PCB廃棄物の管理と処理の現状

第４回 PCB処理の過去、現在、未来

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4回は「PCB処理の過去、現在、未来」についてご解説いただきました。

はじめに

PCB廃棄物の適正処理に関しては、環境省のPCB廃棄物適正処理推進に関する検討委員会で議論され、2012年8月に中間報告としてまとめられた[1]。こうした議論を踏まえ、2014年6月には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）に基づくPCB廃棄物処理基本計画が大幅に変更された。この中で国のPCB廃棄物に対する最新の取り組み姿勢が示された。また、「PCB廃棄物処理の現在」という特集においてPCB処理の制度と技術、PCB廃棄物の現状と課題などが組まれているので参照[2)-5)]されたい。ここでは、PCB廃棄物の管理と処理の現状の4回目（最終回）であるので、過去から現在までのPCB処理の歴史を振り返りながら、今後の課題を抽出する。

PCB処理の歴史

PCB処理の歴史を振り返ると、大きく5つの区分に分けられる。

Ⅰ期（カネミ油症と化審法の制定）：戦後の経済発展の中で59,000トンのPCBがトランスやコンデンサなどの電気機器、熱媒体や感圧複写紙など幅広い用途で使用され、その結果のひとつが大きな悲劇となったカネミ油症事件である（1968年）。その対応策として開放系での使用禁止と行政指導による回収や製造中止、そして化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律が制定された。

Ⅱ期（焼却処理への不安）：環境庁による高温熱分解の実証試験の結果に基づき、鐘淵化学工業高砂工場において回収された5,500トンの液状廃PCBの高温熱分解処理が実施された（1987~1989年）。しかし、その後（財）電機ピーシービー処理協会（その後の（財）電気絶縁物処理協会）が焼却によるPCB処理施設の建設を試みるも住民合意、自治体合意が得られず、PCBの処理が全く進まなかった。

Ⅲ期（民間による化学処理技術の開発）：定期的に取り換える柱状トランスの絶縁油において数十ppmレベルのPCBが見つかり（1989年）、抜油したPCBを含む絶縁油が特別管理産業廃棄物とされ、その量が莫大で保管費用が問題となった（1992年）。このため、電力業界を中心としてエンジニアリング会社も加わり、焼却処理に代わる脱塩素化などの化学処理技術の開発が精力的に進められた。また、厚生省によるPCB保管状況調査で7%の紛失不明が判明した（1992年）。こうした状況を踏まえ、環境庁、通産省、厚生省が連携し、PCB汚染油の化学処理技術について評価する仕組みが出来上がった。その結果、さまざまな分解技術が開発され、1998年には焼却法に加えて化学的脱塩素化法などが認定され、PCB廃棄物の処理基準が0.5mg/kgと設定された（この経緯は、1回目および2回目の連載を参照）。また、液状のPCB汚染油のみならず、高圧トランスコンデンサ容器処理や部材の洗浄及び分離技術も認定された。1999年にはPCBの自家処理（自社の保有するPCBを認定技術で処理する）が地元自治体に許可され、十数件が実施された。

Ⅳ期（PCB・ダイオキシン類に対する国内外の法的枠組み）：1998年から2000年にかけ、残留性有機汚染物質POPsに関する政府間交渉会合（国連環境計画UNEP）が5回開催され、2001年5月にPOPsに関するストックホルム条約が採択された（2025年までにPCB使用機器の廃絶と2028年までに50ppmを超えるPCB廃棄物に対し環境上適正な管理に向けて確固たる努力することとされた）。一方、国内ではダイオキシン類特別措置法の施行により環境基準や排出基準が設定され、ダイオキシン類対策が一気に進められた（2000年）。また、環境事業団法の改正と同時に、PCB特措法が公布・施行された（2001年）。

