

DEN-CHU-KEN

# TOPICS

2015 3 MARCH

VOL.19

Central Research Institute of Electric Power Industry

## 微量PCB汚染大型変圧器の洗浄技術

1. 電気事業における微量PCB汚染の現状と課題
2. PCBバイオセンサーによる濃度測定技術
3. 微量PCB汚染大型変圧器の洗浄技術ー加熱強制循環洗浄、  
課電自然循環洗浄ー
4. PCB洗浄処理の実現に向けた今後の課題と展望

## 微量PCB汚染大型変圧器の洗浄技術

## 1. 電気事業における微量PCB汚染の

ポリ塩化ビフェニル(PCB)は変圧器などの絶縁油に広く使用されましたが、その毒性が社会問題化し、1974年に製造や輸入等が禁止となりました。国は2001年に「PCB特措法」を施行し、PCB廃棄物(中表)を処理する体制の整備を開始しました。電力会社は、1997年の廃棄物処理法施行令改正により認定された化学分解による処理を採用し、2000年から処理を着実に進めてきました(上表)。

一方で、2002年にPCBを使用していないはずの電気機器から微量のPCBが検出され、非意図的な混入による微量PCB汚染が新たに報告されました。これらは「微量PCB汚染廃電気機器等」として区分され(下表)、主な処理の対象は、PCBを含む廃油(汚染油)やPCB汚染物(変圧器など)となります。

この新たな微量PCB汚染問題の解決には、多種多様な膨大な数の電気機器について、汚染範囲を特定するための簡便、迅速かつ安価なPCB測定技術と、特定された汚染機器を経済的に処理する技術が必要となります。

本章では、電気事業における微量PCB汚染の現状と課題について紹介します。

環境科学研究所  
副研究参事  
大村 直也



PCB関連年表

年	事項
1954年(昭和29年)	国内製造開始
1968年(昭和43年)	カネミ油症事件の発生。PCBの毒性が社会問題化
1972年(昭和47年)	行政指導により製造中止、保管の義務化
1974年(昭和49年)	化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)によりPCB製造・輸入・使用の原則禁止
1976年(昭和51年)	廃棄物処理法施行令改正(焼却処理認定)
1997年(平成9年)	廃棄物処理法施行令改正(化学処理認定)
2000年(平成12年)	電力会社でのPCB自家処理開始
2001年(平成13年)	ポリ塩化ビフェニルの処理を2028年までに完了することを定めたストックホルム条約が外交会議において採択 「PCB廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法(PCB特措法)」施行
2002年(平成14年)	日本がストックホルム条約を批准(PCBを含む12種類のPOPsの全廃・削減) PCBの非意図的な混入による汚染が判明
2004年(平成16年)	日本環境安全事業株式会社(現:中間貯蔵・環境安全事業株式会社)によるPCB廃棄物処理事業開始
2010年(平成22年)	微量PCBを処理する無害化処理認定制度開始
2012年(平成24年)	PCB特措法の一部改正(処理期限を2027年3月に延長)

PCB廃棄物の種類

区分	内容
PCB廃棄物	廃PCB等 廃PCB及びPCBを含む廃油(熱媒体、電気絶縁油等の廃PCB及びPCBを含む廃油等)
	PCB汚染物 PCBが塗布され、染み込み、付着し、又は封入された紙くず、木くず、繊維くず、廃プラスチック類、金属くず、陶磁器くず等(トランス、コンデンサ等の電気機器、蛍光灯の安定器、感圧複写紙、ウエス等)
	PCB処理物 廃PCB等又はPCB汚染物を処分するために処理したもので、環境省令で定める基準に適合しないもの

PCB廃棄物の区分

区分	高濃度PCB廃棄物	低濃度PCB廃棄物	
		低濃度PCB含有廃棄物	微量PCB汚染廃電気機器等
定義	PCBを意図的に絶縁油として使用したもので、トランスでPCB濃度50~60%、コンデンサで100%のもの	PCB濃度5,000mg/kg以下の廃棄物(微量PCB汚染廃電気機器等を除く)	非意図的にPCBが混入した廃棄物

# 現状と課題

微量PCB汚染とは、2001年の「PCB特措法」施行後に判明した非意図的な汚染で、そのPCB濃度はmg/kgの単位である<sup>[1]</sup>。一方、「PCB特措法」施行前にPCBの使用や混入が認識されていた汚染では、PCB濃度は数十万mg/kgの単位である場合もある。特に、PCB濃度が高い場合には、取扱いや処理などに健康や環境へのリスクが伴うことから、国が出資する中間貯蔵・環境安全事業株式会社(JESCO)により全国5ヶ所の事業所で化学処理が進められている。

電気事業においては、「PCB特措法」施行前にPCB汚染が認識されていたもののうち、特に絶縁油の再生過程で混入したと推定される汚染物について、現在も着実に化学処理を進めている。一方、微量PCB汚染においては、国の調べでは汚染が疑われる電気機器は、変圧器やコンデンサなどを合わせて約160万台に及ぶと推定されているが、汚染状況を完全に把握できていないのが現状である。その原因の一つとして、PCBの濃度測定が高価で時間を要するため、全国に散在する莫大な数の機器の測定が困難であることが挙げられる。このため、汚染物の特定には、迅速で安価な測定法が必要となっている。また、微量のPCBを検出するため、測定法には高い測定感度も同時に求められる。

さらに、微量PCB汚染問題の解決には、濃度測定によって特定した汚染物の処理も円滑に行われる必要がある。化学処理は、高い濃度のPCBまで処理できる確実な方法であるが、処理費用が高価となることが予想される。一方、微量PCB汚染物の処理には、膨大な物量や汚染濃度を考慮して、安全かつ経済的な方法の活用が重要となる。環境省は、2006年から微量PCB汚染油の焼却処理実証試験を行い、2010年に環境大臣による微量

