

微量 PCB 汚染変圧器の現地洗浄処理実績

Commercial Operation Results of Onsite Washing for the Transformers Contaminated by Very Low Concentration of PCBs

—川崎重工業(株)での処理事例—



西村裕太*
Yuta Nishimura



奥村敬典**
Takanori Okumura



浮氣英明*
Hideaki Uki



清水由章*
Yoshiaki Shimizu
技術士(衛生工学部門)

微量 PCB に汚染された移動困難な大型変圧器を無害化処理するため、加熱強制循環洗浄法を用いて現地洗浄を実施した。本法は、洗浄装置により加熱した洗浄油を装置と変圧器との間で循環させながら洗浄する技術である。今回、初期 PCB 濃度が2.7 mg/kg および0.92 mg/kg の2台の変圧器を洗浄温度70℃で40時間洗浄した。その結果、洗浄油中の PCB 濃度は0.3 mg/kg 以下となり、変圧器は無害化処理された。さらに1台については変圧器内部の部材についても PCB 濃度を測定し基準値以下であることを確認した。また、洗浄処理時の騒音・振動と排気・環境大気・作業環境に含まれる PCB およびダイオキシン類濃度を測定し、基準値以下であることを確認した。

Two large scale PCB contaminated transformers were washed by using heated oil circulation washing. The process applies heated insulation oil as washing solvent and consists of pump, heater and control unit. Transformers were connected to the system in order to make forced circulation flow and washed for 40 hours at 70 °C respectively. Contaminated oil concentration before drainage for one transformer was 2.7 mg-PCBs/kg and another was 0.92 mg-PCBs/kg. As a result, PCBs concentration in the insulating oil, transformer inner material, and exhaust gas became less than Japanese PCBs regulation limit. In addition, analysis results for noise, vibration, PCBs and dioxins concentration around the system were below the regulation limit.

Key Words :

微 量 PCB
現 地 洗 浄
加熱強制循環洗浄

Very Low Concentration of PCBs
Onsite Washing
Heated Oil Circulation Washing

【セールスポイント】

- 1) 微量 PCB 汚染大型変圧器を保管場所で処理可能
- 2) 比較的低温(70℃以下)で洗浄可能で燃焼ガスや排水の発生無し
- 3) 環境省の技術評価を受けた信頼性の高い技術

まえがき

PCB（ポリ塩化ビフェニル）は薄黄色の粘ちょう液体である¹⁾。絶縁性、耐熱性に優れ、金属腐食性がほとんどないことから、電気機器の絶縁油や熱媒油として幅広く使用されてきた。しかし、1968年のカネミ油症事件をきっかけにその毒性が明らかとなり、1972年には製造が中止された。現在、PCB油およびPCB汚染物は政府が全額出資している処理会社（中間貯蔵・環境安全事業株式会社、以下JESCO）での処理が進められている。

一方、2002年7月、日本電気工業会の調査で本来PCBを使用していないはずの電気機器等に数mg/kgから数十mg/kg程度の微量なPCBに汚染された絶縁油を含む機器が多数存在することが新たに判明した²⁾。その数量は変圧器等が約120万台、柱上変圧器が約40万台、OFケーブルが約1400kmと膨大な量にのぼると推計された³⁾。このような微量のPCBに汚染された電気機器等はJESCOでの処理対象になっておらず、その性状等を踏まえた安全・確実な処理が求められていた。そこで環境省は2009年に「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」施行規則の一部を改正⁴⁾し、環境省による個別の処理施設認定制度（無害化処理認定制度）の対象に微量PCB廃電機器等を追加した。その結果、微量PCBの処理は無害化処理認定施設での処理が進められている。

当社は2015年3月、兵庫県神戸市の川崎重工業㈱において、一般財団法人電力中央研究所が開発した洗浄法「加熱強制循環洗浄法」⁵⁾による無害化処理認定を取得し、川崎重工業㈱が保管していた微量PCB汚染変圧器を現地にて無害化処理した。本報ではその処理結果について報告する。

