

令和7年度
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）

「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委員会」

令和8年3月

目次

はじめに	1
第1章 調査検討の概要	2
1 調査検討の背景・目的	2
2 主な調査検討項目	2
3 検討体制	2
4 検討の開催状況	2
第2章 溶接部検査を対象とした新たな試験方法の確認フローに関する検討	4
1 新たな試験方法の導入に関するプロセスについて	4
2 確認フローの検証について	6
2.1 検証試験計画	6
2.2 検証試験結果	28
第3章 溶接部検査を対象とした新たな試験方法の導入フローに関する検証	65
1 フローの検証結果	65
2 今後の課題	67
第4章 ACFM の屋外貯蔵タンク底部溶接部への適用について	68
1 適用範囲	68
2 対比試験片	68
3 試験の方法	68
4 試験技術者	69
5 その他留意事項	70
第5章 危険物施設に適用可能な新技術による点検方法等の調査	71
1 調査結果一覧	71
2 危険物施設を対象とした点検技術	71
添付資料	77

はじめに

非破壊試験は、試験体を破壊することなくきず等を検出する手法であり、試験体に求められる検出能、構造、表面性状等を踏まえて適切な試験方法を選択し、各種インフラ構造物の保守点検に活用されている。

特定屋外貯蔵タンクの溶接部においては、側部では放射線透過試験、底部では磁粉探傷試験及び浸透探傷試験により健全性を確認してきた。また、底部については、危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令（令和7年総務省令第112号）により、デジタルアーカイブが可能な渦電流探傷試験を適用できることとなった。

一方で、渦電流探傷試験のようにデジタル技術を活用した新たな試験方法については、その有用性を確認するために多くの時間を要することが課題となっている。そこで、本検討では、過去の消防庁における検討内容を整理し、新たに上市された試験方法を迅速に導入するための条件について検証を行った。あわせて、危険物施設の保守点検において、デジタル化及び効率化が見込まれる技術について調査し、結果を取りまとめた。

本報告書を取りまとめることができたのは、ご多忙の中にもかかわらず積極的に検討会に参加され、貴重なご意見をいただいた委員各位のご尽力によるところが大きい。ここに厚くお礼申し上げる次第である。

本調査検討の結果が、危険物施設の予防保全における安全性向上に寄与することを願っている。

令和8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

第1章 調査検討の概要

1 調査検討の背景・目的

特定屋外貯蔵タンクの溶接部検査は、消防法令により、側部では放射線透過試験、底部では磁粉探傷試験、浸透探傷試験及び渦電流探傷試験を用いて実施することが定められている。消防庁では令和5年度から、デジタル技術を用いて新たに上市された試験方法について、溶接部検査における有用性の確認を進めてきたところである。

一方で、新たに上市された試験方法を溶接部検査へ導入するにあたっては、試験方法ごとに有用性を個別に確認しているため、導入までに時間を要しているという課題がある。

このような状況を踏まえ、本検討では、新たに上市された試験方法を迅速に導入するために、消防庁におけるこれまでの検討過程を整理するとともに、特定屋外貯蔵タンクの溶接部検査において有用と判断できる条件について調査、検討を行った。また、危険物施設において将来的にDXが見込まれる試験等についても調査を実施した。

2 主な調査検討項目

- (1) 新たに上市された試験方法を迅速導入するため調査検討
- (2) 危険物施設に適用可能な新技術による点検方法等の調査

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委員会名簿

(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 特定教授
委員	熊崎 美枝子	横浜国立大学大学院 環境情報研究院 教授
	西 晴樹	総務省消防庁消防研究センター 研究統括官
	野口 康幸	横浜市消防局 予防部 保安課長
	松田 厚司	四日市市消防本部 予防保安課長
	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
事務局	加藤 晃一	消防庁 予防課 危険物保安室長
	根本 雄	消防庁 予防課 危険物保安室 課長補佐
	滝澤 晋平	消防庁 予防課 危険物保安室 パイプライン係長
	小川 大輔	消防庁 予防課 危険物保安室 総務事務官
事務局補助	危険物保安技術協会	
	一般社団法人 日本非破壊検査工業会	

4 検討の開催状況

検討会の経過は以下のとおりである。

- 第1回検討会 令和7年 7月 4日
- 第2回検討会 令和7年 12月 8日
- 第3回検討会 令和8年 2月 27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 溶接部検査を対象とした新たな試験方法の確認フローに関する検討

1 新たな試験方法の導入に関するプロセスについて

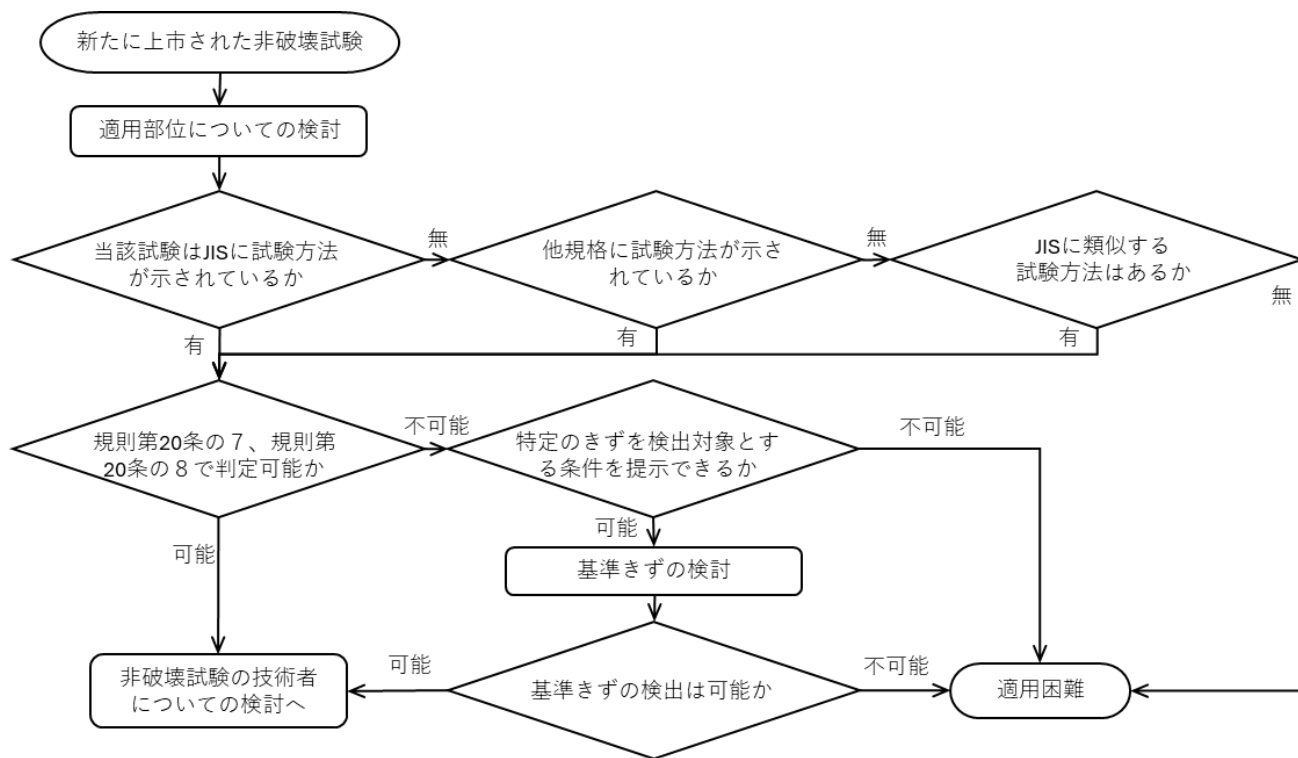
消防庁において、令和5年度及び令和6年度に新たに溶接部検査へ導入した、デジタル機器を用いた放射線透過試験及び渦電流探傷試験の検討過程を大別すると、「非破壊試験の特性に関する検討」及び「非破壊試験技術者に関する検討」の二点に整理できる。

非破壊試験の特性に関する検討では、主として適用部位、試験条件及びきず検出能について検討を行ってきた。デジタル機器を用いた放射線透過試験及び渦電流探傷試験については、それぞれ対応するJIS規格が存在し、屋外貯蔵タンクの溶接部へ適用できる条件が整えば、JISに準拠した試験が可能であった。一方、新たに上市された試験方法の中にはJISに対応規格が存在しないものもあり、これらについては他規格の調査が必要となる。

きず検出能に関しては、当該試験方法が規則第20条の7及び規則第20条の8に規定される合格の基準により判定可能なきず検出能を有している場合は、同条と同様に検査し得ることが自明で有り、溶接部検査に適用可能である。一方、渦電流探傷試験と同様に、規則第20条の8第2項及び第3項に規定される合格の基準について、全てを判定できない場合には、特定のきずを検出対象とする条件を提示する必要が生じる。

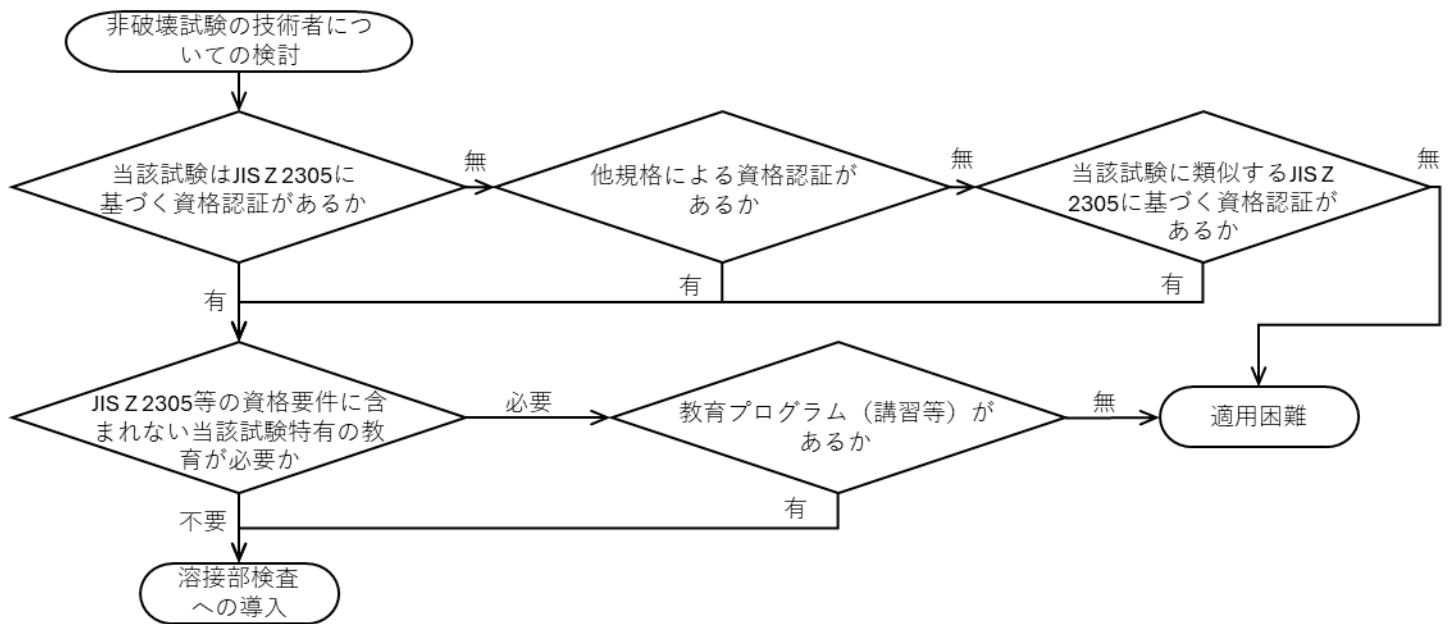
渦電流探傷試験の導入に関する検討では、当該試験は特性上、検出信号からきずの種類を判別や、きずの寸法を明確に評価することが困難であった。このため、当該試験の適用範囲を保安検査等に限定し、判定基準として、試験面を模した対比試験片の基準きず（長さ4.0mm、深さ1.5mm、幅0.5mm以下）から得られる検出信号を超えないこととされた。なお、側部については、過去の検討会において特定のきずを検出対象とする条件は議論されていない。

以上を踏まえ、下記の「非破壊試験の特性に関する確認フロー（案）」を策定し、検証を行った。



次に、非破壊試験技術者に関する検討であるが、デジタル機器を用いた放射線透過試験及び渦電流探傷試験は、JIS Z 2305：2024「非破壊試験技術者の資格及び承認」（以下「IS Z 2305」という。）に規定されており、同規格の要件を満足する技術者であれば試験を実施することができるものとされた。JIS Z 2305 に規定されていない新たな試験方法においては、試験技術者に求められる資格及び技能が課題となる。

そこで、本検討では、下記の「非破壊試験技術者に求められる資格等に関する確認フロー（案）」を策定し、検証を行った。



2 確認フローの検証について

2.1 検証試験計画

(1) 試験方法の一次選定

一般に使用されている試験方法のうち、特定屋外貯蔵タンクの溶接部に対して適用の可能性のある試験方法を挙げ、各種試験方法の確認フローにおける現状、溶接部への適用性等を評価した結果を表 2-1 に示す。3つの試験方法のうち最も適用性が高いと考えられる、交流電磁場測定法（以下「ACFM」という。）について詳細に調査を行うこととした。

表 2-1 検証対象候補

試験方法	対象部位	確認フローにおける現状		溶接部への適用性	総合評価
		特性に関するフロー	資格等に関するフロー		
超音波探傷法	側部	規則第 20 条の 7 による判定は困難であると考えられるため、特定のきずを検出対象とする条件に関する検討が必要	高度な超音波探傷法では、JIS Z 2305 等の資格要件に含まれない当該試験特有の教育に関する検討が必要	可 底部で実績あり	特定のきずを検出対象とする条件の検討は単年では困難
漏えい磁束測定法	底部	渦電流探傷法と同等の検出性があると考えられるため、基準きずの検討が必要	JIS Z 2305 に該当する資格認証がないため、他規格に資格認証、当該試験に類似する JIS Z 2305 に基づく資格認証について検討が必要	溶接部を対象とした場合、開発途上	現状では溶接部を対象とした試験は困難
交流電磁場測定法	底部	渦電流探傷法と同等の検出性があると考えられるため、基準きずの検討が必要	JIS Z 2305 に該当する資格認証がないため、他規格に資格認証、当該試験に類似する JIS Z 2305 に基づく資格認証について検討が必要	可 海外で実績あり	適用性が高い

(2) ACFM

ア 測定原理

励磁コイルにより一様な誘導電流を試験体表面に発生させ、表面きずで生じる磁場の変化を2つの検出コイルで検出する。検出コイルは主にきずの深さ方向へ迂回した誘導電流で生じる磁束の変化を検出する Bx コイルと、主にきずの長さ方向へ迂回した誘導電流で生じる磁束の変化を検出する Bz コイルがあり、2つの検出コイルから得られる Bx 信号、Bz 信号を合成したバタフライプロットからきずを視覚的に捉える測定方法である (図 2-1)。

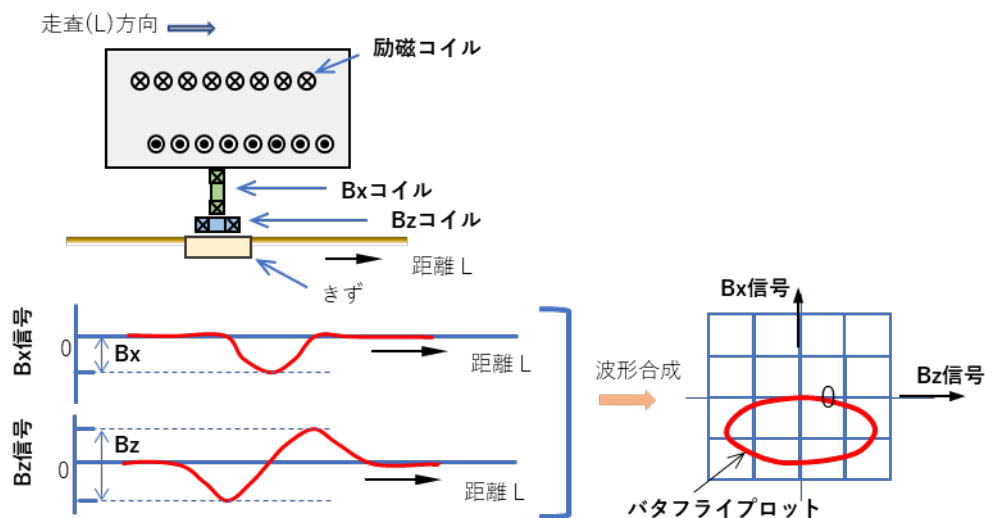


図 2-1 ACFM 測定原理

イ 特徴

ACFM の一般的な特徴、磁粉探傷試験と比較した特徴、渦電流探傷試験と比較した特徴を表 2-2 に示す。

表 2-2 ACFM の特徴

一般的な特徴	表面きずの検出に優れている。
磁粉探傷試験と比較した特徴	リフトオフ性能に優れている。
	渦電流探傷試験と同様に探傷速度に優れている。
	デジタルアーカイブに優れている。
渦電流探傷試験と比較した特徴	一般に有害とされる深さを有するきずから得られるバタフライプロットによりきずの有無を視覚的に判断しやすい (添付資料 4)。

ウ 選定理由

次の調査結果から確認フローの検証試験の対象として ACFM を選定した。

(ア) 渦電流探傷法との類似性

渦電流探傷法は ACFM と同様に励磁コイルにより誘導電流を生じさせ、表面きずにより生じる磁場・電場の変化を検出コイルを用いて検出する方法である。

渦電流探傷法で用いるプローブには、励磁と検出を同一コイルで行う自己誘導形プローブと、励磁コイルと検出コイルの二つのコイルで構成する相互誘導形プローブがある。さらに、複数の検出コイルから得た信号を差分処理することにより幾何学的効果によるノイズを低減し、信号の識別性を向上させた差動方式を組み合わせたプローブも用いられている。(表 2-3)。

渦電流探傷法における一様渦電流プローブは相互誘導形プローブの一種であり、図 2-2 に示すように、タンジェンシャルコイル (表 2-4) をコイル中心軸方向に積層した励磁コイルと、励磁コイルより小径のラジアルコイル (表 2-4) を検出コイルとし構成されている。一様渦電流プローブは、励磁コイルにより試験体に一様な渦電流を発生させ、きずにより乱れた渦電流の変化を検出コイルで捉えるものである。

ACFM のプローブは一様渦電流プローブに類似しており、一様渦電流プローブに Bx コイルを追加した相互誘導形プローブにあたる。後述するシミュレーション結果においても、Bz 信号は一様渦電流と同様の結果を示すことを確認している。また、一定の深さを有するきずを Bx コイルで検出した場合、Bx 信号と Bz 信号を合成した ACFM 特有のバタフライプロットが形成され、きずを視認することができる。

以上より、ACFM は渦電流探傷に類似した探傷法であると考えられる (添付資料 4)。

表 2-3 プローブのタイプの概念図

	自己誘導形	相互誘導形
単一方式		
差動方式		

表 2-4 ラジアルコイルとタンジェンシャルコイル

コイルタイプ	概念図	特徴
ラジアル		<p>コイルの中心軸が試験体と直角で方向による検出能力の差が小さい。</p>
タンジェンシャル		<p>コイルの中心軸が試験体と平行で一定のきず方向のきずの検出能力が高い。</p>

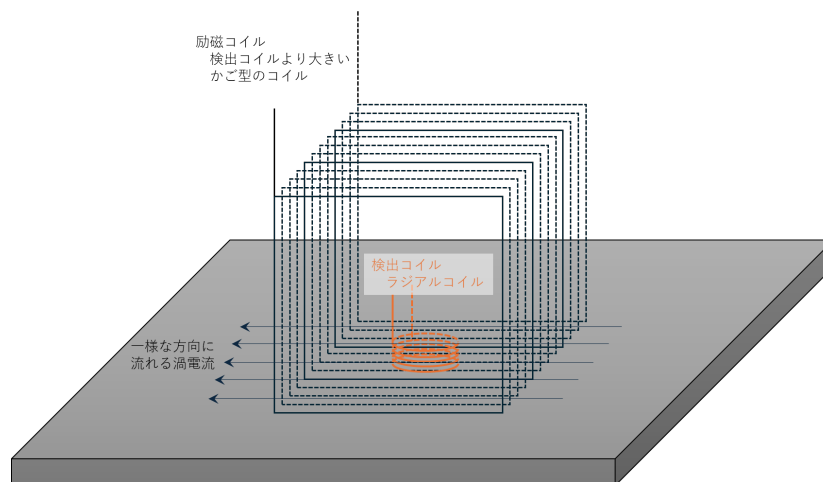


図 2-2 一様渦電流プローブ 概念図

(イ) 規格

国内規格として、JIS では ACFM の試験方法及び試験技術者に関する規定は明示されていない。鋼船規則 M 編「溶接」第 7 章中の用語の定義では、ACFM は渦電流探傷試験と同列に表記されているが、溶接継手の非破壊検査に関する第 8 章、先進的な非破壊試験に関する第 9 章で渦電流探傷試験及び ACFM に関する記載はない。海外規格では、ACFM に関する試験方法及び試験技術者に関する規格が確認されている (ASTM E2261/E2261M-17:2021 Standard Practice for Examination of Welds Using the Alternating Current Field Measurement Technique、PCN24/GEN:2025 General requirements for qualification and PCN certification of NDT personnel)。

(ウ) 確認フローにおける現況

a 非破壊試験の特性に関する確認フロー

ACFM は JIS に規定はされておらず、海外規格に規定されている。一方、ACFM と類似する渦電流探傷試験は JIS Z 2316-1~6:2014 により規定されている。

ACFM は渦電流探傷試験と同様に検出信号からきずの種類を判別することが困難であるため、規則第 20 条の 8 第 2 項及び第 3 項により判定することは難しい。一方で、ACFM は渦電流探傷試験と類似した探傷法であるため、規則第 20 条の 8 第 4 項により判定を行うことは可能と考えられることから、特定のきずを検出対象とする条件を提示することが可能である。

以上のことにより、基準きずに関する検討を行う必要がある。

b 資格等に関する確認フロー

ACFM は JIS Z 2305 では試験技術者について規定されていないが、海外規格に試験技術者についての規定がある。一方、類似する渦電流探傷試験は JIS Z 2305 で規定されている他、海外規格においても規定されている。

ACFM 及び ACFM に類似する渦電流探傷試験について国内外の規格を調査し、JIS Z 2305 等の資格要件に含まれない当該試験特有の教育の必要性等について検討を行う必要がある。

(3) 検証計画

非破壊試験の特性及び試験技術者に求められる資格等に関する確認フローに基づき、検証試験を計画した。室内試験で用いた機器、試験片及びシミュレーションツールの詳細は添付資料 1、2、4 に示している。以下に試験条件等を示す。

ア 基準きずの検討

基準となるきずの寸法、形状を検討するため、渦電流探傷試験の基準きずの検討と同様に長さ 4.0mm、深さ 1.5mm のきずを指標として、きずの幅及び形状による検出信号への影響、また、基準きずを設ける試験片の材質による検出信号への影響に関する試験を計画した。

使用機器を表 2-5、検証用の試験片を表 2-6 に示す。検証用の試験片は計画に基づいて、平板に放電加工により各種スリットきずを設けて製作した。また、表 2-7 にシミュレーション条件を示す。

表 2-5 使用機器

チーム	装置	プローブ	備考
A	Eddyfi Technologies 社 AMIGO2	Eddyfi Technologies 社 8ch マルチ：TUCA005-08T-40A	エンコーダー機能付き
B	SGNDT 社 μ S2G2	SGNDT 社 16ch マルチ：WAVE-180	すみ肉溶接用プローブ 自動走査機能を別途付与 (一軸のスキヤナー)

表 2-6 試験片 スリットきず (TP-1~TP-3 S50~S62)

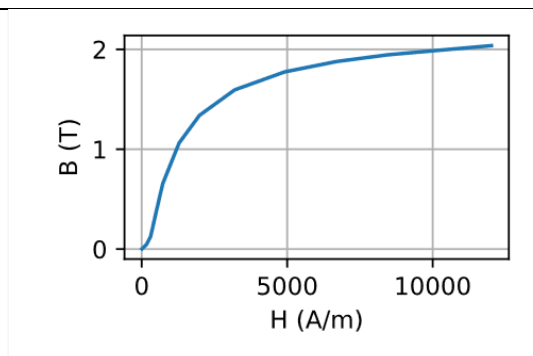
試験片No.	材質	きず				
		スリットNo.	形状	長さ※ ¹ L(mm)	深さ※ ¹ D(mm)	幅※ ¹ W(mm)
TP-1	SM400A	S50	矩形	4.0	1.5	0.3
		S51				0.5
		S52				0.75
		S53				1.0
		S54	円弧			0.3
TP-2	SS400	S55	矩形	4.0	1.5	0.3
		S56				0.5
		S57				0.75
		S58				1.0
TP-3	SPV490Q	S59	矩形	4.0	1.5	0.3
		S60				0.5
		S61				0.75
		S62				1.0

※1 許容寸法 L：±0.1mm、D：±0.1mm、W：±0.2mm

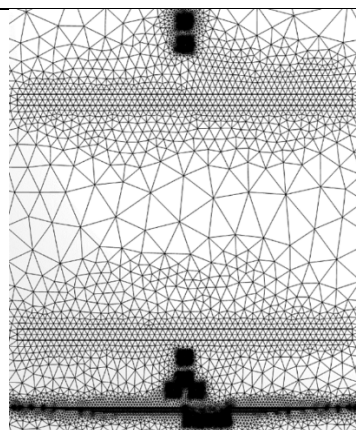
表 2-7 シミュレーション条件

計算条件	
項目	詳細
励磁コイルボビン	L30×H20×W10
励磁コイル	600 ターン, 0.2A, 5kHz Φ0.18mm マグネットワイヤー
検出コイル	外径 3mm、高さ 1mm、130 巻
支配方程式	$\text{rot}(\nu \text{rot} \mathbf{A}) + j\omega\sigma\mathbf{A} = \mathbf{j}$
FEM ライブラリ	NETGEN/NGSolve

