

廃棄物管理施設ガラス固化体貯蔵建屋  
下部プレナム等に係る調査等の実施計画に基づく  
経過報告書  
【第4貯蔵区域に係る調査結果および評価】

2015年10月16日

日本原燃株式会社

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. E B 2 建屋 第4貯蔵区域に係る調査実績.....	1
3. 調査内容 .....	2
3. 1 E B 2 建屋の主な構造.....	2
3. 2 調査対象（ガラス固化体冷却用空気の流入箇所） .....	3
3. 3 調査項目・内容.....	4
4. 調査結果等 .....	6
4. 1 施設の状態確認調査.....	6
4. 2 変色部等の発生原因に係る調査 .....	24
5. 第4貯蔵区域で確認された変色部に対する評価等.....	39
5. 1 変色に対する評価.....	39
5. 2 付着メカニズム.....	41
5. 3 第4貯蔵区域の健全性評価.....	45
6. まとめ .....	51
添付資料ー1 第4貯蔵区域 支柱（基部および側面） 外観観察結果（変色部写真）	
添付資料ー2 第4貯蔵区域 収納管および通風管 外観観察結果（変色部写真）	
添付資料ー3 第4貯蔵区域 下部プレナム形成板 外観観察結果（変色部写真）	
添付資料ー4 第4貯蔵区域 冷却空気入口ルーバ外観観察結果	
添付資料ー5 第4貯蔵区域 円環流路 下部からのファイバースコープによる外観観察結果	
添付資料ー6 第4貯蔵区域 通風管等変色部発生の変因分析図	
添付資料ー7 下部プレナム床面と円環流路の温度分布について	
補足資料ー1 ガラス固化体貯蔵建屋の概要	
補足資料ー2 アルミニウム溶射皮膜について	
補足資料ー3 使用機器・計器一覧	



## 1. はじめに

「日本原燃株式会社廃棄物管理施設ガラス固化体貯蔵建屋の下部プレナム等における変色部や錆の発生に係る調査について（指示）」（平成27年9月2日 原規規発第1509026号）を受け、2015年9月10日に提出した「廃棄物管理施設ガラス固化体貯蔵建屋下部プレナム等に係る調査等の実施計画」（以下、「実施計画書」という。）に基づき、調査対象であるガラス固化体を収納する第1貯蔵区域から第4貯蔵区域のうち、ガラス固化体貯蔵建屋B棟（以下、「EB2建屋」という。）第4貯蔵区域下部プレナム部に係る調査結果および評価について報告する。

なお、実施計画書に記載した「調査項目・内容」のうちの、「外部からの飛散物に係る調査」および「調査結果に基づく変色部等の発生メカニズム、健全性評価等」については、他貯蔵区域と併せて継続して調査および評価を行い、最終報告書にて報告することとし、本報告書では経過報告を行う。

## 2. EB2建屋 第4貯蔵区域に係る調査実績

EB2建屋 第4貯蔵区域の調査実績を表-1に示す。

表-1 EB2建屋 第4貯蔵区域の調査実績

6月4日、5日	目視による外観観察：支柱
6月6日	アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定：支柱 サンプル採取：支柱および通風管内面
6月8日、9日	目視による外観観察：収納管底面、下部プレナム形成板、壁面および冷却空気入ロルーバ
6月23日	アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定：収納管底面、収納管側面、通風管内面
6月24日	アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定：下部プレナム形成板
6月25日	アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定：支柱
7月6日、7日	母材の肉厚測定：支柱
8月1日、2日	目視による外観観察：収納管底部、円環流路部（収納管側面および通風管内面）
8月6日、7日	ファイバースコープによる外観観察：円環流路（上部）および冷却空気出口ルーバ
8月8日、9日	アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定：変色部 サンプル採取：変色部
8月10日、13日	アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定：収納管底面
8月10日～14日	アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定：変色部
8月12日～20日	ファイバースコープによる外観観察：円環流路（下部）
8月13日～21日	アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定：収納管底面、通風管内面、プレナム形成板および変色部
8月18日～21日	母材の肉厚測定：収納管側面、下部プレナム形成板および通風管内面 アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定：変色部
8月24日	母材の肉厚測定：収納管側面および通風管内面
8月25日	母材の肉厚測定：下部プレナム形成板および支柱
9月8日、9日	サンプル採取：下部プレナム部床面
9月17日、18日	サンプル採取：他建屋の給気フィルタ等
9月24日、25日	サンプル採取：大気中粉塵

### 3. 調査内容

#### 3. 1 EB2建屋の主な構造

EB2建屋は主に、冷却空気入口シャフト、通風管、収納管、支持架構、天井スラブ、収納管プラグおよび冷却空気出口シャフトで構成される。

ガラス固化体の冷却空気は外気であり、冷却空気入口シャフトから冷却空気入口ルーバ（以下、「入口ルーバ」という。）を経由し、下部プレナム部に流入後、通風管と収納管の間（円環流路）を下から上に流れ、上部プレナム部および冷却空気出口ルーバ（以下、「出口ルーバ」という。）を経由して、冷却空気出口シャフトから放出される。

この冷却空気の流れる空間のうち、下部プレナム形成板と床面の間を下部プレナム部、上部プレナム形成板と天井スラブの間を上部プレナム部という。また、下部プレナム部に設置されている構造物として支柱がある。（図-1 参照）

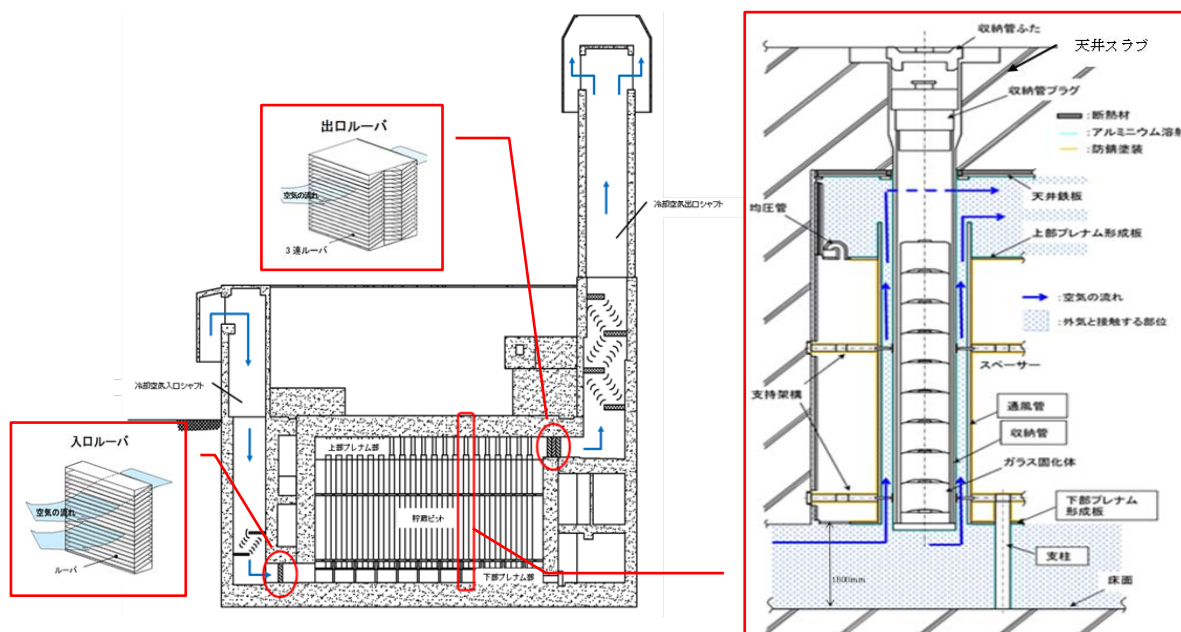


図-1 EB2建屋の概要図

### 3. 2 調査対象（ガラス固化体冷却用空気の流入箇所）

ガラス固化体冷却用空気の流入箇所等に係る調査については、入口ルーバ、下部プレナム部床面、支柱、下部プレナム形成板、円環流路（通風管、収納管の隙間でガラス固化体の冷却空気が通過する箇所）および出口ルーバを対象として実施した。

ガラス固化体貯蔵建屋の主な構造物のうち、上記以外の部位である上部プレナム部および支持架構については、以下のとおり設備として健全であるものと考えている。

腐食の起因となる湿潤環境が長期間維持されると、腐食が促進される可能性がある。湿潤環境となる原因のひとつに、結露水があげられ、地中温度に冷やされる床面の表面近傍で結露水が発生しやすいと考えられる。

上部プレナム部は冷熱源がなく、下部プレナム部床面より、結露しにくい環境にある。さらにガラス固化体が貯蔵された状態では、熱伝導および対流により、外気は暖められた状態にあることから、結露水は殆ど発生しないと考えられる。そのため、設備の健全性が維持されていると評価している。

支持架構は、通風管外面およびプレナム形成板に囲われた空間であり、外気に直接触れる構造ではないこと、および囲われた空間の側面のコンクリートは、地面との境界ではなく部屋との境界であり、囲われた空間の空気が冷やされるものではないことから、結露水は発生しないと考えられる。そのため、設備の健全性が維持されていると評価している。

なお、今後、他の貯蔵区域に対する調査に併せて、熱流動解析等による評価を行っていく。

### 3. 3 調査項目・内容

実施計画に基づく、調査項目、調査対象および調査内容を以下に示す。

#### (1) 施設の状態確認調査

##### ① 目視による外観観察

###### a. 調査対象

- ・下部プレナム部床面
- ・支柱
- ・収納管および通風管（円環流路下部）
- ・下部プレナム形成板
- ・入口ルーバ

###### b. 調査内容

- ・冷却空気の流路を閉塞するような異物の有無を確認
- ・茶褐色等の変色部の有無を確認

##### ② ファイバースコープによる外観観察

###### a. 調査対象

- ・収納管および通風管（円環流路上部および下部）
- ・出口ルーバ

###### b. 調査内容

- ・冷却空気の流路を閉塞するような異物の有無を確認
- ・茶褐色等の変色部の有無を確認

##### ③ アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定

###### a. 調査対象

- ・下部プレナム形成板
- ・収納管および通風管（円環流路下部）
- ・支柱

###### b. 調査内容

- ・建設当時の管理値以上の膜厚であることを確認
- ・収納管および通風管（円環流路下部）に確認された変色部においても、建設当時の管理値以上の膜厚であることを確認

##### ④ 母材の肉厚測定

###### a. 調査対象

- ・下部プレナム形成板
- ・収納管および通風管（円環流路下部）
- ・支柱

###### b. 調査内容

- ・計画値以上の肉厚であることを確認
- ・収納管および通風管（円環流路下部）に確認された変色部においても、計画値以上の肉厚であることを確認

(2) 変色部等の発生原因に係る調査

① サンプル採取・分析

a. 調査対象

- ・下部プレナム部で確認された変色部

b. 調査内容

- ・変色部等のサンプルを採取し、元素分析等を実施

なお、必要に応じてレプリカ採取による表面凹凸観察、断面観察および結露水の分析・評価

② 洗浄による変色等の状態確認

a. 調査内容

- ・洗浄による変色部の状態変化の状況から、変色が表面的なものかどうかを確認

③ 外部からの飛散物に係る調査

a. 調査対象

- ・入口ルーバ
- ・下部プレナム部床面

b. 調査内容

- ・変色部の発生する原因等に係る調査および評価

#### 4. 調査結果等

##### 4. 1 施設の状態確認調査

###### (1) 目視による外観観察

###### ① 下部プレナム部床面の観察

下部プレナム部床面を観察した結果、以下の状態を確認した。

- ・堆積物（塵、埃等）を確認（図-2 参照）
- ・時期によって結露が発生していることを確認（図-3 参照）



(全景：8月下旬撮影)

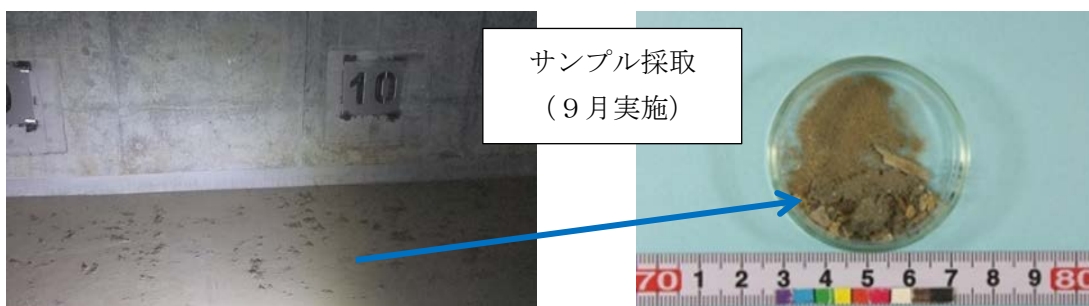


図-2 下部プレナム部床面の観察結果



(結露有：8月)



(結露無：6月)

図-3 下部プレナム部床面の状態

## ② 支柱の観察

下部プレナム部内に設置されている支柱について、ガラス固化体の冷却空気の流入箇所である下部プレナム部床面から下部プレナム形成板までの間（1500mm）を対象としている。

また、支柱の高さは約2800mmであり、途中、下部プレナム形成板を貫通し、上端は支持架構と接続されている。下部プレナム形成板貫通部は、溶接処理されており、下部プレナム形成板から支持架構へ冷却空気が流入しない構造となっている。（図-4 参照）

下部プレナム部支柱全20本を観察した結果、以下の状態を確認した。（図-5 参照）（添付資料-1 参照）

- ・支柱の基部（8本）に茶褐色の変色部を確認
- ・茶褐色の変色部上側が白色に変色していることを確認
- ・支柱の側面（19本）に茶褐色の変色部を確認した。冷却空気出口（風下）、水下の方が変色していることを確認

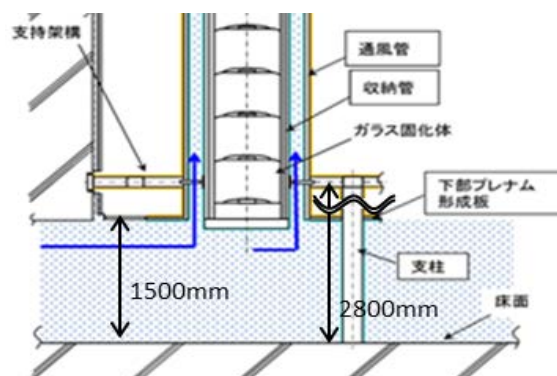


図-4 支柱の構造

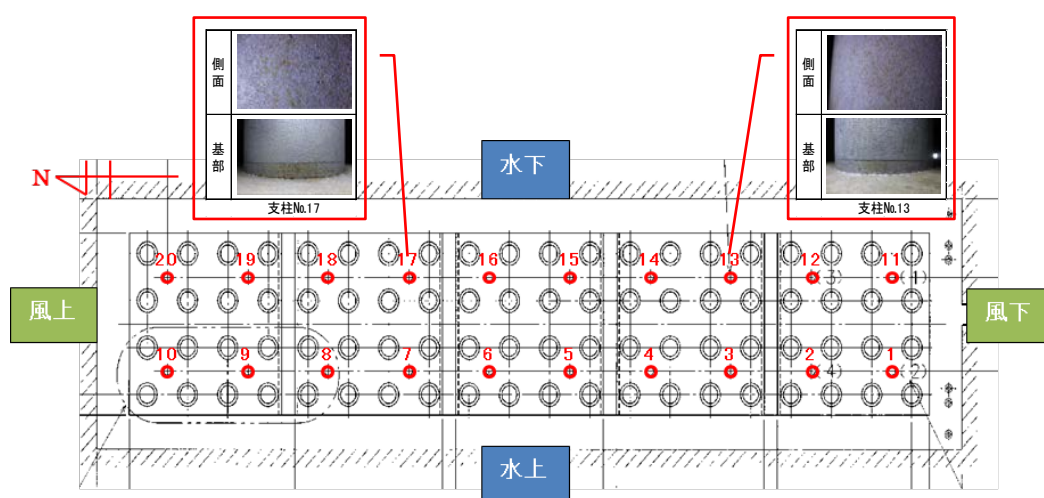


図-5 支柱の観察結果

③ 通風管内面、収納管側面等の観察

通風管内面（全80本）、収納管底面および側面（全80本）を観察した結果、以下の状態を確認した。（図-6、7 参照）（添付資料-2 参照）

- ・通風管内面下端の一部（67本）の表面に変色部を確認
- ・収納管底面の一部（9本）の表面に変色部を確認

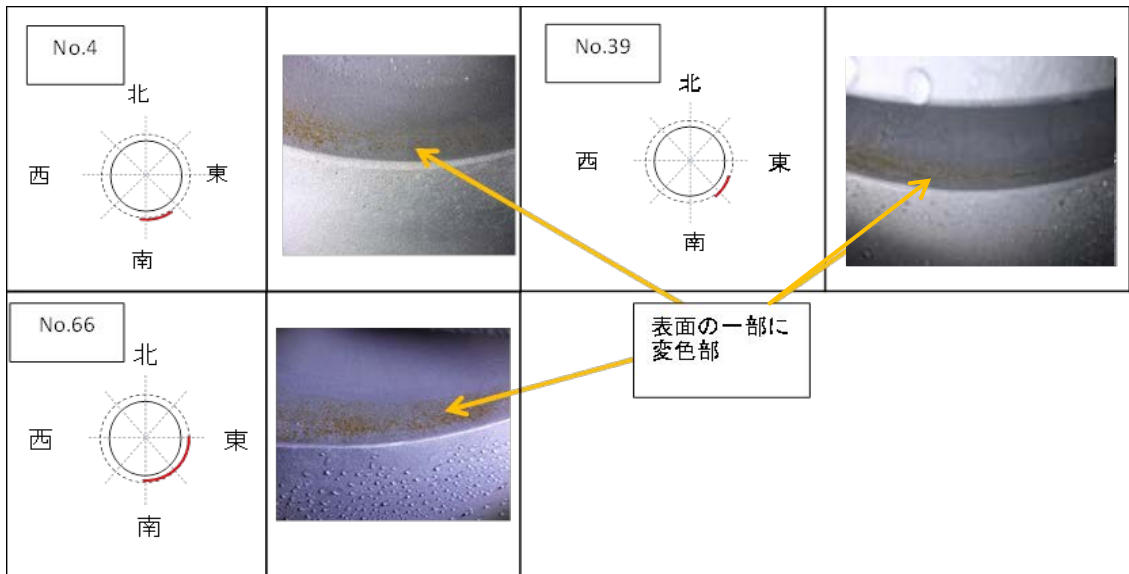


図-6 通風管内面、収納管底面等の観察結果

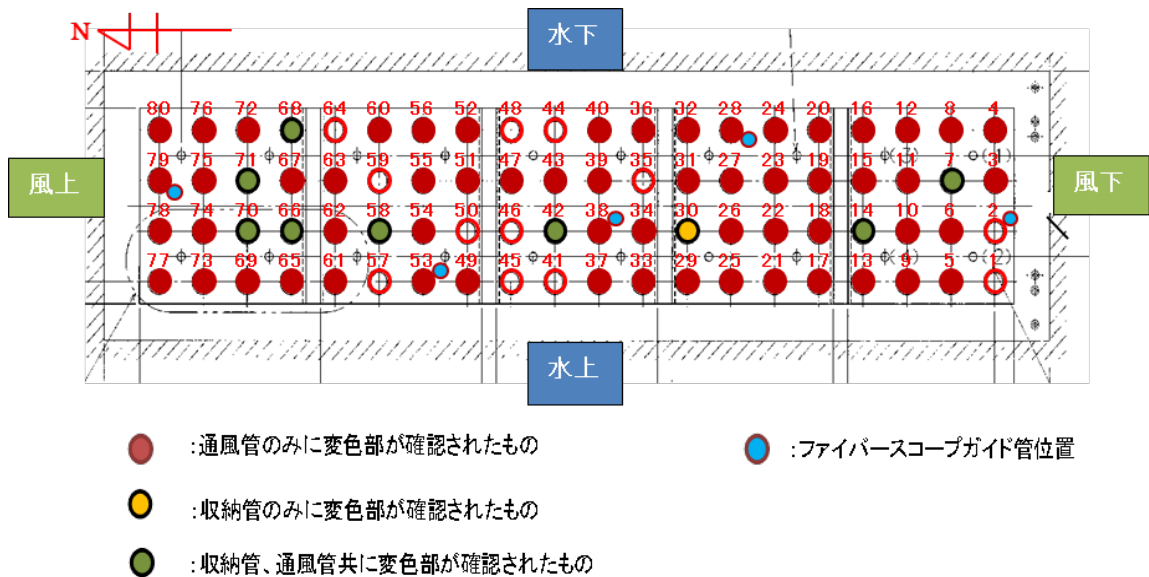


図-7 通風管内面、収納管底面等の変色状況



#### ④ 下部プレナム形成板の観察

下部プレナム形成板を観察した結果、以下の状態を確認した。

(図-8 参照) (添付資料-3 参照)

- ・下部プレナム形成板の一部（2 1箇所）の表面に茶褐色の変色部を確認

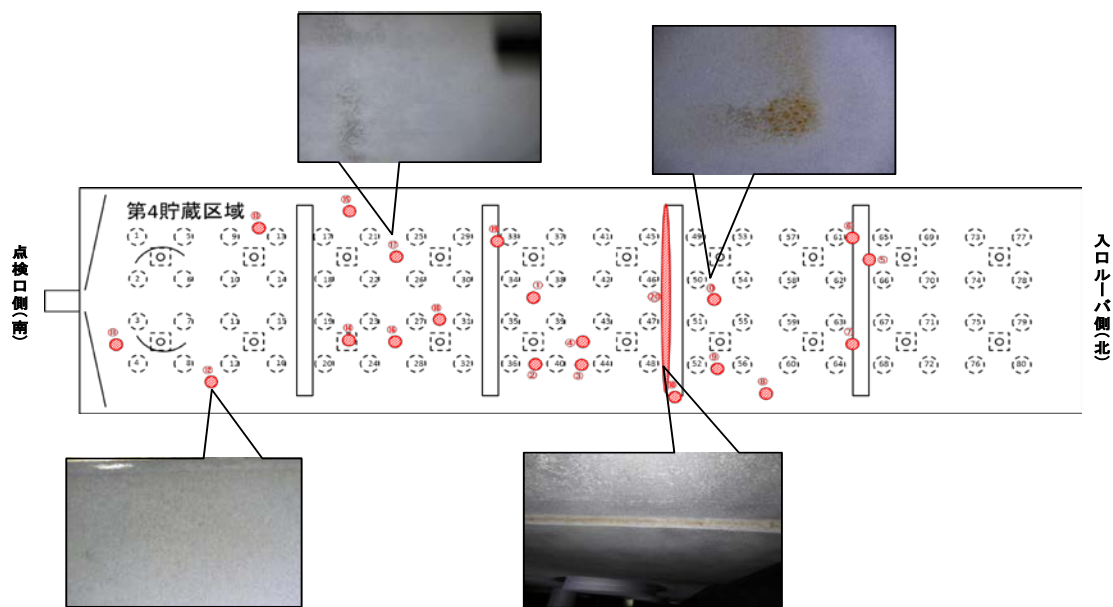


図-8 下部プレナム形成板の観察結果

### ⑤ 入口ルーバの観察

冷却空気入口シャフトから流入する空気の下部プレナム部への取り込み口に入口ルーバが設置されており、その材質は、ステンレス鋼（SUS316L）である。（図-9 参照）

入口ルーバを観察した結果、以下の状態を確認した。（図-10 参照）（添付資料-4 参照）

- ・冷却空気の流路を閉塞するような異物がないことを確認
- ・入口ルーバ表面に茶褐色の変色部があることを確認

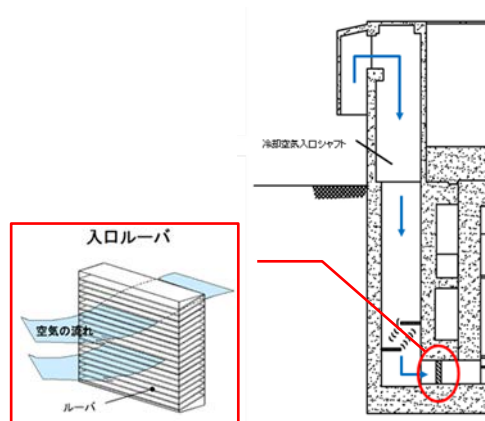


図-9 入口ルーバ設置位置概要図

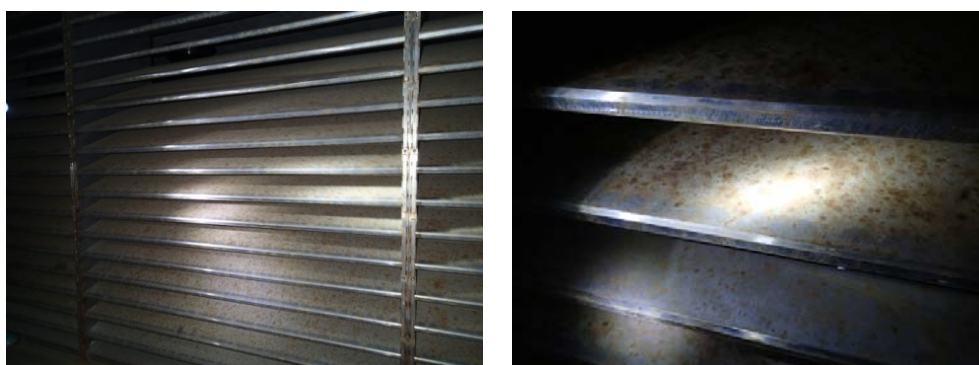


図-10 入口ルーバの観察結果

## (2) ファイバースコープによる外観観察

### ① 円環流路上部からの観察

円環流路上部（点検口全5箇所）からファイバースコープを用いて観察した結果、以下の状態を確認した。（図-11 参照）

- ・円環流路下方のみに結露を確認
- ・冷却空気の流路を閉塞するような異物がないことを確認
- ・茶褐色等の変色部がないことを確認

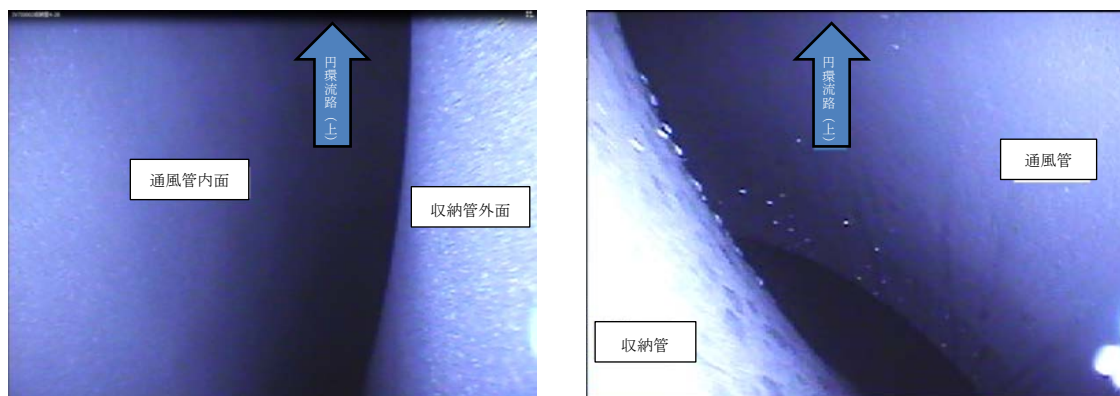


図-11 第4貯蔵区域の上部からのファイバースコープによる観察結果（収納管No. 28）

### ② 円環流路下部からの観察

円環流路下部（全80本、通風管下端から高さ1500mmまで）からファイバースコープを用いて観察した結果、以下の状態を確認した。

- ・一部の円環流路下部において、結露を確認
- ・冷却空気の流路を閉塞するような異物がないことを確認
- ・茶褐色等の変色部がないことを確認

（添付資料-5、図-12 参照）

スペーサ高さ (約1500mm)	高さ約1000mm	高さ約500mm	入口部 (約100mm)

図-12 第4貯蔵区域の下部からのファイバースコープによる観察結果（収納管No. 1/東面）

### ③ 出口ルーバの観察

点検口からファイバースコープを用いて観察した結果、以下の状態を確認した。

- ・ ステンレス製のルーバ板の金属光沢を確認
- ・ 冷却空気の流路を閉塞するような異物がないことを確認
- ・ 茶褐色等の変色部がないことを確認

(図-13 参照)

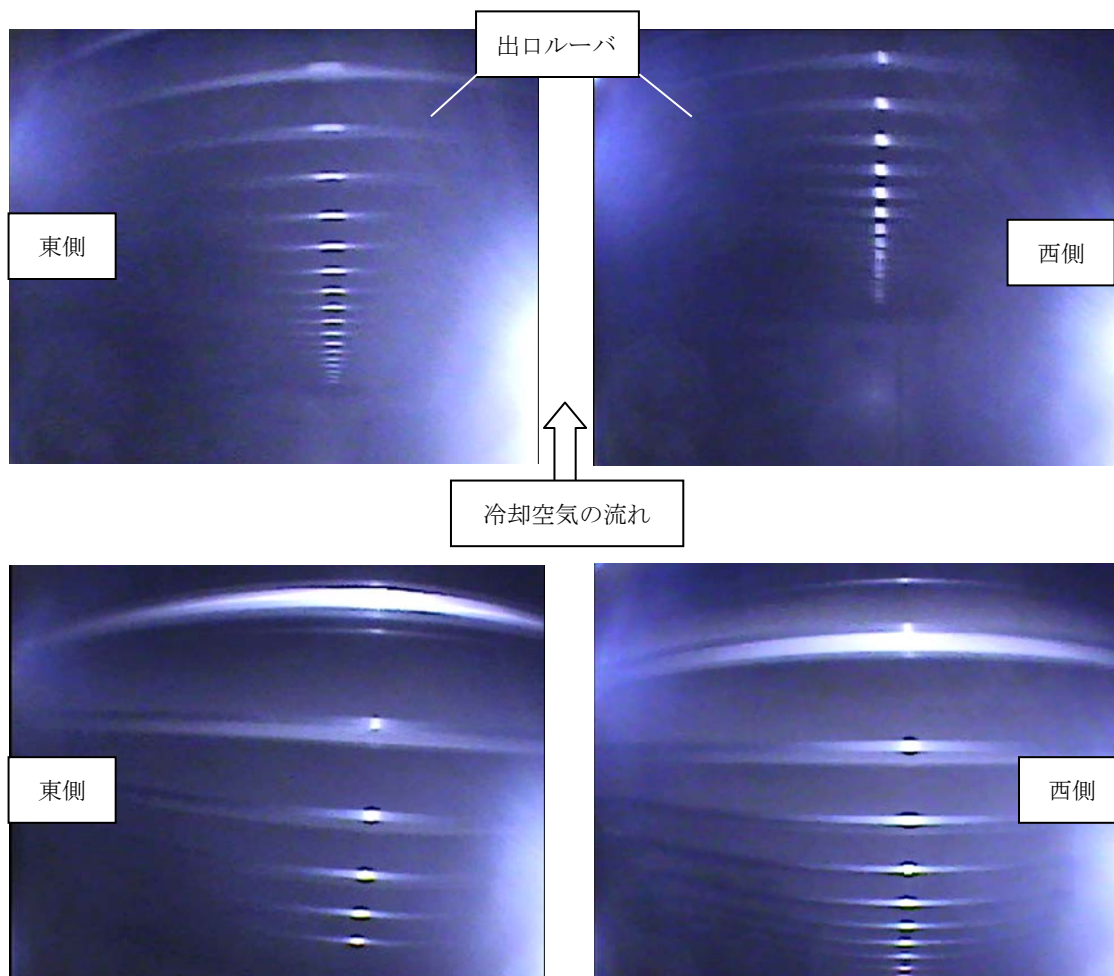


図-13 出口ルーバのファイバースコープによる観察結果

### (3) アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定

下部プレナム部の各部位において、溶射したアルミニウム皮膜の膜厚を測定した結果、建設当時の管理値※以上であることを確認した。

各部位における測定箇所を表-2、図-14、測定結果について以降に示す。

なお、アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定は、「溶射皮膜の厚さ試験方法」(JIS H 8401:1999)で定める以下の磁力式試験方法に基づき実施した。(表-3 参照)

※建設当時の管理値：製作および施工時の膜厚検査の判定基準

表-2 アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定箇所

測定部位	測定箇所数	測定位置
① 下部プレナム形成板	5ブロック (全 280 箇所) ブロック間接合板 4 枚 (全 20 箇所)	JIS に基づく 56 点/ブロック JIS に基づく 5 点/枚
② 通風管内面	80 本分	底面より 75mm 北部 1 点
③ 収納管底面		中心部 1 点
③' 収納管側面		底面より 70mm 南西部 1 点
④ 支柱側面	20 本分	底面より 1200mm 東西南北 各部 1 点
④' 支柱基部		底面より 10mm 東西南北 各部 1 点

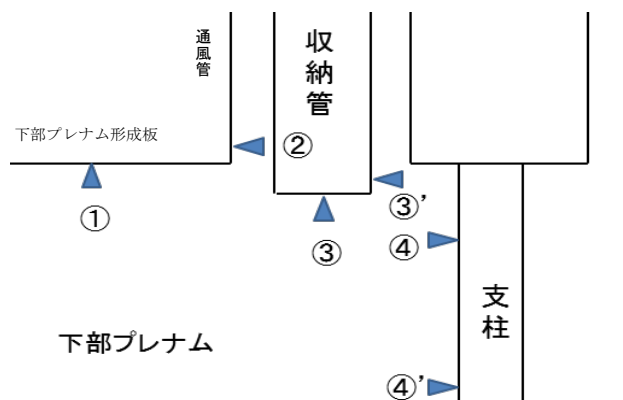


図-14 アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定箇所

表-3 溶射皮膜の厚さ試験方法(JIS H 8401:1999)

項目	内容	今回計測への適用
装置の調整	<ul style="list-style-type: none"> <li>厚さ試験に先立って装置の調整を行う</li> <li>調整で使用する標準板は表示厚さに対する誤差が2%以内のものを用いる。</li> <li>調整は標準板の厚さの5%以内に測定できるように行う</li> </ul>	測定器は左記にて校正しているものを使用
操作	<ul style="list-style-type: none"> <li>検出器は溶射皮膜に垂直にあてる</li> <li>強く当て過ぎると溶射皮膜にへこみが生じ、また軽く当て過ぎると溶射皮膜とが、密着せず、正しい値とならないので注意する</li> </ul>	左記のように注意して測定を実施
測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>同一箇所について3個以上行い、測定値の平均値をその箇所の溶射皮膜の厚さとする。</li> </ul>	同一箇所を3回以上測定し平均値を採用
測定箇所	<ul style="list-style-type: none"> <li>製品の有効面の面積が1㎡を超えるときは1/3㎡について1箇所以上の割合で測定を行う。</li> <li>それぞれの箇所の溶射皮膜の厚さの平均値を製品の溶射皮膜の厚さとする。</li> </ul>	1/3㎡について1箇所以上の割合で測定

### ① 下部プレナム形成板

下部プレナム形成板のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定を実施し、建設当時の管理値以上であることを確認した。（図-15、16 参照）

測定の結果、建設当時の測定結果に比べ、多少厚くなる傾向が見られた。各測定箇所においても同様の傾向を示している。

この傾向の理由は、アルミニウム溶射後に膜厚測定を行い、その後封孔処理を行っている。このため、今回の測定では、封孔処理剤分の膜厚が増加しているものと考えられる。封孔処理剤は、アルミニウム溶射皮膜に浸透するため、一定の膜厚増加とはならず、約20～40 $\mu\text{m}$ 程度増加するものと考えられる。

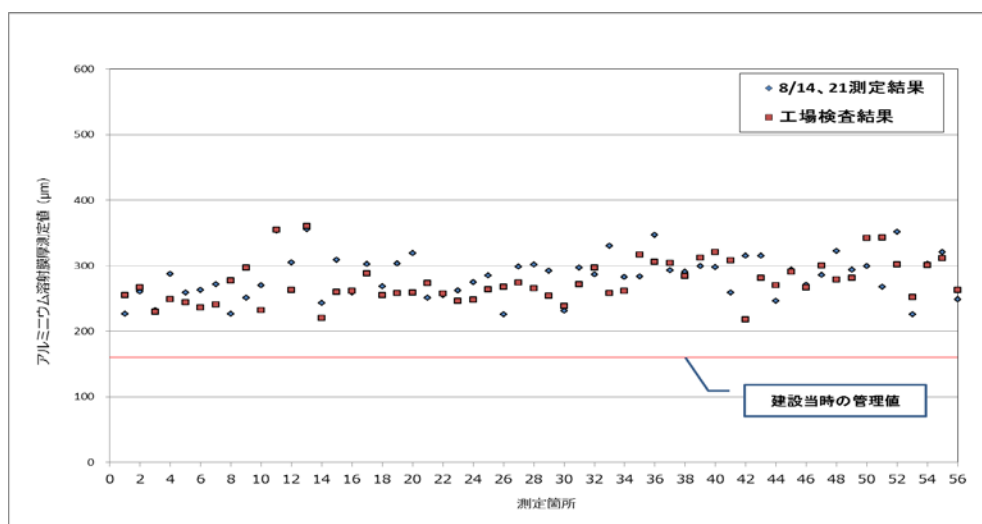


図-15 下部プレナム形成板（Aブロック）のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定結果

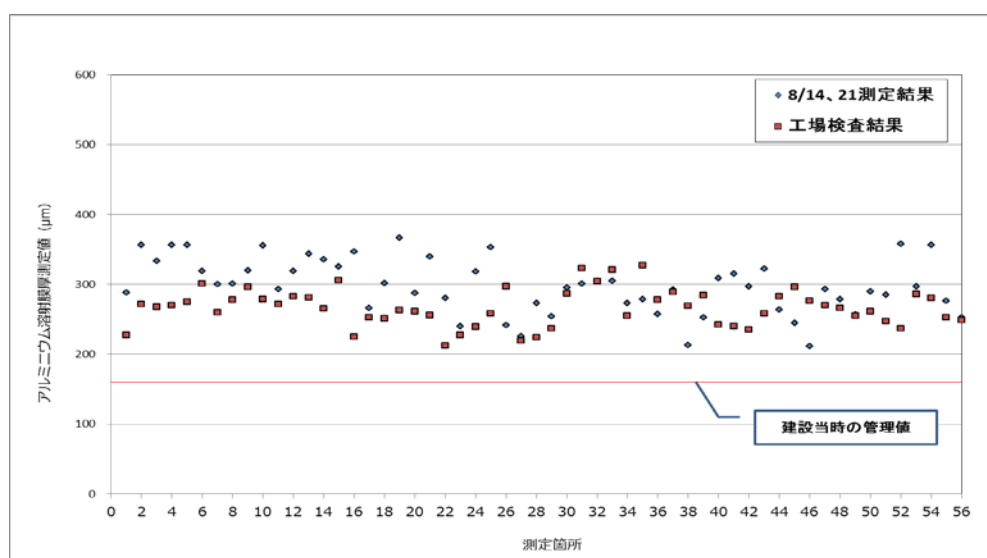


図-16 下部プレナム形成板（Bブロック）のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定結果

※下部プレナム形成板については、上記の他にC～Eブロックおよびブロック間接合板の測定を行っており、同様に建設当時の管理値以上であることを確認した。

## ② 通風管内面

通風管内面（全80本）のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定を実施し、建設当時の管理値以上であることを確認した。（図-17 参照）

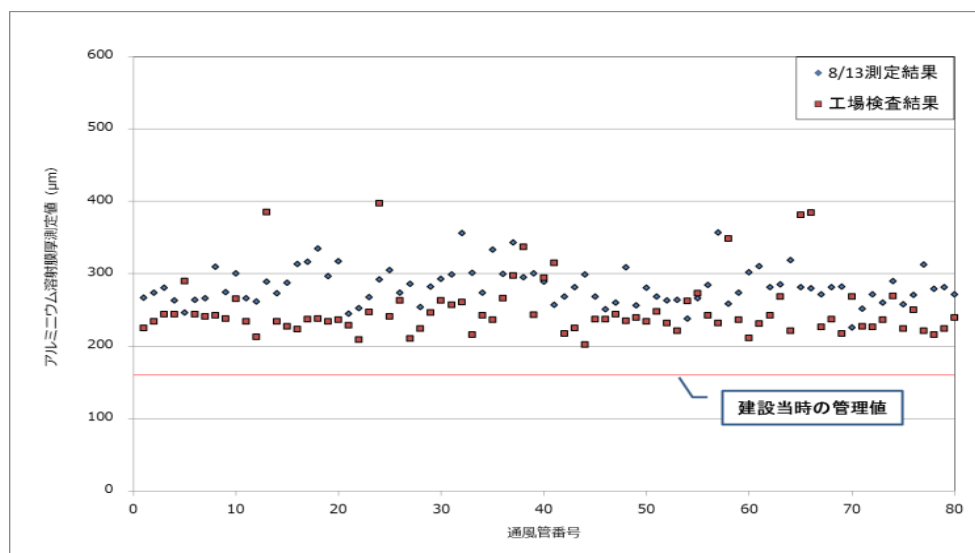


図-17 通風管内面のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定結果



③ 収納管底面および側面

収納管底面および側面（全80本）のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定を実施し、建設当時の管理値以上であることを確認した。（図-18、19 参照）

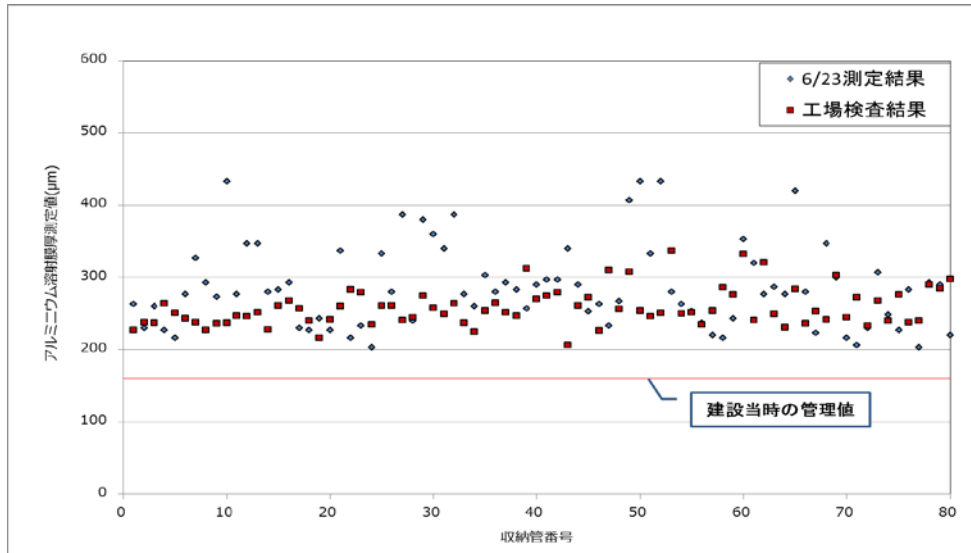


図-18 収納管底面のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定結果

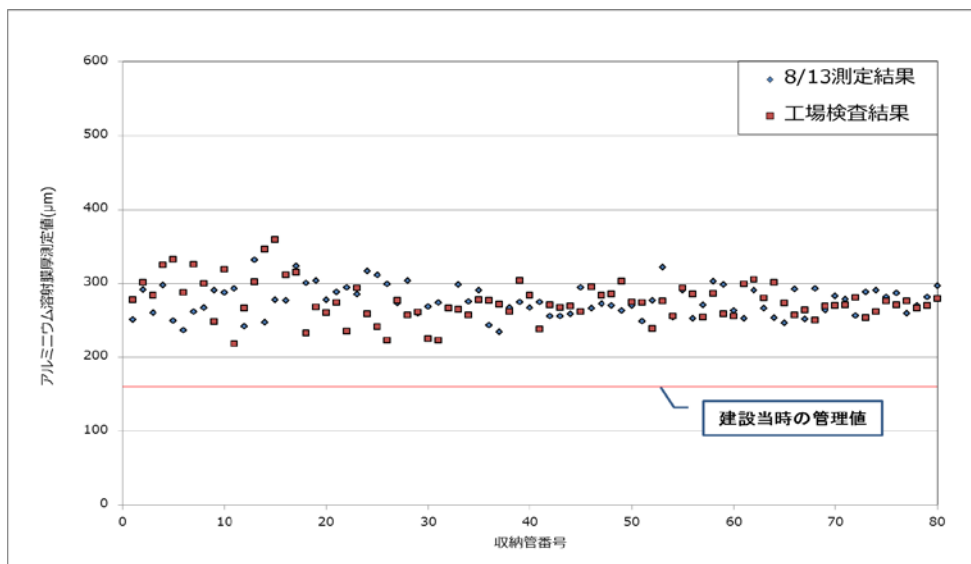


図-19 収納管側面のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定結果



④ 支柱

支柱（全20本）のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定を実施し、建設当時の管理値以上であることを確認した。（図-20、21 参照）

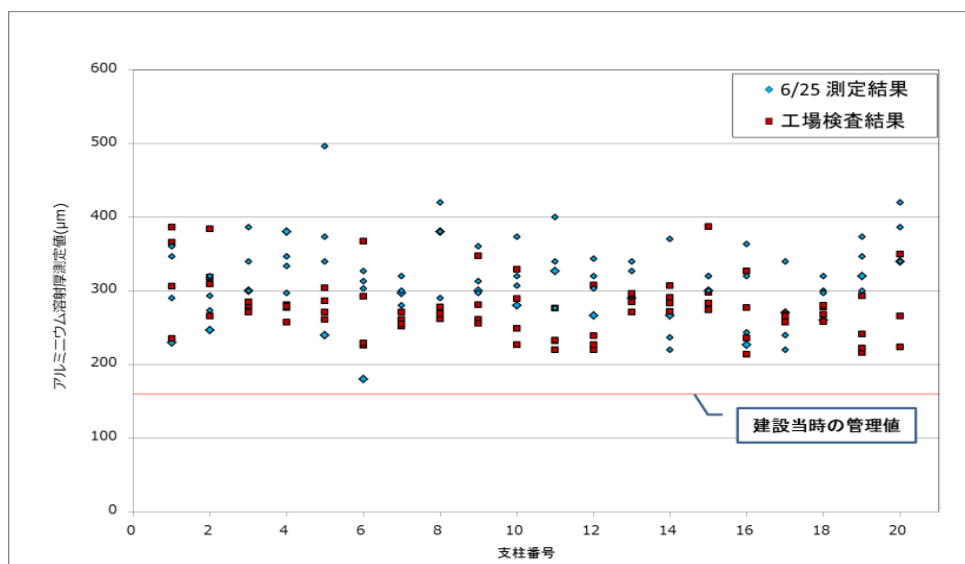


図-20 支柱（底面より1200mm）のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定結果

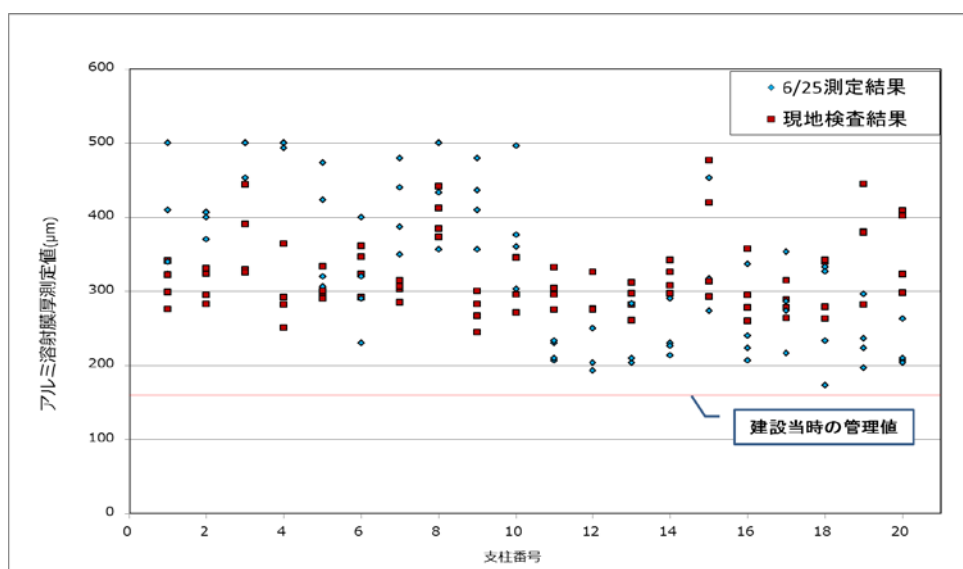
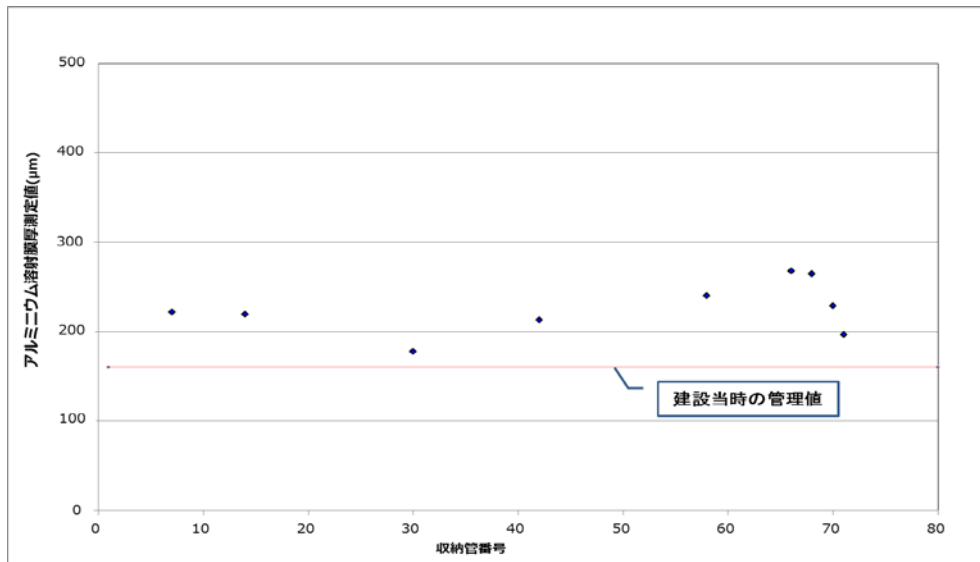


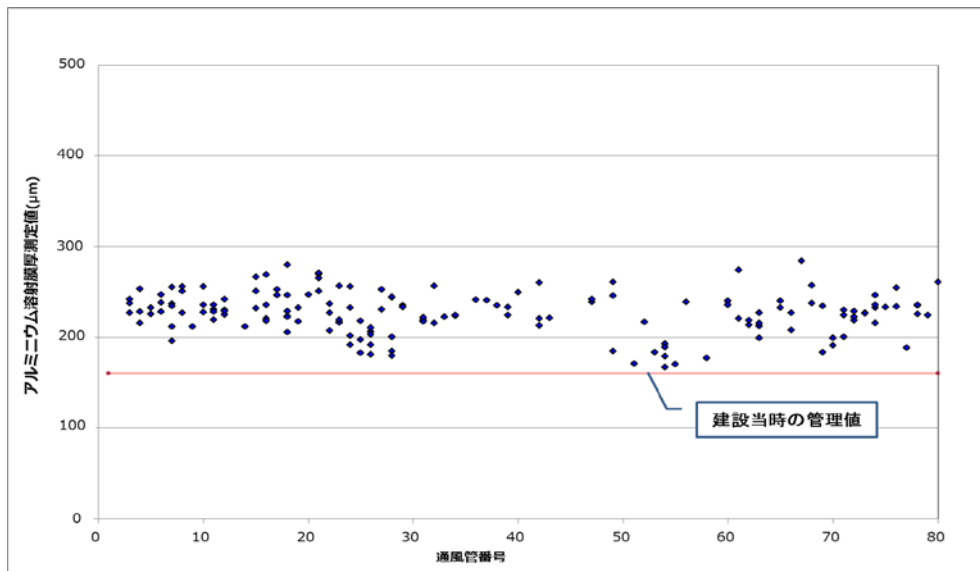
図-21 支柱（底面より10mm）のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定結果

⑤ 変色部

目視確認にて収納管底面の一部（9本）および通風管内面下端の一部（67本）の表面に変色部を確認している。これらの変色部について、アルミニウム溶射皮膜の膜厚測定を実施し、建設当時の管理値以上であることを確認した。（図－22、23 参照）



図－22 収納管 変色部のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定結果



図－23 通風管 変色部のアルミニウム溶射皮膜の膜厚測定結果

#### (4) 母材の肉厚測定

下部プレナム部の各部位において、母材の肉厚測定を実施し、計画値以上であることを確認した。各部位における測定箇所を表-4、図-24に示す。

各部位における確認結果を以下に示す。

表-4 母材の肉厚測定箇所

測定部位	測定箇所数	測定位置
① 下部プレナム形成板	1ブロック1箇所	中心部1点
② 通風管内面	80本分	底面より50mm北部1点
③ 収納管底面		中心部1点
③' 収納管側面		底面より70mm南西部1点
④ 支柱側面	20本分	底面より1200mm東西南北各部1点
④' 支柱基部		底面より10mm東西南北各部1点

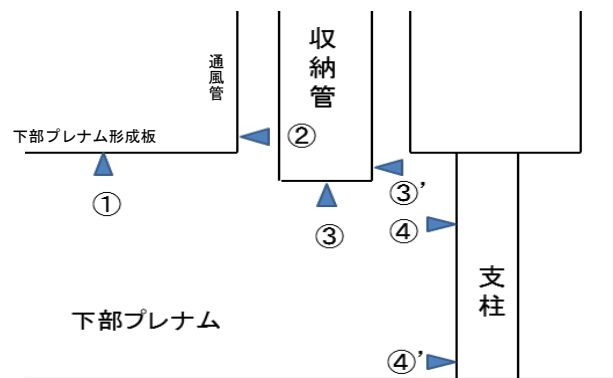


図-24 母材の肉厚測定箇所

#### ① 下部プレナム形成板

下部プレナム形成板について、母材の肉厚測定を実施し、計画値以上であることを確認した。(図-25 参照)

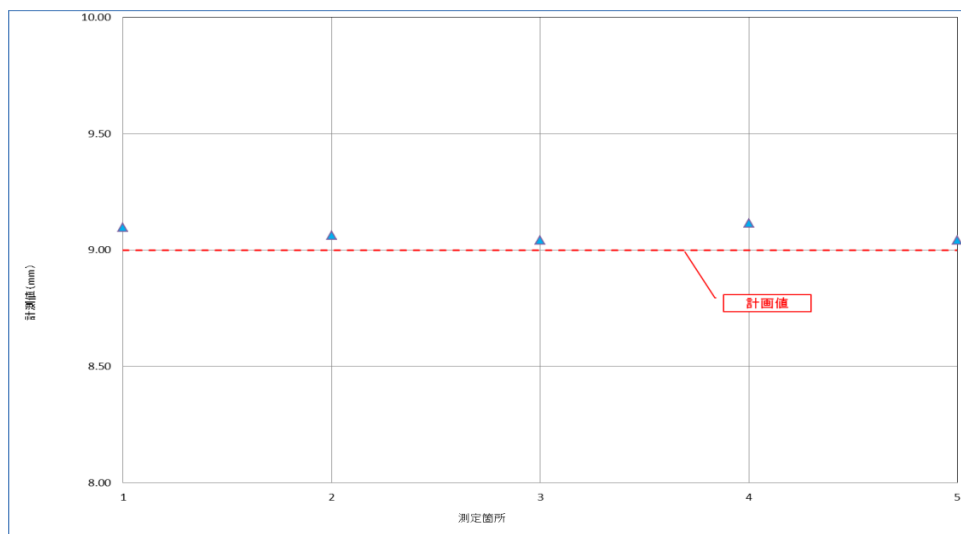
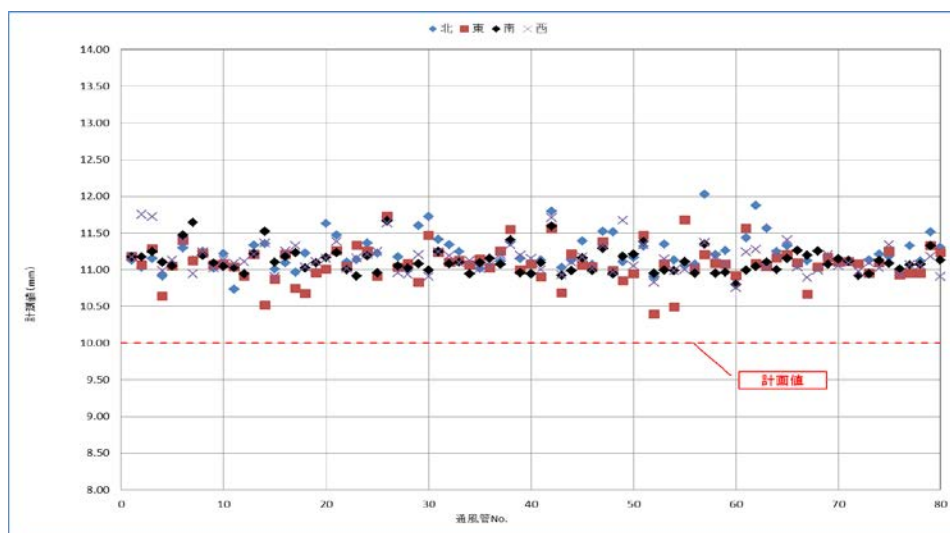


図-25 下部プレナム形成板の肉厚測定結果

## ② 通風管内面

通風管内面（80本）について、母材の肉厚測定を実施し、計画値以上であることを確認した。（図－26 参照）



図－26 通風管内面の肉厚測定結果（底面から50mm）

### ③ 収納管底面および側面

収納管底面および側面（80本）について、母材の肉厚測定を実施し、計画値以上であることを確認した。（図-27、28 参照）

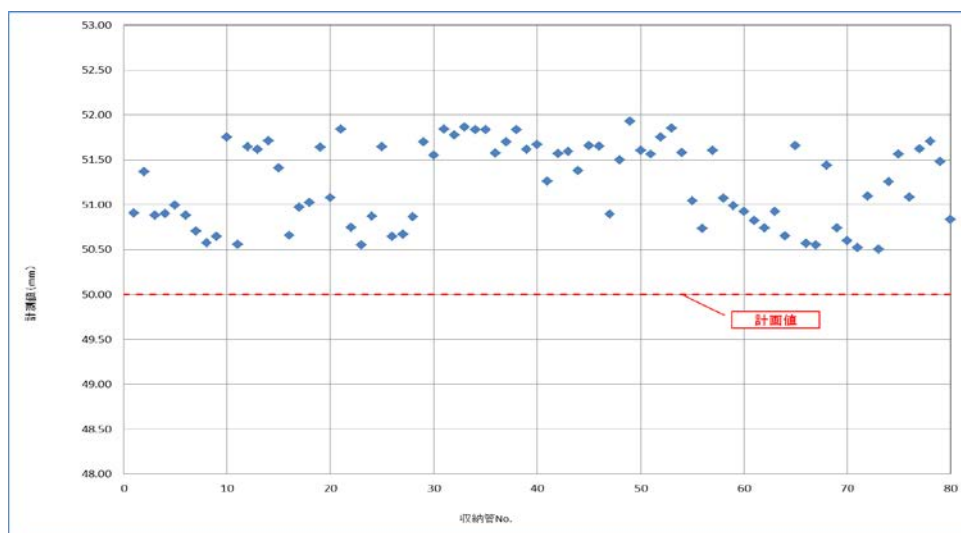


図-27 収納管底面の肉厚測定結果

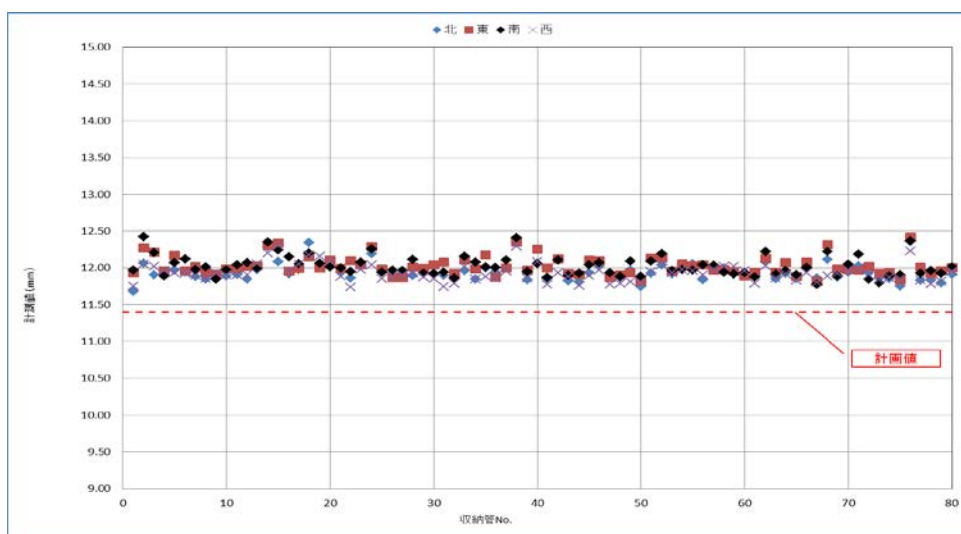


図-28 収納管側面の肉厚測定結果（底面から70mm）

④ 支柱

支柱（20本）について、母材の肉厚測定を実施し、計画値以上であることを確認した。（図-29、30 参照）

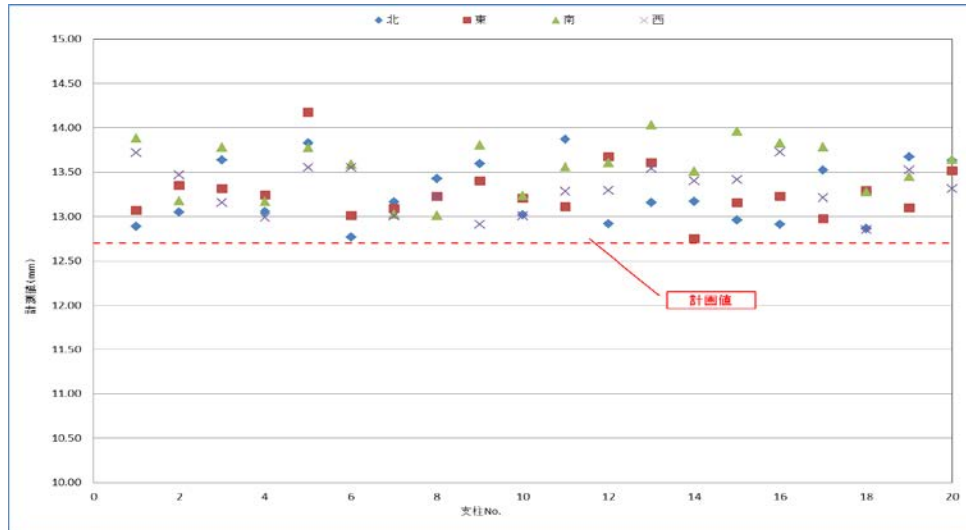


図-29 支柱（底面より1200mm位置）の肉厚測定結果

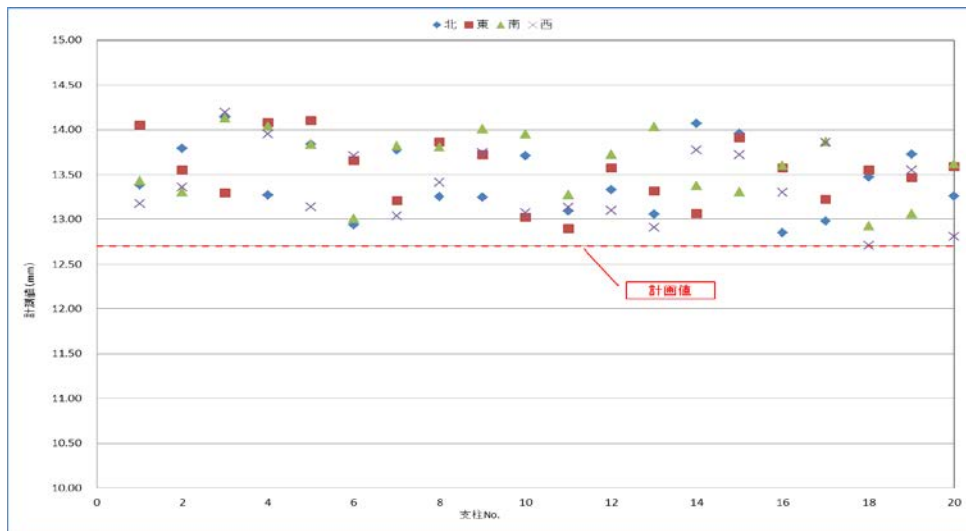
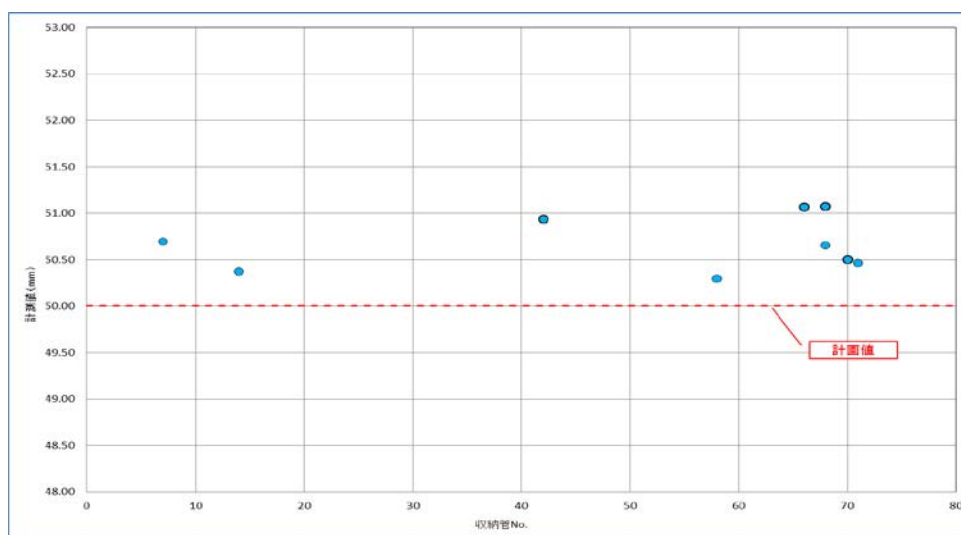


図-30 支柱（底面より10mm位置）の肉厚測定結果

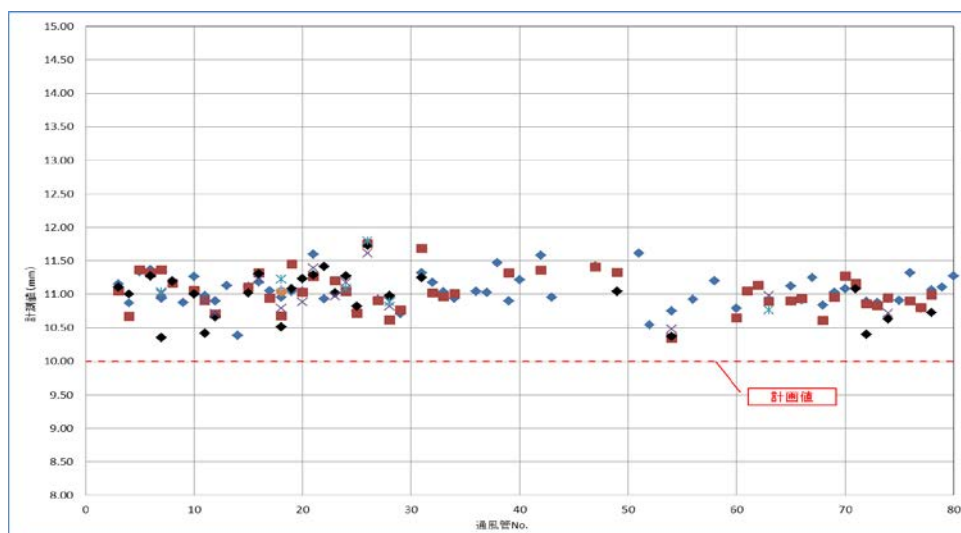
⑤ 変色部

目視確認にて収納管底面の一部（9本）および通風管内面下端の一部（67本）の表面に変色部を確認している。

これらの変色部について、母材の肉厚測定を実施し、計画値以上であることを確認した。（図－3 1、3 2 参照）



図－3 1 収納管底面変色部の肉厚測定結果



図－3 2 通風管内面変色部の肉厚測定結果

## 4. 2 変色部等の発生原因に係る調査

下部プレナム部（支柱、収納管底面、通風管内面等）における変色部等の外観観察、サンプル採取による元素分析等を行った結果、酸化鉄（錆）およびアルミニウム（以下、「A 1」という。）化合物を確認した。

また、断面観察を行った結果、A 1化合物の上部に酸化鉄（錆）が付着していたこと、および洗浄液による除去確認の結果、一部点状の変色部以外は除去できたことから、変色部は母材由来のものではなく、外部から飛来した付着物（鉄さび）である可能性が高いと考えている。

### (1) サンプル採取・分析

#### ① 支柱基部（変色部）の分析結果

N o. 6 および N o. 1 9 支柱基部の変色部について、サンプルを採取し、元素分析を行った。（図-33、34 表-5、6 参照）

その結果、以下に示すことが確認された。

- ・銀光沢部は、金属A 1が主成分で、酸化鉄（錆）が存在すること。
- ・白色物は、A 1化合物であること。
- ・暗褐色部は、A 1化合物が主成分で、酸化鉄（錆）が存在すること。
- ・茶色部は、酸化鉄（錆）が主成分で、A 1化合物が存在すること。

なお、図-33に見られる白色部（A 1化合物）は、A 1水酸化物に代表される白さびと推定される。下部プレナム部床面で結露水が長期に滞留することにより、A 1が水酸化物として析出したものと考えられる。

また、全体的にケイ素（以下、「S i」という。）、硫黄（以下、「S」という。）、カルシウム（以下、「C a」という。）が検出された。

N o. 1 9 支柱基部の変色部について、両面テープでサンプル採取し、断面観察を行った。（図-35 参照）

その結果、以下に示すことが確認された。

- ・銀光沢部は金属A 1、茶色部は酸化鉄（錆）が主体であり、テープ側（大気側）から酸化鉄（錆）、金属A 1の順に付着していることから、本サンプリングで採取した錆は、母材由来のものではなく、外部から持ち込まれた付着物（鉄さび）であると推定される。



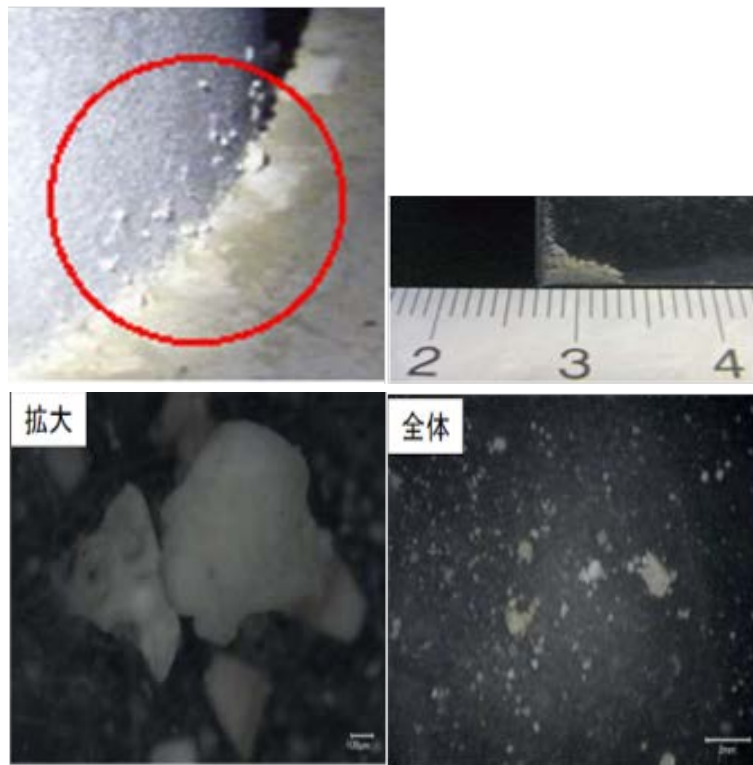


図-3-3 変色部のサンプル外観 (No. 6 支柱基部)

