

川内原子力発電所 1, 2号炉 特別点検 (原子炉格納容器)

2022年12月20日

九州電力株式会社

目次

- 1. 要求事項 2
- 2. 点検方法 4
 - 2-1 点検方法 5
 - 2-2 直接目視試験での確認方法 7
 - 2-3 遠隔目視試験での確認方法 8
 - 2-4 点検範囲 9
 - 2-5 判定方法 12
- 3. 点検結果 13
- 4. 考察 15
 - 4-1 保守管理に対する考察 16
 - 4-2 特別点検における点検不可範囲に対する考察 17
 - 4-3 特別点検で確認した軽微な劣化について 21
- 5. まとめ 25

1. 要求事項

「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」より

対象の機器・構造物	対象の部位	着目する劣化事象	点検方法／点検項目
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

2. 点検方法

2. 点検方法

2-1 点検方法

2-1-1 点検の概要

- 原子炉格納容器は鋼板（炭素鋼）で構成されており、耐食性、耐放射線性等の観点から内外表面に塗装を施工している。塗装が健全であれば、金属表面が容易に大気に曝されることはないため、日常保全として塗装の目視試験及び塗装修繕を実施し、塗膜の健全性を維持している。
- 加圧水型原子炉格納容器（PWR）の原子炉格納容器鋼板は水に接していないため、供用期間中検査に用いる「発電用原子力設備規格 維持規格（2008年版）」（JSME SNA1-2008、以下「維持規格」という。）では原子炉格納容器表面に対する定期的な検査要求はない。ただし、定期的に原子炉格納容器の目視試験（以下「通常点検」という。）を実施している。
- 今回の特別点検では、通常点検では確認が容易でない範囲についても、仮設足場や搭乗設備、点検用治具を用いることで可能な限り点検対象に含め、接近できる点検可能範囲の全ての鋼板に対して、視認性を実証できる形で塗膜状態の目視試験（VT-4）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。

2. 点検方法

2-1 点検方法

2-1-2 従来の点検方法との違い

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

- 目視試験（VT-4）では、照度・距離を確保し、グレーカード（18%中性灰色カード）上の幅0.8mmの黒線が識別できることを確認する直接目視手法及びグレーカードの幅0.8mmの黒線が識別できる条件の検証を行った遠隔目視手法を用いるとともに、従来は確認が容易でなかった範囲についても塗膜の状況を確認した。

2-1-3 点検方法の妥当性

今回の特別点検では、目視試験（VT-4）に際してグレーカード上の幅0.8mmの黒線が識別できる条件で、接近可能な範囲は直接目視、容易に接近できない範囲は高倍率カメラによる遠隔目視を行っていることから、塗膜の劣化等を十分識別可能である。

2-2 直接目視試験での確認方法

- 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)識別をしながら点検を実施した。
- 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。

