

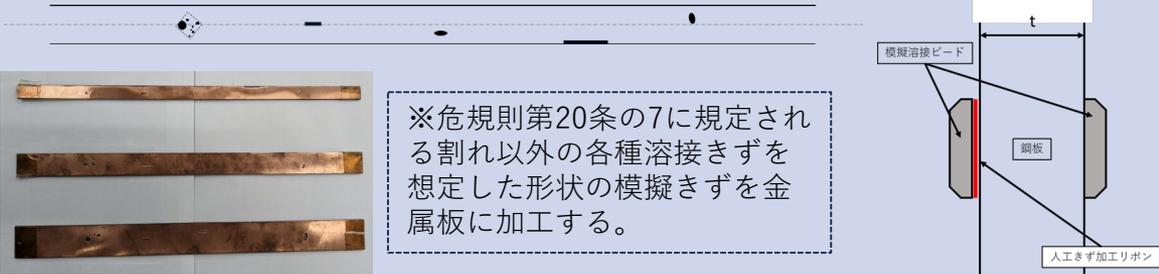
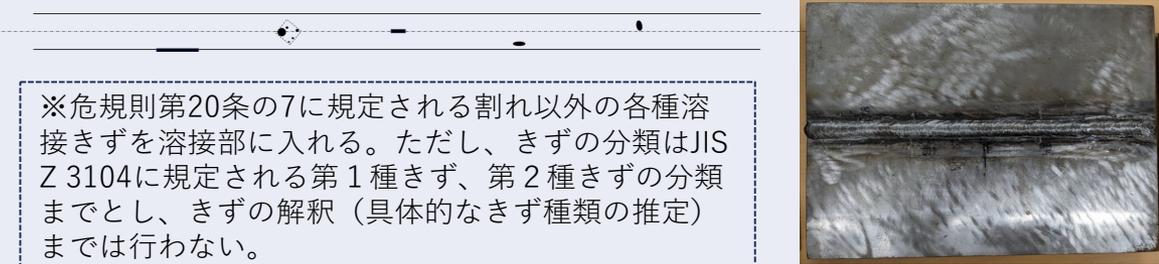
室内試験結果及び 確認事項等に関する検討

- ※本資料は、印刷の都合上、放射線透過画像が不明瞭となっている部分がある。
- ※本資料に掲載しているF-RTは、フィルムデジタルイザによりデジタル画像化したものを掲載している。



室内試験の撮影対象（再掲）

表1-室内試験で用いる試験片概要

試験片	試験片概要①	試験片概要②								
試験片① (TP-1)	<p>鋼板、模擬溶接ビード、人工きず加工リボンにより構成した試験片</p> <table border="1" data-bbox="202 404 720 592"> <tr> <td>板厚 (mm)</td> <td>4.5</td> <td>20.0</td> <td>45.0</td> </tr> <tr> <td>リボン板厚 (mm)</td> <td colspan="2">0.5</td> <td>0.7</td> </tr> </table>	板厚 (mm)	4.5	20.0	45.0	リボン板厚 (mm)	0.5		0.7	 <p>※危規則第20条の7に規定される割れ以外の各種溶接きずを想定した形状の模擬きずを金属板に加工する。</p> <p>図・写真-人工きずリボン</p> <p>図-TP-1の構成</p>
板厚 (mm)	4.5	20.0	45.0							
リボン板厚 (mm)	0.5		0.7							
試験片② (TP-2)	<p>割れ以外の各種きずを入れた突合溶接の試験片</p> <table border="1" data-bbox="202 753 720 942"> <tr> <td>板厚 (mm)</td> <td>4.5</td> <td>20.0 (45.0)</td> <td>28.0×38.0</td> </tr> <tr> <td>開先形状</td> <td>V</td> <td>X</td> <td>K</td> </tr> </table> <p>※カッコ内板厚は、板厚補償鋼板を重ねることにより当該板厚に見立てる。</p>	板厚 (mm)	4.5	20.0 (45.0)	28.0×38.0	開先形状	V	X	K	 <p>※危規則第20条の7に規定される割れ以外の各種溶接きずを溶接部に入れる。ただし、きずの分類はJIS Z 3104に規定される第1種きず、第2種きずの分類までとし、きずの解釈（具体的なきず種類の推定）までは行わない。</p> <p>図-TP-2 きず位置の参考例</p> <p>写真-TP-2外観</p>
板厚 (mm)	4.5	20.0 (45.0)	28.0×38.0							
開先形状	V	X	K							
試験片③ (TP-3)	<p>割れを入れた突合溶接の試験片</p> <table border="1" data-bbox="202 1125 720 1335"> <tr> <td>板厚 (mm)</td> <td>6.0</td> <td>20.0 (45.0)</td> </tr> <tr> <td>開先形状</td> <td>V</td> <td>X</td> </tr> </table> <p>※カッコ内板厚は、板厚補償鋼板を重ねることにより当該板厚に見立てる。</p>	板厚 (mm)	6.0	20.0 (45.0)	開先形状	V	X	 <p>※縦割れと横割れの試験片を各々製作</p> <p>図-TP-3 縦割れ（止端割れ）及び横割れ参考図</p> <p>写真-TP-3外観</p>		
板厚 (mm)	6.0	20.0 (45.0)								
開先形状	V	X								

撮影配置と各検出器へのX線照射条件

各検出器の撮影条件は、線源-透過度計間距離 (L_1) を700mm固定とし、試験片の板厚、検出器の仕様等に応じてD-RTはクラスA、F-RTはA級の像質基準値を満足するようX線照射を行った。また、画像の像質要件を確認するための計器類は両規格を包含する配置とした。

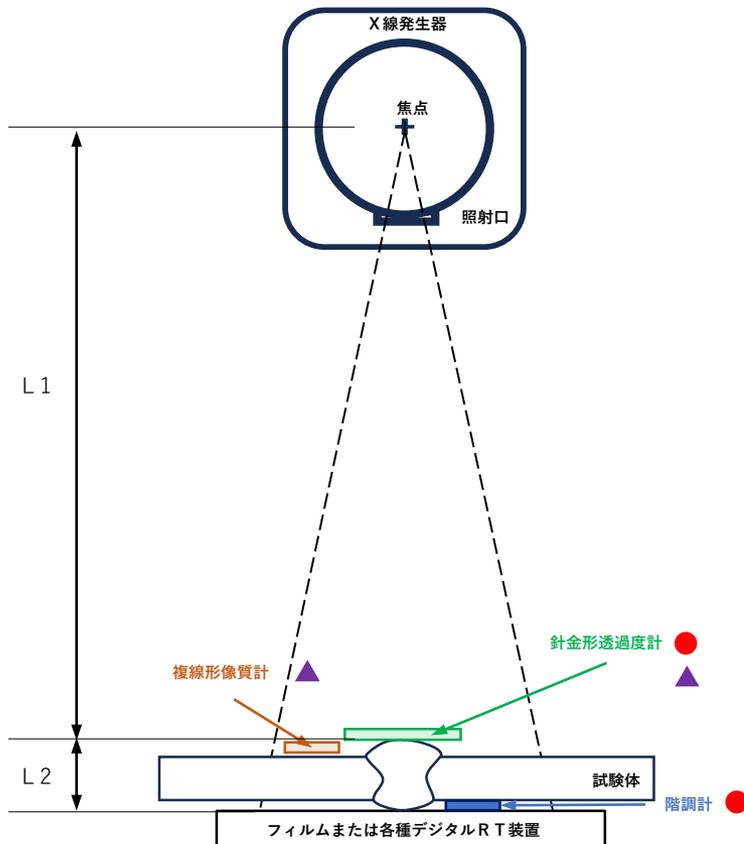


図1-撮影配置

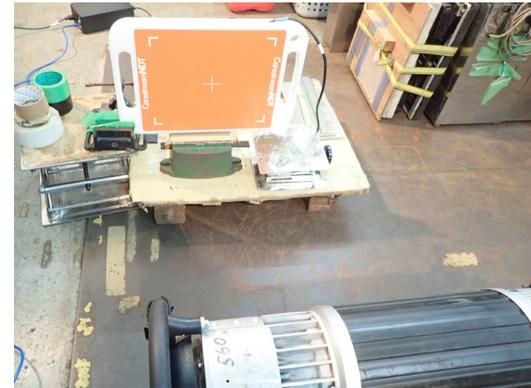
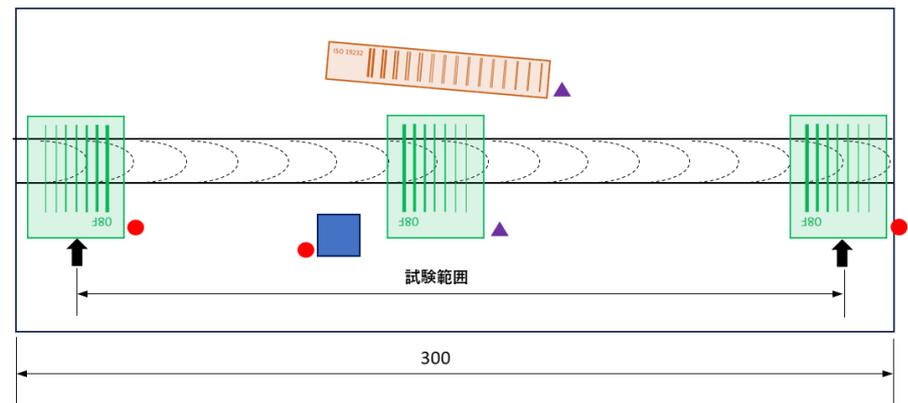


