

収納管、通風管観察時の保修判断方針および暴露試験等の実施について

1. はじめに

2018年6月4日の面談において、収納管、通風管観察結果の評価に関し、保修が必要と判断する基準について、映像による技術的な評価方法を検討していることを報告した。また、アルミ溶射試験片の暴露試験、劣化加速試験の実施を検討していることを報告した。

これに対し、「試験片の暴露試験、劣化加速試験の結果と実際に撮影した画像の比較により腐食具合を評価する方法について原燃における検討結果がまとめ次第説明を行うこと。」とのコメントをいただいた。

今回、収納管、通風管観察結果の評価に関し、保修が必要かどうか判断する際の観察画像の評価方法についてまとめたので報告する。また、試験片の暴露試験、劣化加速試験の実施状況について報告する。

2. 収納管、通風管観察時の保修判断方針

収納管、通風管を観察した結果、アルミ溶射皮膜表面に変色が確認された場合、変色の状態を画像処理により定量化し、前回観察時と変色の濃さ、範囲の比較を行い、健全性に影響を及ぼす腐食である場合に下部プレナム内に入域し保修が必要と判断する方針である。収納管、通風管の観察フローを添付資料-1に、観察画像の仕様、評価方法、保修判断基準の検討状況を(1)～(3)に示す。

(1) 観察画像の仕様

観察画像は、今後の下部プレナム部検査にて現在検討されている撮影用自走台車の搭載カメラによって取得した画像を評価の対象とする。カメラの撮影画像例を図1に示す。



図1 撮影用自走台車と撮影画像例

この観察画像を対象として、腐食の進行にともない顕著に変化すると想定される「外観(変色)」「面積」について評価する手法を今年度は調査・検討中である。

(2) 観察画像の評価方法

観察画像の評価手法について、手法候補の調査と選定を実施した。さらに、選定した手法について画像アルゴリズムの試作と性能評価試験を実施中である。

a. 「外観(変色)」の評価について

「外観(変色)」の評価はカメラ画像の色を定量化する手法として「色空間法」を選定した。この評価手法で

は明るさが変化しても色相(色の傾向)がバラつきなく計測できるため、対象本来の色の違いを定量化することができる特徴がある。色空間法の概要を図2に示す。

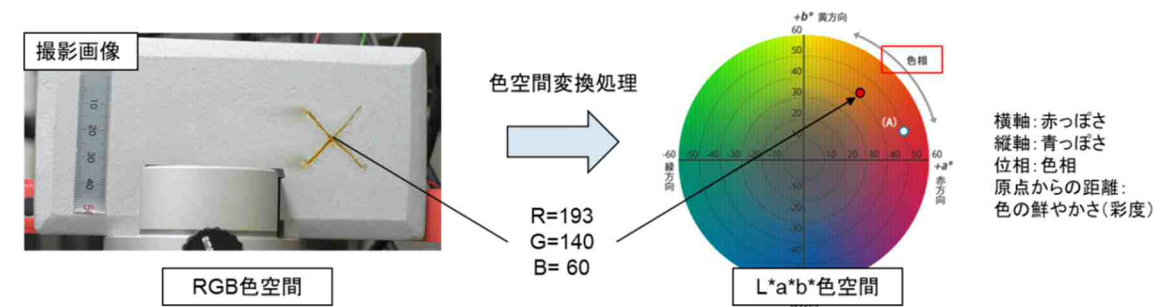


図2 「外観(変色)」の評価: 色空間法の概要

- 腐食サンプル(沖縄で実施中の暴露試験における腐食サンプル試験片)の撮影画像に本手法を適用し、腐食状態と色計測値の関係を評価した。その結果、撮影条件の変化による色計測値のばらつきよりも、腐食状況の違いによる色の差のほうが大きいと、本手法によって錆の色から腐食状態が区別できることを確認した。
- 今後は、劣化加速試験で作製する腐食サンプルのデータを蓄積して、具体的な基準を決めていく。

b. 「面積」の評価について

- 「面積」の評価は画像の変換によって面積計測を行う手法として「射影変換法」を選定した。この手法は寸法既知の物体からカメラの撮影位置を算出することで、実寸単位での面積を算出することが可能である。射影変換法の概要を図3に示す。

