

川内原子力発電所 1, 2号炉 特別点検 (原子炉格納容器)

2023年1月24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 23
- 5. まとめ 27

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裝修繕を実施し、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」（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。
- （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よいとした。

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	特別点検 (データ採取)
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（ビデオカメラ）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

- 今回の特別点検における目視試験では、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（ビデオカメラ）等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の黒線部を識別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。

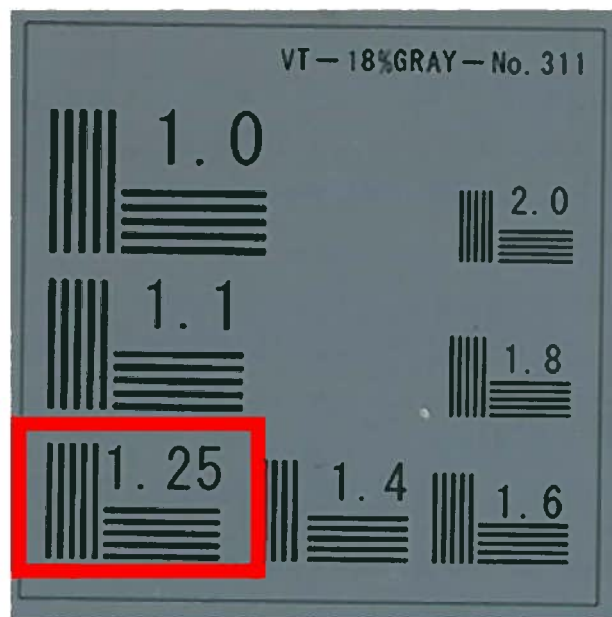


図2-2-1 グレーカード

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、1m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。