写真1-実際の撮影作業状況 (試験片セット前)



- JIS Z 3104で規定される計器類
- ▲ JIS Z 3110で規定される計器類

図2-計器類の配置

各検出器へのX線照射条件

各試験片に対し、表2の条件でX線を照射した。

※TP-2、TP-3についてもクラスA、A級の像質が得られるように条件を設定し照射している。

表2-各試験片板厚における検出器毎の照射条件（TP-1のみ抜粋）

試験片板厚 (mm)	4.5			20.0			45.0			
	検出器	フィルム	DDA	CR	フィルム	DDA	CR	フィルム	DDA	CR
L1 (mm)	700									
L2 (mm)	15.5			31.0			56.0			
管電圧 (kV)	130	110	140	240	200	245	295			
管電流 (mA)	3									
露出時間 (秒)	60	3×4積算	60	60	3×4積算	300	300	20×6積算	1800	

取得したD-RT及びF-RTの各規格への適合状況

取得したD-RT及びF-RTについて、それぞれの規格における像質区分に対する要求事項を満足していることを確認した。

※TP-2、TP-3についても同様に確認作業を行い、規格値を満足していた。

表3- D-RT クラスA像質適合状況

試験片板厚 (mm)	4.5			20.0			45.0		
	クラスA 規格値	撮影画像		クラスA 規格値	撮影画像		クラスA 規格値	撮影画像	
		DDA	CR		DDA	CR		DDA	CR
透過度計IQI値 (mm)	≤0.125	✓	✓	≤0.32	✓	✓	≤0.63	✓	✓
複線形像質計IQI値 (mm)	≤0.26	✓	✓	≤0.32	✓	✓	≤0.40	✓	✓
最大基本空間分解能 SR _b 画像(mm)	≤0.13	✓	✓	≤0.16	✓	✓	≤0.20	✓	✓
最小SNR _N	≥98	✓	✓	≥98	✓	✓	≥98	✓	✓
判定	適合			適合			適合		

表4- F-RT A級像質適合状況

試験片板厚 (mm)	4.5		20.0		45.0	
	A級規格値	撮影フィルム	A級規格値	撮影フィルム	A級規格値	撮影フィルム
濃度範囲	1.3~4.0	✓	1.3~4.0	✓	1.3~4.0	✓
透過度計	≤0.16	✓	≤0.40	✓	≤0.80	✓
階調計	≥0.10	✓	≥0.035	✓	≥0.060	✓
判定	適合		適合		適合	

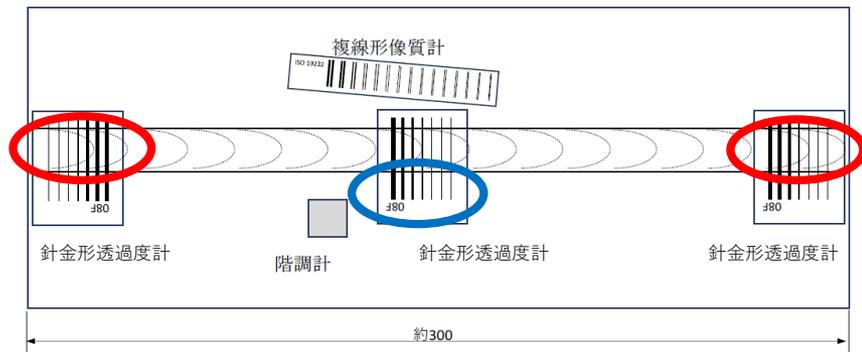
TP-1を撮影したD-RT画像について、F-RT画像と比較して、以下の事項を確認する。 ※TP-2、TP-3（室内試験）及び実機タンク（現地試験）においても同様の結果が得られることを確認する。

◎像質について

D-RT（クラスA）がF-RT（A級）と同程度の像質を有していることについて、以下の方法で定性的に確認する。

D-RT画像の両端に配置した透過度計の識別可能な最小線径がJIS Z 3104の規格値を満足していることを確認。

※複線形像質計（D-RT）及び階調計（F-RT）を用いて評価する像質要件については、D-RTとF-RT相互間の対比ができない。



D-RTの透過度計による像質要件の確認は図中の**青丸部**で確認が行われるが、本試験では、F-RT画像との比較用に配置した両端部の**赤丸部**の透過度計で識別最小線径がJIS Z 3104の規格値を満足しているかどうかを確認する。（撮影したD-RTがF-RTの像質要件も包含していることを確認する。）

図3-透過度計の識別最小線径確認箇所

◎きずの検出性、寸法比較について

D-RT（クラスA）がF-RT（A級）と同程度のきず検出性を有していることについて、以下の方法で確認する。

算定しないきず像の最大寸法※（JIS Z 3104及び危規則）の像がD-RTにも投影されていることを確認。

※母材厚さ20mm以下は0.5mm、20mmを超える場合は0.7mm。（危規則第20条の7）

投影されたきず像の寸法を比較し、きず寸法が同程度であることを確認。

確認事項（像質の比較確認）

クラスAを満足するD-RT画像において、JIS Z 3104に示される透過度計の識別最小線径の値以下であること、またA級を満足するF-RT画像の識別線径と同程度であることを確認した。

JIS Z 3110 (D-RT) : 透過度計は試験部の中央に配置し、識別最小線径の**確認は母材部**で行うこととされている。(下図**青丸部**)

JIS Z 3104 (F-RT) : 透過度計は試験範囲の**両端に配置**し、識別最小線径の**確認は溶接余盛り部**で行うこととされている。(下図**赤丸部**)



TP-1を撮影したD-RT画像の両端に配置した透過度計の識別可能な最小線径は、いずれの画像においてもJIS Z 3104の規格値も満足していることを確認できた。(TP-2,TP-3においても同様の結果であった。)

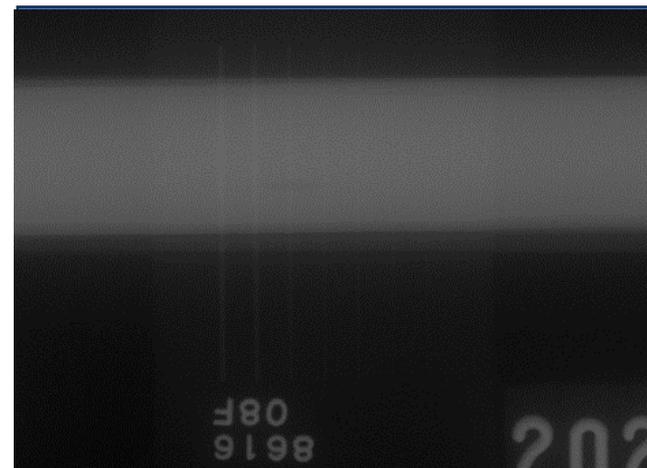
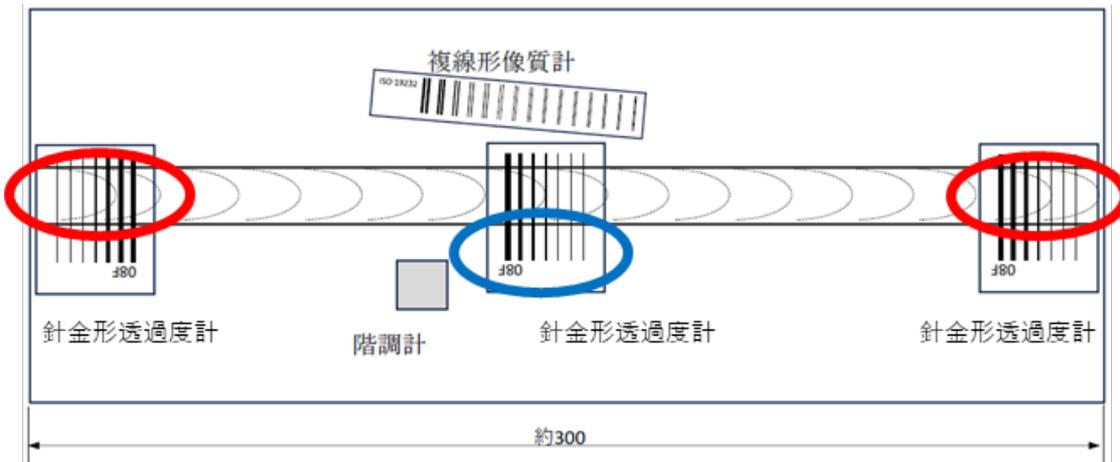