PCBを処理する無害化処理認定制度を開始した。その結果、2014年11月末までに、民間で18の焼却処理にかかるPCB無害化処理認定施設が設置された。

しかし、焼却処理施設の対象は主に汚染油であり、変圧器などの汚染機器を処理する能力は限られているのが現状である。このため、微量のPCBに汚染された電気機器の容器や中身部材などを安全かつ経済的に処理する技術が必要となっている。特に、電気事業においては、焼却処理施設への運搬が困難な大型機器を多数保有するため、機器の設置場所で処理を行える方法が必要となる。

我が国はPCBについて、2028年までの適正な処理を定めたストックホルム条約に加盟しており、処理目標の遵守には、濃度測定と処理技術の開発と実用が喫緊の課題となっている。

第2章以降では、微量PCB汚染問題の解決に必要なPCB濃度測定技術や、処理技術の一つである大型機器の洗浄技術について、当研究所における研究の状況と、今後の課題を紹介する。

## <参考文献>

- [1] 環境省 低濃度PCB汚染物対策検討委員会 原因究明ワーキンググループ、低濃度PCB汚染物に関する原因究明調査報告書、平成17年5月

## 微量PCB汚染大型変圧器の洗浄技術

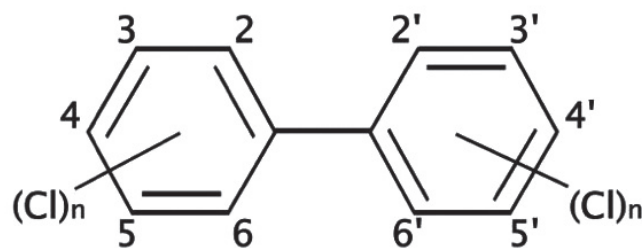
## 2.PCBバイオセンサーによる濃度測

PCBは、ベンゼンが2つつながったビフェニルに塩素が付加されたポリ塩化ビフェニル化合物の総称であり、塩素の数や位置の違いにより209種類の異性体が存在します(上図)。汚染油のPCB濃度は、それらの合計濃度として示さなければならぬため、その測定は大変困難です。さらに、PCBは油と似た物性を持つため、測定を妨害する油成分との分離が難しい点も測定が困難な要因です。

現在、日本における廃油のPCB汚染基準は0.5 mg/kgと定められています。この微量なPCBを測定する方法には、上述の課題克服に加えて、微量PCB汚染が疑われる変圧器等が多数存在することから、迅速性と経済性も求められます。このため、環境省は簡易・迅速にPCB濃度を測定できる最新の方法を広く一般に公募し、実証試験による厳正な評価を行った上で、2010年1月に「絶縁油中のPCBに関する簡易測定法マニュアル(第1版)」を公表しました。

本章では、そのマニュアルの第2版(2010年6月)に迅速判定法の一つとして公表された当研究所開発のPCBバイオセンサー(下図)を中心に紹介します。

環境科学研究所  
上席研究員  
佐々木 和裕



PCBの化学構造



当研究所が開発したPCBバイオセンサー

# 定技術

## 2.1 PCBバイオセンサーとは

PCBバイオセンサーとは、生物の抗原抗体反応を利用してPCBの濃度を測定する方法である。具体的には、PCB（抗原）と抗体の反応度合いからPCBを検出する（図2-1）。一般に抗体は、ある特定の化合物に反応する性質を持つように遺伝子から設計されており、PCBバイオセンサーに使われている抗体は、化学構造が似通った油成分とPCBを区別して反応することができる。このため、油成分とPCBを区別しにくい機械的な検出器に比べて、PCBを検出しやすいという利点がある。

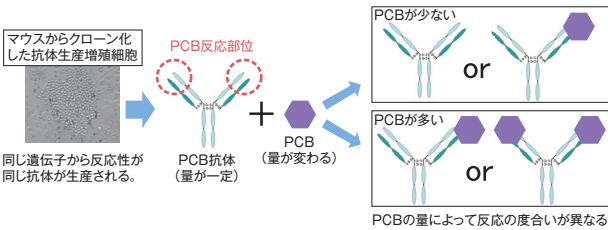


図2-1 PCBの抗原抗体反応

一方、PCBには多数の形があり、油の中には混合物として存在するため、抗体には多種類のPCBにできるだけ均一に反応することも求められる。油とPCBを区別しながら、形の違うPCB同士は区別しない、相反する反応性を両立するPCB抗体はこれまで開発されていなかった。

当研究所は、抗体の分子設計や特性評価・選別に関して独自の基盤技術を擁し、作成した数万種類のPCB抗体の中から、相反する反応性を持つ特殊な一種類の抗体の取得に成功した<sup>[1]、[2]</sup>。

## 2.2 PCBバイオセンサーの測定のしくみ

上述の抗体の他、PCBバイオセンサーには当研究所が開発した様々な技術が使われている（図2-2）

<sup>[1]-[5]</sup>。PCBの濃度測定では、水に溶けている抗体とPCBを反応させるため、油とPCBを分離する特殊な粒子を開発し、PCBを油から取り出せるようになった。

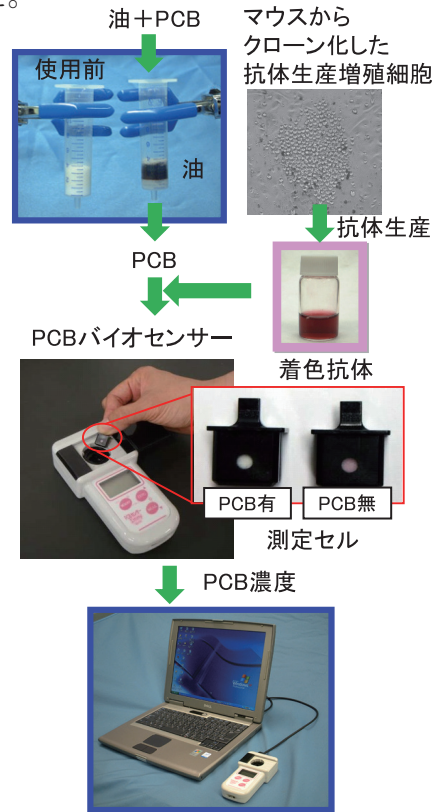


図2-2 PCBバイオセンサーの測定のしくみ

分離したPCBは水に溶けるため、抗体と混合できる。抗体はあらかじめ赤色のナノサイズの金コロイド粒子で着色しておく。この着色の仕方にも当研究所のノウハウが活かされている。次に抗体とPCBが反応した混合液を、中空状の測定セル内に通液する。

