

令和元年度 経済産業委託

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LP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2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	4
4.実施体制	5
4.1 委員会等	5
4.2 委員会の構成	5
4.2.1 委員会の構成	5
4.2.2 審議経過	6
5.バルク貯槽製造事業者へのアンケート、ヒアリング	7
6.バルク貯槽の経年劣化度調査	9
6.1 沿岸部地域等における外面腐食の調査	9
6.2 バルク貯槽の経年劣化調査	40
6.2.1 バルク貯槽の選定	40
6.2.2 告示検査方法による試験結果	44
6.2.3 非破壊検査の妥当性の検討	70
6.2.3.1 外部表面の非破壊検査の結果	79
6.2.3.2 内部表面の非破壊検査の結果 (内部溶接線磁粉探傷)	103
6.2.4 内面検査方法の妥当性の検討	115
6.2.4.1 LP ガスの成分分析	117
6.2.4.2 内部表面腐食	127
7.検査手法の作業性評価	177
7.1 密閉型磁粉探傷の作業性評価試験仕様	177
7.2 密閉型磁粉探傷試験の結果	184
7.3 課題と現地で行う告示検査での使用について	214
8.技術基準案の作成	215
8.1 気密試験方法の検討	215
9.まとめ	219

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)バルク貯槽製造事業者へのアンケート、ヒアリング

バルク貯槽製造事業者よりバルク貯槽製作時の製作手順、溶接箇所に関する処理及び検査体制等についてアンケート及びヒアリングを行い、個々の事例の収集を行う。当該結果を基に製造後20年目以降に使用されるバルク貯槽の技術的な留意点について検討を行う。

(2)バルク貯槽の経年劣化度調査

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。

②内面検査方法の妥当性の検討

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。

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。

(3)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、安全性、環境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。

(4)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)～(3)の検討結果に基づき、技術基準案を策定し、検討を行う。

上記(1)～(4)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	令和元年						令和2年		
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
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							→		
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

【委員】

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

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 取締役 執行役員 コンプライアンス本部
保安部 部長

森田 健司 埼玉県危機管理防災部化学保安課 主幹

山崎 貞男 サンリン株式会社 技術顧問

【関係者】 経済産業省 産業保安グループ 保安課 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 令和元年7月31日（水）

- ・ 令和元年度バルク貯槽告示検査方法効率化技術調査研究 実地計画書説明
- ・ 平成30年度事業 検討内容説明
- ・ バルク貯槽告示検査方法効率化技術調査研究 実験等計画案説明

第2回 令和2年1月22日（水）

- ・ 第1回議事録案の確認
- ・ バルク貯槽メーカー アンケート及びヒアリング調査
- ・ バルク貯槽経年劣化 沿岸部における外面腐食の調査
- ・ バルク貯槽経年劣化 外面試験
- ・ 密閉型磁粉探傷の作業性評価
- ・ 25年目の告示検査における気密試験の検討

第3回 令和2年3月5日（木）

- ・ 第2回議事録案の確認
- ・ バルク貯槽経年劣化 沿岸部における外面腐食調査
- ・ バルク貯槽経年劣化 内面調査
- ・ 密閉型磁粉探傷試験の作業性評価
- ・ 25年目の告示検査における気密試験の検討
- ・ 今後について
- ・ 報告書（案）の確認

※以上の主要議題について書面審議に変更とする。

- ・ 第2回議事録案の確認
- ・ 報告書案の確認（主要議題の報告資料を報告書案として取り纏める）

5.バルク貯槽製造事業者へのアンケート、ヒアリングについて

バルク貯槽製造事業者に対しバルク貯槽製作時の製作手順、溶接箇所に関する処理及び検査体制等についてアンケート及びヒアリングを行い、当該結果を基に製造後 20 年目以降に使用されるバルク貯槽の技術的な留意点について検討を行うこととした。

本アンケートは、バルク貯槽を現在若しくは以前製作していた国内メーカー9社に行った。以下に本アンケート結果のまとめを示す。

(1)バルク貯槽メーカー自らによる告示検査実施等の状況

バルク貯槽メーカーにバルク貯槽の告示検査の実施状況を伺ったところ、すべてのバルク貯槽メーカーにおいて実施はしていないとの回答であった。また、附属品の告示検査においても同様に行っていないとの回答であった。理由としては、「人員、バルク貯槽置き場に余裕がなく、残ガス回収貯槽がないため。」、「告示検査の体制がない。」等の意見があった。

一方、撤去工事、仮設工事、再設置工事、運搬、残留ガスの回収等の告示検査の前作業等については 3 社が対応しているとの回答があり、「積極的には行っていないが、客先より依頼があれば工事業者を手配し施工している。」、「入れ替え納入時に移送の依頼があれば移送のみ代行している。」、「現場調査、仮設供給設備及び仮設工事、撤去工事、新規供給設備及び再設置工事までを請け負って施工している。」等の回答があった。

(2)バルク貯槽の品質向上への設計の変更等について

民生用バルク貯槽の運用が始まった平成 9 年当時と比較して、バルク貯槽メーカーとして品質向上へ設計の変更がなされている。

①バルク貯槽本体の変更点

バルク貯槽本体の変更点として以下の取組みがなされている。

- ・プロテクターの材料を鉄製から防錆に優れたステンレスに変更した。
- ・148kg、298kg、498kg のねじ接続（ネックリング）を 20 年検査で附属機器交換をしやすいするために全てのフランジ接続に変更した。
- ・耐食性向上、汚れ防止に塗料の見直しを実施した。
- ・配管施工の容易さを考慮し、プロテクターの形状変更を実施した。
- ・製造ラインの自動化、溶接施工法の変更、塗装自動化、塗料開発を行った。
- ・附属機器のマルチバルブ化（漏れ発生箇所となるねじ部、フランジ部を減らす）をした。
- ・溶接方法（本体継手、ネック／座溶接）を変更した。
- ・本体材料の変更（高強度鋼へ）を行った。

- ・塗装を焼き付け塗装から粉体塗装に変更した。

②検査方法の変更点

バルク貯槽検査方法、体制の変更点として以下の取組みがなされている。

- ・特定則解釈変更（パットフランジ）のため KHK 指導によりフランジ厚さを厚くした。
- ・不具合が生じる都度、完成品の検査項目の見直しを実施した。
- ・耐圧試験後にスチーム乾燥を行う。
- ・RT 設備改造（大型のバルク貯槽がブースへ入るように）を行った。
- ・耐圧部の溶接線（周、長手、ノズル）に関しては MT を 100%を実施していた。（現在は、製作していないメーカーより）

(3)バルク 20 年告示検査後の 5 年毎の検査について

20 年告示検査後の 2 回目の告示検査（25 年目）の効率化を行い、設置現場で検査が行えるようにした場合の懸念点についてアンケートにより伺った。

①非破壊試験について

初回告示検査の非破壊試験の検査項目における磁粉探傷試験による溶接部全長の 20%以上の検査を 100%（管台等取付部を含む）に拡大した際に、2 回目（25 年目）の非破壊検査を省略したと仮定した場合の懸念点について伺ったところ「特定設備検査規則 別添 3 によるバルク貯槽は、磁粉探傷試験を実施していない。そのようなバルク貯槽に対し、100%磁粉探傷試験を実施した場合、生産当時に把握し得なかった欠陥が認められる可能性がある。」「溶接部全長 100%の検査を行っても、のち 10 年間の品質を保証できるデータを持ち合わせていない。」等の意見があった。

②気密試験について

バルク貯槽を現場設置した状態において気密試験を行う場合、常用の圧力以上の気密試験を行うことは困難であるため、2 回目（25 年目）告示検査では自圧漏えい試験等で行うと仮定した場合の懸念点について伺ったところ、「20 年目検査時に旧附属機器取り外し時のねじ部変形、取付時の異物混入のため漏えいの可能性がある。」「自圧は外気温や日射環境によって激変する。例えば、真冬日に自圧で検査された貯槽が、真夏日の圧力まで安全を担保できているとは思えない。」等の意見があった。

また、2 回目（25 年目）告示検査の気密試験を行わないとすることで、設備設計上の懸念点について伺ったところ、「ねじ接続の場合、シール剤乾燥等のため漏えいの可能性がある。」「素材の性能が維持出来ているか心配である。」等の意見があった。また一方、「気密検査でバルク貯槽から漏えい確認されることは考えられない。」との意見もあった。

6.バルク貯槽の経年劣化度調査

6.1 沿岸部地域等における外面腐食の調査結果

(1)地域による外面腐食の進行度の差異及び塗装の種類健全性についての評価

国内の沿岸地域に設置されているバルク貯槽の腐食状況についてアンケート及び実地調査を行った。

①調査内容及び調査対象のバルク貯槽

現在、供給設備又は特定供給設備として使用されているバルク貯槽であって、次の設置環境及び管理環境に該当する貯槽とする。

- ・製作メーカー及び設置年数は問わない。
- ・沿岸部、塩害等の腐食等が著しい地域に設置されているバルク貯槽であること。
- ・現に腐食が発生し、補修措置を検討しているバルク貯槽又は、現に腐食が発生し、補修措置を行ったバルク貯槽であること。

a) 調査内容

- ・バルク貯槽の腐食の部位、程度、特性等について
- ・使用履歴及び設置環境等について
- ・バルク貯槽の設置状況、発錆状況、補修状況、塗装の膜厚測定について
- ・保安管理等について

調査を行ったバルク貯槽を以下の表にて示す。

表 1 調査したバルク貯槽の一覧 合計：16基

事業者	地域	調査基数	備考
A	北海道地方	3事業所 4基	横型上取出 500kg : 1基 縦型 1000kg 貯槽 : 1基 縦型 1000kg 貯槽 (内部保温器付) : 2基
B	東海地方	5事業所 5基	縦型 295kg : 2基 490kg : 1基 横型上取出 295kg : 2基
C	中国地方	3事業所 3基	縦型 295kg : 2基 横型上取出 974kg (底部保温器付) : 1基
D	九州地方	4事業所 4基	縦型 150kg : 1基 縦型 300kg : 2基 横型上取出 500kg : 1基

※調査協力：(一社)全国LPガス協会他

②調査結果

調査結果について、以下の表にてまとめる。

表 6.1-1 調査を行ったバルク貯槽の使用履歴及び設置環境等

事業者	調査番号	容量 kg	型式 種別	バルク貯 槽製造 事業者	製造年月 設置年月	バルク貯槽の仕様						バルク貯槽の使用及び設置環境等					
						計算板厚 mm		使用板厚 mm		余裕板厚 mm		用途	製造後 経過 年数	累計 使用量 m ³	累計 充填 回数	海岸 (河川) まで km	備考
						胴板	鏡板	胴板	鏡板	胴板	鏡板						
A	A-1	498	横置型 上取出	a社	2001年 5月 2001年 7月	7.45	7.025	8.00	8.00	0.55	0.97	集合住宅	18.4	18,431.4	360	0.2	
	A-2	985	縦型	b社	2006年 3月 2006年 5月	9.56	9.01	10.3	10.3	0.74	1.29	老健住宅	13.3	461,500.0	1450	0.3	
	A-31 (左)	985	縦型	c社	2007年 3月 2007年 4月	9.56	9.01	10.0	10.0	0.44	0.98	水産加工	12.5	387,547.0	1300	0.1	工業用 内部保温器付
	A-32 (右)	985	縦型	c社	2007年 3月 2007年 4月	9.56	9.02	10.0	10.0	0.44	0.98	水産加工					
B	B-1	295	横置型 上取出	d社	2002年 11月 2003年 6月	6.28	5.92	6.6	6.6	0.32	0.68	集合住宅	17.9	8,847.0	99	4.1	
	B-2	295	横置型 上取出	d社	2004年 1月 2004年 3月	6.28	5.92	6.6	6.6	0.32	0.68	集合住宅	15.7	3,521.0	30	0.8	
	B-3	490	縦型	d社	2006年 3月 2008年 8月	7.45	7.02	8.0	8.0	0.55	0.98	集合住宅	13.5	15,822.0	95	0.3	
	B-4	295	縦型	d社	2003年 2月 2003年 7月	6.28	5.92	6.6	6.6	0.32	0.68	集合住宅	16.6	9,339.0	98	0.8	
	B-5	298	縦型	c社	2005年 12月 2006年 -	5.89	5.55	6.2	6.4	0.31	0.85	集合住宅	13.9	月間: 22.0	月:0.33	0.4	
C	C-1	295	縦型	d社	2004年 9月 2004年 -	6.28	5.92	7.0	7.0	0.72	1.08	集合住宅	15.1	-	-	15	
	C-2	985	横置型 上取出	e社	2005年 9月 2006年 3月	9.56	9.01	10.3	10.3	0.74	1.29	老健施設	14.1	-	-	0.3	底部保温器付
	C-3	295	縦型	f社	2007年 6月 2007年 -	6.27	5.91	6.5	6.5	0.23	0.59	業務用施設	12.4	-	-	5	

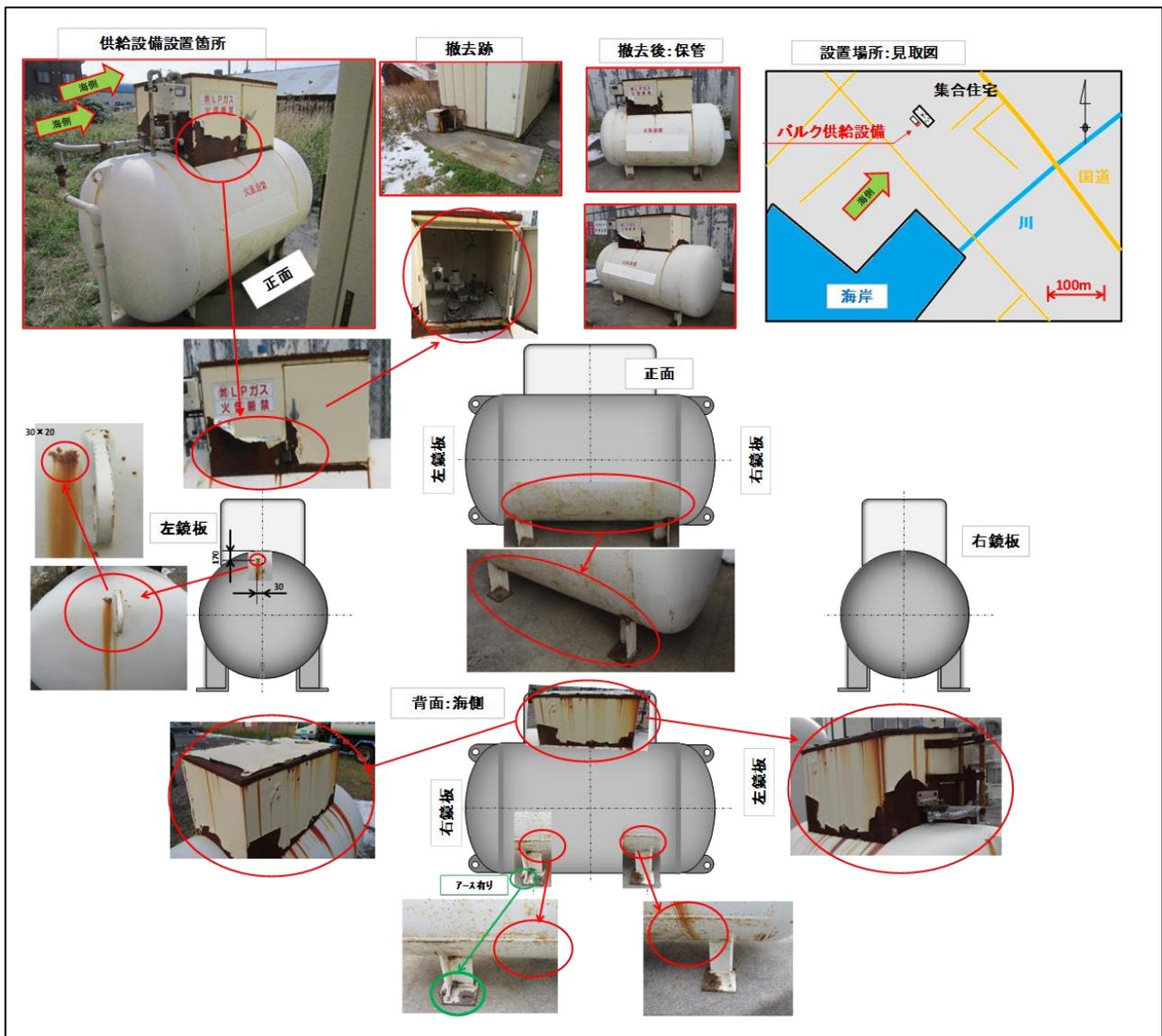
表 6.1-2 調査を行ったバルク貯槽の使用履歴及び設置環境等

事業者	調査番号	容量 kg	型式 種別	バルク貯 槽製造 事業者	製造年月 設置年月	バルク貯槽の仕様						バルク貯槽の使用及び設置環境等					
						計算板厚 mm		使用板厚 mm		余裕板厚 mm		用途	製造後 経過 年数	累計 使用量 m ³	累計 充填 回数	海岸 (河川) まで km	備考
						胴板	鏡板	胴板	鏡板	胴板	鏡板						
D	D-1	298	縦型	c社	2007年11月 2008年3月	5.89	5.55	6.2	6.4	0.31	0.85	老健住宅	11.1	14,874.4	253	0.1	
	D-2	498	横置型 上取出	c社	2005年8月 2006年2月	7.36	6.94	7.8	7.9	0.44	0.96	共同住宅	14.2	5,067.6	39	0.1	
	D-3	150	縦型	c社	2001年6月 2001年7月	4.78	4.51	5.1	5.2	0.32	0.69	業務用 (飲食店)	8.2	9,881.0	289	0.02	
	D-4	298	縦型	c社	2015年10月 2016年7月	5.89	5.55	6.2	6.4	0.31	0.85	業務用 (飲食店)	4.0	1,056.9	23	0.1	

※各販売事業者より、特に錆が著しく発生しているバルク貯槽を選定して頂き、現地調査を行った。

調査番号：A-1 横置型：498kg 製造後 18.4年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



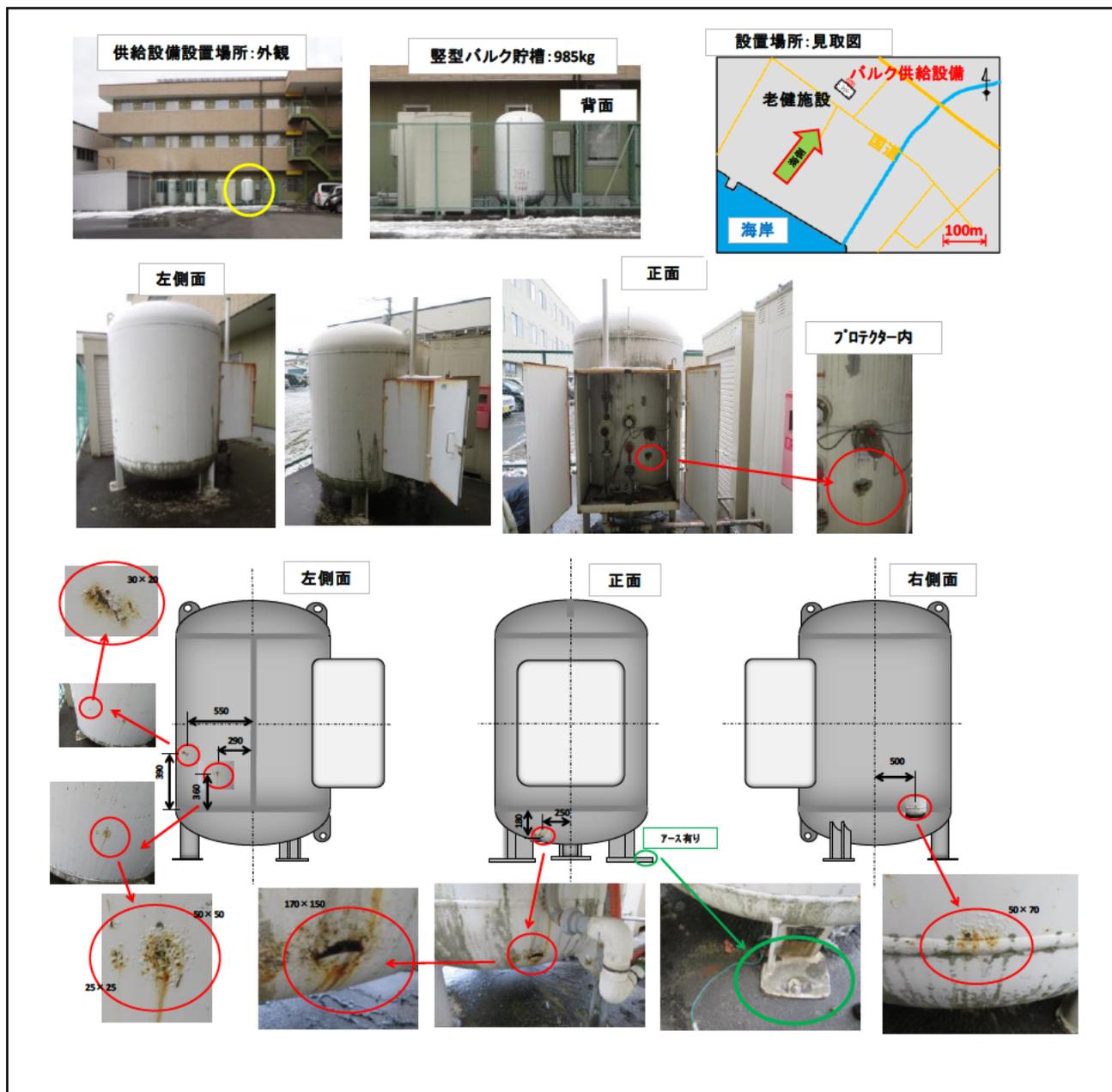
考察

バルク 20 年告示検査を迎えるにあたり、前倒しで撤去し、50kg 集合装置に更新されていた。海岸線から 200m ほどに位置し、潮風をうけやすい場所であった。

特にプロテクターの錆が激しく塗膜面が剥離していた。これにより、貯槽本体には、もらい錆が現れていた。また、左鏡部吊り金具脇、貯槽底部に発錆が見られた。支柱部のベース面の塗膜は、部分的に剥離されていた。

調査番号：A-2 型式：985kg 製造後 13.3年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



考察

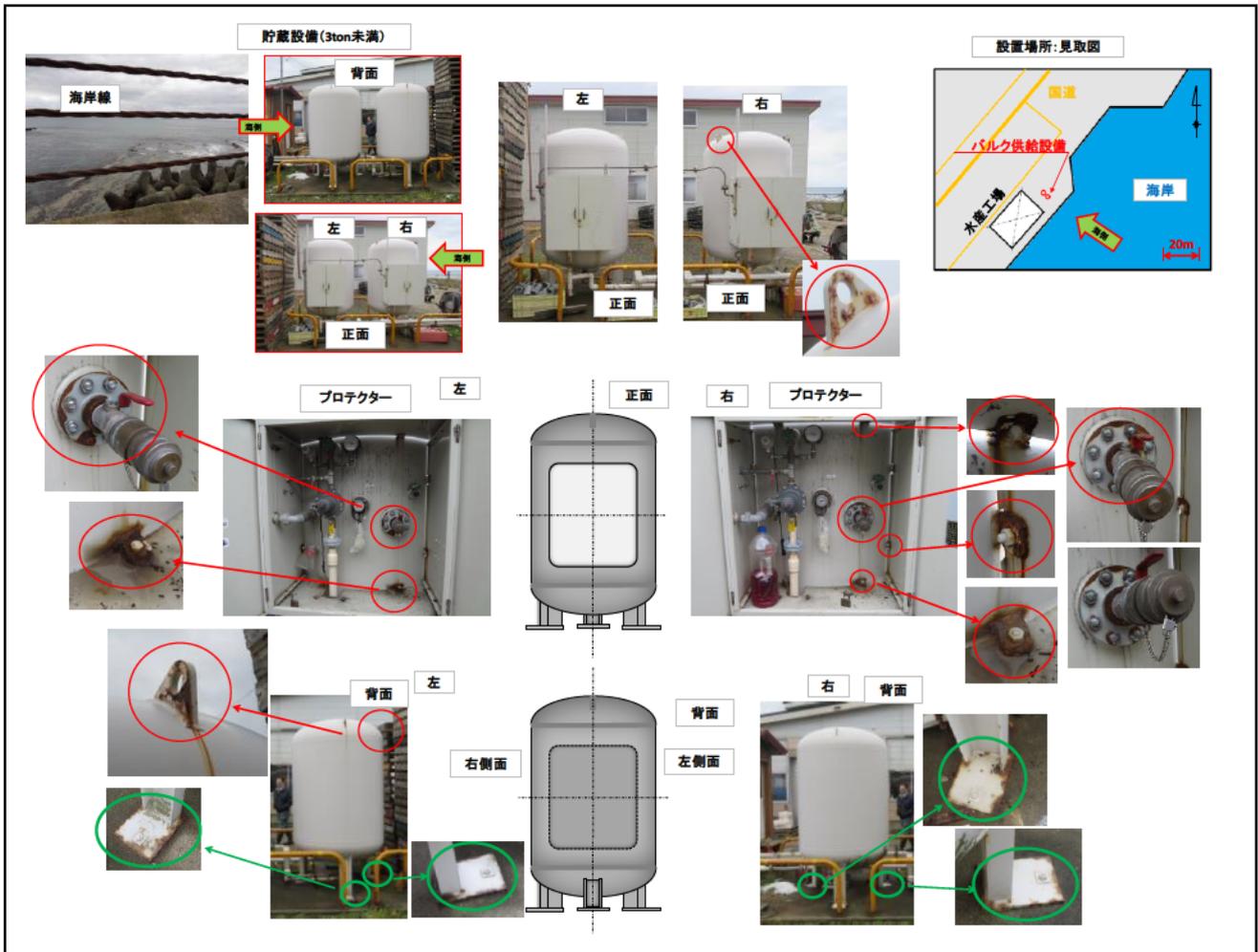
海岸線から 300m ほどに位置し、建物の陰に設置され、直接の潮風は受けにくい場所である。貯槽には、苔が発生しており、特に底部の鏡板には大きく広がって付着していた。

プロテクター内の受入口の下部には、充填時、カップリングを取り外す際の貯槽本体への接触による打刻痕が見受けられた。また、底部鏡部に大きく塗膜が剥がれた発錆が見られた、正面の下部とはいえ、発見しづらい箇所での発生である。

支柱部には、汚れはあるが、錆は特に見られなかった。

調査番号：A-31（左）、32（右） 型式：985kg 製造後 12.5年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



考察

工業用の設備であるが、海岸に極めて近い場所に位置していることから、紹介を受け調査を行った。

海岸線から 100m ほどに位置し、直接、潮風を受ける過酷な設置箇所であった。

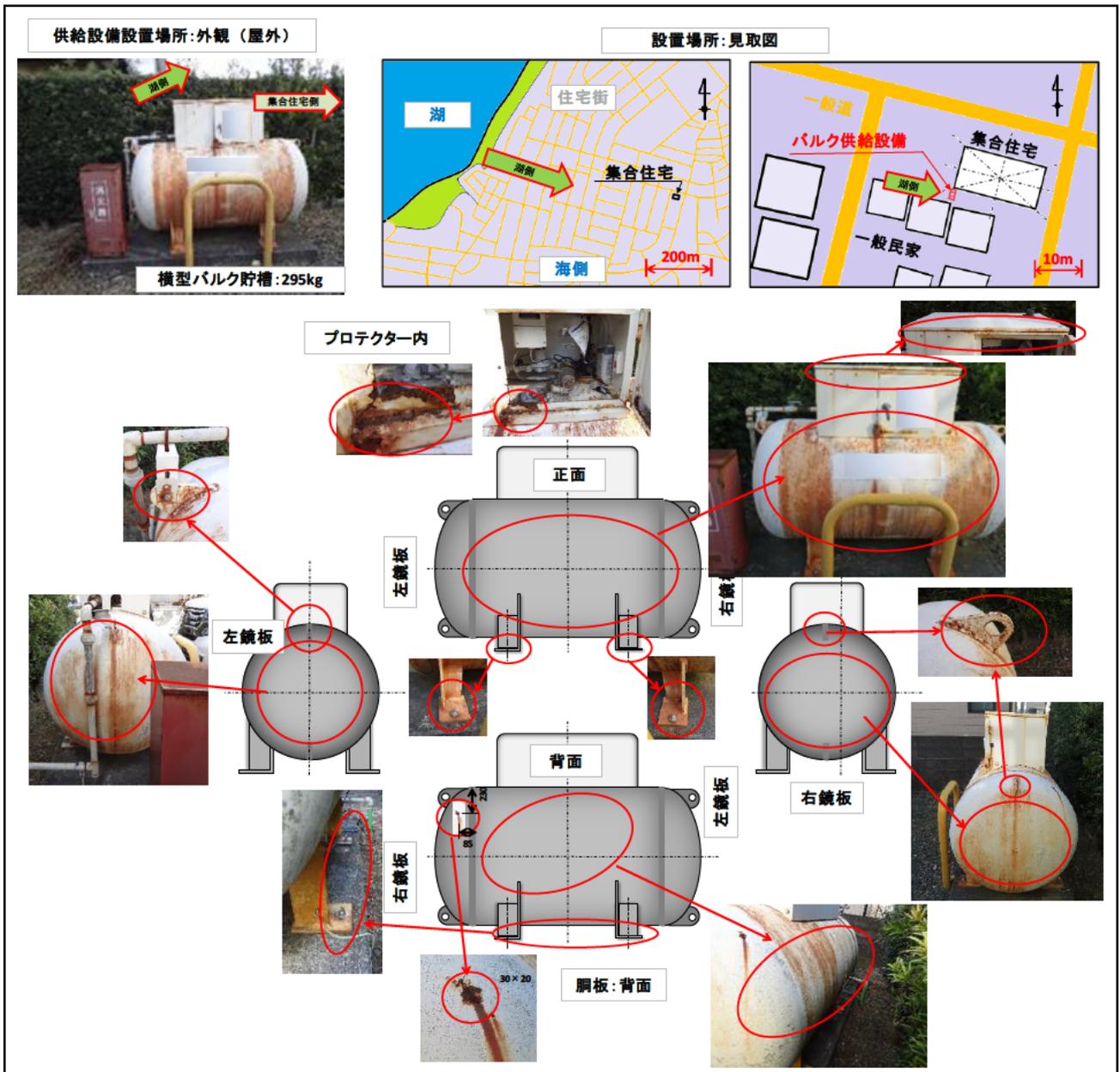
バルク貯槽内には保温用のコイルが内蔵されており、バルク貯槽内の圧力が低下すると温水を循環させ圧力を保持する機構をもっている。これにより、自然気化方式によりガスを供給する際でも、本体が加温されているため、水滴が多く付着しないと考えられる。

発錆箇所は、上部の吊り金具、受入元弁のフランジまわり、プロテクターの本体取り付け部の金具であり、特にプロテクターの本体取り付け部の金具が著しく錆びていた。

支柱部には、部分的に発錆が見られた。

調査番号：B-1 横型：295kg 製造後 17.9年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



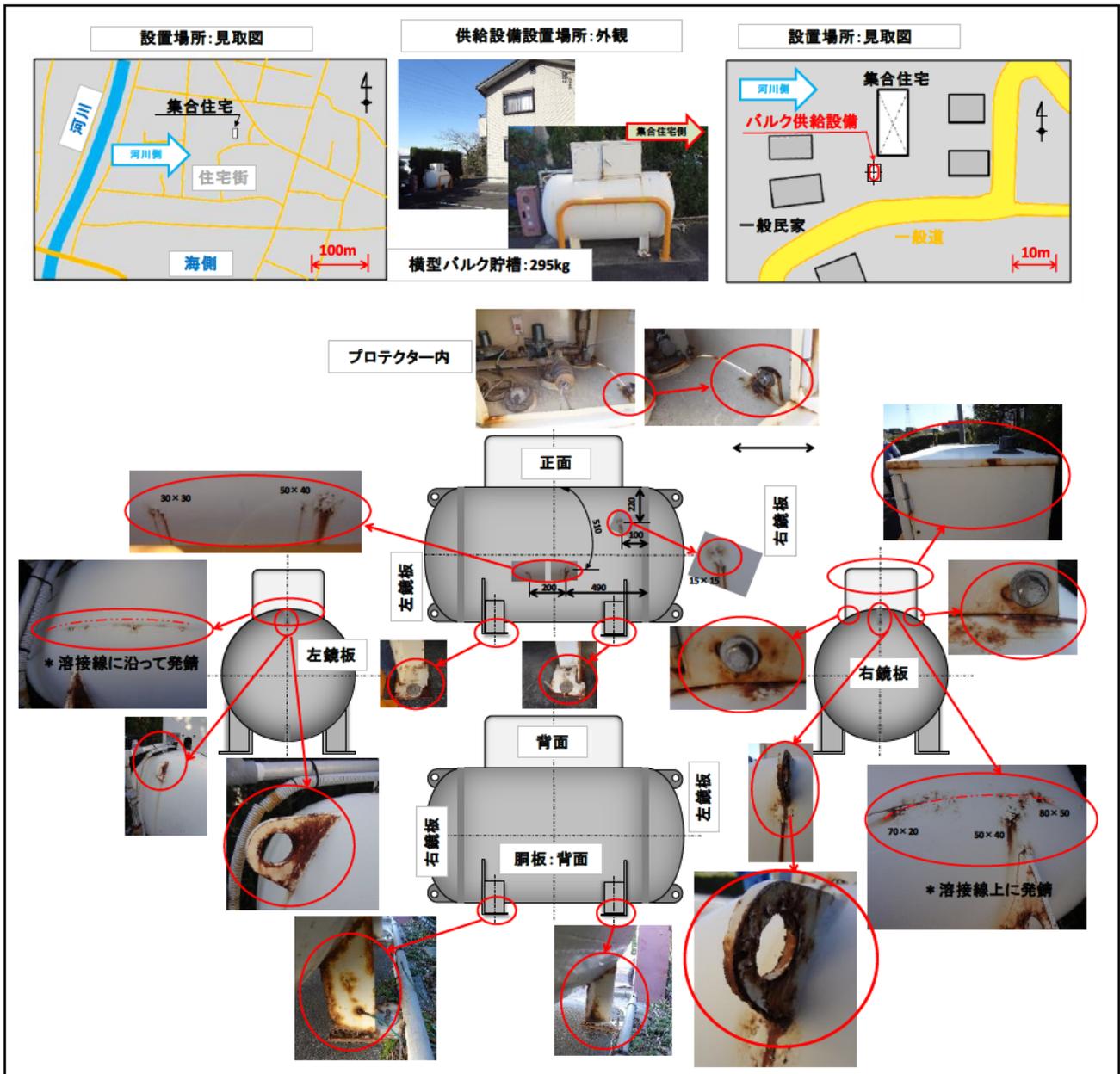
考察

海岸線から 4.1km 内陸で、湖から 400m ほどに位置し、集合住宅の駐車場脇に設置され、直接の風雨を受ける場所である。貯槽の正面には、縦筋状の錆及びびもらい錆が発生していた。

プロテクターの開閉板に錆が発生し、この錆によるもらい錆が胴板に流れているようにも見た。また、支柱部にも錆が発生しており、特に大きな腐食はなかったが、全体的にまんべんなく錆びていた。

調査番号：B-2 横型：295kg 製造後 15.7年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



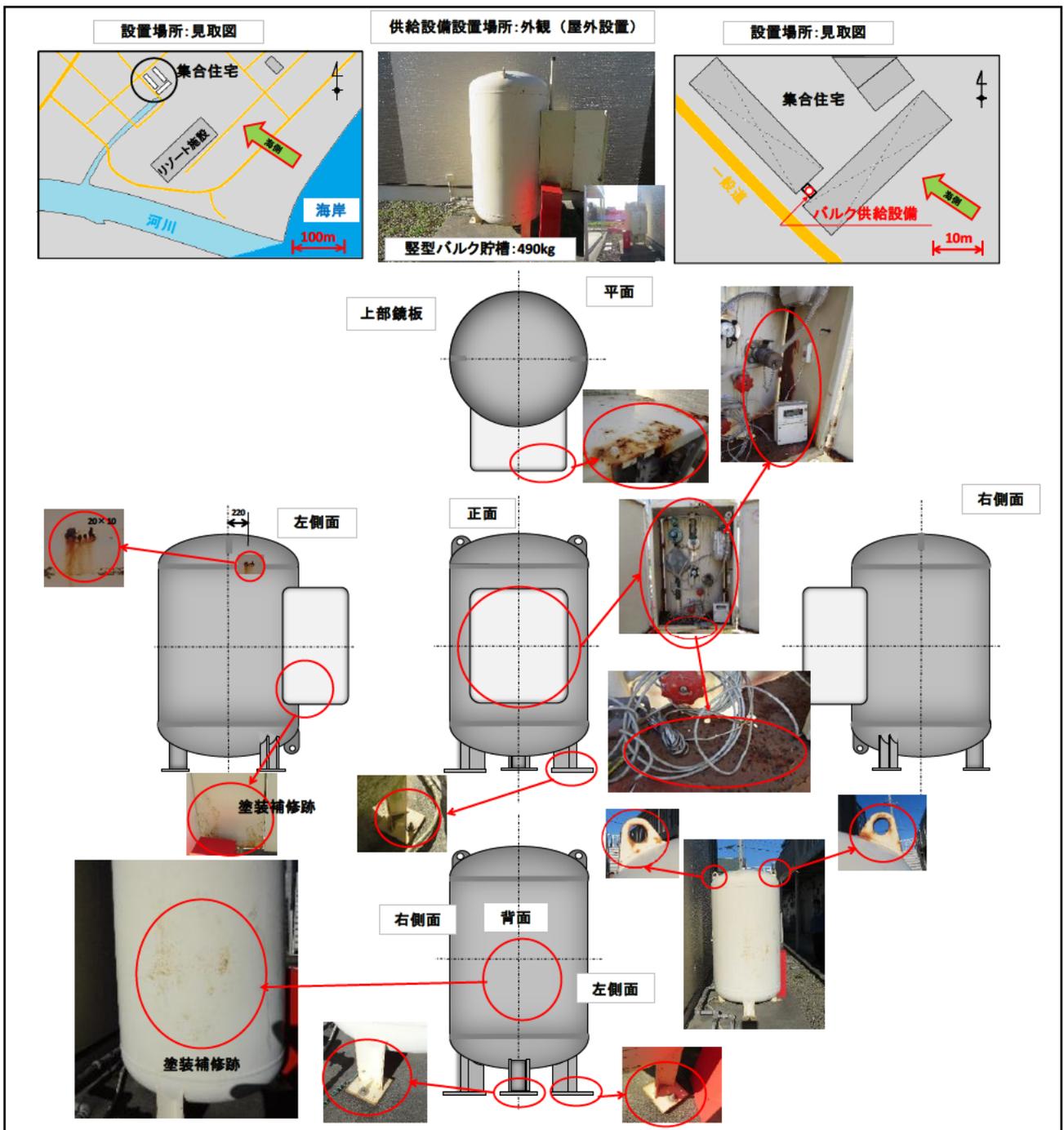
考察

海岸線から800mほど河川から200mほどに位置し、集合住宅の駐車場脇に設置され、直接の風雨を受ける場所である。貯槽には、所々に錆が点在していた。特に周継手の上の溶接部には、溶接部に沿った錆が発生していた。

吊り金具の錆は膨れており、プロテクターの取り付けねじ部にも錆が発生していた。支柱部にも錆が発生しており、また、支柱部と本体との溶接部にも錆が発生していた。遠目では、さしたる錆の印象は薄いですが、近くで観察することで、発錆が顕著に確認された。

調査番号：B-3 縦型：490kg 製造後 13.5年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



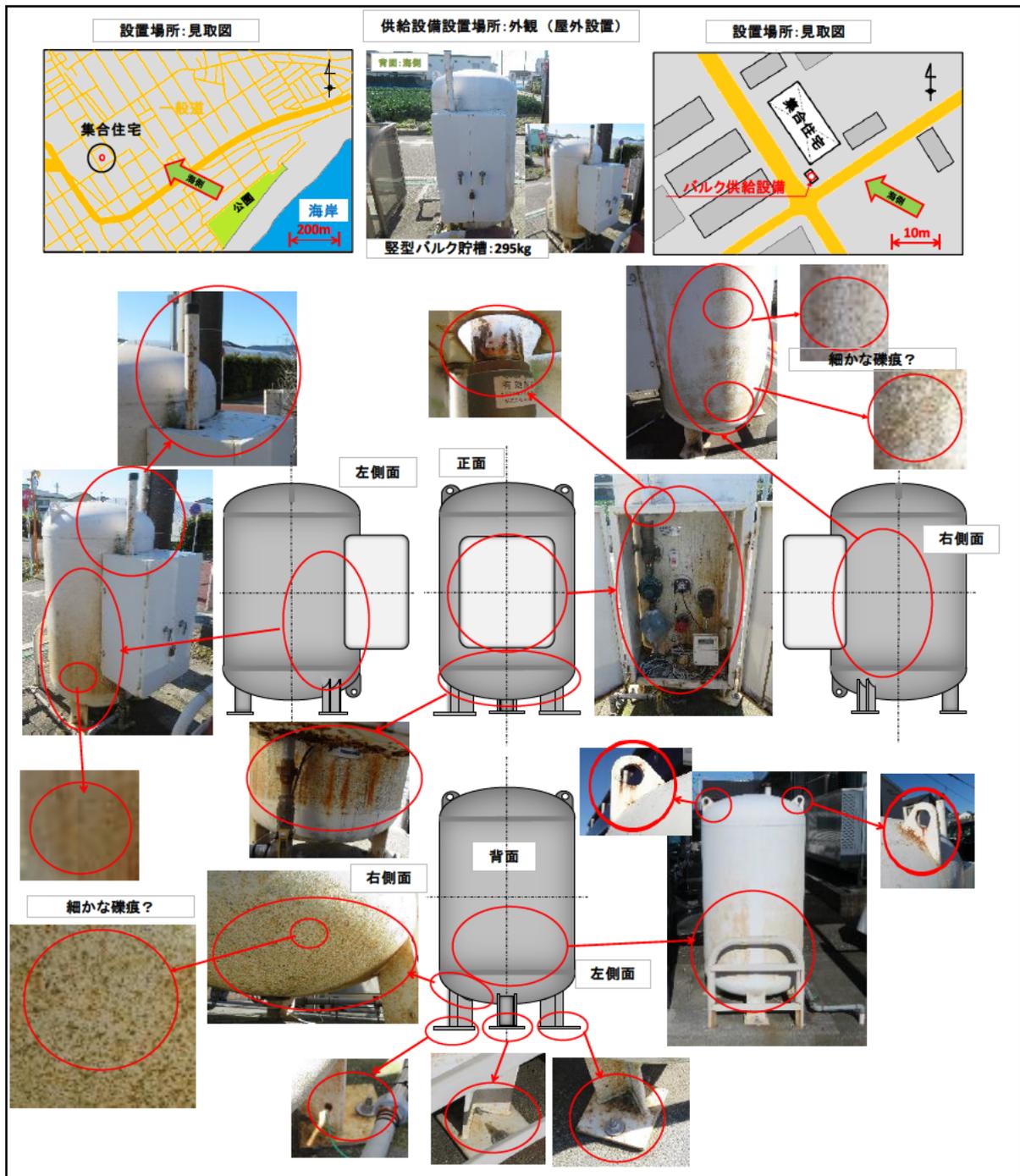
考察

海岸線から 300m ほどに位置し、集合住宅と集合住宅の間に設置され、直接の風雨を受けづらい場所に設置されていた。貯槽の背面には、補修塗装を行った跡があったが、既に薄く錆が発生していた。

プロテクター内の底板の腐食が激しく、一部は欠けていた。側板及び天板にも錆が発生していた。また吊り金具に少し錆があるが、支柱部にはあまり錆はなかった。

調査番号：B-4 事業所 堅型：295kg 製造後 16.6年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。

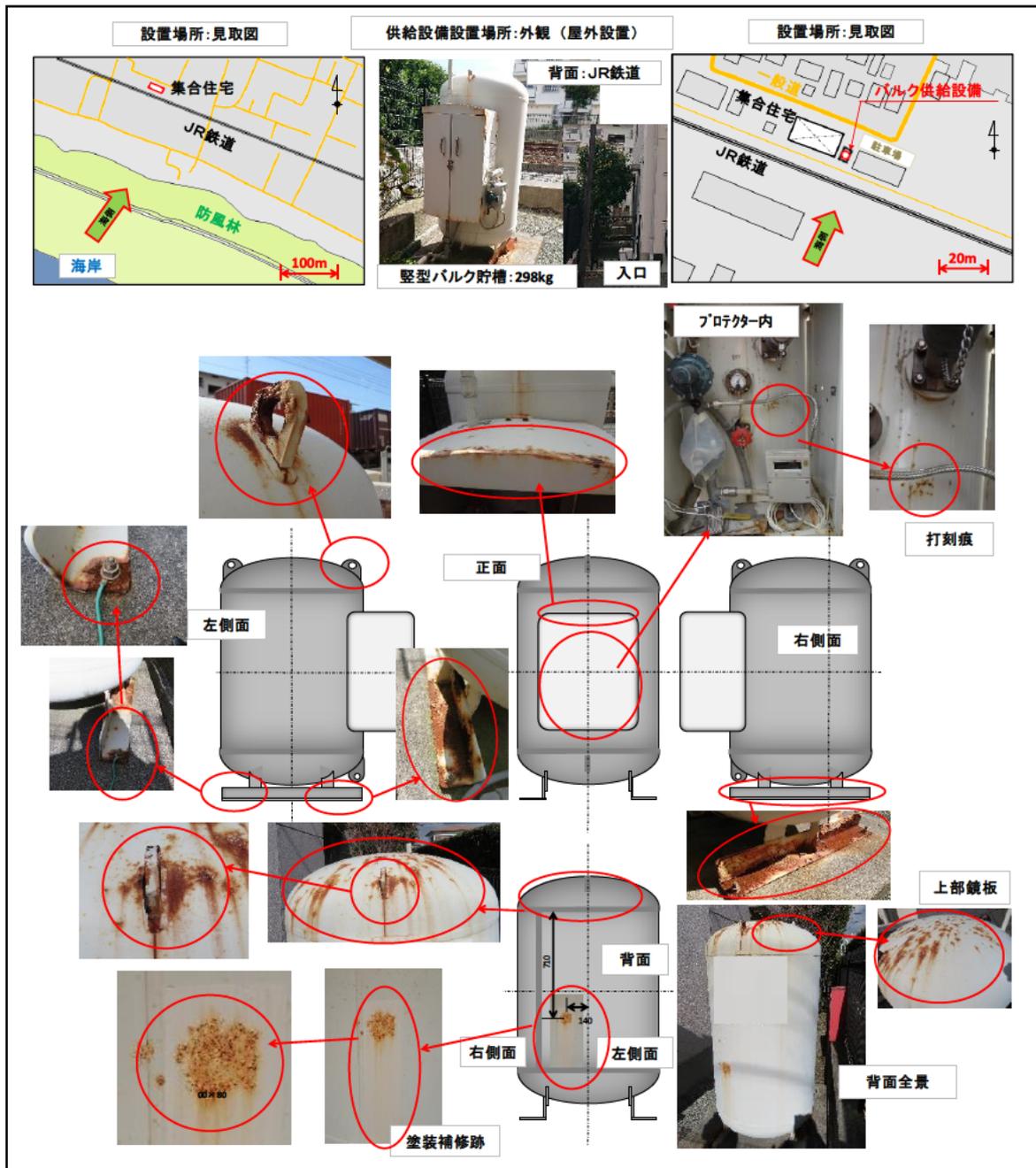


考察

海岸線から 800m ほどに位置し、十字路に接する集合住宅の駐車場の一角に設置され、直接の風雨を受けやすい場所に設置されていた。貯槽の胴板下部は、飛礫に打たれたような細かな発錆が見られ、プロテクターの底板も腐食が激しく、安全弁放出管の下は、工具の使用跡による発錆が伺えた。支柱部には、大きな腐食はなかった。

