

# 新型X線厚み計 TOSGAGE™-8000Aシリーズ

TOSGAGE™-8000A Series X-Ray Thickness Gauge

小原 哲

■ OBARA Satoshi

X線厚み計は、鉄鋼プラントなどの圧延ラインで、板状の被測定物の厚みをオンラインで測定する装置として広く利用されている。鋼板の板厚は直接歩留まりに影響することから、測定データには精度と信頼性が求められる。それに加えて近年では、柔軟なインターフェース仕様、短納期、及び低コストが要求される傾向にある。

東芝は、このような市場ニーズに応えるため、鉄・非鉄金属圧延計測器シリーズの第一弾として、データ処理に産業用コンピュータを採用しインターフェースを一新した、新型X線厚み計 TOSGAGE™-8000Aシリーズを開発した。産業用コンピュータの採用で、機種間の共通化や標準化が図られて限られたリソースを有効活用でき、設計思想的にも統一感のある製品群をタイムリーに商品化することが可能となった。

X-ray thickness gauges are widely used for online measurement of the thickness of plates in a steel rolling line. As the thickness of the steel has a direct effect on the yield rate of the rolling line, thickness gauge measurement data are necessary for accuracy and reliability. In recent years, there have also been increasing requirements for rapid delivery, flexible interface specifications, and low cost.

To meet these market requirements, Toshiba has developed the TOSGAGE™-8000A series X-ray thickness gauge, which is the first release of a new series of measuring instruments for rolling applications with a new interface and employing an industrial computer for data processing.

## 1 まえがき

X線厚み計は、板状の被測定物にX線を照射し、透過したX線量を測定することで被測定物による減衰量を求め、それを厚みに逆算することにより板厚を測定する装置である。装置が設置される圧延ラインの測定空間に飛散する水や油は、鋼板などと比較して低密度であるため、ほかの測定方式に比べて水や油に起因する誤差が小さいという特長がある。このように非接触測定であることや、被測定板を搬送する際の振動の影響を受けにくいなど耐環境性の利点から、鉄・非鉄金属プラントの圧延ラインなどに多数採用されている。

鋼板の板厚は製品の重要な品質要素であり、直接歩留まりに影響することから、X線厚み計には精度と信頼性が求められる。しかし、近年ではこれらの要求だけでなく、柔軟なインターフェース仕様、短納期、及び低コストが要求される傾向にある。

東芝は、このような市場ニーズに応えるために、演算部分を従来の専用ボードコンピュータから産業用コンピュータFA3100に変更して、柔軟なインターフェースと低コストを実現した、新型X線厚み計 TOSGAGE™-8000Aシリーズを開発した。

ここでは、この計測器の概要と特長について述べる。

## 2 概要

### 2.1 構成

TOSGAGE™-8000Aシリーズの機器構成は従来の装置構成と大きくは変わらず、検出部、現場操作箱、及び制御部から成る(図1)。

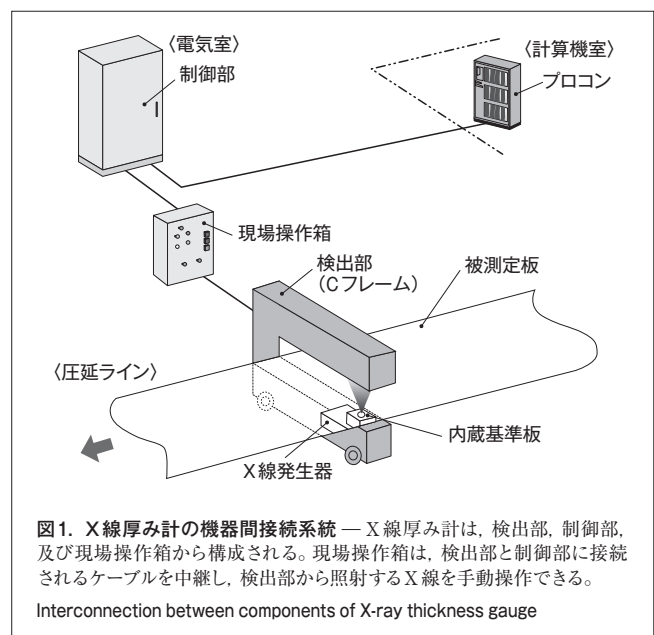


図1. X線厚み計の機器間接続系統 — X線厚み計は、検出部、制御部、及び現場操作箱から構成される。現場操作箱は、検出部と制御部に接続されるケーブルを中継し、検出部から照射するX線を手動操作できる。

