

変圧器等への微量PCBの混入可能性に関する 調査結果について

2003年11月

富士電機ホールディングス株式会社

補足：富士電機株式会社は平成15年10月1日より純粋持株会社となり、社名を富士電機ホールディングス株式会社に変更しました。なお、本報告書内では旧名で表示しております。

| 【 目 次 】 | ページ |
|--------------------------|-----|
| 1. はじめに | 3 |
| 2. 調査の実施にあたって | 3 |
| 3. サンプル調査結果 | 7 |
| 4. 調査結果の分析 | 8 |
| 5. 微量PCB混入の要因 | 10 |
| 6. 検出事例に対する保守履歴の調査 | 10 |
| 7. 絶縁油メーカーの調査 | 10 |
| 8. 混入要因に関する考察および見解 | 11 |
| 9. まとめと今後の対応 | 13 |
| 10. 添付資料 | 14 |

1. はじめに

平成12年7月、富士電機が客先に納入した変圧器に充填した電気絶縁油から微量のPCBが検出された旨の連絡を受けました。また、富士電機では過去に使用した絶縁油の一部にPCB 不含見解の得られない再生油を使用していたことから、微量PCB混入の可能性が完全に否定できないことを(社)日本電機工業会(以下;JEMAという)へ報告しました。

上記に関する報告は、油入り電気機器を製作した機器メーカーの調査結果としてJEMAでとりまとめ、平成14年7月9日付けで経済産業省および環境省に対して「微量PCB検出にかかる調査について」として報告がなされました。この報告に対して、経済産業省および環境省から、富士電機は、それぞれ平成14年7月12日付け経済産業省製造産業局長通達(平成14・07・11製局第2号)および環境大臣通達(環産産第393号)にもとづき、①PCB含有の有無の判別をおこなう調査、②原因の解明、③関連ユーザーへの情報提供等の指示を受けました。

本報告は微量 PCB 混入の可能性および微量PCB検出事例の混入原因解明についての調査結果をとりまとめたものです。

2. 調査の実施にあたって

富士電機では、今回の通達を受けて調査対象を以下の範囲まで広げて実施し、微量PCB混入の原因解明に反映できるよう努めました。

- ・ 富士電機の自社工場で生産・販売した油入電気機器
- ・ 富士電機が他社に生産委託(OEM)し富士電機銘板で販売した油入電気機器
- ・ 富士電機の自社工場内に設置されている他社生産、他社銘板の油入電気機器

また、事前確認として自社工場で生産・販売した機器については、使用電気絶縁油、電気絶縁油入り電気機器の種類と生産台数の把握、製造ラインの状況と製造工程における人的作業、および電気機器に使用された部品・材料等の実態調査をおこないました。

2.1 事前確認事項

(1)使用電気絶縁油の状況

- ①富士電機では、JIS 規格にもとづいた電気絶縁油(以後、絶縁油という)の調達をおこなっており、現在までに大別して3種類の絶縁油(新油、再生油、PCB)を購入・使用していました。

〔電気機器への充填用に購入した絶縁油の種類〕

- ・新油 : JIS C2320-1999(最新版)に定義されている原油を精製した鉱油からなる使用前の絶縁油
- ・再生絶縁油: JIS C2320-1974 の再生絶縁油と記載のもので、使用済み絶縁油を原料として再精製した絶縁油(以後、再生油という)
- ・PCB : JIS C2321 で定義されているもの

- ②富士電機は、原則として電気機器の絶縁油に新油を使用してきましたが、PCBを1972年まで、再生油を1975年～1989年の期間に新油と並行使用していました。
なお、絶縁油はJIS規格の種類および仕様を指定して購入していたことから、絶縁油の受け入れ時にPCB分析はおこなっていませんでした。

(注): JISC2320-1974、-1978 の材料及び加工法では、「絶縁油は、鉱油を精製した淡黄色、透明の油で、水分、浮遊物その他有害なものを含まないようにつくらなければならない」とあり、JISC2320-1978R の用語の意味では「原油を精製したもの」とあり、1993年以降のJISC2320-1993 では、「原油を精製したもの、未使用の電気絶縁油」とされていますので、JISに従えばいずれの場合でもPCB混入はないと考えていました。

③富士電機では1990年以降再生油の使用を中止するとともに、再生油の配管設備等を撤去処分、更に1997年以降は工場保管油のPCB分析を自主的に実施するなど、絶縁油の管理を強化してきました。

(2) 機器メーカーにおけるPCB不含確認状況

今回の新油および再生油への微量PCBの混入可能性に関する対象範囲の絞込みに当たっては、再度、絶縁油メーカーに確認を依頼し”PCB不含見解書”または”PCB不含証明書”を過去に遡って絶縁油メーカーから入手しましたが、再生油ではこれを入手できませんでした。なお、今回の調査では電気機器の製造段階で充填した上記絶縁油を改めて採油しPCB分析したものです。また、調査結果は、すべて製造時に使用した絶縁油種名で表記しております。