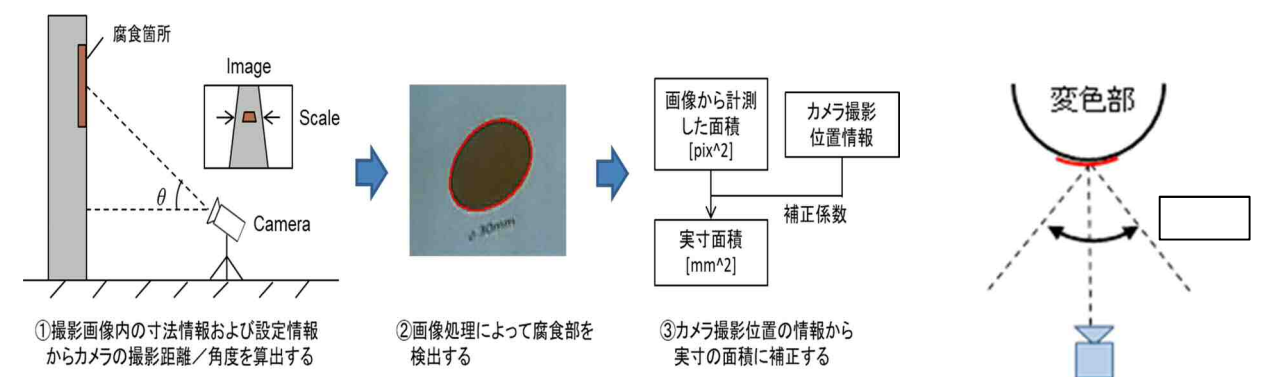


図3 「面積」の評価: 射影変換法の概要及び撮影方位の制限

- 下部プレナムの構造を模擬した試験体系と撮影条件において撮影を行ない、面積計測精度の評価を実施した。その結果、面積計測ができる最小検知可能サイズが[]程度であること、円筒面では変色部から[]以内の方位から正対して撮影する制限はあるものの、上部にある収納管から[]位置でも計測可能であることを確認した。

- ・ 今後は、劣化加速試験などの結果から得られる腐食の進行速度などと突き合わせることで、腐食の進展状況を観察するに足る精度が得られているかを評価していく。

(3) 保修判断基準

既存の腐食サンプルの観察結果を元に、「変色（腐食）メカニズム」と「想定される変色部の特徴」の比較を行い、保修判断基準を評価するための観察項目の検討を実施した（詳細は表1を参照）。以下に検討状況を示す。

- ・ 「外観（変色）」、「面積」、「表面凹凸」の検査結果から、『母材の錆（全面腐食）』とそれ以外の変色（腐食）を判別できる可能性がある。
- ・ 『母材の錆（全面腐食）』に対してそれ以外の変色（腐食、表面の孔食など）があったとしても、発見された段階では影響は小さく、経過観察による状態監視で問題ないと判断できると考えられる。
- ・ 「外観（変色）」、「面積」、「表面凹凸」のうち、腐食の進行にともない顕著に変化するの「外観（変色）」および「面積」であるため、この2つを評価できる手法の判断基準を検討していく。
- ・ 今後、劣化加速試験で腐食させた試験片の「外観（変色）」、「面積」と腐食の進行の関係を整理する。また、より現場環境における観察条件に近い条件で観察画像の評価試験を実施し、今回選定した外観、面積の観察技術の適用性を評価する。これらの成果を踏まえて、観察条件や保修判断の具体的な基準を検討していく。



図4 保修が必要な腐食の例（位置決め部材で発生した全面腐食の例）

※あくまでも評価対象は収納管、通風管であり、位置決め部材は腐食しても安全機能（冷却機能、耐震性）への影響はない。

3. 暴露試験、劣化加速試験

(1) 暴露試験

廃棄物管理施設内の建屋換気給気口に暴露試験台を設置し、暴露後、1、2、3、5、10、20、30、40年程度まで継続して試験片を回収し、評価を行う。暴露試験台を、2019年8月に設置後、暴露開始する。