調査番号：B-5 型式：298kg 製造後 13.9年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



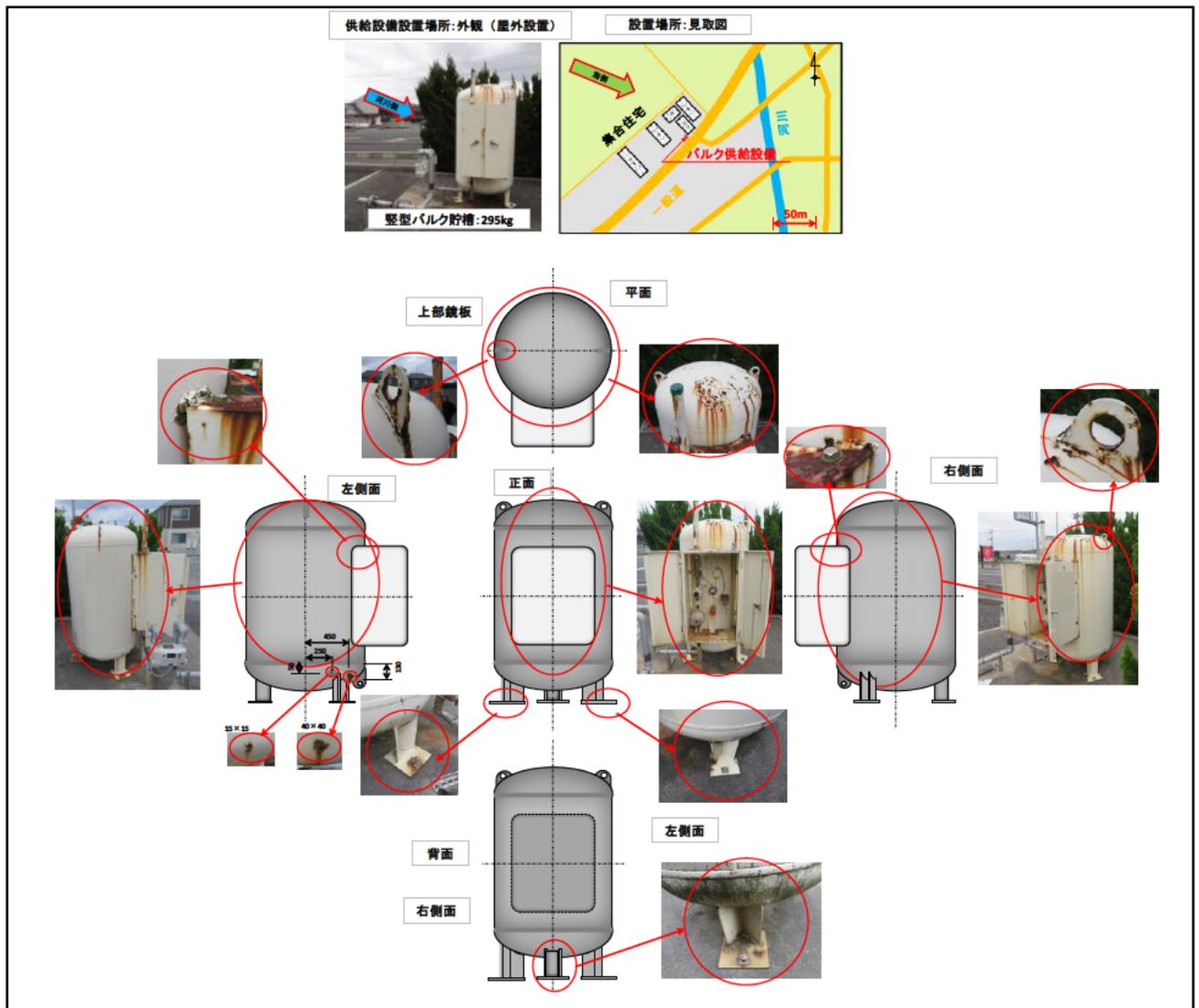
考察

海岸線から400mほどに位置し、JRの鉄道脇に設置され、かつ風雨の受けやすい場所に設置されていた。他の販売店からの切替設備であり、バルク貯槽の胴板の一部には塗装の補修跡があった。

胴板補修塗装部分から浮き錆びが発生していた。上部鏡板、吊り金具にも錆が発生していた。プロテクター内では、充填時のカップリングの取り外しによる打刻痕がみられた。支柱は、アース線が取付けられた箇所だけが錆が少なく、それ以外は大きく腐食していた。

調査番号：C-1 型式：295kg 製造後 15.1年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



考察

海岸線から 15km 内陸に入った場所に位置し、集合住宅の駐車場のスペースに設置された供給設備である。

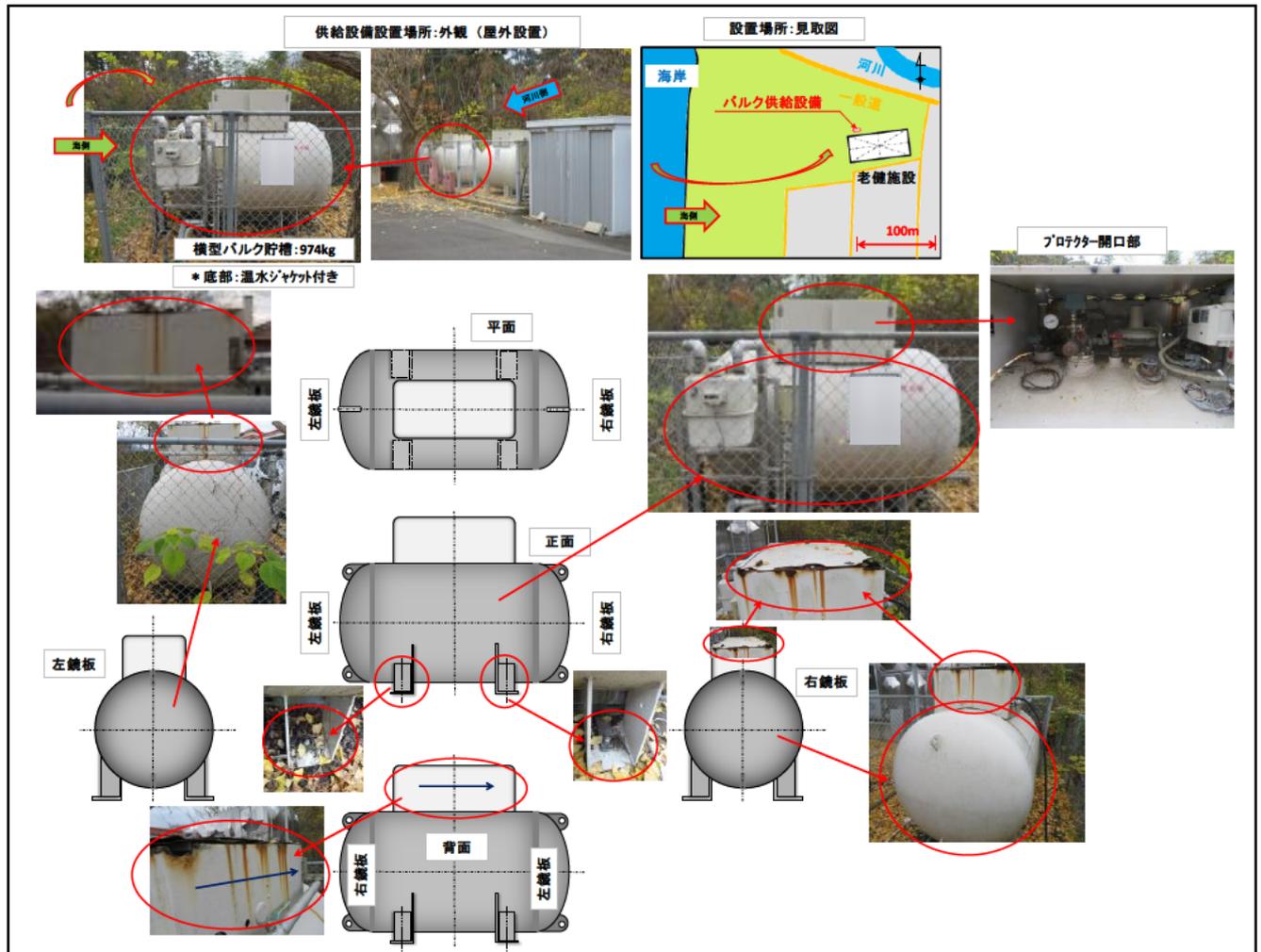
貯槽の上部鏡板には、大きな腐食が見受けられ、塗膜も剥がれるほどの状況であった。

上部鏡板の吊り金具にも発錆があり、底部鏡板には苔が付着していた。また、プロテクターの取り付け金具に発錆があった。

支柱の三脚部には、部分的に発錆が見られた。

調査番号：C-2 横置型：985kg 製造後 14.1年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。

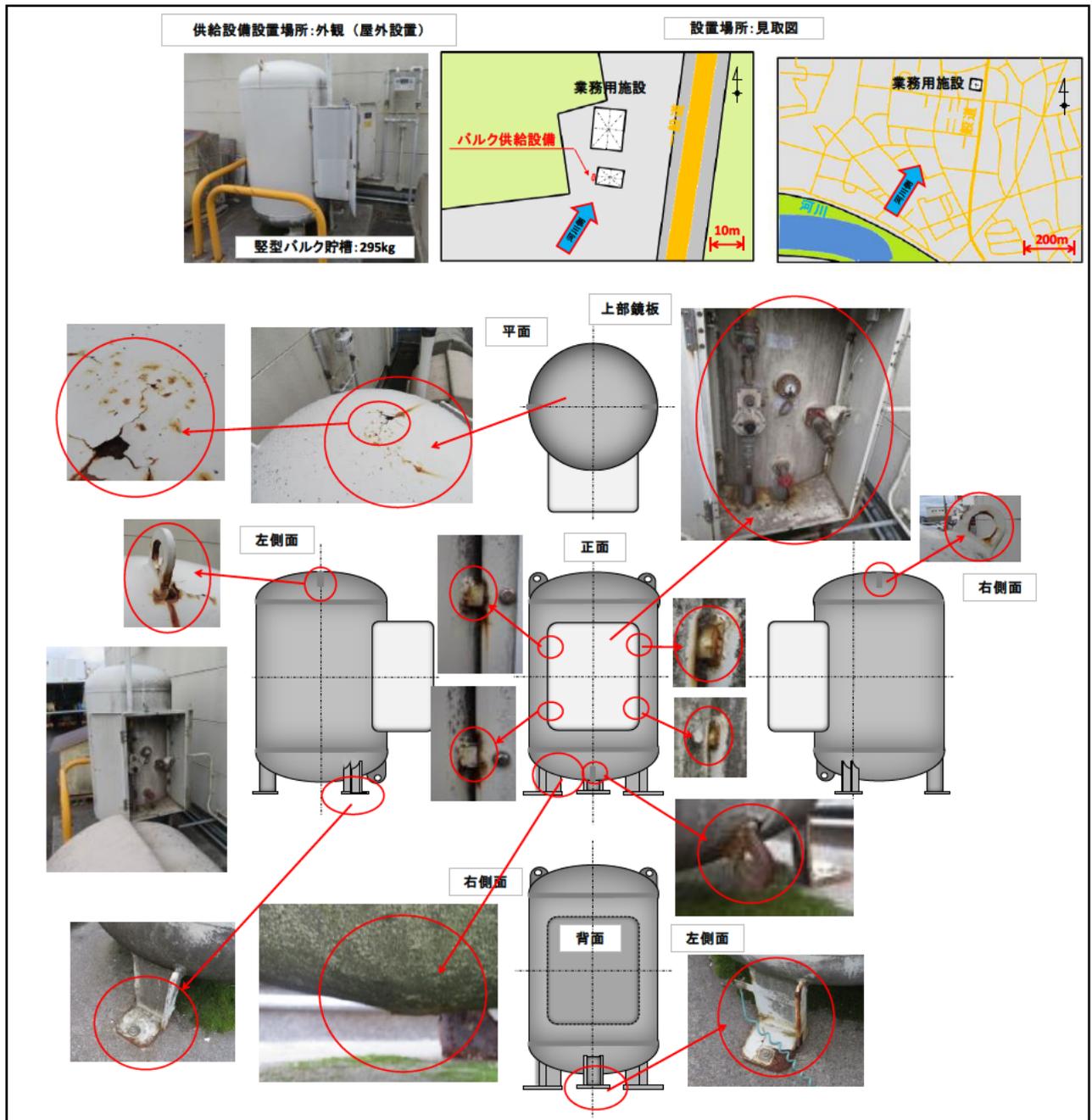


考察

海岸線から 300m ほどに入った場所に位置し、直接の潮風は受けにくい場所に設置されている。
バルク貯槽の底部には、温水の保温器を設置した設備である。A-31、A-32 の設備と同様に、ガス供給中は保温機能が作用し、水滴が付着しづらくなっているように考えられる。
貯槽本体は、胴部／鏡部／支柱に、発錆は見られなかった。
プロテクター及びプロテクターの取り付け金具に発錆があった。

調査番号：C-3 縦型：295kg 製造後 12.4年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



考察

海岸線から5km、河川から3km内陸に入った場所に位置し、直接の潮風の影響は少ない場所に設置されている。

バルク貯槽の上部鏡板部、吊り金具に錆が発生していた。また、底部には苔が付着し、特にプロテクターの金具に著しい発錆が見られた。

支柱部には、部分的に発錆が見られた。

調査番号 : D-1 型式 : 295kg 製造後 11.1年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



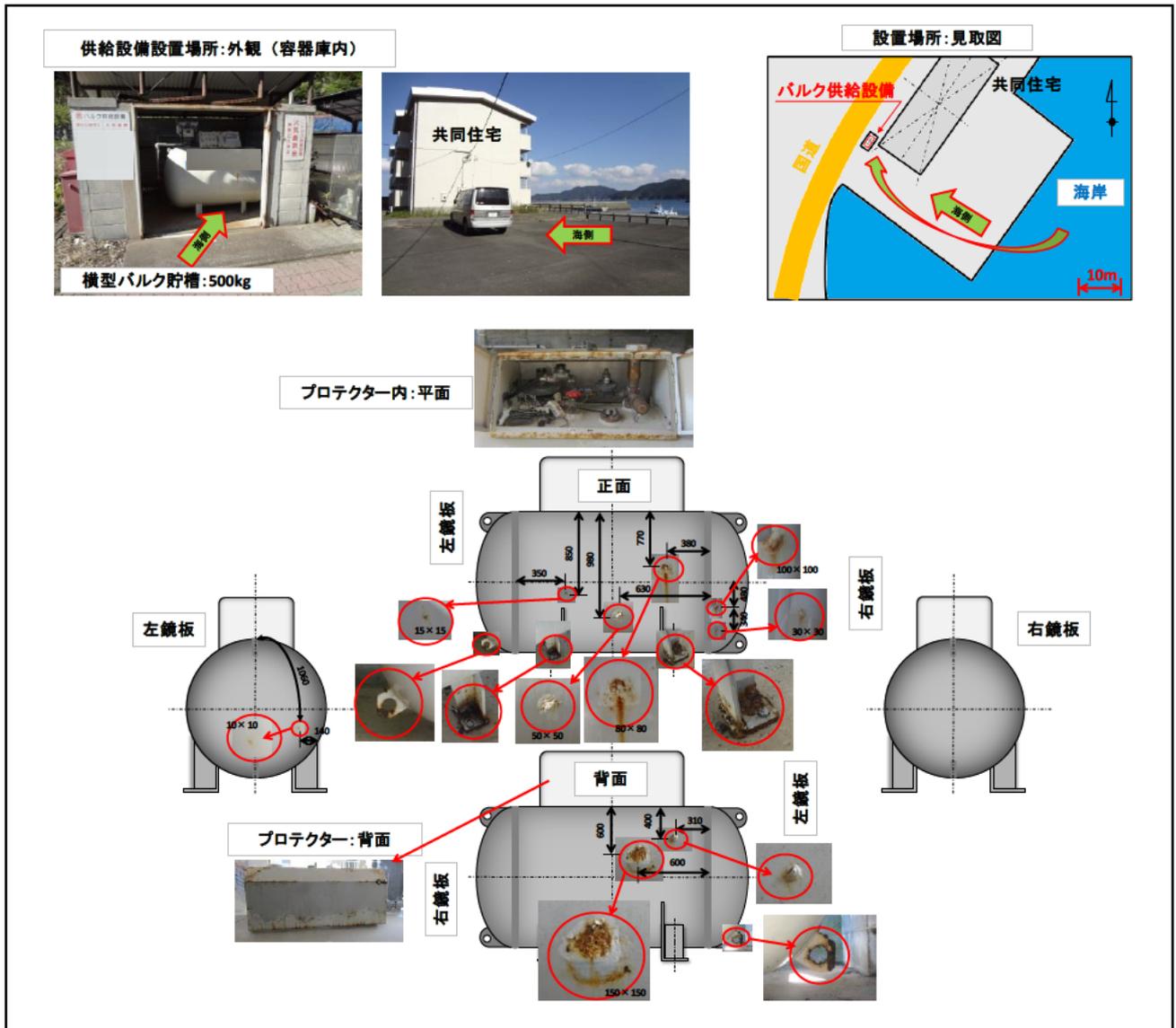
考察

海岸線から 400m、河川から 100m ほど入った場所に位置し、建物の陰に設置され、潮風の直接の影響は少ない場所に設置されている。

パルク貯槽の上部の吊り金具、支柱のサドル部に錆が発生していた。また、底部には苔が付着していたが、総じて、パルク貯槽本体には発錆の少ないパルク貯槽であった。

調査番号：D-2 横置型：498kg 製造後 14.2年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



考察

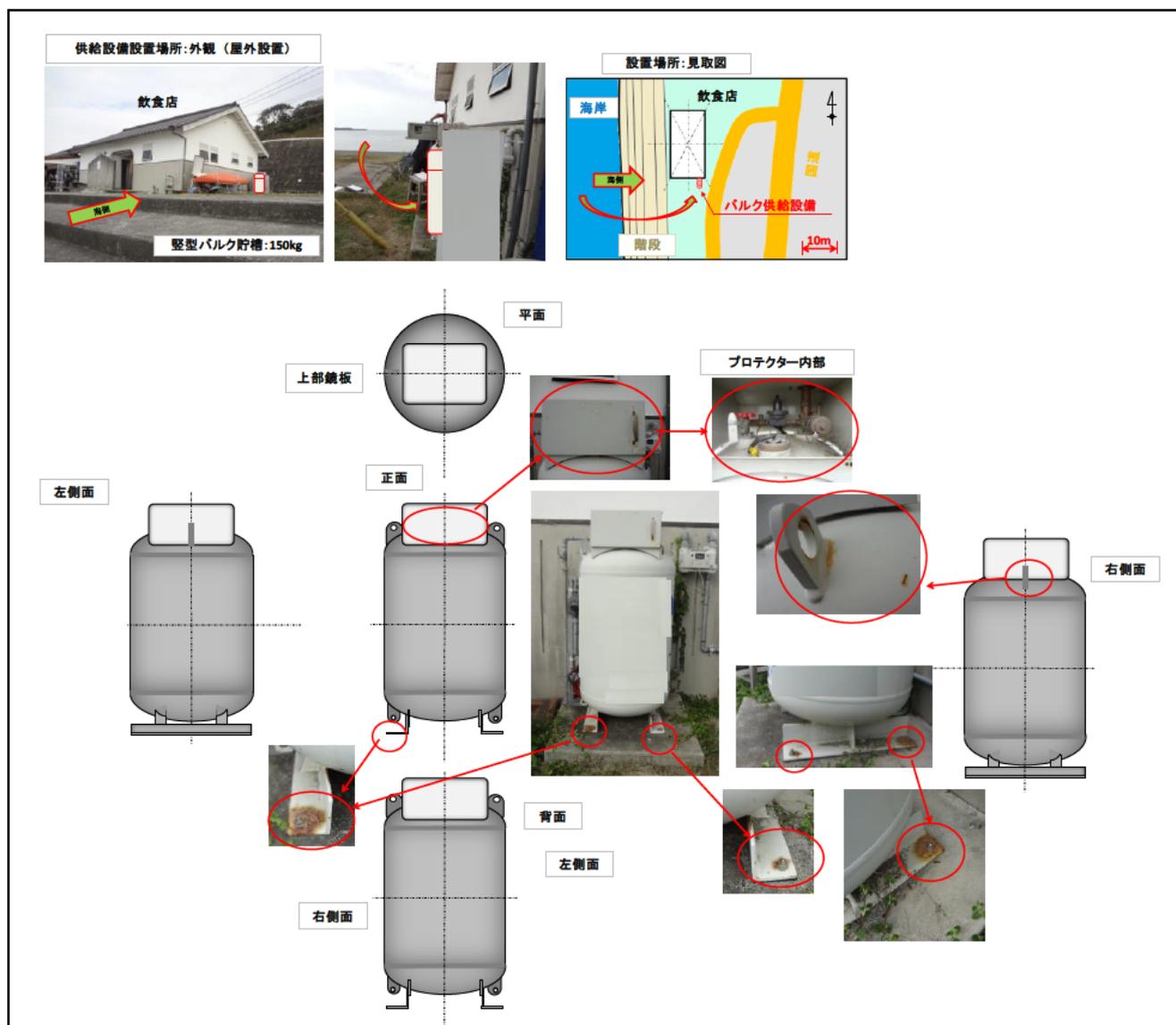
海岸線から 100m くらい入った場所に位置し、潮風の直接の影響を受ける場所に設置されているが、ボンベ庫内に格納されている。

バルク貯槽の胴部正面及び背面に顕著な腐食が見られた。特に背面の腐食は、補修塗装がなされた場所に再度腐食したように見られる。

現在、販売事業者において、定期的にバルク貯槽の清掃等を行っているとのことである。また、このような状況のバルク貯槽は、定期的に補修を行うよう進めているとのことであった。

調査番号：D-3 事業所 堅型：150kg 製造後 8.2 年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



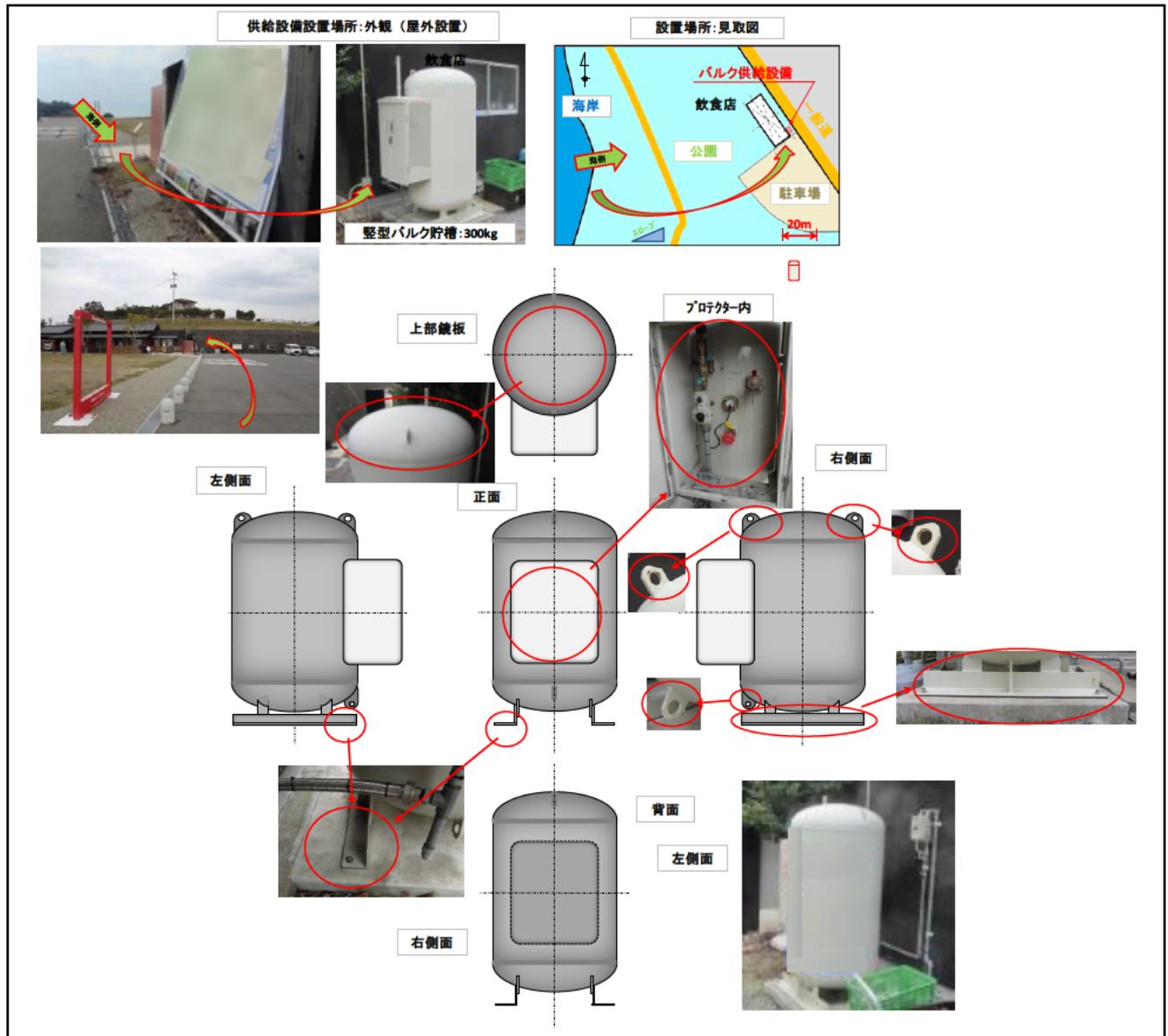
考察

海岸線から 20m ほど入った場所に位置し、潮風の直接の影響を受ける場所に設置されている。今回の調査の中で最も海岸線から近い設置箇所であり、腐食の影響が著しいと想定したが、実際は、腐食の少ない貯槽であった。

バルク貯槽の上部吊り金具、脚部に発錆がみられたが、貯槽本体には、顕著な発錆はなかった。

調査番号：D-4 縦型 298kg 製造後 4.0年

※販売事業者の表示、緊急連絡先等の表示はマスキングしております。



考察

海岸線から 100m ほど入った高台に位置し、また、建物の陰に設置されてはいるが、潮風の直接の影響は受ける場所である。

バルク貯槽全体として、顕著な腐食はなかった。

バルク貯槽の膜厚の測定

測定器：

「バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHK S 0745」 3.3.3 塗装の検査方法及び同附属書Bに規定する B.2.4 膜厚に関する検査に規定される膜厚計（二点調整型電磁微厚計）を用いる。

型 式 ： L Z-990

測定方式：電磁・渦電流式兼用

測定範囲：0～2000 μm

分解能：100 μm 未満0.1 μm 、100 μm 以上1 μm

図 6.1-1 横型バルク貯槽膜厚測定記録図

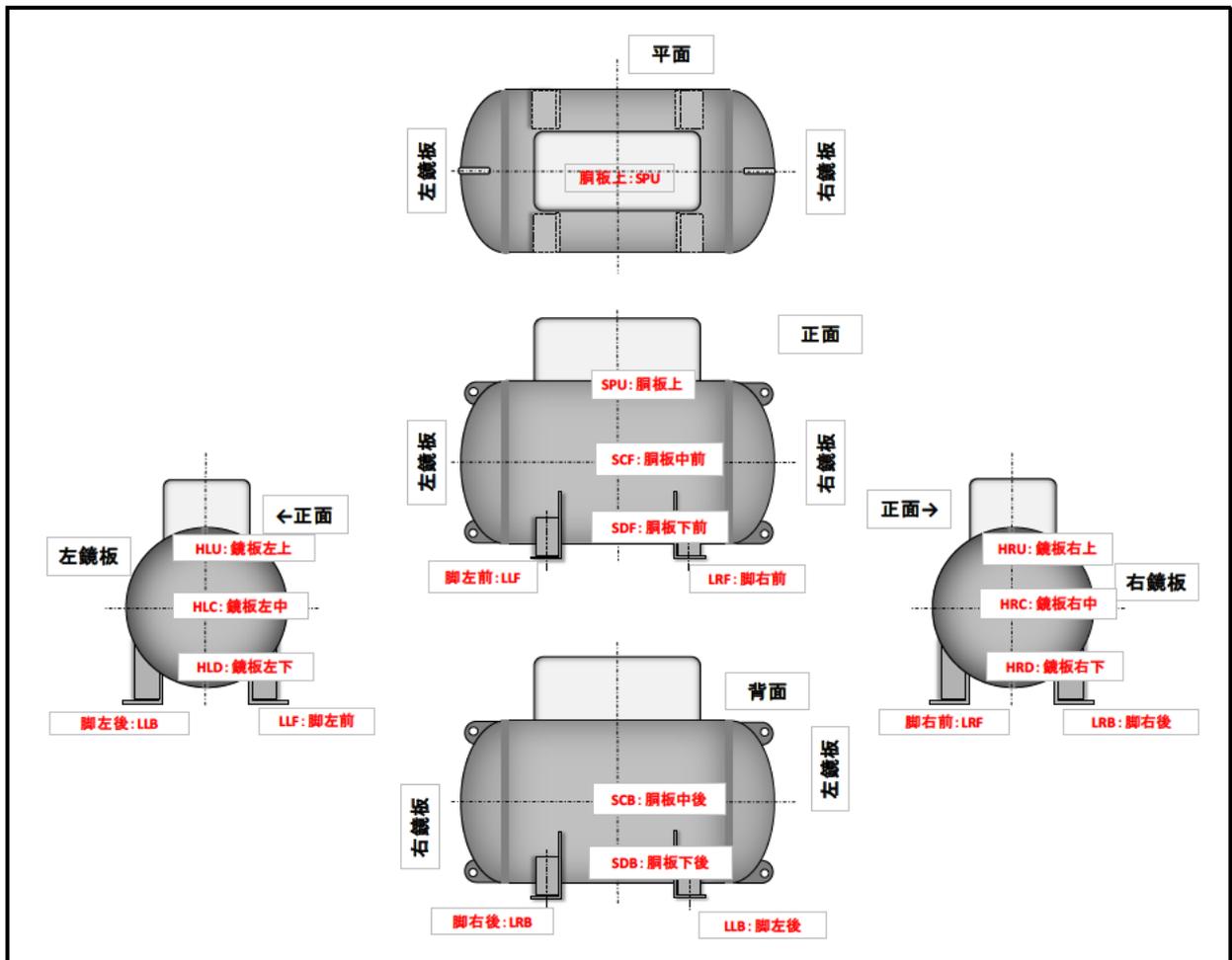


図 6.1-2 縦型バルク貯槽膜厚測定記録図

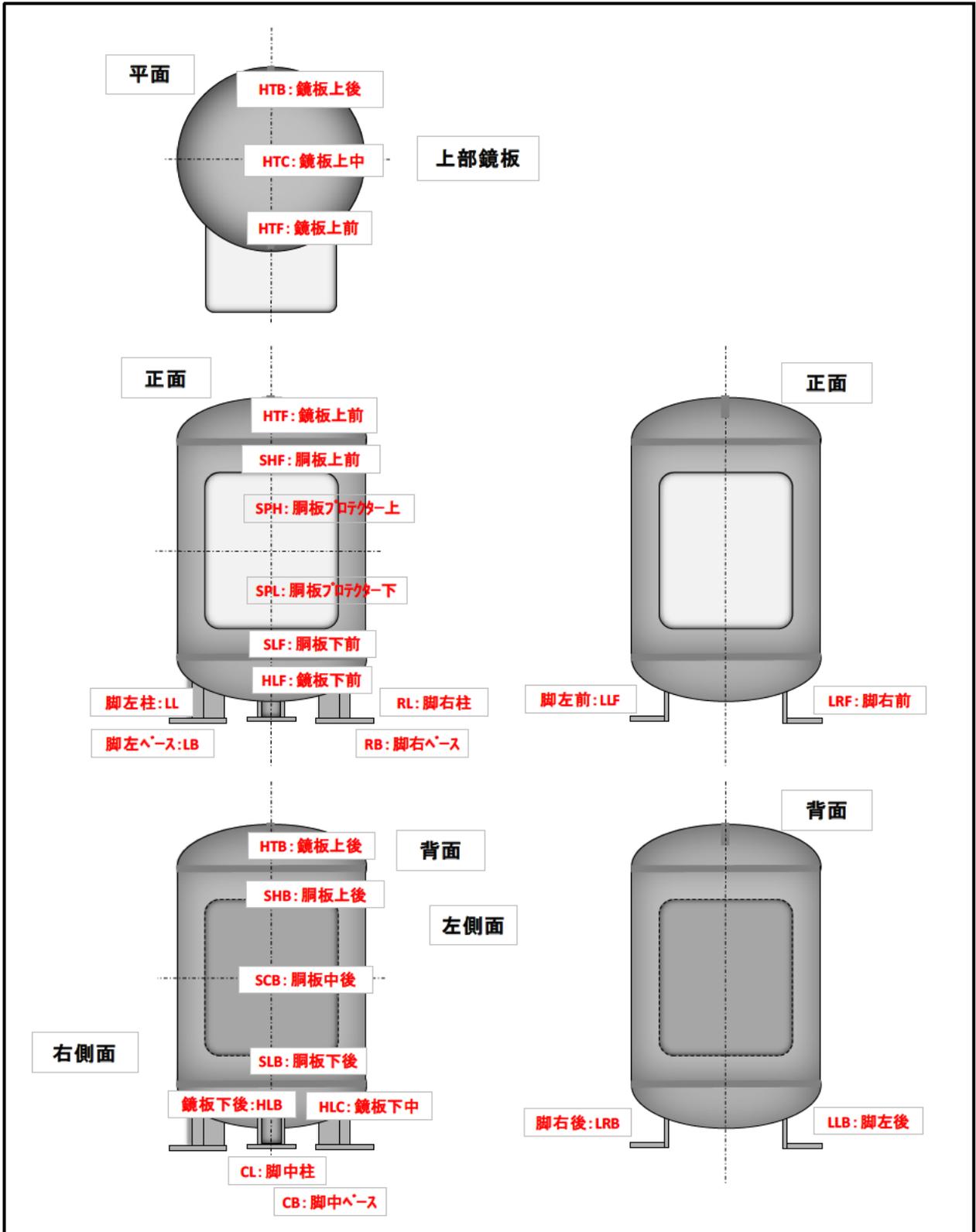


表 6.1-3 調査を行ったバルク貯槽の膜厚測定の結果等

①横型バルク貯槽：膜厚測定記録

事業者	調査番号	容量 (kg)	バルク貯槽製造事業者	製造後経過年数	測定結果：単位 μm (バルク告示第十条：自然乾燥の膜厚 $70\mu\text{m}$ 以上 焼き付け乾燥の膜厚 $35\mu\text{m}$ 以上)														
					左側鏡板 周接手より 50mm 内			胴板				右側鏡板 周接手より 50mm 内			支柱				
					HLU 上	HLC 中	HLD 下	SPU 上	SCF 中前	SCB 中後	SDF 下前	SDB 下後	HRU 上	HRC 中	HRD 下	LLF 左前	LLB 左後	LRF 右前	LRB 右後
A	A-1	498	a 社	18.4	209	105	112	216	130	109	201	57.8	206	105	93.4	—	—	—	—
B	B-1	295	d 社	17.9	205	95.8	91.1	198	245	103	188	102	251	86.2	116	116	242	188	295
	B-2	295	g 社	15.7	91.3	89.3	71.1	146	90.5	78.0	85.0	92.1	135	74.5	72.1	柱 131	柱 97.4	柱 110	柱 109
C	C-2	985	e 社	14.1	255	285	276	188	245	275	255	116	248	221	260	337	343	258	248
D	D-2	498	c 社	14.2	149	109	122	97.7	94.8	121	123	139	136	111	97.9	54.1	—	60.9	—

考察

バルク貯槽本体で、発錆部以外の膜厚は自然乾燥の膜厚の規定値以上であった。また、一部のバルク貯槽の膜厚が自然乾燥の膜厚の基準値以下になっているのは、経年劣化により塗装が白亜化し、薄くなったものと推定する。

② 堅型バルク貯槽膜厚測定記録

事業者	調査番号	容量 (kg)	バルク貯槽製造事業者	製造後経過年数	測定結果：単位 μm (バルク告示第十条：自然乾燥の膜厚 $70\mu\text{m}$ 以上 焼き付け乾燥の膜厚 $35\mu\text{m}$ 以上)																							
					上部鏡板			胴板						下部鏡板			支柱											
					周接手より 50mm 内									周接手より 50mm 内			サドル型				三脚左		三脚中		三脚右			
					HTF 前	HTC 中	HTB 後	SHF 上前	SHB 上後	SPH ア上 内上	SPL ア下 内下	SCB 中後	SLF 下前	SLB 下後	HLF 前	HLC 中	HLB 後	LLF 左前	LLB 左後	LRF 右前	LRB 右後	LB ベース	LL 柱	CB ベース	CL 柱	RB ベース	RL 柱	
A	A-2	985	b社	18.4	128	—	110	107	110	116	120	—	135	101	117	—	162	—	—	—	—	232	157	196	138	80.7	173	
	A-31 (左)	985	c社	12.5	162	—	179	130	141	131	86.1	169	124	169	175	—	141	—	—	—	—	240	260	232	191	332	252	
	A-32 (右)	985	c社	12.5	148	—	158	124	112	126	101	161	155	126	115	—	182	—	—	—	—	290	254	202	204	285	197	
B	B-3	490	d社	13.5	117	—	83.5	77.5	95.6	82.0	92.1	75.4	89.6	87.5	75.7	—	108	—	—	—	—	107	—	151	—	129	—	
	B-4	295	d社	16.6	251	105	221	146	122	132	119	113	115	154	265	—	173	—	—	—	—	272	—	277	—	248	—	
	B-5	298	c社	13.9	85.9	71.0	81.1	73.6	76.6	82.4	71.5	73.2	89.7	98.7	101	—	110	98.0	103	93.4	錆面	—	—	—	—	—	—	
C	C-1	295	d社	15.1	189	258	204	196	153	211	197	188	182	189	215	—	234	—	—	—	—	204	281	328	239	186	256	
	C-3	295	f社	12.4	167	152	192	145	161	141	162	129	174	176	196	—	212	—	—	—	—	—	152	—	173	—	141	
D	D-1	298	c社	11.1	91.8	—	99.5	—	77.5	87.1	95.8	—	86.1	—	—	—	114	74.9	85.1	83.3	77.5	—	—	—	—	—	—	
	D-3	150	c社	8.2	97.3	—	84.4	77.3	84.5	—	—	—	67.0	83.9	106	—	101	87.2	88.3	97.2	93.5	—	—	—	—	—	—	
	D-4	298	c社	4.0	87.5	—	94.5	88.0	86.1	106	81.0	—	90.6	58.9	101	—	75.6	60.7	75.9	40.7	64.3	—	—	—	—	—	—	

考察

堅型貯槽においては、発錆部以外の膜厚は、自然乾燥の膜厚の規定値以上であった。

(2)地域による外面腐食の進行度の差異等のまとめ

今回調査を行ったバルク貯槽の現地調査等の結果を以下にまとめる。

①設置環境

沿岸部の塩害等が著しい地域のバルク貯槽の選定を行い、調査した。沿岸部付近であっても腐食が顕著でないものがある一方、沿岸部から離れた設置場所であっても顕著な腐食が見受けられるバルク貯槽があった。必ずしも沿岸部に設置されているからといって、腐食が著しいとは限らない。

バルク貯槽メーカー毎による塗料の種類、塗装方法、塗装環境の違いが推察される、また、バルク貯槽の設置箇所は、屋外あるいは屋内（容器庫内）、建物の陰、または通風のよい場所等、様々なバルク貯槽の設置環境の違いによる影響もあると推察された。

②腐食発生箇所

バルク貯槽本体では、日常よく見ないと分からない箇所（覗き込む等の姿勢による観察）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に、著しい腐食が発生していた。

また、本体以外では、吊り金具、プロテクター、支柱部等に発錆していた。

さらに脚部のアンカーボルトは、ほとんどの仕様でステンレス製であるためアンカーボルト自体は錆びないが、一部の設置場所ではベースプレートの錆びが顕著なものがあつた。要因としてステンレスと鉄との電位差による腐食が懸念される。また、アース（接地）を施しているベースプレートは、比較的腐食が少ないように見られた。同様に、ステンレス金具に接続された貯槽本体側の鉄製の金具は腐食し、バルク貯槽本体側の溶接部にも発錆しているものもあつた。

③保安全管理

法定では、2年毎の腐食防止措置に係る目視点検が定められているが、実際の点検時では、発錆箇所に対する補修はあまり行われていないよう見受けられる。しかし、設置先の消費者からの指摘に対しては、速やかに補修等の対応がなされているとのことであつた。

販売事業者の中には、バルク貯槽を定期的に点検清掃する仕組みを構築し、実際に定期的にバルク貯槽の清掃を始めた販売事業者もあつた。

④塗膜の管理

告示により塗膜の厚さの基準値が規定されているが、供用中のバルク貯槽において、塗膜の厚さの管理は行われていなかった。補修用の塗料は、各販売事業者とも新品納入時の付属のもの、または製作メーカーから直接入手したものであり、独自に塗料を調合しているところはなかった。

設置後、使用期間は4年から18年と千差万別であつたが、どのような設置環境においても塗膜が経年劣化していることは明らかであつた。

(3)対応策案

販売事業者は、バルク貯槽の外面腐食に対し、以下のような対応措置を講ずる必要があると考える。

①充填時、六か月点検等、普段の保安管理において、発錆の有無の確認を徹底して行い、発錆箇所が小さい段階で指摘し、速やかに補修するよう対応を行う。

②耐圧部分の発錆箇所は、直ちに錆を除去し、デプスゲージまたは厚さ測定器等を用いて腐食の深さを確認し、計算板厚を割ってないことの確認を行う。

③耐圧部分以外の発錆箇所であっても、放置することで耐圧部分へと影響を及ぼさぬよう、直ちに除去し補修を行う。

④発錆部の点検については、発錆専用の点検結果の記録を作成し、経年劣化による発錆の周期等を推測し、バルク貯槽本体に限らず、吊り金具、プロテクターの内外面、接続金具、安全弁の放出管等を点検し、供給設備全体の発錆について点検を行う。

※別添、「バルク貯槽外面腐食調査書の例」を参考。

⑤異種金属の電位差による腐食が想定される箇所において腐食が促進されていないかの注視を行う。

⑥塗膜の状態を管理することは、バルク貯槽の外面腐食を安全に管理することにより有用である。法定では、バルク貯槽の腐食防止措置（規則第十九条第三号ハ(11)）の点検は、供給時及び2年点検時に検査をする項目となっており、法定点検では、バルク貯槽の外観上、とくに見えづらいところも含めて、塗膜面にひびわれ、錆、はがれ、ふくれ等が発生し塗膜効果が失効するような著しい発錆がないことを点検し、発錆がある場合は直ちに対応措置を行い管理すること。

(4)2回目告示検査について

2回目告示検査の緩和において、2回目の外観検査を現地で行う場合においても発錆部は、すべての錆を取り除き補修し、かつ、残存板厚を確認して計算板厚以上であることを確認する必要がある。

また、初回の告示検査以前及び初回告示検査以降の5年毎の告示検査においても、発錆が大きくなってから補修をすることではなく、発錆部が小さい段階で発見するために、日々の点検等で確実に対応し補修等の措置を行う仕組みを構築することを検討すべきと考える。

参考：バルク貯槽外面腐食調査書の例

作成日 年 月 日

バルク貯槽：外面腐食調査

調査報告書

事業者名 : _____

住 所 : _____ Tel: _____

担当者名 : _____

供給設備等の事業所名 : _____

供給設備等の住所 : _____

供給設備等の使用用途 : _____

調査者 : _____

調査日 : _____年 _____月 _____日 ~ _____月 _____日

バルク貯槽:仕様		製造メーカー名:	
製造番号:		製造年月日:	年 月 日
特定設備検査合格証発行年月日		:	年 月 日
型式:	公称貯蔵量:	内容積:	
設計圧力:	設計温度:	鋼板材料: JIS G	
胴板 計算板厚:	使用板厚:	余裕板厚:	
鏡板 計算板厚:	使用板厚:	余裕板厚:	

供給設備等の使用履歴			
バルク貯槽の設置年月	:	年 月	使用累計月: ヶ月
使用量(平均)		:	年 月 日
$m^3(kg)/h$	$m^3(kg)/日$	$m^3(kg)/月$	
$m^3(kg)/年$	* 累計使用量		$m^3(kg)$
充てん設備による受入頻度			
回/年	* 累計回数		回

供給設備等の設置環境			
塩害の影響の有無	有	無	
海岸線までの距離	km	湖・河川までの距離	km
日照の影響の有無	有	無	

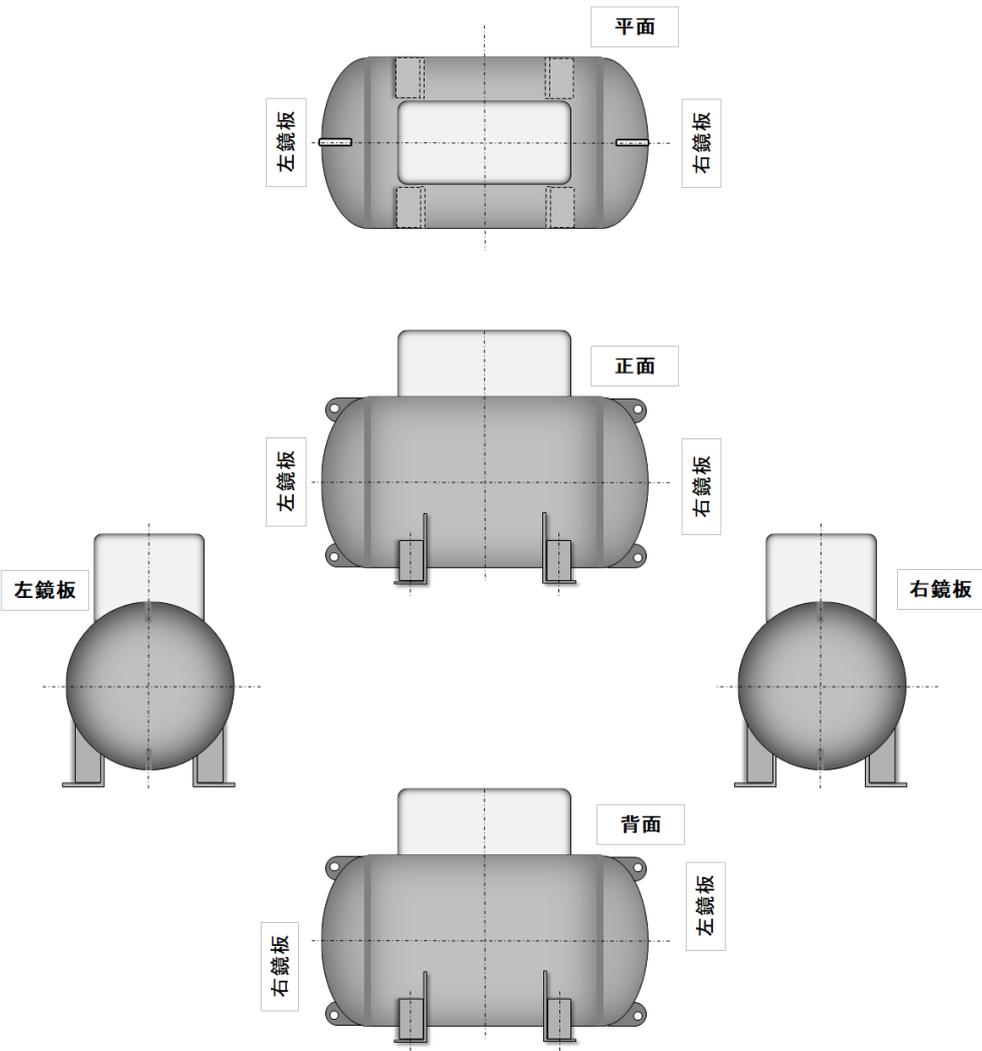
供給設備等の写真

外面の検査				
外面の目視検査				
1	バルク貯槽全体	白化:有 無	貯槽全体の〇〇%	写真添付
	塗装のはがれ	無 有	貯槽全体の〇〇%	有:図示 写真添付
	塗装の浮き・膨れ	無 有	貯槽全体の〇〇%	有:図示 写真添付
	付着物・苔	無 有	貯槽全体の〇〇%	有:図示 写真添付
	きず・変形	無 有	貯槽全体の〇〇%	
	その他			有:図示 写真添付
2	発錆(腐食)	貯槽全体の〇〇%		
	貯槽本体:鏡板	無 有	鏡板の〇〇%	有:図示 写真添付
	貯槽本体:胴板	無 有	胴板の〇〇%	有:図示 写真添付
	貯槽本体:溶接線	無 有	周継手/長手継手の〇〇%	有:図示 写真添付
	各ノズル:本体	無 有	腐食ノズル名	有:図示 写真添付
	各ノズル:溶接線	無 有	腐食ノズル溶接線名	有:図示 写真添付
	プロテクター:本体	無 有	プロテクターの〇〇%	有:図示 写真添付
	プロテクター:溶接線	無 有	プロテクター溶接線の〇〇%	有:図示 写真添付
	支柱又はサドル:本体	無 有	支柱又はサドルの〇〇%	有:図示 写真添付
	支柱又はサドル:溶接線	無 有	支柱又はサドルの溶接線の部位	有:図示 写真添付
	つり金具:本体	無 有	つり金具の〇〇%	有:図示 写真添付
	つり金具:溶接線	無 有	つり金具溶接線の部位	有:図示 写真添付
	アンカーボルト	無 有	アンカーボルトの部位	有:図示 写真添付
	その他	無 有		有:図示 写真添付
発錆部の措置等				
	発錆部のみ補修	無 有	:基準の有無	補修日 : 年 月 日
	全面再塗装	無 有	:基準の有無	再塗装日 : 年 月 日
	肉厚の測定検査	無 有	:基準の有無	測定日 : 年 月 日
	その他			
外面腐食の点検頻度等				
	充てん時点検	無 有	:点検者	点検日 : 年 月 日
	6月点検	無 有	:点検者	点検日 : 年 月 日
	1年点検	無 有	:点検者	点検日 : 年 月 日
	◎ 2年点検	無 有	:点検者	点検日 : 年 月 日
	4年点検	無 有	:点検者	点検日 : 年 月 日
	その他			