(3) 絶縁油入電気機器の種類と生産台数

富士電機が生産した油入変圧器(PCB使用機器は除く)の生産台数、絶縁油使用量について調査した結果を表2-1に示します。

【表2-1 油入電気機器の生産台数と使用絶縁油量】

| ＜生産台数＞ | | | | | (万台) |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|
| 機種 | 1953～'72年 (注1) | 1973～'74年 (注3) | 1975～'89年 (注2) | 1990～'02年 (注3) | 合計 |
| 変圧器 | 0.9 | 0.3 | 2.2 | 5.4 | 8.8 |
| 推定残存台数 (注4) | 0.5 | 0.2 | 2.2 | 5.4 | 8.3 |

| ＜使用絶縁油量＞ | | | | | (百万リットル) |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 機種 | 1953～'72年 (注1) | 1973～'74年 (注3) | 1975～'89年 (注2) | 1990～'02年 (注3) | 合計 |
| 変圧器 | 6.1 | 3 | 35 | 27 | 71.1 |
| 推定残存油量 (注4) | 3.5 | 2.5 | 34.5 | 27 | 67.5 |

注1:新油およびPCBを使用した時期(1953年～1972年)

注2:新油と再生油を使用した時期(1975年～1989年)

注3:新油のみを使用した時期(1973年～1974年、1990年～)

注4:推定残存率は、1976年以降は100%残存しており、1975年の93%から1962年の2%までは7%/年の割合で減少し、1961年以前は1%とした

(4) 製造工程での混入可能性

① 新油とPCBを並行使用していた時期での混入の可能性

PCBは1972年に行政指導により実質的に使用が禁止されましたが、それ以前には富士電機において新油使用機器とPCB使用機器を並行生産していた時期がありました。このことから新油使用機器にPCBが混入する可能性を確認するため、新油使用機器とPCB使用機器の製造ラインについての調査を行いました。

添付資料-1「変圧器製造ライン P2」参照

調査の結果、新油使用機器とPCB使用機器の製造ライン(タンク、配管、浄油機、注入口)は、完全に分離されており、製造ラインにおいて新油使用機器にPCB混入の可能性はありませんでした。

② 新油と再生油を並行使用していた時期での混入の可能性

富士電機では、新油と再生油を使用してきたことから、この時期における新油使用機器に再生油が混入する可能性を確認するため、新油使用機器と再生油使用機器の製造ラインについての調査を行いました。添付資料-1「変圧器製造ライン P4」参照。

調査の結果、新油使用機器と再生油使用機器の製造ライン(タンク、配管、浄油機、注入口)は、完全に分離されており新油に再生油が混入する可能性はありませんでした。

(5) 製造工程における人的要因の調査

電気機器の製造工程の大半は人手作業に委ねられており、新油使用機器とPCB使用機器の並行生産時期で、人的要因(組立作業、注油作業、試験作業)によるPCB混入の可能性について、当時の作業要領等ドキュメント類の有無確認およびヒアリングを実施しました。その結果、ヒアリングを含む調査の範囲内では、微量PCB混入の可能性を示す作業は見つかりませんでした。但し、PCBを使用していた時期から既に30年以上経過していることもあり、ドキュメントやヒアリングの内容どおりに確実に作業が進められていたという確証は得られず、作業上の不注意に起因してPCBが混入されたことは否定できません。

また、再生油にPCBが混入されていた場合についても上記同様、作業上の不注意に起因した新油へのPCB混入は否定できません。

しかし、仮に治工具の共用による混入、作業着・手袋等への付着による混入があった場合、PCB含有量は極微量であり、且つ、その後の継続生産において希釈されることから、検出濃度は極めて低く、継続的なPCB混入要因と考えるのは困難です。

即ち、作業上の不注意を継続して行わない限り検出事例のような結果には至らず、作業上の不注意のみが混入要因であるとすることは現実的でないと考えます。

(6) 電気機器に使用した部品・材料等の調査

絶縁油入り電気機器の内部構成部品・材料としては電磁鋼板(鉄心)、鋼板(容器等)、銅線(巻線)、絶縁紙、木材、プラスチック成型品、ワニス等が使用されていましたが、これらはPCBを含有しておらず、PCBが溶出することはありません。さらに、内部構成部品・材料および原油から精製された絶縁油中には、人工的に合成して製造されるPCBに必要なジフェニルや塩素ガスを生成するものが無いことから、稼動中に電気機器内部でPCBが生成することはないと考えられています。

