



# 高圧ガス球形貯槽 脚柱の腐食対策調査について

---

平成28年度 防災管理者等研修会  
かながわ県民センター ホール  
2017年3月13日

一般社団法人 神奈川県高圧ガス保安協会  
エンジニアリング部会

# はじめに

(一社)神奈川県高圧ガス保安協会 エンジニアリング部会は平成28年度の活動として、県からの委託業務「高圧ガス球形貯槽 脚柱の腐食対策調査」に取り組みました。

## (背景)

- ✓ 県内コンビナート地域の高圧ガス球形貯槽は、建設後数十年を経た設備が多く、耐火被覆の経年劣化に伴う脚柱腐食が懸念される。
- ✓ 腐食が進み脚柱強度が不足した場合、地震時等に倒壊する危険性がある。
- ✓ 脚柱検査は法規制がなく、事業者の自主的な取組みに委ねられている。

## (目的)

- ① 球形貯槽を有する各事業所の、脚柱腐食検査の実態を調査すること。  
⇒ コンビナート地域の該当事業所へのアンケート調査を実施
- ② 有効な検査手法について提言する  
⇒ 脚柱検査に関し、実績のある検査会社へヒアリング調査を実施。

# アンケート調査の概要

## (1) 調査内容

仕様/検査方法/腐食状況/補修/その他

## (2) 期間

平成28年8月10日～9月30日

## (3) 調査対象

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15事業所\* (球形貯槽総数162基)

\* この内、3事業所の球形貯槽は、可燃性ガスでないため、耐火被覆が施工されていなかった。

⇒ このため、脚柱腐食の回答は 全12事業所、球形貯槽は146基 から得られたものです。

# アンケート調査対象 球形貯槽 容量別の基数

表1.1 容量別の基数

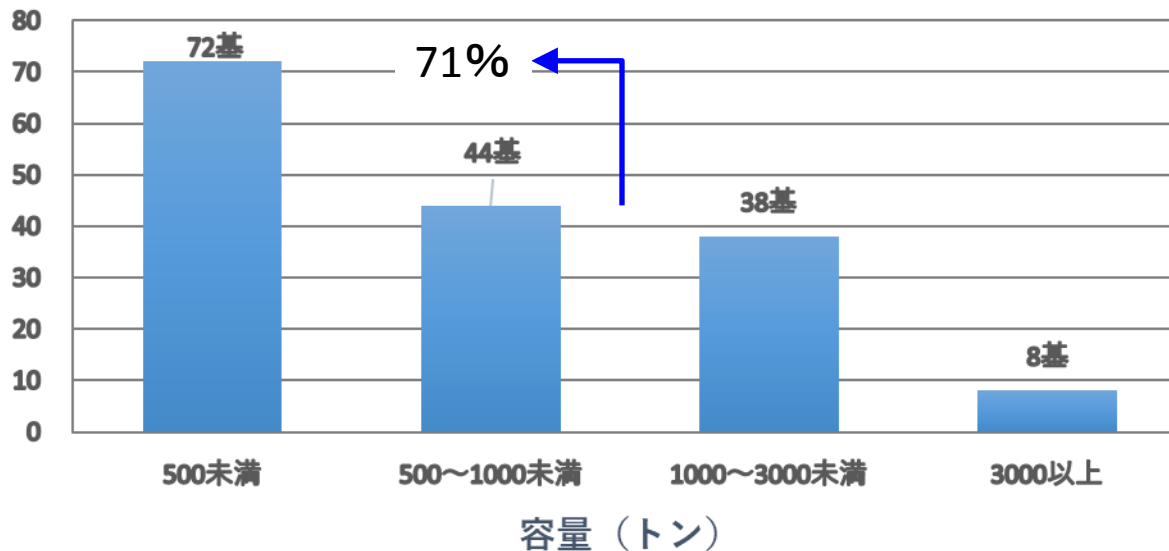


表1.1は、球形貯槽の容量別の基数を示している。  
今回調査対象の球形貯槽(合計162基)の内、容量別の基数は  
1000トン未満が主体で71%(116基)となっている。