写真2- TP-1 板厚20.0mm D-RT (DDA) 08F

表5-本試験における各規格の識別最小線径

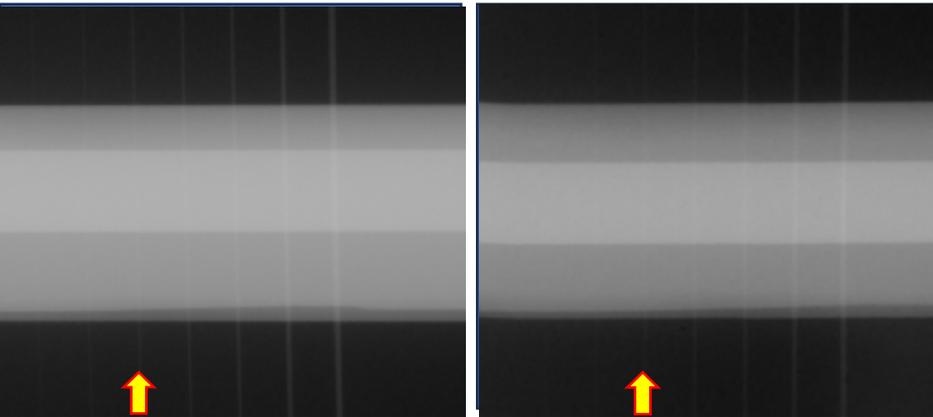
試験片番号	板厚	透過度計識別最小線径	
		JIS Z 3110 (クラスA)	JIS Z 3104 (A級)
TP-1	4.5mm	0.125	0.16
	20.0mm	0.32	0.40
	45.0mm	0.63	0.80
以下、参考			
TP-2	4.5mm	0.125	0.16
	20.0mm	0.32	0.40
	28.0mm × 38.0mm	0.40	0.50
	45.0mm	0.63	0.80
TP-3	6.0mm	0.16	0.16
	20.0mm	0.32	0.40
	45.0mm	0.63	0.80



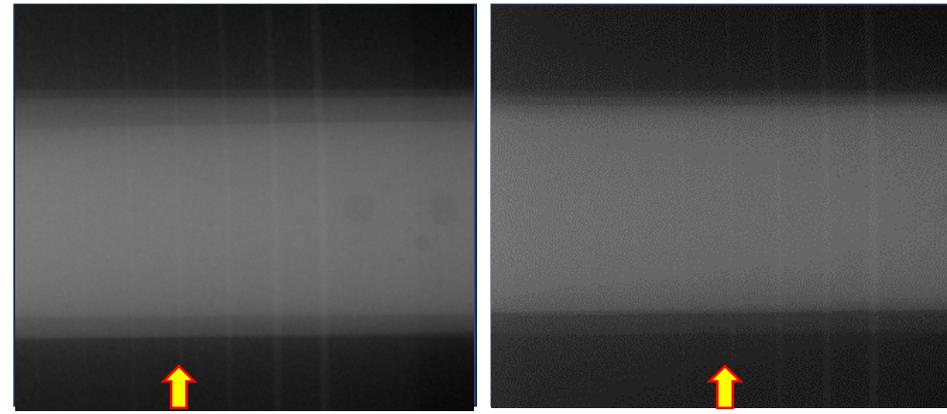
(再掲) 図3-透過度計識別最小線径の確認位置



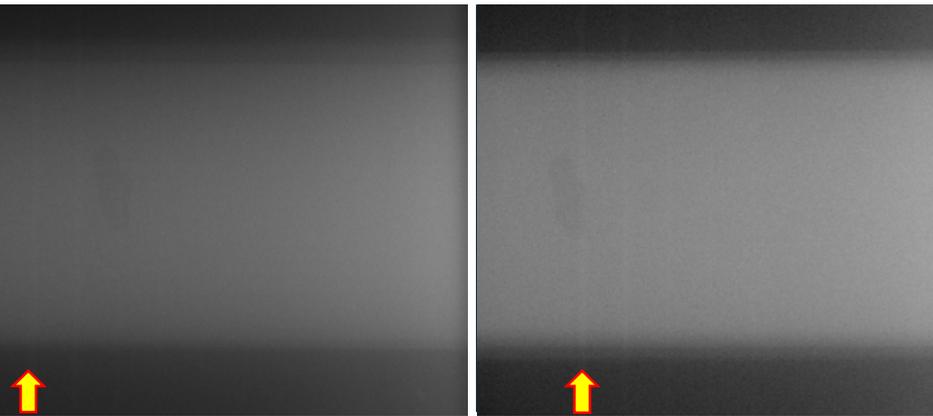
DDAとF-RTの像質比較



TP-1 板厚4.5mm 左：D-RT (DDA)、右：F-RT



TP-1 板厚20.0mm 左：D-RT (DDA)、右：F-RT



TP-1 板厚45.0mm 左：D-RT (DDA)、右：F-RT

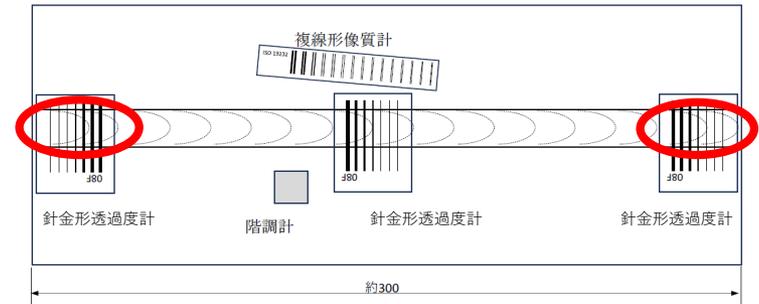


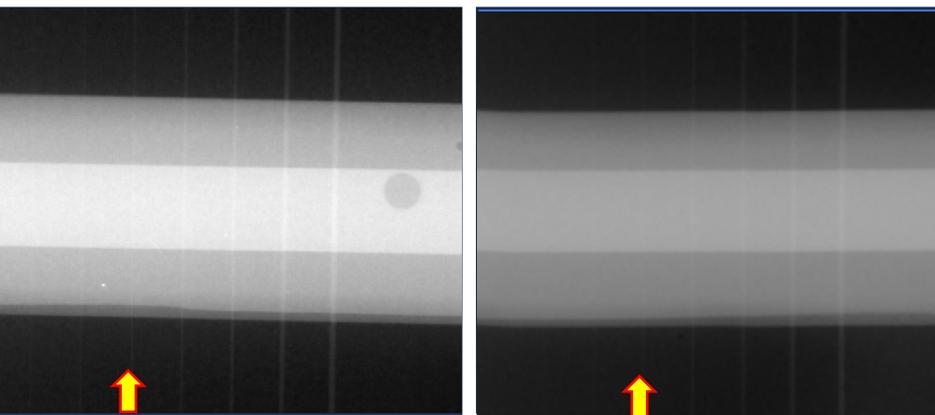
図4-透過度計の確認位置

表6-使用透過度計とJIS Z 3104の識別線径規格値

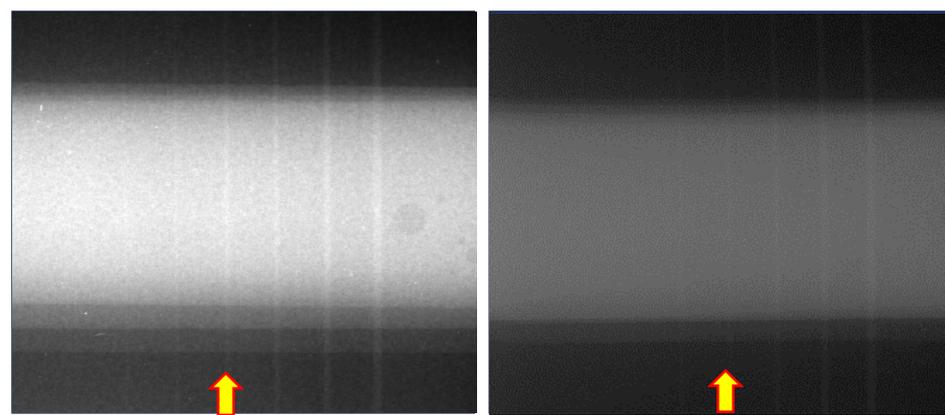
板厚	使用透過度計	A級の識別最小線径値 (JIS Z 3104) ※写真中、矢印で表記
4.5mm	04F	0.16 (太い方から5本目の針金)
20.0mm	08F	0.40 (太い方から4本目の針金)
45.0mm	08F	0.80 (太い方から1本目の針金)



