

## 高圧ガス導管の円周溶接部 DRT<sup>※</sup>における自動判定システムの適用

※ Digital Radiographic Testing

### ご確認いただきたい内容

大阪ガスネットワーク株式会社（OGNW）は、DRT を用いた溶接部のきず判定について、I. 自動判定システムを開発した。実際にガス工事現場で発生したきず（実きず）を用いて、II. 人とシステムの判定性能を比較した結果、システムが III. 人と同等以上の判定性能を有することを確認できた（発生実績がないきずは、銅板を加工して製作した模擬的なきず（人工きず）を用いて、同確認を実施）。

そのため、ガス工作物技術基準・同解釈例第 58 条「放射線透過試験」について、従来の人（検査員）の代替として、システムを採用したいと考えている。

この点について、ガス工作物の技術上の基準を定める省令第 16 条「溶接部分」に則った放射線透過試験の運用として適切であることをご確認いただきたい。

### 本確認のポイント

本確認のポイントは表 1 の通りである。

表 1 本確認のポイント一覧

項目	本確認のポイント
I. 自動判定システム	「画像において周辺と比較して輝度変化が大きい画素領域を抽出し、その形状・濃淡・大きさからきずの分類を判定する手法」は、人と同様の判定方法と見なしてよいか？
II. 人と同等以上の判定性能	判定性能の評価項目： ① 抜け漏れなくきずを検出できること ② 正しくきずの種類を判定できること ③ 正しくサイズ測定できること の 3 項目でよいか？
	「人と同等以上」の確認： 上記 3 項目の指標について、人 ≤ システムであればよいか？
III. 性能評価	評価データ： DRT 導入時の検証より多い数量のきずを用意し、ガス工事環境で発生しうる最小～最大サイズまでを網羅して評価すればよいか？

## 本確認の位置づけ

表 2 の通り、ガス工作物の技術上の基準を定める省令第 16 条「溶接部分」の解釈例第 58 条「放射線透過試験」では以下の通り規定されている。

『放射線透過試験の方法は JIS B 8265（2017）「圧力容器の構造—一般事項」の「8.3 a）放射線透過試験」又は 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 線および γ 線撮影技術」によるものとし、その判定基準は JIS B 8265（2017）「圧力容器の構造—一般事項」の「8.3 a）放射線透過試験」によるものとする。』

しかし、同解釈例では放射線透過試験を行う検査員の資格要件は規定されておらず、業界あるいは各事業者の「自主的な運用」に任されている。

これを受けて業界では、非破壊試験員の要求規定として JIS B 8265 の「8.3 e）非破壊試験員」を参照し、検査員は人である想定で、「JIS Z 2305（2013）に基づく有資格者又はこれと同等と認められる規格に基づく有資格者」を検査員の要件として運用している。

表 2 関連する技術基準・規格類

技術基準・規格	検査員に関連する内容抜粋
ガス工作物の技術上の基準を定める省令第 16 条「溶接部分」	溶接された部分は適切な溶接設計（溶接方法の種類、溶接部の形状等をいう。）により適切に溶接されたものであり、かつ、有害な欠陥がないこと及び適切な機械的性質を有することを適切な試験方法により適切に確認されたものでなければならない。
ガス工作物技術基準の解釈例第 58 条「放射線透過試験」	<b>&lt;放射線透過試験の方法&gt;</b> JIS B 8265（2017）「圧力容器の構造—一般事項」の「8.3 a）放射線透過試験」または 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 線および γ 線撮影技術」による。 <b>&lt;放射線透過試験の判定基準&gt;</b> JIS B 8265（2017）「圧力容器の構造—一般事項」の「8.3 a）放射線透過試験」による。 <b>&lt;放射線透過試験を行う検査員の資格要件&gt;</b> 規定なし。
ガス工作物技術基準・同解釈例の解説第 58 条「放射線透過試験」	<b>&lt;放射線透過試験を行う検査員の資格要件&gt;</b> 非破壊試験員の要求規定については、JIS B 8265（2017）「圧力容器の構造—一般事項」の「8.3 e）非破壊試験員」がある。
JIS B 8265	非破壊試験員は、JIS Z 2305 に基づく有資格者又はこれと同等と認められる規格に基づく有資格者とする。

本検討会では、JIS Z 3110 に準じて行われる放射線透過試験において、システムが上記の有資格者と同等の判定性能を有するため、システムを人（検査員）の代替とすることが同技術基準に則った放射線透過試験の運用として適切であることを確認いただく。

## 背景

従来の FRT (Film Radiographic Testing) に加えて、2019 年に新たに DRT についてもガス工作物の技術上の基準を定める省令第 16 条「溶接部分」への適合性を承認された。

OGNW では、高圧ガス導管の溶接工事において、DRT をガス業界で初めて導入することによって、溶接検査関連の効率化をいち早く実現した。従来の FRT と異なり、DRT は検査画像をフィルムではなくデータとして取得可能である。そのため、フィルム現像・乾燥の不要化による「検査の高速化」やデータ伝送による「検査の遠隔化」等の効率化が実現できた。一方で、検査画像の判定は FRT 同様に検査員が目視判定をしているため、検査の負荷が依然として大きかった。

そこで、OGNW では下記①～③の効率化を目指し、判定を自動化するシステムを開発した。

- ①検査時間の高速化による配管能率の向上
- ②検査員省人化による検査員の担い手不足解消
- ③検査品質の安定化

検査方法	時系列	検査時間※	検査ステップ		
			撮影	現像・乾燥	判定
FRT	～2019年	75分/リング			
DRT	現在	35分/リング		不要化	
DRT + 自動判定	今後	10分/リング			

※ 口径600Aガス導管に適用した場合

本件

図 1 検査方法の変化イメージ

ガス業界では、高圧ガス導管の円周溶接部に対して、材料設計をはじめとした様々な取り組みが行われ、高い品質を維持している。そのため、溶接において不合格が発生することは極めて稀であり、先進技術を活用した自動判定システムへ代替することに適したケースであると考えられる。

