

# パイプライン溶接部デジタル X 線検査システム

## Digital X-Ray Inspection System for Welds of Pipeline

土屋憲一郎 TSUCHIYA Kenichiro 元 JFE エンジニアリング 総合研究所 材料研究部 主任研究員  
萬城 伸 BANJO Shin JFE エンジニアリング 総合研究所 材料研究部 研究員

### 要旨

パイプライン敷設の効率化および環境配慮を目的とした円周溶接のデジタル X 線検査システムを開発した。本システムは、現場での検査を迅速かつ安全に行うことができ、また遠隔地からリアルタイムで検査状態と結果を把握し、判定できるシステムである。ここでは開発したデジタル X 線システムを紹介し、適用した効果について報告する。

### Abstract:

Digital X-ray inspection system for welds of pipeline has been developed. This system aims at the improvement in efficiency of pipeline construction and enhancement of environmental preservation. This system enables quick and safe inspect on the site. Moreover, inspection state and results, can be checked real time by this system even from a remote place by the data transmission system, and judgment can also be performed. The developed digital X-ray inspection system is introduced and the effect of application is reported.

### 1. はじめに

パイプライン敷設工事において、溶接部の検査は事業法や客先の仕様で定められ、通常、X 線フィルム検査が指定され、客先から超音波自動探傷 (AUT) の併用を要求される場合もある。また、施工面からは工事の効率化のため検査の迅速化や環境に優しく低コストな検査方法が求められている。一方、X 線検査は医療分野などではデジタル化 (フィルムレス化) が進んでおり、非破壊検査分野においてもデジタル化への対応の必要性が顕在化しつつある。

本報では、パイプライン円周溶接部の X 線検査のデジタル化による工事の効率化を目指して開発したパイプライン溶接部デジタル X 線検査システムについて報告する。

が構成である。また、電動スキャナーは X 線センサーと超音

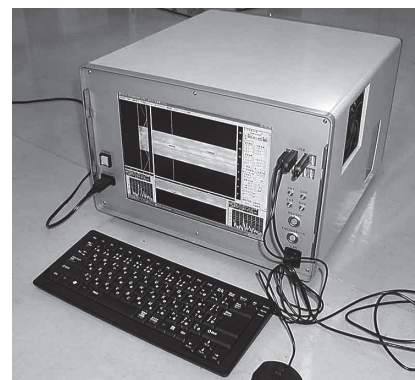


写真 1 制御装置

Photo 1 Controller of hybrid digital inspection system

### 2. 開発システムの概要

#### 2.1 ハイブリッドデジタル検査システム

本システムは、デジタル X 線検査と超音波自動探傷を行うことができるハイブリッドデジタル検査システム (HDI-system) として開発した。

基本構成としては、弊社の保有技術である超音波自動探傷 (AUT) システム (NAIScan)<sup>1)</sup>、管内走行 X 線装置 (ビーグル 200) を活用したものであり、デジタル X 線検査制御機能を超音波自動探傷 (AUT) の制御装置に作り込ん

