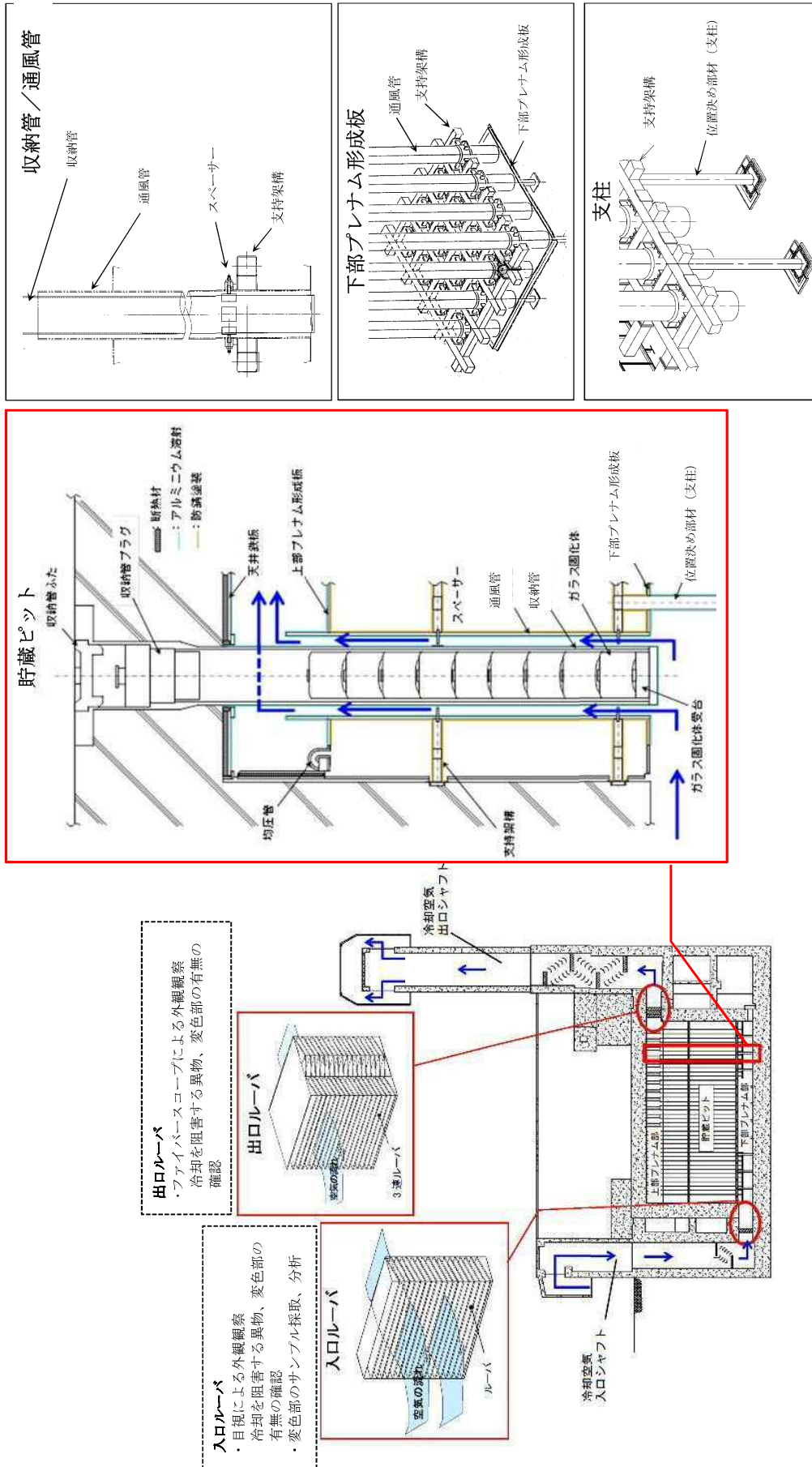


ガラス固化体貯蔵建屋の概要



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

- ・ Al 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 Al 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電気化学的防食作用が効果を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^{*1}、日本防錆技術協会^{*2}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^{*3}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、鋼素地の腐食の進行により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>



1mm の傷試験片



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 H8300: 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いる。顔料としてAl粉末、添加剤としてZn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^{※4}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た試験体の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)

※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))

この結果、封孔処理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、封孔処理材のないアルミニウム溶射皮膜でも、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

