連載講義

PCB廃棄物の管理と処理の現状

第３回 PCB含有蛍光灯安定器の問題と処理技術

JW SEMINAR

東京農工大学大学院　教授
細見　正明
HOSOMI Masaaki

昭和52年国立公害研究所、平成４年東京農工大学助教授、平成９年同教授。専門は、環境生態工学、衛生工学、廃棄物管理、土壌・地下水浄化など。PCB、ダイオキシン類の化学的分解に取り組み、日本環境化学会から技術賞及び論文賞を受賞。中央環境審議会臨時委員、東京都環境審議会委員など各種委員を歴任。平成19年度環境保全功労者として環境大臣表彰を受賞。平成25年月刊「水」賞を受賞。趣味は体を動かし汗することで、週末農家を楽しむ？。



《連載にあたって》

PCBは、絶縁性、不燃性などの特性により、かつては、トランス、コンデンサといった電気機器をはじめ幅広い用途に使用されていましたが、昭和43年にカネミ油症事件を契機として、その毒性や環境汚染が社会問題化し、日本では昭和47年以降その製造が行われていません。製造されたPCBの処分については、施設の設置に関し住民の理解が得られなかったことなどから、ほぼ30年にわたりほとんど処理されず、保管されたままの状況が続いてきました。このため、中には紛失したり行方不明になったものもあることが判明し、PCBによる環境汚染が懸念されています。我が国では、平成13年7月15日に「PCB廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法」（以下、PCB特措法）が施行され、ポリ塩化ビフェニル廃棄物の処理のための必要な体制を速やかに整備することにより、その確実かつ適正な処理を推進することが定められたほか、PCB廃棄物を保管する事業者は、PCB廃棄物の保管及び処分の状況を自治体に届け出るとともに、平成38年度末までにこれを適正に処分しなければならないこととなっています。本年度の連載講義は、「PCB廃棄物の管理と処理の現状」と題し、東京農工大学大学院の細見教授にご解説いただきます。

第3回は「PCB含有蛍光灯安定器の問題と処理技術」についてご解説いただきました。

1．はじめに

今回は、PCB含有蛍光灯安定器（以下、略して安定器という）の問題を取り上げる。安定器は全国で600万個以上保管されていて、安定器から容易に取り外せないコンデンサに高濃度PCBが含まれている処理困難なPCB汚染小型電気機器であるので、PCBの処理を考える上で、非常に厄介なものである。個人的な安定器との「出会い」を通じて、安定器の処理について紹介したい。

2．安定器とは？[1)]

蛍光灯は、蛍光ランプ・安定器等から構成されている。安定器内はさらに、安定器と効率（力率）改善用コンデンサに分けられる。

蛍光灯はランプの両端に電圧をかけてランプ中に放電させることにより光を発するが、ランプ中には抵抗となるものがほとんどないため、蛍光灯を点灯すると瞬時に過大電流が流れ、ランプが壊れてしまう恐れがある。これを防止するために、必要以上の電流が流れないようにする役割を担うのが安定器である。しかし、安定器を使用することによって、蛍光灯回路全体の力率が著しく低下してしまう。そのため、適当なコンデンサを挿入し、回路力率を向上させる必要があり、その働きを担うのが力率改善用コンデンサである。ここで問題にしているPCBは、安定器内の力率改善用コンデンサの中に絶縁油として蛍光灯1台当り約30 ～ 50ml程度含まれている（**写真1**）。