測定セルにはPCBと抗体の反応を可視化する膜状の支持体が組み込まれている。この膜は、PCBと反応していない抗体を吸着する能力があるが、PCBと反応した抗体は吸着しない。このため、油にPCBが含まれていなかった場合は、抗体はPCBとは

反応していないため膜も赤色になる。また、油に比較的多くPCBが含まれており、全ての抗体がPCBと反応した場合は、膜は白色となる。一方、油にPCBが少ししか含まれていなかった場合は、抗体の一部がPCBと反応し、その他の抗体はPCBと反応していないため、測定セルは赤と白の中間色になる。

PCBバイオセンサーでは、この膜の赤さ度合いを抗体反応の度合いとしてPCB濃度を測定する。この測定セルへの通液から膜の色の変化を測定する方法も当研究所独特の測定技術で、測定の簡略化と高感度化の鍵となっている。

### 2.3 迅速測定による安価な汚染判定

PCBバイオセンサーは、迅速かつ安価なPCB検出を可能にしたことから、環境管理の測定法に新たな道を提供した。これまで環境測定分野では、ある規制物質の濃度を求める定量法が提供され、これをもとに基準の超過を判定することが一般的だった。一方、公表された環境省の測定法マニュアルでは、PCBバイオセンサーは絶縁油中のPCB濃度が基準値以下であることを判定する迅速判定法の一つとして記載されている<sup>[6]</sup>。この迅速判定法のマニュアルへの導入は、PCB汚染が広範囲に及ぶ特性を踏まえ、迅速な汚染の判定に役立つためと考えられる。つまり、PCBの迅速判定の目的は、膨大な数の変圧器等の機器からPCB汚染の可能性のある(あるいは汚染されていない)機器を迅速かつ安価に選別することとなる<sup>[5]、[7]、[8]</sup>。

これまでの分析機器を使ったPCB濃度の測定には数日の時間を要していたが、PCBバイオセンサーでは数時間程度での測定が可能となった。また、複数試料の同時並行測定が容易であること

から、測定できる試料数は、1日で100試料程度が見込める。

現在、PCBバイオセンサーは、広く一般に提供され、PCB汚染判定の迅速化と費用の低減に役立てられている。

### 2.4 現場測定

PCBバイオセンサーは、操作が簡便であることから、変圧器の設置場所でのPCB測定への応用が期待される。実際、PCBバイオセンサーによる測定を行える分析車を製作した(図2-3)。この分析車は、小型遠心濃縮機や小型ドラフトチャンバー(排気装置)、温調機器を装備しており、外部電源なしに実験室と同等の精度での測定を可能

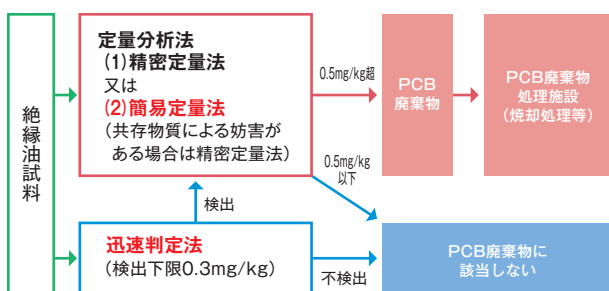


図2-3 分析車の外観と車内の分析設備  
(写真：株式会社セレス提供)

とした。移動が困難なPCB汚染大型変圧器について、設置場所で加熱強制循環洗浄(第3章参照)を行う場合では、この分析車の活用が期待される。洗浄油のPCB濃度を測定し、その濃度推移から洗浄におけるPCB除去の程度を調べることに役立てられる。測定時間は、実用的な約4時間程度であることから、今後洗浄技術が実用化された場合に、本分析車の現場工程管理への活用が期待されている。

## 2.5 PCB濃度を精度良く測定する定量法

環境省の測定法マニュアルには、PCBバイオセンサーなどのPCB非汚染を判定する迅速判定法のほかに、絶縁油のPCB濃度を決定する簡易定量法が複数記載されている<sup>[6]</sup>。この簡易定量法では、絶縁油中のPCB濃度を決定し、基準の超過の有無を判定する(図2-4)。



環境省「絶縁油中の微量PCBに関する簡易測定法マニュアル(第3版)」をもとに作成

図2-4 廃電気機器等に封入された絶縁油中の微量PCB測定法活用の考え方

当研究所が開発した簡易定量法も、環境省の測定法マニュアルに掲載され、広く一般に提供されている。開発した簡易定量法の特徴は、油からのPCBの分離に分子の大きさの違いを利用するゲル浸透分離を用いること、続くガスクロマトグラフ

機器分析において簡易なPCB濃度換算法を考案したことである(図2-5)<sup>[9]</sup>。これらの特徴により、精度良く、比較的短時間で低廉に定量できるようになった。本定量法は分析会社で実用され、油中のPCB濃度の決定に利用されている。