表 3 溶接部品質を確保するための取り組み

項目	取り組み
①材料	・ガス工作物技術基準の解釈例に従い、母材は API <sup>※1</sup> 、溶着金属は JIS <sup>※2</sup> に準拠した製品を使用し、化学成分や機械的性質（強度/靱性等）等が適切であることを確認 <sup>※3</sup>
②溶接方法 溶接士	・ガス工作物技術基準同解釈例に従い、JIS <sup>※4</sup> に準拠し、適切な機械試験等により適切な溶接施工法等（溶接方法・溶接士）であることを確認 ・上記品質の高い再現性を確保するため、自動溶接 <sup>※5</sup> を採用
③検査員	・ガス工作物技術基準同解釈例に従い、JIS <sup>※6</sup> に準拠し、適切な資格試験等により適切な検査員であることを確認

※1 API 5L PSL2

※2 JIS Z 3312（2009）「軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用のマグ溶接及びミグ溶接ソリッドワイヤ」

※3 溶接後の溶接金属についても、②にて機械的性質等を確認

※4 JIS Z 3121（2013）「突合せ溶接継手の引張試験方法」、JIS Z 3122（2013）「突合せ溶接継手の曲げ試験方法」、JIS Z 3128（2017）「溶接継手の衝撃試験片採取方法」等

※5 自動溶接では、「シールドガスによる溶接部と外気の遮断」「溶接部の水分・油分等の清掃」等の施工管理によってブローホールの発生を防止している

※6 JIS Z 2305（2013）「非破壊試験技術者の資格及び認証」

表 4 溶接部の RT 判定結果（2019-2020 年実績）

検査員の判定結果			割合（％）	画像（枚）
合格	1 種	1 類 <sup>※</sup>	99.7	8046
		2 類	0.3	22
		3 類	0	0
		4 類	0	0
	2 種		0	0
	3 種		0	0
	4 種		0	0
	不合格			0
計			100	8068

※ きず無を含む

<参考> プラント保安分野 AI 信頼性評価ガイドライン（経済産業省、総務省消防庁、厚生労働省）

システムは、同ガイドラインを参考に、安全性を配慮した上で設計・開発等を行った。なお、ガス業界では強度が高く（内圧に対する高い安全率）、靱性に優れた API に準拠した材料を使用しているため、AI の誤判断によって悪影響を及ぼすリスク（AISL：AI Safety Level）は、最も影響が小さい「AISL 0」とした。

## I. 自動判定システム

### システムの適用範囲

システムの適用範囲は表 5 の通りである。所定の溶接条件で所定の DRT 機器を使用し、かつ JIS Z 3110 に規定されている条件を満たし、品質が確保された DRT 検査画像に対してのみ適用する。

表 5 システムの適用範囲

適用範囲			
溶 接 条 件	母材	材質	API 5L PSL2
		公称管厚	15.1mm
		公称外径	610.0mm
	溶着金属	材質	JIS Z 3312
	溶接方法		MAG 自動溶接
D R T 機 器	検出器		フラットパネル（主な指標を以下に記載） <メーカー> Varex Imaging Corp. <型番> 1313DX <画素数> 1024×1024※ <解像度> 127μm <諧調> 16bit ※ 外径 610mm の場合、全周を 20 分割で撮影 （撮影箇所をラップさせることで、確実に全周を撮影）
	撮影方法		内部線源撮影方法
検 査 画 像	準拠規格		JIS Z 3110（主な指標を以下に記載） <透過度計> 識別最小線径 0.32mm <複線形像質計> 最大不鮮鋭度 D8 0.32mm <SNR <sub>N</sub> （クラス A）> 最小値 70（熱影響部で 98）

### システムへの代替範囲

JIS Z 3104 (1995)「鋼溶接継手の放射線透過試験方法」において定義されているきずは、図 2 に示す 4 種類である。

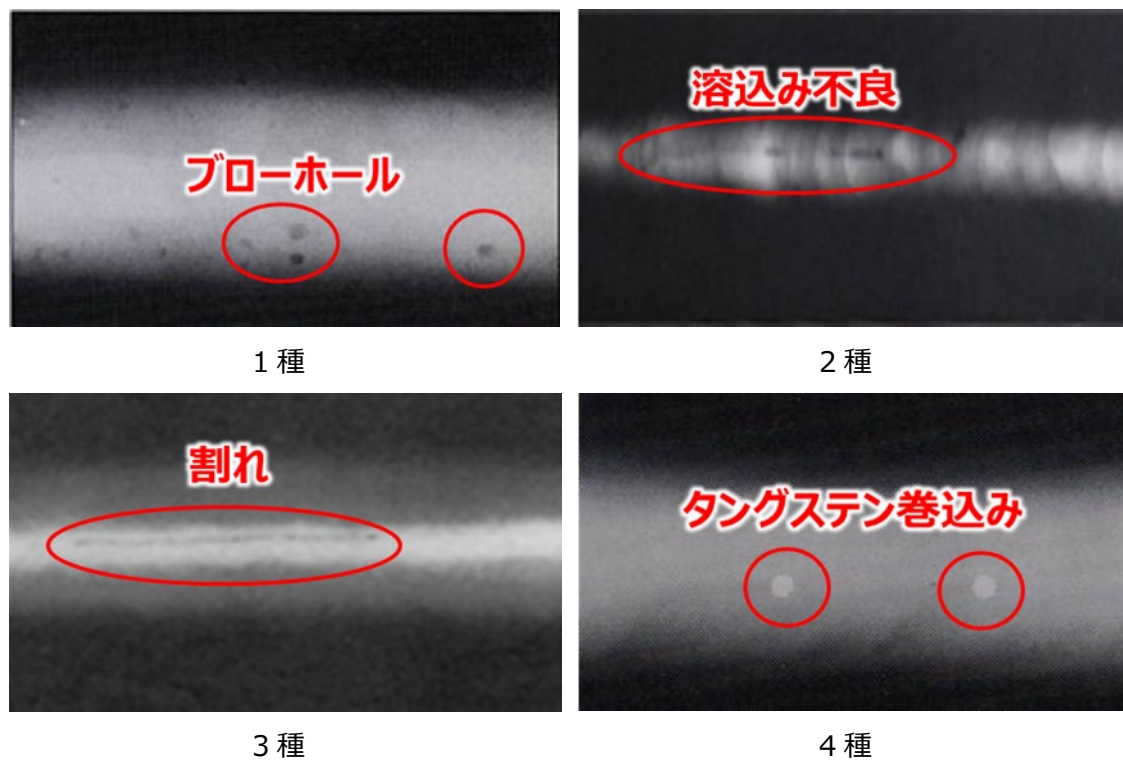


図 2 きずの種類

システムの自動化対象は図 3 の通り「きずの検出」・「1 種きず/1 種きず以外の種類判定」・「1 種きずのサイズ測定」とした。線状である 2 種・3 種きずの判別は比較的難しく、安全側の運用とするため、1 種以外のきずが発生した際は検査員が種別・サイズをチェックする運用とした。