比較対象

No.	海洋暴露期間			暴露 7 年目				暴露 10 年目				暴露 20 年目			
	溶射仕様			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 μ 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 μ m	フレーム	封孔なし	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB
3	Al 175 μ m	フレーム	封孔なし	AB	B	B	B	AB	B	B	B	AB	A	B	B
4	Al 175 μ m	アーク	封孔なし	AB	B	A	AB	AB	B	A	AB	AB	B	A	AB
5	Al 400 μ m	アーク	封孔なし	AB	B	A	AB	AB	B	A	AB	AB	B	A	AB
6	Al 175 μ m	アーク	エポキシ	A	A	AB	A	A	A	AB	A	A	A	AB	A
7	Zn-13Al 175 μ m	フレーム	エポキシ	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	AB	A
8	Al 175 μ m	フレーム	エポキシ	A	A	AB	A	A	A	B	B	A	A	B	B
9	Zn 175 μ m	フレーム	エポキシ	A	AB	C	C	A	AB	E	E	A	A	A	A
10	Zn 175 μ 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 μ 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 μ m	アーク	CP+PE (300)+ PU (100)	AB	AB	AB	AB	C	C	C	C	C	C	C	C

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。

アルミニウム溶射皮膜厚の測定値に対する評価

1. はじめに

- ・第3貯蔵区域の調査において、アルミニウム溶射皮膜厚の測定値が、工場検査より、大きくなっていることが確認されたことから（図-1参照）、考えられる要因を抽出し、それら要因の影響を評価した。

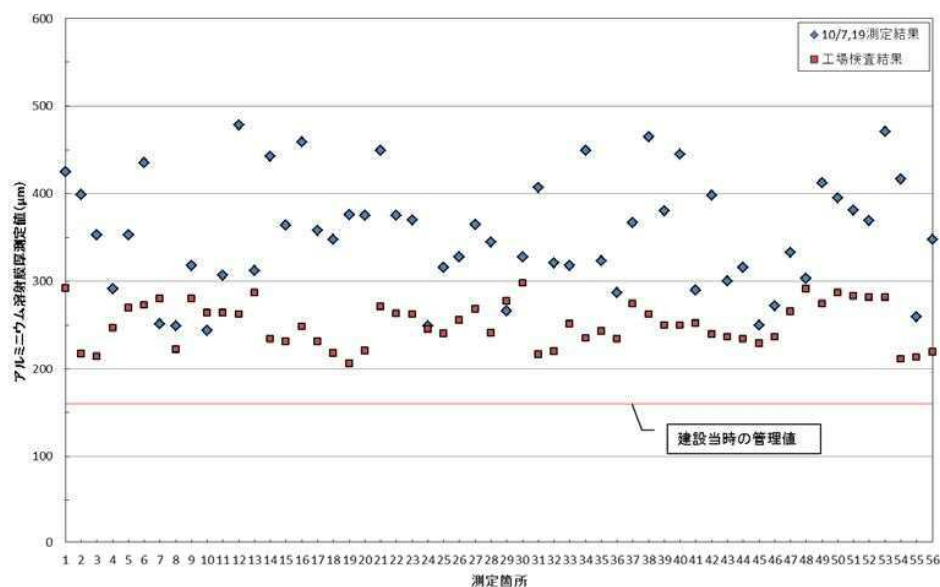


図-1 下部プレナム形成板Bブロック アルミニウム溶射皮膜の測定結果

2. 想定される要因

- ・膜厚の測定結果が厚くなる要因としては、以下が考えられる。
 - ◇封孔処理剤の膜厚増加
 - ◇経年による膜厚の変化
 - ◇測定角度による測定誤差（測定姿勢などの影響）

(1) 封孔処理剤の膜厚増加

- ・通風管、収納管、下部プレナム形成板等の製作ではアルミニウム溶射後に膜厚測定を行い、封孔処理を行っている。
- ・このため、今回の測定では、封孔処理剤分が増加していると考えられる。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、20~40 μm 程度増加するものと考えられる。

(2) 経年による膜厚の変化

- 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^{*}において、溶射材料と溶射方式、封孔処理の有無を組み合わせとした20年暴露試験が報告されている。
- エポキシによって封孔処理されたアルミニウム溶射皮膜の膜厚変化を整理した結果を図-2に示す。溶射方法は、本設備でアークとフレームを組合せて行っていることから、両方法を記載した。
- なお、文献では、各条件で4点測定されていたが、本図では平均値として記載した。
- 図より、アルミ溶射皮膜は1年目で膜厚が厚くなり、その後、徐々に安定することが分かる。
- アルミニウム溶射皮膜厚が経年によって増加する理由は、アルミ溶射された金属アルミの表面が酸化し、アルミニウム酸化皮膜によって覆われ安定化する過程で膨張するものと考えられる。

※「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))

