

整理番号読取確認時に確認した水滴廃棄体の発生に伴う
調査結果および再発防止対策と当社の対応について（報告）

1. はじめに

2018年4月23日、当社低レベル廃棄物管理建屋（以下、「管理建屋」という。）に一時貯蔵中の中部電力㈱浜岡原子力発電所（2018年3月25日（日）に受入れ）の廃棄体960本（充填固化体）に対する廃棄体検査の準備として、整理番号・外観検査装置へ整理番号の文字パターン登録作業を行っていた際、輸送容器から廃棄体（1640572-CB1L）を取出したところ、廃棄体の底面および輸送容器内の収納された位置（ガイド内側）に水滴を確認した。

この事象を踏まえて、中部電力㈱からの依頼のもと、当該廃棄体以外の959本の外観確認を行なうとともに、既に廃棄物埋設確認申請済みで浜岡原子力発電所に保管されている928本についても、中部電力㈱により同様の外観確認を実施した結果、管理建屋に一時貯蔵中の廃棄体から1本、浜岡原子力発電所に保管されている廃棄体から1本の水滴付着廃棄体を確認した。（合計3本）

上記を受け、これまで以下のとおり原子力規制庁殿へ報告を行ってきた。

・2018年6月4日

当該廃棄体3本の外観確認結果および搬出元である浜岡原子力発電所で調査を行なうための搬出元への2本の返送ならびに補正申請に係る取扱いについて報告した。

・2018年11月13日、2019年2月12日

当該廃棄体3本の調査結果および原因と再発防止対策、当社の対応について報告した。

・2019年3月13日

2019年2月25日から3月12日にかけて当社が実施した管理建屋における貯蔵期間が1年を超える見込みとなった廃棄体の958本の外観確認を行なった結果、新たに2本の廃棄体に塗装の膨らみ等が確認されたため、2本についても搬出元である浜岡原子力発電所に返送の上、調査することを報告した。

・2019年6月28日

新たに確認された2本の調査結果および先に調査した3本の追加調査結果（合計5本）、ならびに廃棄物埋設確認申請済みの956本（管理建屋保管）および927本（浜岡原子力発電所保管）の扱いについて報告した。

今回は、浜岡原子力発電所における再発防止対策および他発電所における予防処置の実施を前提とした具体策の検討を行うこととしたことから報告するものである。

2. 時系列

事象発生からこれまでの時系列を、添付資料-1に示す。

3. 外観確認結果

2018年4月23日に確認された1本と以降に実施した外観確認で確認された4本と合せ、水滴付着および塗装の膨らみがあった廃棄体は4本、塗装の膨らみがあった廃棄体は1本であった。（添付資料-2参照）

当該廃棄体 5 本の諸元データを添付資料-3 に示す。

- (1) 1 本目 (1640572-CB1L: 充填固化体 (直接収納))
 - ①発見場所: 管理建屋
 - ②発見日: 2018 年 4 月 23 日
 - ③外観等確認結果: ・廃棄体底面に水滴および塗装の膨らみを確認
・汚染の有無 (スミア測定): 検出限界値未満 (ND)
・Ge 測定: 有意なピークは検出されなかった
- (2) 2 本目 (1640255-CB1L: 充填固化体 (直接収納))
 - ①発見場所: 管理建屋
 - ②発見日: 2018 年 5 月 28 日
 - ③外観等確認結果: ・廃棄体底面に水滴および塗装の膨らみを確認
・汚染の有無 (スミア測定): 検出限界値未満 (ND)
・Ge 測定: 有意なピークは検出されなかった
- (3) 3 本目 (1740062-CB1L: 充填固化体 (直接収納))
 - ①発見場所: 浜岡原子力発電所
 - ②発見日: 2018 年 5 月 14 日
 - ③外観等確認結果: ・廃棄体底面に水滴および塗装の膨らみを確認
・汚染の有無 (スミア測定): 検出限界値未満 (ND)
- (4) 4 本目 (1640591-CB1L: 充填固化体 (直接収納))
 - ①発見場所: 管理建屋
 - ②発見日: 2019 年 3 月 1 日
 - ③外観等確認結果: ・廃棄体底面に水滴および塗装の膨らみを確認
・汚染の有無 (スミア測定): 検出限界値未満 (ND)
- (5) 5 本目 (1741117-CB1M: 充填固化体 (溶融体収納))
 - ①発見場所: 管理建屋
 - ②発見日: 2019 年 3 月 6 日
 - ③外観等確認結果: ・廃棄体底面に 1mm 程度の塗装の膨らみを確認
・汚染の有無 (スミア測定): 検出限界値未満 (ND)

4. 当該廃棄体 5 本の取扱いについて

(1) 1 本目、2 本目、3 本目の取扱い

①外観等確認後、返送までの措置 (1 本目、2 本目)

返送に係る手順書等の整備を行なうとともに、廃棄体底面部 (水滴等を確認した箇所) に対し、2018 年 6 月 5 日に運搬時の安全性確保の観点から念のため追加の養生^{*}を行い、2018 年 6 月 6 日に返送用の輸送容器に収納した。その後、輸送のための線量測定等を行い、2018 年 7 月 2 日に浜岡原子力発電所へ返送した。

※ドラム缶底面の径と同じ金属板を廃棄体底面に取付け、その縁をコーキングした。

②廃棄物埋設確認申請の補正

1 本目、2 本目、3 本目の調査を浜岡原子力発電所で開始するにあたり、廃棄物埋設確認申請について取り下げるため、「廃棄物埋設確認申請書 (廃棄体用)」を以下のとおり補正した。

<管理建屋保管廃棄体 2 本分 (1 本目、2 本目) >

・「廃棄物埋設確認申請書 (廃棄体用)」 (2016 埋埋発第 59 号、平成 28 年 11 月 25 日申請) …平成 30 年 7 月 12 日付け 2018 埋埋発第 20 号にて一部補正

<浜岡原子力発電所保管廃棄体 1 本分 (3 本目) >

・「廃棄物埋設確認申請書 (廃棄体用)」 (2017 埋埋発第 4 号、平成 29 年 4 月 12 日申請) …平成 30 年 7 月 2 日付け 2018 埋埋発第 18 号にて一部補正

(2) 4本目、5本目の取扱い

①外観等確認後、返送までの措置（4本目、5本目）

返送に係る手順書等の整備を行なうとともに、廃棄体底面部（水滴等を確認した箇所）に対し、2019年3月19日に運搬時の安全性確保の観点から念のため追加の養生^{*}を行い、2019年3月20日に返送用の輸送容器に収納した。その後、輸送のための線量等を測定し、2019年4月14日に浜岡原子力発電所へ返送した。

※ドラム缶底面の径と同じ金属板を廃棄体底面に取付け、その縁をコーキングした

②廃棄物埋設確認申請の補正

4本目、5本目の調査を浜岡原子力発電所で開始するにあたり、廃棄物埋設確認申請について取り下げるため、「廃棄物埋設確認申請書（廃棄体用）」を以下のとおり補正した。

<管理建屋保管廃棄体2本分（4本目、5本目）>

- ・「廃棄物埋設確認申請書（廃棄体用）」（2016埋埋発第59号、平成28年11月25日申請）…平成31年4月18日付け2019埋埋発第5号にて一部補正
- ・「廃棄物埋設確認申請書（廃棄体用）」（2017埋埋発第4号、平成29年4月12日申請）…平成31年4月18日付け2019埋埋発第6号にて一部補正

なお、当該廃棄体5本に係る廃棄物埋設確認申請の申請状況および保管状況等については、下表のとおり。

申請書番号	申請日	発電所 廃棄確認日	申請本数 (補正後本数)	受入日 (受入本数)	塗装剥がれ等 確認本数 (確認場所)	保管本数	
						管理建屋	発電所
2016 埋埋発 第59号	2016.11.25	2016.12.19 ～ 2016.12.22	640 (637)	2018.3.25 (640)	3 (管理建屋)	637	0
2017 埋埋発 第4号	2017.4.12	2017.5.10 ～ 2017.5.12	1,248 (1,246)	2018.3.25 (320)	1 (発電所) 1 (管理建屋)	319	927

5. 当該廃棄体5本の内、充填固化体（溶融体収納）1本の中部電力^株における調査結果について

中部電力^株が実施した調査内容等については、以下のとおり。（詳細については、添付資料－4参照）

(1) 調査内容について

充填固化体（溶融体収納）について、要因分析図に基づき塗装の膨らみが確認された部位を断面観察した結果、当該箇所のドラム缶底面の母材ならびに亜鉛めっきに異常はなく健全であることを確認したため、それ以降の調査を不要とした。（添付資料－5参照）

6. 当該廃棄体5本の内、充填固化体（直接収納）4本の中部電力^株における調査結果と再発防止対策について

中部電力^株が実施した調査内容等については、以下のとおり。（詳細については、添付資料－4参照。）

(1) 調査内容について

充填固化体（直接収納）4本の外観確認の結果、何れもドラム缶の塗装の剥がれ（および膨れ、傷）、水滴の付着が認められることから、これらの事象について要因分析を行った。その結果抽出された以下の要因に対し浜岡原子力発電所において

調査方法を検討し実施した。

<ドラム缶の塗装の剥がれ等に係る要因>

- ①ドラム缶の製作要因（ドラム缶の設計不良等）
- ②ドラム缶等の調達要因（ドラム缶の選定不良等）
- ③運用要因（腐食性の廃棄物、薬品等の混入等）

<水滴の付着に係る要因>

- ①外部要因（大気中の湿気等）
- ②内部要因（ドラム缶内部水等）

当社は中部電力㈱が実施した調査のうち、充填固化体（直接収納）4本の底部の切断、外観観察、マイクロスコープおよび光照射による貫通有無確認、試料採取について、現地立会いを行なった。

なお、マイクロスコープおよび光照射による貫通有無確認においては、貫通の確認（判断）は出来なかった。

(2) 調査結果について

調査を実施した結果、上記(1)の<ドラム缶の塗装の剥がれ等に係る要因>のうち「①ドラム缶の製作要因（ドラム缶の設計不良等）」および「②ドラム缶等の調達要因（ドラム缶の選定不良等）」、<水滴の付着に係る要因>のうち「①外部要因（大気中の湿気等）」については、本事象が発生した要因となるものがないことを確認した。

<ドラム缶の塗装の剥がれ等に係る要因>の「③運用要因（腐食性の廃棄物、薬品等の混入等）」および<水滴の付着に係る要因>の「②内部要因（ドラム缶内部水等）」の調査において、充填固化体（直接収納）4本とも次の状況を確認した。

<ドラム缶の塗装の剥がれ等に係る要因>

- ①ドラム缶底部内面に傷を確認。（添付資料－6参照）
- ②モルタルとドラム缶底部内面との界面に隙間を確認。（添付資料－7参照）
また、隙間の確認された箇所に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認。（添付資料－8参照）
- ③ドラム缶底部内面に塩化物を確認。
- ④ドラム缶底部内面から外面に達する母材の腐食を確認。（添付資料－9参照）
- ⑤ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された箇所の断面結晶構造を確認した結果、塩化物が存在する環境下で生成される鉄の腐食生成物（アカガネイト）および亜鉛の腐食生成物（塩基性塩化亜鉛）を確認。

<水滴の付着に係る要因>

- ①ドラム缶底部外面にモルタルの成分であるカルシウム等を確認。
なお、塗装の剥がれ等が確認されなかった箇所のドラム缶底部内面に傷がある部分でも腐食を確認した。
- ②ドラム缶内部に水分が存在し得ることを文献にて確認

(3) 本事象が発生した推定メカニズムについて

上記(2)の調査結果より、ドラム缶底部外面にモルタルの成分であるカルシウム等が確認されたことから、本事象は「ドラム缶底部内面から外面に達する母材の腐食」によって、塗装等の剥がれ等が発生し水滴の付着が確認されたものと推定した。

また、金属が腐食する要因は、「水分」および「酸化剤」が共存すれば発生および進展に至ることから、「ドラム缶底部内面の傷」、「ドラム缶底部内面の塩素」および「モルタルとドラム缶底部内面との界面の隙間」に内部水（塩化物イオンを

含むブリージング水、湿分)が溜まる可能性の要因が、腐食の要因として考えられる。

本事象が発生した推定メカニズムを次のとおり整理した。(図はイメージ)

<p>充填前</p>		<p>ドラム缶内に廃棄物を収納する際または収納後の運搬時においてドラム缶底部内面の溶融亜鉛めっき層あるいは母材に達する傷が発生。</p>
<p>充填時</p>		<p>ドラム缶内にモルタルを充填する際、ドラム缶底部の廃棄物の収納状況(平らな形状のコンクリートガラの収納等)によって、モルタルが浸透し難い箇所*が発生し、モルタルとドラム缶底部内面との界面の一部に隙間が発生。</p> <p>*モルタル中の水分がコンクリートガラへ吸収されることで、モルタルの流動性が悪くなり、コンクリートガラとドラム缶との界面にモルタルが浸透せず隙間が生じる可能性がある。</p>
<p>硬化時／硬化後</p>		<p>モルタルが固化する際に発生したブリージング水が残留することで、ドラム缶底部内面についた傷の部分から溶融亜鉛めっき層が溶解*し母材が腐食する環境あるいは母材が直接腐食する環境が形成。</p> <p>また、隙間に残留したブリージング水に含まれる塩化物イオンと隙間等の酸素によって、腐食が発生。</p> <p>*亜鉛は、pH6~12の範囲で安定であり、それ以外では急速に溶解する。</p>
<p>硬化後</p>		<p>隙間は閉鎖された空間であることにより腐食環境(隙間内部の飽和水蒸気、酸素および塩化物イオン)が維持されるため、ドラム缶の母材腐食が進展し、腐食による体積の膨張により、ドラム缶底部外面に塗装の膨らみおよび傷が発生。</p> <p>また、塗装に傷が生じた部位から、隙間の飽和水蒸気(湿分)が腐食部からの毛細管現象や浸潤により水滴が発生。</p>

(4) 腐食要因の発生状況に関する調査について

上記(2)、(3)の内容から、腐食環境に至った要因として考えられる「ドラム缶底部内面の傷」、「モルタルとドラム缶底部内面との界面の隙間」および「ドラム缶底部内面の塩化物を含むブリージング水(水分)」が発生する状況について、次のとおり調査および確認試験を実施した。

①ドラム缶底部内面の傷の調査

- a. 廃棄物の収納作業において、傷がつく可能性のある作業がないか作業員へ聞き取り調査を行った結果、ドラム缶内面に傷を付けないよう注意を払い、重量が軽いもの(番線等)を優先に収納していることを確認したが、収納率向上のため廃棄物を内部で動かす場合があり、傷つける可能性があることを確認した。
- b. 当該廃棄体と同じ経路で廃棄物の収納および廃棄体の移動をモックアップした結果、ドラム缶底部内面の熔融亜鉛めっき層あるいは母材に達する傷が生じ得ることを確認した。

②モルタルとドラム缶底部内面との界面の隙間の調査

1本目、2本目、3本目と同バッチで製作された廃棄体(六ヶ所で確認された廃棄体2本と同バッチの廃棄体4本、浜岡で確認された廃棄体1本と同バッチの廃棄体1本)の底部を切断し比較調査を実施した。

- a. 六ヶ所で確認された廃棄体2本と同バッチの廃棄体3本について、ドラム缶底部内面に塗装下地に至る傷を確認したが、その部分について隙間は無く腐食および塗装の膨れは確認されなかった。

また、ドラム缶底部モルタル部に隙間を確認したが、水分および隙間部に対応するドラム缶底部内面に塗装下地に至る傷および腐食は確認されなかった。

- b. 六ヶ所で確認された廃棄体2本と同バッチの廃棄体1本と浜岡で確認された廃棄体1本と同バッチの廃棄体1本について、ドラム缶底部内面に塗装面に留まる極薄い傷は確認したが、その部分について腐食および塗装の膨れも確認されなかった。

また、ドラム缶底部モルタル部に隙間を確認したが、その部分に水分および隙間部に対応するドラム缶底部内面に塗装下地に至る傷、腐食および塗装の膨れは確認されなかった。

ドラム缶底部モルタル部に確認された隙間部には、「コンクリートガラ」が収納されていることを確認した。

③ドラム缶底部内面の塩化物を含むブリージング水(水分)の調査

- a. モックアップ試験により、ブリージング水のpHが約13、塩化物イオン濃度が約250ppmであることを確認した。
- b. モックアップ試験により、ドラム缶底部内面の隙間に水が残留し得ることを確認し、pH試験紙で測定したところ、ブリージング水と同等なpH12~13であることを確認した。
- c. ブリージング水のpH、水量および塩化物イオン濃度の測定が可能な他発電所との比較調査を行った結果、いずれも同程度であることを確認した。
- d. 当該廃棄体に収納した廃棄物の発生期間において、海水系のトラブル実績および海水系で発生した廃棄物の処理実績を調査した結果、海水系のトラブル実績はないこと、海水系の配管取替工事で発生した廃棄物を収納していないことから、廃棄物に由来する塩化物によってブリージング水中に高濃度の塩化物イオンが溶解した可能性はないことを確認した。

(5) 充填固化体（直接収納）4本の追加調査について

新たに水滴付着廃棄体が1本確認されたことを受けて、上記（1）～（4）の調査に加えて、4本は2001年度から2004年度までに浜岡1,2号機で実施した工事で発生した金属およびコンクリート廃棄物を収納していることから、収納した廃棄物や収納作業に共通的な原因がないか以下のとおり追加調査を行った。（詳細は添付資料－4参照）

①収納された廃棄物について

a. 廃棄物を取り出した鉄箱の調査

ドラム缶底部内面とモルタルとの界面のすき間の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていたことを踏まえ、4本のドラム缶に収納した廃棄物を取り出した鉄箱を割り出し、管理建屋の3本は同じ鉄箱（H24133）から取り出したコンクリートガラが収納されていることが確認できた。

なお、管理建屋に一時貯蔵されているコンクリートガラを収納した廃棄体（3本除く）の本数は163本であり、そのうち10本が管理建屋で塗装の剥がれ等が確認された3本のドラム缶と同じ鉄箱（H24133）から取り出したコンクリートガラが収納されていることが確認できた。この他、浜岡原子力発電所で塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶と同じ鉄箱（H24169）から取り出したコンクリートガラを収納したドラム缶も12本管理建屋に一時貯蔵されていることが確認できた。また、浜岡原子力発電所に保管されているコンクリートガラを収納した廃棄体（1本除く）の本数は275本であり、そのうち7本が浜岡原子力発電所で塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶と同じ鉄箱（H24169）から取り出したコンクリートガラが収納されていることが確認できた。

b. 耐火レンガの混入について

耐火レンガは所内ボイラ、焼却炉、溶融炉から発生する廃棄物であり、浜岡1,2号機で発生する耐火レンガは所内ボイラのみである。このことから、浜岡1,2号機所内ボイラの廃棄物が放射性廃棄物として発生していないかを調査した。

結果、浜岡1,2号機所内ボイラの設置場所は、放射性物質による汚染のおそれのない区域のため、放射性廃棄物として発生していないことを確認した。

また、耐火レンガの類似品である焼却炉・溶融炉の耐火レンガおよびセラミックフィルタは、廃棄物減容処理装置建屋から発生する廃棄物であり、3号機の廃棄物として管理しているため、ドラム缶に混入する可能性がないことを確認した。

②廃棄体製作に携わった作業員について

廃棄物埋設確認申請を行った充填固化体（直接収納）の製作作業に携わった作業員を確認した結果、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶に特化して従事した作業員はいなかった。

上記調査の結果、同じ鉄箱からコンクリートガラを取り出し収納したという共通性は確認できたが、原因に結びつく事項は確認できなかった。

また、収納廃棄物に耐火煉瓦が混入することもなく、廃棄体製作に携わった作

業員においても当該廃棄体の製作のみに携わった者はおらず、新たな原因は確認できなかった。

(6) 推定原因

上記(3)、(4)の内容から、腐食に至った原因を次のとおり整理した。

①ドラム缶底部内面の傷

ドラム缶底部に傷をつける可能性がある廃棄物を収納した後に収納率向上のため廃棄物を内部で動かした場合または収納後の廃棄体移動時において、ドラム缶底部内面の熔融亜鉛めっき層あるいは母材に達する傷が発生した。

②モルタルとドラム缶底部内面との界面の隙間

ドラム缶底部の廃棄物の収納状況（平らな形状のコンクリートガラ）の収納等によって、モルタルが浸透し難い箇所があり、これによりモルタルとドラム缶底部内面との界面の一部に隙間が発生し、この隙間ができることで、腐食環境（隙間内部の飽和水蒸気、酸素および塩化物イオン）が維持された。

③ドラム缶底部内面の塩化物イオンを含むブリージング水（湿分）

ドラム缶底部内面の塩化物は、廃棄物に由来する塩化物ではなく、ブリージング水中に含まれる塩化物イオンがドラム缶底部内面の隙間に残留した。

したがって、本事象は「①ドラム缶底部内面の傷」、「③ドラム缶底部内面の塩化物イオンを含むブリージング水（湿分）」を含む「②モルタルとドラム缶底部内面との界面の隙間」の位置が相重なったことにより、ドラム缶底部内面から外面に達する母材の腐食が発生したものと推定した。

(7) 中部電力㈱が行う再発防止対策について

上記(6)のとおり、本事象は「ドラム缶底部内面の傷」と「モルタルとドラム缶底部内面との界面の隙間（塩化物および水分を含む）」の位置が相重なったことにより発生したものであることから、再発防止対策については、「傷を生じさせない対策」もしくは「隙間を生じさせない対策」を施すことで対応可能と考える。

中部電力㈱では、再発防止対策を検討するにあたって、各発電所の傷および隙間を生じさせない取組みの有無についてアンケート調査を行った。

その結果、「充填固化体の標準的な製作方法」に記載された作業要領に基づき製作が行われていることを確認するとともに、これに加え、中部電力㈱では行っていない傷を生じさせないための取組み例として「板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する」、隙間を発生させないための取組み例として「モルタル充填時に振動機でドラム缶の側面から振動を与える」等の取組みが行われており、各発電所と比べ上記の取組みがどちらも不十分であったため、次のとおり再発防止対策を検討し実施することとしている。

原因	再発防止対策	評価
傷	<ul style="list-style-type: none"> ドラム缶底部内面に傷を付けやすい廃棄物を底部に入れない。 板状の廃棄物が存在する場合は、板状の廃棄物からドラム缶底部に収納する。 ドラム缶底部に廃棄物を収納する際は、ドラム缶を傾け収納し易いようにする。 	<ul style="list-style-type: none"> 上記内容をドラム缶への収納手順に加えることにより、ドラム缶底部内面の傷の発生リスクを低減できる。
隙間	<ul style="list-style-type: none"> モルタル充填後、ドラム缶側面下部に振動機で振動を与える。 	<ul style="list-style-type: none"> 浸透し難いコンクリートガラ等を収納したモックアップ試験にて、振動機による浸透操作が有効であることを確認した。

なお、ドラム缶側面は湾曲しており廃棄物と接触している面積は僅かなため、モルタルの浸透を阻害して隙間を発生させる可能性は低いが、さらに振動を与えることにより、隙間の発生を低減できる。

7. 廃棄物埋設確認申請済みの956本（管理建屋保管）および927本（浜岡原子力発電所保管）の扱いについて

（1）充填固化体（直接収納）4本の本事象が発生した時期等に対する考察

1本目、2本目、3本目で確認された塗装の剥がれ等は、製作から1.5年程度経過した時点で行った搬出前の自主検査において確認されておらず、製作から3.5年程度経過した時点で確認されたことから、搬出前の自主検査を終えた以降、本事象が確認されるまでの2年程度の間には発生したものとする。

また、2019年3月1日に発見された4本目については、1本目、2本目、3本目が発生（2018年5月末）するまでの2年程度の期間以降、約10ヶ月の間には発生したものとする。

中部電力㈱の調査によれば、高アルカリで塩化物イオンを含む環境下における炭素鋼の腐食速度は、速度の速い局所的な腐食の場合であっても1mm/年（約3μm/日）であることから、ドラム缶厚さ1.6mmであることに對し、数日では顕著な腐食の進展は見られないと考えられる。

※管理建屋にて貯蔵期間が1年以上もしくは前回確認以降1年以上となる見通しの廃棄体について、外観確認を実施することとしている。

（2）浜岡原子力発電所から搬出し、管理建屋に保管されている956本の扱い

956本は、2019年2月25日から3月12日に管理建屋で実施した外観確認において、問題が確認されなかったことから、廃棄体の技術基準である「著しい破損がないこと（表面の劣化、固型化材料等の露出、容器の変形）」を満足したものと考えている。これらについては検査を行い、合格したものは安全上問題ないことから定置、モルタル充填を行うこととする。

なお、モルタル充填以降についても放射能の閉じ込め機能は埋設設備で担保されることから安全上問題ない。

（3）浜岡原子力発電所に保管中の927本の扱い

浜岡原子力発電所に保管中の927本は、管理建屋に保管されている956本の内、319本と同じ廃棄物埋設確認申請である。（4.（2）の表を参照）

当該927本については、現状、搬出時期が未定であることから、廃棄物埋設確認申請から取下げることとし、管理建屋に保管されている319本の検査を進める。

8. 浜岡原子力発電所における共通因子が確認された廃棄体について

中部電力㈱では、塗装の剥がれ等が発生した要因の一つと考える平らな形状のコンクリートガラを共通因子と考えた場合、平らな形状のコンクリートガラを収納したドラム缶は保管期間が長期化することにより同様な事象が発生する可能性があるとしている。

このため、現在、浜岡原子力発電所で保管しているコンクリートガラを収納したド

ラム缶のうち、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶と同じ鉄箱からコンクリートガラを収納したドラム缶の底部外面を定期的を目視確認し、経時変化を観察する。

また、この観察においてドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された場合は、ドラム缶底部を切断し詳細調査すること等によって知見の拡充に努めていくとしている。

9. 当社の今後の対応について

(1) 六ヶ所での廃棄体（充填固化体）の外観検査時における対応について

充填固化体（直接収納）4本の外観確認時の状況から、塗装の膨らみ状況および水滴付着状況は共通的なものであること、6.（3）で述べた推定メカニズムより腐食がドラム缶底部外面の塗装に膨らみを生じさせるため、外観検査で予兆の把握は可能と考える。

上記6.（6）のとおり、本事象は「ドラム缶底部内面の傷」と「モルタルとドラム缶底部内面との界面にできた隙間」の位置が相重なった場合に起こりえる事象であり、2000年度からの2号廃棄物埋設施設への受入開始以降、本事象が発生するまでの間、発電所および六ヶ所での廃棄体検査において同様な事象は確認されていない。

したがって、浜岡原子力発電所および浜岡原子力発電所以外の既に製作済みの廃棄体の六ヶ所での外観検査時における対応として、次のとおりとする。

- ①浜岡原子力発電所の廃棄物埋設確認申請済みの廃棄体および既に製作済みの廃棄体の六ヶ所での外観検査時における対応については、上記7. のとおり、申請済みで管理建屋に保管中の浜岡原子力発電所の廃棄体を早期に検査し定置することとし、申請済みを含めた既に製作済みの廃棄体の外観検査においては画像確認に加え輸送容器からの廃棄体取り出しの際に、早急な対応ができるよう現場に人員配置し目視確認を実施する。
- ②浜岡原子力発電所以外の既に製作済みの廃棄体の六ヶ所での外観検査においては、発電所毎に下記（2）の再発防止対策の水平展開が完了するまで、画像確認に加え輸送容器からの廃棄体取り出しの際に、早急な対応ができるよう現場に人員配置し目視確認を実施する。

なお、疑義のある廃棄体（確認項目である「著しい破損がないこと」を六ヶ所で確認できない廃棄体）の場合、廃棄体の外観検査を保留し必要な養生等を施したうえで一旦輸送容器に戻すこととする。

以後の扱いについては、廃棄体の発生電力と協議のうえ返送等の対応を行う。

(2) 再発防止対策の水平展開

浜岡原子力発電所以外の各発電所では、「充填固化体の標準的な製作方法」に記載された作業要領に基づき製作がなされているとともに、「傷を生じさせない対策」もしくは「隙間を生じさせない対策」の取組みを実施しているとのことであるが、今回の事象を新たな知見と捉え、追加対策が必要なものに対してはより確実性の高い対策（廃棄物収納前にドラム缶底面にシートを敷く、モルタル充填後に振動を与えることにより隙間を無くす等）を行うことを前提に検討を行う。具体的方法については、中部電力が中心となり、各電力および当社と協同して検討を行い、具体的な追加対策を決定する。また、次に示す各電力の現状の取組みを再評価し、追加対策（シートの敷設や振動機による浸透操作等）の取り込みを決定する。

これら、追加対策の方法、対象範囲の検討、現状の取り組みの再評価、追加対策の取り組み結果については、2020年度中に終える計画である。

当社は電力各社が採用した再発防止策に対し、その実施状況（手順の明確化や教育の有無、対策の実施記録等）を監査等で確認する。

	傷を生じさせない対策の取組み	すき間生じさせない対策の取組み
A社	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物を収納し易いようドラム缶を傾けて廃棄物を収納する ・板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・尖った形状等の廃棄物を収納する際は、当該箇所がドラム缶（底部・側面）に接触しないように収納 ・同じ建屋内でモルタル充填 	—
B社	<ul style="list-style-type: none"> ・板状の廃棄物がある場合、ドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・分別作業員の他に分別作業管理者を設定し、同時立会い、指導監督することにより収納時の損傷防止を確実なものにしている ・同じ建屋内でモルタル充填 	—
C社	<ul style="list-style-type: none"> ・板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・尖った形状等の廃棄物を収納する際は、当該箇所がドラム缶（底部・側面）に接触しないように収納 ・同じ建屋内でモルタル充填 	—
D社	<ul style="list-style-type: none"> ・板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・尖った形状等の廃棄物を収納する際は、当該箇所がドラム缶（底部・側面）に接触しないように収納 ・廃棄物を収納し易いようドラム缶を傾けて廃棄物を収納する ・同じ建屋内でモルタル充填 	—
E社	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物を収納し易いようドラム缶を傾けて廃棄物を収納する ・板状の廃棄物がある場合、ドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・尖った形状等の廃棄物を収納する際は、当該箇所がドラム缶（底部・側面）に接触しないように収納 ・段差にスロープ設置 	—
F社	<ul style="list-style-type: none"> ・ドラム缶を台に乗せて廃棄物収納 ・ドラム缶内面がキズつく可能性のあるものは、底面・側面に入れない ・板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・同じ建屋内でモルタル充填 	・モルタル充填後に加振操作を実施
G社	<ul style="list-style-type: none"> ・ドラム缶内部底面・側面に板状の金属（鉄板等）を収納 ・ドラム缶内面がキズつく可能性のあるものは、底面・側面に入れない ・分別作業管理者による収納状態の相互確認を実施 	・モルタル充填後に加振操作を実施
H社	<ul style="list-style-type: none"> ・同じ建屋内でモルタル充填 	・モルタル充填後の加振操作を実施

10. 添付資料

- 添付資料－1 時系列
- 添付資料－2 水滴等を確認された廃棄体写真
- 添付資料－3 水滴等を確認された廃棄体の諸元データ
- 添付資料－4 塗装の剥がれ等を確認された廃棄体の浜岡原子力発電所での調査報告について(補正) (2019年5月20日、中部電力株)
- 添付資料－5 塗装の膨らみを確認された充填固化体(溶融体収納)の確認状況
- 添付資料－6 水滴を確認された廃棄体底部内面の傷等の状況
- 添付資料－7 水滴を確認された廃棄体底部モルタル部の隙間等の状況
- 添付資料－8 水滴を確認された廃棄体の収納状況
- 添付資料－9 水滴を確認された部位の断面観察

時系列

- 2018年3月25日(日) 中部電力㈱浜岡原子力発電所から960本の廃棄体を受入
- 2018年4月23日(月) 浜岡原子力発電所の整理番号読取確認中、廃棄体底面に水滴を確認。輸送容器内の当該廃棄体が収納された位置にも水滴を確認(1640572-CB1L)
当該水滴(廃棄体、輸送容器)およびその周辺のスミア測定の結果、検出限界値未満。Ge測定の結果、有意なピークは検出されず
廃棄体の水滴確認箇所は、スミア拭き取り時に塗装がとれ、地金が露出
目視では貫通の有無は判断できず
当該廃棄体底面の水滴があった箇所の養生実施。当該廃棄体を輸送容器に戻し、一時貯蔵室に保管
本事象について、規制庁・保安検査官等へ連絡
- 2018年4月24日(火) 規制庁・保安検査官へ発生状況(写真等)を説明
- 2018年4月26日(木) 規制庁へ事象と今後の対応を説明
- 2018年5月8日(火) 今後の対応(当該廃棄体以外959本の調査等)を検討・調整
- 2018年5月9日(水) 中部電力㈱より当該廃棄体以外959本の調査(外観確認)の依頼受領
- 2018年5月10日(木) 外観確認のための準備等
浜岡原子力発電所において廃棄体928本の外観確認開始
- 2018年5月11日(金) 管理建屋において当該廃棄体以外の959本の外観確認開始
- 2018年5月14日(月) 浜岡原子力発電所の外観確認において1本の廃棄体(1740062-CB1L)の底面に水滴を確認。スミア測定:検出限界値未満
- 2018年5月18日(金) 管理建屋において水滴が確認された廃棄体(1640572-CB1L)をボックスパレットに収納
- 2018年5月28日(月) 管理建屋の外観確認において1本の廃棄体(2本目)の底面に水滴と塗装の膨らみ・傷を確認(1640255-CB1L)
当該水滴(廃棄体)およびその周辺のスミア測定の結果、検出限界値未満。Ge測定の結果、有意なピークは検出されず
当該廃棄体底面部の養生実施。当該廃棄体を輸送容器に戻し、一時貯蔵室に保管
本事象について、規制庁・保安検査官へ連絡
- 2018年5月29日(火) 規制庁・保安検査官へ5/28確認した状況(写真)の情報提供
当該廃棄体を返送するための追加養生のモックアップを実施

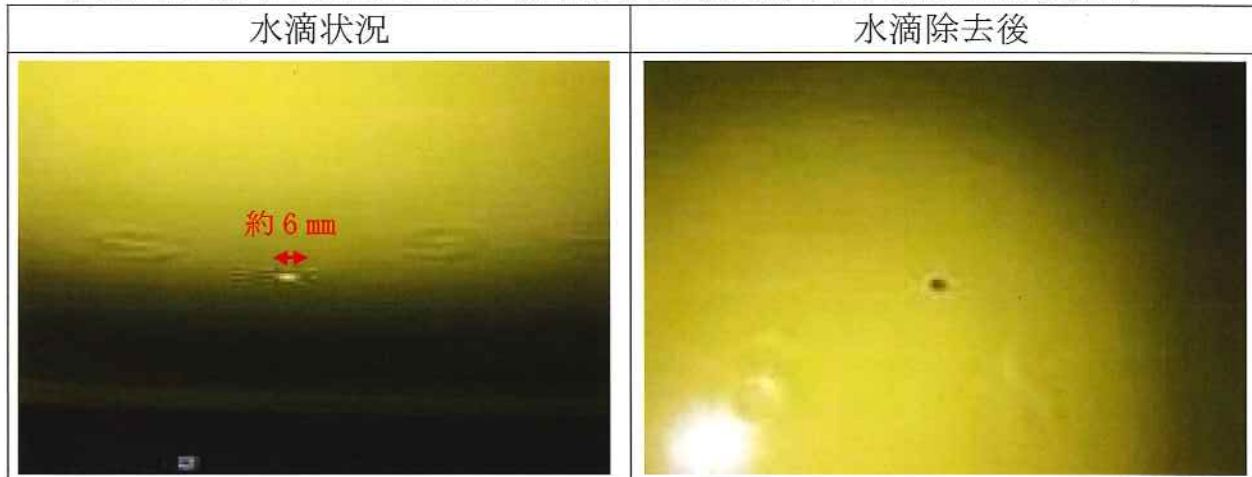
- 2018年5月30日(水) 管理建屋において水滴が確認された廃棄体(1640255-CB1L)をボックスパレットに収納
- 2018年5月31日(木) 管理建屋において959本の外観確認終了
(外観確認状況を参考資料-1に示す)
- 2018年6月1日(金) 浜岡原子力発電所において928本の外観確認終了
(外観確認状況を参考資料-1に示す)
- 2018年6月4日(月) 管理建屋での959本および浜岡原子力発電所での928本の外観確認結果、管理建屋に一時貯蔵中の当該廃棄体2本の返送および当該廃棄体3本の補正申請に係る取り扱いについて、規制庁へ報告
- 2018年6月5日(火) 管理建屋において水滴が確認された廃棄体(1640572-CB1L、1640255-CB1L)の追加養生作業を実施
- 2018年6月6日(水) 管理建屋において水滴が確認された廃棄体(1640572-CB1L、1640255-CB1L)の追加養生作業後の状態確認、返送用輸送容器に収納
- 2018年6月26日(火) 中部電力㈱より浜岡原子力発電所において水滴が確認された廃棄体(1740062-CB1L)に係る廃棄物埋設確認申請の取り下げ文書を受領
- 2018年7月2日(月) 管理建屋において水滴が確認された廃棄体(1640572-CB1L、1640255-CB1L)の浜岡原子力発電所へ返送
浜岡原子力発電所において水滴が確認された廃棄体(1740062-CB1L)に係る廃棄物埋設確認申請書の一部補正(取り下げ)文書を原子力規制委員会へ提出
- 2018年7月5日(木) 中部電力㈱より管理建屋において水滴が確認された廃棄体(1640572-CB1L、1640255-CB1L)に係る廃棄物埋設確認申請の取り下げ文書を受領
- 2018年7月12日(木) 管理建屋において水滴が確認された廃棄体(1640572-CB1L、1640255-CB1L)に係る廃棄物埋設確認申請書の一部補正(取り下げ)文書を原子力規制委員会へ提出
- 2018年11月9日(金) 中部電力㈱より当該廃棄体の調査内容等について、報告を受けた。
- 2018年11月13日(火) 規制庁へ当該廃棄体3本の調査内容および調査状況を報告
- 2019年1月30日(水) 中部電力㈱より当該廃棄体の調査内容および調査結果、原因、再発防止対策等について、報告書を受領
- 2019年2月12日(火) 規制庁へ当該廃棄体3本の調査結果、原因および再発防止対策、当社の対応を報告
- 2019年2月25日(月) 管理建屋に保管中の浜岡原子力発電所の廃棄体958本について、一時貯蔵の期間が1年を超える見通しにより外観確認を開始。

- 2019年3月1日(金) 管理建屋の外観確認において1本の廃棄体(4本目)の底面に水滴と塗装の膨らみを確認(1640591-CB1L)
当該水滴(廃棄体)およびその周辺のスミア測定の結果、検出限界値未満。Ge測定の結果、有意なピークは検出されず
当該廃棄体底面部の養生実施。当該廃棄体を輸送容器に戻し、一時貯蔵室に保管
- 2019年3月6日(水) 管理建屋の外観確認において1本の廃棄体(5本目)の底面に1mm程度の塗装の膨らみを確認(1741117-CB1M)
当該膨らみ(廃棄体)およびその周辺のスミア測定の結果、検出限界値未満。Ge測定の結果、有意なピークは検出されず
当該廃棄体底面部の養生実施。当該廃棄体を輸送容器に戻し、一時貯蔵室に保管
- 2019年3月12日(火) 管理建屋に保管中の浜岡原子力発電所の廃棄体958本の外観確認終了
- 2019年3月13日(水) 規制庁へ管理建屋に保管中の浜岡原子力発電所の廃棄体958本の外観確認結果を報告
- 2019年3月19日(火) 管理建屋において水滴等が確認された廃棄体(1640591-CB1L、1741117-CB1M)の追加養生作業を実施
- 2019年3月20日(水) 管理建屋において水滴等が確認された廃棄体(1640591-CB1L、1741117-CB1M)の追加養生作業後の状態確認、返送用輸送容器に収納
- 2019年4月14日(日) 管理建屋において水滴が確認された廃棄体(1640591-CB1L、1741117-CB1M)を浜岡原子力発電所へ返送
- 2019年4月17日(水) 中部電力㈱より管理建屋において水滴等が確認された廃棄体(1640591-CB1L、1741117-CB1M)に係る廃棄物埋設確認申請の取り下げ文書を受領
- 2019年4月18日(木) 管理建屋において水滴等が確認された廃棄体(1640591-CB1L、1741117-CB1M)に係る廃棄物埋設確認申請書の一部補正(取り下げ)文書を原子力規制委員会へ提出
- 2019年6月28日(金) 新たに確認された2本の調査結果および先に調査した3本の追加調査結果(合計5本)、ならびに廃棄物埋設確認申請済みの956本(管理建屋保管)および927本(浜岡原子力発電所保管)の扱いについて、規制庁へ報告

水滴等を確認された廃棄体写真

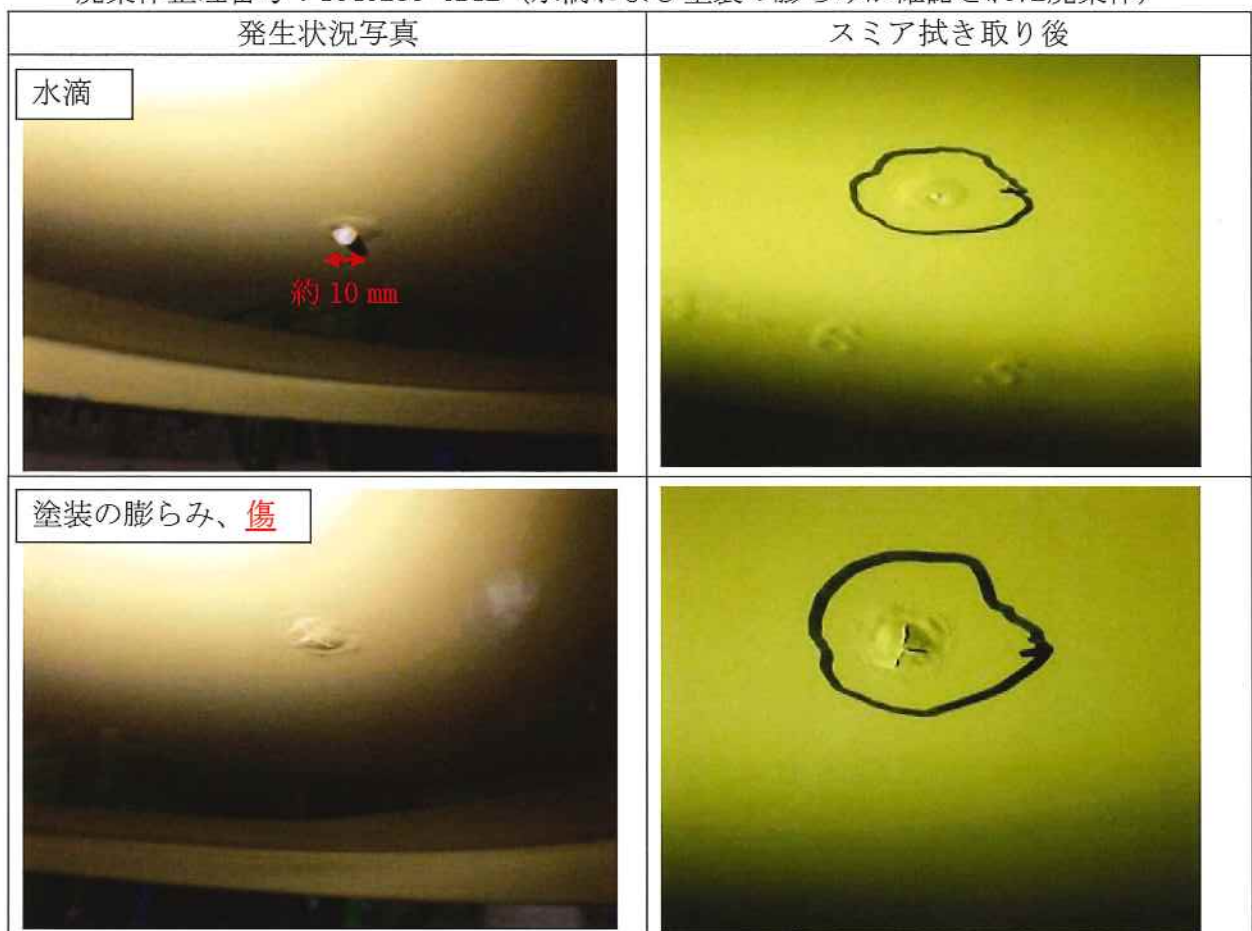
1. 2018年4月23日(月)に確認された廃棄体

廃棄体整理番号: 1640572-CB1L (水滴および塗装の膨らみを確認された廃棄体)

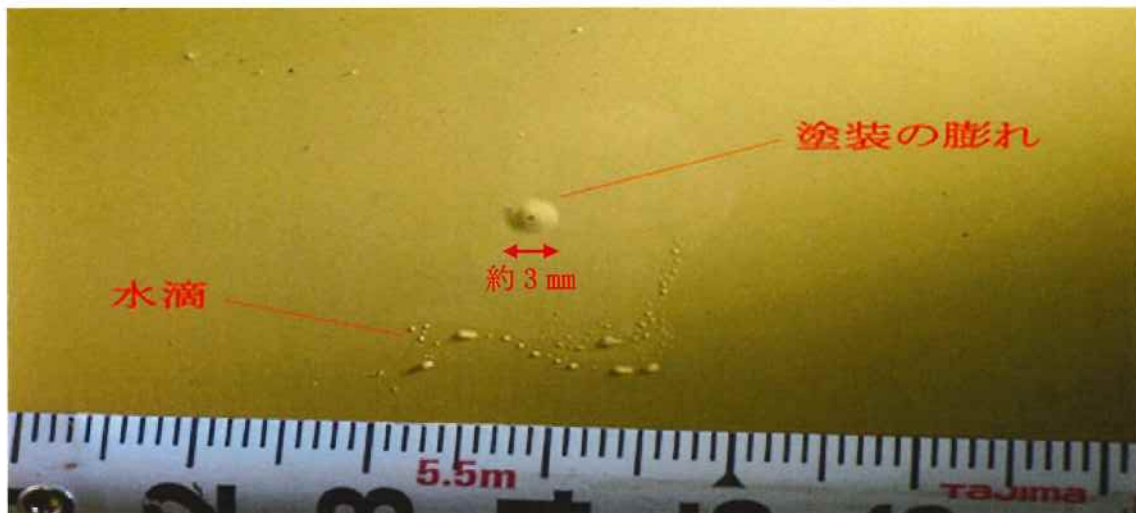


2. 2018年5月28日(月)に確認された廃棄体

廃棄体整理番号: 1640255-CB1L (水滴および塗装の膨らみを確認された廃棄体)