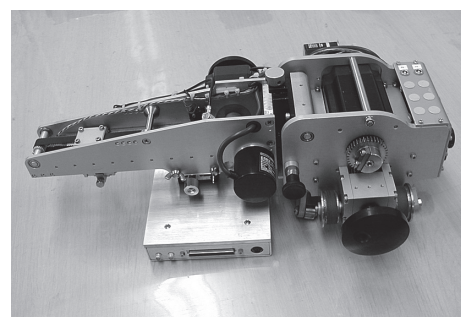


写真 2 スキャナー

Photo 2 Scanner of hybrid digital inspection system

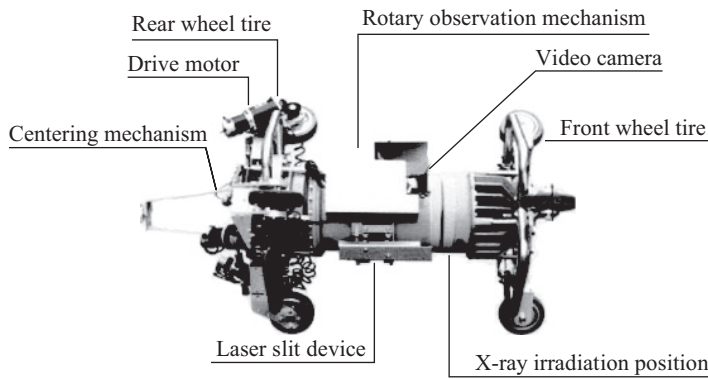


図 1 管内走行 X 線装置「ビーグル 200」

Fig. 1 X-ray crawler “Beagle-200”

波探触子を搭載替え可能な共用スキャナーとした<sup>2,3)</sup>。写真 1 は制御装置、写真 2 はスキャナー、図 1 は管内走行 X 線装置（ビーグル 200）の外観を示す。

## 2.2 デジタル X 線システムの仕様

開発したデジタル X 線システムの仕様を表 1 に示す。

## 2.3 検査手順

デジタル X 線の検査手順を説明する。

- (1) 管端部より走行式管内 X 線装置「ビーグル 200」を溶接継手位置まで移動させる。
- (2) 検査部外面に配した自動溶接用ガイドレールに撮影用スキャナーをセットする。
- (3) X 線の照射開始と同時にスキャナーが検査部円周溶接上を自動走行し、X 線画像を撮影する。  
(例：600 A、1 週の撮影時間は約 2 分間)
- (4) 撮影した画像データは制御用 PC（パーソナルコンピュータ）で直ちに処理され 1 リングのデータとして PC 内に記録される。
- (5) 次に判定支援システムを使用してモニター上にて有資格

表 1 デジタル X 線システムの仕様

Table 1 Specification of digital X-ray inspection system

Sensor	CMOS Sensor (Complementary metal oxide semiconductor sensor)
Tube diameter A (mm)	150-900
X-ray irradiation	X-ray crawler “Beagle-200”
Irradiation time (min/part)	2-5
Image display	The continuous display
Judgment	Judgment support software of JIS Grade (JIS: Japanese Industrial Standards)
Result book	Automatic making
Length of cable (m)	30
Operating system (OS)	Microsoft® Windows® XP Professional

者が判定作業を行う。また、判定作業は LAN（ローカル・エリア・ネットワーク）または携帯電話などでつながれた遠隔地の別の PC において実施することも可能である。

- (6) 判定した内容は自動的に記録される。

## 2.4 デジタル X 線システムの特徴

デジタル X 線システムの特徴を下記に示す。

- (1) JIS Z 3104<sup>4)</sup> の定める透過度計識別度を満足する。
- (2) 検査結果判定までの所要時間が短い。
- (3) 現像液、フィルムが不要で環境に優しい。
- (4) 画像データの遠隔伝送が可能である。
- (5) 画像データの電子保存でデータ管理が容易である。

## 3. X 線センサーの開発

今回開発したセンサーは、X 線をシンチレータで光に変換した後、固体撮像素子にて電荷に変換する間接変換方式である。X 線センサーの外観を写真 3 に示す。

### 3.1 固体撮像素子

以前に検討した CCD 素子（電荷結合素子）では、JIS が規定する透過度計識別度 2% 以内を満足することができなかった。本システムでは、数種類の素子の調査・検討を実施し、識別性能、耐環境性能、コストを評価した結果、CMOS 素子（Complementary metal oxide semiconductor）を採用した。

### 3.2 シンチレータ

シンチレータは、5 種類のシンチレータの特性評価実験を実施し、最適シンチレータの選定を実施した。評価実験結果を図 2、3 に示す。

図 2 は、適用管径に準じた数種類の板厚の鋼板を用い、各シンチレータについて前記 CMOS センサーとの組み合わせで、各板厚において X 線発生器の管電圧と露出時間を変化させ、X 線透過画像の透過度計識別度が最適となる条件を求め、そのときの各板厚に対する最適透過度計識別度のうち最大値と最小値を示す。各シンチレータは、各板厚に対する最適透過度計識別度のばらつきが 0.4% 以内に収まり、さらに図中 D、E のシンチレータは最小透過度計識別度