発錆の図示

1000kg未満

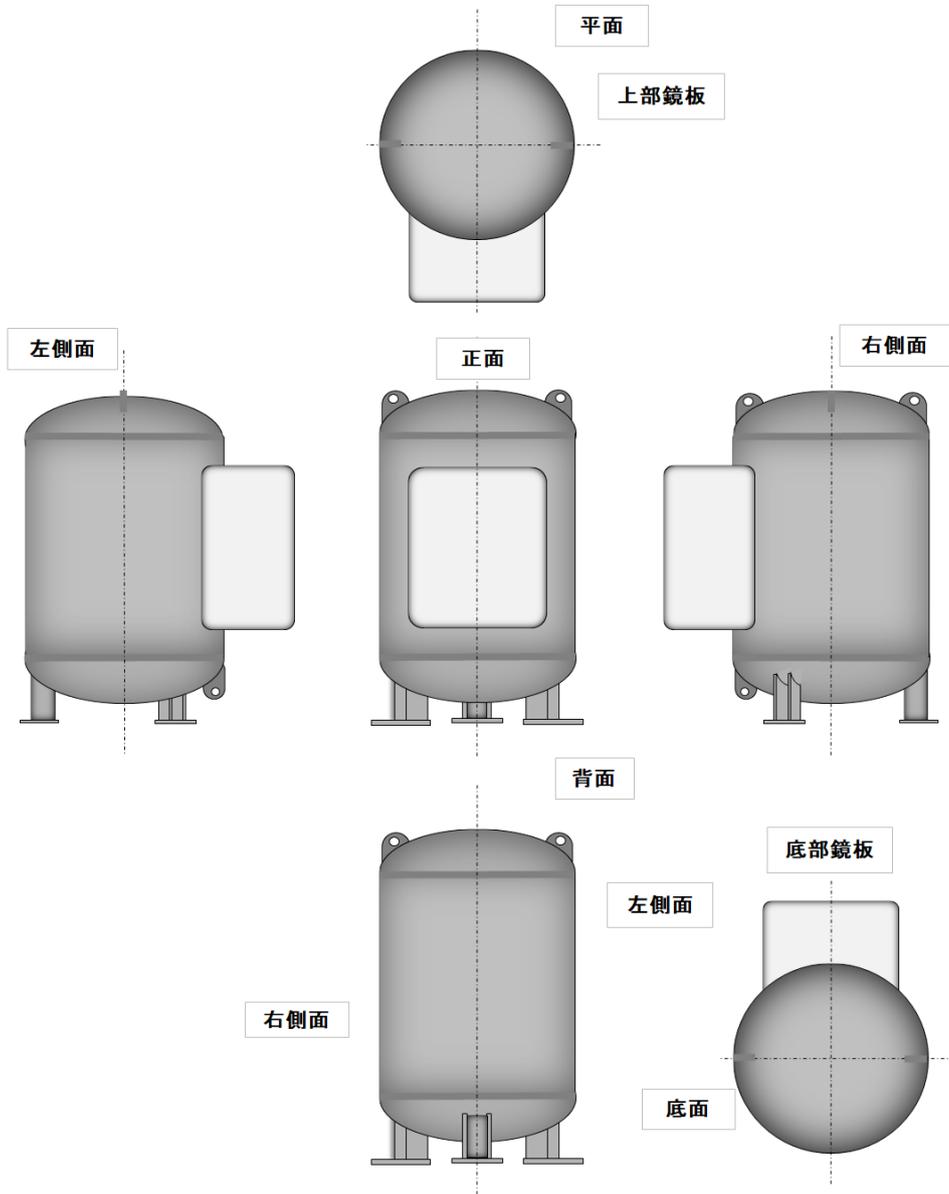
1000kg～3000kg未満



発錆の図示

1000kg未満

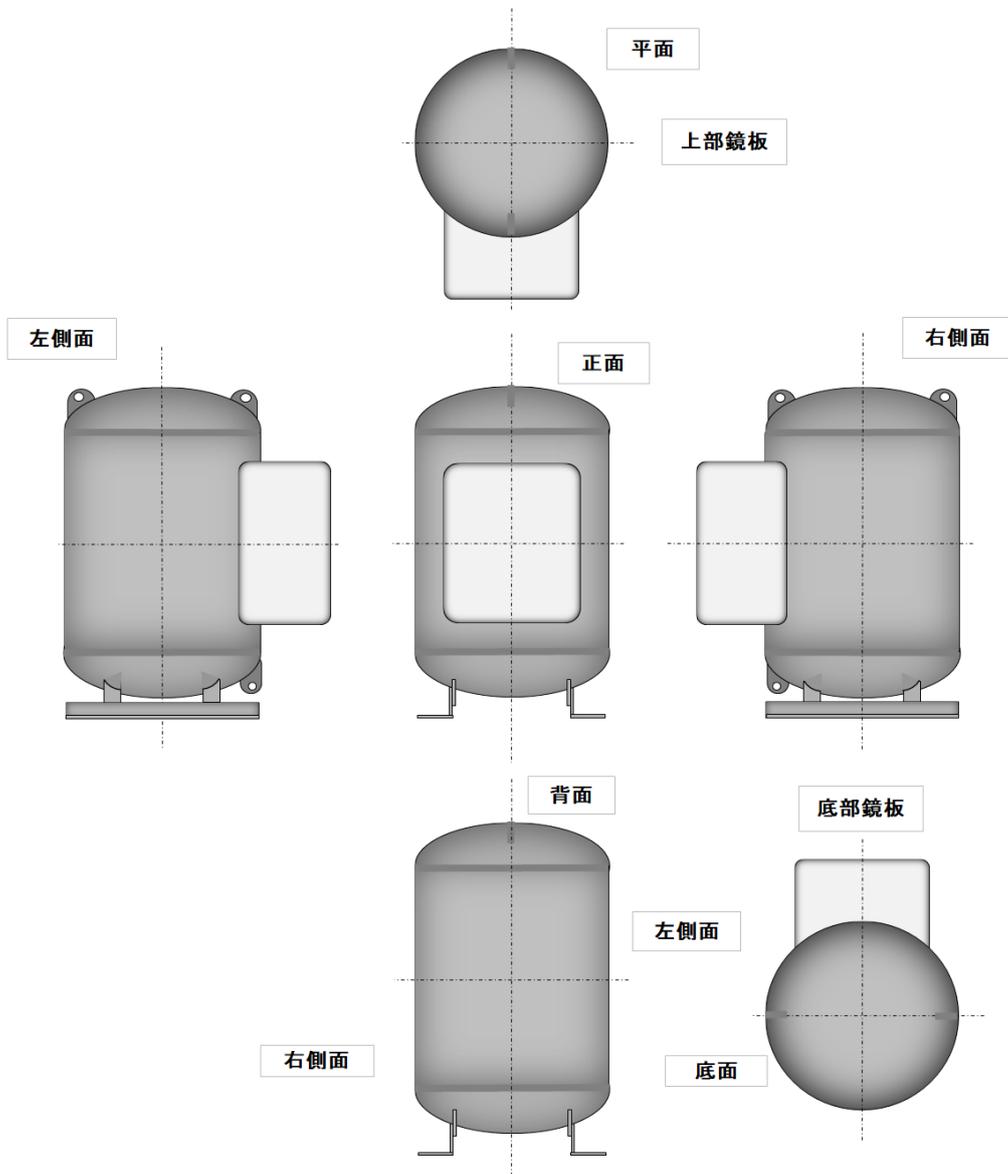
1000kg～3000kg未満



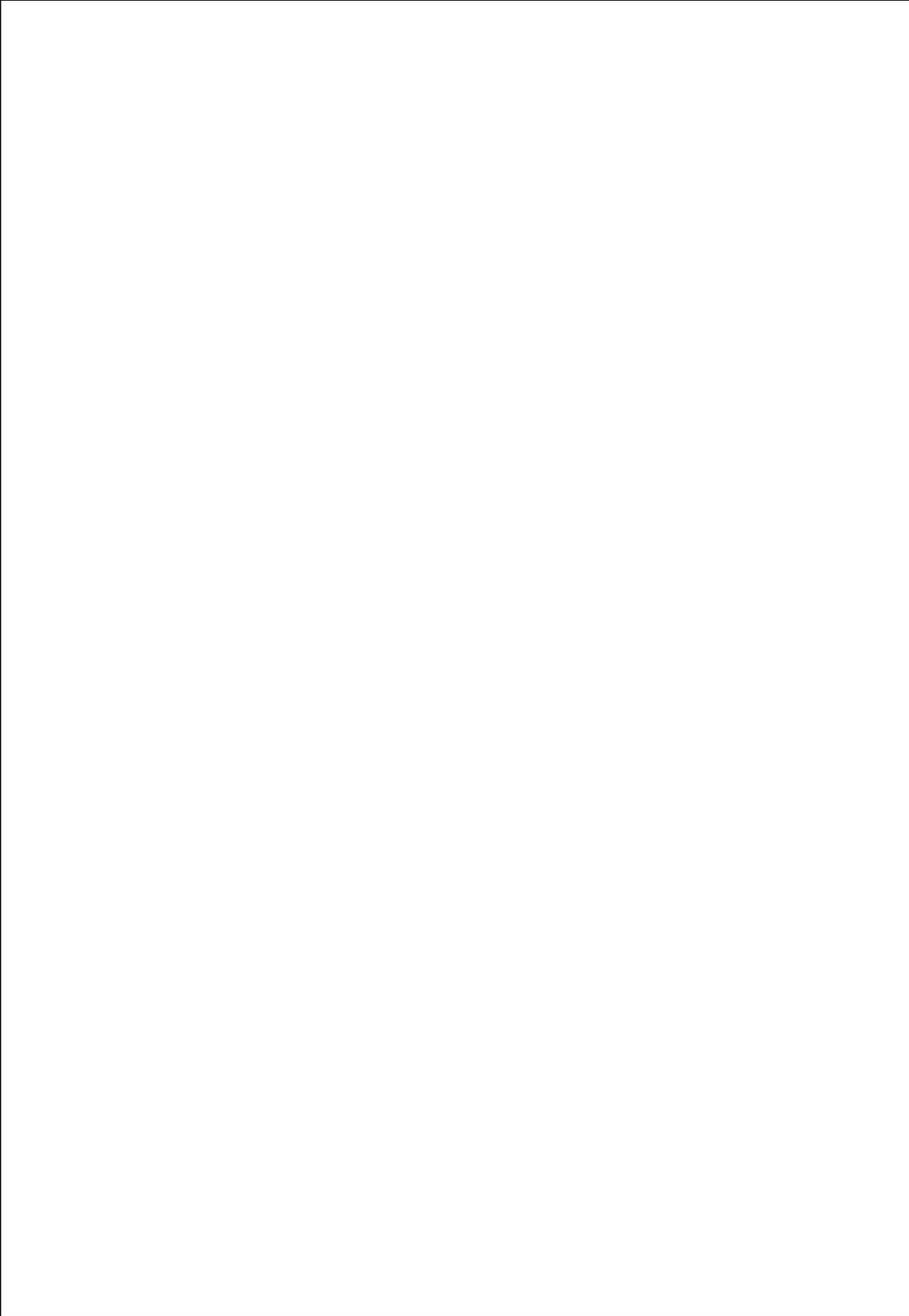
発錆の図示

1000kg未満

1000kg~3000kg未満



写真添付



6.2 バルク貯槽の経年劣化度調査

本調査事業では、バルク貯槽の初回告示検査により合格したバルク貯槽（以下「バルク 20 年合格貯槽」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合理化の可能性について検討し、技術的な観点から 25 年目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バルク 20 年合格貯槽を対象とし、20 年目の初回検査以降、5 年以内に行わなければならない次回検査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。

6.2.1 バルク貯槽の選定

バルク 20 年合格貯槽の経年劣化の傾向と要因を分析するため、再設置され、かつ使用されているバルク 20 年合格貯槽を被試験体として調達した。被試験体の調達計画を次の(1)に、調達した被試験体を次の(2)に示す。

(1)調達計画

被試験体となるバルク 20 年合格貯槽は、供給設備として、消費先に設置した後、設置年数を積んだバルク 20 年合格貯槽を対象に表 6.2.1-1 に示す基数を目標として、次に掲げる条件等を優先して調達した。

- 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バルク貯槽の初回 20 年目の告示検査において、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 6.2.1-1 被試験体の調達計画

事業者	地域	調達基数	備考
A	関東近辺	10 基	300kg 貯槽：4 基 500kg 貯槽：4 基 980kg 貯槽：2 基

(2) 調達した被試験体

調達したバルク 20 年合格貯槽の設置先の状況について、一部の外観を図 6.2.1-1 から図 6.2.1-6 に示す。また、バルク 20 年合格貯槽の経過年数、充填回数などの使用履歴を取り纏めたものを表 6.2.1-2 に示す。



図 6.2.1-1 試験体番号 A-2
再設置後経過年数 2 年 0 ヶ月



図 6.2.1-2 試験体番号 A-3
再設置後経過年数 1 年 4 ヶ月



図 6.2.1-3 試験体番号 B-1
再設置後経過年数 1 年 10 ヶ月



図 6.2.1-4 試験体番号 B-3
再設置後経過年数 1 年 9 ヶ月



図 6.2.1-5 試験体番号 C-1
再設置後経過年数 4ヶ月



図 6.2.1-6 試験体番号 C-2
再設置後経過年数 11ヶ月

※販売事業者及び緊急連絡先等の表示は、マスクングしております。

表 6.2.1-2 調達した試験体

事業者	被試験体 番号	容量 kg	型式 種別	バル貯槽 製造 事業者	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 2月 / 1998年 6月	18年 4ヶ月	戸建住宅	7,778	2018年 1月	2018年 6月	1年 2ヶ月	集合住宅	1,028	6	
	A-2	298	横置型 上取出	a社	1998年 3月 / 1998年 6月	18年 10ヶ月	集合住宅	2,308	2017年 6月	2017年 7月	2年 0ヶ月	業務用 厨房	3,036	22	
	A-3	298	横置型 上取出	a社	1998年 3月 / 1998年 7月	19年 4ヶ月	業務用 事務所	24,061	2017年 12月	2018年 4月	1年 4ヶ月	集合住宅	3,928	26	
	A-4	298	横置型 上取出	a社	1998年 8月 / 1998年 11月	18年 4ヶ月	戸建住宅	4,623	2017年 11月	2017年 12月	1年 8ヶ月	業務用 事務所	667	4	
	B-1	498	横置型 上取出	a社	1998年 11月 / 1999年 4月	17年 4ヶ月	集合住宅	20,714	2017年 9月	2017年 10月	1年 10ヶ月	集合住宅	4,883	18	
	B-2	498	横置型 上取出	a社	1999年 1月 / 1999年 4月	17年 4ヶ月	集合住宅	70,682	2017年 9月	2017年 10月	1年 10ヶ月	集合住宅	3,396	12	
	B-3	498	横置型 上取出	a社	1999年 3月 / 1999年 4月	17年 1ヶ月	業務用 厨房	112,750	2017年 6月	2017年 11月	1年 9ヶ月	集合住宅	4,446	14	
	B-4	498	横置型 上取出	a社	1999年 5月 / 1999年 9月	14年 2ヶ月	業務用 厨房	2,846	2017年 7月	2017年 7月	2年 1ヶ月	業務用 厨房	9,016	33	
	C-1	980	横置型 上取出	b社	1999年 10月 / 2000年 4月	18年 4ヶ月	集合住宅	30,595	2019年 1月	2019年 4月	4ヶ月	業務用 厨房	6,221	9	気化器方式
	C-2	980	横置型 上取出	a社	1999年 11月 / 2000年 4月	18年 0ヶ月	集合住宅	24,396	2018年 9月	2018年 9月	11ヶ月	集合住宅	5,682	14	

6.2.2 告示検査方法による試験結果

前記において調達した 10 基の被試験体について、次に掲げる仕様に従い、経年劣化度の調査を行った。

(1) 外面検査の妥当性の検討

各バルク 20 年合格貯槽の初回告示検査の検査報告書を基に、以下の項目により経年劣化による影響の確認を行った。

- ・ 外面目視検査（外部表面の汚濁等の除去、一部塗装の除去）
- ・ 外面肉厚測定（初回測定値との比較）
- ・ 溶接部の磁粉探傷試験（初回告示検査の欠陥補修部の健全性確認を含む）
- ・ 気密試験（常用の圧力の試験圧力による試験）
- ・ 耐圧試験（設計圧力の 1.5 倍の試験圧力による試験）

※各試験は、「バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHK S 0745」及び液石法例示基準「2.1 貯槽の耐圧試験及び気密試験」を参照して行う。

①外面目視検査

※目視により、腐食、割れ、きず、変形等の欠陥の有無の確認

表 6.2.1-3 外面目視検査の結果

被試験体 番号	耐圧部分		プロテクター		内部目視検査 (ファイバースコープによる)	
	初回 20 年 告示検査	今回 調査結果	初回 20 年 告示検査	今回 調査結果	初回 20 年 告示検査	今回 調査結果
A-1	合格	合格	合格	合格	合格	合格
A-2	合格	合格	合格	合格	合格	合格
A-3	合格	合格	合格	合格	合格	合格
A-4	合格	合格	合格	合格	合格	合格
B-1	合格	合格	合格	合格	合格	合格
B-2	合格	合格	合格	合格	合格	合格
B-3	合格	合格	合格	合格	合格	合格
B-4	合格 ¹⁾	合格 ¹⁾	合格	合格	合格	合格
C-1	合格	合格	合格	合格	合格	合格
C-2	合格	合格	合格	合格	合格	合格

注¹⁾ 前回告示検査で 2 箇所腐食あり、グラインダー処理する。
今回の検査では、腐食はなし。

②外面肉厚測定

表 6.2.1-4 外面肉厚測定の測定点

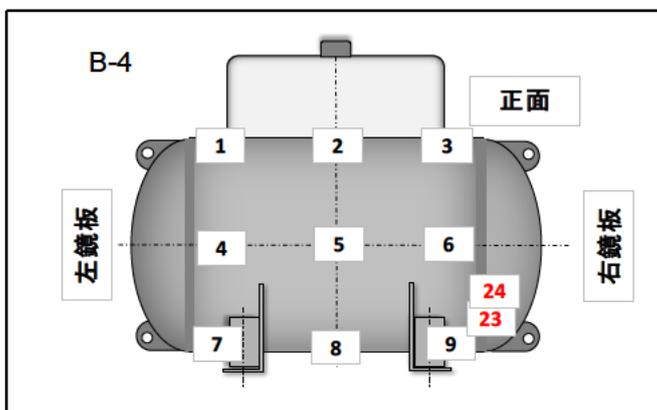
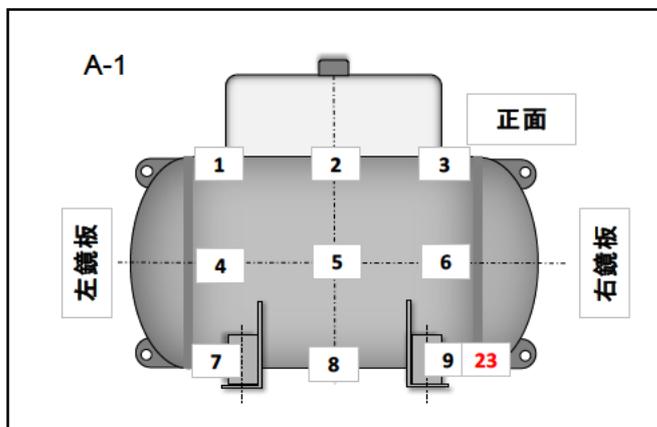
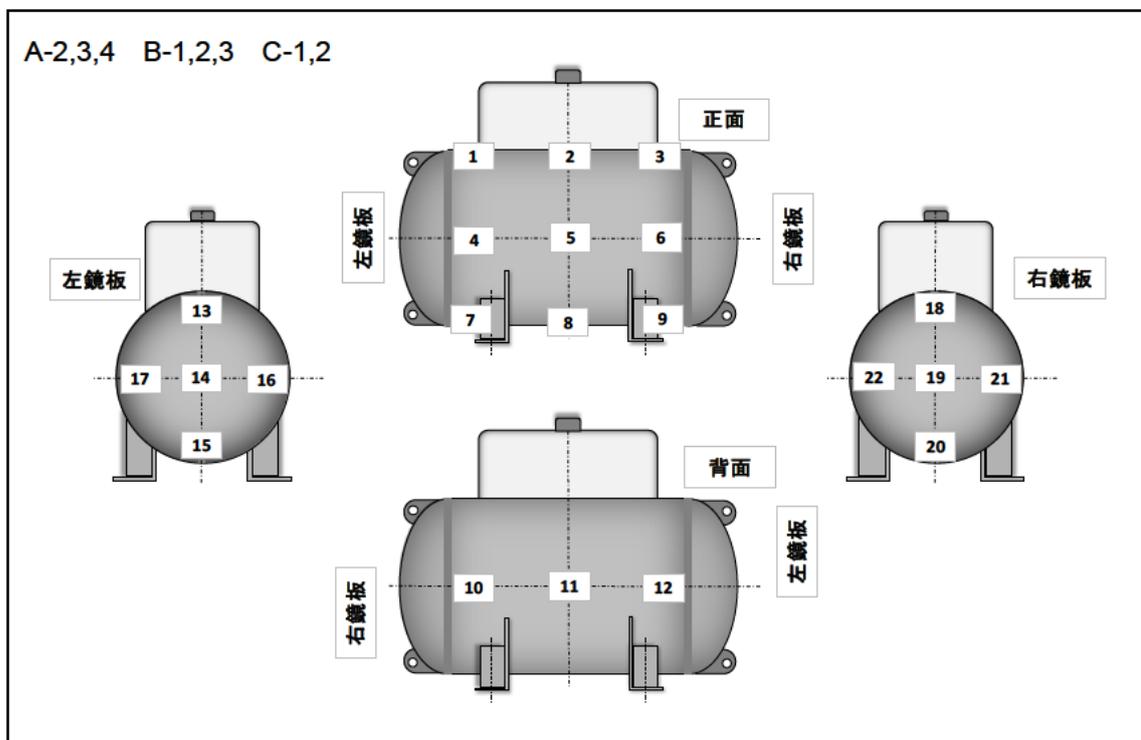


表 6.2.1-5 検査手順書

検査手順書（指示書）	バルク貯槽厚さ測定	2019.09
<p>イ) 肉厚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) 製作時の計算肉厚及び前回の測定値と比較して判定する。</p> <p>ロ) 測定肉厚が腐れ代を含む計算肉厚を越える場合は合格とする。</p> <p>ハ) 測定肉厚が腐れ代を含まない計算肉厚を割り込む場合は、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。又残存肉厚を測定し腐れ代を含まない計算肉厚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>		

表 6.2.1-6 測定結果

※バルク貯槽製造事業者の計算板厚以上を有しているものを合格とする。

被試験体 番号	容量 Kg	型式 種別	仕様		測定結果 単位mm													結果			
			使用板厚	計算板厚	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	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	合格
						今回	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
			鏡板	6.4	5.55	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23 ¹⁾	—	判定		
						初回	6.3	6.2	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.0	—	合格
						今回	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.1	—	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	6.2	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1	合格
						今回	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1
			鏡板	6.4	5.55	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定		
						初回	6.3	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	—	—	合格	
						今回	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.3	6.3	6.3	6.2	—	—	合格	
A-3	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	6.2	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1	6.1	6.2	6.1	合格	
						今回	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	6.2	6.1	6.2	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	6.4	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	—	—	合格	
						今回	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.2	—	—	合格

※バルク貯槽製造事業者の計算板厚以上を有しているものを合格とする

被試験体 番号	容量 Kg	型式 種別	仕様		測定結果 単位mm												結果				
			使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12			
A-4	298	横置型 上取出	胴板	使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定		
				6.2	5.89	初回	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	合格
						今回	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.2	6.2	6.3	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	合格	
			鏡板	使用板厚	計算板厚	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定		
				6.4	5.55	初回	6.4	6.3	6.4	6.3	6.4	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4	6.4	—	—	合格	
						今回	6.3	6.3	6.3	6.4	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	—	—	合格	
B-1	498	横置型 上取出	胴板	使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定		
				7.8	7.36	初回	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.7	合格
						今回	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.7	合格
			鏡板	使用板厚	計算板厚	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定		
				7.9	6.94	初回	7.8	7.8	7.8	7.9	7.8	7.9	7.6	7.8	7.8	7.8	—	—	合格		
						今回	7.8	7.6	7.9	7.8	7.8	7.9	7.6	7.8	7.8	7.8	—	—	合格		
B-2	498	横置型 上取出	胴板	使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定		
				7.8	7.36	初回	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6	7.8	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7	7.7	合格	
						今回	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6	7.8	7.8	7.8	7.7	7.8	7.7	合格		
			鏡板	使用板厚	計算板厚	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定		
				7.9	6.94	初回	7.6	7.5	7.5	7.5	7.5	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	—	—	合格		
						今回	7.6	7.5	7.5	7.4	7.5	7.6	7.5	7.5	7.5	7.5	—	—	合格		

※バルク貯槽製造事業者の計算板厚以上を有しているものを合格とする

被試験体 番号	容量 Kg	型式 種別	仕様		測定結果 単位mm													結果			
			使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
B-3	498	横置型 上取出	胴板	使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定		
				7.8	7.36	初回	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	合格
						今回	7.7	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	合格
			鏡板	使用板厚	計算板厚	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定		
				7.9	6.94	初回	7.9	7.6	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.7	7.9	7.9	7.9	—	—	合格	
						今回	7.8	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.7	7.8	7.7	7.8	7.7	7.8	—	—	合格
B-4	498	横置型 上取出	胴板	使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定		
				7.8	7.36	初回	7.8	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7	合格	
						今回	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7	7.8	7.7	7.8	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7	合格	
			鏡板	使用板厚	計算板厚	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23 ²⁾	24 ²⁾	判定		
				7.9	6.94	初回	7.8	7.7	7.9	7.9	7.8	7.7	7.5	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6	7.3	合格	
						今回	7.7	7.6	7.7	7.8	7.7	7.6	7.5	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.4	合格	

※バルク貯槽製造事業者の計算板厚以上を有しているものを合格とする

被試験体 番号	容量 Kg	型式 種別	仕様		測定結果 単位mm													結果		
			使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
C-1	980	横置型 上取出	胴板	使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定	
				11.0	10.05	初回	10.7	10.7	10.7	10.7	10.8	10.7	10.6	10.7	10.8	10.8	10.7	10.7	合格	
						今回	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.8	10.7	10.7	合格	
			鏡板	使用板厚	計算板厚	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定	
				12.0	9.55	初回	11.5	11.3	11.4	11.5	11.6	11.4	11.3	11.4	11.4	11.4	11.4	—	—	合格
						今回	11.4	11.3	11.5	11.5	11.4	11.5	11.3	11.4	11.4	11.4	11.4	—	—	合格
C-2	980	横置型 上取出	胴板	使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定	
				10.0	9.56	初回	10.2	10.3	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.3	10.2	合格	
						今回	10.2	10.3	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.3	10.1	10.2	10.3	10.1	合格	
			鏡板	使用板厚	計算板厚	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定	
				10.0	9.02	初回	9.9	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	—	—	合格
						今回	10.0	10.0	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	10.0	9.8	9.9	9.9	—	—	合格

注¹⁾ A-1 初回告示検査で胴板長手継手のオーバーラップ部をグラインダー処理後、板厚の測定を行う。今回の検査で再測定、問題なし。

注²⁾ B-4 初回告示検査で鏡板部に2箇所腐食あり、グラインダー処理後、板厚の測定を行う。今回の検査で再測定、問題なし。

③溶接部の磁粉探傷試験

※バルク貯槽の告示検査等に関する基準（KHK S 0745）による。

※合格基準は、KHK S 0745 2.2.3.3 合格基準による

表 6.2.1-7 検査手順書

検査手順書（指示書）	バルク貯槽磁粉探傷試験	2019.09												
イ) 当社が行う磁粉探傷試験														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>分類の条件</th> <th>試験方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>磁化方法</td> <td>極間法</td> </tr> <tr> <td>磁粉適用に対する磁化の磁気</td> <td>連続法</td> </tr> <tr> <td>磁粉の種類</td> <td>黒色磁粉</td> </tr> <tr> <td>磁粉の分散媒</td> <td>水+界面活性剤</td> </tr> <tr> <td>磁化電流の種類</td> <td>交流</td> </tr> </tbody> </table>		分類の条件	試験方法	磁化方法	極間法	磁粉適用に対する磁化の磁気	連続法	磁粉の種類	黒色磁粉	磁粉の分散媒	水+界面活性剤	磁化電流の種類	交流	
分類の条件	試験方法													
磁化方法	極間法													
磁粉適用に対する磁化の磁気	連続法													
磁粉の種類	黒色磁粉													
磁粉の分散媒	水+界面活性剤													
磁化電流の種類	交流													
ロ) 磁粉探傷試験条件は次による。														
磁粉の配置 : 溶接線に対し直交して配置する。 溶接線に対し平行して配置する。														
探傷ピッチ : 直交して配置する場合 70 mm以下とする。 平行して配置する場合 70 mm以下とする。														
通電時間 : 磁粉の適用が終了し磁粉模様の観察が終わるまでの間。														
ハ) 磁粉探傷試験は磁粉探傷試験技術者（レベル 1 以上）が行う。														
ニ) 試験の前処理として次の事項を行う。														
I) カップワイヤー等を用い、試験面及び溶接線の両側（100 mm）の範囲の錆落としを行う。														
II) 溶接面の波、起伏の激しいものはドレッシングを行う。														
ホ) 試験の実施範囲は次による。														
突合せ溶接部のうち、長手継手と周継手が交差する部分で、周継手側は長手継手から左右 30 cm以上、長手継手側は周継手から 30 cm以上の範囲とする。														
ヘ) 検査液濃度は、使用する磁粉の種類によって次の通りとする。														
非蛍光湿式磁粉 3.0 ~ 5.0 g/l														
ト) 標準試験片を用いて次の各項の確認を行う。														
標準試験片は、JIS Z 2320-1 に示す A 型試験片（A2-15/50）を用いる。														
I) 磁場の強さの確認。														
II) 磁場の方向の確認。														
III) 検査液の性能の確認。														
チ) 磁粉模様の観察は、検査液の適用中に観察する方法による。														

《判定 及び 処置》

- イ) 磁粉模様が検出されない時、合格とする。
- ロ) 磁粉模様が検出された時、グラインダー処理後残存肉厚が腐れ代を含まない計算肉厚を越える場合は合格とする。
- ハ) 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。

表 6.2.1-7 磁粉探傷試験の結果

被試験体 番号		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・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20%	アンダーカット	5	グラインダー加工	合格
			オーバーラップ	8	グラインダー加工	合格
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20% ノズルネック及びプロテクター取付金具	なし	—	—	合格
A-2	初回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20%	クレーター割れ	9	グラインダー加工	合格
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20% ノズルネック及びプロテクター取付金具	なし	—	—	合格
A-3	初回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20%	クレーター割れ	3	グラインダー加工	合格
			クレーター割れ	3	グラインダー加工	合格
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20% ノズルネック及びプロテクター取付金具	なし	—	—	合格
A-4	初回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20%	クレーター割れ	9	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
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20% ノズルネック及びプロテクター取付金具	なし	—	—	合格
B-1	初回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20%	クレーター割れ	11	グラインダー加工	合格
			クレーター割れ	15	グラインダー加工	合格
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20% ノズルネック及びプロテクター取付金具	なし	—	—	合格
B-2	初回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20%	クレーター割れ	10	グラインダー加工	合格
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20% ノズルネック及びプロテクター取付金具	なし	—	—	合格
B-3	初回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20%	なし	—	—	合格
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20% ノズルネック及びプロテクター取付金具	なし	—	—	合格
B-4	初回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20%	なし	—	—	合格
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の 20% ノズルネック及びプロテクター取付金具	なし	—	—	合格

被試験体 番号		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
C-1	初回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の20% 全線	オーバーラップ	17	グラインダ加工	合格
	今回	長手・周継手の交叉部を含 み、溶接部全長の20% ハルネック及びブローカーク取付金具	なし	—	—	合格
C-2	初回	長手・周継手の交叉部を含み、 溶接部全長の20% 全線	オーバーラップ	40	グラインダ加工	合格
			オーバーラップ	15	グラインダ加工	合格
			オーバーラップ	12	グラインダ加工	合格
	今回	長手・周継手の交叉部を含 み、溶接部全長の20% ハルネック及びブローカーク取付金具	なし	—	—	合格

④気密試験

※常用の圧力の試験圧力による試験

※バルク貯槽の告示検査等に関する基準（KHK S 0745）による。

※合格基準は、KHK S 0745 2.2.4.3 合格基準による

表 6.2.1-8 気密試験の結果

被試験体 番号		試験流体	試験圧力 MPa	試験結果	判定	備考
A-1	初回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取替後
	今回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取付のまま
A-2	初回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取替後
	今回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取付のまま
A-3	初回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取替後
	今回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取付のまま
A-4	初回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取替後
	今回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取付のまま
B-1	初回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取替後
	今回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取付のまま
B-2	初回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取替後
	今回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取付のまま
B-3	初回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取替後
	今回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取付のまま

B-4	初回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取替後
	今回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取付のまま

被試験体 番号		試験流体	試験圧力 MPa	試験結果	判定	備考
C-1	初回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取替後
	今回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取付のまま
C-2	初回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取替後
	今回	窒素	1.8	漏えい等の異常なし	合格	附属品取付のまま

⑤耐圧試験

※設計圧力の 1.5 倍の試験圧力による試験

※液石法の例示基準「21.貯槽の耐圧試験及び気密試験」による。

※合格基準は、同上例示基準の合格基準による

表 6.2.1-9 耐圧試験の結果

被試験体 番号	試験 流体	試験圧力 MPa	試験結果	判定	備 考
A-4	水	2.7	膨らみ、伸び、漏えい等の異常なし	合格	恒久増加率：3.4% 耐圧試験後の MT：合格
B-2	水	2.7	膨らみ、伸び、漏えい等の異常なし	合格	恒久増加率：1.4% 耐圧試験後の MT：合格
C-1	水	2.7	膨らみ、伸び、漏えい等の異常なし	合格	恒久増加率：0.8% 耐圧試験後の MT：合格

(2) 告示検査方法による試験結果のまとめ

①外面目視検査

バルク 20 年合格貯槽の再検査にて、設置期間が 1 年から 2 年と短期ではあるが、塗装の状態がよく、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外面肉厚測定

表 6.2.1-6 のとおり、初回測定値と今回の測定値において、著しい差異並びに減肉はなかった。また、初回補修箇所においても問題はなかった。

③溶接部の磁粉探傷試験

表 6.2.1-7 のとおり、初回告示検査の欠陥補修部の健全性確認を含み、全周の 20% 範囲において問題はなかった。また、耐圧試験を行った A-4、B-2、C-1 は、全周の溶接線の MT を行い、問題は見られなかった。

④気密試験

25 年目告示検査における気密試験の代替方法を検討するにあたり、被試験体 10 基について、設計圧力 1.8MPa における気密試験を行った。表 6.2.1-8 のとおり、附属品を取り付けたままにて漏えい等はなかった。

⑤耐圧試験

告示検査の項目ではないが、2.7MPa の試験圧力による耐圧試験を行い、20 年以上使用されているバルク貯槽の耐圧強度を確認した。表 6.2.1-9 のとおり、特に異常はなく、問題は見られなかった。

(3) 25 年目告示検査について

25 年目告示検査の緩和において、20 年バルク合格貯槽を再設置し、更に使用したのに対し、表 6.2.1-6 の肉厚測定結果をもとに、現に使用された期間における減肉値が、今後も外面の塗装状態は良好とした仮定で、計算板厚を割るまでに、どのくらいの余寿命があるかを推察する。

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量は、使用期間に対し比例し腐食が進展するものと仮定し余寿命を求める。

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、累計期間と同様で、変わらないものとする
- ・内面の LP ガスに接する環境は、累計期間と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減肉量は、使用板厚に対し、測定結果の最も小さい測定値より求める。

⑤余寿命は、累計使用期間における減肉量から、現に残存する余裕値に対し、設計最小厚さを割らない年数を計算する。

※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。

※前記報告のバルク 20 年合格貯槽について、更に、内外面の非破壊検査、ガス成分の分析等を引き続き行った。

表 6.2.1-10 各貯槽の余寿命検討一覧

事業者	被試験体番号	容量 Kg	型式 種別	バル貯 槽製造 事業者	製造年月 使用開始 年月	累計使用期間				仕様・測定結果 単位 mm						余寿命 計算 単位： 年
						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 板厚	計算板厚	測定結果 の最小値	減肉 量	残存 余有 板厚	
A	A-1	298	横置型 上取出	a社	1998年2月 1998年6月	18年 4ヶ月	1年 2ヶ月	19.5年	8,806	胴板	6.2	5.89	6.2	0.0	0.31	—
										鏡板	6.4	5.55	6.1	0.3	0.55	35.7
	A-2	298	横置型 上取出	a社	1998年3月 1998年6月	18年 10ヶ月	2年 0ヶ月	20.9年	5,344	胴板	6.2	5.89	6.1	0.1	0.21	43.8
										鏡板	6.4	5.55	6.2	0.2	0.65	67.9
	A-3	298	横置型 上取出	a社	1998年3月 1998年7月	19年 4ヶ月	1年 4ヶ月	20.7年	27,989	胴板	6.2	5.89	6.1	0.1	0.21	43.8
										鏡板	6.4	5.55	6.2	0.2	0.65	67.2
	A-4	298	横置型 上取出	a社	1998年8月 1998年11月	18年 4ヶ月	1年 8ヶ月	20.0年	5,290	胴板	6.2	5.89	6.2	0.0	0.31	—
										鏡板	6.4	5.55	6.3	0.1	0.75	150.0
	B-1	498	横置型 上取出	a社	1998年11月 1999年4月	17年 4ヶ月	1年 10ヶ月	19.2年	25,597	胴板	7.8	7.36	7.7	0.1	0.34	65.2
										鏡板	7.9	6.94	7.6	0.3	0.66	42.2
	B-2	498	横置型 上取出	a社	1999年1月 1999年4月	17年 4ヶ月	1年 10ヶ月	19.2年	74,078	胴板	7.8	7.36	7.7	0.1	0.34	65.2
										鏡板	7.9	6.94	7.5	0.4	0.56	26.8
	B-3	498	横置型 上取出	a社	1999年3月 1999年4月	17年 1ヶ月	1年 9ヶ月	18.9年	117,196	胴板	7.8	7.36	7.7	0.1	0.34	64.2
										鏡板	7.9	6.94	7.7	0.2	0.76	71.8
	B-4	498	横置型 上取出	a社	1999年5月 1999年9月	14年 2ヶ月	2年 1ヶ月	16.3年	11,862	胴板	7.8	7.36	7.7	0.1	0.34	55.4
										鏡板	7.9	6.94	7.8	0.1	0.86	140.1
C-1	980	横置型 上取出	b社	1999年10月 2000年4月	18年 4ヶ月	4ヶ月	18.7年	36,816	胴板	11.0	10.05	10.7	0.3	0.65	40.5	
									鏡板	12.0	9.55	11.3	0.7	1.75	46.7	
C-2	980	横置型 上取出	a社	1999年11月 2000年4月	18年 0ヶ月	11ヶ月	20.0年	30,078	胴板	10.0	9.56	10.1	(+0.1)	0.54	—	
									鏡板	10.0	9.02	9.8	0.2	0.78	78.0	

※外面の肉厚想定結果より、今後、同一環境で使用するにおいては、余寿命の最小値は、26.8年であった。

これより、貯槽の内外面の環境を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量が測定された。

※初回告示検査B-4において、腐食補修した部位の測定結果の最小値7.3mmでの余寿命は減肉量0.6mm、残存余裕板厚0.36mm

より、9.7年となる（P49表）。故に、外面腐食は早期に発見し、発錆部が小さいうちに補修を講じることが重要である。

別添

報告書例 被試験体番号：B-3

※特定される記載事項は削除。

様式1

2019年9月30日

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： _____ ⑩

告示検査実施日： 2019年9月30日

次回検査の日 バルク貯槽： 2024年9月29日

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 (初回：2017年6月2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 2019年9月11日 ～ 至 2019年9月17日

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	1.24m ³ (498kg)	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6月2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	検査員		合格
内部目視試験	様式4-1参照	検査員		合格
肉厚試験	様式4-2参照	超音波厚さ測定・レベル1		合格
磁粉探傷試験	様式5-1参照	極間法磁粉探傷検査・レベル1		合格
浸透探傷試験	様式5-2参照	染色探傷検査・レベル1		
気密試験	様式6参照	検査員		合格
			判定	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

バルク貯槽告示検査報告書	検査実施年月日	2019年9月12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	1.24m ³ (498kg)	製造メーカー	
設計最小板厚			
胴板	7.36mm	鏡板	6.94mm

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					
4					
5					

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

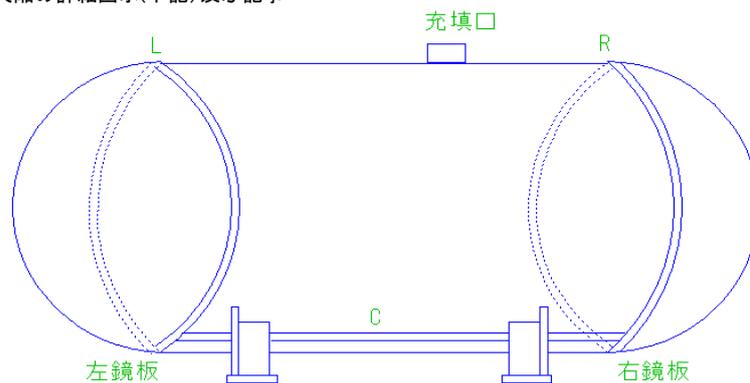
符号	欠陥箇所	欠陥種類	欠陥形状 長さmm	欠陥処置方法	検査結果
1					-
2					

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
----------	----

外部 目視検査 欠陥の詳細図示(下記)及び記事



内部目視検査

様式4-1

バルク貯槽告示検査報告書	検査実施年月日	2019年9月17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	1.24m ³ (498kg)	製造メーカー	

設計最小板厚

胴板	7.36mm	鏡板	6.94mm
----	--------	----	--------

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					合格
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

バルク貯槽告示検査報告書	検査実施年月日	2019年9月13日
	検査実施者	

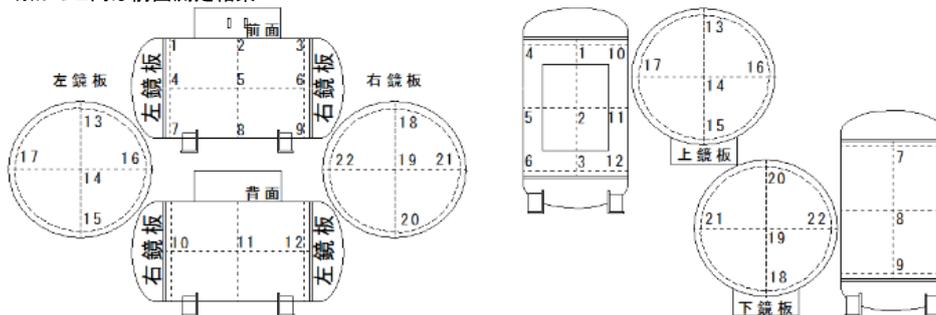
特定設備検査合格証番号		合格証発行年月日	
内容積	1.24m ³ (498kg)	製造メーカー	
設計最小板厚			
胴板	7.36mm	鏡板	6.94mm
使用板厚			
胴板	7.8mm	鏡板	7.9mm
2.2.2.2 検査方法		<input type="checkbox"/> 初めての告示検査	<input checked="" type="checkbox"/> 2回目以降の告示検査
検査方法	JIS Z2355に準拠して行う		
合格基準	バルク貯槽の製造事業者が設計時に算出した最小板厚以上を有するものを合格とする		

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	測定番号	測定結果	測定番号	測定結果
1 胴板	7.70 (7.80)	10 胴板	7.80 (7.80)	19 鏡板	7.70 (7.70)
2 胴板	7.80 (7.80)	11 胴板	7.80 (7.80)	20 鏡板	7.80 (7.90)
3 胴板	7.80 (7.80)	12 胴板	7.80 (7.80)	21 鏡板	7.70 (7.90)
4 胴板	7.70 (7.80)	13 鏡板	7.80 (7.90)	22 鏡板	7.80 (7.90)
5 胴板	7.80 (7.80)	14 鏡板	7.70 (7.60)		
6 胴板	7.80 (7.80)	15 鏡板	7.80 (7.90)		
7 胴板	7.70 (7.80)	16 鏡板	7.80 (7.90)		
8 胴板	7.80 (7.80)	17 鏡板	7.80 (7.90)		
9 胴板	7.80 (7.80)	18 鏡板	7.80 (7.90)		
				総合判定	合格