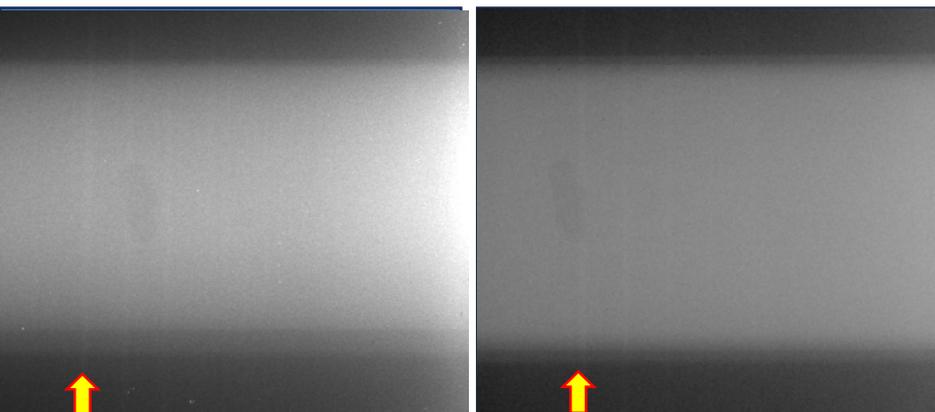
CRとF-RTの像質比較



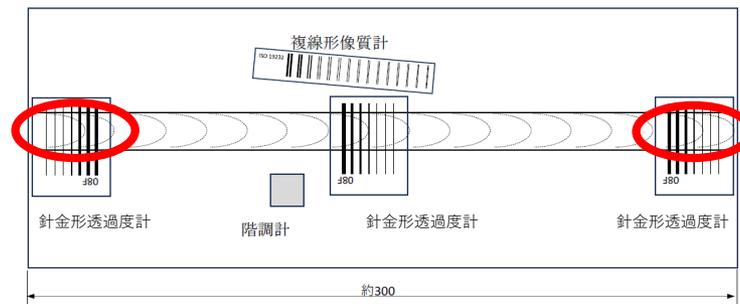
TP-1 板厚4.5mm 左：D-RT (CR)、右：F-RT



TP-1 板厚20.0mm 左：D-RT (CR)、右：F-RT



TP-1 板厚45.0mm 左：D-RT (CR)、右：F-RT



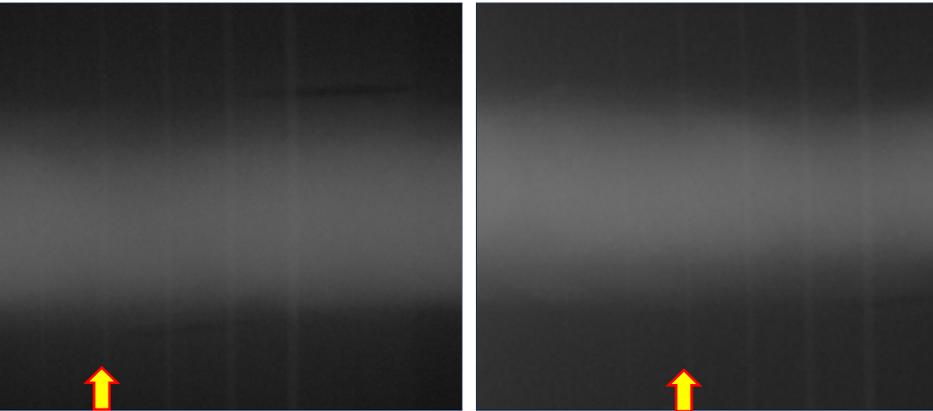
(再掲) 図4-透過度計の確認位置

(再掲) 表6-使用透過度計とJIS Z 3104の識別線径規格値

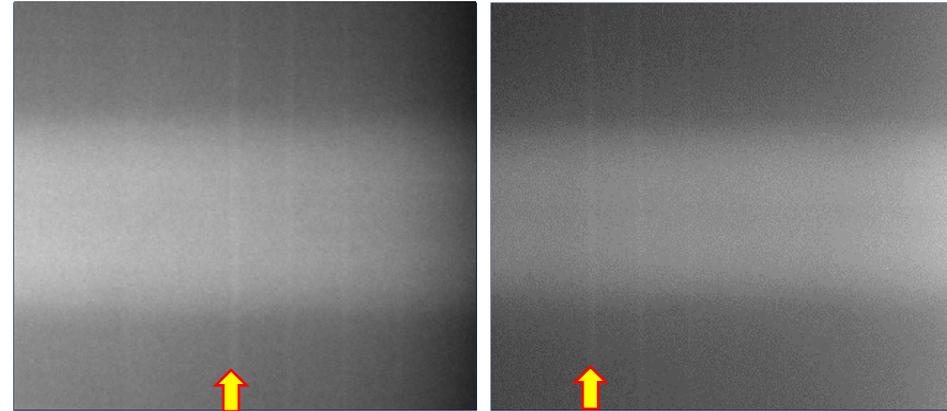
板厚	使用透過度計	A級の識別最小線径値 (JIS Z 3104) ※写真中、矢印で表記
4.5mm	04F	0.16 (太い方から5本目の針金)
20.0mm	08F	0.40 (太い方から4本目の針金)
45.0mm	08F	0.80 (太い方から1本目の針金)



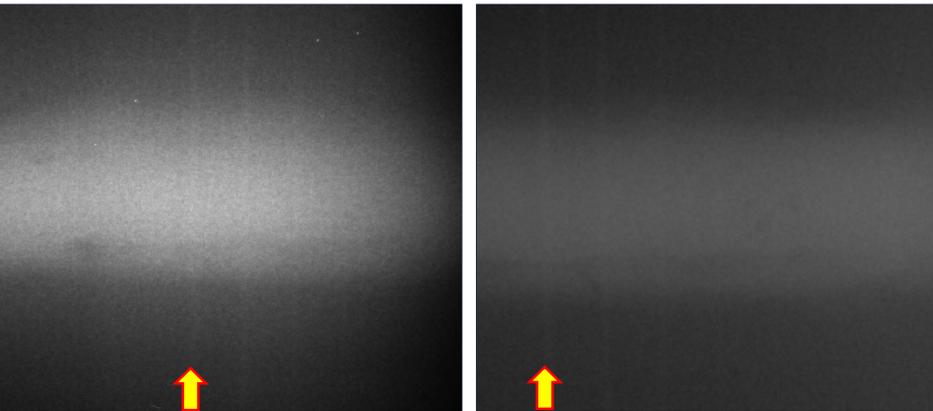
TP-2、TP-3での像質比較



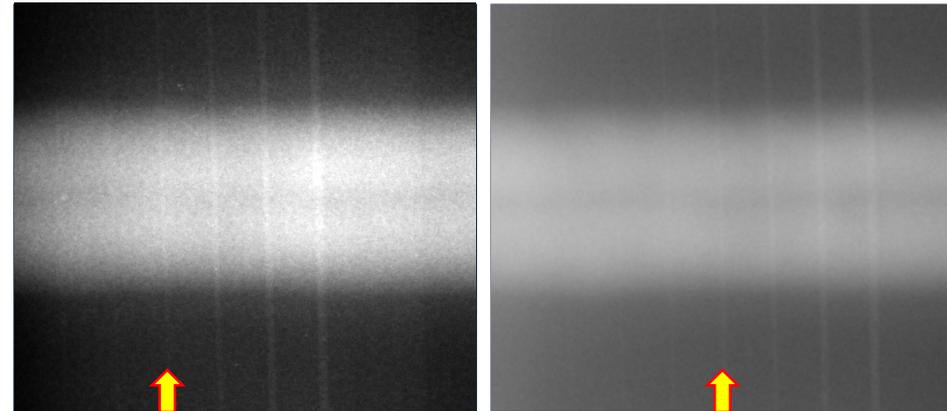
TP-2 板厚20.0mm 左：D-RT (DDA) 、右：F-RT



TP-3 板厚45.0mm 左：D-RT (DDA) 、右：F-RT



TP-2 板厚45.0mm 左：D-RT (CR) 、右：F-RT



TP-3 板厚20.0mm 左：D-RT (CR) 、右：F-RT

確認事項（きずの検出性、きず像の寸法比較）

きず個数及び寸法が既知であるTP-1の撮影で投影されたきず像についてD-RTとF-RTの比較を行った。人工きず加工リボンには実際の溶接部に生じる溶接きずの位置や形状を想定して模擬のきず加工を行っているが、ここでは便宜的に写真左から第1種（群）、第2種①～④のきず名称を付与した。

※加工精度の問題から、算定しないきずの最大値（0.5mm/0.7mm）は再現できず、わずかに大きい模擬きずとなった。
 ※D-RT及びF-RT画像の全体像については、参考資料2-2を参照。