試験体の BH カーブ



プローブ付近要素分割



計算モデル

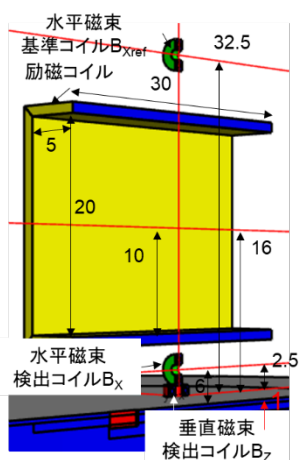


Fig. 1. 本調査独自の ACFMプローブ

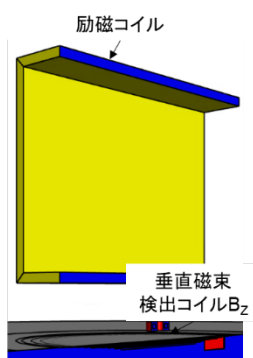


Fig. 2. 一様渦電流 (ACFMから水平磁束検出コイルを削除)

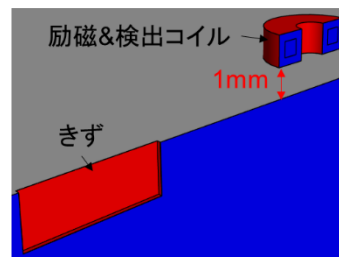


Fig. 3. パンケーキECT (垂直磁束検出コイルのみ)

- 既製品の寸法とは異なる。
- プローブは「製作しやすさ」と「信号の大きさ」を重視して設計された。

(ア) きずの幅の影響

きずの幅による検出信号への影響を確認するため、表 2-5 に示す機器等を用い、表 2-6 の S50～S53 のスリットきずを対象とする試験を計画した。当該試験のプローブの走査方法を図 2-3 に示す。

試験パラメータ

きずの幅：0.3mm、0.5mm、0.75mm、1.0mm

シミュレーションパラメータ

きずの幅：0.002mm、0.01mm、0.1mm、1.0mm

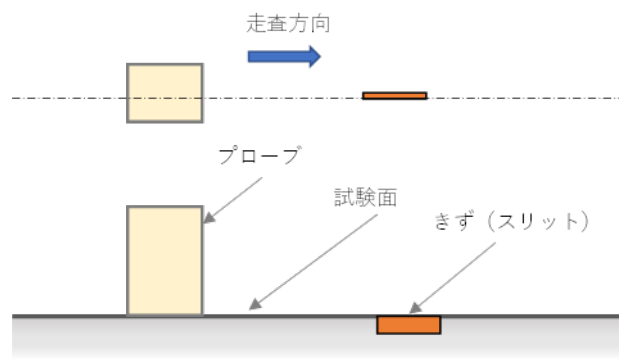


図 2-3 プローブの走査方法

(イ) きずの形状の影響

きずの形状による検出信号への影響を確認するため、表 2-5 に示す機器等を用い、表 2-6 の S50、S54 のスリットきずを対象とした試験を計画した。なお、プローブの走査方法は図 2-3 と同様とした。

試験及びシミュレーションパラメータ

きずの形状：矩形、円弧

(ウ) 材質の影響

材質による検出信号への影響を確認するため、表 2-5 に示す機器等を用い、表 2-6 の S50～S53、S55～S58、S59～S62 (A チームのみ実施) のスリットきずを比較対象とした試験を計画した。なお、プローブの走査方法は図 2-3 と同様とした。

試験パラメータ

試験片の材質：SM400A、SS400、SPV490Q

イ 基準きずの検出性

基準きずの幅は、長さ 4.0mm、深さ 1.5mm における製作精度が担保される最小寸法の 0.3mm とし、基準きずの形状は矩形とした。試験片の材質は入手性及び品質の安定性から SM400 とした。

理想環境における基準きずの検出性として、平板に基準きず及び基準きずに類する寸法のきずを設けた試験片を製作し、ACFM 機器を用いてきずの検出性を確認する。実環境における基準きずの検出性として、溶接部に基準きずを設けた試験片を製作し、同様にきずの検出性を確認する。

(ア) 理想環境における検出性

使用機器を表 2-8、試験片を表 2-9 に示す。一般的な ACFM としての特性として知られている角度感度特性、オフセット特性については、表 2-8 の A チーム、B チームの機器を用いて確認する。また、きずの合否に大きく関係するリフトオフ特性、きずの大きさの評価性については、表 2-8 に示す A チーム、B チーム、C チームの機器で確認する。

表 2-8 使用機器

チーム	装置	プローブ	備考
A	Eddyfi Technologies 社 AMIGO2	Eddyfi Technologies 社 8ch マルチ：TUCA005-08T-40A	エンコーダー機能付き
B	SGNDT 社 μ S2G2	SGNDT 社 16ch マルチ：WAVE-180	すみ肉溶接用プローブ 自動走査機能を別途付与 (一軸のスキャナー)
C	アスワン電子株式会社 aect-LF01	アスワン電子株式会社 シングル：MS-LF01-CH16	—

表 2-9 試験片 スリットきず (TP-4 S63~S73)

試験片No.	材質	きず				
		スリットNo.	形状	長さ ^{※1} L(mm)	深さ ^{※1} D(mm)	幅 ^{※1} W(mm)
TP-4	SM400A	S63	矩形	3.0	1.0	0.3
		S64			1.5	
		S65			2.0	
		S66		4.0	1.0	
		S67			1.5	
		S68			2.0	
		S69		5.0	1.0	
		S70			1.5	
		S71			2.0	
		S72		4.5	1.7	
		S73		3.5	1.2	

※1 許容寸法 L: ±0.1mm、D: ±0.1mm、W: ±0.2mm

a 角度感度特性

タンクで発生するきずの方向は種々確認されているため、図 2-4 に示すようにきずの長さ方向とプローブの走査方向のなす角の検出信号に対する影響を確認する。

試験パラメータ

対象きず：S67（長さ 4.0mm、深さ 1.5mm、幅 0.3mm、矩形、SM400）

なす角：0°、15°、30°、45°、60°、75°、90°

シミュレーションパラメータ

対象きず：長さ 4.0mm、深さ 1.5mm、幅 0.25mm

なす角：0°、15°、30°、45°、60°、75°、90°

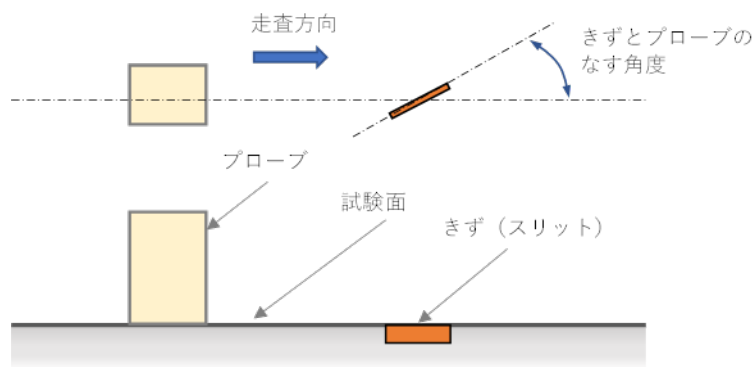


図 2-4 きずとプローブのなす角度

b オフセット特性

図 2-5 に示したとおり、溶接部検査の対象範囲はプローブの断面より広く、実際の試験では対象範囲を網羅的に走査する必要があるため、図 2-6 に示すようにきず方向と走査方向の位置のずれ（オフセット距離）による検出信号の影響を確認する。

試験パラメータ

対象きず：S67

オフセット距離：0mm、1mm、2mm、3mm

シミュレーションパラメータ

対象きず：長さ 4.0mm、深さ 1.5mm、幅 0.25mm

オフセット距離：0mm、1mm、2mm、3mm、5mm

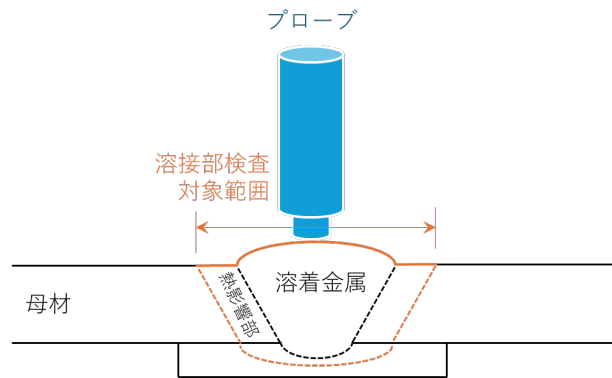


図 2-5 溶接部検査の対象範囲とプローブの大きさの関係 概念図

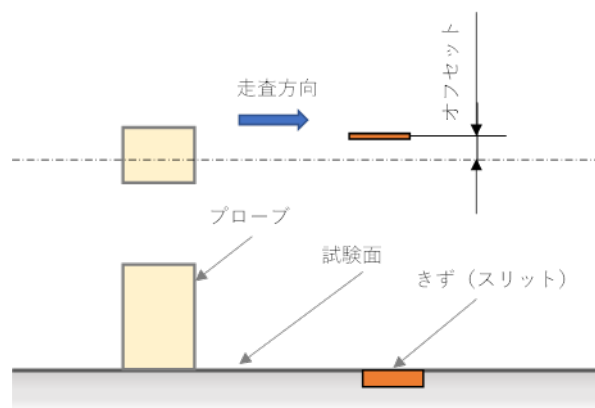


図 2-6 きずとプローブのオフセット

c リフトオフ特性

コーティングの厚さ（リフトオフ）として0～2mmにおける検出性を確認する。なお、リフトオフは非磁性かつ非導電性の樹脂テープ（以下「樹脂テープ」という。）により模擬する。

試験パラメータ

対象きず : S67
リフトオフ : 0mm、1mm、2mm

シミュレーションパラメータ

対象きず : 長さ 4.0mm、深さ 1.5mm、幅 0.25mm
リフトオフ : 0mm、1mm、2mm、5mm

d きずの大きさの評価性

きずの大きさと検出信号に関係性が見込まれる場合、基準きずから得られた検出信号（以下「基準信号」という。）との比較により合否判定が可能と考えられるた

め、基準きず及び基準きずに類するきずから得られる検出信号を確認する。また、リフトオフが生じた場合におけるきずの大きさの評価性についても確認する。

試験パラメータ

対象きず : TP-4 のきず (S631～S73)

リフトオフ : 0mm、1mm、2mm

シミュレーションパラメータ

対象きず : 長さ 2.0～16.0mm、深さ 0.5～2.0mm、幅 0.25mm

リフトオフ : 0mm、1mm、2mm

(イ) 実環境における検出性

令和6年度に実施した渦電流探傷試験の検証試験において、試験対象物とプローブで隙間（リフトオフ）が発生するような溶接部では検出信号が低下することが確認されているため、令和6年度の検証と同様に断面形状が大きく変化する重ね継手を実環境に沿った試験片とし基準きずの検出性を確認する。（使用機器：表 2-10、試験片：表 2-11）

試験片に設ける基準きずの位置・方向については、令和6年度の渦電流探傷試験の検証を参考とし、上止端部、余盛部、下止端部に表 2-11 に示す基準きずを溶接線方向に設けた。なお、ACFM は一様渦電流と同様にきずの方向による検出信号の低下が予想されるため、余盛部に斜め方向と溶接線に垂直方向の基準きずを設けた。また、表面形状の影響を確認するため、きれいな手動溶接（TP-5：図 2-7）、荒れた手動溶接（TP-6：図 2-8）、サブマージ自動溶接（TP-7：図 2-9）の試験片を製作した。さらに、自然きずの検出性を確認するため、突合せ溶接に割れを発生させた試験片（TP-8：図 2-10）を製作した。なお、割れの寸法は製作上の理由から基準きずより大きくなるため、参考として計画したものである。

表 2-10 使用機器

チーム	装置	プローブ	備考
A	Eddyfi Technologies 社 AMIGO2	Eddyfi Technologies 社 シングル：TMRA005-22A 3ch マルチ：TMXA005-03X-22A 8ch マルチ：TUCA005-08T-40A	8 ch マルチプローブのみ エンコーダー機能付き
B	SGNDT 社 μ S2G2	SGNDT 社 16ch マルチ：WAVE-180	すみ肉溶接用プローブ 自動走査機能を別途付与 (一軸のスカナー)
C	アスワン電子株式会社 aect-LF01	アスワン電子株式会社 シングル：MS-LF01-CH16	—

表 2-11 試験片 スリットきず (TP-5~TP-8 S63~S73)

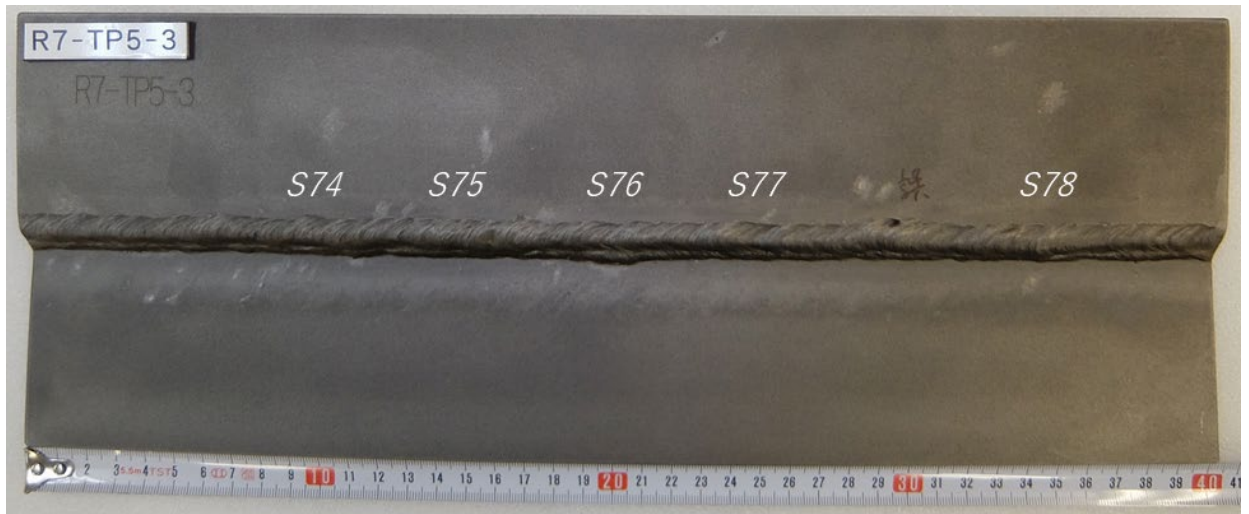
試験片 No.	材質	溶接 継手	きず						
			スリッ トNo.	位置	角度※1 (°)	形状	長さ※2 L(mm)	深さ※2 D(mm)	幅※2 W(mm)
TP-5	SM 400A	きれいな 重ね継手	S74	上止端	0	矩形	4.0	1.5	0.3
			S75	余盛	0				
			S76	下止端	0				
			S77	余盛	90				
			S78	余盛	45				
TP-6		荒れた 重ね継手	S79	上止端	0				
			S80	余盛	0				
			S81	下止端	0				
			S82	余盛	90				
			S83	余盛	45				
TP-7	サブマージ 重ね継手	S84	上止端	0					
		S85	余盛	0					
		S86	下止端	0					
		S87	余盛	90					
		S88	余盛	45					
TP-8	きれいな 突合せ 継手	S89	止端	0	割れ	32※3	5※3	—	

※1 溶接線方向を 0° とする

※2 許容寸法 L: ±0.1mm、D: ±0.1mm、W: ±0.2mm

※3 フェーズドアレイ超音波探傷の結果に基づく (添付資料 3)

外観



スリット部

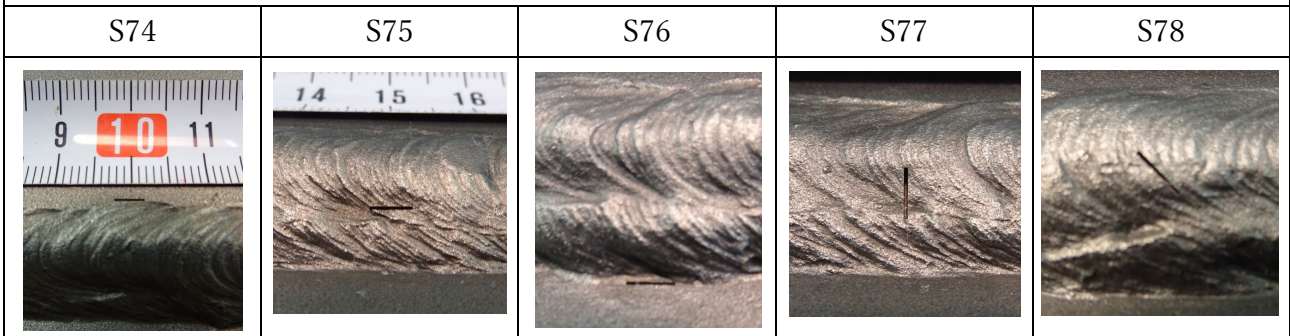
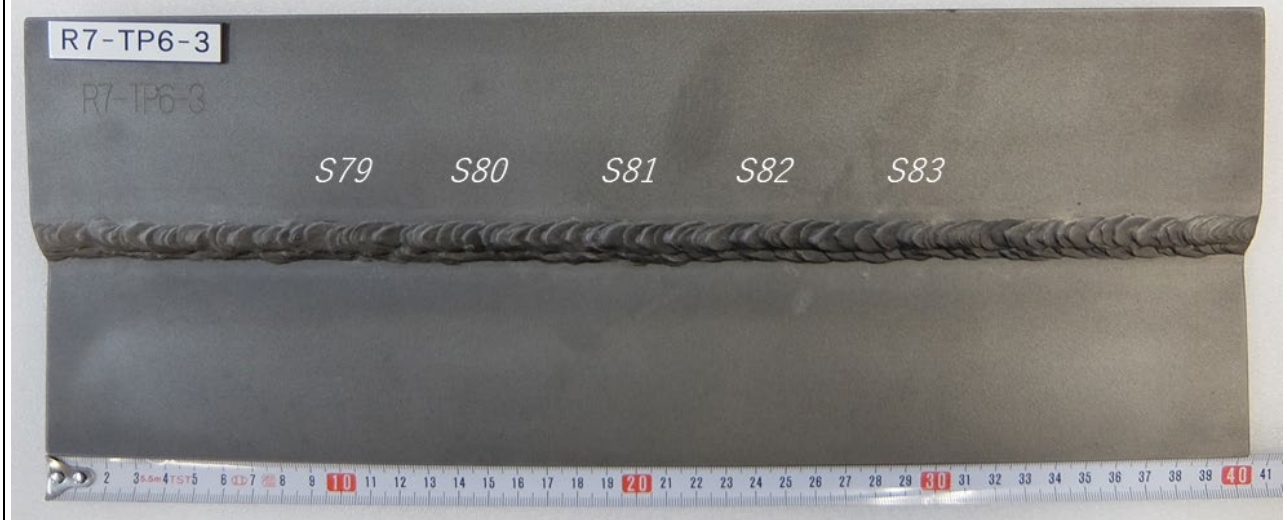


図 2-7 試験片外観 (TP-5:きれいな重ね継手)

外観



スリット部

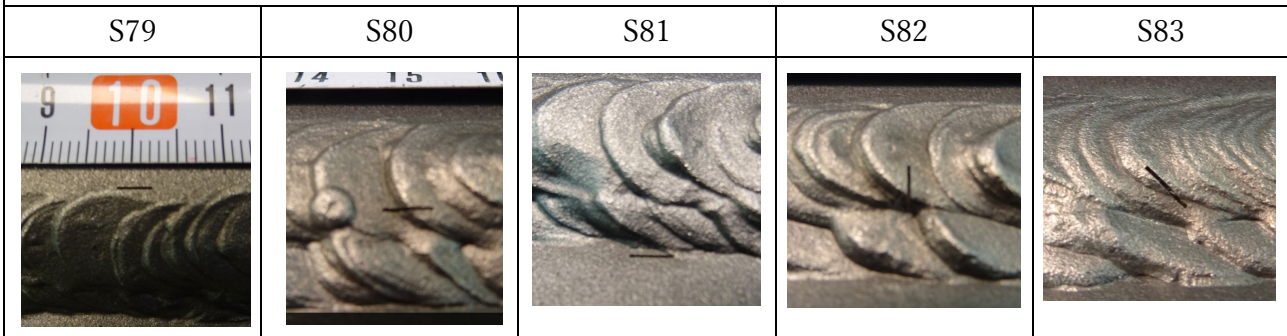
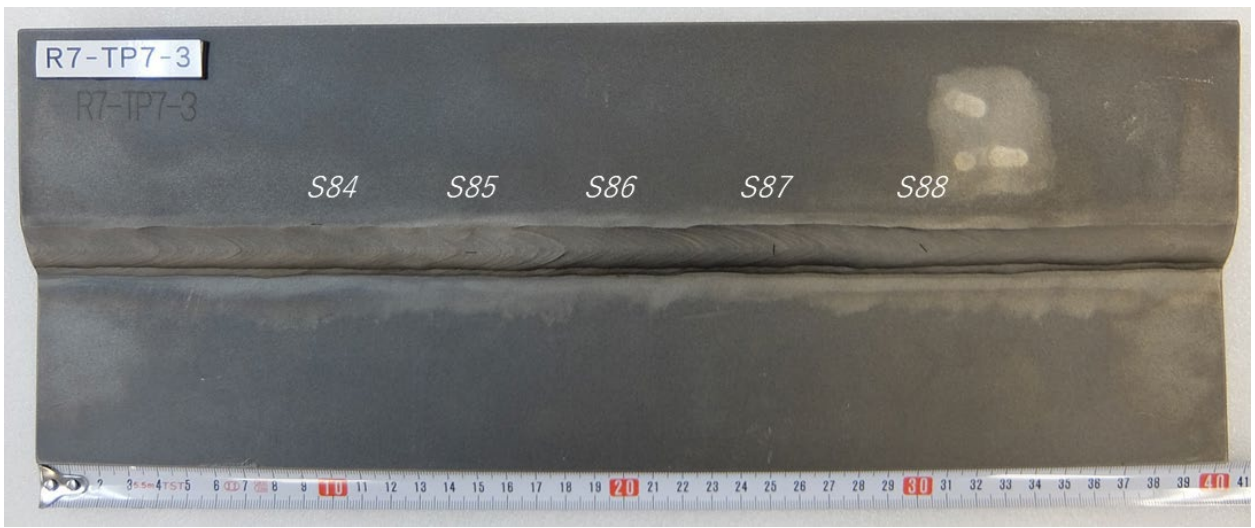


図 2-8 試験片外観 (TP-6: 荒れた重ね継手)

外観



スリット部

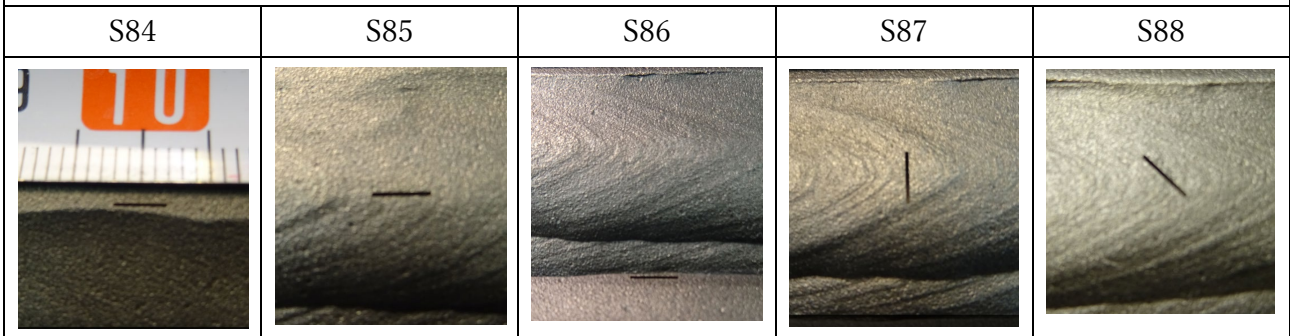
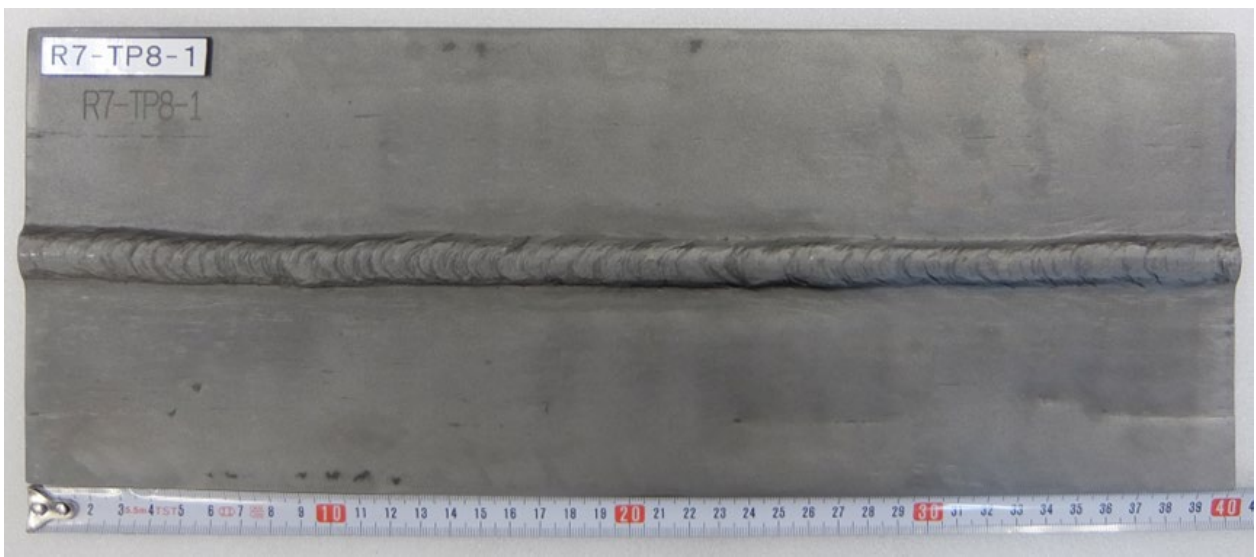


図 2-9 試験片外観 (TP-7: サブマージ重ね継手)

外観



われ部 (浸透探傷試験)

外観



拡大図

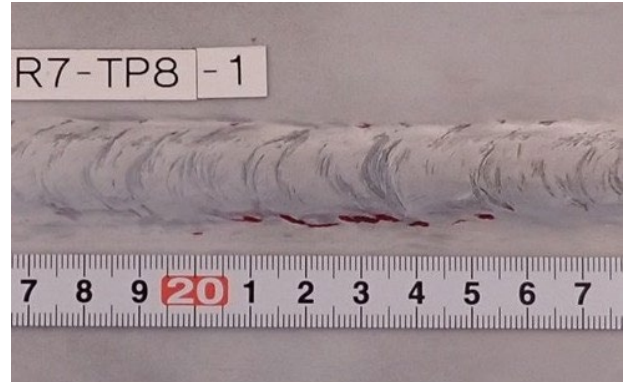


図 2-10 試験片外観 (TP-8:きれいな突合せ継手 割れ)

a 試験面の影響

(a) きずの位置及び方向

きれいな手動溶接 (TP-5) の S74~S78 を比較する。

試験パラメータ

きずの位置：上止端部、余盛部、下止端部

きずの方向：0° (溶接線方向)、45°、90°

(b) 表面形状

表面形状の比較として、きれいな手動溶接 (TP-5 S74~78)、荒れた手動溶接 (TP-6 S79~S83)、サブマージ自動溶接 (TP-7 S84~88) の検出信号を確認する。

試験パラメータ

表面形状：きれいな重ね継手、荒れた重ね継手、サブマージ重ね継手

(c) リフトオフ特性

TP-5、TP-6、TP-7 におけるリフトオフによる基準きずの検出性を確認する。リフトオフは理想環境における検証と同様に 0mm、1mm、2mm とした。なお、リフトオフは理想環境における検出性と同様に樹脂テープにより模擬した。

試験パラメータ

表面形状：きれいな重ね継手、荒れた重ね継手、サブマージ重ね継手

リフトオフ：0mm、1mm、2mm

b 自然きずの検出性

自然きずの検出性を確認するため、突合せ継手の止端部に割れを発生させた試験片 (TP-8) を製作した。なお、割れの寸法は製作上の理由から基準きずより大きくなるため、参考として計画したものである。

試験パラメータ

対象きず：自然きず (きれいな突合せ継手)

リフトオフ：0mm、1mm、2mm

ウ ACFM 試験技術者に求められる技能に関する検討

非破壊試験は同一規格及び同一手順書に基づいて試験を実施した場合、技術者個々の技能や経験に過度に依存することなく、一定の品質と再現性が確保されることが求められている。そのためには、非破壊試験技術者の技術レベルを一定以上に維持する必要がある、JIS Z 2305 では技量レベルに応じた非破壊試験技術者認証制度が定められている。ACFM については、国内に技術者の認定制度は存在しないものの、試験を実施するうえで、他の非破壊試験と同様に技術者に過度に依存することなく、安定した試験結果が得られることが求められる。また、技術者によらず一定の結果を得るためには、試験方法そのものが安定した結果を保証できるものであることが前提となる。

そこで、国内外の非破壊試験試験技術者の認証制度に関する規格及び ACFM の試験方法に関する規格について調査する。

(ア) 規格調査

a 試験技術者に関する規格

次の規格について調査する。

国内規格：JIS Z 2305:2024 非破壊試験技術者の資格及び認証
海外規格：PCN24/GEN/APP/ET
：ANSI/ANST CP 189：2020
：ISO 17643：2015

b 試験方法に関する規格

次の規格について調査する。

海外規格：ASTM E2261/E2261M-17:2021 Standard Practice for
Examination of Welds Using the Alternating Current Field
Measurement Technique

(イ) 試験技術者による検出性

試験技術者によるきずの検出性を評価するため、表 2-12 の試験条件で各試験技術者が行った試験結果を比較する。

表 2-12 試験条件（試験技術者によるきずの検出性）

チーム	A		
試験技術者	ACFM 熟練者 ^{※1} ET レベル 2 資格保有者 ^{※2} (試行回数：3 回) ET レベル 3 資格保有者 ^{※2} (試行回数：3 回)		
プローブ形式	シングル	3 ch マルチ	8ch マルチ
試験片	TP-5～8	TP-5～7	TP-7
対象きず	下止端部 ^{※3}	上止端部を除くきず ^{※4}	全てのきず
リフトオフ	0mm、1mm、2mm		

※1 指標とするため、通常とおり走査し、最も検出信号が高いデータを採用

※2 ACFM のプローブを初めて触れ、溶接部の走査方法を簡単にレクチャーした者

※3 検出信号が低下し易い下止端部を対象とした

※4 下止端部を含めた 1 回の走査で探傷可能な範囲を対象とした

2.2 検証試験結果

図 2-1 に示したとおり、ACFM の検出信号は、Bx コイルから検出される Bx 信号、Bz コイルから検出される Bz 信号があり、Bx 信号と Bz 信号を合成してバタフライプロットが形成される。Bz 信号は一樣渦電流と同様の信号であり、Bx 信号が ACFM の特徴的な信号であり、Bx 信号は有意な深さを有する線状のきずを検出したことを示すため、バタフライプロットの形成はきずの検出を意味する。なお、エンコーダーによる位置情報と組み合わせることにより解析ソフト上で Bx 信号、Bz 信号の振幅値の平面像（C スコープ画像）を表示することが可能となる。出力画面の例を図 2-11～13 に示す。

本試験結果は基準とするきずから得られた検出信号を基準量として dB 表記とし、Bx 信号の dB 表記は Bxs、Bz 信号の dB 表記は Bzs とした。SN については、S（きず信号）は検出信号の最大振幅値、N（ノイズ信号）はきずのない位置における最大振幅値として SN を dB 表記とした。

なお、試験結果の詳細データについては、添付資料 3 を参照されたい。

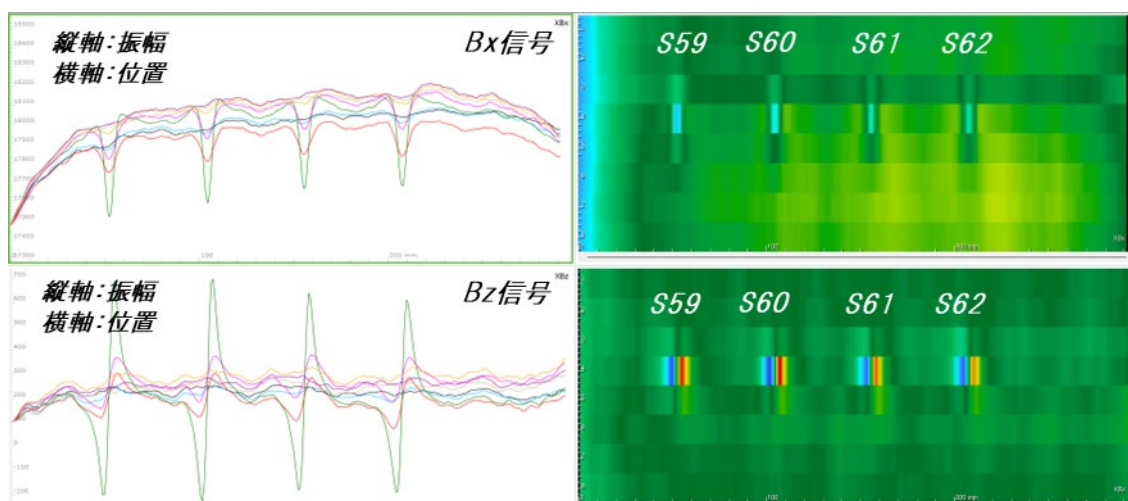


図 2-11 出力画面例（A チーム 8ch 検出信号と C スコープ）

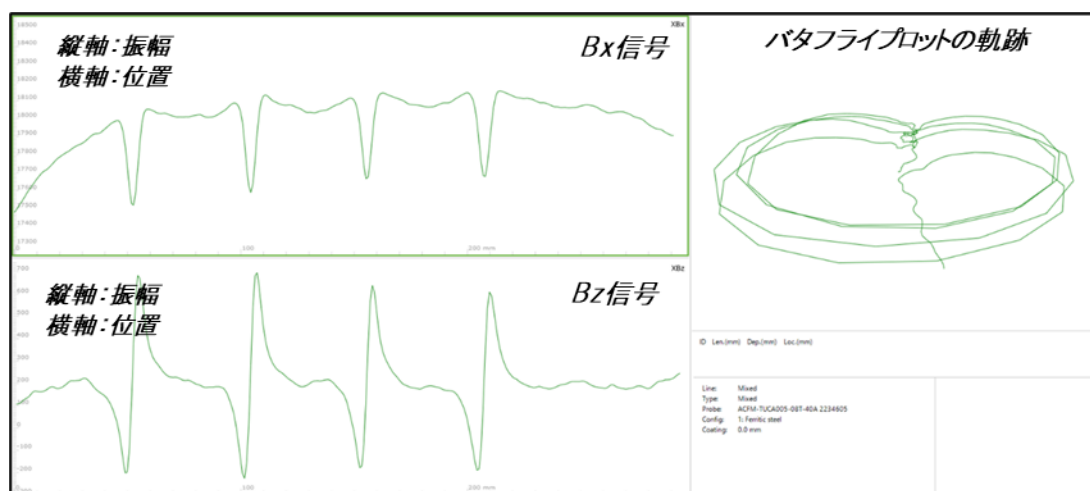


図 2-12 出力画面例（上図から 1ch を抜粋したバタフライプロット）

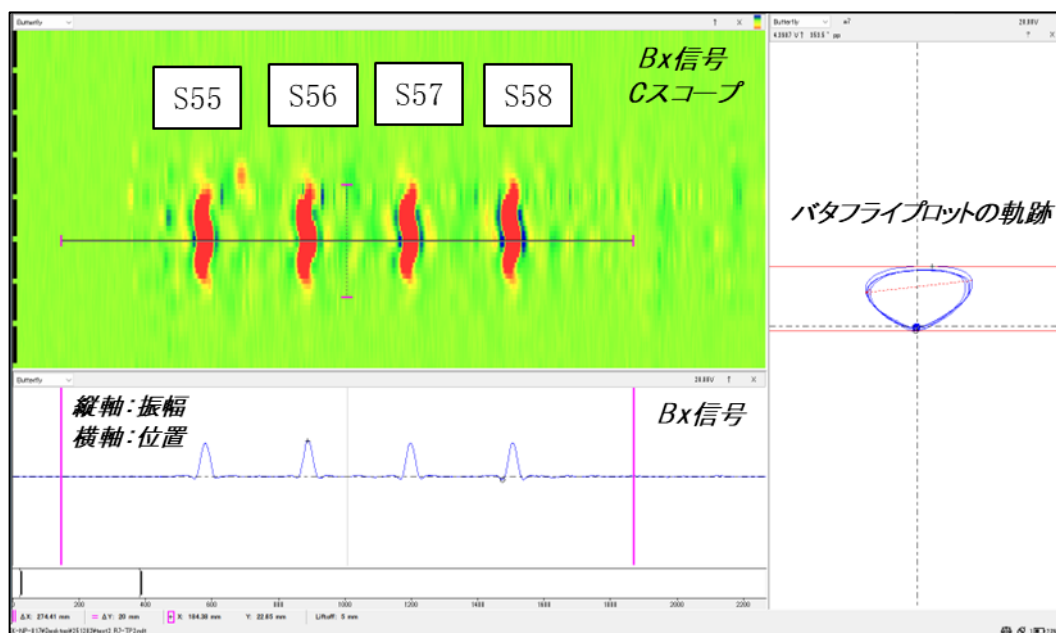


図 2-13 出力画面例 (B チーム C スコープとバタフライプロット)

ア 基準きずの検討

全ての検出信号でバタフライプロットが形成され、きずが検出できることを確認した。S50 から得られた検出信号を基準信号として、各試験パラメータについて比較した。

(ア) きずの幅の影響

長さ 4.0mm、深さ 1.5mm、幅 0.3mm のきずからの検出信号を基準として、きずの幅を 0.3~1.0mm に変化させた場合のきずの検出信号への影響を比較した結果を図 2-14、図 2-15 に示す。Bxs は-1.1dB~0.7dB、Bzs は-1.1dB~1.8dB の範囲であったことからきずの幅が 1.0mm 以下であれば、鋼材に依存せず、きずの検出性及び評価に与える影響が小さいことを確認した。また、図 2-16 に示すようにシミュレーションによる検証においても幅の影響が小さいことを確認し、かつ、スリット加工では確認が困難な非常に狭い幅のきずを検出することを確認した。

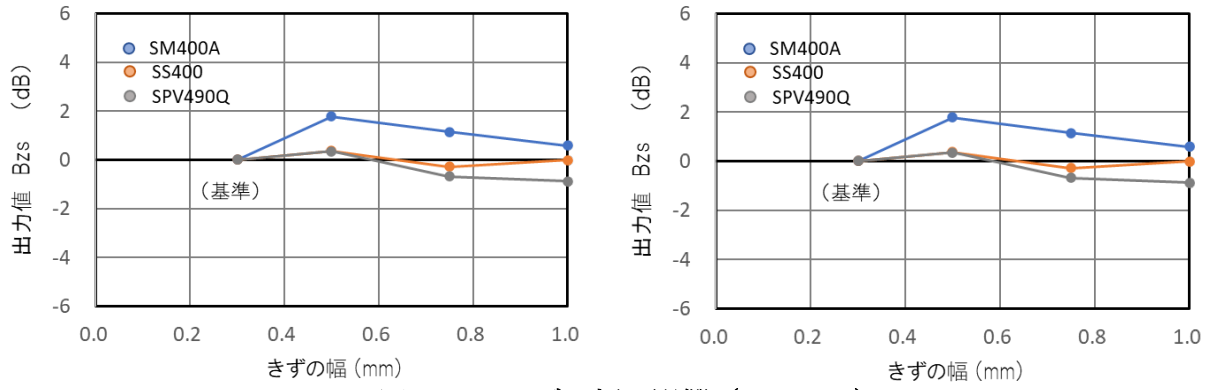


図 2-14 きずの幅の影響 (A チーム)

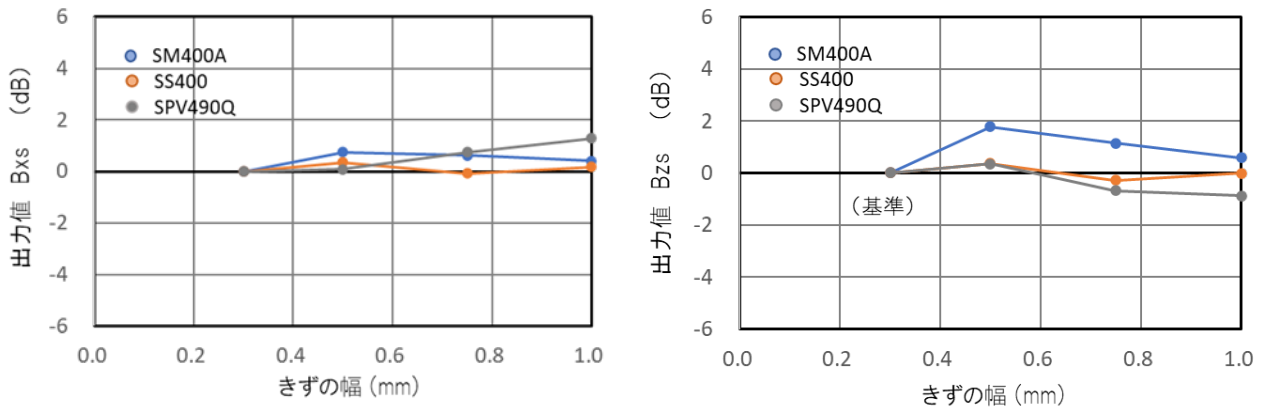


図 2-15 きずの幅の影響 (B チーム)

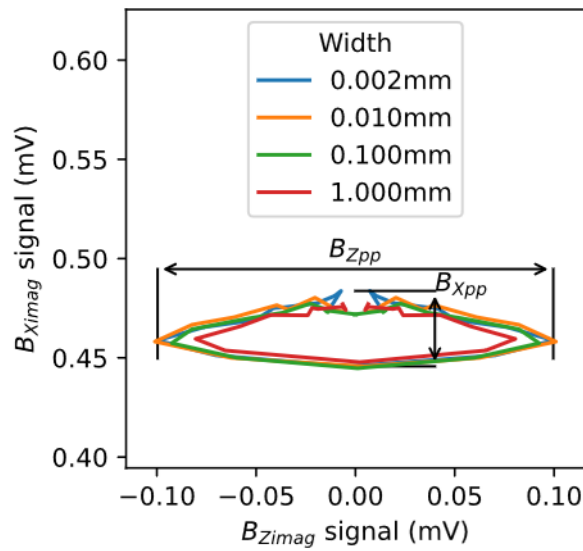


図 2-16 きずの幅の影響 (シミュレーション)

(イ) きずの形状の影響

長さ 4.0mm、深さ 1.5mm、幅 0.3mm の矩形及び円弧のきず (S50、S54) の検出信号を比較した結果を図 2-17 に示す。Bxs は-2.5dB 程度、Bzs は-1.2dB 程度の検出信号の減少を確認した。プローブの走査を手動で行っていることを考慮すると矩形と円弧のきず形状ではきずの検出性に与える影響は小さいと考えられる。一方で、A チームにおいては、Bx 信号はきずの形状によって若干の影響があることが確認された。また、図 2-18 に示すシミュレーションの結果においてもきずの形状が検出信号に与える影響が小さいことを確認した。

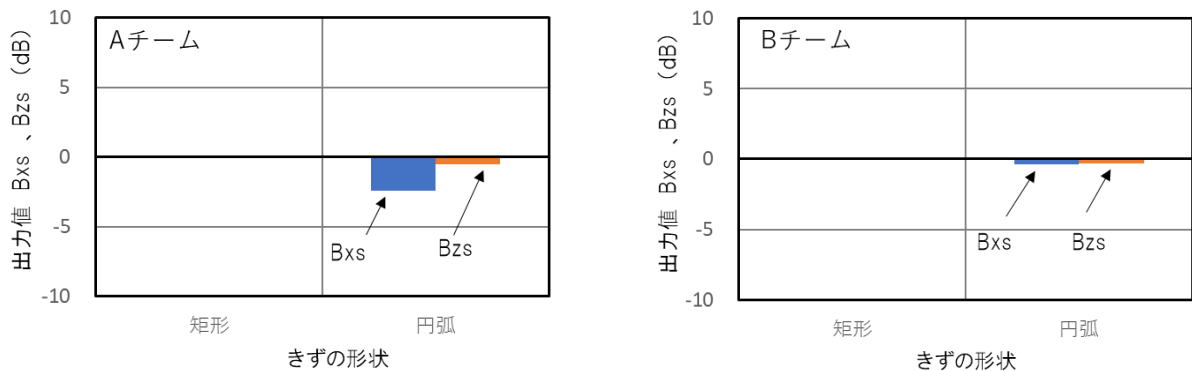


図 2-17 きずの形状の影響 (A チーム、B チーム)

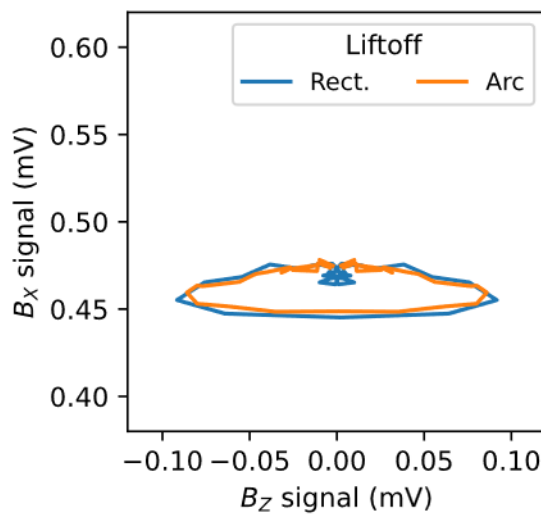


図 2-18 きずの形状の影響 (シミュレーション)

(ウ) 材質の影響

SM400A、SS400、SPV490Q の試験片のきず (S50、S55、SS59) の検出信号を比較した結果を図 2-19 に示す。SM400A の検出信号を基準とした場合、Bxs は $-1.6\text{dB} \sim -0.2\text{dB}$ 、Bzs は $-0.7\text{dB} \sim -0.8\text{dB}$ の範囲で材質の影響は少ないことを確認した。プローブの走査を手動で行っていることを考慮すると、材質の影響は低炭素鋼においてはきずの検出性及び評価に与える影響は小さいと考えられる。

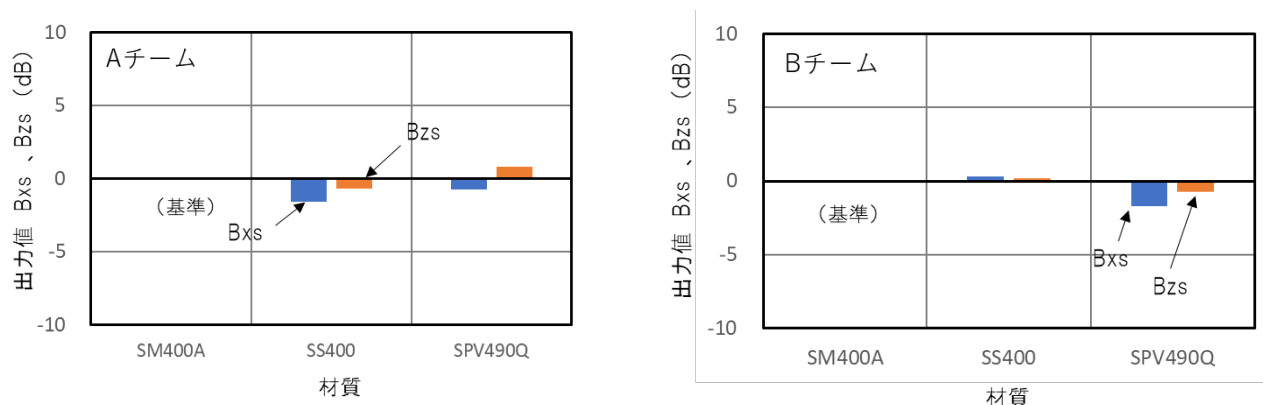


図 2-19 材質の影響 (A チーム、B チーム)

イ 基準きずの検出性

基準信号を S67 から得られた検出信号として、各種きずの検出信号を比較した。

(ア) 理想環境における検出性

全ての検出信号でバタフライプロットを形成し、きずを検出したため、各パラメータについて比較する。

a 角度感度特性

きずの長さ方向と走査方向のなす角 0° で得られた S67 の検出信号を基準信号とし、なす角に対する検出性を確認した結果を図 2-20 に示す。角度が大きくなると検出信号が低下し、最大 -12dB 程度まで低下した。また、使用機器によって角度の影響が異なることを確認した。よって、きずの角度はきずの検出に影響を与えるため、次の 2 点を行う必要がある。

- ① 角度感度特性を把握したうえで感度を設定すること
- ② 設定した感度できずが検出できることを確認すること
(感度補正ができない場合は、角度を有するきずを検出できること、又は複数の方向でプローブを走査すること)

なお、実タンクのきずの方向は種々あるため、きずを漏れなく検出可能な感度設定とすることが有効である。

図 2-21 に示したシミュレーション結果とおり、今回対象とした強磁性体の低炭素鋼試験片では、きずの角度に応じてバタフライプロットの形状が変化することが確認された。そのため、強磁性体の低炭素鋼を試験の対象とした場合は、バタフライプロットの形状から、プローブの走査方向に対するおおよそのきずの角度を推定することができる。判定に用いるデータを取得する場合には検出信号が最も大きくなる様に走査することが望ましいため、バタフライプロットを検出した場合、プローブの走査方向に対するきずの角度を考慮して、検出信号が最大となるように再度走査することが求められる。

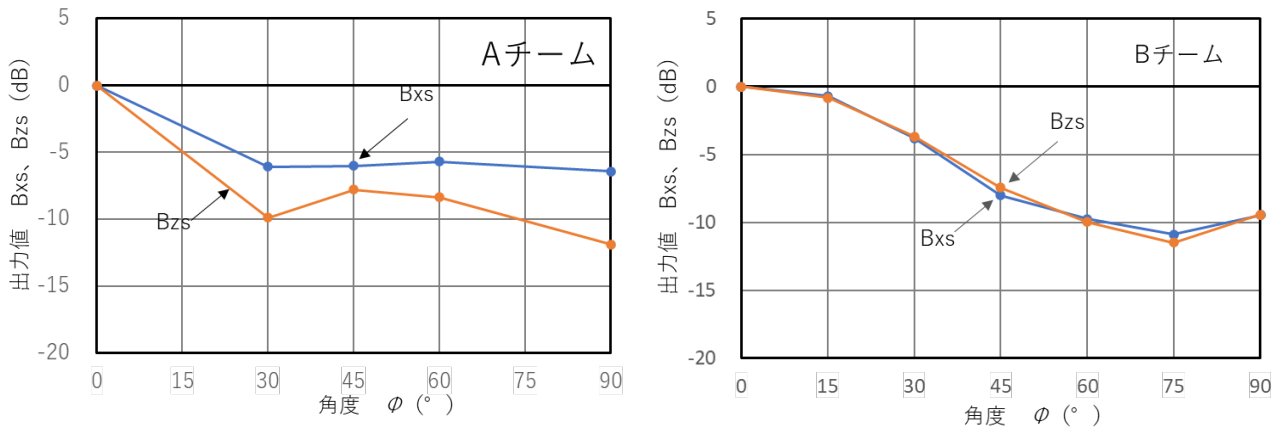


図 2-20 角度感度特性 (A チーム、B チーム)

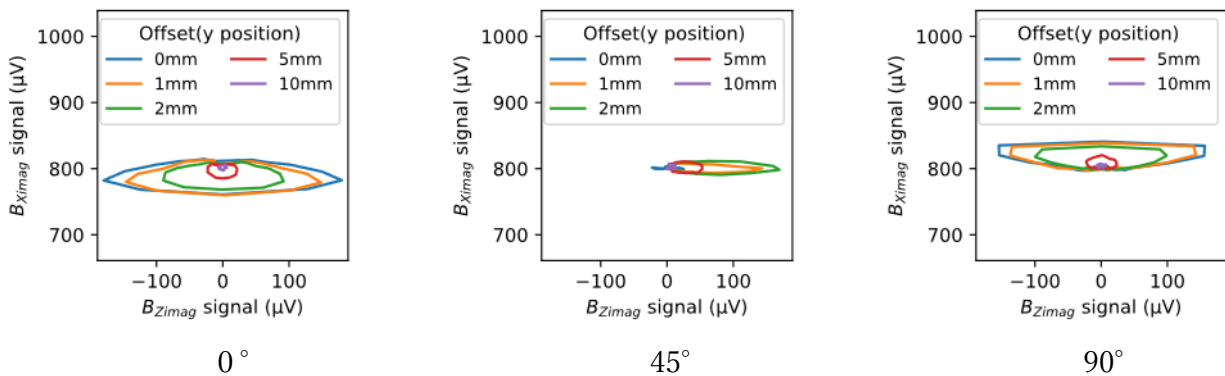


図 2-21 なす角によるバタフライプロットの形状例 (シミュレーション 0°、45°、90°)

b オフセット特性

きず方向と走査方向のオフセット距離 0 mm で得られた S67 の検出信号を基準信号とし、オフセット距離に対する検出性を確認した結果を図 2-22 に示す。オフセット距離に応じて検出信号が低下し、オフセット距離 3 mm では検出信号が -14dB 程度まで低下することを確認した。また、オフセット特性は使用機器によって異なることを確認した。よって、オフセットはきずの検出に影響を与えるため、次の 2 点を行う必要がある。

- ① オフセット特性を把握したうえで感度を設定すること。
- ② 設定した感度できずが検出できることを確認すること。
(感度補正ができない場合は、プローブの走査範囲においてきずを検出できること。)

なお、実試験では図 2-23 に示す例のように対象範囲を漏れなく探傷する走査方法を検討し、その方法に則してプローブを走査することが有効である。

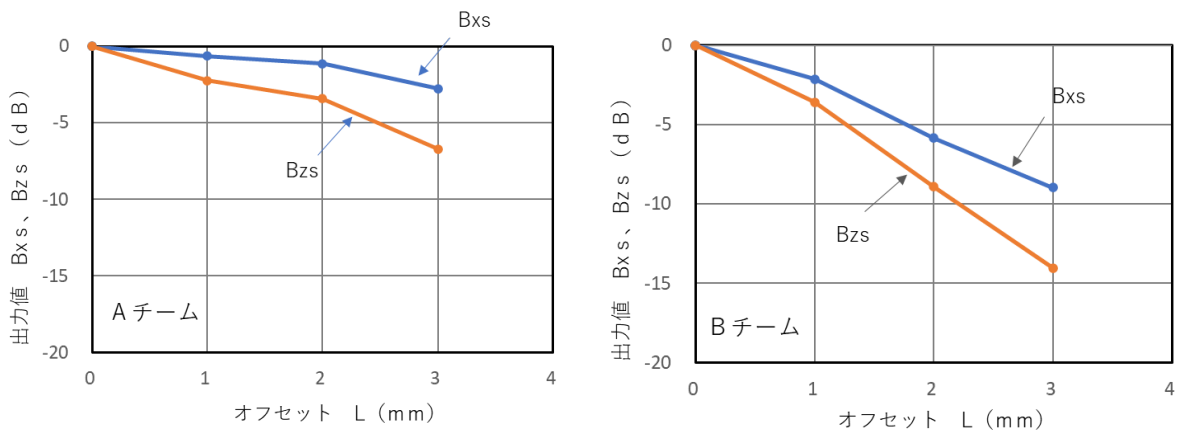


図 2-22 オフセット特性 (A チーム、B チーム)

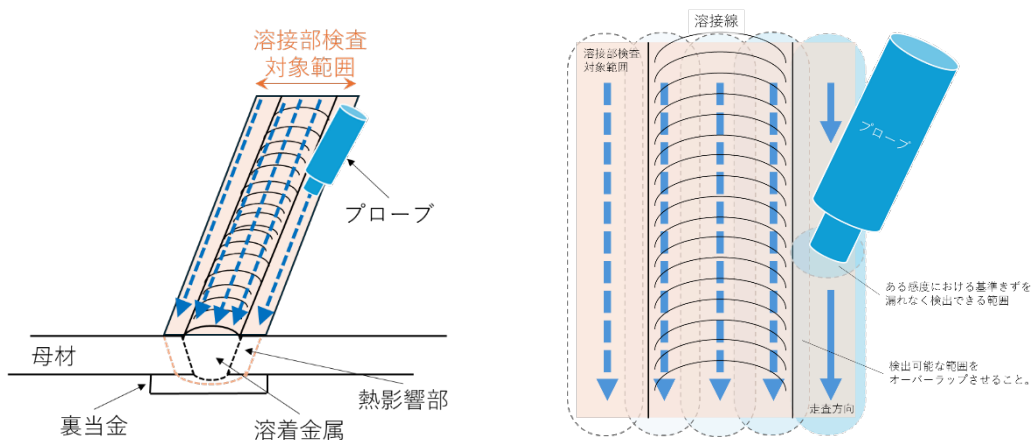


図 2-23 走査方法例

c リフトオフ特性

(a) ACFMのリフトオフ特性

リフトオフ 0mm における S67 の検出信号を基準信号とし、リフトオフに対する検出性を確認した結果を図 2-24 に示す。リフトオフに応じて検出信号が低下することを確認した。また、機器によってリフトオフ特性が異なることを確認した。よって、リフトオフはきずの検出に影響を与えるため、機器ごとに次の 2 点を行う必要がある。

- ① リフトオフ特性を把握したうえで感度を設定すること。
- ② ①を踏まえ、設定した感度できずが検出できることを確認すること。
(感度補正ができない場合は、きずを検出できるリフトオフ範囲で試験を行うこと。)

なお、実試験ではリフトオフに相当するコーティングの厚さが変動するため、感度を高めに設定する、又はコーティングの厚さを調査し、コーティングの厚さに応じた感度設定を行うことが有効である。

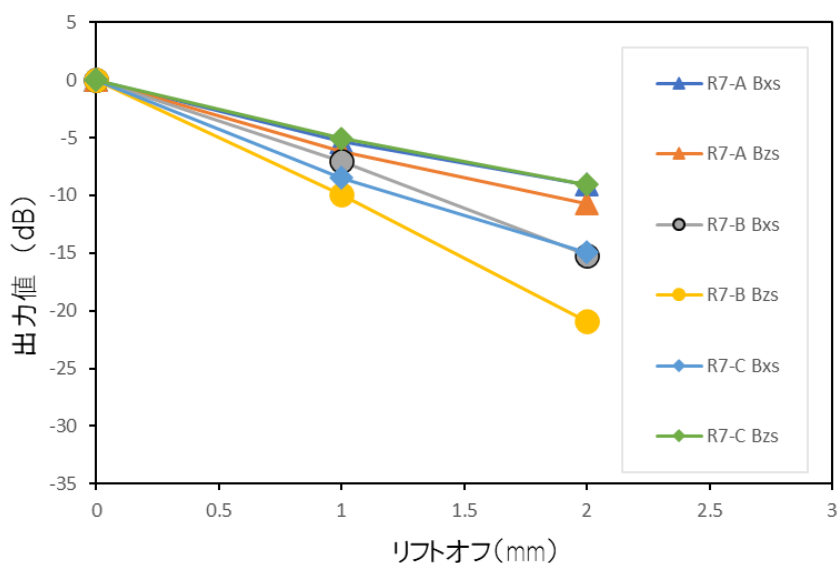


図 2-24 リフトオフ特性 (A チーム、B チーム、C チーム)

(b) 渦電流探傷試験のリフトオフ特性との比較 (参考)

2.1 (2) に示したとおり、ACFM は比較的大きな励磁コイルを用いて一様な誘導電流を発生させ、きずによる誘導電流の磁束の変化を捉える手法であるため、図 2-25 に示すように令和 6 年度に用いた渦電流探傷試験の機器 (パンケーキ型プローブ) よりリフトオフに対してロバスト性が高い傾向があるが、ACFM 機器によりリフトオフ性能は異なった。なお、図 2-26 に示すようにシ

シミュレーションにおいてもリフトオフに対して ACFM は渦電流探傷試験よりロバスト性に優れる傾向があることを確認した。

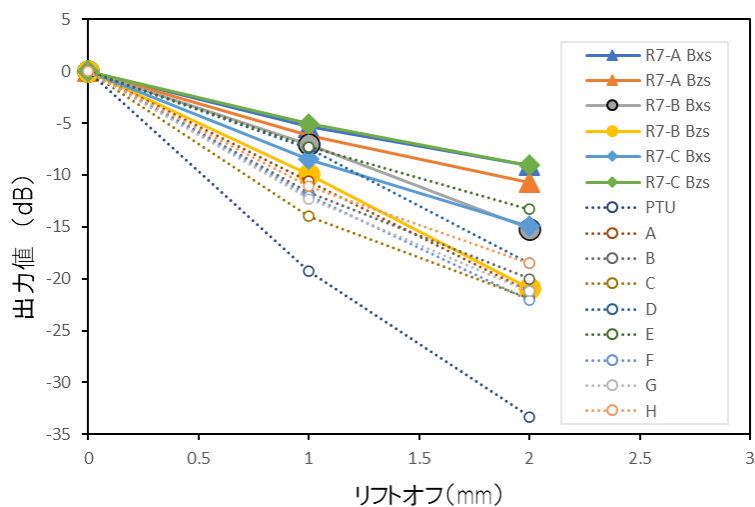


図 2-25 リフトオフ特性（令和 6 年度の ECT との比較）

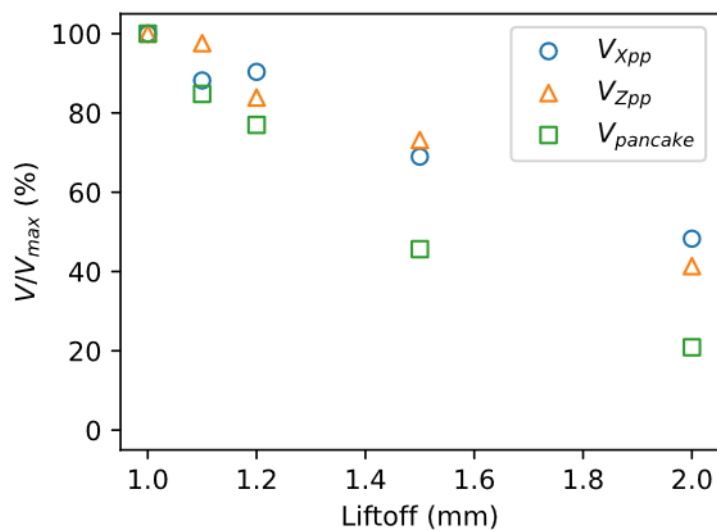


図 2-26 リフトオフ特性（シミュレーション：ECT（パンケーキ）との比較）

d きずの大きさの評価性

S67 の検出信号を基準信号とし、きずの大きさに対する検出性を確認した結果を図 2-27~29 に示す。リフトオフが一定条件下では、Bxs 及び Bzs 共に検出信号ときずの断面積に正の相関があることを確認した。ただし、A チームにおいては長さ 4.0mm 未満の場合は正の相関を確認できなかったが、4.0mm 以上のきずについては、正の相関を確認した。なお、長さ 4.0mm 未満のきずの検出信号については、基準信号より小さいことを確認した。よって、合格基準を渦電流探傷試験と同様に長さ 4.0mm、深さ 1.5mm のきずから得られた検出信号を超えないこととし、きずを評価することが可能と考えられる。

なお、図 2-30 に示したとおり、Bz 検出信号のピーク to ピークの長さときずの長さは有意な相関が認められなかったことから規則第 20 条の 8 第 2 項に示されるきずの長さについて評価することは困難であることを確認した。シミュレーションにおいても同様に確認した結果、図 2-31 に示すとおりシミュレーション条件下のプロープでは基準きずに類する長さのきずでは相関関係は認められないことを確認した。

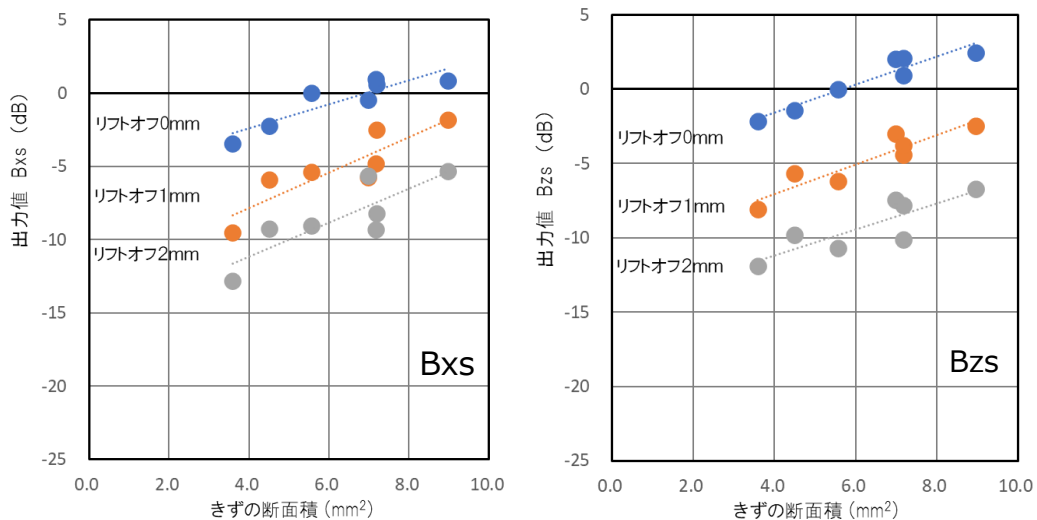


図 2-27 きずの大きさの評価性 (A チーム リフトオフ 0mm、1mm、2mm)

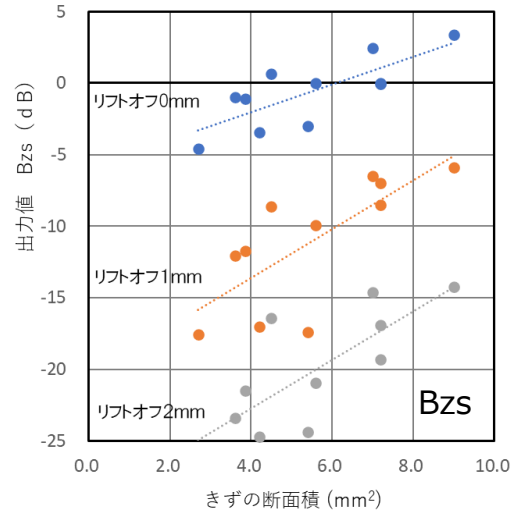
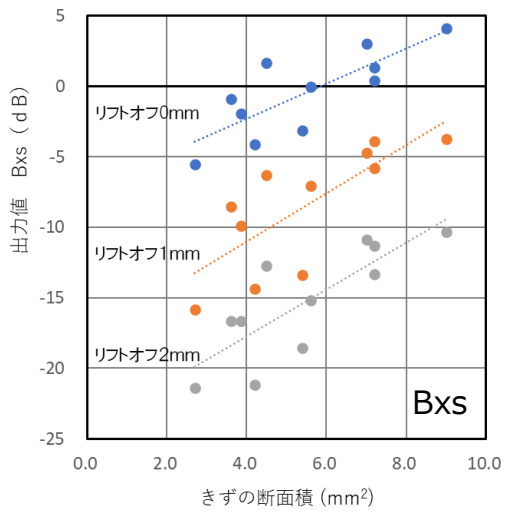


図 2-28 きずの大きさの評価性 (B チーム リフトオフ 0mm、1mm、2mm)

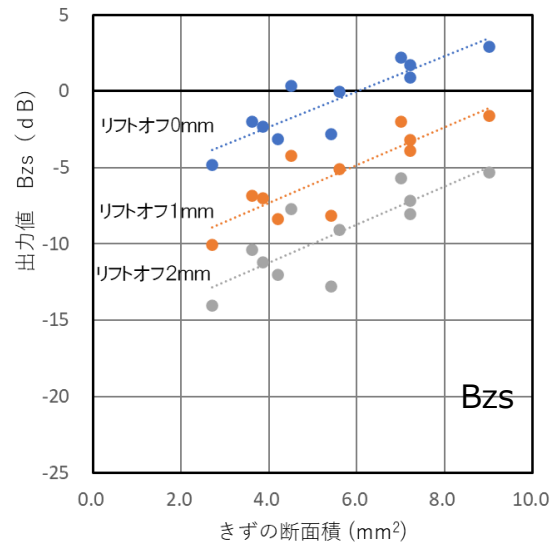
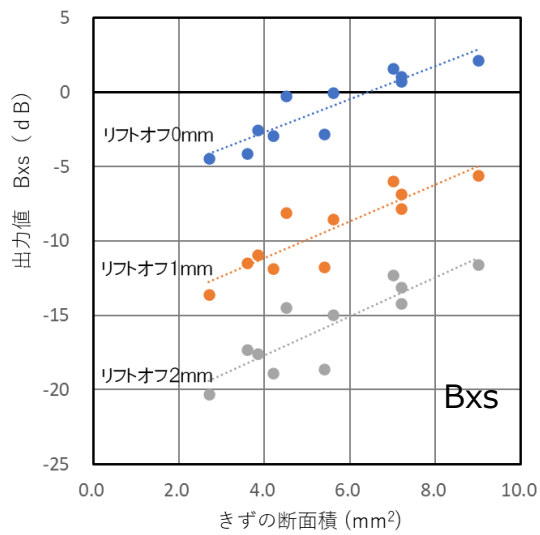


図 2-29 きずの大きさの評価性 (C チーム リフトオフ 0mm、1mm、2mm)

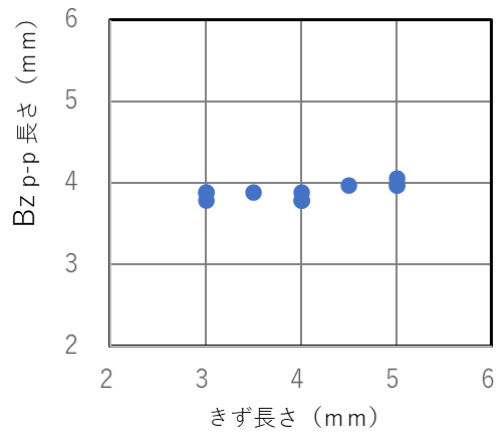


図 2-30 きずの長さ と Bz 検出信号のピーク to ピーク長さ (B チーム)

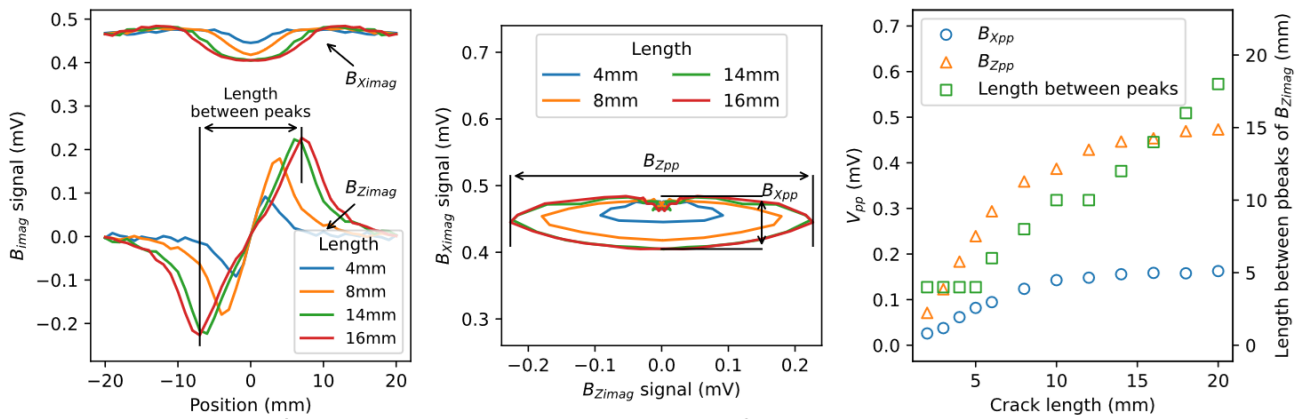


Fig. 1. 移動方向プロファイル

Fig. 2. バタフライプロット

Fig. 3. きず長さ特性

図 2-31 きずの長さ と Bz 検出信号のピーク to ピーク長さ (シミュレーション)

(イ) 実環境における検出性

a 試験面の影響

(a) きずの位置及び角度

きずの位置の影響について TP-5 のきずで確認した結果、全ての検出信号でバタフライプロットが形成され、きずを検出した。S67 を基準信号とした検出信号の比較については、図 2-32 に示すように上止端部、余盛部、下止端部の順に低下する傾向を確認した。きずの位置による検出信号の低下の程度は機器により異なり、機器によってはきずの位置の影響に対してロバスト性に優れるものが確認された。検出信号の低下は、図 2-33、図 2-34 に示すように試験面とプローブの接触状況から隙間（リフトオフ）が発生したことによるものと推察される。検証結果から、溶接部におけるきずの位置はプローブとの接触状況によりきずの検出に大きく影響を与えることが確認されたため、機器ごとに次の 2 点を行う必要がある。

- ① 試験対象の溶接部の形状とプローブとの隙間の状況に応じた感度の設定を行うこと。
- ② ①を踏まえ、設定した感度できずが検出できることを確認すること。
(感度補正ができない場合は、試験対象の溶接部とプローブの接触状況できずを検出できること。)

タンクの溶接継手を試験対象とした場合は、探傷感度を高めに設定する、又は溶接継手の形状変化を事前に確認し、形状によるプローブとの接触状況に応じた感度設定を行うことが有効であると考えられる。その他の対応としては、下止端部等の溶接継手形状を滑らかに調整し、プローブとの接触状況を改善することも考えられる。ただし、過去に必要以上に研削した箇所で割れが発生し、漏えいした事例があるため、表面を調整する際には留意する必要がある（図 2-35）。

図 2-36 に示すようにきずの角度によって検出信号が低下する傾向が確認された。上記の感度設定等の他に、角度を有するきずについてはプローブの走査方向に対するきずの角度を考慮して、検出信号が最大となるように再度走査することが求められる。

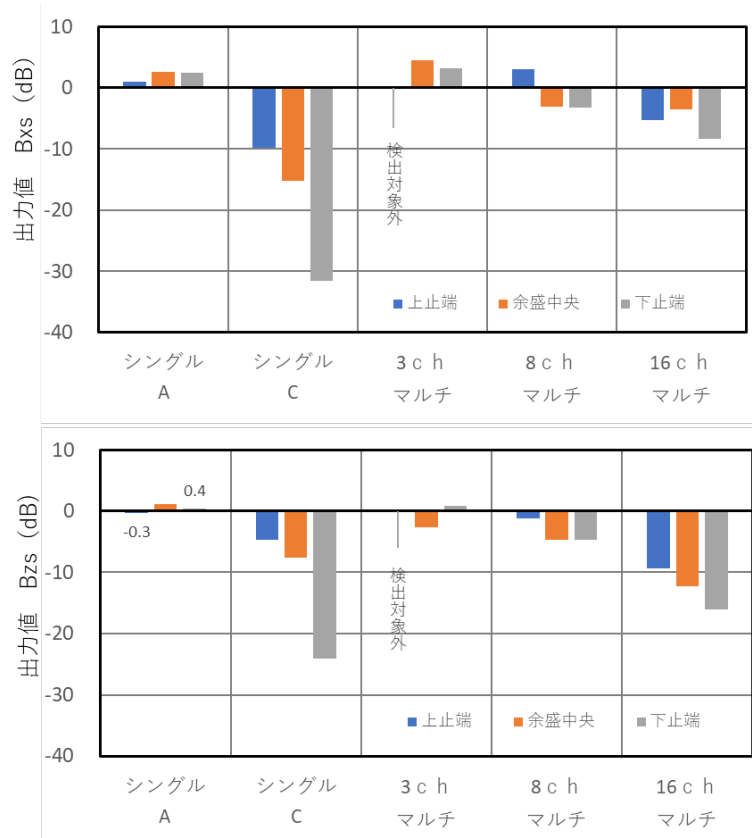
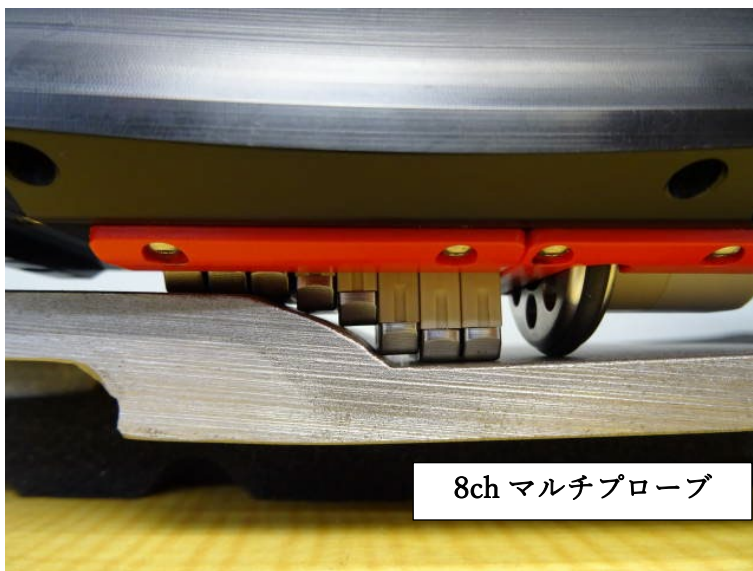
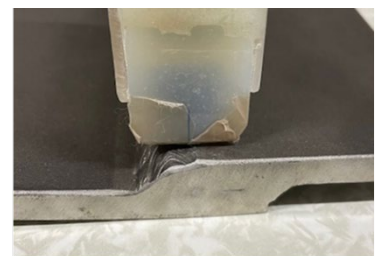


図 2-32 溶接部のきずの位置の影響 (各プローブ)



上止端部



溶接中央部



下止端部

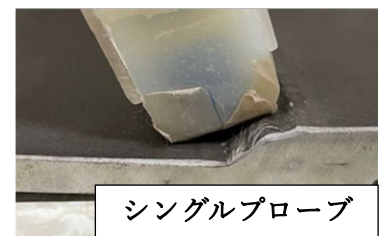


図 2-33 プローブと重ね継手の接触状況

方式	溶接余盛形状とプローブの接触状態（概念）
シングル方式	
マルチ方式	
ETアレイ	

図 2-34 溶接余盛形状とプローブの接触状況概念図

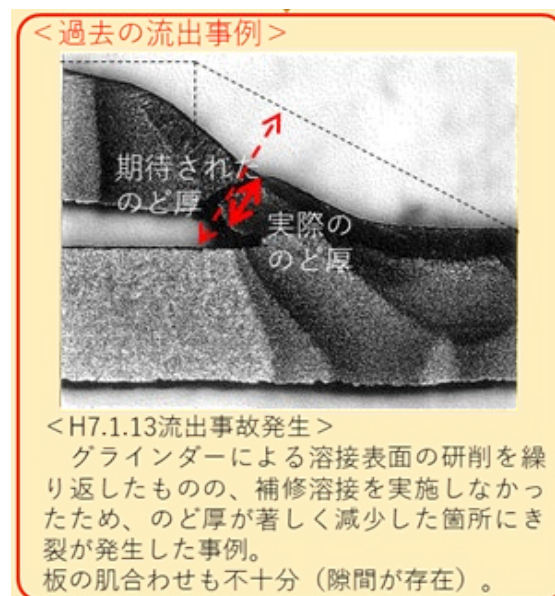


図 2-35 過去の漏えい事故事例（令和6年度報告書より抜粋）

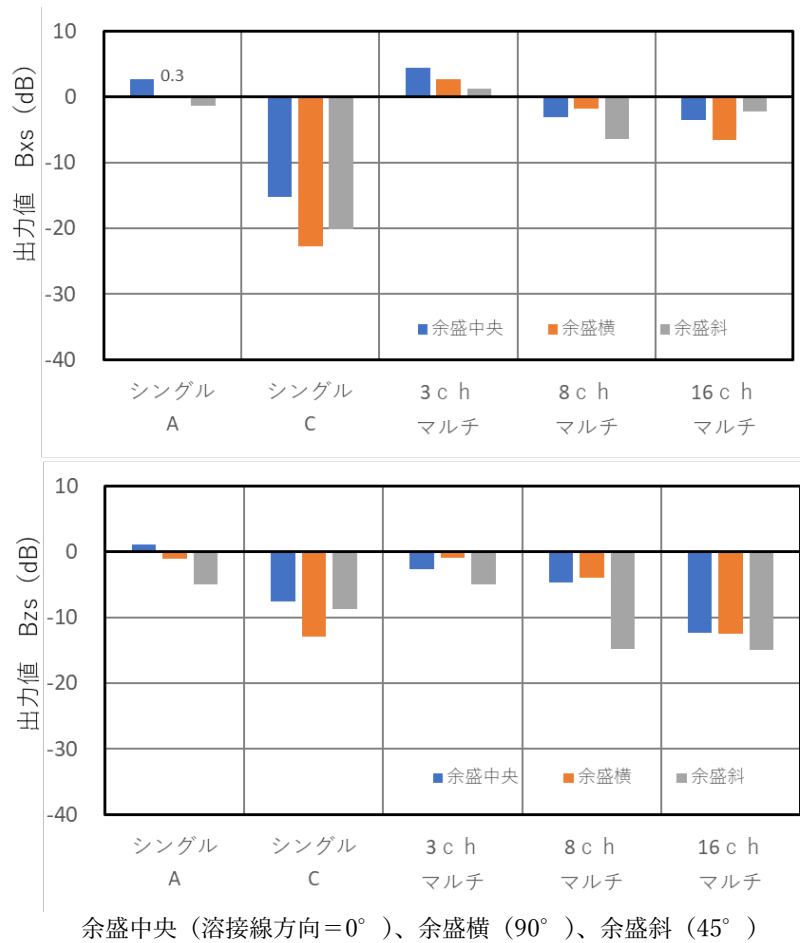


図 2-36 溶接部におけるきずの角度の影響 (各プローブ)

(b) 表面形状

表面形状の影響について確認した結果、シングルプローブでは全てのきずを検出することを確認した。一方、マルチプローブでは、表面形状が荒れている場合、きずを検出することが困難なケースが確認された。

シングルプローブの S67 を基準信号とした検出信号の比較結果を図 2-37 に示す。機器により表面形状に対する影響が異なり、表面形状の影響を受けやすい機器では感度補正等の重要性がより高まるため、感度を高めに設定する、又は、溶接継手の表面形状を調整すること等が求められる。一方、マルチプローブのうち、チャンネル数の多いタイプでは大きなうねりのある荒れた溶接では、図 2-38 に示すようにバタフライプロットを形成しないケースが確認された。図 2-34 のようにプローブと試験面で数 mm 単位のリフトオフが発生し、かつ、表面の凹凸による更なるリフトオフが発生し、さらに、その状況による幾何学的効果によるノイズ信号により、バタフライプロットが形成されなかったと示唆される。よって、溶接継手の表面形状はきずの検出に大きく影響を与えるため、機器ごとに次の 3 点を行う必要がある。

- ① 表面形状に追従するプローブの走査方法の検討を行うこと。
- ② ①を踏まえ、表面形状に応じた感度の設定を行うこと。
- ③ ①②を踏まえ、設定した感度できずを検出できることを確認すること。
(感度補正ができない場合は、試験面においてきずを検出できること。)

タンクの溶接継手を試験対象とした場合は感度を高めに設定する、又は、溶接継手の形状の変化を事前に確認し、表面形状に応じた感度設定を行うことが有効であると考えられる。なお、試験の品質を向上させる最も望ましい対応は、溶接継手の表面を滑らかに調整することである。溶接継手の表面を調整する際には先述したように必要以上に研削しないことに留意する必要がある。

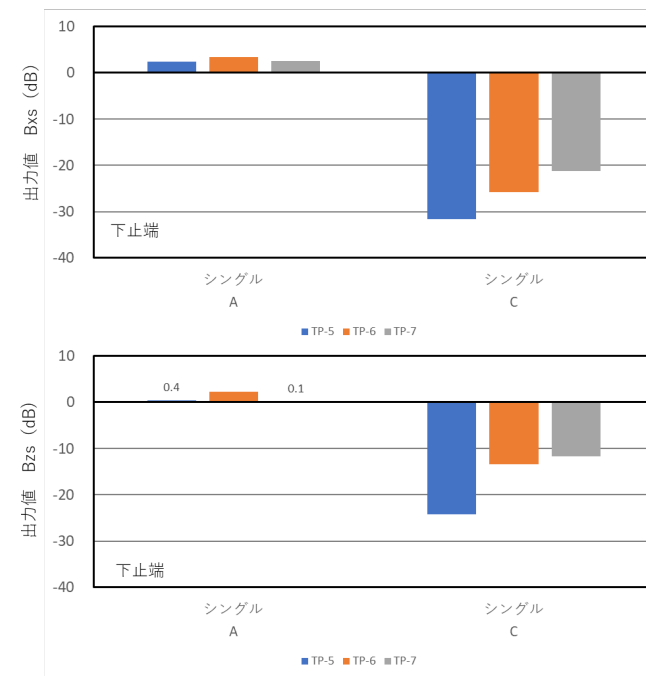
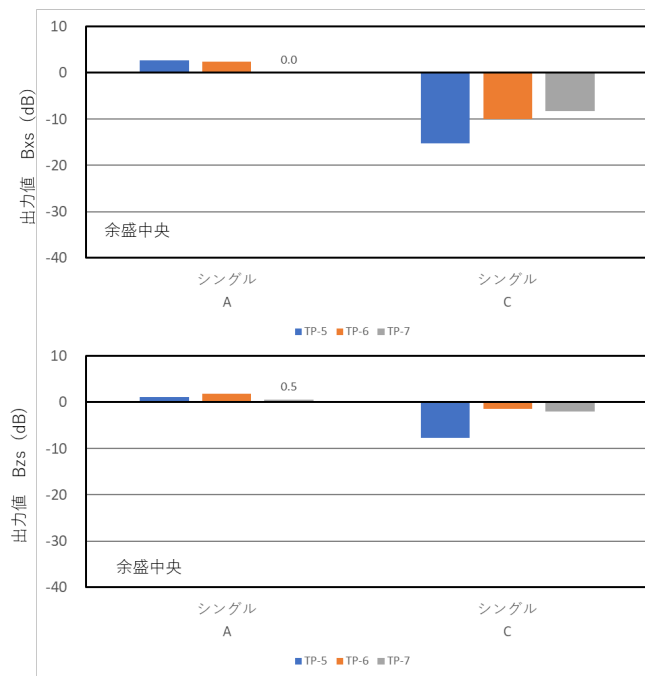
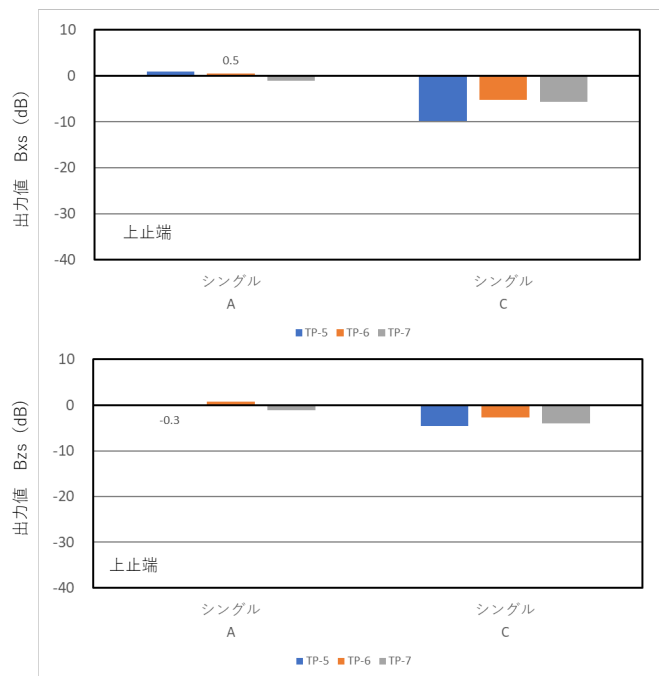


図 2-37 表面形状の影響 (シングルプローブ)

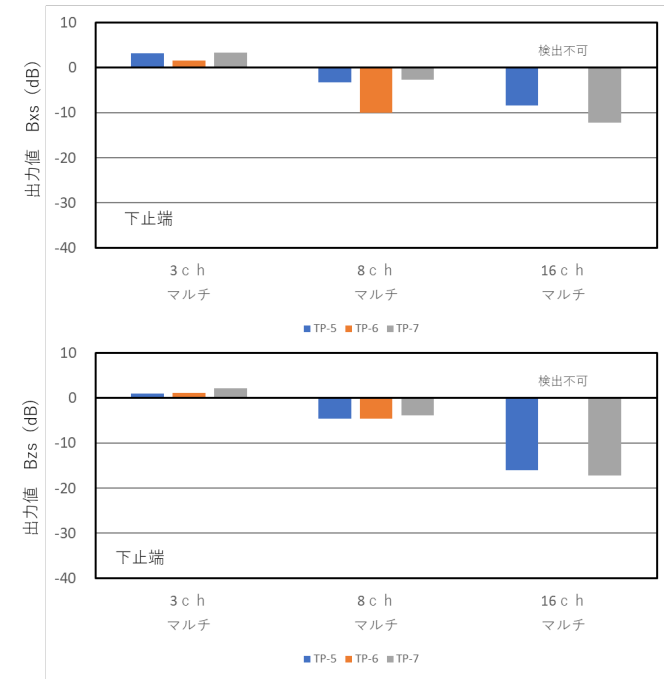
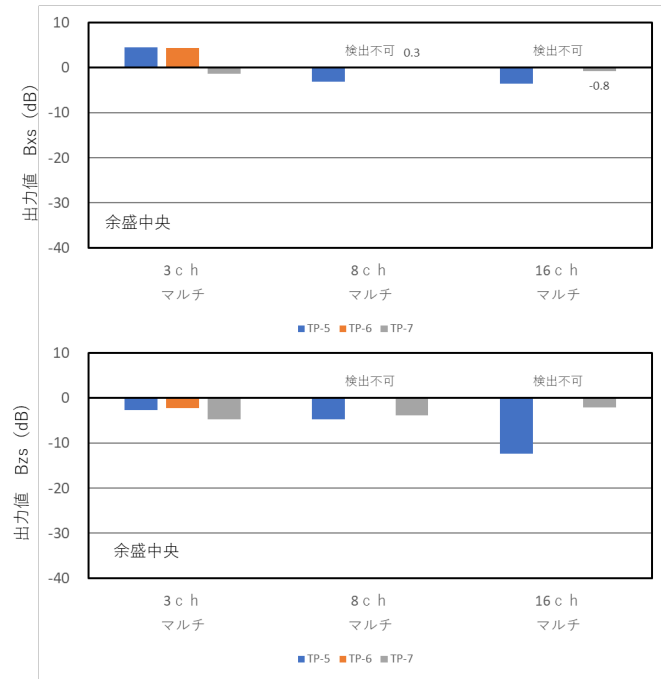
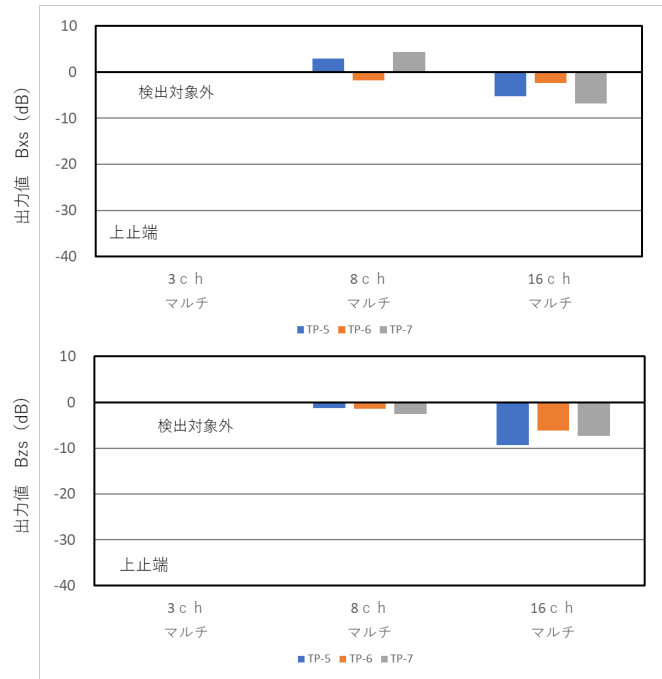


図 2-38 表面形状の影響 (マルチプローブ)

(c) リフトオフ特性

表面形状の異なる試験片 (TP-5~TP-7) におけるリフトオフの影響について S67 を基準信号として検出信号を比較した結果を図 2-39~43 に示す。リフトオフに応じて検出信号が低下する傾向を確認した。(ア) c の結果と比較すると同程度の検出信号の低下であるため、(ア) c と同様に感度設定等をする必要がある。

きずの検出については、サブマージ溶接継手では全ての検出信号からバタフライプロットを形成し、きずを検出した。荒れた又はきれいな重ね継手では、リフトオフ 1mm、2mm において、チャンネル数の多いマルチタイプでバタフライプロットが確認できないケースが確認され、きずの検出が困難であった。一方、一部でリフトオフ 1mm では検出困難であったケースがリフトオフ 2mm では検出可となるケースが確認されたこと、シングルプローブ及びチャンネル数の少ないプローブではきずの検出が可能であったことから、試験面とプローブの接触状況がきずの検出に大きな影響を与えていることが示唆された。よって、試験面の表面形状及びリフトオフはきずの検出に大きく影響するため、(b) と同様に感度設定等をする必要がある。また、コーティングがある状態においても溶接部の表面形状はきずの検出性に大きく影響することから溶接部の表面を滑らかに調整することは効果的であると考えられる。

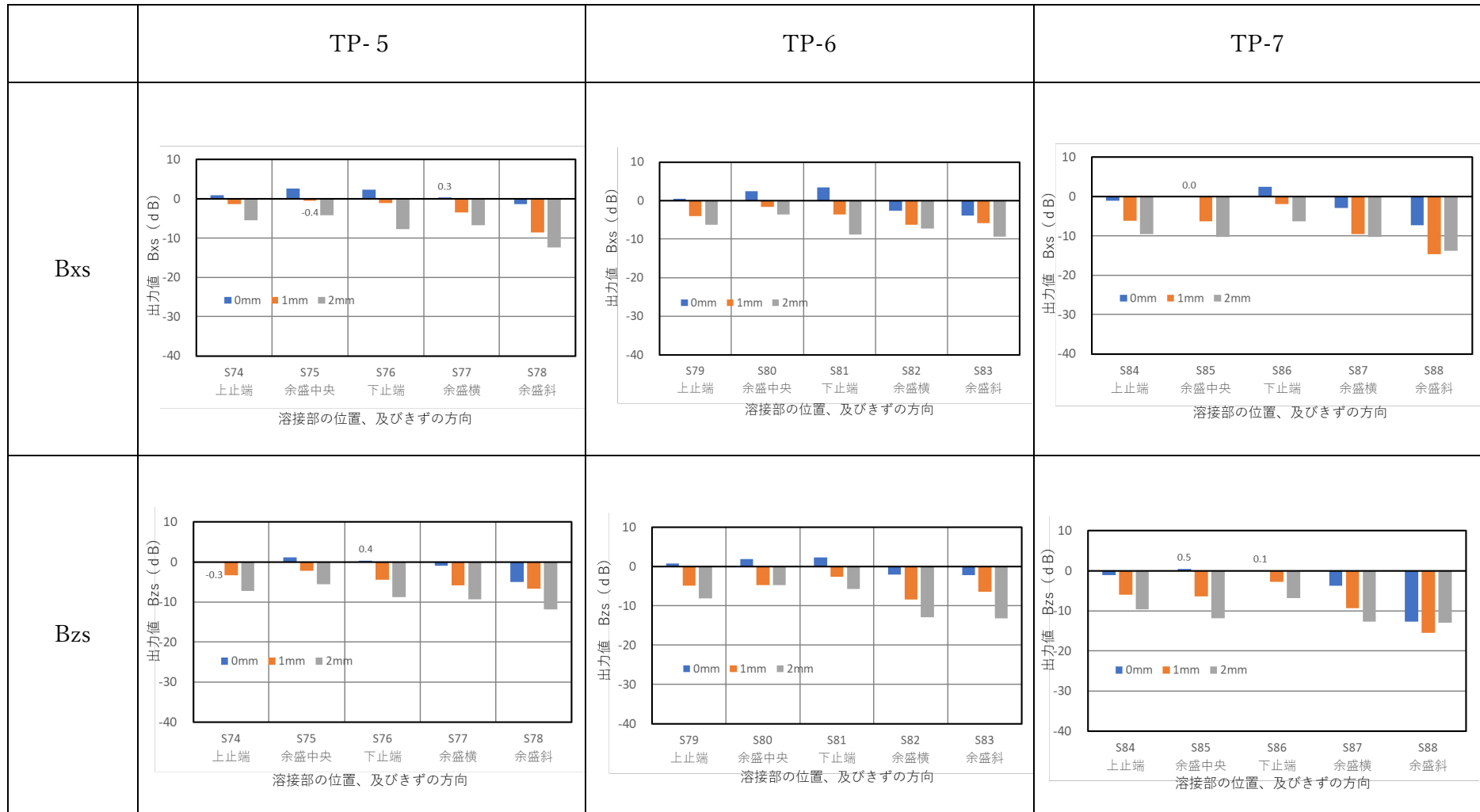


図 2-39 溶接部におけるリフトオフの影響 (シングルプローブ A チーム)

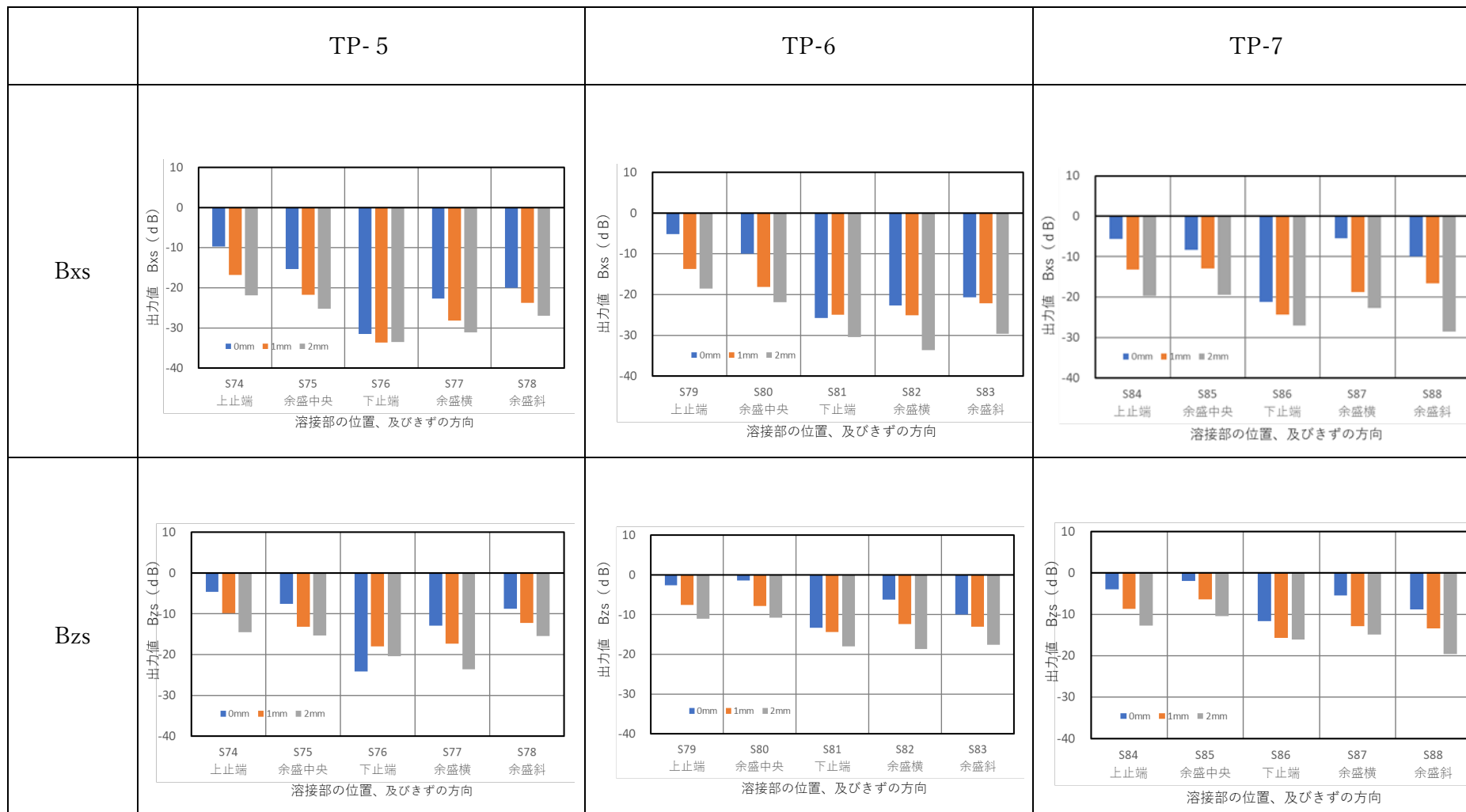


図 2-40 溶接部におけるリフトオフの影響 (シングルプローブ C チーム)

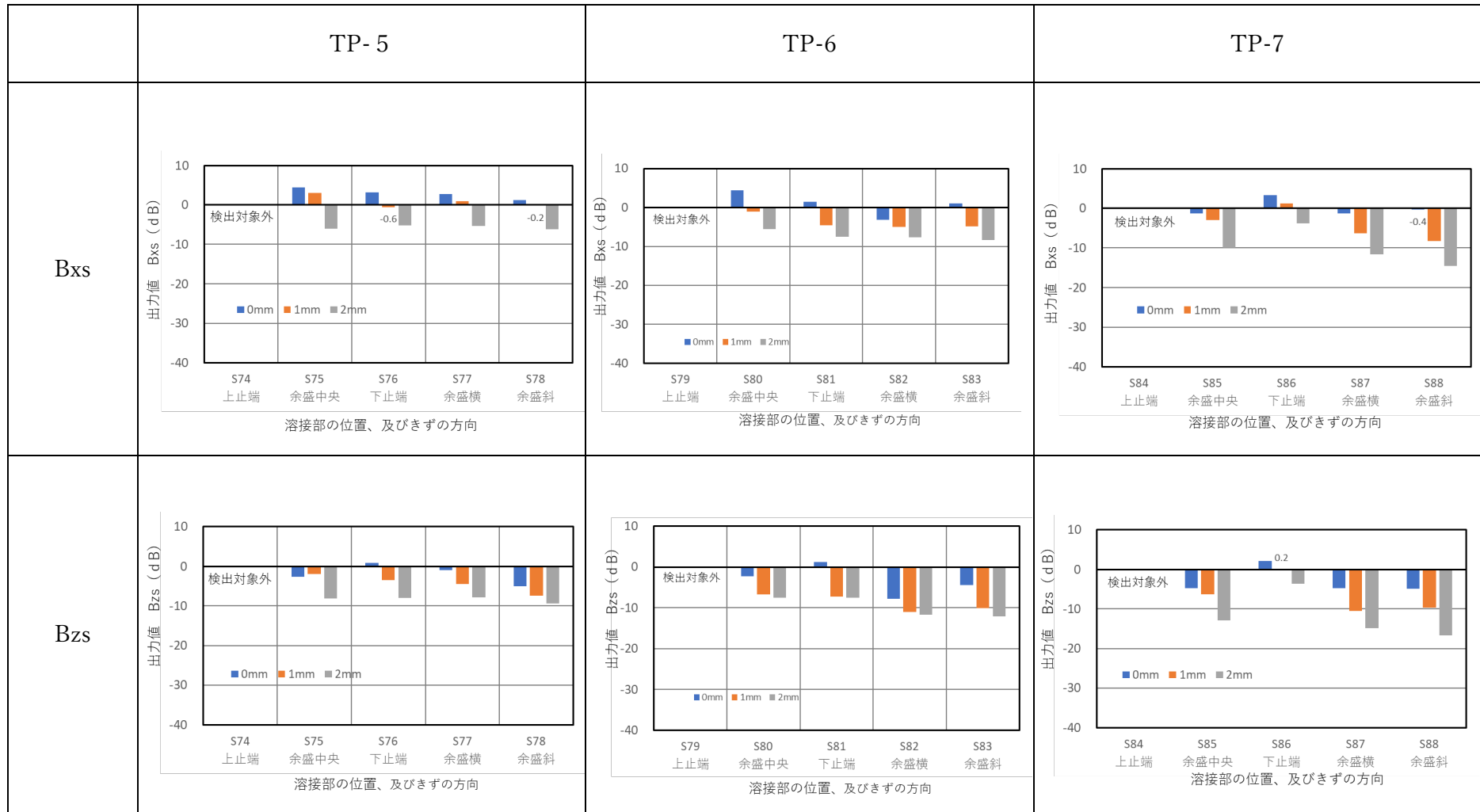


図 2-41 溶接部におけるリフトオフの影響 (3ch マルチプローブ A チーム)

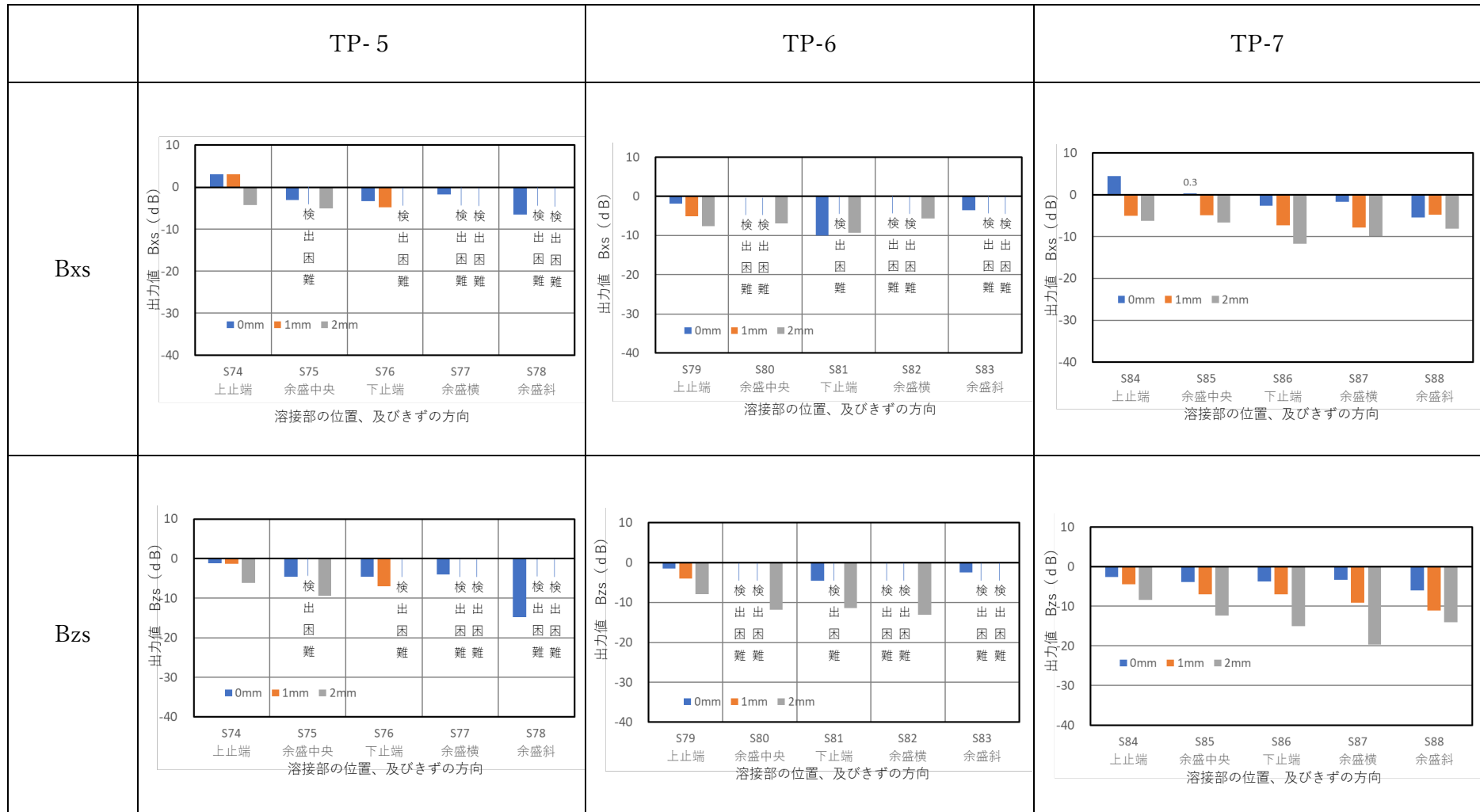


図 2-42 溶接部におけるリフトオフの影響 (8ch マルチプローブ A チーム)

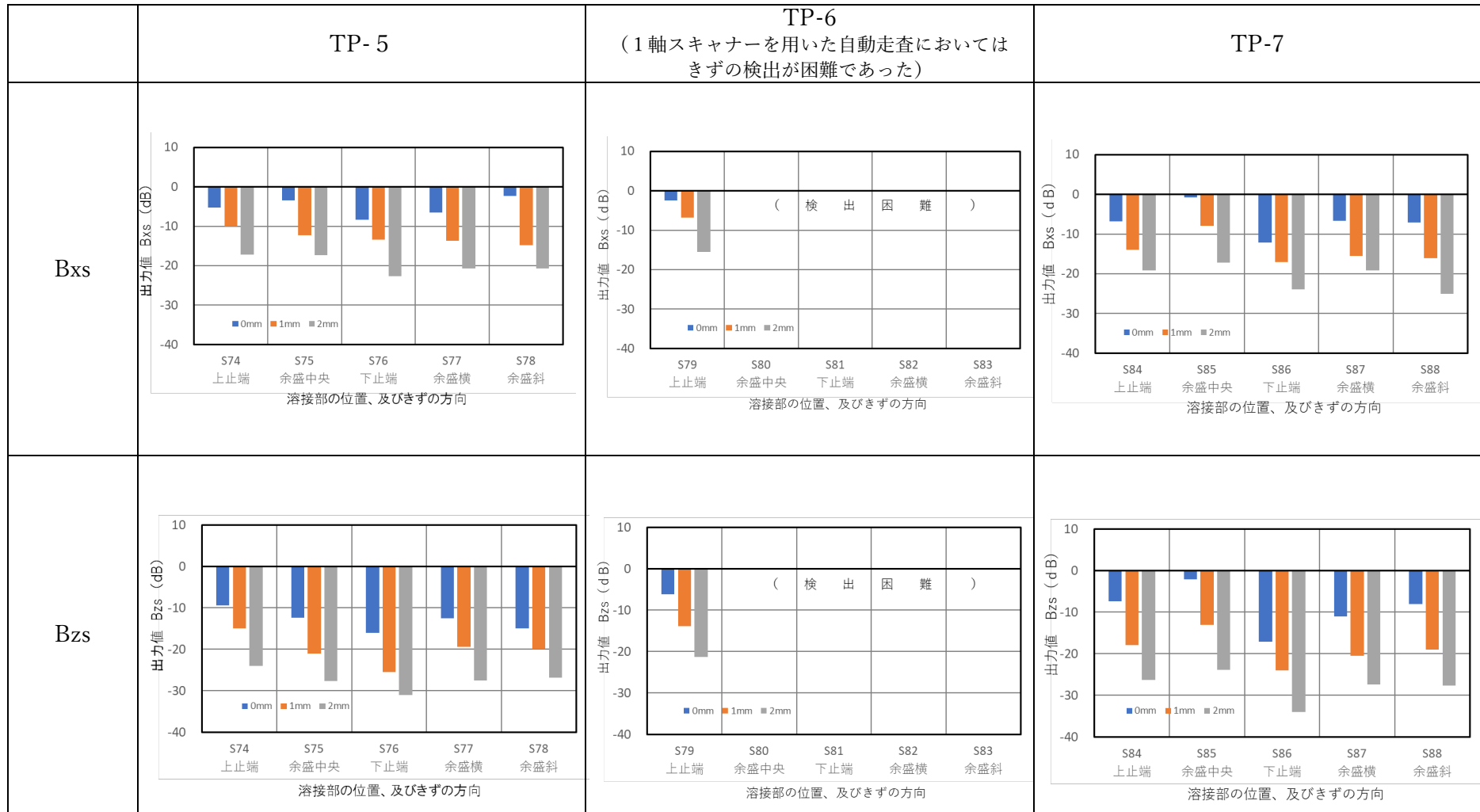


図 2-43 溶接部におけるリフトオフの影響 (16ch マルチプローブ B チーム)

b 自然きずの検出性

突合せ溶接部の割れの検出性について、S67 を基準信号とした検出信号を図 2-46 に示す。実施した全ての機器で自然きずを検出し、リフトオフに応じて検出信号が低下する傾向を確認した。

割れの寸法が基準きずより大きいこと、溶接継手が平板に近いサブマージの突合せ継手であることから検出信号が基準信号より大きくなるケースが確認された。一方で、表面形状の影響により検出信号が低下したと考えられる機器も確認された。

特に、16 チャンネルマルチプローブは、すみ肉溶接用プローブであったため、自動走査ではなく、手動走査を行った。そのことによりオフセット 0 mm と 1 mm で検出信号が大きく低下したと推測される。また、16 チャンネルマルチプローブは、1 軸のスキャナーを用いた自動走査であるため、表面形状の凹凸とプローブが干渉し、プローブが破損する可能性があった。このことから表面形状に応じたプローブの選択、及び選択したプローブに適した走査方法で試験を実施することが重要であることを確認した。

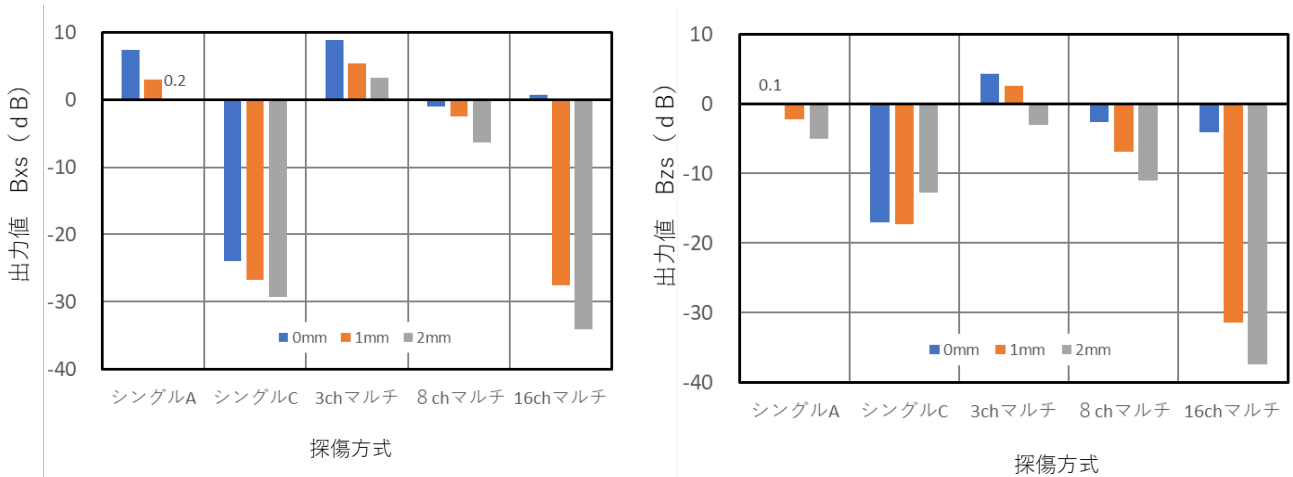


図 2-44 自然きずの検出性 (A チーム、C チーム)

(ウ) まとめ

a 基準きずの設定

長さ 4.0mm、深さ 1.5mm のきずを指標として検討した結果、きずの幅による検出信号への影響が小さいことを確認した。このため、基準きずの幅については、きずの製作精度及び施工性を考慮して 0.5mm 以下とすることが妥当であると考えられる。

きずの形状による影響について、矩形スリットと円弧スリットの検出信号を検証した結果、矩形スリットと円形スリットでは検出信号への影響が小さいことを確認した。したがって、基準きずの形状は施工性を考慮して、矩形とすることが妥当であると考えられる。

材質による影響を検討した結果、強磁性体である低炭素鋼においては検出信号への影響が小さいことを確認した。このことから、対比試験片の材質は強磁性体の低炭素鋼においては品質及び入手性の観点から SM400 材が妥当であると考えられる。一方、アルミニウム合金、ステンレス鋼等については検討を行っていないため、材質による検出信号への影響を確認する必要がある。

b 基準きずの検出性

理想環境（平板）における基準きずの検出性について調査した結果、使用した機器で全てのきずを検出できることを確認した。しかし、機器ごとに検出感度に差異が認められたため、機器に応じた感度補正等を行う必要がある。理想環境における感度補正の項目を以下の①～③に示す。

- ① 角度感度特性
- ② オフセット特性
- ③ リフトオフ特性

きずの大きさの評価性を確認するため、基準きずに類する様々な寸法のきずについて理想環境で調査した結果、いずれのきずにおいてもバタフライプロットが形成されることを確認した。バタフライプロットは、一定以上の深さを有する線状のきずの存在を示すものであるため、きずの検出はバタフライプロットの有無で判断することが妥当と考えられる。

次に、きず断面積と検出信号関係を調査した結果、Bx 信号及び Bz 信号共に振幅値に正の相関が確認され、特に Bz 信号の方がより強い相関を示すことを確認した。そのことから、Bz 信号によりきずを評価することが妥当と考えられる。

実環境（溶接継手）における基準きずの検出性について調査した結果、多くの条件できず（バタフライプロット）を検出したが、表面形状が急激に変化する重ね継手の止端部や表面形状が荒れた手動溶接継手でバタフライプロットを形成されない場合があることが確認された。そのため、実環境（溶接継手）における感度補正については、上記①～③に加え、以下に示す項目についても感度補正を行う必要がある。

- ④ きずの位置
- ⑤ 溶接継手表面形状

なお、きずの検出が困難であった要因は、試験面とプローブの接触状況に起因するリフトオフが発生したためと推測される。試験面とプローブの接触状況を改善するための対策例を次に示す。

【対策例】

- ・試験面をプローブが沿うように滑らかな形状に調整する。
- ・試験面に応じた走査方法を検討し、その走査方法によりプローブを走査する。
- ・試験面の表面形状を考慮し、試験面に沿うようなプローブを選択する。

ウ ACFM試験技術者に求められる技能に関する検討

(ア) 規格調査

a 試験技術者に関する規格

(a) JIS Z 2305 について

JIS Z 2305 は ISO 9712 を取り入れた国際基準に整合する規格であり、非破壊試験技術者の技量をレベル1からレベル3までの区分により認証する制度を規定している。レベル1はレベル2以上の技術者管理のもと、指示書に従い試験を行い、一定の結果を得ることが求められる。レベル2はレベル1の職務に加え、レベル2以下の技術者に対して手順書に基づいた作業管理、試験結果に対する一定の解釈（判定）が求められる。レベル3はレベル2までの職務に加え、レベル3以下の技術者の技術指導の他、試験方法の選定、適用限界の判断等が求められる。

JIS Z 2305 においては、ACFM に関する直接的な記載は確認されなかった。一方、附属書 F（参考）「技法に関する訓練」には、非破壊試験方法の枠組みの中で開発された非破壊試験技法の利用拡大を考慮した指針が示されており、その中で新たな技法の利用における推奨追加訓練時間等が記載されている。したがって、渦電流探傷試験と類似する新たな技法の ACFM についても、一定の訓練を設けることで利用することが可能であると考えられる。

資格認証を行っている日本非破壊検査協会が公開している ACFM と類似する渦電流探傷試験に必要な訓練を示すシラバスを確認し、ACFM を屋外貯蔵タンクに適用する場合に必要と考えられる訓練事項を表 2-13 に取りまとめた。

表 2-13 ACFM を屋外貯蔵タンクに適用する場合に必要と考えられる訓練事項

JSNDI シラバスより抜粋		ACFM を屋外貯蔵タンクに適用する場合に必要と考えられる訓練事項	
訓練内容	主な訓練項目	ACFM 試験技術者として必要な訓練事項	屋外貯蔵タンクを対象に試験するための訓練事項
電磁誘導試験の適用	試験コイル（内挿、貫通、上置）	ACFM 用コイルの特徴	—
	励磁と検出方法	バタフライプロットの原理	—
訓練事項	等級、状態や形状	—	屋外貯蔵タンクの溶接部の状態
対比試験片	対比試験片の目的	—	屋外貯蔵タンクの探傷用の対比試験片
探傷試験の実際	上置プローブ	ACFM 用コイルの走査方法	—
	プラント構造物と配管に発生するきず	—	屋外貯蔵タンクで発生するきず
評価	合否基準（コード、標準）	—	屋外貯蔵タンクの合否判定
品質アспект	国内外の試験方法と製品規格	—	省令、施行通知、運用通知

(b) PCN24/GEN/APP/ET

英国非破壊検査協会（BINDT）が運営する資格認証制度（PCN：Personnel Certification in Non-Destructive Testing）の 2024 年版は PCN24 と表記され、PCN24 は ISO 9712 を取り入れ国際基準に整合する認証制度である。PCN24/GEN/APP/ET は電磁探傷法（ET：the electromagnetic testing method）の技術者の PCN 認定資格及び試験要件を定めたものであり、本規格では、電磁探傷法のうち、溶接部を対象とした渦電流探傷試験、ACFM 等の資格認証について記載されている。ACFM に係る主な訓練事項として、ACFM の原理、探傷装置とプローブ、探傷表面処理、探傷走査と信号観察、疑似表示、リフトオフ、検出感度に与える影響等を規定している。渦電流探傷試験と ACFM のシラバス上での主な差異は、ACFM では長さ、深さのサイジングに関する部分が含まれることであるが、本検討対象である溶接部における基準きずではきずの長さ、深さをサイジングすることは困難であるため、シラバス上において大きな差はないと考えられる。JIS Z 2305 の渦電流探傷試験との単純な比較は困難であるが、主な訓練項目のみを対象に比較した場合、JIS Z 2305 の ET レベル 1 以上の資格保有者が追加で保有すべき技能項目を表 2-14、15 に示す。

表 2-14 屋外貯蔵タンク溶接部の ACFM 試験技術者の検討 (1/2)

訓練内容	主な訓練項目	BINDT PCN24/GEN Appendix C3.2B (ACFM)			JIS Z 2305 (ET)			追加すべき事項
		レベル1	レベル2	レベル3	レベル1	レベル2	レベル3	レベル1以上
渦電流探傷の概要	電磁試験の歴史	○	○	○	—	—	—	—
	主なNDT方法	—	—	—	○	○	○	—
	4つのNDT手法の限界と応用	—	—	○	—	—	—	—
渦電流探傷試験の基礎	金属の電気的特性と磁気的特性	○	○	○	○	○	○	—
	ACFM技術の一般原理	○	○	○	—	—	—	○
	電磁誘導作用、交流回路とインピーダンス	—	○	○	—	○	○	—
	電磁界解析	—	—	○	—	—	○	—
電磁誘導試験の適用	利用可能なACFM技術の範囲、能力の制限	○	○	○	—	—	—	○
	試験コイル（内挿、貫通、上置）、タンジェンシャル等	—	—	—	○	○	○	—
	試験体商材のACFM試験への影響	○	○	○	—	—	—	—
	励磁と検出方法、表皮効果とインピーダンス平面	—	—	—	—	○	○	—
	試験に及ぼす影響の物理的意味	—	—	—	—	—	○	—
探傷システム	装置構成（発振器、ブリッジ等）装置調整（周波数、感度等）	—	—	—	○	○	○	—
	ACFM装置の選択、種々の用途対応のACFMプローブ	○	○	○	—	—	—	○
	ACFM機器ラインナップ、プローブファイル設定、配列プローブ技術	—	○	○	—	—	—	—
	装置の種類（内挿コイル、多重周波数等）	—	—	—	—	○	○	—
	機能と信号、デジタル探傷器	—	—	—	—	—	○	—
製品の知識	状態や形状、試験条件、検査範囲	—	—	—	○	○	○	—
	他のNDT方法の適用	—	—	—	—	—	○	—

表 2-15 屋外貯蔵タンク溶接部の ACFM 試験技術者の検討 (2/2)

訓練内容	主な訓練項目	BINDT PCN24/GEN Appendix C3.2B (ACFM)			JIS Z 2305 (ET)			追加すべき事項
		レベル1	レベル2	レベル3	レベル1	レベル2	レベル3	レベル1以上
製品の知識	溶接用語、溶接プロセス、製造時/供用中の欠陥	—	○	○	—	—	—	○
	鋳造、鍛造プロセス	—	—	○	—	—	—	—
対比試験片	対比試験片の目的、材料ときざ加工方法	—	—	—	○	○	○	—
	装置の調整、管理	—	—	—	—	○	○	—
探傷試験の実際	表面処理、重要性	○	—	—	—	—	—	○
	表面処理/事前テストの目視検査	—	○	○	—	—	—	○
	上置プローブ、貫通プローブ、内挿プローブ	—	—	—	○	○	○	—
	試験コイルの選定	—	—	—	—	○	○	—
	ACFM機器の選定と試験準備、プローブの走査と信号観察	○	○	○	—	—	—	○
	ACFM出力の誤った兆候とその識別、ACFM感度に与える影響	○	○	○	—	—	—	○
	ACFM感度補償、リフトオフ、サイジング、検出限界、疑似表示	—	○	○	—	—	—	○
	鋼管、非磁性管、機械部品、配管、に発生するきず	—	—	—	—	○	○	—
	機械部品、航空機、プラント構造物と配管に発生するきず	—	—	—	—	—	○	—
	試験後の手順（報告、結果の提示、オフラインデータ解析手法）	○	○	○	—	—	—	—
評価、報告	安全対策（火災、電気）	—	○	○	—	—	—	—
	合否基準（コード、標準）、仕様書、要領書	—	○	○	—	○	○	—
品質アспект	手順書、指示書、試験報告書	—	○	○	○	○	○	—
	国内外の試験方法規格と製品規格	—	—	—	○	○	○	—
	電磁に関する国内、ヨーロッパ、国際規格、ACFM検査手続き	○	○	○	—	—	—	—

b 試験方法に関する規格

(a) ASTM E2261/E2261M-17(2021)

ASTM インターナショナル（旧称 ASTM（米国材料試験協会））が設定、発行している ASTM 規格の一つであり、ACFM を用いた溶接部試験の標準的な手法を示した規格である。適用範囲、作業者の資格、要求事項等の一般的な事項の他に試験における留意事項等が記載されている。

本規定の中で、タンク溶接部においてきずの検出性に大きく影響があると考えられる項目としては、次の2点である。詳細については、当該規格を参照されたい。

- ① 溶接部に適したプローブの選択
- ② 適切な走査方法

(イ) 試験技術者による検出性

JIS Z 2305「非破壊試験技術者の資格及び認証」において、ACFM に類似した渦電流探傷試験（ET）に関する資格及び承認が規定されている。そこで、ET のレベル2及びレベル3の資格を持つ試験技術者がACFMを実施し、試験ごとの検出信号のばらつきを確認した。また、各有資格者の試験結果と熟練者の試験結果と比較を行った。

a 渦電流探傷試験資格保有者ごとの偏差

渦電流探傷試験資格保有者の探傷走査の安定性を確認するため、ET レベル2及びレベル3の資格者が実施した3回の探傷結果をS67の検出信号を基準として、平均偏差を比較した。図2-45に示したとおり、シングルプローブを用いた場合、Bxsで最大1.6dB、Bzsで最大1.1dBであり、資格保有者は再現性のある試験を実施したことが推察される。

マルチプローブを用いた場合、各きずの信号の偏差はBxsで3.8dB、Bzsで3.3dBとなった。シングルプローブと同様に再現性のある試験を実施したことが推察される。しかしながら、複数のプローブを有するマルチプローブではプローブの特性等をよく把握し、適切な走査方法について習熟していることが望ましい。また、平均偏差の結果からマルチプローブにおいてもきずの検出は問題なく行えると考えられるが、検出信号の評価を行う場合は検出信号が最も大きくなるよう再度プローブを走査するなど対応が必要である。

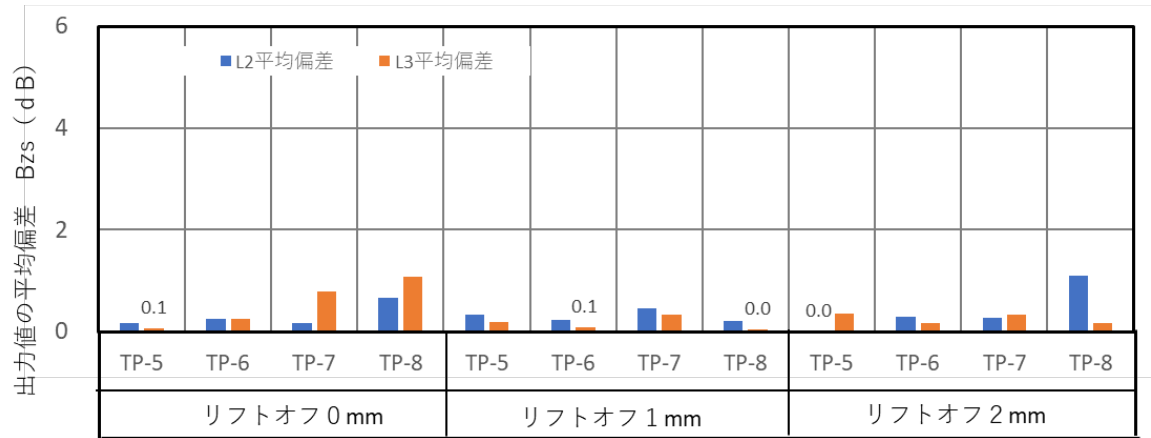
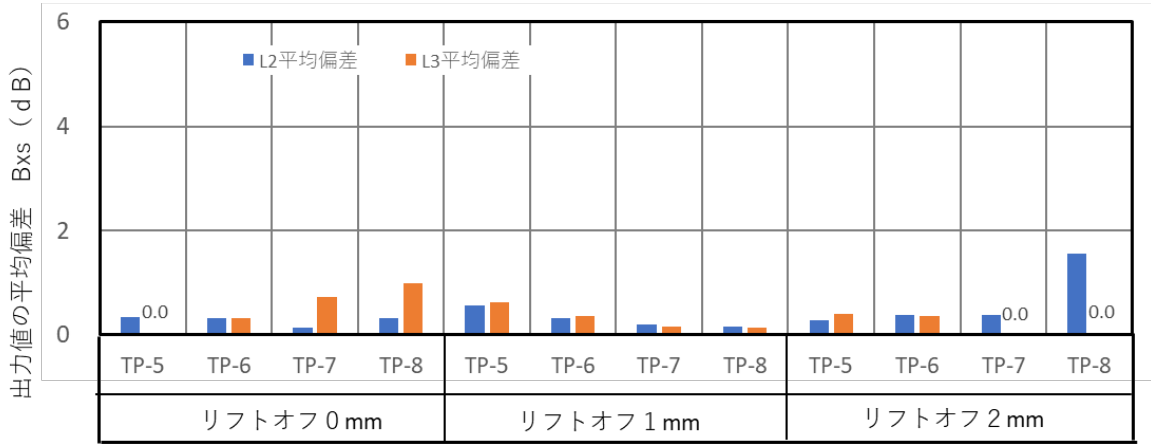


図 2-45 試験技術者ごとの偏差 (シングルプローブ TP-5~8 下止端部)

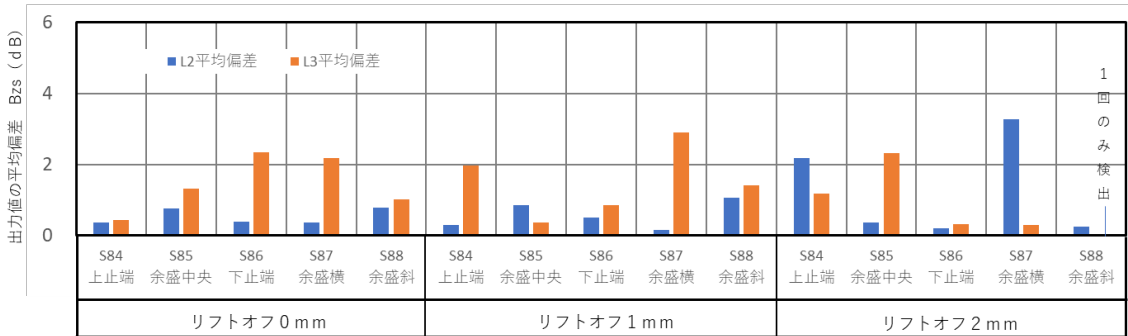
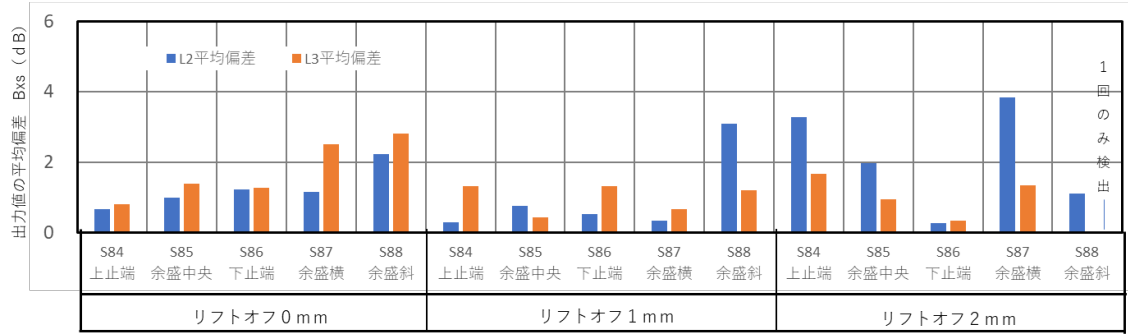


図 2-46 試験技術者ごとの偏差 (8ch アレイプローブ TP-7)

b 渦電流探傷試験資格保有者と ACFM 熟練者との差

(a) シングルプローブの場合

図 2-47 に渦電流探傷試験資格保有者が 3 回実施した探傷結果の平均値（基準検出信号 S67）と ACFM 熟練者の検出信号（基準検出信号 S67）との差を示す。リフトオフに応じて、熟練者との差が大きくなる傾向が確認された。コーティングがある場合、図 2-48、図 2-49 に示すようなきずとプローブの位置関係からオフセット又はリフトオフが生じやすいため、プローブの形状に応じた走査方法を熟知する必要がある。

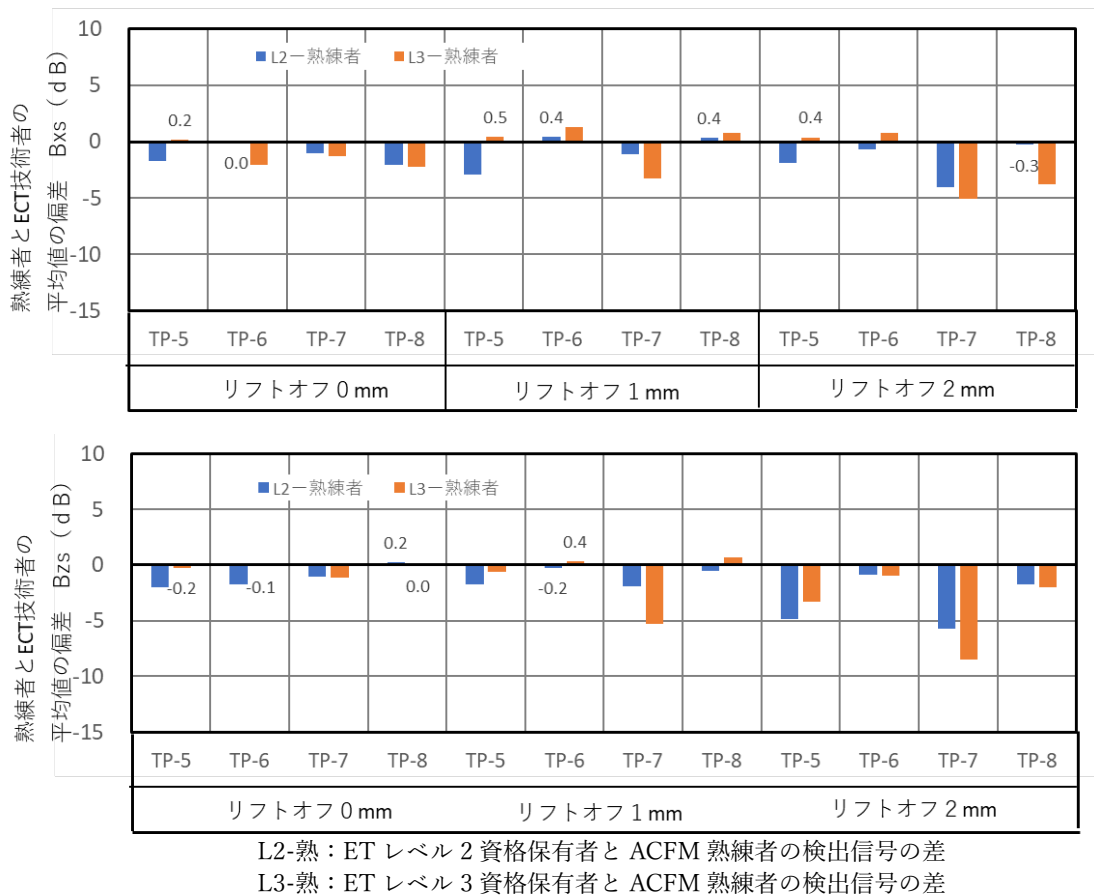


図 2-47 シングルプローブにおける試験技術者による差 (TP-5~8 下止端部)

プローブ軸の方向	コーティング 無	コーティング 有
母材面に垂直	<p>軸 プローブ オフセットが関係する きず 母材</p>	<p>軸 プローブ リフトオフとオフセットが関係する きず 母材 コーティング</p>
下止端部	<p>軸 プローブ リフトオフが関係する きず 母材</p>	<p>軸 プローブ リフトオフが関係する きず 母材 コーティング</p>

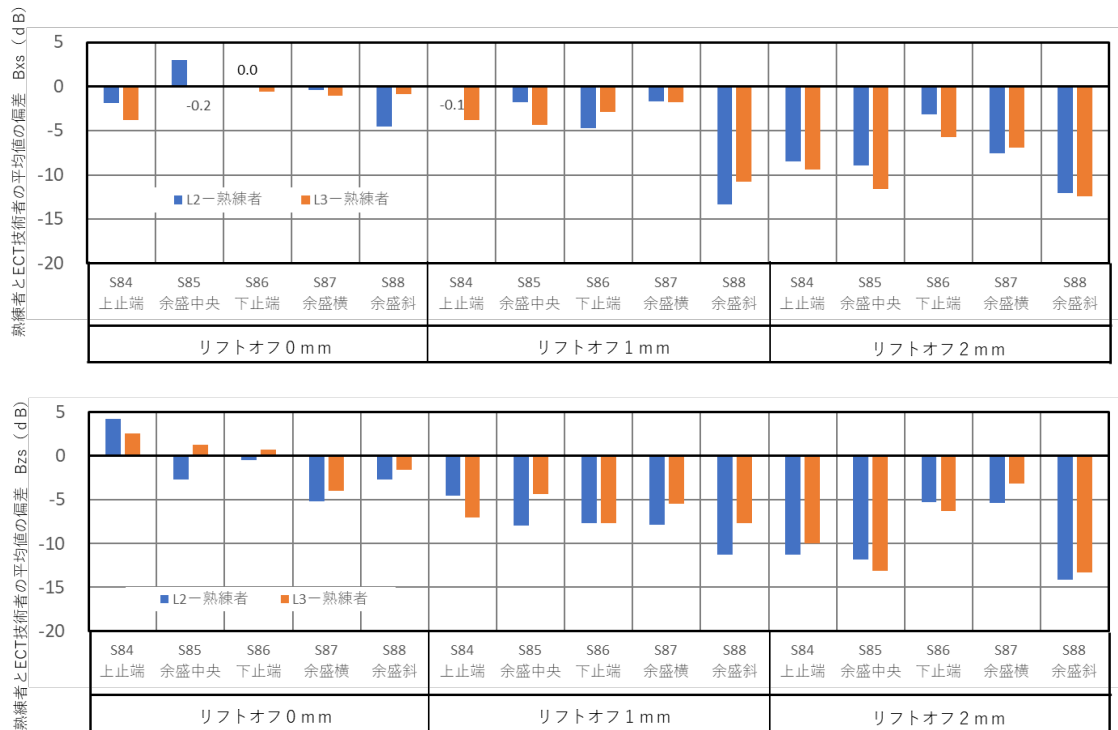
図 2-48 きずとプローブの位置関係による影響例（重ね継手下止端部）

プローブ軸の方向	コーティング 無	コーティング 有
母材面に垂直	<p>軸 プローブ オフセットが発生 きず 母材</p>	<p>軸 プローブ コーティングがあるとオフセットが広がる 且つリフトオフが発生する きず 母材 コーティング</p>
下止端部	<p>軸 プローブ リフトオフが発生する きず 母材</p>	<p>軸 プローブ コーティングがあるとリフトオフが広がる 且つ、きずに対してプローブ軸が運る位置が変わる きず 母材 コーティング</p>

図 2-49 きずとプローブの位置関係による影響例（突合せ継手止端部）

(b) マルチプローブの場合

図 2-50 に渦電流探傷試験資格保有者が 3 回実施した探傷結果の平均値（基準検出信号 S67）と ACFM 熟練者の検出信号（基準検出信号 S67）との差を示す。熟練者の検出信号より渦電流探傷試験資格保有者の検出信号が小さくなる傾向が確認された。図 2-34 に示すようにマルチプローブは複数のプローブが並んでいるため、シングルプローブのように溶接部の形状に沿った走査方法が困難であるため、リフトオフとオフセットが顕著に発生する。よって、プローブの特性等を熟知し、検出信号が最も大きくなるようにプローブを走査する必要がある。また、実運用では漏れなくきずを検出するためには渦電流探傷試験と同様に、溶接部に適したプローブの選択、適切な検出感度の設定、適切な走査方法を検討し、溶接継手の試験面において基準きずを検出できることを確認することが重要である。



L2-熟 : ET レベル 2 資格保有者と ACFM 熟練者の検出信号の差

L3-熟 : ET レベル 3 資格保有者と ACFM 熟練者の検出信号の差

図 2-50 8ch マルチプローブにおける試験技術者による差 (TP-5)

(ウ) まとめ

試験技術者に関する規格として、PCN24/GEN/APP/ET を調査した結果、電磁探傷法の一部として ACFM は扱われており、同列の技法として渦電流探傷試験があることを確認した。また、PCN24 の ACFM と渦電流探傷試験のシラバスでは大きな差がないことを確認した。次に、国内の認証機関である日本非破壊検査協会が公開している渦電流探傷試験のシラバスを比較すると ACFM の機器構成、検出信号 (Bx 信号及び Bz 信号) 及びバタフライプロットに関する部分等が含まれていないことを確認した。よって、ACFM 試験技術者には渦電流探傷試験資格を保有していることと共に ACFM の機器構成等について習熟していることが望ましい。

試験方法に関する規格として、ASTM E2261/E2261M-17(2021)を調査した結果、検出性に影響がある項目として、主なものは溶接部に適したプローブの選択と走査方法であることを確認した。また、試験技術者による検出性を確認した結果、マルチプローブのように表面形状との接触性を確保し難い場合、熟練者との差異が発生し易いことが確認された。よって、ACFM 試験技術者は溶接部に適したプローブの選択と走査方法等について習熟していることが望ましい。

第3章 溶接部検査を対象とした新たな試験方法の導入フローに関する検証

1 フローの検証結果

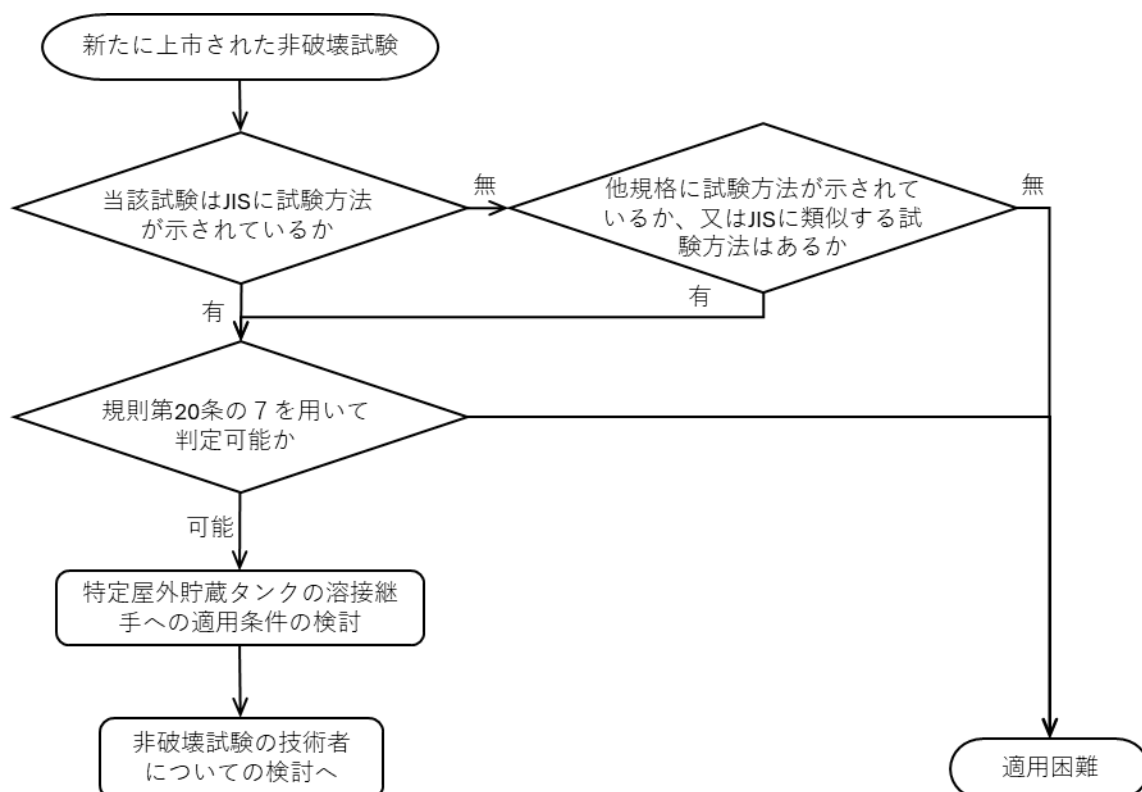
(1) 非破壊試験の特性に関する確認フロー

非破壊試験の特性に関する確認フローにおいて、ACFM を用いて検証を行った結果、JIS に対応規格のない非破壊試験については、試験方法について海外規格、国内規格等調査を行うこと、又は類似する非破壊試験方法に対応する JIS を基に検討することにより対応可能であることが確認された。

また、特定のきずを検出対象とする条件については、ACFM については渦電流探傷試験と類似した探傷原理であることから、規則第 20 条の 8 第 4 項を参考とすることにより提示することが可能であった。なお、新たな特定のきずを検出対象とする場合は、別途検討が必要である。

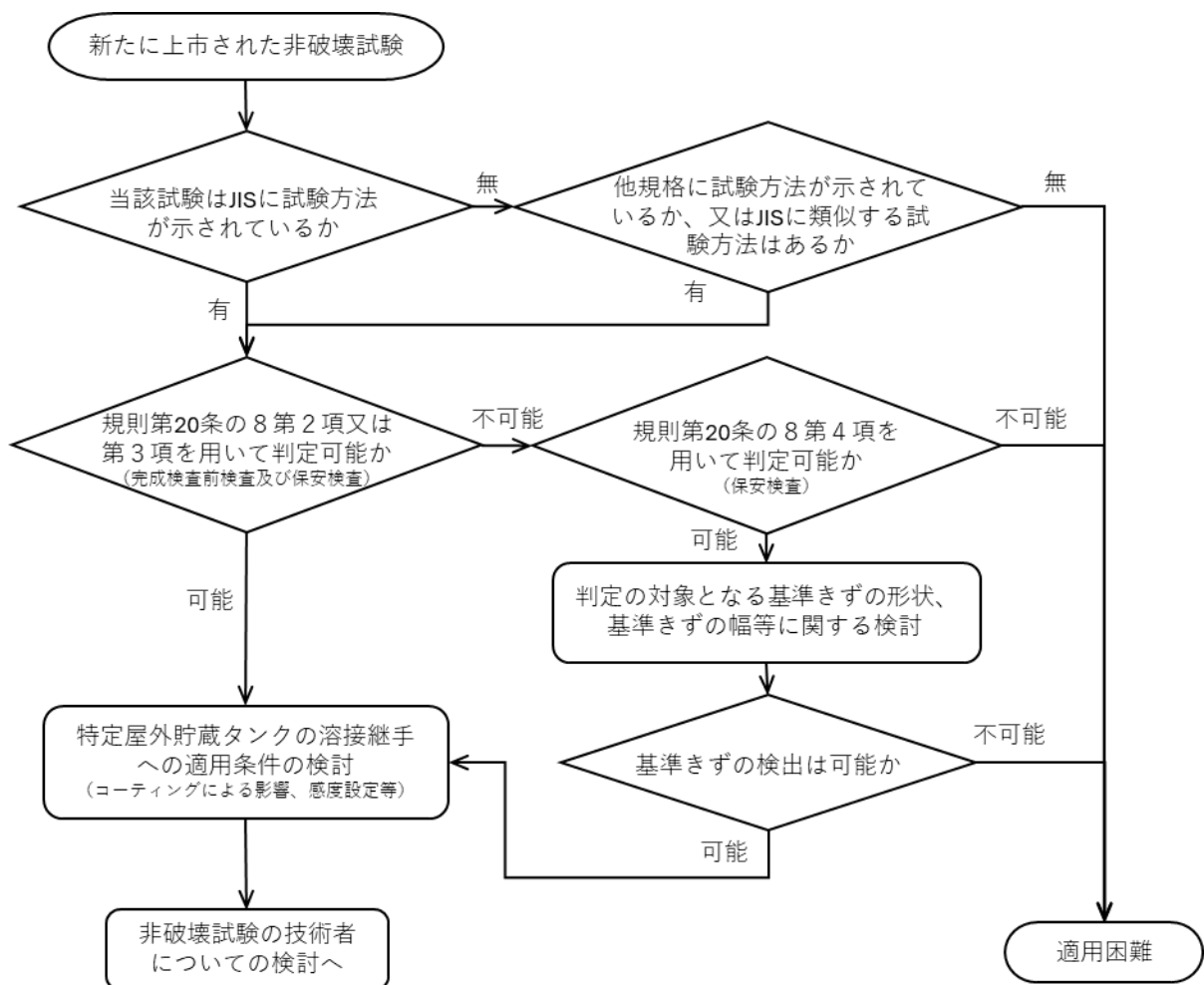
上記の他に、特定屋外貯蔵タンクの溶接部への適用条件について検討が必要であることが確認された。ACFM については、第 2 章において材質による影響、基準きずの形状及び幅の影響、コーティングによる影響、溶接継手の表面形状による影響、角度感度特性、オフセット感度特性等について検証試験及びシミュレーションを用いて検討を実施した。なお、これらの検討を行ううえで非破壊試験についての専門的知識及び理論的知識等高度な専門性を要した。

以上の三点に加え、側部溶接部において特定のきずを検出対象とする検討については、現在まで行われていない。このため、対象を特定屋外貯蔵タンク側部溶接部とした場合の「非破壊試験の特性に関する確認フロー（側部）」を以下のとおり修正した。



対象を特定屋外貯蔵タンク底部溶接部とした場合、現状の知見では規則第20条の8第2項又は第3項の合格の基準を用いて判定可能ある場合と、規則第20条の8第4項の合格の基準を用いて判定可能である場合の二つに分類される。前者に該当する場合は法第11条の2に基づく完成検査前検査及び法第14条の3に基づく保安検査における「特定のきず」として整理でき、後者に該当する場合は、保安検査における「特定のきず」として整理することができると考えられる。なお、平成10年度及び平成11年度に実施された「新技術を活用した石油タンクの検査・判定方法に関する調査検討：第一分科会」を経て発出された、平成12年8月24日付け消防危第93号に示される、保安検査時に政令第23条の規定を適用できる条件については、腐食による減肉等を考慮していない理想環境下における検討であること、また、設置から多くの年月が経過し、裏面腐食による減肉が進行している特定屋外貯蔵タンクに対して、無条件に適用できるかについては検討の余地があり、本検討においては「特定のきず」として扱っていない。