3. 2018年5月14日(月)浜岡原子力発電所にて確認された廃棄体
廃棄体整理番号: 1740062-CB1L (水滴および塗装の膨らみが確認された廃棄体)



4. 2019年3月1日(金)に確認された廃棄体
廃棄体整理番号: 1640591-CB1L (水滴および塗装の膨らみが確認された廃棄体)



5. 2019年3月6日(水)に確認された廃棄体
廃棄体整理番号: 1741117-CB1M (塗装の膨らみが確認された廃棄体)



水滴等が確認された廃棄体の諸元データ

発見日 (発見場所)	2018/4/23 (六ヶ所)	2018/5/28 (六ヶ所)	2018/5/14 (浜岡原子力発電所)
整理番号	1640572-CB1L	1640255-CB1L	1740062-CB1L
申請書番号 (申請日)	2016 埋埋発第 59 号 (2016/11/25)	2016 埋埋発第 59 号 (2016/11/25)	2017 埋埋発第 4 号 (2017/4/12)
申請値	表面線量 (mSv/h)	1.5E-2	2.7E-3
	C o 濃度 (Bq/t)	D 1.2E+6	D 8.0E+4
	C s 濃度 (Bq/t)	N 2.8E+5	N 7.9E+4
	重量 (Kg)	532	517
分別年月日	2014/7/11	2014/7/9	2015/1/21
収納年月日	2014/7/11	2014/7/9	2015/1/21
(内容物)	金属片、金属管、鋼材、 小物金属類、鉄粉、コン クリート	金属片、金属管、塊状金 属、小物金属類、鉄粉、 コンクリート	金属板、金属片、金属 管、鋼材、小物金属類、 コンクリート
(容器再利用の有無)	再利用無 (新缶)	再利用無 (新缶)	再利用無 (新缶)
固型化年月日	2014/8/5	2014/8/6	2015/2/2
養生完了年月日	2014/8/6	2014/8/7	2015/2/3
外観検査年月日	2016/3/1	2016/2/17	2016/9/23
輸送容器収納年月日	2016/3/1	2016/2/17	2016/9/23
(輸送容器番号)	25808	25894	21737
受入年月日	2018/3/25	2018/3/25	-

発見日 (発見場所)	2019/3/1 (六ヶ所)	2019/3/6 (六ヶ所)
整理番号	1640591-CB1L	1741117-CB1M
申請書番号 (申請日)	2016 埋埋発第 59 号 (2016/11/25)	2017 埋埋発第 4 号 (2017/4/12)
申請値	表面線量 (mSv/h)	1.2E-2
	C o 濃度 (Bq/t)	D 9.5E+5
	C s 濃度 (Bq/t)	N 2.5E+5
	重量 (Kg)	538
分別年月日	2014/7/11	2012/8/2
収納年月日	2014/7/11	2012/8/26
(内容物)	金属片、金属管、鋼材、 ワイヤ、鉄粉、コンクリ ート	熔融体 (鉄系金属類、ガラス・コンク リート類、気体フィルタ、アルミ、そ の他金属類、ケイ酸カルシウム保温 材、熔融助剤、土砂、金属添加剤)
(容器再利用の有無)	再利用無 (新缶)	再利用無 (新缶)
固型化年月日	2014/8/5	2015/3/31
養生完了年月日	2014/8/6	2015/4/1
外観検査年月日	2016/3/2	2016/11/15
輸送容器収納年月日	2016/3/2	2016/11/15
(輸送容器番号)	25820	22590
受入年月日	2018/3/25	2018/3/25

本浜岡発第 106 号

2019 年 7 月 23 日

日本原燃株式会社

埋設事業部 埋設計画部 計画 G1 殿

中部電力株式会社

浜岡原子力発電所

廃棄物管理課長

塗装の剥がれ等が確認された廃棄体の浜岡原子力発電所における
調査報告について（補正）

拝啓 貴社ますますご清栄のこととお喜び申し上げます。

平素は格別のご高配にあずかり、厚くお礼申し上げます。

さて、2018 年 3 月に浜岡原子力発電所から搬出した 960 本の廃棄体（以下、「ドラム缶」という。）について、日本原燃（株）低レベル放射性廃棄物埋設センター（以下、「埋設センター」という。）でドラム缶受入検査前の準備作業を行っていたところ、1 本のドラム缶底部外面に水滴、及び塗装の剥がれが確認されました。また、残り 959 本のドラム缶、及び浜岡原子力発電所から埋設センターへ同年 5 月に搬出予定であった 928 本のドラム缶の外観確認を行った結果、それぞれ 1 本、合計 3 本のドラム缶に類似の事象を確認したため、原因調査、及び再発防止対策の検討を行い、その結果については本浜岡発第 108 号（2018 年 11 月 9 日付）、本浜岡発第 111 号（2019 年 1 月 30 日付：補正）及び本浜岡発第 113 号（2019 年 3 月 4 日付：補正）にて報告させて頂きました。

また、2019 年 2 月 25 日から 3 月 12 日にかけて、埋設センターに一時貯蔵されている浜岡原子力発電所 958 本のドラム缶について、埋設センターが自主的に外観確認を行ったところ、2 本のドラム缶底部外面に塗装の膨らみ等を確認したため、原因調査、及び再発防止対策の検討を行い、その結果は、本浜岡発第 103 号（2019 年 5 月 20 日付：補正）にて報告させて頂きましたが、調査報告の記載を充実しましたので別添のとおり補正報告いたします。

敬具

別添

塗装の剥がれ等が確認された廃棄体に関する原因と対策について（補正）

以上

塗装の剥がれ等が確認された廃棄体に関する原因と対策について
(補正)

2018年3月に浜岡原子力発電所から搬出した960本の廃棄体(以下、「ドラム缶」という。)について、日本原燃(株)低レベル放射性廃棄物埋設センター(以下、「埋設センター」という。)でドラム缶受入検査前の準備作業を行っていたところ、1本のドラム缶底部外面に水滴、及び塗装の剥がれが確認された。また、残り959本のドラム缶、及び浜岡原子力発電所から埋設センターへ同年5月に搬出予定であったドラム缶928本の外観確認を行った結果、それぞれ1本、合計3本のドラム缶に類似の事象を確認したため、原因調査を行いその結果について2018年11月9日(2019年1月30日(補正)、2019年3月4日(補正))に報告した。

その後、2019年2月25日から3月12日にかけて、埋設センターに一時貯蔵されている浜岡原子力発電所のドラム缶について、埋設センターが自主的に外観確認^{※1}を行ったところ、ドラム缶2本の底部外面に塗装の膨らみ(内1本は水滴あり)を確認した。(以下、塗装の剥がれ、水滴および膨らみを総称する場合「塗装の剥がれ等」という。)

このため、一連の事象の原因調査を行ったことから、結果について以下に報告する。

1 事象の概要

2018年3月19、20日に浜岡原子力発電所から搬出した960本のドラム缶について埋設センターでドラム缶受入検査前の準備作業を行っていたところ、同年4月23日に1本のドラム缶底部外面に水滴、及び塗装の剥がれが確認された。

当該事象を受け、残り959本のドラム缶、及び浜岡原子力発電所から埋設センターへ同年5月に搬出予定であったドラム缶928本の外観確認を行った。この結果、それぞれ1本、合計3本のドラム缶底部外面に類似の事象を確認したため、当該ドラム缶底部を切断して原因調査を行い、その結果について2018年11月9日(2019年1月30日(補正)、2019年3月4日(補正))に報告した。

その後、2019年2月25日から3月12日にかけて、埋設センターに一時貯蔵されている浜岡原子力発電所のドラム缶958本について、埋設センターが自主的に外観確認を行ったところ、ドラム缶2本の底部外面に塗装の膨らみを確認し、その内1本については水滴を確認

^{※1} 日本原燃(株)の社内規定により、低レベル放射性廃棄物管理建屋の一時貯蔵室にドラム缶を受入後、一時貯蔵室内に長期保管(1年を超えると判断したドラム缶を対象)しているドラム缶の外観確認を行うこととしている。

した。この2本のドラム缶についても、2019年4月17日に浜岡原子力発電所へ返送し、ドラム缶底部を切断して当該事象の原因調査を行った。

表1に塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶を示す。また、一連の時系列を添付資料-1に示す。

表1 塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶

	種類	確認場所	事象確認日	ドラム缶番号
1	充填固化体(直接収納)	埋設センター	2018年4月23日	1640572-CB1L (UC-15317)
2	充填固化体(直接収納)	浜岡原子力発電所	2018年5月14日	1740062-CB1L (UC-15905)
3	充填固化体(直接収納)	埋設センター	2018年5月28日	1640255-CB1L (UC-15306)
4	充填固化体(直接収納)	埋設センター	2019年3月1日	1640591-CB1L (UC-15316)
5	充填固化体(溶融体収納)	埋設センター	2019年3月6日	1741117-CB1M (UM-01554)

(添付資料-2 p3,4)

2 原因調査

(1) 調査方針

2018年4月から5月に事象が確認された3本のドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が発生した要因を特定するため、要因分析図に基づき調査を行った。塗装の剥がれ及び膨らみと水滴の発生については関連があると考えられるが、発生原因が同じとは限らないため、ドラム缶の塗装の剥がれ及び膨らみに関する調査を要因分析図①、水滴の付着に関する調査を要因分析図②として、二つの要因分析図を作成した。

その後、2019年3月に類似事象が確認された2本のドラム缶についても、前回発生した事象と関連性があることから、同じ要因分析図に基づき調査を行った。

<ドラム缶の塗装の剥がれ及び膨らみに関する調査> (要因分析図①)

- ① 製作要因(空ドラム缶の設計不良等)
- ② 調達要因(空ドラム缶の選定不良等)
- ③ 運用要因(腐食性の廃棄物、薬品等の混入等)

<水滴の付着に関する調査> (要因分析図②)

- ① 外部要因(大気中の湿気等)
- ② 内部要因(ドラム缶内部水)

(添付資料-2 p5-7,添付-1)

(2) 調査結果

一連の事象について、要因分析図に基づき調査した結果、ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が発生した要因となり得る項目について、以下のとおり確認した。

当該ドラム缶5本のうち、充填固化体(溶融体収納)を要因分析図に基づき塗装の膨ら

みが確認された部位を断面観察した結果、当該箇所のドラム缶底面の母材ならびに亜鉛めっきに異状はなく健全であることを確認したため、要因分析図に基づくその他の調査は不要と判断した。よって、以降の調査結果は、表1に示す充填固化体(直接収納)4本の結果を示す。

(添付資料-2 p8)

<ドラム缶の塗装の剥がれ及び膨らみに関する調査>

塗装の剥がれ及び膨らみの要因分析では、空ドラム缶の製作に係る要因、空ドラム缶等の調達に係る要因、及びドラム缶製作時の運用に係る要因について調査した。

① 製作要因(空ドラム缶の設計不良等)

空ドラム缶の設計、空ドラム缶の材料、空ドラム缶の製作、及び空ドラム缶の検査について調査した結果、各項目について適切であることを確認した。

② 調達要因(空ドラム缶の選定不良等)

空ドラム缶の選定、空ドラム缶納品時の傷、空ドラム缶のタッチアップ(後塗りの影響、及びモルタル材料について調査した結果、各項目について適切な調達を行っていることを確認した。

③ 運用要因(腐食性の廃棄物、薬品等の混入等)

腐食性の廃棄物、薬品等の混入、金属収納による電位差腐食、ドラム缶製作・検査時の外傷、モルタル材料の配合不良による腐食、ドラム缶検査時の汚れ落とし剤による影響、輸送容器収納時の外傷、及び保管環境の悪化による腐食について調査した結果、ドラム缶底部外面の塗装の剥がれ及び膨らみの要因になり得る、以下の要因を抽出した。

a ドラム缶底部内面に傷を確認

ドラム缶底部を切断し外観を確認したところ、ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等を確認した箇所の裏にあたる箇所に傷を確認した。

(添付資料-2 p21,22)

b モルタルとドラム缶底部内面との界面にすき間及びすき間の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認

ドラム缶底部を切断するとともに垂直方向にも切断し外観を確認したところ、ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等を確認した箇所の裏にあたる箇所に、モルタルとドラム缶底部内面との界面にすき間を確認した。また、すき間を確認した箇所の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認した。

(添付資料-2 p23,24)

c ドラム缶底部内面に塩素(Cl)を確認

ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された箇所の裏にあたるモルタル部をコア抜きし、走査型電子顕微鏡(SEM)による観察及びエネルギー分散型X線分析(EDS)を実施した結果、モルタル成分(Al, Si, Ca, S)や金属成分(Fe, Zn)の他、腐食の発生と進展の要因となり得る成分(Cl, S)を確認した。なお、モルタル成分(Al, Si,

Ca、S)は、充填するモルタル自体に含まれていることを確認した。

(添付資料-2 p27,28)

d ドラム缶底部内面から外面に達する腐食を確認

ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された部位について、光学顕微鏡による断面観察を実施した結果、ドラム缶内面からと推測される腐食及び内外面の塗装に傷を確認した。また、腐食が外面に達している箇所は、内面に塗装の傷及び腐食による発錆を確認した位置に相当することを確認した。

(添付資料-2 p30,31)

e ドラム缶底部外面に塩化物イオン(Cl⁻)が存在する環境下で生成される鉄の腐食生成物(アカガネイト)、及び亜鉛の腐食生成物(塩基性塩化亜鉛)を確認

ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された部位について、X線回折(XRD)による結晶構造を確認した結果、塩化物イオンが存在する環境下で生成されるアカガネイト、及び亜鉛めっき鋼板の腐食生成物である塩基性塩化亜鉛を確認した。

(添付資料-2 p32)

以上の調査結果から得られた塗装の剥がれ及び膨らみになり得る要因は、充填固化体(直接収納)4本について、全て同様の結果であった。

<水滴の付着に関する調査>

水滴の付着に関する要因分析では、外部要因として、大気中の湿気、及び塗膜下層面の水分、内部要因として、ドラム缶内部水(ブリージング水)、及びドラム缶内部水(湿気)について調査した。

① 外部要因(大気中の湿気等)

埋設センターにおけるドラム缶の外観確認の結果、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶以外のドラム缶、及び輸送容器に水滴がないことを確認した。

② 内部要因(ドラム缶内部水等)

ドラム缶底部内外面の外観及び塗装を調査し、内部からのブリージング水及び湿気の有無を確認した結果、水滴の付着の要因になり得る以下の要因を抽出した。

a ドラム缶底部外面にモルタルの成分であるカルシウム(Ca)等を確認

埋設センターで1本目に確認された充填固化体(直接収納)のドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された箇所について、走査型電子顕微鏡(SEM)による観察、及びエネルギー分散型X線分析(EDS)を実施した結果、モルタル成分(Al、Si、Ca)を確認した。

(添付資料-2 p26)

b ドラム缶内部に水分が存在し得ることを文献にて確認

ドラム缶底部を切断した結果、ドラム缶底部内面に水分が確認されなかったが、

文献^{※2}を調査した結果、養生(乾燥)後のモルタルの含水率は気中においても数%はあるため、密閉したドラム缶内のすき間部には、その時の温度における飽和水蒸気量近くの水蒸気が存在し得ることを確認した。

c ドラム缶底部内面からの腐食がドラム缶底部外面に達していることを確認

塗装の剥がれ等が確認された部位の光学顕微鏡による断面観察を実施した結果、ドラム缶内面からと推測される母材の腐食を確認し、母材の腐食が外面に達している箇所は、内面に塗装の傷及び腐食による発錆を確認した位置に相当することを確認した。

(添付資料-2 p30,31)

<充填固化体(直接収納)4本の追加調査>

a 充填固化体(直接収納)へ収納した金属及びコンクリート廃棄物の調査

塗装の剥がれ等が確認された充填固化体(直接収納)4本は2001年度から2004年度までに浜岡1,2号機で実施した工事で発生した金属及びコンクリート廃棄物を収納していることを確認した。

このため、この期間に発生した金属及びコンクリート廃棄物に塗装の剥がれ等を及ぼす可能性のある海水系の廃棄物が入っているかについて、当該期間に発生したトラブル実績や実施した工事を洗い出しその工事報告書等を確認することにより調査した。

この結果、海水系の工事で発生した廃棄物を含む工事2件を抽出したが、廃棄物の発生期間及び作業時の管理区域の細区分から、塗装の剥がれ等が確認された充填固化体(直接収納)に当該工事からの海水系の廃棄物が収納されていないことを確認した。

(添付資料-2 p37)

b 化学薬品類および耐火レンガの混入の調査

ドラム缶の健全性に影響を及ぼす恐れのある廃棄物には、海水系の廃棄物の他に化学薬品類及び耐火レンガもあることから、これらがドラム缶に混入する可能性について廃棄物を受付する際の運用や耐火レンガの発生実績を確認することにより調査した。

この結果、化学薬品類の混入については、不燃物に付着した化学薬品類を拭き取ったうえで廃棄物を受付に提出するルールとなっていることを確認した。また、廃棄物をドラム缶に収納する際には社内規定に基づき適切に実施していることを「分別・収納記録」により確認した。

耐火レンガの混入については、浜岡1,2号機所内ボイラの設置場所は、放射性物

※2 文献:平成25年度 養生がコンクリートの含水率や品質に及ぼす影響と品質検査に関する検討 ((独)土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム)

質による汚染のおそれのない区域のため、放射性廃棄物として発生していないことを確認した。また、耐火レンガの類似品である焼却炉・熔融炉の耐火レンガ及びセラミックフィルタは、廃棄物減容処理装置建屋から発生する廃棄物であり、3号機の廃棄物として管理しているため、ドラム缶に混入する可能性がないことを確認した。

(添付資料-2 p38)

c 廃棄物を取出した鉄箱の調査

本事象が確認された充填固化体(直接収納)4本のドラム缶底部内面とモルタルとの界面に確認されたすき間の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていたことを踏まえ、4本のドラム缶に収納された廃棄物を取り出した鉄箱を調査した結果、埋設センターで塗装の剥がれ等が確認された3本のドラム缶は同じ鉄箱(H24133)から取り出したコンクリートガラが収納されていることを記録により確認した。この他にも同じ鉄箱(H24133)から取り出したコンクリートガラを収納したドラム缶が10本埋設センターに一時貯蔵されていることを確認した。

また、浜岡で塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶と同じ鉄箱(H24169)から取り出したコンクリートガラを収納したドラム缶のうち12本が埋設センターに一時貯蔵されていることを確認した。

上記の他に、コンクリートガラを収納したドラム缶が141本埋設センターに一時貯蔵されていることも確認した。

(添付資料-2 p39)

d コンクリートガラ収納によるドラム缶内面への傷の発生の調査

ドラム缶を縦割りし収納廃棄物を調査した結果、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶底部には比較的平らかつ大きなコンクリートガラを収納していることを確認した。

このことから、コンクリートガラをドラム缶底部に収納する際に傷がつく可能性について、実際にドラム缶に廃棄物を収納する作業に携わる現場監督者から聞き取りを実施した。現場監督者への聞き取り調査をした結果、下記の2点を確認した。

- 1)ドラム缶へ廃棄物を収納する際は、可能な限りドラム缶底部内面に傷を付けないよう収納物を直接ドラム缶底部に収納している。
- 2)片手で持つことが難しい比較的大きくかつ重量のあるコンクリートガラ等の場合は、両手で収納するが両手でとどかない底部付近では片手状態となり、最後は数センチほどの少し高い位置から収納する場合がある。

この調査結果から、ドラム缶底部内面に傷を付けないよう可能な限り注意を払い取り扱っていることを確認したが、ドラム缶底部へ比較的大きくかつ重量のあるコンクリートガラ等を収納する際は、数センチほどの少し高い位置から収納する場合があることから、この際にコンクリートガラ等の端部や凹凸がドラム缶底部内面に接触し、傷が生じることは否定できないことを確認した。

(添付資料-2 p40)

e 充填固化体(直接収納)製作に携わった作業員の調査

製作作業に携わる作業員は、作業に従事する前に製作作業に係る教育を受けていること及び現場監督者の指導の下、製作作業を実施していることから、作業員の力量および作業手法に差異はないが、念のため特定の作業員による要因がないことを確認するため、廃棄物埋設確認申請を行った充填固化体(直接収納)を対象に製作作業に携わった作業員を確認した。

廃棄物埋設確認申請を行った充填固化体(直接収納)の製作作業に携わった作業員を確認した結果、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶に特化して従事した作業員はいなかった。

(添付資料-2 p41)

以上の調査結果から、海水系の廃棄物、化学薬品類及び耐火レンガがドラム缶に収納されていないことを確認するとともに、埋設センターで塗装の剥がれ等が確認された3本のドラム缶と同じ鉄箱から取り出したコンクリートガラに特異な事象は確認できなかった。

また、充填固化体(直接収納)製作に携わった作業員においても塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶に特化した作業員はいなかった。

なお、本調査の中で、塗装の剥がれ等が確認されなかった部位のドラム缶底部内面にも傷やすき間があることを確認したため、塗装の剥がれ等が確認されなかった箇所のドラム缶底部内面の比較調査を行った。

比較調査の結果は以下のとおり。

- ・傷があっても、すき間がなければ腐食は母材表面に留まっている
- ・すき間があっても、塗装が健全であれば(傷がなければ)腐食しない
- ・傷とすき間があり腐食を確認した場合でも、腐食はドラム缶底部内面の母材表層に留まっている

(添付資料-2 p33-36)

(3)推定原因

要因分析図に基づく調査結果から、充填固化体(直接収納)4本に塗装の剥がれ等が発生した原因は、いづれもドラム缶底部内面に存在した傷、及びモルタルとドラム缶底部内面との界面に出来たすき間を起因としてモルタルが固化する際に発生するブリージング水によってドラム缶底部内面に腐食が発生した。その後、ドラム缶底部外面に達する腐食に進展し、腐食に伴う体積の膨張によってドラム缶底部外面の塗装に膨らみや剥がれ、割れ(傷)が生じたことから、モルタルとドラム缶底部内面との界面に出来たすき間内部の飽和水蒸気が腐食部の毛細管現象や浸潤によりドラム缶底部外面に水滴として発生したものと推定した。

推定メカニズムは以下のとおり。

- ①ドラム缶内に放射性廃棄物を収納する際、または収納後の運搬において、ドラム缶

底部内面の溶融亜鉛めっき層あるいは母材に達する傷が発生。

- ② ドラム缶内にモルタルを充填する際、ドラム缶底部の放射性廃棄物の収納状況(平らな形状のコンクリートガラ等の収納等)によってモルタルが浸透しにくい箇所が発生し、モルタルとドラム缶底部内面との界面の一部にすき間が発生。
- ③ すき間内部にモルタルが固化する際に発生したブリージング水が残留し、ドラム缶底部内面の傷から溶融亜鉛めっき層が溶解し、母材が腐食する環境あるいは母材が直接腐食する環境が形成。また、ブリージング水に含まれる塩化物イオンとすき間内部等の酸素によって腐食が発生。
- ④ 腐食は、すき間内部の飽和水蒸気(湿分)、酸素、及び塩化物イオンにより腐食が外面へ進展。腐食による体積膨張によってドラム缶底部外面の塗装に膨らみや剥がれ、割れ(傷)が発生。
- ⑤ モルタルとドラム缶底部内面との界面に出来たすき間内部の飽和水蒸気(湿分)が腐食部(母材の腐食が外面に達している箇所)からの毛細管現象^{※3}や浸潤によりドラム缶底部外面に水滴として発生。

(添付資料-2 p43,44)

また、これまで浜岡原子力発電所(14,636 本[充填固化体(溶融体収納)を除く])及び各発電所(他社)から搬出したドラム缶の搬出実績や、塗装の剥がれ等が確認されなかった箇所のドラム缶底部内面の比較調査、及び同バッチ^{※4}のドラム缶底部内面の比較調査の結果に異状が無いことを踏まえると、当該事象は、「ドラム缶底部内面に確認された傷」と「モルタルとドラム缶底部内面との界面に確認されたすき間」が重畳する場合に発生する可能性があるかと推定できる。

なお、ドラム缶は、放射性廃棄物を収納したドラム缶にモルタルを充填して製作するため、放射性廃棄物の表面に付着した極微量の放射能がモルタルやブリージング水に移行する可能性があり、前述の推定原因により塗装の剥がれ等が発生したドラム缶は、放射能がドラム缶底部外面で検出される可能性が否定できない。

しかしながら、ドラム缶内の放射性廃棄物はモルタルで一体的に固化された状態であること、モルタルとドラム缶底部内面との界面に出来たすき間内部に残留するブリージング水は僅かであること、ドラム缶底部外面への水滴の付着は腐食部からの毛細管現象や浸潤によるものであること、及び当該充填固化体(直接収納)のドラム缶底部外面で確認された水滴の放射能は検出されていないことを踏まえれば、放射能がドラム缶底部外面で検出される蓋然性は極めて低いと評価する。

※3 毛細管現象:細い空間を、重力や上下左右に関係なく液体が浸透していく現象(出典:「毛細管現象とは?」テイポー(株)(マーキングペン先の製造・販売企業)のHP)

※4 同バッチ:当該ドラム缶の充填材料と同じ材料(砂・セメントサイロ、及び混和剤タンクに受け入れた日と同じ材料)で製作。なお、浜岡原子力発電所で塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶と同じ鉄箱の廃棄物を収納したドラム缶1本含む。

(4) 推定メカニズムの検証

推定メカニズムを検証した結果、以下のとおり確認することが出来たことから、推定原因及び推定メカニズムは妥当であることを確認した。

- ① ドラム缶内に廃棄物を収納する作業員に、傷がつく可能性のある作業について、聞き取り、及びアンケート調査を実施した結果、廃棄物収納時にはドラム缶内面に傷をつけないよう注意を払い取り扱っているが、ドラム缶内面に傷が生じることは否定できないことを確認した。また、ドラム缶への廃棄物の収納や運搬により傷が生じ得るかモックアップにより確認した結果、ドラム缶底部内面の溶融亜鉛めっき層あるいは母材に達する傷が生じ得ることを確認した。

(添付資料-2 p45-47)

- ② 本事象が確認された充填固化体(直接収納)4本のドラム缶と同バッチのドラム缶(埋設センターで確認された3本と同バッチのドラム缶4本、及び浜岡原子力発電所で確認された1本と同バッチのドラム缶1本)の底部を切断し、ドラム缶底部内面の腐食や腐食の要因となる傷の有無を調査した結果、ドラム缶底部内面に傷を確認したものの、腐食は確認されなかった。また、モルタルとドラム缶底部内面との界面にすき間を確認したが、その部分に水分はなく、すき間部に対応するドラム缶底部内面に塗装下地に及ぶような傷や腐食は確認されなかった。

(添付資料-2 p48-52)

- ③ ブリージング水の影響を検証するため、モックアップによりブリージング水の水質及びドラム缶底部内面のすき間への移行等を調査した結果、ドラム缶底部内面のすき間に水が残留し得ること、残留水のpHは12~13を示すことを確認した。

(添付資料-2 p53-59)

- ④ 文献^{*5}により、ドラム缶内面の塗装が健全であれば、強アルカリのブリージング水が存在したとしても、溶融亜鉛めっき層は溶解することはないことを確認した。また、ドラム缶母材の腐食は、母材の種類にかかわらず、母材の表面に腐食環境が形成されることによって腐食は進行することを確認した。

(添付資料-2 p60,61)

3 再発防止対策

以上の塗装の剥がれ等が発生した要因に関する調査結果から、本事象における原因は2018年11月9日(2019年1月30日(補正)、2019年3月4日(補正))に報告した充填固化体(直接収納)ドラム缶3本と、その後に発生した1本の発生原因は同じであるため、再発防止対策も同様の取り組みとする。

当社では、「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の

*5 文献:新日鉄住金(株)技術資料「亜鉛めっきの耐食性」、「内面腐食-孔食」

事業に関する規則第 8 条」、及び「核燃料物質等の第二種廃棄物埋設に関する措置等に係る技術的細目を定める告示」に規定する埋設しようとする放射性廃棄物等の技術上の基準(以下、「技術基準」という。)に適合するドラム缶を製作するために定められた「充填固化体の標準的な製作方法」に記載された作業要領(「収納の際は、容器に損傷を与えないように作業を行う」ことや「固型化を行う際に著しい空げきが残留する可能性のある形状の固型化対象物は、空げきが生じにくいように収納する」こと)に基づき製作されていることを確認するとともに、各発電所(他社)では、当社では取組んでいない傷、またはすき間を生じさせない取り組みが実施されていることを確認した。

一連の事象は、ドラム缶底部内面に存在した傷とモルタルとドラム缶底部内面との界面に出来たすき間を起因としてドラム缶底部内面に腐食が発生、その腐食が外面へ進展しドラム缶底部外面の塗装に影響を及ぼしたことが原因であると推定した。

これに対する再発防止対策は、ドラム缶底部内面に傷を生じさせない対策もしくはすき間を生じさせない対策を施すことで対応可能と考えるが、どちらも不十分であった当社は、傷を生じさせない対策を軸に、すき間を生じさせない対策の両方について、以下のとおり実施する。

(1)ドラム缶底部内面に存在した傷の発生を低減する対策

ドラム缶底部内面に傷をつけやすい廃棄物をドラム缶底部に入れないこと、及び板状の放射性廃棄物が存在する場合は、板状の放射性廃棄物をドラム缶底部に収納すること、ドラム缶底部に放射性廃棄物を収納する際は、ドラム缶を傾け収納しやすくすることでドラム缶底部内面の傷の発生を低減させる。

なお、コンクリートガラをドラム缶底部に入れない対策は、ドラム缶底部モルタル部にすき間を発生させる可能性を低減する効果も期待できる。

(2)モルタルとドラム缶底部内面との界面にできるすき間の発生を低減する対策

ドラム缶にモルタルを充填後、ドラム缶側面下部に振動機で振動を与え、狹隘部までモルタルを浸透させることですき間の発生を低減させる。

(3)ドラム缶内に放射性廃棄物を収納する者への教育

充填固化体製作に従事する者に対して当該事象が発生したドラム缶 4 本の事象を周知するとともに、再発防止対策について教育を実施する。

(添付資料-2 p62,63)

4 廃棄物埋設確認申請済のドラム缶 956 本(埋設センター一時貯蔵)、及び 927 本(浜岡原子力発電所保管)の取り扱い

(1)ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が発生した時期に関する考察

塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶 4 本は、充填固化体製作から約 1.5 年経過した時点で実施した自主検査(発電所から搬出する前の検査)では塗装の剥がれ等は確認されていないが、2018 年 4 月に埋設センターにて実施したドラム缶受入検査前の準備作業において、ドラム缶 1 本に塗装の剥がれ等が確認された。その後、2018 年 5 月に埋設セ

ンターにて実施した自主的な外観確認、及び浜岡原子力発電所で実施した外観確認において新たにドラム缶 2 本の塗装の剥がれ等が確認された。これらドラム缶 3 本は、充填固化体製作から約 3.5 年経過した時点で塗装の剥がれ等が確認されたものである。

また、2019 年 3 月に塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶 1 本は、2018 年 5 月に埋設センターで実施した自主的な外観確認以降、2019 年 3 月 1 日に確認されるまでの約 1 年の間に発生したものと考える。

以上のことから、ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された時期を踏まえると、充填固化体製作からドラム缶受入検査までの一時貯蔵期間が長期になると同様な事象が顕在化するリスクが高まると考えられる。

(2) 浜岡原子力発電所から搬出し埋設センターに一時貯蔵されているドラム缶(956 本)の取り扱い

2019 年 2 月 25 日から 3 月 12 日に埋設センターで実施された自主的な外観確認において、塗装の剥がれ等が確認されなかったドラム缶 956 本は、技術基準を満足している状態と考える。

また、文献^{※6}によれば、高アルカリで塩化物イオンを含む環境下における炭素鋼の腐食速度は、速度の速い局所的な腐食の場合であっても 1mm/年(約 3 μ m/日)であることから、仮に文献による腐食速度で進展するような腐食が残るドラム缶 956 本に存在していたとしても、充填固化体製作から 4 年以上が経過していること、及びドラム缶底面の肉厚(仕様:1.6mm)から、既に顕在化しているものと考えられる。

以上のことから、塗装の剥がれ等が確認されなかったドラム缶 956 本は、技術基準を満足しており、ドラム缶受入検査から定置までの数日では顕著な腐食の進展はないと考えるため、ドラム缶受入検査及び定置に係る手続きを進めていきたい。

なお、塗装の剥がれ等が発生した要因の一つと考える平らな形状のコンクリートガラを共通因子と考えた場合、平らな形状のコンクリートガラを収納したドラム缶は保管期間が長期化することにより同様な事象が発生する可能性がある。このため、現在、浜岡原子力発電所で保管しているコンクリートガラを収納したドラム缶のうち、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶と同じ鉄箱からコンクリートガラを収納したドラム缶の底部外面を定期的に見視確認し経時変化を観察する。また、この観察においてドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された場合は、ドラム缶底部を切断し詳細調査すること等によって知見の拡充に努めていく。

(3) 浜岡原子力発電所から埋設センターに搬出予定であったドラム缶(927 本)の取り扱い

浜岡原子力発電所から埋設センターに搬出予定であったドラム缶 927 本は、廃棄物埋設確認申請済みであるが、既に発電所から搬出し埋設センターで一時貯蔵されているドラム缶 956 本の内、319 本と同じ廃棄物埋設確認申請であることから、今後、埋設センタ

※6 文献:炭素鋼局部腐食の事例解析 3.4 (前橋工科大学工学部 松島 巖)

一に一時貯蔵されているドラム缶受入検査(著しい破損がないことの確認)を進めるためには、埋設センターに一時貯蔵中の956本のうち319本の申請を切り離す必要がある。

埋設センターに一時貯蔵中のドラム缶956本のドラム缶受入検査を実施するため、浜岡原子力発電所から埋設センターに搬出予定であった927本の申請を取り下げ、埋設センターに一時貯蔵中の319本の申請のみとしてドラム缶受入検査、定置に向けた手続きを進めたい。

5 添付資料

添付資料-1 時系列

添付資料-2 塗装の剥がれ等が確認された廃棄体に関する原因と対策について(補正)

以上

時系列

年月	内容
2018年	
3月19, 20日	浜岡原子力発電所から埋設センターに960本のドラム缶を搬出
4月23日	埋設センターの外観確認において1本のドラム缶(1本目)の底面に水滴、及び塗装の剥がれを確認(1640572-CB1L)
5月10日	浜岡原子力発電所においてドラム缶928本の外観確認開始
5月11日	埋設センターにおいて当該ドラム缶以外の959本の外観確認開始
5月14日	浜岡原子力発電所の外観確認において1本のドラム缶(1740062-CB1L)の底面に水滴、及び塗装の膨らみを確認。
5月28日	埋設センターの外観確認において1本のドラム缶(2本目)の底面に水滴と塗装の膨らみ・割れを確認(1640255-CB1L)
5月31日	埋設センターにおいて959本の外観確認終了
6月1日	浜岡原子力発電所において928本の外観確認終了
6月4日	埋設センターでの959本及び浜岡原子力発電所での928本の外観確認結果、管理建屋に一時貯蔵中の当該ドラム缶2本の返送及び当該ドラム缶3本の補正申請に係る取り扱いについて、規制庁へ報告
6月26日	浜岡原子力発電所で水滴が確認されたドラム缶(1740062-CB1L)に係る廃棄物埋設確認申請の取り下げ文書を日本原燃(株)へ提出
7月5日	埋設センターにおいて水滴が確認されたドラム缶2本(1640572-CB1L、1640255-CB1L)を浜岡原子力発電所へ搬入(返送) 埋設センターにおいて水滴が確認されたドラム缶2本(1640572-CB1L、1640255-CB1L)に係る廃棄物埋設確認申請の取り下げ文書を日本原燃(株)へ提出
2019年	
1月30日	ドラム缶3本の調査内容及び調査結果、原因、再発防止対策等に関する報告書を日本原燃(株)へ提出
2月12日	ドラム缶3本の調査結果、原因、及び再発防止対策、日本原燃(株)の対応を規制庁へ報告
2月25日	埋設センターに保管中の浜岡原子力発電所のドラム缶958本について、一時貯蔵の期間が1年を超える見通しにより外観確認を開始。
3月1日	埋設センターの外観確認において1本のドラム缶の底面に水滴と塗装の膨らみ等を確認(1640591-CB1L)
3月6日	埋設センターの外観確認において1本のドラム缶の底面に塗装の膨らみを確認(1741117-CB1M)
3月12日	埋設センターにおいて958本の外観確認終了
4月17日	埋設センターにおいて塗装の膨らみ等が確認されたドラム缶2本(1640591-CB1L、1741117-CB1M)を浜岡原子力発電所へ搬入(返送) 埋設センターにおいて塗装の膨らみ等が確認されたドラム缶2本(1640591-CB1L、1741117-CB1M)に係る廃棄物埋設確認申請の取り下げ文書を日本原燃(株)へ提出

塗装の剥がれ等が確認された廃棄体に関する 原因と対策について (補正)

INDEX

- 01 | 事象の概要
- 02 | 要因分析図に基づく調査内容
- 03 | 要因分析図に基づく調査結果
- 04 | 推定メカニズム
- 05 | 推定メカニズムの検証
- 06 | 再発防止対策
- 07 | 廃棄物埋設確認申請済みドラム缶の取り扱いについて
- 08 | 水平展開

01 | 事象の概要



■2018年3月に浜岡原子力発電所（以下、「浜岡」という）から日本原燃六ヶ所埋設センター（以下、「埋設センター」という）に搬出した廃棄体（以下、「ドラム缶」という）960本（ドラム缶に放射性廃棄物をモルタル充填したもの）のうち、2本のドラム缶底部部に塗装の剥がれ、及び水滴の付着（放射能：検出限界値未満）を確認したため、原因調査を実施した。

■また、2018年5月に浜岡から搬出する予定であったドラム缶928本のうち、1本に類似の塗装の剥がれ等を確認したため、合わせて原因調査を実施した。

種類	充填固化体（直接収納） (1640572-CB1L)	充填固化体（直接収納） (1740062-CB1L)	充填固化体（直接収納） (1640255-CB1L)
確認日	2018年4月23日 (浜岡から埋設センターに搬出したドラム缶)	2018年5月14日 (浜岡から搬出予定であったドラム缶)	2018年5月28日 (浜岡から埋設センターに搬出したドラム缶)
確認時の状況	<ul style="list-style-type: none"> ▶ドラム缶底部外面に水滴を確認 ▶水滴部をスミヤ測定し、検出限界値未満（ND）であることを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ドラム缶底部外面に水滴及び塗装の膨らみを確認 ▶水滴部をスミヤ測定し、検出限界値未満（ND）であることを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ドラム缶底部外面に水滴、塗装の膨らみ及びび塗装の割れを確認 ▶水滴部をスミヤ測定し、検出限界値未満（ND）であることを確認 

01 | 事象の概要

■その後、浜岡から埋設センターに搬出したドラム缶（2本返送済みにより 残り958本（うち溶融体収納164本））は、埋設センターでの貯蔵期間が1年を超える見込みとなったことから、埋設センターの社内規定に基づき、2019年2月25日から3月12日にかけて自主的な外観確認を実施した結果、次のとおり2本のドラム缶底部外面に塗装の膨らみ等を確認したため、原因調査を実施した。

種類	充填固化体（直接収納） (1640591-CB1L)	充填固化体（溶融体収納） (1741117-CB1M)
確認日 (前回確認日)	2019年3月1日 (2018年5月23日)	2019年3月6日 (2018年5月21日)
確認時の状況	<ul style="list-style-type: none"> ▶ドラム缶底部外面に直径約2mmの水 1滴を確認 ▶水滴をスミヤ測定し、検出限界値未満 (ND)であることを確認 ▶当該箇所を目視、触診にて確認した結果、 直径約1mmの膨らみを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ドラム缶底部外面に直径約1mmの膨らみ 及び膨らみの頂部に黒い点を確認 ▶膨らみ部をスミヤ測定し、検出限界値未満 (ND)であることを確認



02 | 要因分析図に基づく調査内容

- 2018年4月から5月に事象が確認された3本のドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が発生した要因を特定するため、要因分析図に基づき調査を行った。
- 塗装の剥がれと水滴の発生については関連があると考えるが、発生原因が同じとは限らないため、ドラム缶の塗装の剥がれ及び膨らみに関する調査を要因分析図①、水滴の付着に関する調査を要因分析図②として、二つの要因分析図を作成した。
- その後、2019年3月に類似事象が確認された2本のドラム缶についても、前回発生した事象と関連性があることから、同じ要因分析図に基づき調査を行った。

<要因分析図① 塗装の剥がれ及び膨らみに関する調査>

要因	調査項目 <概略>	頁	
製作要因	空ドラム缶の設計不良	製作者技術文書の確認	P9
	空ドラム缶の材料不良	ミルシート確認、製作者聞き取り	P10
	空ドラム缶の製作不良	製作者技術文書の確認	P10
	空ドラム缶の検査不良	検査成績書の確認、製造者への聞き取り	P11
	空ドラム缶の選定不良	購入仕様書の確認	P12
調達要因	空ドラム缶納品時の傷	納品者技術文書の確認	P12
	空ドラム缶タッチアップ影響	外観確認（タッチアップの有無）、ドラム缶調査	P13
	モルタル材料の不良	調達記録による材料仕様の確認	P13

02 | 要因分析図に基づく調査内容

<要因分析図①塗装の剥がれ及び膨らみに関する調査>

要因	調査項目 <概略>	頁
腐食性の廃棄物、薬品等の混入 (内部要因)	記録による収納物の確認、ドラム缶内面及びモルタル部の外観確認と成分調査、ドラム缶を切断しての調査、同バッチドラム缶 (リアレンス) の比較調査	P14
金属収納による電位差腐食 (内部要因)	記録による収納物の確認、ドラム缶内面及びモルタル部の外観確認と成分調査	P15
ドラム缶製作・検査時の外傷 (外部要因、内部要因)	記録による外観確認結果の確認、ドラム缶外面の外観確認、ドラム缶内面の成分調査、同バッチドラム缶 (リアレンス) の比較調査	P16
モルタル材料の配合不良による腐食 (内部要因)	記録による配合比の確認	P17
ドラム缶検査時の汚れ落とし剤による影響 (外部要因)	製作者聞き取りによる確認、ドラム缶外面塗装の成分調査	P17
輸送容器収納時の外傷 (外部要因)	設備の運転日報の確認、ドラム缶外面の外観確認	P18
保管環境の悪化による腐食 (外部要因、内部要因)	保管環境の湿度変化を確認、ドラム缶外面の外観確認、ドラム缶内面の成分調査	P19

ドラム缶の塗装の剥がれ及び膨らみ

運用要因

02 | 要因分析図に基づく調査内容

<要因分析図②水滴の付着に関する調査>

		調査項目 <概略>	頁
外部要因	水滴の付着	大気中の湿気	P20
		塗膜下層面の水分	P20
内部要因		ドラム缶内部水 (ブリージング水)	P20
		ドラム缶内部水 (湿気)	P20

要因分析図に基づく調査を行った結果、ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が発生した要因と事実を確認した。調査を行った充填固化体 (直接収納) 4本のドラム缶は、いずれも同様な結果が得られたことから切断しての外観観察と成分分析等の結果については、埋設センターで1本目に確認されたドラム缶 (充填固化体 (直接収納) 1640572-CB1L) の調査結果を代表に記載する。

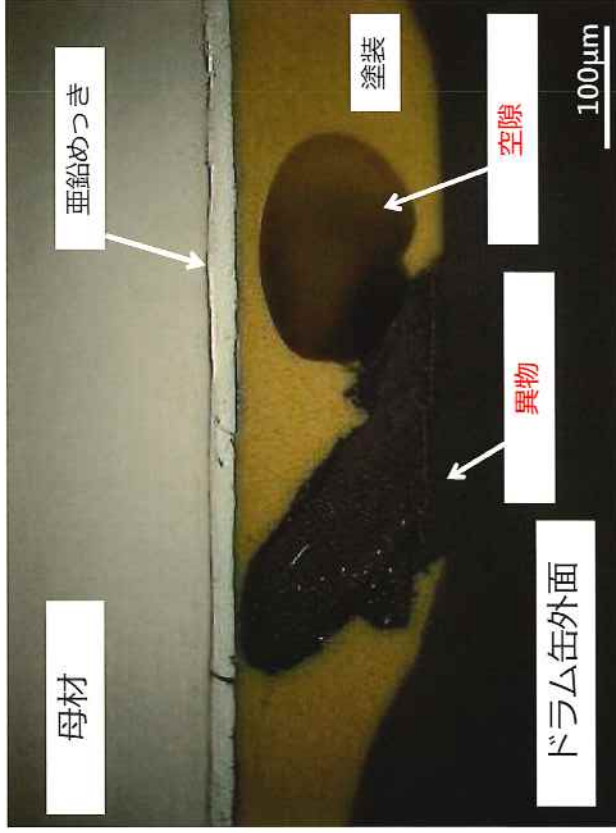
- 添付-1 要因分析図
- 添付-2 充填固化体 (直接収納) 1740062-CB1Lのドラム缶調査結果
- 添付-3 充填固化体 (直接収納) 1640255-CB1Lのドラム缶調査結果
- 添付-4 充填固化体 (直接収納) 1640591-CB1Lのドラム缶調査結果