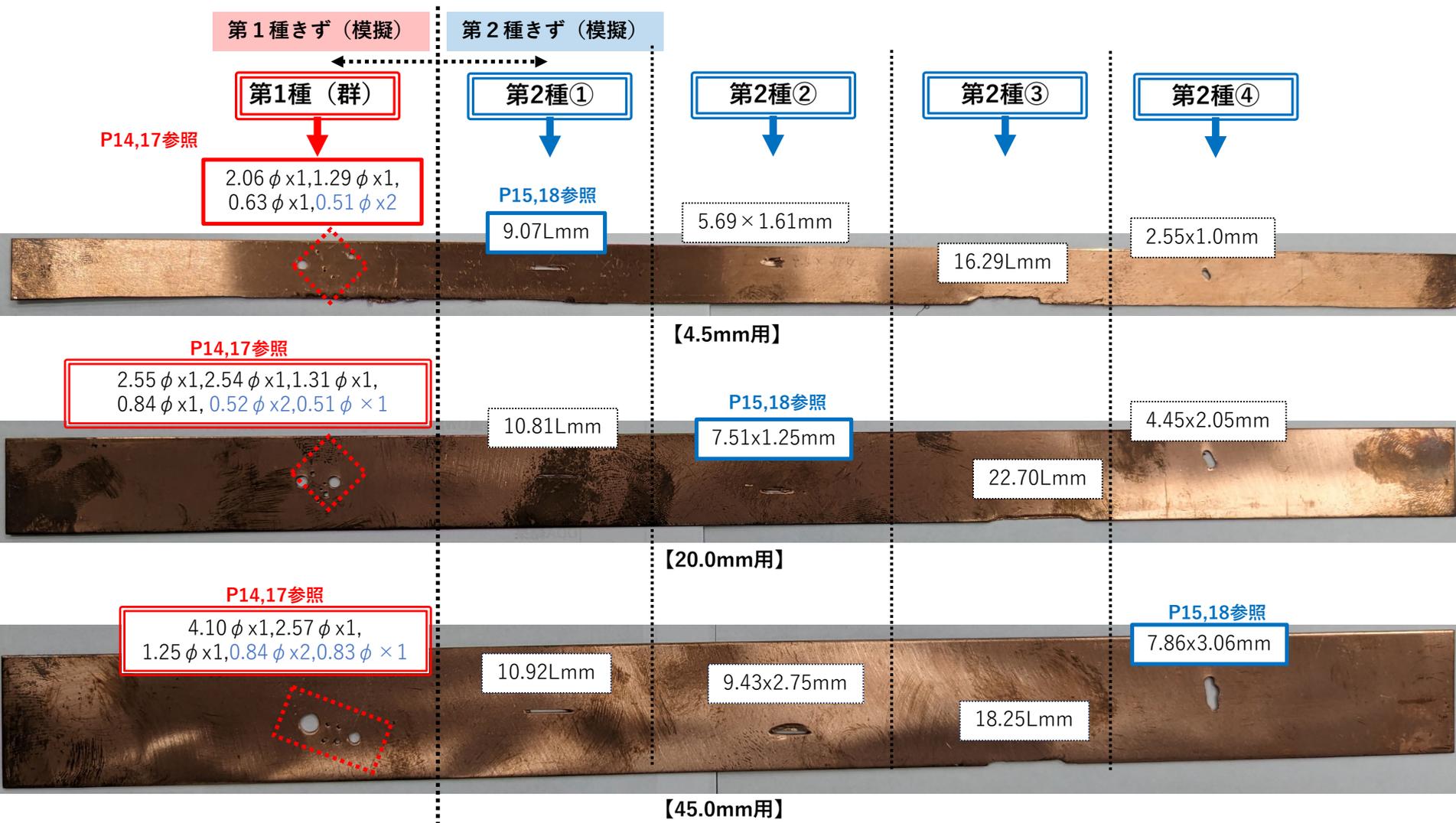


図5- TP-1用人工きず加工リボン

TP-1きず寸法等測定結果

取得したTP-1の放射線透過画像で検出できたきず像について、D-RTとF-RTの比較を行った。

□第1種きず(群)では、F-RT、DDA、CRともに加工した全ての模擬きずが検出できていた。

※45mm試験片では、0.8mmのドリル穴に対して、F-RTでは0.8mm、D-RTでは0.9~1.0mmのきず像が得られた。

リボンの模擬きず加工の問題から、計画時目標のきず点数に算定しないきず像の最大値(0.7mm)を得ることはできなかったものの、きず点数に算定するきず像の最小値に近い寸法(0.8mm)のドリル穴を検出することができた。

□また、各きず寸法を測定した結果(表6)、DDA、CRともに全てのきずはF-RTと同程度であった。

※20.0mm及び45.0mm試験片で、きずによっては多少の寸法差が見られたものの、F-RTの寸法と大きく異なるとまでは言えない。

表7- 各撮影方法で検出したきず像の寸法等測定結果一覧 (TP-1のみ抜粋)

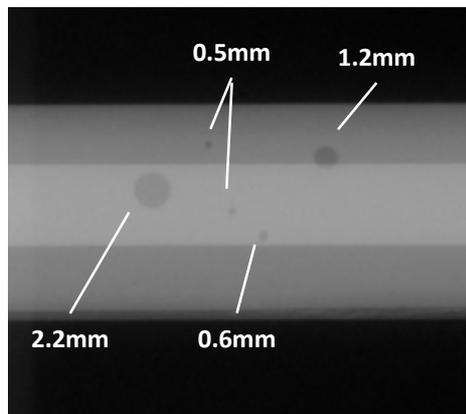
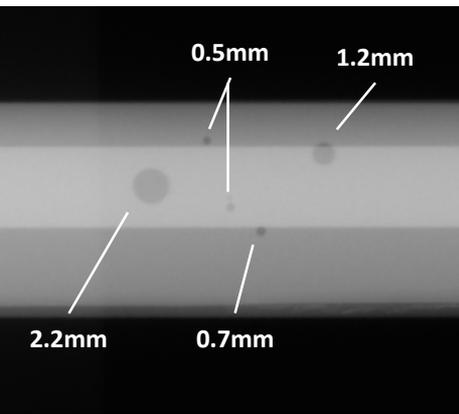
単位: mm

試験片板厚	検出器		第1種きず(群)							第2種	第2種	第2種	第2種	
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	①	②	③	④	
4.5	模擬きず実寸		2.06	1.29	0.63	0.51	0.51	/	/	9.07	5.69	16.29	2.55	
	F-RT		2.2	1.2	0.6	0.5	0.5			8.5	4.5	17.3	2.5	
	D-RT	DDA	2.2	1.2	0.7 (0.1)	0.5	0.5			8.3 (0.2)	4.6 (0.1)	17.3	2.6 (0.1)	
		CR	2.2	1.3 (0.1)	0.6	0.5	0.5			8.5	4.7 (0.2)	17.3	2.4 (0.1)	
20.0	模擬きず実寸		2.55	2.54	1.31	0.84	0.52	0.52	0.51	10.81	7.51	22.70	4.45	
	F-RT		2.7	2.6	1.2	0.7	0.6	0.6	0.6	11.0	7.0	22.0	4.9	
	D-RT	DDA	2.6 (0.1)	2.7 (0.1)	1.4 (0.2)	0.8 (0.1)	0.6	0.8 (0.2)	0.7 (0.1)	10.6 (0.4)	7.1 (0.1)	22.0	4.9	
		CR	2.6 (0.1)	2.6	1.2	0.9 (0.2)	0.6	0.6	0.7 (0.1)	10.5 (0.5)	7.5 (0.5)	22.0	4.7 (0.2)	
45.0	模擬きず実寸		4.10	2.57	1.25	0.84	0.84	0.83	/	/	10.92	9.43	18.25	7.86
	F-RT		4.2	2.7	1.5	0.8	0.8	0.8			11.5	9.0	20.0	8.5
	D-RT	DDA	4.6 (0.4)	3.0 (0.3)	1.4 (0.1)	0.9 (0.1)	1.0 (0.2)	0.9 (0.1)			11.5	10.0 (1.0)	19.0 (1.0)	8.5
		CR	4.6 (0.4)	2.9 (0.2)	1.5	0.9 (0.1)	0.9 (0.1)	0.9 (0.1)			11.5	10.0 (1.0)	19.2 (0.8)	8.5

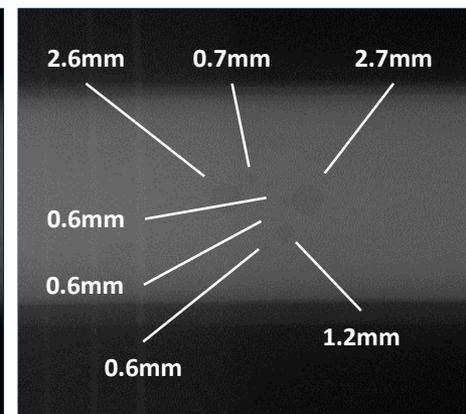
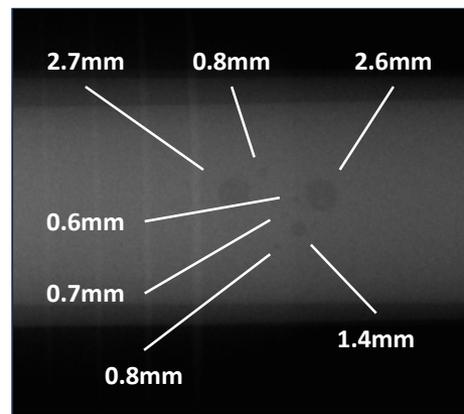
※カッコ内数値(赤字はマイナス)は、F-RTとの寸法差。カッコ表記なしはF-RTと同値。



