

# パイプライン現地円周溶接継手用デジタル X線検査システム NSDART® の開発

～現地 X線検査の省力化・環境負荷低減を目指して～

Development of X-ray technique with digital detector array system  
“NSDART®” for pipeline girth welded joints.  
～Toward the reduction of on-site labour and  
negative environmental impacts～

上村 晋平 Shimpei UEMURA  
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社  
技術総括部 技術開発室

原田 肇 Hajime HARADA  
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社  
技術総括部 施工・防食技術室 マネジャー

青柳 成彰 Shigeaki AOYAGI  
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社  
技術総括部 技術開発室 室長

池辺 真人 Masahito IKEBE  
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社  
技術総括部 部長

藤井 伸孝 Nobutaka FUJII  
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社  
資源・エネルギー事業部 設計部 部長

佐々木和寿 Kazutoshi SASAKI  
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社  
中部支社 中部工事業部 マネジャー

## 抄 録

パイプラインの現地円周溶接継手用デジタル X線検査システム NSDART を開発した。従来のフィルム式放射線透過検査と比較し、検査品質を維持の上、検査から判定までの作業時間を大幅に削減することが可能である。本稿では、準拠規格と NSDART の適合性、NSDART のシステム概要、現地円周溶接継手検査への導入試験状況および主な特長について報告する。

## Abstract

Nippon Steel & Sumikin Pipeline & Engineering Co. Ltd. recently developed a new X-ray inspection system with digital detector array (DDA) technology “NSDART” for pipeline girth welded joints. The NSDART reduces inspection time compared to conventional system using the X-ray films. This paper describes the key technology of NSDART, the applicable standards, the test results at the construction site of gas pipeline and the advantage of the NSDART system.

## 1 緒言

海外では ISO 規格等によりデジタル検出器による放射線透過検査(DRT: Digital Radiographic Testing)に関する規格が既に整備されている。これは、現在のデジタル検出器の技術が、溶接継手の検査および品質管理の観点において、フィルムの代替が十分に可能であるからである。

一方、国内のパイプライン建設における現地円周溶接継手の放射線透過検査は、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>

に規定されているフィルムによる放射線透過検査(FRT: Film Radiographic Testing)のみが適用可能である。

しかしながら、国内の医療分野における放射線透過試験は、静止画撮影がフィルムカメラからデジタルカメラへの移行が一挙に進んだ様に、FRT から DRT への移行が急速に進み、既に DRT が主流になりつつある。さらに、DRT の JIS 規格化が現在進行しており、国内の工業分野においても FRT から DRT への移行が促進されることが容易に予測さ

れる。

そこで、我々はFRTからDRTへの移行に備え、図1に示すパイプラインの円周溶接継手用デジタルX線検査システム『NSDART』(エヌエスダート)を開発した。

本稿では、日本工業規格 JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>と関連する国際規格 ISO17636-2(2013)<sup>2)</sup>等との対比に基づく国内において要求されるであろうDRTの性能検討、ならびに、NSDARTの概要および規格への適合性、その性能について報告する。

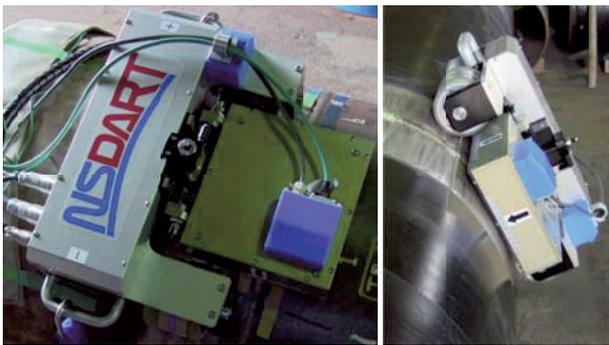


図1 円周溶接継手用デジタルX線検査システム NSDART  
Fig. 1 NSDART system for girth welded joints

## 2 システムの開発方針

### 2.1 検査対象

開発に先立ち、検査対象をガス事業者が建設する高圧ガスパイプライン(操業圧1MPa以上)とした。その中で、対象口径寸法を主要な口径である400mm(以下、400A)以上と設定した。これは、放射線透過試験の実施数が他のパイプライン建設工事に比べて多く、DRTの利点がより顕著に現れると想定したからである。なお、DRTの利点は次の通りである。

- ① 現像作業が不要となり、撮影から判定までの作業時間が短縮され、作業効率の向上に繋がる。
- ② 現像作業および判定のための暗室等の付帯設備が不要となる。
- ③ 取得した透過画像は電子データであるため、物理的な保管スペースの削減、保管性・検索性の著しい向上およびファイル伝送による共有化が可能である。
- ④ 現像液が不要であり、環境負荷の低減が可能である。