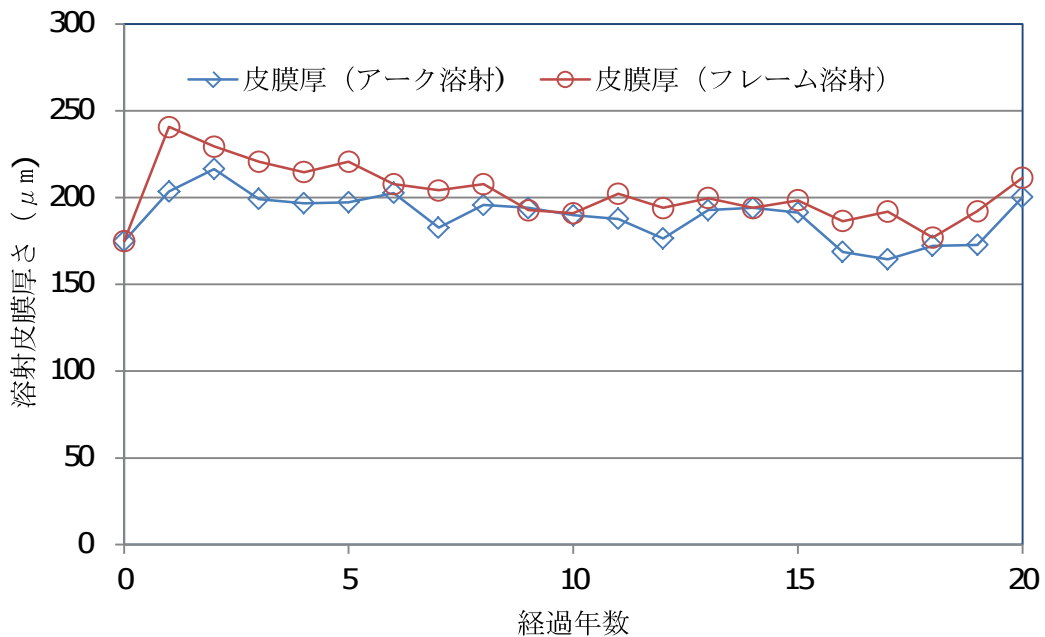


図-2 アルミニウム溶射皮膜 (封孔処理あり) の経年変化

(3) 測定角度による測定誤差（測定姿勢などの影響）

- ・測定姿勢が悪く、測定端子を測定面に対して垂直に接触させることができなかった場合、実際より大きな値として測定される可能性がある。しかし、端子が 10° 傾斜した場合においても膜厚は 1.02 倍程度、 20° 傾斜で 1.06 倍程度である（図-3 参照）。
- ・但し、母材の粗面表面とアルミニウム溶射皮膜表面に凸凹がある場合、測定角度の影響は大きくなるものと考えられる（図-4 参照）。

