

デジタル X 線撮影技術の向上

池田 徹



当社では、数ある非破壊検査装置の内、医療分野にて導入され始めたデジタル透過撮影技術が工業分野に応用できることに着目し、2010 年度に「D-RT (Digital Radiography Testing)」を導入した。

導入以降は、D-RT 技術向上のため各種開発や訓練を実施し、その中で 2013 年度には撮影画像の像質低下となる散乱線低減対策の開発を行ってきた。

2016 年度に D-RT における JIS 規格が制定されたことを受け、2017 年度に JIS 規格対応 D-RT 装置を新たに導入し、制定された JIS 規格に準拠した形で散乱線低減対策等の各種開発を行ったことから、その取り組みについて紹介する。

キーワード： デジタル透過撮影技術、D-RT、散乱線、像質向上

1. はじめに

従来の放射線透過試験では、F-RT (Film Radiography Testing) が主流であったが、利便性の高さから D-RT が注目されている。

D-RT とは、放射線の量をデジタル化した電気信号として取り出し、画像化する方法である。(図 1) 長所としては現像処理が不要、繰り返し使用が可能、瞬時に画像確認可能な点が挙げられ、短所としては「散乱線の影響」を受けやすく、F-RT による撮影画像に比べ、多少劣る点が挙げられる。

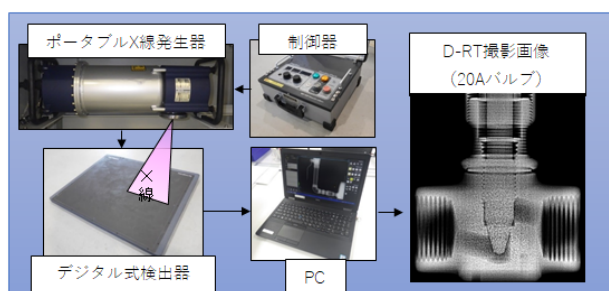


図 1 D-RT の概要

2. 散乱線とは

散乱線は X 線照射時 (図 2) に発生し、撮影対象物中を透過する X 線とは無関係な方向に放射する低エネルギーの X 線のことであり、像質 (コントラスト、鮮鋭度) に影響 (図 3) を及ぼす。低エネルギーの X 線による散乱線を低減させることは重要な課題であり、散乱線低減方法の確立を目的とした取り組みを行う必要がある。

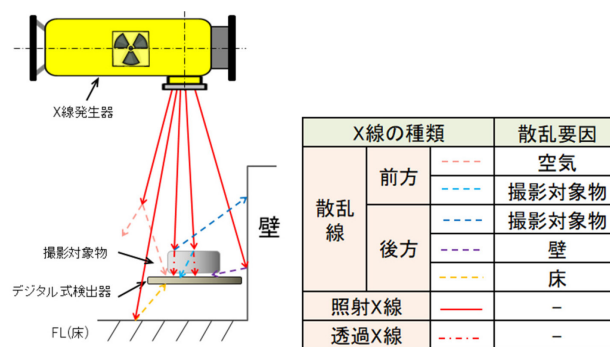


図 2 散乱線の発生概念

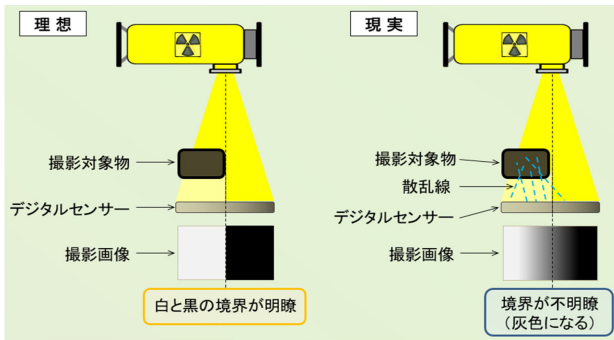


図3 散乱線による像質の低下

3. 散乱線低減技術の開発計画

3.1 開発計画

D-RT の像質向上への技術開発として (図4) に示す流れにて、対策の立案と判断基準を含む評価方法を設定し、試験と訓練を繰り返すことにより実プラントでの適用効果の向上を図ることとした。

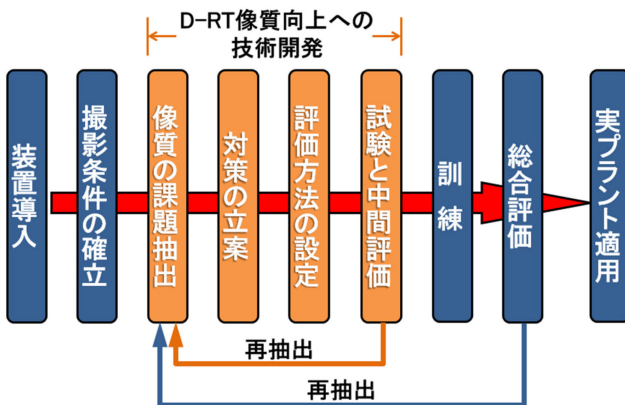


図4 開発フロー

3.2 比較検証

散乱線低減技術の開発として X 線を均一化し、線質を向上させる効果や低エネルギーの散乱線を低減させる効果が期待できる材料として①ろ過板、②前方スクリーン、③後方スクリーンを準備し、異なる条件による比較検証を実施することとした。(図5)