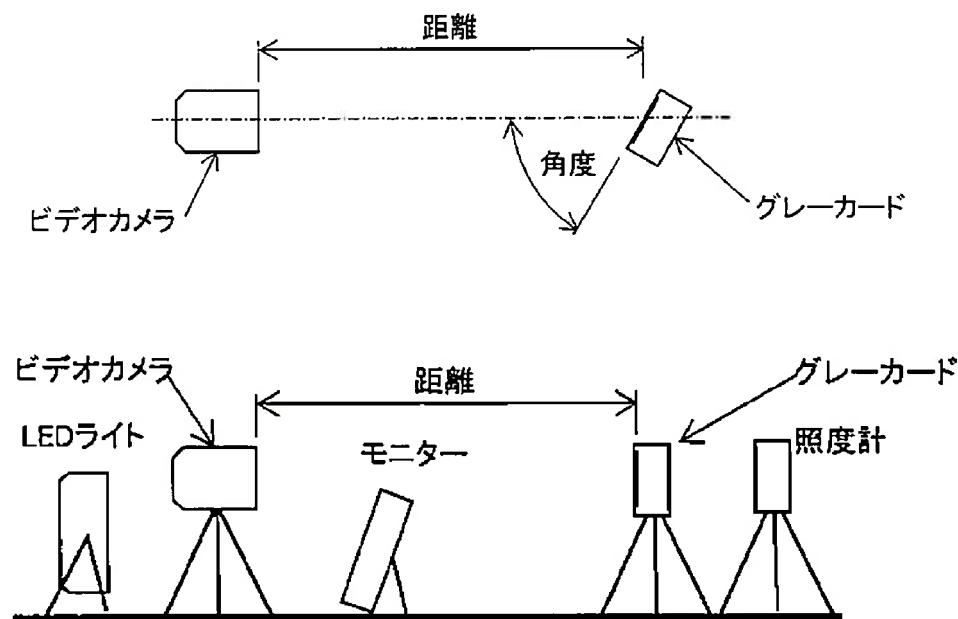


図2-3-1 検証方法(距離、倍率、照度、角度)のイメージ

2-4 点検範囲

2-4-1 原子炉格納容器 断面図

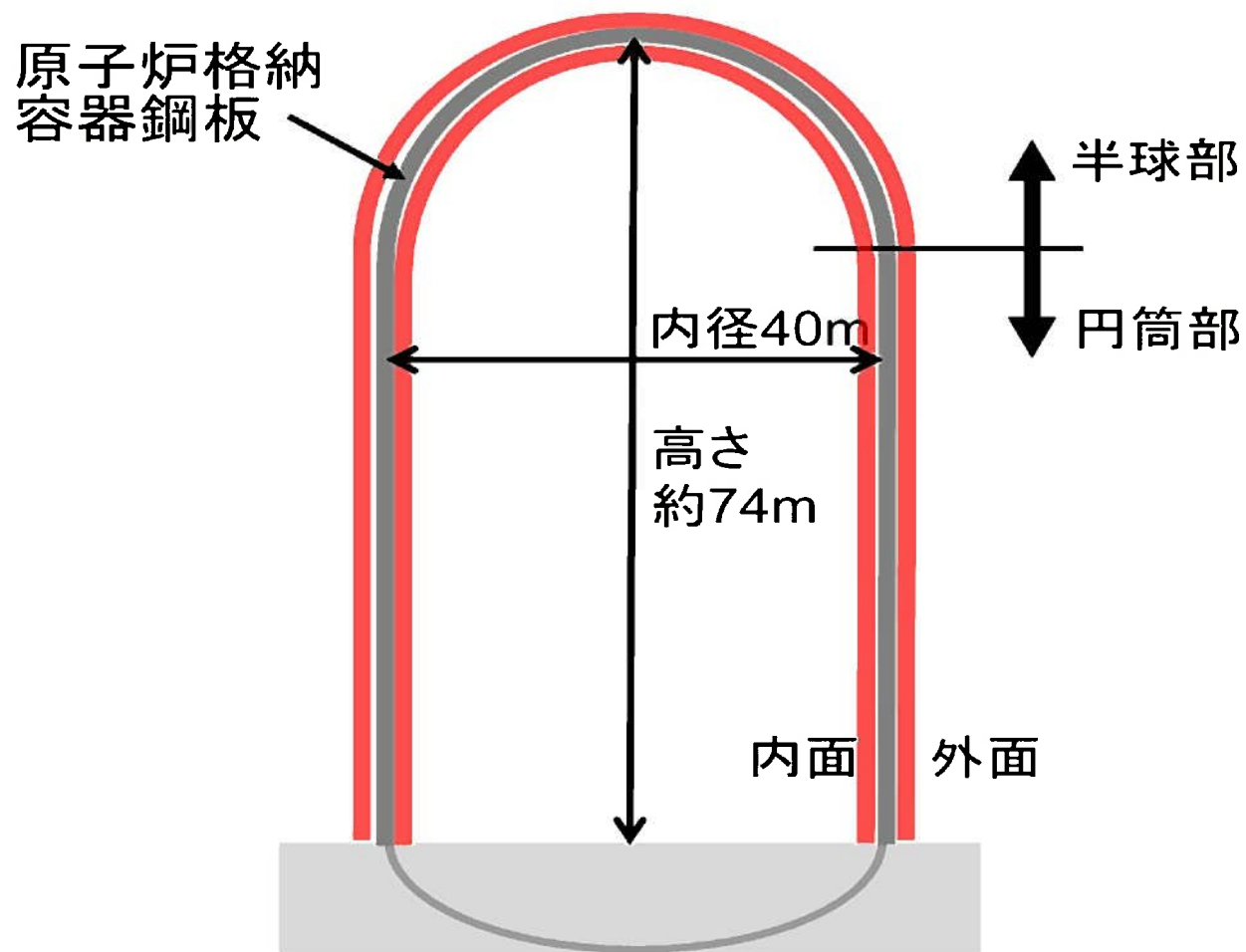


図2-4-1-1 原子炉格納容器 断面図

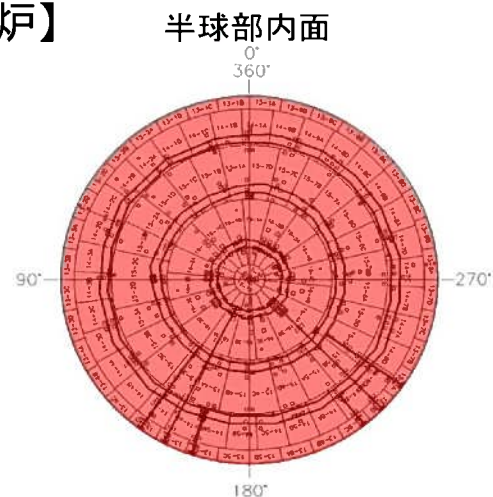
2. 点検方法

2-4 点検範囲

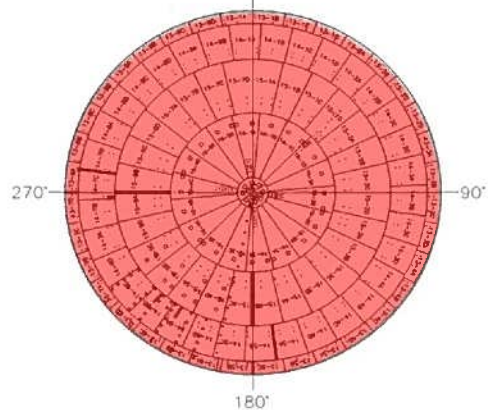
2-4-2 原子炉格納容器 展開図

○ 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。

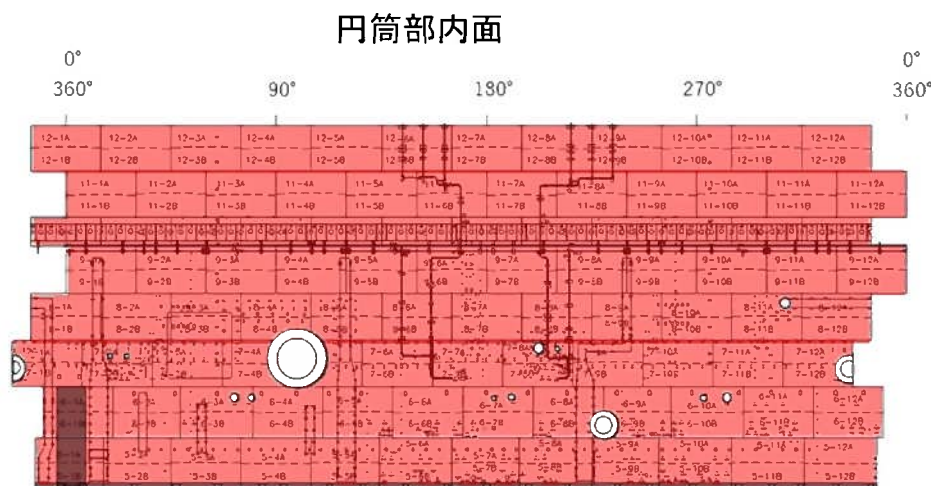
【1号炉】



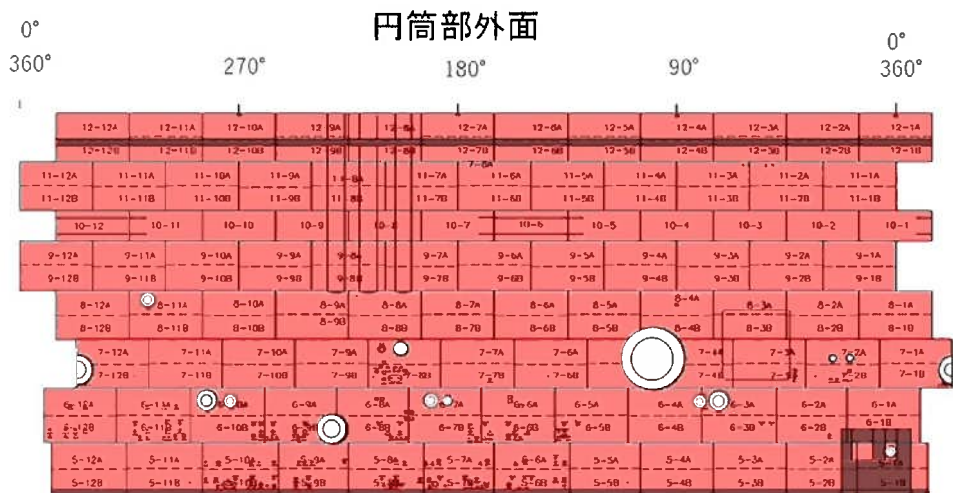
半球部内面



半球部外面



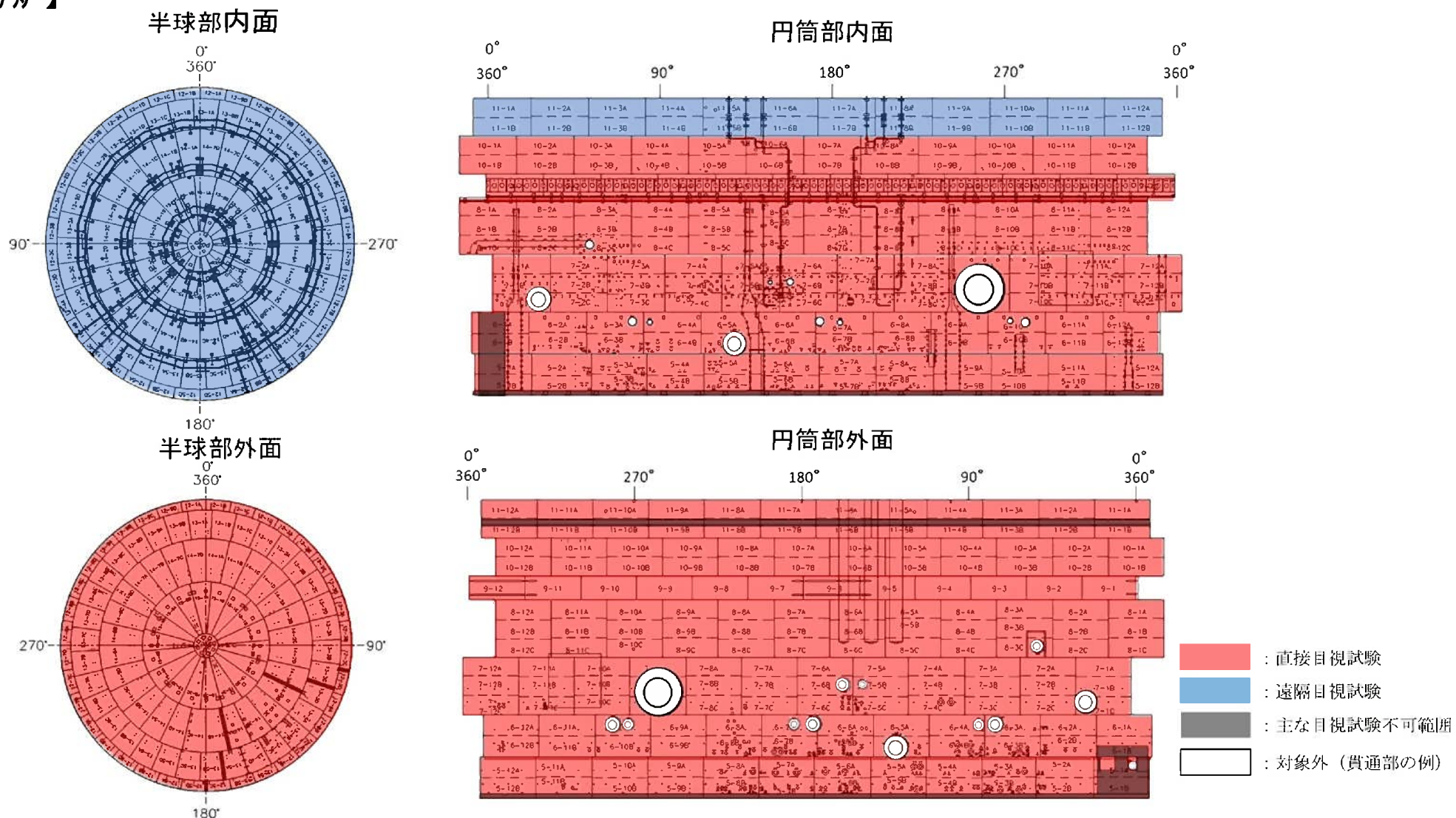
円筒部内面



円筒部外面

- : 直接目視試験
- : 主な目視試験不可範囲
- : 対象外（貫通部の例）

【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、鋼板の腐食）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、金属表面が大気に曝されないことから、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。

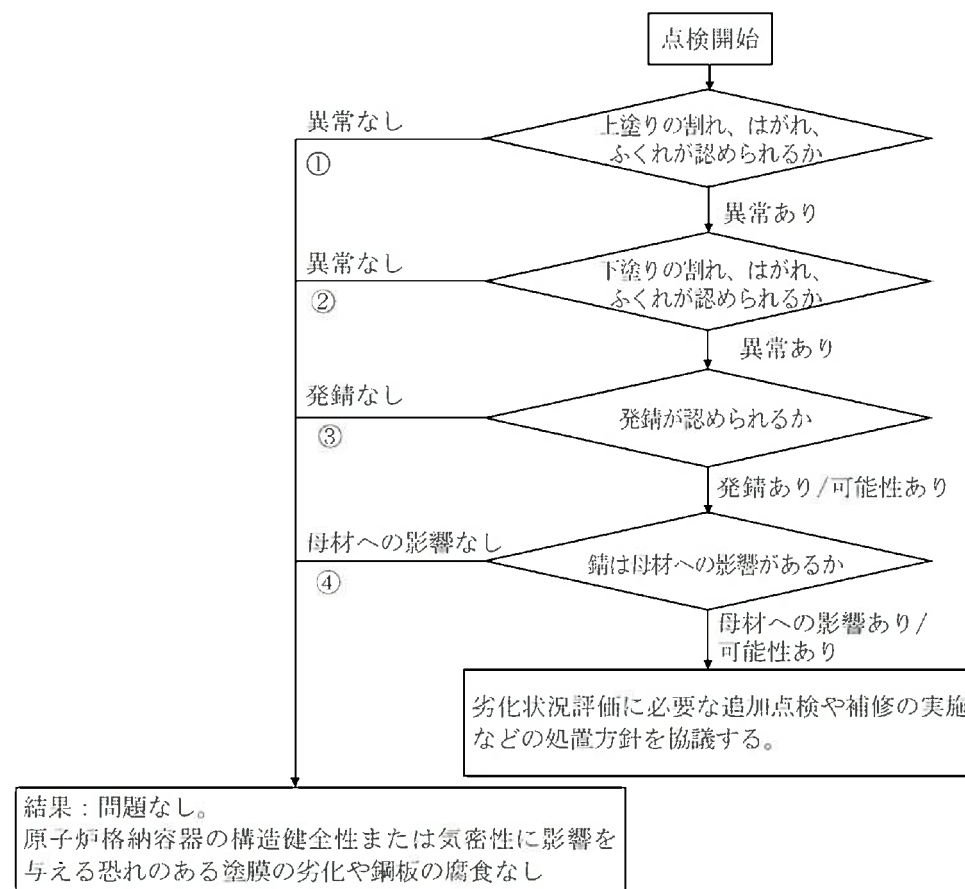


図2-5-1 特別点検における判定フロー

