

神奈川県委託事業
平成 28 年度高圧ガス施設等保安推進事業

高圧ガス球形貯槽
脚柱の腐食対策調査報告書

平成 29 年 3 月
一般社団法人 神奈川県高圧ガス保安協会

目次

1. はじめに	1
2. 事業の目的	1
3. 受託の内容	1
4. 事業の推進	1
4.1 委員会の設置と構成	1
4.2 委員会の開催経過	3
5. 事業推進の方向性	4
6. 調査内容	5
6.1 高圧ガス球形貯槽脚柱の腐食対策にアンケート調査	5
6.2 アンケート結果の概容	5
6.2.1 仕様	5
6.2.2 脚柱本体の検査	7
6.2.3 脚柱の補修	8
6.2.4 腐食防止対策、その他	8
6.3 検査会社へのヒアリング調査	8
7. 調査結果のまとめ	9
8. 有効な検査手法についての提言	9
9. まとめ	10

関係資料

資料 1 高圧ガス球形貯槽脚柱の腐食対策に関するアンケート（質問票）

資料 2 アンケート調査 集計結果

資料 3 球形貯槽脚柱へ適用可能な非破壊検査手法

資料 4 球形貯槽 耐火被覆付き脚柱検査フローチャート

1. はじめに

球形貯槽の脚柱には、火災が発生した場合の熱影響を防止する目的で耐火被覆が施工されている。経年劣化で耐火被覆の内側に雨水が浸入すると、脚柱腐食が発生するおそれがある。腐食が進み脚柱の強度が不足した場合、地震時や水圧検査中に倒壊する危険性がある。一方で、脚柱の腐食検査は、高圧ガス保安法では検査の対象として規制されていないため、事業者の自主的な取組みに委ねられている。

このような状況に鑑み、神奈川県安全防災局工業保安課では平成 28 年度高圧ガス施設等保安推進事業の一環として、県内コンビナート地域の高圧ガス球形貯槽を有する事業者の脚柱の腐食検査の実態を調査し、有効な検査手法について取りまとめるため、「高圧ガス貯槽脚柱の腐食対策調査業務」を企画した。

一般社団法人 神奈川県高圧ガス保安協会はこの事業を受託し、協会内のエンジニアリング部会に調査検討委員会を立ち上げ、平成 28 年度の主要活動として取組み、その成果を本報告書にまとめた。

2. 事業の目的

神奈川県内コンビナート地域の高圧ガス球形貯槽を有する事業者における、脚柱の腐食検査の実態を調査し、有効な検査手法について提言として取りまとめる。

3. 受託の内容

(1) 実態調査

県内コンビナート地域の球形貯槽を有する事業者における、脚柱の腐食検査及び対策の実態を調査する。

- (ア) 検査の契機、周期
- (イ) 検査方法
- (ウ) 補修方法
- (エ) 腐食防止の為の対策
- (オ) その他

(2) 検査手法等についての提言

(1)の調査結果に基づき、有効な検査手法について提言を行う。

4. 事業の推進

4.1 委員会の設置と構成

本事業に関する検討は、平成 28 年度のエンジニアリング部会に調査検討委員会を設置して検討を実施した。また、金属材料と腐食現象に高度な知識を有する学識者を構成委員に加え、広い視野から意見を伺った。

委員会の構成委員は次のとおりである。

	氏名	所属事業所
委員長	大原 良友	千代田化工建設(株) 技術本部機械設計ユニット シニアコンサルタント(圧力容器) 一般社団法人 神奈川県高圧ガス保安協会 理事
委員	津野 和裕	新興プランテック(株) メンテナンス技術本部 材料・溶接技術部 部長
委員	長田 真太郎	J Xエネルギー(株) 根岸製油所 工務技術グループ 担当マネージャー
委員	宮田 勲	昭和電工(株) 川崎事業所 工務部 大川工務グループ 課長補佐
委員	葺石 和隆	東燃ゼネラル石油(株) 川崎工場 設備管理部 装置検査課 オフサイトグループヘッド
委員	千葉 栄司	東亜石油(株) 京浜製油所 工務部 工事一課 タンク係
委員	福田 英規	旭化成エンジニアリング(株) プラントライフ事業部 診断技術部 川崎 AIT グループ課長代理
委員	菊池 大介	J Xエネルギー(株) 川崎製造所 工務技術グループ グループマネージャー
指導	豊島 良祐	神奈川県安全防災局 安全防災部 工業保安課 コンビナートグループ技師
学識経験者	酒井 潤一	早稲田大学 名誉教授 各務記念材料研究所 招聘研究員
事務局長	森 秀樹	(一社) 神奈川県高圧ガス保安協会
事務局	伊藤 俊弘	

4.2 委員会の開催経過

委員会は次の通り開催した。

開催年月日	会議内容
第1回 平成28年 7月4日(月)	(1) 受託業務の内容確認と事業実施計画について (2) 調査項目、調査方法、調査先について (3) 活動スケジュールの確認
第2回 7月26日(火)	(1) 「有効な検査手法の提言」について (2) アンケート調査内容について (3) アンケート依頼先、依頼方法について
第3回 10月25日(火)	(1) アンケート調査結果について (2) 非破壊検査手法について
第4回 11月16日(水)	(1) 検査会社(2社)を招請し、ヒアリング調査 (2) 検査フローチャートの検討
第5回 12月12日(月)	(1) 検査会社(1社)を招請し、ヒアリング調査 (2) 検査フローチャートの検討(継続) (3) 報告書(案)の検討
第6回 平成29年 1月30日(月)	(1) 報告書(案)の最終レビュー

学識者については第1回委員会に出席して頂いた。調査計画に関するアドバイスを受け、その後の調査実施に反映した。第6回委員会で学識者の出席を予定していたが、御都合により欠席されたため、後日意見徴収した。

5. 事業推進の方向性

本事業を進めるに当たり、先ず県内コンビナート地域の高圧ガス球形貯槽を有する各事業所の耐火被覆下の脚柱腐食に対する取組み状況を把握することと、現在事業所が抱えている課題を抽出することを目的に、アンケート調査を実施した。また耐火被覆下の脚柱検査に関して、将来有望と考えられる非破壊検査手法について調査するために、県内で実績のある非破壊検査会社に対し、ヒアリング調査を実施した。その後、これらの情報をもとに委員会で議論を行って有効な検査手法に関する提言案を作成し、さらに学識経験者の意見・コメントを伺って検討を重ね、球形貯槽脚柱の検査に関して望ましいと考えられる事項を提言としてまとめた。なお、情報収集、アンケート調査等の実施に関しての要点は次に記載の通りである。

(1) 県内コンビナート事業所等へのアンケート調査による現状把握と課題の抽出

最初に神奈川県工業保安課の協力を得て、調査対象となる県内コンビナート地域の高圧ガス球形貯槽を有する事業所を確認した。その結果、対象の事業所は全部で15ヶ所あることが判明したが、幸いすべて当協会の会員であったことから、その後のアンケート調査については全事業所から好意的に協力して頂くことができた。アンケート項目は、球形貯槽の仕様、脚柱本体の検査状況、補修実績、腐食防止の取組み等で、事前に委員会で十分検討して作成した。