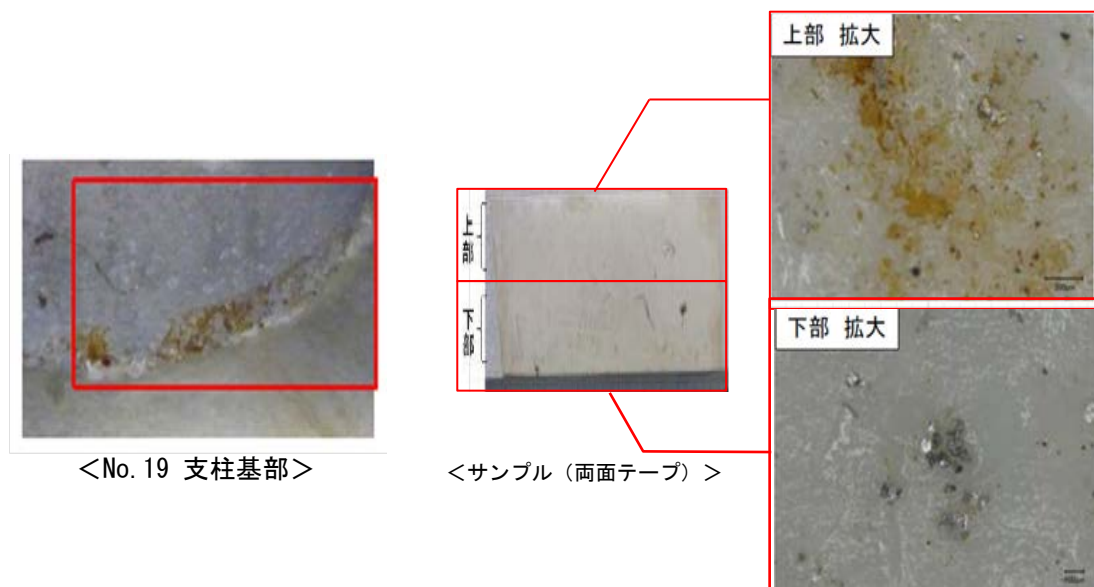


図-3-4 変色部のサンプル外観 (No. 19 支柱基部)

表-5 変色部サンプルの分析結果 (No. 6 支柱基部)

サンプル名称 (採取部位)		元素濃度 (重量%)								
		O	Na	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	Zn
No. 6 支柱基部	半透明部	68.37	1.7	22.4	5.36	0.82	0.45	0.9	—	—
	白色部	63.46	1.43	24.17	4.42	1.27	0.86	0.66	—	3.74

表-6 変色部サンプルの分析結果 (No. 19 支柱基部)

サンプル名称 (採取部位)		元素濃度 (重量%)								
		O	Na	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	Zn
No. 19 支柱基部	銀光沢部	17.57	—	64.98	3.18	1.25	0.66	0.34	12.02	—
	暗褐色部	52.45	—	23.42	1.82	5.63	0.64	0.28	15.76	—
	茶色部 1	43.24	—	13.93	1.52	2.91	0.67	0.38	37.36	—
	茶色部 2	39.23	—	9.22	1.55	1.67	0.5	0.36	47.47	—

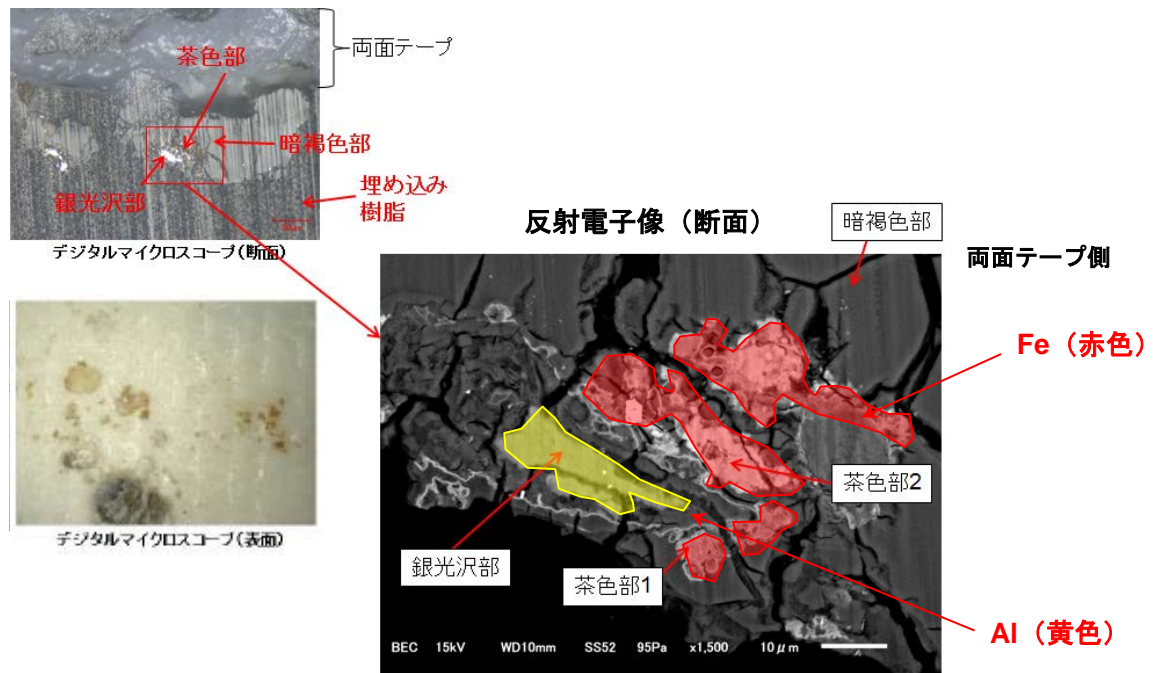


図-35 変色部のサンプル外観および断面観察 (No. 19 支柱基部)

## ② 通風管内面下部（変色部）の分析結果

№. 42 通風管内面下部の変色部について、サンプルを採取し、元素分析を行った。（図-36、表-7 参照）

その結果、以下に示すことが確認された。

- ・茶色部は、酸化鉄（錆）が主成分でAl化合物が存在すること。
- ・白色部および光沢部は、Al化合物であること。

また、全体的にナトリウム（以下、「Na」という。）、Si、S、Caが検出された。海塩粒子（Na、Ca、等）、砂塵（Na、Ca、S、Si等）、燃料成分（S）およびコンクリート成分（Ca、S等）などと考えられる。

№. 42 通風管内面下部の変色部について、両面テープでサンプル採取し、断面観察を行った。（図-37 参照）

その結果、以下に示すことが確認された。

- ・光沢部はAl化合物、茶色部は酸化鉄（錆）が主体であり、テープ側（大気側）から酸化鉄（錆）、Al化合物の順に付着していた。このことから、本サンプリングで採取した錆は、母材由来のものではなく、外部から持ち込まれた付着物（鉄さび）であると推定される。

過去に実施された琉球大学での暴露試験等の結果より、アルミニウム溶射皮膜は、密度低下などを伴うものの、100~300 $\mu\text{m}$ のアルミニウム溶射皮膜の膜厚が局所的に損なわれ、母材である鉄が露出して腐食するような事例はないことから、上記推定は妥当であると考えられる。

№. 18および№. 33 通風管内面下部の変色部について、サンプルを採取し、元素分析を行った。（表-8 参照）

その結果、以下が確認された。

- ・光沢部は、Al化合物が主成分で酸化鉄（錆）が存在すること。
- ・茶色部は、酸化鉄（錆）が主成分でAl化合物が存在すること。

№. 18および№. 33 通風管内面下部の変色部について、両面テープでサンプル採取し、断面観察を行った。（図-38、39 参照）

その結果、以下に示すことが確認された。

- ・光沢部はAl化合物、茶色部は酸化鉄（錆）が主体であり、テープ側（大気側）から酸化鉄（錆）、Al化合物の順に付着していることから、本サンプリングで採取した錆は、母材由来のものではなく、外部から持ち込まれた付着物（鉄さび）であると推定される。



<No. 42 通風管内面 (変色部)>

<サンプル (両面テープ)>

図-36 変色部のサンプル外観 (No. 42 通風管)

表-7 変色部サンプルの分析結果 (No. 42 通風管)

サンプル名称 (採取部位)		元素濃度 (重量%)								
		O	Na	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	Zn
No. 42 通風管	茶色部	39.07	0.63	13.43	2.49	0.55	—	1.29	38.73	3.81
	茶色部 (薄)	41.83	—	27.26	1.56	1.01	—	4.08	24.26	—
	白色部	60.49	—	30.76	0.95	1.97	—	2.35	3.48	—
	光沢部	18.14	0.43	60.78	6.29	—	—	2.23	6.74	3.39
	光沢部	25.13	0.97	41.95	9.88	—	—	2.73	8.16	8.08

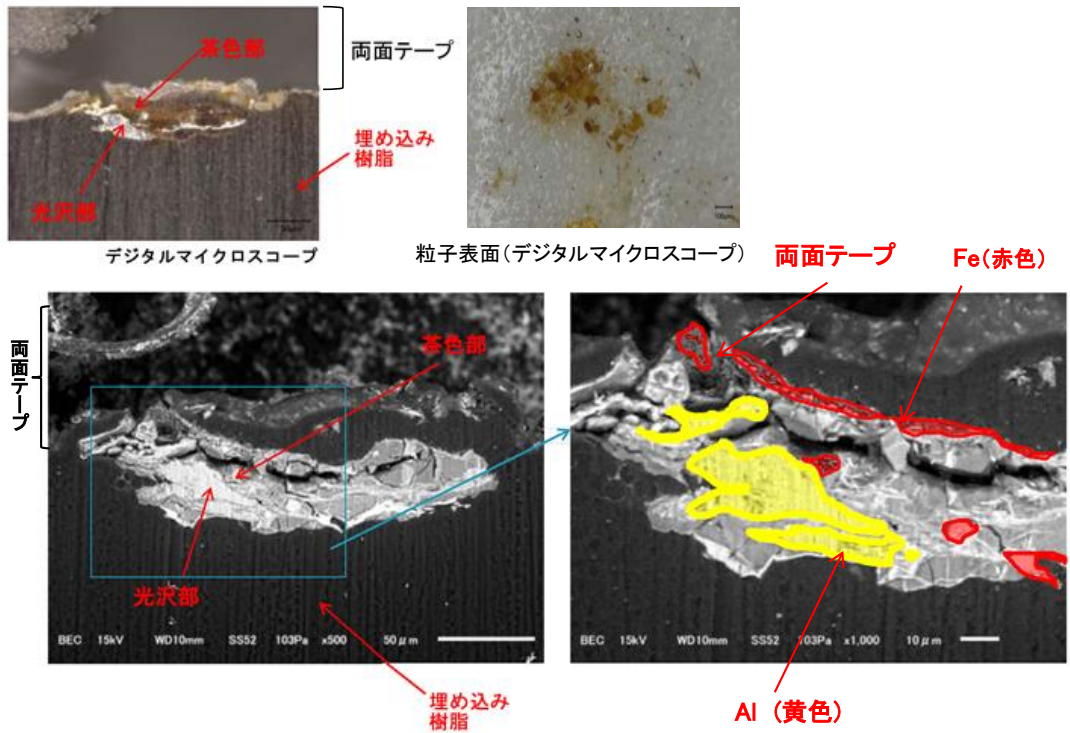


図-37 変色部のサンプル断面観察 (No. 42 通風管)

表-8 変色部サンプルの分析結果 (No. 18 および No. 33 通風管内面下部)

サンプル名称 (採取部位)		元素濃度 (重量%)								
		O	Na	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	Zn
No. 18 通風管	光沢部	13.85	—	64.85	2.94	—	0.45	—	14.33	—
	茶色部	38.38	—	14.21	0.24	1.02	0.46	—	45.69	—
No. 33 通風管	光沢部	39.5	—	25.41	3.75	—	1.05	—	27.52	2.79
	茶色部	30.07	—	18.39	1.42	—	0.81	—	43.34	5.96

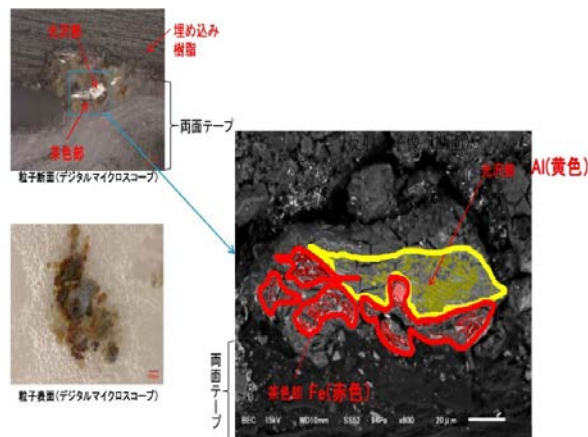


図-38 変色部のサンプル外観および断面観察 (No. 18 通風管)

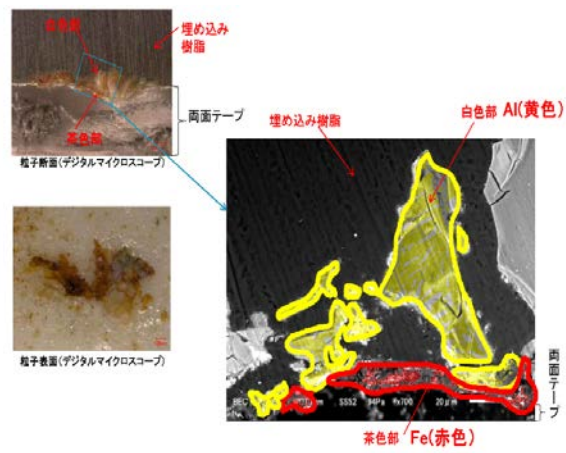


図-39 変色部のサンプル外観および断面観察 (No. 33 通風管)



### ③ 収納管底面（変色部）の分析結果

No. 66 収納管底面の変色部について、サンプルを採取し、元素分析を行った。（表－9、10 参照）

その結果、以下が確認された。

- ・茶色部および暗褐色部は、酸化鉄（錆）が主成分でAl化合物が存在すること。
- ・銀光沢部は、金属Alが主成分であること。

また、全体的にSiが検出され、暗褐色部および茶色部ではCa、亜鉛（以下、「Zn」という。）が検出された。

No. 66 収納管底面の変色部について、両面テープでサンプルを採取し、断面観察を行った。（図－40、41 参照）

その結果、以下が確認された。

- ・銀光沢部は金属Al、茶色部は酸化鉄（錆）が主体であり、テープ側（大気側）から酸化鉄（錆）、Al化合物の順に付着していることから、本サンプリングで採取した錆は、母材由来のものではなく、外部から持ち込まれた付着物（鉄さび）であると推定される。

表－9 変色部サンプルの分析結果（No. 66 収納管 断面1）

サンプル名称 (採取部位)		元素濃度 (重量%)								
		O	Na	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	Zn
No. 66 収納管 断面 1	茶色部	29.97	—	11.24	1.98	—	1.13	1.5	51.62	2.55
	暗褐色部	27.94	—	3.08	2.45	—	0.61	0.93	61.13	3.69
	銀光沢部	9.07	—	70.43	0.62	—	0.52	—	19.36	—

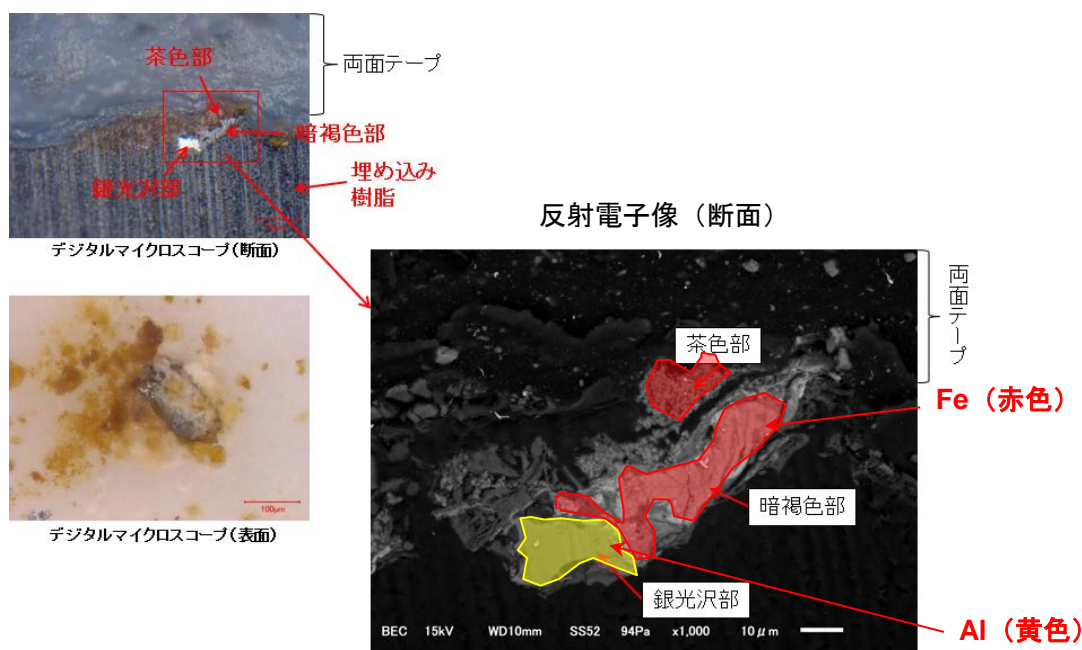


図-40 変色部のサンプル外観および断面観察 (No. 66 収納管 断面1)

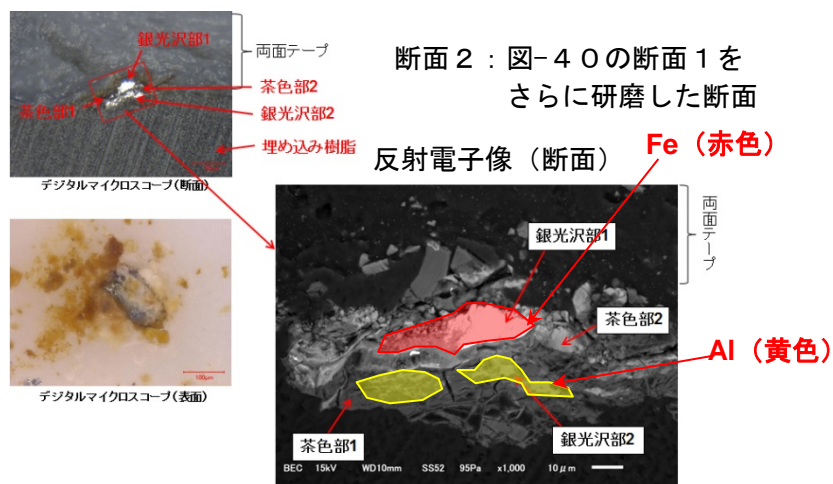


図-41 変色部のサンプル外観および断面観察 (No. 66 収納管 断面2)

表-10 変色部サンプルの分析結果 (No. 66 収納管 断面2)

サンプル名称 (採取部位)		元素濃度 (重量%)								
		O	Na	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	Zn
No. 66 収納管 断面2	銀光沢部 1*	5.83	—	2.71	0.57	—	0.45	0.55	89.88	—
	銀光沢部 2	14.83	—	61.85	2.51	—	0.51	0.49	19.18	0.63
	茶色部 1	45.21	—	25.77	1.75	—	0.86	1.1	24.63	—
	茶色部 2	32.03	—	6.48	2.88	—	0.65	1.12	52.52	4.32

\*銀光沢部1は、Feを多く含み銀光沢をもつことからサンプルを貼付した台座の母材由来のFeと推定される。



#### ④ 支柱（変色部）の凹凸評価

母材由来の錆が発生する場合、まずアルミニウム溶射皮膜の減損が進展して母材が暴露され、暴露した母材が腐食により錆となり体積膨張するものと考えられる。

アルミニウム溶射皮膜に凹凸があるのは、表面仕上げ（ブラスト処理）と封孔処理を行うためであるが、母材が曝露した状態では、アルミニウム溶射皮膜が完全に減損することから、 $160\mu\text{m}$ 以上（建設当時の管理値）の大きな凹状態になると考えられる。一方、錆によって膨れ上がった場合は、大きく凸状態になると考えられる。例えば、鉄が $1\text{mm}$ 腐食すると $2.3\text{mm}$ に膨張するとの報告がある。

したがって、茶褐色部と周辺の健全部との表面段差を測定し、凹凸に有意な差がない場合は、アルミニウム溶射皮膜表面のみが変色しているものと考えられ、付着物（鉄さび）や鉄イオン浸み出しの可能性が高いと判断できる（図-4-2 参照）。

そのため、当該部の形状確認を目的に、茶褐色部と周辺部を再現精度の高い歯科用レプリカ採取用樹脂で型取りし、レプリカ表面の凹凸を3次元計測装置にて測定した（図-4-3 参照）。

3次元測定の結果、以下の理由によりアルミニウム溶射皮膜の完全な減損、もしくは母材由来の錆による大きな凹凸はないと判断した。

- ・茶褐色の変色のある支柱とない支柱で、凹凸測定結果に優位な差がない（表-11、参考図2 参照）。
- ・レプリカ表面において3次元測定値が細かく上下に分布しており、茶褐色部全体が膨れ上がっていることを示す形状は観察されていない（参考図1 参照）。

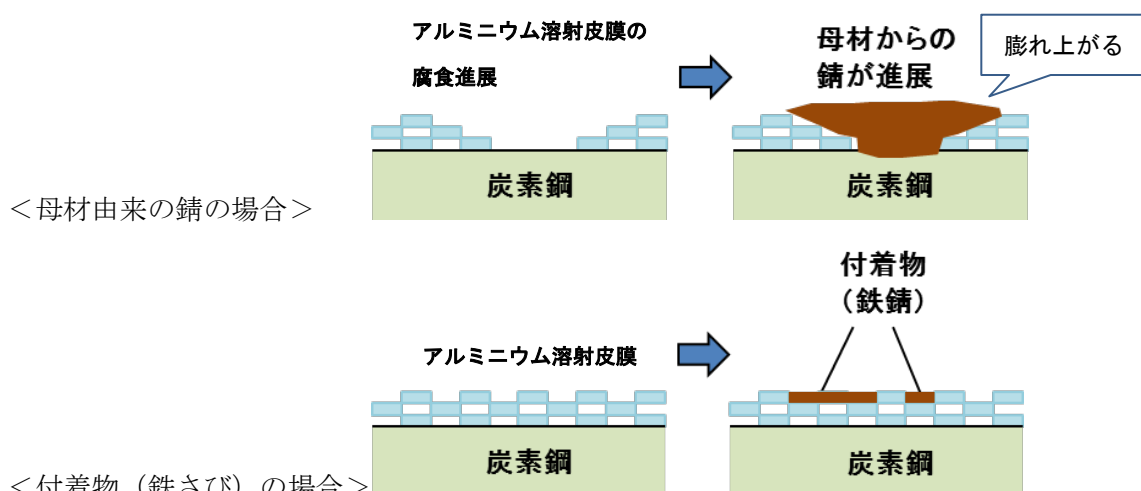


図-4-2 茶褐色部の発生概念図



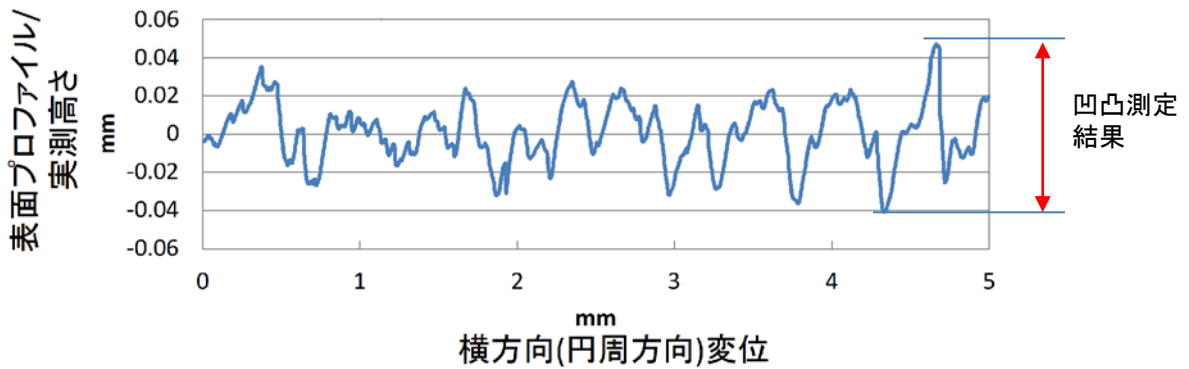
図-4 3 レプリカ採取用樹脂による型取り

表-1 1 レプリカの凹凸の3次元計測装置による凹凸測定結果

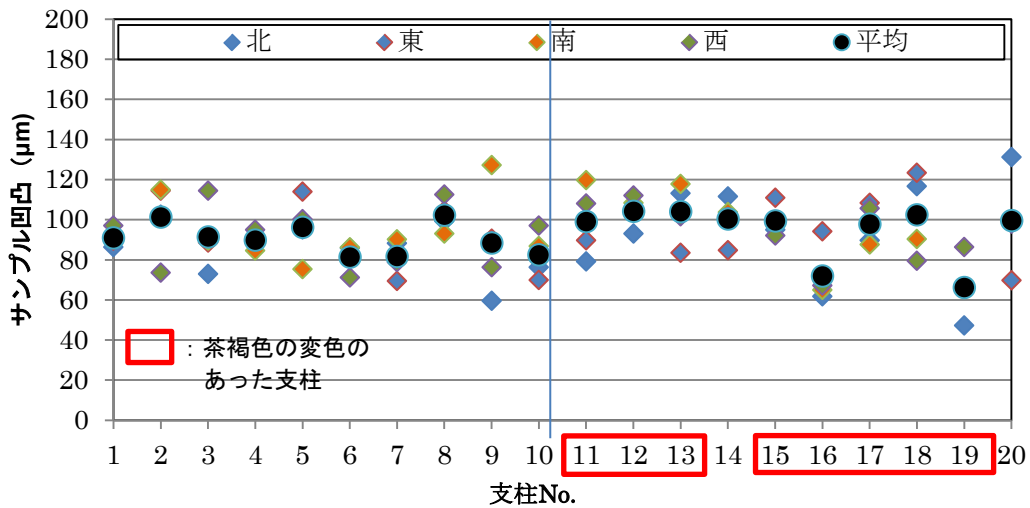
単位：μm

支柱 方向		支柱No.										平均
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
位置	北	86.3	102.4	72.9	87.9	95.1	85.7	88.1	99.2	59.5	76.2	85.3
	東	89.5	114.3	88.4	91.5	113.8	82.5	69.3	104.3	90.4	69.8	91.4
	南	90.9	114.8	89.5	84.5	75.3	86.1	90.1	93.0	127.1	86.7	93.8
	西	97.0	73.4	114.4	94.8	100.1	71.0	78.8	112.4	76.2	97.0	91.5
平均		90.9	101.2	91.3	89.7	96.1	81.3	81.6	102.2	88.3	82.4	90.5

支柱 方向		支柱No. (赤字が変色部のある支柱)										平均
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
位置	北	79.1	93.0	113.0	111.4	94.9	61.7	89.6	116.6	47.1	131.1	93.7
	東	98.6	103.4	83.4	84.7	110.9	94.1	108.3	123.3	65.6	69.6	94.2
	南	119.6	108.2	117.7	103.6	99.7	64.9	87.5	90.2	65.4	99.2	95.6
	西	107.9	112.0	101.6	101.2	92.0	67.1	105.5	79.3	86.2	97.9	95.1
平均		101.3	104.2	103.9	100.2	99.4	72.0	97.7	102.4	66.1	99.4	94.7



(参考図1) レプリカ凹凸測定サンプル例



(参考図2) 凹凸のバラツキ：茶褐色の変色有無に優位な差異はない

(2) 洗浄による変色等の状態確認

第4貯蔵区域の通風管等に確認された付着物について、除去効果およびアルミニウム溶射皮膜への影響を考慮し、中性タイプ洗浄液を使用し、付着物に洗浄液を直接塗布し、布でふき取ることにより、付着物の除去状態を確認した。

洗浄の結果、一部点状に残るものの変色部は、除去されたことを確認した。付着物除去前後で、同一箇所アルミニウム溶射皮膜の膜厚を測定し、前後で膜厚に変わりが無いことを確認した。(表-12参照)

洗浄液による洗浄で、一部点状に残った変色部以外は除去できたため、変色部は付着物である可能性が高い。(図-44、45参照)

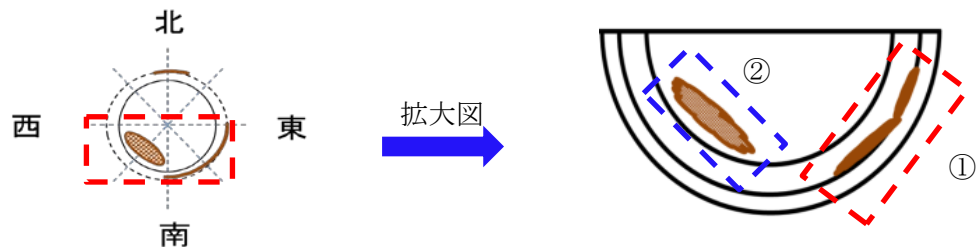
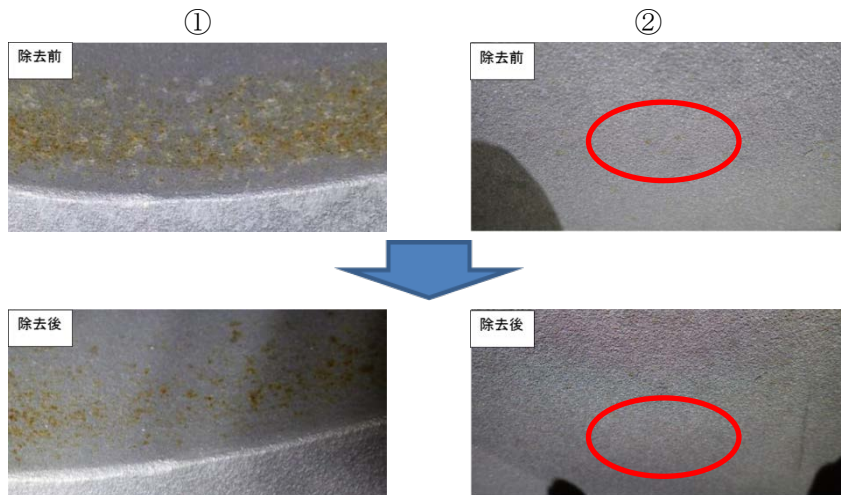


図-44 第4貯蔵区域の通風管等に確認された変色部の状態



<No. 66 通風管内面 変色部> <No. 66 収納管底面 変色部>

図-45 洗浄による変色等の除去状態

表-12 洗浄前後でのアルミニウム溶射の膜厚測定結果

該当箇所	付着物除去前 膜厚測定結果 ( $\mu\text{m}$ )	付着物除去後 膜厚測定結果 ( $\mu\text{m}$ )	備考
No. 66 通風管内面	200	200	3回の平均値
No. 66 収納管底面	260	260	3回の平均値

### (3) 外部からの飛散物に係る調査

付着物の発生由来を調査するため、第4貯蔵区域に空気が流入する経路の入口ルーバ、下部プレナム部床面のサンプルを採取し分析した。また、建屋外の大気浮遊塵、他建屋の給気フィルタのサンプルを採取し、分析中である。

入口ルーバおよび下部プレナム部床面のサンプルの分析結果を以下に示す。

#### ① 入口ルーバの分析結果

第4貯蔵区域の入口ルーバ表面に確認された変色部について、サンプルを採取し、元素分析を行った。(表-13 参照)

その結果、以下に示すことが確認された。

- ・主要な成分として酸化鉄および鉱物由来の酸素(以下、「O」という。)、鉄(以下、「Fe」という。)、Si、Alが検出された。

また、その他の成分として、海塩粒子(Na、Ca、Cl等)、SUS由来の元素(クロム(以下、「Cr」という。)、ニッケル(以下、「Ni」という。))、燃料成分(S)およびコンクリート成分(Ca、S等)などが検出された。

表-13 変色部サンプルの分析結果(入口ルーバ)

サンプル名称 (採取部位)		元素濃度(重量%)										
		O	Na	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	Zn	Cr	Ni
冷却空気入口ルーバ	サンプル①	50.84	0.58	7.89	13.68	0.40	0.16	0.66	19.64	-	1.21	0.91
	サンプル②	76.41	0.32	3.30	6.53	0.60	0.14	0.71	8.11	-	1.40	1.17

#### ② 下部プレナム部床面の分析結果

下部プレナム部床について、500mm×500mmの範囲をガーゼで拭き取ることにより採取し、堆積物の分析を行った。(表-14、図-46 参照)

その結果、Fe成分が確認された。Feは下部プレナム部の風向き中央(図-46 G9~G12)に多く体積する傾向が見られた。また、Cr、NiのFeに対する質量比を確認しており、Feの存在と同じように多い傾向があった。

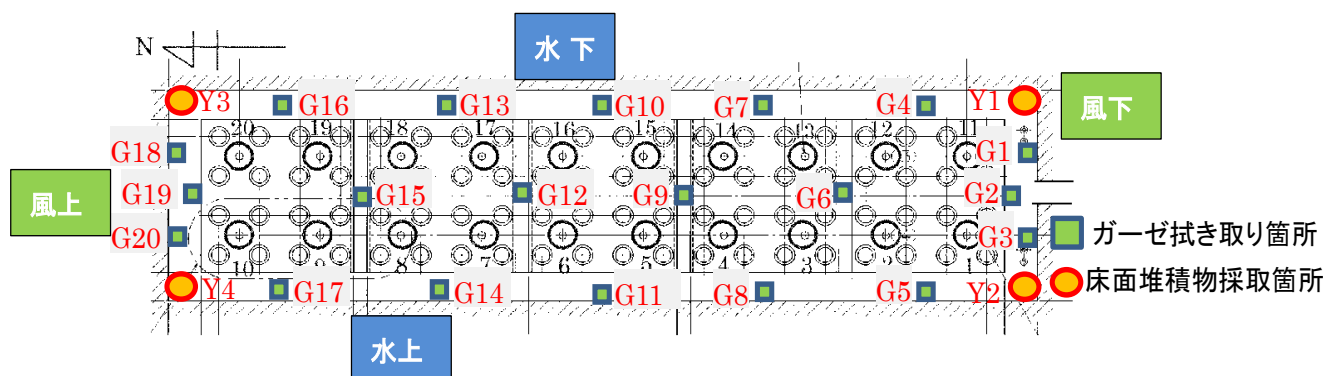


図-46 第4貯蔵区域 下部プレナムサンプル採取箇所

表-14 拭き取りサンプルの分析結果（下部プレナム部床）

採取場所	Fe	Cr	Ni	採取場所	Fe	Cr	Ni
G1	35mg (100%)	2mg (7%)	2mg (5%)	G11	96mg (100%)	8mg (24%)	5mg (15%)
G2	5mg (100%)	0mg (1%)	0mg (1%)	G12	63mg (100%)	5mg (13%)	3mg (8%)
G3	48mg (100%)	3mg (10%)	2mg (6%)	G13	65mg (100%)	4mg (12%)	3mg (8%)
G4	33mg (100%)	2mg (7%)	1mg (4%)	G14	54mg (100%)	4mg (12%)	3mg (8%)
G5	51mg (100%)	4mg (12%)	3mg (7%)	G15	26mg (100%)	2mg (5%)	1mg (3%)
G6	38mg (100%)	3mg (8%)	2mg (5%)	G16	28mg (100%)	2mg (5%)	1mg (3%)
G7	82mg (100%)	5mg (16%)	3mg (10%)	G17	22mg (100%)	1mg (4%)	1mg (3%)
G8	63mg (100%)	5mg (14%)	3mg (9%)	G18	27mg (100%)	1mg (4%)	1mg (2%)
G9	51mg (100%)	4mg (11%)	2mg (7%)	G19	24mg (100%)	1mg (4%)	1mg (3%)
G10	80mg (100%)	5mg (15%)	3mg (9%)	G20	24mg (100%)	1mg (4%)	1mg (2%)

（表中、カッコ内はFeを100%とした場合の質量比を示す。）

今後、定期的に屋外の試料採取を行うとともに、その時期の廃棄物管理施設周辺の風向を調査し、飛来してくる方向の評価を行う。

また、飛来方向と分析結果等をもとに付着物の発生元を評価する。

評価から発生元が特定できた場合は、発生量を低減する等の検討を行う。飛来物の発生を防止することは困難な場合には、発生元の評価結果をもとに、飛来物があることを前提にした長期健全性評価を行う。

## 5. 第4貯蔵区域で確認された変色部に対する評価等

### 5. 1 変色に対する評価

第4貯蔵区域で確認された変色部が発生する要因を検討した。(添付資料-6 参照)

要因分析図に示すように、施工方法の不備や施工作業中の損傷以外では、変色部が発生する要因としては、付着物(鉄さび)、鉄イオンの浸み出し、母材の錆(孔食)および母材の錆(全面腐食)が考えられる。

それぞれの発生要因は、以下のとおりである。

- ・付着物(鉄さび)：アルミニウム溶射皮膜の上に外部から飛来した鉄さびもしくは鉄粉が付着
- ・鉄イオン浸み出し：アルミニウム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、アルミニウム溶射皮膜表面で酸化鉄(錆)として析出
- ・母材の錆(孔食)：アルミニウム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
- ・母材の錆(全面腐食)：アルミニウム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

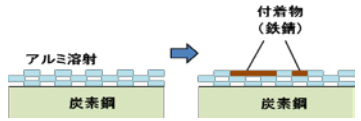
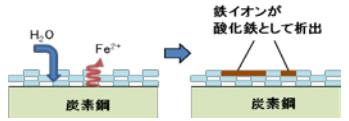
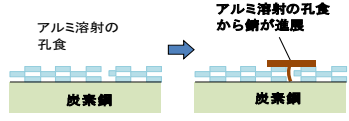
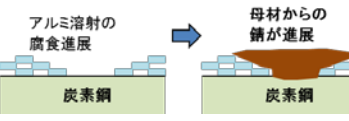
上述した変色が発生する要因に対し、調査結果等に基づき確認した変色部に対する評価を行った。

調査で得られた変色部の以下の特徴から、変色部は、「鉄イオンの浸み出し」による可能性は完全には否定できないが、「付着物(鉄さび)」の可能性が高いと判断した。(表-15 参照)

- ・外観：アルミニウム溶射皮膜に茶褐色の変色部を確認
- ・化学組成：酸化鉄(錆)およびA1化合物を確認。また、断面観察でA1化合物の上に酸化鉄(錆)が確認された。
- ・表面の凹凸：変色部表面に大きな凹凸がないことを確認。
- ・アルミニウム溶射皮膜の厚さ：変色部においても、アルミニウム溶射皮膜の膜厚が建設当時の管理値以上であることを確認。
- ・表面洗浄の効果：表面洗浄によって、一部点状に残るものの変色部が除去できた。

但し、「付着物(鉄さび)」および「鉄イオンの浸み出し」のいずれの要因でも、現在の調査結果から通風管、収納管の機能に影響を及ぼすものではないと評価できる。

表一 15 「調査で得られた変色部の特徴」と「想定される変色部の特徴」の比較

調査で得られた変色物の特徴	想定される変色部の特徴			
	付着物 (鉄さび)	鉄イオン浸み出し	母材の錆 (孔食)	母材の錆 (全面腐食)
	 <p>アルミニウム溶射皮膜の上に外部から飛来した鉄錆が付着した。</p>	 <p>アルミニウム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、アルミニウム溶射皮膜表面で酸化鉄 (錆) として析出した。</p>	 <p>アルミニウム溶射皮膜の孔食により母材が露出し、母材 (炭素鋼) の腐食生成物である錆が露出した。</p>	 <p>アルミニウム溶射皮膜の腐食の進展により母材 (炭素鋼) が露出し、母材の腐食生成物である錆が露出した。</p>
<b>【外観】</b> ①アルミニウム溶射皮膜に薄い茶褐色が点在していた	アルミニウム溶射皮膜に茶褐色の変色部が点在 (○)	アルミニウム溶射皮膜に茶褐色の変色部が点在 (○)	アルミニウム溶射皮膜に茶褐色の変色部が点在 (○)	濃い茶褐色 (×)
<b>【化学組成】</b> ②酸化鉄 (錆)、A1化合物が存在していた ③断面観察でA1化合物の上に酸化鉄 (錆) が確認された	酸化鉄 (錆)、A1化合物等 (○)	酸化鉄 (錆)、A1化合物等 (○)	酸化鉄 (錆)、A1化合物等 (○)	酸化鉄 (錆) (×)
<b>【表面凹凸】</b> ④変色部表面に大きな凹凸がない	鉄さびが表面に薄く付着しており、表面の凹凸はほとんどない (○)	鉄さび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ニウム溶射表面より凹み、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 (△)	母材上の錆の場合はアルミニウム溶射表面より凹み、腐食が進展すると母材から錆が盛上る (×)
<b>【アルミニウム溶射皮膜】</b> ⑤変色部においても、アルミニウム溶射膜が建設当時の管理値以上確保されている	アルミニウム溶射皮膜は健全な状態 (○)	アルミニウム溶射皮膜は健全な状態。但し、厚ければ浸み出さない (△) (メーカーの約12年間の暴露試験において、アルミニウム溶射皮膜が約80μm程度では浸み出しによる錆が確認されたが、約130μm以上では確認されなかったとの報告もある。160μm以上の膜厚が確認されていることと適合しない)	茶褐色部ではアルミニウム溶射皮膜は局部的に溶出 (膜としては曲がりくねりながら貫通しているが、部材としては残存) (△)	茶褐色部ではアルミニウム溶射皮膜は消失 (×)
<b>【表面洗浄の効果】</b> ⑥表面洗浄によって、完全ではないが変色部が除去できた	洗浄によって除去されると考えられるが、アルミニウム溶射皮膜の粒界に入り込んでいる付着物は除去できない場合もある (○)	洗浄によって除去される可能性がある、アルミニウム溶射皮膜に浸透している場合、除去できない場合もある (○)	洗浄によって錆を除去した場合、膜の欠陥を通して素地に至る部分が出現する (△)	洗浄によって錆を除去した場合、素地が出現する (×)
<b>【文献：琉球大学の約15年間暴露試験】</b> ⑦アルミニウム溶射皮膜は全体的に減損し、密度低下を伴うものの、下地が錆びて茶色い錆は生じていない	(○)	(○)	(×)	(×)
⑧スクラッチ試験片や5mm除去試験片を用いた場合においても、母材の腐食は抑制された実績がある	(○)	(○)	(×)	(×)
<b>評価</b>	○：外観、化学組成、表面の凹凸、アルミニウム溶射皮膜および洗浄処理の効果の観点から、付着物である可能性は高い。	△：アルミニウム溶射膜が建設当時の管理値以上あることを踏まえると要因の可能性は低い、否定できない。	×：洗浄によって変色部が除去されたこと、15年間の暴露試験結果を踏まえると要因ではないと判断される。	×：変色部においてもアルミニウム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要因ではないと判断される。
<b>健全性</b>	○：アルミニウム溶射皮膜があるため、炭素鋼に対する環境遮断効果および犠牲陽極効果が期待できる。今後、鉄さびもしくは鉄粉が飛来・付着してもアルミニウム溶射皮膜を損傷することはない。	○：アルミニウム溶射皮膜があるため、炭素鋼に対する環境遮断効果、犠牲陽極効果が期待できる。なお、変色の程度から、鉄イオンの浸み出しによる炭素鋼の減肉は無視できるレベルであると考えられる。ガラス固化体取納後は、結露水が抑制され、浸み出しは発生しない。	—	—

○：特徴が一致、△：特徴が一致とまではいかないが類似、×：特徴が不一致



## 5. 2 付着メカニズム

付着物（鉄さび）が通風管の下部に多く付着している傾向にあることから、付着メカニズムについて検討を行った。

付着物（鉄さび）が付着しやすい環境として、以下が考えられる。

- ・風の淀んでいる部位に付着物（鉄さび）が溜まり易い。
- ・付着物（鉄さび）と水分に直接的関連はないと考えられるが、水分がある部位に付着物が留まる可能性はある。

E B 2 建屋 第4貯蔵区域ではガラス固化体を収納していないことから、ガラス固化体が収納されていない条件で貯蔵ピット内の熱流動解析を実施した。

熱流動解析における熱源は、搬送室の室温であり、この熱源との関係により熱流動およびそれに伴う風の流れについて解析により確認した。

その結果、収納管／通風管からなる円環流路の入口付近の流れは、以下の特徴があり、「風の淀んでいる部位に付着物（鉄さび）が溜まり易い。」という観点で、通風管側に付着しやすい傾向であることが分かった。

- ・収納管側（円環流路の内側）：速度が速く（黄色）、水平方向の流れが小さく、上昇流が主流である。
- ・通風管側（円環流路の外側）：速度がやや遅く（黄緑～空色）、外側に向かう流れがある。

（図－47、48 参照）

また、8月は、6月の現場調査時に比べて下部プレナム部の結露が相当多いことを確認した。下部プレナム部での結露の発生は、気象条件によるものと考えている。

付着物（鉄さび）と結露に直接的関連はないと考えられるが、結露水がたまると付着物（鉄さび）が付いて留まる可能性が高いという想定で評価を行った。（図－49 参照）

評価の結果、変色部は、主に通風管内面に偏る傾向があった。（図－50 参照）

これは、下部プレナムに入った冷却空気が通風管において側面に付着しやすいという熱流動解析の結果と一致する。

この熱流動解析の結果を踏まえ、通風管側に冷却空気の気中の錆等が付着したイメージとしては、収納管側に発生した結露水が乾きやすく、通風管側が乾きにくいことから、飛来物が結露水に付着し、その後、結露水が乾燥し付着物が固着したと考えられる。（図－51 参照）

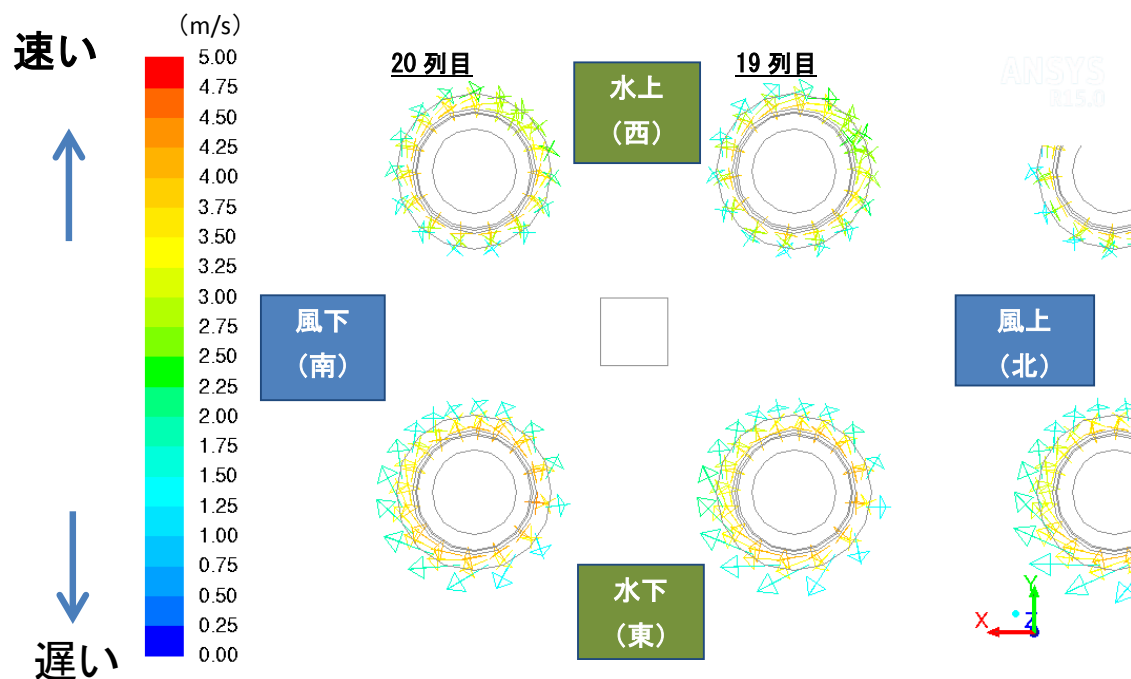
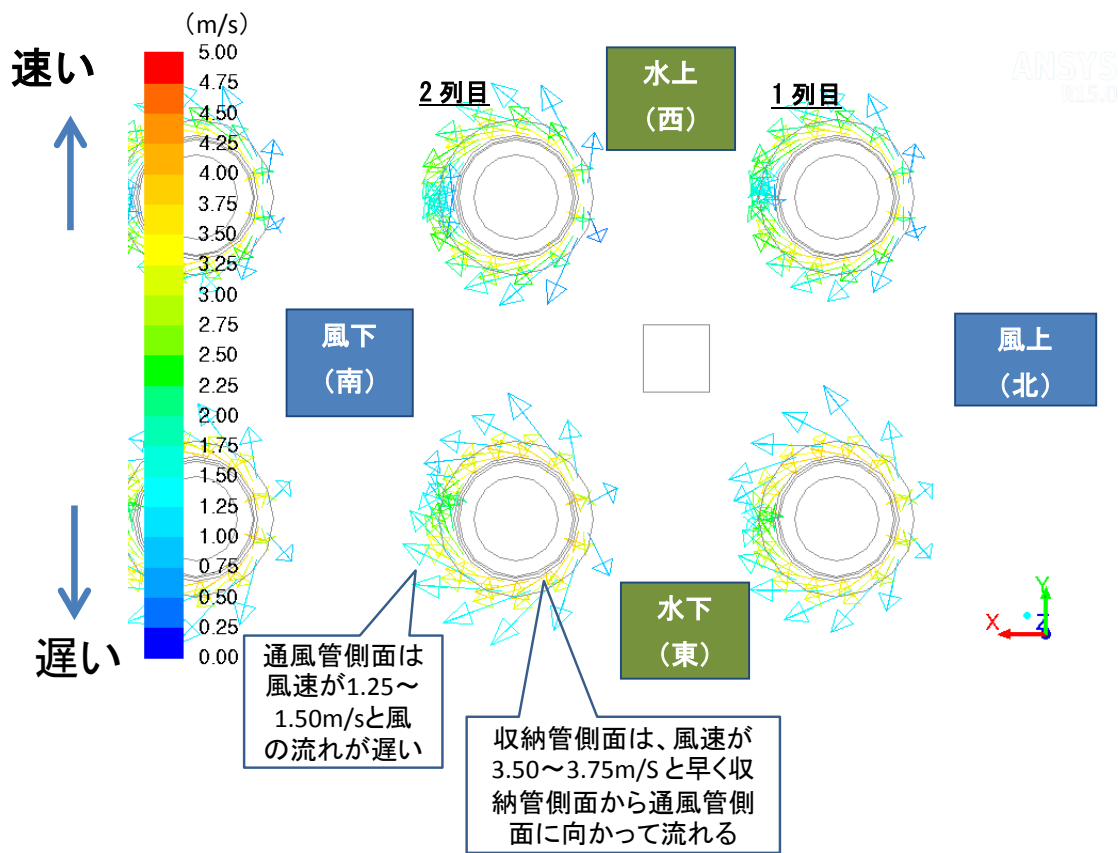


図-47 熱流動解析による円環流路入口付近の解析結果

- ※1：解析は断面を示しており、円環流路の上昇流（主流）以外の流れを示す。
- ※2：矢印は副流の速さを示しており、副流のうちでは外側に向かう流れが大きい。

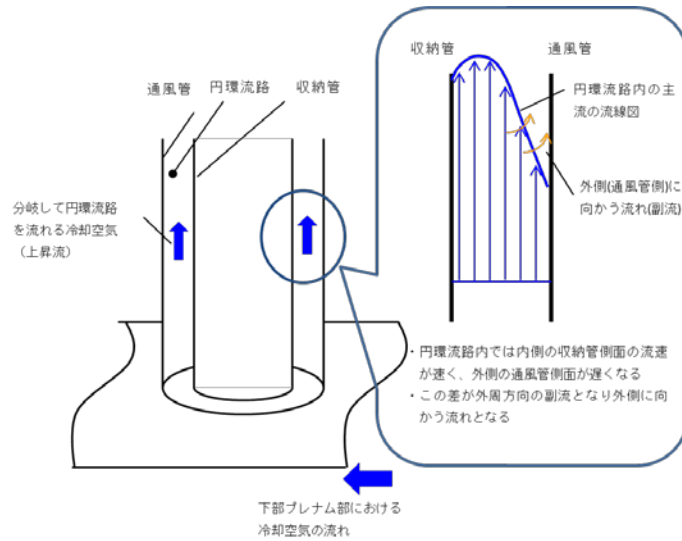


図-48 熱流動解析結果に基づく円環流路入口付近の流れのイメージ

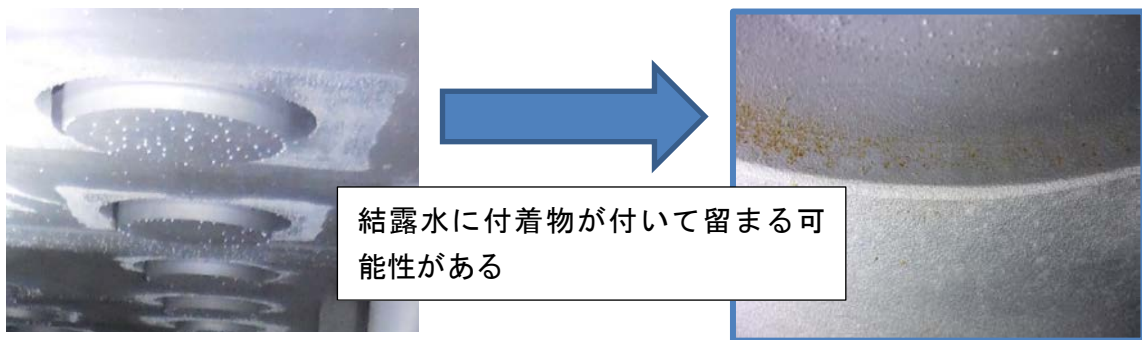


図-49 8月観察時の下部プレナム部の状況と変色部

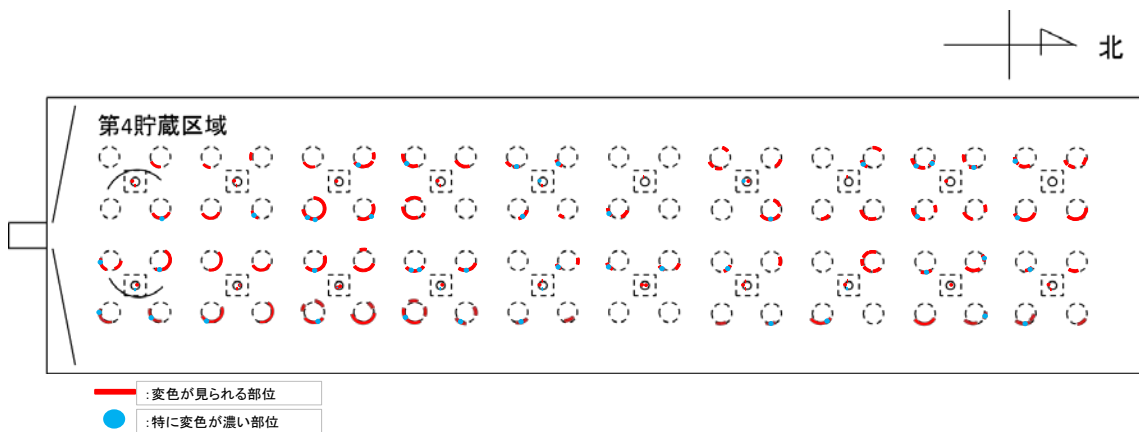


図-50 下部プレナムにおける変色場所の傾向

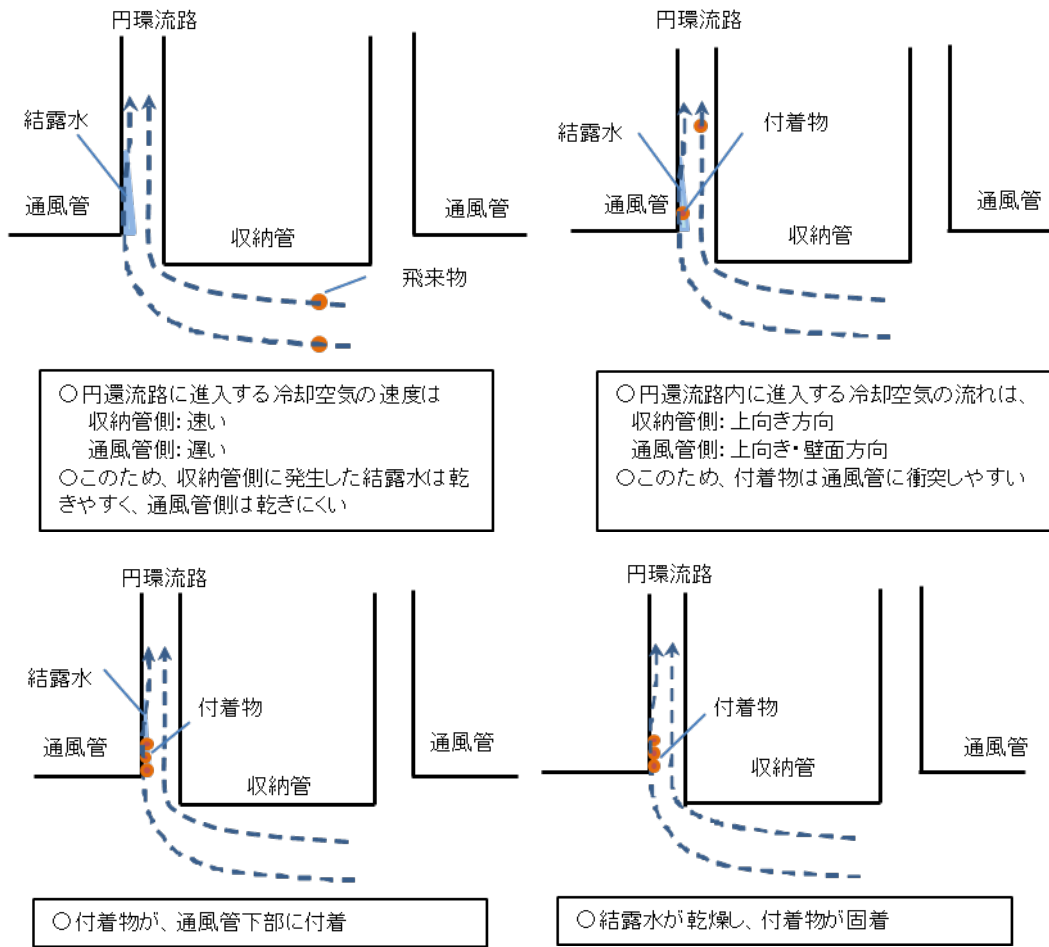


図-51 通風管内面に付着物（鉄さび）が付着するイメージ図

### 5. 3 第4貯蔵区域の健全性評価

#### (1) 調査結果まとめ

第4貯蔵区域下部プレナム部の調査結果のまとめは以下の通り。(表-16 参照)

- ・アルミニウム溶射皮膜の膜厚の確認：建設当時の管理値以上であることを確認した。
- ・ファイバースコープによる観察：冷却空気の流路を閉塞するような異物がなく、変色部も確認されていない。
- ・母材の肉厚：計画値以上であることを確認した。
- ・収納管および通風管の変色部：アルミニウム溶射皮膜の膜厚が建設時の管理値以上であることを確認した。母材の肉厚が計画値以上であることを確認した。

表-16 EB2建屋 第4貯蔵区域の調査結果

部 位		アルミニウム溶射皮膜の膜厚	母材の肉厚
下部プレナム部	収納管底面（側面含む）	良 (管理値 (160 $\mu$ m) 以上あることを確認)	良 (計画値以上あることを確認)
	通風管内面		
	支柱基部：10 mm		
	支柱側面：1200 mm		
	下部プレナム形成板		
円環流路	収納管/通風管上部 (代表5本)	ファイバースコープによる確認の結果、冷却空気の流路を閉塞するような異物がなく、変色部も確認されていないことから、冷却空気の通風が確保されていることを確認	
	通風管下端から1500mm (全数80本)		

(2) 「特定廃棄物埋設施設又は特定廃棄物管理施設の性能に係る技術基準に関する規則」で定める技術上の基準への適合

第4貯蔵区域における調査結果から、「特定廃棄物埋設施設又は特定廃棄物管理施設の性能に係る技術基準に関する規則」で定める技術上の基準に適合するものと考えている。

なお、技術基準第十七条（安全機能を有する施設）の「保守又は修理」に関する事項は、他の貯蔵区域の調査結果も踏まえて適合性を検討する。

第一条	—
第二条	—
第三条	—
第四条	—
第五条	<p>(地震による損傷の防止)</p> <p>特定廃棄物埋設施設又は特定廃棄物管理施設は、地震の発生によって生ずるおそれがある当該施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定する地震力による損壊により公衆に放射線障害を及ぼすことがないものでなければならない。</p> <p>安全上重要な施設は、その供用中に当該安全上重要な施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力に対してその安全性が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p> <p>適合に関する説明 母材の肉厚が計画値以上あることを確認したことから、確認された変色が耐震性に影響を及ぼすおそれはない。</p>
第六条	—
第七条	—
第八条	—
第九条	—
第十条	<p>(材料および構造)</p> <p>特定廃棄物埋設施設又は特定廃棄物管理施設に属する容器及び管並びにこれらを支持する構造物のうち、特定廃棄物埋設施設又は特定廃棄物管理施設の安全性を確保する上で重要なもの（以下この項において「容器等」という。）の材料及び構造は、当該容器等がその設計上要求される強度及び耐食性が確保されたものでなければならない。</p> <p>適合に関する説明 アルミニウム溶射の膜厚が建設当時の管理値以上あることを確認したことから、確認された変色が耐食性に影響を及ぼすおそれはない。</p>
第十一条	—
第十二条	—

第十三条	—
第十四条	—
第十五条	<p>(受入れ施設又は管理施設)</p> <p>特定廃棄物埋設施設のうち放射性廃棄物を受け入れる設備であって、放射性廃棄物の崩壊熱及び放射線の照射により発生する熱によって過熱するおそれがあるものは、冷却のための必要な措置が講じられたものでなければならない。</p> <p>適合に関する説明 冷却空気の流路を閉塞するような異物がないことを確認したことから、ガラス固化体貯蔵設備の安全機能（冷却機能）は確保されている。</p>
第十六条	—
第十七条	<p>(安全機能を有する施設)</p> <p>安全機能を有する施設は、当該施設の安全機能を確認するための検査又は試験及び当該安全機能を健全に維持するための保守又は修理ができるように設置されていなければならない。</p> <p>適合に関する説明 他の貯蔵区域に対する調査結果等も踏まえて検討する。</p>
第十八条	—
第十九条	—
第二十条	—
第二十一条	—
第二十二条	—

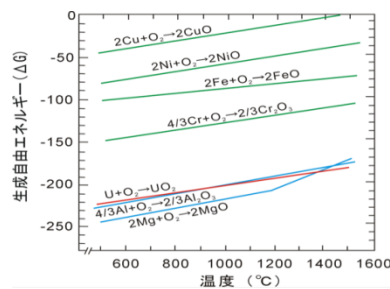
### (3) 変色部の健全性評価

通風管内面に観察された変色部を、熱伝導に対する抵抗として考え簡易評価をすると温度変化は1℃未満であり、冷却機能に影響はないと判断される。

このことから、変色部は、通風管および収納管の安全機能（冷却機能）に関し、その健全性に影響を与えるものではなく、現時点で通風管および収納管は健全であると評価される。

なお、第4貯蔵区域の通風管、収納管等で確認された変色部は、既に酸化物の形態となっており、アルミニウム溶射皮膜の表面のアルミ不働態膜を変化させるものではない。

鉄粉が付着した場合、酸化鉄（錆）よりもアルミ不働態膜のほうが酸化物として安定なため、アルミニウム溶射皮膜のアルミ不働態膜表面の酸素が奪われることはなく、アルミニウム溶射皮膜の腐食を加速する可能性はない。（図－5 2、5 3 参照）

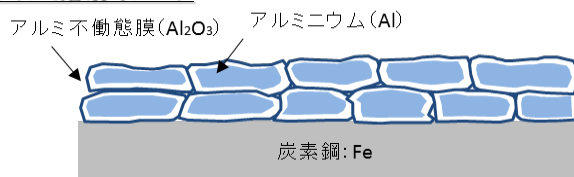


JNC TN8400 2003-044、宮本 泰明他、  
溶融除染技術評価報告書(研究報告)、2003年より

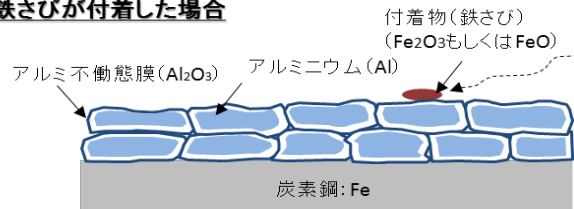
物質の酸化物生成自由エネルギーが低いほど酸化物になりやすく、高いほど酸化物（錆）になりにくい

図－５２ 物質の酸化物生成自由エネルギー

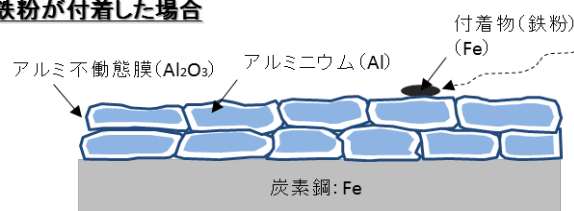
**アルミ溶射イメージ**



**鉄さびが付着した場合**



**鉄粉が付着した場合**



図－５３ 鉄さび等が付着した場合のイメージ

**(4) 円環流路の健全性評価**

貯蔵区域は、地下約1.7mの地下階にある構造のため、外気温が高い条件下であっても地中温度は低く安定した状態にあるが、湿度の高い外気が流れ込む場合、床面で冷やされると結露する。これが結露水の発生要因であると考えられる。

このため、結露水の発生は、地中温度に冷やされる床面の表面近傍で発生しやすいと考えられる。(図－５４ 参照) 円環流路には冷熱源がないため、下部プレナム部床面より、結露しにくい環境にある。さらに、ガラス固化体が貯蔵された状態では、熱伝導および対流により円環流路は外気より暖められた状態となるため、結露水は発生しないと考えられる。

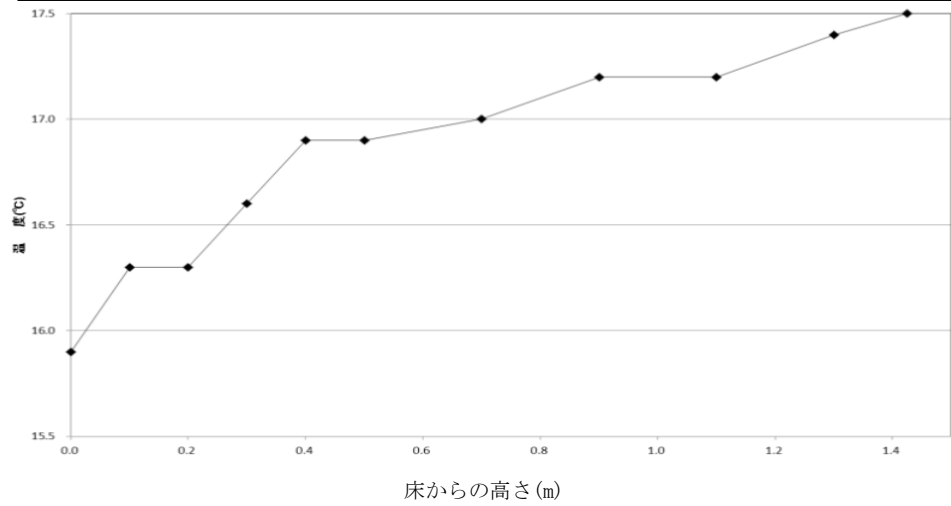
仮に、円環流路で結露水が発生したとしても、支柱基部のように結露水が滞留するような構造ではないことから、湿潤環境が長期間続くことはないと考えられる。これは、上部および下部からのファイバースコープによる観察結果からも確認できる(下部からある程度上にいくと結露が確認されない)。



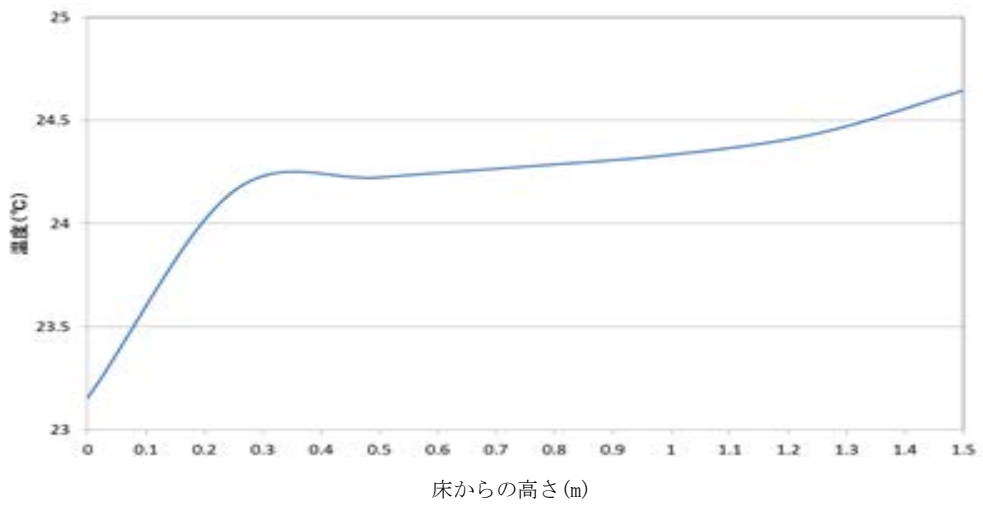
以上から、下部プレナム部に比べ、円環流路の腐食環境は緩やかであると考えられる。

また、下部プレナム部から確認できる円環流路下部および支柱において、アルミニウム溶射皮膜の膜厚および母材の肉厚が健全であることを確認していることから、下部プレナム部支柱より腐食環境が緩やかな円環流路は、健全であると評価する。(添付資料ー 7 参照)

測定結果、解析結果共に床面近傍から約300～400mmで温度の上昇カーブが編曲する傾向があり、床面近傍が最も結露しやすい。



(測定結果)



(解析結果)

図-54 支柱の高さ方向の温度分布 (測定結果および解析結果)

## 6. まとめ

調査の結果をまとめると以下の通り。

- ・ファイバースコープによる観察により、円環流路に冷却空気の流路を閉塞するような異物がなく、変色も確認されていない。
- ・アルミニウム溶射皮膜の膜厚を測定し、アルミニウム溶射皮膜の膜厚が建設時の管理値以上であることを確認した。
- ・母材の肉厚を測定し、計画値以上であることを確認した。
- ・変色部の分析結果および断面観察結果から変色部は付着物（鉄さび）の可能性が高い。






















これらを踏まえた結果、確認された変色部はガラス固化体貯蔵設備の安全機能（「冷却機能」および「耐震性」）に影響を及ぼすおそれはなく、冷却空気の流路を構成する各設備に異常がないことから、第4貯蔵区域の健全性は確保されていると判断する。

今後、他の貯蔵区域の調査および評価を進め、併せて中長期の健全性評価を行うとともに、各貯蔵区域の調査結果等を踏まえた処置について検討を行う。

以 上

第4貯蔵区域 支柱(基部および側面) 外観観察結果(変色部写真)

基部

支柱No.	北西	南西	南東	北東	支柱No.	北西	南西	南東	北東
4-1					4-11				
4-2					4-12				
4-3					4-13				
4-4					4-14		変色なし		
4-5					4-15 2枚とも南東部				
4-6					4-16 ①②共に南東部				
4-7					4-17				
4-8					4-18				
4-9					4-19				
4-10					4-20		変色なし		

No4-1~4-10  
変色部無し



側面

支柱No.	北	東	南	西	支柱No.	北	東	南	西
4—1					4—11 ①,②共に北側				
4—2					4—12				
4—3					4—13				
4—4					4—14				
4—5					4—15				
4—6					4—16				
4—7					4—17				
4—8 ①,②共に西側					4—18				
4—9					4—19				
4—10	変色なし				4—20				



第4貯蔵区域 収納管および通風管 外観観察結果(変色部写真)

通風管								収納管				
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦		①	②	
4-1		変色なし							4-1		変色なし	
4-2		変色なし							4-2		変色なし	
4-3									4-3		変色なし	
4-4									4-4		変色なし	
4-5									4-5		変色なし	
4-6									4-6		変色なし	
4-7									4-7			
4-8									4-8		変色なし	
4-9									4-9		変色なし	
4-10									4-10		変色なし	

