

川内原子力発電所 2 号炉
原子炉格納容器の特別点検（個別確認・評価）について

令和 4 年10月17日

九州電力株式会社

枠囲みの範囲は、商業機密等に係る事項であるため、公開できません。（P.9,16）

目 次

	頁
1. はじめに	1
2. 要求事項	1
3. データ採取方法	2
4. 特別点検（個別確認・評価）	17
参考1 点検記録（例）	20
参考2 遠隔目視試験における事前検証の記録	24
参考3 原子炉格納容器鋼板の塗膜の状態について	26

1. はじめに

本資料は、川内原子力発電所2号炉で実施した原子炉格納容器のデータ採取及び特別点検について、実施した内容を取りまとめたものである。

2. 要求事項

対象の機器・構造物、その対象の部位、着目する劣化事象及び試験方法は、「実用発電用原子炉の運転期間延長認可申請に係る運用ガイド」（以下「運用ガイド」という。）に定められている。

表2.1 要求事項の概要

対象の機器・構造物	対象の部位	着目する劣化事象	試験方法
原子炉格納容器	原子炉格納容器鋼板 (接近できる点検可能 範囲の全て)	腐食	目視試験 (VT-4) による 塗膜状態の確認

3. データ採取方法

3.1 データ採取の概要

原子炉格納容器は、鋼板（炭素鋼）で構成されており、溶接構造で気密性を高く保ち、万一、事故時に原子炉格納容器内に放射性物質が放出された場合においても、周辺環境への拡散を抑える役目を持つ。原子炉格納容器は、耐食性、耐放射線性等の観点から内外表面に塗装を実施しており、塗膜が健全であれば金属表面は大気に曝されることはなく、原子炉格納容器の健全性は維持されるものと考えられる。

原子炉格納容器の鋼板溶接部については、建設時に非破壊試験（PT：浸透探傷試験、RT：放射線透過試験等）を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。また、運転開始後は、維持規格上、PWRの原子炉格納容器鋼板は水に接していないため、原子炉格納容器表面に対する定期的な検査要求はないが、毎回の定期事業者検査時に原子炉格納容器鋼板の外観点検（以下「通常の点検」という。）を実施するとともに、必要に応じて塗裝修繕〔至近実績：2号第25回定期事業者検査〕を実施し、塗膜の健全性を維持している。また、定期事業者検査による「原子炉格納容器漏えい率検査」（原子炉格納容器全体（A種試験）：定期事業者検査3回に1回、局部（B,C種試験）：A種試験を行わない定期事業者検査時）においても、原子炉格納容器の「閉じ込め」機能の健全性を確認している。

今回のデータ採取では、塗膜状態の確認として、目視試験（VT-4）にて実施するが、上塗り、下塗りに割れ、はがれ及びふくれが認められるか、下塗りが健全か、母材に発錆があるか等について確認した。

また、データ採取において、これまでの通常の点検に加え、高所等については、仮設足場、搭乗設備及び高倍率カメラを用いて、塗膜状態の目視試験を実施した。

【参考】維持規格要求事項抜粋

IA-2524 VT-4試験

- (1) VT-4試験は、IEで規定する目視試験に適用するものであり、格納容器の構造上の劣化（腐食、減肉、塗膜の劣化、ボルト・ナットの破損等）を検出するために行う試験とする。
- (2) VT-4試験は、塗膜上から試験を行ってもよい。また、構造上の劣化が検出できる条件で行えばよい。（解説IA-2524-1）

（解説IA-2524-1）VT-4試験の試験条件

VT-4試験は、「IEクラスMC容器（鋼製）」で規定する目視試験に適用するものであり、格納容器の構造上の劣化（腐食、減肉、塗膜の劣化、ボルト・ナットの破損等）を検出するために行う試験。したがってVT-4試験は、構造上の劣化が検出可能な接近距離、照度で行えばよいとし、これらに関する具体的な規定はせず、塗膜上から試験を行ってもよいとした。

3.2 通常の点検方法との比較

以下に、今回のデータ採取方法と通常の点検方法との比較を示す。

部 位	通常の点検方法	データ採取方法
原子炉格納容器 鋼板	<p>[目視試験]</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉格納容器内のフロアや機器架台、原子炉格納容器内外に設置された恒設足場より直接目視 高所は双眼鏡を使用した遠隔目視 	<p>[目視試験]</p> <ul style="list-style-type: none"> 通常点検にて使用しているフロアや機器架台、恒設足場に加え、場所によっては仮設足場、搭乗設備を使用し直接目視 点検時の照度、グレーカードの確認 高所は高倍率カメラ等を使用した遠隔目視 遠隔目視については、事前検証を実施

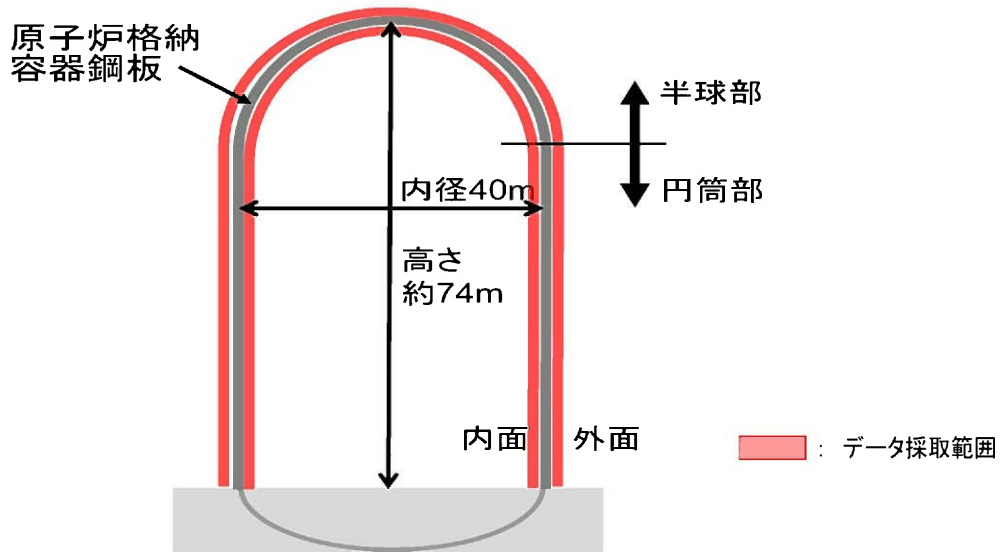


図3.2.1 データ採取範囲

3.3 データ採取方法

3.3.1 直接目視試験

- (1) 試験は18%中性灰色カード（グレーカード）の幅0.8mmの黒線部（1.25 = 1/0.8）識別を確認しながら点検を実施した。

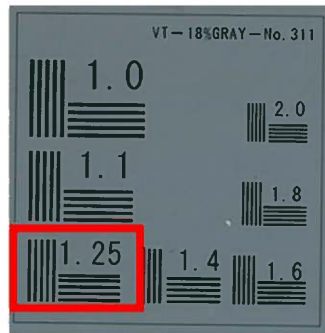


図3.3.1.1 グレーカード

- (2) 直接目視試験では、鋼板1枚ごとの照度、試験員と確認対象の鋼板との距離など、鋼板ごとの条件が異なることを考慮し、試験開始前に点検対象となる鋼板1枚ごと、点検の位置に置いたグレーカードの線が識別できることを確認し、試験を実施した。
- なお、グレーカードの使用にあたっては、点検手法が定義されている維持規格において、VT-4試験に対する要求事項（IA-2524）ではグレーカードの識別要求はない。

