

新技術を活用した屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全
に関する調査検討報告書（案）

令和 6 年 3 月

新技術を活用した屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に関する調査検討会

はじめに

放射線透過試験とは、対象物を透過した放射線を検出媒体に投影することにより構造や内在きず等の情報を表現する試験であり、各種インフラ構造物の保守点検等では、従来より検出媒体をフィルムとする放射線透過試験（以下「F-RT」という。）が行われ、フィルム上に表現された保守対象の内部情報から補修計画を立案する等、F-RT は各種インフラ構造物の保守に活用されてきた。

2017年には検出媒体をデジタル検出器とする放射線透過試験（以下「D-RT」という。）に関する JIS が新たに制定された。D-RT では、検出媒体を繰り返し使用可能であること、フィルムの現像処理が不要で環境負荷が低減されること、F-RT と異なり透過画像がデジタル画像として保存されること等の理由から各種構造物の保守点検等へ D-RT の導入に関する検討が進められている。

一方、特定屋外貯蔵タンクの側板の溶接構造は比較的単純な突合せ溶接であり、D-RT を導入し易い構造物であると考え、事前に事業者の関連団体に対してヒアリングを行い、D-RT の溶接部検査への導入に関する要望を踏まえ、今回検討を行った。

本検討会では、D-RT を特定屋外貯蔵タンクへ適用する上で設定すべき事項を整理した上で、室内試験を実施し、F-RT と D-RT の画像に差異がないことを確認した。併せて、実際の特定屋外貯蔵タンクを対象とした現地試験を実施し、実運用における留意事項についてとりまとめた。

その他に、特定屋外貯蔵タンクの保守点検等においてデジタル化が見込まれる技術について調査を実施しとりまとめた。

本報告書を取りまとめることができたのは、御多忙中にもかかわらず積極的に調査検討に参加され、貴重な御意見を頂いた委員等の御尽力によるところが大きく、厚く御礼を申し上げる次第である。

この調査検討結果が、危険物施設の安全性向上に寄与することができれば幸いである。

令和6年3月

新技術を活用した屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に関する調査検討会

座長 辻 裕 一

目 次

第1章 調査検討の概要	1
1. 1 調査検討の目的	3
1. 2 調査検討事項	3
1. 3 検討体制	3
1. 4 検討経過	4
第2章 検討の背景	5
2. 1 法令規定と放射線透過試験	7
2.1.1 溶接部の基準と溶接部検査	7
2.1.2 放射線透過試験	7
2. 2 52号通知 RT 指針と JIS Z 3104	8
2. 3 JIS Z 3110 とタンク側板溶接部検査への適用	9
2. 4 D-RT のメリット	9
2. 5 D-RT のニーズ	10
第3章 D-RT の導入に関する課題と対応	11
3. 1 特定屋外貯蔵タンクへの D-RT 導入に向けた課題整理	13
3.1.1 タンク側板溶接部検査への適用性に関する確認	13
3.1.2 D-RT を適用する場合の運用ルールに関する検討	14
3.1.3 現場作業時等における留意事項の確認	15
3. 2 確認検証試験計画	16
3.2.1 室内試験	16
3.2.2 現地試験	20
第4章 D-RT の導入に関する検討	23
4. 1 室内試験	25
4.1.1 室内試験事前準備	25
4.1.2 確認結果	26
4. 2 現地試験	31
4.2.1 現地試験事前準備	31
4.2.2 確認結果	32
4.2.3 現場適用時における留意事項	32
4. 3 運用ルールに関する検証	34
4.3.1 D-RT を適用する場合の JIS Z 3110 における像質区分について	34
4.3.2 複線形像質計の配置と像質確認の程度	34
4. 4 その他の課題に対する検討	34
4.4.1 D-RT 作業従事者に求められる技能	34

4.4.2	試験結果の記録について	35
4.5	考察	35
第5章	屋外貯蔵タンクに適用可能な新技術による点検方法等の調査.....	37
5.1	点検検査技術の調査結果.....	39
5.2	屋外貯蔵タンクを対象とした点検技術	40
5.2.1	渦電流探傷試験 (Eddy Current Testing)	40
5.2.2	磁粉探傷試験の自動化及びデジタル画像化技術.....	41
第6章	まとめ	45
6.1	まとめ	47
6.2	その他	47
参考資料1	昭和50年5月20日付け消防予第52号別添第4 放射線透過試験の指針	49
参考資料2	JIS Z 3110 契約当事者間の合意事項等に関する検討資料.....	53
参考資料3	D-RT 確認検証試験計画	57
参考資料4	室内試験データ集	71
参考資料5	現地試験データ集	131
参考資料6	D-RT 画像の像質要件の確認及びきず等級分類・合否判定方法	185
参考資料7	D-RT の特徴と測定について	193

第 1 章 調査検討の概要

第1章 調査検討の概要

1. 1 調査検討の目的

各保安分野では新技術の活用が進んでおり、我が国の高経年化が進んだ大規模な屋外貯蔵タンクの点検においても安全性、効率性を高める新技術の導入により効果的な予防保全を行うなど、スマート保安の実現が期待されている。各種インフラ構造物等の保守点検等で実施されている放射線透過試験においては、2017年にデジタル検出器による放射線透過試験（以下「D-RT」という。）に関するJISが示されてから徐々にD-RTの導入が進められている。D-RTを導入する理由としては、従前のフィルムによる放射線透過試験（以下「F-RT」という。）と比較して、化学的な処理である現像処理が不要であること、等の優位性を有していることが挙げられている。

こうした中、容量が1,000キロリットル以上の液体危険物タンクである特定屋外貯蔵タンクの側板の溶接部は、溶接構造が比較的単純な突合せ溶接であり、関係団体から溶接部検査へのD-RTの導入が望まれている。

このような状況を踏まえ、大規模な屋外貯蔵タンクの維持管理の高度化、点検作業のスマート化に向け、新技術のうちD-RT等を活用した効果的な予防保全に係る検討を目的とする。

1. 2 調査検討事項

- (1) 特定屋外貯蔵タンクの側板における溶接部検査へのD-RTの導入に向けた調査・検討
- (2) 特定屋外貯蔵タンクに適用可能な新技術による点検、モニタリング方法等の調査

1. 3 検討体制

新技術を活用した屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に関する調査検討会委員名簿

(五十音順 敬称略)

座長	辻 裕一	東京電機大学 工学部 機械工学科 教授
委員	江藤 義晴	四日市市消防本部 予防保安課長
	御調 祥弘	横浜市消防局 予防部 保安課長
	西 晴樹	総務省 消防庁 消防研究センター 技術研究部長 併任 消防大学校教授
	三原 毅	島根大学 材料エネルギー学部 学部長
	山田 實	元 横浜国立大学 安心・安全の科学研究教育センター 客員教授

事務局	加藤 晃一	消防庁	予防課	危険物保安室長
	合庭 貴信	消防庁	予防課	危険物保安室 課長補佐
	伊藤 真人	消防庁	予防課	危険物保安室 パイプライン係長
	嶋田 椋平	消防庁	予防課	危険物保安室 総務事務官

1. 4 検討経過

検討会の経過は以下のとおりである。

第1回検討会 令和5年 7月 20日

第2回検討会 令和5年 12月 14日

第3回検討会 令和6年 2月 20日

※ 本報告書で使用する略語は以下のとおり

消防法（昭和 23 年法律第 186 号）・・・法

危険物の規制に関する政令（昭和 34 年政令第 306 号）・・・政令

危険物の規制に関する規則（昭和 34 年総理府令第 55 号）・・・規則

日本産業規格・・・JIS

第2章 検討の背景

第2章 検討の背景

本章では、特定屋外貯蔵タンク側板の溶接部検査（以下「タンク側板溶接部検査」という。）における D-RT の導入に関する検討を実施するに至った背景について記載する。

2. 1 法令規定と放射線透過試験

2.1.1 溶接部の基準と溶接部検査

国内に建設されている特定屋外貯蔵タンクの多くは、図 2-1 のように鋼板を溶接組立した縦置円筒型の大容量タンクである。

特定屋外貯蔵タンクの溶接部は、政令第 11 条第 1 項第 4 号の 2 の規定に基づき、総務省令で定めるところにより行う試験において、総務省令で定める基準に適合するものでなければならない。このうち、側板溶接部については、規則第 20 条の 7 の規定に基づき、放射線透過試験を行い合格基準に適合する必要がある。

また、特定屋外貯蔵タンクの溶接部は、法第 11 条の 2 の規定に基づき、市町村長等による完成検査前検査でその基準適合性についての検査が行われており、溶接部の基準適合性を検査する完成検査前検査は、溶接部検査と定義されている。前述のタンク側板溶接部に対して行われる放射線透過試験についてもこの溶接部検査に含まれる。

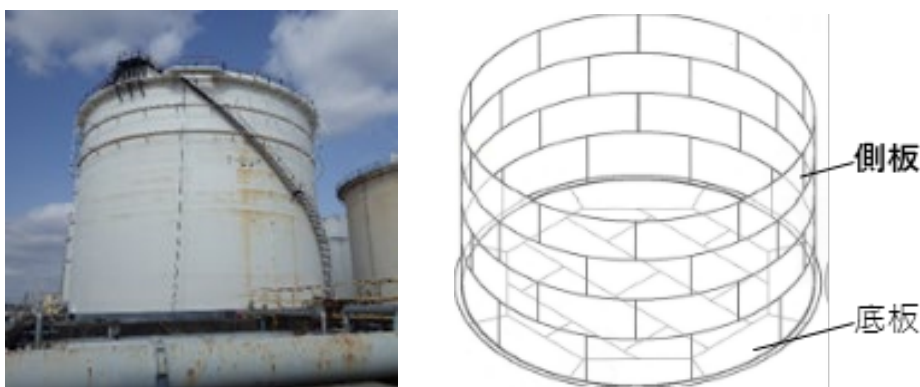


図 2-1 特定屋外貯蔵タンク

2.1.2 放射線透過試験

放射線透過試験は、非破壊試験の手法の一つであり、試験体に放射線を透過させて内部の状態を撮影像として撮影媒体に記録する試験である。放射線透過試験に必要な主な構成は図 2-2 に示したとおりであり、従来から行われている放射線透過試験は撮影媒体としてフィルムが用いられている。

本検討において、タンク側板溶接部検査への導入を検討する D-RT は、撮影媒体としてイメージングプレート（以下「IP」という。）を用いた Computed Radiography（以下「CR」という。）及びフラットパネルディテクタ（以下「FPD」という。）を用いた Digital Detector Array（以下「DDA」という。）の 2 種類である（図 2-3）。

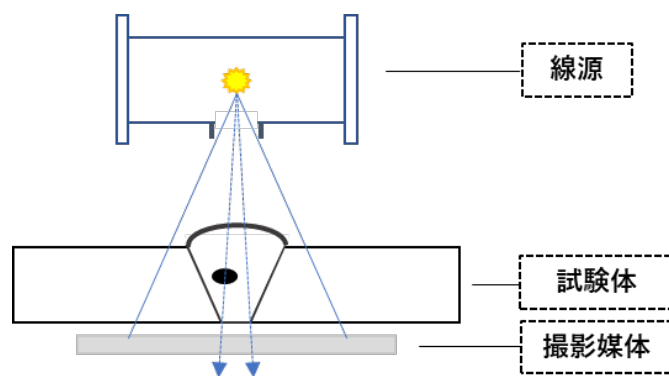


図 2-2 放射線透過試験の主な構成



図 2-3 CR システムで用いられる IP (左) 及び DDA システム (右)

2. 2 52号通知 RT 指針と JIS Z 3104

タンク側板溶接部に適用される放射線透過試験の細部運用については、昭和 50 年 5 月 20 日付け消防予第 52 号別添第 4 放射線透過試験の指針（参考資料 1、以下「52 号通知 RT 指針」という。）で示されている。52 号通知 RT 指針は、その後の法令改正で導入されたタンク側板溶接部検査の放射線透過試験においても、内容の一部について運用がなされているのが実態である。

52 号通知 RT 指針では JIS Z 3104:1968 「鋼溶接部の放射線透過試験方法及び透過画像の等級分類方法」（以下「JIS Z 3104:1968」という。）による試験を基本としているが、JIS Z 3104:1968 で明確に規定されていない事項（例：撮影抜き取り箇所、像質区分、フィルム仕様、不合格時の取り扱い等）については、指針内において細部運用を記載している。

なお、JIS Z 3104:1968 は、現在では改訂がなされており、JIS Z 3104:1995 「鋼溶接部の放射線透過試験方法」（本項において「JIS Z 3104:1995」という。）となっている。新旧 JIS では用語等一部異なる内容もあるが、基本的な技術の考え方については変更がないため、52 号通知 RT 指針の内容は、現行の JIS Z 3104:1995 に読み替えて運用が行われている。

以降、JIS Z 3104:1995 は、単に「JIS Z 3104」と表記する。

2. 3 JIS Z 3110 とタンク側板溶接部検査への適用

D-RT に関する JIS は、平成 27 年に 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」(以下「JIS Z 3110」という。)が制定された。

タンク側板溶接部検査で実施される放射線透過試験については、前述の 52 号通知 RT 指針に F-RT を前提とした細部運用が示されているものの、法令上は撮影媒体に対する制限がない。このため、現段階においても JIS Z 3110 に準拠して D-RT の撮影が行われ、一定の像質が確認された透過画像については、規則第 20 条の 7 第 2 項の合格基準に照らして合否判定を行うことが可能である。

しかしながら、前述のとおり、タンク側板溶接部検査は 52 号通知 RT 指針に示された細部運用により F-RT のみで実施されてきた実態があるため、検出方式や像質の評価方法が異なる D-RT を適用した場合においても従来の F-RT と同様に検査を実施可能であるか確認する必要がある。

2. 4 D-RT のメリット

2. 1 で示したとおり、本検討においてタンク側板溶接部検査への導入の検討を行う D-RT は CR と DDA の 2 種類である。CR は IP で撮影した画像を IP リーダーでスキャンし、PC 等を用いて画像処理し、HDD 等へ保存される。DDA は撮影時に FPD を接続した PC のモニターで透過画像を確認することができ、その場で画像処理を行い、HDD 等へ保存される。そのため、D-RT では、フィルムの現像が不要となる(図 2-4)。

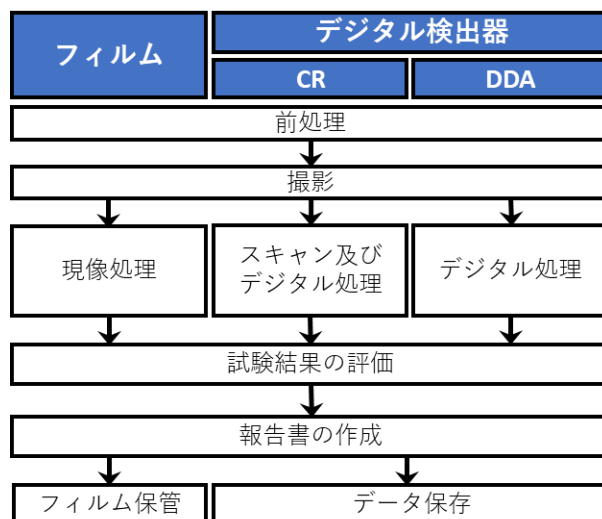


図 2-4 撮影媒体毎の RT 工程概要

JIS Z 3110 の附属書 JA の表 JA. 1 及び表 JA. 2 に F-RT 及び D-RT の主な特徴、機能性についてまとめられており、これらの表で F-RT と D-RT を比較すると、D-RT には次の様なメリットが挙げられる。こうしたこともあり、各種インフラ構造物等で D-RT の導入に関する検討が進められている。

- 検出媒体の繰返し使用が可能
- デジタル処理により透過画像が得られるため、現像処理が不要
- モニタ上で透過画像の画像処理（コントラスト等の調整、フィルタ処理）が可能
- 電子データ（画像ファイル）として透過画像を保存することが可能

2. 5 D-RT のニーズ

特定屋外貯蔵タンクの側板の溶接構造は、単純な完全溶け込み突合せ溶接（図 2-5）であり、放射線透過試験としても一般的な撮影方法で実施されていることから、特定屋外貯蔵タンクはD-RTを導入しやすい構造物と考えられ、事業者の関連団体に対して事前調査を行った結果、D-RTの導入に関する要望が確認された。

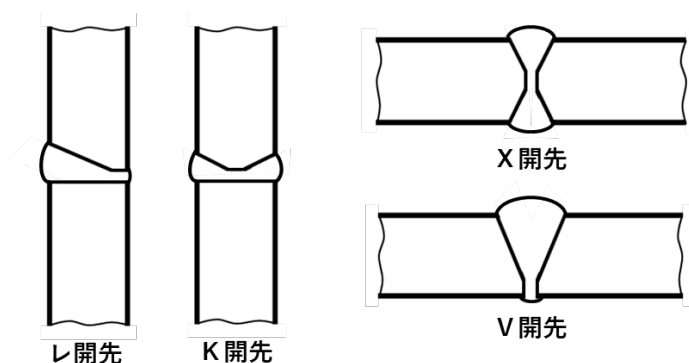


図 2-5 特定屋外貯蔵タンク側板溶接構造（例）

第3章 D-RTの導入に関する課題と対応

第3章 D-RTの導入に関する課題と対応

第2章で記述したように、D-RTは規格化がなされ、確立した非破壊検査技術である。さらに、現行法令上、放射線透過試験の撮影媒体に関する制限は無いため、タンク側板溶接部検査にD-RTを適用することは法令上問題がない。

一方、タンク側板溶接部検査では52号通知のRT指針により、F-RTのみで検査が行われてきた実態があるため、D-RTを適用した場合においても、従来のF-RTと同様に検査を実施することが可能であることを確認する必要がある。

本章では、タンク側板溶接部検査にD-RTを導入するに当たっての課題とその対応について記載する。

3.1 特定屋外貯蔵タンクへのD-RT導入に向けた課題整理

3.1.1 タンク側板溶接部検査への適用性に関する確認

D-RTの作業性及び得られる透過画像がF-RTと同程度であれば、D-RTがF-RTと同様にタンク側板溶接部検査を実施することが可能であると考えられる。作業性については、実際の撮影作業から判定作業及び記録の作成まで行うことで確認できる。得られる透過画像については、その像質から確認することとなり、各JISでは一定の像質を評価する項目が複数設定されている。ただし、求められる像質の値を対比することのできない項目もあるため、以下の2点に焦点を絞り確認を進めることとした。確認に際しては、同一対象物をF-RT及びD-RTで撮影し、両者の比較、分析等を実施することとした（以下「確認検証試験」という。）。

(1) 像質確認（確認事項①）

各JISでは、きずの検出性に応じて2つの像質区分が設けられている。

F-RTでは、通常の撮影技術によって得られる像質区分のA級、きず検出感度を高めた撮影技法によって得られる像質区分のB級が規定されている。

一方、D-RTにおいては、基本的な技法によって得られる像質区分のクラスA、像質改善技法による像質区分のクラスBがあり、これらはF-RTの像質区分A級及びB級に相当する区分であると予想される。

現状のF-RTによるタンク側板溶接部検査では、JIS Z 3104に規定されるA級の像質の条件を満足したフィルムについて規則第20条の7第2項の合格基準に照らして合否判定がなされていることから、D-RTのクラスAの像質がF-RTのA級と同程度であることを確認することにより、タンク側板溶接部検査への適用性について判断できると考えられる。

像質の確認については、各JISに規定される像質の条件を満たした画像について、各JISで共通の像質計である針金形透過度計を用いた像質の評価項目により確認を行うこととした。なお、両規格では針金形透過度計の配置位置、識別線径の確認部位が異なるため、確認に際しては、これら条件を合わせた画像を撮影する必要がある。

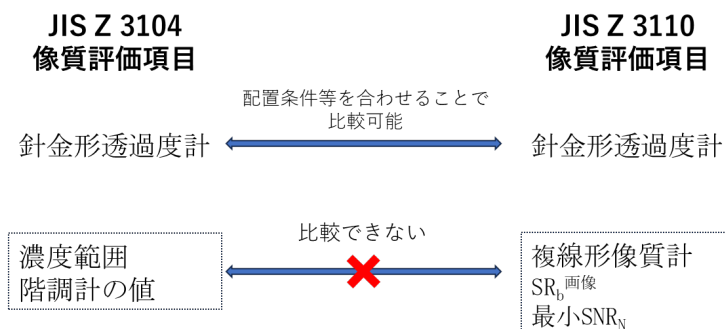


図 3-1 JIS の像質に関する評価項目と比較の可否

(2) きず検出性等の確認（確認事項②）

D-RT の像質が F-RT の像質と同程度であれば、F-RT と同程度のきずの検出性を有していると考えられる。しかしながら、両規格で規定される像質の評価項目はそれぞれ異なっており、一部の像質の評価項目（針金形透過度計）を除き、像質を比較することができない。このため、(1)の補足として同一対象物を撮影した場合におけるきず検出性及びきず像寸法について、D-RT と F-RT との比較・確認を行うこととした。

3.1.2 D-RT を適用する場合の運用ルールに関する検討

現状、タンク側板溶接部検査における F-RT は 52 号通知 RT 指針に示された内容で運用がなされている。52 号通知 RT 指針では、JIS Z 3104 に従って試験を行うことを基本とし、像質区分の選択や使用フィルムの仕様等、JIS Z 3104 で明確に規定されていない項目について運用上のルールが示されている。

JIS Z 3110 では、契約当事者間の合意事項とされている項目が 16 項目ある（参考資料 2 参照）。これら項目にはタンク側板の撮影では一般的には用いられない γ 線による撮影や配管撮影時を想定した項目などが含まれているため、タンク側板溶接部検査に D-RT を適用した場合において運用が望まれる項目として以下の 3 項目を抽出した。抽出した項目に関しては、その運用方法について確認検証試験を通して検証を行うこととした。

(1) デジタル撮影技法（像質の区分）の選択（JIS 本文 5.1 検証事項①）

本項目は、D-RT の像質区分（クラス A、クラス B）の選択に関する合意事項となる。52 号通知 RT 指針では、合否判定を行うフィルムは A 級の像質を満たすこととされているため、当該指針に倣い、タンク側板溶接部検査における D-RT 運用上の最低限確保すべき像質について、確認検証試験の結果を踏まえて決定することが望ましいと考える。

- (2) 複線形像質計の扱い (JIS 本文 6.7、検証事項②) 及び 透過画像ごとの像質の確認の程度 (JIS 本文 6.7 検証事項③)

JIS Z 3110 では、D-RT の像質の評価項目のうち不鮮鋭度を評価するための複線形像質計の配置が必須とはされていない。また、類似した撮影継手及び撮影箇所について、同じ撮影条件及び処理技術で像質に差異がない場合には、透過画像ごとに像質を確認する必要がない。これら複線形像質計の配置の有無、像質の確認の程度については、契約当事者間の合意に委ねられている。

(1)により D-RT の運用上の最低像質を決めたとしても、複線形像質計が配置されていない場合は像質の一部が確認できないこととなるほか、像質の確認がなされなかった透過画像が市町村長等の立会いの段階で像質の条件を満足していないことが判明したような場合を想定すると、円滑な検査の実施に支障が生じることが考えられる。

このため、確認検証試験を通して JIS Z 3110 に規定される像質の確認作業を検証するとともに、タンクにおける RT 撮影の実態等も踏まえたうえで、これら項目に関する運用上のルールを決定することが望ましいと考える。

なお、確認検証試験では全ての撮影において複線形像質計を配置して撮影することとした。

このほか、52 号通知 RT 指針に記載される項目で JIS Z 3110 では明確に規定されていない項目 (D-RT 作業従事者に求められる技能 (JIS 本文 6.9)、試験結果の記録について (JIS 本文 8)) を抽出した。これら項目については、確認検証試験とは別に調査、検討を進めることとした。

3.1.3 現場作業時等における留意事項の確認

タンク側板溶接部検査に D-RT を導入した場合における現場作業時等の留意事項の有無について確認するため、確認検証試験として実機タンクを対象とした現地試験を実施することとした。なお、現地試験においても室内試験と同様に像質、きずの検出性及びきず寸法の比較を行い、これらが F-RT と同程度であることを確認することとする。

3. 2 確認検証試験計画

確認検証試験の概要について記載する。(計画全体については、参考資料3参照。)

3.2.1 室内試験

製作した試験片を各 JIS に準拠して F-RT 及び D-RT の透過画像を撮影し、当該透過画像を用いて 3.1.1 に記載した確認事項①及び②を確認、これに加えて、3.1.2 に記載した検証事項①～③について検証する。

(1) 試験片

室内試験で用いる試験片は、以下の3種類の試験片を製作した。

- a TP-1 (模擬きずによる試験片、表 3-1)
- b TP-2 (割れ以外の溶接きずを入れた突合せ溶接試験片、表 3-2)
- c TP-3 (割れを入れた突合せ溶接試験片、表 3-3)

各試験片の板厚は、国内で最も基数の多い鋼製タンクで採用されている板厚(4.5mm～45mm)を参考に板厚を設定した。加えて、TP-2 では板厚の異なる水平継手の撮影を想定した 28mm×38mm の試験片を製作している。また、TP-3 については海外の試験片メーカー製であることから 4.5mm の試験片が製作できず、4.5mm に替えて 6mm の試験片を製作した。

なお、3.1.1 及び 3.1.2 に記載した確認事項①、②及び検証事項①～③は、TP-1 を用いた試験により全ての項目の確認及び検証が可能であると考えられるが、実際の溶接部に存在する溶接きずにおいても模擬きずと同様の結果が得られることを改めて確認するため、TP-2 及び TP-3 でも確認検証試験を実施する。

表 3-1 TP-1 (模擬きずによる試験片)

試験片No.	概要											
TP-1	<p>きずの位置や大きさが明確な試験片とするため、人工的に模擬きずを加工した銅板リボン (以下「人工きず加工リボン」という。)、模擬溶接ビード、鋼板を組み合わせたものを TP-1 試験片とする。模擬きずは、規則第 20 条の 7 第 2 項に示される溶接きずのうち、割れを除く溶接きずの形状を想定して加工を施す。</p> <p>なお、確認検証試験では、各模擬きずを第 1 種 (群)、第 2 種①～④と呼称することとした。</p>											
	<p>(TP-1 試験片の構成)</p>											
	<p>図①-1 TP-1 概略図</p>											
	<p>表① TP-1 の材質・板厚等</p>											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>鋼板材質</th> <th colspan="3">SS400</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>鋼板板厚</td> <td>4.5mm</td> <td>20mm</td> <td>45mm[※]</td> </tr> <tr> <td>リボン板厚</td> <td>0.5mm</td> <td>0.5mm</td> <td>0.7mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>※45mm は 20mm に 25mm の鋼板を重ねたものを用いる。</p>	鋼板材質	SS400			鋼板板厚	4.5mm	20mm	45mm [※]	リボン板厚	0.5mm	0.5mm
鋼板材質	SS400											
鋼板板厚	4.5mm	20mm	45mm [※]									
リボン板厚	0.5mm	0.5mm	0.7mm									
<p>模擬きずの最小寸法は、規則第 20 条の 7 第 2 項に規定されるブローホール点数に算定しないブローホール等の長径 0.5mm (母材の厚さ 20mm 以下の場合) 及び 0.7mm (母材の厚さ 20mm を超える場合) を加工目標とした。このうち、45mm 用のリボンでは、加工精度上の問題から、最小きずの実寸が 0.8mm となったが、ブローホール点数に算定するきずの最小寸法は加工できたものとし、検証試験結果には影響しないものと考えて試験を実施した。</p>												
<p>写真①- TP-1 用人工きず加工リボン</p>												

表 3-2 TP-2 (割れ以外のきずを入れた突合せ溶接試験片)

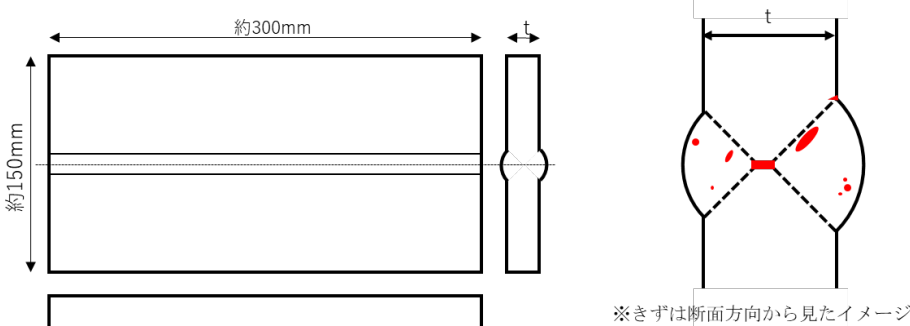
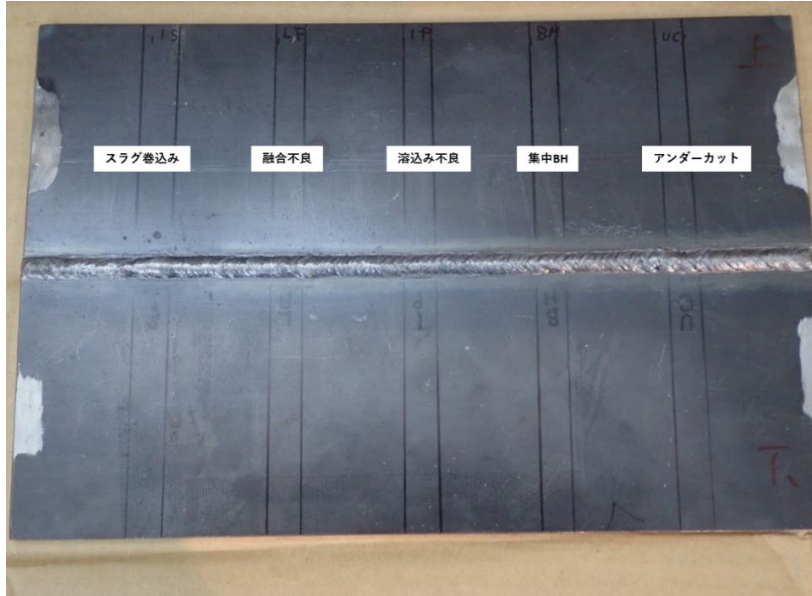
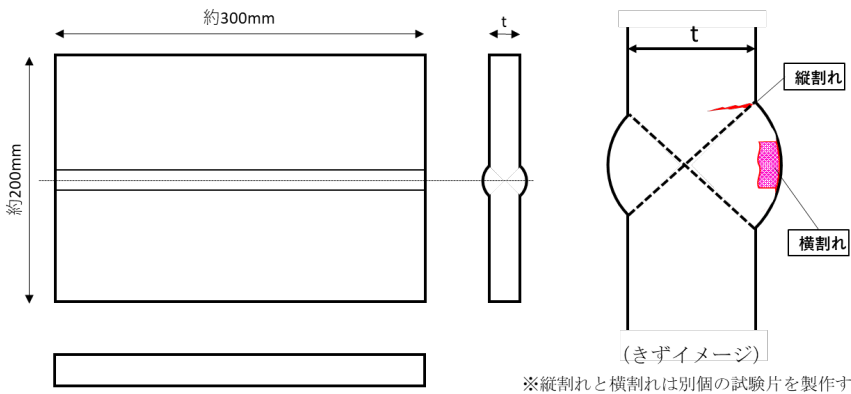

試験片No.	概要												
TP-2	<p>規則第 20 条の 7 第 2 項に記載のある割れを除く溶接きずを意図的に入れた突合せ溶接試験片</p>  <p>※きずは断面方向から見たイメージ</p>												
	<p>図② TP-2 概略図</p>												
	<p>表② TP-2 の材質・板厚等</p>												
	<table border="1"> <tr> <td>材質</td> <td colspan="3">SS400</td> </tr> <tr> <td>板厚</td> <td>4.5mm</td> <td>20mm (45mm[※])</td> <td>28mm×38mm</td> </tr> <tr> <td>開先形状</td> <td>レ形</td> <td>X形</td> <td>K形</td> </tr> </table>	材質	SS400			板厚	4.5mm	20mm (45mm [※])	28mm×38mm	開先形状	レ形	X形	K形
	材質	SS400											
板厚	4.5mm	20mm (45mm [※])	28mm×38mm										
開先形状	レ形	X形	K形										
<p>※ 20mm 試験片に 25mm の鋼板を重ねたものを 45mm 試験片として用いる。</p>													
													
<p>※きず種類の表記については仕様上の目標位置であり、実際の位置とは異なる。 ※きず種類を表記しているが、試験実施上はきず像の形状のみに着目した確認を行う。 (JIS Z 3104 に規定される第 1 種きず、第 2 種きずとして扱い、きず種類の解釈までは行わない。)</p> <p>写真②- TP-2 (板厚 4.5mm) 外観</p>													

表 3-3 TP-3 (割れを入れた突合せ溶接試験片)

試験片No.	概要															
TP-3	<p>割れを意図的に入れた突合せ溶接試験片</p>  <p>図③ TP-3 概略図</p> <p>表③ TP-3 の材質・板厚等</p> <table border="1" data-bbox="454 929 1289 1086"> <thead> <tr> <th>材質</th> <th colspan="4">SS400 相当</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>板厚</th> <td colspan="2">6mm</td> <td colspan="2">20mm (45mm[※])</td> </tr> <tr> <th>割れ方向</th> <td>縦割れ</td> <td>横割れ</td> <td>縦割れ</td> <td>横割れ</td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 20mm 試験片に 25mm の鋼板を重ねたものを 45mm 試験片として用いる。</p>  <p>写真③- TP-3 (板厚 6mm、横割れ) 外観</p>	材質	SS400 相当				板厚	6mm		20mm (45mm [※])		割れ方向	縦割れ	横割れ	縦割れ	横割れ
	材質	SS400 相当														
	板厚	6mm		20mm (45mm [※])												
	割れ方向	縦割れ	横割れ	縦割れ	横割れ											

(2) 撮影配置

室内試験における撮影配置を図 3-2 に示す。F-RT と D-RT の比較を行うことから、計器類の配置は両 JIS で配置することとされている計器類を包含する配置とした(図 3-2)。

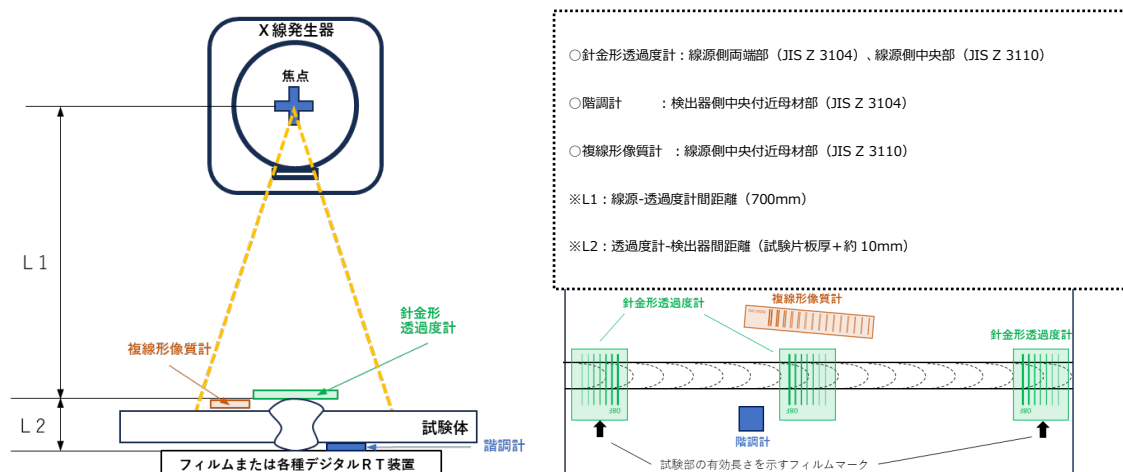


図 3-2 確認検証試験における撮影配置

(3) 使用機器

確認検証試験で使用する機器のうち、主要なものを表 3-4 に示す。

表 3-4 確認検証試験で使用した機器

機器	メーカー等	型番	諸元等	
X線発生装置 (F-RT/D-RT 共通)	トーレック	RIX300-CP	焦点寸法：3.0×3.0、管電流：3mA、管電圧：300kVp	
	YXLON	SMART300HP	焦点寸法：3.0×3.0、管電流：3mA、管電圧：300kVp	
撮影媒体	フィルム	Fuji	#80	増感紙：Pb0.03 (F&B)、適用板厚：20mm 以下
	(F-RT)	Fuji	#100	増感紙：Pb0.03 (F&B)、適用板厚：20mm 超
	FPD (DDA)	トーレック	EXT2490	検出器寸法：233×291、素子寸法 76μm、 変換方式：間接、シンチレーター：Cs1
IP (CR)	Fuji	UR-1 (高精細)	検出器寸法：240×300、分解能：50μm、 増感紙：必要に応じて使用	

3.2.2 現地試験

本検討における確認事項及び検証事項は、室内試験により十分な確認、検証を行うことが可能と考えられるが、実際のタンクに適用した場合においても室内試験と同様の結果が得られることを補足的に確認するため、実機タンクを対象とした現地試験を行った。このほか、現地試験では D-RT の現場作業時等における留意事項の有無を確認した。

なお、作業性の観点から撮影対象部位は側板の最下段縦継手のみとし、事例収集のため、2基の特定屋外貯蔵タンクを選定した。

(撮影配置は3.2.1(2)、使用機器は3.2.1(3)と同じ。)

(1) 実機タンク①

直径 : 約 82m
高さ : 約 24m
許可容量 : 110,000kL 級
側板板厚 : 36mm (最下段)

(2) 実機タンク②

直径 : 約 21m
高さ : 約 15m
許可容量 : 4,000kL 級
側板板厚 : 13mm (最下段)

第4章 D-RTの導入に関する検討

第4章 D-RTの導入に関する検討

本章では、確認検証試験の結果、D-RTをタンク側板溶接部に導入した場合における運用ルール等の検討及びこれらに対する考察を記載する。

なお、確認検証試験のデータは「参考資料4 室内試験データ集」及び「参考資料5 現地試験データ集」を参照されたい。

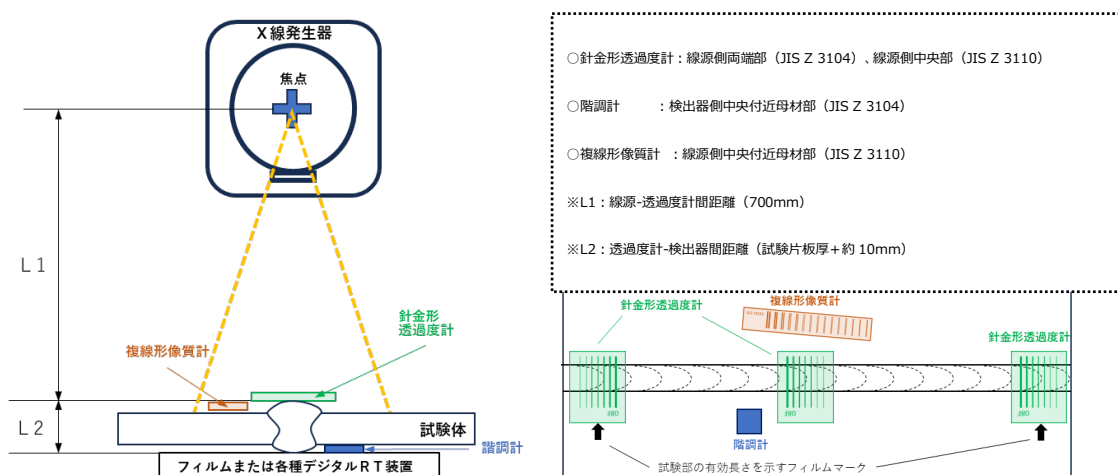
4.1 室内試験

4.1.1 室内試験事前準備

(1) 撮影配置及び撮影条件

a 撮影配置

室内試験における撮影配置は、(再掲)図3-2のとおり。



(再掲) 図 3-2 確認検証試験における撮影配置

b 撮影条件

TP-1の撮影条件を表4-1に示す。

表 4-1 室内試験撮影条件

試験片板厚 (mm)	4.5			20			45		
	フィルム	DDA	CR	フィルム	DDA	CR	フィルム	DDA	CR
検出器	フィルム	DDA	CR	フィルム	DDA	CR	フィルム	DDA	CR
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

(2) 各 JIS における像質の評価項目の確認

透過画像の像質区分が F-RT では A 級、D-RT ではクラス A であることが確認検証試験実施上の前提となる。このことから、比較確認前に撮影媒体毎に適用される JIS に基づく像質区分を満足していることを確認した。

TP-1 を撮影した透過画像の像質について確認した結果を表 4-2 及び表 4-3 に示す。いずれの透過画像も適用される JIS の像質の条件を満たしていることを確認した。

表 4-2 F-RT 撮影フィルムの JIS Z 3104 A 級適合状況

試験片板厚 (mm)	4.5		20		45	
	規格値	実際	規格値	実際	規格値	実際
濃度範囲	1.3~4.0	適	1.3~4.0	適	1.3~4.0	適
透過度計識別最小線径 (mm)	≤0.16	適	≤0.40	適	≤0.80	適
階調計の値	≥0.10	適	≥0.035	適	≥0.060	適
総合判定	A 級適合		A 級適合		A 級適合	

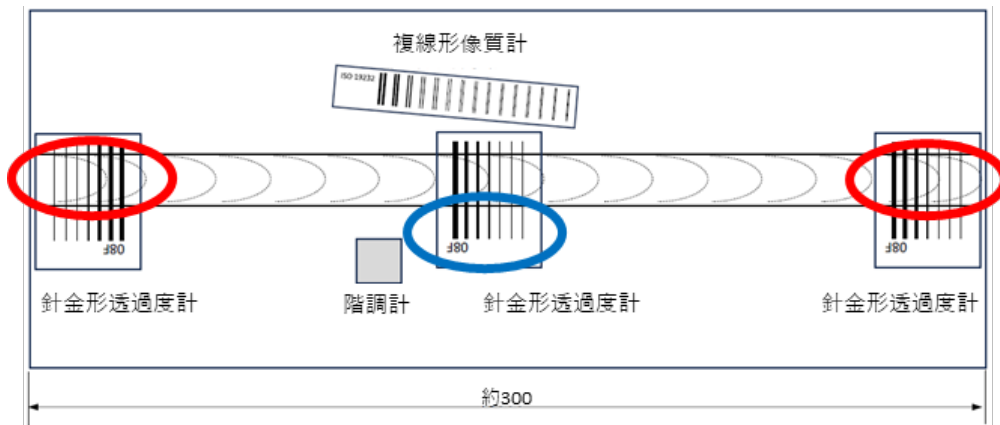
表 4-3 D-RT 透過画像の JIS Z 3110 クラス A 適合状況

試験片板厚 (mm)	4.5			20			45		
	規格値/実際	実際		規格値	実際		規格値	実際	
		DDA	CR		DDA	CR		DDA	CR
透過度計 IQI 値 (mm)	≤0.125	適	適	≤0.32	適	適	≤0.63	適	適
複線形像質計 IQI 値 (mm)	≤0.26	適	適	≤0.32	適	適	≤0.40	適	適
最大基本空間分解能 $SR_{0.01}$ (mm)	≤0.13	適	適	≤0.16	適	適	≤0.20	適	適
最小 SNR_N	≥98	適	適	≥98	適	適	≥98	適	適
総合判定	クラス A 適合			クラス A 適合			クラス A 適合		

4.1.2 確認結果

(1) 像質の確認結果

JIS Z 3110 に準拠して撮影した D-RT (クラス A) 透過画像の両端部に配置した針金形透過度計の識別最小線径が JIS Z 3104 の A 級で要求される線径以下であることについて確認を行った。



※図中、赤丸部及び青丸部は各 JIS で針金形透過度計の識別最小線径を確認することとされている箇所を示す。

(赤丸部は JIS Z 3104、青丸部は JIS Z 3110)

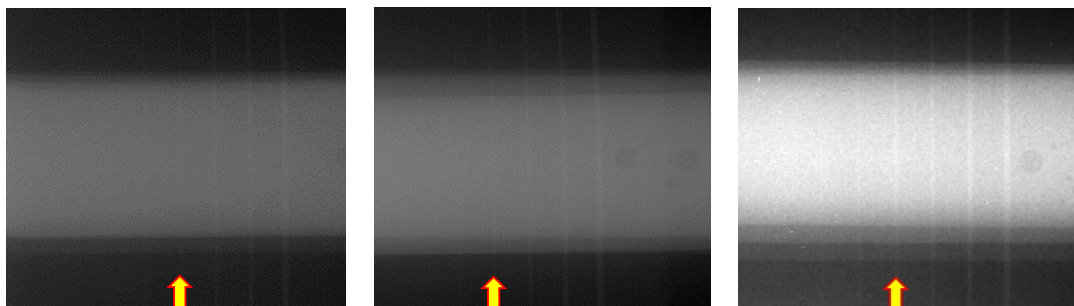
※本試験では、JIS Z 3110 に準拠して撮影した D-RT について、赤丸部で JIS Z 3104 の規格値を満たしているかを確認。

図 4-1 本試験における針金形透過度計の像質値確認位置 (赤丸部)

TP-1 の確認内容及び結果を表 4-4 に示す。全ての板厚で JIS Z 3104 に規定される A 級の規格要求値を満たしており、針金形透過度計による像質の評価項目に関しては、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が確認できた。

表 4-4 透過度計による確認内容及び結果

試験片	板厚 (mm)	JIS Z 3104 A 級規格値	使用透過度計	確認結果	
				DDA	CR
TP-1	4.5	≤ 0.16	04F	DDA	適
				CR	適
	20	≤ 0.40	08F	DDA	適
				CR	適
	45	≤ 0.80	08F	DDA	適
				CR	適



※図中の矢印は、JIS Z 3104 に規定される A 級の識別最小線径位置を示す。(図の例では 0.40mm)

図 4-2 画像両端部の針金形透過度計識別線径 (TP-1 20mm、左から F-RT、DDA、CR)

(2) きず検出性等の確認結果

各撮影媒体のきずの検出性及びきず像寸法を比較することにより、D-RT が F-RT と同様に判定が可能であるか確認した。

きずの位置及び実寸法が既知の TP-1 におけるきず像の寸法比較結果を表 4-5 に示す。

表 4-5 きず像寸法比較結果 (TP-1)

試験片板厚 (mm)	検出器		第 1 種きず (群)							第 2 種きず				
			(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	※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	※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

※カッコ内はF-RT とのきず像寸法差 (赤字はマイナス)

単位 (mm)

a きず検出性

DDA、CR いずれにおいても F-RT 同様に全ての模擬きずを検出した。法令上、ブローホール点数に算定しないきずの最大値（45mm 試験片については、ブローホール点数に算定するきずの最小値）の寸法をもつ模擬きずを D-RT においても検出されており、F-RT と同様にきずを検出することが確認された（TP-2 及び TP-3 においては F-RT で検出したきず像が D-RT でも検出できていることを確認した）。

b きず像寸法

きず像寸法については、若干の寸法差が認められるきず像はあったものの、F-RT と比較しても著しく異なる寸法は測定されておらず、F-RT と同様の判定が可能であることが確認された（TP-2 及び TP-3 においても同様の結果）。

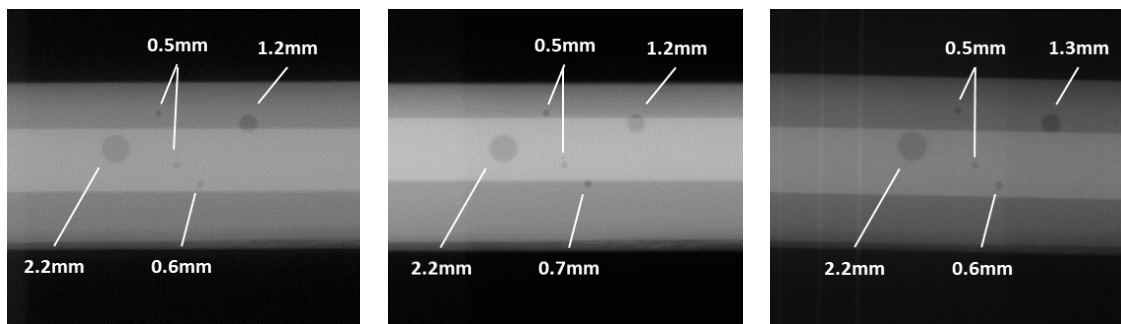


図 4-3 第 1 種きず（群）の検出性及び寸法比較（TP-1 4.5mm、左から F-RT、DDA、CR）

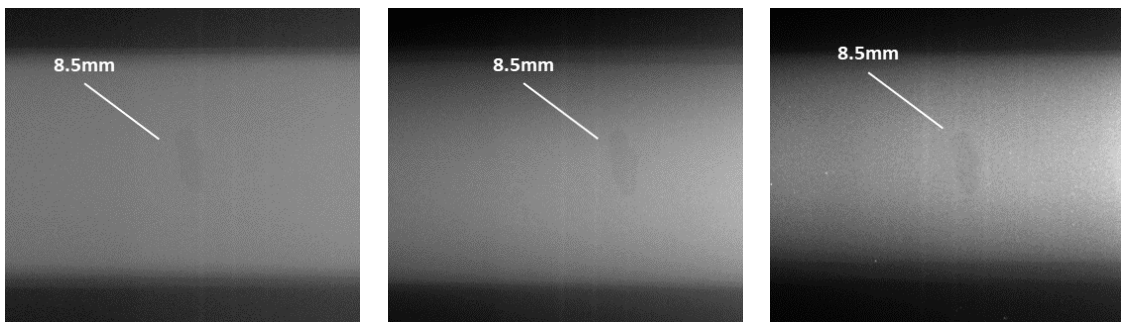


図 4-4 第 2 種きず④の検出性及び寸法比較（TP-1 45mm、左から F-RT、DDA、CR）

なお、寸法差が生じた理由については様々な要因が考えられ、一律に理由を述べることは困難である。以下、要因として考えられた主な内容を列記する。

【撮影設定】

- ・撮影のセッティングには万全を期したものの、セッティング毎に X 線の照射角度が若干異なっていた可能性がある（きず像形状や鮮明度への影響）。

【検出媒体の特性】

- ・フィルムと IP については、粒状性により不鮮明な像として現れたと考えられるきず像もあった。
- ・CR では高精細 IP を使用したが、当該 IP は放射線感度が低かったため、板厚 45mm では長時間の露出を行った（散乱線の影響からきず像の鮮明度が低下した可能性）。

【D-RT の特性を活かした観察】

- ・D-RT では、透過画像上やや不鮮明なきず像については、濃度やコントラストの調整を行い、きず像の端部が認識しやすい状況で寸法測定を行った。
- ・さらに不鮮明であったきず像については、D-RT ではハイパスフィルタ処理によりきず像を強調した画像を参考にして寸法測定を行った。

4. 2 現地試験

4.2.1 現地試験事前準備

(1) 撮影配置及び撮影条件

a 撮影配置

撮影配置は室内試験と同じである（図 3-2）。

b 撮影条件

現地試験での撮影条件を表 4-6 に示す。

表 4-6 現地試験撮影条件

撮影板厚 (mm)	36			13		
	※現地試験（1回目）			※現地試験（2回目）		
検出器	フィルム	DDA	CR	フィルム	DDA	CR
管電圧 (kV)	295			229	160	220
管電流 (mA)	3					
露出時間 (秒)	165	5×5 積算	720	60	3×5 積算	300

(2) 透過画像の各 JIS における像質の確認

室内試験同様、比較確認前にフィルムは A 級、FPD (DDA) 及び IP (CR) で取得した画像ではクラス A の像質区分を満足していることを事前に確認した。確認結果を表 4-7 及び表 4-8 に示す。いずれの透過画像も適用される JIS の像質の条件を満足していた。

表 4-7 F-RT 撮影フィルムの JIS Z 3104 A 級適合状況

撮影板厚 (mm)	36		13	
	※現地試験（1回目）		※現地試験（2回目）	
規格値/実際	規格値	実際	規格値	実際
濃度範囲	1.3~4.0	適	1.3~4.0	適
透過度計識別最小線径 (mm)	≤0.63	適	≤0.32	適
階調計の値	≥0.032	適	≥0.046	適
総合判定	A 級適合		A 級適合	

表 4-8 D-RT 透過画像の JIS Z 3110 クラス A 適合状況

撮影板厚 (mm)	36			13		
	※現地試験（1回目）			※現地試験（2回目）		
	規格値/実際	規格値	実際		規格値	実際
DDA			CR	DDA		CR
透過度計 IQI 値 (mm)	≤0.50	適	適	≤0.25	適	適
複線形像質計 IQI 値 (mm)	≤0.40	適	適	≤0.32	適	適
最大基本空間分解能 SR _b 画像 (mm)	≤0.20	適	適	≤0.16	適	適
最小 SNR _N	≥98	適	適	≥98	適	適
総合判定	クラス A 適合			クラス A 適合		

4.2.2 確認結果

室内試験と同じく、D-RT と F-RT の像質及びきずの検出性等について確認した。その結果、現地試験においても室内試験と同様の結果であった。

4.2.3 現場適用時における留意事項

(1) 撮影作業

撮影媒体が異なることから、撮影媒体毎の放射線感度等の違いに応じた露出条件の相違はあったものの、撮影作業自体は F-RT と D-RT との違いはなかった。試験体の母材厚さ、撮影媒体の感度等を考慮して適切な条件を設定して撮影がなされるのであれば、問題はないものと考えられる。

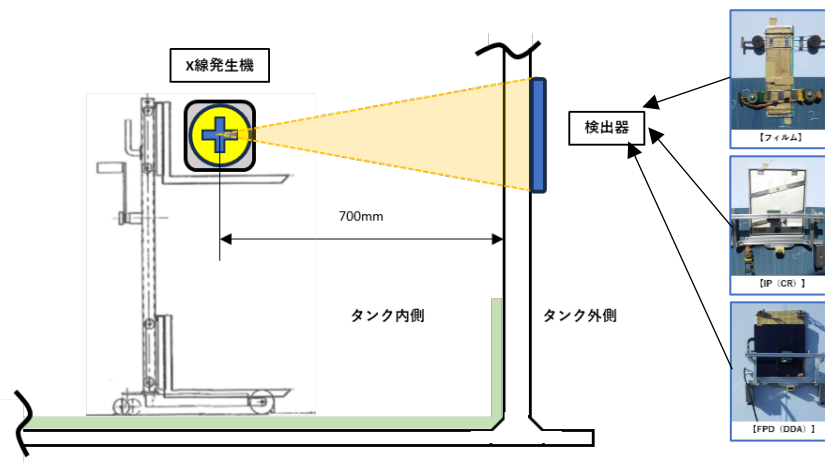


図 4-5 現地試験における撮影

(2) 撮影媒体の事前チェック

D-RT の撮影媒体である FPD、IP の撮影前チェックは作業の手戻りを防ぐためにも重要である。IP では焼付きやきずが生じていないこと、FPD では JIS Z 3110 本文 7.9.3 に規定される事項を満足していること等の事前チェックが有効である。

(3) その他

確認検証試験で実際に発生した事例として、IP スキャン時においてホコリの巻き込みにより、図 4-6 のように透過画像上に白点が生じたケースが確認された。白点の一つ一つは細かなものではあるが、これらが観察部位である溶接部や熱影響部上に多数あった場合は、きず像の視認性に少なからず影響が生じることが考えられる。このため、IP を撮影媒体とする CR では、IP 自体の事前チェックに加えて、スキャン時の保護ケース収納など透過画像上に白点を極力生じさせない対策を講じることが望ましい。

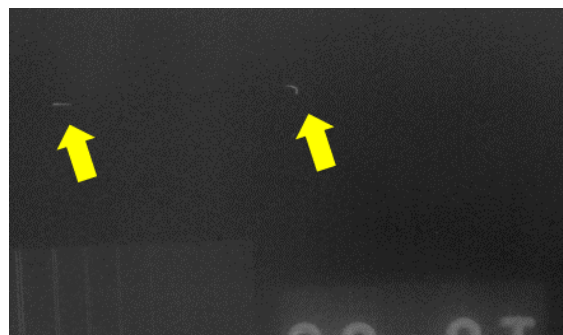


図 4-6 CR 画像上に生じた白点の例

4. 3 運用ルールに関する検証

4.3.1 D-RT を適用する場合の JIS Z 3110 における像質区分について

現状、タンク側板溶接部検査においては、F-RT では JIS Z 3104 に規定される A 級の像質要求値を満たすこととされている。

JIS Z 3110 では像質区分の選択は契約当事者間の合意事項とされているが、4. 1 から 4. 2 で記載した確認検証試験の結果を踏まえると、D-RT を適用する場合の像質は少なくともクラス A を確保すべきである。

4.3.2 複線形像質計の配置と像質確認の程度

JIS Z 3110 では、D-RT の像質評価を行うための計器類の一つである複線形像質計の配置及び像質確認の程度を契約当事者間の合意に委ねているが、複線形像質計が配置されなかった場合、像質の評価項目の一部を確認することができなくなる。

また、タンクの RT 撮影作業は現場撮影であることから、同じ側板板厚箇所を撮影する場合であっても、付属物や足場の位置関係などから全くの同一条件では撮影ができないケースも考えられ、その場合は撮影箇所毎に透過画像の像質の値が上下する可能性もある。

検証試験で得られた結果に加え、タンクでの撮影実態を踏まえると、撮影画像毎に複線形像質計を配置し、撮影画像毎に得られた像質を確認することが望ましい。

4. 4 その他の課題に対する検討

4.4.1 D-RT 作業従事者に求められる技能

JIS Z 3110 では作業従事者について、以下の 2 点を要件としている。

① JIS Z 2305 「非破壊試験技術者の資格及び認証」又は同等の規定に従って関連する工業分野における放射線透過試験の適切なレベルの資格を所持していること

② デジタル放射線透過試験における教育及び訓練を受けていること

現地試験では撮影媒体が FPD や IP となっても撮影作業自体に違いは見られなかった。一方で、D-RT の作業従事者には、撮影媒体の諸元や感度等の特性を考慮した撮影条件の決定、D-RT の特性を活かした透過画像の観察等の専門的な知識・技術も必要であることが分かったことから、作業従事者は JIS Z 3110 に規定される要件を満たしていることが望ましい。

①の要件については、対応しているものとして一般社団法人日本非破壊検査協会により行われている資格認証制度がある。現段階において、この資格認証制度は F-RT を前提とした制度であるが、認証機関の発行しているテキストには D-RT に関する内容が一部掲載されており、学科試験にも同内容が出題されている。将来的に D-RT も含めた認証が行われる可能性があるため、今後の JIS 改定の動向を注視する必要がある。

②の要件について、JIS では「教育及び訓練を受けていること」とあるのみで自社

によるものだけで足りるのか、第三者機関によるものが要件とされているのかが判然としない。しかしながら、客観的に専門的な教育・訓練を受けたことを示すためには、自社の行う教育・訓練のほか、第三者機関の実施する教育・訓練も受けていることが望ましいと考えられる。

なお、第三者機関の実施する D-RT 専門の教育・訓練について調査した結果、国内では 1 団体（一般社団法人日本溶接協会）のみが実施しているという結果であった。今後、産業分野における D-RT 活用事例の拡大に伴い教育・訓練の実施団体が増えると考えられる。

4.4.2 試験結果の記録について

JIS Z 3110 では、きず像の分類方法は契約当事者間の合意に委ねられていることから、試験の結果記録について明確な記録内容が規定されていない。

検証試験を通して D-RT は F-RT と同様に検査が可能であることが確認できたため、タンク側板溶接部検査では規則第 20 条の 7 第 2 項の合格基準に照らして合否判定が行われることとなる。このことから、試験結果の記録については、JIS Z 3110 本文 8 試験報告書に示される項目のほか、規則に基づくきず像の分類及び合否判定結果を記録する必要がある。

4.5 考察

本章では、確認検証試験を通して D-RT の像質及びきず検出性等が F-RT と同程度であることを確認し、JIS Z 3110 で契約当事者間の合意事項とされている内容について検証を行うとともに、その他の課題に対する検討を行った。

確認検証試験では、F-RT と D-RT で撮影した透過画像を用いて像質の比較確認、きず検出性等の比較確認を行い、総合的にみて D-RT は F-RT と同程度の像質を有していることが確認できた。

また、タンク側板溶接部検査に D-RT を適用した場合の運用ルール案について、4.3 及び 4.4 に示した。

タンク側板溶接部検査に D-RT を適用した場合、本検討で示した運用ルール案を踏まえ、JIS Z 3110 に準拠した撮影が実施され、透過画像で必要な像質が確保されれば、従来の F-RT と同程度の水準で検査が実施可能と考えられる。

第5章 屋外貯蔵タンクに適用可能な新技術による 点検方法等の調査

第5章 屋外貯蔵タンクに適用可能な新技術による点検方法等の調査

本章では、デジタルデータによるアウトプットが可能な新技術のうち、屋外貯蔵タンク及びその附帯設備に適用可能な点検手法に関する調査結果を記載する。

5. 1 点検検査技術の調査結果

デジタルデータによるアウトプットが可能で、かつ屋外貯蔵タンク及びその附帯設備に適用が可能と考えられる点検手法の調査結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 新技術による点検手法一覧

No.	手法	適用部位	活用目的
1	渦電流探傷試験	屋外貯蔵タンク (底部溶接部)	タンク底部溶接部の点検・検査
2	磁粉探傷試験の自動化 及びデジタル画像化技術	屋外貯蔵タンク (底部溶接部)	タンク底部溶接部の点検・検査
3	交流電磁場測定法	屋外貯蔵タンク (底部溶接部)	タンク底部溶接部の点検・検査
4	デジタル放射線透過試験	附帯配管	配管腐食点検
5	渦電流探傷試験	附帯配管	配管腐食点検
6	漏洩磁束探傷試験	附帯配管	配管腐食点検
7	ガイド波超音波試験	附帯配管	配管腐食点検

No.1～3 がタンク底部溶接部に対する点検・検査技術、No.4～7 が配管腐食を検出することを目的とした点検技術である。なお、No.4 及びNo.7 については、『「製造所等の定期点検に関する指導指針の整備について」の一部改正及び点検実施上の留意事項』（平成 31 年 4 月 15 日付け消防危第 73 号）が発出され、配管の目視点検を補完するモニタリング技術、診断技術として例示された技術である。

屋外タンク貯蔵所に限らず、危険物施設の法定点検は依然として目視等のアナログ的な手法で行われることが多い。こうした手法はきめ細かな点検が可能である側面もある一方、点検作業自体や点検作業に附随する作業が大がかりとなるケースもある。

表 5-1 に掲載した点検、検査技術は、作業自体の効率化を目的に開発された技術や、従来行っていた防食塗装の剥離、復旧作業等点検作業に附随する作業が不要な技術であり、点検、検査の効率化を求める声に応えることのできる技術であると考えられる。

とりわけ特定屋外貯蔵タンクで定期開放した際に行われる底部溶接部に対する点検、検査に関しては、劣悪な環境の中、長時間に渡る点検作業が行われており、点検、検査作業の効率化に関するニーズは高いことから、以降は、抽出した点検手法のうち、No.1 渦電流探傷試験、No.2 磁粉探傷試験の自動化及びデジタル画像化技術について説明する。

5. 2 屋外貯蔵タンクを対象とした点検技術

5.2.1 渦電流探傷試験 (Eddy Current Testing)

渦電流探傷試験は、電磁誘導現象を用いた試験方法であり、金属などの導体に時間的に変化する磁界（磁場）を作用させると、導体表面付近に渦電流が誘導され、導体表面に割れなどの不連続部があった場合、渦電流の大きさと分布が変化することを利用してきずの検出を行う非破壊検査方法である。渦電流探傷試験の探傷原理を図 5-1 に示す。

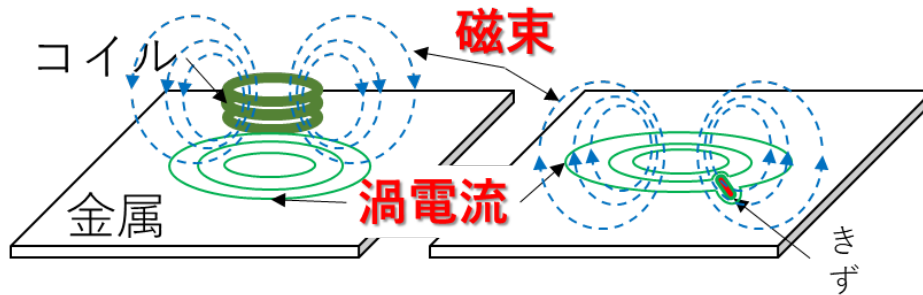


図 5-1 ECT 探傷原理

渦電流探傷試験（以下「ECT」という。）は、表面きず及び表面直下のきずが検出可能であり、その特性は規則第 20 条の 8 に規定される磁粉探傷試験と類似した試験方法であるが、特徴として以下の点が挙げられる。

【特徴】

- ・ 表面開口きず及び表面直下のきずが検出可能
- ・ コーティングを剥離することなく探傷することが可能
- ・ 磁粉探傷試験などと比べて探傷速度が速い
- ・ 探傷データはデジタルデータとして保存することが可能
- ・ 表面の形状によってはノイズが大きくなりきずとの区別がつきにくい

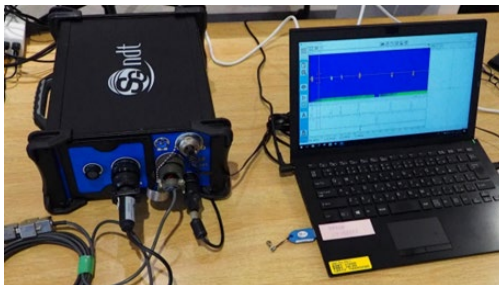


写真 5-1 ECT 探傷装置の一例

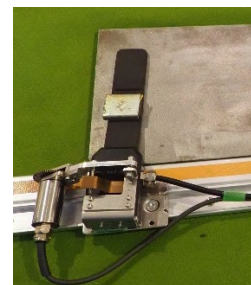


写真 5-2 ECT プローブの一例

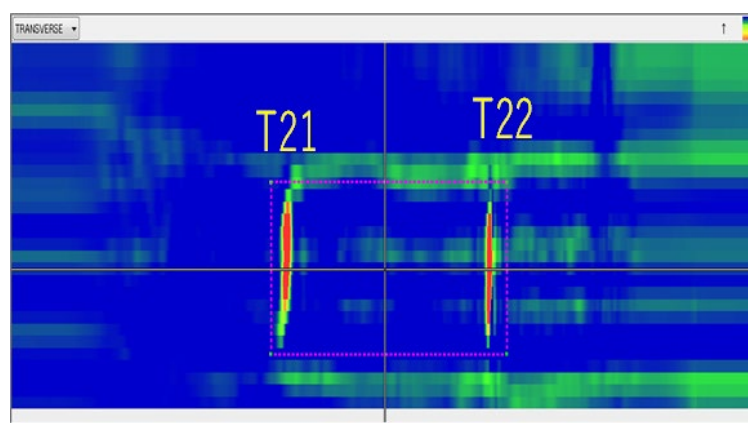


写真 5-3 ECT 探傷結果の表示例

コーティング上から溶接部検査が可能な技術としては、令和 4 年 9 月 2 日付け消防危第 195 号でフェーズドアレイ超音波探傷装置があるが、底部の溶接継手が突合せ溶接でなければならないなど適用範囲が限定的であった。

一方、ECT は、突合せ溶接に加えてすみ肉溶接への適用を目的としたプローブの開発が進んでおり、特定屋外貯蔵タンクの底部溶接部全体への適用可能性があることから、現在、危険物保安技術協会において検証が進められているところである。

将来的に ECT の適用性が認められ、特定屋外貯蔵タンクの底部溶接部の基準への適合性判定を行える試験方法として制度に組み入れられれば、内部開放点検等の大幅な作業効率化が期待できるほか、将来的には AI による自動判定も可能になると考えられる。