03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査）

当該ドラム缶5本のうち、充填固化体（溶融体収納）を要因分析図に基づき塗装の膨らみが確認された部位を断面観察した結果、塗装に膨らみを確認した箇所（母材ならびに亜鉛めっき）に異状はなく健全であることを確認（埋設しよとする放射性廃棄物等の技術上の基準に適合（著しい破損がないこと））できたため、要因分析図に基づくその他の調査は不要と判断した。

また、ドラム缶底部外面に確認された膨らみの原因をドラム缶の製作者に確認した結果、ドラム缶の製造設備等で発生した微細な鉄粉が空気中を浮遊し、その鉄粉が塗装後の乾燥工程初期にドラム缶表面に付着することによりその周りの塗料が盛り上がり形成された可能性が否定できない旨の回答を得た。なお、異物の近傍にある空隙は、鉄粉が付着する際に同時に取り込まれた空気により形成されたものと考えられる。

光学顕微鏡による観察結果（ドラム缶底部断面写真）【充填固化体（溶融体収納） 1741117-CB1M】



03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査）



【要因に対する評価】

- 凡例 ×：要因ではない
 △：複合要因の一つとして考えられる
 ○：主要因として推定する

■ 空ドラム缶の設計は適切であることを確認した。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価
空ドラム缶の設計不良 製作要因	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 製作者技術文書等により、空ドラム缶の温度湿度に係る設計条件が当社の保管状況に照らして適切であることを確認する。 ▶ 製作者技術文書等により、空ドラム缶がアルカリ性物質である内容物（モルタル）に対して適正であることを確認する。また、アルカリ性の強度についての適切性について確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 保管環境に明確な基準はないものの、当社では空ドラム缶を屋内保管（固体廃棄物貯蔵庫保管中は除湿管理、NRW - II 保管中は空調管理）していることから、一般的な保管環境を逸脱するものではないと判断する。 ▶ 製作者への聞き取りの結果、空ドラム缶内面塗装に用いているエポキシエポキシ系樹脂は耐アルカリ性に優れること及び塗装工程を適切に施工することで一般の内面塗装ドラム缶の2倍の膜厚（約150μm以上）を有していることからアルカリ性の内容物（モルタル）に対して強度を有しているものであることを確認した。なお、外面塗装は室内での使用、保管に適した塗装であることを確認した。 <p>上記調査結果から、空ドラム缶の設計は適切であることを確認した。</p>	×

03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査）



中部電力

■ 空ドラム缶の材料及び製作は適切であることを確認した。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価
空ドラム缶の材料不良	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ミルシートを確認し、製造時に間違った材料が使用されていないことを確認する。 内外面塗装が当社の要求仕様を満足していることを確認する。 当社が調達仕様を変更した2008年以降の製作者の仕様変更有無を確認する。また、当社要求仕様以外の部分における仕様変更の有無についても確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 空ドラム缶の材料が当社の要求仕様を満足していることを「防食強化オープンドラム缶検査成績書」中のミルシートにより確認した。 内外面の塗装が当社の要求仕様を満足していることを「防食強化オープンドラム缶検査成績書」により確認した。 製作者への聞き取りの結果、仕様変更の無いことを確認した。 <p>上記調査結果から、空ドラム缶の材料は適切であることを確認した。</p>	×

製作要因

空ドラム缶の製作不良	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 製作者技術文書である、製造設備仕様、作業マニュアル等から製作工程の抜けが発生しないことを確認する。 外面、内面塗装の膜厚が当社の要求仕様を満足していることを確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 製作者への聞き取りの結果、製造ラインが1ラインのみであり、各工程がローラーコンベア等で繋がっていること、各工程の合否判定をオペレーターが実施したうえで次工程に移行すること及び「防食強化オープンドラム缶検査成績書」から当社の要求仕様を満足する製品であることを確認していることから製造工程に抜けが発生する可能性は低いことを確認した。また、各主要工程で不適合品の監視を行っており不適合発生時には、隔離又は不適合標示による識別を行っていることを確認した。 外面、内面塗装の膜厚が当社の要求仕様を満足していることを「防食強化オープンドラム缶検査成績書」により確認した。 <p>上記調査結果から、空ドラム缶の製作工程、及び塗装仕様は適切であることを確認した。</p>	×
------------	--	--	---

03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査）



■ 空ドラム缶の出荷前の検査は適切であることを確認した。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価
<p>空ドラム缶の 検査不良</p> <p>製作要因</p>	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 検査成績書を調査し、検査合格品であることを確認する。 ▶ 他社への納品実績について不良品の発生事例のないことを確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 当該ドラム缶が当社要求仕様を満足する検査合格品であることを「防食強化オープンドラム缶検査成績書」により確認した。 ▶ 製作者への聞き取りの結果、過去に製造に起因して発生した空ドラム缶の不具合はないことを確認した。 <p>上記調査結果から、空ドラム缶の出荷前の検査は適切であることを確認した。</p>	<p>×</p>

03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査）



中部電力

■ 空ドラム缶の選定が適切であること、納品時に傷がないことを確認した。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価
空ドラム缶の選定不良	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 空ドラム缶の購入仕様書を確認し、アルカリ性物質である内容物（モルタル）を保管するのに適切な仕様の空ドラム缶を選定していることを確認する。 JIS規格に準拠した空ドラム缶が選定されていることを確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 内面塗装は、耐アルカリ性に優れるエポキシフェノール系樹脂を膜厚$\geq 100\mu\text{m}$以上に指定していること、及び外面塗装については室内での使用、保管に適したメラミン樹脂系塗装を膜厚$\geq 100\mu\text{m}$以上に指定していることを購入仕様書により確認した。 技術基準で要求される、JIS規格（JIS Z 1600）に準拠した空ドラム缶を選定していることを購入仕様書により確認した。 <p>上記調査結果から、空ドラム缶の選定が適切であることを確認した。</p>	×
空ドラム缶納品時の傷	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 納品者技術文書等により、輸送時に空ドラム缶の傷防止対策が徹底されていることを確認する。 納品時に実施している社員立会いによる外観確認結果を確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> 納品者への聞き取りの結果、輸送時の傷防止措置が確実に実施されていることを確認した。 納品時に受領する「防食強化オープンドラム缶検査成績書」を確認し工場出荷時の外観検査結果に異状がないことを確認した。また、納品時に社員立会のもと外観確認を行い異状のないことを確認している。以上のことから空ドラム缶の納品時に傷はなかったと判断する。 <p>上記調査結果から、納品時に傷がないことを確認した。</p>	×

調達要因

03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査） 中部電力

■ ドラム缶のタッチアップ（後塗り）は行われていないこと、適切なモルタル材料が調達されていることを確認した。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価	
調達要因	空ドラム缶タッチアップ（後塗り）影響	<p>【現場調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 当該ドラム缶を調査し、当該部にタッチアップを行ったかを確認する。 <p>【ドラム缶調査】（タッチアップ実績があった場合）</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶底部外面の塗装をはつり、成分調査を実施する。 ▶ ドラム缶底部外面の外観確認を実施する。 ▶ ドラム缶底部外面の成分調査を実施する。 	<p>【現場調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 当該ドラム缶の塗装剥がれ等が確認された箇所についてタッチアップの跡がないことを確認した。また、納品者への聞き取りの結果、納品時にタッチアップを行った実績がないことを確認した。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 現場調査の結果、タッチアップの実績がないことを確認したため本調査は省略する。 <p>上記調査結果から、ドラム缶のタッチアップは行われていないことを確認した。</p>	×
	モルタル材料の不良	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ モルタル材料の調達記録を調査し、要求どおりの材料が調達されていることを確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ モルタル材料の調達記録「セメント試験成績表」、「砂試験成績書」、「コンクリート用化学混和剤試験結果報告書」を確認し、適切な材料が調達されていることを確認した。 <p>上記調査結果から、モルタル材料は適切であることを確認した。</p>	×

03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査）



- 腐食性の廃棄物、化学薬品類の混入はないことを確認した。
一方で、腐食の発生と進展の要因となり得る成分として塩素（Cl）を確認した。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価	頁
腐食性の廃棄物、 薬品等の混入 (内部要因)	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶収納記録「分別・収納記録」を調査し、収納物に腐食性の廃棄物、薬品等が含まれていないことを確認する。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶底部内面、及びモルタル部表面の外観を確認する。 ▶ ドラム缶底部内面、及びモルタル部の成分を確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 「分別・収納記録」より収納物には腐食性の廃棄物、薬品及び耐火レンガ等が含まれていないこと、また、手順書どおりに、分別・収納が行われたことを確認した。更に、収納された廃棄物が発生した期間に実施された工事実績を調査した結果、ドラム缶の健全性に影響を及ぼす恐れのある海水系の廃棄物の混入の可能性はないことを確認した。また、化学薬品類及び耐火レンガの混入の恐れのないことを社内規定及び「分別・収納記録」により確認した。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 外観観察の結果、塗装の剥がれ等を確認したドラム缶底部内面に腐食や塗装の傷、モルタルとの界面にすぎ間を確認した。 ▶ ドラム缶底部内面腐食部、及びモルタル部について分析を行った結果、化学薬品等の成分は確認されなかったが、腐食の発生と進展の要因となり得る成分として塩素（Cl）を確認した。 ▶ ドラム缶を垂直方向に切断して収納物を確認した結果、「分別・収納記録」どおりの収納物を確認した。 <p>上記調査結果から、腐食性の廃棄物、薬品等の混入はないことを確認した。一方で、腐食の発生と進展の要因となり得る成分として塩素（Cl）を確認した。</p>	△	P21 P22 P23 P24 P27 P28 P29 P37 P38

運用要因

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査)



■ ステンレス鋼等電位差腐食を発生し得る成分は確認されなかった。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価	頁
運用要因 金属収納による 電位差腐食 (内部要因)	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶収納記録「分別・収納記録」を調査し、収納物にステンレスが含まれていないことを確認する。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶底部内面、及びモルタル部表面の外観を調査しステンレスの有無を確認する。 ▶ ドラム缶底部内面、及びモルタル部の成分を調査し、ステンレスの有無を確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 「分別・収納記録」からステンレスが収納されていることの確認はとれなかった。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 塗装の剥がれ及び膨らみを確認した箇所に相当する位置のドラム缶底部内面及びモルタル部について分析を行った結果、ステンレス鋼の特徴的な成分であるニッケル (Ni)、クロム (Cr) は確認されなかった。また、金属成分 (Fe、Zn) が確認されているがこれはドラム缶底部内面の腐食による錆が付着したものであることを確認した。その他ドラム缶の成分を除いた金属成分は確認されなかった。 <p>上記調査結果から、ステンレス鋼等電位差腐食を発生し得る金属成分は確認されなかった。</p>	×	P27 P28 P29

03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査）



中部電力

■ ドラム缶底部内面で塗装の剥がれ及び膨らみの要因となり得る傷やすき間を確認した。また、すき間の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認した。ドラム缶底部内面で確認した腐食部の断面観察の結果、ドラム缶底部内面から外面に達する腐食を確認した。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価	頁
運用要因 ドラム缶製作・検査時の外傷（外部要因） （内部要因）	【状況調査】 ▶ ドラム缶収納記録「分別・収納記録」を調査し、収納時のドラム缶内外面に傷等のないことを確認する。 ▶ ドラム缶検査記録「LLW検査搬出設備運転日報」からドラム缶外観に傷等のないことを確認する。 【現場調査】 ▶ ドラム缶検査（自主検査）でドラム缶底部外面に傷等をつける可能性について確認する。 【ドラム缶調査】 ▶ ドラム缶底部外面の外観を調査しドラム缶底部外面の傷の有無を確認する。 ▶ ドラム缶底部内面の外観を調査し傷、及び傷を生じさせる収納物の有無を確認する。	【状況調査】 ▶ 「分別・収納記録」から、収納する前の空ドラム缶内外面に表面の劣化及び変形の無いことを確認したが、現場監督者への聞き取りの結果、コンクリートガラ等の金属以外の収納によってもドラム缶内面に傷が生じることが否定できないことを確認した。また、塗装の剥がれ及び膨らみが確認されたドラム缶の製作に特化して従事した作業員はいないことを確認した。 ▶ 「LLW検査搬出設備運転日報」から、ドラム缶底部外面に傷等のないことを確認した。 【現場調査】 ▶ ドラム缶検査設備の動線を調査し、検査中にドラム缶底部外面に傷等をつける要因のないことを確認した。 【ドラム缶調査】 ▶ ドラム缶底部外面について、光学顕微鏡による観察を行った結果、塗装の膨らみや剥がれ、割れ（傷）を確認した。 ▶ ドラム缶底部内面を観察した結果、腐食や傷、モルタルとの界面にすき間を確認した。また、すき間の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認した。このコンクリートガラについて埋設センサーで確認されたドラム缶3本は同じ鉄箱に収納されていたことを確認した。腐食の状況を詳細に確認する目的でドラム缶底部の断面観察を実施した結果、ドラム缶底部内面から外面に達する腐食を確認した。 ドラム缶底部外面に塩化物イオン（Cl ⁻ ）が存在する環境下で生成される鉄の腐食生成物（アカガネイト）、及び亜鉛の腐食生成物（塩基性塩化亜鉛）を確認した。	△	P21 P22 P23 P24 P25 P30 P31 P32 P39 P40 P41
上記調査結果から、ドラム缶底部内面で確認した傷やすき間は、塗装の剥がれ及び膨らみの要因となり得る。				

03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査）



■モルタルの配合が適切であることを確認した。また、汚れ落とし剤による影響でないことを確認した。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価
モルタル材料の配合不良による腐食 (内部要因)	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 「充填固型化作業日報」を調査し、適当な配合比でモルタル材料が充填されていることを確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 「充填固型化作業日報」から、モルタル製作の条件どおりの配合比でモルタル材料を混練しドラム缶へ充填していることを確認した。 (セメント200kg±1%/バッチ、砂150kg±3%/バッチ、混和剤2.5kg±3%/バッチ、水76kg±1%/バッチ) <p>上記調査結果から、モルタルの配合が適切であることを確認した。</p>	×
ドラム缶検査時の汚れ落とし剤による影響 (外部要因)	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶汚れ落とし（コニシ（株）：トレックソフト）の製造元へ、トレックソフトに含まれる成分の塗装への影響について聞き取り確認する。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶底部外面の塗装をはつり、成分調査を実施する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ トレックソフトの製造元に確認した結果、トレックソフトは比較的溶解力の弱いグリコール系溶剤であり、使用後拭き取ってしまえば影響は考えにくいとの回答を得た。更に、現場監督者に聞き取りした結果、トレックソフトの使用後は確実に拭き取っていることを確認した。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 調査の結果、トレックソフトの成分は検出されなかった。 <p>上記調査結果から、汚れ落としの剤による影響でないことを確認した。</p>	×

運用要因

03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査）



■ 輸送容器収納時にドラム缶に外傷を与えないことを確認した。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価	頁
輸送容器収納時の外傷 (外部要因)	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 「LLW検査搬出設備運転日報」を調査し、輸送容器収納時の設備異状有無を確認する。 ▶ 「LLW実入容器確認記録」を調査し、輸送容器のドラム缶収納位置に小石等の異物の無いことを確認する。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶底部外面の外観を確認しドラム缶底部外面の傷の有無を確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 「LLW検査搬出設備運転日報」から、ドラム缶検査（自主検査）時にドラム缶に外傷を与えるような設備異状が発生していないことを確認した。 ▶ 「LLW実入容器確認記録」から、輸送容器内に収納物以外の異物が無かったことを確認した。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶底部外面について、光学顕微鏡による観察を行った結果、2018年に確認したドラム缶3本については塗装の膨らみや剥がれ、割れ（傷）を確認した。一方、2019年に確認したドラム缶1本については塗装の傷及び膨らみ（下に凸の膨らみ）を確認した。また、塗装の剥がれ等の状況を詳細に確認する目的で断面観察を実施した結果、当該ドラム缶4本のドラム缶底部内面からの腐食を確認した。 <p>上記調査結果から、輸送容器収納時にドラム缶に外傷を与えないことを確認した。</p>	×	P30 P31

運用要因

03 | 要因分析図に基づく調査結果（塗装の剥がれ及び膨らみの原因調査）



■ 保管環境の悪化による腐食ではないことを確認した。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価	頁
<p>運用要因</p> <p>保管環境の悪化による腐食 (外部要因) (内部要因)</p>	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 「低レベル放射性廃棄物委託業務の日報」を調査し、コンテナ保管室（輸送容器を保管する場所）と貯蔵庫の1年間の湿度変化を確認する。 ▶ 輸送容器収納時の天候を確認する。 <p>【現場調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 屋外、及び輸送容器内に温湿度計を設置し、外気温湿度による輸送容器内の環境変化を確認する。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶底部内外面の外観を調査し、ドラム缶底部内外面の腐食の有無を確認する。 	<p>【状況調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 「低レベル放射性廃棄物委託業務の日報」から貯蔵庫（第1棟）、コンテナ保管室の湿度を確認した。 <ul style="list-style-type: none"> ・測定期間：2016年5月～2018年3月 ・貯蔵庫（第1棟）の湿度（最大63%、最小30%） ・コンテナ保管室の湿度（最大90%、最小24%） ▶ 埋設センサーへの搬出以降のドラム缶の同施設における保管環境（2018年3月～2019年3月）は、同施設内の建屋の中に輸送容器に収納された状態で保管されていたことを確認したこと、及び浜岡における輸送容器内の温湿度状況調査結果（昼夜を問わずほぼ一定）から、保管環境の悪化はなかったと推測する。 <p>【現場調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 測定した期間において、屋外、及びコンテナ保管室の温湿度に変動はあるものの、輸送容器内の温湿度は昼夜を問わずほぼ一定であることからドラム缶の温度も同等で一定であると推測する。また、これまでに、輸送容器内に結露が発生した事実は確認されていない。 <p>【ドラム缶調査】</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ ドラム缶の内外面に結露は確認されなかった。 ▶ ドラム缶底部内面を観察した結果、腐食や傷（塗装の剥がれ含む）を確認した。また、ドラム缶底部外面を観察した結果、当該の膨らみ以外では、塗装の膨らみや腐食がないことを確認した。 <p>上記調査結果から、保管環境の悪化による腐食ではないことを確認した。</p>	<p>×</p> <p>P21 P22</p>	

03 | 要因分析図に基づく調査結果（水滴の付着の原因調査）



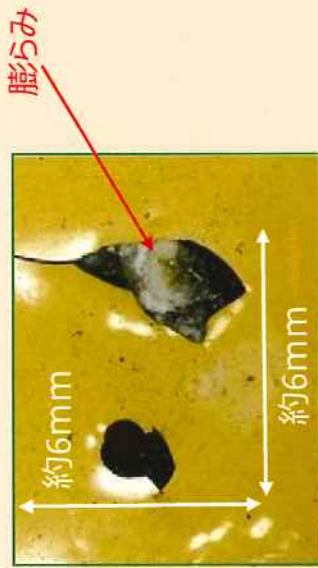
■ ドラム缶内部に水分（飽和水蒸気量近くの水蒸気）が存在し得ること及びドラム缶内面から外面に達する腐食が確認されたことから、ドラム缶内部水が要因となり得る。

要因	調査項目	調査結果	要因に対する評価	頁	
外部要因	大気中の湿気	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 輸送容器内の別ドラム缶、輸送容器内部の水滴付着状況を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 埋設センターにおける外観確認の結果、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶以外にドラム缶、輸送容器含め水滴は確認されなかった。（一般論として、大気中の湿度、ドラム缶外表面温度と外気温度との差によっては、結露水がドラム缶外表面に発生する可能性はあり得る。） 	×	-
	塗装下層面の水分	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ドラム缶底部外面の外観、及び塗装を調査し、外部からの水分の浸入の有無を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 断面観察の結果、ドラム缶外面からではなくドラム缶内面からの腐食がドラム缶底部外面へ影響を与えていることを確認した。 	×	P31
内部要因	ドラム缶内部水（ブリージング水）	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ドラム缶底部内外面の外観、及び塗装を調査し、内部からのブリージング水の有無を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ドラム缶底部を切断した結果、ドラム缶底部内面に水分は確認されなかったが、文献（※）を調査した結果、養生（乾燥）後のモルタルの含水率は気中においても数%はあるため、密閉したドラム缶内のすき間部には、その時の温度における飽和水蒸気量近くの水蒸気がドラム缶内のすき間部に存在し得ることを確認した。また、ドラム缶底部外面の分析を行った結果、3本のドラム缶内部に存在するモルタルの成分（Al, Si, Ca）を確認した。 	△	P26 P31
	ドラム缶内部水（湿気）	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ドラム缶底部内外面の外観、及び塗装を調査し、内部からの湿気の有無を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 断面観察の結果、ドラム缶底部内面からの腐食がドラム缶底部外面に達していることを確認した。 <p>上記調査結果から、ドラム缶内部に水分が存在し得ること及びドラム缶内面から外面に達する腐食が確認されたことから、ドラム缶内部水が要因となり得る。</p>		

※：平成25年度 養生がコンクリートの含水率や品質に及ぼす影響と品質検査に関する検討（（独）土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム）より

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)

[埋設センターで1本目に確認されたドラム缶]



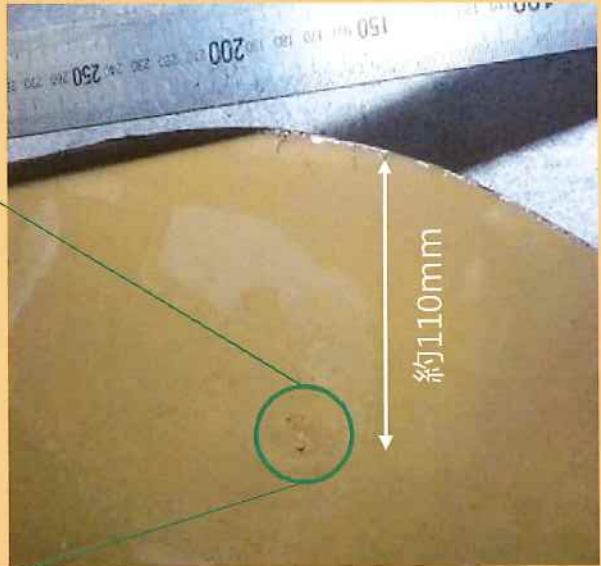
外面に膨らみが確認された箇所
の裏にあたる箇所



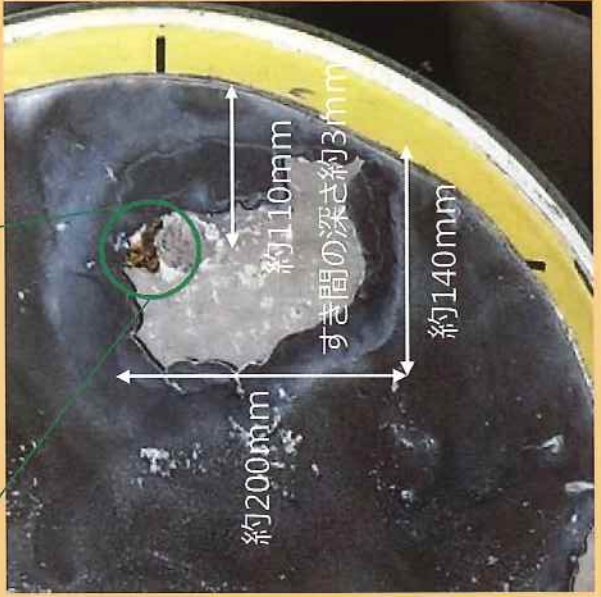
外面に膨らみが確認された箇所
の裏にあたるモルタル部



ドラム缶底部外面



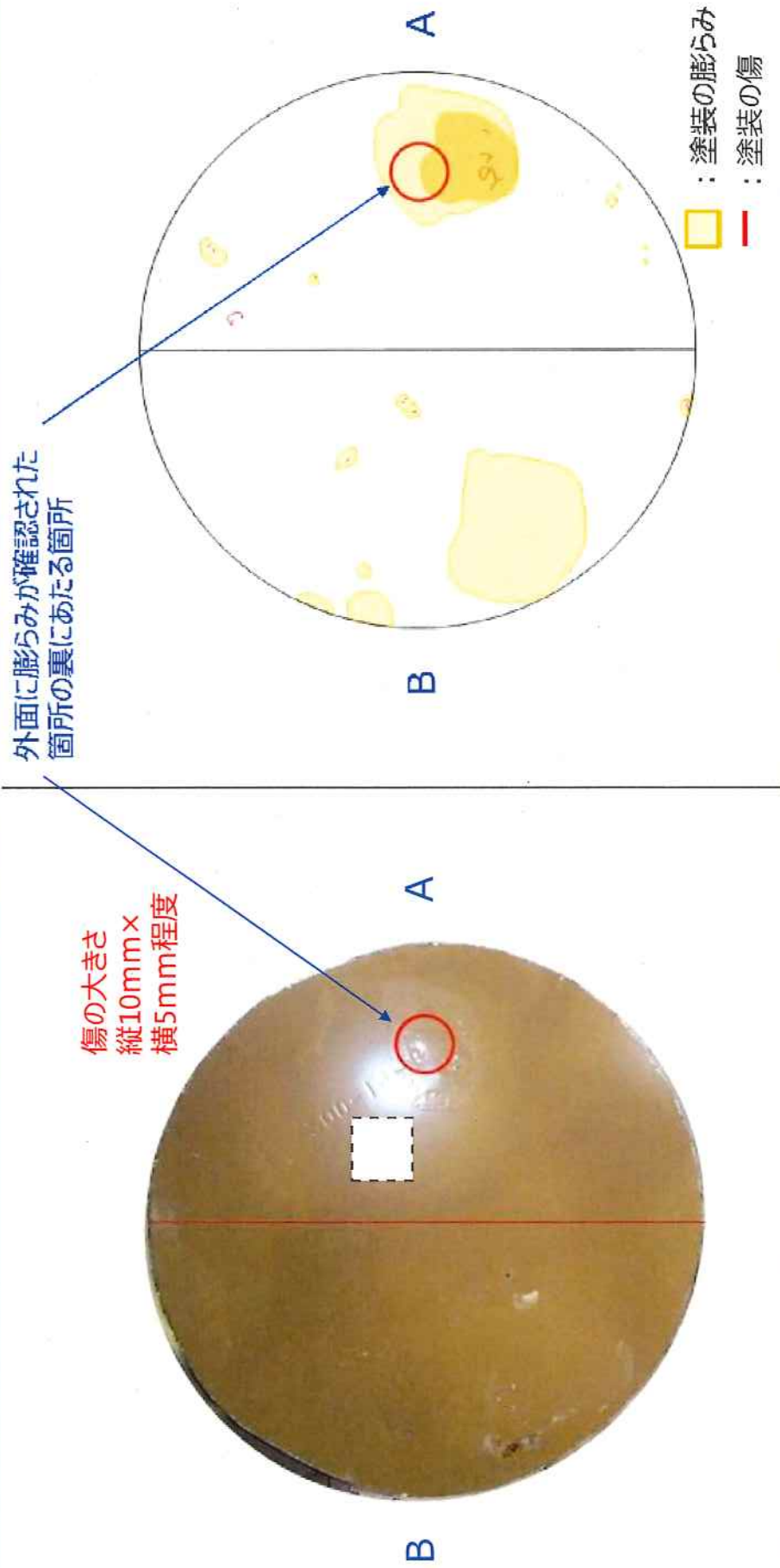
ドラム缶底部内面



ドラム缶底部モルタル部

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)

当該部以外のドラム缶底部内面にも塗装の膨らみ、塗装の傷を確認したが腐食は確認されなかった。



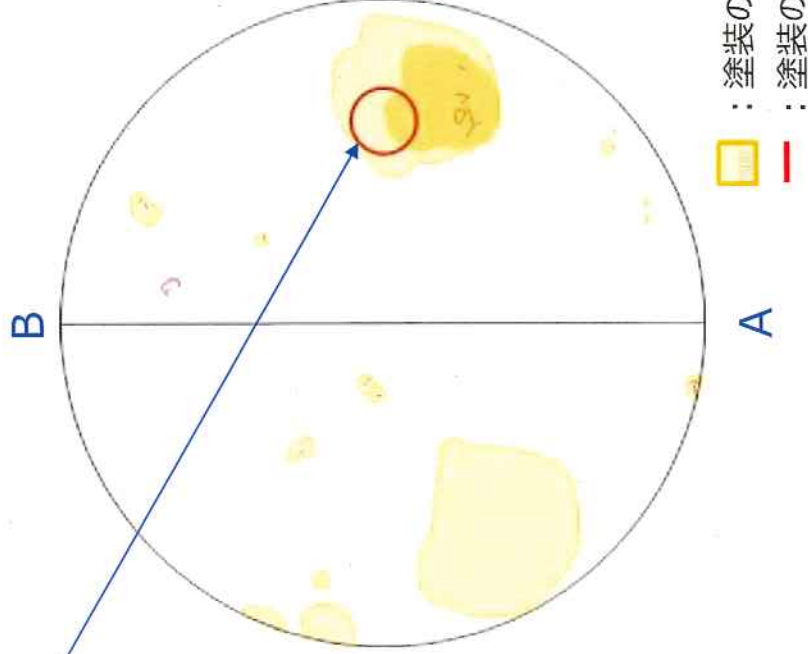
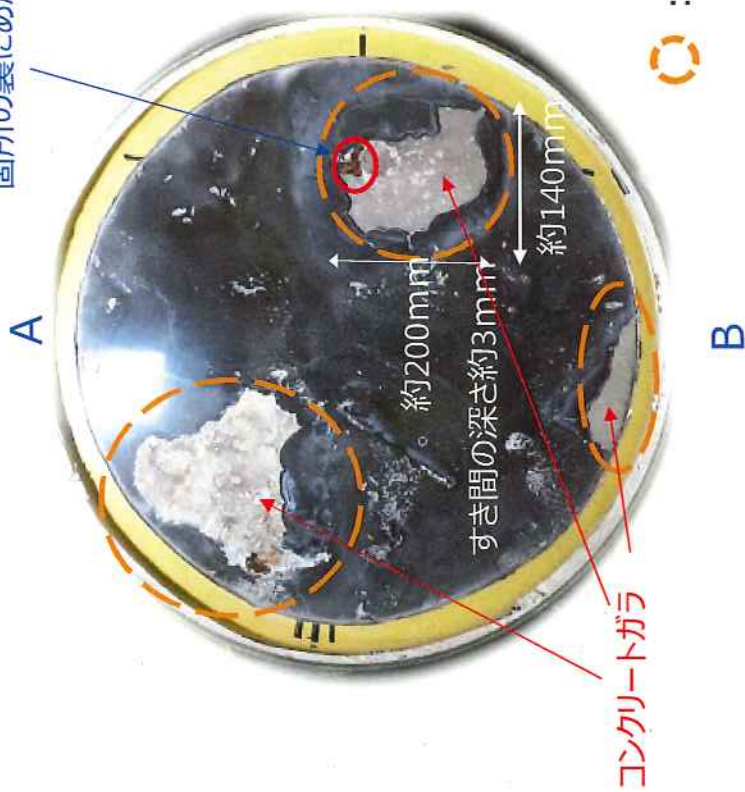
ドラム缶底部内面
[埋設センターで1本目に確認されたドラム缶]

ドラム缶底部内面
[埋設センターで1本目に確認されたドラム缶]

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)

当該部以外のモルタル部にもドラム缶底部内面との界面の一部にすき間を確認した。また、すき間を確認した箇所の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認した。

外面に膨らみが確認された
箇所裏にあたる箇所



ドラム缶底部モルタル部

[埋設センサーで1本目を確認されたドラム缶]

ドラム缶底部内面：スケッチ図

[埋設センサーで1本目を確認されたドラム缶]

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)

塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶を垂直方向に切断し、切断面を直接目視で確認した結果、「分別・収納記録」に記載する廃棄物以外が収納されていないことを確認した。

ドラム缶縦割り断面	分別・収納記録に記載する収納廃棄物	ドラム缶縦割り断面
<p>[埋設センターで1本目に確認されたドラム缶]</p>  <ul style="list-style-type: none"> ① 鋼材 ② 金属管 ③ 小物金属類 ④ 金属片 ⑤ 鉄粉 ⑥ コングリートガラ 		

03 | 要因分析図に基づく調査結果（詳細）

ドラム缶底部外面の塗装の剥がれや膨らみの箇所を光学顕微鏡により観察した結果、塗装の膨らみや剥がれ、割れ（傷）を確認するとともに、茶色の付着物、及び白色の付着物を確認した。



光学顕微鏡による観察結果（ドラム缶底部外面の傷や割れの箇所）
[埋設センターで1本目に確認されたドラム缶]

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)

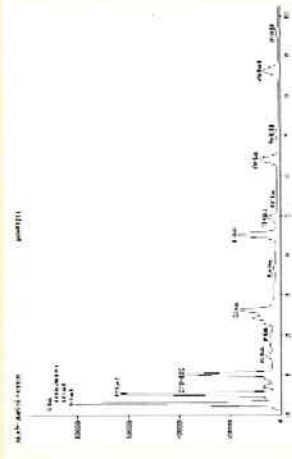
[埋設センターで1本目に確認されたドラム缶]

ドラム缶底部外面の塗装の剥がれや膨らみの箇所を走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察、及びエネルギー分散型X線分析 (EDS) を実施した結果、モルタル成分 (Al、Si、Ca) を確認した。

光学顕微鏡観察



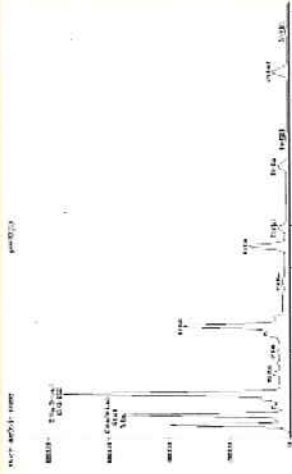
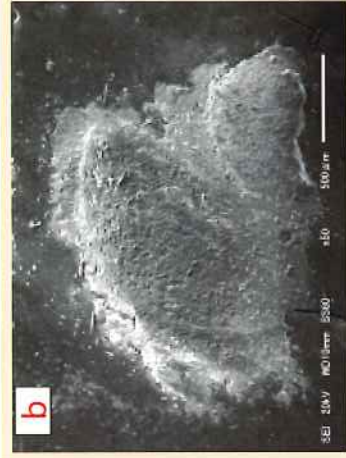
(ドラム缶底部外面)



確認された元素

C、O、Al、P、Cl、
Ca、Ti、Cr、Fe、
Zn

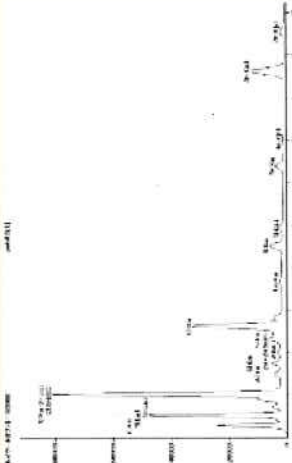
a



確認された元素

C、N、O、Al、P、Cl、
Ca、Ti、Fe、Zn

b



確認された元素

C、O、Al、Si、P、
S、Cl、Ca、Ti、Fe、
Zn

c

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)

ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された箇所のあるモルタル部をコア抜きし、コア抜きしたモルタルの表面及び裏面から採取した試料について走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察、及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を実施した。結果を次頁に示す。



すき間の深さ約2mm



コア抜きしたモルタル
直径約50mm
長さ約40mm

錆状の付着物が確認された部分
(この錆状の付着物は表面に付
着したものであり、ドラム缶底
部内面で確認した腐食による錆
が付着したものと考える)

ドラム缶底部モルタル部
[埋設センターで1本目に確認されたドラム缶]

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)

コア抜きしたモルタルの表面から採取した試料を走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を実施した結果、モルタル成分 (Al, Si, Ca, S) や金属成分 (Fe, Zn) 等の他、腐食の発生と進展の要因となり得る成分 (Cl, S) を確認した。酸素 (O) は、鉄や亜鉛の酸化物によるものと考える。なお、モルタル成分 (Al, Si, Ca, S) は、充填するモルタル自体にも含まれていることを確認した。

走査型電子顕微鏡



確認された元素
O、Fe、Al、Si、Cl
Ca、Ti、Cr、Fe



確認された元素
O、Al、Si、S、Ca



確認された元素
C、O、Mg、Al、Si、S、
Cl、K、Ca、Fe、Zn

コア抜きしたモルタル
(外面に膨らみ方が確認された箇所)



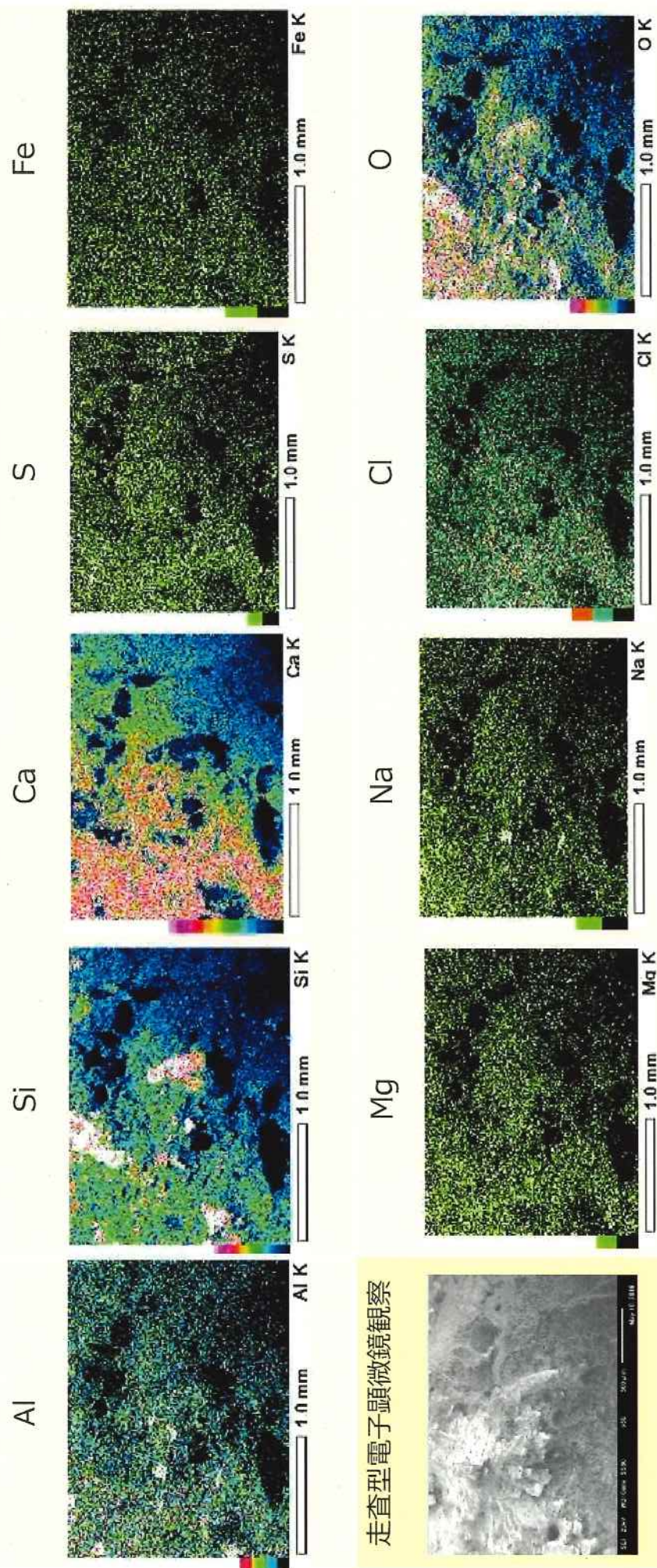
□ : 観察分析箇所

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)



コア抜きしたモルタルの裏面から採取した試料を走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察及びエネルギー分散型 X線分析 (EDS) を実施した結果、表側と比べて有意な成分がないことを確認した。

エネルギー分散型 X線分析



走査型電子顕微鏡観察



03 | 要因分析図に基づく調査結果（詳細）

ドラム缶底部に塗装の剥がれ等が確認された部位について切断し、以下に示す矢視の方向から光学顕微鏡による断面観察を実施した。結果を次頁に示す。

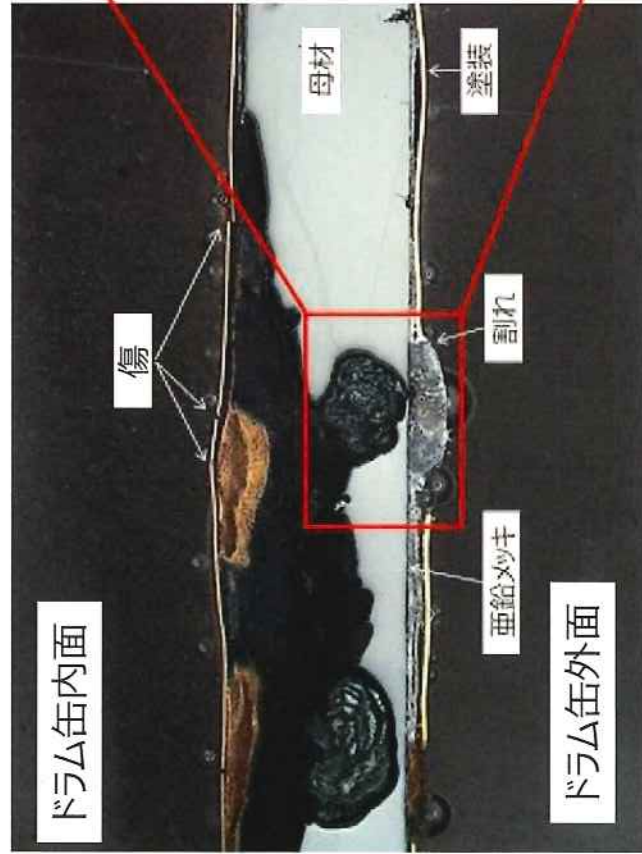


光学顕微鏡による観察結果（ドラム缶底部外面）
[埋設センターで1本目に確認されたドラム缶]

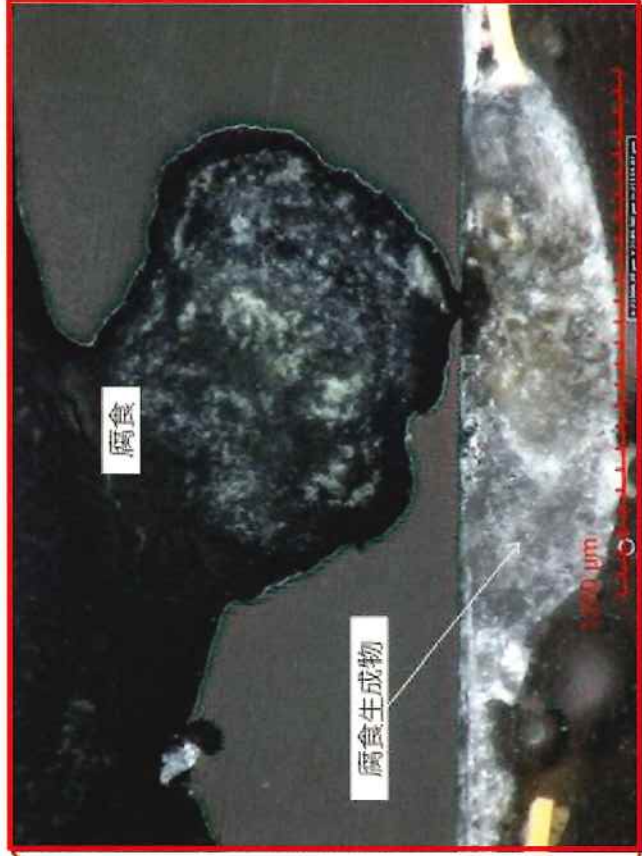
03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)

光学顕微鏡による断面観察を実施した結果、ドラム缶内面からと推測される腐食及び内外面の塗装に傷を確認した。また、腐食が外面に達している箇所は、内面に塗装の傷及び腐食による発錆に相当した位置に相当することを確認した。

更に、断面の結晶構造分析を行った結果を次頁に示す。



5mm



1mm

光学顕微鏡による観察結果 (ドラム缶底部) [埋設センターで1本目に確認されたドラム缶]

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)

断面観察により確認した a ~ d の部位について、X線回折 (XRD) による結晶構造を確認した結果、塩化物イオン (Cl-) が存在する環境下で生成されるアカガネイト、及び亜鉛めっき鋼板の腐食生成物である塩基性塩化亜鉛を確認した。



- a** 鉄 (Fe)
アカガネイト (β -FeOOH)
塩基性塩化亜鉛 : Simonkolleite ($Zn_5(OH)_8Cl_2H_2O$)
- b** 鉄 (Fe)
酸化鉄 (β -Fe₂O₃)
マグネタイト (Fe₃O₄)
塩基性塩化亜鉛 : Simonkolleite ($Zn_5(OH)_8Cl_2H_2O$)
- c** 鉄 (Fe)
酸化鉄 (β -Fe₂O₃)
塩基性塩化亜鉛 : Simonkolleite ($Zn_5(OH)_8Cl_2H_2O$)
- d** 塩基性塩化亜鉛 : Simonkolleite ($Zn_5(OH)_8Cl_2H_2O$)

X線回折 (XRD) による分析結果 (ドラム缶底部) [埋設センターで1本目に確認されたドラム缶]