- ⑤ 被爆線量が低減し、職場環境に優しい検査が可能である。

### 2.2 要求性能

平成27年5月20日にJIS G 0804(2015)「溶接鋼管溶接部のデジタル式放射線透過検査方法」<sup>3)</sup>が制定されたが、その適用範囲は鋼管製造時に実施する溶接部への放射線透過試験に限られる。

一方、従前より現地円周溶接継手の放射線透過試験に対しては、FRTの規格であるJIS Z 3104(1995)「鋼溶接継手の放射線透過試験方法」<sup>1)</sup>が適用され続けている。

したがって、国内において現地円周溶接継手に対してDRTを適用するためには、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>に基づき行われる放射線透過試験と同等の透過画像の像質を取得し、同等の合否判定が可能であることが必須とされると判断したため、これらを開発するデジタルX線検査システムの要求性能と設定した。

## 3 日本工業規格のデジタル化応用検討

### 3.1 JIS Z 3104に規定される透過画像の像質

JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>に定められる透過写真の像質の適用区分は、撮影方法により規定されている。表1に規格の抜粋を示す。像質の種類により、透過写真における透過度計の識別最小線径、透過写真の濃度範囲、階調計の値が規定されている。

現地円周溶接継手における撮影方法は内部線源撮影方法および二重壁片面撮影方法が一般的に選定される。したがって、開発するシステムにより得られる画像の要求像質を前者はA級、後者はP1級と定めた。

表1 JIS Z 3104透過写真の像質の適用区分の抜粋  
Table 1 Classification of radiographic image quality (JIS Z 3104)

撮影方法	像質の種類
内部線源撮影方法	A級
二重壁片面撮影方法	P1級

### 3.2 像質規定のDRTへの展開

#### 3.2.1 透過度計の識別最小線径

識別最小線径に関しては、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>の

準用が可能である。透過度計の識別最小線径は、母材の厚さにより定められ、この要求値を準用することとした。表2に規格の抜粋を示す。

表2 JIS Z 3104透過度計の識別最小線径の抜粋  
Table 2 Minimum diameter of penetrometer (JIS Z 3104)  
(単位: mm)

母材の厚さ	像質の種類	
	A 級	P 1 級
5.0を超え 6.3以下	0.16	0.25
6.3を超え 8.0以下	0.20	0.32
8.0を超え 10.0以下		
10.0を超え 12.5以下	0.25	0.40
12.5を超え 16.0以下	0.32	0.50
16.0を超え 20.0以下	0.40	0.63
20.0を超え 25.0以下	0.50	0.63

### 3.2.2 透過画像の濃度範囲、階調計の値

透過画像の濃度範囲、階調計の値に関しては、DRT では撮影後の濃度調整が可能であることから、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>の規定を準用する必要がない。そこで、開発当初、既に規格化されていた国際規格 ISO17636-2(2013)「Non-destructive testing of welds - Radiographic testing - Part 2 : X- and gamma-ray techniques with digital detectors」<sup>2)</sup>に規定される正規化された信号対ノイズ比(SNR<sub>N</sub>)を画像品質に準用することとした。

ISO17636-2(2013)<sup>2)</sup>において、Class A(≒像質 A 級)の正規化された信号対ノイズ比 SNR<sub>N</sub>は、X線透過能力の指標となる管電圧および透過厚さにより最小値が規定されており、表3に規格の抜粋を示す。なお、ISO17636-2(2013)<sup>2)</sup>において、SNR<sub>N</sub>値は、透過度計および溶接継手近傍の母材にて、グレイ値が均一の範囲で測定することと定められている。

表3 ISO17636-2における Minimum SNR<sub>N</sub> Values の抜粋  
Table 3 Minimum SNR<sub>N</sub> Values (ISO17636-2)

Radiation source	Penetrated material thickness (mm)	Minimum SNR <sub>N</sub> Class A
X-ray potentials >50kV to 150kV	(規定なし)	70
X-ray potentials >150kV to 250kV		70

### 3.2.3 Duplex Wire による空間分解能

デジタル検出器は、構造上、各画素の情報を基に

画像を構築するため、識別できる細部間隔の距離である空間分解能に限界がある。このため、ISO 17636-2(2013)<sup>2)</sup>では ISO19232-5(2013)<sup>4)</sup>に規定されている Duplex Wire(図2)による空間分解能が規定されている。したがって、開発においては、識別最小線径および濃度範囲、階調計の値に加えて、この規定も準用することとした。



図2 ISO19232-5で規定される Duplex Wire  
Fig. 2 Duplex Wire type Image Quality Indicator

ISO17636-2(2013)<sup>2)</sup>においては、Class A(≒像質 A 級)の Duplex Wire の要求値は透過度計と同様に、画像の像質および透過厚さにより規定されている。表4に規格の抜粋を示す。

本規格では、Duplex Wire の二重線を太いものから調べてその隙間が、最初に不明瞭となった線対が、その検出器の空間分解能であると定められている。この判定は、判定ソフトウェア上のグレイ値をグラフ化する機能を用いて行うこととされている。

