

## 圧延ラインの安定稼働や生産効率の向上を実現する計測・検査技術

Measurement and Inspection Technologies to Ensure Stable Operation and Improve Production Efficiency of Steel Rolling Lines

賀川 武 KAGAWA Takeshi 懸田 拓 KAKEDA Taku 米川 栄 YONEKAWA Sakae

鉄鋼などの圧延ラインでは、圧延材の形状制御や品質保証のために、寸法計測や欠陥検出が不可欠であるが、高温多湿や振動・衝撃などの厳しい環境下で、高速かつ正確な測定や、測定結果の演算処理側へのリアルタイム伝送が求められる。近年では、測定の信頼性に加え、装置やライン内の状態や周囲情報をリアルタイムで測定・収集・分析して、ライン稼働の効率化や操業監視に必要な情報を提供することも求められている。

東芝インフラシステムズ(株)は、過酷な環境下で、長期間にわたる安定稼働と高精度な計測が可能なX線厚み計を提供している。温度、湿度、加速度などの各種センサーの追加によって周囲のセンシングデータを収集できる機能を実現するとともに、ライン停止のゼロ化を実現するための異常予兆検出機能を備えた厚み計の開発も進めている。

Dimensional measurements and defect inspections of products are essential in a steel rolling line, in order to control the shapes of the products and assure their quality. Precise high-speed measurements and real-time transmission of measurement data to the relevant processing circuits must be conducted under severe conditions of high temperature, high humidity, and considerable shock and vibration. It is also necessary to provide information so as to improve the efficiency of line operations and monitor the conditions of the equipment and line by measuring, collecting, and analyzing data in real time, in addition to achieving further improvements in measurement reliability.

Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation is supplying X-ray thickness gauges for steel rolling lines that are capable of stable long-term operation and high-precision measurements and inspections under severe conditions. We have developed a function to collect sensing data from various field sensors including temperature, humidity, and acceleration sensors, and are also developing a failure prediction function to improve production efficiency without the need to suspend operation of the steel rolling line.

### 1. まえがき

鉄や、アルミニウム、銅、チタンなどの圧延ラインでは、圧延材の形状制御や品質保証のために、寸法計測や欠陥検出が不可欠となる。このため、東芝インフラシステムズ(株)は、これらを計測する厚み計や、幅計、欠陥検出装置などの計測機器を提供している。

このような計測機器では、圧延ラインのように高温多湿で振動や衝撃が伝わる厳しい環境下において、測定対象の状態量の正確な測定を妨げる環境因子の影響を軽減させ、高速かつ正確に測定して測定結果をリアルタイムに演算処理側に伝送することが求められる。

また、近年は、圧延ライン内の様々な装置から収集されるデータを分析し、ライン稼働の効率化や操業監視が行えるように、装置の状態や周囲情報の提供が求められる。

ここでは、当社のX線厚み計における、過酷な環境下で測定を行うための耐環境設計に基づく構造や、装置内部及び周囲のセンシングデータを収集するシステムなどの特長に加え、現在開発を進めているX線発生器の異常予兆検出シ

表 1. X線厚み計の主な仕様

Main specifications of X-ray thickness gauge

項目	諸元
板厚測定範囲	冷延：0.1～8.0 mm, 熱延：1.0～16.0 mm
測定材質	鉄, アルミニウム, 銅, チタンなど
直線性	板厚測定値の0.1% (2σ)
演算周期	通常：5 ms, 高速版：1 ms

σ：標準偏差

ステムについて述べる。

### 2. 耐環境性能

X線厚み計はX線が物質を透過する際の減衰特性を利用し、非接触で測定対象の厚みを計測する装置であり、毎分1,000 m以上の速度で移動する温度1,000℃前後(熱延ラインの場合)の鋼板の厚みを高精度に測定する。X線厚み計の性能諸元を表1に示す。

X線厚み計の検出部は、図1に示すように、被測定材を上下から挟み込むようにアームが伸びたC型の形状をしており、通常下側のアームにX線発生器、上側のアームにX線

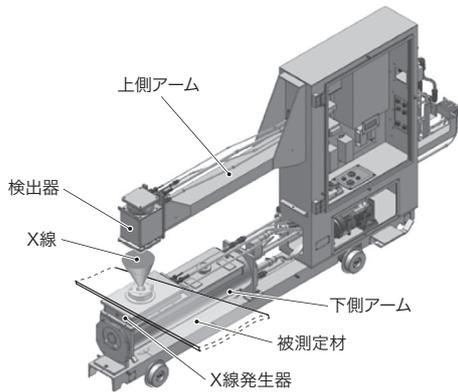


図1. 検出部の構成

被測定材を挟み込むようにC型の形状をしたアームに、X線発生器と検出器を配置して板厚を計測する。

Configuration of measuring head

を検知する検出器を配置する。

検出器に入射するX線は、そのビームの中心が検出器の中心になるように調整してあり、また、不要なX線が外部に照射しないようにビームを絞っている。このため、圧延材から放出される輻射（ふくしゃ）熱によって生じる検出部の熱変形などでC型のアーム構造体に変形し、X線発生器と検出器の位置関係が変化すると、検出器に入射するX線量も変化するので、板厚測定誤差の要因となる。