Interconnection between components of X-ray thickness gauge

検出部 (図2) にはX線発生器と検出器が組み込まれ、被測定板を挟んで対向するようにフレームに配置される。このフレームを図2に示す形状からCフレームと言う。X線発生器の上には内蔵基準板ユニットがあり、X線ビーム中に基準板を自動で挿入して測定値の校正に使用する。

現場操作箱は、検出部に接続される可動ケーブルと、電気室に収容された制御部に接続される固定ケーブルを中継する機能、及び検出部から照射するX線を手動操作できる機能がある。

制御部 (図3) は、上位のプロセスコンピュータ (プロコン) とのインタフェース部や、板厚を演算するための産業用コンピュータ FA3100などを収容し、顧客のPLC (Programmable Logic

Controller) との多種多様なインタフェースに対応している。

従来のX線厚み計では、インタフェースは主としてデジタル入出力 (I/O) であり、速度を要求される板厚偏差だけをアナログ信号で接続することが多かった。X線厚み計の機能の増加に伴いデジタルI/Oの点数が増加したが、I/O用の盤面数と工事費削減のため、最近では従来のシリアル伝送からEthernetによるインタフェースに移行しつつある。特に海外では、正確なタイミングを必要とする信号及びハードウェアのインタロックを除いて、Ethernetによるインタフェースが採用される傾向にある。

デジタルI/Oインタフェースは原理が単純で、テスト程度の測定器で容易に故障箇所を調査できるという利点がある。しかし、シリアル伝送でよく用いられるチェックサムやCRC (Cyclic Redundancy Check) などの誤り検出符号は、デジタルI/Oにそのまま適用すると大幅なコストアップになる。そのため、実施できるのはパリティチェック程度になってしまい、適切に設計された伝送インタフェースに比較して、データの信頼性という面で問題がある。一方、アナログインタフェースは、精度、ダイナミックレンジ、及び受け側のA/D (Analog to Digital) 変換時間 (遅延時間に相当) の3者のトレードオフで設計されており、現状からの更なる改善を求めるなら、アナログインタフェース以外の方法を検討せざるをえない。

このような課題はX線厚み計に限られたものではなく、当社の計測器では共通の課題となっている。今回、解決策として産業用コンピュータをベースとしたデータ処理とLANインタフェースを採用することにし、X線厚み計を皮切りに適用していくことにした。

産業用コンピュータをベースとするハードウェアは、I/Oを収容するスロット数が限られていることから、多数のI/O点数を扱うには不向きである。更に、多量のデジタルI/Oを扱う場合には、外線接続するための端子台を収容するインタフェース盤の新たな設置が必要になる場合が多い。そのため、このままで産業用コンピュータベースに移行すれば、大きな拡張シャーシを持つ扱いにくいシステムとなり現実的ではない。これに対して、LANインタフェースでデータを取り込むことでインタフェース盤などの設置は不要となり、産業用コンピュータによるデータ処理が可能となった。

## 2.2 仕様

TOSGAGE™-8000Aシリーズの仕様を表1に示す。

従来の機種と比較して特に仕様の変更はない。再現性については、慎重な測定を行えば仕様より1けた良い約0.01%が得られるが、X線厚み計の設置場所で昼夜の寒暖差が20℃あると、基準サンプルの熱膨張だけで0.005%の誤差が見込まれる。温度管理された計器室ではなく、使用される現場で実証するのは困難な値であることから、再現性の仕様としては±0.1%以下としている。