(2) 検査会社へのヒアリング調査

アンケート調査の回答では、耐火被覆を解体することなく、耐火被覆上から脚柱検査を行なう非破壊検査の実績が2事業所から報告された。この報告を受け、耐火被覆下の脚柱検査に関する有効な非破壊検査手法を調査するため、県内で実績のある検査会社を主体に、計3社に対して、ヒアリング調査を実施した。

(3) 委員間の情報共有化

本事業に係わる調査検討委員会の委員は、京浜工業地帯コンビナート地域にある主だった事業所から参画しており、各事業所において高圧ガス球形貯槽の設備管理に関連した業務に携わる担当者を主体に構成されている。このため、各委員はアンケート調査では十分収集しきれない事業所独自の取組み情報やその背景に関する知識と経験を有している。委員会の議論の場では、各委員の持つ経験や知識を可能な限り共有する事に務め、委員会としてより実践的な提言の作成に努めた。

(4) 学識経験者の選任と意見収集

本委員会にてまとめた提言案に対して、意見を頂く学識経験者として、金属の腐食分野に精通し、日本学術振興会や腐食防食協会等の各種委員会の委員長や役員を歴任されている早稲田大学名誉教授の酒井先生を選任した。

6. 調査内容

6.1 高圧ガス球形貯槽脚柱の腐食対策に関するアンケート調査

- (1) アンケート調査に使用した質問票を資料 1 に示す。
- (2) 調査期間：平成 28 年 8 月 10 日（水）から 9 月 30 日（金）
- (3) 調査対象事業所について

調査対象である県内コンビナート地域の高圧ガス球形貯槽を有する事業所は全部で 15 事業所（球形貯槽合計 162 基）あった。その内 3 事業所の球形貯槽については可燃性ガスの貯槽ではないため、脚柱部に耐火被覆が施工されていなかった。このため、耐火被覆下の脚柱腐食に関する回答は、12 事業所（耐火被覆を有する球形貯槽の合計 146 基）から得られたものである。

6.2 アンケート結果

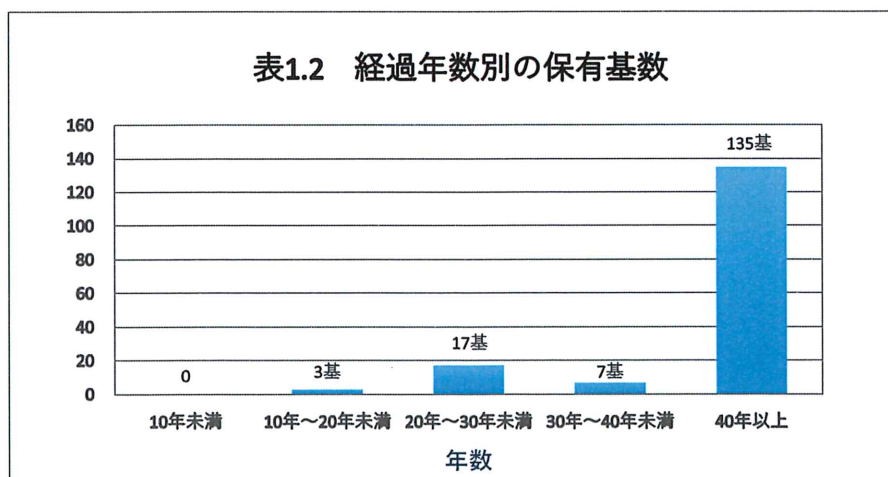
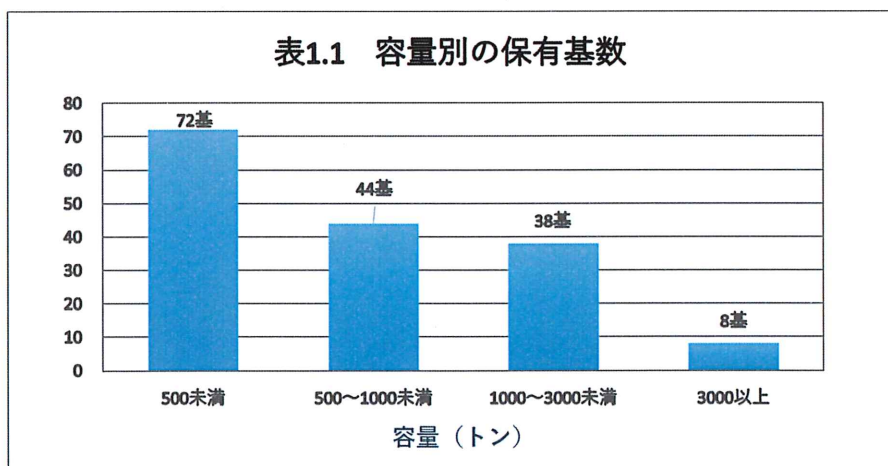
アンケート結果のまとめを資料 2 に示す。

6.2.1 仕様

(1) 球形貯槽の仕様

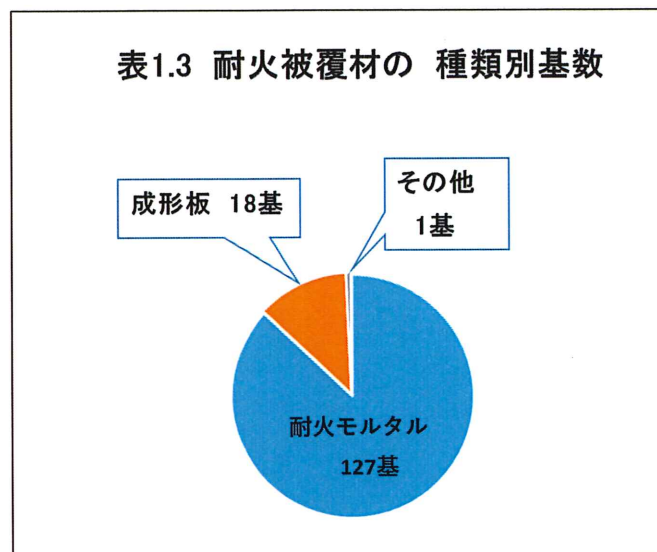
今回の調査対象となった球形貯槽（合計 162 基）の特徴は以下の通りである。

- ・容量別基数は、1000 トン未満が 71%（116 基）と主体であった（表 1.1）
- ・建設後の経過年数は、40 年以上が 83%（135 基）を占める（表 1.2）



(2) 耐火被覆の仕様

- ・ 被覆材の種類は、耐火モルタルが最も多く、全体の 87% (127 基) を占める (表 1.3)
- ・ 以前は耐火モルタルが標準的に使われていたが、最近の新設時や大規模補修に伴う復旧には、耐火モルタルに代えて、成形した耐火ボード(以下、成形板と略す)がよく使用されている。成形板は現場施工性が良い上に、軽量で構造物の耐震上有利になるためである。
- ・ その他の耐火被覆材として、耐火塗装 (通常 1~5 mm 程度の膜厚で、火災時の熱で発泡し断熱性を発揮する) を適用している事業所が 1 事業所あった。耐火塗装は施工が簡易であるが、塗膜寿命が比較的短く、適用個所が限定されるとのことである。
- ・ 経年劣化のひび割れ等に対する追加対策として、耐火モルタル表面に防水対策を行っている事業所が全 12 事業所中 7 事業所あった。対策内容は、ウレタン系防水塗装や FRP コーティング等で、各事業所によって様々であった。