合格基準: 設計最小肉厚 ≤ 測定最小肉厚

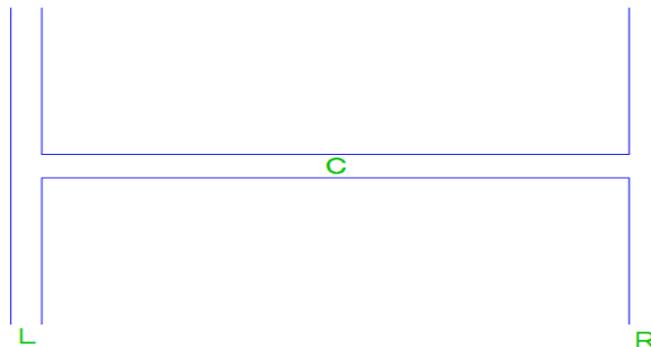
※かつこ内は前回測定結果



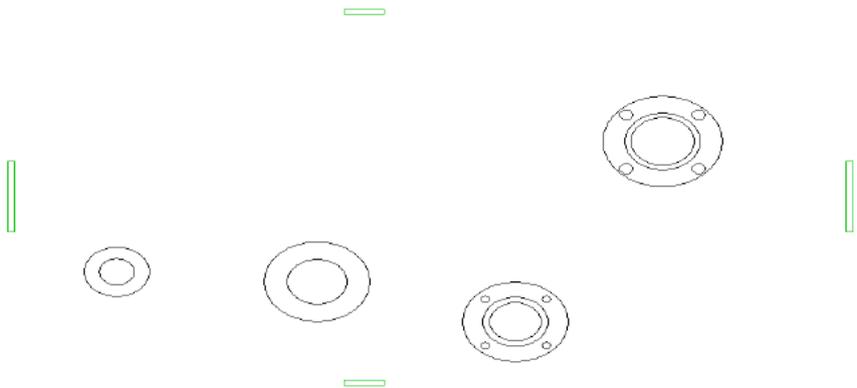
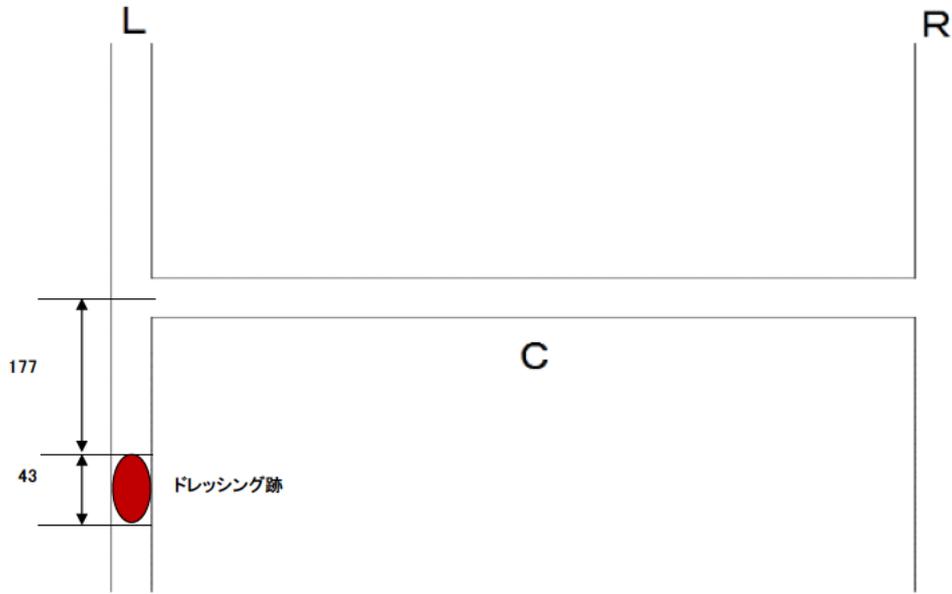
バルク貯槽告示検査報告書	検査実施年月日	2019年9月17日			
	検査実施者				
特定設備検査合格証番号		合格証発行年月日			
内容積	1.24m ³ (498kg)	製造メーカー			
2.2.3.2 検査方法	<input checked="" type="checkbox"/> 磁粉探傷試験				
検査方法	JIS G0565に準拠して行う				
合格基準	バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS 0745 2.2.3.3 合格基準による)				
試験範囲	ネック及びプロテクター取り付け金具				
	長手・周継手の交差部を含み、溶接部全長の20%以上				
	長手方向	周方向			
	234mm以上	639mm以上			
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		
紫外線照射灯	-	磁粉濃度	3~5g/l		
磁化方法	交流極間法	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
	ネック及びプロテクタ取付金具				合格
	長手・周継手交差部				合格
				総合判定	合格

割れによる磁粉模様が検出された場合は不合格

前回試験結果



磁粉探傷試験 欠陥の詳細図示(下記)及び記事



バルク貯槽告示検査報告書	検査実施年月日	2019年9月11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	1.24m ³ (498kg)	製造メーカー	

2.2.4.2 検査方法

検査方法	バルク貯槽の告示検査に関する基準 (KHKS 0745 2.2.4.2 a)~l) 検査方法による)		
合格基準	バルク貯槽の告示検査に関する基準 (KHKS 0745 2.2.4.3 合格基準による)		
試験流体	<input checked="" type="checkbox"/> 窒素	<input type="checkbox"/> その他	
気密試験圧力	1.8	MPa	
試験結果			合格

※漏えい等異常がないこと → 合格

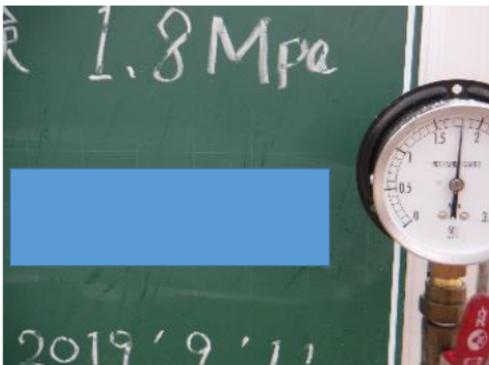
写真添付
外観



気密試験



気密検査



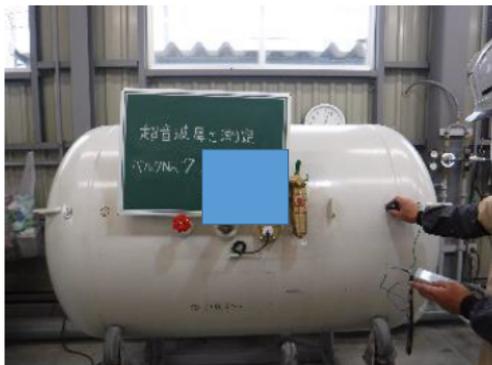
貯槽内LPG濃度測定



内部目視検査



肉厚測定



写真添付

磁粉探傷試験



磁粉探傷試験(ネック部)



写真添付

内部観察



内部観察



内部観察



内部観察



内部観察



内部観察



バルク貯槽の技術基準適合確認

様式7

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	1.24m ³ (498kg)	製造メーカー	

3.2 支柱等及び吊り金具に係わる技術適合確認

検査方法	バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS 0745 3.2.2 検査方法による)				
合格基準	バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS 0745 3.2.3 合格基準による)				
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					
技術適合結果					合格

3.3 塗装等に係わる技術基準適合確認

塗装等の方法	バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS 0745 3.3.2 塗装等の方法による)		
検査方法	バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS 0745 3.3.3 検査方法による)		
合格基準	バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS 0745 3.3.4 合格基準による)		
符号	確認箇所	塗膜厚さ 単位 μm	検査結果
1			
2			
塗装等の適合結果			合格

6.2.3 非破壊検査の妥当性の検討

本調査事業では、バルク 20 年合格貯槽を供給設備に再設置し、更に 5 年後の 2 回目以降の告示検査方法の合理化の可能性を検討するため、前述 6.2.1 バルク貯槽の選定による被試験体 10 基に対し、告示検査仕様により把握した経年劣化傾向を踏まえ、20 年目の初回検査以降、5 年以内に行わなければならない 2 回目告示検査を検討し、告示検査方法の効率化及び適切な告示検査のあり方について提案を行うため、バルク 20 年合格貯槽の外表面調査及び内面調査を行った。

(1)経年バルク貯槽の調達

20 年告示検査に合格したバルク貯槽であって、供給設備に再設置し、再使用実績を有するものを試験体とし、調達を次により行った。

①調達計画

バルク 20 年合格貯槽 10 基を調達した。

②調達した被試験体

バルク貯槽の経年劣化調査にて調達したバルク 20 年合格貯槽基数 10 基は前述 6.2.1 により選定され、残留ガスを処理後、告示検査の仕様により検査され、気密検査を終了したものを調達した。本試験の被試験体の様子を図 6.2.3-1 に、履歴概要を表 6.2.3-1 に示す。

<p>A-1 298kg 告示検査合格年月 2018/06 再使用経過年月 1年2ヶ月</p>	
<p>A-2 298kg 告示検査合格年月 2017/06 再使用経過年月 2年0ヶ月</p>	
<p>A-3 298kg 告示検査合格年月 2017/12 再使用経過年月 1年4ヶ月</p>	

図 6.2.3-1 調達した被試験体

<p>A-4 298kg 告示検査合格年月 2017/11 再使用経過年月 1年8ヶ月</p> <p>※耐圧試験 実施試験体</p>	
<p>B-1 498kg 告示検査合格年月 2017/9 再使用経過年月 1年10ヶ月</p>	
<p>B-2 498kg 告示検査合格年月 2017/09 再使用経過年月 1年10ヶ月</p> <p>※耐圧試験 実施試験体</p>	

<p>B-3 498kg 告示検査合格年月 2017/06 再使用経過年月 1年9ヶ月</p>	
<p>B-4 498kg 告示検査合格年月 2017/07 再使用経過年月 2年1ヶ月</p>	
<p>C-1 980kg 告示検査合格年月 2019/01 再使用経過年月 0年4ヶ月</p> <p>※耐圧試験 実施試験体</p>	

C-2

980kg

告示検査合格年月

2018/09

再使用経過年月

0年11ヶ月



表 6.2.3-1 令和元年度に調達した被試験体

	試験体 番号	容量	型式	バルク貯槽仕様・用途等				LPガス使用量			充填量/充填回数			
				告示検査年月	再設置年月	使用年月	消費者種別	年合計 m ³ /年	月間最高 m ³ /月	月間最低 m ³ /月	年合計 kg/回数	月最高 kg/回数 /該当月	月最低 kg/回数 /該当月	
告示検査後以降履歴	1	A-1	298	横置型	2018年1月	2018年6月	1年2ヶ月	集合住宅	449.0	55.2	18.8	980/5回	175/1回/2月	0
	2	A-2	298	横置型	2017年6月	2017年7月	2年0ヶ月	業務用厨房	772.9	79.5	52.9	1,706.5/11回	154.3/3回/1月	0/9月
	3	A-3	298	横置型	2017年12月	2018年4月	1年4ヶ月	集合住宅	1,500.0	194.6	64.1	3,050/20回	346/3回/1月	123/1回/6月
	4	A-4	298	横置型	2017年11月	2017年12月	1年8ヶ月	業務用事務所	204.0	43.2	0.3	342/2回	192.5/1回/2月	0
	5	B-1	498	横置型	2017年9月	2017年10月	1年10ヶ月	集合住宅	1,360.0	161.0	51.5	2,838/10回	337/1回/11月	0
	6	B-2	498	横置型	2017年9月	2017年10月	1年10ヶ月	集合住宅	1,052.0	132.2	44.4	2,781.2/9/7回	370/1回/12月	0
	7	B-3	498	横置型	2017年6月	2017年11月	1年9ヶ月	集合住宅	1,222.0	161.4	50.0	1,965/8回	317/1回/12月	0
	8	B-4	498	横置型	2017年7月	2017年7月	2年1ヶ月	業務用厨房	2,203.5	212.7	164.1	4,455.2/16回	631.4/2回/1月	261.9/1回/4月
	9	C-1	980	横置型	2019年1月	2019年4月	4ヶ月	業務用厨房	3,167.3	896.8	662.0	8,096.4/11回	1,624.5/3回/7月	1,155.1/2回/5月
	10	C-2	980	横置型	2018年9月	2018年9月	11ヶ月	集合住宅	3,160.0	363.0	159.0	6,464/16回	875/1回/3月	125/1回/8月
				製造年月	設置年月	使用年月	消費者種別							
告示検査以前履歴	1	A-1	298	横置型	1998年2月	1998年6月	18年4ヶ月	戸建住宅	216.0	26.0	7.0	502/2回	255/1/1月	0
	2	A-2	298	横置型	1998年3月	1998年6月	18年10ヶ月	集合住宅	63.8	8.3	3.2	247.4/2回	125.7/1/1月	0
	3	A-3	298	横置型	1998年3月	1998年7月	19年4ヶ月	業務用事務所	634.0	204.0	9.0	1,035/7回	214/1/9月	0
	4	A-4	298	横置型	1998年8月	1998年11月	18年4ヶ月	戸建住宅	129.0	15.0	7.0	295/2回	200/1/12月	0
	5	B-1	498	横置型	1998年11月	1999年4月	17年4ヶ月	集合住宅	609.0	81.8	25.5	1,240/5回	304/1/8月	0
	6	B-2	498	横置型	1999年1月	1999年4月	17年4ヶ月	集合住宅	2,080.0	265.0	86.0	4,067/17回	528.9/2/4月	187/1/8月
	7	B-3	498	横置型	1999年3月	1999年4月	17年1ヶ月	業務用厨房	3,360.0	421.0	185.0	7,392/22回	1,042/3回/12月	285/1回/5月
	8	B-4	498	横置型	1999年5月	1999年9月	14年2ヶ月	業務用厨房	585.7	78.0	23.0	1,071/3回	412/1/2月	0
	9	C-1	980	横置型	1999年10月	2000年4月	18年4ヶ月	集合住宅	845.7	132.9	30.1	2,019/3回	856/1/4月	0
	10	C-2	980	横置型	1999年11月	2000年4月	18年0ヶ月	集合住宅	690.0	82.3	38.2	2,296/4回	777/1/1月	0

※なお、バルク貯槽被試験体の告示検査以前に係る当該貯槽の製造年月を含みその使用履歴等を参考として表中段以下に示す

(2)調査方法

調達したバルク 20 年合格貯槽 10 基の被試験体の外面・内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従い、目視及び非破壊検査を実施した。

①外部表面の欠陥部に対する磁粉探傷試験及び厚さ測定

外部表面に生じた錆、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、外部表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)各被試験体の外部表面の欠陥部を対象として、日本工業規格 Z2320-1(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部表面又は内部表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。

②超音波厚さ計による板厚の測定

前記①の 1)において欠陥を検出した箇所を対象に、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。この場合において、欠陥部については、グラインダー加工等により外部表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。

③外部表面の塗膜剥離

ショットブラスト等により、各被試験体の外部表面の塗膜を完全に除去する。

④外部表面溶接部の磁粉探傷試験

各被試験体の外部表面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前述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については、前述① a) 4)に掲げる条件を満足する者とする。

⑤被試験体の切断

後述 6.2.4 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）により各被試験体を半分切断する。

⑥内部表面検査

切断後の各被試験体の内部表面のうち、内部表面に生じた錆、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した。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前述① a) 3)に、磁粉探傷試験の実施者については、前述① a) 4)に準拠することとする。また、内部表面の腐食にかかる試験の方法は内部表面検査の方法の妥当性の検討に後述する。

a)目視

内部表面全面を対象に目視を行い、被試験体の内部表面全面に対し写真撮影を行うとともに、内部表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した。

b)腐食箇所の板厚の測定

内部表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した。

c)内部全面に対する磁粉探傷試験

各被試験体の内部溶接線全線を対象として、磁粉探傷試験を実施した。

6.2.3.1 外部表面の非破壊検査の結果

(1)外部表面外観検査

経年バルク貯槽外部表面の目視検査及び非破壊検査の結果等を次の①から③までに示す。

①目視

調達したバルク 20 年合格貯槽の 10 基は、図 6.2.3-1 に示すとおり、平成 29 年 6 月以降に告示検査に合格し、再塗装されていることから、外部表面には著しい発錆が認められなかった。

ただし、被試験体 A-3 及び C-2 については僅かに塗装剥離や発錆を認められた。その状況は図 6.2.3-2 及び 6.2.3-3 に示す通りである。

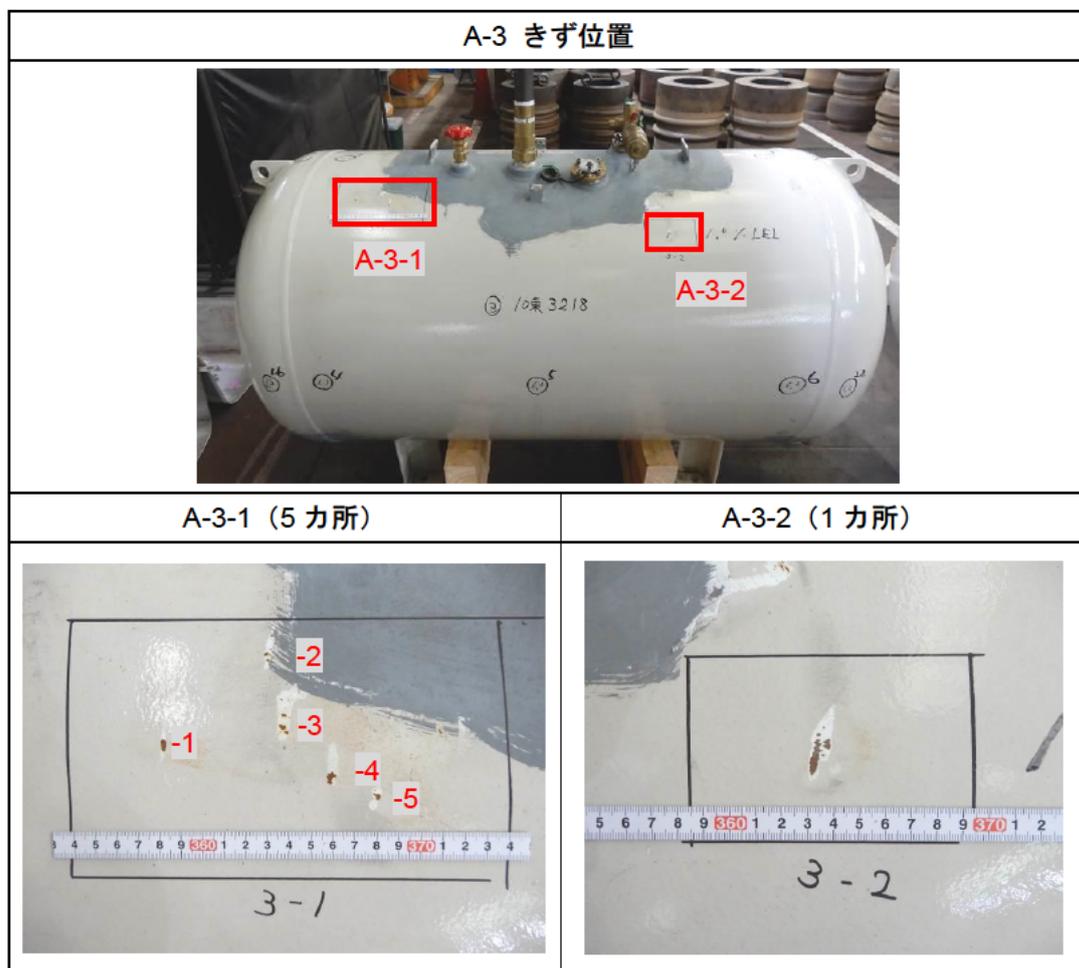


図 6.2.3-2 被試験体 A-3 の外部表面錆

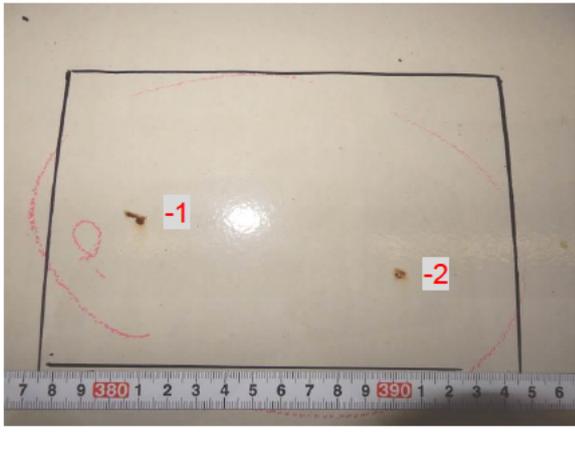
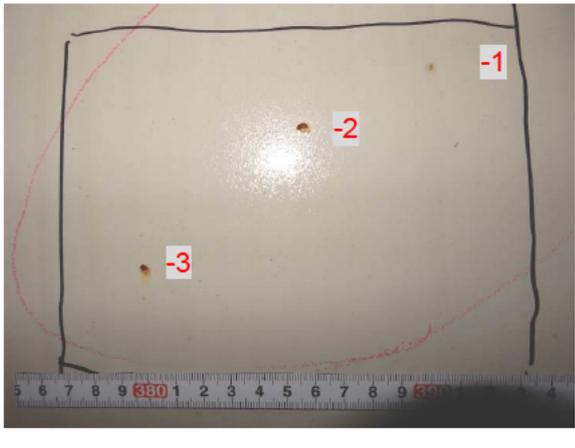
C-2 きず位置	
C-2 裏面	C-2-1 (2カ所)
	
-C-2 表面	C-2-2 (3カ所)
	

図 6.2.3-3 被試験体 C-2 の外部表面錆

②欠陥部に対する磁粉探傷試験

前記①に示す外面目視により検出した腐食減肉箇所を対象として、蛍光磁粉探傷試験を実施したところ、いずれの被試験体も腐食箇所において磁粉模様は検出されなかった。次いで、当該箇所を対象に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。

③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について表 6.2.3-2 にそれぞれの最大値及び平均値を示すが、調達したバルク貯槽は、腐食減肉箇所の数は少なく、減肉率としても最大で 1%程度であった。なお、面区域で点在した A-3 試験体は面区域全面研磨を行わざるを得ず、研磨前に孔食深さを計測することができなかった。表 6.2.3-3～4 に、各被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 6.2.3-2 仕上げ箇所グラインダー研磨量及び減肉率の最大値及び平均値

被試験 体番号	仕上げ 箇所数	グラインダー研磨量 ¹⁾ (mm)		減肉率 ²⁾ (%)	
		最大	平均	最大	平均
A-3	6	0.08	0.05	1.2	0.8
C-2	5	0.05	0.03	0.5	0.3

注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)

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

表 6.2.3-3 被試験体 A-3 グラインダー仕上げ後の減肉量の評価結果一覧

仕上げ 箇所		計算 板厚 (mm)	*健全部の 板厚(mm)	グラインダー部 最小の 板厚(mm)	グラインダー研磨量 (mm)	減肉率 (%)	グラインダー前 ダイヤルノブスゲージ 孔食深さ(mm)
1-1	胴部	5.89	6.20	6.15	0.05	0.8	**—
1-2	胴部	5.89	6.20	6.12	0.08	1.2	—
1-3	胴部	5.89	6.20	6.15	0.05	0.8	—
1-4	胴部	5.89	6.20	6.15	0.05	0.8	—
1-5	胴部	5.89	6.20	6.15	0.05	0.8	—
2-	胴部	5.89	6.20	6.17	0.03	0.5	—

*健全部：仕上げ箇所の近傍の板厚

** “—”：測定できなかった箇所（極小でダイヤルノブスゲージ検出できなかった部位）

表 6.2.3-4 被試験体 C-2 グラインダー仕上げ後の減肉量の評価結果一覧

仕上げ 箇所		計算 板厚 (mm)	*健全の 板厚(mm)	グラインダー部 最小の 板厚(mm)	グラインダー研磨量 (mm)	減肉率 (%)	グラインダー前 ダイヤルノブスゲージ 孔食深さ(mm)
1-1	胴部	9.56	10.28	10.26	0.02	0.2	0.14
1-2	胴部	9.56	10.31	10.28	0.03	0.3	0.13
2-1	胴部	9.56	10.28	10.26	0.02	0.2	0.10
2-2	胴部	9.56	10.28	10.24	0.04	0.4	0.14
2-3	胴部	9.56	10.28	10.23	0.05	0.5	0.15

(2)外部表面の非破壊検査の結果（溶接線磁粉探傷試験）

バルク 20 年合格貯槽 10 試験体の外部表面塗装をショットブラストにより完全に除去後、試験体の外部表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外面溶接線磁粉探傷試験の結果

バルク 20 年合格貯槽の 10 試験体について外部表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を検出し、僅かに溶接線上のクレータ割れを認めた。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が検出された。検出した磁粉模様の一覧を表 6.2.3-5 に、検出部位を表 6.2.3-6～22 に示す。

②告示検査結果との検証結果

告示検査実施時に実施する磁粉探傷試験部（周継手、長手継手の交差部を含む溶接部全長の 20%以上（以下「重複検査部」と言う））において行った蛍光磁粉探傷試験の結果を次の a)及び b)に示す。

a)重複検査部にあつては B-4 及び C-2 の 2 試験体にあつては線状磁粉模様が検出された。告示検査時に認知されなかった線状磁粉模様について、確認試験として浸透探傷試験を適用したところ、指示模様は現れず、表面粗さのくぼみによる磁粉模様（オーバーラップ）によるものであることがわかった。再試験として磁粉模様の一部をグラインダーで研磨し、再度蛍光磁粉探傷試験を行なったところ磁粉模様は消滅した。再試験の様子を表 6.2.3-23～24 に示す。

b)重複検査部であつて初回告示検査時に処理した周方向溶接部、長手方向溶接部のオーバーラップ、クレータ割れ等の欠陥箇所、告示検査時にグラインダー研磨により処置された部分については本試験において磁粉模様は検出されなかった。

表 6.2.3-5 被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)

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	6		1		1	
	周		1				
	長手						
A-2	ノズル	6				1	
	周						
	長手						
A-3	ノズル	4					
	周					1	
	長手					2	
A-4 耐圧実施	ノズル	4				2	
	周						
	長手						
B-1	ノズル	4					
	周	複数					
	長手						
B-2 耐圧実施	ノズル	4					
	周		1				2
	長手						
B-3	ノズル	4				1	
	周	複数					1
	長手	1					
B-4	ノズル	6					
	周	複数				(max20)複数	
	長手						
C-1 耐圧実施	ノズル	9		1			
	周					1	
	長手						
C-2	ノズル	9		3			
	周					1	
	長手					(max8)複数	

(注) : (max 数字)は最大長さ mm を示す。

磁粉模様定義

- ・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。
- ・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 6.2.3-6 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 A-1（ノズル）

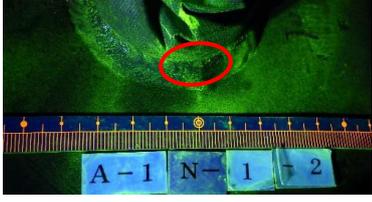
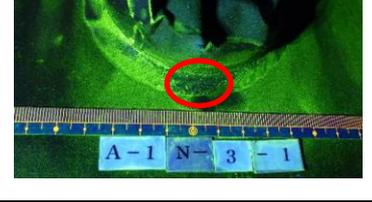
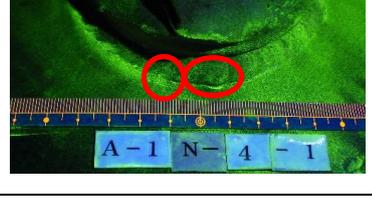
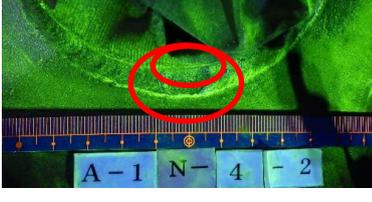
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	O.L.	45		
N-1-2	ノズル	O.L.	8		
N-1-3	ノズル	O.L.	3		
N-3-1	ノズル	線状	2		
N-4-1	ノズル	O.L.	8		
			2		
N-4-2	ノズル	O.L.	10		
		クラック	2		

表 6.2.3-7 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 A-1（周）

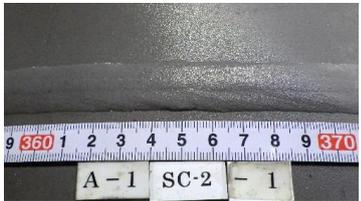
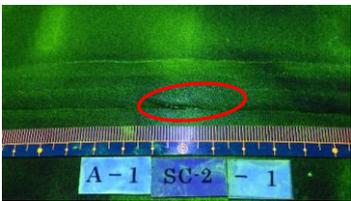
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
SC-2 -1	周	U.C.	50		

表 6.2.3-8 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 A-2

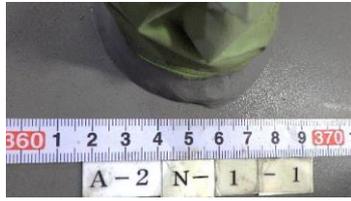
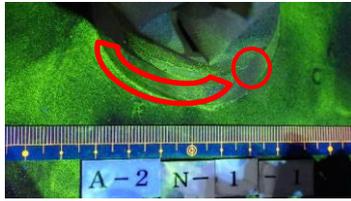
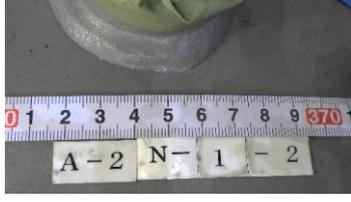
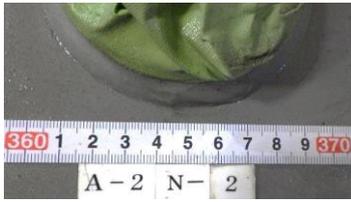
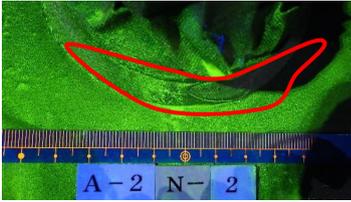
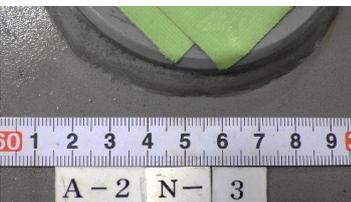
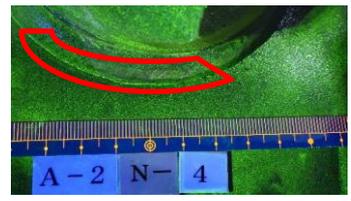
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	O.L.	50		
		線状	6		
N-1-2	ノズル	O.L.	27		
N-2-1	ノズル	O.L.	50		
N-3-1	ノズル	O.L.	8		
			1		
N-4-1	ノズル	O.L.	65		

表 6.2.3-9 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 A-3

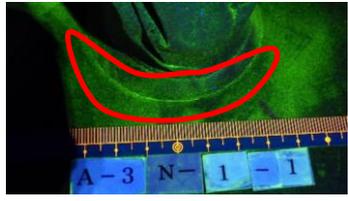
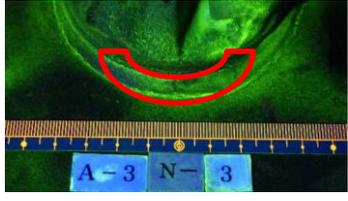
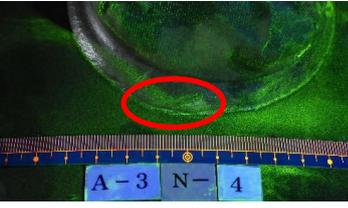
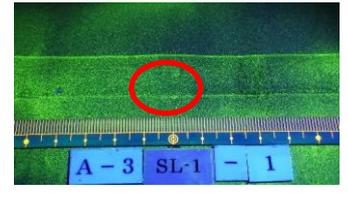
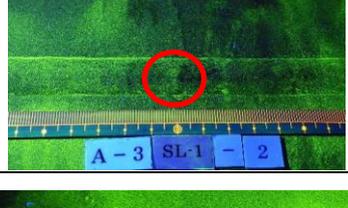
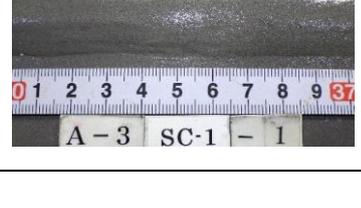
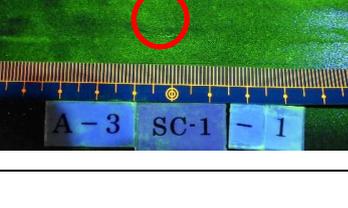
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	O.L.	80		
N-2-1	ノズル	O.L.	40		
N-3-1	ノズル	O.L.	35		
N-4-1	ノズル	O.L.	10		
SL-1-1	長手	線状	4		
SL-1-2	長手	線状	5		
SC-1-1	周	線状	3		

表 6.2.3-10 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 A-4(耐圧試験実施)

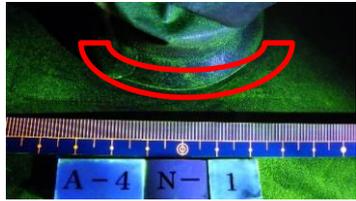
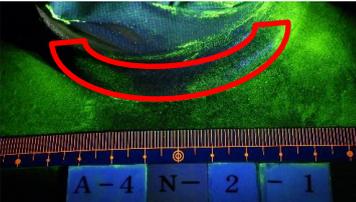
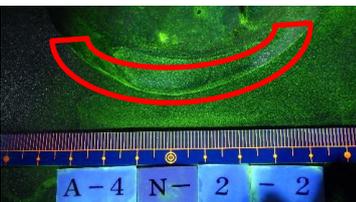
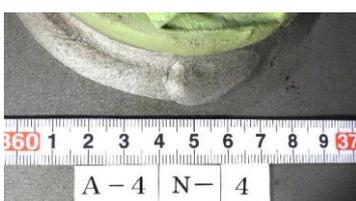
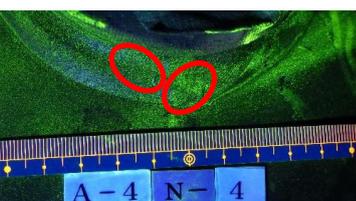
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	O.L.	170		
N-2-1	ノズル	O.L.	95		
N-2-2	ノズル	O.L.	130		
N-3-1	ノズル	O.L.	30		
N-4-1	ノズル	線状	3		
			3		

表 6.2.3-11 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 B-1（ノズル）

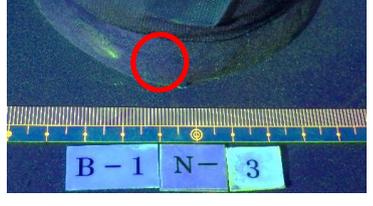
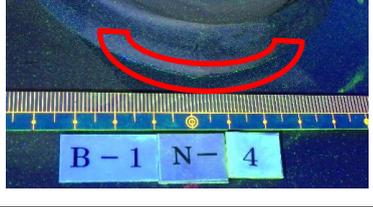
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	O.L.	4		
N-2-1	ノズル	O.L.	20		
N-3-1	ノズル	O.L.	4		
N-4-1	ノズル	O.L.	20		

表 6.2.3-12 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 B-1（周）

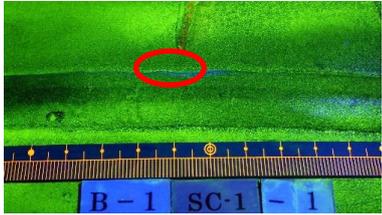
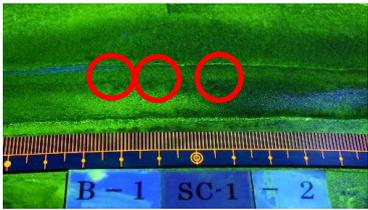
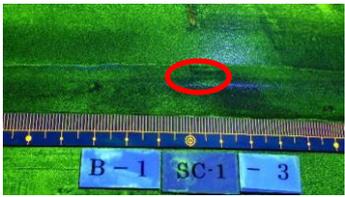
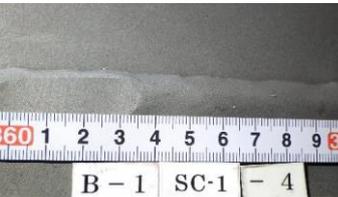
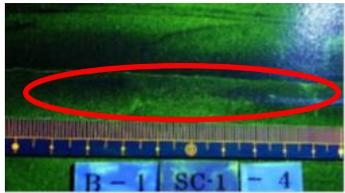
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
SC-1-1	周	O.L.	20		
SC-1-2	周	O.L.	複数 1~3		
SC-1-3	周	O.L.	3		
SC-1-4	周	O.L.	250		

表 6.2.3-13 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 B-2（ノズル）

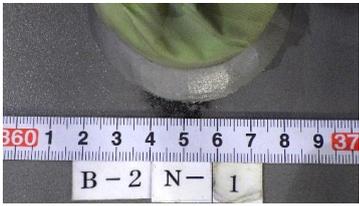
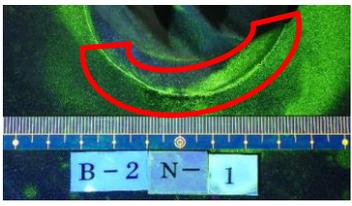
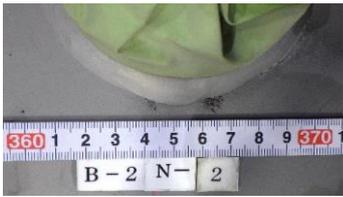
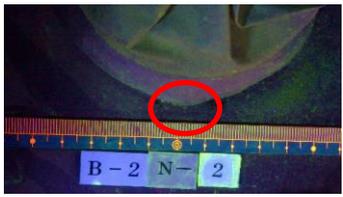
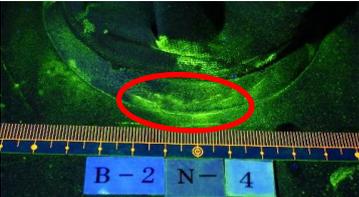
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	O.L.	220		
N-2-1	ノズル	O.L.	15		
N-3-1	ノズル	O.L.	30		
N4-1	ノズル	O.L.	30		

表 6.2.3-14 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 B-2（周）

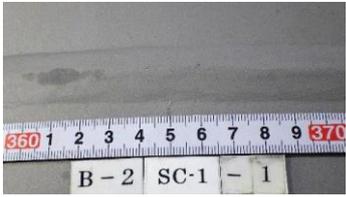
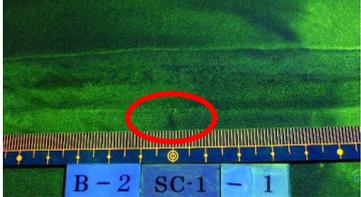
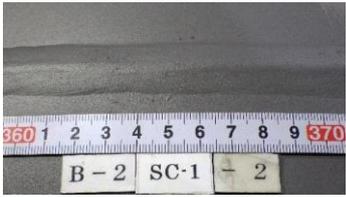
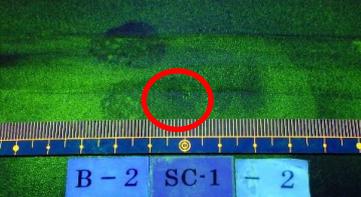
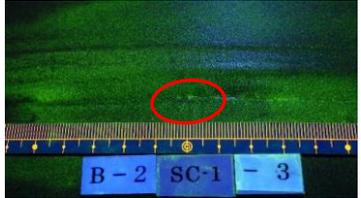
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
SC-1-1	周	円形	φ2		
SC-1-2	周	円形	φ3		
SC-1-3	周	U.C.	7		

表 6.2.3-15 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 B-3（ノズル）

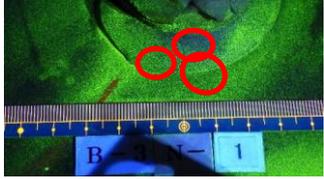
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	O.L.	2		
			1		
		線状	1		
N-2-1	ノズル	O.L.	25		
N-3-1	ノズル	O.L.	15		

表 6.2.3-16 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 B-3（長手・周）

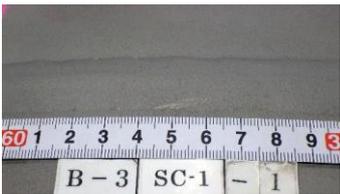
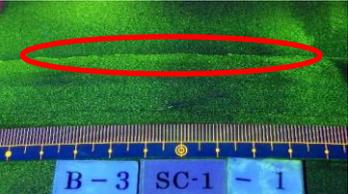
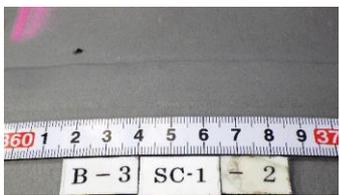
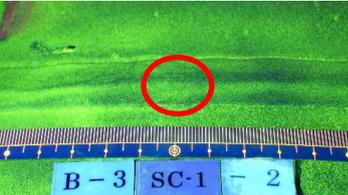
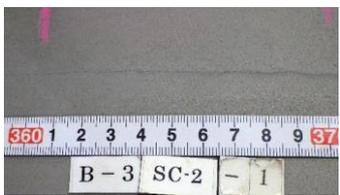
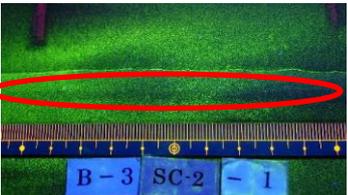
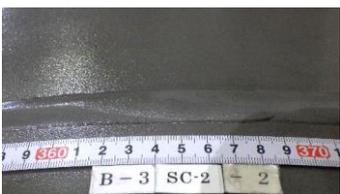
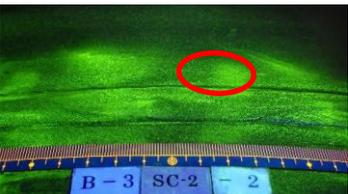
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
SI-1-1	長手	O.L.	6		
SC-1-1	周	O.L.	複数 1~150		
SC1-2	周	O.L.	30		
SC-2-1	周	O.L.	多数 1~400		
SC-2-2	周	円形.	φ5		

表 6.2.3-17 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 B-4（ノズル）

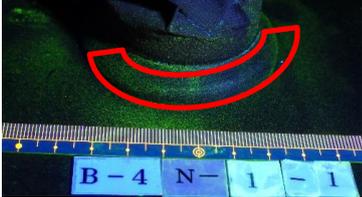
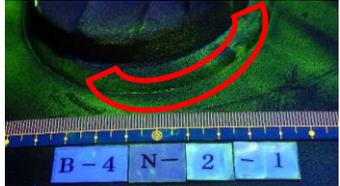
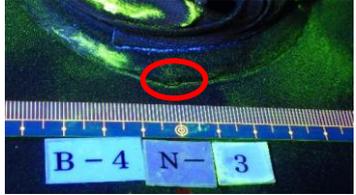
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	O.L.	55		
N-1-2	ノズル	O.L.	52		
N-2-1	ノズル	O.L.	30		
N-2-2	ノズル	O.L.	5		
N-3-1-1	ノズル	O.L.	5		
N-4-1	ノズル	O.L.	10		

表 6.2.3-18 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 B-4（周）

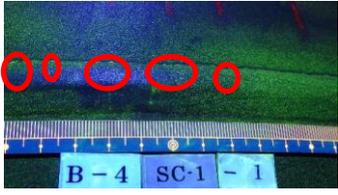
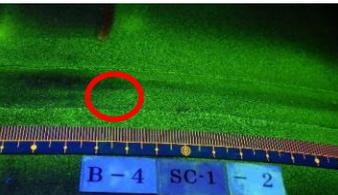
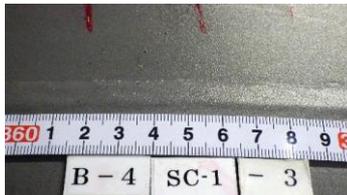
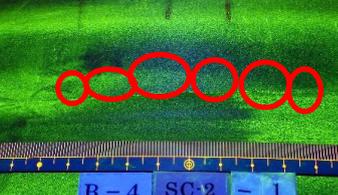
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
SC-1-1	周	線状	複数 1~5		
SC-1-2	周	O.L.	7		
SC-1-3	周	O.L.	複数 1~5		
SC-2-1	周	線状	複数 1~20		

表 6.2.3-19 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 C-1（ノズル）

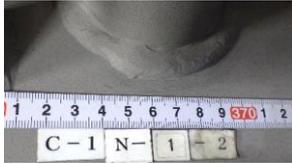
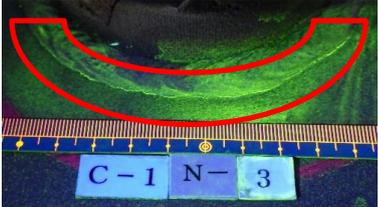
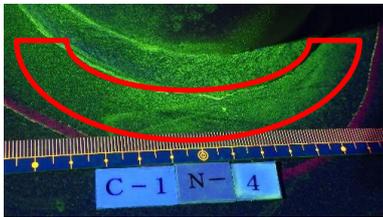
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	O.L.	15		
N-1-2	ノズル	O.L.	60		
N-2-1	ノズル	O.L.	15		
N-2-2	ノズル	O.L.	2		
			12		
N-3-1	ノズル	O.L.	400		
N-4-1	ノズル	O.L.	440		
		クレータ	1		

表 6.2.3-20 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 C-1（ノズル・周）

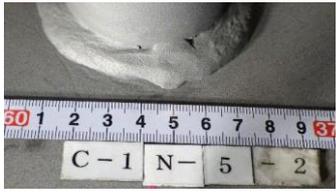
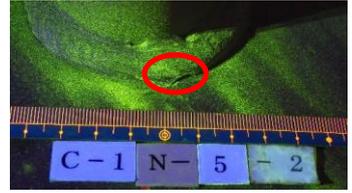
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-5-1	ノズル	O.L.	50		
N-5-2	ノズル	O.L.	10		
SC-2-1	周	線状	3		

表 6.2.3-21 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 C-2 (ノズル)

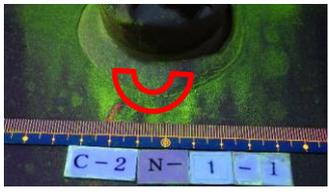
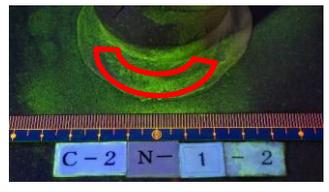
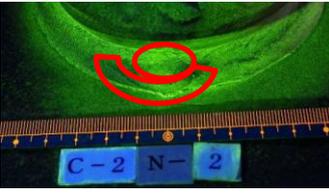
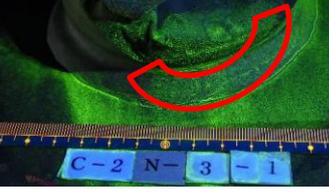
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	O.L.	15		
N-1-2	ノズル	O.L.	10		
N-2-1	ノズル	O.L.	15		
		クレータ	1		
N-3-1	ノズル	O.L.	40		
N-3-2	ノズル	O.L.	5		
		クレータ	2		
N-4-1	ノズル	O.L.	20		

表 6.2.3-22 外面磁粉探傷試験結果：被試験体 C-2 (ノズル・長手・周)