1. 加熱強制循環洗浄法の概要

1.1 加熱強制循環洗浄法の基本原理⁶⁾

本法の基本原理は、汚染変圧器から微量PCBに汚染された油を抽出し、洗浄油としてPCBを含まない油を充填した後、洗浄油を70℃程度に加熱しながら装置と変圧器の間で循環させて変圧器の内壁や内部部材に付着したり浸込んでいるPCBを洗出し、無害化する処理技術である。

PCBの洗出し状況はPCB濃度によるが、洗浄の進行に伴う洗浄油のPCB濃度の上昇として捉えられる。洗浄油中のPCB濃度を測定し、洗出し完了後、洗浄油を抽出することで変圧器からPCBを除去する。

1.2 加熱強制循環洗浄法の特長

加熱強制循環洗浄法の主な特長は以下のとおりで

ある。

1.2.1 処理性能

- 1) 保管場所においてPCB汚染変圧器を無害化する技術として環境省から技術評価を取得
- 2) 機器を解体することなく内部部材に付着したPCBを洗浄することが可能
- 3) 焼却施設の受入基準より大きい機器を処理可能
- 4) 大きさ、重量等の制限で運搬困難な機器を処理可能
- 5) 屋内等で使用していた機器や保管場所から搬出できない機器を処理可能

1.2.2 安全性

- 1) 低い温度（洗浄油の引火点以下）での洗浄
- 2) 化学反応や燃焼が無い為、ダイオキシン類等の有機塩素化合物の副生成がない
- 3) 保管場所で洗浄処理が完結するため、PCBに汚染された機器の輸送が不要

1.2.3 経済性

- 1) 洗浄後の筐体や部材等は非PCB汚染物としてリサイクル（スクラップ処分）可能（ただし、木くず、紙くず等の含浸性部材は焼却処理）

2. 洗浄装置の概要および安全対策

2.1 洗浄装置の概要

洗浄処理プロセスのフローを図1、洗浄装置の外観を写真1に示す。洗浄装置はNo.1ユニットとNo.2ユニットから構成される。No.1ユニットには、洗浄油加熱用のヒータ、循環用のポンプ、加熱による洗浄油の体積膨張を緩衝する膨張槽などが設置されている。そして、No.2ユニットには各機器を制御する制御盤と排気処理装置が設置されている。

洗浄処理は、微量PCB汚染変圧器から汚染油を抽出した後、変圧器と洗浄装置の間をステンレス製のフレキシブルホースで接続して洗浄油を充填する。次に、洗浄油加熱ヒータで加熱した洗浄油を循環ポンプで強制的に循環させながら洗浄を行う。所定の温度で一定時間（40時間以上）循環し、32時間、40時間後の洗浄油中のPCB濃度が安定して規定値（0.3mg/kg）以下であれば洗浄完了とする。

2.2 安全対策

2.2.1 安全運転

洗浄処理を安全に行うため、No.2ユニットの制御盤で洗浄油の温度や圧力等の状況を常時監視している。異常時には警報を発信して異常を早期に発見するとともに、設定値を超えた場合にはインターロックにより洗浄装置が自動停止するシステムとしている。また、非常停止ボタンを設置し、万が一の時は

