

# 豊田 PCB 廃棄物処理施設真空加熱分離エリアにおける冷却水漏れ (中間報告)

日本環境安全事業株式会社

## 1. 本報告書の趣旨

平成 19 年 1 月 14 日の夜間に、豊田 PCB 廃棄物処理施設の 4 階の真空加熱分離エリアにおいて、真空加熱器の冷却用の熱交換器が破損し、冷却水(エチレングリコール約 40%水溶液)の漏水が発生しました(漏水量：約 3 kL)。さらに、漏水した冷却水の一部が SUS (ステンレス鋼) 床下に漏洩しました。なお、排気及び作業環境濃度の異常、施設外部への漏洩はありませんでした。

本トラブルでは、外部漏洩等の事故に至ることはありませんでしたが、施設の安全において重要な SUS 床からの漏洩が発生させたことは、極めて重大であると認識しています。そのため、今後の再発を防止するために、本社及び事業所で安全対策検討委員会を設置し、その原因及び再発防止策について検討を行ってまいりましたので、これまでに判明したこと及び再発防止策について中間報告させていただきます。

## 2. 冷却水漏れの内容

### (1) 経緯

真空加熱 C 号炉でコンデンサ絶縁紙 150kg を 1 月 13 日の 10 時 43 分より自動運転で真空加熱処理を開始しました。内部部材の温度が 190 となったため、1 月 14 日 23 時 23 分に自動で冷却に切り替わりましたが、23 時 47 分に冷却空気循環ファン停止により緊急停止しました。

直ちに 5 階中央制御室作業員が 4 階の真空加熱分離エリアを確認した結果、C 号炉より漏水があることを発見し、運転会社社長、部長、次長、JESCO 豊田事業所長、副所長へ緊急連絡しました。事業所長は JESCO 職員を招集し、現場の応急対応をさせるとともに 15 日 1 時 50 分に本社緊急連絡窓口(安全・技術開発課長)へ一報を入れました。

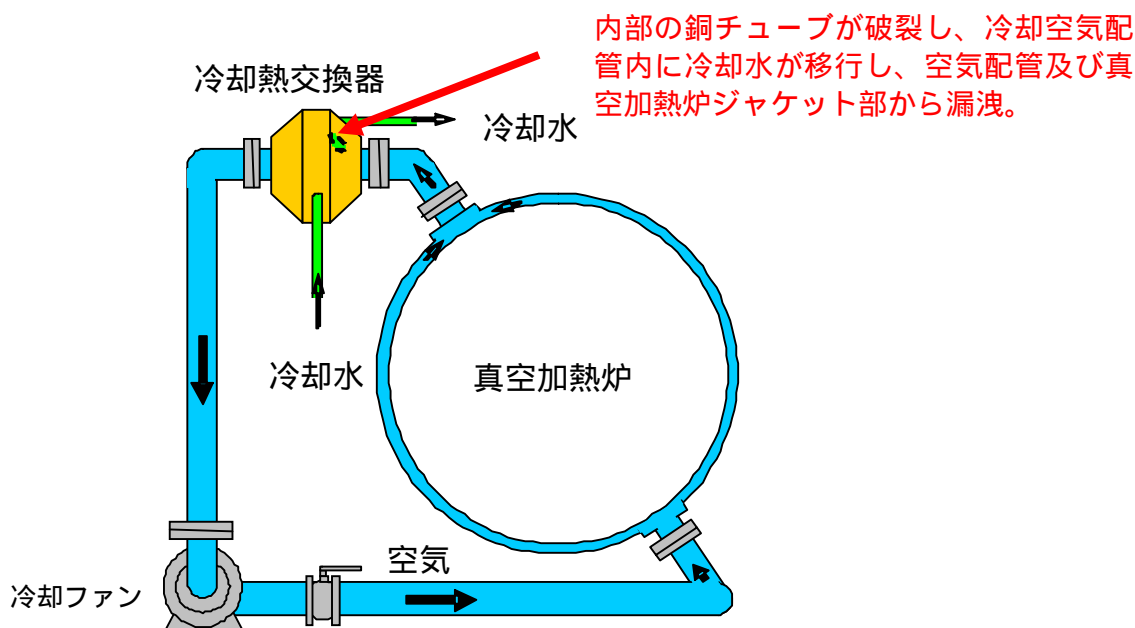
その間の対応として冷却用熱交換器の冷却水バルブを手動で閉止、同エリアの他手動で機器停止、同フロア(4 階)の他装置を手動で緊急停止し、さらに以下の確認・調査を実施しました。

