

# 漏洩磁束法による 鋼板微小凹凸表面探傷装置

JFEスチール株式会社

代表取締役社長 柿木 厚司

JFEスチール(株)	スチール研究所	計測制御研究部	腰原 敬弘
JFEスチール(株)	西日本製鉄所	福山地区薄板商品技術部	江草 圭二
JFEスチール(株)	西日本製鉄所	倉敷地区制御部	松本 実
JFEスチール(株)	西日本製鉄所	福山地区冷延部	近藤 宏胤
JFEスチール(株)	スチール研究所	計測制御研究部	松藤 泰大

## はじめに

鋼板の製造ラインでは圧延用ないしは搬送用ロールに異物が付着することにより生じた凹凸が鋼板に転写されるロール性の微小凹凸欠陥が生じることがある。この微小凹凸欠陥は数 $\mu\text{m}$ で表面粗さと同等レベルであり、鋼板のままでは見えないが、自動車用に加工・塗装され表面が滑らかになると明瞭になり外観上問題となる。

よって、自動車用途などの高品質材では混入が許されず、鋼板製造時の検査が必要とされている。

また、これらの欠陥は一度発生するとその発生原因を取り除くまで、ロール周期で連続して

外観写真

砥石掛け



断面形状

数 $\mu\text{m}$

1~数mm

図1 微小凹凸欠陥と砥石掛け検査

発生するという問題がある。

そのため、これらの欠陥を検査するために鋼板を停止させ、表面に砥石をかけ、凸部が凹部より多く砥石に当たることで際立たせ、その後目視検査する砥石掛け検査と呼ばれる検査を行っていた(図1)。この検査は人手による検査のため見逃しが発生する、鋼板に検査員が接触するなどの安全上の問題があるなどの課題があり自動化が望まれていた。

## 開発のねらい

砥石掛け検査の自動化は、鉄鋼各社に共通する大きな課題となっている。これまでも(一社)日本鉄鋼連盟でもワーキンググループ活動を行い調査がされており、光学的な手法、サーモグラフィなど様々な方法がトライされてきたが、いずれの方法でも実用化されてこなかった。

発明者らは、欠陥発生メカニズムから、ロールに生じた凹凸が鋼板に転写される際に歪が生じていると予想し、この歪に起因する磁気特性の変化を鋼板を外部から電磁石で磁化した際に鋼板から外部に漏れてくる磁束を磁気センサで計測する漏洩磁束法(図2)の適用を考えた。

まず歪みと漏洩磁束の関係について調査し

た。

連続焼鈍ライン(CAL)で発生した凹凸量が約  $4\mu\text{m}$  とほぼ同じ大きさのロール性微小凹凸欠陥のサンプルを用意して X 線を照射しその回折パターンから歪量を算出した。

次に、漏洩磁束探傷で欠陥の探傷を行った。図 2 の構成で、鋼板サンプルと垂直方向の磁場成分を測定した。

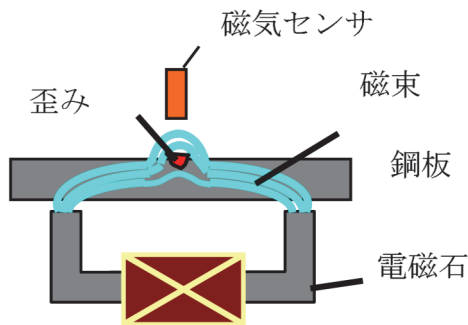


図2 漏洩磁束法

図 3 に凹凸量が同じ約  $4\mu\text{m}$  の自然欠陥の歪量と漏洩磁束信号の探傷結果 (S/N:欠陥信号をノイズ信号で除したもの)を示す。歪み量と漏洩磁束信号に高い相関があり、本方式が有効であることが確認できた。