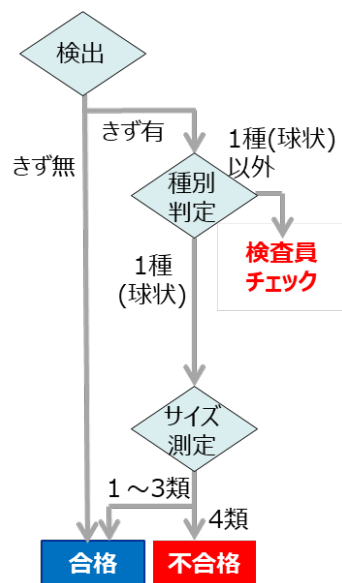


図 3 システムの自動判定フロー

なお、「1 種きずのサイズ測定」以降は JIS Z 3104 に則り、1～4 類の分類および合否判定を実施する（母材の管厚 15.1mm の場合）。

①表 6 に基づき、きずのサイズに応じて、画像内のすべてのきずに対して、きず毎のきず点数を算定

表 6 きず点数の算定表（1 種きず）

きずの長径 (mm)	1.0 以下	1.0 を超え 2.0 以下	2.0 を超え 3.0 以下	3.0 を超え 4.0 以下	4.0 を超え 6.0 以下	6.0 を超え 8.0 以下	8.0 を超え るもの
きず点数	1	2	3	6	10	15	25

②試験視野（10mm×10mm）に含まれるきずのきず点数合計が最も大きくなる場合の点数を画像の最終的なきず点数として、表 7 に基づき、1～4 類の分類を実施（4 類は不合格）

表 7 きず点数に応じた 1～4 類の分類（1 種きず）

きず点数（点）	2 点以下	2 点を超え 6 点以下	6 点を超え 12 点以下	12 点を 超えるもの
分類	1 類	2 類	3 類	4 類
合否	合格			不合格



## 自動判定アルゴリズム

画像処理（AI 含む）とプログラム処理を組み合わせた 4 つの STEP によって、きずの自動判定を行うアルゴリズムを開発した。フローチャートは図 4 の通りである。なお、人による判定は下記の通りに実施しており、自動判定アルゴリズムは人による判定と同様の判定方法となっている。

### <人による判定例>

- ① 判定用ソフトにて画像を表示し、白黒濃淡調整機能を用いて、溶接部の白黒濃淡を強調
- ② 溶接部のきずの有無を判定
- ③ JIS Z 3104 の定義に則り、きずの濃淡・形状に応じて種類を判定
- ④ システム上できずと判定した箇所の寸法を測定し、きずを分類（合否判定）

### <システムによる判定>

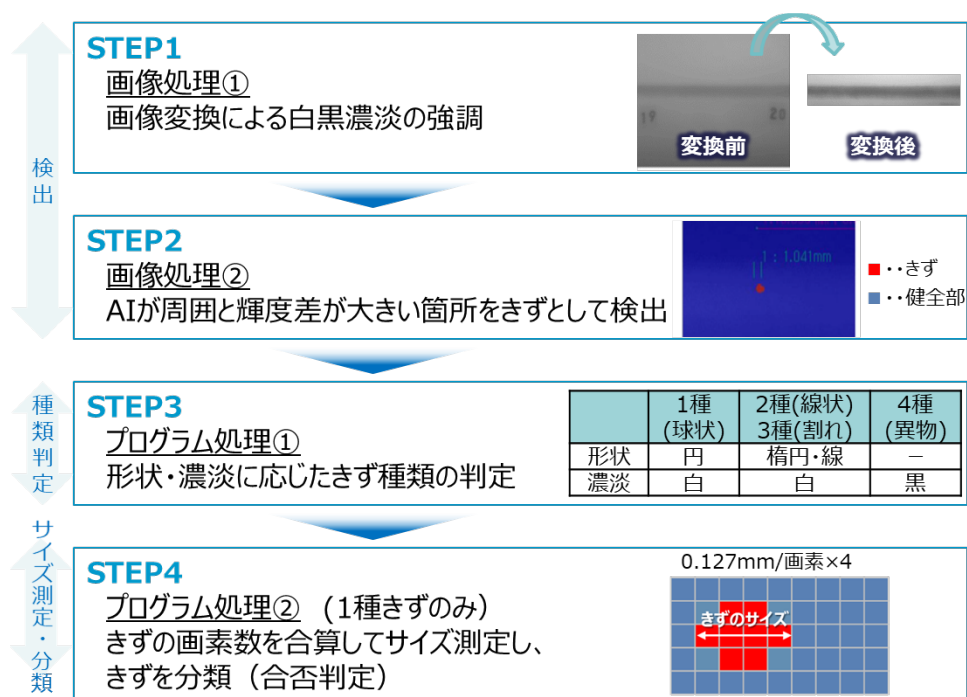


図 4 自動判定アルゴリズムのフローチャート

### <STEP1>（画像処理①）画像変換による白黒濃淡の強調

溶接部以外の画像は判定に使用しないため、一般的な画像処理であるテンプレートマッチングによって DRT で取得された画像から溶接部を切り出し、自動判定する範囲を最小化する（溶接部が確実に含まれるよう広めに切り出し範囲を設定）。テンプレートマッチングは、事前に準備したテンプレート画像と呼ばれる一部の画像領域と類似した輝度パターンが画像全体の中に存在するか調べる方法である。