図2-5 ゲル浸透分離を応用したPCB簡易定量法

<参考文献>

- [1]Glass, T. R. et al., Analytica Chimica Acta 2004, 517, p.161
- [2]Glass, T. R. et al., Anal. Chem., 2006, 78(20), p.7240
- [3]大村直也 他、分析化学、2006, 55(1), p.1
- [4]大村直也 他、分析化学、2006, 55(5), p.341
- [5]大村直也 他、生体機能を利用したセンシング(その7)―PCBバイオセンサーの開発とスクリーニングとしての活用―、電力中央研究所報告V08053、2008
- [6]環境省、絶縁油中の微量PCBに関する簡易測定法マニュアル(第3版)、平成23年5月
- [7]大村直也 他、分析化学、2006, 55(7), p.519
- [8]Terakado, S. et al., Analytical sciences 2012, 28(8), p.737
- [9]大村直也 他、多層シリカゲルカラムクロマトグラフィーと電子捕獲型検出器付きキャピラリーカラムガスクロマトグラフィーによる絶縁油中PCBの迅速な機器分析、電力中央研究所報告V10017、2010

## 微量PCB汚染大型変圧器の洗浄技術

## 3. 微量PCB汚染大型変圧器の洗浄技術

微量PCB汚染油については、環境省の実証試験や制度整備により2014年11月までに民間の18の焼却処理施設が設置されました。そのうち、汚染機器の焼却が可能な施設は8カ所で、その処理対象は小型の変圧器などに限られているのが現状です。電気事業者は、焼却処理施設への運搬が困難な大型機器を多数保有するため、機器の設置場所で処理を行えることを必要としています。また、PCB廃棄物には該当しませんが、微量汚染が判明している、使用中の大型機器についても、使用を継続しながらPCBの処理を行えることが望まれています。

一方で、2012年には「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施行令の一部を改正する政令」が閣議決定され、事業者はPCB廃棄物の処分を2027年3月までに行うことになりました。処理期限の遵守には、微量汚染大型機器の安全で低廉な処理技術の開発が必須であり、同時に関連する法令等の整備も必要となっています。

本章では、当研究所が開発した2つの大型機器の洗浄技術について紹介します。

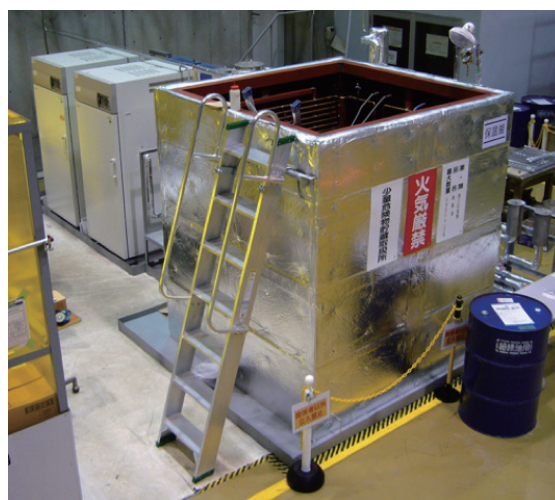
環境科学研究所  
副研究参事  
大村 直也



電力技術研究所  
上席研究員  
足立 和郎



環境科学研究所  
上席研究員  
佐々木 和裕



加熱強制循環洗浄試験に用いた洗浄装置



課電自然循環洗浄試験に用いた課電装置



# —加熱強制循環洗浄、課電自然循環洗浄—

## 3.1 洗浄技術の概要

洗浄技術は、微量PCB汚染変圧器の汚染油を洗浄油(PCBを含まない絶縁油)に入れ替え、機器内の残存するPCBを洗浄油に洗い出すことで、機器からPCBを除去する技術である。つまり、洗浄により微量PCB汚染変圧器に含まれるPCBを経済的かつ安全に取り除くことで、汚染機器を無害化する。この洗浄技術は、加熱強制循環洗浄と課電自然循環洗浄の2種類に分類される(図3-1)。

### ①加熱強制循環洗浄の手順とPCB除去

加熱強制循環洗浄は、主に使用を終えた微量PCB汚染変圧器が対象となる。最初に汚染変圧器からPCBに汚染された油を抜き出し、洗浄油としてPCBを含まない油を充填する。この後、洗浄装置により油を加熱しながら、装置と変圧器の間で油を循環させて、変圧器内で油の流れを発生させる。この油の流れにより、変圧器の内壁や中身部材に付着したり、浸み込んでいたPCBを洗い出す。