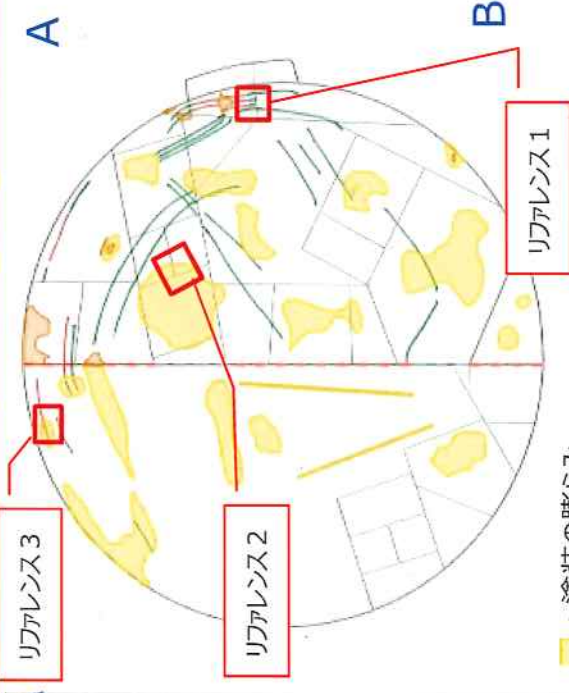
03 | 要因分析図に基づく調査結果（比較観察の結果）

ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認されなかった部位について比較のため光学顕微鏡による断面観察を実施した。

リアレンス1：傷あり・すき間なし

リアレンス2：傷なし・すき間あり

リアレンス3：傷あり・すき間あり（外面に塗装の剥がれ等なし）



- ：塗装の膨らみ
- ：塗装の剥がれ金属部の腐食
- ：深い傷（溶融亜鉛めっき層あるいは母材に到達）
- ：浅い傷*（塗装面に留まるもの）
- *：浅い傷のうち、ひっかき傷模様ものを除く

ドラム缶底部内面
[浜岡で確認されたドラム缶]



- ：すき間
- リアレンス1
- リアレンス2
- リアレンス3

ドラム缶底部モルタル部
[浜岡で確認されたドラム缶]

03 | 要因分析図に基づく調査結果（比較観察の結果）

ドラム缶底部内面にすき間がなく、傷のある部位について切断し、光学顕微鏡による断面観察を実施した。その結果、母材の腐食が確認されたものの、腐食はドラム缶底部の母材表面層に留まっていることを確認した。



傷があっても、すき間がなければ腐食は母材表面に留まっている。

03 | 要因分析図に基づく調査結果（比較観察の結果）

ドラム缶底部内面とモルタル底部の界面の一部にすき間のある部位について切断し、光学顕微鏡による断面観察を実施した。その結果、塗装の剥がれや母材の腐食は確認されなかった。

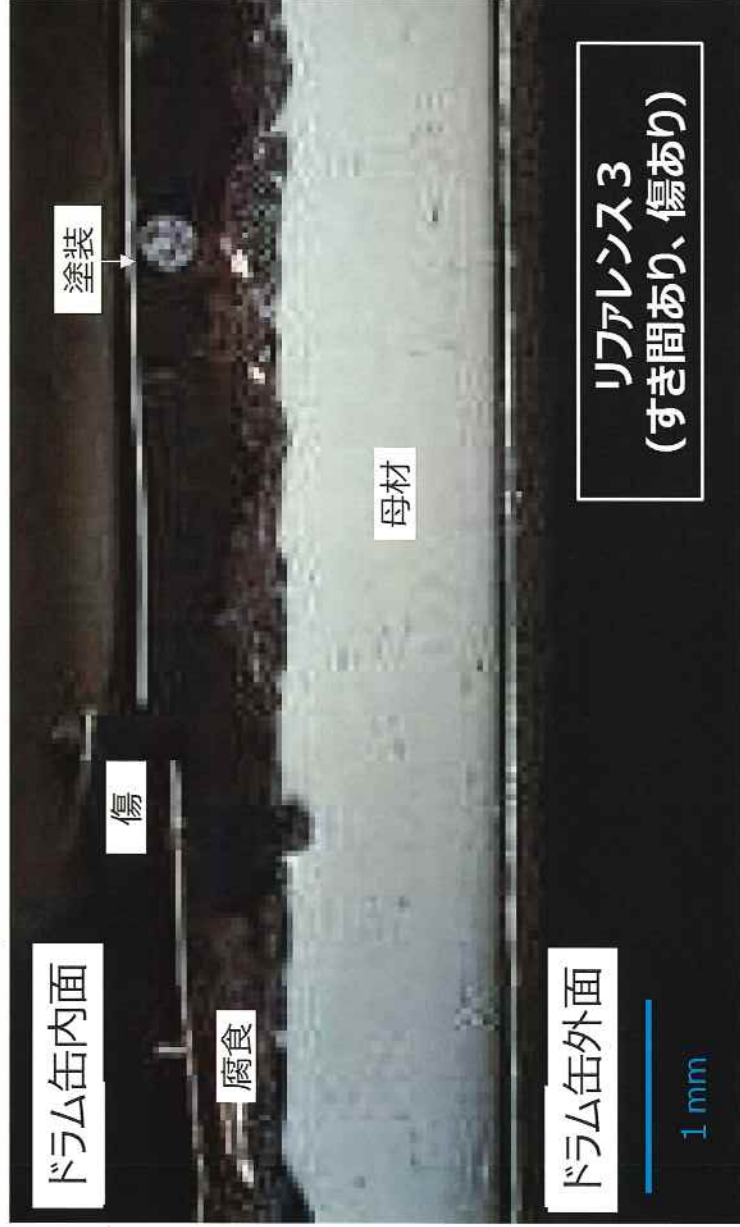


すき間があっても、塗装が健全であれば（傷がなければ）腐食しない。

03 | 要因分析図に基づく調査結果（比較観察の結果）

ドラム缶底部内面とモルタル底部の界面の一部にすき間があり、且つ傷のある部位について切断し、光学顕微鏡による断面観察を実施した。その結果、母材の腐食が確認されたものの、腐食はドラム缶底部の母材表面に留まっていることを確認した。

腐食が発生する可能性のある条件がそろったとしても、必ずしも当該事象と同様にドラム缶底部内面に発生した腐食が外面まで進展するわけではないことを確認した。



すき間と傷が存在するが腐食は母材表面に留まっている。

03 | 要因分析図に基づく調査結果（詳細）

■ 充填固化体（直接収納）へ収納した金属及びコンクリート廃棄物の調査

調査目的・方法

塗装の剥がれ等が確認された充填固化体（直接収納）4本は2001年度から2004年度までに浜岡1,2号機で実施した工事で発生した金属及びコンクリート廃棄物を収納していることを確認した。このため、この期間に発生した金属及びコンクリート廃棄物に塗装の剥がれ等を及ぼす可能性のある海水系の廃棄物が入っているかを調査する。

調査概要

		調査対象期間
調査①	海水系のトラブル実績の調査	
調査②	浜岡1,2号機の工事報告書の工事種別、施工範囲、取替部品一覧表を確認し、充填固化体（直接収納）の対象として、金属及びコンクリートの廃棄物が発生した工事を抽出	2001年度～2005年度
調査③	塗装の剥がれ等が確認された充填固化体（直接収納）4本に収納されている廃棄物が発生した期間（廃棄物を鉄箱に収納した期間）を「雑固体廃棄物収納記録」から特定しドラム缶に収納した金属及びコンクリートの廃棄物が発生した工事を抽出	金属：2003年2月～2004年11月 コンクリート：2003年6月～2004年6月
調査④	上記③で抽出した工事において、塗装の剥がれ等を及ぼす可能性のある海水系の工事が含まれているかを確認	
調査⑤	上記④に該当した工事において、系統、設置場所、工程等を詳細に調査し、塗装の剥がれ等を及ぼす可能性がある廃棄物が発生しているかを確認	

結果

- ① 海水系のトラブル実績を調査した結果、当該期間でプラント内に海水が流入する事象がないことを確認した。
- ② 2001～2005年度に実施した工事4,031件を調査し、金属廃棄物が発生した工事312件、コンクリート廃棄物が発生した工事59件を抽出した。
- ③ 塗装の剥がれ等が確認された充填固化体（直接収納）4本に収納されている廃棄物が発生した期間に実施した工事127件を調査し、金属廃棄物が発生した工事124件、コンクリート廃棄物が発生した工事3件を抽出した。
- ④ ⑤ 海水系の工事で発生した廃棄物を含む工事2件を抽出したが、廃棄物の発生期間及び作業時の管理区域の細区分から、塗装の剥がれ等が確認された充填固化体（直接収納）に当該工事からの海水系の廃棄物が収納されていないことを確認した。

03 | 要因分析図に基づく調査結果（詳細）

■ ドラム缶の健全性に影響を及ぼす恐れのある化学薬品類および耐火レンガについて

調査目的・方法

ドラム缶の健全性に影響を及ぼす恐れのある廃棄物には、海水系の廃棄物の他に化学薬品類及び耐火レンガもあることから、これらがドラム缶に混入する可能性について調査する。

- 化学薬品類の混入
不燃物を廃棄物として受付する際の運用について調査する。
- 耐火レンガの混入

塗装の剥がれ等が確認された充填固化体（直接収納）4本は2001年度から2004年度までに浜岡1,2号機で実施した工事で発生した金属及びコンクリートの廃棄物を収納していることを確認した。耐火レンガは所内ボイラ、焼却炉、溶融炉から発生する廃棄物であり、浜岡1,2号機で発生する耐火レンガは所内ボイラのみである。このことから、浜岡1,2号機所内ボイラの廃棄物が放射性廃棄物として発生していないことを調査する。

結果

- 化学薬品類の混入

社内規定を調査した結果、不燃物に付着した化学薬品類を拭き取ったうえで廃棄物の受付に提出するルールとなっていることを確認した。また、廃棄物をドラム缶に収納する際には社内規定に基づき適切に実施していることを「分別・収納記録」により確認した。

- 耐火レンガの混入

浜岡1,2号機所内ボイラの設置場所は、放射性物質による汚染のおそれのない区域のため、放射性廃棄物として発生していないことを確認した。また、耐火レンガの類似品である焼却炉・溶融炉の耐火レンガ及びセラミックフィルタは、廃棄物減容処理装置建屋から発生する廃棄物であり、3号機の廃棄物として管理しているため、ドラム缶に混入する可能性がないことを確認した。

03 | 要因分析図に基づく調査結果 (詳細)



■ 廃棄物を取り出した鉄箱の調査

調査目的・方法

ドラム缶底部内面とモルタルとの界面の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていたことを踏まえ、塗装の剥がれ等が確認された4本のドラム缶に収納された廃棄物を取り出した鉄箱を「分別・収納記録」から調査した。

結果

埋設センターで塗装の剥がれ等が確認された充填固化体3本と浜岡で塗装の剥がれ等が確認された充填固化体1本に収納されたコンクリートガラは、それぞれ1つの鉄箱に収納されていたものであることを確認した。

	充填固化体	塗装の剥がれ等が確認された充填固化体	収納された廃棄物を取り出した鉄箱番号	
			コンクリートガラ	金属 (参考)
埋設センター (956本)	直接収納	793本	H24133	H43566, H43613, H43615, H43636
	溶融体収納	163本	-	-
浜岡 (927本)	直接収納	624本	H24169	H43667, H43836
	溶融体収納	303本	-	-
合計	直接収納	1,417本		
	溶融体収納	466本		

なお、塗装の剥がれ等が確認された充填固化体と同じ鉄箱から取り出したコンクリートガラを収納したドラム缶は埋設センターに22本、浜岡に7本存在することを確認した (塗装の剥がれ等が確認された充填固化体4本除く)。この他に、コンクリートガラを収納したドラム缶が埋設センターに141本、浜岡に268本存在することを確認した。

	塗装の剥がれ等が確認された充填固化体と同じ鉄箱のコンクリートガラを収納したドラム缶		コンクリートガラを収納したドラム缶	
	埋設センター	浜岡	埋設センター	浜岡
埋設センター	H24133 10本	H24169 12本	22本	141本
浜岡	H24133 0本	H24169 7本	7本	268本

03 | 要因分析図に基づく調査結果（比較観察の結果）

■コンクリートガラ収納によるドラム缶内面への傷の発生について

調査目的・方法

ドラム缶を縦割りし収納廃棄物を調査した結果、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶底部には比較的平らかつ大きなコンクリートガラを収納していることを確認した。
このことから、コンクリートガラをドラム缶底部に収納する際に傷がつく可能性について、実際にドラム缶に廃棄物を収納する作業に携わる現場監督者から聞き取りを実施する。

結果

- 現場監督者への聞き取り調査をした結果、下記の2点を確認した。
 - ドラム缶へ廃棄物を収納する際は、可能な限りドラム缶底部内面に傷を付けないよう収納物を直接ドラム缶底部に収納している。
 - 片手で持つことが難しい比較的大きかつ重量のあるコンクリートガラ等の場合は、両手で収納するが両手でとどかない底部付近では片手状態となり、最後は数センチほどの少し高い位置から収納する場合がある。



上記調査結果から、ドラム缶底部内面に傷を付けないよう注意を払い取り扱っていることを確認したが、ドラム缶底部へ比較的大きかつ重量のあるコンクリートガラ等を収納する際は、数センチほどの少し高い位置から収納する可能性があることから、この際にコンクリートガラ等の端部や凹凸がドラム缶底部内面に接触し、傷が生じることは否定できないことを確認した。

03 | 要因分析図に基づく調査結果（比較観察の結果）



■ 特定の作業員による要因について

調査目的・方法

製作作業に携わる作業員は、作業に従事する前に製作作業に係る教育を受けていること及び現場監督者の指導の下、製作作業を実施していることから、作業員の力量および作業手法に差異はないが、念のため特定の作業員による要因がないことを確認するため、廃棄物埋設確認申請を行った充填固化体（直接収納）1,420本（取り下げた4本含む）を対象に製作作業に携わった作業員を確認する。

結果

廃棄物埋設確認申請を行った充填固化体（直接収納）の製作作業に携わった作業員を確認した結果、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶に特化して従事した作業員はいなかった。

作業員	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
当該ドラム缶の製作日に従事した日数	3日	2日	3日	3日	3日	3日	3日	3日	3日	3日	3日	3日	3日	3日	3日	1日	3日	3日	3日	1日	1日	2日

- 当該ドラム缶製作日（2014年7月9日、7月11日、2015年1月21日の延3日）に従事した作業員は上記22名
- その内、全ての製作日に従事した者は17名

申請中の充填固化体の製作本数及び関与率	1,260本	1,356本	1,240本	1,370本	1,280本	1,381本	1,387本	1,280本	1,378本	1,350本	1,357本	1,377本	1,351本	1,281本	1,265本	494本	1,178本	1,328本	1,292本	541本	208本	413本
	86%	93%	85%	94%	88%	95%	95%	88%	94%	92%	93%	94%	93%	88%	87%	34%	81%	91%	88%	37%	14%	28%

- 申請を行った充填固化体（直接収納）1,420本を対象に22名の製作本数を確認した結果、当該ドラム缶の全ての製作日に携わった上記17名の全作業員が80%以上その他のドラム缶製作にも関与しており、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶に特化して従事した作業員はおらず、作業員に関する共通要因は見出せなかった。

03 | 要因分析図に基づく調査結果（まとめ）

要因分析図	要因分析図に基づく調査結果から得られた要因となり得る事実	頁
①ドラム缶の塗装の剥がれ等	a ドラム缶底部内面に傷を確認	P22,25
	b モルタルとドラム缶底部内面との界面にすき間を確認 すき間の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認	P23,24
	c ドラム缶底部内面に塩素 (Cl) を確認	P28,29
	d ドラム缶底部内面から外面に達する腐食を確認	P30,31
	e ドラム缶底部外面に塩化物イオン (Cl ⁻) が存在する環境下で生成される鉄の腐食生成物（アカガネイト）、及び亜鉛の腐食生成物（塩基性塩化亜鉛）を確認	P32
②水滴の発生	f ドラム缶底部外面にモルタルの成分であるカルシウム (Ca) 等を確認 ドラム缶内部に水分（飽和水蒸気量近くの水蒸気）が存在し得ることを文献にて確認 ドラム缶底部内面からの腐食がドラム缶底部外面に達していることを確認	P25,26 P30,31

04 | 推定メカニズム (推定原因)

【推定原因】

要因分析図に基づき調査結果から、当該4本のドラム缶は、いずれもドラム缶底部内面に存在した傷、及びモルタルとドラム缶底部内面との界面に出来たすき間を起因としてモルタルが固化する際に発生するブリージング水によってドラム缶底部内面に腐食が発生した。その後、ドラム缶底部外面に達する腐食に進展し、腐食に伴う体積の膨張によってドラム缶底部外面の塗装に膨らみや剥かれ、割れ(傷)が生じたことから、モルタルとドラム缶底部内面との界面に出来たすき間内部の飽和水蒸気(湿分)が腐食部の毛細管現象や浸潤によりドラム缶底部外面に水滴として発生したものと推定した。推定メカニズムを以下に示す。

場所	推定メカニズム	要因分析結果	推定メカニズムの検証
浜岡	<p>＜低レベル放射性廃棄物の製作＞ 浜岡にてドラム缶内に放射性廃棄物を収納する際は収納後の運搬においてドラム缶底部内面の溶融亜鉛めっき層あるいは母材に達する傷が発生。</p>	a.ドラム缶底部内面に傷を確認	P45 メカニズムの確認 作業員への聞き取り、及びアンケート P46-P47 分別・収納、及び運搬時のハンドリング P48-P52 埋設センター、及び浜岡で確認された当該ドラム缶と同一バッチドラム缶の比較調査
浜岡	<p>＜低レベル放射性廃棄物の製作＞ ドラム缶内にモルタルを充填する際、ドラム缶底部の放射性廃棄物の収納状況(平らな形状のコンクリートガラ)の収納等)によってモルタルが浸透しにくい箇所が発生し、モルタルとドラム缶底部内面との界面の一部にすき間が発生。</p>	b.モルタルとドラム缶底部内面との界面にすき間を確認 すき間の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認(※1)	P48-P52 埋設センター、及び浜岡で確認された当該ドラム缶と同一バッチドラム缶の比較調査
浜岡	<p>＜低レベル放射性廃棄物の製作・保管＞ すき間内部にモルタルが固化する際に発生したブリージング水が残留し、ドラム缶底部内面の傷から溶融亜鉛めっき層が溶解(※2)し、母材が腐食する環境あるいは母材が直接腐食する環境が形成。ブリージング水に含まれる塩化物イオンとすき間内部等の酸素によって腐食が発生。</p>	c.ドラム缶底部内面に塩素(Cl)を確認 e.ドラム缶底部外面に塗装の剥かれ等が確認された箇所の断面結晶構造を確認した結果、塩化物イオン(Cl-)が存在する環境下で生成される鉄の腐食生成物(アカガネイト)、及び亜鉛の腐食生成物(塩基性塩化亜鉛)を確認	P53 ブリージング水のpH、及び塩化物イオン濃度の調査 P54 ブリージング水の残留有無調査 P55 各社のブリージング水量、塩化物イオン濃度、pHの調査 P56 モルタル材料の配合比調査 P57-P59 ブリージング水の移行調査 P60 新日鉄住金(株)技術資料「亜鉛めっきの耐食性」 P61 新日鉄住金(株)技術資料「内面腐食-孔食」

※1: モルタル中の水分がコンクリートガラへ吸収されることでモルタルの流動性が悪くなりコンクリートガラとドラム缶との界面にモルタルが浸透せずすき間が生じる可能性がある。

※2: 亜鉛は、pH6~12の範囲で安定であり、それ以外では急速に溶解

04 | 推定メカニズム (推定原因)



場所	推定メカニズム	要因分析結果	推定メカニズムの検証
浜岡	<p><低レベル放射性廃棄物の保管> 母材の腐食が発生した後は、すき間内部の飽和水蒸気（水分）、酸素、及び塩化物イオンにより腐食が外面へ進展。腐食による体積膨張によってドラム缶底部外面の塗装に膨らみや剥がれ、割れ（傷）が発生。また、すき間内部の飽和水蒸気（水分）が腐食部（母材の腐食が外面に達している箇所）からの毛細管現象（※3）や浸潤により、ドラム缶底部外面に水滴として発生。</p>	<p>b. モルタルとドラム缶底部内面との界面にすき間を確認していることを確認 d. ドラム缶底部内面から外面に達する腐食を確認 e. ドラム缶底部外面に塩化物イオン（Cl⁻）が存在する環境下で生成される鉄の腐食生成物（アカガネイト）、及び亜鉛の腐食生成物（塩基性塩化亜鉛）を確認 f. ドラム缶底部外面にモルタルの成分であるカルシウム（Ca）等を確認 ドラム缶内部に水分（飽和水蒸気量近くの水蒸気）が存在し得ること文献にて確認 ドラム缶底部内面からの腐食がドラム缶底部外面に達していることを確認</p>	<p>P60 新日鉄住金（株）技術資料「亜鉛めっきの耐食性」 P61 新日鉄住金（株）技術資料「内面腐食-孔食」</p>
埋設センター	<p>ドラム缶受入検査の事前準備において、ドラム缶（2体）の底部外面に塗装の剥がれ等を確認</p>		
浜岡	<p>埋設センターでの事象を受けて、浜岡で保管しているドラム缶についても外観確認した結果、ドラム缶（1体）の底部外面に塗装の膨らみ等を確認</p>		
埋設センター	<p>埋設センターの社内規定に基づく自主的な外観確認において、ドラム缶（1本）底部外面に塗装の膨らみ等を確認</p>		

調査結果より、ドラム缶内の廃棄物はモルタルで固化され、健全な状態であることを確認した。

一方、ドラム缶（充填固化体）は、廃棄物を収納したドラム缶にモルタルを充填して製作するため、廃棄物の表面に付着した極微量の放射能がモルタルやブリージング水に移行する可能性があり、前述の推定原因により塗装の剥がれ等が発生したドラム缶（充填固化体）については、放射能がドラム缶底部外面で検出される可能性が否定できない。しかしながら、ドラム缶内の放射性廃棄物はモルタルで一体的に固化された状態であること、モルタルとドラム缶底部内面との界面のすき間に残留するブリージング水は僅かであると考えられること、ドラム缶底部外面への水滴の付着は腐食部からの毛細管現象や浸潤によるものであること、当該4本のドラム缶底部外面で確認された水滴に放射能は検出されていないことを踏まえれば、放射能がドラム缶底部外面で検出される蓋然性は極めて低いと評価する。このことから、今後検査しようとするドラム缶に水滴が見られたとしても、汚染の拡大はないと考える。

※3：細い空間を、重力や上下左右に関係なく液体が浸透していく現象
出典：「毛細管現象とは？」テイポーター（株）（マーキングペン先の製造・販売企業）のHP

05 | 推定メカニズムの検証 (作業員への聞き取り、及びアンケート)

作業員にドラム缶を製作する際に傷がつく可能性のある作業について、聞き取り、及びアンケート調査を実施した。

聞き取り、及びアンケート結果

▶ ドラム缶へ廃棄物を詰める際は、重量が軽いもの（番線等）を優先にドラム缶内面に傷を付けないよう注意を払いながら収納している。ドラム缶内へ収納した廃棄物の収納位置を収納率向上のため内部で動かす場合がある。



作業員への聞き取り調査の結果、ドラム缶内面に傷を付けないよう注意を払い取り扱っていることを確認したが、ドラム缶を傷つける可能性がある廃棄物（番線等）や収納率向上のためドラム缶内部で廃棄物を動かす場合があることを確認した。
ドラム缶内面に傷が生じることは否定できない。

05 | 推定メカニズムの検証 (分別・収納、及び運搬時のハンドリング)



ドラム缶への廃棄物の収納・運搬により傷が生じ得るかモックアップにより確認した。

＜廃棄物の分別・収納～モルタル充填～検査・保管の流れ＞



廃棄物の収納



貯蔵庫へ運搬



貯蔵庫保管



NRW II へ運搬



コンテナ保管室



モルタルの充填



当該ドラム缶 4 本の運搬
(廃棄物の収納からコンテナ保管室までの移動)



輸送容器へ収納



ドラム検査
(自主検査)



コンテナ保管室



NRW II へ運搬



貯蔵庫保管



貯蔵庫へ運搬

推定メカニズムの検証

05 | (分別・収納、及び運搬時のハンドリング)



廃棄物の収納



ドラム缶運搬



コンテナ保管室



底面の傷 約5 mm



廃棄物の取出し



廃棄物の収納状態

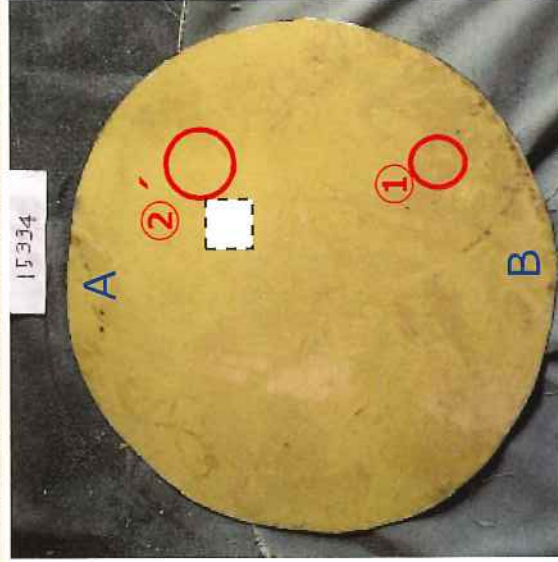
当該ドラム缶4本と同じ経路で廃棄物の収納・移動をモックアップした結果、ドラム缶底部内面の溶融亜鉛めっき層あるいは母材に達する傷が生じ得ることを確認した。

推定メカニズムの検証

05 | (六ヶ所で確認された3本の当該ドラム缶と同バッチドラム缶の比較調査【UC-15334】) 中部電力

- 当該ドラム缶と同バッチ (※) のドラム缶 (六ヶ所で確認された3本と同バッチのドラム缶4本、及び浜岡で確認された1本と同バッチのドラム缶1本) 底部を切断し、ドラム缶底部内面の腐食や腐食の要因となる傷の有無を調査した。
- また、ドラム缶底部モルタル部のすき間、及び水分の有無を調査した。

※同バッチ：当該ドラム缶の充填材料と同じ材料 (砂・セメントサイロ、及び混和剤タンク) に受け入れた日と同じ材料) で製作。なお、浜岡で塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶と同じ鉄箱の廃棄物を収納したドラム缶1本含む。



- ①：塗装の傷 ①'：塗装の傷を確認した位置のドラム缶底部モルタル部
- ②：すき間 ②'：すき間を確認した位置のドラム缶底部内面

<収納廃棄物>

金属板, 金属片, 金属管, 鋼材, 塊状金属
ワイヤ, 鉄粉

ドラム缶底部内面

ドラム缶底部モルタル部

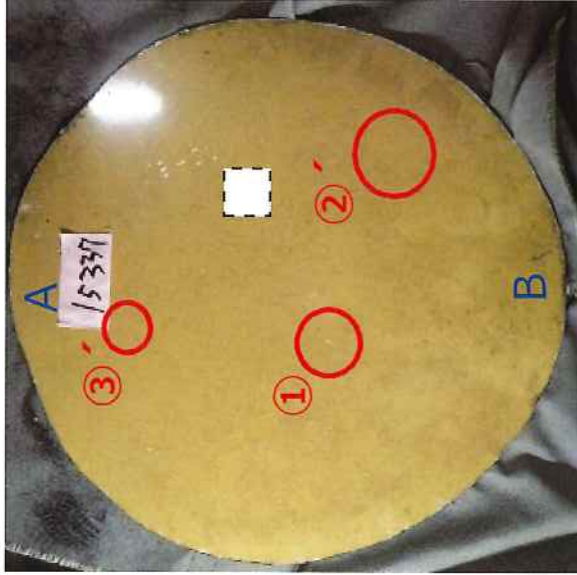
ドラム缶底部内面に塗装下地に至る傷を確認したが、その部分についてすき間は無く腐食は確認されなかった。また塗装の膨れも確認されなかった。

ドラム缶底部モルタル部にすき間を確認したが、その部分に水分は確認されなかった。またすき間部に対応するドラム缶底部内面に塗装下地に至る傷は無く腐食は確認されなかった。

推定メカニズムの検証

05 |

(六ヶ所で確認された3本の当該ドラム缶と同 BATCH ドラム缶の比較調査【UC-15337】) 中部電力



①：塗装の傷 ①'：塗装の傷を確認した位置のドラム缶底部モルタル部

②：すき間 ②'：すき間を確認した位置のドラム缶底部内面

③：すき間 ③'：すき間を確認した位置のドラム缶底部内面

<収納廃棄物>

金属片, 金属管, 鋼材, ワイヤ, 鉄粉

ドラム缶底部内面

ドラム缶底部モルタル部

ドラム缶底部内面に塗装下地に至る傷を確認したが、その部分についてはすき間は無く腐食は確認されなかった。また塗装の膨れも確認されなかった。

ドラム缶底部モルタル部にすき間を確認したが、その部分に水分は確認されなかった。またすき間部に対応するドラム缶底部内面に塗装下地に至る傷は無く腐食は確認されなかった。

推定メカニズムの検証

05 |

(六ヶ所所で確認された3本の当該ドラム缶と同バッチドラム缶の比較調査【UC-15339】) 中部電力



①：塗装の傷 ①'：塗装の傷を確認した位置のドラム缶底部モルタル部

②：すき間 ②'：すき間を確認した位置のドラム缶底部内面

③：すき間 ③'：すき間を確認した位置のドラム缶底部内面

<収納廃棄物>

金属片, 金属管, 鋼材, ワイヤ, 番線
小物金属類, 鉄粉

ドラム缶底部内面

ドラム缶底部モルタル部

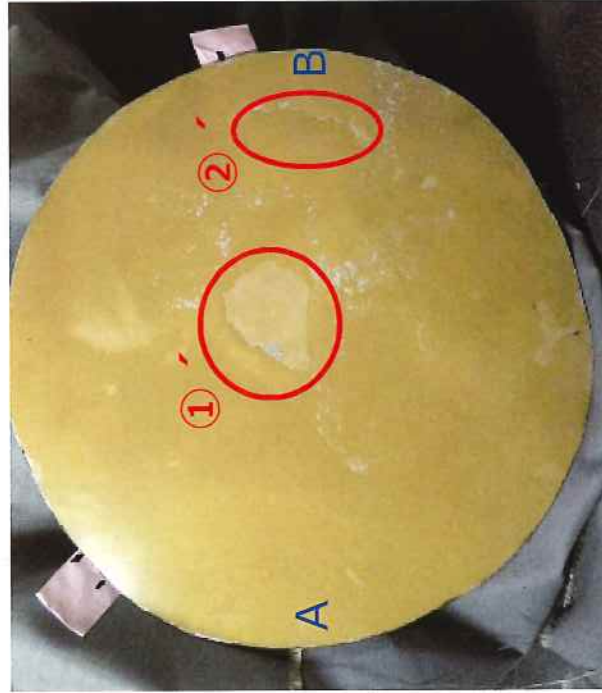
ドラム缶底部内面に塗装下地に至る傷を確認したが、その部分についてはすき間は無く腐食は確認されなかった。また塗装の膨れも確認されなかった。

ドラム缶底部モルタル部にすき間を確認したが、その部分に水分は確認されなかった。またすき間部に対応するドラム缶底部内面に塗装下地に至る傷は無く腐食は確認されなかった。

推定メカニズムの検証

05 |

(六ヶ所で確認された3本の当該ドラム缶と同バッチドラム缶の比較調査【UC-15340】) 中部電力



- ① : すき間 ①' : すき間を確認した位置のドラム缶底部内面
- ② : すき間 ②' : すき間を確認した位置のドラム缶底部内面



<収納廃棄物>

金属片, 金属管, 鋼材, ワイヤ, 小物金属類
鉄粉, コンクリートガラ

ドラム缶底部内面

ドラム缶底部内面に塗装面に留まる極薄い傷は確認したものの塗装下地に及ぶような傷は確認されなかった。また、腐食、及び塗装の膨れも確認されなかった。

ドラム缶底部モルタル部にすき間を確認したが、その部分に水分は確認されなかった。またすき間部に対応するドラム缶底部内面に塗装下地に及ぶような傷、腐食及び塗装の膨れも確認されなかった。

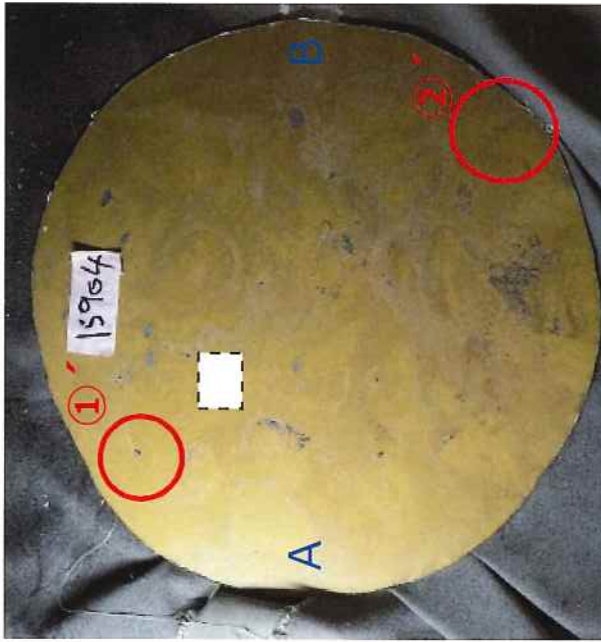
ドラム缶底部モルタル部に確認されたすき間部には、「コンクリートガラ」が収納されていることを確認した。

ドラム缶底部モルタル部

推定メカニズムの検証

05 |

(浜岡で確認された1本の当該ドラム缶と同バッチドラム缶の比較調査【UC-15904】)



- ① : すき間 ①' : すき間を確認した位置のドラム缶底部内面
- ② : すき間 ②' : すき間を確認した位置のドラム缶底部内面

ドラム缶底部内面

ドラム缶底部内面に塗装面に留まる極薄い傷は確認したものの塗装下地に及ぶような傷は確認されなかった。また、腐食、及び塗装の膨れも確認されなかった。
 ドラム缶底部モルタル部にすき間を確認したが、その部分に水分は確認されなかった。またすき間部に対応するドラム缶底部内面に塗装下地に及ぶような傷、腐食及び塗装の膨れも確認されなかった。
 ドラム缶底部モルタル部に確認されたすき間部には、「コンクリートガラ」が収納されていることを確認した。



<収納廃棄物>

金属版, 金属片, 金属管, 鋼材, 小物金属類
 コンクリートガラ

ドラム缶底部モルタル部

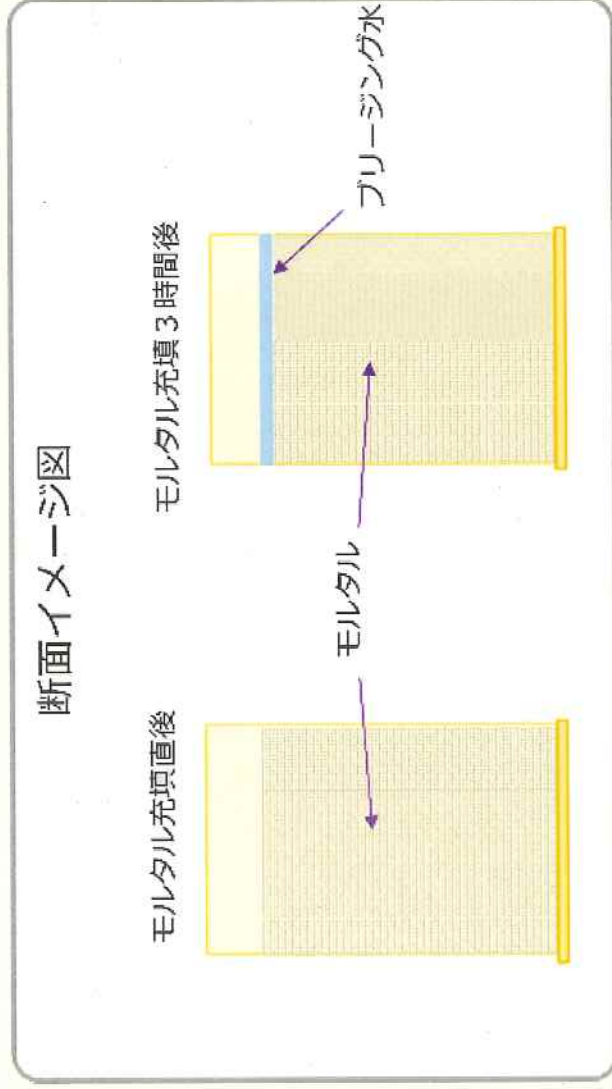
05 | 推定メカニズムの検証

05 | (ブリージング水のpH、及び塩化物イオン濃度の調査)



ブリージング水のpH、及び塩化物イオン濃度の調査

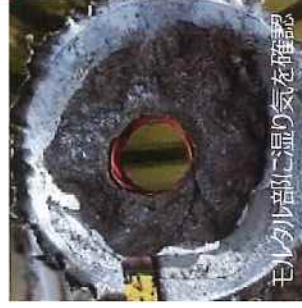
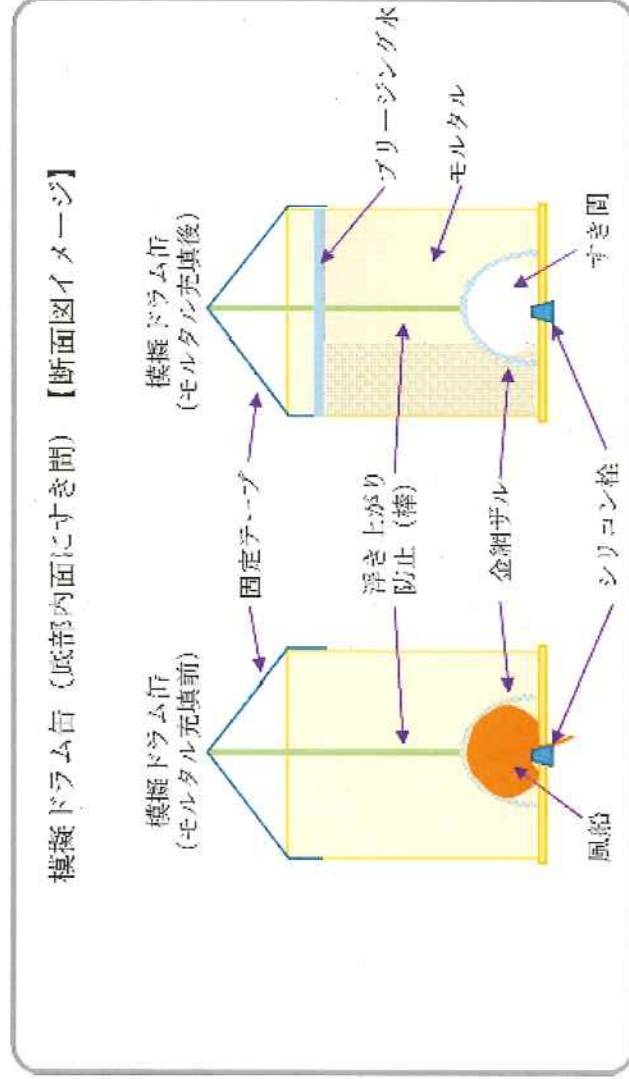
廃棄物を含まない実寸大のドラム缶に充填固化体と同じ比率のモルタルを充填し、モルタル上部に発生するブリージング水の水質を調査した。



モルタル上部に発生するブリージング水はpH約1.3、塩化物イオン濃度約250ppmを示した。

05 | 05 | 推定メカニズムの検証 （ブリージング水の残留有無調査）

ドラム缶底部内面のすき間にブリージング水が残留するかを調査した。



モックアップにより、ドラム缶底部内面のすき間に水が残留し得ることを確認した。残留水のpHをリトマス試験紙で測定したところ、pH12~13を示した。前頁のブリージング水のpH約1.3の結果を踏まえるとドラム缶底部内面のすき間の水はブリージング水であること推定する。

05 | 推奨メカニズムの検証

05 | (各社のブリージング水量、塩化物イオン濃度、pHの調査)



モルタル充填装置稼働しており、ブリージング水量、塩化物イオン濃度、及びpH測定が可能な電力4社の調査を行うとともに、当社においても廃棄物を収納した状態で同じ測定を行った。

測定項目	各社 (※1)	当社 (※2)
深さ (mm)	約4～約7	約10～約11
塩化物イオン濃度 (ppm)	180～600	350～360
pH	約1.2～約1.4	約1.3
モルタル充填量 (L)	68～195	179～181
ブリージング水量 (mL) (※3)	6.3～22.1	13.8～15.6

ブリージング3時間後の水

- ※1 : ドラム缶7本 (A社1本 (深さ、ブリージング水量)、B社1本、C社2本、D社3本) のデータを集約
- ※2 : ドラム缶3本のデータを集約
- ※3 : モルタル充填量1Lあたりのブリージング水量

ブリージング水の測定結果から、当社のブリージング水量、塩化物イオン濃度、及びpHは測定を行った各社の測定結果と比較して同程度であることを確認した。

05 | 推定メカニズムの検証 (モルタル材料の配合比調査)



ブリージング水の測定結果は測定を行った各社と比較して同程度であることを確認したものの、モルタル材料の配合比が各社と比較して異なり、結果、モルタルの性状に影響を与えている可能性が考えられるため、各社におけるモルタル材料の比について調査した。

材料の種類	各社 (※1)	当社
	配合比 (※2)	配合比 (※2)
水	0.35~0.42	0.38
砂	0.6~0.82	0.75
セメント		
混和剤	0.004~0.005 (※3)	0.005 (※4)

- ※1：モルタル材料の供給方法にバッチ式を採用し且つ混和剤にマイテイを使用している電力5社のデータを集約
- ※2：セメント1kgに対する配合量を1となるようにした場合の重量比
- ※3：混和剤マイテイ100の添加量（他社：5社）
- ※4：混和剤マイテイ150をマイテイ100とした場合の添加量（当社）

当社と同様にモルタル材料の供給方法にバッチ式を採用し且つ混和剤にマイテイを使用している電力5社と比較した結果、セメント投入量に対する水、砂、混和剤の投入量比率は同程度であることを確認した。

なお、当社のモルタル充填後に発生するブリージング水量は、各社の配合比、及びブリージング水量の測定結果から同程度であると推定する。

05 | 推定メカニズムの検証

05 | (ブリージング水の移行調査 モルタル充填1日後 ドラム缶底部切断)



■ブリージング水がドラム缶底部モルタル部へ移行しドラム缶底部のすき間へ残留するか否かを確認するため、当該ドラム缶と同じ条件で収納し、モルタル充填を行い、モルタル充填1日後、2日後、4日後の経時変化を調査した。また、2日後に調査するドラム缶底部にはすき間が出来るようペール缶を収納した。



ドラム缶底部内面

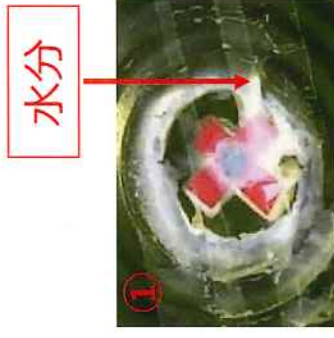
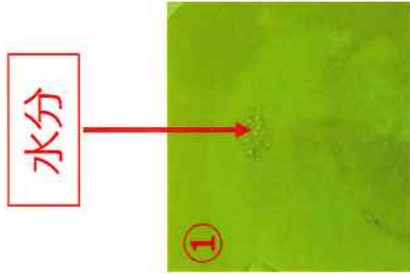
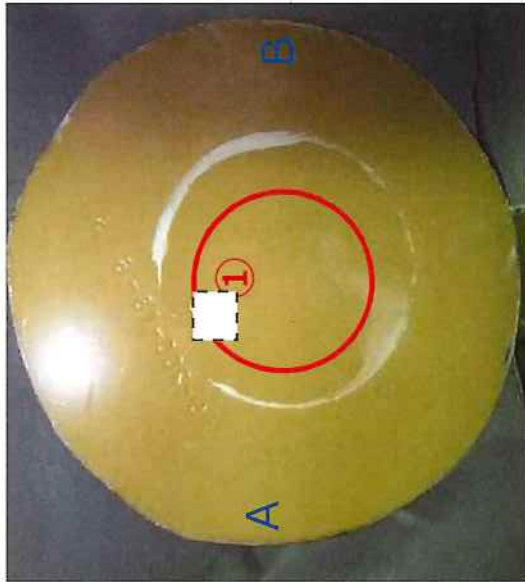


ドラム缶底部モルタル部

ドラム缶底部内面、及びドラム缶底部モルタル部に水分は確認されなかった。

推定メカニズムの検証

05 | (ブリージング水の移行調査 モルタル充填2日後 ドラム缶底部切断)