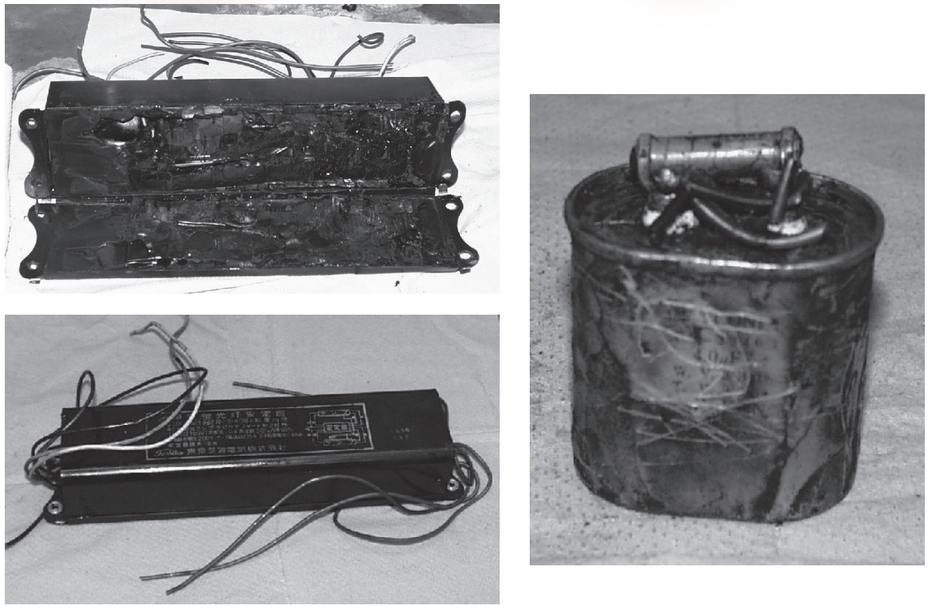


写真1　安定器：安定器外観（左下）と内部（左上）、力率改善用コンデンサ（右）

3．安定器との最初の「出会い」

安定器との最初の「出会い」は、PCBの化学処理の研究を始めた平成5年である。荏原製作所との共同研究で当研究室の学生がPCBを含む油のアルカリ触媒分解法の実験をしていた。それまでの結果から分解時間が経過すると、脱塩素化してPCBが消滅するはずであったが、分析がその場でできなかったために、分解実験が終了して1週間その部屋に分解油を放置していた。その後、分析するとPCB濃度は検出下限ではなく、微量のKC-300の成分が検出された。脱塩素化分解しているので、低塩素化のPCBが検出されるのは理解できるが、なぜKC-300の成分が検出されたのか? KC-300の起源は何か?議論した結果、その部屋には何も薬剤も保管されていないので、安定器からではないかと疑い、別の部屋で保管することで、こうしたPCBの検出問題はなくなった。この時点では、それ以上の追及は行わなかった。しかし、この経験は安定器の問題に遭遇する序章となった。

4．八王子小学校での安定器破裂事故

次の「出会い」は、八王子の小学校の破裂事故である[1), 2), 3)]。平成12年10月4日午前10時頃、八王子市内の小学校4年生が図工室で授業中に、蛍光灯安定器が突然破裂し、コンデンサ内のPCBが前方に開く形で、外れた安定器収納カバーの間から教室前の黒板に向かって飛沫となって飛んだ。カバーが外れ、真下にいた児童の頭にぶつかり、床に落ちた。破裂と同時にかなりの量の白煙が上がり、教室内に異臭が漂った。八王子市では、同年5月にも類似の破損事故があったことから、10月の破損事故について対応が不十分であったのではないかと責任を求める声が保護者などから強くだされた。こうしたことを踏まえ、八王子市教育委員会のもとに「PCB暴露による健康対策等検討専門家会議」が開催され、児童の健康リスク評価のみならず、異臭に関する検討がされた。

私はこの専門家会議の前、事故直後の10月10日に開催された全校保護者会に内山巌雄（当時は、国立公衆衛生院労働衛生学部長。現在は京都大学名誉教授）先生とともに出席した。200名近い保護者の方々で講堂は一杯になっていた。八王子市教育委員会から事故の経緯の説明があった後、保護者から学校側の対応に対する不満や責任を追及する発言が深夜まで続いた。こと

さら印象深く、心に残った発言として、PCBを暴露された女児の保護者の方が、何回シャンプーで洗っても2, 3日間全くこげ臭的ないやな「におい」が取れず、泣きながら最終的には女児の髪を切ったという、悲痛な訴えがあった。著者自身は、そのとき、十分な答えができずじまいでお詫び申し上げる次第ですが、それほど女児を苦しめたいやな「におい」とは何か?頭から離れなかった。