#### 漏出箇所の確認

漏出箇所を確認した結果、C 号炉前面の熱交換器(注:次頁図参照)から冷却水(約 3 )が流出していました。

#### 熱交換器の状況確認

熱交換器を開放点検したところ、当該熱交換器中の銅チューブ(全90本)のうち1本が破裂していることが確認されました。



(注)各真空加熱炉には炉の前面と後面に熱交換器が付帯しており、真空加熱処理の完了時に炉を冷却するため、炉の回りの冷却用ジャケットの空気を冷却水で冷やしています。

図1 真空加熱炉冷却の概略図

#### 漏洩した冷却水の回収及び確認

冷却水の漏洩量は、冷水タンク液面計の水位から約3kLと推定されます。なお、回収に要したドラム缶は18本(約2.7トン)であり、ドラム缶内の床漏洩水のPCB濃度は「表1」のとおりでした。

#### 他フロアの状況確認

他フロアの状況確認の結果、真空加熱分離エリア直下の2階受入エリアで約1リットルの漏れ(PCB濃度0.0974mg/L)、3階見学者通路天井裏に少量の漏れ(少量のため分析不可)が見つかったため、回収を行いました。

#### (2) 作業環境及び外部への影響

漏洩した冷却水が確認されたエリアの作業環境中PCB濃度は最大 $3.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、見学者通路天井裏(非管理エリア)の空气中濃度は定量下限値( $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )未満で問題はありませんでした。また、排気ガスに異常はなく、処理施設から外部への流出も見られなかったことから、外部への影響は無いものと判断されます。

表1 回収した冷却水のリスト

ドラム缶	PCB 濃度 (mg/L)	回収場所	備考	ドラム缶	PCB 濃度 (mg/L)	回収場所	備考
1	3.76	副反応側	a	15	53.30	加熱炉側	a
2	4.87	"	"	16	17.40	"	"
3	44.80	"	"	17	3.53	"	"
4	120.00	"	"	18	189.00	"	"
5	1.55	"	"	19	0.00405	冷却水回収分	b
6	3.10	"	"	20	0.00182	"	"
7	10.20	"	"	21	0.0557	"	"
8	0.25	"	"	22-1	0.00177	副反応側	b
9	17.30	加熱炉側	a	22-2	0.000923	"	"
10	2.28	"	"	22-3	6.06	"	"
11	51.10	"	"	22-4	6.16	"	"
12	14.20	"	"	22-5	5.99	"	"
13	0.08	"	"	22-6	0.00761	冷却水回収分	b
14	0.52	"	"	23	0.00332	"	"

備考 a : SUS 床から回収した冷却水 (No 1 ~ 18)

備考 b : 真空加熱炉の空気配管内から回収した冷却水 (No19 ~ 23)

: 冷却水管取り外し時回収

: ポリ容器

[注] 冷却水の回収に用いたドラム缶は、過去に PCB 汚染物を収容したことがあるため、上表に示す PCB 濃度は、必ずしも漏洩水自体の濃度ではない。

### 3 . 原因究明

#### 3.1 熱交換器の破損

真空加熱炉 4 基には、各 2 台 (計 8 台) の熱交換器が設置されています。今回のトラブルは、そのうちの C 号炉の 1 台の熱交換器中の銅チューブ (全 90 本) のうち 1 本が破裂して生じたものです。

銅チューブの破裂は、検査会社による調査・分析結果から、延性を持った材質の銅チューブが内圧により外面側に破裂したことが判明しました。

当該銅チューブに内圧がかかり破裂が生じた原因の調査を行ってきましたが、明確には原因を究明することはできませんでした。なお、稼働中の状況は次のとおりでした。

真空加熱炉の加熱処理中は冷却水の供給を停止していたことから熱交換器が想

定外の高温(200 以上)にさらされていました。この時には冷却水管の入口弁は閉じた状態でした。

熱交換器の冷却水管の入口と出口が逆に接続されていたことから、熱交換器停止中は熱交換機器の中には冷却水が滞留して上部側の配管を閉塞している状態でしたので、冷却水が沸騰した場合には蒸気が排出されにくい状態にありました。