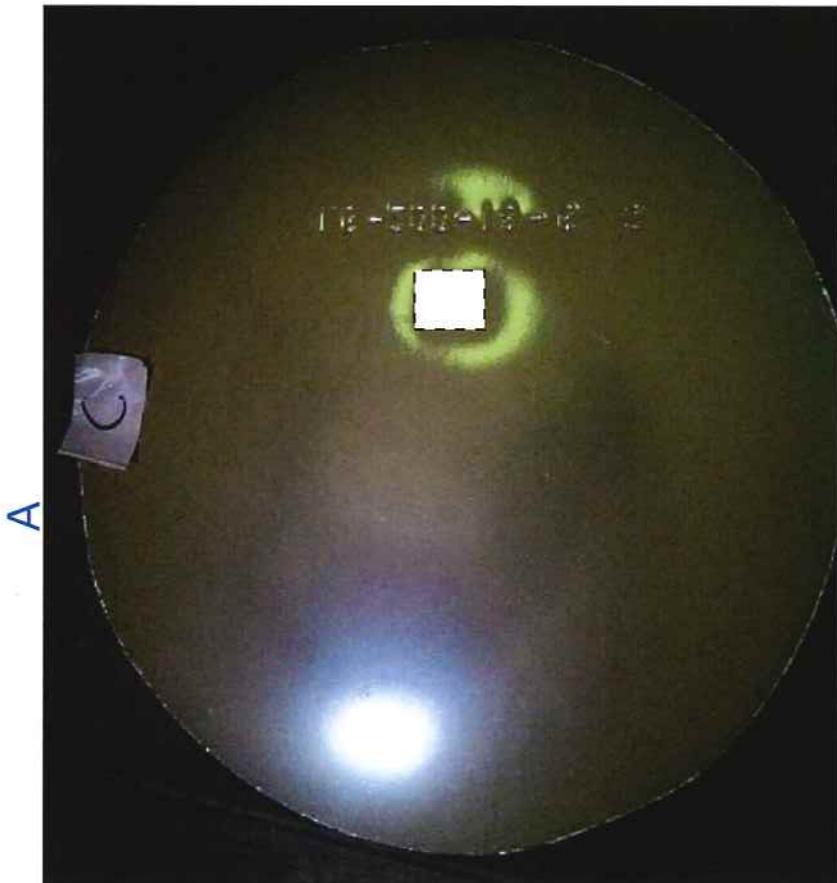
ドラム缶底部内面

ドラム缶底部モルタル部

モルタル充填部に水分は確認されなかった。
ペール缶底部のすき間（意図的なすき間）、及びドラム缶底部内面に水分を確認した。リトマス試験紙で測定したところ、
pH 1.2～1.3を示した。

05 | 推定メカニズムの検証

(ブリージング水の移行調査 モルタル充填4日後 ドラム缶底部切断)



B

ドラム缶底部内面



ドラム缶底部モルタル部

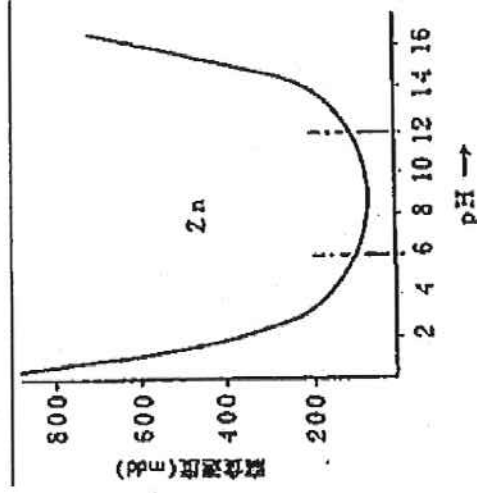
ドラム缶底部内面、及びドラム缶底部モルタル部に水分は確認されなかった。

05 | 推定メカニズムの検証 (推定メカニズムの根拠)

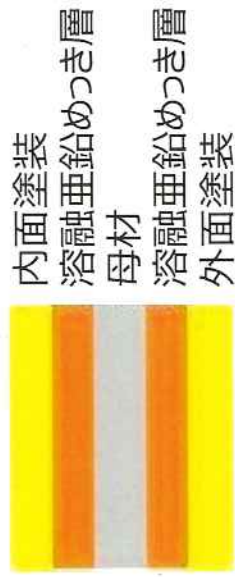
新日鉄住金 (株) 技術資料 「亜鉛めっきの耐食性」

b. 水中

水中の耐食性は、水のpHと温度が大きなき要因となります。
 常温の場合、亜鉛は次図に示すとおりpH6~12の範囲で、有効な耐食性を示し、これ以下の酸性環境では、水素発生と共に著しく侵され、またpH12.5以上では亜鉛は、 $Zn + OH + H_2O \rightarrow HZnO_2 + H_2$ の反応に従って急速に侵され、溶解性の亜鉛酸塩を生成します。



(参考) ドラム缶断面模式図

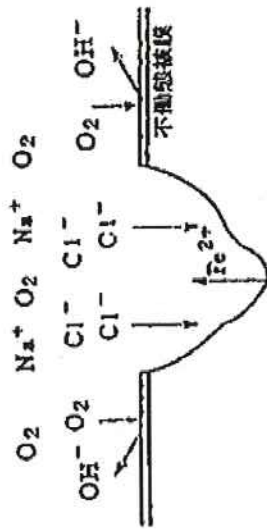


内面塗装が健全であれば、強アルカリのブリージング水が存在し
 たとしても、溶融亜鉛めっき層は溶解することはない。

新日鉄住金 (株) 技術資料 「内面腐食-孔食」

4.内面腐食 - 孔食, すきま腐食

孔食は、局部的に金属表面の保護皮膜が破壊されることにより生じます。Cl⁻存在下での鉄の孔食について、その状況を次図に示します。



孔食の発生機構

孔食発生部では、Fe²⁺のイオン濃度が増大します。(Fe²⁺の拡散速度が遅いため) そして孔食内部の電気的中性を保つために溶液内の陰イオン (Cl⁻など) が泳動します。そしてCl⁻が孔食部内で濃化します。Cl⁻はFeの活性溶解を促進し皮膜修復を困難にしますので、孔食速度はますます増大します。このようなことから孔食は、自己触媒反応といえるでしょう。孔食の発生場所は、例えば表面性状の不均一な部分 (カキ傷、ビット傷) あるいは析出物、介在物の周辺部が一般的で、端的に言えば金属表面の不均一部で起こりやすいのです。

孔食が起こりやすいのは、次のような条件といえます。

- ・ 中性〜アルカリ性環境で、保護皮膜を破壊するハロゲンイオンが存在 (NaCl等)
- ・ 強アルカリ性環境 (pH13以上)

(参考) ドラム缶母材の腐食は、母材の種類にかかわらず、母材の表面に腐食環境が形成されることによって腐食は進行する。

当社では、「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則第8条」、及び「核燃料物質等の第二種廃棄物埋設に関する技術的細目を定める告示」に規定する埋設しようとする放射性廃棄物等の技術上の基準（以下、「技術基準」という。）に適合するドラム缶を製作するために定められた「充填固化体の標準的な製作方法」に記載された作業要領（「収納の際は、容器に損傷を与えないように作業を行う」ことや「固化を行う際に著しい空げきが残留する可能性のある形状の固型化対象物は、空げきが生じにくいように収納すること」）に基づき製作を行っていたが、ドラム缶底部外面に塗装の剥れ等が確認された。そこで、各発電所（他社）に傷、及びすき間を生じさせない取り組みについてアンケート調査を取ったところ、各発電所はいずれも上記作業要領に基づき製作を行っていたが、これに加え、当社では行っていない取り組みを確認した。なお、この取り組みは主にドラム缶底部内面に傷を生じさせないための取り組みであった。

（各社の取り組み例はP74参照）

今回の事象は、ドラム缶底部内面の溶融亜鉛めっき層あるいは母材に達する傷とモルタルとドラム缶底部内面との界面にできたすき間を起因として発生した事象であることから、これに対する再発防止対策は、ドラム缶底部内面に傷を生じさせない対策、もしくはすき間を生じさせない対策のいずれかを施すことで同事象の発生を防止することは可能と考ええるが、どちらの取り組みも不十分であった当社は、以下に示す対策を実施する。

【傷を生じさせない対策】

ドラム缶への廃棄物を収納する方法を変更する。なお、これを行うことによりドラム缶へ廃棄物を収納した後の運搬における傷の発生も低減できる効果が期待できる。

【すき間を生じさせない対策】

ドラム缶にモルタルを充填後、ドラム缶側面下部に振動機で振動を与え、狭隘部までモルタルが浸透するようにすることですき間の発生を低減させる。

06 | 再発防止対策

対策	収納方法の変更	モルタル充填後 ドラム缶を振動させることによりモルタルを浸透
効果	傷の発生リスク低減	すき間の発生リスク低減
概要	<ol style="list-style-type: none"> ① ドラム缶底部内面に傷を付けやすい廃棄物をドラム缶底部に入れない ② 板状の廃棄物が存在する場合は、板状の廃棄物からドラム缶底部内面に収納する ③ ドラム缶底部に廃棄物を収納する際は、ドラム缶を傾け収納し易いようにする 	<p>ドラム缶にモルタルを充填後、ドラム缶側面下部に振動機で振動を与え、狭隘部までモルタルを浸透させることですき間の発生を低減させる。</p>
評価	<p>○ 上記概要をドラム缶への収納手順として加えることにより、ドラム缶底部内面の傷の発生リスクを低減できる</p>	<p>○ 振動機による浸透操作が有効であることを確認した（有効性確認結果は次頁参照）</p> <p>○ 既に廃棄物を収納済みのドラム缶（モルタル充填未実施のドラム缶）についても適用可能</p> <p>○ ドラム缶側面は、ドラム缶底部内面と異なり湾曲していることから、廃棄物が内面と接触している面積は僅かなためモルタルの浸透を阻害しやすき間を発生させる可能性は低く、さらに振動を与えることにより、すき間を発生させる可能性を低減する効果も期待できる。</p>

ドラム缶製作作業に従事する者に対して、塗装の剥がれや膨らみ等の事象を周知するとともに、再発防止対策について教育を実施する。

06 | 再発防止対策（浸透操作の有効性確認（その1）：試験方法）



モルタルとドラム缶底部内面との界面にすぎ間が生じやすい環境を意図的に作り、その箇所への振動機による浸透操作の有効性確認を実施した。

①ドラム缶内に廃棄物等を収納

電線管や
番線等
コンクリート
ブロック
トレイ
ボウル
ふるい(目の細かいもの)

廃棄物等収納後

②モルタル充填

③ドラム缶側面下部を振動機により振動

振動機操作の様子

振動条件

ドラム缶	A	B	C	D	E
※振動時間(秒)	0	30	60	120	240

※振動機を2ヶ所あてた合計時間

✖ 振動操作位置

➡ 養生(2日間)

⑤モルタルとドラム缶底部内面との界面の
状態を確認

ドラム缶底部モルタル部

ドラム缶底部内面

④グラインダーでドラム缶底部部を切断

切断箇所

06 | 再発防止対策（浸透操作の有効性確認（その1）：結果①）

- **試験対象物：電線管や番線等の通常の廃棄物**
- **電線管や番線等の通常の廃棄物を収納した箇所は、「振動なし」、「振動あり」とともにムラなくモルタルが浸透することを確認した。**

ドラム缶底部モルタル部

振動なし【0秒】



振動あり【60秒】



振動あり【240秒】



06 | 再発防止対策（浸透操作の有効性確認（その1）：結果②-1）

- 試験対象物：モルタルとドラム缶底部内面との界面に収納したトレイ
- 振動機による浸透操作を実施した場合、振動なしと比べて、モルタルがより内部に浸透する傾向を示すことを確認した。結果、振動機による浸透操作の有効性を確認した。
- 振動機の振動時間は240秒が最も効果が高いことを確認した。

<p>上：ドラム缶底部モルタル部 下：ドラム缶底部内面</p>	<p>ドラム缶底部内面</p>	<p>振動あり【240秒】</p>
<p>振動あり【240秒】</p>	<p>振動あり【60秒】</p>	<p>振動なし【0秒】</p>
		
<p>▶トレイ全体にモルタル層が厚く形成されたことを確認した。</p>	<p>▶振動なしと比べて、モルタル層の非常に薄い箇所が減ったことを確認した。</p>	<p>▶トレイ全体にモルタル層が形成されているもの、モルタル層が非常に薄いことを確認した。</p>

06 | 再発防止対策（浸透操作の有効性確認（その1）：結果②-2）

- 試験対象物：モルタルとドラム缶底部内面との界面に収納したふるい
- 振動機による浸透操作を実施した場合、振動なしと比べて、モルタルがより内部に浸透する傾向を示すことを確認した。結果、振動機による浸透操作の有効性を確認した。
- 振動機の振動時間は240秒が最も効果が高いことを確認した。

ドラム缶底部内面

振動なし【0秒】



▶ ふるいの縁にモルタル層が厚く形成されたことを確認した。

振動あり【60秒】



▶ 振動なしと比べて、ふるいの縁から内部に広くモルタル層が形成されていることを確認した。

振動あり【240秒】



▶ ふるい全体にモルタル層が厚く形成されたことを確認した。

06 | 再発防止対策（浸透操作の有効性確認（その1）：結果②-3）

- 試験対象物：モルタルとドラム缶底部内面との界面に収納したボウル
- 振動機による浸透操作を実施した場合、振動なしと比べて、モルタルがより内部に浸透する傾向を示すことを確認した。結果、振動機による浸透操作の有効性を確認した。
- 振動機の振動時間は240秒が最も効果が高いことを確認した。

ドラム缶底部内面

振動なし【0秒】



▶ ボウルの縁に厚く、中央に薄くモルタル層が形成されたことを確認した。

振動あり【60秒】



▶ 振動なしと比較して、モルタル層が厚く形成された部分が広がったことを確認した。

振動あり【240秒】



▶ モルタル層が厚く形成された部分が最も広がったことを確認した。

06 | 再発防止対策（浸透操作の有効性確認（その2）：試験方法）



- コンクリートガラに対する浸透操作の有効性を確認するため、コンクリートガラや廃材をドラム缶底部に収納した試験充填固化体4本を製作した。製作した4本のドラム缶のうち、2本はモルタル充填後にドラム缶底部側面に240秒の振動を与えた。
- コンクリートガラの形状によるモルタルの浸透状態、及び振動機によるコンクリート底部への傷の有無を調査するため、ドラム缶底部を切断しドラム缶底部内面を確認した。

ドラム缶底部にコンクリートガラを収納した後、廃材を収納した。

収納図

- コンクリートガラ
- 廃材
(鋼管、クランプ等)

- ① 表面に凹凸のないコンクリートガラ（大）
- ② 複数のこぶし大のコンクリートガラ
- ③ 表面に凹凸のないコンクリートガラ（小）
- ④ 凹凸のあるコンクリートガラ

コンクリートガラ収納時

コンクリートガラの底部

凹凸なし

凹凸あり

廃材収納後、モルタル充填を行った。

コンクリートガラや廃材収納後

モルタル充填直後

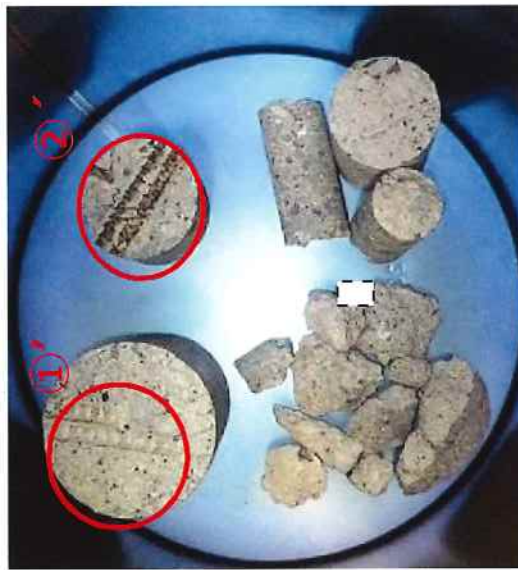
06 | 再発防止対策（浸透操作の有効性確認（その2）：結果①）

ドラム缶底部モルタル部にすき間を確認した。

すき間は「表面に凹凸のないコンクリートガラ」に生じていることを確認した。

「表面に凹凸のあるコンクリートガラ」、及び「こぶし大のコンクリートガラ」には、すき間は確認されなかった。

振動なし



A

B

①：すき間

②：すき間

①'：すき間を確認した位置にある表面に凹凸のないコンクリートガラ（大）

②'：すき間を確認した位置にある表面に凹凸のないコンクリートガラ（小）



A

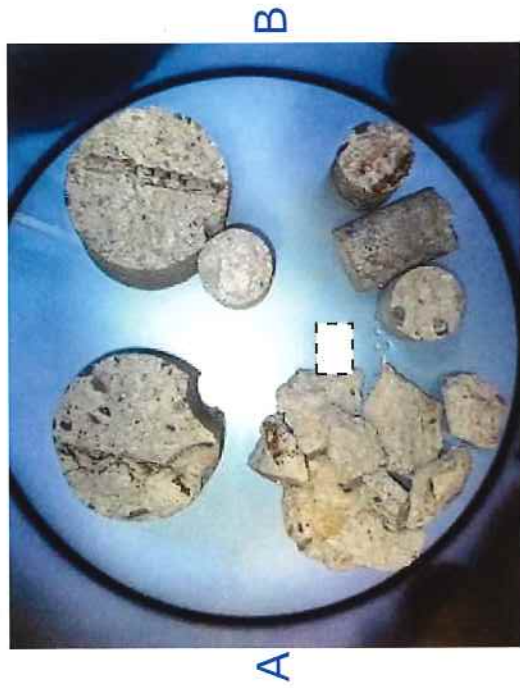
B

ドラム缶底部モルタル部
【振動なし】

コンクリートガラ収納時

06 | 再発防止対策（浸透操作の有効性確認（その2）：結果②）

ドラム缶底部モルタル部にすき間は確認されなかった。
コンクリートガラの形状に関係なく、振動機によりドラム缶底部側面に振動を与えることで、モルタルが浸透して
いることを確認した。



振動あり



ドラム缶底部内面

- ①：ドラム缶底部モルタル部でモルタルが剥がれた箇所
- ①'：ドラム缶底部内面でモルタルが付着した箇所

ドラム缶底部モルタル部にすき間が認められたが、これはドラム缶底部を
剥した際にドラム缶底部内面にモルタルの一部が付着したためである。

コンクリートガラ収納時

ドラム缶底部モルタル部
【振動あり】

06 | 再発防止対策（浸透操作の有効性確認（その2）：結果③）

ドラム缶底部内面に傷は確認されなかった。
振動機によりドラム缶底部側面に振動を与えて、収納物（コンクリートガラ、廃材）がドラム缶底部内面を傷付けることがないことを確認した。



コンクリートガラや廃材収納後



ドラム缶底部内面

浸透操作の有効性確認試験の結果・まとめ

- ①電線管や番線等の通常の廃棄物を収納した箇所は、「振動なし」、「振動あり」とともにムラなくモルタルが充填されることを確認した。
- ②振動機による浸透操作を実施した場合、振動なしと比べて、モルタルがより内部に浸透する傾向を示し、振動機による浸透操作の有効性が確認できた。
- ③振動機の振動時間は試験条件の中で240秒が最も効果が高いことを確認した。
- ④ドラム缶底部に収納した凹凸のないコンクリートガラは、モルタルが浸透し難く、コンクリートガラとドラム缶底部との界面にすき間を生じさせる可能性があることを確認した。
- ⑤振動機による浸透操作は、ドラム缶底部に収納した凹凸のないコンクリートガラを収納した場合においても有効であることを確認した。
- ⑥振動機からの振動が、ドラム缶内の廃棄物に伝わることによるドラム缶底部内面への影響（傷の発生）はないことを確認した。

06 | 再発防止対策（参考）

「充填固化体の標準的な製作方法」に基づく各社製作運用の取り組み

再発防止対策の検討の参考にするために各社にアンケートを実施した。この結果、技術基準を満足するドラム缶を製作するために定められた「充填固化体の標準的な製作方法」に記載された手順（「収納の際は、容器に損傷を与えないように作業を行う」ことや「固化化を行う際に著しい空けきが残留する可能性のある形状の固化対象物は、空けきが生じにくいように収納すること」）に基づき製作がなされていることを確認した。

当社も各社と同様にドラム缶を製作するため「充填固化体の標準的な製作方法」に基づき実施しているが、当社では実施していない取り組みがなされてることを確認した。

	傷を生じさせないための主な取り組み	すき間を発生させないための主な取り組み
当社の取り組み	<ul style="list-style-type: none"> ○比較的重量が軽いものから収納 ○フォークリフト、トラック等での運搬時は極力段差を避ける 	<ul style="list-style-type: none"> ○収納時は、カップ型形状の廃棄物、曲管、機器等は、固化化時にモルタルが充填されやすい向きとなるように収納
各社アンケート結果	<ul style="list-style-type: none"> ○板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ○廃棄物を収納し易いようドラム缶を傾けて廃棄物を収納する ○廃棄物をドラム缶に収納した後、そのままドラム缶にモルタルを充填する (固体廃棄物貯蔵庫への運搬は行わない) 	<ul style="list-style-type: none"> ○モルタル充填時は、振動機でドラム缶の側面から振動を与え、モルタルの十分な浸透に努める

06 | 再発防止対策（参考）

■ 浜岡原子力発電所以外の「傷を生じさせない対策」もしくは「すき間を生じさせない対策」の各社取組状況

	傷を生じさせない対策の取組み	すき間生じさせない対策の取組み
A 社	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物を収納し易いようドラム缶を傾けて廃棄物を収納する ・板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・尖った形状等の廃棄物を収納する際は、当該箇所がドラム缶（底部・側面）に接触しないように収納 ・同じ建屋内でモルタル充填 ・板状の廃棄物がある場合、ドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・分別作業員の他に分別作業管理者を設定し、同時立会し、指導監督することにより収納時の損傷防止を確実なものとしている ・同じ建屋内でモルタル充填 	—
B 社	<ul style="list-style-type: none"> ・板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・尖った形状等の廃棄物を収納する際は、当該箇所がドラム缶（底部・側面）に接触しないように収納 ・同じ建屋内でモルタル充填 	—
C 社	<ul style="list-style-type: none"> ・板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・尖った形状等の廃棄物を収納する際は、当該箇所がドラム缶（底部・側面）に接触しないように収納 ・同じ建屋内でモルタル充填 	—
D 社	<ul style="list-style-type: none"> ・板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・尖った形状等の廃棄物を収納する際は、当該箇所がドラム缶（底部・側面）に接触しないように収納 ・廃棄物を収納し易いようドラム缶を傾けて廃棄物を収納する ・同じ建屋内でモルタル充填 	—
E 社	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄物を収納し易いようドラム缶を傾けて廃棄物を収納する ・板状の廃棄物がある場合、ドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・尖った形状等の廃棄物を収納する際は、当該箇所がドラム缶（底部・側面）に接触しないように収納 ・段差にスロープ設置 	—
F 社	<ul style="list-style-type: none"> ・ドラム缶を台に乗せて廃棄物収納 ・ドラム缶内面がキズつく可能性のあるものは、底面・側面に入れない ・板状の廃棄物をドラム缶底部に敷いた後に廃棄物を収納する ・同じ建屋内でモルタル充填 	<ul style="list-style-type: none"> ・モルタル充填後に加振操作を実施
G 社	<ul style="list-style-type: none"> ・ドラム缶内部底面・側面に板状の金属（鉄板等）を収納 ・ドラム缶内面がキズつく可能性のあるものは、底面・側面に入れない ・分別作業管理者による収納状態の相互確認を実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・モルタル充填後に加振操作を実施
H 社	<ul style="list-style-type: none"> ・同じ建屋内でモルタル充填 	<ul style="list-style-type: none"> ・モルタル充填後の加振操作を実施

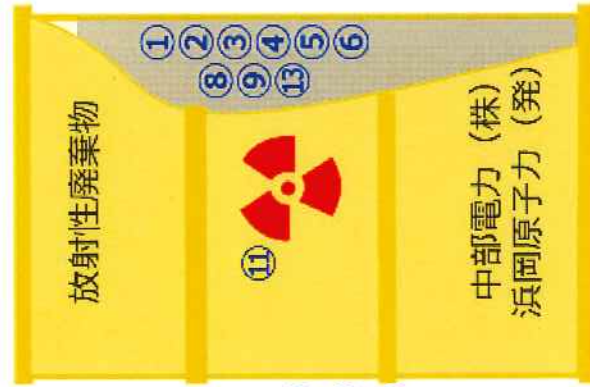
07 | 廃棄物埋設確認申請済みドラム缶の取り扱いについて (技術基準への適合 (技術上の基準に適合することについて確認))



【技術基準の適合】

廃棄物確認は、法第51条の6第2項の規定に基づき、埋設しようとする核燃料物質又は、核燃料物質によって汚染された物、及びこれに関する保安のための措置について行うものであり、埋設しようとする放射性廃棄物等の技術上の基準に適合することについて確認する。

充填固化体



⑫ドラム缶正面裏に表示

確認項目	確認内容
① 固型化材料	JIS R 5210、JIS R 5211又は、同等以上の品質を有するセメント
② 容器	JIS Z 1600 又は、これと同等以上の強度、及び密封性を有する金属製容器
③ 固型化材料等の練の混ぜ	固型化材料、固型化材料、及び混和材料が均質に練り混ぜられていること
④ 一体となるような充填	均質に練り混ぜた固型化材料若しくは固型化材料、及び混和材料を容器内の放射性廃棄物と一体となるように充填すること
⑤ 有害な空隙	容器内に有害な空隙がのこらないようにすること
⑥ 最大放射能濃度	放射能濃度が事業許可申請書記載の最大を超えないこと
⑦ 表面密度限度	表面の放射性物質の密度が原子力規制委員会の定める表面密度限度の十分の一を超えないこと
⑧ 健全性を損なうおそれがある物質	健全性を損なうおそれがある物質が含まれていないこと
⑨ 埋設時耐埋設荷重	埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有すること
⑩ 著しい破損がないこと	著しい破損がないこと
⑪ 放射性廃棄物を示す標識	廃棄体の表面の目につきやすい箇所に放射性廃棄物を示す標識を付けること
⑫ 整理番号	申請書に記載された事項と照合できるような整理番号を表示したものであること
⑬ 廃棄物発生後の期間が6ヵ月以上経過	廃棄物の発生から受入予定日まで6ヵ月以上経過していること
⑭ 表面線量当量率	廃棄体の表面線量当量率が10mSv/hを超えないこと

07 | 廃棄物埋設確認申請済みドラム缶の取り扱いについて (技術基準への適合 (技術上の基準に適合することについて確認))



ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等を確認したドラム缶4本の技術基準適合について

今回塗装の剥がれ等を確認したドラム缶4本（廃棄物埋設申請取り下げ済）は、詳細調査の結果、ドラム缶底部内面から外面に達する腐食を確認したことから、技術基準のうち「著しい破損がないこと」に適合するものではないと判断する。

ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が発生した時期に関する考察

- 塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶4本は、充填固化体製作から約1.5年経過した時点で行った発電所から搬出する前の自主検査では塗装の剥がれ等は確認されていない。
- 2018年4月に埋設センターにて実施したドラム缶受入検査前の準備作業を行っていたところ、ドラム缶1本に塗装の剥がれ等が確認された。その後、2018年5月に埋設センターにて実施した自主的な外観確認、及び浜岡で実施した外観確認において新たにドラム缶2本の塗装の剥がれ等が確認された。当該ドラム缶3本は、充填固化体製作から約3.5年経過した時点で塗装の剥がれ等が確認されている。
- 2019年3月に塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶1本は、2018年5月の埋設センターでの自主的な外観確認以降、2019年3月1日（※）に発見されるまでの1年程度の間が発生したものと考える。
- 一連の事象は、充填固化体製作からドラム缶受入検査までの一時貯蔵期間が長期になると同様な事象が顕在化するリスクが高まると考えられる。

※：埋設センターでは、低レベル廃棄物管理建屋にて貯蔵期間が1年以上もしくは前回確認以降1年以上となる見込みのドラム缶は、外観確認を実施しており、2019年2月25日から3月12日にかけて実施した。

07 | 廃棄物埋設確認申請済みドラム缶の取り扱いについて (技術基準への適合 (技術上の基準に適合することについて確認))



浜岡から搬出し埋設センターに保管されているドラム缶 (956本) の取り扱いについて

- ▶ 2019年2月25日から3月12日に埋設センターの社内規定に基づき実施した自主的な外観確認 (※1) において問題が確認されなかったドラム缶956本は、埋設センターでのドラム缶受入検査 (著しい破損がないことの確認) 以外は技術基準を満足している状態と考える。
- ▶ 文献 (※2) によれば、高アルカリで塩化物イオンを含む環境下における炭素鋼の腐食速度は、速度の速い局部的な腐食の場合であっても1mm/年 (約3μm/日) であることから、仮に文献による腐食速度で進展するよいうな腐食が残るドラム缶956本に存在していたとしても、充填固化体製作から4年以上が経過していること、及びドラム缶底面の肉厚 (仕様: 1.6mm) から、既に顕在化しているものと考ええる。
- ▶ 今後、埋設センターでのドラム缶受入検査において「著しい破損がないこと (表面に劣化 (貫通孔、ふくれ、又は著しい減肉がある部位))」が確認できれば、技術基準を満足している状態であることが言えるため、受入検査・定置に係る手続きを日本原燃の協力を得ながら進めたい。
- ▶ なお、塗装の剥がれ等が発生した要因の一つと考える平らな形状のコンクリートガラを共通因子と考えた場合、平らな形状のコンクリートガラを収納したドラム缶は保管期間が長期化することにより同様な事象が発生する可能性がある。このため、現在、浜岡原子力発電所で保管しているコンクリートガラを収納したドラム缶のうち、塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶と同じ鉄箱からコンクリートガラを収納したドラム缶の底部外面を定期的に目視確認し経時変化を観察する。また、この観察においてドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された場合は、ドラム缶底部を切断し詳細調査すること等によって知見の拡充に努めていく。

※1: 埋設センターでは、低レベル廃棄物管理建屋にて貯蔵期間が1年以上もしくは前回確認以降1年以上となる見込みのドラム缶は、外観確認を実施している。

※2: 炭素鋼局部腐食の事例解析 3.4 (前橋工科大学工学部 松島 巖)

07 | 廃棄物埋設確認申請済みドラム缶の取り扱いについて （技術基準への適合（技術上の基準に適合することについて確認））



浜岡から埋設センターに搬出予定であったドラム缶（927本）の取り扱いについて

- 現在、浜岡から搬出し埋設センターに一時貯蔵中の956本、浜岡から埋設センターに搬出予定であった927本は、廃棄物埋設確認申請済みである。
- 2019年2月25日から3月12日に埋設センターが自主的に実施した外観確認において、問題が確認されなかった956本のドラム缶は、埋設センターでのドラム缶受入検査（著しい破損がないこと）以外は技術基準を満足している状態と考えている。
- 浜岡から搬出し埋設センターに一時貯蔵中の956本のうち637本は現状の申請でドラム缶受入検査が可能であるが残りの319本は、浜岡に保管中の927本と同一の申請であることから、956本をドラム缶受入検査するためには搬出の目的が立っていない浜岡に保管中の927本の申請を取り下げ、埋設センターに一時貯蔵中の319本の申請のみとする手続きを進めたい。

申請	申請本数	保管場所	補正申請
2016年度	637本	埋設センター 956本	—
2017年度	1,246本	埋設センター 浜岡（2019年度搬出予定なし）	補正申請（927本取り下げ） 1,246本⇒319本

他社への水平展開

- 浜岡（14,636本（溶融固化体を除く））ならびに各発電所（他社）から搬出したドラム缶の搬出実績、当該事象の発生原因や塗装の剥がれが確認されなかった箇所のドラム缶底部内面の比較調査の結果、及び当該ドラム缶と同バッチドラム缶の比較調査結果を踏まえると、同様な事象が発生する可能性は低いと考
える。
- 電力各社のアンケート調査結果から、各社においては「充填固化体の標準的な製作方法」に記載された手順に基づき製作がなされていることを確認するとともに、当社では実施していない「傷・すき間」をつくらない取り組みが既に実施されていることを確認した。また、これまでの搬出・埋設実績から同様な事象は確認されていないことから、各社が実施する取り組みは有効であると考える。
- 当社が行う対策については、当社が独自で実施するものであり、電力各社に水平展開を要求するものではないと考えるが、本事象はニューシア情報として登録し、電力各社においてスクリーニングの仕組みで採否を判断していただく。

<p>モルタル材料の配合不具合による腐食 (内部要因)</p>	<p>・運搬中のモルタル材料が乾燥し、時局的なモルタルが充満され腐食が起きた可能性はある。</p>	<p>【状況調査】 ・「状況調査」上、モルタル配合比が規定値に満たないことを確認する。 ・「状況調査」上、モルタル配合比が規定値に満たないことを確認する。</p>	<p>・「状況調査」上、モルタル配合比が規定値に満たないことを確認する。 ・「状況調査」上、モルタル配合比が規定値に満たないことを確認する。</p>	<p>×</p>
<p>ドラム缶設置し、外部からの影響を受け、ドラム缶の劣化による腐食 (外部要因)</p>	<p>・搬入時、外観検査時等のドラム缶に劣化が認められ、外部からの影響を受け、ドラム缶の劣化による腐食が確認された。</p>	<p>【状況調査】 ・「状況調査」上、ドラム缶の劣化が認められたことを確認する。 ・「状況調査」上、ドラム缶の劣化が認められたことを確認する。</p>	<p>・「状況調査」上、ドラム缶の劣化が認められたことを確認する。 ・「状況調査」上、ドラム缶の劣化が認められたことを確認する。</p>	<p>×</p>
<p>輸送容器の劣化による腐食 (外部要因)</p>	<p>・輸送容器の劣化による腐食が確認された。</p>	<p>【状況調査】 ・「状況調査」上、輸送容器の劣化が認められたことを確認する。 ・「状況調査」上、輸送容器の劣化が認められたことを確認する。</p>	<p>・「状況調査」上、輸送容器の劣化が認められたことを確認する。 ・「状況調査」上、輸送容器の劣化が認められたことを確認する。</p>	<p>×</p>
<p>保管場所の腐食による腐食 (内部要因)</p>	<p>・保管場所の腐食による腐食が確認された。</p>	<p>【状況調査】 ・「状況調査」上、保管場所の腐食が認められたことを確認する。 ・「状況調査」上、保管場所の腐食が認められたことを確認する。</p>	<p>・「状況調査」上、保管場所の腐食が認められたことを確認する。 ・「状況調査」上、保管場所の腐食が認められたことを確認する。</p>	<p>×</p>

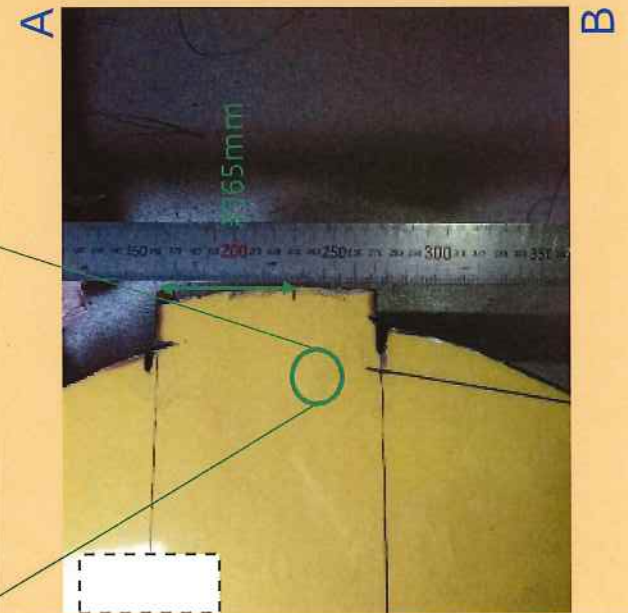
要因分析図②（水滴の付着に関する調査）

X：原因ではない
 △：原因要因の一つとして考えられる
 ○：主要因と推定される

発生事象	要因	要因説明	確認項目	確認結果	評価
水滴の付着	外部要因	<p>・ 輸送容器内の湿気による水滴が付着した可能性がある。</p>	<p>・ 輸送容器内の別ドラム缶、輸送容器内部の水滴付着状況を確認する。</p>	<p>・ 調査センターにおける外部確認の結果、湿度の制が狂い等が確認されたドラム缶以外にドラム缶、輸送容器内の水滴は確認されなかつた。 （一般積として、大気中の湿度、ドラム缶外表面温度と外気温差との差によつては、凝結水がドラム缶外表面に発生する可能性はあり得る。）</p>	X
	内部要因	<p>・ 輸送容器内の湿気が何らかの要因により容器下底面に入り込み、時間経過により容器下底面から滲み出た可能性がある。</p>	<p>・ ドラム缶底部外面の外観、及び塗装を調査し、外部からの水分の浸入の有無を確認する。</p>	<p>・ 断面観察の結果、ドラム缶外面からではなくドラム缶内面からの湿気がドラム缶底部外面へ影響を与えていることを確認した。</p>	X
	内部要因	<p>・ ドラム缶が露湿しており、内部の湿気が凝れ水（露水）が滲れ出た可能性がある。</p>	<p>・ ドラム缶底部内外面の外観、及び塗装を調査し、内部からの水滴の浸入の有無を確認する。</p>	<p>・ ドラム缶底部を乾燥した結果、ドラム缶底部内面に水分は確認されなかつたが、又凝結水（露水）後のモルタルの含水率は系中に於ける湿度は概ねあるため、乾燥したドラム缶内部の湿度は、その時の湿度に於ける湿度が凝結水（露水）の発生がドラム缶内部に存在し得ることを確認した。また、ドラム缶底部の成分（Al、Si、O₂）を確認した。断面観察の結果、ドラム缶底部内面からの湿気がドラム缶底部外面に達していることを確認した。</p>	△
	内部要因	<p>・ ドラム缶が露湿しており、内部の湿気が滲れ出た可能性がある。</p>	<p>・ ドラム缶底部内外面の外観、及び塗装を調査し、内部からの湿気の有無を確認する。</p>	<p>・ 断面観察の結果、ドラム缶底部内面からの湿気がドラム缶底部外面に達していることを確認した。</p>	△

1740062-CB1Lのドラム缶調査結果

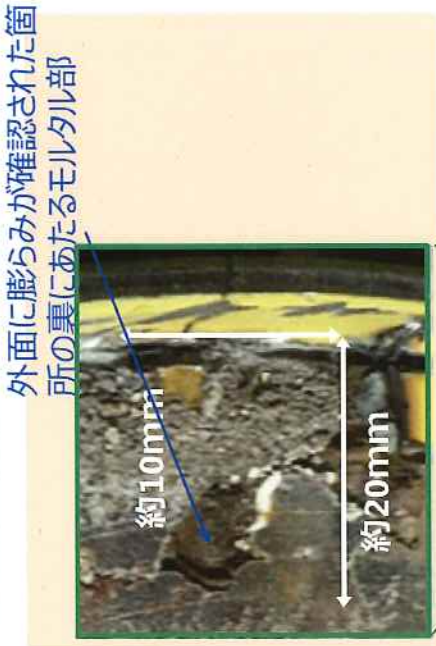
[浜岡で確認されたドラム缶]



ドラム缶底部外面



ドラム缶底部内面



ドラム缶底部モルタル部

1740062-CB1Lのドラム缶調査結果



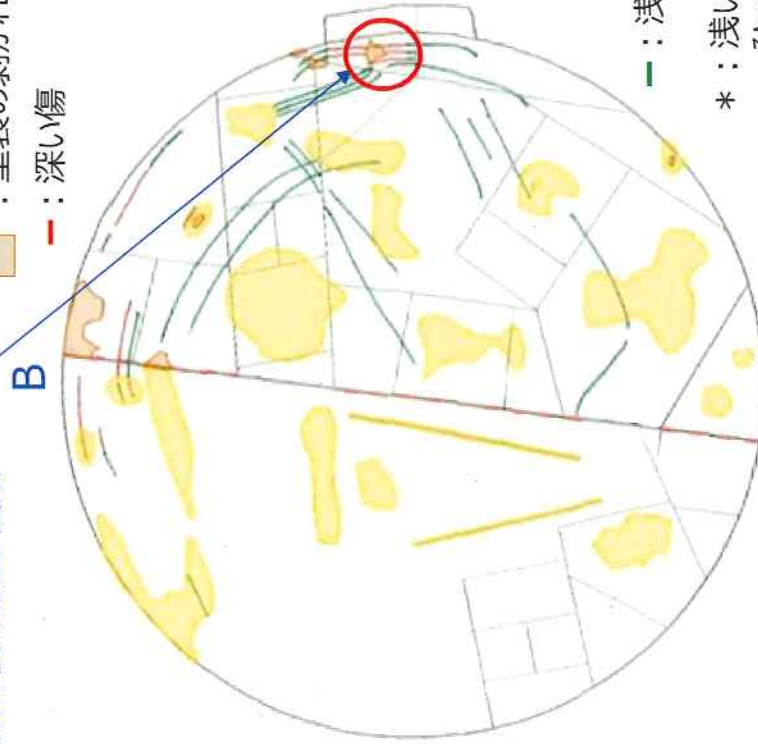
当該部以外のドラム缶底部内面にも塗装の膨らみ、塗装の剥がれ、金属部の腐食及び傷を確認した。

- : 塗装の膨らみ
- : 塗装の剥がれ、金属部の腐食
- : 深い傷

外面に膨らみが確認された
箇所裏にあたる箇所



ドラム缶底部内面
[浜岡で確認されたドラム缶]



— : 浅い傷*

* : 浅い傷のうち、
ひっかけ傷模様の
ものを除く

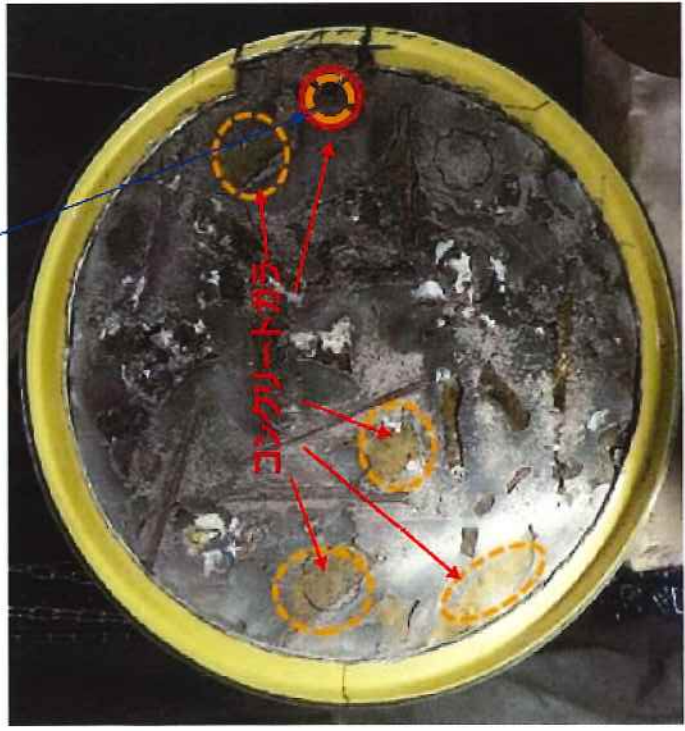
ドラム缶底部内面スケッチ図
[浜岡で確認されたドラム缶]

1740062-CB1Lのドラム缶調査結果



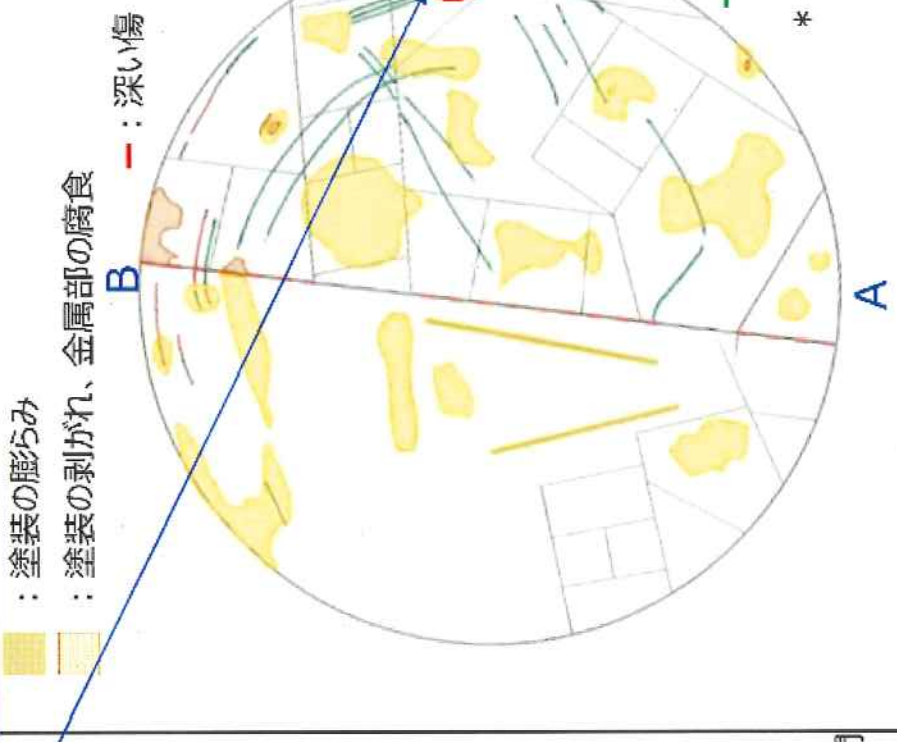
当該部以外のモルタル部にもドラム缶底部内面との界面の一部にすき間を確認した。また、すき間を確認した箇所の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認した。

外面に膨らみが確認された
箇所の裏にあたる箇所



<収納廃棄物>
金属板, 金属片, 金属管, 鋼材,
小物金属類, コンクリートガラ

○ : すき間



■ : 塗装の膨らみ
■ : 塗装の剥がれ、金属部の腐食

B - : 深い傷

- : 浅い傷*

* : 浅い傷のうち、
ひっかき傷模様の
ものを除く

ドラム缶底部モルタル部
[浜岡で確認されたドラム缶]

ドラム缶底部内面：スケッチ図
[浜岡で確認されたドラム缶]

1740062-CB1Lのドラム缶調査結果



塗装の膨らみが確認されたドラム缶を垂直方向に切断し、切断面を直接目視で確認した結果、「分別・収納記録」に記載する廃棄物以外が収納されていないことを確認した。

ドラム缶縦割り断面



- ① 金属片
- ② 金属管
- ③ 鋼材

- ④ 金属板

- ⑤ 小物金属類
- ⑥ コンクリートガラ

分別・収納記録に記載する収納廃棄物

ドラム缶縦割り断面



ドラム缶底部外面の膨らみの箇所を光学顕微鏡により観察した結果、塗装の膨らみを確認した。

ドラム缶底部膨らみ箇所を正面から撮影



光学顕微鏡による観察結果（ドラム缶底部外面）
[浜岡で確認されたドラム缶]