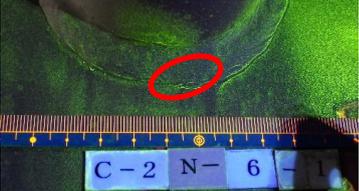
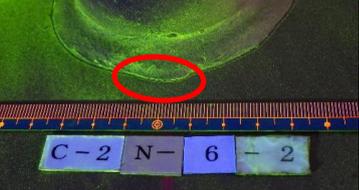
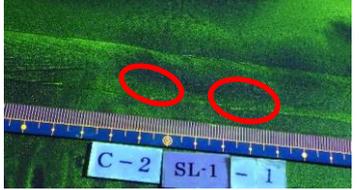
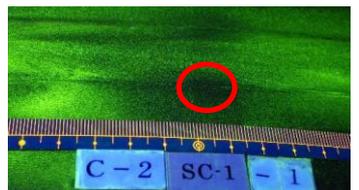
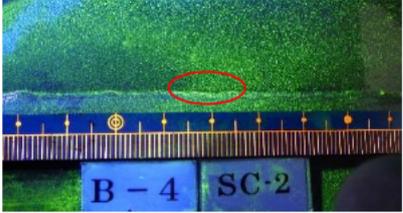
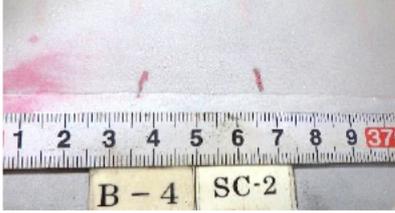
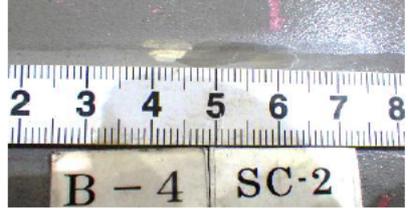
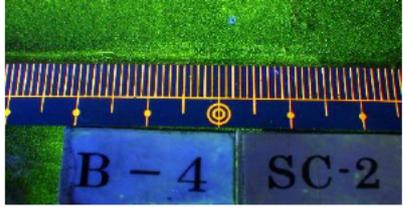
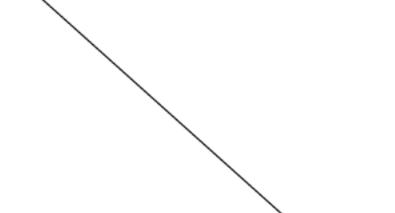
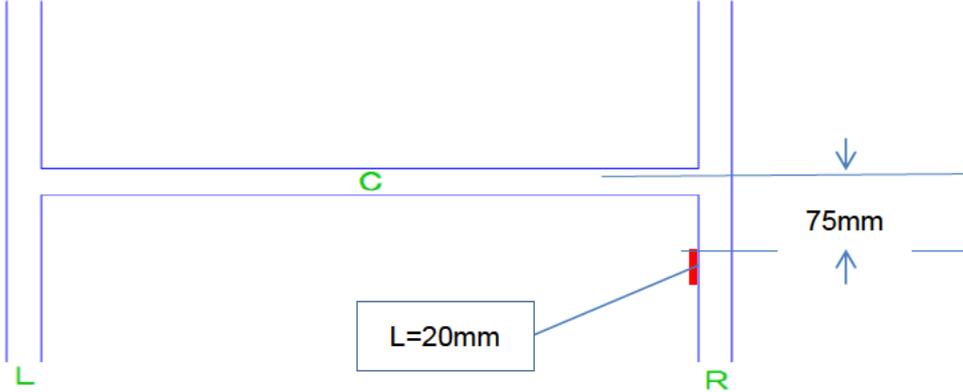
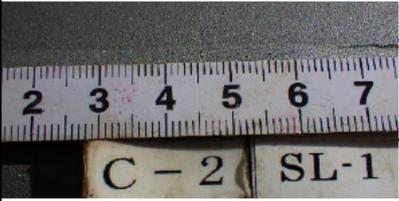
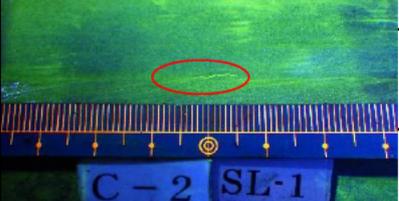
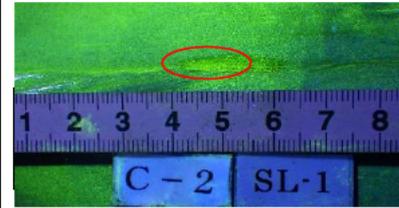
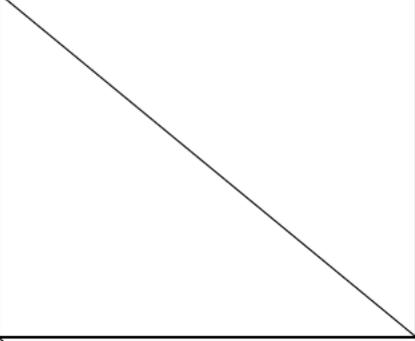
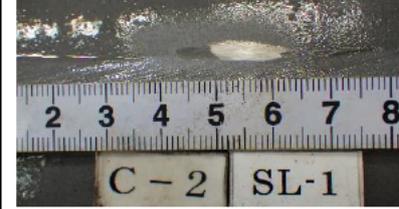
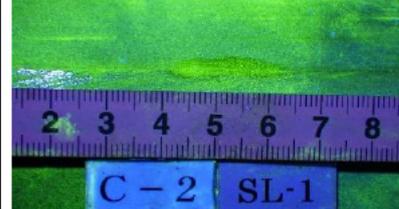
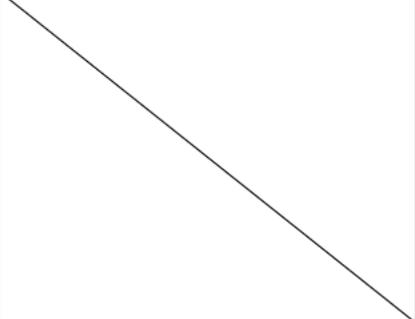
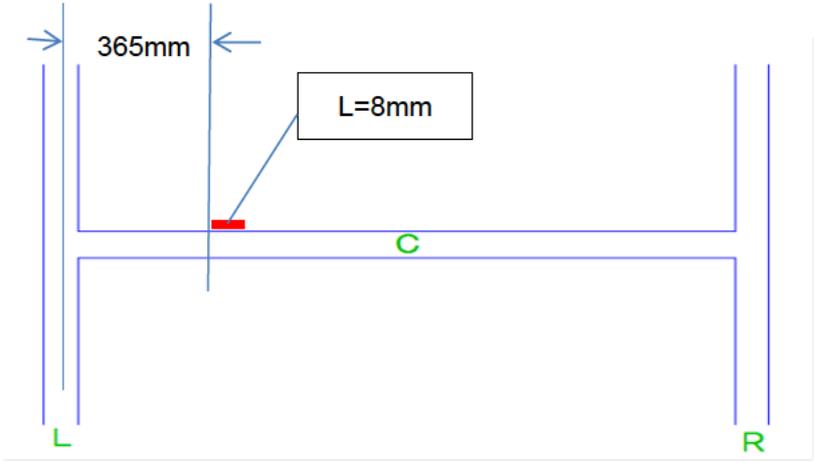
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-5-1	ノズル	O.L.	25		
		クレ ータ	1		
N-6-1	ノズル	O.L.	10		
N-6-2	ノズル	O.L.	10		
SL-1-1	長手	線状	複数 1~8		
SC-1-1	周	線状	5		

表 6.2.3-23 外面浸透探傷・磁粉探傷試験結果：被試験体 B-4

部材 記号	外観状況	磁粉模様 (MT)	指示模様 (PT)
除去前			
除去後 (回目)	 <p>研磨量: 0.03mm</p>		
線状磁粉模様検出箇所			

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

表 6.2.3-24 外面浸透探傷・磁粉探傷試験結果：被試験体 C-2

部材 記号	外観状況	磁粉模様 (MT)	指示模様 (PT)
除去前			
除去後 (一回目)	 <p>研磨量: 0.22mm</p>		
除去後 (二回目)	 <p>研磨量: 0.30mm</p>		
線状磁粉模様検出箇所			

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

6.2.3.2 内部表面の非破壊検査の結果（内部溶接線磁粉探傷）

内部表面の非破壊検査にあつては、バルク20年合格貯槽被試験体10基について貯槽の90度-270度で切断（二つ割り）し、内部表面目視検査、内部溶接線磁粉探傷試験を行った。被試験体の様子は後述6.2.4. 内面検査方法の妥当性の検討にて図6.2.4-6~6.2.4-25に示す。

切断後の前6.2.3(3)⑤による内部表面検査の方法により各被試験体に生じた錆、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、実施した結果を(1)、(2)に示す。なお、磁粉探傷試験の実施要領は前述6.2.3(3)3)、試験実施者は、同4)に準拠する。また、内部表面の腐食にかかる試験の方法は6.2.4に後述する。

(1)内部表面検査

①内部表面目視

被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、6.2.4.2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内面溶接線磁粉探傷試験

被試験体内部に有する全ての溶接部として、ノズル取り付け隅肉溶接部の全て、長手方向溶接部の全て、周方向溶接部においては裏当て金を有さないC-1試験体の一リング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 6.2.3-25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極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。

内部表面で検出した磁粉模様の一覧を表 6.2.3-25に、検出部位を表6.2.3-26 ~ 6.2.3-34までに示す。

表 6.2.3-25 磁粉探傷試験により検出した内部表面の磁粉模様一覧 (単位：箇所)

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		3			
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						
A-2	ノズル	1		1			
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						
A-3	ノズル			1			
	周裏当金				—	—	—
	長手						
A-4 耐圧実施	ノズル	2		4			
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						
B-1	ノズル	1		5			
	周裏当金				—	—	—
	長手						
B-2 耐圧実施	ノズル	3		3			
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						
B-3	ノズル			4			
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手	1					
B-4	ノズル	2		3			
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						
*C-1 耐圧実施	ノズル	2		3			
	周						
	長手						
C-2	ノズル						
	周裏当金	—	—	—	—	—	—
	長手						

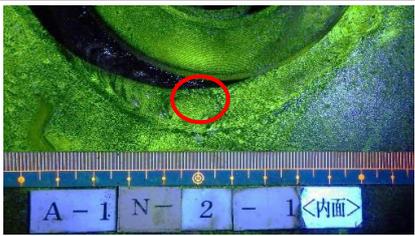
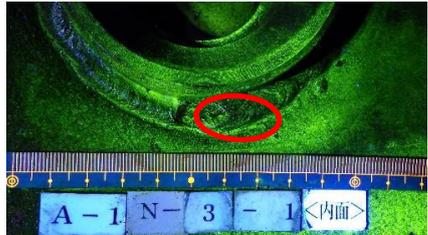
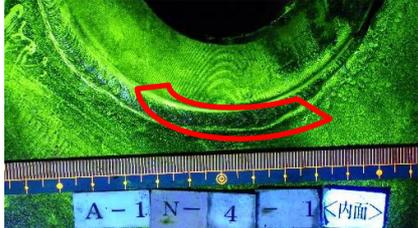
—：周溶接線の磁粉探傷試験を実施していない（裏当金有）

*C-1：周溶接で1リングについて磁粉探傷試験を実施（1リング裏当金有）

磁粉模様定義

- ・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。
- ・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 6.2.3-26 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：被試験体 A-1

部材 記号	検出 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	1		
N-2-1	ノズル	クレ ータ	5		
N-3-1	ノズル	クレ ータ	3		
N-4-1	ノズル	O.L.	50		

6.2.3-27 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：被試験体 A-2

部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-4-1	ノズル	クレ ータ	1		
		O.L.	35		

表 6. 2.3-28 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：被試験体 A-3

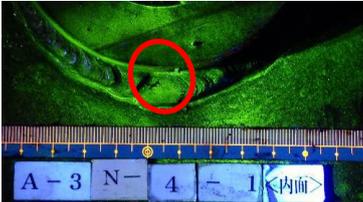
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-4-1	ノズル	クレ ータ	Φ15		

表 6.2.3-29 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：被試験体 A-4

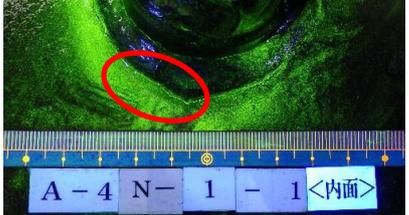
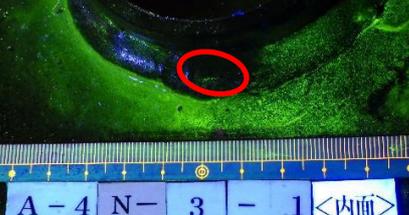
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	クレ ータ	5		
		O.L	45		
N-2-1	ノズル	クレ ータ	1		
		O.L	18		
N-3-1	ノズル	クレ ータ	3		
N-4-1	ノズル	クレ ータ	5		

表 6. 2.3-30 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：被試験体 B-1

部材 記号	検出 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	11		
N-3-1	ノズル	クレ ータ	3		
		O.L.	11		
N-4-1	ノズル	クレ ータ	2		
			2		

表 6.2.3-31 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：被試験体 B-2

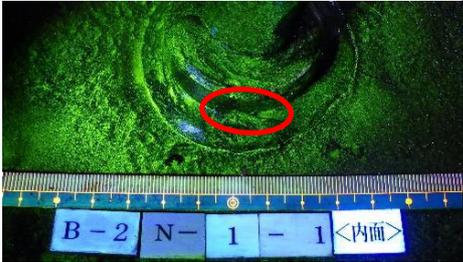
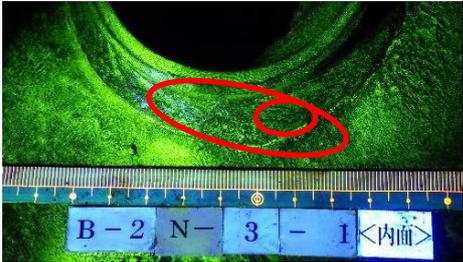
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	クレ ータ	5		
N-2-1	ノズル	O.L.	20		
N-3-1	ノズル	クレ ータ	5		
		O.L.	20		
N-4-1	ノズル	クレ ータ	5		
		O.L.	35		

表 6. 2.3-32 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：被試験体 B-3

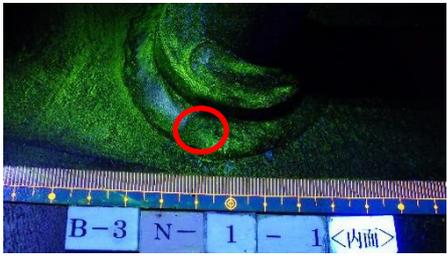
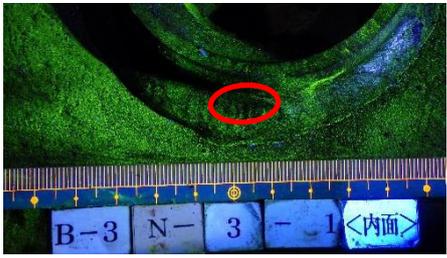
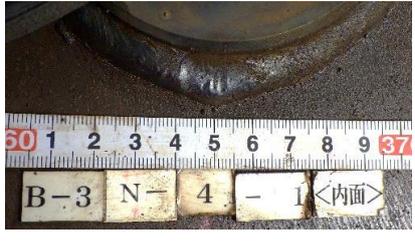
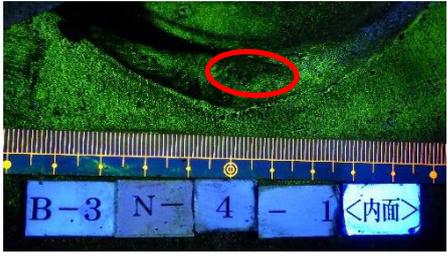
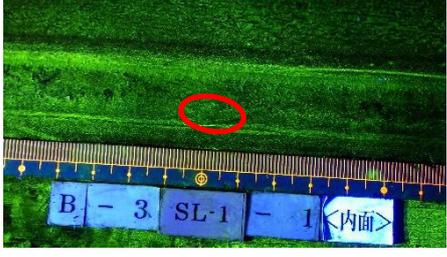
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	クレ ータ	3		
N-3-1	ノズル	クレ ータ	3		
			1		
N-4-1	ノズル	クレ ータ	2		
SL-1- 1	長手	O.L.	7		

表 6. 2.3-33 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：被試験体 B-4

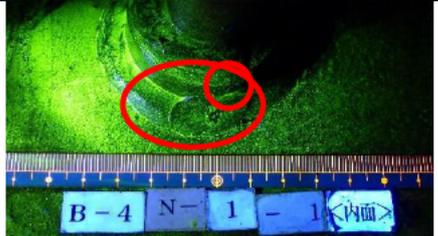
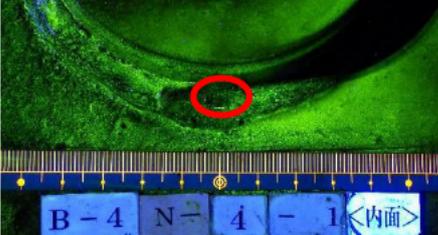
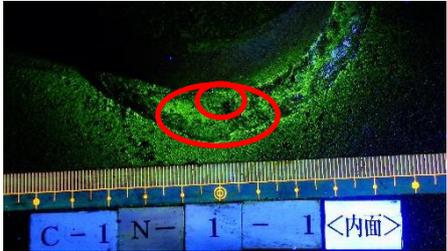
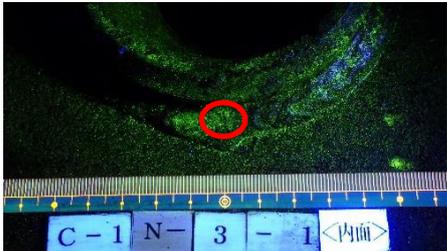
部材 記号	検出 位置	きず 名称	長さ (mm)	外観状況	磁粉模様
N-1-1	ノズル	クレ ータ	1		
		O.L.	25		
N-2-1	ノズル	クレ ータ	2		
		O.L.	10		
N-4-1	ノズル	クレ ータ	3		

表 6. 2.3-34 内面溶接線・磁粉探傷試験結果：被試験体 C-1

部材 記号	検出 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	2		
		O.L.	12		
N-3-1	ノズル	クレ ータ	2		
N-4-1	ノズル	クレ ータ	2		
		O.L.	15		

(2)内部表面検査まとめ

バルク 20 年合格貯槽を供給設備に再設置し、再設置後経過年数 2 年程度の経年バルク貯槽 10 基を被試験体として、目視及び非破壊検査による内外部表面の経年劣化の実態調査を行った。

被試験体の内外部表面の目視の結果、告示検査合格以降供用されたバルク貯槽の外部表面については、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、バルク 20 年合格貯槽の今後の経年による外面の塗装劣化、継続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は適切に行うことが欠かせないと言える。

一方で、被試験体の内部表面にあつては、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。

6.2.4.2 内面検査方法の妥当性検討にて後述の通り、バルク 20 年合格貯槽の再使用により供用する貯槽内部の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途に論議して差し支えないものと考えられる。

次いで、被試験体の内外部表面の全て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、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、製造時に由来するものと思われるきずが検出された。外面長手継手及び周継手溶接線の一部にも磁粉模様が検出されたが、当該磁粉模様に対して浸透探傷試験を適用したところ指示模様が現れず、グラインダーでわずかに研磨したところ磁粉模様は消失した。表面粗さのくぼみによるオーバーラップが線状磁粉模様として検出されたものと解ったことから、製造時の検査（放射線透過試験）においても、告示検査においても検出されなかったものと推察される。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、告示検査で行った磁粉探傷試験部（周継手、長手継手の交差部を含む溶接部全長の 20%以上）で認めた周方向溶接部、長手方向溶接部のオーバーラップ、クレータ割れ等の欠陥箇所、かつ告示検査時にグラインダー研磨により処置された部分については本試験において磁粉模様は検出されなかったことから、告示検査の適正性が確認された。

これらの結果を受け今後、初回告示検査で磁粉探傷試験を実施した範囲（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）以外の範囲について、磁粉模様が検出されていることから、2 回目以降の告示検査の効率化を図る上で初回の検査方法について検討を要する。

6.2.4 バルク貯槽内面検査方法の妥当性の検討

バルク 20 年合格貯槽は、告示検査時にバルク貯槽内部が大気に触れることとなり、その後供給設備として再設置され、LP ガスを充填して使用がなされる。告示検査を行った後のバルク貯槽の内部表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、被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部表面の発錆に関与するかを確認するため、被試験体の内部表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 6.2.4.1 から 6.2.4.2 までに示す。

(1)被試験体

被試験体には、前述表 6.2.3-1 にて示した被試験体 10 基のうち、次の①及び②に掲げる条件に基づき、表 6.2.4-1 に示す再使用実績を有する経年バルク貯槽を選定し、また、その内部の残留ガスを採取した。

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、一般消費者等の年間消費量の異なるバルク貯槽 5 基の残留ガスを採取する。

②条件 2

液化石油ガス販売事業者間における原料ガス成分のバラツキなど、不純物成分の蓄積量に影響を及ぼすおそれのある要因について極力排除する必要があるため、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 6.2.4-1 ガス成分分析等調査 被試験体一覧

バルク 20 年合格貯槽						
事業者	試験体 番号	種別	貯蔵能力 (kg)	再設置後 経過年数	サンプリ ング時 液面(%)	再設置後 使用量 (m ³ /yr)
A 関東周辺	A-0	充填所	(原料ガス)			
	A-2	業務用	298	2年0ヶ月	22	773
	A-3	集合住宅		1年4ヶ月	78	1,500
	B-1	集合住宅	498	1年10ヶ月	66	1,360
	B-4	業務用		2年1ヶ月	37	2,204
	C-2	集合住宅	980	11ヶ月	42	3,160

6.2.4.1 LP ガスの成分分析

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次の(1)に、LP ガスの成分分析及び腐食試験の方法を次の(2)に、試験結果を次の(3)にそれぞれ示す。

(1)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 6.2.4-1 に示す 5 基の被試験体を製造事業所（充填所）において、液面計指示値が同表中「サンプリング時の液面」の値を確認の上、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 6.2.4-1 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 6.2.4-2 に示す通りとした。
- 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) までに掲げる通りとした。
 - 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)小型容器中における LP ガスの量(kg)を計測できる状態において移充填を行う。
 - 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てん量は約 3 kg とし、サンプリングする。



図 6.2.4-1 小型容器へのサンプリング(左)及びサンプリング後の小型容器(右)
(事業者名等をマスキングしております)

表 6.2.4-2 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

(2) 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従い実施した。

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 6.2.4-3 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、表 6.2.4-3 に示す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 6.2.4-4 に、使用した装置等を表 6.2.4-5 に示す。

③試料検体

定量分析及び腐食試験は、6.2.4.1 (1) の条件に基づき採取した残留ガス 5 検体及び原料ガス 1 検体の計 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の残留ガス等を採取したものの又は液体の状態での残留ガス等を採取したものを気化させたものとした。

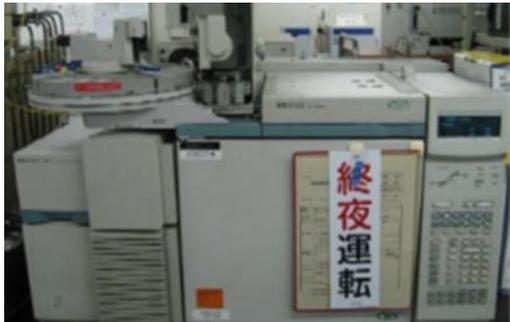
表 6.2.4-3 成分分析の対象成分と定量下限値

		成分名	定量下限値
主成分	エタン・エチレン		0.1 vol %
	プロパン・プロピレン		
	ブタン iso・n		
	ブチレン iso・trans・cis		
	1.3ブタジエン		0.1 vol % 0.1 wt % (換算)
	ペンタン		0.1 vol %
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
	105° C		
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
	硫化水素		0.5 vol ppm
その他	メタノール		1 wt ppm
	水分		5 wt ppm
	酸素		1 vol ppm
	水銀		0.001 mg/Nm ³
残渣参考	C5~C16	内標準法 (n ⁺ 基準) でのガス分析による	100 wt ppm
	C17~C50	絶対検量線法 (n ⁺ トリアンガ換算) でのガス分析による	10 wt ppm

表 6.2.4-4 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.x6.0 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 /5973 MSD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 6.2.4-5 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>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>液化ガス 1kg 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>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>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>

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
	<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、組成成分を測定する。</p>
ガスクロマトグラフ(GC-FID)	メタノール
	<p>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。</p>
カールフィッシャー水分計	水分
	<p>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。</p>
酸水素炎燃焼装置	酸素
	<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、組成成分を測定する。</p>

装置・機器	分析・測定等の概要
ダブルアマルガム気中水銀測定装置	水銀
	<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>
銅板腐食試験(恒温槽・標準)	銅板腐食試験
	<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>

(3)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 6.2.4-6 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 6.2.4-1 に示す通り概ね 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して着臭剤、硫黄、蒸発残渣等に若干濃縮傾向が見られた。一方、平成 26・27 年度（経過年数 16～17 年以降の試験体検査を「従前試験」と言う。）の残留ガス成分の調査結果によると、供用経年によるそれら微量成分の濃縮化傾向は顕著に見られた。次の①～③その分析結果を示す。

①残留ガスの主成分

バルク告示合格貯槽の残留ガス 5 試験体の再設置後の再使用期間は表 6.2.4-1 の通り概ね 2 年である。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、92%を下回ることなく、イソブタン、ノルマルブタンとも若干増加する。この結果は従前試験結果と同程度を示す。

②腐食関与成分及び腐食試験

バルク 20 年合格貯槽の残留ガス 5 試験体では、水分及び酸素は原料ガスと比較して 2～3 倍、全硫黄では 5～10 倍となるが、従前試験結果と比較すると 5 試験体は概ね 1/2～1/10 となり、供用経過年数で増加する傾向がみられる。また、硫化水素はいずれの場合も殆ど認められず、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・使用形態で異ならなかった。

③微量成分

バルク 20 年合格貯槽の残留ガス 5 試験体では、着臭成分とされ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) は原料ガスと比較して 5～10 倍となるが、従前試験結果と比較すると 5 試験体は概ね 1/2 程度であり、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）は原料ガスと比較して増加がみられたが、試験体によつての差異が大きく、特に B-1 試験体においての 105℃残渣が著しいため別途 EPMA 試験により分析したところ、主体はオイル（炭化水素）であり、僅かに脂肪酸エステルを含む他、極微量の有機物や金属成分の混合物を含んでいた。この残渣分の分析結果を表 6.2.4-7 及び図 6.2.4-2 に示す。

表 6.2.4-6 バルク 20 年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	原料ストレージ	試験体バルク20年合格貯槽					※ 参考	
			A-0	A-2	A-3	B-1	B-4	C-2	H26(E-3)	H27(E-7)
主成分	C3H8	vol%	97.2	92.7	94.0	96.4	95.0	95.2	94.8	95.8
	i-C4H10	vol%	1.4	4.7	3.7	2.5	3.5	3.5	3.1	2.8
	n-C4C10	vol%	0.2	2.5	2.0	0.7	1.3	1.1	1.5	1.2
	C3H6	vol%	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
着臭材	TBM	wt ppm	3.6	66.0	41.0	19.0	70.0	30.0	150.0	130.0
	IPM	wt ppm	0.2	13.0	6.6	2.7	7.5	2.8	13.0	10.0
	DMS	wt ppm	1.8	10.0	10.0	8.6	15.0	14.0	10.0	7.0
硫黄分	全硫黄	wt ppm	6	59	50	30	93	42	330	360
	H2S	wt ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
その他	水分	wt ppm	8	27	30	16	22	16	26	53
	メタノール	wt ppm	33	13	11	14	16	10	11	18
	酸素	wt ppm	0.8	2	2	3	2	2	56	52
	水銀	mg/Nm ³	0.0000	0.0002	0.0003	0.0002	0.0003	0.0002	—	—
	銅板腐食	判定	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a
蒸発残渣	75°C	wt ppm	9	160	96	360	180	40	—	—
	105°C	wt ppm	6	67	49	320	100	29	—	—
参考 C5~C50	C5	wt ppm	10	320	22	300	110	120	1500	880
	C6	wt ppm	80	810	650	720	210	300	3800	2400
	C7	wt ppm	20	180	170	170	50	50	710	490
	C8	wt ppm	0	40	40	50	10	10	190	200
	C9	wt ppm	10	30	30	10	9	5	110	120
	C10	wt ppm	2	10	3	10	2	0	40	100
	C11~16	wt ppm	4	9	3	20	10	2	<100	70
	C17~50	wt ppm	2	27	24	110	45	25	—	600

<数字：定量加減を示す

*参考：H26,27 年度報告の実績値である

表 6.2.4-7 B-1 残渣分(105°C) *EPMA による半定量分析試験

資料名	B-1 105°C残渣 検出元素 (wt%)									
	C	N	O	F	Al	Si	S	Cl	Fe	Cu
オイル	94.1	2.0	2.0	-	-	2.4	1.6	-	-	-
黒色物	26.5	8.6	9.7	4.3	0.7	7.8	20.3	0.3	16.4	16.4

注 1) 半定量値はオイルと黒色物各々での値である

注 2) 各元素の判定量値は四捨五入しているために合計値は 100%とにならない

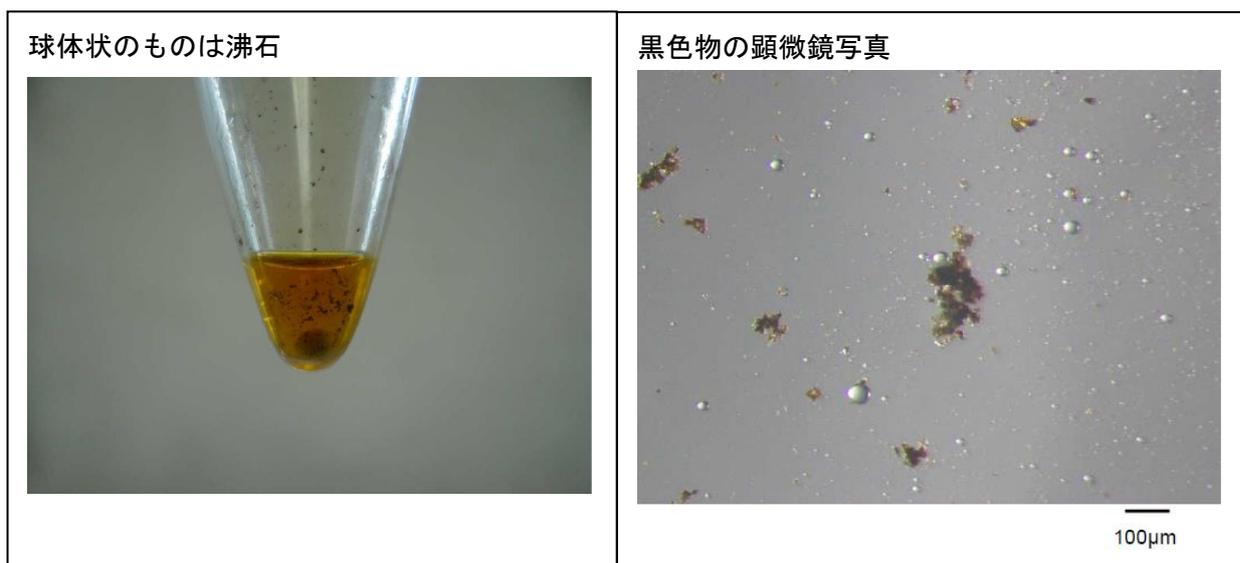


図 6.2.4-2 B-1 残渣分(105°C)

B-1 残渣分(105°C)の EPMA による半定量分析結果

主成分はオイル分であり、定性の結果、炭化水素系オイルと推察され、僅かに観察された黒色物は残渣全体からは微量で、有機物や金属成分の混合物と推察された。

蒸発残渣（オイル）

測定結果では主に C が検出されたことから主成分は炭化水素系オイルと推察される、また僅かに O, Si が検出され IR 分析（赤外分光分析）の結果では脂肪酸エステル類及びシリコン類が含まれている可能性が考えられる。

蒸発残渣（黒色物）

数種類の有機物や金属成分の混合物と推察され、IR 分析の結果ではタンパク質や多糖類と推察された

6.2.4.2 内部表面腐食

バルク 20 年合格貯槽の内部表面腐食にあつては残留ガスの影響を確認することとして、6.2.3.2 内部表面の非破壊検査においてバルク 20 年合格貯槽の 90 度－270 度で切断（二つ割り）した 10 被試験体の中で、残留ガスの成分分析及び腐食試験を行った表 6.2.4.1 に示す 5 試験体にお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

内部表面全面を対象に目視検査を行い、腐食箇所等を確認する。前述 6.2.2 告示仕様検査時に行われたファイバースコープによる内部の様子を図 6.2.4-3～6.2.4-5 に示す。また、90 度－270 度で切断（二つ割り）した被試験体の様子を図 6.2.4-6～6.2.4-25 に示す。

(2)内部表面の腐食状態の詳細調査

次の①及び②に掲げるとおりバルク 20 年合格貯槽内部表面に生じた錆の成分分析及び断面観察を、図 6.2.4-26 に示す調査手順により実施した。

①錆成分分析

経年バルク 20 年合格貯槽内部表面において特徴的な赤錆があり、かつ、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。

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 a)から c)とし、対象部位を図 6.2.4-28～6.2.4-31 に示す。

a)被試験体 A-3

1 箇所選定（底部）

b) 被試験体 B-4（発錆の多い 1 試験体）

3 箇所選定（底部、中間部位、上部）

c) 被試験体 C-2

1 箇所選定（鏡部底部）

試験体 番号	貯槽内面 上部	貯槽内面 下部
A-1 298kg		
A-2 298kg		
A-3 298kg		
A-4 498kg		

図 6.2.4-3 ファイバースコープによる内面観察(1)

試験体 番号	貯槽内面 上部	貯槽内面 下部
B-1 498kg		
B-2 498kg		
B-3 498kg		
B-4 498kg		

図 6.2.4-4 ファイバースコープによる内面観察(2)

試験体 番号	貯槽内面 上部	貯槽内面 下部
C-1 980kg		
C-2 980kg		

図 6.2.4-5 ファイバースコープによる内面観察(3)



図 6.2.4-6 被試験体内面状況 A-1 (上部)

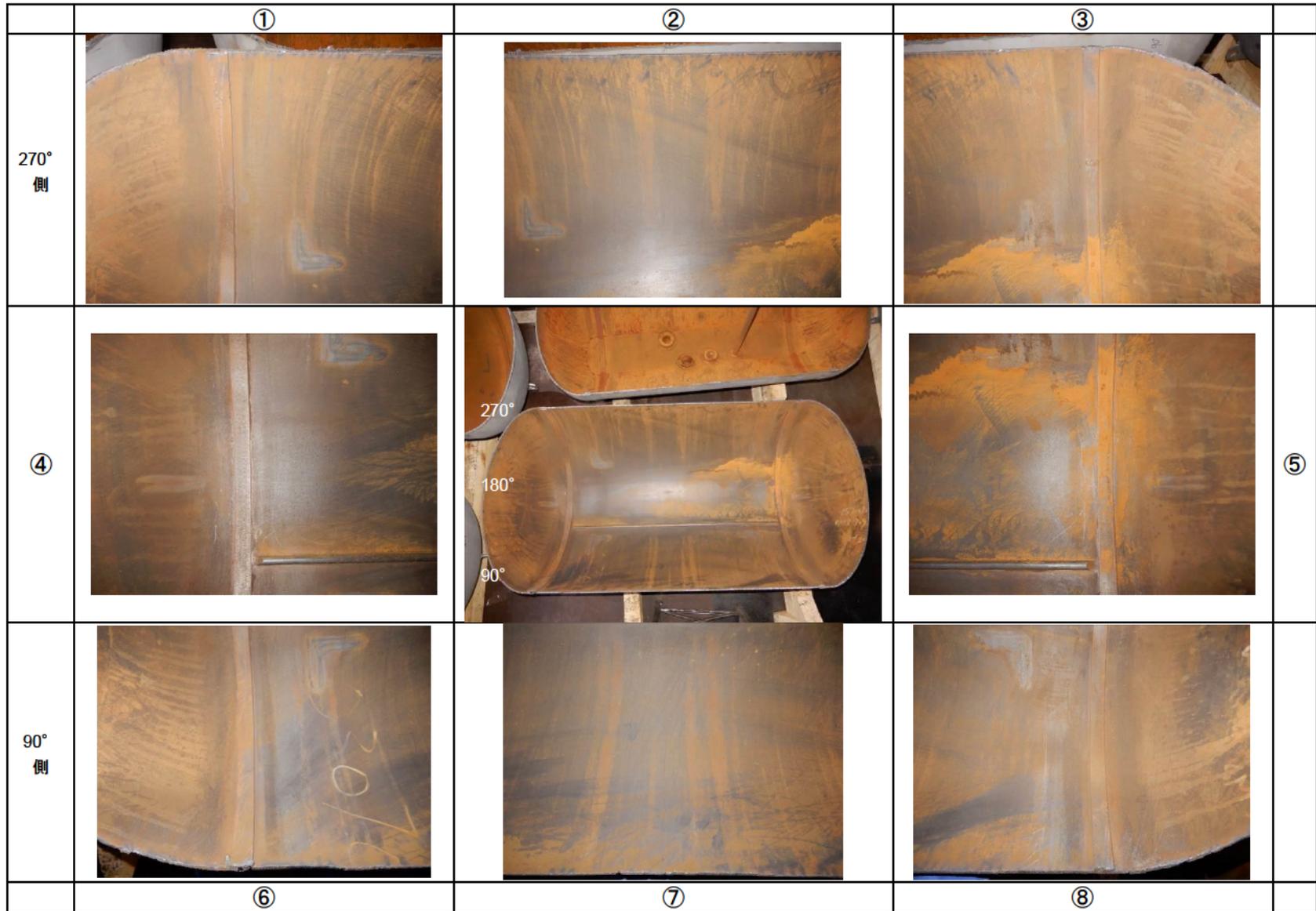


図 6.2.4-7 被試験体内面状況 A-1 (下部)



図 6.2.4-8 被試験体内面状況 A-2 (上部)



図 6.2.4-9 被試験体内面状況 A-2 (下部)

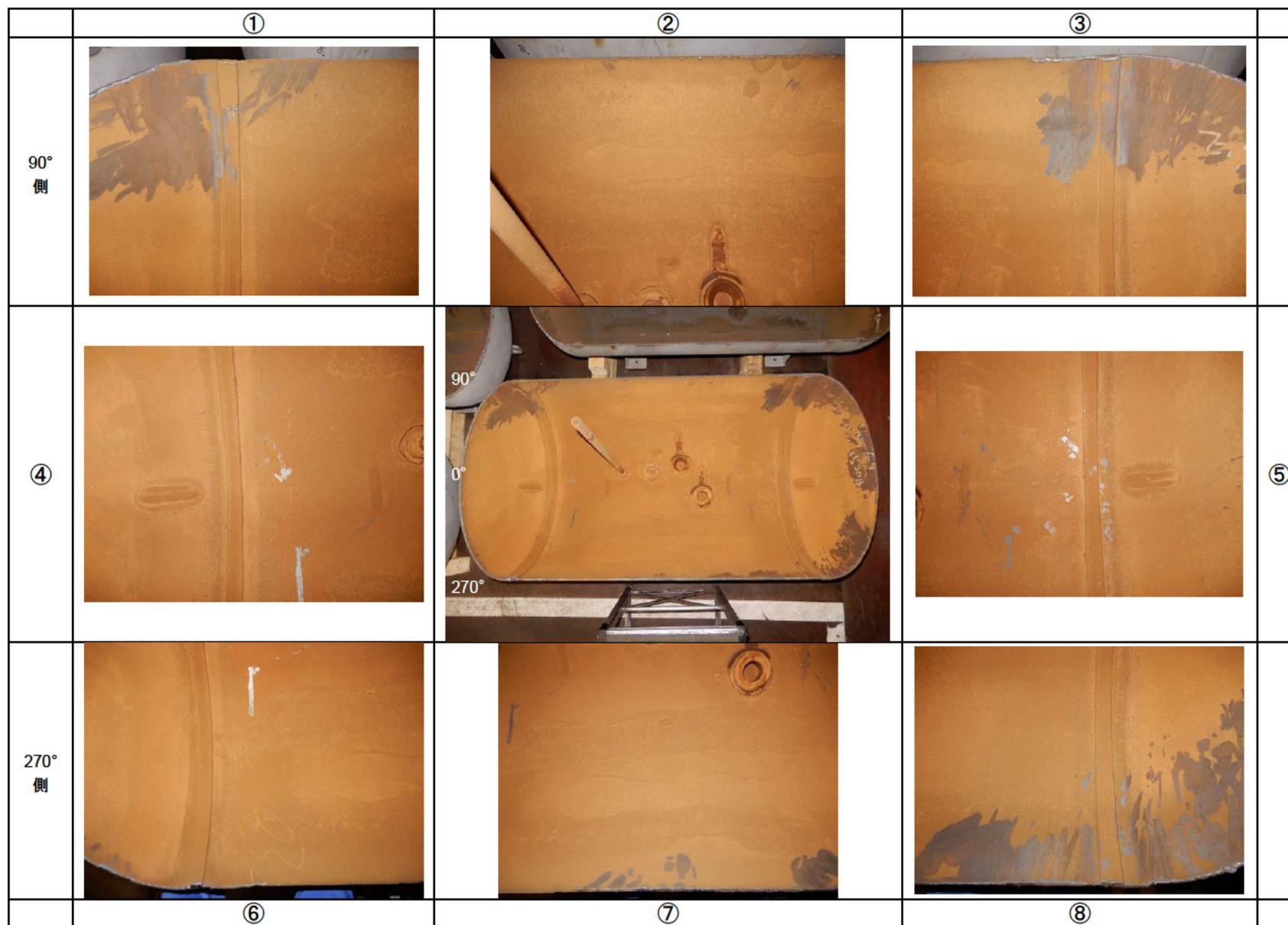


図 6.2.4-10 被試験体内面状況 A-3 (上部)



図 6.2.4-11 被試験体内面状況 A-3 (下部)



図 6.2.4-12 被試験体内面状況 A-4 (上部(耐圧試験実施))



図 6.2.4-13 被試験体内面状況 A-4 (下部(耐圧試験実施))



図 6.2.4-14 被試験体内面状況 B-1 (上部)

(鋼板製造者のステンシル等をマスキングしております。)

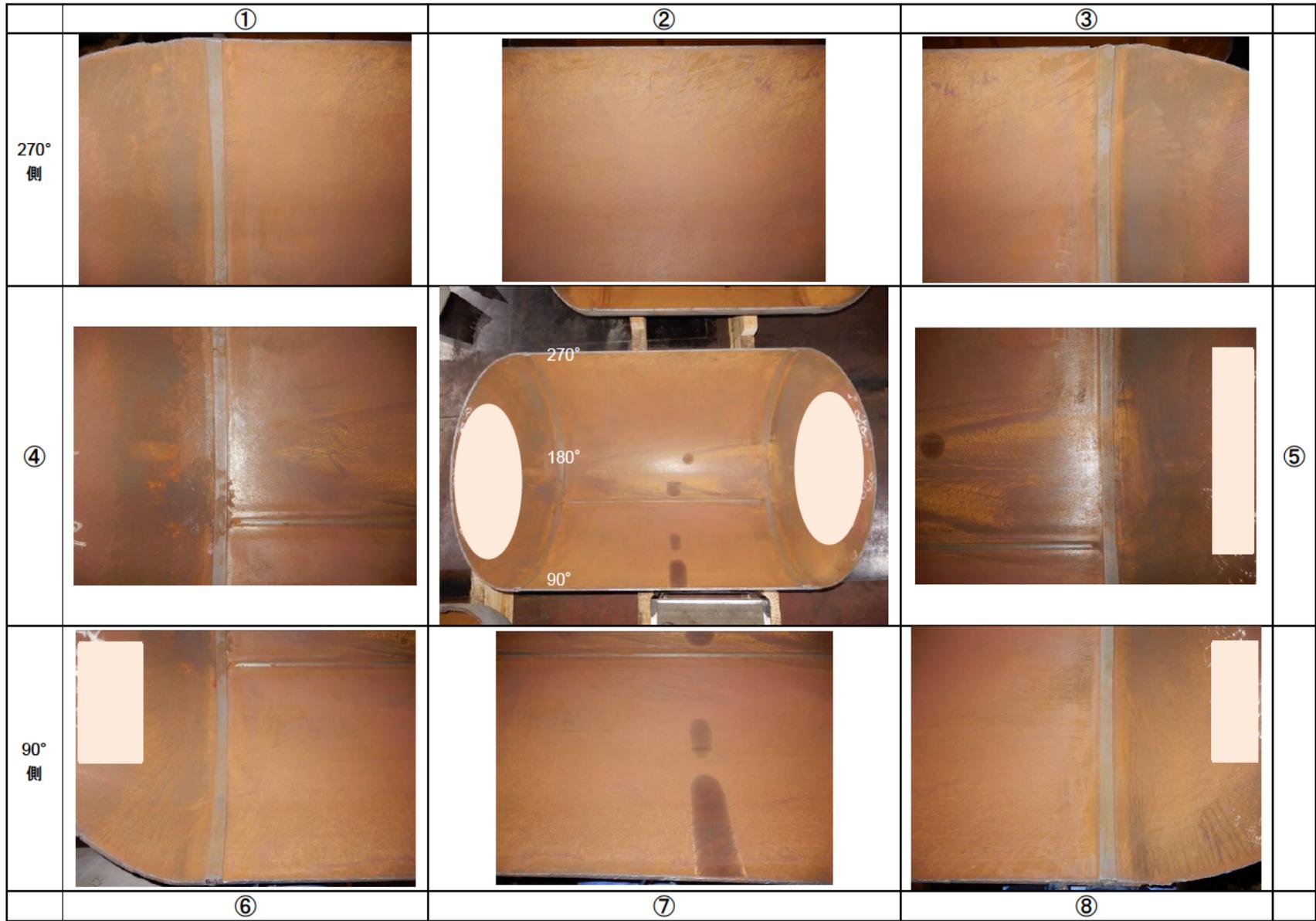


図 6.2.4-15 被試験体内面状況 B-1 (下部)

(鋼板製造者のステンシル等をマスクングしております。)



図 6.2.4-16 被試験体内面状況 B-2 (上部 (耐圧試験実施))



図 6.2.4-17 被試験体内面状況 B-2 (下部 (耐圧試験実施))



図 6.2.4-18 被試験体内面状況 B-3 (上部)

(鋼板製造者のステンシル等をマスキングしております。)



図 6.2.4-19 被試験体内面状況 B-3 (下部)

(鋼板製造者のステンシル等をマスクングしております。)



図 6.2.4-20 被試験体内面状況 B-4 (上部)



図 6.2.4-21 被試験体内面状況 B-4 (下部)

(鋼板製造者のステンシル等をマスキングしております。)

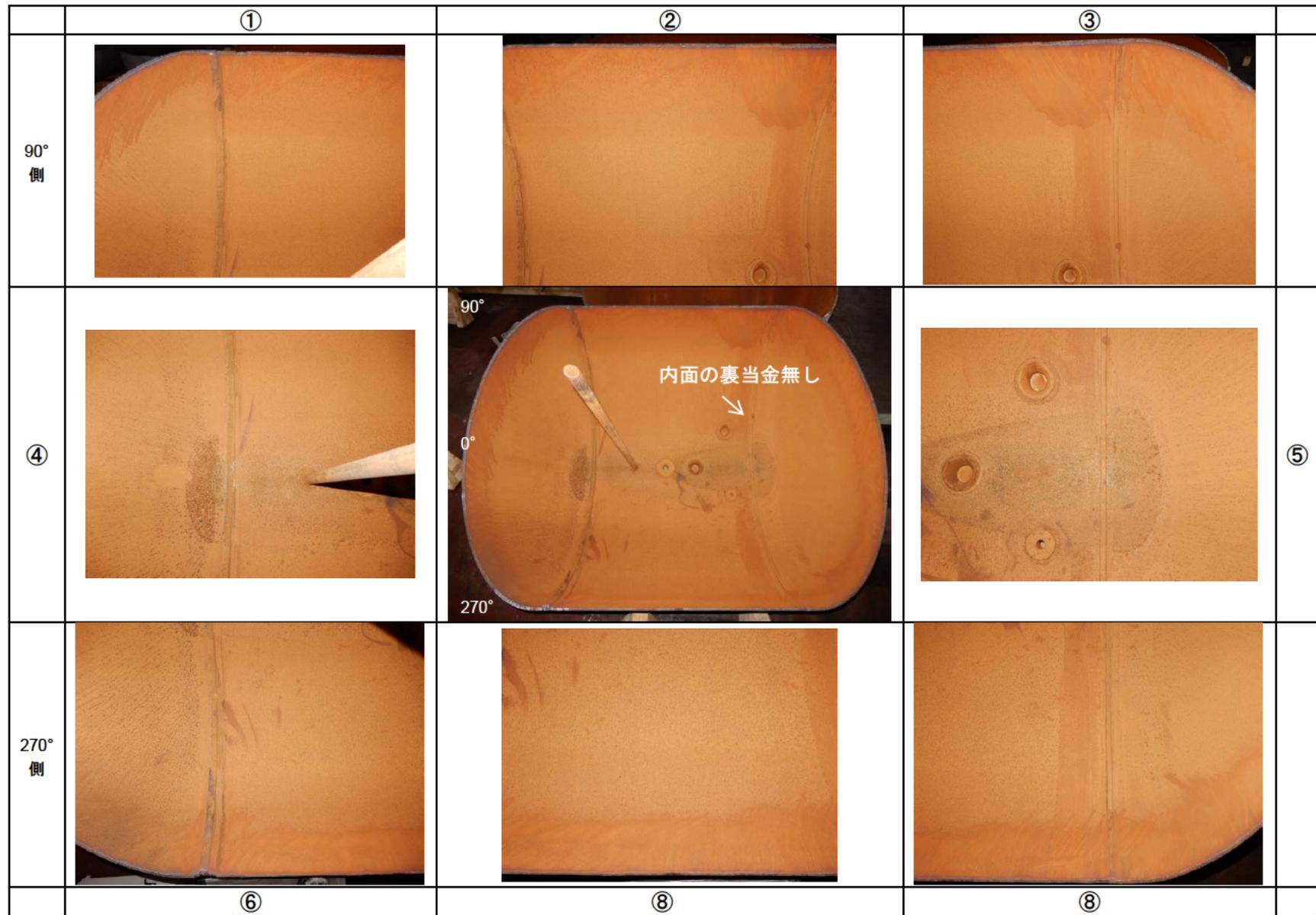


図 6.2.4-22 被試験体内面状況 C-1 (上部 (耐圧試験実施))