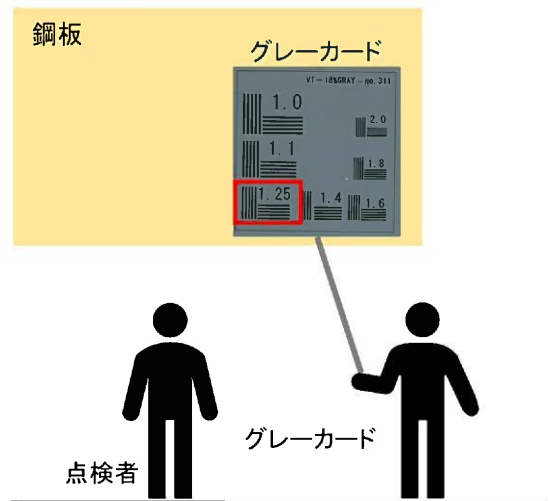


図3.3.1.2 直接目視試験の点検イメージ

(3) 目の位置に対する角度は 30° 以上 150° 以下を原則とするが、鏡または拡大鏡を用いて可能な限り確認を行った。

干渉物が存在する場合の試験不可範囲の例を図3.3.1.3～図3.3.1.7に示す。

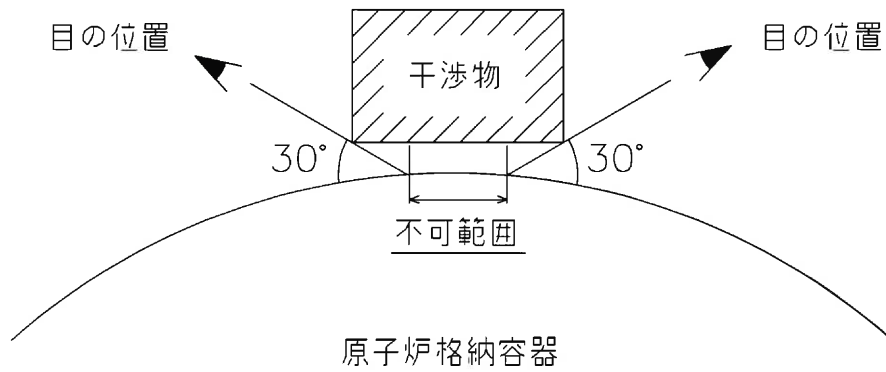


図 3.3.1.3 干渉物が単独で存在する場合

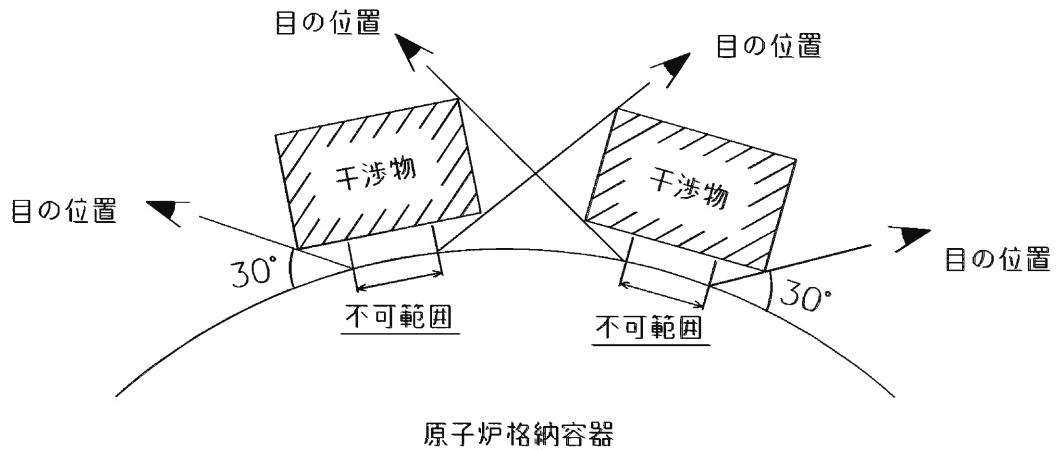


図 3.3.1.4 干渉物が2つ並んでいる場合

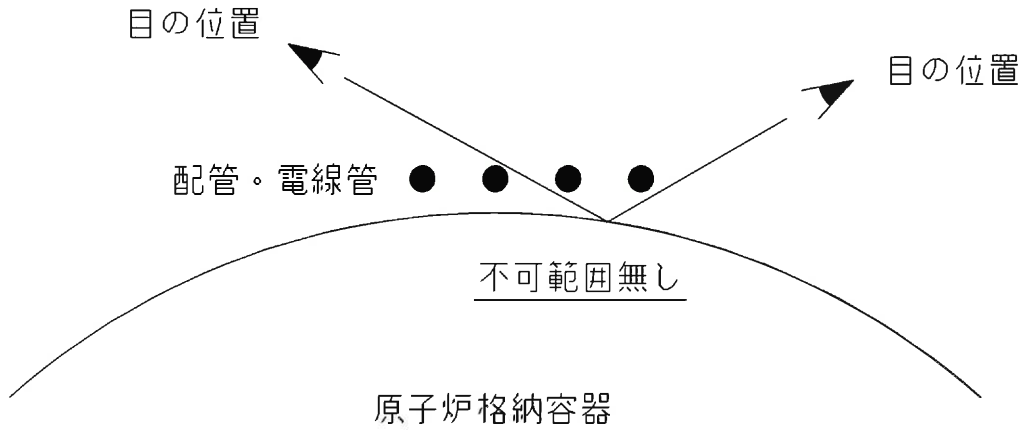


図 3.3.1.5 配管及び電線管が並んでいる場合

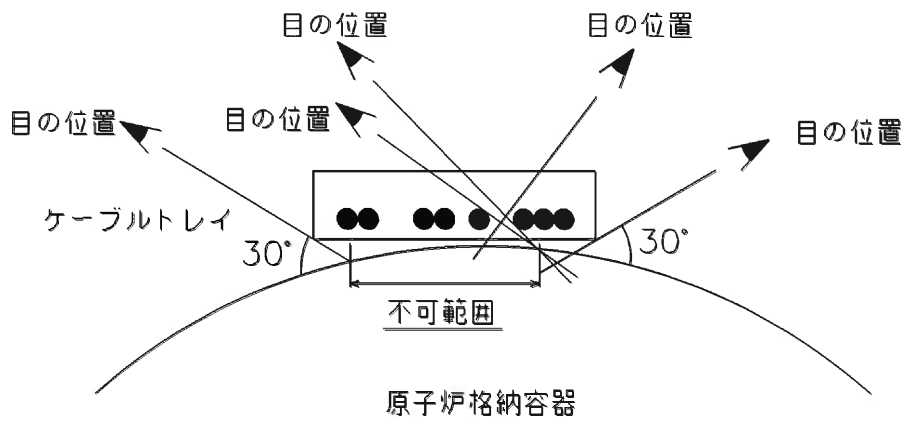


図 3.3.1.6 ケーブルトレイ中にケーブル又は配管があり、隙間が一様でない場合

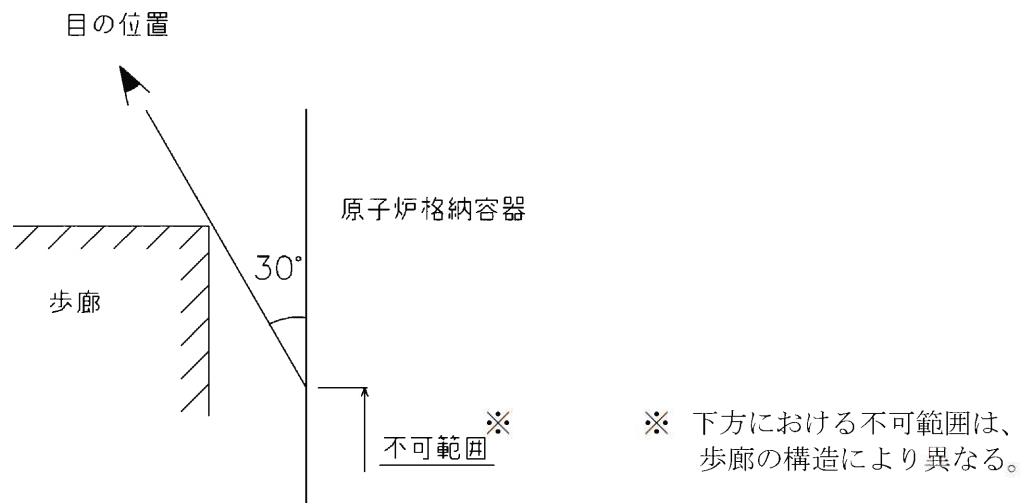


図 3.3.1.7 原子炉格納容器と歩廊の間に隙間がある場合

3.3.2 遠隔目視試験

- (1) 高所で直接目視が困難な箇所に遠隔目視を適用した。
- (2) ビデオカメラでグレーカードが識別できる条件（距離、倍率、照度、角度）を検証し、検証結果に基づく点検条件で遠隔目視試験を実施した。

