

デジタル放射線透過試験（D-RT）についての IIC の取り組み

中町 鴻^{*1} 佐藤 雅保^{*2} 田北 雅彦^{*3}
Nakamachi Ko Sato Masamori Takita Masahiro

工業分野における溶接構造物や鋳造品の放射線検査では、フィルムを撮影媒体とした画像の合否・判定が主流であったが、デジタル放射線透過試験（D-RT）の JIS 規格化により、イメージングプレート（IP）やフラットパネルディテクタ（FPD）等の電子デバイスを用いた規格に沿った撮影が可能となった。横浜検査部では、20 年以上前から D-RT 装置を導入し、今回の JIS 規格化の原案にもかかわっている。現在では、D-RT における極厚物の撮影技法について検討を進めている。

キーワード：放射線透過試験（RT）、デジタル放射線透過試験（D-RT）、デジタルラジオグラフィ（DR）、イメージングプレート（IP）、平板型半導体検出器（フラットパネルディテクタ：FPD）、フィルムデジタイザ

1. はじめに

デジタル放射線透過試験（D-RT）には、さまざまな放射線検査用電子デバイスがあるが、当社では、イメージングプレート（IP）とフラットパネルディテクタ（FPD）を用いた撮影を行っている。IP はフィルムと同様に試験体に密着配置が可能であり、FPD は画像の積分処理やリアルタイム性に優れている。また、フィルムデジタイザは、従来の JIS 規格によるフィルム撮影にデジタルデータ化した画像処理等の付加価値を付与することができるため、D-RT システムとして採用している。本稿では、これらの装置を用いた D-RT 撮影の概要、D-RT における極厚物の撮影技法の検討試験について紹介する。

2. D-RT 撮影の概要

2.1 D-RT の特徴

D-RT はフィルム RT（F-RT）に比べて、作業の効率性・データの長期保存性・データ検索の利便性などの特徴がある。D-RT は「デジタル出力を持つ検出器により画像化する手法」と「X 線フィルムなどのアナログ情報をデジタルの形で画像化する手法」、上記 2 つに大別される。F-RT と D-RT の比較を表 1 に示す。

D-RT は F-RT と比べて、放射線の感度やダイナミックレンジに優れている。また、現像処理が不要なことから作業性に優れ、FPD では機種によって画像の積分処理や動画の撮影にも対応している。D-RT の画像は、電子データであるため、

*1：検査事業部 横浜検査部

*2：検査事業部 横浜検査部 部長

*3：検査事業部 横浜検査部 次長

かさばらず長期保存による画像劣化の心配もない。また、D-RTでは、取得した画像データに画像処理を施すことで、濃淡やコントラストを最適な条件に調整することができる。F-RTについても、撮影済みのフィルムをフィルムデジタイザに読みこませ、透過画像のデジタルデータ化を行うことで、画像処理を適用することができる。

表1 フィルム RT (F-RT) とデジタル RT (D-RT) の比較

	F-RT	D-RT	
	FILM	IP	FPD
分解能	◎	○	○
放射線感度	△	○	◎
ダイナミックレンジ	○	◎	○
データの長期保存	△	◎	◎
データの信頼性 (改ざん等)	◎	○	○
画像処理	(○)	◎	◎
リアルタイム性	×	×	◎

2.2 D-RT 装置

D-RT 装置は、撮影媒体（検出器）、パソコン、高精細モニタで構成され、IP を用いる場合は、IP スキャナが必要となる。また、撮影済みの X 線フィルムなどのアナログ画像をデジタル画像化するためには、フィルムデジタイザを用いる。図1に FPD、



図1 フラットパネルディテクタ (FPD)

図2に IP、図3に IP スキャナ、図4にフィルムデジタイザの写真を示す。また、図5に各撮影手法の装置体系を示す。



図2 イメージングプレート (IP)