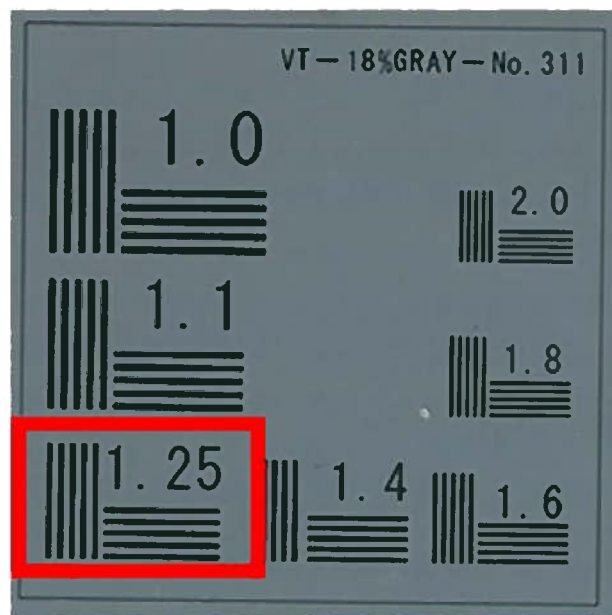


図2-2-1 グレーカード

2-3 遠隔目視試験での確認方法（2号炉 原子炉格納容器内面）

○ 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。

○ 距離、照度、角度、ビデオカメラ倍率の関係

一定の照度下において、1 m間隔で距離、角度を変動させ、グレーカードが識別可能なビデオカメラの倍率を決定した。検証方法のイメージ図を図2-3-1に示す。

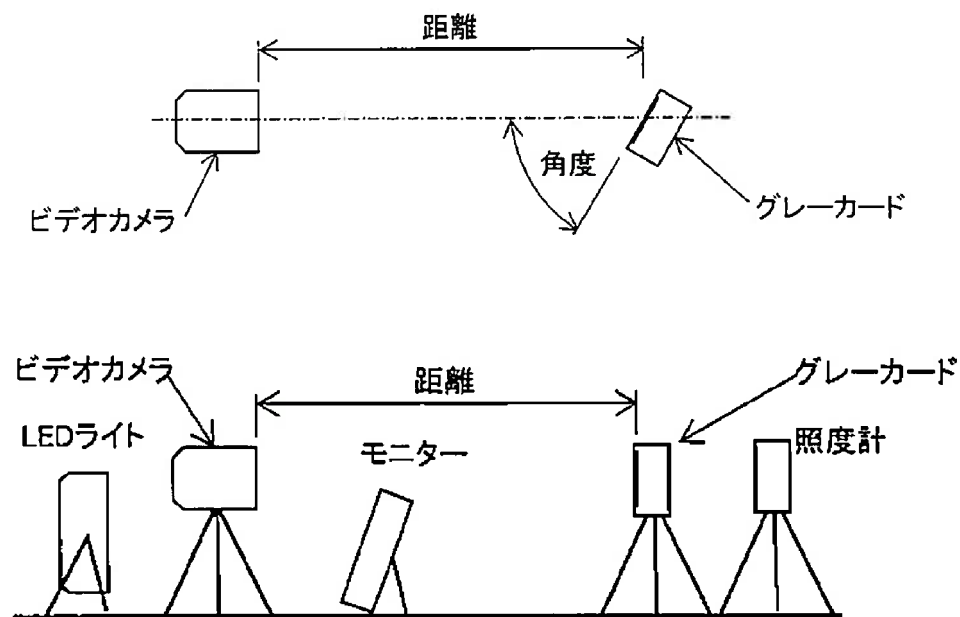


図2-3-1 検証方法（距離、倍率、照度、角度）のイメージ

2. 点検方法

2-4 点検範囲

2-4-1 原子炉格納容器 断面図

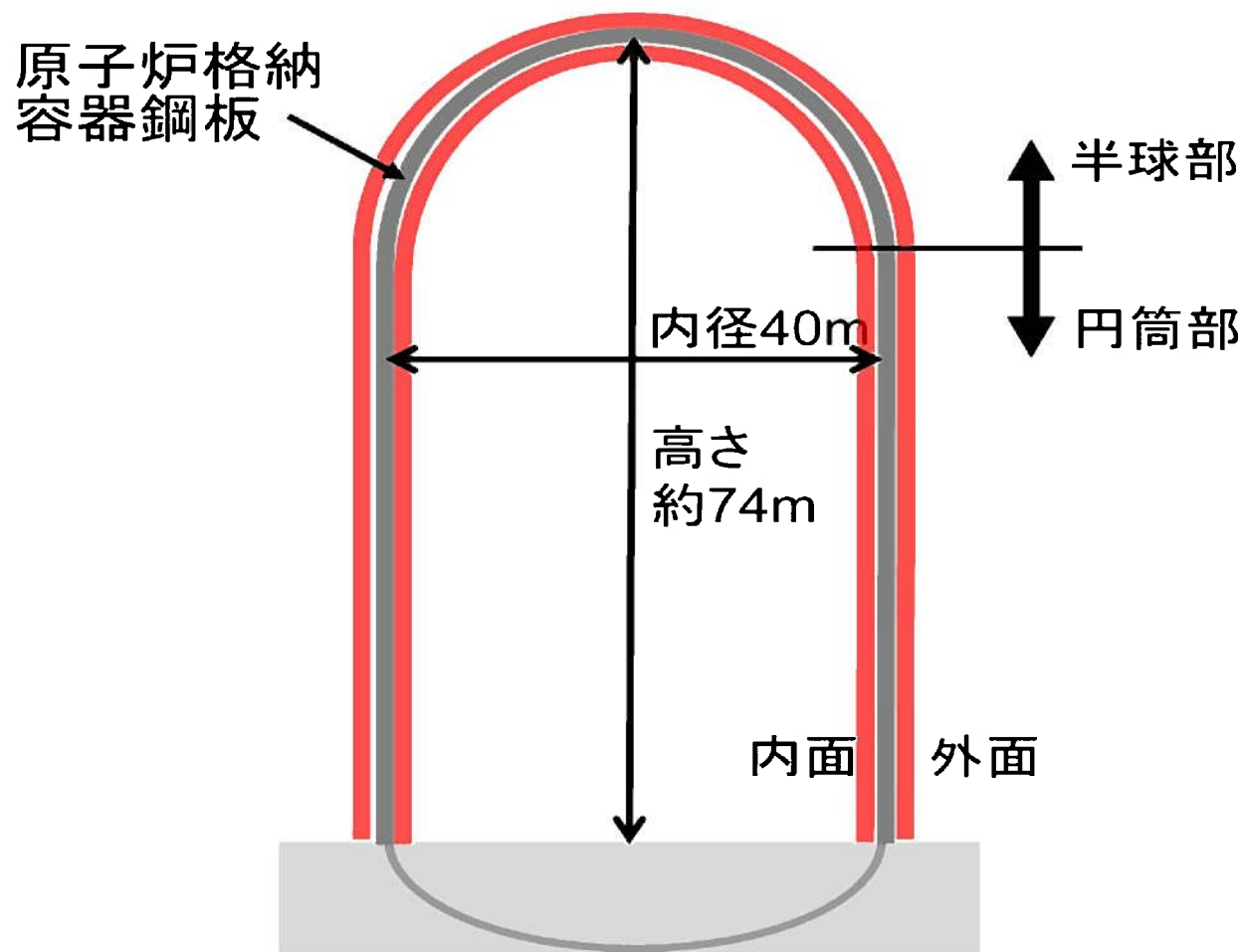


図2-4-1-1 原子炉格納容器 断面図

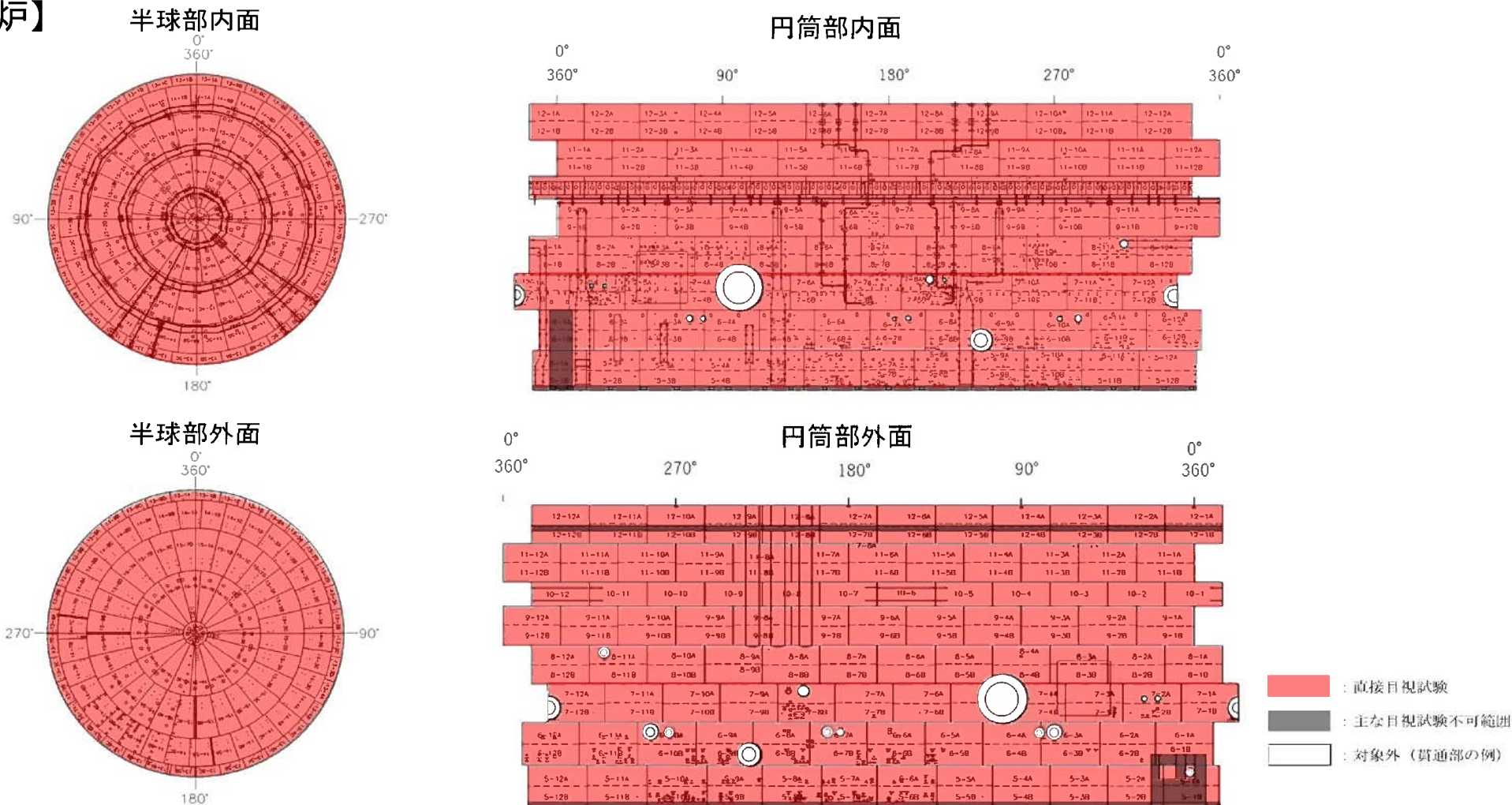
2. 点検方法

2-4 点検範囲

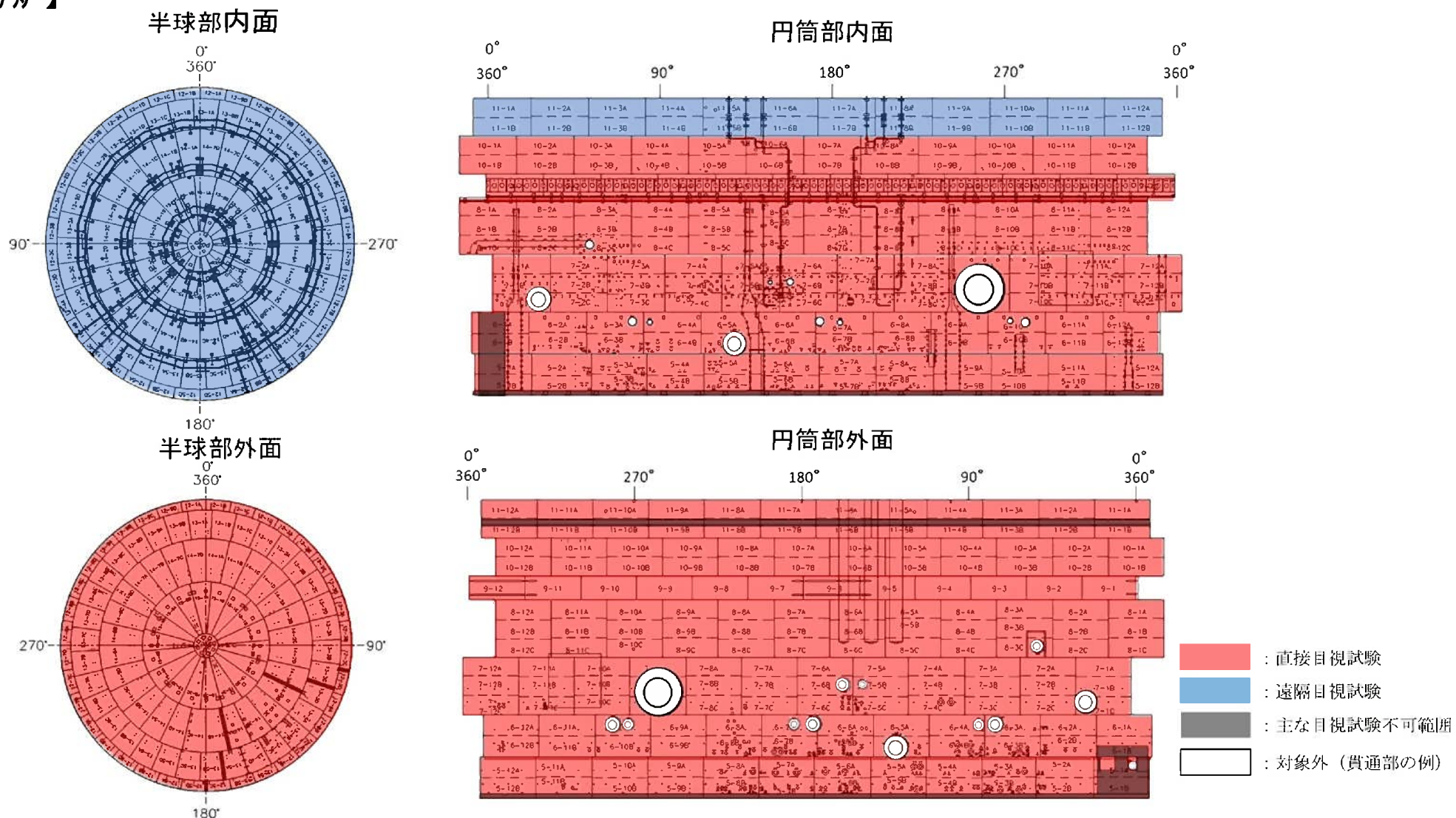
2-4-2 原子炉格納容器 展開図

○ 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。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、鋼板と同様の目視試験を実施した。