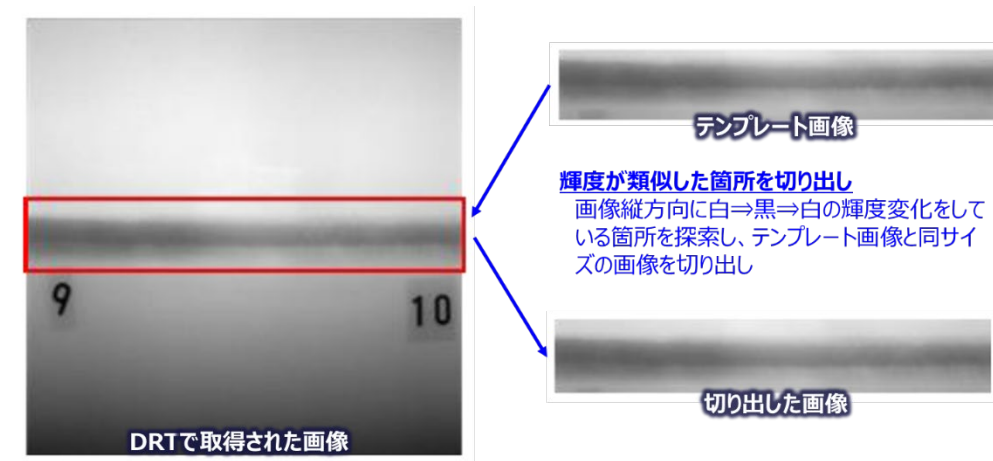


図 5 テンプレートマッチング手法のイメージ

現場で取得される DRT の画像における溶接部の輝度領域は、通常図 6 のように、画像が表示できる輝度範囲（16bit：0（完全な黒）～65535（完全な白））の一部である。

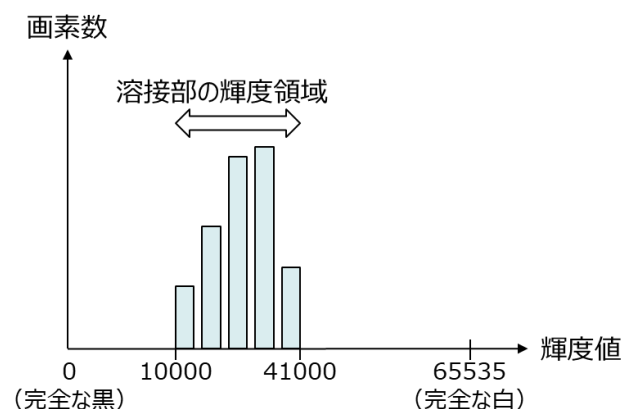


図 6 画像における溶接部の輝度領域イメージ

輝度領域以外も含めて、画像表示しているため、きずと健全部の相対的な輝度差が小さい（白黒濃淡が分かりにくい）。STEP2 では健全部との輝度差を基にきずを検出するため、前述の状況では、

きずの検出が難しい場合もある。そこで、全画素の輝度の領域を 8bit で輝度 0（完全な黒）から輝度 255（完全な白）に分布するように変換することで、きずと健全部の相対的な輝度差を大きくし（白黒濃淡を強調し）、きずを高精度に検出できるようにした。

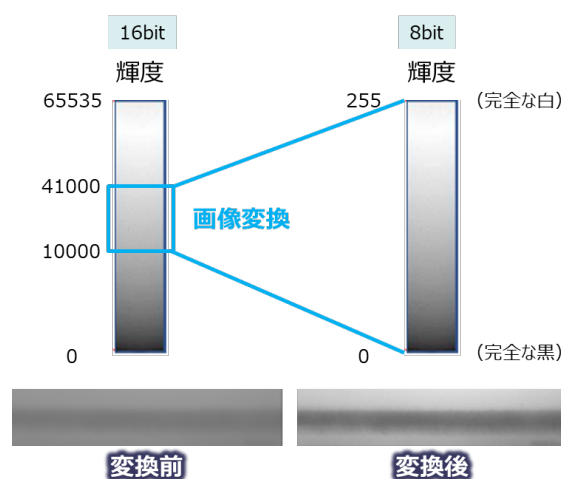


図 7 画像変換による白黒濃淡強調のイメージ

## <STEP2>（画像処理②）AI が周囲と輝度差が大きい箇所をきずとして検出

開発した AI が、画像上の全画素を健全部の画素ときずの画素に分類することで、きずを検出する。

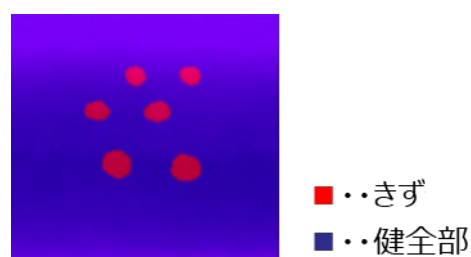


図 8 きず検出結果のイメージ

AI に画像上の健全部の画素ときずの画素を分類して学習（アノテーション）させて、AI がきずの特徴を認識することで、上記の分類を可能とした。具体的には以下の通りである。