通風管								収納管			
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦		①	②
4-11									4-11		変色なし
4-12									4-12		変色なし
4-13		測定不可							4-13		変色なし
4-14									4-14		
4-15									4-15		変色なし
4-16									4-16		変色なし
4-17									4-17		変色なし
4-18					測定不可				4-18		変色なし
4-19				測定不可	測定不可				4-19		変色なし
4-20		測定不可		測定不可	測定不可	測定不可			4-20		変色なし



通風管								収納管			
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦		①	②
4-21									4-21		変色なし
4-22									4-22		変色なし
4-23									4-23		変色なし
4-24		測定不可							4-24		変色なし
4-25									4-25		変色なし
4-26									4-26		変色なし
4-27									4-27		変色なし
4-28									4-28		変色なし
4-29									4-29		変色なし
4-30		変色なし							4-30		



通風管								収納管				
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦		①	②	
4-31									4-31		変色なし	
4-32									4-32		変色なし	
4-33			測定不可						4-33		変色なし	
4-34									4-34		変色なし	
4-35		変色なし								4-35		変色なし
4-36									4-36		変色なし	
4-37									4-37		変色なし	
4-38									4-38		変色なし	
4-39									4-39		変色なし	
4-40									4-40		変色なし	

通風管								収納管				
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦		①	②	
4-41		変色なし							4-41		変色なし	
4-42									4-42			
4-43									4-43		変色なし	
4-44		変色なし							4-44		変色なし	
4-45		変色なし							4-45		変色なし	
4-46		変色なし							4-46		変色なし	
4-47									4-47		変色なし	
4-48		変色なし							4-48		変色なし	
4-49									4-49		変色なし	
4-50		変色なし							4-50		変色なし	

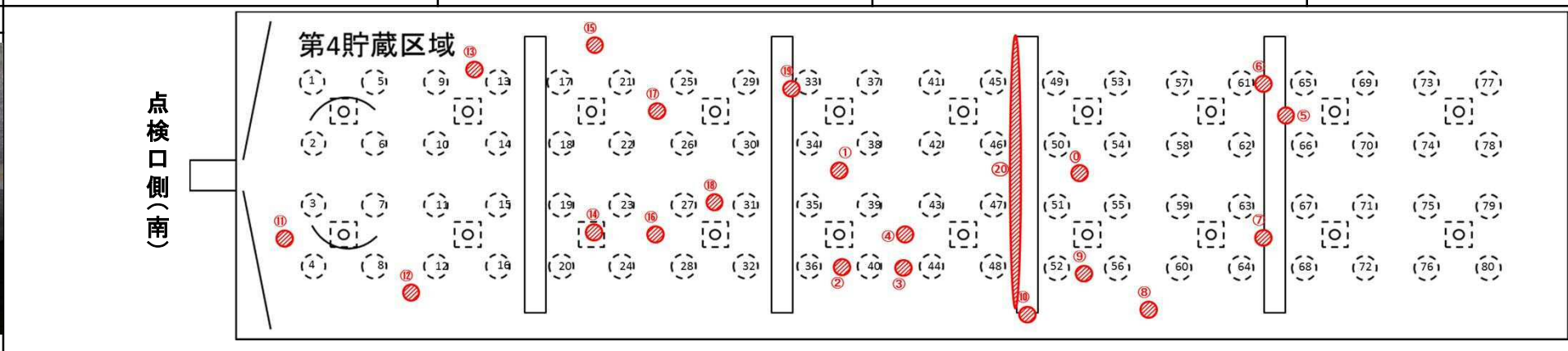
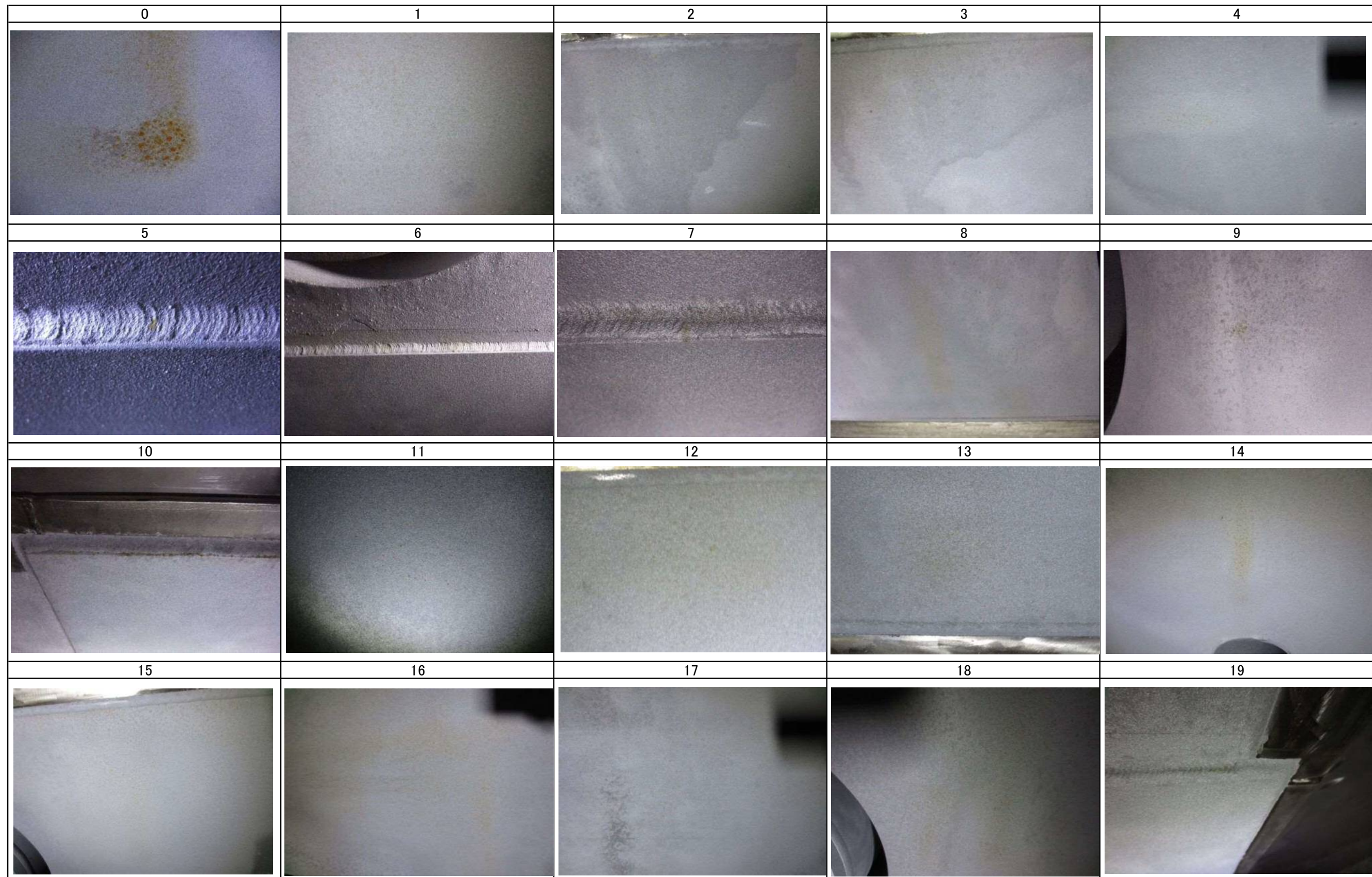
通風管								収納管			
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦		①	②
4-51									4-51		変色なし
4-52									4-52		変色なし
4-53									4-53		変色なし
4-54									4-54		変色なし
4-55									4-55		変色なし
4-56									4-56		変色なし
4-57		変色なし							4-57		変色なし
4-58									4-58		
4-59		変色なし							4-59		変色なし
4-60									4-60		変色なし



通風管								収納管			
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦		①	②
4-61									4-61		変色なし
4-62									4-62		変色なし
4-63									4-63		変色なし
4-64		変色なし							4-64		変色なし
4-65									4-65		変色なし
4-66		測定不可							4-66		
4-67									4-67		変色なし
4-68									4-68		
4-69									4-69		変色なし
4-70									4-70		

通風管								収納管				
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦		①	②	
4-71									4-71			
4-72									4-72		変色なし	
4-73									4-73		変色なし	
4-74									4-74		変色なし	
4-75									4-75		変色なし	
4-76									4-76		変色なし	
4-77			測定不可						4-77		変色なし	
4-78									4-78		変色なし	
4-79									4-79		変色なし	
4-80									4-80		変色なし	



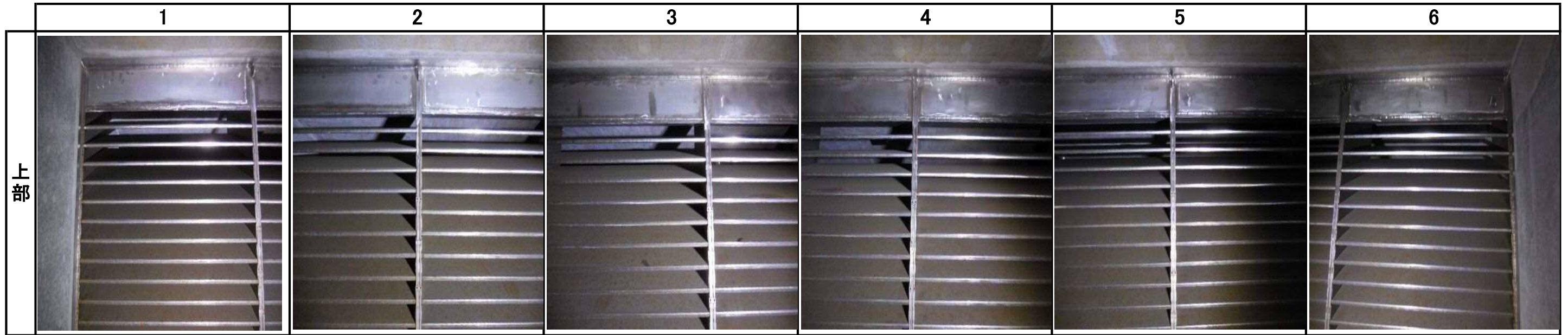




冷却空気入口ルーバ(第4貯蔵区域北部)

← 西

東 →

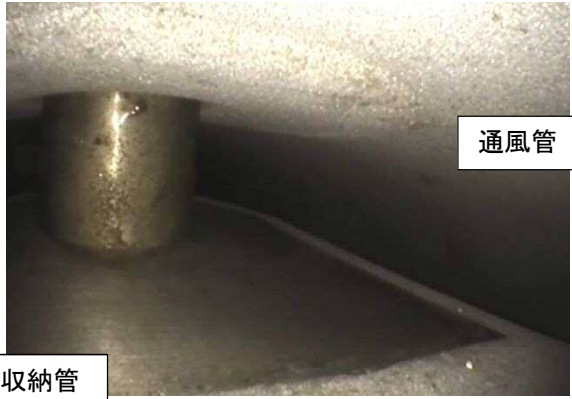



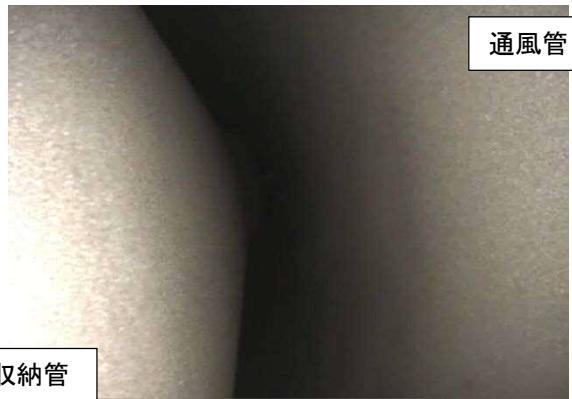


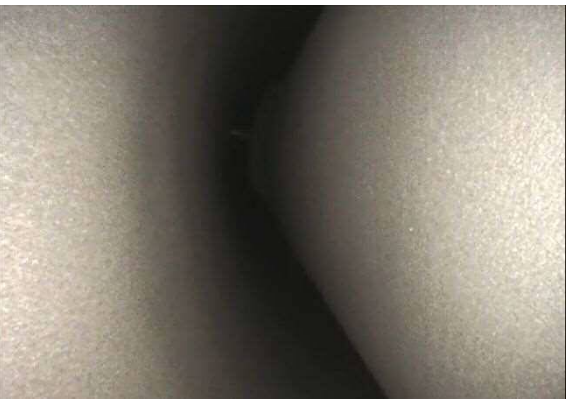
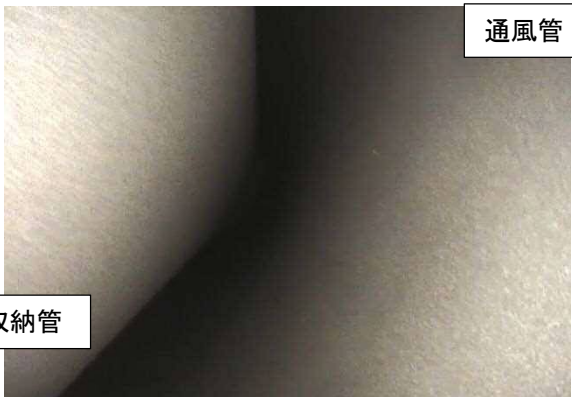

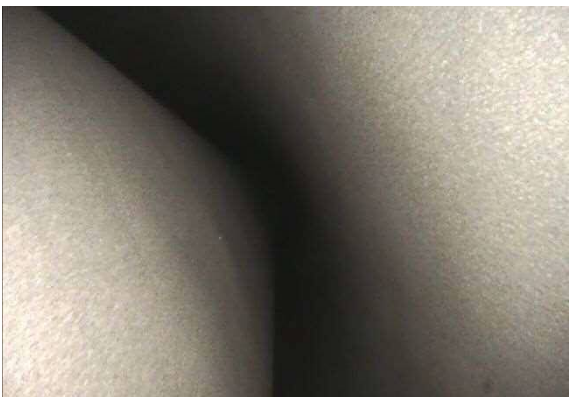

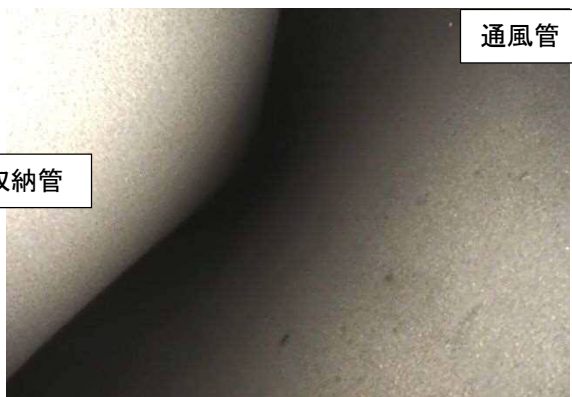
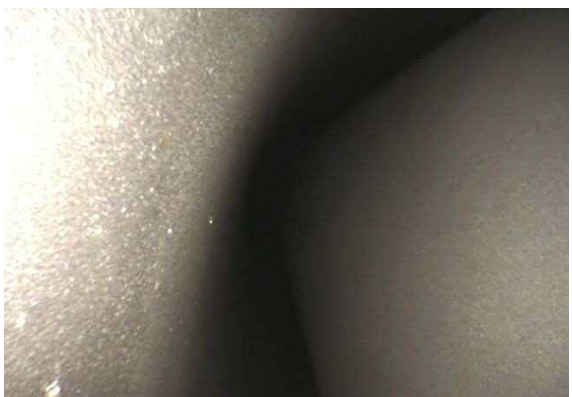






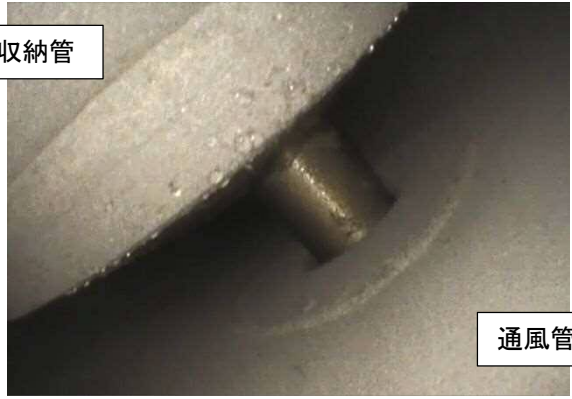



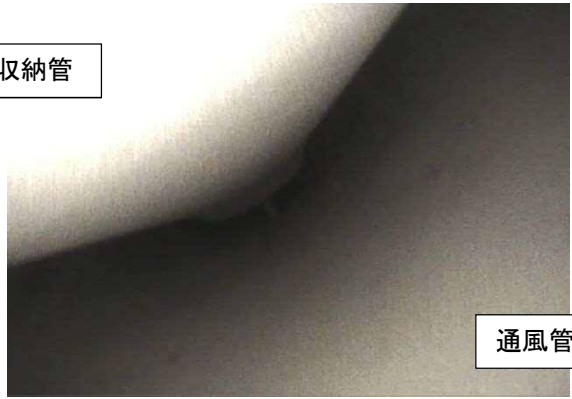
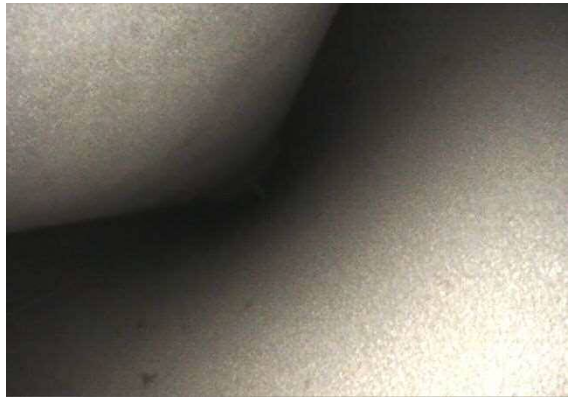
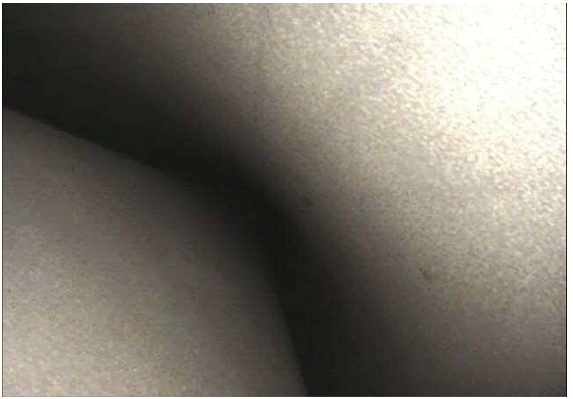
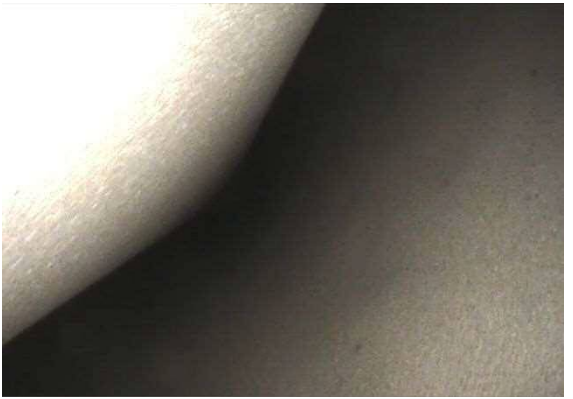
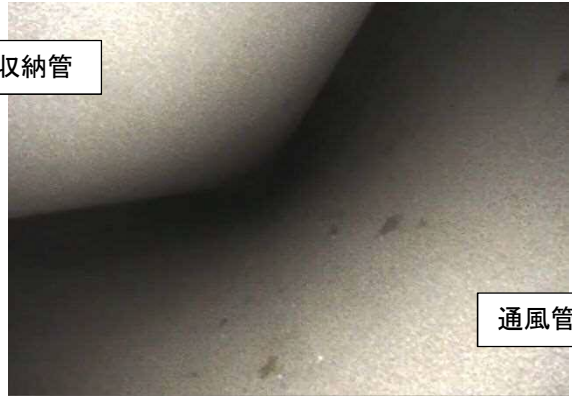
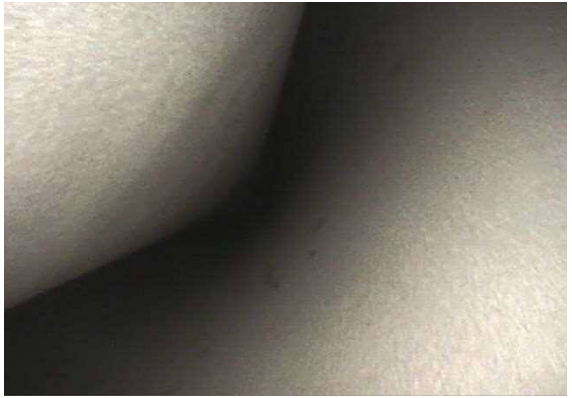

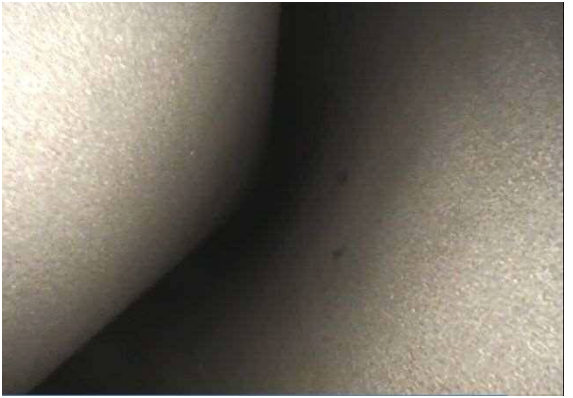
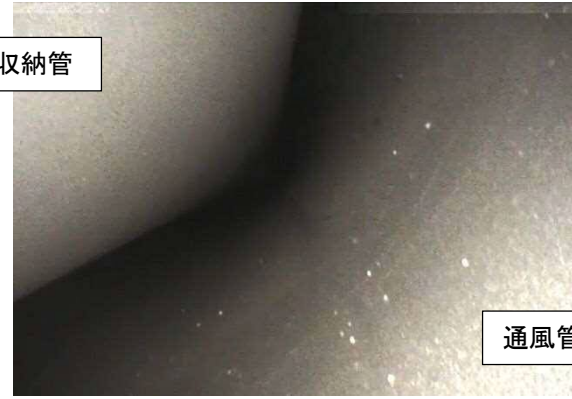



第4貯蔵区域 円環流路 下部からのファイバースコープによる外観観察結果

EB2 第4貯蔵区域 収納管/通風管 ビデオスコープ観察結果 (収納管 No.1)

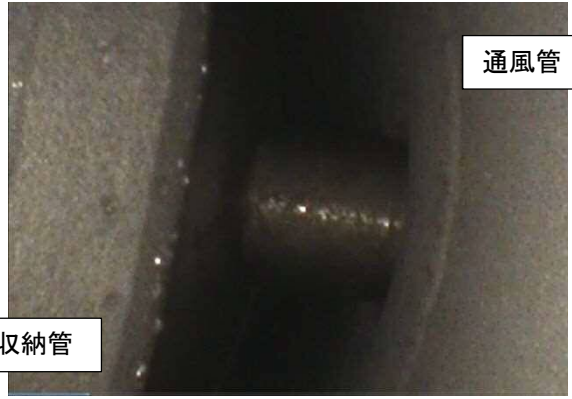



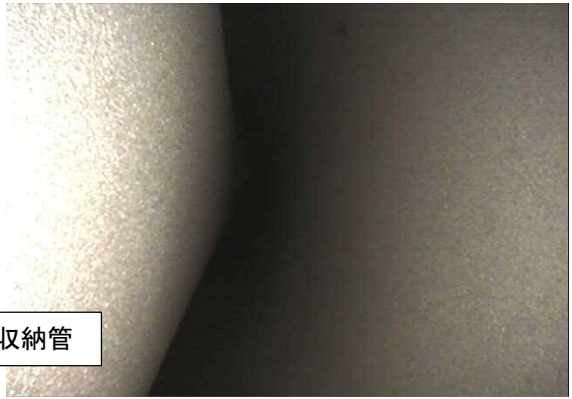


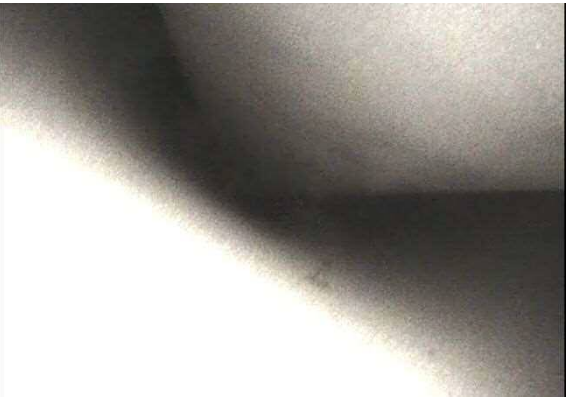
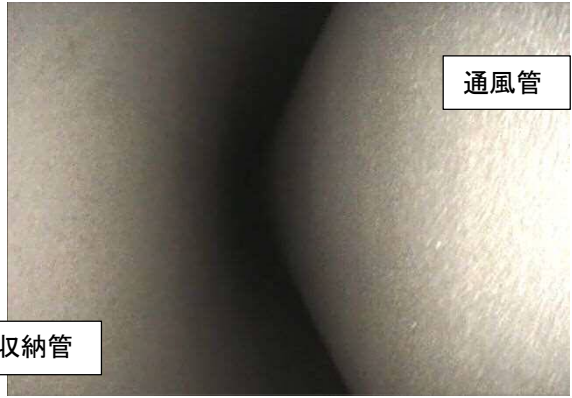


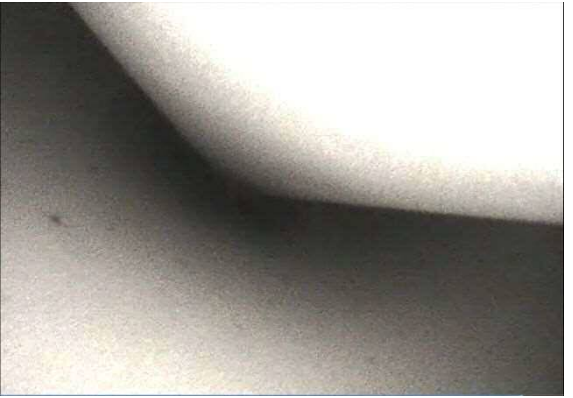
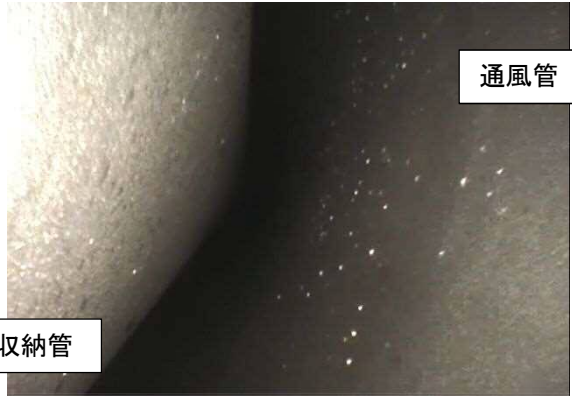

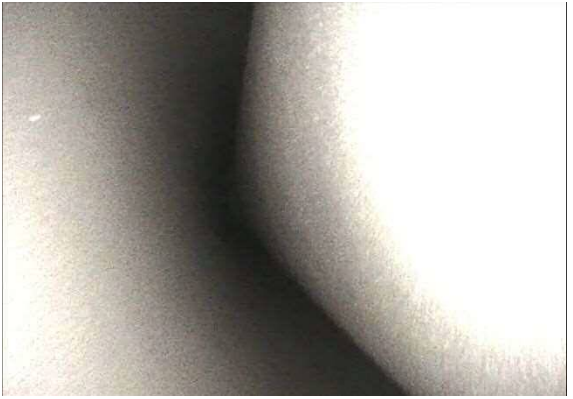
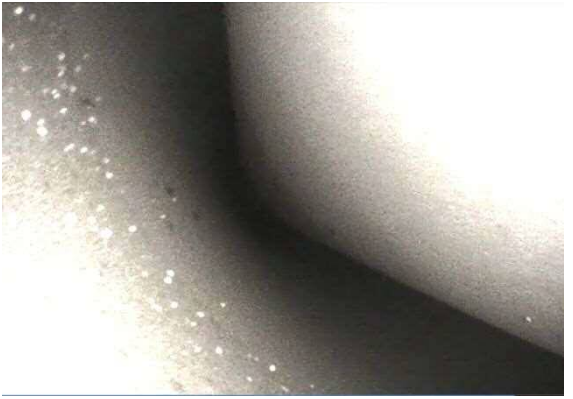
①スペーサ高さ(約 1500mm)、②高さ約 1000mm、③高さ約 500mm、④入口部(約 100mm)

	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

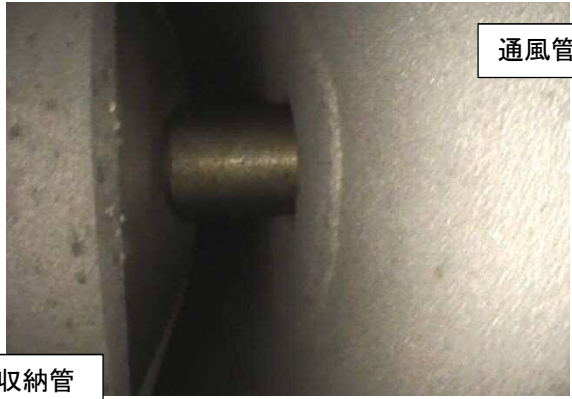



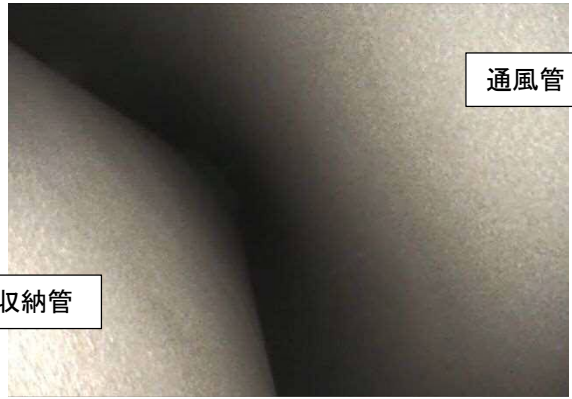


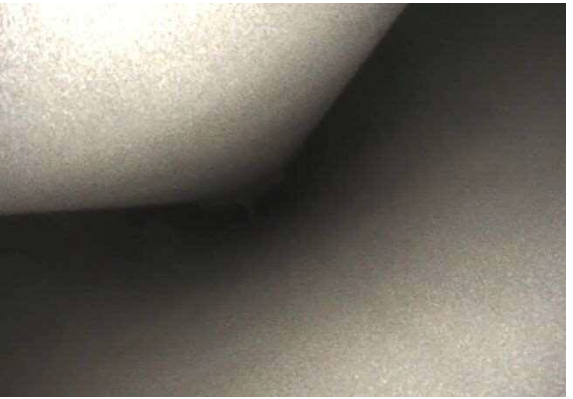
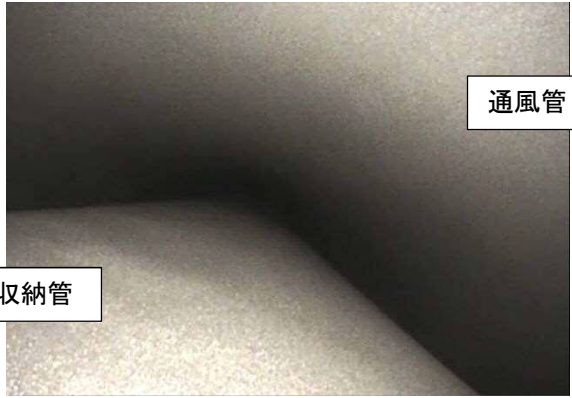
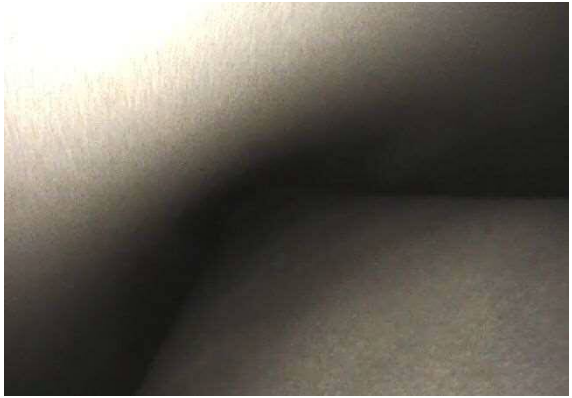
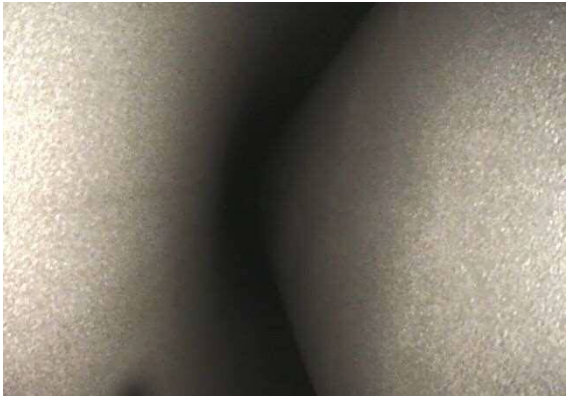
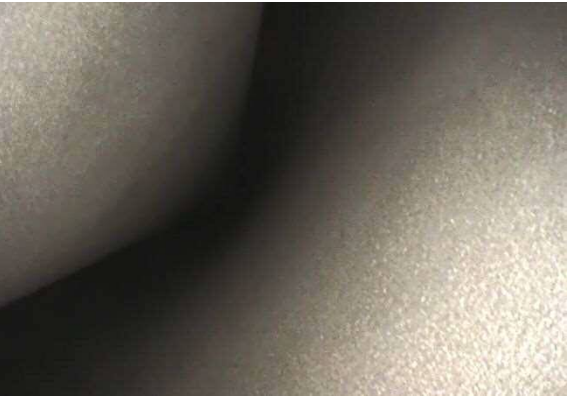


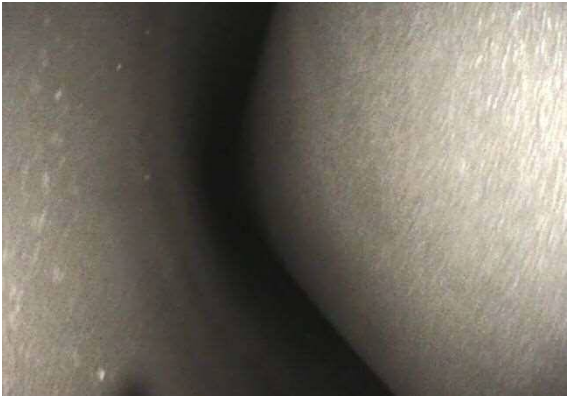



	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			




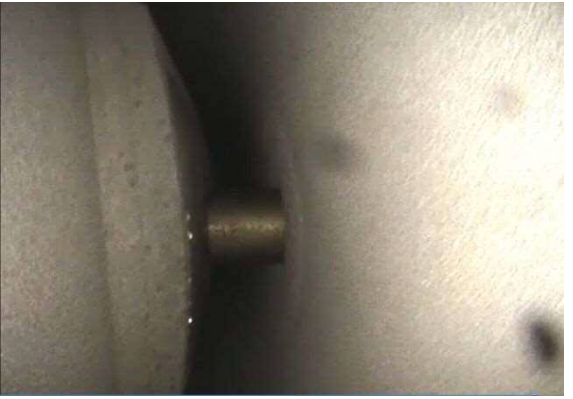
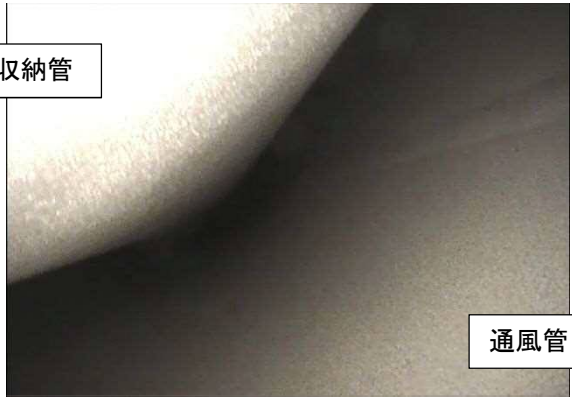



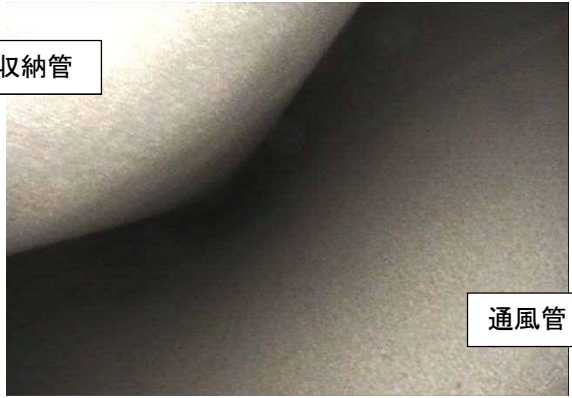
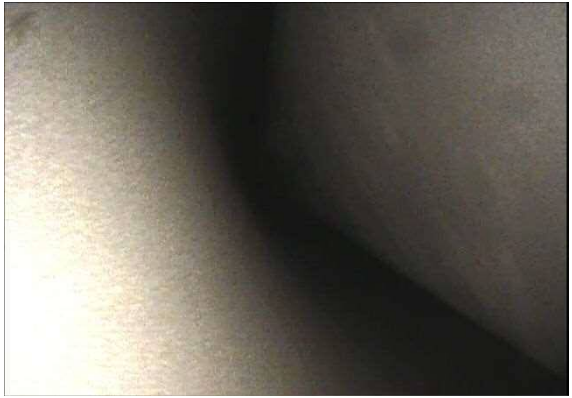
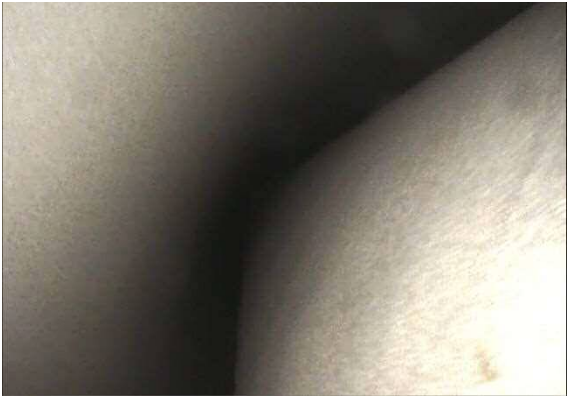

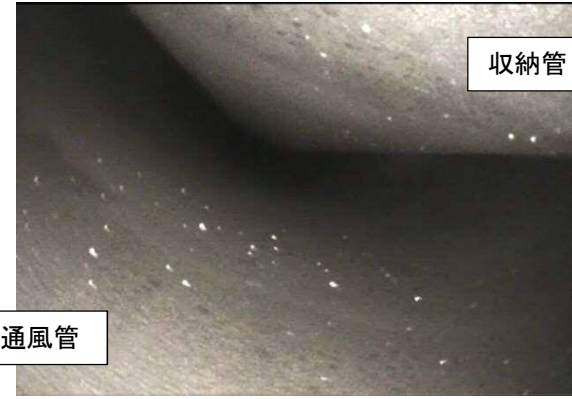





EB2 第4貯蔵区域 収納管／通風管 ビデオスコープ観察結果 (収納管 No.4)

①スペーサ高さ(約 1500m)、②高さ約 1000mm、③高さ約 500mm、④入口部(約 100mm)





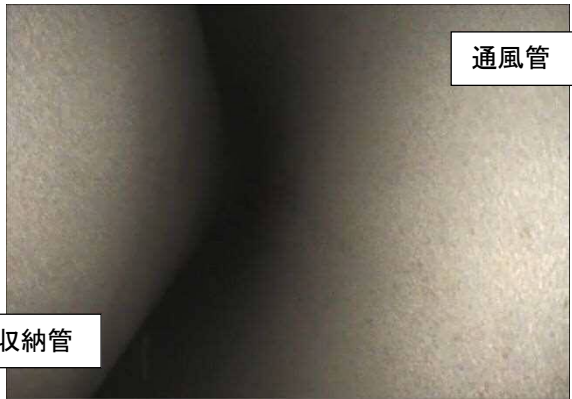

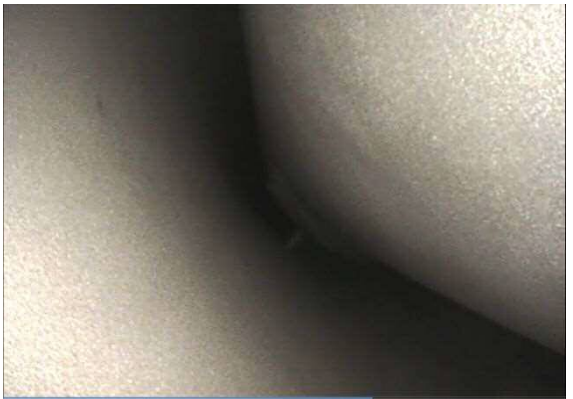
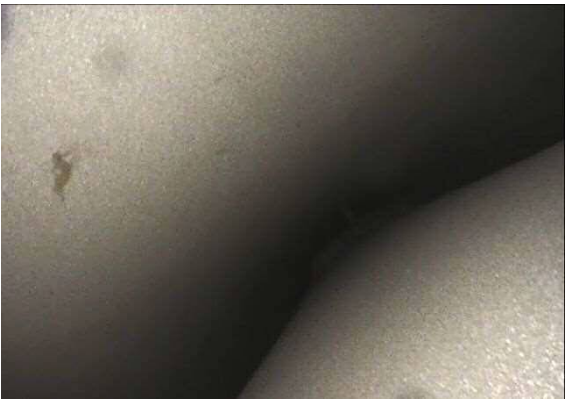
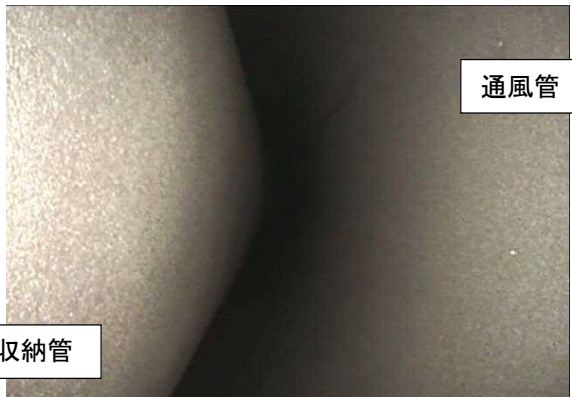



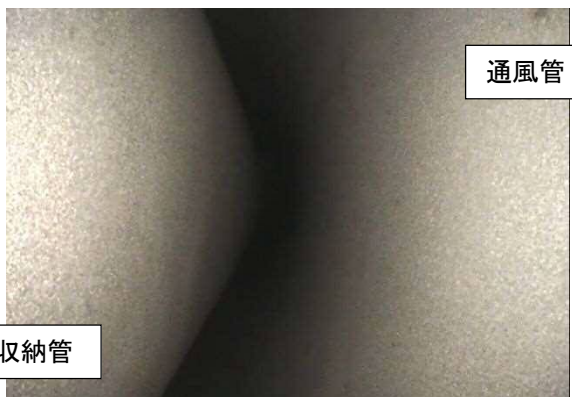



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



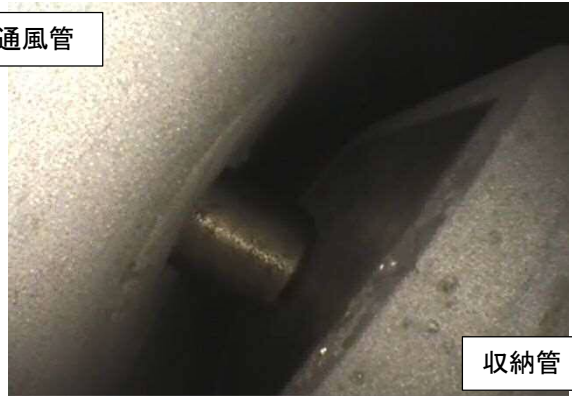



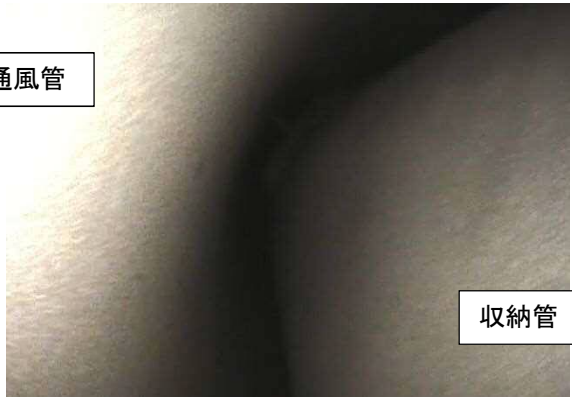

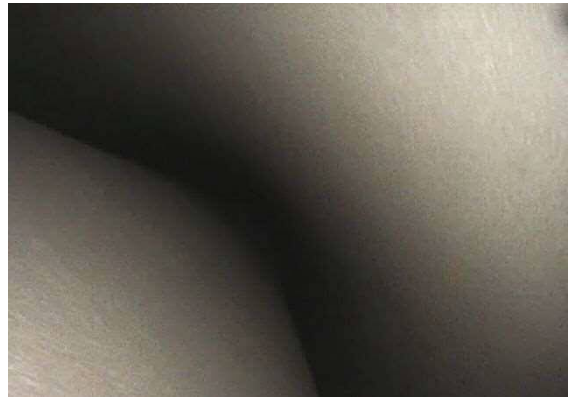

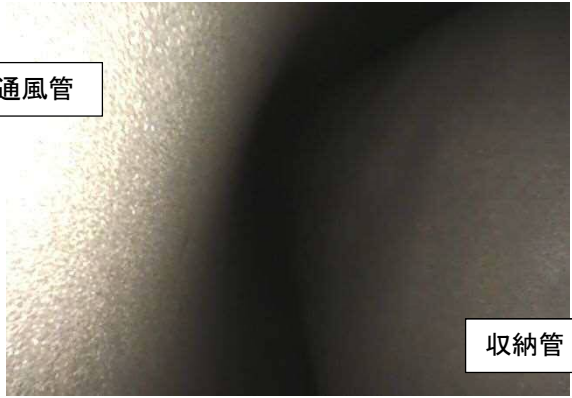
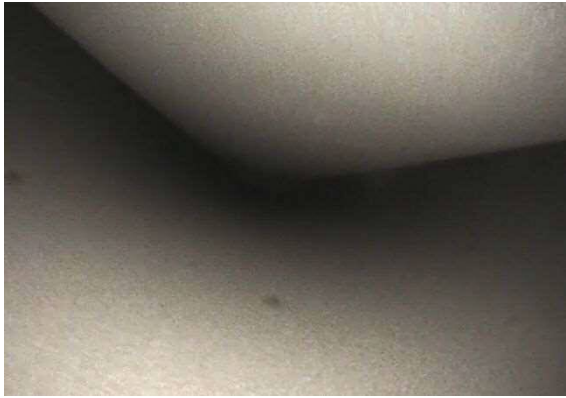
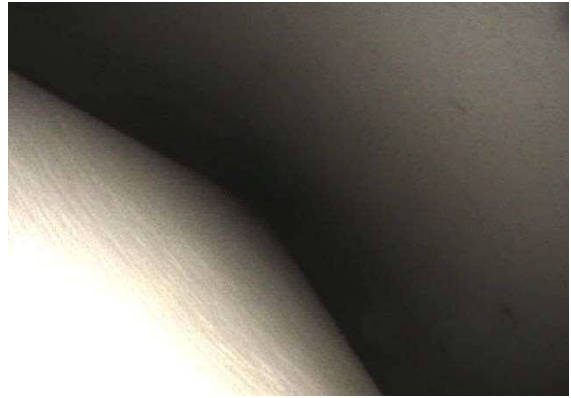

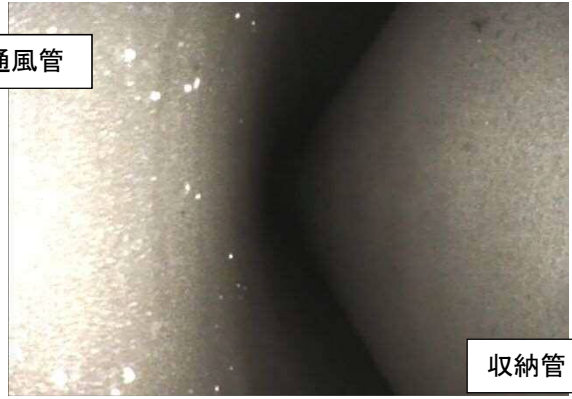
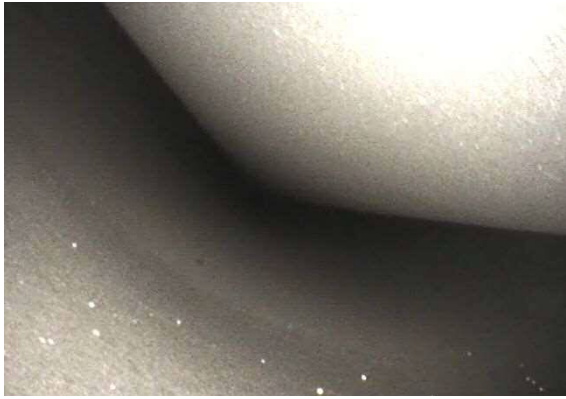

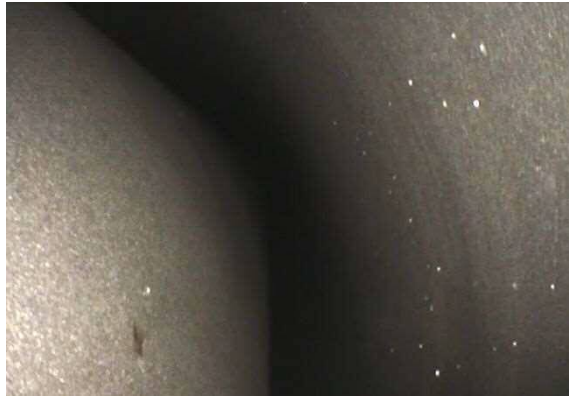
	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。

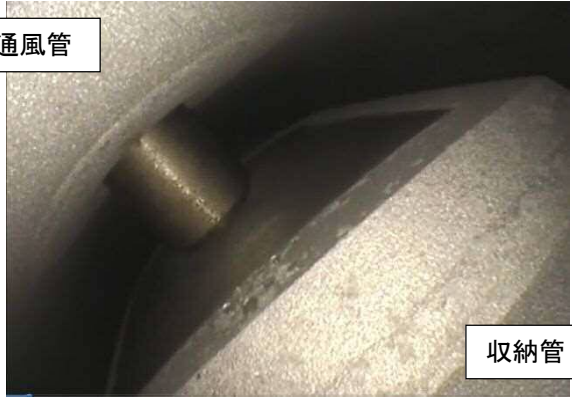



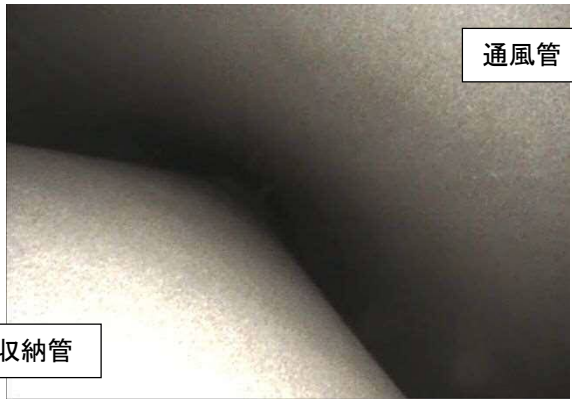



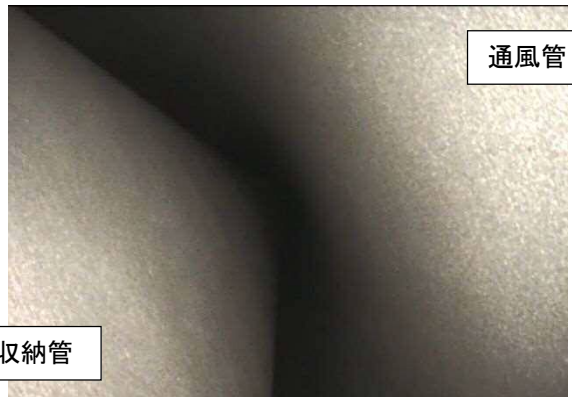
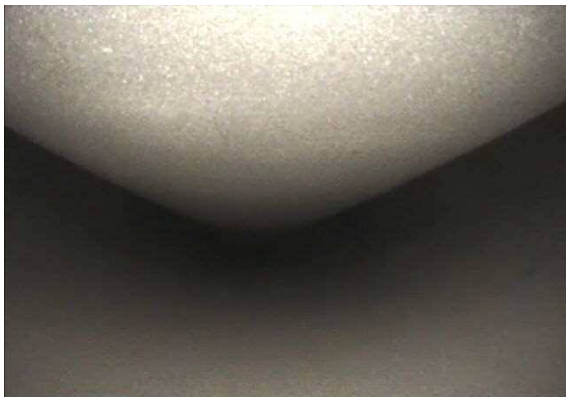


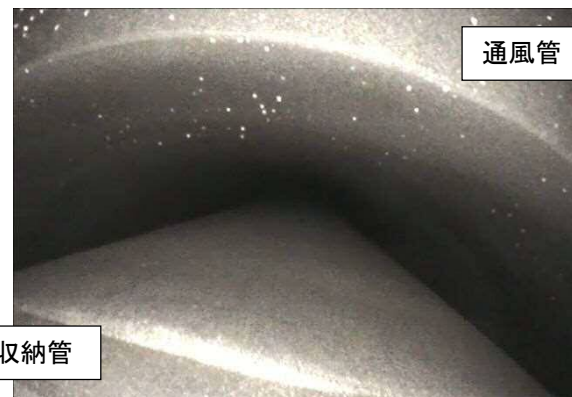
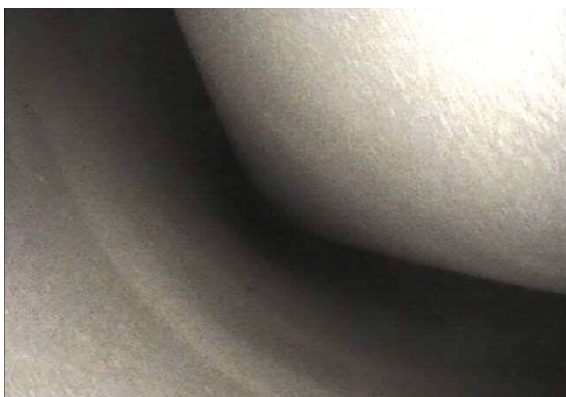




	北	東	南	西
①	 <p>収納管</p> <p>通風管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

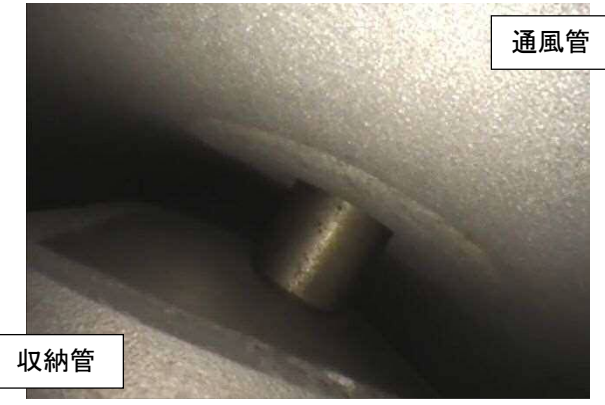
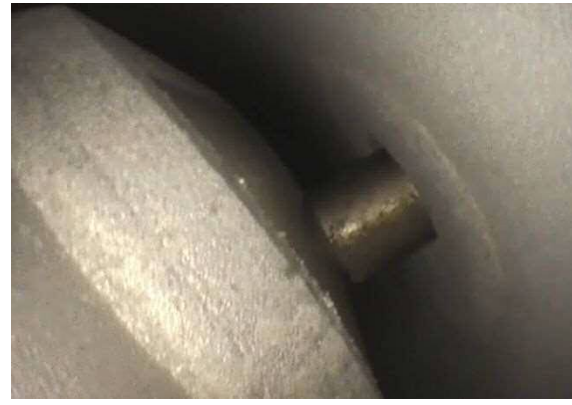


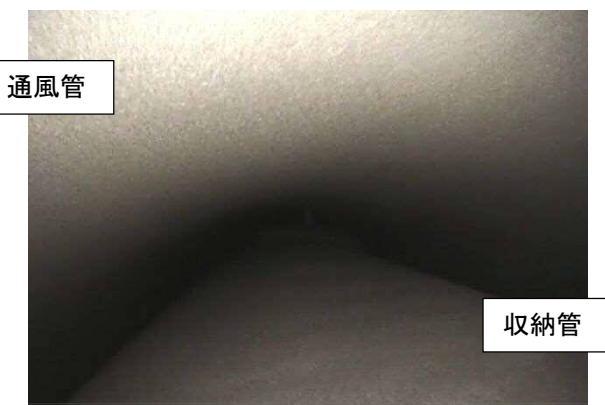

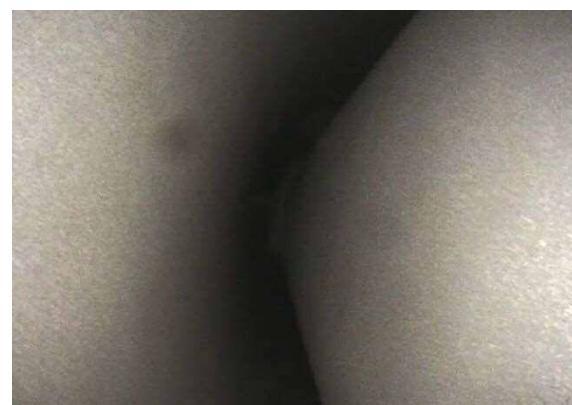

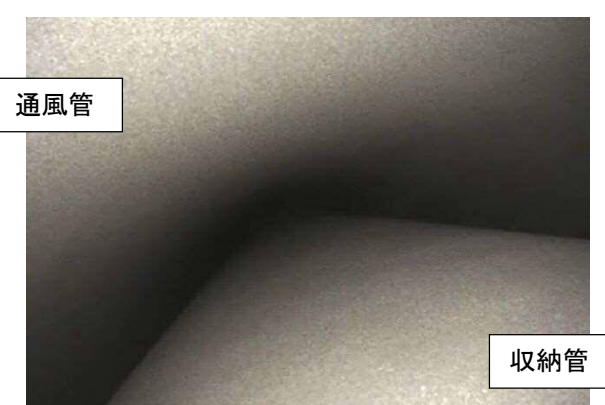
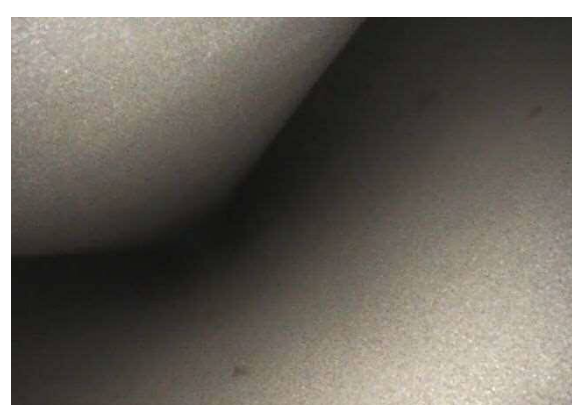

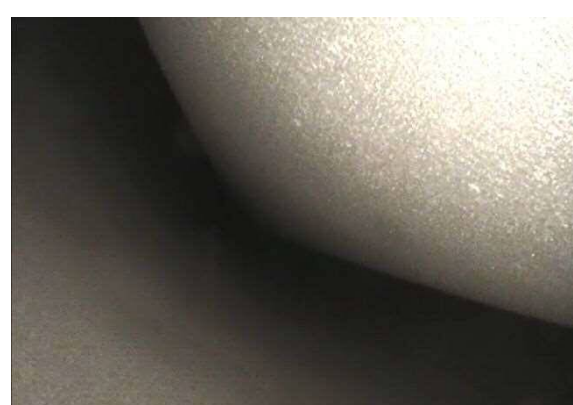
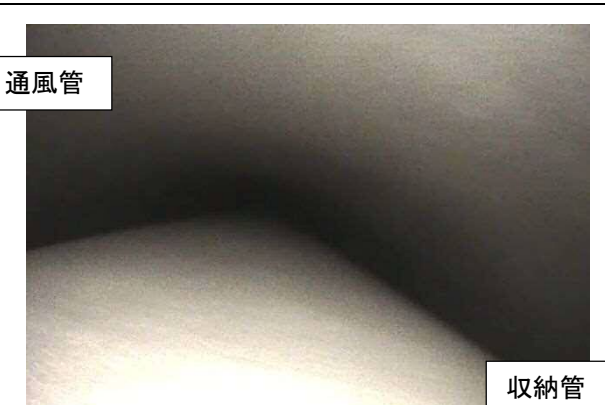
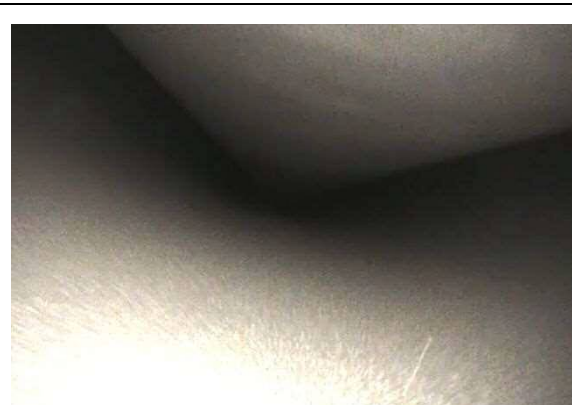

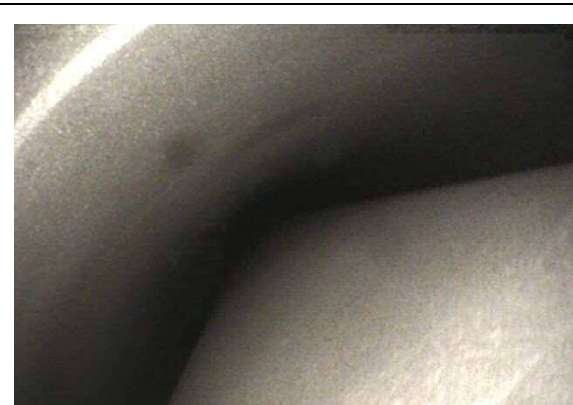


	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



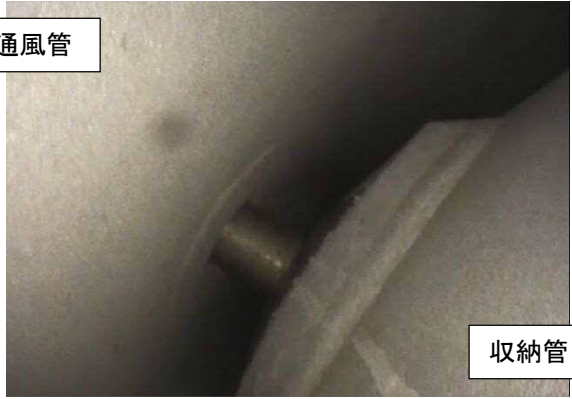



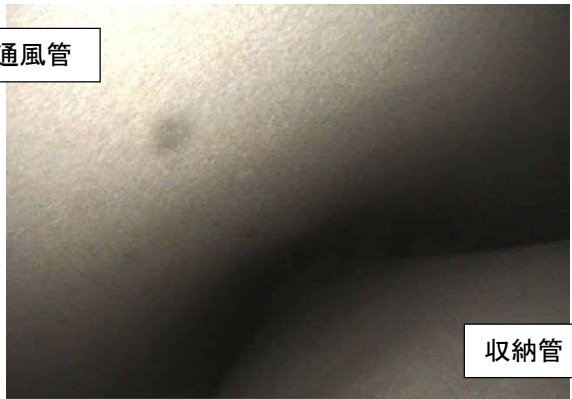

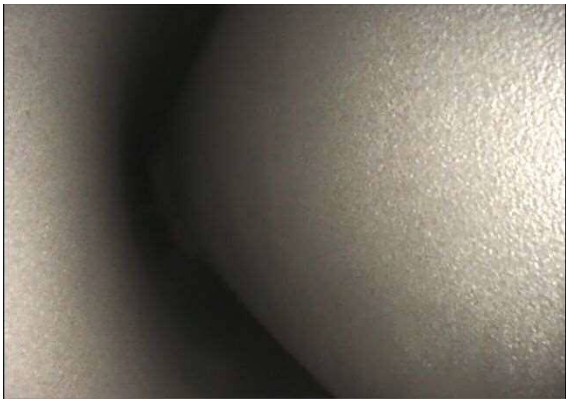

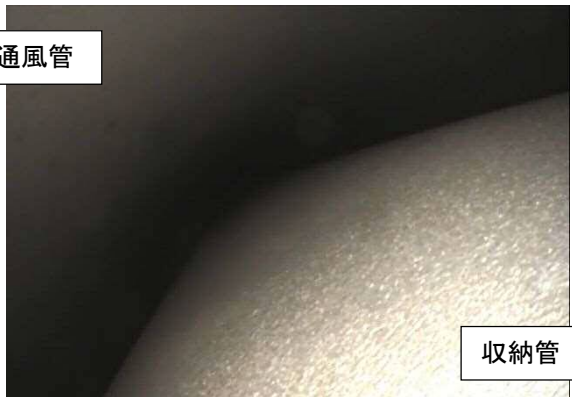



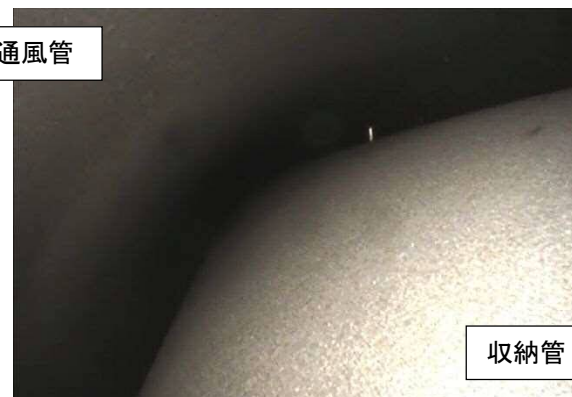
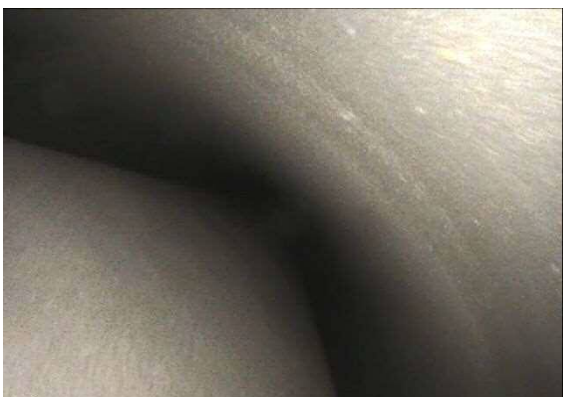


	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

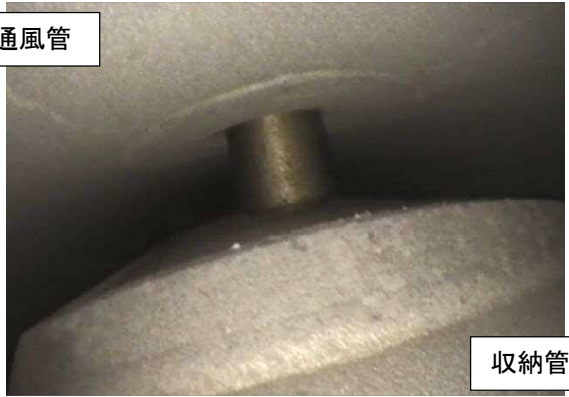



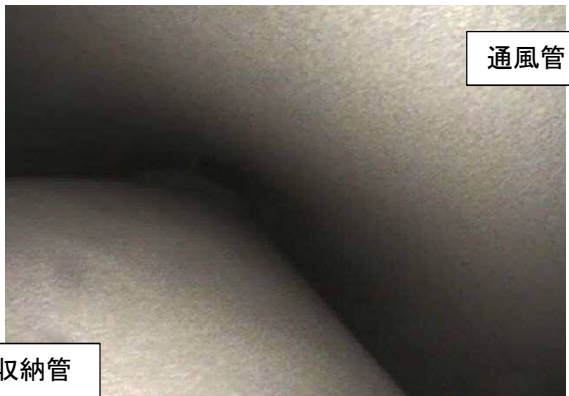



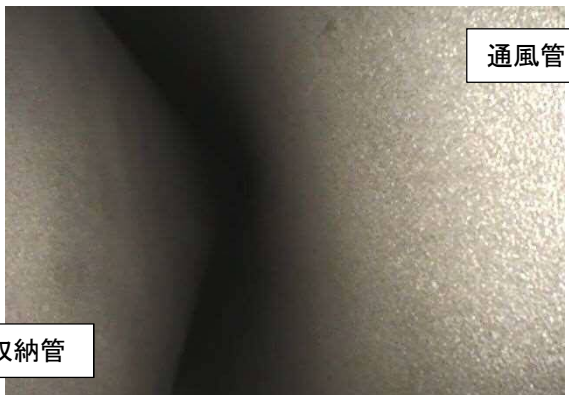



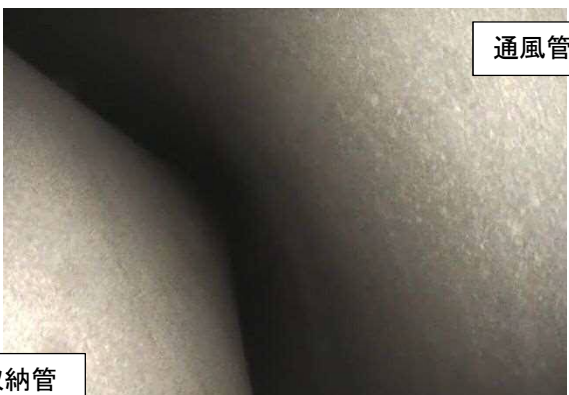



○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

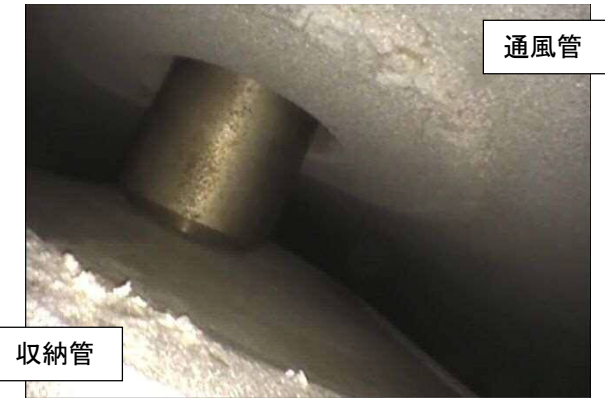



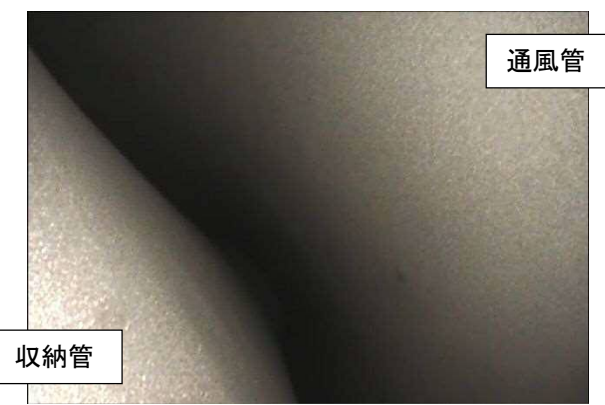
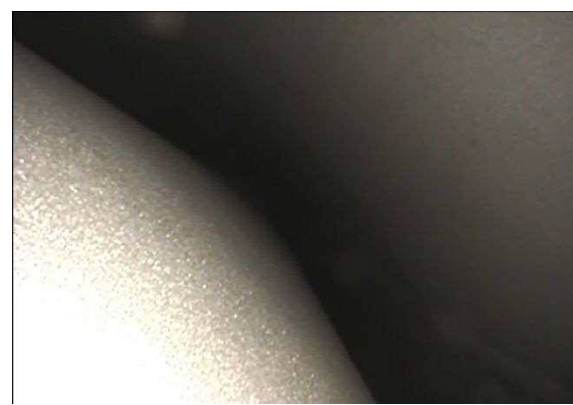