(3) 脚柱本体の仕様

- ・ 脚柱本体の外径寸法は、18B~20B、肉厚 7~9.5 mm が多数を占めている。他に 6B~10B の比較的小径や 22B~24B の比較的大径もみられる。
- ・ 材質は SS400 や STK400 等の軟鋼が多く、SHW50 や SPV355Q などの高張力鋼を使用している場合もある。球形貯槽本体が高張力鋼の場合、球形貯槽本体との付け根付近の脚柱のみ共材として高張力鋼を使用し、脚柱の途中で軟鋼に切り代わる 2 層構造になる場合が多い。
- ・ 不明の 1 事業所を除き、ほぼ全事業所で、耐火被覆の施工前の脚柱本体表面に、防食を実施している。防食の主な内容は、約半数がエポキシ系樹脂塗装を実施している。
- ・ 耐火被覆頂部や非被覆部との境界は、全事業所でなんらかの雨仕舞いがされている。主なものは、金属板(ウエザーシールあるいはレインキャップと呼ばれる場合がある)を使用するもので、全 12 事業所の内、金属板のみで使用している 2 事業所、金属板と樹脂コーキングを併用している 7 事業所があり、両者を合わせると 9 事業所で全体の 75% を占めている。

6.2.2 脚柱本体の検査

(1) 検査の実績

脚柱本体について、継続的な検査計画を策定し運用している事業所が、全 12 事業所中 6 事業所ある。残り 6 事業所についても継続的な検査計画はないが、過去に検査実績があった。

(2) 脚柱検査の実施理由

過去に脚柱検査を実施した、あるいは継続的な検査を実施する主な理由は、以下の通りで、いずれも開放検査の機会を利用して、脚柱本体の健全性を確認している。

- ・ 長年の使用に伴い、耐火モルタルの亀裂や錆汁の発生がみられるため、自主的なフォロー、もしくは現場立ち入り時の県担当のアドバイスによる。
- ・ 昨今の保温/耐火被覆下の腐食事例のフォローとして。
- ・ 東日本大震災後のフォローあるいは耐震補強に伴う脚柱改造の機会を利用して。

(3) 脚柱本体の検査内容

- ・ 継続的な脚柱検査を実施している全 6 事業所の主な検査内容は、耐火被覆を撤去して、脚柱本体の外表面目視と肉厚測定を行うものである。
- ・ 継続的な検査を実施している 6 事業所の内、検査周期 10 年が 4 事業所となっている。全般に 3~10 年の周期で、脚柱本体の検査を計画している。
- ・ 継続的な検査を実施している 6 事業所において、計画検査の対象として、全数検査が 3 事業所、目視検査等でスクリーニングして抜き取り検査を行なうが 3 事業所となっている。
- ・ 全数検査を行なう事業所で、初回は全数検査を行ない、腐食状況に応じて見直すとの回答は 1 事業所あった。

(4) 脚柱本体の腐食状況

- ・ 検査実績のある全 12 事業所の内、7 事業所で脚柱本体の腐食が確認されている。
- ・ 7 事業所の腐食発生位置は、脚柱全面が 5 事業所で、脚柱の上段と下段が、各々 1 事業所であった。
- ・ 腐食形態は、孔食 4 事業所、全面腐食 2 事業所、その他で脚柱とガセットの溶接線の腐食 1 事業所であった。
- ・ 各事業所の脚柱の最大腐食深さは 1.3~6.0 mm で、建設後 20 年~57 年を経過した球形貯槽に発生している。腐食率 (= 最大深さ/経過年数) は、0.05~0.13 mm/y となる。
- ・ 最大腐食を発生した場所の耐火被覆の種類は、耐火モルタル 6 事業所、成形板 1 事業所であった。

(5) 非破壊検査の実績

- ・ 全 12 事業所の内、非破壊検査（耐火被覆を解体しないで、耐火被覆上から脚柱本体

を検査する)の適用実績が2事業所であり、実績はないが計画中の事業所が2事業所あった。残り8事業所は、非破壊検査の実績・計画とも無しであった。

- ・ 非破壊検査の実績もしくは計画がある事業所(計4事業所)で検討された検査手法は、すべて耐火被覆上からのパルス渦流探傷(Pulsed Eddy Current、以下パルスETと略す)であった。
- ・ パルスET検査を実施した2事業所の評価は、「腐食傾向を調査するスクリーニング検査として有効である」と共通している。また「耐火被覆の損傷が激しくモルタル密度の相違があると誤差が拡大する。最小肉厚を捉えるには、モルタル取外して詳細検査が必要である」とのコメントがあった。

6.2.3 脚柱の補修

- ・ 全12事業所中、補修実績あり3事業所、実績なし9事業所であった。
- ・ 補修実績のある3事業所の内、1事業所では、250トン球形貯槽の脚柱全数取替を行っている。この球形貯槽は耐火モルタル仕様で、建設後48年を経過し、最大深さ6mmの全面腐食を受けていたもので、脚柱取替後の耐火被覆は成形板で復旧している。
- ・ 補修実績のある残り2事業所は肉盛り補修、あるいは肉盛り補修とアングル補強(断面係数の増加)による補修を実施している。

6.2.4 腐食防止対策、その他

- ・ 脚柱本体の防食塗装や防食処理、あるいは雨仕舞いのシール設置以外に実施した対策について質問したが、全事業所とも実績なしとの回答であった。
- ・ その他の質問で「脚柱本体の腐食に関する過去のトラブルや今後の課題について」は、全事業所とも、特にコメントはなかった。

6.3 検査会社へのヒアリング調査

(1) 検査会社の選定

球形貯槽の脚柱検査に適用可能な非破壊検査手法を調査するため、脚柱検査実績がある下記の3社を選定し協会事務所へ招請してヒアリング調査を実施した。

	会社名	調査日	推奨診断手法
1	(有) ティティエス	平成28年11月16日	パルスET
2	非破壊検査(株)	平成28年11月16日	パルスET
3	(株)シーエクスアール	平成28年12月12日	Thru-VU* ¹

*¹ Thru-VU(リアルタイムラジオグラフィ)：商品名、透過法による放射線検査の一種。

(2) ヒアリング調査結果

- ・ 球形貯槽脚柱検査に適用が可能と思われる非破壊検査手法(FCR、Thru-VU、ロングレンジUT、パルスETの4種)について、各社の考えをヒアリング調査し、資料3として比較表に取りまとめた。

- ・ 従来実施している耐火被覆の外観目視検査は、脚柱腐食の簡易なスクリーニング（一次スクリーニング検査）として有効であるが、耐火被覆の外観劣化（ひび割れ、錆汁等）の状況と脚柱本体の腐食位置や状態は必ずしも一致していない場合がある。非破壊検査を利用した二次スクリーニングを実施し、耐火被覆解体による実物検査を最小限にすることで、検査費用の削減と設備の信頼性向上が両立できるとの事であった。