鉄の熱間圧延ラインの場合、厚み計を通過する際の鋼板温度は800～1,000℃に達し、圧延材からの輻射熱によって検出部が加熱され、熱膨張によってC型のアーム構造体に変形が生じ、X線発生器と検出器の位置関係が変化する。

そこで、被測定材からの輻射熱の影響を低減するため、検出部外側のC型フレームの上下アーム面や懐部分に遮熱板を設置し、更にフレーム内部の冷却や、散水によるフレーム表面の冷却を行う。

検出部が受ける熱の影響は一樣ではなく、冷却により最大限の効果が得られるように、図2に示すような、検出部の熱変形シミュレーションを行い、冷却方法や冷却箇所を検討している。

検出器に入射するX線量の変化によって生じる板厚測定誤差の要因としては、このほか、X線照射面や検出器面への異物付着などが挙げられる。

圧延材を冷却するための大量の冷却水や、圧延油が測定空間内に降り懸かるため、高温の鋼板では、鉄の表面にスケール（酸化鉄の被膜）が発生し、このスケールが鋼板から剥がれて測定空間窓面に付着することがある。

水や、油、スケールなどの異物が測定空間中に存在すると、異物によってX線が減衰し、検出されるX線量が変化

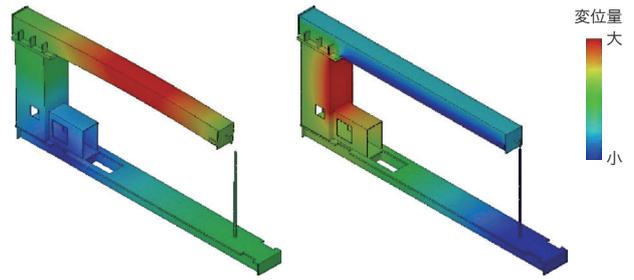


図2. 検出部の熱変形シミュレーション結果の例

外部から加えられる熱による検出部の変位量をシミュレートすることで、最大限の冷却効果が得られるような冷却方法や冷却箇所を検討する。

Examples of measuring head thermal deformation analysis results

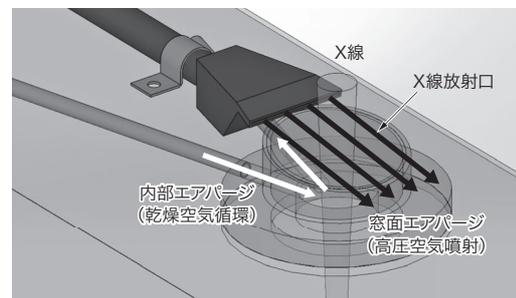


図3. X線発生器上面の窓面構造

X線が透過する窓面を覆い、窓面に高圧空気を噴射するとともに乾燥空気を循環させることで、結露や異物付着を防いでいる。

Structure of X-ray radiation window

して正確な計測が困難となるため、厚み計では測定空間窓面への異物付着を防ぐ必要がある。

図3は、X線厚み計のX線発生器上面の窓面構造を示しており、窓面に高圧空気を噴射して異物の付着を防いでいる。一方、高圧空気で窓面が冷却されると、窓裏面が結露したり、周囲の水やスケールなどを吸い込んだりするおそれがある。そのため、X線放射口と窓面間に水や異物が入らないように覆い、更に乾燥空気を循環させることで結露などを防いでいる。また、窓面構造は、圧延ラインの種類や仕様に応じてバリエーションを持たせている。

このように、圧延ラインの環境仕様に合わせた耐環境設計をすることで、高精度な測定結果が提供できる。

### 3. センシングデータの拡張と収集

高精度計測に加え、CPS（サイバーフィジカルシステム）技術の発展に伴い、生産ラインの安定稼働や効率改善のために様々なデータをフィールドセンサーで収集して提供することが求められている。当社は、高速かつリアルタイムな計測で、板厚測定値と検出器内環境の相関を明確化したり、