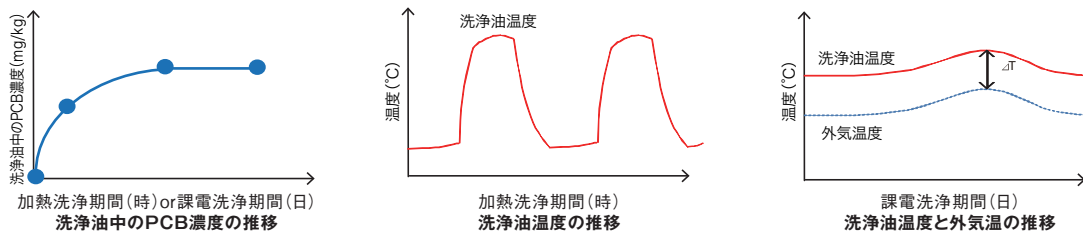
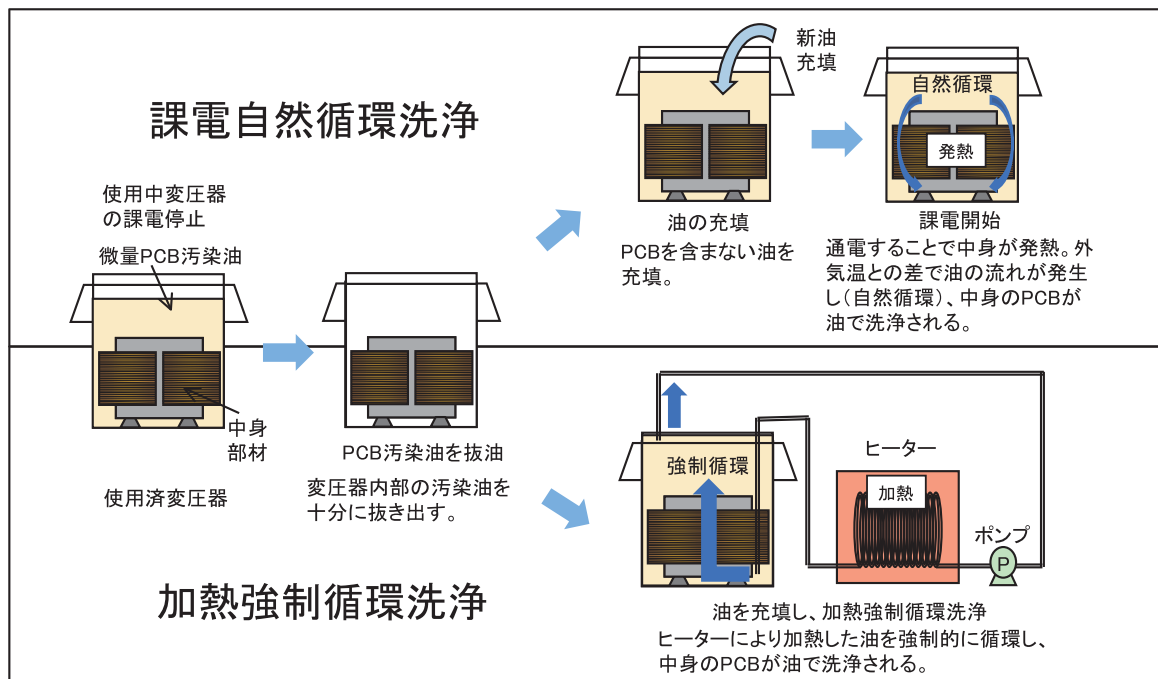


図3-1 洗浄技術の概要(加熱強制循環洗浄、課電自然循環洗浄)

PCBの洗い出しは、PCB濃度によるが、洗浄の進行に伴う洗浄油のPCB濃度の濃度上昇として捉えられる。洗い出しが終わったら、洗浄油を抜き出すことで変圧器からPCBを除去する。

## ② 課電自然循環洗浄の手順とPCB除去

課電自然循環洗浄は、使用している微量PCB汚染変圧器が対象となる。従って、電力系統に接続されたままの汚染変圧器への課電を一旦停止し、PCBに汚染された油を抜き出す。この後、洗浄油としてPCBを含まない油を充填し、課電を再開する。

課電により変圧器の中身部材が発熱し、洗浄油は加温され、外部環境との温度差が生じる。この温度差により、変圧器内で洗浄油の流れが発生し、変圧器の内壁や中身部材に付着したり、浸み込んでいたPCBを洗浄油に洗い出す。機器の使用が終了した段階で洗浄油を抜き出すことでPCBが除去される。

## 3.2 PCB除去に影響を及ぼす因子

両洗浄技術においてPCB除去の度合いに影響する主な因子は、洗浄期間に加えて、循環流速や油温が挙げられる。そこで、洗浄技術の開発段階では、油が少量の変圧器を用いて、実験室内で厳密に影響因子を変化させた洗浄試験を行ってきた(7ページ図参照)。これらの試験の結果、両洗浄技術とも、洗浄期間に加えて、循環流速や油温がある一定の条件を満たせば、微量PCB汚染変圧器から洗浄油へのPCBの洗い出しが促進され、変圧器の容器や中身部材から国が定めたPCB無害化処理基準\*を満足するまでPCBが除去されることが分かった。

これらの洗浄に関わる基本的情報は環境省に

提供され、両洗浄技術は2012年に、微量PCB汚染変圧器からPCBを除去し、変圧器を無害化処理する技術として環境省から評価を受けた。

## 3.3 微量PCB汚染変圧器の現地洗浄

実際に両洗浄技術を実用化するにあたっては、検討してきた技術が油量の多い大型変圧器へ適用できること、変圧器が設置あるいは使用されている現場での処理が可能であることの実証が必要となる。そこで、両洗浄技術について、電力会社と共同で微量PCB汚染変圧器を保管あるいは使用している現場で処理を行う実証試験に取り組んだ。

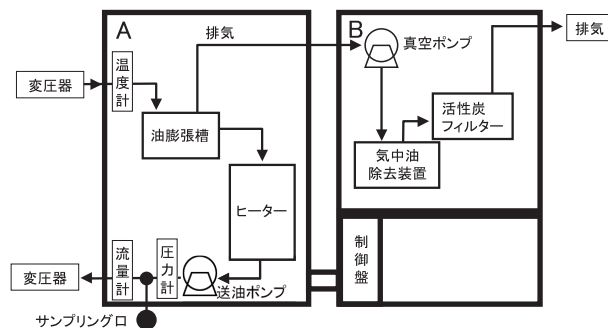


図3-2 移動式加熱強制循環洗浄装置  
左写真はAユニットの外観、右写真はBユニットの操作盤

\*廃PCB等及びPCB汚染物を処分するために処理したものについて特別管理産業廃棄物として扱う必要があるかを判断するための基準(廃油の場合は0.5mg/kg以下。その他、廃プラスチック類、金属くず、陶磁器くず等、対象によって基準は異なる。)

試験に先立ち、加熱強制循環洗浄試験に用いる移動式加熱強制循環洗浄装置をメーカー2社と共同で設計・試作した(図3-2)。試作装置は、AユニットとBユニットから構成される。加熱強制循環洗浄では、変圧器から汚染油を抜いた後、本装置を接続して洗浄油を変圧器と装置に満たし、装置により加温した洗浄油を変圧器との間で循環させながら洗浄を行う。