7. 調査結果のまとめ

県内コンビナート地域の高圧ガス球形貯槽の脚柱検査に関する現状について、以下にまとめた。

- (1) 県内コンビナート地域の高圧ガス球形貯槽は、建設後 40 年以上が全体の 83%を占める。すでに建設後 48 年経過した 250 トン球形貯槽で、全面腐食のため脚柱全数を取替えた事業所もあり、今後特に耐火被覆の経年劣化に伴う、脚柱腐食への対応が課題となっている。
- (2) 従来、脚柱の耐火被覆材として耐火モルタルが標準的に使用されていたため、現在耐火モルタル仕様が既存設備の 87%を占めている。長年使用した耐火モルタルは、ひび割れやシール材劣化が進み、雨水浸入に伴って錆汁や部分脱落を起している。このため、過半数を超える事業所（全体の 58%）では、モルタル表面に塗装や樹脂コーキング等の防水対策を実行している。
- (3) 耐火被覆の劣化に伴う脚柱本体の腐食検査については、全事業所で実施した経歴がある。また全体の半数の事業所では、継続的な脚柱検査計画を策定し運用している。
- (4) 脚柱検査を実施した経歴がある全 12 事業所の内、7 事業所で何らか脚柱腐食を検出しているが、各事業所での代表的な最大腐食は年平均 0.05~0.13 mm程度である。残り 5 事業所では特に脚柱腐食は検出されておらず、標準的な雨仕舞い対策（金属板シール+樹脂コーキング）が良好であれば、脚柱腐食は比較的緩やかと言える。
- (5) 従来の脚柱検査は、耐火被覆劣化部を撤去して脚柱本体の肉厚検査を行なうことが主体であったが、耐火被覆を解体しないで、耐火被覆上から直接腐食検査を行う非破壊検査手法を適用する事例が見られる。実際に適用した事業所が 2 事業所、今後適用を計画している事業所が 2 事業所あり、いずれも非破壊検査手法はパルス ETとなっている。
- (6) 脚柱補修の履歴がある事業所は全 12 事業所中で 3 事業所あり、補修内容は脚柱全数の取替を行った事業所は 1 か所で、残り 2 事業所は肉盛り補修、あるいは肉盛り補修とアングル補強（断面係数増加）であった。

8. 有効な脚柱検査の提言

今回の調査結果を基に、今後有効と思われる脚柱検査について検討を行った結果を提言として、資料 4 球形貯槽 耐火被覆付き脚柱検査フローチャートにまとめた。脚柱検査フローチャートでは、検査手順 3 段階と補修の計 4 段階に分類していて、その概要は以下の通りである。

（第一ステップ）：目視による 1 次スクリーニング

- ・ 目視の対象として、①耐火被覆と②レインキャップに分類した。脚柱腐食では雨水対策が重要であり、両者が健全であれば、腐食は比較的軽微と推定される。

- ・ 脚柱にはブレース取付部やサポート取付部等の不連続部からひび割れが発生することが多いため、特に留意する。
- ・ 腐食が進んだ場合、耐火被覆外面に錆汁の発生がみられるので、錆汁の有無が第 1 ステップから第 2 ステップに進む判断基準となる。

(第二ステップ) : 非破壊検査による 2 次スクリーニング

- ・ 錆汁の発生状況に加え、設備の重要度、内容物、腐食環境等を勘案し、非破壊検査の要否を検討する。非破壊検査結果、腐食信号を確認した場合には結果的に耐火被覆の解体が必要になることも想定されるため、非破壊検査を実施するか、予め耐火被覆を解体するのか、事前の十分な検討が必要になる。
- ・ 非破壊検査には、耐火被覆上から検査できるパルス ET、FCR、Thru-VU、耐火被覆を部分的解体後に検査するロングレンジ UT 等がある。目的や検査精度を考慮して選定する。
- ・ 非破壊検査を実施して問題となる腐食信号を検出した場合、非破壊検査の範囲拡大を検討した後、第三ステップの耐火被覆解体による詳細検査へ進む。

(第三ステップ) : 耐火被覆解体による詳細検査

- ・ 第三ステップの耐火被覆解体による詳細検査を実施する場合、これまでの検査で得られた情報を勘案し、解体範囲を検討する。

(第四ステップ) : 補修

- ・ 重要度に応じて実施した耐震計算結果により、残肉厚が必要肉厚を下回る場合は、肉盛り補修あるいは、当て板補修、アングルやフラットバーによる断面係数を確保する工法があり、腐食の範囲に応じ最適な補修方法を選定する。
- ・ 広範囲の耐火被覆の復旧では、耐火モルタルから耐火成形板もしくは耐火塗装へ変更する場合が多い。耐火成形板や耐火塗装は現場施工性に優れる上、総重量が低下するため耐震上も有利となる。

9. まとめ

県内コンビナート地域の高圧ガス球形貯槽は、設置後 40 年を超えるものが多く、耐火モルタルの経年劣化に伴い、耐火被覆下の脚柱腐食リスクがある。これまでの所、耐火被覆下の脚柱腐食は比較的軽微であり、まだ補修事例は少ないが、建設後 48 年経過した 250 トン球形貯槽で、全面腐食のため脚柱全数を取替えた事業所もあり、設備の高経年化とともに、脚柱腐食の問題が徐々に重要になりつつある。

将来さらに設備の高経年化が進み、脚柱腐食のリスクが増加していく中で、球形貯槽設備の信頼性を維持するために、脚柱検査を強化する必要性が高まっている。今後、足場工事や耐火被覆の解体を要しない非破壊検査技術を用いたスクリーニング検査を活用する事で、設備の信頼性の確保と検査の最適化の両立に有効である。

以上

資料 1 高圧ガス球形貯槽脚柱の腐食対策
に関するアンケート（質問票）

「高圧ガス球形貯槽脚柱の腐食対策に関するアンケート」

記入日 : 2016年 月 日

事業所名 : _____

(1) 仕様について

貴事業所で保有している高圧ガスの球形貯槽の状況について、以下の質問にお答えください。

1.1 保有している球形貯槽の容量別の基数

容量 (トン)	高圧ガス機器の基数
500 未満	基
500 以上～1000 未満	基
1000 以上～3000 未満	基
3000 以上	基

1.2 保有している球形貯槽の建設後の経過年数

年数	高圧ガス機器の基数
10 年未満	基
10 年以上～20 年未満	基
20 年以上～30 年未満	基
30 年以上～40 年未満	基
40 年以上	基

1.3 球形貯槽に使用している耐火被覆材の種類

耐火被覆材	高圧ガス機器の基数
耐火モルタル	基
耐火ボード(成形板)+板金	基
その他	基

1.3.1 耐火被覆材の種類が複数ある場合、使い分ける基準あるいは理由があれば教えてください。

(例、過去は耐火モルタルが標準、近年は現場施工性が良いため、耐火ボードが標準となった・・・)

(回答)