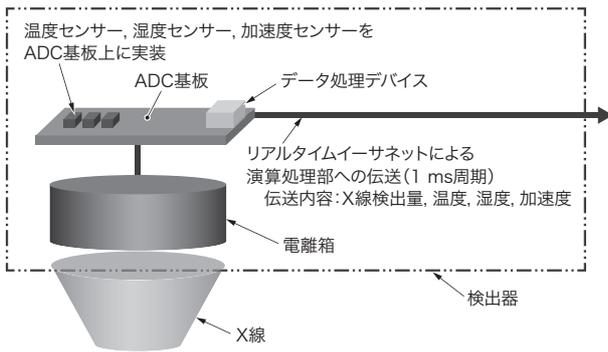


図4. 検出器内の構成とセンシングデータの収集

電離箱からのX線検出信号とともに、検出器内の温度、湿度、及び加速度信号を計測し、リアルタイムに演算処理部へ伝送する。

X-ray sensing detector and data processing circuit

ライン稼働状況の分析や早期異常検出を実現したりできるX線厚み計を提供している<sup>(1)</sup>。

図4は、X線厚み計の検出器内の構成を示している。電離箱が、入射したX線を電気信号に変換して出力し、ADC（アナログデジタル変換器）基板でこの電気信号をデジタル値に変換する。ADC基板には、フィールドセンサーとしての機能を高めるために、温度センサー、湿度センサー、及び加速度センサーが実装されており、検出器内の状態変化を監視できるようにしている。

X線検出信号及び各センサーからの信号は、データ処理デバイスからリアルタイムイーサネットにより1 ms周期で演算処理部に伝送される。

#### 4. X線発生器の異常予兆検出システム

圧延ラインの稼働中に機器が故障すると、復旧するまで長時間ラインを止める必要があり、ライン稼働率が低下する。そのため、各機器には高い信頼性が求められる。

消耗品でもあるX線発生器の異常を検出し、事前に計画されているライン休止時期に合わせて交換対処することは、圧延ラインの安定稼働や生産効率の向上を実現するために重要な課題である。そこで、X線発生器の駆動信号をリアルタイムに収集し、収集したデータからX線発生器内の故障部位による異常発生パターンを統計的に分析し、X線発生器の異常予兆検出を行うシステムの開発を進めている。

図5に示すように、X線発生器の駆動信号（X線管電圧、管電流）は、X線発生器を制御するX線制御ユニットに入力される。X線制御ユニット内に入力された信号は、デジタル値に変換され、イーサネット伝送で制御部内の厚み演算処理PC（パソコン）に送信される。

厚み演算処理PCは、測定板厚の演算処理に特化するた

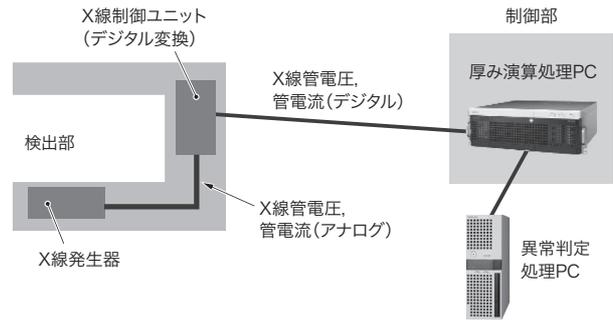


図5. X線発生器の異常予兆検出システム

X線発生器の駆動信号（X線管電圧、管電流）は、厚み演算処理PCを介して異常判定処理PCで収集、分析され、X線発生器の異常予兆が早期に検出される。

Failure prediction system for X-ray generator

め、異常判定処理PCにX線管電圧、管電流データを出力し、異常判定処理PCでこれらのデータの収集・分析を行い、X線発生器の異常予兆を検出するシステムを構築する。

#### 5. あとがき

当社のX線厚み計における、耐環境性設計やセンシングデータの収集システムなどの特長に加え、開発中の異常予兆検出システムについて述べた。

今後も、厳しいフィールド環境下で適切にセンシングし、圧延ラインや生産ラインの安定稼働や生産品質向上に貢献する計測・検査技術を開発していく。

#### 文 献

- (1) 米川 栄, ほか. 高速応答X線厚み計の開発. 電気学会研究会資料, 2018, MZK-18-001-009, p.19-22.

・イーサネットは、富士ゼロックス（株）の登録商標。



賀川 武 KAGAWA Takeshi  
東芝インフラシステムズ（株）  
府中事業所 パワーエレクトロニクス・計測制御機器部  
日本鉄鋼協会会員  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



懸田 拓 KAKEDA Taku  
東芝インフラシステムズ（株）  
府中事業所 パワーエレクトロニクス・計測制御機器部  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



米川 栄 YONEKAWA Sakae  
東芝インフラシステムズ（株）  
府中事業所 パワーエレクトロニクス・計測制御機器部  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.