

薄鋼板製造ライン向け 高性能内部欠陥計 TOSPECTRON-I

High-Performance TOSPECTRON-I Inner Defect Inspection System for Steel Strip Manufacturing Process

渡邊 慶典 中尾 努 竹村 将太

■ WATANABE Keisuke ■ NAKAO Tsutomu ■ TAKEMURA Shota

鋼板製造ラインでは、鋼板の欠陥検査装置は品質保証のために不可欠な装置である。東芝は2007年に鋼板内部の欠陥を検出する内部欠陥計TOSPECTRON-Iをリリースしている。近年では、薄鋼板の高品質化に対応するため、より微小な欠陥の検出をオンラインで安定して行えることが要求されている。

このようなニーズに応えるために、検出感度を向上させ、高速移動する薄鋼板の内部に発生する微小欠陥検出を可能にした内部欠陥計のセンサユニットを開発した。このユニットを適用したTOSPECTRON-Iは、磁気センサに高感度ホール素子及び最適なノイズ除去フィルタを搭載することで、常に一定の感度で微小欠陥を検出できる。

Inner defect inspection systems are an essential element of quality assurance in the steel strip manufacturing process. Although Toshiba developed and released the TOSPECTRON-I inner defect inspection system in 2007, demand has recently been increasing for further improvement of steel product quality through the stable detection of finer microdefects online.

To meet such customer requirements, we have now developed a sensor unit for the TOSPECTRON-I available for thin steel sheet moving at high speed, featuring improved detection capabilities through the use of high-sensitivity Hall effect sensors to measure the amount of magnetic flux leaked from the surroundings of defects and an optimal noise removal filter. The high-performance TOSPECTRON-I makes it possible to detect microdefects at a constant sensitivity online.

1 まえがき

東芝は、2007年に鋼板内部の欠陥を検出する内部欠陥計TOSPECTRON-Iをリリースした⁽¹⁾。近年の薄鋼板製造ラインでは、鋼板の表面や内部に発生する欠陥は重大な品質問題となっている。鋼板の品質向上に伴い有害レベルとなる内部欠陥のサイズが微小化し、より高度な検出能力が要求されている。また、鋼板の全面を検査するには複数のセンサを用いるため、保守面も考慮した検査装置が求められている。

そこで、検出能力の向上及び保守性の向上を目的とした内部欠陥計用センサユニットを開発し、TOSPECTRON-Iに適用した。ここでは、新たに開発したセンサユニットを適用したTOSPECTRON-Iの概要と特長について述べる。

2 装置の概要

内部欠陥計は、飲料用の缶材料などを製造するETL (Electrolytic Tinplate Line) など品質管理が厳しい製造ラインでの適用ニーズが高い。TOSPECTRON-Iを適用する薄鋼板製造ラインの一例を図1に示す。

鋼板内部に発生した欠陥を検出する原理と、新たに開発したセンサユニットの構成について、以下に述べる。

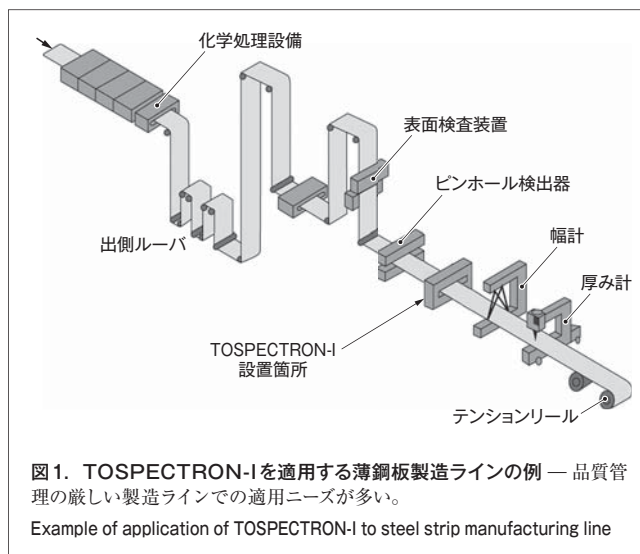
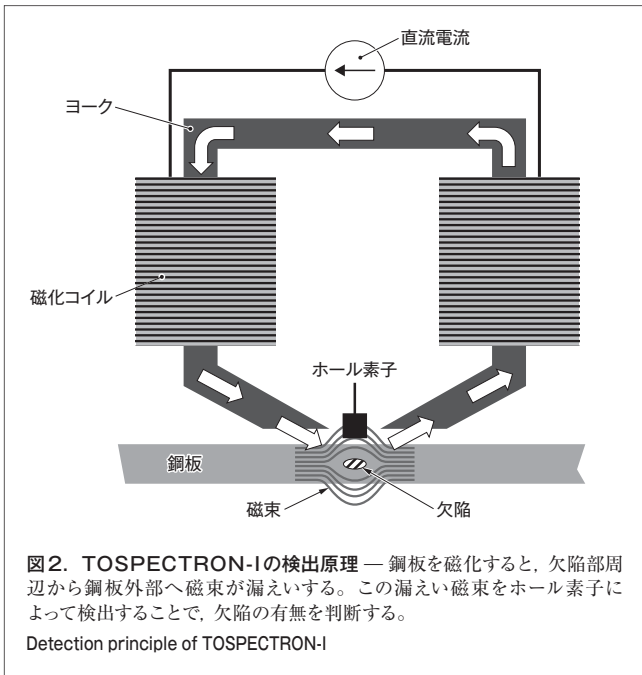