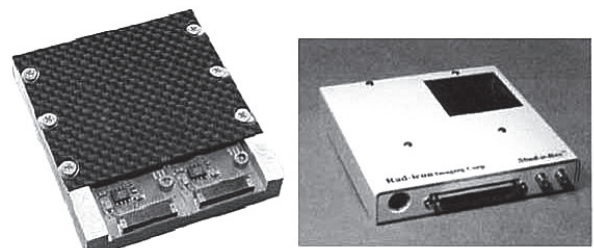


写真 3 CMOS センサー

Photo 3 CMOS Sensor

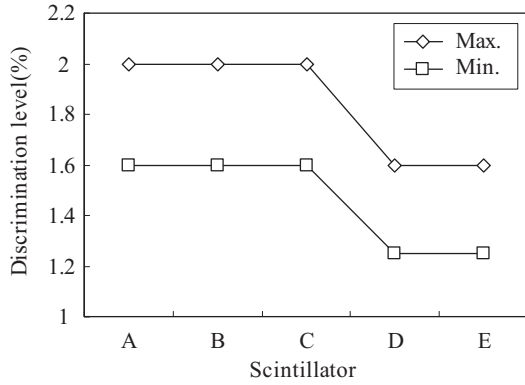


図 2 シンチレータと識別度

Fig. 2 Relationship between scintillator and discrimination level

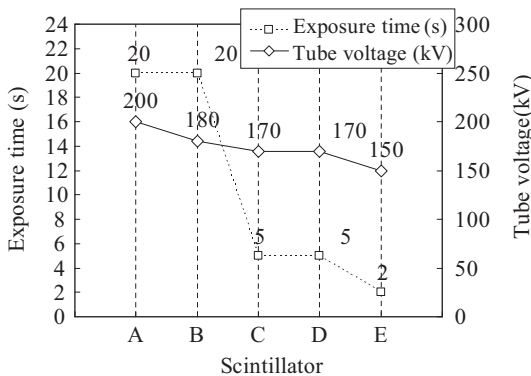


図 3 各シンチレータの最適条件

Fig. 3 The best condition of each scintillators

1.3%と良好な結果であった。また、図3は各シンチレータにおいて、同一の鋼板に対する最適条件時の X 線発生器の管電圧と露出時間を示す。前記 D, E のシンチレータのうち E が管電圧 150 kV、露出時間 2 s で最も少ない線量での撮影が可能であり、本システムに採用した。

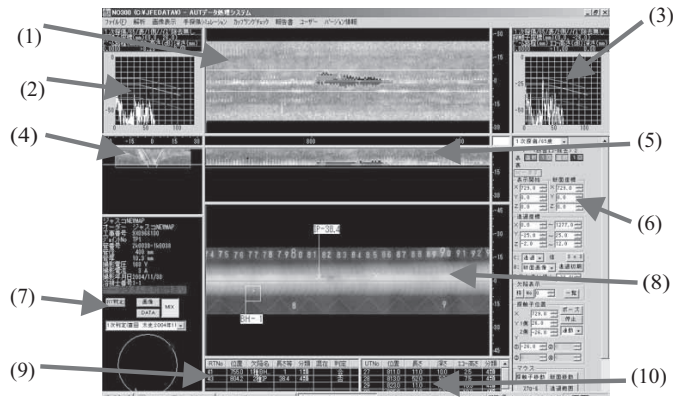
内部線源法による実工事における JIS で定められた透過度計識別線径は 450A × 7.9 mm<sup>t</sup> の識別線径は 0.2 mm, 750A × 14.0 mm<sup>t</sup> では 0.32 mm ある。本システムによる試験撮影により 450A, 750A のともに識別最小線径を識別できる X 線透過画像が得られることが確認できた。