5.2.2 磁粉探傷試験の自動化及びデジタル画像化技術

磁粉探傷試験の自動化及びデジタル画像化技術（以下「MT 自動化・デジタル化装置」という。）は、探傷原理は従来の磁粉探傷試験と同じであるが、2 台の極間式磁化器を平行に配置し、同位相で同時に磁化することで広範囲に有効な磁界を発生させることができ、かつ 2 方向（溶接部に対して直行及び平行）の磁界の切り替えを電気的に行うことを可能とした装置となる。また、磁粉スプレー、排液用送風ノズル、紫外線照射灯、白色灯及びカメラを搭載することで、装置を一方向に移動させながら一連の動作を繰り返すことで自動探傷を可能とすることを目的として開発中の装置である。

MT 自動化・デジタル化装置に関する外観イメージ図を図 5-2 に、概略図を図 5-3 及び図 5-4 に示す。

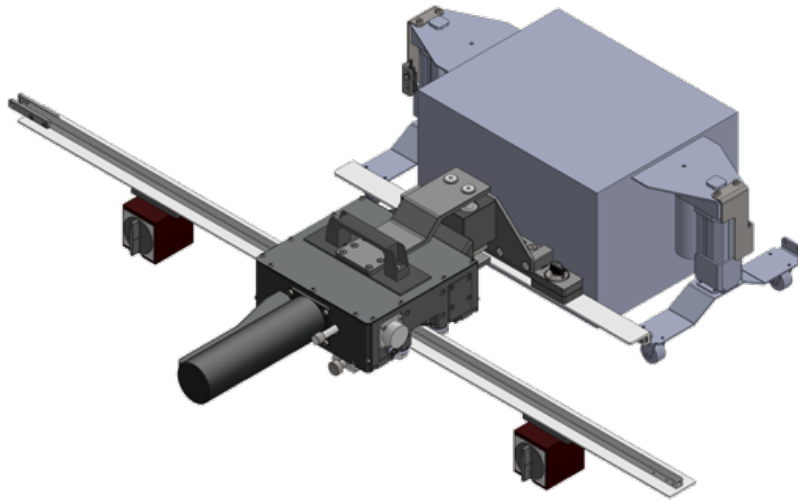


図 5-2 MT 自動・デジタル画像化装置の外観イメージ図

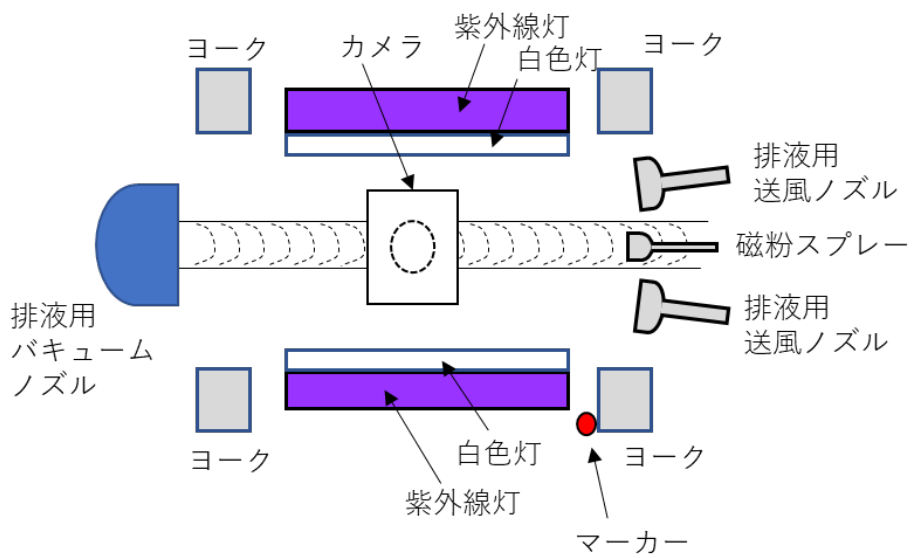


図 5-3 MT 自動・デジタル画像化装置の概略図（上面視）

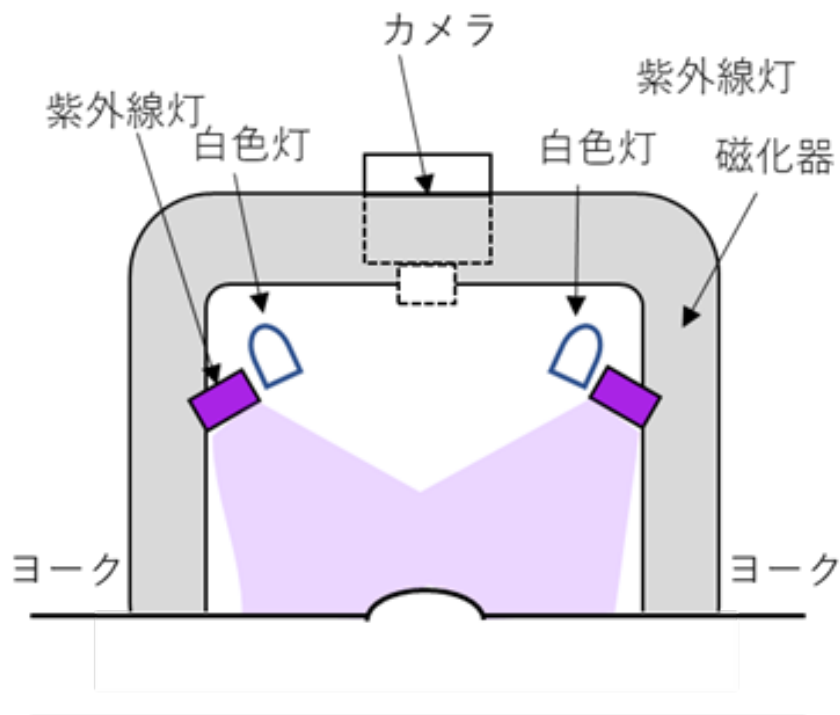


図 5-4 MT 自動化・デジタル画像化装置の概略図（断面視）

MT 自動化・デジタル画像化装置は以下の手順で探傷作業を行うことが想定されている。

【探傷手順】

1. 白色灯で試験面を撮影（目視）
2. 紫外線灯のみを点灯させ、動画を撮影
3. 縦割れ検出方向に磁化し、磁粉液を適用（磁化①、図 5-5 参照。）
4. 磁粉の適用が終わった時点で静止画を撮影・保存
5. 横割れ検出方向に磁化し、磁粉液を適用（磁化②、図 5-5 参照。）
6. 磁粉の適用が終わった時点で静止画を撮影・保存
7. 動画撮影を終了し、保存
8. 次の探傷範囲まで移動させ、探傷範囲部にマーキングする。

以降、1. ～8. までの繰り返し

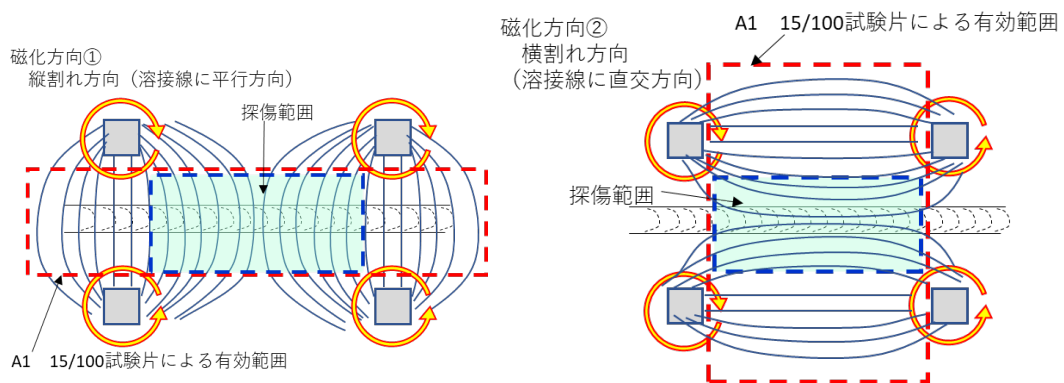


図 5-5 MT 自動化・デジタル画像化装置による磁化イメージ

MT 自動化・デジタル画像化装置は、従来の手動による磁粉探傷試験と比べて以下のような特徴がある。

【特徴】

- ・自動化により作業性が向上し、工数の削減が見込まれる。
- ・探傷者はモニターを見ながら判定できるが、保存された画像を用いてオフラインで判定を行うことも可能
- ・探傷データはデジタル画像にて保存されるため記録性が良い。

上記特徴に加えて、リモートによる試験の実施や AI を用いた自動判定も視野に入れて開発中の技術であり、将来的には、現行制度の枠組み内においても溶接部検査の効率化が見込める技術であると考えられる。

第6章 まとめ

第6章 まとめ

6. 1 まとめ

本調査検討においては、特定屋外貯蔵タンクの側板溶接部に適用される放射線透過試験に関し、2017年にJIS Z 3110として規格化されたD-RTと従来のJIS Z 3104を準拠して実施してきたF-RTとを比較するために、透過度計による像質、きず検出性等の2つの観点から確認検証試験を行い、いずれの確認項目においてもD-RTはF-RTと同程度のきずの検出性を有していることが確認できた。よって、D-RTを適用しても従来の検査水準を低下させることなくタンク側板溶接部検査を実施することが可能であると判断できる。

また、JIS Z 3110で契約当事者間の合意事項などとされている事項に関し、タンク側板溶接部検査にD-RTを適用した場合に運用ルールを設定することが望まれる事項について検討を行い、その案を示した。

6. 2 その他

(1) D-RTの運用ルールについて

運用ルール案は、いずれもJIS Z 3110において懸案事項とされている項目でもあり、今後のJIS改定の動向を注視していく必要がある。

(2) AIによる試験結果の判定に向けて

第2章から第4章で調査、検討したD-RT、第5章で調査したデジタルデータによるアウトプットが可能な技術は、いずれも将来的にはAIによる判定も可能と考えられる技術である。

今後、AIによる判定を行うためには、大量のデジタルデータを収集し、自動判定の結果と技術者による判定の結果を突き合わせていき、正答率を高めていくこととなる。

実際にデジタルデータが蓄積される段階となれば、多くのデジタルデータを収集、蓄積、活用する仕組み等を構築していかなければならないと考えられる。

参考資料 1 昭和 50 年 5 月 20 日付け消防予第 52 号
別添第 4 放射線透過試験の指針

昭和 50 年 5 月 20 日付け消防予第 52 号 別添第 4 放射線透過試験の指針

1 目的

この指針は、放射線透過試験により、屋外貯蔵タンクの側板の溶接部を試験する方法について定めたものである。

2 適用規格

この指針に基づいて試験するにあたっては、この指針によるほか、日本工業規格 Z 3104(1968)「鋼溶接部の放射線透過試験方法及び透過写真の等級分類方法」(以下「JIS Z 3104」という。)を適用する。

3 試験技術者

試験を実施する者は、日本非破壊検査協会が認定した放射線透過試験 2 級技術者以上の技量を有する者の責任において行ない、判定は、同試験 1 級技術者以上の技量を有する者が行なうものとする。

4 試験箇所

(1) 水平溶接継手

完全溶込みを必要とする水平溶接継手(底部に平行な溶接線をいう。以下同じ。)については、溶接全長の 2%の長さを実験抜き取り方法によって抜き取った箇所とする。

(2) 縦溶接継手

縦溶接継手(底部に直角な溶接をいう。以下同じ。)については、次の各号に掲げる側板の板の厚さ(以下「板厚」という。)の区分に応じ、次の各号に定める長さを実験抜き取り方法によって抜き取った箇所とする。

ただし、いずれの場合においても、試験箇所の中には、最下段のアニユラプレートに接近した部分を含めるものとする。

- ① 板厚が 25mm を超える場合、縦溶接継手の 30%の長さ
- ② 板厚が 10mm を超え 25mm 以下の場合、縦溶接継手の 20%の長さ
- ③ 板厚が 10mm 以下の場合、縦溶接継手の 10%の長さ

5 撮影方法指定

(1) 抜き取りによって試験する箇所の指定は、発注者又はその代行者の検査員又は立会員が、溶接終了後に指定するものとする。

(2) 撮影に使用するフィルムは、原則として、長さ 30cm の微粒子形フィルムとする。

6 合否判定基準

試験の結果、JIS Z 3104 に定める普通級の条件を満たしたフィルムについて判定を行ない、その 3 級以上を合格とする。

7 試験結果による措置

(1) 上記 6 により、不合格となった箇所が存在する場合は、その箇所の両隣の溶接部についても試験を行なうこと。その結果、当該箇所も不合格になった場合は、さらに隣接の箇所

についても試験を行なうものとする。この繰返しを3回行っても不合格が出た場合、その溶接部のロットは、全数試験を行なわなければならない。

- (2) 不合格の溶接部は、補修を行なった後、再試験を行なって異常のないことを確認しなければならない。

8 記録

試験結果については、JIS Z 3104の4の記録の項に従って記録し、保存しなければならない。

参考資料 2 JIS Z 3110 契約当事者間の合意事項
等に関する検討資料

JIS Z 3110 契約当事者間の合意事項等に関する検討資料

No.	箇条	内容	ルール検討の要否	理由	備考欄
1	5.1	クラスBに比べてよりよい撮影方法を適用する場合には、契約当事者間で全ての試験パラメータについて合意することが望ましい。	否	D-RT (クラスA) ≒ F-RT (A級)であることを確認することにより、最低像質区分をクラスAでの撮影をルールとするため。	
2	5.1	デジタル撮影技法の選択は、契約当事者間で合意しなければならない。	要	D-RT (クラスA) ≒ F-RT (A級)であることを確認することにより、溶接部検査において確保すべき最低像質区分をクラスAとする。(品質保証上の差異がないとされていることから、像質に大きな差異が出ることを想定していない。)	
3	5.1	クラスBにおいて、技術的な理由によって、放射線源の種類または線源-試験体間距離fのような指定された条件のうち一つを満たすことができない場合、クラスAで指定された条件に変更することに契約当事者間で合意してもよい	否	D-RT (クラスA) ≒ F-RT (A級)であることを確認することにより、最低像質区分をクラスAとするため。	
4	6.7	製品のデジタル撮影への複線形像質計 (JIA Z 2307) の使用は、必須ではない。製品のデジタル撮影において針金形透過度計に加えて複線形像質計を使用することは、契約当事者間の合意の一部であってよい。	要	室内・現地試験で取得したD-RT画像の像質値を分析するとともに、特定タンクのRT撮影作業の実態を踏まえ、複線形像質計の配置の頻度を決定する。	試験では全面像に複線形像質計を使用する。
5	6.7	類似した溶接継手及び撮影個所について、同じ撮影条件及び処理技術で、像質に差異が無い場合には、デジタル画像ごとに像質を確認する必要はない。像質の確認の程度は、契約当事者間の合意の対象とするのが望ましい。	要	室内・現地試験で取得したD-RT画像の像質値を分析するとともに、特定タンクのRT撮影作業の実態を踏まえ、像質確認の頻度を決定する。	現状、F-RTでは、全てのフィルムでA級の確認がなされている。
6	6.8	なお、金属材料の放射線の減弱が透過度計のそれと異なる場合には、IQI値の要求事項は、ISO 19232-4に従って契約当事者間の合意によるとしてもよい。	否	本規定は、検討テーマであるD-RTであるかどうかに関わらず生じうる内容であると考えられることから、今回の試験における検証事項としては取り扱わない。	消防法の特定タンクが炭素鋼以外の材質 (ステンレス鋼、アルミ合金) で建設される場合は、材質に応じて各JIS規格に準拠したRTが行われており、タンク材質と各JIS規格に規定される透過度計の針金材質で問題が生じたという事例を把握していない。将来的にこれまで使用されていない特殊鋼を用いてタンクが建設された場合は、個別ケースとして取り扱うべきと考える。(F-RTも同様)
7	6.8	¹⁹² Ir又は ⁷⁵ Seが使用される場合には、表B.1～表B.12及び表B.15～表B.18に記載されているものより低いIQI値は、契約当事者間の合意に基づき次によってもよい。 — (7項目)	否	線源にはX線が用いられることが一般的であり、γ線が用いられる場合の取り扱いについては、個別判断で構わないと考える。	配管が入り組んでいるなど、X線発生装置が入らない狭小箇所ではγ線源が用いられる。
8	7.1.1	(撮影配置は、通常、7.1.2～7.1.9が使用されるが) 溶接継手の幾何学的形状、材料厚の差異などの理由から、撮影配置について、契約当事者間で合意してもよい。	否	本検討における特定タンクの側板溶接継手は、側板の曲率加工等があるものの、平板状板の突合せ継手であることから、7.1.2 図1、7.1.3 図2又は7.1.5 図8以外の撮影配置は想定できない。	
9	7.2.2	(γ線源の使用可能な) 透過厚さは、契約当事者間の合意があれば、さらに ¹⁹² Irでは10mmまで、 ⁷⁵ Seでは5mmまで減らしてもよい。	否	線源にはX線が用いられることが一般的であり、γ線が用いられる場合の取り扱いについては、個別判断で構わないと考える。	配管が入り組んでいるなど、X線発生装置が入らない狭小箇所ではγ線源が用いられる。
10	7.3.2	(CP IIによる補償として) 特定の用途に対して要求されるきず検出感度が得られる場合、契約当事者間で合意されれば、補償を分離できない複線形像質計の線対が3ランクに対して、針金形透過度計の最小識別線形を3ランクまで改善することに拡張してよい。	否	検出器によってクラスAが確保できない場合であっても、JISに規定される像質補償がなされ、クラスA相当であることが確認できれば、検査実施に問題はないものと考えられる。 本規定にある【特定の用途に対して要求されるきず検出感度】については関連国際規格も含めて具体的な例が示されておらず、どのような用途を指しているかは不明であるが、特定タンクの溶接部検査においても検査実施主体である行政機関に対し、事業者又は検査会社からの合理的な説明がなされるのであれば、本合意がなされても問題はないものと考えられる。	

11	7.6	線源寸法dは、JIS Z 4615又は契約当事者間の協議に基づかなければならない	否	線源寸法dは画像の鮮鋭度に影響するなど、像質を確保するための撮影配置を決定する要因ではあるが、行政機関の検査においてはクラスAの像質が得られていることを確認できれば、法令上の合否判定に支障は生じないと考えられることから、本検討の対象には含めない。（事業者と検査会社の協議によって、クラスA以上の像質が得られる線源寸法dを決定すれば良い。）	
12	7.6 (懸)	線源が試験体内の中央に、検出器がその外にあり（7.1.4に示す技法）、透過度計の要求事項を満足していれば、20%を超えて短縮してもよい。しかし、この場合も50%を超えて f_{min} を短縮してはならない。透過度計の要求を満足していれば、契約当事者間の合意によって更なる短縮ができる。	否	本規定は、配管撮影の際の撮影配置に係る規定であるため。	
13	7.9.3 (懸)	きずの大きさが $SR_b^{画像}$ に近い検査にDDA又はIPを使用する場合には、要求される SNR_N を高めなければならない。検査は、契約当事者間の合意に基づいて実施しなければならない。	否	消防法令ではきずの大きさに関わらず「ないものであること」とされているきず種類（割れ、溶け込み不足、融合不足）もあるが、現状のF-RTではA級の像質を満足したフィルムで合否判定が行われる。（A級で検出できる大きさのきずを対象としていると言える。） このことから、クラスAの像質がA級と同程度であることが確認できれば、クラスA以上であること（JIS規定の最小 SNR_N が確保されていること）を以て、合否判定は可能と考える。	規格上、クラスAの SR_b 画像は、板厚4.5tで0.1mm、板厚45tで0.2mmとされている。
14	7.9.4.2 (懸)	原画像へ追加で適用した画像処理（例、画像表示改善のためのハイパスフィルタ）は記録を取り、再現性を確保して、契約当事者間で合意をしなければならない	否	画像処理の記録や再現性の確保が前提となっていることから、JIS規定どおり契約当事者間での合意がなされていれば、画像処理方法についてルールを設ける必要はないと考える。	
15	附属書C	補間された SR_b の値（図C.2参照）は、補間された SR_b の値（ iSR_b ）又は $iSR_b^{検出器}$ として記録される。この値の代わりに、契約当事者間の合意によって補間しない SR_b の値を使用してもよい。	否	本規定は $SR_b^{検出器}$ を出すために複線形像質計の線対間を補間しない場合の協議事項となっている。 $SR_b^{検出器}$ は、検出器固有の性能確認や当該検出器を用いた場合の撮影条件の決定に用いられる。 本検討では、D-RT（クラスA）≒F-RT（A級）であることを確認できた場合は、側板溶接継手（検査対象）の撮影結果がJISに基づくクラスA以上の像質要件（針金型透過度計のIQI値、 $SR_b^{画像}$ 、 SNR_N ）を満足していれば判定に支障が無いとする予定であり、 $SR_b^{検出器}$ の取り扱いについては、事業者と検査会社の協議事項のままで良いと考える。	
16	附属書JA	この規格とF-RT法の規格であるJIS Z 3104などと比較できる点は撮影技術に限られるが、D-RT法におけるきずの像の分類は、契約当事者間の協議によって、F-RT法の透過写真によるきずの像の分類方法を適用することは差し支えない。	否	D-RT（クラスA）≒F-RT（A級）であることを確認することにより、合否判定基準には現行規則第20条の7をそのまま適用することができる。（品質保証上の差異がないとされていることから、像質に大きな差異が出ること想定していない。）	

参考資料 3 D-RT 確認・検証試験計画

D-RT 確認検証試験計画

1 試験目的

特定屋外貯蔵タンクの側板に係る溶接部検査に JIS Z 3110:2017 (以下「JIS Z 3110」という。)に準拠した放射線透過試験 (以下「D-RT」という。)が適用可能であることを確認するとともに、JIS Z 3110 中、契約当事者間での協議事項とされている項目等のうち、実際の溶接部検査において統一的な方法で運用することが望まれる項目に関するルール設定を検討するためのデータ取りを行う。

2 確認及び検証事項

(1) 確認事項

従来の JIS Z 3104:1995 (以下「JIS Z 3104」という。)に準拠した放射線透過試験 (以下「F-RT」という。)との比較を行い、D-RT が遜色無く溶接部検査に適用可能であることを確認する。

(2) 検証事項

JIS Z 3110 で「契約当事者間の協議事項」とされている事項等のうち、合否判定に関わる事項として整理した項目 (別紙 1 参照。)について、撮影した D-RT 画像を用いて当該事項に関する分析、検証を行う。

3 試験の内容

(1) 試験

ア 室内試験

模擬きずを有する試験片 (以下「試験片①」という。)を用意し、室内で D-RT 及び F-RT を撮影し、確認及び検証を行う。

試験片①：鋼板、模擬きずを加工した金属リボン、模擬溶接ビード (表裏面) により構成される試験片 (別図 1)

なお、試験片①を用いた試験により、2 に示した確認及び検証は可能と考えられるが、実際の溶接金属に入れた各種溶接きずにおいても同様の結果が得られることを確認することを目的として、以下の試験片を別に用意して同様の試験を行う。

- ・試験片② (別図 2)：規則第 20 条の 7 に規定される割れ以外の溶接きずを入れた試験片
- ・試験片③ (別図 3)：割れきずを入れた試験片

イ 現地試験

実機タンクの側板溶接部を撮影し、室内試験と同様の結果が得られることの確認

を行うとともに、現場適用時における補足事項が無いかの確認を行う。なお、事例収集のため、2基のタンクについて試験を行う。

現地試験①

事業所：東北地方所在事業所

タンク：許可容量 約 110,000 kL、直径 約 82m、高さ 約 24m、
側板板厚範囲 12mm～36mm

予定時期：2023年10月中旬

現地試験②

事業所：関東地方所在事業所

タンク：許可容量 約 5,000kL、直径 約 21m、高さ 約 15m、
側板板厚範囲 6mm～13mm

予定時期：2023年10月下旬

(2) 撮影条件

ア 像質要件

撮影媒体ごとに各 JIS 規格に規定される像質要件を満足するよう撮影条件（管電圧、照射時間、撮影距離等）を決定する。

○D-RT：JIS Z 3110 に規定されるクラス A

※ CR 及び DDA 両方の画像を取得する。以下、「D-RT 画像」と記載する箇所は、特段の断りがない限り、両者を含むものとする。

○F-RT：JIS Z 3104 に規定される A 級

イ 使用機器

本試験で行う放射線透過試験では以下の機器を使用する。

※(ウ) DDA (D-RT) については、4種類の機器から一部の機器を選定して D-RT 画像を取得する。

(7) X線発生装置 (共通)

メーカー	機器名称、型番等	焦点寸法(単位:mm)	管電流	最大管電圧	適用範囲 (母材板厚)
トーレック(株)	A:RIX300-CP	3.0×3.0(EN12543)	3mA	300kVp	4.5~45mm
YXLON	B:SMART300HP(予備)	3.0×3.0(EN12543)	3mA	300kVp	4.5~45mm

(イ) フィルム (F-RT)

メーカー	機器名称、型番等	適用範囲 (母材板厚)	増感紙
Fuji	工業用X線フィルム #80	20mm 以下	Pb0.03(F&B)
Fuji	工業用X線フィルム #100	20mm を超える	Pb0.03(F&B)

(ウ) DDA (D-RT)

メーカー (代理店)	機器名称、型番等	検出器寸法 (有効範囲)	素子寸法 (分解能)	検出方式	シンチレーター
トーレック(株)	A:EXT2430	233×291	76 μm	間接方式	GOS(事前検証結果により Csl)
(株)リガク	A:EXT2430	233×291	76 μm	間接方式	GOS(GOS 固定)
ダイヤ電子応用(株)	B:DXR75P-HR	168×225	75 μm	間接方式	GOS
ポニー工業(株)	C:HPX-DR 2530	250×300	98 μm	間接方式	GOS

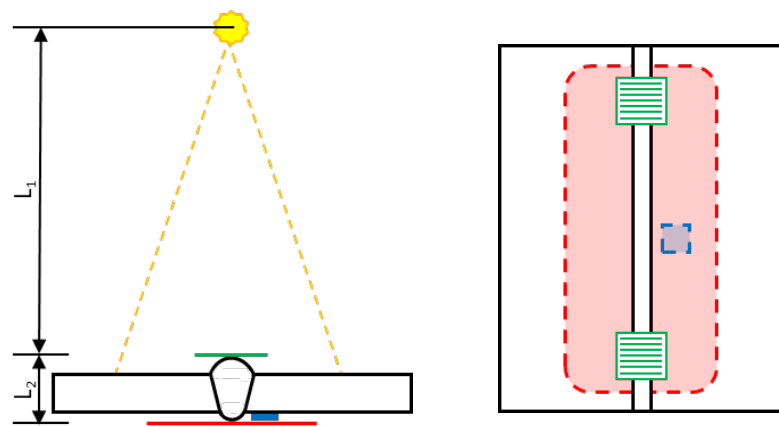
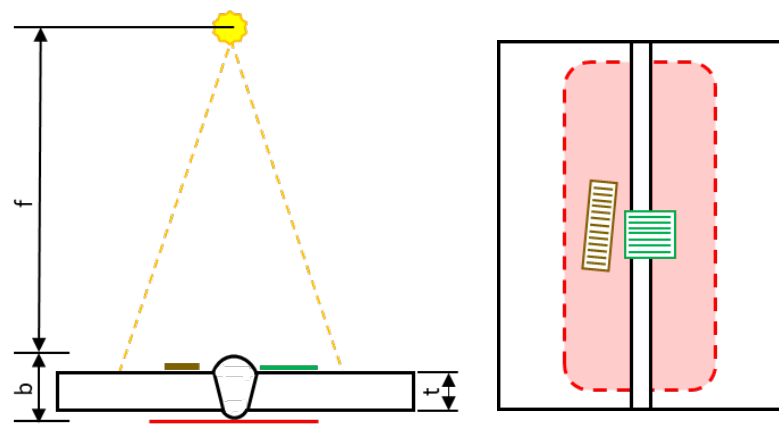
(I) CR (D-RT)

メーカー	機器名称、型番等	検出器寸法 (有効範囲)	処理(読取)装置	分解能	増感紙 (散乱線低減用)	適用範囲 (母材板厚)
Fuji	A:UR-1(高精細 IP)	240mm × 300mm	DYNAMIX HR ²	50 μm	必要に応じて使用	4.5~45mm
Fuji	B:ST-VI (標準 IP(予備品))	252mm × 303mm	DYNAMIX HR ²	100 μm	必要に応じて使用	20mm を超える

ウ 撮影配置

撮影配置は、JIS Z 3104 と JIS Z 3110 で異なる規定となっている。(表 1)

表 1 -使用計器と配置に係る JIS 規定

<p>F-RT (JIS Z 3104)</p>	 <p>○透過度計 (線源側の溶接線をまたいで、試験部の有効範囲の両端付近に最も細い線が位置するように配置)</p> <p>○階調計 (フィルム側 L3 の中央付近母材部)</p> <p>※附属書 1、2 より</p>
<p>D-RT (JIS Z 3110)</p>	 <p>○透過度計 (線源側の溶接線近傍の母材上で試験対象範囲の中心に密着させる。溶接線に針金がかかる場合は、針金長の少なくとも 10mm は母材部にかかるようにする。)</p> <p>○複線形像質計 (線源側母材部。画像の水平方向又は垂直方向に対し、数度傾けて配置)</p> <p>※箇条 6.7 より</p>

本試験では、F-RT と D-RT の比較確認を行うことから、両規格上で配置することとされている計器を網羅する形で配置する。(図1)

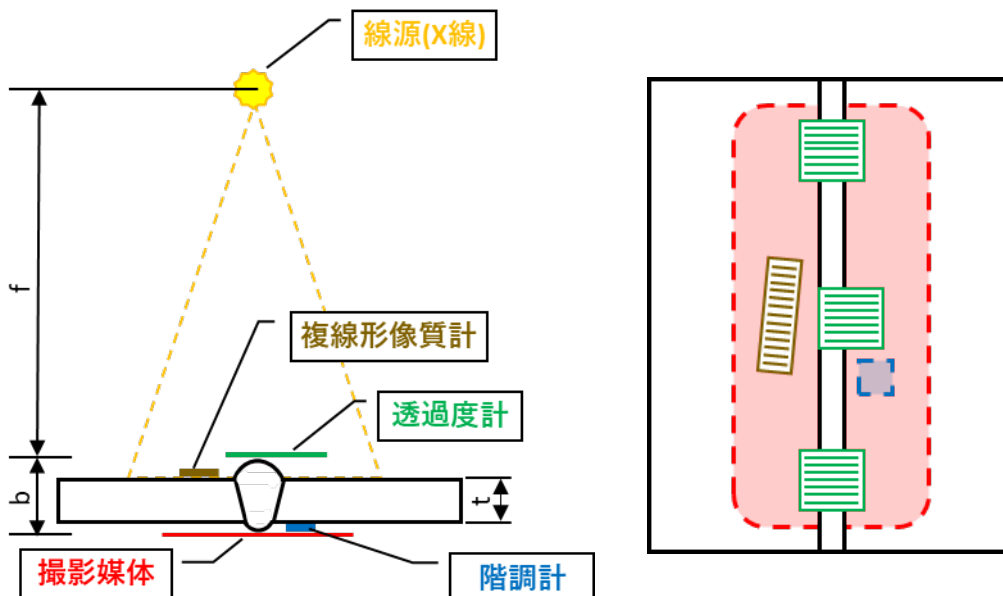


図1-本試験における撮影配置及び使用計器

(3) 確認事項

2(1)の確認事項は、撮影した D-RT 画像及び F-RT 写真がそれぞれアに示す像質要件を満足することを確認したうえで、以下の項目について記録し、両者を比較することで行うこととする。

ア 透過度計の識別最小線径

3箇所配置した透過度計の識別可能な最小線径を記録し、比較を行う。また、D-RT 画像が JIS Z 3104 に規定される識別最小線径を満足していることを確認する。

イ きず寸法等の比較

D-RT 画像及び F-RT 写真で検出したきずは、JIS Z 3104 附属書 4 に示されるきずの種類（第1種～第4種）で分類し、各きずの寸法（第1種のきずは寸法及び点数）を記録し、比較を行う。

※きずの解釈（きず種類の推定）までは行わないこととする。

(4) 検証事項

JIS Z 3110 において契約当事者間の協議事項とされている事項等の一覧は参考資料 2 のとおりとなる。参考資料 2 から、溶接部検査における運用上の統一ルールを設定することが望ましいと考えられる事項を以下のとおり抽出した。

- ① デジタル撮影技法（像質区分）の選択（5.1）
- ② 複線形像質計の扱い（6.7）
- ③ 透過画像ごとの像質の確認の程度（6.7）

①について

特定屋外貯蔵タンクの側板溶接部に係る溶接部検査でD-RTを適用した場合に確保すべき最低像質を決定する。

（内容）

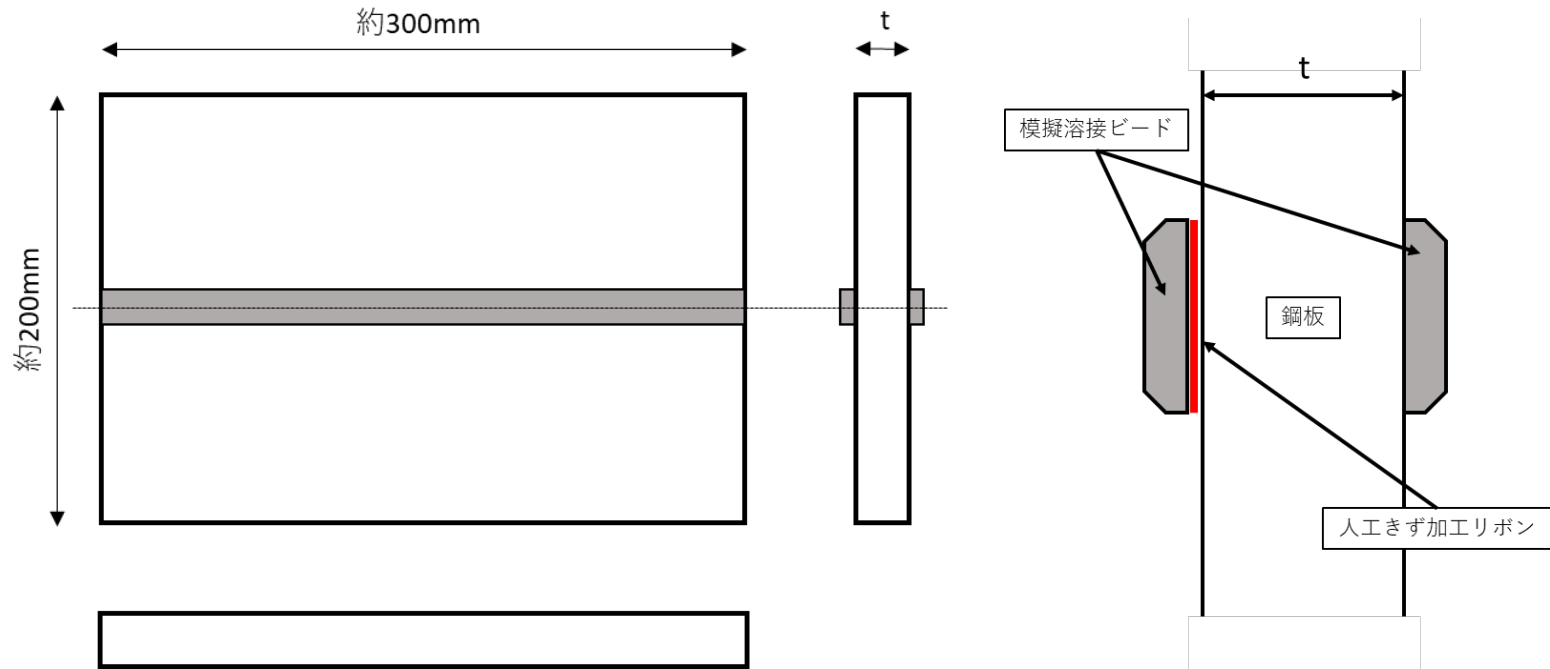
（3）確認事項における比較確認でD-RT（クラスA）⇔F-RT（A級）であることを確認

②及び③について

複線形像質計の配置や像質確認の頻度について

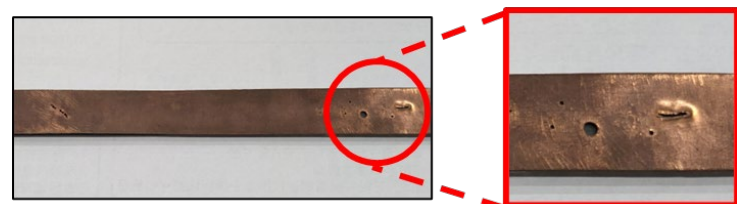
（内容）

室内・現地試験で取得したD-RT画像の像質値を分析するとともに、特定屋外貯蔵タンクのRT撮影作業の実態を踏まえ、複線形像質計の配置の頻度や像質確認の頻度を決定する。

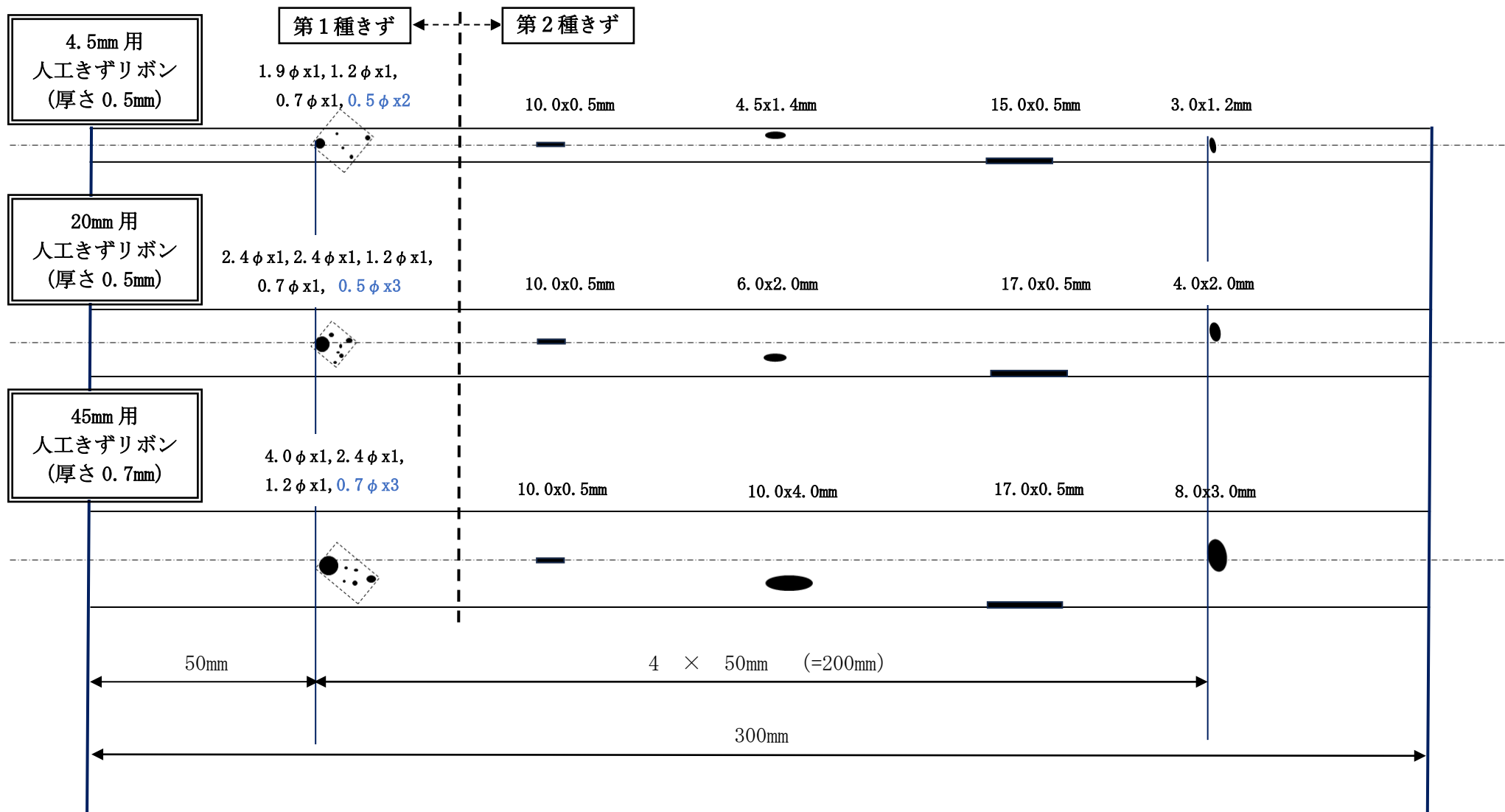


材質	SS400		
板厚	4.5 mm	20 mm	45 mm

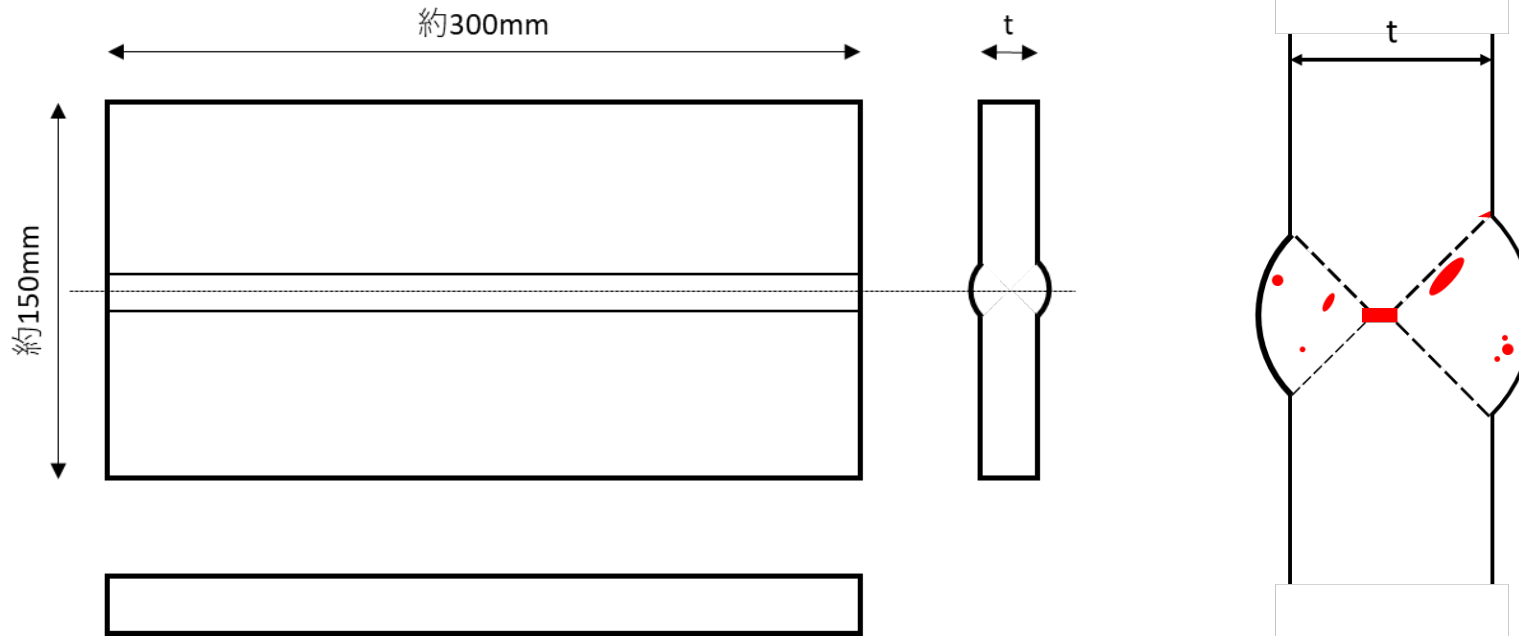
※人工きず加工リボンの例



別図 1 - 1 試験片① (模擬きずを用いた試験片)



別図 1-2 人工きず加工リボン きず加工図



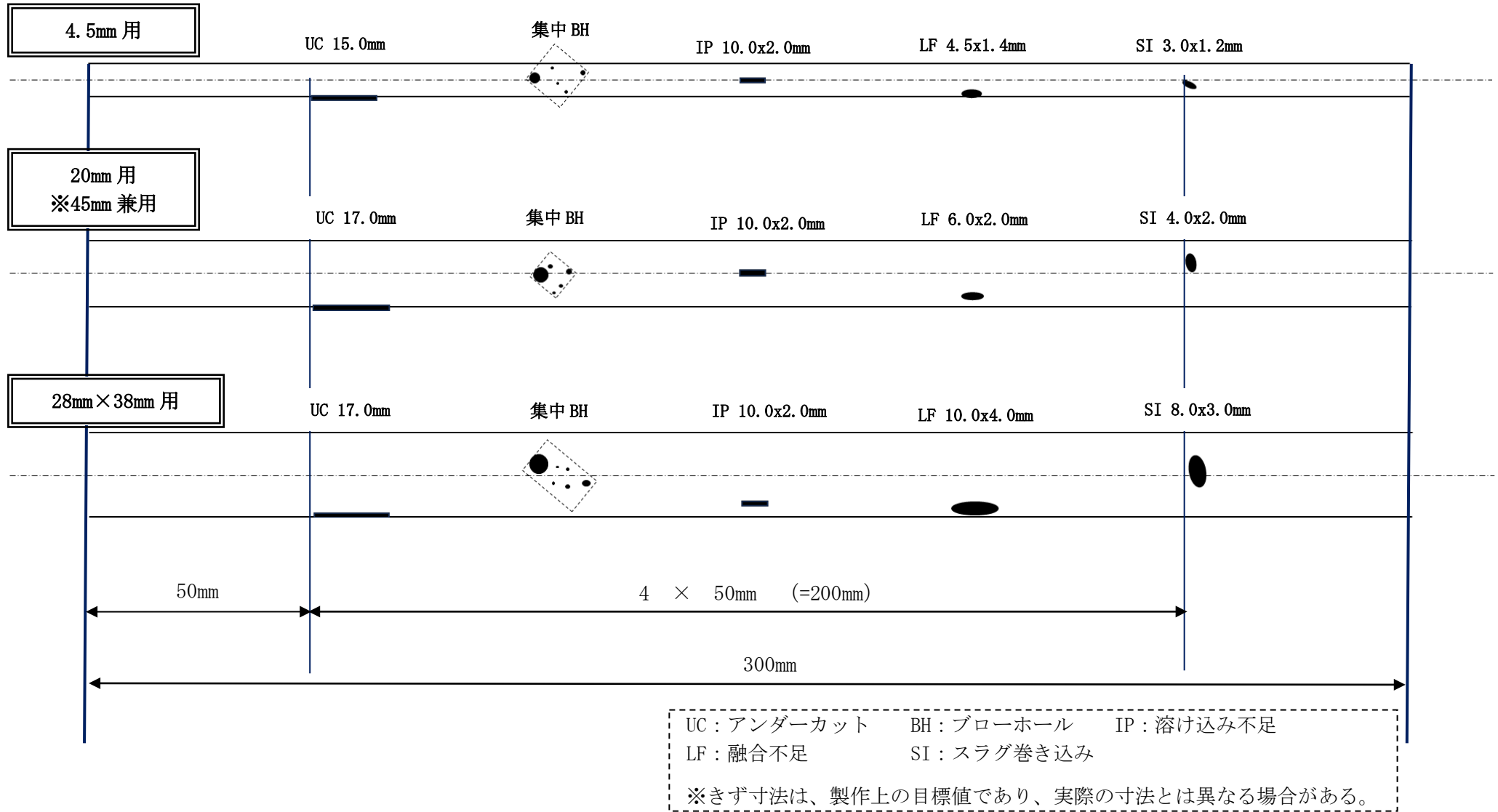
材質	SS400		
板厚	4.5 mm	20 mm 45mm (※1)	28 mm × 38mm (※2)
(開先加工)	(V 開先)	(X 開先)	(K 開先)

※1 20mm の試験片に 25mm の板厚補償鋼板を重ね、45mm の確認試験を実施する。

※2 板厚が異なる場合の継手（水平継手）を模擬

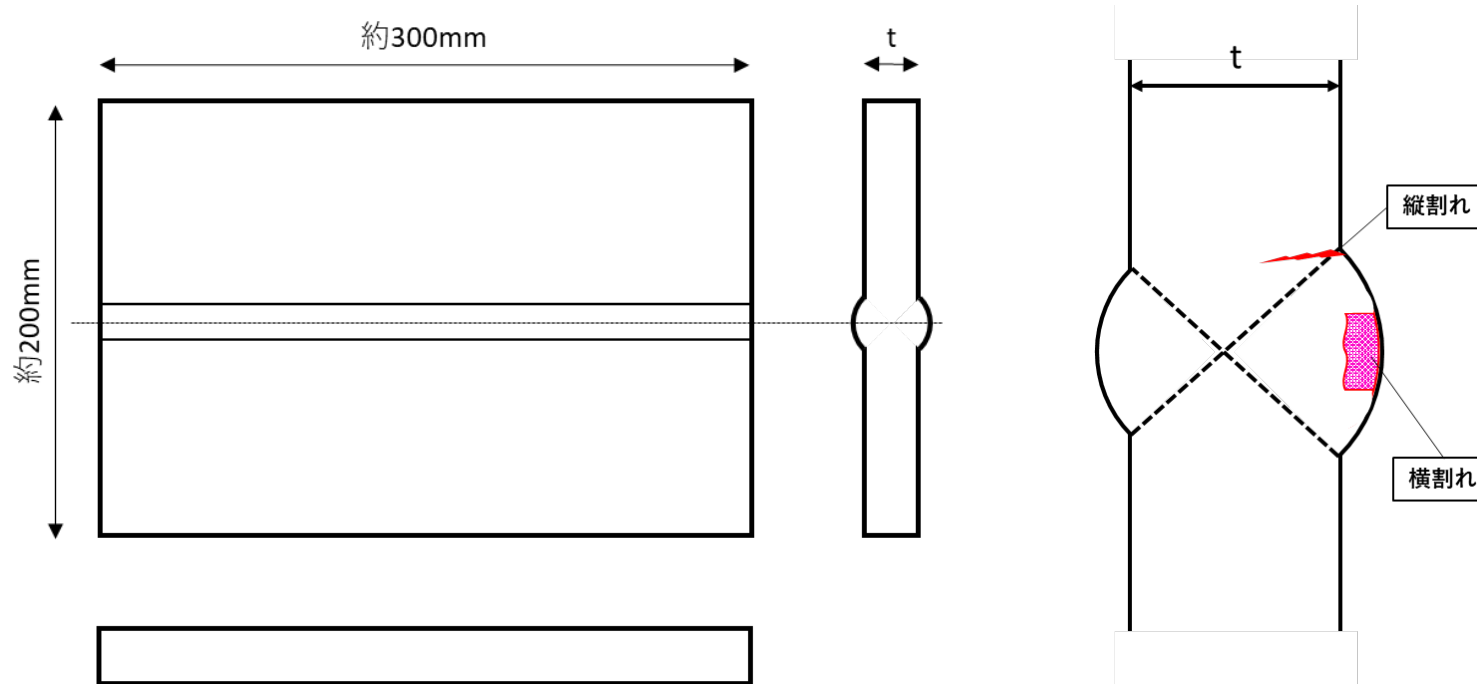
- 【割れ以外の溶接きず】
- ・ 溶け込み不足
 - ・ 融合不足
 - ・ ブローホール
 - ・ スラグ巻き込み
 - ・ アンダーカット

別図 2 - 1 試験片②（割れ以外の溶接きずを入れた試験片）



別図 2-2 試験片②におけるきず位置図

別図 3



材質	炭素鋼(SS400 相当)	
板厚	6 mm	20 mm 45 mm (※)

※ 20mm の試験片に 25mm の板厚補償鋼板を重ね、45mm の確認試験を実施する。

- ※ 割れきずについては、種類は縦割れと横割れを 1箇所ずつ、計 2箇所とし、きずサイズ等については、試験片製作メーカーカタログによる。
- 種類：縦割れ（溶接止端割れ）及び横割れ
 - 長さ：10～45mm（±3mm）の範囲内

別図 3 試験片③（割れきずを入れた試験片）

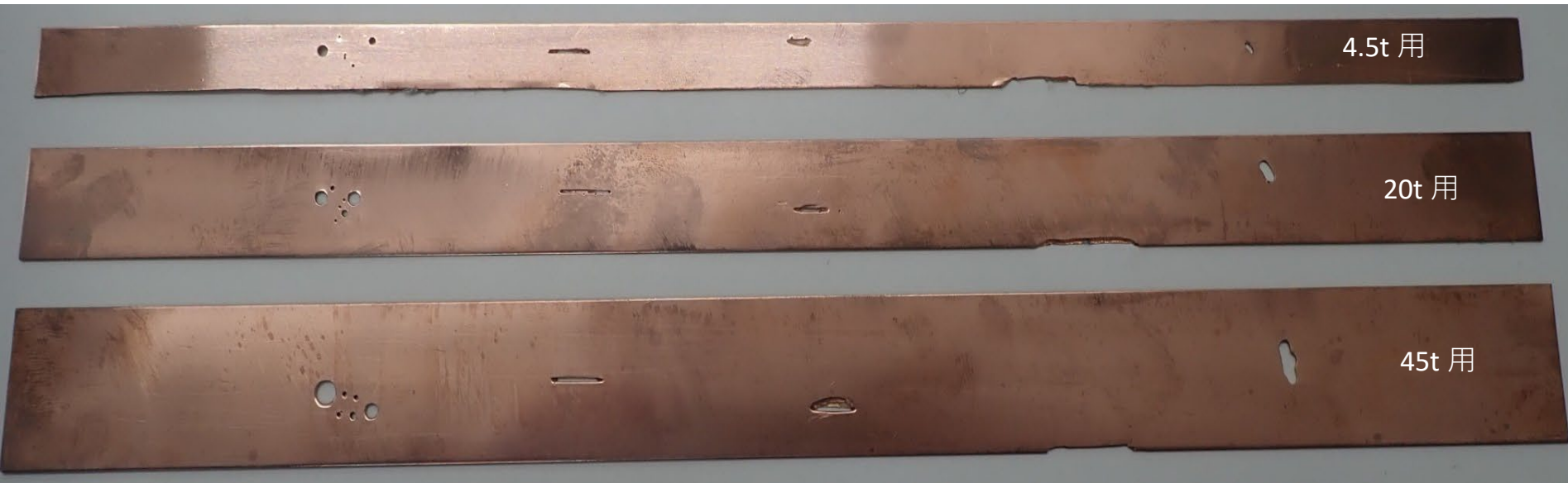
参考資料 4 室内試験データ集

室内試験データ集

- ※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、フィルムデジタイザによりデジタル画像化したものを掲載している。

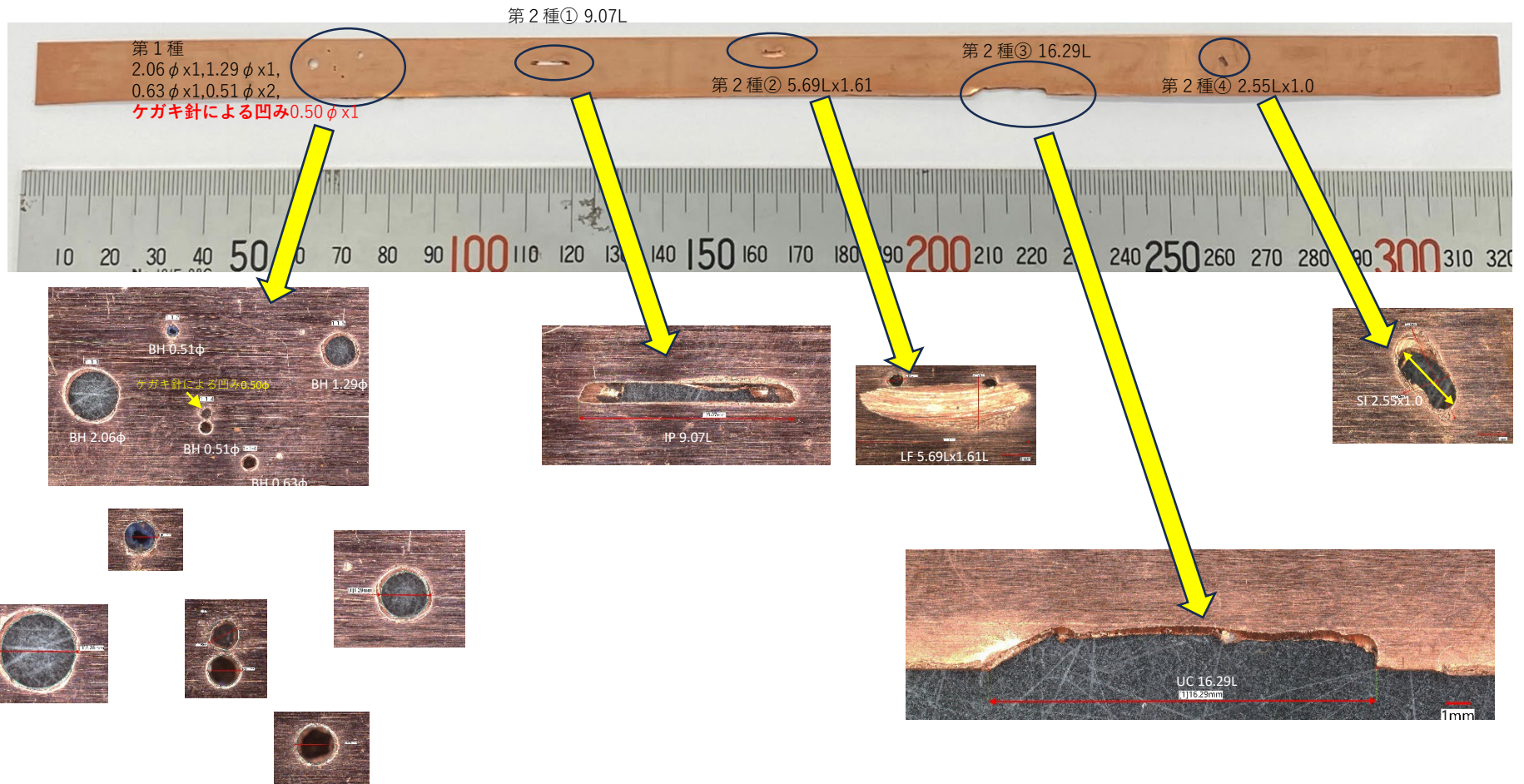
TP-1試験片人工きず きず寸法と投影寸法

試験片人工きず

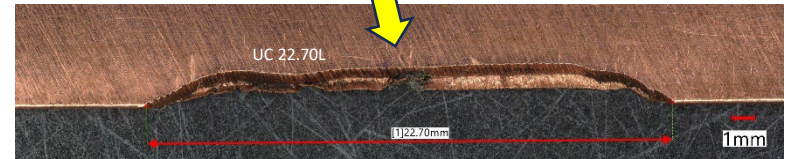
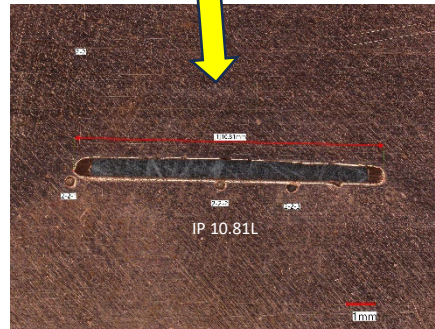
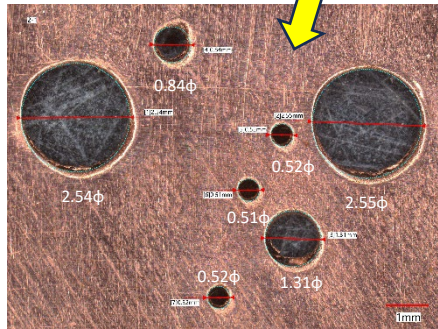
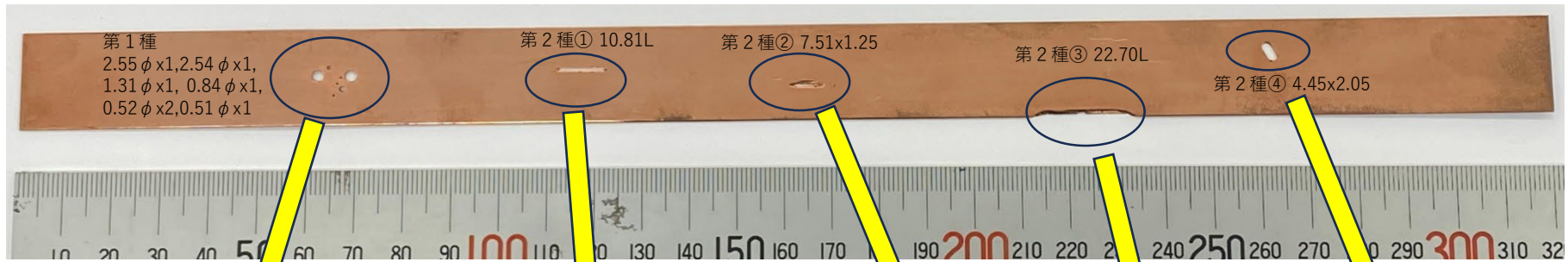


人工きず加工リボン
(平板及び模擬溶接ビードと組み合わせて試験片を構成)

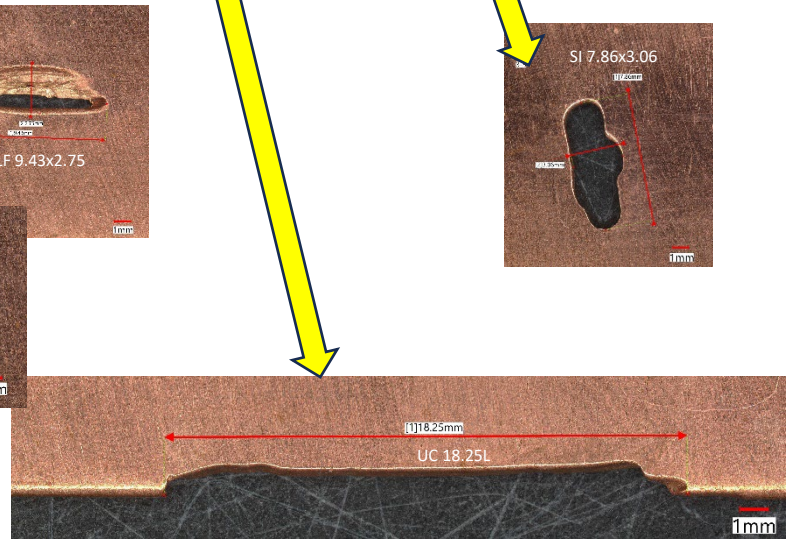
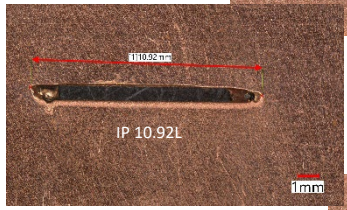
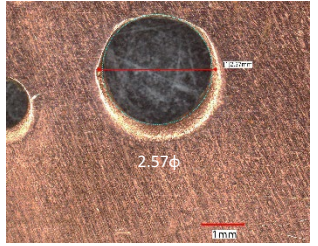
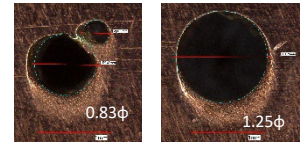
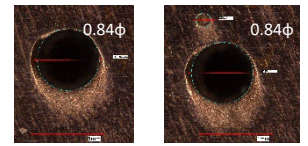
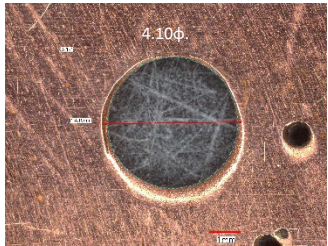
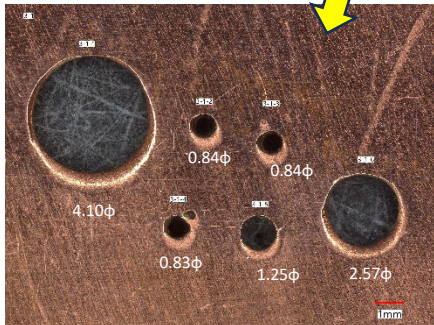
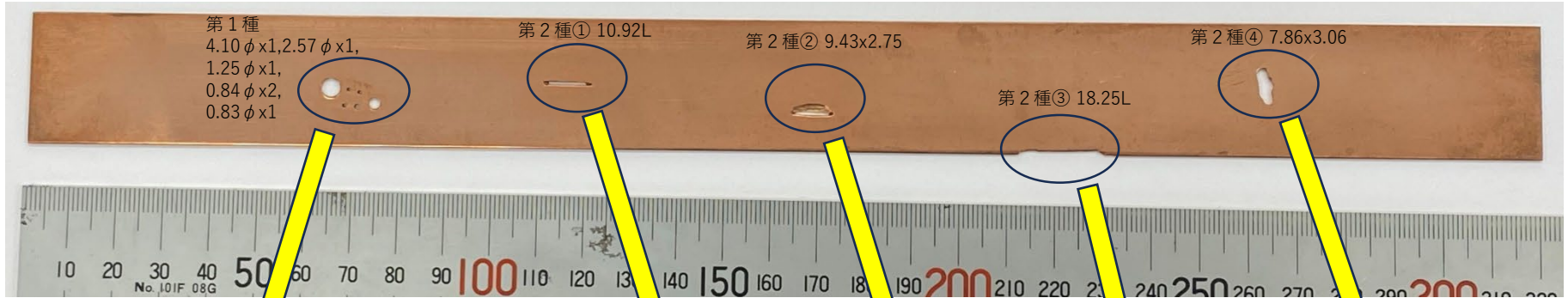
人工きず加工リボン (4.5t用) 加工きず寸法



人工きず加工リボン (20t用) 加工きず寸法



人工きず加工リボン (45t用) 加工きず寸法



室内試験の像質における規格要求事項の満足度

試験体 番号	板厚 (単位:mm)	透過度計(単位:mm)					複線形像質計			SNR _N 測定値 (規格要求値: ≥98)	
		識別可能線径			JIS Z 3110要求	JIS Z 3104要求	IQI値			CR	DDA
		CR	DDA	フィルム	識別最小線径	識別最小線径	CR	DDA	要求値		
TP-1	4.5	0.125以下	0.125以下	0.16以下	0.125	0.16	D12	D12	≥D10	203	239
	20	0.32以下	0.32以下	0.40以下	0.32	0.40	D11	D11	≥D8	176	201
	45	0.63以下	0.63以下	0.80以下	0.63	0.80	D9	D10	≥D7	112	183
TP-2	4.5	0.125以下	0.125以下	0.16以下	0.125	0.16	D12	D12	≥D10	216	334
	20	0.32以下	0.32以下	0.40以下	0.32	0.40	D12	D11	≥D8	219	172
	28x38	0.40以下	0.40以下	0.50以下	0.40	0.50	D10	D10	≥D7	124	132
	45	0.63以下	0.63以下	0.80以下	0.63	0.80	D9	D10	≥D7	118	166
TP-3	6	0.16以下	0.16以下	0.16以下	0.16	0.16	D12	D12	≥D9	181	164
	20	0.32以下	0.32以下	0.40以下	0.32	0.40	D11	D11	≥D8	175	220
	45	0.63以下	0.63以下	0.80以下	0.63	0.80	D9	D9	≥D7	110	171

JIS Z 3110で要求される透過度計の識別、SR_b画像、正規化されたSNRIはCRおよびDDAで全数適合
(フィルムについては、JIS Z 3104)