なお、ISO17636-2(2013)<sup>2)</sup>においては、デジタル検出器の基本分解能の検証には必須とされているが、製品に対しては必須とされていない。

表4 ISO17636-2における Maximum image unsharpness for all techniques(class A)の抜粋  
Table 4 Maximum image unsharpness for all techniques Class A (ISO17636-2)

Penetrated thickness (mm)	10 < w ≤ 25	25 < w ≤ 55
Minimum IQI value	D 8	D 7
Maximum unsharpness	0, 32	0, 40
Maximum basic spatial resolution SR <sub>image<sub>b</sub></sub> (mm)	0, 16	0, 20

### 3.2.4 透過画像の保存

DRT の透過画像は、電子データとして取得される。したがって、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>を準用することが出来ないため、透過画像の保存は、ISO17636-2(2013)<sup>2)</sup>を準用することとした。透過画像の保存は、原則として画像処理を施していない原画像(検出器から出力されたままの画像)を、そのままの解

像度で保存することと定められている。

### 3.2.5 透過画像の観察

透過画像の観察は、画像の保存と同様に、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>を準用することが出来ない。したがって、ディスプレイで観察することとして、表5に示すISO17636-2(2013)<sup>2)</sup>を準用した。

表5 ISO17636-2におけるディスプレイの規格値  
Table 5 Required specification for display by ISO17636-2

項目	規格値 ISO17636-2
階調	256以上
コントラスト比	1 : 250以上
輝度	250cd/m <sup>2</sup> 以上
画素ピッチ	0.3mm 以下

## 4 デジタル X 線検査システムの検討

### 4.1 X 線発生器

放射線透過試験は、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>においては、JIS Z 4606(2007)「工業用 X 線装置」<sup>5)</sup>に規定される X 線発生器を使用するものとされている。X 線発生器は、高電圧の直流電流を X 線管に印加することにより X 線を放出するものであるが、JIS Z 4606(2007)<sup>5)</sup>では、電源電圧の定格値を単相交流 100V、200V 又は 220V と規定されている。このため、X 線管に印加する高電圧の直流電流を得るために、電源電圧の昇圧と、交流から直流への変換が必要となる。交流から直流への変換には、いくつかの方式があり、パイプライン建設における放射線透過試験には、単相全波整流方式の X 線発生器が主に使用されている。単相全波整流方式の X 線発生器は、電源の極性変動に伴い、出力される X 線強度の変動が避けられない。

しかし、FRT では数分間にわたる X 線の照射時間において、透過した X 線の累積が透過画像として現れるため、X 線強度の変動の影響が透過画像に現れない。さらに、この X 線発生器は比較的安価であるため、パイプライン建設における放射線透過試験に適用されている。

したがって、開発するデジタル X 線検査システムは、単相全波整流による X 線発生器を適用しても、要求像質を満足する透過画像が得られことを条

件とした。

### 4.2 デジタル検出器

市場において入手可能なデジタル検出器の調査を行った。表6に調査結果を示す。イメージング・インテンシファイアは、耐管電圧が低く、判定に必要な像質を得ることができないと判断した。したがって、これを除外した3形式について、最小識別線径および空間分解能、リアルタイム性および X 線発生器への適応について調査を行った。その結果、フラットパネル・ディテクタ (FPD) が最適であると判断し、採用を決定した。

表6 各種デジタル検出器  
Table 6 Kinds of DDA instruments

種類	受光部	透過画像の取得	評価
コンピュータド・ラジオグラフィ (CR)	イメージング・プレート (IP)	放射線を受光した IP スキャナにて読み込みすることで、透過画像を作成し、これをモニタへ表示する。	○
フラットパネル・ディテクタ (FPD)	格子状のセンサ	FPD で放射線を受光し、透過画像を直接モニタへ表示する。	◎
ラインセンサ	線状のセンサ	ラインセンサ又は撮影対象物を走査させ、ラインセンサで放射線を受光し、透過画像を作成し、これをモニタへ表示する。	△
イメージング・インテンシファイア (II)	イメージ管及び CCD カメラ	放射線にてイメージ管に写し出された像を CCD カメラで撮影する事により、間接的にモニタへ透過画像を表示する。	×

#### 4.2.1 最小識別線径および空間分解能

JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>で定められる識別最小線径の想定される最小値となるのは、400A 鋼管を内部線源撮影方法で撮影する場合であり、その値は、撮影対象の管厚により異なるが 0.20mm 以上である。これに対して、各検出器の画素は十分に小さく 50 μm ~ 127 μm である。したがって、撮影条件にもよるが、CR、FPD、ラインセンサとも、透過画像の必要条件を満足すると判断した。

#### 4.2.2 リアルタイム性

FPD、ラインセンサに関しては、撮影直後にディスプレイで取得した画像の確認が可能である。これに対し、CR は、撮影後にイメージング・プレートをスキャナに通してデータ化しなければならず、リアルタイム性に劣ると判断した。