Aユニットは洗浄を行う変圧器とフレキシブル配管により循環経路を設置可能な仕様となっており、主に洗浄油の加熱と循環を行う機能を有している。また、洗浄油の熱膨張による容積の増大を調整する膨張槽も備えている。野外の気温に拘わらず、一定の時間で所定の油温まで昇温させるため、強力な油ヒーターが装備されている。一方、Bユニットは、Aユニットにおける加熱や循環の操作の制御と記録に加えて、装置の排気に含まれるPCBを除去する処理を行う環境に配慮した機能を備えている。この機能により、PCBを大気環境に放出することなく処理を行うことができる。

また、試作装置は運搬を前提とした設計となっており、油量が2万リットル程度の大型変圧器の設置場所に搬入・設置して、加熱強制循環洗浄の全工程を現場で実施できる。この試作装置は、PCB汚染大型変圧器の全ての洗浄実証試験で使用され、試験時に取得した知見は実用機の設計に役立てられている。

加熱強制循環洗浄の実証は、全国で数台の微量PCB汚染大型変圧器について実施した。洗浄対象の変圧器の油量は、9千から1万5千リットル程度で、PCB濃度は1~6mg/kg程度である。洗浄装置を変圧器の保管場所に輸送・設置し、加熱強制循環洗浄を行った際の実例を図3-3に示す。洗浄油を加温・循環する洗浄開始から、洗浄油の

PCB濃度が上昇し、洗浄40時間後にPCB濃度が変化しなくなった。このことから、一定期間の加熱強制循環洗浄により、変圧器内部から洗浄油にPCBが移行することが実証された。

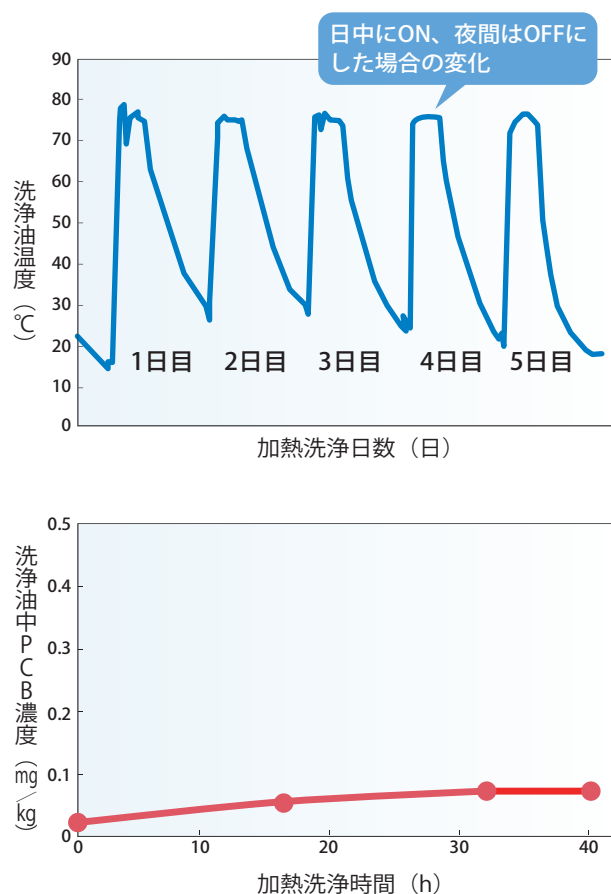


図3-3 加熱強制循環洗浄中の洗浄油の温度とPCB濃度の経過

実証試験では、大型変圧器を構成するコンサベータ、ラジエータ、ブッシング、負荷時タップ切換装置(LTC)、浄油機などが本体に付属したまま洗浄する場合と、本体とその他の付属品に分けて部品毎に洗浄する場合など、変圧器の保管状態や洗浄を行う現場の状況に合わせて洗浄できることが確かめられた(図3-4)。

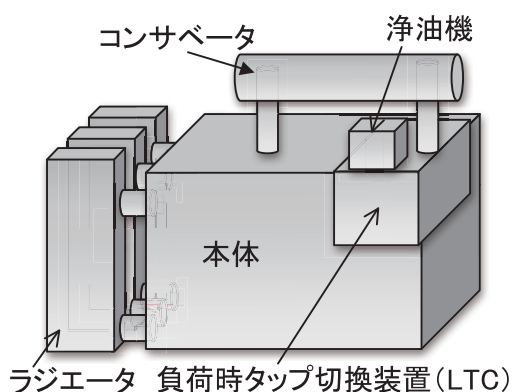


図3-4 加熱強制循環洗浄に用いた大型変圧器の部品構成

\*コンサベータ:温度変化により膨張した絶縁油量を吸収するタンク

一方、課電自然循環洗浄の実証は、全国で数台の微量PCB汚染大型変圧器について実施した。洗浄対象の変圧器の油量は、1万から2万5千リットル程度で、PCB濃度は1~5mg/kg程度である。いずれの変圧器も、使用場所で電力系統に接続して商用運転を行うことで課電自然循環洗浄を行っている。洗浄を行った際の実例を図3-5に示す。課電開始から、洗浄油のPCB濃度が上昇し、洗浄60日間後にPCB濃度が変化しなくなった。また、洗浄の全期間にわたって、外気温の変化に関わらず油温が課電により高い温度に維持されていることが確かめられた。このことから、温度差により変圧器内部に洗浄油の流れが常に発生し、一定期間の洗浄により、変圧器内部から洗浄油にPCBが移行したことが実証された。