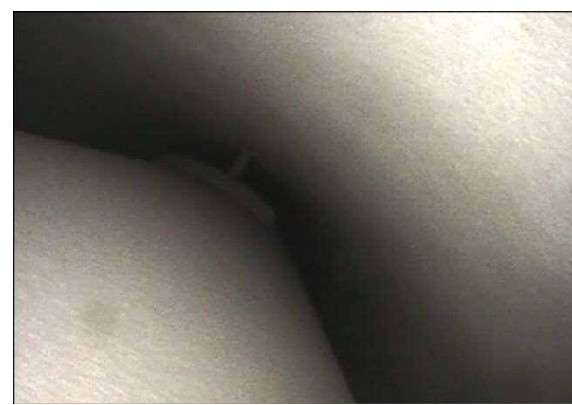
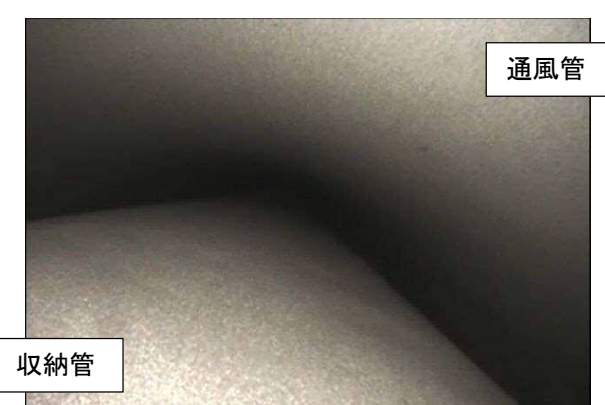
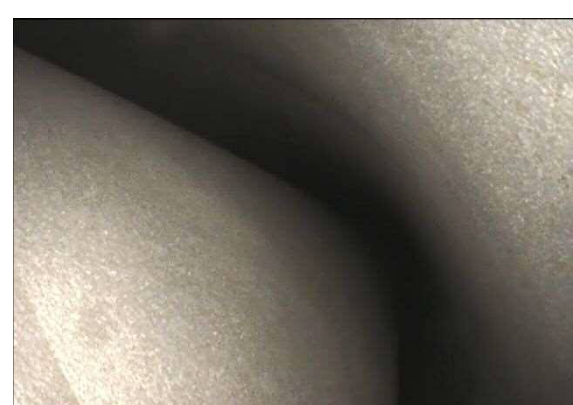
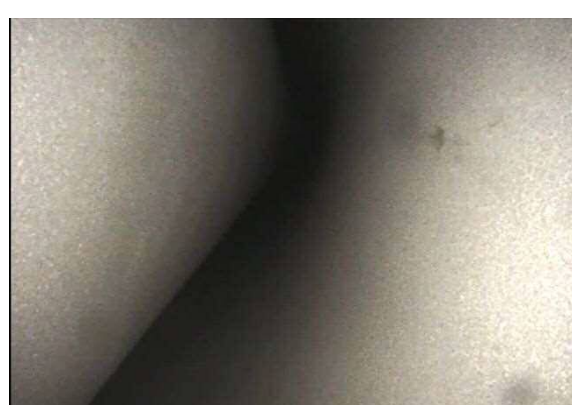

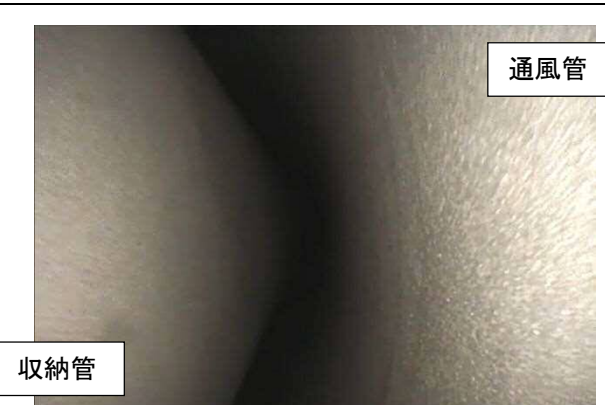
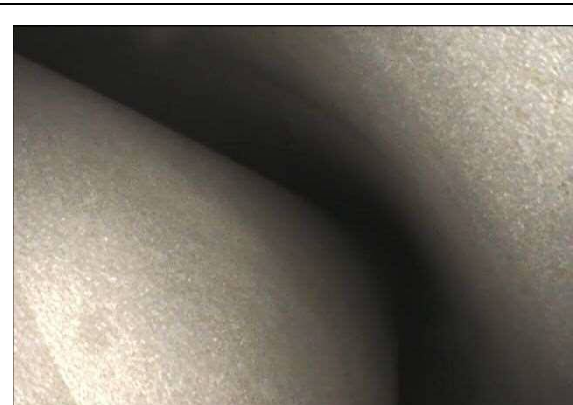


○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○：ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

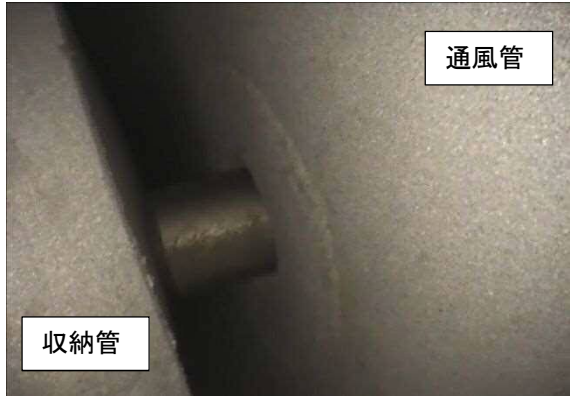



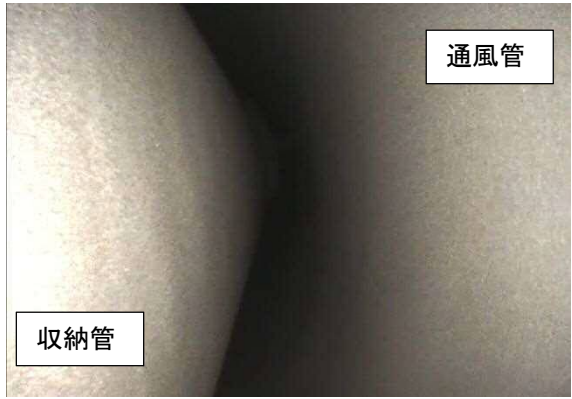
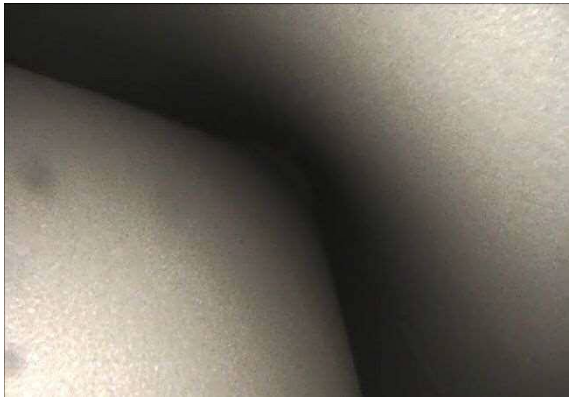
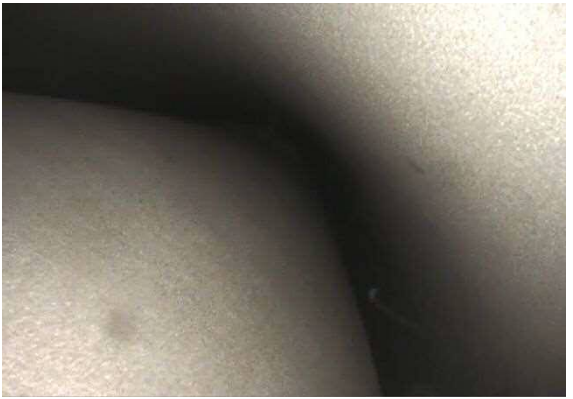
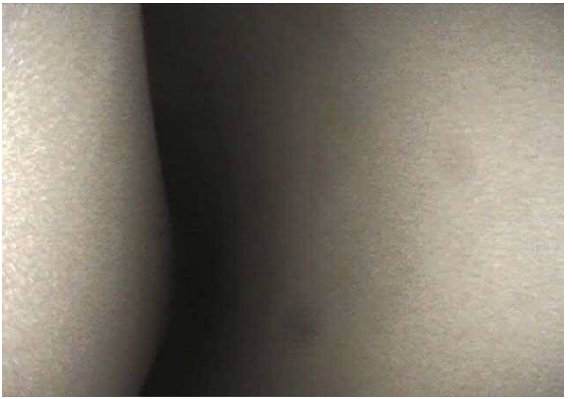
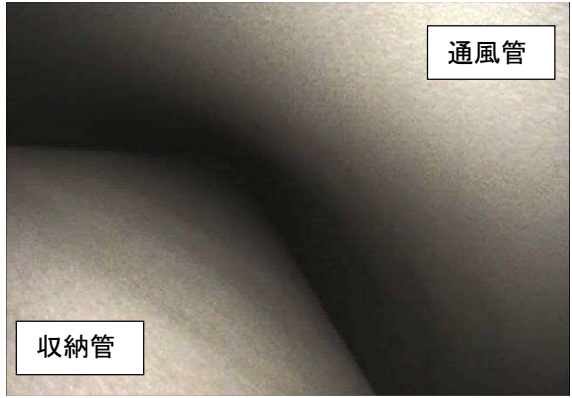


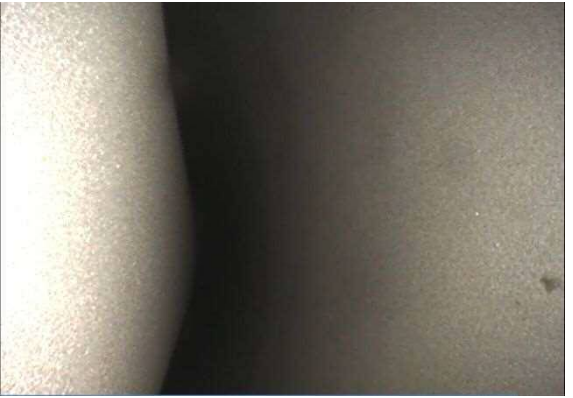
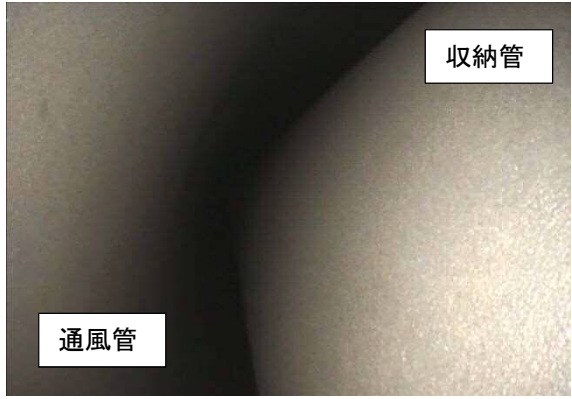



○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

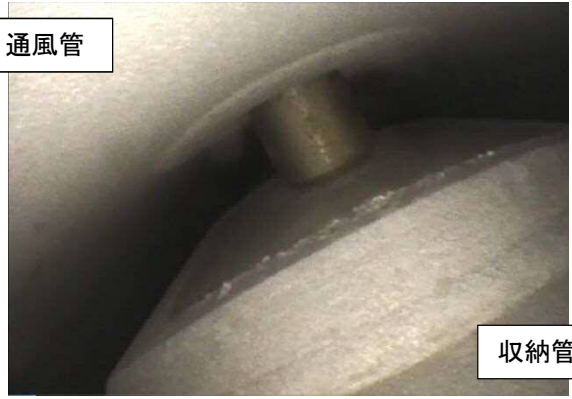



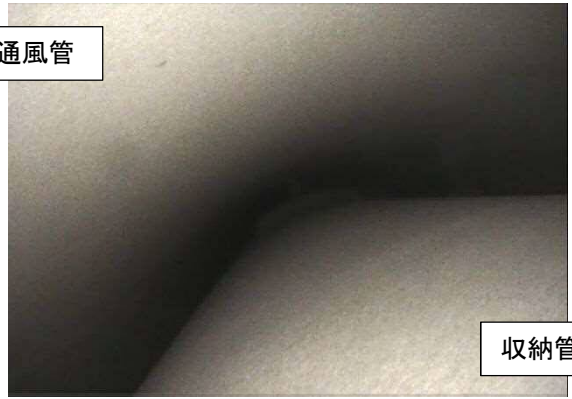

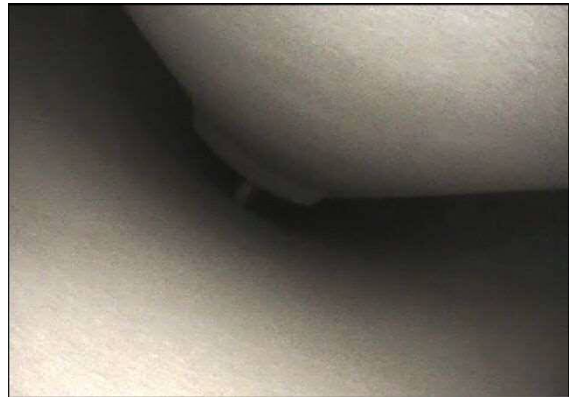
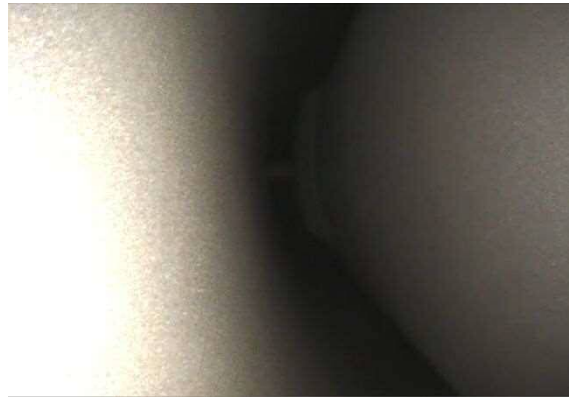
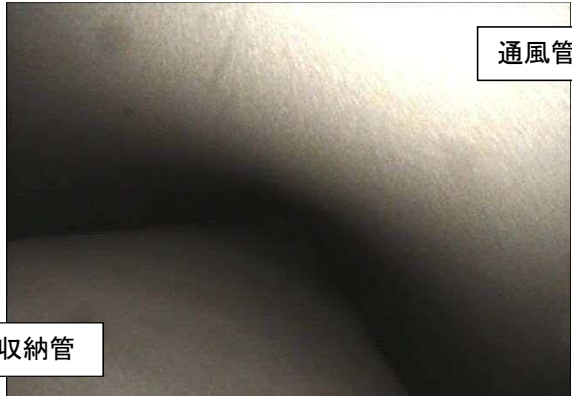
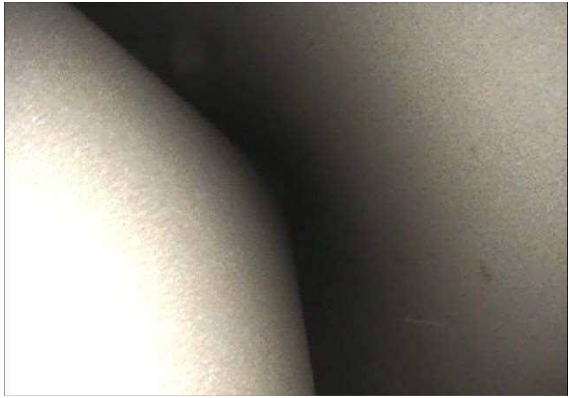

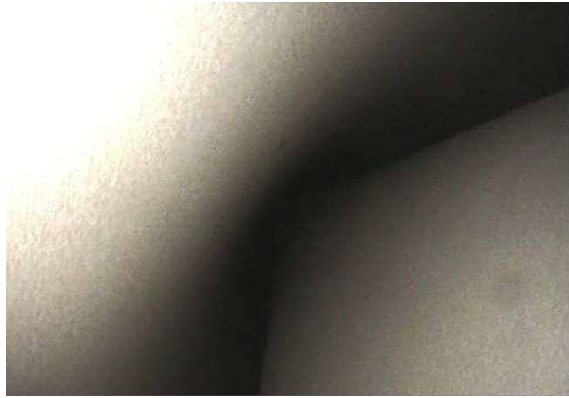
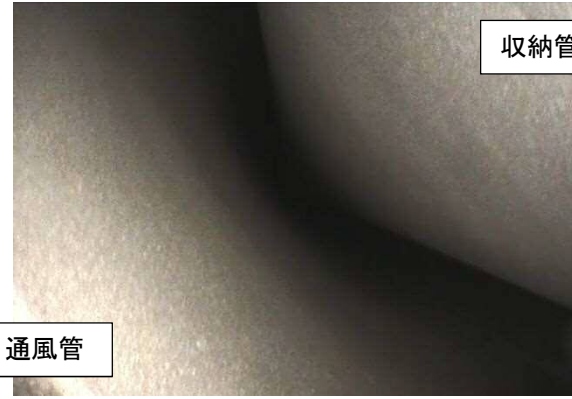

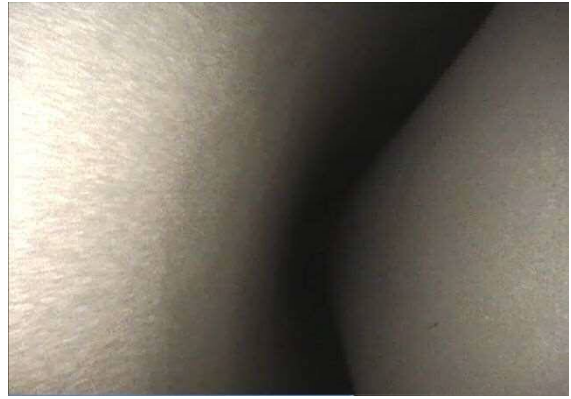

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



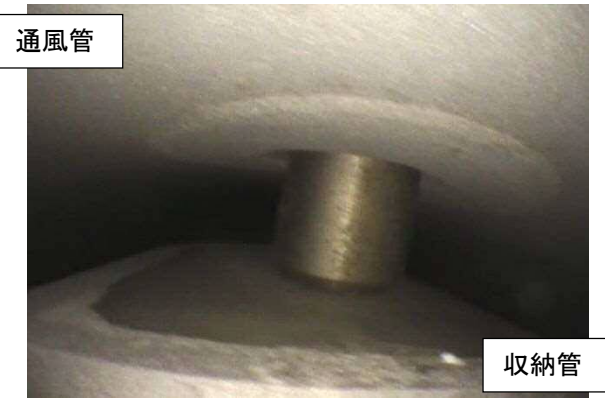



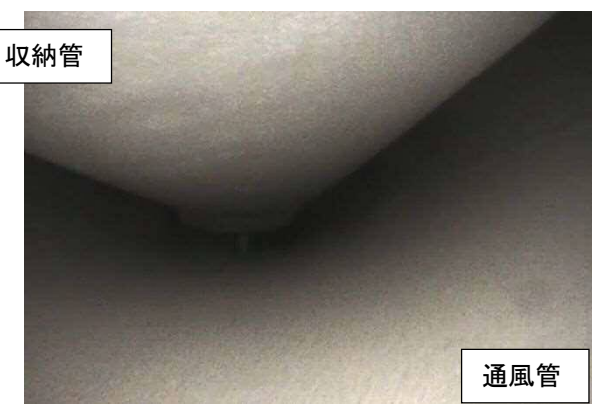



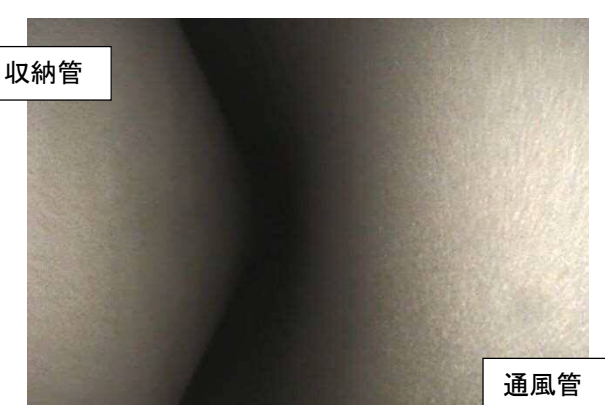

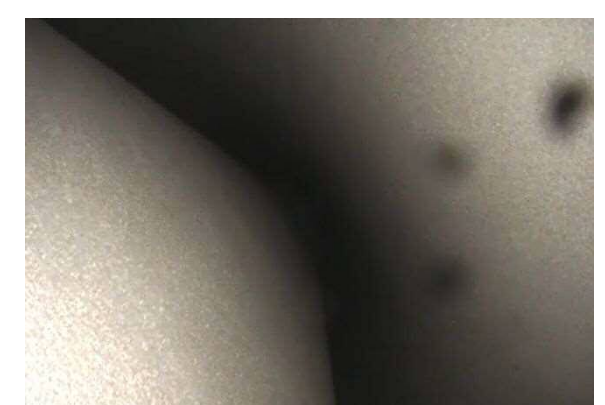



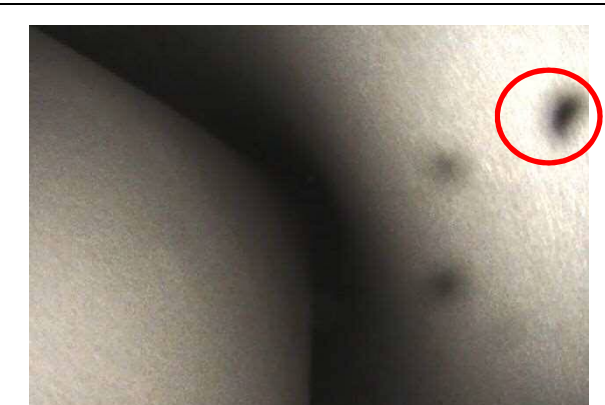

	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



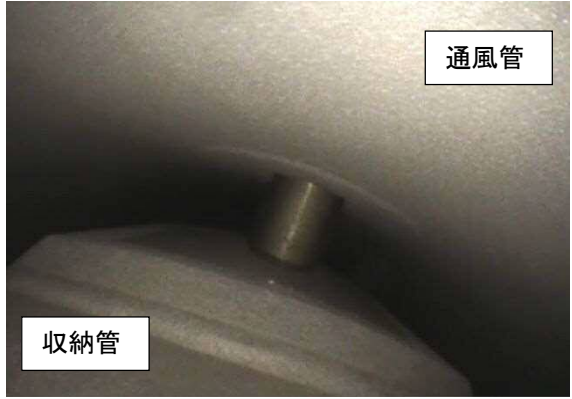



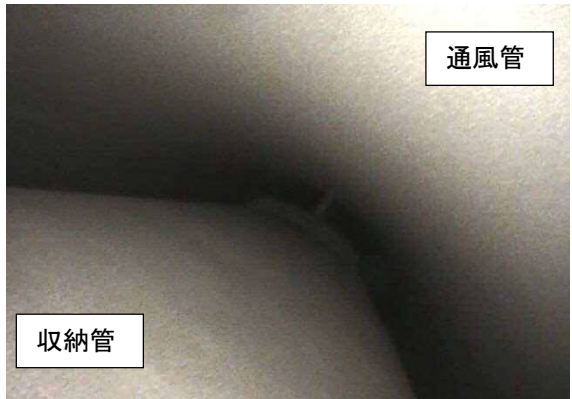



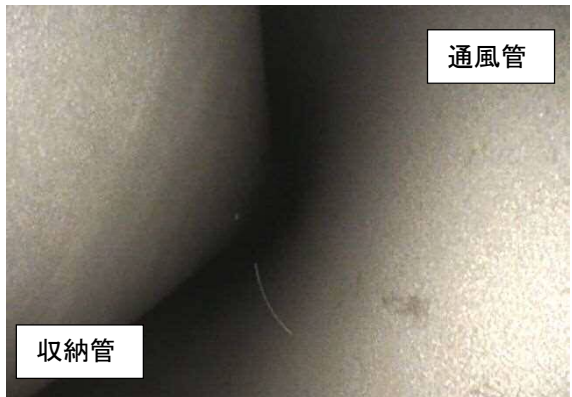



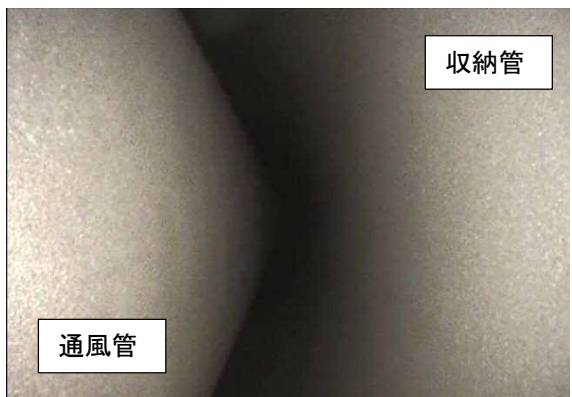



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

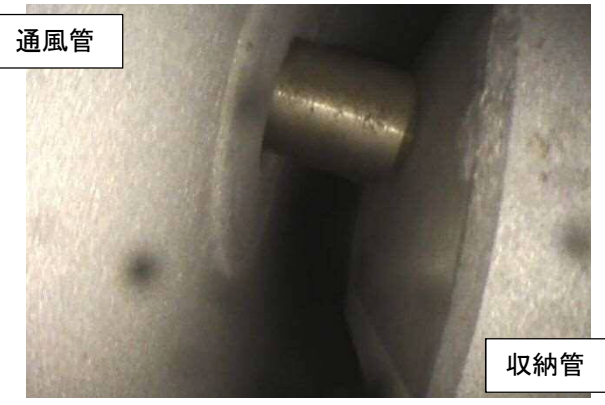
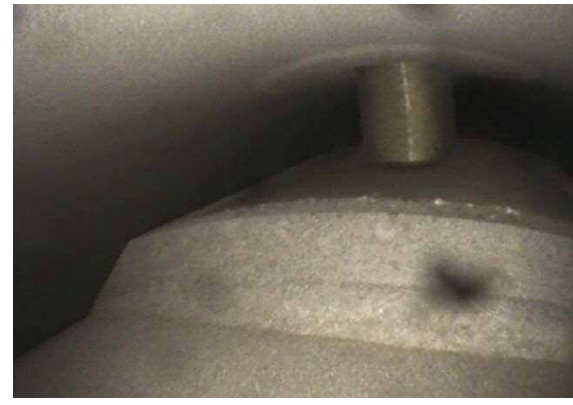


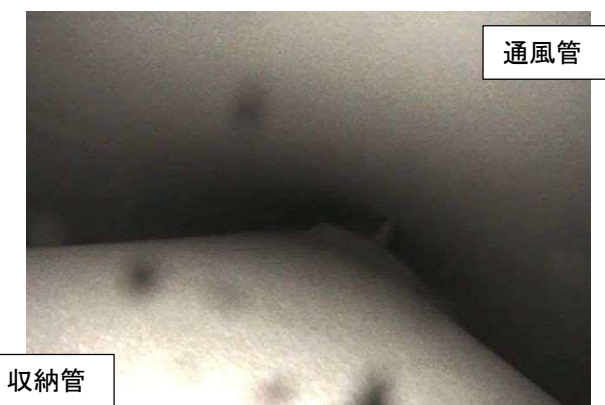


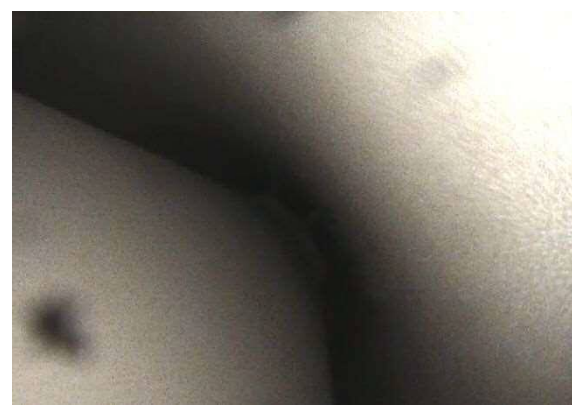
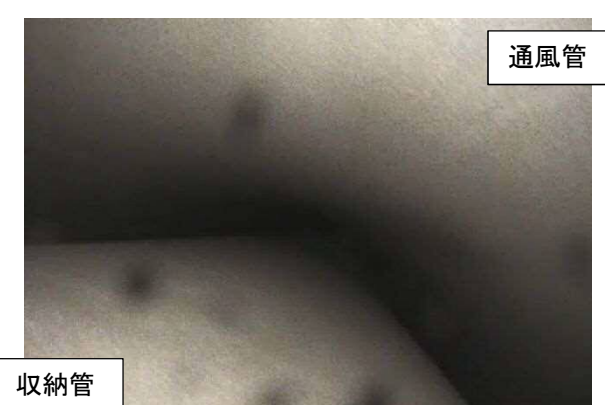


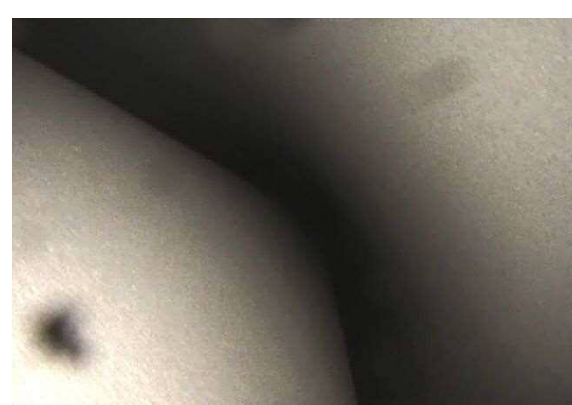
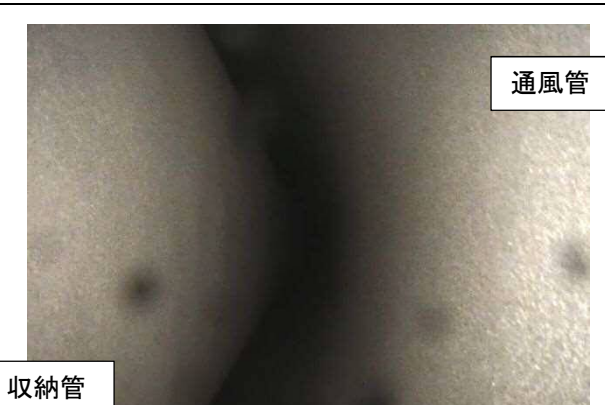
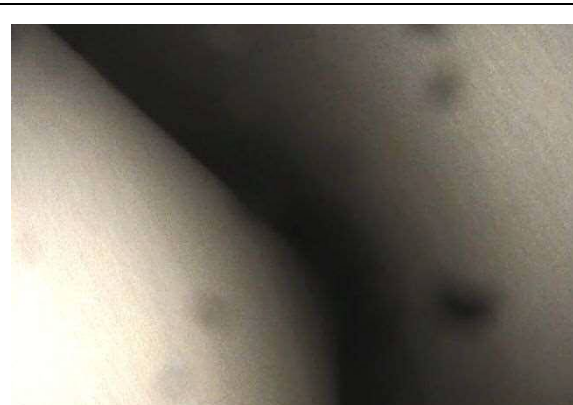
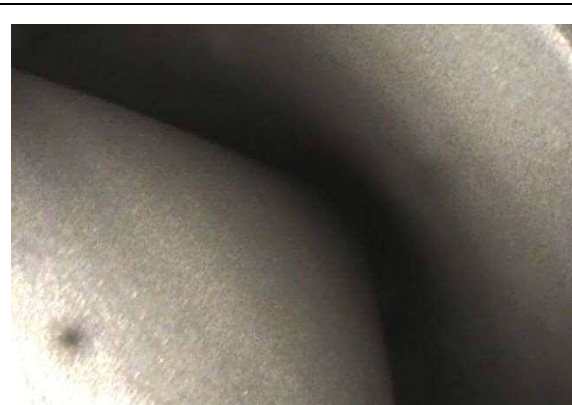

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

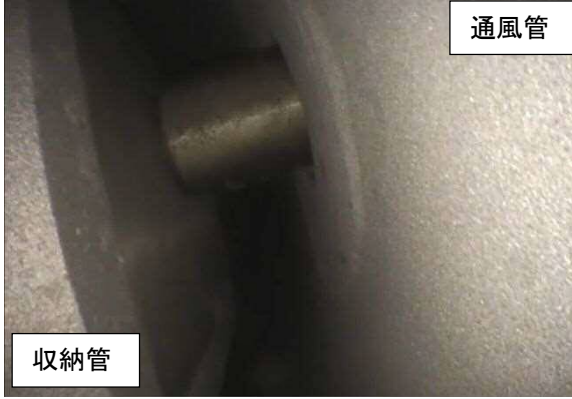



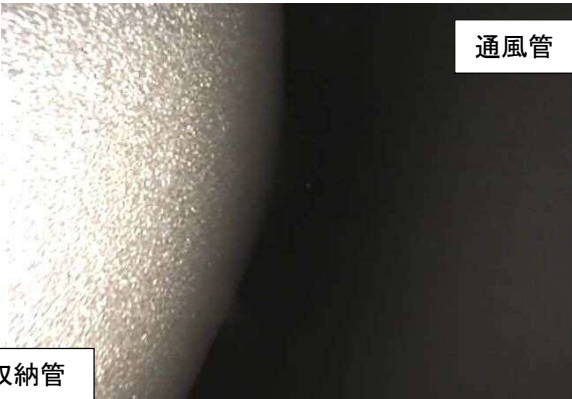

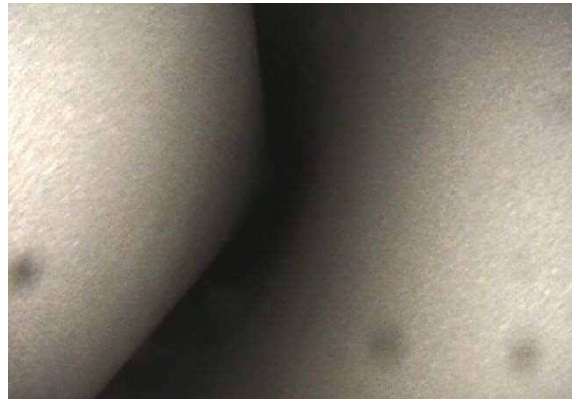

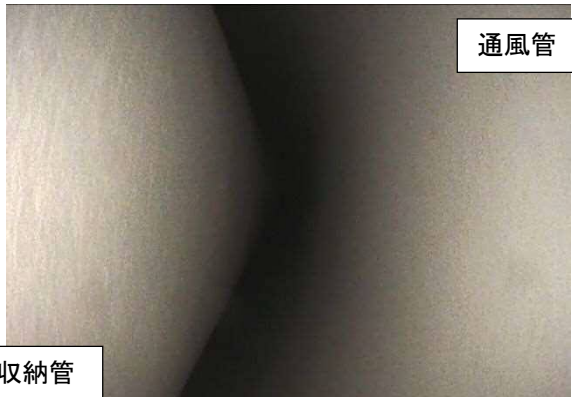



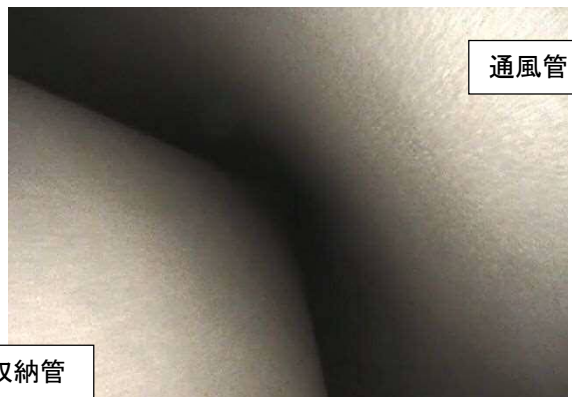


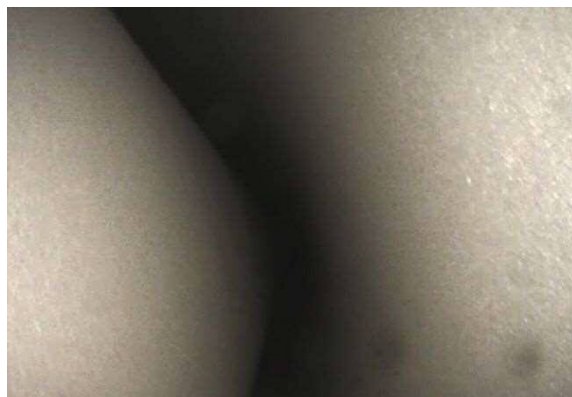
○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

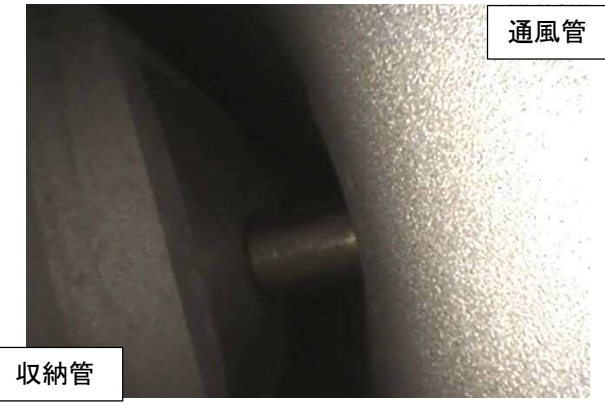



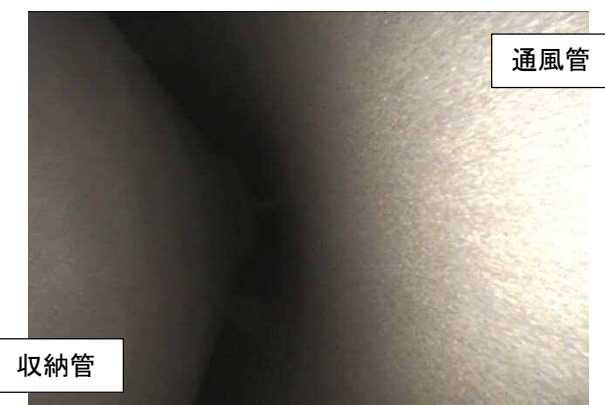

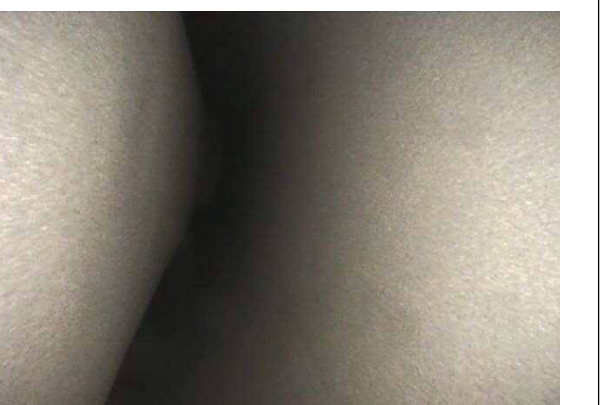
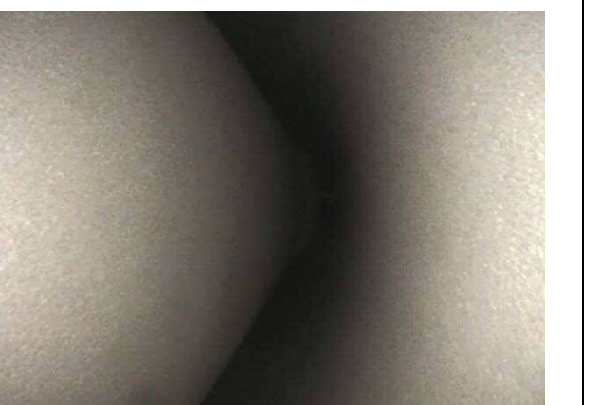
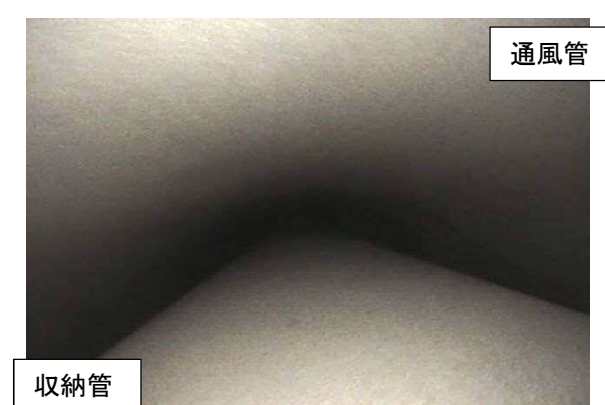
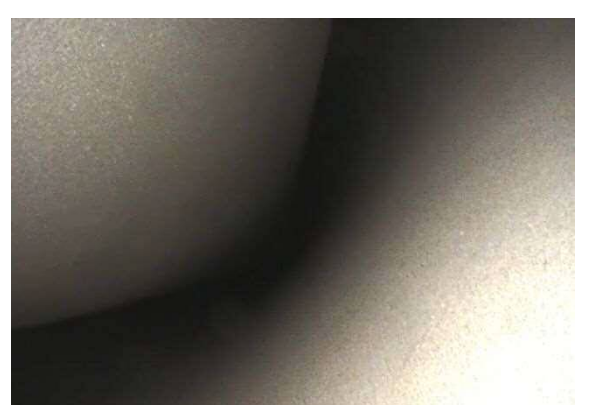
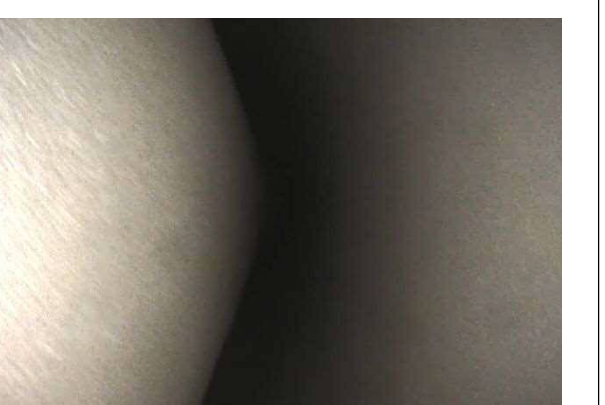
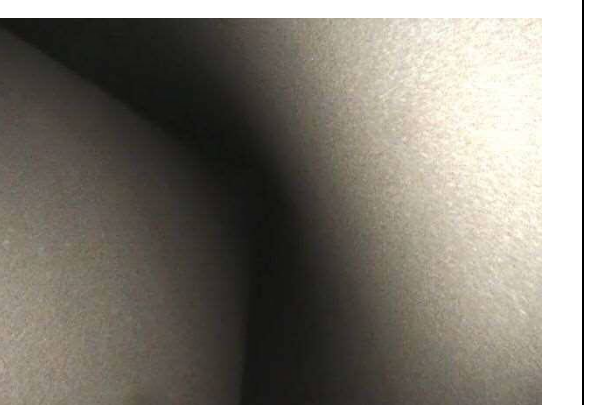
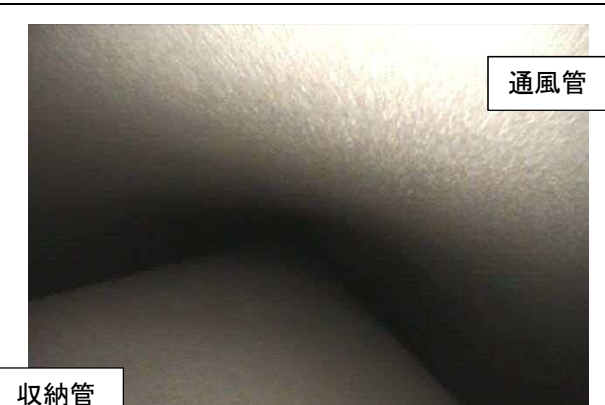
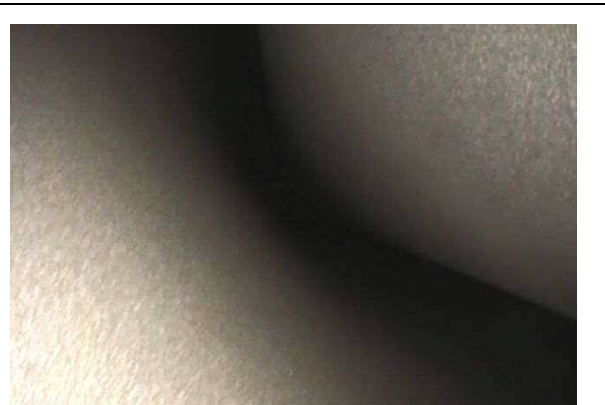

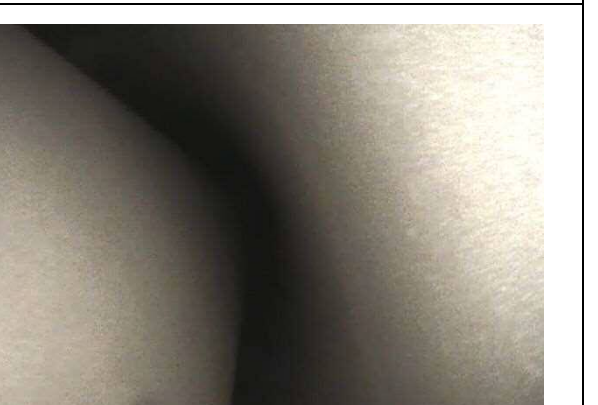
○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



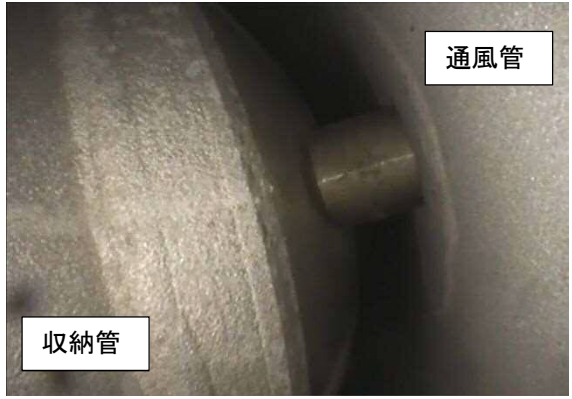

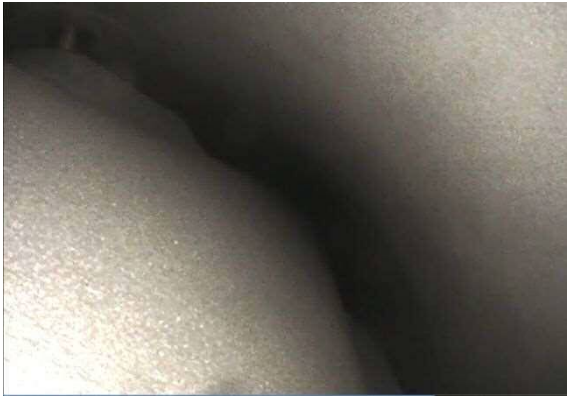

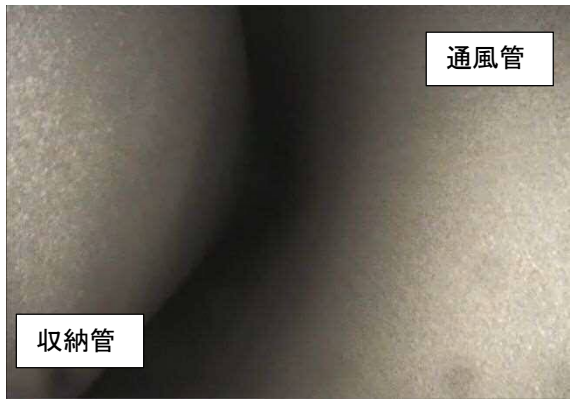
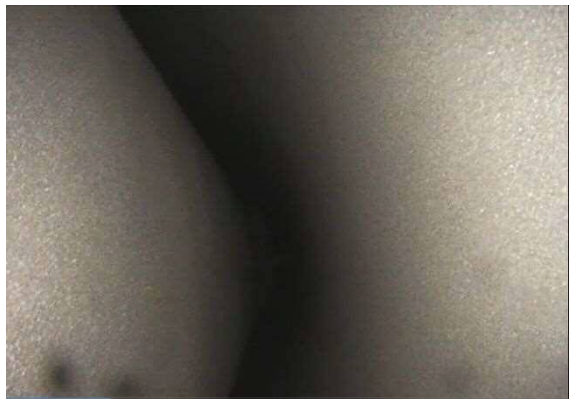

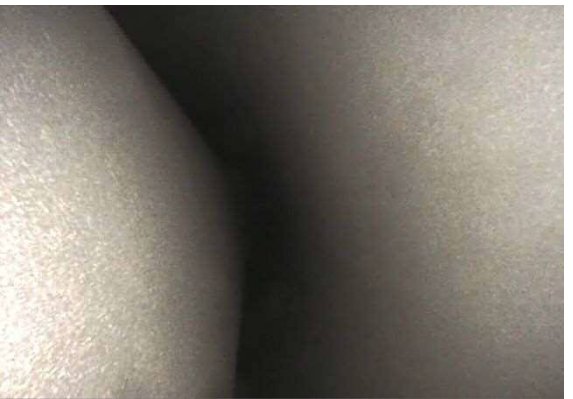
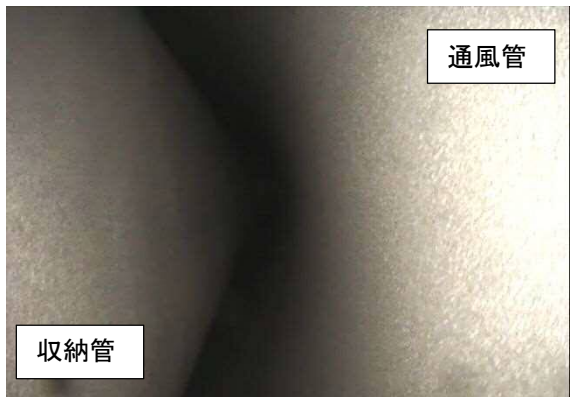
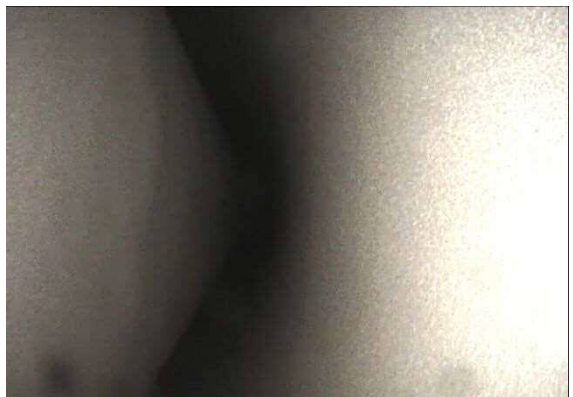

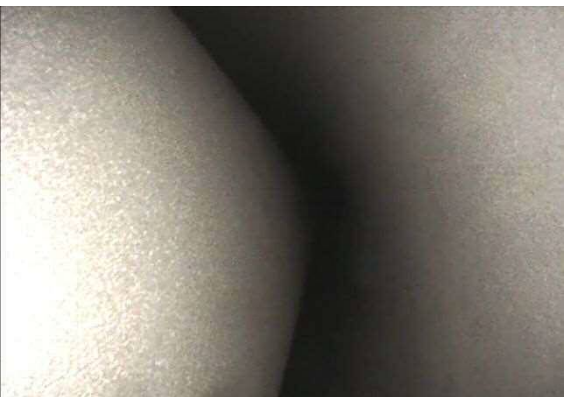
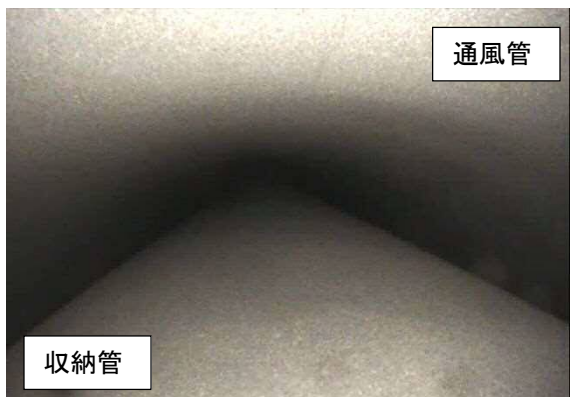


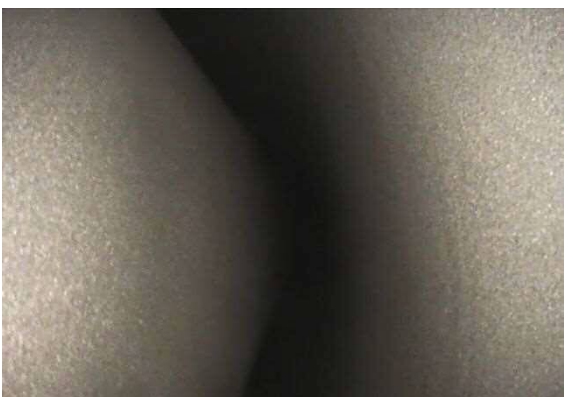
	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



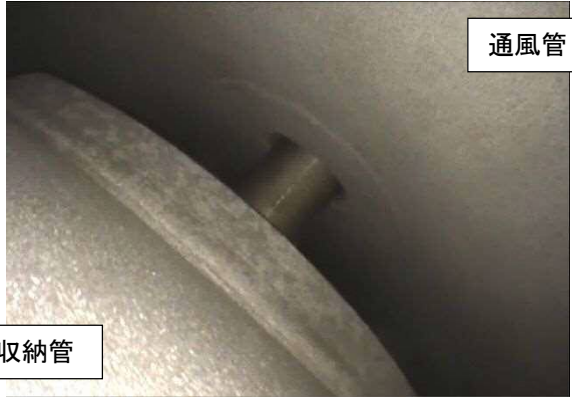



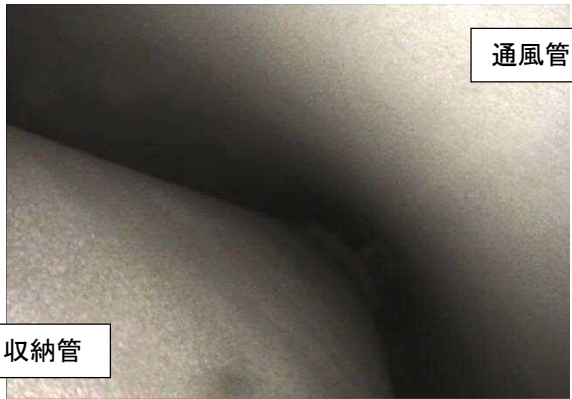



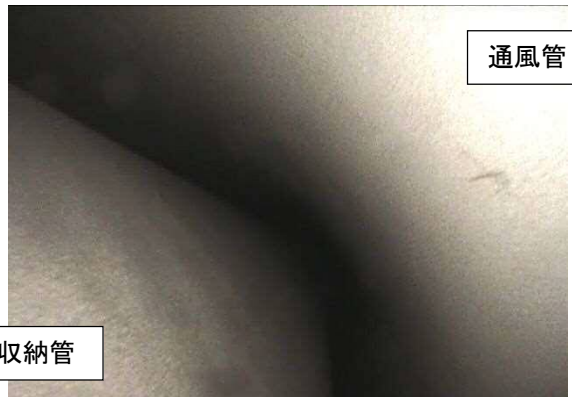



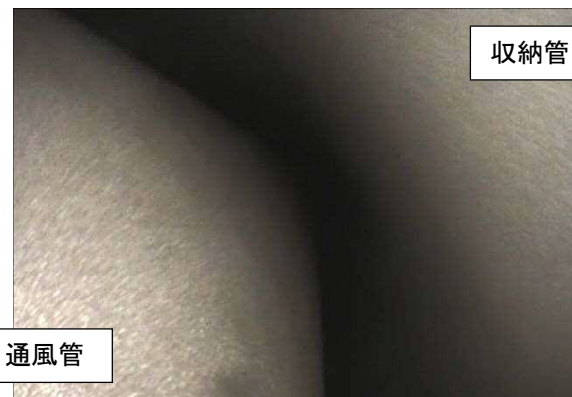
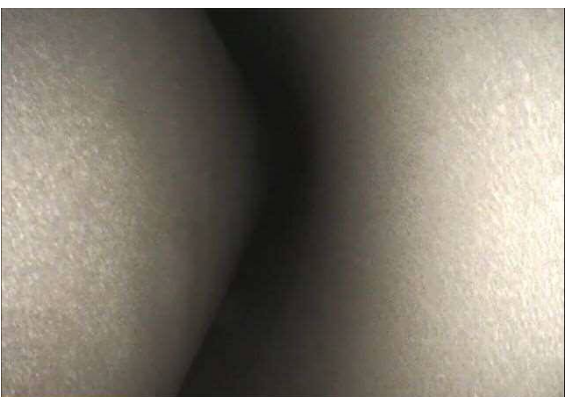


	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

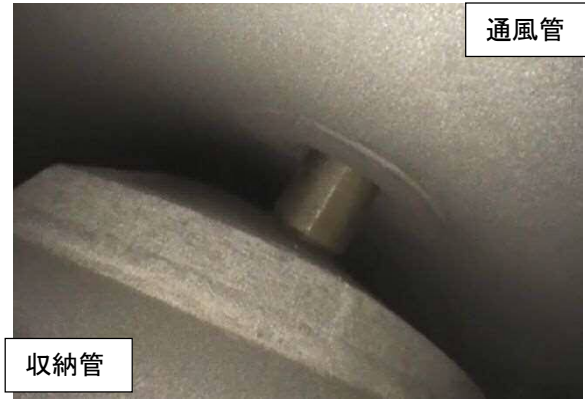



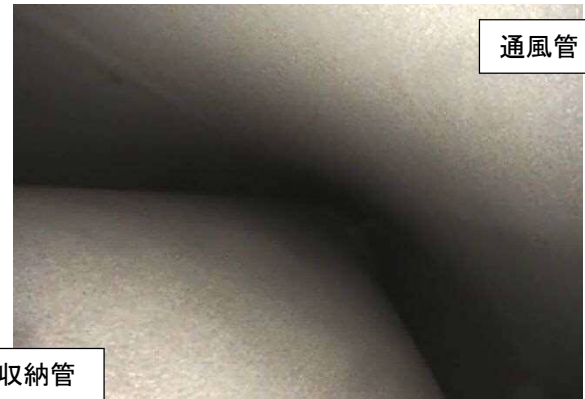
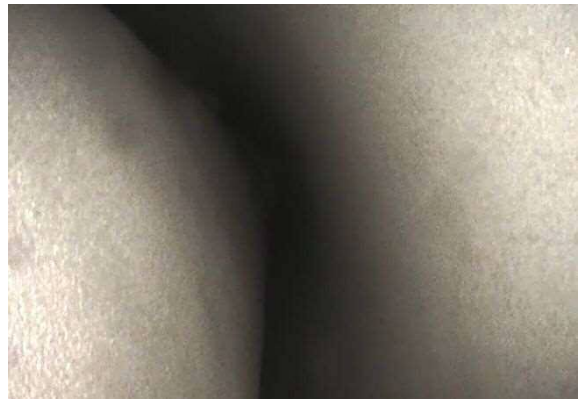

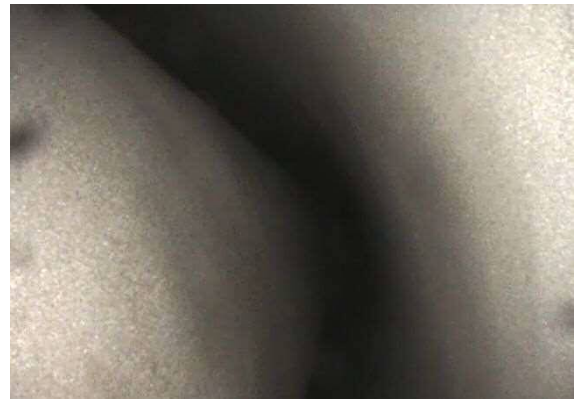
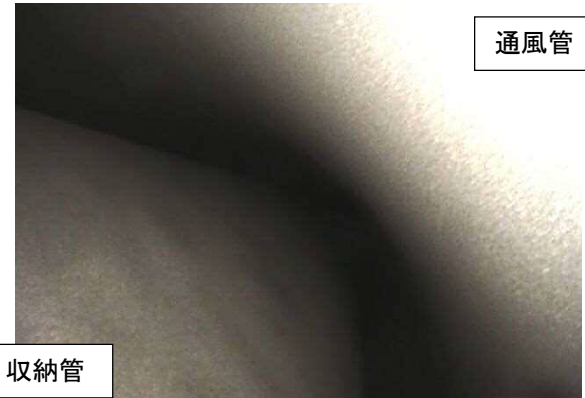

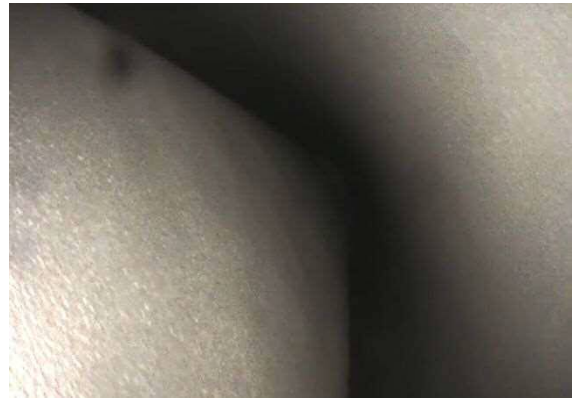

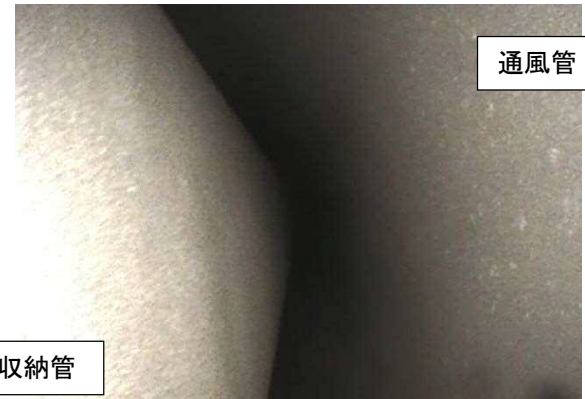


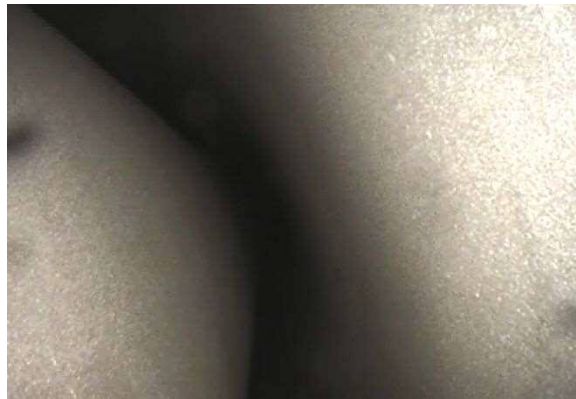
○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>収納管</p> <p>通風管</p>			

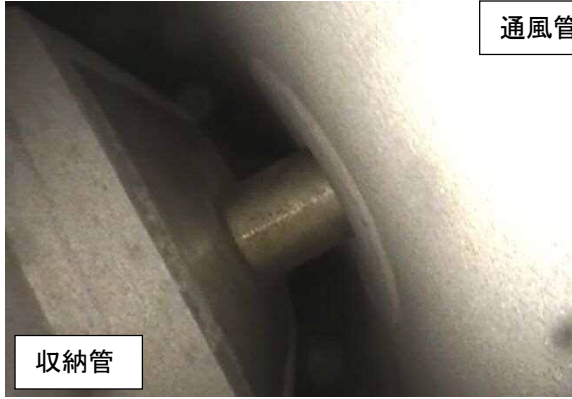



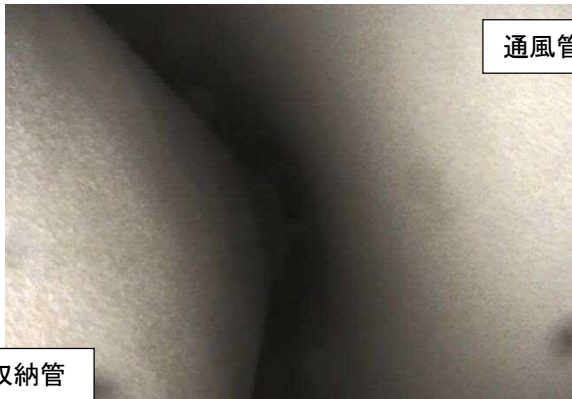
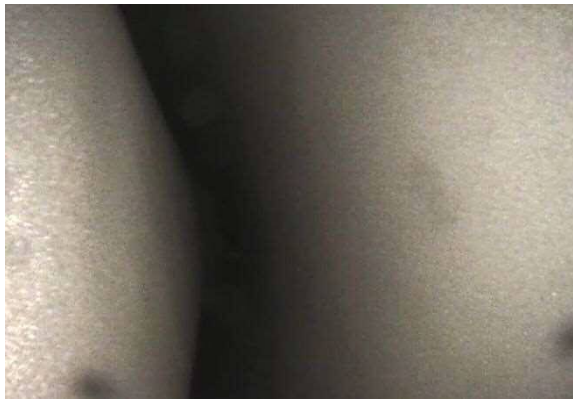
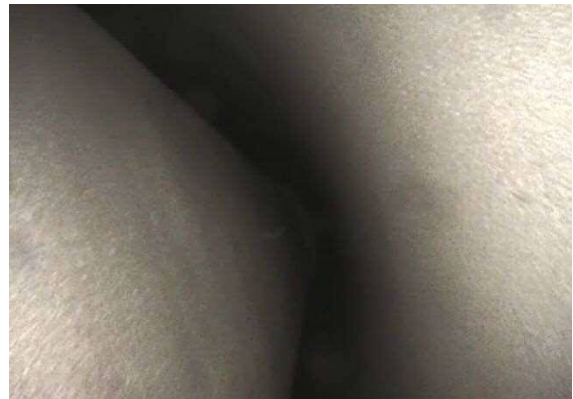

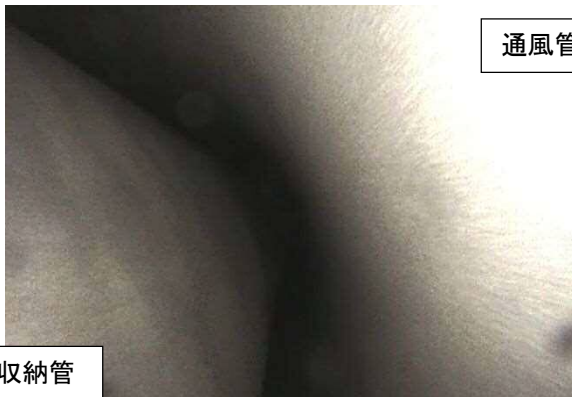
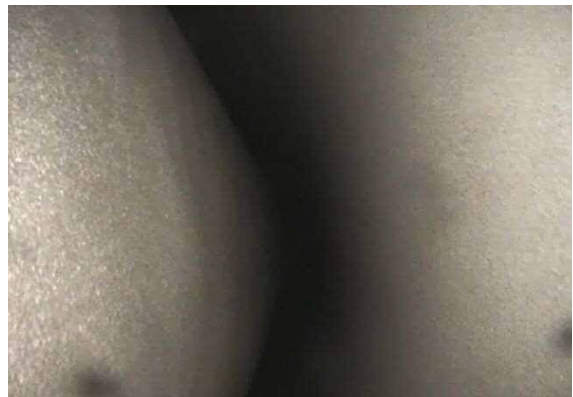
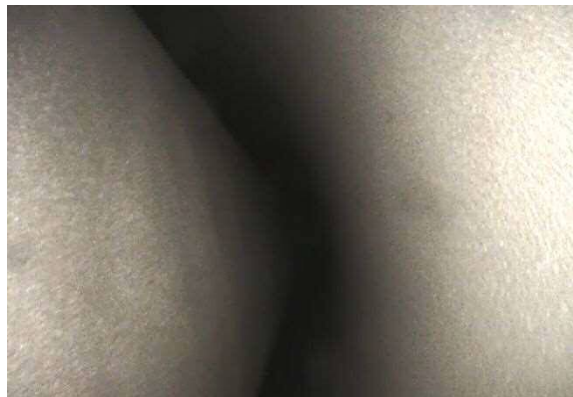

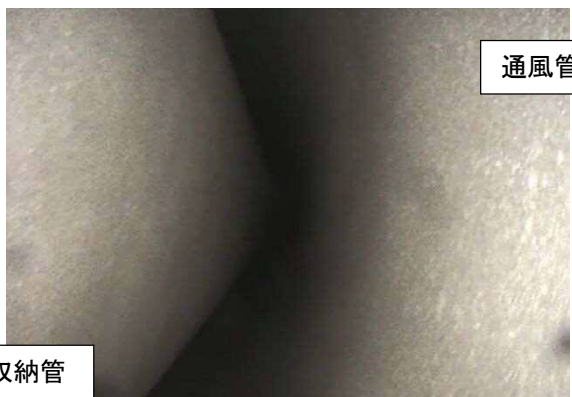

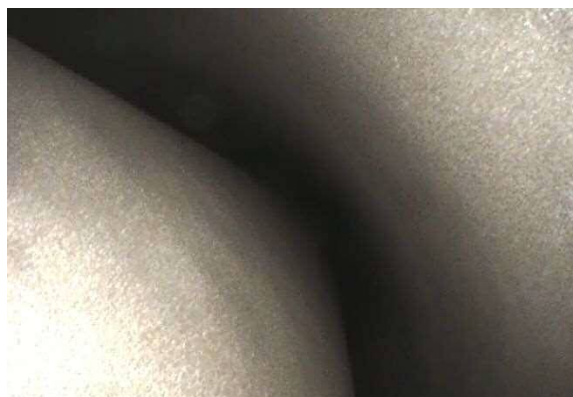
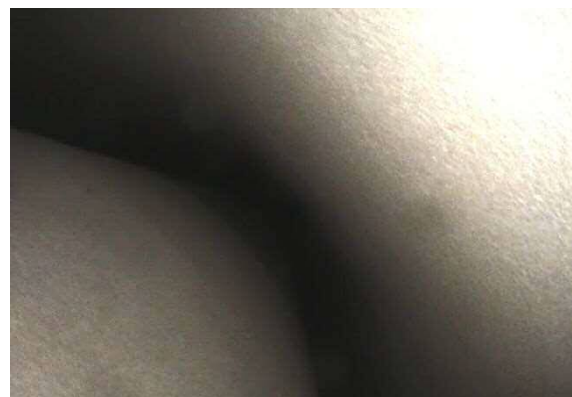
○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				





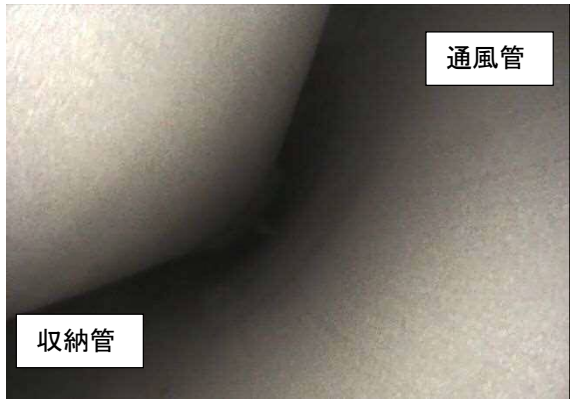

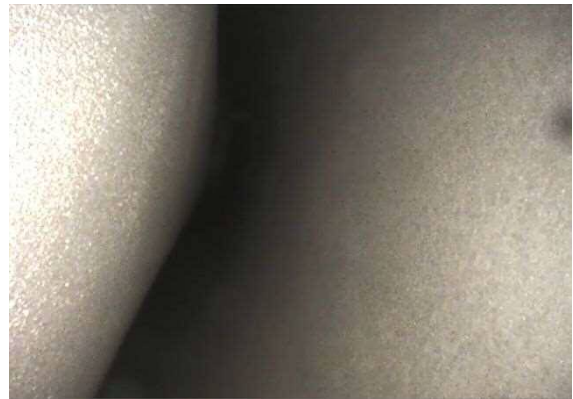
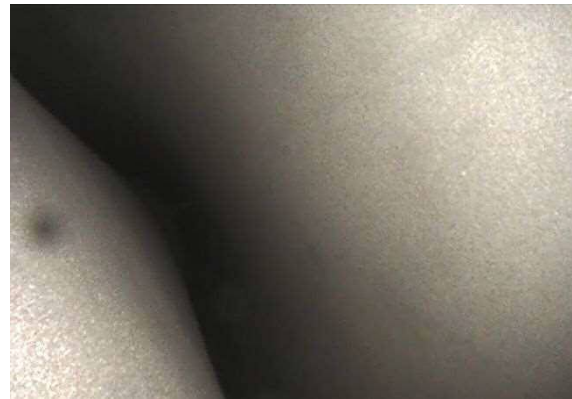
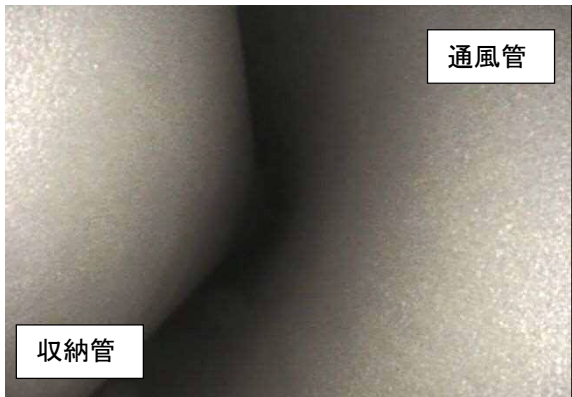