### 4.2.3 X線発生器との適合性

FPDおよびCRは透過したX線を静止した面で捉えて、FRTと同様に透過したX線の累積を画像化することが可能であり、X線強度の変動に対しても均一な画像の取得が可能である。

これに対して、ラインセンサは、最小80 $\mu$ m程度の画素を線状に配置したデジタル検出器である。取得できる画像は線状であることから、ラインセンサと撮影対象物を相対的に移動させ、連続的に線状の画像を取得し、これらを組み合わせることで全体の画像を生成する。このため、X線強度が変動する場合、ラインセンサが画像を取得した位置によりX線強度が異なることにより、X線強度の変動がそのまま画像に現れてしまう。したがって、出力されるX線強度の変動がないX線発生器を用いなければ、要求するSNR<sub>N</sub>値を満足することが困難であることから、ラインセンサは、パイプライン建設において一般的に使用されているX線発生器との適合性に劣ると判断した。

## 5 デジタルX線検査システム NSDARTの開発

システム検討の結果をもとにNSDARTを開発した。以下に概要を述べる。

### 5.1 NSDARTの特長

検査対象である400A以上の鋼管においては、X線発生器を管内に配置することが可能であるため、内部線源撮影方法を基本としてシステムを構築した。NSDARTは、以下に示す特長をもつ。

- ①従来のFRTで使用しているX線発生器も適用が可能である。
- ②FPDの採用により、CRにて必要であるスキャナによる読み取り作業も不要となり、判定までの作業時間が更に短縮される。
- ③マグネット車輪のみで鋼管外周を円周方向へ自走し撮影するため、走行用のレール等の余分な治具が不要であり、作業効率が向上する(全周自動撮影が可能な場合)。
- ④フィルム同等の透過画像を取得することが可能である。また、透過画像は、規定で定められる

原画像の保存に加えて、判定画像の情報を保存する。

### 5.2 NSDARTのシステム構成

NSDARTのシステム構成要素を、図3および表7に示す。

従来のFRTで使用しているX線発生器を管内に配置して、マグネット車輪式自走撮影装置、PCおよびコントローラーをそれぞれ接続し、撮影作業を行う。なお、撮影前の撮影開始位置の微調整機能も保有している。撮影完了後、判定用外部ディスプレイへPCを接続し、判定作業を行う。

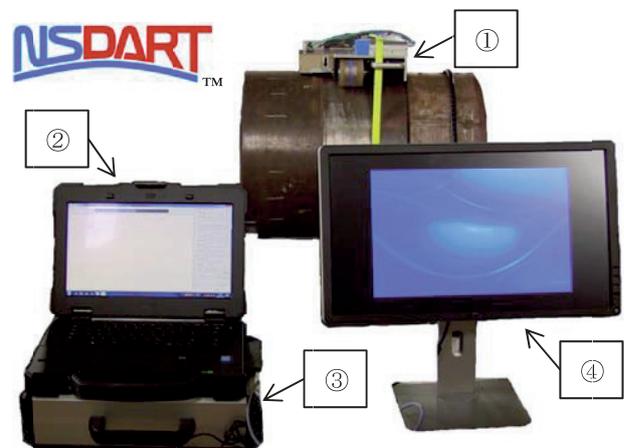


図3 NSDARTシステム構成  
Fig. 3 System components of NSDART

表7 NSDARTの各機器の名称および機能  
Table 7 Component list of NSDART system

名称	機能
①マグネット車輪式自走撮影装置	X線の受光部であるFPDを搭載しており、マグネット車輪により鋼管に吸着し、鋼管の円周方向へ走行する。
②パーソナル・コンピュータ(PC)	専用ソフトウェアにより撮影条件の設定を行う。また、撮影された画像の処理(主に濃度調整)を行い判定に用いるものに仕上げる。
③コントローラー	PC内のソフトウェアから指示を受け、自走装置の移動を制御する。
④判定用外部ディスプレイ	PC接続を受け、撮影された画像を表示し、溶接継手の合否判定を行うために用いる。

#### 5.2.1 マグネット車輪式自走撮影装置

内部線源撮影方法では、FPDを管外周面へ配置することとなる。ここで、FPDはフィルムのように管外周の曲率に沿った形状に曲げることが出来ないため、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>に規定される「線源とフィルム間の距離」を、「線源とFPDの距離」に

置き替えると FPD で 1 回の試験部の有効長さは限られる。

しかしながら、FPD は高価であるため、使用数量は必要最小限である 1 基とすべきと判断し、現場円周方向継手をいくつかの区間に分割して撮影することとした。ただし、手作業で FPD の配置を変えることは非効率であるため、FPD を搭載し、管外周に沿って円周方向継手と平行に移動可能なマグネット車輪式自走撮影装置を開発した。