【1号炉】



【2号炉】



○ 1, 2号炉とも埋設部、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を目視試験不可範囲としている。

2-5 判定方法

- 上塗り、下塗りの塗膜に割れ、はがれ及びふくれの有無、下塗りの塗膜の健全性、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2-5-1に判定フローを示す。

[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。

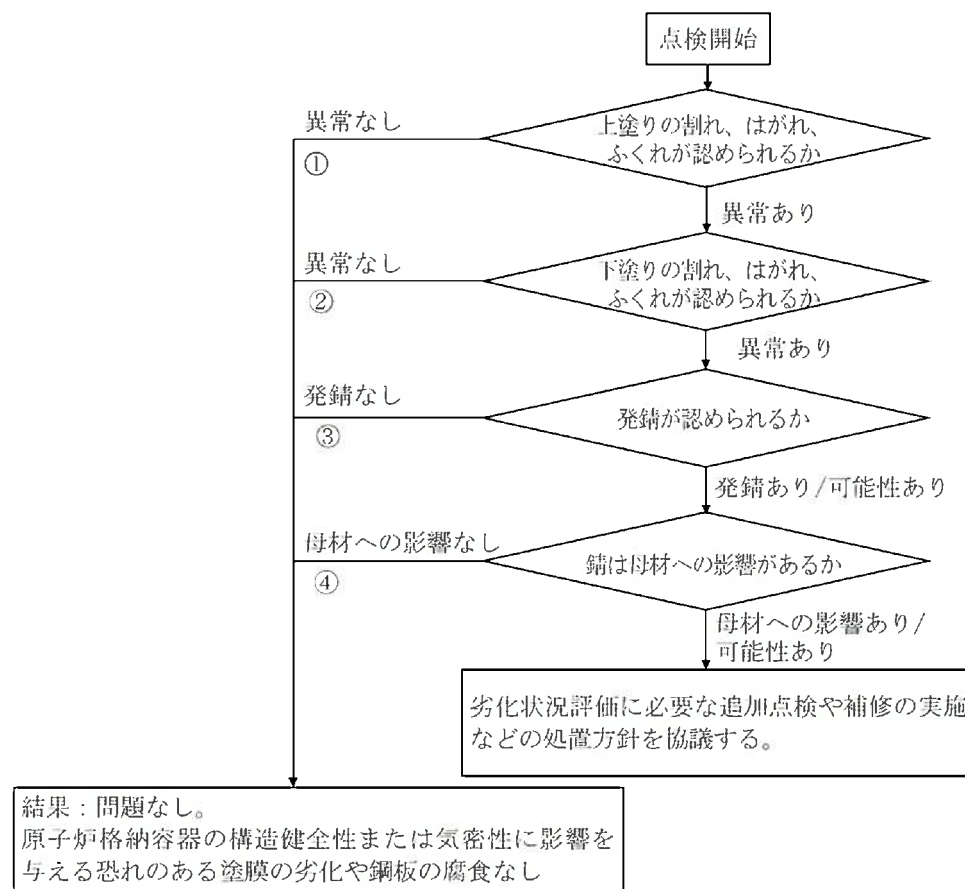


図2-5-1 特別点検における判定フロー

3. 点検結果

対象の 機器・構造物	対象の部位	個別確認、評価期間 (データ採取期間)	点検結果
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）	1号炉：2021. 10. 18～2022. 4. 22 (2020. 4. 20～2021. 12. 13) 2号炉：2022. 5. 23～2022. 9. 20 (2022. 2. 25～2022. 5. 24)	全ての点検範囲につい 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 劣化や鋼板の腐食は認 められなかった。