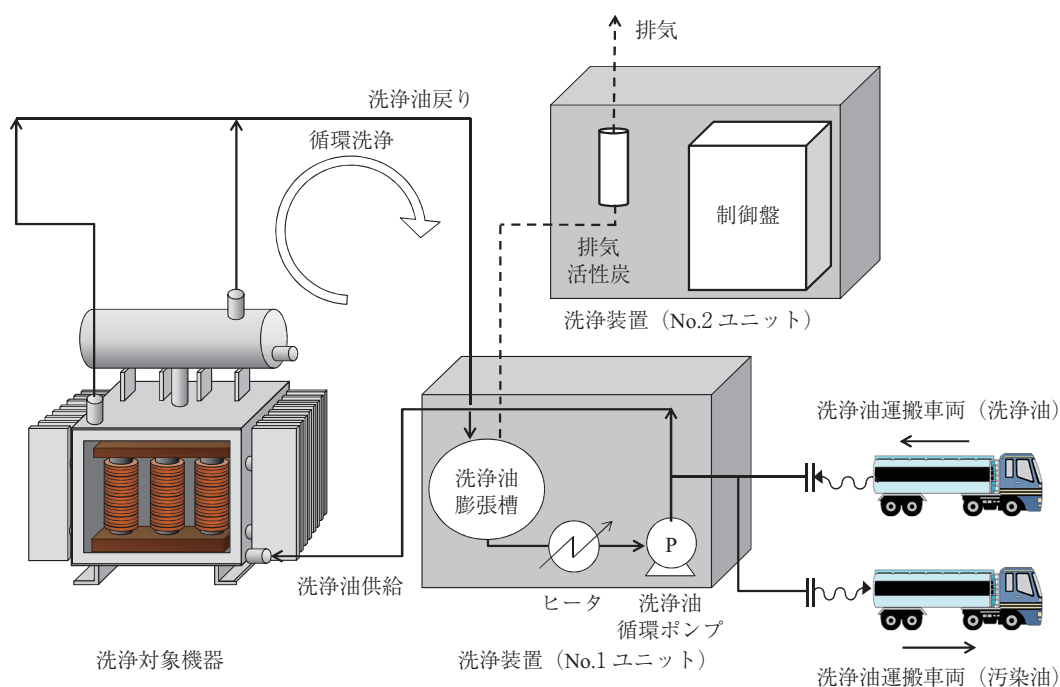


図1 処理プロセスフロー



写真1 洗浄装置外観

手動で洗浄装置を安全に停止することが可能である。

2.2.2 漏洩・拡散防止

洗浄装置内の配管接続は気密性が高い溶接接続もしくはフランジ接続としている。洗浄装置下部には洗浄装置が保有する洗浄油の全量を受止める容積の防油堤を設けている。さらに、防油堤内には漏洩検知器を設置し、万が一の洗浄油漏洩時には洗浄装置が非常停止するシステムとしている。

2.2.3 環境への影響

加熱強制循環洗浄法は前述のとおり、洗浄油を循

環させるだけで化学反応等も起こらないため、排ガスの発生はない。しかしながら、洗浄油を変圧器へ充填する際に変圧器内の空間部に滞留し、微量PCB汚染油と接触していた空気等（PCB濃度は基準値以下）が洗浄油膨張槽空間部を通じて大気へ放出される。この排気をより安全に排出するため、排気処理装置を設置し、環境への影響を最小限にしている。

また、本プロセスは水を使用しないため、プロセス排水の排出はない。

3. 加熱強制循環洗浄処理

3.1 処理対象機器

今回の処理対象となった2台の変圧器の仕様を表1に示す。いずれも10 000 kVAの大型変圧器で使用後もそのまま使用場所に保管されていた機器である。

3.2 処理方法

洗浄処理は1台ずつ実施し、それぞれ1日8時間の洗浄を5日間繰返し合計40時間洗浄した。洗浄温度は70℃程度に設定し、洗浄装置付属の温度計で監視および記録を行った。2号変圧器、3号変圧器の洗浄温度の経時変化を図2および図3に示す。いずれも昼間の洗浄時は70℃程度で洗浄されており、夜間は放熱により温度が25℃程度まで下降した。毎日の洗浄後（8時間毎）に洗浄油中のPCB濃度を測定し4日目、5日目のPCB濃度が安定して0.3

表1 処理対象機器

名 称	2号変圧器	3号変圧器
製 造 者	川崎電機	富士電機
製 造 年	1964年	1969年
容 量	10 000 kVA	10 000 kVA
油 量	9 000 L	7 400 L
総 重 量	26.5 t	24.7 t
PCB 濃度	0.92 mg/kg	2.7 mg/kg
外観写真		