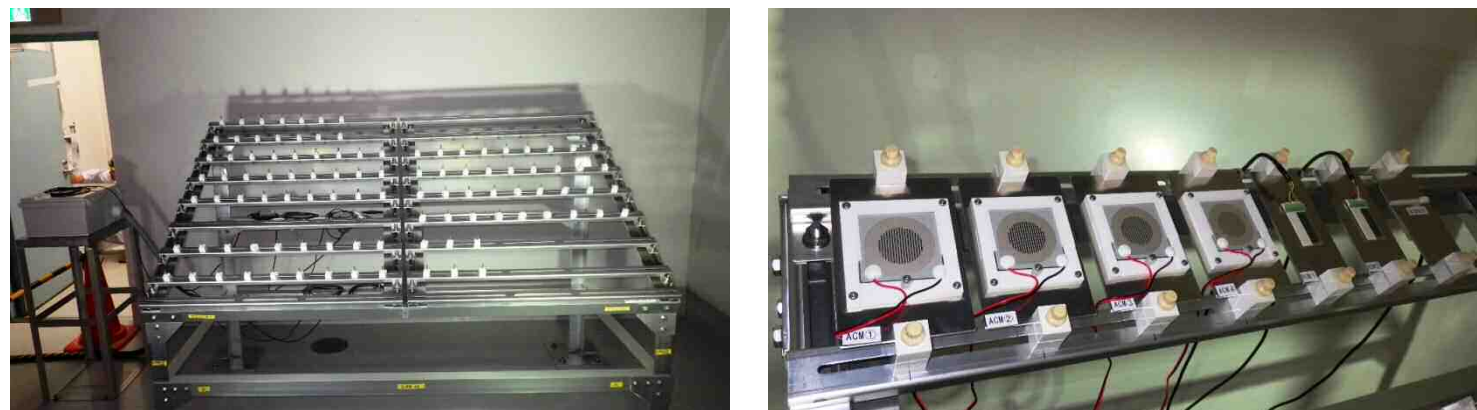


図5 暴露試験台

（左図が暴露試験台の全景、右図が暴露試験台に設置する腐食速度等を測定するセンサー類）

(2) 劣化加速試験

劣化加速試験については、下部プレナム内の環境条件を可能な限り再現するため、本試験の前に様々なパラメータ（塩濃度、塩水噴霧時間、乾燥時間等）を変化させて複数の予備試験を行い、最適な条件を導出する。予備試験は、2019年7月に開始しており、本試験は、2019年10月に開始する予定である。本試験の結果が出るのは、2020年6月頃となる見込みである。