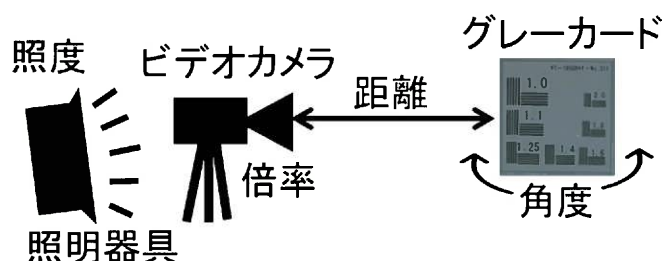


図3.3.2.1 事前検証のイメージ

- (3) ビデオカメラで撮影した映像をモニターに映し、モニター上で塗膜状態を確認した。

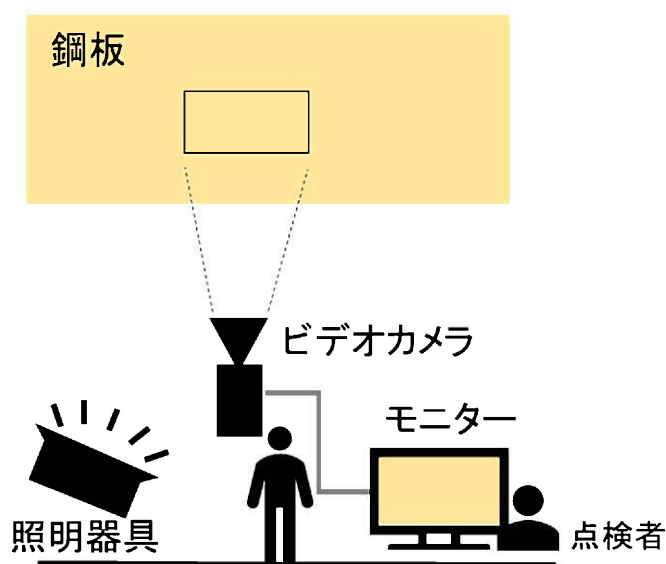


図3.3.2.2 遠隔目視試験の点検イメージ

川内2号炉のデータ採取については、半球部内面及び円筒部内面の一部の鋼板に対し、遠隔目視試験を実施した。

なお、遠隔目視試験を実施した箇所については、第24回定期事業者検査（運転開始後35年（2020.11.28）以前に実施）において1号炉と同様に、直接目視試験を実施している。

遠隔目視試験については、維持規格において、直接目視試験の要求を満足できる場合は、直接目視試験の代替として適用してもよいことが規定されている。当社においては、遠隔目視試験を用いる場合においても、事前検証を実施し直接目視試験の要求を満足できることを確認している。

(4) 半球部内面に対する遠隔目視試験方法

- a. 使用する照明機器（LED ライト）が、最長距離 32m においても 500Lx 以上であることを照度計にて確認する。なお、確認は試験開始前、試験終了後に試験条件に変化がないことを確認する。
- b. ポーラクレーン上の中心位置にビデオカメラを設置する。
- c. レーザー距離計にて試験範囲までの最長距離を測定する。
- d. ビデオカメラを事前のグレーカードの確認検証により定めた倍率に設定する。設定倍率を表 3.3.2.1 に示す。

表 3.3.2.1 ビデオカメラ倍率表（例）

最長距離	倍率（倍）
15m 以上 16m 未満	23
16m 以上 17m 未満	25
17m 以上 18m 未満	27
18m 以上 19m 未満	30
19m 以上 20m 未満	39
20m 以上 21m 未満	42
21m 以上 22m 未満	43
22m 以上 23m 未満	45
23m 以上 24m 未満	45
24m 以上 25m 未満	45
25m 以上 26m 未満	46
26m 以上 27m 未満	46
27m 以上 28m 未満	50
28m 以上 29m 未満	54
29m 以上 30m 未満	59
30m 以上 31m 未満	59
31m 以上 32m 未満	68

注：グレーカードの確認検証を行っている距離により決められた倍率以外の倍率では実施しないこと。

(5) 半球部内面（スプレイリング裏）に対する遠隔目視試験方法

- a. 図 3.3.2.3 に示すスプレイリング裏の鋼板に対して、試験を実施する場合、図 3.3.2.4 に示すようにポーラクレーン上の中心位置からレーザービームをスプレイリング上（下）部接線延長上部に照射し、鋼板に照射されたレーザー光が確認できる位置にビデオカメラを設置する。
- b. ビデオカメラの倍率を事前のグレーカードの確認検証により定めた倍率に設定する。設定倍率は表 3.3.2.1 を使用する。