# アンケート調査対象 建設後の経過年数別基数

表1.2 経過年数別の基数

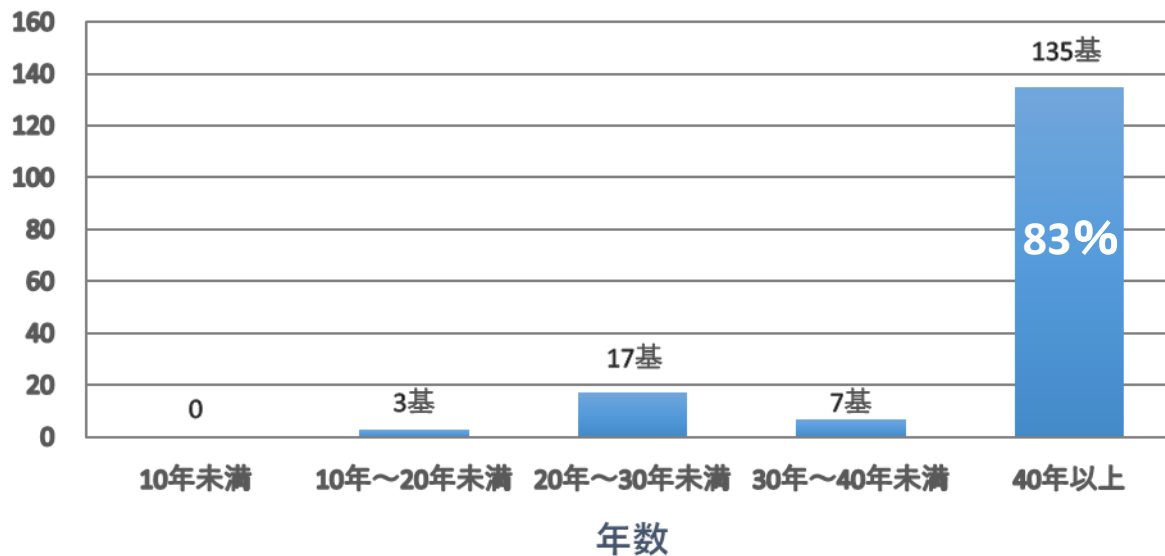


表1.2は、建設後の経過年数別の基数を示している。  
建設後40年以上を経過した球形貯槽は全体の83%（135基）  
を占めている。

# アンケート調査結果

## 耐火被覆 種類別の基数

表1.3 耐火被覆材の種類別基数

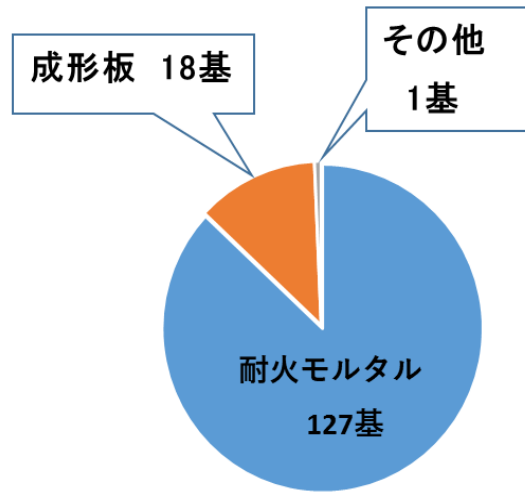


表1.3は耐火被覆の種類別の基数を示す。

### 耐火被覆材の状況

- 耐火モルタルが、全体の87%を占める。  
(127基/全146基中)
- 耐火モルタルの経年劣化(ひび割れ等)で、防水塗装等の対策を行っている事業所が7事業所(約58%)となっている。
- 最近の新設や大幅補修では、耐火モルタルに代えて、成形した耐火ボード(成形板)が使用される場合が多い。  
施工性や軽量で耐震上で有利なため。