図 6.2.4-23 被試験体内面状況 C-1 (下部 (耐圧試験実施))

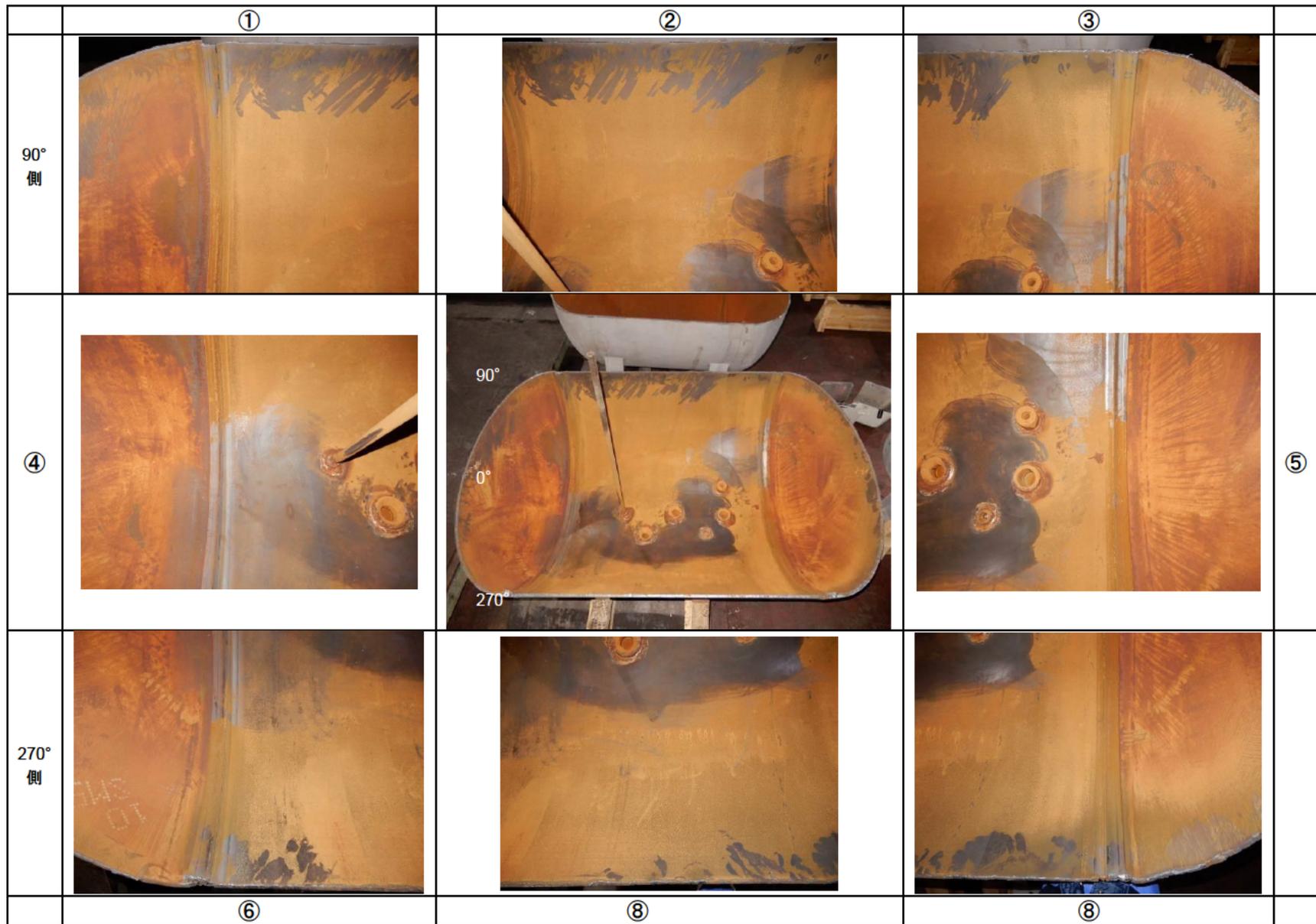


図 6.2.4-24 被試験体内面状況 C-2 (上部)



図 6.2.4-25 被試験体内面状況 C-2 (下部)

(鋼板製造者のステンシル等をマスキングしております。)

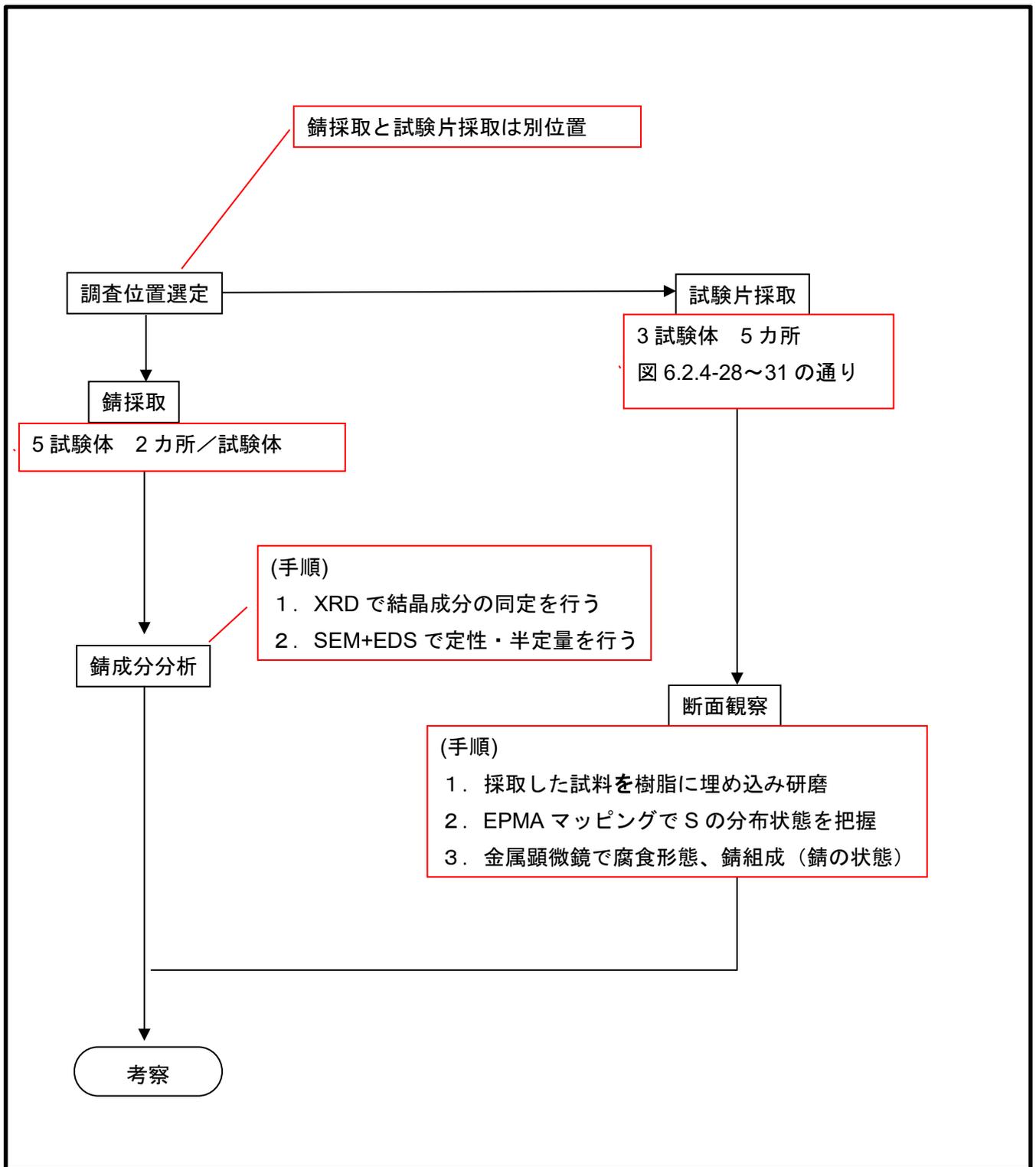


図 6.2.4-26 被試験体の内部表面の鑄成分分析等に係る調査手順フロー

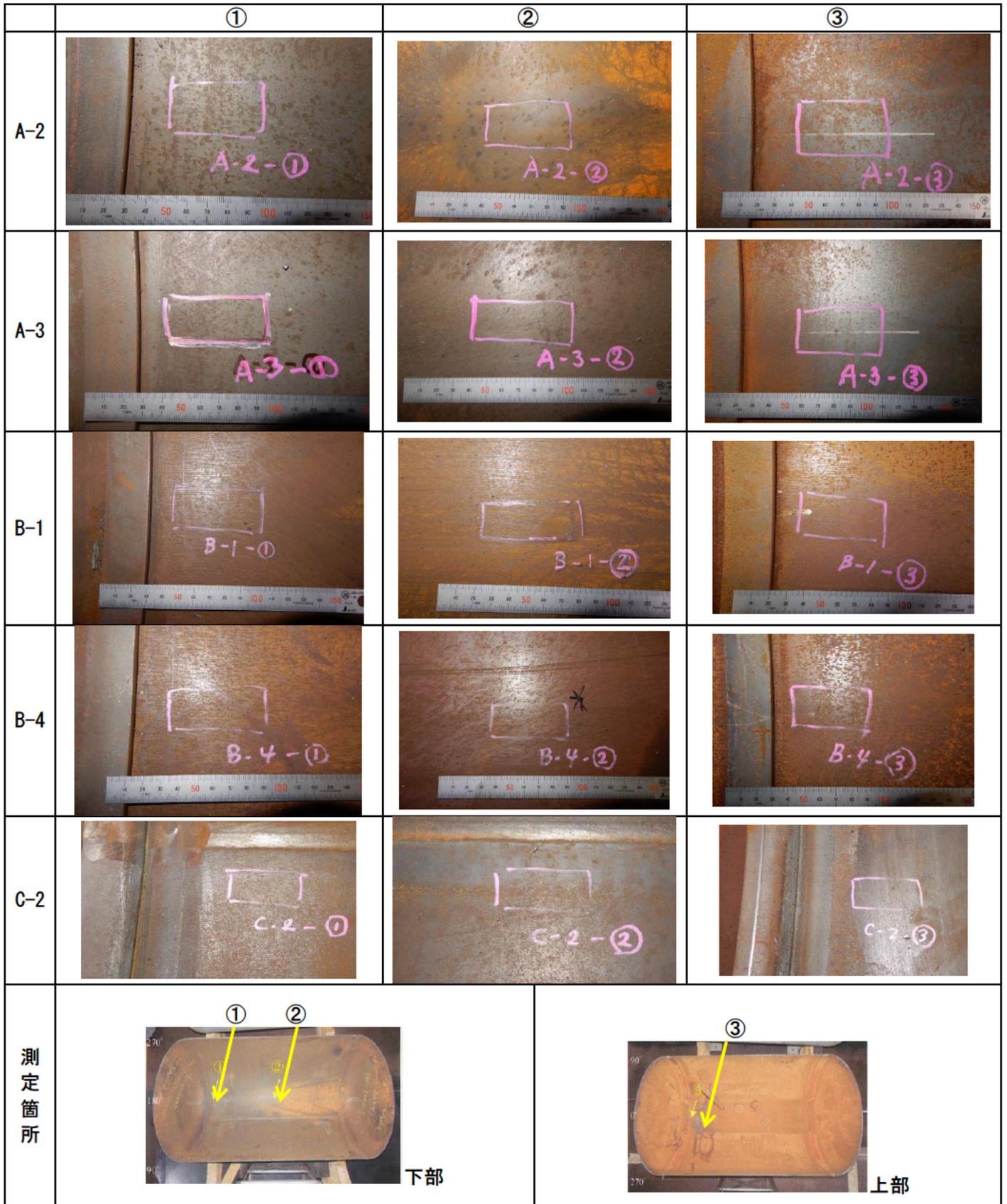
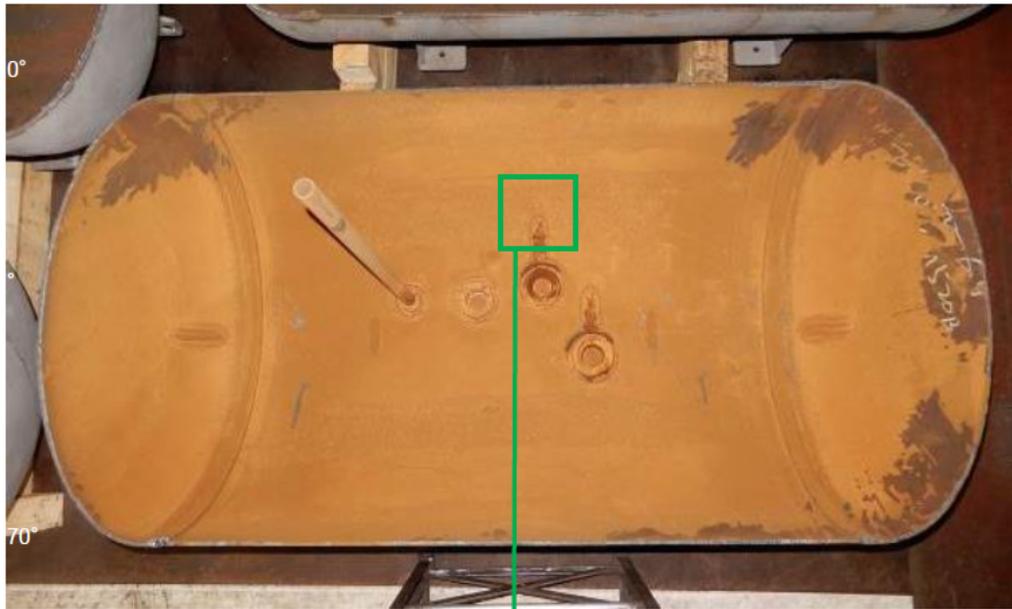


図 6.2.4-27 表面粗さ測定箇所



上部

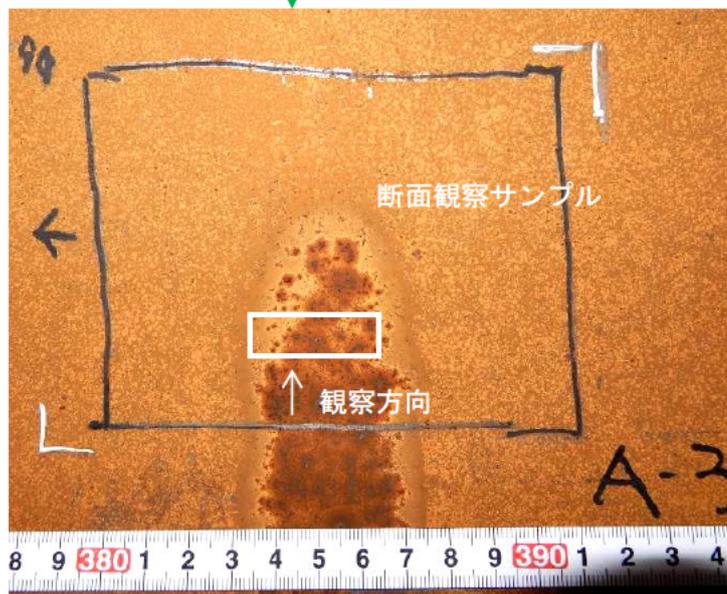
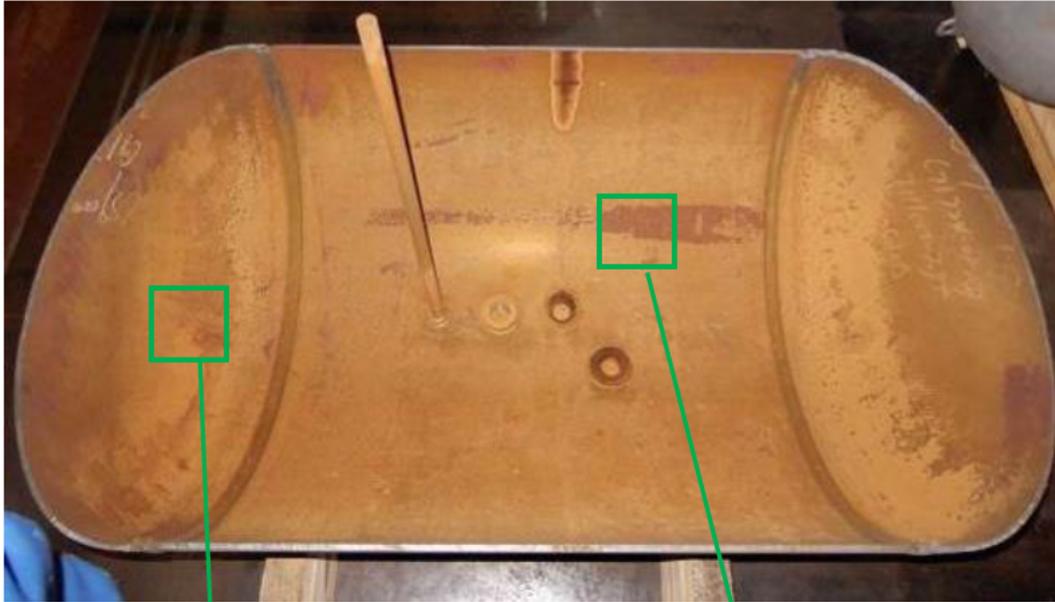


図 6.2.4-28 断面観察試験片採取位置(A-3)



B-4-2
(中間部)

B-4-1
(上部)

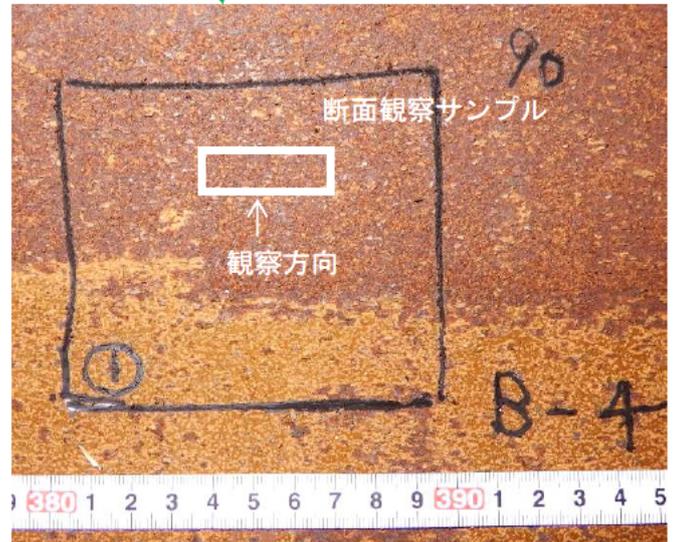
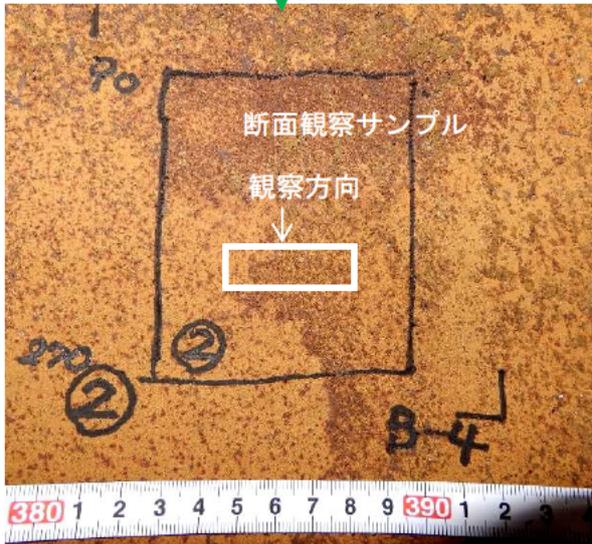


図 6.2.4-29 断面観察試験片採取位置(B-4)



B-4-3
(底部)

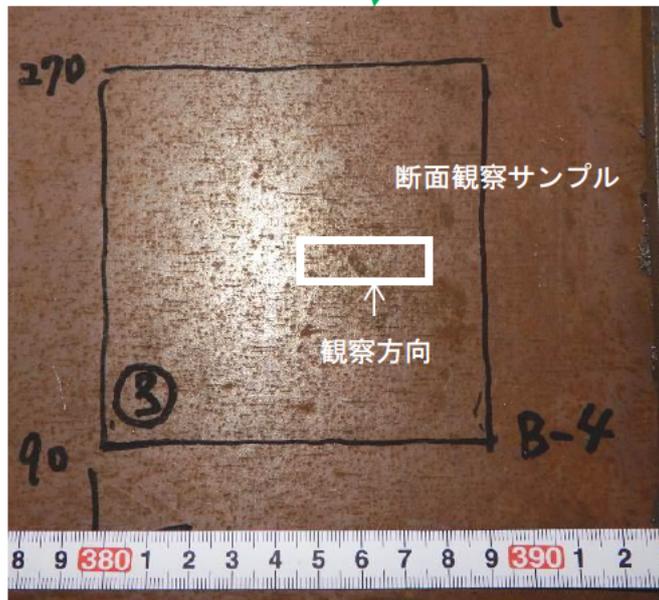


図 6.2.4-30 断面観察試験片採取位置(B-4)



上部



図 6.2.4-31 断面観察試験片採取位置(C-2)

(3)内部表面の錆成分の分析結果

バルク 20 年合格貯槽内面の腐食について、残留ガス成分の影響及び錆の成分の調査結果を次の①及び②に示す。

①残留ガス等の成分分析による腐食試験の結果

バルク 20 年合格貯槽の 5 試験体の残留ガス成分分析結果は前述の表 6.2.4-6 の通り原料ガスに比べ硫黄、水分、着臭剤、蒸発残渣等に若干濃縮傾向が見られた。残留ガス成分における腐食性成分として懸念される各成分についての結果を a)～c) に示す。

a)硫化水素

試験を行ったすべての残留ガス中において、腐食性成分として懸念される硫化水素は検出されなかった。また、これは銅板腐食試験の結果においても検体は 1a (わずかに変色) であった。

b)硫黄

試験を行ったすべての残留ガス中において、全硫黄は原料ガスと比較して 5 ～15 倍となった。硫黄は酸素と反応して二酸化硫黄となり、湿度が高い状態では腐食を促進する性質があるが、c)に述べる通り湿度が低いことから、残留ガス環境での腐食はほとんど起きないと考えられる。これは、硫黄の付着状態を分析した後述 ② c) 錆の断面観察の通り、LP ガスの消費量の大小、経年の長短によらず残留ガス内の硫黄には腐食性がないことが確認された。

c)水分・酸素

試験を行ったすべての残留ガス中において、水分は原料ガスと比較して約 3 倍の最大 30wtppm、酸素についてはほぼ 3 倍程度の 2wtppm が検出された。水接触によるイオン化と溶存酸素の還元が鉄の腐食を進行させることから、水が凝縮し結露若しくは溶存酸素を含む水として存在するかが要件となるが、バルク貯槽内の残留ガスの水分濃度での供用中においてバルク貯槽内面の腐食を促進するものではないと言える。貯槽内残留成分分析結果によれば水は 30ppm 以下である。図 6.2.4-32 によれば平衡状態 0°Cの液相中水分量は約 130ppm、気相中水分量は約 1300ppm であり、分析結果はそれより小さい。そのため、結露することはなく、水による腐食は進展しないと予測される。告示検査などで大気暴露された場合には、一時的に貯槽内に水が入り、腐食が発生する可能性はあるが、バルク貯槽の再使用（原料ガスの充填）により水、酸素は供給されないため、腐食は短期間で停止する。

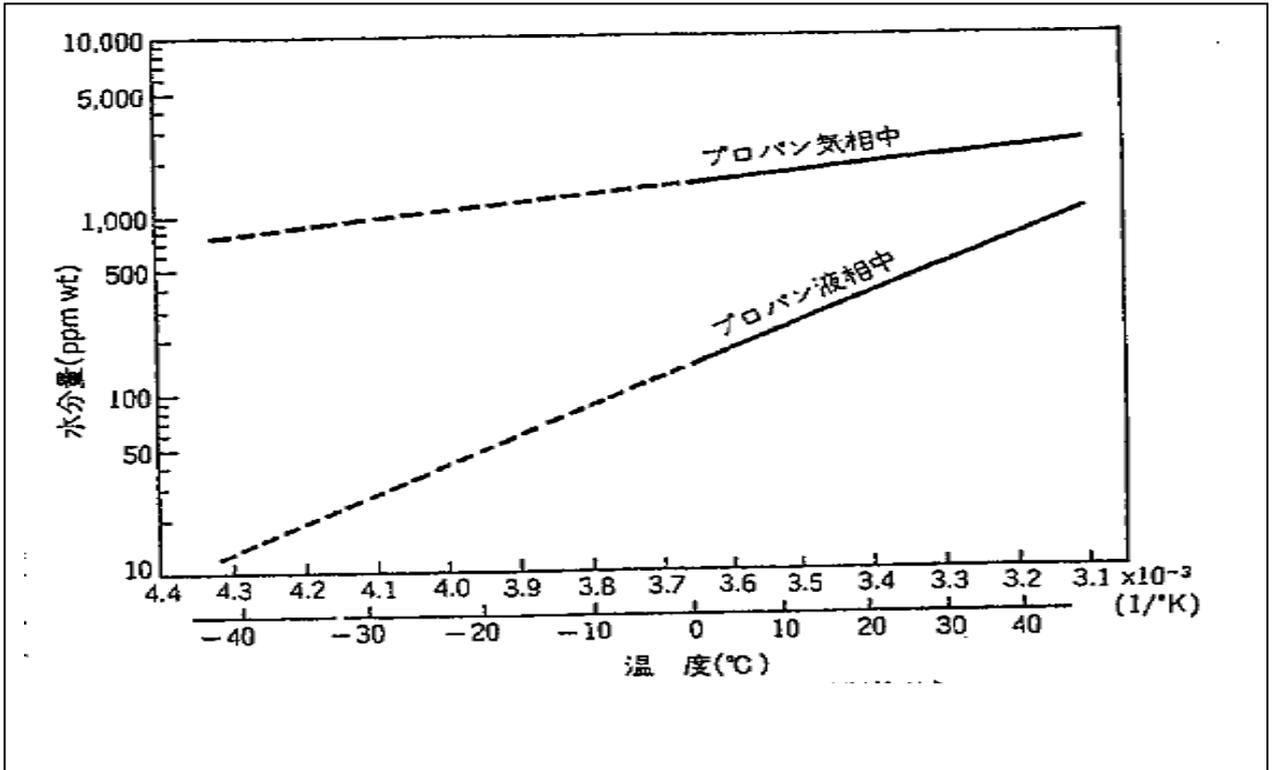


図 6.2.4-32 プロパン液・気相中水分濃度 (平衡状態)

*出典

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

②内部表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部表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、内部表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-2、A-3、B-1、B-4、C-2の5試験体についての結果、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6.2.4-27に、測定結果を表6.2.4-8に示す。

表 6.2.4-8 表面粗さ測定結果

試験体	位置	Ra(μm)	Rz(μm)	平均	
				Ra(μm)	Rz(μm)
A-2	1	1.58	8.85	2.3	12.43
	2	2.34	12.62		
	3	2.93	15.82		
A-3	1	3.14	16.59	2.9	12.33
	2	1.73	9.14		
	3	2.01	11.25		
B-1	1	3.87	18.96	3.08	15.74
	2	2.22	11.45		
	3	3.14	16.82		
B-4	1	3.01	15.92	2.58	14.27
	2	1.31	8.59		
	3	3.42	18.26		
C-2	1	2.07	10.49	2.56	14.99
	2	2.42	13.26		
	3	3.46	21.23		
参考	本試験 全平均			2.68	13.95
	H27 試験 全平均			1.79	10.78

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
λ_c	0.8mm \times 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

被試験体の内部表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6.2.4-9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出したものであり、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A-2、A-3、B-1、B-4の4試験体から一部検出されたが、いずれも採取エリアの全成分における平均値では検出下限以下であり、5被試験体間で顕著な違いはなかった。また、今回耐圧試験を行ったC-1試験体においても差異は認めなかった。

2) XRDによる錆物成分の簡易定量分析結果

XRDによる錆物成分の簡易定量分析結果を表6.2.4-10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。EDSにより部分的に検出された硫黄分も1%未満であり、XRDではその存在を確認できない。検出錆物名のレピドクロサイトとゲータイトは同質異像錆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・沈殿などで安定した錆といわれている。被試験体中の環境が一定であったと仮定すると、B-4と比較してレピドクロサイトに対するゲータイトの比率が多いC-2試験体は腐食の進展速度が小さい状態にあると見ることができる。ゲータイトを検出されないA-2、A-3、B-1試験体では大気中での腐食が進んでいないことを示唆している。B-4試験体と今回耐圧試験を行ったC-1試験体ではレピドクロサイトとゲータイトを認めることから、大気中の腐食が進展したといえる。今回の分析では内面観察後、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していることから、試験体毎で差異がみられる。B-4試験体は環境の異なりが推察されるが、前述の通り残留ガスによる影響がないとすると、大気暴露の機会が他の試験体に比べ多かったことが想定される。

また、全ての試験体に共通してマグネタイト、ウスタイトが多く検出されるが、ウスタイトは約500℃以上の高温で生成される酸化物でありスケールである。マグネタイトにあっては、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、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由来の可能性が高い。

一方ヘマタイトは「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）が結晶化されて FeOOH （オキシ水酸化鉄）となり脱水化され 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が、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。

なお、前述 6.2.2 で実施したファイバースコープによる内面検査において認めていなかった、内面の赤い粉末状の付着物質は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、図 6.2.4-6~25 に示すことに至ったと考えられる。また、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 30~35 日を要し、貯槽内面調査のために行った貯槽切断工程では 5 日程度を要しており、この間の本試験過程で大気暴露によって形成されたと考えられる。

表 6.2.4-9 EDS 元素定量分析結果

(wt%)

元素	A-2			A-3			B-1			B-4			C-2			C-1(耐压試験体)			平均
	平均	A	B	平均	A	B													
C	16.3	9.2	25.1	31.3	25.6	25.1	29.3	12.7	15.9	12.5	6.5	8.3	19.0	14.5	11.1	17.0	7.0	9.2	20.9
O	30.2	52.7	35.6	31.7	40.0	44.2	30.0	51.2	39.7	30.3	25.3	32.3	30.8	42.1	41.6	30.8	35.8	52.3	30.6
Na	-	-	0.5	-	0.7	0.4	-	0.3	0.2	-	-	-	-	0.9	-	-	-	-	-
Mg	-	-	0.4	-	0.5	0.5	-	0.6	0.1	-	-	-	-	21.8	10.8	-	-	2.2	-
Al	-	-	0.9	-	3.7	2.0	-	2.5	0.7	-	-	-	0.2	-	0.7	-	-	1.2	0.0
Si	0.3	29.1	4.6	0.2	7.4	9.1	0.2	8.8	0.8	0.3	0.7	0.4	0.5	-	4.7	0.3	0.4	4.0	0.3
P	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
S	-	-	0.6	-	0.4	0.4	-	0.6	-	-	0.2	0.6	-	-	-	-	-	-	-
Cl	-	-	1.5	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	0.3	-	0.9	1.0	-	0.3	0.2	-	-	-	-	0.7	-	-	-	-	-
Ca	0.2	0.8	3.4	-	1.7	7.2	-	13.0	22.5	-	0.2	0.5	0.2	0.6	3.2	-	-	16.3	0.1
Ti	-	-	1.4	-	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	1.0	-	0.7	0.7	1.1	-	0.6	-	0.5	0.7	1.0	0.7	1.2	-	-	0.8	0.7	-	0.8
Fe	52.0	8.2	25.0	36.1	17.2	9.9	39.8	10.1	19.5	56.2	66.2	57.0	48.2	19.4	28.0	51.0	56.2	15.0	47.2

表 6.2.4-10 XRD 簡易定量分析結果(RIR 法)

(wt %)

鉱物名	化学式	A-2	A-3	B-1	B-4	C-2	C-1 耐圧 試験体	全試験体 平均%
鉄	Fe	5.9	1.9	0.4	0	5.3	0	2.3
マグネタイト(磁鉄鉱)	Fe ₃ O ₄	69.1	70.0	80.5	25.0	77.9	58.0	63.4
ウスタイト	FeO	10.1	2.5	5.9	12.3	6.7	0	6.3
ヘマタイト(赤鉄鉱)	Fe ₂ O ₃	15.0	25.5	9.4	15.1	0.0	0.0	10.8
レピドクロサイト(鱗鉄鉱)	FeO ₂ H	0	0	0	22.0	0.0	15.0	6.2
ゲータイト(針鉄鉱)	FeO(OH)	0	0	0	21.8	6.8	25.4	9.0
カルサイト	CaCO ₃	0	0	0	0	0	0.9	0.2
石英	SiO ₂	0	0	3.8	3.8	3.3	0.8	2.0
ルチル	TiO ₂							
アナターゼ	TiO ₂							
①：全鉄錳量		94.2	98.0	95.8	96.2	91.4	98.4	95.7
②：(鱗鉄鉱)+(針鉄鉱)錳量		0.0	0.0	0.0	43.8	6.8	40.4	15.2
②/①錳組成比率		0.0%	0.0%	0.0%	45.5%	7.4%	41.1%	15.9%

c) 錆断面観察

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

1) 断面観察

被試験体の中から 3 試験体について図 6.2.4-28～31 に示す 5 カ所の調査位置を選定し、腐食形態の確認のため断面観察を行い、かつ 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箇所を図 6.2.4-33～37 に示す。被試験体 A-3 の観察視野において、内部表面に 10～20 μm のマグネタイト (やや明るく見える化合物) の層が確認され、減肉はほとんど認められなかった。B-4-1,2 (上部・中間部) 及び C-2 の観察視野においては 50 μm 程度の錆が、B-4-3(下部)の観察視野においては 30 μm 程度錆が認められた。錆はマグネタイトの下にレピドクロサイト (FeOOH) と推定されるやや暗く見える層も認められた。前述(3)①a) の通り、残留ガス成分が腐食に関与することは無く、大気暴露下で生成されたものと考えられるが、*1 国内沿岸部では 0.1mm/年、標準地域では 0.05mm/年程度の腐食速度と言われており、バルク 20 年合格貯槽の経年を考慮すれば十分小さいといえる。

2) EPMA 元素マッピング

EPMA 元素マッピングの結果を図 6.2.4-38～42 に示す。いずれも錆層と母材の界面に硫黄元素が顕著に濃化した部位は認められなかった。A-3、B-4-2、B-4-3 では錆中の一部に硫黄元素が存在していたが、A-3 ではマグネタイト層の外側であり、B-4-2、B-4-3 は大部分の錆/母材界面には硫黄元素の分布が認められない。前述 EDS 成分元素の半定量分析の結果では全分析試料においても硫黄は 1% 未満であり成分量が少ないこと、硫酸化物などの付着部で腐食が生じたとしても、全体の腐食量への硫黄の寄与は極小さいと推測される。