TP-1 人工きず 実寸法及び透過写真による測定寸法 (1 / 3)

表- TP-1 (4.5 t)

単位：mm

	第1種						第2種			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	①	②	③	④
実寸	2.06	1.29	0.63	0.51	0.51	-	9.07 <small>(両端に円弧状残あり)</small>	5.69 <small>(断面円弧状)</small>	16.29	2.55
拡大率を考慮した投影寸法 (FFD715.5 L1:700,L2:11.5) 1.022	2.10	1.32	0.64	0.52	0.52	-	9.27	5.82	16.6	2.61
F-RT ※下段：点数 (第1種のみ)	2.2 3	1.2 2	0.6 1	0.5 -	0.5 -	-	8.5	4.5	17.3	2.5
D-RT(DDA) ※下段：点数 (第1種のみ)	2.2 3	1.2 2	0.7 1	0.5 -	0.5 -	-	8.3	4.6	17.3	2.6
D-RT(CR) ※下段：点数 (第1種のみ)	2.2 3	1.3 2	0.6 1	0.5 -	0.5 -	-	8.5	4.7	17.3	2.4

TP-1 人工きず 実寸法及び透過写真による測定寸法 (2 / 3)

表- TP-1 (20 t)

単位：mm

	第1種							第2種			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	①	③	②	④
実寸	2.55	2.54	1.31	0.84	0.52	0.52	0.51	10.81 <small>(両端に円弧状残あり)</small>	7.51 <small>(両端に円弧状残あり)</small>	22.70	4.45
拡大率を考慮した投影寸法 (FFD731 L1:700,L2:31) 1.04	2.65	2.64	1.36	0.87	0.54	0.54	0.53	11.24	7.81	23.61	4.63
F-RT ※下段：点数 (第1種のみ)	2.7 3	2.6 3	1.2 2	0.7 1	0.6 1	0.6 1	0.6 1	11.0	7.0	22.0	4.9
D-RT(DDA) ※下段：点数 (第1種のみ)	2.6 3	2.7 3	1.4 2	0.8 1	0.6 1	0.8 1	0.7 1	10.6	7.1	22.0	4.9
D-RT(CR) ※下段：点数 (第1種のみ)	2.6 3	2.6 3	1.2 2	0.9 1	0.6 1	0.6 1	0.7 1	10.5	7.5	22.0	4.7

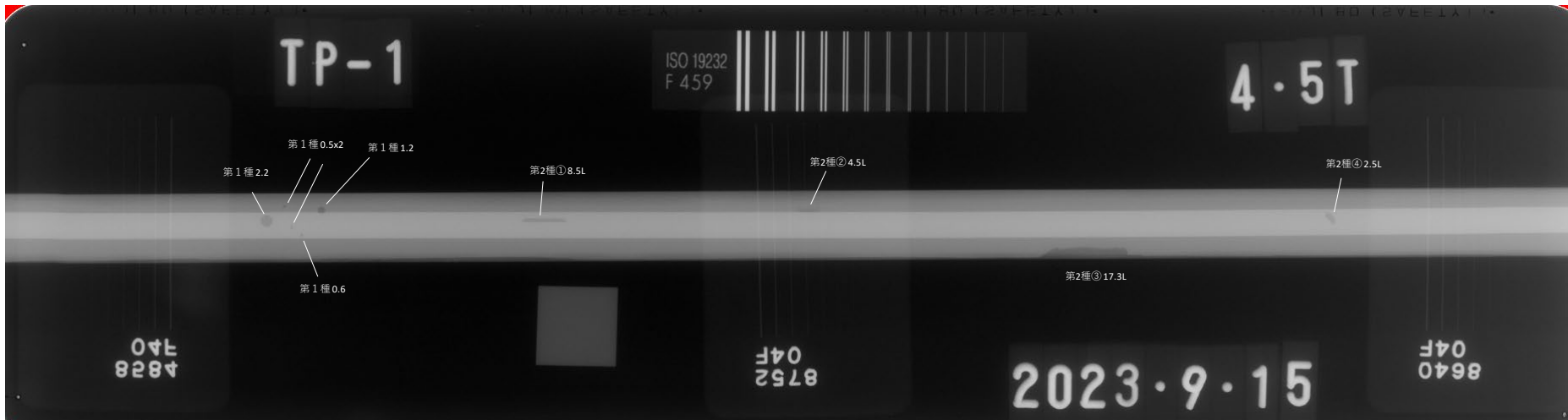
TP-1 人工きず 実寸法及び透過写真による測定寸法 (3 / 3)

表- TP-1 (45 t)

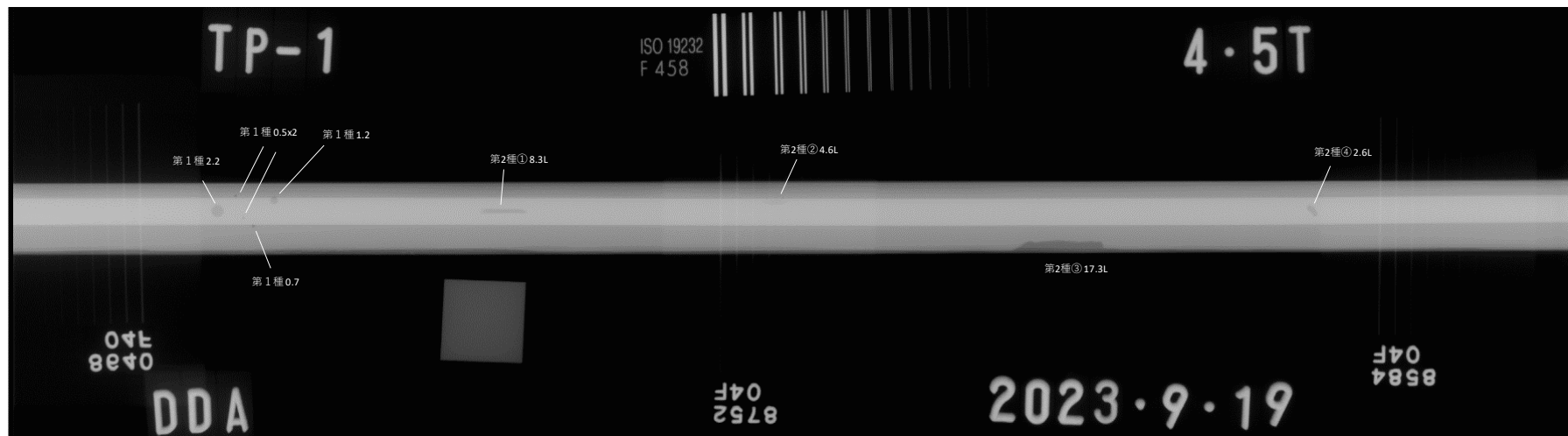
単位：mm

	第1種						第2種			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	①	③	②	④
実寸	4.10	2.57	1.25	0.84	0.84	0.83	10.92 <small>(両端に円弧状残あり)</small>	9.43 <small>(両端に円弧状残あり)</small>	18.25	7.86
拡大率を考慮した投影寸法 (FFD756 L1:700,L2:56) 1.08	4.43	2.78	1.35	0.91	0.91	0.90	11.79	10.18	19.71	8.49
F-RT ※下段：点数 (第1種のみ)	4.2 10	2.7 3	1.5 2	0.8 1	0.8 1	0.8 1	11.5	9.0	20.0	8.5
D-RT(DDA) ※下段：点数 (第1種のみ)	4.6 10	3.0 6	1.4 2	0.9 1	1.0 2	0.9 1	11.5	10.0	19.0	8.5
D-RT(CR) ※下段：点数 (第1種のみ)	4.6 10	2.9 3	1.5 2	0.9 1	0.9 1	0.9 1	11.5	10.0	19.2	8.5

きず投影状況の比較写真 (TP-1 4.5t)

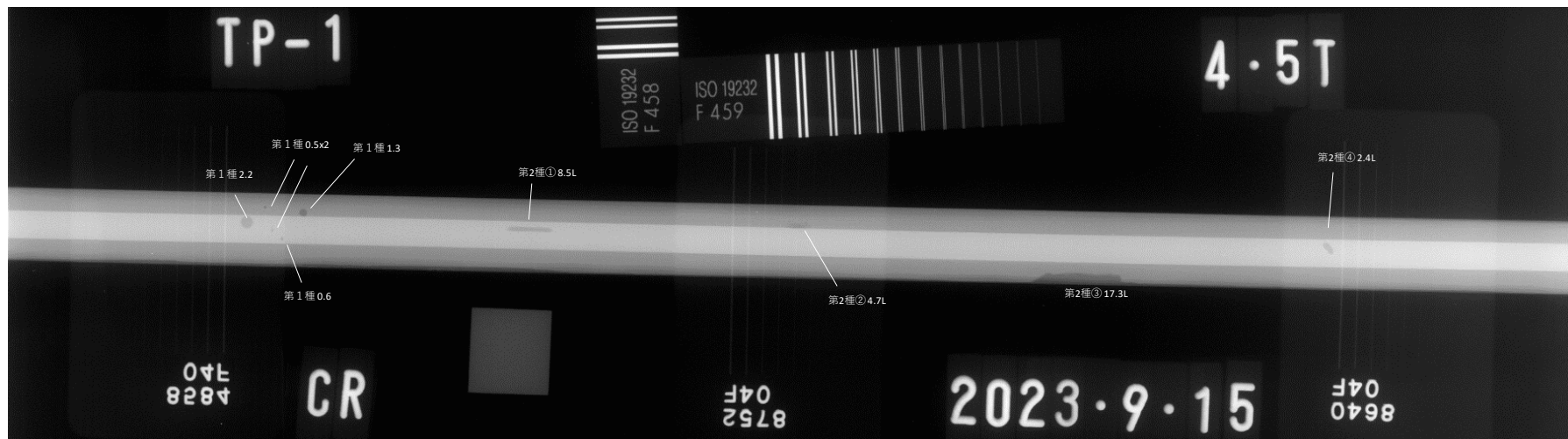


TP-1 板厚 4.5mm リボン試験片 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

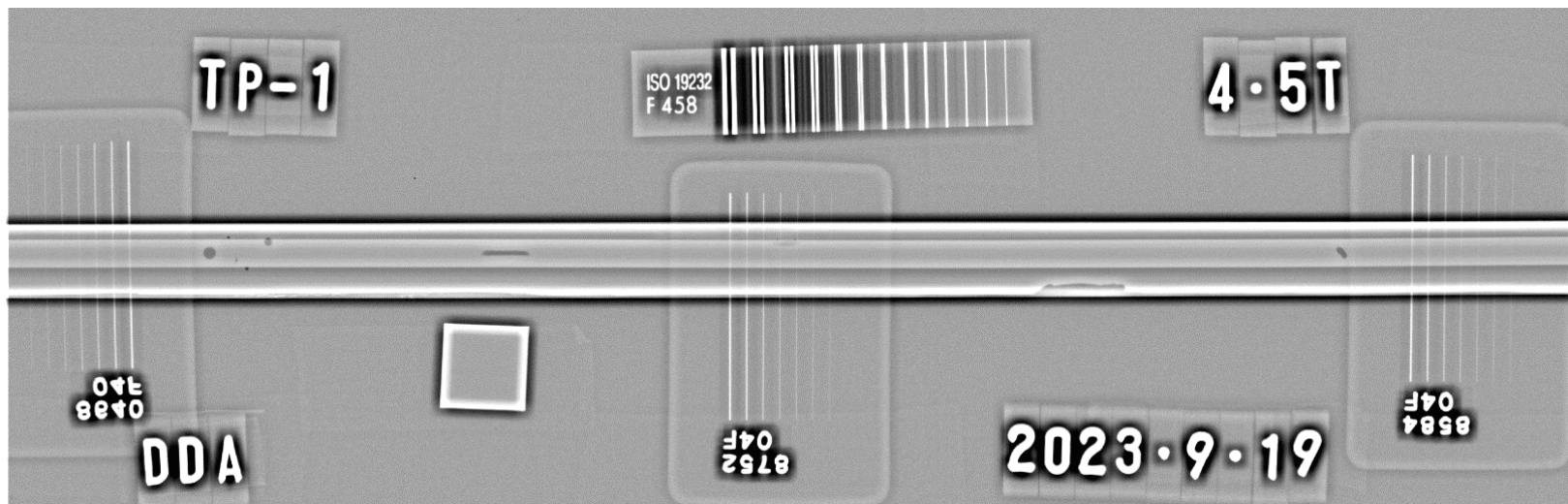


TP-1 板厚4.5mm リボン試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-1 4.5t)

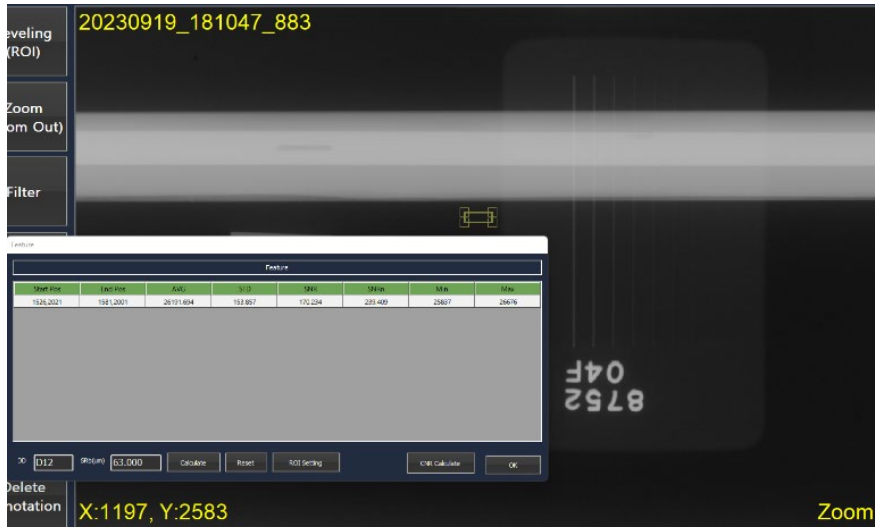


TP-1 板厚4.5mm リボン試験片 D-RT (CR [IP])

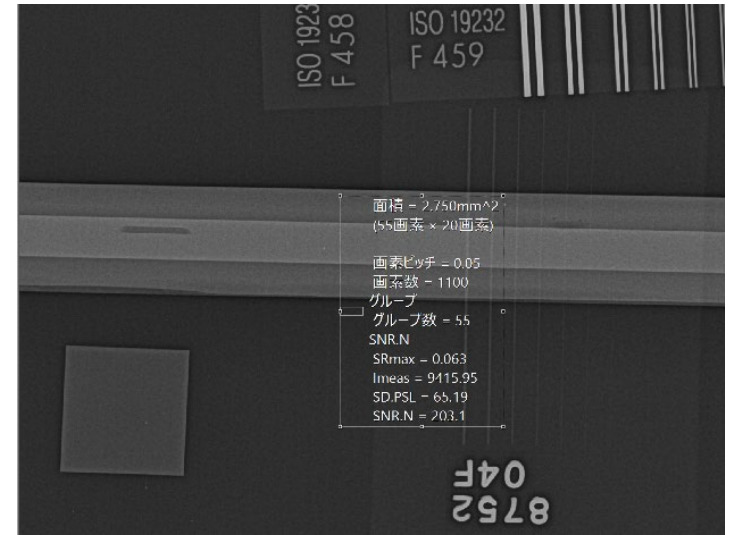


(参考) TP-1 板厚4.5mm リボン試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

DDAとCRにおける像質確認 (TP-1 4.5t)



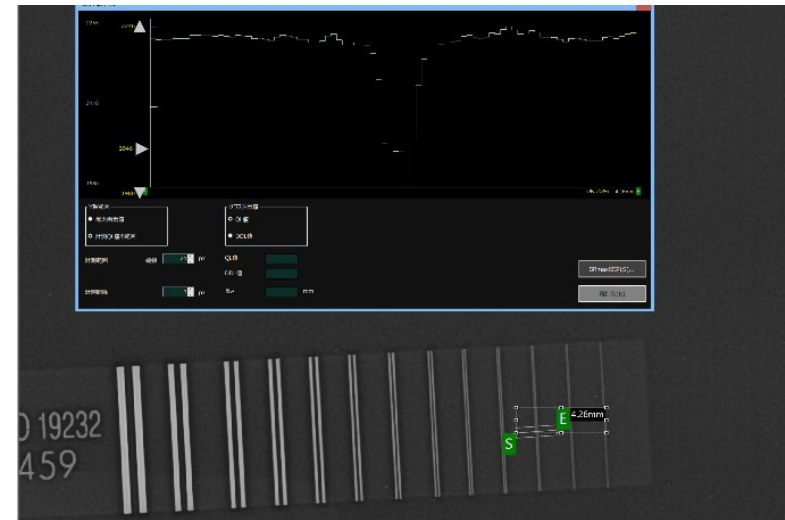
TP-1 板厚4.5mm D-RT (DDA) SNR_N測定



TP-1 板厚4.5mm D-RT (CR) SNR_N測定

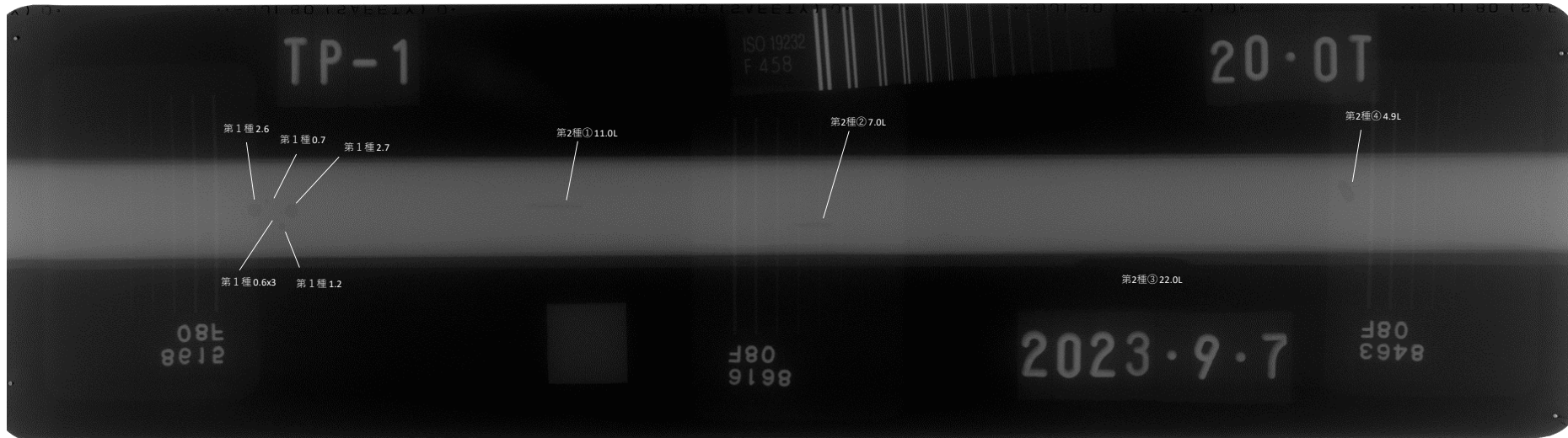


TP-1 板厚4.5mm D-RT (DDA) 複線形像質計

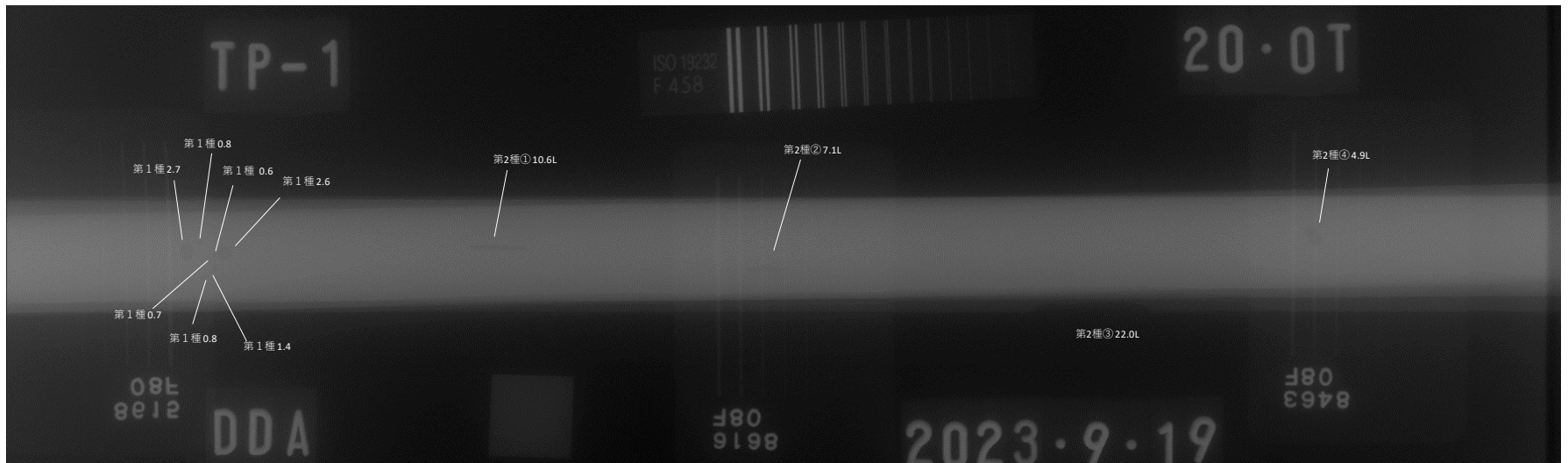


TP-1 板厚4.5mm D-RT (CR) 複線形像質計

きず投影状況の比較写真 (TP-1 20t)

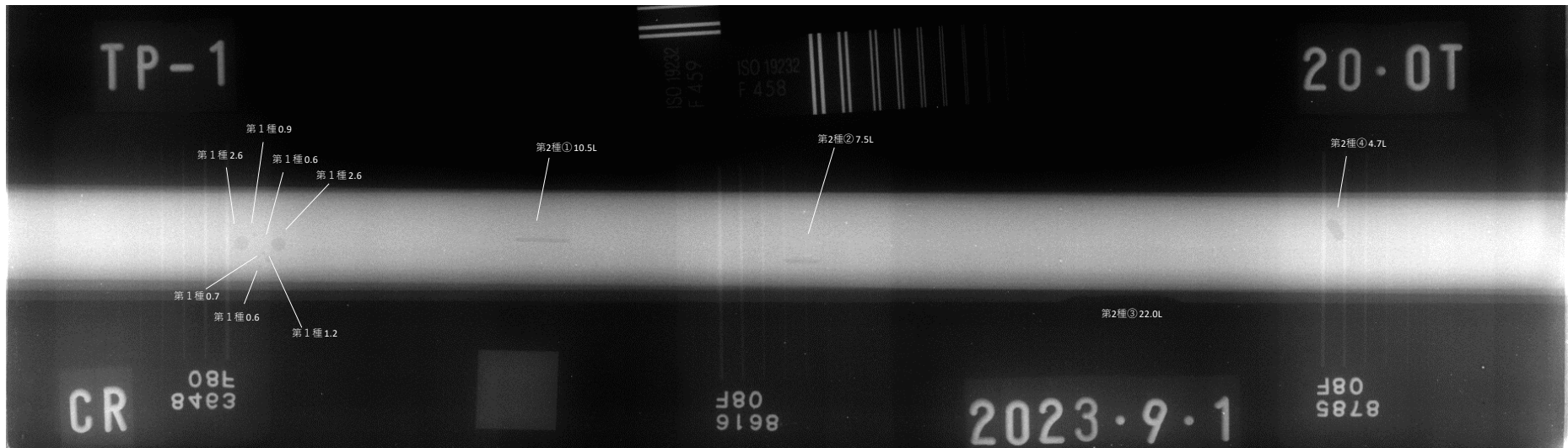


TP-1 板厚 20mm リボン試験片 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

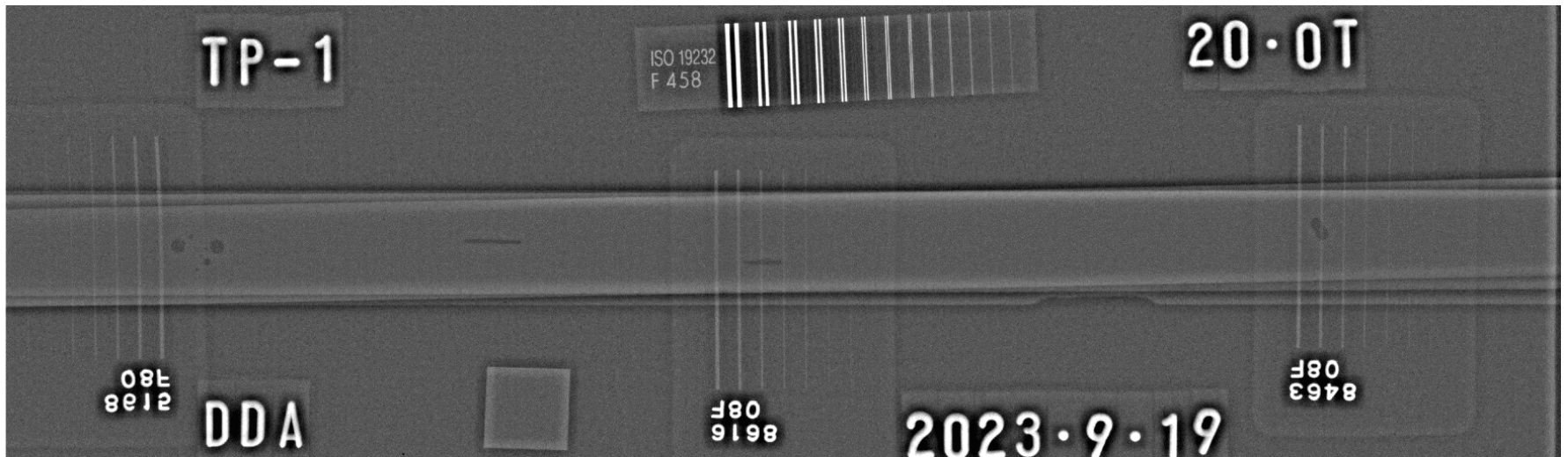


TP-1 板厚 20mm リボン試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-1 20t)

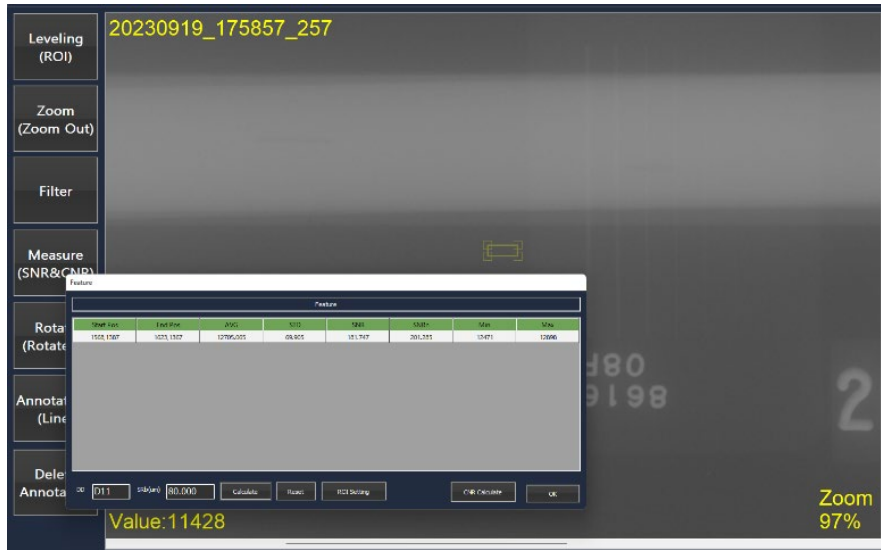


TP-1 板厚 20mm リボン試験片 D-RT (CR [IP])



(参考) TP-1 板厚20mm リボン試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

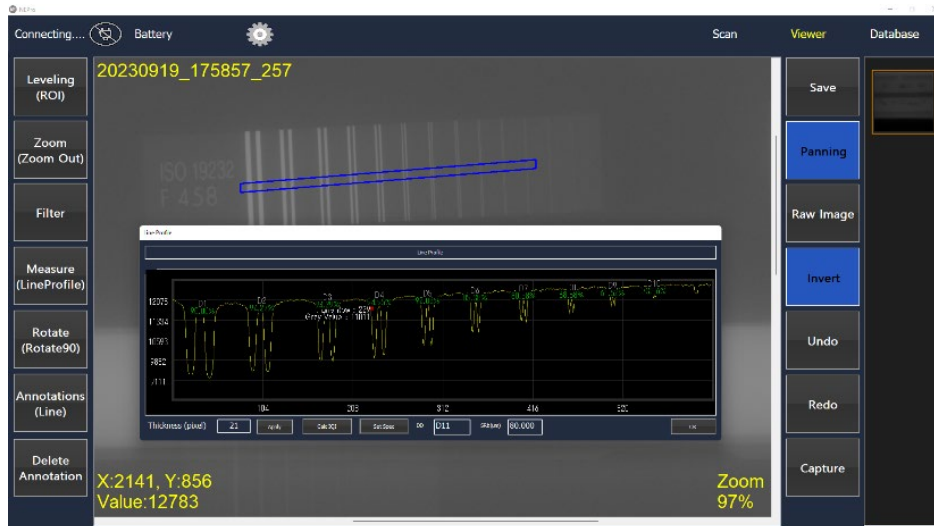
DDAとCRにおける像質確認 (TP-1 20t)



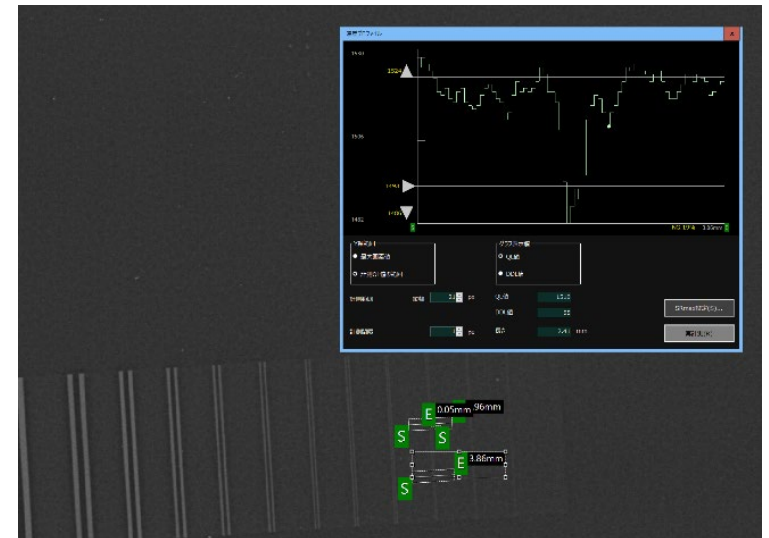
TP-1 板厚20mm D-RT (DDA) SNR_N測定



TP-1 板厚20mm D-RT (CR) SNR_N測定

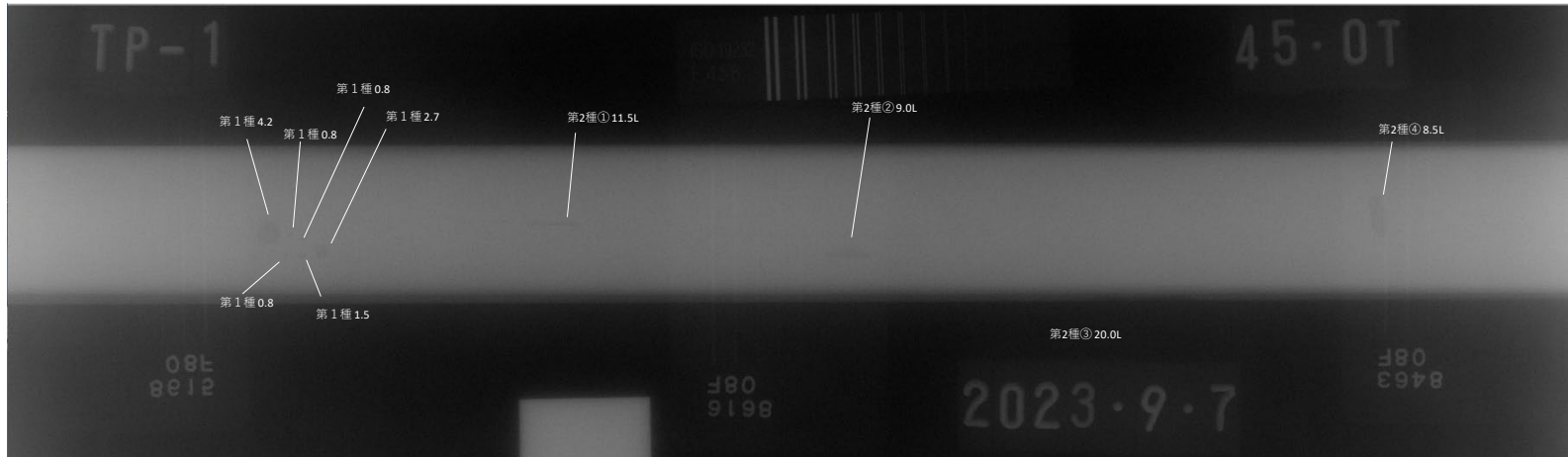


TP-1 板厚 20mm D-RT (DDA) 複線形像質計

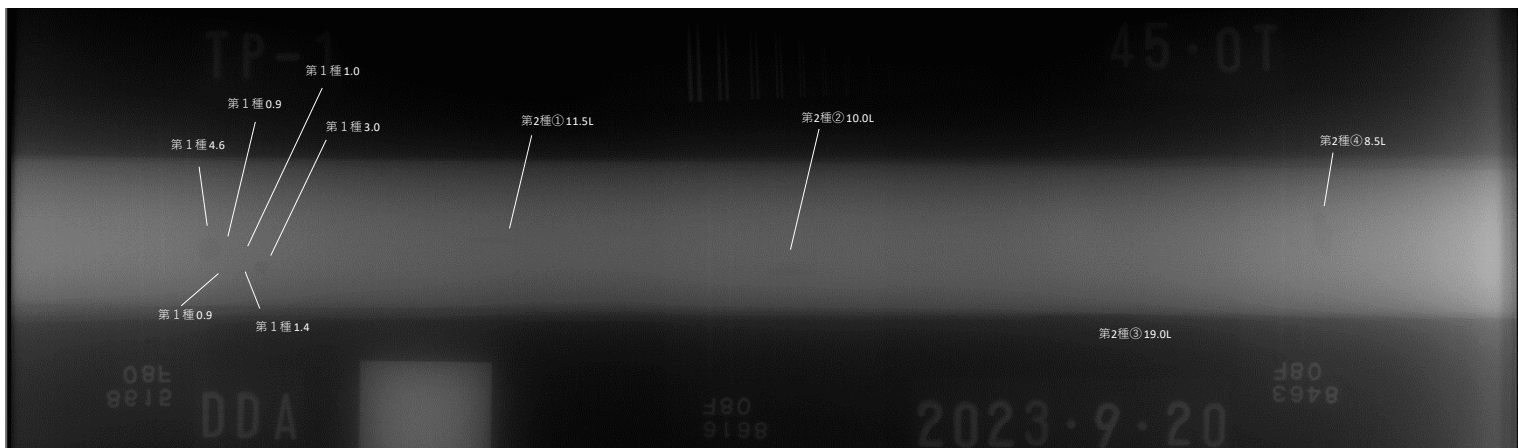


TP-1 板厚 20mm D-RT (CR) 複線形像質計

きず投影状況の比較写真 (TP-1 45t)

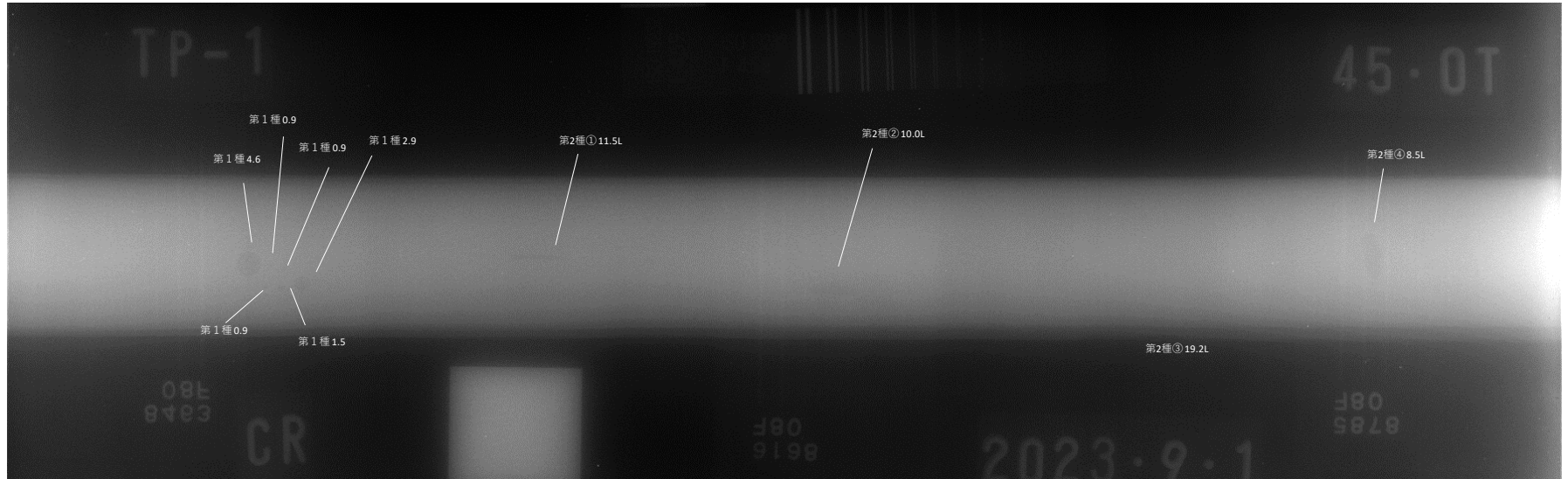


TP-1 板厚 45mm リボン試験片 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)

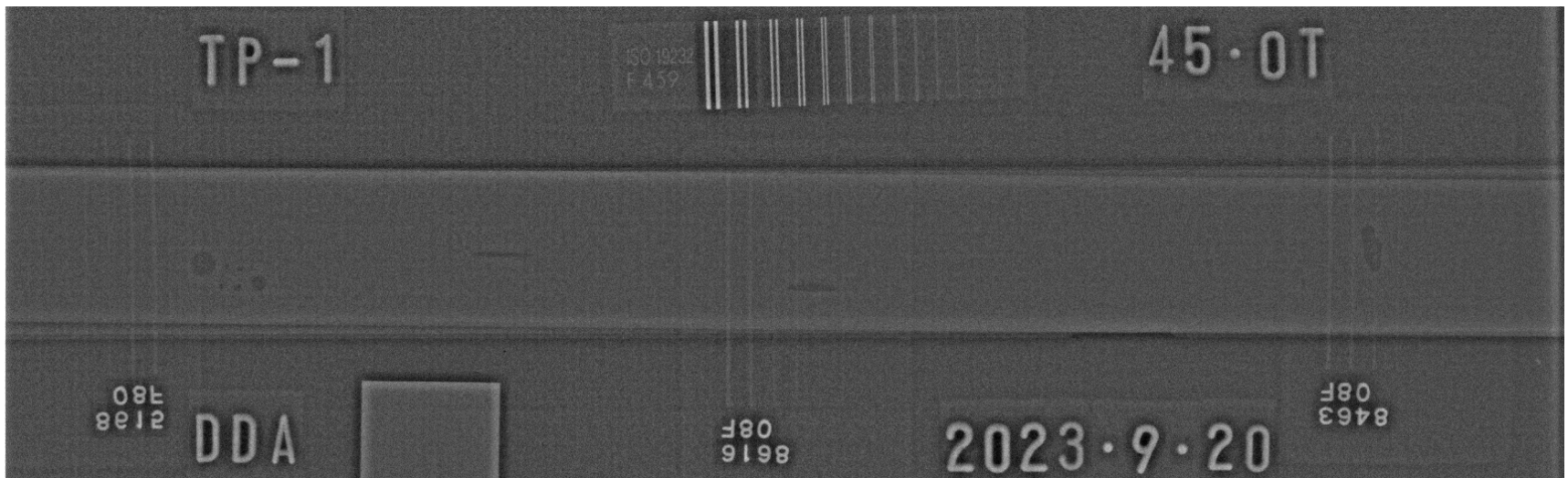


TP-1 板厚 45mm リボン試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-1 45t)

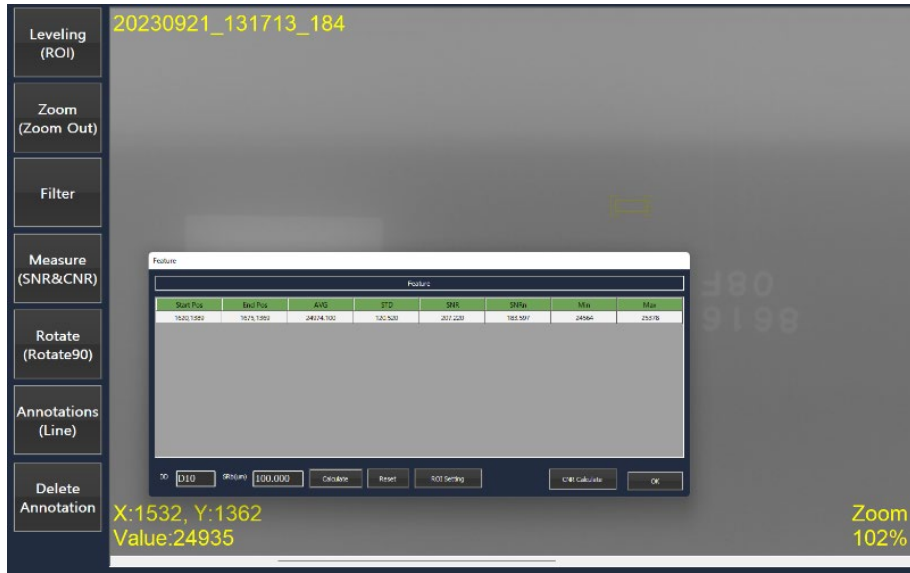


TP-1 板厚 45mm リボン試験片 D-RT (CR 【IP】)

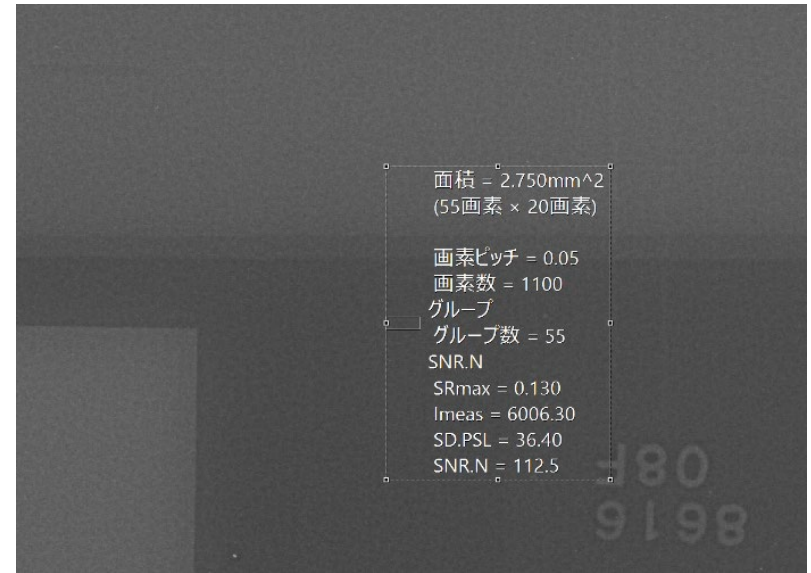


(参考) TP-1 板厚45mm リボン試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

DDAとCRにおける像質確認 (TP-1 45t)



TP-1 板厚45mm D-RT (DDA) SNR_N測定



TP-1 板厚45mm D-RT (CR) SNR_N測定



TP-1 板厚 45mm D-RT (DDA) 複線形像質計



TP-1 板厚 45mm D-RT (CR) 複線形像質計

TP-2

TP-2 透過写真による測定寸法

表 - 各撮影方法で検出した代表的なきず像（各試験片 6 か所抽出）の寸法等測定結果一覧

単位：mm

4.5	撮影媒体	① (第1種)	② (第2種)	③ (第1種)	④ (第2種)	⑤ (第1種)	⑥ (第1種)
	F-RT	Max 1.8	2.5	0.5	15.0	1.0	1.0
D-RT(DDA)	Max 1.8	2.5	0.5	15.0	0.9	1.0	
D-RT(CR)	Max 1.8	2.5	0.5	15.1	0.9	0.9	
20	撮影媒体	① (第2種)	② (第1種)	③ (第2種)	④ (第2種)	⑤ (第2種)	⑥ (第2種)
	F-RT	12.0	0.7	14.5	10.0	3.0	31.0
	D-RT(DDA)	11.5	0.7	14.3	9.3	3.2	29.5※ ¹
	D-RT(CR)	11.8	0.7	14.3	9.6	3.1	29.5※ ¹
28 × 38	撮影媒体	① (第2種)	② (第2種)	③ (第2種)	④ (第2種)	⑤ (第1種)	⑥ (第2種)
	F-RT	13.0	23.5	18.5	24.5	1.1	25.5
	D-RT(DDA)	13.3	23.8	18.5	24.9	1.2	25.4
	D-RT(CR)	13.2	23.6	18.5	24.8	1.0	25.5
45	撮影媒体	① (第2種)	② (第1種)	③ (第2種)	④ (第2種)	⑤ (第2種)	⑥ (第2種)
	F-RT	12.0※ ²	0.9	13.0※ ²	10.0	2.5	31.0
	D-RT(DDA)	13.8※ ³	1.0	15.0※ ³	9.6	2.0※ ³	31.0
	D-RT(CR)	10.9※ ²	0.8	14.0※ ²	8.6※ ²	2.6	30.4

※1：コントラストや拡大率の調整機能等を用いて観察を行い、きず像の明瞭な範囲を測定。

※2：長時間の露出により散乱線の影響が大きく、コントラストが低下した部分が生じたことが原因と考えられる。

※3：ハイパスフィルタ処理した画像を参考にきず像範囲を確認して測定した。

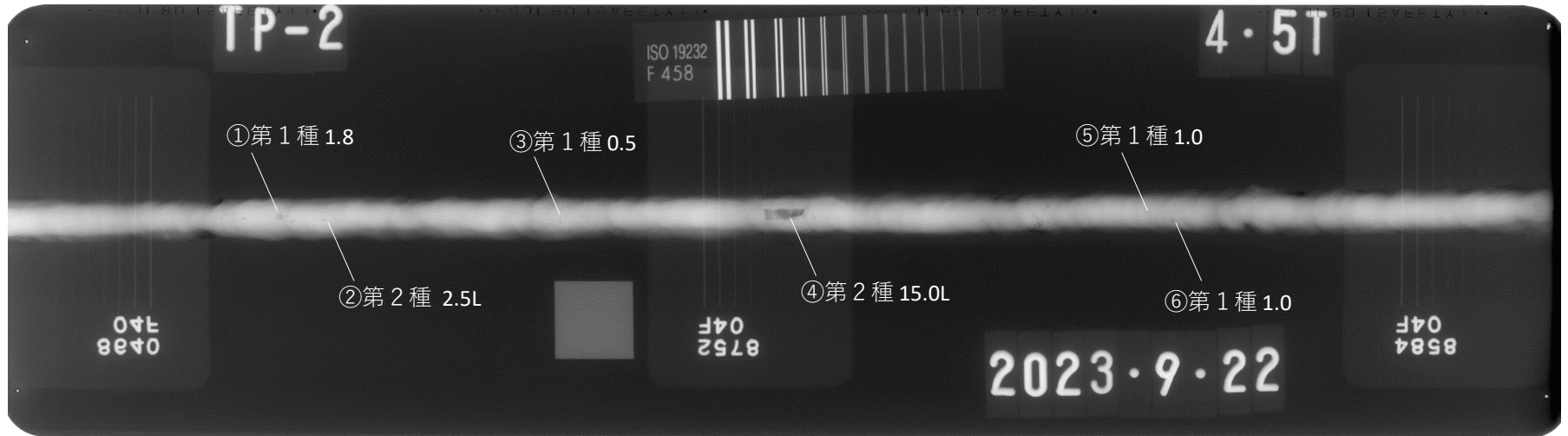
TP-2突合せ溶接試験片 (4.5t)



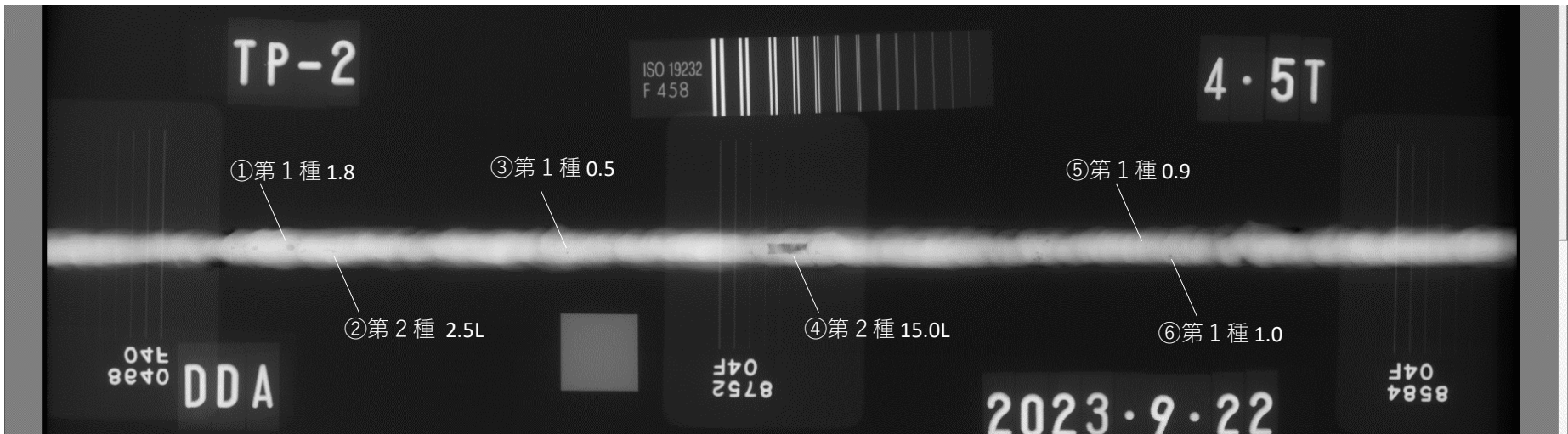
TP-2 (4.5t)

※写真中のけがき線及びきず種別は、製作仕様であり、実際のきず位置及び種別とは異なる場合がある。

きず投影状況の比較写真 (TP-2 4.5t)

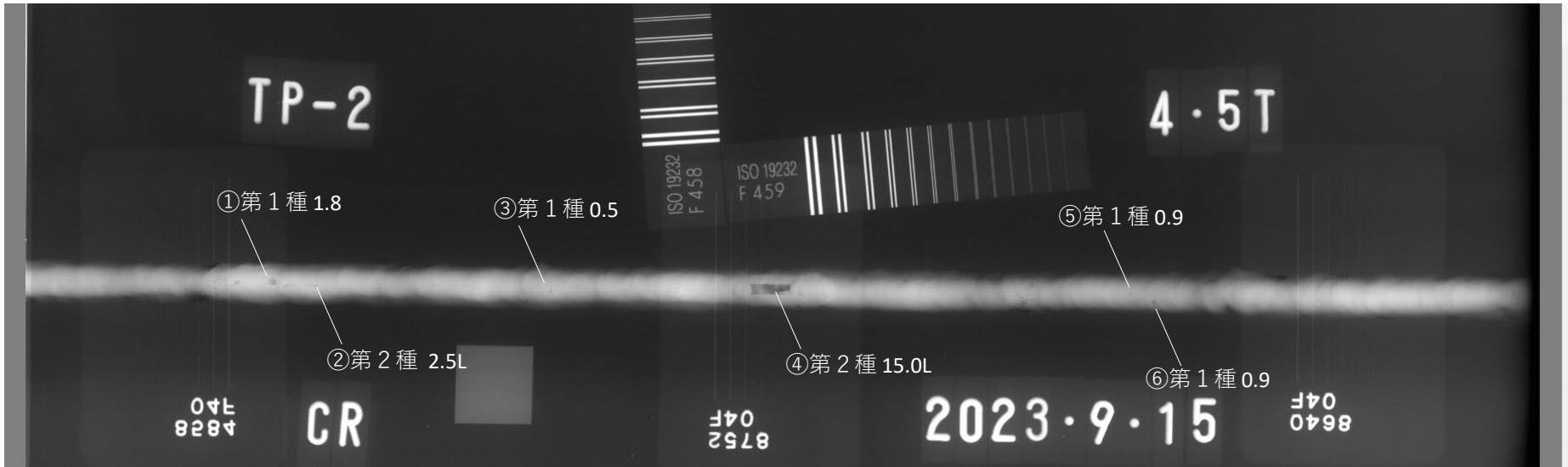


TP-2 板厚 4.5mm 突合せ溶接試験片 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

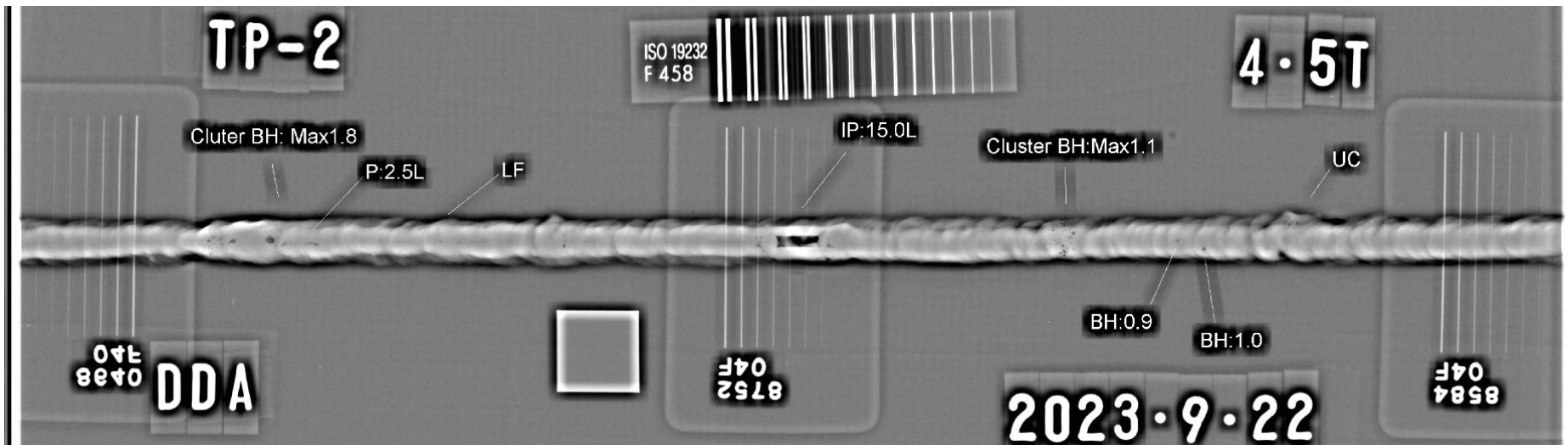


TP-2 板厚 4.5mm 突合せ溶接試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-2 4.5t)

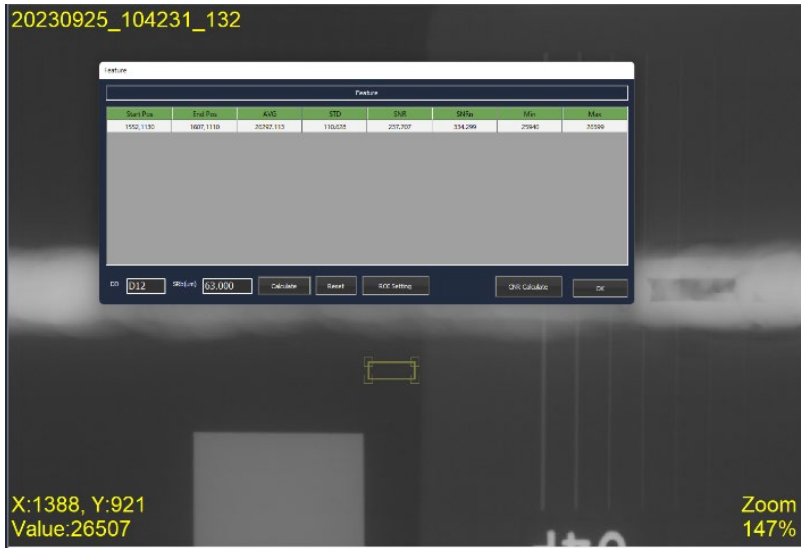


TP-2 板厚 4.5mm 突合せ溶接試験片 D-RT (CR [IP])

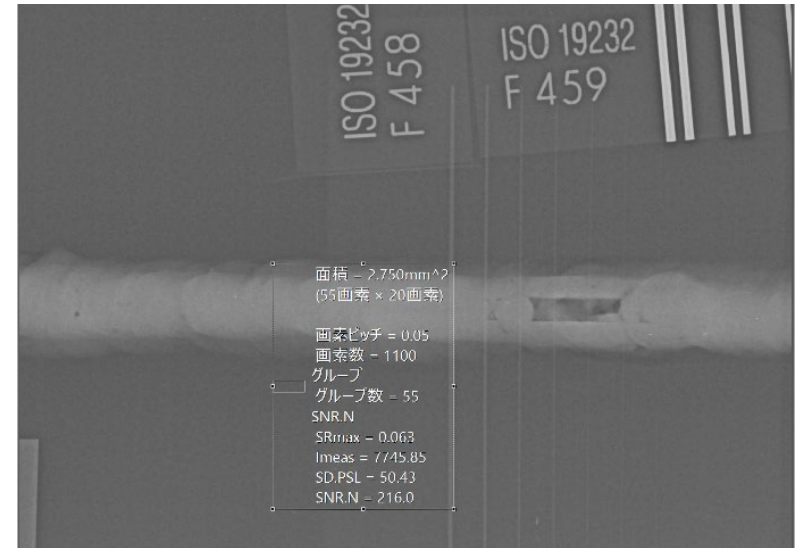


(参考) TP-2 板厚4.5mm 試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

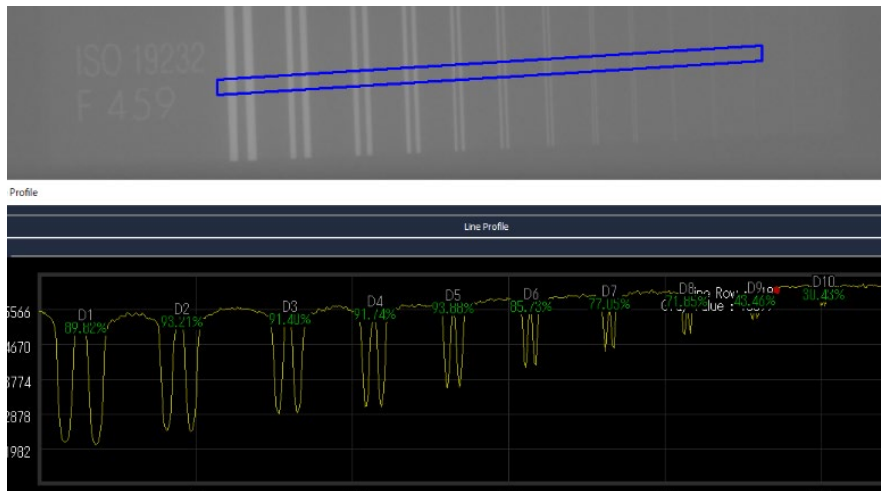
DDAとCRにおける像質確認 (TP-2 4.5t)



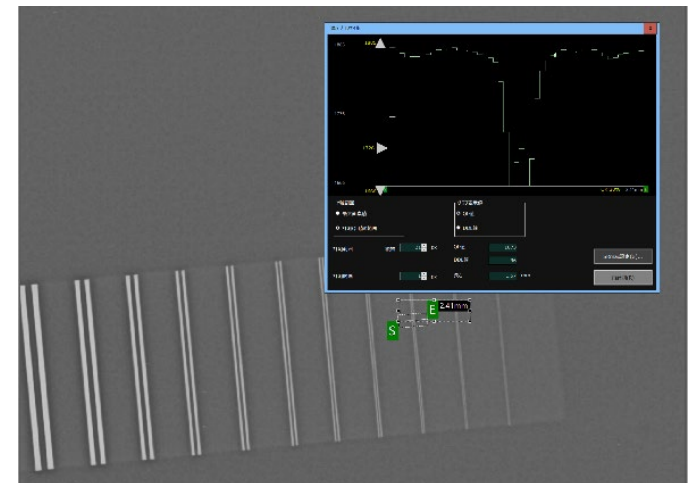
TP-2 板厚4.5mm D-RT (DDA) SNR_N測定



TP-2 板厚4.5mm D-RT (CR) SNR_N測定

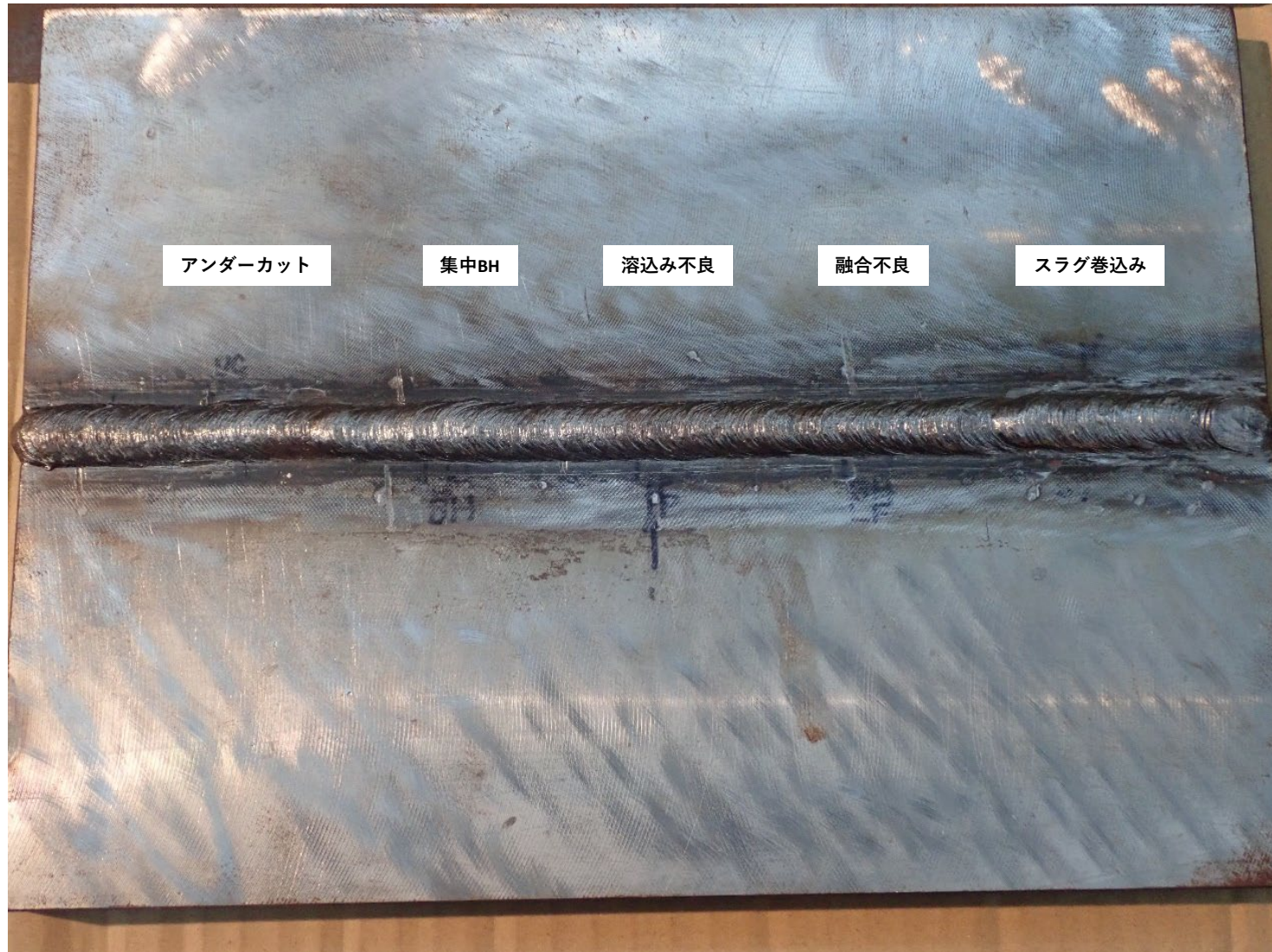


TP-2 板厚 4.5mm D-RT (DDA) 複線形像質計



TP-2 板厚 4.5mm D-RT (CR) 複線形像質計

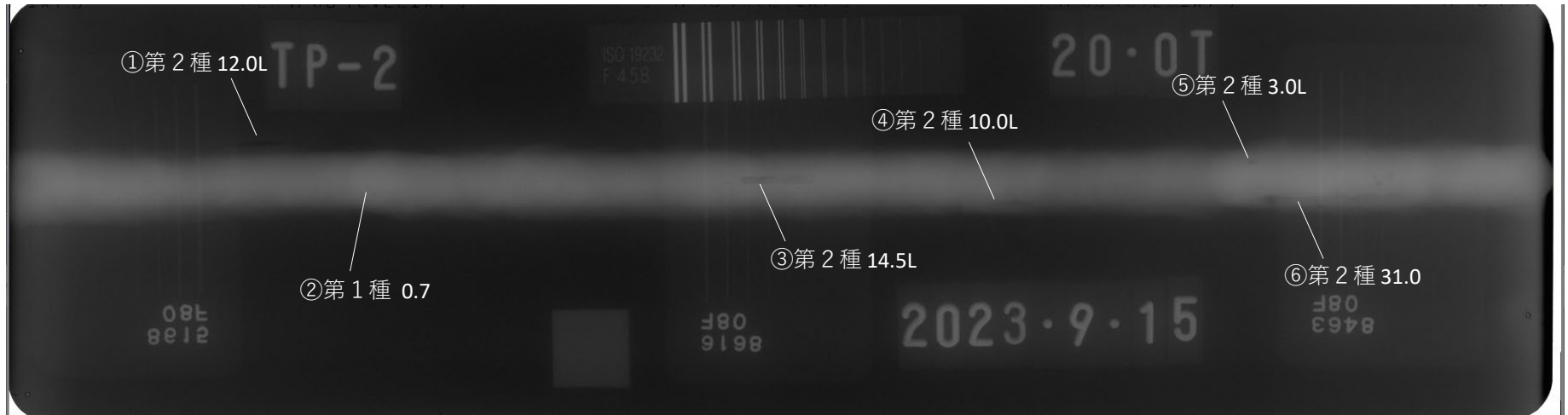
TP-2突合せ溶接試験片 (20t)