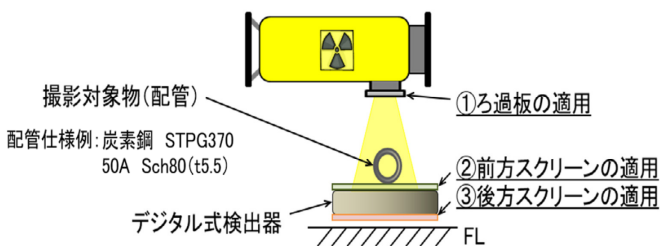


図5 ろ過板・スクリーン適用

3.3 材質の選定

X 線の性質上、その透過量は物質の密度や厚みに依存することから、ろ過板、スクリーンには密度の異なる材質、および複数の厚みパターンを設定することとした。

上記については JIS Z 3110 において一例として挙げられている鉛 (厚さは0.1mm 以下を推奨) を基準とし、鉛を含む密度の小さい6種の材質(図6)、および板厚に0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0mm を適用した。

なお、D-RT におけるスクリーンは消耗品であることから、材質は比較的安価で入手が容易であるものを優先した。

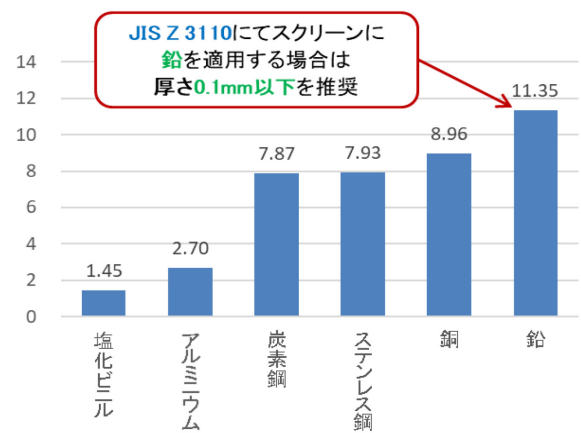


図6 材質選定

3.4 評価方法 (その1)

本検証において像質に対する評価方法は、JIS Z 3110 に準拠し、複線形像質計 (図7) による像の不鮮鋭度 u による評価方法を採用した。

尚、複線形像質計は左側から順に細くなる同径の針金対が13組配置されている。

不鮮鋭度 u の評価方法は、例えば左から3番目の対になった針金 (IQI 値: D3) から見えなくなった場合は、見えなくなった針金の径 d が 0.500mm であるため不鮮鋭度 $u=2d$ より 1.00mm となり、不鮮鋭度 u が小さいほど像質が良いという評価となる。(表1)



図7 複線形像質計の構造

表1 像の不鮮鋭度

線対の番号 (IQI値)	像の不鮮鋭度 u(mm)	針金の径および針金と針金との間隔d(mm)
D13	0.10	0.050
D12	0.13	0.063
D11	0.16	0.080
D10	0.20	0.100
D9	0.26	0.130
D8	0.32	0.160
D7	0.40	0.200
D6	0.50	0.250
D5	0.64	0.320
D4	0.80	0.400
D3	1.00	0.500
D2	1.26	0.630
D1	1.60	0.800

3.5 評価方法 (その2)

D-RT 装置に搭載されている、プロファイル機能を使用し、2本対になった針金の分離識別が不可 (Dip 値 20%以下) となる値で識別を判断する。

複線形像質計のプロファイル (図8) 緑点線で示す縦軸が濃度となり針金を透過した部分は濃度が下がる。

分離識別の判断には Dip 値を用い、針金の部分 A、B と対になった針金の間隔の部分 C との関係性により算出することが出来る。

より細い針金の分離識別が可能となるほど像質が良いとされるため、分離識別 (Dip 値) を比較することで散乱線の低減有無を評価する。

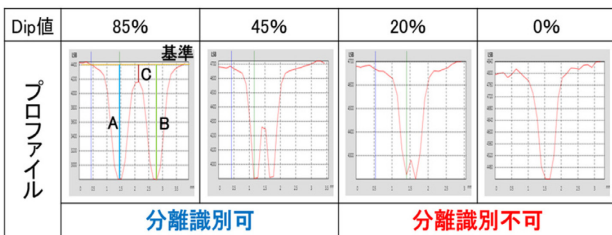
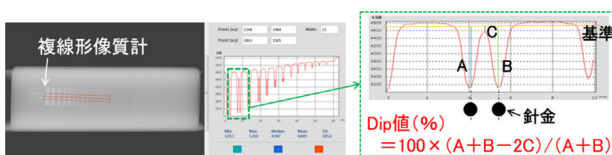