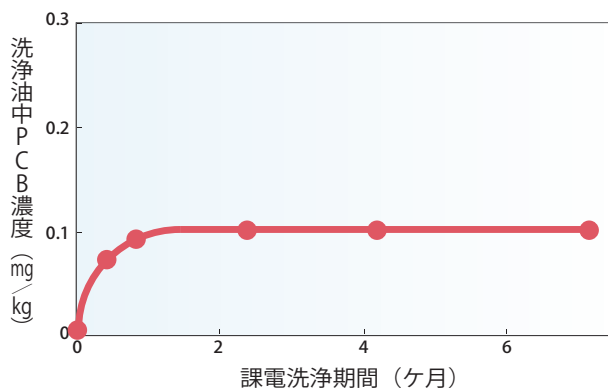
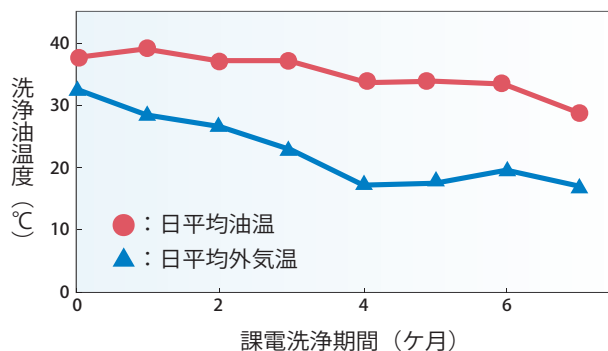


図3-5 課電自然循環洗浄中の洗浄油の温度とPCB濃度の経過

### 3.4 洗浄後の変圧器容器及び部材のPCB無害化処理基準による判定とPCB除去率

微量PCB汚染大型変圧器の加熱強制循環洗浄及び課電自然循環洗浄の実証試験では、全ての変圧器で洗浄直後に容器や中身について、国の定めるPCB無害化処理基準に照らした判定を実施した。その結果として、中身のコイルを構成する絶縁紙などの紙類、銅線類や木に加えて、鉄心を構成するケイ素鋼板の中身部材は、PCB無害化処理基準を満足するまでPCBが除去されていることが確認された。また、変圧器の容器、付属品のコンサベータ、ラジエータ、ブッシング(外側)の表面も同様に基準を満足するまでPCBが除去されているこ

とが確認された。加えて、加熱強制循環洗浄においては、負荷時タップ切換装置と浄油機の表面も、基準を満足するまでPCBが除去されていることが確認されている。

また、洗浄時の作業環境や大気環境のPCB及びダイオキシン濃度を実測したところ、全ての試験において国の定める基準を十分に満足することが確かめられた。

### 3.5 PCB処理技術としての評価

このように、微量PCB汚染大型変圧器の保管

あるいは設置(使用)場所において、汚染油の抜油、洗浄油の注油、洗浄装置による一定期間の加熱強制循環洗浄あるいは商用運転による一定期間の課電自然循環洗浄により、周辺環境に影響を及ぼすことなく、変圧器を構成する容器や中身部材について、PCB無害化処理における汚染基準未達となるまでPCBの除去が可能であることが実証された。実証結果から2013年度に両洗浄技術は、設置(使用)場所において微量PCB汚染大型変圧器からPCBを除去し、変圧器を無害化処理する技術として環境省から技術的評価を受けた。

## 次世代PCBバイオセンサー

PCBバイオセンサーのさらなる高速化と低廉化を目指し、最新の微細加工技術を導入した次世代PCBバイオセンサーの試作に取り組んだ<sup>[1]</sup>。微細加工は、微小な電気回路を必要とする半導体作成に用いられ、近年著しく発展した技術である。この微細加工技術を用いることにより、PCBの油からの分離や濃度測定を集積し、高速化を図るのが狙いとなる。まず、微細管と微細抽出基盤によりPCBを油と分離する。分離したPCBを微細流路により抗体と混合し、同じ微細流路内でPCBと抗体の反応度合いを光の透過割合によって測定し、PCB濃度を求める(図)。

次世代PCBバイオセンサーでは、現行のPCBバイオセンサーの測定時間を3分の1程度、使用試薬量を10分の1程度まで改善できる見通しを得ている。この次世代PCBバイオセンサーについては、実用への検討が可能な原理実証まで終了している。