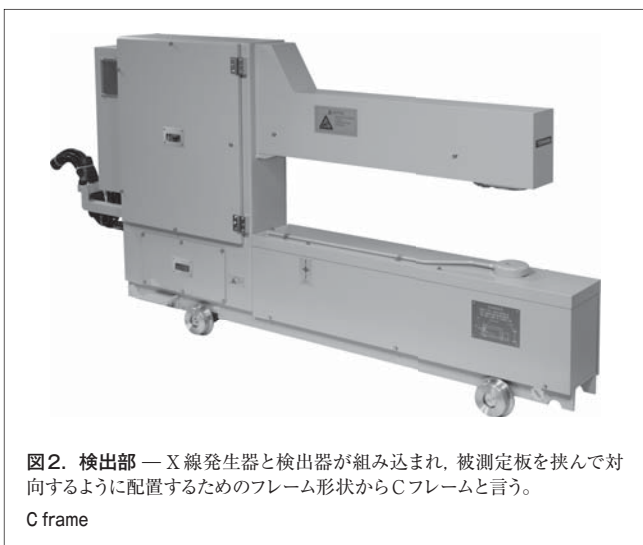


図2. 検出部 — X線発生器と検出器が組み込まれ、被測定板を挟んで対向するように配置するためのフレーム形状からCフレームと言う。  
C frame



図3. 制御部 — プロコンとのインタフェース部や板厚を演算するための産業用コンピュータが高さ約1,800 mmのラックに収容され、顧客のPLCとの多種多様なインタフェースに対応している。  
Controller

表1. 主な仕様

Main specifications of X-ray thickness gauge

項目	仕様
測定範囲	0.1 ~ 8.0 mm
材質補正範囲	±15 % (純鉄基準)
再現性	±0.1 % 以下
雑音	±0.1 % 又は 2 μm 以下 (2σ, 10 ms)
ドリフト	±0.1 %/8h (IEC61336)

σ : 標準偏差  
IEC61336 : 国際電気標準会議規格 61336

### 3 特長

TOSGAGE<sub>TM</sub>-8000A シリーズの主な特長を以下に述べる。

#### 3.1 X線検出の高精度化

X線の検出は電離箱で行うが、電離箱で検出された $10^{-11}$  A程度の微小電流をA/D変換しなければならない。従来、このような高精度の測定では、極力デジタル系とアナログ系の距離を離して設計するが、A/D変換基板の大きさが図2のCフレーム外形の制約にならないように、あえて1枚の基板にアナログ回路、A/D変換器、DC-DCコンバータ(直流電源変換器)、及びLANインタフェースを搭載した(図4)。

アナログ信号ラインと多数のデジタル信号ラインが混在する基板であるが、部品配置の工夫により、シールド板なしで、A/D変換値のフルスケールに対して電気雑音を約10 ppmに抑え、耐雑音性を向上させることができた。

#### 3.2 リアルタイムOS採用による処理能力の向上

制御部の産業用コンピュータFA3100上で板厚の演算タスクの演算周期5 msを保証するため、基本ソフトウェア(OS)に

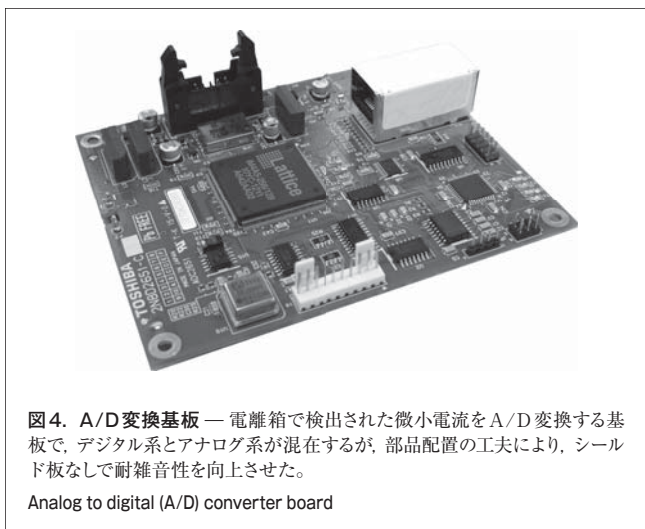


図4. A/D変換基板 — 電離箱で検出された微小電流をA/D変換する基板で、デジタル系とアナログ系が混在するが、部品配置の工夫により、シールド板なしで耐雑音性を向上させた。