上記の状況を確認するために B 号炉で試験運転を行ったところ、真空加熱炉の加熱処理が終わり、冷却水を通水した瞬間に 1MPa 以上の圧力がかかったことが判明しました。

しかしながら、銅チューブは他の部品と密着させるため熱交換器の製造工程において拡管しており、厚みが 0.6mm 程度になっていましたが、計算上は 200 で 1MPa ではチューブは破裂しません。(参考：230 での引っ張り試験及び 150 での銅チューブ内圧破壊試験の結果により、徐々に加圧した場合は 12.6MPa で破裂するという計算結果が出ています。)

このことから冷却水の通水後、熱交換器の冷却水管入口で 1MPa に達した際に当該破裂チューブに瞬間的に 10MPa 以上の想定外の内部圧力が生じて、破裂に至ったものと推定しています。



保温材を剥がした熱交換器



取り外した熱交換器

### 3.2 遮蔽フードからの漏洩

#### (1) 真空加熱分離エリア遮蔽フード外へ漏洩した原因

真空加熱分離エリア遮蔽フードには、フード内の SUS 床を貫通している建屋主柱(3本)があり、他エリアへ冷却水が漏れだした経路として、この建屋主柱部の可能性が高いと考えられたことから、当該箇所のコーキング施工部について目視確認と気密性確認検査(真空発泡漏れ試験)を実施したところ、コーキングが未施工であることが確認されました(未施工部の長さは、建屋主柱1本あたり約 2,000 mm)。また、建屋主柱部分の他、SUS 床壁際箇所について気密性確認検査及び目視及び触診による点検を行ったところ、ピンホール等の欠陥が確認で

きました。このピンホール等の欠陥では多量の冷却水が流出することは考え難いため、建屋主柱のコーキング未施工部より浸透した冷却水が、柱を伝わって 3F 見学者通路部の天井裏と 2F 受入エリアに漏洩したものと判断されます。

なお、SUS 床上面に据え付けられている機器基礎部については、3 か所において真空発泡漏れ試験を実施しましたが、いずれも気密性が確保されていることを確認しました。

## (2) コーキング未施工の箇所があったことの原因

コーキング未施工の箇所について、施設の工事の完了検査（平成 17 年 5 月）及び平成 17 年 11 月の PCB 蒸気漏洩事故後に行った「総点検」においても見逃していたこととなります。

これは、完了検査においては施工業者の作成した検査書類の審査を主体に行ったため、遮蔽フードという安全上重要な設備についても床部分の検査書類の審査で済ませてしまったこと、また、総点検においては上記の PCB 蒸気漏洩事故に関連した部分（天井及び壁）の気密性を重点的に点検し、床からの液体の漏洩にまで点検対象を拡大しなかったことなど、JESCO の工事施工管理と危機管理の体制が不十分であったことに原因があります。

## 3.3 その他の遮蔽フードの状態

### (1) その他の遮蔽フードの点検

当施設では、真空加熱分離エリア以外の遮蔽フードとして、4 階の分析待室エリア、攪拌洗浄エリア、裁断破碎エリア及び真空超音波洗浄エリア、並びに 1 階のコンデンサ解体エリア、大型トランス解体エリア及び小型トランス解体エリアがあります。真空加熱分離エリア遮蔽フードに上記 3.2 のような問題が明らかになったことから、他の遮蔽フードについて、以下の点検を実施しました。

#### ・SUS 床を貫通する柱の点検

これらの遮蔽フードには、真空加熱分離エリアとは異なり、エリア中央部で SUS 床を貫通する建屋主柱はありませんでした。（ただし、壁際にはありません。）

#### ・SUS 床を貫通する配管等の点検

SUS 床を貫通する配管、ケーブル、ダクトはありませんでした。

#### ・コーキング不良部の点検・再施工

SUS 床壁際（柱部を含む）箇所、SUS 床溶接部及び機械基礎部の目視確認を行ったところ、コーキング材の一部に膨潤による浮き、剥がれ及び摩耗により気密性が低下している箇所が見られました。