(7) 富士電機所有変圧器(製造・試験設備)の調査

JEMAの「変圧器等への微量PCBの混入可能性に関する調査結果について」のなかのサンプル調査の結果では、富士電機は調査数、検出数とも多くなっておりますが、これは社内に設置されている他社製変圧器(374台)を含むためです。その目的は製作年による微量PCB検出の傾向を把握し、年代毎にPCB検出事例分布の精度を上げる目的で実施しました。調査の結果、他社製変圧器374台のうち、251台から微量PCBが検出されました。(表2-2参照)

年代別分布については、添付資料-4「年代別 検出事例数」を参照下さい。

【表2-2 富士電機所有の他社製変圧器からのPCB検出事例】

| 製造時期 | 検出台数 | 調査台数 | 検出濃度 (ppm) |
|-------------|------|------|---------------|
| OEM(北陸電機製造) | 163 | 206 | 0.6~34.5 |
| その他(注記) | 88 | 168 | 0.5~647 |
| 合計 | 251 | 374 | 0.5~647 |

(注記)その他;興亜電機(21台)、愛知電機(9台)、ダイヘン、日新電機、三菱電機、東光電気、トーヘン等14社(53台)の合計88台

2. 2 サンプル調査の方法

通達にもとづく微量 PCB 混入の可能性および微量PCB検出事例の原因解明についての調査を以下のとおりおこないました。

2. 2. 1 微量PCB混入可能性に関するサンプル調査

(1) 通達の指示内容

「重電機器の種類、製造年、メーカー名、製造工場、型式、製造時に使用した絶縁油のルート等に応じた適切なロットごとに、PCB含有の有無の判別をおこなうための調査をおこなうこと。」

(2) 目的

絶縁油メーカーより“PCB不含見解書”または“PCB不含証明書”が得られなかった再生油を使用した変圧器についてサンプル調査を行い、微量PCB混入の有無の確認をおこなう。

(3) 調査要領

- ① 対象期間は絶縁油メーカーから“PCB不含見解書”または“PCB不含証明書”が得られていない再生油を使用した期間。(1975年～1989年)
- ② 1ロットの間隔は、再生油を保管タンクに補充する間隔で実施(上記期間 10ロット)。
- ③ 検体数は、1検体以上/ロットを目標とする。
- ④ 検体については、変圧器納入後の油の保守履歴(油交換履歴)を確認する。

2. 2. 2 微量 PCB 検出事例の原因解明に関するサンプル調査

(1) 通達の指示内容

「調査により、万一PCBが検出された場合には、速やかに原因解明に努めること。また、過去に検出事例がある場合には、速やかに原因の解明に努めること。」

(2) 目的

“PCB不含見解書”または“PCB不含証明書”がある絶縁油を使用し、PCB使用機器とのラインが分離した工程で製造された機器からも検出事例があり、原因の解明と微量PCB混入可能性のある範囲の特定を図る。

(3) 調査要領

- ① 過去の検出事例において、微量PCBが検出された機器の製造年およびその前後年に製造された機器からサンプルを抽出する。
- ② 調査期間および検体数は、過去の検出事例期間で1検体以上/年を目標とする。
なお、必要に応じて、上記調査以外でも調査検体数を設定する。
- ③ 検体については、変圧器納入後の油の保守履歴(油交換履歴)を確認する。

3. サンプル調査結果

3.1 微量 PCB 混入可能性に関するサンプル調査結果

“PCB不含見解書”または“PCB不含証明書”のない再生油を使用した機器のサンプル調査結果は表3-1のとおりです。(添付資料2「検出事例数とND数(サンプル調査分)」参照)

調査の結果、“PCB不含見解書”または“PCB不含証明書”のない再生油を使用した機器については、各ロットの多くで微量 PCB が検出されました。

【表3-1 微量PCB混入可能性調査結果】

| 再生油メーカー | 不含見解等の得られていない 再生油の使用期間 | 調査数 | 検出数 |
|------------|---------------------------|--------|-----|
| ユカインダストリーズ | 1975年～1989年 | 15(10) | 13 |

注：調査数の()内数値は調査対象となるロット数を示す。

3.2 微量 PCB 検出事例の原因解明に関するサンプル調査

“PCB 不含見解書”または“PCB不含証明書”のある絶縁油(新油)を使用した機器についての調査結果は表3-2のとおりです。(添付資料2「検出事例数とND数(サンプル調査分)」参照)

調査の結果、製造時期についてはA～C時期に微量PCBが検出されています。更に、D時期の検出事例はありませんでした。

【表3-2 サンプル調査の結果】

| | 製造時期(注1) | | | | | 絶縁油を購入していた油メーカー |
|-----|----------|----|----|----|-----|-------------------------------|
| | A | B | C | D | 合計 | |
| 検出数 | 5 | 56 | 5 | 0 | 66 | 日本石油、出光興産、ジョモ、 昭和シェル、コスモ石油 |
| 調査数 | 6 | 76 | 19 | 10 | 111 | |

