

配管肉厚検査装置

Novel System for Inspection of Piping Corrosion and Defects

濱田 智広 片山 雅弘

■HAMADA Tomohiro

■KATAYAMA Masahiro

高エネルギー用カラー イメージ インテンシファイア Ultimage™ (アルティマージュ) 及び 3 次元 (3D) 超音波検査装置 Matrixeye™ を用いた新しい配管肉厚検査装置を開発した。前者の装置は、X 線源や γ 線源と組み合わせ、配管外周の保温材をはがすことなく、直接、配管肉厚が測定でき、後者は 1 次元又は 2 次元配列の超音波探傷素子を用いることにより、連続的な内面腐食データを短時間で得られる利点がある。これらの装置を用いることにより、現場において、ほぼリアルタイムで配管肉厚の測定が可能であり、取扱いが便利であることと併せ、作業性の向上に大きく寄与することができる。

Toshiba has developed a novel wall-thickness inspection system for piping that employs a color image intensifier, Ultimage™, and a 3D ultrasonic inspection system, Matrixeye™. The Ultimage™ system uses X-rays and gamma rays in combination to measure wall thickness without the need to remove thermal insulation. The Matrixeye™ system uses flaw-detecting ultrasonic devices arrayed linearly or in a plane to rapidly identify corrosion and erosion defects on inside surfaces. Inspections are therefore easy to perform and the results are obtained without delay, greatly contributing to the efficiency of operations.

1 まえがき

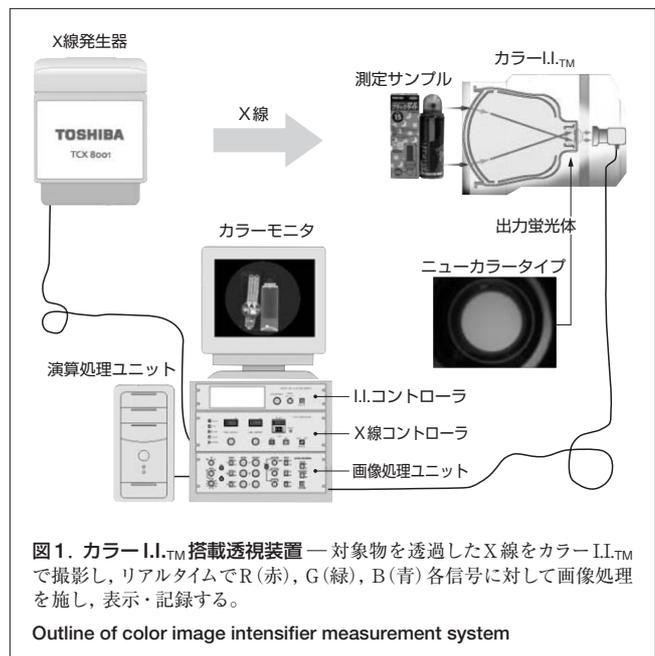
一般産業プラントにおける配管は、経年劣化により腐食減肉やさびこぶ、詰まりを生じる。プラントの安全操業や生産性の向上のためには、配管を切断することなく、非破壊的手法を駆使して劣化状況を検査する必要がある。また、発電プラントにおける配管肉厚管理に対しては、経済産業省原子力安全・保安院から“原子力発電所の配管肉厚管理に対する要求事項 (NISA-163a-05-0)”が発せられるなど、社会的な課題となっている。

配管肉厚測定に対するこのようなニーズの拡大に対し、東芝は高エネルギー用カラー イメージ インテンシファイア (カラー I.I.™) Ultimage™, 及び 3D 超音波検査装置 Matrixeye™ を用いた新しい 2 種類の配管検査装置を開発したので、以下にそのシステム概要と、特長となる機能について述べる。

2 システムの概要

2.1 高エネルギー用カラー I.I.™

イメージ インテンシファイア (I.I.) は従来より医療分野で広く用いられてきた X 線撮影装置である。その適用エネルギー領域は X 線管電圧 150 kV 程度で、配管などの非破壊検査で必要とされる Co-60 (コバルト 60) の γ 線 (1.173 MeV, 1.333 MeV) などの高エネルギー放射線では効率が悪く、感度が低かった。また、放射線検査では工業用 X 線フィルムや