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。

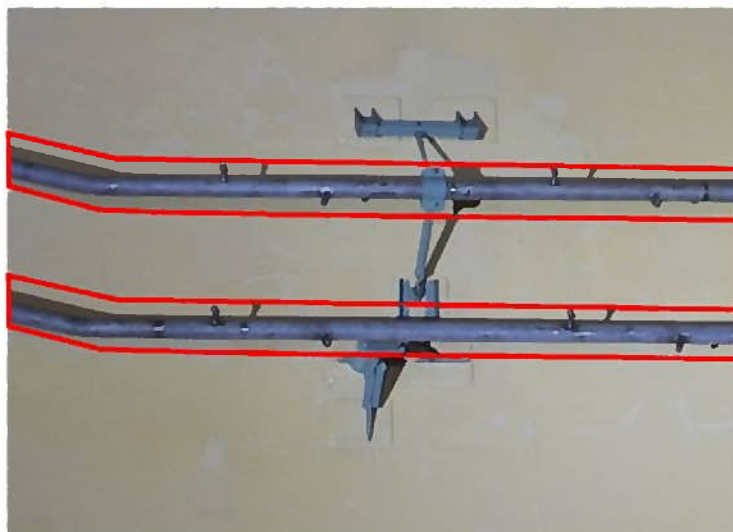


図4-1-1-1 通常点検で確認が容易でない範囲の例（内面高所の干渉物裏）

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 接近可能だが点検不可としている範囲について

(1) 点検不可範囲の考え方について

接近可能だが、維持規格要求のV T-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。図4-2-1-1に不可範囲の代表例を示す。(目の位置に対する角度を確保できない箇所であっても、照度を確保でき手鏡等によりグレーカードの幅0.8mmの黒線が識別できる箇所については点検可能範囲としている。)

(2) 点検不可範囲の健全性について

以下のことから、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。

- 点検不可範囲については、干渉物裏の極めて限定された範囲のみであり、周辺の鋼板は現状保全でも点検可能な範囲である。
- 点検不可範囲については、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塗裝修繕が必要な場合は、可能な限り塗装を実施している。
- 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、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、可能な限り接近して照度を確保し点検を実施しており、塗膜の劣化等が検出された場合は、必要に応じて塗裝修繕を実施することで、塗膜の健全性を維持している。