注1：富士電機所有の他社製変圧器からの検出事例 251 台、調査数 374 台（前述【表2-2】）を合計したサンプル調査結果は検出数 317 台、調査数 485 台となります。

注1：製造時期の定義

| 時期 | 定義 | 使用油 | 期間 |
|-----|-------------|------------|------------|
| A時期 | PCB機器並行生産前 | 新油 | ～1952 |
| B時期 | PCB機器並行生産時期 | PCB・新油 | 1953～1972年 |
| C時期 | C1 | PCB機器生産中止後 | 新油 |
| | C2 | | 新油・再生油 |
| D時期 | 同上+絶縁油管理強化 | 新油 | 1990年以降(注) |

注：再生油はD時期より絶縁油メーカーでの製造が中止された

3.3 サンプル調査で判明したこと

3.1, 3.2 のサンプル調査の結果から、次の事項が明らかになりました。

- ①“PCB不含見解書”または“PCB不含証明書”のない絶縁油(再生油)を使用した機器からは、約90%の割合で微量PCBが検出された。
- ②“PCB不含見解書”または“PCB不含証明書”のある絶縁油(新油)からも微量PCBが検出された。
- ③PCBを使用していないA時期、C時期にも検出事例がある。

4. 調査結果の分析

4. 1 ユーザーからの検出事例連絡

2003年7月末までにユーザーから連絡があった検出数は191台(OEM品94台を含む)で、製造時期別に区分した結果は表4-1のとおりです。調査の結果、製造時期についてはB時期とC時期に集中し、更にD時期からも微量PCBが検出されています。また機種としては、遮断器、整流器についても検出事例が判明しました。なお、OEM契約により富士電機ブランドで販売している北陸電機製造(株)、(株)高岳製作所、東光電気(株)の検出事例については、OEM契約先に事例を通知するとともに原因解明のための調査・検討に反映するよう指示しました。

【表4-1 ユーザーからの検出事例】

| 製作元 (OEM製造元) | 製造時期別検出数(台) | | | | | 合計 |
|-----------------|-------------|----|-----|----|----|-----|
| | A | B | C | D | 不明 | |
| 富士電機自社工場 | 0 | 46 | 38 | 13 | 0 | 97 |
| OEM(北陸電機製造) | 0 | 15 | 58 | 0 | 0 | 73 |
| OEM(高岳製作所) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| OEM(東光電気) | 0 | 2 | 9 | 0 | 0 | 11 |
| OEM(不明(注)) | 0 | 5 | 4 | 0 | 0 | 9 |
| 合計 | | 69 | 109 | 13 | 0 | 191 |

(注)不明の9台は銘板の痛みがひどく、OEM先を確認できませんでした。

4. 2 調査結果の分類

原因解明にあたっては、微量PCBが検出された自社工場製作の油入電気機器全ての事例(ユーザー事例97件、サンプルデータ79件、合計176件)について、製造時期別毎に、絶縁油種別、電気機器別、検出濃度別に分類しまとめをおこないました。(表4-2参照)

【表4-2 調査結果の分類】

| 製造時期 | | A時期 | B時期 | C時期 | D時期 | 合計 | 検出濃度(ppm) |
|----------|-------------|---------|---------|--------|----------|-----|-----------|
| 検出 台数 | 新油 | 5 | 102 | 39 | 13 | 159 | 0.5~708 |
| | 再生油 | | | 17 | | 17 | 0.8~25 |
| | 合計 | 5 | 102 | 56 | 13 | 176 | 0.5~708 |
| 検出 濃度 | 新油 | 0.6~3.3 | 0.5~708 | 0.5~43 | 1.05~1.6 | - | 0.5~708 |
| | 再生油 | | | 0.8~25 | | - | 0.8~25 |
| | 合計 (ppm) | 0.6~3.3 | 0.5~708 | 0.5~43 | 1.05~1.6 | - | 0.5~708 |
| 機器 別 | 変圧器 | 5 | 99 | 55 | 13 | 172 | 0.5~708 |
| | 油遮断器 | | 3 | | | 3 | 11.7~43.5 |
| | 整流器 | | | 1 | | 1 | 25.0 |

(1) 製造時期別分類

製造時期別に見ると1989年以前は、各年に検出事例がありました。さらに、PCB使用機器を生産する以前のA時期とPCBの使用が禁止されるまでのB時期に多数の事例がありました。

富士電機が再生油の使用を停止し使用設備を撤去したD時期以降は、1990年初頭に検出事例(13台)があるのみで、1989年以前のB～C時期と比較して事例数は少なく、また、検出濃度の最高値もA～C時期より低い結果(最大1.6ppm)でした。