図8 プロファイルによるDip 値算出例

4. 比較検証結果と評価

3項にて選定した材料 (①ろ過板、②前方スクリーン、③後方スクリーン)、および材質による比較検証結果のうち、特に効果が高かった材質による組合せパターンを表2に示す。そのうち、4パターンの材料組合せにおいて分離識別可能範囲がD7からD8へ拡大し、その中でも①~③全て適用することで最も像質が明瞭となることが解る。

表2 ①~③組合せによる比較検証結果

検証内容組合せ			Dip 値 (%) ^{※1}									不鮮鋭度 u (mm)	評価 ^{※2}
①ろ過板 (銅: 2.0mm)	②前方スクリーン (銅: 1.0mm)	③後方スクリーン (銅: 0.5mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9		
-	-	-	94.2	86.2	83.8	80.1	71.0	51.1	30.5	14.2	-	0.32	-
-	レ	レ	91.4	84.6	82.4	77.6	69.1	48.7	34.2	11.7	-	0.32	△
-	-	レ	95.7	86.5	84.8	76.6	72.6	49.6	36.6	17.7	-	0.32	△
レ	-	レ	89.8	84.8	82.5	76.9	84.1	46.0	36.2	19.2	-	0.32	△
-	レ	-	93.0	88.8	83.4	81.0	70.2	50.1	35.3	21.0	-	0.26	○
レ	-	-	89.0	85.7	82.6	75.1	70.2	52.0	35.8	22.6	-	0.26	○
レ	レ	-	93.4	88.0	83.7	81.5	71.7	49.6	38.9	22.7	9.6	0.26	○
レ	レ	レ	96.4	85.2	84.7	77.8	74.7	58.3	42.0	32.0	18.8	0.26	◎

※1) □: 分離識別可能範囲 (Dip 値 > 20.0%)
□: ①~③の組合せにより拡大した分離識別可能範囲
□: 最小不鮮鋭度のうち最大Dip値

※2) 未適用との比較【凡例 優◎ 良○ 不変△】

D9については①~③と適用しなかった場合、Dip 値の算出が不可であり、プロファイル上でも山と谷の形状を確認することができない。一方で材料①~③を組み合わせることで20%に満たないものの18.8%のDip 値を算出し、プロファイル上においても山と谷の形状を視認できるまでに改善された。また、撮影画像についても試験体端部の境界が明瞭となったことから、本件の散乱線低減対策によって像質が向上したと言える。(図9)

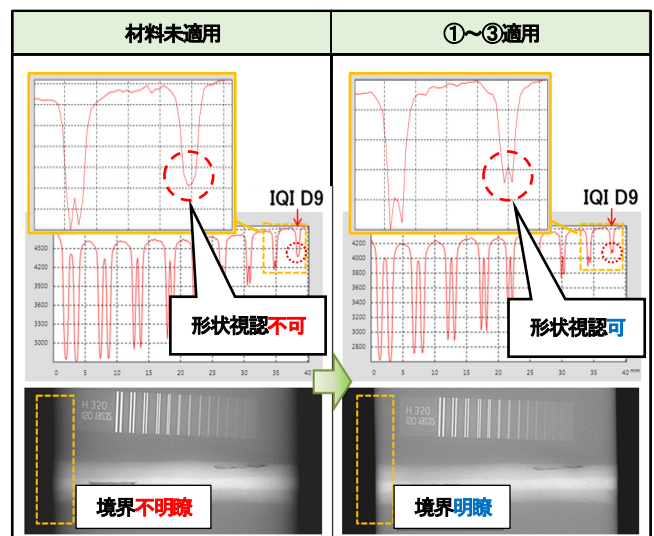


図9 プロファイルおよび撮影画像による比較結果

5. まとめ

開発技術の適用により、像質が向上することがプロフィールデータや撮影画像から確認することが出来た。短所としていた散乱線の影響は低減され、より F-RT における撮影画像の像質に近付けることが出来たことから、今まで検出が困難であった微細なキズの検出が可能となり、D-RT の適用範囲拡大に繋がると考えられる。

一般的な配管の溶接検査は初層溶接後と残層溶接後に表面キズを検出する浸透探傷試験と耐圧試験にて健全性を確認するが、弊社保有の D-RT を適用することで、高品質なサービスを提供し溶接検査の信頼性を向上させることが出来ると考える。

より像質の良い画像を取得するために、今後も他材質による更なる改良と実プラント適用に向けた作業訓練を継続していく。

参考文献

- [1] 池田徹、齋藤健夫、他“原子力プラントの配管 RT 向けデジタル X 線撮影技術の向上”、日本保全学会 東北・北海道支部 第 3 回保全技術交流会 講演資料集、2019



池田 徹
(株)ジェイテック
機械保修部 保守・診断グループ



写真 D-RT 作業の様子