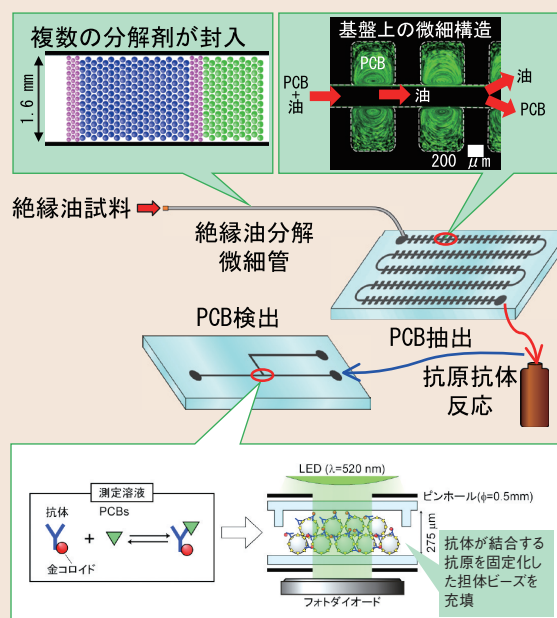


図 次世代バイオセンサーの測定のしくみ

<参考文献>

- [1] 青田新 他、次世代PCBバイオセンサーの開発(その3)ーマイクロ流体デバイスを用いた絶縁油中PCB分析ー、電力中央研究所報告 V12005、2012

## 微量PCB汚染大型変圧器の洗浄技術

# 4.PCB洗浄処理の実現に向けた今後

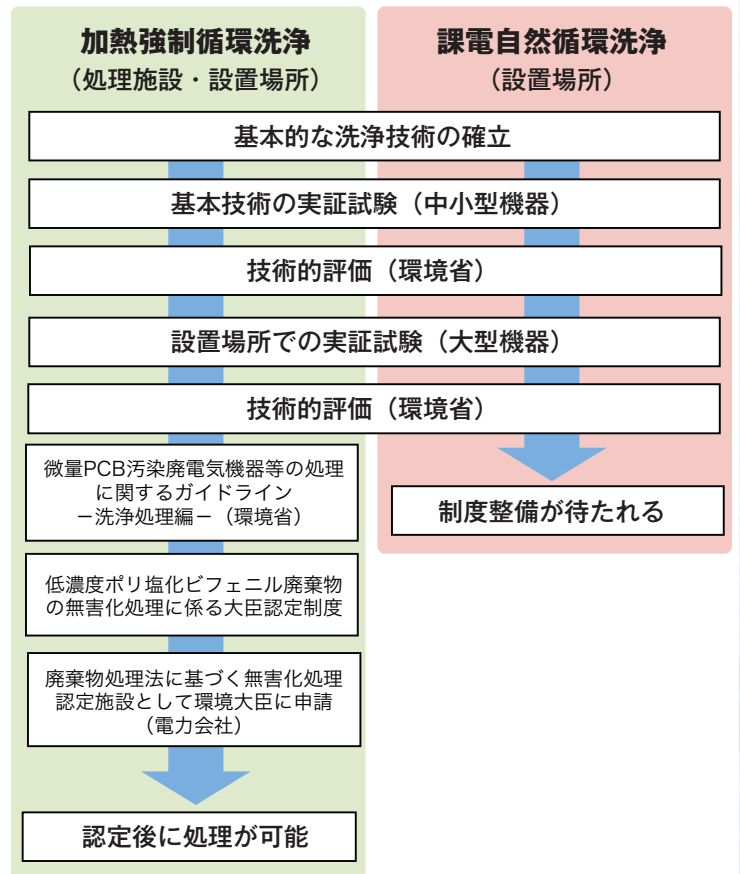
簡易かつ安価にPCB濃度を測定する技術は、PCBバイオセンサーなどの開発と、環境省の「絶縁油中のPCBに関する簡易測定法マニュアル」の整備により実用され、今後も汚染変圧器の特定や、洗浄処理を行う際の測定時間や費用の削減に貢献することが期待されます。

加熱強制循環洗浄と課電自然循環洗浄の両技術は、PCB無害化処理技術として技術的な評価を環境省から受けました。今後は、経済的な微量PCB汚染変圧器の処理技術として実用する段階となり、法令上のPCBの処理期限が2027年3月に迫っていることから、その実施が期待されています。

当研究所は、洗浄処理技術の実用を通じてわが国におけるPCBの廃絶に貢献していくため、技術面から様々な取り組みを行っています。

本章では、洗浄処理の実現に向けた技術課題への取り組み状況と、今後の展望について紹介します。

環境科学研究所  
副研究参事  
大村 直也



洗浄の実現に向けた取り組み

# の課題と展望

## 4.1 簡便な無害化処理判定

現在の焼却処理では施設での集中処理が可能なため、変圧器の容器や中身部材について、集約的に国の定めるPCB無害化処理基準に照らした判定が行われ、無害化処理の成否が確認されている。一方、洗浄処理では現地で微量PCB汚染変圧器を個別に処理するため、処理の都度、中身部材を採取し無害化処理の成否を確認するには、多大な時間と費用が必要となる。また、使用中の微量PCB汚染変圧器を課電自然循環洗浄する場合には、洗浄後も使用を継続することも想定されるため、処理の判定のために部材を採取することは不可能である。このため、洗浄後の変圧器の容器や中身部材が、国の定めるPCB無害化処理基準を満足することを示す簡便な判定手段が必要となっている。

そこで当研究所では、洗浄油のPCB濃度を指標に、洗浄後の変圧器の容器や中身部材がPCB無害化処理基準を満足することを判定する、簡易な無害化処理判定について検討を進めてきた。具体的には、様々な変圧器を対象に、洗浄前の汚染油のPCB濃度、変圧器重量、変圧器油量から、洗浄後の洗浄油のPCB濃度を推定する手法を開発した。そして、洗浄後の洗浄油のPCB濃度が所定の水準となった時、変圧器の容器や中身部材が、PCB無害化処理基準を満足することを実証した。2014年には、環境省から公表された「微量PCB汚染廃電気機器等の処理に関するガイドライン－洗浄処理編－」<sup>[1]</sup>により、この簡便な無害化処理判定が示されている。ただし、この簡易な判定を行うには、洗浄後の変圧器の容器や中身部材が、国の定めるPCB無害化処理基準を満足することを処理実績から十分に示した上で、定期的に処

理基準を満たしていることの確認を行うことが必要となる。

これにより、使用済の微量PCB汚染変圧器を加熱強制循環洗浄する場合は、簡便な無害化処理判定の実現が近づいている。一方、課電自然循環洗浄についても、洗浄後の洗浄油のPCB濃度を推定できると考えられるが、まずは実績を積み上げながら、本手法を検証していくことが重要となる。

## 4.2 洗浄実現への取り組み状況と展望

加熱強制循環洗浄は、環境省による技術的評価と洗浄ガイドラインの公表により簡便な無害化処理判定法が示され、実現に向けた準備が整った<sup>[1]</sup>。このため、電力会社では、安全かつ確実に処理を進めるため、環境大臣認定制度の活用などにより、実用に向けて準備を進めている。当研究所は、数々の試験から得た知見を活かして、洗浄の基本的な技術情報に加え、洗浄装置の設計、生活環境調査における予測手法など様々な技術情報の提供を行っている。電気事業においては、至近に加熱強制循環洗浄が実現すると展望される。一方、課電自然循環洗浄は、処理を行う制度が整い次第、実績を踏まえながらの実現が待たれる（13ページ図参照）。

### <参考文献>

- [1] 環境省、洗浄ガイドライン微量PCB汚染廃電気機器等の処理に関するガイドライン－洗浄処理編－、平成25年12月

DEN-CHU-KEN  
TOPICS

発行：一般財団法人 電力中央研究所 広報グループ

〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1 (大手町ビル7階)

TEL:03-3201-6601 FAX:03-3287-2863

<http://criepi.denken.or.jp/>