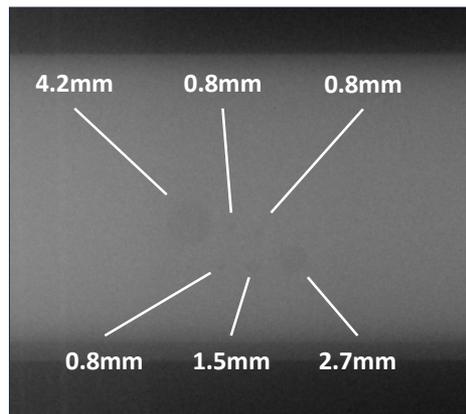
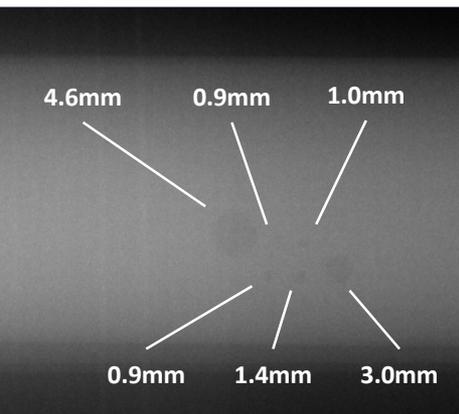
DDAとF-RTのきず像寸法比較（第1種きず）



TP-1 板厚4.5mm 第1種（群） 左：D-RT（DDA）、右：F-RT



TP-1 板厚20.0mm 第1種（群） 左：D-RT（DDA）、右：F-RT



TP-1 板厚45.0mm 第1種（群） 左：D-RT（DDA）、右：F-RT

第1種きず

JIS Z 3104では、丸いブローホール及びこれに類するきずと定義されており、危規則第20条の7に規定されるブローホール等（ブローホール及びこれに類する丸みを帯びた部分）に相当する。

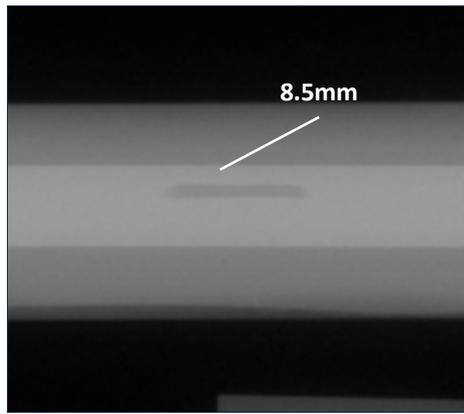
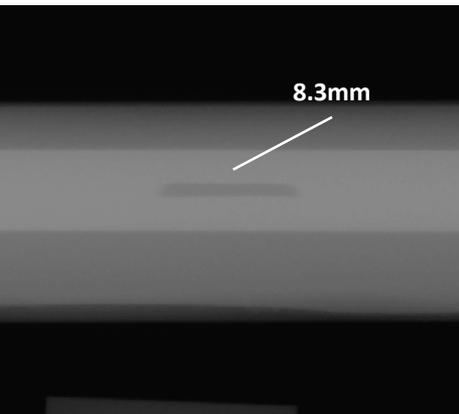
※第1種きずについては、JIS Z 3104、危規則ともに算定しないきず寸法が以下のとおり規定されている。（JISでは50mmを超える場合も規定）

- ・母材の厚さ20mm以下の場合：0.5mm以下
- ・母材の厚さ20mmを超える場合：0.7mm以下

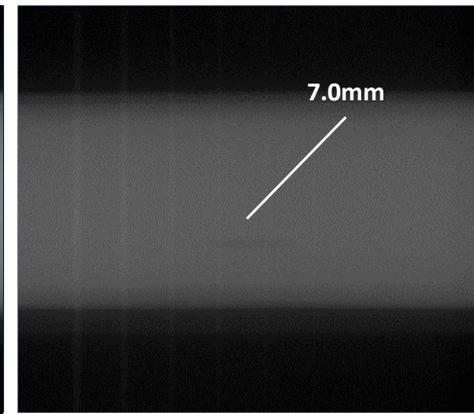
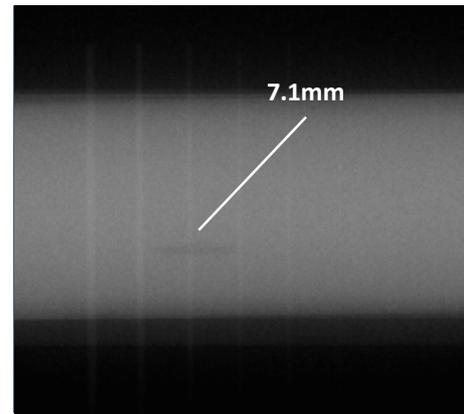
いずれの画像・写真においても算定しないきずの最大寸法（0.5mm/0.7mm）は投影されていることが確認できた。



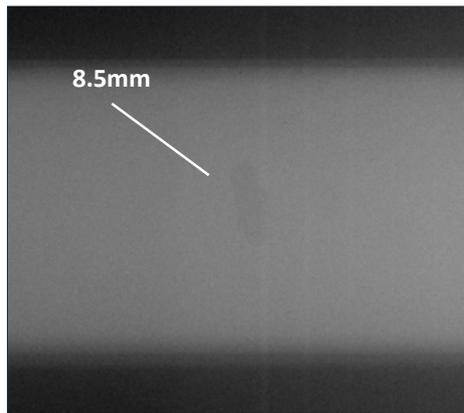
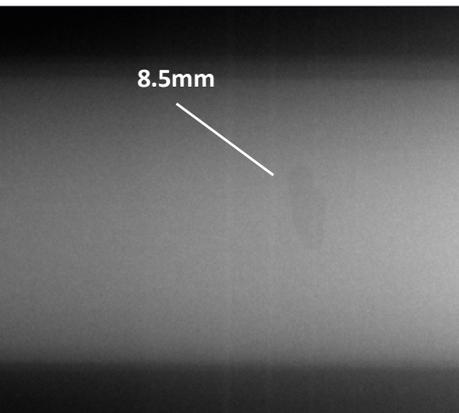
DDAとF-RTのきず像寸法比較（第2種きず）



TP-1 板厚4.5mm 第2種① 左：D-RT（DDA）、右：F-RT



TP-1 板厚20.0mm 第2種② 左：D-RT（DDA）、右：F-RT



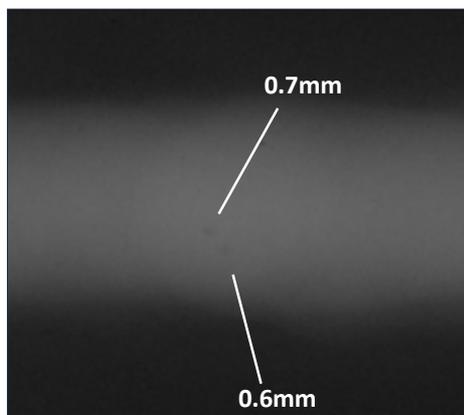
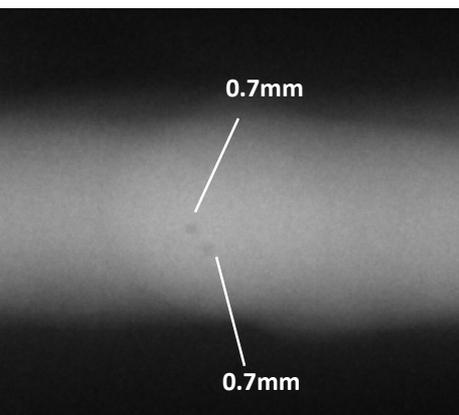
TP-1 板厚45.0mm 第2種④ 左：D-RT（DDA）、右：F-RT

第2種きず

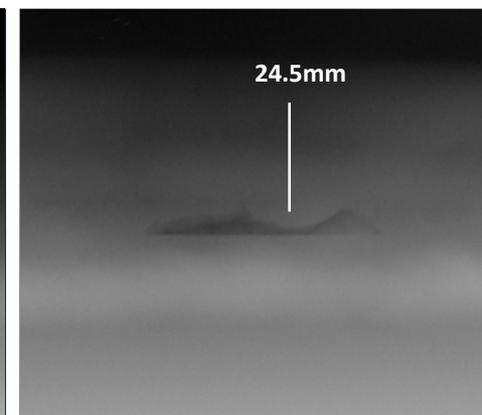
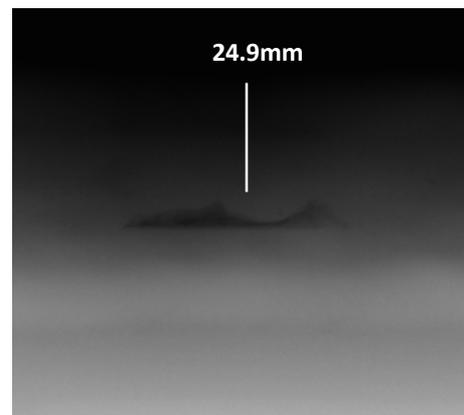
JIS Z 3104では、細長いスラグ巻き込み、パイプ、溶込み不良、融合不良及びこれに類するきずと定義されており、危規則第20条の7に規定されるスラグ巻き込み等（細長いスラグ巻き込み及びこれに類するもの）、溶け込み不足、融合不足に相当する。