1.3.2 耐火被覆材の種類が「その他」の場合、耐火被覆材の種類は何ですか。具体的に教えてください。商品名でも可です。(複数ある場合は、代表的なものを1種類、あるいは数種類を記述して下さい。)

(回答)

1.3.3 耐火被覆材の種類が「耐火モルタル」の場合にお答えください。

モルタル表面のひび割れ防止や防水強化を目的として、モルタル表面に塗装またはコーティングを施工していますか。

(回答) 【 a.施工している、 b.特に施工していない】

1.3.3.1 「a.施工している」の場合、施工の内容について具体的に教えてください。

(回答)

1.4 脚柱本体の仕様についてお聞きます。

(脚柱本体の定義については、頁 1/6 アンケート記入要領の第 1 項を参照して下さい。)

1.4.1 脚柱本体の仕様 {配管の場合：材質、サイズ（インチ）とスケジュール（肉厚）}、および貯槽の容量を教えてください。（最も多く使用されている代表例について、記入してください）

(回答)

1.4.2 耐火被覆材の取付前に、脚柱本体表面になんらかの防食塗装または防食処理を実施していますか。

(回答) 【 a. 防食塗装または防食処理を行っている b. 特に行っていない C. 不明 】

1.4.2.1 「a.防食塗装または防食処理を行っている」の場合、その代表的な仕様についてお答えください。

回答例： ブラスト処理、無機ジンクリッチ[®] イト x 2 回塗り etc.

(回答)

1.5 耐火被覆材の頂部や非被覆部との境界部の雨仕舞い（ウエザーシール）についてお聞きます。

雨仕舞い（ウエザーシール）を設けていますか。該当する記号すべてに○を付けてください。

(回答)

- 【 a. 樹脂コーキングと金属製のシール板の併用 b. 金属製シール板のみ有（樹脂コーキング無し）
c. 樹脂コーキングのみ有（金属製シール板なし） d. 金属製シール、樹脂コーキングとも無し 】

2.2 これまで、脚柱本体の腐食検査において、腐食が認められた実績はありますか。

(回答) 【 a.腐食が認められた実績がある b. 腐食が認められた実績はない 】

2.2.1 「a.腐食が認められた実績がある」の場合、代表的な腐食事例について、以下の質問にお答えください。

① 脚柱本体の腐食発生場所

(回答) 【 a.上段 b.中段 c.下段 d.全面 】

② 腐食の形態（下記の定義を参照してください）

(回答) 【 a.全面腐食 b.孔食 c.その他（具体的) 】

- a. 全面腐食：健全な表面が消失し、全体的に均一な減肉がある。あるいは、腐食面に凸凹があるが、広範囲に渡って健全な表面がほとんど消失している。
- b. 孔食：健全な表面が部分的に残っていて、ピット状の腐食が散在している。
- c. その他：上記の a または b 以外の腐食

2.2.2 最大腐食深さ (mm)

(回答)

2.2.3 建設後の経過年数 (年)

(回答)

2.2.4 最大腐食を発生した脚柱の耐火被覆材の種類

(回答)

2.3 耐火被覆材を解体しないで、耐火被覆表面から脚柱本体の腐食検査を行なった非破壊検査の実績はありますか。

(回答) 【 a. 実績あり b.実績はないが、計画中もしくは検討中 c.実績、計画とも無し 】

2.3.1 「a 実績あり」の場合、以下の項目について回答してください。

① 検査の原理と検査手法の概要

(回答)

② 適用した状況と結果（精度、費用、工期、問題点、その他）

(回答)

2.3.2 「b. 実績はないが、計画中もしくは検討中」の場合、以下の項目について回答してください。

① 計画中もしくは検討中の、検査の原理と検査手法の概要

(回答)

(3) 補修方法について

3.1 脚柱本体の腐食に起因して、過去に補修実績がありますか（耐震補強による補修を除く）

(回答) 【 a. 補修歴あり b.補修歴なし 】

3.2 「a.補修歴あり」の場合、その補修内容を教えてください。

- 例.
- ・ 脚柱全数取替
 - ・ パチ当て補修（耐火被覆上部境界部 幅 1m x 全周 x 全脚柱 etc.）
 - ・ 肉盛り補修（約 50mm口 x 1 0 か所）

(回答)

(4) 腐食防止のための対策

4.1 脚柱本体の防食塗装や防食処理、あるいは雨仕舞いのシール設置以外に、何か腐食防止対策を行った実績はありますか。

(回答) 【 a. 対策実績あり b.対策実績なし 】

4.2 「a.対策実績あり」の場合、その内容を教えてください。

(回答)

(5) その他

5.1 球形貯槽 脚柱本体の腐食に関して、過去のトラブルや今後の課題について、何かありましたら、記述してください。

(回答)

質問は以上になります。

ご回答ありがとうございました。

資料 2 アンケート調査 集計結果

資料2 アンケート調査集計結果 (1/6)

(1) 仕様について

1.1 容量別の保有基数

容量 (トン)	①社	②社	③社	④社	⑤社	⑥社	⑦社	⑧社	⑨社	⑩社	⑪社	⑫社	⑬社	⑭社	⑮社	計	
500未満	2	39	4	10	0	2	9	1	2	1	0	1	0	0	1	72	44%
500以上～1000未満	7	14	1	7	3	2	0	0	4	0	2	0	2	2	0	44	27%
1000以上～3000未満	5	7	1	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	23%
3000以上	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	5%
合計	14	60	6	44	8	4	9	1	6	1	3	1	2	2	1	162	100%

1.2 経過年数別の保有基数

年数	①社	②社	③社	④社	⑤社	⑥社	⑦社	⑧社	⑨社	⑩社	⑪社	⑫社	⑬社	⑭社	⑮社	計	
10年未満	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
10年以上～20年未満	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	3	2%
20年以上～30年未満	1	5	1	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	17	10%
30年以上～40年未満	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	7	4%
40年以上	13	52	3	44	0	3	9	1	6	1	2	0	0	0	1	135	83%
合計	14	60	6	44	8	4	9	1	6	1	3	1	2	2	1	162	100%

1.3 耐火被覆材の種類別基数

耐火被覆材	①社	②社	③社	④社	⑤社	⑥社	⑦社	⑧社	⑨社	⑩社	⑪社	⑫社	⑬社	⑭社	⑮社	計	
耐火モルタル	13	55	2	40	7	3	0	0	5	1	0	1	0	0	0	127	87%
耐火ボード (成形板)+板金	1	5	0	4	1	0	0	1	1	0	3	0	2	0	0	18	12%
その他	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1%
合計	14	60	2	44	8	4	0	1	6	1	3	1	2	0	0	146	100%

4基
耐火
なし

耐火
なし

耐火
なし

耐火
なし

資料2 アンケート調査集計結果 (3/6)