なお、D時期に検出の13台は、同一ロット品(同一顧客向けに、同一仕様で製作し、同一保管タンク油を使用)で、1989年以前に購入した新油を特定顧客向け変圧器に充填して出荷したものです。

(2) 絶縁油種別分類

絶縁油を新油と再生油別に分類してみたとき、製造時に充填した「新油」、「再生油」のいずれからも微量PCBが検出されています。

(3) 電気機器別分類

検出事例は、変圧器の他にも電気絶縁油を使用している整流器、遮断器においても確認されています。

(4) 検出濃度別分類

検出事例数を、PCB濃度別に分類した結果を表4-3に示します。

検出事例は、2.0ppm以下が全体の56%を、5.0ppm以下が約80%を占めています。

また、100ppm超の検出事例は1.7%でした。

なお、製造時期別、絶縁油種別、電気機器別の検出濃度については表4-2を参照ください。絶縁油種別の検出濃度などでは特徴的な結果が得られませんでした。

【表4-3 検出濃度別分類】

| 検出濃度 (ppm) | 0.5以下 | 0.5超 2.0以下 | 2.0超 5.0以下 | 5.0超 10以下 | 10超 20以下 | 20超 30以下 | 30超 40以下 | 40超 50以下 | 50超 100以下 | 100超 | 合計 |
|------------|-------|------------|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|------|-----|
| 検出台数 | 2 | 85 | 38 | 16 | 10 | 4 | 4 | 2 | 0 | 3 | 176 |
| 構成比(%) | 1.1 | 55.1 | 21.6 | 9.1 | 5.7 | 2.3 | 2.3 | 1.1 | 0 | 1.7 | 100 |
| 累計 | 1.1 | 56.2 | 77.8 | 86.9 | 92.6 | 94.9 | 97.2 | 98.3 | 98.3 | 100 | — |

(5) 検出濃度100ppm以上の検出事例

自社製変圧器からPCB濃度が100ppmを超える検出事例は3台ありました。(表4-4参照)

3台はB時期に富士電機 吹上工場で製造されたものですが、1962年千葉工場への製造移管にともなって製造設備及び設備関連資料は廃棄したことから製造ラインでの混入の可能性について調査できませんでした。また、油交換・注油履歴も不明であり、混入要因の特定はできませんでした。

【表4-4 高濃度検出事例】(注:1)

| 検出濃度 (ppm) | 機種 | 製造年 | 製造時の油種 | 保守履歴 | 油交換・注油の有無 |
|------------|-----|------|--------|------|-----------|
| 317 | 変圧器 | 1958 | 新油 | 不明 | 不明 |
| 337 | 変圧器 | 1958 | 新油 | 不明 | 不明 |
| 708 | 変圧器 | 1958 | 新油 | 不明 | 不明 |

注1:上記以外に、社内設置の他社製変圧器5台から100ppm以上のPCBが検出されています。

5. 微量 PCB 混入の要因

ここまでの調査で、“PCB 不含見解書”または“PCB 不含証明書”のある新油からも微量PCBが検出されたこともあり、製作工場の製造ラインでの混入の可能性のみならず、考えうる全ての要因を抽出し混入の可能性を検討する必要が出てきました。

微量 PCB が電気機器に混入する可能性として考えられる要因を、添付資料-5、添付資料-6にまとめました。製造ラインでの混入の可能性については、2.1(3)、(4)で説明のとおりです。他の要因である、納入後の機器における混入の可能性の調査、および絶縁油への混入の可能性の調査については次章以降に記します。

なお、富士電機は、1962年まで吹上、川崎の2工場に変圧器を製造しておりましたが、1962年に変圧器製造を千葉工場に移管・集約しました。千葉工場への製造移管に伴い、吹上・川崎工場で使用の製造設備を撤去、また、当時の設備関連書類等も廃棄されており、更に、当時を知る技術者が既に引退している等によりヒアリングによる情報収集も難しく、信頼に足る調査・情報収集は不可能でした。

添付資料-5「電気機器への PCB 混入要因(特性要因図)」

添付資料-6「電気機器への PCB 混入要因(FTA)」

6. 検出事例に対する保守履歴の調査

自社工場で製作した機器で検出事例のあった176台について納入後の保守履歴を調査した結果を表 6-1 に示します。

その結果、納入後において「絶縁油交換あり」が確認されたものが9台、「絶縁油交換なし」が確認されたものが59台あり、いずれの場合からも、微量PCB混入が確認されました。

なお、調査した範囲内では、納入後における交換用絶縁油については、JIS 規格に適合した絶縁油が購入されており、PCB 混入を考慮する必要がないことから PCB 分析は実施されていませんでした。また、108台(61%)については保守履歴(絶縁油交換の有無)そのものを確認することができませんでした。