図1. TOSPECTRON-Iを適用する薄鋼板製造ラインの例 — 品質管理の厳しい製造ラインでの適用ニーズが多い。
Example of application of TOSPECTRON-I to steel strip manufacturing line

2.1 検出原理

TOSPECTRON-Iは、漏えい磁束法を用いて内部欠陥を検出している。その検出原理を図2に示す。

鉄心にコイルが巻き付けてられており、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)によって非接触で検出することで、鋼板表面を



傷つけることなく欠陥の有無を判断する。

2.2 センサユニットの構成

検出能力を向上させるために新たに開発した、漏えい磁束量を計測するセンサユニットは、大別すると以下の四つの基板で構成される(図3)。

- (1) センサ部 ホール素子センサ201個が幅方向200 mmに3 mmピッチで3列に配置され(67個×3列)、磁化された鋼板の欠陥部から漏れ出す磁束を幅方向に抜けなく検知する。
- (2) 信号処理部 各ホール素子の検出信号(幅方向201チャンネル)に対し、ライン速度に応じて変動するノイズを最適に除去し、欠陥信号としてのSN比(信号とノイズの

比)を高める。

- (3) マルチプレクサ部 検出信号の信号レベル判定を行うため、ノイズ除去した検出信号をチャンネルごとにピークホールドした後、時系列に連続した走査信号として出力する。
- (4) バックプレーン部 外部機器とセンサユニットのインタフェースを行う。

これら四つの基板を組み合わせて、1台のセンサユニットとしている。

センサユニット1台の検査幅は200 mmで、検査装置は鋼板幅に応じて複数台のセンサユニットを幅方向に1列に並べる構造としており、故障時にはユニット単位での交換を可能にした。

