

鋼板製造ライン向け 表層内部欠陥検査装置 TOSPECTRONTM-I

TOSPECTRONTM-I Inner Surface Defect Inspection System for Steel Strip Manufacturing Process

渡邊 慶典

■ WATANABE Keisuke

鋼板の欠陥検査装置は、鋼板製造ラインにおいて品質保証のために不可欠な装置である。東芝は現在、鋼板表面の欠陥を検出する表面検査装置を提供しているが、表面に現れない表層内部欠陥の検査に対するニーズも増加している。更に、近年における表層内部欠陥の検査では、鋼板の高品質化に対応できるより微小な欠陥の検出や、1,000 m/minを超えるライン速度に対応できる高速での欠陥検出も要求されている。

当社はこのようなニーズに応えるために、高速移動する鋼板を対象に、表層内部に発生する微小欠陥をリアルタイムに検出する表層内部欠陥検査装置 TOSPECTRONTM-Iを開発した。この装置は、磁気センサに高感度ホール素子を採用することで10 mmの位置分解能を、また、ユニバーサルフィルタICを搭載することで100~1,200 m/minの高速安定検出を実現した。

Defect inspection systems are essential to the quality assurance of the steel strip manufacturing process. Demand is increasing for the inspection of not only defects on steel surfaces, but inner surface defects as well. Furthermore, the detection of inner surface microdefects has become necessary for high-quality steel products in recent years, and high-speed detection is also required due to the speeding up of production lines.

To meet these requirements, Toshiba has developed the TOSPECTRONTM-I inner surface defect inspection system, which enables real-time detection of inner surface microdefects in steel strip moving at high speed. This system achieves a 10 mm position resolution by the use of a high-sensitivity Hall sensor, as well as both high-speed and stable detection at 100-1,200 m/min by the adoption of a universal filter integrated circuit (IC).

1 まえがき

鋼板製造ラインで鋼板の表面や内部に発生する欠陥は、品質上重大な問題となっている。東芝は現在、表面の欠陥を検出する表面検査装置を提供しているが、表面に現れない表層内部を検査するニーズも増加しており、更に、その微小な欠陥検出や高速での検出が要求されている。

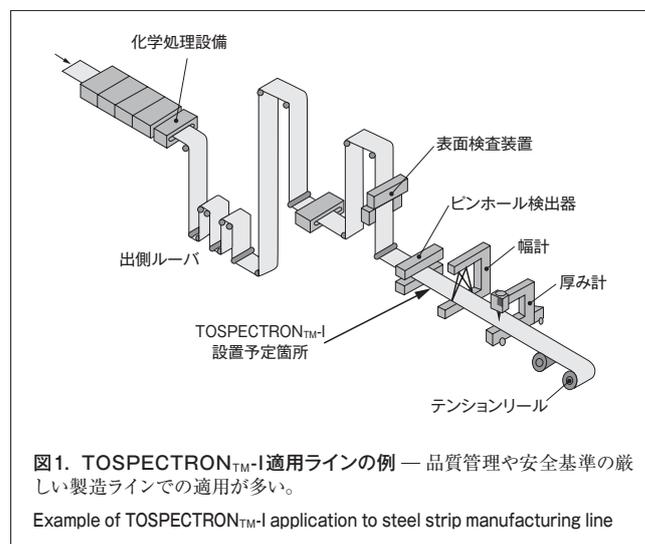
そこで、表層内部欠陥検査装置 TOSPECTRONTM-Iを開発した。この装置と現行の表面検査装置を組み合わせることで、表層内部欠陥と表面欠陥の検査を一元的に管理できるようになり、効率的で精度の高い品質管理が可能になる。

ここでは、開発した装置の概要と技術的特長について述べる。

2 装置の概要

TOSPECTRONTM-Iを適用する鋼板製造ラインの一例を図1に示す。ニーズとしては、缶材料などの薄い加工を施すETL (Electrolytic Tinline Line : スズめっきライン) に適用のニーズが高い。また、シートベルト用材料などの安全基準が適用される製品の製造ラインでもニーズがある。