・床面溶接部の点検

SUS 床溶接部及び機械基礎部について、建設時に行った溶接検査記録（浸透探傷試験、真空発泡漏れ試験）を再確認するとともに、溶接部に亀裂等がないか目視点検しました。その結果、特段の問題はありませんでした。また、各装置の機械基礎部 1 箇所ずつについて真空発泡漏れ試験を実施しましたが、漏れはありませんでした。

（２）コーキングの気密性が低下した原因

コーキングの気密性の低下は、コーキング部に洗浄剤等が付着、踏みつけ等の衝撃により、膨潤、剥がれ及び摩耗が生じたものと考えられます。

コーキングの機密性の確認は、日常点検の項目に含まれておりませんでした。

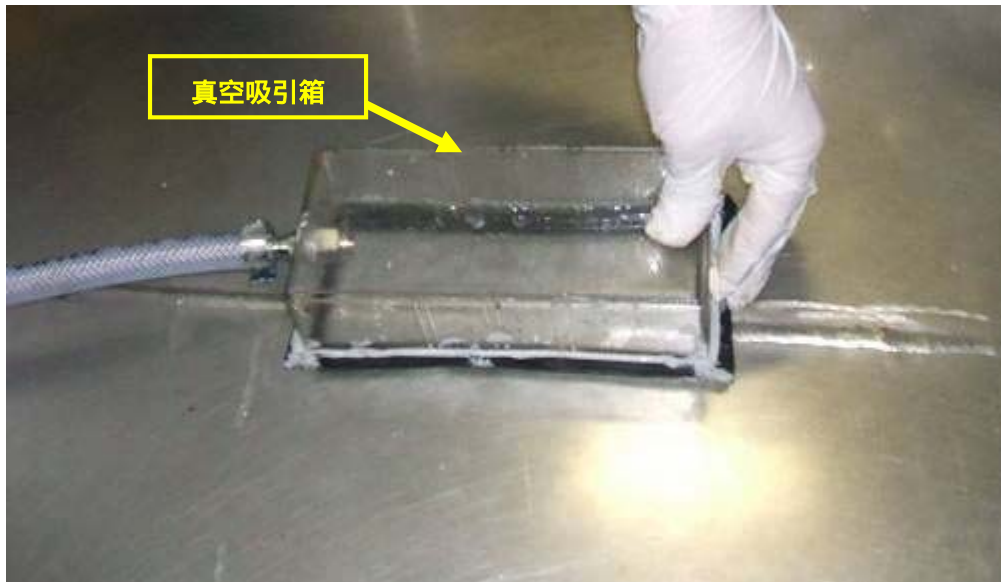


写真 1 発泡漏れ試験用真空吸引箱

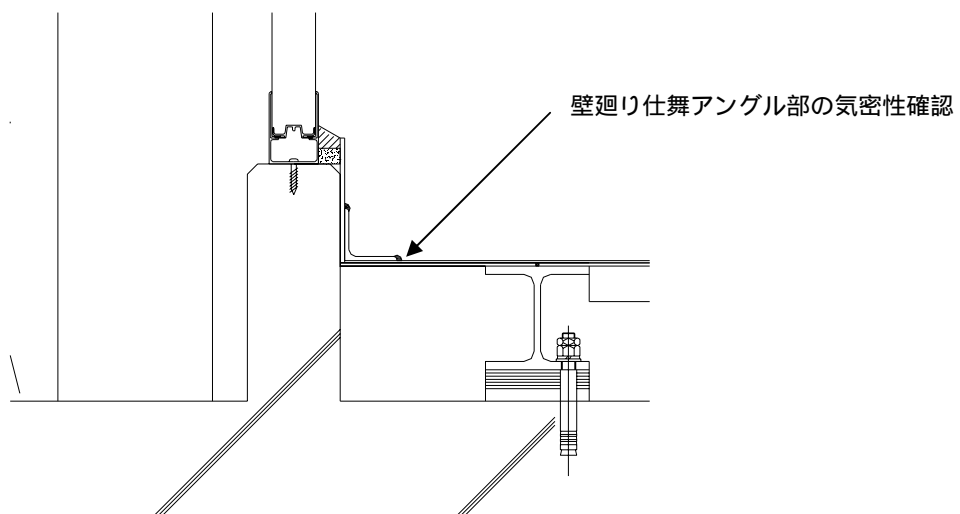


図 2 SUS 床・壁際端部 気密性確認箇所

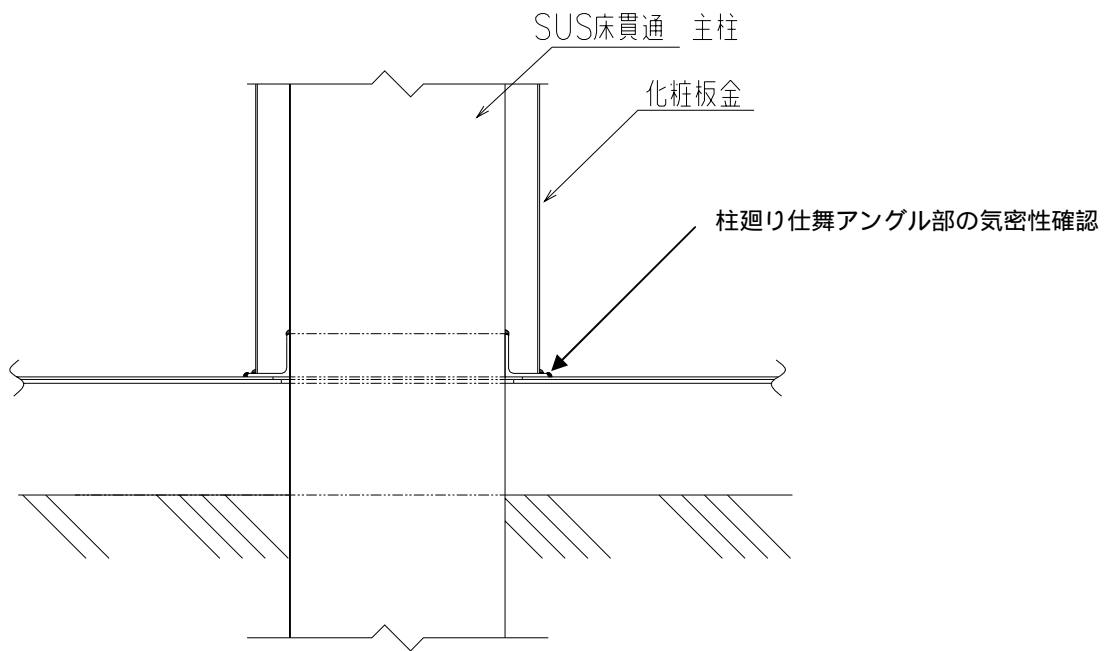


図3 SUS床・建築主柱貫通部 気密性確認箇所