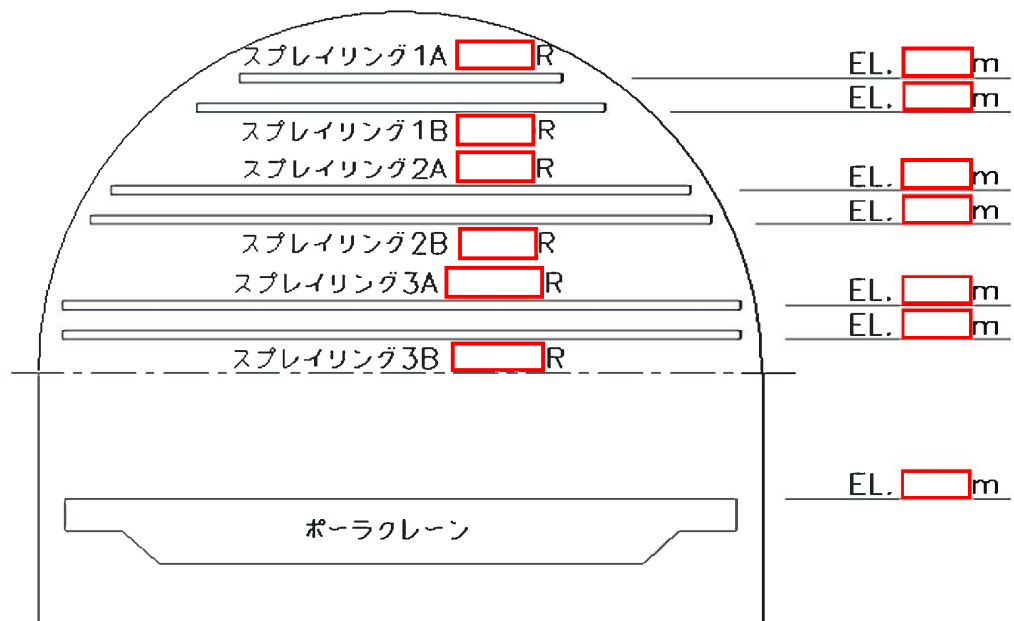


図3.3.2.3 スプレイリングの配置

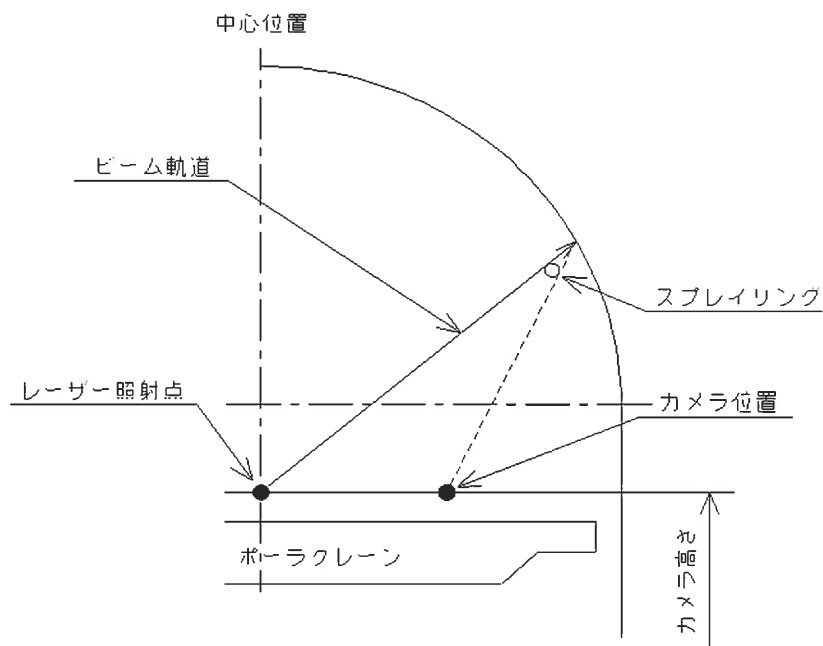


図3.3.2.4 半球部内面（スプレイリング裏）の試験概要図

[] 内は商業機密事項であるため公開できません

(6) 円筒部内面（一部）に対する遠隔目視試験方法

- a. 使用する照明機器が、距離 32m 以上において 500Lx 以上であることを照度計にて確認する。なお、確認は試験開始前、試験終了後に試験条件に変化がないことを確認する。
- b. 図 3.3.2.5 に示す点 Q から点 R までの距離 a が点 Q から点 S までの距離 b の 2 倍以内であることをレーザー距離計にて確認し、試験範囲との角度が 30 度以上であることを確認する。
- c. 距離 b を距離 a で除した値を計算する。
- d. ビデオカメラの倍率を事前のグレーカードの確認検証により定めた倍率に設定する。設定倍率は表 3.3.2.1 を使用する。

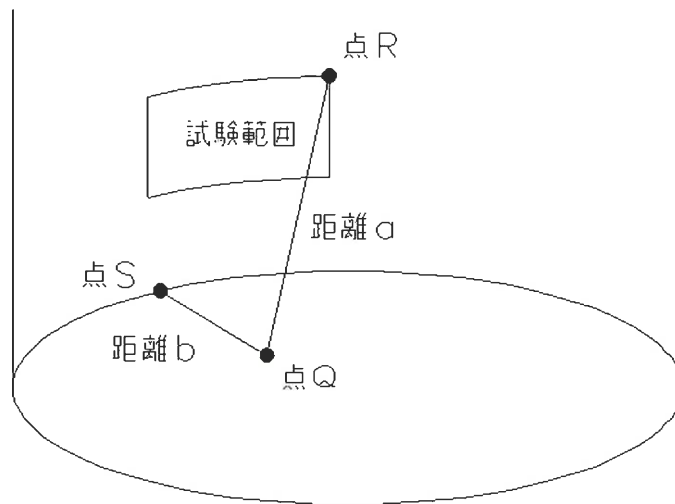


図3.3.2.5 円筒部内面（一部）の試験概要図

- 点 Q : カメラ位置
点 R : カメラ位置点 Q と試験範囲内の最長位置
点 S : カメラ位置点 Q と鋼板との最短位置
距離 a : カメラ位置点 Q と点 R を結ぶ試験範囲における最長距離
距離 b : カメラ位置点 Q と点 S を結ぶ鋼板との最短距離

3.4 データ採取範囲

半球部内外面及び円筒部内外面の原子炉格納容器鋼板（接近できる点検可能範囲の全て）を点検範囲とする。図3.4.1～図3.4.4に点検範囲図を示す。

今回データ採取対象の原子炉格納容器鋼板は、半球部117枚、円筒部180枚であり、それぞれ原子炉格納容器の内外面より、合計 594箇所についてデータ採取を実施した。