- ① きず箇所を正確に判定した画像を準備する。（学習データ）
- ② 学習データ中の画素をきずと健全部に分類し、これを AI が学習する。

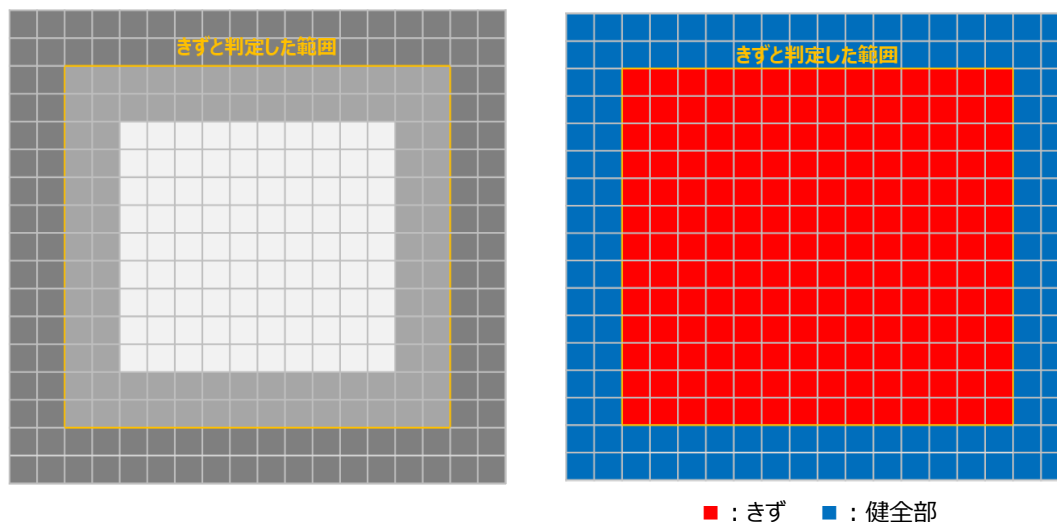


図 9 学習データ（左）/AI に学習させる画素（右）のイメージ

- ③ 画素には輝度（0～255）の情報が含まれており、AI は分類された画素の情報から、「A きず画素における輝度」「B きず/健全部画素の輝度差」「C きず画素の連続性」等の特徴を認識する。  
（学習イメージを図 10 に記載しており、様々な断面において同様の学習を網羅的に行う）

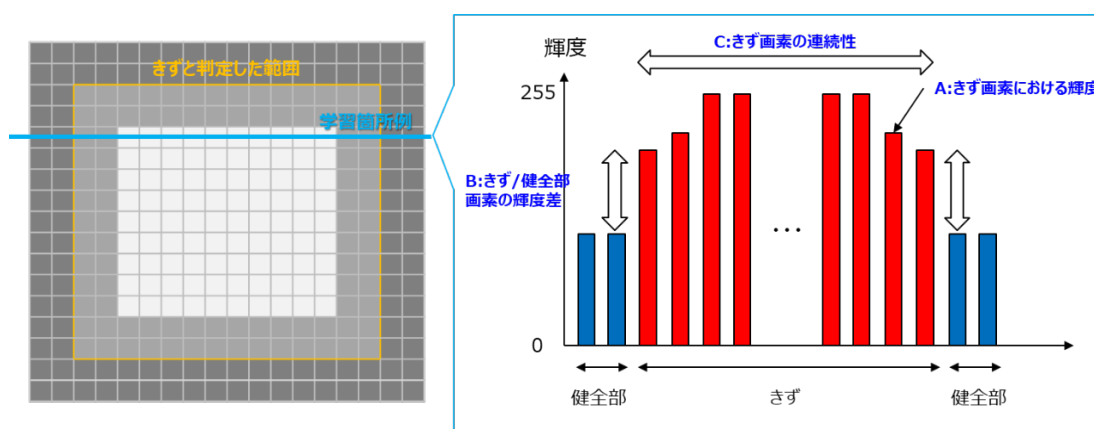


図 10 AI 学習のイメージ

- ④ 上記特徴を踏まえて、AI は上記の A～C 等を確認して、その画素がきずか健全部かを判定する。  
（判定イメージを図 11 に記載しており、様々な断面において同様の判定を網羅的に行う）

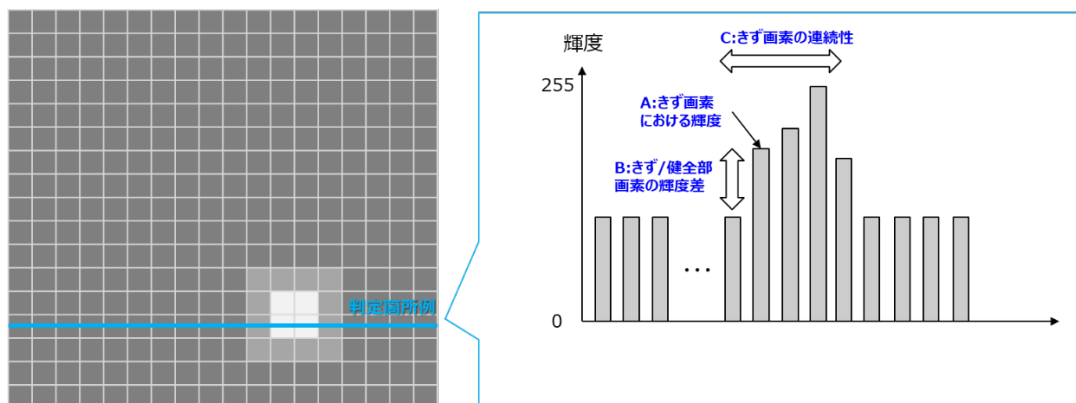


図 11 AI 判定のイメージ

### <STEP3>（プログラム処理①）形状・濃淡に応じたきず種類の判定

表 8 の通り、JIS Z 3104 に準じた定義に則り、きずの種類を判定する（前述の通り、1 種以外のきずと判定された後、2～4 種きずの分別は人が行う為、システムの判定は参考である）。

表 8 きずの種類判定方法

		きずの種類			
		1 種	2 種	3 種	4 種
JIS Z 3104 による定義		丸いブローホール 及びこれに類するきず	細長いスラグ巻 込み、パイプ、溶 込み不良、融合 不良及びこれに 類するきず	割れ及び これに類するきず	タングステン 巻込み
システム の判定 方法	形 状	円 ⇒きずの長径が 短径 の 2 倍未満	楕円・線 ⇒きずの長径が短径 の 2 倍以上		—
	濃 淡	白 ⇒輝度が 設定値以上	白 ⇒輝度が 設定値以上		黒 ⇒輝度が 設定値以下

**<STEP4>（プログラム処理②）きずの画素数を合算してサイズ測定し、きずを分類（合否判定）**

きず範囲の画素数と画素サイズからサイズを計算する。サイズ測定の結果、0.5mm 以下の 1 種きずについては、JIS Z 3104 に準拠して、判定対象から除外する。