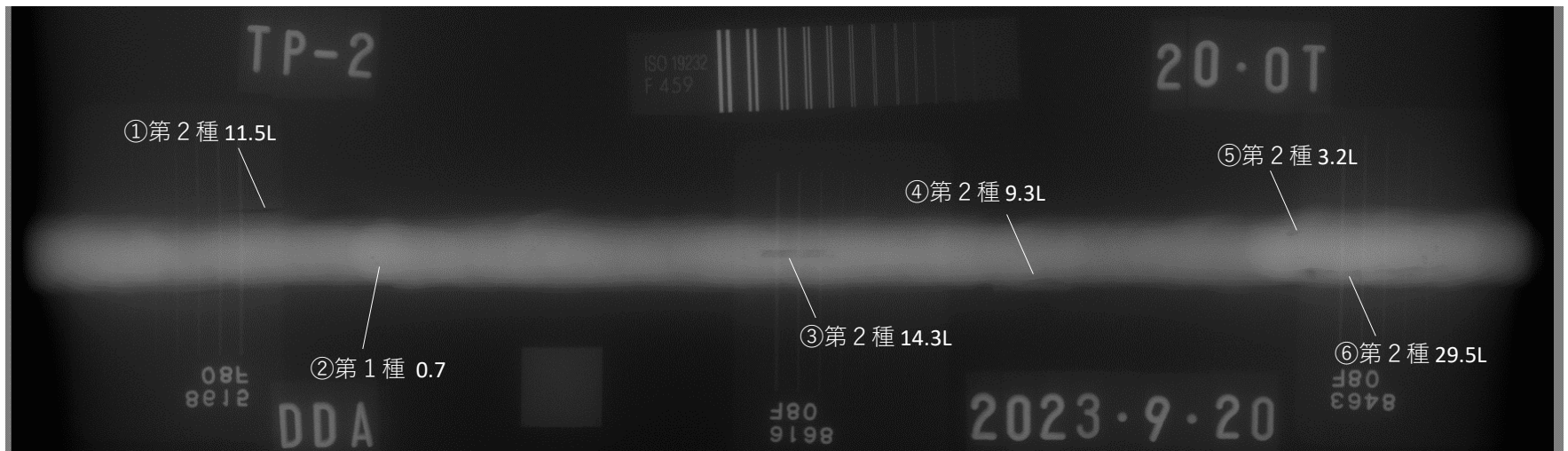
TP-2 (20t本試験片と25t平板と合わせて45t試験にも使用)

※写真中のけがき線及びきず種別は、製作仕様であり、実際のきず位置及び種別とは異なる場合がある。

きず投影状況の比較写真 (TP-2 20t)

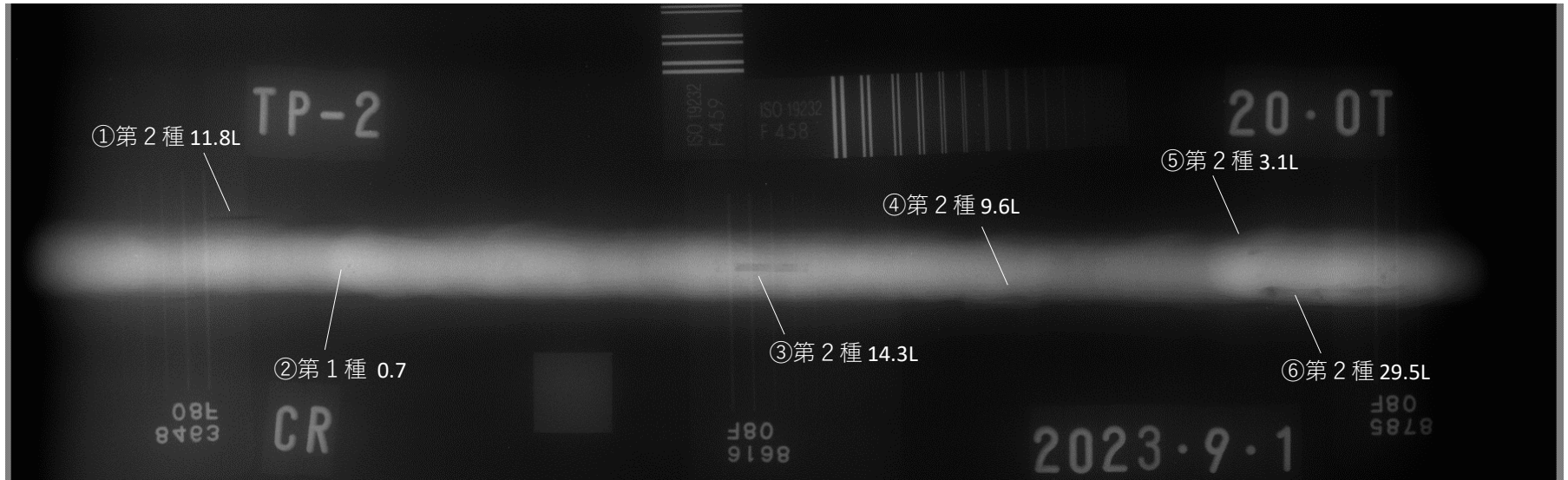


TP-2 板厚 20mm 突合せ溶接試験片 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

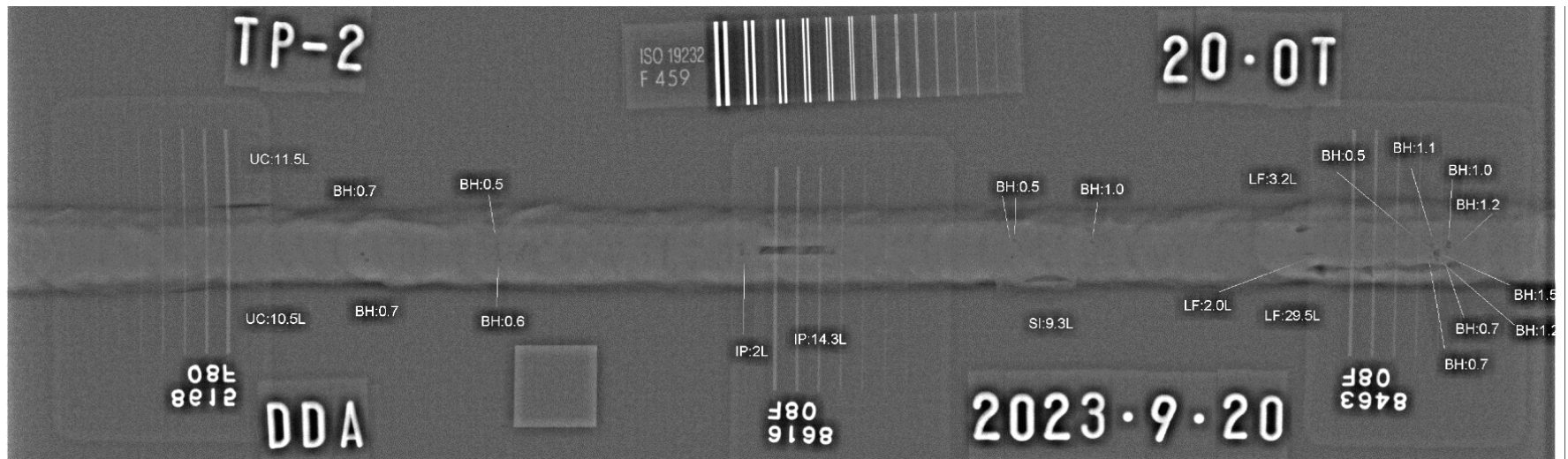


TP-2 板厚 20mm 突合せ溶接試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-2 20t)



TP-2 板厚 20mm 突合せ溶接試験片 D-RT (CR [IP])

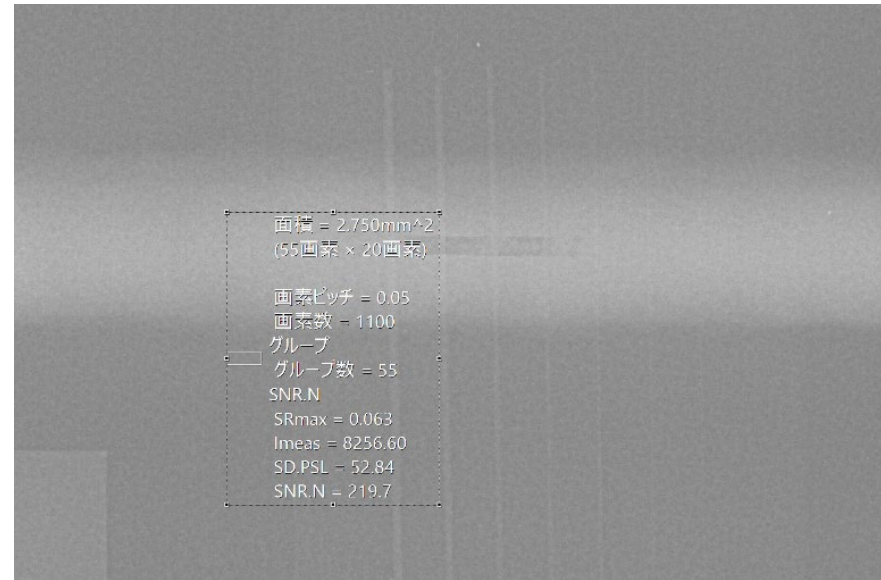


(参考) TP-2 板厚20mm 試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

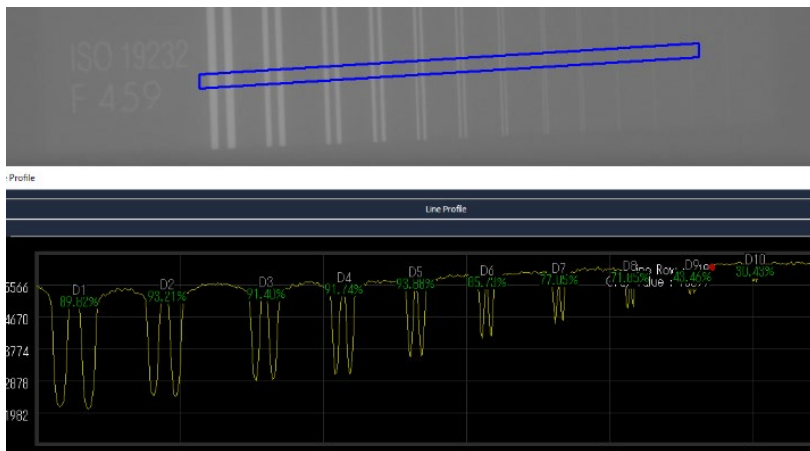
DDAとCRにおける像質確認 (TP-2 20t)



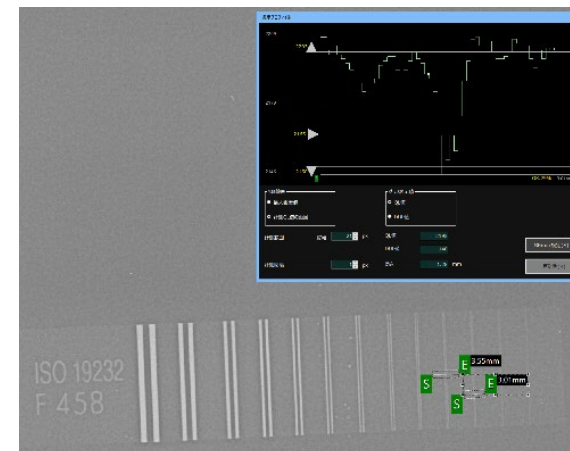
TP-2 板厚20mm D-RT (DDA) SNR_N測定



TP-2 板厚20mm D-RT (CR) SNR_N測定



TP-2 板厚 20mm D-RT (DDA) 複線形像質計



TP-2 板厚 20mm D-RT (CR) 複線形像質計

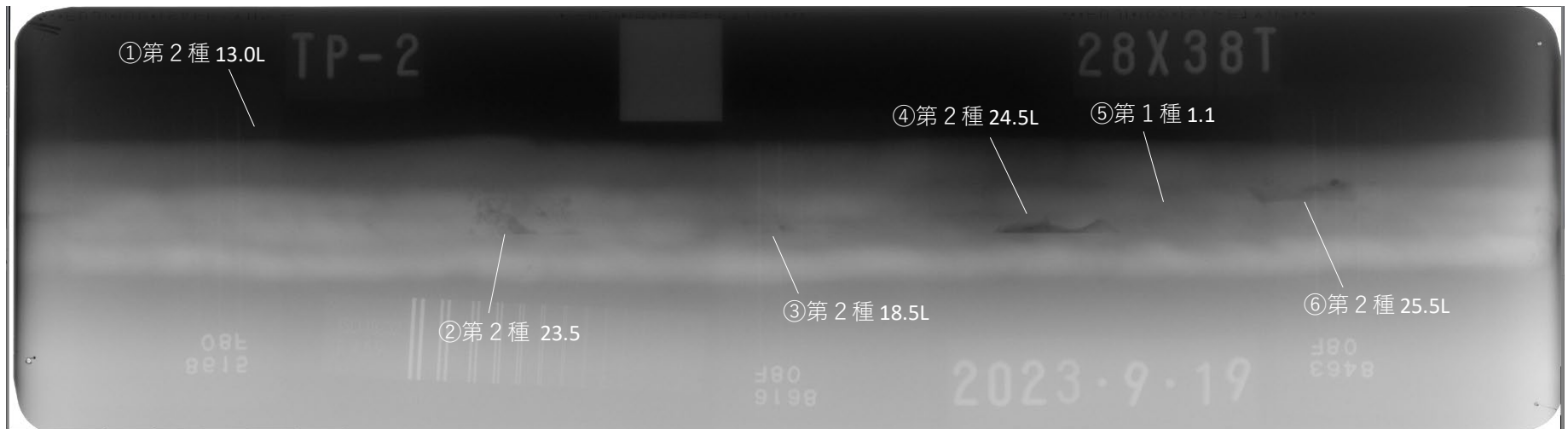
TP-2突合せ溶接試験片 (28t × 38t)



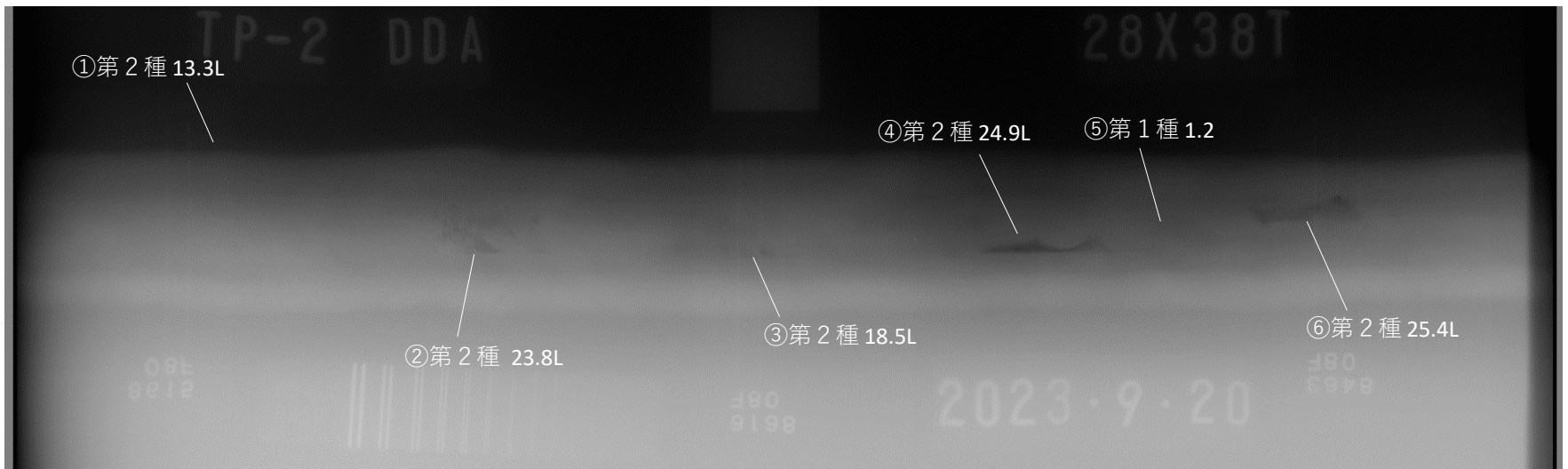
TP-2 (28t × 38t)

※写真中のけがき線及びきず種別は、製作仕様であり、実際のきず位置及び種別とは異なる場合がある。

きず投影状況の比較写真 (TP-2 28t×38t)



TP-2 板厚 28mm x 38mm 突合せ溶接試験片 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)

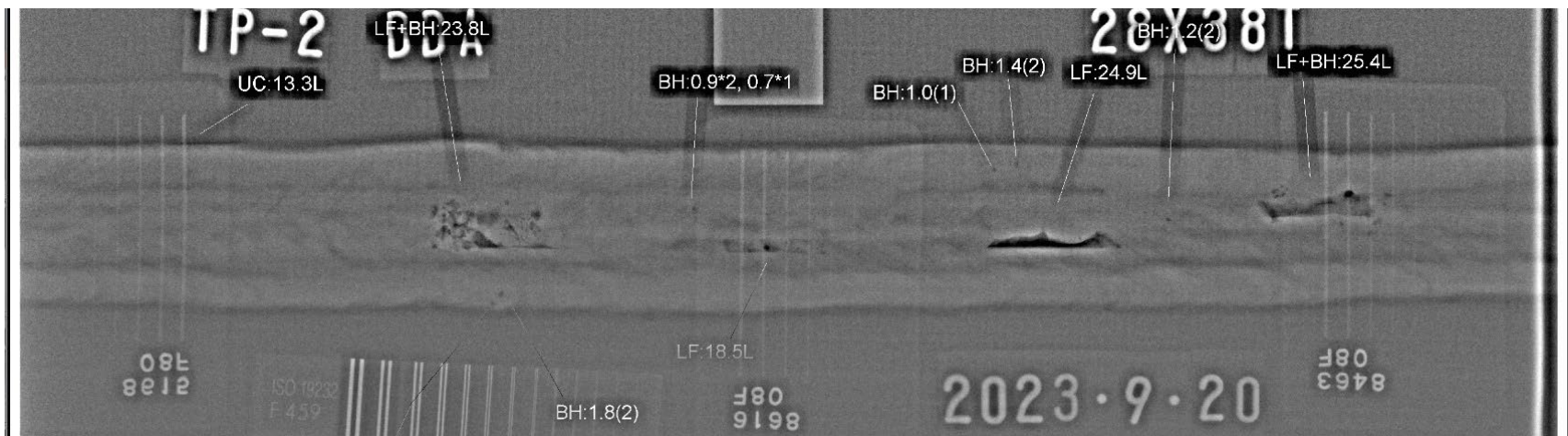


TP-2 板厚 28mm x 38mm 突合せ溶接試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-2 28t×38t)

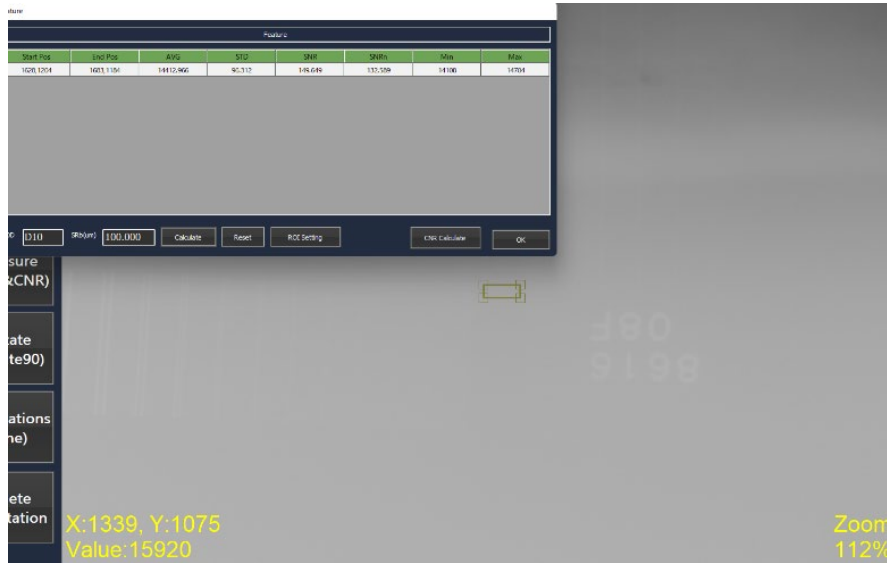


TP-2 板厚 28mm x 38mm 突合せ溶接試験片 D-RT (CR [IP])

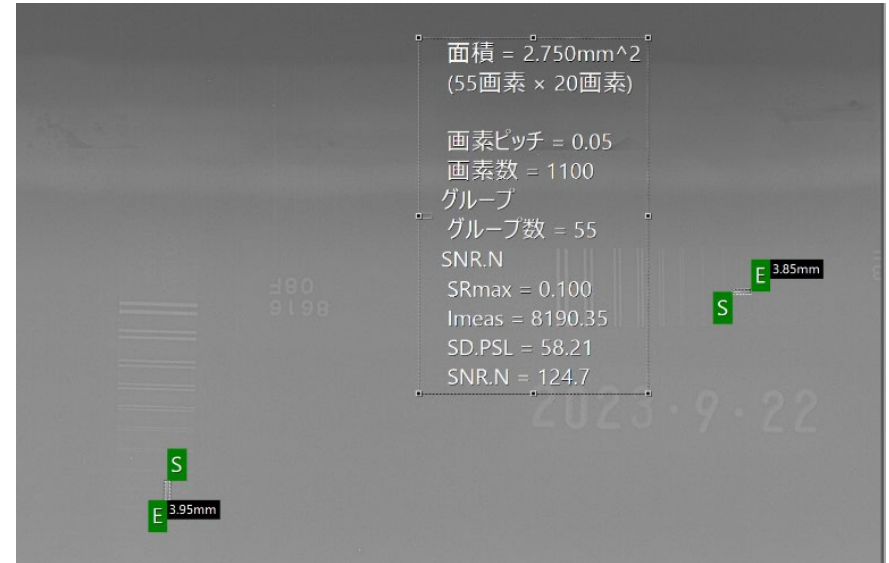


(参考) TP-2 板厚28mm×38mm 試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

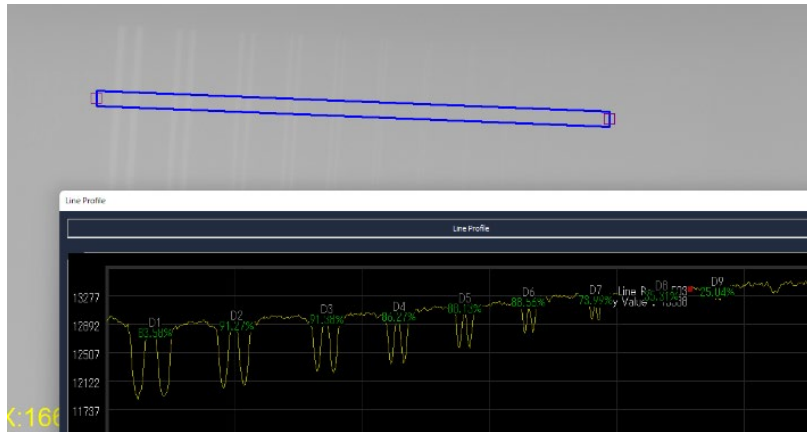
DDAとCRにおける像質確認 (TP-2 28t × 38t)



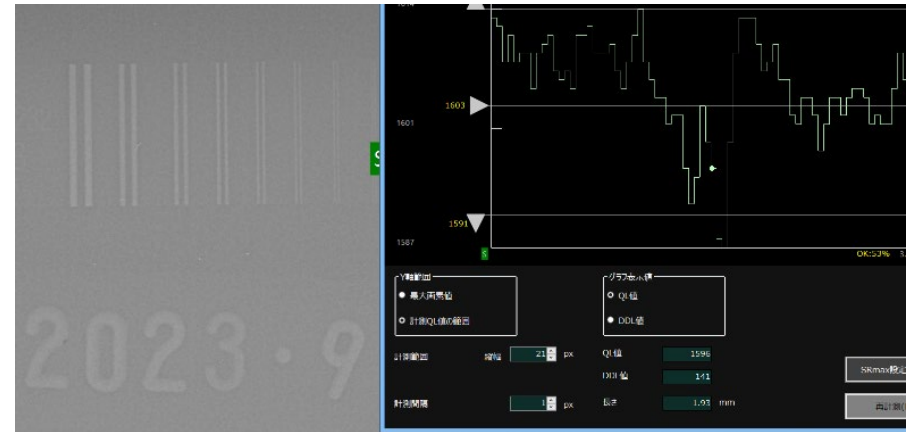
TP-2 板厚28mm x 38mm D-RT (DDA) SNR_N測定



TP-2 板厚28mm x 38mm D-RT (CR) SNR_N測定

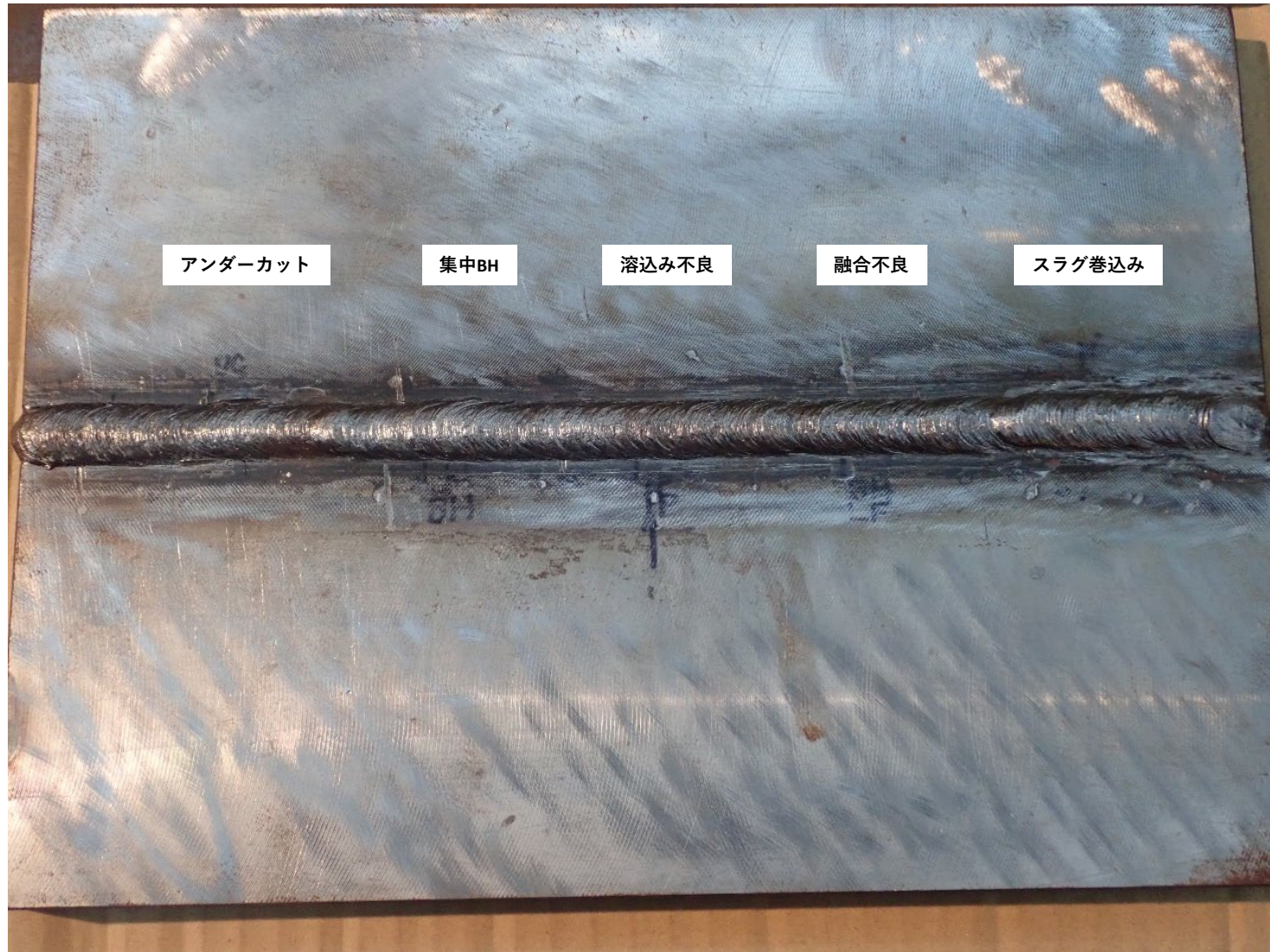


TP-2 板厚 28mm x 38mm D-RT (DDA) 複線形像質計



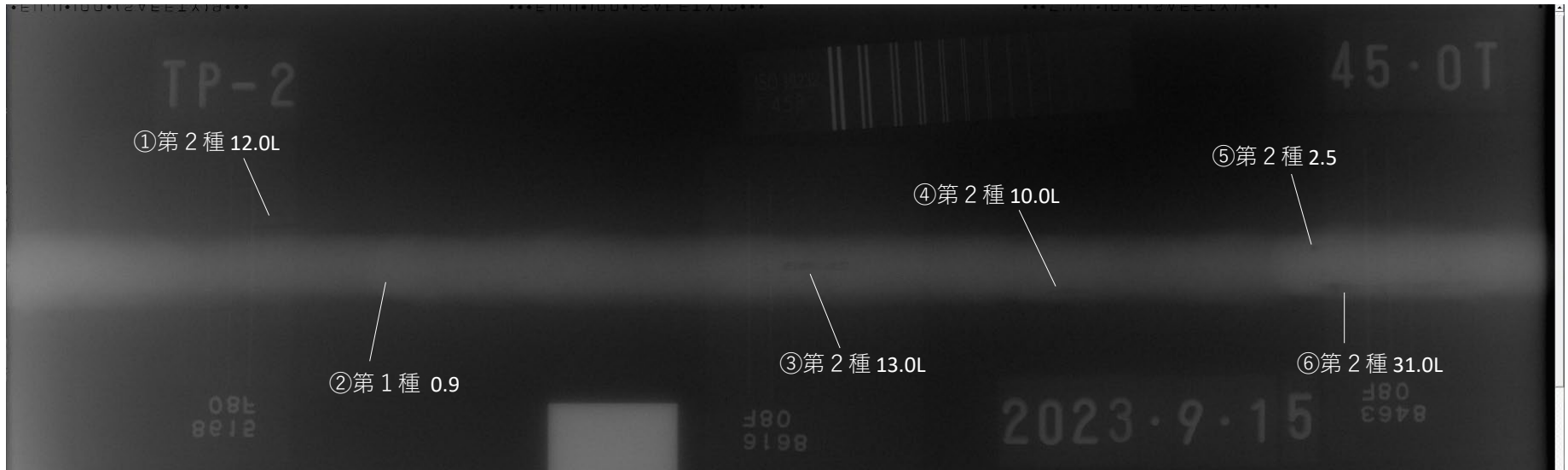
TP-2 板厚 28mm x 38mm D-RT (CR) 複線形像質計

TP-2突合せ溶接試験片 (45t)

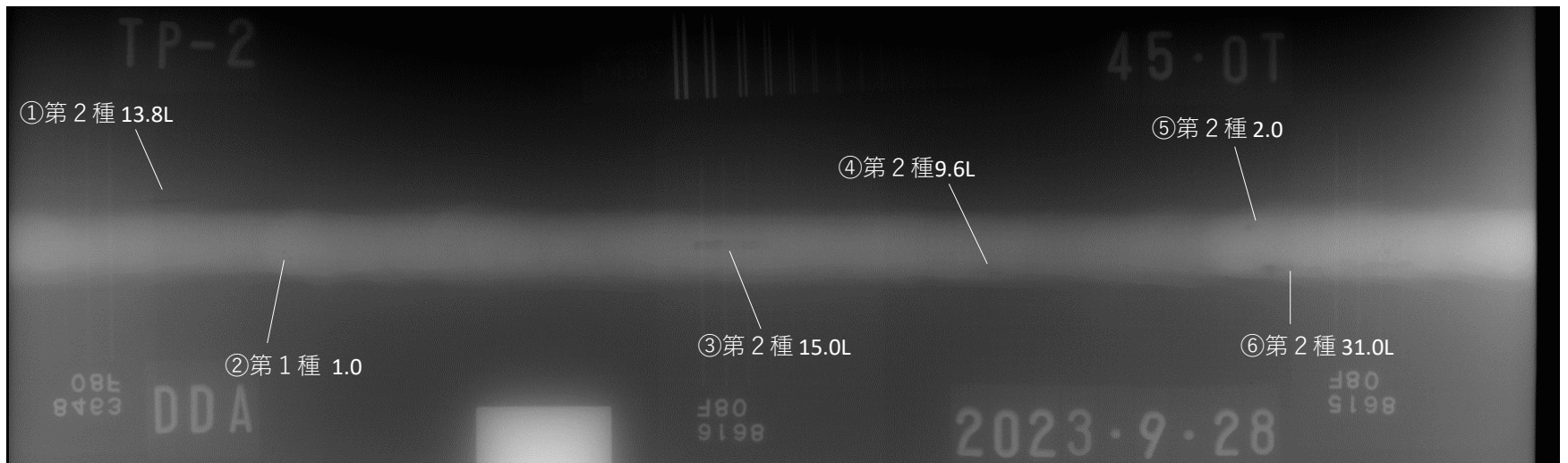


TP-2 (20t試験片と25t平板とを合わせて45t試験片として使用)
※写真中のけがき線及びきず種別は、製作仕様であり、実際のきず位置及び種別とは異なる場合がある。

きず投影状況の比較写真 (TP-2 45t)

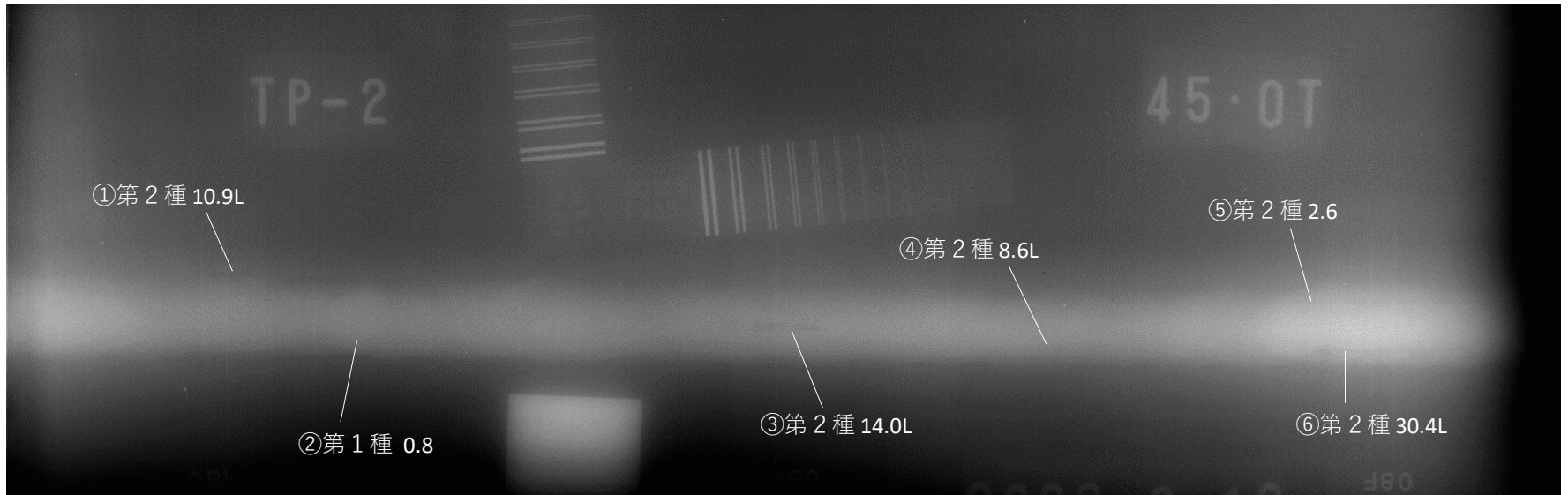


TP-2 板厚 45mm 突合せ溶接試験片 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)

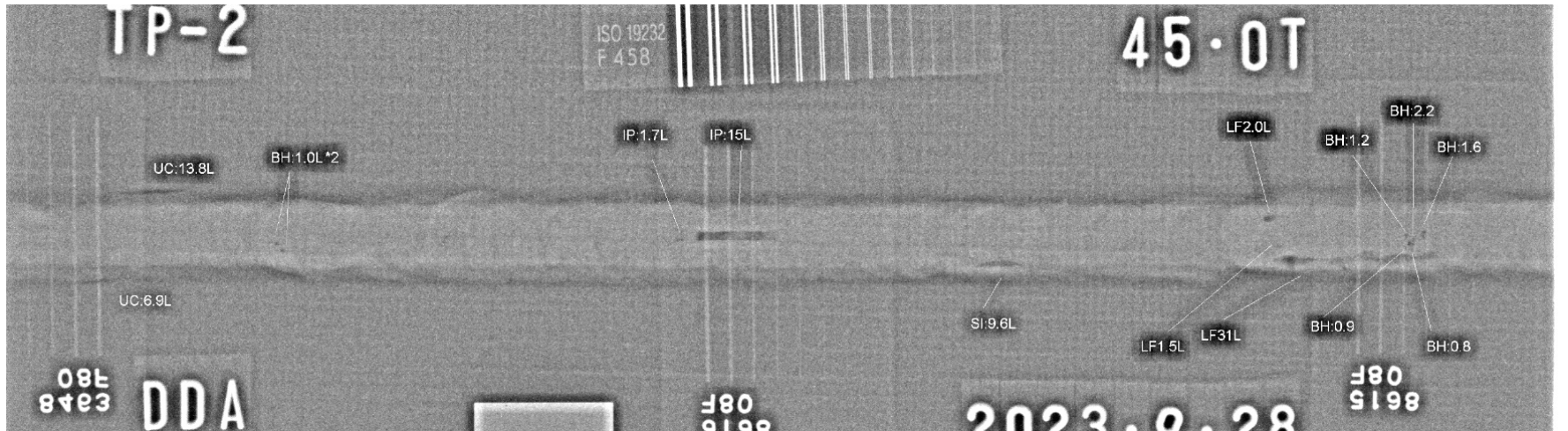


TP-2 板厚 45mm 突合せ溶接試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-2 45t)

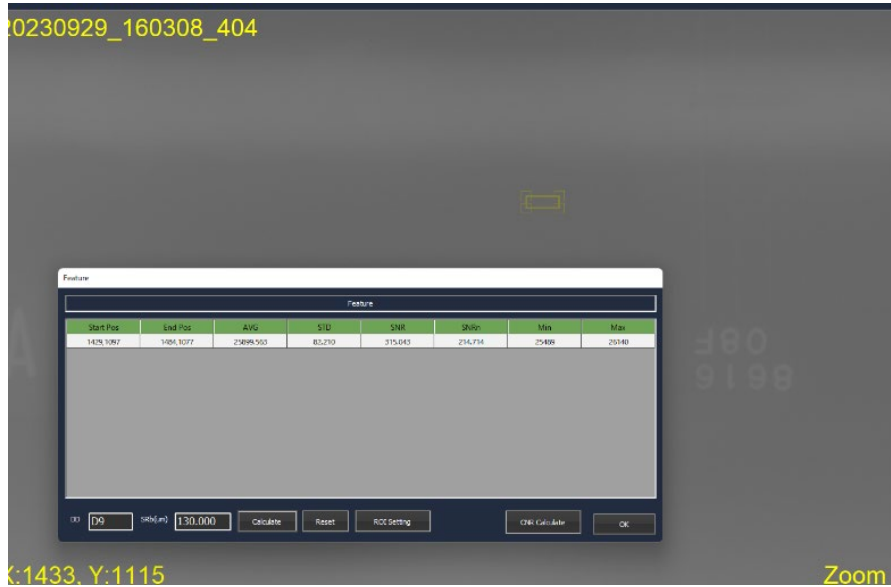


TP-2 板厚 45mm 突合せ溶接試験片 D-RT (CR【IP】)

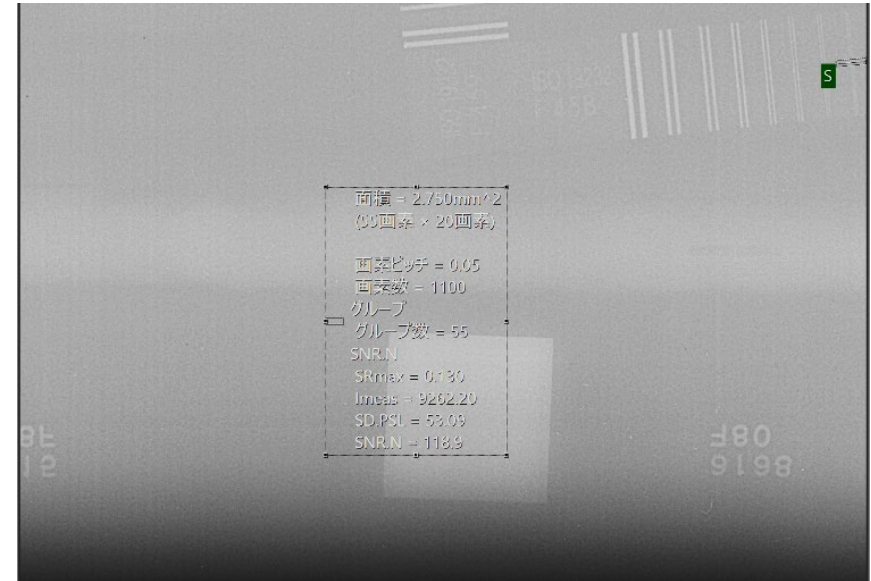


(参考) TP-2 板厚45mm 試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

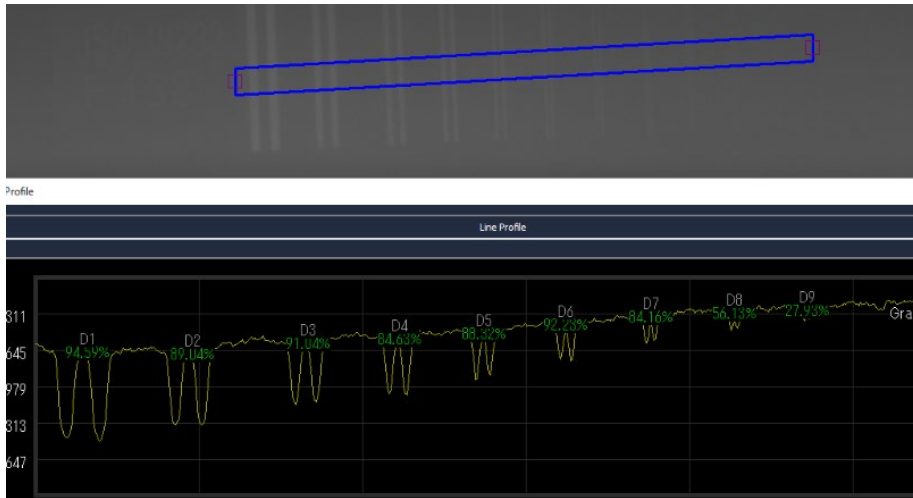
DDAとCRにおける像質確認 (TP-2 45t)



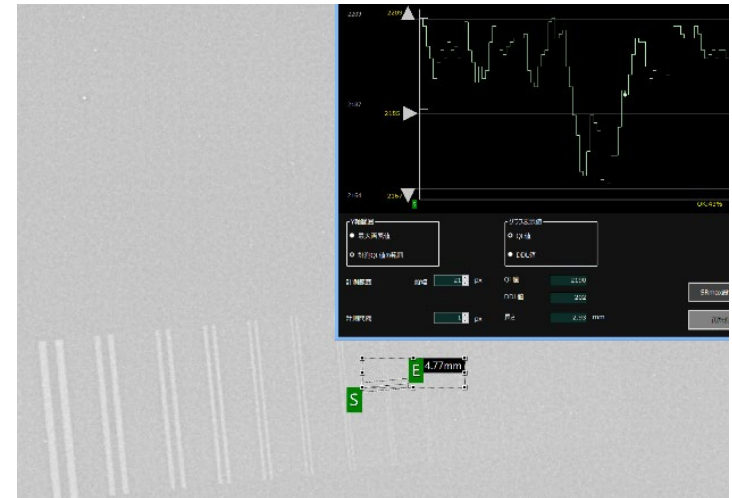
TP-2 板厚45mm(20 + 25) D-RT (DDA) SNR_N測定



TP-2 板厚 45mm(20 + 25) D-RT (CR) SNR_N測定



TP-2 板厚 45mm D-RT (DDA) 複線形像質計



TP-2 板厚 45mm D-RT (CR) 複線形像質計

TP-3

TP-3 きず測定寸法

表 - 各撮影方法で検出したきず像の寸法等測定結果一覧

単位：mm

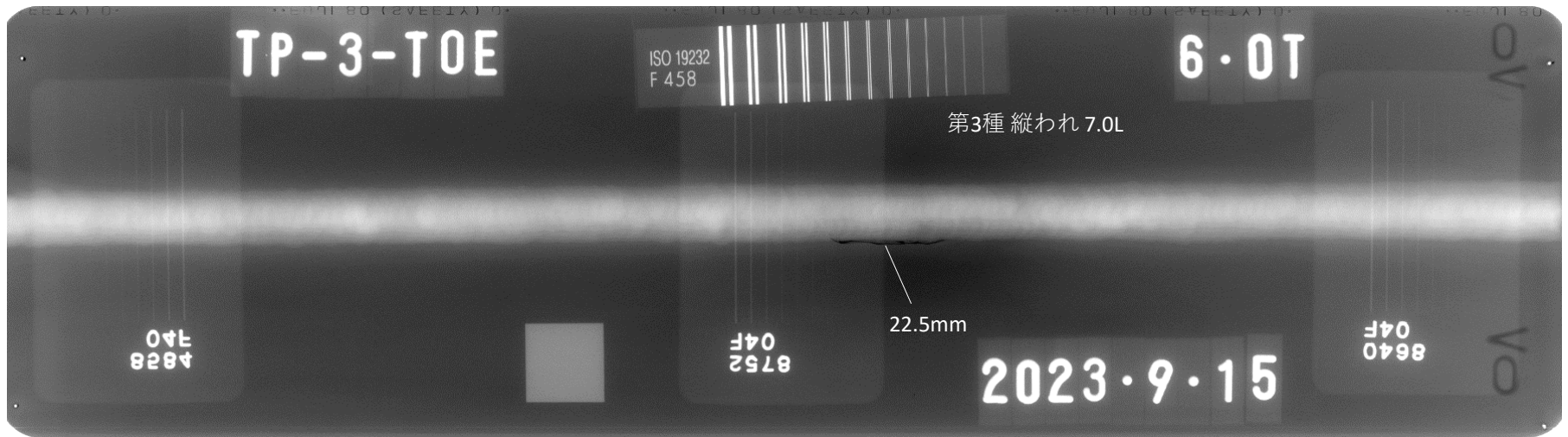
試験片板厚	撮影媒体	第3種（縦割れ）	第3種（横割れ）
6 縦割れ試験片：PL34187 横割れ試験片：PL34188	F-RT	22.5	16.0
	D-RT(DDA)	22.5	16.1
	D-RT(CR)	22.3	15.8
20 縦割れ試験片：PL34189 横割れ試験片：PL34190	F-RT	26.5	12.7
	D-RT(DDA)	26.7	12.5
	D-RT(CR)	26.7	12.4
45 縦割れ試験片：PL34189+25mm鋼板 横割れ試験片：PL34190+25mm鋼板	F-RT	26.7	12.6
	D-RT(DDA)	27.0	12.4
	D-RT(CR)	26.7	12.3

TP-3突合せ溶接試験片 (6t)

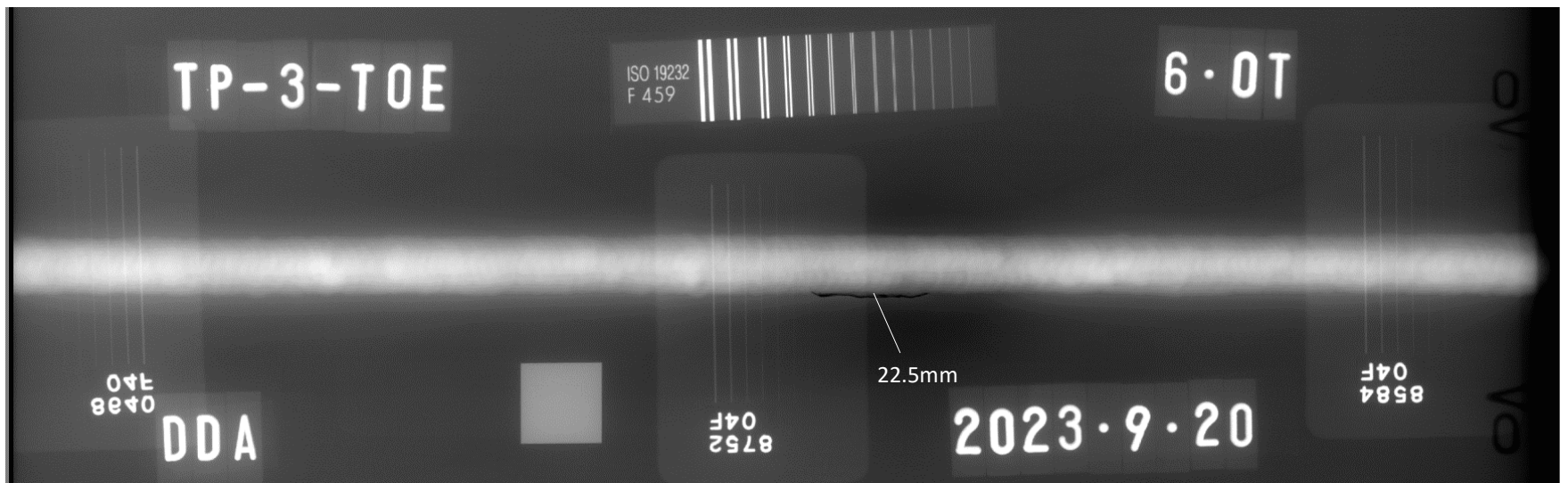


TP-3 (6t,PL34187)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 6t)

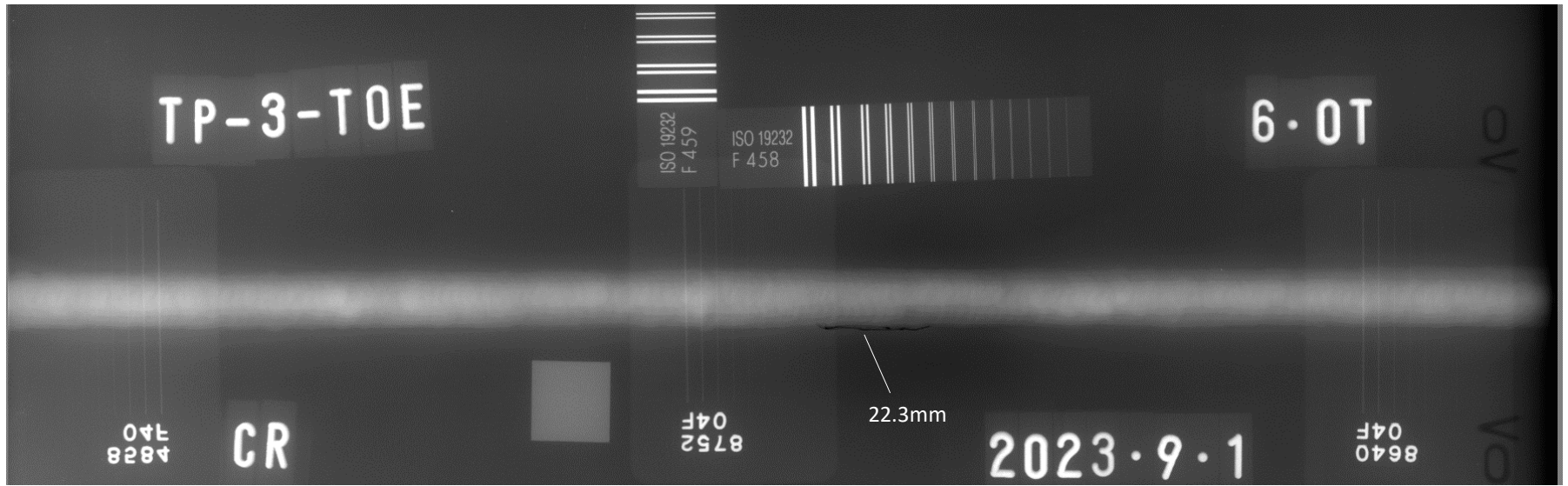


TP-3 板厚 6mm 突合せ溶接試験片 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

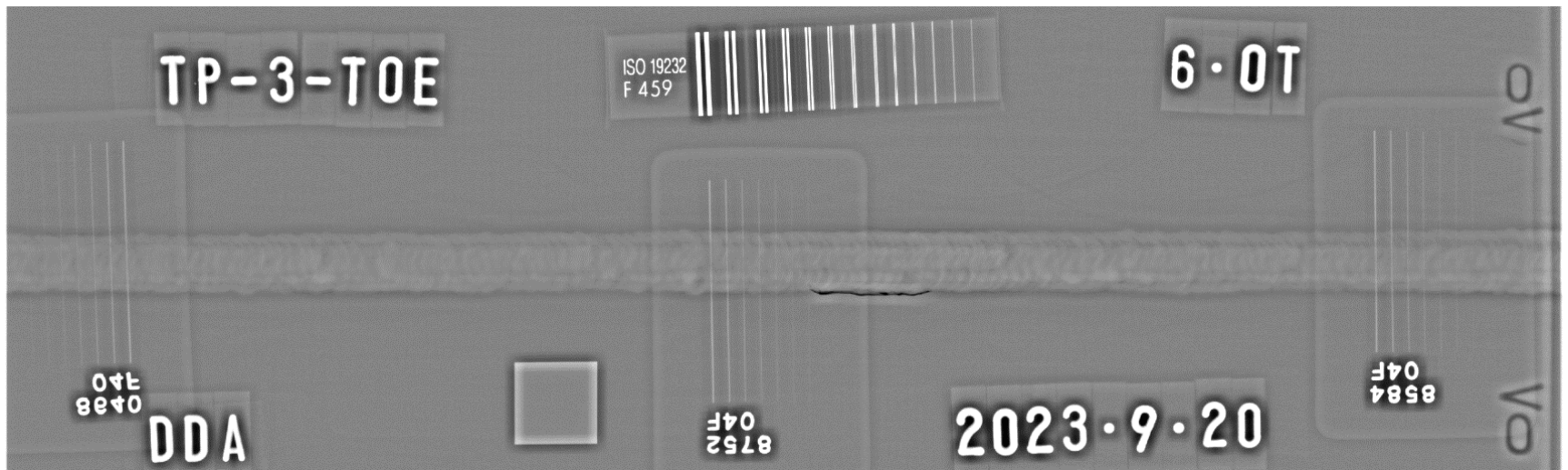


TP-3 板厚 6mm 突合せ溶接試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 6t)



TP-3 板厚 6mm 突合せ溶接試験片 D-RT (CR 【IP】)



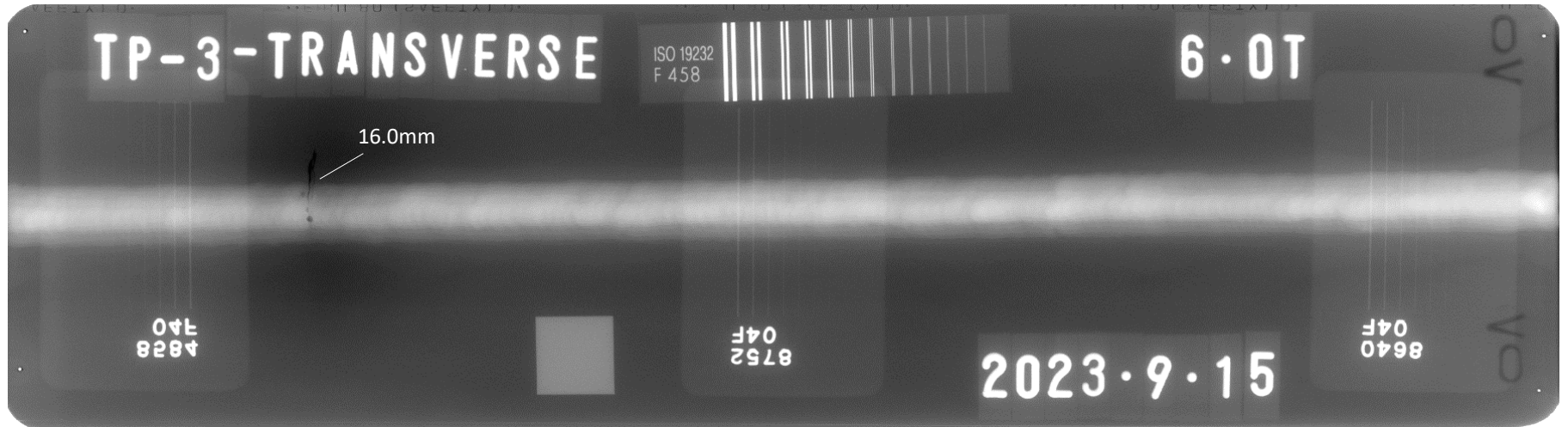
(参考) TP-3 板厚6mm 試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

TP-3突合せ溶接試験片 (6t)

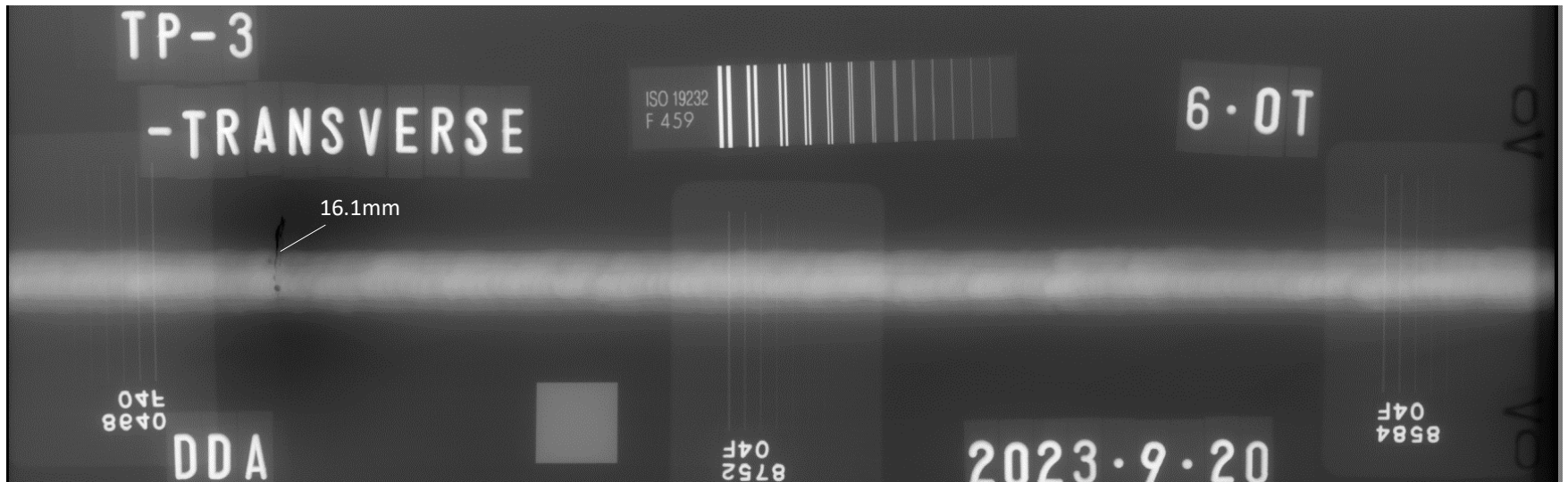


TP-3 (6t,PL34188)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 6t)

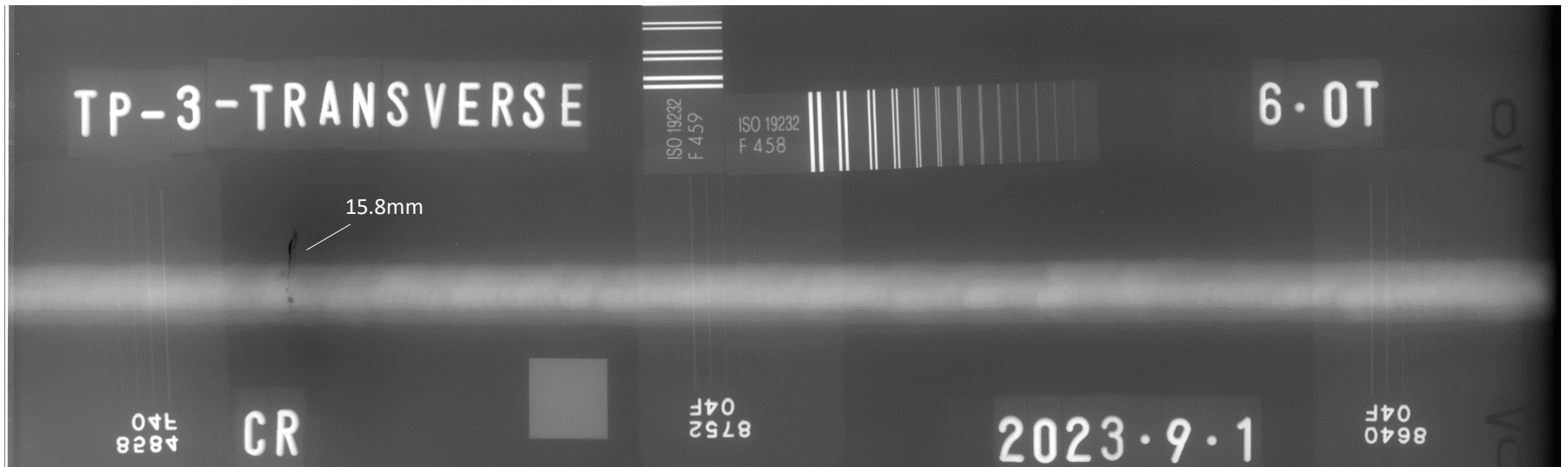


TP-3 板厚 6mm 突合せ溶接試験片 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

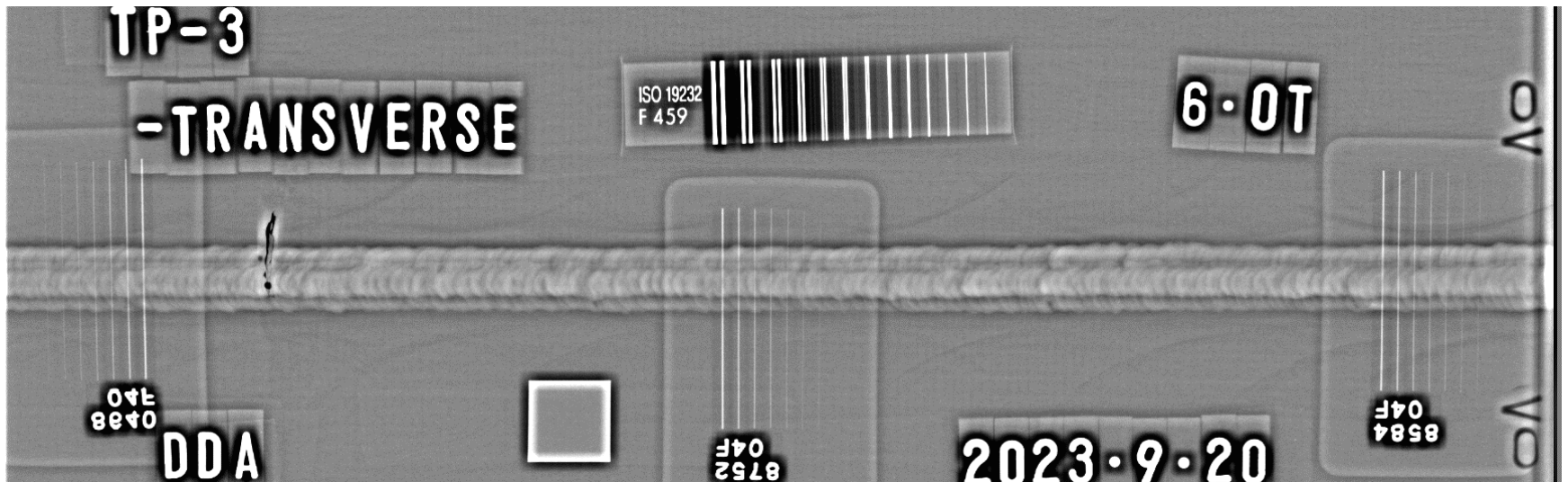


TP-3 板厚 6mm 突合せ溶接試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 6t)



TP-3 板厚 6mm 突合せ溶接試験片 D-RT (CR 【IP】)



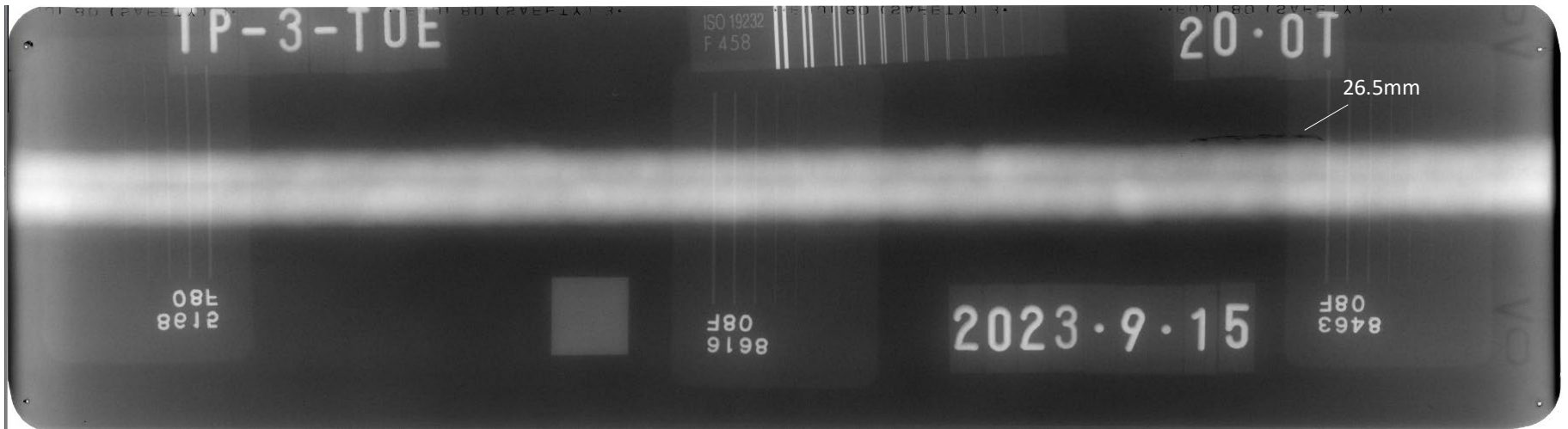
(参考) TP-3 板厚6mm 試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

TP-3突合せ溶接試験片 (20t)