1740062-CB1Lのドラム缶調査結果



ドラム缶底部外面に塗装の膨らみが確認された箇所裏にあたるモルタル部をコア抜きし、走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察、及び定性分析を実施した。結果を次頁に示す。



ドラム缶底部内面
[浜岡で確認されたドラム缶]



ドラム缶底部モルタル部
[浜岡で確認されたドラム缶]



切り出した
ドラム缶底部



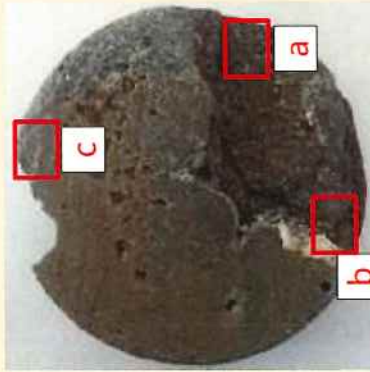
コア抜きした
モルタル

1740062-CB1Lのドラム缶調査結果

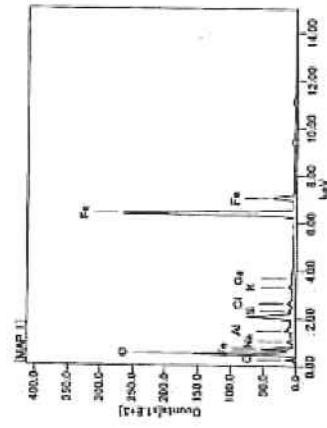


走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察、及び定性分析を実施した結果、モルタル成分 (Al, Si, Ca) や金属成分 (Fe) の他、腐食の発生と進展の要因となり得る成分 (Cl) を確認した。酸素 (O) は、鉄や亜鉛の酸化物によるものと考ええる。

コア抜きしたモルタル
(外面に膨らみが
確認された箇所)

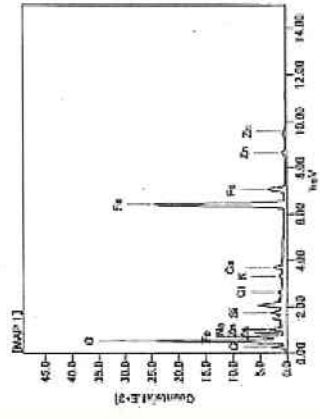


□ : 観察分析箇所



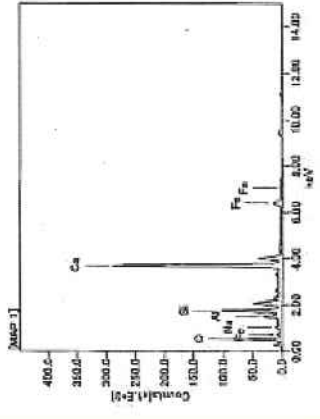
確認された元素
O、Fe、Al、Si、Cl、
Ca、Fe

a



確認された元素
O、Fe、Na、Zn、Si、
Cl、Ca

b



確認された元素
O、Fe、Na、Al、Si、
Ca

c

1740062-CB1Lのドラム缶調査結果



モルタルのコアの裏側から採取したものを走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を実施した結果、表側と比べて有意な成分がないことを確認した。

コアの裏側



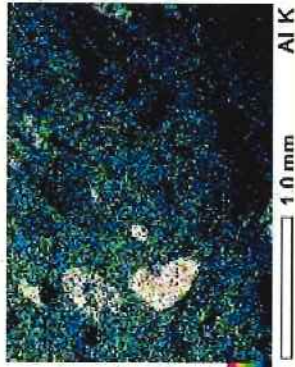
表面筒所の裏側から採取

走査型電子顕微鏡観察

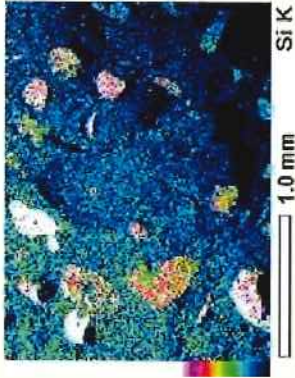


エネルギー分散型 X 線分析

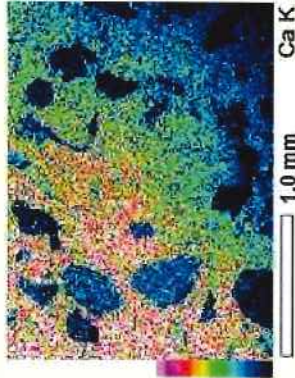
Al



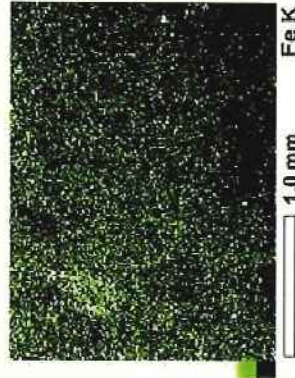
Si



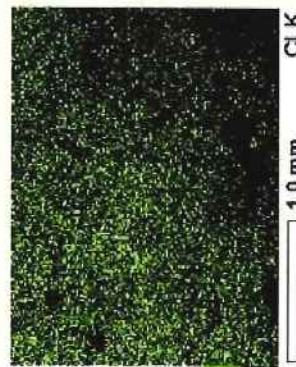
Ca



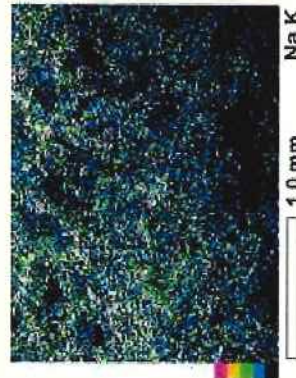
Fe



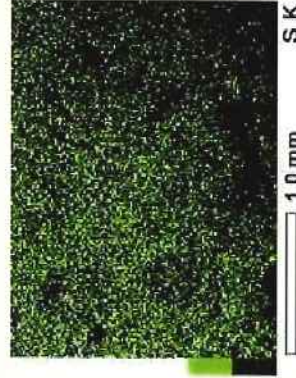
Cl



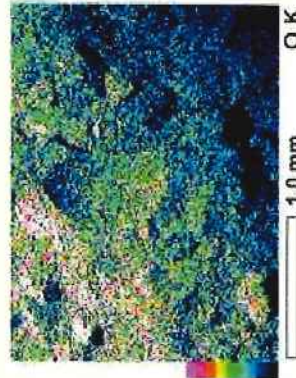
Na



S



O



1740062-CB1Lのドラム缶調査結果

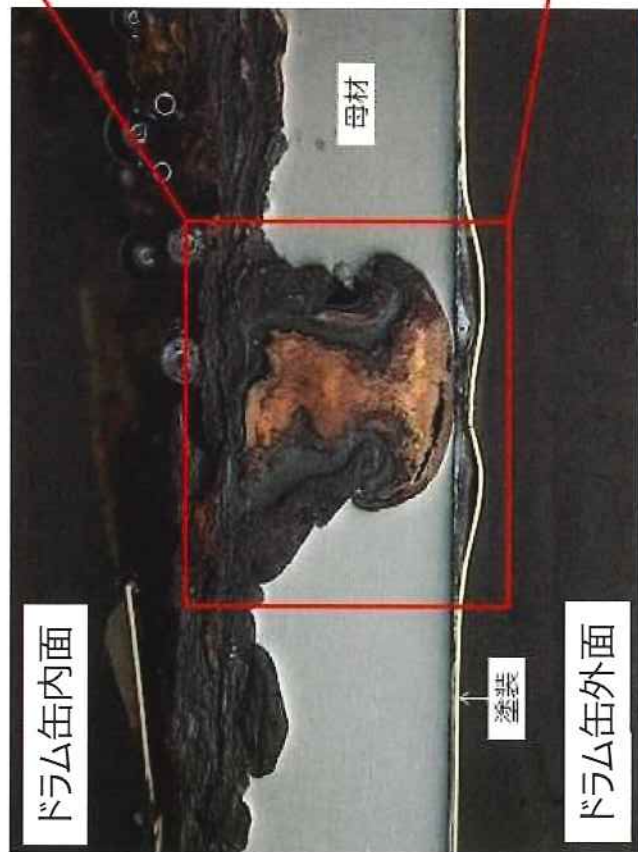
ドラム缶底部外面に膨らみが確認された箇所を切断し、以下に示す矢視の方向から断面観察を実施した。
結果を次頁に示す。



ドラム缶底部外面膨らみ箇所の観察結果
[浜岡で確認されたドラム缶]

1740062-CB1Lのドラム缶調査結果

光学顕微鏡による断面観察を実施した結果、ドラム缶内面からと推測される腐食及び内外面の塗装に傷を確認した。また、腐食が外面に達している箇所は、内面に塗装の傷及び腐食による発錆を確認した位置に相当することを確認した。



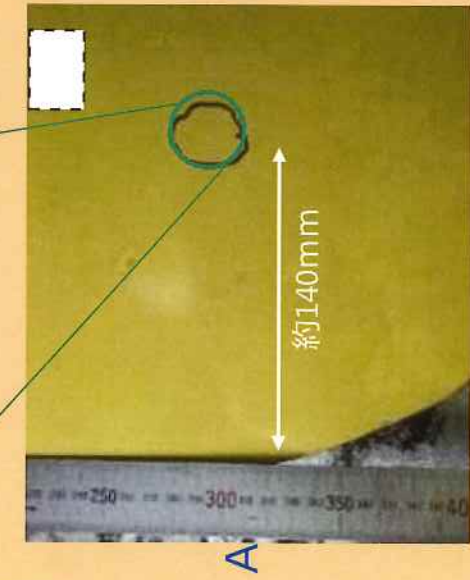
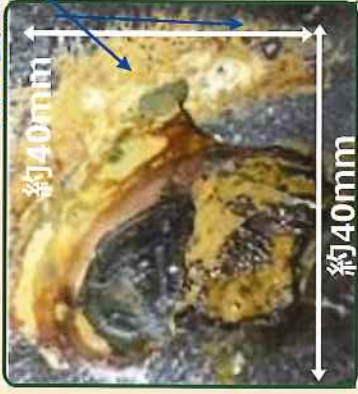
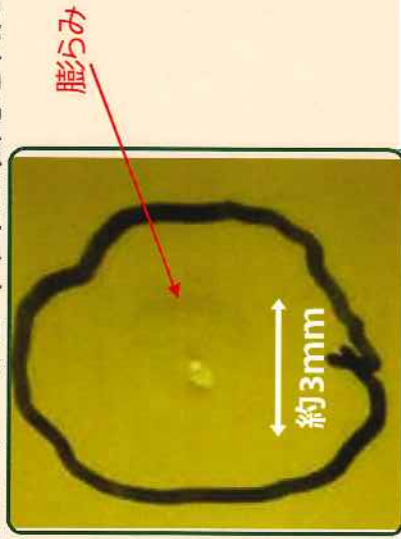
光学顕微鏡による観察結果（ドラム缶底部外面膨らみ箇所の断面）
〔浜岡で確認されたドラム缶〕

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

[埋設センターで2本目に確認されたドラム缶]

外面に膨らみが確認された箇所
の裏にあたるモルタル部

外面に膨らみが確認された箇所
の裏にあたる箇所



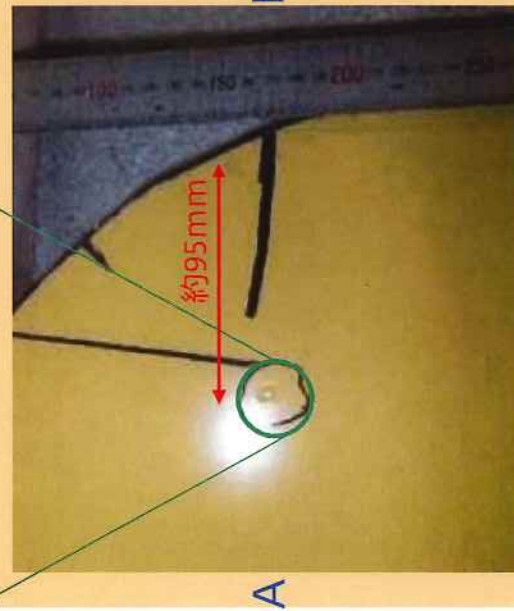
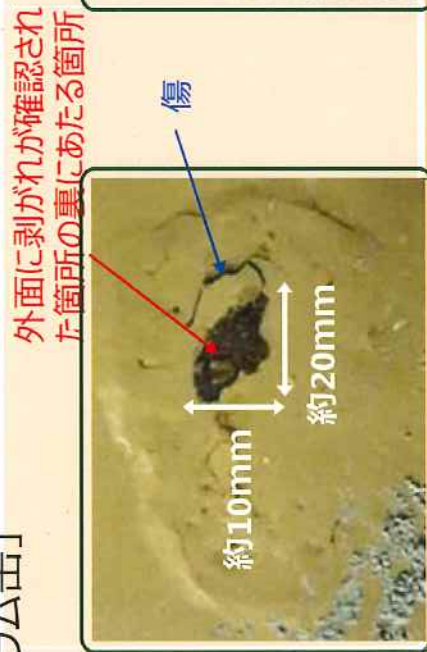
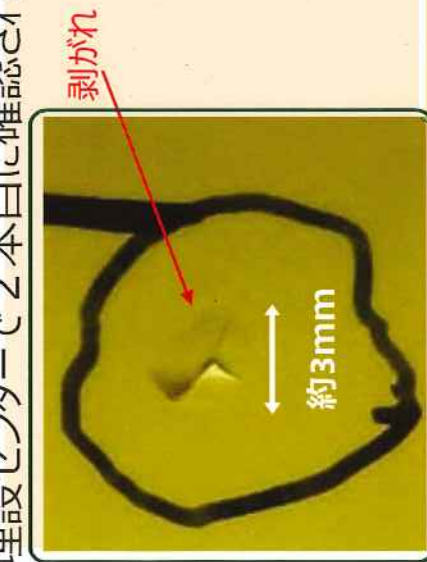
ドラム缶底部外面

ドラム缶底部内面

ドラム缶底部モルタル部

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

[埋設センターで2本目に確認されたドラム缶]



ドラム缶底部外面

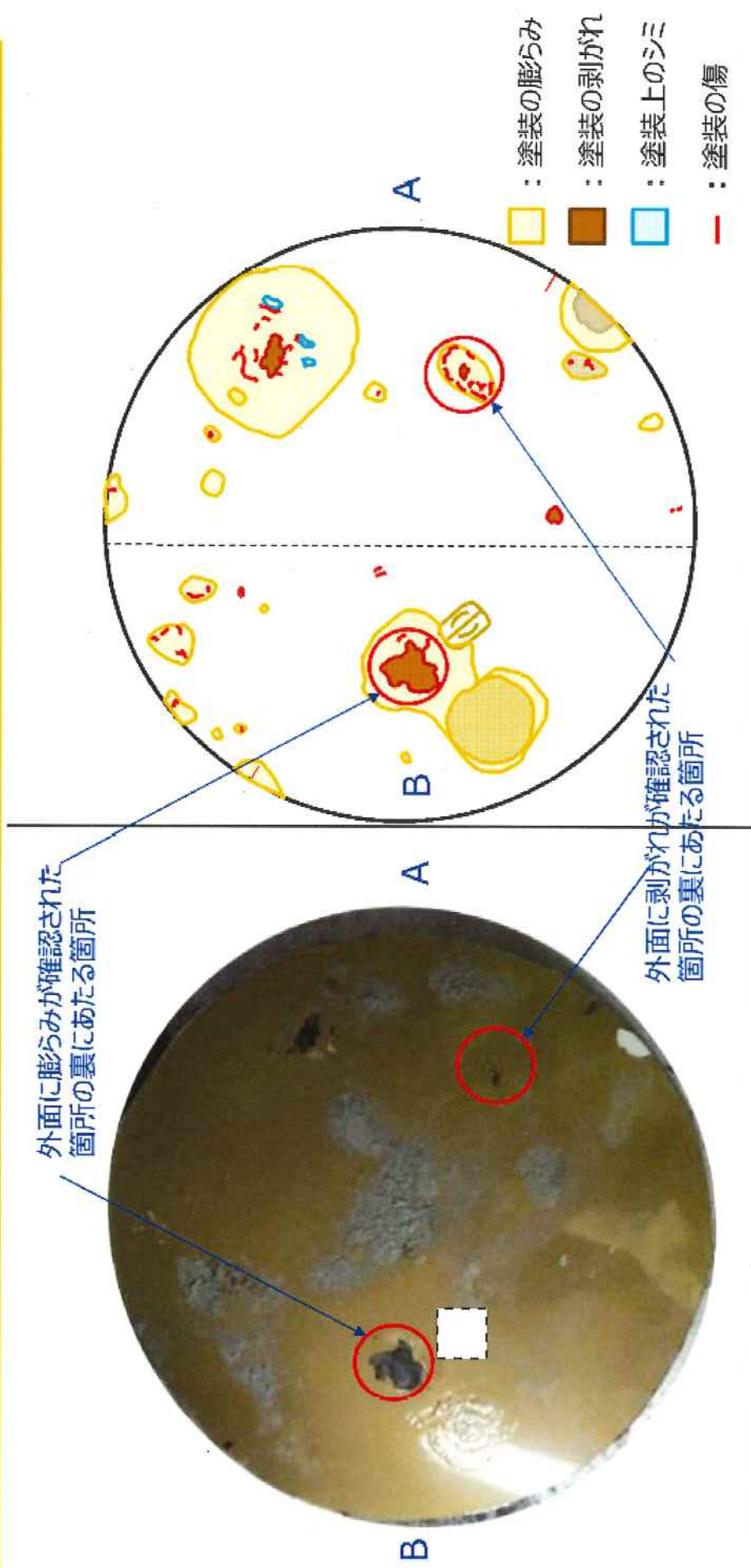
ドラム缶底部内面

ドラム缶底部モルタル部

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果



当該部以外のドラム缶底部内面にも塗装の膨らみ、塗装の剥がれ、塗装上のシミ及び塗装の傷を確認したが腐食は確認されなかった。



外面に膨らみが確認された箇所の裏にあたる箇所

外面に剥がれが確認された箇所の裏にあたる箇所

- : 塗装の膨らみ
- : 塗装の剥がれ
- : 塗装上のシミ
- : 塗装の傷

ドラム缶底部内面
[埋設センターで2本目に確認されたドラム缶]

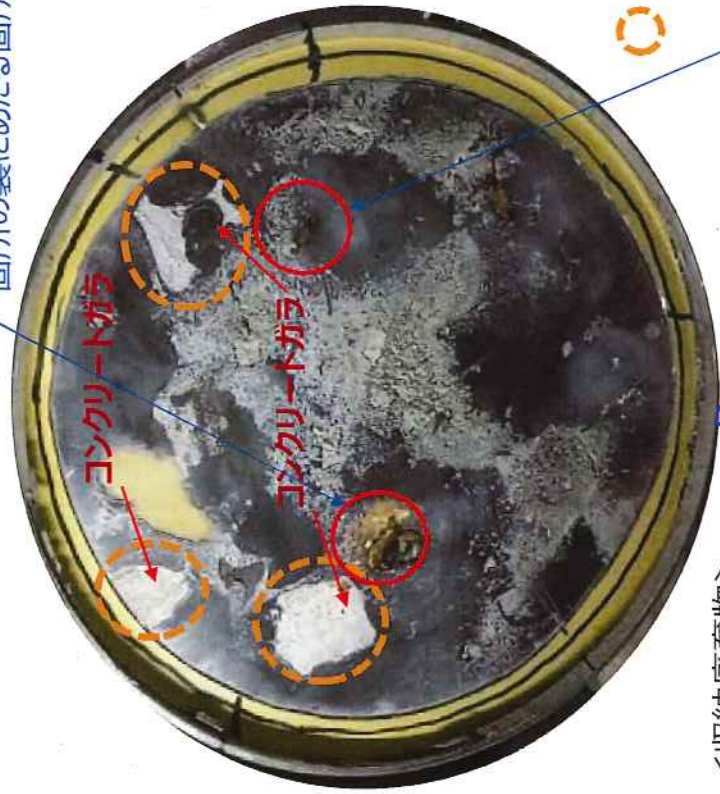
ドラム缶底部内面スケッチ図
[埋設センターで2本目に確認されたドラム缶]

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果



当該部以外のモルタル部にもドラム缶底部内面との界面の一部にすき間を確認した。また、すき間を確認した箇所の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認した。

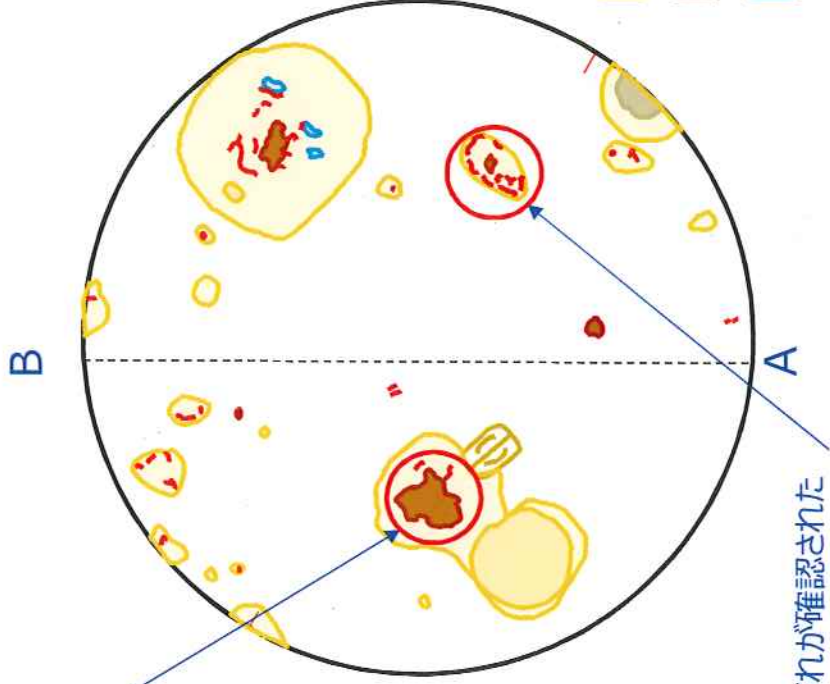
A 外面に膨らみが確認された
箇所の裏にあたる箇所



B
＜収納廃棄物＞
金属片，金属管，塊状金属，
小物金属類，鉄粉，コンクリートガラ

○：すき間

外面に剥がれが確認された
箇所の裏にあたる箇所



□：塗装の膨らみ
■：塗装の剥がれ
□：塗装上のシミ
—：塗装の傷

ドラム缶底部モルタル部

〔埋設センターで2本目に確認されたドラム缶〕

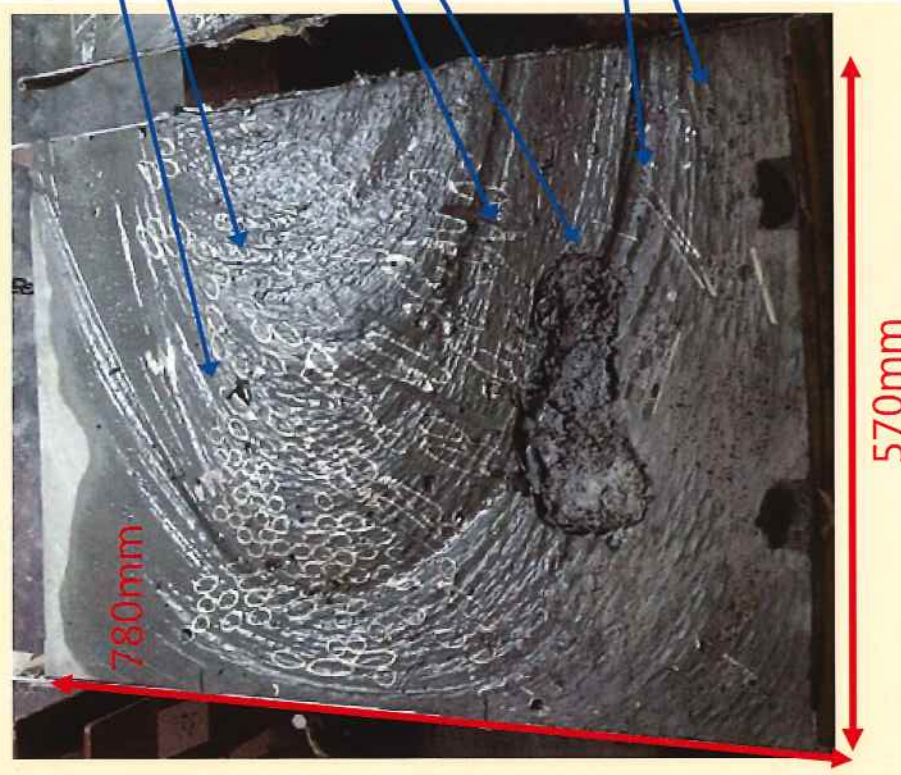
ドラム缶底部内面スケッチ図

〔埋設センターで2本目に確認されたドラム缶〕

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

塗装の剥がれ等が確認されたドラム缶を垂直方向に切断し、切断面を直接目視で確認した結果、「分別・収納記録」に記載する廃棄物以外が収納されていないことを確認した。

ドラム缶縦割り断面
分別・収納記録に記載する収納廃棄物



1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

ドラム缶底部外面の剥がれや膨らみの箇所を光学顕微鏡により観察した結果、塗装の膨らみや剥がれ、割れ(傷)を確認するとともに、白色の付着物を確認した。

ドラム缶底部膨らみ箇所を正面から撮影



ドラム缶底部剥がれ箇所を正面から撮影



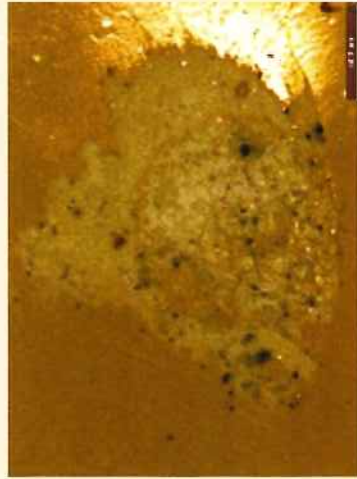
光学顕微鏡による観察結果 (ドラム缶底部外面)
[埋設センターで2本目に確認されたドラム缶]

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

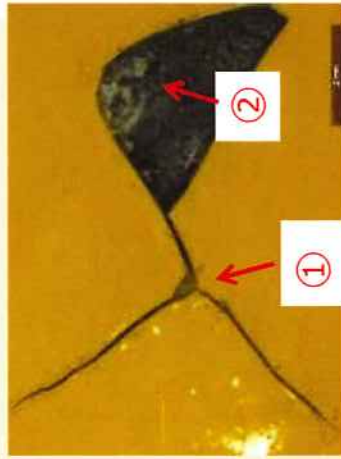


ドラム缶底部外面の剥がれや膨らみの箇所を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察、及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を実施した結果、塗料の含有成分 (Ti, C) と亜鉛めっきの成分 (Zn) を確認するとともに、塩素 (Cl) を確認した。なお、酸素 (O) は気中で分析を行っているため検出されたものである。

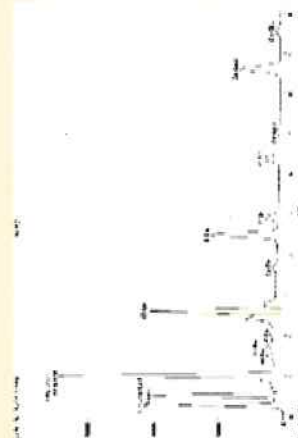
光学顕微鏡観察



外面に膨らみが確認された箇所

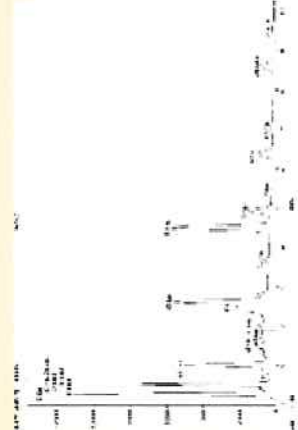


外面に剥がれが確認された箇所



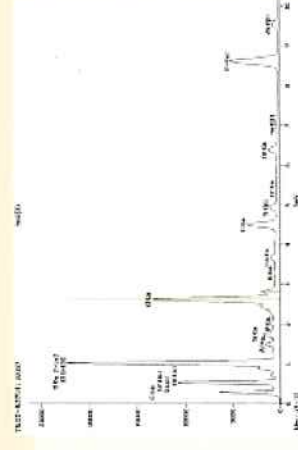
確認された元素

C、O、Al、Si、P、
Cl、Ca、Ti、Fe、
Zn



確認された元素

C、O、Al、Si、P、
Ca、Ti、Cr、Fe、
Zn



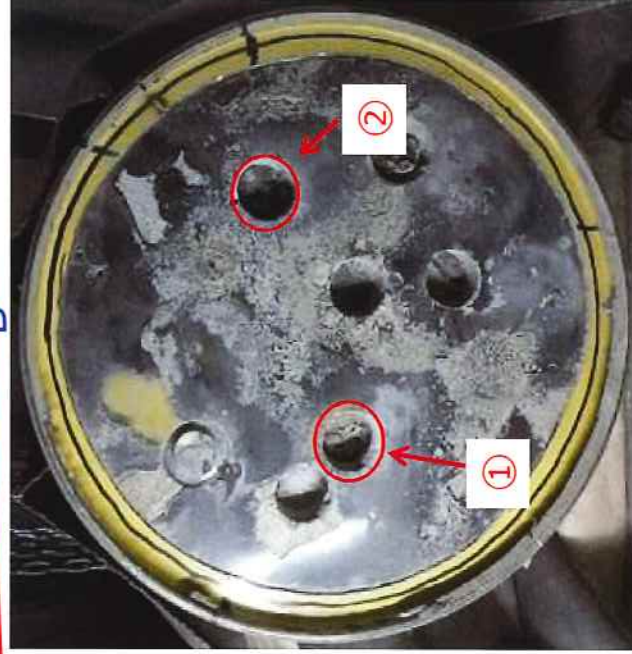
確認された元素

C、O、Al、Si、P、
Cl、K、Ca、Ti、Cr、
Fe、Zn

外面に剥がれが確認された箇所

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

ドラム缶底部外面に塗装の剥がれ等が確認された箇所裏にあたるモルタル部をコア抜きし、走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察、及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を実施した。結果を次頁に示す。



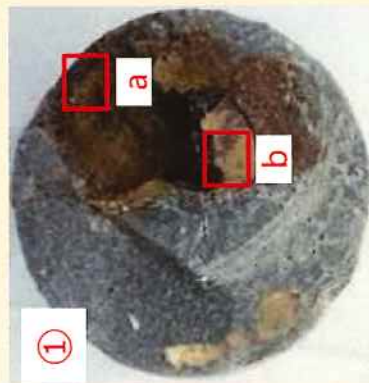
ドラム缶底部モルタル部
[埋設センターで2本目に確認されたドラム缶]

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

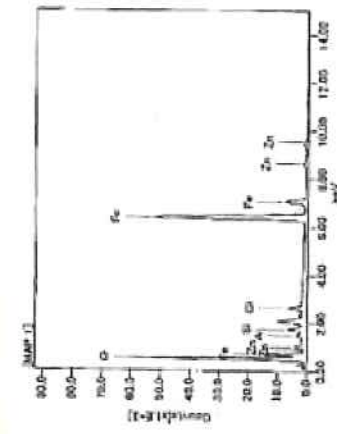


走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察、及び定性分析を実施した結果、モルタル成分 (Al, Si, Ca) や金属成分 (Fe) の他、腐食の発生と進展の要因となり得る成分 (Cl) を確認した。酸素 (O) は、鉄や亜鉛の酸化物によるものと考ええる。

コア抜きしたモルタル
(外面に膨らみが
確認された箇所)

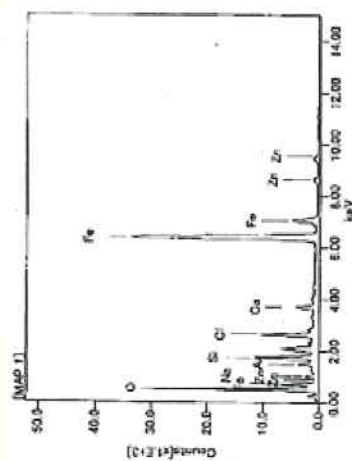


□ : 観察分析箇所



確認された元素

O、Fe、Zn、Al、Si、Cl



確認された元素

O、Fe、Na、Al、Zn、Si、Cl、Ca

a

b

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果



モルタルのコアの裏側から採取したものを走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を実施した結果、表側と比べて有意な成分がないことを確認した。

①のコアの裏側

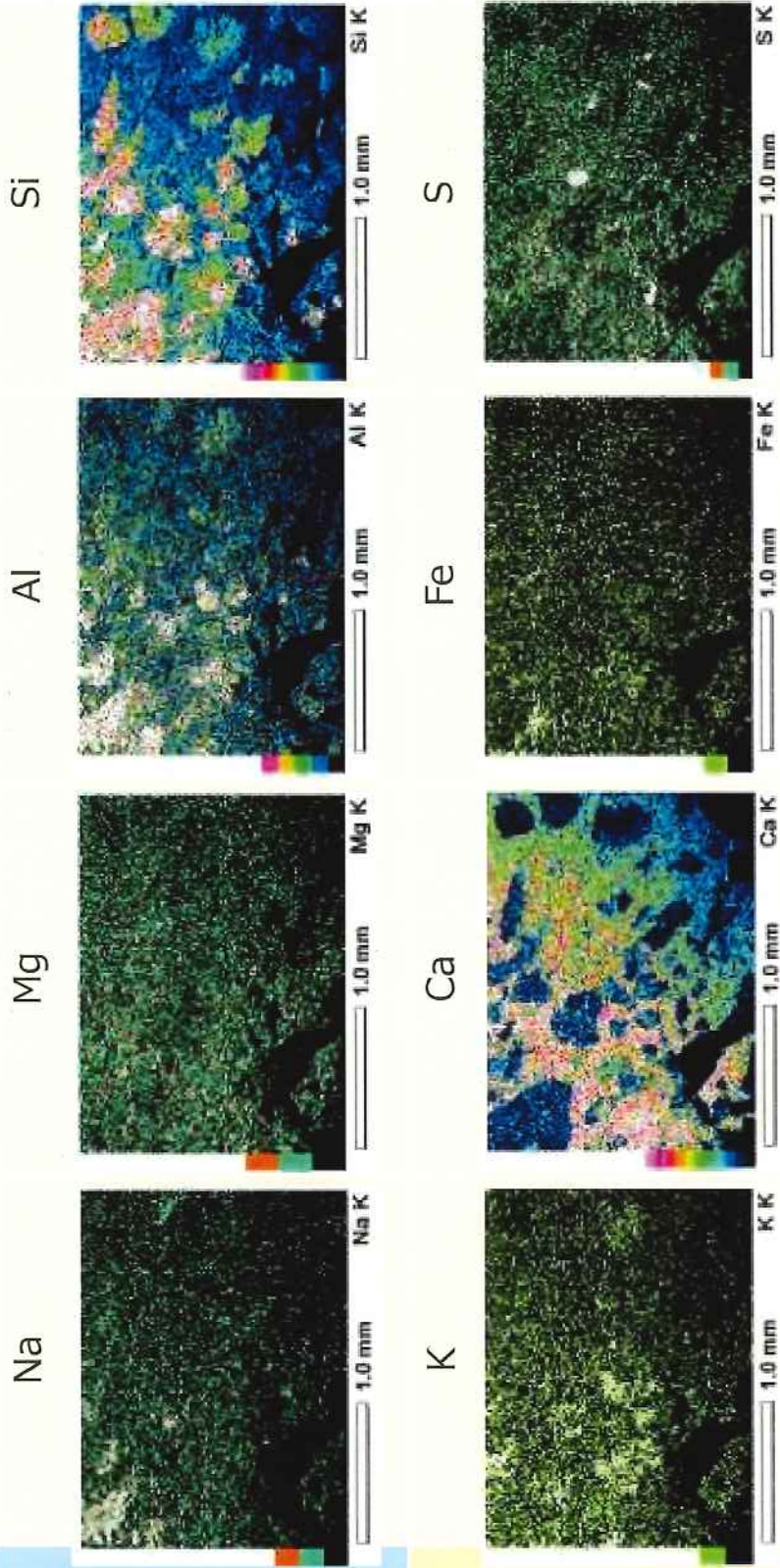


表面箇所の裏側から採取

走査型電子顕微鏡観察



エネルギー分散型 X 線分析(1/2)



1640255-CB1Lのドラム缶調査結果



モルタルのコアの裏側から採取したものを走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察及びエネルギー分散型 X線分析 (EDS) を実施した結果、表側と比べて有意な成分がないことを確認した。

①のコアの裏側



表面箇所
の裏側から採取
走査型電子顕微鏡観察

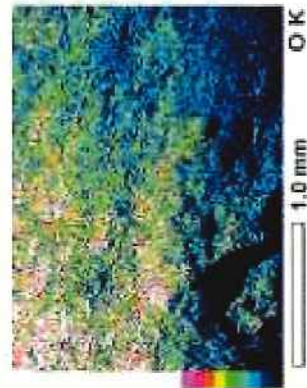


エネルギー分散型 X線分析(2/2)

Cl



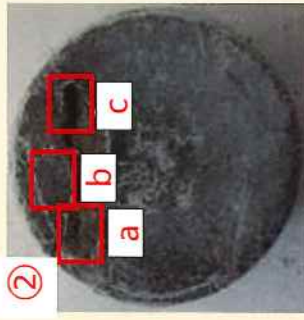
O



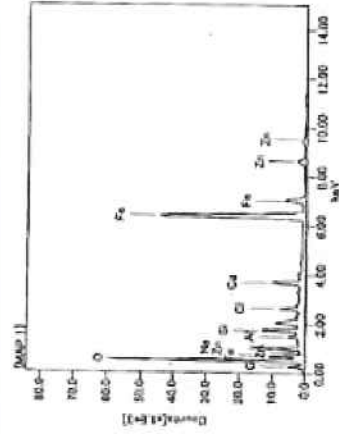
1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察及びエネルギー分散型X線分析 (EDS) を実施した結果、モルタル成分 (Al, Si, Ca, S) や金属成分 (Fe, Zn) の他、腐食の発生と進展の要因となり得る成分 (Cl, S) を確認した。酸素 (O) は、鉄や亜鉛の酸化物によるものと考えられる。なお、硫黄 (S) は、廃棄物が入っていないモルタルにも含まれていることを確認した。

コア抜きしたモルタル
(外面に剥がれが
確認された箇所)



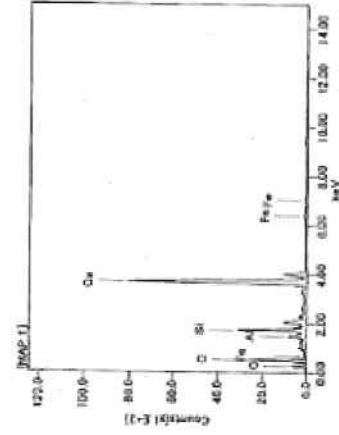
□ : 観察分析箇所



確認された元素

C、O、Fe、Zn、Na、Al、Si、Cl

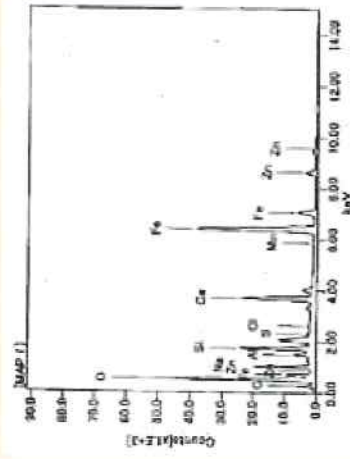
a



確認された元素

C、O、Fe、Al、Si、Ca

b



確認された元素

C、O、Fe、Zn、Na、Al、Si、S、Cl、Ca、Mn

c

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果



モルタルのコアの裏側から採取したものを走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を実施した結果、表側と比べて有意な成分がないことを確認した。

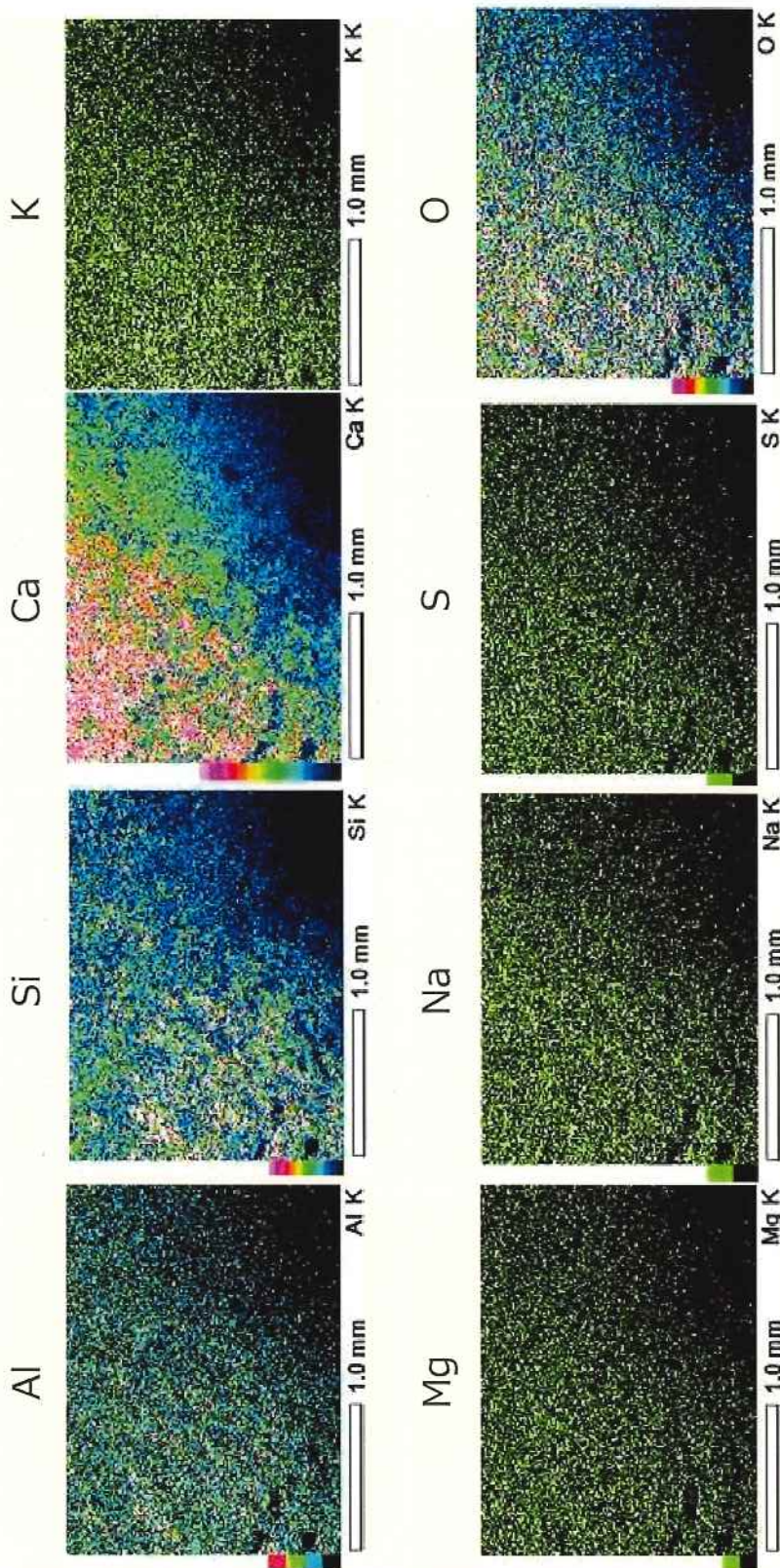
②のコアの裏側



表面箇所
の裏側から採取
走査型電子顕微鏡観察



エネルギー分散型 X 線分析(1/2)



1640255-CB1Lのドラム缶調査結果



モルタルのコアの裏側から採取したものを走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察及びエネルギー分散型 X線分析 (EDS) を実施した結果、表側と比べて有意な成分がないことを確認した。

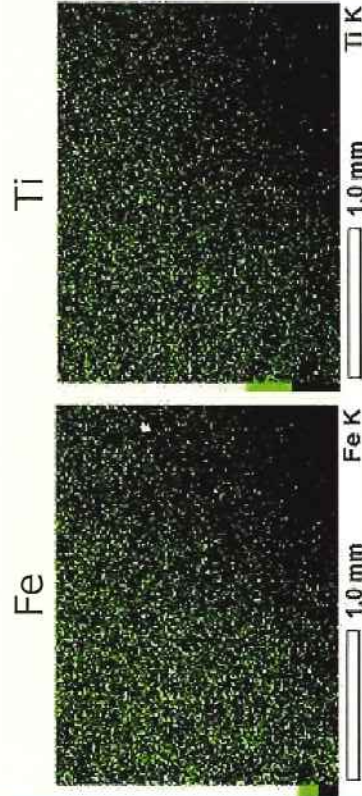
②のコアの裏側



表面箇所
の裏側から採取
走査型電子顕微鏡観察



エネルギー分散型 X線分析(2/2)