サイズ測定の結果に基づき、1～4 類の分類および合否判定を実施する。

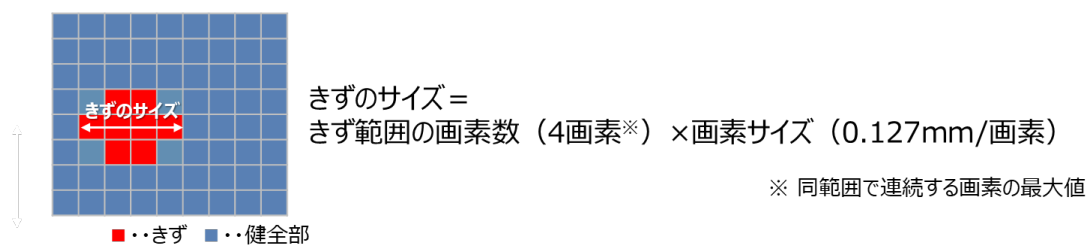


図 12 サイズ測定のイメージ

## **Ⅱ. 「人と同等以上」の判定性能**

人の判定をシステムに代替する際、判定性能が低下しないことを目指し、「人と同等以上」という判定性能の基準を設けた。なお、「同等」という表現については、『ガス工作物技術基準・同解釈例の解説』における検査員の規定で、JIS B 8265 の「8.3 e. 非破壊試験員」を引用するように記載があり、同 JIS 内の下記文言を参考にした。

『非破壊試験員は、JIS Z 2305 に基づく有資格者又はこれと同等と認められる規格に基づく有資格者とする』

### **判定性能の評価項目**

システムの判定性能を評価するにあたり、JIS Z 3104 の判定に必要である「抜け漏れなくきずを検出できること」、「正しくきずの種類を判定できること」、「正しくサイズ測定できること」を評価項目とした。

### **「人と同等以上」の判定性能の定義**

ガス業界における経験年数 5 年以上の現役検査員 10 名<sup>※</sup>の平均スコアを人の判定性能とし、システムがそれを上回れば「人と同等以上」の性能を有すると定義した。DRT 評価時のラウンドロビン試験では 10 名の検査員で検証されており、本件についても同人数で十分であると評価した。また、10 名の検査員の「Ⅲ. 性能評価方法」における判定結果は、正答率が高く、大きなばらつきがなかったため、各評価項目における人の判定性能は平均値を採用した。

※ JIS Z 2305 に準拠したレベル 2 以上の検査員

### Ⅲ. 性能評価

#### 評価方法

##### <評価データ>

前述の通り、システムの適用範囲における直近の実績では、きず無+1種きず：100%（1mm程度以下がほとんど）、2種きず：0%、3種きず：0%、4種きず：0%である。しかし、本件では全4種について、OGNWの過去12年の現場実績および鋼管工事会社の熟練検査員へのヒアリングに基づき、ガス工事環境で発生しうる最小サイズから最大サイズまでを想定して検証することとした。DRT導入後に発生実績のないきずについては人工的にきずを作成した（詳細後述）。

表9 きず種類毎の最小・最大サイズ

1種	2種	3種	4種
0.6～3.0mm	2.0～15.5mm	6.0～30.0mm	1.0～3.0mm

現場で発生頻度が高いサイズを中心に、DRT導入時の検証より多い数量で評価を実施した（3、4種きずは発生頻度が非常に低いため、2種きずの数量と同等とした）。なお、実きずは10名の検査員のうち、5名以上（半数以上）が「きず有」と判定したものを評価データとした。

表10 きず種類毎の評価データ数

検証内容		比較対象	きず	きず数（個）				合計 （個）
				1種	2種	3種	4種	
過去 検証	DRTの導入	DRT⇔FRT	実きず	27	7	0	0	34
今回 検証	DRT自動判定 システムの導入	システム⇔人	実きず	35	0	0	0	35
			人工きず	110	13	8	16	147

実きずは表11の通り、1種で0.7mmから1.4mmのサイズのきずを評価データとして採用した。サイズは「きず有」と判定した検査員がビューワーソフト上で計測した寸法の平均値とした。人工きずは表12の通り、1～4種の様々なサイズのきずを評価データとして採用した。サイズは銅板上のきずを実測した寸法値とした。



表 11 実きずにおけるきず種類・サイズ毎の評価データ数

種類	サイズ (mm)	数量 (個)	合計 (個)
1 種	0.7	2	35
	0.8	8	
	0.9	9	
	1.0	7	
	1.1	3	
	1.2	3	
	1.3	1	
	1.4	2	

表 12 人工きずにおけるきず種類・サイズ毎の評価データ数

種類	サイズ (mm)	数量 (個)	
1 種	0.6	13	小計 110
	0.8	26	
	1.0	20	
	1.6	23	
	2.0	10	
	2.6	8	
	4.2	10	
2 種	2.0	1	小計 13
	2.5	1	
	3.0	1	
	4.0	1	
	4.5	1	
	5.0	1	
	6.0	1	
	7.0	1	
	8.0	1	
	9.0	1	
	10.0	1	
	20.0	1	
	30.0	1	
種類	サイズ (mm)	数量 (個)	
3 種	6.0	1	小計 8
	7.0	1	
	8.0	1	
	9.0	1	
	10.0	1	
	15.0	1	
	20.0	1	
	30.0	1	
4 種	1.0	3	小計 16
	2.0	7	
	3.2	3	
	4.2	3	

なお AI 学習に使用したデータは表 13、14、15 の通りである。

表 13 きず種類毎の学習データ数

きずの種類	きず数（個）	
	実きず	人工きず
1 種	68	44
2 種	0	17
3 種	0	4
4 種	0	36

表 14 実きずにおけるきず種類・サイズ毎の学習データ数

種類	サイズ（mm）	数量（個）	合計（個）
1 種	0.6	2	68
	0.7	13	
	0.8	21	
	0.9	18	
	1.0	7	
	1.2	6	
	1.3	1	

表 15 人工きずにおけるきず種類・サイズ毎の学習データ数

種類	サイズ (mm)	数量 (個)	
1 種	1.0	5	小計 44
	2.0	16	
	3.0	23	
2 種	1.0	1	小計 17
	1.5	1	
	2.0	4	
	2.5	1	
	3.0	5	
	4.0	2	
	5.0	1	
	8.0	1	
	10.0	1	