# アンケート調査結果

## 脚柱本体の仕様

### 脚柱本体の仕様

- 脚柱本体の外径は、18B～20B、肉厚7～9.5mmが多数を占める。  
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、一部にSHW50やSPV355Qなどの高張力鋼を使用している場合もある。
- 詳細不明の1事業所を除き、ほぼ全事業所で、耐火被覆下の脚柱本体の表面に防食塗装を実施している。  
防食の内容は、約半数がエポキシ系樹脂塗装
- 耐火被覆頂部や非被覆部との境界は、全事業所で雨仕舞いを実施している。  
主な雨仕舞いは 金属板 又は、金属板と樹脂コーキングを併用。  
金属板:ウエザーシール またはレインキャップと呼ばれる。

# アンケート調査結果 脚柱本体の検査状況

脚柱に耐火被覆を有する球形貯槽を所有している  
全12事業所の検査状況

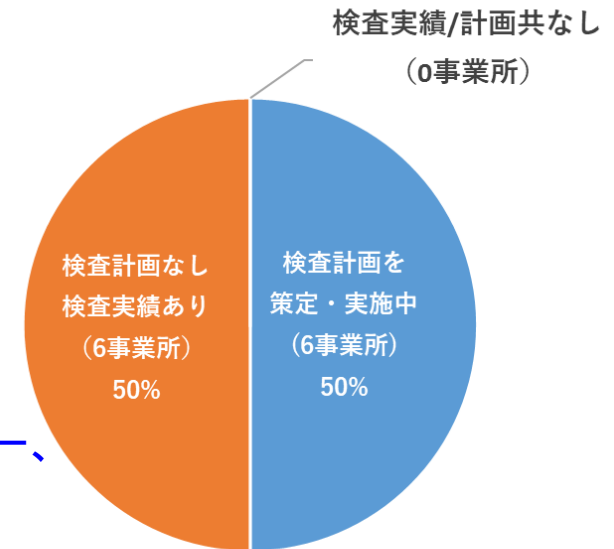
脚柱本体の検査状況  
対象：全12事業所

## (1) 検査実績

- 長期的な検査計画を策定し、実行中  
➡ 6事業所
- 継続した検査計画はないが、  
過去に検査実績がある。  
➡ 6事業所

## (2) 検査理由

- 耐火モルタルに亀裂や錆汁の発生があり、自主的フォロー、  
あるいは、現場立入時の県からのアドバイスを受けて。
- 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。





# アンケート調査結果

## 脚柱本体の検査状況（続き）

### (3) 検査内容

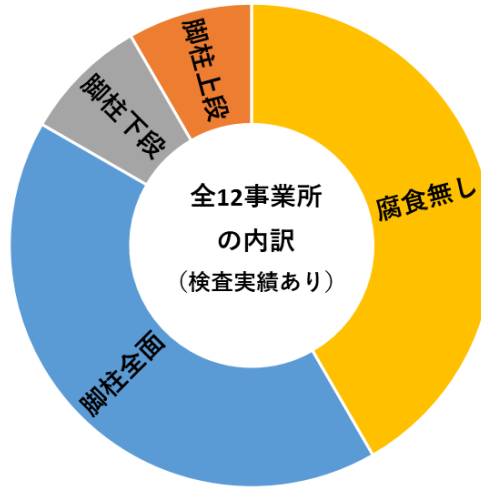
全6事業所で継続的な検査計画を策定し運用している  
その内容は以下の通り。

- 耐火被覆を撤去し、脚柱本体の外表面目視と肉厚検査を実施。
- 検査周期： 3～10年（開放検査に併せた実施が多い）
- 検査対象： ①全数検査する(3事業所)  
②目視検査等スクリーニング後に抜取検査する(3事業所)
- 全数検査を行なう事業所の内、初回は全数検査を行ない、その後は腐食状況に応じて見直しを行う(1事業所)