※ 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。

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 接近可能だが点検不可としている範囲について

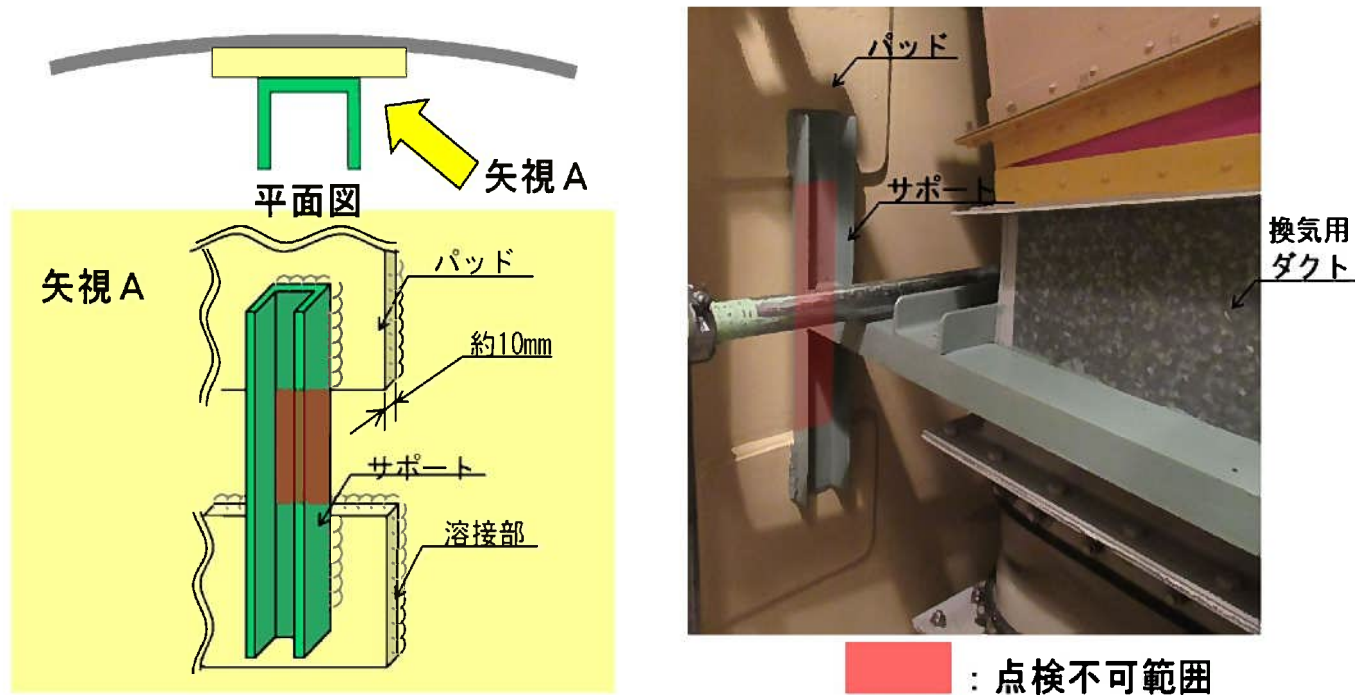


図4-2-1-1 接近可能だが点検不可としている箇所の例

〔 接近可能だが鋼板と干渉物（サポート）との間が狭く、目の位置に対する角度を確保できず、また、グレーカードの幅0.8mmの黒線を識別できない箇所の例 〕

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点検不可としている範囲について

(1) 点検不可範囲の考え方について

高所等で接近が困難であり、維持規格要求のV T-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。図4-2-2-1に不可範囲の代表例を示す。

(2) 点検不可範囲の健全性について

以下のことから、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。

- 点検不可範囲については、干渉物裏の極めて限定された範囲のみであり、周辺の鋼板は現状保全でも点検可能な範囲である。
- 点検不可範囲については、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塗裝修繕が必要な場合は、可能な限り塗装を実施している。
- 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、高所部に対して双眼鏡を用いるなどして、可能な限り点検を実施しており、塗膜の劣化等が検出された場合は、必要に応じて塗裝修繕を実施することで、塗膜の健全性を維持している。

※ 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。

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点検不可としている範囲について

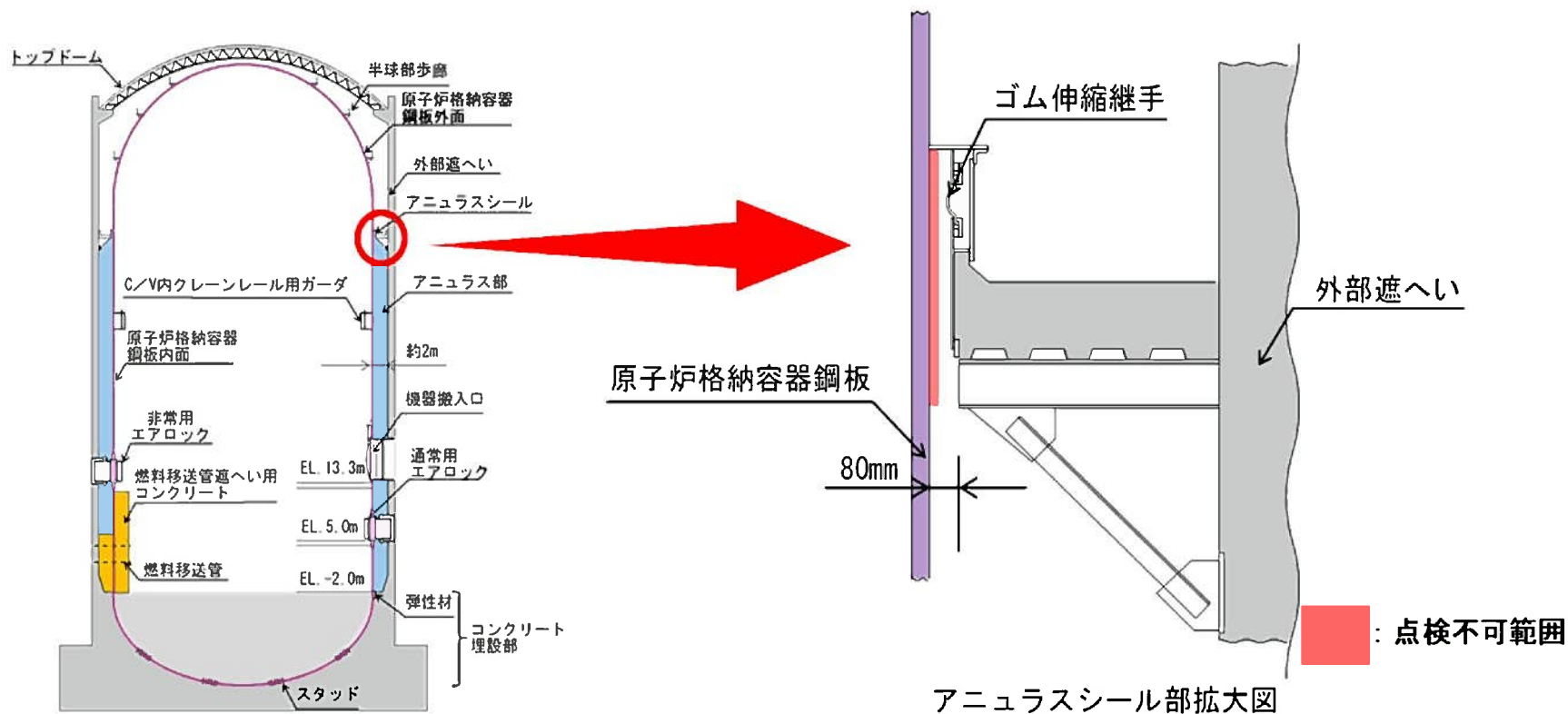


図4-2-2-1 高所等で接近が困難であり点検不可としている箇所为例

〔 鋼板の位置が高所で接近が困難であり、目の位置に対する角度を確保できず、
 また、グレーカードの幅0.8mmの黒線を識別できない箇所为例 〕

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 4-2-2 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。

なお、原子炉格納容器下部のコンクリート埋設部は除く。

	1号炉		2号炉	
	内面	外面	内面	外面
接近可能だが点検不可としている範囲	約0.3%	0.1%未満	約0.3%	0.1%未満
高所等で接近が困難であり点検不可としている範囲	—	約1.4%	約0.5%	約1.4%
合計	約0.3%	約1.4%	約0.8%	約1.4%