なお、今回の特別点検において「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恐れのある塗膜の劣化や鋼板の腐食」に至らない塗膜の軽微な劣化（前頁の②、③）が一部認められたため、併せて塗装修繕を実施した。



判定フロー②と判断した塗膜の劣化（1号炉）



判定フロー③と判断した塗膜の劣化（2号炉）

4. 考察

4-1 保守管理に対する考察

4-1-1 通常点検にて確認が容易ではない範囲

- 特別点検の範囲のうち、通常点検における点検不可範囲についても、今回の特別点検で塗膜の健全性が確認されたことに加え、劣化が少ない屋内環境であること、またこれまでも必要に応じて塗装修繕を実施してきたことから、今後も現状の保守管理を継続することで、当該部の原子炉格納容器鋼板の健全性を維持できると考える。
- 今回の特別点検で点検した範囲については塗膜の劣化も少なく、確認された軽微な塗膜の劣化についても可能な範囲で塗装修繕を行い塗膜の健全性を確保した。通常点検における点検不可範囲についても環境条件が同様な周囲の鋼板は点検可能であり、塗装修繕の要否は点検可能範囲から判断できることから、現状保全を継続することで今後の運転延長期間における原子炉格納容器鋼板の健全性が保たれると考えられる。

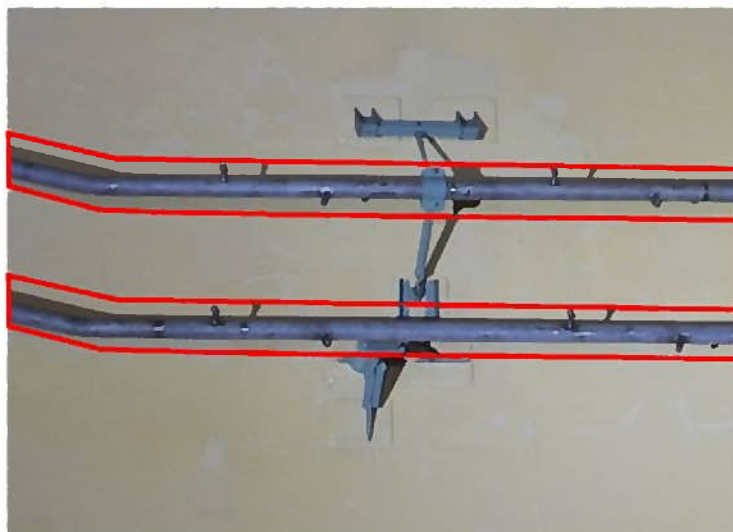


図4-1-1-1 通常点検で確認が容易でない範囲の例（内面高所の干渉物裏）

4-2 特別点検における点検不可範囲に対する考察

- 特別点検における点検不可範囲については、以下の通り現状保全で塗膜の健全性を維持していること、劣化が少ない屋内環境であることから、今後も現状保全を継続することで原子炉格納容器鋼板の健全性を維持できると考える。

4. 考察

4-2 特別点検における点検不可範囲に対する考察

4-2-1 接近可能だが要領で定めたデータ採取方法※が適用できない範囲

- 接近可能だが、維持規格要求のVT-4を踏まえ、要領で定めたデータ採取方法を適用できない範囲を特別点検における点検不可範囲としている。
- しかし、通常点検において、要領で定めたデータ採取方法を適用していないものの、干渉物と鋼板との空間が確保されている箇所については、照度を確保し可能な限り接近して点検を実施しており、塗膜の健全性が維持されていることを確認している。
- また、通常点検においては、「VT-4」に基づく要領とはしていないが、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からの直接目視及び高所においては双眼鏡を使用した遠隔目視を実施している。
- 以上のことから、現状保全を継続することで今後の運転延長期間における原子炉格納容器鋼板の健全性が保たれると考える。図4-2-1-1に不可範囲の代表例を示す。

※ 要領で定めたデータ採取方法の概要

- ・ グレーカードの幅0.8mmの黒線が識別できることを確認する。なお、確認は鋼板1枚ごとに1回を基本とする。
- ・ 視覚の改善を目的とした鏡または拡大鏡を用いても良い。
- ・ 目の位置に対する角度は30°以上150°以下を原則とする。

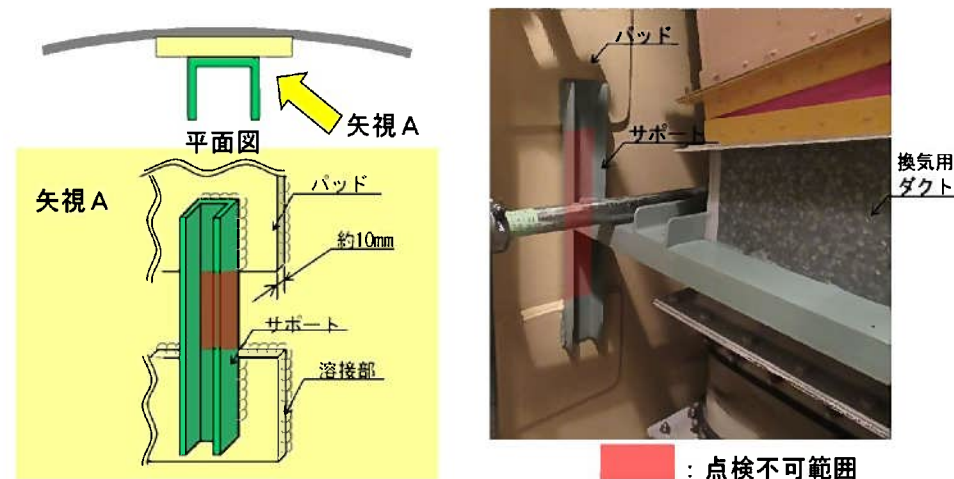


図4-2-1-1 要領で定めたデータ採取方法が適用できない箇所の例

4. 考察

4-2 特別点検における点検不可範囲に対する考察

4-2-2 高所等で接近が困難であり要領で定めたデータ採取方法が適用できない範囲

- 干渉物裏の極めて限定された範囲のみが点検不可範囲であり、周辺の鋼板は現状保全でも点検可能な範囲である。
- また、点検不可範囲についても当該部の間には空間が確保されていることから、データ採取を行った範囲と同様の環境であると考えられる。
- 点検不可範囲の周辺の鋼板を塗裝修繕する際には、干渉物裏についても可能な限り塗装を実施している。
- 以上のことから、点検不可範囲についても原子炉格納容器鋼板の健全性が確保できていると考えられる。不可範囲の例を図4-2-2-1に示す。