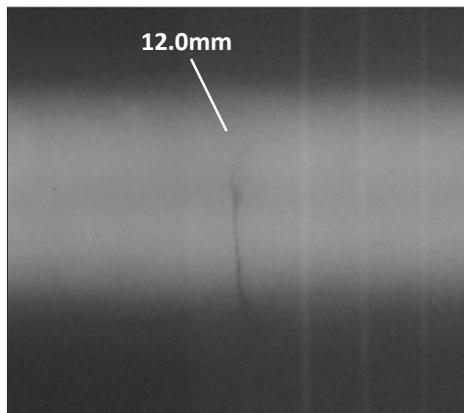
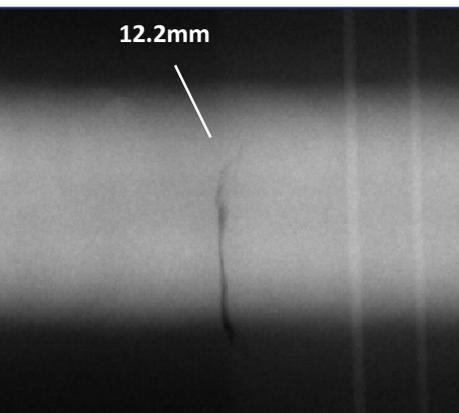
DDAとF-RTのきず像寸法比較（TP-2、TP-3）



TP-2 板厚20.0mm 第1種きず 左：D-RT（DDA）、右：F-RT



TP-2 板厚28.0mm×38.0mm 第2種きず 左：D-RT（DDA）、右：F-RT



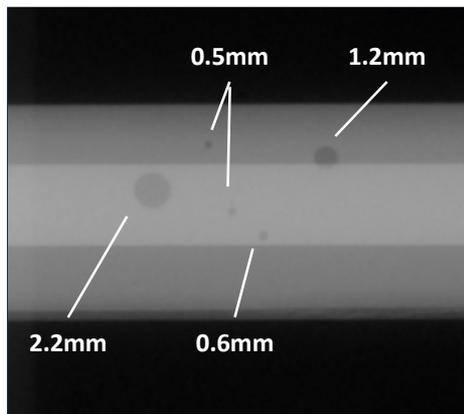
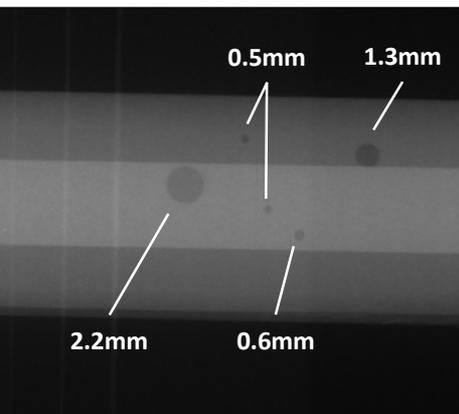
TP-3 板厚20.0mm 第3種きず 左：D-RT（DDA）、右：F-RT

第3種きず

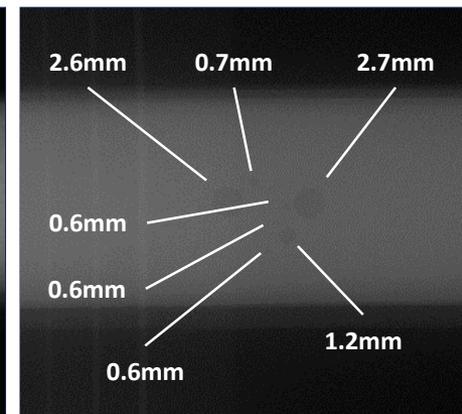
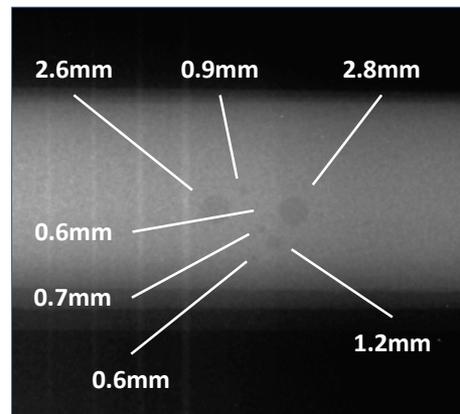
JIS Z 3104では、割れ及びこれに類するきずと定義されており、危規則第20条の7で規定される割れに相当する。



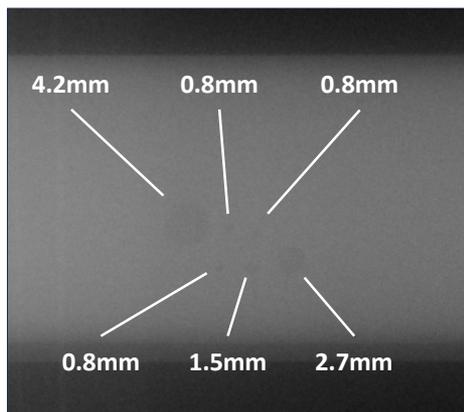
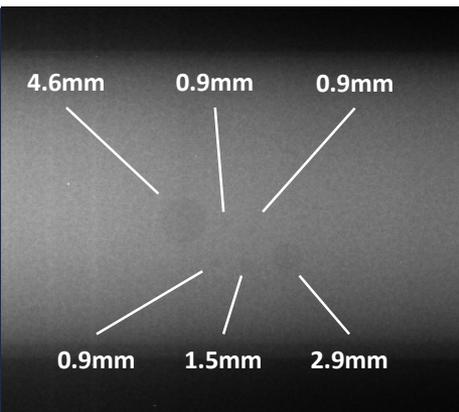
CRとF-RTのきず像寸法比較（第1種きず）



TP-1 板厚4.5mm 第1種（群） 左：D-RT（CR）、右：F-RT



TP-1 板厚20.0mm 第1種（群） 左：D-RT（CR）、右：F-RT



TP-1 板厚45.0mm 第1種（群） 左：D-RT（CR）、右：F-RT

第1種きず

JIS Z 3104では、丸いブローホール及びこれに類するきずと定義されており、危規則第20条の7に規定されるブローホール等（ブローホール及びこれに類する丸みを帯びた部分）に相当する。

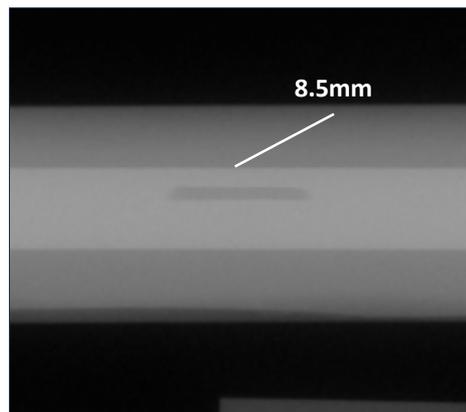
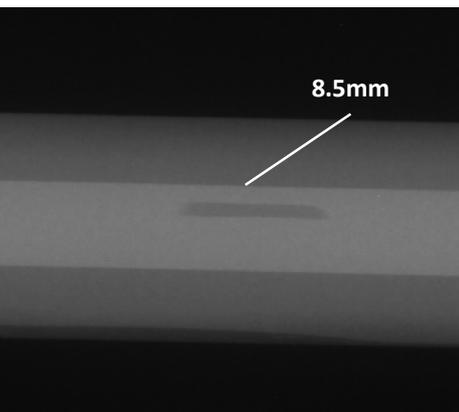
※第1種きずについては、JIS Z 3104、危規則ともに算定しないきず寸法が以下のとおり規定されている。（JISでは50mmを超える場合も規定）

- ・母材の厚さ20mm以下の場合：0.5mm以下
- ・母材の厚さ20mmを超える場合：0.7mm以下

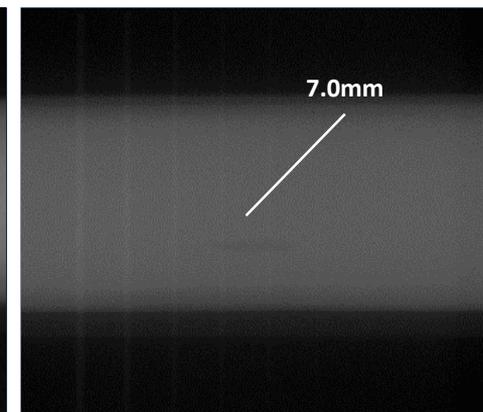
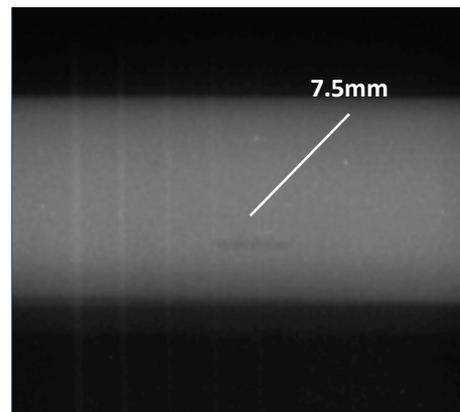
いずれの画像・写真においても算定しないきずの最大寸法（0.5mm/0.7mm）は投影されていることが確認できた。