#### 4. 判定支援ソフト

本システムにはモニター上で迅速にかつ正確に判定できる判定支援システムを開発し搭載した。図4に判定ソフト画面および搭載機能を示す。

#### 5. 工事適用例

電力会社向けガス導管新設シールド工事（海底）にハイブリッドデジタル検査システム（HDI-system）を適用した<sup>5)</sup>。工事検査仕様を下記に示す。



#### Monitor composition

- (1) UT-C Scope presentaiton (UT: Ultrasonic testing)
- (2) UT-A Scope presentaiton (No.1 UT)
- (3) UT-A Scope presentaiton (No.2 UT)
- (4) UT-A Scope presentaiton (Cross section)
- (5) UT-A Scope presentaiton (Longitudinal section)
- (6) UT Operation panell (7) RT Operation panell
- (8) RT Image display (RT: Radiographic testing)
- (9) RT Scan result (10) UT Scan result

#### Installing function

- Flaw size measurement function
- Flaw judgment function
- Size cursor display function
- Automatic grade classification function
- Positional automatic judgment defect record function
- Automatic report generation function
- Falsification prevention function

図 4 判定ソフト画面および搭載機能

Fig. 4 Monitor layout of the inspection system

- (1) 対象工事  
電力会社ガス導管新設シールド工事  
ガス導管：700A × 15.9 mm<sup>t</sup> 溶接継手  
工事期間：2006年9月～2007年1月
- (2) 申請本検査  
RT (X線フィルム法) 検査：700ヶ所  
X線フィルムの現像、乾燥後、現地事務所へ合否判定
- (3) 客先仕様検査  
超音波自動探傷 (AUT) 検査：700ヶ所  
追加 (自主検査)  
ハイブリッドデジタル検査システム (HDI-system) の適用：200ヶ所  
デジタル X 線と AUT の検査データを現地事務所へ伝送し、両検査結果で自主判定

#### 6. 工事適用結果

従来法 (X 線フィルム法 + 超音波手探傷 (MUT) + 判定) とハイブリッドデジタル検査システム適用時 (デジタル X 線 + AUT + 判定) の所要時間の比較を図5に示す。従来法では X 線フィルム撮影後、フィルムを現像車へ運び現像する。現像中に超音波手探傷 (MUT) を行い、X 線フィルム現像後、

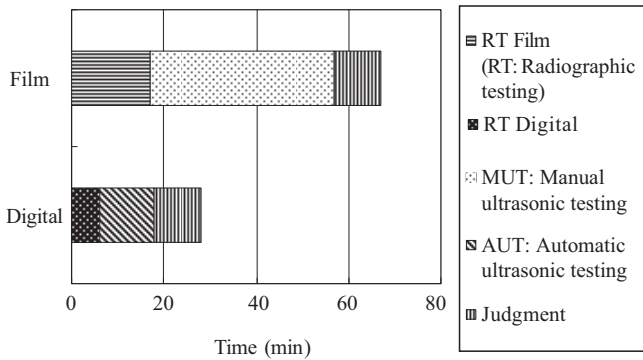


図 5 検査時間の比較

Fig. 5 Comparison of inspection time (Conventional method vs. hybrid digital system)

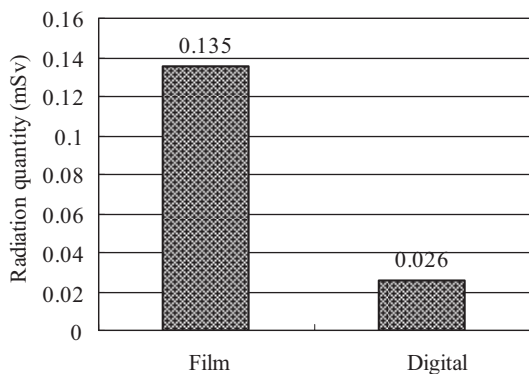


図 6 被曝線量の比較

Fig. 6 Comparison of radiation volume (Conventional method vs. hybrid digital system)