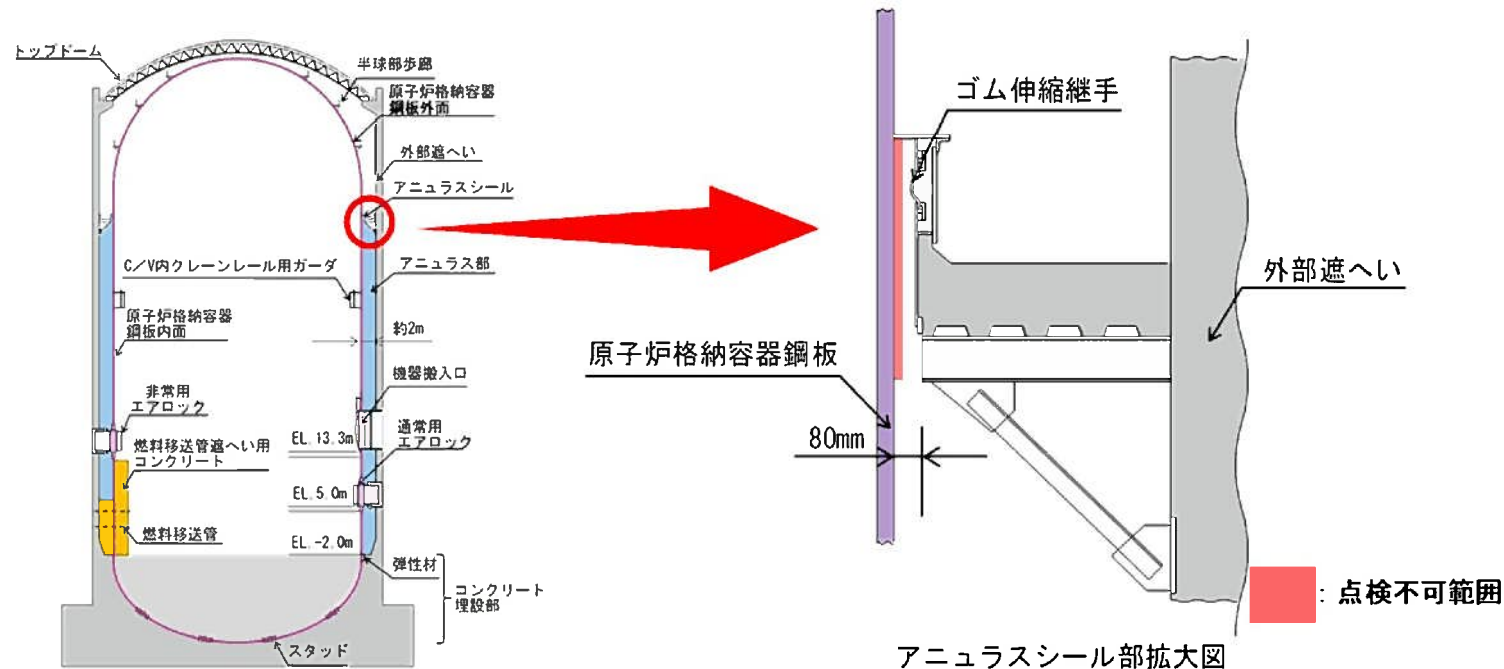


図4-2-2-1 高所等で接近が困難であり要領で定めたデータ採取方法が適用できない範囲の例

4. 考察

4-2 特別点検における点検不可範囲に対する考察

4-2-3 点検不可範囲の割合について

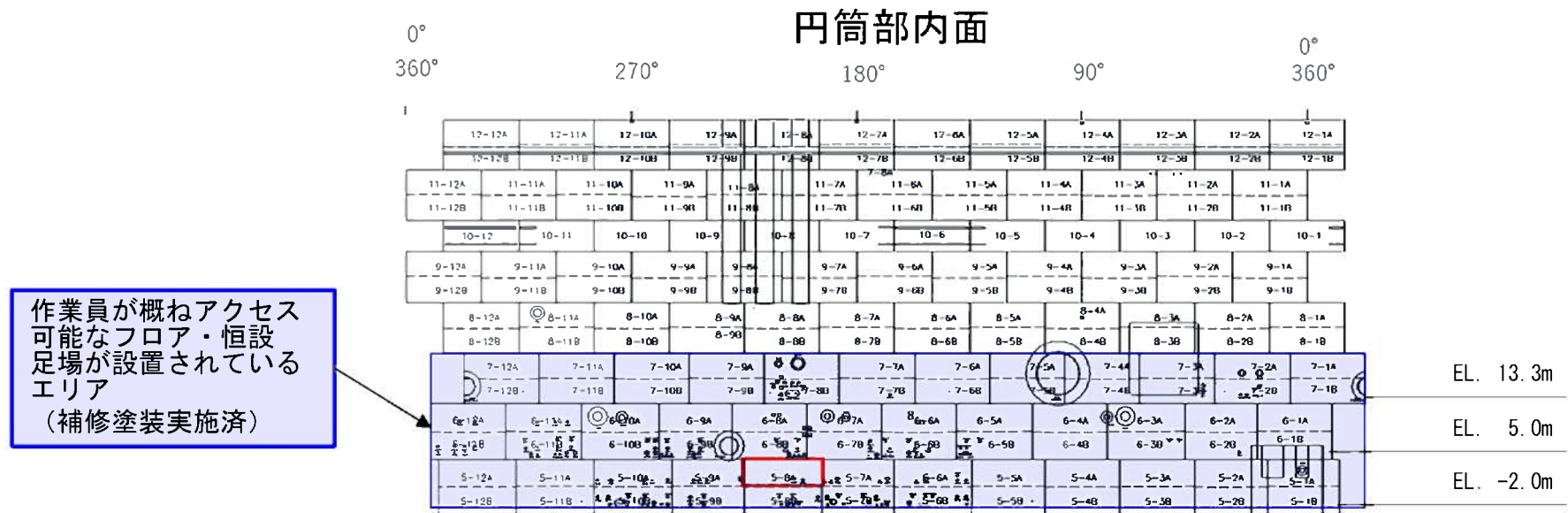
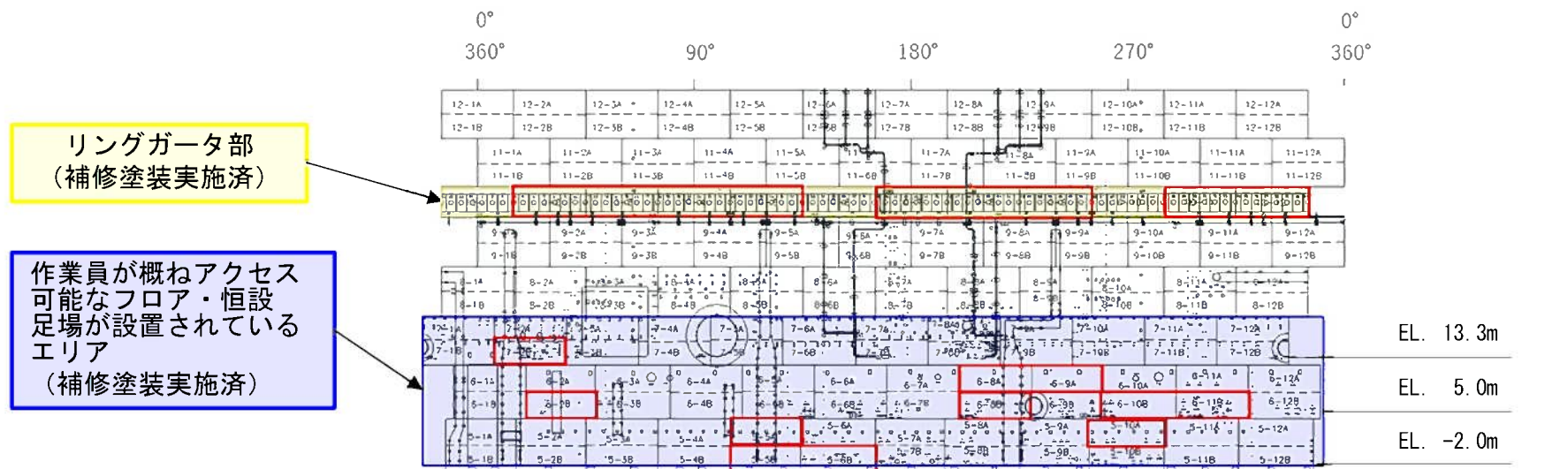
○ 4-2-1及び4-2-3に示す点検不可範囲の割合については、以下のとおりである。