図6 劣化加速試験（予備試験）の状況

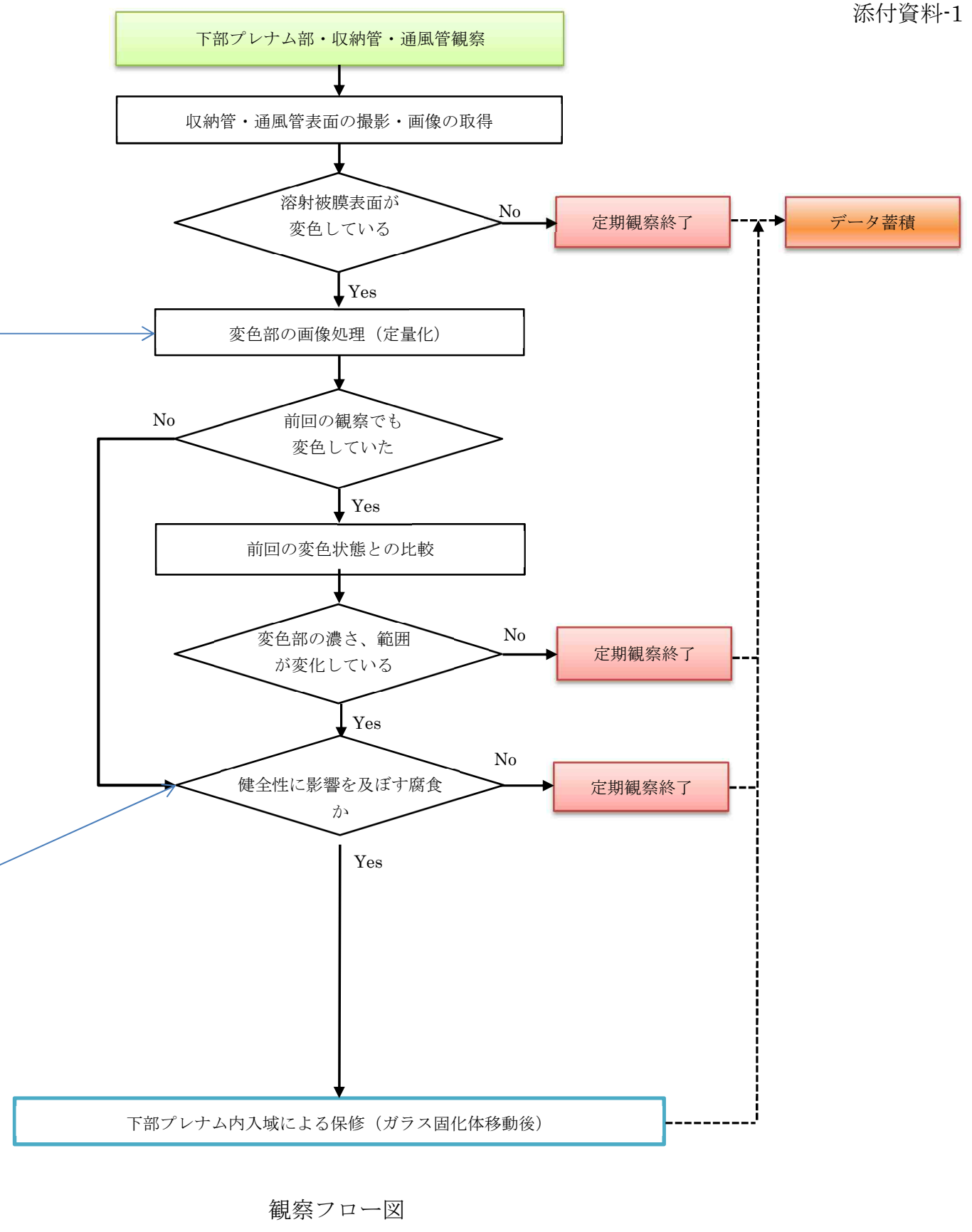
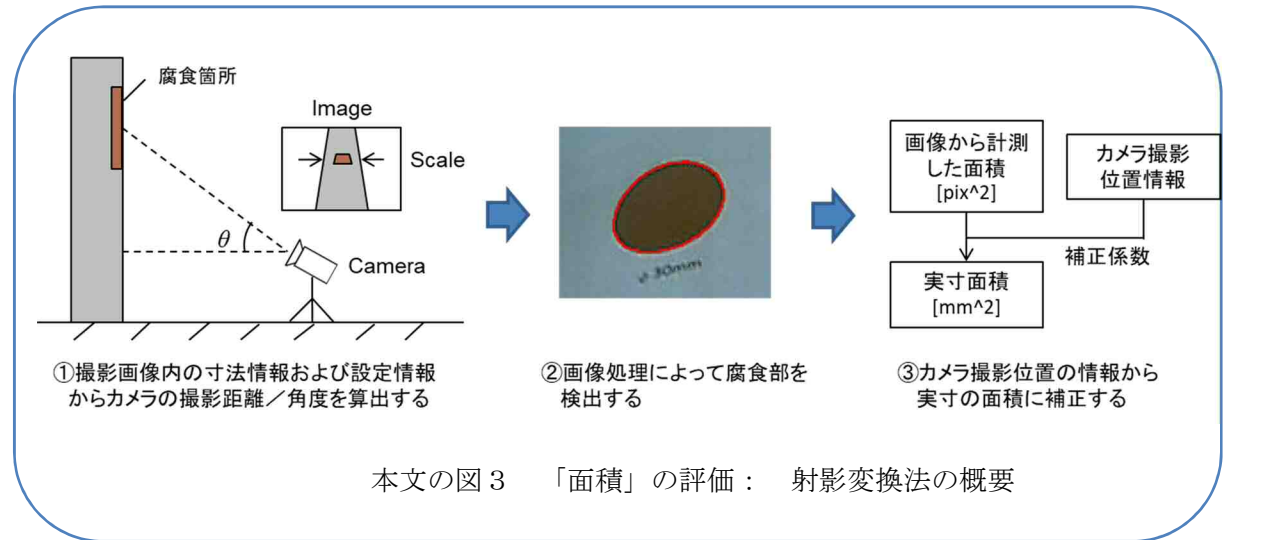
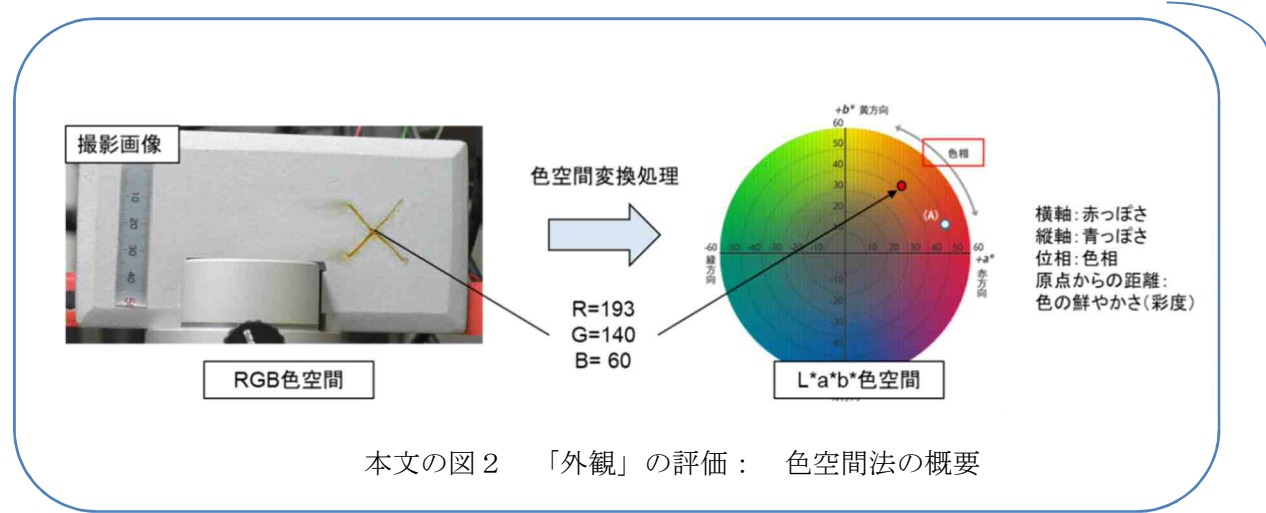