Ⅴ期（JESCOによるPCB広域処理と微量PCB電気機器）：PCB特措法のもとでPCB廃棄物処理基本計画が策定され、環境事業団（その後の日本環境安全事業株式会社：JESCO）が技術認定を受けた処理施設を建設し、高圧トランスコンデンサの処理が2004年12月から北九州事業所にて開始された。その後、豊田、東京、大阪、北海道事業所も開業した（2005から2008年）。一方、2002年に微量のPCBが本来使用していないはずの電気機器の絶縁油（多くは新油）に混入していたことが判明した。問題は160万台といわれる電気機器の膨大な量である。環境省は2006年から10ppm程度のPCBを含む廃油の焼却処理の実証実験を既設の産業廃棄物焼却施設を利用して開始し、処理の確実性および安全性を実証

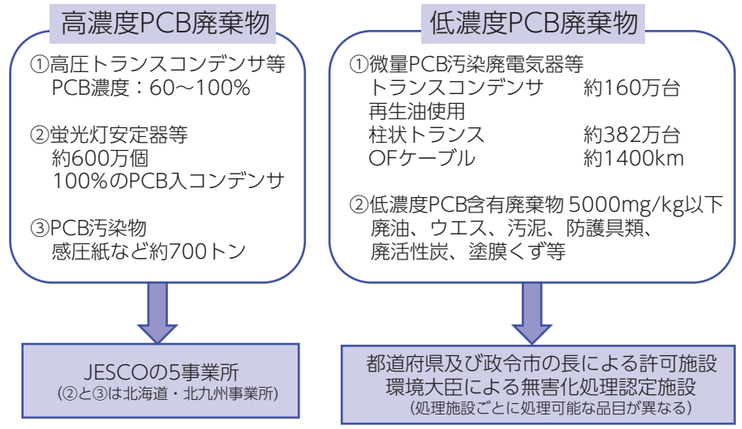


図1　PCB廃棄物の種類：高濃度PCB廃棄物と低濃度PCB廃棄物（産廃ネット[6)]より改変）

してきた。具体的には通常の産業廃棄物とその数%程度に相当する低濃度PCB廃棄物との混焼による実証試験である。こうした処理の確実性と安全性の積み上げにより廃棄物処理法における無害化処理認定制度の対象に微量PCB汚染廃電気機器等が追加された（2009年）。2010年から無害化処理認定制度に基づく大臣認定が実施され、2014年末で19事業者が認定され、処理が進められている（環境省のHPを参照。http://www.env.go.jp/recycle/poly/facilities.html）。

2012年8月には、これまで微量PCBとか低濃度PCBなどの表現で混乱していた定義を見直し、図1のように微量PCB汚染廃電気機器等と5,000mg/kgまでの廃棄物（廃油、ウエス、汚泥など）を低濃度PCB廃棄物と定義（環境省告示第120号）して、都道府県及び政令市の長による許可施設と環境大臣による無害化処理認定施設で処理できることになった。一方、高圧トランスコンデンサ、安定器等、PCB汚染物は高濃度PCB廃棄物として、JESCOの5事業所で処理される。

また、環境省はPCB特措法の規定に基づき、「PCB廃棄物適正処理推進に関する検討委員会」で課題やその対策について検討してきた。この結果を踏まえ2014年6月にPCB廃棄物処理基本計画が変更された。

もうひとつのPCB処理の歴史

これ以降は、PCB処理の歴史に対する個人的な見解、想い、反省を以下に示す。

Ⅰ期：カネミ油症が契機となり、化学物質の管理に向けた基礎（化審法の事前審査による予防的アプローチ、悪影響の未然防止）が世界に先駆けて出来上がったこと自体は素晴らしいことであるが、やはり不幸でつらい事件が起こらないと、新たな取り組みはできないのかと反省する。

Ⅱ期：技術的に確立された高温熱分解処理（熱媒体として使用されていた液状PCBの噴霧燃焼処理）とそのリスクコミュニケーションについては、埋めがたいギャップが存在した。高砂市長の下した判断と（財）電機ピーシービー処理協会の試みを比較すると、誰が誰のために、どのようにリスクをとらえ、どのように伝え、誰とコミュニケートして、得られる反応や疑問に答えられるのか、信頼されるのか、という相互関係の中で手続きを貫き通す意欲、使命感がいかに重要であるか、改めて理解させられる。もうひとつは、PCB処理は液状PCB処理のみが注目されたことである。閉鎖系で使用されていた高圧トランスコンデンサなどの容器処理や解体・抜油・洗浄などについては議論されなかった。