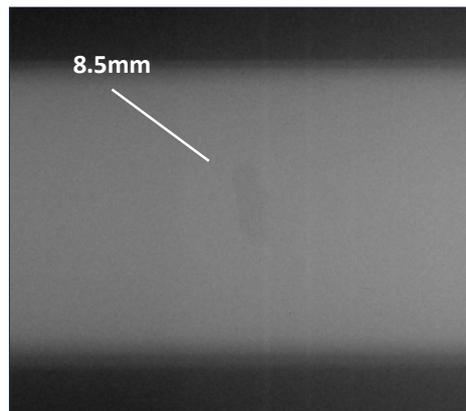
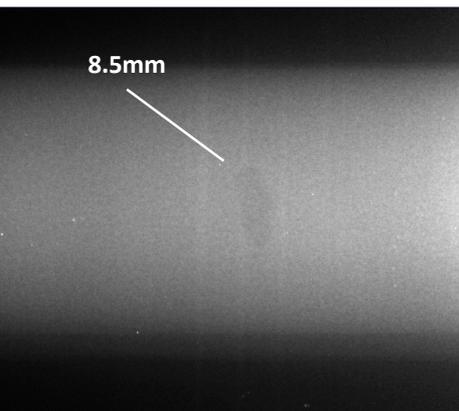
CRとF-RTのきず像寸法比較（第2種きず）



TP-1 板厚4.5mm 第2種① 左：D-RT (CR)、右：F-RT



TP-1 板厚20.0mm 第2種② 左：D-RT (CR)、右：F-RT



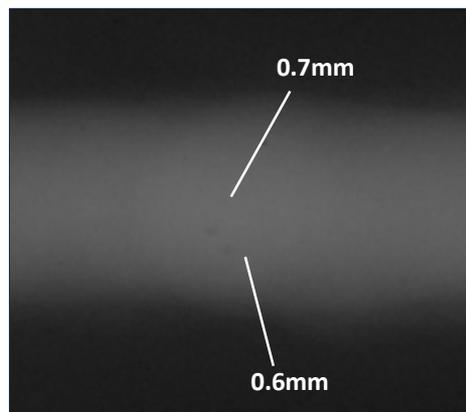
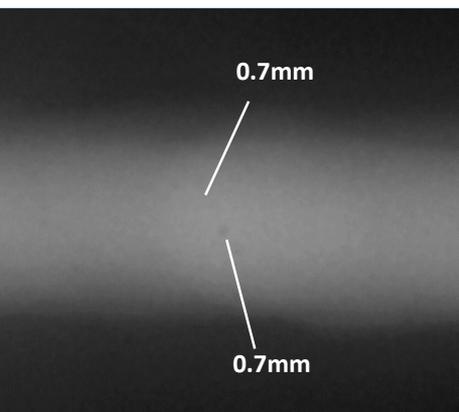
TP-1 板厚45.0mm 第2種④ 左：D-RT (CR)、右：F-RT

第2種きず

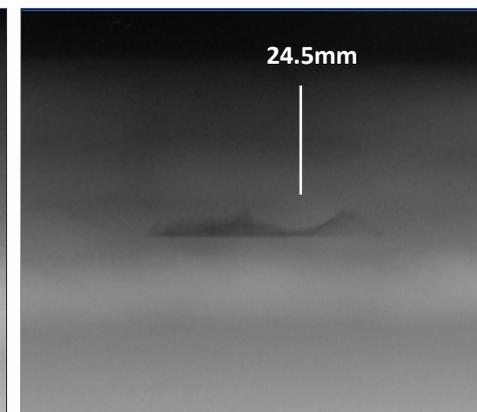
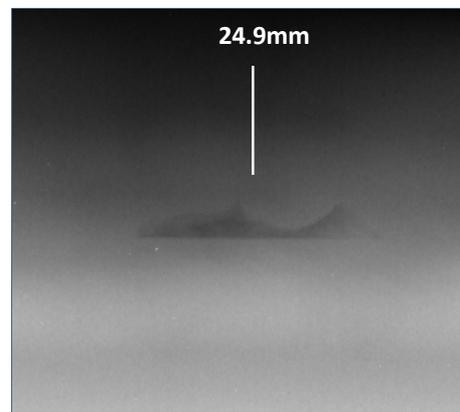
JIS Z 3104では、細長いスラグ巻き込み、パイプ、溶込み不良、融合不良及びこれに類するきずと定義されており、危規則第20条の7に規定されるスラグ巻き込み等（細長いスラグ巻き込み及びこれに類するもの）、溶け込み不足、融合不足に相当する。



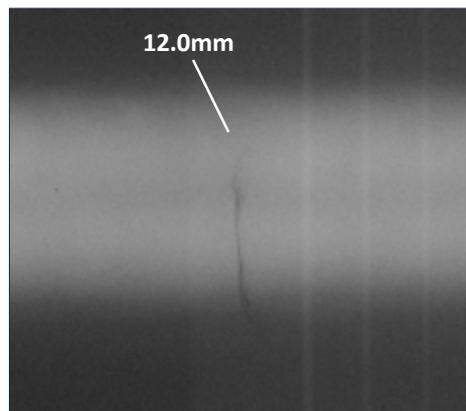
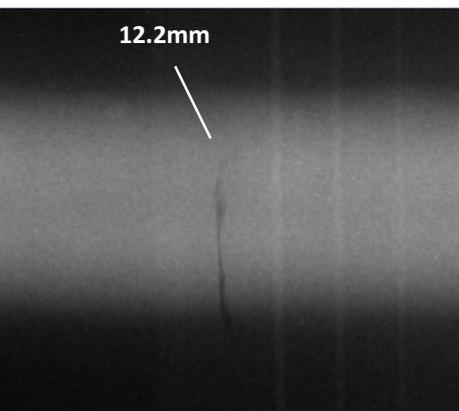
CRとF-RTのきず像寸法比較 (TP-2、 TP-3)



TP-2 板厚20.0mm 第1種きず 左：D-RT (CR)、右：F-RT



TP-2 板厚28.0mm×38.0mm 第2種きず 左：D-RT (CR)、右：F-RT



TP-3 板厚20.0mm 第3種きず 左：D-RT (CR)、右：F-RT

第3種きず

JIS Z 3104では、割れ及びこれに類するきずと定義されており、危規則第20条の7で規定される割れに相当する。



確認結果（まとめ）

D-RT画像（クラスA）とF-RTフィルム（A級）が各JIS規格で要求される像質要件をそれぞれ満足していることを確認したうえで、室内試験を行い、以下の事項が確認できた。

✓ D-RT画像がJIS Z 3104におけるA級の透過度計識別最小線径を満足していることを確認した。



透過度計のみの比較ではあるものの、D-RT（クラスA）の像質は、F-RT（A級）の像質と同程度であることを定性的に確認できた。

✓ F-RTに投影されたきずは、いずれのD-RTにも投影されていることを確認した。
※TP-1 45.0mmでは、計画時目標の0.7mmのきず像は得られなかったものの、0.8mmのドリル穴を検出できた。

✓ 投影されたきず寸法は、いずれのD-RT画像においてもF-RTと大きくは異なることを確認した。



D-RT（クラスA）は、F-RT（A級）と同程度のきず検出能力があることが確認できた。



特定屋外貯蔵タンクに対する放射線透過試験にD-RTを適用した場合、従来のF-RTと同程度の検査が行えることを確認できた。

①デジタル撮影技法（像質区分）の選択（JIS本則5.1）

室内試験及び現地試験を通して、D-RT（クラスA）はF-RT（A級）同程度の像質、きず検出性を有していることが確認できた。



特定屋外貯蔵タンクにD-RTを適用する場合、最低像質はクラスAとすることが望ましい。

②複線形像質計の扱い（JIS本則6.7）

③透過画像ごとの像質の確認の程度（JIS本則6.7）

室内試験では、全ての画像についてクラスAの像質要件を満足していることを確認した。

D-RTの像質要件は、透過度計のIQI値で定性的な評価を行い、複線形像質計を用いてIQI値、最大基本空間分解能 SR_b 画像、最小 SNR_N で定量的な評価が行われる。

F-RTでは、同じく透過度計を用いた定性的な評価がなされ、これを補完するために階調計を用いた定量的な像質評価が行われることから、全てのD-RT画像に複線形像質計を配置するのが望ましいと考えられる。

また、特定屋外貯蔵タンクの放射線透過試験は、撮影箇所を伴う現場撮影であり、附属物や足場等の状況から同一条件で撮影できないケースも想定される。

表8-像質評価項目と使用計器類

	D-RT	F-RT
定性的項目	・IQI値（透過度計）	・識別最小線径（透過度計）
定量的項目	・IQI値及び最大不鮮鋭度（複線形像質計） ・ SR_b （複線形像質計） ・最小 SNR_N （複線形像質計）	・階調計の値（階調計）



特定屋外貯蔵タンクにD-RTを適用する場合、適正条件で撮影された画像による判定を担保するためにも、以下の運用ルール設定が望ましい。

- ・全ての撮影箇所複線形像質計を配置
- ・全ての画像で像質要件を確認