安定器破損事故直後、図工室の破裂しなかった安定器を取り外して、研究室に持参してもらった。ずしりとした重みを感じながら、手にとって観察していると、ふと安定器から、私には何か芳香臭でしつこく残るような不快な脳裏に残る「におい」を感じた。これが実は、当研究室でPCB分解実験に利用しているモノクロロビフェニルやビフェニルであった。KC-300の「におい」もほぼ同様であった。すなわち、一見漏れも認められない安定器からPCBが漏れている確かな証拠である。また改めて被害に遭われ、髪についた異臭で苦しめられた女児と保護者の方の思いが伝わってきた。

この破裂事故は、社会的にも大きく報道され、注目された。その結果、政府関係機関も迅速に対応され、平成14年度末までに公共施設、公立学校の蛍光灯安定器を交換することが閣議了承された。ちなみに、新聞などで報道された同様の破裂事故は、平成12年だけでも、八王子の小学校だけでなく、千葉県柏市、岐阜県岐阜市、愛知県蒲郡市、北海道北広島市などの小学校があった。なお、八王子の小学校の顛末については、報告書を参考にされたい[2), 3)]。

5．安定器からのPCBの揮発[4)]

平成13年、特定非営利活動法人日本子孫基金（以下JOFという）の方から、使用している事務所の蛍光灯安定器はPCB入りであることがわかったので、事務所内の大気のPCB濃度を調べてほしいとの依頼を受けた。JOF事務所について、室内PCB濃度を測定させていただくことになった。JOF事務所および東京農工大学実験室（1年前に補修・改装工事のため、新しく蛍光灯が設置されていた）の2箇所を9月と12月に調べた。東京農工大学実験室ではPCBは検出されなかったのに対し、JOF事務所内では2 ～ 4塩素化PCBが検出された。全PCBs濃度は9月では110ng/㎥、12月では26ng/㎥となり、これら2回の測定結果の値は一般都市環境中の濃度であるとされる0.6ng/㎥（0.080 ～ 1.7ng/㎥）[5)]を大きく上回っていた。

次に室内空気中のPCB濃度が高い原因として、安定器が考えられた。そこで、安定器より揮発したPCB量を測定するために、実際にJOF事務所内で使用されていた安定器の1台を取り外して実験に使用した。外観上、損傷等は認められなかった。安定器から発生するガスのサンプリング装置の概要を**図、写真2**に示す。容積約2Lの密閉ガラス容器に上述の安定器1台を入れ、温度