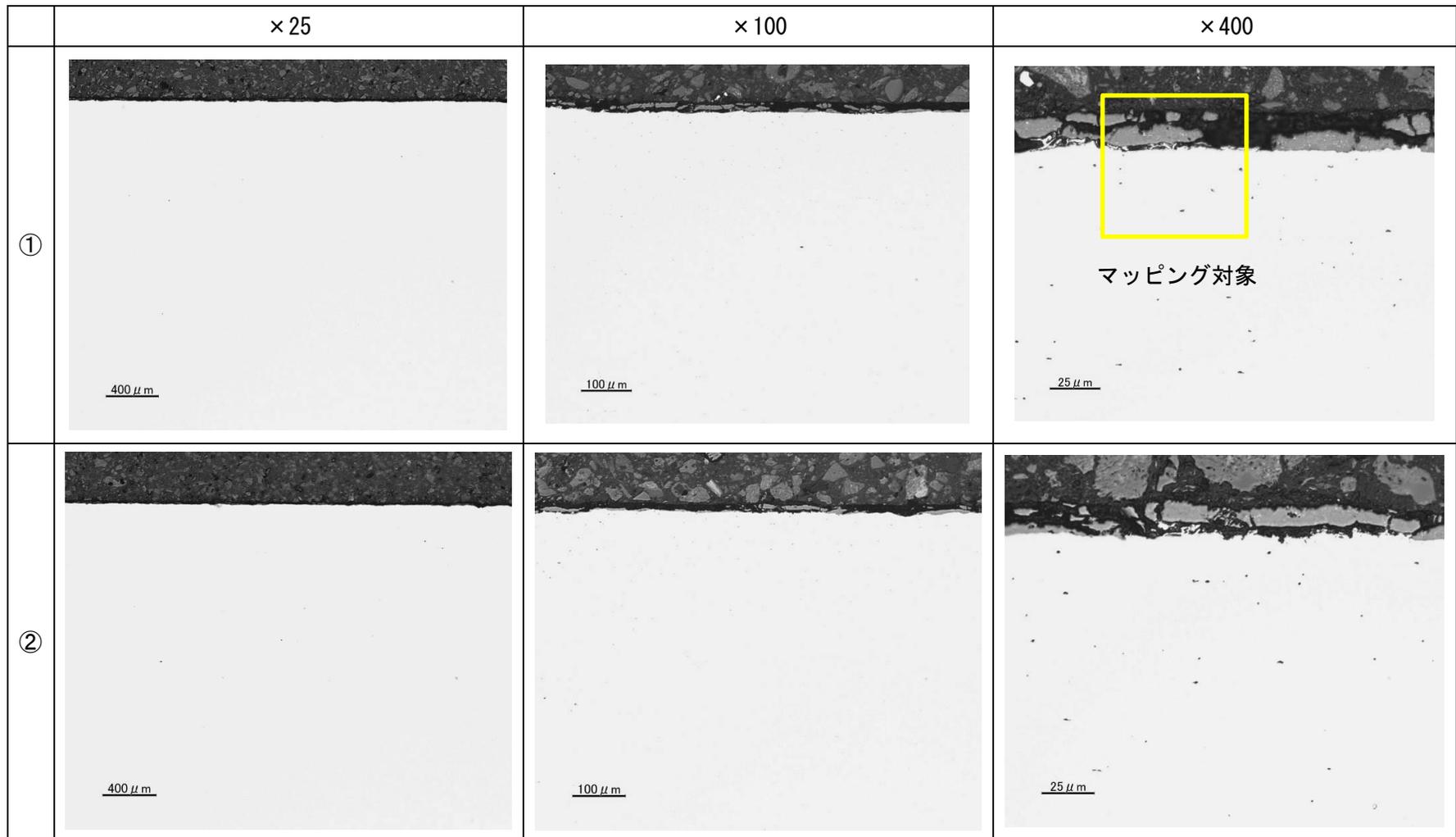


図 6.2.4-33 断面観察結果 : A-3

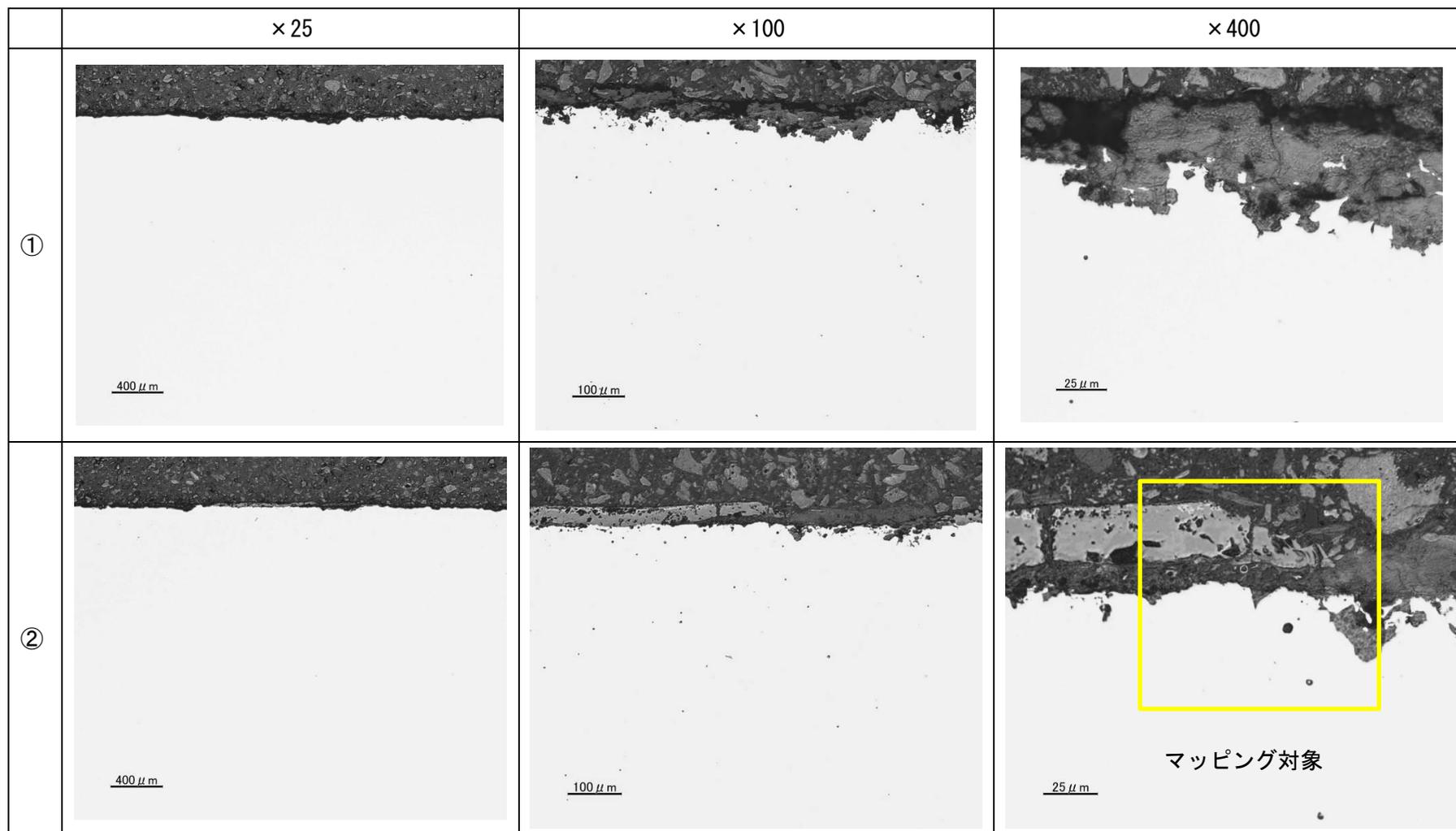


図 6.2.4-34 断面観察結果 : B-4-1

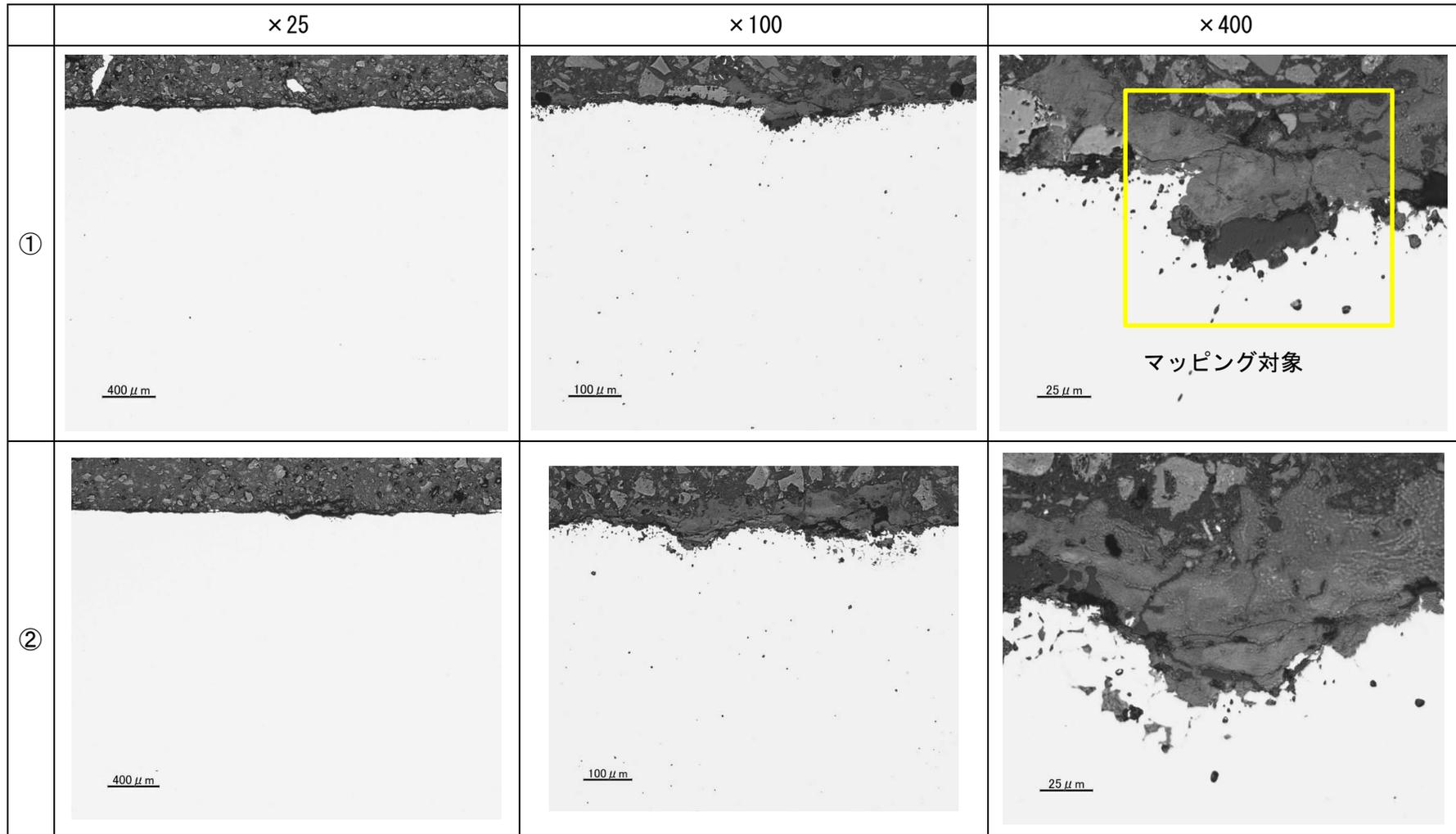


図 6.2.4-35 断面観察結果 : B-4-2

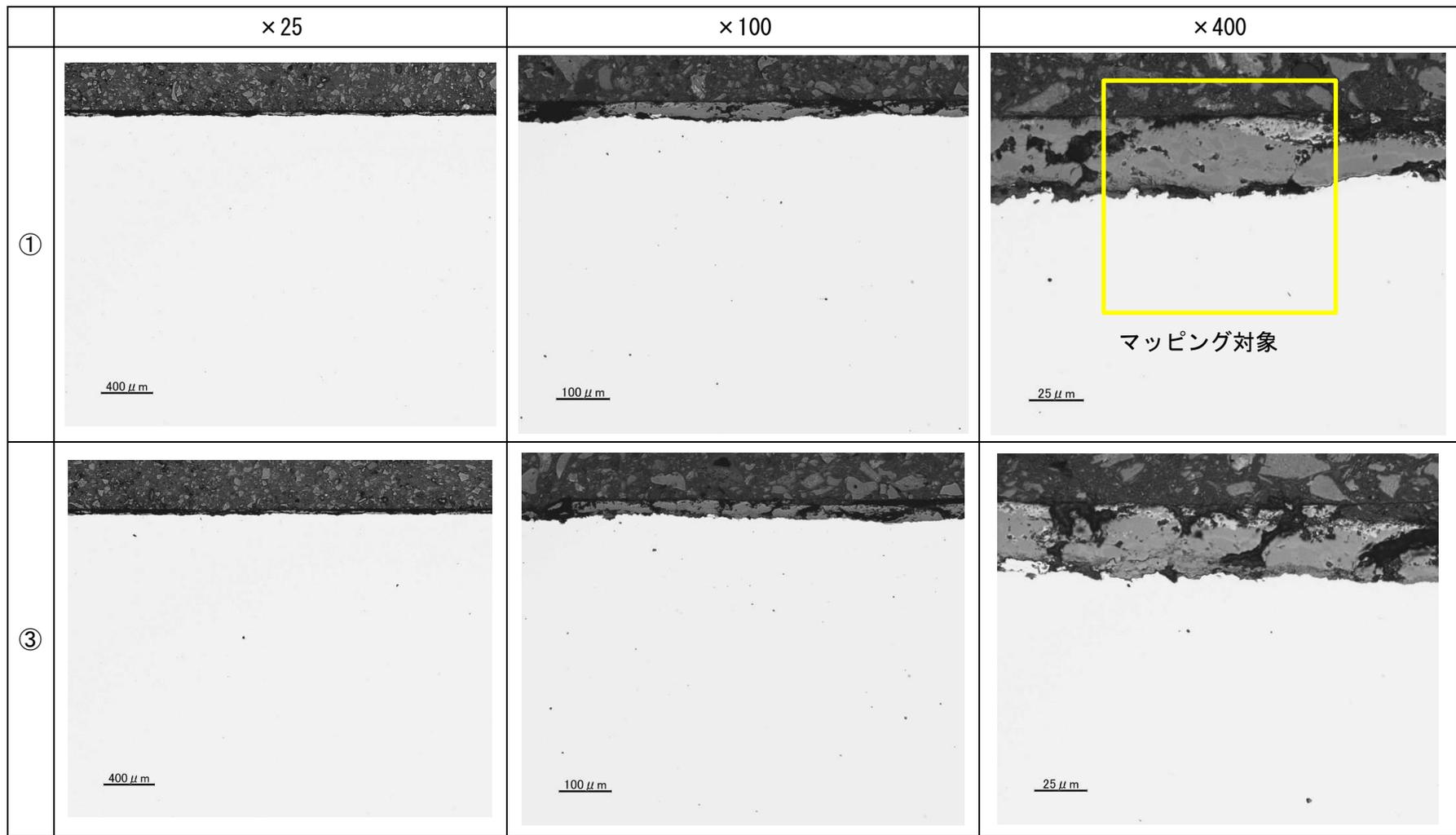


図 6.2.4-36 断面観察結果 : B-4-3

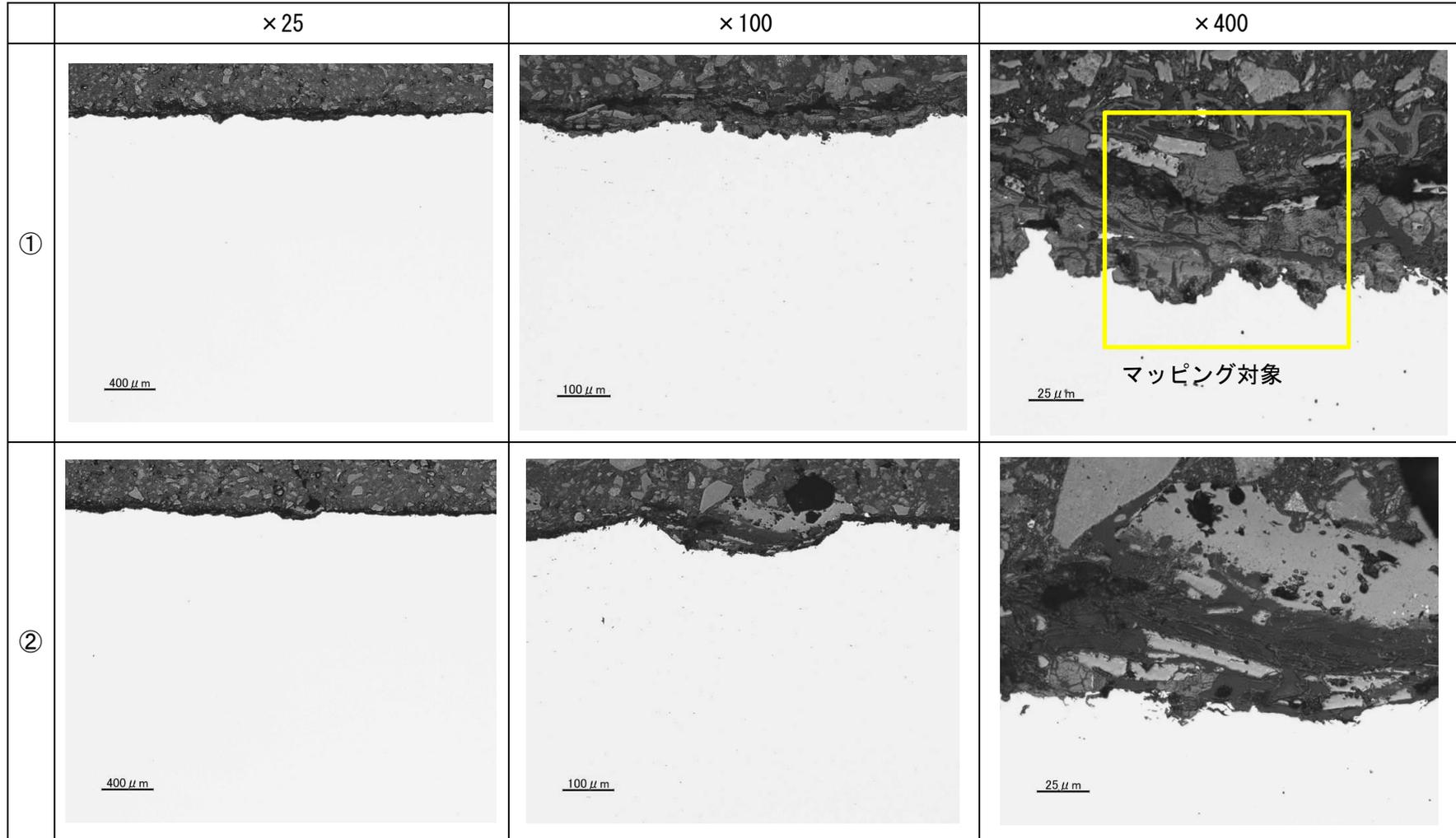


図 6.2.4-37 断面観察結果 : C-2

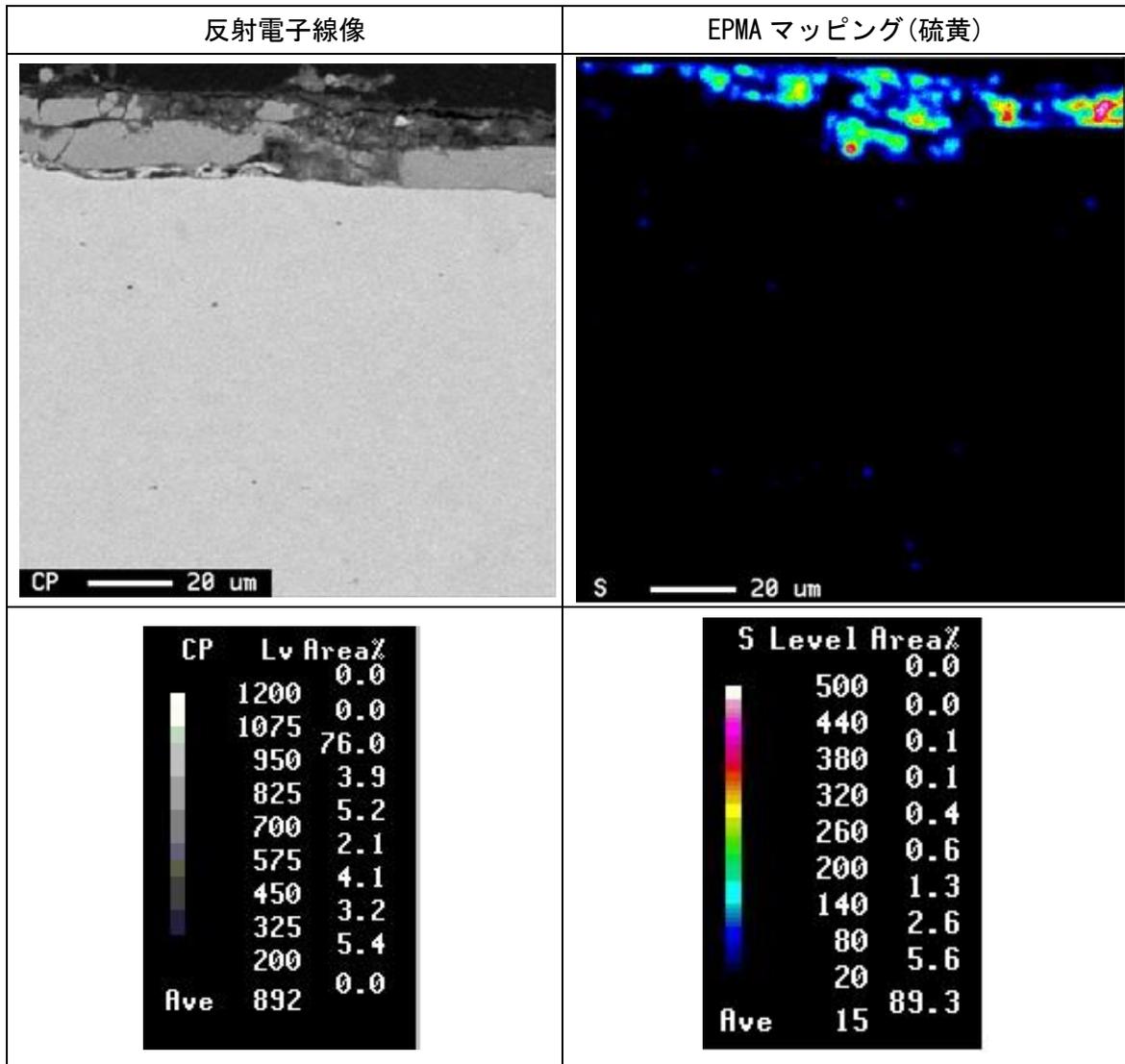


図 6.2.4-38 EPMA マッピング分析結果(A-3, 図 6.2.4-33①)

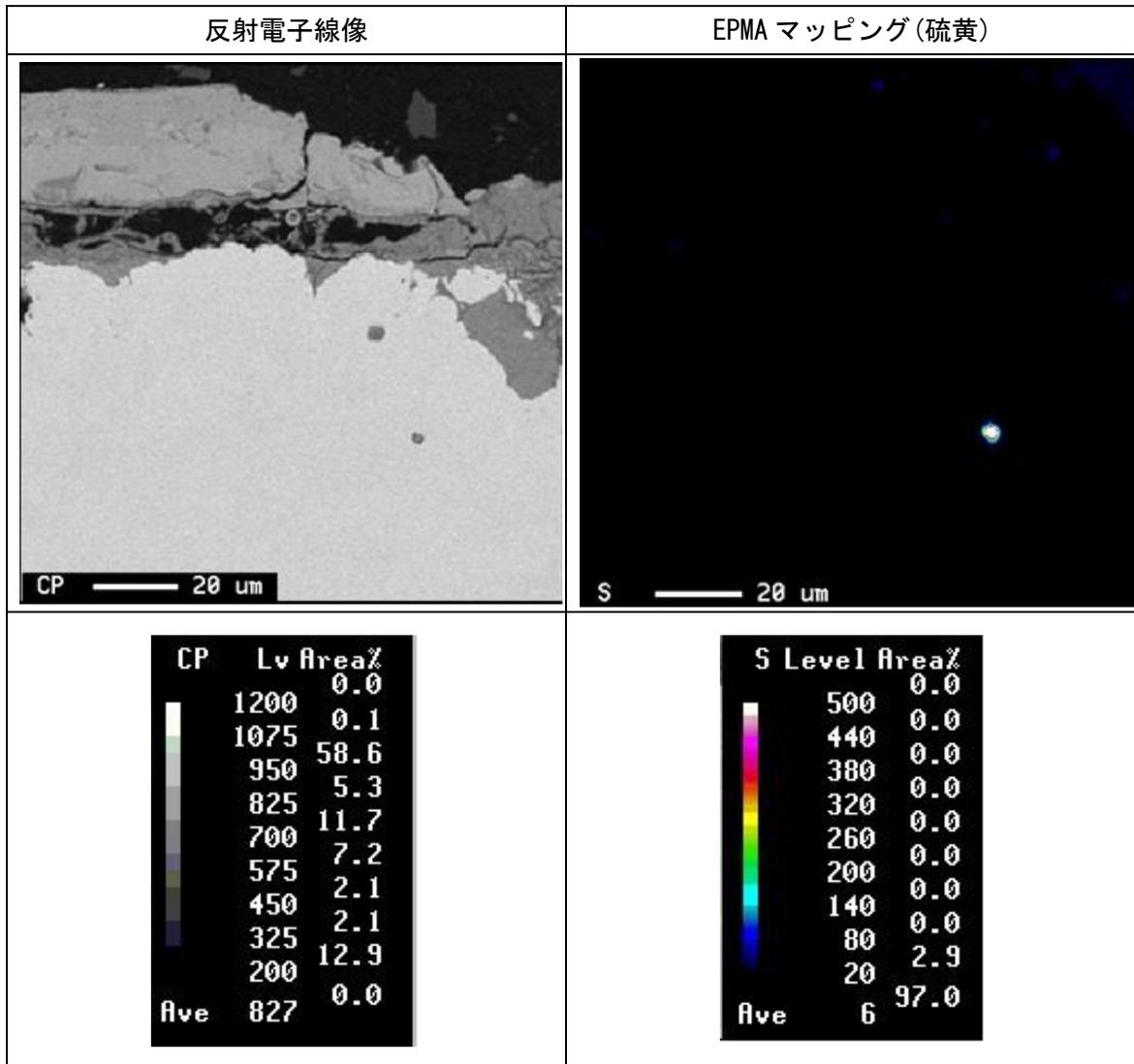


図 6.2.4-39 EPMA マッピング分析結果(B-4-1, 図 6.2.4-34②)

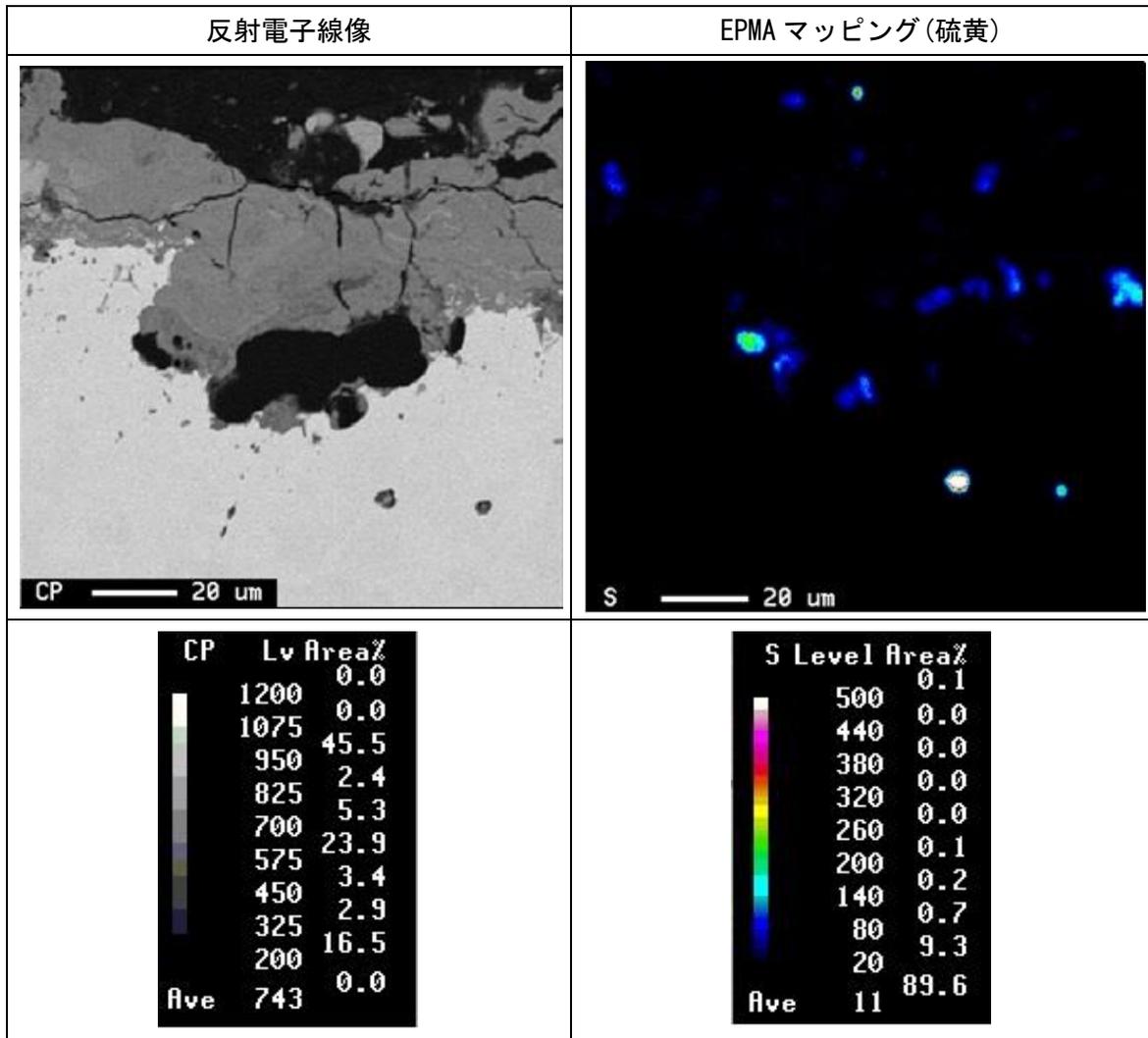


図 6.2.4-40 EPMA マッピング分析結果(B-4-2, 図 6.2.4-35①)

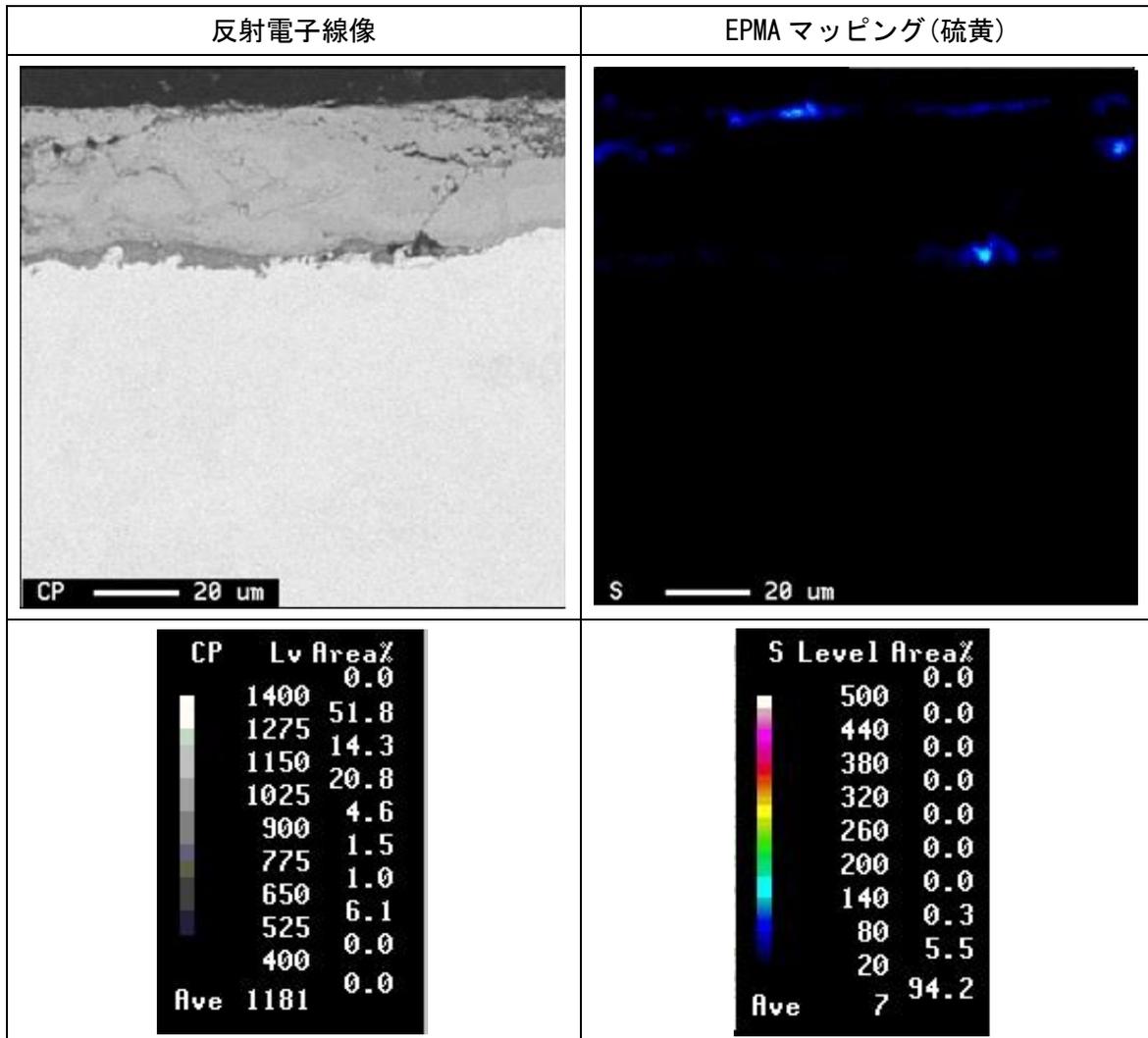


図 6.2.4-41 EPMA マッピング分析結果(B-4-3 図 6.2.4-36①)

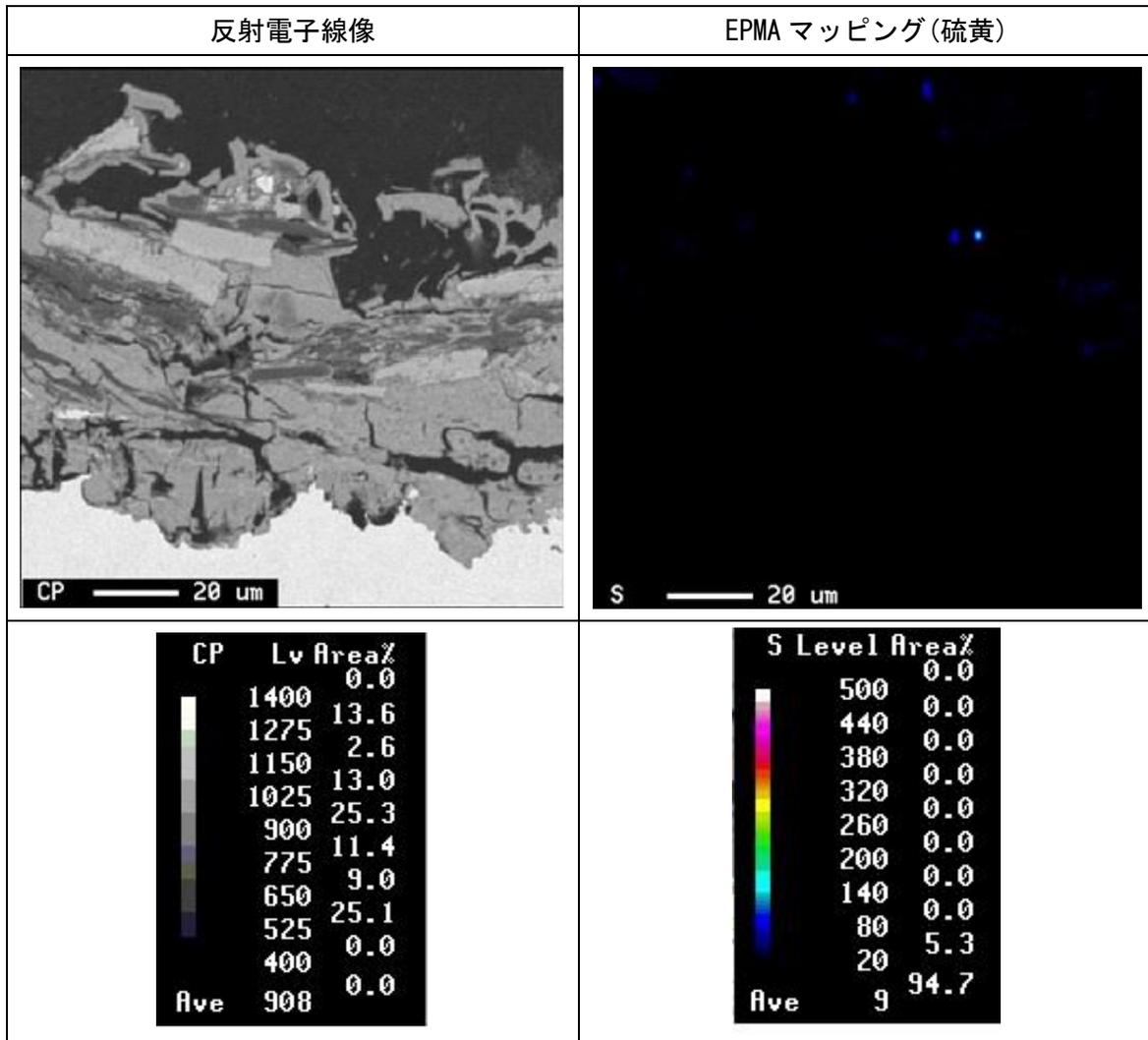


図 6.2.4-42 EPMA マッピング分析結果(C-2 図 6.2.4-37①)

(4) 内部表面の錆成分の分析結果のまとめ

バルク 20 年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被試験体として、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。また、水分は「原料ガス」充填用ガス中の成分量 8ppm と比して 2~4 倍であったが、腐食を助長する程のものでない。一方、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量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、被試験体の内部表面を観察した結果、バルク 20 年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。^{*1} 国内の沿岸部では 0.1mm/年、標準地域では 0.05mm/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。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。貯槽内部表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、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。なお、後述のとおり残留ガスは貯槽内部表面の錆の生成に殆ど影響しないと思われる。

錆の断面を観察による硫黄の存在は、約 20 μm 減肉したと推定される箇所においては錆の表層に硫黄が僅かに存在しているが、50 μm 減肉したと推定される箇所には検出されなかった。また、生成された錆の組成を調べたところ硫化物は検出されなかった。

以上の結果より、供用中における被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（本試験においても耐圧試験実施試験体はその傾向を示す）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。^{*1} 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国内沿岸部では約 0.1mm/年、標準地域では約 0.05mm/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)

*² 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 $\mu\text{m}/\text{yr}$ 以下といわれている。なお、残留ガス成分として高濃度で検出されており、錆成分中に含まれていた硫黄は水と酸素が存在する環境では硫酸イオンなどの腐食因子となる可能性があり、この硫酸イオン濃度が高くなると酸性になり、上述の水の還元反応による腐食速度も大きくなることが考えられる。しかしながら、酸素が消費された後は硫酸イオンも生成されず、腐食速度は小さくなる。供用中におけるバルク貯槽内部の酸素及び硫化物の影響による腐食生成物はほとんど検出されなかったことからこの硫黄成分が発錆に参与していた可能性については、否定できると考えられる。一方で、残留ガス中の水分量は、使用環境条件によっては確実に遊離水分が発生していないとは言えないものの、水分量と内部表面の錆の程度に相関は見られず、バルク貯槽内における水分が遊離し、腐食反応に寄与していることはないと思われる。

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被試験体の腐食は、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、内部表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 腐食防食協会編：住宅の腐食・防食 Q&A、p.172、丸善、(2004)

*² 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

7. 検査手法の作業性評価

密閉型磁粉探傷の作業性評価試験

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、安全性、環境性等の観点から負荷が大きい。

このような背景からバルク貯槽の設置場所で告示検査の検査項目を実施する際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。

バルク 20 年合格貯槽は、外面の周・長手継手の交叉部を含み全長の 20%以上の非破壊検査を行っていることより、25 年目検査においては、初回告示検査の非破壊検査部及び初回告示検査の範囲を除く他の 20%以上について、現に設置された場所で密閉型磁粉探傷装置を用いて、バルク貯槽の非破壊検査を実施する場合の作業性について評価及び安全性の担保ができる方法の可能性について検討を行った。

計画数：300kg 貯槽を 2 基、500kg 貯槽を 2 基、980kg 貯槽を 2 基

※設置場所での密閉型磁粉探傷試験の検証であるため、バルク 20 年合格貯槽にて試験できない場合は、バルク 20 年合格貯槽かどうかにとらわれずに選定した。

7.1 密閉型磁粉探傷の作業性評価試験仕様

検査対象とするバルク貯槽は、バルク 20 年合格貯槽または密閉型磁粉探傷試験の作業性等の評価において、適切な設置場所に設置されているバルク貯槽とする。

(1)選定条件の例

①バルク 20 年合格貯槽の場合

- ・バルク貯槽の 20 年告示検査において、溶接部の欠陥についてグラインダー加工等の補修を実施している貯槽であること。
- ・外面検査において、発錆等を補修している貯槽であること。
- ・板厚測定の結果、(測定板厚－計算板厚＝余裕板厚) 余裕板厚が少ない貯槽であること。
- ・再設置をし、供給設備として長期間使用している貯槽であること。

②バルク 20 年合格貯槽以外の場合

- ・設置をしてから、供給設備として長期間使用している貯槽であること。
- ・設置環境に対し、検査作業が厳しいと予想される貯槽であること。

③共通事項

- ・供給設備での使用履歴（月間使用量等、消費先業務形態等）が明らかな貯槽であること。

※計画数：300kg 貯槽を 2 基、500kg 貯槽を 2 基、980kg 貯槽を 2 基、なお、各 2 基は、横型及び縦型の組み合わせを検討する。

(2) 実際の線状磁粉模様を有する標準試験片の製作

密閉型磁粉探傷試験用の標準試験片として実際に線状磁粉模様を有する標準試験片を製作する。標準試験片製作用バルク貯槽は、線状磁粉模様を有するのであれば、経年数は問わない。

計画数：300kg 貯槽を 1 基より 1 片。

※「バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHK S 0745」の附属書 B より、B.3.2.2.4 a) 3)項を参照して製作する。

(3) 標準試験片の製作（人工きず）

標準試験片製作用バルク貯槽 1 基に対し、1 片の標準試験片を製作する。製作は KHK S 0745「バルク貯槽の告示検査等に関する基準、附属書 B」B.3.2.2.4 a) の 2) 項に基づき、人工きずを加工して標準試験片を製作する（但し、塗膜は 200 μm 以下とする）。

①人工きず表面の塗膜

加工前処理としてショットブラストを行った上、人工きずの表面は、200 μm 以下の膜厚で塗装を仕上げる。塗装方法は表 7.1-1 を参照とする。

表 7.1-1 塗装方法

塗装工程	商品名（一般塗料名）	シンナー名
素地下地	ブラストで ISO Sa2 1/2 まで除錆する	
A.下塗り	ニッペジンキー8000HB (有機ジンクリッチペイント)	ニッペジンキー8500 シンナー — (0~5%)
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%)
C.下塗り	ハイボン 50 上塗り HB (厚膜計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%)

- ・人工きず加工後、塗装前に、JIS Z 2320 に基づく蛍光磁粉探傷試験を実施し、人工きずが検出できることを確認する。
- ・塗装後、指定した 9 点／片について、膜厚計等による膜厚検査を実施する。
- ・塗装を施した試験片は、試験片番号を施す。

②人工きず用標準試験片 (380mm×480mm)



人工きず

試験片番号

KHK-LP-300-2019
NO. AC194060

表 7.1-2 標準試験片（人工きず）仕様

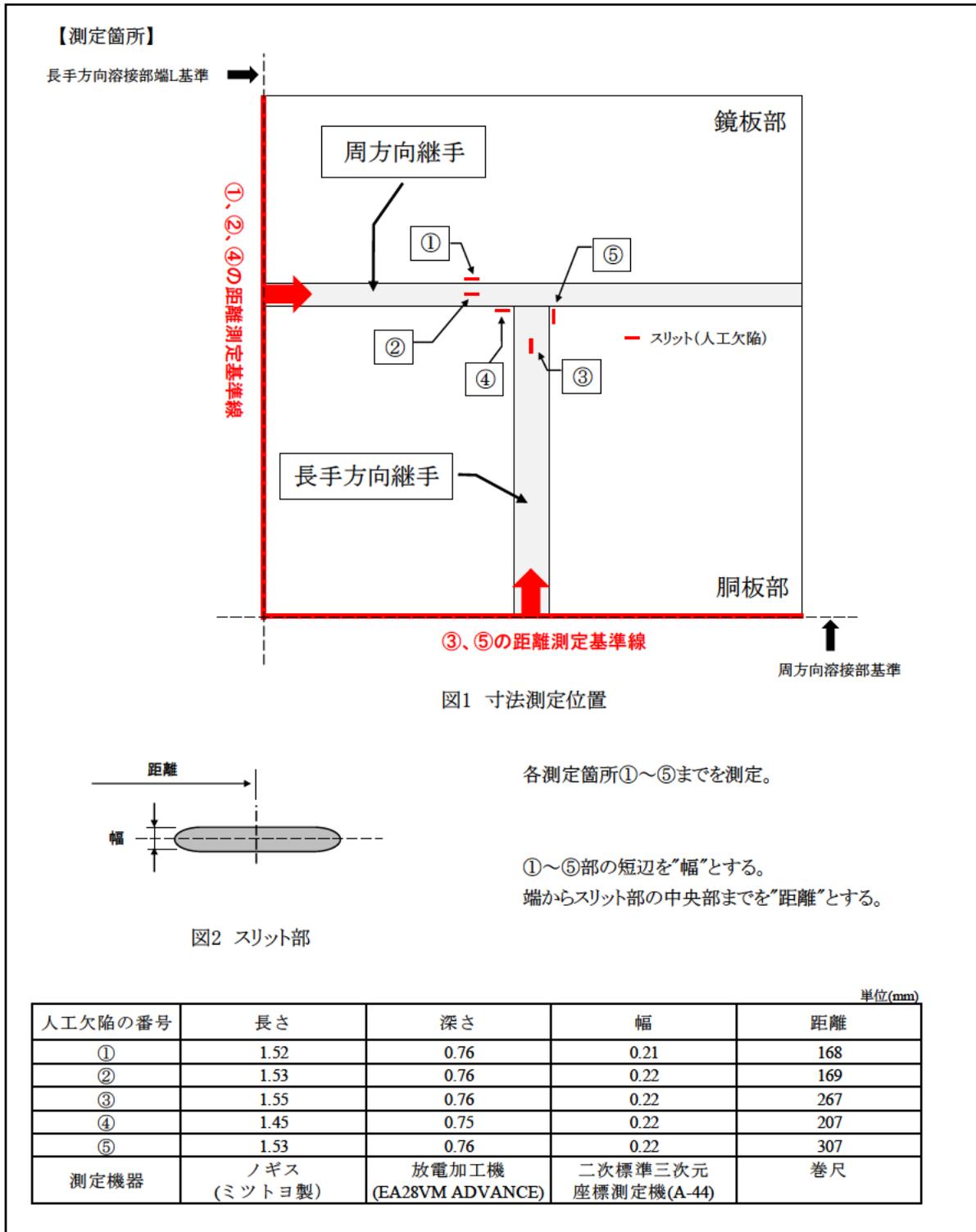
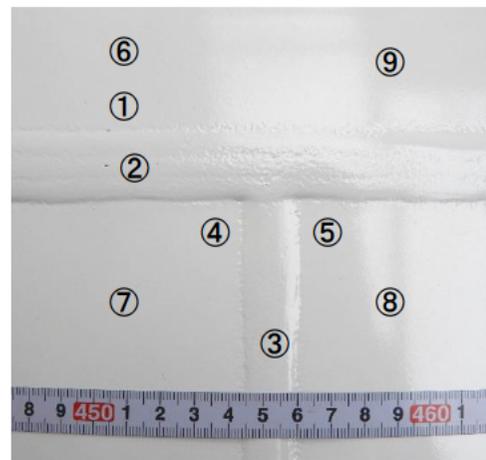


表 7.1-3 標準試験片（人工きず）塗膜仕様



赤枠部拡大



塗装後の外観状況及び塗膜

表3 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100μm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	ニッペジンキー8000HB (有機ジンクリッチペイント)	ニッペジンキー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

表4 膜厚測定結果

測定位置	3回の測定値			単位: μm
				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MP0R-FP USB

(4)密閉型磁粉探傷試験の事前準備

①事前評価試験

設置場所での検査を行う前に、現に供給設備として使用しているバルク 20 年合格貯槽において、密閉型磁粉探傷装置による非破壊試験の実施により、磁場を被試験体にかけることにより附属機器、供給設備の運転システム及び維持管理システム等への影響について調査し、また、試験後も正常に作動するかを検証する。

②非破壊試験等

事前評価試験で検証された影響について、これを回避し試験を行う。

・外面の目視検査

初回告示検査の結果を確認し、「バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHK S 0745」 2.2.1 外面の目視検査を行う。

・設置状態での検査における作業性等について影響があるか検証する。

・外面の肉厚測定

初回告示検査の結果を確認し、「バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHK S 0745」 2.2.2 鋼板の厚さ測定を行う。附属書 A を参照し検査する。

・設置状態での試験による作業性や検知精度について影響があるか検証する。

・密閉型磁粉探傷試験

初回告示検査の結果を確認し、「バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHK S 0745」 2.2.3 外面の非破壊検査を行う。

試験を行う前には、同基準附属書 B を参照し、B.2 項の予備検査を行い、また、B.3 項の検査等を行い、B.3.2.2.4 項の試験装置の性能試験を行う。

・試験範囲は、初回告示検査実施範囲についての作業性を検証し、更にそれ以外の長手・周溶接線の 20%以上を対象とする。

・設置状態での試験における作業性や検知精度について影響があるか検証を行う。

③ 密閉型磁粉探傷装置の被試験体

表 7.1-4 選定した被試験体

事業者	被試験体番号	容量 Kg	型式 種別	バルブ貯槽製造 事業者	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	月間平均 使用量 m ³ /月		再設置 年月	再使用 年月	消費者 種別	月間平均 使用量 m ³ /月	備考
A	1	298	横置型 上取出	a社	1998年6月	18年 10ヶ月	業務用 厨房	620.3	2017年 7月	2017年 8月	2年 3ヶ月	戸建住宅	43.3	
	2	298	縦置型	a社	2015年4月	4年 8ヶ月	戸建住宅	20.3	使用中			戸建住宅	20.3	
	3	498	横置型 上取出	a社	2001年4月	16年 0ヶ月	業務用 事務所	137.5	2017年 7月	2017年 8月	2年 3ヶ月	業務用 事務所	188.8	
	4	498	縦置型	a社	2005年8月	14年 3ヶ月	業務用 給湯	61.6	使用中			業務用 給湯	61.6	
	5	980	横置型 上取出	b社	2000年4月	18年 4ヶ月	業務用 厨房	352.0	2018年 8月	現地検査	1年 3ヶ月	業務用 厨房	352.0	
	6	980	縦置型	a社	2000年8月	19年 9ヶ月	業務用 厨房	1604.4	2019年 9月	現地検査	2ヶ月	業務用 厨房	1604.4	

7.2 密閉型磁粉探傷試験の結果

(1) 密閉型磁粉探傷装置の予備検査

密閉型磁粉探傷装置を用いて試験を行う前に、同基準附属書Bを参照し、B.3 項の検査等を行い、B.3.2.2.4 項の試験装置の性能試験を行った。

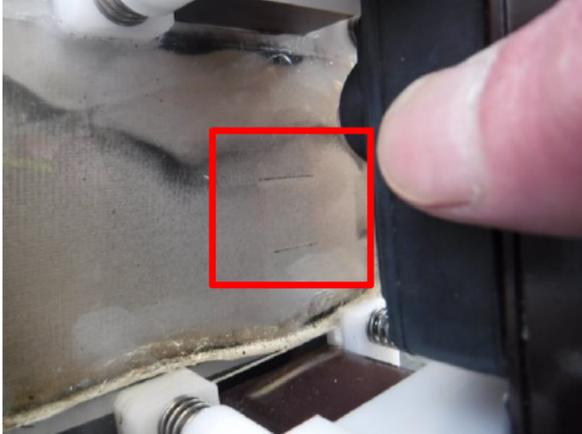
表 7.2-1 密閉型磁粉探傷装置 器材

写真添付	
	<p>密閉型磁粉探傷装置</p> <p>ハンドマグナ 電源装置 検査ジグ 検査シート押え 検査シート</p>
	<p>密閉型磁粉探傷装置</p> <p>ハンドマグナ 検査ジグ</p>
	<p>密閉型磁粉探傷装置</p> <p>検査ジグ 検査シート押え 検査シート</p>

① A型標準試験片による性能確認

<p>写真添付</p> 	<p>密閉型磁粉探傷試験 予備検査</p> <p>1) A型試験片による予備試験</p> <p>0.1mm厚のOHPシート5枚を貼付 密閉式磁粉探傷装置での観察は できなかった。</p>
	<p>密閉型磁粉探傷試験 予備検査</p> <p>1) A型試験片による予備試験</p> <p>0.1mm厚のOHPシート2枚を貼付 密閉式磁粉探傷装置での観察は 可能であった。</p>
	<p>密閉型磁粉探傷試験 予備検査</p> <p>1) A型試験片による予備試験</p> <p>0.1mm厚のOHPシート2枚を貼付 密閉式磁粉探傷装置での磁粉模様 観察状況</p>

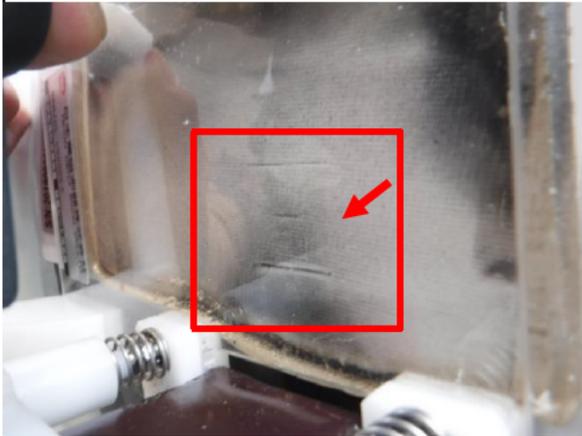
写真添付



密閉型磁粉探傷試験 予備検査

1) A型試験片による予備試験

0.1mm厚のOHPシート5枚を貼付
密閉式磁粉探傷装置での観察は
できなかった。



密閉型磁粉探傷試験 予備検査

1) A型試験片による予備試験

0.1mm厚のOHPシート2枚を貼付
密閉式磁粉探傷装置での観察は
可能であった。



密閉型磁粉探傷試験 予備検査

1) A型試験片による予備試験

0.1mm厚のOHPシート2枚を貼付
密閉式磁粉探傷装置での磁粉模様
観察状況

②人工きず標準試験片による性能確認

写真添付



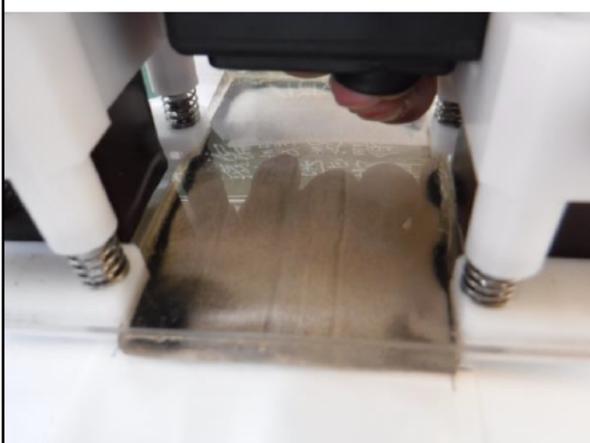
密閉型磁粉探傷試験 予備検査

2) 人工傷試験片による予備試験



密閉型磁粉探傷試験 事前調査

2) 人工傷試験片による予備試験

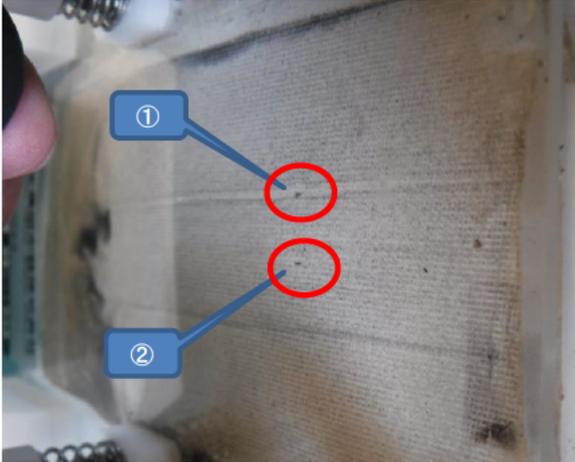


密閉型磁粉探傷試験 事前調査

2) 人工傷試験片による予備試験

人工傷 ①、②、③、は観察が出来たが
人工傷 ④、⑤、は観察出来なかった。

写真添付



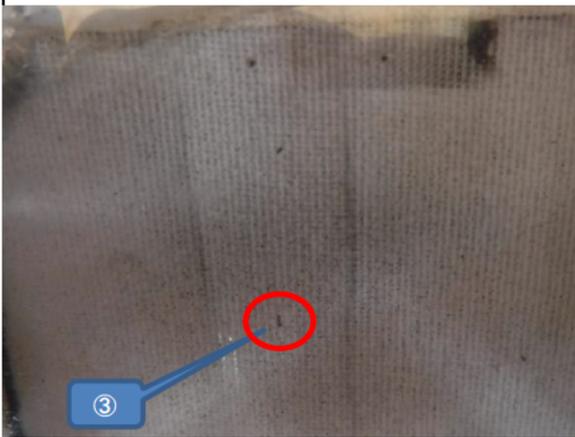
密閉型磁粉探傷試験 予備検査

2) 人工傷試験片による予備試験

人工傷 ①、②、観察状況

① 上側

② 下側



密閉型磁粉探傷試験 予備検査

2) 人工傷試験片による予備試験

人工傷 ③ 観察状況



※人工傷施工位置

③実際の線状磁粉模様試験片による性能確認

表 7.2-4 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. I

1 / 2

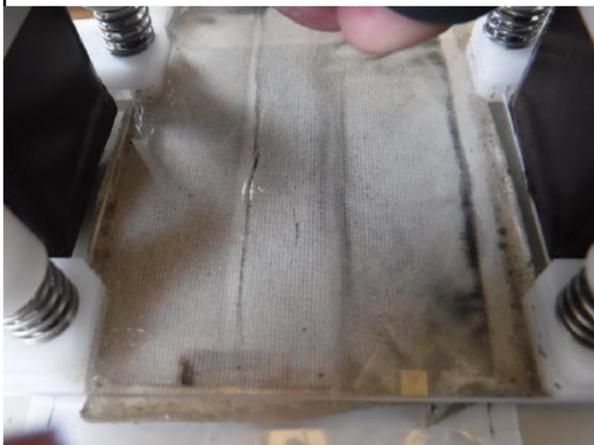
様式4					
密閉式磁粉探傷試験 試験片 I		検査実施年月日			
		検査実施者			
合格証番号					
貯蔵能力		0.745m ³ (298kg)			
塗膜厚さ		溶接線上塗膜厚さ			
		274 μm			
ビード余盛り高さ		欠陥箇所余盛り高さ			
		3.5mm			
外部		磁粉探傷試験			
検査方法		JIS G0565に準拠して行う			
判定基準		バルク貯槽の告示検査に関する基準(KHKS0745)			
試験機器仕様及び条件					
探傷器形式	携帯用極間式磁化装置	使用磁粉	黒色磁粉		
磁化方法	交流極間法	磁粉濃度	2~10g/l		
起磁力	AC100V	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	

写真添付



密閉型磁粉探傷試験 予備検査

3) 線状模様試験片による予備試験
試験片 No. I



密閉型磁粉探傷試験 予備検査

3) 線状模様試験片による予備試験
試験片 No. I

磁粉模様観察状況



密閉型磁粉探傷試験 予備検査

3) 線状模様試験片による予備試験
試験片 No. I

磁粉模様観察状況
黒色磁粉との比較

様式4					
密閉式磁粉探傷試験 試験片 II		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			
		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 G0565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	18		
総合判定					

Technical drawing showing dimensions: 143, ① 18, C, R.