この装置は、鋼管外周面のどの位置においても吸着して装置を保持する磁力と、撮影に必要な直進走行性を有するマグネット車輪により支持され、走行する。このため、ガイドレール等の治具が不要であり、設置・撤去作業が簡易である。なお、自走撮影装置の移動制御は、PC およびコントローラーにより行う。

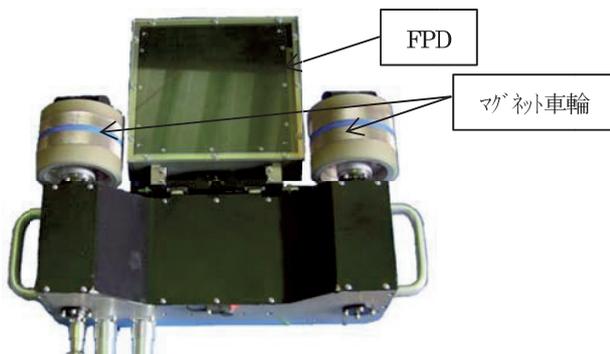


図4 NSDART 自走撮影装置構成(重量約23kg)  
Fig. 4 Self-propelled detector unit of NSDART (Weight ≒23kg)

### 5.2.2 NSDART の FPD 仕様

マグネット車輪式自走撮影装置に搭載する FPD は、(株)バリアンメディカルシステムズ製『PaxScan<sup>®</sup> 1313DX』である。その仕様を、表 8 に示す。

表 8 採用した FPD 仕様『PaxScan 1313DX』  
Table 8 Specification of FPD “PaxScan 1313DX”

変換方式	間接変換方式
素子タイプ	アモルファスシリコン(シンチレータ方式)
蛍光体	CsI(ヨウ化セシウム)
素エリア寸法	130mm×130mm
画素数	1024画素×1024画素
画素ピッチ	127μm
解像度	3.94LP/mm(ラインペア/ミリメートル)
耐管電圧	225Kv

### 5.2.3 NSDART 専用ソフトウェア

PC にインストールされている専用ソフトウェアは、「自動撮影：円周溶接継手部の全周を自動で撮影する」、「手動撮影：所定の位置に移動させ撮影する」、「再撮影：指定箇所リストに基づき、自動で指定箇所を撮影する」、「判定処理：判定時に使用する」の機能を持つ。特に、判定処理は、表 9 に示す判定支援機能を備えている。

表 9 専用ソフトウェアの判定支援機能一覧  
Table 9 Supporting functions of software for NSDART evaluation

機能名	用途
撮影記録	撮影時に記録した項目、撮影条件等を確認できる。
画像処理	濃度調整、中間値フィルタ、帯域フィルタ、アンシャープフィルタ、鮮鋭化等の画像処理を行う。
画像拡大	等倍表示に加えて、2 倍の拡大表示が可能である。
距離計測機能	溶接継手におけるきず位置を計測する。
JIS 判定補助機能	JIS Z 3104 の定める視野範囲およびきず寸法計測の平行線を表示する。
X 線透過量断面表示	画像の任意位置の、X 線透過量による断面プロファイルを表示する。
SNR <sub>N</sub> 演算機能	ISO17636-2 の定める SNR <sub>N</sub> を演算する。
判定結果記録	きず種別・種類等の判定結果を保存する。
報告書作成	保存した撮影条件、判定結果を報告書として出力する。

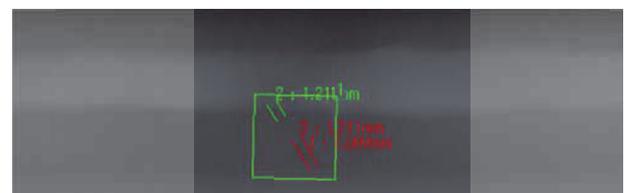


図5 判定支援機能一例(JIS 判定補助機能)  
Fig. 5 Example of supporting function for JIS's evaluation

### 5.2.4 透過画像の保存

透過画像データは、PC 内ハードディスクに保存される。データは ISO17636-2(2013)<sup>2)</sup> の規定に従い、FPD から出力された原画像のデータが保存される。さらに、上述の判定支援機能を用いて判定した記録および判定時画像処理条件は、情報履歴として原画像と共に保存され、判定時の画像の再現が可能となっている。

### 5.2.5 判定用外部ディスプレイ

NSDART の PC は、現場作業に適応した機種

採用を優先したため、そのディスプレイはISO 17636-2(2013)<sup>2)</sup>の規定を満足しない。そこで、画像観察用に市場において入手可能で、規格値を満足する外部ディスプレイを採用した。ディスプレイの仕様とISO17636-2(2013)<sup>2)</sup>に定められる規格値を表10に示す。

表10 ディスプレイの規格値および使用ディスプレイの対比  
Table10 Required specification for display and NSDART