Analog to digital (A/D) converter board

は、Windows<sup>®</sup>(注1)上で動くリアルタイムOSを採用した。

このOSはWindows<sup>®</sup>上のプロセスであるが、割り当てられたI/Oを占有して高いプライオリティで動くので、ほかのタスクの負荷の影響を受けず、かつ、データの表示や通信はWindows<sup>®</sup>用のインタフェースを利用することができる。これにより、演算処理と測定結果の画面表示を1台の産業用コンピュータで処理できることから、電気室が設置されていないようなコンパクトなプラントでも設置が容易になる。

また、測定結果の画面表示は、運転室などに別のパソコン(PC)を置いてそこに表示することも可能である。

#### 3.3 FA3100による互換性の向上

信頼性や保守性、製品寿命に優れ、長期間使えるように保守サービスも提供されている。産業用コンピュータFA3100を採用した。

産業用コンピュータはOA用途のPCとは設計が異なり、長期供給や保守サービスを前提に製品化されているが、それでも10年以上使われるX線厚み計の使用期間に比べて機種更新は早い。バスやOSなど、仕様が次第に変わっていくことが予想される。

将来、アーキテクチャが変わった場合に互換性の問題を避けるため、バスに挿入する基板などは装置固有の自社開発品ではなく、システムの構成上やや不便なところもあるが、市販されている汎用のI/Oインタフェース基板にして製品寿命の延長を図った。

#### 3.4 HMI画面の改善

制御盤の画面デザインと操作性を改善したヒューマンマシンインタフェース(HMI)を採用した。

画面全体の明るさを運転室のほかの機器に合わせて設定した。また、オペレーターが見る頻度の高いX線照射やシャッタの状態、及び自己診断コードは、図5に示すように画面の左サイドにアイコンを配置し、いつでも確認できるようにした。図6の画面では、画面中央に板厚のトレンドがリアルタイムにグラフで表示されているが、過去のトレンドも呼び出して確認できるようになっている。

また、所要時間の長い試験では、自動的に保守画面にデータを取り込み、社内試験や客先試験での確認が容易になるよう効率化を図っている。

#### 3.5 FL-net採用による柔軟なインタフェース

入出力機器を制御するシーケンサは多種多様な入出力に対応できる柔軟性があるので、I/O拡張用としてシーケンサを準備し、そのインタフェースには物理層にEthernetを使用するFL-netを採用した。

制御指令はシーケンサで入力され、FL-netを介して産業用コンピュータに伝送されるが、その応答速度は実績で平均52 msを得ている。

(注1) Windowsは、米国Microsoft Corporationの米国及びその他の国における商標又は登録商標。

### 3.6 予備品の互換性維持

当社のX線厚み計は、国内及び海外を合わせた累積出荷台数で既に数百台の実績があり、多数のユーザーが予備品を保管している。データ処理に関係がない電離箱やX線発生器などのコンポーネントは、既設の旧機種との互換性を極力維持し、既存の予備品が転用できるように配慮した。