【表 6-1 保守履歴の調査】

| 製造時期 | | A時期 | B時期 | C時期 | D時期 | 合計 | 検出濃度(ppm) |
|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 保守履歴別 | 交換あり | 記録あり | 4 | 5 | | 9 | 0.8~1.7 |
| | | 記録なし | | | | | |
| | 交換なし | 記録あり | 6 | 15 | 13 | 34 | 0.6~6.5 |
| | | 記録なし | 12 | 13 | | 25 | 0.6~708 |
| 交換不明 | | 5 | 80 | 23 | | 108 | 0.5~337 |

Σ 176

7. 絶縁油メーカーの調査

微量PCB混入の原因解明を進める過程で、“PCB不含見解書”または“PCB不含証明書”が得られている絶縁油を使用した機器から微量PCBが検出されました。また、PCBを使用していなかったA、C、D時期に製造した機器から検出事例が報告されたことから富士電機が調達した絶縁油について調査をおこないました。【表 7-1】に油メーカー別購入実績を示します。

なお、富士電機では、各油メーカーから購入した新油を共通の保管タンクに受け入れて貯蔵していたことから、機器に注油されている絶縁油を油メーカー別に特定することはできませんでした。

【表 7-1 油メーカー毎の油種類別使用状況】

| No. | メーカー名 | 種類 | 年代(1962～2002) | 使用工場 | 出荷先 |
|-----|-----------|---------|---------------|------|----------|
| 1 | 日本石油 | 新油 | 1962年～2002年 | 千葉工場 | 電力及び一般顧客 |
| 2 | 出光興産 | | 1962年～2002年 | 千葉工場 | 電力及び一般顧客 |
| 3 | ジョモ | | 1985年～2002年 | 千葉工場 | 電力及び一般顧客 |
| 4 | 昭和シェル | | 1971年～2002年 | 千葉工場 | 電力及び一般顧客 |
| 5 | コスモ石油 | | 1990年～2002年 | 千葉工場 | 電力及び一般顧客 |
| 6 | ユカインダストリー | JIS 再生油 | 1975年～1989年 | 千葉工場 | 一般顧客 |
| 7 | 鐘淵化学 | PCB 油 | 1962年～1972年 | 千葉工場 | 電力及び一般顧客 |

7. 1 使用絶縁油における PCB 不含証明等について

再生油については調達先(ユカインダストリーズ(株))から”PCB 不含証明書”を入手できませんでしたが、新油の”PCB 不含証明書”の入手については日本石油 1997 年以降、出光興産 1989 年以降、ジョモ 1995 年以降、昭和シェル 1992 年以降、コスモ石油 1990 年以降、ロット購入毎に入手しています。

また、新日本石油(旧日本石油、旧三菱石油、旧日石三菱)、出光石油、ジョモ(1950 年以降納入品)、昭和シェル石油、コスモ石油(1969 年以降納入品)からは、PCB を取り扱ったことがなく、原油を精製して得られる新油基油(再生油を含まない)のみを用いているので、新油に PCB 混入はあり得ない旨の”PCB 不含見解書”を入手しています。

8. 混入要因に関する考察および見解

8. 1 製造ラインにおける混入の可能性

8. 1. 1 A 時期(新油のみ使用時期)

富士電機が PCB を使用する以前の A 時期に製造された機器における検出事例は、機器の製造段階、あるいは納入後における保守・メンテナンス時に使用した絶縁油に既に PCB が混入していたと断定できますが、A 時期の新油にどのような過程で PCB が混入したかは確認できませんでした。

8. 1. 2 B 時期(新油と PCB の並行使用時期)

(1) 製造ラインの調査

添付資料-1 P2 に示すとおり、新油使用機器と PCB 使用機器の製造ラインは、完全に分離されており、製造ラインでの PCB 混入の可能性はありませんでした。

(2) 製造工程における人的要因の調査

2.1(4)に記載のとおり、継続的な微量 PCB 混入の要因とするのは現実的ではないと考えます。

(3)製造時に使用した内部構成部品・材料については、1972 年に PCB 使用が禁止された際に、部品・材料の調達先に対して PCB を含まないことの確認をおこなっており、要因とは考えられません。

8. 1. 3 C 時期(新油と再生油の並行使用時期)

PCB 使用中止後は、PCB 機器製造設備を完全に撤去し、その後の「廃棄物の処理及び清掃に関する法律(以下「廃掃法」という)」に則り現在まで厳重に保管・管理していることから、A 時期と同じく機器の製造に使用した絶縁油、あるいは納入後における保守・メンテナンス時に使用した絶縁油に微量 PCB が混入していたものと考えます。

8. 1. 4 D時期(新油のみ使用時期)

D時期は、製造工程上新油しか使用していないこと、絶縁油メーカーより”PCB不含証明書”を入手していること、工場保管油のPCB分析を実施(1997～)していることから、微量PCBの混入要因は製造工程以外によるものと考えます。

