

ツイン投光差分方式表面検査装置

JFEスチール株式会社

代表取締役社長 北野 嘉久

JFEスチール(株) スチール研究所 サイバーフィジカルシステム研究開発部	大野 紘明
JFEスチール(株) 知多製造所製造部	小川 晃弘
JFEスチール(株) 知多製造所 企画部	山崎 孝博
JFEスチール(株) 東日本製鉄所 京浜地区 厚板部	楯 真沙美
JFEスチール(株) 東日本製鉄所 京浜地区 制御部	飯島 慶次

はじめに

鉄鋼製品における表面品質、特に表面欠陥の有無は外観上や強度保証の観点から非常に重要である。自動車用の薄鋼板に関しては、表面性状が均一であり欠陥と健全な部位の区別が容易であるため、主に光学式検査装置を用いた検査の自動化が進んできた。

一方、建築物やインフラ等に用いられる鋼管や厚鋼板では、未だ人による目視検査が主流であった。検査の自動化を妨げる最大の課題として、**図1**に示す通りこれらの鋼材には「黒皮」と呼ばれる無害な鉄の酸化膜が表面を覆い、酸化膜の模様と凹凸を持つ欠陥との区別が難しい点が挙げられる。

そのため、欠陥の検出を目視検査に依存していたが、長時間の過酷な労働に加えて欠陥見逃

しリスクも大きく、検査の自動化が強く求められていた。

開発のねらい

黒皮鋼材を対象とした表面検査の自動化は鉄鋼業界共通の重要課題であり、過去に光学式、電磁気式、超音波式等様々な手法を用いた研究開発がされてきた。

しかしながらいずれの手法も酸化膜の無害な模様起因のノイズと欠陥との弁別や、振動などの悪環境下のエンジニアリングが課題となり、実用化に至った報告例は存在しなかった。

筆者らは本難題をブレイクスルーすべく、欠陥と酸化膜の模様を、様々な角度で光をあてながら観察した際に得られた知見から、酸化膜は凹凸が小さくほぼ平坦で投光方向により見え方が変わらないが、欠陥は凹凸があり投光方向により見え方が異なる点に着目し、**図2**に示す新しい光学的手法を用いた「ツイン投光差分方式表面検査装置」を開発した。本装置は**図3**に示す通り2方向から投光して別々に撮像して差分を取ることで酸化膜模様の信号を低減、陰影の異なる凹凸欠陥の信号のみ検出可能とした。