以下に、表層内部の欠陥を検出する原理と検出器の構成について述べる。



2.1 検出原理

TOSPECTRONTM-Iは、検出原理として漏えい磁束法を用いている。その検出原理を図2に示す。

鉄心にコイルが巻き付けられており、コイルに一定の電流を流し、ヨークを通して非接触で鋼板を磁化させる。磁化された鋼板の内部に欠陥が存在すると、欠陥部周辺から鋼板外部へ磁束が漏えいする。この漏えいした磁束をホール素子 (磁気センサ) によって検出することで欠陥の有無を判断する。

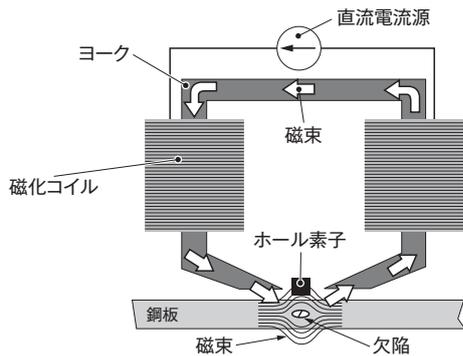


図2. TOSPECTRON_{TM}-Iの検出原理 — 鋼板を磁化すると、欠陥部周辺から鋼板外部へ磁束が漏えいする。この漏えいした磁束をホール素子によって検出することで欠陥の有無を判断する。

Detection principle of TOSPECTRON_{TM}-I

2.2 検出器の構成

検出器は、大別すると以下の三つで構成される(図3)。

- (1) 磁化器 鉄心部と銅線コイルで構成され、鋼板を磁化させる。
- (2) ホール素子アレイ基板 ホール素子センサ50個が幅方向200 mmに一列に配列され、磁化された鋼板の欠陥部から漏えいする磁束を幅方向に抜けなく検知する。
- (3) ホール素子アレイ制御基板 各ホール素子の検出信号に対し、ノイズを除去し、走査的に一つの信号として出力させる。

3 装置の技術的特長

TOSPECTRON_{TM}-Iの仕様を表1に示し、主な技術的特長を以下に述べる。

3.1 微小欠陥検出

昨今、鋼板製品の高品質化が進み微小欠陥検出のニーズが

表1. TOSPECTRON_{TM}-Iの仕様

Specifications of TOSPECTRON_{TM}-I

項目	仕様
検査対象材	磁性金属(鉄, ステンレスの一部, 特殊鋼の一部)
検査対象板厚 検査深さ範囲 欠陥サイズ	
検査幅範囲	400~2,000 mm
欠陥位置分解能	10 mm以上
ライン速度範囲	100~1,200 m/min
バスライン空間	厚さ方向に1 mm

増大したため、磁気センサに高感度ホール素子を採用することで微小欠陥を検出できるようにした。更に、コンパクトなホール素子を用いることで位置分解能10 mmを可能にした。

人工サンプルを用いた検出結果を図4に示す。欠陥からの漏えい磁束量は欠陥の体積と比例関係にあることから、サンプルは厚さ0.15 mmで、欠陥をφ0.05 mmの貫通穴とした。