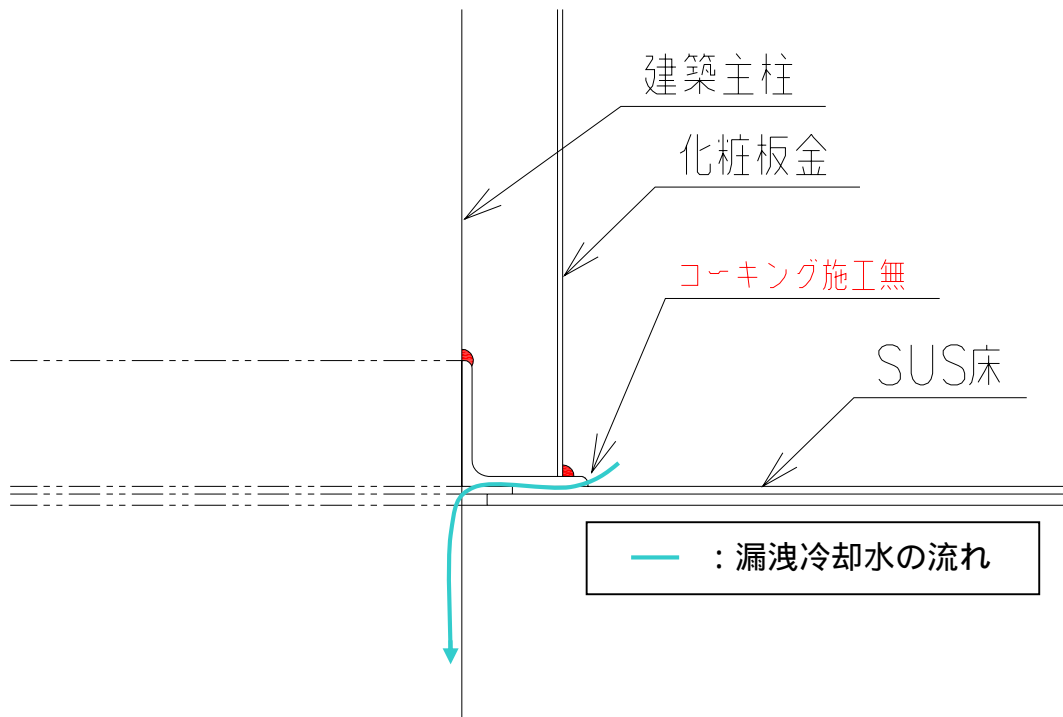


図4 検査により判明した建築主柱廻りコーキング未施工箇所

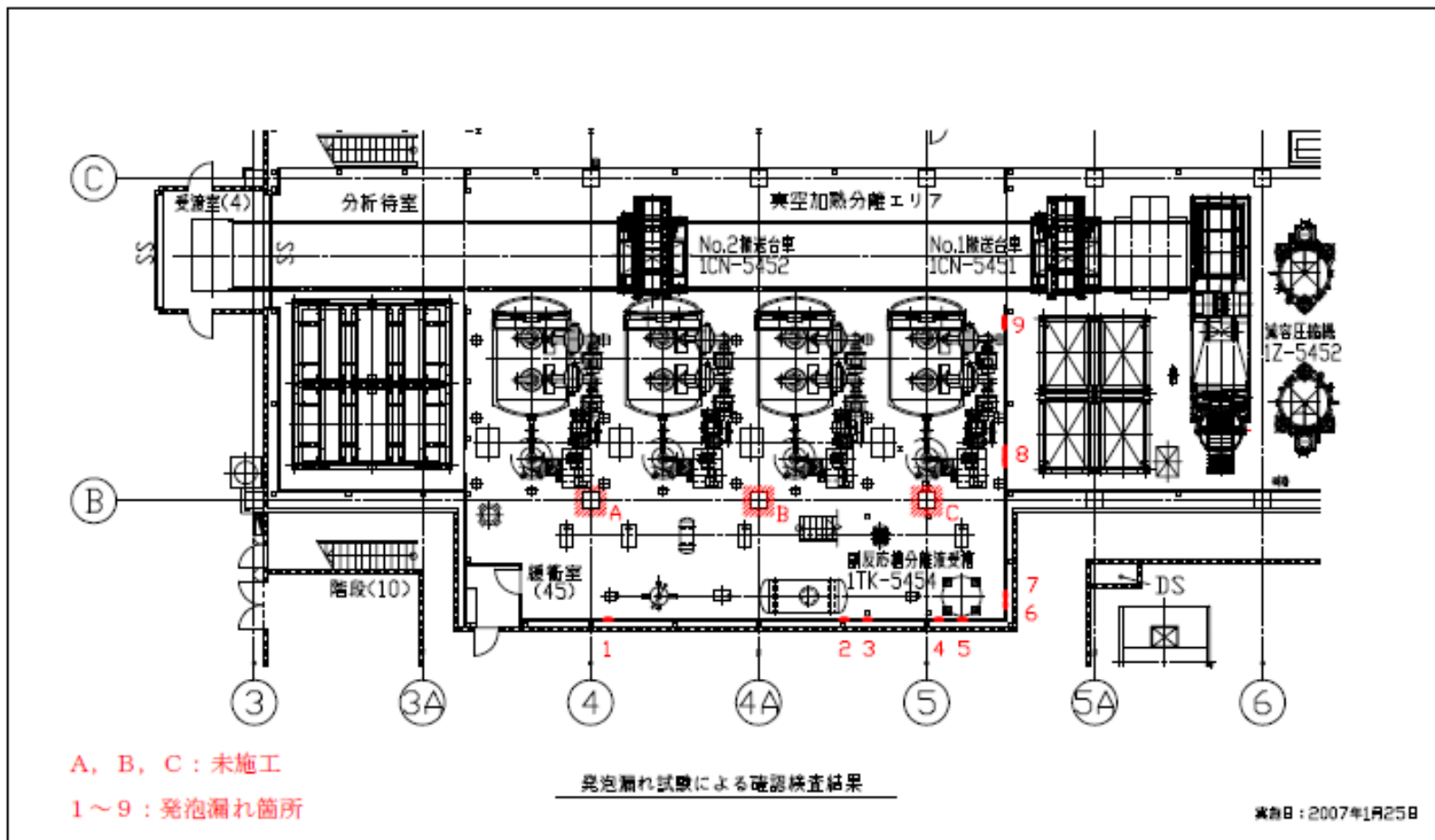


図5 発泡漏れ箇所



## 4 . 再発防止策

### 4.1 熱交換器の破損に対する再発防止策

#### ( 1 ) 真空加熱用熱交換器の交換

今回破損したものも含めて真空加熱炉の熱交換器 8 台すべてについて、新たな熱交換器に取り替えます。また、誤って接続していた冷却水管は入口と出口を切り換えます。

そのうえで今後は冷却水が常時循環する運転に切り替えて、熱交換器が高温にさらされて熱衝撃を受けることのないようにして運転します。

なお、新しい熱交換器については製造時の耐圧試験等に立ち会って品質確認を行います。

#### ( 2 ) フェイルセーフ機能の追加

フェイルセーフの観点からの措置として、次の対策を実施します。

真空加熱炉用熱交換器の出口側に冷却水の流量を検知するフロースイッチを設置し、流量が低下した場合には、警報を発する。