(2) 脚柱本体の検査について

	①社	②社	③社	④社	⑤社	⑥社	⑦社	⑧社	⑨社	⑩社	⑪社	⑫社	⑬社	⑭社	⑮社
2.1 脚柱本体の 検査実績、 検査計画は？	b 検査実績はあるが 継続的計画なし	a 継続的な検査計画 を策定し、実行して いる	b 1000以上タンク で、検査計画 中	b 実績あるが、継続 的計画なし	a 継続的な検査計画 を策定し、実行して いる	b 実績あるが、継続 的計画なし		a 継続的な検査計画 を策定し、実行して いる	a 継続的な検査計画 を策定し、実行して いる	a 継続的な検査計画 を策定し、実行して いる	a 継続的な検査計画 を策定し、実行して いる	a 実績あるが、継続 的計画なし	b 実績あるが、継続 的計画なし	b 実績あるが、継続 的計画なし	⑮社
2.1.1①または2.1.2 ① 脚柱耐火被覆の劣 化を認めため、 あるいは、耐震補 強で脚柱改造があ った理由、又は単策で 検査を行なった理由	b 脚柱耐火被覆の劣 化を認めため、 あるいは、耐震補 強で脚柱改造があ った理由、又は単策で 検査を行なった理由	a 耐火モルタルに亀裂 があり雨水が確認さ れたため、モルタル 撤去し検査した 所、腐食が認めら れた。	b 設置後30年で耐 火モルタル外面に防 水塗装。その他外 面目視が主体。昨 今の地震の影響等 を鑑み、非破壊検 査を模索。	b 長期使用により支 柱耐火被覆に割れ が発生し、雨水浸 入による支柱本体 の腐食減肉が懸念 されたため。	a 以前、保安検査時 に鼻から口頭によ り、耐火被覆を解 体して検査すること を言われ、2003年 以降、開放検査時 に合わせ脚柱1本 の耐火被覆解体し 検査を実施。	b 2011.3.11の震災 直後に、開放検査 が済み、同タミング で脚柱検査を實 施。		a 球形タンクの重要 部位であり、開放 検査に合わせ、支 柱の健全性を確認 している。	a 耐火被覆材の下の 外面腐食の状況を 確認するため	a 当初の計画に策定 されていた。	a 外周目視で耐火モ ルタルに割れが発見 され、脚柱本体の 腐食を懸念し、検 査を実施した。	b 実績あるが、継続 的計画なし	b 実績あるが、継続 的計画なし	b 実績あるが、継続 的計画なし	
2.1.1②または 2.1.2② 検査内容	b 耐火被覆解体、脚 柱の外周目視、肉 厚測定	a 保安検査時に、耐 火モルタル解体と 目視検査を実施。 目視検査を実施。	b バルズET(PEC)を 予定。スクリーニン グ検査として有望。 検査として有望。	b 非破壊検査とモル タル取外検査の併 用	a 耐火モルタル研り、 目視と肉厚測定。 検査後、錆止め塗 装し、耐火ボードで 復旧。	b 耐火被覆を解体検 査したが、防食デー プもあり、腐食な し。		a 開放検査に合わ せ、支柱1本を抜き 取り検査(肉厚+ 目視)	a H28/10 全脚柱6本の、耐 火被覆をはがし、脚 柱の健全性を確認 する。	a 脚柱の状態を確認 してポット的に耐 火被覆を取外し、 目視検査と腐食深 さ測定から残肉厚 を推定。	a 脚柱の状態を確認 してポット的に耐 火被覆を取外し、 目視検査と腐食深 さ測定から残肉厚 を推定。	b 懸念部のモルタル 撤去、目視点検	b 支柱(全数)の下部 に開口部を設け、 耐火材を切り取り、 外観を確認。 開口部を定期的な 点検窓に加工。	b 支柱(全数)の下部 に開口部を設け、 耐火材を切り取り、 外観を確認。 開口部を定期的な 点検窓に加工。	
2.1.1③ 検査周期	-	a 周期は決めてない。 最寄りの保安検査 時に実施予定。	b -	b -	a 10年(4基) 6年(4基)	-	a 10年	b 10年	a 3年 (特に問題なけれ ば、開放点検に合 わせて)	a 10年	a 10年	b -	b -	b -	
2.1.1④ 検査対象	-	a 全数検査	b -	b 抜取り	c その他	-	a 全数検査	b 抜取り	a 全数検査	b 抜取り	a 全数検査	b 抜取り	b 抜取り	b 抜取り	
2.1.1.1 抜取り対象の 決め方	-	a 全数検査	b -	b 目視検査で 耐火モルタルの割れ 幅、長さで判定	c 事前にカラー板金の 状況を目視点検 (開口による雨水 浸入、板金の浮き 錆や劣化状況)	-	a 全数検査	b 抜取り	a 初回は全数検査 し、減肉速度が分 かった時点で、状況 に応じた対象を決 定する。	a 12本中4本	a 12本中4本	b 基準無し、ひび割 れ部の検査を實 施。	b 基準無し、ひび割 れ部の検査を實 施。	b 基準無し、ひび割 れ部の検査を實 施。	

資料2 アンケート調査集計結果 (5/6)

(3) 補修について

	①社	②社	③社	④社	⑤社	⑥社	⑦社	⑧社	⑨社	⑩社	⑪社	⑫社	⑬社	⑭社	⑮社
3.1 脚柱本体の補修実績	a 補修歴あり	a 補修歴あり	b 補修歴無し	b 補修歴無し	b 補修歴無し	b 補修歴無し		b 補修歴無し	a 補修歴あり	b 補修歴無し	b 補修歴無し	b 補修歴無し	b 補修歴無し	b 補修歴無し	
3.2 補修内容	肉盛補修 約16か所/本	肉盛補修 10mm□ 10か所/本、 アングルで補強 (断面係数の増加)	-	-	-	-		-	脚柱全数取替 250 t/タカ 1基	-	-	-	-	-	

(4) 腐食防止の対策について

	①社	②社	③社	④社	⑤社	⑥社	⑦社	⑧社	⑨社	⑩社	⑪社	⑫社	⑬社	⑭社	⑮社
4.1 腐食防止対策の実績	b 実績なし	b 実績なし	b 実績なし	b 実績なし	b 実績なし	b 実績なし		b 実績なし	b 実績なし	b 実績なし	b 実績なし	b 実績なし	b 実績なし	b 実績なし	

(5) その他 全事業所ともコメントなし

資料2 アンケート調査集計結果 (6/6)