種類	サイズ (mm)	数量 (個)	
3 種	10.0	1	小計 4
	15.0	1	
	20.0	1	
	25.0	1	
4 種	1.0	1	小計 36
	2.0	6	
	2.2	17	
	3.0	1	
	3.2	9	
	4.2	2	

### ＜人工きずの使用＞

意図的に実きずを作成することは、技術的な難易度が高く、高コストである。そのため、DRT 導入後に発生実績の無いきずについては、銅板を用いた人工きずによる模擬的なきず画像を採用し、評価を行った。人工きずは銅板の加工状況から、きずの正確な形状と大きさを把握することが可能である。

前提として、きずは溶接部内で空洞発生（１種きず：球状、２種きず：直線状、３種きず：折線状）又は異物混入（４種きず）したものであり、DRT ではきずと健全部との放射線透過率が異なるため、きずにおいて白黒濃淡差がある画像が得られる。人工きずは銅板を加工することで、前述の空洞や異物の発生を原理的に再現した。

具体的には、以下の方法で各種のきずを作成した。

- ・１種きず：ドリルで貫通穴を空ける
- ・２種きず：放電加工で直線状の貫通きずをつける
- ・３種きず：カッターで折線状の貫通きずをつける
- ・４種きず：鉛箔を設置する

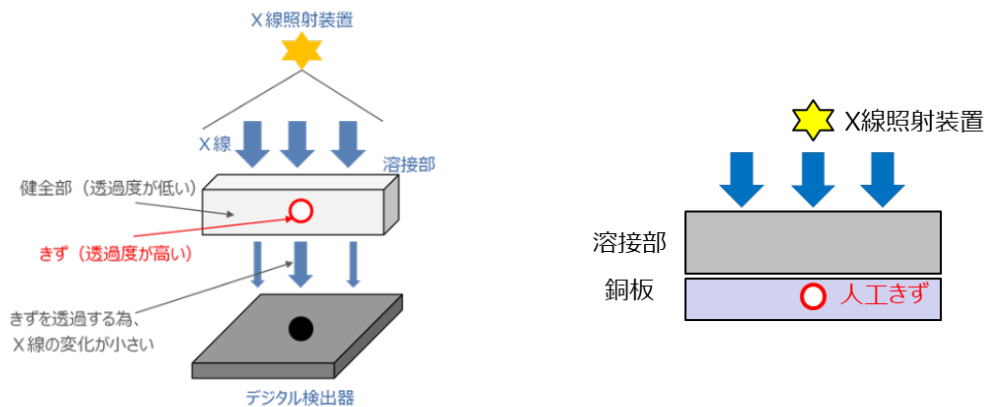


図 13 DRT の原理と人工きず作成イメージ






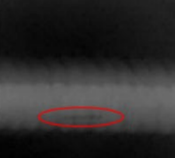
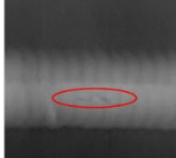
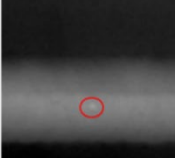
	1種きず	2種きず	3種きず	4種きず
銅板加工状況	ドリル穴きず 	直線状きず 	折線状きず 	鉛混入 
人工きず画像				

図 14 銅板加工状況・人工きず画像の例

## 評価結果

合計 182 個の評価データ（実きず 35 個、人工きず 147 個）に対して、システムと人の判定性能を比較した結果、表 17・18 の通り、システムは「人と同等以上」の判定性能を有することを確認できた。なお、人の性能は前述の通り、10 名の検査員の平均値である。また、実きずと人工きずで比較方法に差異があるので、下記の通りに整理する。

### <実きず（1 種きずのみ）>

当該箇所の切断を行っていないため、きずの有無・種類・サイズを正確に確認することができない。そこで、10 名中 5 名以上の検査員が「1 種きず有」と判定したきずを正解として、システムと人の判定性能を比較した。

### <人工きず（1～4 種のきず）>

銅板の加工状況より、きずの有無・種類・サイズを正確に確認することができる。きず毎に、その確認結果を正解として、システムと人の判定性能を比較した。

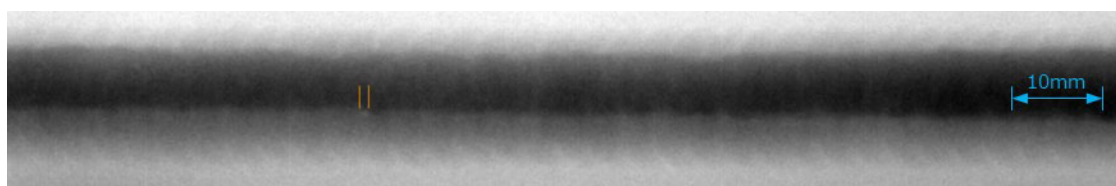
表 16 各評価項目における性能算出方法

		人の性能（平均）	システムの性能
実きず (1 種のみ)	きずの検出率	全 35 個のきずに対する、 各検査員の検出率の平均	全 35 個のきずに対する、 システムの検出率
	“種”判定の 正解率	各検査員が検出したきずに対する、 各検査員の「1 種/1 種以外」判定正解 率の平均	システムが検出したきずに対する、 システムの「1 種/1 種以外」判定正解率
	サイズ測定値 平均	システムが検出したきずに対する、 各検査員のサイズ測定値の平均	システムが検出したきずに対する、 システムのサイズ測定値
人工きず (1～4 種)	きずの検出率	全 147 個のきずに対する、 検査員の検出率の平均	全 147 個のきずに対する、 システムの検出率
	“種”判定の 正解率	各検査員が検出したきずに対する、 各検査員の「1 種/1 種以外」判定正解 率の平均	システムが検出したきずに対する、 システムの「1 種/1 種以外」判定正解率
	過小側の 最大誤差 (測定値-実寸法)	各検査員が検出した 1 種きずに対する、 各検査員のサイズ測定値 < 実寸法とな る場合の最大誤差	システムが検出した 1 種きずに対する、 システムのサイズ測定値 < 実寸法となる場 合の最大誤差