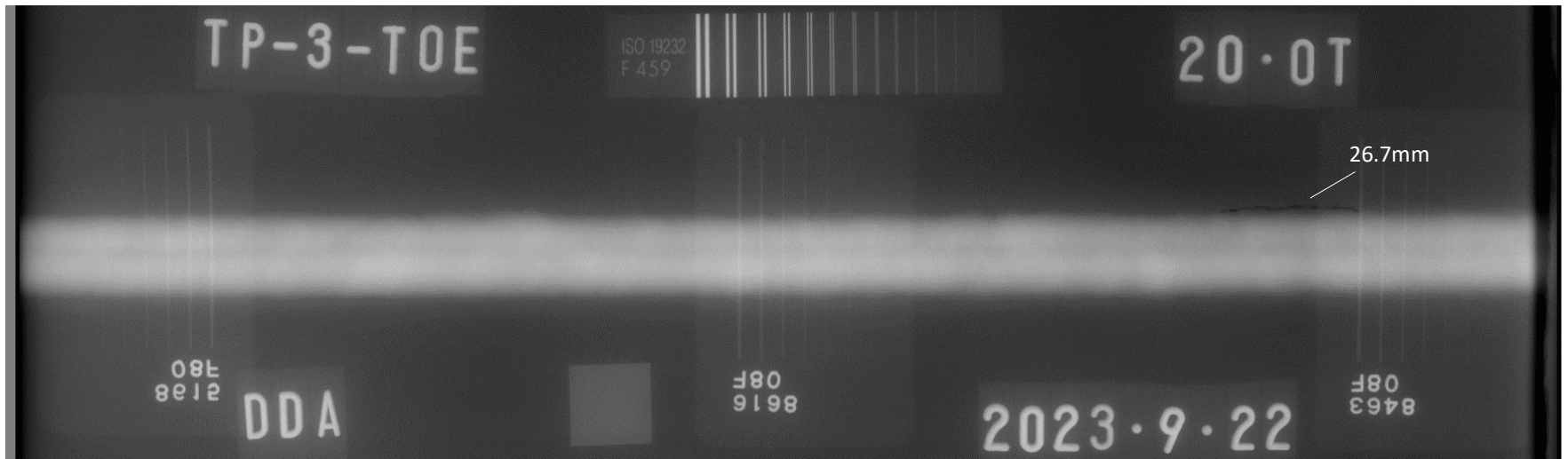


TP-3 (20t, PL34189)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 20t)

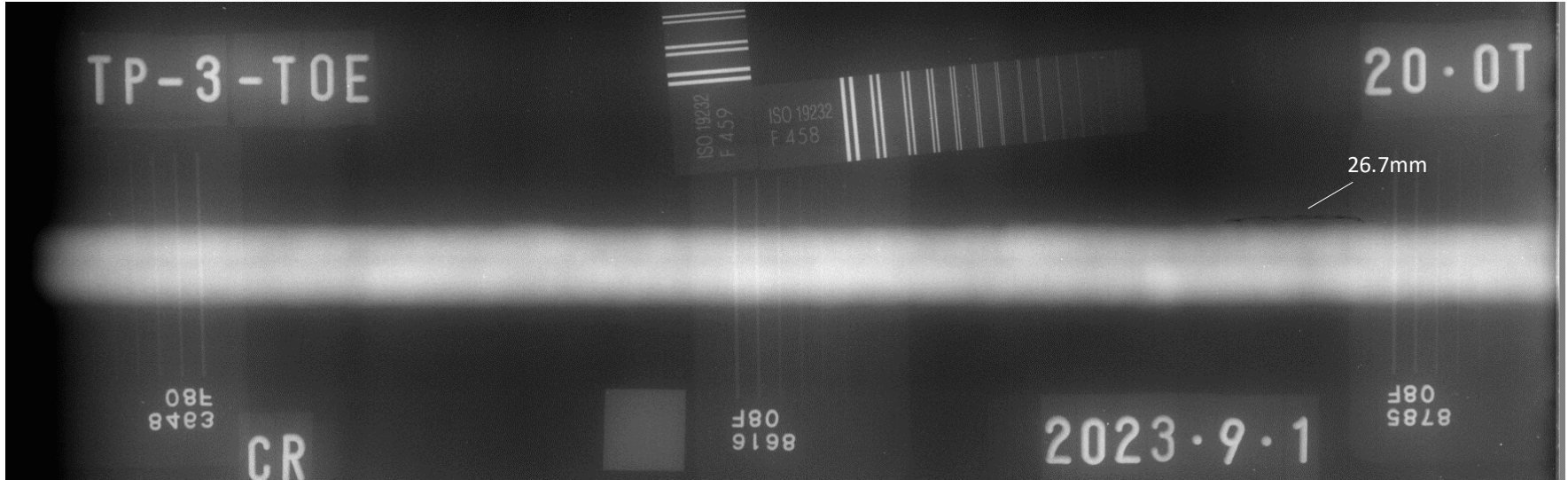


TP-3 板厚 20mm 突合せ溶接試験片 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

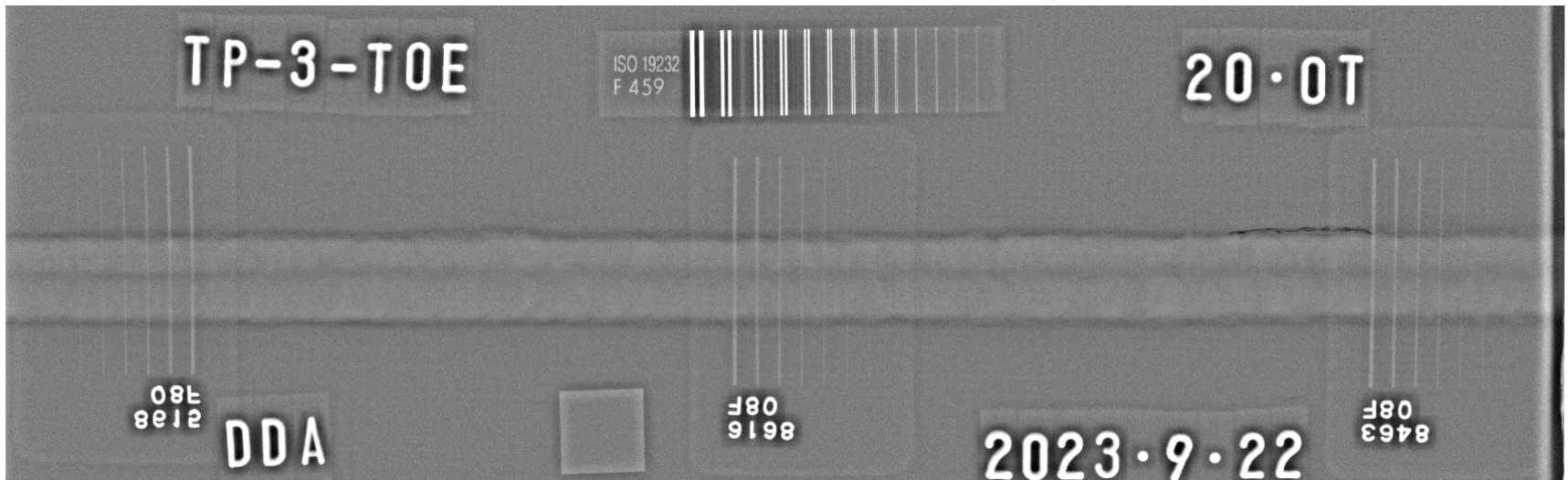


TP-3 板厚 20mm 突合せ溶接試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 20t)



TP-3 板厚 20mm 突合せ溶接試験片 D-RT (CR 【IP】)



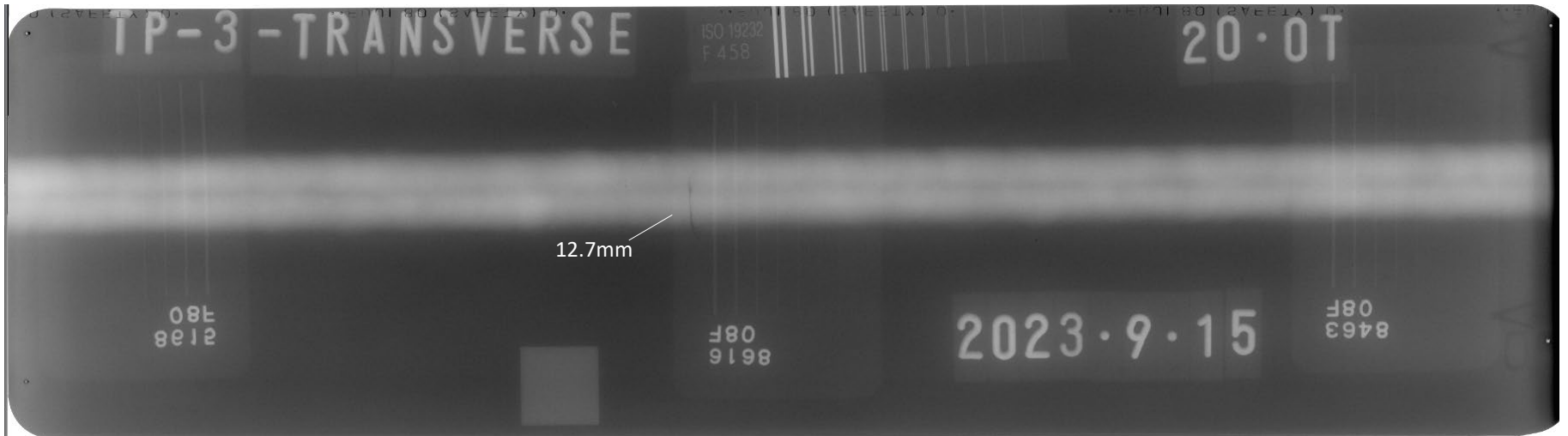
(参考) TP-3 板厚20mm 試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

TP-3突合せ溶接試験片 (20t)

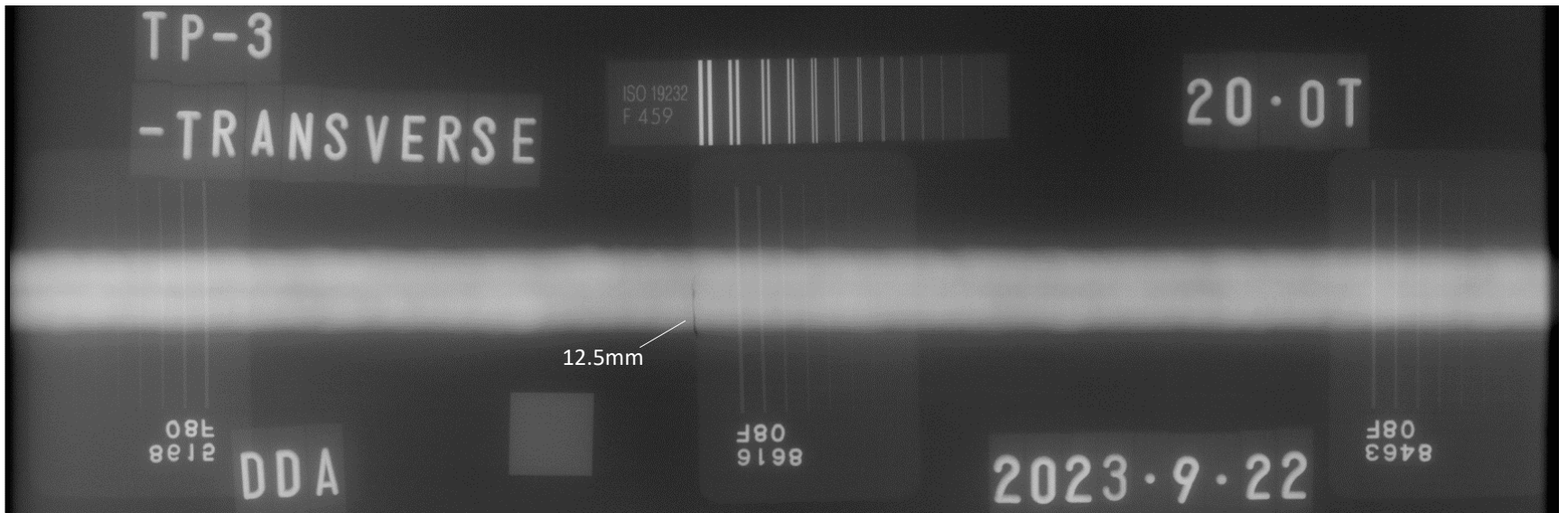


TP-3 (20t,PL34190)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 20t)

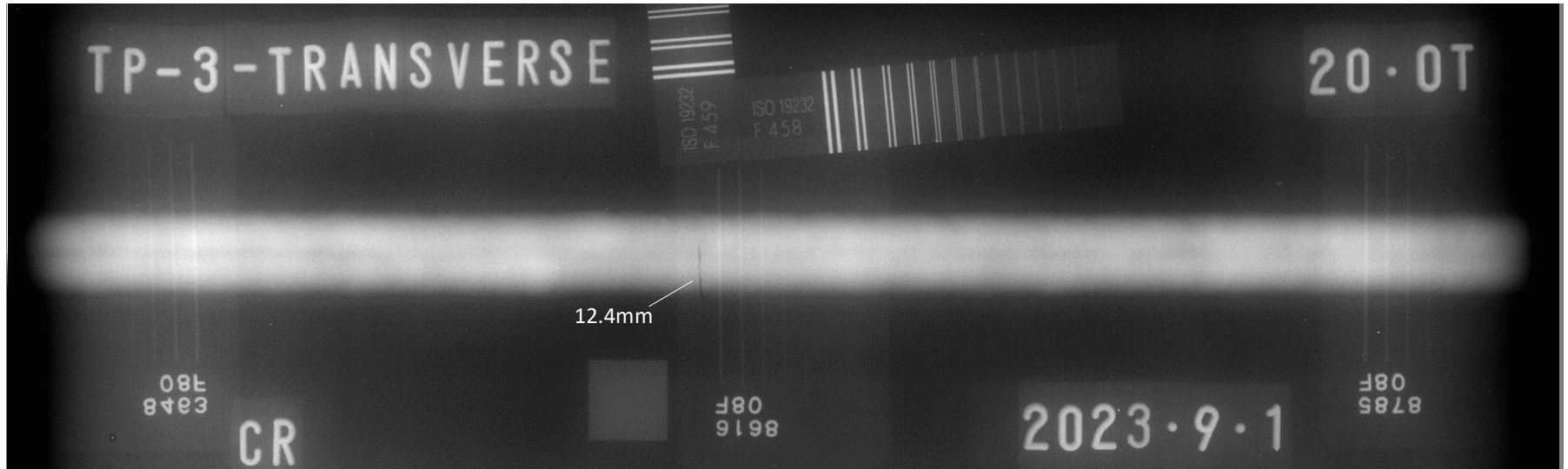


TP-3 板厚 20mm 突合せ溶接試験片 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

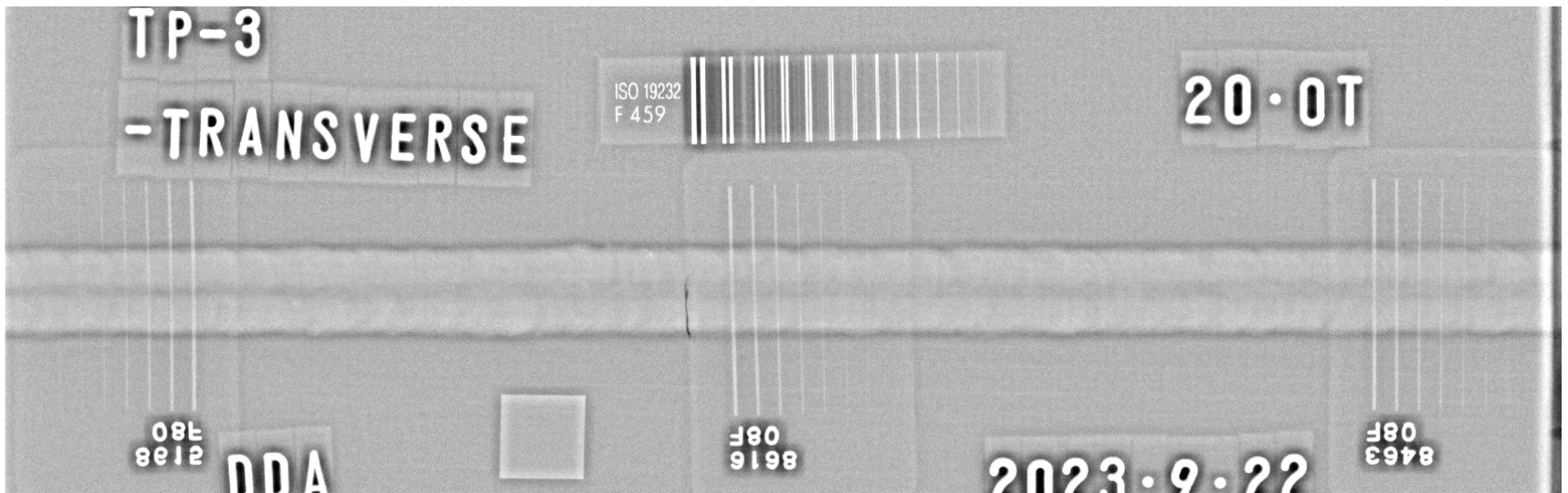


TP-3 板厚 20mm 突合せ溶接試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 20t)



TP-3 板厚 20mm 突合せ溶接試験片 D-RT (CR【IP】)



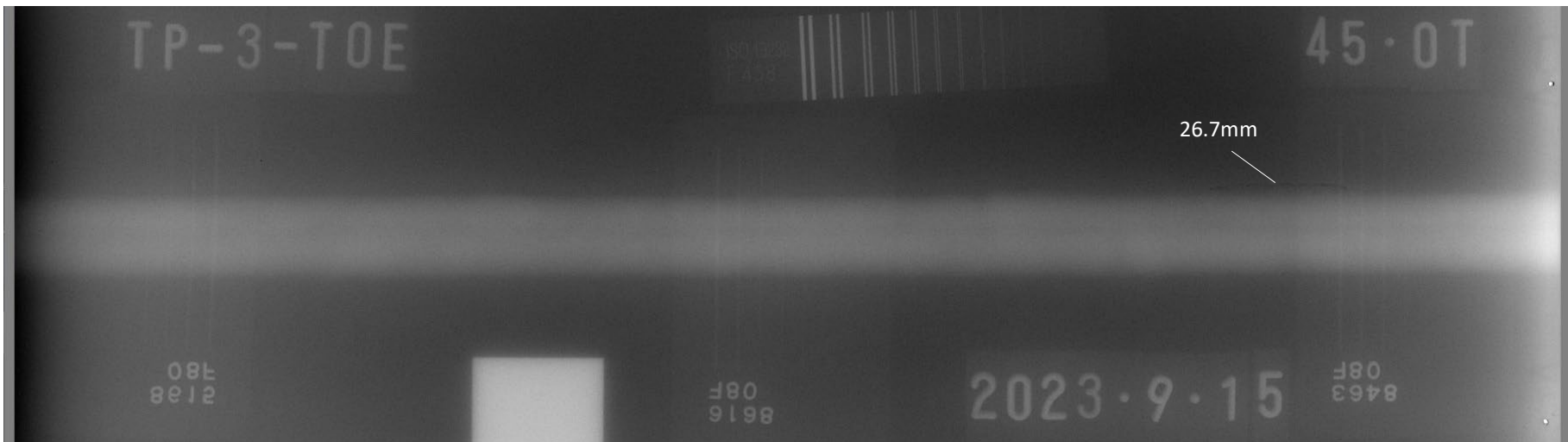
(参考) TP-3 板厚20mm 試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

TP-3突合せ溶接試験片 (45t)

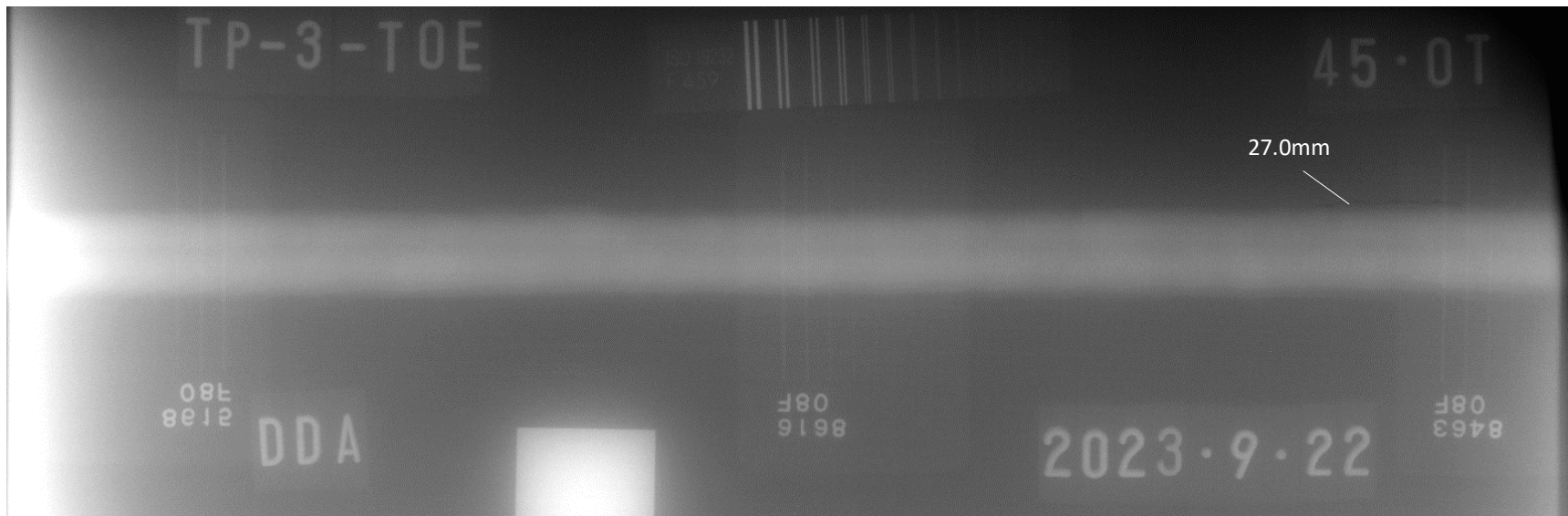


TP-3 (20t=PL34189 + 平板25mm)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 45t)

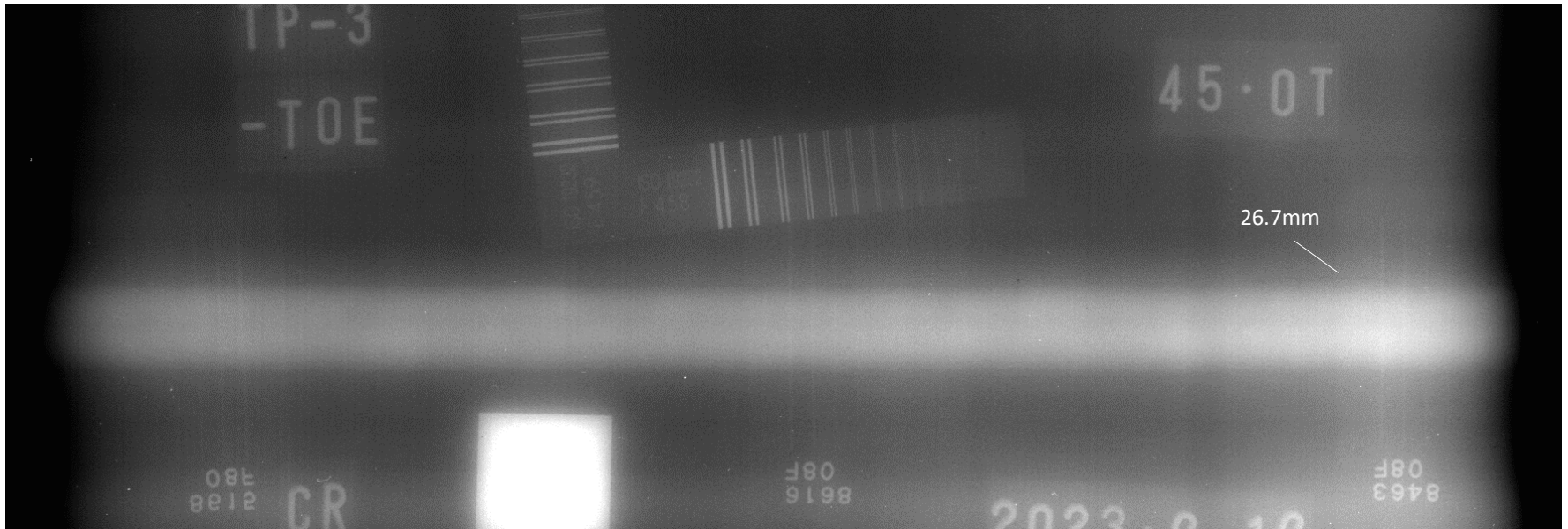


TP-3 板厚 45mm 突合せ溶接試験片 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)

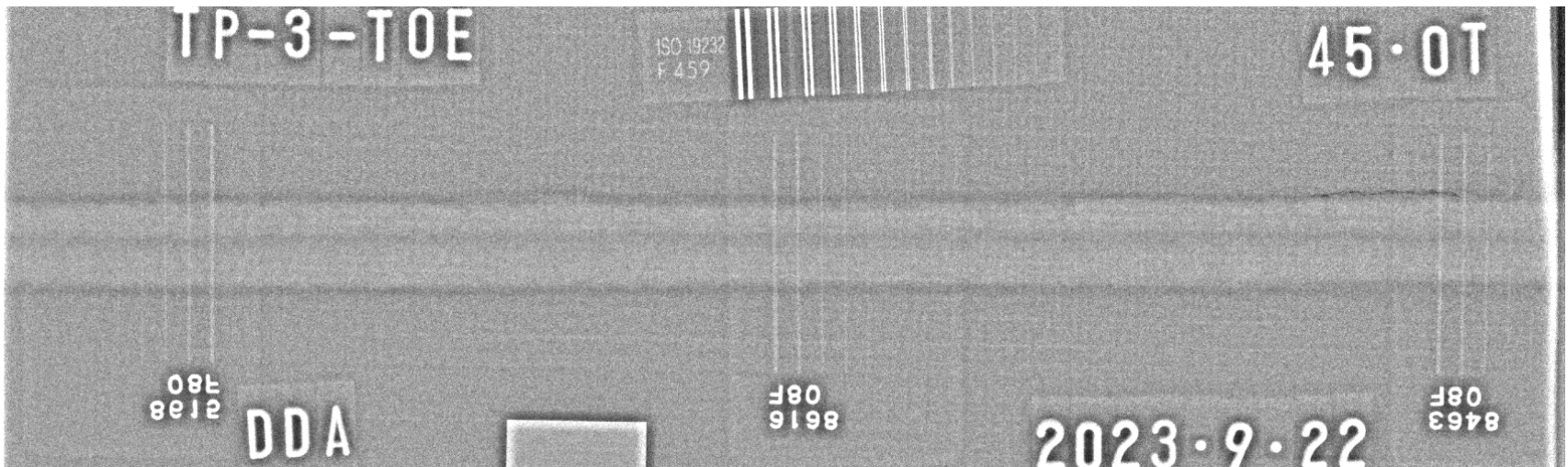


TP-3 板厚 45mm 突合せ溶接試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 45t)



TP-3 板厚 45mm 突合せ溶接試験片 D-RT (CR【IP】)



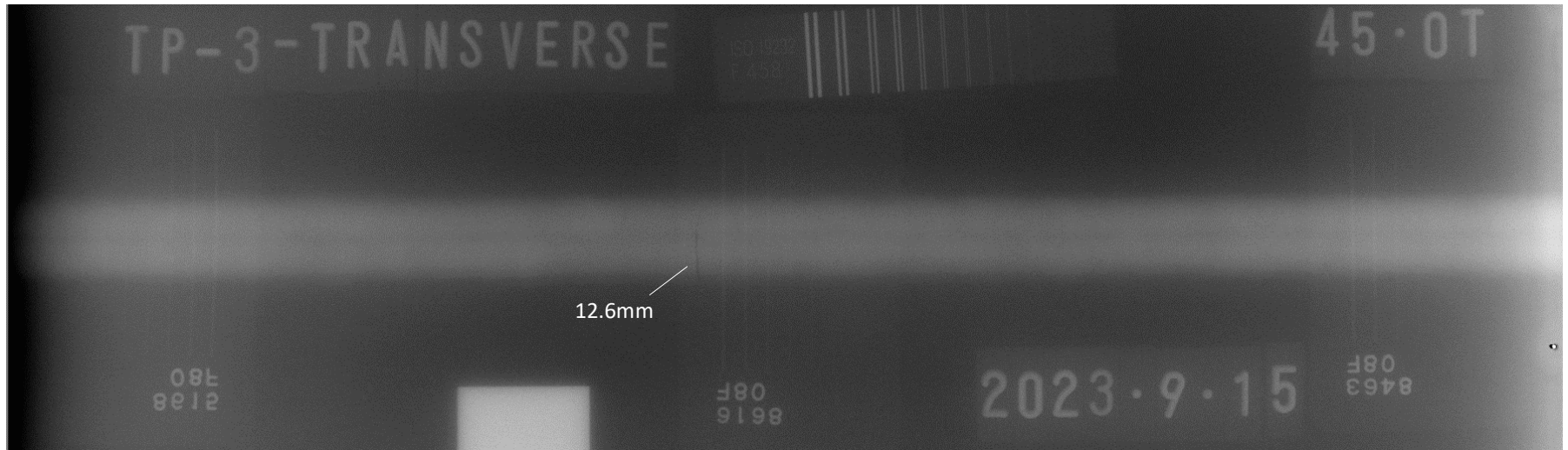
(参考) TP-3 板厚45mm 試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

TP-3突合せ溶接試験片 (45t)

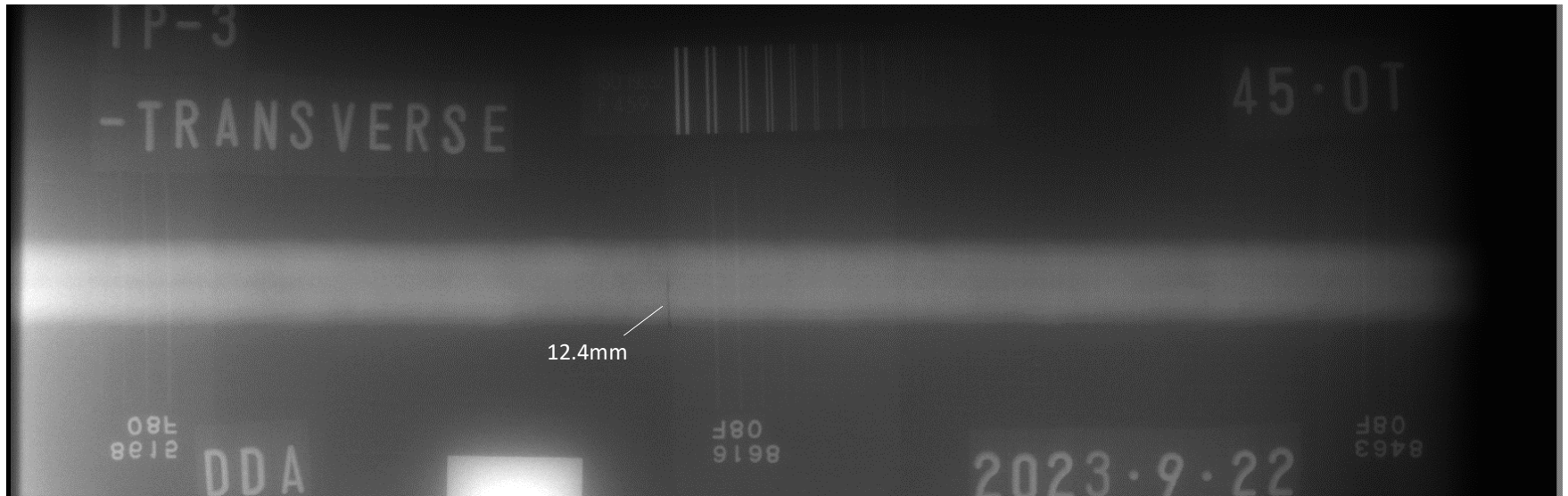


TP-3 (20t=PL34190 + 平板25mm)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 45t)

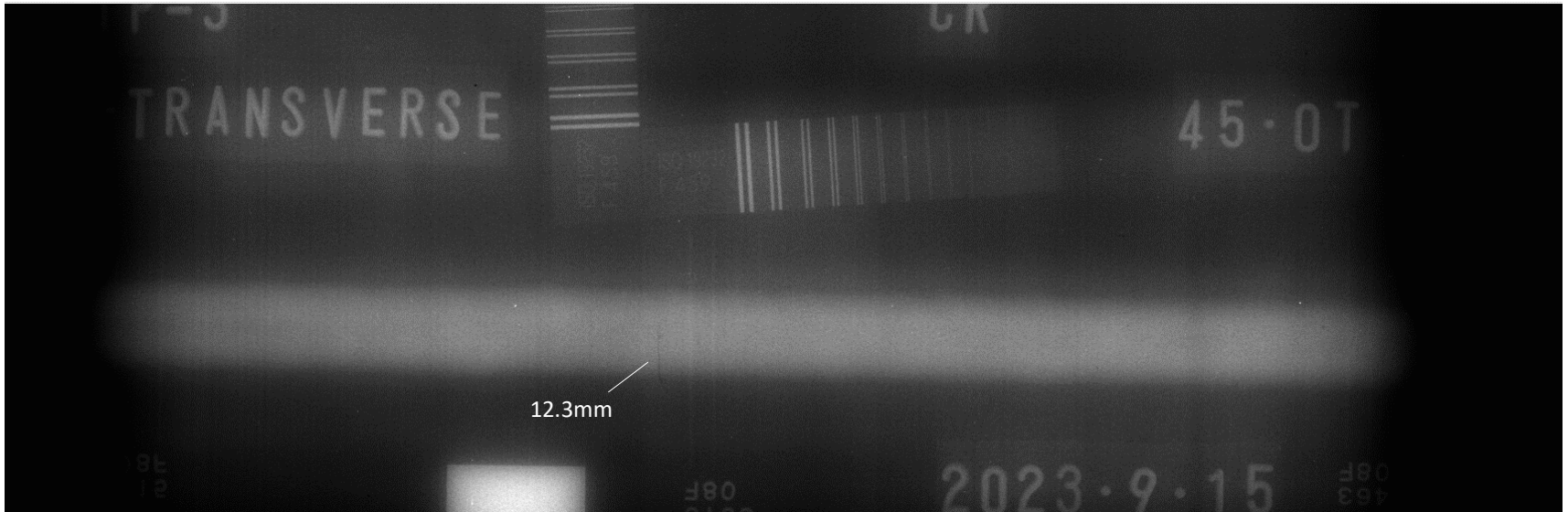


TP-3 板厚 45mm 突合せ溶接試験片 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)

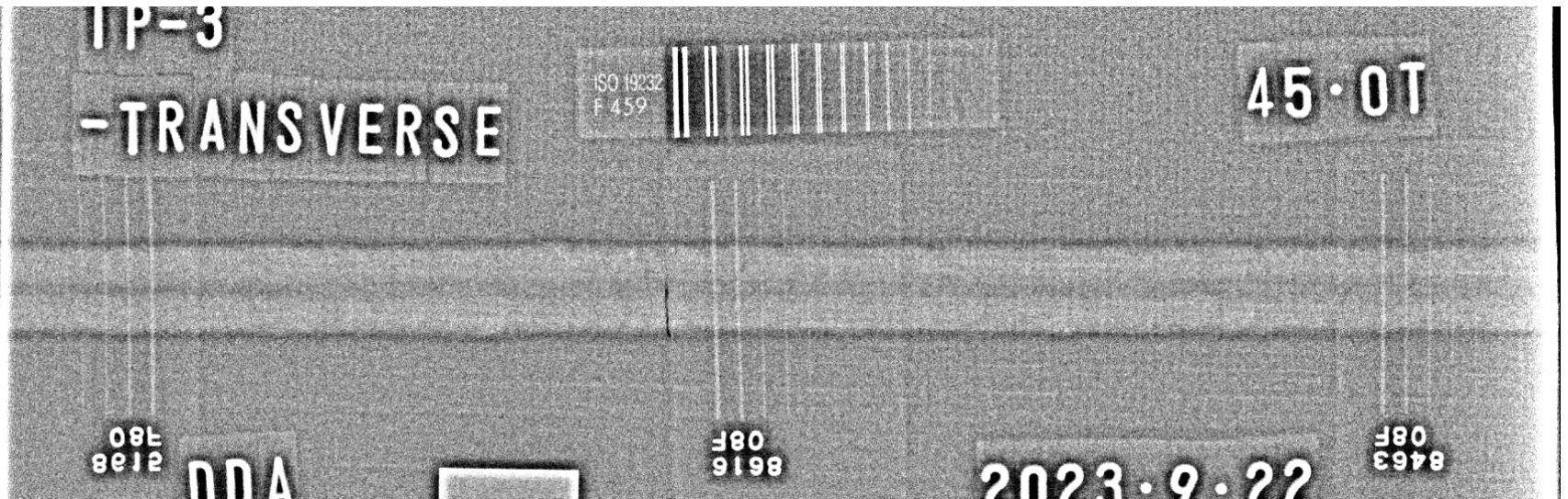


TP-3 板厚 45mm 突合せ溶接試験片 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (TP-3 45t)



TP-3 板厚 45mm 突合せ溶接試験片 D-RT (CR【IP】)



(参考) TP-3 板厚45mm 試験片 D-RT Hi-Pass Filter 処理代表例 (CRも同様の処理が可能)

参考資料 5 現地試験データ集

現地試験データ集

- ※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、フィルムデジタイザによりデジタル画像化したものを掲載している。

現地試験 (1回目)

10万kL級大型タンク 最下段 板厚 36mm



現地試験（1回目）における各像質規格要求事項の満足度

表-実機タンク側板（36mm）における各撮影画像の像質規格要求事項の満足度

撮影箇所	透過度計(単位:mm)				複線形像質計 IQI値			SNR _N 測定値 (規格要求値: ≥98)		
	識別可能線径			JIS Z 3110要求 識別最小線径	JIS Z 3104要求 識別最小線径	CR	DDA	要求値	CR	DDA
	CR	DDA	フィルム							
V1-5-1-1	0.50以下	0.50以下	0.63以下	0.50	0.63	D10	D9	≥D7	162.6	141.2
V1-5-2-1	0.50以下	0.50以下	0.63以下			D10	D10		177.2	231.8
V1-6-1-1	0.50以下	0.50以下	0.63以下			D10	D10		178.6	189.9
V1-7-1-1	0.50以下	0.50以下	0.63以下			D10	D10		165.7	184.8
V1-8-1-1	0.50以下	0.50以下	0.63以下			D10	D10		185.5	222.4
V1-8-2-1	0.50以下	0.50以下	0.63以下			D10	D10		188.1	187.6
V1-8-3-1	0.50以下	0.50以下	0.63以下			D10	D10		159.6	173.5
V1-10-2-1	0.50以下	0.50以下	0.63以下			D10	D10		153.1	170.7

JIS Z 3110で要求される透過度計の識別、SR_b画像、正規化されたSNR(SNR_N)はCRおよびDDAで全数適合
(フィルムについては、JIS Z 3104)

DDAとCRにおける像質確認 (10万kL級 最下段36t)



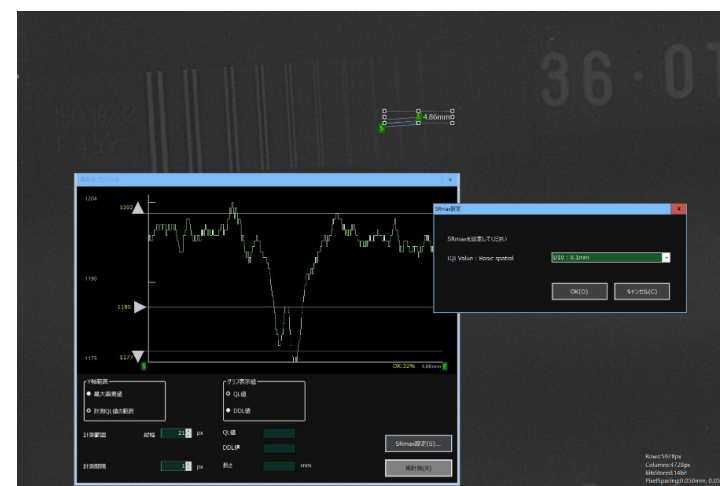
板厚 36mm D-RT (DDA) SNR_N 確認例



板厚 36mm D-RT (CR) SNR_N 確認例



板厚 36mm D-RT (DDA) 複線形像質計 確認例



板厚 36mm D-RT (CR) 複線形像質計

現地試験（1回目）透過写真による測定寸法

表- 実機タンク側板（36mm）におけるきず寸法一覧

単位：mm

撮影箇所	撮影媒体	①	②	③	④	⑤	⑥
V1-5-1-1	F-RT	2.2（第2種）	3.0（第1種）	3.2（第2種）	-	-	-
	D-RT(DDA)	2.3（第2種）	3.0（第1種）	3.6（第2種）	-	-	-
	D-RT(CR)	2.2（第2種）	3.0（第1種）	3.2（第2種）	-	-	-
V1-5-2-1	F-RT	2.0（第2種）	-	-	-	-	-
	D-RT(DDA)	2.2（第2種）	-	-	-	-	-
	D-RT(CR)	2.2（第2種）	-	-	-	-	-
V1-6-1-1	F-RT	2.5（第1種）	1.4（第1種）	1.2（第1種）	10.6（第2種）	2.7（第2種）	2.0（第2種）
	D-RT(DDA)	2.7（第1種）	1.5（第1種）	1.2（第1種）	10.4（第2種）	2.6（第2種）	1.9（第2種）
	D-RT(CR)	2.5（第1種）	1.5（第1種）	1.2（第1種）	9.8（第2種）※1	2.6（第2種）	2.3（第2種）
V1-7-1-1	F-RT	4.5（第1種）	4.5（第2種）	5.8（第1種）	6.0（第2種）	1.0（第1種）	-
	D-RT(DDA)	4.9（第1種）	4.7（第2種）	5.9（第1種）	6.3（第2種）	0.9（第1種）	-
	D-RT(CR)	4.5（第1種）	4.8（第2種）	5.6（第1種）	6.2（第2種）	1.0（第1種）	-
V1-8-1-1	F-RT	3.2（第1種）	-	-	-	-	-
	D-RT(DDA)	3.5（第1種）	-	-	-	-	-
	D-RT(CR)	3.4（第1種）	-	-	-	-	-
V1-8-2-1	F-RT	2.5（第1種）	3.5（第1種）※2	2.5（第2種）※3	-（第1種）	2.5（第1種）	-
	D-RT(DDA)	2.5（第1種）	3.1（第1種）	1.6（第2種）※4	0.5（第1種）	2.3（第1種）	-
	D-RT(CR)	2.7（第1種）	3.2（第1種）	2.5（第2種）※3	0.5（第1種）	2.3（第1種）	-
V1-8-3-1	F-RT	2.3（第1種）	3.5（第2種）	4.0（第2種）	1.6（第1種）	1.2（第1種）	2.3（第1種）
	D-RT(DDA)	2.4（第1種）	3.1（第2種）	4.2（第2種）	1.7（第1種）	1.7（第1種）	2.3（第1種）
	D-RT(CR)	2.1（第1種）	3.2（第2種）	4.0（第2種）	1.8（第1種）	1.2（第1種）	2.0（第1種）
V1-10-2-1	F-RT	2.4（第1種）	3.4（第2種）	1.4（第1種）※5	1.2（第1種）	1.1（第1種）	1.3（第1種）
	D-RT(DDA)	2.5（第1種）	3.2（第2種）	1.0（第1種）	1.3（第1種）	0.8（第1種）	1.5（第1種）
	D-RT(CR)	2.2（第1種）	3.3（第2種）	0.9（第1種）	1.3（第1種）	1.0（第1種）	1.2（第1種）

※1 きず像が断続的・不鮮明であり、長さが短く測定された。

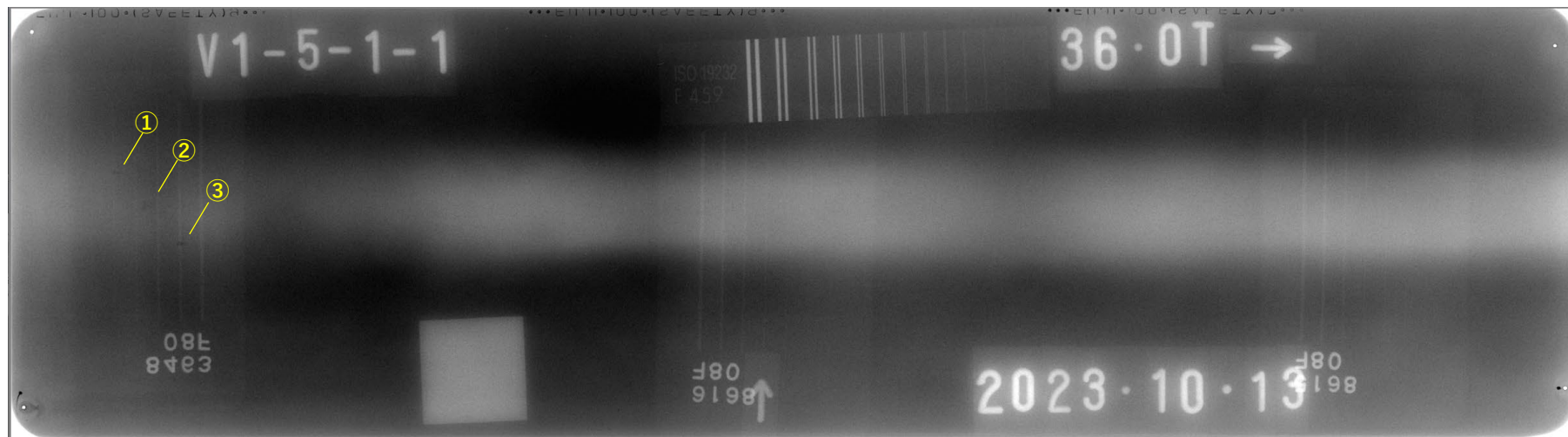
※2 第1種きずから線状の像が確認され、当該部も含めて測定したため、D-RTよりも長く測定された。

※3 全体的に不鮮明であったので粒状性も加味した境界部で測定した。

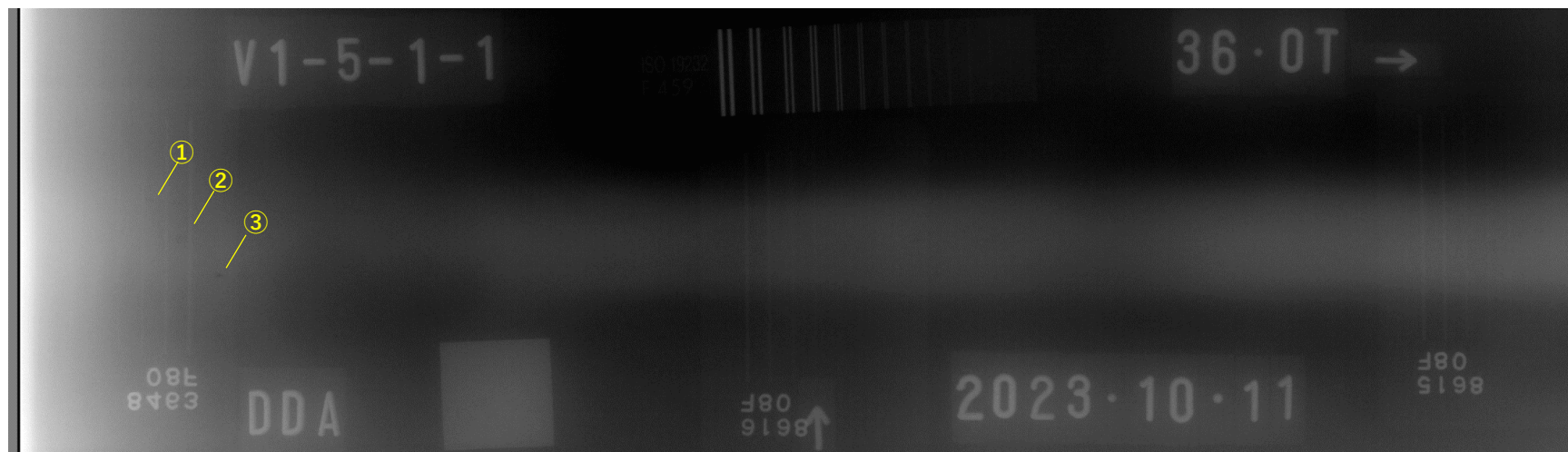
※4 鮮明に写った部位のみを測定した。

※5 D-RTではφ1.0mm程度の第1種きずに隣接して微少な影（φ0.2～0.3mm程度と推定）が認められたが、F-RTではこれらが連結した楕円状のきずと判断した。

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



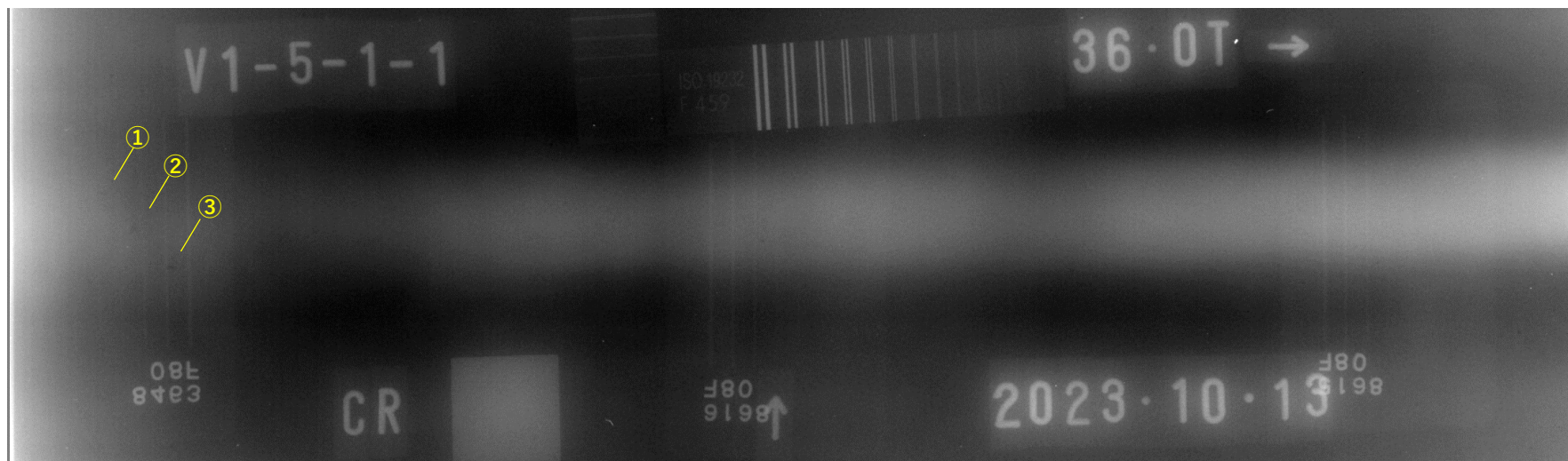
① 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)



① 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

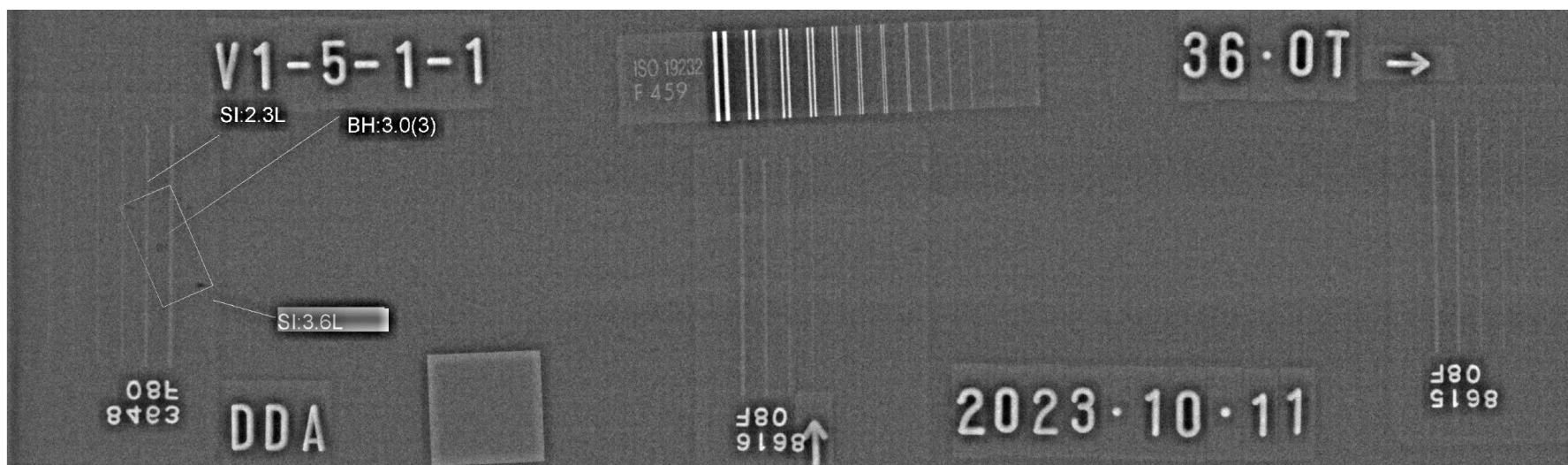
※画像中の①～③のきず寸法については、21ページの表を参照。

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



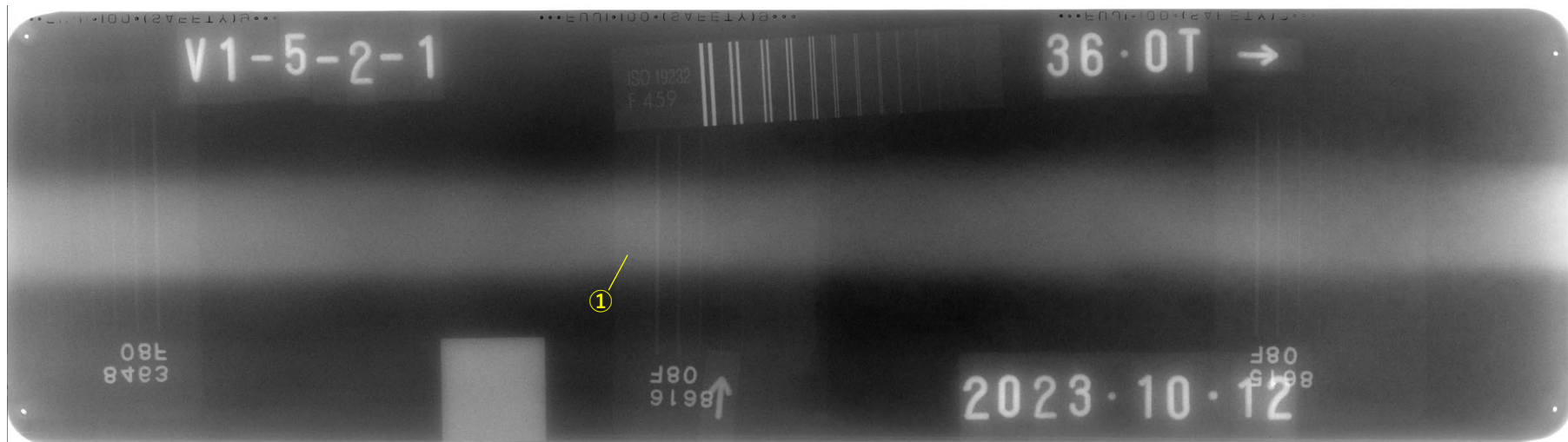
① 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR 【IP】)

※画像中の①～③のきず寸法については、21ページの表を参照。

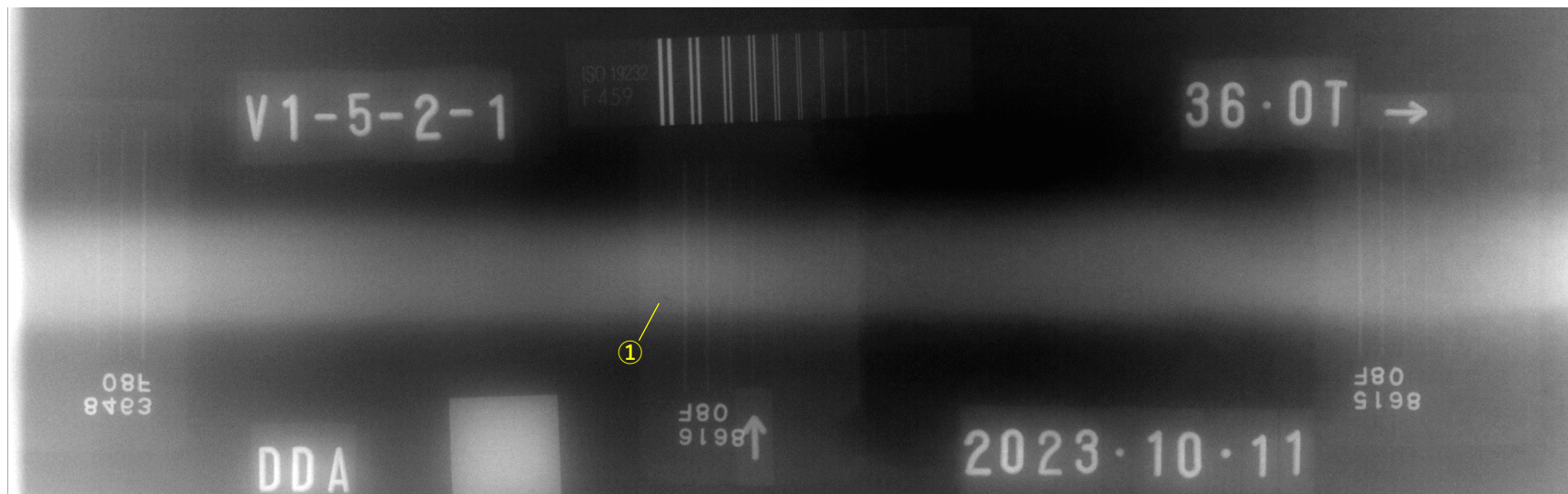


① きず寸法計測例 DDA（濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施）

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



② 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)



② 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

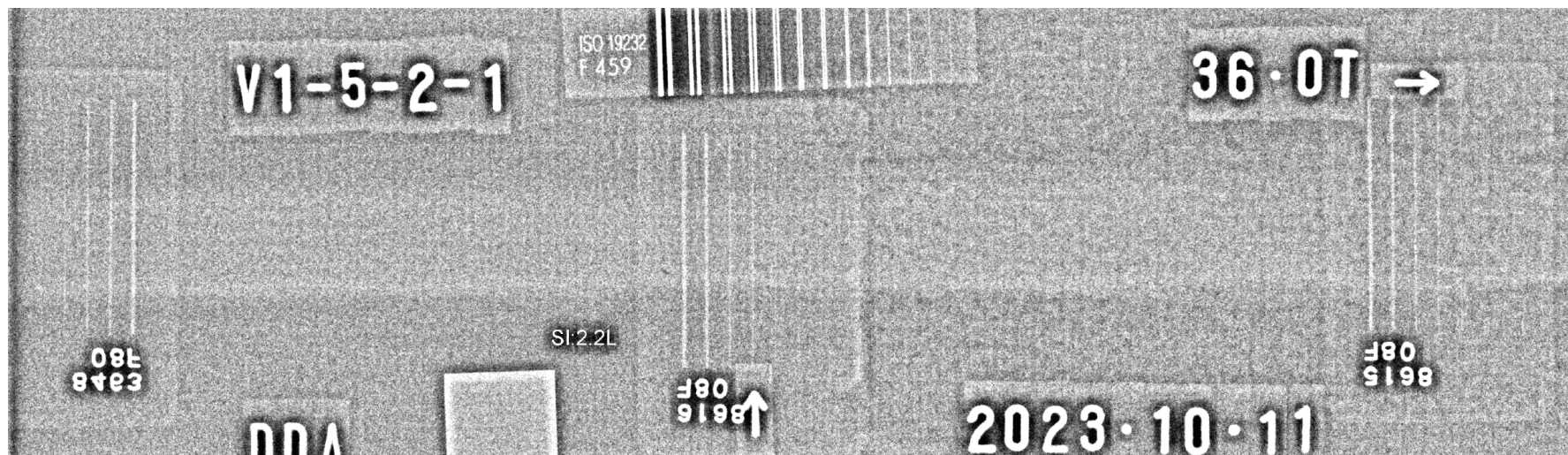
※画像中の①のきず寸法については、21ページの表を参照。

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



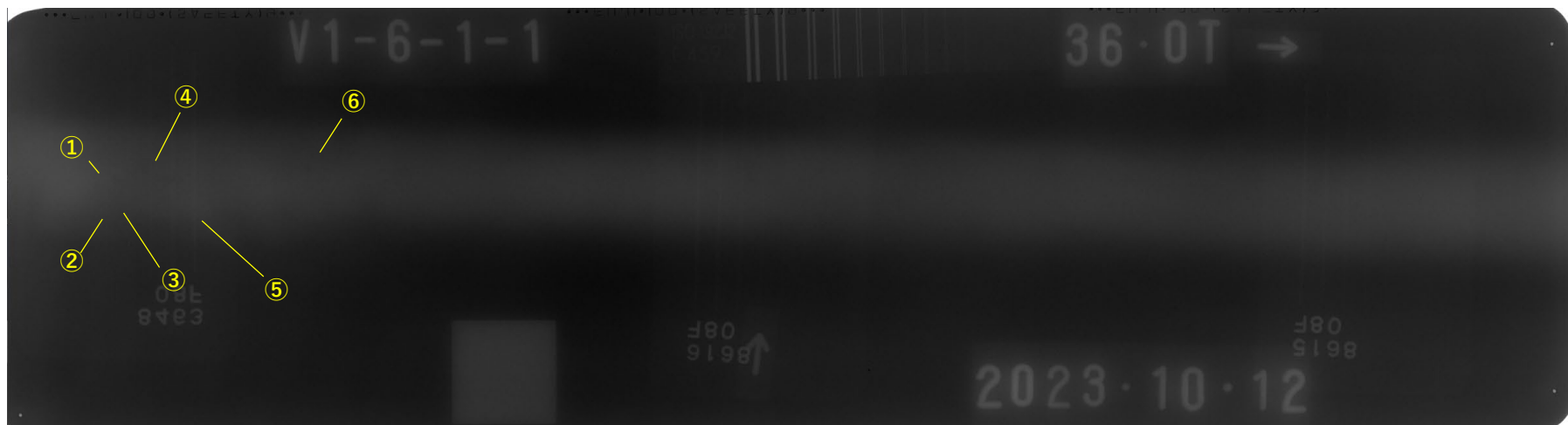
② 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR【IP】)

※画像中の①のきず寸法については、21ページの表を参照。

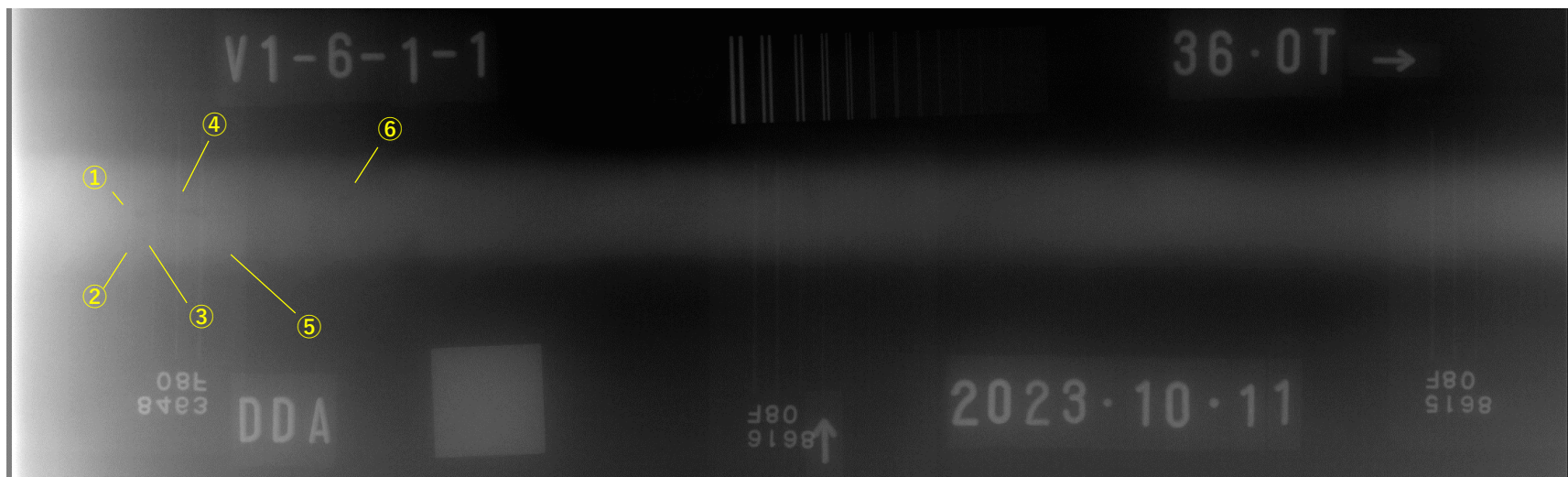


② きず寸法計測例 DDA（濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施）

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



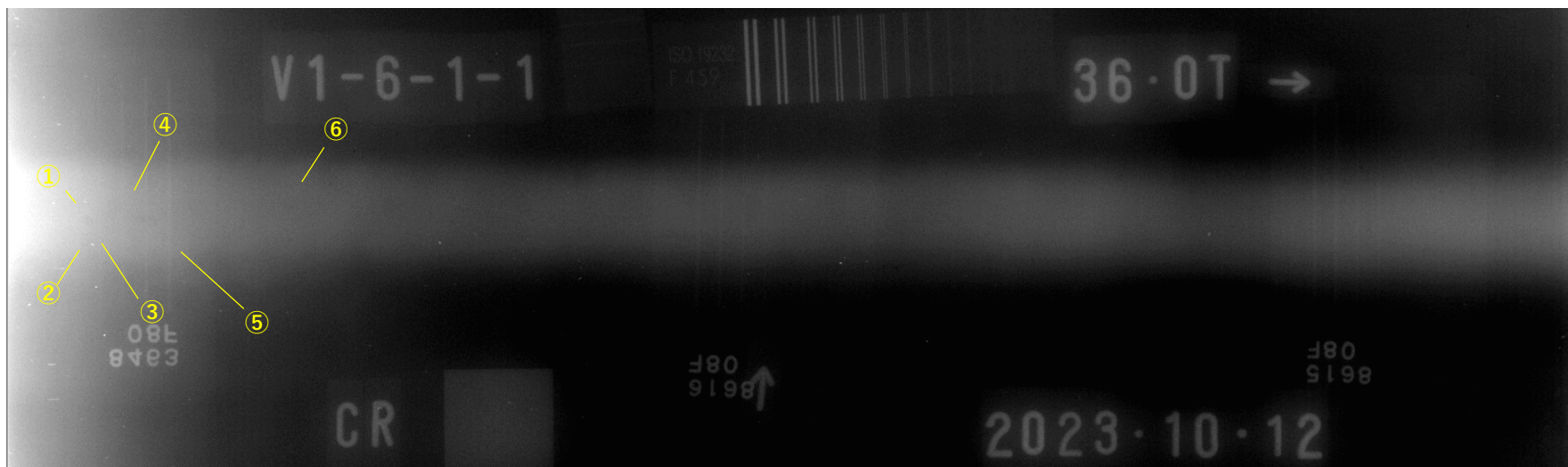
③ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)



③ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

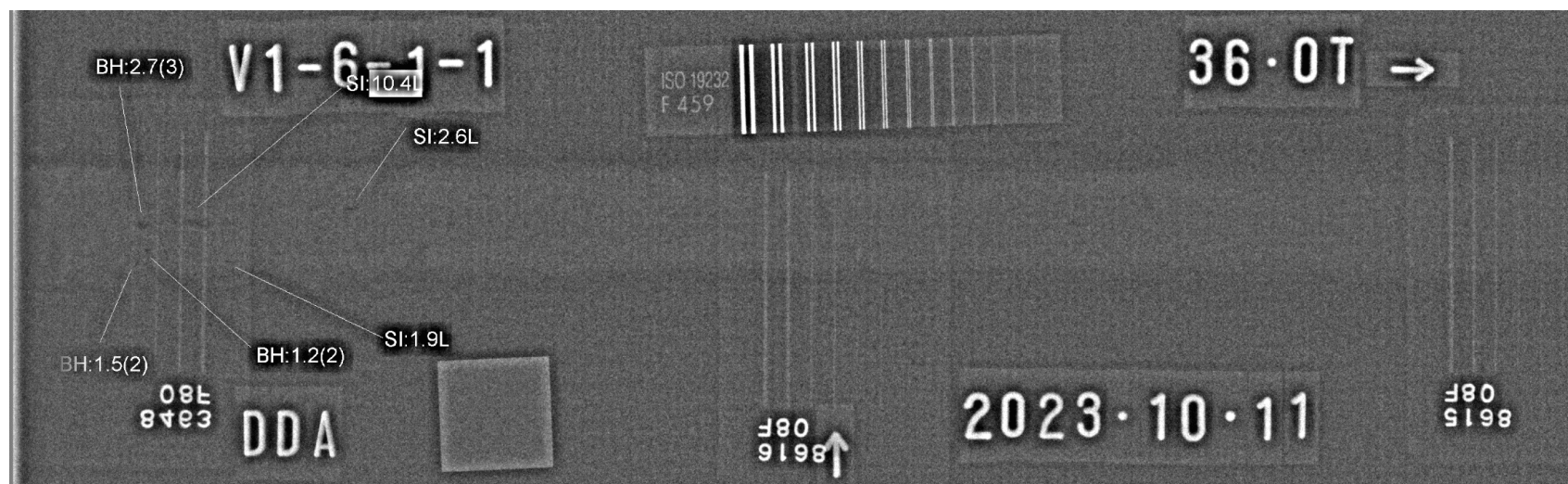
※画像中の①～⑥のきず寸法については、21ページの表を参照。

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



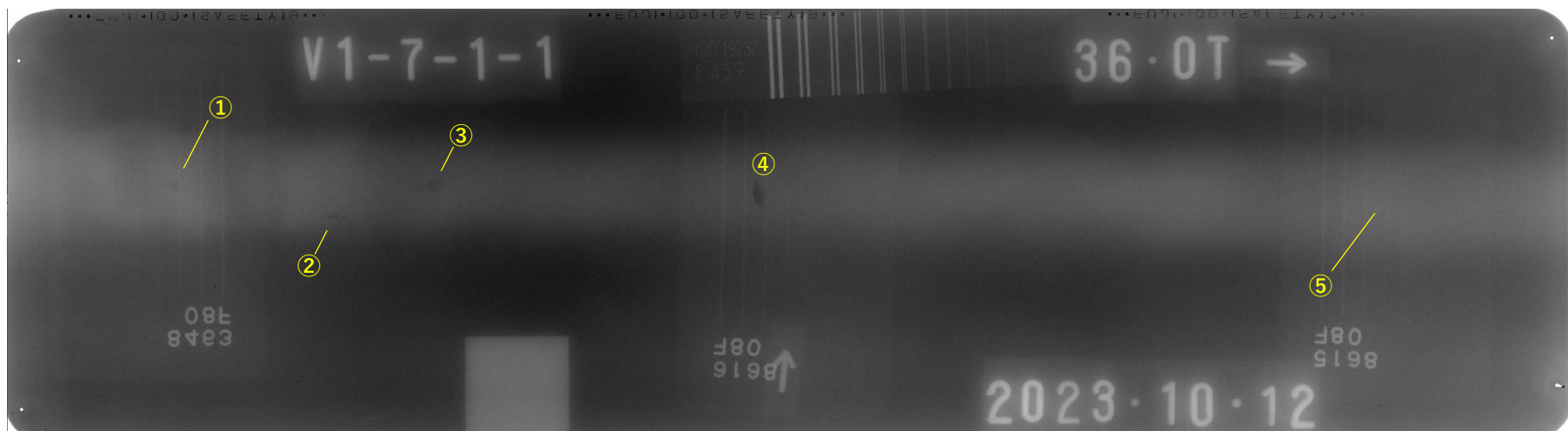
③ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR【IP】)

※画像中の①～⑥のきず寸法については、21ページの表を参照。

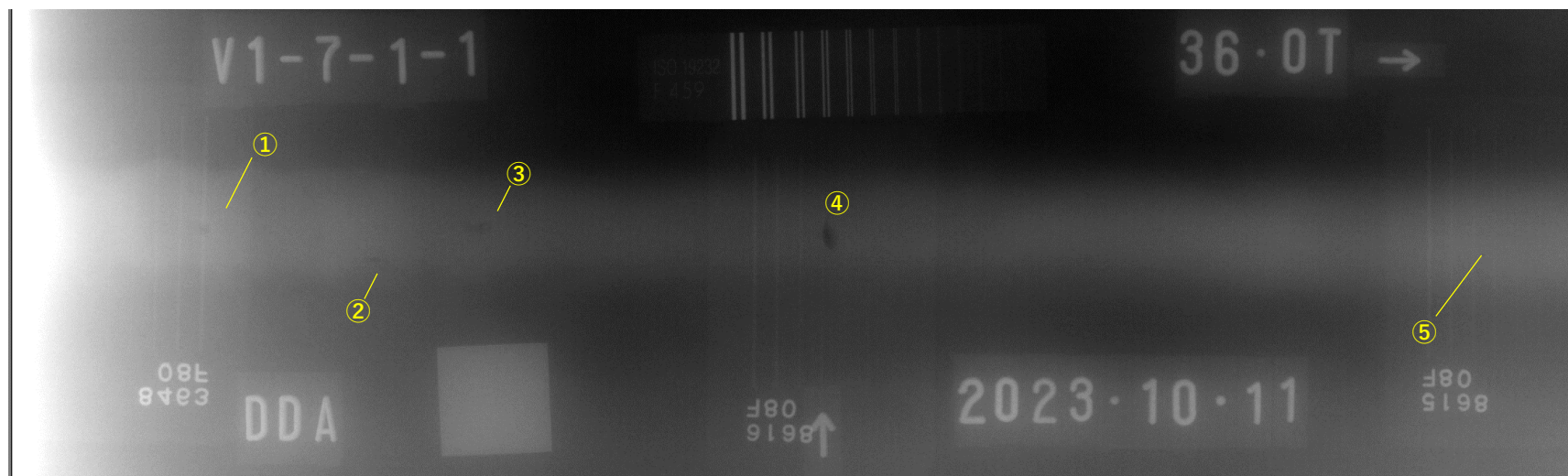


③ きず寸法計測例 DDA（濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施）

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



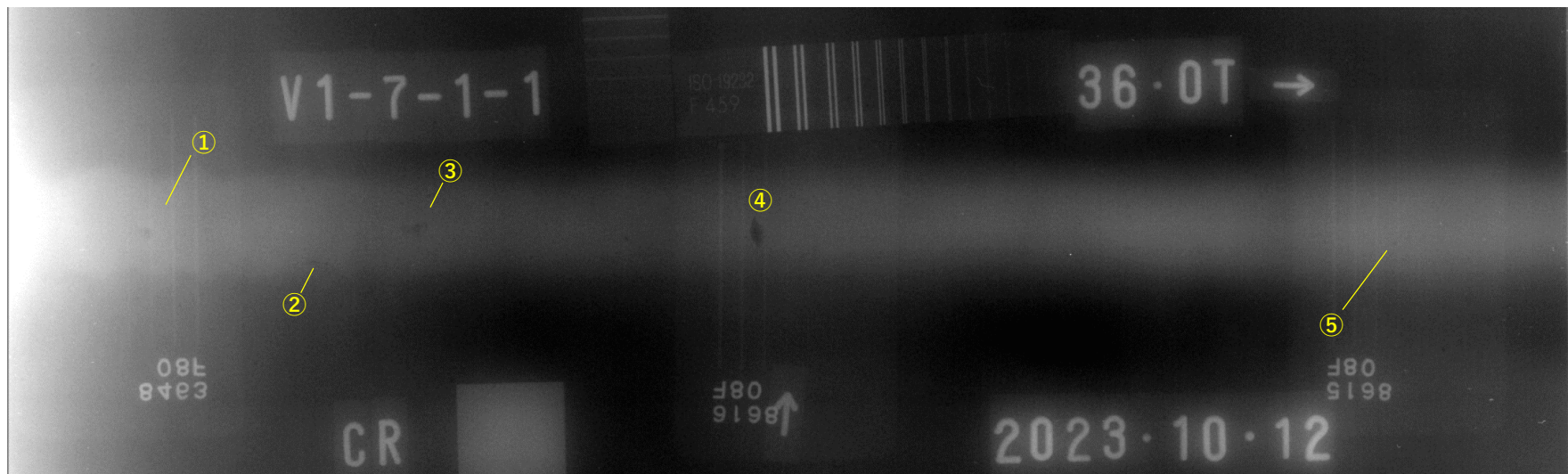
④ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)



④ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

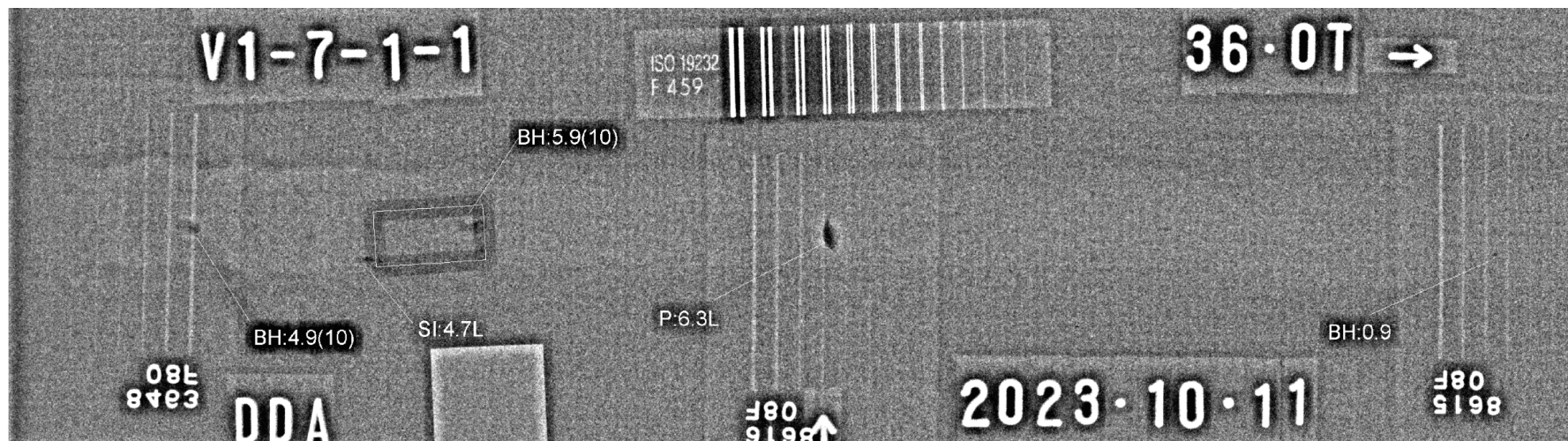
※画像中の①～⑤のきず寸法については、21ページの表を参照。

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



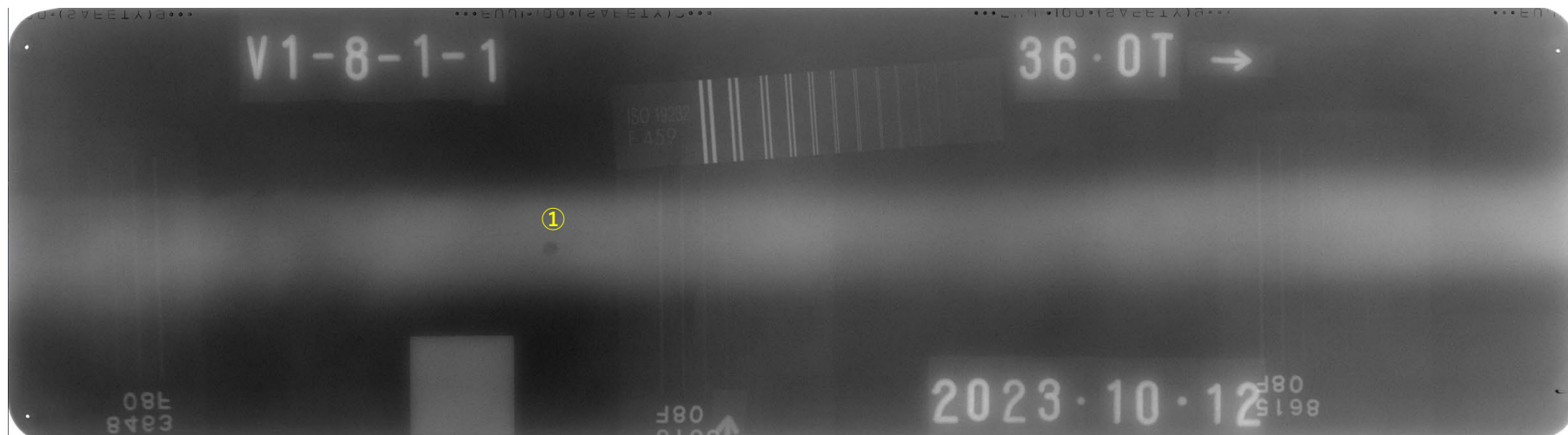
④ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR 【IP】)

※画像中の①～⑤のきず寸法については、21ページの表を参照。

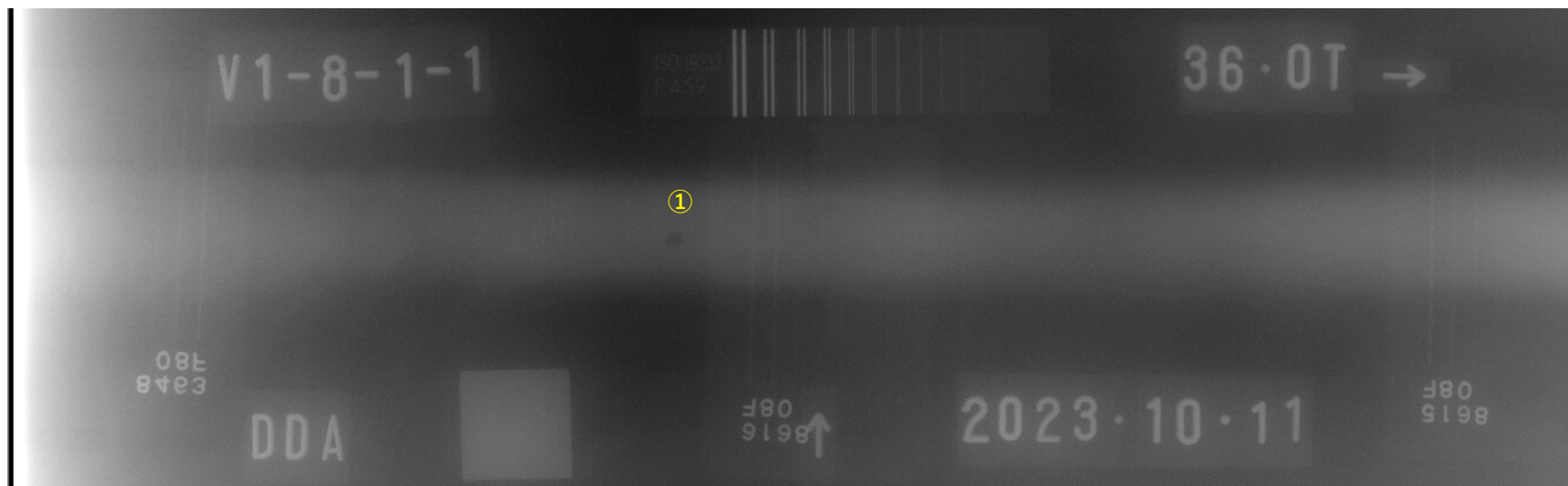


④ きず寸法計測例 DDA（濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施）

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



⑤ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)



⑤ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

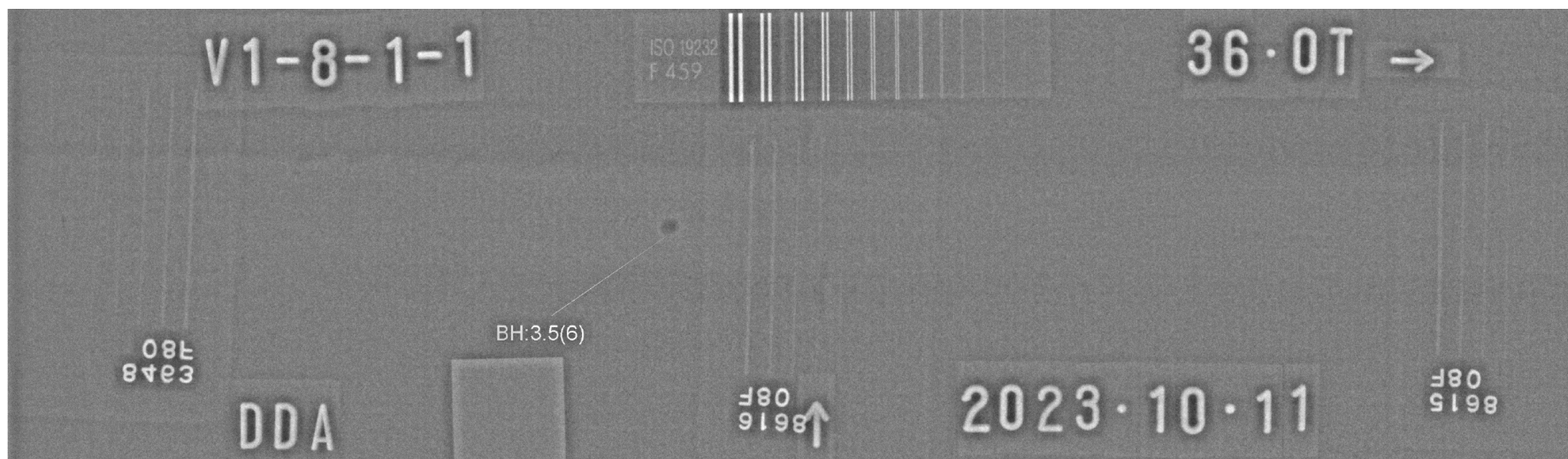
※画像中の①のきず寸法については、21ページの表を参照。

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



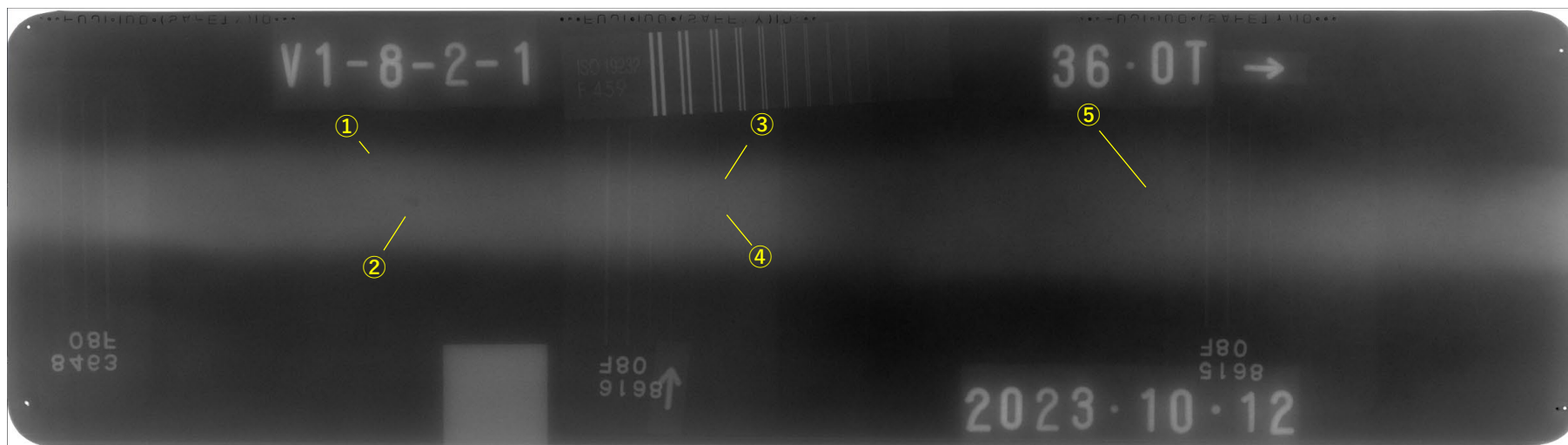
⑤ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR【IP】)

※画像中の①のきず寸法については、21ページの表を参照。

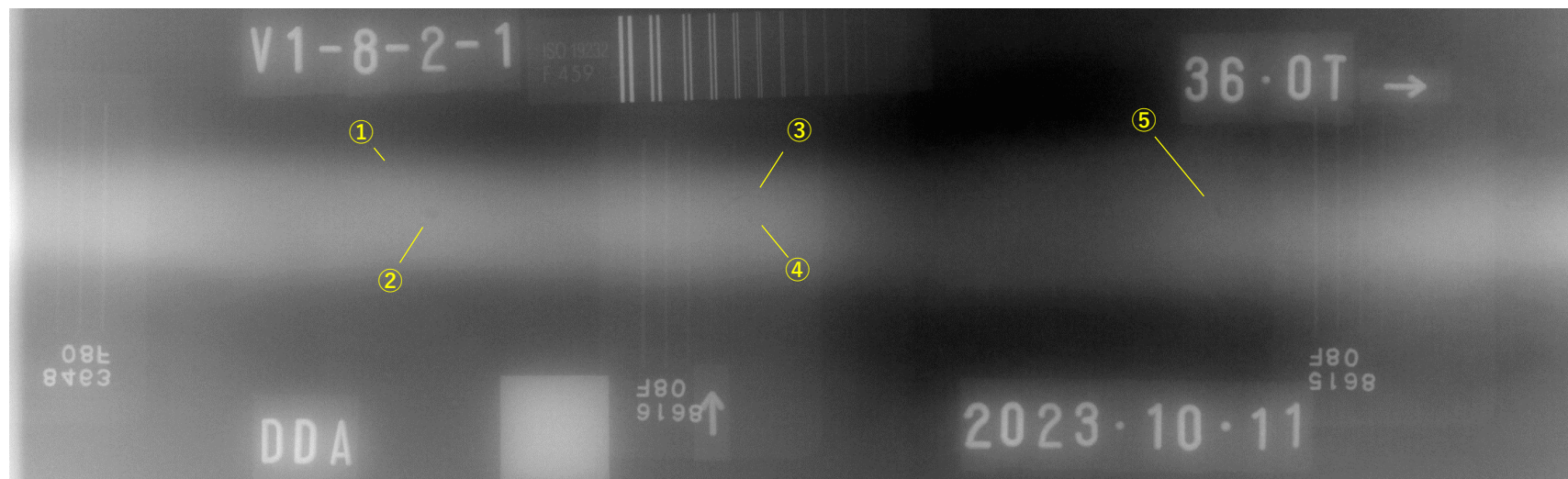


⑤ きず寸法計測例 DDA（濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施）

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



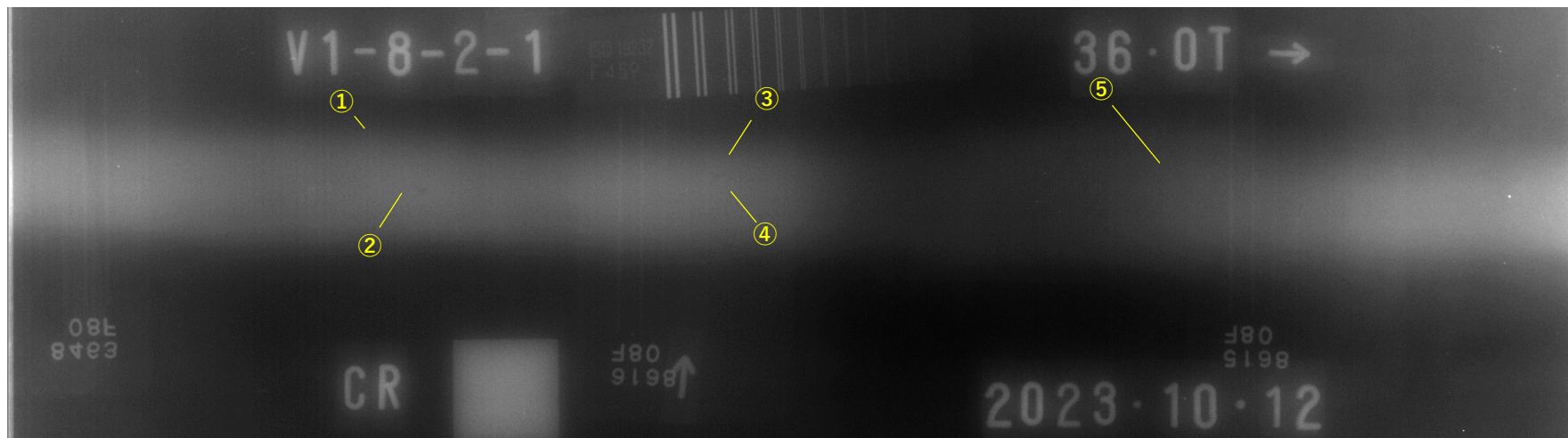
⑥ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)



⑥ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

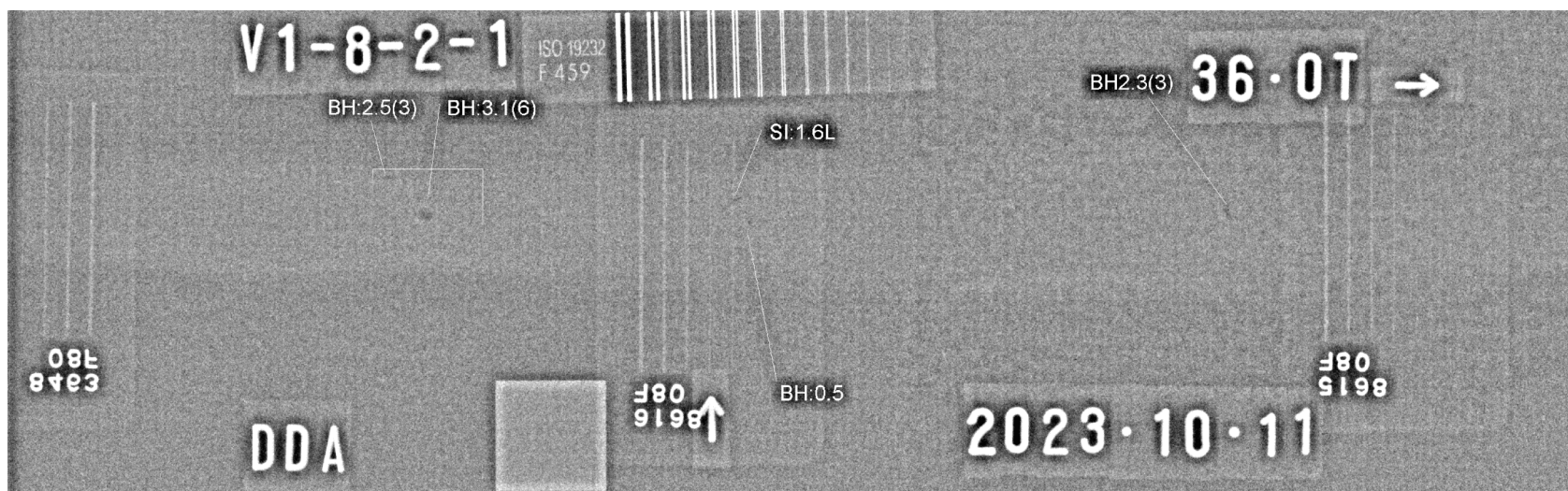
※画像中の①～⑤のきず寸法については、21ページの表を参照。

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



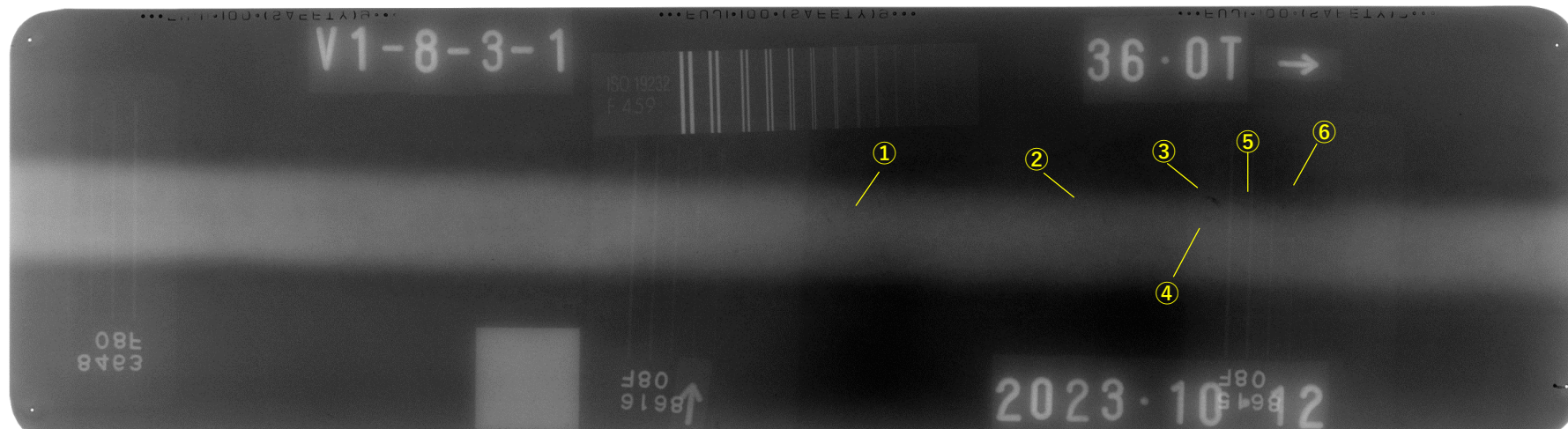
⑥ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR【IP】)

※画像中の①～⑤のきず寸法については、21ページの表を参照。

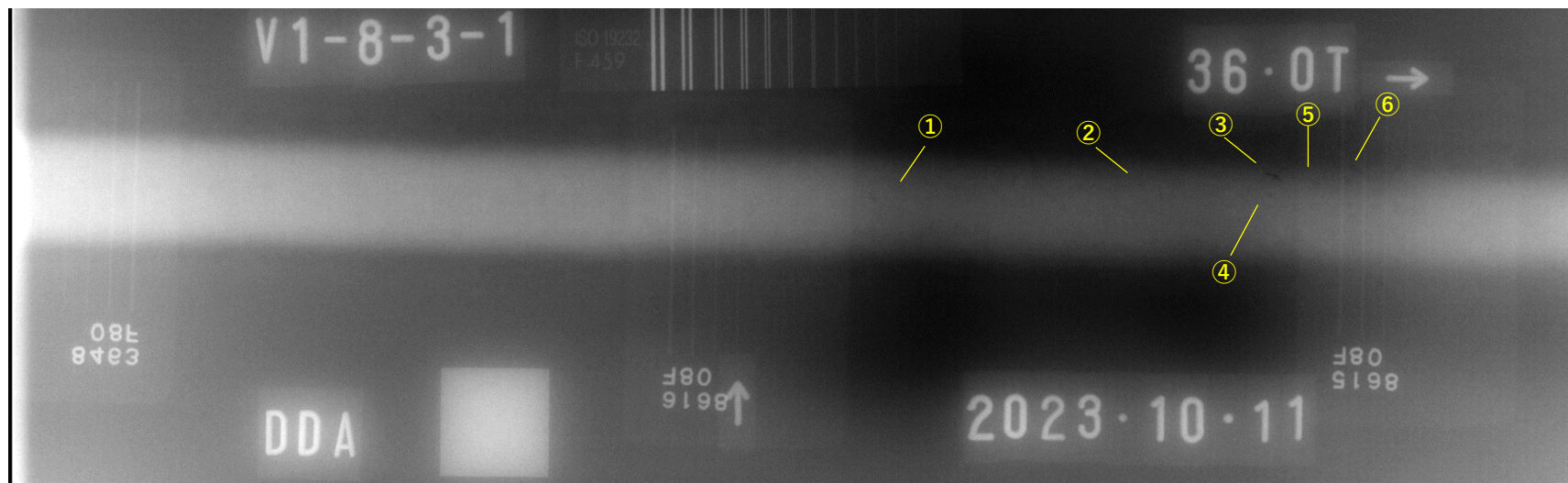


⑥ きず寸法計測例 DDA（濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施）

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



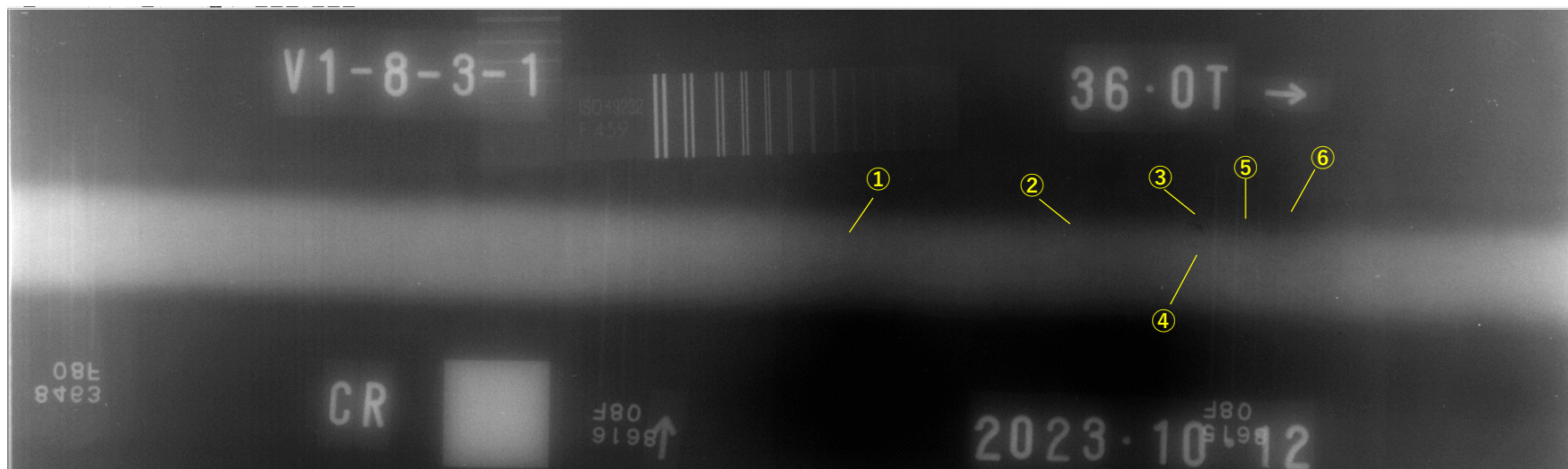
⑦ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)



⑦ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

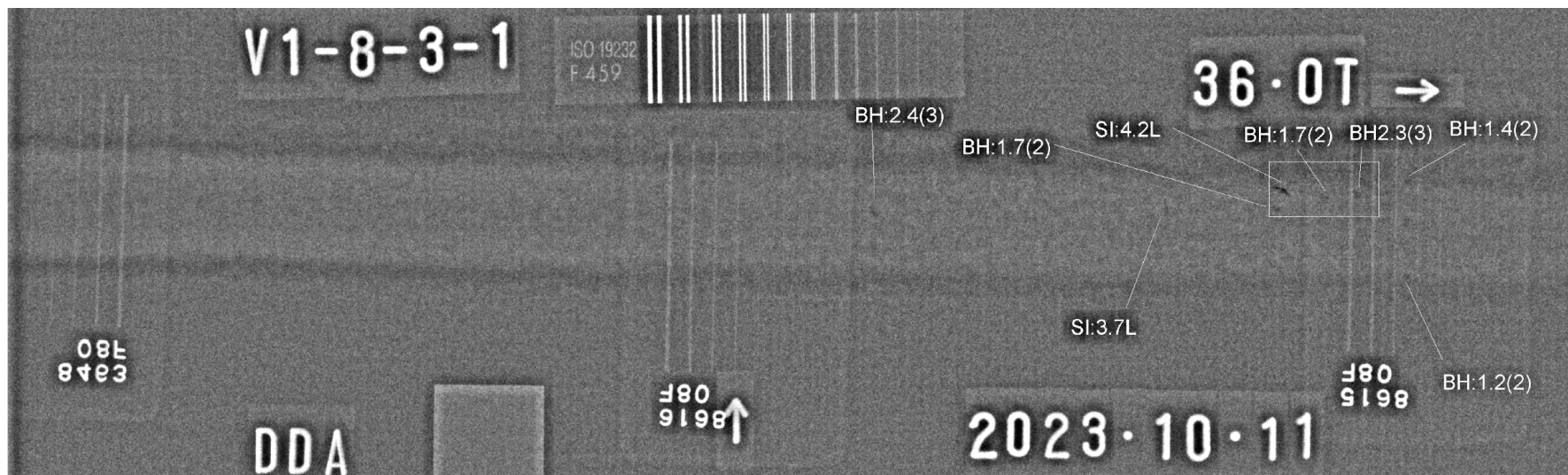
※画像中の①～⑥のきず寸法については、21ページの表を参照。

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



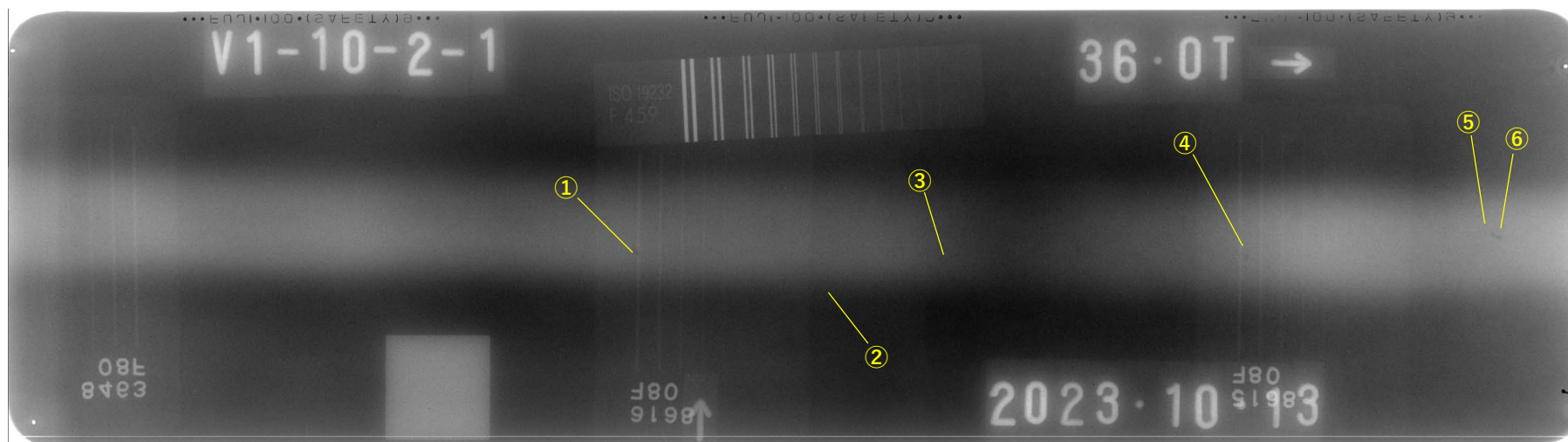
⑦ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR 【IP】)

※画像中の①～⑤のきず寸法については、21ページの表を参照。

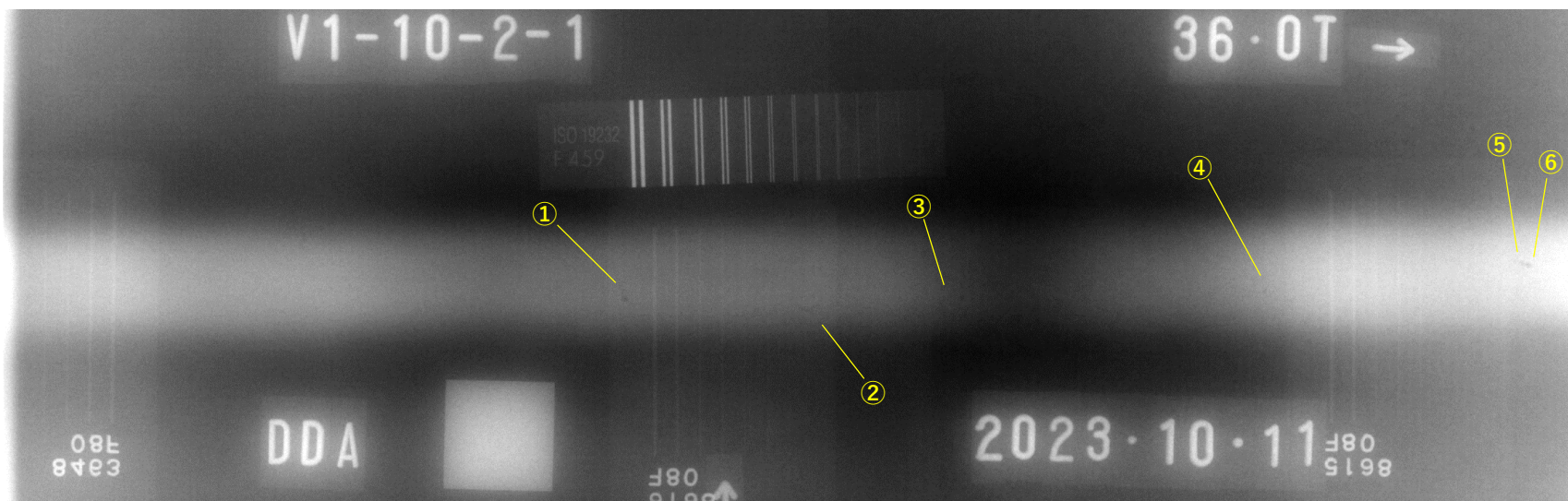


⑦ きず寸法計測例 DDA（濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施）

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



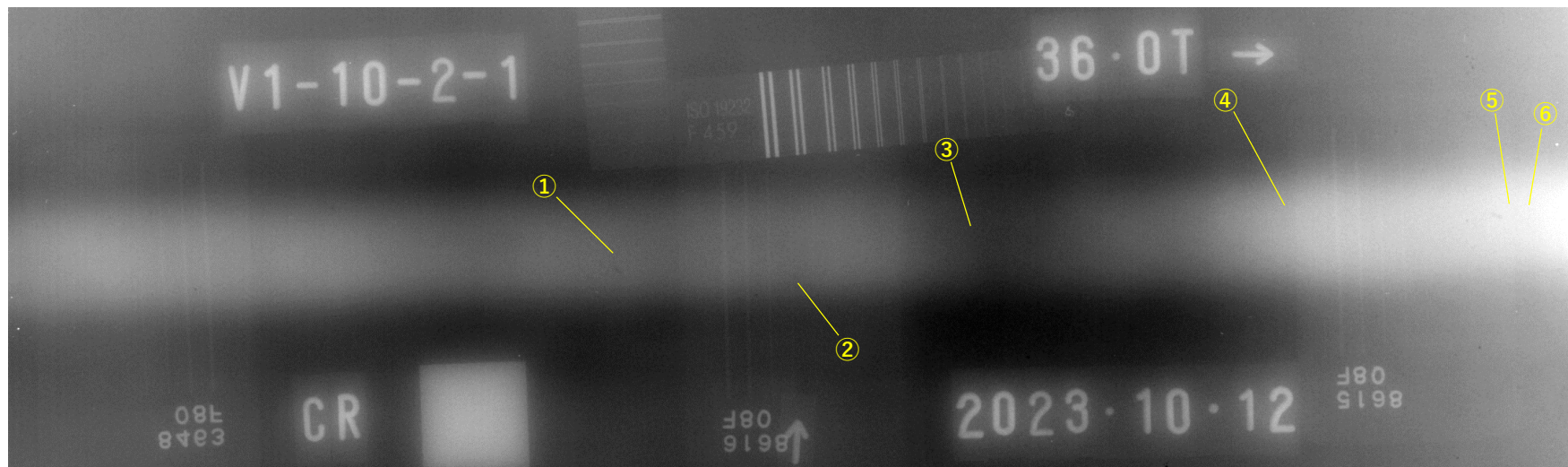
⑧ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #100 Pb0.027F&B)



⑧ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

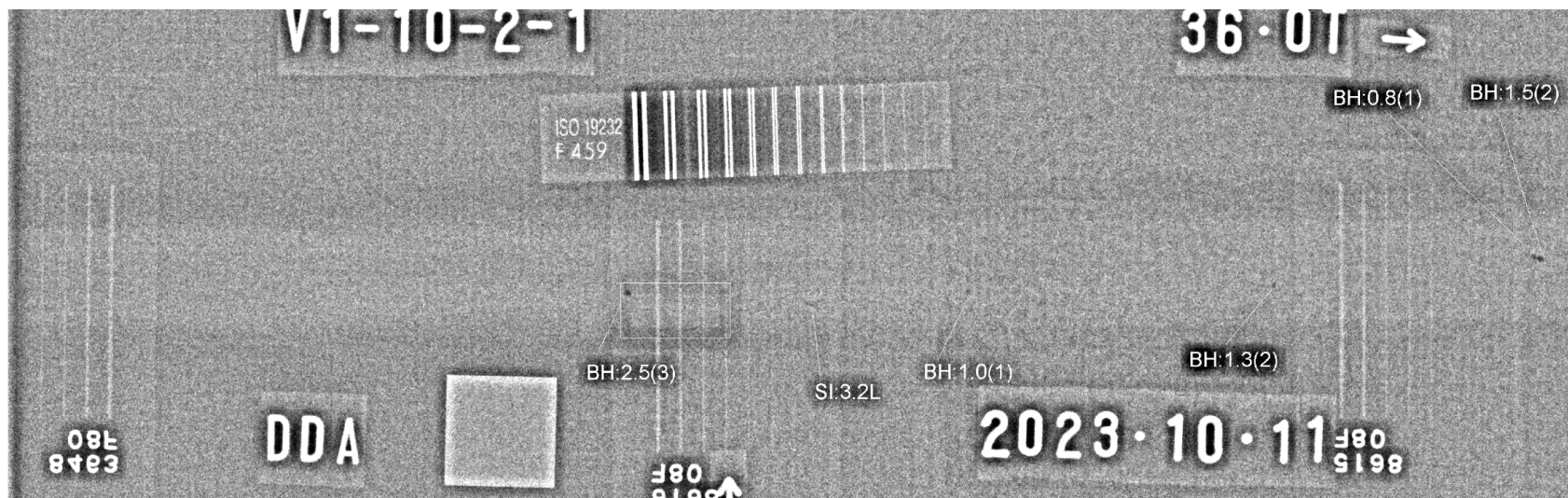
※画像中の①～⑥のきず寸法については、21ページの表を参照。

きず投影状況の比較写真（10万kL級タンク 最下段 36t）



⑧ 板厚 36mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR [IP])

※画像中の①～⑥のきず寸法については、21ページの表を参照。



⑧ きず寸法計測例 DDA（濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施）

現地試験 (2回目)

5,000kL級タンク 最下段 板厚 13mm



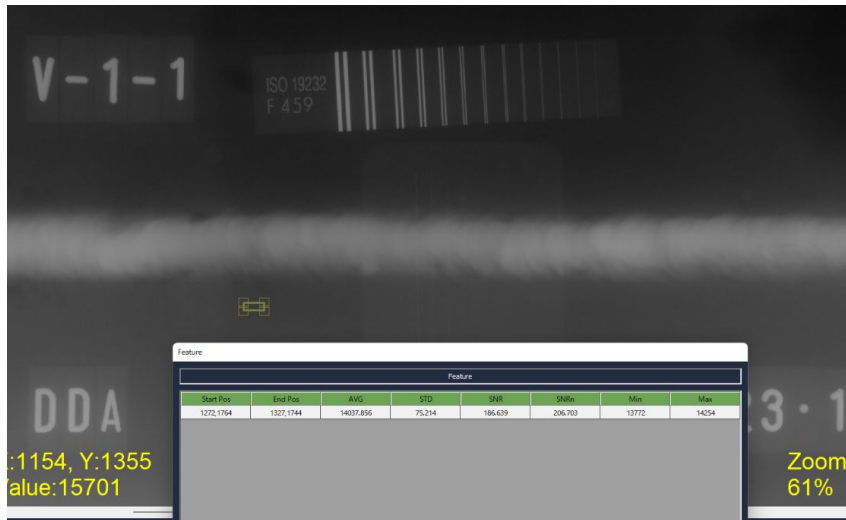
現地試験（2回目）における各像質規格要求事項の満足度

表-実機タンク側板（13mm）における各撮影画像の像質規格要求事項の満足度

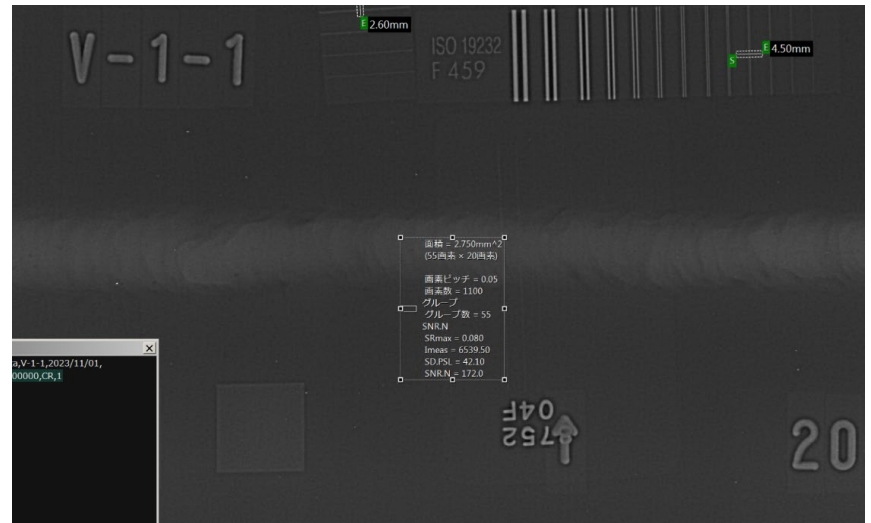
撮影箇所	透過度計(単位:mm)			JIS Z 3110要求 識別最小線径	JIS Z 3104要求 識別最小線径	複線形像質計 IQI値			SNR _N 測定値 (規格要求値: ≥98)	
	識別可能線径					CR	DDA	要求値	CR	DDA
	CR	DDA	フィルム							
V-1-1	0.25以下	0.25以下	0.32以下	0.25	0.32	D11	D11	≥D8	172.0	206.7
V-1-2	0.25以下	0.25以下	0.32以下			D11	D11		164.8	224.6
V-1-4	0.25以下	0.25以下	0.32以下			D11	D11		181.0	290.0
V-2-1	0.25以下	0.25以下	0.32以下			D11	D11		176.5	211.2
V-2-4	0.25以下	0.25以下	0.32以下			D11	D11		183.1	182.7
V-2-5	0.25以下	0.25以下	0.32以下			D11	D11		169.5	175.1
V-3-2	0.25以下	0.25以下	0.32以下			D11	D11		190.5	200.0
V-3-6	0.25以下	0.25以下	0.32以下			D11	D11		186.8	164.7

JIS Z 3110で要求される透過度計の識別、SR_b画像、正規化されたSNR(SNR_N)はCRおよびDDAで全数適合
(フィルムについては、JIS Z 3104)

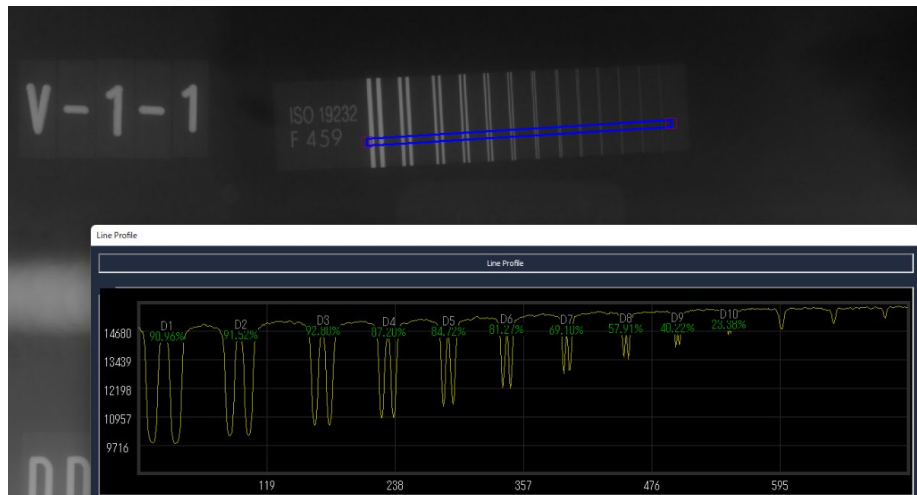
DDAとCRにおける像質確認 (5,000kL級 最下段13t)



板厚 13mm D-RT (DDA) SNR_N確認例



板厚 13mm D-RT (CR) SNR_N確認例



板厚 13mm D-RT (DDA) 複線形像質計 確認例



板厚 13mm D-RT (CR) 複線形像質計 確認例

現地試験（2回目）透過写真による測定寸法

表- 実機タンク側板（13mm）における代表きず寸法一覧

単位：mm

撮影箇所	撮影媒体	①	②	③	④	⑤	⑥
V-1-1	F-RT	6.4（第2種）※1	5.0（第2種）※1	-	-	-	-
	D-RT(DDA)	7.9（第2種）※2	5.8（第2種）※2	-	-	-	-
	D-RT(CR)	7.8（第2種）※2	5.5（第2種）※2	-	-	-	-
V-1-2	F-RT	0.7（第1種）	0.7（第1種）	3.9（第2種）	3.1（第2種）	0.7（第1種）	断続的に長いきずの一部（第2種）
	D-RT(DDA)	0.8（第1種）	0.7（第1種）	4.1（第2種）	3.4（第2種）	0.6（第1種）	断続的に長いきずの一部（第2種）
	D-RT(CR)	0.8（第1種）	0.8（第1種）	3.9（第2種）	2.9（第2種）	0.7（第1種）	断続的に長いきずの一部（第2種）
V-1-4	F-RT	断続的に長いきずの一部（第2種）	0.5（第1種）	0.5（第1種）	2.1（第2種）	4.0（第2種）	1.8（第2種）
	D-RT(DDA)	断続的に長いきずの一部（第2種）	0.5（第1種）	0.5（第1種）	2.2（第2種）	3.9（第2種）	2.0（第2種）
	D-RT(CR)	断続的に長いきずの一部（第2種）	0.5（第1種）	0.5（第1種）	2.2（第2種）	3.9（第2種）	2.0（第2種）
V-2-1	F-RT	2.0（第1種）※3	2.5（第2種）	26.5（第2種）※5	-	-	-
	D-RT(DDA)	1.1（第1種）※3,※4	2.6（第2種）	25.6（第2種）※5	-	-	-
	D-RT(CR)	1.7（第1種）※3	2.2（第2種）	18.5（第2種）※5	0.8（第1種）※5	1.7（第1種）※5	-
V-2-4	F-RT	3.0（第2種）	2.5（第2種）	0.5（第1種）	0.5（第1種）	0.7（第1種）	1.2（第1種）
	D-RT(DDA)	3.2（第2種）	2.5（第2種）	0.6（第1種）	0.5（第1種）	0.7（第1種）	1.1（第1種）
	D-RT(CR)	3.2（第2種）	2.7（第2種）	0.6（第1種）	0.5（第1種）	0.6（第1種）	1.1（第1種）
V-2-5	F-RT	11.1（第2種）	1.0（第1種）	13.9（第2種）	0.9（第1種）	-	-
	D-RT(DDA)	11.5（第2種）	0.8（第1種）	13.5（第2種）	0.9（第1種）	-	-
	D-RT(CR)	11.3（第2種）	1.0（第1種）	13.6（第2種）	0.8（第1種）	-	-
V-3-2	F-RT	連続的に長いきずの一部（第2種）	0.6（第1種）	0.9（第1種）	-	-	-
	D-RT(DDA)	連続的に長いきずの一部（第2種）	0.7（第1種）	0.7（第1種）	-	-	-
	D-RT(CR)	連続的に長いきずの一部（第2種）	0.5（第1種）	0.7（第1種）	-	-	-
V-3-6	F-RT	3.5（第2種）	7.5（第2種）	0.5（第1種）	1.2（第1種）	0.6（第1種）	-
	D-RT(DDA)	3.4（第2種）	7.3（第2種）	0.5（第1種）	1.1（第1種）	0.6（第1種）	-
	D-RT(CR)	3.2（第2種）	7.4（第2種）	0.5（第1種）	1.1（第1種）	0.6（第1種）	-

※1：溶接線上のコントラストが小さく、端部が識別しにくかった。

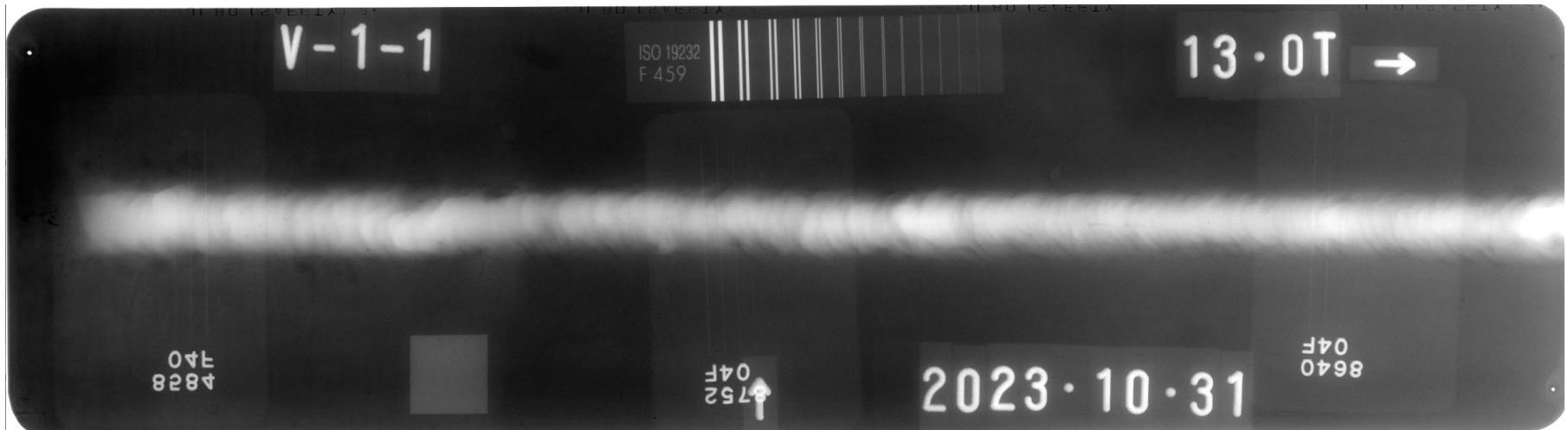
※2：コントラストや拡大率の調整機能等を用いて観察を行い、コントラストを大きくし、きず像端部の識別性を高めたうえできず像寸法を測定した。

※3：溶接形状、孔食等の腐食減肉の可能性あり。

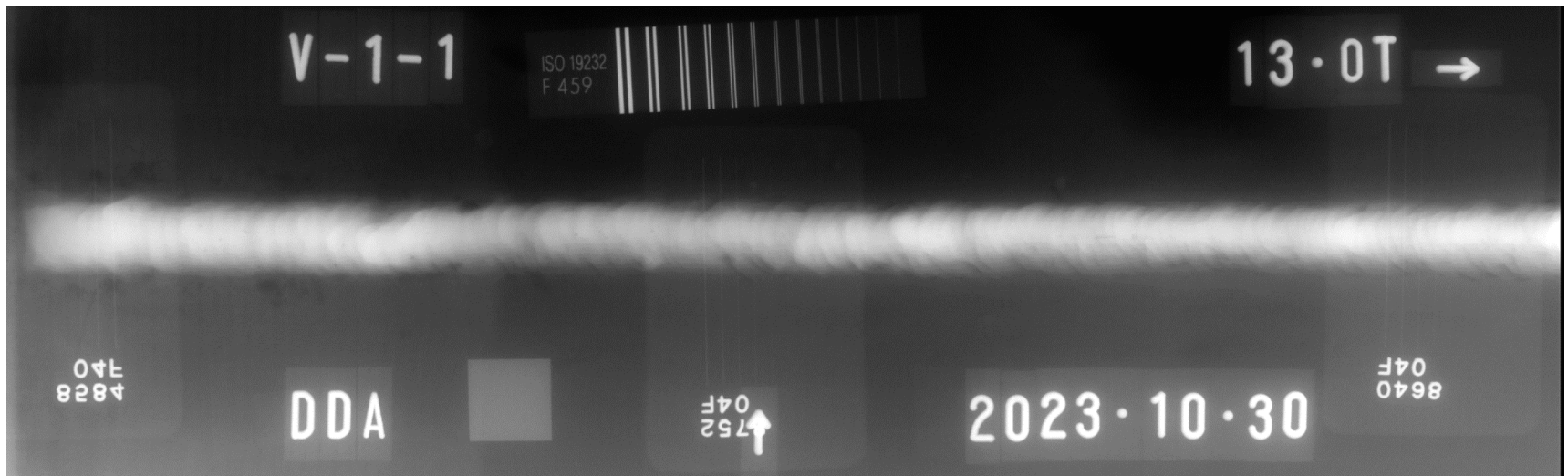
※4：きず像の境界が明瞭である部分について独立したきずとして最大の寸法を測定した。

※5：③～⑤について、F-RT及びD-RT(DDA)では不明瞭な部分はあるものの連続した一つのきずとして、D-RT(CR)では別個のきずとして測定したものを。

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)

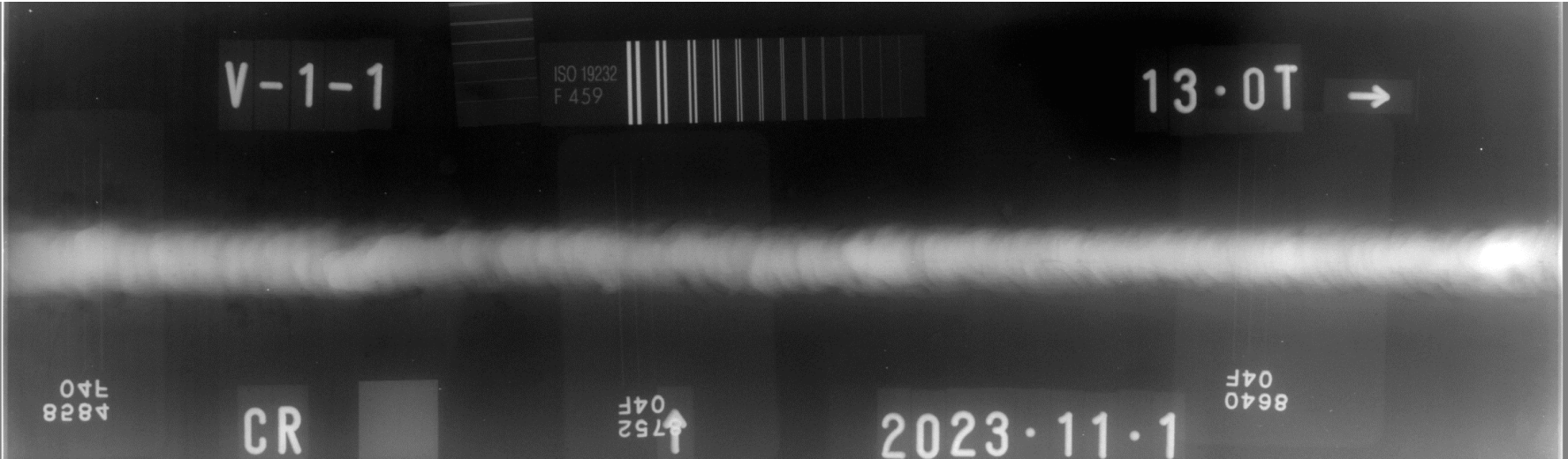


① 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

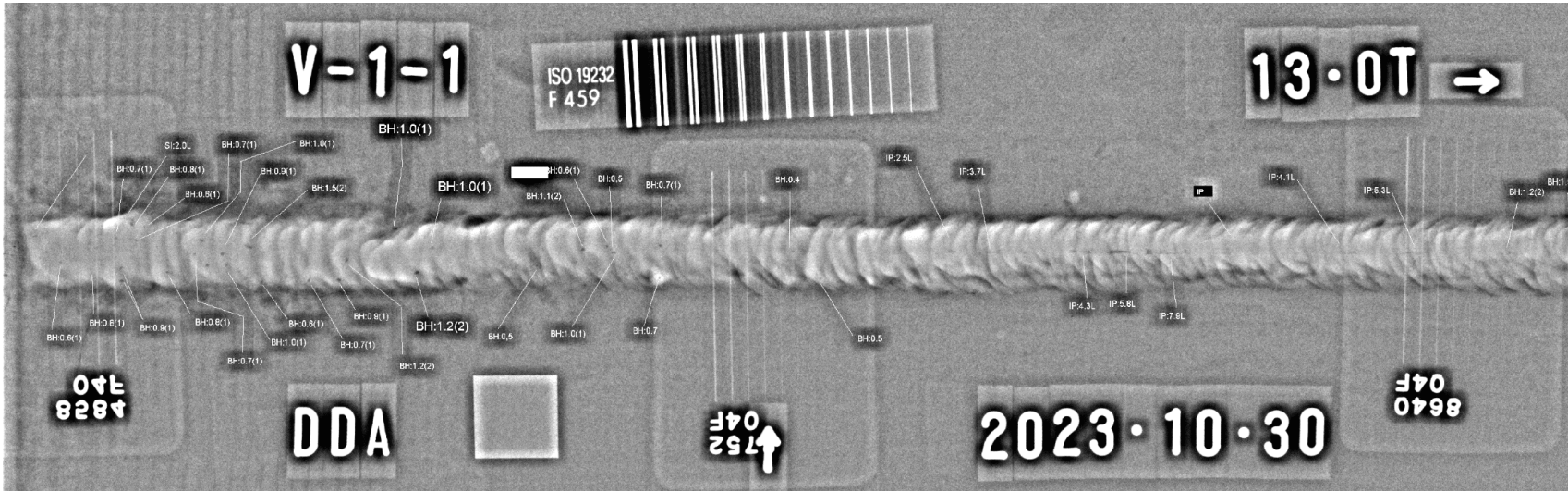


① 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)