輝尽性蛍光シートを使用しているが、反応体の厚さが薄いため S/N 比 (信号と雑音の比) のよい画像を得るには照射時間を長くしなければならない。また、フィルムでは現像が、輝尽性蛍光シートではレーザーでの読取りなどの後処理が必要で、撮影に成功したかどうか、その場での確認ができない。

当社は、独自に開発したカラーシンチレータ⁽¹⁾を採用し、広いダイナミックレンジを持つカラー I.I.™⁽²⁾⁻⁽⁵⁾を開発して

きたが、今回、更に高エネルギー領域(300 keV以上)での感度と視認性を向上させたカラーI.I.TMを開発し、照射時間が従来の1/100~1/60程度で放射線透過撮影を可能にした。

装置は、撮像用のカラーI.I.TMと画像を表示する制御部から成っており、Co-60やIr-192(イリジウム192)の γ 線源やX線源と組み合わせて使用する。装置のブロック図を図1に示す。

また、撮像エリア径が9インチタイプのカラーI.I.TMとX線源又は γ 線源をCアームに取り付け、回転や上下動などができるようにした移動型の装置の写真を図2に示す。この装置は配管周りに空間的なゆとりがある場所での使用を想定している。



図2. カラーI.I.TM搭載透視装置 — アクセス性の良い現場を想定したCアーム付き台車搭載のカラーI.I.TMシステムである。
C-arm cart with color image intensifier system



図3. 配管への取付け状況 — 専用治具を用いて、4インチカラーI.I.TMを保温付き配管に取り付けている。
4-inch color image intensifier fixed on insulated pipe

発電プラントなどのように検査箇所が架台の上であったり、周辺に干渉物が多い場所では、図3に示すように、カラーI.I.TMを単独で設置して撮影を行う。カラーI.I.TMは9インチタイプのほか、6インチ、4インチタイプを用意しており、狭隘(きょうあい)な検査箇所への適用も考えている。