	内 面	外 面
1号炉	約1.0%	約2.2%
2号炉	約1.5%	約2.2%

4-3 特別点検で確認した軽微な塗膜の劣化について

4-3-1 1号炉

- 特別点検で軽微な塗膜の劣化（判定フロー②）が確認された範囲は、アクセス可能なフロア・恒設足場が設置されている範囲が大半であった。また、円筒部内面のリングガーダ部においても、軽微な塗膜の劣化が多い箇所が見られた。軽微な劣化が確認された範囲を図4-3-1-1に示す。
- 確認された軽微な塗膜の劣化については、アクセス可能なフロア・恒設足場が設置されている範囲が大半であったことから、作業中に何らかの原因で鋼板に接触するなどして生じた塗膜のはがれ等と推測される。
- 上記箇所については、補修塗装を実施した。また、アクセス可能なフロア・恒設足場が設置されている箇所及び円筒部内面のリングガーダ部については、通常点検で点検可能な範囲であり、これまでも必要に応じて塗装を実施しているため、今後も現状の保守管理を継続することで原子炉格納容器鋼板の健全性を維持できると考える。



: 判定フロー②が確認された鋼板

図4-3-1-1 軽微な劣化が確認された鋼板 (1号炉)

4. 考察

4-3 特別点検で確認した軽微な塗膜の劣化について

4-3-2 2号炉

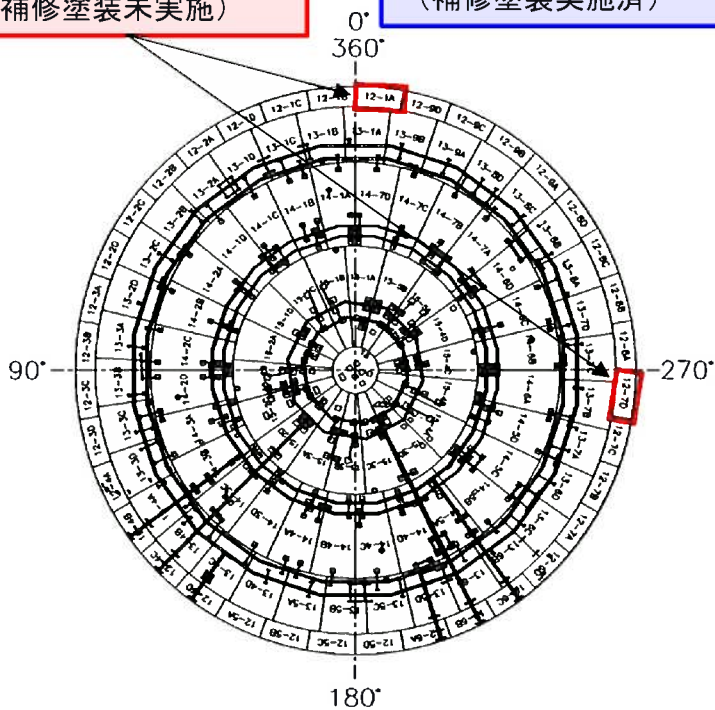
- 特別点検で軽微な塗膜の劣化（判定フロー②、③）が確認された範囲は、アクセス可能なフロア・恒設足場が設置されている範囲が大半であり、その一部において下塗りのはがれが確認されたが、鋼板に発錆はなく腐食は認められなかった。半球部内面の一部においても、軽微な塗膜の劣化（判定フロー②）が確認された。軽微な劣化が確認された範囲を図4-3-2-1に示す。

- 確認された軽微な塗膜の劣化については、アクセス可能なフロア・恒設足場が設置されている範囲が大半であったことから、作業員が何かしらの原因で資機材等を格納容器の塗膜に接触させることでできた当て傷であると推測される。

- 上記箇所のうち、アクセス可能なフロア・恒設足場が設置されている箇所については、補修塗装を実施した。また、通常点検で点検可能な範囲であり、これまでも必要に応じて塗装を実施しているため、今後も現状の保守管理を継続することで原子炉格納容器鋼板の健全性を維持することができると思う。一方、判定フロー②が確認された半球部内面の一部において見られた塗膜の軽微な劣化については、今回補修塗装は実施していないものの、通常点検にて塗膜の状態に変化がないことを確認し、必要に応じて補修塗装を実施することとする。

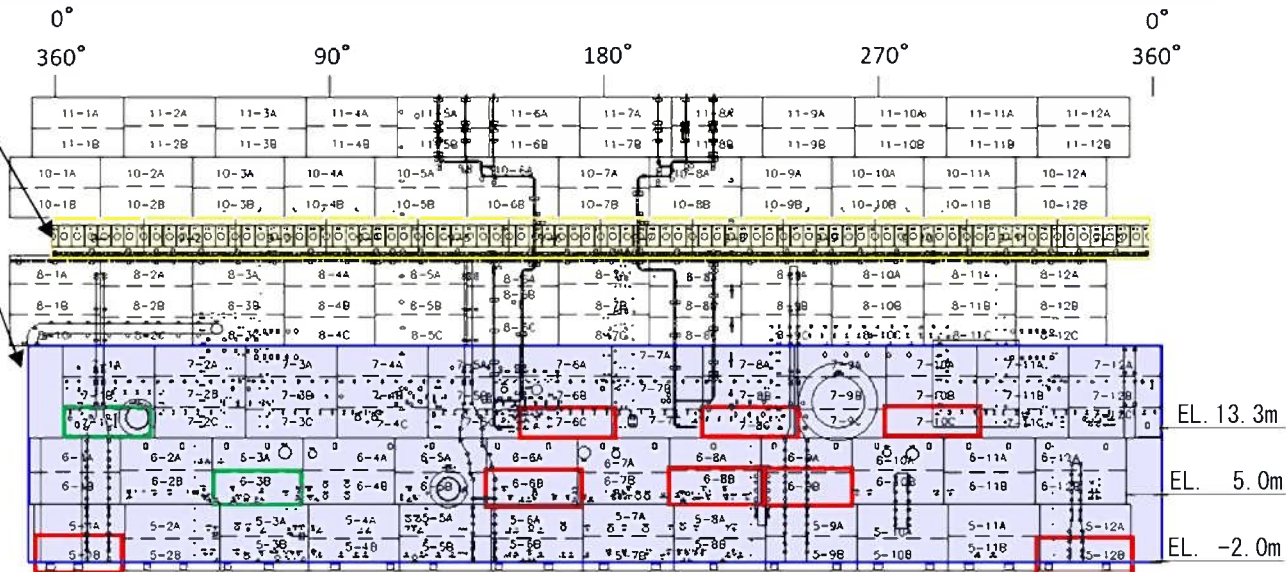
通常の点検にて塗膜の状態に変化がないことを確認する。
(補修塗装未実施)