Ⅲ期：民間事業者による化学処理技術の研究開発に対し、政府による経済的な支援はもとより、自家処理の許可についても地元自治体に対する働きかけもなかったが、PCBの化学処理技術の開発にかかわってきた者として、常により良き最新情報を求め、技術として確立し、自家処理にまで到達した民間の競争力、活力に敬服する。また、当時の環境庁、厚生省、通産省が連携してこうした民間による化学処理技術の評価する仕組みは重要であった。もちろんこの仕組みは故平岡正勝先生の提案によるところが大きい。一方、こうした化学処理技術を認定するために必要なPCBの処理基準として0.5mg/kgを決定したときには、実に様々な想いが交錯した。個人的には環境リスクと環境影響の観点から2mg/kgとすべきと考えていた。しかし、これまでPCB処理が進まない状況を打開するには、実行可能な最高の処理基準が必要であるという意見が大勢を占めた。すなわち、処理技術や分析技術の実行可能性については大いに議論されたが、処理コストの観点から全く議論されなかった。その理由は、数十ppmレベルの柱状トランス油の処理が念頭に置かれていたため、処理基準の0.5mg/kgは比較的容易に達成できると考えられた。しかし、その当時民間と共同研究開発していた化学的脱塩素化処理を高濃度PCBに適用すると、処理基準を満たすには相当長い反応時間が必要であり、高分解能GC/MSを駆使した分析による処理確認をするのにも時間とコストを要し、結果的に莫大な処理コスト（およそ4,000億円）がかかるのではないかと危惧した。もうひとつの問題点は、液状の廃PCB油については議論されたが、トランスコンデンサ容器の洗浄や絶縁紙や木材含浸部材の処理基準についての議論が不十分であったし、大量のトランスコンデンサの抜油・解体方法については処理技術として十分確立できていなかった。少なくとも私は柱状トランスを思い描き（運搬できない超大型のトランスの存在は知っていたが）、高圧トランスの形状や構造の多種多様性について知らなかったし、新幹線の車載トランスがあのように頑強にできていて、抜油・解体の作業工程の大変さなどその当時想像できなかった。

Ⅳ期：各国がPCBのような難分解性の有機化合物を規制しても、その一部は国境を越えて移動し、生物濃縮され、結果的に発生源と離れた場所、とりわけ北極圏で人や環境に悪影響をもたらすことが契機となり、地球上からPOPsを廃絶することを目標としたストックホルム条約が締結された。政府間交渉会合ではイヌイットなどの被害者も参加して、NGOの意見も採用された点など評価できたが、各国の利害が対立することも多く、地球環境問題を解決するには相互の主張、理解、寛容、妥協が必要だと感じた。また、我が国は率先してPCBやダイオキシン類問題に取り組み、問題解決に貢献する役割を担っている。単に濃度規制値を満足するだけでなく、環境への放出総量を削減するというイヌイットの人たちからの視点も必要である。

Ⅴ期：JESCOのPCB廃棄物処理施設は、確実な処理と安全性確保のためのシステムについて机上での議論を踏まえ設計建設されたが、高圧トランスコンデンサの抜油・解体作業や含浸物の洗浄処理などについては経験が浅かった。そのため解体工程などの作業者のPCB暴露や小規模な漏えい事故も発生した。いかなる技術も最初から完璧なものはなく、使用運転しながら改善され経験を重ねて確立されていくものである。液状PCB廃棄物の化学処理に対する自家処理の実績だけではなく、容器・部材処理も含めた一貫した自家処理などの実績が必要であった。PCB特措法の制定の意義は非常に大きいが、あまりに唐突であった。しかし、こうしたトラブルの経緯を始め、環境モニタリング等のデータはJESCOの各事業所において設けられた事業部会で報告され、その対策が徹底されてきた。同時に各事業所の市民等が参画する監視委員会においても公表・改善される仕組みが信頼性を確保していくうえで機能してきた。関係者の努力の賜物である。