撮影している画像は、照射場所から離れた、放射線管理の上で安全な場所に設置したコンソール(画像処理装置とパソコン)にリアルタイムで表示される。

2.2 3D超音波検査装置 MatrixeyeTM

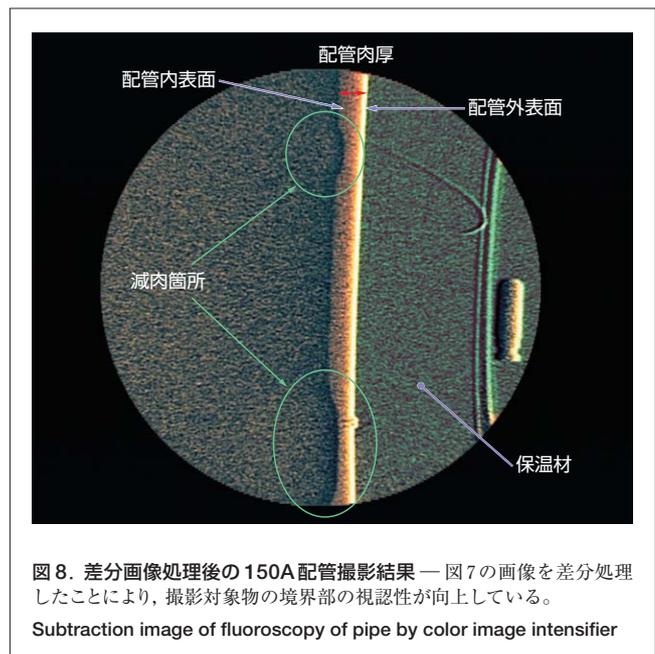
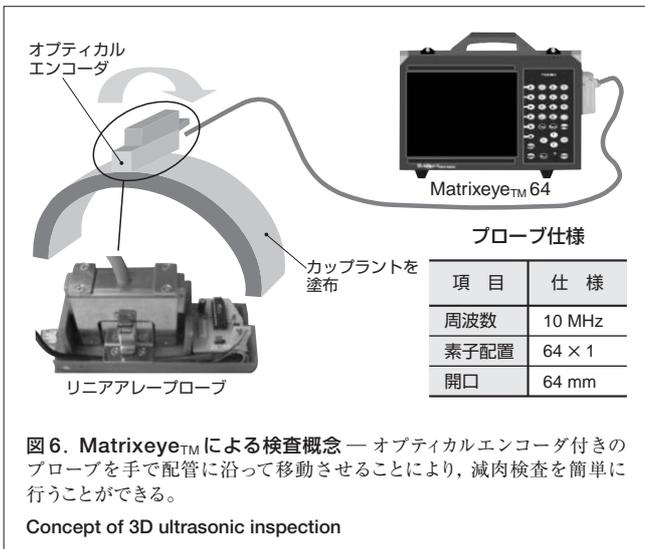
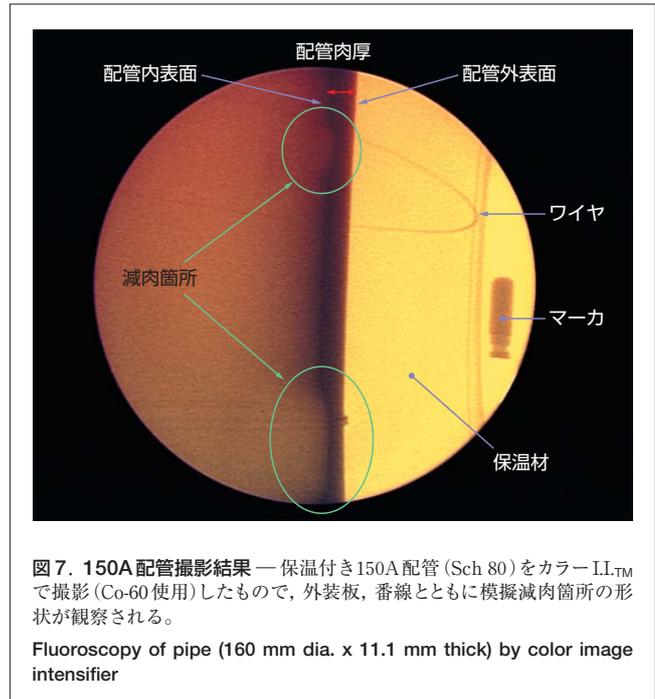
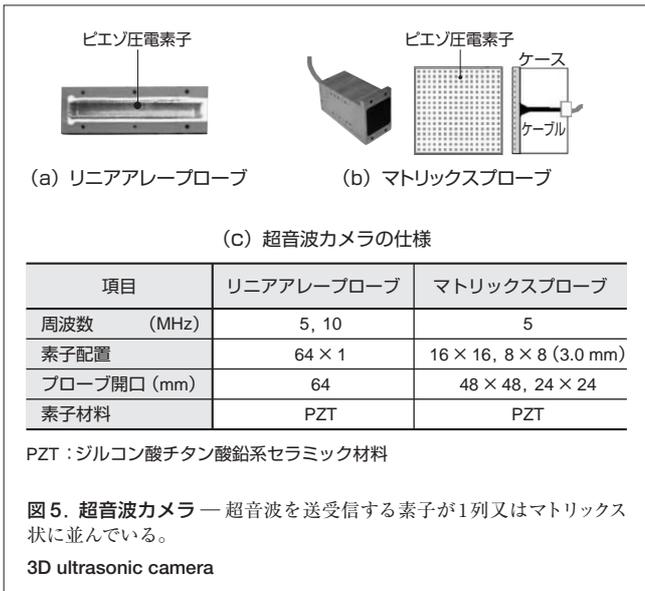
MatrixeyeTMは、複数の圧電素子から広指向角の超音波を発受信し、受信した波形を開口合成処理することで、検査部品の内部を画像化する装置である。部品を3方向(X, Y, Z方向)から見た透過画像、及びスライス画像が数秒で得られ、その結果は画面表示される。これにより、どの位置にどういった形状の欠陥があるかという画像情報が得られるため、従来の超音波検査装置と比較すると、誰にでも容易に結果判定が可能である、という利点がある。また、MatrixeyeTM本体とカメラだけで構成されるため、100V電源があれば現場での対応も可能で、既に鉄道や航空、自動車業界などでの適用が進められている。