作業員が概ねアクセス可能なフロア・恒設足場が設置されているエリア
(補修塗装実施済)

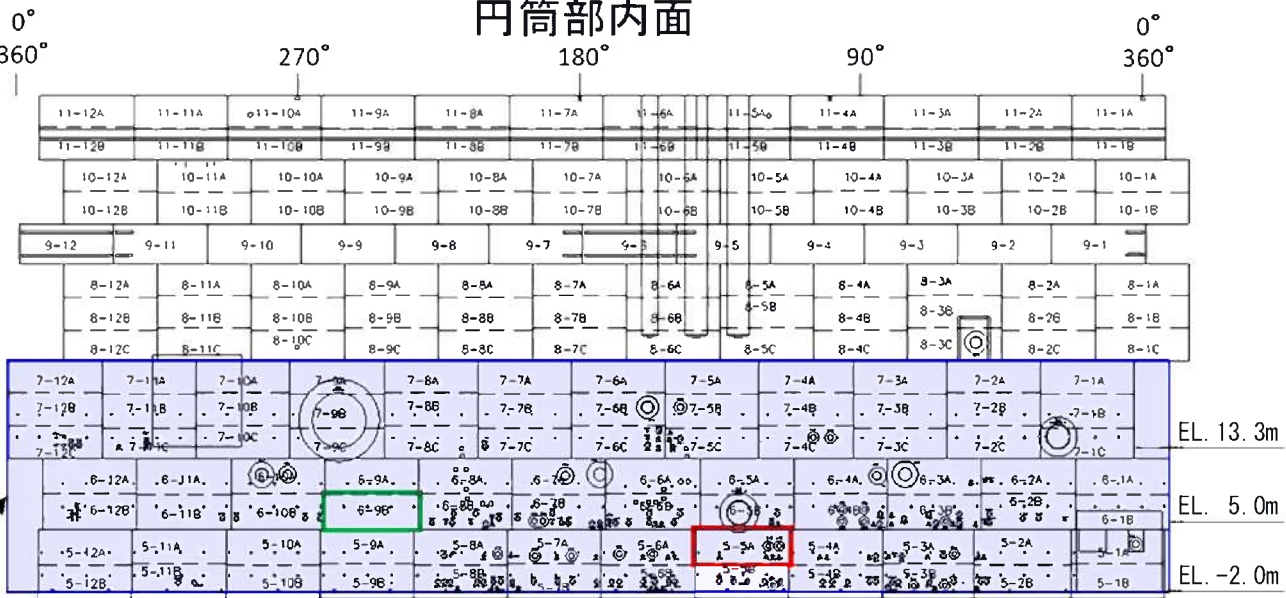


半球部内面

作業員が概ねアクセス可能なフロア・恒設足場が設置されているエリア
(補修塗装実施済)



円筒部内面



円筒部外面

判定フロー②が確認された鋼板
判定フロー③が確認された鋼板

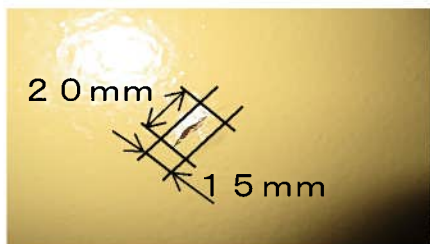
図4-3-2-1 軽微な劣化が確認された鋼板 (2号炉)

5. まとめ

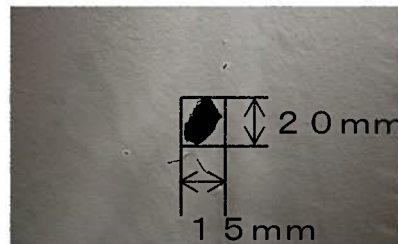
- 原子炉格納容器の特別点検においては、通常点検方法では確認が容易でなかった範囲についても点検対象に含め、接近できる点検可能範囲の全ての鋼板に対して、視認性を実証できる形で塗膜の状態を目視試験した。
- 一部の鋼板において、軽微な塗膜の劣化が確認されたが、全ての点検範囲について原子炉格納容器の構造健全性または気密性に影響を与える塗膜の劣化は認められなかった。
- 特別点検では一部の鋼板で塗膜のはがれ等が確認されたが、それらは従来より通常保全の中で確認され、必要に応じて補修塗装を実施してきた程度のものであった。
- 特別点検における点検不可範囲、通常点検方法における点検不可範囲はそれぞれ存在するものの、当該範囲と同環境である周辺の鋼板については健全性を確認していること、劣化が少ない屋内環境であることから、今後も現状の保守管理を継続することで原子炉格納容器鋼板の健全性を維持できると考える。
- 特別点検で軽微な塗膜の劣化が比較的多く確認された範囲は、通常点検手法で点検可能な範囲であるため、今後も現状の保守管理を継続することで原子炉格納容器鋼板の健全性を維持できると考える。
- 劣化状況評価にあたっては、特別点検の結果を踏まえ、評価を実施した。

参 考

- 特別点検では一部の鋼板で塗膜の割れ等が確認されたが、それらは従来より通常保全の中で確認され、必要に応じて補修塗装を実施してきた程度のものであった。
- 川内1, 2号炉の特別点検で確認された塗膜の劣化程度は右記の特別点検における判定フローの②、③程度であった。