# アンケート調査結果

## 脚柱腐食の発生位置と形態

事業所ごとの腐食発生位置



### 腐食発生位置の内訳

脚柱に耐火被覆を持つ12事業所のすべてで、脚柱検査を行なった経歴がある。

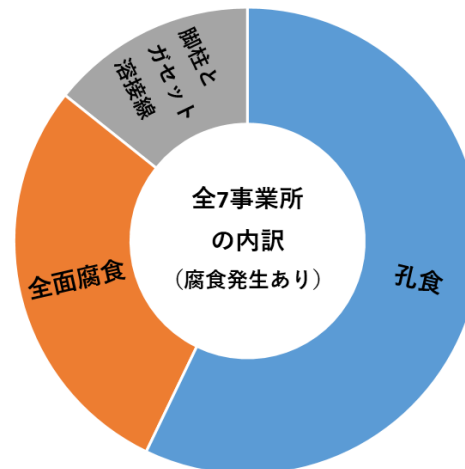
- 脚柱全面： 5事業所
- 脚柱上段： 1事業所
- 脚柱下段： 1事業所
- 腐食無し： 5事業所

### 脚柱腐食の形態の内訳

7事業所で腐食が認められた

- 孔食 4事業所
- 全面腐食 2事業所
- その他 1事業所  
(脚柱とガセットの溶接線)

脚柱腐食の形態



# アンケート調査結果

## 脚柱腐食の発生状況

脚柱に腐食が認められた7事業所の発生状況をまとめると……

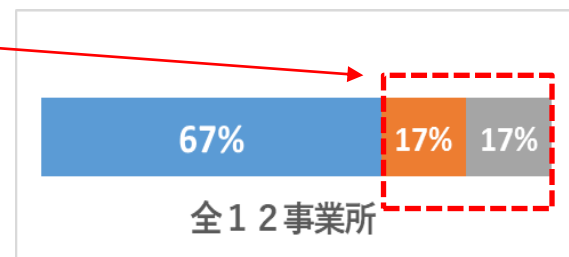
- 脚柱の最大腐食深さ 1.3～6.0mm  
(建設後20年～57年を経過した球形貯槽)
- 最大腐食率(=最大深さ/経過年数)  
0.05～0.13mm/y
- 最大腐食発生場所の耐火被覆の種類
  - 耐火モルタル 6事業所
  - 耐火ボード(成形板) 1事業所

# アンケート調査 脚柱の非破壊検査

## ➤ 非破壊検査の実績

(非破壊検査:耐火被覆を撤去することなく、被覆上から行う脚柱検査)

- ① 非破壊検査の実績あり **2事業所** \*
- ② // 実績ないが計画中 **2事業所**
- ③ // 実績・計画とも無し **8事業所**



## ➤ 非破壊検査の手法

- 非破壊検査の実績/計画がある事業所\*の検査手法  
⇒ すべてパルス渦流探傷(Pulsed Eddy Current、以下パルスETと略す)であった。

## パルスETを実施した2事業所のコメント

- 腐食傾向を調査するスクリーニング検査として有効
- 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。

パルスET  
の評価

# アンケート調査結果

## 脚柱補修の状況

### 脚柱の補修について

- 脚柱の補修実績なし 9事業所
- 脚柱の補修実績あり 3事業所
  - 補修実績ありの3事業所の内容
    - ✓ 脚柱の全数取替 1事業所
    - ✓ 肉盛り補修 1事業所
    - ✓ 肉盛り+アングル補強 1事業所
  - 脚柱全数取替の詳細
    - 容量250トンの球形貯槽の脚柱
    - 建設後48年
    - 全面腐食(最大深さ6mm)
    - 耐火モルタル仕様(補修後は耐火ボードに変更)

補修事例は  
未だ少ない  
が...