従来の検査は素子がマトリックス状に配置されたカメラを用いていたため平面が主体であったが、素子が一列に並んだりニアアレープロープ(ラインセンサ型)とその表示ソフトウェアを開発することにより、円筒形状でも画像化が可能となった。MatrixeyeTM本体の写真を図4に、超音波カメラの写真と仕様を図5に示す。

開発した装置は、配管の画像化への適用を考え、圧電素子が直線状に並んだりニアアレープロープタイプのカメラを用いた。この超音波カメラと、カメラからの信号を開口合成して画像化するポータブルタイプのMatrixeyeTMから成る。超音波カメラが配管上をなぞることで、その部分がほぼリアルタイムで画像化される。現在、周波数帯域は2~25 MHz



図4. MatrixeyeTM本体 — 本体は超音波カメラからの信号を合成して画像化する。
3D ultrasonic inspection system



まで実用化しており、対象物や画像化領域に応じたカメラが選定される。

Matrixeye™は、質量が約7 kg、サイズが350 × 240 × 170 mmで持ち運びが可能であり、CPUにPentium®(注1) M (1.5 GHz)を搭載している。

Matrixeye™による検査概念図を図6に示す。

3 配管検査結果

3.1 高エネルギー用カラー II_T™ による配管測定結果

Co-60線源 (6 × 10¹⁰ Bq) を用いて保温付きの試験用150A配管 (呼び厚さ: Sch80) を撮影した結果を図7に示す。

この配管は内部をグラインダにより加工し、減肉箇所を模擬している。この撮影画像から、減肉の形状を明瞭に観察・

測定することができる。また、保温材を固定するワイヤや保温外装板も認識できる。透視画像に差分画像処理を加えた結果を図8に示す。この結果から、配管の減肉部分がより明確に観察できることがわかった。

150A配管を撮影して以上のデータを得るのに要した時間は約17秒である。また、500A配管 (厚さ: 20 mm) では、従

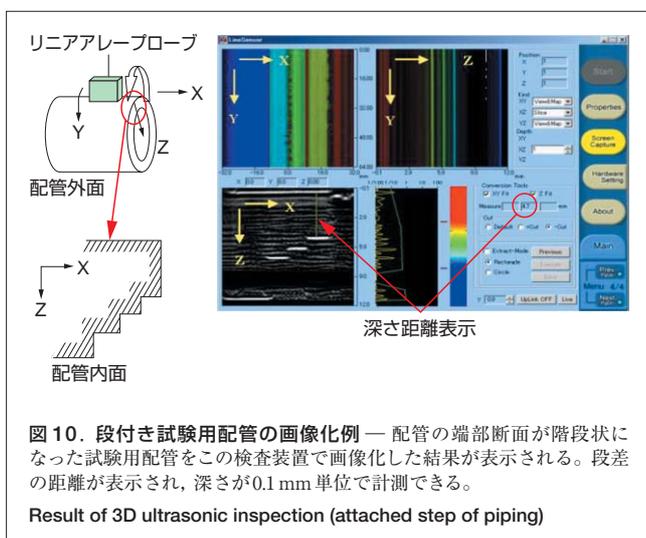
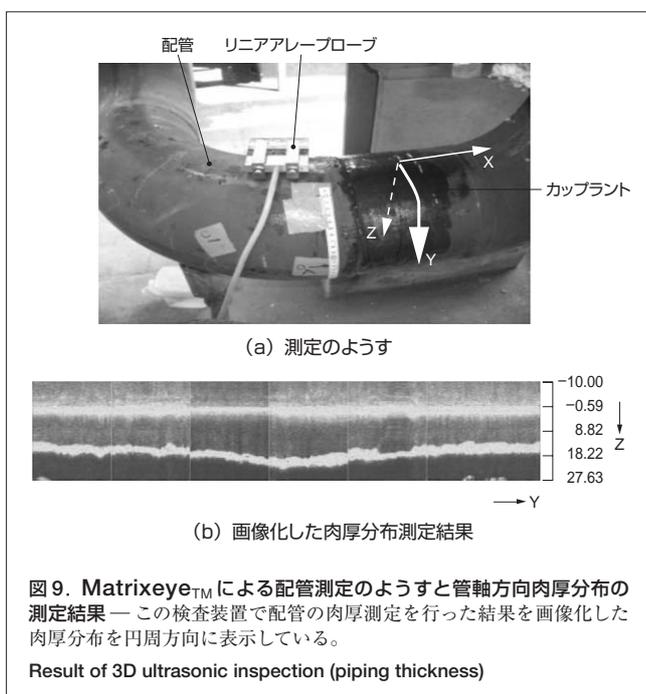
(注1) Pentiumは、米国又はその他の国における米国 Intel Corporation 又は子会社の登録商標又は商標。