図3 イメージングプレート (IP) スキャナ



図4 フィルムデジタイザ

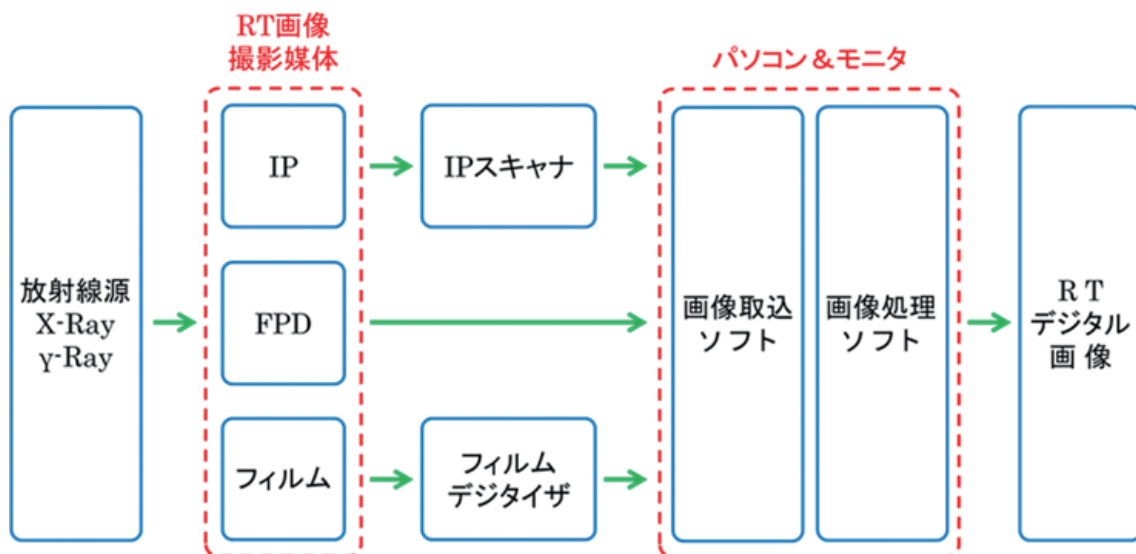


図5 各撮影手法の装置体系

2.3 IP、FPD を用いた撮影

IPは、ある程度変形させて扱うことができるため、試験体に密着配置することができ、フィルムに近い感覚で撮影することができる。撮影したIPは、IPスキャナでデジタル画像をパソコンへ取り込み、それと同時に放射線の情報を消去することで、繰り返し撮影に使用することができる。取り込んだデジタル画像は、ソフトウェアによるさまざまな画像処理を施し、最適な条件へ調整する。でき上がったデジタル画像は、電子データとして共有・管理することができ、CD-R等の記録メディアに書き出し、お客様へ納品する。

FPDは、有線または無線にて直接パソコンへデジタル画像を取り込むことができるため、より作業性の高い撮影作業が可能である。これらの撮影方法は、現像処理が不要である。また、装置の小型化・軽量化も進んできているため、車にX線装置とパソコンを搭載すれば放射線検査設備の移動が容易に可能であり、出張検査等に変大有効である。

2.4 D-RT の適用例

(1) IPによる撮影

図6に据付け済みのひずみゲージを撮影した透過画像を示す。撮影には、200kVのX線装置と高精細タイプのIPを用い、出張検査としてRTを実施した。透過画像を拡大して観察をすると、0.1mm程度の配線やその接合部を確認することができ、IPによる出張RTにおいても十分な像質が得られることが確認できる。

(2) FPDによる撮影

図7に鋳造製品を撮影した透過画像を示す。撮影には、200kVのX線装置とFPDを用いた。鋳造製品は、複雑な形状のものが多く、また透過厚も製品の部位によってさまざまである。このような製品を撮影する場合、通常は感度の異なるフィルムを複数枚用いるか、狙った透過厚ごとに撮影条件を変える必要がある。FPDでは、撮影過程で画像の積分処理があるため、広い透過厚に対してもある程度コントラストを落とさずに撮影することができる。