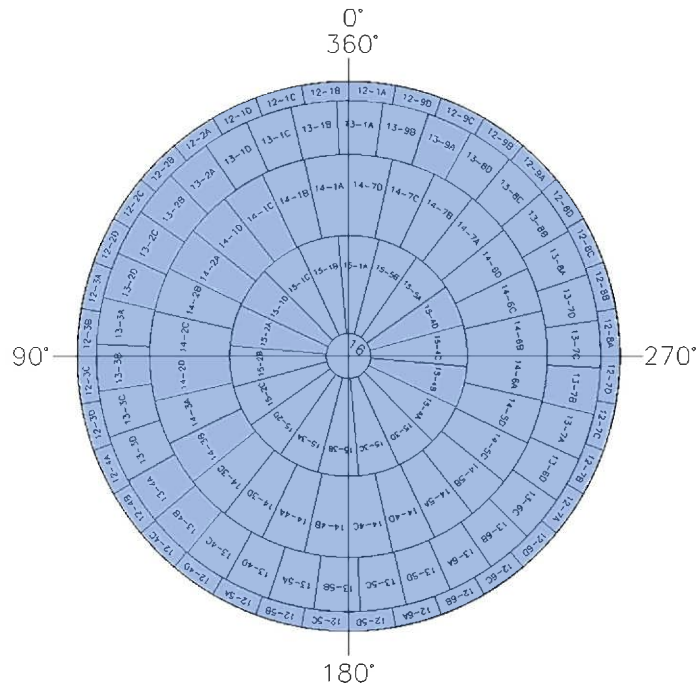


図3.4.1 半球部内面

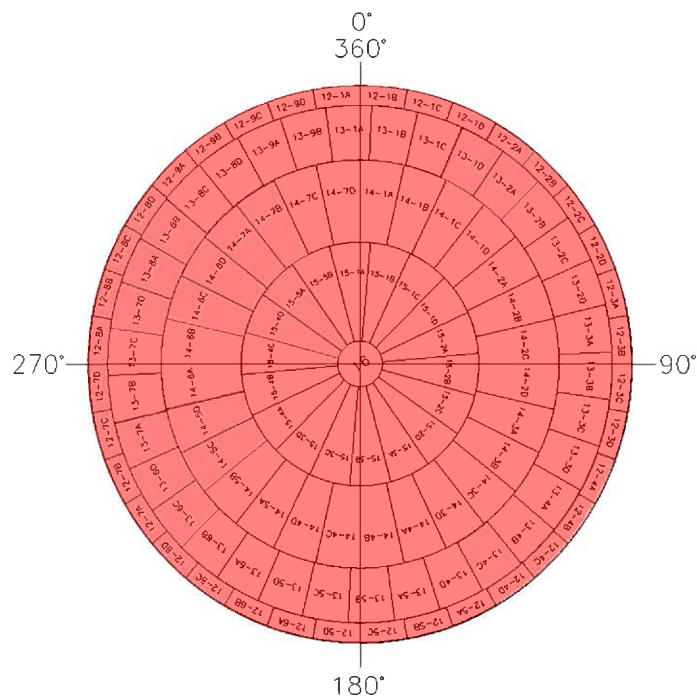


図3.4.2 半球部外面

- : 直接目視試験
- : 遠隔目視試験

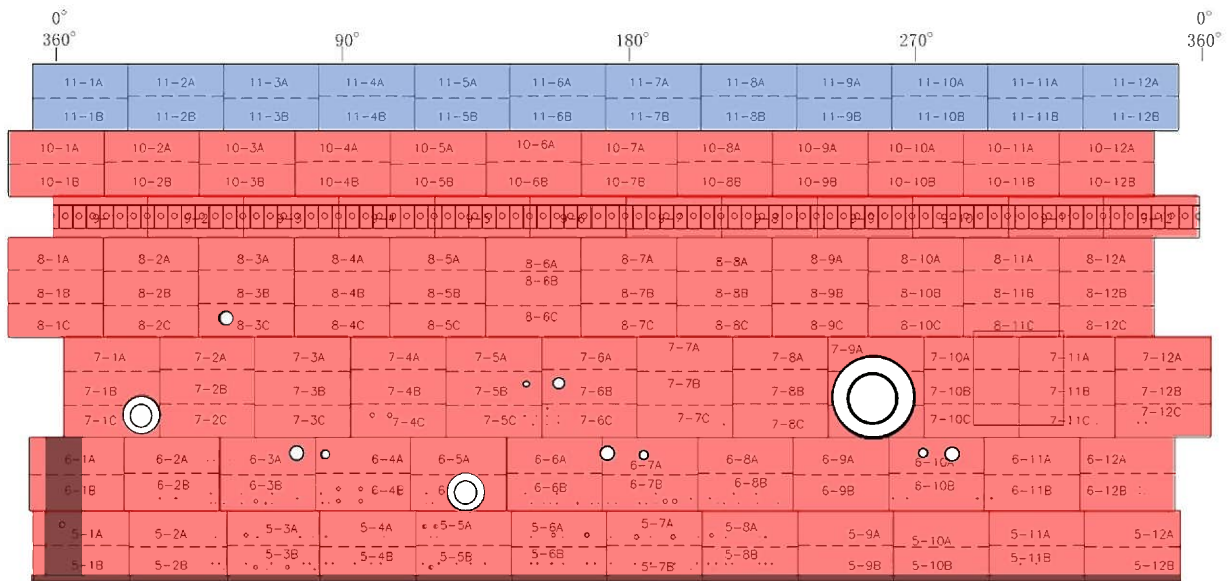


図3.4.3 円筒部内面

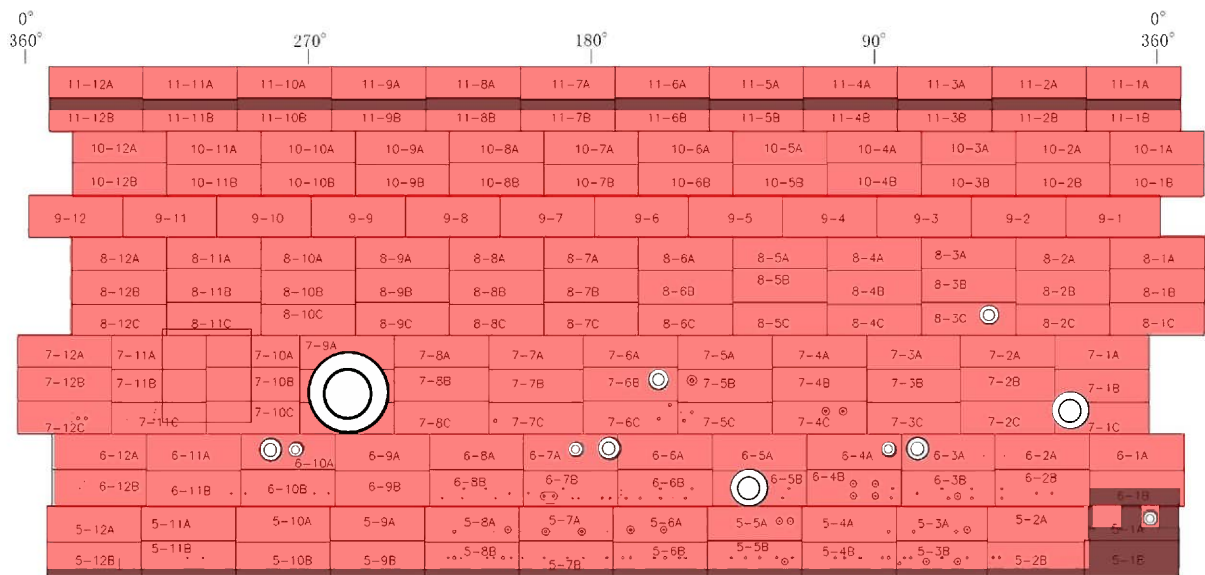


図3.4.4 円筒部外面

- : 直接目視試験
- : 遠隔目視試験
- : 主な目視試験不可範囲

(注) 埋設部、ダクトや電線管等の移動に切断を要する干渉物が近接する鋼板等を目視試験不可範囲としている。

なお、原子炉格納容器貫通部については特別点検の対象範囲外としているが、図3.4.5（運用ガイド要求範囲以外の目視試験箇所）に示す通り、当て板、サポート、スリーブ等について、可能な限り鋼板と同様の目視試験を実施した。

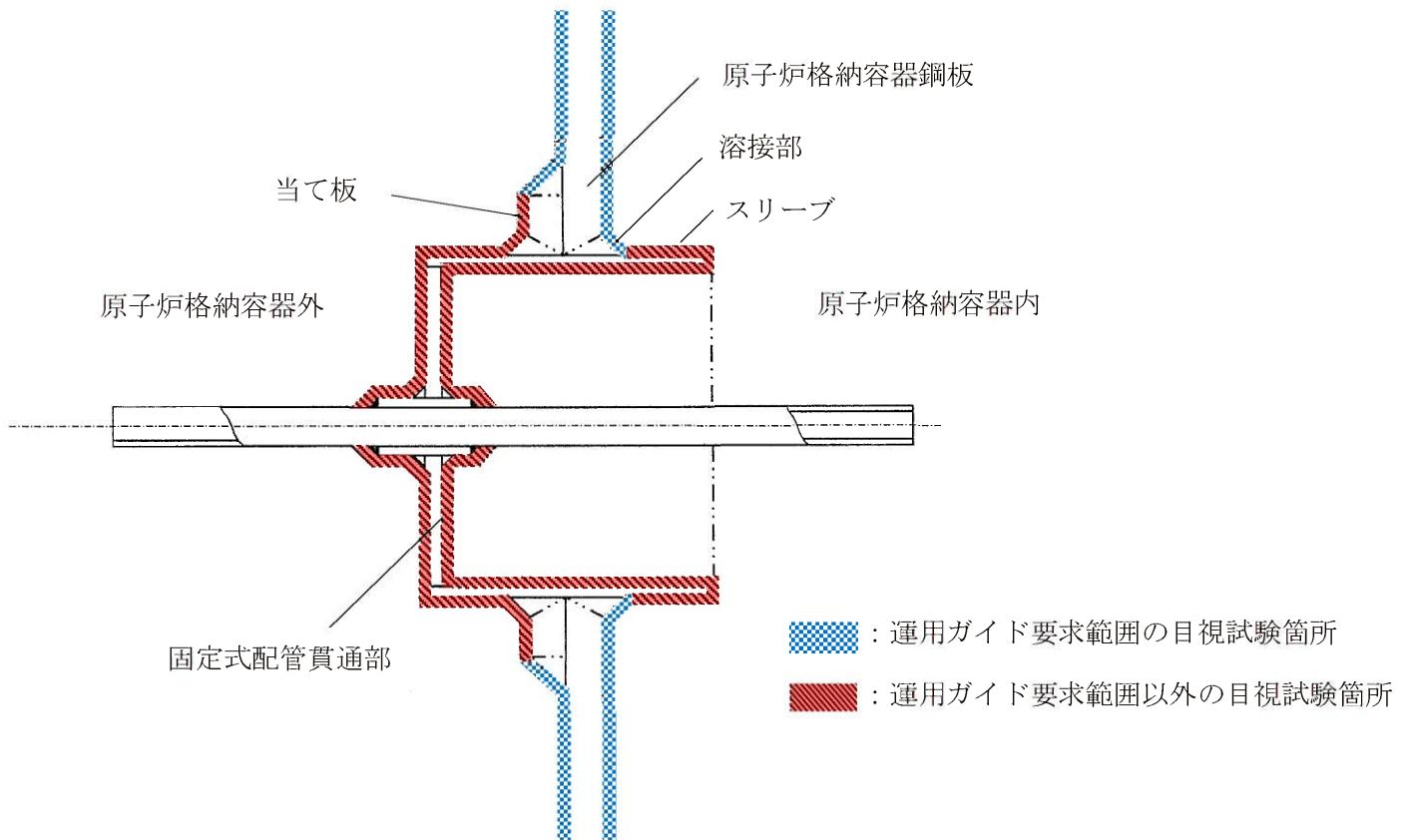


図3.4.5 原子炉格納容器貫通部（固定式配管貫通部）点検範囲例

3.5 判定方法

上塗り、下塗りに割れ、はがれ及びふくれの有無、下塗りの健全性、母材の発錆の有無等を確認することで、構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある構造上の劣化（塗膜の劣化、腐食）がないかを判断した。図3.5.1に判定フローを示す。