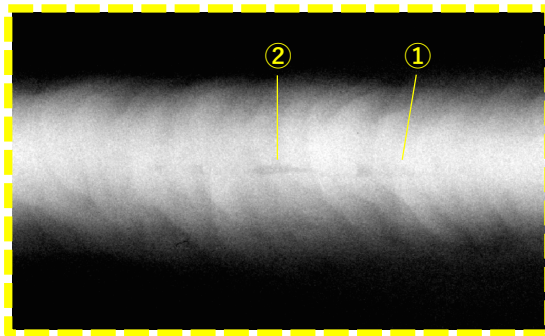
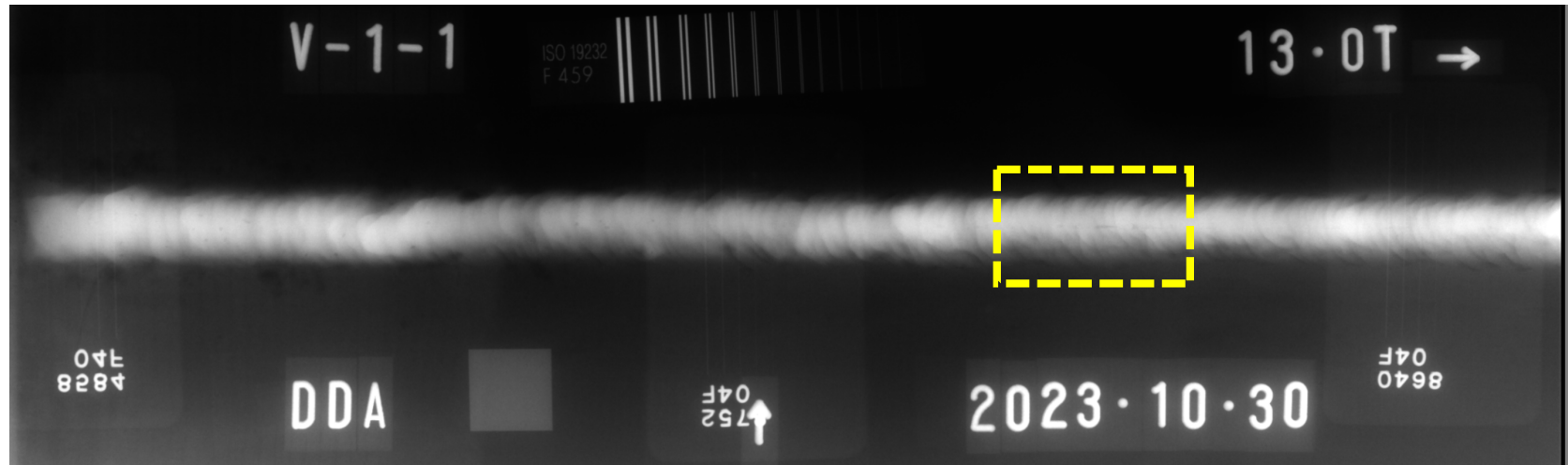
① 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR 【IP】)



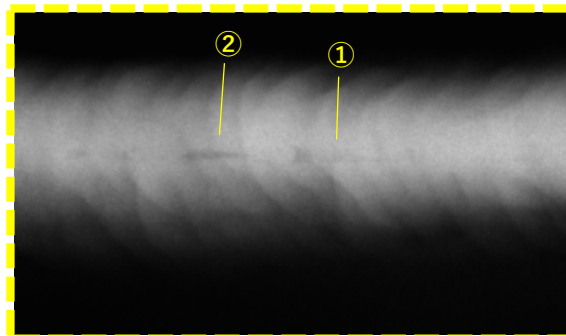
① きず寸法計測例 DDA (濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施)

検出きずの寸法比較板厚 13mm

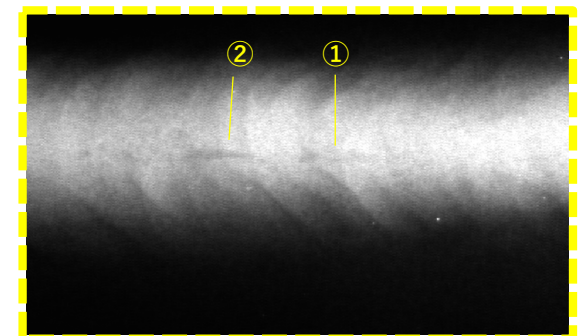
全体画像 (DDA)



F-RT



D-RT(DDA)



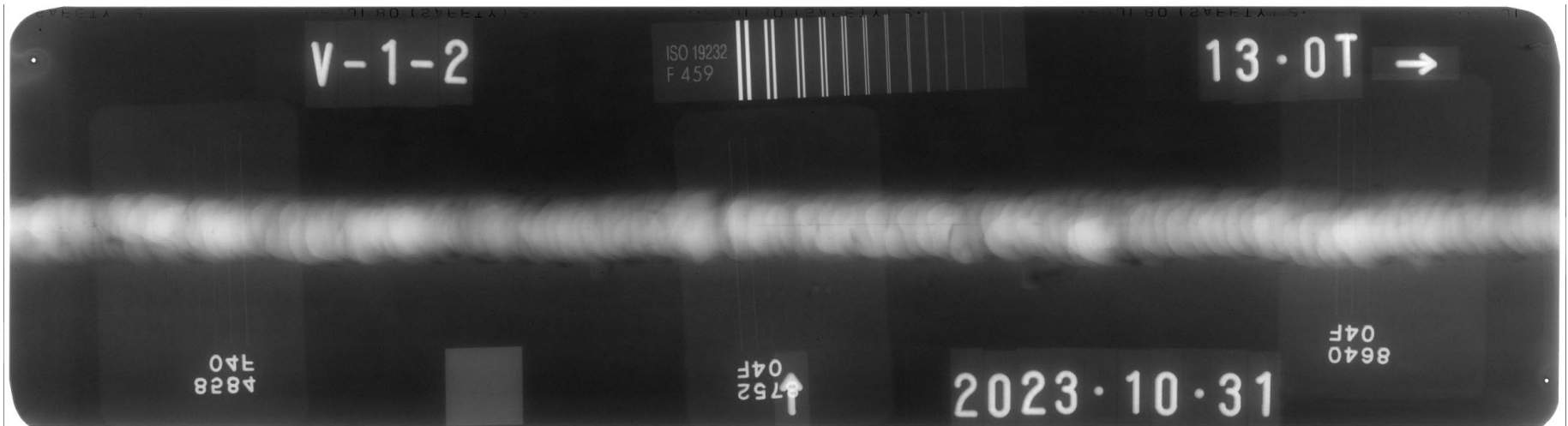
D-RT(CR)

表- V-1-1代表位置におけるきず寸法比較

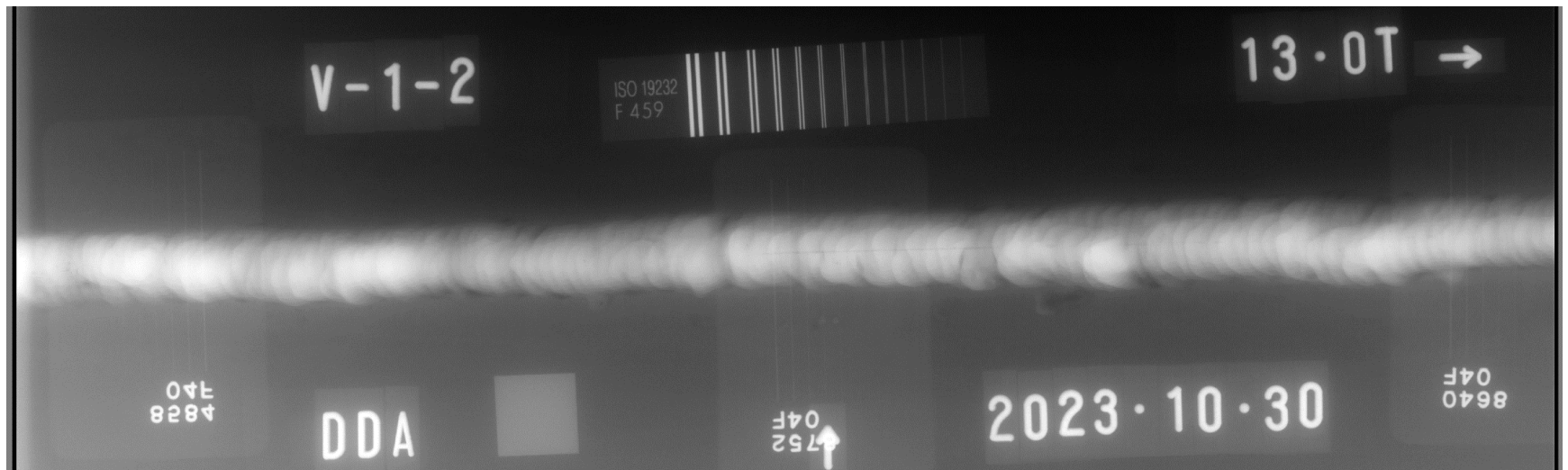
検出器	① (第2種)	② (第2種)
F-RT (#80)	6.4 ^{*1}	5.0 ^{*1}
DDA	7.9 ^{*2}	5.8 ^{*2}
CR	7.8 ^{*2}	5.5 ^{*2}

※1: 溶接線上のコントラストが小さく、きず像の端部が識別しにくかった。
 ※2: コントラストや拡大率の調整機能等を用いて観察を行い、コントラストを大きくし、きず像端部の識別性を高めたうえできず像寸法を測定した。

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)

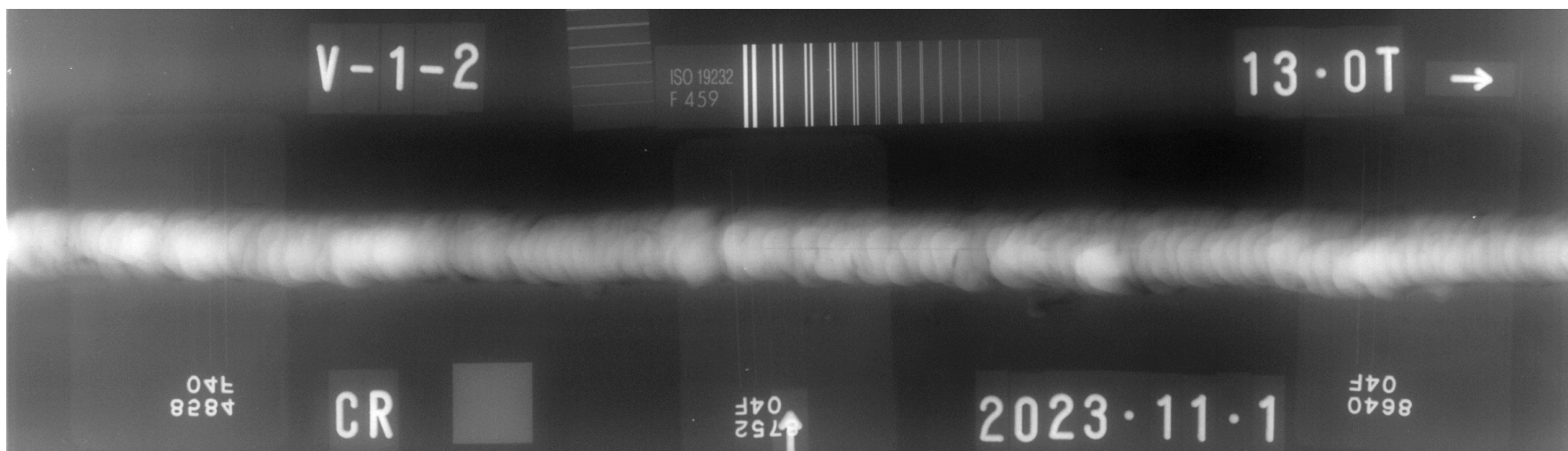


② 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

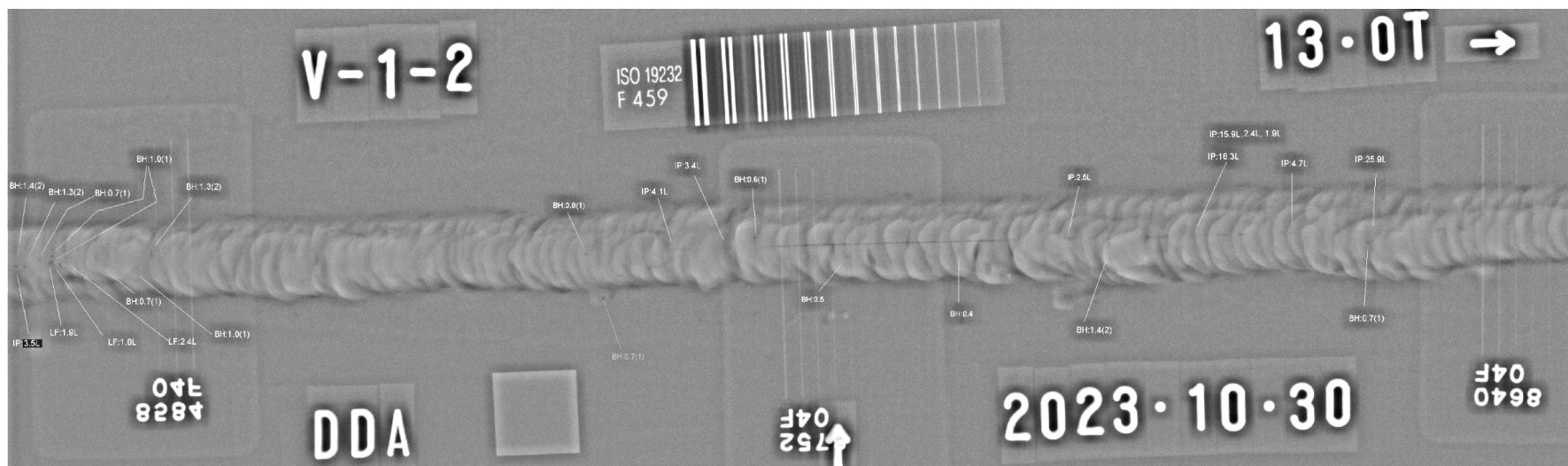


② 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)



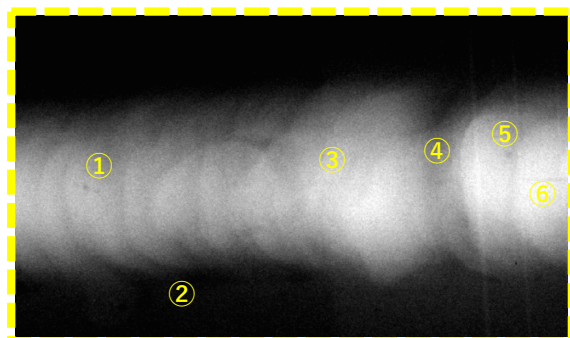
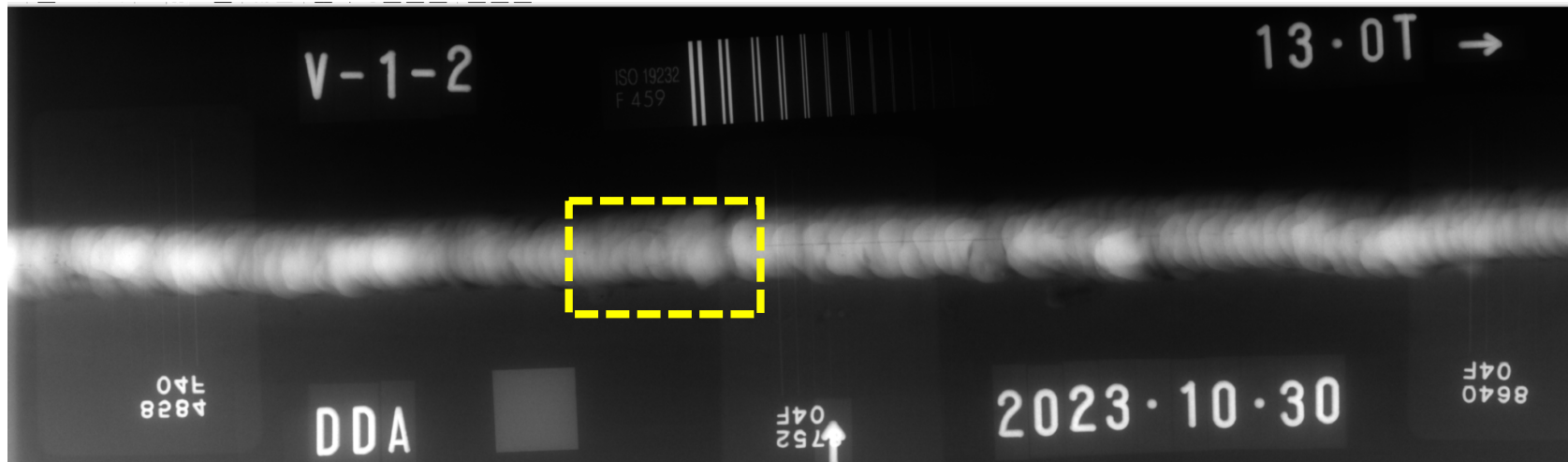
② 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR 【IP】)



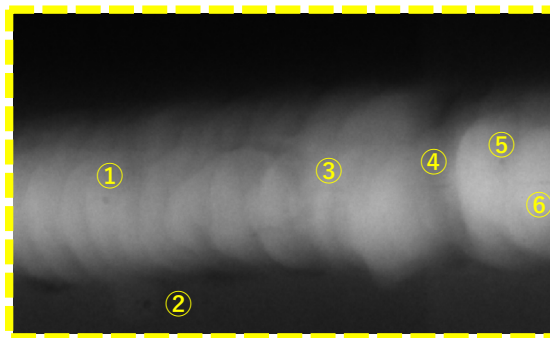
② きず寸法計測例 DDA (濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施)

検出きずの寸法比較板厚 13mm

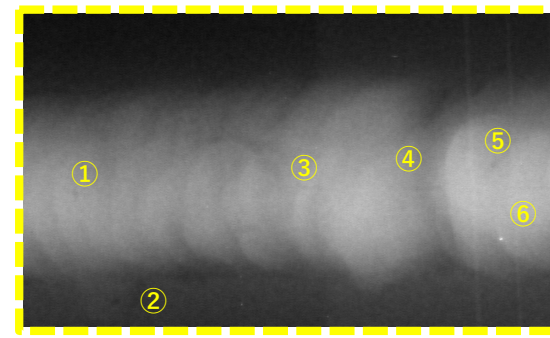
全体画像 (DDA)



F-RT



D-RT(DDA)

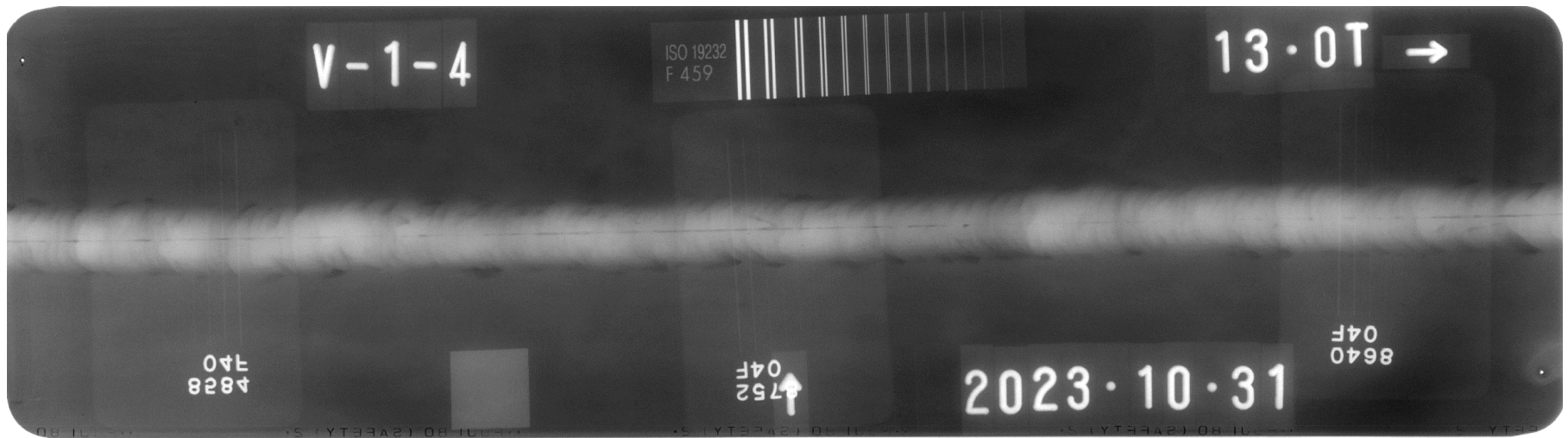


D-RT(CR)

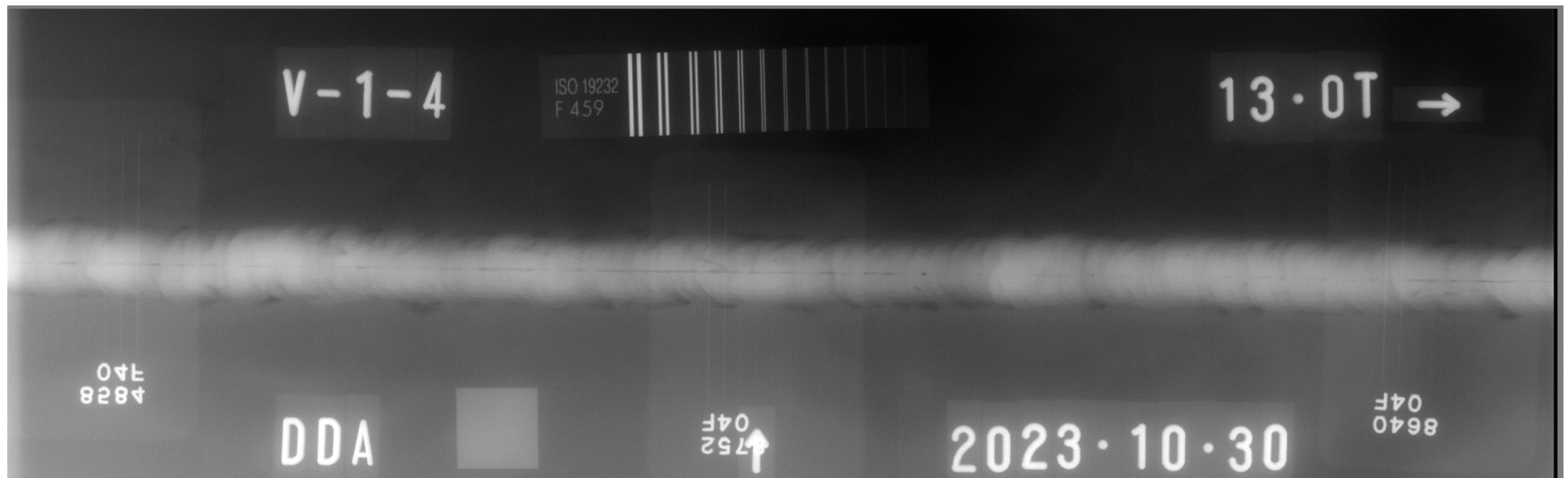
表- V-1-2代表位置におけるきず寸法比較

検出器	① (第1種)	② (第1種)	③ (第2種)	④ (第2種)	⑤ (第1種)	⑥ (第2種)
FRT (#80)	0.7	0.7	3.9	3.1	0.7	断続的に長いきずの一部
D-RT(DDA)	0.8	0.7	4.1	3.4	0.6	断続的に長いきずの一部
D-RT(CR)	0.8	0.8	3.9	2.9	0.7	断続的に長いきずの一部

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)

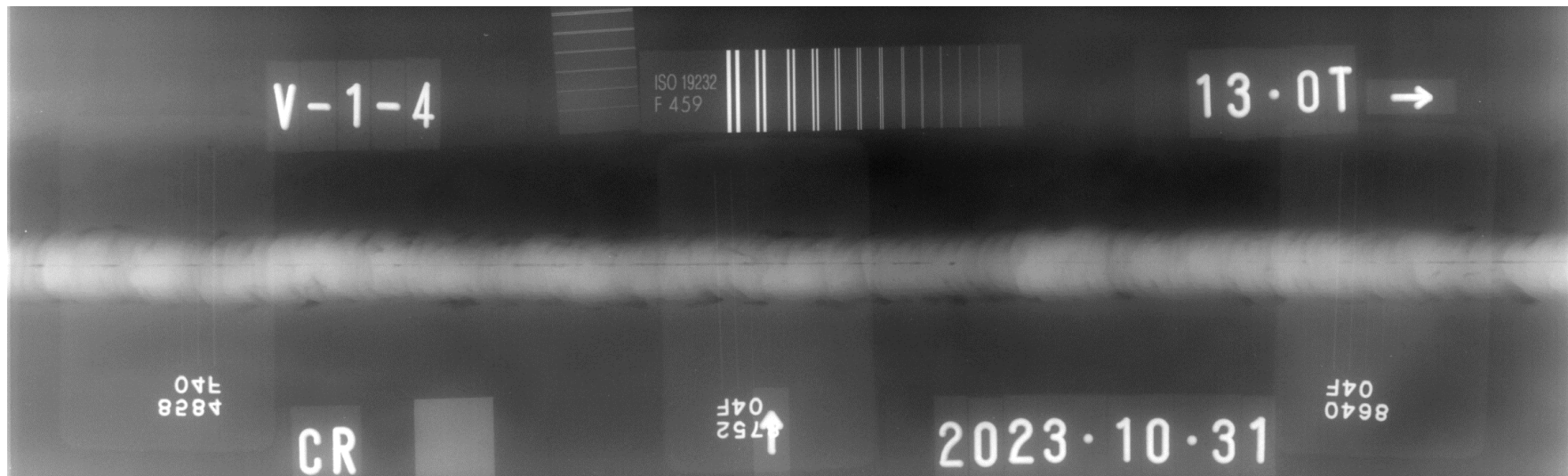


③ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

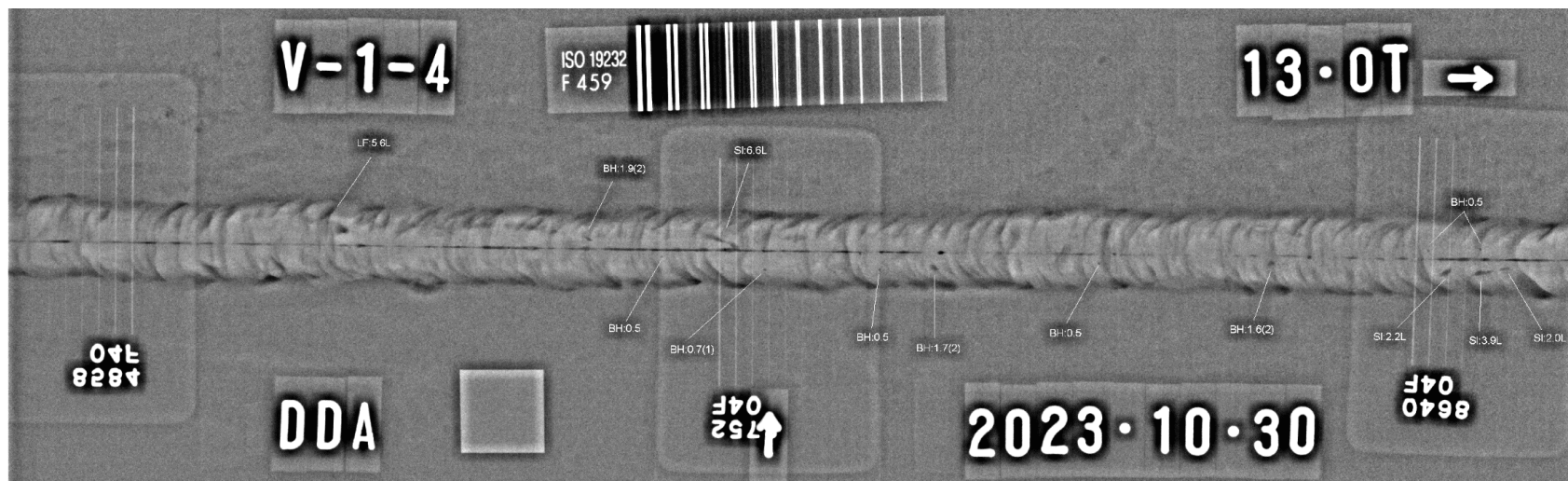


③ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)



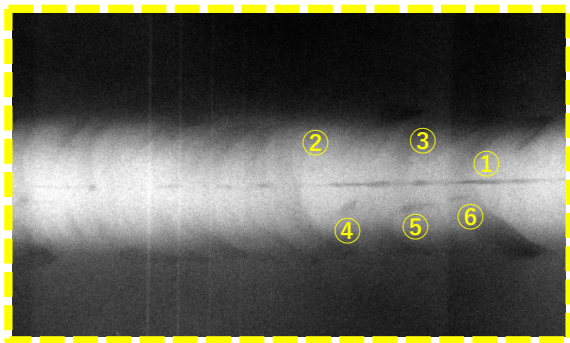
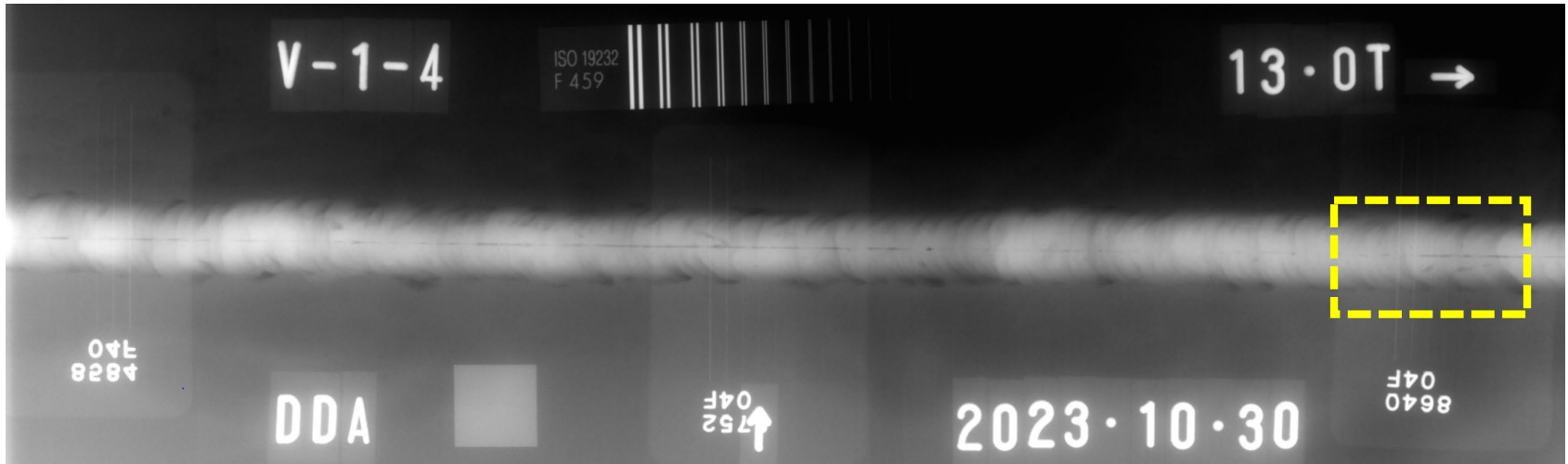
③ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR 【IP】)



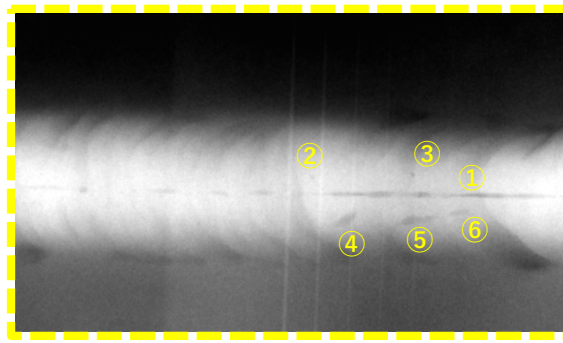
③ きず寸法計測例 DDA (濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施)

検出きずの寸法比較板厚 13mm

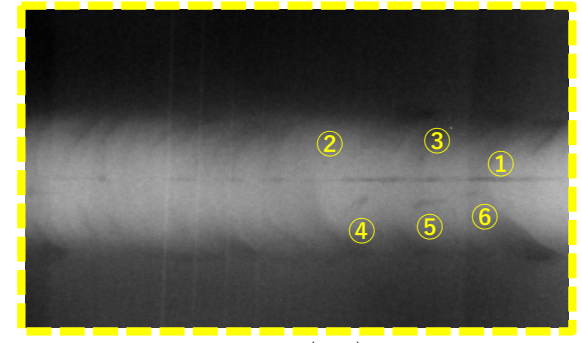
全体画像 (DDA)



F-RT



D-RT(DDA)

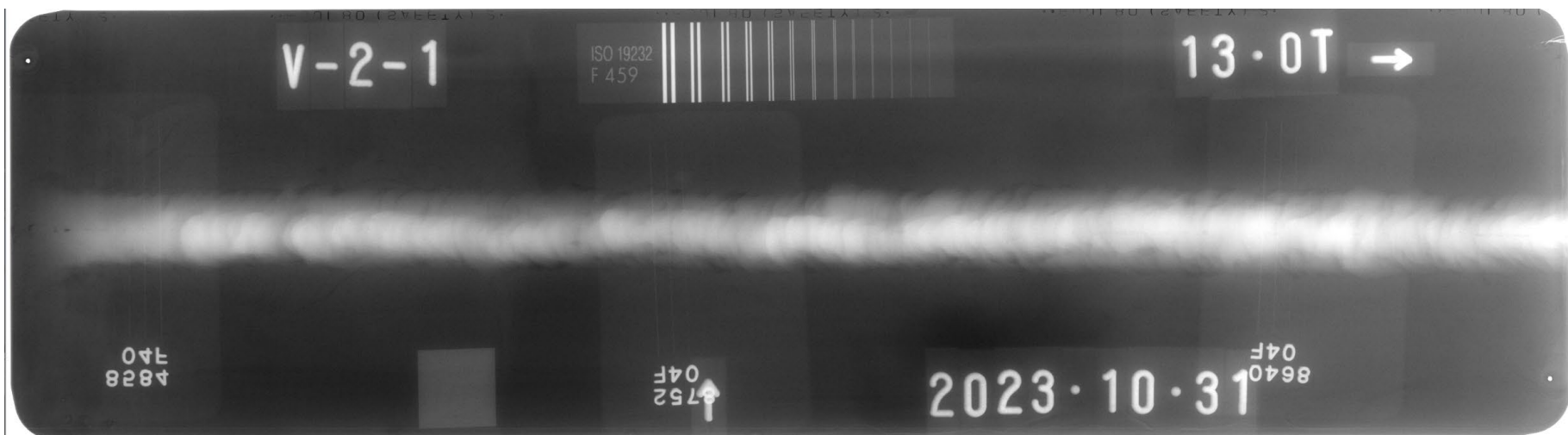


D-RT(CR)

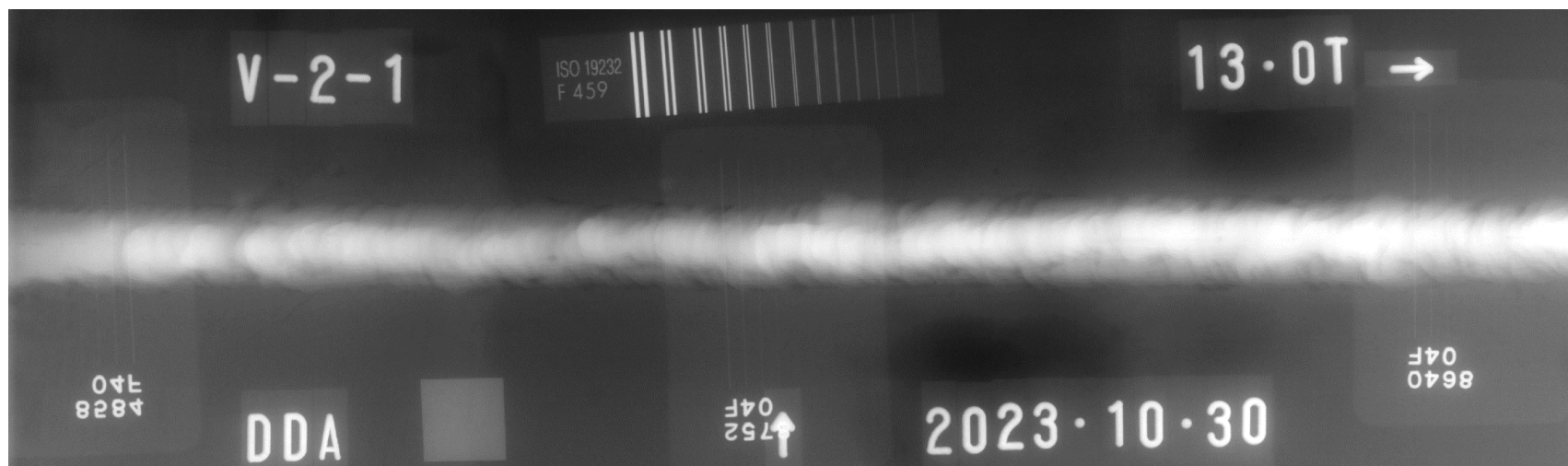
表- V-1-4代表位置におけるきず寸法比較

検出器	① (第2種)	② (第1種)	③ (第1種)	④ (第2種)	⑤ (第2種)	⑥ (第2種)
FRT (#80)	断続的に長いきずの一部	0.5	0.5	2.1	4.0	1.8
D-RT(DDA)	断続的に長いきずの一部	0.5	0.5	2.2	3.9	2.0
D-RT(CR)	断続的に長いきずの一部	0.5	0.5	2.2	3.9	2.0

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)

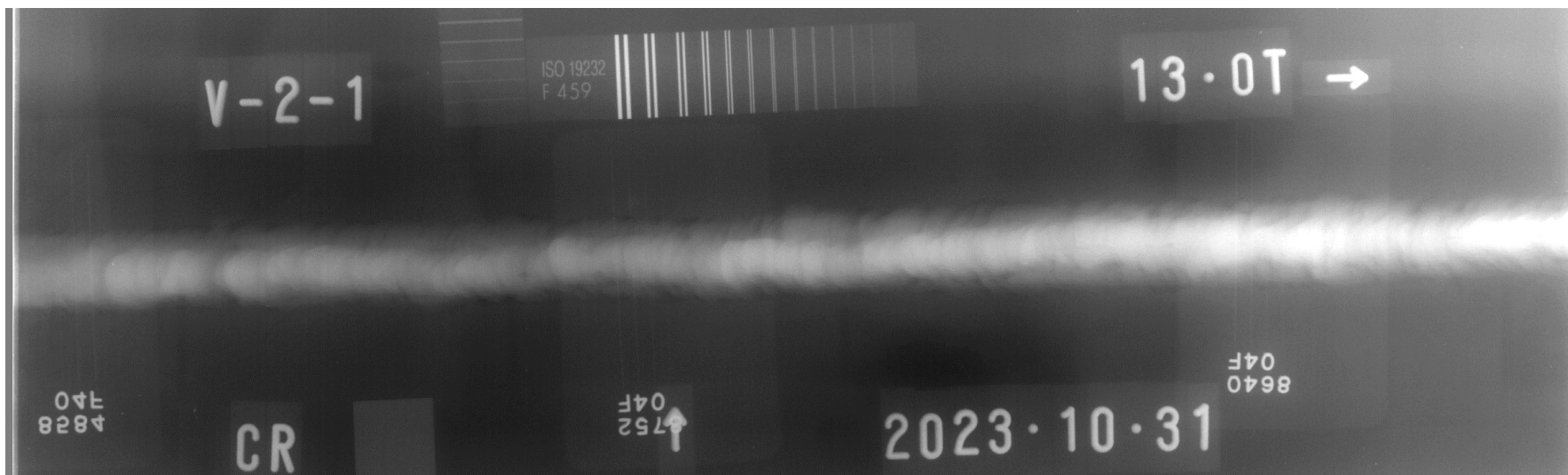


④ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

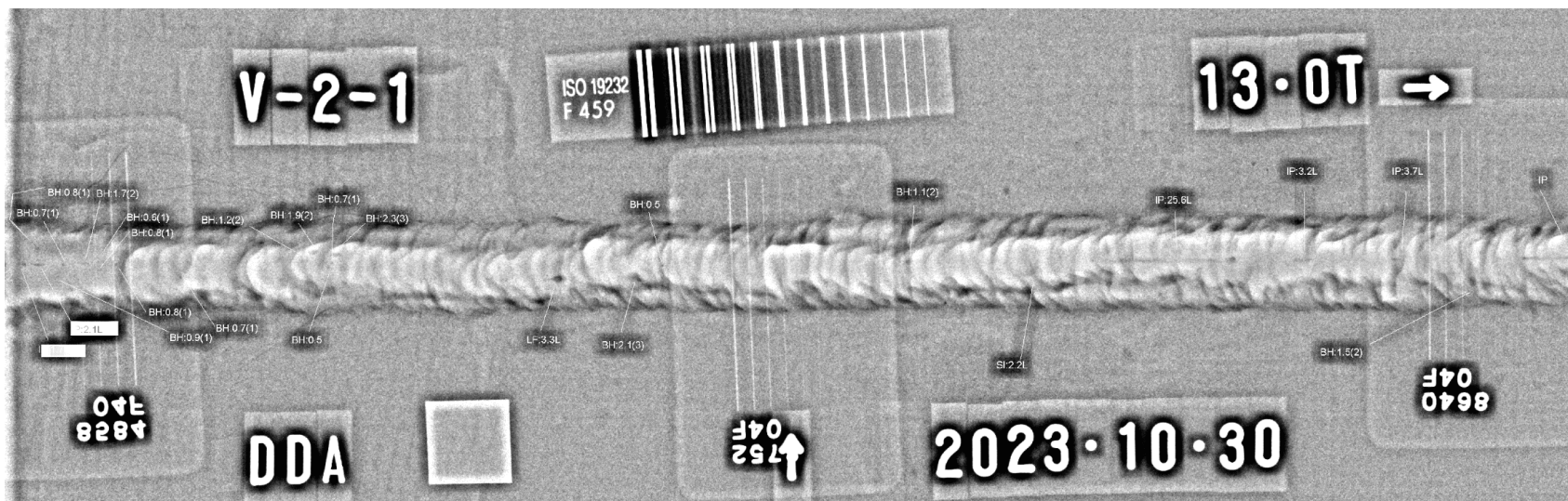


④ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)



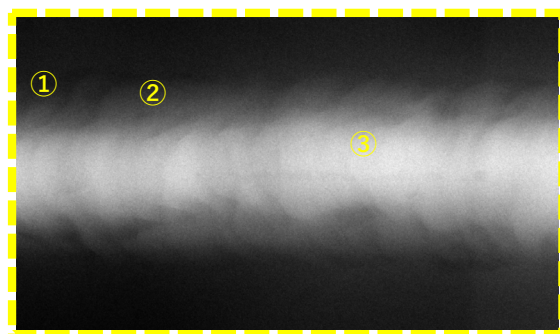
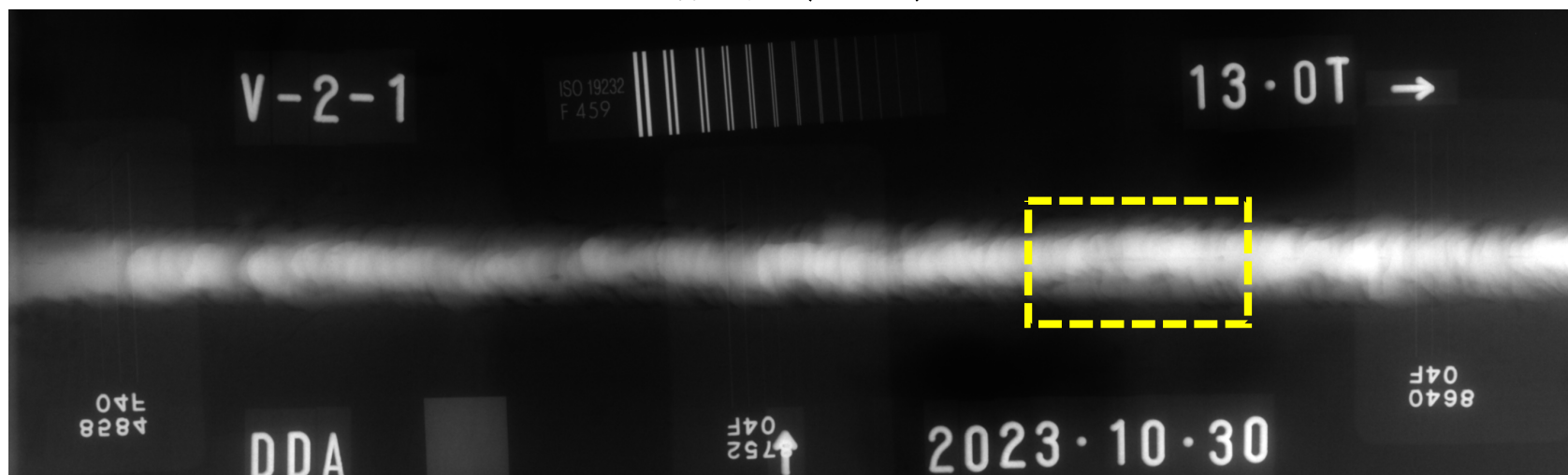
④ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR 【IP】)



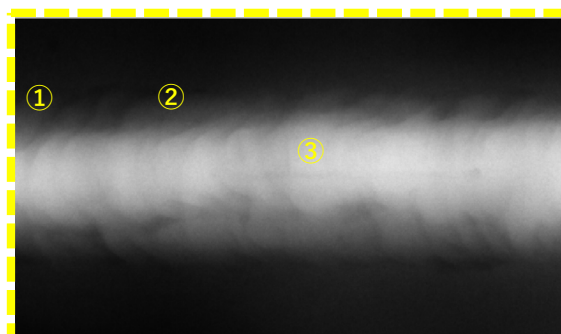
④ きず寸法計測例 DDA (濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施)

検出きずの寸法比較板厚 13mm

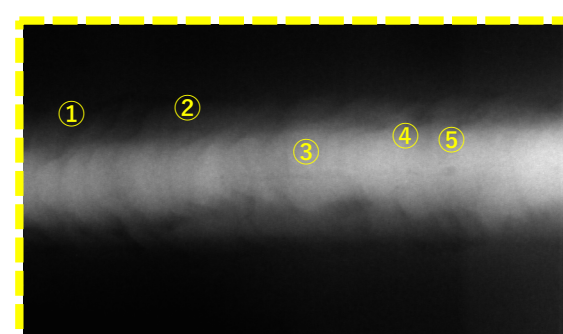
全体画像 (DDA)



F-RT



D-RT(DDA)



D-RT(CR)

表- V-2-1代表位置におけるきず寸法比較

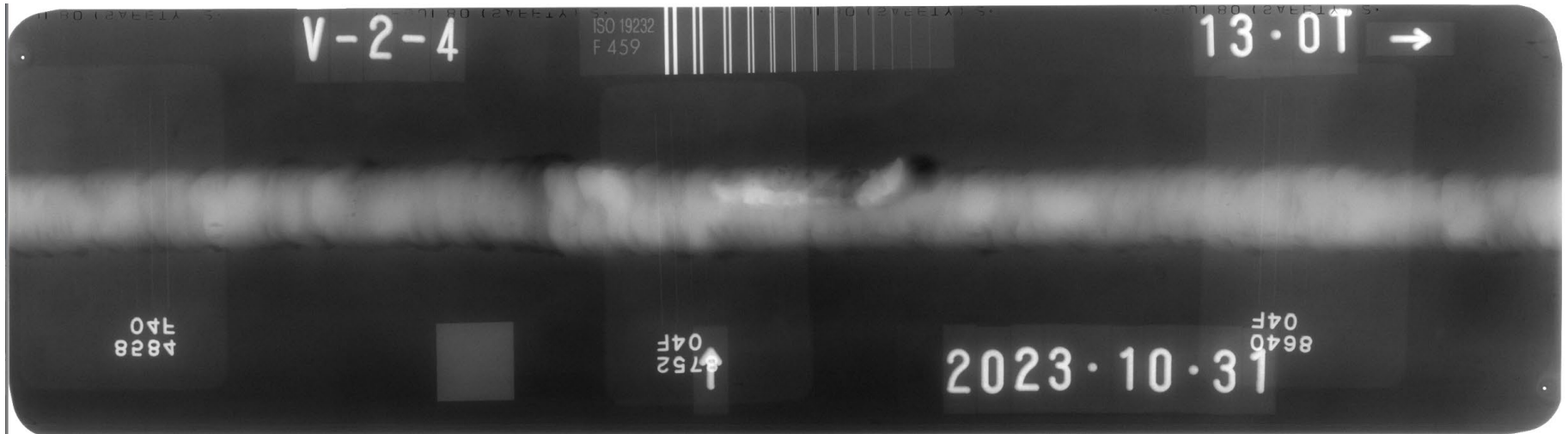
検出器	① (第1種)	② (第2種)	③ (第2種)	④ (第1種)	⑤ (第1種)
FRT (#80)	2.0 ^{※1}	2.5	26.5 ^{※3}	—	—
D-RT(DDA)	1.1 ^{※1,※2}	2.6	25.6 ^{※3}	—	—
D-RT(CR)	1.7 ^{※1}	2.2	18.5 ^{※3}	0.8 ^{※3}	1.7 ^{※3}

※1：溶接形状、孔食等の腐食減肉の可能性あり

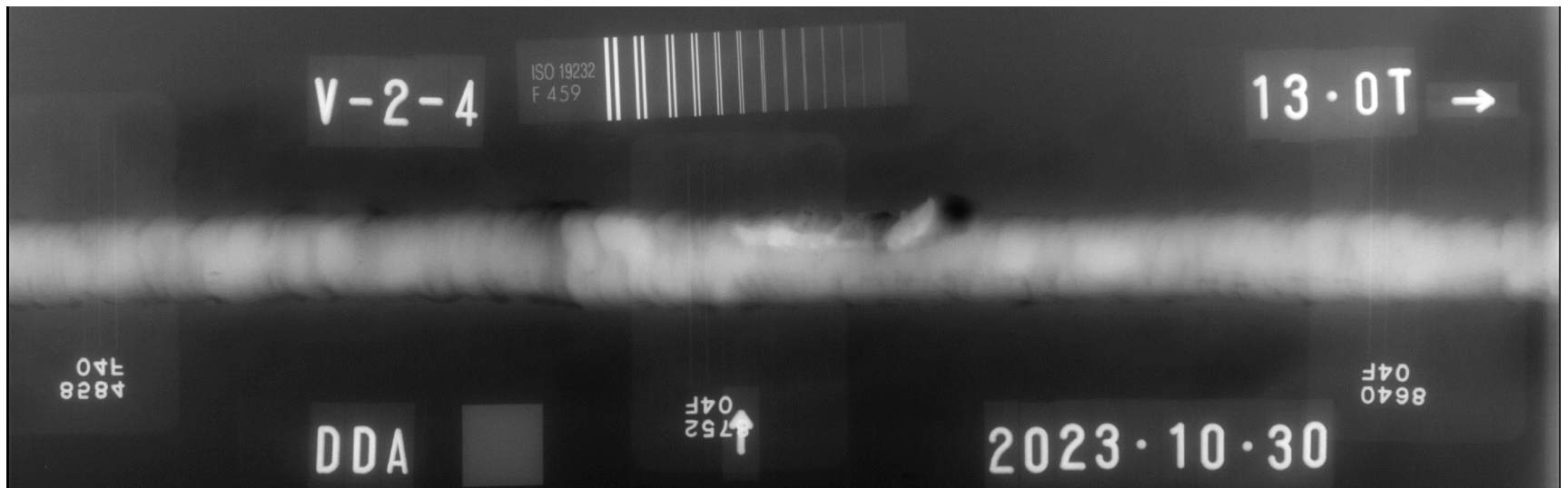
※2：きず像の境界が明瞭である部分について独立したきずとして最大の寸法を測定した。

※3：③～⑤について、F-RT及びD-RT(DDA)では不明瞭な部分はあるものの連続した一つのきずとして、D-RT(CR)では別個のきずとして測定したものの。

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)

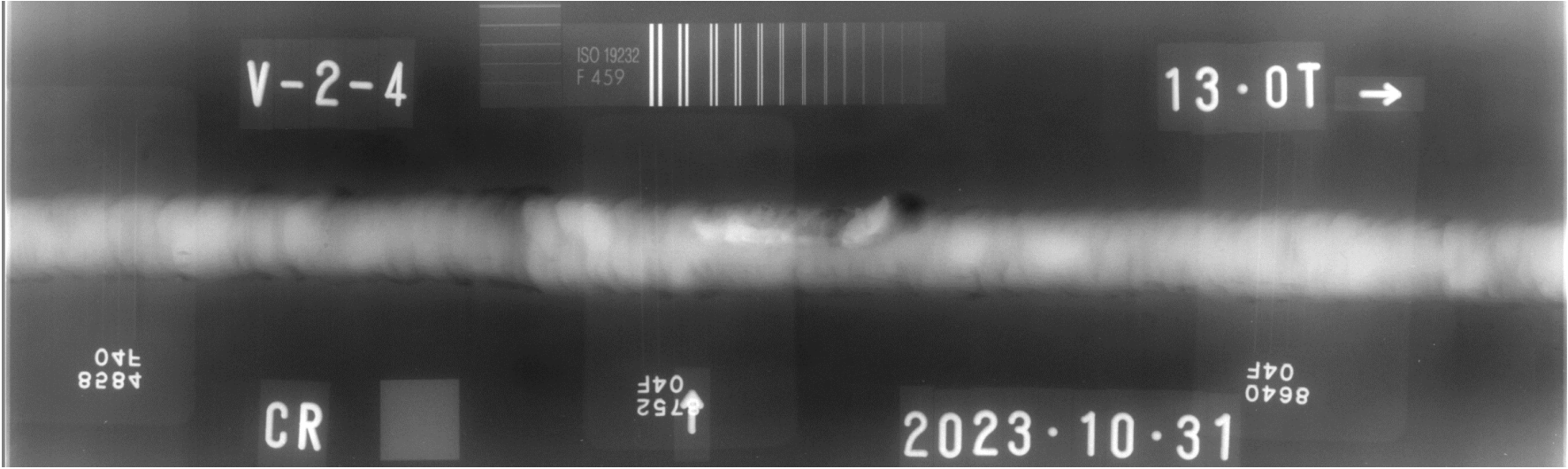


⑤ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

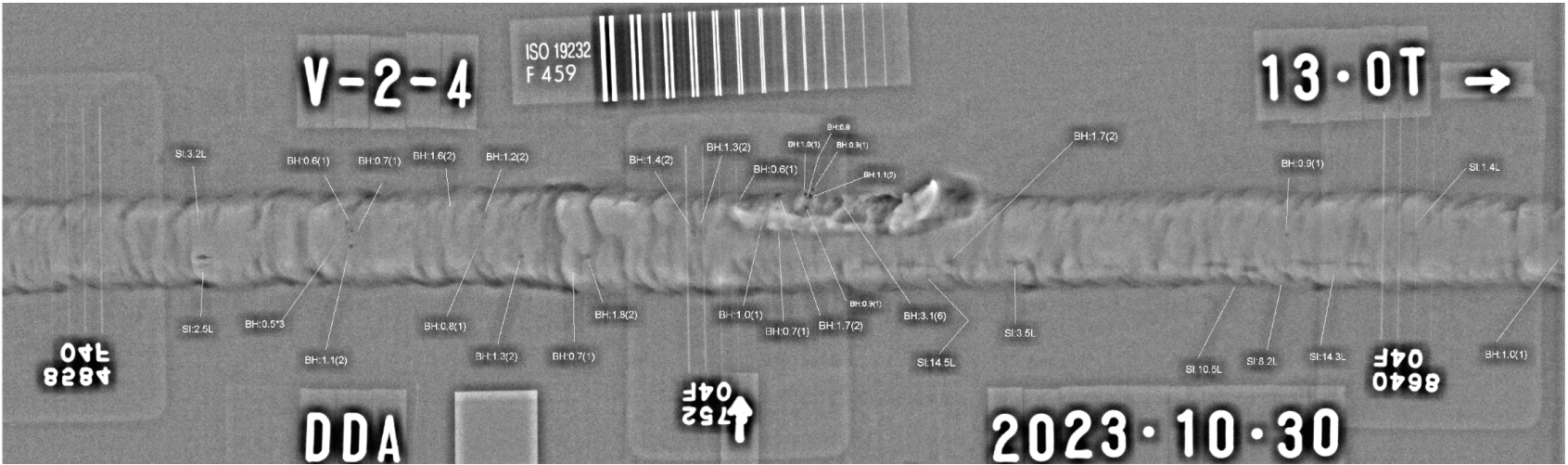


⑤ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真（5,000kL級タンク 最下段 13t）



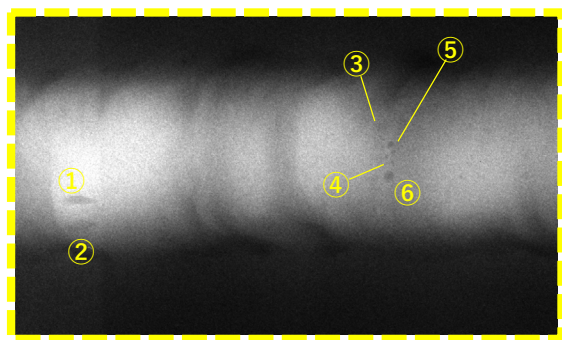
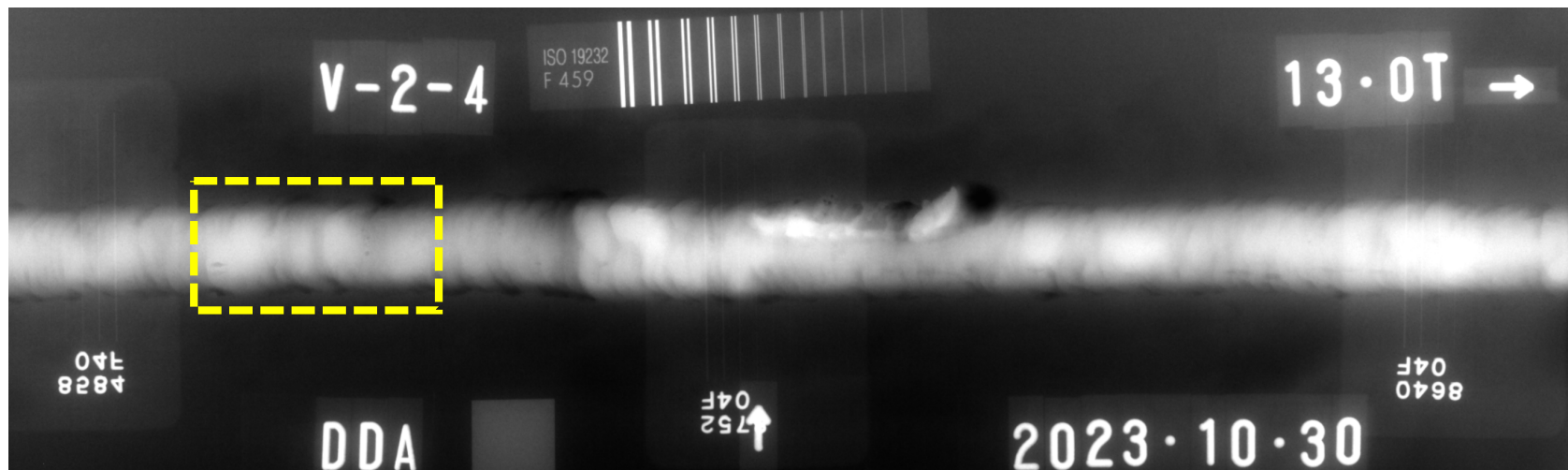
⑤ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR [IP])



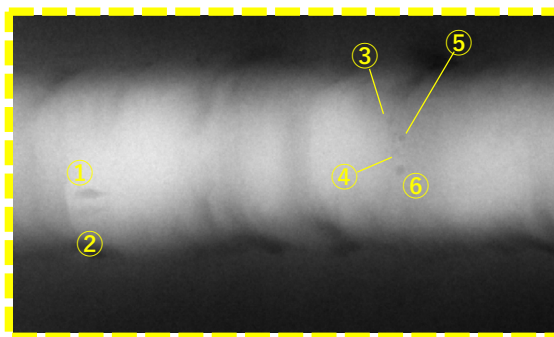
⑤ きず寸法計測例 DDA（濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施）

検出きずの寸法比較板厚 13mm

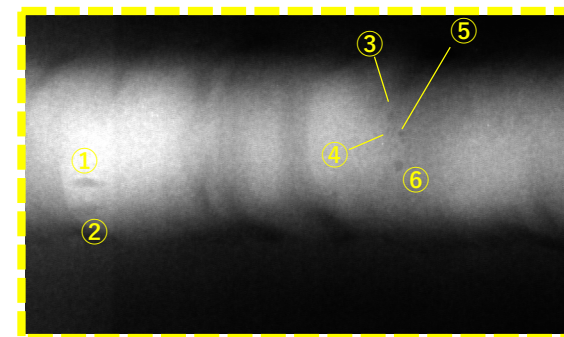
全体画像 (DDA)



F-RT



D-RT(DDA)

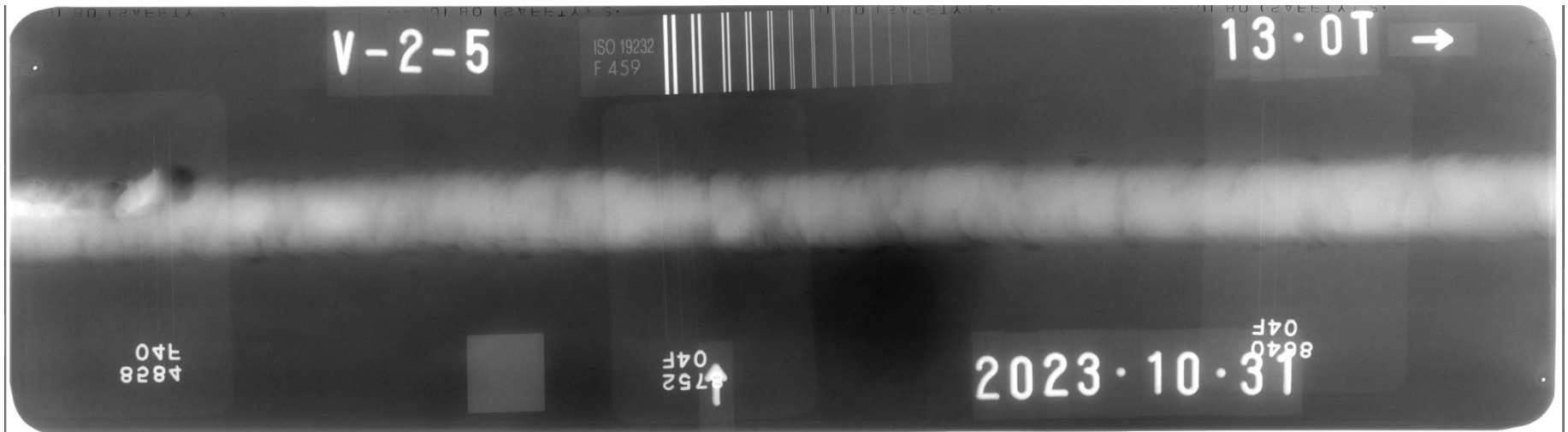


D-RT(CR)

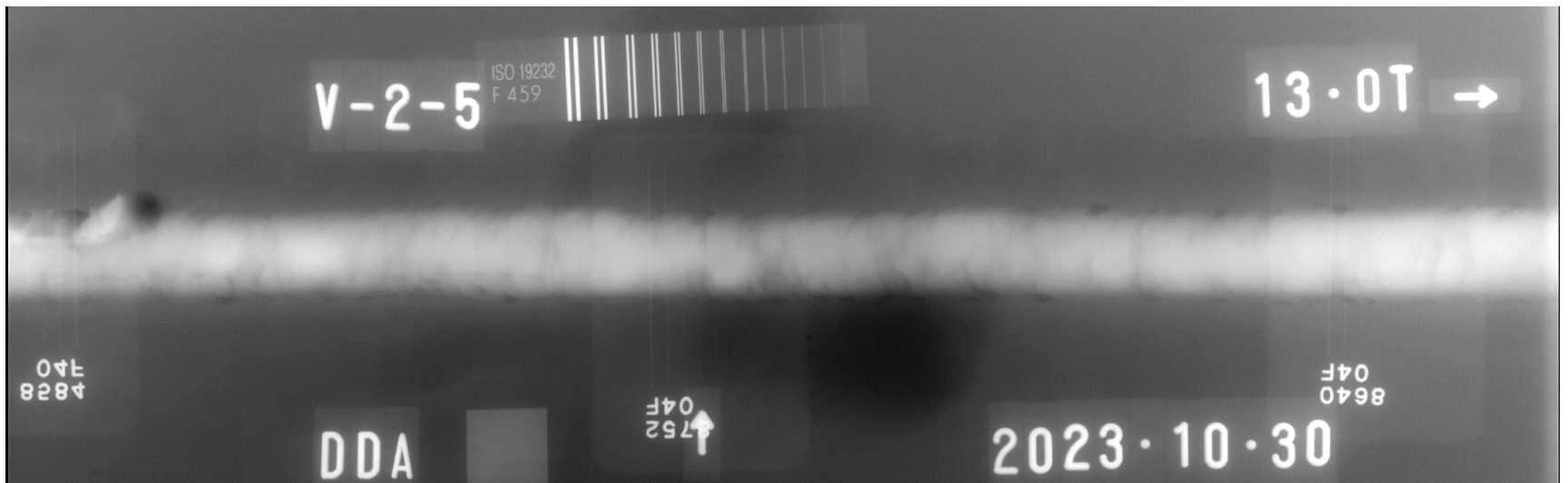
表- V-2-4代表位置におけるきず寸法比較

検出器	① (第2種)	② (第2種)	③ (第1種)	④ (第1種)	⑤ (第1種)	⑥ (第1種)
FRT (#80)	3.0	2.5	0.5	0.5	0.7	1.2
D-RT(DDA)	3.2	2.5	0.6	0.5	0.7	1.1
D-RT(CR)	3.2	2.7	0.6	0.5	0.6	1.1

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)

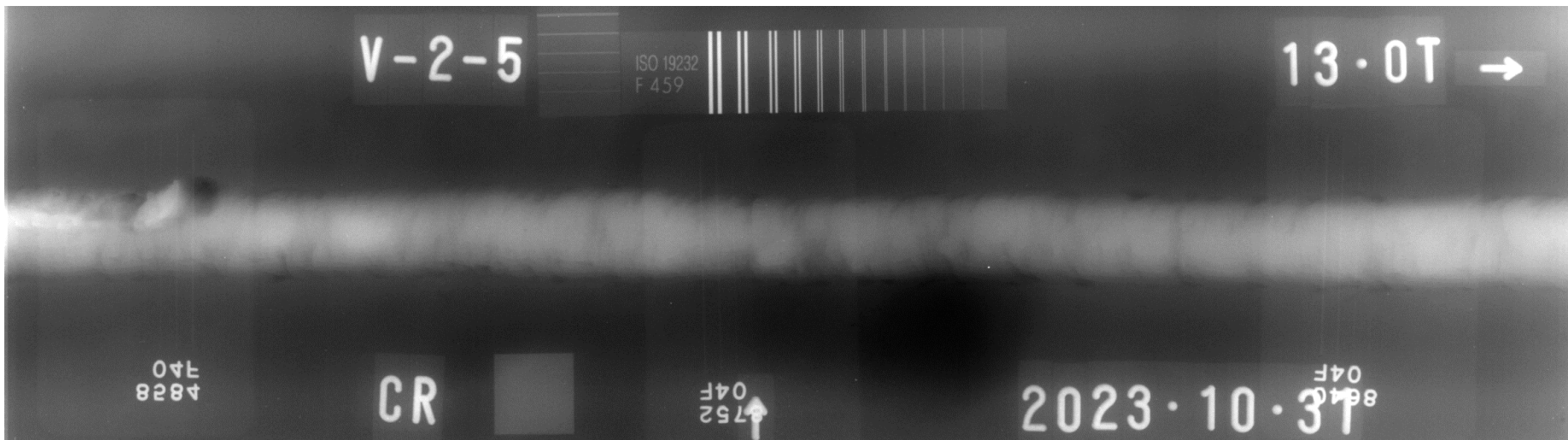


⑥ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

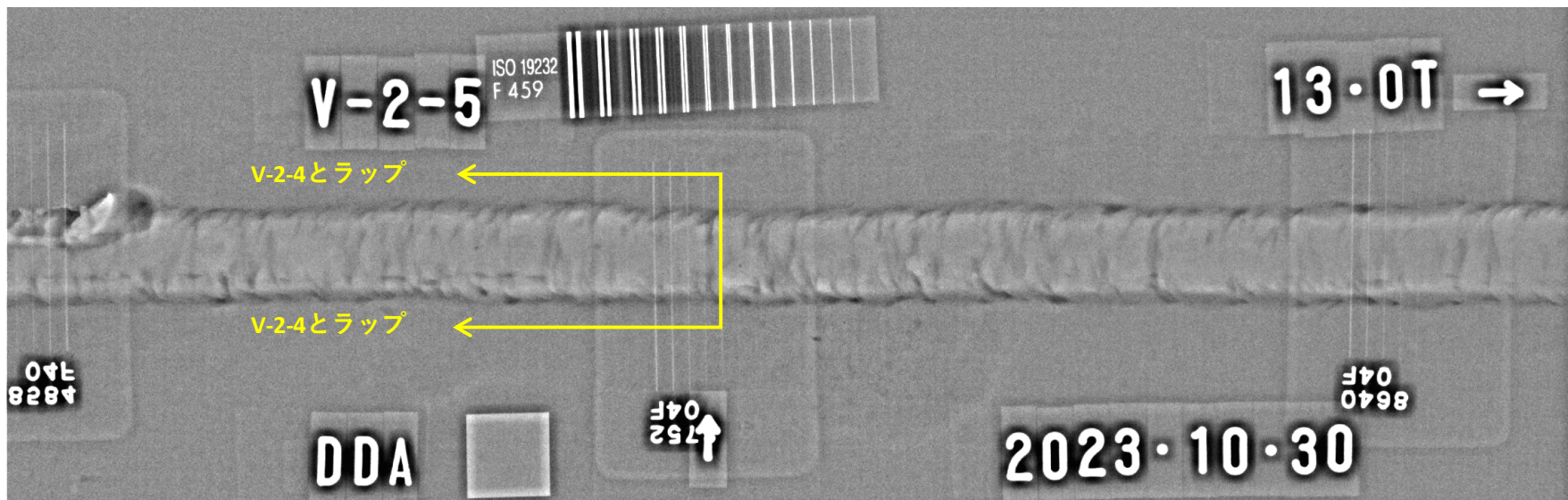


⑥ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)



