷装置 1 基から成り、各装置の特性に応じて工場内に配置した。品質情報は、全自動運転と完全ピース管理をベースとして、欠陥の位置と信号強度を特定できる傷マップの形で探傷装置を通して集約し、上下工程で利用可能とした。本システムの基本的な考え方、それに基づく各装置の特徴と機能、品質向上へのアプローチ方法について、概要を述べた。

---

Synopsis：

Defects detection systems have been brought into operation with the rationalization of billet production process in Mizushima Works, aimed at obtaining the quality information of an individual billet and also accumulating the information for an analysis to improve quality of the billet. These systems involve defect detection devices which are interfaced directly to a process computer to realize a fully automatic operation. They are distributed in the billet mill according to their characteristics. Quality information is available in the billet mill through defect maps, specifying the position of a defect and the signal intensity as well, which are edited from defect data gathered by defect detection devices, by utilizing such automation technology as fully automatic operation and fully individual control. The fundamental idea of the systems, the features and functions of each device, and approaches to production with better quality were also explained in this paper.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

## Defects Detection Systems in Billet Mill

### 要旨

水島製鉄所では、条鋼用素材合理化にともない、鋼片1品単位で品質情報の把握・蓄積のできる探傷システムを鋼片工場に開発した。このシステムは、全自動運転を基本とする各探傷装置を計算機と結合し、鋼片の品質情報を一括管理することをねらいとしている。探傷装置は、熱間表面探傷装置1基、冷間表面探傷装置2基、冷間内部探傷装置1基から成り、各装置の特性に応じて工場内に配置した。品質情報は、全自動運転と完全ピース管理をベースとして、欠陥の位置と信号強度を特定できる傷マップの形で探傷装置を通して集約し、上下工程で利用可能とした。本システムの基本的な考え方、それに基づく各装置の特徴と機能、品質向上へのアプローチ方法について、概要を述べた。

### Synopsis:

Defects detection systems have been brought into operation with the rationalization of billet production process in Mizushima Works, aimed at obtaining the quality information of an individual billet and also accumulating the information for an analysis to improve quality of the billet. These systems involve defect detection devices which are interfaced directly to a process computer to realize a fully automatic operation. They are distributed in the billet mill according to their characteristics. Quality information is available in the billet mill through defect maps, specifying the position of a defect and the signal intensity as well, which are edited from defect data gathered by defect detection devices, by utilizing such automation technology as fully automatic operation and fully individual control. The fundamental idea of the systems, the features and functions of each device, and approaches to production with better quality were also explained in this paper.



山崎 順次郎  
Junjiro Yamasaki  
水島製鉄所 電気計装部  
電気計装技術室 主査(課長)



馬場 和史  
Kazushi Baba  
水島製鉄所 電気計装部  
電気計装技術室 主査(掛長)



石渡 英房  
Hidefusa Ishiwatari  
水島製鉄所 電気計装部  
電気計装技術室



中西 輝行  
Teruyuki Nakanishi  
水島製鉄所 条鋼圧延部  
条鋼技術室 主査(課長)



三浦 隆義  
Takayoshi Miura  
水島製鉄所 条鋼圧延部  
条鋼技術室 主査(掛長)



得丸 豊久  
Toyohisa Tokumaru  
水島製鉄所 条鋼圧延部  
鋼片課 掛長

## 1 緒 言

水島製鉄所において条鋼向け素材生産システムの合理化を目的として連铸から圧延までの連続プロセスの開発を行い、昭和59年2月から営業運転を開始したり。従来の丸ビレット製品は、No. 1およびNo. 3ブルーム連铸機で铸込後、大形、中形および旧鋼片の3工場で分離生産していたため、物流のハンドリングコストを始めとして労働生産性、省エネルギー、リードタイムなどの改善すべき課題を残していた。とくに、シームレスパイプ素材となる丸ビレットの品質管理は、当社の主力鋼管製造工場である知多工場における検査が中心で、素材生産工程への品質情報のフィードバックや品質情報の定量化といった品質管理の体質強化を志向しても限界があった。また、外販用の丸棒についても、オペレータの介在する手動方式の装置を用いた検査が主体で、すべての材料の全長にわたる検査の実施、検査実績の蓄積などの点から、自動化を前提とした検査設備が望まれていた。そこで、最近の厳しさを増しているユーザーの品質ニーズに応じていくためには抜本的な対応が必要と判断し、新

プロセスにおいては、高品質の製品製造を可能とする設備計画を基本とすると同時に、品質改善につながる品質情報の収集ができる検査設備ならびに検査システムの構築を目指した。

本報文では、この新プロセスに組み込まれた、製品の表面および内質の検査装置の機能と特徴および品質改善のアプローチについて概要を述べる。

## 2 鋼片工場における探傷システムのねらいと仕組み

### 2.1 鋼片工場の概要

鋼片工場は、合理化後の新プロセスの中核をなす工場として位置づけられる。本工場の建設の基本理念は、省力のための自動化と省エネのための連続化に加えて、鋼片1品単位の品質管理システムの構築による一貫品質保証体制の確立にあり<sup>2)</sup>、次の点を基本として