1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

ドラム缶底部外面に膨らみが確認された箇所を切断し、以下に示す矢視の方向から光学顕微鏡等による断面観察を実施した。結果を次頁に示す。



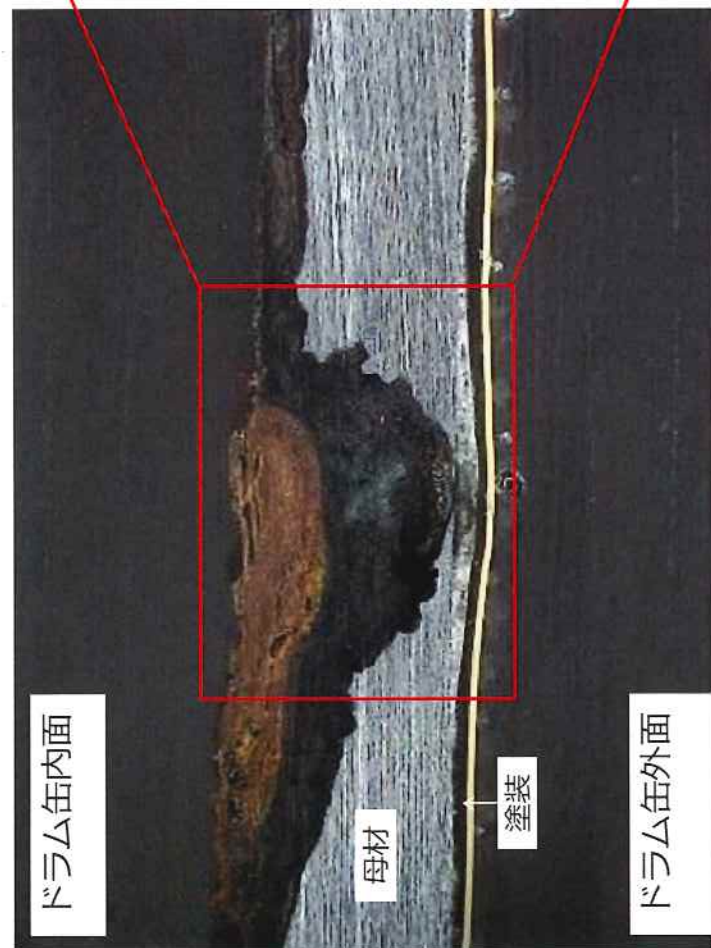
2 mm

ドラム缶底部外面膨らみ箇所の光学顕微鏡による観察結果
[埋設センターで2本目に確認されたドラム缶]

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果



光学顕微鏡による断面観察を実施した結果、ドラム缶内面からと推測される腐食及び内外面の塗装に傷を確認した。また、腐食が外面に達している箇所は、内面に塗装の傷及び腐食による発錆を確認した位置に相当することを確認した。



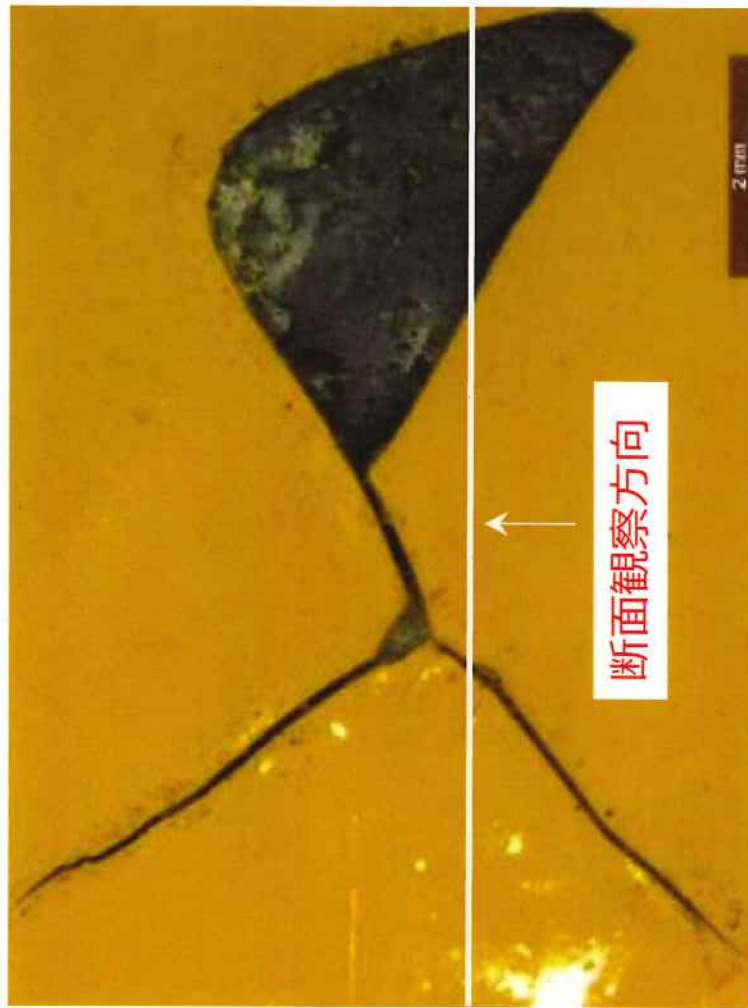
5mm

5mm

光学顕微鏡による観察結果（ドラム缶底部外面膨らみ箇所断面）
[埋設センターで2本目に確認されたドラム缶]

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

ドラム缶底部外面に剥がれや膨らみの確認された箇所を切断し、以下に示す矢視の方向から光学顕微鏡等による断面観察を実施した。結果を次頁に示す。



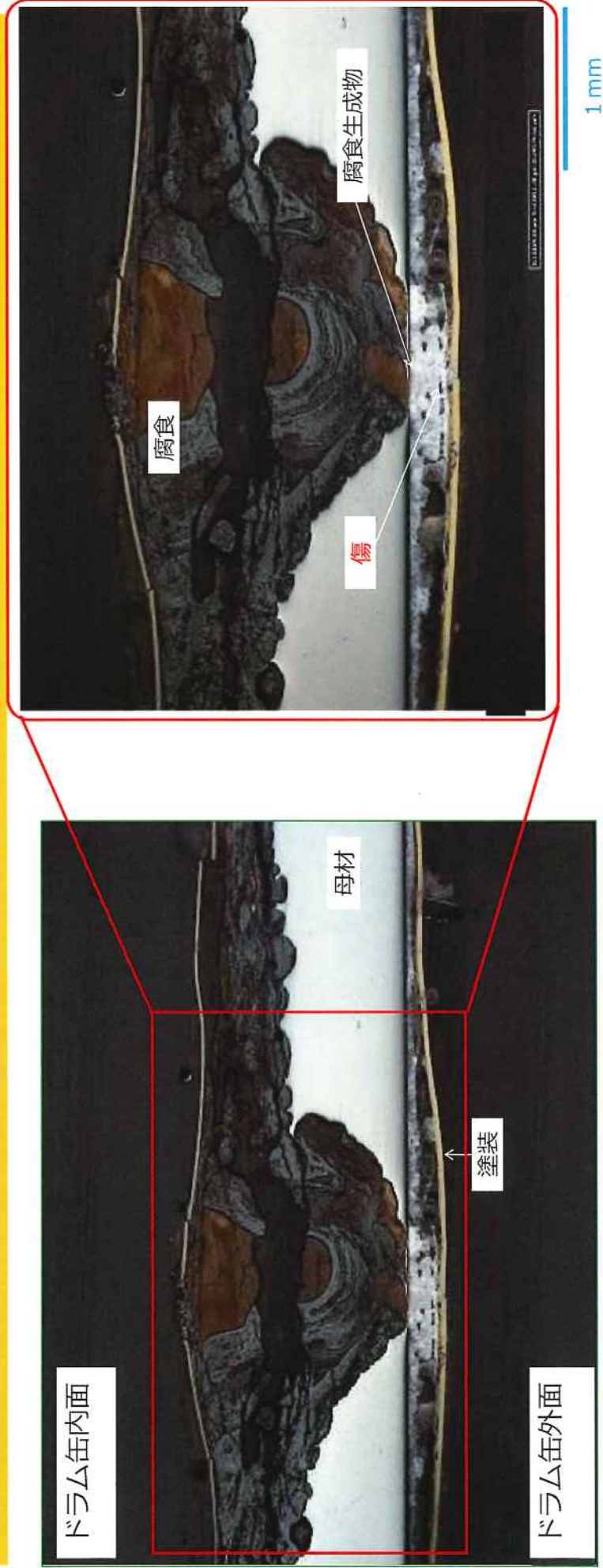
2mm

ドラム缶底部外面剥がれ箇所
[埋設センターで2本目に確認されたドラム缶]

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果



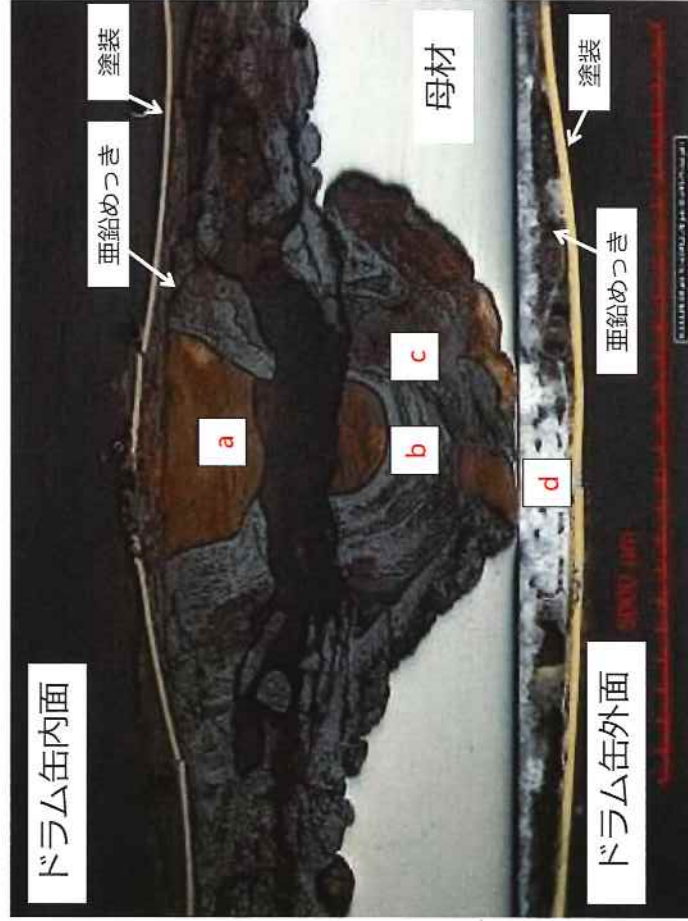
光学顕微鏡による断面観察を実施した結果、ドラム缶内面からと推測される腐食及び内外面の塗装に傷を確認した。また、腐食が外面に達している箇所は、内面に塗装の傷及び腐食による発錆を確認した位置に相当することを確認した。



光学顕微鏡による観察結果（ドラム缶底部外面膨らみ箇所断面）
[埋設センサーで2本目に確認されたドラム缶]

1640255-CB1Lのドラム缶調査結果

断面観察により確認した a～d 部位について、X線回折 (XRD) による結晶構造を確認した結果、塩化物イオン (Cl-) が存在する環境下で生成されるアカガネイト、及び亜鉛めっき鋼板の腐食生成物である塩基性塩化亜鉛を確認した。



a アカガネイト ($\beta\text{-FeOOH}$)
 ゲーサイト (FeO(OH))
 マグネタイト (Fe_3O_4)

b 塩基性塩化亜鉛 : Simonkolleite ($\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2\text{H}_2\text{O}$)
 鉄 (Fe)
 酸化鉄 ($\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$)
 マグネタイト (Fe_3O_4)

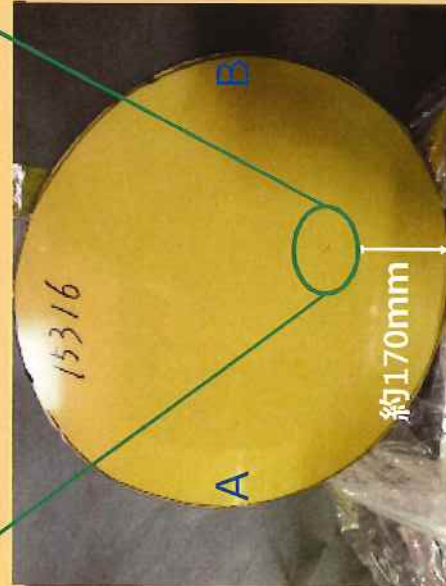
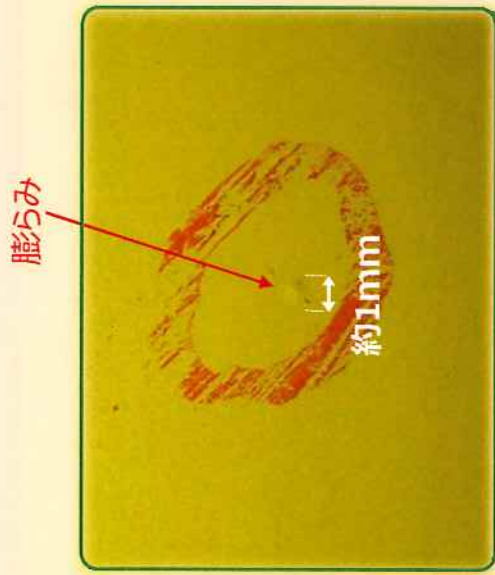
c 塩基性塩化亜鉛 : Simonkolleite ($\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2\text{H}_2\text{O}$)
 鉄 (Fe)
 ジンカイト/酸化亜鉛 (ZnO)

d 塩基性塩化亜鉛 : Simonkolleite ($\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2\text{H}_2\text{O}$)
 ジンカイト/酸化亜鉛 (ZnO)

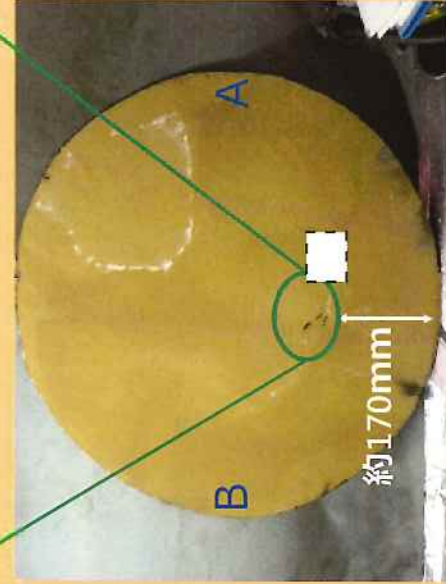
X線回折 (XRD) による分析結果 (ドラム缶底部)
 [埋設センターで2本目に確認されたドラム缶]

1640591-CB1Lのドラム缶調査結果

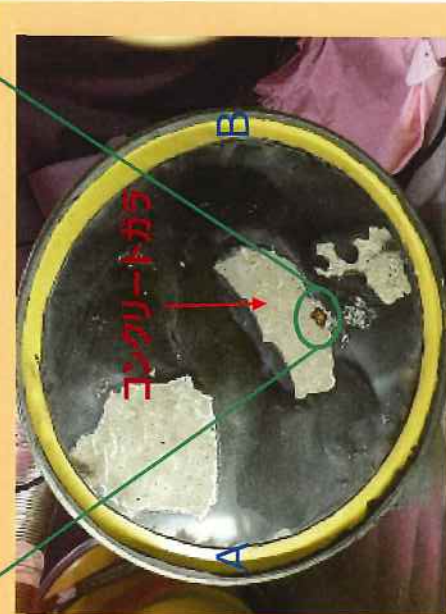
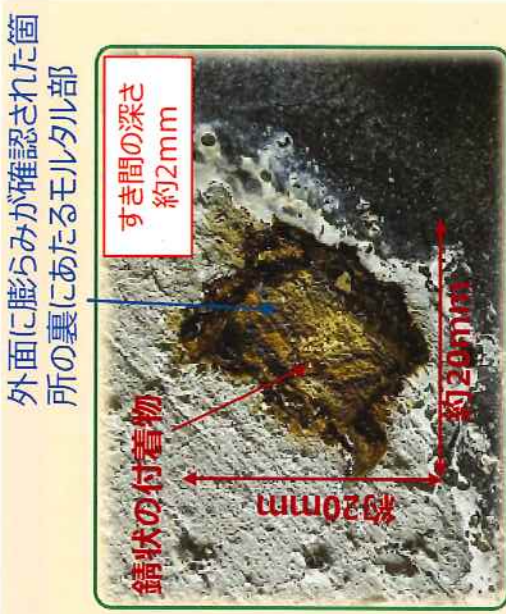
[埋設センターで3本目に確認されたドラム缶]



ドラム缶底部外面



ドラム缶底部内面

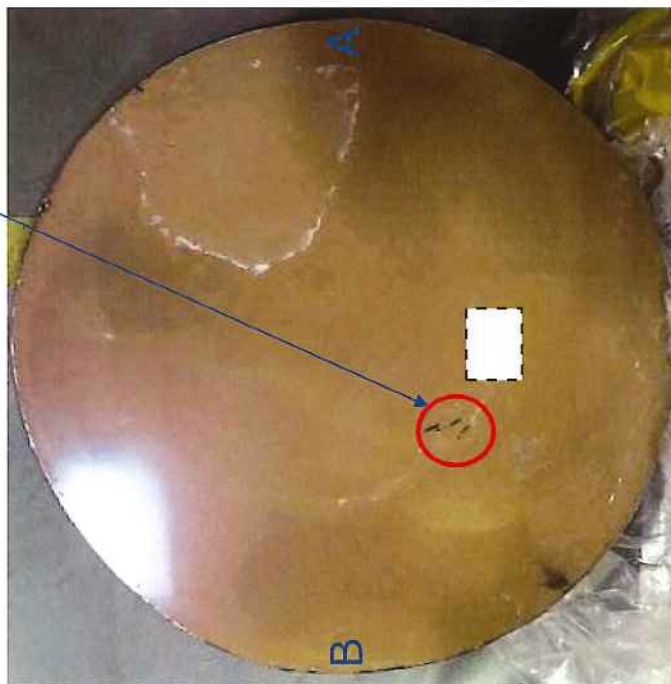


ドラム缶底部モルタル部

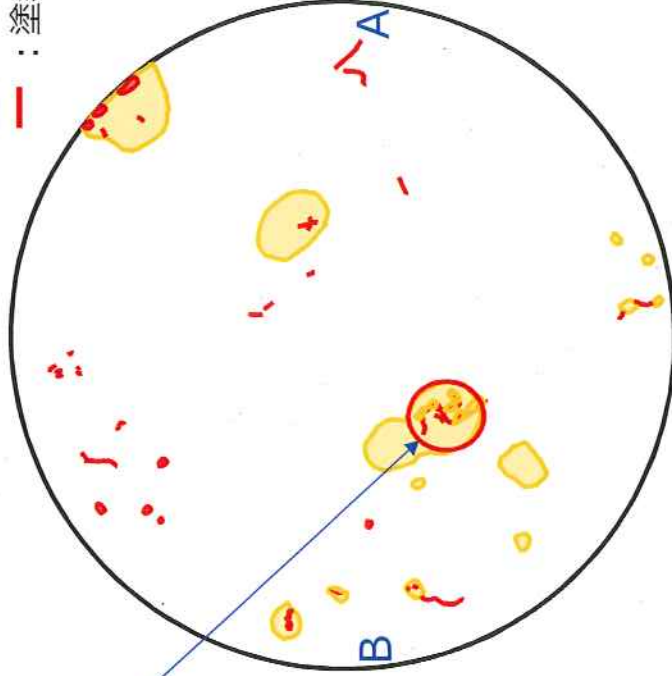
1640591-CB1Lのドラム缶調査結果

当該部以外のドラム缶底部内面にも塗装の膨らみや傷を確認したが腐食は確認されなかった。

外面に膨らみが確認された
箇所の裏にあたる箇所



□ : 塗装の膨らみ
- : 塗装の傷



ドラム缶底部内面

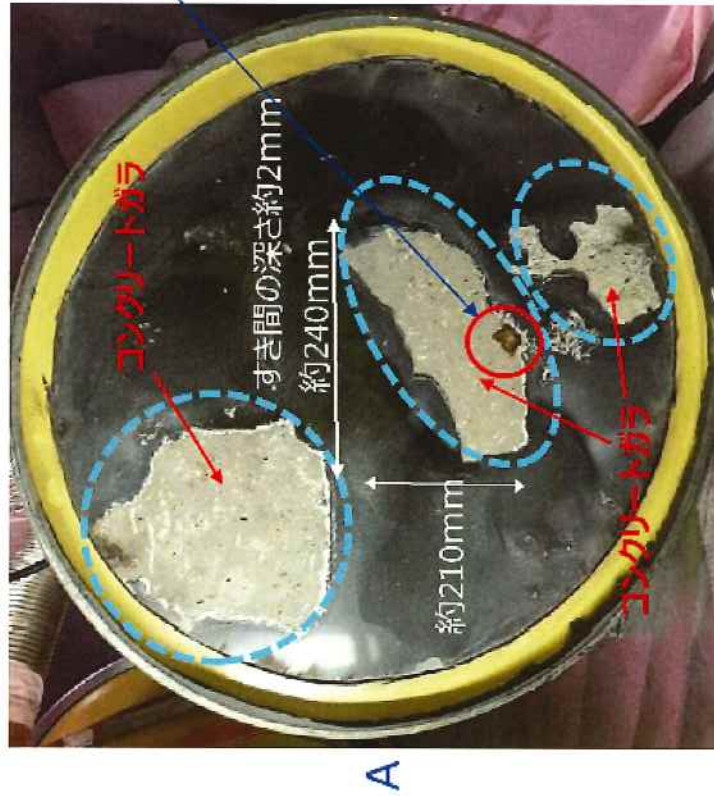
[埋設センターで3本目に確認されたドラム缶]

ドラム缶底部内面スケッチ図

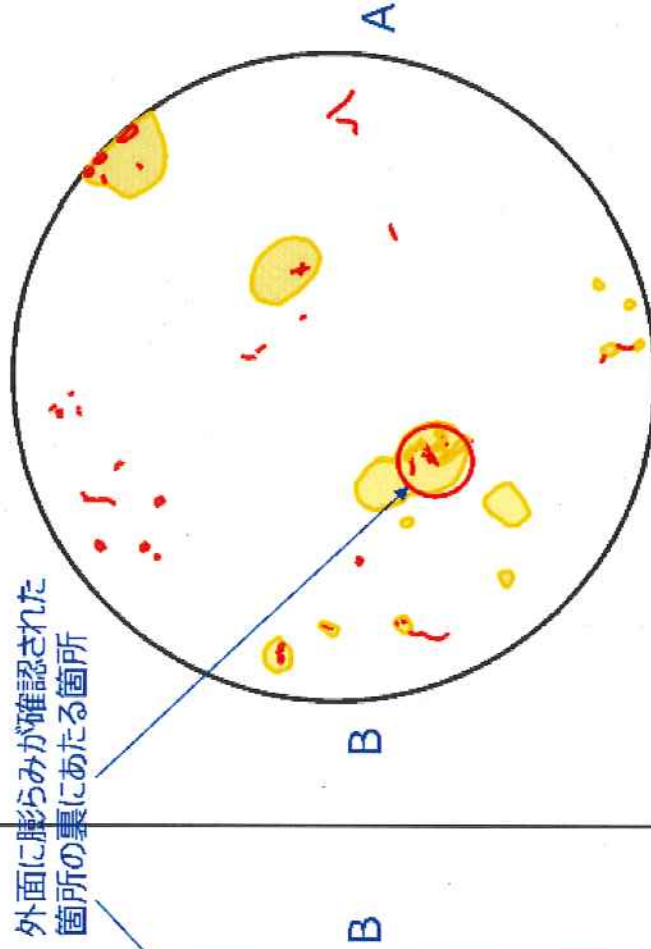
[埋設センターで3本目に確認されたドラム缶]

1640591-CB1Lのドラム缶調査結果

当該部以外のモルタル部にもドラム缶底部内面との界面にすき間を確認した。また、すき間を確認した箇所の直上に平らな形状のコンクリートガラが収納されていることを確認した。



○: すき間



— : 塗装の傷
□ : 塗装の膨らみ

ドラム缶底部モルタル部
[埋設センターで3本目に確認されたドラム缶]

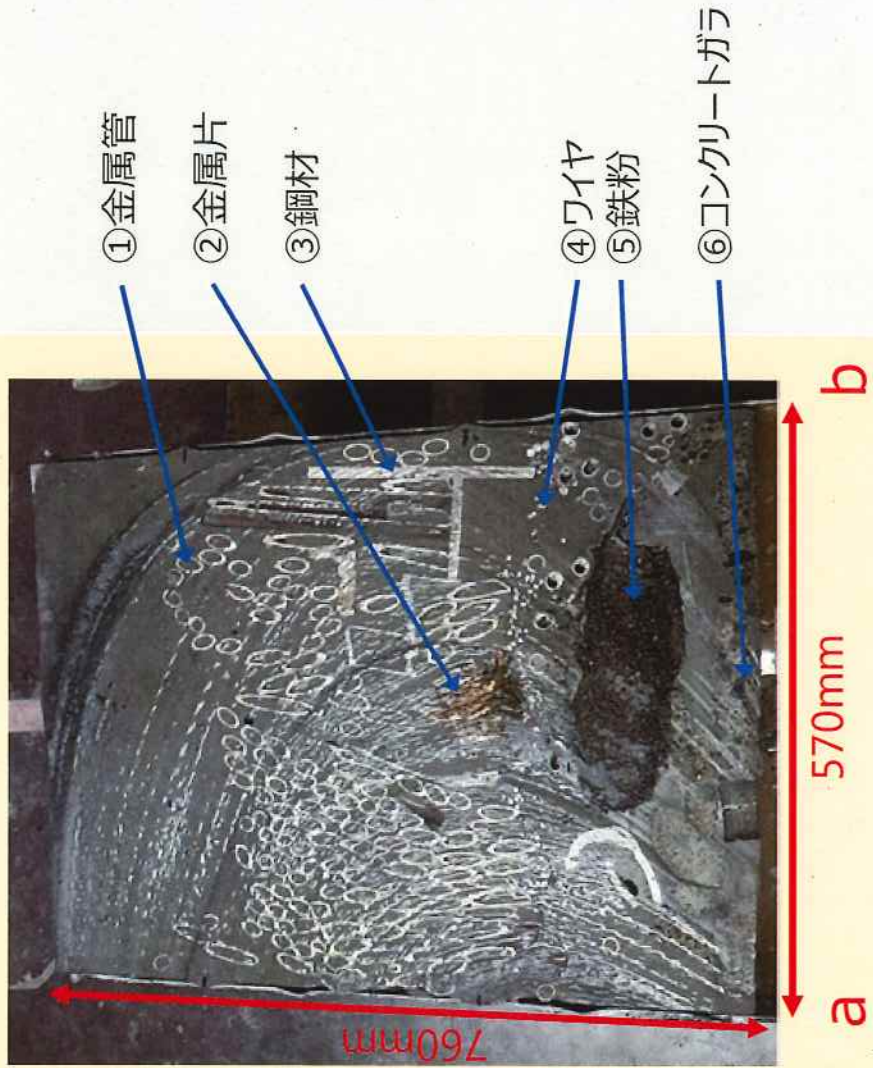
ドラム缶底部内面スケッチ図
[埋設センターで3本目に確認されたドラム缶]

1640591-CB1Lのドラム缶調査結果

塗装の膨らみが確認されたドラム缶を垂直方向に切断し、切断面を直接目視で確認した結果、「分別・収納記録」に記載する廃棄物以外が収納されていないことを確認した。

分別・収納記録に記載する
収納廃棄物

ドラム缶縦割り断面



ドラム缶縦割り断面



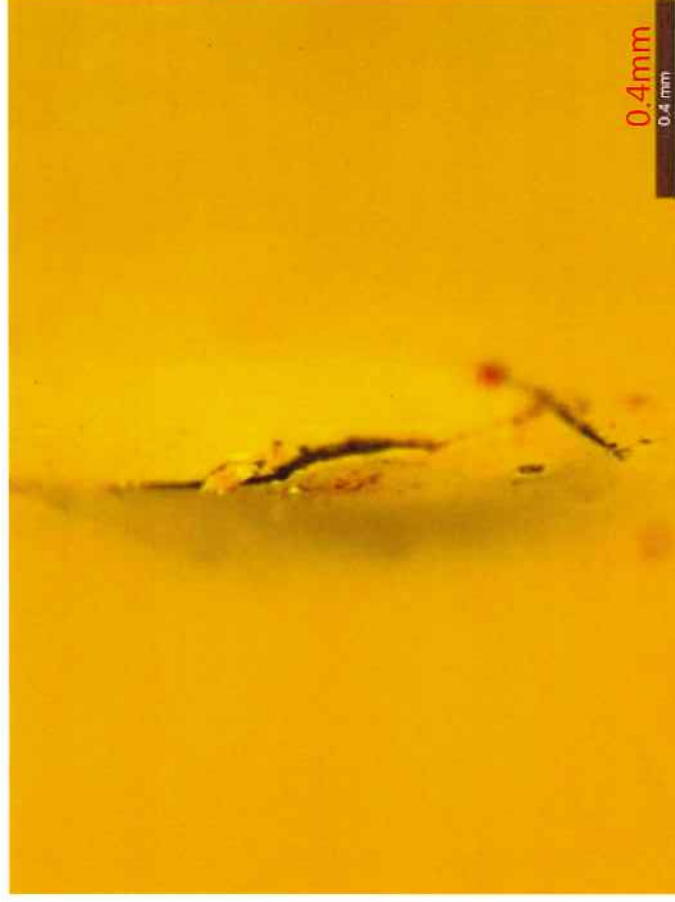
1640591-CB1Lのドラム缶調査結果

ドラム缶底部外面の膨らみ箇所を光学顕微鏡により観察した結果、塗装の膨らみや割れ（傷）を確認した。

ドラム缶底部膨らみ箇所を正面から撮影



ドラム缶底部膨らみ箇所を斜めから撮影



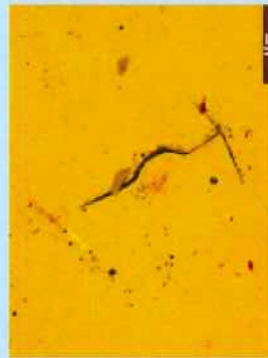
ドラム缶底部外面膨らみ箇所の光学顕微鏡による観察結果
[埋設センターで3本目に確認されたドラム缶]

1640591-CB1Lのドラム缶調査結果



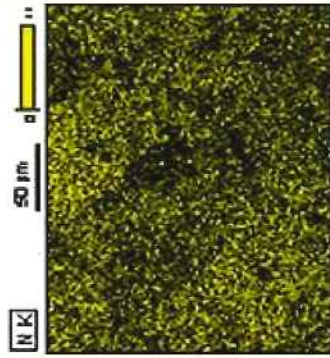
ドラム缶底部外面の膨らみ箇所を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察、及びエネルギー分散型 X線分析 (EDS) を実施した結果、塗料の含有成分 (Ti, C) と亜鉛めっきの成分 (Zn) を確認するとともに、塩素 (Cl) を確認した。なお、窒素 (N)と酸素 (O) は気中で分析を行っているため検出されたものである。

光学顕微鏡観察

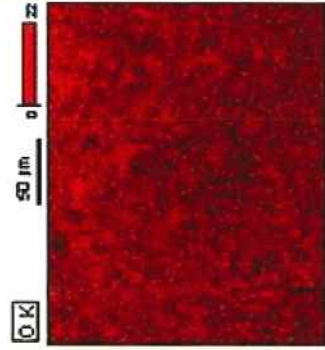


エネルギー分散型 X線分析

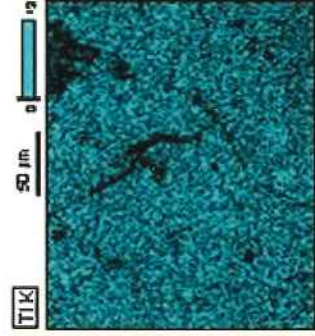
N



O



Ti



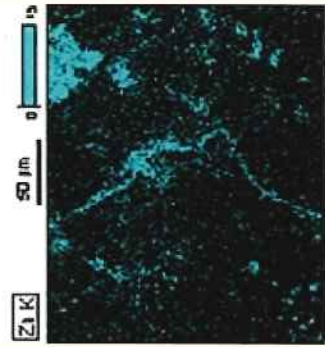
C



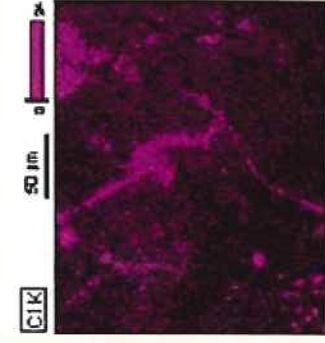
走査型電子顕微鏡観察



Zn



Cl

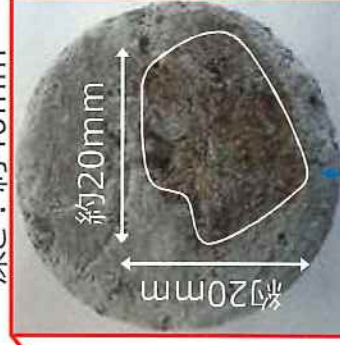


1640591-CB1Lのドラム缶調査結果

ドラム缶底部外面に膨らみが確認された箇所を裏にあたるモルタル部をコア抜きし、走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察、及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を実施した。結果を次頁に示す。



コア抜きしたモルタル
直径：約50mm
深さ：約40mm



錆状の付着物が確認された部分
(この錆状の付着物は表面に付着したものであり、ドラム缶底部内面で確認した腐食による錆が付着したものと考える)

ドラム缶底部モルタル部
[埋設センターで3本目に確認されたドラム缶]

1640591-CB1Lのドラム缶調査結果



走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を実施した結果、モルタル成分 (Al, Si, Ca, S) や金属成分 (Fe, Zn) の他、腐食の発生と進展の要因となり得る成分 (Cl, S) を確認した。酸素 (O) は、鉄や亜鉛の酸化物によるものと考える。なお、硫黄 (S) は、廃棄物が入っていないモルタルにも含まれていることを確認した。

コア抜きしたモルタル



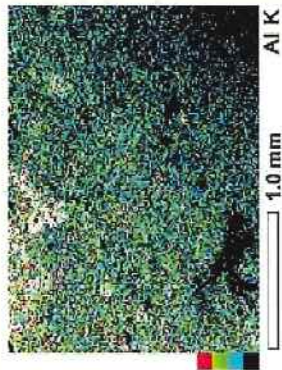
□: 観察分析箇所

走査型電子顕微鏡観察

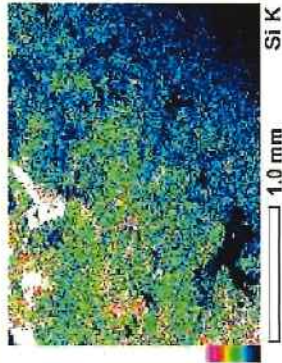


エネルギー分散型 X 線分析

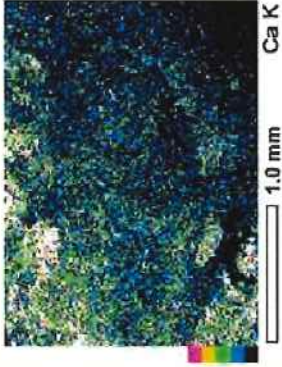
Al



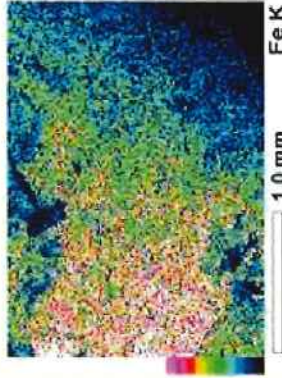
Si



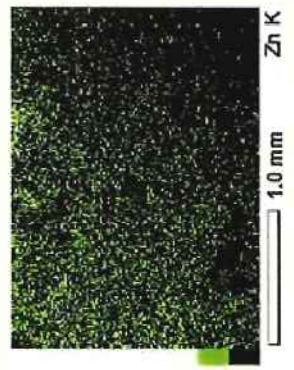
Ca



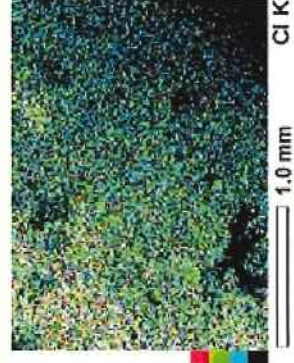
Fe



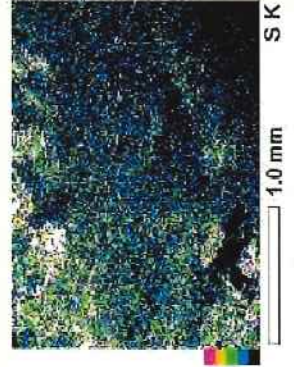
Zn



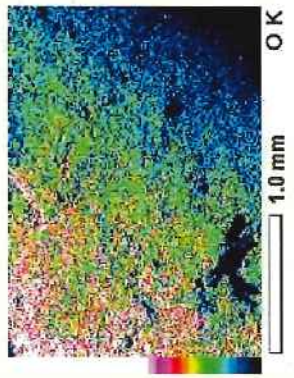
Cl



S



O



1640591-CB1Lのドラム缶調査結果



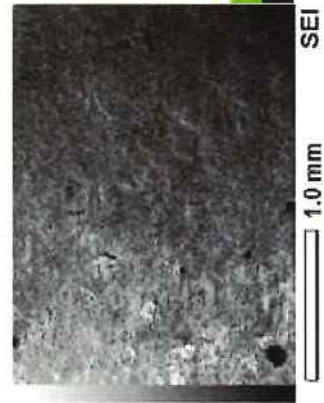
モルタルのコアの裏側から採取したものを走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を実施した結果、表側と比べて有意な成分がないことを確認した。

コアの裏側



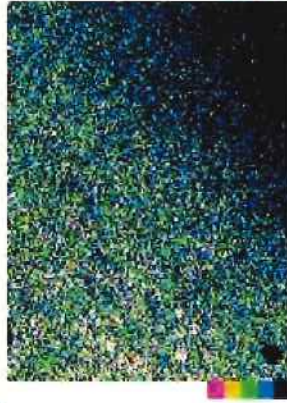
表面箇所裏側から採取

走査型電子顕微鏡観察

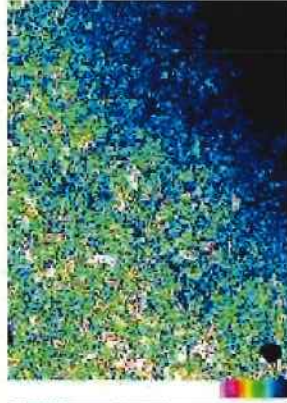


エネルギー分散型 X 線分析

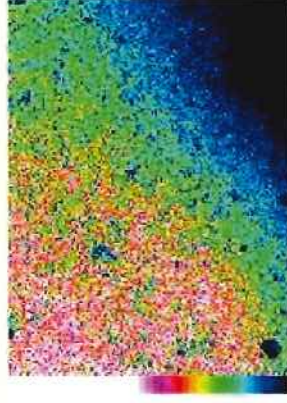
Al



Si



Ca



K



Mg



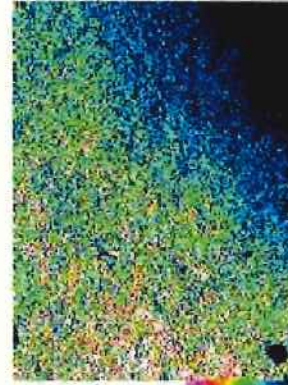
Na



S



O



SEI

1.0 mm

Mg K

1.0 mm

Na K

1.0 mm

S K

1.0 mm

Ca K

1.0 mm

Si K

1.0 mm

Al K

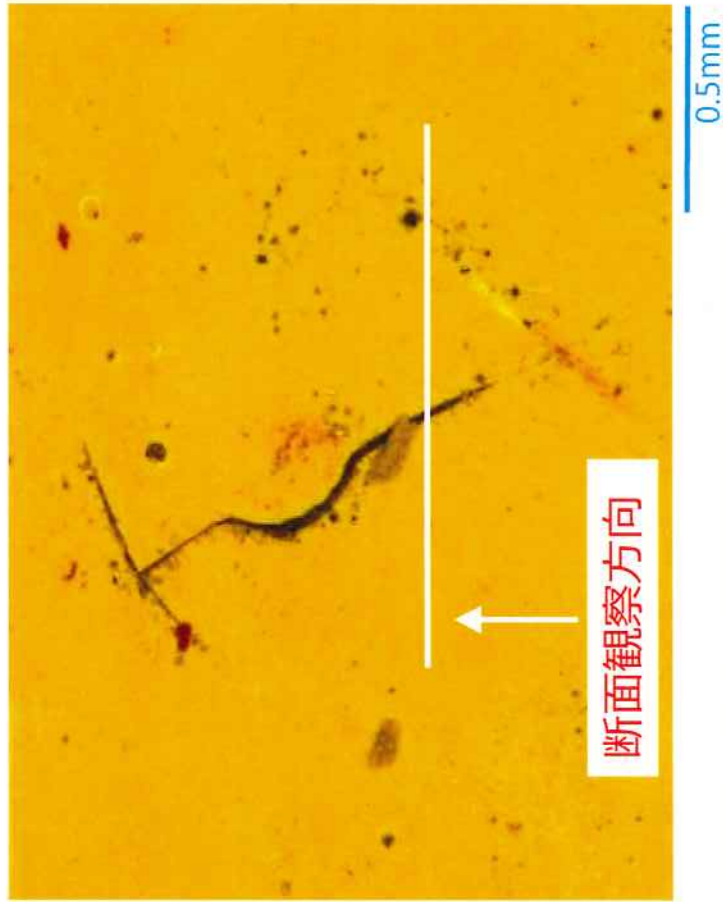
1.0 mm

O K

1.0 mm

1640591-CB1Lのドラム缶調査結果

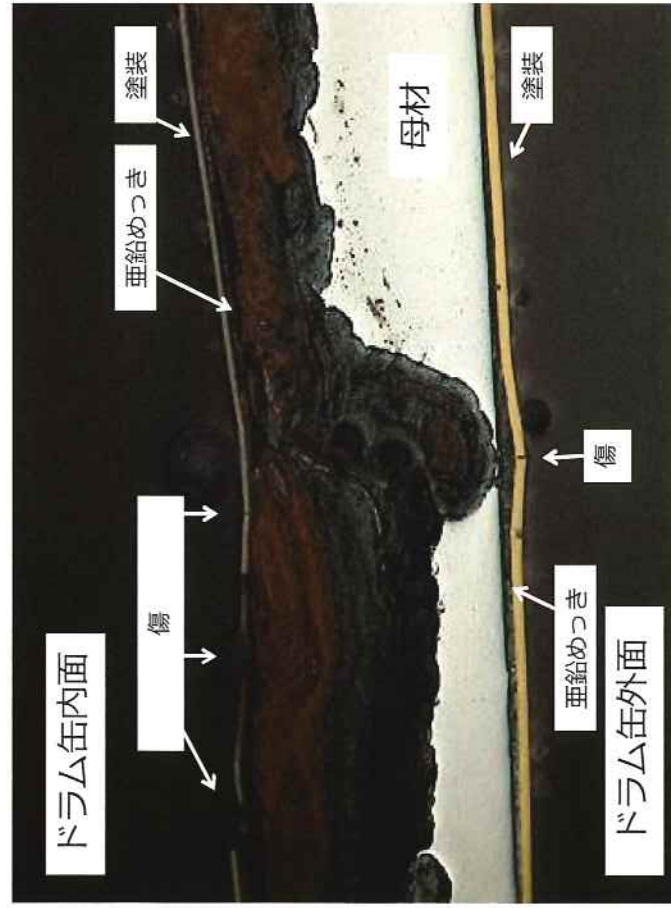
ドラム缶底部外面に塗装の膨らみや割れ（傷）が確認された箇所を切断し、以下に示す矢視の方向から光学顕微鏡等による断面観察を実施した。結果を次頁に示す。



ドラム缶底部外面膨らみ箇所の光学顕微鏡による観察結果
[埋設センターで3本目に確認されたドラム缶]

1640591-CB1Lのドラム缶調査結果

光学顕微鏡及び実体顕微鏡による断面観察を実施した結果、ドラム缶内面からと推測される腐食及び内外面の塗装に傷を確認した。また、腐食が外面に達している箇所は、内面に塗装の傷及び腐食による発錆を確認した位置に相当することを確認した。更に、断面の結晶構造分析を行った結果を次頁に示す。



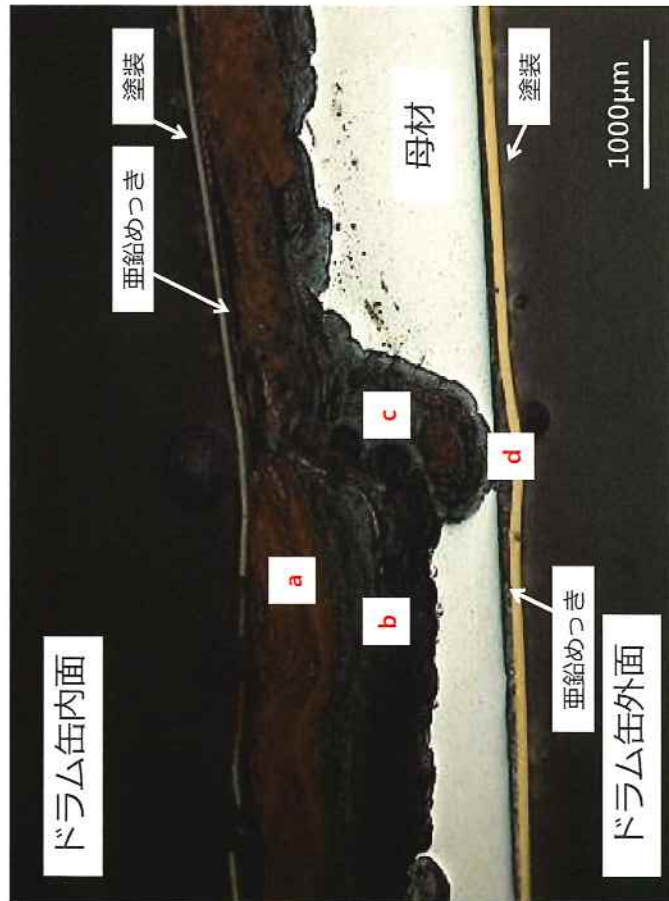
光学顕微鏡による観察結果（ドラム缶底部断面）
 [埋設センターで3本目に確認されたドラム缶]