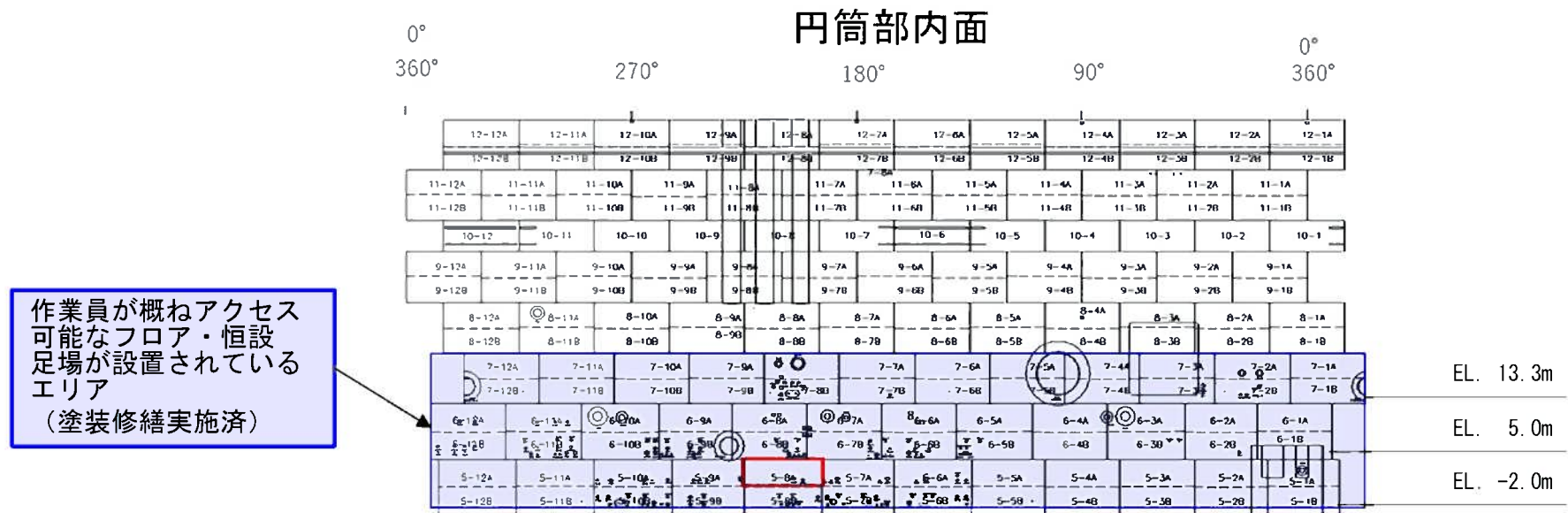
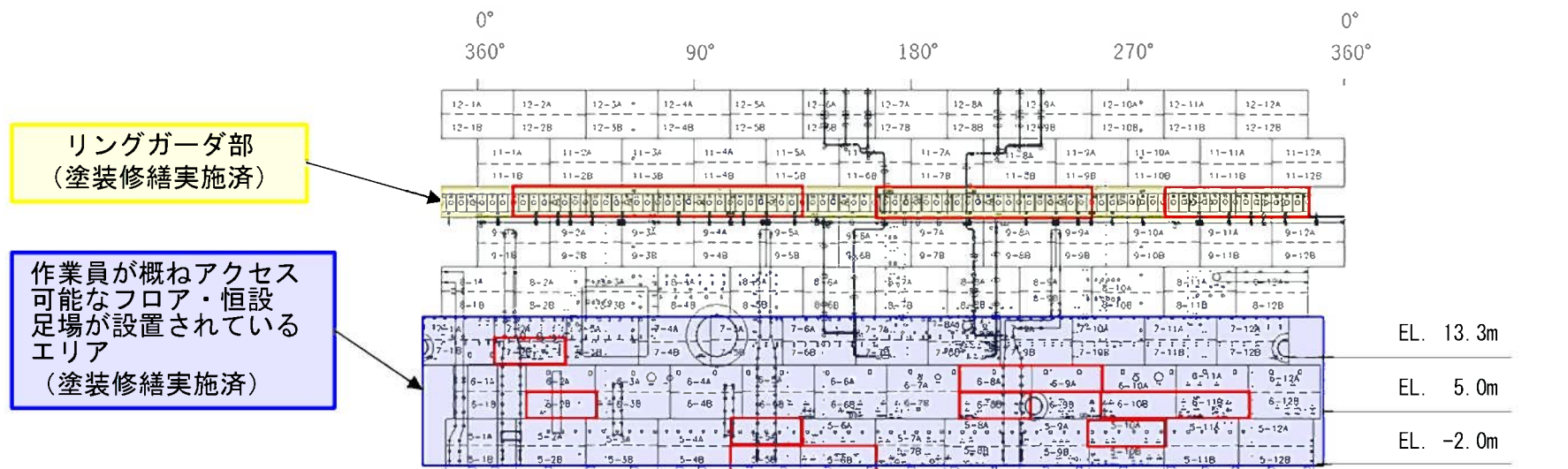
(参考)

	1号炉		2号炉	
	内面	外面	内面	外面
燃料移送管遮へい用 コンクリート部に 覆われている範囲	約0.7%	約0.8%	約0.8%	約0.8%

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に加え、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。
- アクセス可能なフロア・恒設足場が設置されている範囲で確認された軽微な塗膜の劣化については、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。また、円筒部内面のリングガーダ部の鋼板については、周辺の鋼板と環境条件は変わらないものの、リングガーダ部の構造上、通常点検では確認し難い箇所にて塗膜のはがれ等が確認された。これらの箇所については、塗装修繕を実施した。
- 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。
- リングガーダ部の鋼板については、今回の結果を受け、より接近して点検を実施するなど点検手法を改善することで、今後も現状の保守管理の中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)

4-3 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。

- アクセス可能なフロア・恒設足場が設置されている範囲で確認された軽微な塗膜の劣化については、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。

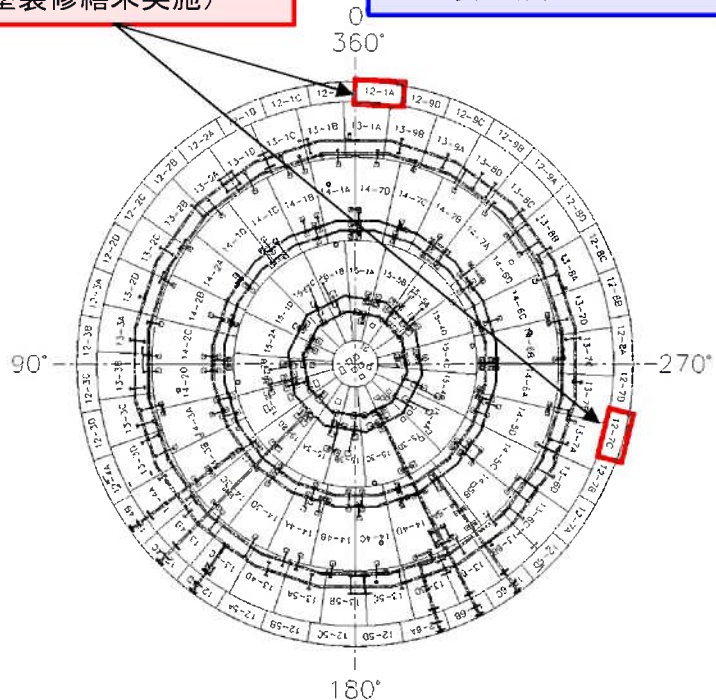
- 上記箇所（半球部内面の一部において確認された塗膜の軽微な劣化箇所を除く）については、塗裝修繕を実施した。また、アクセス可能なフロア・恒設足場が設置されている箇所については、通常点検で点検可能な範囲であり、これまでも必要に応じて塗装を実施しているため、今後も現状の保守管理を継続することで原子炉格納容器鋼板の健全性を維持することができると考える。