\* 昭和61年2月18日原稿受付

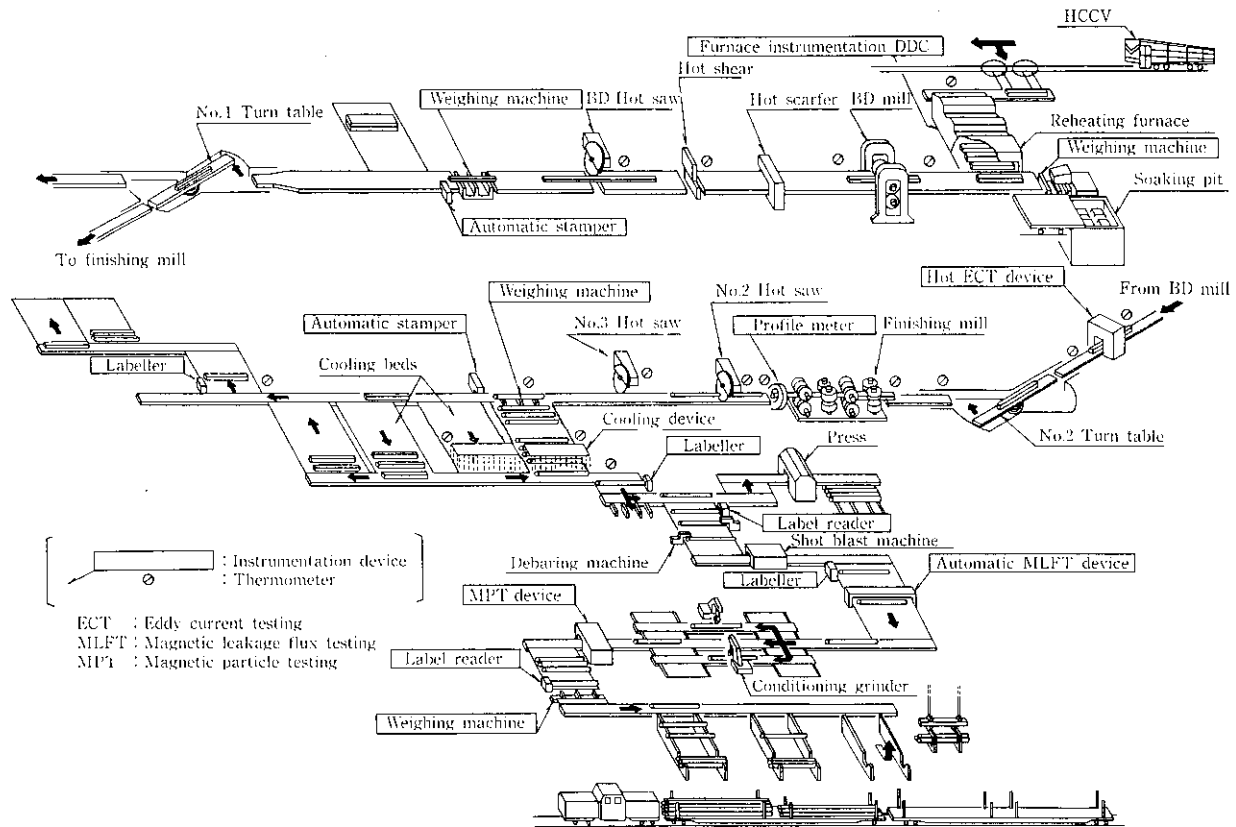


Fig. 1 Layout of the billet mill

いる。

- (1) 連続プロセスでの大量不良材発生の防止には、1品ごとの品質のライン上での良否判定、すなわち、検査・探傷の設備およびその情報を利用する情報ネットワークが必要である。とくに、省エネ推進のためには、熱間のリアルタイムの表面品質の評価が有効である。
- (2) 厳しさを増すユーザーズに確実に対応していくためには品質の作り込みが重要であり、そのためには、操業の条件と品質との関係を解析可能にする必要がある。すなわち、品質のトレーサビリティの確立と品質情報の定量化を指向することが重要である。

Fig. 1 に、鋼片工場の設備レイアウトを示す。前記の基本理念を実現するために、設備全体をプロセスコンピュータを中心とした計測制御システムによって管理している<sup>3)</sup>。

Fig. 2 に、鋼片工場の外販用丸棒 (SC) 専用の精整設備を示す。本設備は外販用丸棒が比較的生産量が少ないこと、また、操業上多様なユーザーズに対応するため、オペレータの手動介入が多いことから鋼片工場本体とは独立した設備として建設し、昭和60年10月に稼動を開始した。本設備においても、鋼片1品単位の品質情報管理を実施している。

### 2.2 探傷装置の特徴

鋼片工場における品質保証は、大きく表面品質と内部品質とに分けられる。探傷装置は、これらの欠陥を把握するための検出端として位置づけられ、対象とする材料の表面状況(粗さ、凹凸、スケールの有無)、温度、検出する欠陥の大きさ、形状などによって種々の探傷方法を採用しており、これらタイプの異なる探傷機をその特徴を考慮して工場各所に適正配置した。

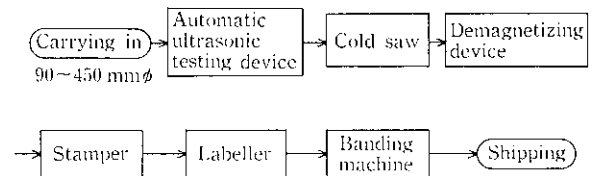


Fig. 2 Layout of SC conditioning line

鋼片工場では、熱間での表面探傷機を1基、冷間での表面探傷機を2基、そして冷間の内質の探傷機を1基設置している。これらの探傷装置のうち、自動化を図った3基の共通的特徴は次の点である。

- (1) 検出すべき欠陥が、ユーザーズなどにより、微細化の方向にあるため検出端の小型化および多チャンネル化により検出力の向上と設備の処理能力の向上を図った。
- (2) 検査の適正な実施の保証とオペレータ負荷の軽減の2点を目的として、多チャンネル化にともなう各素子の感度のばらつきを補正するための校正装置の設置と校正の自動化を図った。
- (3) 探傷諸元の設定は人手を介さず、上位計算機から自動的に行うようにした。また探傷の実績も、同様に上位計算機へ伝送するようにした。これにより、完全自動運転を達成するとともに、欠陥の深さと位置を2次元展開した傷マップを作成し、上工程あるいは下工程で探傷情報を利用可能とした。
- (4) 上位計算機に伝送した傷マップを基に品質解析のためのデータベースを構築した。

いずれも、近年技術進歩の著しいマイコン応用技術および半導体センサ技術を最大限に活用したものである。

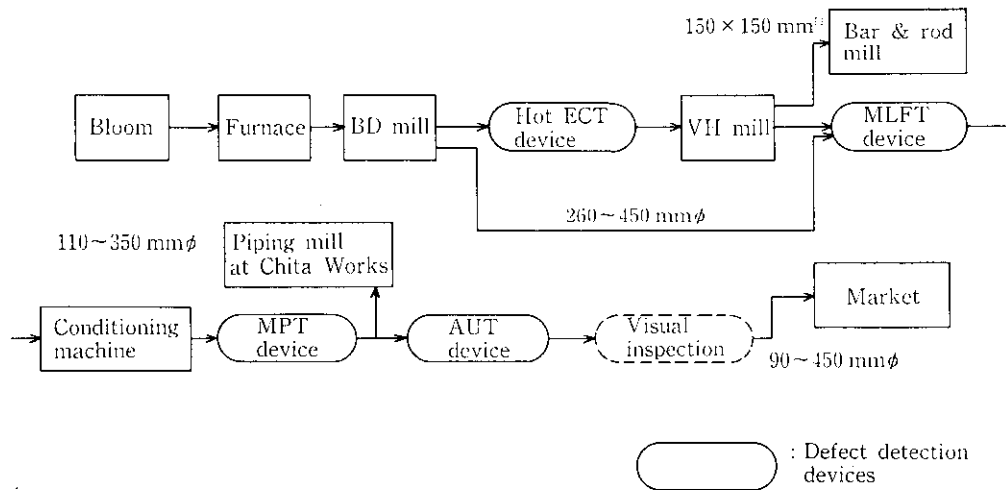


Fig. 3 Material flow and distributions of defect detection devices

2.3 品質情報の利用

欠陥は表面と内質とを問わず発生を抑制することが本質的な対策であるが、その発生機構については操業条件、材料の性質、欠陥に関する定量的なデータの不足などから、系統だった説明が難しいのが現状である。鋼片工場においては、データを収集する目的で前節で述べたような解析用データベース (DB) をセントラルコンピュータ (C/C) に構築し、端末からの操作によってデータの呼出し、加工、グラフ化などを可能とした。内質の探傷においては、断面の深さ方向を3段階に分け、連铸で問題となる介在物の存在位置を分離識別することで欠陥生成要因の解析を容易化している。

発生した欠陥については可能な限り早期に抑制することが必要であり、また下工程においては、表面欠陥であれば手入を実施し、内質の欠陥であれば該当品のリジェクトないしは向先の振替を実施し、最終的に良材のみを出荷することが必要である。鋼片工場では、前節で述べたマップ化による探傷情報の集約を行い、それに基づいてオペレータにガイダンスし、情報のフィードバックおよびフィードフォワードが可能である。また、表面欠陥に対しては、冷間において自動傷マーキングを該当欠陥直上に打った後、グラインダ研削してから再度磁粉探傷装置による探傷を行い、研削残しや見逃しの発生を防止するという二重のチェックを実施している。

上記の点を考慮して、各探傷装置の設置を検討し、工場全体のレイアウトにも反映している。その結果、省エネ効果の大きいホットチャージ実施可否の判断を主目的とした熱間における表面探傷装置を初めに設置し、次いで、シームレス素材の表面品質を管理するための全材料を対象とした冷間の表面探傷装置を設置した。さらに表面品質の保証に万全を期すため微細な欠陥も検出できる磁粉探傷機を研削装置の後面にシリーズに配置した。また、内質については、見逃しの追放と品質解析を目的として全断面型の自動超音波探傷機を設置した。Fig. 3 に、ブロックダイアグラムを示す。

3 各探傷設備の機能ならびに仕様

3.1 熱間表面探傷

鋼片工場に搬送されるブルームは、連铸工場出側で熱間ショットプラストと組み合わせた光学法<sup>4)</sup>の表面探傷を実施し、大型の欠陥は除かれている。したがってここでは加熱炉内および Break down (BD) ミル圧延後のシーム傷が主たる検出対象である。本装置は、

欠陥の深さの定量化と深さ 1 mm 程度の欠陥を把握したいというニーズから、光学式を避け渦流式を選択した。設置箇所は BD ミルと VH ミルの中間とした。この理由は、これより下流側では材料表面温度が 850°C を下回ることがあり、キュリー点近傍の透磁率変化による擬似信号の影響が大きいと判断したためである。

Table 1 に本装置の品質情報上の機能を示す。主たる機能は、線棒向けホットチャージ (HC) 材の可否判定である。本装置の仕様を Table 2 に示す。

本装置の特徴は、次の点にある。

- (1) 固定ヘッドタイプのプローブによる L 方向シーム欠陥 (10~120 mm<sup>2</sup> × 1.0 mm<sup>φ</sup>) の検出
  - (2) P/C による大中小 3 水準傷マップの作成と傷情報システム
- 固定ヘッド方式は、L 方向傷の検出に対して次の点が問題であった。
- (1) プローブの、傷形状に対する検出特性の安定性確保
  - (2) 傷のプローブ通過位置による検出特性の安定性確保
  - (3) 傷とプローブの通過角度の出力特性の変動最小化

これらに対し、ラボ実験により最適形状プローブを決定し、1つのコイルの有効検出範囲を 12 mm とし、1つのユニットを 21 チャンネル計 84 チャンネルのプローブ構成で、ビレット全周面の探傷を行い、1 mm<sup>φ</sup> のシーム傷を検出可能とした。感度の校正装置は、各プローブの位置に対応するオーステナイト系ステンレス (SUS 304) 材に人工傷 (1.0 mm<sup>φ</sup> × 2.0 mm<sup>2</sup> × 0.5 mm<sup>φ</sup>) を加工

Table 1 Functions of hot ECT device in quality information system

Type	Functions
Feedback	1. Control of occurrence of defects on bloom at casting 2. Prevention of occurrence of defective product in large amount 3. Control of hot-scarfing machine
Feedforward	1. Assorting hot-charging billets for bar and rod mill 2. Quality judgement of hot-charging billets for bar and rod mill 3. Instructions to condition the surface of billets to conditioning yard of billets in bar and rod mill

Table 2 Specifications of hot ECT device

Item		Specifications
Material dimensions of square billet		145, 180, 220, 280 mm <sup>□</sup> 25R at corner
Surface condition	Finish	As rolled
	Roughness Ra	80 μm
Temperature		850 — 1 000°C
Speed of conveyance		60 m/min
Lift off	Mechanical distance	4 mm
	Electrical distance	6 mm
Number of probes		21 channels × 4-units (for 4-surfaces & 4-corners)
Non-testing area	Top	550 mm
	Bottom	550 mm
Standard test piece for calibration		SUS 304 stainless steel with an artificial defect
Frequency		64, 32, 16 kHz