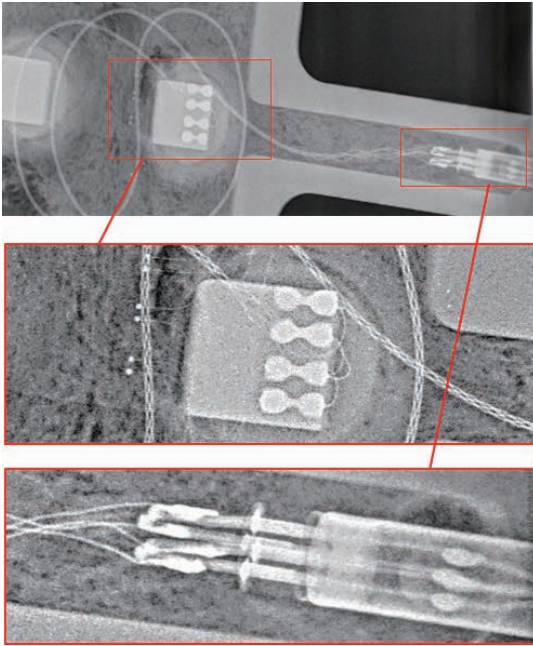


図6 据付け済みのひずみゲージを撮影した透過画像（高精細タイプのIP）



図7 鋳造製品を撮影した透過画像（FPD）

(3) マイクロフォーカスX線装置による拡大撮影

図8に半導体部品を拡大撮影した透過画像を示す。撮影には、マイクロフォーカスX線装置とフィルムを用いており、撮影した後に、フィルムデジタイザにてデジタル画像化した。マイクロ

フォーカスX線装置は、焦点寸法が極めて小さく、拡大撮影に大変適している。通常のX線装置の焦点寸法は、数mm程度であるが、本撮影に用いたマイクロフォーカスX線装置は $5\mu\text{m}$ である。

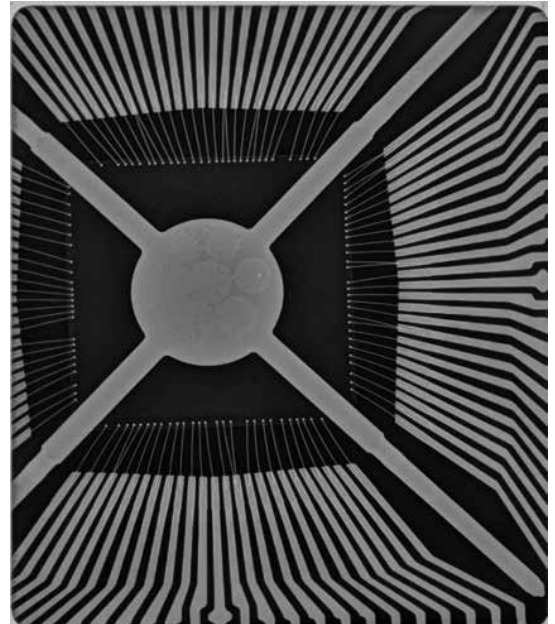


図8 半導体部品を拡大撮影した透過画像（フィルム）

図9に拡大撮影の配置図（通常のX線装置）、図10に拡大撮影の配置図（マイクロフォーカスX線装置）を示す。通常、X線による透過画像を撮影する場合、透過画像のボケを小さくするために試験体とフィルムを密着させ、試験体と同じ大きさの像が得られる拡大無しの撮影を行う。拡大撮影の場合、試験体をフィルムから離し線源側へ寄せて配置し、試験体を線源側へ寄せて配置するほど高い拡大率の透過画像が得られる。このとき、通常のX線装置では、焦点寸法が大きく透過画像にボケが生じてしまうが、マイクロフォーカスX線装置では、焦点寸法が極めて小さいため、ボケの少ない鮮明な拡大透過画像を得ることができる。図8の拡大率は、50～60倍程度であり、径

10 μ m 程度のボンディングワイヤやその接着部分を確認することができる。

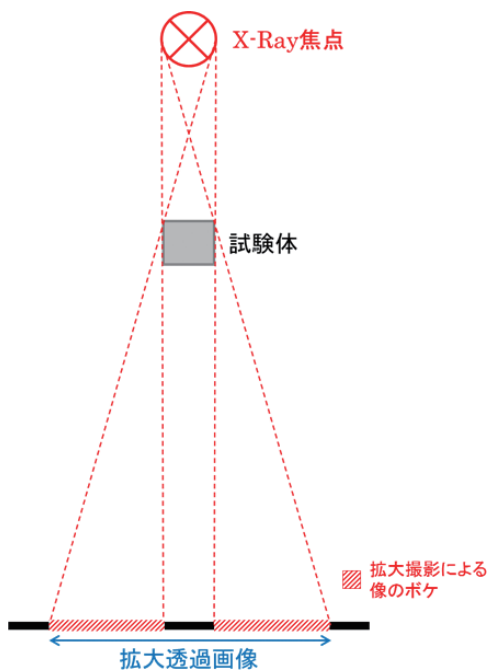


図9 拡大撮影の配置図 (通常の X 線装置)