アンケート回答のまとめ

質問番号	回答状況	
	調査事業所	
		神奈川県コンビナート地域の球形貯槽を有する15事業所（合計162基）について、アンケート調査を実施した。このうち脚柱部に耐火被覆を有する基数は、12事業所（合計146基）であった。
1	調査対象の球形貯槽仕様	
1.1	容量	容量別基数は、1000未満が、71%（116基）であった。
1.2	経過年数	建設後の経過年数は、40年以上が、83%（135基）であった。
1.3	耐火被覆材	耐火被覆材の種類は、耐火モルタルが87%（127基）であった。
		ほとんどが、過去耐火モルタルが標準であったが、近年の建設あるいは補修時は、現場施工性に優れた耐火ボード（成形板）に変更している。
		その他の耐火被覆材として、耐火塗装（通常1～5mm程度の膜厚で、火災時の熱で発泡し断熱性を発揮する）を適時利用している事業者が1社あり。
		耐火モルタル表面に、何らかの防水対策を行っている事業所が、全12事業所中、7社あり。経年劣化ひび割れに伴う追加対策として実施
1.4	脚柱（代表例）	寸法は、外径18B～20B、肉厚7～9.5が多い。他に外径6B～10B,22B～24Bもあり。（上部は本体と共材）
		脚柱本体の表面は、不明の1社を除き、ほぼ全事業所で防食を実施している。防食の主な内容は、約半数がエポキシ系樹脂塗装を実施。
1.5	雨仕舞い（ウエザーシール） 別名：レインキャップ	耐火被覆頂部や非被覆部との境界は、全事業所でなんらかの雨仕舞いがされている。主なものは、金属板と樹脂コーキングを併用している事業所7事業所、金属板のみ2事業所で、両者を合わせると75%であった。
2	脚柱本体の検査	
2.1	検査実績	脚柱本体の継続的な検査を実施している所が、12事業所中6事業所あり。残り6事業所についても、継続的な検査計画はないが、過去に検査実績がある。
2.1.1① 2.1.2①	脚柱検査の主な理由	・長年の使用に伴い、耐火モルタルの亀裂や錆汁の発生がみられるため、自主的な腐食フォローとして、もしくは、現場立入時の県担当者のアドバイスによる。
		・震災フォローあるいは耐震補強に伴う脚柱改造の機会を利用して。上記等の理由により、開放検査の機会を利用して、脚柱本体の健全性を確認した。
2.1.1② 2.1.2②	検査内容	球形貯槽の保安検査の機会を利用し、耐火被覆材を撤去して脚柱本体の外表面目視、肉厚測定を実施。
2.1.1③	検査周期（継続検査を行なっている6事業所）	・検査周期10年が4事業所。 全般に3～10年で開放検査に合わせ実施している。
2.1.1④	検査対象（継続検査を行なっている6事業所）	・全数検査が3事業所。初回は全数検査し、検査状況に応じて見直す等の回答有。 ・目視検査等で抜き取り検査を行なうところが3事業所。
2.2	脚柱本体の腐食実績	検査実績のある全12事業所中、7事業所で、脚柱本体の腐食が確認されている。
2.2.1①	腐食場所	全7事業所の内、d（全面）が5事業所（約71%）、a（上段）とC（下段）が各1事業所（約14%）
2.2.1②	腐食形態	全7事業所の内、b（孔食）が4事業所（約57%）、a（全面腐食）が2事業所（約29%）、C（その他）が脚柱とガセットの溶接線が1事業所（約14%）
2.2.3	最大腐食深さ	代表的な最大深さ1.3～6.0mmで、腐食率は0.05～0.13mm/年程度。
2.2.4	最大腐食部の耐火被覆	全7事業所の内、耐火モルタル：6事業所、成形ボード：1事業所
2.3	非破壊検査の実績（被覆の解体無し）	全12事業所中、実績あり：2事業所（約17%）、B 実績ないが計画中/検討中：2事業所（約17%）、c 無し：8事業所（約67%）
2.3.1 2.3.2	非破壊検査の内容	非破壊検査実績もしくは計画がある事業所（全4事業所）の検査内容は、すべて耐火被覆上からのパルスET（PEC）であった。
2.3.1②	適用結果と評価	パルスET（PEC）は減肉傾向をつかむスクリーニング検査として効果あり。但し、耐火被覆の損傷が激しくモルタル密度の相違があると誤差が拡大。最小肉厚を捉えるには、モルタル取外しで詳細検査が必要
3.1	脚柱本体の補修実績	全12事業所中、a 補修実績ありが3事業所（25%）、b 実績なしが9事業所（75%）
3.2	同上 補修内容	全3事業所中、2事業所は、肉盛り補修、アングル補強（断面係数の増加）、250トンの脚柱全数取替が、1社事業所。
4.1	腐食防止のための対策	全12事業所中、b 実績なしが12事業所全数（100%）