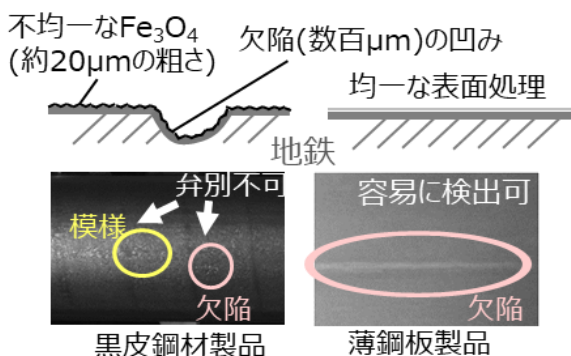


図1 黒皮鋼材と薄鋼板の表面の違い

装置の概要

ツイン投光差分方式表面検査装置では検査対

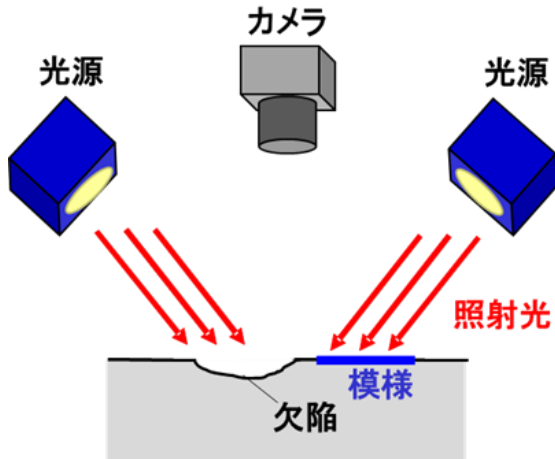


図2 ツイン投光差分方式表面検査装置

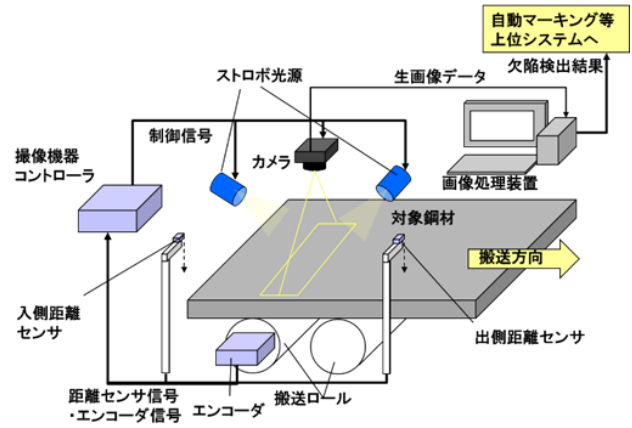


図4 基本的なハードウェア構成図

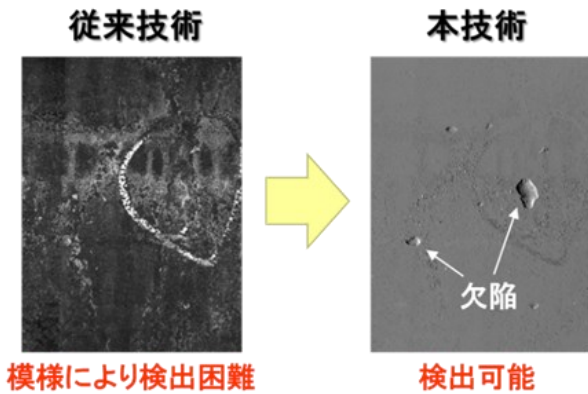


図3 ツイン投光差分方式の効果

象となる黒皮鋼材の全表面を効率よく検査するために、製造工程の搬送ライン上にセンサを固定し、搬送ライン上の移動する鋼材を検査する。

このとき、欠陥検出部を構成しているカメラ・光源などの光学機器や画像処理装置の他に、図4に示す通り検査対象の搬送装置、検査対象の位置を把握するための距離センサやエンコーダ、撮像機器を制御するコントローラを用いて、搬送される鋼材の全長を抜けなくオーバーラップさせて撮像し、鋼材全面を検査する装置を開発した。

上記装置を検査対象や搬送条件ごとにカスタマイズし、様々な黒皮鋼材製造ラインに導入した。まず最も目視検査の環境が悪く、検査自動化のニーズが強かった鋼管の製造ラインを対象として実用化し、続いて厚鋼板や電縫管の製造ラインに導入した。

鋼管の表面検査では図5に示す通り、圧延直

後で赤熱した状態の検査対象を、カメラの撮像範囲を周方向に3分割し、それぞれ上流・下流から投光することでツイン投光差分方式を適用可能とし、検査対象の搬送に合わせて撮像することにより全周全長を検査する。また、対象が800°Cに赤熱した状態であるため、自発光によるノイズ除去のための赤外カットフィルタの設置や、冷却・粉塵への対応といったエンジニアリング対策を実施することで、高温材料の表面検査を実現した。

厚鋼板の表面検査では図6に示す通り、幅方向に表裏面各6台のカメラを並べ、搬送に合わせて撮像することにより全面を検査する。厚鋼板で発生する有害欠陥の中には細長い欠陥もあり、かつ、その向きの様々であることから、投光方向と欠陥の向きの関係次第では感度が低くなる可能性がある。この対策として、各カメラに対して光源を4台設置し、幅方向と長手方向の2組のツイン投光差分方式を適用する構成とした。