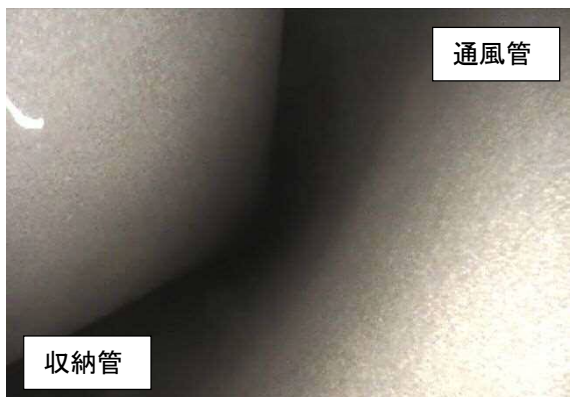
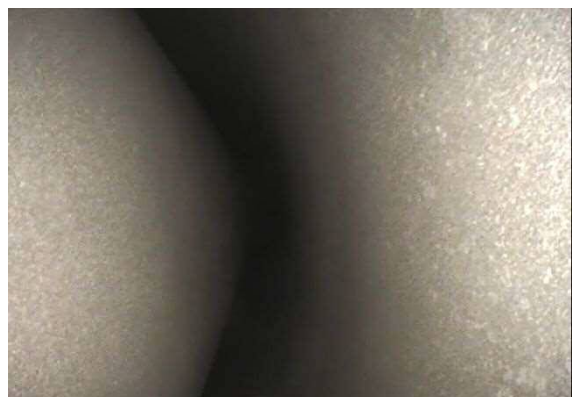
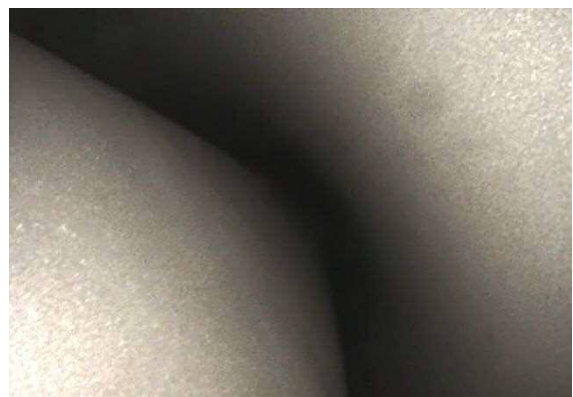
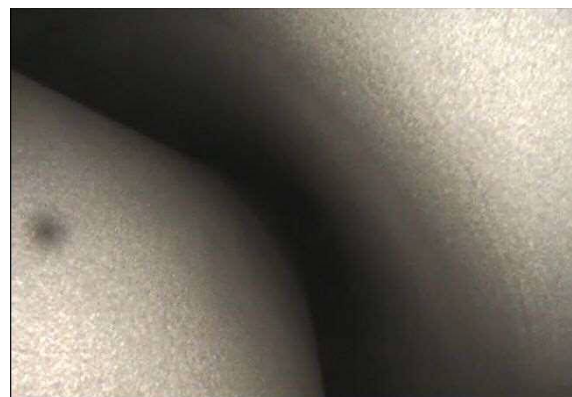
○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				





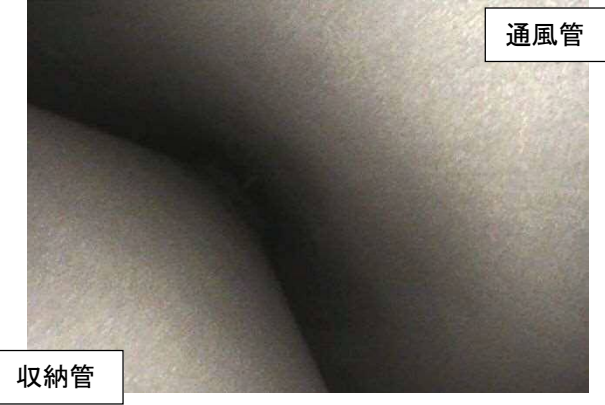
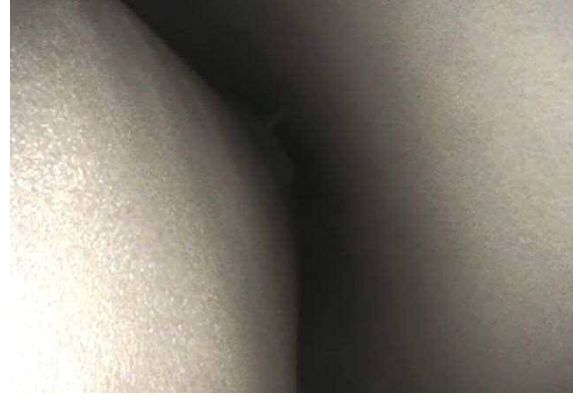
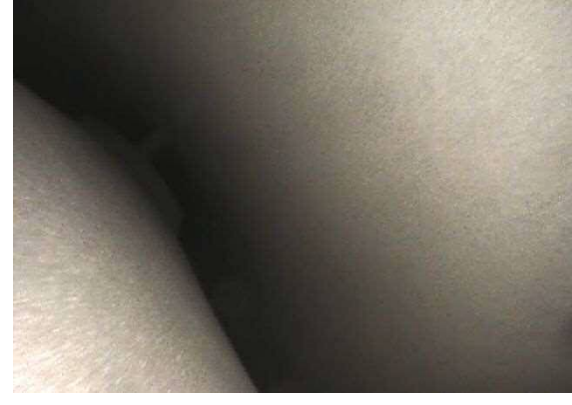
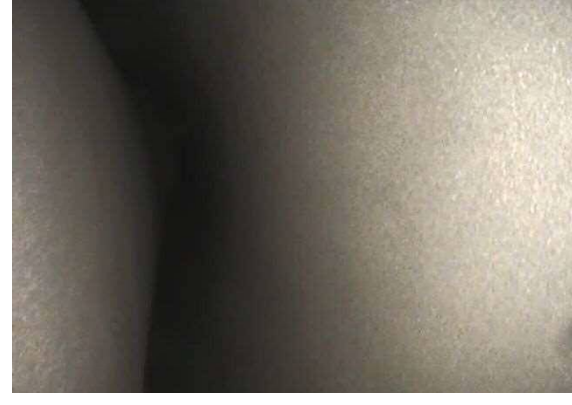
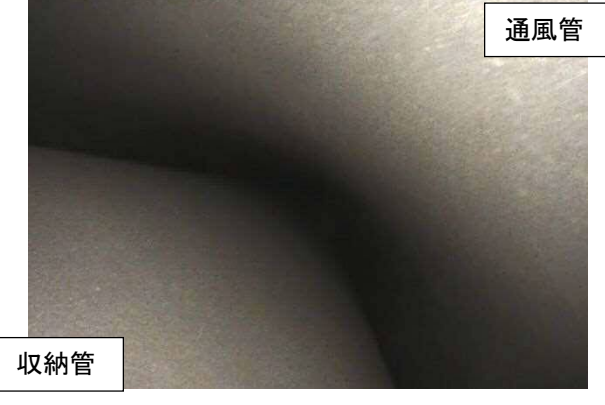
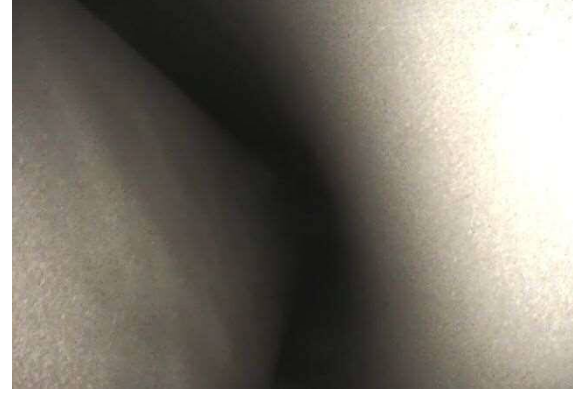
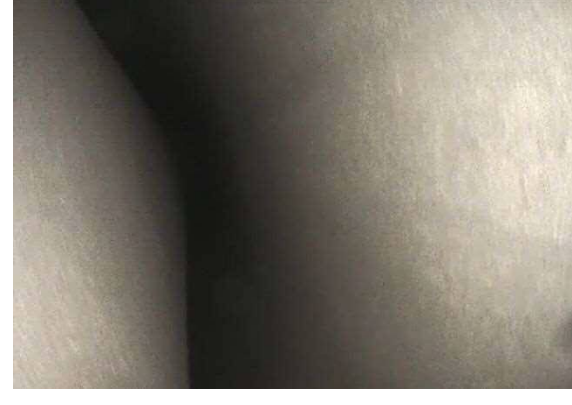
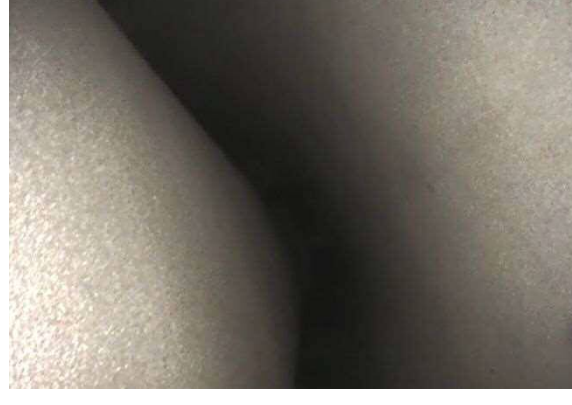
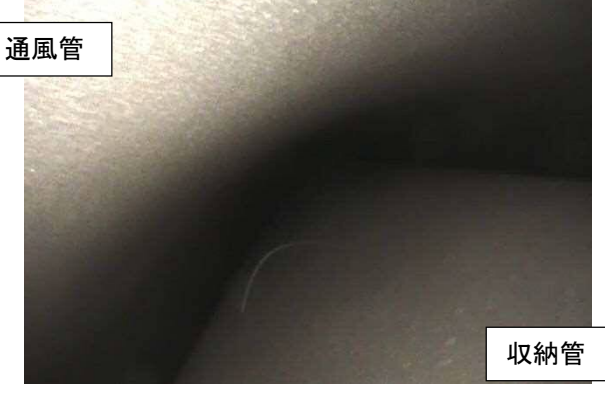
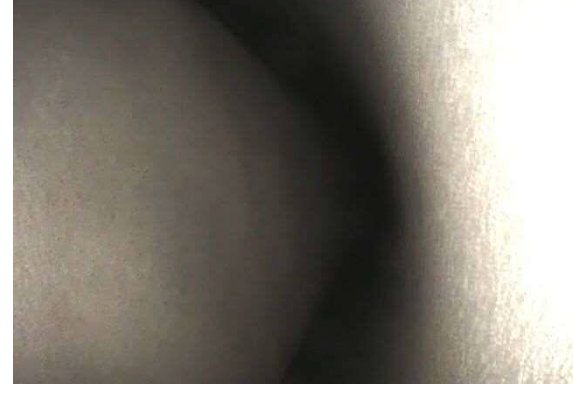
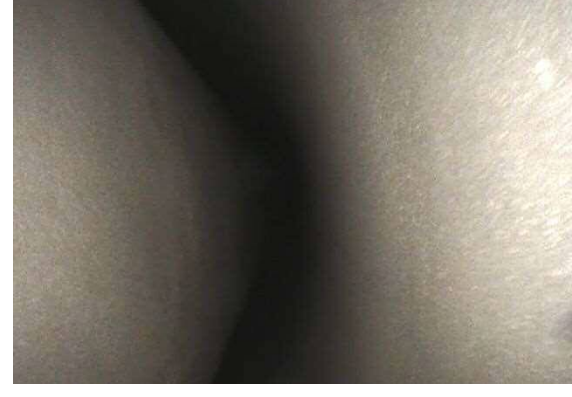
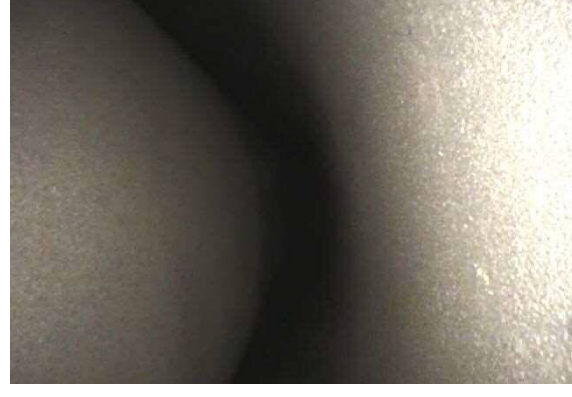
○：ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



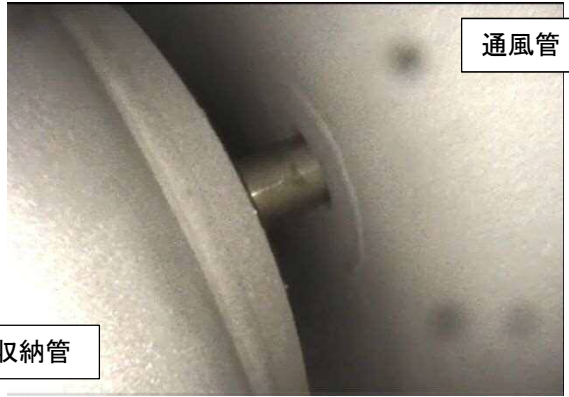
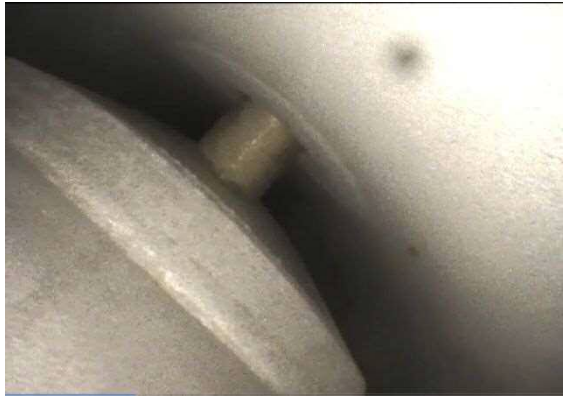

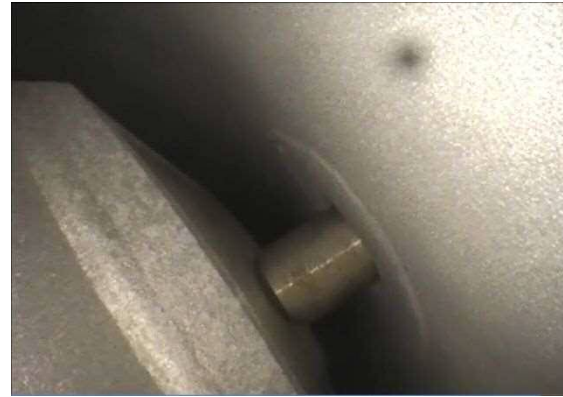
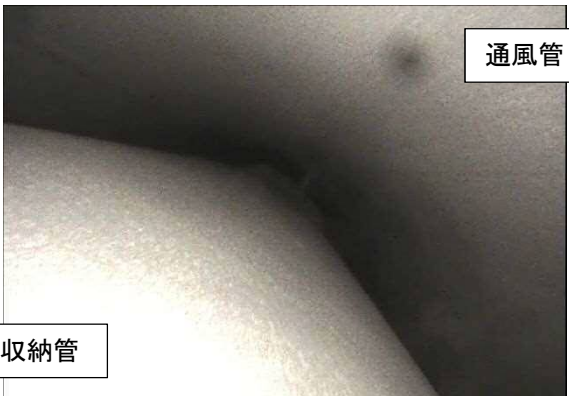



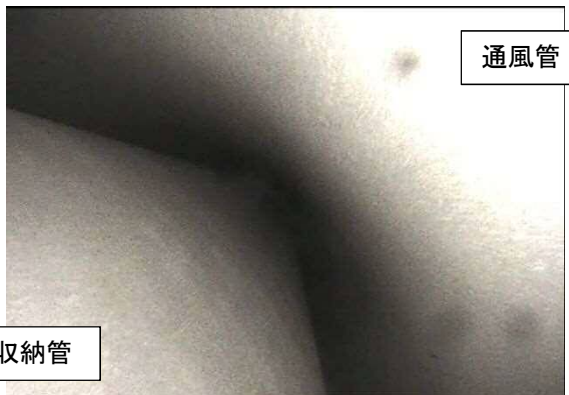



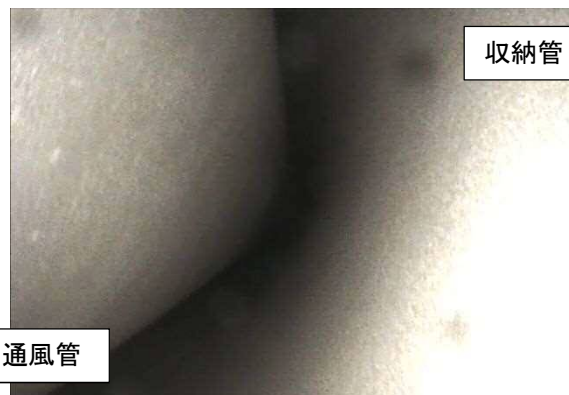


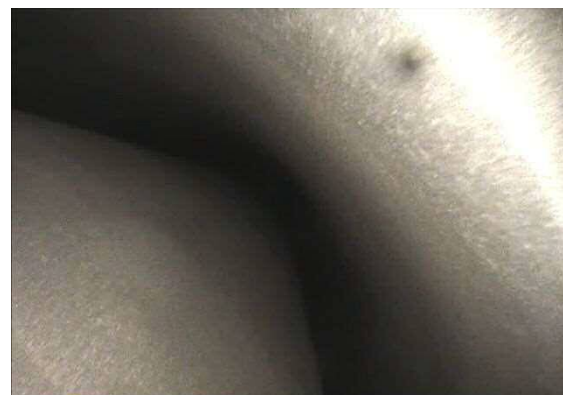
	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○：ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



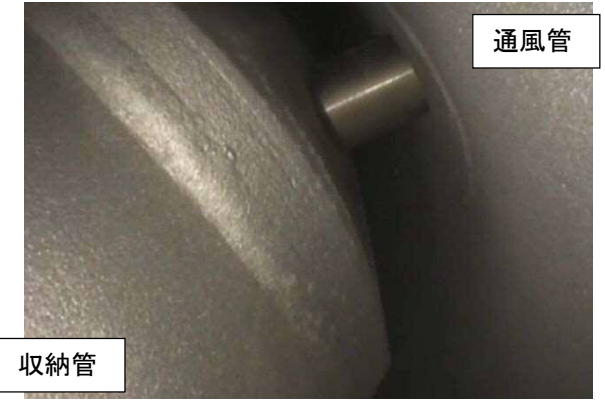



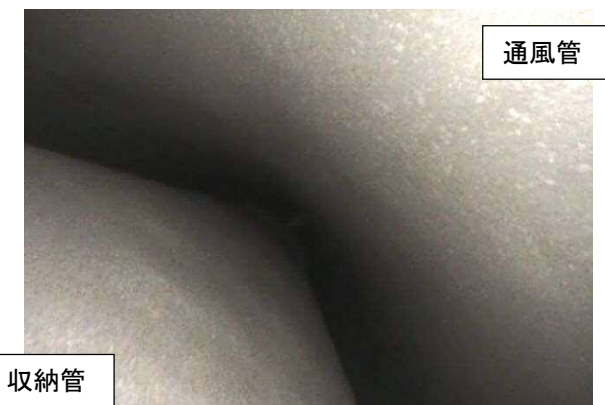
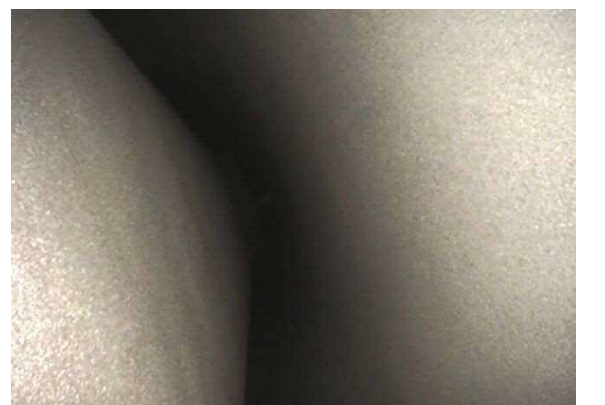
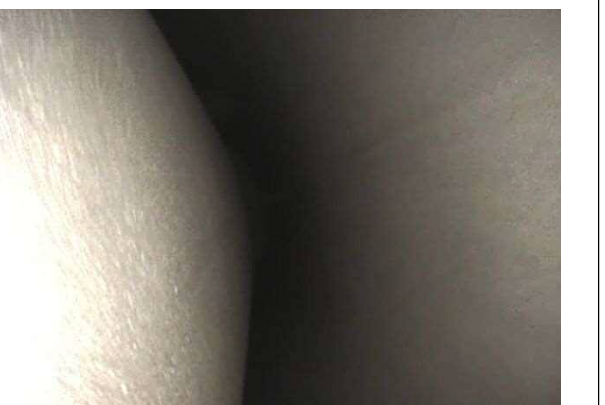
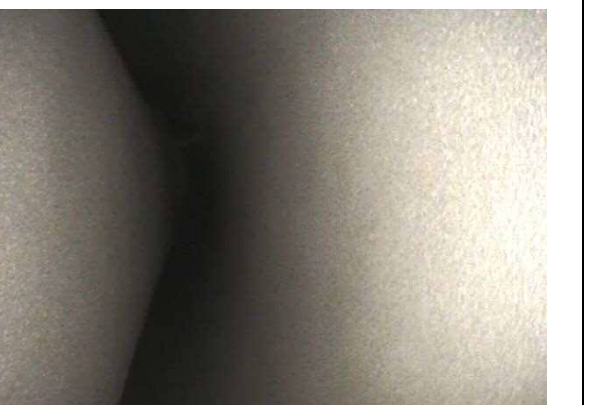
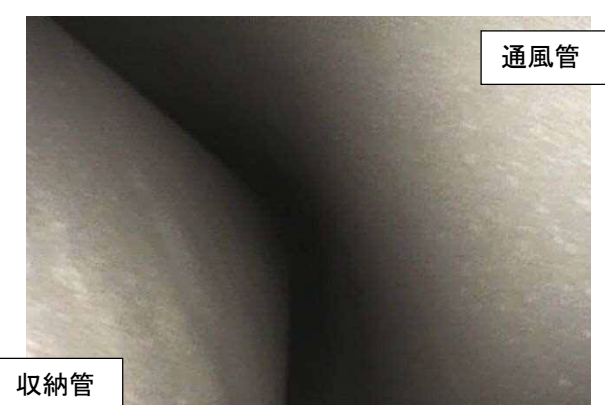
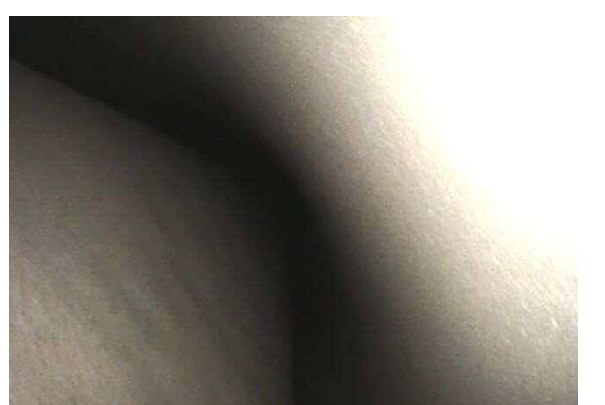
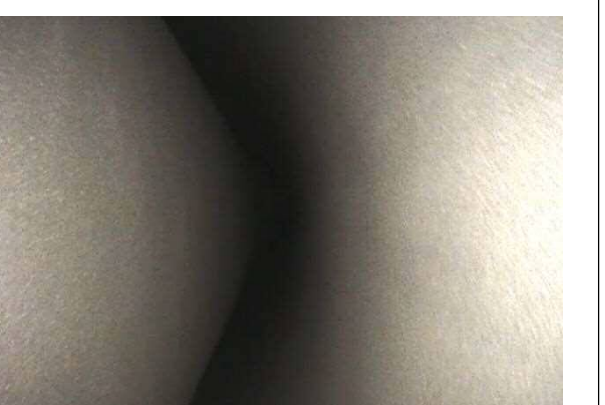
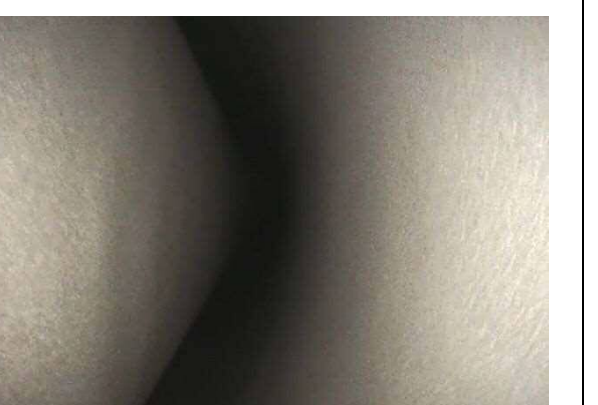
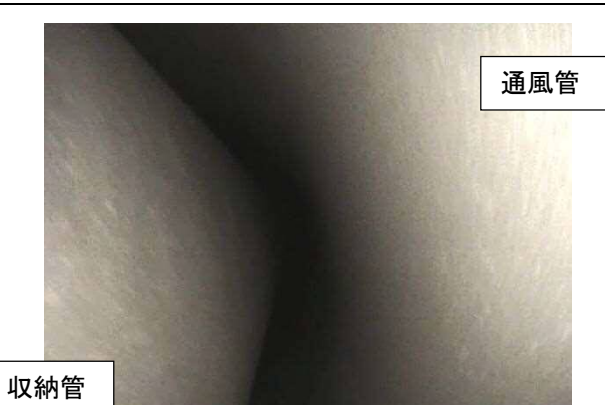

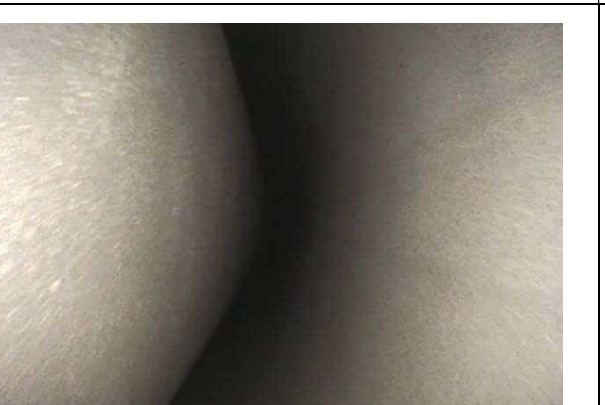
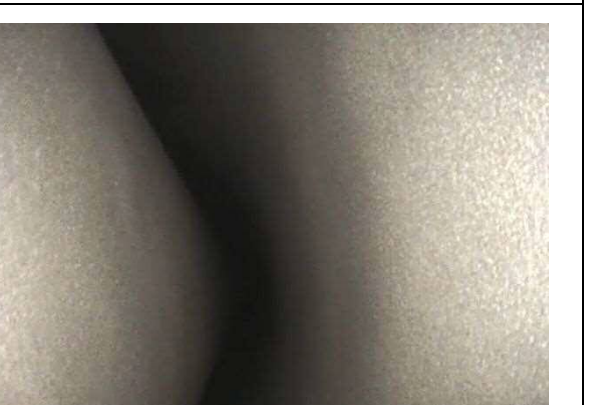
	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



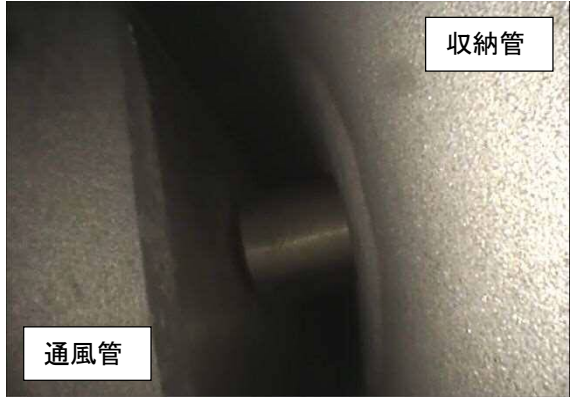



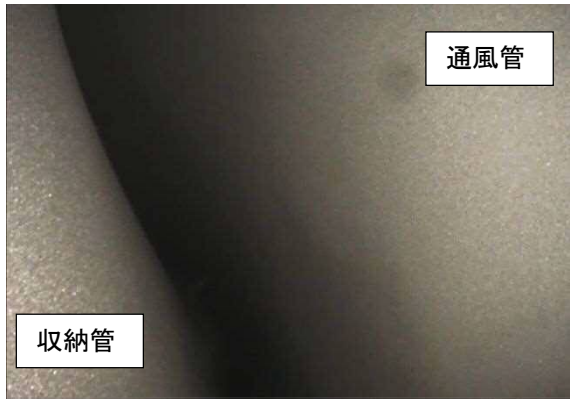
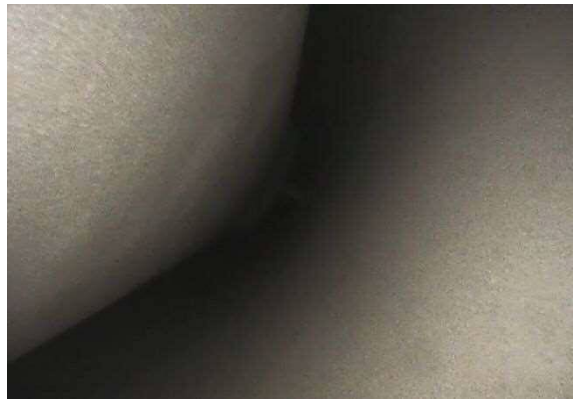
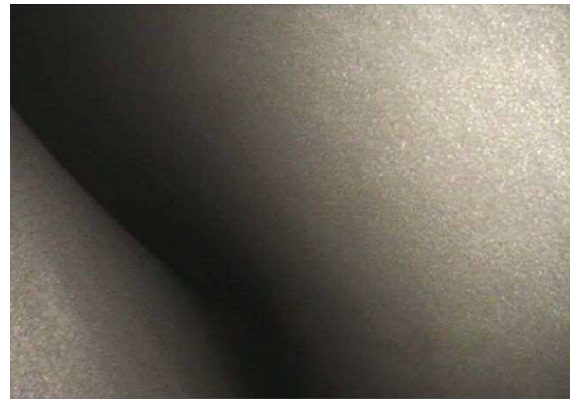

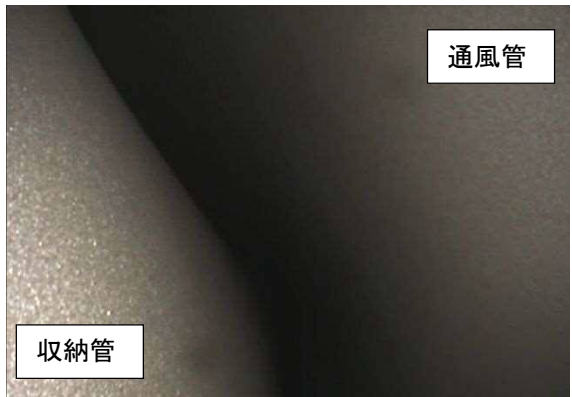



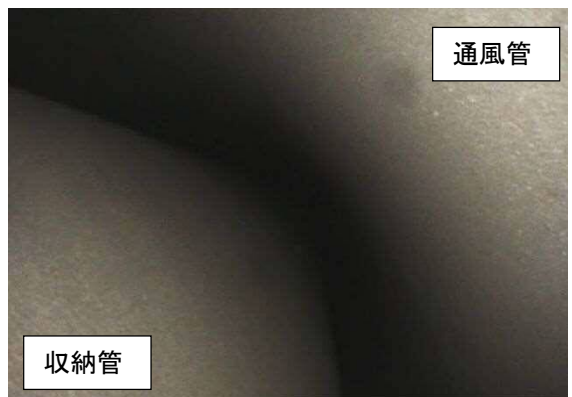
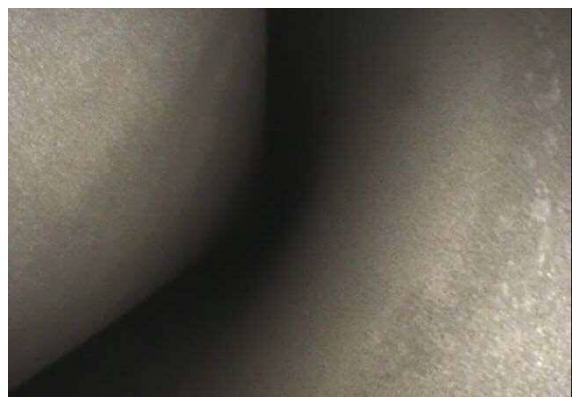

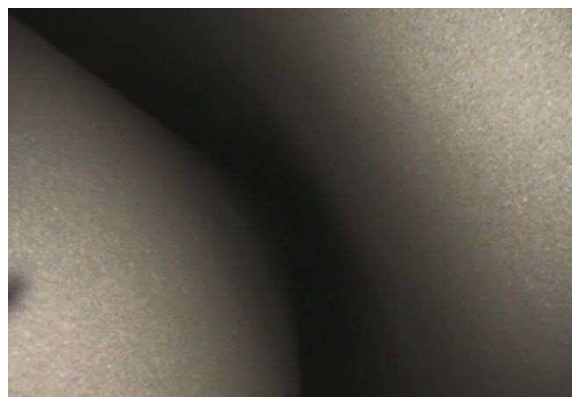
	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。

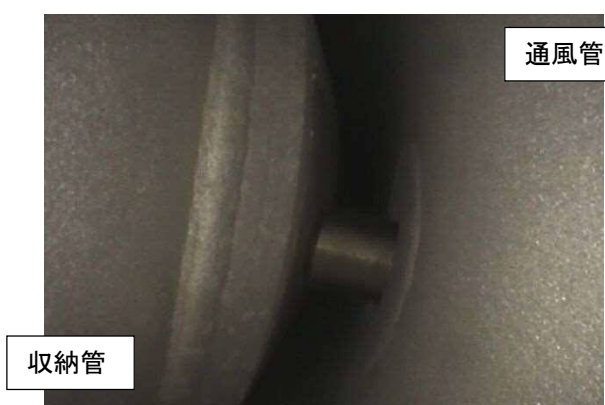

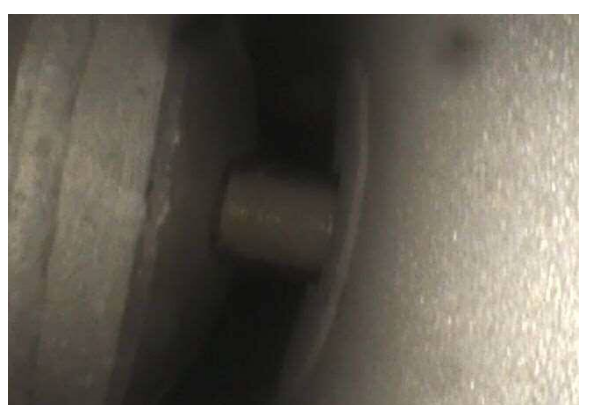

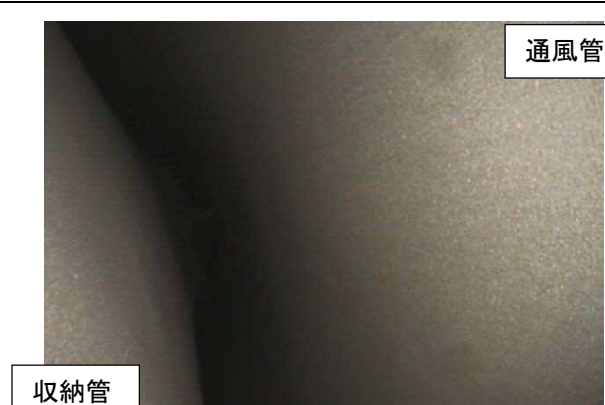
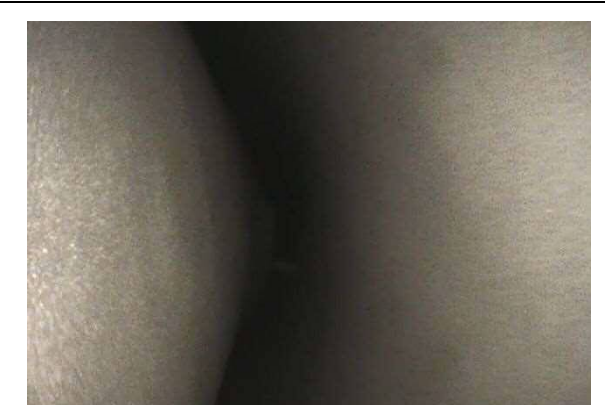
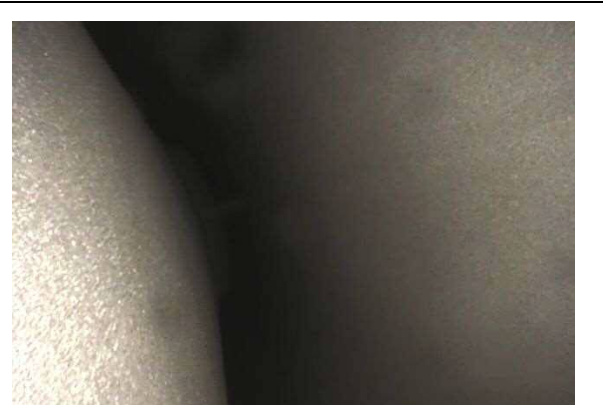

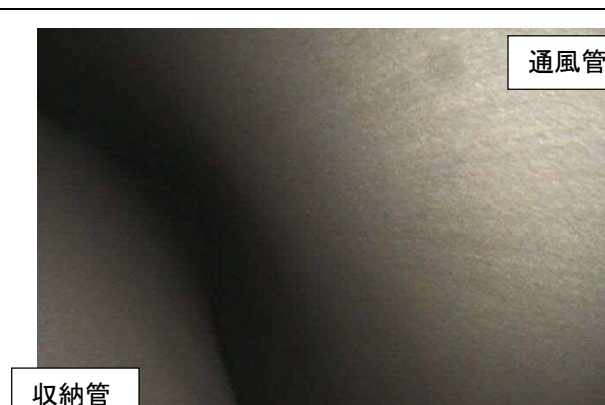
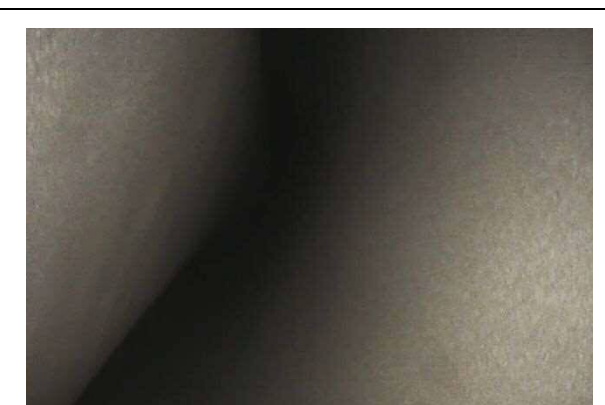
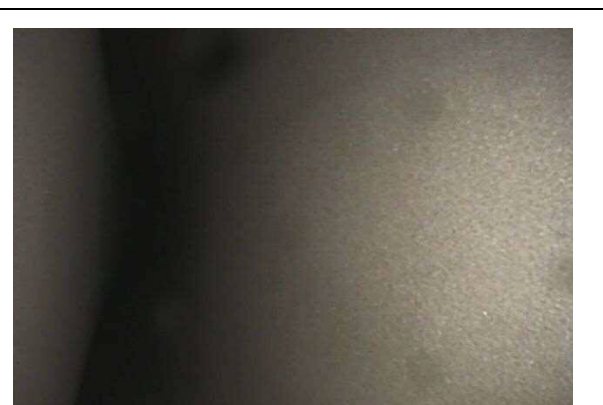

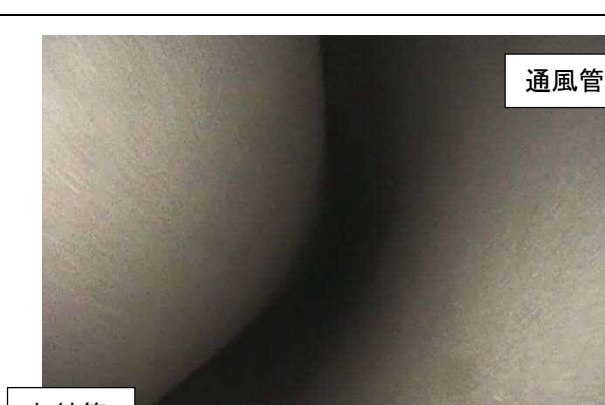
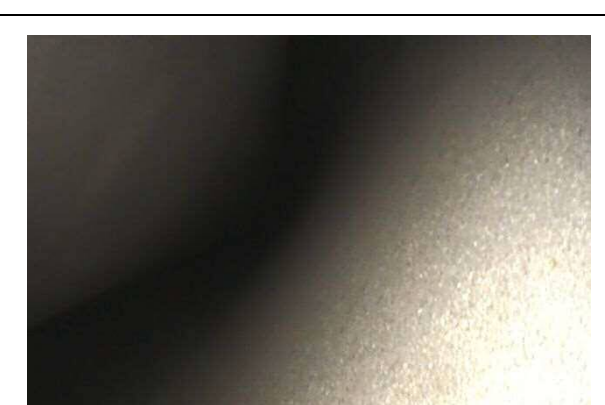
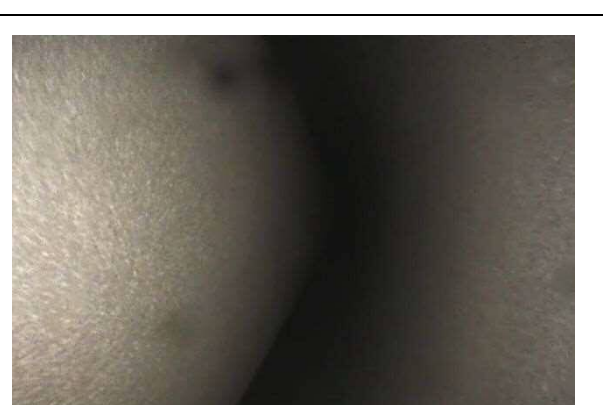
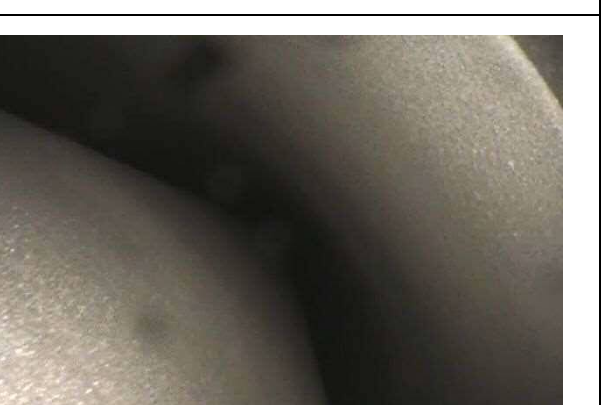


	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



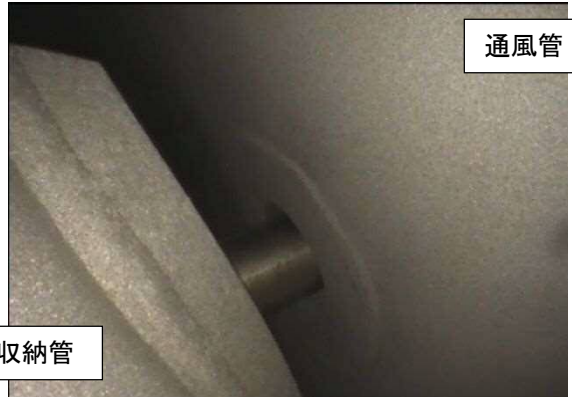



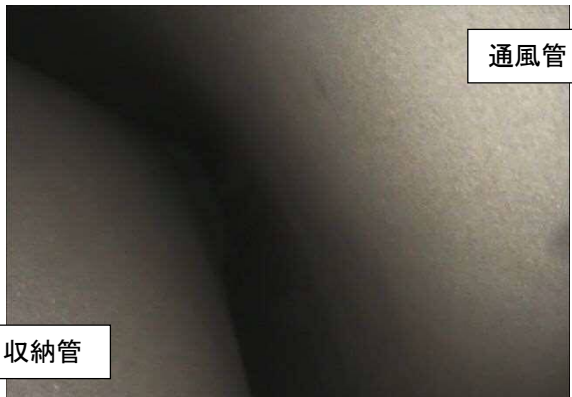



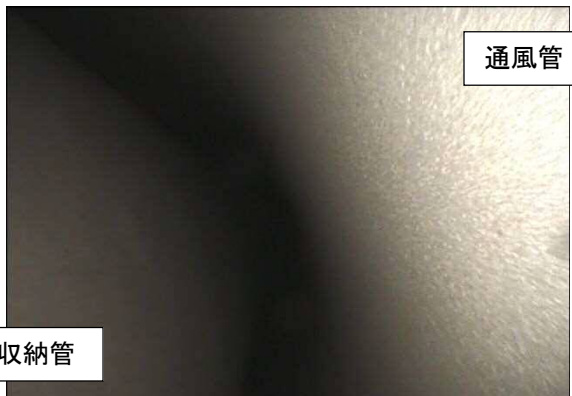


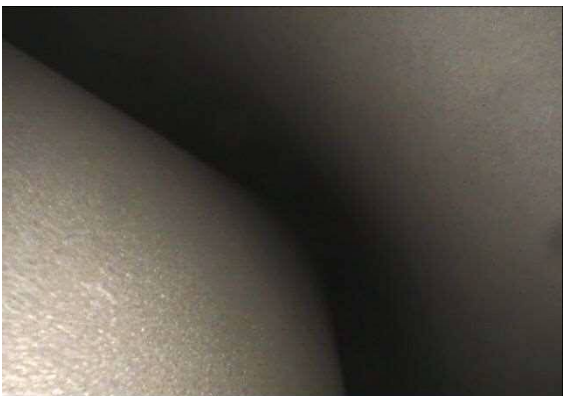
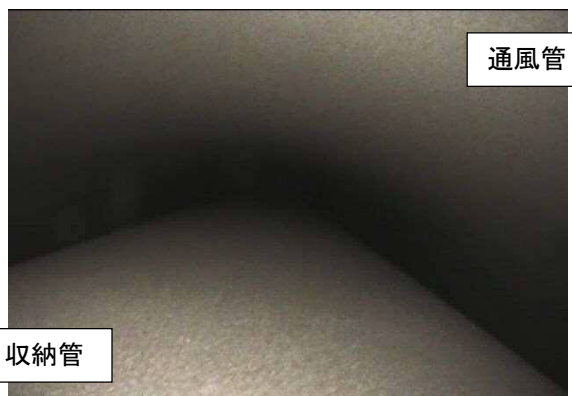


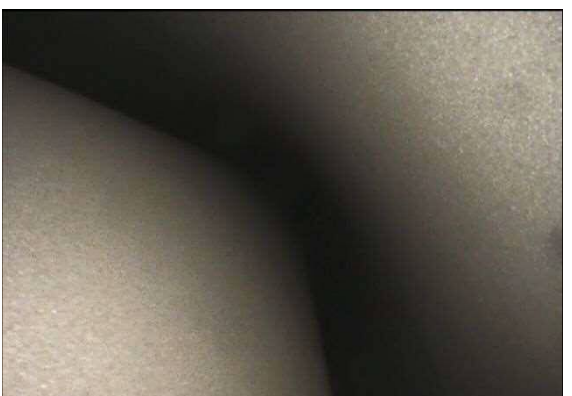
	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



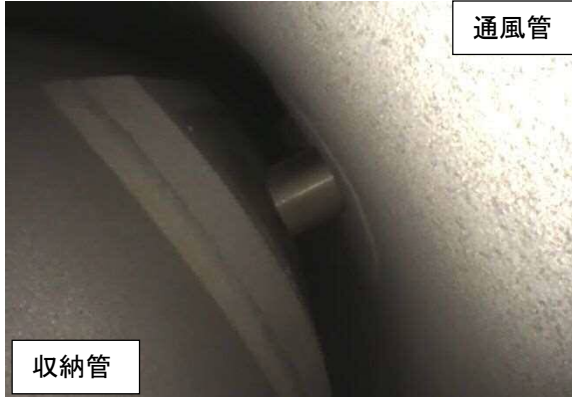



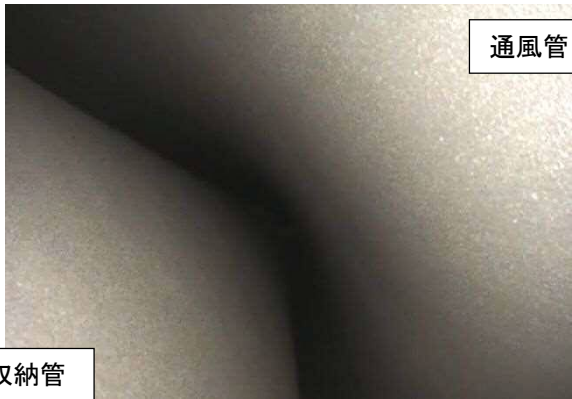
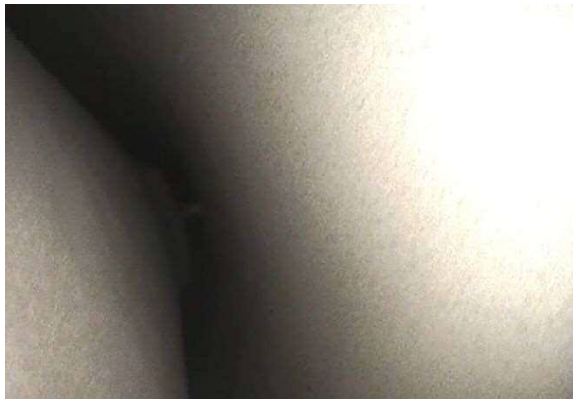
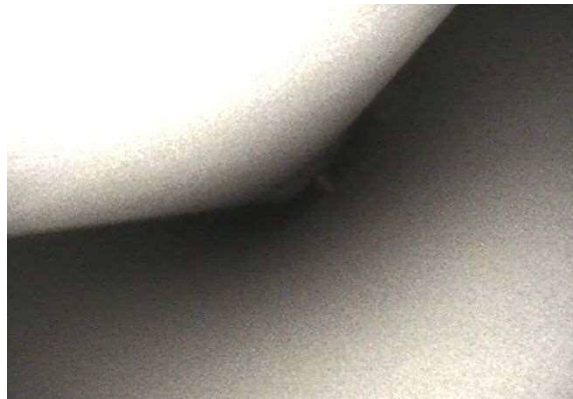


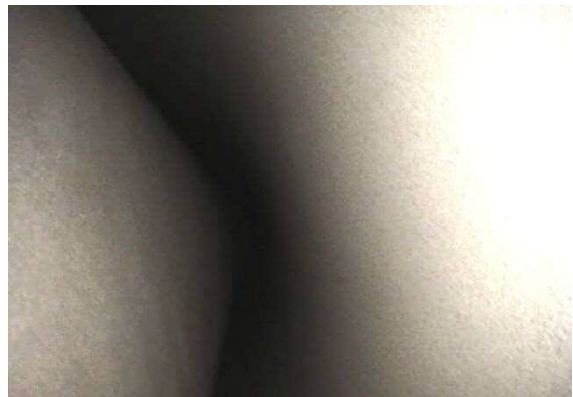
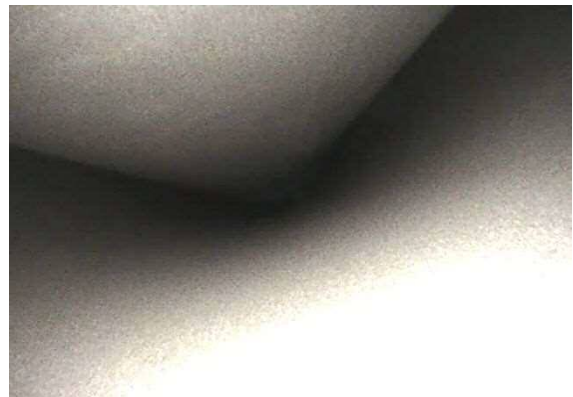

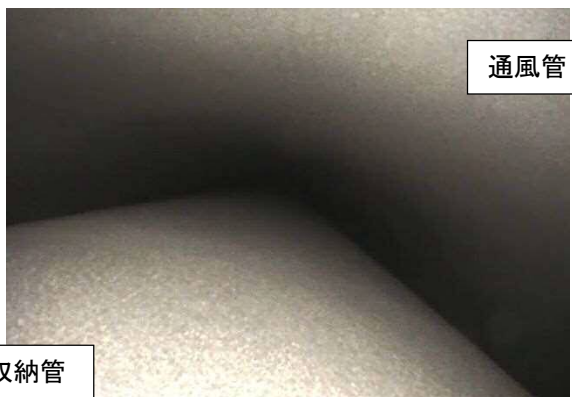
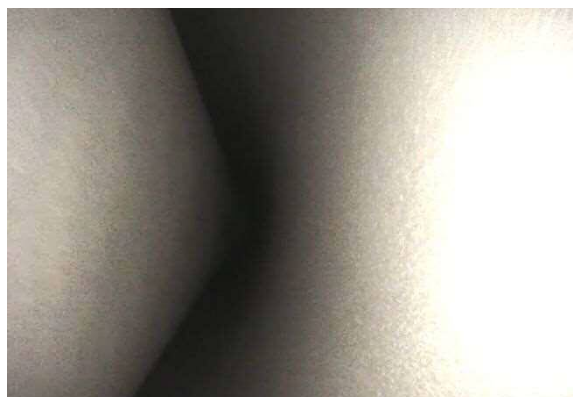
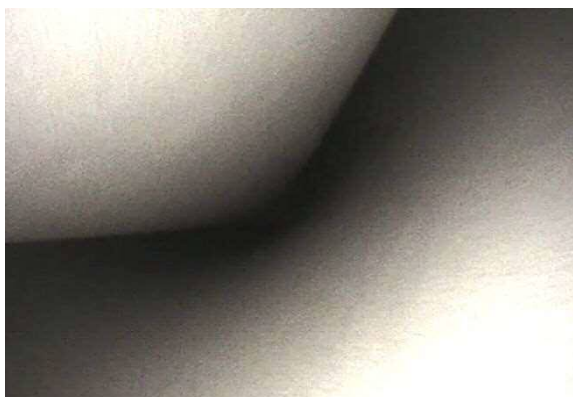

	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。





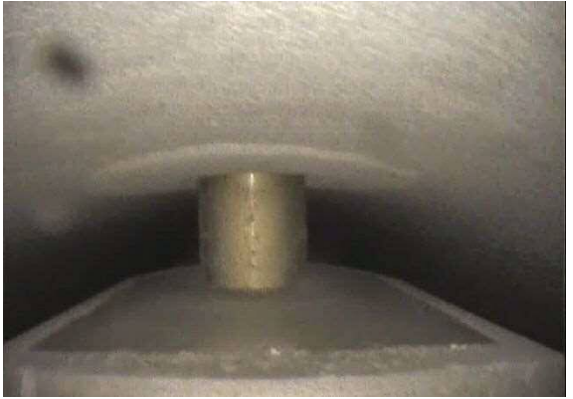

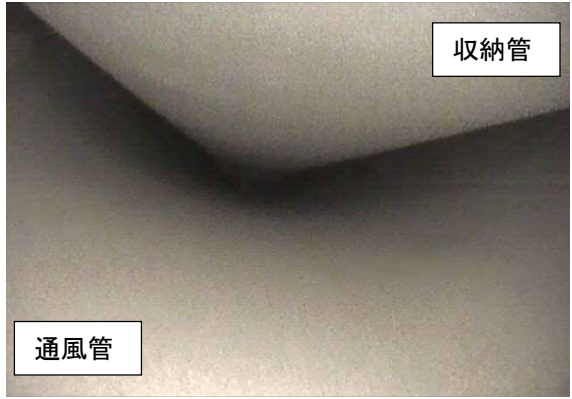



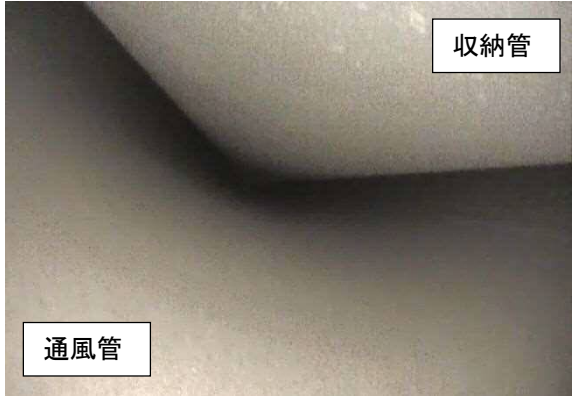



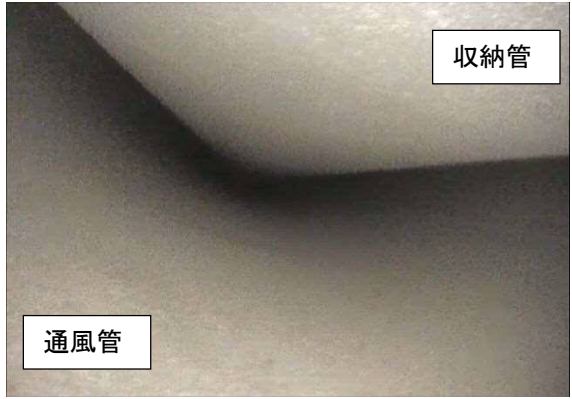
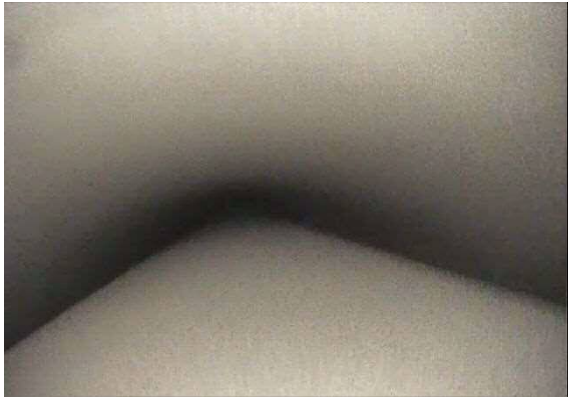

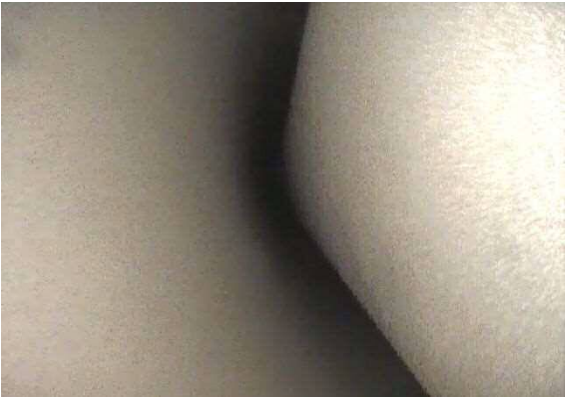
	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

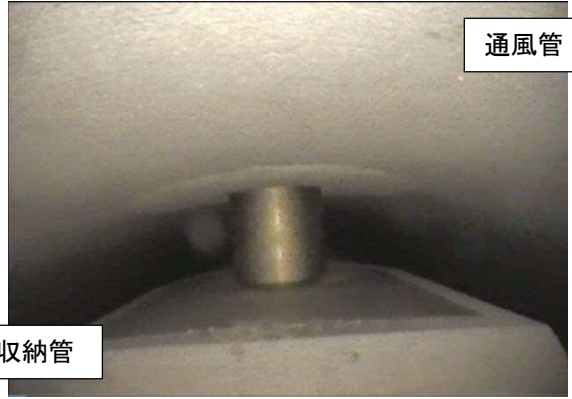



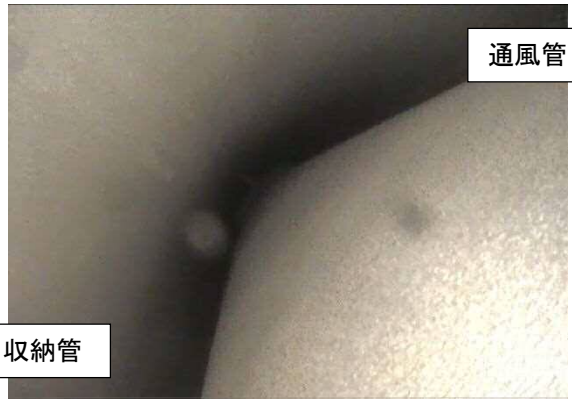



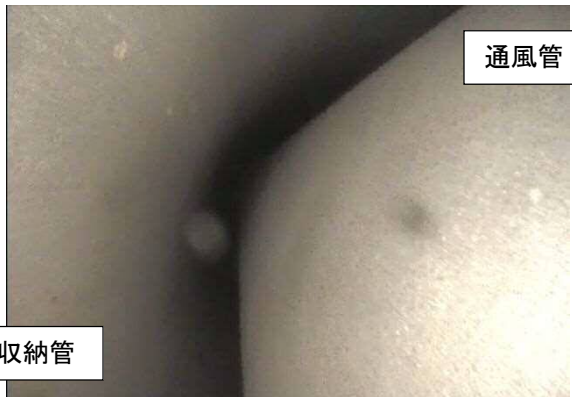



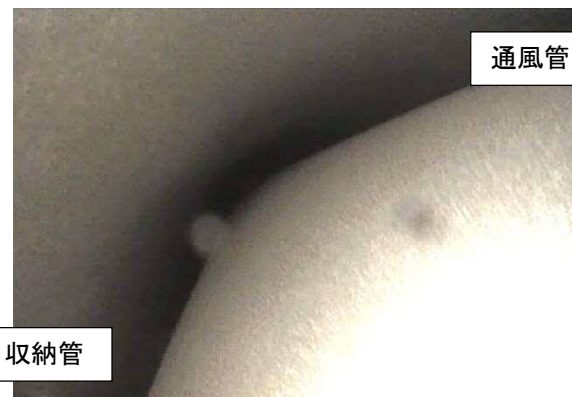



○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

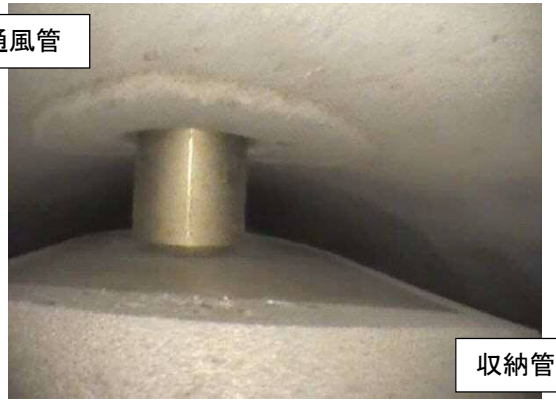


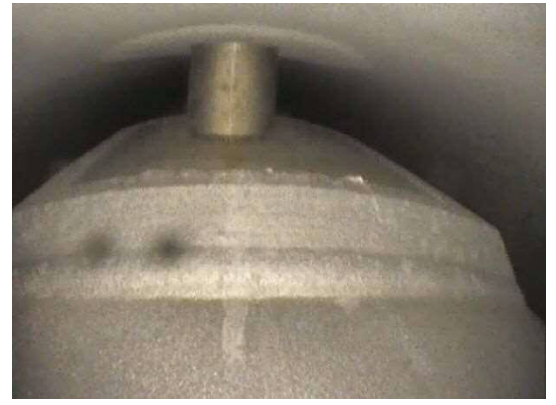
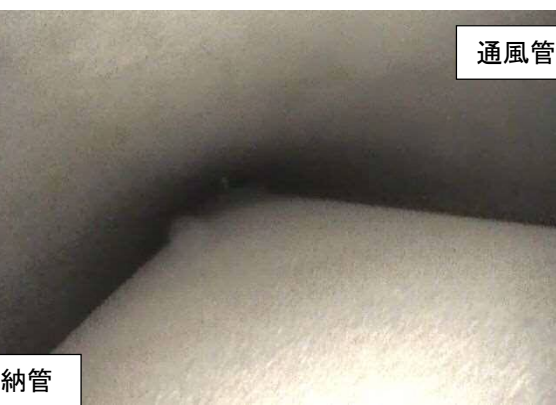
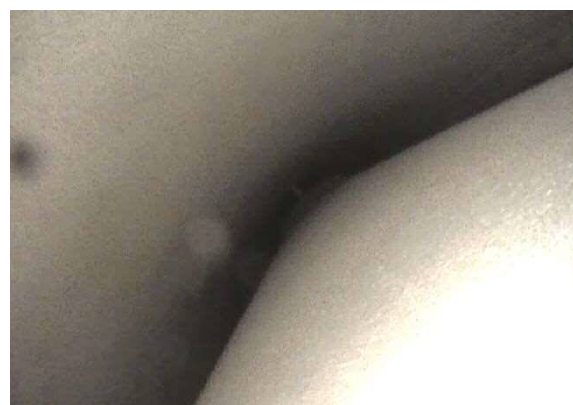


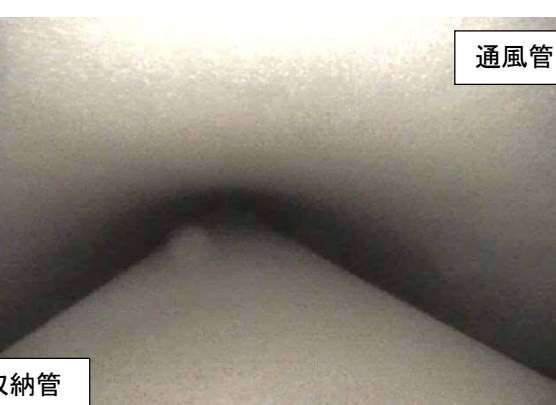
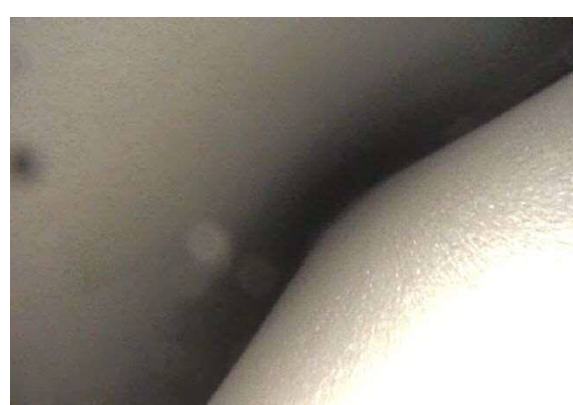
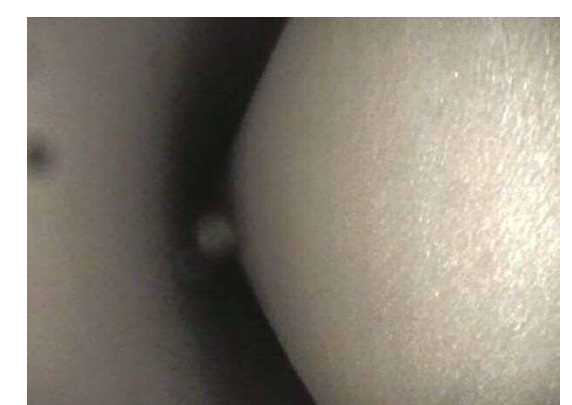

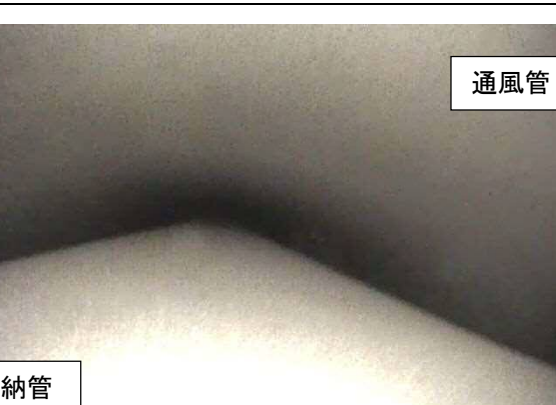
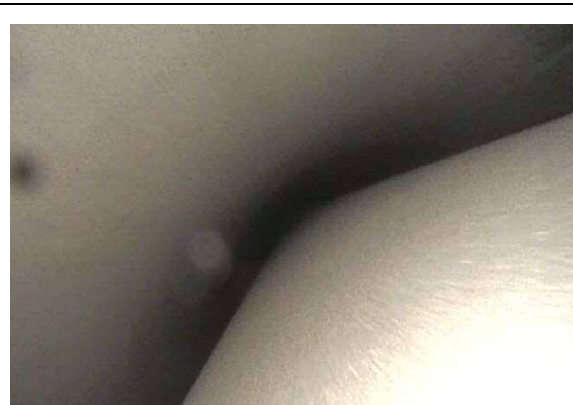
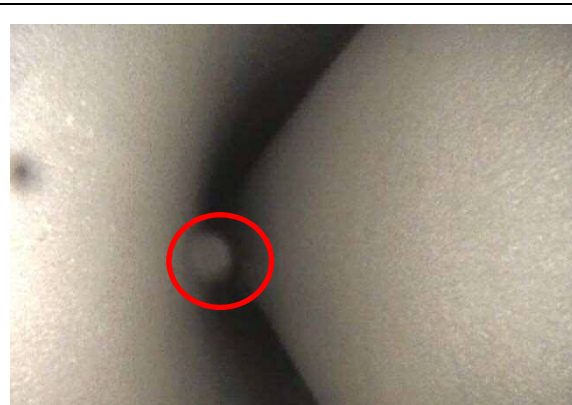

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

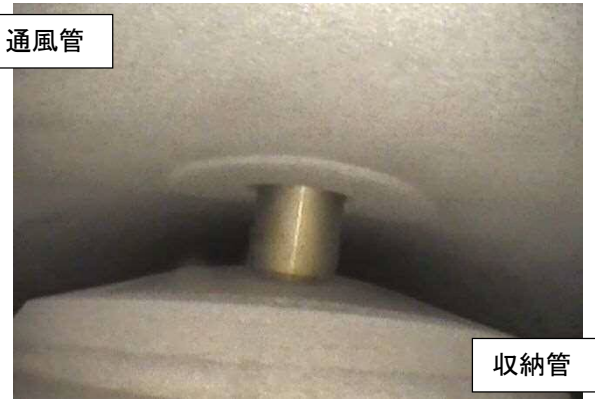








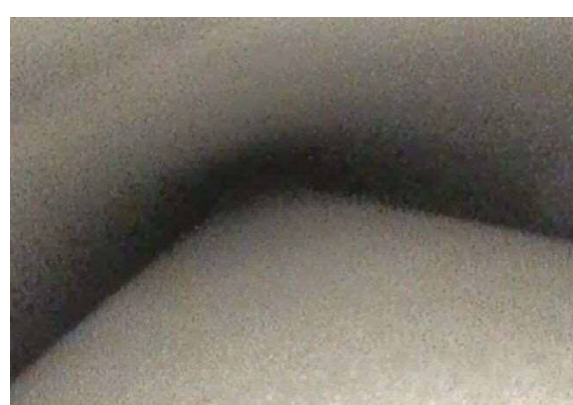


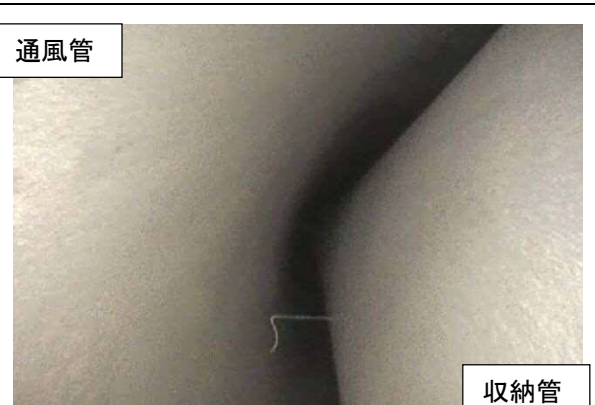
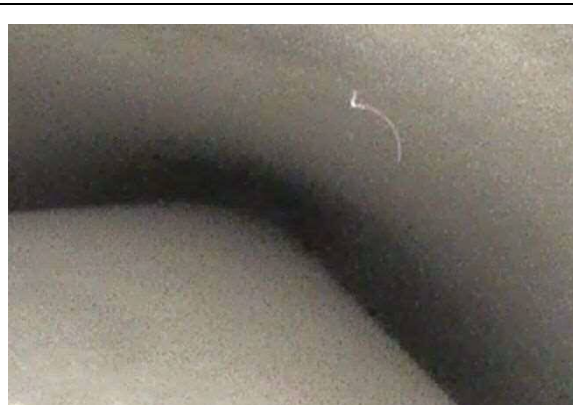
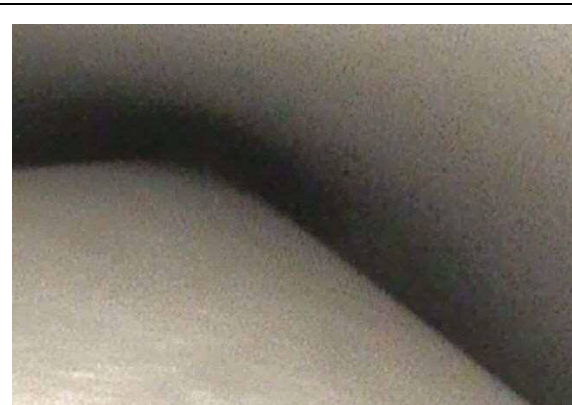