なお、1991年および1993年にPCBが検出された13台の変圧器は、4.2(1)で述べましたように同一ロット品で、1989年以前に購入した新油にPCBが微量混入していたために検出されたものと推定します。工場保管油に微量混入したPCBは新油を補充されることにより希釈され、数年で検出感度レベル以下になります。

添付資料-3「混入PCBの希釈について」を参照ください。

以上より、製造工程は微量PCB混入の要因のひとつとして可能性は否定できないものの、主要因ではないと判断します。

8. 2 納入後の機器における混入の可能性

納入後の現地作業において使用される絶縁油は、PCB混入は当然あり得ないこととして取り扱っていたことから、PCB分析は実施されていないのが一般的です。

一方、修理・メンテナンス履歴の無い変圧器本体の油は不検出(ND)であったが、保守のために油交換を行った負荷時タップ切換機の油からPCBが検出された事例(1件)があります。

以上より、機器納入後における現地保守作業等で使用した絶縁油にPCBが混入していた可能性は否定できません。

8. 3 絶縁油への混入の可能性

(1) ユーザーからの連絡ならびにサンプル調査の検出事例から、次の4点が推測できます。

- ① A時期における検出事例は、PCBを使用する以前に、機器の製造に使用した絶縁油(新油)、あるいは納入後における保守・メンテナンス時に使用した絶縁油(新油もしくは再生油)に、微量PCBが混入していた可能性を示しています。
- ② PCBの製造・使用が禁止されたC時期における検出事例は、新油および再生油に微量PCBが混入していた可能性を示しています。
- ③ D時期においては、継続的な検出事例が無くなりました。また、D時期の1990年に再生油の生産が中止されました。この2つの事実は、1989年以前の新油および再生油に微量PCBが混入していた可能性が高いことを示しています。
- ④ 絶縁油に微量PCBが混入していたと考えられる事例
富士電機、あるいはユーザーが絶縁油を購入した段階で、既に微量PCBが混入していたと推測される事例が表8-1のとおりありました。

【表8-1 主な微量PCB混入事例】

| No. | 事 例 | 検出された絶縁油 | 台 数 | 判断理由 |
|-----|---|-------------|-----------------|------------------------------|
| | 1. PCB使用中止以降に生産された機器から検出された。 | ・新油 ・再生油 | 69台 | 1973年以降PCB使用を中止した。 |
| ① | PCB使用機器の生産中止以降に生産された密封構造の電気機器から検出された。 (変圧器、遮断機) | ・新油 | 34台 (69台の内数) | 出荷後、絶縁油の入れ替えなど保守が全く行なわれていない。 |
| ② | PCB使用機器の生産中止後、絶縁油メーカーから現地に絶縁油を直送し、現地で注油した電気機器から検出された。 | ・新油 | 6台 (69台の内数) | 油メーカーからの直送による現地注油 |

(2) B時期とC時期におけるPCB混入の可能性

- ①B時期は、PCBの製造・使用が広くおこなわれており、廃PCBが再生油の再生原料(元油)に含まれていた場合、新油にまで混入・拡大した可能性があります。
- ②C時期は、B時期に汚染された再生油が、更なる再生原料としてリサイクルされたため微量PCB汚染が拡大した可能性があります。

注：B時期は、PCBの廃油処理が禁じられていないことから、事業者から廃PCBが廃油処理業者に引き取られ、一部がリサイクル油として再生油メーカーの原料油として、PCB分析を行なうことなく使用されたものと考えます。

以上より、絶縁油のライフサイクル(原料調達(再生油)、製造、輸送の工程を含む)上で微量PCB混入の可能性が考えられ、富士電機及びユーザーが絶縁油(新油と再生油)を購入した段階で既に絶縁油そのものに微量PCBが混入していた可能性を否定できません。

9. まとめと今後の対応

9.1 調査結果のまとめ

(1) 調査数と検出/不検出事例数について

調査総数/検出数/不検出(ND)数について整理した結果は表 9-1 のとおりとなります。

【表 9-1 調査結果まとめ】

| 調査総数(注1) | | 合計 | A 時期 | B 時期 | C 時期 | D 時期 |
|----------|----------|-----|------|------|------|------|
| 富士電機 | 自社工場(注2) | 251 | 6 | 142 | 80 | 23 |
| | OEM (注3) | 307 | 0 | 57 | 232 | 18 |
| | 他社製 (注4) | 168 | 7 | 56 | 101 | 4 |
| 合計 | | 726 | 13 | 255 | 413 | 45 |

| 検出数 | | 合計 | A 時期 | B 時期 | C 時期 | D 時期 |
|------|----------|-----|------|------|------|------|
| 富士電機 | 自社工場(注2) | 176 | 5 | 102 | 56 | 13 |
| | OEM (注3) | 257 | 0 | 43 | 214 | 0 |
| | 他社製 (注4) | 88 | 3 | 37 | 48 | 0 |
| 合計 | | 521 | 8 | 182 | 318 | 13 |

| 不検出(ND)数 | | 合計 | A 時期 | B 時期 | C 時期 | D 時期 |
|----------|----------|-----|------|------|------|------|
| 富士電機 | 自社工場(注2) | 75 | 1 | 40 | 24 | 10 |
| | OEM (注3) | 50 | 0 | 14 | 18 | 18 |
| | 他社製 (注4) | 80 | 4 | 19 | 53 | 4 |
| 合計 | | 205 | 5 | 73 | 95 | 32 |