PCB処理のリスクについて再考：リスクに応じた処理システム

低濃度PCB廃棄物について、以下の簡単な試算をもとに考えてみる。最悪の事態として、PCBを含む絶縁油（50ppm）が処理室の床面を覆い、その液面からPCBが揮散し、密室内に充満したとき、予想されるPCB濃度を図2に示す。実際には、換気効果を無視している点、飽和蒸気圧も最大値を用いている点、瞬時に蒸気圧に応じて揮散するとしている点など安全側に評価した値である。5ppmおよび5,000ppmの絶縁油の場合は、それぞれ50ppmの数値を1/10倍、100倍すればよい。100%のPCBの場合、飽和蒸気圧になると考えると、300mg/m^{3}程度のPCB濃度となる。高濃度PCB廃棄物の場合、様々な基準に比べ非常に高いPCB濃度になる（漏えいすると高いリスクとなる）ので、厳重なリスク管理が必要なのは言うまでもない。高濃度コンデンサを含む蛍光灯安定器など処理コストが高いと批判されているが、JESCOの各事業所ではコストよりもリスクを重視して、二重、三重の安全管理システムで管理され、処理物の判定試験や詳細な環境モニタリングを通じて無害化処理が確実に実施されている。一方、JESCOで処理される前の段階、すなわち未届けの高圧トランスコンデンサが存在するとされている。PCBのリスク管理の観点からは、未届けの高濃度PCB廃棄物についてどのように周知徹底を図り、掘り起こしをするのか、行政施策が問われている。

また、5,000ppm以下の汚染物や廃PCB油は低濃度PCB廃棄物と定義されているが、上限に近い場合は取

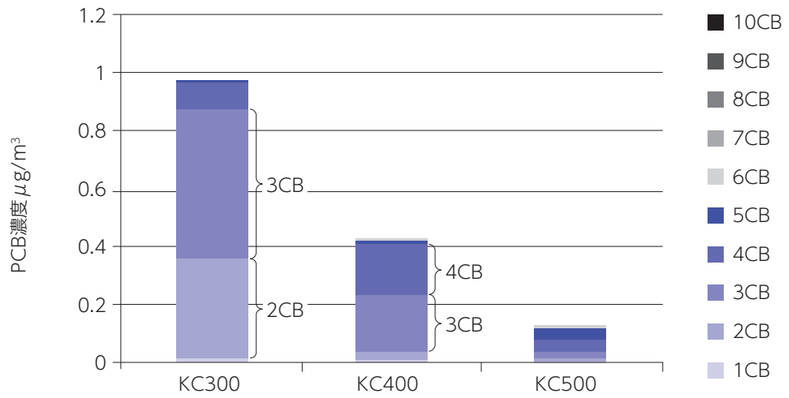


図2　PCBを含む絶縁油（50ppm）が漏えいした時の室内PCB濃度

り扱いに注意を要する。しかし、5ppm程度の絶縁油であれば、環境基準を下回る。この場合、何も規制する必要はないと主張するものではないが、過度の規制は避けるべきであろう。リスクが比較的小さいので、可能な限り処理の低コスト化が図られる仕組みとすべきである。たとえば、容易に持ち出せないトランスが多くあるとされているので、現場での洗浄処理あるいは無害化処理が必要である。大臣認定制度は、固定施設を主に意図しているので、移動型の処理施設は恒久的な施設でないことを踏まえ、手続きなどの簡易化は可能であると考えられる。