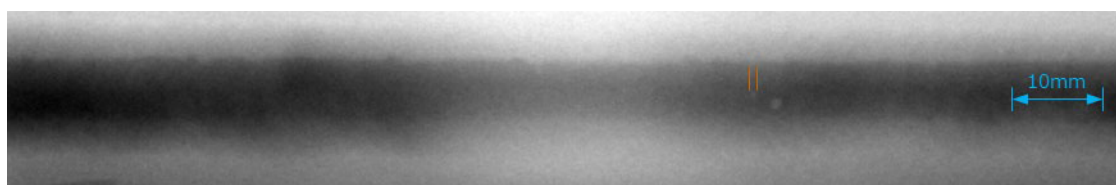
表 17 実きず（1 種 35 個）に対する性能評価結果

	検出	種類判定	サイズ測定
	きずの検出率	“種”判定の正解率	全きずに対する サイズ測定値平均
人の性能（平均）	85% (29.8/35)	100% (29.8/29.8)	1.0mm
システムの性能	86% (30/35)	100% (30/30)	1.4mm

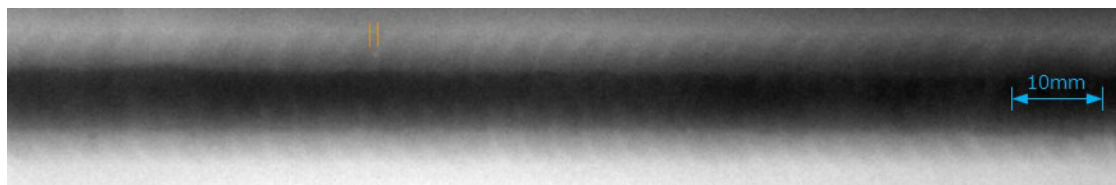
表 17 について、多くの検査員が「1 種きず有」と判定しているきずについては、システムは極めて高い検出率を示した（10 人中 10 人が「1 種きず有」と判定した 18 個のきずに対しては検出率 100%）。一方、一部の検査員が「1 種きず有」と判定しているきずについて、システムが検出しないケースがあった（10 人中 5 人が「1 種きず有」と判定した 5 個のきずに対しては検出率 40%）が、システムが未検出のきず全 5 個は、いずれも図 15 の通り、きずの有無を明確に判断できないような僅かな濃淡差を有する画像のみであった。



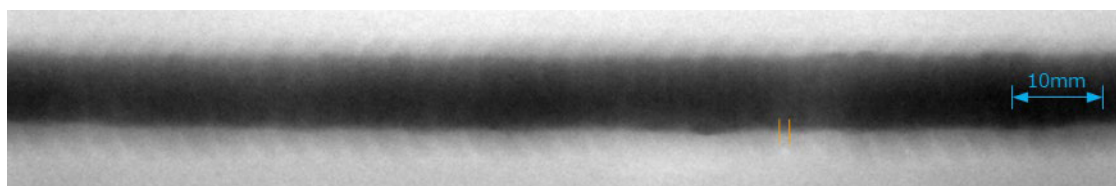
（人の検出率：70%）



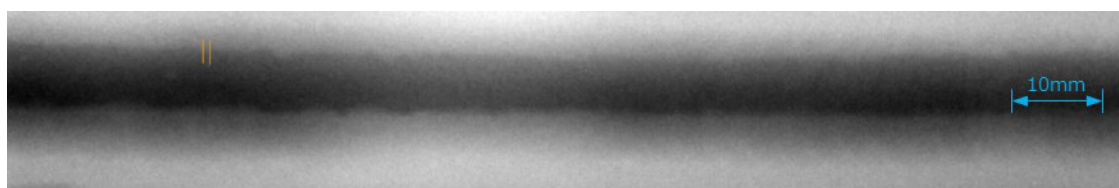
（人の検出率：60%）



（人の検出率：50%）



（人の検出率：50%）



(人の検出率：50%)

図 15 システムが未検出のきず

表 18 人工きず（1～4 種 147 個）に対する性能評価結果

	検出	種類判定	サイズ測定（1 種のみ）
	きずの検出率	“種”判定の正解率	過小側の最大誤差 (測定値-実寸法)
人の性能（平均）	100% (147/147)	100% (147/147)	-0.4mm
システムの性能	100% (147/147)	100% (147/147)	0mm

## まとめ

高圧ガス導管の円周溶接部 DRT において、システムは「検出」・「1 種/1 種以外の種類判定」・「1 種のサイズ測定」の判定に関して、合計 182 個の評価データ（実きず 35 個、人工きず 147 個）を用いて、10 名の検査員の判定結果との比較検証を行った。その結果、システムは「人と同等以上の判定性能」を有することを確認できた。これにより、システムによる DRT のきず判定はガス工作物の技術上の基準を定める省令第 16 条「溶接部分」に則った放射線透過試験の運用として適切である。

以上

## ＜参考：再検証基準＞

システムの適用範囲を変更した場合は、本資料のⅡ/Ⅲに準拠して「システムが人と同等以上の判定性能を有すること」についての再検証が必要となる。また、システムを構成する自動判定アルゴリズムが変更される場合も、同様に再検証が必要となる。

表 19 再検証が必要なシステム適用範囲の変更

OGNW が開発した システムの適用条件			適用条件 変更時の 再検証	根拠
溶 接 条 件	材質	母材：API 5L PSL2 溶着金属：JIS Z 3312	不要	材質の変更による画質の変化は極めて軽微なため
	公称管厚	15.1mm	要	管厚の変更による画質の変化が発生するため
	公称外径	610.0mm	要	外径の変更による画質の変化が発生するため
	溶接 方法	MAG 自動溶接	要	溶接部の映り方が大きく変化するため (例：溶接線の幅・形状が変化 等)
D R T 機 器	検出器	フラットパネル	要	検出器によってきずの映り方に差異が生じるため (例：同じきずでも映り方が変わる 等)
	撮影方法	内部線源 撮影方法	要	溶接部の映り方が大きく変化するため (例：溶接線が 2 本映る 等)
検 査 画 像	準拠規格	JIS Z 3110	要	準拠規格の変更による画質の変化が発生するため