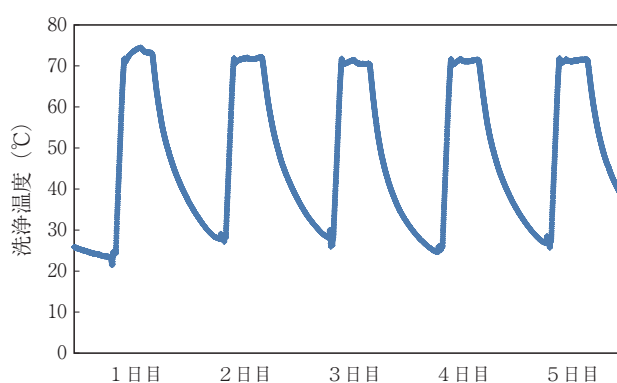


図2 2号変圧器の洗浄温度経時変化

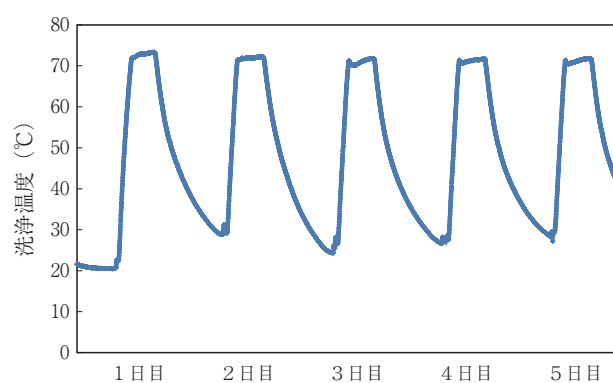


図3 3号変圧器の洗浄温度経時変化

表2 洗浄油中 PCB の濃度変化及び内部部材測定結果

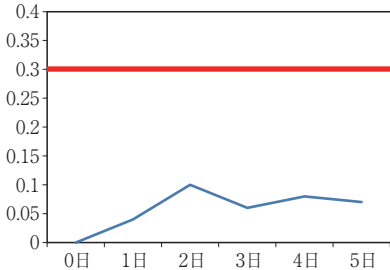
No.	2号変圧器	3号変圧器																					
対象機器	PCB 濃度：0.92 mg/kg 油 量：9 000リットル	PCB 濃度：2.7 mg/kg 油 量：7 400リットル																					
洗浄油 PCB 濃度管理																							
管理基準値：0.3 mg/kg																							
※分析値はいずれも検出 下限値以下で推移した ため参考値																							
内部部材測定結果	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2号変圧器</th> <th>3号変圧器</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>容器内面</td> <td><0.1 µg/100 cm²</td> <td>(基準値) <0.1 µg/100 cm²</td> </tr> <tr> <td>鉄 心</td> <td><0.1 µg/100 cm²</td> <td>(基準値) <0.1 µg/100 cm²</td> </tr> <tr> <td>ブッシング外面</td> <td><0.1 µg/100 cm²</td> <td>(基準値) <0.1 µg/100 cm²</td> </tr> <tr> <td>絶縁紙</td> <td><0.0005 mg/L</td> <td>(基準値) <0.0005 mg/L</td> </tr> <tr> <td>木 材</td> <td><0.0005 mg/L</td> <td>(基準値) <0.0005 mg/L</td> </tr> <tr> <td>銅 線</td> <td><0.01 mg/kg</td> <td>(基準値) <0.01 mg/kg</td> </tr> </tbody> </table>			2号変圧器	3号変圧器	容器内面	<0.1 µg/100 cm ²	(基準値) <0.1 µg/100 cm ²	鉄 心	<0.1 µg/100 cm ²	(基準値) <0.1 µg/100 cm ²	ブッシング外面	<0.1 µg/100 cm ²	(基準値) <0.1 µg/100 cm ²	絶縁紙	<0.0005 mg/L	(基準値) <0.0005 mg/L	木 材	<0.0005 mg/L	(基準値) <0.0005 mg/L	銅 線	<0.01 mg/kg	(基準値) <0.01 mg/kg
	2号変圧器	3号変圧器																					
容器内面	<0.1 µg/100 cm ²	(基準値) <0.1 µg/100 cm ²																					
鉄 心	<0.1 µg/100 cm ²	(基準値) <0.1 µg/100 cm ²																					
ブッシング外面	<0.1 µg/100 cm ²	(基準値) <0.1 µg/100 cm ²																					
絶縁紙	<0.0005 mg/L	(基準値) <0.0005 mg/L																					
木 材	<0.0005 mg/L	(基準値) <0.0005 mg/L																					
銅 線	<0.01 mg/kg	(基準値) <0.01 mg/kg																					