3 検出能力の向上

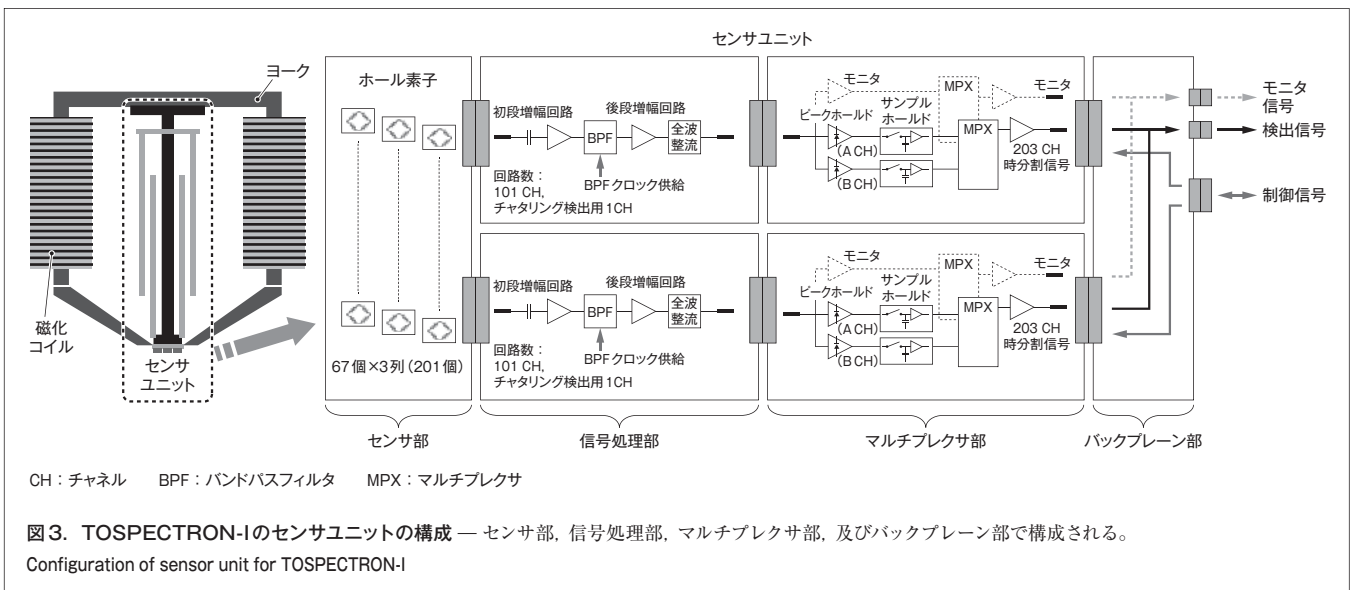
TOSPECTRON-Iの仕様を表1に示す。その特長となる内部欠陥検出能力の向上について以下に述べる。

表1. TOSPECTRON-Iの仕様

Specifications of TOSPECTRON-I

項目	仕様
検査対象材質	磁性金属材料 (鉄、ステンレスの一部、特殊鋼などの一部)
検査幅範囲	200 ~ 2,000 mm
検査板厚範囲	0.1 ~ 0.5 mm
検査対象材通過速度範囲	30 ~ 1,200 m/min
バスライン空間*	0.5 mm
検出性能	人工サンプル板厚0.157 mm貫通穴 直径0.035 mm穴 : S/N ≧ 3 直径0.05 mm穴 : S/N ≧ 6 直径0.10 mm穴 : S/N ≧ 20
位置分解能	幅方向 : 1 mm 流れ方向 : 100 mm 以下

*センサ面と鋼板表面との距離



3.1 微小欠陥検出

薄鋼板製品の品質化が進み、より微小な欠陥検出の要求に応えるため、新たに検出感度の高いホール素子を採用し、板厚0.157 mmにおける直径0.035 mm穴 (体積 $1.5 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$)の微小欠陥の検出を可能にした。

更に、コンパクトなホール素子を用いることで、鋼板の幅方向位置分解能1 mmを実現した。

3.2 ライン速度に追従した安定した検出

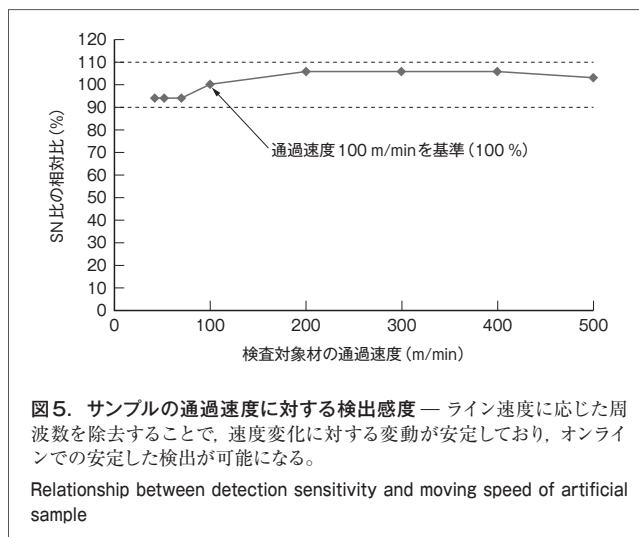
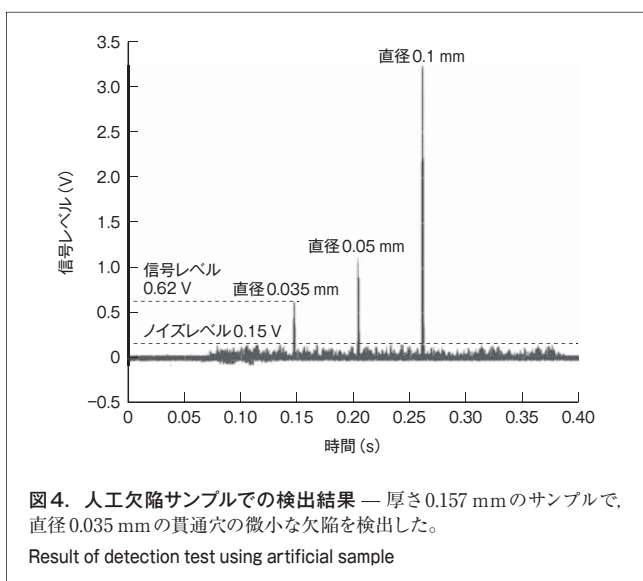
漏えい磁束法は、鋼板を磁化して欠陥の検出を行うが、鋼板を磁化することで欠陥の存在しない箇所でも、鋼板の表面に浮遊する磁界が発生する。この浮遊する磁界をセンサが検知し、ノイズとして現れてしまうため、十分なSN比を得られない。更に、このノイズの周波数成分は、ライン速度に依存して変化する特性があるため、ライン速度に追従して最適にノイズ成分を除去する必要がある。