大規模補修  
も1件あり

# 検査会社へのヒアリング調査

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、アンケート調査で報告されたパルスETの実績がある検査会社、および脚注の非破壊検査の実績がある下記の3社を選定し協会事務所へ招請してヒアリング調査を行なった。

	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)シーエックスアール	平成 28 年 12 月 12 日	Thru-VU* <sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> 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。

# 脚柱検査に適用可能な非破壊検査

(有)ティティエス 殿資料より  
PEC:パルス渦流探傷の略で  
パルスETのことである

## PECによるスカート検査例



- ◆ ポールの利用で高さ6mまで足場不要
- ◆ 耐火被覆の剥離不要



### 計測結果で判定

Vertical Position	Horizontal Position															
(mm)	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
10	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
20	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
30	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
40	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
50	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
60	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
70	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
80	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
90	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
100	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
110	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
120	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
130	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
140	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
150	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
160	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
170	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
180	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
190	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
200	82	73	71	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72

### 最小の解体



最小の付帯工事費用で  
現減肉状況を確認



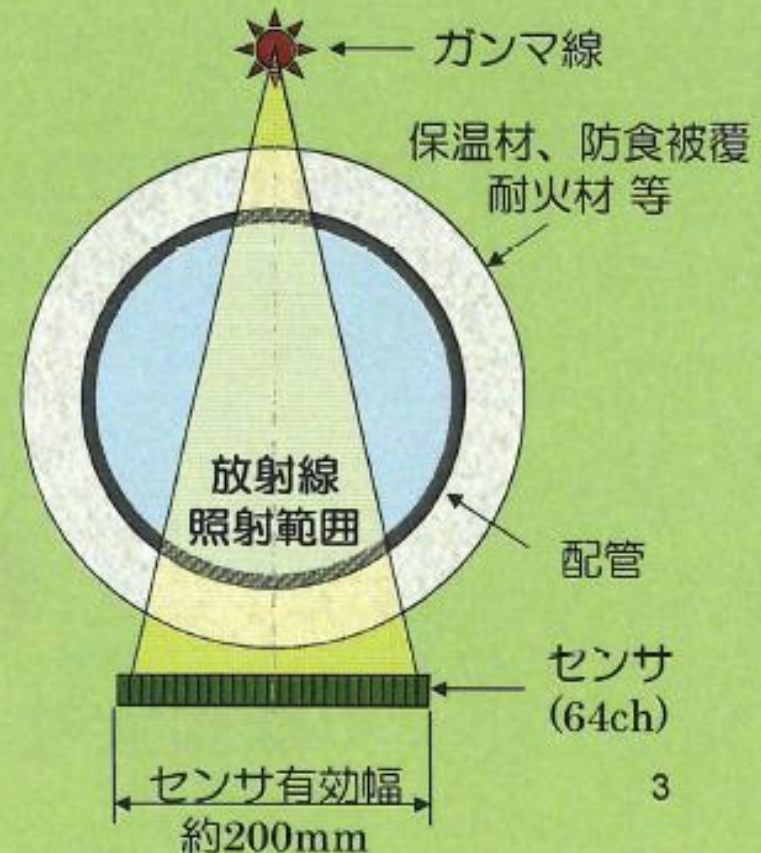
# Thru-VUの原理

“Thru-VU”とは、放射線検査の一種で、放射線源と、64ch半導体アレイセンサを組合せ、配管を軸方向に自走スキャンしながら、配管の放射線透過情報を採取し、リアルタイムに連続的にデジタル処理しながら、配管の腐食等状況をスクリーニング調査するシステムです。



放射線源  
(Ir192)