終わりに

PCB廃棄物の管理と処理について、これまでの経緯を中心に反省をこめて自由に述べてきた。こうした機会をいただき、感謝いたします。PCB問題はカネミ油症事件からほぼ半世紀が経過しようとしている。紆余曲折があったものの、多くの関係者の努力により、とりわけJESCOの5事業所の開業にあたって地元の合意に向けた努力により、今日のPCB廃棄物の処理体系が出来上がったことを深く心に刻むとともに、これからも課題解決に向け、関係各位の協力のもと、次世代に負の遺産を残さず、恵まれた我が国の環境を引き継ぐべく傾注していきたい。

資料

PCBの揮発量はPCBの蒸気圧に比例すると考えられる。絶縁油中にPCBが微量溶け込んでいる状態を理想溶液としてみなし、「PCBが蒸気として揮散する量は、その分圧に比例する」とするラウールの法則に従うとした。KC300、KC400、KC500における1塩素化ビフェニルから10塩素化ビフェニルまでの組成割合（Takasugaら（2005）[7]）と分子量からPCBのモル分率X_{PCB}を求めた。ここでは、ストックホルム条約で定義されているPCB廃棄物とするPCB濃度を50ppmとして求めた。絶縁油の分子量：259［g/mol］、温度：303［K］（30℃）とした。各飽和蒸気圧は、塩素数が1から10までの各異性体の中で最大値を用いて、式（1）より各PCBの蒸気圧を求めた。さらに、状態方程式から式（2）に変形してPCB濃度を求めたのが**図2**である。

蒸気圧の計算式　$P=X_{PCB}\times P^{0}\cdots(1)$

ここで、P：PCBの蒸気圧［Pa］、X_{PCB}：絶縁油中PCBのモル分率、P^{0}：PCBの飽和蒸気圧［Pa］

状態方程式からPCB濃度の計算式

$$n / V = P / (RT) \cdots (2)$$

ここで、n：PCB量［mol］、V：PCBの体積［m^3］、P：PCBの蒸気圧［Pa］、 R:気体定数8.314［Pa·m^3/（mol·K）］、T：温度［K］

なお、ラウールの法則はPCBが極低濃度と100%レベルで成立し、その間の濃度は活量係数を考慮する必要があるが、PCBと絶縁油との物性が類似しているので、活量係数を1とみなした。

計算結果；

KC300が50ppmの場合：
PCB　0.96μg/m^3、ダイオキシン　2.5pg-TEQ/m^3

KC400が50ppmの場合：
PCB　0.43μg/m^3、ダイオキシン　3.9pg-TEQ/m^3

KC500が50ppmの場合：
PCB　0.13μg/m^3、ダイオキシン　0.63pg-TEQ/m^3

参考値；

大気のPCB暫定環境基準：0.5μg/m^3、
PCB暫定排出許容限界：平均0.1mg/m^3、
PCB作業環境評価基準：0.1mg/m^3、
ダイオキシン類の環境基準：0.6pg-TEQ/m^3、
大気排出基準　0.1ng-TEQ/m^3、
作業環境における管理濃度基準：2.5pg-TEQ/m^3

参考文献
1）環境省PCB廃棄物適正処理推進に関する検討委員会：（http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=20515&hou_id=15598）
2）遠藤小太郎（2014）PCB処理の制度と技術：半世紀の歩みを概観する、環境管理、Vol.50、No.8、34-38.
3）長田容（2014）PCB廃棄物の早期処理に向けた取り組みの現状と課題、環境管理、Vol.50、No.8、39-44.
4）寺門洋（2014）微量PCBの処理技術、環境管理、Vol.50、No.8、45-50.
5）田村義隆（2014）微量PCB汚染機器処理への取り組み：移動式溶剤循環洗浄処理技術の開発、環境管理、Vol.50、No.8、51-54.
6）（公財）産業廃棄物処理事業振興財団　（http://www.sanpainet.or.jp/service/doc/23-2.pdf）
7）Takasuga, T. Kumar, K.S.Noma, Y. Sakai, S. (2005) Chemical Characterization of Polychlorinated Biphenyls, -Dibenzo-p-Dioxins,and -Dibenzofurans in Technical Kanechlor PCB Formulations in Japan、Arch. Environ. Contam. Toxicol. 49, 385–395.