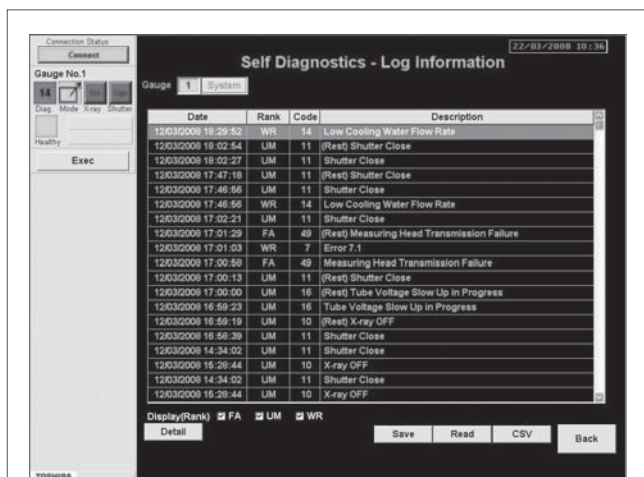


図5. 自己診断画面 — オペレーターが見る頻度の高いX線照射やシャッターの状態、及び自己診断コードは、画面の左サイドにアイコンが配置され、いつでも確認できる。

Self-diagnosis display

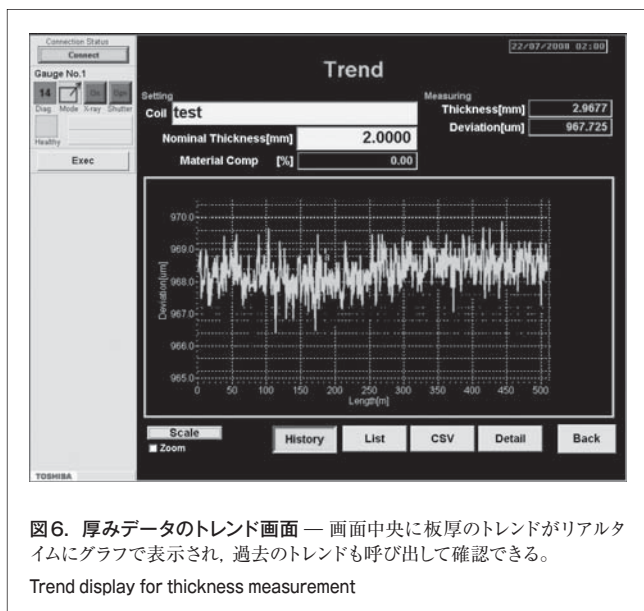


図6. 厚みデータのトレンド画面 — 画面中央に板厚のトレンドがリアルタイムにグラフで表示され、過去のトレンドも呼び出して確認できる。

Trend display for thickness measurement

(注2) EU (欧州連合) が2006年7月に施行した規制で、規制対象は鉛、カドミウム、6価クロム、水銀、ポリプロモビフェニル、ポリプロモジフェニルエーテルの6物質。

## 4 あとがき

新型X線厚み計 TOSGAGE™-8000A シリーズは、効率よく測定ができるコストパフォーマンスに優れた装置として、ユーザーニーズに応えていけるものと期待している。

従来の製品開発では、機種ごとに最適と考える伝送方式や、演算処理用ハードウェア、OSなどを採用し、必要に応じて自社開発を行ってきたが、開発期間の長期化による新機種リリースの遅れや、RoHS指令<sup>(注2)</sup> (電気・電子機器中の特定有害物質の使用制限に関する指令) 対応などの開発上の負担が大きくなっていった。産業用コンピュータの採用により、使用上に若干の制約があるにしても、機種間の共通化や標準化が図られて限られたリソースを有効活用できるので、設計思想的にも統一感のある製品群をタイムリーにリリースすることが可能となった。

このX線厚み計は、一連のアーキテクチャによる最初の機種であり、今後、ほかの厚み計製品群に展開していく予定である。更に、システム全体から装置をとらえ、様々なニーズに対してタイムリーに応えられるよう努力していく。

## 文献

- (1) 辻井竜男. オンライン設定変更可能なX線厚み計. 計測技術. 11, 10, 1983, p.150 - 155.



小原 哲 OBARA Satoshi

電力流通・産業システム社 府中事業所 計測制御機器部主務。  
厚み計の設計・開発に従事。技術士 (原子力・放射線部門)。  
Fuchu Complex