注1：調査総数の対象は社内設備調査、サンプル調査、ユーザー報告事例の合計

注2：自社工場は富士電機の自社工場で生産・販売した油入電気機器

注3：OEMは富士電機が他社に生産委託(OEM)し富士電機銘板で販売した油入電気機器

注4：他社製は富士電機の自社工場内に設置されている他社生産、他社銘板の油入電気機器

(2) 1989年以前に製造した機器について

第8章で微量PCB混入要因の検討結果について述べましたように、8.3(1)④で絶縁油に微量PCBが混入していたと考えられる事例があることから、「8.3絶縁油への混入の可能性」は、「8.1製造ラインにおける混入の可能性」および「8.2納入後の機器における混入の可能性」に比べ高いと推察します。

なお、絶縁油のライフサイクル上のどの段階でPCBが混入したかについては、①絶縁油入荷時、②電気機器出荷時、③納入後の現地作業時のいずれにおいてもPCB分析が実

施されていないこと、工場の保管タンクに複数の油メーカーの油を保管していて油メーカーの特定が出来ないこと、新油・再生油の別なく検出事例があることから、エビデンスにもとづくPCB混入の可能性の特定はできませんでした。富士電機は、機器メーカーとして可能な限りの調査を実施してきましたが、微量PCB混入の段階が特定できないことから、過去に遡ってこれ以上の原因解明と汚染範囲の特定は不可能です。

(3) 1990年以降製造の機器について

D時期においては、1993年迄の検出事例はありますが、それ以降の検出事例はありません。また、1990年以降のサンプル調査結果は全て不検出となっています。これは、1990年以降、再生油の生産が中止されたことと相まって、新油への微量PCB混入がなくなったことによるものと考えられます。1990年代初頭には過渡的に微量PCBが検出される事例が皆無とは言えませんが、サンプル調査結果から判断しても、継続的に検出される可能性は極めて低いものと考えます。

今回の調査を実施する中で、絶縁油中のPCB分析を分析機関でおこなった際の分析方法がいろいろありました。今後、PCBの円滑な処理を推進していくためにも、統一された分析方法で、しかも短時間に簡便かつ安価な方法の実現が必要と思われれます。

9.2 今後の対応

(1) 絶縁油の管理

今後製造する機器については、絶縁油管理 ①絶縁油メーカーより“PCB不含有証明書”を入手、②機器メーカーとして、絶縁油の受け入れ時または製品の出荷時、あるいは受け入れ時と出荷時の両方でPCB分析の実施を継続することにより、微量PCB混入が発生せぬよう努めます。

(2) PCB処理等に関連する技術協力

今後、微量PCB混入問題は大きな社会的問題に発展していくとの認識にたち、引き続き微量PCB混入事例の把握に努めるとともに、微量PCB混入機器の処理に向けた国の機関での検討(機器メーカーとして貢献可能な技術的課題、例えば処理技術、処理方法等の検討)にJEMAとともに積極的に協力していきます。また、PCBの簡易分析法の早期開発に対する協力もおこなっていきます。

(3) ユーザー窓口体制の継続と個別対応

微量PCB混入機器に関する情報の公開、現在設けている「お客様対応窓口体制」の継続とユーザーへの情報公開をホームページへ掲載等と合わせて実施するとともに、修理・点検・絶縁油の交換などのメンテナンス履歴等のエビデンスの管理が重要なことから、これらについての情報提供や助言をおこなっていきます。

(4) 保守・メンテナンス等に関連する技術情報の提供

さらに、保守・メンテナンス時の電気機器等の取り扱いについての情報提供、微量PCB混入機器に関する技術情報の提供、PCB分析機関の情報提供もおこないます。

10. 添付資料

添付資料 1: 変圧器製造ライン

添付資料 2: 年代別 検出事例数とND数(サンプル調査分)

添付資料 3: 混入PCBの希釈について(試算)

添付資料 4: 年代別 検出事例数(ユーザー連絡分、サンプル調査分及び社内設備調査分)

添付資料 5: 電気機器へのPCB混入要因(特性要因図)

添付資料 6: 電気機器へのPCB混入要因(FTA)

以上