来の輝尽性蛍光シートも使用すると1時間以上の照射時間を要し、更にレーザーでの読取り時間が必要であるが、高エネルギー用カラー-II_{TM}を適用した場合には、約50秒で撮影ができることも確認した。

3.2 Matrixeye_{TM}による配管測定結果

リニアアレープロブを用いて200Aの減肉配管の肉厚を測定し画像化した一例を図9に示す。

配管に保温材などがかぶせてある場合は、それをはがしてゲル状のカップラント(接触媒質)を測定部に塗り、プローブと被検査物の間に空気層ができないようにして測定を開始する。プローブを配管の周りに一周させるだけで肉厚分布のデータが採取できる。また、測定開始からの周方向位置(Y方向)はエンコーダにより正しく測定される。



段付きの試験用配管を画像化した例を図10に示す。リニアアレープロブを配管の周りに移動させて画像化させたものである。段差の距離が画像に表れており、Matrixeye_{TM}本体の計測機能により、深さが0.1 mm単位で計測できる。

4 あとがき

今回開発した高エネルギー用カラー-II_{TM}を用いた配管肉厚測定技術は、放射線の透過厚さにより適用できる配管サイズに制限があるものの、配管肉厚管理において、保温材を取り外すことなく、現場で、ほぼリアルタイムに肉厚の計測が可能である。特に、発電プラントなどで多数使用されている小口径配管ソケット継手のように、超音波厚み計では計測が困難な箇所に対して、少ない照射線量(短い照射時間)で測定が可能となり、現像や読取りなどの後工程が不要で、作業の効率改善に貢献できると考える。

一方、Matrixeye_{TM}を用いた配管肉厚検査装置では、現場でほぼリアルタイムに測定でき、取扱いが便利であることと併せ、作業性の向上に大きく寄与すると期待される。

前述のように2種類の配管検査装置にはそれぞれ特長があり、装置の特色を組み合わせることにより、いっそうの減肉検査の効率化が達成できる。

今後は、公的規格の認証取得、異物混入事象での検査など、適用拡大を目指して性能評価を進めていく。

文献

- (1) 日塔光一, ほか. カラーX線イメージンシファイヤの開発. 日本原子力学会2002年秋の大会予稿集(第I分冊). いわき市, 2002-09. D39.
- (2) 日塔光一, ほか. 高エネルギーX(γ)線用カラーイメージンシファイヤの開発. 日本原子力学会 2005年春の大会予稿集(第I分冊). 平塚市, 2005-03. L13.
- (3) 日塔光一, ほか. 高エネルギーX(γ)線用カラー-IIを用いた配管検査装置の開発. 日本原子力学会 2005年春の大会予稿集(第I分冊). 平塚市, 2005-03. L14.
- (4) Nittoh, K., et al. "Development of multi-clor scintillator based X-ray image intensifier". Nucl. Instrum. & Methods Phys. Res. A535, 2004, p.686 - 691.
- (5) 日塔光一, ほか. カラーイメージンシファイヤ搭載X線検査装置. 東芝レビュー. 59, 10, 2004, p.51 - 54.



濱田 智広 HAMADA Tomohiro

産業システム社 事業開発推進統括部 事業開発推進室第三担当主務。カラーシンチレータ応用製品商品化業務に従事。日本保健物理学会会員。
New Business Promotion Div.



片山 雅弘 KATAYAMA Masahiro

電力システム社 新技術応用事業推進統括部 検査・機器事業推進室第二担当主務。3D超音波応用技術開発に従事。
New Technology Application Business Div.