判定フロー②(1号炉内面)※

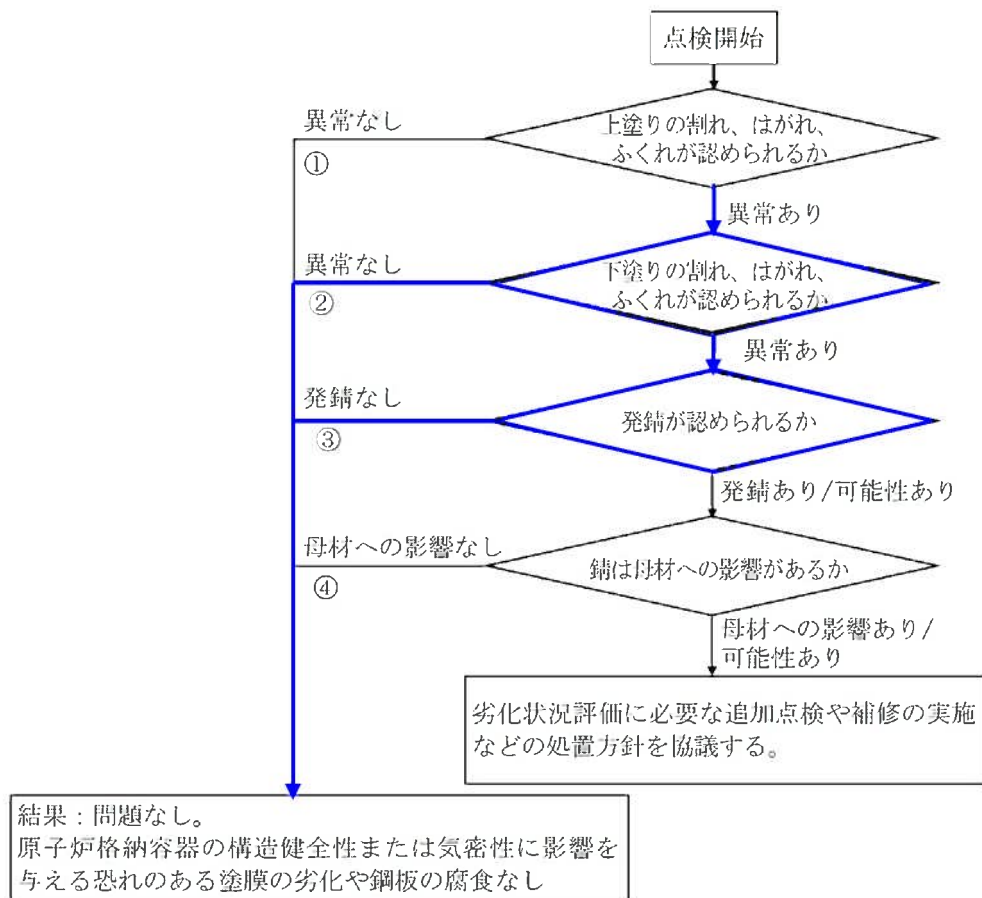


判定フロー③(2号炉外面)※

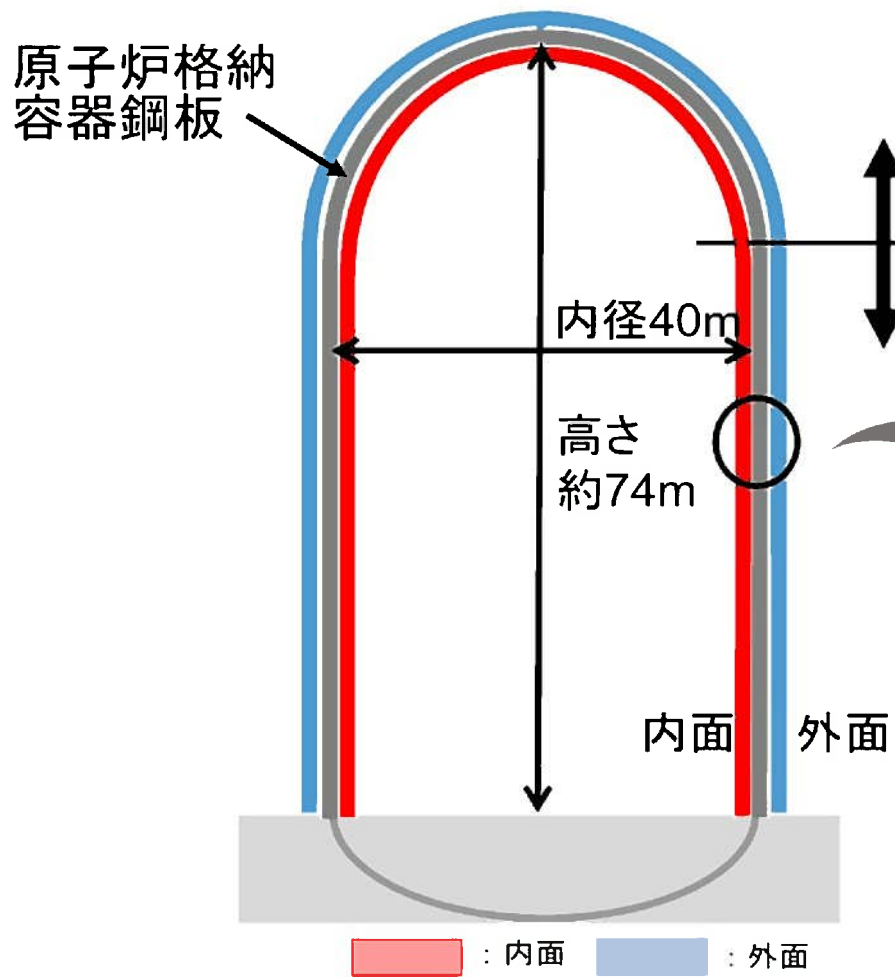
(例) 塗膜の劣化状況

※ 塗装面の色が異なるのは、格納容器の内面と外面で使用している上塗り用の塗料が異なるためである。
(内面：クリーム色、外面：グレー色)

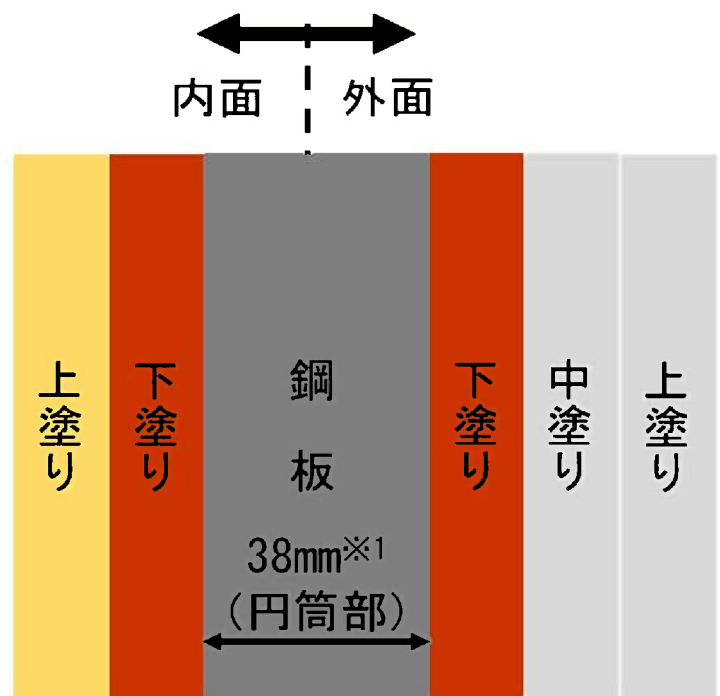
特別点検における判定フロー



○ 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。



【原子炉格納容器状態（断面）】



※1 : 半球部19mm