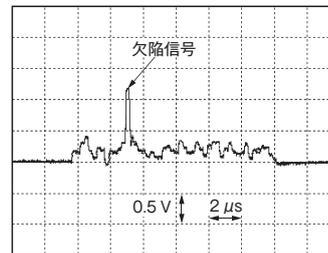


図4. 人工サンプルでの検出結果 — 厚さ0.15 mmのサンプルで、サイズφ0.05 mmの貫通穴の欠陥を検出した。

Test result of artificial sample detection

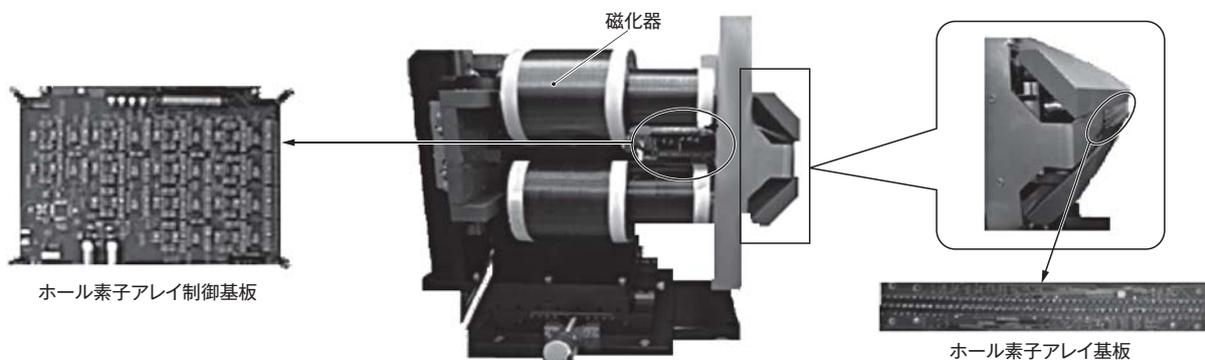


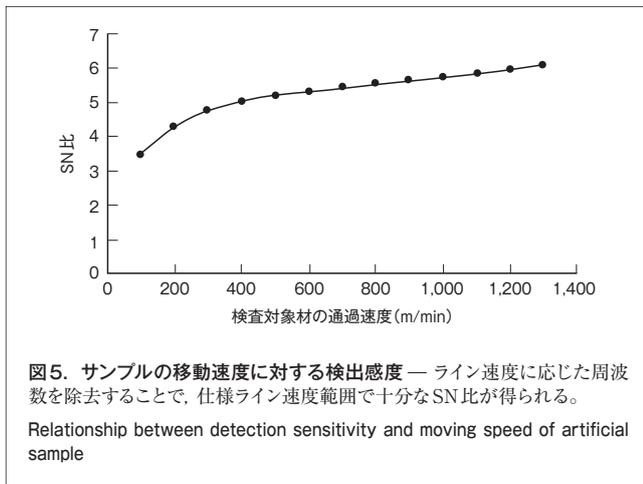
図3. TOSPECTRON_{TM}-Iの検出器の構成 — 磁化器、ホール素子アレイ基板、及びホール素子制御基板で構成される。

Configuration of detector head for TOSPECTRON_{TM}-I

結果は、微小欠陥に対し十分なSN比（信号とノイズの比）が得られている。

3.2 高速でのリアルタイム検出

近年の鋼板製造ラインでの、生産性向上に伴って、ライン速度の高速化が進み、欠陥検出の高速化のニーズが増大した。このニーズに応じて、ライン速度に依存して特性が異なるノイズを最適に除去し、各ライン速度において十分なSN比を得るための処理回路を搭載した。検査対象物の移動速度変化に対する感度を図5に示す。装置仕様であるライン速度100～1,200 m/minの範囲で十分なSN比が得られ、高速に移動する検査対象物に対してリアルタイムに安定して欠陥検出できる。



3.3 メンテナンスの容易性

鋼板の全板幅を1台の検出器で検査するのではなく、200 mm/台とし、複数台を幅方向一列に並べることが可能な構造にしたことで、様々な幅の鋼板に柔軟に対応できる。

また、検出器は、磁化器、ホール素子アレイ基板及びホール素子アレイ制御基板をユニット化して、複数ユニットを一体化できる構造にした。したがって、故障時にはユニット単位で取り外して交換ができ、メンテナンス性に優れている。