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



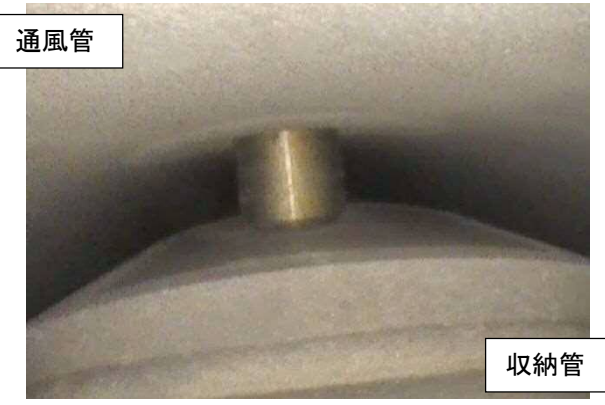



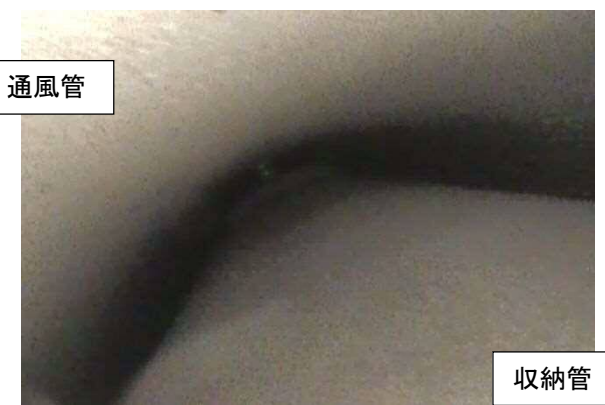



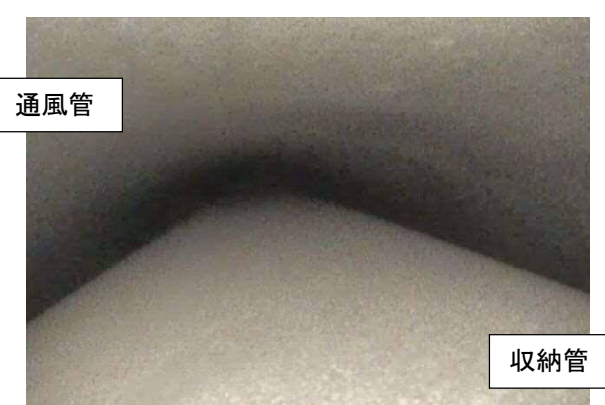


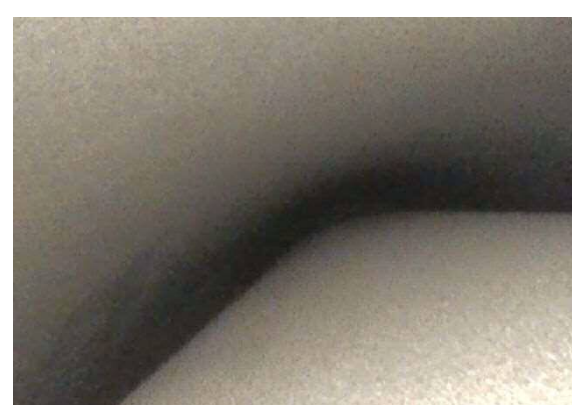
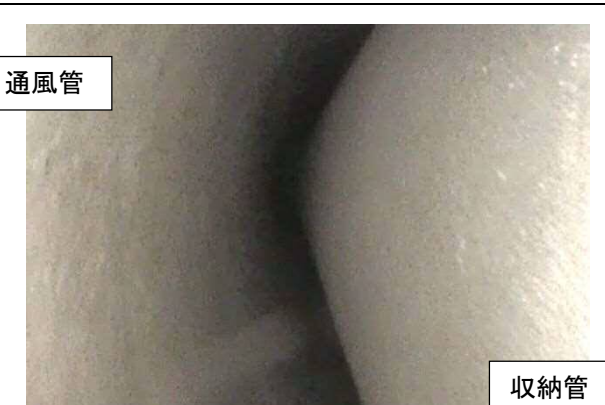


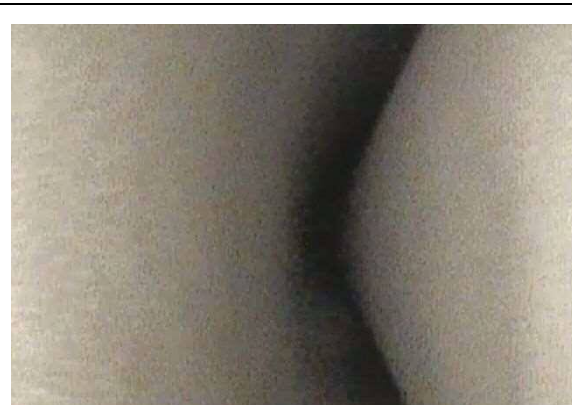
	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。









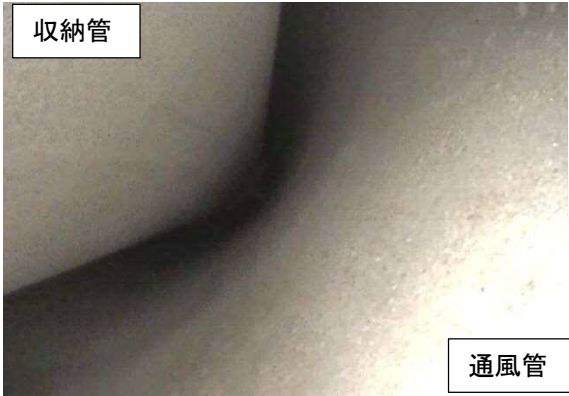


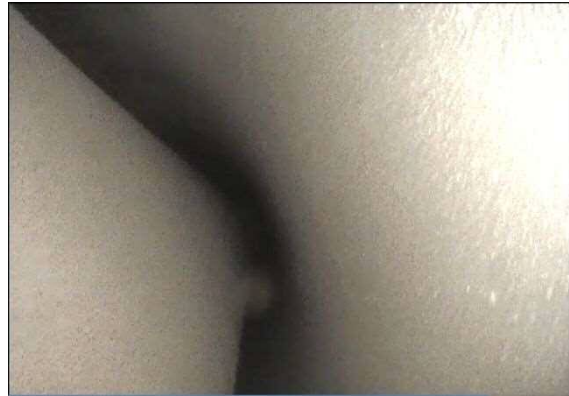
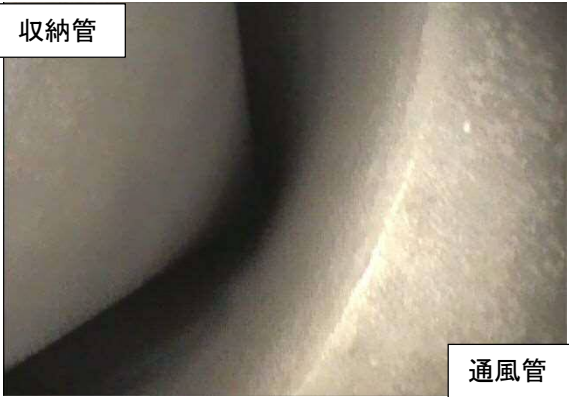


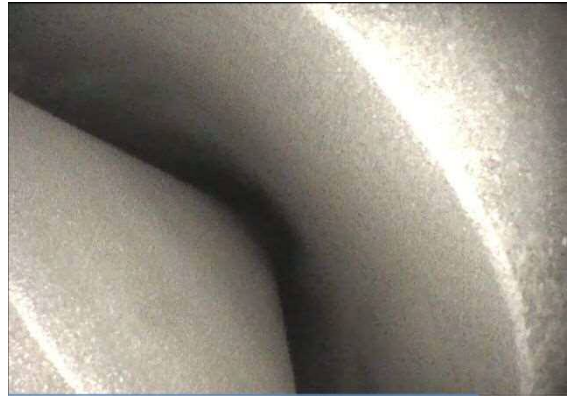


	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



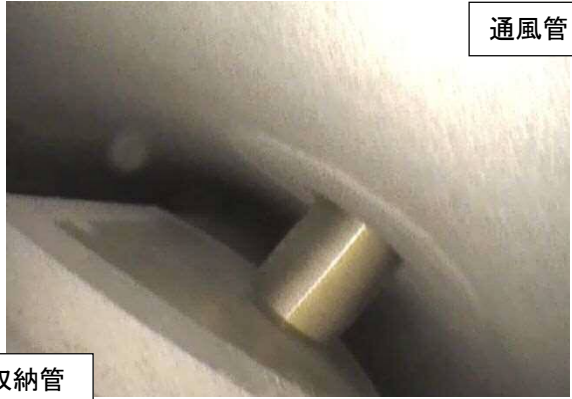



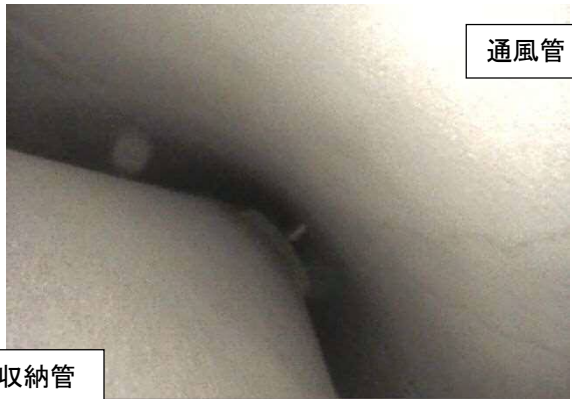


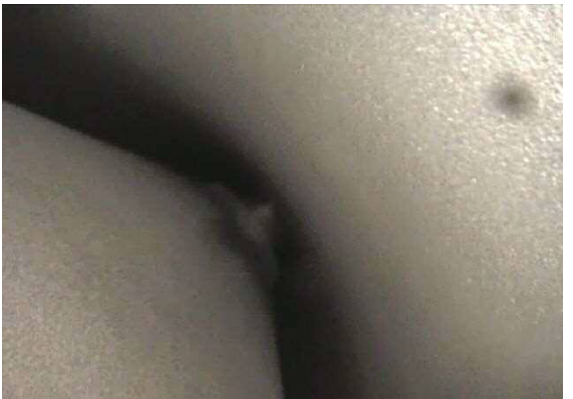
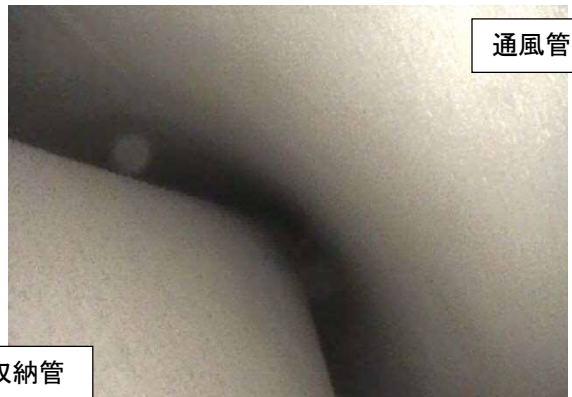


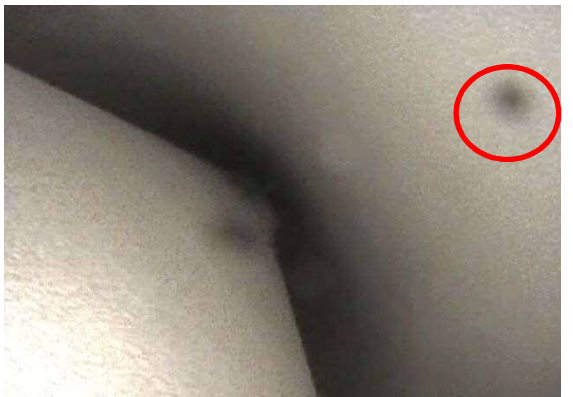
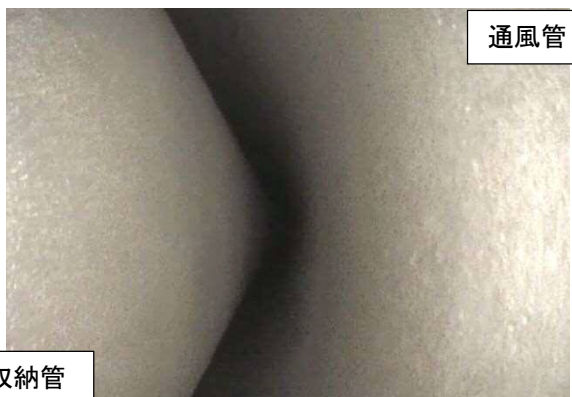

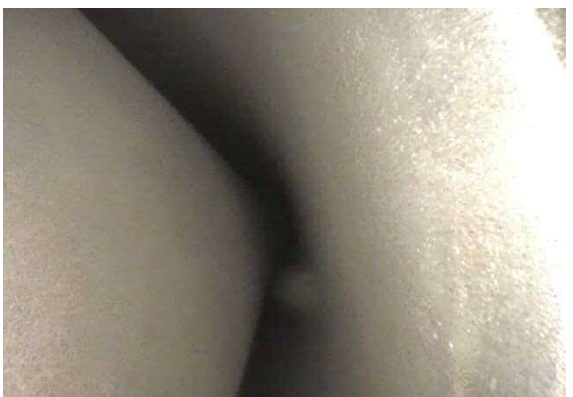
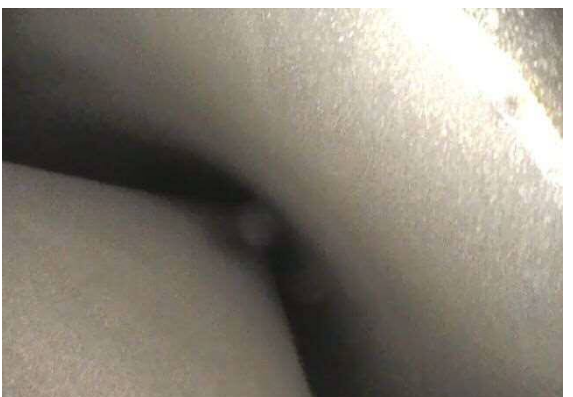
	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				















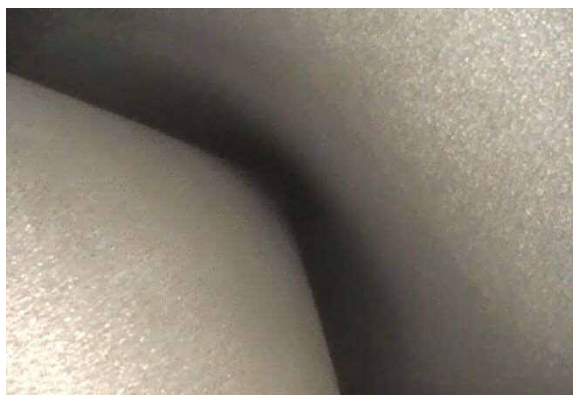

○：ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



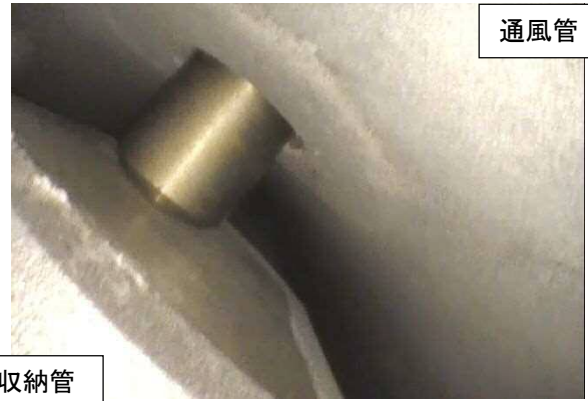



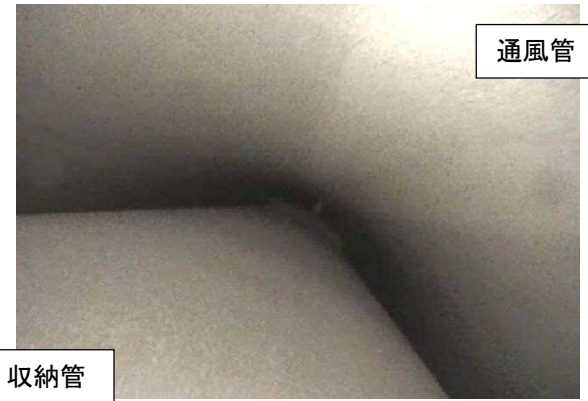

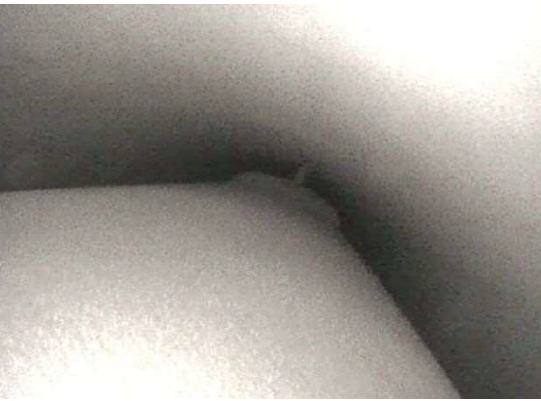

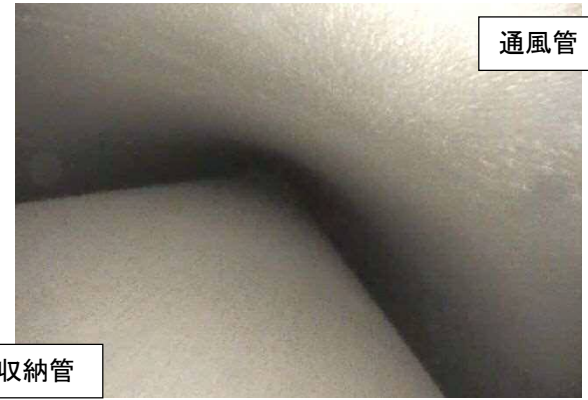
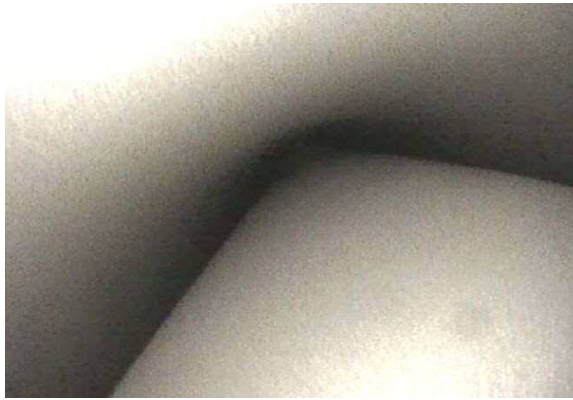


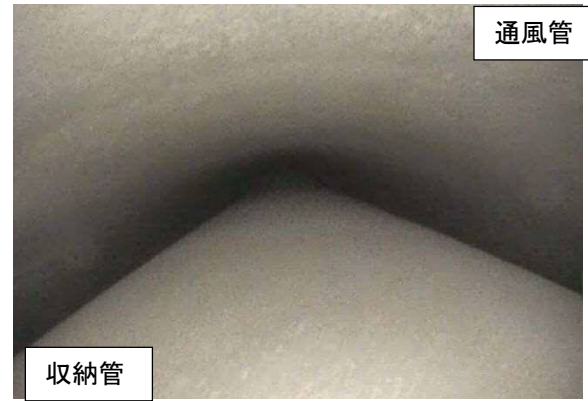



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。









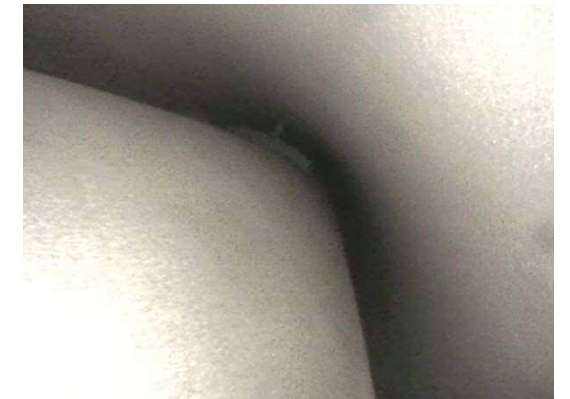

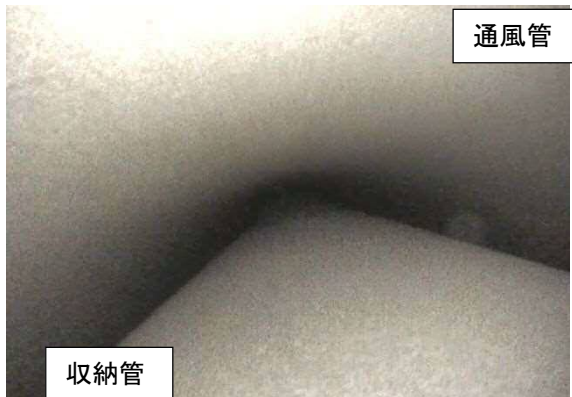







	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

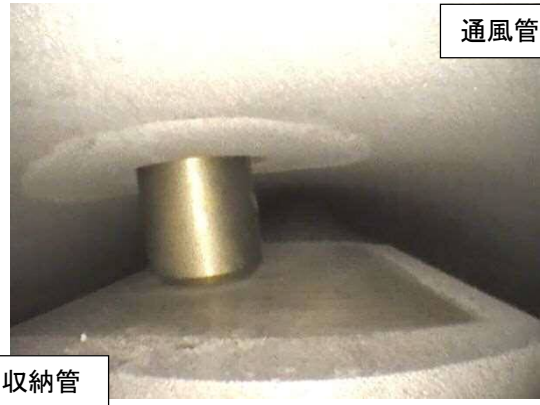





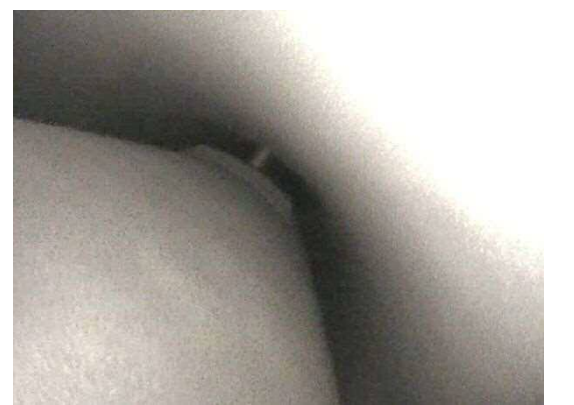

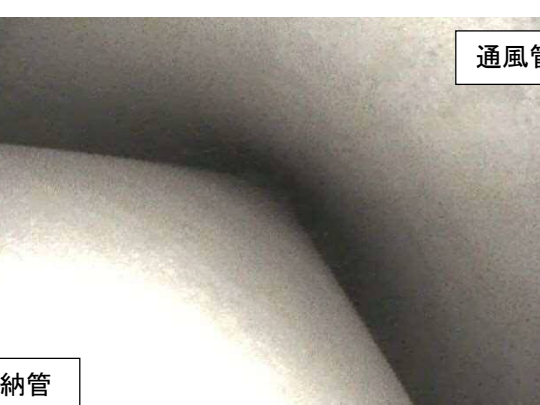

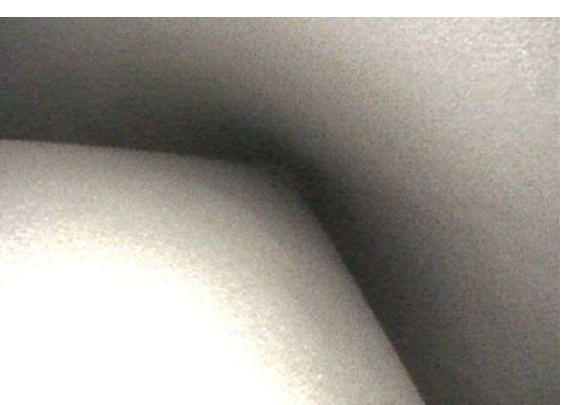
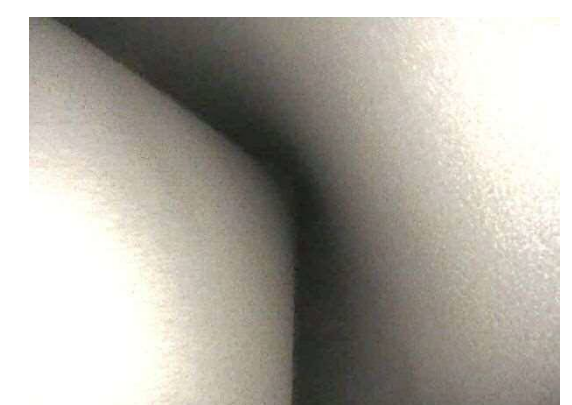
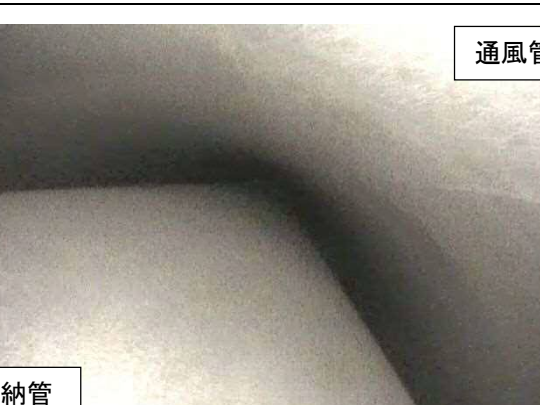
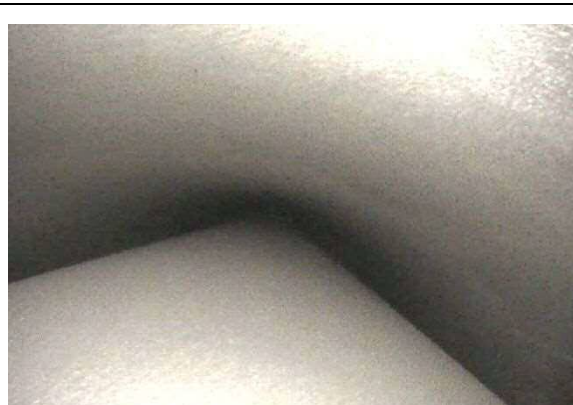
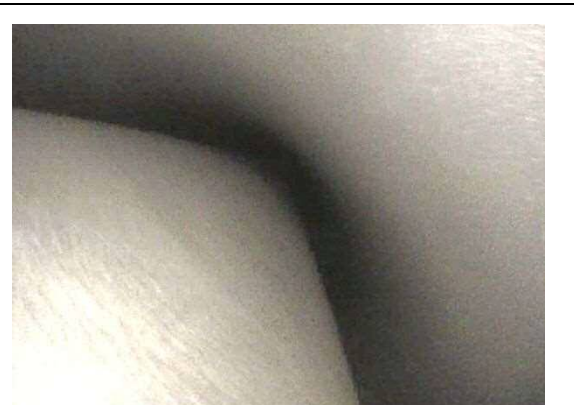
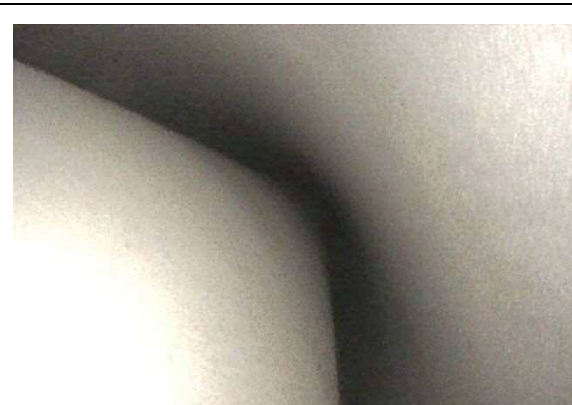
○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



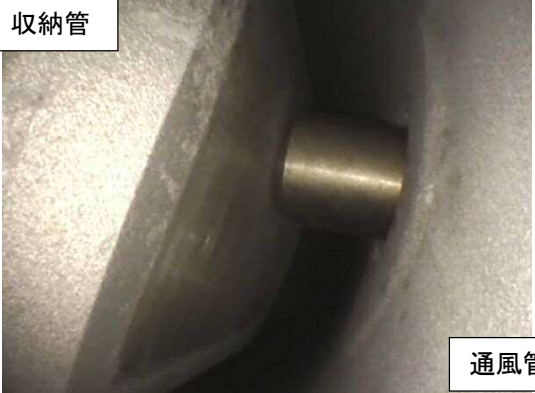







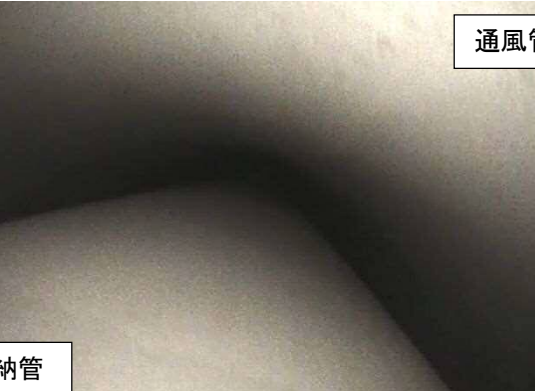







	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。

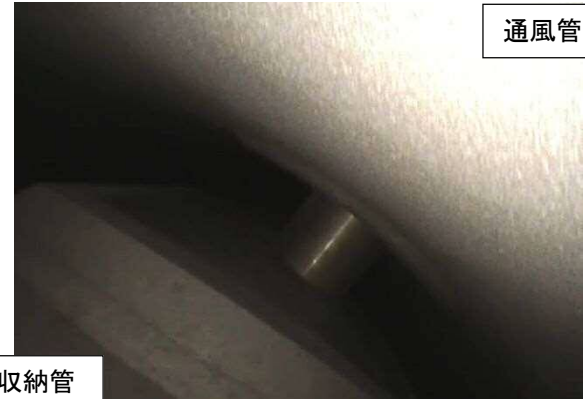



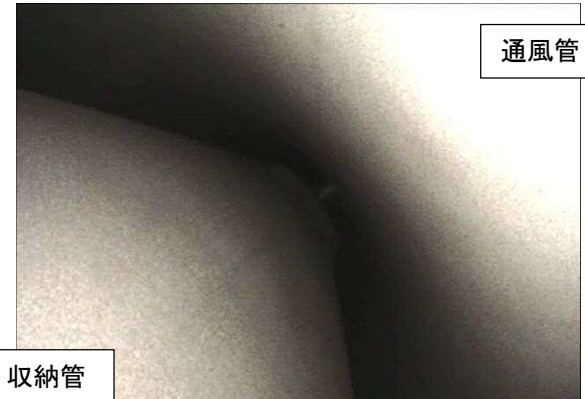
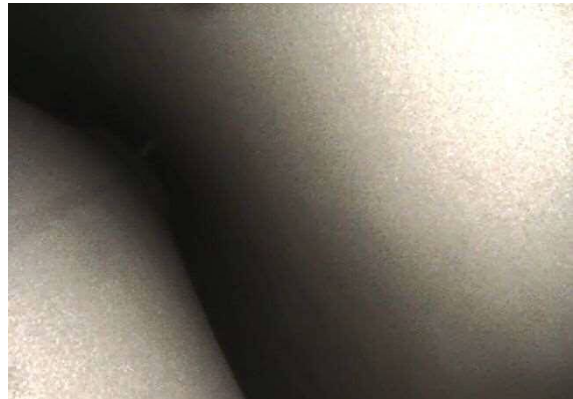


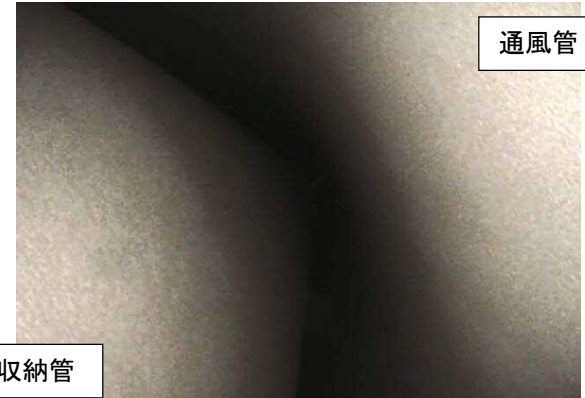
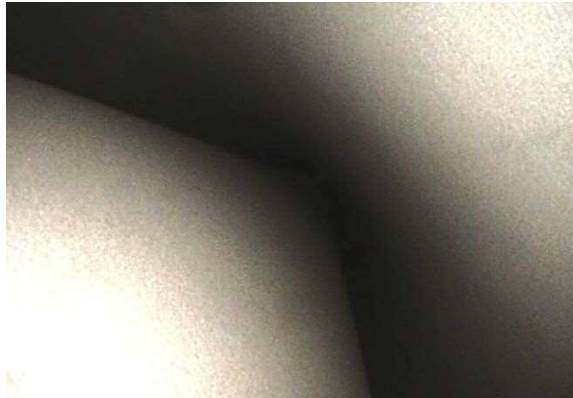


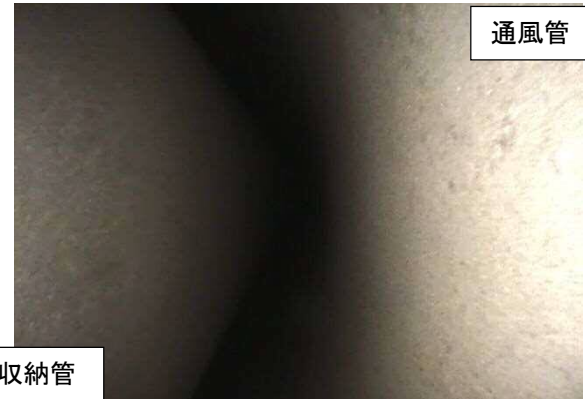
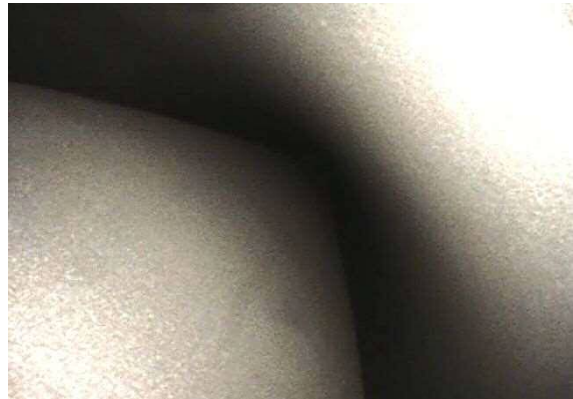
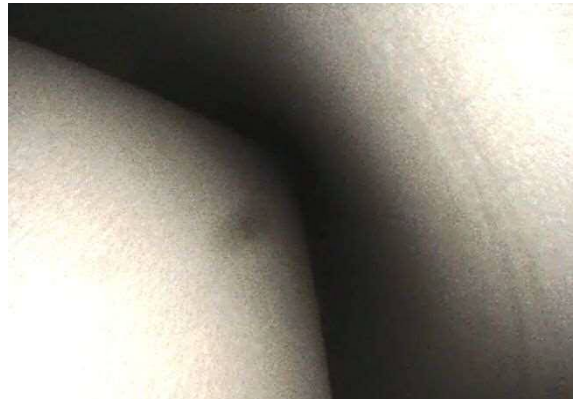



	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

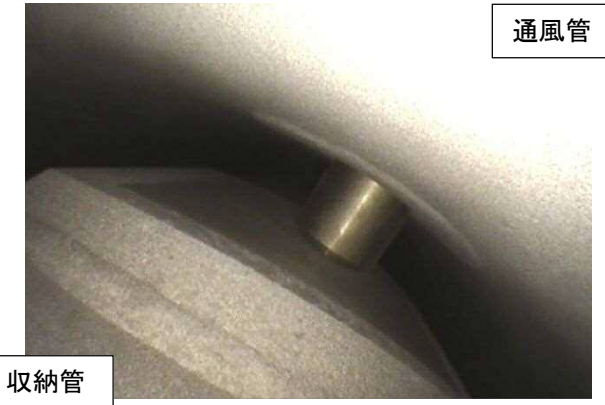



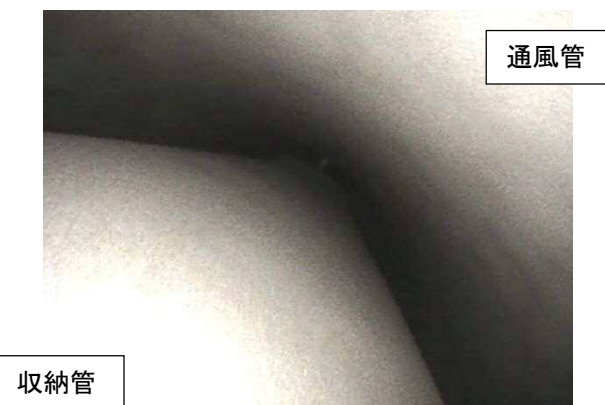
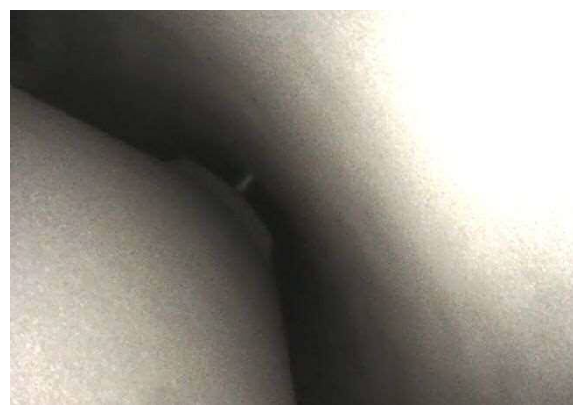


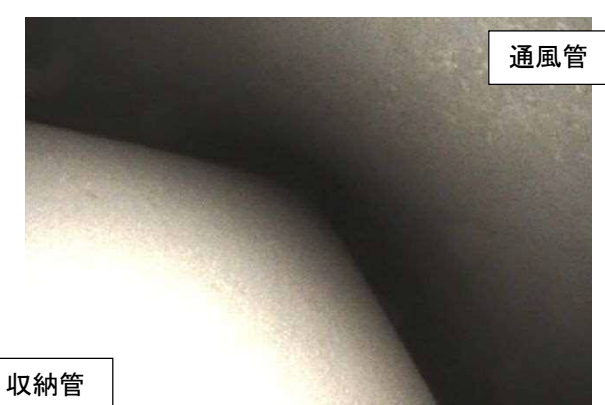



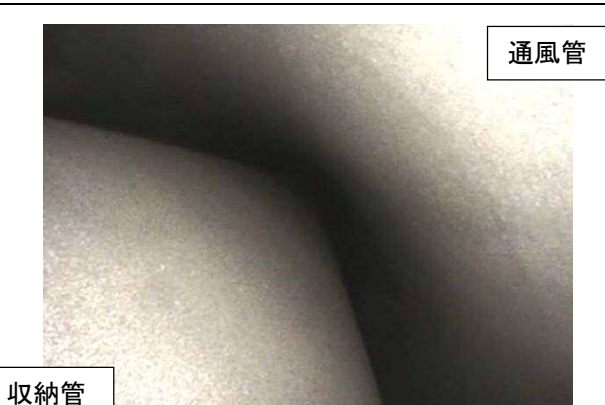





	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

















	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

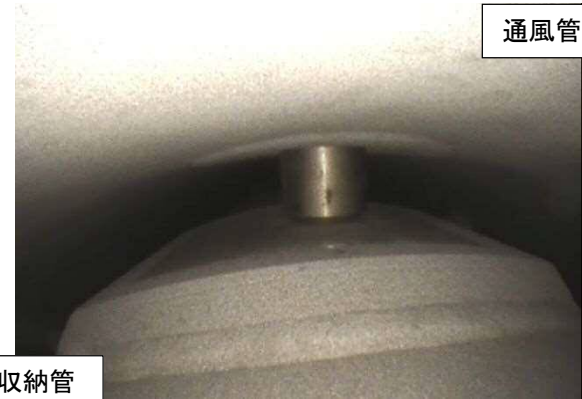



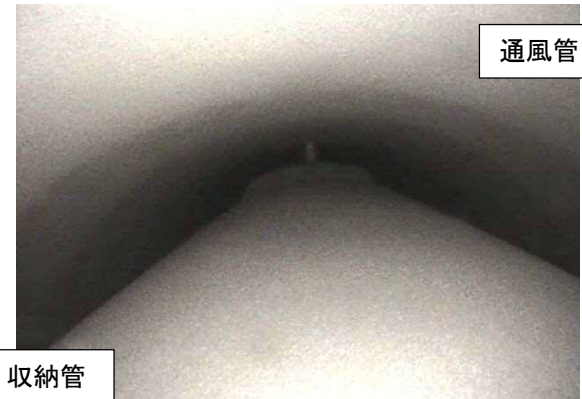











○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

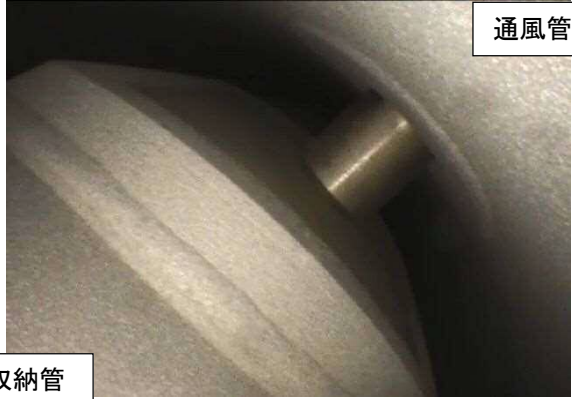



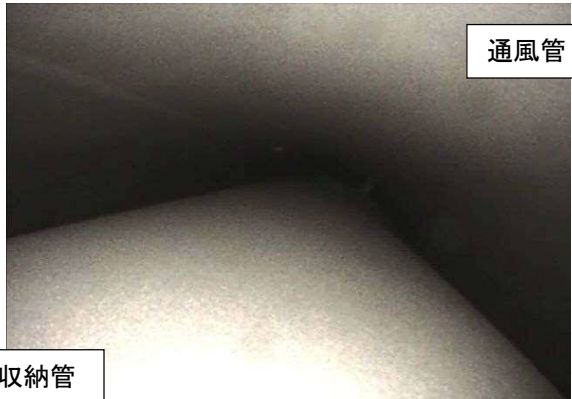
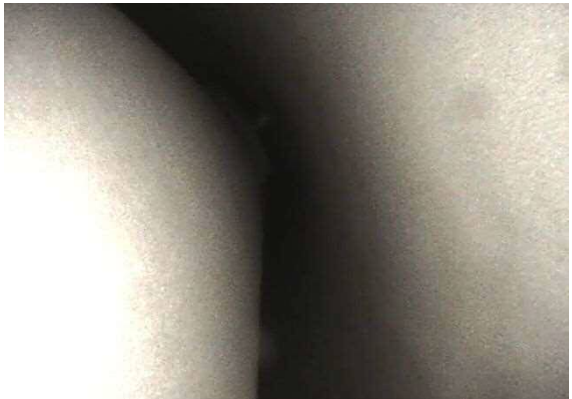


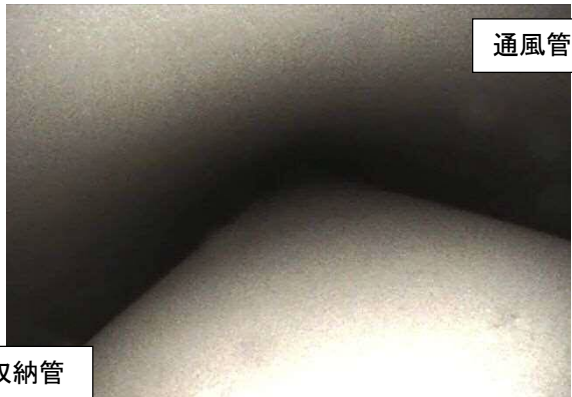



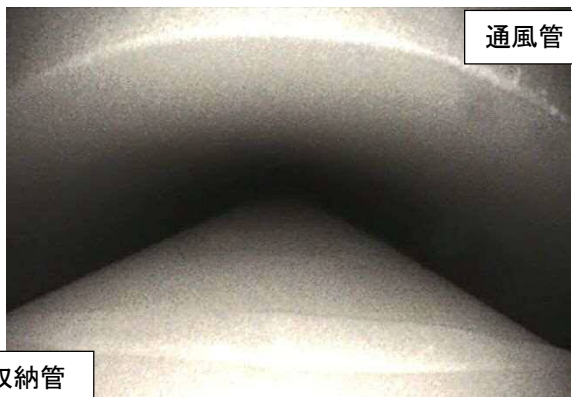



○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

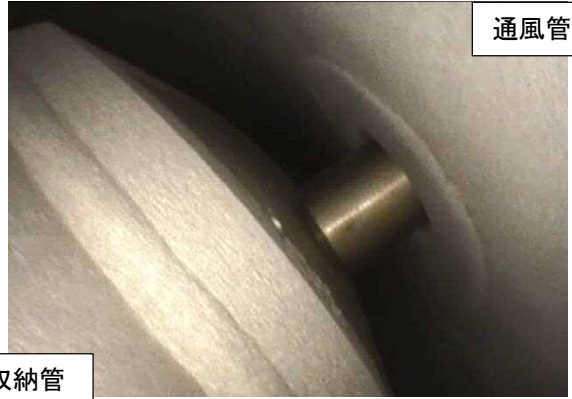



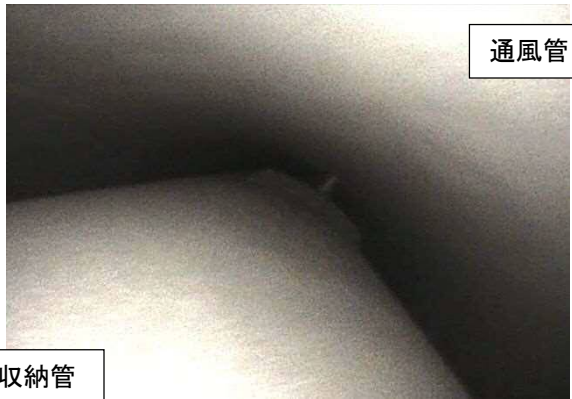







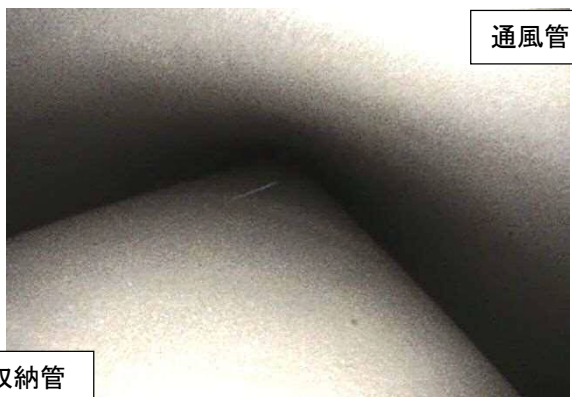



○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

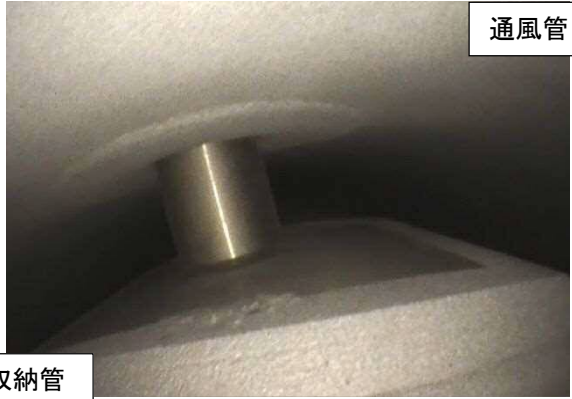



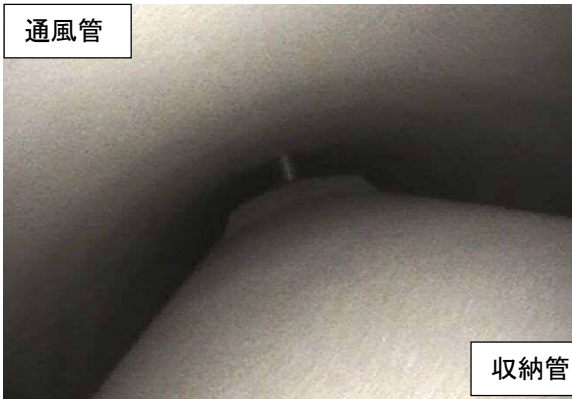

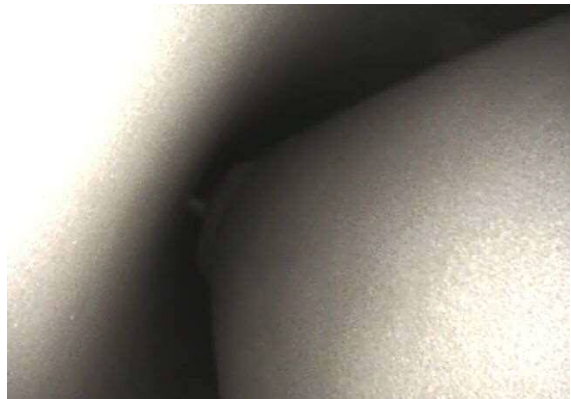

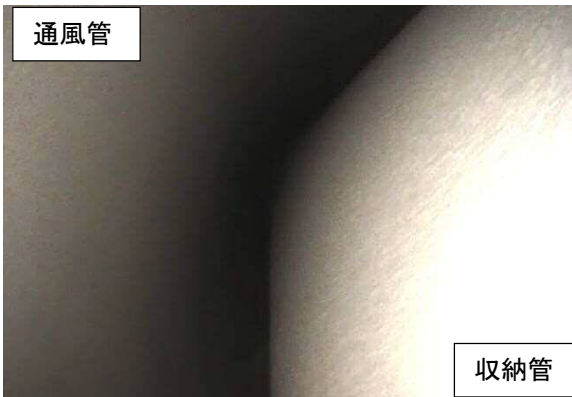



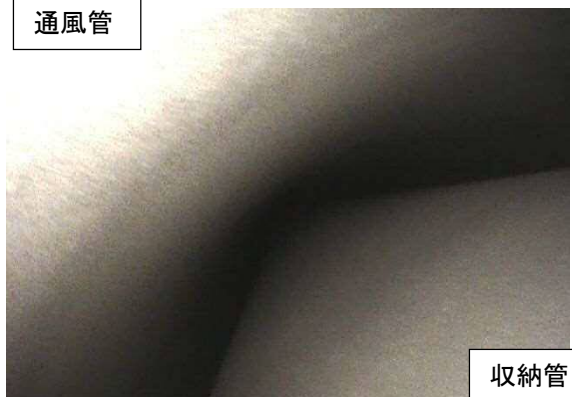



○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。







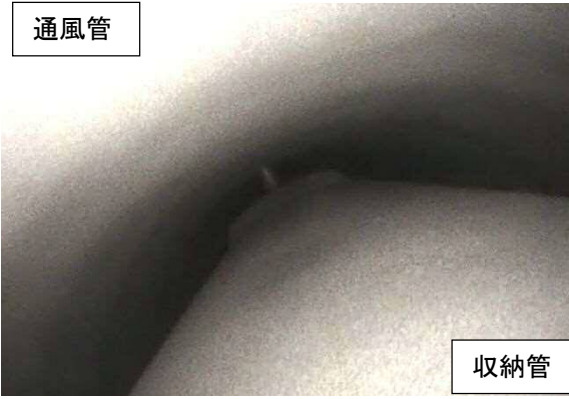



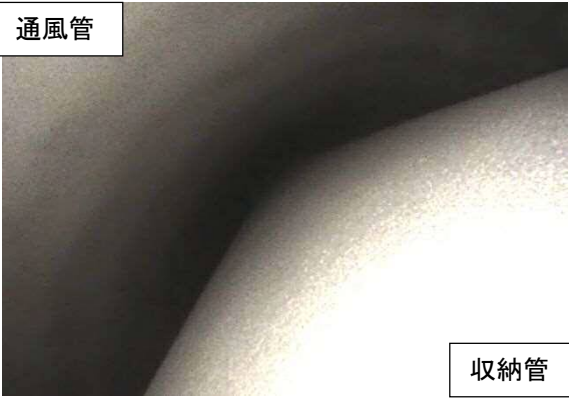
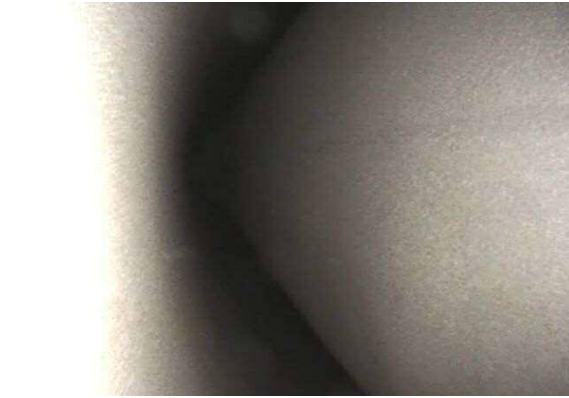


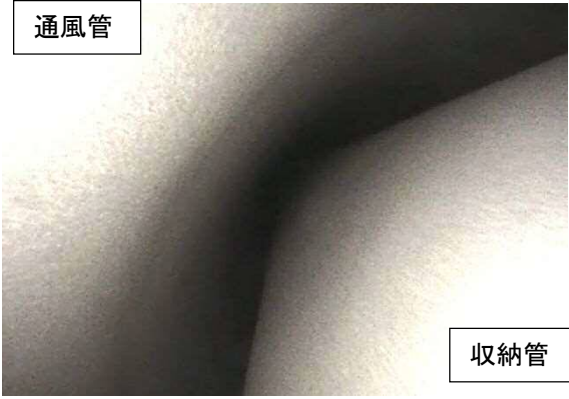

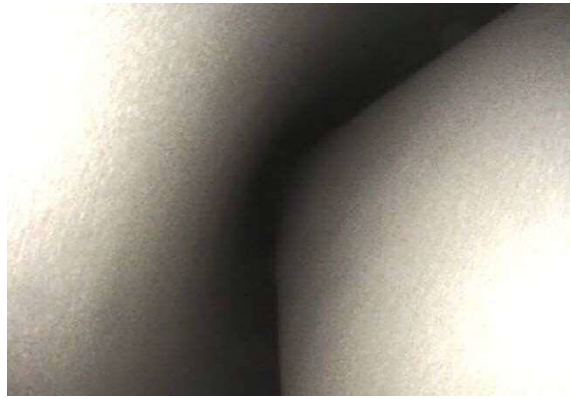

	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。

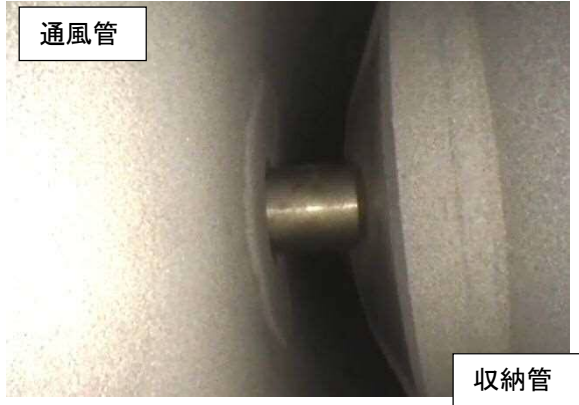



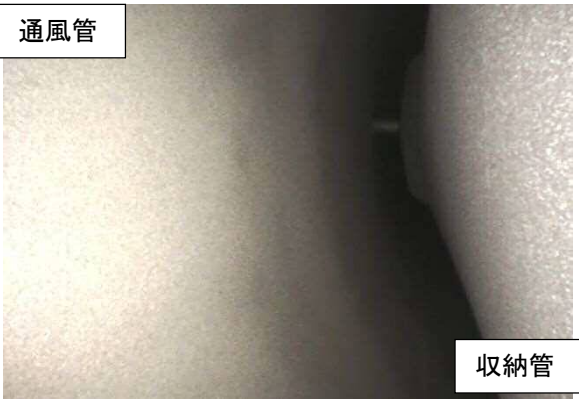



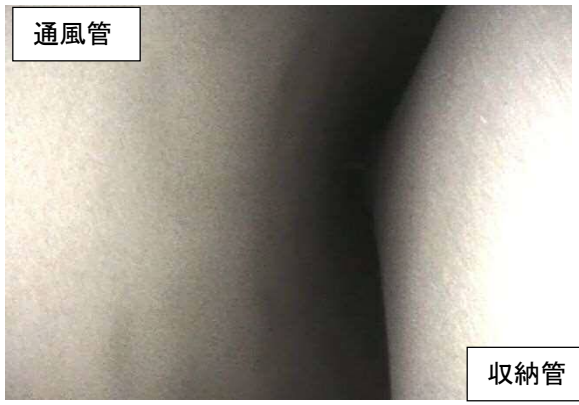



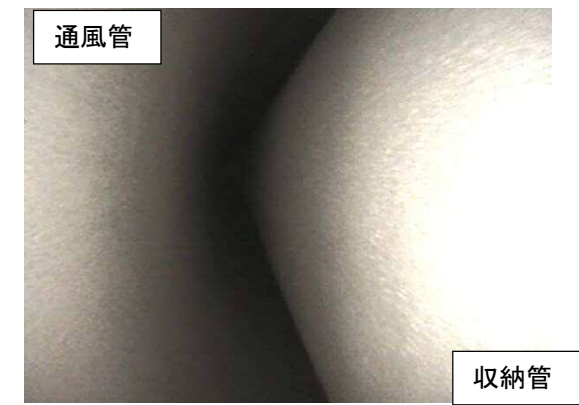
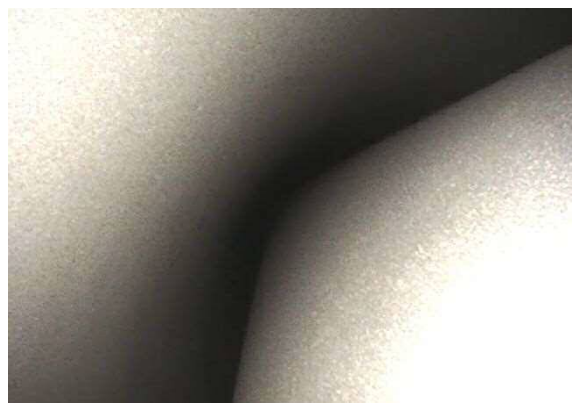
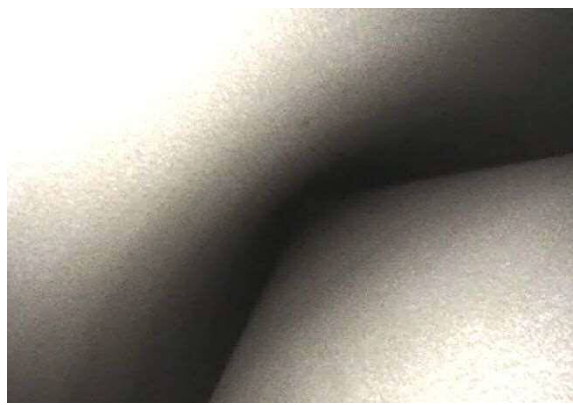
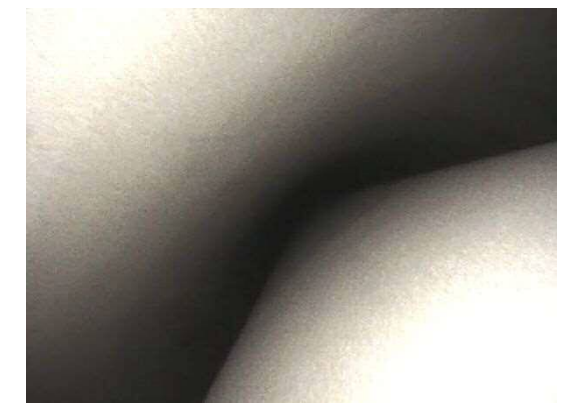


	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

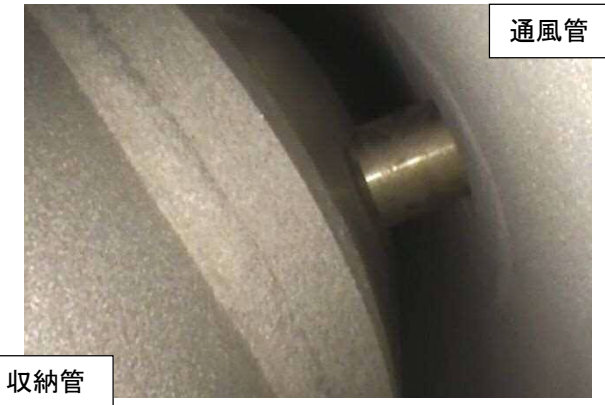



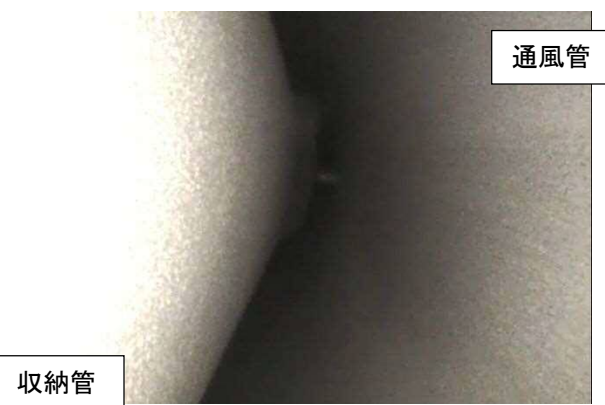

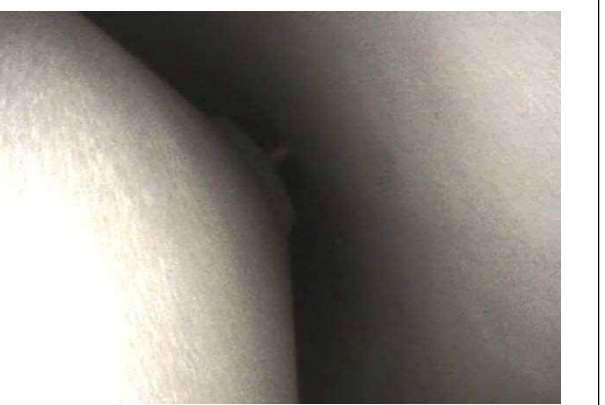

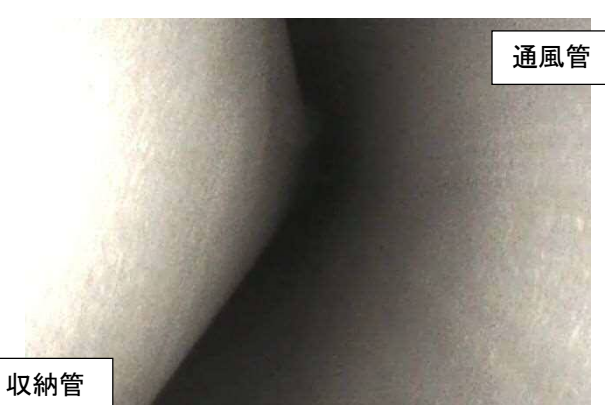
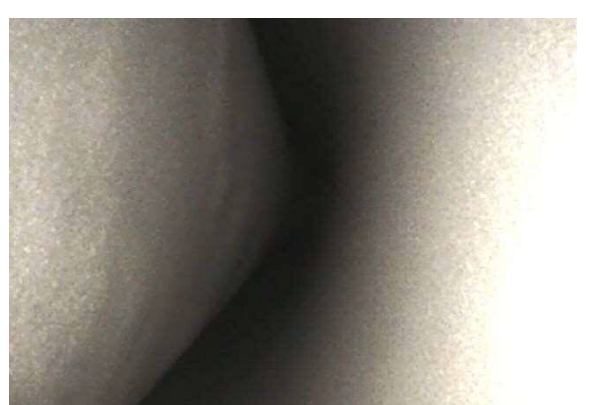
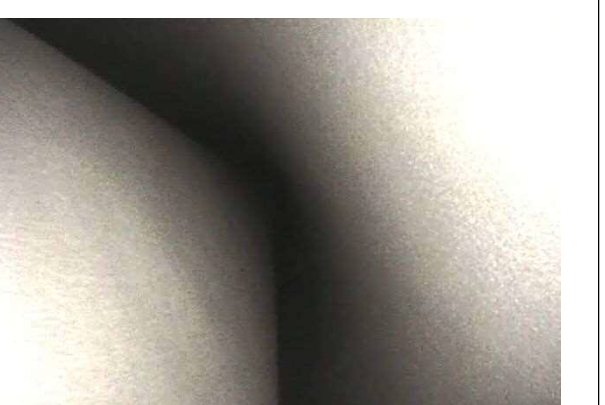
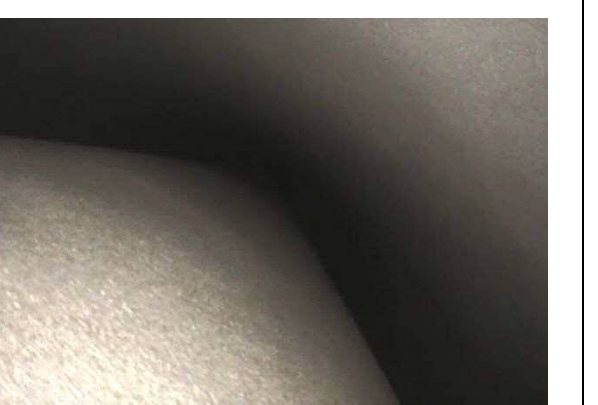
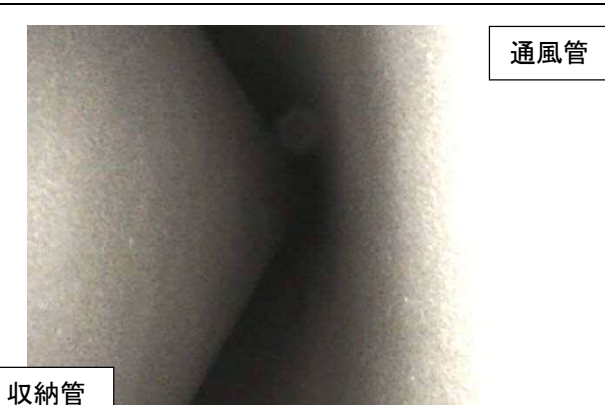
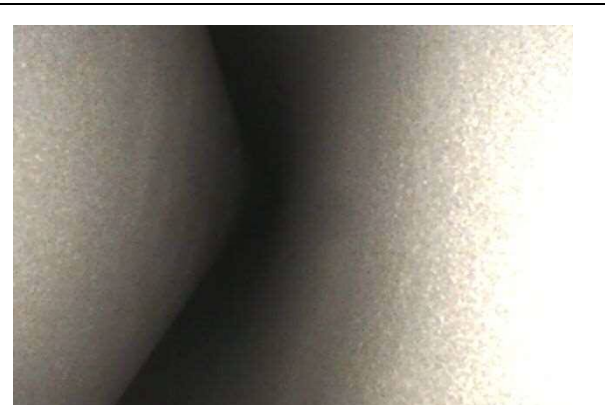
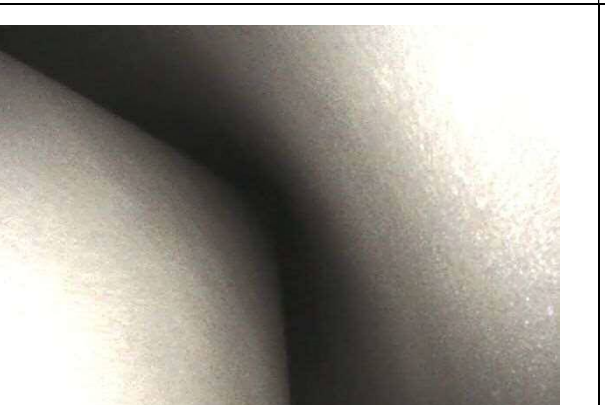
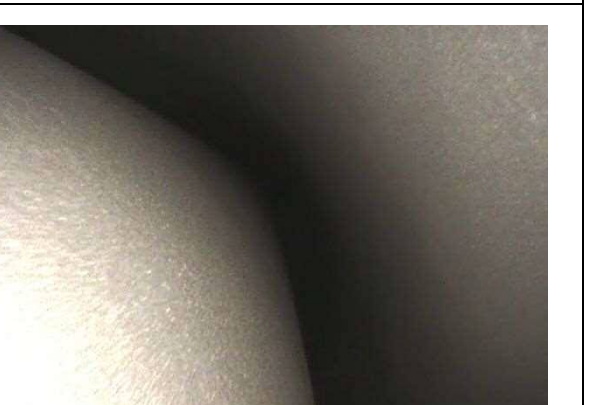