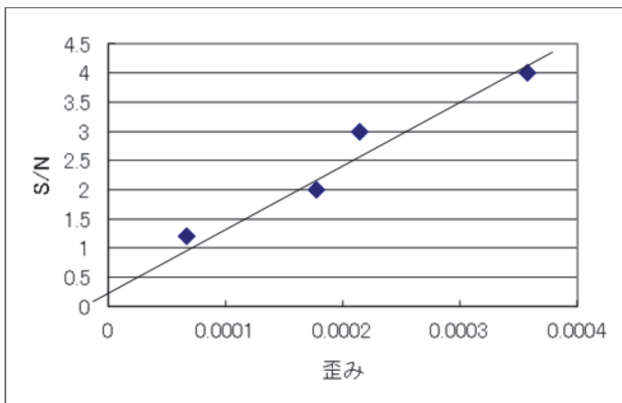


図3 歪と漏洩磁束信号

## 装置の概要

JFE 西日本製鉄所福山地区の連続焼鈍ライン(CAL)に漏洩磁束探傷装置を設置した(図 4)。この装置のセンサヘッドは、幅方向に鋼帯を磁

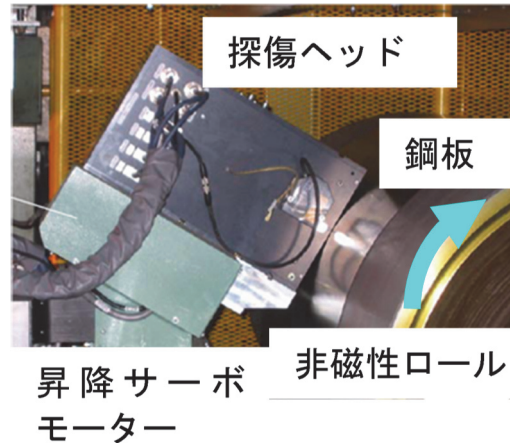


図4 オンライン検査装置

化する磁化器と、2つの磁極間に  $1\text{mm}$  ピッチで配列されたホール素子  $100\text{ch}$  から構成され、幅方向  $100\text{mm}$  の範囲を検査することができる。

このセンサヘッドは、非磁性のロールに巻きつけた鋼板から  $1\text{mm}$  の距離を保持して、一度に幅方向  $100\text{mm}$  幅を検査する。図 5 に示すように長手方向に必要な範囲の検査を終了後、幅方向に  $100\text{mm}$  だけ移動、鋼板からの距離  $1\text{mm}$  の位置に再度セットして探傷が繰り返される。このように、ロール性微小凹凸欠陥は、幅方向に同一の位置にロール周期のピッチで発生するので、センサヘッドは、一方の端から他方の端に向かって、検査、移動、検査を繰り返しながら、鋼板を検査する。このセンサヘッドトラバース方式の採用により、ホール素子チャンネル数を減らし、装置費用を抑えることができた。

## 技術上の特徴

凹凸が小さな欠陥でも検出するため、漏洩磁束条件を最適化した。図 6 は同じ欠陥に対して外部から与える磁化レベルを変えながら漏洩磁束信号を測定した結果である。この結果、通常の漏洩磁束探傷法で用いられる磁気飽和レベルの磁化に対してその  $75\%$ 以上  $95\%$ 未満が好適であることがわかる。

図 7 は上記の磁化条件で検出した微小凹凸欠陥の一例である。この欠陥の場合は、 $S/N=1.8$  と

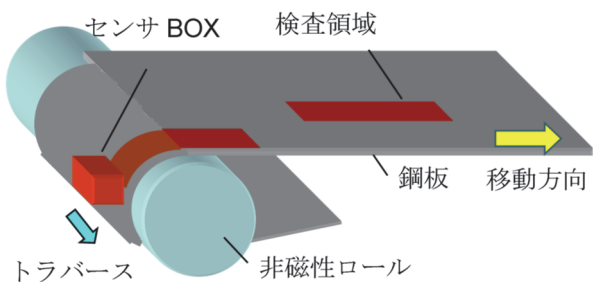


図5 オンライン探傷方法

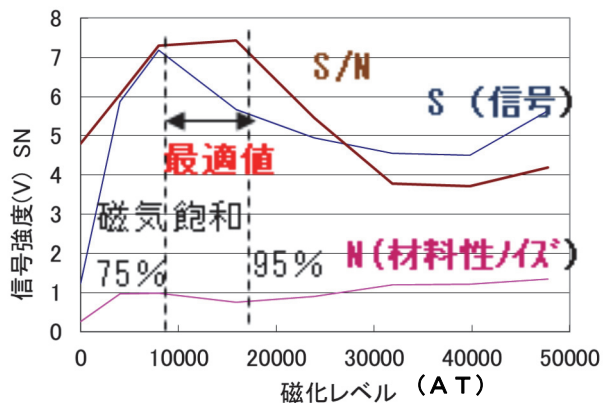
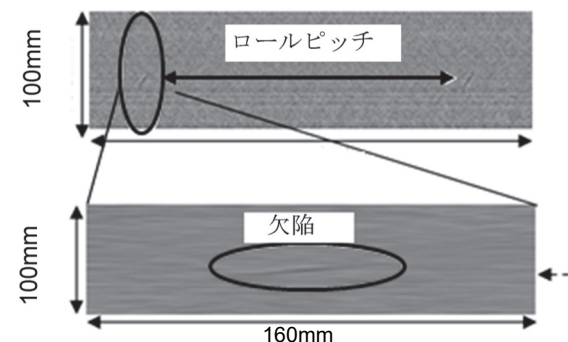


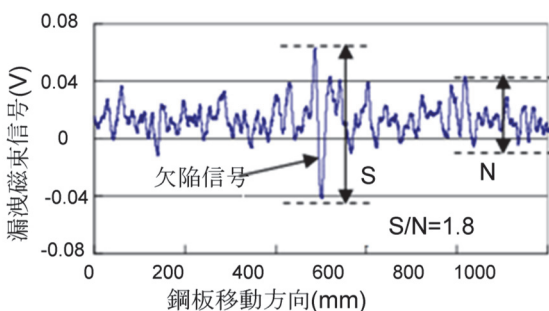
図6 磁化レベルと欠陥信号

オンライン検出が困難なレベルであった。

そこで、さらなる検出能のレベルアップのために微小凹凸欠陥のロール周期を持つ特徴を利用した。



(a) 漏洩磁束信号の2次元イメージ



(b) 漏洩磁束信号の1次元プロット (矢印部)