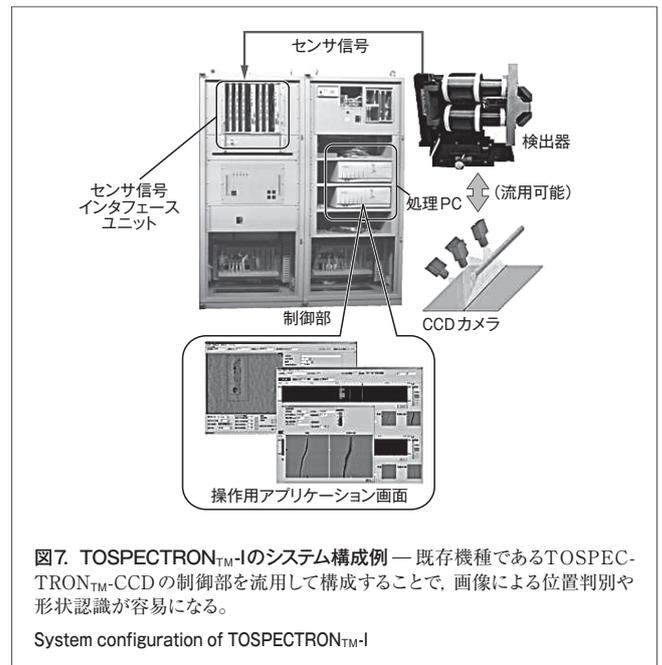
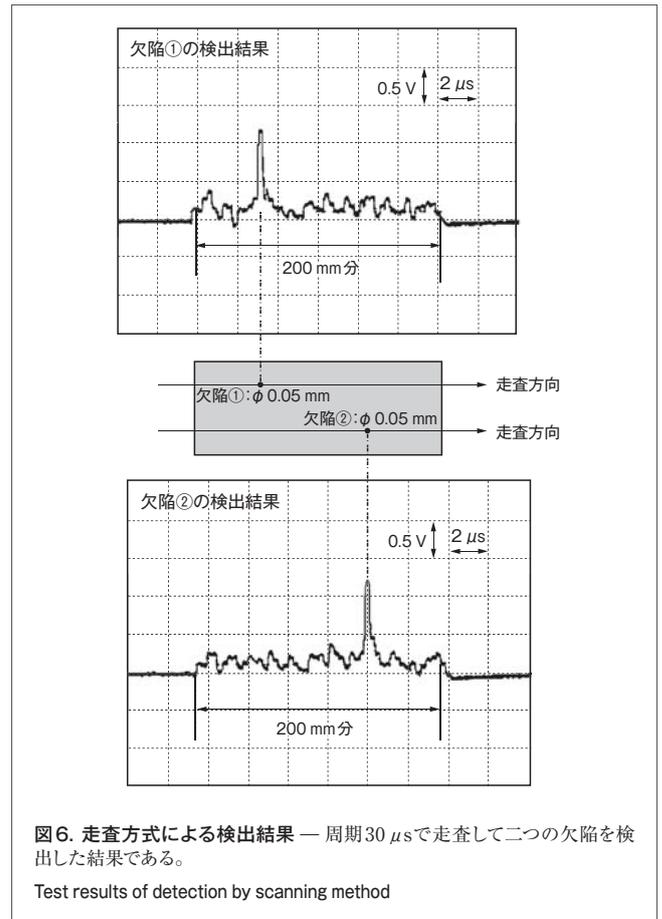
3.4 既存の表面検査装置制御部の流用性

幅200 mmを検査するためには50個のホール素子を必要とするが、ホール素子アレイ制御基板によって各ホール素子出力を、一定周期で走査的に一つの信号として出力させている（図6）。

この出力信号は、50ピクセルのラインCCD（電荷結合素子）カメラ出力に相当するため、既存機種である表面検査装置TOSPECTRON_{TM}-CCDの制御部と接続が可能であり、画像による位置判別や形状認識が容易にできる（図7）。

制御部の主な機能を以下に述べる。

3.4.1 センサ信号インタフェースユニット 制御盤内に収納されており、複数検出ユニットから送られてくる検出信



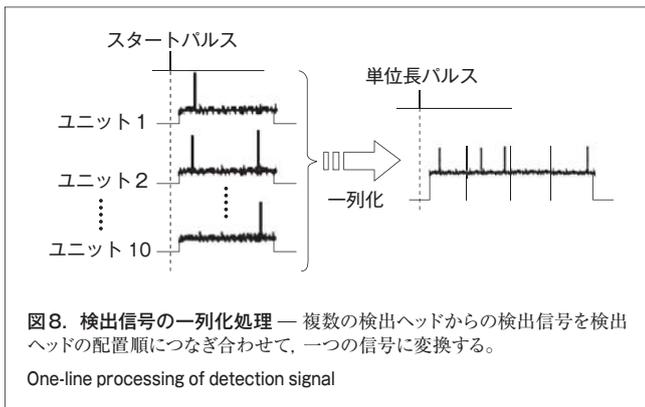
号を取り込み、以下の処理を行う。

- (1) 単位長量子化 ホール素子アレイ基板は一定周期で走査的に出力しているため、走査周期当たりの検査対象移動量はライン速度に応じて大きく変化する。したがっ

て、検査対象が単位長 (1 mm 程度) 進むごとにセンサ信号を1ライン分出力する制御を行っている。

検査対象が単位長進む間にホール素子アレイ基板が複数回走査する場合は、この間の最大信号レベルを保持する処理を行い、欠陥部の見逃しを防いでいる。

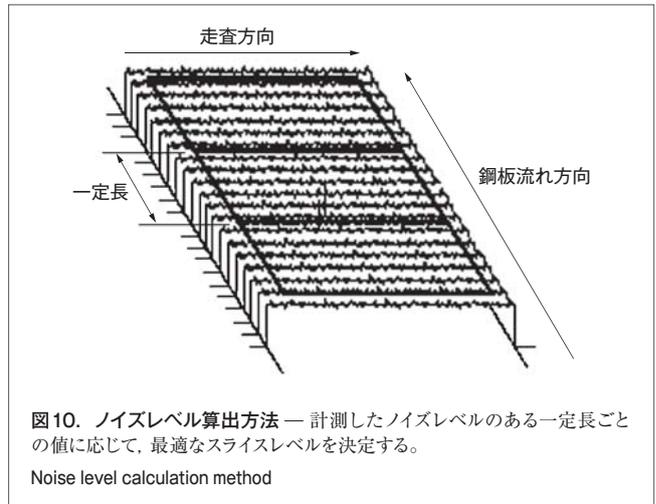
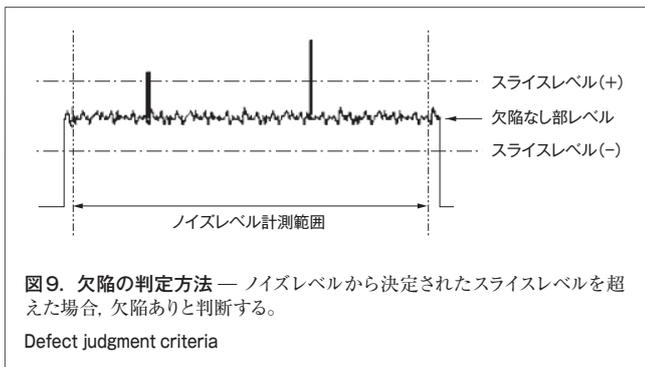
- (2) 一列化 センサ信号インタフェースユニットは、**図8**に示すように、各検出ユニットから送られてくる検出信号を取り込み、検出器の配置順につなぎ合わせて一つの信号に変換 (一列化) する。この一列化された信号を処理パソコン (PC) へ送ることで、全面を1台のPCで処理することが可能となる。



3.4.2 処理PC センサ信号インタフェースから検出信号を取り込み、以下の処理を行って最終結果を出力する。

- (1) 信号入力処理 処理PCのPCI (Peripheral Component Interconnect) バスに実装された画像処理インタフェースボードから、処理単位ごとに検出データをメインメモリ内に取り込む。
- (2) 欠陥判定 欠陥有無の判定は、**図9**に示すように、検出データに対して欠陥なし部のレベルを基準に欠陥判定レベル (スライスレベル) を与え、このレベルを超える部分を欠陥として認識する。

スライスレベルは、**図10**に示すように、計測したノイズ



レベルのある一定長ごとの値に応じて、欠陥の過剰検出や見逃しが発生しないよう、最適な値に逐次設定される。

4 あとがき

微小欠陥検出及び高速でのリアルタイム検出など、ユーザーニーズに十分応えられる鋼板製造ライン向け表層内部欠陥検査装置が開発できた。

今後は、現行機種である表面検査装置とセットにして、表面、表層、及び内部のすべてを一括検査できる装置を、国内に限らず、品質重視への転換が予測されるアジアを中心に提供し、顧客のニーズに更に応えていく。



渡邊 慶典 WATANABE Keisuke

電力流通・産業システム社 府中事業所 計測制御機器部。
欠陥検査装置の開発に従事。
Fuchu Complex