- 一方、半球部内面の一部において確認された塗膜の軽微な劣化（判定フロー②）については、今回塗裝修繕は実施していないものの、通常の点検にて塗膜の状態に変化がないことを確認し、必要に応じて塗裝修繕を実施することとする。

- 今回、2号炉のリングガーダ部については、塗膜のはがれ等は確認されなかったが、1号炉と同様の保守管理を実施することで、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考える。

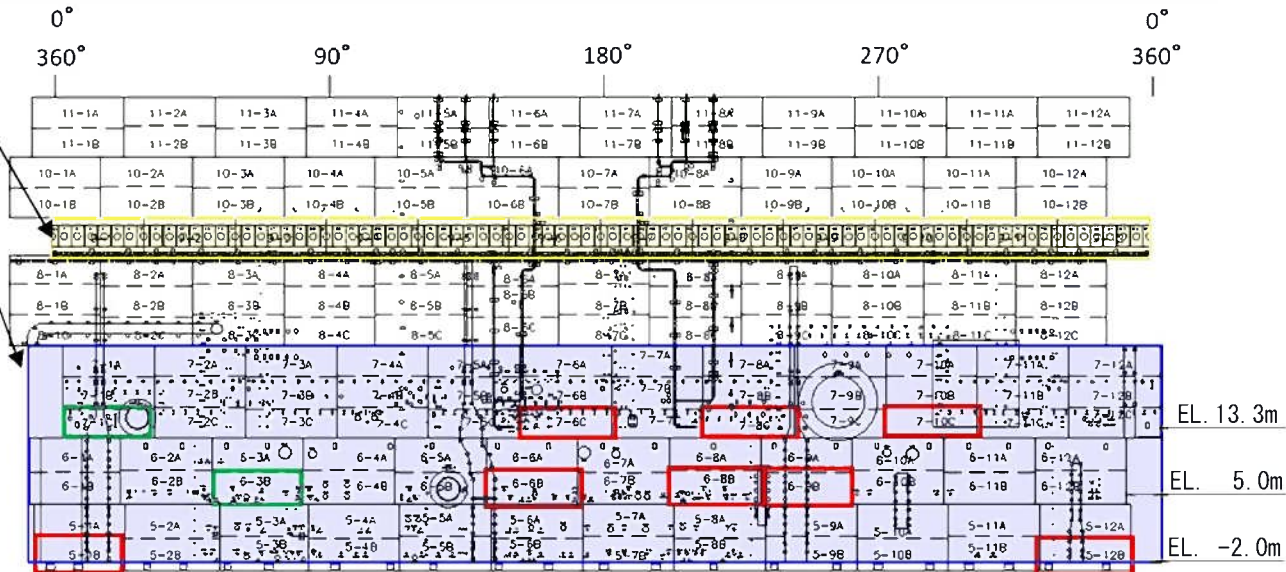
通常の点検にて塗膜の状態に変化がないことを確認する。
(塗装修繕未実施)

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
(塗装修繕実施済)

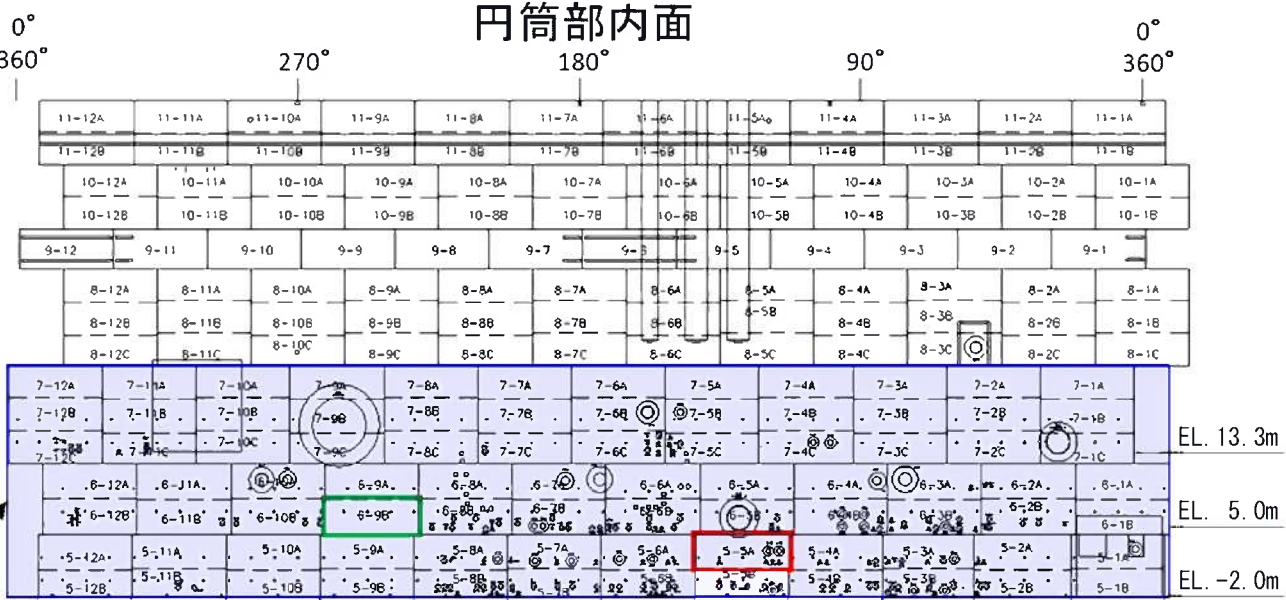


半球部内面

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
(塗装修繕実施済)



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)

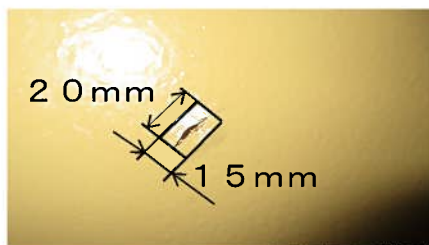
5. まとめ

- 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、必要に応じて塗装修繕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。

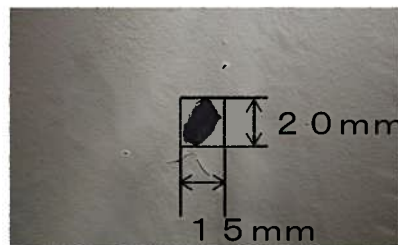
参 考

【塗装修繕を実施した箇所の場合】

- 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点検の中で確認され、必要に応じて塗装修繕を実施し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。