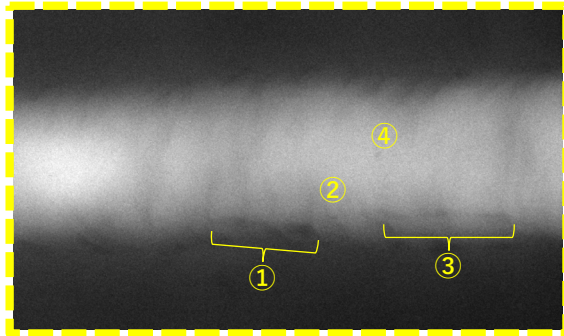
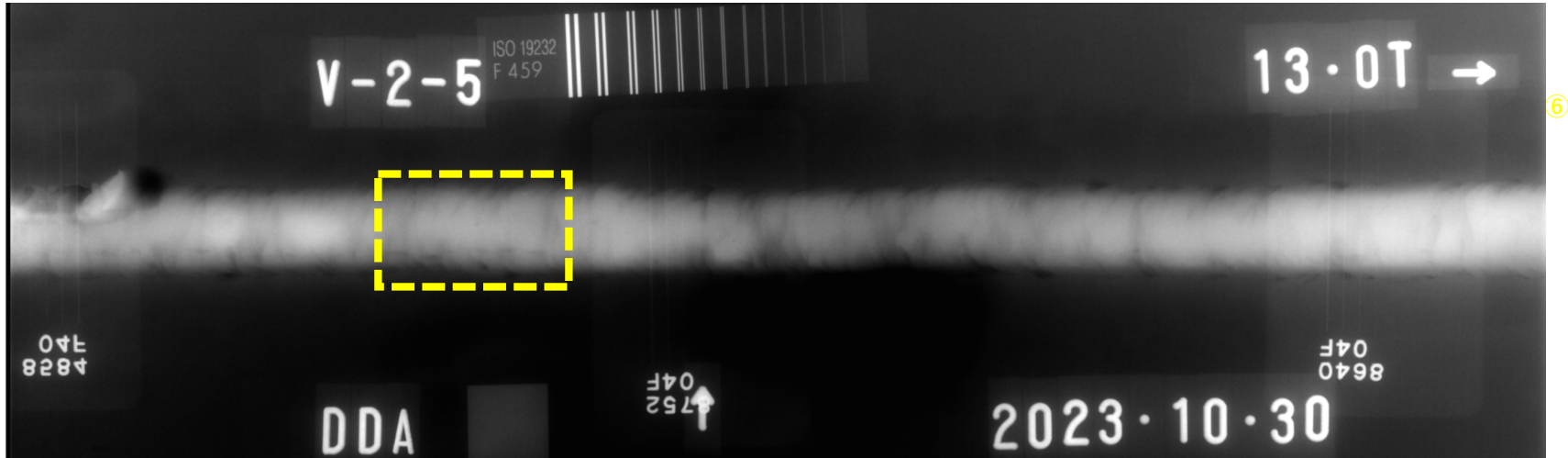
⑥ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR【IP】)



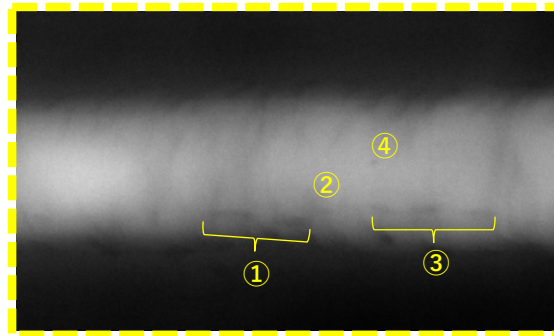
⑥ きず寸法計測例 DDA (濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施)

検出きずの寸法比較板厚 13mm

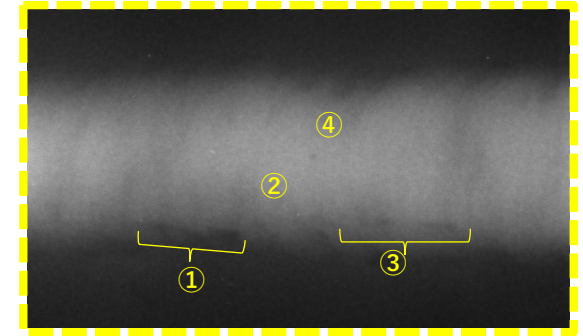
全体画像 (DDA)



F-RT



D-RT(DDA)

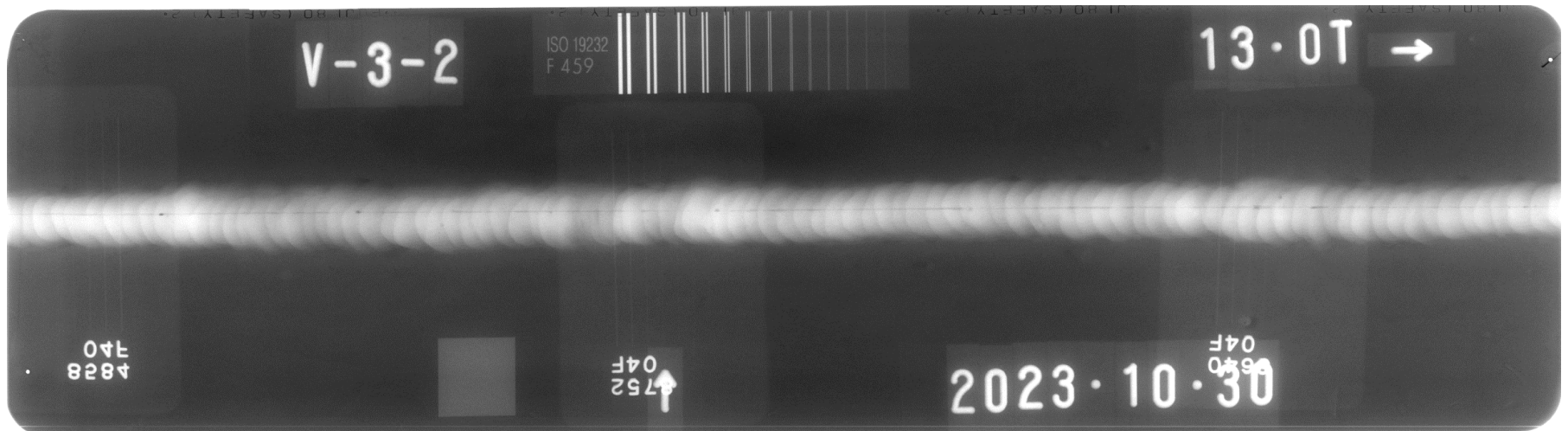


D-RT(CR)

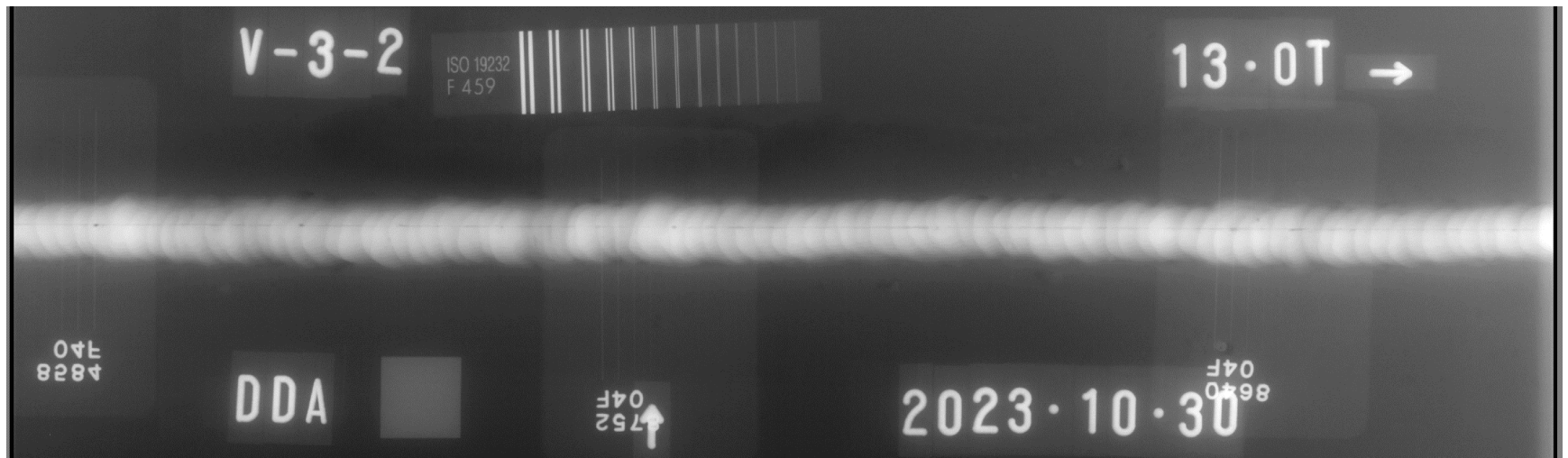
表- V-2-5代表位置におけるきず寸法比較

検出器	① (第2種)	② (第1種)	③ (第2種)	④ (第1種)
FRT (#80)	11.1	1.0	13.9	0.9
D-RT(DDA)	11.5	0.8	13.5	0.9
D-RT(CR)	11.3	1.0	13.6	0.8

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)

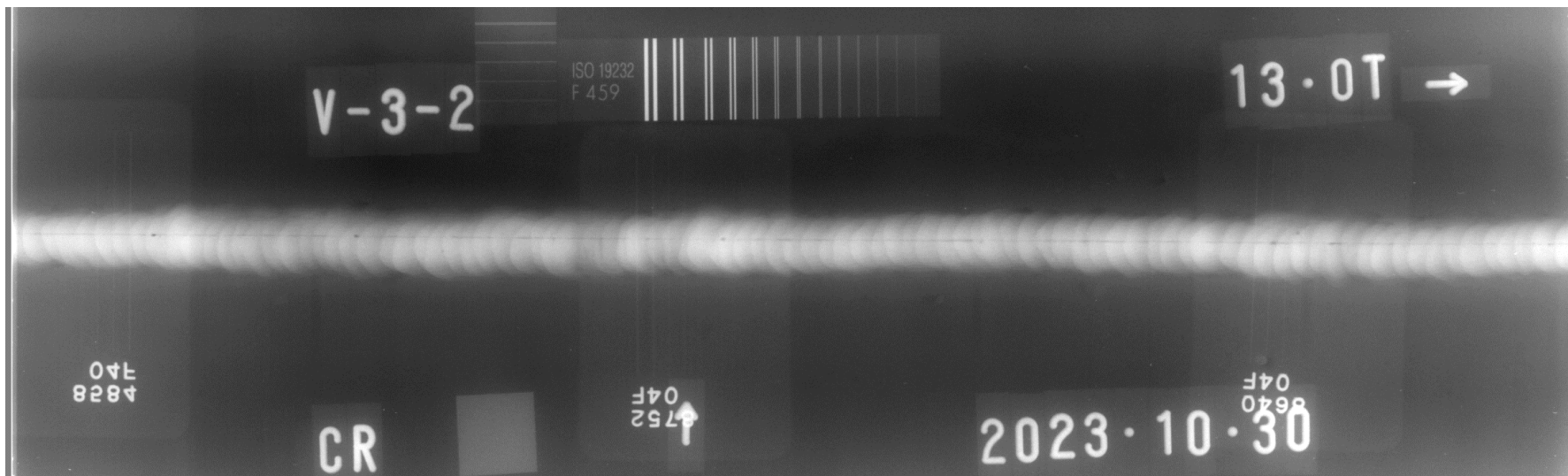


⑦ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

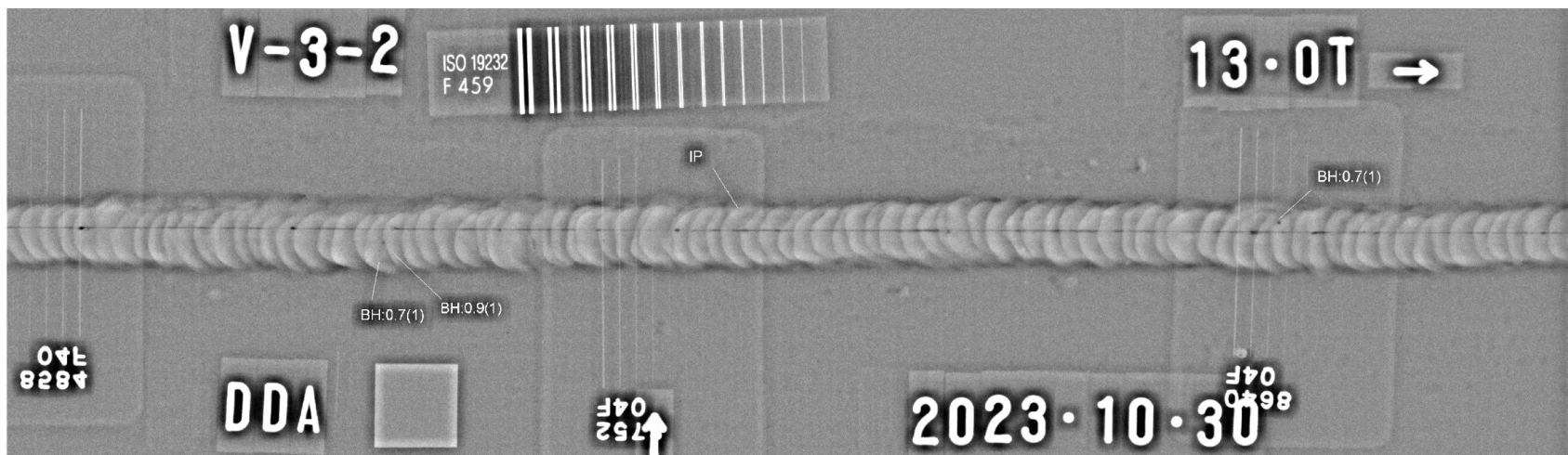


⑦ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)



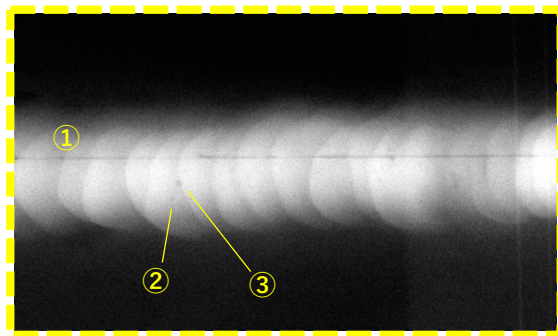
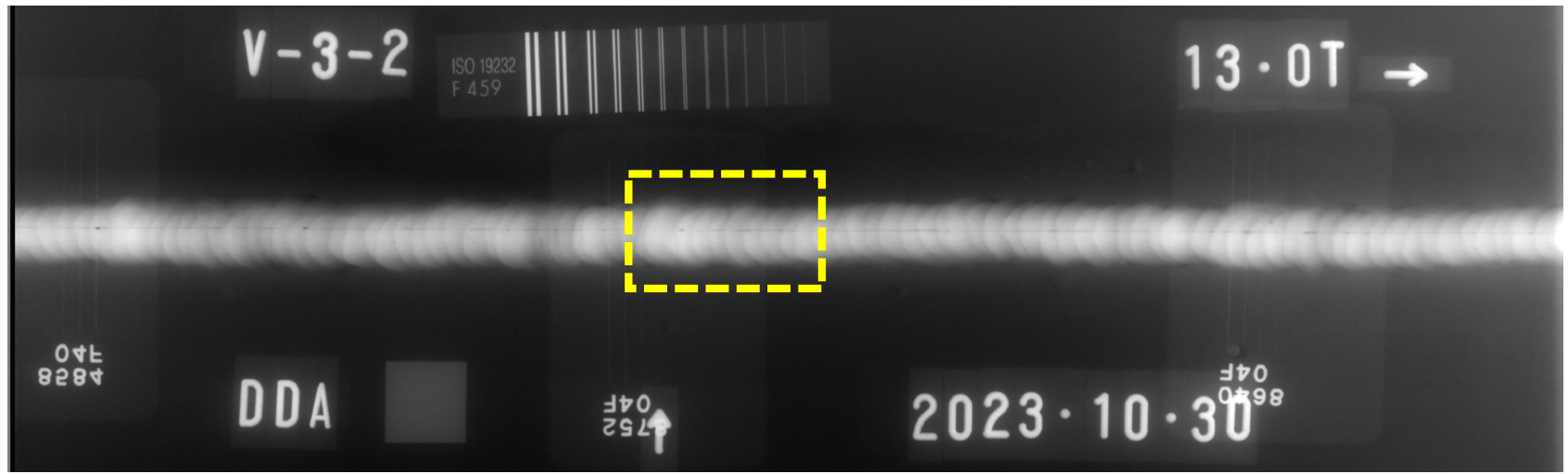
⑦ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR【IP】)



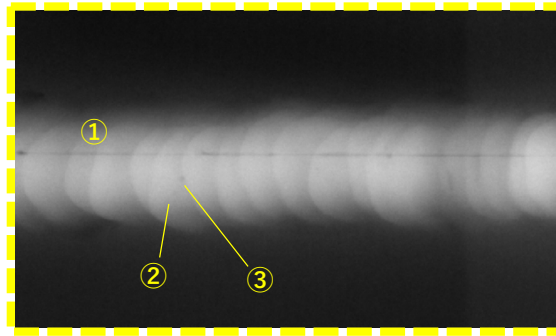
⑦ きず寸法計測例 DDA (濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施)

検出きずの寸法比較板厚 13mm

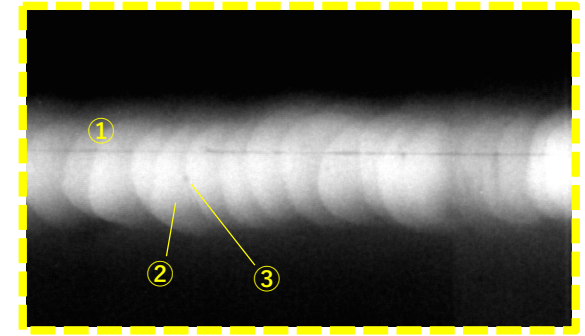
全体画像 (DDA)



F-RT



D-RT(DDA)

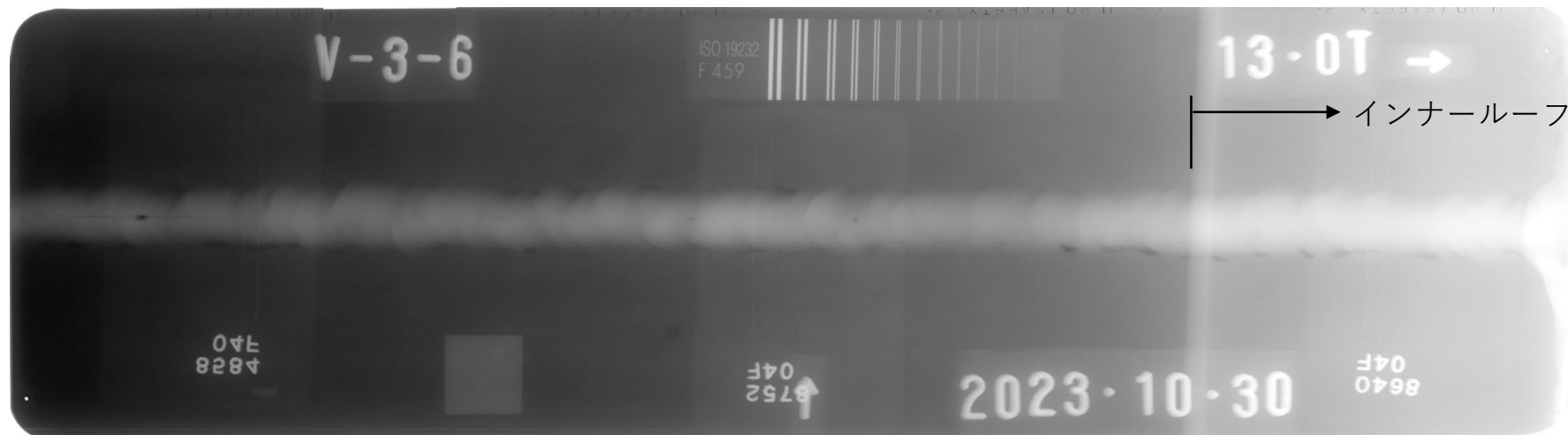


D-RT(CR)

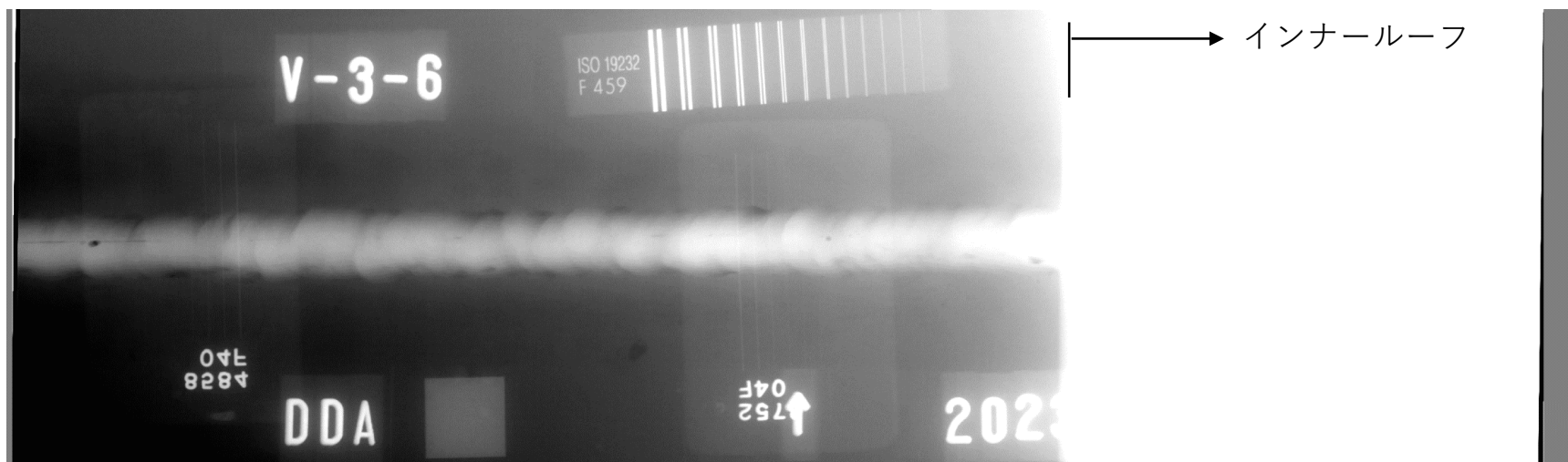
表- V-3-2代表位置におけるきず寸法比較

検出器	① (第2種)	② (第1種)	③ (第1種)
FRT (#80)	連続的に長いきずの一部	0.6	0.8
D-RT(DDA)	連続的に長いきずの一部	0.7	0.9
D-RT(CR)	連続的に長いきずの一部	0.5	0.9

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)

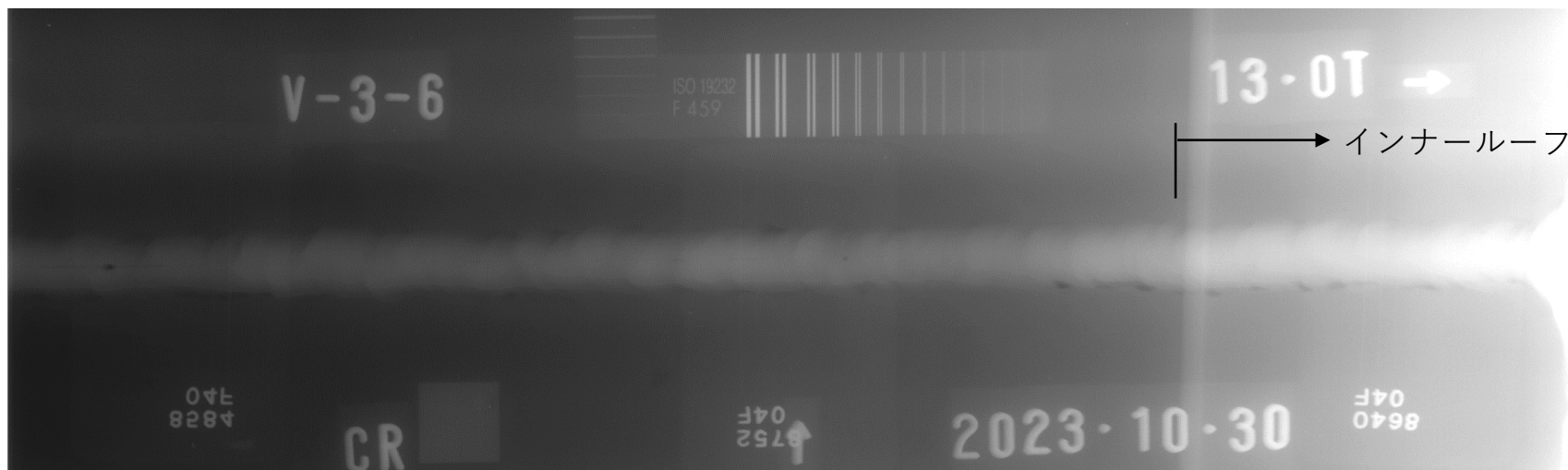


⑧ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 F-RT (FUJI #80 Pb0.027F&B)

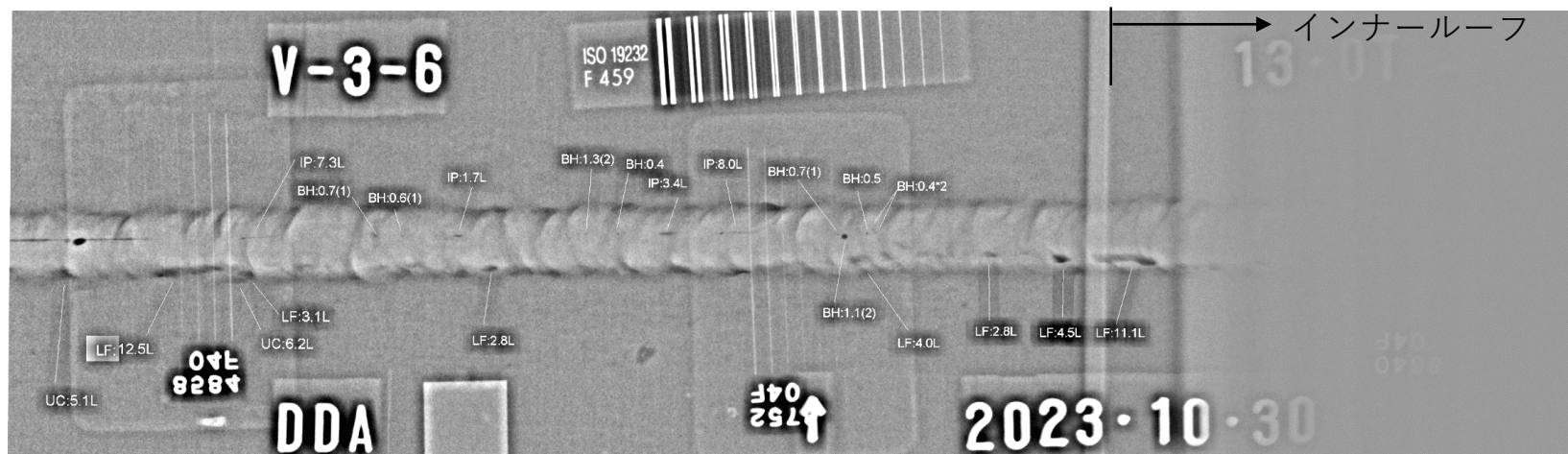


⑧ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (DDA)

きず投影状況の比較写真 (5,000kL級タンク 最下段 13t)



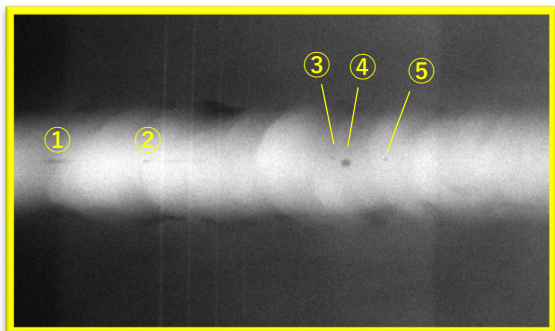
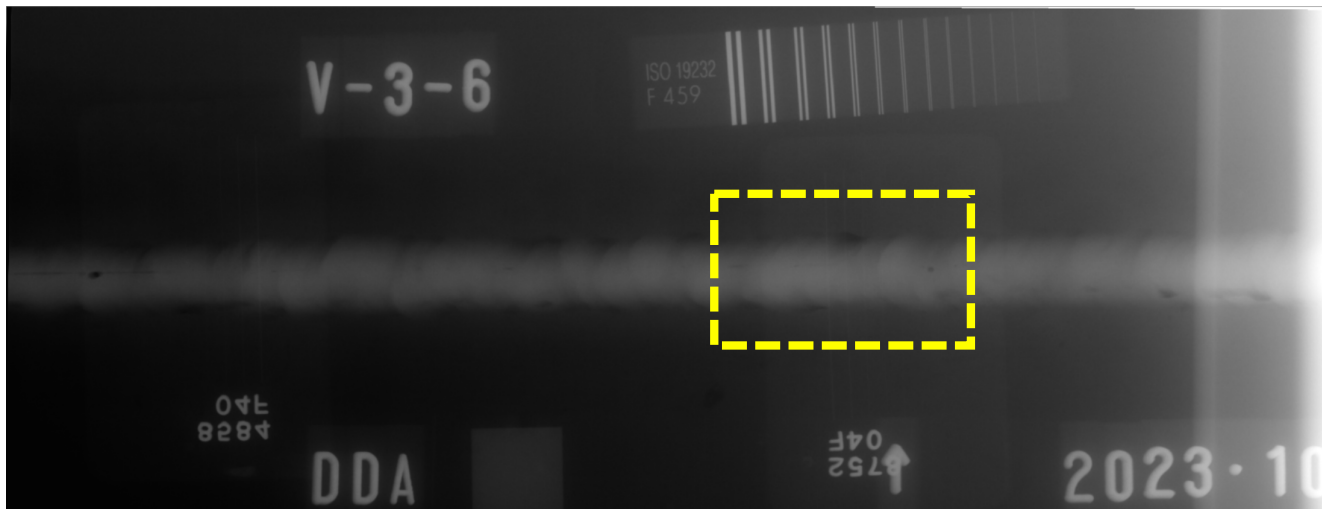
⑧ 板厚 13mm 側板相互突合せ溶接 D-RT (CR【IP】)



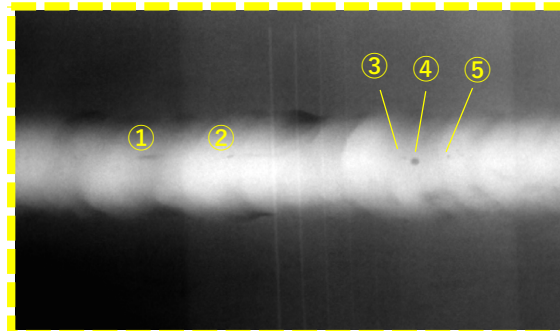
⑧ きず寸法計測例 DDA (濃度差によらずきずを明瞭化するため、測定後 Hi-Pass Filter 処理実施)

検出きずの寸法比較板厚 13mm

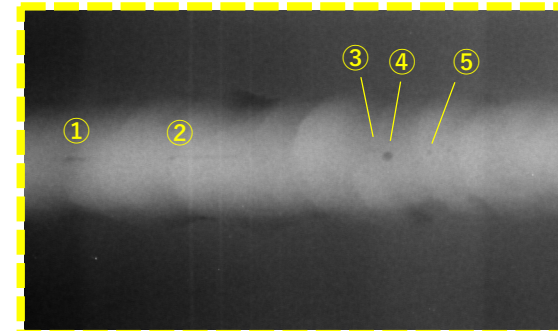
全体画像 (DDA)



F-RT



D-RT(DDA)



D-RT(CR)

表- V-3-6代表位置におけるきず寸法比較

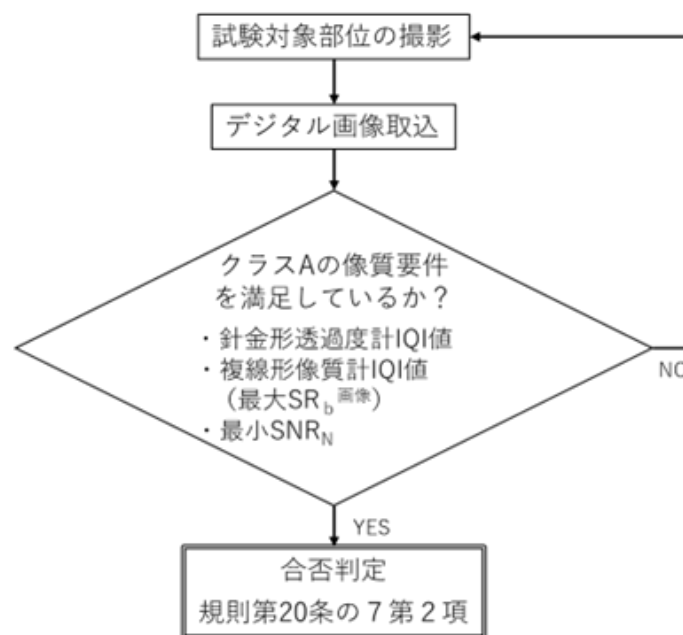
検出器	① (第2種)	② (第2種)	③ (第1種)	④ (第1種)	⑤ (第1種)
FRT (#80)	3.5	7.5	0.5	1.2	0.6
D-RT(DDA)	3.4	7.3	0.5	1.1	0.6
D-RT(CR)	3.2	7.4	0.5	1.1	0.6

参考資料 6 D-RT 画像の像質要件の確認及びきず等級分類・合否判定方法

D-RT 画像の像質要件の確認及びきず等級分類・合否判定方法

D-RT により撮影し、デジタル画像として取り込んだ透過画像は、JIS Z 3110 に規定される像質要件（針金形透過度計の IQI 値確認、複線形像質計の IQI 値確認、正規化された信号対ノイズ比（ SNR_N ））について確認し、像質要件が満足していることを確認されたのち、きず像の有無の確認、きず像があった場合の寸法測定を行い、撮影範囲の合否判定がなされることとなる（参考図-1）。

本資料では、参考図-1 に示すフローのうち、像質要件の確認作業、判定作業の内容について記載する。

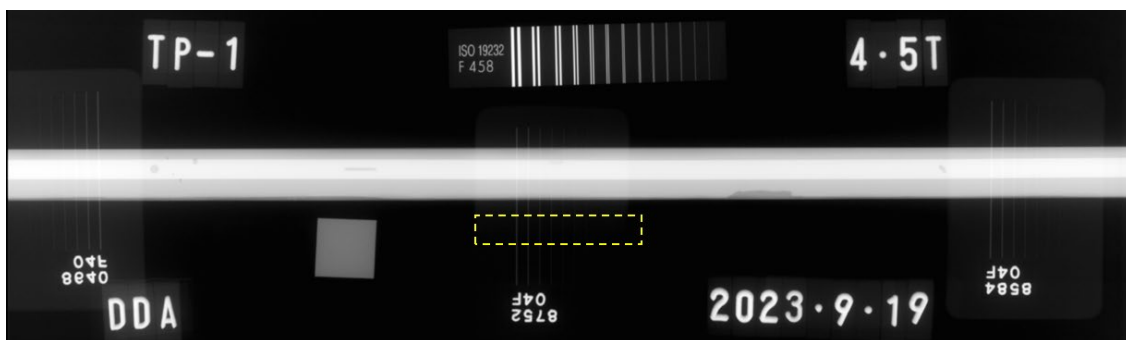


参考図-1 D-RT 撮影から判定までのフロー

1 像質要件の確認

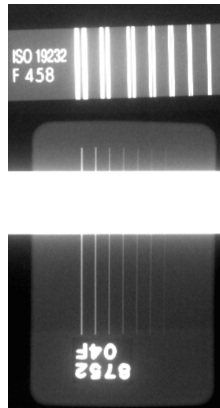
(1) 針金形透過度計（IQI 値）の確認

針金形透過度計 IQI 値の確認方法を以下に示す（参考図-2 参照）。

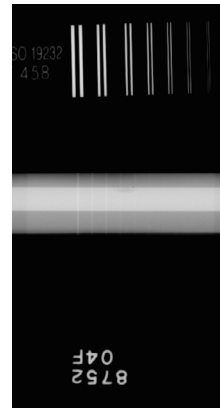


※画像両端部に配置されている針金形透過度計は、検証試験用であり、JIS 規格上必要なものではない。

参考図-2 D-RT (DDA) 透過画像の全体像及び計器類の配置



参考図-3



参考図-4

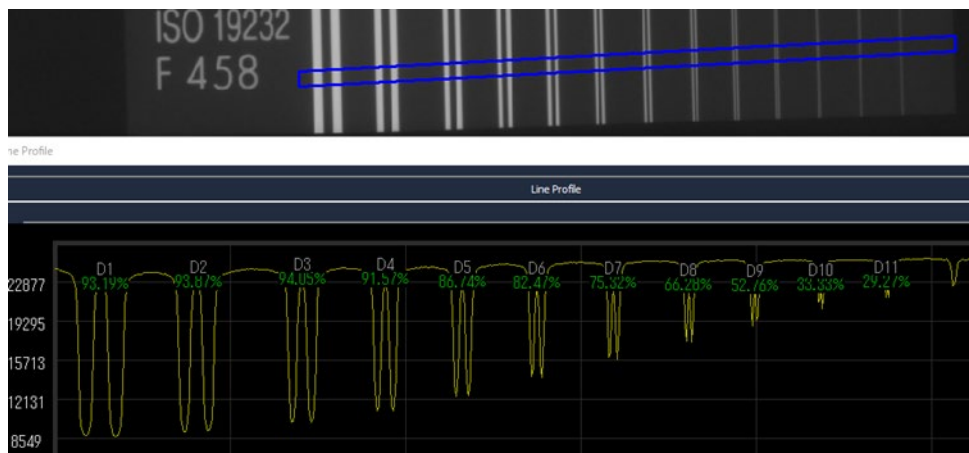
- ここでいう針金形透過度計は、段階的に線径の異なる針金で構成された透過度計であり、透過画像上で識別できる最小線径で透過画像の像質を評価し、管理するために用いられる。
- JIS Z 3110 において、針金形透過度計は、試験体の線源側、溶接線近傍の母材上における試験対象範囲の中心に配置するとされており、また、溶接線に対して垂直に置き、針金長の少なくとも10mmは、通常、溶接線に近接する母材部に配置することされている（参考図-2 黄色点線部）。
- もとめられる像質によって像質要件（線径）は異なる。

参考

F-RT と同程度の濃度・コントラストにおいて、04F で母材部枠内で6本（0.125mm）が識別限界であるが、D-RT の特徴を活かし濃度・コントラストを調整することで7本（0.100mm）が明瞭に識別可能であることがわかる（参考図-3 は母材部の識別に適した濃度、参考図-4 は溶接部の識別に適した濃度・コントラストに調整）。

(2) デジタル画像の複線形像質計の最小の IQI 値の確認

複線形像質計（DW）の最小の IQI 値の確認方法を以下に示す（参考図-5 参照）。



参考図-5 透過厚さ 4.5mm のプロフィール画像

参考表 JIS Z 3110 附属書 B 表 B.13 抜粋

単位：mm

透過厚さ	複線形像質計の最小のIQI値 及び最大不鮮鋭度	最大基本空間分解能 SR _b ^{画像}
1.0を超え 1.5以下	D12 (0.125)	0.063
1.5を超え 2以下	D11 (0.16)	0.08
2を超え 5以下	D10 (0.20)	0.10

- デジタル画像において複線形像質計の線対による二つのピークの大きさに対する変動（ディップ）が20%未満となる最初の線対をIQI値として求め、JIS Z 3110に規定される要求値を満たしていることを確認する。
- 参考図-5は透過厚さ4.5mmのプロファイル画像である。ソフト付属機能によりD11までが20%を超えて計測されている。これによりディップ値が20%未満となる最初の線対はD12と判断した。また、参考表より要求される複線形像質計の最小IQI値はD10であることから規格の要求値を満たしている。
- 不鮮鋭度の半分の値が基本空間分解能と定義され、参考表よりD12に対応する画像の最大基本空間分解能（SR_b^{画像}）は0.063と求められ、この値は次頁の正規化された信号対ノイズ比（SNR_N）に関する。参考図-5の場合では、

$$\text{SNR}_N = \text{SNR}_{\text{測定値}} \times 0.0886 / 0.063$$

※0.0886（88.6μm）は定数

(3) 正規化された信号対ノイズ比 (SNR_N) の確認

正規化された信号対ノイズ比 (SNR_N) の確認方法を以下に示す (参考図-6 参照)。



SNR	SNR _N	Min	
326.594	459.306	26956	

参考図-6 SNR_N の自動測定

- 通常はソフトウェアにより自動で測定される。測定の考えは JIS Z 3110 に記載されていることに加え測定は一意的な方法を定めていないために、ここでは特に記載しないが今回は 20×55 画素の関心領域を設定して測定
- クラス A で要求される信号対ノイズ比 (最小 SNR_N) は溶接部では 70、熱影響部で測定する場合は 1.4 を掛けた 98 が要求値であり、参考図-6 ではこの値 98 を満たしていることが確認できた。
- JIS Z 3110 では SNR_N 値は母材の厚い側に置いた透過度計の近くで、かつ、厚さ及びグレイ値が均一な範囲で測定すると書かれている。タンクの水平継手の場合では、針金形透過度計を用いる際は、板厚が厚い側 (下の段) の母材部に 10mm 以上かかるように配置した針金の近傍で SNR_N を測定することに留意する。

(4) その他

- 画像上の関心領域 (試験範囲内: 溶接線および熱影響部) に判定の妨げとなるものがないことを確認する。
- DDA の不良画素や CR の読取り面に付着したゴミやきずはないことが望ましいが、避けられない場合には最低限、JIS Z 3104 で規定する算定しないきずの寸法以下であることを確認する。
- 更に、DDA の場合では関心領域の中に連続した不良画素 (CKP) があると使用できない旨が JIS Z 3110 に規定されている。ここでいう CKP とは 5 つ以上の良好な周辺画素をもたない連続した不良画素と定義される (参考図-7 参照)。CKP は不良画素の周囲 8 画素にも不良画素が 4 画素以上ある箇所が該当する。CKP がある場合は修理・交換となる。基本的にはフィルター処理による画像処理で容易に不良画素の観察が可能である。

C	C	C	C	C	C
C	D	C	C	D	C
C	D	K	K	C	C
C	C	C	D	D	C
C	C	C	C	C	C

C: 良好な画素

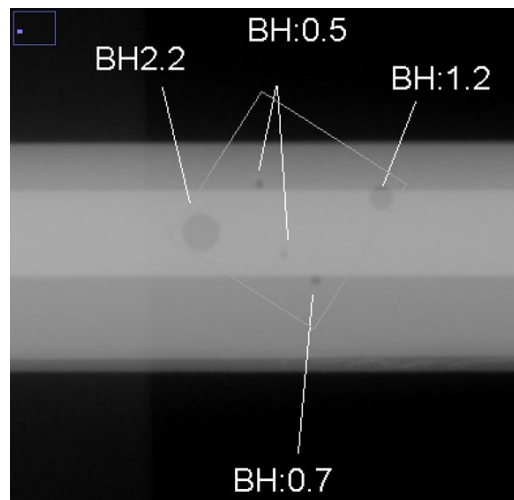
D: 不良画素

K: CKP (Cluster Kernel Pixel)

参考図-7 DDA における CKP

2 きず像寸法の測定

きず寸法の測定例を示す (参考図-8 参照)。



参考図-8 ソフトウェアによるきず像の寸法測定

- 今回はフリーソフトできずの寸法を測定した。8Bit 超えの画像を開けるソフトであればきず寸法の測定はどのソフトでも可能と考えられる。
- 試験視野の設定については不可もしくは非常に手間がかかるソフトもあるため、拡張性の高いソフトを用いるか専用のソフトウェア開発が望ましい。

参考資料 7 D-RT の特徴と測定について

D-RT の特徴と測定について

1 検出器の原理による F-RT と D-RT の違い

放射線透過試験では、試験体を透過した放射線が検出器に到達し、検出器との相互作用により透過画像が形成される。F-RT と D-RT では原理の異なる検出器を用いることから、大まかにではあるが、透過画像の形成過程等が以下のように異なる。

【F-RT】

増感紙・フィルム及び透過した放射線の相互作用により、フィルム上のハロゲン化銀を励起して形成された潜像を現像処理により無数の微小な黒点として透過画像が形成される。

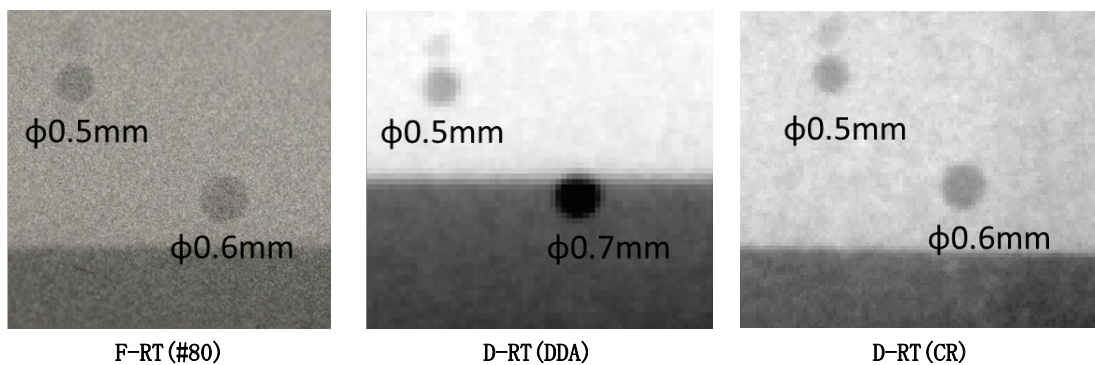
この際形成された黒点の密度がフィルムの濃度であり、密度変化の境界が肉眼で濃度差と認識され、きずの境界等として認識される。

【D-RT】

DDA は、透過した放射線が感光素子の前面に配置した蛍光物質との相互作用による発光を感光素子で検出することにより、また CR ではフィルムと同様に透過した放射線が IP 上に励起状態（潜像）を形成し、微小なレーザースポットで刺激することで励起状態に応じた発光を捉えて透過画像が形成される。

DDA では $70\mu\text{m}\sim 130\mu\text{m}$ 程度の素子が 2 次元に配置されており、各素子が 12Bit \sim 16Bit 階調のグレイ値として透過画像が形成される。CR においては $50\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ のレーザースポットを用いて潜像が形成された IP を当該ピッチにてスキャンして発光させ、12Bit \sim 16Bit 階調のグレイ値として透過画像を形成する。

参考図-1 に F-RT と D-RT の透過画像の拡大図を示す。DDA、CR では矩形の集合体としてきず画像を形成していることが分かる。



参考図-1 各検出器での透過画像 (TP-1 4.5mm)

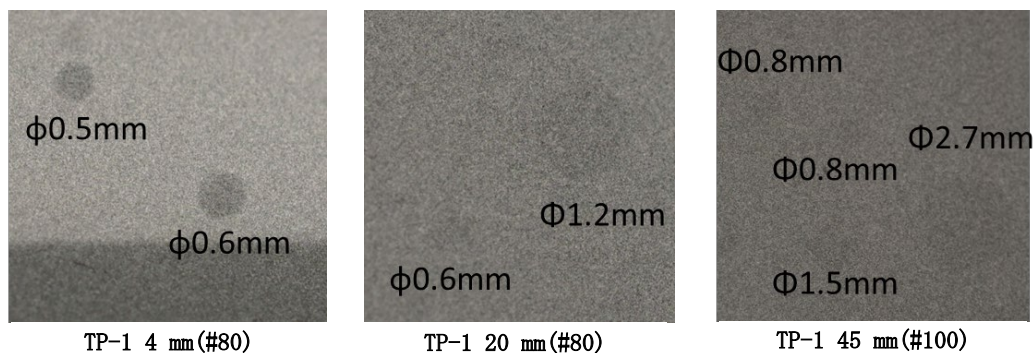
2 検出器に到達する放射線の量（露出量）による画像の信号対ノイズ比（SNR）

試験体を透過する放射線はその厚さの指数関数に逆比例して減少する。同様にきずの濃度差も健全部ときず部の厚さの比の指数関数で現れる。

また、板厚が厚くなるに従い散乱線の影響が大きくなり、板厚差がある部位では特に大きな影響を与え画像は不鮮明になる。

放射線と試験体、放射線と検出器との相互作用は確率的なものであり、十分な線量がない場合には非常にノイズが多く SNR は小さくなる。これは F-RT、D-RT 共通の現象である。

その他きず像の識別性に影響する因子として透過画像を拡大して観察する場合の拡大率が挙げられる。参考図-2に TP-1 の各板厚を撮影した F-RT サンプル画像（フィルムは 4.5mm、20mm は Fuji #80、45mm は Fuji#100 を使用）を示す。サンプル画像で板厚 45mm の人工きずは、拡大された画像では識別不可能である。D-RT では透過画像の自由な拡大・縮小が可能であることから、こうした点にも留意して観察、合否判定をする必要がある。（フィルム観察においても、過剰な拡大は、かえって識別性の低下を招く。）

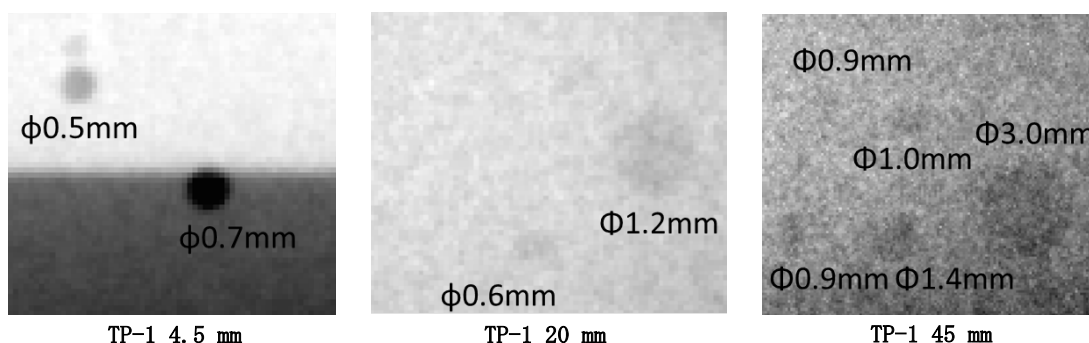


参考図-2 試験体板厚によるきずの識別性比較 (F-RT)

JIS Z 3104 には透過画像の濃度範囲や階調計濃度差といった具備すべき像質条件が規定されており、F-RTにおいてSN比が低く、具備すべき像質条件を満たしていない場合、改善方法として一般的につぎの対策が行われている。

- ①コントラストを上げて識別性を良くするため、フィルム濃度を高くし高輝度の観察器を使用する。
- ②放射線のエネルギーを下げコントラストを上げる。（その分露出時間が増加する）
- ③溶接部の余盛を除去してきずの存在する部位の濃度を高くし、コントラストを上げる。
- ④溶接部の余盛を除去して散乱線を低下させ SN 比を大きくする

一方、JIS Z 3110 には濃度範囲や階調計濃度差の規定がないが、D-RT においては、観察時に、観察したい範囲を自由な濃度・コントラストに調整でき、濃度・コントラストの調整のみで参考図-3 のように識別性を向上させることが可能である。



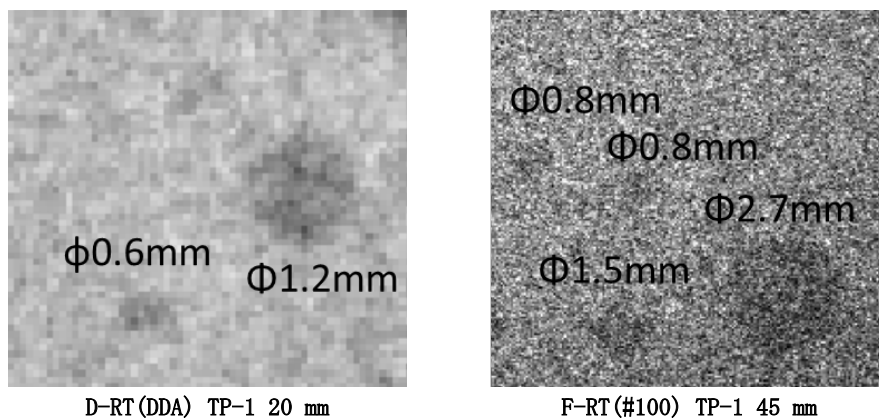
参考図-3 濃度・コントラストの調整によるきず像の識別性向上 (DDA)

また、一般的に DDA では、短時間の撮影を複数回実施して平均化する積算化処理が行われており、この処理により平滑化されノイズが低減し SN 比が向上する。

また、F-RTにおいても一旦デジタル化された画像データは各種フィルタを使用することで識別性を高めることが可能である。

参考図-4はハイパスフィルタ処理をすることで識別性の向上が認められる例である。粒状感や画像の粗さは目立つが、きず像の識別性は格段に向上することがわかる。

D-RT適用時、きず画像が不鮮明な場合や、試験有効範囲において濃度差が大きいなどといったケースでは、各種フィルタを用いることによって、有効にきずの有無を確認することができる場合がある。

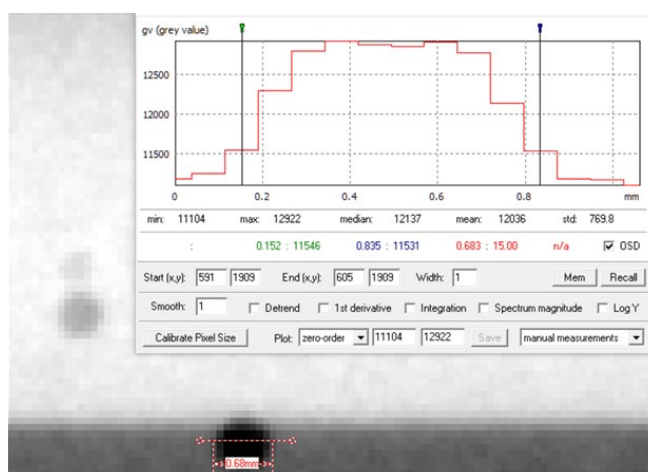


参考図-4 ハイパスフィルタ処理時のD-RT画像

3 D-RT (特に DDA) の特徴を活かした撮影ときずの検出、測定について。

F-RTと比較してDDAは高感度であり、短時間で撮影できることから作業効率の向上や被ばく量の低減が図れるだけでなく、作業性を犠牲にせず放射線の線質を変え像質の改善が可能である。

また参考図-5に示されるようにD-RTでは検出器の分解能(今回使用したDDAでは76 μ m)の格子から寸法を計測する。X線装置の焦点寸法や散乱線の影響によりきずの境界部にボケが生じるためグレイ値が階調をもち、周辺の健全部から有意差がある格子で測定する。



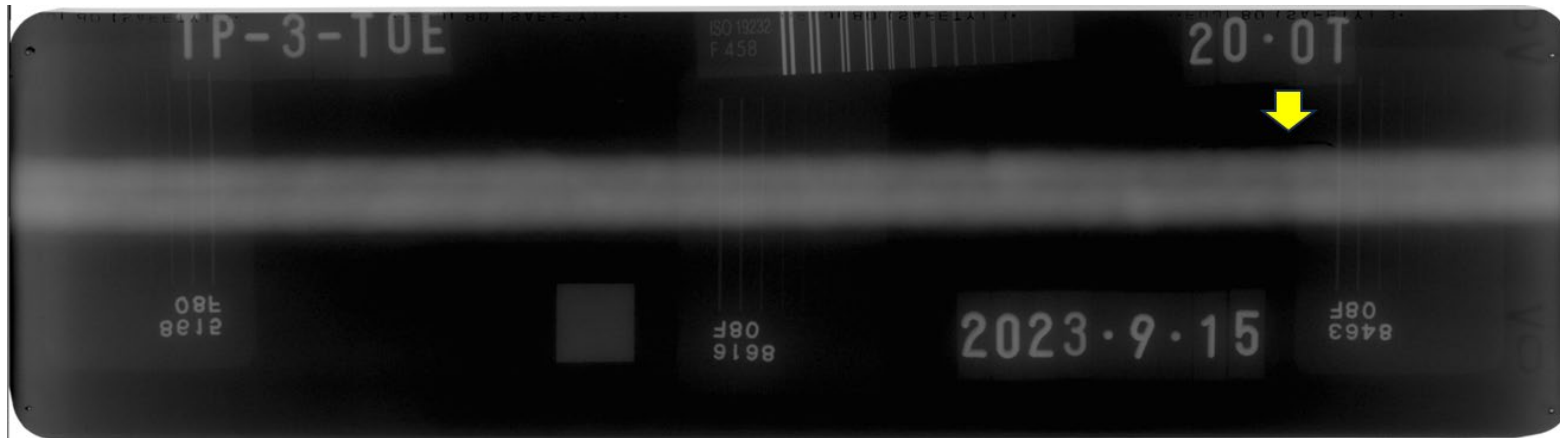
D-RT (DDA) TP-1 4.5 mm

参考図-5 D-RTにおける検出きず像の寸法測定

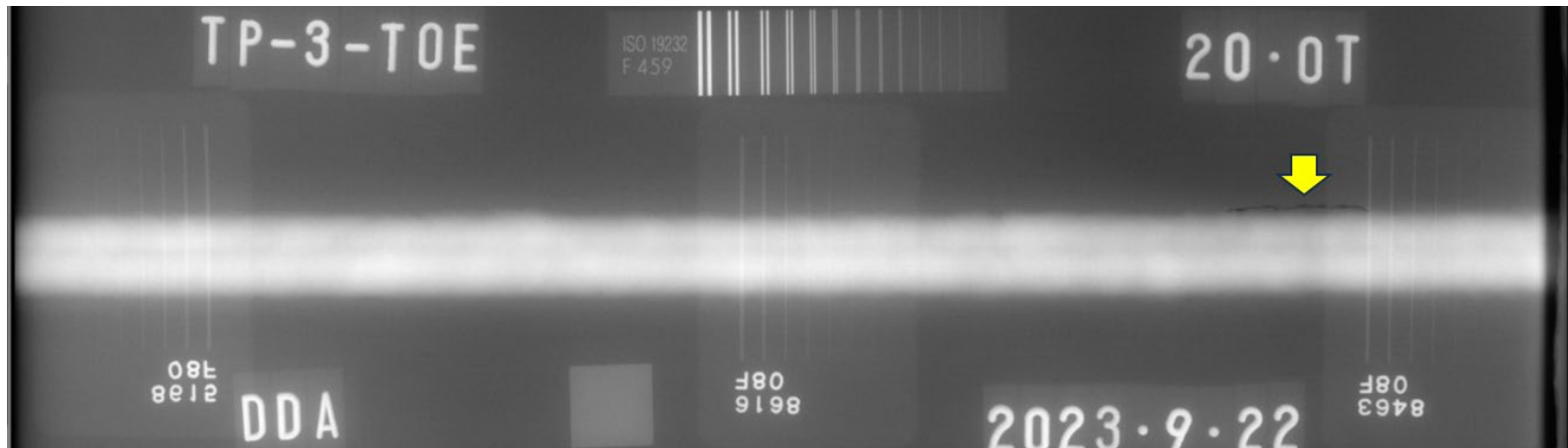
前項でも述べたように、D-RT は規格上濃度の規定はないが、観察したい部位を認識しやすい濃度（グレイ値）に調整して観察することが可能である。この機能を用いてきず像の識別性が大きく向上した事例を参考図-6 に示す。

JIS Z 3104 の濃度値を満たした F-RT フィルムにおいて、溶接止端部の線状きず像は明瞭に認識できない。客観的に明瞭に認識するためには JIS Z 3104 の規格値は外れるが、母材部の濃度を低くして再撮影するか高輝度観察器を用いて溶接線部をマスクして観察する必要がある。

一方、D-RT では、濃度・コントラストを調整することで当該きず像の識別性が向上する。



F-RT(#80) TP-3 20 mm



D-RT(DDA) TP-3 20 mm ※濃度・コントラストを調整

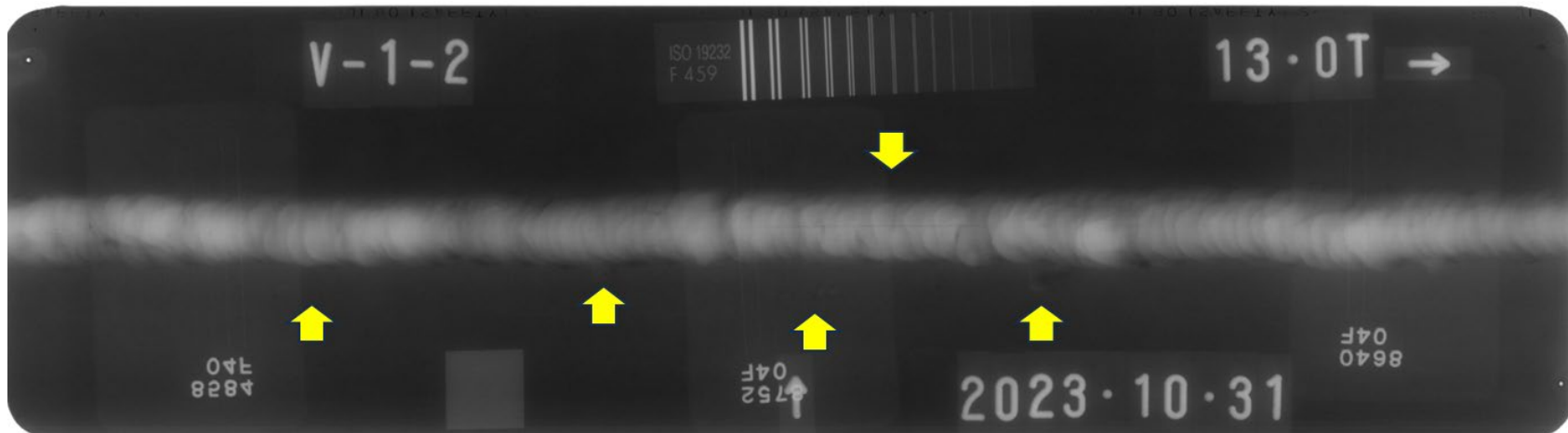
参考図-6 濃度・コントラストの調整によるきず像の識別性向上事例

同じく前項で述べたが、D-RT では各種フィルタを用いることで認識性を高めることが可能である。

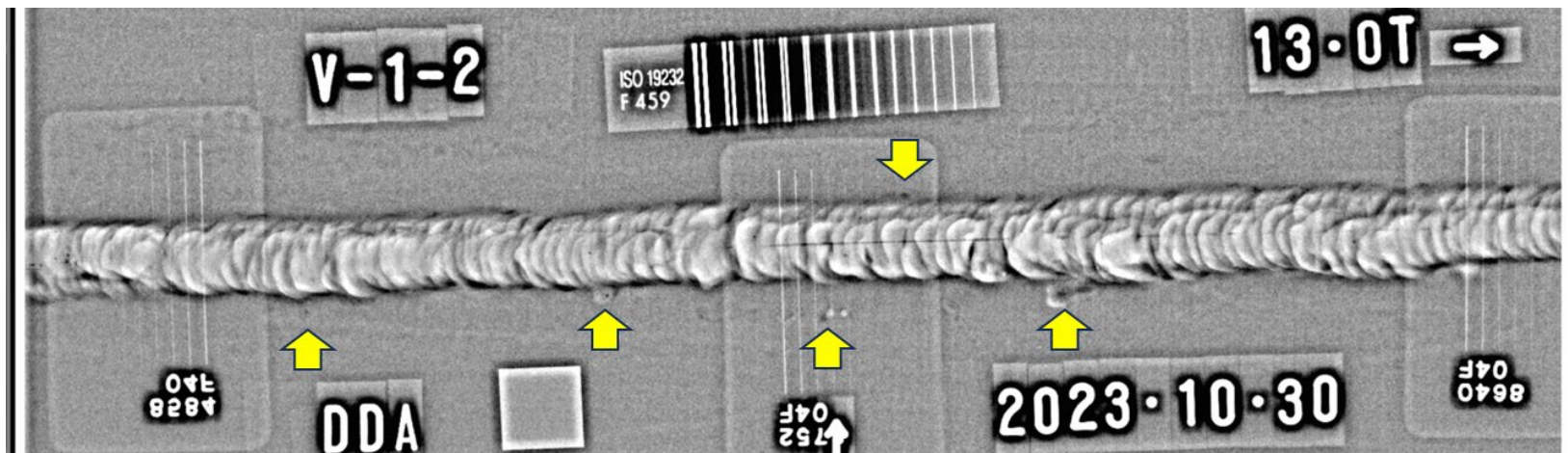
例えば、D-RT ではハイパスフィルタを適用することで、濃度の高い部位、低い部位でのきず像を強調し、識別性を高めることが可能である。

参考図-7 は、溶接部そのものに生じたきずではないが、従来の F-RT においては認識が難しかった母材部の治具跡やアークストライクに生じた溶接きずについても溶接部上のきずと同様に明瞭に認識される例である。

なお、フィルタを用いた場合は、きず像の境界部（輪郭部）が強調して表示されることとなるため、寸法測定には注意が必要である。



F-RT(#80) 現地試験 (2回目) 13 mm



D-RT(DDA) 現地試験 (2回目) 13 mm ※ハイパスフィルタを適用

参考図 7-フィルタ処理によるきず像の識別性向上事例