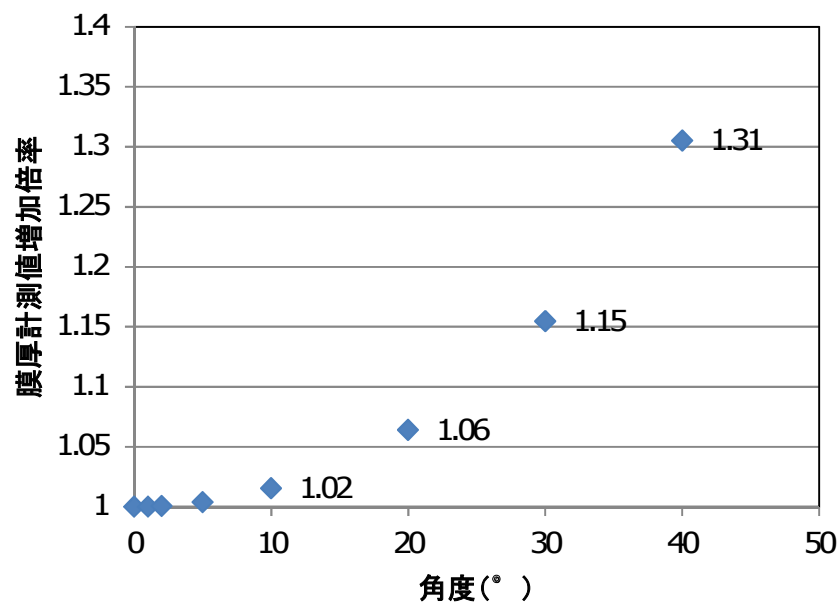


図-3 測定角度と膜厚測定増加倍率の関係

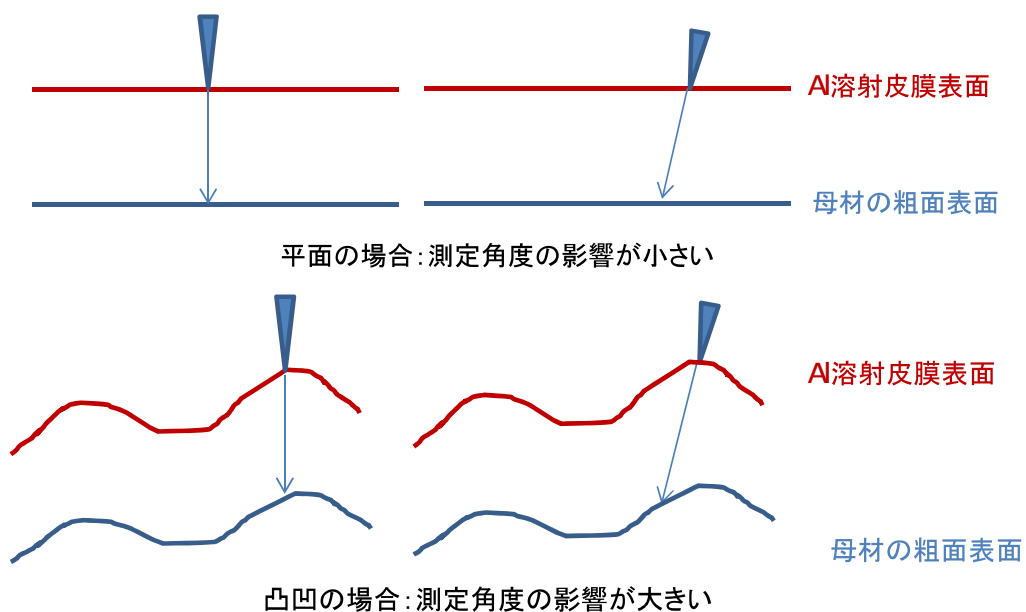


図-4 表面状態と膜厚測定増加倍率の関係

3. 評価

以上の結果より、仮に初期膜厚が $250\ \mu\text{m}$ 程度であった場合、「(1) 封孔処理の膜厚増加」で $20\sim 40\ \mu$ 程度増加するため、 $270\sim 290\ \mu\text{m}$ 程度となり、その後、5年間の大気暴露（「(2) 経年による核厚保の変化」）によって、 $300\sim 370\ \mu\text{m}$ 程度の膜厚に増えることは十分考えられ、「(3) 測定角度による測定誤差」や膜厚自体のバラツキによって、測定値が $400\ \mu\text{m}$ 以上となることは十分考えられる。 以 上

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㈱	【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
円環流路観察 (上部)	IPLEX-FX	ファイバースコープ	オリンパス㈱	【静止画】 解像度H640×V480 (Pixel) 記録方式: SIQ-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)	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㈱	【測定範囲】 0~500 μm 【測定精度】 測定膜厚さ0~100 μm: 1%±1 μm 測定膜厚さ100 μm以上: 1~3%±1 μm 【プローブ】 単極式	【測定箇所】 位置決め部材 (支柱) 基部および 側面、取納管 側面、通風管、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	㈱サンコウ電子研究所	【測定方式】 電磁誘導式 【測定範囲】 0~2000 μm 【測定精度】 均一面に対して±1 μmまたは指示値の± 2% 【プローブ】 1点定圧接触式	
	マグナ460C	電磁式膜厚計	㈱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 μm 【測定精度】 ±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	㈱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 μm (プローブによる) 【測定精度】 ±1% 【プローブ】 EGAB1.3	【測定箇所】 取納管
アルミニウム皮膜膜厚測定 (現地掘付時)	CTR-2000 III	電磁式膜厚計	㈱サンコウ電子研究所	【測定方式】 電磁誘導式 【測定範囲】 0~2000 μm 【測定精度】 均一面に対して±1 μmまたは指示値の ±2% 【プローブ】 1点定圧接触式	【測定箇所】 ・位置決め部材 (支柱) ・下部プレナム形成板 (接合板)
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㈱	【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: ±0.1mm 板厚50mm以上: ±0.2mm 【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、取納管側面、位置決 め部材 (支柱) 基部および側面、 下部プレナム形成板
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㈱	【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: ±0.1mm 板厚50mm以上: ±0.2mm 【探触子】 二振動子型 周波数: 5.0MHz 先端径: 11.0mm	【測定箇所】 取納管底面
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	㈱佐藤計量器製作所	【測定方式】 接触式 【測定範囲】 -30~+150.0℃ 【分解能測定精度】 0.1℃ 【測定精度】 本体: ±0.2℃ センサー: ±(0.1%rdg+0.3)℃/ 0.0~100℃ ±(0.2%rdg+0.4)℃/ -30.0~-0.1℃、 100.1~150.0℃ 【センサ】 サーミスタセンサ	【測定箇所】 ・位置決め部材 (支柱) 温度測定