両検査結果により合否判定する。所要時間は約 65 分であった。

一方、デジタル検査では同じく X 線フィルム撮影後、引き続きデジタル X 線検査と超音波自動探傷 (AUT) を行い、シールド内のデジタル検査データはリアルタイムで現地事務所に伝送され、合否判定を行う。所要時間は約 20 分であった。このとき撮影した X 線フィルムは、工事進捗とは別に現像、合否判定を再確認し、検査記録として提出する。なお、デジタル X 線の透過度計識別度はすべての箇所 JIS 規格を満たしており、デジタル検査とフィルム検査の間に差異はなく、ハイブリッドデジタル検査システムが適用されれば従来法に比べ検査の所要時間が約 45 分の短縮可能となる。

図 6 に 700 A の管理区域境界における X 線フィルム法とデジタル X 線の被曝線量の比較結果を示す。デジタル X 線はセンサーの感度が高く、X 線フィルム法より低い管電圧で撮影が可能で被曝線量は約 1/5 であった。

以上、デジタル X 線は作業効率・安全性の向上が可能であり、工期短縮効果が得られることが確認できた。

## 7. 残された課題

適用から 3 年程経過し、デジタル X 線の像質については適

用時よりさらにノイズが低減され、画像処理により像質は向上している。しかし、デジタル X 線が X 線フィルム法に代わって、工業用として採用されるためには重要な課題である規格化が依然残されている。現在、海外ではデジタル X 線関連の規格として ASME 規格 (ASME: アメリカ機械工学会) や EN 規格 (European Norm) がすでに適用されている。双方の規格の趣旨は異なっており、ASME 規格は識別最小線形が観察できれば使用可能としているのに対し、EN 規格は検出器の画質を保証する条件を規定して使用可能としている。

- ・ ASME 規格 : Section V Article 2 Appendix VIII<sup>6)</sup>
- ・ EN 規格 : EN14784-2<sup>7)</sup>

国内のデジタル X 線関連の規格は日本非破壊検査協会規格 NDIS-1403 「デジタルラジオグラフィシステムによる放射線透過試験方法」があるが、この規格はガイダンスのみであり、現在、同協会 JIS 規格制定のため検討が進められている。

## 8. おわりに

今回開発したデジタル X 線検査システムを紹介し、工事適用結果について報告した。前述のとおりガス導管新設シールド工事においてデジタル検査のデータ伝送、デジタル X 線と超音波自動探傷の結果の同一画面上での照合による判定などによりデジタル検査の利点を発揮し、大きな合理化が図れる可能性を示した。

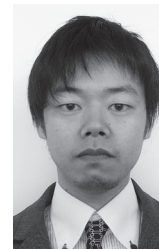
近い将来、非破壊検査関係者の努力によりデジタル X 線に対応した国内規格が制定され、デジタル X 線が X 線フィルム法に代わって、より安全で効率的でかつ、産業廃棄物を発生させない検査方法として一般の工事にも広く適用することができる。

### 参考文献

- 1) パイプライン現地円周溶接部の超音波自動探傷装置「NAIScan」. JFE 技報, 2011, vol. 27, p. 52-53.
- 2) 土屋憲一郎. デジタル X 線検査システムの開発と現場適用. 放射線による非破壊評価シンポジウム 2008 講演論文集. 日本非破壊検査協会.
- 3) 土屋憲一郎. デジタル検査システムの開発と適用. 非破壊検査フォーラム (FNDI 2008) 講演概要集. 産報出版.
- 4) JIS Z 3104-1995. 鋼溶接継手の放射線透過試験方法.
- 5) 土屋憲一郎. デジタル X 線検査システムの開発と現場適用その 2. 2009, 放射線分科会. 日本非破壊検査協会.
- 6) American Society of Mechanical Engineers. ASME.
- 7) European Norm. EN14784-2.



土屋憲一郎



萬城 伸