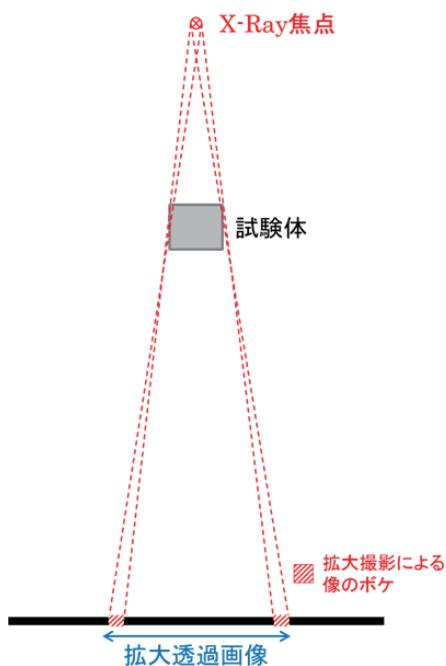


図10 拡大撮影の配置図 (マイクロフォーカス X 線装置)

3. 高エネルギー X 線による厚肉試験体への D-RT の適用

3.1 試験概要

従来、厚肉試験体への RT は、高エネルギー X 線に対して F-RT が使われてきたが、D-RT の国内規格化に伴い、試験コストの低減や環境負荷の低減等の観点から、D-RT の適用が期待されている。本項では、厚肉試験体、高エネルギー X 線について F-RT と D-RT による比較・検討試験を行った結果を紹介する。

3.2 試験方法

撮影対象は、タングステン球を溶接部に挿入した突合せ溶接試験体であり、溶接後に機械加工を行ってある板厚 76mm の平板である。X 線装置には、LINATRON M9 を用い、9MeV の高エネルギー X 線に対して、フィルム、IP、FPD で撮影を行った。X 線焦点-フィルム間距離 (FFD) は、2,000mm 程度とし、照射時間および FPD の積分処理条件 (露出時間、取り込み画像フレーム数) 等は、それぞれ最適な画像が得られるように設定した。また、フィルムおよび IP の画像を取り込む際の、デジタイザのスキャンピッチは 50 μ m とした。図 11 に LINATRON M9 の撮影における機器の配置を示す。



図11 LINATRON M9 の撮影における機器の配置

3.3 結果

図 12～図 14 に 9MeV の高エネルギー X 線により撮影したフィルム、IP、FPD の放射線透過画像を示す。図 14 は、従来のフィルム画像とは異なり、撮像過程で積分処理があるため、独特のコントラストが得られている。フィルムと FPD の画像では複線形像質計 (Duplex Wire)、JIS 線形透過度計、ASTM 有孔形透過度計の像が比較的鮮明に写っている。しかし、図 13 は全体的に散乱線の影響なのかムラがあり、鮮明さに欠ける結果となった⁽¹⁾。

本試験では、板厚 76mm の他に 240mm、300mm についても撮影試験を行った。板厚 240mm の厚肉試験体では FPD を適用できるが、それ以上の板厚になると撮影時間の観点から、IP での撮影が適していることがわかった。300mm を超える極厚肉の試験体には、総合的にフィルムを用いることが無難であるが、高精細タイプの IP についても照射時間の観点から候補として挙げられる可能性がある。

4. D-RT の JIS 規格化について

2017 年 9 月 20 日、「JIS Z 3110 : 2017 : 溶接継手の放射線透過試験方法—デジタル検出器による X 線及び γ 線撮影技術」が発行された。これにより、今後は徐々に D-RT の普及が進み、フィルムとの置き換えが可能になる分野が増えると予想される。本章では、JIS Z 3110 の内容を元に、D-RT 特有の考え方や F-RT と異なる点について紹介する。