項目	規格値 ISO17636-2	NSDART 判定用外部ディスプレイ
階調	256以上	256
コントラスト比	1 : 250以上	1 : 1000
輝度	250cd/m <sup>2</sup> 以上	250cd/m <sup>2</sup>
画素ピッチ	0.3mm以下	0.248mm

## 6 NSDART による放射線透過検査

以下に示す内部線源撮影方法による放射線透過検査を行った。NSDART による透過画像が、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>に基づき行われる放射線透過試験と同等の合否判定が可能であることを、実際に撮影することにより検証し、開発目標に掲げた性能を有することを確認した。なお、二重壁片面撮影方法に関しては、目標性能を有することを確認しているが、本稿では割愛する。

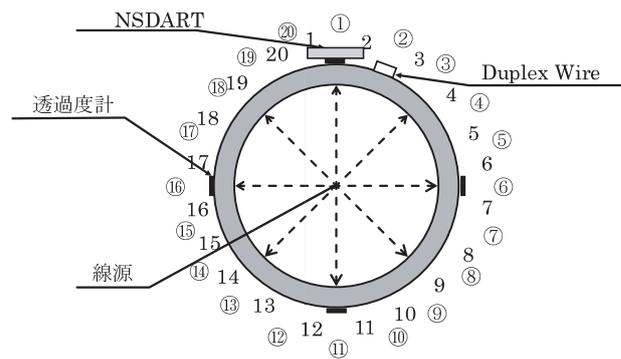
### 6.1 撮影配置

図6に600A鋼管の撮影配置を示す。溶接継手全周を20分割して、内部線源撮影方法にて撮影を行う。JIS Z 2306(2000)<sup>6)</sup>およびISO19232-5(2013)<sup>5)</sup>により、それぞれで規定される透過度計およびDuplex Wire、表示マークを配置した。

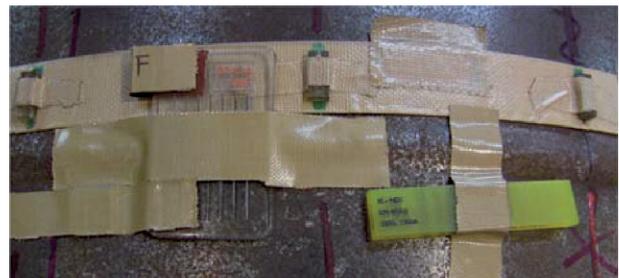
なお、FRTの場合、客先工事番号、管径、管厚、管番号、撮影年月日、フィルム番号等の識別情報を、フィルム内に写しているが、NSDARTの場合は、撮影時に上述の項目を専用ソフトウェア上で入力し、データとして保存する事ができる。データの完全な保全の観点から、この入力情報は、撮影後変更できないものとした。間違いがあった場合は、コメント欄において訂正するものとした。

### 6.2 透過画像の像質

当初定めた要求像質であるJIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>



(a) 内部線源撮影方法の撮影配置



(b) 実際の撮影時の配置状況

図6 内部線源撮影方法の撮影配置

Fig. 6 Test arrangement for internal source technique

に規定するA級を満足すると共に、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>に基づき行われる放射線透過試験と同等の合否判定が可能であることを確認した。その内容を以下に記載する。

#### 6.2.1 透過度計の識別最小線径

図7に示す画像は、管厚15.1mmの600A鋼管を撮影したものであり、この場合の識別最小線径は0.32mmである。判定用外部ディスプレイを用いた透過画像の観察により、識別が可能であることが確認できる。



図7 JIS Z 3104透過度計08F(管厚15.1mm)

Fig7 Example of penetrometer (wall thickness=15.1mm)

### 6.2.2 正規化された信号対ノイズ比(SNR<sub>N</sub>)

管厚15.1mm/18.2mmの600A鋼管を、管電流5mAのX線発生器を用いて管電圧140kVpで撮影した画像を図8に示す。この画像において、正規化された信号対ノイズ比SNR<sub>N</sub>の規定値を満足していることが確認できる。

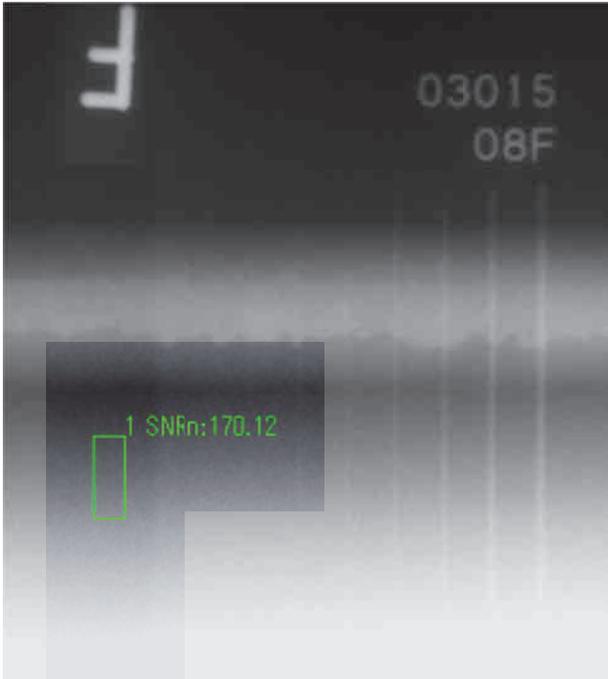


図8 X線発生器(5mA)・管電圧140kVp時のSNR<sub>N</sub>  
(上方:直管15.1mm-下方:曲管18.2mm)  
Fig. 8 Example of SNR<sub>N</sub> value“X-ray potentials=140kVp”