実体顕微鏡による観察結果（ドラム缶底部断面）
 [埋設センターで3本目に確認されたドラム缶]

1640591-CB1Lのドラム缶調査結果

断面観察により確認したa～dの部位について、X線回折（XRD）による結晶構造を確認した結果、塩化物イオン（Cl⁻）が存在する環境下で生成されるアカガネイト、及び亜鉛めっき鋼板の腐食生成物である塩基性塩化亜鉛を確認した。



- a** : 鉄 (Fe)
塩基性塩化亜鉛 ($Zn_5(OH)_8Cl_2H_2O$)
アカガネイト ($\beta\text{-FeOOH}$)
- b** : 鉄 (Fe)
塩基性塩化亜鉛 ($Zn_5(OH)_8Cl_2H_2O$)
ゲーサイト ($\alpha\text{-FeOOH}$)
酸化亜鉛 (ZnO)
- c** : 鉄 (Fe)
塩基性塩化亜鉛 ($Zn_5(OH)_8Cl_2H_2O$)
- d** : 鉄 (Fe)
塩基性塩化亜鉛 ($Zn_5(OH)_8Cl_2H_2O$)

X線回折（XRD）による分析結果（ドラム缶底部）
[埋設センサーで3本目に確認されたドラム缶]

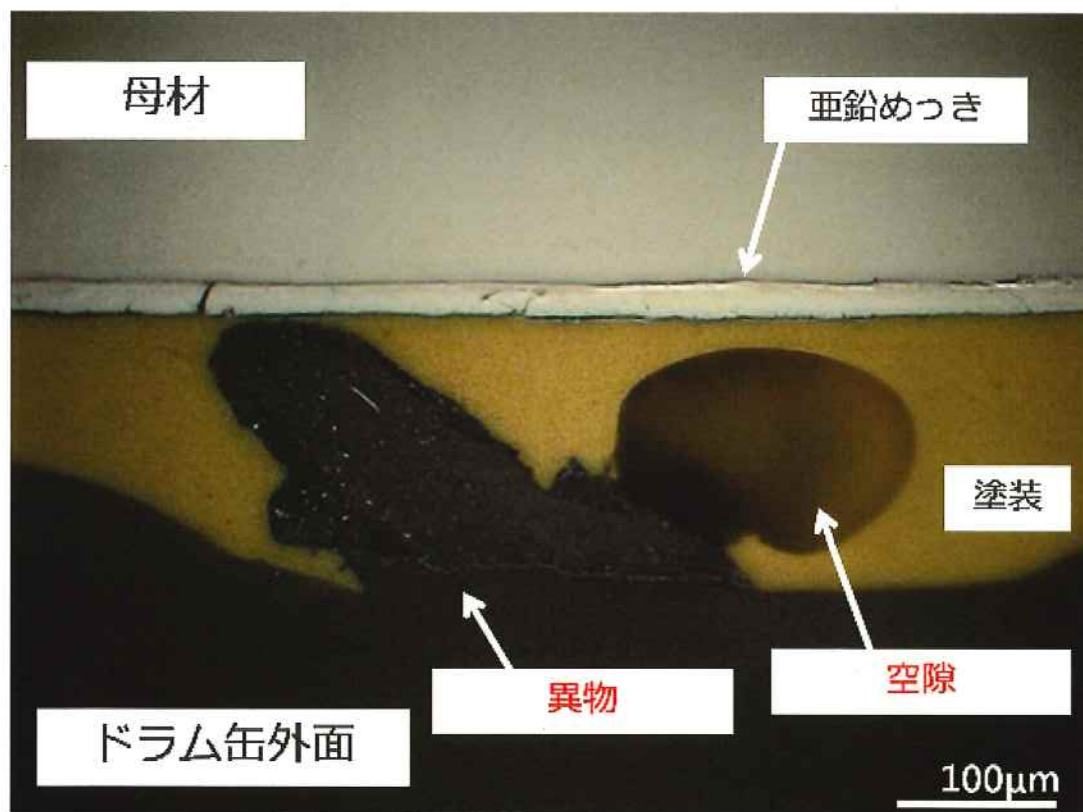
塗装の膨らみが確認された充填固化体（溶融体収納）の確認状況

充填固化体（溶融体収納）1741117-CB1Mの塗装の膨らみが確認された部位を断面観察した結果、塗装に膨らみを確認した箇所のドラム缶底面の母材ならびに亜鉛めっきに異状はなく健全であることを確認できたため、添付資料-4の要因分析図に基づくその他の調査は不要と判断した。

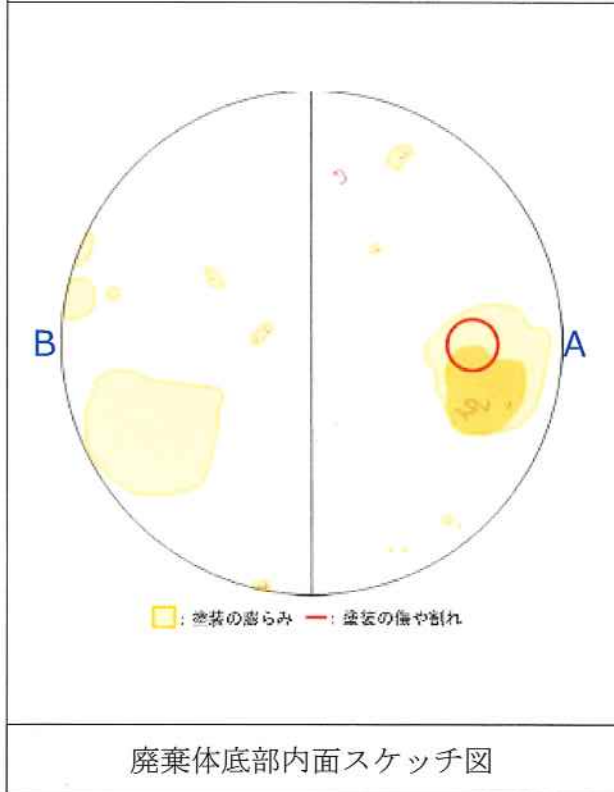
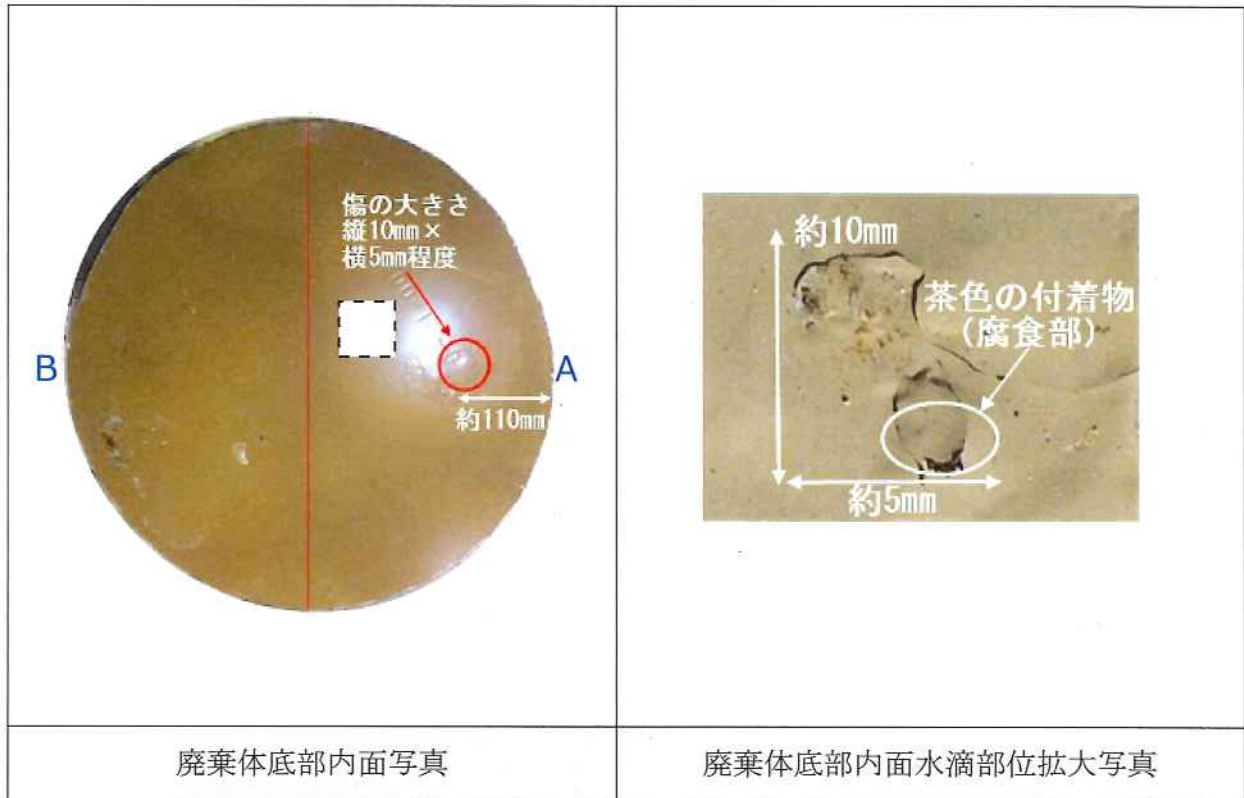
また、ドラム缶底部外面に確認された膨らみの原因をドラム缶の製作者に確認した結果、ドラム缶の製造設備等で発生した微細な鉄粉が空气中を浮遊し、その鉄粉が塗装後の乾燥工程初期にドラム缶表面に付着することによりその周りの塗料が盛り上がり形成された可能性は否定できない旨の回答を得た。

なお、異物の近傍にある空隙は、鉄粉が付着する際に同時に取り込まれた空気により形成されたものとする。

光学顕微鏡による観察結果（底部断面写真）



水滴が確認された廃棄体底部内面の傷等の状況 (1本目)
 (整理番号: 1640572-CB1L)



廃棄体底部内面スケッチ図

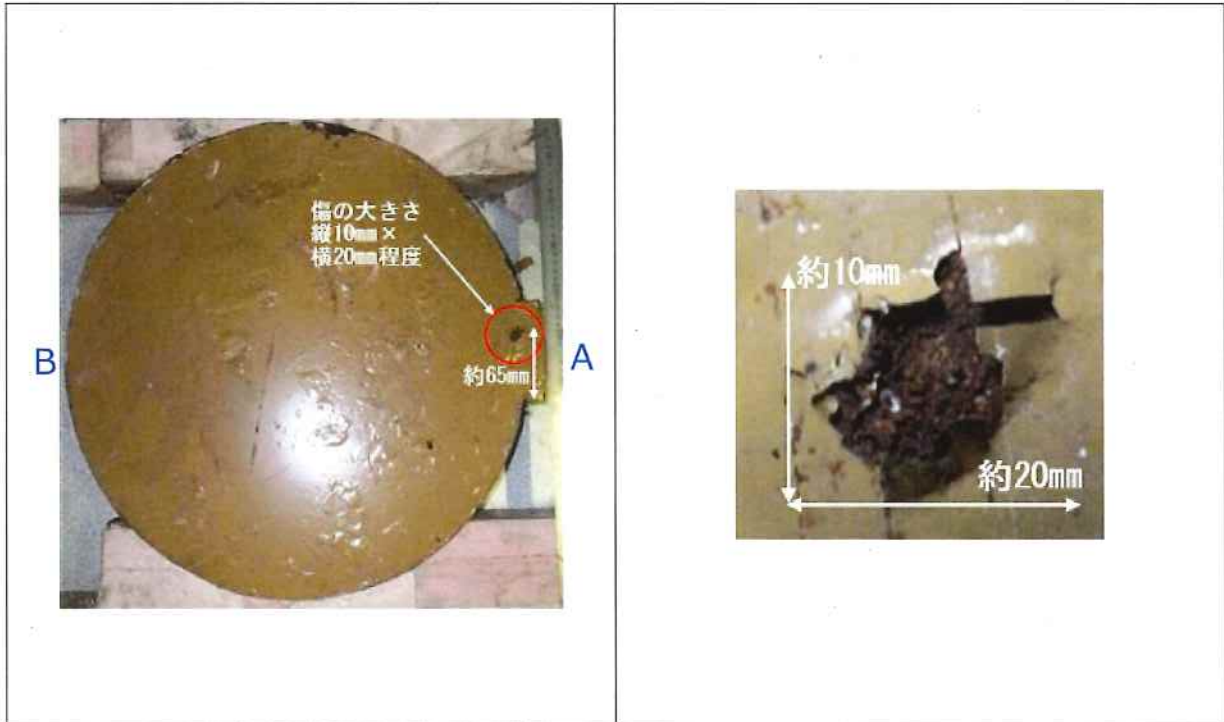
○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された廃棄体底部内面の傷等の状況 (2本目)
 (整理番号: 1640255-CB1L)

<p>廃棄体底部内面写真</p>	<p>廃棄体底部内面水滴部位①拡大写真</p>
<p> : 塗装のぼろみ : 塗装の剥がれ : 塗装上のシミ : 塗装の傷や割れ </p>	
<p>廃棄体底部内面スケッチ図</p>	<p>廃棄体底部内面水滴部位②拡大写真</p>

○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された廃棄体底部内面の傷等の状況 (3本目)
 (整理番号: 1740062-CB1L)



廃棄体底部内面写真

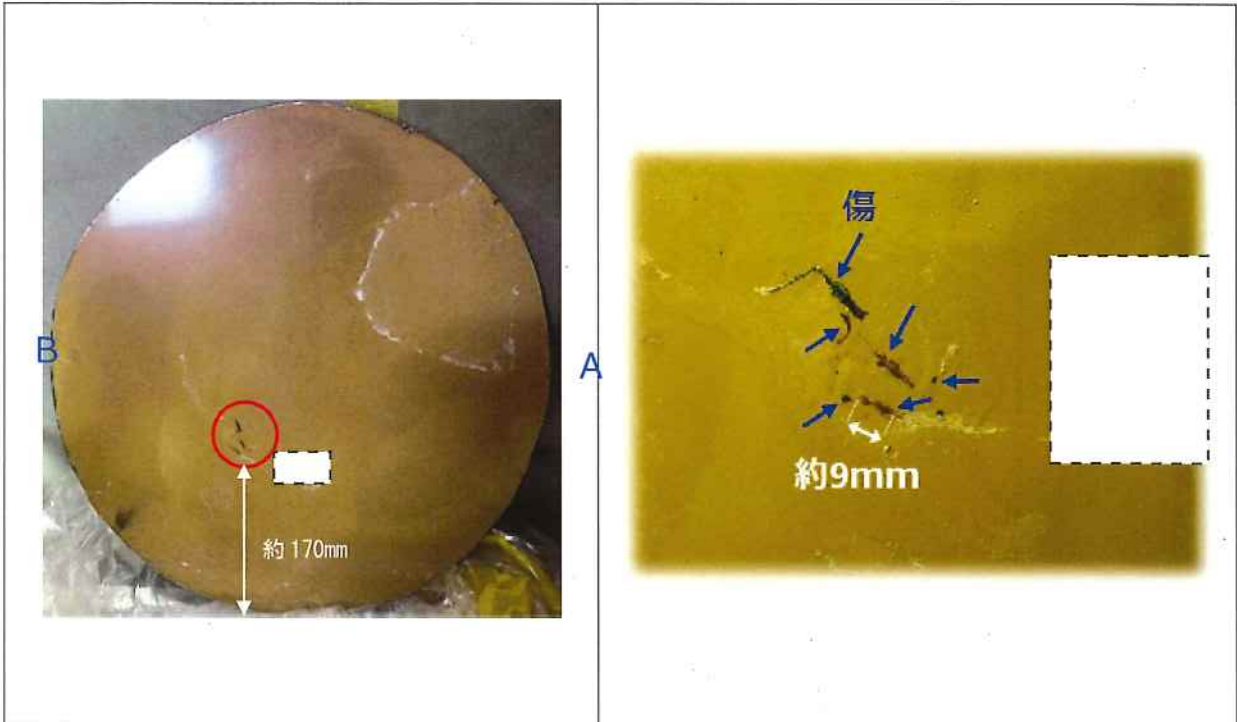
廃棄体底部内面水滴部位拡大写真



廃棄体底部内面スケッチ図

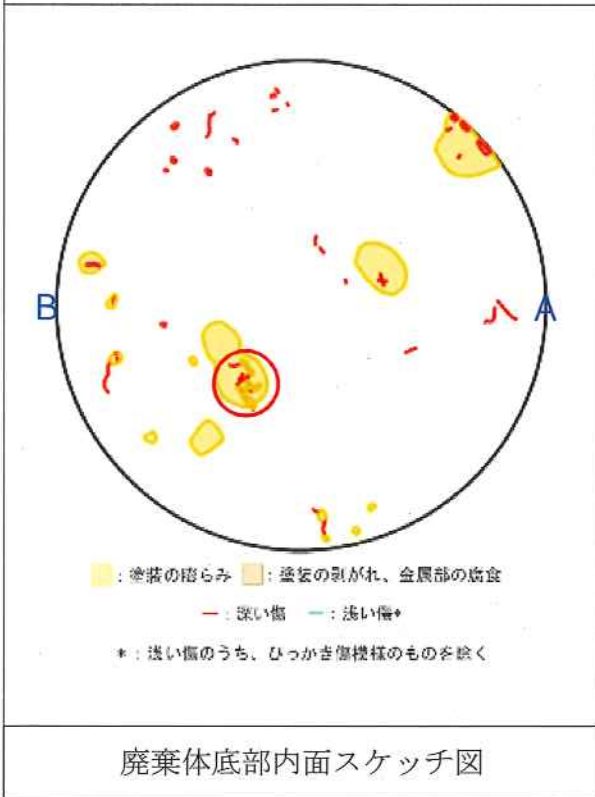
○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された廃棄体底部内面の傷等の状況（4本目）
 (整理番号：1640591-CB1L)



廃棄体底部内面写真

廃棄体底部内面水滴部位拡大写真



廃棄体底部内面スケッチ図

○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された廃棄体底部モルタル部の隙間等の状況 (1本目)
 (整理番号: 1640572-CB1L)

 <p>○: 隙間</p> <p><収納廃棄物> 金属片、金属管、鋼材、小物金属類、 鉄粉、コンクリート</p>	
<p>廃棄体底部モルタル部写真</p>	<p>廃棄体底部モルタル部水滴部位拡大写真</p>
	
<p>廃棄体底部モルタル部水滴部位コア写真</p>	

○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された廃棄体底部モルタル部の隙間等の状況（2本目）1/2
 (整理番号：1640255-CB1L)



○：隙間

<収納廃棄物>

金属片、金属管、塊状金属、小物金属類、
鉄粉、コンクリート



廃棄体底部モルタル部写真

廃棄体底部モルタル部水滴部位①拡大写真




廃棄体底部モルタル部水滴部位①コア写真

○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された廃棄体底部モルタル部の隙間等の状況 (2本目) 2/2
 (整理番号: 1640255-CB1L)

 <p>① 隙間の大きさ 縦15mm× 横23mm× 深さ2mm程度</p> <p>② 隙間の大きさ 縦5mm× 横20mm× 深さ2mm程度</p> <p>○: 隙間</p> <p><収納廃棄物> 金属片、金属管、塊状金属、小物金属類、 鉄粉、コンクリート</p>	 <p>隙間の深さ 約2mm</p> <p>約5mm</p> <p>約20mm</p>
<p>廃棄体底部モルタル部写真</p>	<p>廃棄体底部モルタル部水滴部位②拡大写真</p>

 <p>隙間の 深さ 約2mm</p> <p>約5mm</p> <p>約20mm</p>

廃棄体底部モルタル部水滴部位②コア写真

○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

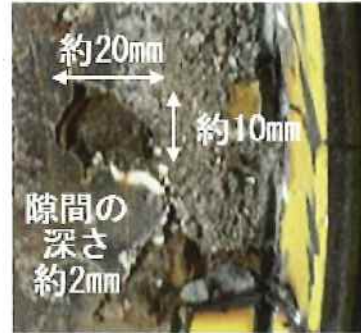
水滴が確認された廃棄体底部モルタル部の隙間等の状況 (3本目)
 (整理番号: 1740062-CB1L)



○: 隙間

<収納廃棄物>

金属板、金属片、金属管、鋼材、
 小物金属類、コンクリート



廃棄体底部モルタル部写真

廃棄体底部モルタル部水滴部位拡大写真



廃棄体底部モルタル部水滴部位コア写真

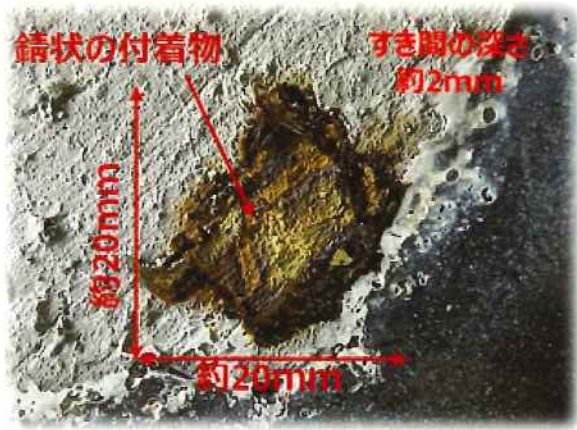
○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された廃棄体底部モルタル部の隙間等の状況 (4本目)
 (整理番号: 1640591-CB1L)



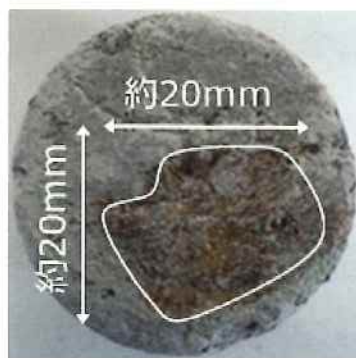
○: 痕跡

<収納廃棄物>
 金属片、金属管、鋼材、ワイヤ、鉄粉、
 コンクリート



廃棄体底部モルタル部写真

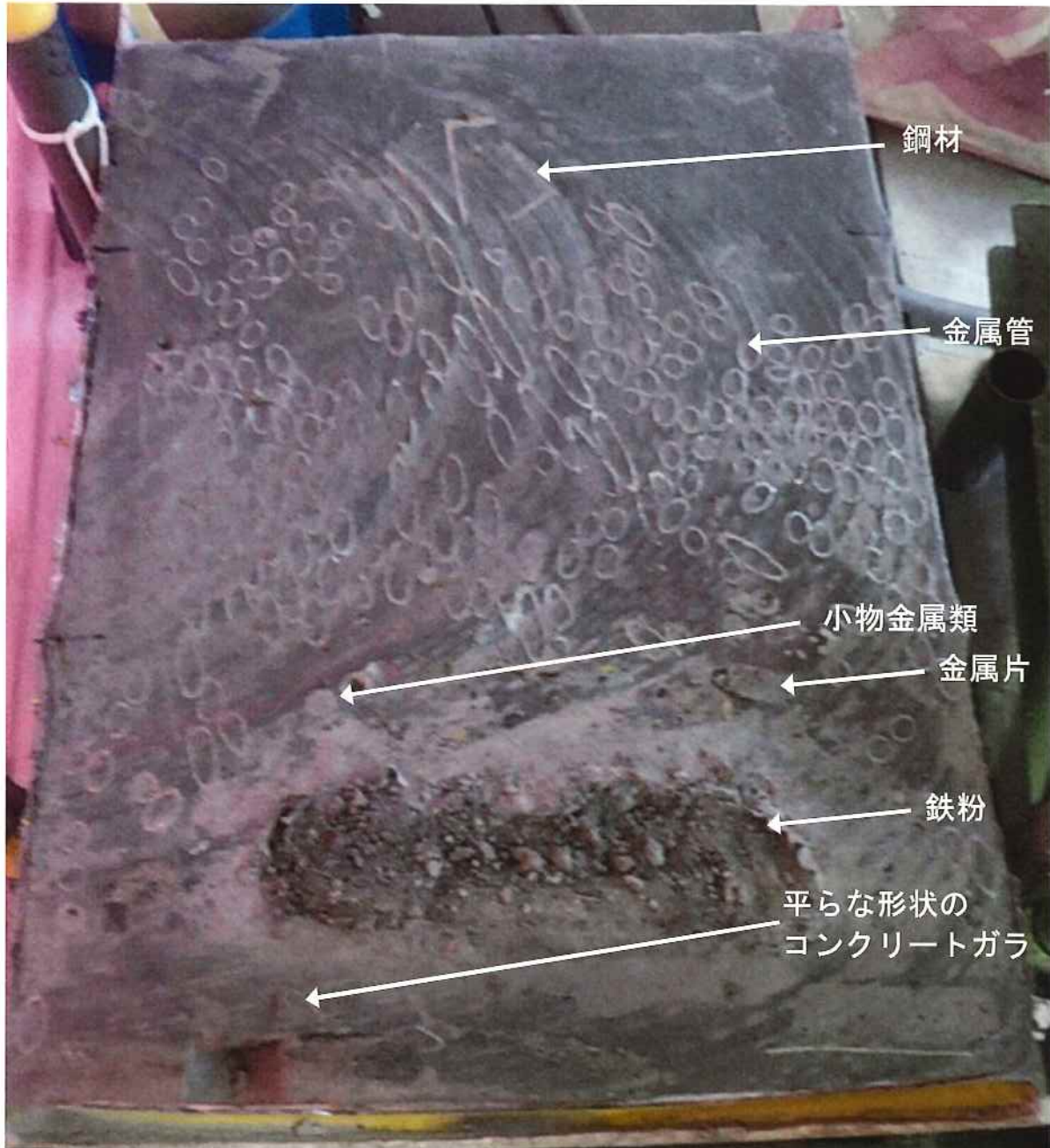
廃棄体底部モルタル部水滴部位拡大写真



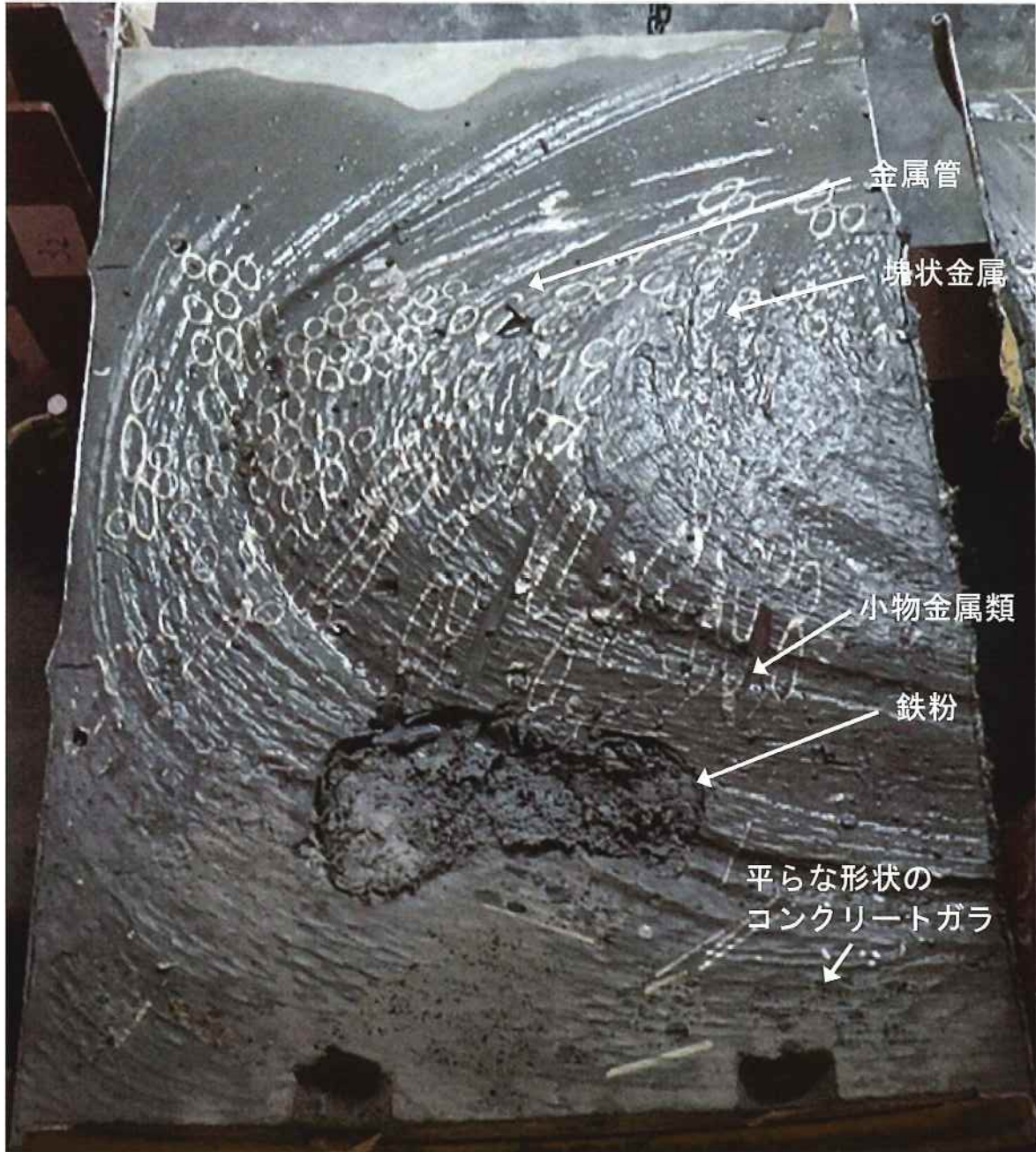
廃棄体底部モルタル部水滴部位コア写真

○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された廃棄体の収納状況（1本目）
（整理番号：1640572-CB1L）



水滴が確認された廃棄体の収納状況 (2本目)
(整理番号: 1640255-CB1L)



水滴が確認された廃棄体の収納状況 (3 本目)
(整理番号: 1740062-CB1L)



水滴が確認された廃棄体の収納状況（4本目）
（整理番号：1640591-CB1L）

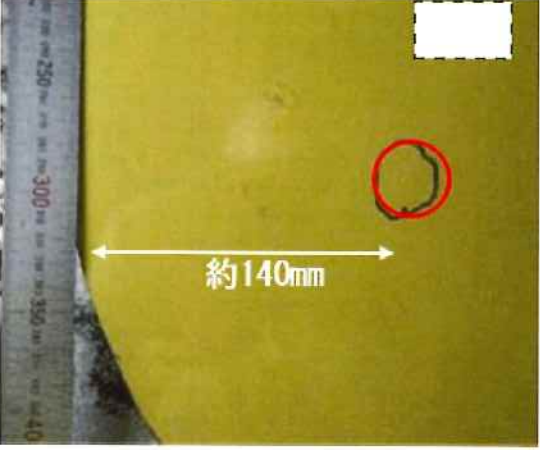
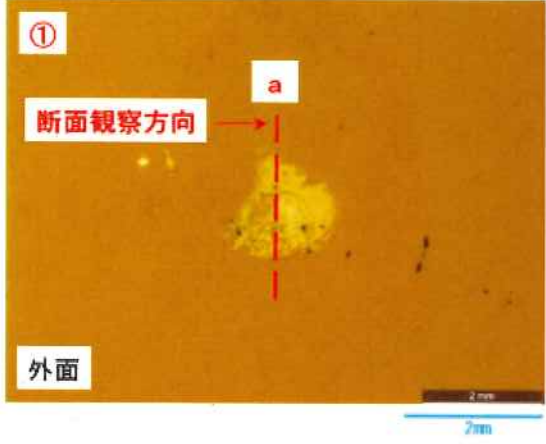
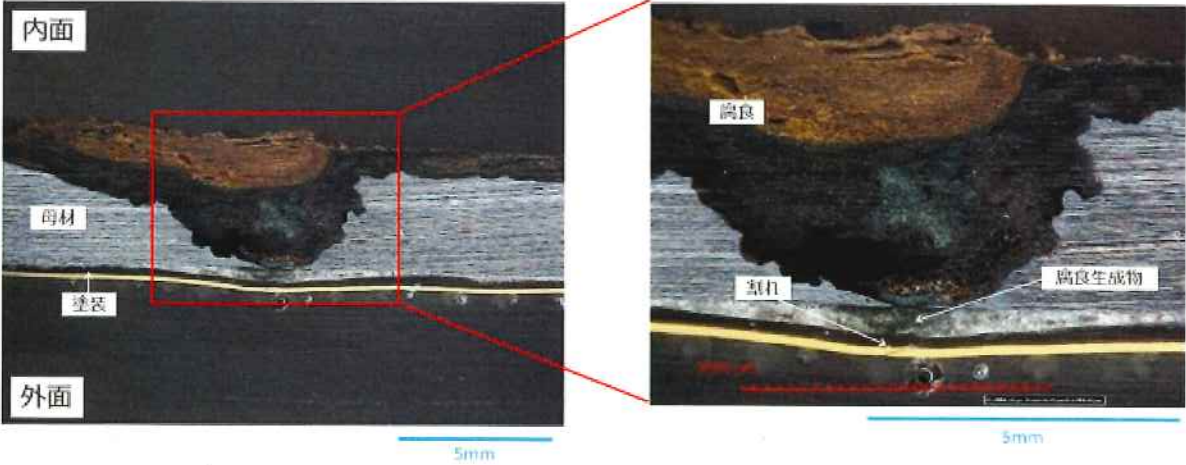


水滴が確認された部位の断面観察 (1本目)
 (整理番号: 1640572-CB1L)

	
<p>廃棄体底部外面水滴部位写真</p>	<p>廃棄体底部外面水滴部位断面観察矢視図</p>
	
<p>光学顕微鏡による断面観察結果</p>	

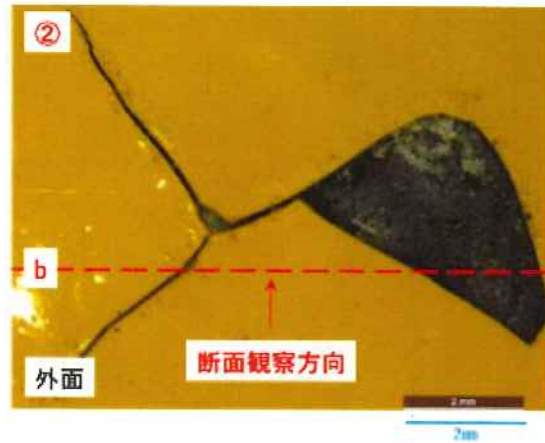
○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された部位の断面観察 (2本目) 1/2
 (整理番号: 1640255-CB1L)

	
<p>廃棄体底部外面水滴部位①写真</p>	<p>廃棄体底部外面水滴部位①断面観察矢視図</p>
	
<p>光学顕微鏡による断面観察結果①</p>	

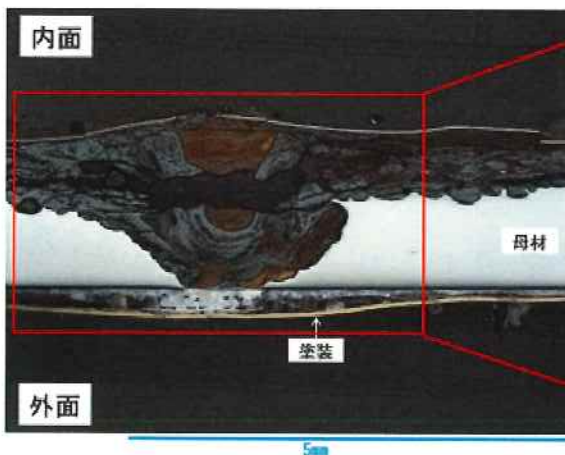
○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された部位の断面観察 (2本目) 2/2
 (整理番号: 1640255-CB1L)



廃棄体底部外面水滴部位②写真

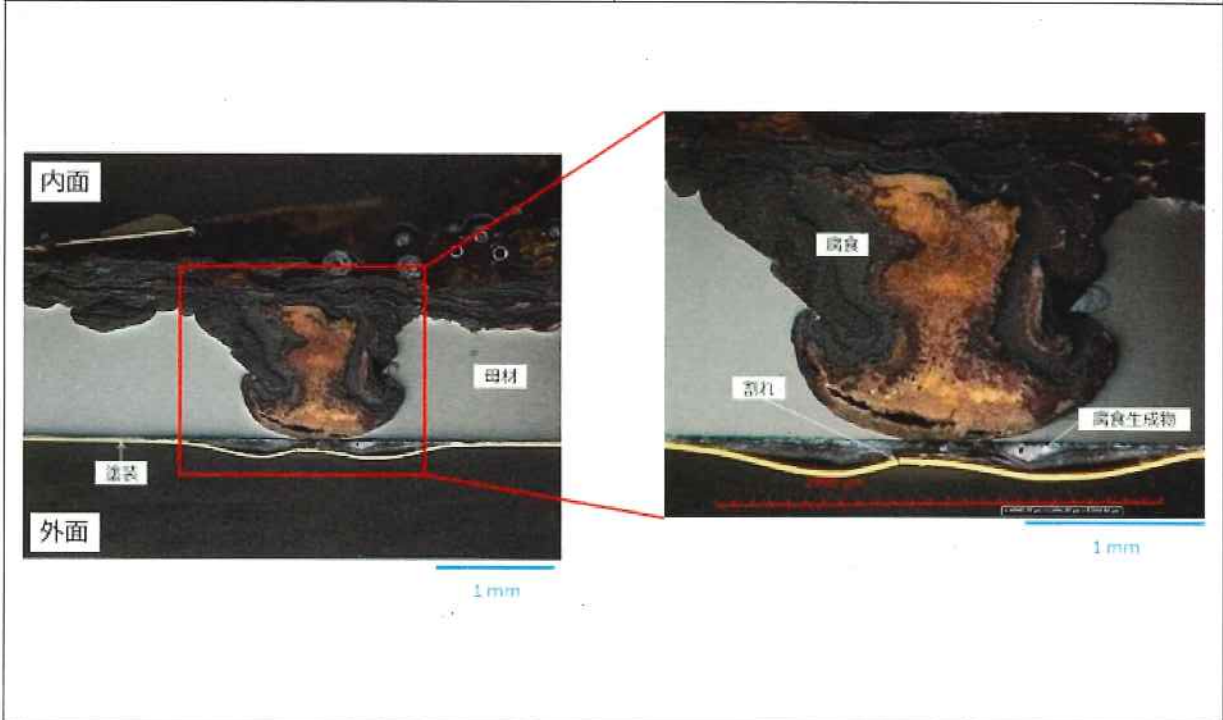
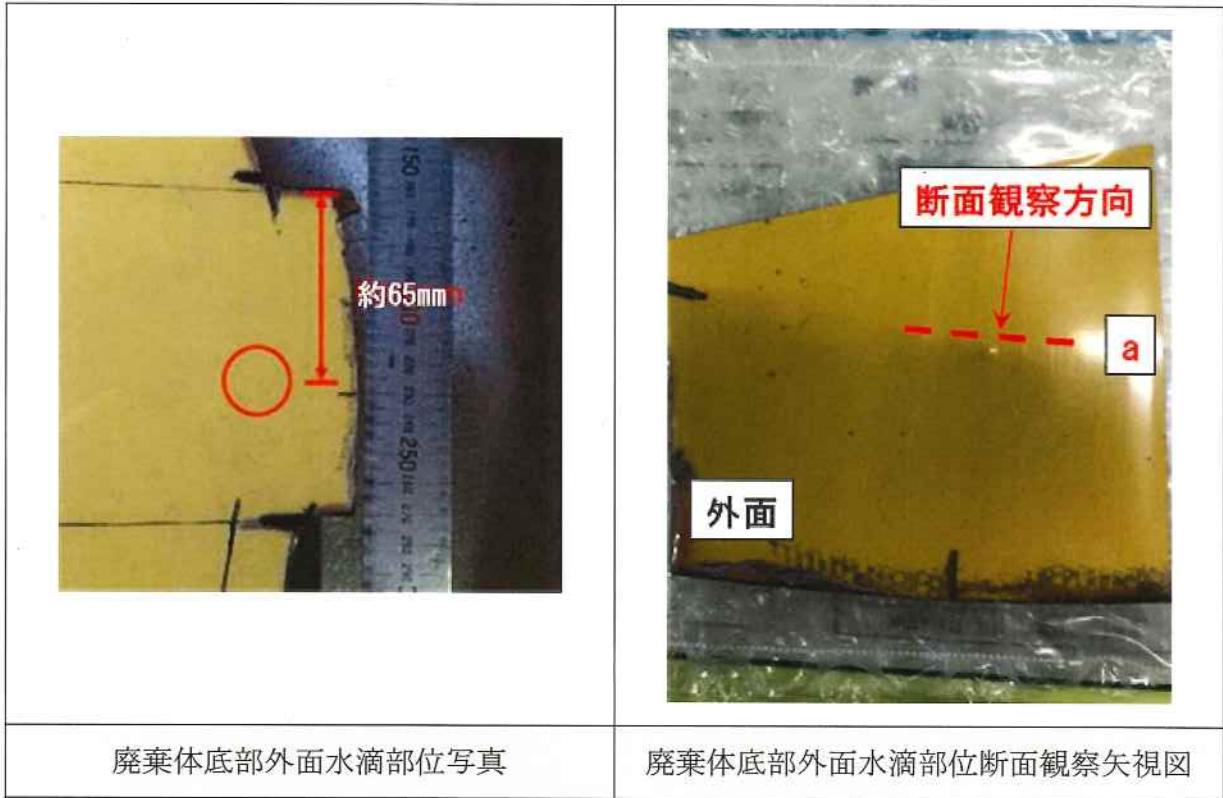
廃棄体底部外面水滴部位②断面観察矢視図



光学顕微鏡による断面観察結果②

○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

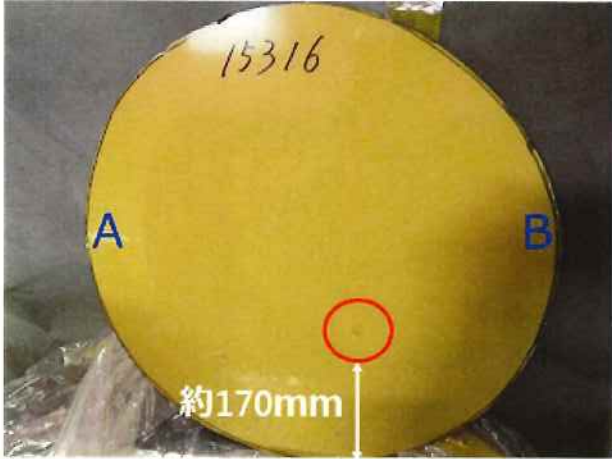
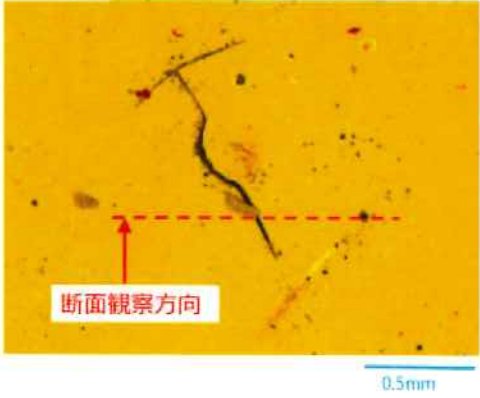
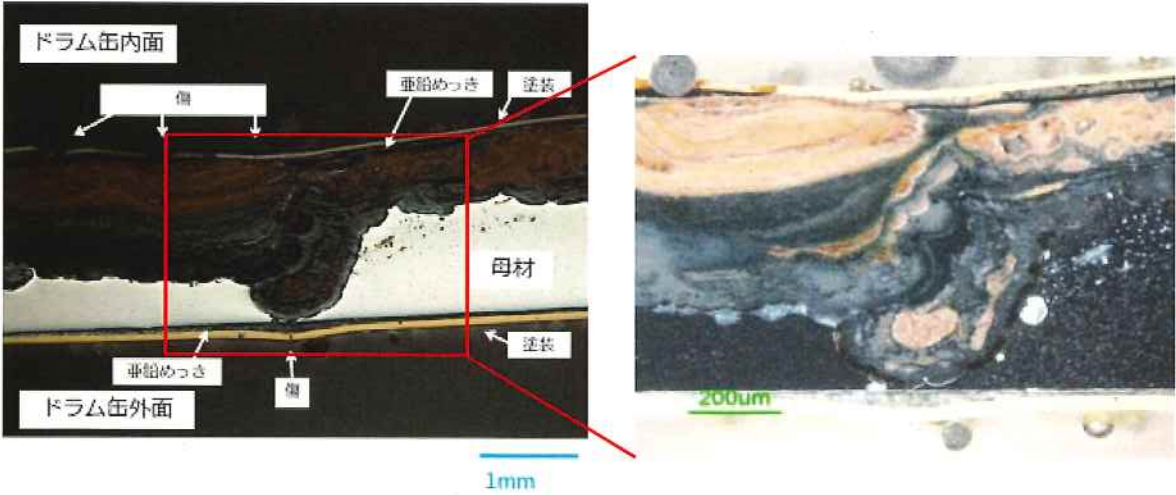
水滴が確認された部位の断面観察 (3本目)
 (整理番号: 1740062-CB1L)



光学顕微鏡による断面観察結果

○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所

水滴が確認された部位の断面観察（4本目）
 (整理番号：1640591-CB1L)

	
<p>廃棄体底部外面水滴部位写真</p>	<p>廃棄体底部外面水滴部位断面観察矢視図</p>
	
<p>光学顕微鏡による断面観察結果</p>	

○ドラム缶底部外面で塗装の剥がれ等が確認された位置に対応する箇所