資料 3 球形貯槽脚柱へ適用可能な
非破壊検査手法

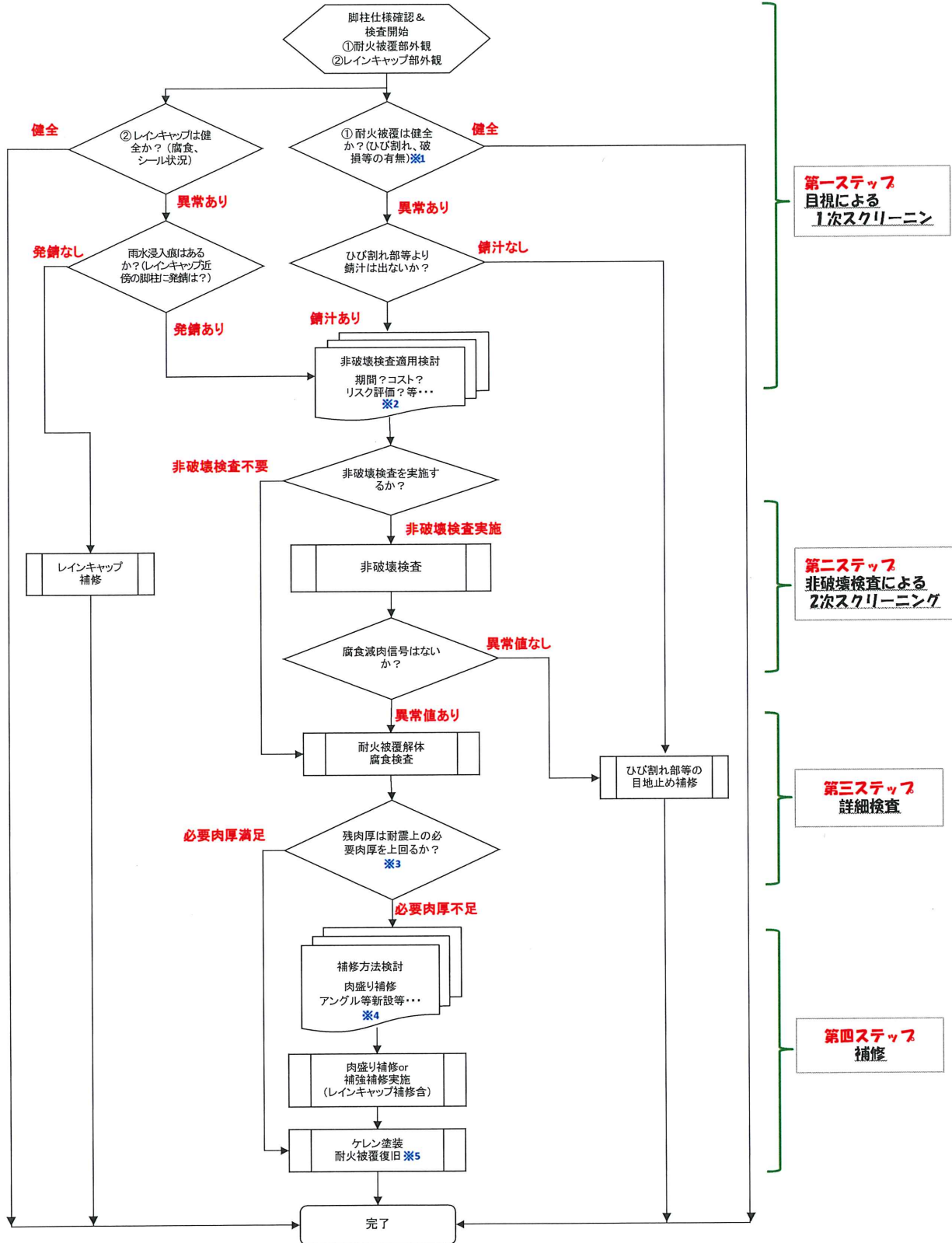
資料3 球形貯槽脚柱へ適用可能な非破壊検査手法

	目視検査	FCR	Thru-VU *1下注	ロングレンジUT	パルスET
検査手法の補足説明	耐火被覆外面の状況（ひび割れ、錆等）により、脚柱本体の腐食を推定する。	フィルムに代えてイメージングプレートを使用し、放射線による断面撮影を行い、パソコンで画像処理する。FCRは、Fuji Computed Radiographyの略で、RT検査の一種	放射線による透過撮影を連続的に行い、パソコンで画像処理する。専用センサーを利用し、軸方向に自走しながら連続撮影する。 *1：「Thru-VU(リアルタイムラジオグラフィ)」は、(株)シーエックスアールの商品名。RT検査の一種。	伝搬効率の高い超音波(ガイド波)を、センサーから送受信することで、内外面を含むセンサー前後の広範囲の減肉調査を行う。UT検査の一種。	導電性材料に誘起される渦電流が肉厚によって変化する性質を利用。ET検査の一種。
付帯足場	不要	必要	不要 (梯子を利用したワイヤー吊りで、高さ約5mまで検査可能)	不要 (上部にセッとする場合は必要)	不要 (棹の先にセンサーを取り付け、高さ7~8mまで検査可能)
耐火被覆の解体	不要	不要	不要	一部解体 (1m程度)	不要
脚柱本体の内外面の検出	不可	良	良(内外面の識別は不可)	良(内外面の識別は不可)	良(内外面の識別は不可)
検査精度	-	優 (定量的な測定が可能)	可(スクリーニング検査)	可(スクリーニング検査)	可(スクリーニング検査)
脚柱1本当たりの能率	-	1本/1日 (40ショット) @10B x sch40、モルタル50 t 想定	1本/1日、8方向スキャン @10B x sch40、モルタル50 t 想定	10本/1日	1本/1日 (200~1000点)
長所	・現場状況、検査対象に応じた、対応可能。	・検出精度が高く、定量的な測定が可能。	・連続撮影であり、検査範囲全体を画像化するため、腐食分布が分かり易い。	・深さ方向に広がりのある欠陥の検出に優れる。 ・検査速度が速く、スクリーニング検査に適す。	・全面腐食に有効。 ・検査速度が速く、スクリーニング検査に適す。
短所	・検査員による個人差が生じやすい。 ・腐食そのものではなく、耐火被覆の状況(耐火材のひび割れ、脱落、錆等)を観察して判断するため、腐食の定量的な判断は困難。	・1回の撮影(1ショット)で1断面の検査を行うもので、広範囲の検査を行う際には時間とコストが嵩む。特に脚柱径が10Bを超える場合、1回の撮影で、定量的な評価が可能な範囲が限定される。 ・断面撮影なので、局所的な腐食検出には不適。 ・UTやETに対し、測定時間が比較的に長くなる。 ・被ばく、管理区域の問題がある。	・耐火材の密度変化(例えば、ひび割れ等)の映像と腐食の判別が困難なケースがある。 ・耐火材からの散乱線の影響で、減肉率30%未満の軽微な腐食は検出困難。 ・パルスETに比べ、検査の所要時間が長い。約1.5倍程度 (@脚柱外径480~500mm x 9 t x 3/4寸が50 t x 8本の全面検査の場合、検査期間は約12日) ・管理区域は、撮影地点の半径約10mとなり、運転員の現場巡回の制約になる場合がある。	・プローブ設置のため、耐火被覆の部分除去(1m程度)が必要。 ・配管径に適合したプローブが必要で、大口径の場合、特注になりコスト高となる。 ・全面腐食は捉えにくい。 ・耐火モルタルなどで脚柱本体と密着性が高い場合、音場伝達の拘束となり障害を受ける。	・検出するデータは、プリント(試験視野)内の平均的な肉厚であるため、局所的な腐食、孔食は捉えにくい。 ・微弱な磁束の変化測定のため、外来ノイズの影響を受けやすいことがある。 ・鉄筋等の付属金物の近傍では評価性が落ちる。(但し、ラズ網の影響は少ない)
評価まとめ(脚柱検査への適用)	簡易のスクリーニング検査として有効であるが、定量的な判断は困難。他の非破壊検査との併用が必要。	スクリーニング検査後の精密検査として有効であるが、脚柱検査では足場が必要なことや1回の撮影で検査できる範囲が狭いことから、検査結果で補修の可能性が高い場合は、耐火被覆を撤去して、直接検査・補修する方が有利な場合がある。	検査に伴う足場や耐火被覆の解体が不要であり、脚柱のスクリーニング検査に適す。但し、足場無しでの測定可能高さが5m程度の制約されるため、比較的小型の貯槽に限られる。 今のところ、適用実績は1~2件/年と少ない。検査範囲全体の腐食分布を画像化するため、再検査を行なう場合、経年的な腐食の変化を把握しやすい。	脚柱検査への適用は可能であるが、脚柱径が大きくなると、プローブが特注となるため、コスト高になる。 防油堤貫通部の配管検査で実績が多くあるが、脚柱検査の実績はほとんどない。	局部腐食の検出は困難であるが、強度に影響する様な全面腐食の検出に有効であり、検査速度も速いことから、脚柱の様な構造部材のスクリーニング検査に適す。

資料 4 球形貯槽 耐火被覆付き脚柱検査

フローチャート

資料4 球形貯槽 モルタル製耐火被覆付き脚柱検査フローチャート



※1 脚柱にはブレース取付部、サポート取付部等の不連続部からひび割れが発生することが多いため、特に留意すること。

※2 非破壊検査には耐火被覆上から検査できるパルス渦流探傷法(ET)、FCR(RT)、Thru-VU(RT)、耐火被覆を部分解体後に検査するロングレンジガイド波(UT)等がある。目的や検査精度を考慮して選定すること。また、非破壊検査の結果、腐食信号を確認した場合は結果的に耐火被覆の解体が必要になることが想定されるため、非破壊検査を実施するか、予め耐火被覆を解体するか、事前の十分な検討が必要となる。

※3 脚柱の必要肉厚は重要度に応じて実施した耐震計算結果による。

※4 脚柱の補修方法には肉盛り補修以外にアングルやフラットバーを取り付けることで断面係数を確保する工法がある。腐食の範囲に応じた最適な補修方法を選定すること。

※5 広範囲の耐火被覆の復旧では、耐火モルタルから耐火成形板または耐火塗装へ変更する場合が多い。耐火成形板や耐火塗装は現場施工性に優れる上、総重量が低下するため耐震上も有利となる。