そこで、センサユニットに最適なノイズ除去フィルタを採用し、各ライン速度で十分なSN比を得るための処理回路を搭載した。

人工欠陥サンプルを用いて、パスライン空間 (センサ面とサンプル表面との距離) を0.5 mm、検査対象材の通過速度を100 m/minに設定した場合の欠陥検出を行った。人工欠陥サンプルは厚さ0.157 mmで、欠陥サイズを直径0.1 mm、0.05 mm及び0.035 mmの貫通穴とした。ここで、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評価する人工欠陥は貫通穴とした。

検出結果を図4に示す。結果は、十分なSN比が得られており、センサの感度を上げ、更にノイズを最適に除去することで直径0.035 mmの微小な欠陥に対してSN比が4以上で検出できる。

検査対象材の通過速度100 m/minでの検出信号を基準と



して、500 m/minまでの通過速度変化に対する検出信号の相対的变化を図5に示す。速度変化に対するSN比の変化は10%以内に安定しており、オンラインでの安定した検出が可能である。

3.3 欠陥のサイズ等級判別機能

鋼板の使用用途により有害となる欠陥サイズのレベルが異なるため、鋼板の内部欠陥の判定は有無の判断だけでなく、欠陥サイズを等級別に判定することが要求される。

そこで、センサユニットにピークホールド回路を搭載した。鋼板の流れ方向の一定範囲における検出信号の最大値を保持し出力することで、欠陥を抜けなく検知するだけでなく、信号レベルから欠陥サイズを認識することができる。

欠陥サイズを等級別に判定し管理することで、検査結果により鋼板の使用用途を変更することができ、検査による鋼板の品質を向上させるだけでなく、歩留まりを考慮した運用が可能になる。

4 保守性の向上

TOSPECTRON-Iを適用する薄鋼板製造ラインは24時間稼働が基本であり、定期的なメンテナンスに要する時間の短縮化は重要である。

TOSPECTRON-Iの保守性向上のポイントを以下に述べる。

4.1 検出器のユニット化

鋼板の全板幅を1台のセンサユニットで検査するのではなく、検出幅範囲を200 mm/台とし、複数台を幅方向に1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とともに、故障時にはユニット単位で交換できる (図6)。