	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

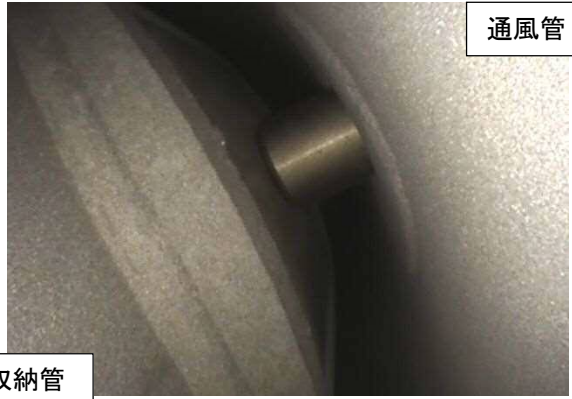







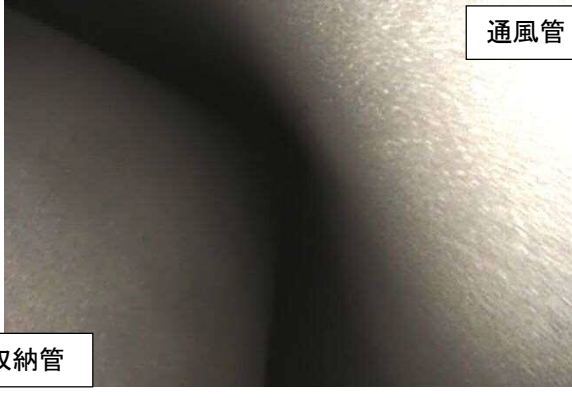



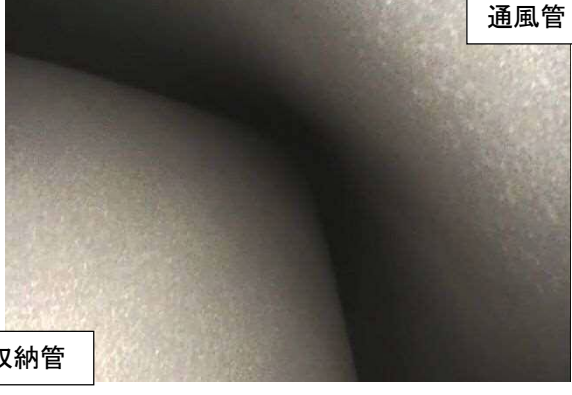





	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

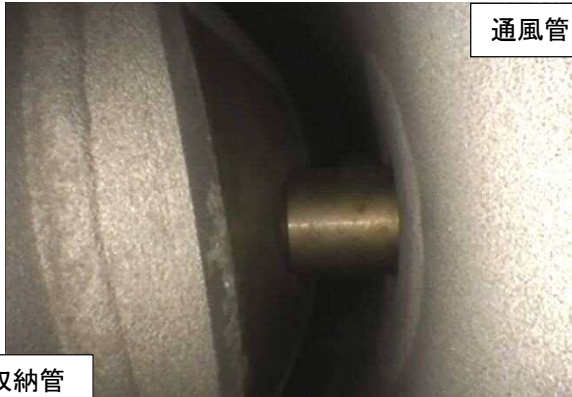



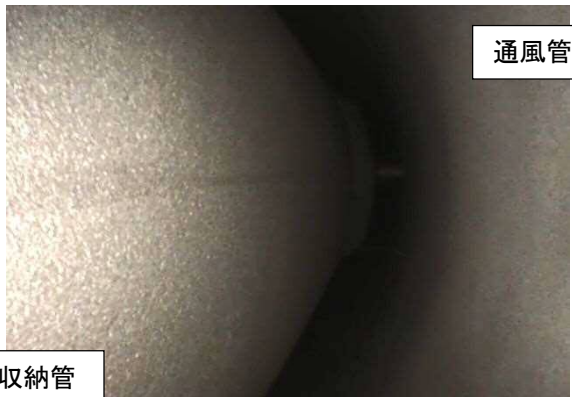



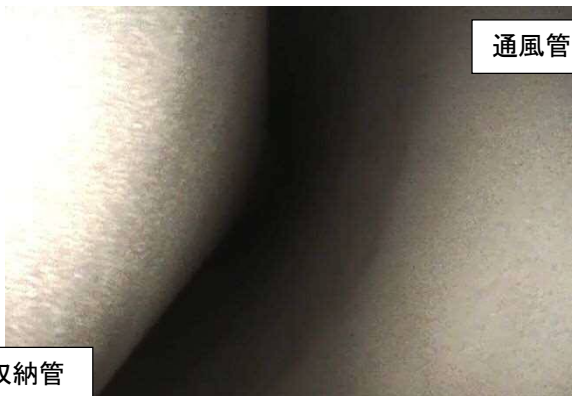
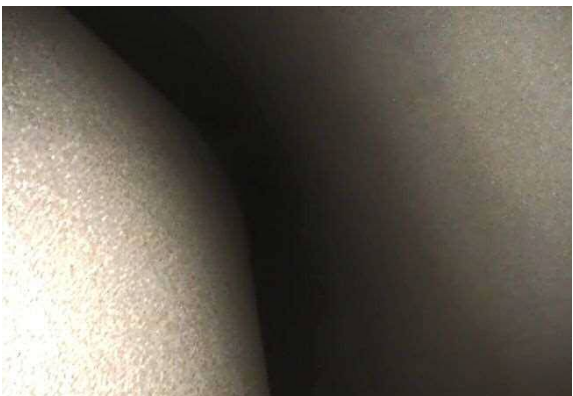
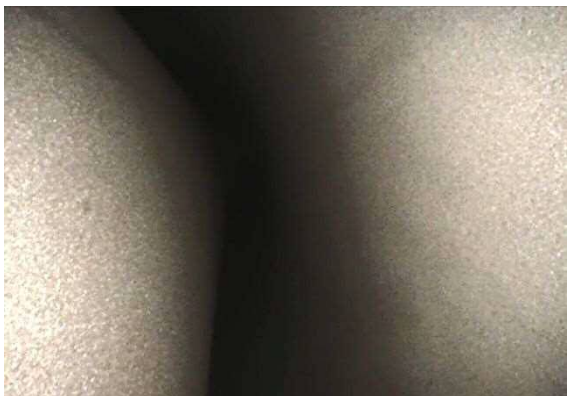

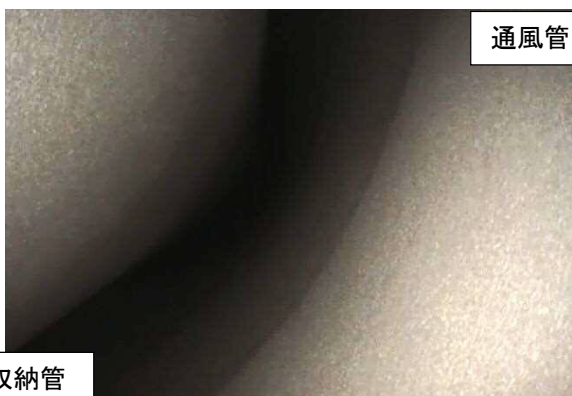

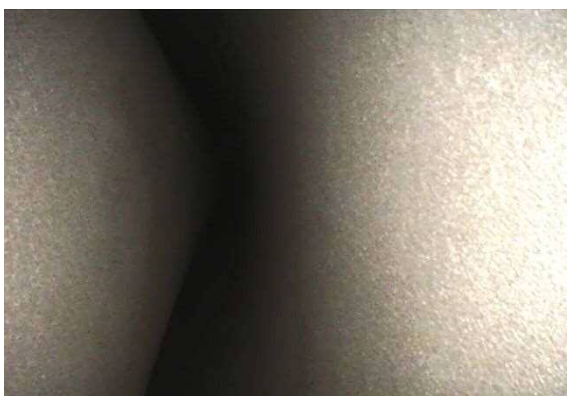
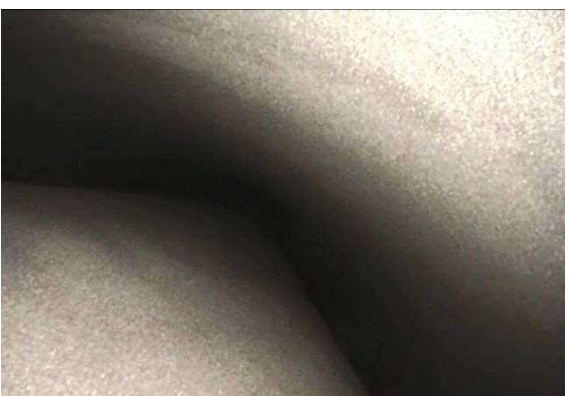


	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

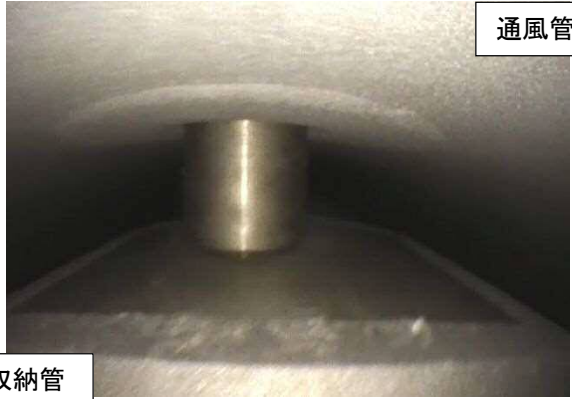



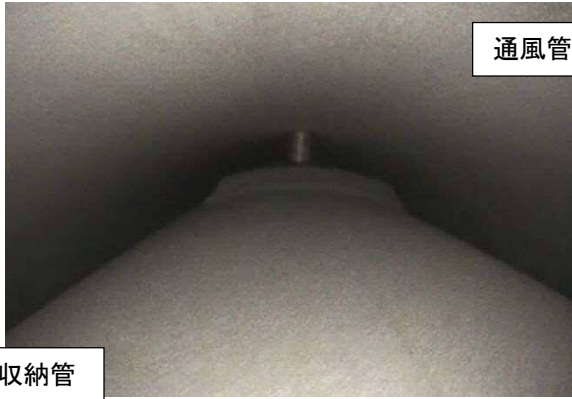






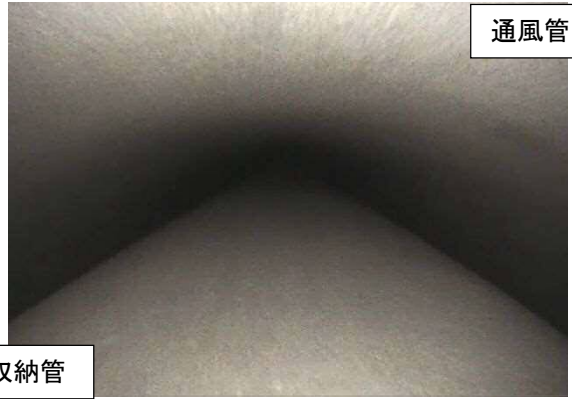





	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



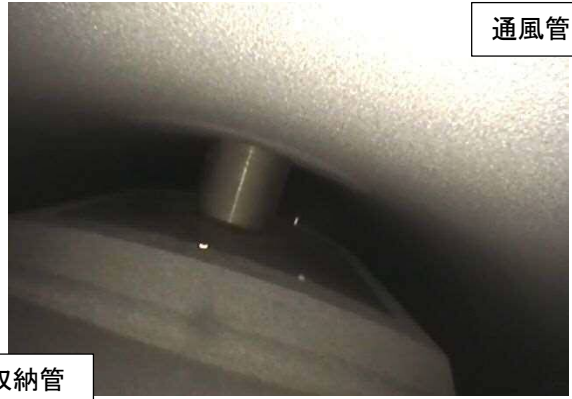







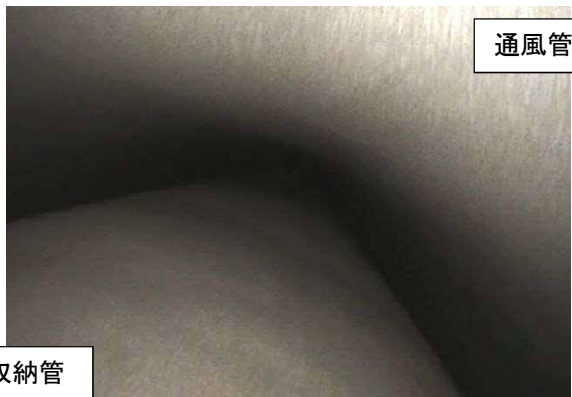


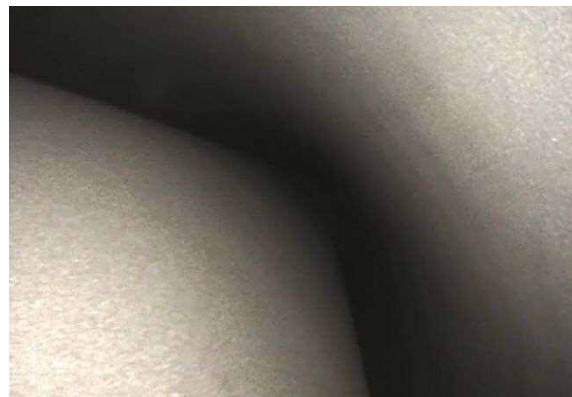
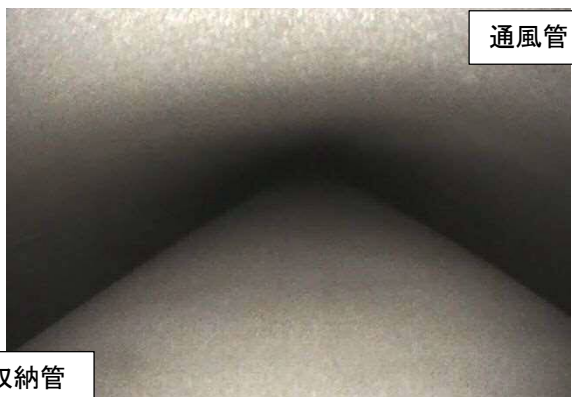



	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			



	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

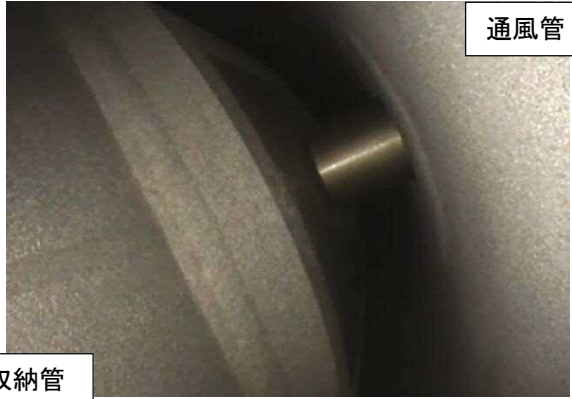
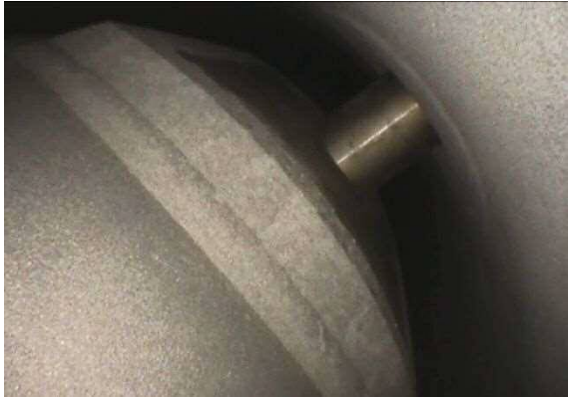


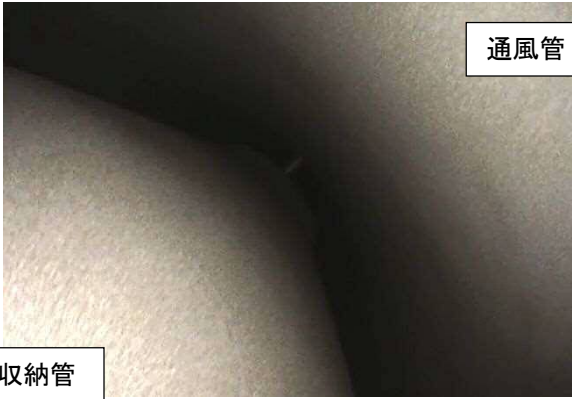



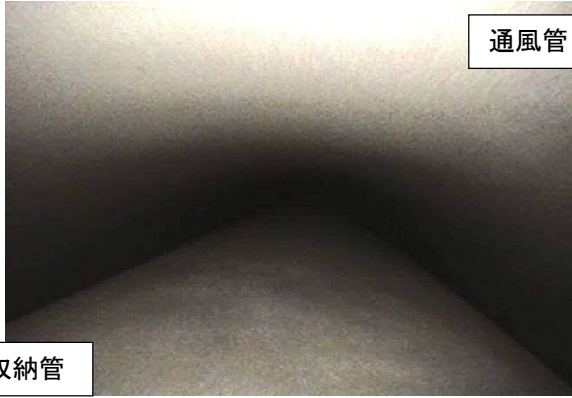



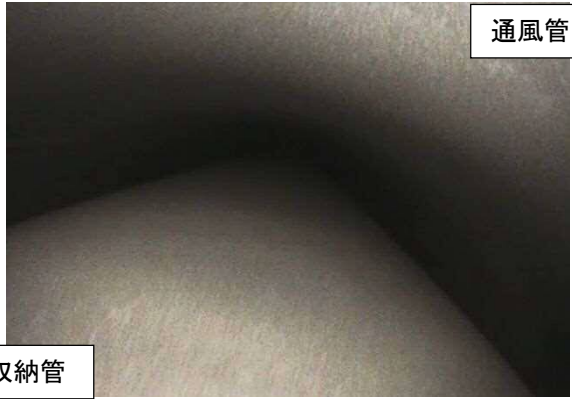


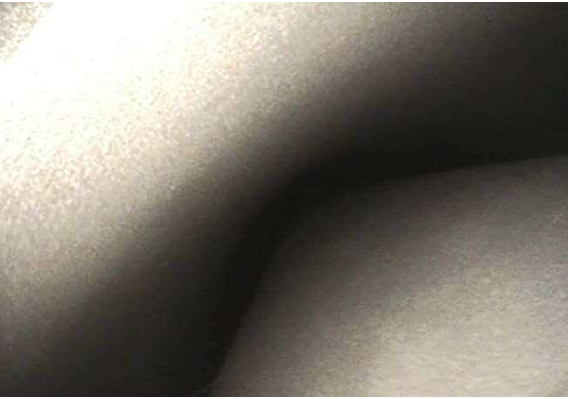
○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



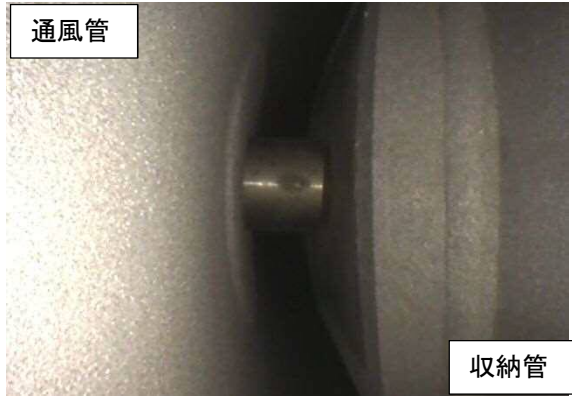



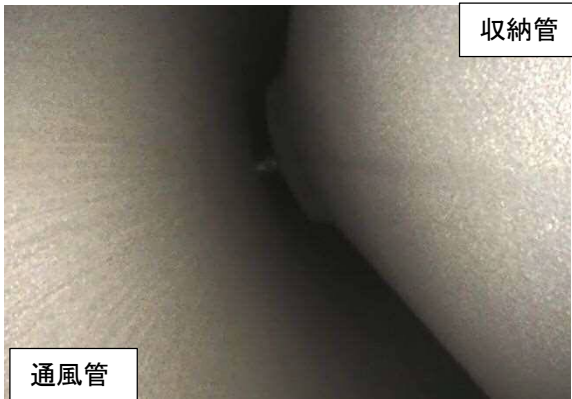
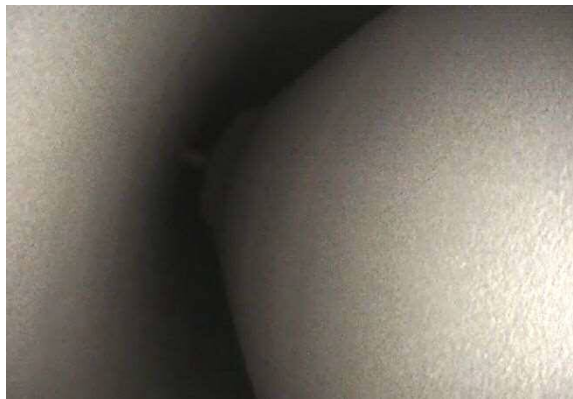

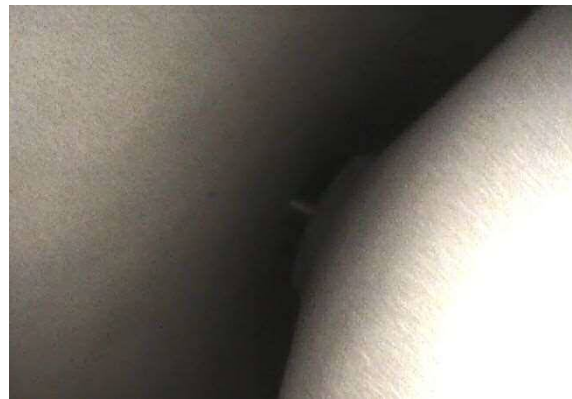
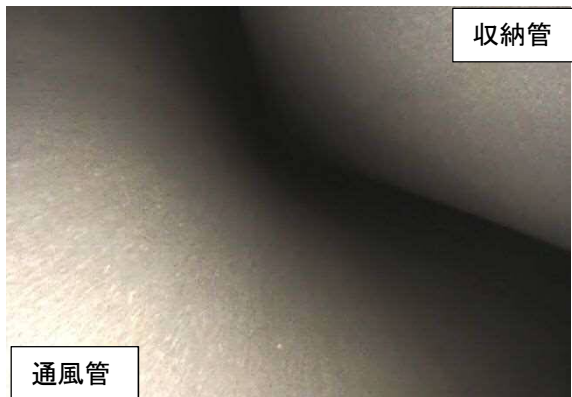
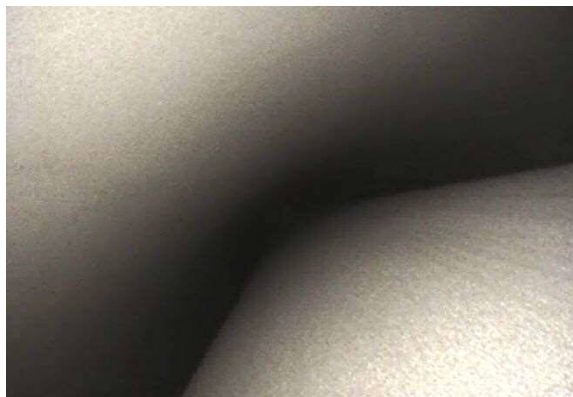
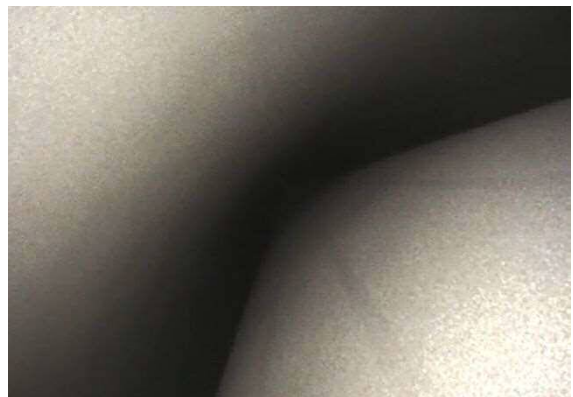
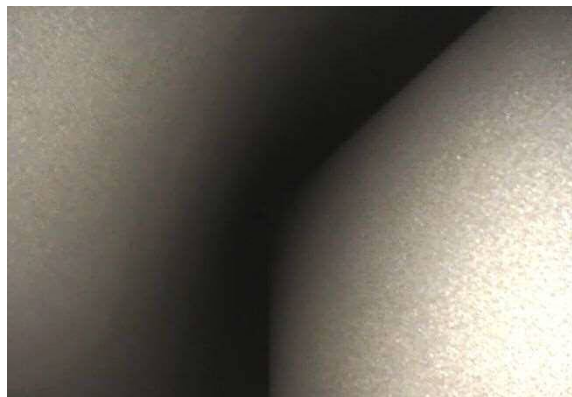
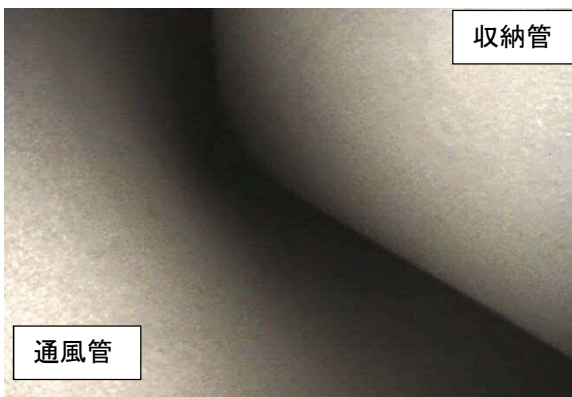
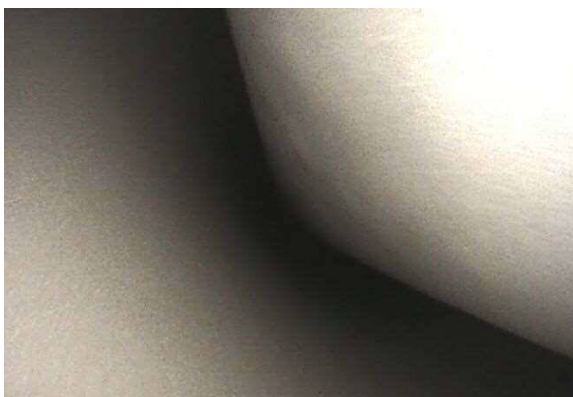
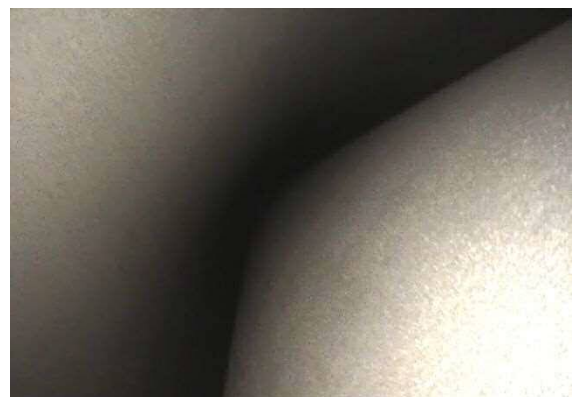

	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。

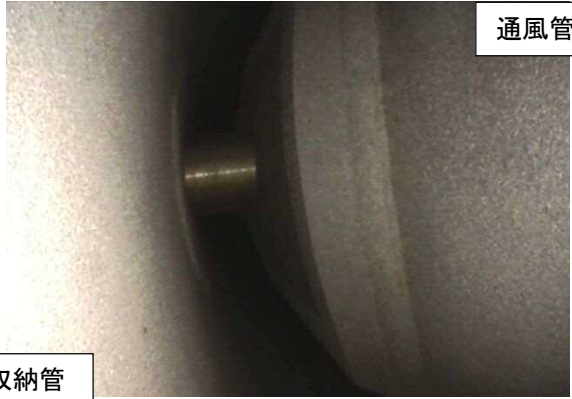






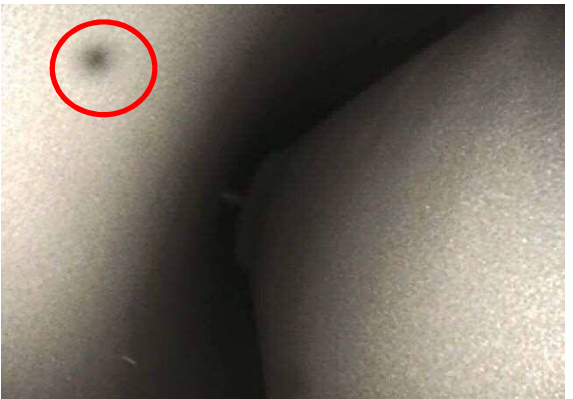

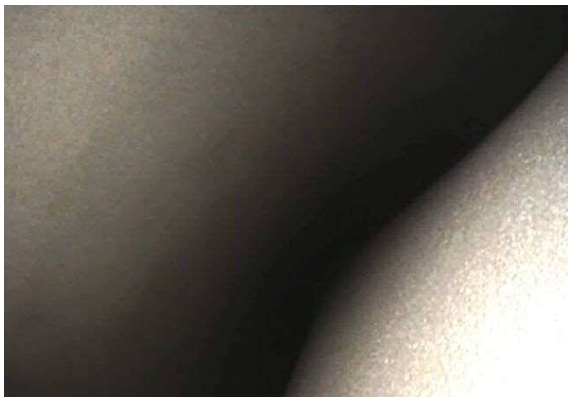

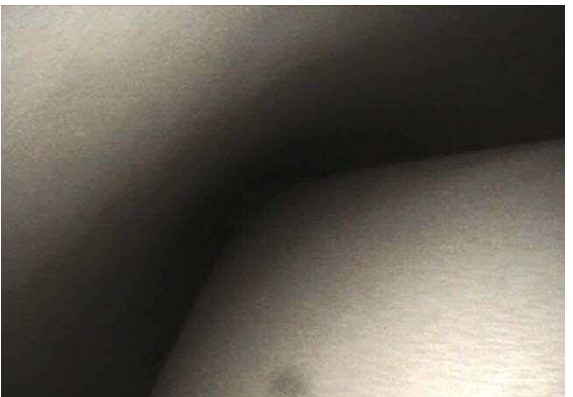
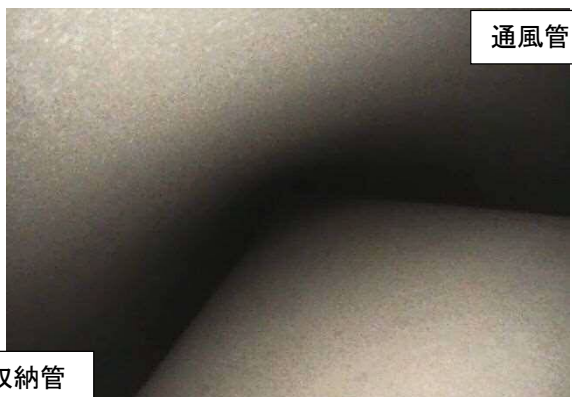
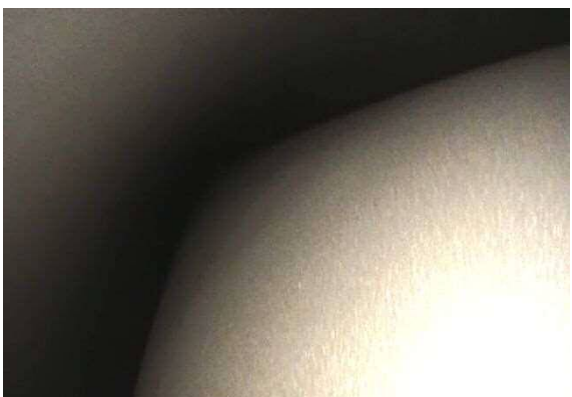

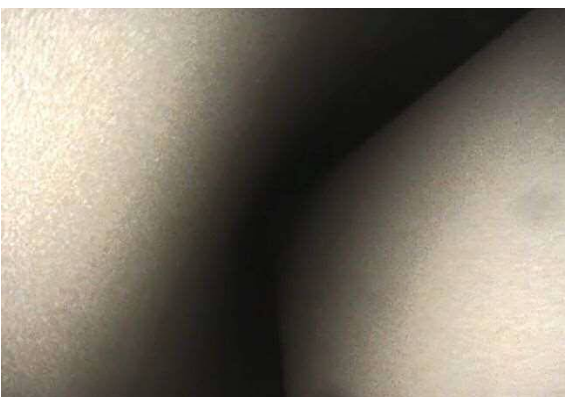


	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			



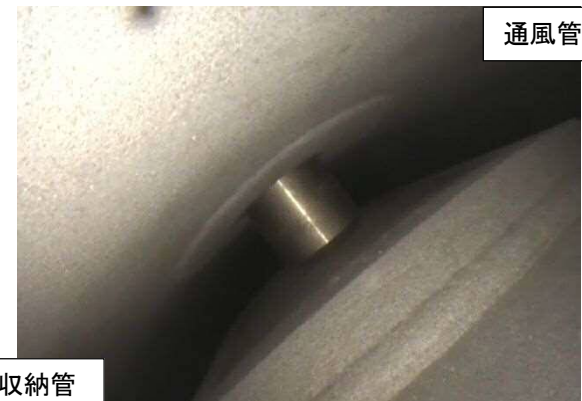



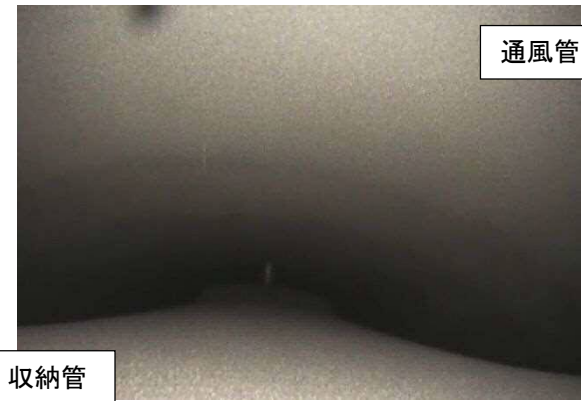



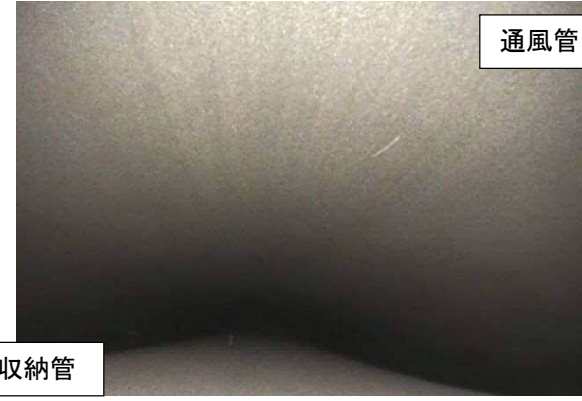

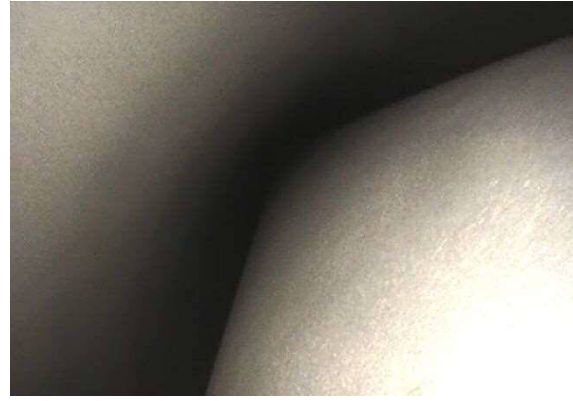



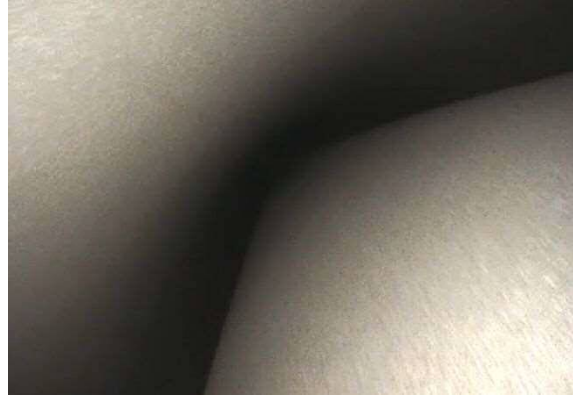

	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				








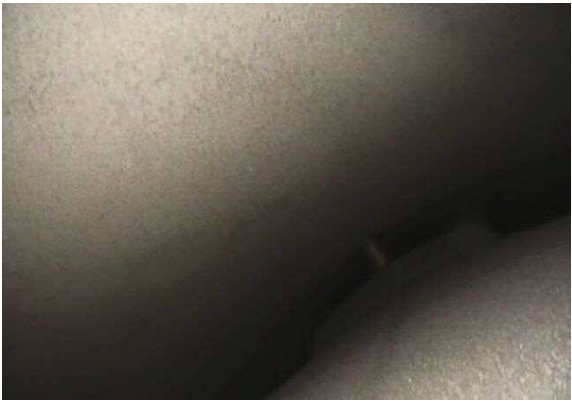
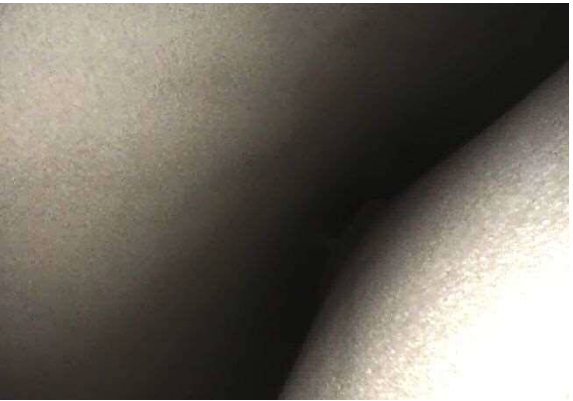
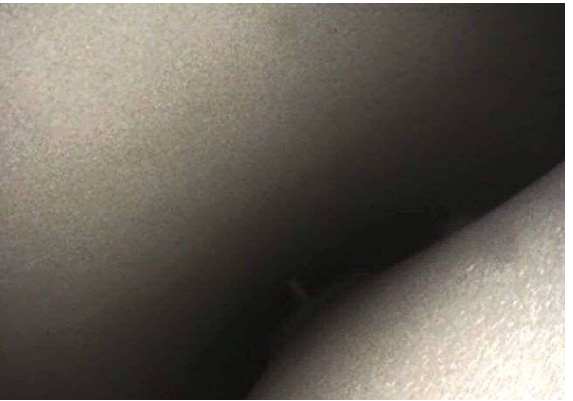
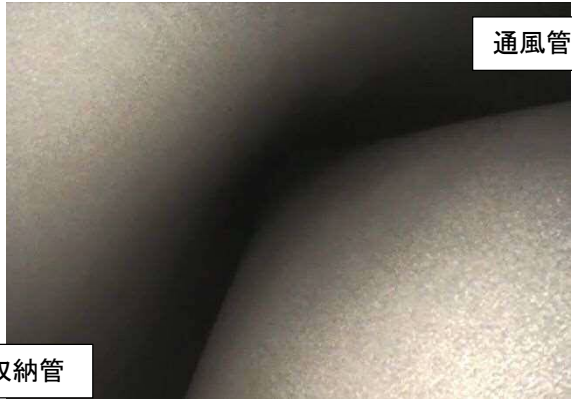
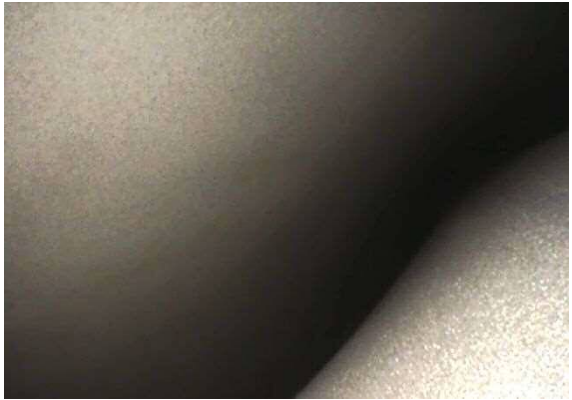


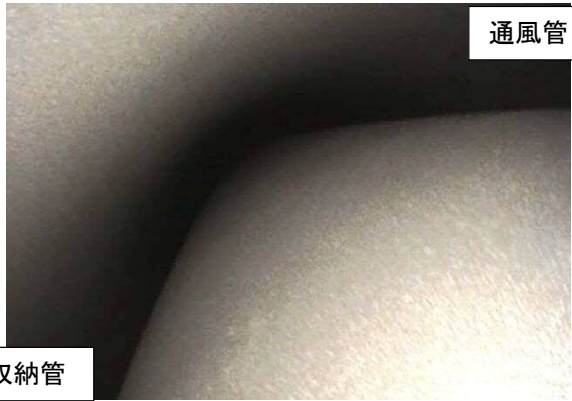



	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。

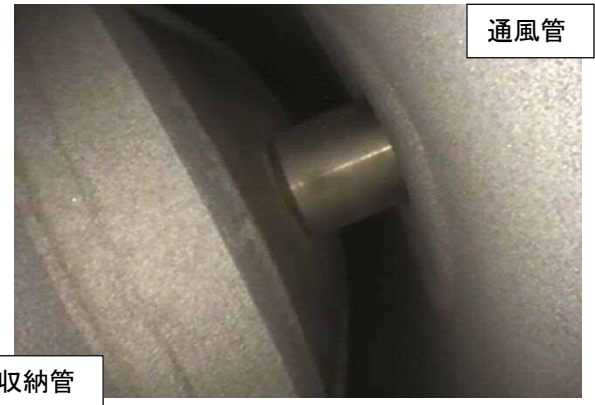
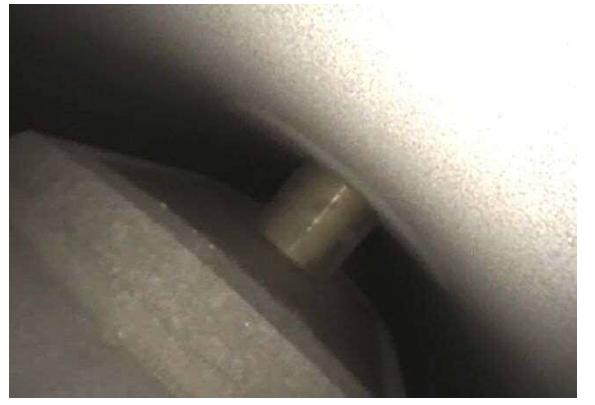


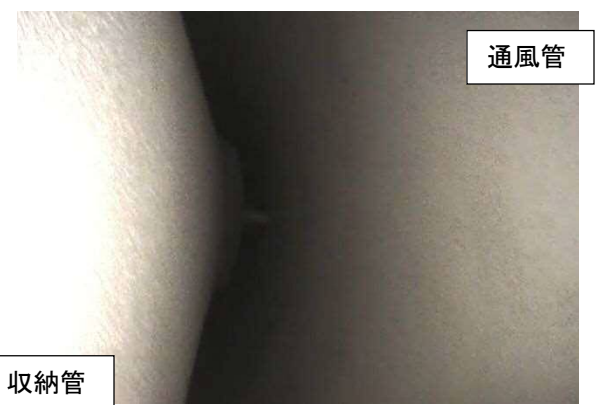
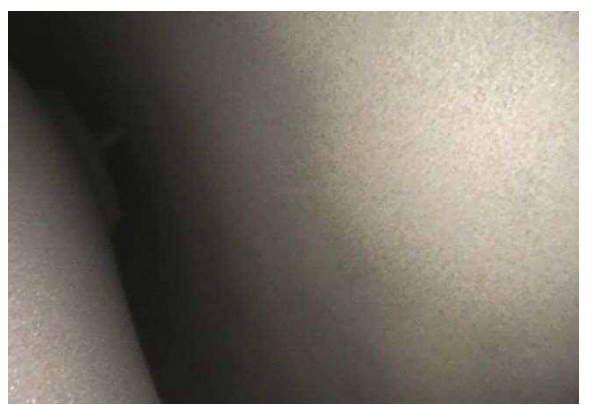
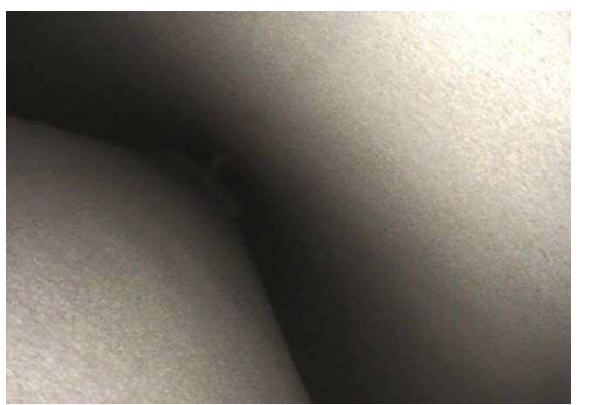
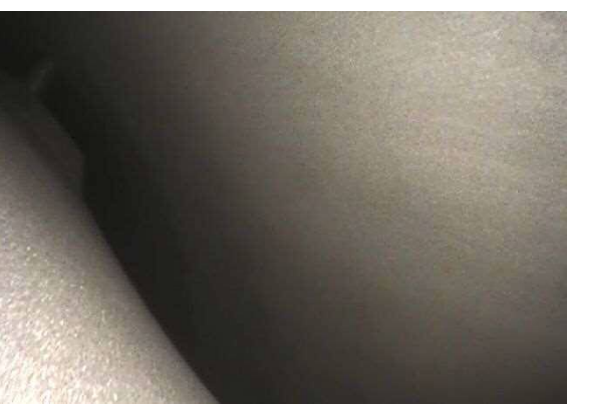
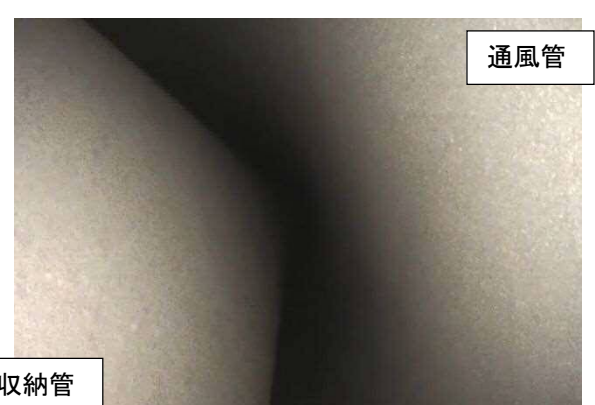
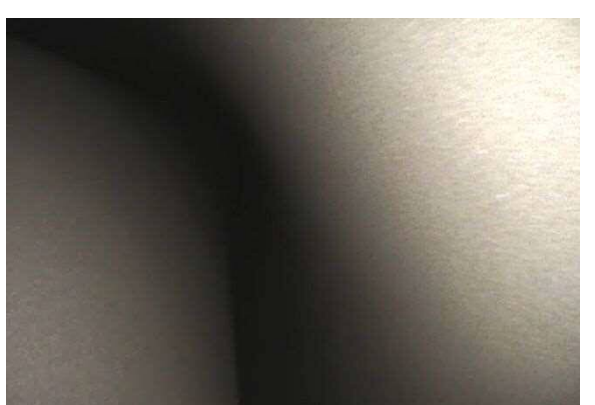
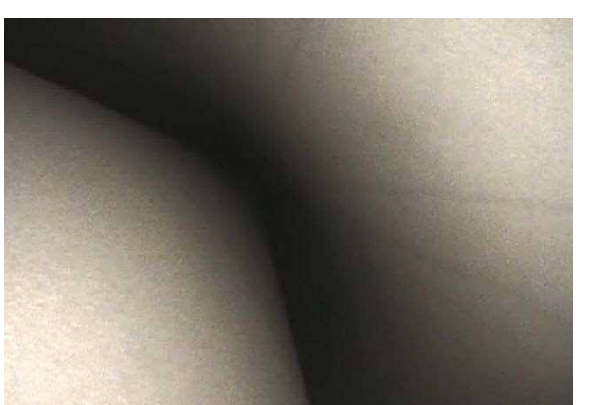
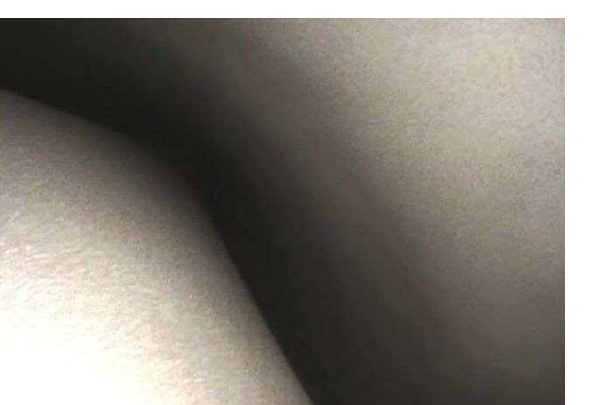

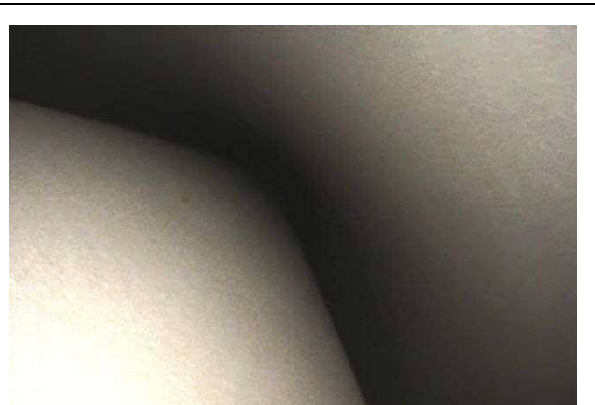
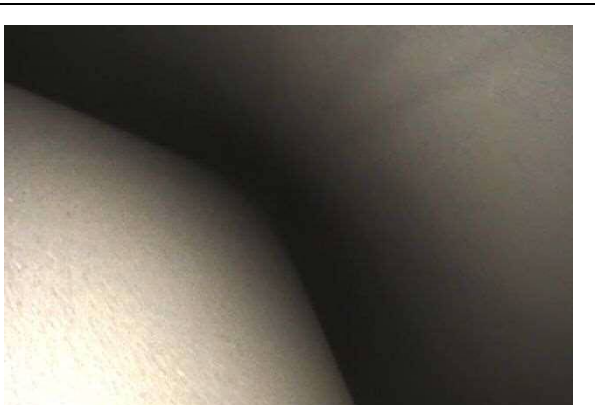
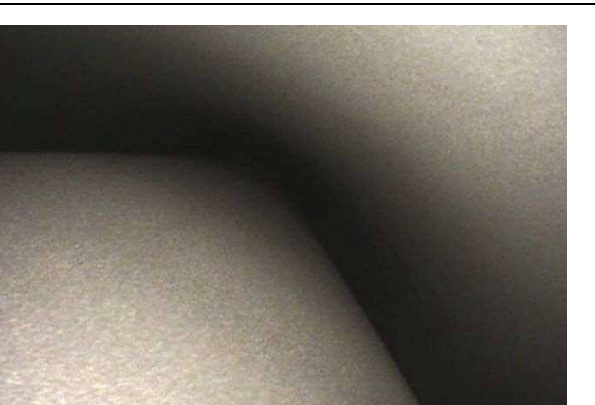


	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

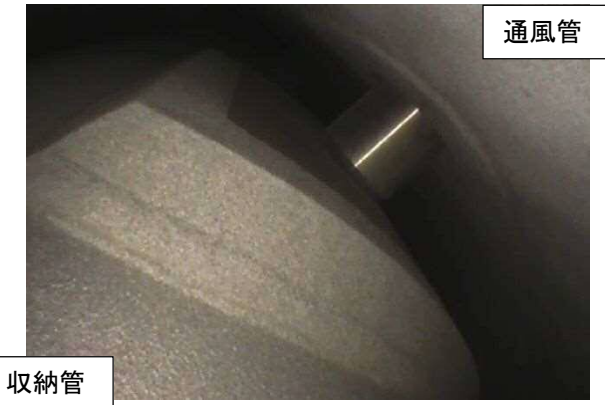



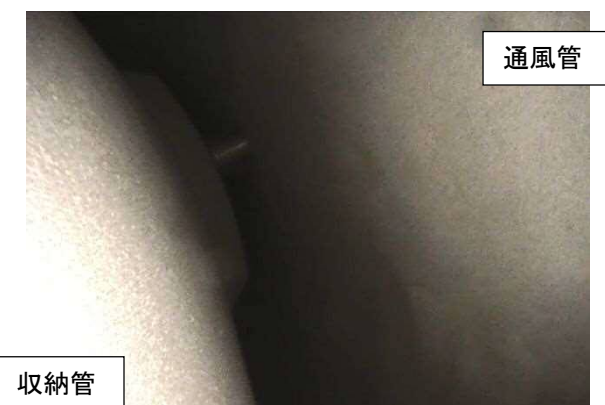

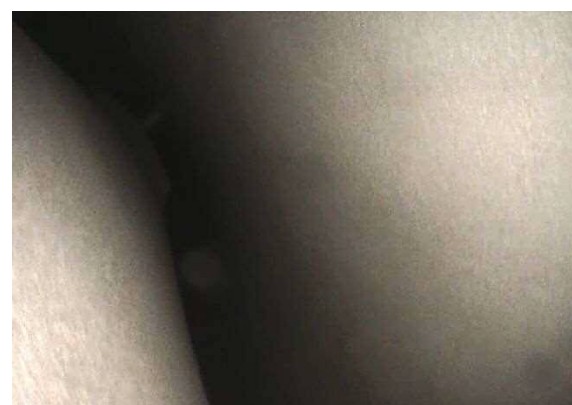
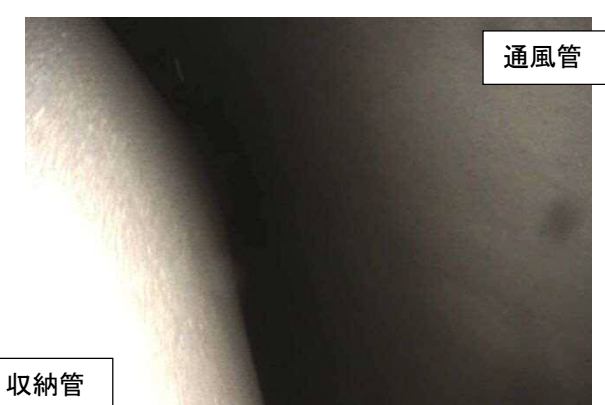
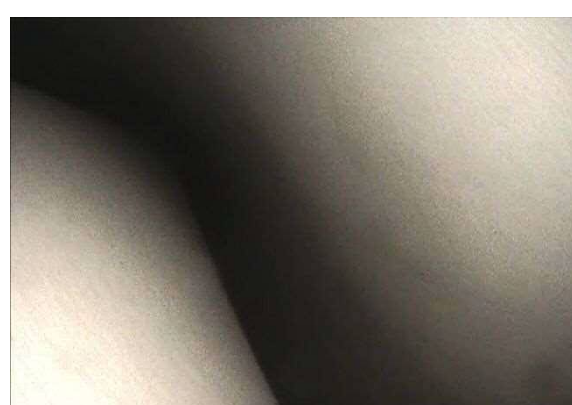
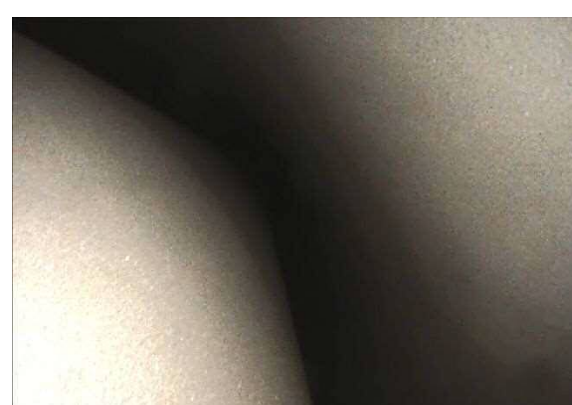
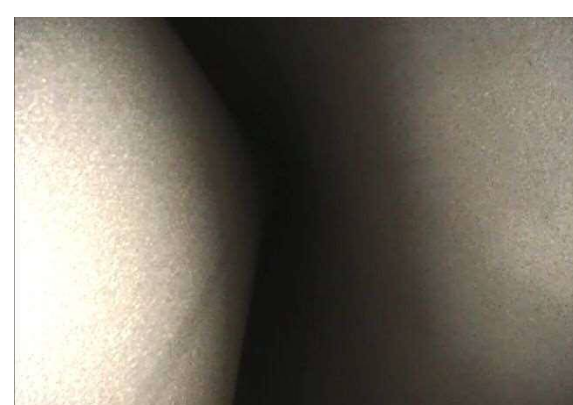
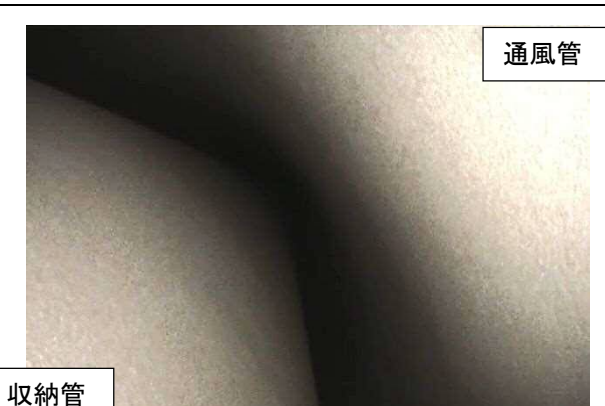

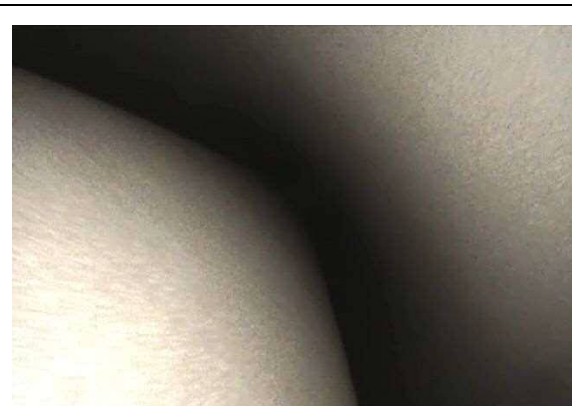
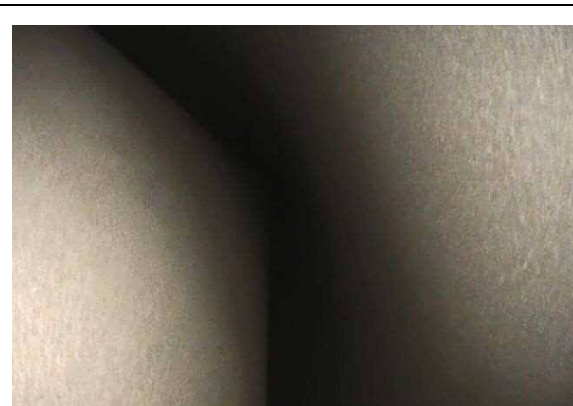


	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

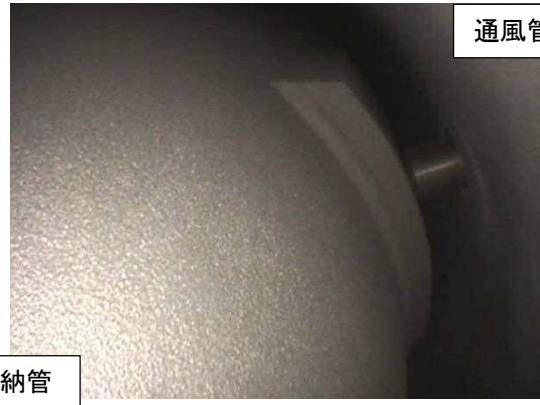



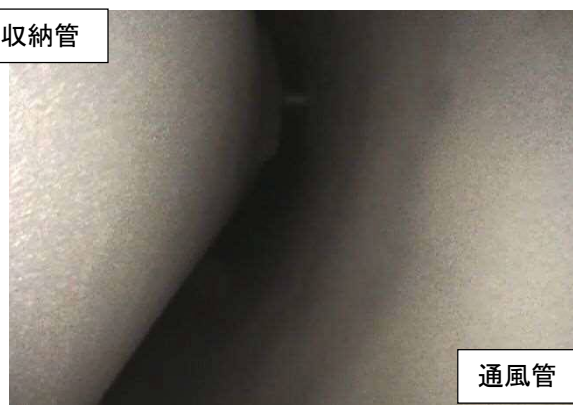


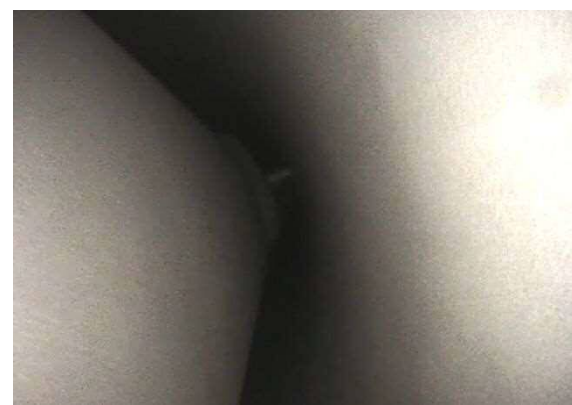

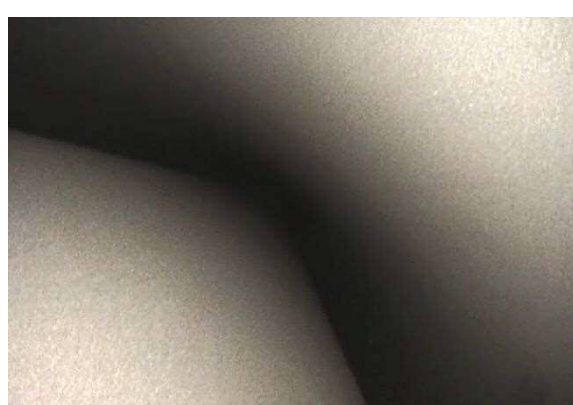

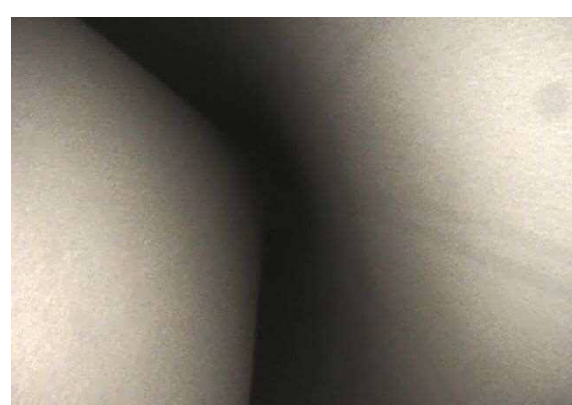
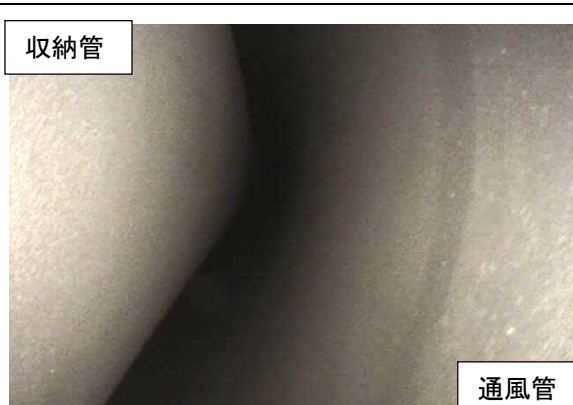
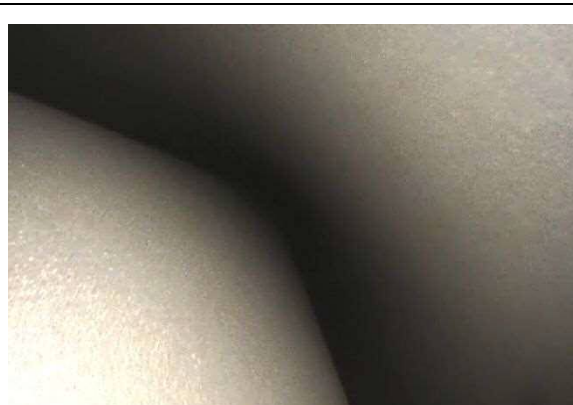
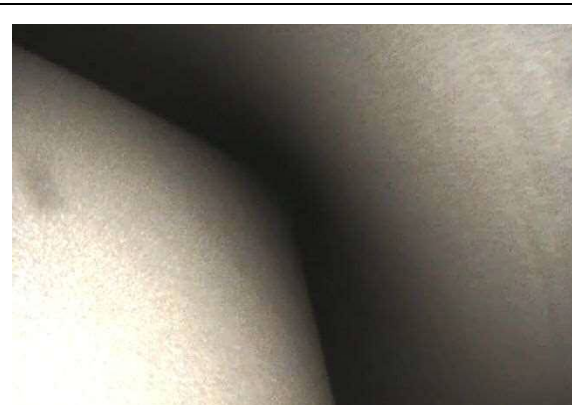
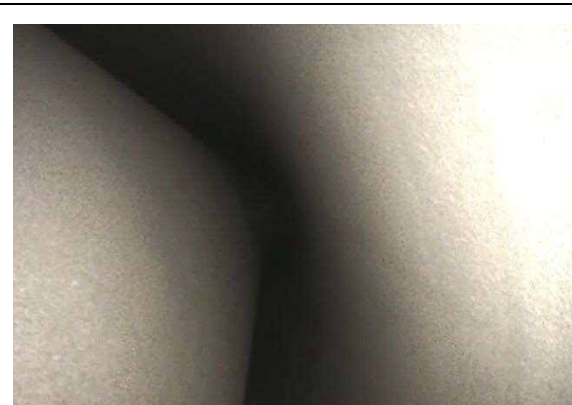


	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

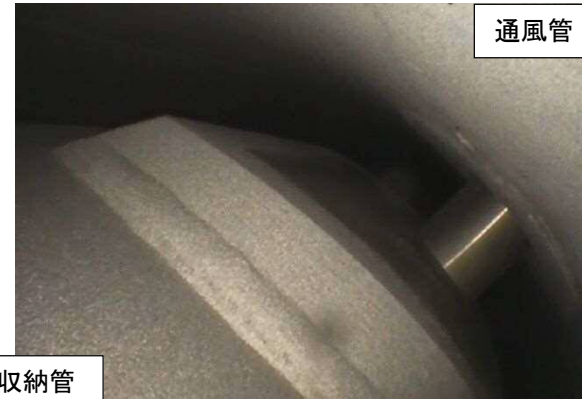







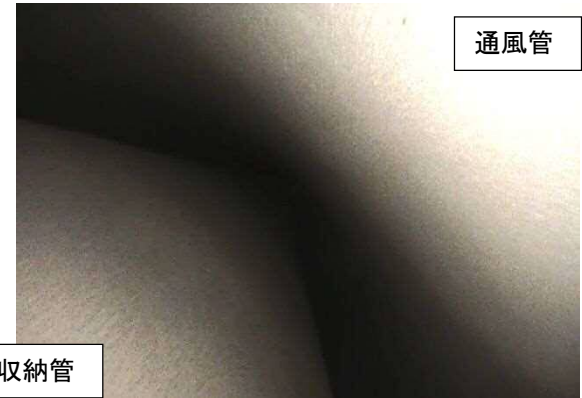



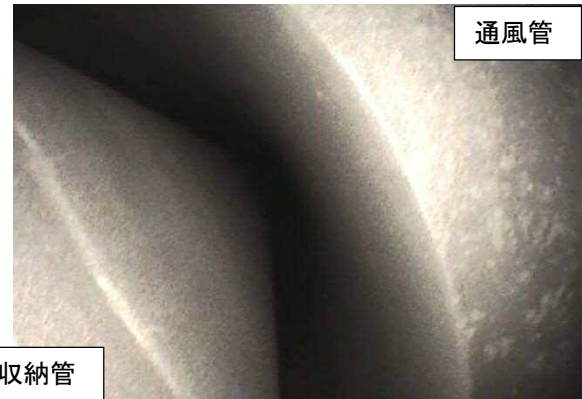





	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



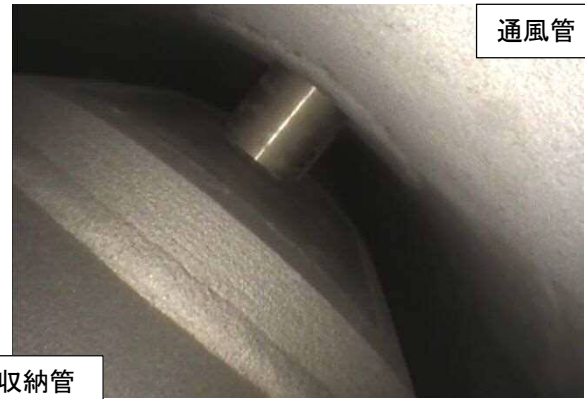


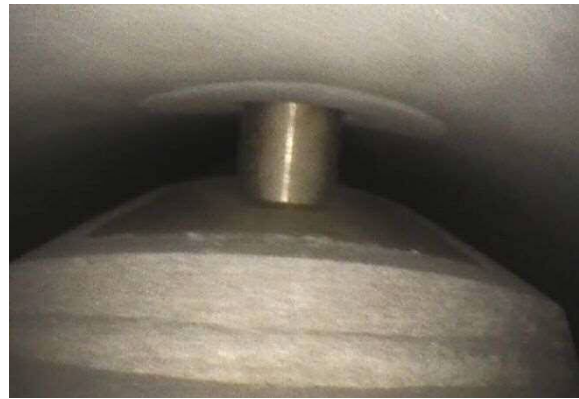
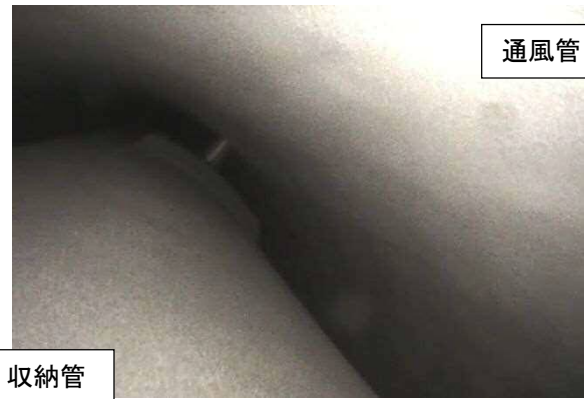



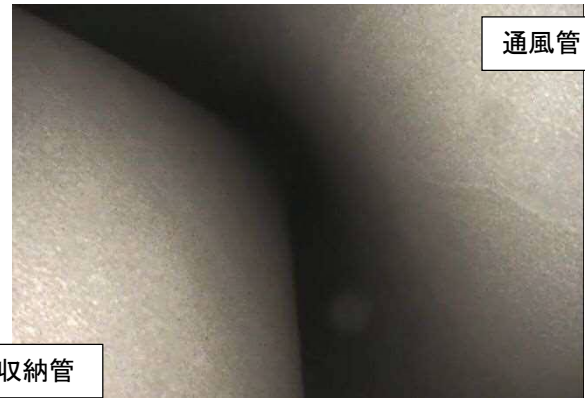
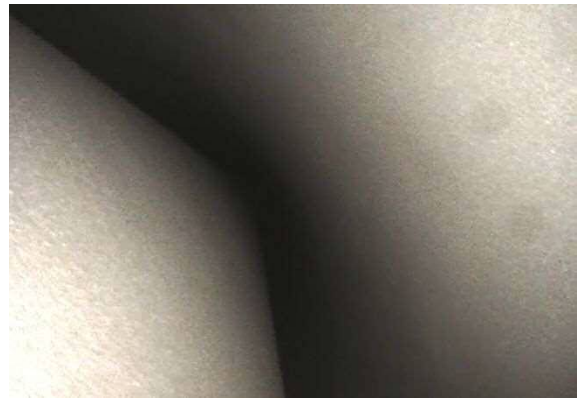
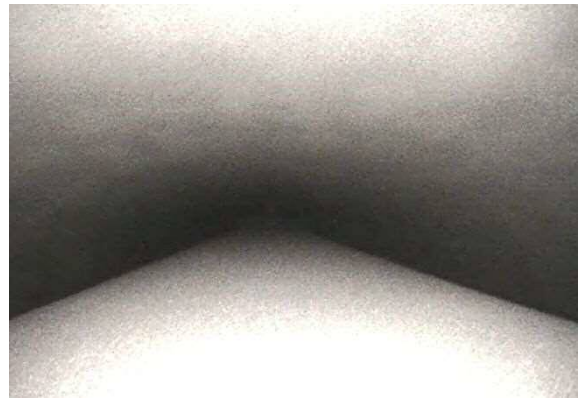

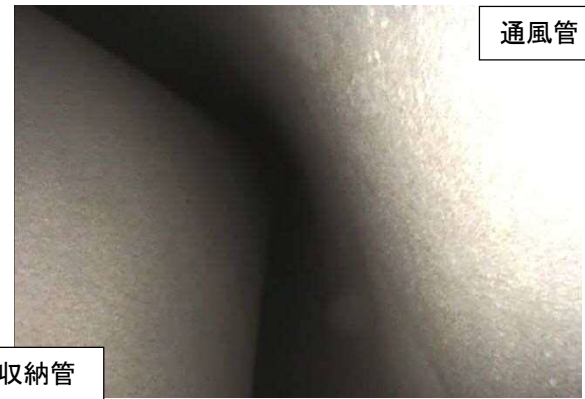
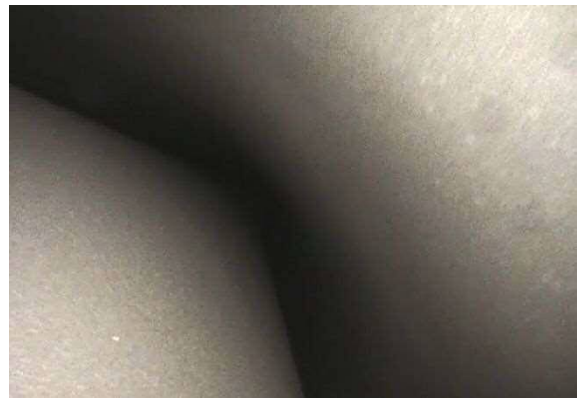


	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>収納管</p> <p>通風管</p>			
③	 <p>収納管</p> <p>通風管</p>			
④	 <p>収納管</p> <p>通風管</p>			



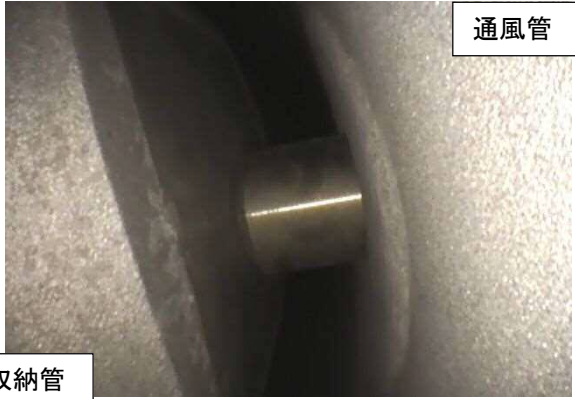
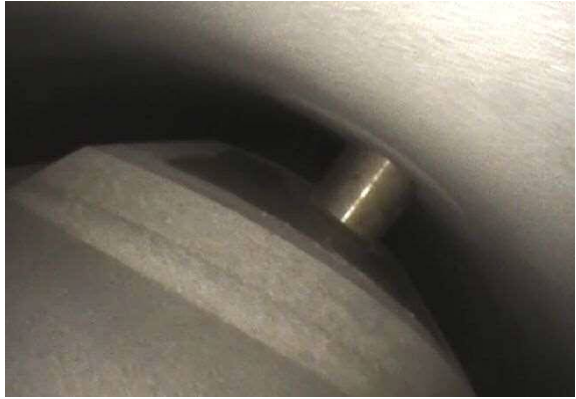


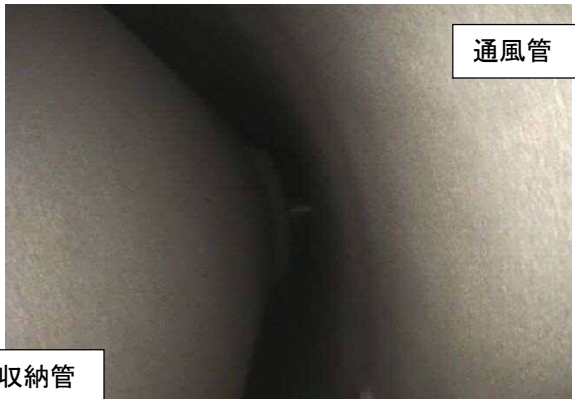



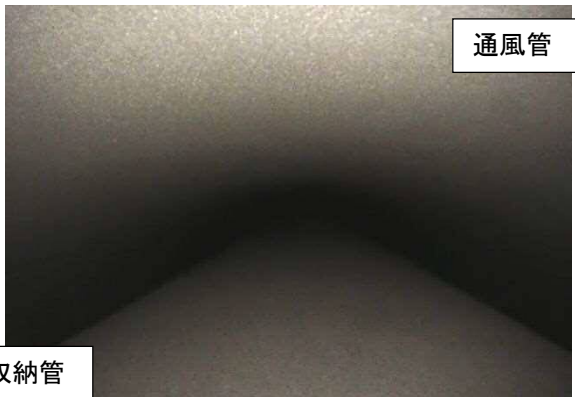



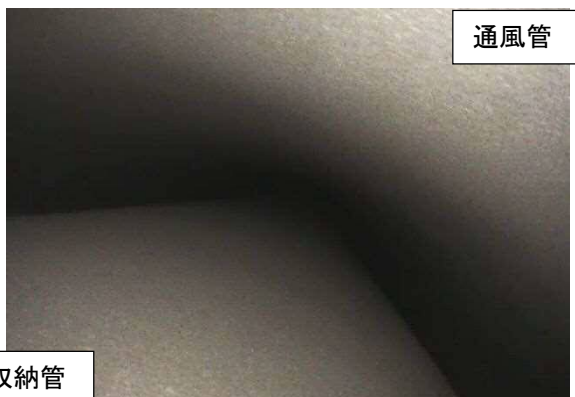
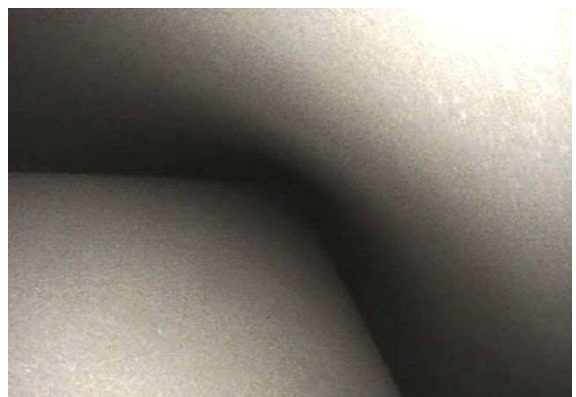

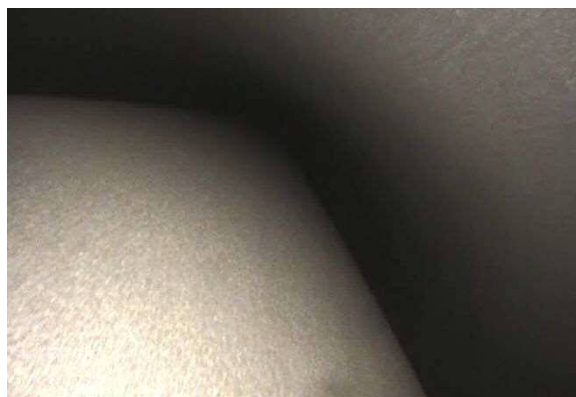
	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。

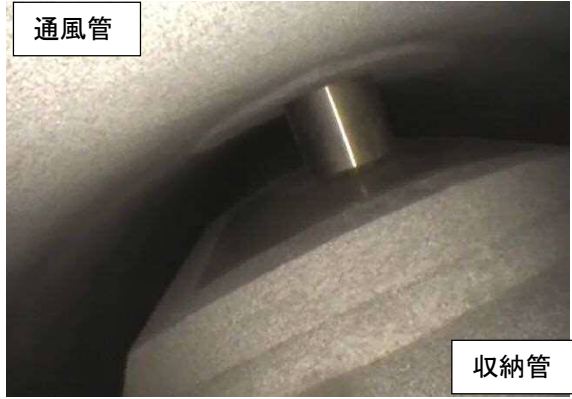










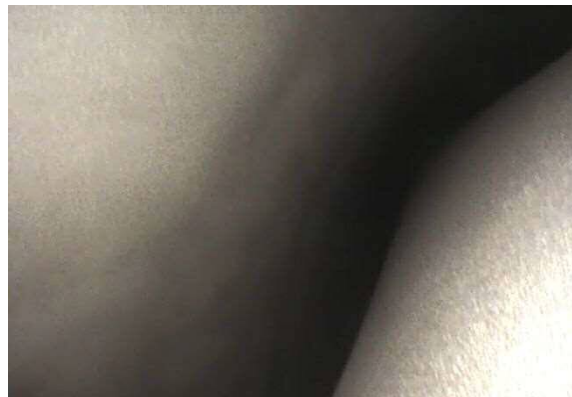


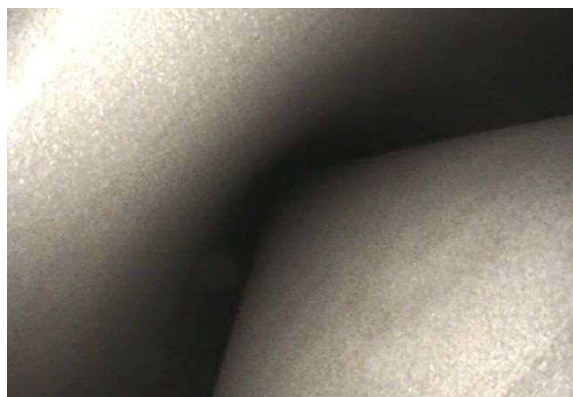



	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			





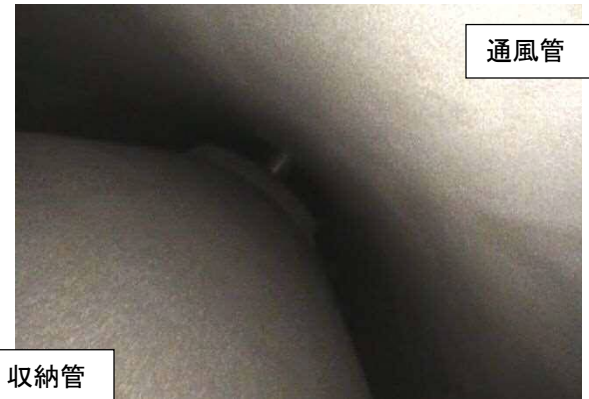



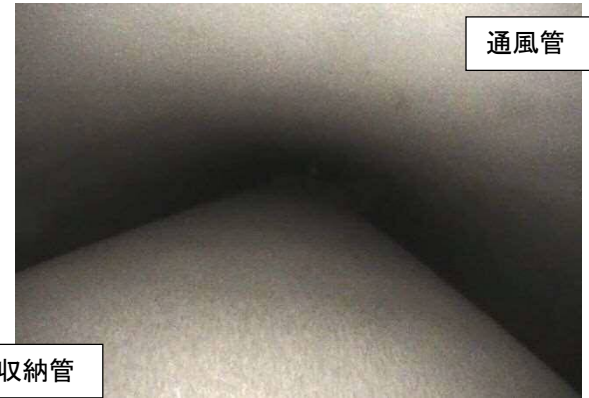



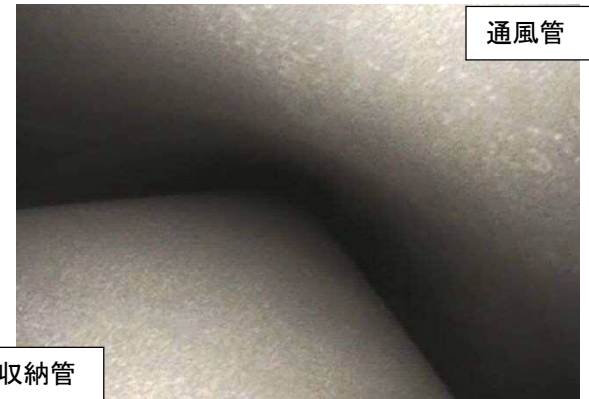





	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			

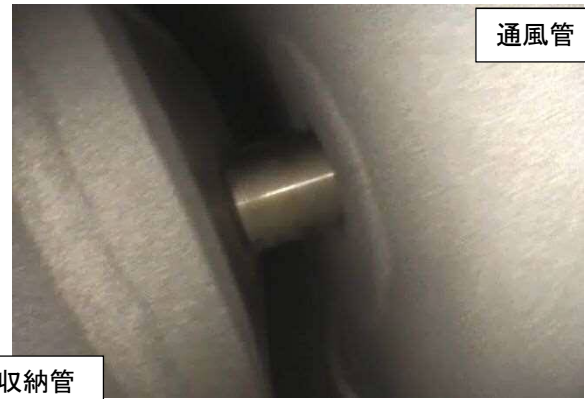
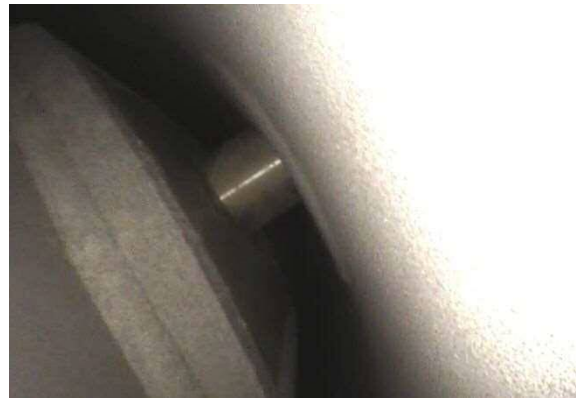


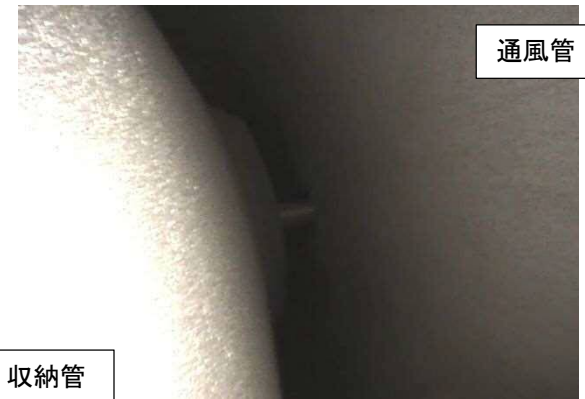



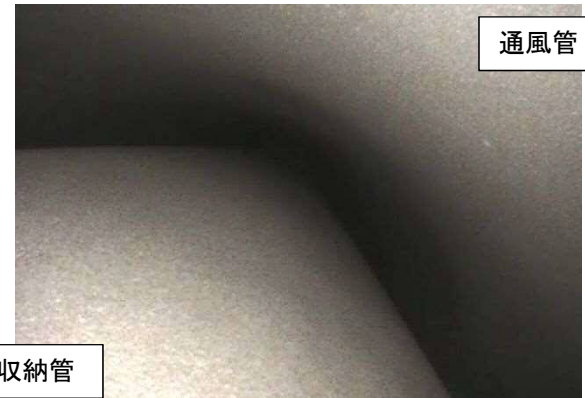









	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



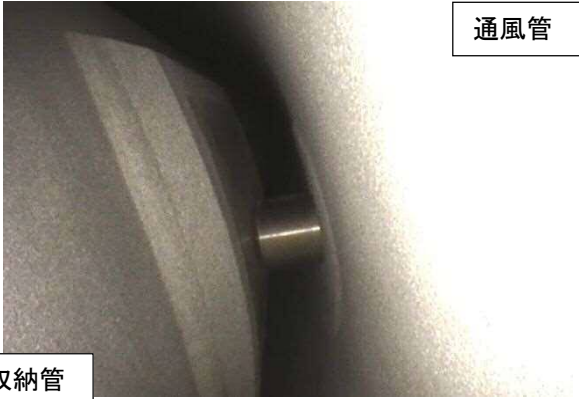


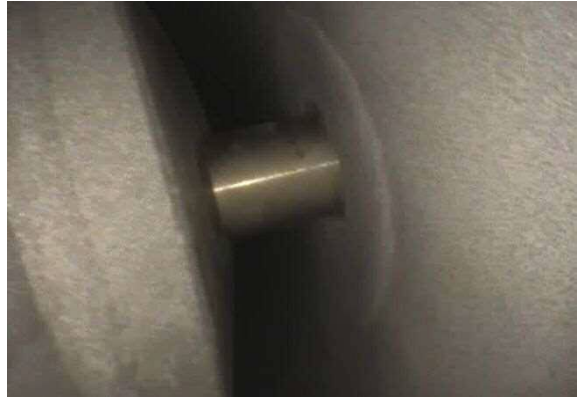
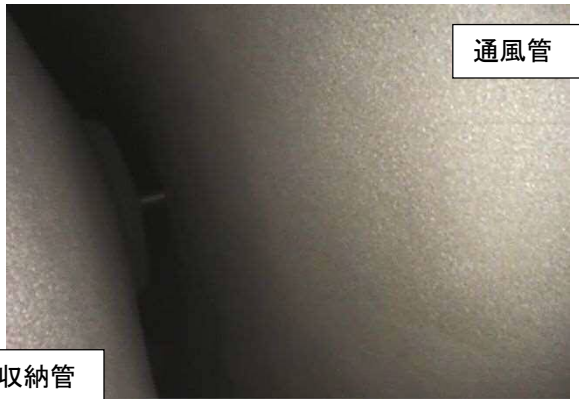











	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			



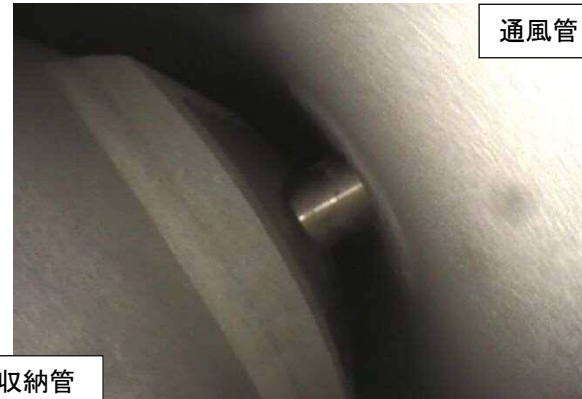



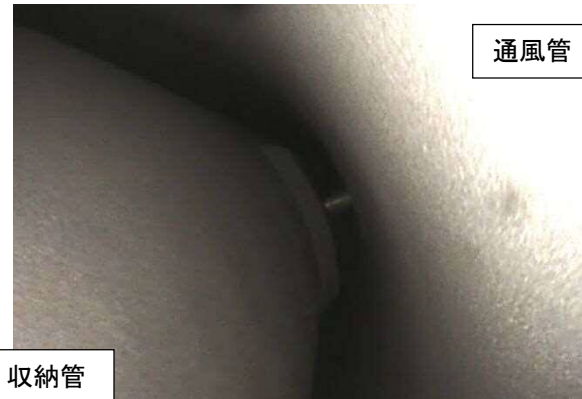



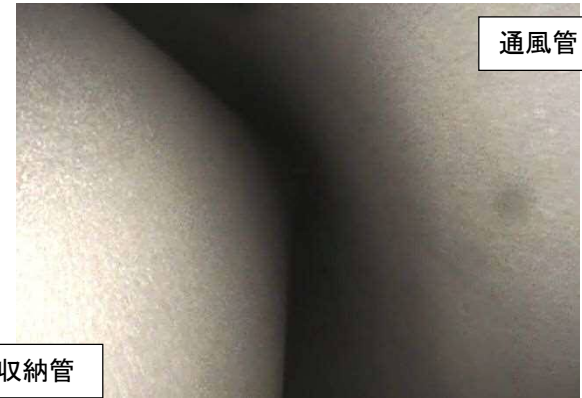



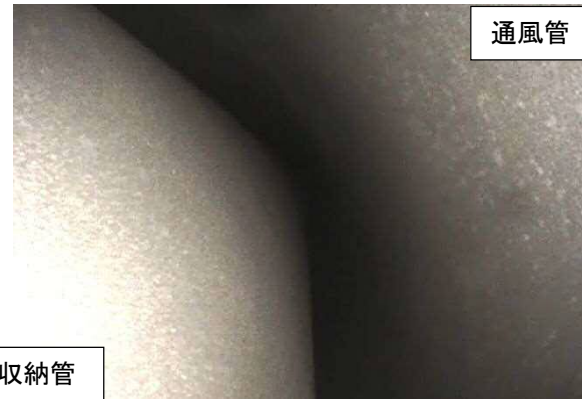
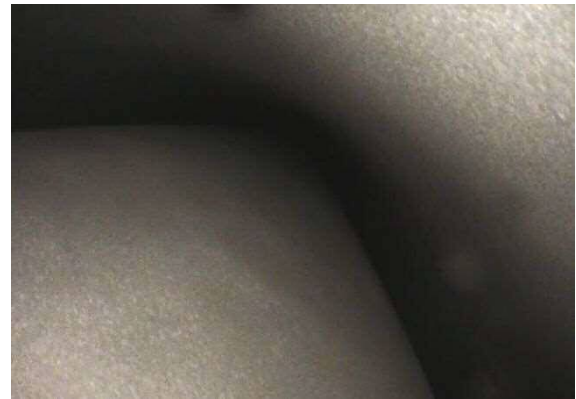


	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。



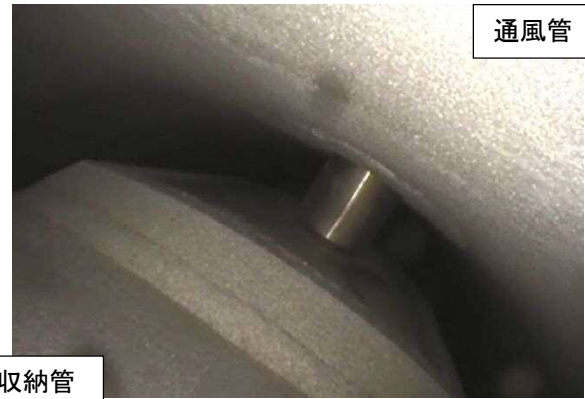

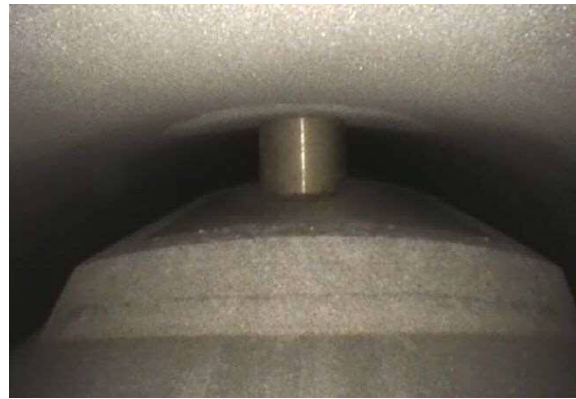

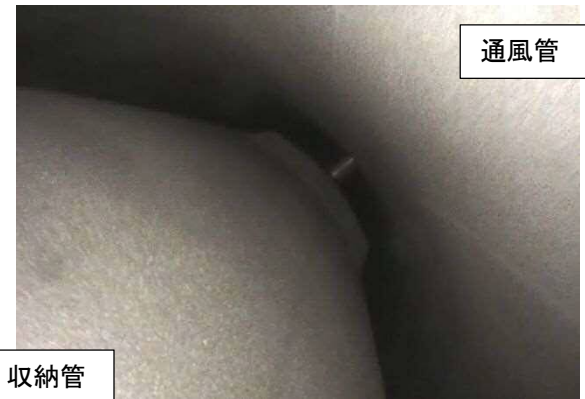



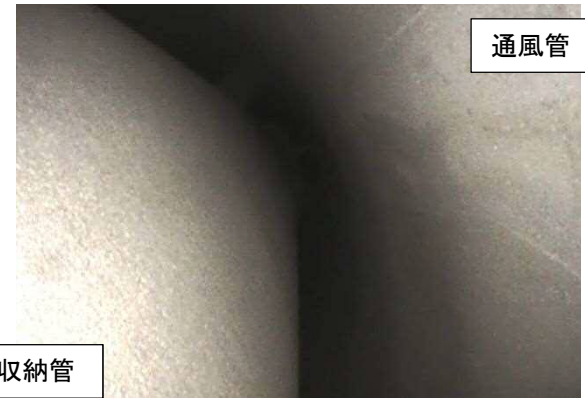


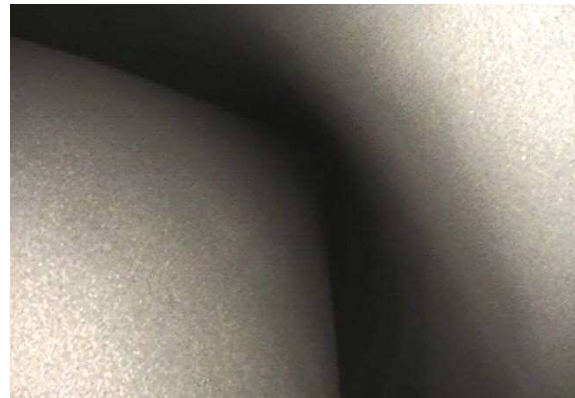
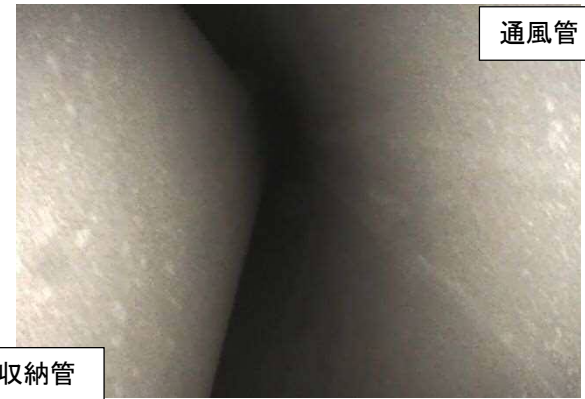


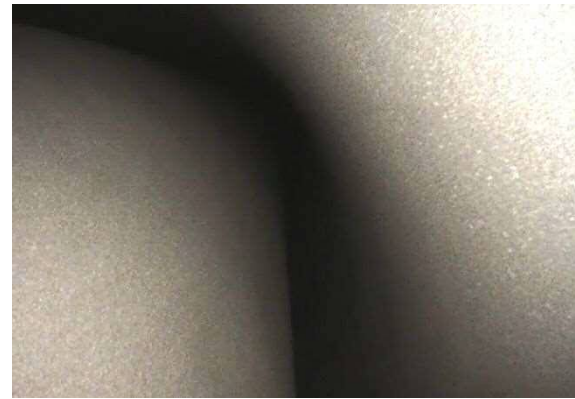
	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			



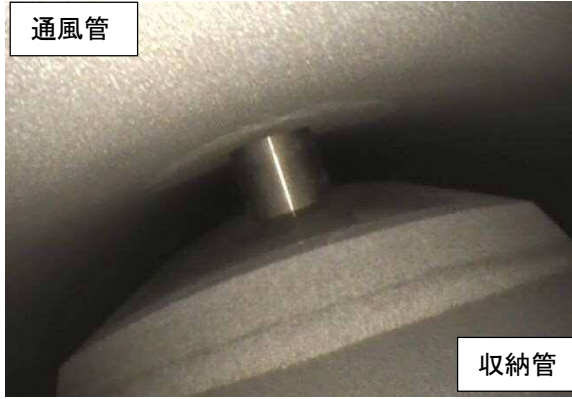







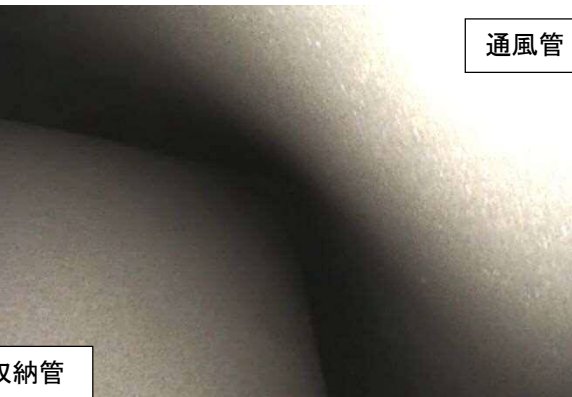


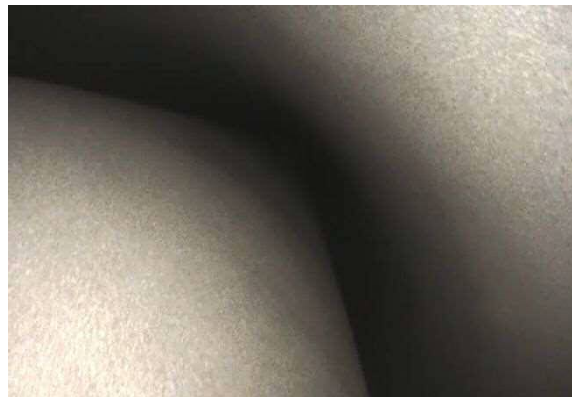
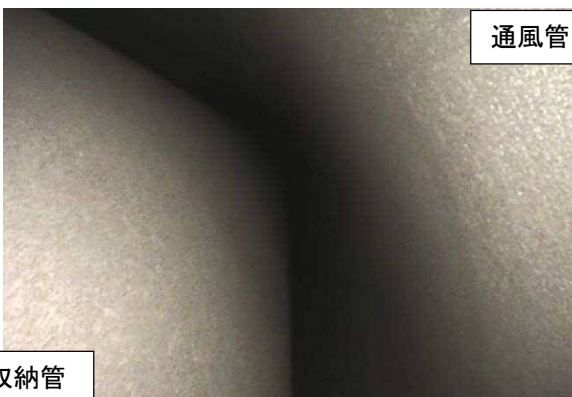

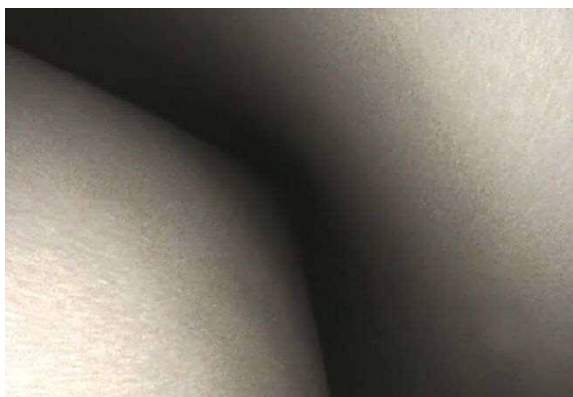
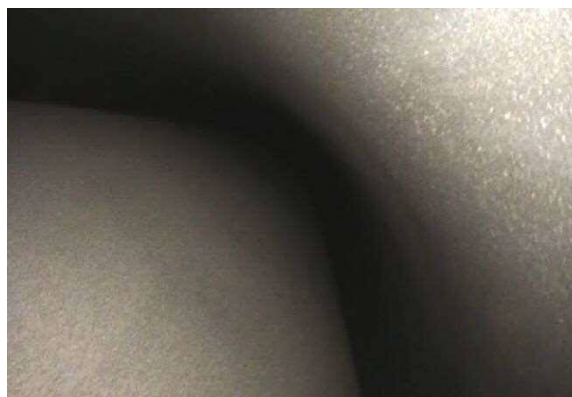
	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

○ : ファイバースコープのレンズに付着した水滴により生まれた影である。他の写真も同様。


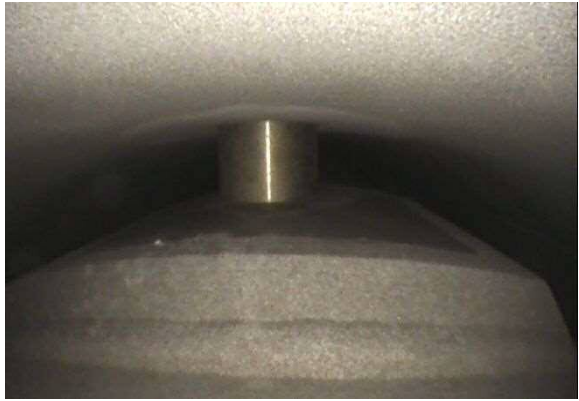


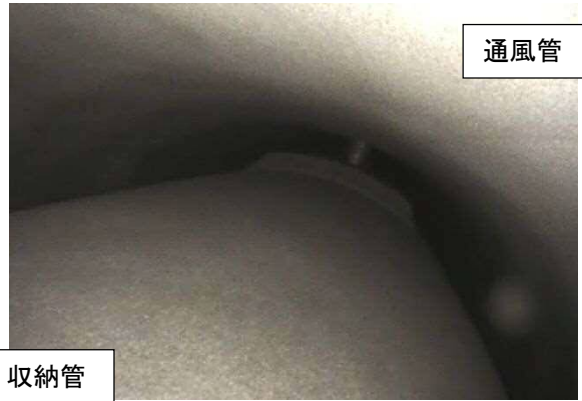



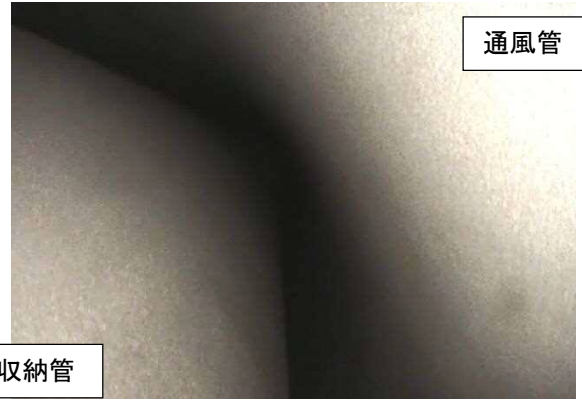



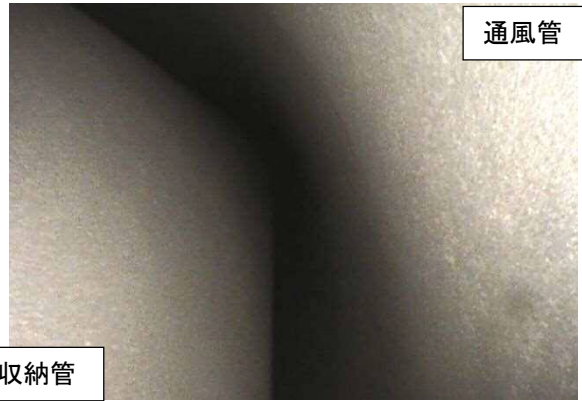

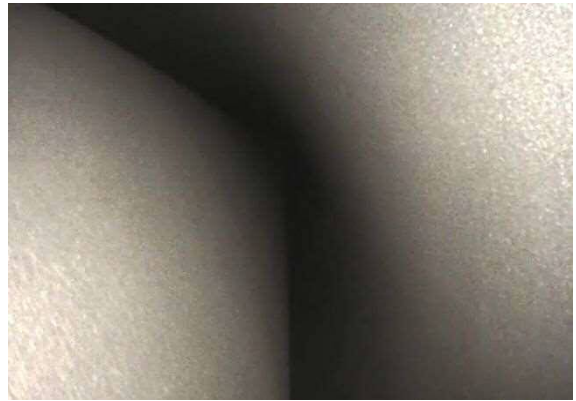



	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			









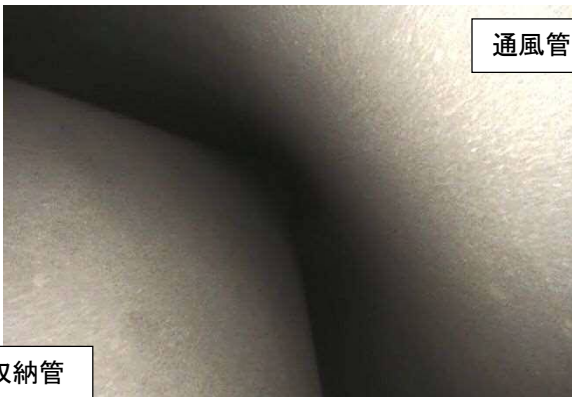
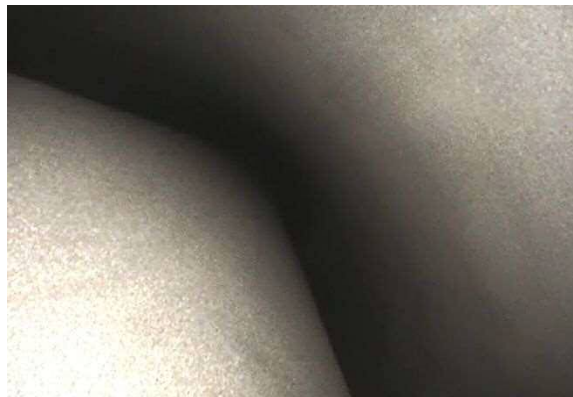
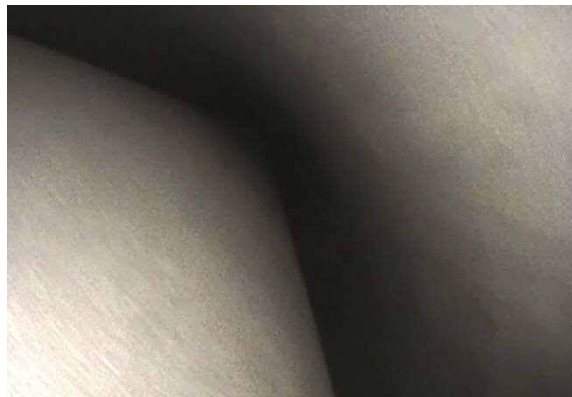
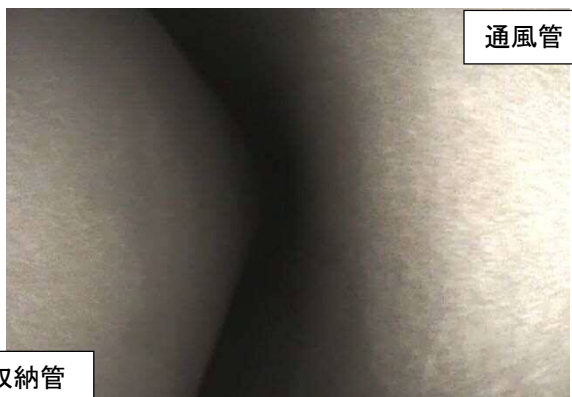

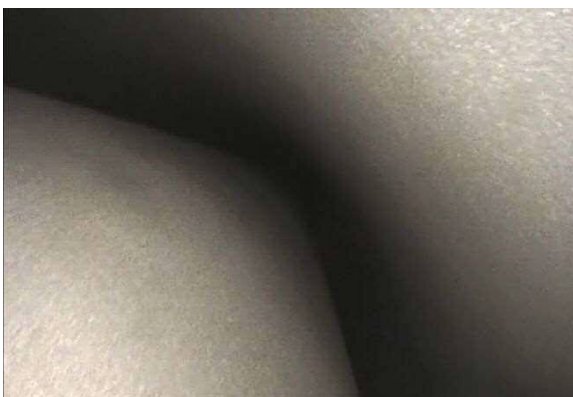



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				

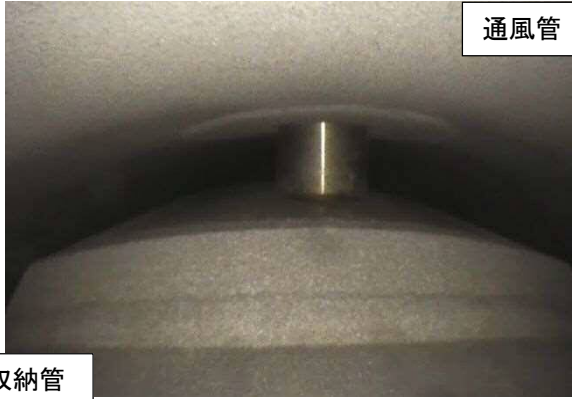



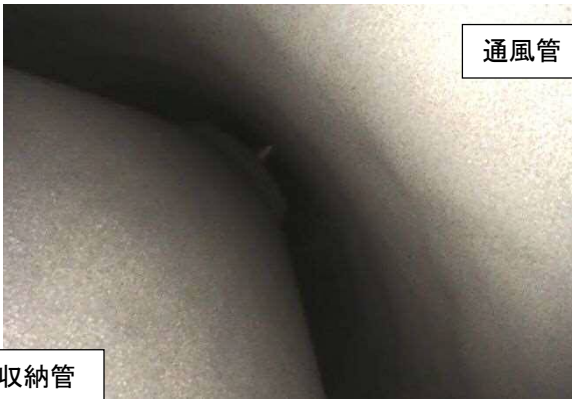



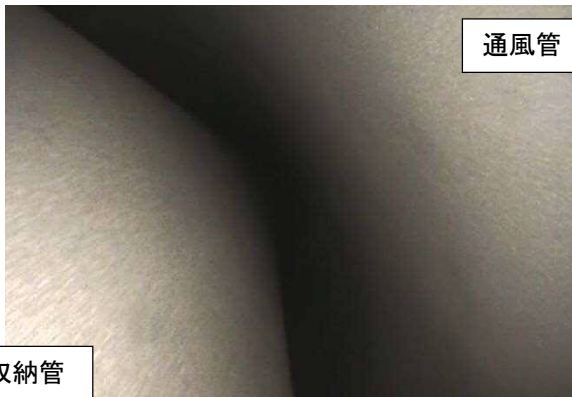

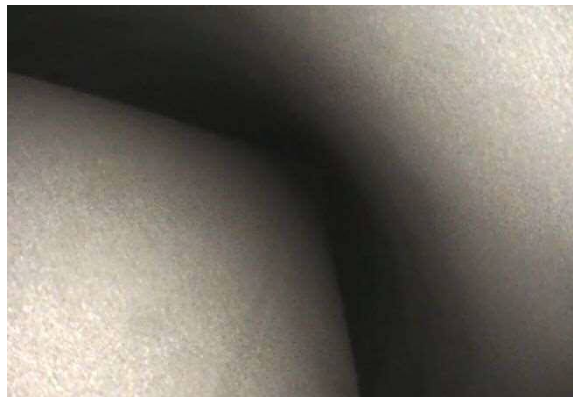

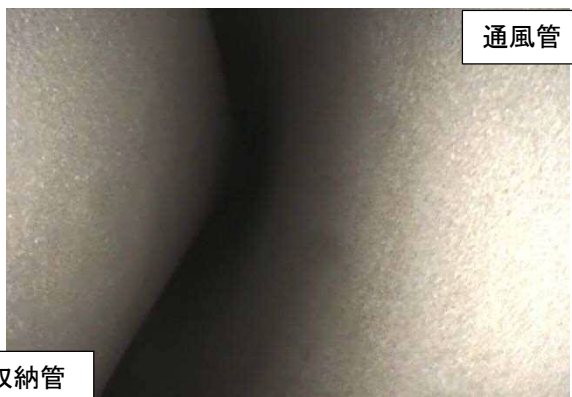
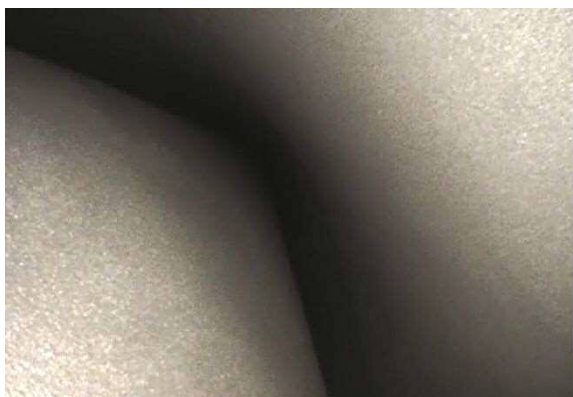
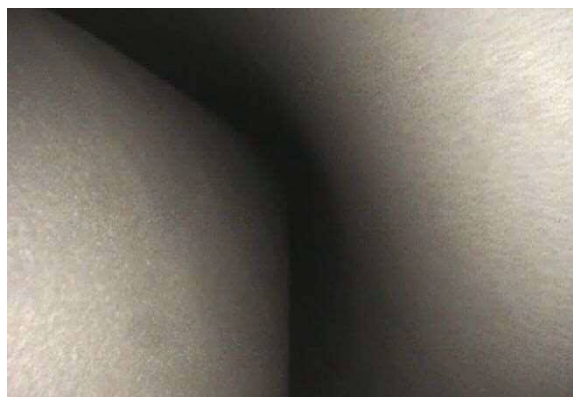



	北	東	南	西
①				
②				
③				
④				



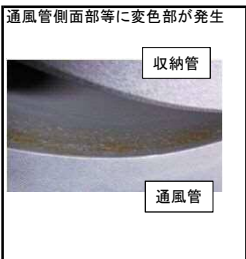
	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			



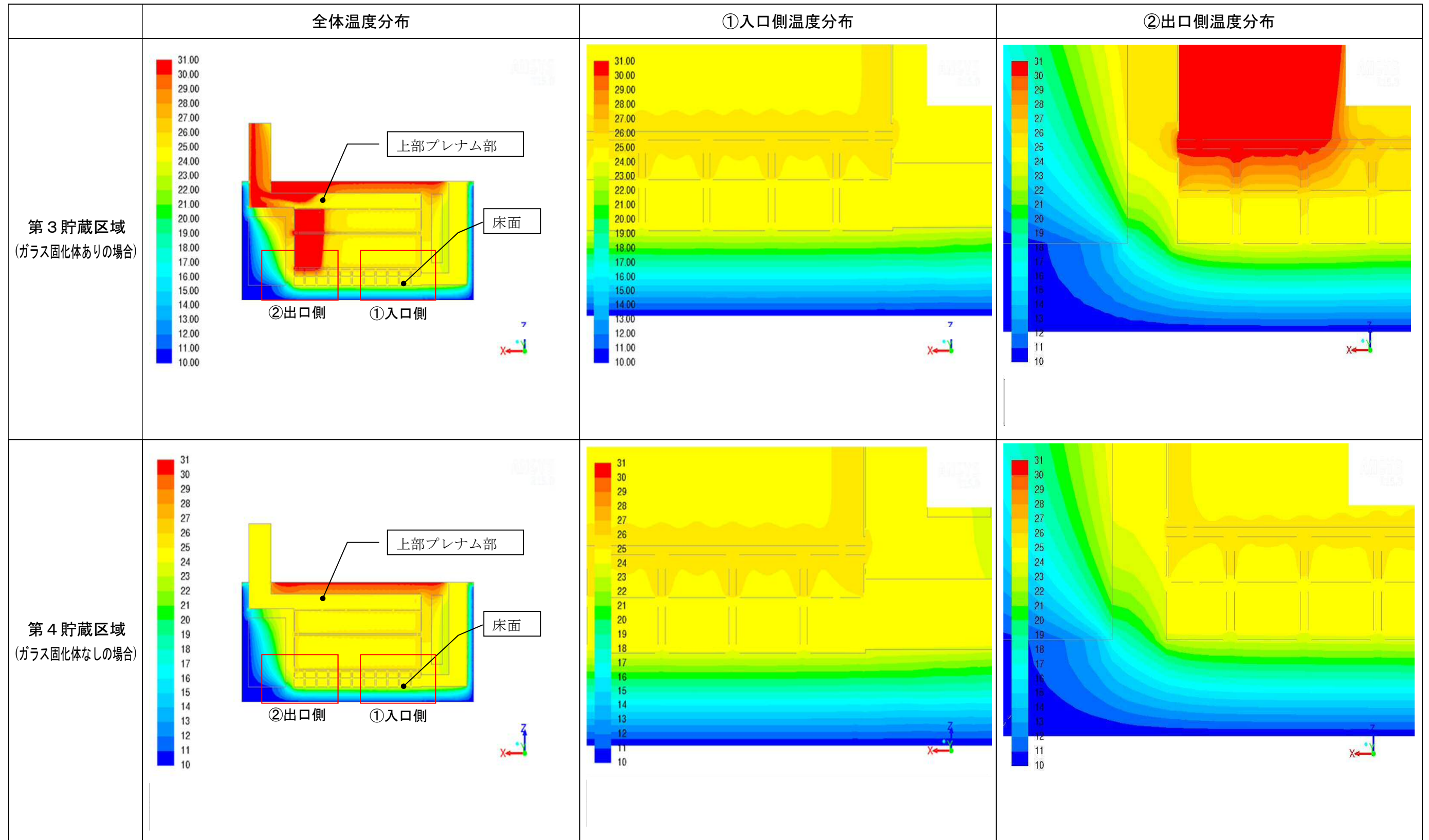
	北	東	南	西
①	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
②	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
③	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			
④	 <p>通風管</p> <p>収納管</p>			



第4貯蔵区域 通風管等変色部発生の変色部発生要因分析図

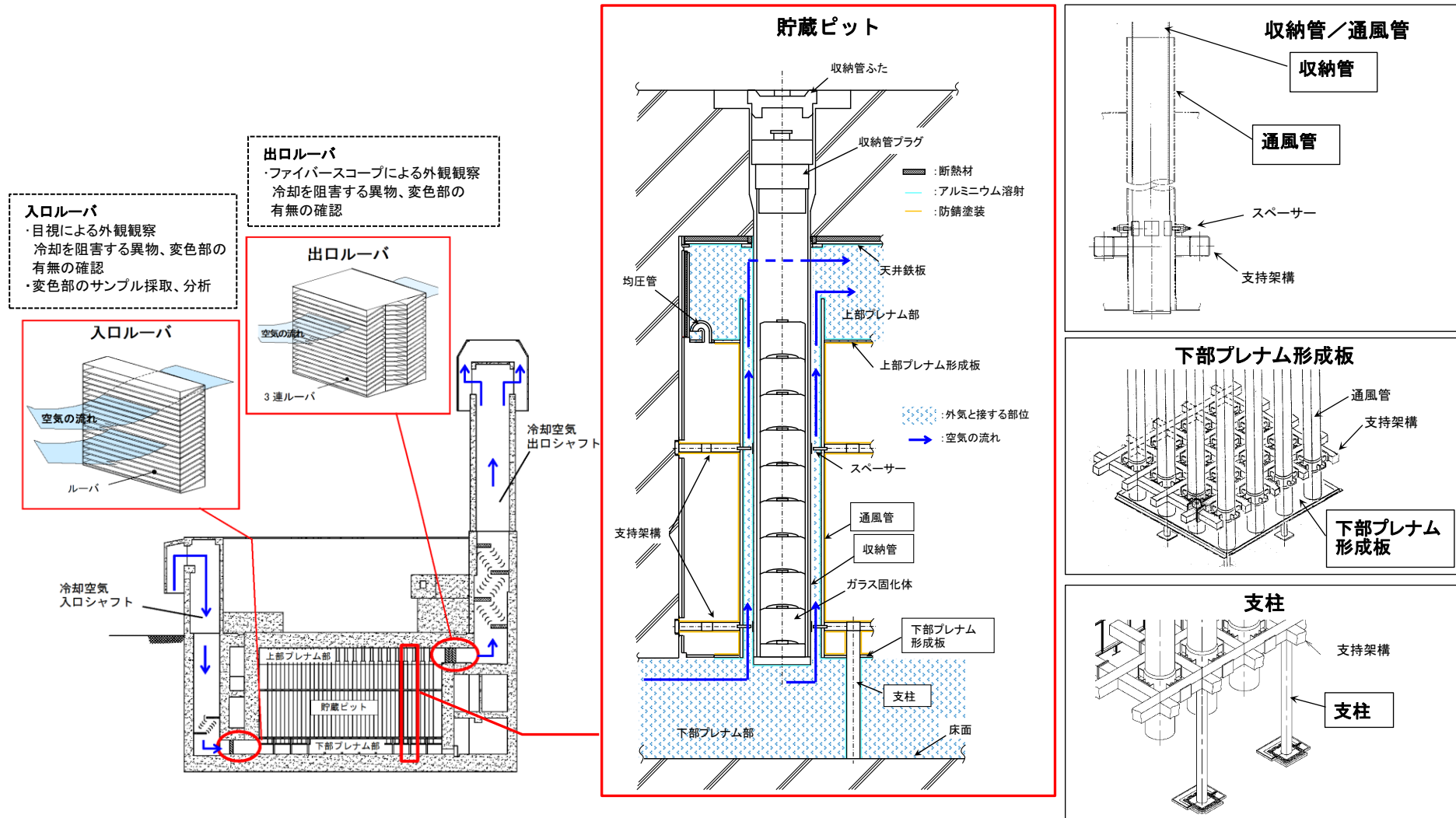
評価事象	1次要因	2次要因	3次要因	確認方法	事象発生の可能性評価	
 <p>通風管側面部等に変色部が発生</p> <p>収納管</p> <p>通風管</p>	① 封孔処理剤の劣化、消失	①-1 封孔処理剤が劣化する。 (塗料液:無機系耐熱塗料、顔料:およびアルミ+Zn粉末)		・目視確認(済) ・アルミ溶射膜厚測定(済)	△ EB2は稼働後5年であり、完全に消失するとは考えられないが、顔料成分であるZn、アルミは単なる金属粉末であり、定性的には経年的に消費する。ただし、アルミ溶射は残存しており、封孔処理剤が消失しただけでは錆は発生しない。	
		② 環境によるアルミ溶射皮膜の腐食進展 (アルミ溶射皮膜の消失)	②-1 酸性領域(pH<4)での不動態膜の溶解	環境由来の酸性雨、燃料由来のSOx、Noxにより酸性化が進み、腐食が進展	・支柱の塩分濃度分析(第4済) ・貯蔵ビッド排水中のpH値測定(EB2済) ・アルミ溶射膜厚測定(済)	× 貯蔵ビッド排水は長期にわたりアルカリ性を示す傾向があることから、酸性雨等により酸性となっているとは考えられない。支柱の元素分析にて(SO4)2-が検出され局所的に酸性となった可能性はあるが、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、アルミ溶射消失による母材の錆が進展した可能性はない。
			②-2 アルカリ領域(pH>8)での不動態膜の溶解	海塩粒子由来、融雪剤由来の塩化物により弱アルカリ化し、腐食が進展	・支柱の塩分濃度分析(第4済) ・貯蔵ビッド排水中のpH値測定(EB2済) ・アルミ溶射膜厚測定(済)	× 支柱の元素分析にて多量のナトリウムが検出されており、塩化物が濃縮してアルカリ化することが考えられる(貯蔵ビッド排水のpH:9.0(最大))。しかし、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、アルミ溶射消失による母材の錆が進展した可能性はない。
			②-3 中性領域(4<pH<8)におけるCl-による不動態膜の溶け出し	海塩粒子由来、融雪剤由来のCl-によりアルミ溶射の腐食が進展	・支柱の塩分濃度分析(第4済) ・貯蔵ビッド排水中のpH値測定(EB2済) ・アルミ溶射膜厚測定(済)	× 支柱の塩分濃度分析において塩化物イオン(Cl-)が検出されたが、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、アルミ溶射消失による母材の錆が進展した可能性はない。
			②-4 中性領域(4<pH<8)における(SO4)2-による不動態膜の侵食	海塩粒子のMgSO4、CaSO4由来、燃料のSOx由来、微生物生成物である硫酸イオン(S2-)由来の(SO4)2-により腐食が進展	・支柱の塩分濃度分析(第4済) ・貯蔵ビッド排水中のpH値測定(EB2済) ・細菌数測定により微生物評価(第4済) ・アルミ溶射膜厚測定(済)	× 一般的にCl-と比べ(SO4)2-の不動態皮膜攻撃性は低く、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、アルミ溶射消失による母材の錆が進展した可能性はない。また、第4ビッドの細菌数測定の結果、腐食を発生させる程大量の微生物は検出されなかった。
			②-5 異種金属接触によって侵食が加速	異材金属接触(炭素鋼-アルミ)による単なる金属側(アルミ)の腐食が加速した。	・収納管、通風管構造確認(済)	× アルミ溶射は不動態膜が形成されている間は腐食が加速することはない。また、膜厚測定にてアルミ溶射が残存していることから可能性はない。
			②-6 水分の滞留	結露により発生した結露水が水溜りとなって局部的に滞留した。	・貯蔵ビッド温度解析(済) ・円環流路のファイバースコープ確認(済)	× 多湿の空気は露点温度が高く、地下に設置され冷えた床面により結露水が発生する可能性がある。しかし、仮に結露水が発生したとしても、当該部は側面部であり水の滞留はない。また、薄い水膜が残留することが想定されるが、薄い水膜を加味したアルミ溶射暴露試験にて寿命を評価している。
			②-7 湿潤時間の増加	吸湿性の付着物により水分が長時間留まり、吸湿時間が増加した。	・円環流路のファイバースコープ確認(済)	× 通風管に吸湿性のあるような付着物は観察されないが、MgCl2等の塩化物により湿潤環境の持続した可能性はある。ただし、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、アルミ溶射消失による母材への進展の可能性はない。
	②-8 オゾンによって不動態膜が破壊された。		通風管通過時の空気が放射化しオゾンが発生	-	× 第4貯蔵ビッドではガラス固化体を貯蔵したことはなく、放射化オゾンは発生しない。	
	③ 技術評価・設計の不備によるアルミ溶射腐食 (「アルミ溶射」の採用、工法選択が不適正であった)	③-1 「アルミ溶射」採用が不適切であった。	現在、社会で使用されているアルミ溶射では使用環境・耐久性に問題がある。	・文献調査(済)	× 他の発電所に採用実績がある。イギリス規格BS5493-1977でアルミ溶射150μmで20年以上の耐用が可能であることが示唆される。	
		③-2 「アルミ溶射」施工方法が不適切であった。	E施設特有環境(放射性)に対しアルミ溶射工法が適合していない。	・建設当時の構造設計図書を確認(済) ・「アルミ溶射」工法の実績を確認(済)	× 溶射技術はJIS、AWS規格、BS規格等で規定されている安定した技術であり、工法に問題があったとは考えられない。	
		③-3 設計図・施工図・作業指示書の不備	施工指示が不適切であった。	・設計図、施工図、作業指示書の確認(済)	× アルミ溶射の作業要領書をJISでチェックし、規格どおりの作業要領となって言うことを確認した。	
	④ アルミ溶射施工管理の不良によるアルミ溶射腐食	④-1 発注書類関係の審査に不備があった。	要領書の発行手続きに不備があった。	・施工要領書の確認(済)	× 注文仕様書、要領書等について、社内規定どおりに作成者だけでなく、確認者、承認者の複数で審査していることを確認した。	
		④-2 施工時の工事管理体制に不備があった。	工事管理体制の確認	・工事管理体制の確認(済)	× アルミ溶射施工における指示命令系統が明確になっていることを工事管理体制により確認した。	
		④-3 使用材料が適切であった。	アルミ溶射材の材質確認	・ミルシートの確認(済)	× 要領書で要求した材料を使用していることをミルシートにより確認した。	
	⑤ アルミ溶射施工不良によるアルミ溶射腐食	⑤-1 要領書どおりに施工していない。	要領書と施工内容が違う。	・施工記録の確認(済)	× 要領書どおりの作業、検査が実施されていることを成績書により確認した。	
		⑤-2 作業員の力量不足による施工ミス	無資格者による施工によるアルミ溶射施工ミス、および検査ミス	・作業員の力量・教育履歴・資格の確認(済)	× 有資格者による作業であることを成績書の有資格者リストにて確認した。	
	⑥ 施工時のアルミ溶射皮膜の損傷	⑥-1 施工時にアルミ溶射面に傷を付けた。	収納管/通風管工場組立時の損傷、現地据付時の損傷など	・現地アルミ溶射施工記録の確認(済)	× 現地不適合報告書を確認し、当該箇所のタッチアップ補修を実施していないことを確認した。	
	⑦ 炭素鋼の腐食が進展する。	⑦-1 酸性領域(pH<4)での炭素鋼腐食	環境由来の酸性雨、燃料由来のSOx、Noxにより酸性化が進み、腐食が進展	・支柱の塩分濃度分析(第4済) ・貯蔵ビッド排水中のpH値測定(EB2済) ・アルミ溶射膜厚測定(済)	× 貯蔵ビッド排水は長期にわたりアルカリ性を示す傾向があることから、酸性雨等により酸性となっているとは考えられない。支柱の元素分析にて(SO4)2-が検出され局所的に酸性となった可能性はあるが、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、溶射に保護された母材が腐食した可能性はない。	
		⑦-2 弱アルカリ領域(8<pH<10)での炭素鋼腐食	海塩粒子由来、融雪剤由来の塩化物により弱アルカリ化し、腐食が進展	・支柱の塩分濃度分析(第4済) ・貯蔵ビッド排水中のpH値測定(EB2済) ・アルミ溶射膜厚測定(済)	× 支柱の元素分析にて多量のナトリウムが検出されており、塩化物が濃縮してアルカリ化することが考えられる(貯蔵ビッド排水のpH:9.0(最大))。しかし、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、溶射に保護された母材が腐食した可能性はない。	
		⑦-3 中性領域(4<pH<8)におけるCl-による炭素鋼腐食	海塩粒子由来、融雪剤由来のCl-により炭素鋼の腐食が進展	・支柱の塩分濃度分析(第4済) ・貯蔵ビッド排水中のpH値測定(EB2済) ・アルミ溶射膜厚測定(済)	× 支柱の塩分濃度分析において塩化物イオン(Cl-)が検出されたが、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、溶射に保護された母材が腐食した可能性はない。	
		⑦-4 中性領域(4<pH<8)における(SO4)2-による炭素鋼腐食	海塩粒子のMgSO4、CaSO4由来、燃料のSOx由来、微生物生成物である硫酸イオン(S2-)由来の(SO4)2-により腐食が進展	・支柱の塩分濃度分析(第4済) ・貯蔵ビッド排水中のpH値測定(EB2済) ・細菌数測定により微生物評価(第4済)	× 一般的にCl-と比べ(SO4)2-の不動態皮膜攻撃性は低く、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、溶射に保護された母材が腐食した可能性はない。また、第4ビッドの細菌数測定の結果、腐食を発生させる程大量の微生物は検出されなかった。	
		⑦-5 異種金属接触による炭素鋼腐食	異材金属接触(炭素鋼-SUS材)による単なる金属側(炭素鋼)の腐食が加速	・収納管、通風管構造確認(済)	× 当該箇所では炭素鋼/ステンレス鋼の異種金属接触はない。	
		⑦-6 水分の滞留	結露により発生した結露水が水溜りとなって局部的に滞留した。	・貯蔵ビッド温度解析(済)	× 多湿の空気は露点温度が高く、地下に設置され冷えた床面により結露水が発生する可能性がある。しかし、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、溶射に保護された母材に水分が長時間触れる可能性はない。	
		⑦-7 湿潤時間の増加	吸湿性の付着物により水分が長時間留まり、吸湿時間が増加した。	・円環流路のファイバースコープ確認(済)	× 通風管に吸湿性のあるような付着物は観察されないが、MgCl2等の塩化物により湿潤環境の持続した可能性はある。ただし、膜厚測定よりアルミ溶射が残存していることから、アルミ溶射に保護された母材に水分が長時間触れる可能性はない。	
		⑦-8 オゾンによる炭素鋼腐食	通風管通過時の空気が放射化しオゾンが発生	-	× 第4貯蔵ビッドではガラス固化体を貯蔵したことはなく、放射化オゾンは発生しない。	
	⑧ アルミ溶射膜は健全であり、炭素鋼の腐食も進展していない。	⑧-1 外部からの到来異物(鉄錆)の付着		・通風管下部変色部サンプルの分析(済)	○ 通風管下部変色部サンプルの分析結果等から、「付着物(鉄錆)」であると推定しており、発生する可能性はある。	
		⑧-2 鉄イオンの浸み出し		・通風管下部変色部サンプルの分析(済)	△ アルミ溶射膜厚が薄いほどアルミ溶射内に水分が浸み込み、母材から鉄イオンが浸み出す可能性がある。膜厚測定よりアルミ溶射膜厚は建設時の管理値を満足していることから可能性は低いものと判断する。	

下部プレナム床面と円環流路の温度分布について





ガラス固化体貯蔵建屋の概要



拡大図

## アルミニウム溶射皮膜について

## 1. アルミニウム溶射皮膜採用の目的

- ・アルミニウムは、中性水溶液中では化学反応により、 $Al_2O_3$ （アルミナ）が形成されるが、この $Al_2O_3$ は極めて密であるため金属表面で保護皮膜となり、いわゆる不働態状態となる。そのため、表面の初期酸化以降は、腐食が抑制され耐食性が極めて良好な状態に維持される。
- ・金属溶射は、溶射皮膜による環境遮断効果および電気化学的防食作用（犠牲陽極作用）によって鋼材の防食をするものである。アルミニウム溶射の場合は、溶射時に表面に形成されるアルミニウムの酸化膜が環境遮断効果を持ち、経時変化により皮膜が局部的に消耗したときや皮膜に傷がついて鋼素地が露出した時点から防食作用が発揮するとされている。

## 2. アルミニウム溶射皮膜の長期健全性

- ・アルミニウム溶射皮膜については、米国溶接協会<sup>※1</sup>、日本防錆技術協会<sup>※2</sup>において、長時間の暴露試験が実施されており、耐食性が長時間にわたって維持されることが確認されている。

※1 米国溶接協会での暴露試験：海中、海洋大気中での19年間の暴露試験を行い、「アルミニウム溶射皮膜は封孔処理の有無にかかわらず海水中、苛酷な海洋大気等の環境において下地金属の腐食を防止した」、「アルミニウム皮膜はすり疵などの損傷を受けても電気化学的保護作用を示し防食した。」という結果が得られている。

※2 日本防錆技術協会での暴露試験：腐食性の厳しい海洋環境での20年間の暴露試験を行い、アルミニウム溶射の鋼管は、非常に良好な耐食性を維持しているという結果が得られている。

・また、琉球大学暴露試験場において実施している大気暴露試験<sup>※3</sup>において、人工欠陥を設けたスクラッチ試験片（カッターナイフによる～1mmの傷と機械による5mm幅の除去試料）を長期暴露し、鋼素地の腐食が進行して大規模な腐食や溶射膜のはく離に至ることはないことを確認している。



<参考：大気暴露試験における人工欠陥を設けたスクラッチ試験片>



スクラッチ試験片



5mm 除去試験片

※3「15年間大気暴露したAl溶射鋼の耐候性評価」（第56回材料と環境討論会（2009））

- ・アルミニウム溶射皮膜の施工については、「亜鉛，アルミニウム及びそれらの合金の溶射」（JIS H 8300：2005）にて製造の工程が規格化されており、JISマーク表示制度に基づく認定制度のある工程に従い実施している。

### 3. 封孔処理

- ・金属溶射は通常、皮膜中に1～15%程度の気孔を含んでおり、皮膜の気孔を充填して安定化させるために封孔処理材を溶射皮膜に含浸させている。金属溶射皮膜は、通常の大気環境においては、封孔処理を行わない場合でも、大気中の酸素、水蒸気と反応して反応生成物が気孔を充填するが、この反応が十分に進行する前に水分や塩分の付着による影響を防ぐため、封孔処理を行っている。
- ・廃棄物管理施設には耐熱性のあるエチルシリケートを塗料液としたものを採用しており、顔料としてアルミニウム粉末、添加剤として亜鉛粉末、及び塗料液をそれぞれ重量比で18：5：77に混合したものをを用いている。
- ・日本防錆技術協会での千葉県南房総市千倉町海岸における暴露試験場での海洋暴露試験<sup>※4</sup>において、溶射材料、溶射方式および封孔処理の有無を組み合わせとした20年暴露試験結果が報告されている。（次表「暴露7年、10年、20年の部位別外観評価結果」参照）

この結果、封孔材としてエポキシ樹脂を塗装したもののほうが環境遮断効果に

優れ、やや良好な外観を維持しているものの、封孔材のないアルミニウム溶射皮膜でも、すぐれた環境遮断効果と犠牲陽極作用により、良好な状態を維持していることが報告されている。

暴露7年、10年、20年の部位別外観評価結果

No.	海洋暴露期間 溶射仕様			暴露7年目				暴露10年目				暴露20年目			
				大気	飛沫	干満	総合	大気	飛沫	干満	総合	大気	飛沫	干満	総合
1	Zn 175 $\mu$ m	フレーム	封孔なし	AB	AB	AB	AB	AB	AB	E	E	AB	A	A	AB
2	Zn-13Al 175 $\mu$ m	フレーム	封孔なし	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB
3	Al 175 $\mu$ m	フレーム	封孔なし	AB	B	B	B	AB	B	B	B	AB	A	B	B
4	Al 175 $\mu$ m	アーク	封孔なし	AB	B	A	AB	AB	B	A	AB	AB	B	A	AB
5	Al 400 $\mu$ m	アーク	封孔なし	AB	B	A	AB	AB	B	A	AB	AB	B	A	AB
6	Al 175 $\mu$ m	アーク	エポキシ	A	A	AB	A	A	A	AB	A	A	A	AB	A
7	Zn-13Al 175 $\mu$ m	フレーム	エポキシ	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	AB	A
8	Al 175 $\mu$ m	フレーム	エポキシ	A	A	AB	A	A	A	B	B	A	A	B	B
9	Zn 175 $\mu$ m	フレーム	エポキシ	A	AB	C	C	A	AB	E	E	A	A	A	A
10	Zn 175 $\mu$ m	フレーム	WP+PE (300)+ PU (100)	AB	A	AB	AB	C	C	C	C	C	C	C	C
11	Al 175 $\mu$ m	フレーム	プライマー+ 特殊PU (3000)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
12	Al 400 $\mu$ m	アーク	CP+PE (300)+ PU (100)	AB	AB	AB	AB	C	C	C	C	C	C	C	C

比較対象

WP：ウォッシュプライマー、PE：エポキシ樹脂、PU：ポリウレタン樹脂、CP：鉛酸カルシウム・エポキシ系プライマー  
特殊PU：特殊ポリウレタン樹脂（ミゼロン386）

記号の凡例（外観評価基準）

評価値	溶射皮膜の外観の状態
A	溶射皮膜に変化なく、良好である。
B	皮膜表面に局所的な皮膜の点状白さびの発生が認められ、貝類や藻の付着・油汚れなどがある。
C	皮膜に白さび斑点が多く、塗膜に色調変化、微小局部のふくれが生じている。
D	皮膜表面が局所的に劣化し、微小ふくれ・はがれが生じ、母材からの点状赤さびの発生がある。
E	皮膜の損耗・損傷により、母材からの全面赤さびの発生がある。

※4 「20年間海洋暴露した溶射鋼管試験体の観察報告」（防錆管理/2008-1(2008)）



## 使用機器・計器一覧

使用用途	名称	種別	製造メーカー等	仕様	備考
円環流路観察 (下端から1500mm上まで)	IPLEX-RX	ファイバースコープ	オリンパス株	【静止画】 解像度H768×V576(Pixel) 記録方式: JPEG圧縮 ファイルサイズ: 約300KB 【動画】 解像度H640×V480(Pixel) 記録方式: AVI方式 ファイルサイズ: 約500KB/秒	非耐放射線性
収納管外面観察 (第4貯蔵区域)	IPLEX-FX	ファイバースコープ	オリンパス株	【静止画】 解像度H640×V480(Pixel) 記録方式: SHQ-JPEG圧縮 ファイルサイズ: 約350KB 【動画】 解像度H320×V240(Pixel) 記録方式: AVI方式 ファイルサイズ: 約500KB/秒	非耐放射線性
アルミニウム皮膜膜厚測定 (今回調査時)	Pro-2	電磁式膜厚計	株サンコウ電子研究所	【測定範囲】 0~500 $\mu$ m・0.2~5mm(2列目盛) 【測定精度】 均一面に対して $\pm 2\mu$ mまたは指示値の $\pm 5\%$ 【プローブ】 2極式、磁極径: 6 $\Phi$ 、接触面曲率: R5、 極間16mm	【測定箇所】 支柱基部、支柱側面、収納管(側面、 底面)、下部プレナム形成板
アルミニウム皮膜膜厚測定 (今回調査時)	レプトスコープ2042 (プローブはマイクロ90°を使用)	電磁式膜厚計	日本マテック株	【測定範囲】 0~500 $\mu$ m 【測定精度】 測定膜厚 $0\sim 100\mu$ m: $1\% \pm 1\mu$ m 測定膜厚 $100\mu$ m以上: $1\sim 3\% \pm 1\mu$ m 【プローブ】 単極式	【測定箇所】 支柱基部、支柱側面、収納管(側面、 底面)、下部プレナム形成板
アルミニウム皮膜膜厚測定 (工場製作時)	CTR-2000 II	電磁式膜厚計	株サンコウ電子研究所	【測定方式】 電磁誘導式 【測定範囲】 0~2000 $\mu$ m 【測定精度】 均一面に対して $\pm 1\mu$ mまたは指示値の $\pm 2\%$ 【プローブ】 1点定圧接触式	
	マグナ460C	電磁式膜厚計	株フィッシャー・インストルメンツ	【測定方式】 電磁誘導式 【測定範囲】 50~4000 $\mu$ m 【測定精度】 $\pm 1\%$ 【プローブ】 RK10K	【測定箇所】 通風管
	フィッシャースコープMMS/パーマ	電磁式膜厚計	株フィッシャー・インストルメンツ	【測定方式】 電磁誘導式 【測定範囲】 ~2000 $\mu$ m(プローブによる) 【測定精度】 $\pm 1\%$ 【プローブ】 EGAB1.3	【測定箇所】 収納管
アルミニウム皮膜膜厚測定 (現地据付時)	CTR-2000 III	電磁式膜厚計	株サンコウ電子研究所	【測定方式】 電磁誘導式 【測定範囲】 0~2000 $\mu$ m 【測定精度】 均一面に対して $\pm 1\mu$ mまたは指示値の $\pm 2\%$ 【プローブ】 1点定圧接触式	【測定箇所】 ・支柱(現地溶射施工部) ・下部プレナム形成板(接合板) (現地溶射施工部)
母材厚さ測定 (今回調査時)	MG2-XT(本体) D798(探触子)	超音波式厚さ計	オリンパス株	【測定方式】 パルスエコー方式 【測定範囲】 0.500~635.0mm(鋼の場合) ※使用条件により変わります 【表示分解能】 0.01mm 【測定誤差】 板厚50mm未満: $\pm 0.1$ mm 板厚50mm以上: $\pm 0.2$ mm 【探触子】 二振動子型 周波数: 7.5MHz 先端径: 7.2mm	【測定箇所】 通風管側面
母材厚さ測定 (今回調査時)	MG2-XT(本体) D799(探触子)	超音波式厚さ計	オリンパス株	【測定方式】 パルスエコー方式 【測定範囲】 0.500~635.0mm(鋼の場合) ※使用条件により変わります 【表示分解能】 0.01mm 【測定誤差】 板厚50mm未満: $\pm 0.1$ mm 板厚50mm以上: $\pm 0.2$ mm 【探触子】 二振動子型 周波数: 5.0MHz 先端径: 11.0mm	【測定箇所】 支柱基部、支柱側面、収納管(側面、 底面)、下部プレナム形成板
温度測定 (今回調査時)	SK-1250MC III(本体) MC-T100 III(センサー)	デジタル表面温度計	株佐藤計量器製作所	【測定方式】 接触式 【測定範囲】 -30~+150.0 $^{\circ}$ C 【分解能測定精度】 0.1 $^{\circ}$ C 【測定精度】 本体: $\pm 0.2^{\circ}$ C センサー: $\pm (0.1\%rdg+0.3)^{\circ}$ C/ 0.0~100 $^{\circ}$ C $\pm (0.2\%rdg+0.4)^{\circ}$ C/ -30.0~-0.1 $^{\circ}$ C、 100.1~150.0 $^{\circ}$ C 【センサー】 サーミスタセンサ	【測定箇所】 ・支持温度測定