### 6.2.3 Duplex Wireによる空間分解能

ISO17636-2(2013)<sup>2)</sup>においては、製品の放射線透過画像に対する空間分解能の確認は必須とされていない。しかし、NSDARTの開発では、透過画像においても、空間分解能を定量的に把握するため、円周溶接継手の撮影時にもDuplex Wireを適用することとした。管厚15.1mmの600A鋼管を撮影した画像を図9に示す。この画像において、規定値D8を満足することを、判定用ソフトウェアを用いて確認した。

### 6.2.4 JIS Z 3104に基づく合否判定

NSDARTによりJIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>に基づき行われる放射線透過試験と同等の合否判定が可能であることを検証した。検証方法は、判定者が、NSDARTの取得画像とFRTのフィルムについて

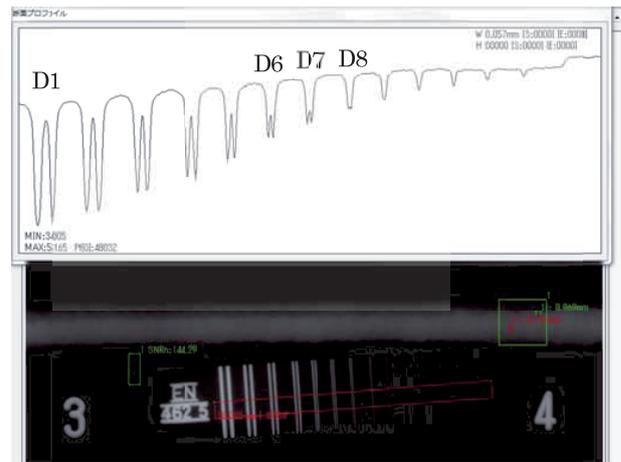


図9 ISO17636-2 Duplex Wire およびプロファイル  
(管厚15.1mm)  
Fig. 9 Example of duplex wire of ISO17636-2 and profile plot

判定を行い、この判定結果を比較することで行った。この結果は、それぞれの判定結果が同一となった。これにより、NSDARTは、JIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>と同等の合否判定が可能であることが確認できた。

なお、判定者は、JIS Z 2305(2001)<sup>1)</sup>「非破壊検査試験-技術者の資格および認証」の放射線透過試験技術部門に規定されたレベル3の有資格者とした。

## 7 現地導入試験

図10に示すように、実際の600Aパイプライン建設現場において、内部線源撮影方法を用いてNSDARTの透過画像とフィルムを撮影し、その判定結果の比較を行った。



(a) 自走撮影装置の設置状況 (b) 自動撮影状況



(c) PC およびコントローラーの設置状況  
 図10 NSDART の現地導入試験の実施状況  
 Fig. 10 Photos of trial test of NSDART

### 7.1 画像品質

NSDART の透過画像とフィルムの判定結果比較は、6.2.4項で示した検証方法により確認した。現地作業においても、NSDART は、フィルムと同等の合否判定が可能であることが確認できた。

### 7.2 作業時間

NSDART と FRT の作業時間の比較を図11に示す。600A 鋼管における NSDART の作業時間は、FRT と比較して、約60分の短縮ができる可能性があることも確認できた。

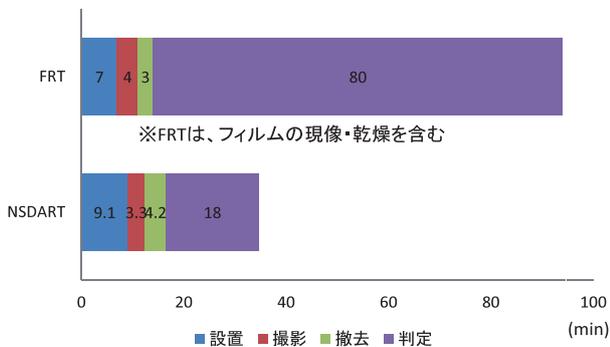


図11 NSDART と FRT の作業時間比較 (600A×17.6mm、分/Ring)  
 Fig. 11 Comparison of working time between NSDART and FRT (600A×17.6mm, min/Ring)