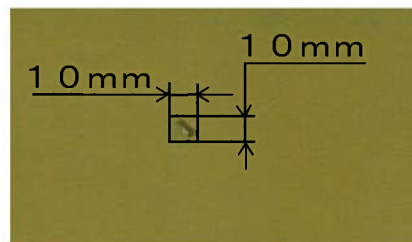
判定フロー②(1号炉内面)※



判定フロー③(2号炉外面)※

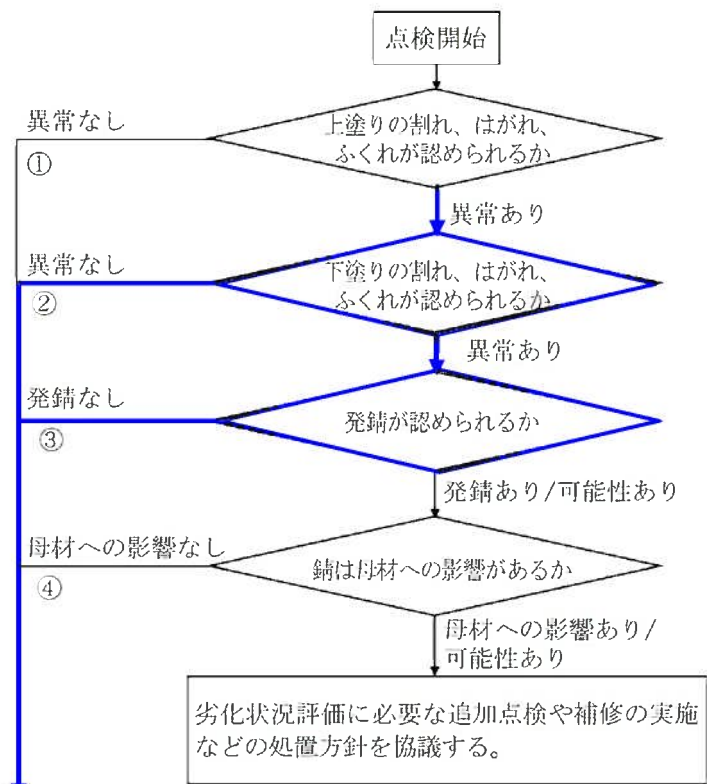
【塗装修繕を実施していない箇所の場合】

- 2号炉の半球部内面の一部において確認された塗膜の軽微な劣化(判定フロー②)について以下に示す。今後、通常の点検にて塗膜の状態に変化がないことを確認し、必要に応じて塗装修繕を実施することとする。



判定フロー②(2号炉半球部内面)※

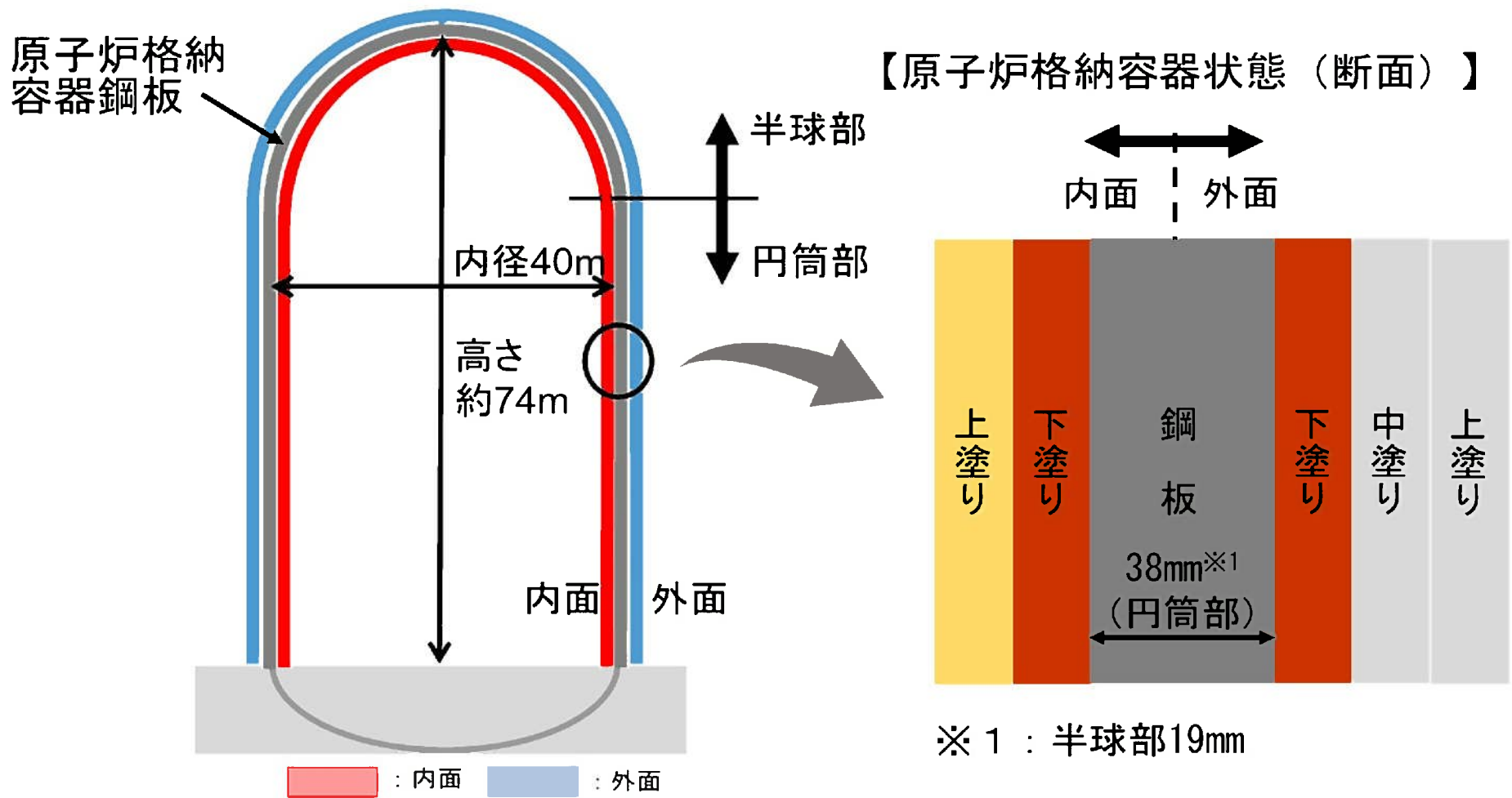
特別点検における判定フロー



結果：問題なし。
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なし

※ 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)

○ 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。



別紙

1. 概要

運転期間延長認可申請書添付書類一の特別点検結果報告書のうち「川内原子力発電所1号炉特別点検要領書（原子炉格納容器）」に記載している半球部内面の板割図（以下「当該板割図」という。）については、点検内容をわかりやすくすることを目的に、建設時に決定図化されている半球部外面の板割図を参考に簡略図として作成していたが、鋼板の配置が正確には実機と異なる箇所※があったことから、当該板割図の影響及び今後の対応について以下のとおり説明する。

※：半球部外面の板割図に対して、半球部内面の板割図が反転していない箇所

2. 点検結果への影響の有無

特別点検要領書の当該板割図は、鋼板の配置が正確には実機と異なる箇所があったものの、点検範囲を視覚的にわかりやすく示す図であり、実際のデータ採取における目視試験及び点検記録の作成にあたっては、メーカーにて作成した、当て板の範囲、貫通部の位置等を詳細に反映した詳細図（以下「詳細図」という。）を使用しており、点検時に加え、当該事象発生後も、当社にて、問題がない（正確な鋼板の位置となっている）ことを確認していることから点検結果への影響はない。

3. 今後の対応

- (1) 当社の改善措置活動管理基準に基づき、状態報告（CR）を実施したのち、特別点検要領書及び特別点検報告書を修正する。
- (2) 特別点検結果報告書を運転期間延長認可申請の補正時に運転期間延長認可申請書添付書類一として提出する。