F-RT では、フィルム濃度やコントラストで透過画像の管理を行うが、D-RT ではグレイ値 (GV) や信号対ノイズ比 (SNR)、基本空間分解能 (SR_b) といった指標を用いて数値管理を行う。

GV とは、IP や FPD に記録された放射線の強度を表す数値であり、これには本来の放射線の強度のゆらぎや、デジタル化される過程で生じるノ

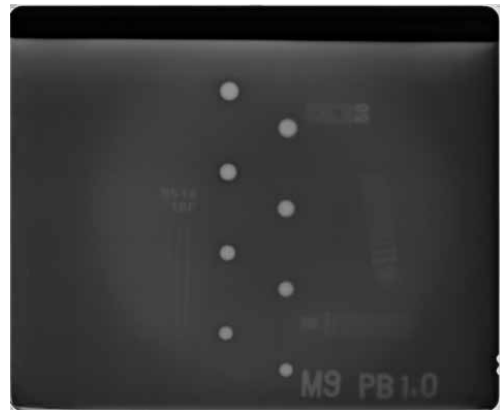


図 12 9MeV、フィルム RT (F-RT) 画像 (t=76)

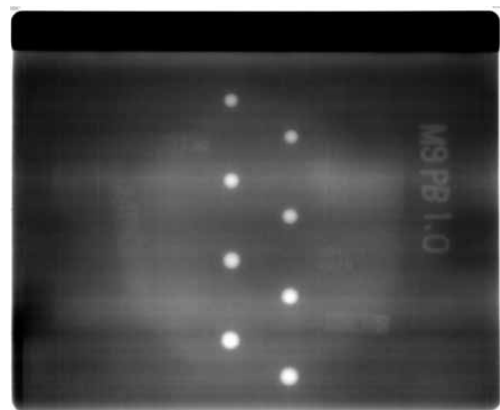


図 13 9MeV、イメージングプレート (IP) RT 画像 (t=76)

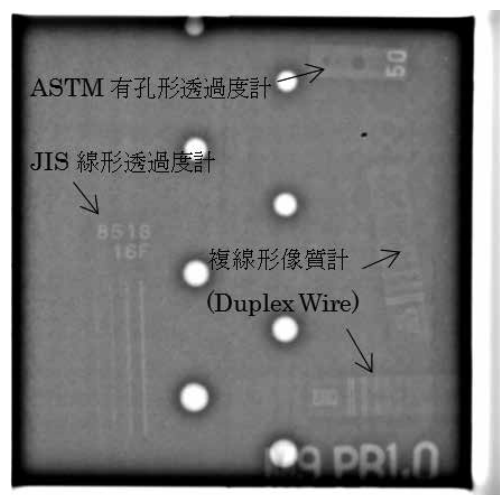


図 14 9MeV、フラットパネルディテクタ (FPD) RT 画像 (t=76)

イズが含まれている。GV は放射線の信号成分 (Signal) とノイズ成分 (Noise) からなると考えられ、次の式 (1) で表す。

$$GV = \text{Signal} + \text{Noise} \quad (1)$$

ただし、Signal は平均値あるいは中央値、Noise は標準偏差として扱う。また SNR は、Signal と Noise の比であり、次の式 (2) で表す⁽²⁾。

$$\text{SNR} = \text{Signal} / \text{Noise} \quad (2)$$

D-RT では、Duplex Wire を撮影した透過画像に対し、針金対がどこまで分離して識別できるかどうかで像質を決め、針金対の分離の度合いを示す指標として SR_b を用いる。図 15 に Duplex Wire の形状、図 16 に基本空間分解能 (SR_b) を示す。Duplex Wire は透けて見える固形の樹脂ホルダに 13 組の針金対からなる系列を埋め込んだ構造であり、それぞれの針金対は、円形断面を持った同径の針金で構成する⁽³⁾。図 17 に Duplex Wire の針金対の像に対するラインプロファイルの例を示す。針金対の像に対し、D-RT のラインプロファイル機能を使用し、2 つのピークの大きさに対する