### 7.3 被曝線量

電離放射線障害防止規則<sup>9)</sup>により、「X線発生器の焦点より5m以内の場所(実効線量が1週間につき1mSv以下の場所を除く)に、労働者を立ち入らせてはならない。」と定められている。管厚17.6mmの600A鋼管の内部にX線発生器を設置し、焦点か

らの距離6mの位置で、サーベイメータを用いて、管電圧ごとの被曝線量を測定した結果を図12に示す。管電流3mAのX線発生器を用いると、FRTは管電圧195kVpで撮影されるが、DRTは管電圧140kVpから160kVpで撮影が可能である。この場合、DRTの被曝線量は、FRTの被曝線量と比較して、1/7から2/7程度になる。なお照射時間は、どちらも3分程度で、ほぼ同じである。従って、NSDARTを導入することにより、現地の作業環境性が大きいことが確認できた。

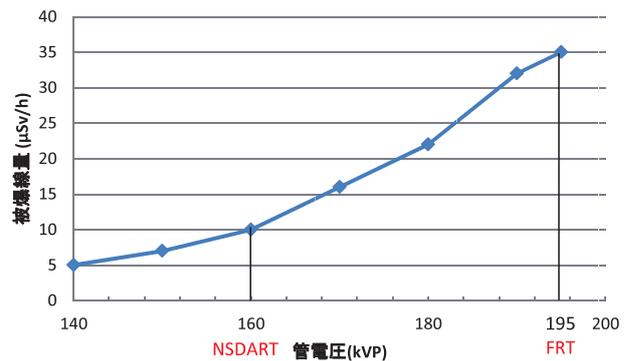


図12 X線発生器(3mA)・焦点からの距離6m位置の被曝線量  
 Fig. 12 Exposed dosage at the distance of 6m from radiation source

## 8 デジタル方式放射線透過検査適用のための課題

現在、日本工業規格において定められているDRT規格は前述の通り、JIS G 0804(2015)「溶接鋼管溶接部のデジタル式放射線透過検査方法」<sup>3)</sup>のみであるが、(一社)日本溶接協会において、国際規格ISO17636-2(2013)<sup>2)</sup>を基礎とし、JIS規格の原案作成が進められている(2015年9月現在)。本規格には判定基準が含まれていないものの、現場円周溶接継手に適用できる撮影技術の規定であり、NSDARTに搭載している技術も含まれている。この様に、DRTのJIS規格化も徐々にではあるが進みつつある。しかし、JIS規格化により工業分野におけるDRTの普及が一挙に促進される訳ではない。一例ではあるが、ガス事業法に従い建設されるパイプラインにおいては、「ガス工作物技術基準の解釈例」内で、放射線透過試験はJIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>を引用されている。このため、DRTがJIS Z 3104(1995)<sup>1)</sup>

とは別の規格として制定された場合は、適用することができない。しかしながら、パイプライン事業者を含めデジタル撮影技術の導入要望が高まってきており、今後の関係先の動向が注目されている。

## 9 結言

パイプラインの円周溶接継手用デジタル X 線検査システム『NSDART』を開発した。内部線源撮影方法の際、これを適用すれば、円周溶接継手全周を自動撮影する事が可能であり、撮影から判定までの作業効率の向上、画像管理の省力化・確実化および環境負荷の低減等の大きな効果が期待できる。

放射線透過試験の FRT から DRT への近い将来の移行に備え、本方法による撮影実績を積み重ねていく予定である。また、我々の取り組みが、デジタル方式への移行の一助となることを期待するものである。

最後に、NSDART の開発において、東亜非破壊検査(株)およびダイヤ電子応用(株)には多くの助言、協力を頂いた。ここに謝意を表する。

### 参考文献

- 1) JIS Z 3104-1995 : 鋼溶接継手の放射線透過試験方法
- 2) ISO17636-2(2013) : Non-destructive testing of welds - Radiographic testing- Part 2 : X- and gamma-ray techniques with digital detectors
- 3) JIS G 0804-2015 : 溶接鋼管溶接部のデジタル式放射線透過検査方法
- 4) ISO19232-5(2013) : Non-destructive testing -Image quality of radiographs- Part 5 : Determination of the image unsharpness value using duplex wire-type image quality indicators
- 5) JIS Z 4606-2007 : 工業用 X 線装置
- 6) JIS Z 2306-2000 : 放射線透過試験用透過度計
- 7) ガス工作物技術基準の解釈例(平成22年3月25日)／原子力安全・保安院
- 8) 電離放射線障害防止規則(昭和47年9月30日)
- 9) JIS Z 2305-2001 : 非破壊検査試験－技術者の資格および認証
- 10) ISO5817(2003) : Welding -Fusion - welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys(beam welding excluded) - Quality levels for imperfections
- 11) ISO10675-1(2008) : Non-destructive testing of welds - Acceptance levels for radiographic testing- Part 1 : Steel, nickel, titanium and their alloys