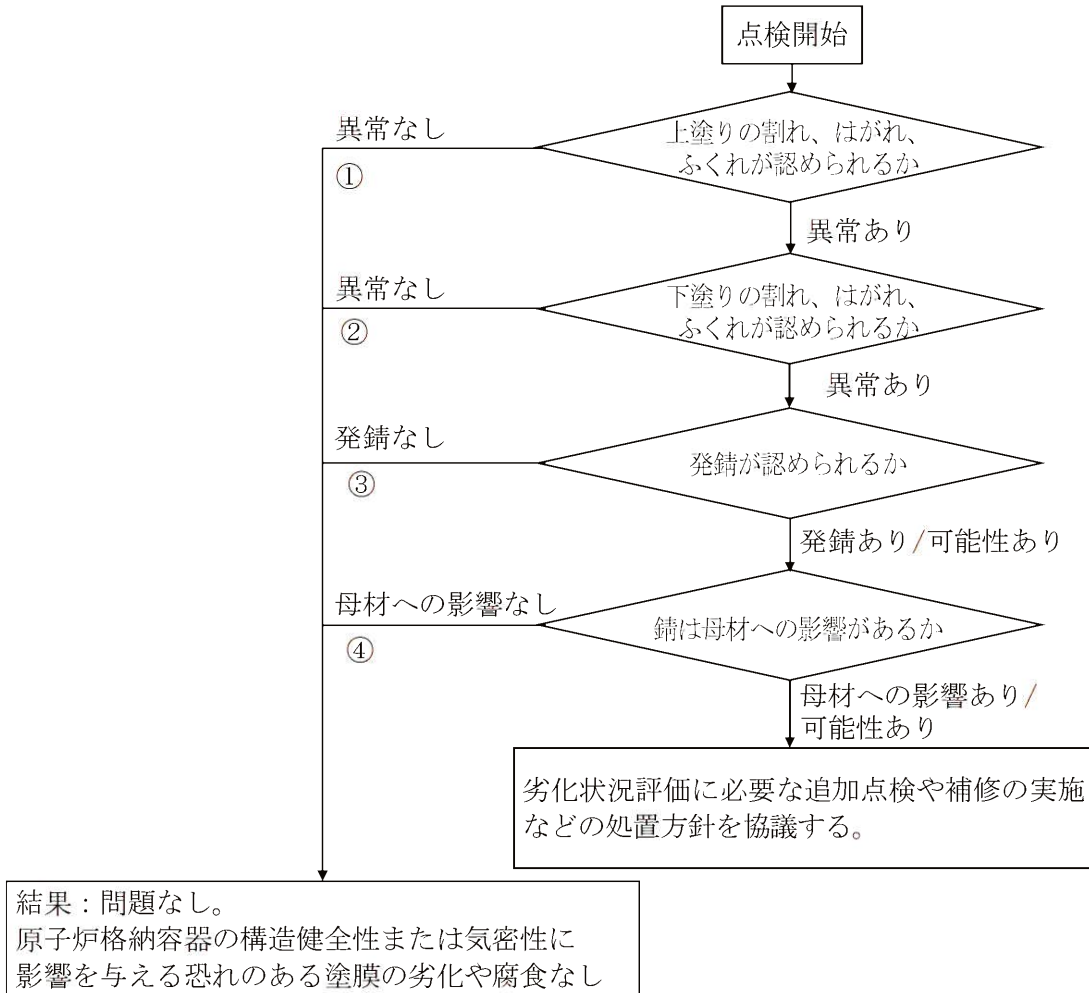


図3.5.1 データ採取における判定フロー

【判定フローの考え方】

- ① 塗膜の劣化がないと判断。
- ② 下塗りに異常が認められなければ、金属表面が大気にさらされないことから、原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える塗膜の劣化はないと判断。
- ③ 発錆が認められなければ、原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある腐食ではないと判断。
- ④ 錆が確認されたとしても、肌荒れ程度の表面錆であれば、構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある腐食ではないと判断。

なお、判定フロー②、③、④が認められる場合には、当社担当者及び協力会社作業員により状況確認を行う（点検を行った協力会社作業員が改めて状況確認を行うとともに、当社担当者が点検者とは独立した目線で状況確認を行う）。

3.6 データ採取の体制及び実施時期

3.6.1 データ採取の体制

- ・データ採取箇所：川内原子力発電所
- ・データ採取担当者：川内原子力発電所 保修課員
- ・データ採取実施者：協力会社 作業員（目視試験員）

3.6.2 データ採取の実施時期

データ採取年月日：2022. 2.25～2022. 5.24

3.7 試験員の力量

運用ガイド及び「発電用原子炉設備規格 設計・建設規格」（JSME S NC-1-2012）に基づき、特別点検に係る教育訓練を受けた適切な視力^{※1}を有する試験員が作業を実施しており、点検着手前に力量を確認した。

（参考：「発電用原子炉設備規格 設計・建設規格」試験技術者の要求事項より抜粋）

- ・近距離視力確認用ジャガー式チャートのJ1の文字を読み取ることができるか、または同様な近距離視力試験^{※2}で同等の視力を確認すること。また、近距離視力の再確認は、1年を超えない毎に行う^{※3}こと。なお、視力の測定は、裸眼またはコンタクトレンズ等による矯正のいずれでもよいが、矯正により要求を満足した場合には、実際の試験でも矯正した視力で行うこと。
- ・色覚確認（石原色覚検査表（Ⅱ）による色覚検査）結果が正常であること。

※1 “適切な視力” について

- ・ジャガー式チャートのうち「J1」を30cm以上離れた位置から読み取れること。
- ・石原色覚検査表（Ⅱ）を見て、さまざまな色の斑点の中から形や数字を読み取り、正常に判別できること。

※2 “同様な近距離視力試験” について


試験員の視力が小数視力「1.3」以上あることを確認すること。

（溶接・非破壊検査技術センターの文献によると、当該ジャガー式チャートは小数視力に換算でき、「J1」は小数視力の「1.3」であると記載されている。）

※3 “1年を超えない毎に行う” について

「発電用原子炉設備規格 設計・建設規格」にて定められた期間であるが、当社においては、点検の前・後において近距離視力の確認を行い適切な視力を有していることを確認している。



 内は機密事項であるため公開できません

4. 特別点検（個別確認・評価）

4.1 特別点検（個別確認・評価）方法

特別点検は、原子炉格納容器鋼板（接近できる点検可能範囲の全て）について、運用ガイドの要求を満足できるよう、データ採取における目視点検の結果を確認・評価することにより健全性を確認した。

「4.2 特別点検（個別確認・評価）の体制及び実施時期」に示す点検体制を確立した上で、確認チェックシートを用いてデータ採取に係る工事・委託記録（運転開始35年以降に採取したデータ）を使って、詳細に確認、評価を実施し、運用ガイドの要求を満足できているかを確認した。

4.2 特別点検（個別確認・評価）の体制及び実施時期

4.2.1 特別点検（個別確認・評価）の体制

- ・特別点検実施箇所：原子力発電本部
- ・特別点検実施責任者：原子力発電本部 原子力経年対策グループ長
- ・特別点検担当者：原子力発電本部 原子力経年対策グループ員
川内原子力発電所 保修課員

4.2.2 特別点検（個別確認・評価）の実施時期

点検年月日：2022.5.23～2022.9.20

4.3 特別点検（個別確認・評価）の結果

原子炉格納容器鋼板（接近できる点検可能範囲の全て）について、原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える塗膜の劣化や腐食は認められなかった。表4.3.1に点検結果を示す。