表1 「変色（腐食）メカニズム」と「想定される変色部の特徴」の比較

		想定される変色部の特徴			
		付着物（酸化鉄）	鉄イオン浸み出し	母材の錆（孔食）	母材の錆（全面腐食）
メカニズム		 <p>アルミ溶射皮膜の上に外部から飛来した酸化鉄が付着する。</p>  <p>付着物（曝露試験片の例）</p>	 <p>アルミ溶射内に水分が浸み込み、母材（炭素鋼）から鉄イオンが溶け出し、アルミ溶射皮膜表面で酸化鉄として析出する。</p>  <p>鉄イオン浸み出し（曝露試験片の例）</p>	 <p>アルミ溶射皮膜の孔食により母材が露出し、母材の腐食生成物である錆が露出する。</p>  <p>孔食（曝露試験片の例、人工傷）</p>	 <p>アルミ溶射皮膜の腐食の進展により母材が露出し、母材の腐食生成物である錆が露出する。</p>  <p>全面腐食の例（位置決め部材） ※あくまでも評価対象は収納管、通風管であり、位置決め部材は腐食しても安全機能（冷却機能、耐震性）への影響はない。</p>
変色（腐食）の発生の可能性（収納管、通風管）		○：外観、化学組成、表面の凹凸、アルミ溶射皮膜、洗浄処理の効果の観点から、付着物である可能性は高い。	△：アルミ溶射膜が施工時の管理値以上あることを踏まえると本メカニズムによる発生の可能性は低い、否定できない。	×：洗浄によって変色部が除去されたこと、15年間の曝露試験結果を踏まえると本メカニズムによる発生は考え難い。	×：変色部においてもアルミ溶射が確認されていること、洗浄によって変色部が除去されたことを踏まえると本メカニズムによる発生は考え難い。
変色（腐食）の発生の可能性（位置決め部材）		×	×	×	○：変色部の下地の鉄が露出して、軽微な腐食に至った部分が確認された。
【外観】	色	茶褐色	茶褐色	茶褐色	濃い茶褐色
	模様	一定のエリア内に点在（周囲は変色が認められない）	一定のエリア内が変色（変色部が連続的）	点在（写真はX型の人工傷を付与）	全面
【面積】		—	—	—	前回（数十 cm² 程度の変色域）からの比較で面積が急激に広がる
【表面凹凸（体積膨張）】		酸化鉄が表面に薄く付着しており、表面の凹凸はほとんどない	酸化鉄が表面に薄く付着しており、表面の凹凸はほとんどない	母材上の錆が薄い場合はアルミ溶射表面より凹み、腐食が進展するとアルミ皮膜表面より盛上る 但し、孔食のため、目視では判断できない可能性がある （個々の点状・孔食の寸法、周囲とのコントラスト・解像度の観点から）	母材上の錆が薄い場合はアルミ溶射表面より凹み、 腐食が進展するとアルミ皮膜表面より盛上る
観察画像による変色（腐食）の判別の評価		「外観（変色）」、「面積」の検査結果から、『付着物』、『鉄イオン浸み出し』、『母材の錆（孔食腐食）』のいずれかを判別できる可能性は低い。			「外観（変色）」、「面積」の検査結果から、『母材の錆（全面腐食）』と診断できる可能性がある。

記号説明

○：変色部の発生メカニズムとなる可能性は高い。

△：変色部の発生メカニズムとなる可能性は低い。

×：変色部の発生メカニズムとなる可能性は考え難い。

安全機能（冷却機能、耐震性）への影響：小
経過観察とする

安全機能（冷却機能、耐震性）への影響：大
調査・補修工事の対象とする