図7 微小凹凸欠陥の漏洩磁束信号例

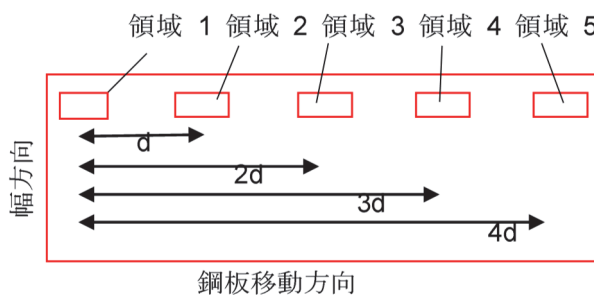
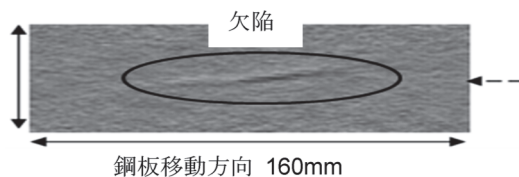


図8 周期性利用による検出能向上手法

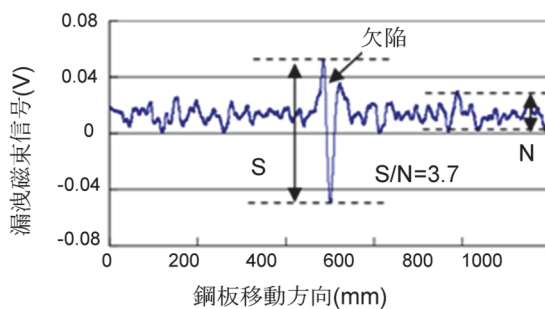
図7に示すように、微小凹凸欠陥からの漏洩磁束信号の2次元分布は、ロールピッチで類似のパターンを持つ。そこで、2次元の相関演算を施すこととした。

図8に示すように、鋼板の移動方向に等ピッチで5周期分の小領域をとり、その小領域間で2次元の相関演算を行う。これを領域間距離、各領域の取る位置を換えながら網羅的に繰り返し、相関値から周期信号の有無を判断する。周期信号が検出されたら、その領域に同期加算平均処理を行い S/N を向上させて欠陥判定している。

図9は、図7の欠陥に対して周期性利用による同期加算を実施した例である。S/Nが3.7と周期処理前の1.8に比べて大幅に向上した。この周期性利用演算を並列計算によりリアルタイム化し、高速ラインへの適用を行った。



(a) 漏洩磁束信号の2次元イメージ



(b) 漏洩磁束信号の1次元プロット (矢印部)

図9 周期性利用による検出能向上後の検出例

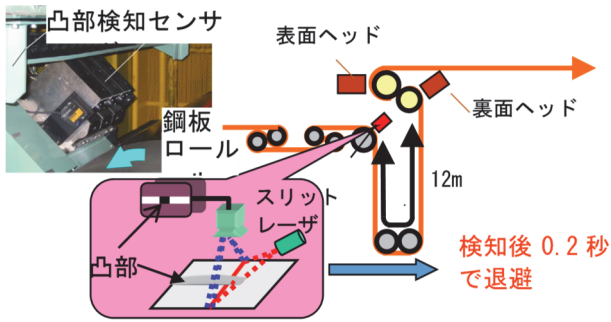


図10 凸部検知センサ

これらの磁化条件の最適化と周期性利用により検出能を向上し、検出対象の微小凹凸欠陥を全数検出を可能とした。

さらに、本装置は非常に微弱な信号を検出するため鋼板と磁気センサの間隔を1mmの距離に保つ必要がある。鋼板に生じる凸部がセンサに接触して装置を壊してしまう可能性がある。

そのため図10に示す量に本体の約12m前にリニアレイ式光切断法による凸部検知センサを開発し、凸部が発生した場合に0.2秒で退避するシステムを設け安定稼働を実現した。

## 実用上の効果

本技術の導入により、これまで数分間ラインを止めて行っていた砥石掛け検査の頻度を半減することが可能になった。また、これまで抜き取りで実施していた検査を全コイルに実施が可能になった。これらによる①生産性向上、②欠陥早期発見による歩留まり向上を実現している。

## 知的財産権の状況

本開発品の装置に関する主な特許登録は下記の通りである。

① 日本国特許第 5186837 号

名称：微小凹凸表面欠陥の検出方法及び装置

概要：漏洩磁束法の磁化条件に関する特許

② 日本国特許第 5453861 号

名称：周期欠陥検出装置及びその方法

概要：周期性利用検出方法に関する特許

## むすび

本装置の導入により、これまで技術伝承によって育成した熟練した検査員によってしか検査することができなかったロール性微小凹凸欠陥の検査を自動化することで、検査員の習熟度によらない検査体制を構築することが可能になった。これにより自動車用鋼板の品質が安定し、高品質の自動車を製造する際の欠陥材混入によるロスを低減することが可能になった。

今後、国内・海外の自動車向け鋼板製造ラインへの展開を検討していく所存である。