

## 薄鋼板の高精度微小内部欠陥検出システムの開発

## Development of the High Level Minute Interior Defect Detector System for Steel Sheet

NKK 福山製鉄所 稲葉 護\*・竹腰 篤尚・岩永 賢一・牧 宏  
 技術総括部 古川 高人 エレクトロニクス研究所 安藤 静吾  
 福山製鉄所 保久 光男

## 1. まえがき

福山製鉄所では食缶材などの高品質保証を目的に1989年以降、高精度微小内部欠陥検出システムの開発を行ってきた。その結果、安価で、 $5 \times 10^{-4} \text{mm}^3$  もの微小な内部欠陥を安定して検出できるシステム開発に成功し、1991年 3月に No.2ドラムシャーラインで実用化した。

## 2. 測定原理

Fig.1 に測定原理を示す。直流磁束を鋼板内に通して、欠陥部で漏洩した磁束を磁気検出器で測定し、欠陥の大きさを知る漏洩磁束探傷法を応用したシステムである。

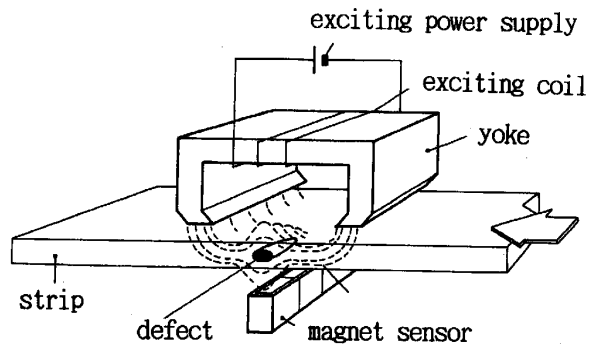


Fig. 1 The principle of detection

## 3. システム構成

本システムの外観をPhoto.1 に示す。また機能構成をFig.2 に示す。本システムはハードウェア処理を主体とした欠陥検出部、信号増幅部、信号処理部、ソフトウェア処理を主体とした演算処理部で構成されている。以下にシステムの高精度化を目的に新たに採用または開発した基本機能について述べる。

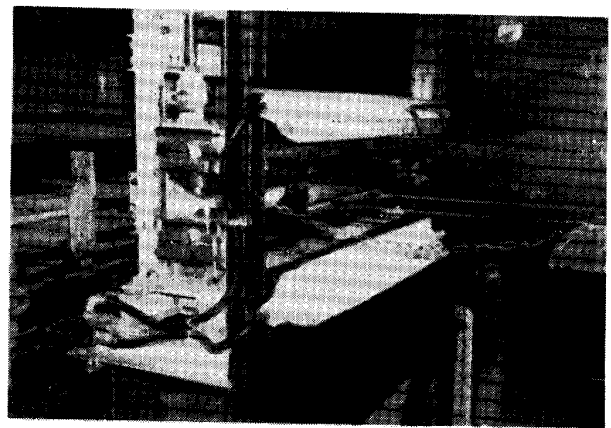


Photo. 1 High level minute interior defect detector

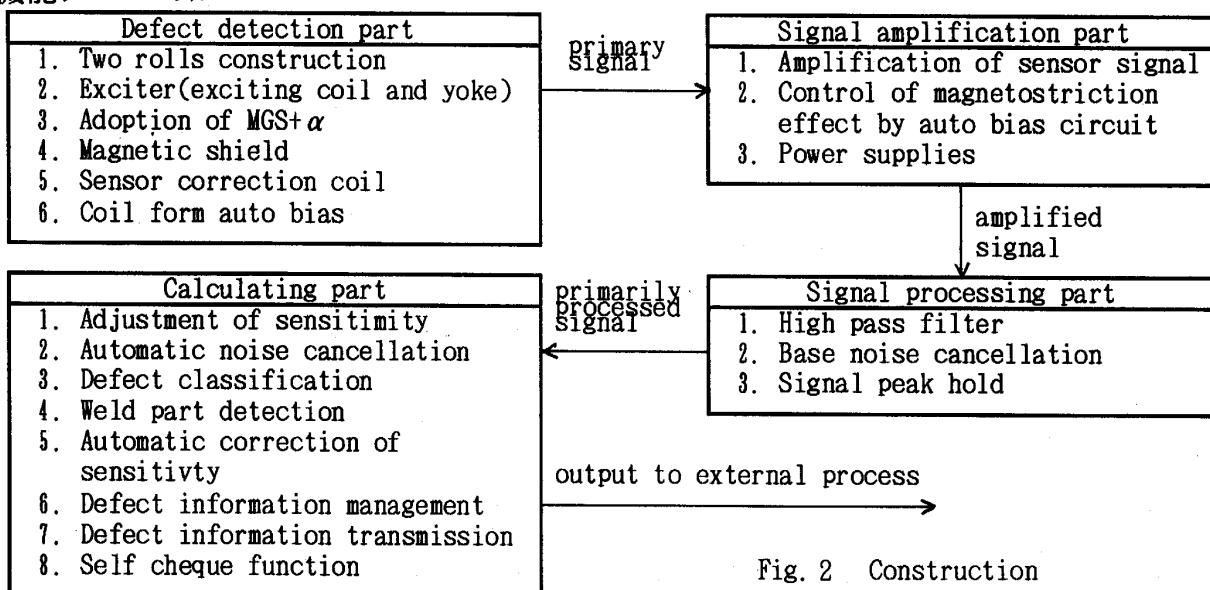


Fig. 2 Construction

平成 3年11月 1日受付 (Received Nov. 1, 1991)

\* Mamoru Inaba (Fukuyama Works, NKK Corporation, 1 Kokan-cho Fukuyama 721)

4. 高精度化の基本機能

4.1 磁気検出器 (MGS+α) の採用

磁気検出器の計測原理をFig.3 に示す。強磁性体コアにコイルを巻き、コイルに交流電流を供給してコアを飽和域まで磁化する。コイルに正、負対称の出力電圧が得られる。そこで外部磁界がコアに交差すると外部磁界に応じて出力電圧の正負に差が生じる。その差分の値から磁界強度を測定すれば漏洩磁束が判る。

Fig.4 に各種磁気検出器の感度比較を示す。これまで漏洩磁束法には磁気ダイード、磁気抵抗素子、ホール素子が用いられていた。今回採用した磁気検出器は、以下の特徴を持っている。

- ① 検出感度が高く、地磁気の1/100 まで測定できる。
- ② 温度変化の影響が少なく、使用温度範囲が広い。
- ③ 測定原理、構造が単純で耐久性に優れている。

4.2 ダブルロール方式の追従機構

磁気検出器は感度・距離特性を持っている (Fig.5)。一般に検出感度を上げるには鋼板と検出器の距離 (以下リフトオフ称す) を小さくする必要があるが、余り小さくすると検出器が鋼板と接触し、鋼板に表面疵が発生したり、検出器が破損したりする。また安定した感度を得るにはリフトオフの変動を無くす必要がある。

そこで本システムでは鋼板を上下から挟み込むダブル

Table 1 Specification of defect detection part

Item	Specification
size of the sensor roll	diameter: 200mm length : 1200mm
material of the sensor roll	SUS316L

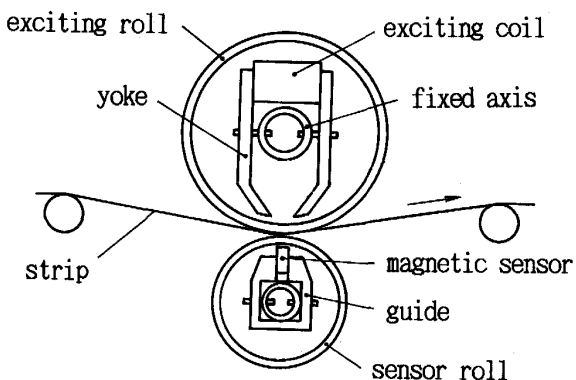


Fig. 5 Construction of the detector's head

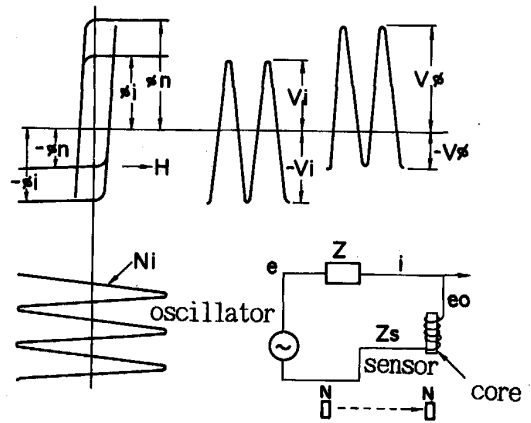


Fig. 3 The principle of detection method by magnetic sensor

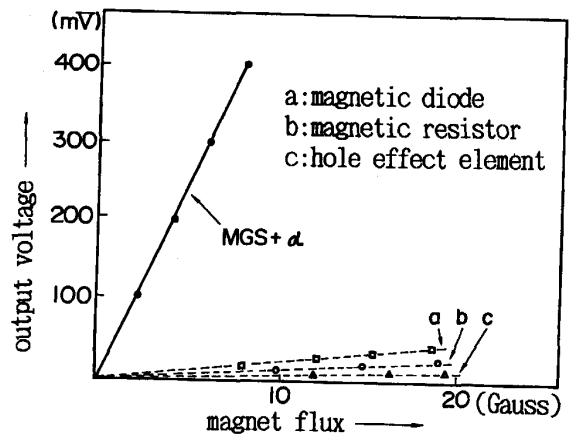


Fig. 4 Comparison with another detector

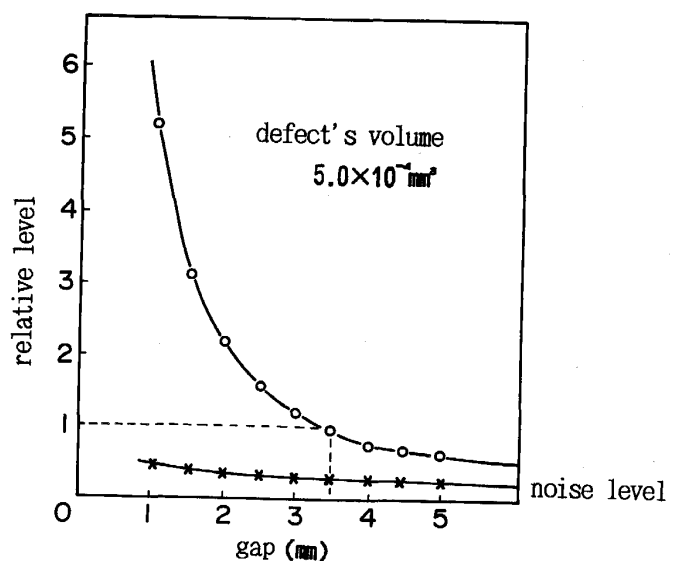


Fig. 6 Characteristic curve of the magnetic sensor by the gap

ルロール方式の追従機構を開発した。そして鋼板の張力を全て磁化ロールで吸収し、センサーロールに張力がかからない構造にした。

#### 4.3 磁気シールド機構

磁気検出器は検出感度が極端に高いため、浮遊磁界を拾ってノイズレベルが増加したり、鋼板の欠陥部で漏洩磁束が増減し、信号レベルが不安定になり、欠陥信号の強度は増加し、S/Nが低下する。そこで本システムでは磁気検出器に磁気シールド処理を施して浮遊磁界を遮断する機構を開発した。Photo.2 に磁気シールドの効果を示す。

#### 4.4 オートバイアス制御回路

本システムではセンサの位置は磁極の中心にある。このため鋼板が静止していれば浮遊磁界の影響は無い。しかし、鋼板が走行していると浮遊磁界の直流成分が走行速度の影響を受けて磁束が歪む。このため走行速度に応じて生じる磁気歪みを打消すような制御系を開発して、高速ラインへの適用を可能にした (Fig.7, Fig.8)。

#### 4.5 磁気検出器の感度自動校正機構

これまで磁気検出器や信号処理回路の経時的な特性変化の校正は、標準サンプルを用いてオフラインで行ってきたが、①標準サンプルの保管が面倒であり、また損傷や劣化により材質も変化する。②標準サンプルとセンサの位置ズレにより検出感度のバラツキが発生する。③使用しているセンサ数が極端に多く校正に時間がかかる。④このため校正周期も延び延びなる。などの問題があった。

そこで本システムでは標準サンプルの代わりに基準磁界を全ての磁気検出器に均一に与えて、オンラインで瞬時に自動校正する機構を開発して、ライン稼働率とシステムの信頼性向上を図った。

#### 5. 欠陥の検出性能

Photo.3 に各種欠陥に対する本システムの出力波形と、非金属性介在物 ( $5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$ ) の顕微鏡写真 (断面) を示す。軽欠陥でも S/N は 3 以上である。さらに Table 2 に検出性能を示す。磁気検出器の間隔は従来の 2 倍、リフトオフは従来の

1.5 倍にしたにもかかわらず検出性能は 3 倍以上に向上した。

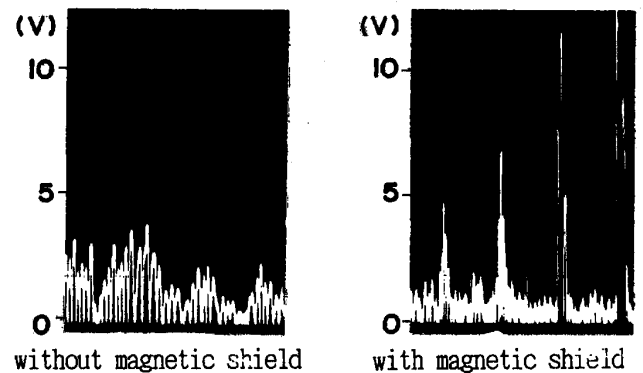


Photo. 2 Effect of the magnetic shield

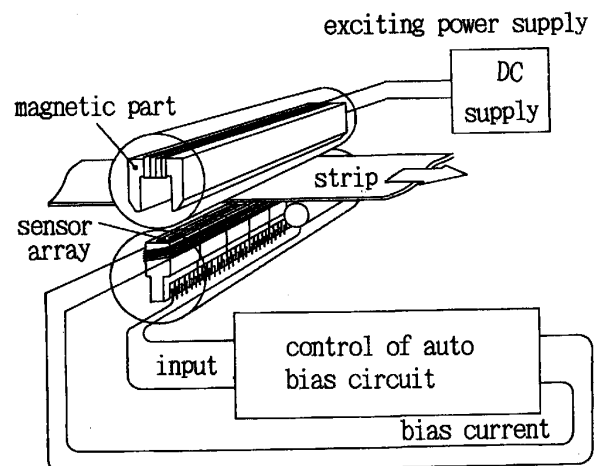


Fig. 7 Control of auto bias circuit

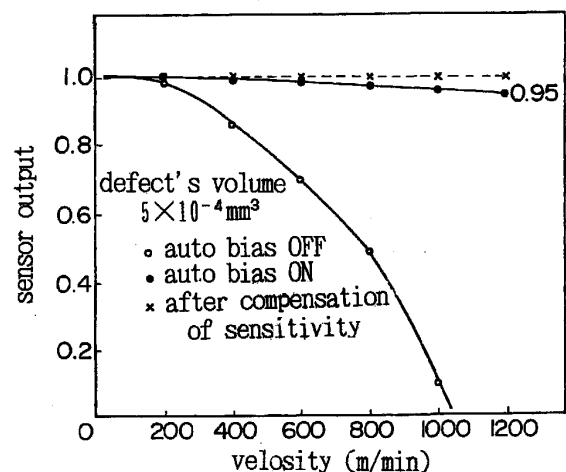


Fig. 8 Effect of auto bias

Measuring curve and micrograph of some defects

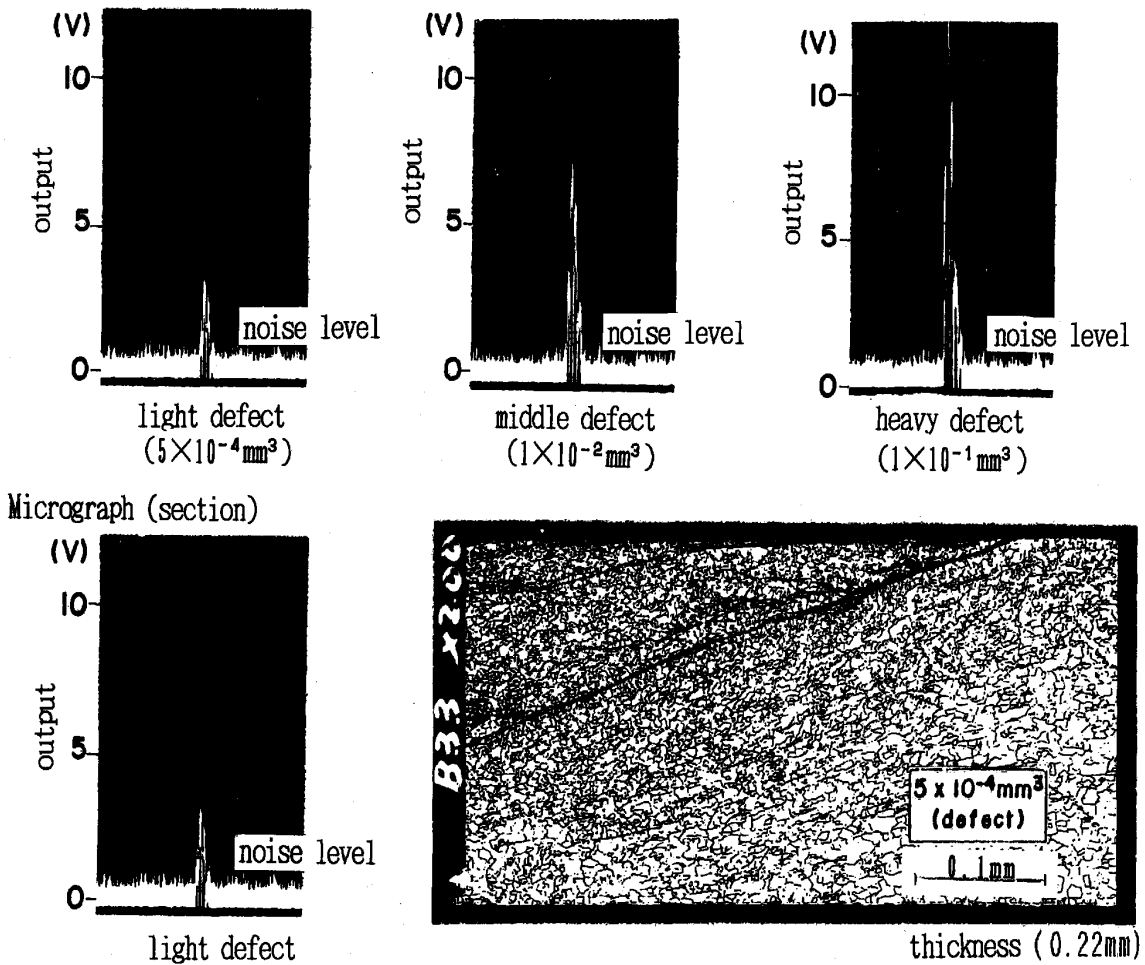


Photo. 3 Measuring curve of some defects

6. あとがき

本システムの開発により製品の全幅、全長に渡り  $5 \times 10^{-4} \text{mm}^3$  もの微小な内部欠陥をオンラインで安定して検出できるようになった。その結果、食缶材、特にD I缶の品質保証が強化された。また不良部のリジェクトにより一貫歩留まりが向上した。本装置は1991年 3月よりN0.2ドラムシャラインで順調に稼動している。これらの成果を踏まえ、当社では京浜と福山にあるコイル準備ライン(ライン速度: 1200 mpm)への本技術の適用を進めている。

Table 2 Ability of detection

Item	Ability
Line speed	380mpm
Width	1100mm
Sensor type	Magnetic coil
Number	Half as ever
Space	Twice as ever
Gap	One half as ev
S/N	3.0
Ability of defection	$5 \times 10^{-4} \text{mm}^3$