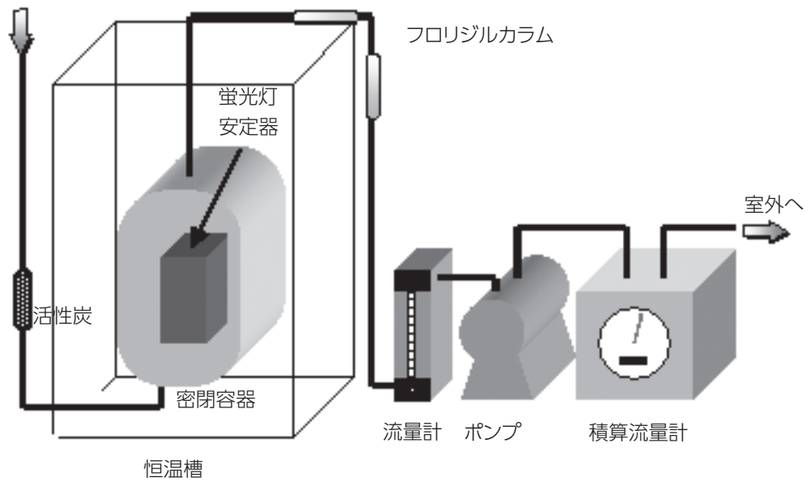


図　安定器より揮発するPCBのサンプリング方法

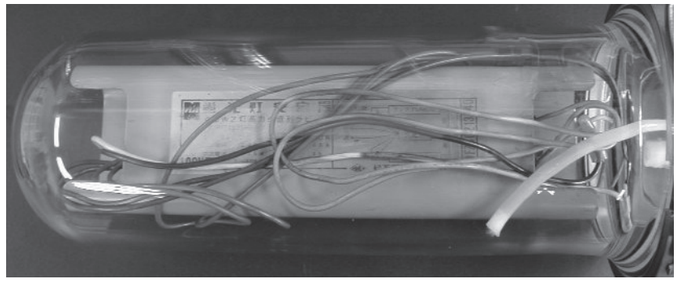


写真2　密閉ガラス容器に挿入した安定器

がPCBの揮発に及ぼす影響を評価するため恒温槽に入れ、2.2℃から50℃の範囲に設定して、発生するガスのサンプリングを行った。

安定器より揮発したガスに含まれるPCB濃度と1日当りの積算吸引空気量と発生したガス中のPCB濃度を乗じて安定器1台当り、1日当りのPCB揮発量を求めた。揮発した全PCB量で表すと、2.2℃で3,000ng/day、15.5℃で5,500ng/day、30℃で37,000ng/day、50℃で1,000,000ng/dayと温度の上昇と共に安定器からのPCBの揮発量が増大した。このように、2℃～ 50℃の雰囲気で揮発したガスにPCBが含まれていたことから、安定器からPCBの揮発が起こりうることが推定される。揮発したPCBの塩素化数毎の組成は、いずれの温度条件においても2 ～ 5塩素化PCBであり、また、3塩素化PCBの揮発量が最も多かった。この結果はコンデンサに使用されるのがKC-300であることと一致していた。

安定器からのPCB揮発量に基づき、JOF事務所室内の空気中に含まれるPCB濃度を計算し、室内のPCB濃度の実測値と比較した。ここで、室内の容積をV［㎥］、室内大気の全PCB濃度をC_S［ng/㎥］、1台の安定器からのPCB揮発量をr［ng/day］、室内にあるPCB含有安定器の台数をn、室内大気の交換速度をQ［㎥/day］と表し、安定器より揮発したPCBは室内で直ちに均一になると仮定すると、以下の物質収支式が成り立つ。

$$V\cdot\frac{dC_S}{dt}=n\cdot r-C_S\cdot Q \qquad 式(1)$$

ここで、室内大気のPCB濃度が定常になっていると仮定し、また室内大気の交換速度Qは室内の容積Vと自然換気回数（閉切った部屋の空気が全て入れ替わる回数を示す）X［1/day］より、室内の濃度を求める以下の式を得る。

$$C_S=\frac{n\cdot r}{V\cdot X} \qquad 式(2)$$

一般に鉄筋コンクリート住宅の自然換気回数Xは1日当り7.2 ～ 24回とされている。ここで、JOF事務所室内に設置されている安定器全てから一様にPCBが揮発しており、安定器の周辺の温度は室内温度とほぼ同じであると仮定し、実験結果の値を用いて室内大気のPCB濃度の計算値を求めた。JOF事務所の自然換気回数が上述の範囲内であるとすると、計算による室内大気PCB濃度は9月では75 ～ 250ng/㎥、12月では12 ～ 38ng/㎥となった。このように計算結果と実測値を比較すると、実測値は計算値の範囲内にあることから、事務所内の全ての安定器から実験で求めたPCB揮発量は妥当と考えられ、室内大気中のPCB発生源は安定器であることが推定された。

6．安定器の処理技術

次の「出会い」は、こうした安定器を含むPCB汚染物（ウエス、汚泥、感圧複写紙等）の処理技術に関する情報を収集するため、平成15年当時の環境事業団から（財）兵庫県クリエイトセンターに委託され、「ポリ塩化ビフェニル汚染物等処理技術調査検討会」の座長をさせていただいたときである。この検討会ではPCB汚染物等の処理技術の公募をしたところ、以下の4技術の応募があった[6)]。

①ジオメルト法：処理対象物中に挿入した電極棒間に通電することで処理対象物を溶融し、PCBを高温で還元的な雰囲気下で溶融体内（中心部は1,600℃以上）で熱分解する技術