熱交換器の凝縮ドレン配管に温度計を設け、冷水漏洩を感知した時には冷水供給を自動停止する。

熱交換器ドレン水を溜める凝縮液受槽のレベル計の液面変化率を計測して急激な液面上昇が発生した場合には冷水供給を自動停止する。

床面漏洩が発生した場合には短時間で感知するように漏洩検知器の位置を変更する。

#### ( 3 ) 他の熱交換器に対する点検

当施設では 148 台の熱交換器を使用していますが、全ての熱交換器を再点検して、想定外の高温にさらされていないか、冷却水の入口と出口が逆でないか、設計と実運転で差がないかなどを調査しました。その結果、冷却水の入口と出口の接続を見直す必要がある熱交換器が 4 台ありました。また、接続部の増し締め等の是正が必要と判断されたものもありました。これらについては是正措置を行っています。

さらに、破損した熱交換器と同じメーカーが制作した熱媒ボイラーエア－ヒータ 2 台については精密点検を行っています。

## 4.2 遮蔽フードからの漏洩に対する再発防止策

### (1) 応急補修

真空加熱分離エリア外への漏洩の原因となった SUS 床を貫通している建屋主柱部分のコーキング未施工部分について応急補修を実施しました。発泡漏れ試験により補修部分から気泡の発生がないことを目視観察し、補修箇所の気密性が保たれていることを確認しました。

SUS 床壁際箇所のピンホール等微小欠陥についても、建屋主柱部分と同様に応急補修を実施しました。

### (2) コーキングの再施工、溶接等

恒久的な対策としては、一般の SUS 床平面部と同様の溶接が最適と考えます。しかしながら、現状の遮蔽フード内は危険物取扱区域であるため、爆発、火災、漏洩、有毒ガス発生等の危険が伴う可能性があります。このため、溶接が困難な場所については、次善の方法としてコーキングを実施します。

#### 溶接の実施

遮蔽フード内で危険性が無い箇所については溶接で漏洩防止を実施します。

現状の遮蔽フード内には、少量の洗浄油、微量の PCB、隙間に入り込んだコーキング、洗浄した素子や紙などがあり、溶接時の高温にさらされることにより、発火、発煙、有害蒸気発生などが考えられます。できる限りの清掃を行った上、危険性の度合いから判断して溶接可能場所、困難場所を決定して実施します。