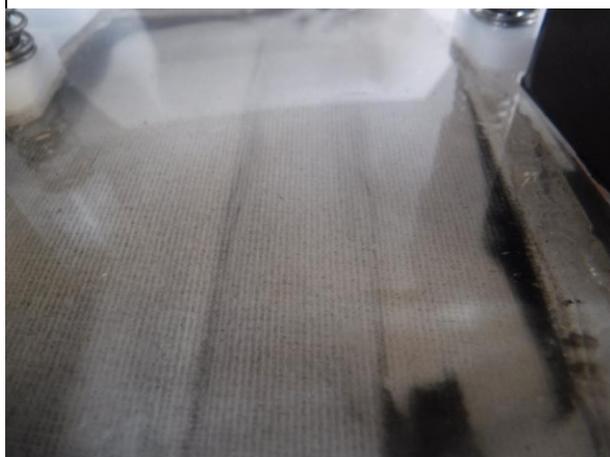
Photograph of the defect with a ruler for scale.

写真添付



密閉型磁粉探傷試験 予備検査

- 3) 線状模様試験片による予備試験
試験片No. II



密閉型磁粉探傷試験 予備検査

- 3) 線状模様試験片による予備試験
試験片No. II

磁粉模様観察状況



密閉型磁粉探傷試験 予備検査

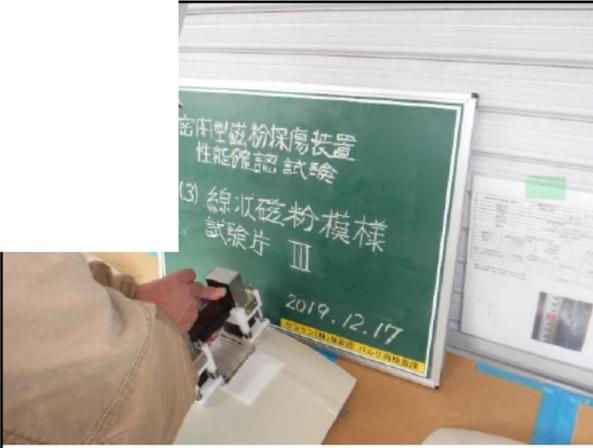
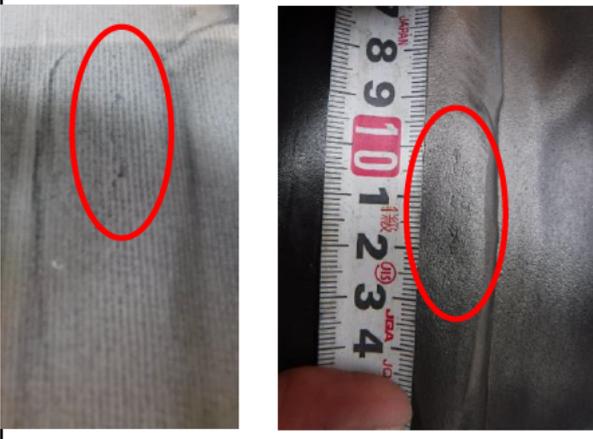
- 3) 線状模様試験片による予備試験
試験片No. II

磁粉模様観察状況

黒色磁粉との比較

密閉式では磁粉模様は観察できず

様式4					
密閉式磁粉探傷試験 試験片 III		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			
		266 μm			
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 G0565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					

<p>写真添付</p>		<p>密閉型磁粉探傷試験 予備検査</p>	<p>3) 線状模様試験片による予備試験 試験片No. Ⅲ</p>
	<p>密閉型磁粉探傷試験 予備検査</p>	<p>3) 線状模様試験片による予備試験 試験片No. Ⅲ</p>	<p>磁粉模様観察状況</p>
	<p>密閉型磁粉探傷試験 予備検査</p>	<p>3) 線状模様試験片による予備試験 試験片No. Ⅲ</p>	<p>磁粉模様観察状況 黒色磁粉との比較</p>

様式4					
密閉式磁粉探傷試験 試験片 IV		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			
		266 μm			
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 G0565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					

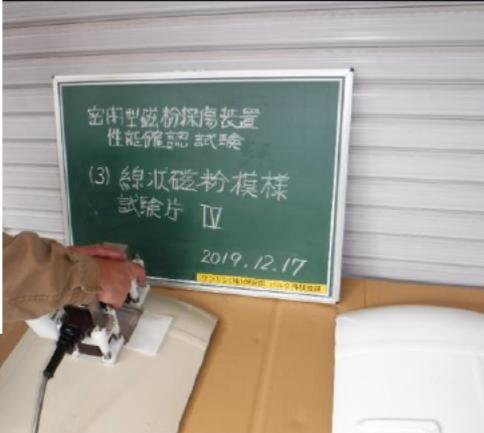
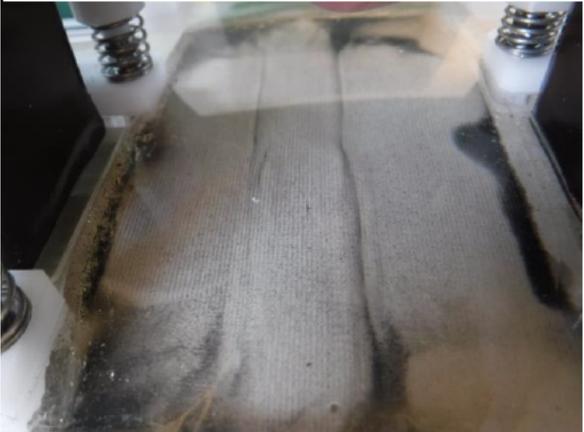
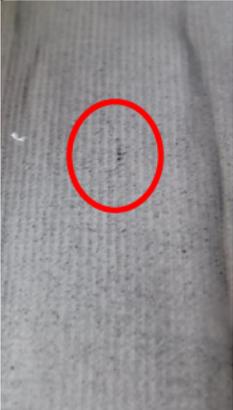
<p>写真添付</p>		<p>密閉型磁粉探傷試験 予備検査</p> <p>3) 線状模様試験片による予備試験 試験片No. IV</p>
		<p>密閉型磁粉探傷試験 予備検査</p> <p>3) 線状模様試験片による予備試験 試験片No. IV</p> <p>磁粉模様観察状況</p>
		<p>密閉型磁粉探傷試験 予備検査</p> <p>3) 線状模様試験片による予備試験 試験片No. IV</p> <p>磁粉模様観察状況 黒色磁粉との比較</p>

表 7.2.5 予備検査報告書

密閉型磁粉探傷試験 予備検査(試験装置の性能確認) 報告書		
密閉型磁粉探傷装置	製造事業者名 : 日本電磁測器株式会社	
密閉型磁粉探傷装置	ハンドマグナ : 220V 60Hz 鉄心断面積 20mm×20mm 中心間寸法130mm	
密閉型磁粉探傷装置	電源装置 : ACスタビライザー HPS-600	
密閉型磁粉探傷装置	検査ジグ : 日本電磁測器(株)製	
密閉型磁粉探傷装置	検査シート押え : 日本電磁測器(株)製	
密閉型磁粉探傷装置	検査シート : 日本電磁測器(株)製	
KHK-S 0745 基準付属書B B.3.2.2.4 試験装置の性能確認		
次の1)から3)までに掲げる試験片に対して密閉型磁粉探傷装置を適用し、磁粉模様の観察を行う。		
1) 内径約800mmのバルク貯槽の胴板部と同程度の曲率を有する鋼板上にJISZ2320-1のA型試験片 A2-12/50を貼付し、その上に0.5mmの疑似塗膜を設けたもの。		
2) 内径が約800mmのバルク貯槽の長手接手及び周接手の突合せ溶接部が交差する部分を切り出し、人工傷を設けた後、200μm以上の塗膜を設けたもの。		
3) バルク貯槽の長手接手及び周接手の突合せ溶接部を対象とし、溶接止端部及び溶接ビード上において検出された線状磁粉模様について、当該線状磁粉模様の検出箇所を中心として密閉型磁粉探傷試験が適用できる大きさに切り出し、200μm以上の塗膜を設けたもの。		
評価項目	予備検査結果	備考
1) A型試験片の磁粉模様観察	OHPシート0.1mm厚×2枚までは観察可能 注1)	
2) 人工傷を設けた試験片の観察	一部観察可能 注2)	
3) 溶接ビード上の線状模様試験片の観察	4枚製作し、3枚が観察可能 注3)	
特記事項		
注1) 疑似塗膜として 0.1mm厚のOHPシート5枚を貼付することで試みたが観察できず、2枚までは観察可能であった。		
注2) 人工傷④及び⑤が観察できなかった。溶接余盛の高さが2.5～2.8mmあり検査シートの密着性が低いと思われる。		
注3) 試験片No.Ⅱは、表面の線状模様の開口幅が広く、塗膜厚が厚い為、観察が出来なかったと思われる。		

(2) 事前評価試験

密閉型磁粉探傷装置を現地設置バルク貯槽に適用した場合における、バルク貯槽周辺の機器等に及ぼす影響の有無について、以下にまとめる。

① 事前評価試験を行ったバルク供給設備

表 7.2-6 供給設備の外観



a) 評価項目

- ・ S型マイコンメーター
- ・ 連続式液面計
- ・ バルク貯槽用ガス漏れ検知器
- ・ 集中監視装置

b) 評価方法

・ 事前確認

集中監視センターから、S型メーターの情報値、液面計の情報値を読み取る。

S型メーターの遮断・復帰機能の確認、ガス漏れ検知器の作動を確認する。

・ 作業中

密閉型磁粉探傷装置を適用し、作業中の周辺機器の誤作動、誤発報等の有無を確認する。

・ 作業終了後

事前確認で行った機能について確認する。

② 供給設備による事前調査

表 7.2-7 評価機器の設置状況

<p>写真添付</p> 	<p>密閉型磁粉探傷試験 事前調査</p> <p>周辺機器設置状況</p>
	<p>密閉型磁粉探傷試験 事前調査</p> <p>周辺機器設置状況</p>
	<p>密閉型磁粉探傷試験 事前調査</p> <p>周辺機器設置状況</p>

③ 評価機器への影響の確認

表 7.2-8 事前調査の状況

写真添付		<p>密閉型磁粉探傷試験 事前調査</p> <p>バルク用ガス検知器(検知部) 密閉型磁粉探傷装置 適用状況</p> <p>適用中・適用後での影響なし。</p>
		<p>密閉型磁粉探傷試験 事前調査</p> <p>連続式液面計(検知部) 密閉型磁粉探傷装置 適用状況</p> <p>適用中・適用後での影響なし。</p>
		<p>密閉型磁粉探傷試験 事前調査</p> <p>周辺機器 密閉型磁粉探傷装置 適用状況</p> <p>S型マイコンメーター 装置適用時の磁力の影響により 「テスト遮断機能」、「ボンベリセット機能」 が誤作動した。</p>

④ 事前評価試験の結果

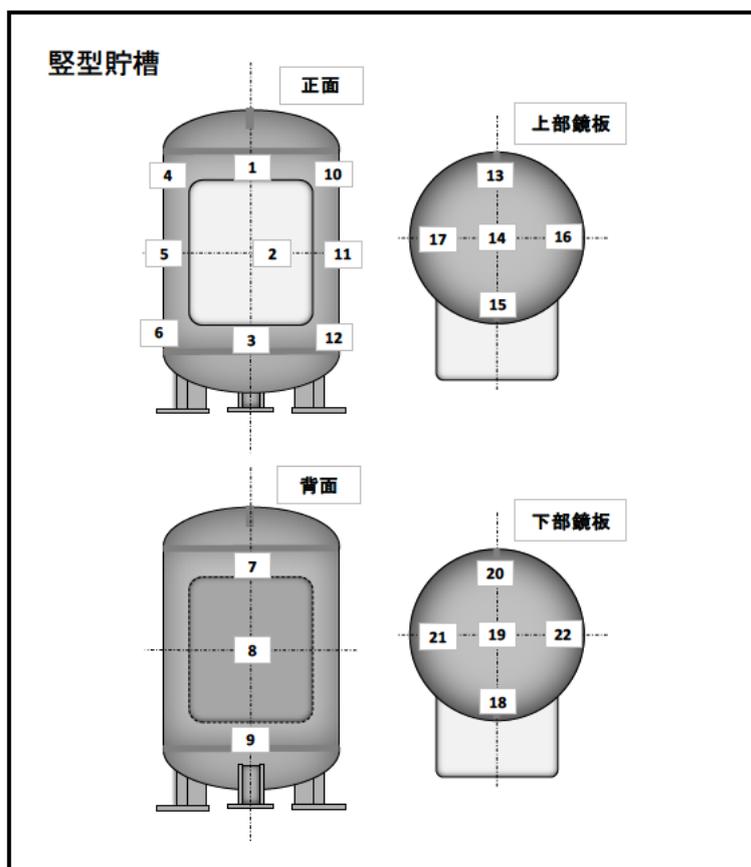
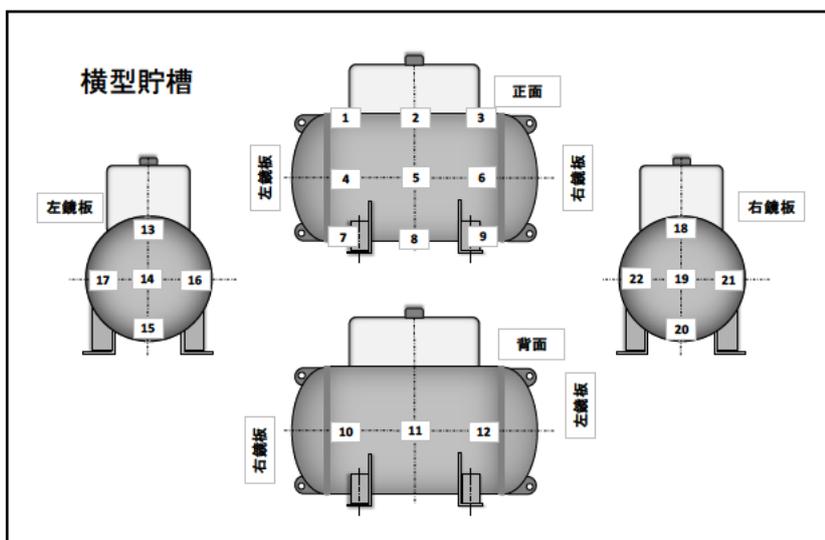
表 7.2-9 事前調査報告書

密閉型磁粉探傷試験 事前調査 報告書				
バルク貯槽		製造事業者名 :		
特定設備検査合格証番号 :			同発行年月日 : 1998年	
型 式	: 横置上取出	公称貯蔵量 : 298kg	内容積 : 0.745	m ³
設計圧力	:	設計温度 :	鋼板材料 : JIS G	
鋼板の厚さ	計算厚さ	使用厚さ	余裕厚さ	単位 mm
胴板	5.89 mm	6.20 mm	0.31 mm	
鏡板	5.55 mm	6.40 mm	0.85 mm	
密閉型磁粉探傷試験 事前調査 評価表				
* 密閉型磁粉探傷試験を行い、これにおいて各評価項目への影響の有無を検証する。				
下記①～⑤の周辺機器について、密閉型磁粉探傷装置の適用前、適用後において				
集中監視センターからのS型メーターの設定値、液面計の指示値の読取値を確認する。				
ガス漏れ検知器の作動確認、S型メーターの遮断、同復帰機能の確認をする。				
密閉型磁粉探傷試験を行い、作業中に周辺機器の誤作動、誤発報の有無を確認する。				
評価項目	調査結果		備 考	
① S型マイコンメーター	誤作動あり		注1)	
② 集中監視装置 (NTTテレコン製)	誤作動、誤報なし			
③ 連続式液面計 (宮入バルブ製 BLST-5000D)	誤作動、誤報なし			
④ 連続式液面計 (宮入バルブ製 GU-CS2)	誤作動、誤報なし			
⑤ バルク用ガス漏れ検知器 (新コスモス電機製 XH-611EB)	誤作動、誤報なし			
特記事項				
注1)				
S型マイコンメーターのテスト遮断機能及び、容器交換時に使用するボンベリセット機能が誤作動した。				
ガスメーターとの間隔50mm程度の範囲で 密閉型磁粉探傷装置を適用した場合に誤作動が発生した。				
ガスメーターをマグネットスイッチにより操作する機能については、密閉型磁粉探傷装置の磁力により				
誤作動が発生する可能性がある。				
その他の周辺機器については、装置の適用前後での影響は確認できず。				

(3) 肉厚測定の作業性評価

現地に設置されたバルク貯槽の状態、告示検査の肉厚測定を施工した場合における、作業性について以下にまとめる。図 7.2-1 に測定位置を、表 7.2-10 に測定結果を、表 7.2-12 に測定の作業写真を示す。

図 7.2-1 肉厚測定の測定点



①肉厚測定の結果

表 7.2-10 測定結果一覧表 ※バルク貯槽製造事業者の計算板厚以上を有しているものを合格とする。

被試験体 番号	容量 Kg	型式 種別	仕様		測定結果 単位mm												結果			
			使用板厚	計算板厚	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	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1	6.1	6.2	6.2	合格	
						今回	6.1	6.2	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.2	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	6.3	6.2	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	-	-	合格
						今回	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	-	-	合格
A-2	298	縦置型	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						今回	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
			鏡 板	6.4	5.55	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	-	-	判定	
						初回	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
						今回	6.7	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.6	6.7	6.7	6.7	6.7	-	-	合格
A-3	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	7.9	7.9	7.9	7.9	8.0	7.9	7.9	8.0	7.9	7.9	8.0	7.9	合格	
						今回	7.9	8.0	7.9	7.9	8.0	7.9	7.9	8.0	7.9	8.0	8.0	8.0	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	8.0	7.8	8.1	7.9	7.9	8.0	7.8	8.1	7.9	7.9	-	-	合格	
						今回	8.0	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	8.0	8.0	8.0	-	-	合格	

被試験体 番号	容量 Kg	型式 種別	仕様		測定結果 単位mm												結果				
			使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12			
A-4	498	縦置型	胴板	使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定		
				7.8	736	初回	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						今回	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	合格
			鏡板	使用板厚	計算板厚	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定		
				7.9	6.94	初回	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
						今回	7.9	7.9	7.9	8.0	7.9	8.0	7.8	7.9	7.9	8.0	—	—	合格		
A-5	980	横置型 上取出	胴板	使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定		
				11.0	10.05	初回	10.9	11.0	11.0	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	合格	
						今回	11.0	11.0	11.0	10.9	10.9	11.0	11.0	11.0	11.0	10.9	10.9	10.9	合格		
			鏡板	使用板厚	計算板厚	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定		
				12.0	9.55	初回	11.9	11.6	12.0	11.9	12.0	12.1	11.7	12.0	12.0	12.0	—	—	合格		
						今回	11.9	11.6	12.0	11.9	12.0	12.1	11.7	12.0	12.2	12.1	—	—	合格		
A-6	980	縦置型	胴板	使用板厚	計算板厚	測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	判定		
				10.0	9.56	初回	10.3	10.3	10.3	10.3	10.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	合格		
						今回	10.4	10.4	10.3	10.4	10.4	10.5	10.4	10.4	10.1	10.4	10.4	10.5	合格		
			鏡板	使用板厚	計算板厚	測定点	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	—	—	判定		
				10.0	9.02	初回	10.0	10.1	10.0	10.0	10.1	10.1	10.2	10.0	10.1	10.1	—	—	合格		
						今回	10.3	10.1	10.2	10.1	10.1	10.3	10.2	10.3	10.4	10.5	—	—	合格		

※測定値は、全て計算板厚を上回っていた。

(4) 密閉型磁粉探傷試験による試験評価

表 7.2-11 に試験結果を、表 7.2-12 に試験作業の写真を示す。

※バルク貯槽の告示検査等に関する基準（KHK S 0745）による。

※合格基準は、KHK S 0745 2.2.3.3 合格基準による。

表 7.2-11 密閉型磁粉探傷試験による試験結果

被試験 体番号		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 298kg 横置型	初回	長手・周継手の交叉部を含み、溶接部全長の 20%を実施。	なし	—	—	合格
	今回	前回の試験範囲は検査できず。周継手溶接部にて全長の 20%を実施。	なし	—	—	合格
A-2 298kg 縦置型	初回	—	—	—	—	—
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、溶接部全長の 20%を実施。	なし	—	—	合格
A-3 498kg 横置型	初回	長手・周継手の交叉部を含み、溶接部全長の 20%を実施。	なし	—	—	合格
	今回	前回の試験範囲は検査できず。周継手溶接部にて全長の 20%を実施。	なし	—	—	合格
A-4 498kg 縦置型	初回	—	—	—	—	—
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、溶接部全長の 20%を実施。	なし	—	—	合格
A-5 980kg 横置型	初回	長手・周継手の交叉部を含み、溶接部全長の 20%を実施。 ※長手溶接部は下面だが、ジャッキアップして検査施工。	なし	—	—	合格
	今回	前回の試験範囲は検査できず。周継手溶接部にて全長の 20%を実施。	なし	—	—	合格
A-6 980kg 縦置型	初回	長手・周継手の交叉部を含み、溶接部全長の 20%を実施。	なし	—	—	合格
	今回	長手・周継手の交叉部を含み、溶接部全長の 20%を実施。	なし	—	—	合格

①密閉型磁粉探傷装置による試験状況

表 7.2-12 実際の試験状況

A-1

1 / 6

<p>写真添付</p> 	<p>298k 横型</p> <p>設置状況</p>
<p>写真添付</p> 	<p>298k 横型</p> <p>設置状況</p> <p>予備検査 外観塗膜 良好</p>
<p>写真添付</p> 	<p>298k 横型</p> <p>予備検査 溶接余盛高さ測定 左側周継手 2.8mm 右側周継手 2.0mm</p>

<p>写真添付</p> 	<p>298k 横型</p> <p>予備検査 塗膜厚さ測定 左側周継手付近 159.2 μm 右側周継手付近 132.6 μm</p>
<p>写真添付</p> 	<p>298k 横型</p> <p>鋼板肉厚測定 実施状況</p>
<p>写真添付</p> 	<p>298k 横型</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況</p>

<p>写真添付</p> 	<p>298k 横型</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 長手継手と地盤面の距離 約190mm 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>
<p>写真添付</p> 	<p>298k 横型</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 長手継手と地盤面の距離 約190mm 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>
<p>写真添付</p> 	<p>298k 横型</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 プロテクター内部のノズル部分 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>

<p>写真添付</p> 	<p>298k 堅型 26東61421</p> <p>設置状況</p>
	<p>298k 堅型 26東61421</p> <p>設置状況</p> <p>予備検査 外観塗膜 良好</p>
	<p>298k 堅型 26東61421</p> <p>予備検査 溶接余盛高さ測定 上側周継手 4.0mm 下側周継手 2.5mm</p>

<p>写真添付</p> 	<p>298k 堅型 26東61421</p> <p>予備検査 塗膜厚さ測定 上側周継手付近 120.7 μm 下側周継手付近 125.5 μm</p>
	<p>298k 堅型 26東61421</p> <p>鋼板肉厚測定 実施状況</p>
	<p>298k 堅型 26東61421</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況</p>

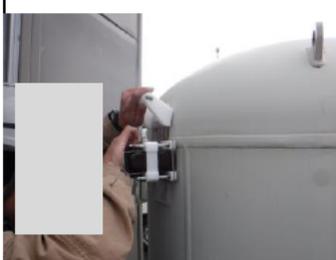
<p>写真添付</p> 	<p>298k 堅型 26東61421</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 長手継手とフェンスの距離 約200mm 下方T字クロス部 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>
	<p>298k 堅型 26東61421</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 下方は周継手のみ 密閉型磁粉探傷装置適用</p>
	<p>298k 堅型 26東61421</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 プロテクター内部のノズル部分 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>

<p>写真添付</p> 	<p>498k 横型 12東16602</p> <p>設置状況</p>
	<p>498k 横型 12東16602</p> <p>設置状況</p> <p>予備検査 外観塗膜 良好</p>
	<p>498k 横型 12東16602</p> <p>予備検査 溶接余盛高さ測定 上側周継手 3.0mm 下側周継手 3.0mm</p>

<p>写真添付</p> 	<p>498k 横型 12東16602</p> <p>予備検査 塗膜厚さ測定 上側周継手付近 247.9 μm 下側周継手付近 226.6 μm</p>
	<p>498k 横型 12東16602</p> <p>鋼板肉厚測定 実施状況</p>
	<p>498k 横型 12東16602</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況</p>

<p>写真添付</p> 	<p>498k 横型 12東16602</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 長手継手と基礎の距離 約120mm 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>
	<p>498k 横型 12東16602</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 バルク貯槽背面と建物の距離 約250mm 密閉型磁粉探傷装置適用可</p>
	<p>498k 横型 12東16602</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 プロテクター内部のノズル部分 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>

<p>写真添付</p> 	<p>498k 縦型 17東60452</p> <p>設置状況</p>
	<p>498k 縦型 17東60452</p> <p>設置状況</p> <p>予備検査 外観塗膜 良好</p>
	<p>498k 縦型 17東60452</p> <p>予備検査 溶接余盛高さ測定 上側周継手 4.2mm 下側周継手 3.8mm</p>

<p>写真添付</p> 	<p>498k 縦型 17東60452</p> <p>予備検査 塗膜厚さ測定 上側周継手付近 76.3 μm 下側周継手付近 99.6 μm</p>
	<p>498k 縦型 17東60452</p> <p>鋼板内厚測定 実施状況</p>
	<p>498k 縦型 17東60452</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況</p>

<p>写真添付</p> 	<p>498k 縦型 17東60452</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 バルク貯槽側面と建物の距離約400mm 密閉型磁粉探傷装置適用可</p>
	<p>498k 縦型 17東60452</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 ガス供給管干渉部分 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>
	<p>498k 縦型 17東60452</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 プロテクター内部のノズル部分 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>

<p>写真添付</p> 	<p>980k 横型 11大1546</p> <p>設置状況</p>
	<p>980k 横型 11大1546</p> <p>設置状況</p> <p>予備検査 外觀塗膜 良好</p>
	<p>980k 横型 11大1546</p> <p>予備検査 溶接余盛高さ測定 左側周継手 2.8mm 右側周継手 2.8mm</p>

<p>写真添付</p> 	<p>980k 横型 11大1546</p> <p>予備検査 塗膜厚さ測定 左側周継手付近 233.8 μm 右側周継手付近 247.8 μm</p>
	<p>980k 横型 11大1546</p> <p>鋼板肉厚測定 実施状況</p>
	<p>980k 横型 11大1546</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況</p>

<p>写真添付</p> 	<p>980k 横型 11大1546</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 長手継手と地盤面の距離 約100mm 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>
	<p>980k 横型 11大1546</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 長手継手と地盤面の距離 約100mm 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>
	<p>980k 横型 11大1546</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 プロネクター内部のノズル部分 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>

<p>写真添付</p> 	<p>980k 型 12名00052</p> <p>設置状況</p>
<p>写真添付</p> 	<p>980k 型 12名00052</p> <p>設置状況</p> <p>予備検査 外觀塗膜 良好</p>
<p>写真添付</p> 	<p>980k 型 12名00052</p> <p>予備検査 溶接余盛高さ測定 左側周継手 2.5mm 右側周継手 2.5mm</p>

<p>写真添付</p> 	<p>980k 型 12名00052</p> <p>予備検査 塗膜厚さ測定 左側周継手付近 116.9 μm 右側周継手付近 89.6 μm</p>
<p>写真添付</p> 	<p>980k 型 12名00052</p> <p>鋼板肉厚測定 実施状況</p>
<p>写真添付</p> 	<p>980k 型 12名00052</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況</p>

<p>写真添付</p> 	<p>980k 型 12名00052</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 長手継手と建物の距離 約250mm 密閉型磁粉探傷装置適用可</p>
<p>写真添付</p> 	<p>980k 型 12名00052</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 ガス供給管干渉部 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>
<p>写真添付</p> 	<p>980k 型 12名00052</p> <p>密閉型磁粉探傷試験 実施状況 プロテクター内部のノズル部分 密閉型磁粉探傷装置適用不可</p>

(5)密閉型磁粉探傷の作業性評価試験のまとめ

①密閉型磁粉探傷装置の性能確認等

試験を行う前には、「バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHK S 0745」附属書B「密閉型磁粉探傷試験におけるバルク貯槽の非破壊検査基準」を参照し、予備検査を行い試験装置の性能試験を行った。

a)A型標準試験片

7.2 ①のとおり、0.5mm以上の疑似塗膜としてOHPフィルムシートを5枚(1枚0.1mm)重ねて試験を行った。結果、5枚(0.5mm)の厚さでは疑似模様を検出することができず、OHPフィルムシートは、2枚(0.2mm)で疑似模様を観察することができた。

b)人工きず標準試験片(表7.2-3参照)

7.2 ③のとおり、周継手と長手継手の交差するTクロス部に設けた人工きず(人工きず④、⑤)を検出することはできなかつた。人工きず①、②、③は、検出できたことより、検査シートの密着性等に難があり、検出できなかつたと推察する。

c)実際の線状磁粉模様の試験片

7.2 ③のとおり、実際の線状の磁粉模様は、4片の内3片で検出することができた。また、余盛高さ最大3.5mm、膜厚最大274 μ mにおいて、検出することが確認できた。

②事前評価試験

設置場所での検査を行う前に、現に供給設備として使用しているバルク貯槽を用いて、密閉型磁粉探傷装置による非破壊試験を実施し、実際に磁場を被試験体にかけることによる附属機器、供給設備の運転システム及び維持管理システム等への影響を調査し、また、試験後も正常に作動するかを検証した。

表7.2-6、7、8のとおり、S型マイコンメーターについては、強い磁力の作用により、誤作動が発生することが確認された。マイコンメーターは、プロテクターの周辺に設置されていることもあり、現地での磁粉探傷試験においては、密閉型磁粉探傷装置及び通常の磁粉探傷装置においても、注意して試験を行う必要がある。

③密閉型磁粉探傷装置による非破壊試験等

表7.1-4に示す被試験体6基において、肉厚測定、磁粉探傷試験等を行った。

a)肉厚測定

横置型・縦置型のいずれにおいても、肉厚測定をすることは可能であった。また、測定結果についても、初回測定箇所と同じ場所を測定することができ、測定結果を比較することができた。

b)磁粉探傷試験

横置型については、初回の長手継手と周継手および交差する溶接部の20%を

試験することは困難であった。長手継手がバルク貯槽の下部に位置する場合は、探傷装置を正しく装着することはできなかった。

縦置型については、長手継手の溶接線が、バルク貯槽の背面側にあるものに対して、背面側の作業スペースが狭くても、250mm程度あれば、初回の試験範囲と同じように行うことができた。ただし、プロテクターの下部の溶接線あるいは下部の溶接線が供給管、調整器等に接近している箇所は、実際の作業スペースが狭く試験を行うことはできなかった。

横置型、縦置型とも、プロテクター内のノズル部の磁粉探傷試験は、探傷装置を正しく装着することは難しかった。

7.3 課題と現地で行う告示検査での使用について

(1)課題

密閉型磁粉探傷試験の検査基準は、「バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHK S 0745」附属書B「密閉型磁粉探傷試験におけるバルク貯槽の非破壊検査基準」に定められているが、実際にバルク貯槽の設置先の場所において行うには、以下の点を考慮する必要がある。

①バルク貯槽の周りには、磁力の影響を受けるガスマーター、計装装置等がないことを事前に確認すること。

②附属書Bに従い、A型標準試験片、人工きずの標準試験片、実際の線状磁粉模様の標準試験片を用い、密閉型磁粉探傷装置の性能を確認したところ、すべての欠陥を検出することはできなかった。これは、密閉型磁粉探傷装置の特徴である黒色磁粉入りの検査シートを検査シート押えを用いて探傷する際、溶接部の余盛近傍においては、検査シートの密着性が劣り欠陥の検出能力が劣る、また、欠陥の形状形態によっては、密閉型磁粉探傷試験では検出できないことがあると推察される。

実際に、溶接部の形状における余盛高さは、2.4mm以下とされているが、表7.2-4の試験片によれば、2.4mm以上でも磁粉模様は検出することができたことより、事前評価における性能試験の確認方法については、再度、検討を要すると考える。

(2)2回目の告示検査(25年目)において

2回目の告示検査において、実際のバルク貯槽の設置場所で、バルク貯槽を動かさずに行うには、以下の点を考慮する必要がある。

①バルク貯槽の溶接線のすべてについて、試験を行うことはできない。

また、初回試験時の範囲を再度検査するにしても、横置型のバルク貯槽の長手継手が下面に配置されている場合は、試験を行うことができない。

②附属書Bに従い、密閉型磁粉探傷試験を行うにあたり、今回の事前調査より、作業環境、試験面の状態によっては、欠陥の検出能力に影響があることより、密閉型磁粉探傷装置による試験については、制限を設けて運用すること等を検討すべきである。

8.技術基準案の作成

バルク貯槽の告示検査には、外観検査（目視及び非破壊検査、肉厚測定）、耐圧試験、気密試験の項目がある。これらの検査項目の中、非破壊検査及び気密試験について行うためには、検査所にて検査を行う必要がある。業界より要望のある現地にて告示検査を行うためには、気密試験方法について検討を行う必要がある。25年目の告示検査方法の効率化を検討するにあたり、気密試験方法について検討を行う。

8.1 気密試験方法の検討

(1)現行の告示検査方法

現行の告示検査方法は、バルク供給および充てん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。）及び KHKS に規定されている。バルク告示の規定を【参照 1】に KHKS の規定を【参照 2】に記載する。

【参照 1】バルク告示

第 1 条第 2 号

バルク貯槽の検査は、次のイからハマまでに定めるところにより行うこと。

イ 外観検査（略）

ロ 耐圧試験（略）

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

【参照 2】バルク貯槽の告示検査等に関する基準 KHKS0745(2017)

2.2.4 気密試験

2.2.4.1 一般

バルク貯槽の気密試験は、2.2.4.2 に掲げる方法で行い、2.2.4.3 に定める基準に合格しなければならない。

2.2.4.2 検査方法

検査は、次の a)から l)までに定めるところに従って行う。

a) 気密試験は、2.2.1 から 2.2.3 までに掲げるすべての検査に合格した後に行う。

b) 乾燥した正常な空気その他危険性のない気体により行う。

c) 気密試験に使用する気体の温度は、バルク貯槽がぜい性破壊を起こさない温度でなければならない

d) 気密試験圧力は、常用の圧力以上の圧力とする。この場合において、常用の圧力とは、使用状態において検査対象のバルク貯槽に作用する圧力のうち最高のものをいう。

e) ~l)（略）

(2)25 年目告示検査方法における検討案

2 回目告示検査方法の効率化について、平成 30 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（バルク供給に係る保安基盤高度化調査研究）にて検討がなされている。昨年度の検討内容では、現行の気密試験の代替方法として 3 つの方法の提案がなされた。提案内容について【参照 3】に記載する。

【参照 3】平成 30 年度報告書（P202 より抜粋）

2.1.3 バルク貯槽告示検査の合理化方針案の検討

(1)バルク貯槽告示検査の検査項目における課題及び検討方針案

①～④（略）

⑤気密試験

LP ガス設備の気密検査は常用の圧力（一般的に 1.8MPa）の圧力以上にて試験を行なっている。気密検査を行う場合は、バルク貯槽の LP ガスを回収・置換して窒素ガスにて試験を行うことが通常である。そのため検査場等にバルク貯槽を持ち込み、検査を行う必要がある。

そのため合理化案を検討するにあたり、LP ガスを回収しないで気密試験を実施する方法を提示する。

a)プロテクター内にガス漏れ検知器を設け、常にガス漏えい情報を常時監視することにより気密試験の代替とする。常時監視を行うことで漏えいがあれば、即時対応が可能。

b)貯槽内の LP ガスの自圧による気密検査とする（ガス検知器により漏えい確認）。
（参考：高圧ガス保安法の保安検査において高圧ガス設備を開放しない場合の気密試験方法として、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方法がある。）

c)バルブ等を取り外して、再取付しない場合には気密試験を不要とする。

(3)2 回目告示検査における気密試験代替方法の課題について

各々の気密試験の代替案であるが、保安上及び実行上、課題が浮かび上がる。それぞれの利点及び課題について下記に列挙する。

検討案	利点	課題
a)プロテクター内にガス漏れ検知器を設け、常にガス漏えい情報を常時監視する。	液石法施行規則第 19 条第 5 号に、「バルク容器及びバルク貯槽のプロテクター内に、告示で定めるところにより、ガス漏れ検知器を設け、漏えい情報等を常時監視するシステムと接続すること。ただし、告示で定める場合にあっては、この限りでない。」と規定されており、既に検知器が設置され、常時監視システムと連動されているバルク貯槽がある。 漏えいがあれば、即座に検知し対応が可能である。	規則第 19 条第 5 号のただし書きによりガス漏れ検知器の設置不要な条件も規定されており、すべてのバルク貯槽において設置がなされていない。 また実務上、ガス漏れ検知器の誤作動の発生の懸念が大きい。
b)貯槽内の LP ガスの自圧による気密検査とする。	LP ガスを内部に保持したまま確認することができ、充填時に確認することが可能である。	外気温によってバルク貯槽内の内圧が異なるため、同条件にて検査を行うことができない。 ○プロパンの場合（ゲージ圧） ・ 40℃にて 1.25MPa、 ・ 0℃にて 0.37MPa
c)バルブ等を取り外して、再取付しない場合には気密試験を不要とする。	気密試験を省略することができる。	25 年目の告示検査として、気密試験の担保を取ることができない。

(4)2 回目告示検査における気密試験代替方法

委員会による検討により、高圧ガス保安法の保安検査方法として、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を実施することが可能であること及び漏えいの可能性が考えられるのは、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のフランジ等であり、非開放時には漏えいのリスクが小さいことが挙げられた。

それらより、2 回目の告示検査における気密試験代替方法は、バルク貯槽に直接取り付けられた附属機器等を取り外して修理、交換等の検査を行う場合を除き、バルク貯槽内の LP ガスの自圧により漏えい検査を行うことにより気密試験の代替とする。検査方法は、ガス漏れ検知器もしくは石けん水等により漏えいの確認を行うこととする。

9.まとめ

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を行うため、外面検査の妥当性の検討、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を行った。また、バルク貯槽の設置場所にて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った。

(1)外面検査の妥当性の検討

沿岸地域のバルク貯槽について、外面の健全性について調査を行ったところ、沿岸部付近であっても腐食が顕著でないものがある一方、沿岸部から離れた設置場所であっても顕著な腐食が見受けられるバルク貯槽があり、設置場所を問わず腐食が著しいものが確認された。また、腐食は、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）である豎型貯槽の頂部、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に、著しい腐食が発生していた。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。さらに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った。

以上のことから、販売事業者は、日常の保安管理として、①充填時、六か月点検等、普段の保安管理において、発錆の有無の確認を徹底して行い、発錆箇所が小さい段階で指摘し、速やかに補修するよう対応を行う。②耐圧部分の発錆箇所は、直ちに錆を除去し、腐食の深さを確認し、計算板厚を割ってないことの確認を行う。デプスゲージ等で測れない場合は、厚さ測定器を用いて測定し、測定結果が、計算板厚に対し影響を及ぼすような腐食であれば、改めて非破壊検査の有資格者あるいは専門の検査事業者による計測、対応を行う。③耐圧部分以外の発錆箇所であっても、放置することで耐圧部分へと影響を及ぼさぬよう、直ちに除去し補修を行う。④発錆部の点検については、発錆専用の点検結果の記録を作成し、経年劣化による発錆の周期等を推測し、バルク貯槽本体に限らず、吊り金具、プロテクターの内外面、接続金具、安全弁の放出管等を点検し、供給設備全体の発錆について点検を行う。⑤異種金属の電位差による腐食が想定される箇所において腐食が促進されていないかの注視を行う。⑥塗膜の状態を管理することは、バルク貯槽の外面腐食を安全に管理することに有用である。法定では、バルク貯槽の腐食防止措置（規則第十九条第三号ハ(11)）の点検は、供給時及び2年点検時に検査をする項目となっており、法定点検では、バルク貯槽の外観上、とくに見えづらいところも含めて、塗膜面にひびわれ、錆、はがれ、ふくれ等が発生し塗膜効果が失効するような著しい発錆がないことを点検し、発錆がある場合は直ちに対応措置を行い管理することが必要と考える。

2回目告示検査の緩和において、2回目の外観検査を現地で行う場合においても発錆部は、すべての錆を取り除き補修し、かつ、残存板厚を確認して計算板厚以

上であることを確認する必要があると考える。また、発錆が大きくなってから補修をするのではなく、発錆部が小さい段階で発見するために、日々の点検等で確実に対応し補修等の措置を行う仕組みを構築することを検討すべきと考える。

(2)内面検査方法の妥当性の検討

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被試験体として、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）の定量及び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行った。

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。また、水分は「原料ガス」充填用ガス中の成分量 8ppm と比して 2~3 倍であったが、腐食を助長する程のものでない。一方、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量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。

被試験体の内部表面を観察した結果、バルク 20 年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 減肉したと推定される箇所があった。国内の沿岸部では 0.1mm/年、標準地域では 0.05mm/年程度の腐食速度と一般的に言われていることから、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言える。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、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明確な違いがあることから、また残留ガスによる錆の生成影響が殆どないことから、試験体の差異は大気暴露の機会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、約 20 μ m (0.02mm) 減肉したと推定される箇所においては錆の表層に硫黄が僅かに存在していたが、50 μ m (0.05mm) 減肉したと推定される箇所には検出されなかった。また、生成された錆の組成を調べたところ硫化物は検出されなかった。

以上のことより、供用中における被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（本試験においても耐圧試験実施試験体はその傾向を示す）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国内沿岸部では約

0.1mm/年、標準地域では約 0.05mm/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)

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 $\mu\text{m}/\text{yr}$ (0.001mm/yr) 以下と言われている。なお、残留ガス成分に高濃度で検出されて、錆成分中に含まれていた硫黄は、水と酸素が存在する環境では硫酸イオンなどの腐食因子となる可能性があり、この硫酸イオン濃度が高くなると酸性になり、上述の水の還元反応による腐食速度も大きくなることが考えられる。しかしながら、酸素が消費された後は硫酸イオンも生成されず、腐食速度は小さくなる。供用中におけるバルク貯槽内部の酸素及び硫化物の影響による腐食生成物はほとんど検出されなかったことからこの硫黄成分が発錆に関与していた可能性については、否定できると考えられる。一方で、残留ガス中の水分量は、使用環境条件によっては確実に遊離水分が発生していないとは言えないものの、水分量と内部表面の錆の程度に相関は見られず、バルク貯槽内における水分が遊離し、腐食反応に寄与していることはないと思われる。

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被試験体の腐食は、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、内部表面の腐食はほとんど進行しないものと予測される。

(3) 非破壊試験の妥当性の評価

バルク 20 年合格貯槽を供給設備に再設置し、再設置後経過年数 2 年程度の経年バルク貯槽を目視及び非破壊検査による内外表面の経年劣化の実態調査を行った。

被試験体の内外表面の目視の結果、告示検査合格以降供用されたバルク貯槽の外部表面については、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ず、告示検査時における外観検査及び板厚の肉厚検査が適正に実施されたことを示す結果となった。なお、バルク 20 年合格貯槽の今後の経年による外面の塗装劣化、継続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は適切に行うことが欠かせないところである。

被試験体の内外部表面の全て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、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、製造時に由来するものと思われるきずが検出された。外面長手継手及び周継手溶接線の一部にも磁粉模様が検出されたが、当該磁粉模様対して浸透探傷試験を適用したところ指示模様が現れず、グラインダーでわずかに研削したところ磁粉模様は消失した。表面粗さのくぼみによるオーバーラップが線状磁粉模様として検出されたものと解ったことから、製造時の検査（放射線透過試験）においても、告示検査においても検出されなかったものと推察される。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、告示検査で行った磁粉探傷試験部（周継手、長手継手の交差部を含む溶接部全長の20%以上）で認めた周方向溶接部、長手方向溶接部のオーバーラップ、クレータ割れ等の欠陥箇所、かつ告示検査時にグラインダー研磨により処置された部分については本試験において磁粉模様は検出されなかったことから、告示検査の適正性が確認された。

これらの結果を受け今後、初回告示検査で磁粉探傷試験を実施した範囲（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）以外の範囲について、磁粉模様が検出されていることから、2回目以降の告示検査の効率化を図る上で初回の検査方法について検討を要する。

(4) 検査手法の作業性の評価

バルク貯槽を設置場所で非破壊検査を行う際の作業性について評価を行うため、塗膜上からでも非破壊検査可能である簡易な手法である密閉型磁粉探傷試験を用いて現場検証を行った。密閉型の性能を評価する上で、標準試験片を用いて事前評価を行った結果、欠陥すべてを検知することは出来なかった。密閉型磁粉探傷の特徴である、黒色磁粉入りのシートを塗膜上に貼り付けて検査を行うため、余盛り付近の欠陥の検知が難しい結果となった。また、バルク貯槽の設置状況において、非破壊検査を行うことにより、ガスメーターや計装装置等に磁力による影響が確認された。

横置型のバルク貯槽については、初回の長手継手と周継手および交差する溶接部の20%を試験することは困難であった。長手継手がバルク貯槽の下部に位置する場合は、探傷装置を正しく装着することはできなかった。縦置型のバルク貯槽については、長手継手の溶接線が、バルク貯槽の背面側にあるものに対して、背面側の作業スペースが狭くても、250mm程度あれば、検査は可能であった。また、横置型、縦置型とも、プロテクター内のノズル部の磁粉探傷試験は、探傷装置を正しく装着することは難しかった。

以上のことより、2回目の告示検査において、実際のバルク貯槽の設置場所で行う場合、バルク貯槽の溶接線のすべてについて、試験を行うことはできず、また、

初回試験時の範囲を再度検査するにしても、横置型のバルク貯槽の長手継手が下面に配置されている場合は、試験を行うことができない。

密閉型磁粉探傷試験を行うにあたり、作業環境、試験面の状態によっては、欠陥の検出能力に影響があることより、密閉型磁粉探傷装置による試験については、制限を設けて運用すること等を検討すべきである。

(5) 技術基準案について

告示検査方法の効率化を図る上で、気密試験を設置現場で行うことは大きな課題のひとつである。現場においては、窒素置換を行い、常用の圧力以上にて気密試験を行うことは難しい。そこで気密試験の代替方法を検討する上で、高圧ガス保安法の保安検査方法にて認められている方法を参照した。高圧ガス保安法では、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を実施することが可能である。

また、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のフランジ等であり、非開放時には漏えいのリスクが小さい。

以上のことより、2回目の告示検査における気密試験代替方法は、バルク貯槽に直接取り付けられた附属機器等を取り外して修理、交換等の検査を行う場合を除き、バルク貯槽内のLPガスの自圧により漏えい検査を行うことにより気密試験の代替とする。検査方法は、ガス漏れ検知器もしくは石けん水等により漏えいの確認を行うこととする。