表4.3.1 点検結果

	直接目視	遠隔目視
半球部内面	—	○
半球部外面	○	—
円筒部内面	○	○
円筒部外面	○	—

○：原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある塗膜の劣化や腐食なし
—：対象なし

なお、今回の特別点検において、データ採取時に「原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える恐れのある塗膜の劣化や腐食」に至らない軽微な塗膜の劣化（3.5 判定方法の図3.5.1の特別点検における判定フロー ②、③）が一部認められたため、併せて可能な範囲で塗装修繕を実施したことを確認した。（軽微な塗膜の劣化は全体（約18,060m²）の0.001%未満）

軽微な塗膜の劣化を含む点検記録の例を参考1に示す。

【参考】 不可範囲について

特別点検においては、原子炉格納容器鋼板（接近できる点検可能範囲の全て）に対して確認、評価を実施しているが、点検不可範囲についても以下に示すとおり健全性を確保できていると考えられる。

・原子炉格納容器の内外面

原子炉格納容器の内外面においては、目視確認ができない範囲（点検不可範囲）として、干渉物（サポート、アニュラスシール部等）と原子炉格納容器鋼板との間及び燃料移送管遮へい用コンクリートで覆われている部分が挙げられる。

干渉物と原子炉格納容器鋼板との間は極めて限定的であること及び当該部の間は最低10mm程度（アニュラスシール部は80mm程度）の空間が確保されていることから、点検を行った当該範囲の周辺と同様の環境であると考えられる。

燃料移送管遮へい用コンクリートで覆われている部分においては、プラント建設時のコンクリート打設前に、鋼板に対して塗装を施工しており、鋼板は塗膜で保護されているため、腐食は発生しにくい環境と考えられる。

以上のことから、点検不可範囲についても、健全性を確保できていると推測する。

・原子炉格納容器鋼板の埋設部

鋼板のコンクリート埋設部については、プラント建設時のコンクリート打設前に、鋼板に対して塗装を施工しており、鋼板は塗膜で保護されているため、腐食は発生しにくい環境と考えられる。

コンクリート埋設部は、コンクリート内の水酸化カルシウムにより強アルカリ環境を形成しており、仮に塗装が不完全だったとしても鉄表面は不動態化しているため、腐食速度としては小さい環境にあると考えられる。

コンクリート埋設部の鋼板には、電気防食装置を備えており、仮にコンクリートの中性化が進行しても電気防食装置による電流調整により、腐食速度の小さい電位に鋼板電位を保持できるよう対策を講じている。

以上のことから、点検不可範囲である鋼板のコンクリート埋設部については健全性を維持できていると推測する。

点検記録 (例) [1/4]

目視試験条件

ユニット	部位	板番号
2号機	円筒部内面	7-1C

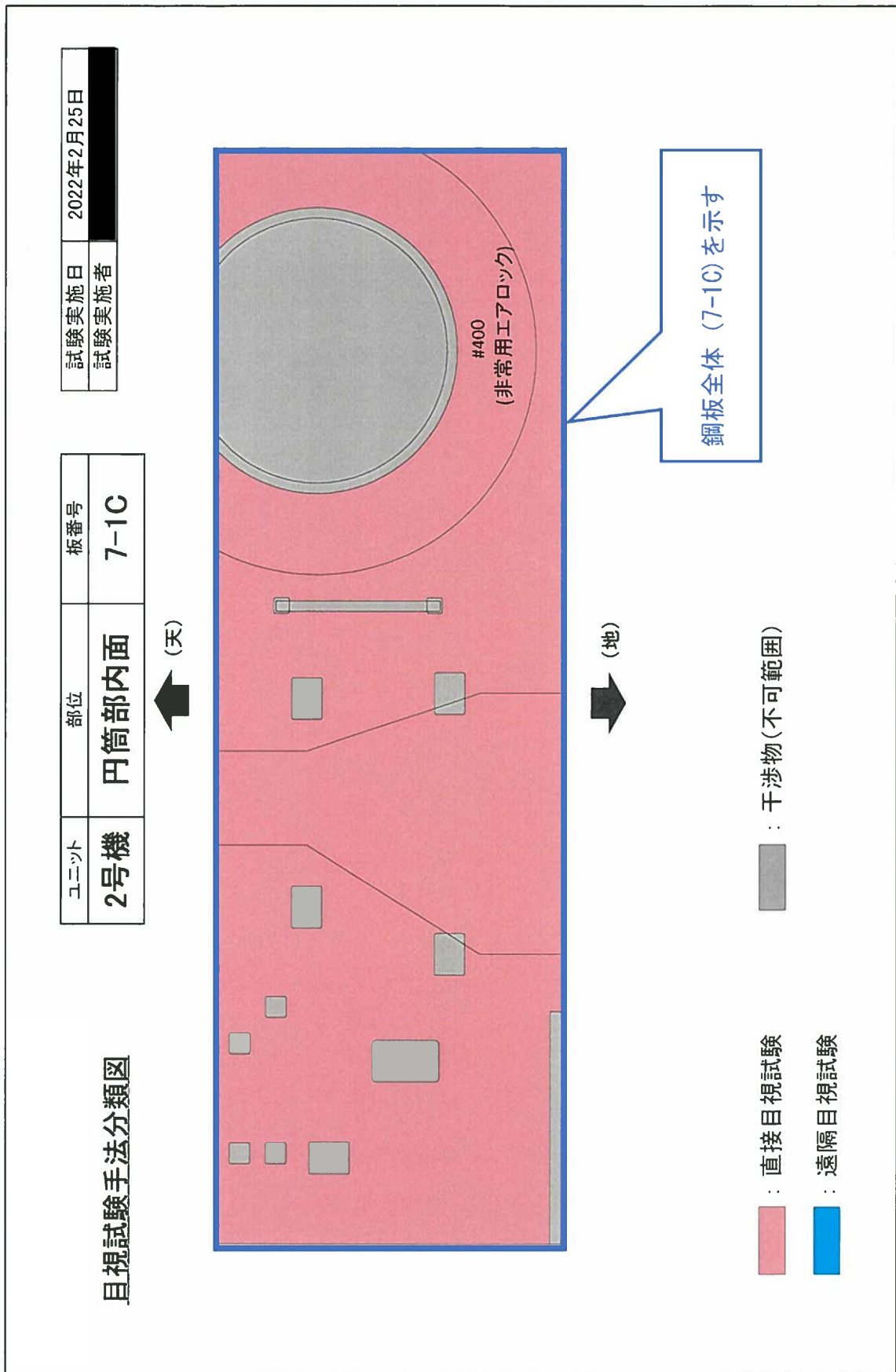
鋼板 (7-1C) のサイズ
幅：約3.4m、長さ：約10.5m

(天) ←

(地) →

↑ : 試験方向
— : 試験対象鋼板

試験位置	EL. (m)	試験手法	使用照明	倍率 (Xn)	最長距離(m)	最短距離(m)	30° ≤ θ ≤ 150°	グレーカード確認	グレーカード管理番号	試験実施日	試験実施者	備考
A	13.3	直接	ST3D016	—	—	—	—	○	Q(C/V)O-022	2022年2月25日		—
B	13.3	直接	ST3D016	—	—	—	—	○	Q(C/V)O-017	2022年3月4日		塗装後確認
C	13.3	直接	ST3D016	—	—	—	—	○	Q(C/V)O-017	2022年3月4日		塗装後同時立会
D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—



目視試験結果詳細図

ユニット	部位	板番号
2号機	円筒部内面	7-1C

試験実施日	2022年3月4日
試験実施者	■■■■

← (天)

(地) →

■ : 気付き事項または異常部

■ : 干渉物(不可範囲)