電縫管とは、鋼板を管状に丸め、その継目を溶接することにより成形される鋼管である。この

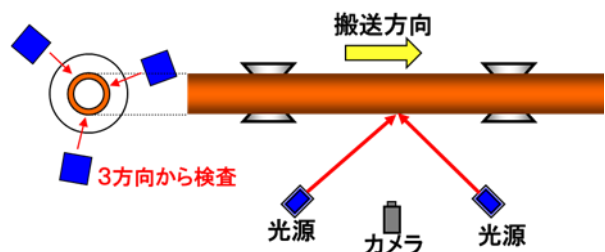


図5 鋼管を対象としたアプリケーション

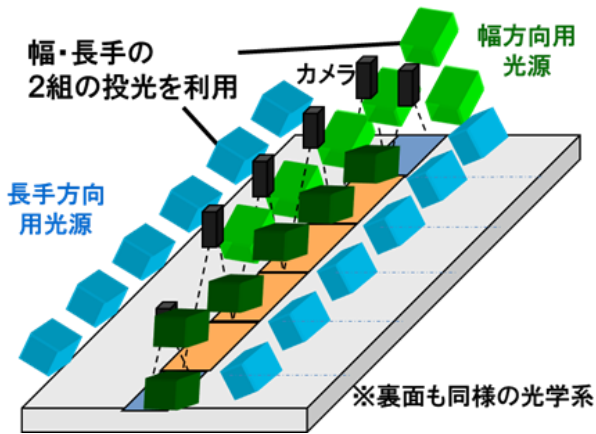


図6 厚鋼板を対象としたアプリケーション

とき、造管時に内面になってしまう面の目視検査が困難であるといった課題がある。そのため造管直前の原板表面を検査し、造管時に内面となる鋼板面の欠陥を検出する。また図7に示す通り、鋼板跳ね上がり時の設備との接触を考慮し、搬送される鋼板直上の外に下流側光源を設置、それに伴い視野を搬送方向に対して斜めとなる領域とした。

技術上の特徴

黒皮鋼材表面検査の自動化を実現した新技術「ツイン投光差分方式」の核となる重要な技術として、①2方向からの投光と差分処理②画像処理による明暗パターン検出③ストロボ投光の高速切り替えが挙げられる。以下各技術の詳細を説明する。

①前述の通り異なる2方向から同一検査部位に各々投光して得られた2枚の画像の差分を取ることにより、凹凸のない酸化膜の模様

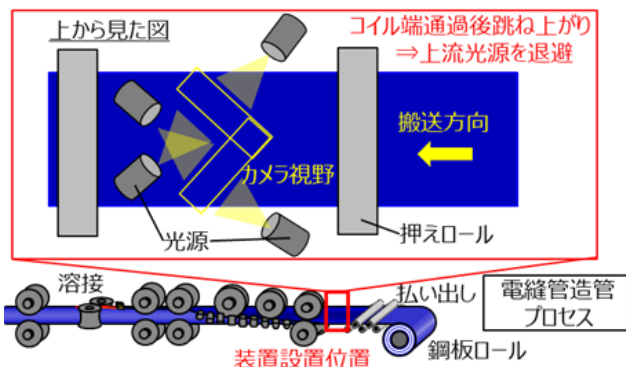


図7 電縫管を対象としたアプリケーション

を低減し、凹凸欠陥の信号のみ強調することが可能となった。

②得られた画像の中で凹形状の欠陥部位は独特の明暗パターンが発生し、さらに図8に示す通り、凸形状の部位と比較し明部と暗部の位置関係が逆転することを利用して凹と凸とを区別可能である。多くの場合、欠陥は凹形状であるため、凹となる明暗パターンのみ検出することによって、検査面上に付着している無害な異物の凸形状の信号や、欠陥でない微小な斜面が偶然正反射条件となることにより発生する明または暗のみの無害な信号との分離も容易である。

③移動中の検査対象に対して、位置ズレなく異なる方向から投光した2枚の画像を取得する必要がある。そこで図9に示す光学系と図10に示すチャートのように1/10,000秒差でストロボの発光を切り替えて投光し、各投光に合わせて高速に連続撮像することで、位置ズレのない2画像の取得を実現した。本高速撮像技術は、光量を確保しつつ瞬時に投光して撮像するため、搬送中に発生する上下方向の鋼材振動影響も除去できるといった利点もあわせもつ。