4.2 オンライン校正機能

開発したセンサユニットは、1台当たり201個のホール素子

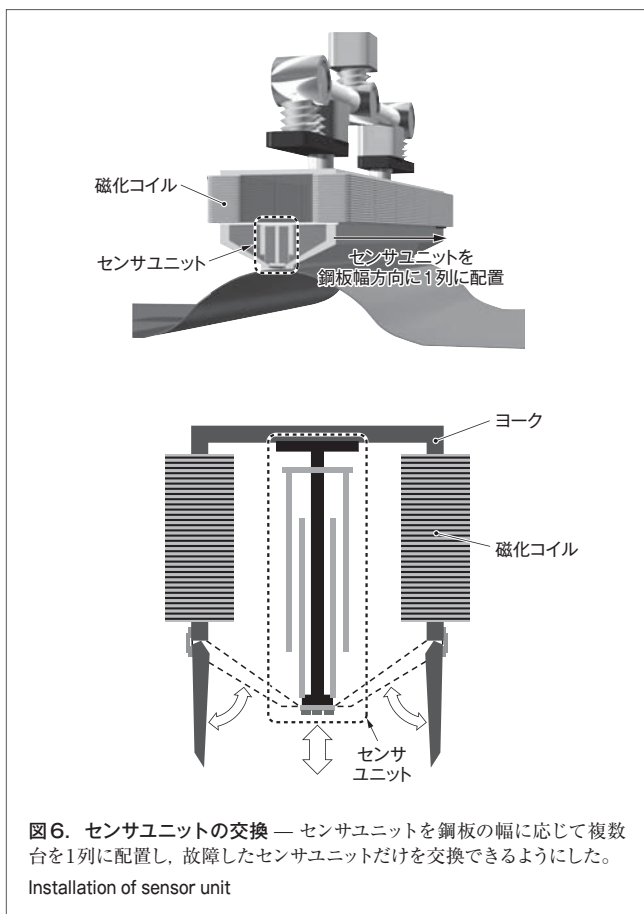


図6. センサユニットの交換 — センサユニットを鋼板の幅に応じて複数台を1列に配置し、故障したセンサユニットだけを交換できるようにした。
Installation of sensor unit

で板幅200 mmを検査する。鋼板の全板幅が2,000 mmでは2,010個ものホール素子を使用することとなり、全センサの健全性の確認及び感度校正を容易に行える機能が要求される。

そこで、オンライン校正機能を装備した。センサユニット内で校正用の交流磁界を発生させ、各ホール素子センサで検知する。この検出信号を遠隔で監視することで、センサの故障の早期発見、早期予防、及び感度の電気的な調整を一括で行うことができる。

この機能は外付けの校正装置を必要としないため、オンライン中に10 s以内の短時間で実施することができ、生産性向上にも貢献できる。更に、オンライン校正を実施することで、定期的なメンテナンス周期を延ばすことができる。

4.3 センサユニットの感度調整レス化

各ホール素子間の感度のばらつきは、欠陥判定などを処理するパソコンで均一化することとし、センサユニット内には感度調整機能を設けないことで保守性を向上させた。

4.4 検出信号の順次走査によるケーブル削減

1台当たり201個のホール素子を搭載しているが、センサユニット内で各ホール素子の出力を、201ピクセルのラインカメラのように、一定周期で走査させることで一つの出力信号とした。その結果、出力ケーブルを一本の同軸ケーブルに集約でき、接続を容易に行うことができる。

5 環境調和型製品への取組み

当社は、持続可能な資源循環型社会の構築に向け、製品ライフサイクル全体で発生する環境負荷を低減した、環境調和型製品の開発に取り組んでいる。

今回開発したセンサユニットは、鉛フリー化を実現している。また、回路の消費電力を削減し、二酸化炭素 (CO₂) 排出量の削減を図っており、環境効率を向上させた製品となっている。

6 あとがき

内部欠陥計 TOSPECTRON-Iは、新たに開発したセンサユニットを適用することによって、オンラインでの微小欠陥検出能力及び保守性の向上を実現した。

今後、より高い品質が求められる鉄鋼製造分野において、当社主力機種である鋼板厚み計及び鋼板幅計に内部欠陥計を加えたワンストップソリューションを提供し、品質重視へと進んでいるアジアを中心に顧客のニーズに応えていく。

文 献

- 渡邊慶典, 鋼板製造ライン向け 表層内部欠陥検査装置TOSPECTRON™-I. 東芝レビュー, 63, 8, 2008, p.53-56.



渡邊 慶典 WATANABE Keisuke

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 計測制御機器部主務。圧延計測・検査機器の開発に従事。
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



中尾 努 NAKAO Tsutomu

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 計測制御機器部主務。圧延計測・検査機器の開発に従事。
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



竹村 将太 TAKEMURA Shota

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 計測制御機器部。圧延計測・検査機器の開発に従事。
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems