

令和2年度 経済産業省委託

石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業
（バルク貯槽告示検査方法効率化技術及び
L P ガス配管内圧力等の測定・点検システムに
係る調査研究）に関する報告書

〔バルク貯槽告示検査方法効率化技術に係る調査研究〕

令和3年3月

高圧ガス保安協会

目次

1.目的	1
2.事業内容	2
2.1 実施概要	2
2.1.1 全体計画	2
2.1.2 調査研究	2
3.作業工程	5
4.実施体制	6
4.1 委員会等	6
4.2 委員会の構成	6
4.2.1 委員会の構成	6
4.2.2 審議経過	7
5.バルク貯槽の経年劣化度調査	8
5.1 バルク貯槽の選定	8
5.2 非破壊検査の妥当性の検討	37
5.3 内面検査方法の妥当性の検討	67
5.4 外面検査方法の妥当性の検討	129
6.検査手法の作業性評価	166
7.告示検査における技術基準について	234
7.1 告示検査方法について	234
7.2 塗料における技術基準について	240
8.まとめ	242

1. 目的

平成8年の液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律（以下「液石法」という。）の改正（平成9年4月施行）により民生用バルク供給システムが導入され、これまでに30万基以上のバルク貯槽が生産された。これらのバルク貯槽には、液石法第16条第2項に基づく同法施行規則第16条第22号の規定に従って、製造後20年までに初回の告示検査を、2回目以降の告示検査は5年以内の周期で実施することが義務づけられている。

バルク貯槽の告示検査は、外観検査、耐圧試験、気密試験からなり、2回目以降の告示検査も初回と同様の検査を実施するため、作業性、経済性等の観点から多くは再検査せずに廃棄され、新規のバルク貯槽の設置がなされている。

また、平成9年からバルク貯槽の製造事業者数は半減しており、今後、告示検査を迎えるバルク貯槽の基数が漸次増加するにあたり、バルク貯槽の安定的な供給がなされないことが懸念されている。

従って、今後、バルク貯槽の経年劣化調査及び残留ガス分析等の実施、評価を行うことにより、初回の告示検査以降の告示検査方法の合理化を行い、バルク貯槽の長期使用の実現を行うことを目的とする。

2. 事業内容

2.1 実施概要

本調査事業は、2.1.1 に掲げる全体計画に基づき、2.1.2 に掲げる調査研究を実施する。

2.1.1 全体計画

(1)全体計画

本事業では、バルク貯槽の安全性の確保を前提として、初回告示検査を行ったバルク貯槽を対象に経年劣化等に関する調査を行い、その傾向と要因を分析して2回目以降の告示検査方法の合理化の可能性について検討し、技術的な観点から告示検査方法の在り方を提言する。

また、製造後の経過年数が20年目を迎えるバルク貯槽に対して、初回告示検査における検査手法の再検討を行い、2回目以降の告示検査を合理化する上で安全性の担保ができる手法の可能性があるかについても技術的な観点から提言を行う。

検査の作業性の観点についても検討を行い、安全性を担保した上で告示検査を行う手法について検討を行う。

(2)実施項目

本事業の実施項目は、次のとおりとする。

- ①バルク貯槽製造事業者へのアンケート、ヒアリング
- ②バルク貯槽の経年劣化度調査
- ③検査手法の作業性評価
- ④技術基準案の作成

2.1.2 調査研究

(1)バルク貯槽告示検査方法効率化技術調査研究

①外面検査の妥当性の検討

初回告示検査から2回目以降の告示検査の間において、バルク貯槽の外面腐食が進行していないか確認を行い、必要な検査周期について検討を行う。

また、地域による外面腐食の進行度の差異及び塗装の種類による健全性についても評価を行う。

【令和2年度実施内容】

令和元年度事業においては、沿岸地域に設置されたバルク貯槽の外面腐食について調査し、バルク貯槽の部位ごとにおける腐食傾向及び塗膜厚さについての確認を行った。一部のバルク貯槽においては、塗膜が剥離している状況が明らかになった。

令和2年度においては、令和元年度の結果より、塗装の耐久性能について調査を

行い、外面腐食を防止するための点検・メンテナンスについて検討を行う。

②内面検査方法の妥当性の検査

初回告示検査から2回目以降の告示検査の間において、バルク貯槽内の残留ガスが腐食性のあるものか等を分析し、バルク貯槽内の内面腐食が進行されていないか確認を行い、必要な検査周期について検討を行う。

【令和2年度実施内容】

令和元年度事業においては、告示検査後に再設置されたバルク貯槽の内面の腐食状況の確認を行い、供用中のバルク貯槽の腐食・劣化状況の有無及びガス成分組成について確認を行った。確認試験を行ったバルク貯槽においては、腐食の発生は確認されなかった。

令和2年度においては、令和元年度に引き続き、別の供用中のバルク貯槽の腐食・劣化状況の有無及びバルク貯槽内のガス成分組成について確認を行い、実証サンプル数を増やすことによりさらなる安全性の検証を行う。

③非破壊検査の妥当性の検討

初回告示検査から2回目以降の告示検査の間において、初回告示検査での補修箇所や検査していない部分に割れ等の有害なきずがないかを確認し、必要な検査周期について検討を行う。

【令和2年度実施内容】

令和元年度事業においては、バルク貯槽の外面溶接線に対し非破壊試験を行い、割れ等の有害なきずがないかについての試験を行った。確認試験を行ったバルク貯槽においては、割れ等の有害なきずは確認されなかった。

令和2年度においては、令和元年度に引き続き、別の供用中のバルク貯槽の外面溶接線に対し非破壊試験を行い、割れ等の有害なきずがないか確認を行い、実証サンプル数を増やすことによりさらなる安全性の検証を行う。

(2)検査手法の作業性評価

2回目以降の告示検査も初回と同様の検査を実施するためには、バルク貯槽を設置場所から撤去・運搬し、バルク貯槽内のLPガスを回収してから作業を行わなければならない、作業性、経済性等の観点から負荷が大きい。

バルク貯槽の設置場所で告示検査を実施する場合の作業性について評価を行い、安全性の担保ができる方法の可能性について検討を行う。

【令和2年度実施内容】

令和元年度事業においては、バルク貯槽の設置場所において非破壊試験が可能で

ある密閉型磁粉探傷試験の作業性及び安全性についての評価を行った。作業状況においてはすべての溶接線において密閉型磁粉探傷試験を適用できない結果であった。また、塗膜上からの探傷において課題があることが明らかになった。

令和2年度においては、他の手法により作業性及び安全性が担保される試験方法について検討を行う。

(3)技術基準案の作成

初回の告示検査以降の告示検査方法の合理化を行い、バルク貯槽の長期使用の実現を図るため、(1)、(2)の検討結果に基づき、技術基準案を策定し、検討を行う。併せて技術基準で引用している JIS の更新を行う。

【令和2年度実施内容】

令和元年度事業においては、実証試験を行い、告示検査方法の合理化案についての検討がなされた。

令和2年度においては、当初の計画のとおりさらなる実証試験により安全性の確認を行い、初回告示検査の次回告示検査の合理化方法の技術基準案の作成を行う。またそれ以降の告示検査についても合理化方法について検討を行い、技術基準案を提示する。バルクにかかる技術基準において引用され JIS が既に廃止しているものがあることから、後継の JIS を調査し技術基準案に反映する。

上記(1)~(3)の実施に当たって、実施計画の作成、実施結果の評価、提言等に関して専門的観点から助言を受け、事業の円滑な推進を図るため、学識経験者、機器メーカー、液化石油ガス販売事業者等からなる委員会（委員：8名程度）をそれぞれ設置し、実施期間中にそれぞれ3回程度開催する。それぞれの委員会に所属する委員がいることが想定されるため、委員会の実施に当たっては可能な限り効率化を図ることとする。

3.作業工程

実施項目	令和2年								令和3年				
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
バルク貯槽の経年劣化度調査		→											
検査手法の作業性評価			→										
技術基準案の作成		→											
委員会の開催	○					○		○			○		

4.実施体制

4.1 委員会等

本調査事業の実施に当たり、調査内容に対して専門的な観点から助言を受け、その円滑な推進を図るため、学識経験者、行政、液化石油ガス輸入事業者、液化石油ガス販売事業者、液化石油ガス容器検査事業者、バルク貯槽メーカー等から構成する委員会を設置した。

4.2 委員会の構成

本調査事業の実施に当たり、実験及び結果の分析・評価等に対して専門的な観点から助言を受け、その円滑な推進を図るため、学識経験者、行政、液化石油ガス輸入事業者、液化石油ガス販売事業者、液化石油ガス容器検査事業者、バルク貯槽メーカー等から構成する委員会を設置した。

4.2.1 委員会の構成

バルク貯槽告示検査方法効率化技術調査研究委員会（敬称略、委員長以下五十音）

【委員長】

澤 俊行 広島大学 名誉教授
青木 隆平 東京大学 大学院工学系研究科 教授
飯田 正史 一般社団法人全国LPガス協会 保安部 保安技術担当部長
笠井 尚哉 横浜国立大学 環境情報研究院 准教授
小新 達彦 コーシン産業株式会社 代表取締役社長
三宮 毅之 富士工器株式会社 バルクプロジェクト部 部長
鈴木 謙 一般社団法人日本塗料工業会 技術部 部長（令和3年1月まで）
大澤 隆英 一般社団法人日本塗料工業会 安全環境部長（令和3年2月から）
田口 文男 アストモスエネルギー株式会社 国内事業本部 技術部 副部長
原田 巖 株式会社原田運輸 代表取締役
間宮 慎一 株式会社サイサン 執行役員 保安部 部長
山崎 貞男 サンリン株式会社 技術顧問

【オブザーバー】

川村 五作 一般社団法人日本溶接容器工業会 専務理事
根木 和輝 一般社団法人日本エルピーガスプラント協会 技術部長

【関係者】

経済産業省産業保安グループガス安全室

4.2.2 審議経過

バルク貯槽告示検査方法効率化技術調査研究委員会

第1回 令和2年5月29日（金）～6月4日（木）（書面審議）

- ・本年度の事業計画案について

第2回 令和2年10月28日（水）

- ・バルク貯槽経年劣化度調査 非破壊検査の妥当性の検討 検討状況
- ・バルク貯槽経年劣化度調査 内面検査方法の妥当性の検討 検討状況
- ・バルク貯槽経年劣化度調査 外面検査の妥当性の検討 検討状況
- ・検査手法の作業性の評価 検討状況
- ・バルク告示検査方法 技術基準案について

第3回 令和2年12月21日（月）

- ・バルク貯槽経年劣化度調査 非破壊検査の妥当性の検討 試験結果の報告
- ・バルク貯槽経年劣化度調査 内面検査方法の妥当性の検討 試験結果の報告
- ・バルク貯槽経年劣化度調査 外面検査の妥当性の検討 塗膜試験結果の報告
及び JIS の改正案の議論
- ・検査手法の作業性の評価 試験結果の報告
- ・バルク告示検査方法 技術基準案についての報告

第4回 令和3年3月17日（水）～3月22日（月）（書面審議）

- ・報告書案について

5.バルク貯槽の経年劣化度調査

本調査事業では、令和元年度の調査事業に引き続き、初回の告示検査に合格したバルク貯槽（以下「初回告示検査合格貯槽」という。）を、供給設備に再設置したバルク貯槽の2回目の告示検査方法の効率化の可能性について検討し、技術的な観点から2回目以降の告示検査方法の在り方について提言する。

現に供給設備として再設置され、使用されている初回告示検査合格貯槽を対象とし、初回告示検査以降、5年以内に行わなければならない2回目以降の告示検査方法の効率化の可能性を検討するために、次に示す調査を行った。

5.1 バルク貯槽の選定

初回告示検査合格貯槽の経年劣化の状態を分析するため、再設置され、かつ使用されている初回告示検査合格貯槽を試験体として調達した。試験体の調達計画を次の(1)に、調達した試験体を次の(2)に示す。

(1)調達計画

試験体となる初回告示検査合格貯槽は、供給設備として、消費先に設置した後、設置年数を積んだものを対象に、次に掲げる条件等を優先し表 5.1-1 に示す基数を調達した。

- ①再設置されてから、使用期間の長い貯槽を選定する。なお、残留ガスを回収するため、当該回収を実施するまで消費先に設置されているものであること。
- ②初回告示検査において、溶接線又は熱影響部に欠陥が検出され、グラインダー補修を行っている貯槽であること。
- ③地上設置式のバルク貯槽であり、横型・縦型は問わない。
- ④バルク貯槽の製造事業者は特定しない。
- ⑤消費先の形態は問わない。

表 5.1-1 試験体の調達計画

事業者	地域	調達基数	備考
A	関東近辺	5基	300kg 貯槽：2基 500kg 貯槽：2基 985kg 貯槽：1基

※令和元年度事業においては、10基のバルク貯槽を調査。

(2) 調達した試験体

調達した試験体の経過年数、充填回数などの使用履歴概要を表 5.1-2 に、試験体の設置先の状況履歴にかかる周辺図を図 5.1-1～5.1-5 に示す。また非破壊試験着手前の試験体の様子を図 5.1-6～5.1-7 に示す。

表 5.1-2 調達した試験体

事業者	試験体番号	容量 kg	型式 種別	バルブ 貯槽 製造 業者	製造年月 / 使用開始年月	告示検査前の使用状況			初回告示 検査年月	再設置後の使用状況					
						使用 年月	消費者 種別	累計 LPガス 消費量 kg		再設置 年月	再使用 年月	消費者 種別	累計 LPガス 消費量 kg	累計 充填 回数	備考
A	A-1	298	横置型 上取出	a社	1998年 1月 / 1998年 5月	19年 3ヶ月	業務用 福祉施設	8,316	2017年 12月	2018年 4月	2年 2ヶ月	集合住宅	5,876	30	
	A-2	298	横置型 上取出	a社	1998年 1月 / 1998年 6月	19年 2ヶ月	戸建住宅	6,302	2017年 11月	2017年 12月	2年 6ヶ月	戸建住宅	1,152	5	
	B-1	498	横置型 上取出	a社	1999年 1月 / 1999年 5月	18年 1ヶ月	業務用 事務所	125,81 6	2017年 7月	2017年 8月	2年 10ヶ月	集合住宅	6,133	19	
	B-2	498	横置型 上取出	a社	1999年 1月 / 1999年 6月	18年 10ヶ月	集合住宅	47,098	2018年 5月	2018年 5月	2年 1ヶ月	集合住宅	4,345	21	
	C-1	985	横置型 上取出	a社	1999年 1月 / 1999年 4月	17年 4ヶ月	業務用 コイントリ	167,56 4	2018年 4月	2018年 9月	1年 9ヶ月	業務用 事務所	4,015	6	

	告示検査以前設置（期間 19 年 3 ヶ月）	告示検査以降設置（期間 2 年 2 ヶ月）
設置 周辺 環境	<p>A-1: バルク貯槽(298kg) 初回告示検査以前の設置先</p>  <p>A-1: バルク貯槽(298kg) 初回告示検査以前の設置先</p> 	<p>A-1: バルク貯槽(298kg) 初回告示検査以後の設置先</p>  <p>A-1: バルク貯槽(298kg) 初回告示検査以後の設置先</p> 
設置 状況		 <p>貯蔵設備建屋内に設置</p>

図 5.1-1 試験体設置状況 A-1 試験体 298kg 横置型

	告示検査以前設置（期間 19 年 2 ヶ月）	告示検査以降設置（期間 2 年 6 ヶ月）
設置 周辺 環境	<p>A-2:バルク貯槽(298kg) 初回告示検査以前の設置先</p>  <p>A-2:バルク貯槽(298kg) 初回告示検査以前の設置先</p> 	<p>A-2:バルク貯槽(298kg) 初回告示検査以後の設置先</p>  <p>A-2:バルク貯槽(298kg) 初回告示検査以後の設置先</p> 
設置 状況		

図 5.1-2 試験体設置状況 A-2 試験体 298kg 横置型

	告示検査以前設置（期間 18 年 1 ヶ月）	告示検査以降設置（期間 2 年 10 ヶ月）
設置 周辺 環境	<p>B-1:パルク貯槽(498kg) 初回告示検査以前の設置先</p>  <p>B-1:パルク貯槽(498kg) 初回告示検査以前の設置先</p> 	<p>B-1:パルク貯槽(498kg) 初回告示検査以後の設置先</p>  <p>B-1:パルク貯槽(498kg) 初回告示検査以後の設置先</p> 
設置 状況	 <p>現在、撤去後再設置無し</p>	

図 5.1-3 試験体設置状況 B-1 試験体 498kg 横置型

	告示検査以前設置（期間 18 年 10 ヶ月）	告示検査以降設置（期間 2 年 1 ヶ月）
設置周辺環境	<p>B-2:パルク貯槽(498kg) 初回告示検査以前の設置先</p>  <p>B-2:パルク貯槽(498kg) 初回告示検査以前の設置先</p> 	<p>B-2:パルク貯槽(498kg) 初回告示検査以後の設置先</p>  <p>B-2:パルク貯槽(498kg) 初回告示検査以後の設置先</p> 
設置状況	 <p>集合住宅の奥に設置</p>	

図 5.1-4 試験体設置状況 B-2 試験体 498kg 横置型

	告示検査以前設置（期間 17 年 4 ヶ月）	告示検査以降設置（期間 1 年 9 ヶ月）
設置周辺環境	<p>C-1: バルク貯槽 (985kg) 初回告示検査以前の設置先</p>  <p>C-1: バルク貯槽 (980kg) 初回告示検査以前の設置先</p> 	<p>C-1: バルク貯槽 (985kg) 初回告示検査以後の設置先</p>  <p>C-1: バルク貯槽 (980kg) 初回告示検査以後の設置先</p> 
設置状況	 <p>現在、 50 kg 容器集合装置に変更</p>	

図 5.1-5 試験体設置状況 C-1 試験体 985kg 横置型

<p>A-1 298kg 告示検査合格年月 2017/12 再使用経過年月 2年2ヶ月</p>	
<p>A-2 298kg 告示検査合格年月 2017/11 再使用経過年月 2年6ヶ月</p>	
<p>B-1 498kg 告示検査合格年月 2017/7 再使用経過年月 2年10ヶ月</p>	

図 5.1-6 調達した試験体

<p>B-2 498kg 告示検査合格年月 2018/5 再使用経過年月 2年1ヶ月</p>	
<p>C-1 985kg 告示検査合格年月 2018/4 再使用経過年月 1年9ヶ月</p>	

図 5.1-7 調達した試験体

5.1.1 告示検査方法による試験結果

調達した5基の試験体について、次に掲げる仕様により、経年劣化度の調査を行った。

(1) 外面検査の妥当性の検討

各初回告示検査合格貯槽の検査報告書を基に、以下の項目について、経年劣化による影響の確認を行った。

- ・ 外面目視検査
- ・ 外面肉厚測定（初回測定値との比較）

※各試験は、「バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHK S 0745」を参照して行った。

①外面目視検査

目視による検査は、腐食、割れ、きず、変形等の欠陥は認められなかった。結果を表 5.1.1-1 に示す。また、A-1 検体については内面目視をファイバースコープにより行ったところ腐食、割れ、きず、変形等の欠陥は認められなかった。内面目視検査の様子を図 5.1.1-1 に示す

表 5.1.1-1 外面目視検査の結果

試験体 番号	耐圧部分		プロテクター		備 考
	初回 告示検査	今回 調査結果	初回 告示検査	今回 調査結果	
A-1	合格	合格※	合格	合格	※内面目視検査実施：合格
A-2	合格	合格	合格	合格	—
B-1	合格	合格	合格	合格	—
B-2	合格	合格	合格	合格	—
C-1	合格	合格	合格	合格	—

試験 体 番号	A-1 298kg 貯槽内面 左	A-1 298kg 貯槽内面 右
下部		
中間 部		
上部		

図 5.1.1-1 バルク貯槽 A-1 試験体 ファイバースコープによる内面観察

①鋼板の厚さ測定

5 試験体の耐圧部分を対象として、表 5.1.1-2 検査手順書及び、図 5.1.1-2 に基づき測定点を選定し、外面から鋼板の厚さ測定を行った結果について、初回告示検査の鋼板の厚さ測定を行った結果を併記し、表 5.1.1-3～表 5.1.1-4 に示す。

表 5.1.1-2 検査手順書

検査手順書（指示書）	バルク貯槽の鋼板の厚さ測定	2020.06
<p>イ) 鋼板の厚さ測定装置は超音波厚さ計（多重エコー方式）を用いる。</p> <p>ロ) 肉厚測定は超音波厚さ測定試験技術者資格者（レベル 1 以上）が行う。</p> <p>ハ) 装置の調整は測定開始前に厚み対比試験片を用いて行う。</p> <p>ニ) 測定点は、KHKS 0745 バルク貯槽の告示検査等に関する基準による。</p> <p>ホ) 測定は、塗装被膜上から行う。</p> <p>ヘ) 触媒質はマシーン油とする。</p> <p>ト) 測定点は 2 回測定法による。腐食の著しい部分は（30φ）多点測定法とする。</p> <p>《判定 及び 処置》</p> <p>イ) 製作時の最小厚さ及び前回の測定値と比較して判定する。</p> <p>ロ) 測定した厚さが最小厚さを越える場合は合格とする。</p> <p>ハ) 測定した厚さが最小厚さを割り込む場合は不合格とする。</p> <p>ニ) 腐食部分はグラインダーを用い、母材表面に対し（1/3）勾配以下となるよう、なだらかに仕上げた後、磁粉探傷試験を行い欠陥がないことを確認する。また残存厚さを測定し、最小厚さを割り込まない事を確認する。</p> <p>ホ) その他 KHKS 0745 バルク貯槽の告示検査等に関する基準による。</p>		

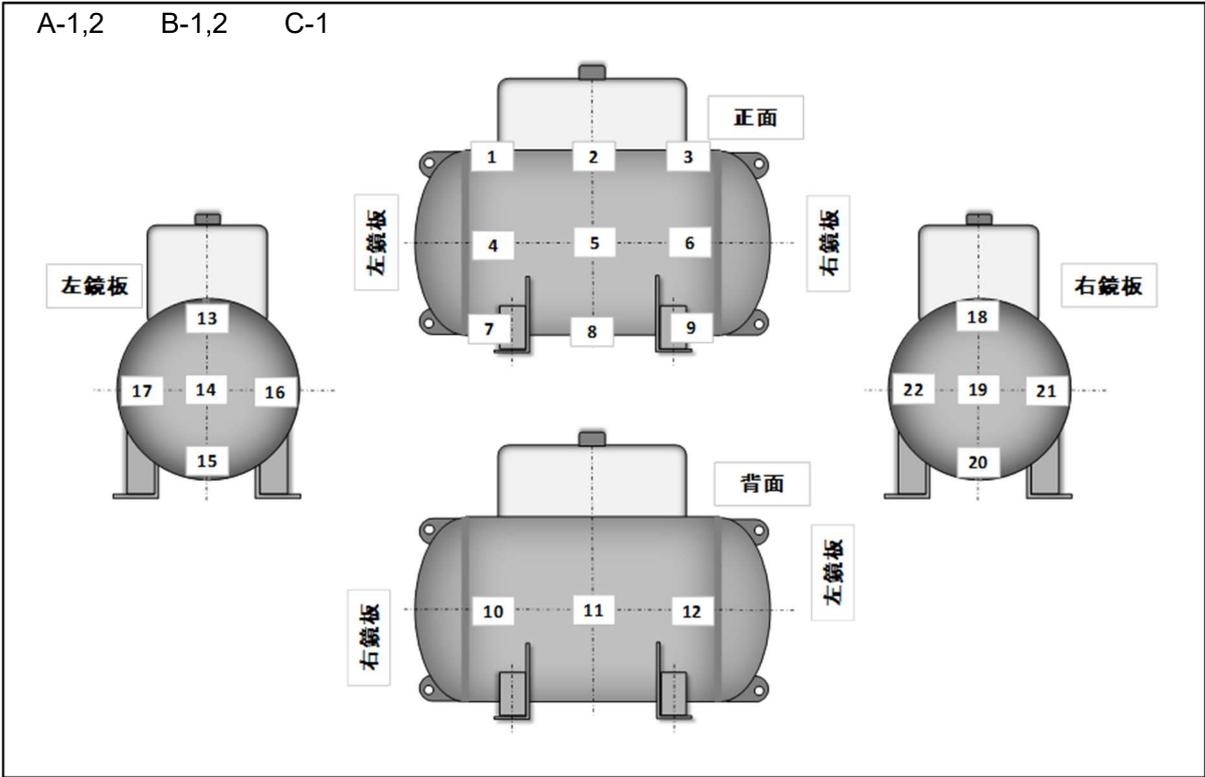


図 5.1.1-2 鋼板の厚さ測定 of 測定点

表 5.1.1-3 鋼板の厚さ測定の結果

※バルク貯槽製造事業者が設計した最小厚さ以上を有しているものを合格とする。

試験体 番号	容量 Kg	型式 種別	仕様		測定結果 単位 : mm													結果				
			使用板厚	最小厚さ	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
A-1	298	横置型 上取出	胴板	6.2	5.89	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定			
						初回	6.2	6.2	6.2	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	6.2	合格
						今回	6.2	6.3	6.2	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	6.1	6.2	6.2	6.1	合格
			鏡板	6.4	5.55	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		—	判定			
						初回	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4	6.3	6.2	6.3	6.3	6.3		—	合格			
						今回	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4		—	合格			
A-2	298	横置型 上取出	胴板	6.2	5.89	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定			
						初回	6.1	6.2	6.1	6.1	6.2	6.1	6.1	6.2	6.1	6.1	6.1	6.2	6.1	合格		
						今回	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	6.1	6.1	6.2	6.1	6.1	6.1	6.2	6.1	合格		
			鏡板	6.4	5.55	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定			
						初回	6.2	6.2	6.3	6.3	6.4	6.3	6.2	6.3	6.3	6.3	6.3	—	—	合格		
						今回	6.4	6.3	6.4	6.3	6.4	6.4	6.3	6.4	6.3	6.4	6.3	6.4	—	—	合格	
B-1	498	横置型 上取出	胴板	7.8	7.36	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定			
						初回	7.8	7.7	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7	7.6	7.7	7.6	7.6	7.6	合格		
						今回	7.8	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	合格	
			鏡板	7.9	6.94	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定			
						初回	7.7	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	—	—	合格		
						今回	7.7	7.6	7.7	7.7	7.8	7.7	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	—	—	合格		

表 5.1.1-4 鋼板の厚さ測定の結果

※バルク貯槽製造事業者が設計した最小厚さ以上を有しているものを合格とする。

試験体 番号	容量 Kg	型式 種別	仕様		測定結果 単位：mm													結果		
			使用板厚	最小厚さ	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
B-2	498	横置型 上取出	胴板	7.8	7.36	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定	
						初回	7.6	7.6	7.7	7.7	7.6	7.6	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7	7.6	合格	
						今回	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6	7.7	7.7	合格	
			鏡板	7.9	6.94	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定	
						初回	7.6	7.6	7.8	7.8	7.7	7.7	7.5	7.8	7.8	7.6	—	—	合格	
						今回	7.8	7.6	7.6	7.7	7.7	7.7	7.6	7.7	7.7	7.7	—	—	合格	
C-1	985	横置型 上取出	胴板	10.0	9.56	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定	
						初回	10.5	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	合格
						今回	10.6	10.5	10.5	10.6	10.5	10.5	10.5	10.5	10.4	10.4	10.5	10.5	合格	
			鏡板	10.0	9.02	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定	
						初回	10.6	10.4	10.3	10.3	10.4	10.3	10.3	10.4	10.3	10.3	—	—	合格	
						今回	10.7	10.4	10.4	10.4	10.6	10.3	10.3	10.4	10.3	10.3	—	—	合格	

①溶接部の磁粉探傷試験

5 試験体にかかる前述(1)調達計画②の要件である、初回告示検査においてTクロス部を含む突合せ溶接部の 20%以上の部分を対象に行った磁粉探傷試験により、溶接線又は熱影響部に確認された欠陥、及び当該欠陥をグラインダー補修により合格とした貯槽の初回告示検査の結果を表 5.1.1-5 に示す。

なお、バルク貯槽の告示検査等に関する基準（KHK S 0745）による。また、合格基準は、KHK S 0745 2.2.3.3 合格基準による

表 5.1.1-5 初回告示検査の磁粉探傷試験の結果

試験体番号	告示検査	試験範囲	欠陥種類	欠陥形状長さ mm	欠陥処置方法	検査結果
A-1	初回	長手・周継手の交差部を含み、溶接部全長の 20%	クレーター割れ	5	グラインダー加工	合格
A-2	初回	長手・周継手の交差部を含み、溶接部全長の 20%	クレーター割れ	5	グラインダー加工	合格
B-1	初回	長手・周継手の交差部を含み、溶接部全長の 20%	クレーター割れ	12	グラインダー加工	合格
			クレーター割れ	5	グラインダー加工	合格
B-2	初回	長手・周継手の交差部を含み、溶接部全長の 20%	オーバーラップ	4	グラインダー加工	合格
			クレーター割れ	11	グラインダー加工	合格
			オーバーラップ	3	グラインダー加工	合格
			クレーター割れ	10	グラインダー加工	合格
			オーバーラップ	4	グラインダー加工	合格
C-1	初回	長手・周継手の交差部を含み、溶接部全長の 20%	クレーター割れ	8	グラインダー加工	合格
			オーバーラップ	4	グラインダー加工	合格
			オーバーラップ	4	グラインダー加工	合格
			クレーター割れ	10	グラインダー加工	合格

(2)外面検査等による試験結果のまとめ

①外面目視検査

バルク貯槽の初回告示検査後、再設置期間がほぼ2年以上のバルク貯槽であるが、塗装の状態は良く、外部表面の汚濁、塗装の劣化は少なく、補修を施すものはなかった。

②鋼板の厚さ測定

表 5.1.1-3～5.1.1-4 のとおり、初回の測定値と今回の測定値において、著しい差異及び減肉はなかった。

③溶接部の磁粉探傷試験

初回告示検査において、全周の 20%の範囲の磁粉探傷試験の結果は、表 5.1.1-5 のとおりであり、グラインダー補修後合格であった。

(3)2回目以降の告示検査について

2回目以降の告示検査において、初回告示検査合格貯槽を再設置し、更に使用したのに対し、表 5.1.1-3～5.1.1-4 の鋼板の厚さ測定の結果をもとに、現に使用された期間における減肉値が、最小厚さを割るまでの余寿命を以下検討条件により推察し、表 5.1.1-6 に示す。

検討条件

腐食進展の形態は各種あるが、材料と環境が決まれば減肉速度は、使用期間に対して一定の速度で進展するものと仮定し、余裕年数を求める。

①材料

- ・現に使用されている材料の強度等の品質は、変わらないものとする。
- ・使用板厚において、製作時の使用板厚の許容差は、プラス以上とする。

②環境

- ・外面の塗装環境等は、変わらないものとする
- ・内面の LP ガスに接する環境は、同様な環境で変わらないものとする。

③初回告示検査で、グラインダー補修した箇所は含まない。

④減肉値は、使用板厚と測定結果の差が最も大きい値より求める。

⑤余寿命は、累計使用期間中の減肉値から算出した減肉速度より、残存する板厚が最小厚さを割らないまでの年数とする。

※別添にて、前記検査及び試験における告示検査の報告書の一例を示す。

表 5.1.1-6 各バルク貯槽の余寿命検討一覧

事業者	試験体番号	容量 Kg	型式 種別	バルク貯槽 製造業者	製造年月 使用開始 年月	累計使用期間				仕様・実際厚さの測定結果 単位：mm						余裕年数 計算
						使用 年月	再使用 年月	累計使用 期間 年	累計消費量 Kg	胴板 鏡板	使用 厚さ	最小 厚さ	測定した 厚さの 最小値	減肉 値	残存厚 さの余 有厚さ	単位：年
A	A-1	298	横置型 上取出	a社	1998年1月 1998年5月	19年 3ヶ月	2年 2ヶ月	21.4年	14,192	胴板	6.2	5.89	6.1	0.1	0.21	44.9
										鏡板	6.4	5.55	6.3	0.1	0.75	160.5
	A-2	298	横置型 上取出	a社	1998年1月 1998年6月	19年 2ヶ月	2年 6ヶ月	21.6年	7,454	胴板	6.2	5.89	6.1	0.1	0.21	44.9
										鏡板	6.4	5.55	6.3	0.1	0.75	160.5
	B-1	498	横置型 上取出	a社	1999年1月 1999年5月	18年 1ヶ月	2年 10ヶ月	20.9年	131,949	胴板	7.8	7.36	7.7	0.1	0.34	71.6
										鏡板	7.9	6.94	7.6	0.3	0.66	20.9
	B-2	498	横置型 上取出	a社	1999年1月 1999年6月	18年 10ヶ月	2年 1ヶ月	20.9年	51,443	胴板	7.8	7.36	7.6	0.2	0.24	25.0
										鏡板	7.9	6.94	7.6	0.3	0.66	45.9
	C-1	985	横置型 上取出	a社	1999年1月 1999年4月	17年 4ヶ月	1年 9ヶ月	19.0年	171,579	胴板	10.0	9.56	10.5/10.4	(0.1)	0.84	159.6
										鏡板	10.0	9.02	10.7/10.3	(0.4)	1.28	60.8

※鋼板の厚さ測定の結果より、今後、同一環境での使用における、余裕年数の最小値は、20.9年であった。

これより、貯槽の内外面において腐食が進展しない環境を維持しつづければ、長期に使用することは可能であると推察する。

※累計消費量に対して、消費量の大小に関わらず減肉値が測定された。

※C-1のように、使用厚さ（使用材料の規格厚さ）に対し、測定した厚さが大きい場合もあった。この場合は、測定した厚さの最も大きい値から、最も小さい値を用いて余裕年数を推定する。

別添

報告書例 試験体番号：A-1

※特定される記載事項は削除。

様式1

バルク貯槽の告示検査
(バルク貯槽の技術基準適合確認を含む)
検査結果報告書

検査事業者名： _____

評価者名： _____ ㊞

告示検査実施日： _____

次回検査の日 バルク貯槽： _____

次回検査の日 安全弁： _____

次回検査の日 附属機器(安全弁を除く)： _____

告示検査種別	初回:バルク貯槽製造後20年以内検査	2017年12月13日
	二回:バルク貯槽製造後25年以内検査	
	三回:バルク貯槽製造後30年以内検査	
	四回:バルク貯槽製造後35年以内検査	

検査実施期間 : 自 _____ ~ 至 _____

特定設備検査合格証番号: _____

バルク貯槽告示検査： 2 回検査結果報告書

適用検査基準： バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHK S 0745

検査事業者名及び住所		検査実施者	
		評価者	
協力事業者名及び住所		作業実施者	
		備考	
特定設備検査合格証番号		合格証発行年月日	
内容積	0.745m ³ (298kg)	型式	地上
製造メーカー			横型

告示検査の履歴

初回検査年月日：	2017年12月13日	2回検査年月日：	
3回検査年月日：		4回検査年月日：	

検査実施者・結果

検査項目	内容	検査資格者	検査実施者	判定
外部目視試験	様式3-1及び様式3-2参照	検査員		合格
内部目視試験	様式4参照	検査員		合格
肉厚試験	様式5参照	超音波厚さ測定・レベル1		合格
磁粉探傷試験	様式6-1及び様式6-2参照	極間法磁粉探傷検査・レベル1		不合格
浸透探傷試験	様式6-2参照	染色探傷検査・レベル1		不合格
気密試験	様式7参照	検査員		不合格
			判定	不合格

付属機器

番号	名称	製品型式	製造メーカー	製造番号	製造年月
1	安全弁				
2	安全弁元弁				
3	液取出し弁				
4	液取マルチ弁				
5	液面計				
6	液受入用カップリング				
7	マルチバルブ				
8	液受入弁				
9	過充填防止装置				
10	ガス取出弁				
11	均圧弁				
12	均圧弁用オスカップリング				

外部目視検査

様式3-1

バルク貯槽告示検査報告書		検査実施年月日			
		検査実施者			
特定設備検査合格証番号				合格証発行年月日	
内容積	0.745m ³ (298kg)		製造メーカー		
設計最小板厚					
胴板	5.89mm		鏡板	5.55mm	
使用板厚					
胴板	6.20mm		鏡板	6.40mm	
外部目視検査		a) 耐圧部		※腐食、割れ、きず、変形などの有無	
符号	欠陥箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
1					合格
2					
3					
外部目視検査		b) 支柱等(3000kg以上)		※腐食、割れ、きず、変形などの有無	
符号	欠陥箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
1					-
2					
外部目視検査		c) コイル		※腐食、割れ、きず、変形などの有無	
符号	欠陥箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
1					
2					-
外部目視検査		d) プロテクター		※腐食、割れ、きず、変形などの有無	
符号	欠陥箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
1					合格
2					
外部目視検査結果					合格

内部目視検査		様式4			
バルク貯槽告示検査報告書		検査実施年月日			
		検査実施者	①		
特定設備検査合格証番号		合格証発行年月日			
内容積	0.745m ³ (298kg)	製造メーカー			
設計最小板厚					
胴板	5.89mm	鏡板	5.55mm		
使用板厚					
胴板	6.20mm	鏡板	6.40mm		
2.2.2.1 一般 内部目視検査					
内部の汚れ等の除去	ガス置換の方法:	<input checked="" type="checkbox"/> 窒素置換	<input type="checkbox"/> 水置換 <input type="checkbox"/> その他 ()		
内部のLPガス濃度確認	測定濃度:	1.0	%LEL		
内部の目視確認	内部の目視方法:	<input checked="" type="checkbox"/> ファイバースコープ	<input type="checkbox"/> 直接目視		
内部の目視検査結果	※腐食、割れ、きず、使用上有害なきず等の欠陥による減肉又はそれら欠陥を隠すおそれのある著しい錆の有無				
符号	欠陥箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
1					
2					
内部目視検査結果					合格
内部 目視検査 欠陥の詳細図示(下記)及び記事					

肉厚試験

様式5

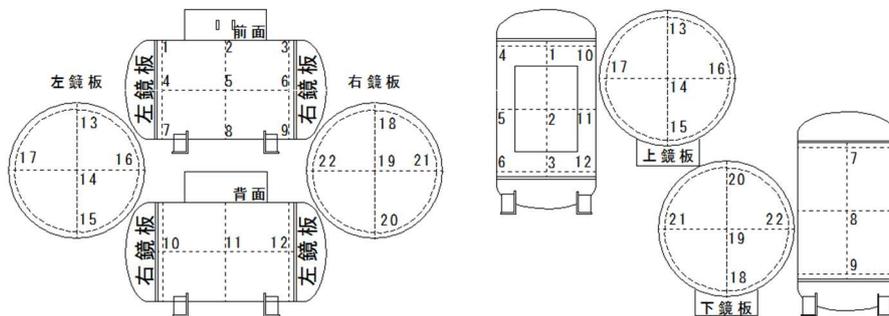
バルク貯槽告示検査報告書	検査実施年月日	2020年6月25日
	検査実施者	㊟

特定設備検査合格証番号		合格証発行年月日	
内容積	0.745m ³ (298kg)	製造メーカー	
設計最小板厚			
胴板	5.89mm	鏡板	5.55mm
使用板厚			
胴板	6.20mm	鏡板	6.40mm
2.2.2.2 検査方法	<input type="checkbox"/> 初めての告示検査		<input checked="" type="checkbox"/> 2回目以降の告示検査
検査方法	JIS Z2355に準拠して行う		
合格基準	バルク貯槽の製造事業者が設計時に算出した最小板厚以上を有するものを合格とする		
測定条件			
測定器形式	超音波厚さ計 UDM-720	試験面仕上げ	塗装面
測定方法	パルス反射方法	音波速度	5930m/s
周波数	5MHz	試験箇所	22 点
接触媒質	マシン油	校正試験片	2mm試験片

試験検査結果 単位mm

測定番号	測定結果 今回 前回	測定番号	測定結果 今回 前回	測定番号	測定結果 今回 前回	
						1 胴板
2 胴板	6.30 (6.20)	11 胴板	6.20 (6.20)	20 鏡板	6.40 (6.30)	
3 胴板	6.20 (6.20)	12 胴板	6.10 (6.20)	21 鏡板	6.40 (6.30)	
4 胴板	6.10 (6.10)	13 鏡板	6.40 (6.40)	22 鏡板	6.40 (6.30)	
5 胴板	6.20 (6.20)	14 鏡板	6.30 (6.30)			
6 胴板	6.20 (6.20)	15 鏡板	6.40 (6.40)			
7 胴板	6.10 (6.10)	16 鏡板	6.40 (6.40)			
8 胴板	6.20 (6.20)	17 鏡板	6.40 (6.40)			
9 胴板	6.10 (6.20)	18 鏡板	6.40 (6.30)			
合格基準: 設計最小肉厚 ≤ 測定最小肉厚					総合判定	合格

※カッコ内は前回測定結果



磁粉探傷試験

様式6-1

バルク貯槽告示検査報告書	検査実施年月日	* 初回告示検査の結果
	検査実施者	-

特定設備検査合格証番号	合格証発行年月日
内容積 0.745m ³ (298kg)	製造メーカー

2.2.3.2 検査方法 磁粉探傷試験

検査方法 JIS Z2320に準拠して行う

合格基準 バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS 0745 2.2.3.3 合格基準による)

試験範囲 ネット及びプロテクター取り付け金具
長手・周継手の交差部を含み、溶接部全長の20%以上

長手方向

周方向

240mm以上

520mm以上

試験機器仕様及び条件

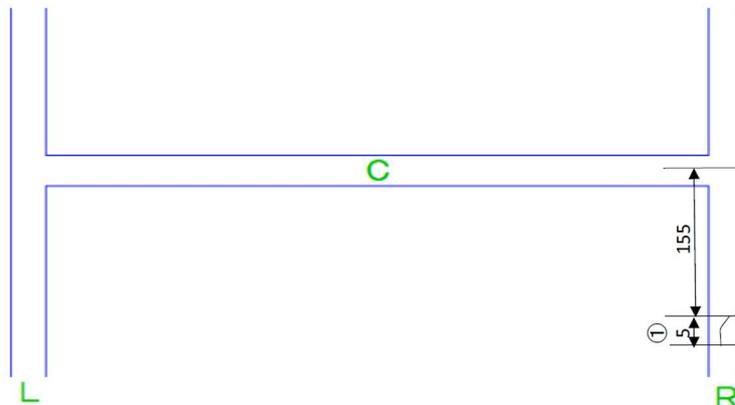
探傷器形式	携帯用種間式磁化装置	使用磁粉	黒色磁粉
紫外線照射灯	-	磁粉濃度	2~10g/l
磁化方法	交流種間法	被試験面仕上	ワイヤーブラシ
起磁力	AC100V	試験片種類	A2-15/50

試験検査結果

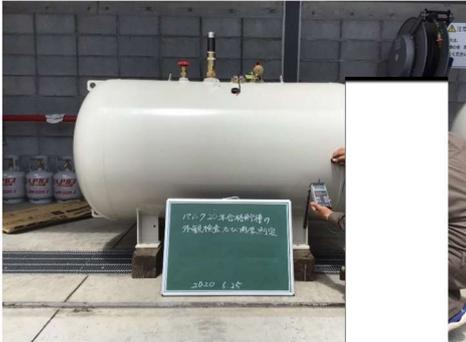
符号	探傷試験箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
①	ネット及びプロテクター取付金具				
②	長手・周継手交差部				
③					
④					
⑤					
⑥					
⑦					
割れによる磁粉模様を検出された場合は不合格				総合判定	-

前回試験結果

符号	探傷試験箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm
1	長手周接手交差部	クレーター割れ	5
2			
3			
4			
5			



写真添付



肉厚測定

2020年 6月25日実施



内部観察

2017年12月6日観察

貯槽下部



内部観察

2017年12月6日観察

貯槽下部



内部観察

2017年12月6日観察

貯槽中部

写真添付



内部観察

2017年12月6日観察

貯槽中部



内部観察

2017年12月6日観察

貯槽上部



内部観察

2017年12月6日観察

貯槽上部



LPG濃度測定

1.0LEL%

2020年 7月 7日測定

写真添付



内部観察

2020年7月7日観察

貯槽下部



内部観察

2020年7月7日観察

貯槽下部



内部観察

2020年7月7日観察

貯槽中部



内部観察

2020年7月7日観察

貯槽中部

写真添付



内部観察

2020年7月7日観察

貯槽中部



内部観察

2020年7月7日観察

貯槽上部



内部観察

2020年7月7日観察

貯槽上部



内部観察

2020年7月7日観察

付属品取付ネック部

液取出し弁ネック

5.2 非破壊検査の妥当性の検討

(1) 調査方法

調達した初回告示検査合格貯槽 5 基の試験体の内外面部表面を対象として、次の①から⑤までに掲げる手順により、目視及び非破壊検査を実施した。

①外面の欠陥部に対する磁粉探傷試験及び鋼板の厚さ測定

外面に生じた錆、腐食、きず、塗装欠陥等の欠陥部を対象として、次の a)及び b)に掲げる試験を以下の順で実施する。

a)磁粉探傷試験

次の 1)から 3)までに掲げる試験等を以下の順で実施する。なお、ここで行う磁粉探傷試験の実施者は、次の 4)に掲げる要件を満足する者とする。

- 1) 磁粉探傷試験を行う前に、外面の目視検査を行い、欠陥部の写真撮影を行う。
なお、欠陥部が点在する場合は 200mm×300mm 程度のエリア毎に写真撮影を行う。
- 2) 各試験体の外面の欠陥部を対象として、日本産業規格 JIS Z 2320-1(2017)非破壊試験-磁粉探傷試験-第 1 部：一般通則（以下「JIS Z 2320-1」という。）による磁粉探傷試験を行えるように、塗膜、錆、汚れ等をワイヤブラシ又はカップブラシにより除去する。
- 3) 上記 2)の作業を行った全ての箇所に対し、次に示す【磁粉探傷試験実施要領】に基づき、JIS Z 2320-1 による磁粉探傷試験を実施する。
- 4) 磁粉探傷試験の実施者は次の事項に示す要件を満足する者とする。
 - ・（一社）日本非破壊検査協会が認定する磁粉探傷試験技術者資格レベル 2 以上の資格を所有している者であること。
 - ・バルク貯槽に類似した形状の圧力容器や高圧ガス設備などの外面又は内面に対して磁粉探傷試験を実施し、その際に現れた磁粉模様（疑似模様を含む。）の判定を適切に行った実績を数多く有する者であること。

b)超音波厚さ計による板厚の測定

次に示す【超音波肉厚測定実施要領】に基づき、JIS Z 2355（2016）「超音波厚さ測定」による板厚の測定を行い、当該箇所における最小の板厚を記録する。欠陥部に対し、グラインダー加工等により外面を滑らかに仕上げた後、板厚の測定を行う。また、各仕上げ箇所の近傍の健全部の板厚の測定も行い、記録する。

【磁粉探傷試験実施要領】

I. 適用

バルク貯槽の経年劣化度調査における磁粉探傷試験の試験方法を規定する。

その他の要領については仕様書に従うものとする。

II. 適用規格

磁粉探傷試験は、JIS Z 2320-1 : 2017「非破壊試験 —磁粉探傷試験— 第一部：一般通則」
(以下 JIS Z 2320-1 という。)に準拠して実施する。

III. 準拠規格

(1) JIS Z2320-1 : 2017 非破壊試験 —磁粉探傷試験— 第 1 部：一般通則

(2) JIS Z2320-2 : 2017 非破壊試験 —磁粉探傷試験— 第 2 部：検出媒体

(3) JIS Z2320-3 : 2017 非破壊試験 —磁粉探傷試験— 第 3 部：装置

(4) JIS Z2323 : 2017 非破壊試験 — 浸透探傷試験及び磁粉探傷試験 — 観察条件

(5) JIS Z2305 : 2013 非破壊試験 — 技術者の資格および認証

IV. 試験要領

磁粉探傷試験は、次の 4.1 から 4.3 までに掲げる試験要領に基づき実施する。

(i) 試験装置

JIS Z 2320-3 に準ずる。

(ii) 標準試験片

標準試験片は JIS Z 2320-1 の付属書 JA 表 JA.1 に示す A2-15/50 又は A2-30/100 を使用する。

(iii) 試験方法

試験方法は JIS Z 2320-1 に準拠し、次の(1)から(10)に示す通りとする。

(1) 磁粉 : SY-7500Sp (栄進化学株式会社製 蛍光磁粉 JIS Z 2320-2 適合品)

(2) 磁粉分散濃度 : 湿式法 0.5 g/L

(3) 磁粉の適用 : 連続法

(4) 磁化電流の種類 : 交流

(5) 磁化方法 : 極間法

(6) 観察条件 : ブラックライト照射下で、試験面の A 領域紫外線強度 10W/m²以上、
照度 20lx 以下。

(7) 試験環境 : 周囲の照度を 20lx 以下にする。

(8) 磁化 : 直交 2 方向。溶接部は溶接線に平行及び直交する 2 方向とする。

(9) 探傷有効範囲 : A 型標準試験片を用い検出が確認できる範囲とする。ただし、両磁極間の内接円で囲まれる範囲を超えず、両磁極近傍の不感帯部を除くものとする。

(10) 探傷ピッチ : 探傷有効範囲が 10%以上オーバーラップすること。

【超音波肉厚測定実施要領】

I. 適用

本図書はバルク貯槽の経年劣化度調査における超音波肉厚測定の試験方法を規定する。
その他の要領については見積仕様書に従うものとする。

II. 適用規格

超音波肉厚測定は、JIS Z 2355 : 2016「非破壊試験-超音波厚さ測定」(以下 JIS Z 2355)に準拠して実施する。

但し、使用する試験装置は JIS Z 2355:2005「超音波パルス反射法による厚さ測定方法」に準拠して点検をしたものを使用する。

III. 試験要領

超音波肉厚測定は、次の (i) ~ (iii) に掲げる試験要領に基づき実施する。

(i) 試験装置

測定に使用する試験装置は、JIS Z 2355:2005 の点検要求に合格したものを使用する。

(ii) 試験方法

試験方法は JIS Z 2355 に準拠し、次の(1)から(3)に示す通りとする。

(1) 接触媒質：ソニコート

(2) 音速の調整：音速を調整するためにバルク貯槽の健全部かつノギス等で厚さが測定することができる位置を用いて音速調整を行う。これは測定開始前に行うこと。

(3) 外面より任意の箇所を測定し、測定値を記録する。

(iii) 前(2)項の確認を測定終了後にも行うこと。許容値は調整した値に対して ± 0.1 mm以内であること。

許容値から外れた場合、前の調整以降からの測定を再度行うこと。

また次の場合にも必ず校正を行うこと。

(1) 試験装置の動作不良などの異常があると判断した場合

(2) 試験装置の全部又は一部を交換した場合

(3) 試験技術者が交代した場合

(4) 電源を再投入した場合

(5) 試験体の材料が異なる場合

(6) 試験装置の温度が著しく変化した場合

IV. 提出書類

検査成績書を必要部数提出する。

②外面の塗膜剥離

ショットブラスト等により、各試験体の外面の塗膜を完全に除去する。

③外面の溶接部の磁粉探傷試験

各試験体の外面の溶接部を対象として、JIS Z 2320-1による磁粉探傷試験を実施する。なお、磁粉探傷試験の実施要領は、① a) 3)に掲げるとおりとする。また、ここで行う磁粉探傷試験の実施者は、① a) 4)に掲げる条件を満足する者とする。

④試験体の切断

バルク貯槽内面検査方法の妥当性の検討において実施する腐食状態の詳細調査に悪影響を及ぼしうる異物混入の低減が可能となる方法（プラズマ溶断による切断等）により各試験体を半分に切断する。

⑤内面検査

切断後の各試験体の内面のうち、内面に生じた錆、腐食、きず等の欠陥部の目視検査及び溶接部を対象として、次の a)～c)までに掲げる試験を実施する。なお、c)にかかる磁粉探傷試験の磁粉探傷試験の実施要領は、① a) 3)に、磁粉探傷試験の実施者については、① a) 4)に準拠することとする。また、内面の腐食にかかる試験の方法は 5.3 内面検査方法の妥当性の検討に後述する。

a) 目視

内面全面を対象に目視を行い、試験体の内面全面に対し写真撮影を行うとともに、内面に著しい腐食などの異常が観察された場合は、当該腐食等箇所に対し写真撮影を行うこととする。

b) 腐食箇所の板厚の測定

内面に著しい腐食などの異常が観察された場合は、当該腐食箇所に対して板厚の測定を行い、測定値を記録することとする。

c) 内面の溶接線に対する磁粉探傷試験

各試験体の内面の溶接線全線を対象として、磁粉探傷試験を実施する。

5.2.1 外面の非破壊検査の結果

(1)外面の外観検査

初回告示検査合格貯槽外面の目視検査及び非破壊検査の結果等を次の①及び②に示す。

①目視検査

調達した初回告示検査合格貯槽の5基は、図 5.2.1-1～5.2.1-2 に示すとおり、平成 29 年 7 月以降に告示検査に合格し、再塗装されていることから、外面には著しい発錆が認められなかった。

試験体の外面は、図 5.2.1-1 のとおり貯槽胴部および鏡部に腐食の点在を認めたが、いずれも錆は小さく、浅いものであった。また貯槽に溶接により取り付けられる吊り金具、脚及びプロテクターの取付けタブ（ターミナル）の溶接線にも図 5.2.1-2 のとおり僅かに錆を認めたが、いずれも後述表 5.2.1-1～6 に示すとおりバルク貯槽の板厚に影響するものは無かった。

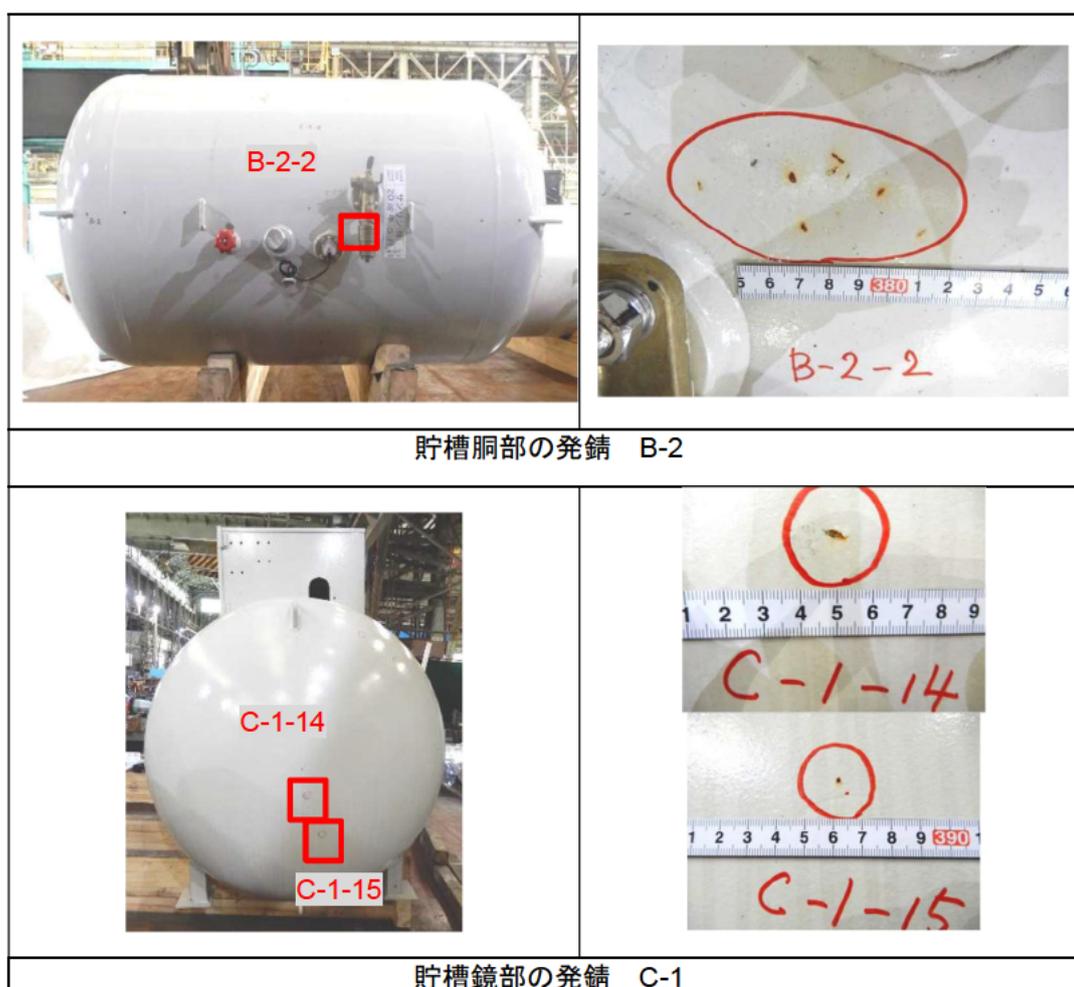


図 5.2.1-1 外面 胴・鏡板の発錆

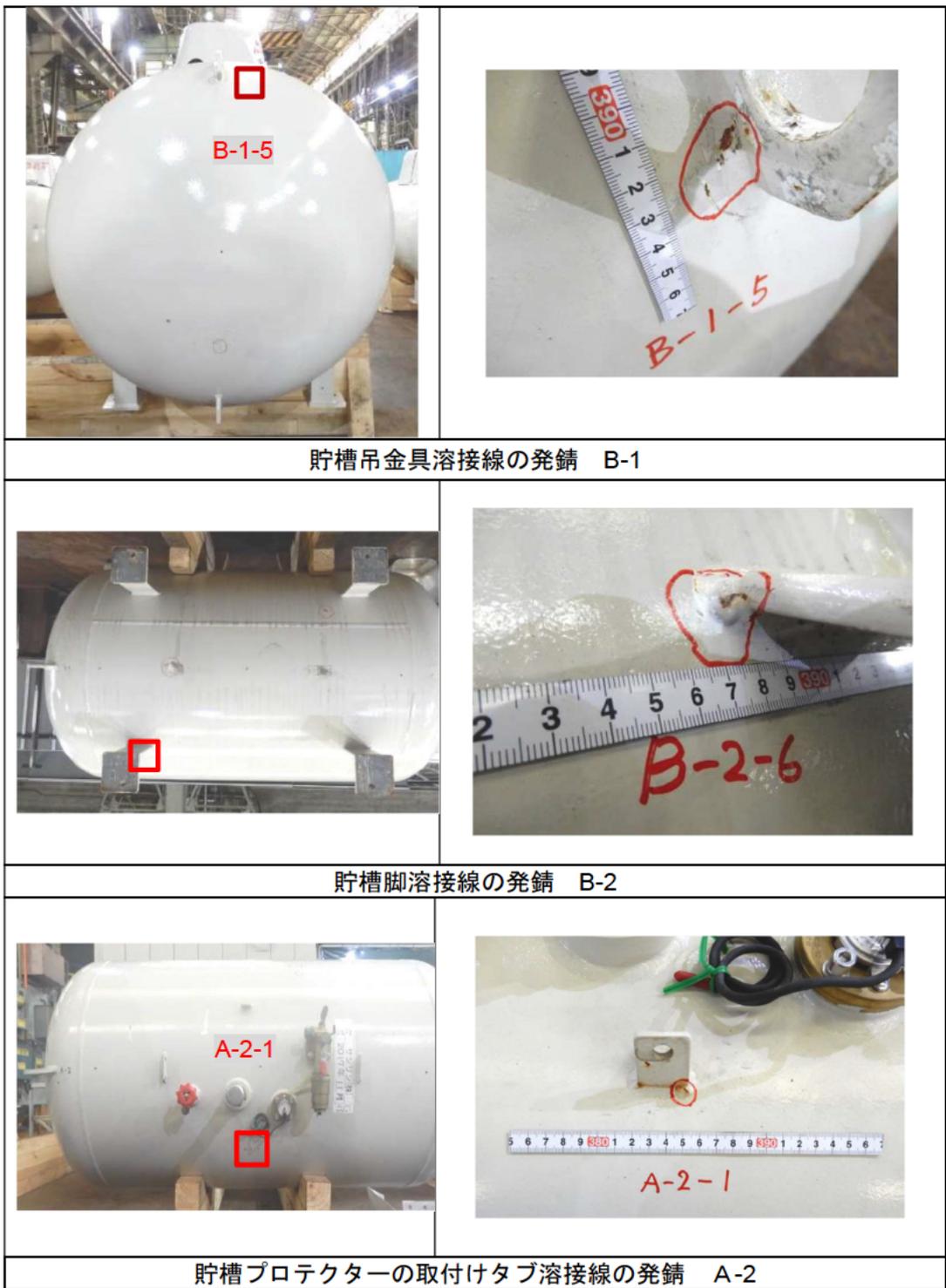


図 5.2.1-2 外面 被吊金具、脚、プロテクターの取付けタブの発錆.

②腐食箇所に対する磁粉探傷試験

①に示す外面目視検査により検出した腐食箇所を対象として、蛍光磁粉探傷試験を実施したところ、いずれの試験体も磁粉模様は検出されなかった。また、当該箇所の周囲に対しグラインダー加工を施した後、蛍光磁粉探傷試験を適用したところ磁粉模様は確認されなかった。磁粉探傷試験の様子を図 5.2.1-3～5.2.1-4 に示す。

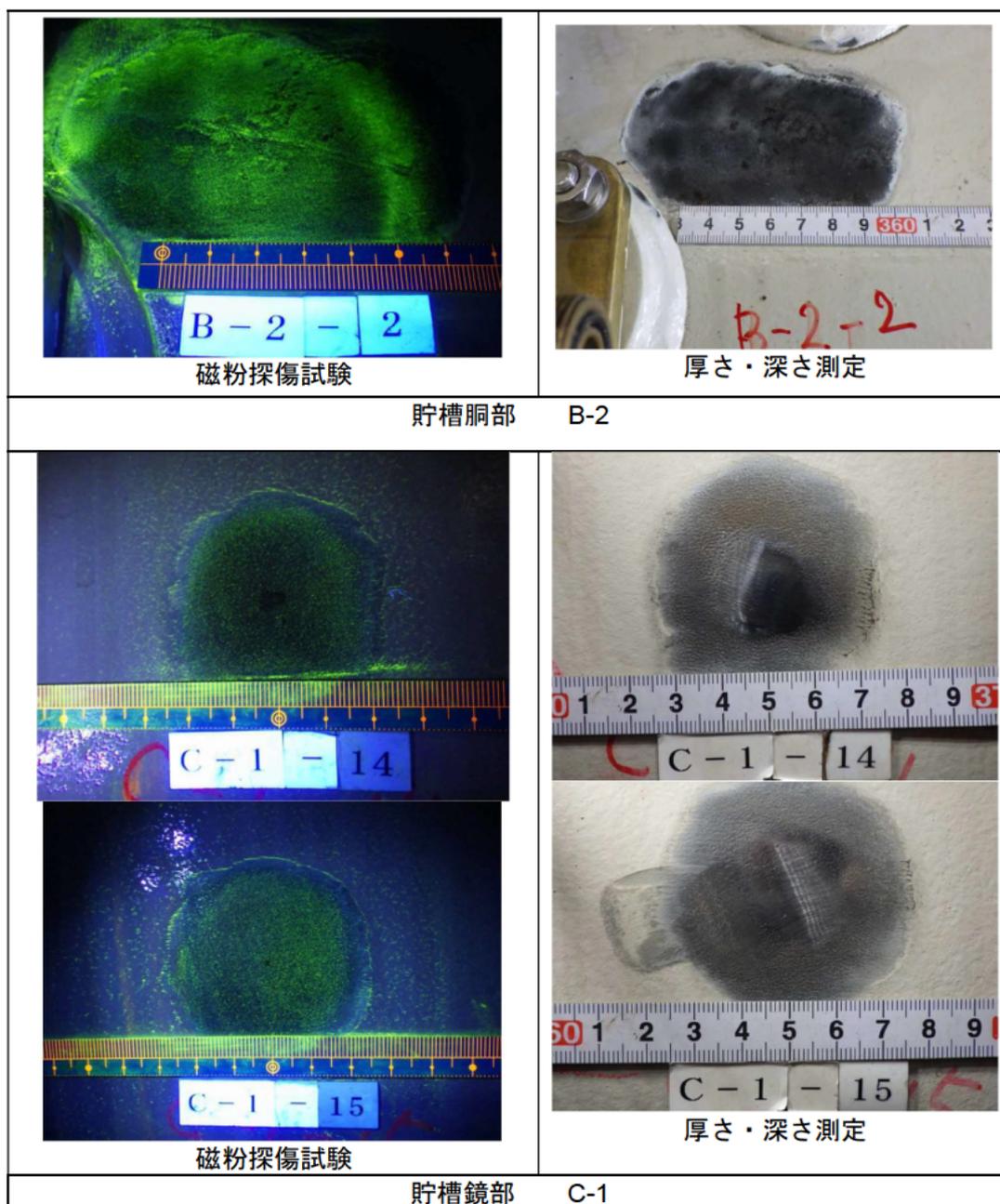


図 5.2.1-3 外面 胴・鏡板の腐食部 磁粉探傷試験・厚さ測定

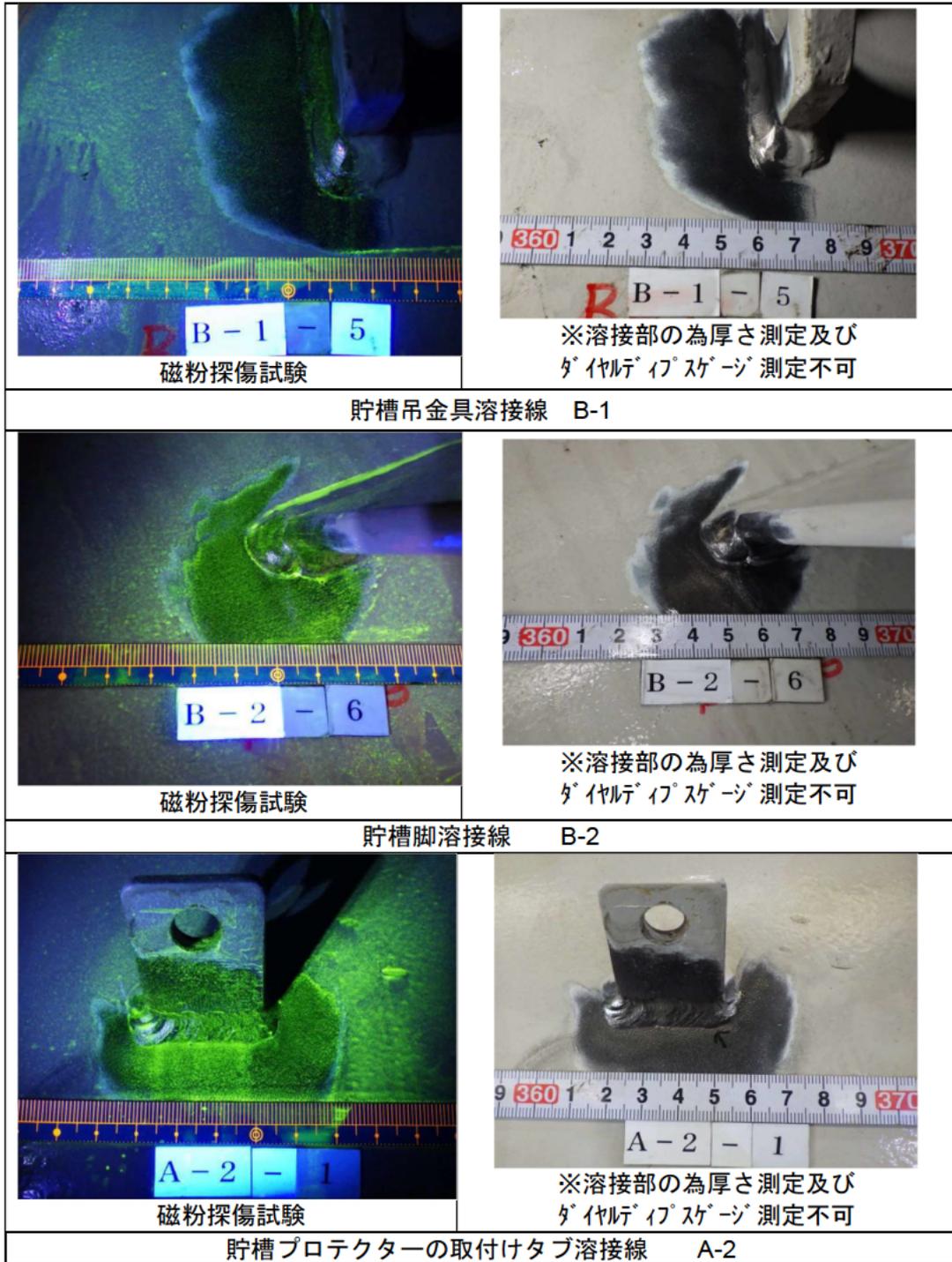


図 5.2.1-4 外面 吊金具、脚、プロテクターの取付け部の腐食部

(2) 腐食箇所に対する超音波厚さ計による板厚の測定結果

仕上げ箇所のグラインダー研磨量及び腐食による減肉率の最大値及び平均値を表 5.2.1-1 示す。調達したバルク貯槽は、腐食減肉箇所は少なく、減肉率としても最大で 1.6%程度であり、板厚余裕代（健全部板厚—最小厚さ）に対して十分な余力を有しており減肉の問題はなかった。なお、A-1、C-1 試験体及び溶接線に係る腐食はグラインダー研磨仕上前にダイヤルディプスゲージにより計測することができなかった。表 5.2.1-2～5.2.1-6 に、各試験体のグラインダー研磨仕上げ後における減肉量の評価結果の一覧を示す。

表 5.2.1-1 仕上げ箇所のグラインダー研磨量及び減肉率の最大値及び平均値

試験体番号	仕上げ箇所数	グラインダー最大研磨位置板厚 (mm)			*1) グラインダー研磨量 (mm)		*2 減肉率) (%)	
		①計算板厚	②健全部板厚	②-①余裕代	最大	平均	最大	平均
A-1	3	5.55	6.32	0.77	0.10	0.09	1.6%	1.4%
A-2	1	5.89	6.17	0.28	0.05	0.05	0.8%	0.8%
B-1	5	6.94	7.71	0.77	0.08	0.05	1.0%	0.7%
B-2	8	7.36	7.68	0.32	0.05	0.04	0.7%	0.5%
C-1	21	9.02	10.35	1.33	0.11	0.06	1.1%	0.6%

*1) グラインダー研磨量=健全部の板厚 (mm) - グラインダー部最小の板厚(mm)

*2) 減肉率(%) = グラインダー研磨量(mm) / 健全部の板厚(mm) × 100

表 5.2.1-2 試験体 A-1 グラインダー仕上げ後の減肉量の評価結果一覧(mm)

仕上げ	計算板厚	*3) 健全部板厚	グラインダー部最小の板厚	グラインダー研磨量	減肉率 (%)	グラインダー前ダイヤルディプスゲージ計測値
1-1 鏡部	5.55	6.34	6.27	0.07	1.1%	—
1-2 鏡部	5.55	6.32	6.22	0.10	1.6%	—
1-3 鏡部	5.55	6.41	6.32	0.09	1.4%	—
1-4 溶接線(吊)	—	—	—	—	—	—

*3) 健全部板厚：仕上げ箇所の近傍の板厚

表 5.2.1-3 試験体 A-2 グラインダー仕上げ後の減肉量の評価結果一覧 (mm)

仕上げ	計算板厚	*3)健全部板厚	グラインダー部最小の板厚	グラインダー研磨量	減肉率 (%)	グラインダー前ダイヤルテストゲージ計測値
2-1 溶接線(タブ)	—	—	—	—	—	—
2-2 溶接線 (吊)	—	—	—	—	—	—
2-3 胴部	5.89	6.17	6.12	0.05	0.8%	0.04
2-4 溶接線 (吊)	—	—	—	—	—	—

表 5.2.1-4 試験体 B-1 グラインダー仕上げ後の減肉量の評価結果一覧(mm)

仕上げ	計算板厚	*3)健全部板厚	グラインダー部最小の板厚	グラインダー研磨量	減肉率 (%)	グラインダー前ダイヤルテストゲージ計測値
1-1 胴部	7.36	7.68	7.63	0.05	0.7%	0.03
1-2 胴部	7.36	7.68	7.63	0.05	0.7%	0.04
1-3 胴部	7.36	7.72	7.68	0.04	0.5%	0.04
1-4 鏡部	6.94	7.71	7.63	0.08	1.0%	—
1-5 溶接線 (吊)	—	—	—	—	—	—
1-6 鏡部	6.94	7.63	7.58	0.05	0.7%	—
1-7 溶接線 (脚)	*5) —	—	—	—	—	—
1-8 溶接線 (吊)	*5) —	—	—	—	—	—

表 5.2.1-5 試験体 B-2 グラインダー仕上げ後の減肉量の評価結果一覧(mm)

仕上げ	計算板厚	*3)健全部板厚	グラインダー部最小の板厚	グラインダー研磨量	減肉率 (%)	グラインダー前ダイヤルテストゲージ計測値
2-1 胴部	7.36	7.71	7.68	0.03	0.4%	0.05
2-2 胴部	7.36	7.68	7.63	0.05	0.7%	0.02
2-3 胴部	7.36	7.71	7.68	0.03	0.4%	0.05
2-4 鏡部	6.94	7.73	7.68	0.05	0.6%	0.05
2-5 胴部	7.36	7.73	7.71	0.02	0.3%	0.04
2-6 溶接線 (脚)	—	—	—	—	—	—
2-7 鏡部	6.94	7.66	7.61	0.05	0.7%	—
2-8 鏡部	6.94	7.78	7.76	0.02	0.3%	—
2-9 胴部	7.36	7.71	7.66	0.05	0.6%	0.01

表 5.2.1-6 試験体 C-1 グライダ-仕上げ後の減肉量の評価結果一覧(mm)

仕上げ		計算板厚	*3) 健全部 板厚	グライダ-部 最小の板厚	グライダ- 研磨量	減肉率 (%)	グライダ-前 ダイヤル・フスケーシ ン計測値
1-1	胴部	9.56	10.51	10.46	0.05	0.5%	0.02
1-2	胴部	9.56	10.51	10.44	0.07	0.7%	0.03
1-3	胴部	9.56	10.46	10.39	0.07	0.7%	0.12
1-4	鏡部	9.02	11.03	10.98	0.05	0.5%	—
1-5	鏡部	9.02	10.46	10.39	0.07	0.7%	—
1-6	胴部	9.56	10.50	10.46	0.04	0.4%	0.03
1-7	胴部	9.56	10.49	10.46	0.03	0.3%	0.02
1-8	胴部	9.56	10.49	10.44	0.05	0.5%	0.03
1-9	胴部	9.56	10.51	10.46	0.05	0.5%	0.04
1-10	胴部	9.56	10.54	10.49	0.05	0.5%	0.04
1-11	胴部	9.56	10.49	10.44	0.05	0.5%	0.05
1-12	溶接線(周)	—	—	—	—	—	—
1-13	胴部	9.56	10.49	10.41	0.08	0.8%	—
1-14	鏡部	9.02	10.35	10.24	0.11	1.1%	—
1-15	鏡部	9.02	10.41	10.32	0.09	0.9%	—
1-16	鏡部	9.02	10.56	10.51	0.05	0.5%	—
1-17	鏡部	9.02	10.56	10.46	0.10	0.9%	—
1-18	胴部	9.56	10.54	10.49	0.05	0.5%	—
1-19	鏡部	9.02	10.39	10.29	0.10	1.0%	—
1-20	鏡部	9.02	10.66	10.61	0.05	0.5%	—
1-21	鏡部	9.02	10.68	10.64	0.04	0.4%	—

(3)外面の非破壊検査の結果（磁粉探傷試験）

5基の試験体の外面塗装をショットブラストにより完全に除去後、試験体の外面の全ての溶接部を対象として磁粉探傷試験を行った結果を次の①及び②に示す。

①外面溶接線への磁粉探傷試験の結果

5基の試験体について外面の全ての溶接部を対象に蛍光磁粉探傷試験を行ったところ、全ての試験体のノズル隅肉溶接部ではオーバーラップ及びクレータ割れを、周方向溶接部、長手方向溶接部では少数のオーバーラップと線状磁粉模様等が16カ所に検出された。その内訳は初回告示検査部位以外（周継手、長手継手の交差部を含む溶接部全長の20%以上を除く部位（以下「非検査部」と言う。）で13カ所、初回告示検査部位（以下「既検査部」と言う。）で3カ所検出された。磁粉の検出集計を表5.2.1-7に、検出された様子を表5.2.1-8～5.2.1-12に示す。

②再試験の結果

初回告示検査により既検査部において黒色磁粉探傷試験により検出され、グラインダーによる研磨処置を行った箇所（計13ヶ所）及びその他既検査部より計3ヶ所に線状磁粉模様が確認された。検出された箇所に対し、グラインダーにより研磨処置し、再度蛍光探傷試験を行ったところ全て消滅した。また、非検査部の周溶接線、ノズル隅肉溶接線において線状磁粉が検出された箇所についてもグラインダーにより研磨処置し、再度蛍光探傷試験を行ったところ全て消滅した。いずれにおいても製造由来のものであり、進展性のあるものではないことを確認した。再試験の様子を表5.2.1-13～5.2.1-18に示す。

表 5.2.1-7 試験体外面の磁粉探傷試験により検出した磁粉模様一覧
 (ノズル=ノズルすみ肉溶接部、周=周方向溶接部、長手=長手方向溶接部)

試験体 番号	検出位置	オーバーラップ		アンダーカット		クレータ		ブローホール		磁粉模様形状	
		今試験	告示 検査	今試験	告示 検査	今試験	告示 検査	今試験	告示 検査	線状	円形
										今試験	
A-1	ノズル			1		3					
	周						1			1	
	長手										
A-2	ノズル					3					
	周						1			2	
	長手										
B-1	ノズル	1								1	
	周						2			1	
	長手										
B-2	ノズル	1									
	周		3				2				
	長手	1									
C	ノズル	1									
	周		2				2				
	長手										

 :再試験を行ったものを示す。

磁粉模様定義

- ・OL (オーバーラップ)・・・溶着金属が止端で母材に融合しないで重なった部分。
- ・UC (アンダーカット)・・・母材又は既溶接の上に溶接して生じた止端の溝。
- ・クレータ割れ・・・溶接部終端部のクレータに生じる割れ。
- ・ブローホール・・・溶接金属中に生じる球状の空洞。
- ・線状・・・磁粉模様においてその長さが幅の3倍を超えるもの。
- ・円形・・・円形又はだ円形の磁粉模様であって、長さが幅の3倍以下のもの。

表 5.2.1-8 外面磁粉探傷試験結果：試験体 A-1（ノズル・周）

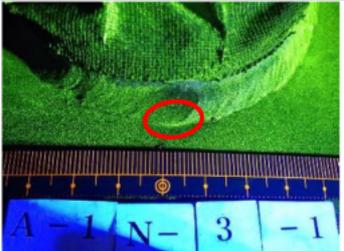
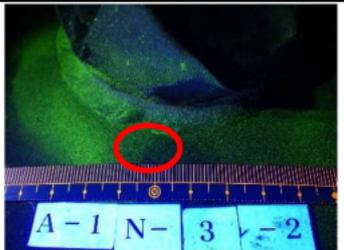
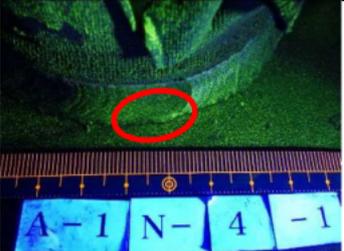
部材記号	位置	きず名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	クレタ	1.5		
N-3-1	ノズル	クレタ	3		
N-3-2	ノズル	UC	5		
N-4-1	ノズル	クレタ	3		
SC-2-1 再試験	周	線状	5		

表 5.2.1-9 外面磁粉探傷試験結果：試験体 A-2（ノズル・周）

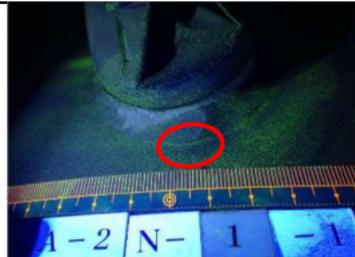
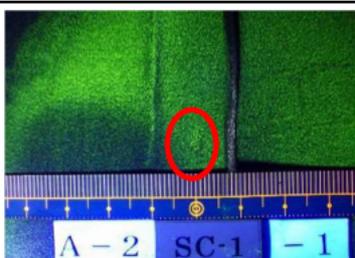
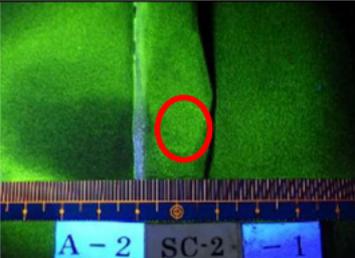
部材記号	位置	きず名称	長さ(mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	クレタ	2		
N-2-1	ノズル	クレタ	3		
N-4-1	ノズル	クレタ	5		
SC-1-1 再試験	周	線状	5		
SC-2-1 再試験	周	線状	5		

表 5.2.1-10 外面磁粉探傷試験結果：試験体 B-1（ノズル・周）

部材 記号	位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-2-1	ノズル	OL	70		
N-4-1 再試験	ノズル	線状	3		
SC-1-1 再試験	周	線状	5		

表 5.2.1-11 外面磁粉探傷試験結果：試験体 B-2（ノズル・周）

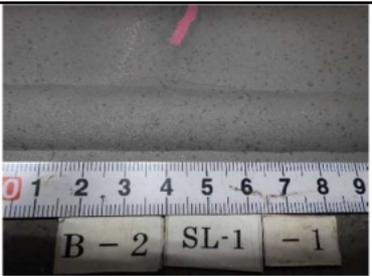
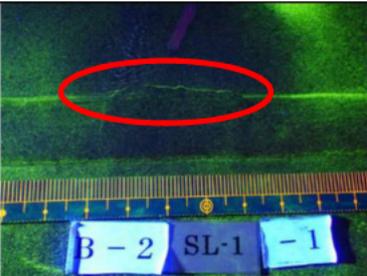
部材記号	位置	きず名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-3-1	ノズル	OL	50		
SL-1-1 再試験	長手	OL	38		

表 5.2.1-12 外面磁粉探傷試験結果：試験体 C（ノズル・周）

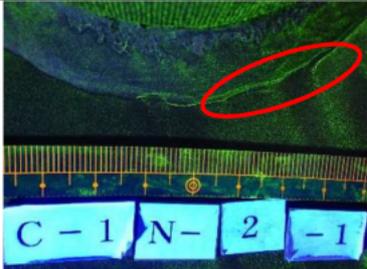
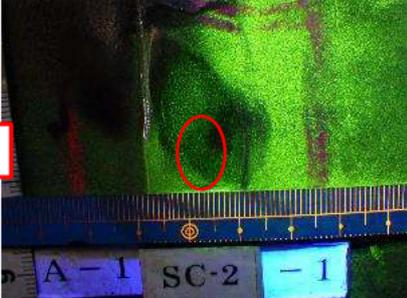
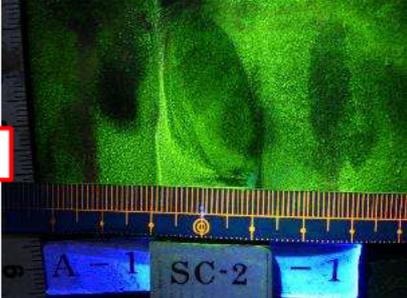
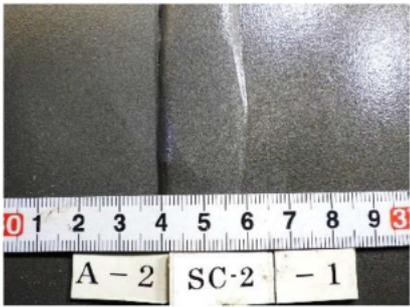
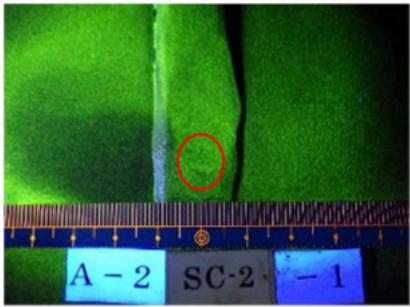
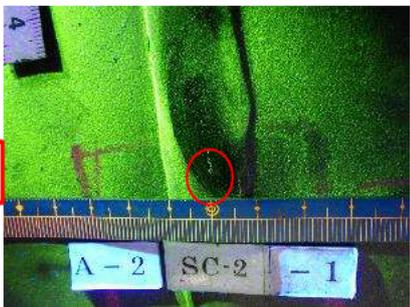
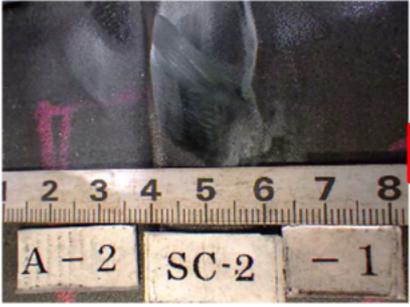
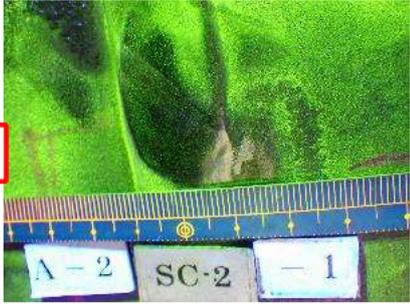
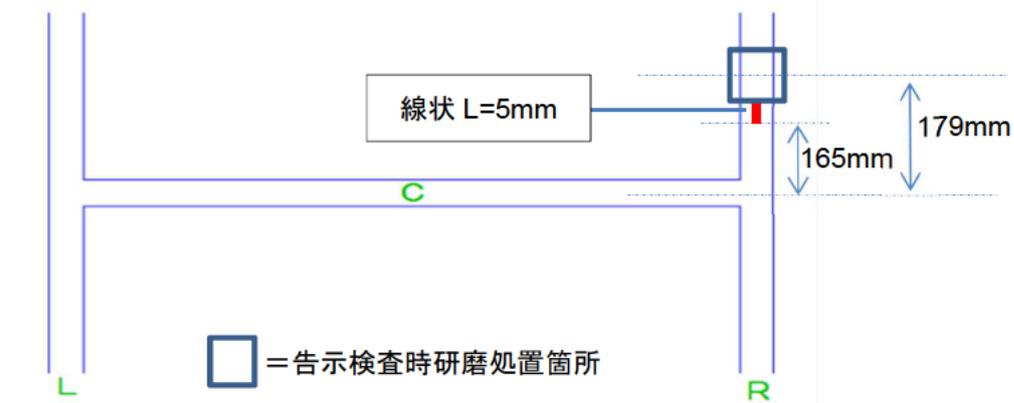
部材記号	位置	きず名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-2-1	ノズル	OL	30		

表 5.2.1-13 外面再試験・磁粉探傷試験結果：
試験体 A-1 SC-2-1 既検査部（研磨処置箇所）

	外観状況	磁粉模様 (MT)
除去前		
除去後 (1回目)	 <div data-bbox="727 947 959 1003" style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">研磨量：-0.28mm</div>	
除去後 (2回目)	 <div data-bbox="727 1330 959 1386" style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">研磨量：-0.47mm</div>	
線状磁粉模様検出箇所	 <p style="text-align: center;">□ = 告示検査時研磨処置箇所</p>	

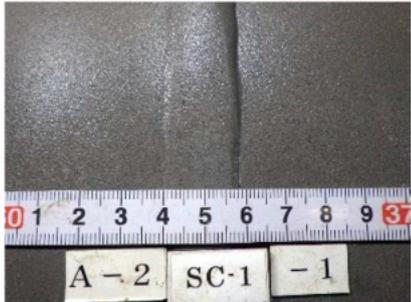
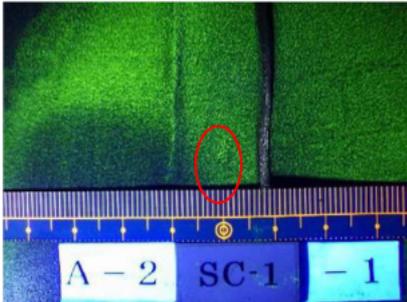
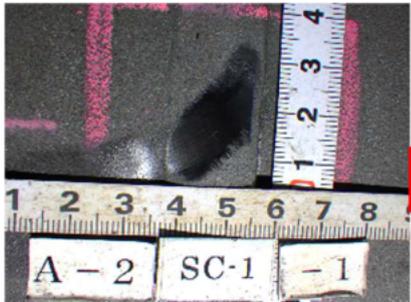
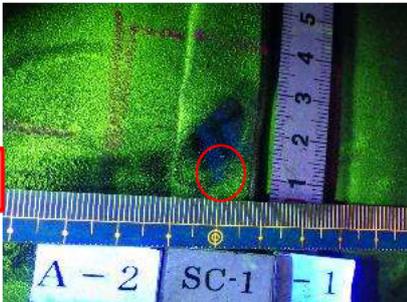
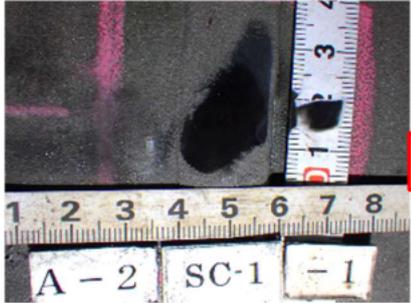
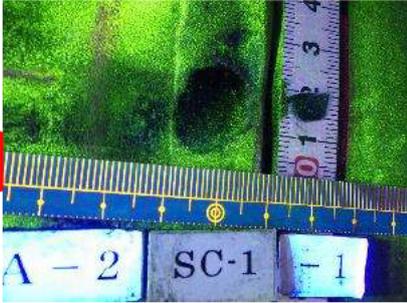
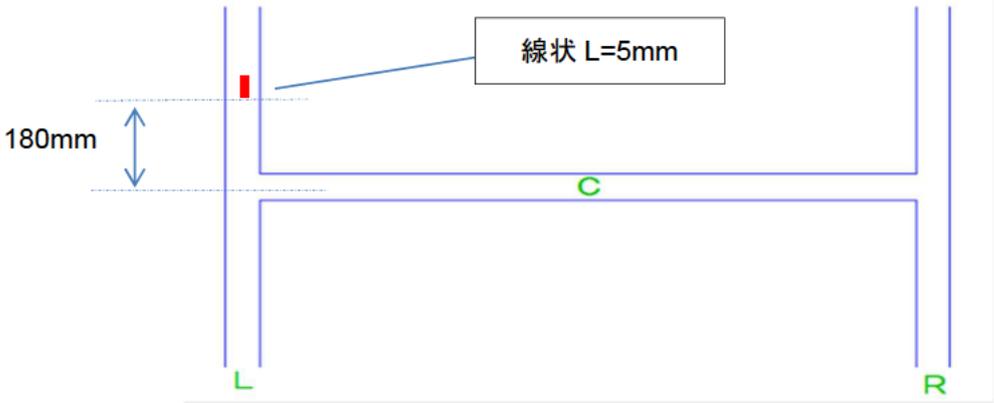
※研磨量：研磨部初期値と研磨後の差（ダイヤルデプスゲージ測定深さ（参考値））

表 5.2.1-14 外面再試験・磁粉探傷試験結果：
試験体 A-2 SC-2-1 既検査部（研磨処置箇所）

	外観状況	磁粉模様 (MT)
除去前		
除去後 (1回目)		
除去後 (2回目)		
線状磁粉模様検出箇所	 <p>線状 L=5mm</p> <p>□ = 告示検査時研磨処置箇所</p>	

※研磨量：研磨部初期値と研磨後の差（ダイヤルデプスゲージ測定深さ（参考値））

表 5.2.1-15 外面再試験・磁粉探傷試験結果：
試験体 A-2 SC-1-1 非検査部

	外観状況	磁粉模様 (MT)
除去前		
除去後 (1回目)		
除去後 (2回目)		
線状磁粉模様検出箇所		

※研磨量：研磨部初期値と研磨後の差 (ダイヤルイプスギ測定深さ (参考値))

表 5.2.1-16 外面再試験・磁粉探傷試験結果：
試験体 B-1 N-4-1 非検査部

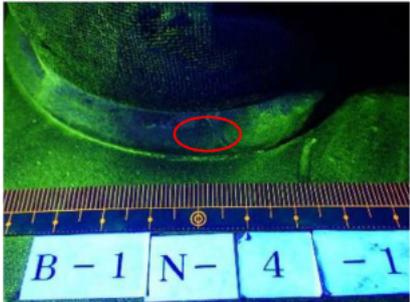
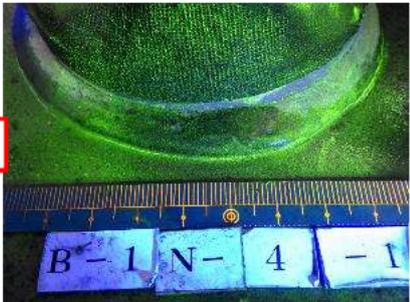
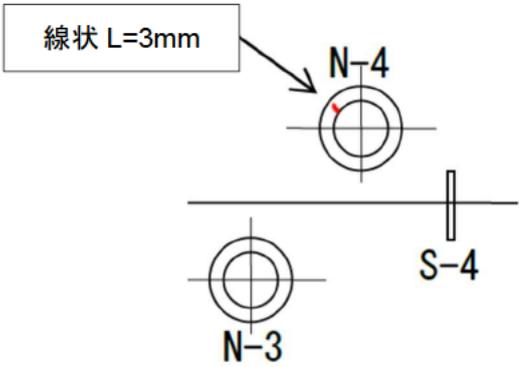
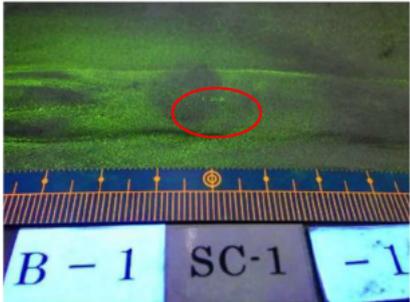
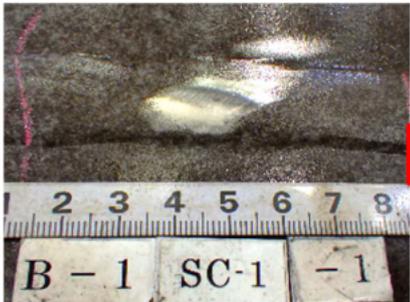
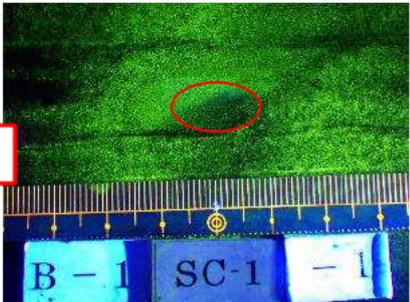
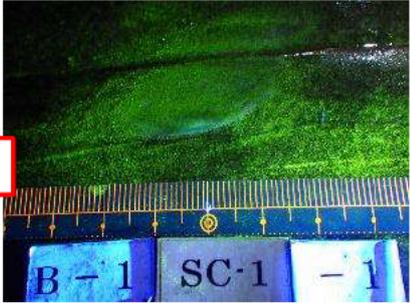
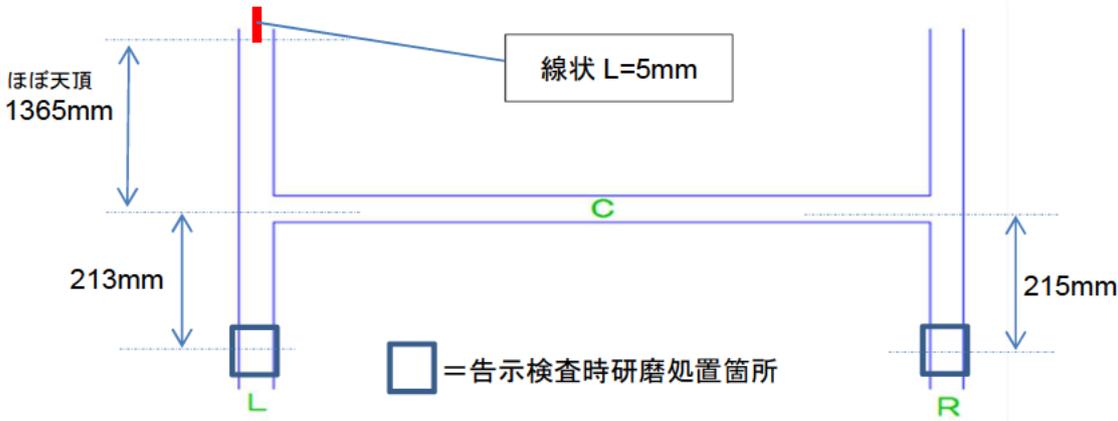
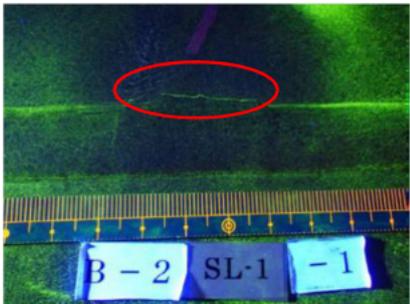
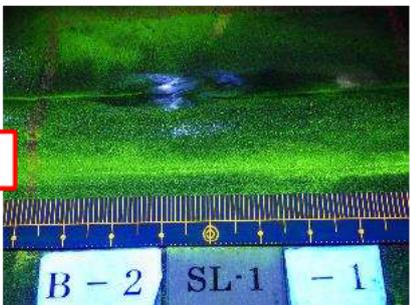
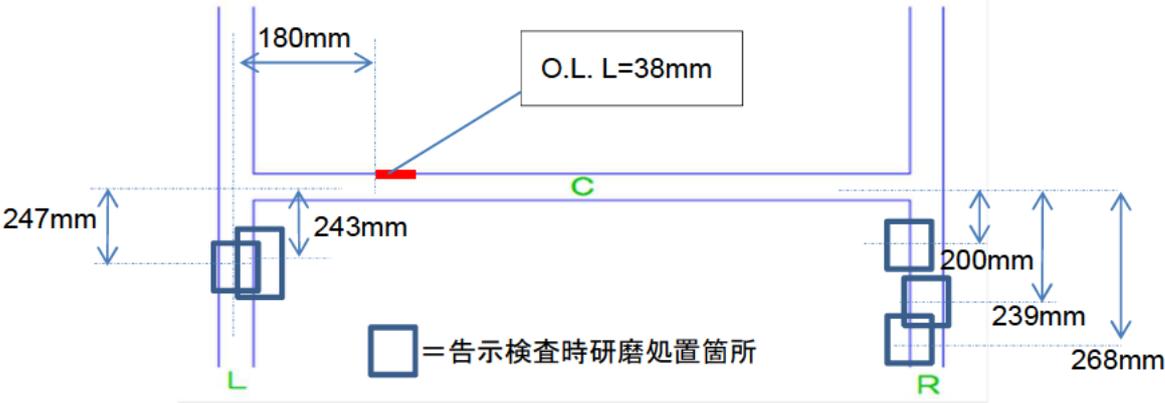
	外観状況	磁粉模様 (MT)
除去前		
除去後 (1回目)		
除去後 (2回目)	<p>※研磨量：研磨部初期値と研磨後の差 (ダイヤル・プロセッサー測定深さ (参考値))</p>	
線状磁粉模様検出箇所		

表 5.2.1-17 外面再試験・磁粉探傷試験結果：
試験体 B-1 SC-1-1 非検査部

	外観状況	磁粉模様 (MT)
除去前		
除去後 (1回目)	 <div data-bbox="730 927 959 987" style="border: 1px solid red; padding: 2px;">研磨量: -0.12mm</div>	
除去後 (2回目)	 <div data-bbox="730 1281 959 1341" style="border: 1px solid red; padding: 2px;">研磨量: -0.27mm</div>	
線状磁粉模様検出箇所	 <p>線状 L=5mm</p> <p>ほぼ天頂 1365mm</p> <p>213mm</p> <p>215mm</p> <p>□ = 告示検査時研磨処置箇所</p>	

※研磨量: 研磨部初期値と研磨後の差 (ダイヤル・イプス・ゲージ測定深さ (参考値))

表 5.2.1-18 外面再試験・磁粉探傷試験結果：
試験体 B-2 SL-1-1 既検査部

	外観状況	磁粉模様 (MT)
除去前		
除去後 (1回目)	 <div data-bbox="730 936 959 987" style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">研磨量: -0.12mm</div>	
除去後 (2回目)	<div data-bbox="347 1137 1390 1189" style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">※研磨量: 研磨部初期値と研磨後の差 (ダイヤル・プロセッサー測定深さ (参考値))</div>	
磁粉模様検出箇所	 <p style="text-align: center;">□ = 告示検査時研磨処置箇所</p>	

5.2.2 内面の非破壊検査の結果

(1) 内面の非破壊検査の結果（溶接線磁粉探傷試験）

5基の試験体を90度～270度で切断（二つ割り）し、内面目視検査、及び内面の溶接線に磁粉探傷試験を行った。

内面の目視検査及び内面の溶接線への磁粉探傷試験の結果を以下に示す。なお、磁粉探傷試験の実施要領、試験実施者は、前述の調査方法に準拠する。また、試験体の様子、及び内面の腐食にかかる試験の方法は、後述5.3内面目視検査方法の妥当性の検討にて示す。

①内面目視検査

試験体の内部には、いずれも広範囲に赤い錆粉末が付着していた。その内部の表面に見られた腐食物質（錆）等の詳細については、5.3内面検査方法の妥当性の検討にて詳細を記載するが、いずれも粉末状の浮き錆程度であり、厚く成長した錆や、明らかに減肉を伴う腐食は認められなかった。

②内面の溶接線の磁粉探傷試験

試験体内部の全ての溶接線を対象とし、周方向溶接線に裏当て金を有した5試験体の周方向溶接部を除いた全ての長手方向溶接部、及びノズル取り付け隅肉溶接部について蛍光磁粉探傷試験を実施した。検出した磁粉模様の一覧を表5.2.2-1に示す。

検出した磁粉模様は、ノズル取り付け隅肉溶接部においてはC-2試験体を除く全ての試験体についてオーバーラップ、クレータ割れによる磁粉模様が検出された。また、長手方向溶接部においてはごく一部にオーバーラップが検出された。いずれの試験体においてもアンダーカット、ブローホール及び線状磁粉模様は認められなかった。内面の溶接線で検出した磁粉模様の検出部位を表5.2.2-2～5.2.2-5までに示す。

表 5.2.2-1 磁粉探傷試験により検出した内面の磁粉模様一覧 (単位：箇所)
(ノズル=ノズルすみ肉溶接部、周=周方向溶接部、長手=長手方向溶接部)

供試体 番号	検出位置	オーバー ラップ O.L.	アンダー カット U.C.	クレータ 割れ	ブロー ホール	磁粉模様形状	
						線状	円形
A-1	ノズル			1			
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						
A-2	ノズル			1			
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						
B-1	ノズル	4		3			
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						
B-2	ノズル			5			
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						
C-1	ノズル						
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						

磁粉模様定義

- ・OL (オーバーラップ)・・・溶着金属が止端で母材に融合しないで重なった部分。
- ・UC (アンダーカット)・・・母材又は既溶接の上に溶接して生じた止端の溝。
- ・クレータ割れ・・・溶接部終端部のクレータに生じる割れ。
- ・ブローホール・・・溶接金属中に生じる球状の空洞。
- ・線状・・・磁粉模様においてその長さが幅の3倍を超えるもの。
- ・円形・・・円形又はだ円形の磁粉模様であって、長さが幅の3倍以下のもの。

表 5.2.2-2 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：試験体 A-1

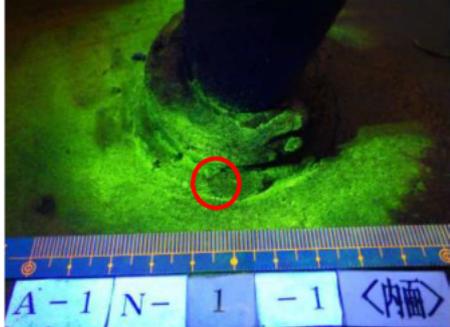
部材 記号	位 置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	クラック	1		

表 5.2.2-3 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：試験体 A-2

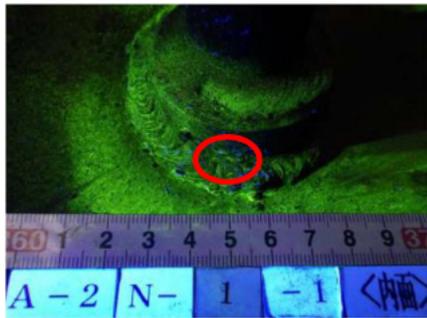
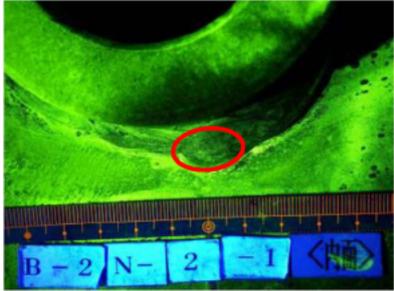
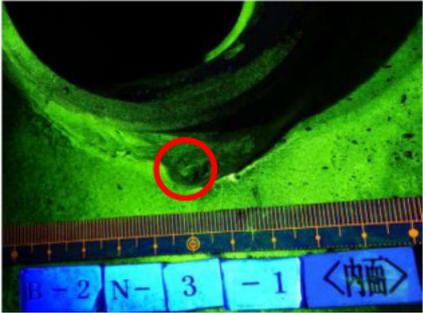
部材 記号	位 置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	クラック	1		

表 5.2.2-4 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：試験体 B-1

部材記号	位置	きず名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	クレータ	5		
		O.L	20		
N-2-1	ノズル	クレータ	6		
		O.L	50		
N-3-1	ノズル	クレータ	4		
N-4-1	ノズル	O.L	10		
			10		

表 5.2.2-5 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：試験体 B-2

部材 記号	位 置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-2-1	ノズル	クレータ	1.5		
N-3-1	ノズル	クレータ	3		
N-4-1	ノズル	クレータ	1		
			2		
			1		

5.2.3 内外面における目視検査及び非破壊検査のまとめ

調達した5基の試験体における、目視検査及び非破壊検査による外面及び内面の経年劣化の実態調査は以下のとおりである。

①バルク貯槽の外面

試験体の外面の目視検査の結果、バルク貯槽の外面については、貯蔵能力、消費量及び経過年数（告示検査後2年程度）によらず、再塗装状態も良好で、打痕若しくは擦過等のきずは見られなかった。極僅かに発錆が散見されたが、非常に軽微であり、厚く成長した錆こぶ等明らかに板厚を減少させるまでの発錆は認められなかった。これは告示検査時における外観検査及び板厚の検査が適正に実施されたことを示している。なお、初回告示検査合格貯槽の今後の経年による外面の塗装の劣化、供用時における擦過などに起因する新たな発錆の可能性は否めず、腐食防止措置に定める点検と維持を適切に行うことが求められる。

試験体の外面の非破壊検査（磁粉探傷試験）の結果、検出した磁粉模様は、ノズル隅肉溶接部のオーバーラップがその大半を占め、その他にあつてはクレータ割れなどが告示検査の非検査部において多く検出された。また、初回告示検査時に既検査部（周継手、長手継手の交差部を含む溶接部全長の20%以上の範囲）にて検出したきず（クレータ割れ及びオーバーラップ）をグラインダーにより研磨処置した箇所にあつては、本試験において磁粉模様はほとんど検出されなかったことから告示検査が適切に行われていることが確認された。

しかし、一部において研磨処置を行った同部位から線状磁粉模様が検出された。当該検査部位に対し、再試験としてグラインダーにより研磨処置し、蛍光磁粉探傷試験を適用したところ、磁粉模様は消失し、いずれも進展性のある割れのような欠陥は検出されなかった。

なお、初回告示検査の既検査部において、本試験にて磁粉模様が検出されたことに鑑み、告示検査における非破壊検査精度の向上（評価者の上級資格化、蛍光磁粉による磁粉探傷試験）が求められるところである。また、非検査部に多くの磁粉模様が検出されていることから、告示検査時において非破壊検査の対象となる部位の変更（溶接線全線（ノズル部を含む。）も考慮されるところである。

②バルク貯槽の内面

試験体のバルク貯槽の内面の目視の結果、広範囲に赤い錆粉末が付着していたが、厚く成長した錆若しくは錆こぶ等の明らかな減肉を伴う腐食は認めなかった。また、初回告示検査合格貯槽の再使用により、供用する貯槽内部に有害な錆の進行は見られず、経年化傾向に関しては貯槽内部と外部は別に論議して差し支えないものと考えられる。（内面の錆の考察は、内面検査方法の妥当性の検討による。）

試験体の内面の溶接部に蛍光磁粉探傷試験を適用した結果、検出した磁粉模様は、ノズル隅肉溶接部でのオーバーラップが大半を占め、その他クレータ割れなども確認された。長手方向溶接線にあつては僅かにオーバーラップが検出された。外面の溶接線で認めた線状磁粉模様も無く、進展性のある割れのような欠陥は検出されなかった。

これらの結果を受け、1) 初回告示検査の非検査部について磁粉模様が検出されていることから、非破壊検査の対象範囲の変更及び2) 初回告示検査の既検査部から磁

粉模様が検出されたことに鑑み、告示検査における非破壊検査精度の向上（評価者の上級資格化、蛍光磁粉による磁粉探傷試験）が考慮されるところである。

5.3 内面検査方法の妥当性の検討

初回告示検査合格貯槽は、告示検査時にバルク貯槽内部が大気に触れることとなる。告示検査後のバルク貯槽の内面の腐食状況や腐食傾向に関する定量的な調査を行うべく、試験体に充填されていた残留ガスの成分分析及び腐食試験を実施するとともに、残留ガスがバルク貯槽内面の発錆に関与するかを確認するため、試験体の内面に生じた錆成分の分析等を実施した。

調査方法及び調査結果を以下に示す。

5.3.1 LP ガスの成分分析

(1) 試験体の残留ガスについて

試験体5基については、次の①及び②に掲げる条件を満たしたバルク貯槽を選定し、表 5.3.1-1 に試験体ごとの再使用実績を示す。また、試験体中の残留ガスの採取を行った。

①条件 1

繰り返し充填により、LP ガス中の蒸気圧の低い着臭成分、硫黄分、水分、炭素鎖の長い成分等は濃縮され、残留ガスには不純物成分が多いと考えられる。よって、バルク貯槽の型式（貯蔵能力）別に経過年数相当の実績があるものであって、一般消費者等消費の種別を勘案し、年間消費量の異なるバルク貯槽5基とする。

②条件 2

残留ガスのサンプリングは一の液化石油ガス販売事業者を対象として行い、また、同一のストレージタンクから供給される充填用LP ガス（以下「原料ガス」という。）が充填されるバルク貯槽であることとする。

表 5.3.1-1 ガス成分分析等調査 試験体 一覧

初回告示検査合格貯槽								
事業者	試験体 番号	種別	型式 貯蔵能力 (kg)	再設置後 経過年数	再設置後 使用量 (m ³ /年)	サンプリングの状況		
						採取場 所	液面 (%)	採取量 (kg)
関東周辺	Sタンク	充填所	(原料ガス)					
	A-1	集合住宅	横置型 298	2年2ヶ月	1,356.0	液相	58%	3.75
	A-2	戸建住宅	横置型 298	2年6ヶ月	229.8	液相	71%	3.75
	B-1	集合住宅	横置型 498	2年10ヶ月	1,082.1	液相	64%	3.75
	B-2	集合住宅	横置型 498	2年1ヶ月	1,043.3	液相	78%	3.75
	C-1	業務用 事務所	縦置型 985	1年9ヶ月	1,147.6	液相	85%	3.90

残留ガス及び原料ガス（以下「残留ガス等」という。）のサンプリング方法を(2)に、LP ガスの成分分析及び腐食試験の方法を(3)に、試験結果を(4)にそれぞれ示す。

(2) 残留ガス等のサンプリング

残留ガスのサンプリングは、表 5.3.1-1 に示す 5 基の試験体を製造事業所（充填所）において、液面計指示値（表中の「サンプリングの状況」の液面の値）を確認した上で、次の①から⑥までに掲げる作業手順等に基づき LP ガスのサンプリングを実施した。また、原料ガスについても同様の手順等に基づきサンプリングを実施した。

- ①図 5.3.1-1 に示すとおり、バルク貯槽の液取出弁から高圧ホースを介し、小型容器に残留ガスを流し込むことによりサンプリングを行った。
- ②サンプリングに使用する高圧ホース及び小型容器は、表 5.3.1-2 に示すとおりとした。
- ③サンプリングの都度、高圧ホースは新品を使用した。
- ④バルク貯槽からの残留ガスのサンプリングは、原則として、当該バルク貯槽に装置された液面計の指示値を確認し行った。
- ⑤残留ガスのサンプリングに係る作業手順は、次の a)から h)までに掲げるとおりとした。
 - a)サンプリング対象となるバルク貯槽の液取出弁に高圧ホースを取付ける。
 - b)サンプリング前に残留ガスを使用して a)により取り付けた高圧ホース内の共洗いを十分に行う。
 - c)共洗い完了後、小型容器に高圧ホースを接続する。
 - d)バルク貯槽の液取出弁を開く。
 - e)小型容器のバルブを開く。
 - f)小型容器中の LP ガスの量(kg)を計測できる状態としてサンプリング採取を行う。
 - g)小型容器のバルブを閉じる。
 - h)バルク貯槽の液取出弁を閉じる。
- ⑥小型容器 1 本当たりの残留ガスの充填量は約 3 kg とし、サンプリングする。



図 5.3.1-1 小型容器への残留ガスサンプリング

表 5.3.1-2 残留ガス等のサンプリングに使用する高圧ホース及び小型容器

	仕 様
高圧ホース	<ul style="list-style-type: none"> ・ LP ガス用高圧ホース ・ ホース両端ハンドル付き POL ・ 全長 2000 mm±200 mm ・ ガス放出防止機能等の過流防止機能なし ・ (一財) 日本エルピーガス機器検査協会の検査を受けたもの又は同検査と同等レベルの内容に基づき社内検査を行ったもの ・ ストレーナなし
小型容器	<ul style="list-style-type: none"> ・ 貯蔵能力 5 kg (公称) ・ 受け渡し時 容器内部真空引き

(3) 残留ガス等の成分分析及び腐食試験

次の①から④までに掲げる手順等により実施した。

① 残留ガス等の成分分析の対象成分等

残留ガス等の成分分析において、定量分析の対象成分及び定量下限値は、表 5.3.1-3 に示すとおり設定した。

② 定量分析及び腐食試験の実施方法

定量分析は、定量下限値を満足する分析方法を採用し、腐食試験については、JIS K 2240(2013)「液化石油ガス (LP ガス)」の 6.11 銅板腐食試験方法に基づき実施した。成分分析及び腐食試験の手法を表 5.3.1-4 に、使用した装置等を表 5.3.1-5～5.3.1-7 に示す。

③試料検体

定量分析及び腐食試験は、前述 5.3.1 (1) の条件に基づく表 5.3.1-1 の 5 検体の残留ガス及び原料ガスより採取した計 6 検体とした。

④定量分析を行う際の試料採取・調整

定量分析にかける試料は、小型容器から液体の状態で残留ガス等を採取したものの又は液体の状態で残留ガス等を採取したものを気化させたものとした。

表 5.3.1-3 成分分析の対象成分と定量下限値

		成分名	定量下限界	*品質ガイドライン
主成分		エタン・エチレン	0.1 vol %	≤5.0 mol%
		プロパン・プロピレン		≥92.0 mol%
		ブタン iso・n		報告
		ブチレン iso・trans・cis		報告
		1.3ブタジエン	0.1 vol % 0.1 wt % (換算)	<0.1 wt %
		ペンタン	0.1 vol %	報告
残渣分	75° C	残渣（いわゆる油分）にあつてはJLPGA-S-03による蒸発残渣用ガラス器具により75°、105°での蒸発残渣の質量法による計測値	1 wt ppm	≤60 wtppm
	105° C			≤10 wtppm
着臭剤		t-ブチルメルカプタン	1 wt ppm	—
		i-プロピルメルカプタン		
		ジメチルスルフィド		
硫黄分		全硫黄	1 wt ppm	50 wt ppm
		硫化水素	0.5 vol ppm	—
その他		メタノール	1 wt ppm	≤2,400 wtppm
		水分	5 wt ppm	≤70 wtppm
		酸素	1 vol ppm	1 vol ppm
		水銀	0.001 mg/Nm ³	≤0.009 mg/Nm ³
残渣分参考	C5~C16	内標準法 (n ⁺ カ基準) でのガス分析による	100 wt ppm	—
	C17~C50	絶対検量線法 (n ⁺ トリアクタン換算) でのガス分析による	10 wt ppm	—
銅板腐食		—	銅板腐食標準の変色番号1~4	≤1

* 品質ガイドライン：一次基地（輸入基地、製油所）から出荷される LP ガスについて適用し、日本LPガス協会が推奨する品質指標

表 5.3.1-4 分析手法一覧

	分析装置	カラム	準拠規格	キャリアガス	検出器	定量方法	試料採取
プロパン ブタン等 主成分	島津製作所 GC-8AIT	SM-6 3 mm i.d.×6.0 m	JIS K 2240	ヘリウム	熱伝導度形検出器(TCD)	補正面積百分率法	試料を気化させ、GC-TCDに導入
残渣分	蒸発残渣用ガラス器具	-	JLPGA-S-03	-	-	質量法	試料を液化ガスの状態で専用の器具に導入
着臭剤3種 TBM IPM DMS	Agilent Technologies 6890 GC /5973MSDシステム	DB-5ms 60 m×0.25 mm i.d.	-	高純度ヘリウム	質量分析(MS) 電子衝撃イオン化法；選択イオンモニタリング (SIM)モード	標準添加法	試料を耐圧ガラス容器に採取し、標準品を順次添加し、GC-MSに導入
全硫黄	微量硫黄分測定装置	-	JIS K 2240	-	-	紫外蛍光法	試料を気化させ、ガスインジェクター注入法による紫外蛍光法(硫黄分試験)
硫化水素	島津製作所 GC-2014FPD	Sunpak-S 内径3.2 mm×長さ2.1m	-	窒素	炎光光度検出器(FPD)	対数検量線法	試料を気化させ、GC-FPDに導入
メタノール	島津製作所 GC- 2025FID	TC-1 60 m × 0.53mm i.d.	-	ヘリウム	水素炎イオン化検出器(FID)	絶対検量線法	耐圧容器に液化ガスを採取し、水へ抽出させた後、抽出水を装置に導入
水分	微量水分測定装置	-	JLPGA-S-02	-	-	-	耐圧容器に液化ガスを採取し、微量水分測定装置に導入
酸素	テクネ計測 ポータブル微量酸素計	-	-	-	-	-	試料を気化させ、微量酸素計に導入
水銀	日本インスツルメンツ ダブルアマルガム気 中水銀測定装置	-	JLPGA-S-07	-	-	絶対検量線法	金アマルガム捕集-加熱気化原子吸光分析法

表 5.3.1-5 分析装置等

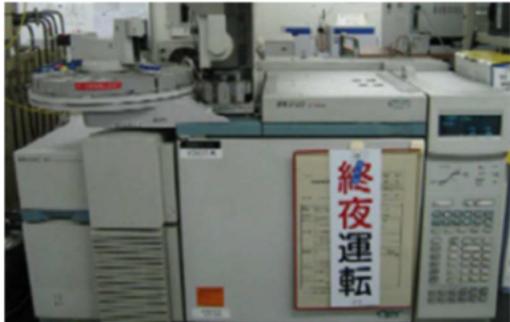
装置・機器	分析・測定等の概要
ガスクロマトグラフ (GC-TCD)	組成分
 <p>A photograph of a Shimadzu GC-8A gas chromatograph with a TCD detector. The instrument is beige with a red top panel and a digital display showing 'F1119'.</p>	<p>液化ガスを気化させて、ガスサンプラーを用いて装置に導入し、組成分を測定する。</p>
残渣分分析用容器、電子天秤	残渣分
 <p>Two photographs: on the left, a glass flask with a stopper and a tube assembly; on the right, a white electronic scale with a digital display showing '0.0000'.</p>	<p>液化ガス 1 kg を前処理器具に入れて自然蒸発させた後、前処理器具下部の容器を 75℃および 105℃で加熱・放冷させて質量を秤量し残渣分を測定する。</p>
ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS)	着臭剤 3 種 (TBM、IPM、DMS)
 <p>A photograph of a GC-MS instrument with a sign that says '終夜運転' (Overnight Operation).</p>	<p>耐圧容器に液化ガスを採取した後、ロック式ガスタイトシリンジを用いて装置に導入して測定する。</p>
微量硫黄分析装置	全硫黄分
 <p>A photograph of a laboratory instrument used for micro-sulfur analysis, featuring a control panel and a sample chamber.</p>	<p>液化ガスを気化させて、ガスタイトシリンジを用いて装置に導入し、全硫黄分を測定する。</p>

表 5.3.1-6 分析装置等

装置・機器	分析・測定等の概要
ガスクロマトグラフ (GC-FPD)	硫化水素
	液化ガスを気化させて、ガスサンプラーを用いて装置に導入し、組成成分を測定する。
ガスクロマトグラフ (GC-FID)	メタノール
	水を封入した耐圧容器に液化ガスを注入し、振とうさせてメタノールを抽出する。その抽出液をマイクロシリンジを用いて装置に導入して測定する。
カールフィッシャー水分計	水分
	液化ガスを耐圧容器に採取した後、滴定セルに試料を注入して水分を測定する。
酸水素炎燃焼装置	酸素
	液化ガスを気化させて、ガスサンプラーを用いて装置に導入し、組成成分を測定する。

表 5.3.1-7 分析装置等

装置・機器	分析・測定等の概要
<p>ダブルアマルガム気中水銀測定装置</p> 	<p>水銀</p> <p>気化させた液化ガスを捕集管に通気させて水銀を捕集し、その捕集管を装置にセットして水銀を測定する。</p>
<p>銅板腐食試験（恒温槽・標準）</p> 	<p>銅板腐食試験</p> <p>銅板を研磨して耐圧容器にセットし、その容器へ液化ガスを注入し、恒温槽(40℃,1 時間)で湯浴させた後の銅板の腐食具合を標準と比較して判定する。</p>
<p>ガスクロマトグラフ (GC-FID)</p> 	<p>油分 (C5~C16)</p> <p>耐圧容器に液化ガスを採取した後、ロック式ガスタイトシリンジを用いて装置に導入して測定する。</p>
<p>ガスクロマトグラフ (GC-FID)</p>	<p>油分 (C17~C50)</p>
	<p>残渣分から得られた油分をアセトンにて溶解・定容した後、その溶液をマイクロシリンジを用いて装置に導入して測定する。</p>

(4)残留ガス等の成分分析及び腐食試験の結果

残留ガス等の成分分析及び腐食試験の結果の一覧を表 5.3.1-8 に示す。バルク告示合格貯槽の 5 試験体は再設置後の再使用期間は表 5.3.1-1 に示すとおり概ね 2 年程度である。分析試験の結果、残留ガスは原料ガスと比較して着臭剤、硫黄、蒸発残渣等に若干濃縮傾向が見られた。平成 26、27 年度（経過年数 16～17 年以降の試験体による試験を以下「従前試験」と言う。）の残留ガス成分の調査結果からも供用経年により微量成分の濃縮化傾向は顕著に見られている。次の①～③に各分析結果を示す。

①残留ガスの主成分

試験体中の残留ガスの 5 検体は主成分であるプロパンは原料ガスと比較して若干低下するものの、品質ガイドラインに規定された下限値である 92%を下回っていなかった。イソブタン及びノルマルブタンの割合は若干増加する。この結果は過去の試験結果と同傾向を示す。

②腐食関与成分及び腐食試験

試験体中の残留ガスの 5 検体は、原料ガスと比較して水分は 2～4 倍であり、酸素は全て 1 wtppm 未満と微小であった。全硫黄は、過去に実施された 15 年以上蓄積された残留ガスの結果と比較すると 1/10～1/20 であり、供用経過年数が長くなると増加する傾向がみられるが、③の着臭材成分が増加しており着臭剤成分に含まれる硫黄化合物により値が増加していると考えられる。腐食に大きな影響を及ぼす硫化水素はいずれの場合も認められず、銅板腐食試験の結果についてもいずれの場合も 1a（僅かに変色）であり、供用経年・使用形態によって差異はなかった。

③微量成分

試験体中の残留ガスの 5 検体は、原料ガスと比較して着臭成分とされるターシヤルブチルメルカプタン（TBM）、イソプロピルメルカプタン（IPM）、ジメチルスルフィド（DMS）が 3～10 倍であり、供用経過年数で増加する傾向がみられる。また、残渣分（いわゆる油分）についても供用経過年数で増加する傾向がみられた。

表 5.3.1-8 初期告示検査合格貯槽内残留ガス成分分析及び腐食試験結果

	成分名	単位	原料ス レー ジ	試験体 初回告示検査合格貯槽					** 参考		
				1年2ヶ月	2年0ヶ月	1年4ヶ月	1年8ヶ月	1年10ヶ月	16年1ヶ月	16年2ヶ月	2年1ヶ月
			A-0	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	H26 (E-3)	H27 (E-7)	R1 (B-4)
主成分	C ₃ H ₈	vol%	97.3	96.4	95.9	95.7	96.4	96.9	94.8	95.8	95.0
	i-C ₄ H ₁₀	vol%	1.2	2.7	2.6	2.9	2.4	1.9	3.1	2.8	3.5
	n-C ₄ C ₁₀	vol%	0.2	0.6	1.0	1.2	0.6	0.5	1.5	1.2	1.3
	C ₃ H ₆	vol%	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
着臭材	TBM	wt ppm	2.7	28.0	12.0	32.0	20.0	8.7	150.0	130.0	70.0
	IPM	wt ppm	0.4	2.7	1.5	2.9	3.4	0.9	13.0	10.0	7.5
	DMS	wt ppm	1.1	6.9	3.4	10.0	7.4	5.9	10.0	7.0	15.0
硫黄分	全硫黄	wt ppm	8	35	16	49	48	14	330	360	93
	H ₂ S	wt ppm	<0.5(0.0)	<0.5(0.0)	<0.5(0.0)	<0.5(0.0)	<0.5(0.0)	<0.5(0.0)	<0.5(0.0)	<0.5(0.0)	<0.5(0.0)
その他	水分	wt ppm	4	11	15	11	12	7	26	53	22
	メタノール	wt ppm	59	20	75	38	35	230	11	18	16
	酸素	wt ppm	<1(0.7)	<1(0.7)	<1(0.5)	<1(0.4)	<1(0.5)	<1(0.7)	56	52	2
	水銀	mg/Nm ³	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	—	0.0003
	銅板腐食	判定	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a
蒸発残渣	75℃	wt ppm	3	50	20	60	250	10	—	—	180
	105℃	wt ppm	2	30	10	40	180	9	—	—	100
参考 C ₅ ~C ₅₀	C ₅	wt ppm	50	350	190	170	210	90	1500	880	110
	C ₆	wt ppm	50	750	580	400	480	140	3800	2400	210
	C ₇	wt ppm	10	150	130	80	110	20	710	490	50
	C ₈	wt ppm	<10	30	20	20	40	<10	190	200	10
	C ₉	wt ppm	<10	10	10	<10	20	<10	110	120	9
	C ₁₀	wt ppm	<10	10	10	10	20	<10	40	100	2
	C ₁₁ ~C ₁₆	wt ppm	<10	20	<10	10	20	<10	100	70	10
	C ₁₇ ~C ₅₀	wt ppm	<10	<10	<10	<10	140	<10	—	600	45

* <数字は計測下限値をし、(数字)は下限値以下の読取値を示す。

なお、水銀にあっては読取値少数以下4桁まで「0」であった。

**参考：H26、27、R1 年度報告の実績値である

5.3.2 内面腐食の調査

初回告示検査合格貯槽の内面腐食について、残留ガスの影響を確認するため、前述5.2非破壊検査の妥当性の検討において初回告示検査合格貯槽を90度-270度で切断（二つ割り）した5試験体について以下の検査を行い、結果について次の(1)~(3)によりそれぞれ示す。

(1) 目視検査

内面全面を対象に目視検査を行い、腐食箇所等を確認する。90度-270度で切断（二つ割り）した試験体の様子を図5.3.2-2~5.3.2-11に示す。なお、切断された試験体の内面比較として、A-1試験体については本試験前に残ガス処理をした後、ファイバースコープによる内部の観察を実施し、その画像を図5.3.2-1に示す。

(2) 内面の腐食状態の詳細調査

次の①及び②に掲げるとおり初回告示検査合格貯槽内面に生じた錆の成分分析及び断面観察を、図5.3.2-12に示す調査手順により実施した。

① 錆成分分析

試験体の内面の特に腐食が進行している箇所の錆を対象に、X線分析（XRD）により腐食生成物に含まれる結晶成分の同定を行うとともに、エネルギー分散型X線分析（EDS）により当該錆面における鉄、酸素及び硫黄の3元素の定量（又は半定量）を実施した。錆採取箇所を図5.3.2-16~5.3.2-17に示す。

② 断面観察

前記①において選定した箇所と同等以上に腐食が進行していると思われる箇所を対象に断面観察を行い、減肉量を定量するとともに、孔食等の腐食形態の確認及び錆組成を確認する。さらに、電子線マイクロアナライザー（EPMA）により当該錆に含まれる硫黄でマッピング分析を行い、観察箇所における錆生成が進行性のあるものであるか確認した。断面観察の選定は次のとおりとし、対象部位を図5.3.2-14~5.3.2-15に示す。

試験体 断面観察

A-1：選定1箇所（胴板—天頂部）

A-2：選定1箇所（胴板—天頂部）

B-1：選定1箇所（鏡板—天頂部）

B-2：選定1箇所（胴板—天頂部）

C-1：選定1箇所（胴板—天頂部）

試験 体 番号	A-1 298kg 貯槽内面 左	A-1 298kg 貯槽内面 右
下部		
中間 部		
上部		

図 5.3.2-1 バルク貯槽 A-1 試験体 ファイバースコープによる内面観察

	①	②	③	
90° 側				
④				⑤
270° 側				
	⑥	⑦	⑧	

図 5.3.2-2 試験体内面状況 A-1 (上部)

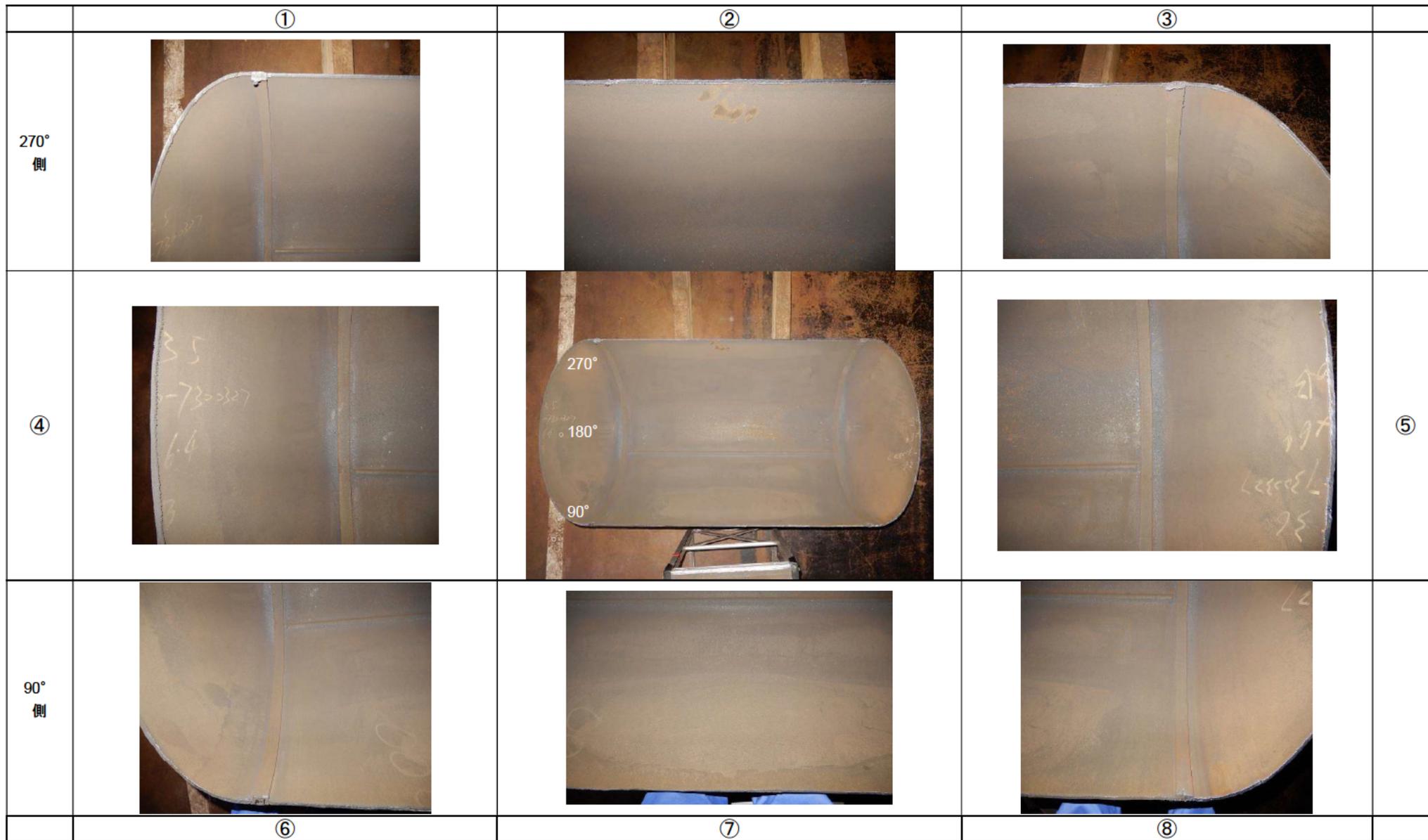


図 5.3.2-3 試験体内面状況 A-1 (下部)



図 5.3.2-4 試験体内面状況 A-2 (上部)

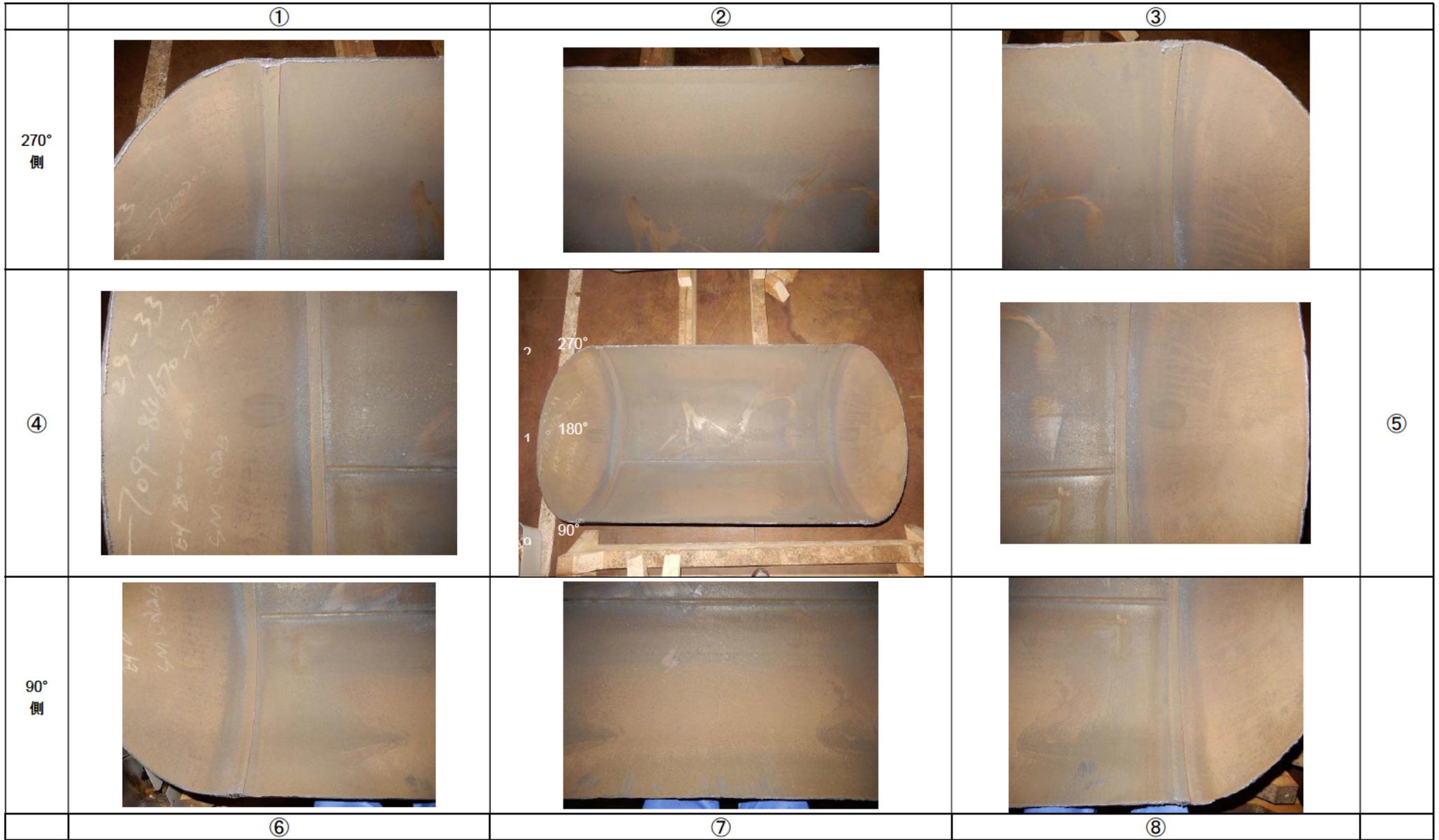


図 5.3.2-5 試験体内面状況 A-2 (下部)

	①	②	③	
90° 側				
④				⑤
270° 側				
	⑥	⑦	⑧	

図 5.3.2-6 試験体内面状況 B-1 (上部)



図 5.3.2-7 試験体内面状況 B-1 (下部)

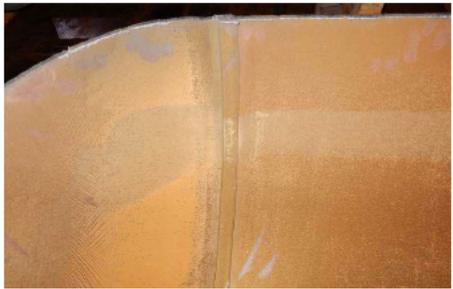
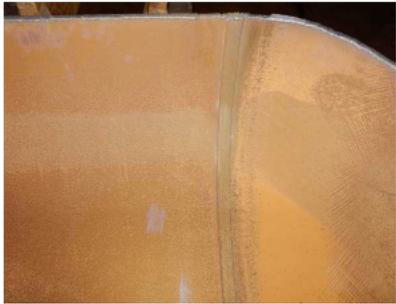
	①	①	②	
90° 側				
④				⑤
270° 側				
	⑥	⑦	⑧	

図 5.3.2-8 試験体内面状況 B-2 (上部)

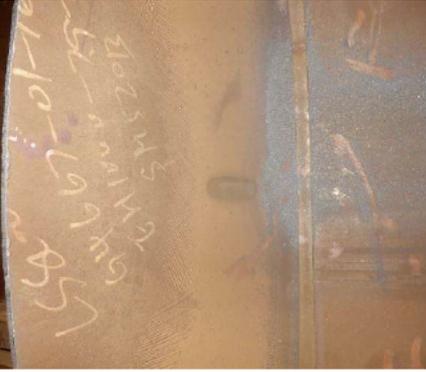
	①	②	③	
270° 側				
④				⑤
90° 側				
	⑦	⑦	⑧	

図 5.3.2-9 試験体内面状況 B-2 (下部)

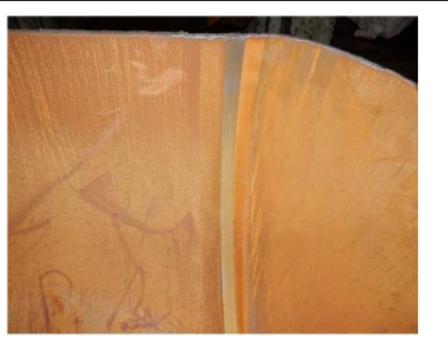
	①	②	③	
90° 側				
④				⑤
270° 側				
	⑥	⑦	⑧	

図 5.3.2-10 試験体内面状況 C-1 (上部)



図 5.3.2-11 試験体内面状況 C-1 (下部)

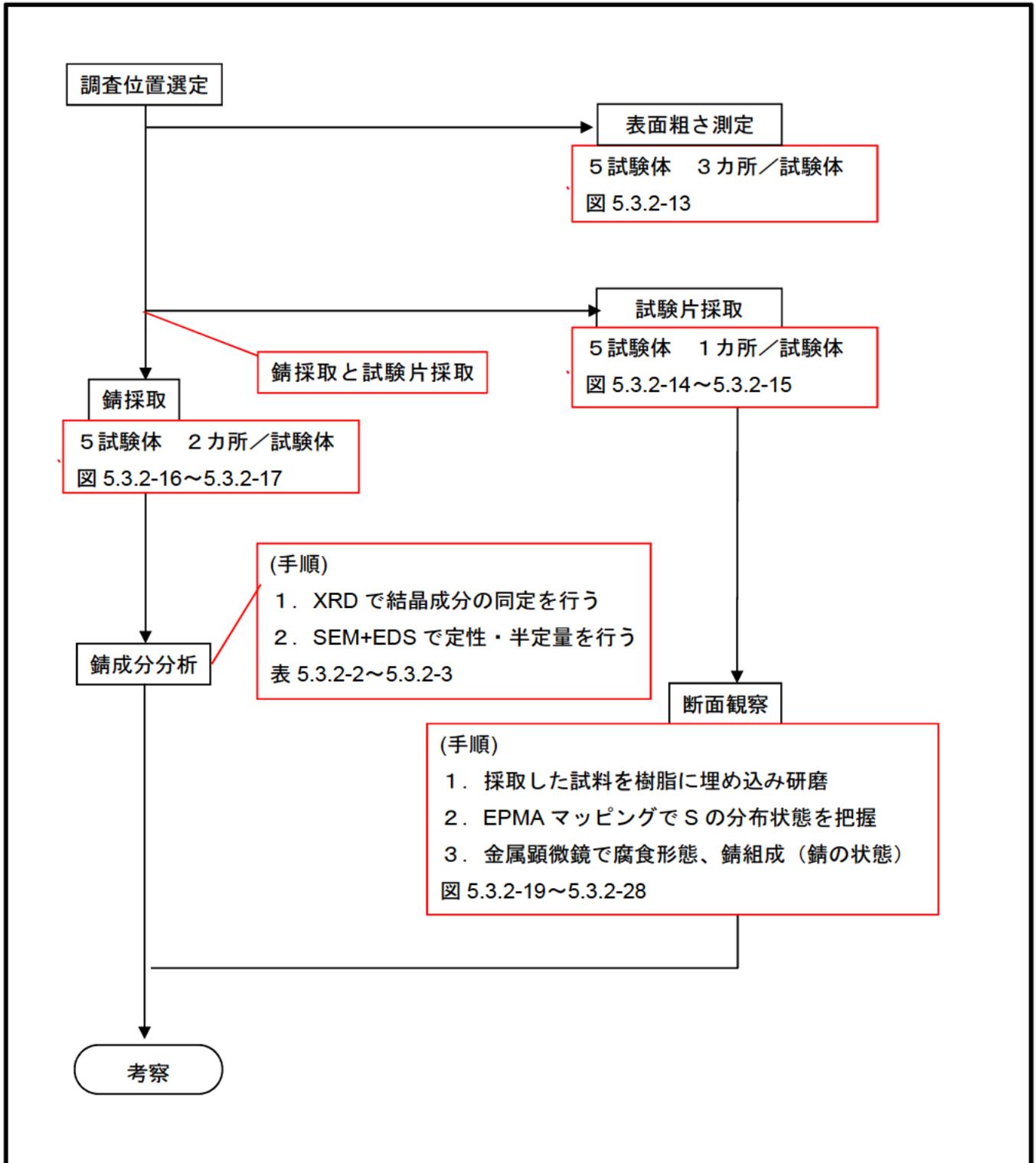


図 5.3.2.-12 試験体の内面の鑄成分分析等に係る調査手順フロー

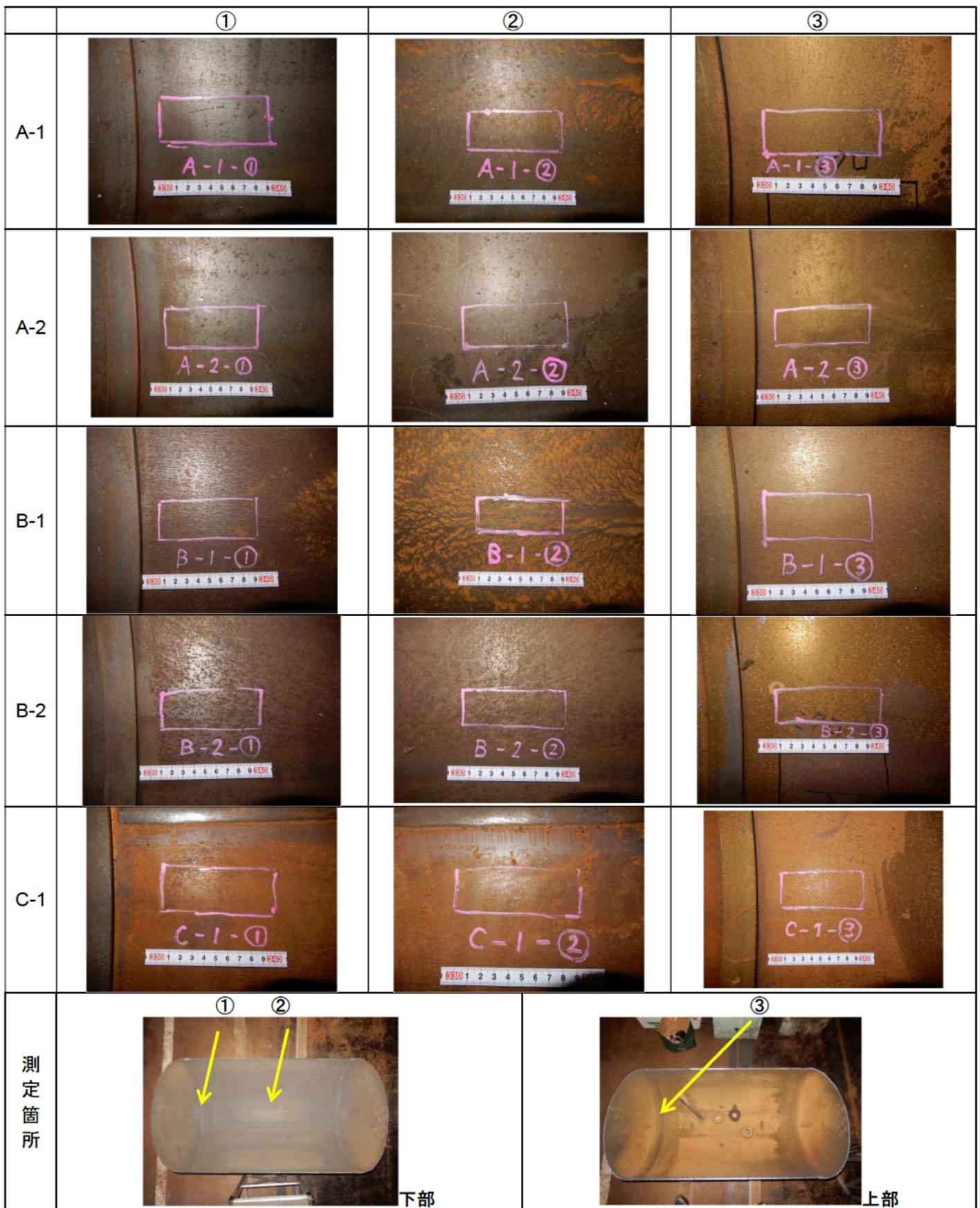


図 5.3.2-13 表面粗さ測定箇所

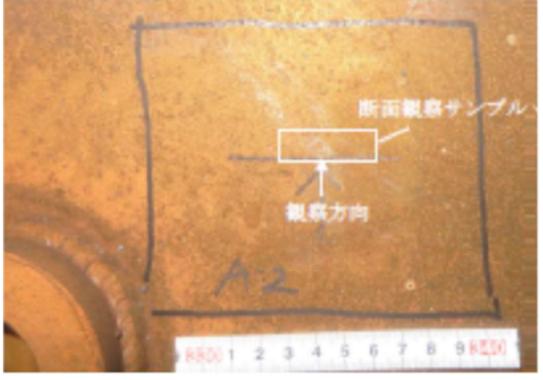
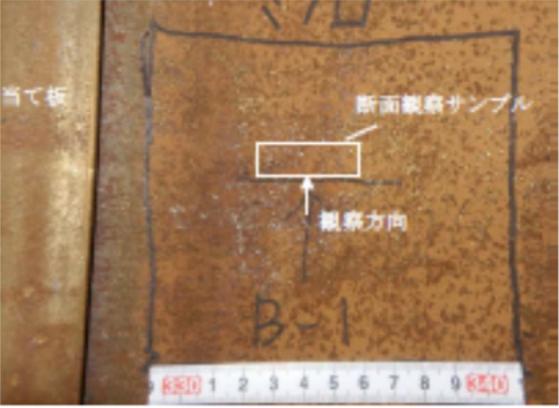
試験体	断面観察採取位置	観察サンプル・観察方向
A-1		
A-2		
B-1		

図 5.3.2-14 断面観察試験片採取位置

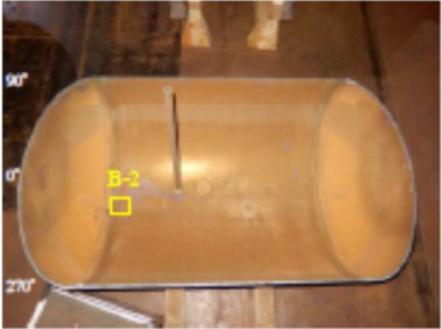
試験体	断面観察採取位置	観察サンプル・観察方向
B-2		
C-1		

図 5.3.2-15 断面観察試験片採取位置

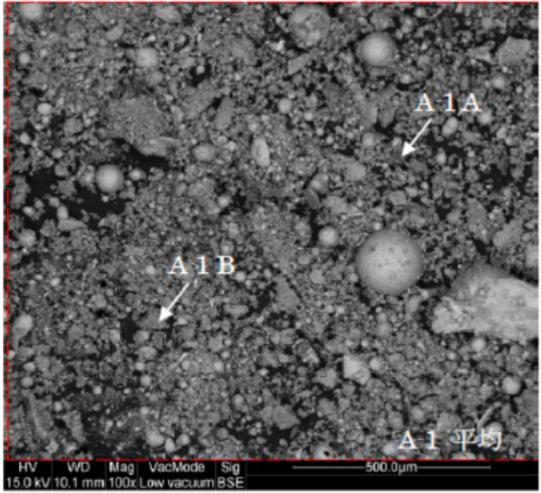
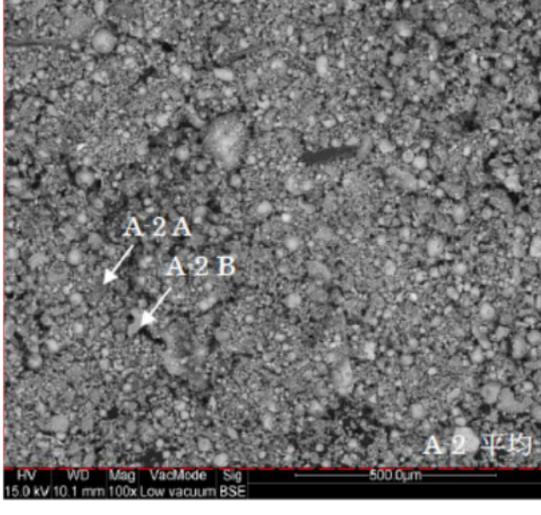
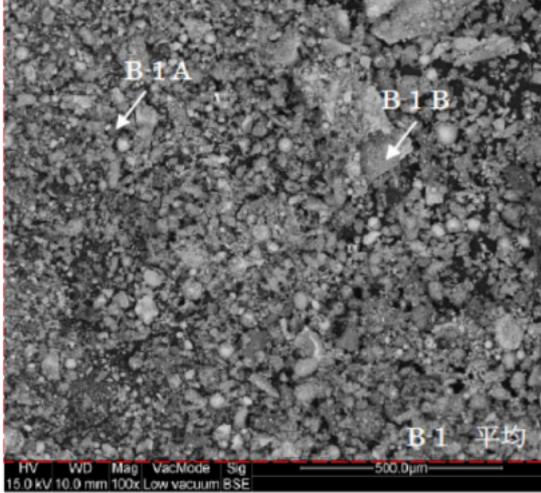
試験体	鏽採取位置	反射電子像 EDS 分析位置
A-1		
A-2		
B-1		

図 5.3.2-16 内表面鏽採取位置・鏽分析

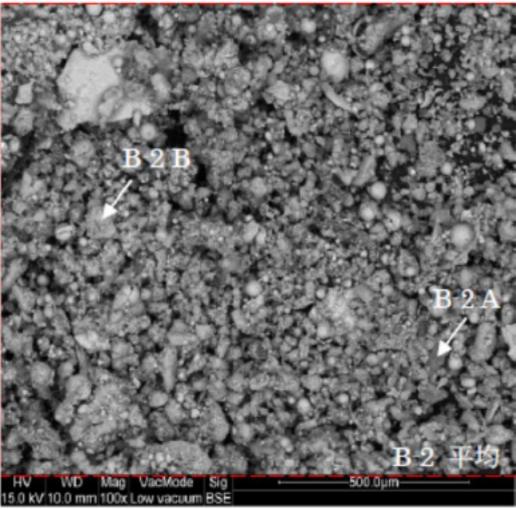
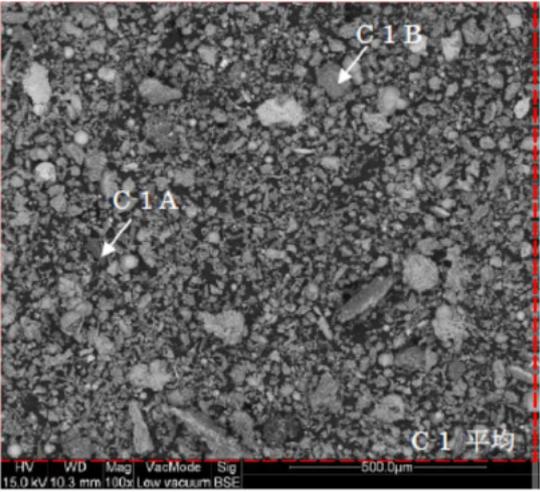
試験体	錆採取位置	反射電子像 EDS 分析位置
B-2		
C-1		

図 5.3.2-17 内表面錆採取位置・錆分析

(3) 内面の錆成分の分析結果

初回告示検査合格貯槽内面の腐食について、錆の成分の調査結果を次の①に示す。

①内面の錆成分分析等の結果

a)金属表面観察（表面粗さ）

表面粗さが定量的に内面腐食の状態を判定するものではないが、表面粗さの値が大きくなる時、内面腐食の進行傾向を示すと考えることができる。貯槽の材料段階での表面粗さとして提供される輪郭曲線の算術平均高さ（Ra）は概ね1～3 μmであり、A-1、A-2、B-1、B-2、C-1 試験体について表面粗さ測定を行った結果、赤い粉末状の浮き錆が存在する箇所においては数 μm 程度であったことから、内面での錆は殆ど進行していないと言える。

表面粗さ測定位置を図 5.3.2-13 に、測定結果を表 5.3.2-1 に示す。

表 5.3.2-1 表面粗さ測定結果

試験体	位置	Ra(μm)	Rz(μm)	平均	
				Ra(μm)	Rz(μm)
A-1	1	1.841	9.555	1.75	10.33
	2	1.518	8.740		
	3	1.881	12.682		
A-2	1	2.110	11.643	2.01	10.75
	2	1.891	9.859		
	3	2.020	10.737		
B-1	1	1.638	11.075	1.86	10.85
	2	1.151	7.202		
	3	2.789	14.263		
B-2	1	2.504	13.725	2.21	13.16
	2	2.556	16.841		
	3	1.557	8.919		
C-1	1	2.675	16.369	2.59	15.68
	2	2.843	15.428		
	3	2.247	15.235		
参考		本試験 全平均		2.08	12.15
		R1 試験 全平均		2.68	13.95

粗さ測定条件	
適応規格	JIS B 0601(2001)
装置	SJ-301(管理No. SJ-C-803)
評価長さ	4.0mm
λc	0.8mm×5
測定パラメータ	Ra: 輪郭曲線の算術平均高さ Rz: 輪郭曲線の最大高さ

b) 錆成分分析結果

試験体の内面から採取した錆を対象に、EDS(Energy dispersive X-ray spectrometry:エネルギー分散型 X 線分析)を用いて、定性・半定量分析を実施した。また、XRD(X - ray diffraction : X 線回折)を用いて、錆に含まれる結晶成分の同定を実施した結果を次の 1)~3)に示す。

1) EDS による成分元素の半定量分析の結果

EDSによる成分元素の半定量分析の結果を表5.3.2-2に示す。各採取物の主成分は炭素 (C)、酸素 (O) 及び鉄 (Fe) であった。炭素は油分や埃などを検知したものであり、錆に含まれる元素としては鉄 (鉄酸化物) 及び酸素である。腐食促進の可能性がある硫黄 (S) は5試験体の全てで検出されたが、B-1のポイント分析Bの1.1%が最大で、他はいずれも採取エリアの全成分における平均値では1%未満と検出下限以下の微量であり、5基の試験体間で顕著な差異は認められなかった。いずれの試験片もSが存在していたが、Feに対して少ない結果であった。

2) XRDによる鉱物成分の簡易定量分析結果

内表面錆採取位置を図 5.3.2-16~5.3.2-17 に示す。目視によりそれぞれ試験体において腐食が大きいと思われる箇所を選定、採取し、XRD による鉱物成分の簡易定量分析結果を表 5.3.2-3 に示す。腐食生成物として硫化物が検出されなかったことから、硫化水素による腐食の寄与は少ない。前述のとおり EDS により部分的に検出された硫黄分も最大でも1%程度であり、XRD ではその存在を確認できない。

表 5.3.2-2 EDS 定性・半定量分析結果

(wt%)

元素	A-1			A-2			B-1			B-2			C-1			平均
	平均	A	B													
C	15.8	29.6	8.6	4.8	5.2	2.3	13.8	7.7	11.9	8.0	5.9	6.5	24.5	7.9	7.5	11.2
O	27.6	40.7	34.9	24.1	37.7	37.7	28.3	38.3	34.3	25.9	37.7	37.7	34.7	57.5	46.6	23.5
Na	-	1.5	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	0.2	0.1
Mg	-	1.1	-	-	-	-	0.3	1.0	-	0.2	13.3	0.3	-	-	0.6	0.2
Al	-	0.4	-	-	1.6	0.3	0.3	2.4	-	0.2	0.5	abi	0.2	-	1.0	0.2
Si	0.2	0.8	0.3	0.4	0.2	4.1	1.1	5.9	0.4	1.0	19.0	1.2	1.1	28.3	0.4	0.6
P	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1
S	-	0.8	0.2	-	0.6	0.4	0.2	0.2	1.1	0.2	0.2	0.3	0.4	-	0.3	0.2
Cl	-	1.0	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-	0.1
K	-	0.8	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	0.1
Ca	-	4.0	0.2	0.3	-	13.4	0.6	5.7	0.2	0.3	1.2	3.0	0.4	0.1	0.5	0.3
Ti	-	0.3	-	-	-	2.3	0.3	0.9	-	-	-	-	-	-	31.1	0.2
Cr		0.4	-	-	-	-	-	0.7	-	-	0.6	-	-	-	-	0.1
Mn	0.8	-	1.1	0.8	0.6	2.5	0.9	2.0	0.7	1.6	0.8	1.1	0.4	-	-	0.8
Fe	55.6	15.8	54.6	69.7	54.1	36.9	54.2	34.7	51.1	62.5	20.8	49.4	38.3	6.2	9.0	46.7
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8	0.1
Cu	-	2.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1

表 5.3.2-3 XRD 簡易定量分析結果(RIR 法)

(wt %)

鉱物名	参考 (結晶英名)	化学式	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	全試験体単 純平均 %
鉄		Fe	2.9	4.4	1.4	1.5	0.9	2.2
マグネタイト	Magnetite	Fe ₃ O ₄	61.0	61.1	49.4	68.3	20.8	52.1
ウスタイト	Wustite	FeO	9.3	13.8	20.8	10.2	8.3	12.5
ヘマタイト	Hematite	Fe ₂ O ₃	13.5	10.8	18.2	9.9	12.9	13.1
レピドロクロサイト	Lepidrocrite	γ-FeOOH					14.7	2.9
ゲータイト	Goethite	α-FeOOH	10.4	8	3.5		37.6	11.9
カルサイト	Calcite	CaCO ₃	*	*	1.2	0.6	*	0.4
クォーツ	Quartz	SiO ₂	1.2	1.9	3.9	5.0	3.8	3.2
ルチル	Rutile	TiO ₂	1.8	-	1.6	1.3	0.9	1.1
ドロマイト	Dolomite	MgCa(CO ₃) ₂	-	-	3.2	-		0.64
①全鉄鑄量：(マグネタイト)+(ウスタイト)+(ヘマタイト)+②			94.2	93.7	91.9	88.4	94.3	92.5
②鑄量：(レピドロクロサイト)+(ゲータイト)			10.4	8	3.5	0	52.3	14.84
③鑄組成比率：②/① × 100%			11.04%	8.54%	3.81%	0.00%	55.46%	16.04%

c) 鋳断面観察

試験体より切り取った鋳部の断面観察及び EPMA 分析の結果を次の 1)、2)に示す。

1) 断面観察

5 試験体に対し、目視によりそれぞれ発錆度合の著しい5カ所を選定し、腐食形態の確認のため切り取った鋳部の断面観察の結果を図 5.3.2-19～5.3.2-23 に示す。断面下部の白く見える部分が鉄部の母材を示し、上部の黒から灰の明度の異なりが概ねの鋳成分の結晶界を示している。

A-1 観察視野において、内面に 10～20 μm のマグネタイト（やや明るく見える化合物、ウスタイトあるいはマグネタイトと推定）があり、一部には 50 μm 程度の減肉と錆（やや暗く見える化合物、ゲータイトなど）堆積が確認された。A-2 の観察視野においては酸化層の上に錆が堆積した箇所があり、深さ 30 μm 程度までの内部に空隙のようなものが認められた。通常炭素鋼の大気腐食でこのような形態になることはなく、材料内にあった空隙や異物が関与して形成された形態と推察される。B-1 の観察視野においては 50 μm 程度の錆層が認められた。酸化層の母材側に錆がある箇所と酸化層と錆が混在したような箇所があった。B-2 の観察視野においては 40 μm 程度の酸化層あるいは錆層が認められた。C-1 の観察視野においては 40 μm 程度の酸化層あるいは錆層が認められた。

全ての試験体に共通してマグネタイト (Fe_3O_4)、ウスタイト (FeO) が多く検出されるが、ウスタイトは約 500 $^{\circ}\text{C}$ 以上の高温で生成される酸化物であり、マグネタイト、ヘマタイト (Fe_2O_3) は、大気中の腐食で生成した錆にも含まれることがある酸化物であるものの、図 5.3.2-18 に示す断面観察に錆層構成のとおり、中層において構成されていることから、ウスタイトと同様に鋼板製造工程における高温過程で生成したスケール（高温酸化被膜）由来の可能性が高い。なお、ヘマタイトは「赤錆」と呼ばれる錆で、粉末になると赤褐色を示し鉄表面で鉄イオンと水酸化物イオンの反応にて $\text{Fe}(\text{OH})_2$ （水酸化第一鉄）生成され、更に酸化された $\text{Fe}(\text{OH})_3$ （水酸化第二鉄）が結晶化され、 FeOOH （オキシ水酸化鉄）となり、脱水化されて Fe_2O_3 （酸化第二鉄・ヘマタイト）となることが知られている。大気中の腐食で生成した錆にも含まれることがある酸化物であるものの、水と酸素が必須要素となることから、供用中のバルク貯槽内の環境で形成されることはないといえる。マグネタイトからウスタイトの酸化層はクラック等が無ければ不動態としての機能を持つが、クラック等から母材（鉄部）に浸透しその界面でレピドクロサイト若しくはゲータイトが形成されることを示している。

*1) レピドクロサイト（鱗鉄鉱）とゲータイト（針鉄鉱）は同質異像鉱物で共に一般に大気中で生成する錆であるが、ゲータイトは他の形態の錆から溶解・沈殿などで変化した錆といわれており、このことからレピドクロサイトとゲータイトいずれも検出されない B-2 試験体では製造工程で生成した酸化物以外の腐食生成物はほとんどないと考えられ、大気中での腐食が進んでいないことを示唆している。

*1) 山下正人、幸英昭、長野博夫、三沢俊平：材料と環境、Vol.43、26（1994）

2) EPMA 元素マッピング

EPMA（Electron Probe Micro Analyzer：電子線マイクロアナライザ）を用いて、錆断面に含まれる硫黄を対象にマッピング分析を実施した結果を図 5.3.2-24～5.3.2-28 に示す。A-1、A-2、B-1、B-2 ではスケール中に S（硫黄元素）はほとんど存在していなかった。C-1 ではスケールの外層側と内層側のやや暗く見えていた部分（断面観察より FeOOH と推定。）に S が存在し、Fe₃O₄ と推定したやや明るく見える層には存在していなかった。

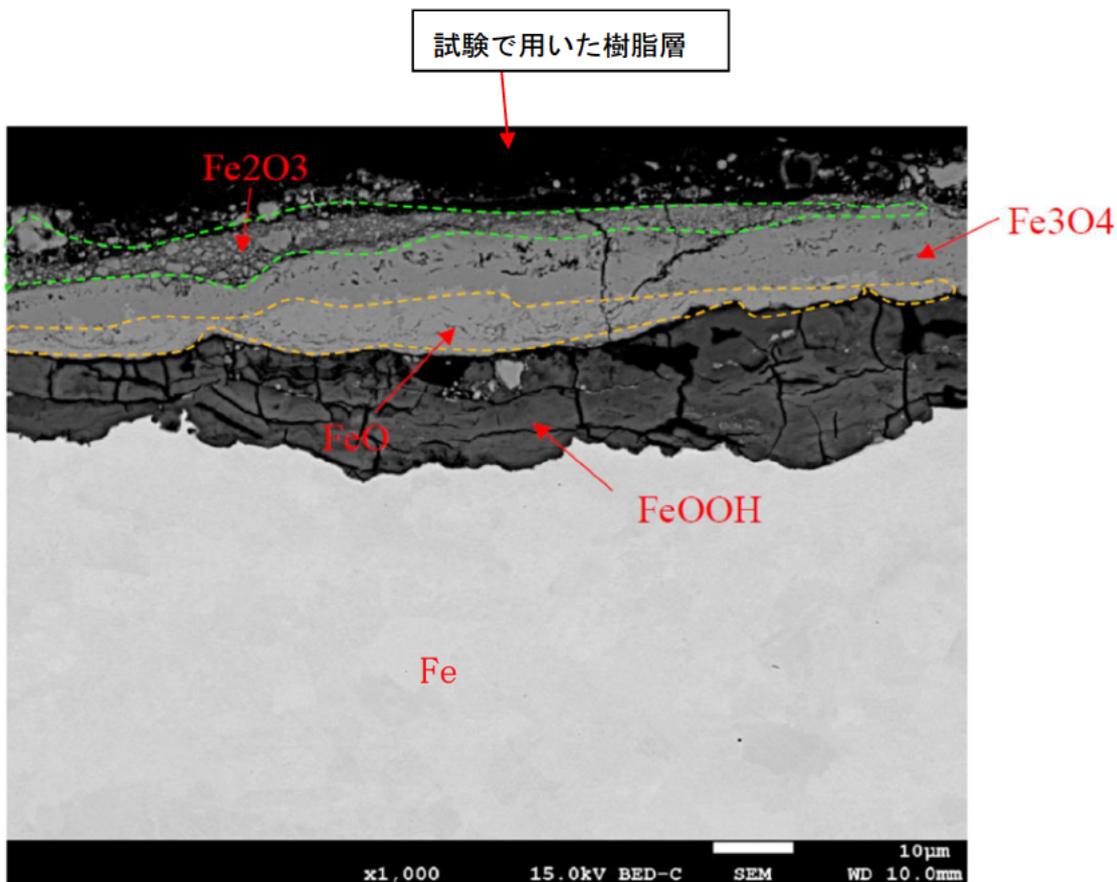


図 5.3.2-18 試験体 C-1 断面観察による錆層構成（推定）

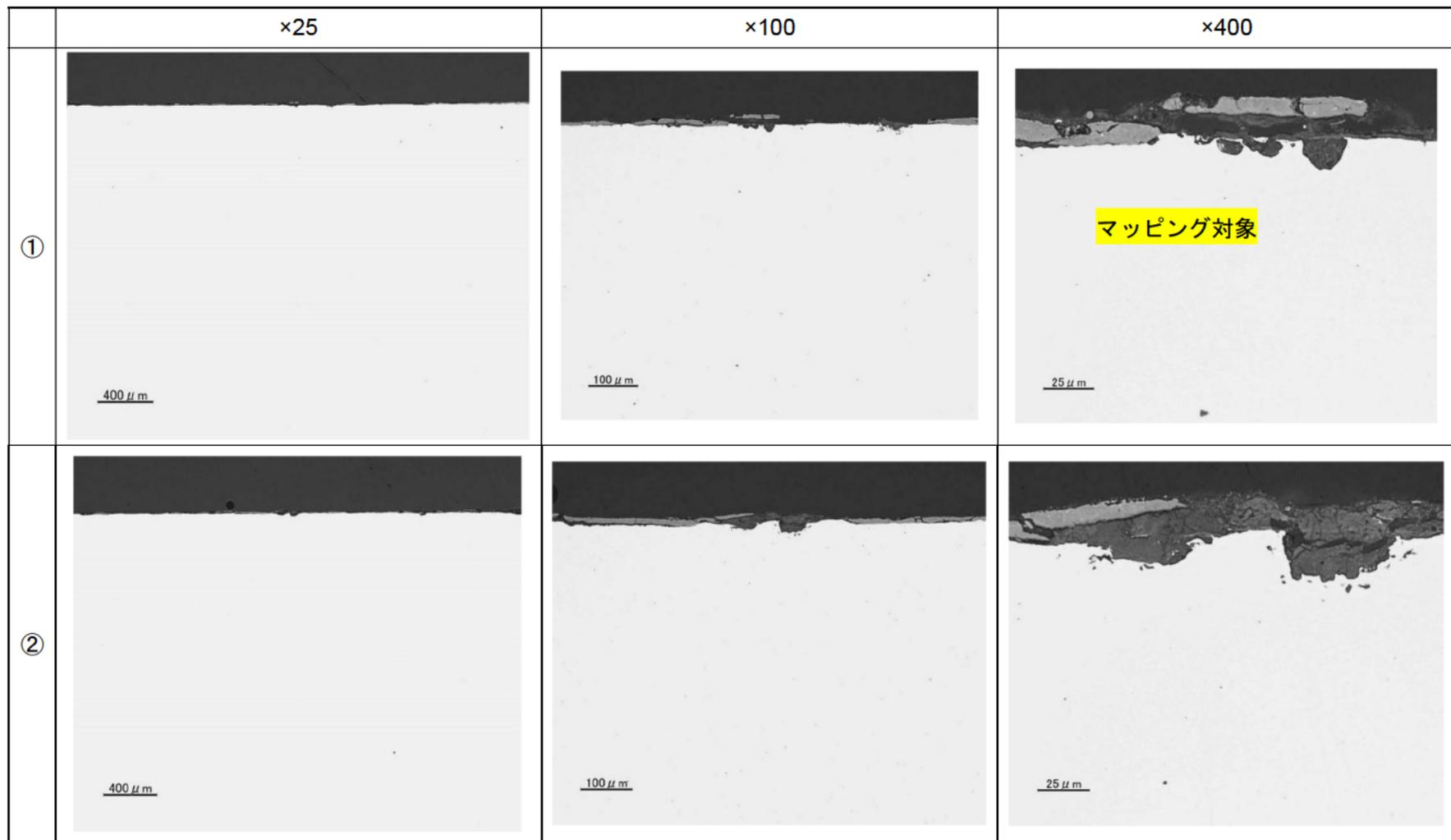


図 5.3.2-19 断面観察結果 : A-1

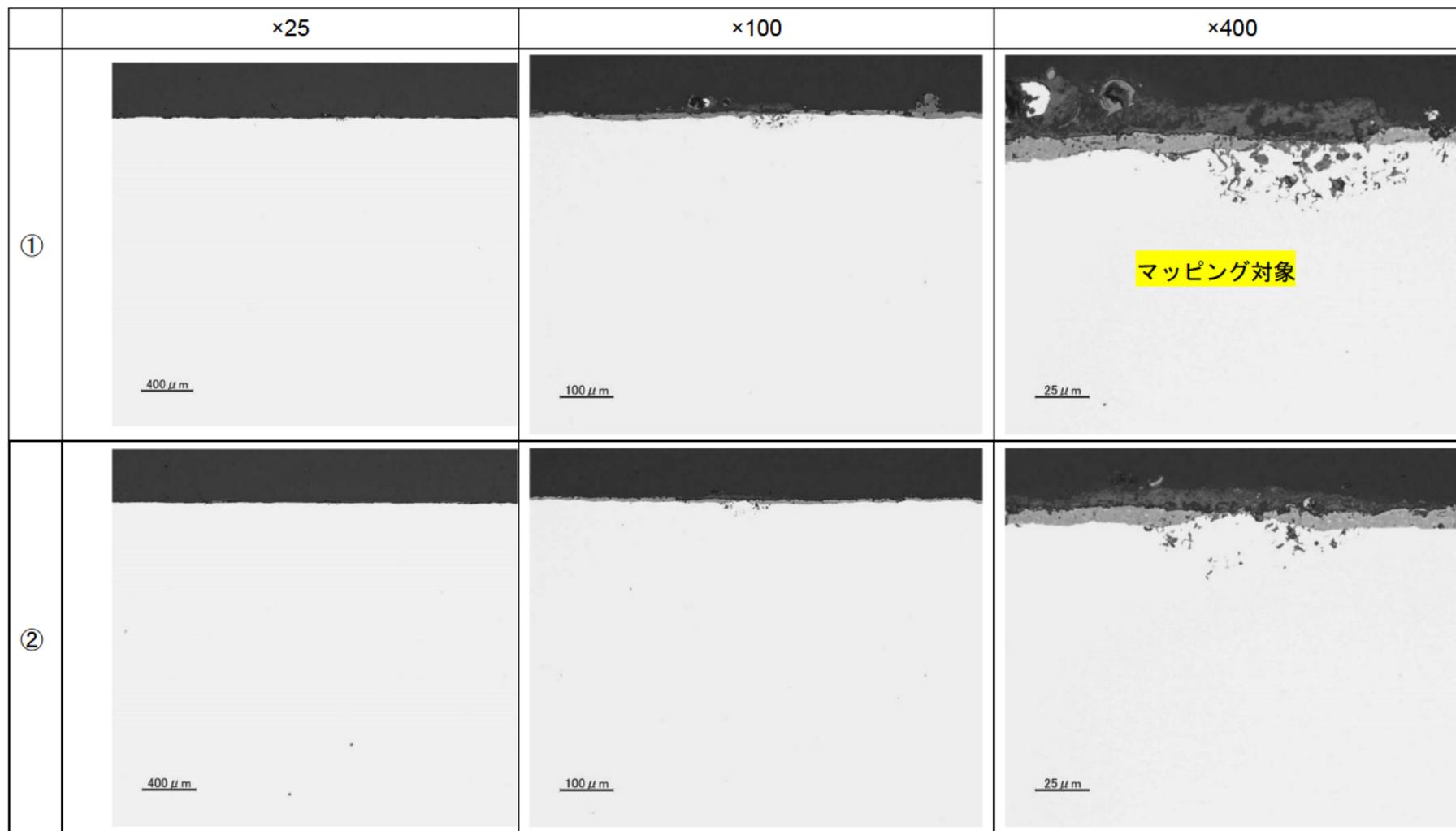


図 5.3.2-20 断面観察結果 : A-2

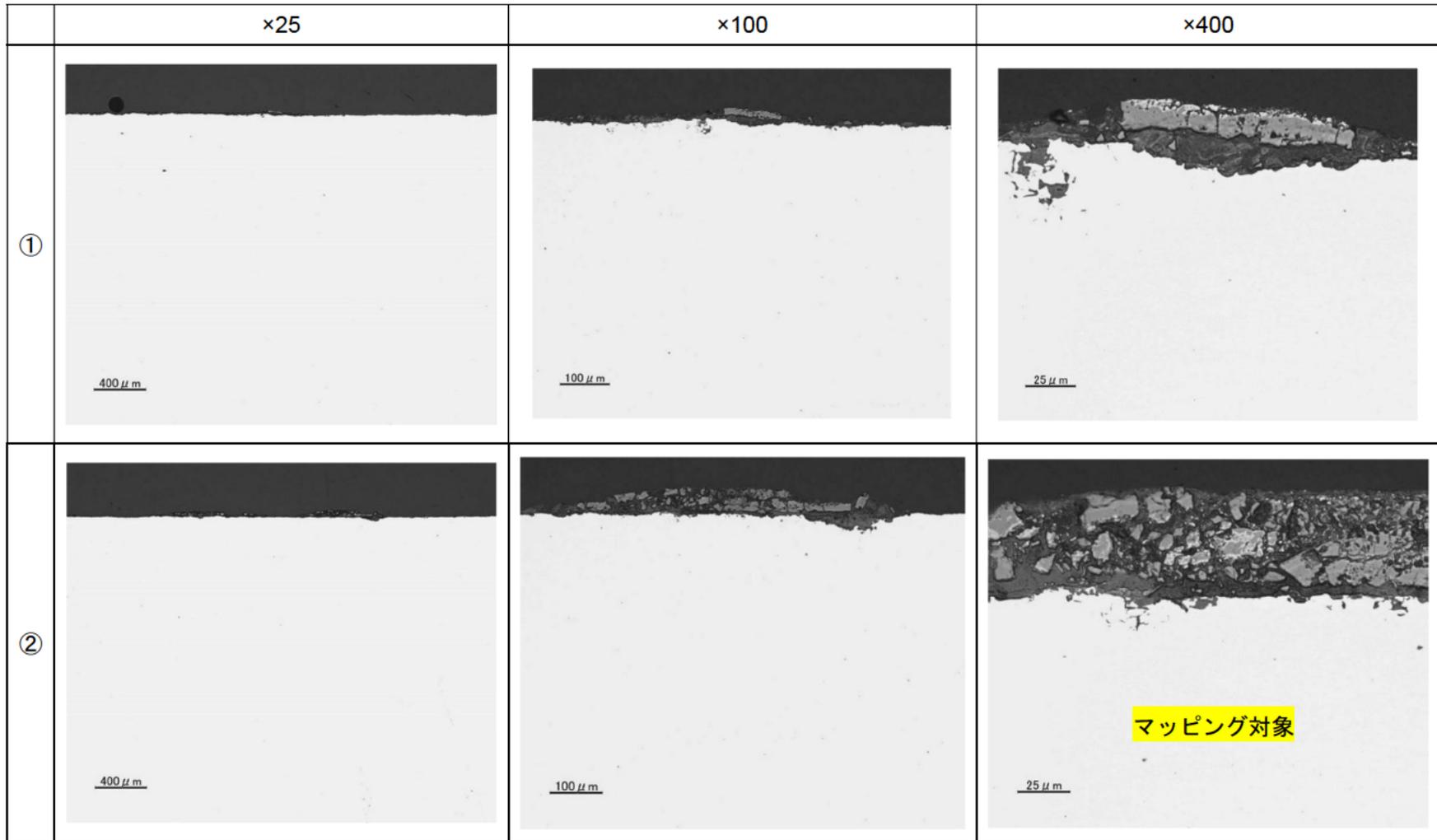


図 5.3.2-21 断面観察結果 : B-1

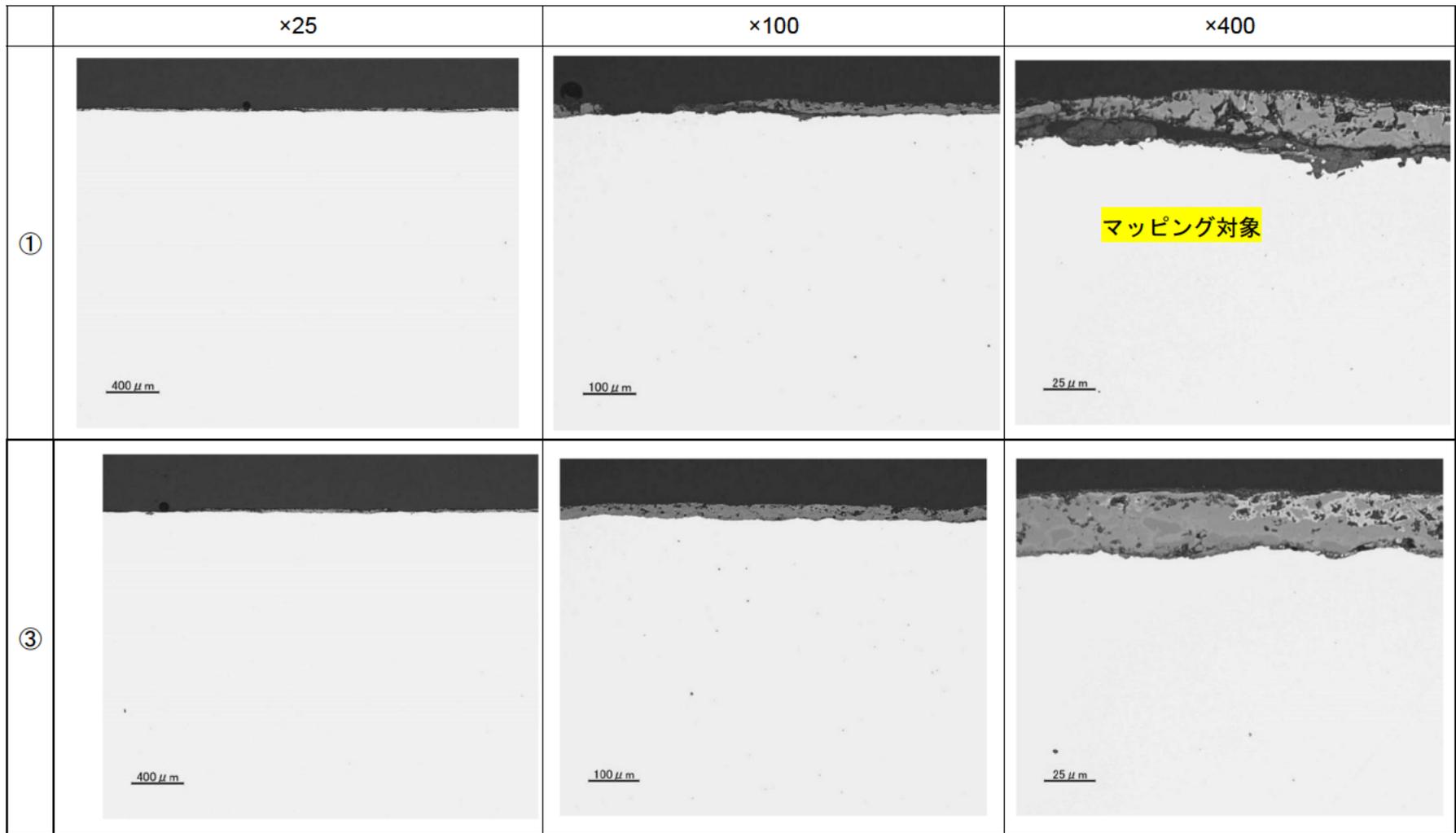


図 5.3.2-22 断面観察結果 : B-2

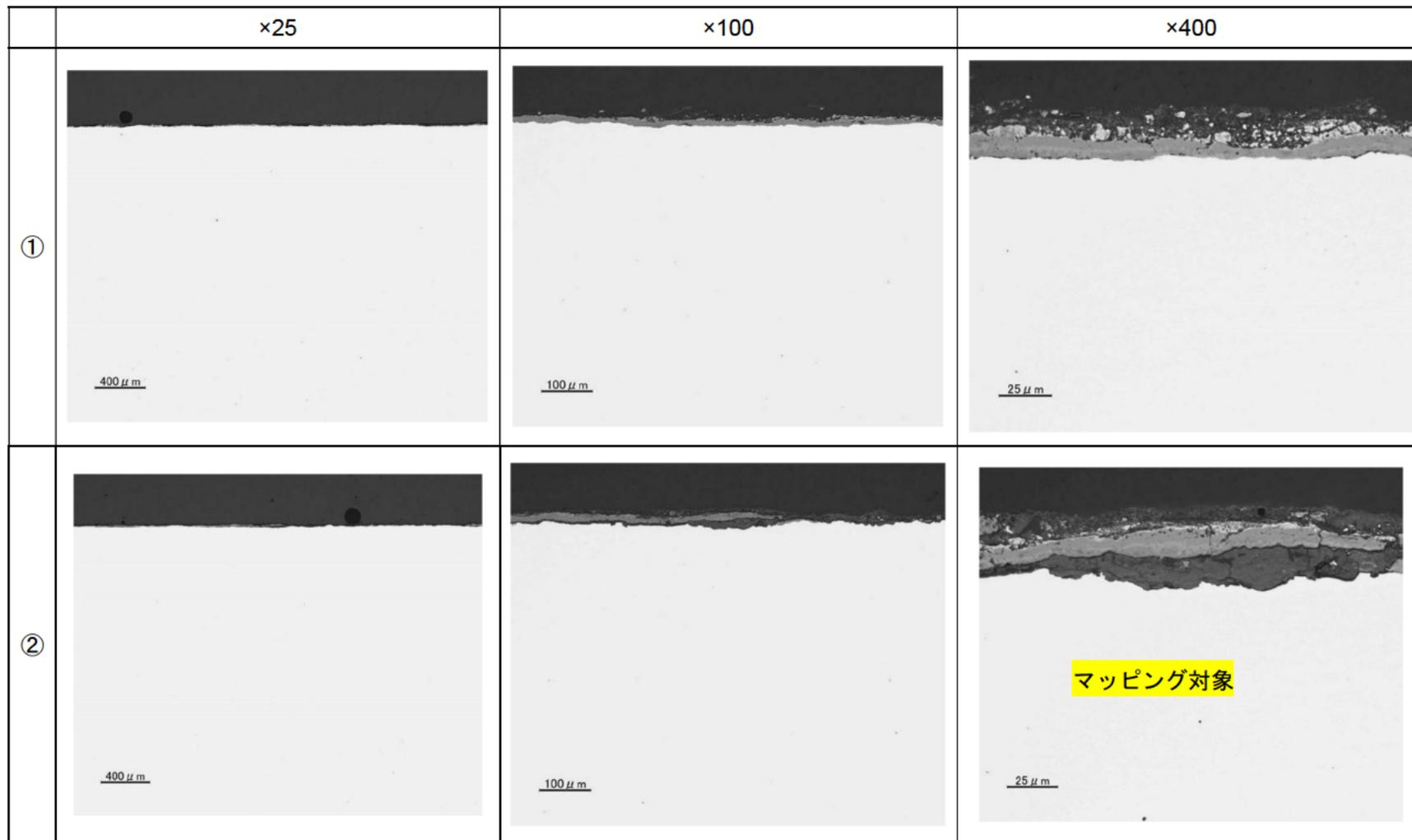


図 5.3.2-23 断面観察結果 : C-1

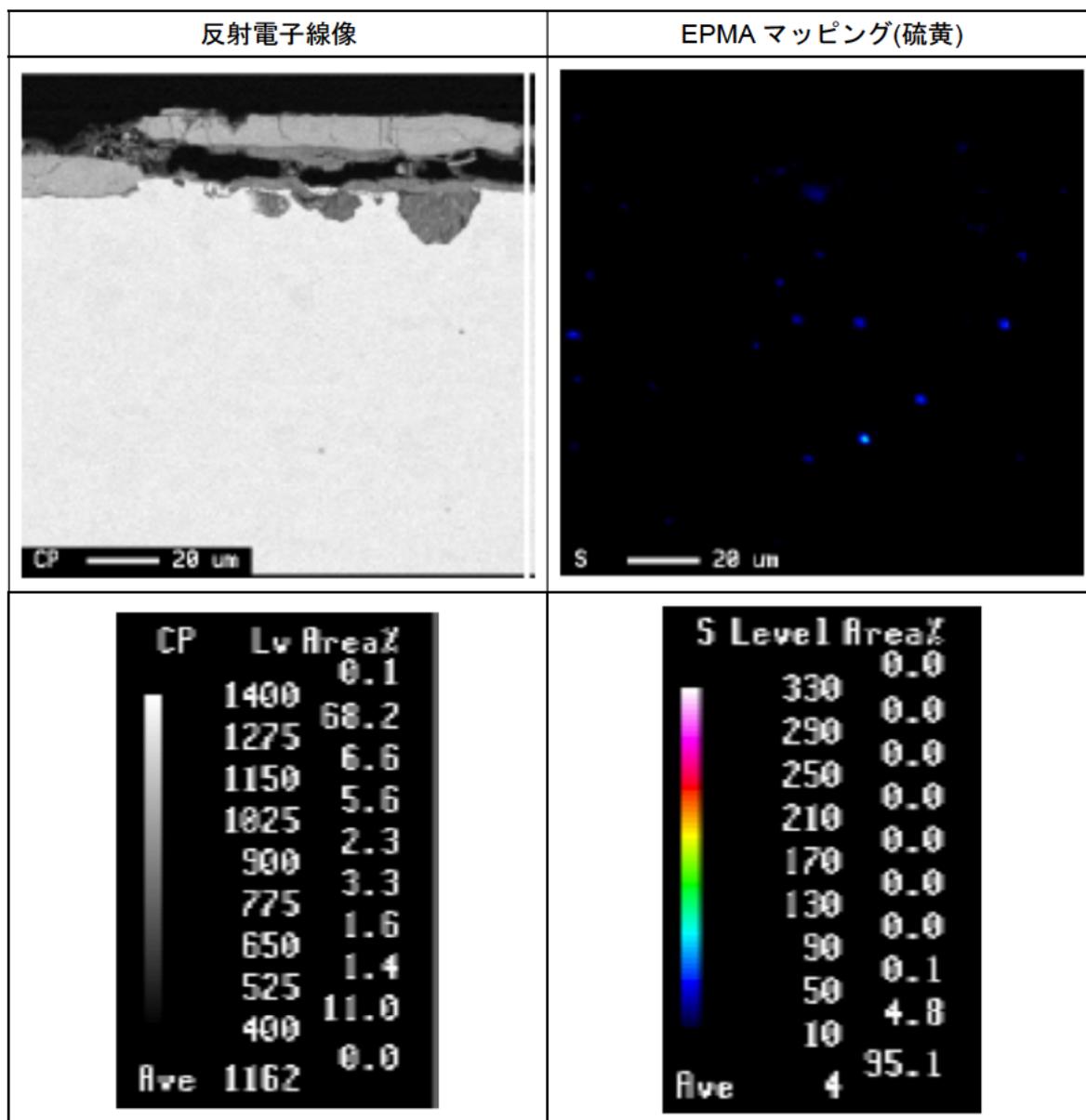


図 5.3.2-24 EPMA マッピング分析結果(A-1 図 5.3.2-21①)

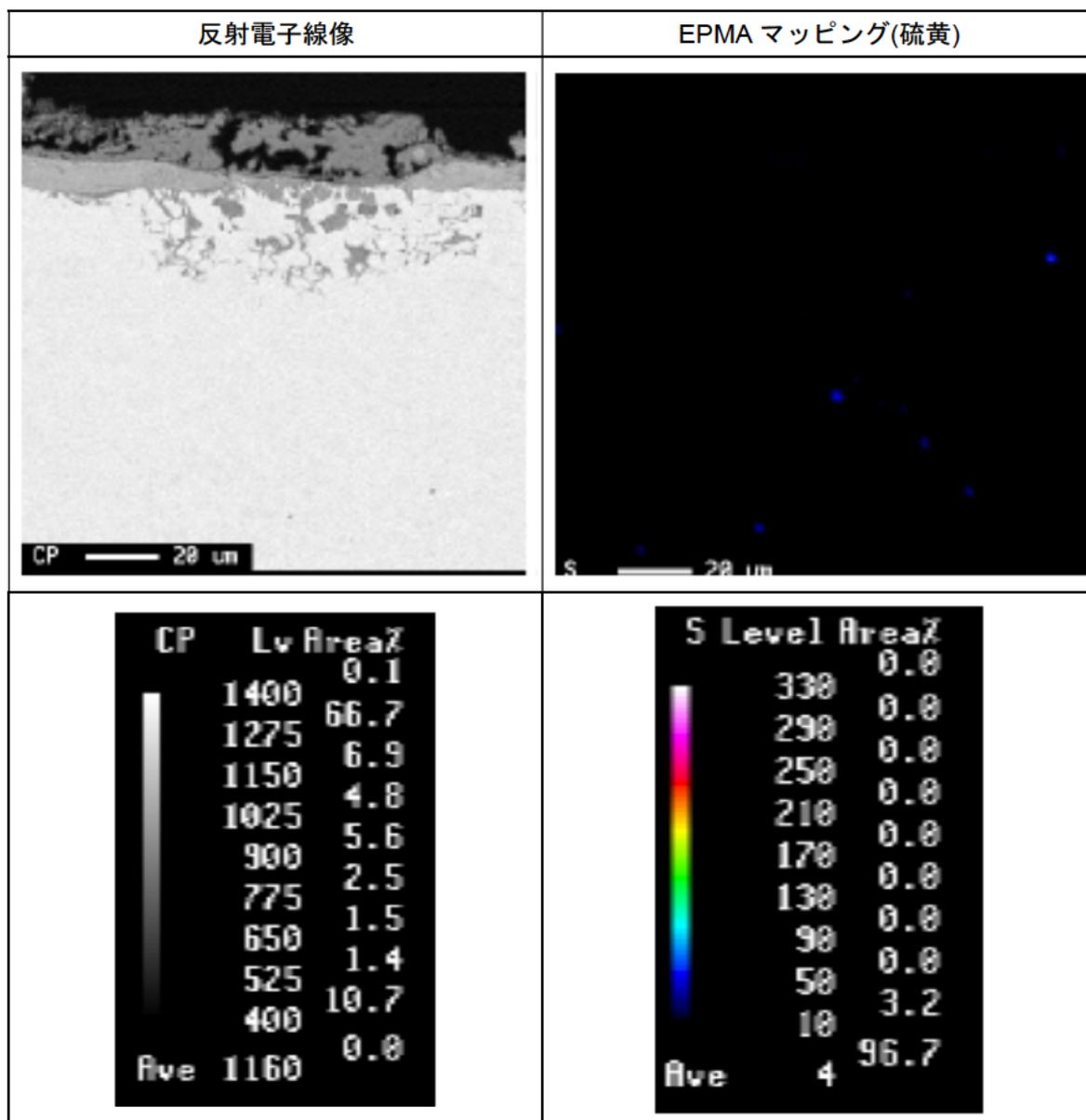


図 5.3.2-25 EPMA マッピング分析結果(A-2, 図 5.3.2-22①)

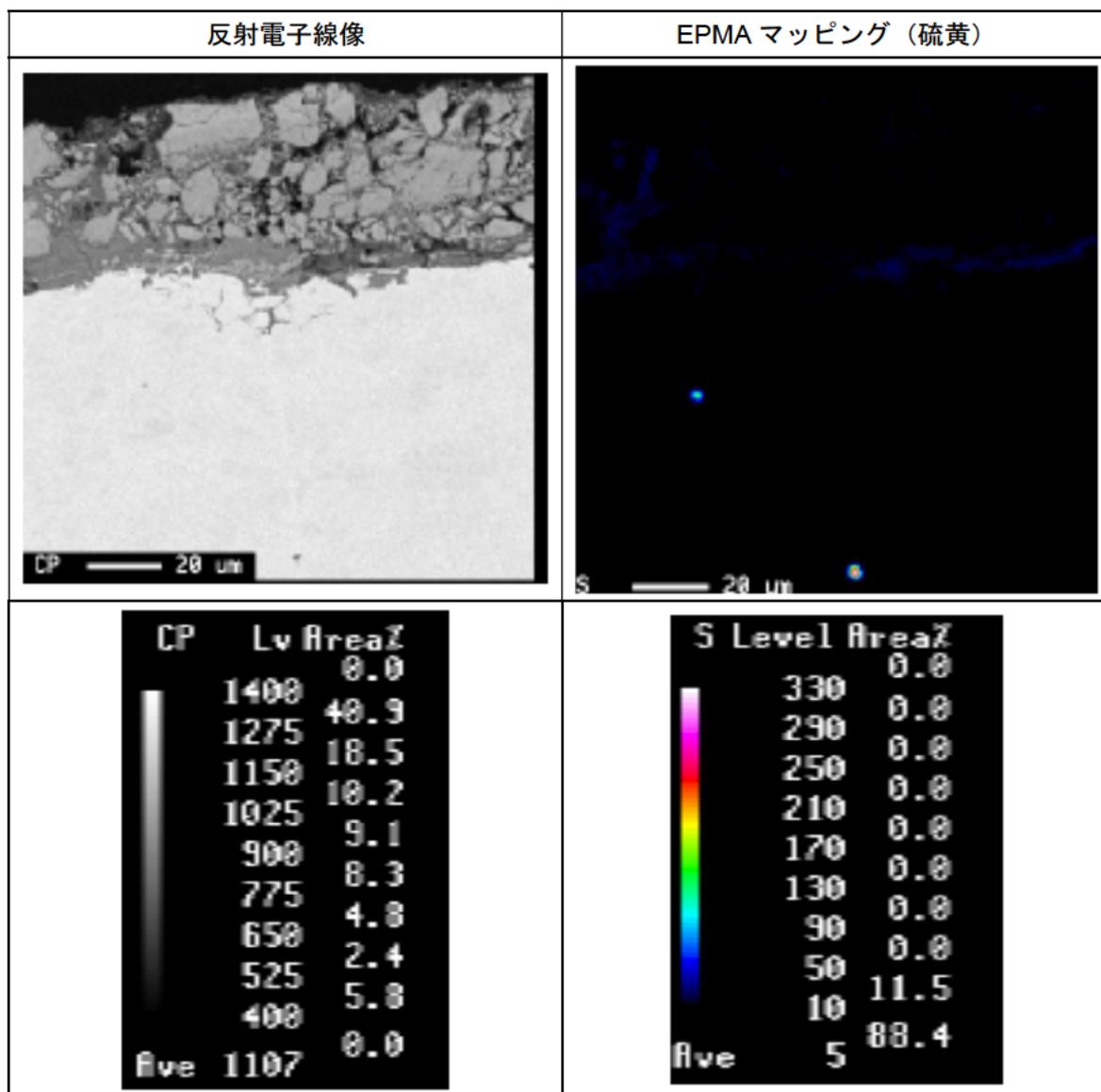


図 5.3.2-26 EPMA マッピング分析結果 (B-1, 図 5.3.2-23②)

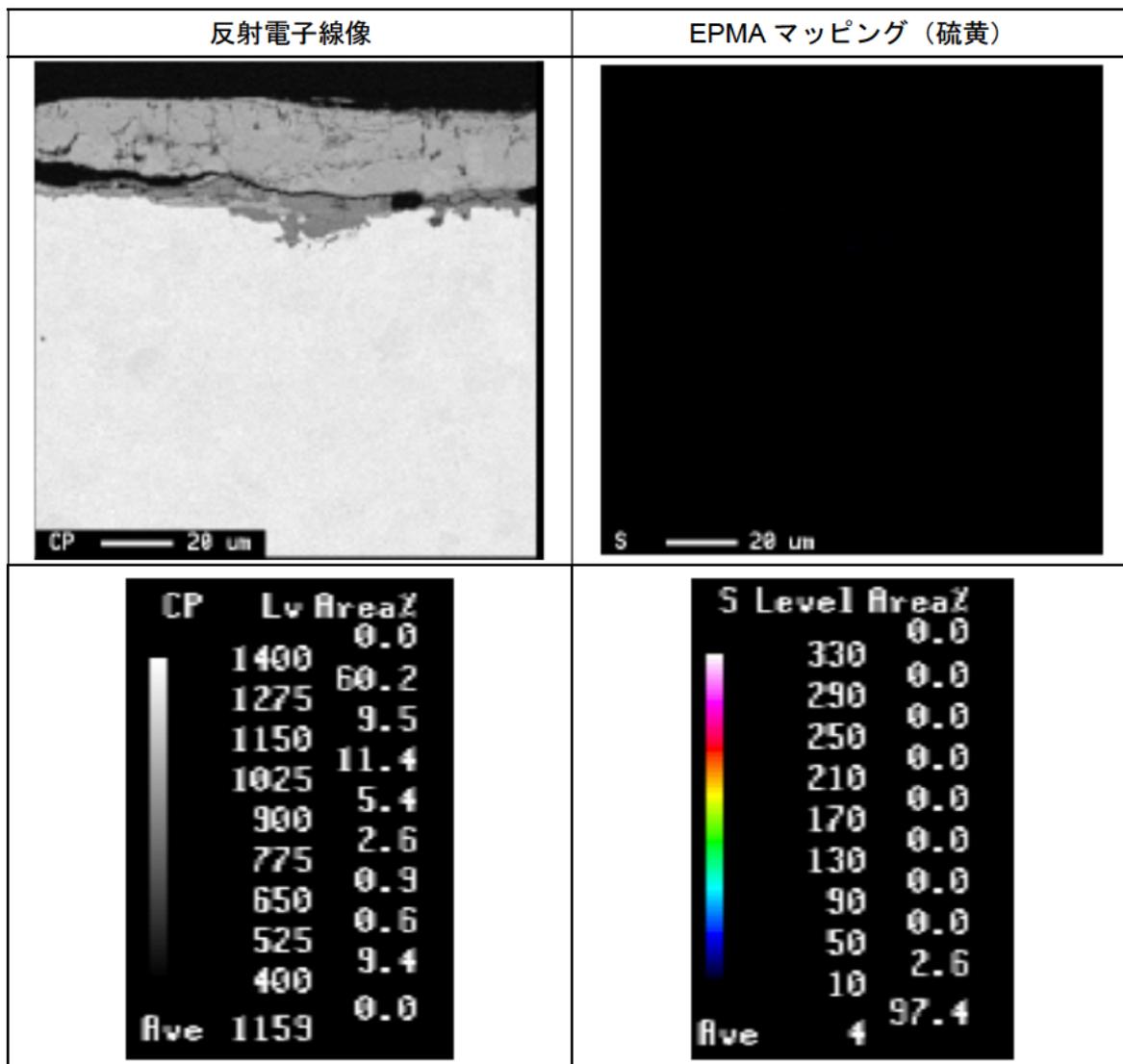


図 5.3.2-27 EPMA マッピング分析結果 (B-2 図 5.3.2-24.①)

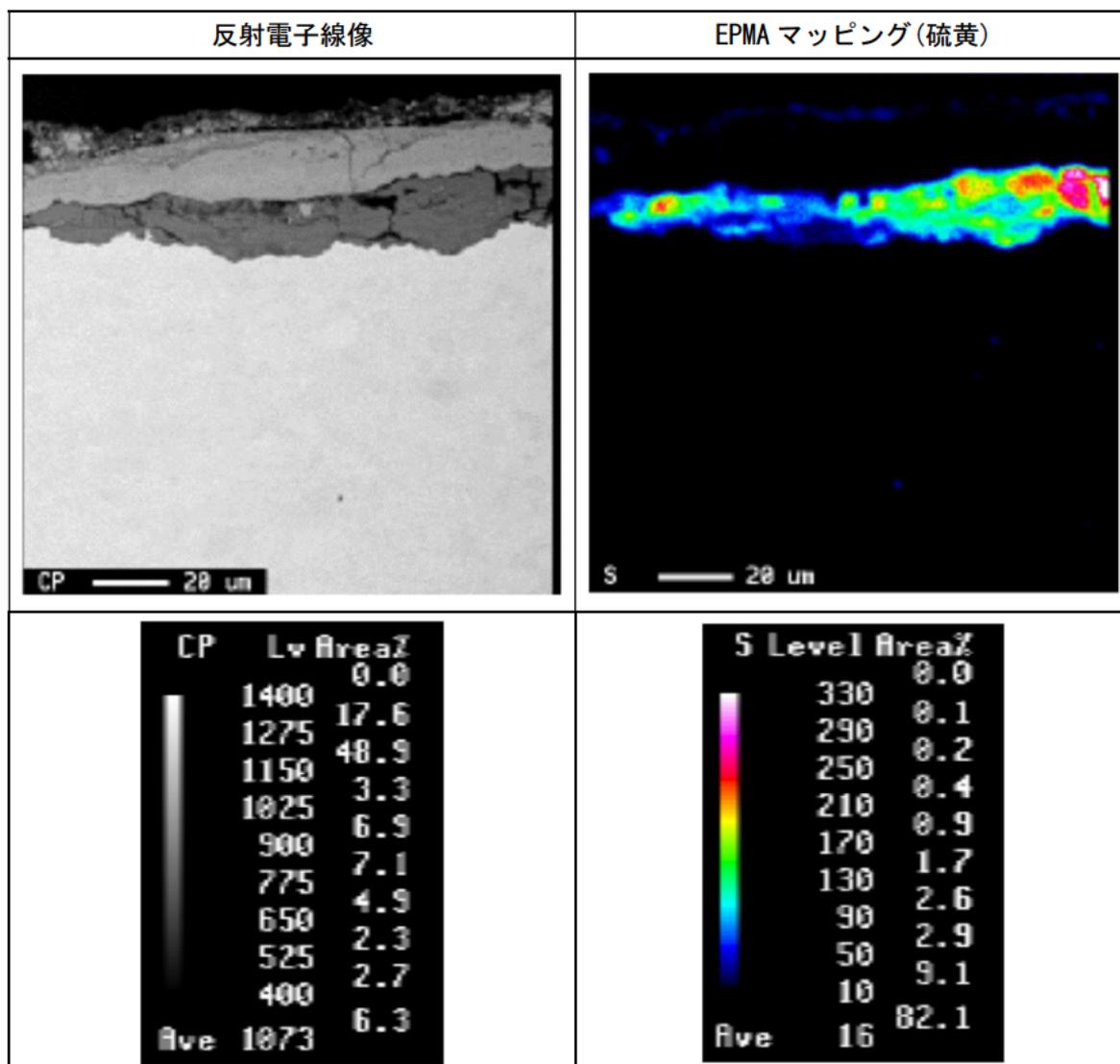


図 5.3.2-28 EPMA マッピング分析結果 (C-1 図 5.3.2-25②)

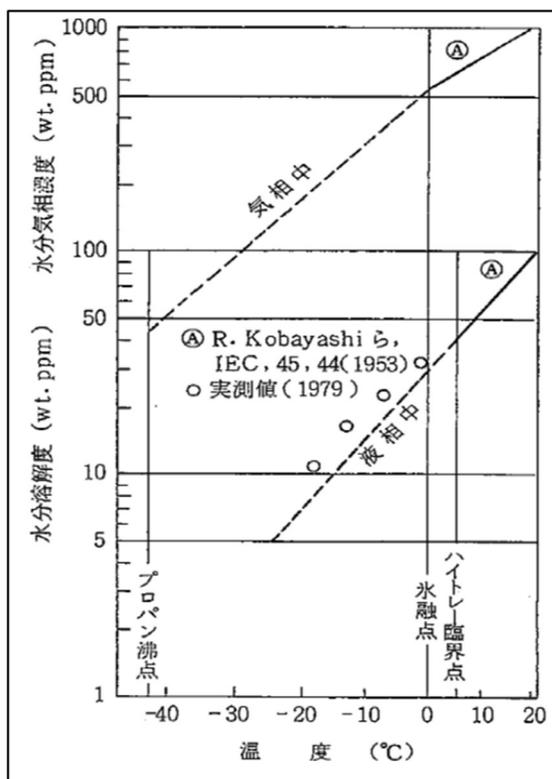
C-1 以外の 4 試料では S は確認できなかったが、腐食進行時に存在していた S が分析までの試料調整等の影響で検知できなくなることも想定される。C-1 の S 分布と表 5.3.2-2 の EDS の結果からは、他の部位でも S が影響した腐食が起きていた可能性は示唆されるが、硫黄 (S) 化合物としての存在形態の特定はできず、着臭材成分である可能性も高い。

(4)内面の錆成分の分析結果のまとめ

初回告示検査合格貯槽の再使用にかかるバルク貯槽の内面腐食状況を確認するため、再使用経過年数2年程度であって供給設備に設置されたバルク貯槽を試験体として、残留ガスの成分分析及び腐食性試験を実施し、水分量、不純物成分（硫黄分、硫化水素等）の定量や銅板腐食試験による腐食性の有無について確認するとともに、経年バルク貯槽の内面の錆成分分析等を実施した。

その結果、残留ガス等の成分分析及び腐食試験の結果、硫化水素は検出下限値未満の濃度でかつ、銅板腐食試験は1a（KHKS0850-2のクライテリア＝1以下）であり、残留ガスに腐食性はなかった。

確認した水分量は遊離水分が存在しないレベルであったが、H27年度の貯槽内残留ガス分析結果（添付資料1の参考欄）による水分量は最大53wt ppmを認めており、その場合下図プロパン液・気相中水分濃度（平衡状態）から水分が凝縮し錆が生成する可能性について考察すると、水が存在する大気中の反応として提唱されている^{*1)} Fe(OH)₂ 形成の反応から、295kg貯槽では0.3μm程度、495kg貯槽では0.4μm程度の錆の形成と推察される。そのため、仮に結露しても、水による腐食は限りなく進展しないと予測される。



1個のOHは1個のH₂Oに相当し、Fe原子1個当たり水分子2個消費され酸素および水は消費され、Feと反応する水は $32.9\text{g/m}^2 \times 5.069\text{m}^2 / 55.85 \times 2 \times 18 = 107\text{g}$ 、ガスから発生する遊離水の量は $(53-30)\text{ppm} \times 298\text{kg} = 6.9\text{g}$ と想定される

出典：Kobayashi R.Katy D.L., Ind, Eng chem., 45 440(1953)
 高圧ガス保安協会液化石油ガス消費者センター研究第2 専門委員会資料（1975～1980）

図 5.3.2-29 プロパン液・気相中水分濃度（平衡状態）

また、告示検査などで大気暴露された場合には、一時的に貯槽内に大気中の水分により、腐食が発生する可能性はある。A-1 試験体については本試験提供前に、残ガス処理した後ファイバースコープによる内部の観察を実施したところでは、図 5.3.2-1 のとおり錆を認めていなかったが、今試験では試験体からバルブ等の附属品除去後、内部検査着手までの期間は 30 日程度を要していることから、内面の赤い粉末状の付着物質（概ねレピドクロサイトとゲータイト）が、今試験過程での大気暴露により形成されと考えられる。告示検査等でバルク貯槽内面が大気にさらされることとなった場合、*2)水が存在する大気中の錆発生反応としては $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 形成を含む過程が提唱されており、内表面全面が*1) $\text{Fe} + 2\text{OH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$ の反応が進むと仮定した場合、30 日程度では 298kg 貯槽では 0.4 μm 程度、同様に 985kg 貯槽（容積：2.45 m^3 、面積 11.15 m^2 で計算）では 0.5 μm と殆ど腐食が進行しないと推定される。これはバルク貯槽内に大気（空気）に置換され、置換後は附属品等を付けることによりバルク貯槽内が閉空間であった場合において、全面に均一に水が反応すると仮定した予測であり、バルク貯槽が大気開放状態にて放置されていた場合、4.2 μm 程度の腐食量になることはあり得る。このことから、告示検査等で貯槽内面の大気暴露機会が環境（期間、温度、湿度）によるものの、バルク貯槽内面に錆生成を進展させる要因としてあることから、告示検査によるバルク貯槽内面の大気との接触機会をできる限り短くすることを考慮しなければならない。

大気暴露により形成される錆の推定（算定条件）

炭素鋼の大気中の腐食速度は 100~400 $\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$ との報告 *2) : 400 $\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$

大気暴露期間 : 30 日

材料の密度 : 7.83 g/cm^3

貯槽容積 : 0.745 m^3 （298kg 貯槽）

槽内内面の面積 : 5.069 m^2 （外径 815mm、長さ 1620mm の円筒で計算）

材料の分子量 : 55.85（Fe の原子量）

温度 : 25 $^{\circ}\text{C}$

湿度 : 50%

飽和水蒸気量 : 23.02 g/m^3

酸素濃度 : 261.6 g/m^3

分子量が大きい炭化水素成分（C₅ から C₅₀ まで）及び全硫黄は充填用ガス中の成分と比較して数十倍程度又はそれ以上検出されており蒸気圧が低い成分の濃縮傾向が見られた。

次いで、試験体の内面を観察した結果、初回告示検査合格貯槽の再使用バルク貯槽内部において浮き錆程度の軽微な錆がみられ、内面観察後目視により試験体それぞれの腐食が大きいと思われる箇所を選定採取、錆断面の観察をしたところ、試験体毎で差異がみられ最大で 50 μm 減肉したと推定される箇所があった。

*3) 国内の沿岸部では 100μm/年、標準地域では 50μm/年程度の腐食速度とされているところから、バルク貯槽の延べ供用期間が約 22 年であったことを考慮すると十分小さいものであるといえる。また、それらの錆を分析した結果、試験体での差異がみられた。貯槽内面の錆生成には鋼板製造時のスケール（高温下で生成される錆）と大気中・水中環境下で生成される錆についてその生成に明確な違いがあることから、前述のとおり試験体の差異は大気暴露の有無の違いがあったと想定される。

錆の断面を観察による硫黄の存在は、20 μm 程度減肉したと推定される箇所においては錆層に硫黄が僅かに存在していた。硫黄は水と酸素が存在する環境では SO₄²⁻などの腐食因子となりうる。この SO₄²⁻濃度が高くなると酸性になり、水の還元反応による腐食速度も大きくなるが、酸素が消費された後は SO₄²⁻も生成されないため、腐食速度は小さくなる。ガス成分分析の結果、全硫黄が 15ppm～35ppm（従前試験結果では 360ppm）程度検出されていたことから、この硫黄成分が発錆に関与していた可能性はあるが、検出された全硫黄は、着臭材成分に含まれる硫黄化合物の硫黄成分を合わせた測定結果であり、大部分が着臭材由来の硫黄であると考えられる。着臭材は安定した物質であるため、着臭剤内の硫黄が反応することは考えがたい。また、残留ガス中は、水と酸素が殆ど存在しない環境下であるため、硫黄による腐食の進行は殆どしないと考えられる。

以上の結果より、供用中における試験体の内部は特に腐食が進行しやすい環境下にあったとは考えにくく、製造時の水耐圧試験等の影響により残存したわずかな水分及び酸素による腐食反応が供用初期にのみ進行したもの、若しくは告示検査時の大気暴露により形成されたと思われる。一般的に、溶存酸素を含む中性の水による鋼の腐食は主に下記のアノード反応/カソード反応の組み合わせで進行する。この腐食速度（湿潤環境での腐食速度）は、表面防食措置を施していない場合においては*3)国内沿岸部では約 100μm/年、標準地域では 50μm/年程度の腐食速度である。

- (1) アノード反応： $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ (Fe の溶解)
- (2) カソード反応： $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ (溶存酸素の還元)

*4) LP ガスが充填された状態ではバルク貯槽内の酸素は少ないため、この腐食反応で消費されて溶存酸素の還元反応は起きなくなる。その後も水の還元反応による Fe の溶解は起きるが、この反応速度は極めて小さく数 $\mu\text{m}/\text{年}$ 以下といわれている。

従って、供用中において外部空気の混入がなかったと考えられる試験体の腐食は、製造段階における大気環境条件下での錆生成と製造段階において混入したと思われる水分及び酸素、若しくは告示検査においての大気接触が上記の腐食反応により消費されるまでの錆生成によるものであり、供用中においては、内面の腐食はほとんど進行しないものと予測される。

参考文献

- *1) 三沢 俊平：防食技術、Vol.32、pp.657-667（1983）
- *2) 篠原正：表面化学 Vol36, No.1、pp.4-11(2015)
- *3) 腐食防食協会編：住宅の腐食・防食 Q&A、p.172、丸善、（2004）
- *4) 高レベル放射性廃棄物の地層処分容器材料の腐食寿命評価
まてりあ第 39 巻 第 4 号（2000） 谷口直樹、本田明

5.3.3 供給ガス成分の分析調査

バルク貯槽は、長期間の使用（以下「経年バルク貯槽」という）により繰り返し LP ガスが充填される。そのため自然気化方式（貯槽気相より LP ガスを取出し供給する方式）に供用されるバルク貯槽の液相（以下「残留ガス」という）中の着臭剤等やドレン分等が濃縮されることは、過去に実施された残留ガスの組成分析の結果により確認されているところである。

長期間の使用により繰り返し充填された経年バルク貯槽から自然気化方式及び強制気化方式（貯槽液相より LP ガスを取出し強制気化装置を用いて供給する方式）にて液化石油ガス器具へと消費のために供給されたガス（以下「供給ガス」という。）の組成について調査確認することとした。

自然気化方式及び強制気化方式それぞれのバルク貯槽に対し、使用開始後の経過年数が 10 年を超え 20 年に至る経年実績を有するバルク貯槽内の液相及び気相の液化石油ガスを採取し、主な組成分、ドレン分等の分析調査を行った。

調査方法及び調査結果を以下に示す。

(1)試験体の供給ガス・残留ガスについて

試験体は、次の①から③に掲げる条件に基づき、現在供用中の自然気化方式及び強制気化方式それぞれの経年バルク貯槽を選定した。試験体として選定したバルク貯槽の概要を表 5.3.3-1 に示す。また図 5.3.3-1 及び 5.3.1-2 に選定したバルク貯槽を示す。

試験体の貯槽内部よりそれぞれ貯槽の液相、気相から液化石油ガスを採取した。

①条件 1

自然気化方式にあっては繰り返し充填により、LP ガス中の蒸気圧の低い着臭成分、硫黄分、水分、炭素鎖の長い成分等は濃縮され、残留ガスには不純物成分が多いと考えられ「自然気化方式供給ガス」成分との相違が推察される。よって経過年数相当の実績があるものであって、一般消費者等消費の種別を勘案し、年間消費量の大きな表 5.3.3-1 に示すバルク貯槽 N1、N2 の 2 基とする。

②条件 2

強制気化方式にあっては繰り返し充填による「強制気化方式供給ガス」の組成の変化は殆ど無いものと想定されているが、経過年数相当の実績があるものであって、一般消費者等消費の種別を勘案し、年間消費量の大きな表 5.3.3-1 に示すバルク貯槽 F1、F2 の 2 基とする。

③条件3

前条件の自然・強制気化方式それぞれのバルク貯槽より行う気相、液相のサンプリングは一の液化石油ガス販売事業者を対象として行い、また、同一のストレージタンクから供給される充填用LPガス（以下「原料ガス」という。）が充填されるバルク貯槽であることとする。

表 5.3.3-1 ガス成分分析等調査 試験体バルク貯槽一覧

事業者	試験体番号	種別	型式 貯蔵能力 (kg)	供給 方式	製造 年月	設置 以降 経過 年数	使用量 (m3/ 年)	サンプリングの状況				
								採取場 所	液面 (%)	表面 温度 (°C)	圧力 (MPa)	採取量 (kg)
関東 周辺	S タンク	充填所	(原料ガス)									
	N-1 L	業務用 コインランドリー	縦置型 985	自然 気化	2009 /5	10年 10ヶ月	9,385.0	液相	85%	31.5	1.01	3.65
	N-1 V							気相	85%	34.2	1	3.55
	N-2 L	集合住宅	横置型 985	自然 気化	2007 /10	11年 5ヶ月	1,775.8	液相	57%	26	0.83	3.80
	N-2 V							気相	56%	23.2	0.77	3.35
	F-1 L	業務用 厨房	縦置型 985	強制 気化	2006 /1	13年 11ヶ月	19,504.0	液相	59%	22.6	0.8	3.70
	F-1 V							気相	58%	23.7	0.77	3.30
	F-2 L	業務用 商業施設	横置型 2900	強制 気化	2000 /7	19年 9ヶ月	23,589.0	液相	52%	25.2	0.8	3.70
	F-2 V							気相	52%	28.6	0.82	3.40

<p>N-1 自然気化方式 縦置型 985kg 業務用 (コインランドリー) 使用経過年月 10年10ヶ月</p>	
<p>N-2 自然気化方式 横置型 985kg 家庭用 (集合住宅) 使用経過年月 11年5ヶ月</p>	

図 5.3.3-1 ガス成分分析等調査試験体 供用中の自然気化方式バルク貯槽

<p>F-1</p> <p>強制気化方式 縦置型 985kg 業務用 (業務用厨房) 使用経過年月 13年11ヶ月</p>	
<p>F-2</p> <p>強制気化方式 横置型 2900kg 業務用 (商業施設) 使用経過年月 19年9ヶ月</p>	

図 5.3.3-2 ガス成分分析等調査試験体 供用中の強制気化方式バルク貯槽

(2)バルク貯槽内ガスの液相サンプリング

供給設備設置場所（消費先）において表 5.3.3-1 の試験体一覧に示す 4 基の試験体に対し、自然気化方式にあつては貯槽内液相（残留ガス）より、強制気化方式にあつては貯槽内液相若しくは強制気化装置に至る液相配管（供給ガス）より、容器内を真空引きされた小型容器 5 kg（公称）に、充填量は約 3 kg を目途にサンプリングを行った。

(3)バルク貯槽内ガスの気相サンプリング

供給設備設置場所（消費先）において表 5.3.3-1 の試験体一覧に示す 4 基の試験体に対し、自然気化方式及び強制気化方式ともに貯槽内気相（供給ガス）より、容器内を真空引きされた小型容器 5 kg（公称）に、充填量は約 3 kg を目途にサンプリングを行った。なお、サンプリングは約 3 kg を回収するにあたり約 1 時間程度を目途とし、極力平準な気相状態にてサンプリングを行った。

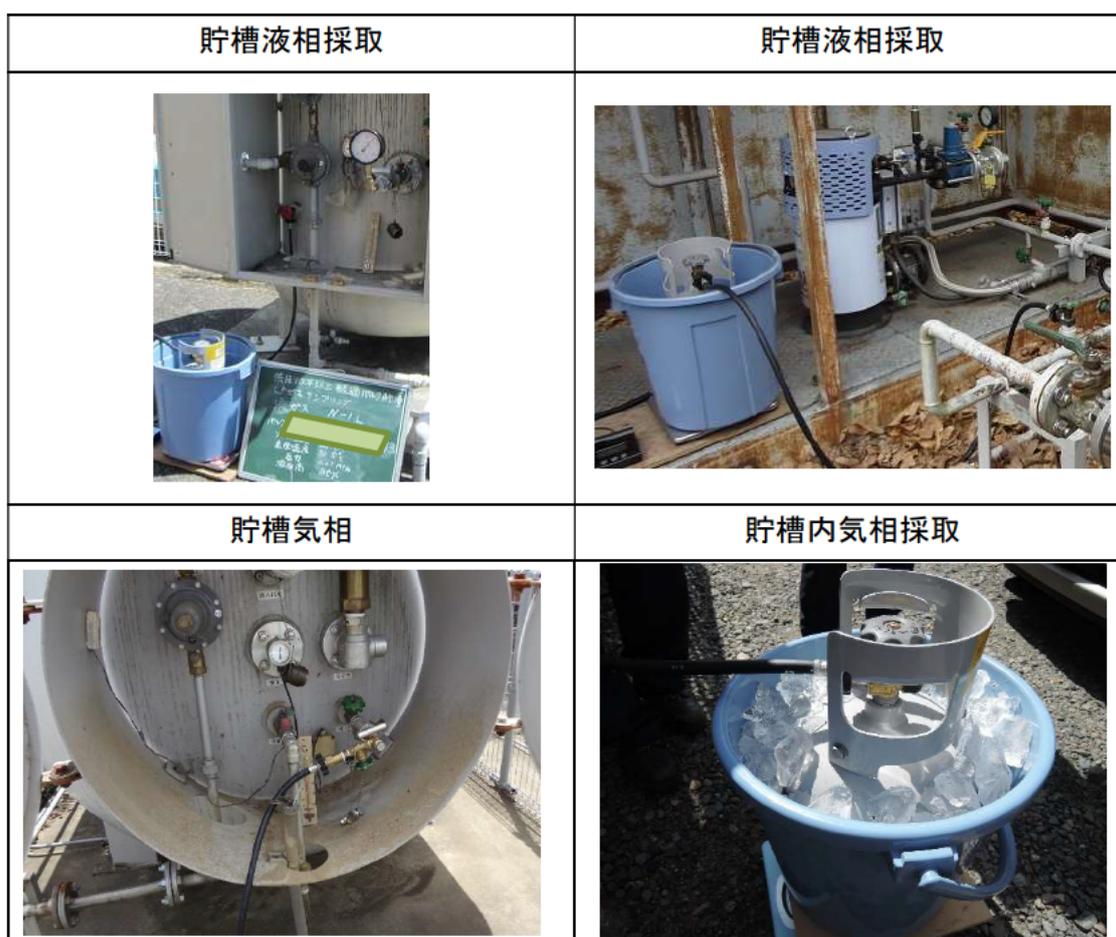


図 5.3.3-3 供用中のバルク貯槽サンプリングの様子

(4)定量分析の実施方法

定量分析は、気相、液相それぞれサンプリング採取した LP ガスを前述 5.3.1 LP ガスの成分分析の作業手順に準じ行い、表.5.3.3-2 に示す定量下限界にて分析する。また、成分ごとの分析の手法にあっても、定量分析にかける試料は、それぞれサンプリング採取した小型容器から液体の状態で採取したもの又は液体の状態で採取したものを気化させたものに準じて行った。

表.5.3.3-2 定量対象成分

		成分名	定量下限界	*1 品質ガイドライン
主成分		エタン・エチレン	0.1 vol %	≤5.0 mol%
		プロパン・プロピレン		≥92.0 mol%
		ブタン iso・n		報告
		ブチレン iso・trans・cis		報告
		1.3 ブタジエン	0.1 vol % 0.1 wt %(換算)	<0.1 wt %
		ペンタン	0.1 vol %	報告
残渣分	75°C	残渣（いわゆる油分）にあつては JLPGA-S-03 による蒸発残渣用ガラス器具により 75°、105° での蒸発残渣の質量法による計測値	1 wt ppm	≤60 wtppm
	105°C			≤10 wtppm
硫黄分		全硫黄	1 wt ppm	50 wt ppm
その他		メタノール	1 wt ppm	*2 ≤2,400 wtppm
		水分	5 wt ppm	≤70 wtppm

※1 一次基地（製油所並びに LP ガス輸入基地）から出荷される LP ガスについての規定

※2 商業用プロパンのメタノール添加量（出荷時、ppm）

・ 上限値：2,400

・ 以下、地域毎、北海道:450 以上、東北・中部山岳:350 以上、その他（沖縄を除く）300 以上

(5) 分析結果

供給方式別に自然気化方式の貯槽内気相（供給ガス）及び貯槽内液相（残留ガス）の、強制気化方式の貯槽内液相（供給ガス）及び貯槽内気相の分析結果を表 5.3.3-3 に示す。また、表 5.3.3-1 に示す設置以降の試験体のバルク貯槽の供用履歴より、バルク貯槽消費状況の成分分析結果に与える影響の有無を確認するため、貯槽能力（貯蔵量）より算出される年間の充填回数（以下「充填指数」という。（年間の消費量（kg）÷バルク貯槽貯蔵量（kg））を併記した。

①自然気化方式

気相中（供給ガス）主成分は、経年年数及び充填指数に関わらず、プロパンは約 95.7～97.9%以上、ブタンは 0.7～1.6%を示しプロピレンを微量（0.1%以下）に含み、1,3 ブタジエン、ブテン、ペンタンはともに殆ど認められなかった。全硫黄分は原料ガスより低量であった。水分は原料ガスの 5～8 倍、エタノールにあっては 1.9～3.4 倍と、いずれも原料ガスより気相中に多く含まれていることを示した。蒸発残渣は、原料ガスの 0.4 倍～42 倍が供給ガスとなることを示し、経年年数にはよらず、充填指数が小さい場合は殆ど認めないが、充填指数が大きい場合には蒸発残渣が供給ガスに含まれるものが確認された。

液相中（残留ガス）主成分は、経年年数及び充填指数に関わらず、プロパンは約 95.8～96.0%、ブタンは 3.8%を示しには、プロピレンを微量（0.1%以下）に含み、1,3 ブタジエン、ブテン、ペンタンはともに殆ど認められなかった。全硫黄分は原料ガスの 7.3 倍～11 倍と経年年数及び充填指数（3.6～19.1）の大きさにより硫黄分の濃縮が認められたが、前述 5.3.バルク貯槽内面検査方法の妥当性の検討のとおり、着臭成分であるターシャルブチルメルカプタン（TBM）、イソプロピルメルカプタン（IPM）、ジメチルスルフィド（DMS）等の硫黄化合物の合計値とほぼ等しい結果を示しており、硫黄単体としては殆ど存在しないと考えられる。水分は原料ガスの 4.5～6.5 倍、エタノールにあっては 0.5～0.9 倍を示した。蒸発残渣は経年年数及び充填指数が大きい場合、原料ガスの 36 倍～206 倍と充填指数が大きいほど残渣濃縮化する傾向を示した。

②強制気化方式

液相中（供給ガス）主成分は、経年年数及び充填指数（16.3～39.6）に関わらず、プロパンは約 95.7～97.7%以上、ブタンは 1.1～3.9%、プロピレンを微量（0.1%以下）に含み、1,3 ブタジエン、ブテン、ペンタンはともに殆ど認められなかった。全硫黄分は原料ガスの 0.7 倍～9.1 倍と充填指数の大きさにより硫黄分の濃縮が認められたが、前述 5.3.バルク貯槽内面検査方法の妥当性の検討のとおり、着臭成分であるターシャルブチルメルカプタン（TBM）、イソプロピルメルカプタン（IPM）、

ジメチルスルフィド（DMS）等により硫黄成分の大部分を示しており、硫黄単体としては殆ど存在しないと考えられる。水分は原料ガスの2～5.2倍、エタノールにあっては1.2～1.4倍を示した。蒸発残渣は原料ガスの1倍～20倍と充填指数が小さいほど供給ガス中に濃縮化することを示した。

強制気化方式による気相中には、経年年数及び充填指数に関わらず、プロパンが約95.0～97.2%以上、ブタンが0.3～1.5%、プロピレンを微量（0.1%以下）に含み、1,3-ブタジエン、ブテン、ペンタンは貯槽内の気相、液相ともに殆ど認めなかった。全硫黄分は原料ガスの0.1倍～0.6倍と経年年数及び充填指数にかかわらず少ないことを示した。水分は原料ガスの4.8～5.5倍、エタノールにあっては2.8～3.0倍と供給ガスよりやや多いことを示した。蒸発残渣は原料ガスの0.4～0.6倍と経年年数及び充填指数にかかわらず殆ど認めなかった。

表 5.3.3-3 気化方式別 貯槽内液化石油ガス（液・気相）成分分析

	成分名	単位	原料ストレージ	自然気化方式				強制気化方式			
				縦置型985kg 10年10ヶ月		横置型985kg 11年5ヶ月		縦置型985kg 13年11ヶ月		横置型2900kg 19年9ヶ月	
				液相分析	気相分析	液相分析	気相分析	液相分析	気相分析	液相分析	気相分析
				A-0	N-1L	N-1V	N-2L	N-2V	F-1L	F-1V	F-2L
主成分	C ₃ H ₈	vol%	97.3	95.8	95.7	96.0	97.9	97.7	95.0	95.7	97.2
	i-C ₄ H ₁₀	vol%	1.2	2.8	0.6	2.7	1.2	0.9	0.2	2.8	1.2
	n-C ₄ C ₁₀	vol%	0.2	1.0	0.1	1.1	0.4	0.2	0.1	1.1	0.3
	C ₃ H ₆	vol%	0.1	0.1	0.1	*<0.1 (0.04)	*<0.1 (0.04)	*<0.1 (0.07)	*<0.1 (0.09)	*<0.1 (0.05)	*<0.1 (0.06)
微量成分	C ₄ H ₈	vol%	*<0.1 (0.01)	*<0.1 (0.02)	*<0.1 (0.01)	*<0.1 (0.03)	*<0.1 (0.01)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.03)	*<0.1 (0.01)
	1.3-C ₄ H ₆	vol%	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)
	i&n C ₅ H ₁₂	vol%	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.02)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.02)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.00)	*<0.1 (0.02)	*<0.1 (0.00)
硫黄分	全硫黄	wt ppm	8	59	4	88	7	6	1	73	5
その他	水分	wt ppm	4	26	32	18	20	8	22	21	24
	メタール	wt ppm	59	27	200	54	110	73	180	85	170
蒸発残渣	75°C	wt ppm	3	630	140	120	1	4	1	60	2
	105°C	wt ppm	2	400	70	60	1	1	1	40	1
** 充填指数(貯槽回転数/年)				19.1	19.1	3.6	3.6	39.6	39.6	16.3	16.3

* <数字は計測下限値を示し、(数字) は下限値以下の読取値を示す。

** 充填指数(貯槽充填回転数/年): 貯槽充填回数を目安として
年間の消費量(kg) ÷ バルク貯槽貯蔵量(kg) により求めた指数

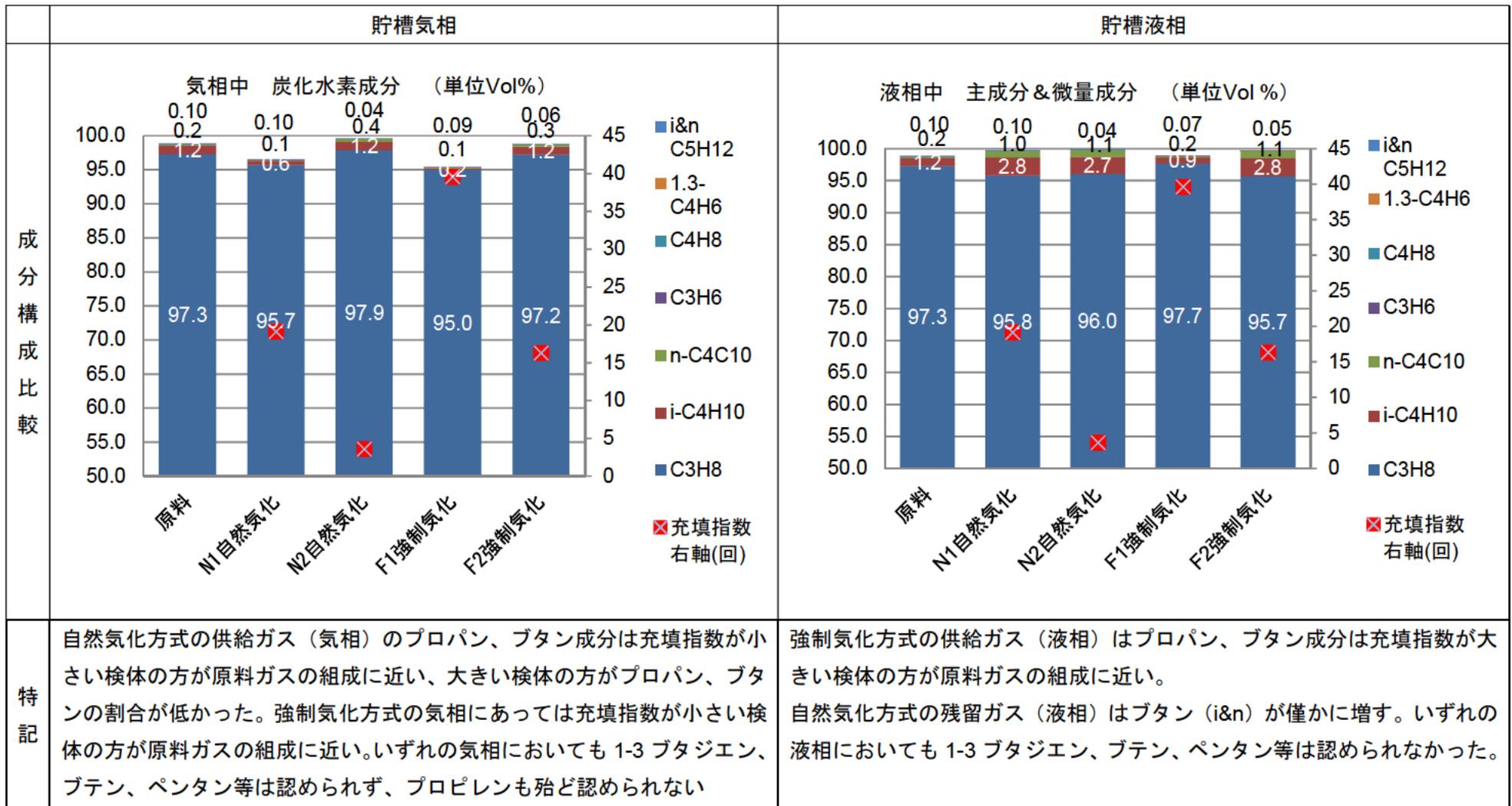


図 5.3.3-4 貯槽内液相・気相 主成分&微量成分（炭化水素）構成比較

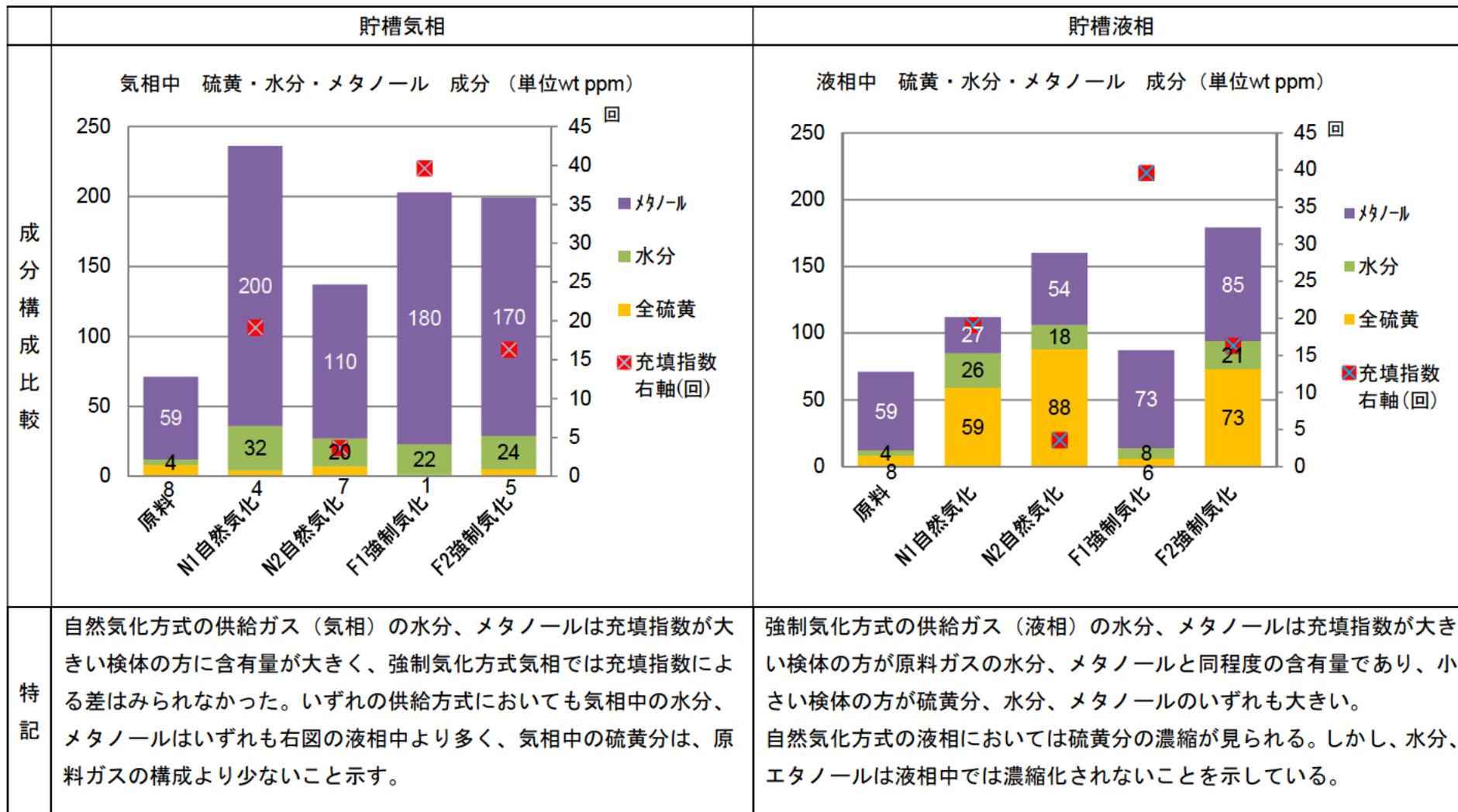


図 5.3.3-5 貯槽内液相・気相 硫黄分・水分・エタノールの成分構成比較

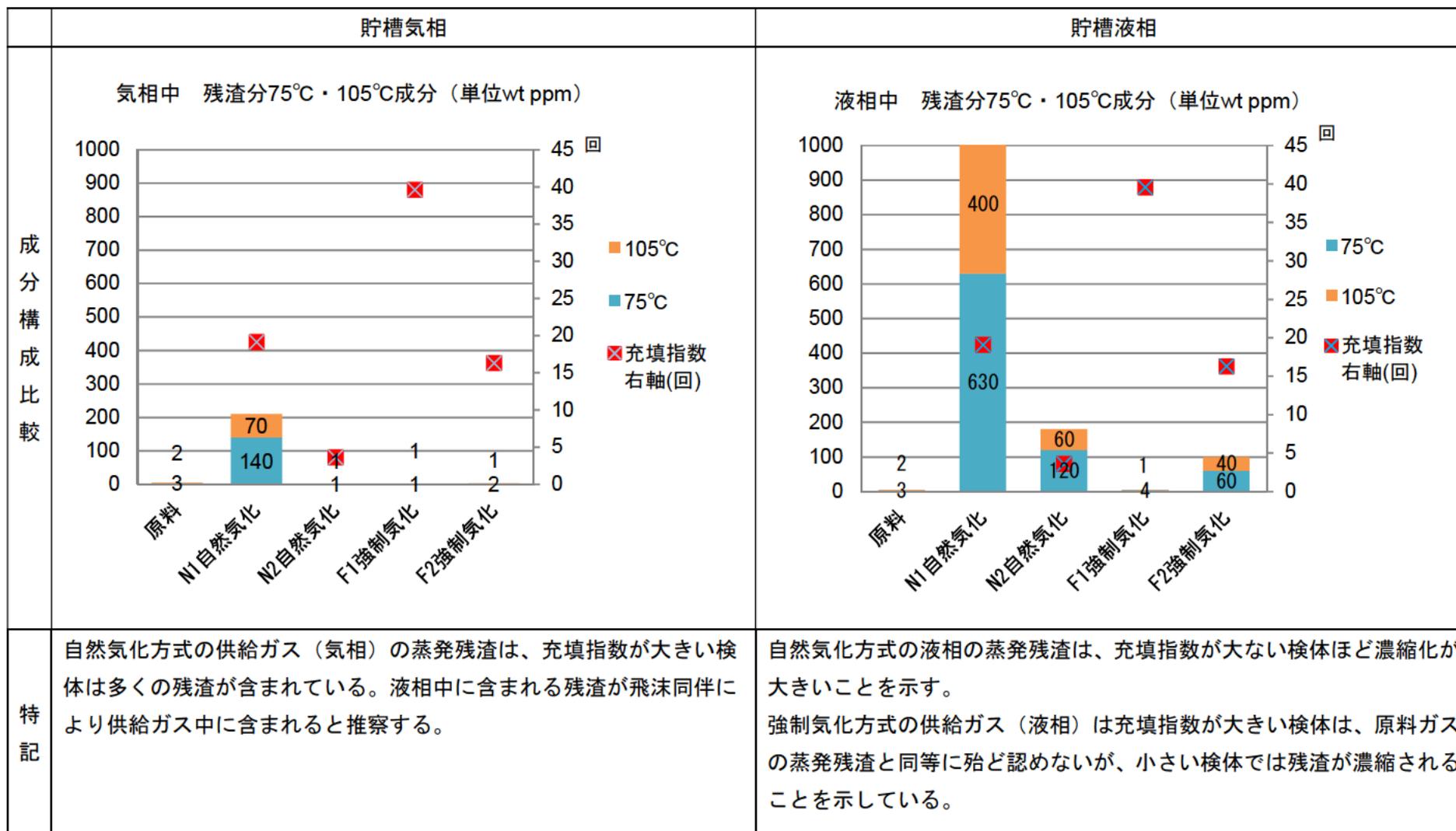


図 5.3.3-6 貯槽内液相・気相 蒸発残渣の成分構成比較

(6)まとめ

バルク貯槽における供給方式の違いによる供給ガスの成分組成を確認するため、供用履歴が10年以上を有するバルク貯槽を試験体として、自然気化方式であるバルク貯槽内部の気相（供給ガス）及び液相（残留ガス）の、強制気化方式であるバルク貯槽内部の液相（供給ガス）及び気相の成分分析（主成分、硫黄分、残渣分、水分、エタノール）を行い、充填指数の差異による供給ガス等への影響を調査した。

どちらの供給方式においても、供給ガス（自然気化方式にあつては貯槽内気相、強制気化方式にあつては貯槽内液相）中に1,3ブタジエン、プロピレンは殆ど検出されず、いずれもプロパン（約96～98%以上）、ブタン（1～4%）を示した。自然気化方式では充填指数が小さい程、強制気化方式充填指数が大きい程、原料ガスの組成成分に近い構成を示す。

硫黄分は自然気化方式では充填指数に係わらず、原料ガス中の硫黄濃度より小さく、強制気化方式では充填指数が小さい時、硫黄濃度は増加の傾向を示す。

蒸発残渣は、自然気化方式による供給ガスに、充填指数が大きい場合に多く含まれる傾向を示し、強制気化方式による供給ガスに、充填指数が小さい場合に多く含まれる傾向を示す。いずれの供給方式においても消費形態により成分構成に影響を及ぼす。

*1) プロパンには水分が僅かに（5℃で45wt ppm程度）溶けているが、容器から自然気化方式にてプロパンを使用する場合は気相の水分量は平衡（前述5.3.バルク貯槽内面検査方法の妥当性の検討中、図5.3.2-29）に達しない。しかし、気相中には液相濃度の7～8倍の水分が配分するとされており、気相中にその水分の構成が多くなることを示す。メタノールは水分構成に連動し、調整器において断熱膨張による温度低下時の水分のハイドレート化、氷結化防止としてLPガス気相中（供給ガス）に5～7倍となることを示しており、消費されることを示している。

水分、メタノールは供給ガスの構成成分として逐次消費されていくことでバルク貯槽内に濃化の度合いは低いと考える。

自然気化方式にあつては、貯槽内の液相（残留ガス）における全硫黄、蒸発残渣の濃化傾向は明らかであり、かつ充填指数の影響を受ける。初回告示検査においては、バルク貯槽内の残留ガスの入れ替えを行うことは重要である。

*1) 出典 Kabayashi R.Katy D.L.,Ind,Eng chem.,45 440(1953)

高圧ガス保安協会液化石油ガス消費者センター研究第2 専門委員会資料（1975～1980）

5.4 外面検査方法の妥当性の検討

バルク貯槽に係る供給設備の技術基準として、液石法施行規則第 19 条第 3 号ハ（11）に「バルク貯槽には、告示で定めるところにより、腐食を防止する措置を講ずること。」と規定されており、この技術基準は液石法施行規則第 36 条の定める点検項目でもある。液石法施行規則第 19 条第 3 号ハ（11）が示す告示は、バルク供給及び充填設備に関する技術上の基準等の細目を定める告示（以下「バルク告示」という）第 10 条にあたる。バルク告示第 10 条では腐食を防止する措置等の詳細として、バルク貯槽への塗装方法が規定されている。規定中には塗料の日本工業規格が定められているが、工業標準化法は 2019 年 7 月 1 日に制定され、法律を産業標準化法に、規格名を日本工業規格（以下「旧 JIS」という）から日本産業規格（以下「JIS」という）に改称された。既に廃版となった旧 JIS があるところから、バルク貯槽の塗料について検討するため次の試験を行った。

5.4.1 バルク貯槽に塗布される塗装試験

(1)バルク貯槽に塗布される塗装の性能

塗装は被塗装物表面に塗り広げられ、乾燥固化して連続した皮膜の形成（以下「塗膜」という）により様々な外環境からの遮断並びに被塗装物の長期間の視覚的な美しさ及び維持が目的である。

地盤面上に設置したバルク貯槽においては、バルク告示では、表 5.4.1 に示すとおり、下地処理を行った上で、錆止め塗装として旧 JIS K 5627（1995）ジンククロメート錆止めペイント二種又は旧 JIS K 5628（1995）鉛丹ジンククロメート錆止めペイント二種を、上塗り塗装として、旧 JIS K 5572（1995）フタル酸樹脂エナメルを塗装すること、又は旧 JIS K 5400（1990）に規定される試験により同等以上の性能を有すると認められる塗料を塗装することが規定されている。

塗料業界では、現在、国際的な塗料中の有害金属の削減の動きから旧 K 5627（1995）ジンククロメート錆止めペイント及び旧 JIS K 5628（1995）鉛丹ジンククロメート錆止めペイントは廃版となっている。また、塗料の性能についての試験方法を規定した旧 JIS K 5400 は、ISO に準拠する流れにより 2002 年 4 月 20 日付けで廃止され、JIS K 5600 が制定されている。

廃版となった錆止め塗料の上記規格に代わり、移行された JIS 塗料及び同等以上と想定される塗料について、長期耐久性を測る項目である、サイクル腐食試験等 JIS K 5600 にて種々定める塗料一般試験方法により確認を行う。また、上塗り塗料についても、長期耐久性を測る JIS K 5600 にて種々定める塗料一般試験方法により確認を行う。

試験方法を規定している JIS K 5600 と旧 JIS K 5400 は、耐候性及び耐光性性

能の試験において、異なる光源（JIS K 5600 にあつては、キセノンランプ法、旧 JIS K 5400 にあつてはカーボンアーク法）を用いており、光の波長毎のエネルギー分布（分光放射照度）は異なり、キセノン光源の方が若干紫外線放射量に相違があるものの、熱エネルギーに変換した際の温度は（63℃）とされ同等である。塗料業界において、国際標準に準拠を行う上で検討がなされ、JIS K 5600 に改正され、実際に運用されていることから、本試験では JIS K 5600 に準拠して行うこととする。

(1) 試験方法

錆止め塗装及び上塗り塗装を①より塗布した試験片を作成し、②及び③による試験を実施する。

① 塗装試験片

試験を行うにあつては、告示 10 条の定める塗料の種類を基準として、表 5.4.1-2 のとおり塗料の種類を定め、予め a)~d)よりを塗装試験片作成する。

- a) 塗装試験片は JIS K 5600-1-4 に規定する鋼板厚さ 3.0 mm 以上で JIS G 3101 に規定する SS400 とし、寸法は 150 mm×70mm とする。
- b) a)の鋼板にショットブラスト又は、サンドブラストによる一種ケレンにより下地処理を行った後、速やかに 3)の塗料を塗布する。
- c) 試験を行う塗料の規格を JIS 改定に伴い、旧 JIS 規格を次のとおり移行した塗料及び同等以上の性能を有する塗料として表 5.4.1-2 に示す塗料及び塗装仕様により塗布し試験片とする。それぞれの試験片は表 5.4.1-1 による仕様（告示に定める膜厚、塗装回数を基本として）により両面を塗装し、端面を保護した上で各 5 片を準備し、②及び③の試験を行う。試験開始前に JIS K 5600-1-7 に規定する非破壊試験法から塗膜の厚さをマイクロメートル(μm) 単位で測定する。
- d) 試験片 5 片は②及び③の試験用に各 2 片を使用し、1 片は試験終了時の比較試験片とする。

A 試験片（告示 10 条に定める塗料の JIS 移行塗料）

- ・ 錆止め塗装：旧 JIS K 5627(1995)「ジンクロメート錆止めペイント」
旧 JIS K 5628(1995)「鉛丹ジンクロメート錆止めペイント」
⇒移行塗料：JIS K 5674(2019)「鉛・クロムフリーさび止めペイント」
- ・ 上塗り塗料：旧 JIS K 5572(1995)「フタル酸樹脂エナメル」
⇒移行塗料：JIS K 5572(2010)「フタル酸樹脂エナメル」

B 試験片（JIS 改定以降で同等以上の性能を有する塗料）

- ・ 錆止め塗料：JIS K 5551(2018)「構造物用さび止めペイント」

- ・ 上塗り塗料 : JIS K 5659(2018)「鋼構造物用耐候性塗料」

C 試験片(重防食性能塗料(NEXCO仕様による長期防食性能を有するもの))

- ・ 下塗 1.2 層塗料 : JIS K 5553(2010)「厚膜形ジンクリッチペイント」
- ・ 下塗 3.4 層塗料 : JIS K 5551(2018)「構造物用さび止めペイント」
- ・ 中塗塗料 : JIS K 5659(2018)「鋼構造物用耐候性塗料」
- ・ 上塗塗料 : JIS K 5659(2018)「鋼構造物用耐候性塗料」



図 5.4.1-1 塗料塗布試験片塗膜厚測定

表 5.4.1-1 バルク告示 10 条に定める地盤面上に設置したバルク貯槽塗装の基準
(腐しよくを防止する措置)

(1)下地処理 バルク貯槽本体の外面および本体に溶接で取り付けられている附属品の外面を、その部分に応じて、次のいずれかの方法により入念に下地処理を行う。				
下地処理の種類		処理の内容		
1種ケレン		ショットブラスト、サンドブラスト、化学薬品等を用いてミルスケールおよびさびを完全に除去し、光たくのある金属面とする。		
2種ケレン		完全に付着したミルスケールは残し、ディスクサンダ、チューブクリナー、スクレーパ等を用いてそれ以外の不安定なミルスケール、さび等を除去する。		
(2) 防錆のための塗装（自然乾燥を行う場合） 下地処理を施した後、速やかに次に定めるところにより塗装を行う。塗料の種類は（旧）JIS K 5400 に規定される試験により同等以上の性能を有すること				
行程	塗料の種類	1 回当たりの標準塗布量(g)	1 回当たりの膜厚(μm)	塗装回数
錆止め塗装	(旧) JIS K 5627(1995) ジンククロメート錆止めペイント二種 又は(旧) JIS K5628(1995) 鉛丹ジンククロメート錆止めペイント二種	130 以上	20 以上	2 回以上
上塗り塗装	(旧) JIS K5572(1995)フタル酸樹脂エナメル	130 以上	15 以上	2 回以上

表 5.4.1-2 塗装試験片に塗布する塗料及び塗布の仕様

試験片	塗装の種類	塗料の種類		膜厚 μm/回	塗装回数
		名称	規格		
A	錆止め 塗装	鉛・クロムフリー さび止めペイント	JIS K 5674 1種 (2019)	20	2
	上塗 塗装	フタル酸樹脂エナメル	JIS K 5572 2種 (2010)	15	2
B	錆止め 塗装	構造物用さび止めペイント (反応硬化形エポキシ樹脂)	JIS K 5551 A種 (2018)	20	2
	上塗 塗装	鋼構造物用耐候性塗料 (ポリウレタン樹脂)	JIS K 5659 A種 上塗り塗料 3級(2018)	15	2
C	下塗	厚膜形ジンクリッチ ペイント	JIS K 5553 2種 (2010)	30	2
	下塗	構造物用さび止めペイント (反応硬化形変性エポキシ樹脂)	JIS K 5551 C種 (2018)	60	2
	中塗	鋼構造物用耐候性塗料 (ポリウレタン樹脂)	JIS K 5659 A種 中塗り塗料 (2018)	30	1
	上塗	鋼構造物用耐候性塗料 (ポリウレタン樹脂)	JIS K 5659 A種 上塗り塗料 3級 (2018)	25	1

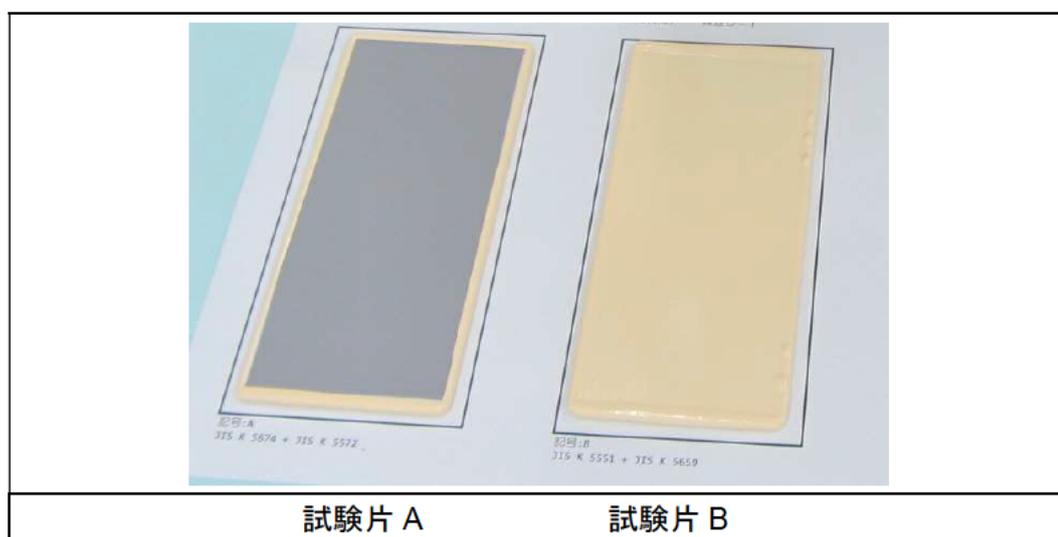


図 5.4.1-2 塗料塗布 試験片

①耐候性及び耐光性試験（塗膜の長期性能）

耐候性及び耐光性試験にあつては太陽光の紫外線が与える塗装劣化を確認するため、紫外線が与える塗装劣化の加速度試験として、JIS K 5600-7-7 に定める促進耐候性試験（キセノンランプ法）により行う。

本試験では日本の太陽光の平均 1 年間放射露光量を表 5.4.1-3 の通り平均 4,663.3MJ/m²と仮定した。平均 1 年間の放射露光量における紫外線量（212.2 MJ/m²）は、キセノンランプ法（60W/m²）においては 982.4 時間に相当し、延べ試験時間は塗装毎に JIS に定める試験時間（A：240 時間 B：500 時間）を上回る、2880 時間（120 日）（約 2.9 年強相当）とした。

次の a)～c)の手順により試験を行い、表 5.4.1-5～5.4.1-6 の試験機器を用いて計測・評価を行う。なお、耐候性の環境としてブラックスタンダード温度(BST)を(65±2) °Cとし、試験片ぬれサイクルはぬれ時間 18 分、乾燥時間 102 分の連続運転とする。

表 5.4.1-3 平均年間放射露光量における紫外線量とキセノン相当時間

測定地	MJ/年	紫外線量	試算 MJ 紫外線量(300～400nm)	キセノン 60w 照射時間(時間/年)
鹿児島	5614.1	4.55%	255.4	1182.6
東京	4477.1	4.55%	203.7	943.1
北海道	3898.6	4.55%	177.4	821.2
平均	4663.3	4.55%	212.2	982.3

- a) 鏡面光沢度試験にあつては開始時、塗装試験片毎に JIS に定める試験時間（A：240h B：500h）経過時、504 時間（21 日）並びに周期毎終了時に行う。
- b) 白亜化試験にあつては開始時、開始から 1344 時間（56 日）経過後及び終了時に JIS K 5600-8-6 によるテープ法による試験を行う。
- c) 膜厚試験にあつては開始時及び終了時に試験片番号毎に記録を行う。

②複合腐食サイクル試験

温度、塩水、湿潤、乾燥など外部環境が与える塗装劣化の加速度試験として JIS K 5600-7-9 に定める複合腐食サイクル試験を行う。塩水噴霧／湿潤／乾燥を繰り返すこととし、塩水噴霧試験溶液は、塩化ナトリウム（50±10）g/l の濃度とし、噴霧溶液は pH は 6.0～7.0 の範囲とする。表 5.4.1-4 のとおりのサイクル試験は「附属書 1（規定）サイクル D」に規定する方法にて試験を行い、1 サイクルは 6

時間とし、延べ試験時間は塗装毎に JIS に定める試験時間（A：36 サイクル B：120 サイクル）を上回る 364 サイクル（2184 時間（91 日）とし、次の手順 a)～c)により試験を行い、表 5.4.1-5 及び 5.4.1-6 の試験機器を用い行う。

表 5.4.1-4 複合腐食サイクル（1 回）の段階

段階	時間 (h)	温度 (°C)	条件
1	0.5	30±2	塩水噴霧
2	1.5	30±2	湿潤 95±3%RH
3	2	50±2	熱風乾燥
4	2	30±2	温風乾燥
5	—	—	段階 1 に戻る

- a) 試験片には錆の進展度合いを確認するため図 5.4.1-3 に示す長方形の試験片の半分の面に、試験片端部から約 10 mm 内側に対角状に交差する 0.5～1.0mm 幅をもつ切り込みきずを付ける。
- b) 錆膨れ幅試験にあつては塗装試験片毎に JIS に定める試験時間（A：36 サイクル B：120 サイクル）及び試験開始時、終了時並びに表 5.4.1-15 に示す周期毎に切り込みきずから錆進展による膨れを計測する。
- c) 付着力試験にあつては終了時に行う。

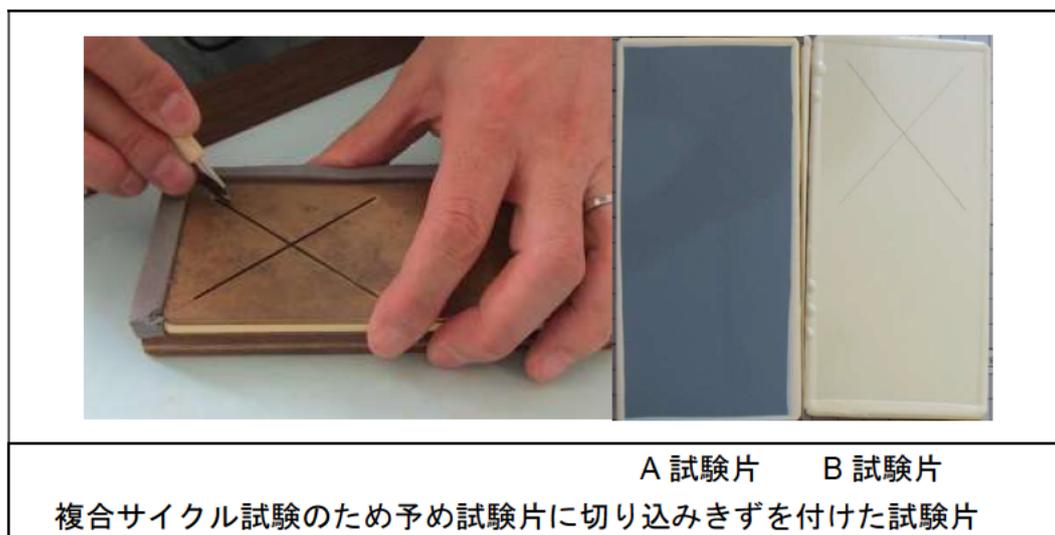


図 5.4.1-3 複合サイクル試験塗料塗布試験片

表 5.4.1-5 塗装耐久試験に用いる試験機器・仕様

機器名	仕様等
 <p data-bbox="400 748 866 786">キセノンランプ促進耐候性試験機</p>	<p data-bbox="1034 367 1410 831">JIS K 5600_7_7「促進耐候性及び促進耐光性（キセノンランプ法）」に規定された光源としてキセノンアークランプを用いた促進試験装置で、水及び水蒸気的作用を含めて、促進耐候性試験、又は促進耐光性試験によって、塗膜を暴露する。</p>
 <p data-bbox="507 1285 767 1323">サイクル腐食試験機</p>	<p data-bbox="1034 853 1410 1317">JIS K 5600_7_9「塗料一般試験方法」に規定されたサイクル腐食試験装置で、試験槽、試験槽加熱装置、塩溶液噴射装置、乾燥空気供給装置、噴霧液採取装置、試験片保持器、制御装置で構成され、既定のサイクルによって塗膜を暴露する。</p>
 <p data-bbox="555 1823 719 1861">膜厚測定器</p>	<p data-bbox="1034 1346 1410 1570">JIS K 5600-1-7「膜厚」に規定された手順の一つによって、乾燥塗膜の膜厚をマイクロメートル単位で計測する。</p>

表 5.4.1-6 塗装耐久試験に用いる試験機器

機器名	仕様等
 <p data-bbox="539 846 727 880">鏡面光沢度計</p>	<p data-bbox="1034 367 1410 640">JIS Z8741 鏡面光沢度に規定された入射角で規定の開き角の光束を入射し、鏡面反射方向に反射する規定の開き角の光束を受光器で計測する。</p>
 <p data-bbox="587 1370 679 1404">ノギス</p>	<p data-bbox="1034 898 1410 1122">JIS K 5600-7-9 に定めるサイクル腐食試験の既定のサイクル後に切り込みきずの中心からの膨れ幅を計測する。</p>
 <p data-bbox="507 1877 759 1910">白亜化測定テープ</p>	<p data-bbox="1034 1424 1410 1603">JIS K 5600-8-6 に定める塗膜評価、白亜化の等級（テープ法）に用いる粘着性テープ。</p>

(2) 試験結果

(1) ①塗装試験片に対して行った、(1)②耐候性及び耐光性試験及び(1)③複合腐食サイクル試験の結果（評価）を次の①～③に示す。

①評価の方法

試験の経時による塗装状態を JIS K 5600 に定める表 5.4.1-7 に示す評価項目により評価する。

表 5.4.1-7 塗装状態 評価

評価項目			変化の量		欠陥の量		欠陥の大きさ	
1	塗膜厚	JIS K 5600-1-7	JIS による変化量の規定はない					
2	光沢	JIS K 5600-4-7	屈折率が可視波長全域で測定して 1.567 のものを 100 として、試験開始時に計測した値を 100%とする。					
3	白亜化	JIS K 5600-8-6	○	6 段階評価		6 段階評価		6 段階評価
4	膨れ	JIS K 5600-8-2		0：無変化 ～ 5：甚大		○	0：無変化 ～ 5：甚大	○
5	さび	JIS K 5600-8-3				○		○
6	割れ	JIS K 5600-8-4				○		○
7	はがれ	JIS K 5600-8-5				○		○
								0：10 倍に拡大しても視認できない ～ 5：5mm 以上

②耐候性及び耐光性試験結果

上塗り塗装の耐候性及び耐光性の長期性能確認として、延べ 2880 時間(120 日) (約 2.9 年強相当) の経時による塗装の状態変化 (劣化) 確認を行った結果は a)～c)に示す通り。

a)塗膜厚

A 試験片の上塗り塗料であるフタル酸樹脂エナメル並びに B 試験片及び C 試験片の上塗り塗料である鋼構造物用耐候性塗料 (ポリウレタン樹脂) に対し(1)②耐候性及び耐光性試験の開始時及び終了時、(1)③複合腐食サイクル試験の開始時及び終了時における塗膜厚の計測した結果を表 5.4.1-8～5.4.1-10 に示す。

塗膜の減少は上塗り塗料に係ることから、②耐候性及び耐光性試験の後、白亜化評価テープ試験により消失する塗膜厚を計測した。

表 5.4.1-8 塗膜厚計測結果

試験片	試験種別	番号	①開始時平均膜厚測定(μm)	経過時(2184h)平均膜厚測定(μm)	②終了時(2880h)平均膜厚測定(μm)	③=①-②消失膜厚(μm)	③/①膜厚消失率(%)
A 試験片	耐候性試験	1	73	67	63	10	13.7%
		2	78	68	67	11	14.1%
	非試験見本	1	80	—	—	—	—
B 試験片	耐候性試験	1	81	75	75	6	7%
		2	84	87	85	-1	-1%
	非試験見本	1	94	—	—	—	—
C 試験片	耐候性試験	1	295	295	281	14	5%
		2	286	286	262	24	8%
	非試験見本	1	300	—	—	—	—

*平均膜厚

平均膜厚は表 5.4.-9~5.4.1-10 に示すとおり、塗装試験片(150 mm×70mm)について、右図に示す9点それぞれを膜厚測定器により実測し、その平均を計測平均(μm)とし、ブラスト板の表面粗さ(アンカーパターン)を考慮し計測平均より15μmを減じ、平均膜厚(μm)とた。

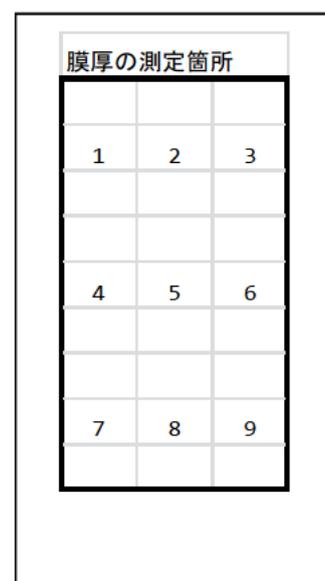


表 5.4.1-9 開始時における塗膜厚計測（9点測定）結果（ μm ）

A 試験片		1	2	3	4	5	6	7	8	9	計測平均	*膜厚平均
複合サイクル試験	1	82	77	82	85	89	85	84	86	87	84	69
	2	82	81	74	86	93	85	93	84	84	85	70
耐候性試験	1	87	85	77	104	86	86	94	88	86	88	73
	2	94	98	93	94	99	92	87	94	88	93	78
非試験見本	1	94	97	89	93	99	97	96	95	92	95	80
A-予備	1	90	97	100	99	97	90	95	87	77	92	77
B 試験片		1	2	3	4	5	6	7	8	9	計測平均	*膜厚平均
複合サイクル試験	1	72	82	84	96	87	85	77	91	83	84	69
	2	78	82	85	92	88	88	86	84	87	86	71
耐候性試験	1	97	92	85	98	104	102	79	100	108	96	81
	2	119	96	88	104	106	101	92	101	86	99	84
非試験見本	1	106	105	129	115	116	101	90	112	104	109	94
B-予備	1	99	92	99	110	112	104	115	113	104	105	90
C 試験片		1	2	3	4	5	6	7	8	9	計測平均	*膜厚平均
複合サイクル試験	1	266	286	281	319	317	308	310	324	320	303	288
	2	286	273	274	322	306	335	299	322	309	303	288
耐候性試験	1	310	349	286	313	348	306	300	302	279	310	295
	2	283	266	258	340	320	323	316	300	305	301	286
非試験見本	1	359	343	321	386	307	328	269	256	263	315	300
C-予備	1	292	310	294	331	303	306	288	311	305	304	289

* ブラスト板のアンカーパターン（凹凸）に入り込む分（ $15\mu\text{m}$ ）を差引き（凸部から上に塗布される）、膜厚平均とした。

表 5.4.1-10 耐候性及び耐光性試験 塗膜厚計測（9点測定）結果 推移（ μm ）

試験片・計測経過時間		1	2	3	4	5	6	7	8	9	計測平均	*膜厚平均	
A 試験片	0h	1	87	85	77	104	86	86	94	88	86	88	73
	(0日)	2	94	98	93	94	99	92	87	94	88	93	78
	2184h	1	85	79	86	81	83	97	68	79	79	82	67
	(91日)	2	81	91	82	86	81	88	81	81	80	83	68
	2880h	1	80	81	87	77	81	84	65	74	75	78	63
	(120日)	2	80	78	83	84	83	84	83	88	79	82	67
B 試験片	0h	1	97	92	85	98	104	102	79	100	108	96	81
	(0日)	2	119	96	88	104	106	101	92	101	86	99	84
	2184h	1	92	87	82	100	100	91	81	98	83	90	75
	(91日)	2	108	113	107	100	110	104	97	90	90	102	87
	2880h	1	89	89	89	98	101	94	79	87	85	90	75
	(120日)	2	87	84	90	110	109	99	108	104	109	100	85
C 試験片	0h	1	310	349	286	313	348	306	300	302	279	310	295
	(0日)	2	283	266	258	340	320	323	316	300	305	301	286
	2184h	1	277	320	257	291	387	293	289	288	260	296	281
	(91日)	2	254	237	237	316	302	296	300	272	278	277	262
	2880h	1	277	315	258	288	334	281	284	288	264	288	273
	(120日)	2	258	245	234	314	306	291	301	271	283	278	263

* ブラスト板のアンカーパターン（凹凸）に入り込む分（ $15\mu\text{m}$ ）を差し引き（凸部から上に塗布される）、膜厚平均とした。

赤字：白亜化テストを実施した箇所

b)光沢度

光沢にあつては鏡面光沢度計により開始時及び規定時間毎に計測を行った。計測結果は、表 5.4.1-11 及び図 5.4.1-4 に示す。また、図 5.4.1-8～5.4.1-12 に経過記録写真を示す。

A 試験片の上塗り塗料である JIS K5572(2010) 2 種「フタル酸樹脂エナメル」の耐候性及び耐光性試験（キセノンランプ法）の結果、JIS による規定時間である 240 時間で、光沢保持率 77.9%であり、JIS にて要求されている 70%以上の能力を有している結果であった。また、開始から 504 時間経過時においては、光沢保持率 76.6%を示した。今回の試験では、キセノンランプ法を用いているため、厳密に言えば今回試験した JIS K5572(2010) 2 種が旧 JIS K5572(1995)にて求められている JIS 性能と同等以上かの優劣の判定はできない。

B 試験片及び C 試験片の上塗り塗料である JIS K 5659 (2018) 鋼構造物用耐候性塗料（ポリウレタン樹脂）A 種 3 級の耐候性及び耐光性試験（キセノンランプ法）の結果、JIS による規定時間である 500 時間で光沢保持率 99.9%であり、JIS にて要求されている 70%以上の能力は有している結果であった。また、開始から 1152 時間経過時においては、光沢保持率 108.9%を示し、JIS K5572(2010) 2 種「フタル酸樹脂エナメル」に対し、耐候性に係る優位性を示した。

上塗り塗料の塗膜寿命の推定を行う上で、A 試験片、B 試験片及び C 試験片は開始から 2880 時間まで耐候性及び耐光性試験を行った結果、耐候（紫外線）劣化による光沢保持率の低下傾向を模式化（直線性を示す箇所の式）したものを図 5.4.1-5 に示す。また、屋外暴露試験結果^{*1)} 及び既往の促進耐候性試験に関する文献調査の結果から、塗膜寿命の推定についての検討を行った。

検討の結果、本試験の条件において、下塗り塗装に至るまでの減耗期間は A 試験片では 4 年、B 試験片及び C 試験片では 22 年と推察された。検討内容を表 5.4.1-13 に、また、A 試験片、B 試験片及び C 試験片についての上塗り塗膜の再塗装を考慮する上で、経時における劣化段階を表 5.4.1-14 及び図 5.4.1-6 に示す。

*1) 海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書(平成 19 年 1 月) (独) 土木研究所

表 5.4.1-11 光沢試験結果

試験片	n	箇所	キセノン促進耐候性 試験時間(h)と60°光沢									
			0	240	504	840	1152	1344	1848	2184	2520	2880
A試験片	1	1	84.0	64.8	64.7	24.9	10.9	9.0	5.1	3.9	4.8	2.7
		2	84.7	65.9	64.7	21.6	10.3	8.8	4.7	4.3	3.5	2.6
		3	85.3	64.7	64.6	22.4	9.7	8.8	4.7	3.4	3.7	3.3
	2	1	87.2	68.7	67.4	15.6	9.5	8.3	4.4	4.3	4.3	2.7
		2	85.3	68.0	66.5	18.8	9.5	8.1	4.8	4.7	3.5	3.3
		3	83.2	64.8	62.4	21.6	9.9	7.8	5.5	3.7	4.4	2.6
	全平均		85.0	66.2	65.1	20.8	10.0	8.5	4.9	4.1	4.0	2.9
光沢保持率(%)		100.0	77.9	76.6	24.5	11.7	10.0	5.7	4.8	4.7	3.4	
B試験片	1	1	76.0	72.3	70.3	80.7	77.2	80.6	76.6	70.0	62.7	51.6
		2	77.1	71.8	76.6	80.6	82.4	81.2	77.3	69.8	59.6	50.5
		3	76.7	72.0	76.9	77.0	82.5	81.4	74.4	68.2	56.1	47.7
	2	1	66.6	64.4	73.6	66.5	78.0	78.8	65.9	63.0	54.0	48.1
		2	73.3	76.3	79.2	84.0	86.3	85.1	79.6	69.1	61.3	54.7
		3	70.7	62.1	63.5	76.8	73.1	73.4	79.5	61.9	55.9	50.5
	全平均		73.4	69.8	73.4	77.6	79.9	80.1	75.6	67.0	58.3	50.5
光沢保持率(%)		100.0	95.1	99.9	105.7	108.9	109.1	102.9	91.3	79.4	68.8	
C試験片	1	1	85.6	86.2	89.1	93.5	92.5	92.6	88.1	80.3	70.0	59.3
		2	83.6	85.8	89.5	92.7	93.9	91.9	88.9	79.9	68.1	53.9
		3	83.3	83.0	89.1	92.1	94.2	94.0	87.0	83.6	70.3	54.1
	2	1	85.2	86.2	88.6	94.4	92.4	92.9	87.2	78.1	66.8	54.9
		2	85.1	86.0	91.3	95.6	95.5	94.6	86.2	80.6	68.2	54.8
		3	83.7	84.6	90.5	93.3	93.2	93.4	88.0	80.0	65.8	52.3
	全平均		84.4	85.3	89.7	93.6	93.6	93.2	87.6	80.4	68.2	54.9
光沢保持率(%)		100.0	101.0	106.2	110.9	110.9	110.4	103.7	95.3	80.8	65.0	

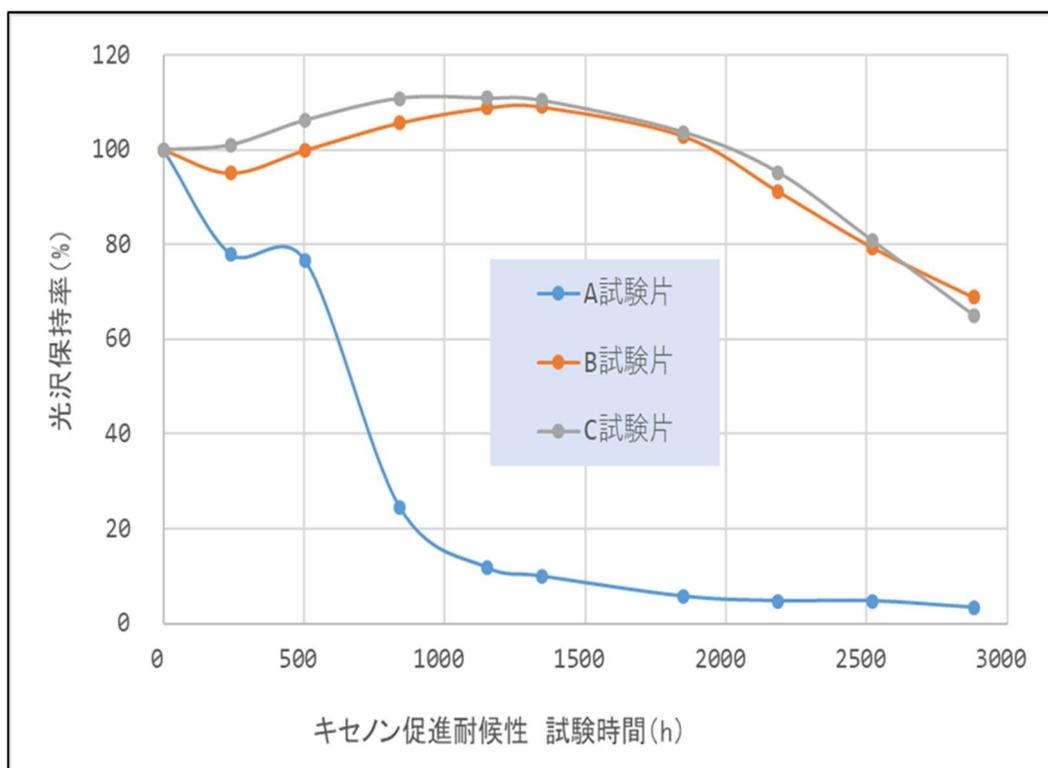


図 5.4.1-4 光沢保持率の経時変化

【JIS での要求性能】

A 試験片(JIS K 5672) 照射から 240 時間経過後、光沢保持率が 70%以上有すること。

B 試験片(JIS K 5659) 照射から 500 時間経過後、光沢保持率が 70%以上有すること。

C 試験片(JIS K 5559) 照射から 500 時間経過後、光沢保持率が 70%以上有すること。

c)白亜化

塗膜劣化の評価として、白亜化試験にあつては図 5.4.1-7 に示す JIS K 5600-8-6 のテープ法にて白亜化評価試験（塗膜の上にテープを貼り、剥がしたときにテープに付着する付着物）を行い、試験結果の白亜化等級 0～5 を判定した。結果を表 5.4.1-12 に示す。

A 試験片の上塗り塗料であるフタル酸樹脂エナメルの上塗り塗料にあつては、耐候性及び耐光性試験（キセノンランプ法）の開始以降 1344 時間（56 日）において評価 5（非常に著しい変化）を示し、白亜化により塗膜（上塗り）の消失する状態であつた。以降の経時においても評価「5」を示し、逐次塗膜が消失する状態であつた。

B 試験片及び C 試験片の上塗り塗料である鋼構造物用耐候性塗料（ポリウレタン樹脂）にあつては、耐候性及び耐光性試験（キセノンランプ法）試験の開始以降、2184 時間及び、試験終了の 2880 時間においても評価「0」（無変化、すなわち、認められるような変化がない）を示した。

表 5.4.1-12 白亜化の等級

試験片	n	キセノン促進耐候性 試験時間(h)と白亜化の等級(JIS K 5600-8-6による)									
		0	240	504	840	1152	1344	1848	2184	2520	2880
A試験片	1	0					5		5		5
	2	0					5		5		5
B試験片	1	0					0		0		0
	2	0					0		0		0
C試験片	1	0					0		0		0
	2	0					0		0		0

	A 試験片 (フタル酸樹脂塗料)	B・C 試験片 (ポリウレタン樹脂塗料)
試験結果	<p>試験A JIS K 5572 フタル酸樹脂塗料</p> <p>光沢保持率 (%)</p> <p>キセノン促進耐候性 試験時間 (h)</p> $y = -0.0799x + 102$	<p>試験B JIS K 5659 ウレタン樹脂塗料</p> <p>光沢保持率 (%)</p> <p>キセノン促進耐候性 試験時間 (h)</p> $y = -0.035x + 168$
相当暴露期間年	<p>試験A JIS K 5572 フタル酸樹脂塗料</p> <p>光沢保持率 (%)</p> <p>屋外暴露 暴露期間 (年)</p> $y = -9.07E+01x + 1.00E+02$	<p>試験B JIS K 5659 ウレタン樹脂塗料</p> <p>光沢保持率 (%)</p> <p>屋外暴露 暴露期間 (年)</p> $y = -7.19E+00x + 9.21E+01$
相当暴露期間時間	<p>試験A JIS K 5572 フタル酸樹脂塗料</p> <p>光沢保持率 (%)</p> <p>屋外暴露 暴露期間 (h)</p> $y = -0.0103x + 100$	<p>試験B JIS K 5659 ウレタン樹脂塗料</p> <p>光沢保持率 (%)</p> <p>屋外暴露 暴露期間 (h)</p> $y = -0.00821x + 92.1$

図 5.4.1-5 上塗塗膜の耐候(紫外線)劣化による減耗 模式図

表 5.4.1-13 上塗り塗膜の塗膜寿命の推定

上塗り塗膜の減耗要因		A 試験片 (フタル酸樹脂塗料)	B・C 試験片 (ポリウレタン樹脂塗料)
キセノン促進耐候性	光沢保持率の低下 (直線性を示す箇所の式)	$y = -0.0799x + 102$	$y = -0.035x + 168$
	光沢保持率の低下速度 (%/h)	0.0799	0.035
	光沢保持率が 50%に低下する時間	651 時間	3423 時間
	年数に換算	0.0892 年間	0.469 年間
屋外暴露試験※ ¹⁾	光沢保持率の低下 (直線性を示す箇所の式)	$y = -0.0103x + 100$	$y = -0.000821x + 92.1$
	光沢保持率の低下速度 (%/h)	0.0103	0.000821
	光沢保持率が 50%に低下する時間	4854 時間	51279 時間
	年数に換算	0.665 年間	7.02 年間
	紫外線による減耗速度 (μm/年) ※ ²⁾	10	2
促進耐候性試験の屋外暴露試験に対する促進倍率の推定		$0.665 / 0.0892 = 7.46$ 倍	$7.02 / 0.469 = 14.97$ 倍
上塗り塗膜の膜厚		15μm × 2 回塗り = 30μm	15μm × 2 回塗り = 30μm
上塗り塗膜の耐候(紫外線)劣化による寿命		30 / 10 = 3 年	30 / 2 = 15 年
チョーキングが始まるキセノン促進耐候性試験の試験時間 (光沢保持率がこれ以上低下しない、「横ばい」になる時間)		1152 時間	4024 時間(推定) (光沢保持率が 30%になる点を外挿)
チョーキング (膜厚減耗) が始まる年数 (促進倍率と上記時間から推定)		$1152 * 7.46 / (365 * 24) = 0.98$ 年	$4024 * 14.97 / (365 * 24) = 6.89$ 年
上塗り塗膜の耐用年数		3 + 0.98 = 3.98 ≒ 4 年	15 + 6.89 = 21.89 ≒ 22 年

*1…海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書 (平成 19 年 1 月) (独) 土木研究所

*2…JSSC の報告、本州四国連絡高速道路等、エビデンス調査中

白亜化等級を判定するテープ試験

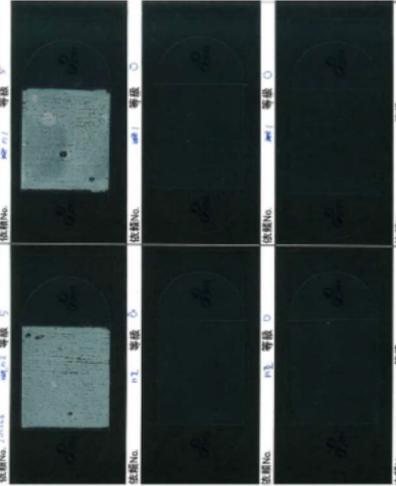
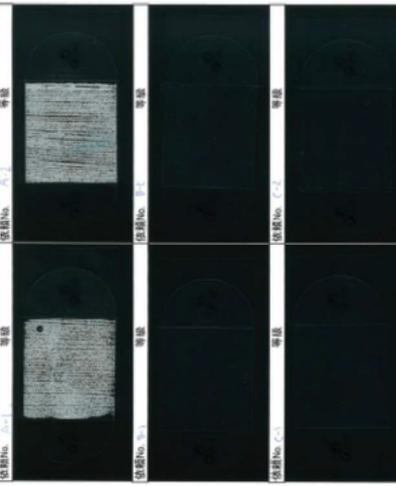
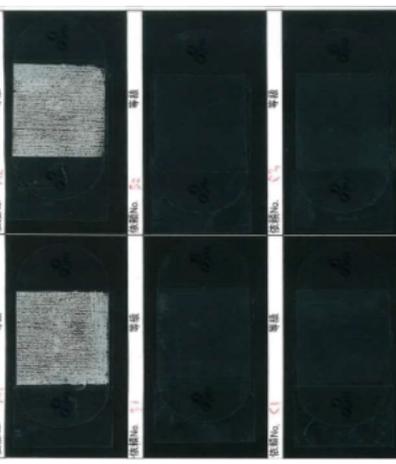
経過時間	試験片の付着物 A・B・C	試験後の試験片
1344 時間 (56 日)	 <p>JIS K 5810-4-6 濃度劣化の評価—白亜化の等級 試験日 2020/10/26 / 10/26 / 2020-10-26 試験No. 2020-10-26-001 / 2020-10-26-002 / 2020-10-26-003</p>	 <p>試験片 A 試験片 B 試験片 C</p>
2184 時間 (91 日)	 <p>JIS K 5810-4-6 濃度劣化の評価—白亜化の等級 試験日 2020/11/16 / 11/16 / 2020-11-16 試験No. 2020-11-16-001 / 2020-11-16-002 / 2020-11-16-003</p>	 <p>試験片 A 試験片 B 試験片 C</p>
2880 時間 (120 日)	 <p>JIS K 5810-4-6 濃度劣化の評価—白亜化の等級 試験日 2020/12/16 / 12/16 / 2020-12-16 試験No. 2020-12-16-001 / 2020-12-16-002 / 2020-12-16-003</p>	 <p>試験片 A 試験片 B 試験片 C</p>

図 5.4.1-7 白亜化試験 試験片写真

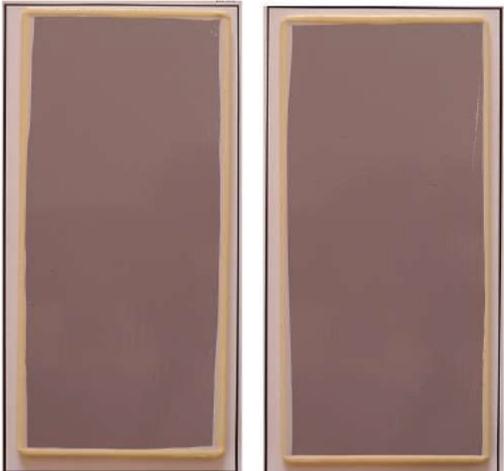
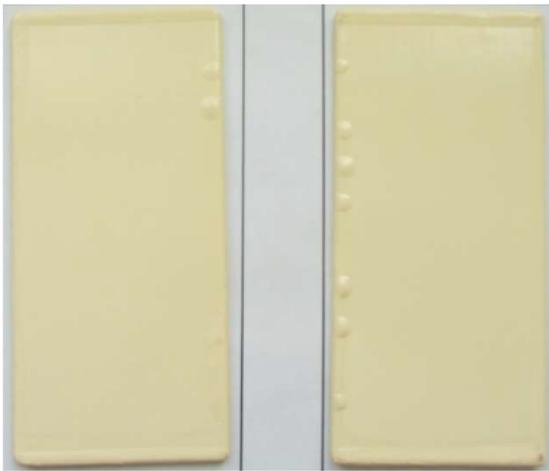
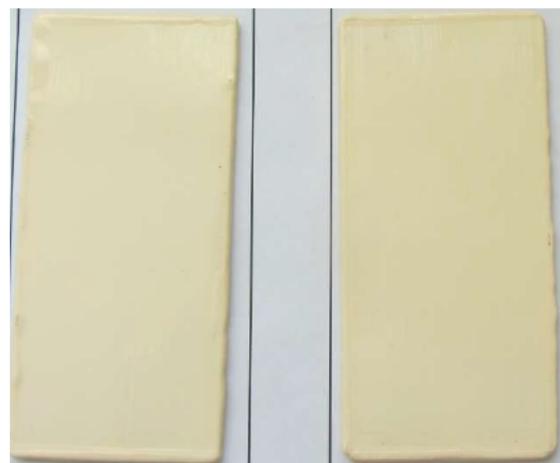
経時	A 試験片	B 試験片	C 試験片
開始時			
240 時間 10 日			

図 5.4.1-8 キセノン促進耐候性光沢（塗装面）経時変化

経時	A 試験片	B 試験片	C 試験片
504 時間 21 日	<p>キセノン促進耐候性試験 試験時間：504時間後</p> <p>左側：A 検査：1 右側：A 検査：2</p>	<p>キセノン促進耐候性試験 試験時間：504時間後</p> <p>左側：B 検査：1 右側：B 検査：2</p>	<p>キセノン促進耐候性試験 試験時間：504時間後</p> <p>左側：C 検査：1 右側：C 検査：2</p>
840 時間 35 日	<p>キセノン促進耐候性試験 試験時間：840時間後</p> <p>左側：A 検査：1 右側：A 検査：2</p>	<p>キセノン促進耐候性試験 試験時間：840時間後</p> <p>左側：B 検査：1 右側：B 検査：2</p>	<p>キセノン促進耐候性試験 試験時間：840時間後</p> <p>左側：C 検査：1 右側：C 検査：2</p>

図 5.4.1-9 キセノン促進耐候性光沢（塗装面）経時変化

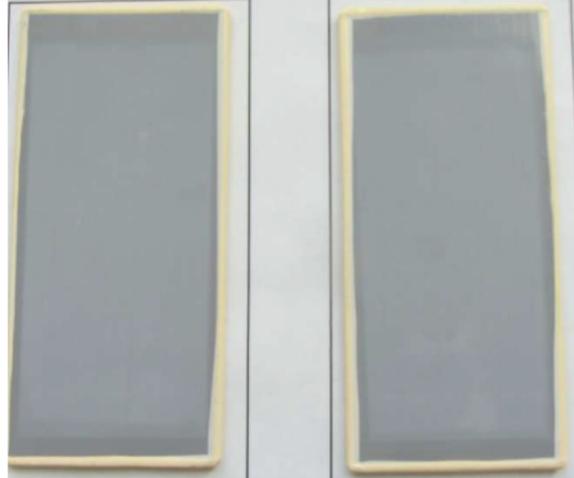
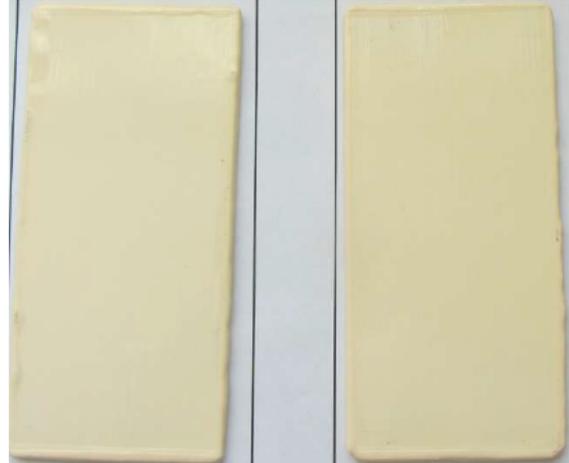
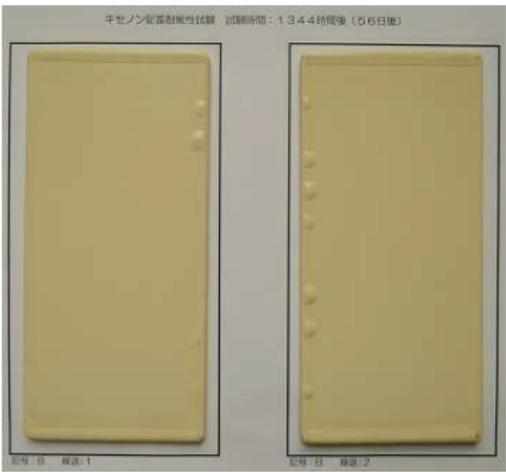
経時	A 試験片	B 試験片	C 試験片
1152 時間 48 日			
1344 時間 56 日			

図 5.4.1-10 キセノン促進耐候性光沢（塗装面）経時変化

経時	A 試験片	B 試験片	C 試験片
1848 時間 77 日			
2184 時間 91 日			

図 5.4.1-11 キセノン促進耐候性光沢（塗装面）経時変化

経時	A 試験片		B 試験片		C 試験片	
2520 時間 105 日						
2880 時間 120 日						
試験片は 1344 時間、2184 時間に白亜化試験（評価テープ試験）を実施し、その後も継続し促進耐候性試験を行った。						

図 5.4.1-12 キセノン促進耐候性光沢（塗装面）経時変化

①複合腐食サイクル試験結果

塗装の防食性能を評価する試験として、複合腐食サイクル試験（サイクル D）による長期性能試験として行った延べ 364 サイクル（2184 時間（91 日））の経時による各々の試験片について、前述(1) ③ a)による切込みきずを付けた部位（以降「クロスカット部」という。）について以下 a) に、クロスカット部の影響されない部位（以下「一般部」という。）の経時による塗装の状態変化（膨れ、錆、割れ、剥がれ）の確認を行った結果を b)に示す。

a)クロスカット部の膨れ

複合腐食サイクル試験では、きずによる下塗り（錆止め）の防錆性能を確認するため、塗装面のクロスカット部からの片側最大さび・膨れ幅を開始時及び規定サイクル（時間）毎に計測した結果を表 5.4.1-15 に、さび・膨れ幅の経時変化を図 5.4.1-13 に、また経過記録を図 5.4.15～5.4.1-18 に示す。

上記の結果より、A 試験片の錆止め塗料である JIS K 5574(2010) 鉛・クロムフリー 1 種さび止めペイントでは、JIS の規定サイクルである 36 サイクル時に片側最大さび・膨れ幅が 1.49mm であった。（JIS 規定では 36 サイクルで 2 mm 以内。）

B 試験片の錆止め塗料である構造物用さび止めペイント JIS K 5551(2018)A 種（反応硬化形エポキシ樹脂）では、JIS の規定サイクルである 120 サイクル時に片側最大さび・膨れ幅が 2.39mm であった。（JIS 規定では 120 サイクルで 4mm 以内。）

C 試験片の下塗り塗料である厚膜形ジンクリッチペイント JIS K 5553 (2010)2 種と構造物用さび止めペイント JIS K 5551 (2018)、JIS K 5551 (2018)C 種（反応硬化形変性エポキシ樹脂）においては、クロスカット部は腐食が進行するが、それ以外の箇所においては、水分子や塩化物分子の透過等による腐食の進展はなかった。

今回の試験では、JIS K 5627 及び JIS K 5628 の生産が既に中止されていることから、A 試験片の錆止め塗料である JIS K5574(2010) 鉛・クロムフリーさび止めペイントとの純粋な比較検証は出来ない。しかし、JIS K 5627 及び JIS K 5628 が JIS において複合腐食サイクル試験で要求される性能は、36 サイクルで 2 mm 以内と、JIS K5574(2010) 鉛・クロムフリーさび止めペイントの要求される性能と同じであるため、JIS K5574(2010) 鉛・クロムフリーさび止めペイントは一定の能力を有すると評価できる。

表 5.4.1-15 複合サイクル防食性試験 カット部

試験片	n	複合サイクル防食性試験 カット部の片側最大さび・ふくれ幅(mm)							
		上段: 試験サイクル数				下段: 試験時間(日)			
		0	36	84	120	192	224	308	364
		0	9	21	30	48	56	77	91
A試験片	1	0.00	1.45	2.53	2.66	4.10	4.35	4.83	5.11
	2	0.00	1.53	2.77	3.03	3.58	3.94	4.16	5.03
	平均	0.00	1.49	2.65	2.85	3.84	4.15	4.50	5.07
B試験片	1	0.00	1.80	2.03	2.30	3.10	3.51	3.74	4.94
	2	0.00	1.75	2.50	2.47	3.66	3.95	5.38	5.88
	平均	0.00	1.78	2.27	2.39	3.38	3.73	4.56	5.41
C試験片	1	0.00	0.00	1.64	1.70	2.64	4.57	6.05	7.41
	2	0.00	0.00	1.12	1.27	3.59	3.56	3.71	6.08
	平均	0.00	0.00	1.38	1.49	3.12	4.07	4.88	6.75

b)クロスカット部の影響されない部位の評価

複合腐食サイクル試験によるクロスカット部の影響されない部位「一般部」の JIS 評価による「膨れ」「割れ」「さび」「剥がれ」は今回の全ての試験片において「0」無変化を確認した結果を表 5.4.1-16~5.4.1-19 に示す。

表 5.4.1-16 複合サイクル防食性試験 一般部 膨れ

試験片	n	複合サイクル防食性試験 一般部 膨れ							
		上段: 試験サイクル数				下段: 試験時間(日)			
		0	36	84	120	192	224	308	364
		0	9	21	30	48	56	77	91
A試験片	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0
B試験片	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0
C試験片	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0

※評価はすべて 0 であり、膨れは認められなかった。

表 5.4.1-17 複合サイクル防食性試験 一般部 さび

試験片	n	複合サイクル防食性試験 一般部 さび							
		上段：試験サイクル数				下段：試験時間(日)			
		0	36	84	120	192	224	308	364
		0	9	21	30	48	56	77	91
A試験片	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0
B試験片	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0
C試験片	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0

※評価はすべて 0 であり、膨れは認められなかった。

表 5.4.1-18 複合サイクル防食性試験 一般部 割れ

試験体	n	複合サイクル防食性試験 一般部 割れ							
		上段：試験サイクル数				下段：試験時間(日)			
		0	36	84	120	192	224	308	364
		0	9	21	30	48	56	77	91
A試験体	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0
B試験体	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0
C試験体	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0

※評価はすべて 0 であり、膨れは認められなかった。

表 5.4.1-19 複合サイクル防食性試験 一般部 剥がれ

試験片	n	複合サイクル防食性試験 一般部 剥がれ							
		上段：試験サイクル数				下段：試験時間(日)			
		0	36	84	120	192	224	308	364
		0	9	21	30	48	56	77	91
A試験片	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0
B試験片	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0
C試験片	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0

※評価はすべて 0 であり、膨れは認められなかった。

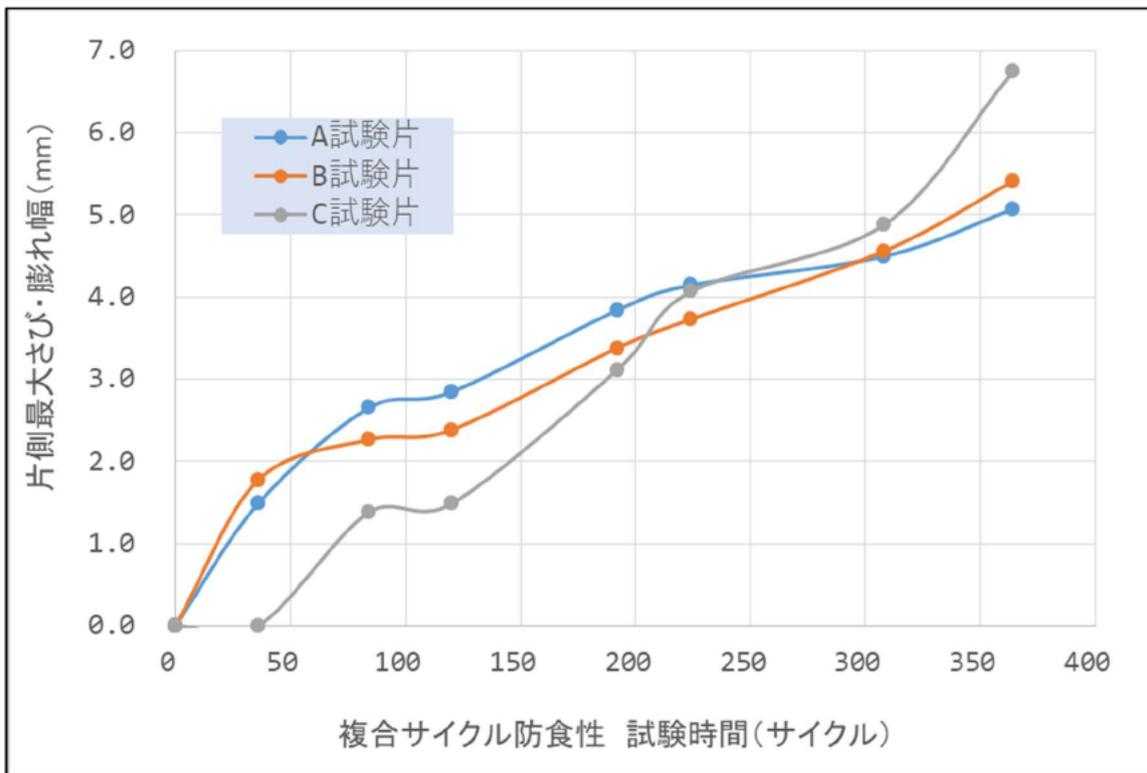


図 5.4.1-13 複合サイクル防食性試験 さび・膨れ幅の経時変化

【JIS での要求性能】

A 試験片(JIS K 5572)

・・・36 サイクル後、2mm 以上のふくれ幅、さびを認めてはならない。

B 試験片(JIS K5551)

・・・120 サイクル後、4mm 以上のふくれ幅、さびを認めてはならない。

C 試験片(JIS K 5553)

・・・240 サイクル後、4mm 以上のふくれ幅、さびを認めてはならない。

表 5.4.1-20. 複合サイクル防食性試験 クロスカット部のさび・膨れ幅・剥がれ 推移

試験片	錆状況	0	36	84	120	192	224	308	364	
			0	9	21	30	48	56	77	91
A試験片	発錆視認	→ 視認								
	膨れ幅mm		1.49	2.65			4.15			
	剥がれ	→ 発生								
B試験片	発錆視認	→ 視認								
	膨れ幅mm				2.39		3.73	4.56		
	剥がれ	→ 発生								

上段：試験サイクル数 下段：試験時間（日） 膨れ幅（mm）

素地に達する傷の A 試験片（鉛・クロムフリーさび止めペイント）、B 試験片（構造物用さび止めペイント）の錆変遷を示す。

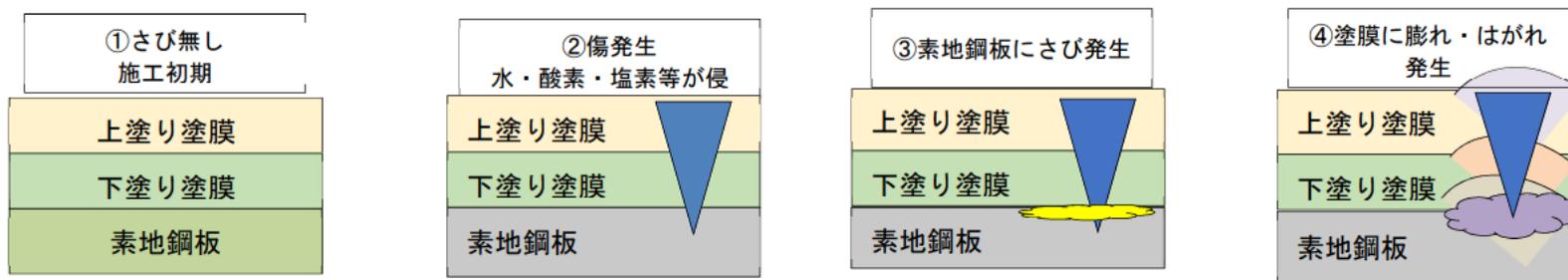


図 5.4.1-14 きず（クロスカット部）の発錆のイメージ

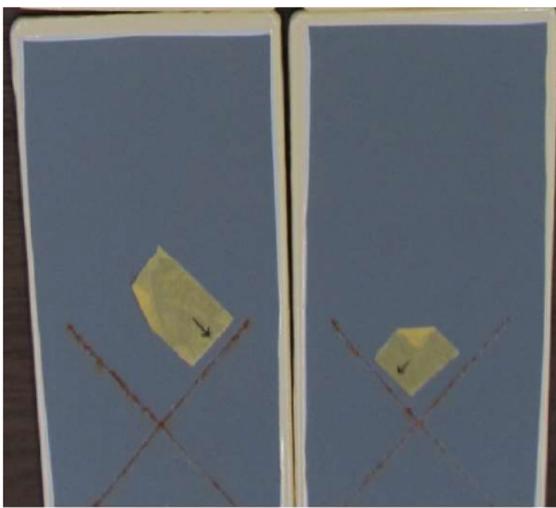
経時	A 試験片	B 試験片	C 試験片
開始時			
36 サイクル 9 日			

図 5.4.1-15 複合サイクル防食性試験状況 さび・膨れ幅 経時変化

経時	A 試験片	B 試験片	C 試験片
84 サイクル 21 日	<p>複合腐食サイクル試験 (試験時間: 21日 (84サイクル))</p> <p>記号: A 繰返: 1 記号: A 繰返: 2</p>	<p>複合腐食サイクル試験 (試験時間: 21日 (84サイクル))</p> <p>記号: B 繰返: 1 記号: B 繰返: 2</p>	<p>複合腐食サイクル試験 (試験時間: 21日 (84サイクル))</p> <p>記号: C 繰返: 1 記号: C 繰返: 2</p>
120 サイクル 30 日	<p>記号: A 繰返: 1 記号: A 繰返: 2</p>	<p>記号: B 繰返: 1 記号: B 繰返: 2</p>	<p>記号: C 繰返: 1 記号: C 繰返: 2</p>

図 5.4.1-16 複合サイクル防食性試験状況 さび・膨れ幅 経時変化

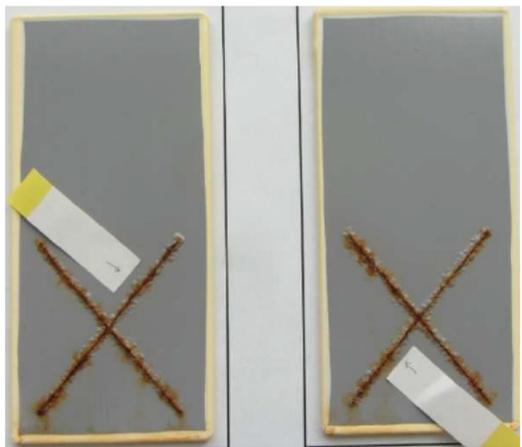
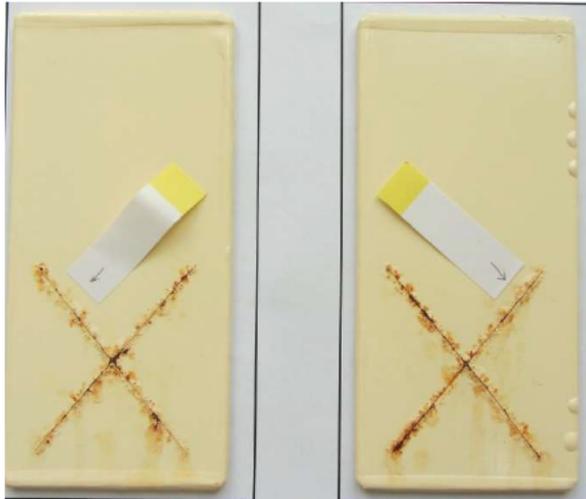
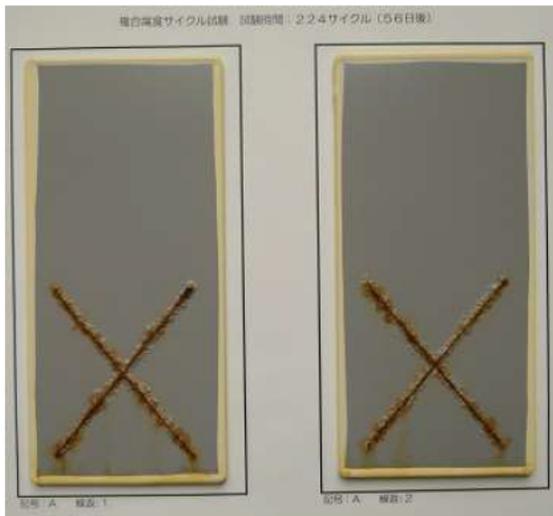
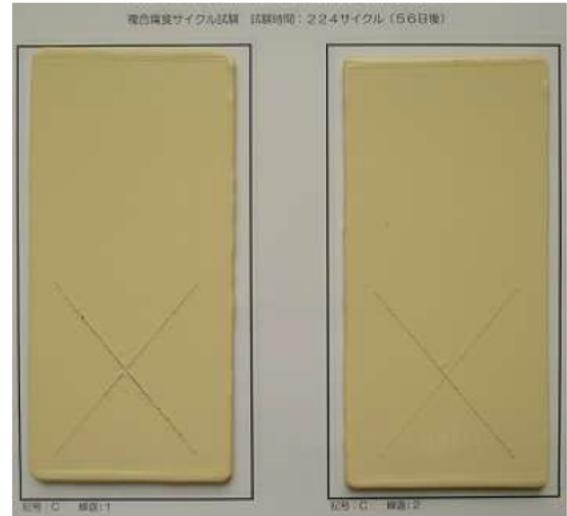
経時	A 試験片	B 試験片	C 試験片
192 サイクル 48 日			
224 サイクル 56 日			

図 5.4.1-17 複合サイクル防食性試験状況 さび・膨れ幅 経時変化

経時	A 試験片	B 試験片	C 試験片
308 サイクル 77 日			
364 サイクル 91 日			

図 5.4.1-18 複合サイクル防食性試験状況 さび・膨れ幅 経時変化

(3)まとめ

上塗り塗装については、耐候性及び耐光性試験（キセノンランプ法）により光沢度及び白亜化の経時変化を確認したところ、A 試験片の上塗り塗料である JIS K 5572(2010) 2 種「フタル酸樹脂エナメル」並びに B 試験片及び C 試験片の上塗り塗料である JIS K 5659 (2018) A 種 3 級「鋼構造物用耐候性塗料（ポリウレタン樹脂）」はいずれも JIS に定める試験時間（A：240h B 及び C：500h）における光沢保持率は満足するものであった。

JIS に定める試験時間以降も継続して試験した結果から、塗膜寿命を想定したところ、紫外線による塗装劣化、塗膜の消失（白亜化による粉体化）を経て、錆止め塗装（下塗り塗装）にまで達するまでの劣化を想定した。屋外暴露試験結果^{*1}及び促進耐候性試験結果を行った既往の文献調査を行い、本試験の光沢保持率のデータより劣化進行について検討を行ったところ、今回の試験においては下塗り塗装に達するまでの塗膜消失期間は、試験片 A では 4 年、試験片 B 及び C 試験片では 22 年と想定された。上塗りの塗膜劣化の進行度は紫外線量の違い（地域の緯度）、設置環境の違い（大気、塩害、砂礫、風雪、日照等）により異なることは周知の通りであり、上塗り塗装の消失の機会を捉え、再塗装の処置をすることが望ましい。

下塗り（錆止め）塗料については防錆能力、若しくは耐浸透（大気、水）性能が求められる。複合腐食サイクル試験により塗装面にきずを付けた「クロスカット部」の錆の進展について確認したところ、A 試験片の錆止め塗料である JIS K 5674 (2019) A 種「鉛・クロムフリーさび止めペイント」及び B 試験片の錆止め塗料である JIS K 5551(2018)「構造物用さび止めペイント A 種（反応硬化形エポキシ樹脂）」ともに JIS に定める複合腐食サイクル数（A：36 サイクル B：120 サイクル）によるクロスカット部中心からの膨れは JIS の規定を満足するものであり、一定の能力を示した。

JIS に定めるサイクル数以降も継続して試験した結果、224 サイクル後には、錆、膨れが確認された。A 試験片（鉛クロムフリー）ではリン酸アルミニウム系の防錆顔料がイオン化し鋼板面を不動態化して錆の抑制力があるものの、水等の透過を抑制する能力は乏しいとされている。一方、B 試験片（エポキシ樹脂系塗料）で防錆顔料を含まないものは、エポキシの分子鎖で樹脂や顔料を強固に絡めた塗膜を形成し、水等の透過を抑制に優れているとされている。しかし、素地に達する傷は金属面にきずを生じた時点で、試験片 A 及び試験片 B のいずれにおいても、腐食の進行を持続抑制することはできないことを示した。そのため、鉛クロムフリーさび止めペイント及び鋼構造物用さび止めペイントは金属面にきずを生じた時点で発錆が開始されることを意識し、塗装表面の打痕、擦過による金属面の露出時にはタッチアップ等適切な処置を行わなくてはならない。

今回の試験では、JIS K 5627 及び JIS K 5628 の生産が既に中止されていることから、純粋な比較検証は出来ないが、上記の結果から、試験片 A の錆止め塗料に用いられた JIS K 5674 「鉛・クロムフリーさび止めペイント」は一定の能力を有すると評価できる。

*1) 海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書（平成 19 年 1 月）
（独）土木研究所

6. 検査手法の作業性評価

バルク貯槽の告示検査を実施するためには、バルク貯槽を設置場所から撤去・運搬し、バルク貯槽内のLPガスを回収してから作業を行わなければならない、作業性、経済性等の観点から負荷が大きいことより、令和元年度においては、バルク貯槽の設置場所において非破壊試験が可能である密閉型磁粉探傷試験の作業性及び安全性についての評価を行った。作業状況においてはすべての溶接線において密閉型磁粉探傷試験を適用できない結果であり、また、塗膜上からの探傷においては、課題があることが明らかになった。

これらより、他の非破壊検査で、バルク貯槽の設置場所で塗装の外面から検査ができる試験方法を検討し、それらの作業性及び安全性等について検討及び確認等を行った。

6.1 非破壊検査方法

表 6.1-1 各種非破壊検査方法の一覧

試験方法	試験方法	主たる利点	特記事項
放射線透過試験 (RT)	X線又はγ線を照射させフィルムに画像表示	ブローホール等の体積欠陥の検出に有利	製作時適用
磁粉探傷試験 (MT)	材料を磁化させ磁束の漏洩より検出	表面下の欠陥の検出に有利	告示検査時適用
浸透探傷試験 (PT)	浸透液を染み込ませ現像剤で指示模様を検出	MTの施工できない部位に適用（開口部の欠陥）	告示検査時適用 (MTの代替)
超音波探傷試験 (UT)	超音波パルスの伝搬と反射によりきずを検出	面状欠陥の検出に適する	告示検査時適用 (厚さ測定に適用)
渦流探傷試験 (ET)	渦電流のインピーダンス変化によりきずを検出	主に軸やチューブの試験に適用	適用実績なし

表 6.1-2 バルク貯槽の塗装の外面から行う非破壊検査方法の一覧

試験方法	試験方法	主たる利点	特記事項
密閉型磁粉探傷試験	磁粉を含む検査シートを用い、塗膜上から磁化	塗膜上から表面欠陥の磁粉模様を検出する	令和元年度： 検証済み
フェーズドアレイ 超音波探傷試験	多数振動子による超音波ビームを照射し検出	内面に介在する欠陥を検出する	検証試験実施
渦流探傷試験	渦電流のインピーダンス変化によって検出	メーカー開発の携帯型装置により、表面きずを検出する	検証試験実施

6.2 塗膜上からの各種非破壊検査方法

バルク貯槽の塗膜上からの非破壊検査方法において、昨年度行った密閉型磁粉探傷試験及び今年度行った各種非破壊試験について、主に以下の項目について検証した。

表 6.2-1 作業性（準備を含む）、操作性、検出性能、安全性、試験器費用等

試験方法	作業性、操作性、検出性能、安全性、試験器費用等	特記事項
密閉型磁粉探傷試験 (MT)	令和元年度にて検証試験を実施	
フェーズドアレイ 超音波探傷試験 (PA-UT)	今年度、検証試験を実施	
磁粉探傷試験 (非蛍光磁粉と蛍光 磁粉) (MT)	今年度、塗膜上からの試験を実施。また、非蛍光磁粉と 蛍光磁粉の検出性能を実施	
渦流探傷試験 (携帯型渦電流探傷 装置) (ET)	今年度、メーカー開発の携帯型の汎用装置により実施	

6.3 人工きずの標準試験片の仕様

人工きず用標準試験片 (380mm×480mm)



図 6.3-1 人工きず用標準試験片

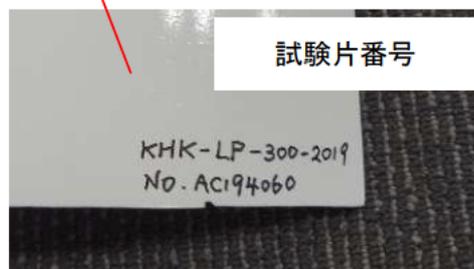


表 6.3-1 人工きず標準試験片の仕様

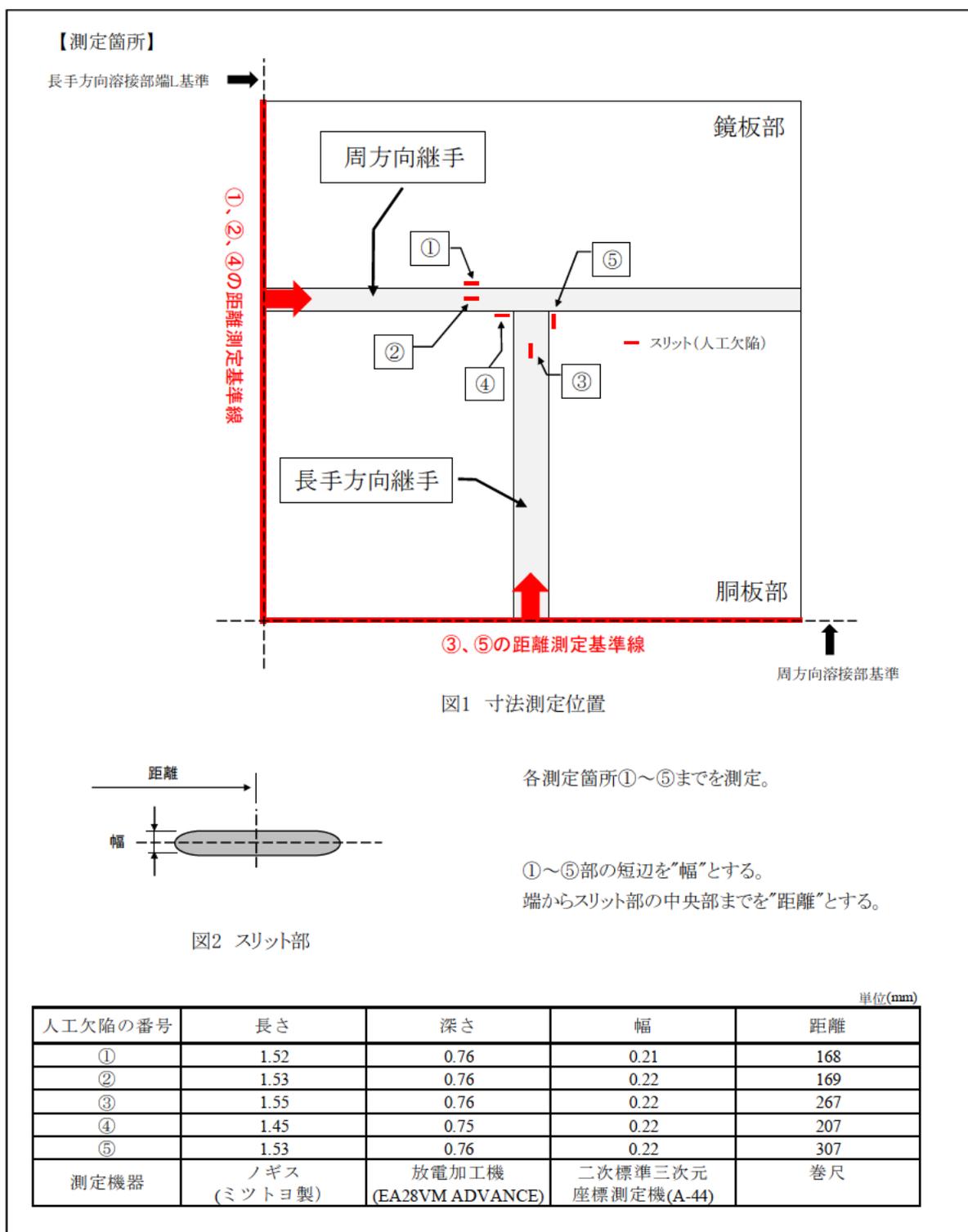
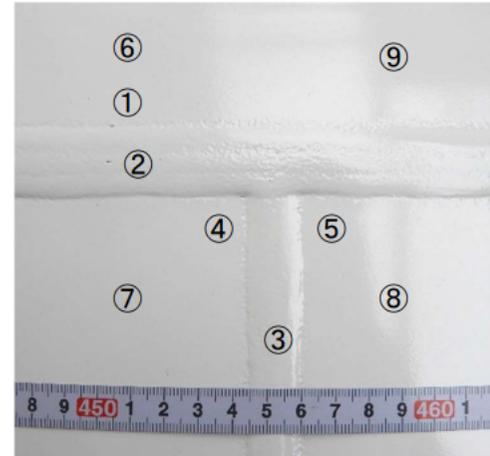


表 6.3-2 標準試験片（人工きず）塗膜仕様



赤枠部拡大



塗装後の外観状況及び塗膜

塗装の仕様

塗装工程	商品名（一般塗料名）	シンナー名	塗装の目標厚み（ μm ） ※最終100 μm を目標とする。
素地下地	プラストでISO Sa2 1/2まで除錆する		--
A. 下塗り	ニッペンキー8000HB （有機ジンクリッチペイント）	ニッペンキー8500シンナー （0~5%）	35
B. 下塗り	ハイボン20P-HB （特殊浸透性エポキシ樹脂塗料下塗り）	ハイボンエポキシシンナー （0~5%）	35
C. 上塗り	ハイボン50上塗HB （厚膜形ポリウレタン樹脂塗料上塗り）	ハイボンウレタンシンナー （10~20%）	30

膜厚測定結果

単位： μm

測定位置	3回の測定値			平均値
①	155	150	147	151
②	168	154	142	155
③	128	112	120	120
④	122	128	125	125
⑤	140	144	147	144
⑥	113	118	114	115
⑦	122	128	120	123
⑧	98.1	97.0	104	100
⑨	97.4	98.1	106	101

測定器：デュアルスコープ MPOR-FP USB

6.4 各種非破壊試験の結果

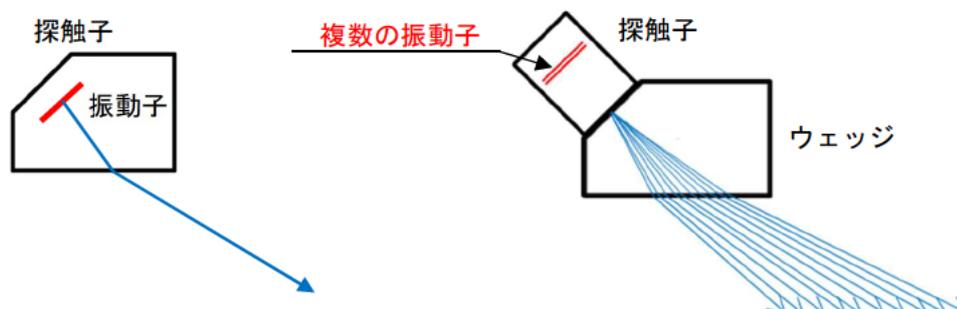
フェーズドアレイ超音波探傷法（PA-UT）、磁粉探傷試験、渦流探傷試験にて人工きず等に対して検出性能の確認を行った結果を示す。

※検査事業者、検査実施者、検査装置メーカー等は非公表とする。

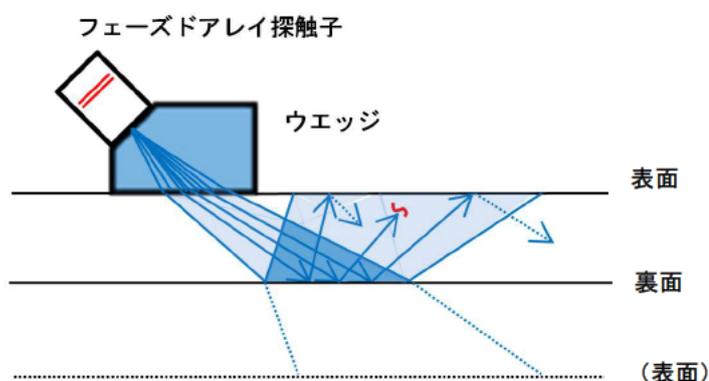
6.4.1 フェーズドアレイ超音波探傷法（PA-UT）

通常の超音波探傷装置の探触子

フェーズドアレイ超音波探傷装置の探触子



超音波探傷装置は、探触子から発信された超音波が欠陥の境界面で一部又は全部が反射されることにより欠陥を検知する。



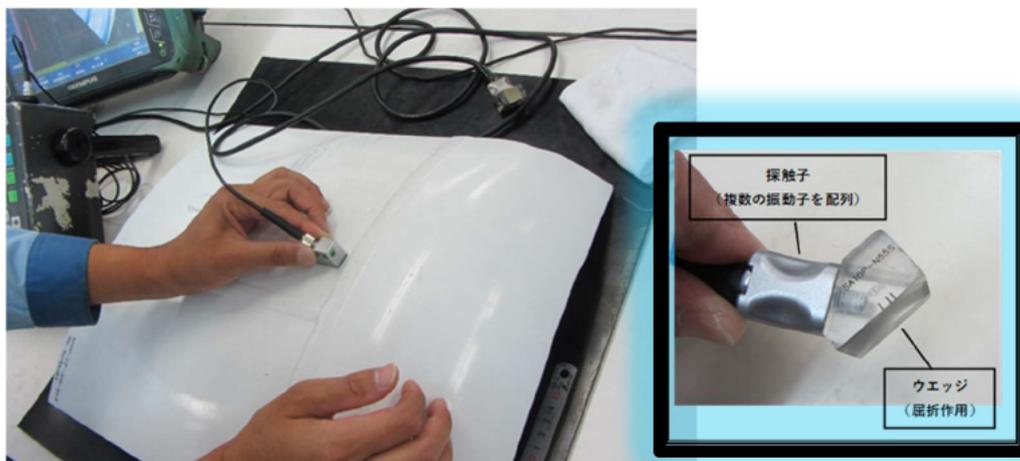
フェーズドアレイ探触子とは、探触子（プローブ）の中に、複数の振動素子が入っており、一つの探触子で溶接部を広い視野角で検査できることにより欠陥検出率を高めている。

注意点として、周波数の選定においては、周波数が高い（波長が短い）ときは、欠陥の寸法が小さいものに適するが欠陥の傾きの影響が大きい。また、周波数が低い（波長が長い）ときは、欠陥の傾きの影響は小さいが、欠陥の検出寸法は大きいものとなる。

表 6.4.1-1 フェーズドアレイ試験装置 器材

①フェーズドアレイ探傷器	
製品名: OmniScan MX2	
製造番号	
メーカー:	
年次点検日: 2020/4/8	
年次点検日者:	
②プローブ	
型式: 10L32 A10	
製造番号: 10MHz	
メーカー:	
型式: 5L16 A10	
製造番号: 5MHz	
メーカー:	
③ウェッジ	
型式: SA10P-N55S	
メーカー:	
④接触媒質	
品名: ソニコート	
メーカー:	

表 6.4.1-2 フェーズドアレイ試験 作業例



※フェーズドアレイ試験法による検出調査手順書

塗膜上からのフェーズドアレイ法 (PA-UT) による評価試験手順書 (案)

1. 目的

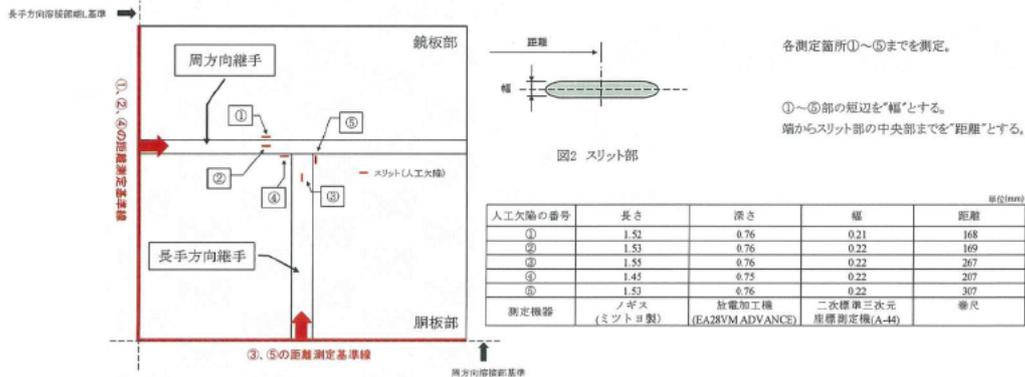
パルク貯槽塗膜の上から塗膜表層下のきずを検出可能かを調査します

2. 調査対象

人工キズ導入サンプル1体(500×400 銅板 $t=6.2\text{mm}$ 、鏡板 $t=6.4\text{mm}$ 、材質:SM520B)※下図参照

実際の欠陥試験片 4体(500×400 銅板 $t=6.2\text{mm}$ 、鏡板 $t=6.4\text{mm}$ 、材質:SM520B)

【測定箇所】



3. 調査概要

(1) 使用予定機器

- 1) 探傷器 : OMNISCAN MX2(社製)
- 2) プローブ : 5L16A10(社製)
- : 10L16A10(社製)
- 3) 接触媒質 : ソニコート(社製)

(2) 準拠規格

JIS Z 2344: 1993 金属材料のバルス反射法による超音波探傷試験方法通則

(3) 調査内容・方法

- 1) きずが検出可能な場合は下記の調査項目を予定しております。

屈折角の選定	調査内容	: 対象となるきずの検出に優れた屈折角の選定を行います。
	調査方法	: 対象となるきずの最大エコーが得られた屈折角を記録します。
探傷感度の選定	調査内容	: 対象となるきずが検出できる感度の選定を行います。
	調査方法	: 対象となるきずの最大エコーが得られた屈折角のきずエコー高さを80%にした時の感度を記録します。
探傷感度の比較	調査内容	: 曲率によるPAプローブの接触状況での減衰量を算出します。
	調査方法	: 周方向、長手方向のきず検出時の探傷感度を比較し、曲率による減衰量を算出する。
きずの位置の誤差	調査内容	: きずの位置の整合性
	調査方法	: 対象となるきずの位置が、超音波にて検出されたきずの位置との差を比較をします。
きず指示長さの測定	調査内容	: 指示長さの整合性
	調査方法	: 最大エコー高さの1/2となる範囲(6dBダウン法)との指示長さの比較をします。

※上記内容を5MHz・10MHzの両方で行い、比較します。

(4) 作業手順

- 1) 調査箇所の確認 : 人工きず位置の確認をします。
- 2) 前処理 : 試験体表面付着物をウェスにて除去します。
- 3) 接触媒質の塗布 : 試験面に接触媒質を塗布します。
- 4) 調査 : 片面、両側より1回反射法で探傷します。
※調査内容は(3)を参照願います
- 5) 後処理 : 接触媒質を除去します。

4. 調査技術者

試験技術者はJIS Z 2305にて認証された超音波探傷試験レベル2以上の有資格者とします。

5. 報告書記載内容

試験名称、試験場所、試験年月日、試験技術者、試験装置、試験方法、試験条件、試験位置(図面、写真等)、試験結果(試験結果一覧、試験記録等)、資格証の写し、その他関係事項

6.4.1.1 周波数 10MHz による試験

(1)人工きず標準試験片による性能確認

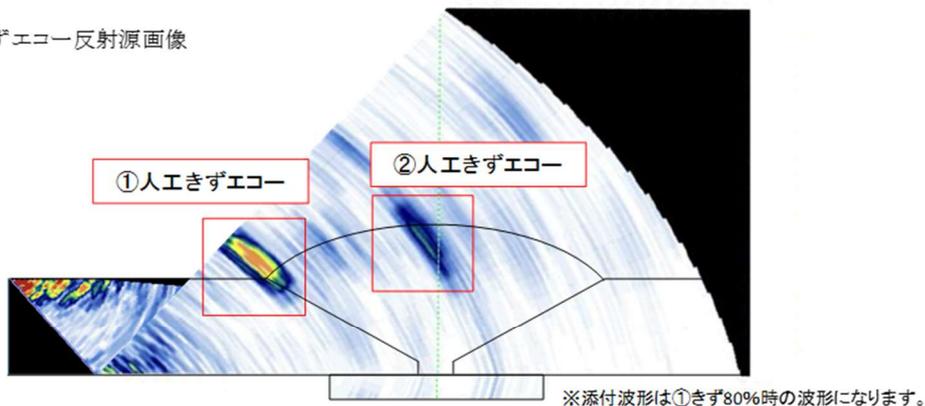
表 6.4.1-3 人工きず標準試験片①、②による検証

①②きず調査結果(その1)



調査方向①結果

きずエコー反射源画像



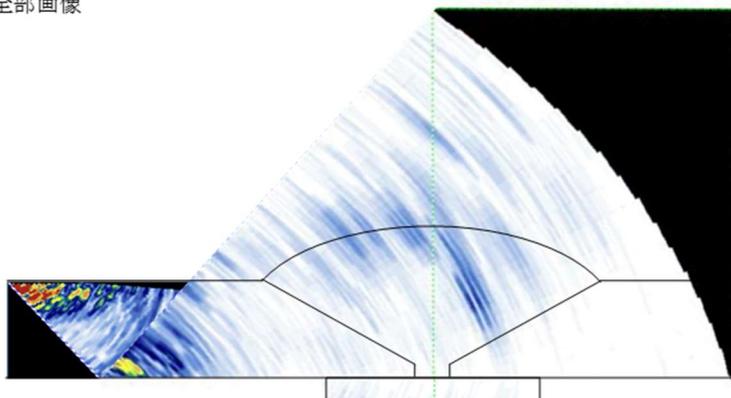
①きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	51.0
検出屈折角(°)	43~47
6dBダウン法での指示長さ	3.0

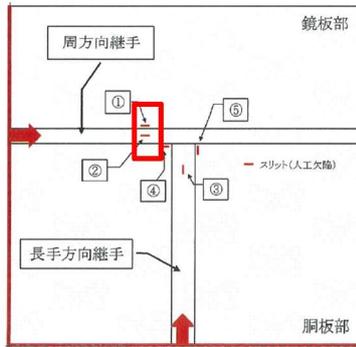
②きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	52.3
検出屈折角(°)	55~57
6dBダウン法での指示長さ(mm)	3.0

健全部画像

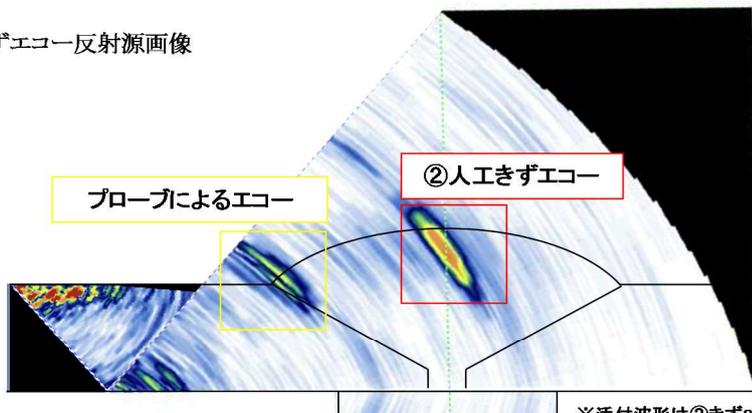


①②きず調査結果(その2)



調査方向②結果

きずエコー反射源画像



※添付波形は②きず80%時の波形になります。

①きず調査内容

きずの検出の可否	不可
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	-
検出屈折角 (°)	-
6dBダウン法での指示長さ (mm)	-

②きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	62.6
検出屈折角 (°)	55~57
6dBダウン法での指示長さ (mm)	3.0

健全部画像

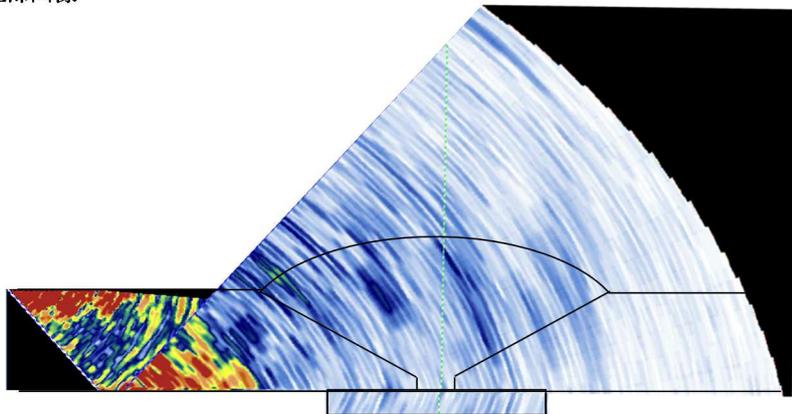


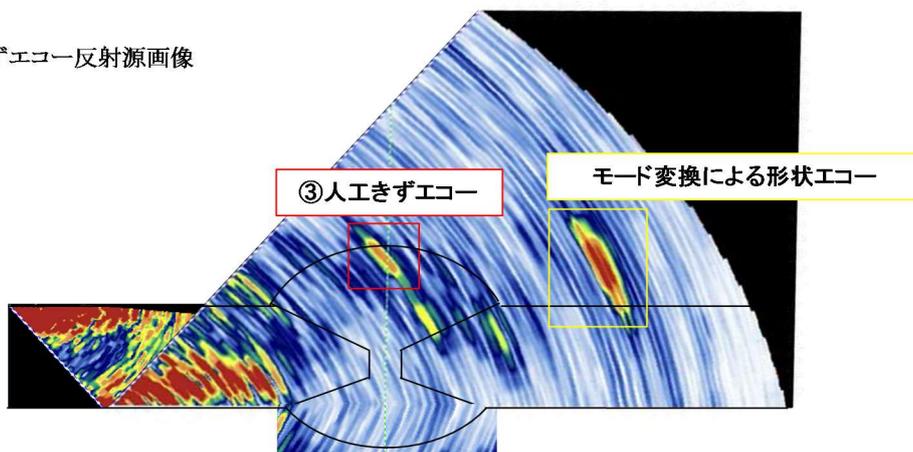
表 6.4.1-4 人工きず標準試験片③による検証

③きず調査結果(その1)



調査方向③結果

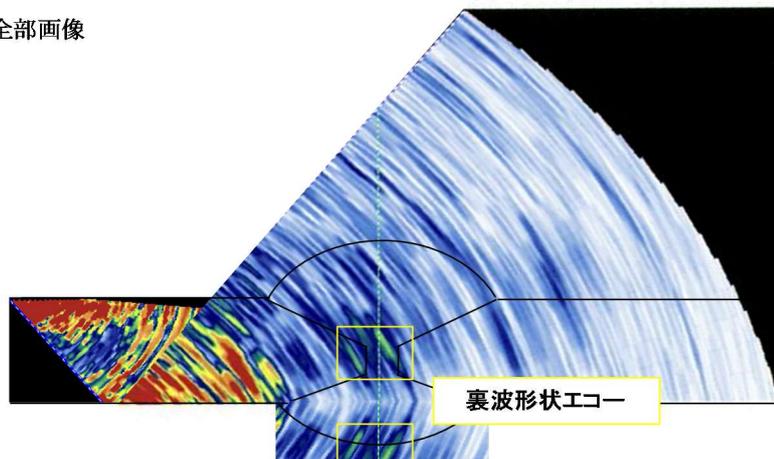
きずエコー反射源画像



③きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	64.6
検出屈折角(°)	50~52
6dBダウン法での指示長さ(mm)	3.0

健全部画像

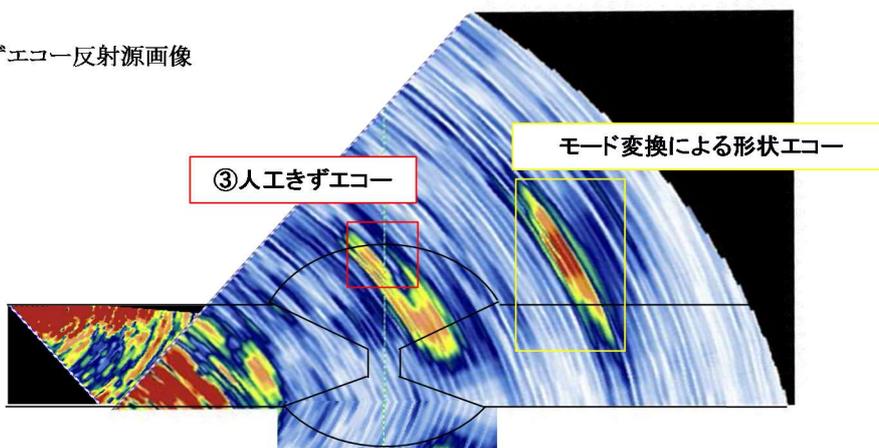


③きず調査結果(その2)



調査方向④結果

きずエコー反射源画像



③きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	64.5
検出屈折角(°)	50~52
6dBダウン法での指示長さ(mm)	3.0

健全部画像

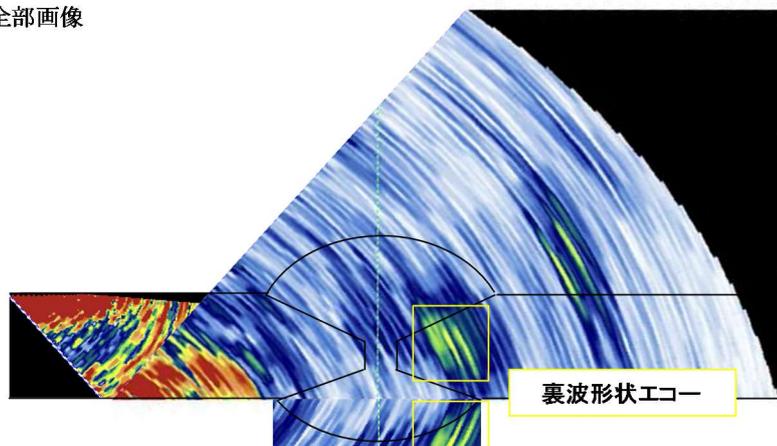


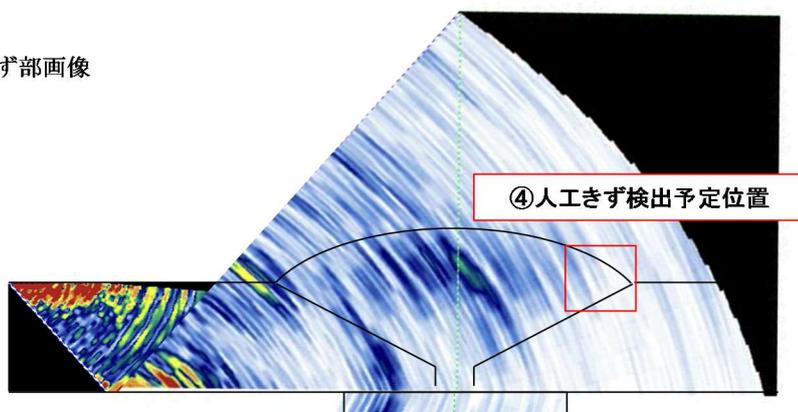
表 6.4.1-5 人工きず標準試験片④による検証

④きず調査結果(その1)



調査方向①結果

きず部画像



④きず調査内容

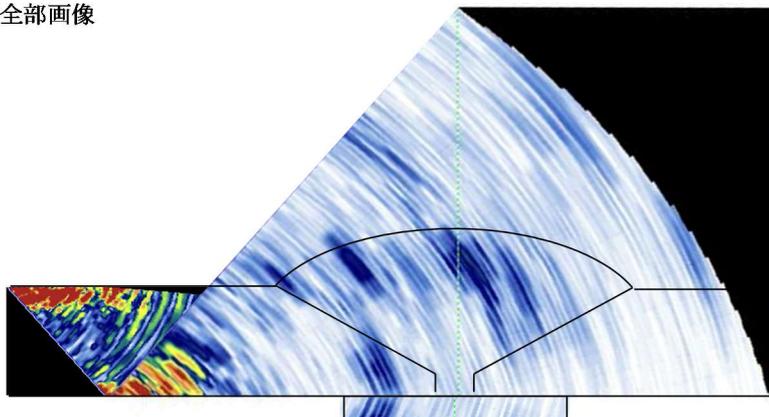
きずの検出の可否	不可
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	-
検出屈折角 (°)	-
6dBダウン法での指示長さ(mm)	-

検出不可理由

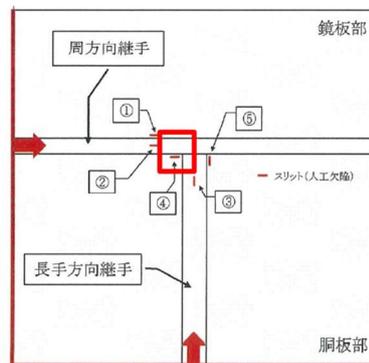
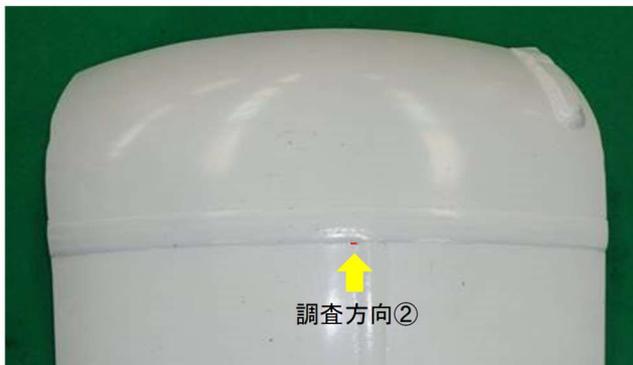
余盛形状エコーとの判別が困難なため検出不可とします。

また、裏当てがね内に超音波が入り込1回反射法での探傷が困難と思われます

健全部画像



④きず調査結果



調査方向②結果

④きず調査内容

きずの検出の可否	不可
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	-
検出屈折角 (°)	-
6dBダウン法での指示長さ (mm)	-

検出不可理由
プローブ接触が困難なため検出不可とします。

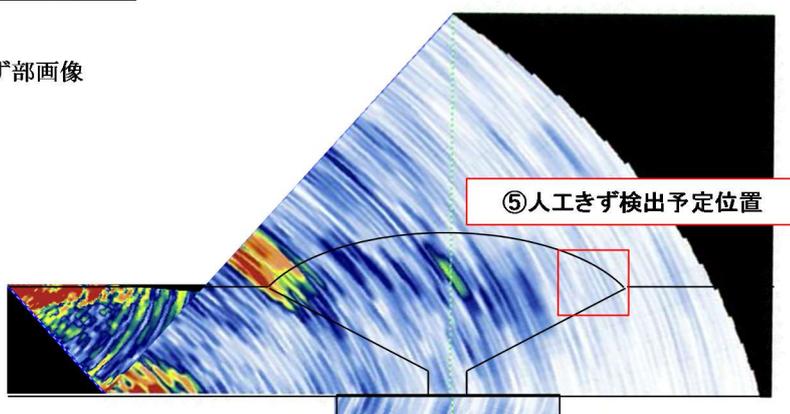
表 6.4.1-6 人工きず標準試験片⑤による検証

⑤きず調査結果



調査方向①結果

きず部画像



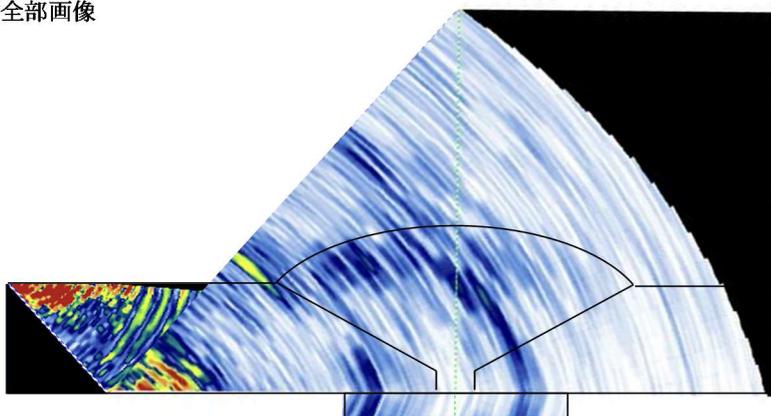
⑤きず調査内容

きずの検出の可否	不可
きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	-
検出屈折角(°)	-
6dBダウン法での指示長さ(mm)	-

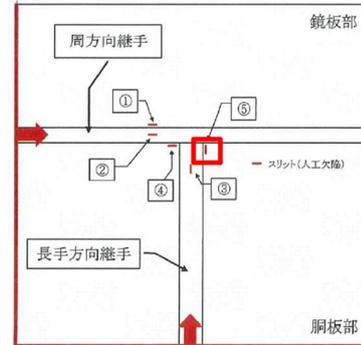
検出不可理由

余盛形状エコーとの判別が困難なため検出不可とします。
また、裏当てがね内に超音波が入り込1回反射法での探傷が困難と思われます

健全部画像



⑤きず調査結果



調査方向②③④結果

⑤きず調査内容

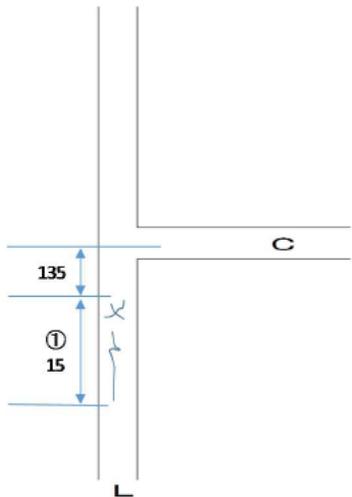
きずの検出の可否	不可
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	-
検出屈折角 (°)	-
6dBダウン法での指示長さ (mm)	-

検出不可理由
プローブ接触が困難なため検出不可とします。

(2) 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認

表 6.4.1-7 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況（試験片 No.1）

様式4					
密閉式磁粉探傷試験 試験片 1		検査実施年月日			
		検査実施者			
合格証番号					
貯蔵能力		0.745m ³ (298kg)			
塗膜厚さ		溶接線上塗膜厚さ			
		274 μm			
ビード余盛り高さ		欠陥箇所余盛り高さ			
		3.5mm			
外部		磁粉探傷試験			
検査方法		JIS Z 2320に準拠して行う			
判定基準		バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS0745)			
試験機器仕様及び条件					
探傷器形式	携帯用極間式磁化装置	使用磁粉	黒色磁粉		
磁化方法	交流極間法	磁粉濃度	2~10g/l		
起磁力	AC100V	被試験面仕上	ワイヤーブラシ		
		試験片種類	A2-15/50		
試験検査結果					
符号	探傷試験箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
①	長手周継手交差部	線状模様	15		
2					
3					
総合判定					



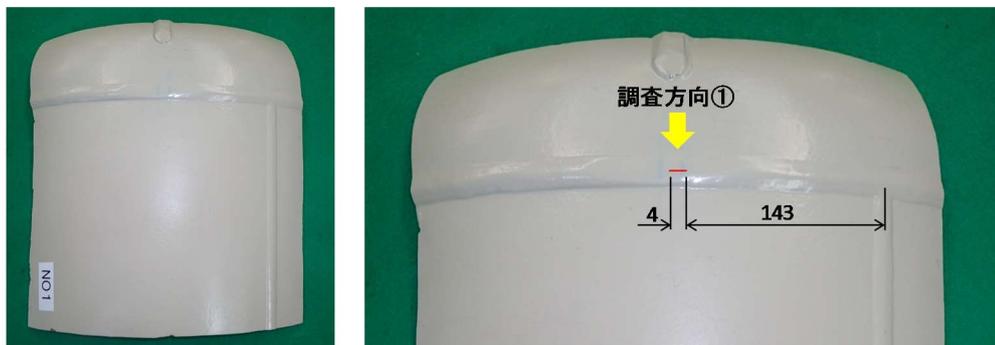


試験片 No.1 による検証

1/2

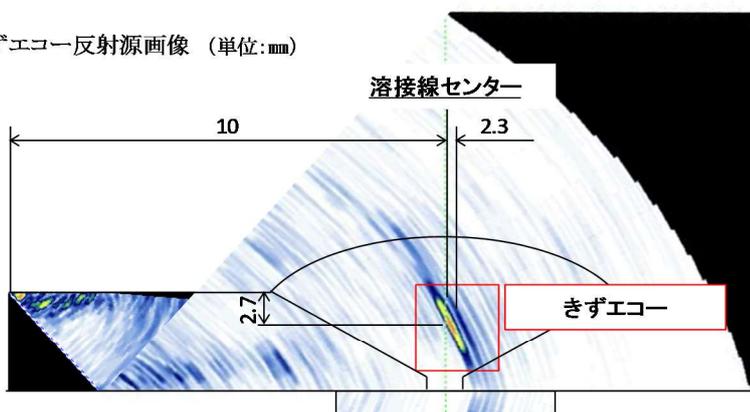
No.1 試験片調査結果(その1)

(単位:mm)



調査方向①結果

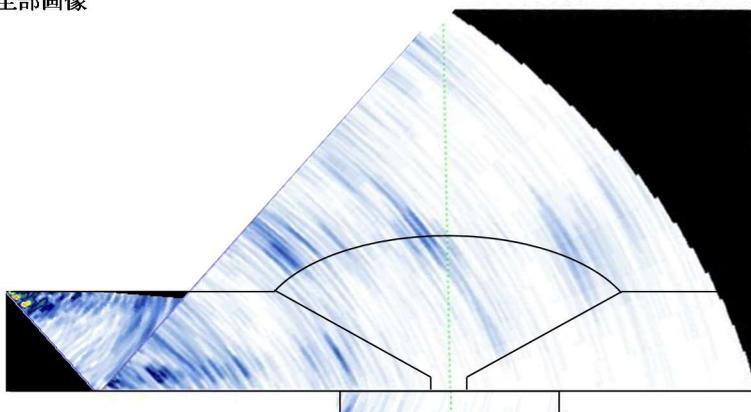
きずエコー反射源画像 (単位:mm)



きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	52.0
検出屈折角(°)	62~67
6dBダウン法での指示長さ(mm)	4.0

健全部画像



試験片 No.1 による検証

2/2

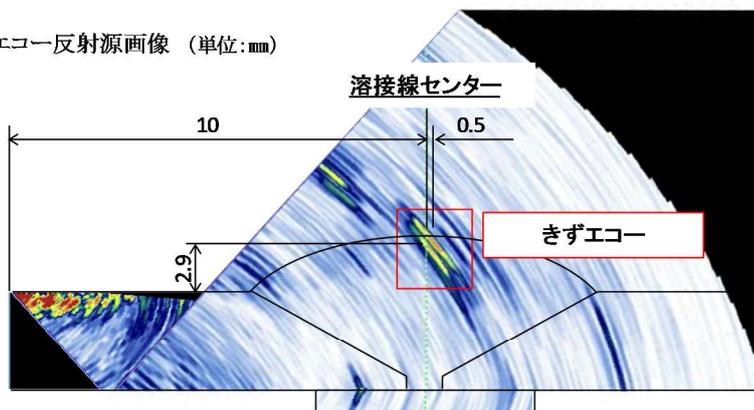
No.1 試験片調査結果(その2)

(単位:mm)



調査方向②結果

きずエコー反射源画像 (単位:mm)



きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	57.1
検出屈折角(°)	52~55
6dBダウン法での指示長さ(mm)	10.0

健全部画像

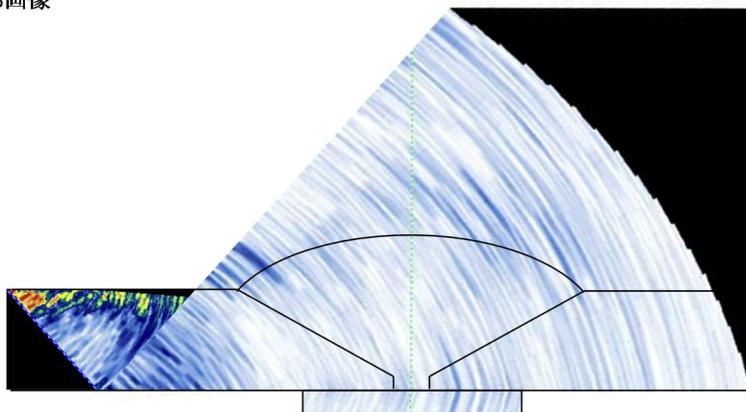


表 6.4.1-8 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況（試験片 No.2）

様式4					
密閉式磁粉探傷試験 試験片 2		検査実施年月日			
		検査実施者			
合格証番号					
貯蔵能力		0.745m ² (298kg)			
塗膜厚さ		溶接線上塗膜厚さ			
		279μm			
ビード余盛り高さ		欠陥箇所ビード余盛り高さ			
		3.2mm			
外部		磁粉探傷試験			
検査方法		JIS Z 2320に準拠して行う			
判定基準		パルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS0745)			
試験機器仕様及び条件					
探傷器形式	携帯用極間式磁化装置	使用磁粉	黒色磁粉		
磁化方法	交流極間法	磁粉濃度	2~10g/l		
起磁力	AC100V	被試験面仕上	ワイヤーブラシ		
		試験片種類	A2-15/50		
試験検査結果					
符号	探傷試験箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
①	長手周継手交差部	線状模様	18		
総合判定					

試験片 No.2 による検証

1/2

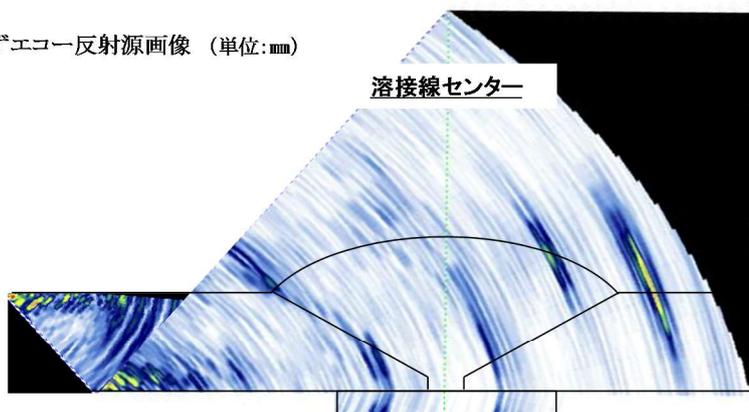
No.2試験片調査結果(その1)

(単位:mm)



調査方向①結果

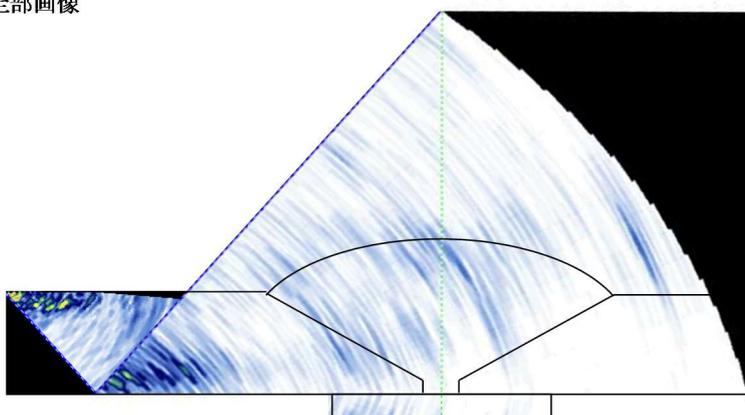
きずエコー反射源画像 (単位:mm)



きず調査内容

きずの検出の可否	不可
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	-
検出屈折角 (°)	-
6dBダウン法での指示長さ (mm)	-

健全全部画像



試験片 No.2 による検証

2/2

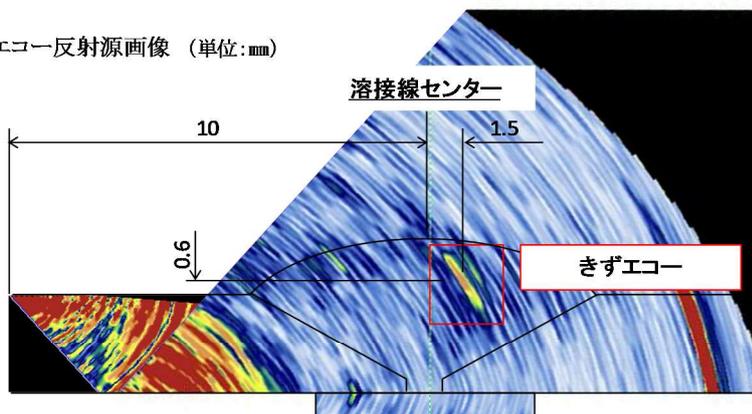
No.2試験片調査結果(その2)

(単位:mm)



調査方向②の結果

きずエコー反射源画像 (単位:mm)



きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	69.5
検出屈折角(°)	57~60
6dBダウン法での指示長さ(mm)	10

健全全部画像

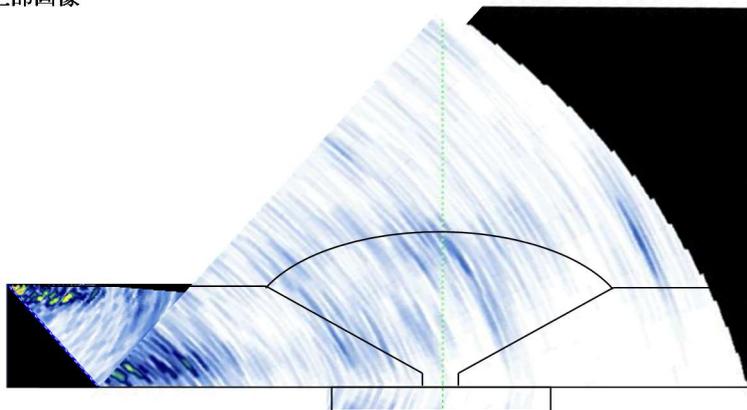


表 6.4.1-9 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況（試験片 No.3）

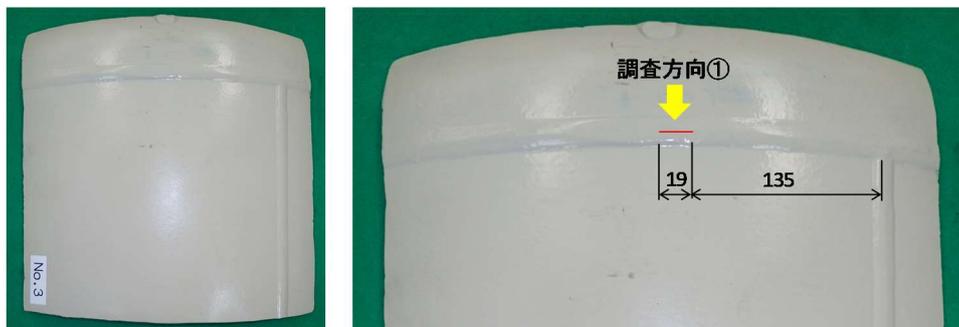
様式4					
密閉式磁粉探傷試験 試験片 3		検査実施年月日			
		検査実施者			
合格証番号					
貯蔵能力		0.745m ³ (298kg)			
塗膜厚さ		溶接線上塗膜厚さ			
		266μm			
ビード余盛り高さ		欠陥箇所ビード余盛り高さ			
		3.0mm			
外部		磁粉探傷試験			
検査方法		JIS Z 2320に準拠して行う			
判定基準		バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS0745)			
試験機器仕様及び条件					
探傷器形式	携帯用極間式磁化装置	使用磁粉	黒色磁粉		
磁化方法	交流極間法	磁粉濃度	2~10g/l		
起磁力	AC100V	被試験面仕上	ワイヤーブラシ		
		試験片種類	A2-15/50		
試験検査結果					
符号	探傷試験箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
①	長手周継手交差部	線状模様	20		
				総合判定	

試験片 No.3 による検証

1/2

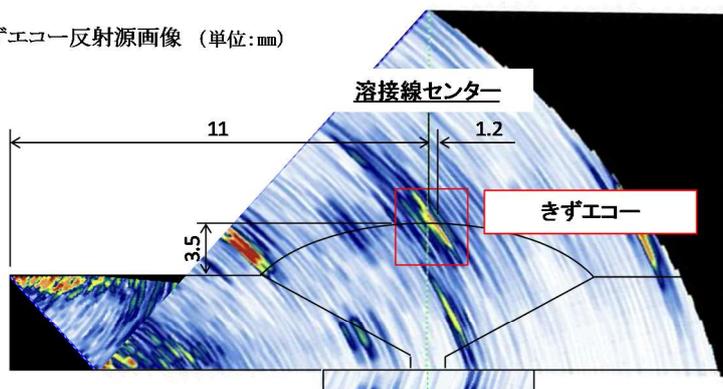
No.3試験片調査結果(その1)

(単位:mm)



調査方向①結果

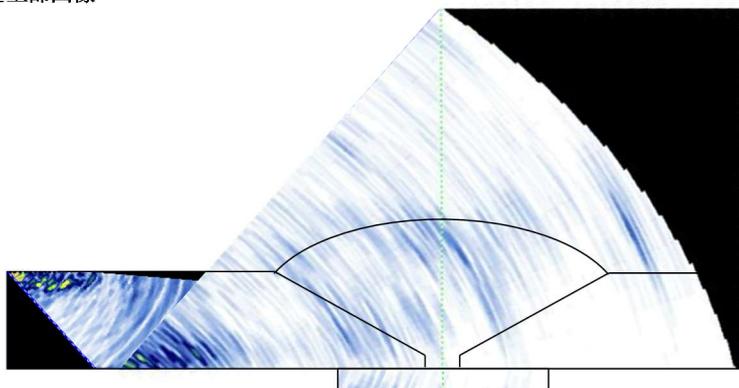
きずエコー反射源画像 (単位:mm)



きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	57.9
検出屈折角 (°)	52~57
6dBダウン法での指示長さ (mm)	19

健全部画像

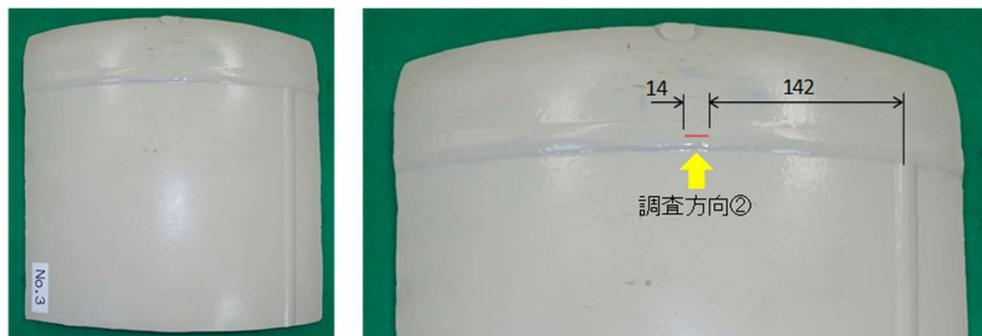


試験片 No.3 による検証

2/2

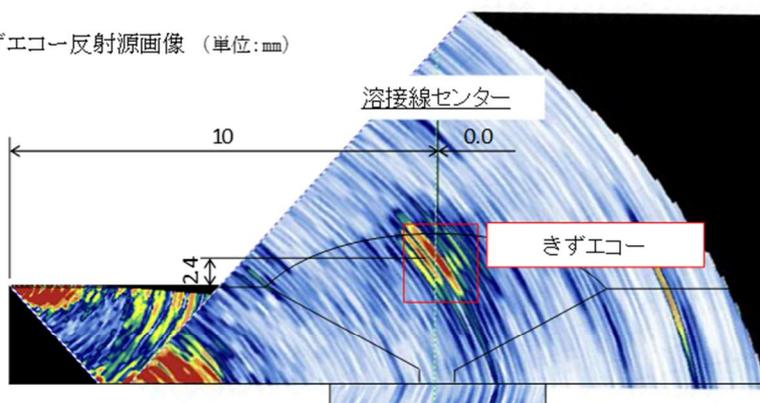
No.3 試験片調査結果(その2)

(単位:mm)



調査方向②結果

きずエコー反射源画像 (単位:mm)



きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	62.5
検出屈折角(°)	52~57
6dBダウン法での指示長さ(mm)	14

健全部画像

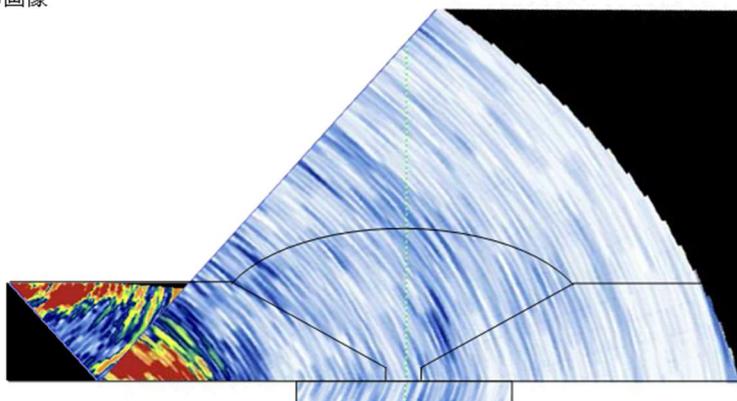


表 6.4.1-10 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況（試験片 No.4）

様式4					
密閉式磁粉探傷試験 試験片 4		検査実施年月日			
		検査実施者			
合格証番号					
貯蔵能力		0.745m ³ (298kg)			
塗膜厚さ		溶接線上塗膜厚さ			
		266μm			
ビード余盛り高さ		欠陥箇所ビード余盛り高さ			
		3.0mm			
外部		磁粉探傷試験			
検査方法		JIS Z 2320Iに準拠して行う			
判定基準		バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS0745)			
試験機器仕様及び条件					
探傷器形式	携帯用極間式磁化装置	使用磁粉	黒色磁粉		
磁化方法	交流極間法	磁粉濃度	2~10g/l		
起磁力	AC100V	被試験面仕上	ワイヤーブラシ		
		試験片種類	A2-15/50		
試験検査結果					
符号	探傷試験箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
①	長手周継手交差部	線状模様	10		
				総合判定	

試験片 No.4 による検証

1/2

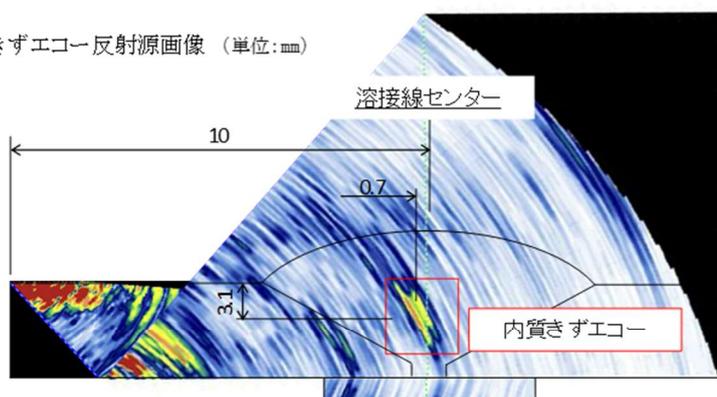
No.4試験片調査結果(その1)

(単位: mm)



調査方向①結果

①きずエコー反射源画像 (単位: mm)



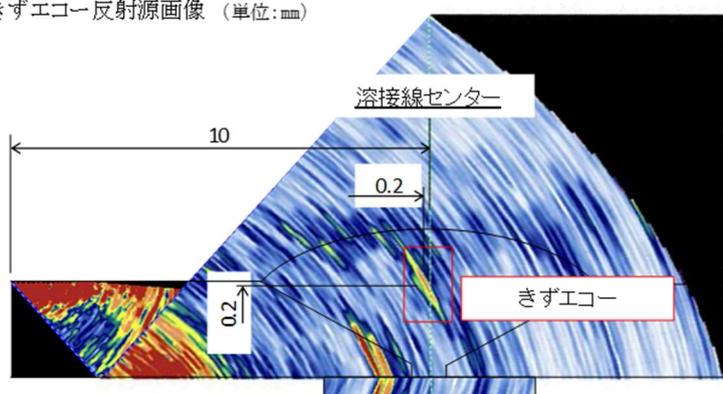
①きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	61.5
検出屈折角 (°)	62~65
6dBダウン法での指示長さ (mm)	6

②きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	66.9
検出屈折角 (°)	57~62
6dBダウン法での指示長さ (mm)	10

②きずエコー反射源画像 (単位: mm)



試験片 No.4 による検証

2/2

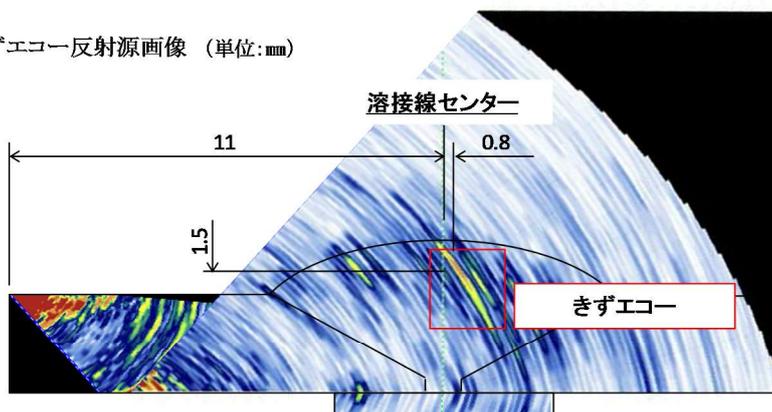
No.4試験片調査結果(その2)

(単位:mm)



調査方向②結果

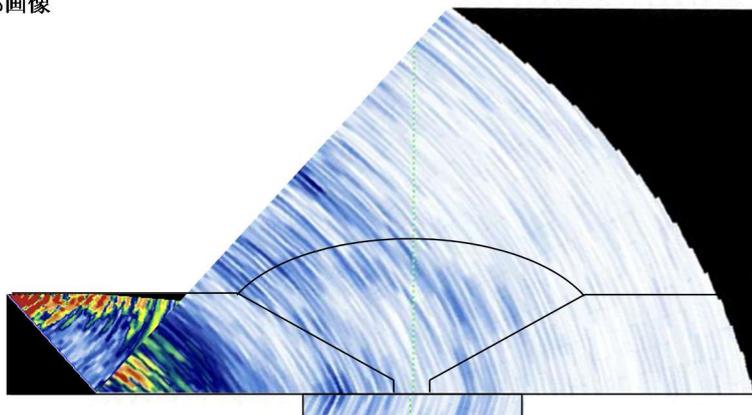
きずエコー反射源画像 (単位:mm)



きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	60.9
検出屈折角 (°)	55~60
6dBダウン法での指示長さ (mm)	130

健全部画像



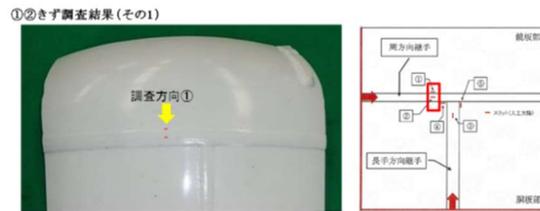
6.4.1.2 周波数 5MHz による試験

5MHz による試験結果は、10MHz と同様な結果であったため、検証結果の一部を 10MHz と対比して報告する。

(1)人工きず標準試験片①、②による性能確認の比較

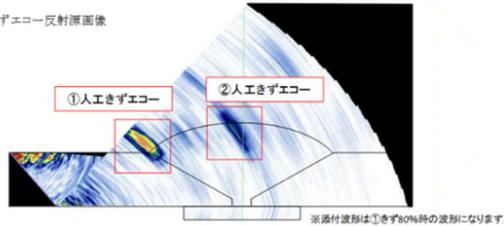
表 6.4.1-11

10MHz 人工きず標準試験片による検証



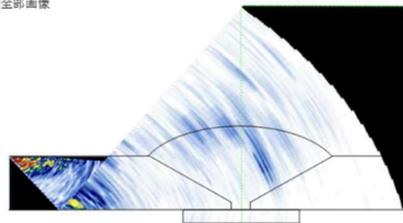
調査方向①結果

きずエコー反射源画像



①きず調査内容		②きず調査内容	
きずの検出の可否	可能	きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	51.0	きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	52.3
検出屈折角 (°)	43~47	検出屈折角 (°)	55~57
6dBダウン法での指示長さ (mm)	3.0	6dBダウン法での指示長さ (mm)	3.0

健全部画像

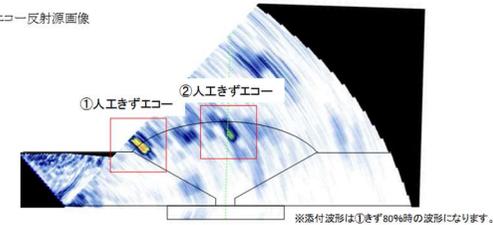


5MHz 人工きず標準試験片による検証



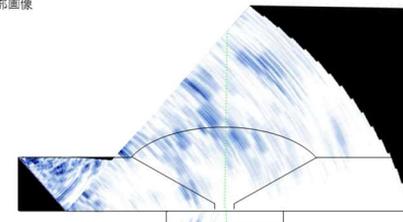
調査方向①結果

きずエコー反射源画像



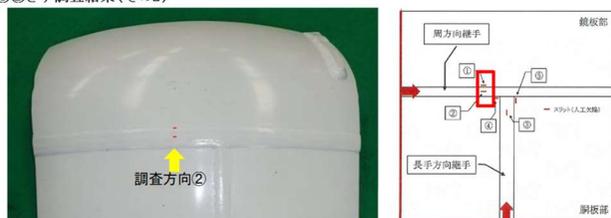
①きず調査内容		②きず調査内容	
きずの検出の可否	可能	きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	36.6	きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	38.0
検出屈折角 (°)	42~45	検出屈折角 (°)	52~55
6dBダウン法での指示長さ (mm)	6.0	6dBダウン法での指示長さ (mm)	6.0

健全部画像



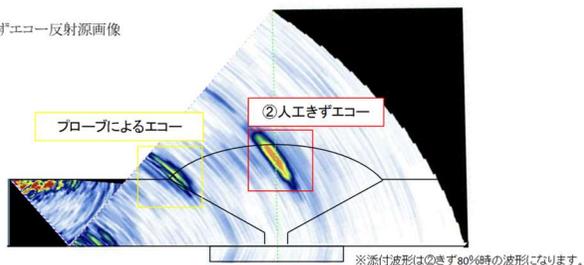
10MHz 人工きず標準試験片による検証

①②きず調査結果(その2)



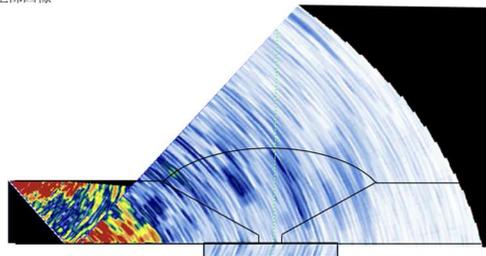
調査方向②結果

きずエコー反射源画像



①きず調査内容		②きず調査内容	
きずの検出の可否	不可	きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	-	きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	62.6
検出屈折角(°)	-	検出屈折角(°)	55~57
6dBダウン法での指示長さ(mm)	-	6dBダウン法での指示長さ(mm)	3.0

健全部画像



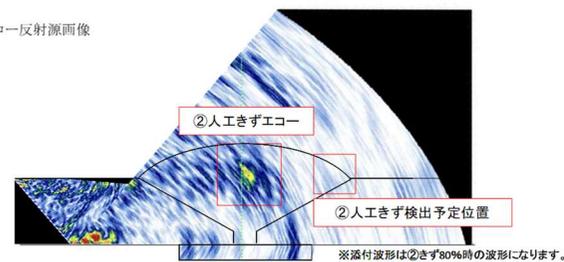
5MHz 人工きず標準試験片による検証

①②きず調査結果(その2)



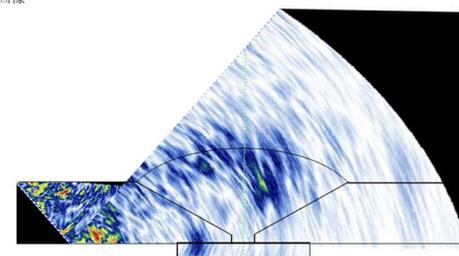
調査方向②結果

きずエコー反射源画像



①きず調査内容		②きず調査内容	
きずの検出の可否	不可	きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	-	きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)	43.7
検出屈折角(°)	-	検出屈折角(°)	54~56
6dBダウン法での指示長さ(mm)	-	6dBダウン法での指示長さ(mm)	7.0

健全部画像



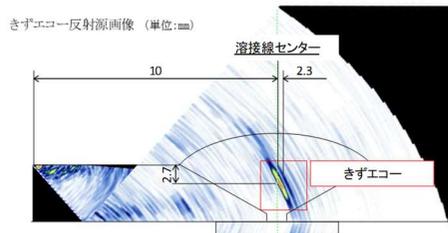
(2) 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認の比較

表 6.4.1-12 No.1 による検証

10MHz 線状磁粉模様試験片による検証

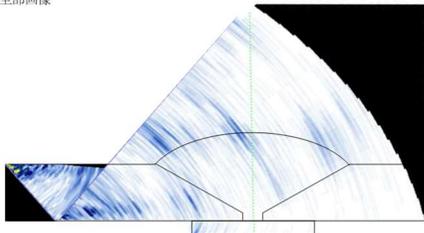


調査方向①結果



きず調査内容	
きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	52.0
検出屈折角 (°)	62~67
6dBダウン法での指示長さ (mm)	4.0

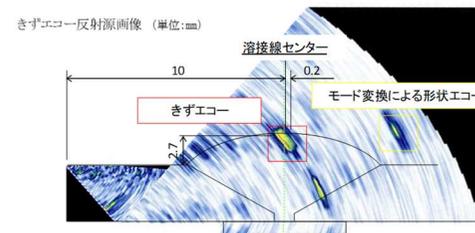
健全部画像



5MHz 線状磁粉模様試験片による検証

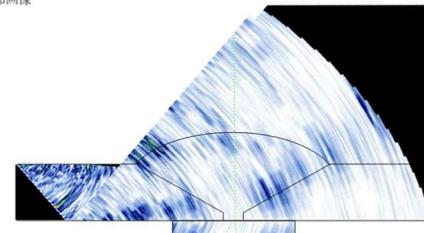


調査方向①結果



きず調査内容	
きずの検出の可否	可能
きず最大エコー高さ80%時の感度 (dB)	44.1
検出屈折角 (°)	52~55
6dBダウン法での指示長さ (mm)	16.0

健全部画像



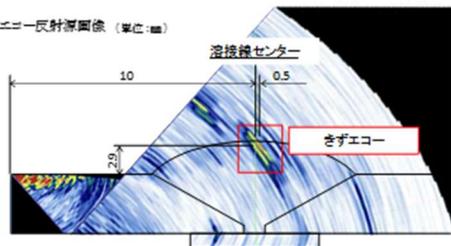
10MHz 線状磁粉模様試験片による検証

No.1試験片調査結果(その2) (単位:mm)



調査方向②結果

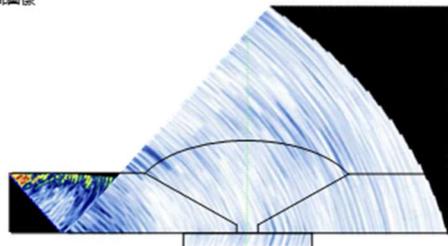
きずエコー反射源画像 (単位:mm)



きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー幅@90%時の感度(dB)	57.1
検出屈折角(°)	52~55
6dBダウン法での指示長さ(mm)	10.0

健全部画像



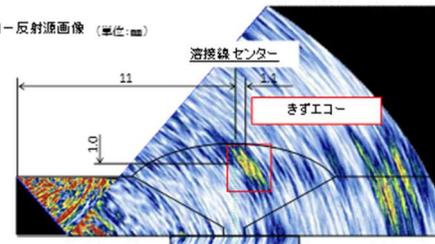
5MHz 線状磁粉模様試験片による検証

No.1試験片調査結果(その2) (単位:mm)



調査方向①結果

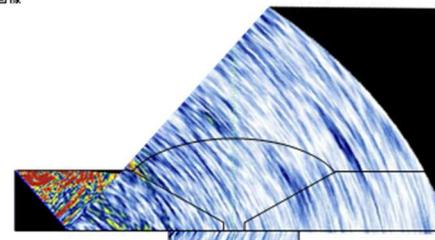
きずエコー反射源画像 (単位:mm)



きず調査内容

きずの検出の可否	可能
きず最大エコー幅@90%時の感度(dB)	54.9
検出屈折角(°)	52~57
6dBダウン法での指示長さ(mm)	7.0

健全部画像



6.4.1.3 検出結果一覧表

人工きずの標準試験調査結果

きず№	調査方向	きずの検出の可否		きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)		検出屈折角(°)		6dBダウン法での指示長さ(mm)	
		10MHz	5MHz	10MHz	5MHz	10MHz	5MHz	10MHz	5MHz
①	①	可能	可能	51.0	36.6	43~47	42~45	3	6
	②	不可	不可	-	-	-	-	-	-
②	①	可能	可能	52.3	38.0	55~57	52~55	3	6
	②	可能	可能	62.6	43.7	55~57	54~56	3	7
③	③	可能	可能	64.6	45.8	50~52	47~52	3	6
	④	可能	可能	64.6	45.8	50~52	47~52	3	7
④	①	不可	不可	-	-	-	-	-	-
	②	不可	不可	-	-	-	-	-	-
⑤	①	不可	不可	-	-	-	-	-	-
	②	不可	不可	-	-	-	-	-	-
	③	不可	不可	-	-	-	-	-	-
	④	不可	不可	-	-	-	-	-	-

実際の線状磁粉模様試験片調査結果

きず№	調査方向	きずの検出の可否		きず最大エコー高さ80%時の感度(dB)		検出屈折角(°)		6dBダウン法での指示長さ(mm)	
		10MHz	5MHz	10MHz	5MHz	10MHz	5MHz	10MHz	5MHz
1	①	可能	可能	52.0	44.1	62~67	52~55	4	16
	②	可能	可能	57.1	54.9	52~55	52~57	10	7
2	①	不可	不可	-	-	-	-	-	-
	②	可能	可能	69.5	54.9	57~60	55~58	10	12
3	①	可能	可能	57.9	43.3	52~57	50~52	19	14
	②	可能	可能	62.5	38.3	52~57	52~54	10	12
4	①(①きず)	可能	可能	61.5	61.5	62~65	65~67	6	10
	①(②きず)	可能	可能	66.9	54.3	57~62	65~70	10	5
	②	可能	可能	60.9	45.4	55~60	55~60	130	240

※手順書記載の調査項目「周方向、長手方向のきず検出時の探傷感度を比較し、曲率による減衰量を算出する。」とありますが、本試験体は周方向、軸方向の溶接条件が異なるため比較はできませんでした。

今回、一般の超音波探傷装置(UT)で試験を行なったが、探傷結果においては、人工きずの標準試験片はほとんど検出不可で、実際のきず試験片においても半数しか検出できなかった。

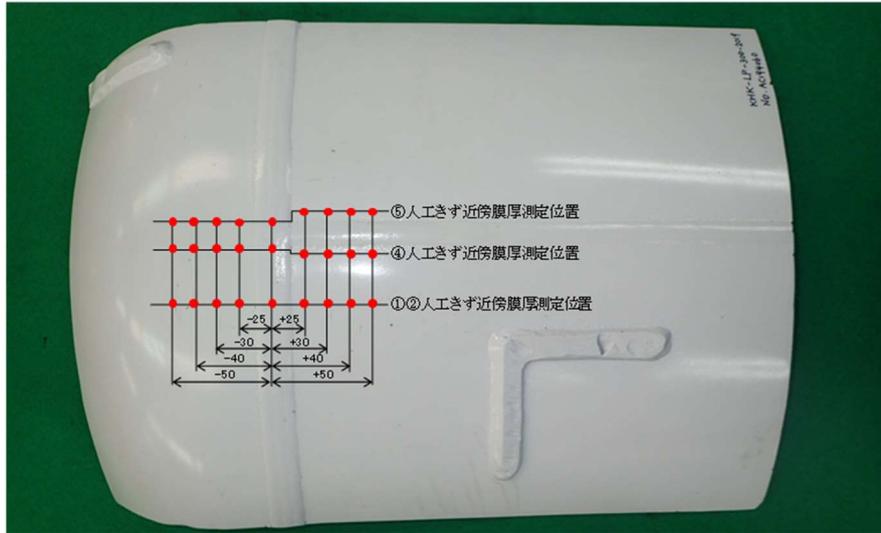
6.4.1.4 膜厚測定の結果

塗膜上から、PA-UT 及び MT の非破壊検査を行ったが、今回の試験片の塗膜の厚さについて報告する。

(1) 人工きず標準試験片

軸方向測定結果

(単位:mm)

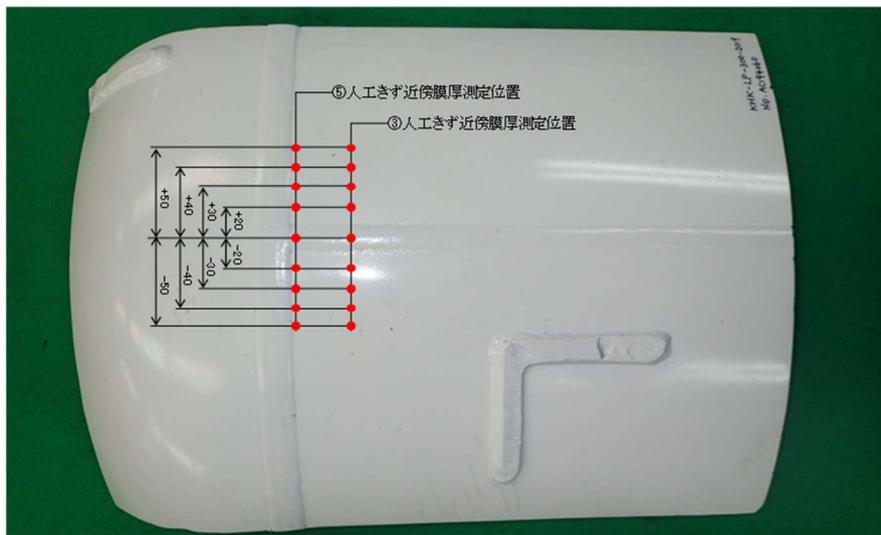


(単位:μm)

測定位置	-50	-40	-30	-25	φ	+25	+30	+40	+50
①②人工きず近傍膜厚測定位置	90.7	101.0	110.0	115.0	141.0	86.3	97.3	10.9	11.2
④人工きず近傍膜厚測定位置	124.0	123.0	125.0	121.0	145.0	93.7	10.4	99.9	104.0
⑤人工きず近傍膜厚測定位置	103.0	91.6	107.0	85.2	156.0	133.0	126.0	93.7	80.0

周方向測定結果

(単位:mm)



(単位:μm)

測定位置	-50	-40	-30	-20	φ	+20	+30	+40	+50
③人工きず近傍膜厚測定位置	109.0	101.0	96.7	125.0	98.4	82.5	91.4	109.0	106.0
⑤人工きず近傍膜厚測定位置	89.3	96.9	105.0	111.0	111.0	133.0	93.4	97.4	87.2

(2) 実際の線状磁粉模様試験片の膜厚測定

No.1 試験片測定結果

(単位:mm)

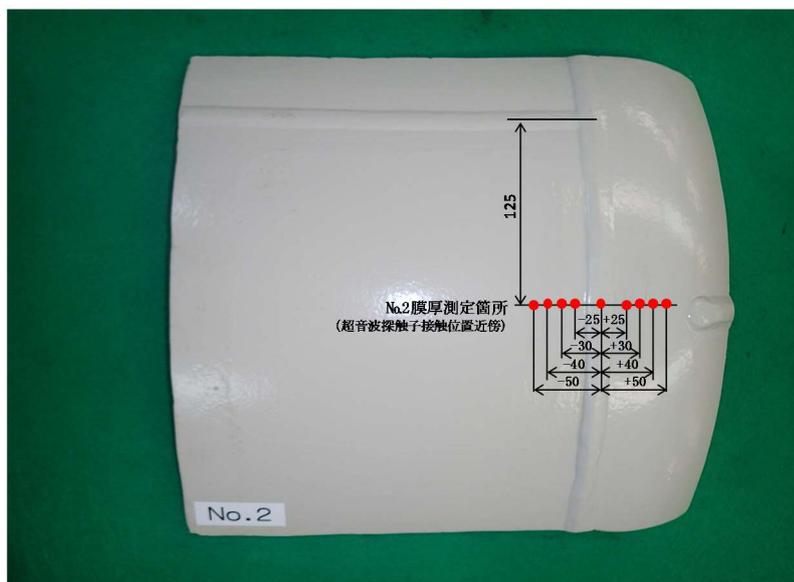


(単位: μm)

測定位置	-50	-40	-30	-25	☉	+25	+30	+40	+50
No.1 膜厚測定箇所	299.0	230.0	228.0	236.0	221.0	204.0	213.0	217.0	254.0

No.2 試験片測定結果

(単位:mm)



(単位: μm)

測定位置	-50	-40	-30	-25	☉	+25	+30	+40	+50
No.2 膜厚測定箇所	271.0	304.0	292.0	439.0	249.0	229.0	242.0	268.0	309.0

No.3試験片測定結果

(単位:mm)



(単位: μ m)

測定位置	-50	-40	-30	-25	☺	+25	+30	+40	+50
No.3膜厚測定箇所	201.0	238.0	227.0	217.0	253.0	256.0	255.0	240.0	253.0

No.4試験片測定結果

(単位:mm)



(単位: μ m)

測定位置	-50	-40	-30	-25	☺	+25	+30	+40	+50
No.4膜厚測定箇所	215.0	233.0	240.0	210.0	261.0	224.0	229.0	264.0	223.0

6.4.1.5 各種検証項目の結果

表 6.4.1-13 作業性（準備を含む）、操作性、検出性能、安全性、試験器費用等

試験方法	作業性、操作性、検出性能、安全性、試験器費用等	特記事項
フェーズドアレイ 超音波探傷試験 (PA-UT)	作業性： 溶接部の形状等（材質、板厚、開先状況）をインプットする必要あり。（溶接施工図の確認）	
	操作性： ビーム部とモニター部と別れるため、底部等は二人で操作。ノズル部の隅肉溶接部は難しい。	
	検出性能： 溶接部のクロス部の際の検出は難しい。きずの形状によっては検出できず。内部の欠陥の検出可。	
	安全性： 特に支障なし。	
	試験機費用： 本体試験装置約 800 万。 ウェッジ部は劣化するので適宜交換。	

6.4.1.6 まとめ

一般の超音波探傷試験（以下 UT）に比べ、フェーズドアレイ超音波探傷法（以下 PA-UT）は、複数の超音波の発信により探傷することより、作業性、操作性は容易である。きずの検出能力は、溶接線の交差部の際において一部、検出ができないものがあつた。

今回の試験片を用いての試験においては、事前に、試験部の溶接構造、溶接材料、溶接の各種寸法値等の情報がないと画像で検出されたきず等の正確な位置、寸法が測定できないことがわかつた。また、人工きずの標準試験片④及び⑤の欠陥の箇所は、溶接線の交差部の際であり、探触子の操作角度等をいろいろ試したが、検出することはできなかつた。

実際の線状磁粉模様試験片については、No.1 から No.4 まで、検出することができた。特に密閉型磁粉探傷試験では、No.2 試験片は検出できなかったが、PA-UT では検出することができた。周波数については、10MHz と 5MHz の両方で行つたが、6.4.1.3 の検出結果一覧表のとおり検出性能は同じであつたが、検出画像においては、若干、5MHz の方が、薄く表示されるように見えた。

溶接線の内部及び熱影響部の内部においても探傷することができることより、表面欠陥だけでなく内部欠陥の探傷に適している試験方法である。

以上

6.4.2 磁粉探傷試験（MT）非蛍光磁粉及び蛍光磁粉

表 6.4.2-1 磁粉探傷試験装置 器材

①磁化装置	
製品名:ハンディマグナ A-6型	
製造番号:	
メーカー:	
年次点検日:2020/5/13	
年次点検日者:	
②紫外線照射装置	
型式:S-35LC型	
製造番号:	
メーカー:	
年次点検日:2020/5/13	
年次点検日者:	
③磁粉液	
型式:蛍光磁粉液 SY-8000	
メーカー:	
型式:非蛍光磁粉液 MK-10	
メーカー:	

※磁粉探傷試験による評価試験手順書

塗膜上からの磁粉探傷試験による評価試験手順書(案)

1. 目的

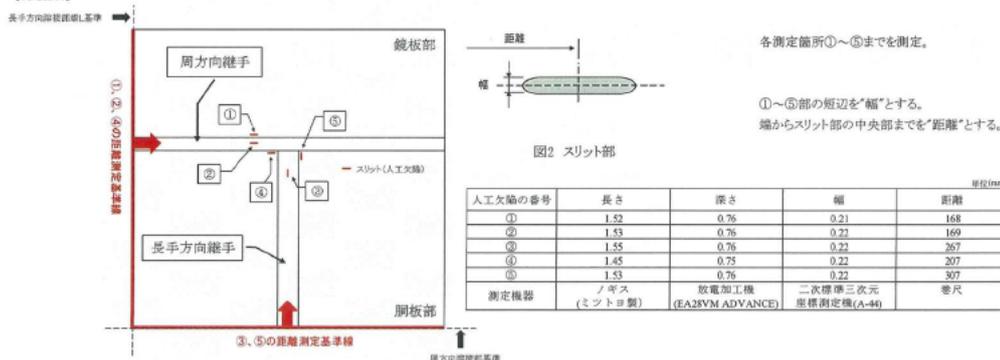
パルク貯槽塗装の上から塗膜表層下のきずが検出可能かを調査します

2. 調査対象

人工キズ導入サンプル1体(500×400 銅板 $t=6.2\text{mm}$ 、鏡板 $t=6.4\text{mm}$ 、材質:SM520B)※下図参照

実際の欠陥試験片 4体(500×400 銅板 $t=6.2\text{mm}$ 、鏡板 $t=6.4\text{mm}$ 、材質:SM520B)

【測定箇所】



3. 調査概要

(1) 使用予定機器

- 1) 磁化装置 : 製/A-1型、A-2型、A-6型
- 2) 紫外線照射灯 : 製/S-35LC型
- 紫外線強度計 : 製/DML-1000
- 3) 蛍光磁粉液 : 製/SY-75WD (精密検査用) /粒度: $2\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ /濃度: $0.2\sim 2.0\text{g}/\text{fl}$
※上記もしくはSY8000 (精密検査用) /粒度: $3\mu\text{m}$ 以下/濃度: $0.2\sim 2.0\text{g}/\text{fl}$
- 4) 非蛍光磁粉 : 製/MK-10 (精密検査用) /粒度: $3\mu\text{m}$ 以下/濃度: $2.0\sim 10\text{g}/\text{fl}$
標準試験片 : A1-15/100、A1-30/100

(2) 準拠規格

- JIS Z 2320-01 2017 非破壊試験-磁粉探傷試験-第1部: 一般通則
JIS Z 2320-01 2017 非破壊試験-磁粉探傷試験-第2部: 検出媒体
JIS Z 2320-01 2017 非破壊試験-磁粉探傷試験-第3部: 装置

(3) 探傷方法・条件

- 探傷箇所 : 指定溶接箇所を対象とします。
磁化方法 : 極間法
探傷面の仕上げ方法 : 塗膜上付着物を洗浄液にて除去
磁化方法 : 極間法
磁粉の分散媒 : 湿式法、水
検査液濃度 : 蛍光磁粉 $0.2\sim 2.0\text{g}/\text{fl}$
非蛍光磁粉 $2.0\sim 10.0\text{g}/\text{fl}$
磁粉の適用 : 連続法
磁化電流の種類 : 交流
通電時間 : $5\text{sec}\sim 7\text{sec}$
探傷有効範囲 : 85mm (10%以上オーバーラップ)

(4) 作業手順

- ① 調査箇所の確認 : 調査指定溶接箇所の確認
- ② 前処理 : 塗膜上付着物を洗浄液にて除去
- ③ 総合確認性能確認 : 標準試験片 (A1-15/100若しくはA1-30/100) にて総合確認性能の確認を実施します。
- ④ 探傷作業 : 試験対象箇所に対し直角2方向の探傷を実施します。
- ⑤ 記録 : きずによる磁粉模様を検出された場合は位置、大きさの寸法を記録します。
- ⑥ 後処理 : ウェス、洗浄液にて磁粉液の除去をします。

4. 調査技術者

試験技術者はJIS Z 2305にて認証された磁粉探傷試験レベル2以上の有資格者となります。

5. 報告書記載内容

試験名称、試験場所、試験年月日、試験技術者、試験装置、試験方法、試験条件、試験位置(図面、写真等)、試験結果(試験結果一覧、試験記録等)、資格証の写し、その他関係事項

※磁粉探傷試験による調査条件

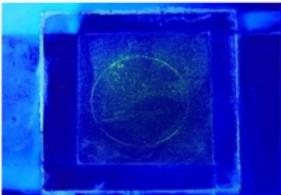
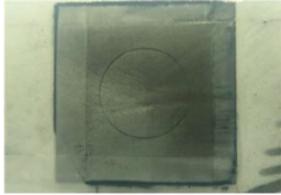
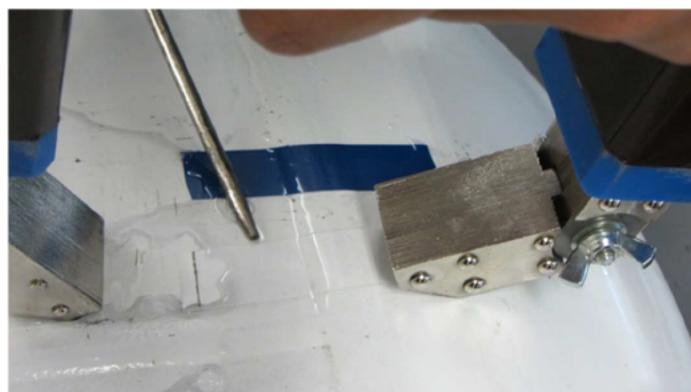
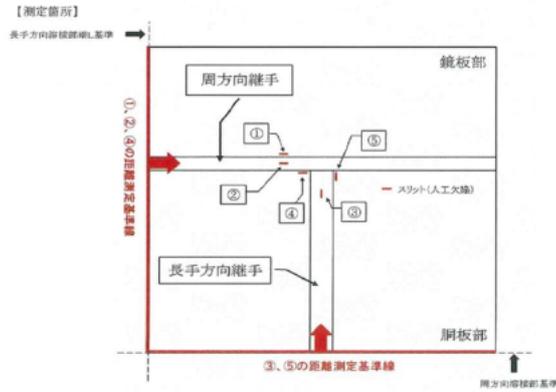
適用規格	JIS Z 2320-1:2017 非破壊試験-磁粉探傷試験-第1部:一般通則	
	JIS Z 2320-2:2017 非破壊試験-磁粉探傷試験-第2部:検出媒体	
	JIS Z 2320-3:2017 非破壊試験-磁粉探傷試験-第3部:装置	
探傷面の前処理	洗浄液による前処理	
磁化条件	磁化方法	極間法
磁粉の適用方法	連続法	
磁化電流の種類	交流	
通電時間	磁粉液の流れがとまるまで	
磁化の確認	A型標準調査片A1(15/100)	
		
	蛍光磁粉液試験片使用写真	非蛍光磁粉液試験片使用写真
磁化器の形状・配置	探傷ピッチ	70mm～100mm
	磁極配置	直角2方向

表 6.4.2-2 磁粉探傷試験 作業例



6.4.2.1 磁粉探傷試験の結果

(1)人工きずの標準試験片による試験結果

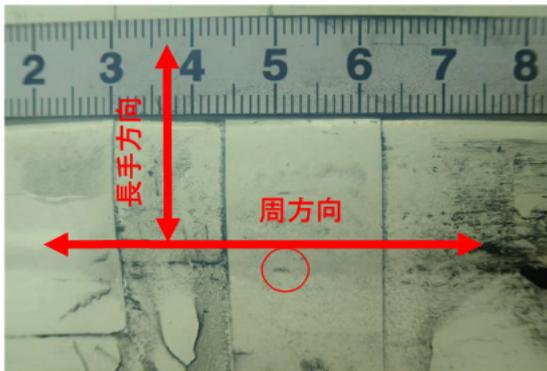


人工きず試験体図

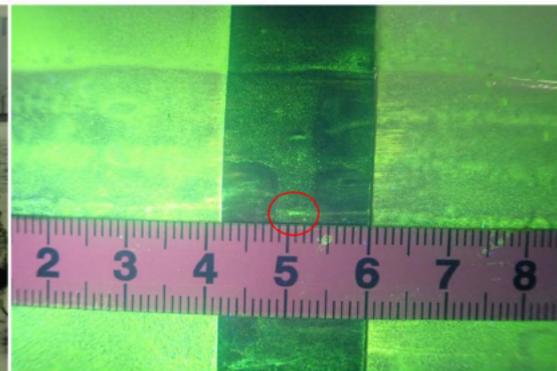


人工きず試験体写真

表 6.4.2-3 人工きず標準試験片①による性能確認

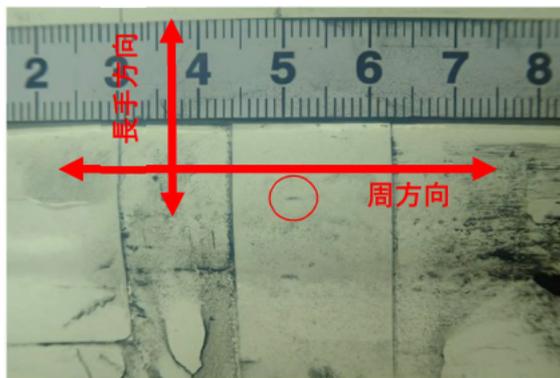


①人工きず非蛍光磁粉（黒色）写真

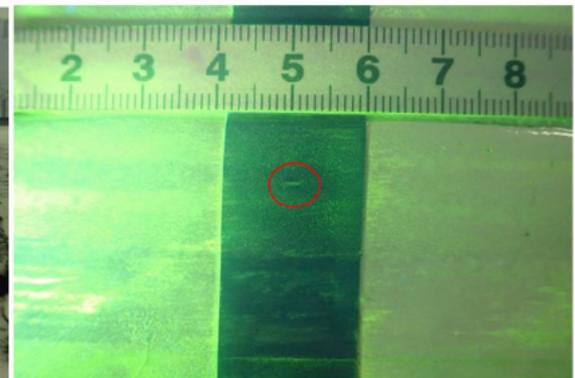


①人工きず蛍光磁粉写真

表 6.4.2-4 人工きず標準試験片②による性能確認

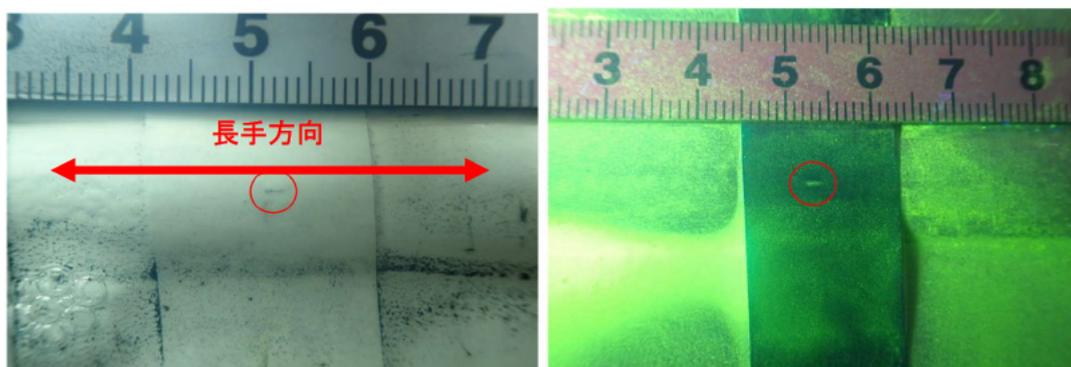


②人工きず非蛍光磁粉（黒色）写真



②人工きず蛍光磁粉写真

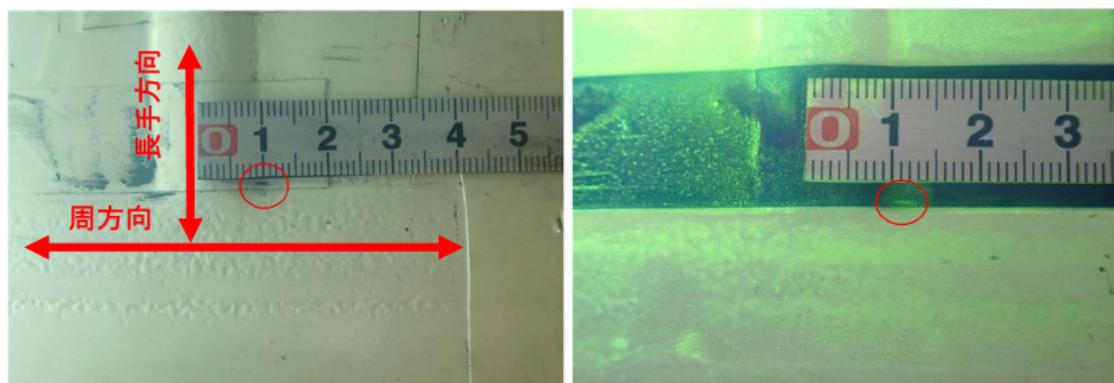
表 6.4.2-5 人工きず標準試験片③による性能確認



③人工きず非蛍光磁粉（黒色）写真

③人工きず蛍光磁粉写真

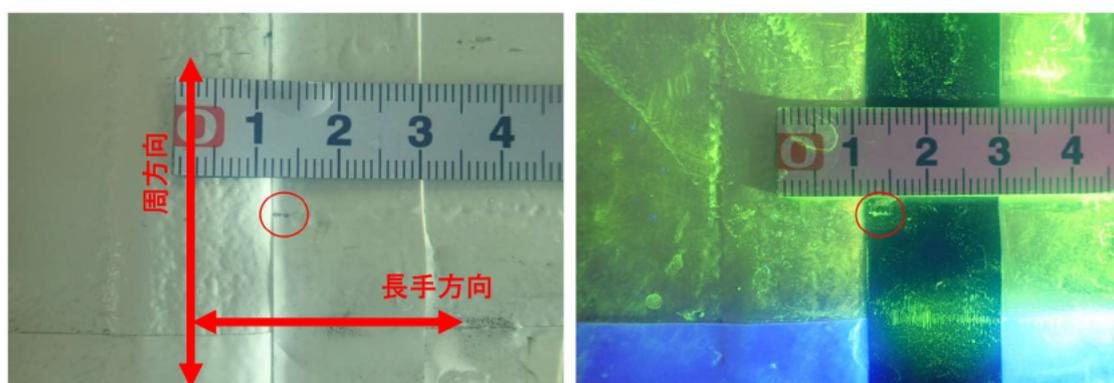
表 6.4.2-6 人工きず標準試験片④による性能確認



④人工きず非蛍光磁粉（黒色）写真

④人工きず蛍光磁粉写真

表 6.4.2-7 人工きず標準試験片⑤による性能確認

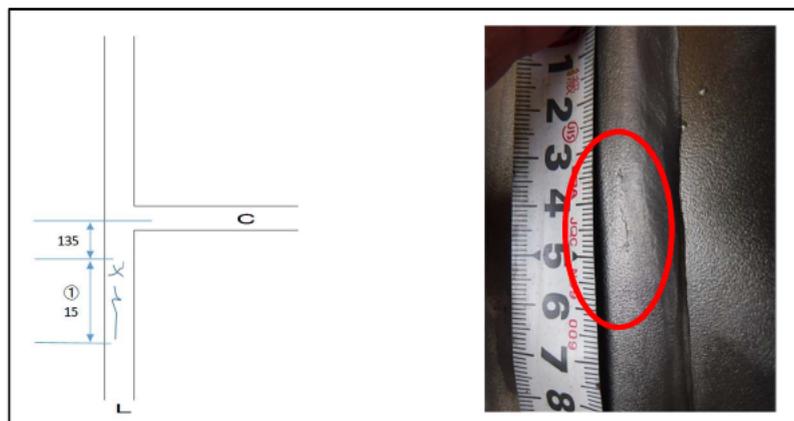


⑤人工きず非蛍光磁粉（黒色）写真

⑤人工きず蛍光磁粉写真

(2)実際の線状磁粉模様試験片による性能確認

表 6.4.2-8 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況（試験片 No.1）

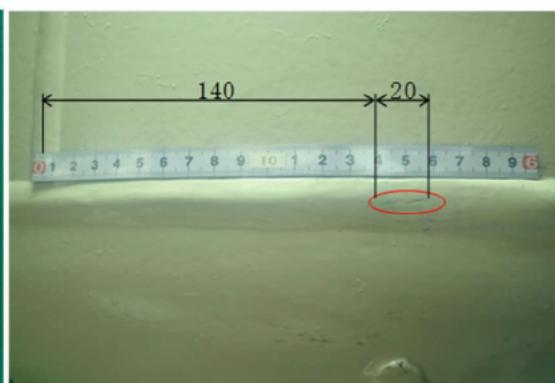


No.1 試験体

(単位:mm)



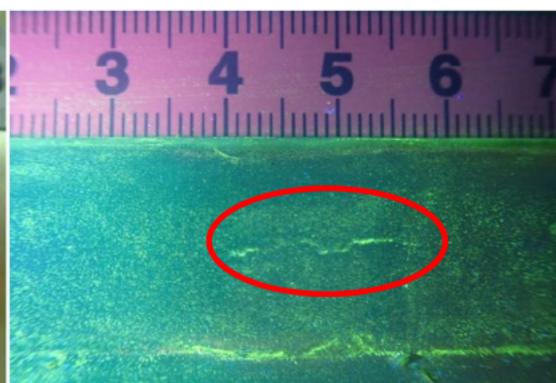
試験体写真



きず位置写真



非蛍光磁粉（黒色）写真



蛍光磁粉写真

表 6.4.2-9 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況（試験片 No.2）

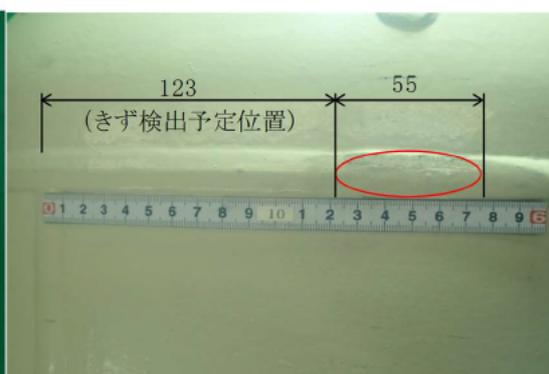


No.2 試験体

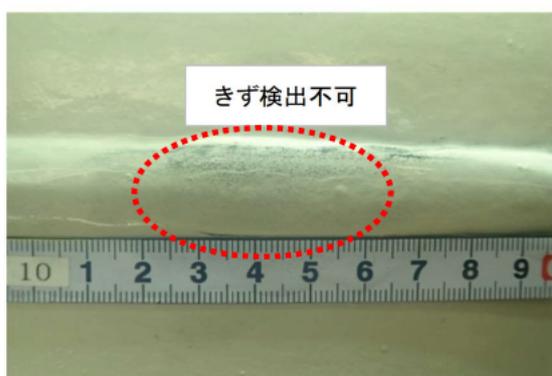
(単位:mm)



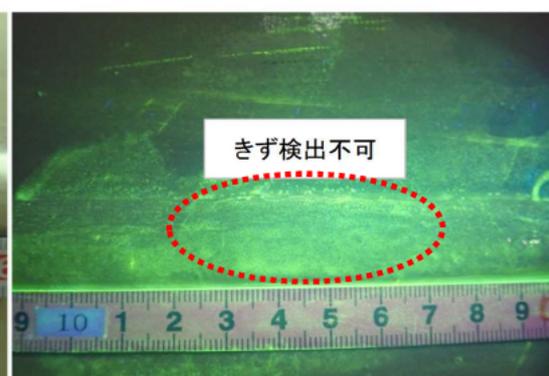
試験体写真



探傷位置

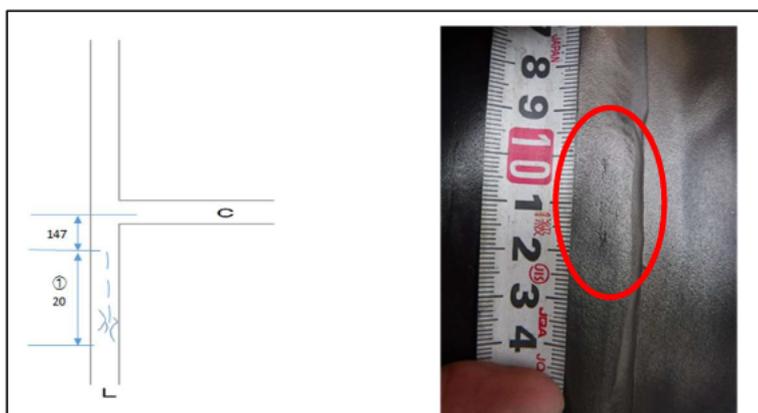


非蛍光磁粉（黒色）写真



蛍光磁粉写真

表 6.4.2-10 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況（試験片 No.3）

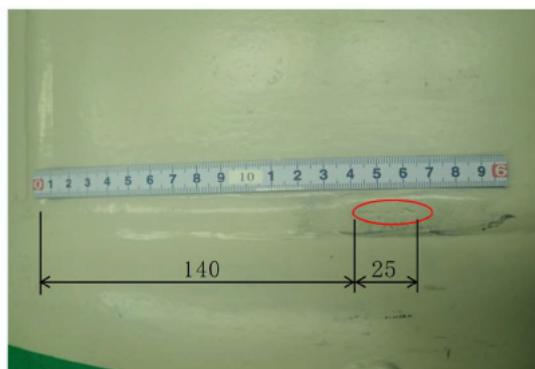


No.3 試験体

(単位: mm)



試験体写真



きず位置写真

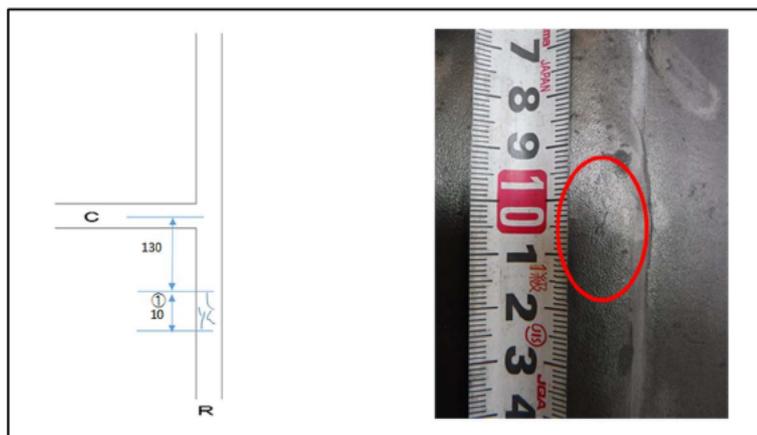


非蛍光磁粉（黒色）写真



蛍光磁粉写真

表 6.4.2-11 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況（試験片 No.4）

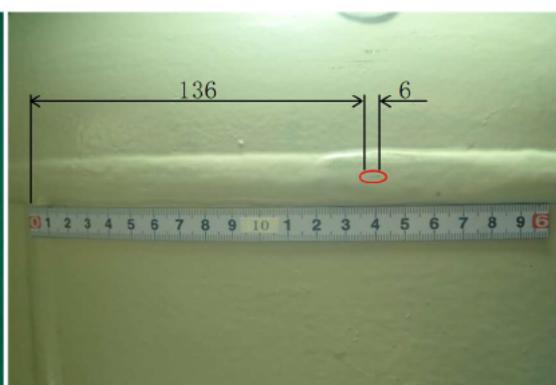


No.4 試験体

(単位:mm)



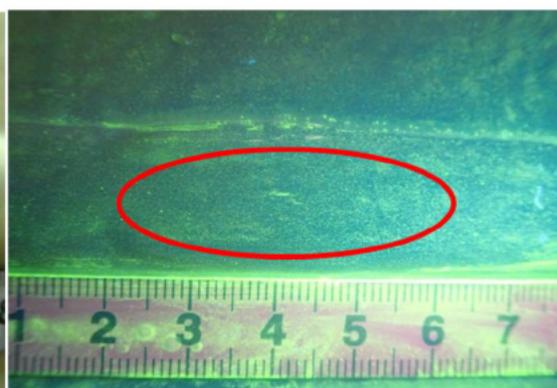
試験体写真



きず位置写真



非蛍光磁粉（黒色）写真



蛍光磁粉写真

6.4.2.2 検出結果一覧表

人工きずの標準試験片調査結果

きず№	磁粉液	きずの検出の可否	備考
①	非蛍光磁粉（黒色）	可能	
	蛍光磁粉	可能	
②	非蛍光磁粉（黒色）	可能	
	蛍光磁粉	可能	
③	非蛍光磁粉（黒色）	可能	
	蛍光磁粉	可能	
④	非蛍光磁粉（黒色）	可能	
	蛍光磁粉	可能	
⑤	非蛍光磁粉（黒色）	可能	
	蛍光磁粉	可能	

実際の線状磁粉模様試験片調査結果

試験体№	磁粉液	きずの検出の可否	備考
1	非蛍光磁粉（黒色）	可能	
	蛍光磁粉	可能	
2	非蛍光磁粉（黒色）	不可	
	蛍光磁粉	不可	
3	非蛍光磁粉（黒色）	可能	
	蛍光磁粉	可能	
4	非蛍光磁粉（黒色）	可能	
	蛍光磁粉	可能	

6.4.2.3 各種検証項目の結果

表 6.4.2-12 作業性（準備を含む）、操作性、検出性能、安全性、試験器費用等

試験方法	作業性、操作性、検出性能、安全性、試験器費用等	特記事項
磁粉探傷試験（MT） 非蛍光磁粉 蛍光磁粉	作業性： 100V 電源必要。 屋内での作業（雨天下は不可）。	
	操作性： 磁化装置の作業スペース必要。 蛍光磁粉は、二人で操作。非蛍光磁粉は一人で操作可。	
	検出性能： 溶接線の交差部の際は、丁寧な検査が必要。 非蛍光磁粉は、500ルクス以上の照度。 蛍光磁粉は、20ルクス以下の照度。	
	安全性： 磁化による影響を受ける計装機器が付近にないこと。 磁粉液の廃液の処理に注意。	
	試験機費用： 本体試験装置約 15 万。紫外線照射装置 25 万。 磁粉液は、検査毎に準備。	

6.4.2.4 まとめ

一般の磁粉探傷試験装置により、非蛍光（黒色）磁粉と蛍光磁粉を用いて、塗膜上から試験を行なったが、人工きずの標準試験片で、200 μ m 程度の塗膜厚さでのきずの検出は可能であった。しかし、線状磁粉模様の No.2 試験片は、検出することができなかったこと（昨年度の密閉型磁粉探傷試験と同じ）より、表面きずの形状によっては、塗膜がきずの全面を覆い、打刻痕のような幅の広いきずでは、検出できなかった（令和元年度、塗膜剥離後の磁粉探傷試験では検出）。

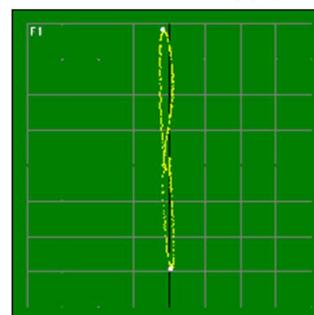
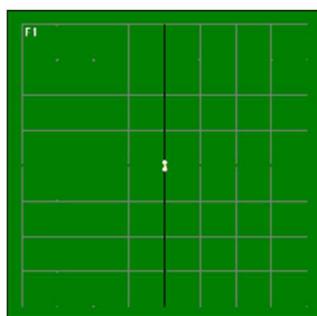
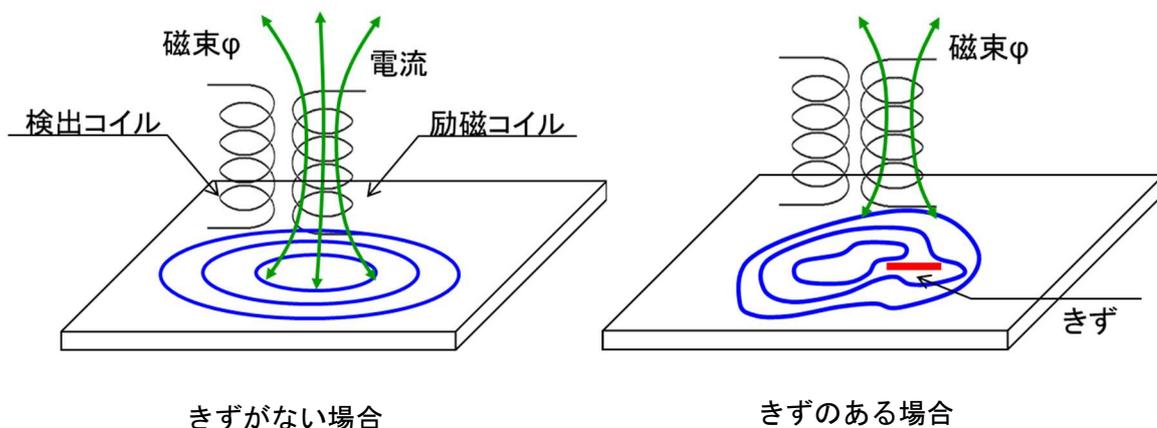
これらより、試験前には、試験範囲の塗膜の厚さを測定し、標準試験片等により、測定した膜厚以上で、欠陥の検出能力を確認することが必要である。特に、塗膜上から行う試験であることより、通電時間、観察時間等は確実にを行うために丁寧な検査作業と作業環境が必要となる。

以上

6.4.3 渦電流探傷試験（渦流探傷試験）（ET）

(1) 渦電流探傷試験の原理

試験体表面にきずがない場合は、渦電流は試験体の表面に同心円状に流れる。試験体の表面にきずが存在すると、渦電流はこれを迂回せざるを得ないため、同心円状に流れる渦電流の分布に乱れが生じる。渦電流探傷試験は、この渦電流の乱れからきずの有無、大きさ等を判断する検査方法である。



作業例



表 6.4.3-1 渦電流探傷試験装置 器材



表 6.4.3-2 渦電流試験 作業例



※渦電流探傷試験法による検出調査手順書

1. 適用範囲

本図書は、バルク貯槽溶接線における渦電流探傷試験の手順書に適用する。

2. 目的

本試験は、溶接継手の表面開口きずの有無を確認し、仕様書に適合することを目的とする。

3. 適用規格

適用規格は以下に準ずる。

- ・ JIS Z 2305(2013)「非破壊試験技術者の資格及び認証」
- ・ JIS Z 2316-1(2014)「非破壊試験－渦電流試験－第1部：一般通則」
また、以下を参考規格とする。
- ・ 高圧ガス保安協会 KHKS0745(2017)「バルク貯槽の告示検査等に関する基準」

4. 検査技術者

本検査を実施する技術者は、JIS Z 2305 による渦電流探傷試験レベル2以上の技術者、またはそれと同等以上の技量を有し、熟知している者とする。

5. 検出対象

検出対象は、溶接線端部および中心部に発生する長さを持つき裂とする。
検出寸法は、標準試験片の人工きず①（長さ 1.52 mm, 深さ 0.76 mm, 幅 0.21 mm）以上とする。

6. 試験体

材質：SM520B

サイズ：500×400 mm 胴板 t=6.2 mm, 鏡板 t=6.4 mm

表面状態：塗装面

数量：4片

7. 使用器材

(1) 渦電流探傷器

□社製を使用する。探傷器は、1年に1回以上定期点検を行うこととする。

(2) 試験コイル

試験コイルは上置コイルを用いること。（方式：相互誘導型単一型）

8. 標準試験片

試験片番号：KHK-LP-300-2019, No.AC194060（参考資料参照）

材質：SM520B

サイズ：500×400 mm 胴板 t=6.2 mm 鏡板 t=6.4 mm

表面状態：塗装面

数量：1片

9. 探傷条件

(1) 試験周波数

試験周波数は 80kHz とすること。

(2) ブリッジバランスの調整

標準試験片の健全部を用いてブリッジバランスが平衡状態となるように調整すること。ブリッジバランスの調整は探傷器のキャリブレーション機能を用いて行うこと。

(3) 探傷感度の調整

標準試験片の人工きず①（長さ 1.52 mm、深さ 0.76 mm、幅 0.21 mm）からの出力値を 2.0V、位相角を 90deg とするよう調整すること。

10. 前処理

試験体表面に金属粉の付着などの試験に影響を及ぼすものが存在する場合は、適切な方法で処理すること。

11. 記録および報告書

検査終了後、次の事項を記録し報告する。

- (1) 注文主
- (2) 工事番号／工事名称／検査場所
- (3) 検査時期／管理番号
- (4) 材質／部品名／数量
- (5) 検査方法／設定条件（周波数，感度 etc）
- (6) 使用機器／標準試験片／探傷コイル
- (7) 感度校正方法
- (8) 探傷方法
- (9) 検査結果
- (10) 試験技術者氏名／資格証明書

※渦電流探傷試験法による探傷条件

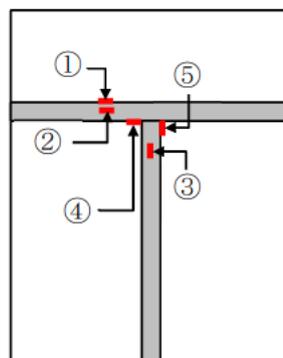
標準試験片

材質：SM520B

サイズ：500×400 mm 胴板 t=6.2 mm 鏡板 t=6.4 mm

表面状態：塗装面

数量：1片



標準試験片 (S/N : AC194060)

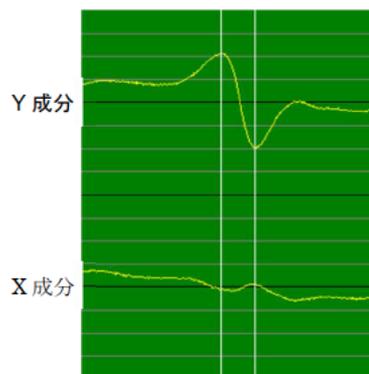
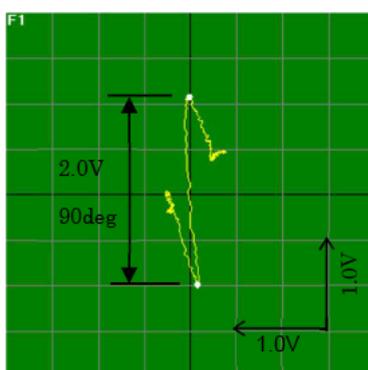
探傷条件

(1) 試験周波数

試験周波数は 80kHz とした。

(2) 探傷感度の調整

標準試験片の人工きず①（長さ 1.52 mm、深さ 0.76 mm、幅 0.21 mm）からの出力値を 2.0V、位相角を 90deg とするように調整した。

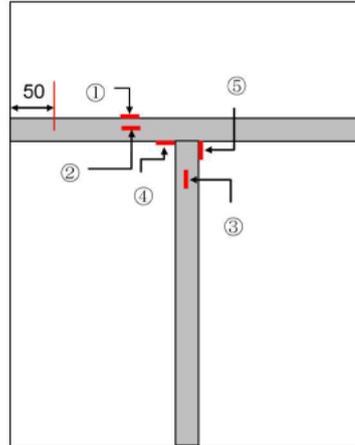
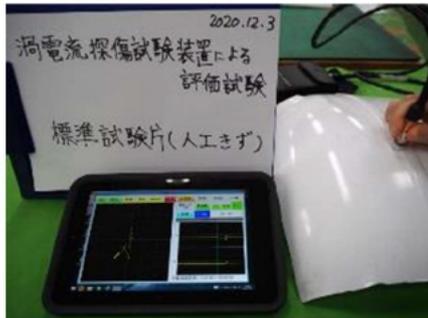


感度調整結果（左図：リサーチ画像、右図：チャート画像）

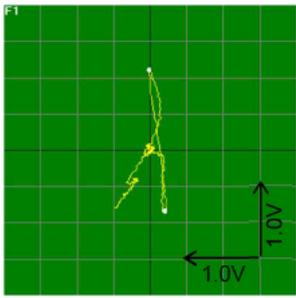
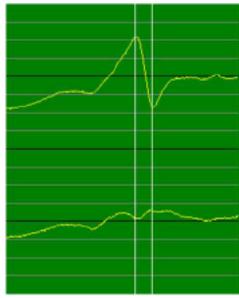
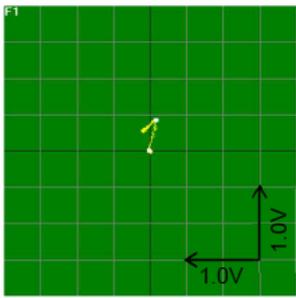
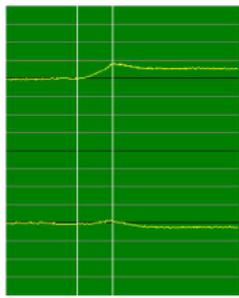
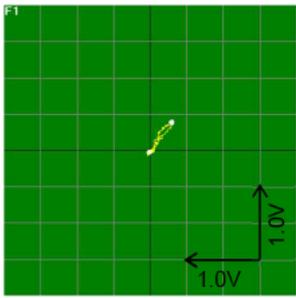
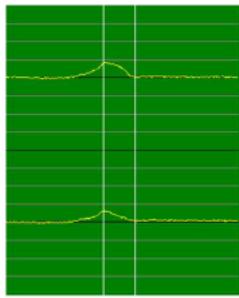
7.4.3.1 渦電流探傷試験による検証試験

(1) 人工きず標準試験片による性能確認

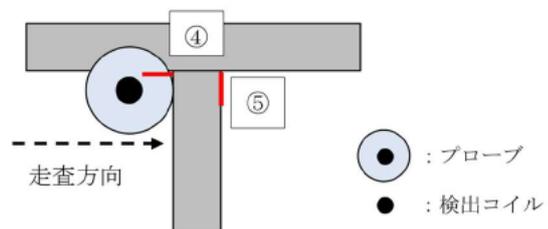
表 6.4.3-3 人工きず標準試験片①～⑤による検証



標準試験片 (人工きず)	リサーチ画像	チャート画像
健全部 (溶接線中央部) 測定基準線から 50mm 付近		
探傷部位①		
探傷部位②		

標準試験片（人工きず）	リサーチ画像	チャート画像
探傷部位③		
探傷部位④ （検出不可）		
探傷部位⑤ （検出不可）		

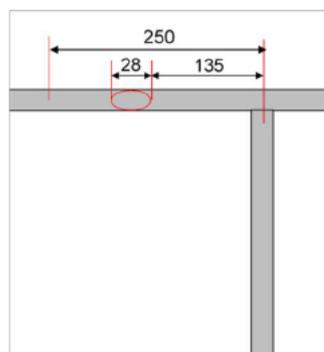
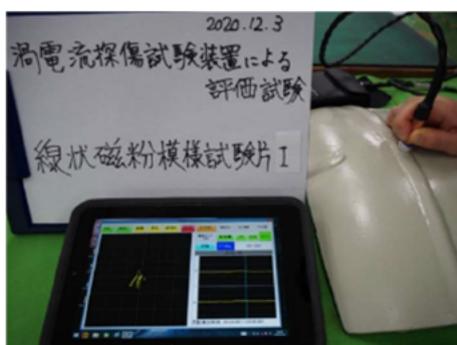
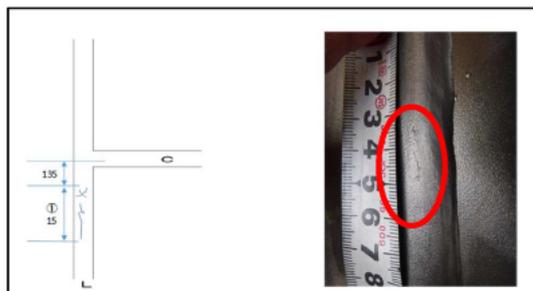
【探傷部位④、⑤ 検出不可について】



標準試験片の周方向継手、長手方向継手交差部の際にある人工きず④、⑤はプローブを走査した際、プローブが継手部にあたり、検出コイルがきず上を走査できないことから人工きず④、⑤を検出することができなかった。

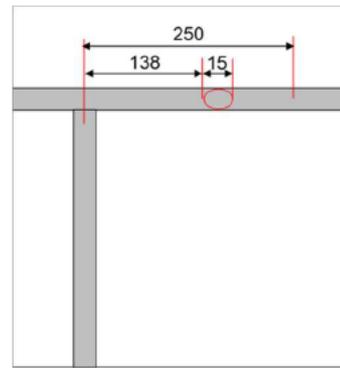
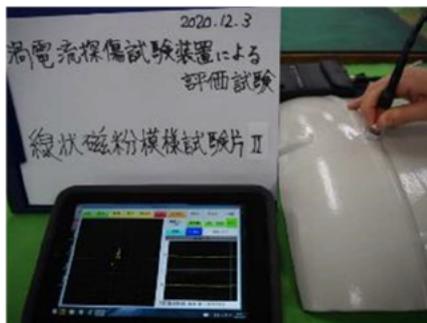
(2) 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認

表 6.4.3-4 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況試験片 (No.1)



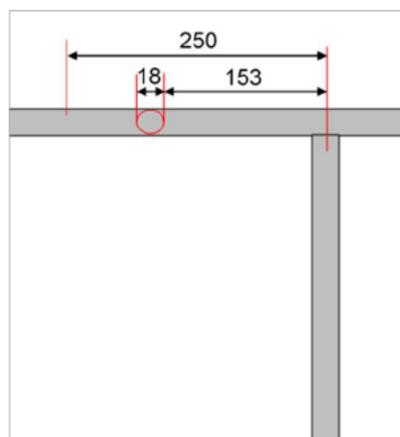
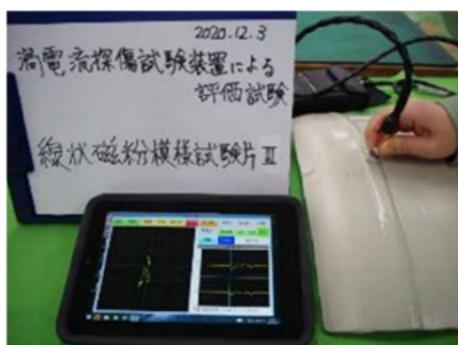
試験片 No.1	リサージュ画像	チャート画像
<p>健全部 (溶接線中央部) 長手周継手交差部から 250mm 付近</p>		
<p>指示部位置 長手周継手交差部から 135mm 指示範囲 : 28mm</p>		

表 6.4.3-5 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況(試験片 No.2)



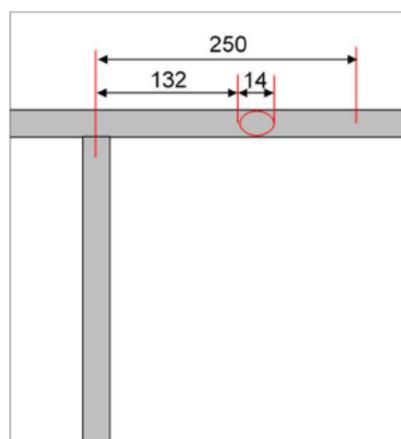
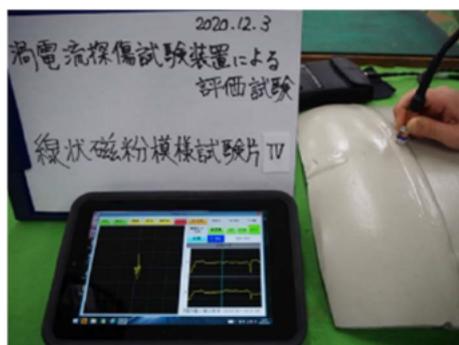
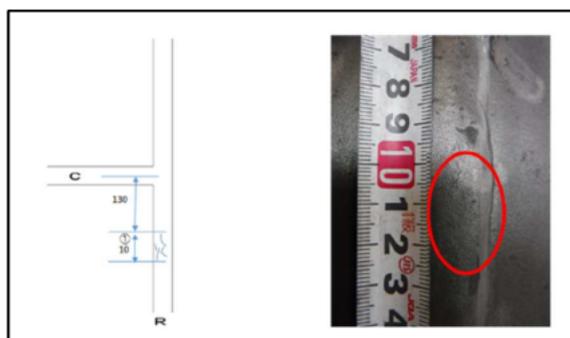
試験片 No.2	リサーチ画像	チャート画像
<p>健全部 (溶接線中央部) 長手周継手交差部から 250mm 付近</p>		
<p>指示部位置 長手周継手交差部から 138mm 指示範囲 : 15mm</p>		

表 6.4.3-6 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況（試験片 No.3）



試験片 No.3	リサーチ画像	チャート画像
<p>健全部 (溶接線中央部) 長手周継手交差部から 250mm 付近</p>		
<p>指示部位置 長手周継手交差部から 153mm 指示範囲：18mm</p>		

表 6.4.3-7 実際の線状磁粉模様試験片による性能確認状況（試験片 No.4）



試験片 No.4	リサーチ画像	チャート画像
<p>健全部 (溶接線中央部) 長手周継手交差部から 250mm 付近</p>		
<p>指示部位置 長手周継手交差部から 132mm 指示範囲：14mm</p>		

6.4.3.2 検出結果一覧表

人工きずの標準試験片

きず No	きずの検出の可否	備考
①	可能	基準感度として設定
②	可能	
③	可能	
④	不可	
⑤	不可	

線状磁粉模様試験片

きず No	きずの検出の可否	備考
①	可能	
②	可能	
③	可能	
④	可能	

6.4.3.3 各種検証項目の結果

表 6.4.3-8 作業性（準備を含む）、操作性、検出性能、安全性、試験器費用等

試験方法	作業性、操作性、検出性能、安全性、試験器費用等	特記事項
携帯型渦電流試験 (ET)	作業性： 携帯型なので準備、作業性は簡便。 外部電源は不要	
	操作性： 検出コイルの範囲が小さいため丁寧な操作が必要。 試験体の底部、ノズル部等でプローブが届かない部位は、難しい。	
	検出性能： 実際の被試験体に合わせて、専用の標準試験片を準備して校正する必要あり。	
	安全性： 微弱電流であるが計装機器への影響はない。	
	試験機費用： 本体試験装置約 250 万。 センサプローブは消耗品であり適宜交換。	

6.4.3.4 まとめ

携帯型の渦電流試験装置は、メーカーが塗膜下のきずを容易に検出するために開発した製品である。一般的な渦電流装置に比べ、塗膜厚さの影響や溶接ビードの形状による影響を小さくし、センサプローブの走査速度による影響を小さくしたものである。

センサプローブの中心の小さい範囲がきずを認識できるエリアであり、また、試験面表面の凹凸が大きい場合は、プローブが離れて検出できない場合がある。

きずの波形変化の観察は、実務経験を積むことで判定は容易になると考えられる。

人工きずの標準試験片の④と⑤の欠陥箇所は、センサプローブが走査することができない箇所であった。実際の線状磁粉模様試験片については、No.1 から No.4 まで検出することができた。特に密閉型磁粉探傷試験では、No.2 試験片は検出できなかったが、渦電流試験では検出することができた。

また、今回の装置は、橋梁部の磁粉探傷試験を行なう前の事前にきずの有無を検査することに使用されていることから、バルク貯槽の塗膜剥離前に、塗膜上からきずの有無を検査することにおいて活用できると考える。

以上

6.4.4 各種非破壊検査のまとめ

6.4.4.1 塗膜上からの各種非破壊検査方法の評価結果

バルク貯槽の塗膜上からの非破壊検査方法において、昨年度行った密閉型磁粉探傷試験及び今年度行った各種非破壊試験の結果について以下の如く評価した。

表 6.4.4-1 各種非破壊検査方法による検出結果一覧

各種試験方法		人工きず標準試験片 5カ所 (①~⑤)	実際の線状磁粉模様の試験片				特記事項
			No.1	No.2	No.3	No.4	
密閉型磁粉探傷試験		①、②、③：検出 ④、⑤：未検出	○：検出	×：未検出	○：検出	○：検出	令和元年度実施済み
フェーズドアレイ法 超音波探傷試験		①、②、③：検出 ④、⑤：未検出	○：検出	○：検出	○：検出	○：検出	周波数 10MHz・5MHz
磁粉探傷試験	黒色磁粉	① ② ③ ④ ⑤：検出	○：検出	×：未検出	○：検出	○：検出	黒色磁粉、蛍光磁粉 共に検出
	蛍光磁粉	① ② ③ ④ ⑤：検出	○：検出	×：未検出	○：検出	○：検出	
渦流探傷試験： 携帯型渦電流探傷装置		①、②、③：検出 ④、⑤：未検出	○：検出	○：検出	○：検出	○：検出	①で感度の調整を行う

塗膜の厚みを考慮して検出能力を確認すれば、通常の磁粉探傷装置によっても、塗膜上からの検査が可能であると推察する。ただし、試験の操作においては、磁粉の適用方法、適用時間、観察時間等、通常以上の丁寧な検査が求められる。また、他の検査方法を行うにおいても、各試験装置の取扱い及び操作に精通したレベル2以上の技術者により検査すべきと考える。

表 6.4.4-2 各種非破壊検査方法の検証結果 作業性

各種試験方法		作業性	特記事項
密閉型磁粉探傷試験		<ul style="list-style-type: none"> ・ 100V 電圧を増圧させるため、作業現場毎に、事前に検出能力の確認が都度必要。 ・ 電磁石による磁化作業だが、黒色磁粉入りの検査シートの押え方が重要。 ・ 溶接の交差部のきずの検出は、事前に検出能力の確認を要する。 	一般的な検査時間は、試験体毎の検出性能による。
フェーズドアレイ法 超音波探傷試験		<ul style="list-style-type: none"> ・ 溶接部の形状等（材質、板厚、開先状況）をインプットする必要あり。 ・ 溶接施工図の確認を要する。 ・ 探触子の接触が困難な範囲は、検出不可。 	検査時間（両側）： 約 5～10 分/m きず検出記録時間含む ： 約 30 分/m
磁粉探傷試験	共通	<ul style="list-style-type: none"> ・ 雨天時等は作業不可、屋内作業で実施。 ・ 検査液の廃液の処理に注意。（密閉型磁粉探傷装置では不要） ・ 事前に膜厚測定及び検出能力の確認を要する。 ・ 試験面は、汚れ、グリース等の不純物を除去し、濡れ性を確保する。 	塗膜なしの検査時間： 約 7 分～10 分/m きず検出記録時間含む ： 約 15 分/m
	黒色磁粉	<ul style="list-style-type: none"> ・ 十分な視覚的なコントラストが必要。 ・ 観察環境は、500 ルクス以上。（一般住宅の照明程度） 	塗膜有りの検査時間： 試験体毎の検出性能による。
	蛍光磁粉	<ul style="list-style-type: none"> ・ 紫外線放射照度は、10w/m² 以上必要。 ・ 暗部が必要、可視光照度 20 ルクス以下。（ろうそくの明かり 10 ルクス程度） 	
渦流探傷試験： 携帯型渦電流探傷装置		<ul style="list-style-type: none"> ・ 携帯型として開発。準備、作業性は容易。 ・ 外部電源は不要。 	検査時間（両側）： 約 10 分/m 詳細調査時間： 約 3～5 分/箇所

表 6.4.4-3 各種非破壊検査方法の検証結果 操作性

各種試験方法		操作性	特記事項
密閉型磁粉探傷試験		<ul style="list-style-type: none"> ・試験体の位置を変えて操作する等、適正な試験作業体勢の確保が必要。 ・被試験体が固定の場合は、試験ができない範囲あり。(底部、ノズル部) 	
フェーズドアレイ法 超音波探傷試験		<ul style="list-style-type: none"> ・ビーム部とモニター部が別れるため、底部等は二人で操作が必要。 ・ビーム部とモニター部を繋ぐケーブル長さに制限有り。 ・ノズル部の隅肉溶接部は難しい。 ・試験体の形状に合わせたビーム部を製作すれば尚可。 	
磁粉探傷試験	共通	<ul style="list-style-type: none"> ・試験の体勢を確保するため、被試験体を動かして適正な試験体勢が必要。 ・被試験体が固定の場合は、試験ができない範囲あり。(底部、ノズル部) 	
	黒色磁粉	<ul style="list-style-type: none"> ・観察環境の照度が必要。 ・一人での試験作業も可能。 	
	蛍光磁粉	<ul style="list-style-type: none"> ・昼間に実施の場合は、暗幕等の準備が必要。 ・二人での作業が主体。 	
渦流探傷試験： 携帯型渦電流探傷装置		<ul style="list-style-type: none"> ・試験体の底部、ノズル部等で、プローブの届かない箇所は不可。 ・試験体に合わせたプローブの製作が必要。 	

表 6.4.4-4 各種非破壊検査方法の検証結果 検出性能 ※検出結果は、表 6.4.4-1 を参照。

試験方法と資格		検出性能	特記事項
密閉型磁粉探傷試験		<ul style="list-style-type: none"> 溶接線の交差部の検出は、事前に検出性能の確認が必要。 きずの形状によっては検出できない場合がある。 	
フェーズドアレイ法 超音波探傷試験		<ul style="list-style-type: none"> バルク貯槽の型式毎に、専用の対比試験片の製作が必要（曲率が検出性能に影響する）。 塗膜の厚みにより検出性能が変わる場合がある。 溶接線の交差部の検出は、事前に検出性能の確認を要する。 きずの形状によっては検出不可。 溶接部の余盛の形状によっては、きずとの判別が難しい場合がある。 	
磁粉探傷試験	共通	<ul style="list-style-type: none"> バルク貯槽の上部、側面では磁粉の流速が変わるため検出性能に影響あり。 一般的に、非蛍光磁粉より蛍光磁粉の方が微小きずの検出に優れている。 磁化装置の周波数の影響（50Hz、60Hz）による検出性能に注意。 塗膜厚さにより影響あり。事前に膜厚による性能確認が必要。 	
	黒色磁粉	<ul style="list-style-type: none"> 観察環境の確保。（500ルクス以上） 	
	蛍光磁粉	<ul style="list-style-type: none"> 観察環境の確保。（20ルクス以下） 	
渦流探傷試験： 携帯型渦電流探傷装置		<ul style="list-style-type: none"> 溶接ビードにて凹凸の激しい箇所は、不可。 溶接線の交差部の際では、検出コイルの範囲の確認を要する。 	

表 6.4.4-5 各種非破壊検査方法の検証結果 安全性

試験方法と資格		安全性	特記事項
密閉型磁粉探傷試験		<ul style="list-style-type: none"> ・ 磁力を発するので計装機器に影響あり。事前に対応措置が必要。 ・ 100V 電源を使用するので、感電等がないように整備管理。 	
フェーズドアレイ法 超音波探傷試験		<ul style="list-style-type: none"> ・ 特になし。 	
磁粉探傷試験	共通	<ul style="list-style-type: none"> ・ 磁力線を発するので計装機器に影響あり。事前に対応措置が必要。 ・ 長時間の使用において探傷器材が発熱するので火傷に注意。 ・ 分散剤に有機溶剤を用いる又はエアゾール式を用いる場合には、十分な換気が必要。 ・ 検査液の廃液の処理に注意が必要。 	
	黒色磁粉	—	
	蛍光磁粉	—	
渦流探傷試験： 携帯型渦電流探傷装置		<ul style="list-style-type: none"> ・ 特になし。 	

表 6.4.4-6 各種非破壊検査方法の検証結果 主要試験本体の費用等

※試験機器の性能を確認するための標準試験片、消耗品費、メンテナンス費用は除く。

試験方法と資格		費用等	特記事項
密閉型磁粉探傷試験		・ 本体試験装置約 100 万。検査シートは劣化するので適宜交換。	
フェーズドアレイ法 超音波探傷試験		・ 本体試験装置約 800 万。探触子及びウエッジ約 50 万。 ・ ウエッジは劣化するので適宜交換。	
磁粉探傷試験	共通	・ 本体磁化装置、15 万円。	
	黒色磁粉	・ 黒色磁粉材料等	
	蛍光磁粉	・ 紫外線照射装置 25 万円及び蛍光磁粉材料	
渦流探傷試験： 携帯型渦電流探傷装置		・ 本体試験装置は、250 万円。 ・ センサプローブは消耗品。	

6.4.5 全体のまとめ

昨年度実施した塗膜上からの密閉型磁粉探傷装置による試験結果より、塗膜上から適用できる非破壊検査方法について検証を行った。

今回検証した非破壊検査方法においては、塗膜上からの検出能力は、磁粉探傷試験による検出結果が最も優位であった。しかし、磁粉探傷試験では、探傷範囲が他の試験方法に比べ制限されることにより、検査できない範囲については他の検査方法にて行うこととなる。また、塗膜の厚さは今回行った 200 μ m くらいまでが上限であると推定するが、実際の検査作業においては、被試験体の塗膜条件においても検出が可能であるか事前に検出能力の確認が必要である。

フェーズドアレイ、渦流探傷試験においては、バルク貯槽の非破壊検査での実績がないことより、今後これらの検査装置を使用する場合には、まずは検査対象となるバルク貯槽の形状に合わせた標準試験片の製作が必要であり、検査者は多くのバルク貯槽での検査の経験を蓄積し、正確な検査ができるようにならなければならない。

また、検査機器の費用面では、他の機器と比較してフェーズドアレイは高価である。検査作業の条件によっては、携帯型渦電流装置と同様に、専門の非破壊検査会社に検査を依頼して検査を行うことはできると考える。

検証結果を総合すると、磁粉探傷試験は、他の検査手法と比較しても汎用性があり、表面欠陥のきずの検出能力には優れていると推定される。しかし、磁粉探傷試験ができない箇所は、他の試験方法を検討し行うことが必要である。

実際の検査作業においては、必ず事前に被試験体に対する検査手順書を正確に作成し、また、専用の標準試験片等を準備し、検出能力の確認を行わなければならない。この際、標準試験片は、各種非破壊検査方法に応じ、検出すべき欠陥の仕様を明確にし、これらを検出できる試験条件に設定可能な標準試験片を予め求め、使用されなければならない。磁粉探傷試験の場合には、試験体表面が磁粉探傷試験に必要な磁界の強さであることの確認も行わなければならない。さらに、試験操作を行う検査者の技量により検査結果に大きな影響を及ぼすため、十分な検査作業の実績と丁寧な検査作業を行い、安全に正確で、疎漏のない検査を実施しなければならない。

以上

7. 告示検査における技術基準について

令和元年度及び5. から6. までに記載した令和2年度における調査結果より、本事業の目的であるバルク供給システム及び保安業務の適切な実施に当たり、安全性を考慮した上で効率的かつ合理的な告示検査及び点検を可能とする検査方法とするために、バルク貯槽の告示検査の初回の告示検査以降の告示検査方法の合理化の内容についての検討を行った。

7.1 告示検査方法について

7.1.1 現行の告示検査方法

バルク貯槽の告示検査においては、バルク告示第1条1号にバルク貯槽等の検査期間が、第2号にバルク貯槽の検査項目が規定されている。

バルク貯槽は、製造した後の経過年数が20年以下のものについては検査期間が20年、20年を超えるものについては5年と規定されている。バルク告示の検査期間を最も長いスパンで行った場合、初回の告示検査を製造から20年、25年、30年、35年、40年・・・と行うこととなる。検査日は、前回の検査日が起算日となるため、実際には、検査時期は前倒しに行われることとなる。

バルク貯槽の検査方法においては、告示により定められているが、液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律及び関係性省令の運用及び解釈についての別添4 液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律施行規則の運用及び解釈についての第16条関係にて、高圧ガス保安協会基準 KHKS0745 バルク貯槽の告示検査等に関する基準、KHKS0746 附属機器等の告示検査に関する基準及び KHKS0841 バルク貯槽及び附属機器等の告示検査等前作業に関する基準を用いて行うこととされている。

KHKS0745 バルク貯槽の告示検査等に関する基準（2017）に規定されている検査項目は、外面の目視検査、内面の目視検査、鋼板の厚さ測定、非破壊検査、気密試験からなる。

非破壊検査においては、外面又は内面の溶接線の長手継手及び周継手の突き合わせ溶接部を含む全長の20%以上を磁粉探傷試験又は浸透探傷試験を行うこととされている。これらの検査項目は、告示検査毎に行うことが規定されている。製造後20年を超えた後は、5年以内ごとに上記の検査を行うため、バルク貯槽を検査所等に引き上げて検査を行う必要がある。気密試験は空気その他安全な気体により常用の圧力以上の圧力にて試験を行う必要があるため、バルク貯槽内の液化石油ガスを回収し、置換しなければならない。非破壊検査においては、長手継手及び周継手の突き合わせ溶接部を含む箇所を磁粉探傷試験にて検査する必要があるため、突き合わせ溶接部は貯槽下部に位置する。これらのことからバルク貯槽は現場において告示検査を行うことは難しいとされているため、必然的にバルク貯槽を引き上げることとなる。これらの課題から、検査コストを上げることなく、安全に検査できる検討を令和元年度及び5. から6. までに記載した令和2年度の調査にて検証してきた。

【参照 バルク告示第1条】

第一条 液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律施行規則（以下「規則」という。）第十六条第二十に号の規定に基づくバルク貯槽（附属機器を除く。以下この項において同じ。）の検査は、次の各号に掲げるところにより行うものとする。

一 バルク貯槽の検査は、前回の検査の日（検査を受けたことのないものにあつては、製造の日）から起算して、それぞれ次に掲げる期間内に行うこと。

二 バルク貯槽の検査は、次のイからハまでに定めるところにより行うこと。

イ 外観検査

(1) 目視及び非破壊検査により、バルク貯槽の外面について腐食、割れ、傷、変形の欠陥がないことを確認すること。ただし、バルク貯槽のうちその内部において作業が可能なもの場合には、非破壊検査による確認は、外面に代え、内面について行うことができる。

(2) バルク貯槽の鋼板の厚さを測定し、最小厚さ以上の厚さを有していることを確認すること。

ロ 耐圧試験 常用の圧力の一・五倍以上（特定設備検査規則（昭和五十一年通称産業省令第四号）第二条第十七号に規定する第二種特定設備（以下単に「第二種特定設備」という。）にあつては、常用の圧力の一・三倍以上）の圧力で水その他の安全な液体を使用して行い、膨らみ、伸び、漏えい等の異常がないことを確認すること。（イ（1）の非破壊検査を行い欠陥がないことが確認された場合を除く。）

ハ 気密試験 常用の圧力以上の圧力で空気その他の危険性のない気体を使用して行い、漏えいがないことを確認すること。

三 略

7.1.2 告示検査方法の合理化案

バルク貯槽の告示検査方法の合理化を検討するに当たり、現行の告示検査方法の検査項目毎に検討を行った。それぞれについての検討結果について以下に示す。

(1) 外面の目視検査

令和元年度事業の調査において、腐食がより形成されると考えられる沿岸地域のバルク貯槽の現地調査を行った。沿岸部付近に設置されているバルク貯槽は腐食が激しいものがあつたが、沿岸部から比較的離れた場所に設置されているバルク貯槽であっても、顕著な腐食が見受けられるものがあり、沿岸部付近を問わず腐食が著しいものが確認された。

バルク貯槽において特に腐食が進行していた部位は、日常では分かりづらい箇所（覗き込む等の姿勢による観察が必要な箇所）である縦型貯槽の頂部、底部、横型貯槽の底部、背面等、日頃の点検で見過ごされやすい部位であつた。なお、貯槽本体以外では、吊り金具、プロテクター、支柱部等、ベースプレートに腐食が発生していた。

貯槽の塗膜においては経年劣化が見られ、白亜化している状態であつた。

調査したバルク貯槽は10年を経過したものは腐食の進行が大きいものが多く確認された。外面に関しては、設置環境や塗膜の状況により腐食の進行が早まることが想定される

ことから、現行の基準のとおり、5年ごとに外面の目視検査を行うことを案とする。また、塗膜の健全性を管理するために、5年毎に塗膜の厚さ測定を行うことを KHKS に規定する案とする。

(2) 内面の目視検査

令和元年度事業及び今年度の事業において、バルク貯槽の残留ガスのガス成分分析を行った。残留ガスの成分は、充填用ガス（一般に流通している LP ガス）と比較して、全硫黄の値が大きい結果となった。しかし、残留ガス中に腐食性の高い硫化水素の成分は検出されなかった（検出下限値以下の濃度）。また、主たる着臭剤成分である、ターシャルブチルメルカプタン、イソプロピルメルカプタン、ジメチルサルファイドの成分分析の結果、充填用ガスと比較して値が大きくなっていることから、硫黄原子を含む着臭剤成分が濃縮したため全硫黄の値が大きくなったと考えられる。着臭剤成分は安定した物質であるため、腐食に影響を及ぼさないと考えられる。さらに、LP ガスの腐食性試験である銅板腐食試験は最も腐食性が見られない結果であることから、残留ガスには腐食性が見られないことが分かった。残留ガスに含有されていた水分値も 5.3.2 (4) のとおり腐食を助長する程のものでないことが確認された。

バルク貯槽の内面観察を行い、試験体それぞれの腐食が大きいと思われる箇所を選定採取、鑄断面の観察をしたところ、5.3.2 (3) のとおり内面の減肉量は最大で 50 μm であった。一般的に鋼板における腐食速度は、国内の沿岸部では 100 $\mu\text{m}/\text{年}$ 、標準地域では 50 $\mu\text{m}/\text{年}$ 程度である。本試験体は供用期間が約 22 年であったため、年平均としても腐食速度は 2 $\mu\text{m}/\text{年}$ 強程度となり、十分に小さいものと言える。また、断面観察の結果、硫化物の影響による腐食はほとんど確認されなかった。

これらのことから内面の環境下における腐食は極めて小さいと考えられる。

調査したバルク貯槽においては、鑄の成分分析結果においても大気暴露環境下で形成される鑄はほとんど見受けられず、鋼板製造時に形成したと推定される鑄が検出されたが、大気に触れる機会があれば内面の目視検査は行うべきであると考えられる。

以上のことから、内面検査は告示検査において開放した場合にのみ内面検査を行うことを案とする。

(3) 鋼板の厚さ測定

(1) 外面の目視検査、(2) 内面の目視検査の検討結果より、バルク貯槽の腐食形成においては、内面からの影響は小さいが、外面からは腐食や擦過等の影響があるため、設置年数を経ることにより、設計時に算出された最小厚さを割る恐れがある。

以上のことから、現行の基準のとおり、5年ごとに鋼板の厚さ測定を行うことを案とする。また、告示検査時においては、設計時に算出された最小厚さを保っているが、余裕代がほとんどない場合も想定される。そのため、製造からの経過年数と減肉量から算出した腐食速度より次回の告示検査を行う5年以内に最小厚さを割る恐れがあるものに関しては、毎年厚さ測定を行い管理することを KHKS に規定する案とする。

(4) 非破壊検査

令和元年度事業及び今年度の事業において、試験体の内外部表面の全ての溶接部に対し蛍光磁粉探傷試験を適用した結果、検出した磁粉模様は、全てのノズル隅肉溶接部で、オーバーラップがその大半を占めており、その他についてもクレータ割れなどが確認された。しかし、いずれも進展性のある割れのような欠陥は検出されなかった。

現行の基準では、長手継手及び周継手の突き合わせ溶接部を含む 20%以上を毎回行うこととしているが、そのノズル部等を含め、他の溶接線の箇所においても磁粉模様が確認された。

以上のことから、初回告示検査において磁粉探傷試験を溶接線（ノズル部を含む。）の 100%に対して行うことを案とする。また、磁粉探傷試験を 100%行った告示検査から 15 年以内に行う告示検査においては非破壊検査の実施を要求しない案とする。

KHKS0745 バルク貯槽の告示検査等に関する基準（2017）では、磁粉探傷試験の評価者の資格を NDI のレベル 1 以上としていたが、磁粉模様の評価等の精度を高めるため、評価者の資格をレベル 2 以上に求めるものとする。安全性の確度を増すようにする案とする。

(5) 気密試験

高圧ガス保安法の保安検査において、開放を行わない場合の気密試験として、運転状態の圧力で、運転状態の高圧ガスを用いて気密試験を行うことが認められており、外気温に関わらず運転状態の圧力で気密試験が実施されている。

令和元年度の検討において、バルク貯槽の漏えいリスクとして考えられるのは、貯槽の元弁等を取り外して検査を行った場合の貯槽接続部であり、非開放時には漏えいのリスクが小さいことが提言された。

以上のことから、附属機器等（安全弁を除く）を取り外す等を行う等して気密性が失われない限り、液化石油ガスを用いて、使用圧力で気密試験を行う案とする。しかし、附属機器等の取り外し（安全弁を除く）等が行われる場合は、常用の圧力以上にて気密試験を行うものとする案とする。

以上 (1) から (5) までの検査方法を統合した告示検査の合理化案を表 7.1.2-2 に示す。また、現行の告示検査方法を表 7.1.2-1 に示す。

表 7.1.2-1 現状の告示検査 ※バルク貯槽本体（附属機器は除く）

	告示検査 項目（液石法）	製造時検査 （高圧法）	初回検査 （製造した日から経過年数が20年以下 のもの：20年内）	2回目 （前回の検査の日 から5年内）	3回目 （同左）	4回目 （同左）	5回目 （同左）	備考
現状	外観検査 （目視検査）	設計・加工・溶接・ 構造の検査	洗浄後、腐食、割れ、きず、変 形等による板厚方向への減肉	同左	同左	同左	同左	
	内面検査 （目視検査）	設計・加工・溶接・ 構造の検査	洗浄後、腐食、割れ、きず、変 形等による板厚方向への減肉	同左	同左	同左	同左	
	厚さ測定	材料の検査	測定点 22 点以上	同左	同左	同左	同左	
	非破壊検査	RT20%以上	MT20%以上 （溶接線の交差部含む）	同左	同左	同左	同左	
	耐圧試験 ²⁾	設計圧力 ⁴⁾ 1.5 倍	常用の圧力 ¹⁾ の 1.5 倍又は 非破壊検査を施工：なし	同左	同左	同左	同左	
	気密試験 ³⁾	設計圧力 ⁴⁾	常用の圧力 ¹⁾ 以上	同左	同左	同左	同左	

注¹⁾ 常用の圧力（液石法：例示基準 21 節 貯槽の耐圧試験及び気密試験）

使用状態において当該貯槽に作用する圧力のうち最高のものをいう。

注^{2、3)} 耐圧試験、気密試験（液石法第 18 条 20 号ロ（1）：調整器（二段式減圧用二次側のものを除く）の高圧側の耐圧性能及び気密性能）

耐圧試験は、2.6MPa 以上の圧力。気密試験は、1.56MPa 以上の圧力。

青本第 9 章気密試験：高圧部（充填容器等と調整器（二段式減圧用二次側のものを除く）の間の部分：試験圧力 1.56MPa

※プロパン 100%の 1.56MPa：49.5℃≒50℃。プロパン 100%の 40℃：1.25MPa。 蒸気圧線図等より。

注⁴⁾ バルク貯槽製造事業者：設計圧力 1.8MPa、別添 3：設計温度 0℃から 40℃

表 7.1.2-2 告示検査合理化案（告示検査間の検査期間によっては異なる場合がある。）※バルク貯槽本体（附属機器は除く）

	告示検査 項目 (液石法)	初回検査 (製造した日から経過年数が 20年以下のもの)	2回目 (前回の検査の日 から5年以内)	3回目 (同左)	4回目 (同左)	5回目 (同左)	備考
改正 案	外観検査 (目視検査)	洗浄後、腐食、割れ、きず、変 形等による板厚方向への減肉	同左	同左	同左	初回告示検査と 同じ (MT100%)	
	内面検査 (目視検査)	洗浄後、腐食、割れ、きず、変 形等による板厚方向への減肉	— 2)	— 2)	— 2)		
	厚さ測定	測定点 22 点以上	同左	同左	同左		
	非破壊検査	MT100% ¹⁾ (ノズル部含む)	— 3)	— 3)	— 3)		
	気密試験	常用の圧力以上	運転状態の 圧力 ⁴⁾	運転状態の 圧力 ⁴⁾	運転状態の 圧力 ⁴⁾		

注 1) 既に初回告示検査を実施し合格したバルク貯槽については、初回告示検査の日から 10 年以内に MT100%の検査を行うこと。

注 2) 貯槽を開放しない場合の告示検査に限る。

注 3) MT100%行った告示検査の日から 15 年を超えない期間に行う告示検査でのみ非破壊試験の実施を要求しない。

注 4) 運転状態における圧力の範囲内の圧力で行う気密試験（常用の圧力以上の気密試験後、同一の場所に設置され、且つ附属機器（安全弁を除く）及び安全弁元弁等の取り外しをしていない場合に限る）

7.1.3 告示検査方法の合理化案の考え方について

本委員会において、バルク貯槽メーカーである委員及びオブザーバーから、新たな告示検査基準に基づく非破壊検査により検知された欠陥があった場合、その欠陥の取り扱いに関して製造責任に発展する懸念が示された。

新たな告示検査基準において、検査項目である非破壊検査（磁粉探傷試験又は浸透探傷試験：表面又は表面近傍のきずの検出）は溶接線の全線に対して行うこととしている。これは、令和元年度及び本年度の実証試験の結果より、バルク貯槽を長期に亘り、より安全に使用する上で必要であると結論づけられたことを踏まえての措置としている。

一方、製造時におけるバルク貯槽は、「特定設備検査規則の機能性基準の運用について」の別添3に基づき、製造・検査が行われている。製造時に行われる非破壊検査としては、放射線透過試験（主に内部の欠陥の検出）で、溶接線の20%以上を行っており、新たな告示検査基準とは異なる検査方法および範囲にて行われている。

上記のように製造時の検査基準と告示検査の検査基準が異なること、また、新たな告示検査の非破壊検査の目的が当該バルク貯槽の現状を検査するものであることから、この告示検査の結果を製造時における欠陥の判定に用いるのは不適當である。

7.2 塗料における技術基準について

7.2.1 現行の技術基準について

液石法施行規則第19条第3号ハ(11)に「バルク貯槽には、告示で定めるところにより、腐食を防止する措置を講ずること。」と規定されており、バルク供給及び充填設備に関する技術上の基準等の細目を定める告示（以下「バルク告示」という）第10条にて腐食を防止する措置等の詳細が規定されている。

バルク告示第10条にて、バルク貯槽は下地処理を行った上で、錆止め塗装として、旧JIS K 5627（1995）ジンククロメート錆止めペイント二種又は旧JIS K 5628（1995）鉛丹ジンククロメート錆止めペイント二種を、上塗り塗装として、旧JIS K 5572（1995）フタル酸樹脂エナメルを塗装すること、又は旧JIS K 5400（1990）に規定される試験により同等以上の性能を有すると認められる塗料を塗装することが規定されている。

塗料業界では、現在、国際的な塗料中の鉛廃絶の動きから旧K 5627（1995）ジンククロメート錆止めペイント及び旧JIS K 5628（1995）鉛丹ジンククロメート錆止めペイントは廃版となっている。また、塗料の性能についての試験方法を規定した旧JIS K 5400は、ISOに準拠する流れにより2002年4月20日付けで廃止され、JIS K 5600が制定されている。

今回、上記のとおり、既に廃版となっているJIS K 5627（1995）及びJIS K 5628（1995）並びにJIS K 5400（1990）について5.4のとおり検討を行った。

7.1.2 塗料における技術基準案の検討

バルク貯槽の告示検査方法の合理化を検討するに当たり、現行の告示検査方法の検査項目毎に検討を行った。それぞれについての検討結果について以下に示す。

(1) 耐候性及び耐光性試験（キセノンランプ法）

上塗り塗料を評価する耐候性及び耐光性試験の結果、フタル酸樹脂エナメル（A 試験片）は、鋼構造物用耐候性塗料（ポリウレタン樹脂）（B 試験片）と比較して耐光性は劣っている結果ではあったが、JIS にて規定されている能力は有していた。一方、現在の JIS K 5572（2018）フタル酸樹脂エナメルの性能評価は、JIS K 5600 にて評価試験を行うこととされており、試験時に異なる光源（カーボンアーク（JIS K 5400）、キセノンランプ（JIS K 5600））を用いている。そのため、JIS K 5572（1995）と JIS K 5572（2018）の JIS の水準は厳密に言えば異なり優劣の判定はできない。しかし、JIS にて要求されている性能は同等である。

(2) 複合腐食サイクル試験

下塗り塗料を評価する複合腐食サイクル試験の結果、JIS K 5674 鉛・クロムフリーさび止めペイント（A 試験片）及び JIS K 5551 構造物用さび止めペイント（エポキシ樹脂硬膜）（B 試験片）はほぼ同様の結果となった。クロスカット部は腐食が進行するが、一般部においては、水分子や塩化物分子の透過等によって腐食は起こらなかった。

今回の試験では、JIS K 5627 及び JIS K 5628 の生産が既に中止されていることから、純粋な比較検証は出来ないが、JIS K 5674 鉛・クロムフリーさび止めペイントは一定の能力を有すると評価できる。

JIS にて要求されている性能により比較を行うと、JIS K 5627 及び JIS K 5628 と JIS K 5674 との JIS にて要求されている性能を比較すると、耐複合サイクル防食性を含め、同等であった。

以上（1）及び（2）より、JIS K 5572（1995）を JIS K 5572（2010）へと年版を最新のものとする案とする。また、JIS K 5627（1995）及び JIS K 5628（1995）は JIS K 5674（2018）に改正案とする。

8.まとめ

バルク貯槽の告示検査の合理化を検討しつつ、安全性を担保することを目的に、初回告示検査合格バルク貯槽を試験体として経年劣化等に関する調査を行い、内面検査方法の妥当性の検討、非破壊検査の妥当性の検討、外面検査の妥当性の検討を行った。また、それらの結果より、技術基準案を作成した。

また、バルク貯槽の設置場所にて非破壊検査を行うことができるかについて、作業性、安全性等の観点から評価を行った。

(1) 内面検査の妥当性の検討

初回告示検査合格貯槽の再使用にかかるバルク貯槽の内面腐食状況を確認するため、再使用経過年数2年程度であって供給設備に設置されたバルク貯槽を試験体として、残留ガスの成分分析及び腐食性試験を実施し、水分量、不純物成分（硫黄分、硫化水素等）の定量や銅板腐食試験による腐食性の有無について確認するとともに、経年バルク貯槽の内面の錆成分分析等を実施した。

残留ガス等の成分分析及び腐食試験の結果、硫化水素は検出下限界値未満の濃度でかつ、銅板腐食試験は1a（KHKS0850-2のクライテリア=1以下）であり、残留ガスに腐食性はなかった。

残留ガス中の水分量は遊離水分が存在しないレベルであったが、平成27年度の貯槽内残留ガス分析結果による水分量は最大53wt ppmを認めており、その場合において、水分が凝縮し錆が生成する可能性について考察を行った。水が存在する大気化における錆の反応プロセスでは $\text{Fe}(\text{OH})_2$ が生成される。その反応プロセスが進行すると仮定した場合、298kg貯槽では0.3 μm 程度、498kg貯槽では0.4 μm 程度と推察される。そのため、残留ガス中においては、水による腐食は限りなく進展しないと予測される。

また、告示検査などで大気暴露された場合には、一時的に貯槽内に大気中の水分により腐食が発生する可能性はある。本試験において、残ガス処理した後ファイバースコープによる内部の目視確認を行ったところ、錆が確認されなかったが、試験体からバルブ等の附属品除去後、内部検査着手までの期間は30日程度を要したことから、内面に赤い粉末状の付着物質（概ねレピドクロサイトとゲータイト）が、本試験過程で大気暴露により形成されたと考えられる。告示検査等でバルク貯槽内面が大気にさらされることとなった場合、内表面全面が $\text{Fe} + 2\text{OH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$ の反応が進行すると仮定し、30日程度では298kg貯槽では0.4 μm 程度、同様に985kg貯槽（容積：2.45 m^3 、面積11.15 m^2 で計算）では0.5 μm 程度と殆ど腐食が進行しないと推定される。これはバルク貯槽内が大気（空気）に置換され、置換後は附属品等を付けることによりバルク貯槽内が閉空間で、全面に均一に水が反応すると仮定した場合であり、バルク貯槽が大気開放状態にて放置されていた場合は、4.2 μm 程度の腐食量になることはあり得る。このことから、告示検査等で貯槽内面の大気暴露機会が環境（期間、温度、湿度）によるものの、バルク貯槽内面に錆生

成を進展させる要因としてあることから、告示検査ではバルク貯槽内面の大気との接触機会をできる限り短くすることを考慮しなければならない。

試験体の内面を観察した結果、初回告示検査合格貯槽の再使用バルク貯槽内部において浮き錆程度の軽微な錆がみられ、内面観察後目視により試験体それぞれの腐食が大きいと思われる箇所を選定採取、錆断面の観察をしたところ、試験体毎で差異がみられ最大で 50 μ m 程度減肉したと推定される箇所があった。国内の沿岸部では 100 μ m/年、標準地域では 50 μ m/年程度の腐食速度と言われているところから、バルク貯槽の延べ供用期間が約 22 年であったことを考慮すると十分小さいものであるといえる。

錆の断面の観察を行った結果、錆層に硫黄が僅かに存在しているものもあった。硫黄は水と酸素が存在する環境では SO_4^{2-} などの腐食因子となりうる。 SO_4^{2-} 濃度が高くなると酸性になり、水の還元反応による腐食速度も大きくなるが、酸素が消費された後は SO_4^{2-} も生成されないため、腐食速度は小さくなる。ガス成分分析の結果、全硫黄が 15ppm~35ppm（従前試験結果では 360ppm）程度検出されていたことから、この硫黄成分が発錆に関与していた可能性はあるが、検出された全硫黄は、着臭材成分に含まれる硫黄化合物の硫黄成分を合わせた測定結果であり、大部分が着臭材由来の硫黄であると考えられる。着臭材は安定した物質であるため、着臭剤内の硫黄が反応することは考えがたい。また、残留ガス中は、水と酸素が殆ど存在しない環境下であるため、硫黄による腐食の進行は殆どしないと考えられる。

以上の結果より、供用中における試験体の内部は特に腐食が進行しやすい環境下にあったとは考えにくい。本試験において確認された錆は、製造時の水による耐圧試験等の影響により残存したわずかな水分及び酸素による腐食反応が供用初期時に進行したもの、または告示検査時の大気暴露により形成されたと思われる。

(2) 非破壊試験の妥当性の評価

試験体の外面の非破壊検査（磁粉探傷試験）の結果、検出した磁粉模様は、ノズル隅肉溶接部のオーバーラップがその大半を占め、その他にあってはクレータ割れなどが告示検査の非検査部において検出された。また、初回告示検査時に既検査部（周継手、長手継手の交差部を含む溶接部全長の 20%以上の範囲）にて検出したきず（クレータ割れ及びオーバーラップ）をグラインダーにより研磨処置した箇所にあつては、本試験において磁粉模様はほとんど検出されなかったことから告示検査は適切に行われていたことが確認された。しかし、一部において研磨処置を行った同部位から線状磁粉模様が検出された。当該検査部位に対し、再試験としてグラインダーにより研磨処置し、蛍光磁粉探傷試験を適用したところ、磁粉模様は消失し、いずれも進展性のある割れのような欠陥は検出されなかった。

試験体の内面の非破壊検査（磁粉探傷試験）の結果、検出した磁粉模様は、ノズル隅肉溶接部でのオーバーラップが大半を占め、その他クレータ割れなども確

認められた。長手方向溶接線にあつては僅かにオーバーラップが検出された。外面の溶接線で認めた線状磁粉模様も無く、進展性のある割れのような欠陥は検出されなかった。

以上より、割れのような欠陥は見つからなかったものの、初回の告示検査で行わなかった箇所からも磁粉模様が確認されたことから、告示検査において溶接線全線に対して非破壊検査を行うことが望ましい。また、初回告示検査の既検査部から磁粉模様が検出されたことに鑑み、告示検査における非破壊検査精度の向上が求められる。

(3) 外面検査の妥当性の検討（塗膜試験）

告示に規定されている上塗り塗料であるフタル酸樹脂エナメルについては、耐候性及び耐光性試験（キセノンランプ法）により光沢度及び白亜化の経時変化を確認した。比較対象として、鋼構造物用耐候性塗料（ポリウレタン樹脂）についても試験を行った。JISに定める試験時間（フタル酸樹脂エナメル：240時間、鋼構造物用耐候性塗料：500時間）における光沢保持率は満足するものであった。

JISに定める試験時間以降も継続して試験した結果から、塗膜寿命について、紫外線による塗装劣化、塗膜の消失（白亜化による粉体化）を経て、錆止め塗装（下塗り塗装）にまで達するまでの劣化を想定した。本試験結果より、上塗り塗装が消失して、下塗り塗装に達するまでの期間は、フタル酸樹脂エナメルでは4年、鋼構造物用耐候性塗料（ポリウレタン樹脂）では22年と想定された。

上塗り塗装劣化の進行度は紫外線量の違い（地域の緯度）、設置環境の違い（大気、塩害、砂礫、風雪、日照等）により異なることは周知の通りであり、上塗り塗装の消失の機会を捉え、再塗装の処置をすることが望ましい。

告示に規定されている下塗り塗料である、JIS K 5627（1995）ジンククロメート錆止めペイント二種又はJIS K 5628（1995）鉛丹ジンククロメート錆止めペイント二種のJIS移行品とされるJIS K 5674（2019）鉛・クロムフリーさび止めペイントの防錆能力、耐浸透（大気、水）性能を複合腐食サイクル試験により確認した。比較対象として、JIS K 5551(2018) 構造物用さび止めペイントについても試験を行った。

複合腐食サイクル試験後に、塗装面にきずを付けた「クロスカット部」の錆の進展について確認したところ、JISに定める複合腐食サイクル数（鉛・クロムフリーさび止めペイント：36サイクル、構造物用さび止めペイント：120サイクル）によるクロスカット部中心からの膨れはJISの規定を満足するものであり、一定の能力を示した。

JISに定めるサイクル数以降も継続して試験した結果、224サイクル後には、錆、膨れが確認された。鉛・クロムフリーさび止めペイントではリン酸アルミニウム系の防錆顔料がイオン化し、鋼板面を不動態化して錆への抑制力があるものの、水等の透過を抑制する能力は乏しいとされている。一方、構造物用さび止め

ペイント（エポキシ樹脂系塗料）は防錆顔料を含まないものの、エポキシの分子鎖で樹脂や顔料を強固に絡めた塗膜を形成し、水等の透過を抑制に優れているとされている。しかし、素地（金属面）に達する傷が生じた時点で、いずれの塗料においても、腐食の進行を持続抑制することはできないことを示した。そのため、鉛・クロムフリーさび止めペイント及び構造物用さび止めペイントは金属面にきずを生じた時点で発錆が開始されることを意識し、塗装表面の打痕、擦過による金属面の露出時にはタッチアップ等適切な処置を行わなくてはならない。

今回の試験では、JIS K 5627 及び JIS K 5628 の生産が既に中止されていることから、純粋な比較検証は出来ないが、JIS K 5627 及び JIS K 5628 の JIS に要求している能力と同等以上の能力を有していたことから、JIS K 5674 鉛・クロムフリーさび止めペイントは一定の能力を有すると評価できる。

(4) 検査手法の作業性の評価

昨年度実施した塗膜上からの密閉型磁粉探傷装置による試験結果より、塗膜上から適用できる他の非破壊検査方法について検証を行った。

今回検証した非破壊検査方法（フェーズドアレイ超音波探傷試験（PA-UT）、渦流探傷試験（ET）、磁粉探傷試験（MT））において、塗膜上からの検出能力は、磁粉探傷試験による検出結果が最も優位であった。しかし、磁粉探傷試験では、探傷範囲が他の試験方法に比べ制限されることにより、検査できない範囲については他の検査方法にて行うこととなる。また、塗膜の厚さは今回行った 200 μ m 程度までが上限であると推定されるが、実際の検査作業においては、試験体の塗膜条件においても検出が可能であるか事前に検出能力の確認が必要である。

フェーズドアレイ、渦流探傷試験においては、バルク貯槽の非破壊検査での実績がないことから、今後これらの検査装置を使用する場合には、まずは検査対象となるバルク貯槽の形状に合わせた標準試験片の製作が必要であり、検査者は多くのバルク貯槽での検査の経験を蓄積し、正確な検査ができるようにならなければならない。

また、検査機器の費用面では、他の機器と比較してフェーズドアレイは高価である。検査作業の条件によっては、携帯型渦電流装置と同様に、専門の非破壊検査会社に検査を依頼して検査を行うことは可能であると考えられる。

検証結果を総合すると、バルク貯槽においては、磁粉探傷試験は、他の検査手法と比較しても汎用性があり、表面欠陥のきずの検出能力には優れていると推定される。しかし、磁粉探傷試験ができない箇所は、他の試験方法を検討し行うことが必要である。

実際の検査作業においては、必ず事前に試験体に対する検査手順書を正確に作成し、また、専用の標準試験片等を準備し、検出能力の確認を行わなければならない。この際、標準試験片は、各種非破壊検査方法に応じ、検出すべき欠陥の仕様を明確にし、これらを検出できる試験条件に設定可能な標準試験片を予め求め、使用され

なければならない。磁粉探傷試験の場合には、試験体表面が磁粉探傷試験に必要な磁界の強さであることの確認も行わなければならない。さらに、試験操作を行う検査者の技量により検査結果に大きな影響を及ぼすため、十分な検査作業の実績と丁寧な検査作業を行い、安全に正確で、疎漏のない検査を実施しなければならない。

(5)技術基準案について

バルク貯槽の告示検査の合理化案をこれまでの調査結果より以下のようにまとめた。

外面に関しては、設置環境や塗膜の状況により腐食の進行が早まることが想定されることから、現行の基準のとおり、5年ごとに外面の目視検査を行うことを案とする。

内面に関しては、(2)より供用中におけるバルク貯槽内部は腐食が進行する環境下ではない。しかし、大気に触れる機会がある場合には、内面の目視検査は行うべきであると考えため、内面の目視検査は告示検査において開放した場合等、前回の告示検査時より大気との接触があった場合に行うことを案とする。

鋼板の厚さ測定においては、外面の腐食等による減肉が考えられるため、5年ごとに鋼板の厚さ測定を行うことを案とする。また、告示検査時においては、設計時に算出された最小厚さを保っているが、余裕代がほとんどない場合も想定される。そのため、製造からの経過年数と減肉量から算出した腐食速度より次回の告示検査を行う5年以内に最小厚さを割る恐れがあるものに関しては、毎年厚さ測定を行い管理することを案とする。

非破壊検査（磁粉探傷試験または浸透探傷試験）においては、初回告示検査において溶接線（ノズル部を含む。）の100%に対して行うこととし、非破壊検査を100%行った告示検査から15年以内に行う告示検査においては非破壊検査の実施を要求しない案とする。また、KHKS0745バルク貯槽の告示検査等に関する基準（2017）では、磁粉探傷試験の評価者の資格をNDIのレベル1以上としていたが、磁粉模様の評価等の精度を高めるため、評価者の資格をレベル2以上に求めるものとする。検査による評価を高め、安全性の確度を増すようにする案とする。

気密試験は、附属機器等（安全弁を除く）を取り外す等を行う等して気密性が失われない限り、液化石油ガスを用いて、使用圧力で気密試験を行う案とする。しかし、附属機器等の取り外し（安全弁を除く）等が行われる場合は、常用の圧力以上にて気密試験を行うものとする案とする。

以上