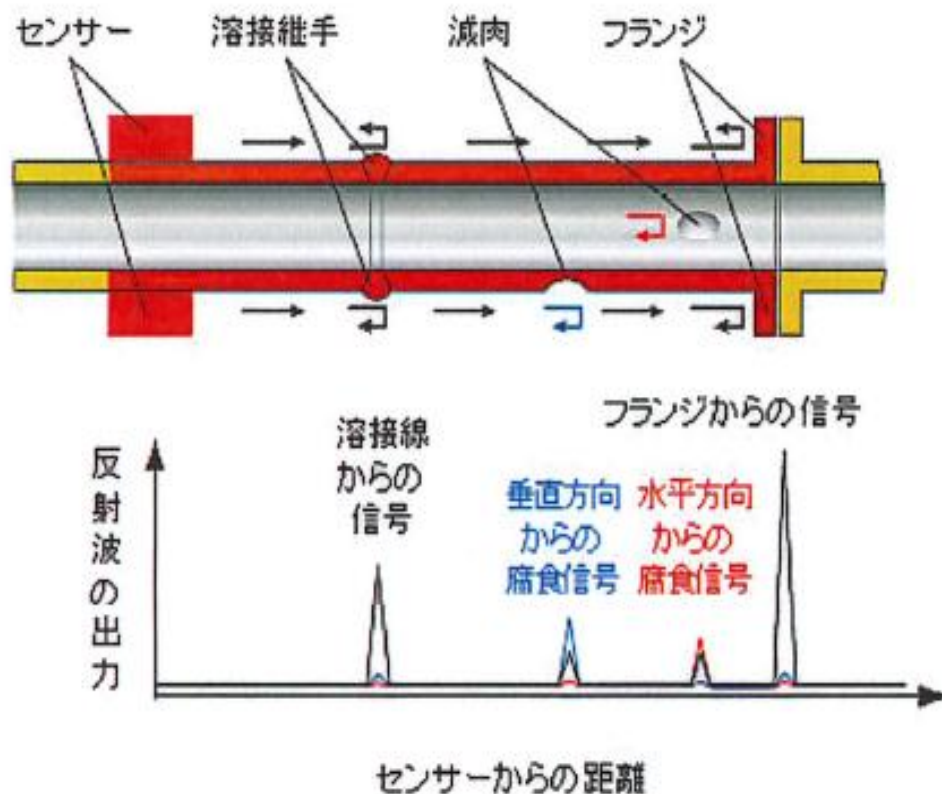
64chアレイセンサー





配管全体を1ポイントから測定し腐食箇所を特定

「ロングレンジガイド波による診断」  
(有)ティティエス 殿 HPより



Copyright TTS LTD., TLV CO., LTD.

配管に入射されたガイド波は、一つのエネルギーの塊となって配管を伝播していきます。異常箇所が全く無い場合は、ガイド波は配管に沿って減衰しきるまで伝播しますが、途中で減肉などの異常箇所が存在すると、その部分でガイド波の音響インピーダンスが増加し、ガイド波の一部が反射します。反射したガイド波が再びセンサーに到達するその到達時間から、異常箇所の位置を特定します。反射されずに残ったエネルギーは更に配管の検査方向に進んで行き、その先の配管検査を継続します。

# 有効な検査手順の提言

## 「球形貯槽の脚柱検査フローチャート」

今回の調査結果を基に、有効な検査手順を「球形貯槽の脚柱検査フローチャート」として取りまとめた。(今回の報告では省略)

(脚柱検査フローチャートでは、1～4ステップに分類している)

(第一ステップ): 目視による1次スクリーニング

- 耐火被覆の外観状況(ひび割れ、錆汁)によりスクリーニングを行う。

(第二ステップ): 非破壊検査による2次スクリーニング

- 最新の非破壊検査手法を適用して、より多くの検査情報を入手する。
- 結果的に耐火被覆の解体が必要になる場合があり、非破壊検査を省略して、第三ステップへ進むか否か、十分な事前検討が必要。

(第三ステップ): 耐火被覆解体による詳細検査

- 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): 補修の実施

- 補修方法は、肉盛り・当板補修あるいは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方法を選定する。
- 耐火ボード(成形板)は現場施工性に優れる上、総重量を低減できて耐震上も有利であるため、広範囲の復旧では、耐火モルタルから成形板への変更を検討する。

# 県内コンビナート地域 高圧ガス球形貯槽 脚柱腐食調査のまとめ

- 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。
- これまでのところ、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、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活用する事で、設備の信頼性確保と、検査の最適化の両立が図れる。