4. その他

補足説明資料別紙－1に示す代表例の一部に、詳細図の未使用、グレーカード管理番号未記入等の状態のドラフト版を使用していたことから、実際の工事記録の抜粋へ修正した。

[当該板割図を使用した経緯]

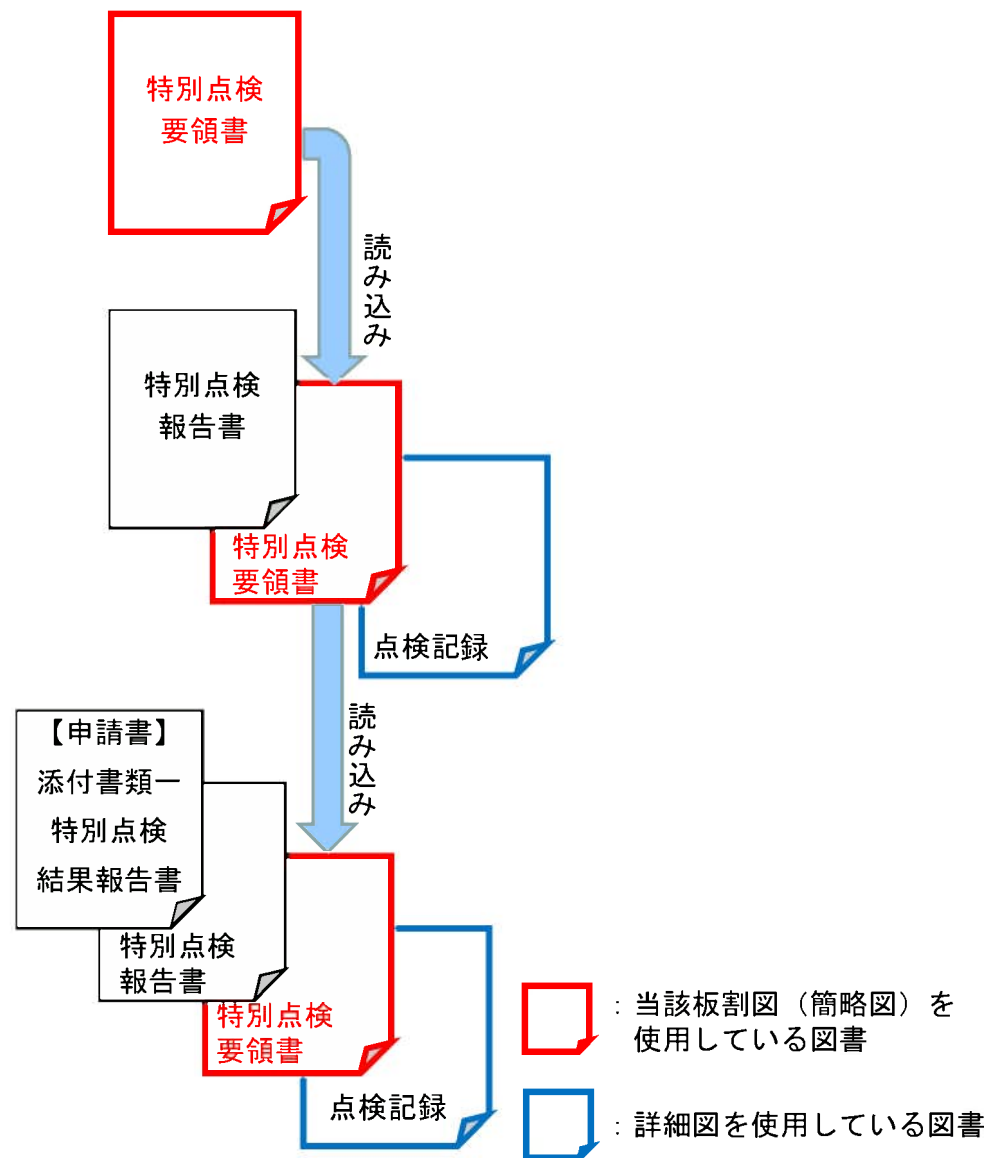
1. 特別点検（データ採取含む）に係る検討を行うにあたり、原子炉格納容器の点検範囲（鋼板の概略配置）を視覚的にわかりやすく示すための簡略図を作成する必要があった。

2. 簡略図を作成するにあたり、半球部外面については、建設時の決定図を有していたことから、それを基に点検を行うメーカーにて半球部外面の簡略図を作成した。

半球部内面については、建設時の決定図がないことから、半球部外面の決定図を参考に点検を行うメーカーにて半球部内面の簡略図（当該板割図）を作成した。

3. 当該板割図は当社にて特別点検要領書を作成する際に確認していたが、簡略図を記載した目的が点検範囲を視覚的にわかりやすく示すためであったことから、正確な鋼板の位置となっているかまで意識が及ばず、異なる箇所を見逃した。

[当該板割図の使用箇所]



簡略図

(特別点検要領書より抜粋)

(2 / 3)

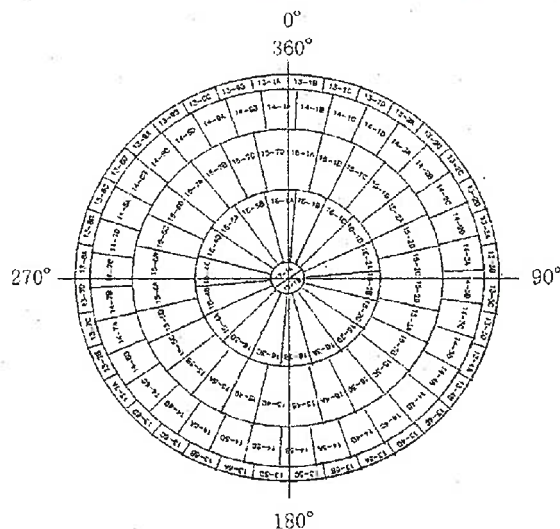
詳細図

(特別点検報告書より抜粋)

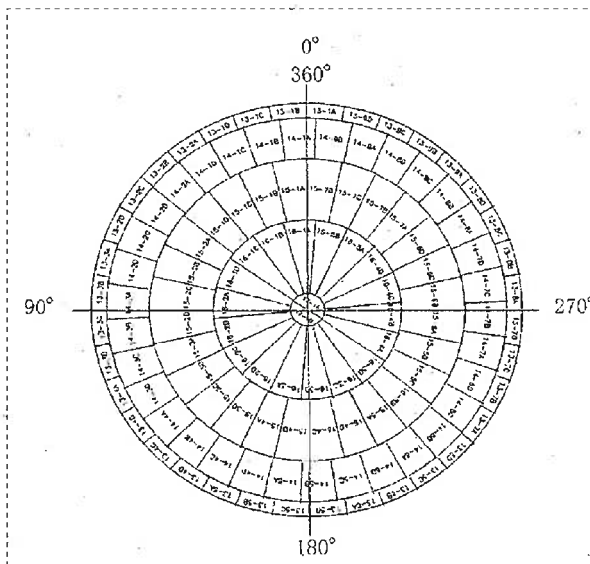
点検範囲図 (6 / 10)

点検年月日 2021 年 12 月 16 日

担当者 [Redacted]



板割図(半球部 外面)



板割図(半球部 内面)

半球部外面の板割図に対して、半球部内面の板割図が反転しておらず、鋼板の配置が正確には実機と異なる箇所が確認された。