#### 遮蔽フードにおけるコーキング再施工等

真空加熱分離エリア及びその他の遮蔽フードの床面のすべてについて(溶接可能場所については暫定的な措置として)、現在良好な状態にある箇所を含め、より耐油性・耐久性に優れたコーキング材による再施工を行います。

コーキングの再施工に当たり耐油性、耐久性に優れたコーキング材料の検討を行いました。まず、コーキング材の対象を建築コーキング材だけでなく補修用材や機械設備用にまで広げて耐油性に優れた 2 材料を候補として選定しました。そして、当施設で独自に使用している洗浄溶剤 (NS クリーン) に対する耐油性試験を行い、材料を決定して、再施工を行っています。

再施工においては、古いコーキング材の剥がし、下地処理、再コーキング、目視施工確認、検査業者による気密性発泡検査すべての工程について、JESCO 監督員の管理監督のもと確実な施工を行っています。

コーキング再施工部についてはコーキングの上からアルミテープを貼って溶剤等が付着しないように養生することを検討しています。

なお、一部、機械設備が緩衝するためにコーキングの再施工ができない箇所がありますが、これについては、機械設備の脚部やオイルパン等を巻き込む形の囲い込みを新たに設けるなど個別の箇所ごとに適切な方法により対策を講じます。

コーキングの状態の継続的な点検

コーキング箇所については、今後、定期的に異常が発生していないことを確認していきます。

なお、施設内に洗浄溶剤に浸したコーキングサンプルを常時保管し、経年変化を観察しています。

#### 4.3 検査・点検の方法等の改善

遮蔽フードからの漏洩の直接的な原因はコーキングの未施工ですが、それを見逃したという工事施工管理上の基本的な問題があります。このため、工事施工管理における JESCO の体制と危機管理が不足及び危機意識の不足について下記の改善を実施しています。

##### (1) 適切な工事施工管理

- ・ JESCO 監督員は、工事着手前、施工中、事前検査ごとにその状況を把握し、的確な指示を行います。また、監督記録を整備し上司に適宜報告します。
- ・ JESCO 検査員は、完了検査において確実な施工が実施されているか、発注仕様書で示した機能や能力を満たしているかを確認します。
- ・ 上司は、JESCO 監督員・検査員が適切・確実に対応しているか常に把握し、監督員・検査員を管理するとともに指導助言を行います。

##### (2) 工事施工管理体制

- ・ 施工業者等への任せきりになることが生じないように、工事毎に JESCO による確実な工事施工管理体制を構築します。
- ・ 工事施工管理体制の構築に当たっては、個々の構成員の役割・責任を明確化します。
- ・ 事業所の運転管理部門及び安全対策部門について適切な工事施工管理体制のために増員を検討しています。

##### (3) 教育

- ・ 事業所の危機意識の不足を改善し、管理能力の継続的向上を図るため、危機管理などに関する計画的・体系的な教育の実施、業務指示方法の改善と徹底、当社による施設・業務の適切な把握状況を定期的に評価し、改善を図ります。

〔参考〕安全対策検討委員会

豊田 PCB 廃棄物処理施設において、平成 18 年 12 月の施設外への上水流出に引き続き、平成 19 年 1 月に本件トラブル（熱交換器の冷却水漏れ）が発生したことから、これらのトラブルの原因究明や再発防止措置、施設全体の安全性の確認等について社として責任をもって対応するため、本社、事業所が一体となって検討する体制として、豊田 PCB 廃棄物処理施設安全対策検討委員会(以下「安全対策検討委員会」という)を設置しました。安全対策検討委員会は、本社事業部長及び豊田事業所長を委員長とし、運転技術課長、安全・技術開発課長、上席調査役（運転技術課担当）環境安全監査室長、副所長、総務課長、運転管理課長、安全対策室長等の委員から構成されています。

なお、安全対策検討委員会は、別途事業所に設置される「トラブル対策本部」において実施される対策実施の進捗の報告を受け、必要な検討を行い、再発防止措置及び施設全体の安全性の確認を図ります。