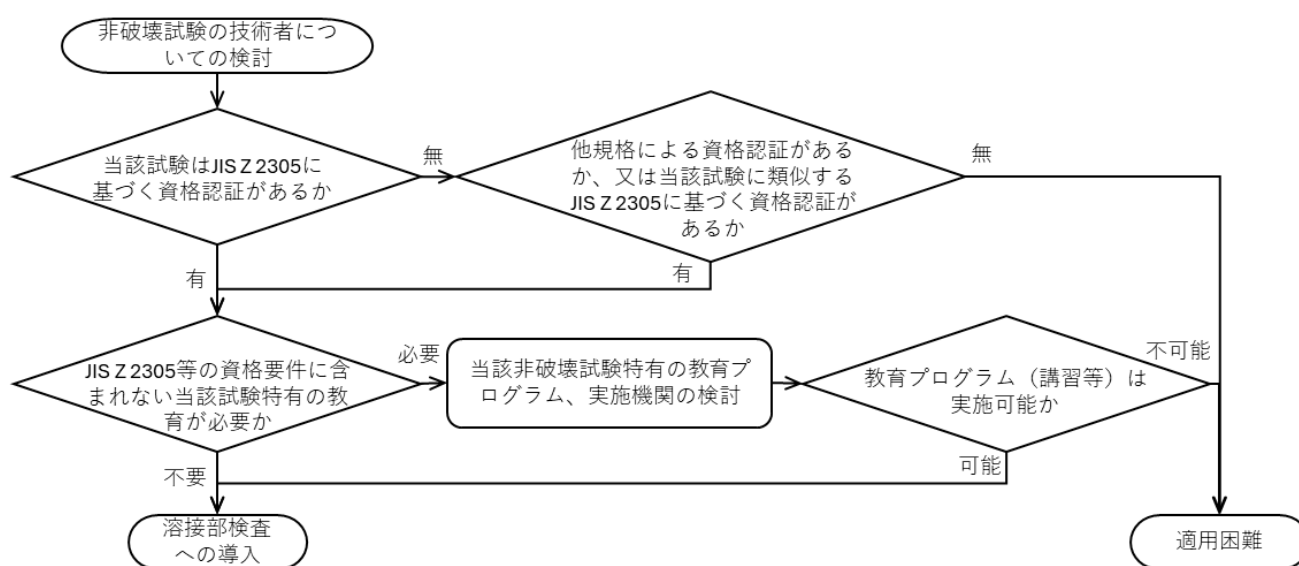
規則第20条の8第4項の合格の基準を用いて判定を行う場合は、底部の溶接継手を模擬して作製した対比試験片における基準きずの検出信号と試験面を走査して得られた検出信号の比較することが判定の基準となる。このため、基準きずの検討及びタンク溶接部において基準きずが検出可能かを検討する必要がある。これらの点を踏まえて対象を特定屋外貯蔵タンク底部溶接部とした場合の「非破壊試験の特性に関する確認フロー（底部）」を以下のとおり修正した。



(2) 非破壊試験技術者に求められる資格等に関する確認フロー

ACFM を用いた確認フローの検証過程において、機器構成、検出信号及びバタフライプロットの解釈、プローブの選択と走査方法等について特定の教育が必要となることが確認された。

JIS に対応規格のない非破壊試験については、海外規格、国内規格等調査を行い、必要に応じて教育プログラムを構築することで対応可能であることが確認された。教育プログラムを構築する場合には、教育プログラムを実施する第三者機関の検討が必要であることが確認された。以上のことを踏まえて、「非破壊試験技術者に求められる資格等に関する確認フロー」を以下のとおり修正した。



2 今後の課題

特定のきずを検出対象とする条件を提示する場合において、本検討では規則第 20 条の 8 に規定される範囲に限定している。一方で、完成検査前検査時又は保安検査時に検出すべき特定のきずについて新たな知見が得られた場合には、試験方法に応じて、その妥当性についてあらためて検討を行う必要がある。

任意の第三者が確認フローを実施する場合、非破壊試験に関する専門的知識及び理論的知識を有している者、屋外貯蔵タンクに関する専門的知識を有している者、材料力学、破壊力学、溶接に関する知識を有している者等、検討を行ううえで高度な専門的知識を備えた人材が必要となる。このため、検討体制を構築することが課題となる。新たに底部溶接部への導入が期待される漏えい磁束法による非破壊試験については、規則第 20 条の 8 第 4 項に規定される基準きずを検出対象とすることで対応可能であることが示唆される。したがって、漏えい磁束法を導入する際には、しかるべき検討体制を構築したうえで、任意の第三者により確認フローを用いて検討を実施することは可能であると考えられる。

また、任意の第三者が確認フローを用いて検討した場合、検証結果に対する認証プロセスについての課題が残されている。現行の制度においては、確認フローに基づく検証結果を消防庁へ報告し、消防庁において妥当性が認められた場合には、規則の改正等により対応していくことが想定される。

第4章 ACFMの屋外貯蔵タンク底部溶接部への適用について

確認フローの検証結果より、ACFMは渦電流探傷試験と同様に屋外貯蔵タンクの底部溶接部試験へ導入できることが確認された。そのことから本章では、ACFMの屋外貯蔵タンク底部溶接部への適用について記載する。

1 適用範囲

次の(1)に該当し、かつ、(2)又は(3)のいずれかに該当する特定屋外貯蔵タンク(以下「タンク」という。)の側板とアニュラ板(アニュラ板を設けないものにあつては底板)、アニュラ板とアニュラ板、アニュラ板と底板及び底板と底板との溶接継手(溶接止端部から板厚の1/2までの熱影響部を含む。)であること。

- (1) 消防法第11条の2に基づく完成検査前検査又は法第14条の3に基づく保安検査において、危険物の規制に関する規則第20条の8に定める磁粉探傷試験又は浸透探傷試験(以下「磁粉探傷試験等」という。)を行い、合格の基準に適合していることが確認されているもの。
- (2) タンクの試験面にコーティングを有しないもの。
- (3) タンクの試験面にコーティングを有するものにあつては、当該コーティングが非磁性かつ非導電性であり、膨れ、割れ、剥離、傷又は異物の混入がないもの。
なお、コーティングを除去したタンクの試験面は、(2)として取り扱えるもの。

2 対比試験片

底部の溶接継手を模擬して作製した試験片(以下「対比試験片」という。)、次の(1)から(4)までに留意して作製すること。

- (1) 対比試験片は、タンクの材質と同材質を用いて作製すること。ただし、タンクの材質とJIS G 3106「溶接構造用圧延鋼材」のSM400等の一定の品質が保証された鋼板を比較して、判定の基準となるきず(以下、「基準きず」という。)の検出性に影響がない場合は、この限りではない。
- (2) 対比試験片は、底部の溶接継手の形状を模擬して作製すること。
- (3) コーティングを有しているものについては、コーティング厚さについて調査し、コーティング厚さを模擬すること。なお、模擬するコーティングは非磁性かつ非導電性のテープ等により代用しても差し支えない。
- (4) 対比試験片には基準きずを設けること。基準きずは、長さ4.0mm、深さ1.5mm、幅0.5mm以下の矩形スリットとすること。

3 試験の方法

試験はJIS Z 2316-1「非破壊試験－渦電流試験－第1部：一般通則」、JIS Z 2316-2「非破壊試験－渦電流試験－第2部：渦電流試験器の特性及び検証」、JIS Z 2316-3「非破壊試験－渦電流試験－第3部：プローブの特性及び検証」及びJIS Z 2316-4「非破壊試験－渦電流試験－第4部：システムの特性及び検証」に準じて実施し、次の(1)から(7)までに留意して行うこと。

- (1) タンクの試験面に関する情報の事前確認

タンク底部の設計図書、既往の点検記録等からタンクの試験面に関する情報（溶接継手の形状及び表面処理、コーティングの状態・厚さ、既存のきず及び腐食の位置等）を把握すること。
- (2) 探傷器及びプローブ（以下「探傷器等」という。）の探傷感度の設定

タンクの試験面の形状に適したプローブを用い、角度感度特性、オフセット感度特性、リフトオフ感度特性を考慮して探傷感度の設定を行うこと。
- (3) タンクの試験面と探傷器等についての確認

タンクの試験面は、探傷器等により基準きずを検出できるものであること。
- (4) プローブの走査方法
 - (ア) タンクの試験面の条件を考慮して、プローブを走査すること。
 - (イ) タンクの試験面に凹凸がある場合は、プローブとタンクの試験面に隙間が生じないように走査すること。
 - (ウ) 使用するプローブの性能を把握し、基準きずが検出可能な範囲を探傷範囲とし走査すること。
 - (エ) 物理的干渉等によりプローブの走査が困難な場合は、他の試験方法を適用すること。
- (5) 検出信号の評価

バタフライプロット検出部の試験面に応じて探傷感度を再設定し、検出感度が最大となるように走査して得られた検出信号を評価すること。また、基準きず信号との比較は、探傷器等のきずの断面積による検出信号の傾向を把握し評価すること。
- (6) 検出信号の判定

タンクの試験面を走査して得られたバタフライプロット検出部における Bz 信号が対比試験片の基準きずから得られる Bz 信号を超えないこと。
- (7) 試験記録

試験記録には、合否判定を含めた試験結果のほか、試験の再現性を確保するため、次の情報を記載すること。

 - (ア) 探傷器等の探傷感度の設定記録及び探傷感度の設定に用いた対比試験の仕様
 - (イ) タンクの試験面と探傷器等についての確認記録
 - (ウ) 探傷器等におけるきずの断面積に対する検出信号の傾向についての確認記録
 - (エ) コーティングの状態を確認した記録
 - (オ) コーティング厚さの調査記録

4 試験技術者

試験を実施する者は、JIS Z 2305「非破壊試験技術者の資格及び認証」又はこれと同等の規格による渦電流探傷試験に関する資格を有しており、かつ、交流電磁場測定法について以下の事項等を習熟している者であること。

- (1) 機器構成
- (2) 検出信号（Bx 信号及び Bz 信号）及びバタフライプロットの解釈
- (3) 溶接継手に適したプローブの選択、プローブ走査方法
- (4) その他技術者に要求される事項

5 その他留意事項

- (1) ACFM の適用が困難な場合又は検出信号の評価若しくは判定に疑義が生じる場合は、磁粉探傷試験等により試験を行うこと。
- (2) ACFM を適用するために底部の溶接継手を調整する場合は、必要以上に研削せず、余盛の範囲内において研削を行うこと。
- (3) コーティング厚さの調査方法については、既知の情報、コーティングの施工状況及びコーティング塗膜の状態により総合的に決定すること。
- (4) タンクの材質がアルミニウム合金又はステンレス鋼の場合は、ACFM の適用できる条件、基準きずについて検討すること。

第5章 危険物施設に適用可能な新技術による点検方法等の調査

本章では、危険物施設に適用可能な新技術に関する調査結果を記載する。

1 調査結果一覧

危険物施設に適用が可能と考えられる点検手法等の調査結果を表5-1に示す。No.1～No.4は、タンクの側部等の点検・検査に対する技術として着目し調査した。No.5は令和6年度に津波・水害対策として紹介した技術の進捗について調査した。

表5-1 新技術による点検手法等一覧

No.	点検手法又は設備	適用部位	活用目的
1	高精度位置情報を有する自動飛行ドローンによる点検	屋外貯蔵タンク (側板部)	タンク側部の点検 (デジタルアーカイブの向上、作業効率化)
2	パルス渦電流探傷装置による被覆上からの板厚測定	危険物施設の配管	危険物施設の配管の被覆上からの減肉点検 (デジタルアーカイブの向上、作業効率化)
3	自立する棒を活用した高所点検	屋外貯蔵タンク (側板部)	(No.2との組合せ) タンク側部の減肉点検 (デジタルアーカイブの向上、作業効率化)
4	3Dスキャナーを活用した母材点検	屋外貯蔵タンク (腐食部)	タンク腐食部の点検・検査 (デジタルアーカイブの向上、作業効率化)
5	水圧を感知して自動で閉止する弁	危険物施設の配管 屋外貯蔵タンク (附帯配管)	津波・水害対策

2 危険物施設を対象とした点検技術

(1) 高精度位置情報を有する自動飛行ドローンを活用した高所点検

各種構造物の高所点検はカメラ等を搭載したドローンの活用により、作業員の安全性の向上、点検の効率化が図られている。一方で、点検の再現性及び正確な点検を行うにはドローンの飛行操作者の技量に依存する面が大きいという課題がある。この課題を解決する手法として、RTK (Real Time Kinematic) 測位を用いて位置精度を向上させたドローンによる自動飛行点検が挙げられる。

図5-1に示すとおり、RTK及びカメラを搭載したドローンを用いることで、3Dマップ上で自動飛行ルートの設定及び撮影指示を行うことが可能となる。高精度な位置情報に基づき、3Dマップ上で撮影位置を指定できるため、例えば発錆の可能性が高い部位など、点検目的に応じた画像を取得することが可能である。また、取得した画像に対してAIによる錆の自動検知や点検結果の自動振り分け等を行うことも可能である(図5-2)。これ

らの技術により、再現性の高い撮影が可能となるほか、高所における外面状態の経時的な変化を継続的に把握することができる。

この技術では、ドローンに風速計を設けることで性能以上の風速となった場合には、基地に戻る、その場に留まる、その場にて着陸するといった指示を事前に与えることで一定の安全性を確保することが可能である。

今後、自動飛行ドローンによって取得された外観情報に基づき、詳細点検の可否や対象箇所を選定を行うことで、より効率的かつ合理的な点検が実施されることが期待される。



図 5-1 3D マップ上での自動飛行ルート及び撮影指示 アプリ



図 5-2 クラウド上での自動管理及びさび判定 アプリ

(2) パルス渦電流探傷装置による被覆上からの板厚測定

一般に危険物施設の配管総延長は長大であることから、効率的に点検することは重要であり、点検箇所を合理的に選定するためのスクリーニング技術が求められている。また、危険物施設の配管の一部は、品質管理や運転温度管理上の理由から保温材等を被覆しており、配管の点検には保温材等の除去・再施工を要するため、保温材等の被覆上からの点検技術はニーズがある。

パルス渦電流探傷法は、励磁コイルの電流を遮断すると試験体内部へ広範囲に渦電流が浸透し、時間経過と共に減衰する特性（図 5-3）を利用し、試験体の厚さに応じた検出信号の減衰挙動が変化に基づいて（図 5-4）試験体の厚さを推定する手法である。図 5-5 はパルス渦電流探傷装置であり、大きな励磁コイルと検出コイルを有しており、一定条件下ではリフトオフ 100mm 以下で測定可能であることから保温材等の被覆上から板厚を推定することが可能である。

パルス渦電流探傷法は、塗膜や保温材の除去といった前後処理工程を削減できること、短時間で測定を行うことができること、比較的広い面積にわたり施工し易いことから、詳細点検箇所を選定するためのスクリーニング技術としての利用が考えられる。一方で、パルス渦電流探傷法は、局所的な減肉の検出が困難であるという特性を有することから、超音波探傷法等と併用することで、より効果的かつ信頼性の高い点検につながると考えられる。

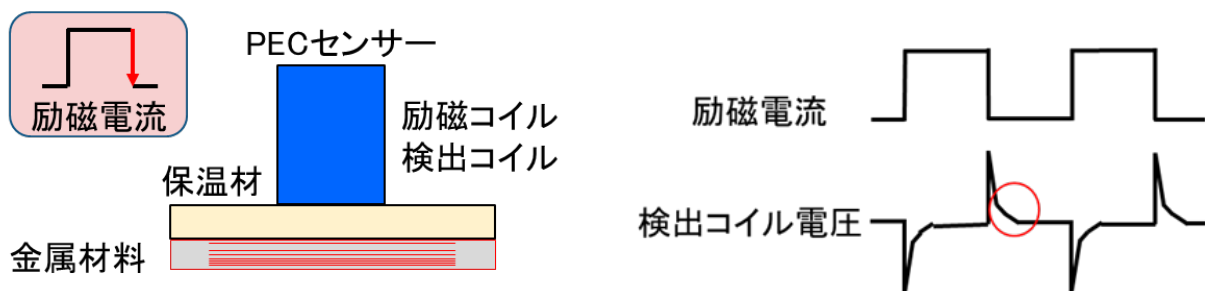


図 5-3 パルス渦電流探傷による肉厚測定原理

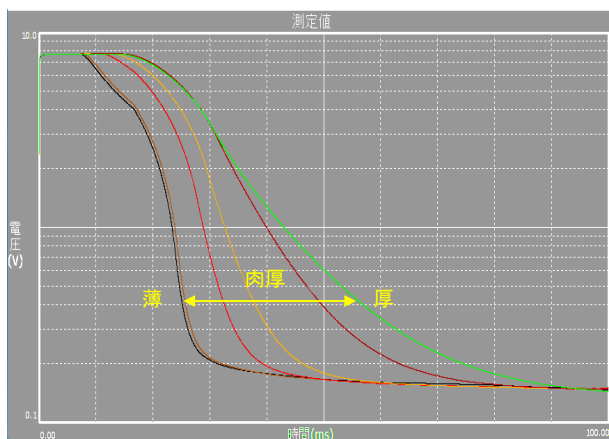


図 5-4 肉厚による検出信号の例

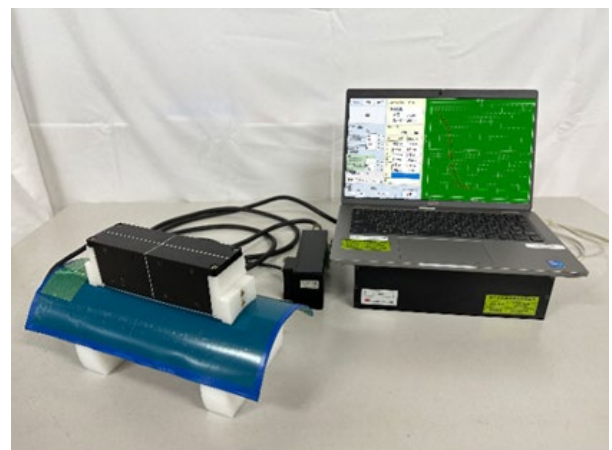


図 5-5 パルス渦電流探傷装置

(3) 自立する棒を活用した高所点検

ドローン技術を応用した自立型の高所作業用ロッド（図 5-7）に、無線タイプのパルス渦電流探傷装置（図 5-6）を搭載し、高所における板厚測定を行う技術である（図 5-8）。本技術により、外観のみでは判断が困難な板厚の情報について、足場を要せずに行うことができ、詳細点検箇所を選定するためのスクリーニングとしての利用が考えられる。今後、測定精度の向上等によって、より合理的な点検につながっていくと考えられる。

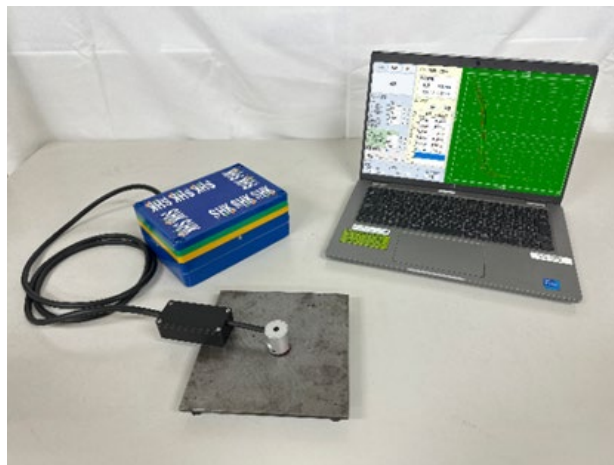


図 5-6 高所作業用のパルス渦電流探傷装置



図 5-7 自立型の高所作業用ロッド

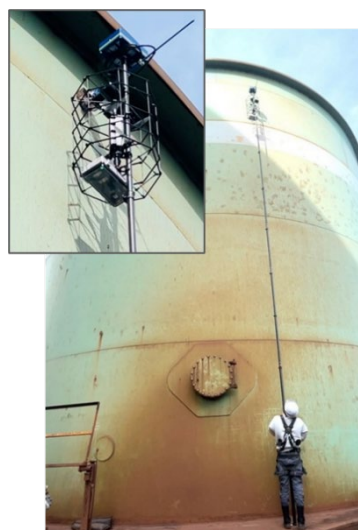


図 5-8 高所の板厚測定の様子

(4) 3Dスキャナーを活用した腐食部等の点検

一般的に危険物施設で用いられる炭素鋼鋼板・鋼管等は、使用環境等の影響により腐食が発生する、場合によっては板厚方向に貫通する腐食が確認されることもある。このため、板厚を適切に管理することは、危険物の漏えい防止の観点から極めて重要である。

図5-9に示すハンディ3Dスキャナーを用いることで、多数の腐食部(図5-11)を対象として板厚を把握する場合においても、図5-12に示すように腐食状況を効率的に把握することが可能となる。当該スキャナーはラインレーザーを照射・受光し得られたデータをソフト上で表現することにより3次元の広がり把握するもので、実際の測定では、校正板で3次元の広がり校正した後、測定対象物から30cm程度離して測定する。

当該スキャナーの主な特徴としては以下が挙げられる。

- (a) 従来のデプスゲージと同程度の精度で、面的な広がりを持った腐食等の表面形状を評価できること
- (b) 作業者による測定値のばらつきが、デプスゲージより小さいこと
- (c) 配管等の曲率を有する対象においても形状の再現性が高く、複数回の測定においても測定値にばらつきが小さいこと

本技術により、作業者の技量によらず、より効率的かつ一定品質の腐食管理を行えることが期待される。

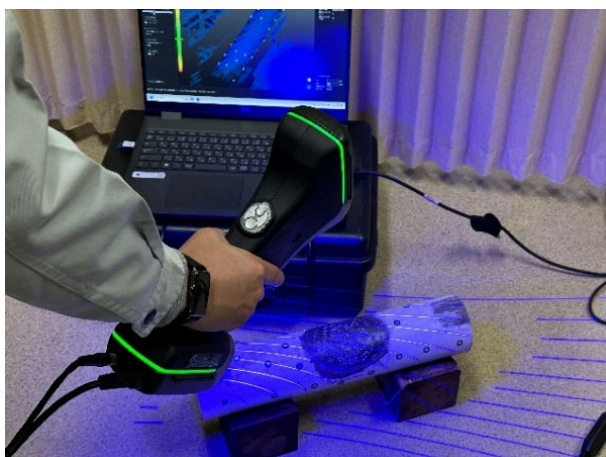


図5-9 ハンディ3Dスキャナー(使用状況)

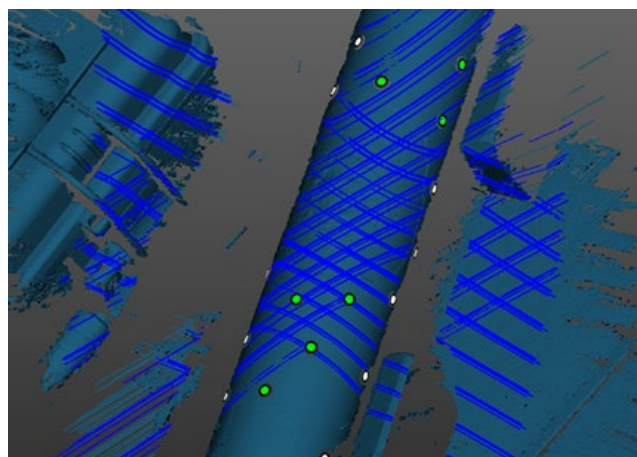


図5-10 スキャン中のPC画面



図 5-11 配管の腐食状況 (写真)

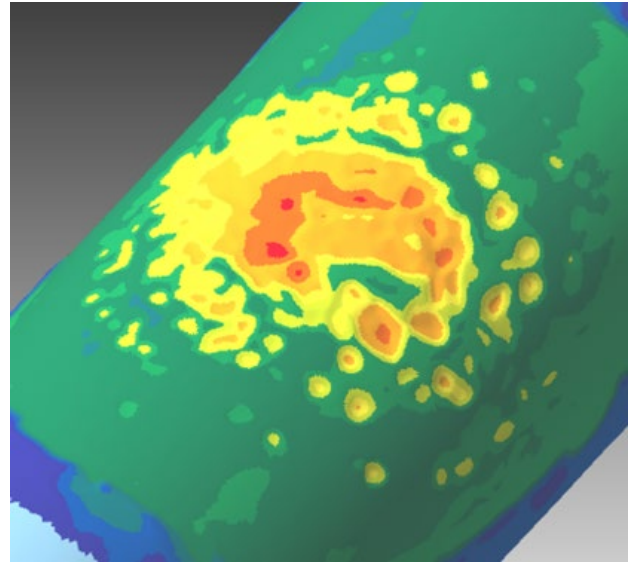


図 5-12 配管の腐食状況 (カラーマップ)

(5) 水圧感知による自動遮断弁

令和 6 年度に報告した津波・水害対策用の水圧感知による自動遮断弁の進捗について報告する。当該弁は小型タンクを対象とした弁であり、動力を要せず配管に追加することができ、既存の機能は損なわず、水圧感知による自動遮断弁の機能を短納期で追加することができる。また、弁の閉止・開通確認は現場にて手動で行うものであり、現場での定期点検等がし易いように工夫がなされている。これまでに 10 基程度実装されたため、現場での設置状況を図 5-13 に示す。

今後、同様に津波・水害対策が進み、危険物施設の安全に寄与することが期待される。



図 5-13 260kL ガソリントankの 150A 浸感弁

添付資料

添付資料 1 検証に用いた機器

添付資料 2 試験片

添付資料 3 検証試験結果

添付資料 4 シミュレーションに関する試験結果報告書