表3 騒音・振動と排気・大気環境・作業環境測定結果

項 目		単 位	測定結果	基 準 値	備 考
騒 振	音 動	dB dB	<61	<70	
			<50	<70	
排 気	PCB ダイオキシン類	mg/m ³ ng-TEQ/m ³ _N	0.00000062	≤0.1	
			0.0000053	≤0.1	
環境大気	PCB ダイオキシン類	μg/m ³ pg-TEQ/m ³	0.00094	≤0.5	
			0.037	≤0.6	
作業環境	PCB ダイオキシン類	mg/m ³ pg-TEQ/m ³	<0.001	0.01	第1管理区分（適切）
			0.05	2.5	第1管理区分（適切）

mg/kg 以下であることを確認し、洗浄完了とした。また、PCB 濃度が高い3号変圧器については、変圧器内部が洗浄されていることを確認するため、変圧器内部部材の測定を併せて実施した。

3.3 処理結果

洗浄油中 PCB の濃度変化および内部部材の測定結果を表2に示す。洗浄油中 PCB 濃度については、洗浄初期は内部部材等から PCB が移行されるために上昇し、徐々に飽和に達し4日目、5日目には0.3 mg/kg 以下で変化しなくなった。3号変圧器の内部部材の測定は全ての項目で基準値未満となっており、微量 PCB 汚染変圧器を適正に処理できたことを確認した。

3.4 環境への影響

環境への影響を確認するため、処理実施時に騒音・振動と排気・敷地境界での環境大気・作業環境に含まれる PCB およびダイオキシン類濃度の測定を実施した。測定結果を表3に示す。いずれも基準値に対して十分に低い数値となり、適正であることを確認した。

む す び

本報では神戸市の川崎重工業㈱で実施した微量 PCB 汚染変圧器の現地洗浄処理について紹介した。2台の大型変圧器を加熱強制循環洗浄法により洗浄処理し、現地で無害化できることを確認した。また、この時、騒音・振動と排気・環境大気・作業環境の

PCB およびダイオキシン類濃度がいずれも適正であり、安全に処理できることを確認した。

変圧器等の微量 PCB 汚染廃電気機器は「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法」により2027年3月31日までに処理することが義務付けられている。微量 PCB 汚染廃電気機器の処理は始まったばかりであり、これからも本法を活用し、処理期限までの PCB 全廃に貢献していきたい。

最後に、本事業を実施するにあたり、多大なるご協力をいただいた川崎重工業㈱および技術的助言をいただいた一般財団法人電力中央研究所に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 厚生労働省：職場の安全サイト
<http://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/gmsds/0199.html>
- 2) 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会 微量 PCB 混入廃重電機器の処理に関する専門委員会：微量 PCB 混入廃電気機器等の処理方策について、平成21年3月
- 3) 環境省：第1回 PCB 廃棄物適正処理推進に関する検討委員会議事次第・資料、平成23年10月
- 4) 環境省：報道発表資料、廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則の一部を改正する省令等の公布について、平成21年11月10日
<https://www.env.go.jp/press/11755.html>
- 5) 特許：第4889557号
- 6) 大村直也：DEN-CHU-KEN TOPICS, VOL19, 平成27年3月, p.8