さらに得られた欠陥画像から明暗パターンや欠陥の長さ、面積といった特徴量を抽出し、機械学習により構築された判定ロジックを用いて欠陥の種類や、その欠陥が有害か無害かを判断する等、検出性能を高める様々な工夫により実用的な表面検査を実現した。

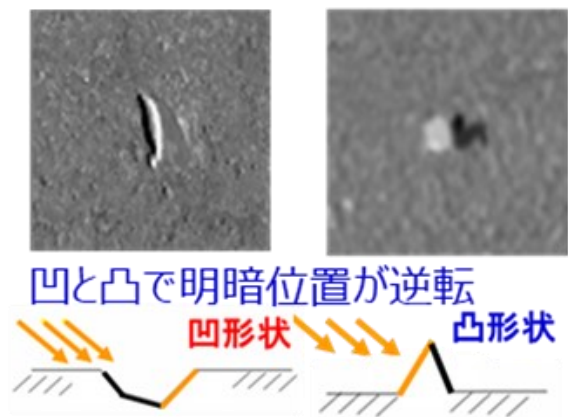


図8 明暗パターンによる凹凸識別

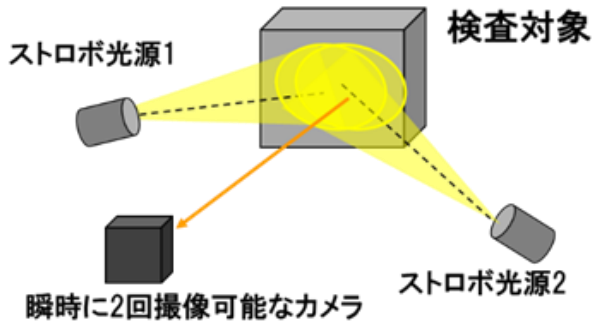


図9 ツイン投光差分方式光学系

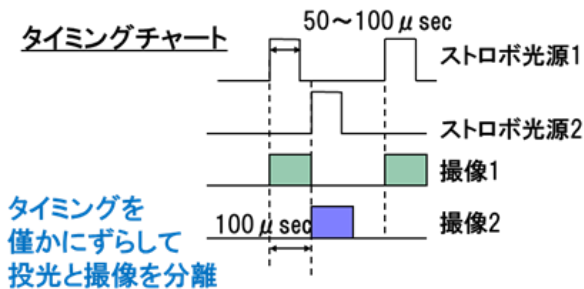


図10 高速撮像技術によるチャート

実用上の効果

産業で幅広く利用される多種多様な黒皮鋼材に対し、従来目視依存であった表面検査を自動化する検査装置を実現、欠陥検出性能及び製品表面品質が飛躍的に向上した。その結果、お客様により信頼性の高い鉄鋼製品を提供することが可能となり、環境破壊や災害リスクの低減など安心した社会づくりに貢献している。

知的財産権の状況

本開発品の装置に関する特許登録は下記の通りである。

①日本国特許第 6040930 号

名称：表面欠陥検出方法及び表面欠陥検出装置

概要：高速撮像法を用いた二方向照射と差分処理に関する

②日本国特許第 6119663 号

名称：表面欠陥検出方法及び表面欠陥検出装置

概要：明暗パターンによる凹凸弁別に関する特許

③日本国特許第 6064942 号

名称：表面欠陥検出方法及び表面欠陥検出装置

概要：明暗パタンの発生しにくい欠陥に対し効率的な検出に関する特許

むすび

鉄鋼業で強いニーズがありつつも実現できておらず永遠の課題となっていた黒皮鋼材の表面検査の自動化に対して、「ツイン投光差分方式表面検査装置」を開発、検査の自動化を実現した。その結果、従来、目視により表面を検査していた製品において欠陥検出性能が向上、製品表面品質が向上した。

今後、本検査装置の他製造ラインへの展開を検討していくとともに、さらに検出性能の高い新表面検査技術の開発と実用化を進め、より一層の製品品質向上に努めていく所存である。