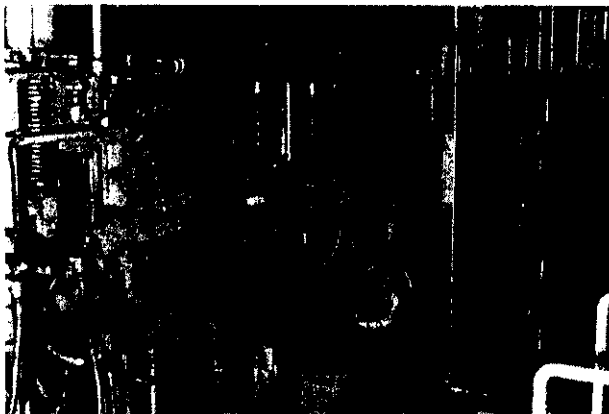


Photo 1 Hot ECT device in detection

し、往復運動を行う構造とし、探傷を開始する前に使用される。**Photo 1**に、探傷中のプローブユニットを示す。

本装置のシステム構成を **Fig. 4** に、また各階層の計算機の役割を **Table 3** に示す。探傷基準レベルの決定は、水島製鉄所生産管理用計算機（オンラインコンピュータ、O/C）で行い、ここで大、中、小の傷判定レベルを鋼種規格ごとに決定し、P/Cを経由して探傷機側のマイコンに伝送する。探傷装置は、搬送テーブルの回転信号を取り込み、50 mm ピッチでビレット長さ方向に探傷し、シフトレジスタを介して Front End Processor (FEP) に探傷結果を伝送する。FEPは全チャンネルのステータスを 50 mm ごとに走査し、P/Cでビレットの傷マップを作成する。作成された傷マップは、さらに編集して、C/Cへビレット1本あたり 1 200 char 伝送される。C/Cではバッチ解析用のデータベースが作成される。

**Fig. 5** は本装置の検出性能を示す。当初のねらい通り S/N ≥ 3 で、1mm 深さの傷を検出している。

**Fig. 6** に P/C から CRT 端末に出力した、4面4コーナーの探傷結果の表示画面の1例を示す。この傷情報は、VH ミル圧延前の探傷結果をもとにして、ホットソーで据断した後のビレット1本ごとに編集される。

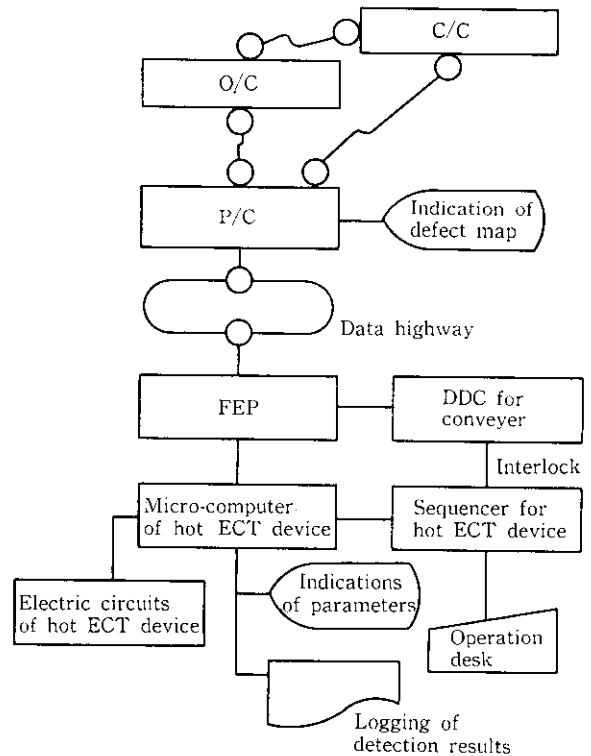


Fig. 4 Information system of hot ECT device

Table 3 Functions of computers on hot ECT device

Computer	Functions
Central computer (C/C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Constructing a data base from detection results of individual billet (For filing &amp; analyzing of defect maps on a batch basis)</li> </ul>
On-line computer (O/C) (Coverage: from CC to bar and rod mill)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Decision of application of hot ECT device</li> <li>Decision of detecting levels (large, medium, small)</li> <li>Quality judgement according to detection results</li> <li>Transfer of files of detection results to CC system, and bar and rod system</li> </ul>
Process computer (P/C) (Coverage: billet mill line)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Making a defect map</li> <li>Tracking of a detected billet</li> <li>Filing tables of detecting parameters (for all billets)</li> </ul>
Front end processor (FEP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transfer of detecting parameters</li> <li>High-speed scanning of detection results</li> <li>Checking detection device</li> </ul>

### 3.2 冷間表面探傷<sup>5)</sup>

冷間の表面探傷装置は、丸ビレット全量すなわち、知多製造所向けのシームレス素材用ビレットおよび外販用丸棒 (90~400 mmφ) を対象として、鋼片工場丸ビレット精整ヤードに設置した。探傷方式は漏洩磁束方式 (MLFT) と磁粉探傷方式 (MPT) の2種を用いている。**Table 4** に、2つの方式の評価と使い分けの方法を示す。本工場においては、**Fig. 1** に示すように両方式の長所を最大限に生かすため、ラインの物流上、研削機をはさみ前後に配置し、前者 (MLFT) をすべての材料の探傷に適用し、後者 (MPT) を研削後の傷残りチェックおよび検査精度要求の高いものに適用している。

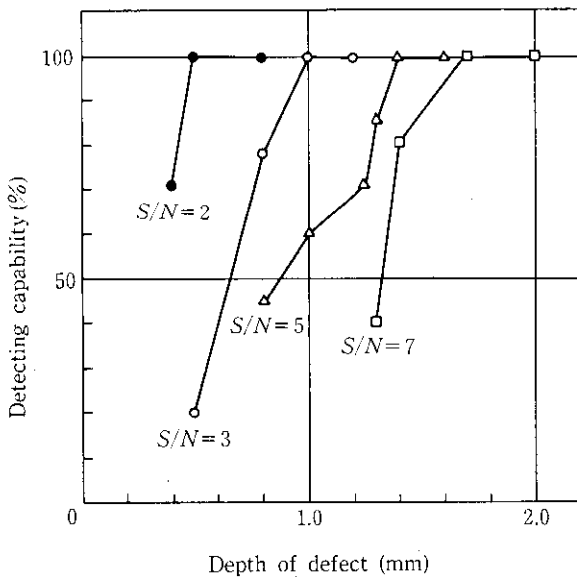


Fig. 5 Detecting capability of hot ECT device

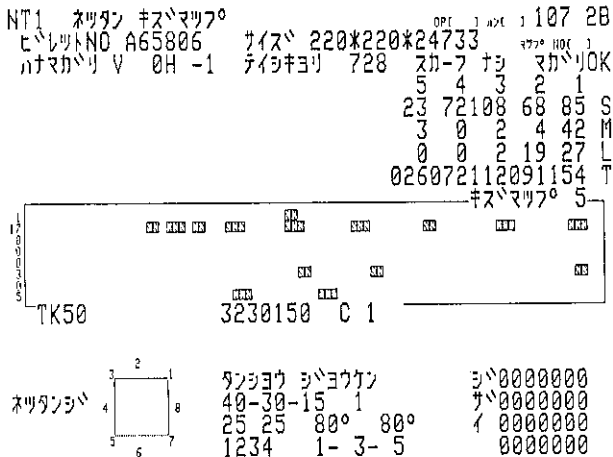


Fig. 6 A CRT display of a result of hot ECT device

このような使い分けにより、ラインの効率的運用と高い品質保証レベルを保つことが可能となった。走間磁粉探傷機の設備仕様を Table 5 に示す。

漏洩磁束探傷装置の特徴は、次の点である。

- (1) ヨークの交換作業以外は、校正も含めて全自動化した。
- (2) へげ、縦割れを中心とした微細欠陥 (5mm<sup>2</sup>×0.3mm<sup>φ</sup>) を検出するために、検出端にホール素子を用い、高密度配置した。
- (3) 研削作業の能率向上と自動研削を可能とすべく傷の P/C による精密マップ化を図った。
- (4) 1 台の探傷装置で、90~400mmφ の広い丸ビレット径レンジと最大 80 000 t/month の処理能力に対応可能とした。
- (5) ビレット全品に対し、品質解析用 DB を C/C に構築した (1 200 char/ビレット)。
- (6) 欠陥の直上にマーキングを行うため、応答 5ms のマーキングガンを開発した。

本装置の主仕様を Table 6 に、装置全体図を Fig. 7 に示す。本装置は、全自動無人化を前提として設計し、励磁に用いるヨークの交換を除いて、校正作業、材料仕様および探傷諸元のセットア

Table 4 Comparison of MLFT and MPT devices

	Automatic MLFT device	MPT device
Variable observed	Magnetic flux	Fluorescence relating to magnetic flux
Sensing element	Hall element	Visual inspection
Detecting capability	Good	Better
Stability of detection	Stable	Unstable
Efficiency	High	Low
Detecting level	Alterable	Difficult to change
Applications (Evaluation)	Applied to all the billets	Applied to checking after conditioning and detecting in precision

Table 5 Specifications of magnetic particle testing device

Item	Specifications
Method	<ul style="list-style-type: none"> <li>Axis plod method</li> <li>Encircling coil method</li> </ul>
Detecting ability	0.2 mm depth, and 5 mm length for scabs and longitudinal crack
Magnetization	6 000 A for axis prod method 10 000 AT (Ampere turn) for encircling coil method
Automatic position control of contacting rollers (electric poles)	4 steps due to diameter of billet

Table 6 Specifications of automatic MLFT device

Item	Specifications
Method	Magnetic leakage flux testing method
Magnetizing frequency	AC 3 kHz
Sensing element	Hall element
Sensor Arrangement	Number: 24 at each head (48 in total) Distance between elements: 5 mm
Sensor Coverage	120 mm/rev.
Rotating speed	0.5 — 1.2 m/s
Capacity	80 000 t/month
Marking	Divided into 3 groups of red, yellow and white according to the degree of defects
Material inspected	Round billets Dia.: 90 — 400 mm Length: 5.5 — 12.5 m Steel grade: Carbon steel, alloy steel Surface condition: Shot blasted Total bend: 4 mm/m Top bend: 15 mm/m

ップは P/C により自動化した。探傷は、被検査材の丸ビレットがターニングローラ (T/R) 上で回転し、探傷台車が横行することで、スパイラル状に丸ビレット表面を全面走査する。不感度を最小にす

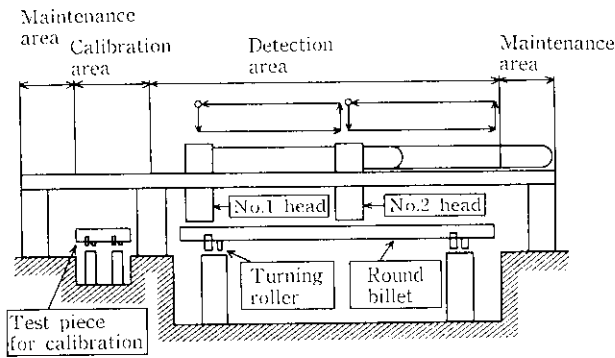


Fig. 7 Constitution of MLFT device

るため材料端面では、ヘッドを停止して材料のその場回転を行うとともに、横行速度を材料に追従させて、材料回転の速度変動による不探傷部がないよう配慮している。ヘッド部の追従機構によってヘッドを材料に強制的に追従させ、最大 2.0 m/s まで回転可能である。校正はヨークの交換時に P/C からの指示によって一連の探傷を停止して行う。交換後の校正棒の自動選択、No. 1, 2 ヘッドの APC, 各チャンネルの人工傷による自動校正、新サイズ仕様ビレットへの復帰探傷の一連の校正動作を自動化した。これにともない、校正時の信号処理も自動化し、オペレータの負荷軽減と校正作業の精度・信頼性の向上を図っている。

微細化した欠陥を検出するため、検出端は小型で温度係数が小さくかつ高感度のホール素子を、5mm ピッチで 24ch (各ヘッド) 配した。

探傷結果を表示するために、探傷台車にマーキングガンを搭載した。欠陥検出の信号と材料の回転速度から時間遅れを演算し、該当欠陥の直上にマーキングを実施している。これらにより、手入れ時の見逃しの防止をねらった。従来型のマーキングガンでは応答の遅れと、ガンの大きさが問題であったが、前者は直流励磁方式による高速化(応答 5ms)、後者は多連ガンによるコンパクト化の開発により解決した。

マーキングに加え、探傷機からの出力信号と、各探傷台車の位置および材料の回転角の情報から欠陥のマップを P/C で作成している。

Photo 2 に、P/C で作成した傷マップの CRT 画面の一例を示す。この傷マップを研削グラインダに伝送し、全自動駆動(位置決

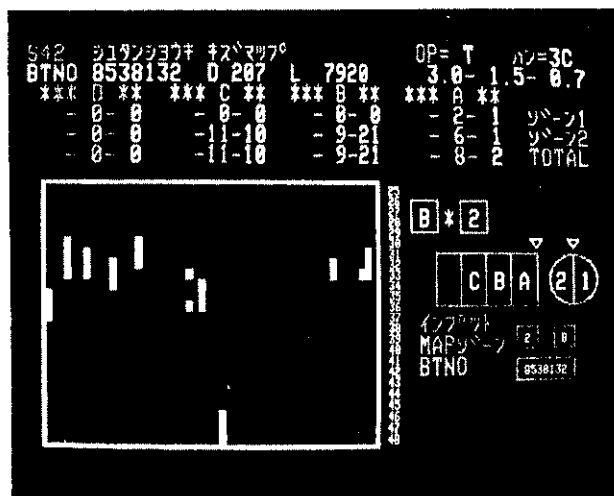


Photo 2 An example of defect map

めと研削パス回数の決定)して、全自動手入りを可能としている。

Fig. 8 に本探傷装置を中心とした時の全体システムの構成を、また図中の主要信号および情報ルートの役割を Table 7 に示す。探傷機からの出力信号は、FEP を介し、P/C でマップ化処理を行う。マップ化のための材料の回転角検出は材料に書き込んだ原点マークの検出によって初期化し、ターニングローラの PLG 信号をカウントすることで、回転角を決定する。この原点マークは、材料端面に幅 3mm×長さ 200mm の蛍光塗料による線状マークであり、マークの検出は、ターニングローラ下部に取りつけた投受光装置で行う。Photo 3 にその概観を示す。この原点マークの検出により、材とターニングローラのスリップに起因する回転角の累積検出誤差は、高々、材料 1 回転内に収まり、後面に設置した研削グラインダの自動運転が可能となった。

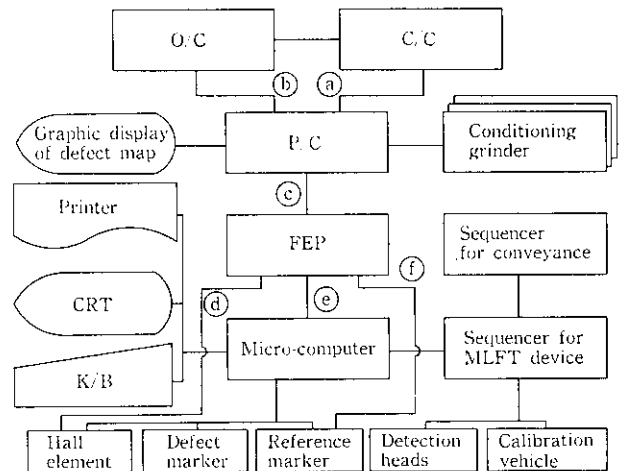


Fig. 8 Information system of automatic MLFT device

Table 7 Functions of MLFT devices

Route*1)	From-to	Kind of information	Functions
a	P/C→C/C	Actual defect map information	Data for quality analysis of individual billet
b	O/C→P/C	Order information	Basic data for automated detection (e.g. dimensions, standard, steel grade, allowable grinding depth of billet)
	P/C→O/C	On-line qualifying data	
c	P/C→FEP	Parameters	Detecting parameters and data for making defect map
d	Hall element→FEP	Defect signals	Original data for making map
	FEP→Micro-comp.	Parameters of detection	
e	Micro-comp.→FEP	Actual detection data	Backup data for automatic conveyance
	Reference mark detecting device→FEP	Rotation signal of billet	
f	Reference mark detecting device→FEP	Rotation signal of billet	Correction for position of detecting heads in circumference direction

\*1) See Figure 8



Photo 3 Reference mark detecting device

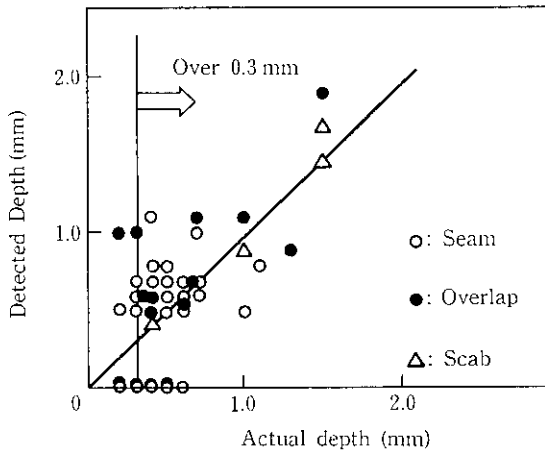


Fig. 9 Performance of detection results

Fig. 9 に本装置の探傷結果の1例を示す。割れ、へげ、折れこみにおいて、0.3mm以上の深さの傷を100%近く検出している。

### 3.3 冷間内部探傷

冷間の内部探傷は主として外販用丸棒について実施している。従来はマニュアルの探傷で人手を介していたが、順次、これから述べる自動超音波探傷装置 (AUT) に切り換えつつある。

本装置の特徴を以下に記す。

- (1) 90~450mmφ のピレットにおける垂直と斜角の探傷方式を組み合わせた全断面探傷
- (2) 断面の深さ方向3分割 (表皮下, 中間部, 中心部) の傷マップ表示
- (3) ハードディスクおよびフロッピーディスクによる探傷結果解析の容易化, 探傷諸元と校正諸元の設定の容易化
- (4) 校正装置の付加と自動校正
- (5) 機構上およびシーケンス上の対応による不感度の最小化

本装置の主仕様を Table 8 に示す。厳しくなるユーザーズ, 品質の向上のための品質解析と情報収集を目的とし, 垂直と斜角のコンビネーションで, 全断面探傷を可能とした。また, 90~450mmφ にわたる広いレンジの断面を探傷するため, 探触子を対象材の径に応じて3段階に分割し, 使い分けている。

全断面探傷の特徴を生かし, 欠陥発生の原因解明に寄与することを目的として, 材料長手方向の位置特定ができるとともに, 表皮下, 中間部および中心部の断面を3分割して表示のできる傷マップを, 探傷機内のマイコンで作成している。Fig. 10 にその1例を示

Table 8 Specifications of AUT device

Item	Specifications
Type	Material rotating type
Method	Water gap method
Detecting area	Total area of the section
Sensor arrangement	Number of channel: normal 4 angle (+) 4 angle (-) 4 Pitch: 20 mm
Detection coverage	80 mm/rev.
Capacity	45 t/h
Marking	On the surface of defects

** 傷マップ情報 **					85年11月20日22時52分
SEQ NO	ピレットNO	レベル1	レベル2	探傷日付	
1	1000000P	否	否	85年11月20日22時45分	
2	1000000P	否	否	85年11月20日22時51分	

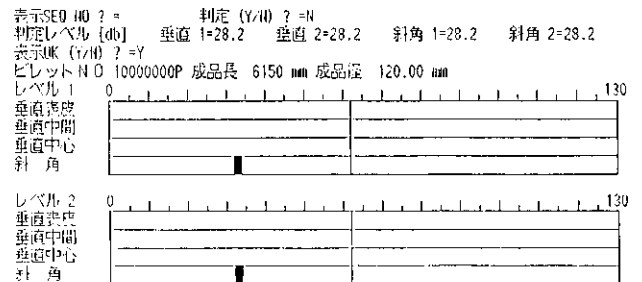


Fig. 10 An example of a defect map of AUT device

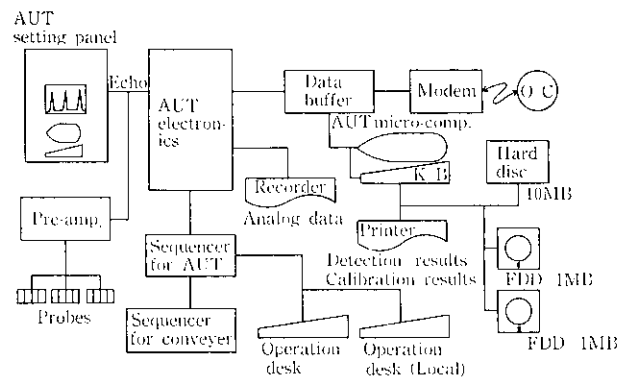


Fig. 11 System construction of AUT device

す。Fig. 11 に, 本探傷機のシステム構成図を示す。O/C と探傷機間は, 材料一本ごとに設定情報と実績情報のやりとりを行っている。探傷機内には複数の CPU を設け, 探傷設定管理, 通信用バッファ管理などを行っている。中でも情報の格納, マップ処理, CRT 表示, 探傷モード管理などのマンマシンインターフェースの部分は, 16ビットのマイコンで行う。これには, 1MB のフロッピーディスク (FDD) を2台, 10MB のハードディスクを1台接続して, O/C 情報に代わる探傷設定情報, 校正に代わる校正実績情報をそれぞれ FDD に, マップ情報および探傷実績情報をハードディスク



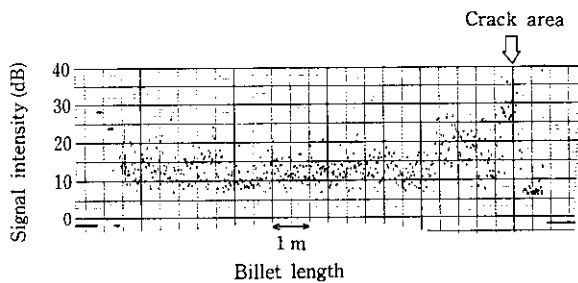


Fig. 12 An example of analog output of AUT device in detection of 110 mm $\phi$  billet

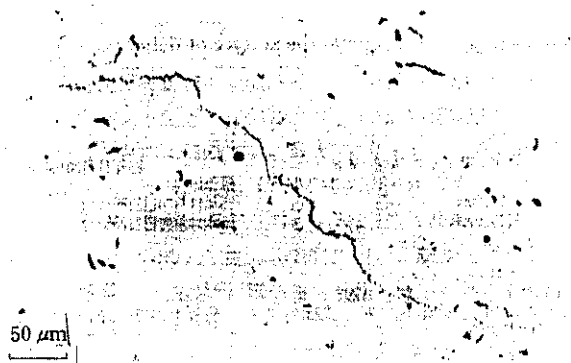


Photo 4 A detected defect

に記憶することが可能である。これによって、O/C情報による探傷諸元設定の自動化を実現し、一方で探傷装置に必要な設定情報への介入とこの保存が簡易な操作で可能になり、実験的条件の再現や多様な材質への設定にも柔軟に対応できる。

校正装置は、距離振幅補正 (DAC) を行うため、サイズごとにテストピースを製作し、深さを変えたドリルホールを2点探傷させ、探触子による感度差を補償している。機構上の特徴としては、校正棒交換の容易化を目的として、校正棒の移動台車を設けている。

Fig. 12 に本探傷機の 110 mm $\phi$  材のビレットの1本分の波形例を示す。材料後端の波形に対応する箇所を切断顕微鏡写真を Photo 4 に示す。材料中心部に内部割れが検出された。

#### 4 品質向上へのアプローチ

鋼片工場では、材料を一本ごとにトラッキングしているため、ある材料に関する品質情報を任意のタイミングで種々の装置に設定あるいは伝送することができる。この工場内のネットワークによって、高度な自動化と品質情報のリアルタイムの利用を可能とした。この品質情報のリアルタイムの利用について、研削機とホットスカーファの場合を以下に示す。

##### (1) 情報のフィードフォワード的利用

冷間の漏洩磁束探傷で作られたマップは、原点マークの検出によって材料と正確な位置の対応がとれる。この情報を P/C で集約し研削機に伝送することにより、研削の自動化が図れる。研削機側では、探傷機と同様な読取り装置によって原点を検出し、T/R と組み合わせて全自動駆動 (位置決めと研削パス回数、砥石の押しつけと切り上げ制御) を実施できる。

これは、探傷機をセンサ、研削機をアクチュエータとみた自動手入システムである。このシステムのポイントは、欠陥位置と欠

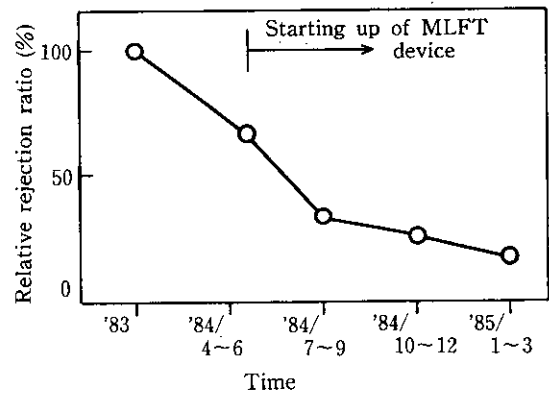


Fig. 13 Diminishing trend of rejection ratio after piping at Chita Works

陥深さの正確な把握である。前者については、P/C 内のマップ化処理と、前述の原点マークにより技術上の問題がクリアできる。後者については、探傷装置からの信号のばらつきによる過大および過小研削が問題になるが、これに対しては、材料表面をスカーフィングし表面欠陥の種類を限定することが有効である。このことは、欠陥形状による信号への影響が大きいと考えられる。

##### (2) 情報のフィードバック的利用

熱間探傷装置の探傷結果をプロセスに反映するのに、単に前述した合否判定だけでなく、積極的に品質の向上に利用する方法としてホットスカーファの適用の要否の判定さらにスカーファのスカーフィング深さの制御を行うことができる。

熱間探傷の結果から、材料の面の選択、酸素やプロパンの流量と圧力制御を行いスカーフィング深さの制御を実施して、不良材発生の際に、迅速に、必要最小限のスカーフィングにより、品質と歩留まりのバランスをとることができる。

このような利用方法は、生産工場の目指している各種の指標、すなわち生産能率向上、歩留まり向上、原単位削減、省エネルギー、省力といった相互に関連する指標を、品質の作り込みを前提として、合理的に調整することができる。このような品質情報の利用により、

- (1) 計算機を中核とした工場各機器のネットワーク化の技術
- (2) 傷の位置と大きさを把握するマップ化の技術
- (3) 材料のトラッキング技術
- (4) ホットスカーファ、研削機などのアクチュエータの自動化技術

をベースとして、単なるシーケンシャルな分岐・合流といった自動化だけでなく、品質情報に基づき、品質の作り込みを可能とする自動化プロセスが達成しえる。

本稿で述べたのはその利用方法の一端であり、さらに、センサ (探傷機)、アクチュエータ (ホットスカーファなどに相当) を増設あるいは目的とする制御にふさわしくすることにより、同じ思想の下に、きめの細かい品質制御を可能としている。

当社では、生産能率、歩留まり、原単位等の種々の観点から、品質情報の最適利用を模索している。Fig. 13 に、当社知多工場のシームレスパイプの素材要因の不良材の発生率を示す。鋼片工場稼動以降減少が続いており、1年間で不良率が1/4になっている。これは、冷間の表面探傷装置における、0.5 mm<sup>2</sup> 深さレベルの表面欠陥管理と、研削後の再調査によるところが大きく、本探傷システムの有効性を示すものと考えている。

## 5 結 言

品質の作り込みを志向した鋼片工場の探傷システムについて、その概要と、センサとしての探傷装置ならびにその利用方法について述べた。

高品質の製品製造のためには、探傷装置は品質管理用のセンサとして欠かすことはできない。また、得られた品質情報を有効利用するには、マップ化、DB化などの情報加工技術、スカーファ、研削機などの自動化技術との結合が必要である。これらの技術の中心となるのは、計算機を中核としたプロセス情報のネットワーク化の技

術である。

さいわいに、鋼片工場は、新設設備であるため建設当初から品質の作り込みを基本思想の1つの柱として掲げ、一貫してこれに取り組むことができた。従来もオペレータの観察に基づいて、品質向上の努力がなされてきたが、これを、可能な限り自動化、効率化しようと試みたのが本システムである。探傷装置自体の特性を考慮して利用することを基本としているが、探傷装置の検出精度、とくに深さとの対応については、そのばらつきの幅を減少していくことが探傷システムの有効性を増すために効果的であると考えられる。今後は、以上の点を念頭において品質を作り込める自動化プロセスの充実に努めていきたい。

## 参 考 文 献

- 1) 平井信恒, 吉原正典, 中西輝行: 「新ビレット工場の建設と操業」, 川崎製鉄技報, 17 (1985) 1, 3-12
- 2) 山中栄輔, 山崎順次郎, 中川康弘, 柴山卓真, 三浦隆義: 「新ビレット工場の品質保証」, 川崎製鉄技報, 17 (1985) 1, 39-49
- 3) 山崎順次郎, 中西輝行, 中路 茂, 馬場和史, 菊川裕幸, 藤本隆史: 「新ビレット工場の計測制御システムおよび自動化技術」, 川崎製鉄技報, 17 (1985) 1, 13-22
- 4) H. Yamane, M. Ogawa, S. Nakaji, J. Hasunuma and S. Deshimaru: "Scan Conditioning", First International Conference on Surface Conditioning and Detection of Surface Defects, MEFOS LULEÅ (Sweden), June (1984)
- 5) 石渡英房, 宇野義雄, 中西輝行, 東岡晃二: 日本非破壊検査協会昭和59年度秋季講演大会, 33 (1984) 9, 750