②プラズマ溶融分解法：PCB汚染物等を金属容器に入れ、この金属容器をプラズマ分解炉に供給し、プラズ

マトーチから発生するプラズマアーク（15,000℃以上）により、PCBを金属容器ごと溶融分解する技術（溶融槽は1,400℃以上）。

③溶融還元熱分解法：PCB汚染物等を金属容器にいれ、これを溶融炉に供給し、高純度酸素を用いた溶融槽（1,500℃以上）で熱分解、ガス化し、PCBを分解する技術。

④真空加熱法を用いたアルカリ炉法：

PCBにより汚染された汚泥を真空加熱炉に供給し、真空下で加熱することにより、PCBを熱分解し、アルカリ反応炉により塩化カルシウムとして回収する技術。

PCB汚染物等を分解する技術を実証する試験を行い、その結果を評価した。安定器に着目すれば、④の技術はPCB汚染汚泥のみの実証となったので、安定器を処理できるのは、①から③の溶融技術であることが実証された。なかでも、②のプラズマ溶融分解法では、プラズマ分解炉ののぞき窓から、感圧複写紙などは一瞬に光って消滅する様子や安定器やコンクリートのかたまりが溶融していく様子がリアルタイムで観察することができ、プラズマアークをマニュアルで照射しながら、溶融させるアナログ的で確実に分解する様子を確認できる（**写真3、4**）。

後に、日本環境安全事業株式会社が北九州事業所および北海道事業所におけるPCB汚染物等の処理技術として選定したのは、②のプラズマ溶融分解法であった。実際の運転では、安定器のみの場合、約30個の安定器を100Lのドラム缶に入れ、プラズマ分解炉に30分ごとに投入され、処理されている。

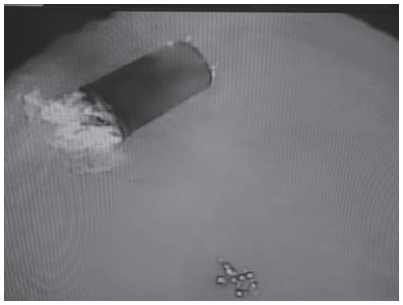


写真3　のぞき窓から見た様子：プラズマ分解炉に投入されたドラム缶（円筒形で中から炎が出てドラム缶の中に30個程の安定器が分解されていく様子がわかる）と溶融槽(日本環境安全事業株式会社提供)

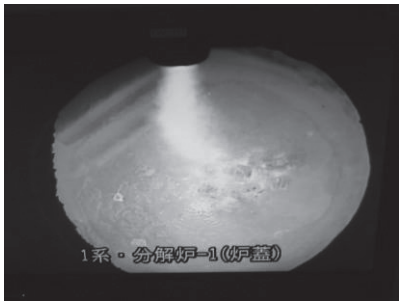


写真4　のぞき窓から見た様子：プラズマアークが溶融槽内の汚染物を分解するために照射されている（日本環境安全事業株式会社提供）

7．おわりに

600万個以上の安定器は、北九州事業所及び北海道事業所でプラズマ溶融分解法で分解処理されることになっている。しかし、問題はその処理コストである。ちなみに安定器1個の平均的な重さを2.2kgとすると、66,528円（1kgあたりの処理単価が30,240円）の処理費用となる。これに600万個をかけると想像以上に膨大な処理費用を要する。そこで、最近処理業者が安定器の重量を減らすために、安定器を分解してアスファルト分を除去して、コンデンサのみを剥き身にする処理を実施していると聞いている。しかし、私が安定器を分解したときには、安定器の外側も若干PCBで汚染されているし、ましてや中身のアスファルトはより高濃度に汚染されている。剥き身作業は高濃度PCBを含むコンデンサを傷付け、PCBを漏えいさせ、環境中や作業環境を汚染して人の健康影響にも及ぼす可能性が非常に高い。こうしたことを防ぐために設定されたPCBの規制基準とその順守を考慮すれば、安定器を剥き身にする作業は非常に危険でPCBの環境への放出や作業者の健康影響の観点から決して認められるものではない。

参考文献

1．細見正明（2005）PCB含有蛍光灯安定器と室内環境：PCBのにおいから、においかおり環境学会誌,36(6),323-330.
2．八王子市教育委員会：PCB暴露による健康対策等検討専門家会議報告書、平成14年10月.
3．八王子市教育委員会：「PCB暴露による健康対策等検討専門家会議報告書（平成14年10月）」に基づくその後の血液中ダイオキシン類検査報告書、平成17年３月.
4．舟川将史，高田　誠，新居田真美，細見正明（2002）PCB含有安定器からのPCB揮発と室内汚染，環境化学，12,615-620.
5．中野武：PCB類のモニタリングについて，第34・35回日本環境化学会講演会予稿集，pp25-43,（2001）
6．日本環境安全事業株式会社　ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会（2005）PCB汚染物等の処理について、19pp.