るディップの深さが 20% 以下となる最初の針金対を確認する。このとき、対応する針金径および針金と針金の間隔を SR_b とする⁽⁴⁾。



図 15 Duplex Wire の形状

Element No. (D=Duplex)	Corresponding unsharpness	Wire Ø and spacing, mm
13D	0,10	0,050
12D	0,13	0,063
11D	0,16	0,080
10D	0,20	0,100
9D	0,26	0,130
8D	0,32	0,160
7D	0,40	0,200
6D	0,50	0,250
5D	0,64	0,320
4D	0,80	0,400
3D	1,00	0,500
2D	1,26	0,630
1D	1,60	0,800

SR_b

図 16 基本空間分解能 (SR_b)

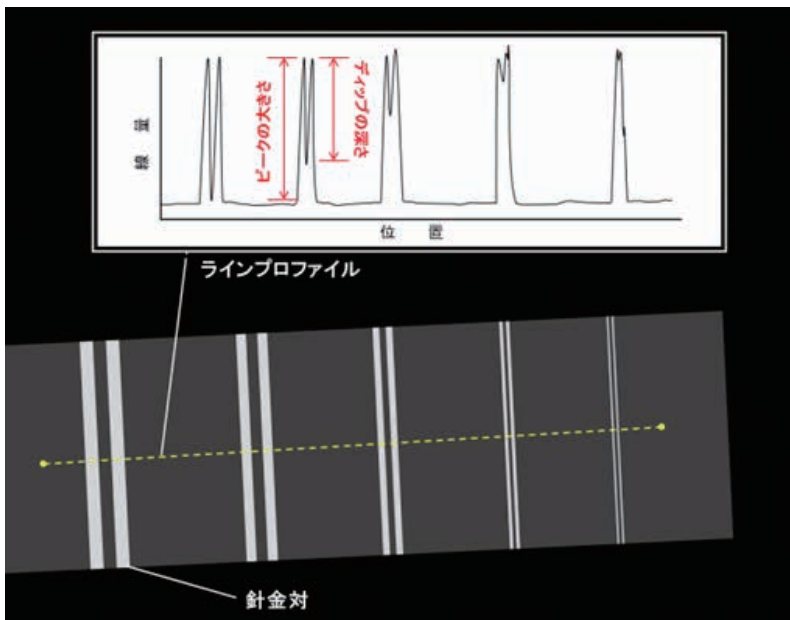


図 17 Duplex Wire の針金対の像に対するラインプロファイルの例

5. おわりに

横浜検査部では、JIS 規格原案作成委員会に参加し、規格作成のために厚肉材への D-RT 適用に向けた検討試験を行ってきた。その中で、当社で所有する装置では、240mm を超える極厚肉での FPD の特性限界や、D-RT システムによる性能限界が明らかとなってきた。JIS 規格も発行され、厚肉製品についても D-RT に移行できる分野も増えてくると予想される。今後も高エネルギー X 線分野に対する D-RT 試験を積極的に行い、その特性やノウハウを明らかにしていきたい。

参考文献

- (1) N. Ooka, M. Takita and K. Yokota : Application of Digital Radiographic Testing techniques to thick material using high-energy X-Ray [ID152], 15th Asia Pacific Conference for Non-Destructive Testing (APCNDT2017) , Singapore, 2017, pp.1-8
- (2) 一般社団法人日本溶接協会 非破壊試験技術実用化研究委員会：工業分野におけるデジタルラジオグラフィの基礎とその適用、初版、2014、pp.142-147
- (3) JIS Z 2307 : 2017 : 放射線透過試験用複線形像質計による像の不鮮鋭度の決定、一般財団法人日本規格協会、初版、2017、pp.1-8
- (4) JIS Z 3110 : 2017 : 溶接継手の放射線透過試験方法－デジタル検出器による X 線及び γ 線撮影技術、一般財団法人日本規格協会、初版、2017、pp.43-51



検査事業部
横浜検査部
中町 鴻
TEL. 045-759-2280
FAX. 045-759-2146



検査事業部
横浜検査部
部長
佐藤 雅保
TEL. 045-759-2280
FAX. 045-759-2146



検査事業部
横浜検査部
次長
田北 雅彦
TEL. 045-759-2280
FAX. 045-759-2146