□ : 試験対象鋼板

2022年3月4日① 補修済 ■■■■

2022年3月4日① 客先殿立会済 ■■■■

次頁に当該部 (気付き事項) の写真を掲載

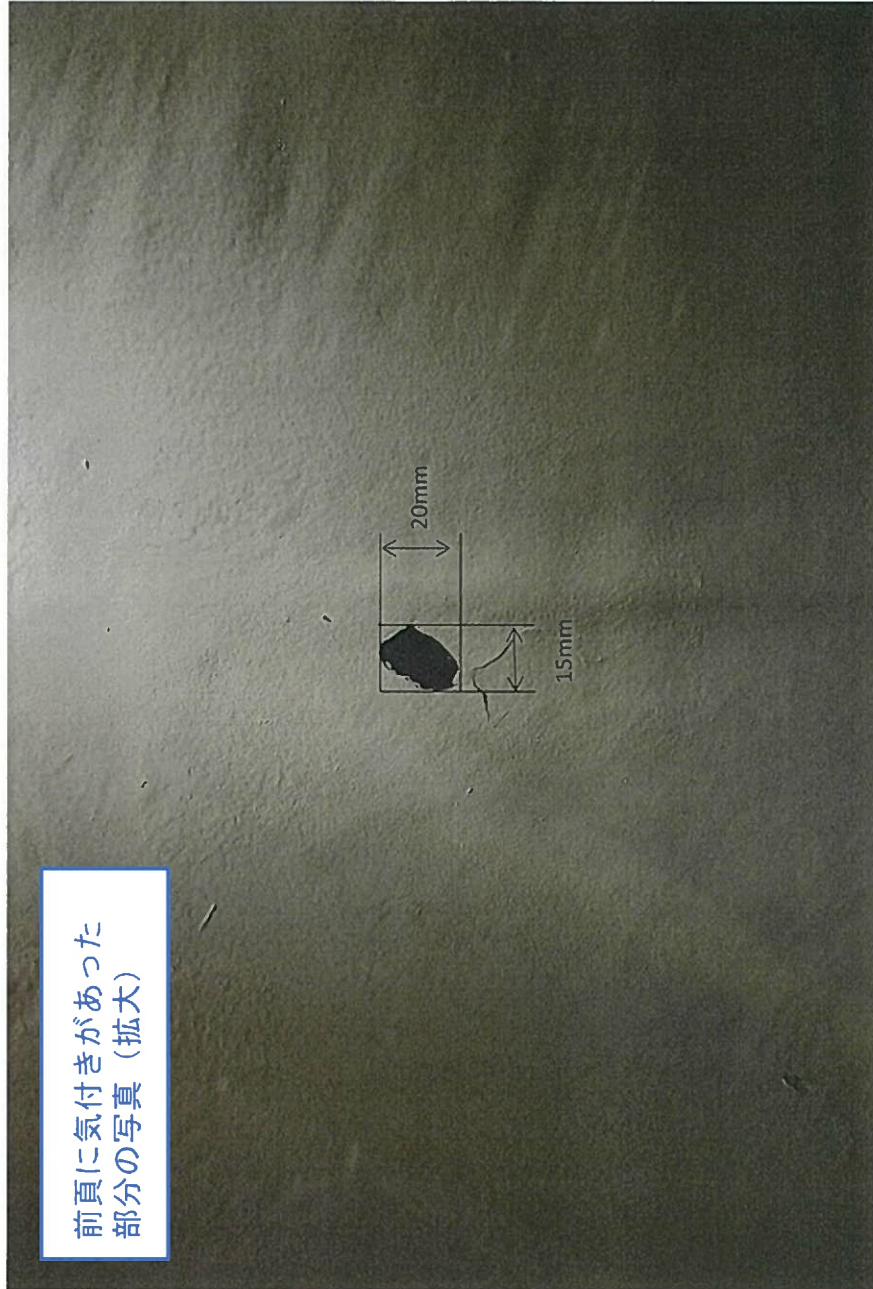
鋼板全体 (7-1C) を示す

試験実施日		2022年2月25日	
No.	評価	再塗装の要否	要
①	問題なし	要	

試験実施日 (再塗装後)		2022年3月4日	
No.	評価	再塗装の要否	否
①	問題なし	否	

試験実施日	2022年2月25日
試験実施者	■■■■■

ユニット	部位	板番号	番号
2号機	円筒部内面	7-1C	③



遠隔目視試験における事前検証の記録（抜粋） [1/2]

装置単体検証記録（1/6）

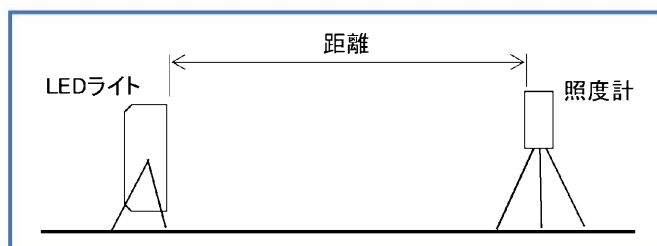
設置先	九州電力(株)川内原子力発電所1/2号機	工事番号	18.09.048.0
		要領書番号	QS1/2-61-01-NB02
工事名称	川内1/2号機 格納容器鋼板調査手法検討及び適用性検証委託	装置名	マグライト/LEDライト /照度計/巻尺
		製造番号	DL304639146/DJ-605014-00050 /190012/00605

マグライト(ST3D016)の最大照度

マグライトと照度計の距離	バックグラウンド(Lx)	最大照度(Lx)
1m	0.4	19,500
2m	0.4	6,800
3m	0.4	3,700
4m	0.4	2,300
5m	0.4	1,600
10m	0.4	403
21m	0.5	86
23m	0.5	67

LEDライト(AR-6050)の最大照度

LEDライトと照度計の距離	バックグラウンド(Lx)	最大照度(Lx)
21m	1.1	950
30m	1.1	700
31m	0.5	660
32m	0.5	631
34m	0.5	563
35m	1.1	590
36m	0.5	501
38m	0.5	439
40m	0.5	390
42m	1.1	360



装置単体検証記録（4/6）

設置先	九州電力(株)川内原子力発電所1/2号機	工事番号	18.09.048.0
		要領書番号	QS1/2-61-01-NB02
工事名称	川内1/2号機 格納容器鋼板調査手法検討及び適用性検証委託	装置名	グレーカード/LEDライト /照度計/ビデオカメラ/巻尺
		製造番号	VT-18%GRAY-No.107/DJ-605014-00050 /190012/DM9DA001268/00605

LEDライト(AR-6050)を使用したときのビデオカメラ(HC-W590M)の倍率

ビデオカメラと グレーカードの距離	ビデオカメラとグレーカードの角度						
	90～60度	60～45度	45～40度	40～35度	35～30度	30～25度	25～20度
2m	3	4	4	5	6	8	10
3m	7	8	9	10	10	12	17
4m	8	10	11	12	14	17	20
5m	10	10	12	12	15	17	22
6m	13	14	15	15	18	21	26
7m	13	14	16	17	19	23	-
8m	13	13	16	19	22	27	-
9m	15	17	18	20	24	34	-
10m	18	19	21	25	32	55	-
11m	18	20	22	25	34	55	-
12m	20	21	23	27	36	55	-
13m	20	22	24	31	43	55	-
14m	22	27	28	45	50	-	-
15m	23	29	32	45	50	-	-
16m	23	29	37	45	54	-	-
17m	25	30	40	45	54	-	-
18m	27	39	46	59	-	-	-
19m	30	39	46	59	-	-	-
20m	39	47	52	59	-	-	-
21m	42	47	52	59	-	-	-
22m	43	51	55	-	-	-	-
23m	45	52	55	-	-	-	-
24m	45	54	57	-	-	-	-
25m	45	55	-	-	-	-	-
26m	46	54	-	-	-	-	-
27m	46	60	-	-	-	-	-
28m	50	-	-	-	-	-	-
29m	54	-	-	-	-	-	-
30m	59	-	-	-	-	-	-
31m	59	-	-	-	-	-	-
32m	68	-	-	-	-	-	-
33m	78	-	-	-	-	-	-

※照度500Lx以下で検証した



原子炉格納容器鋼板の塗膜の状態について

原子炉格納容器鋼板の塗膜の状態について以下のとおり示す。

