

論文の内容の要旨

論文題目 環境負荷と安全性を考慮したポリ塩化ビフェニルの無害化処理に関する研究

氏 名 渡 辺 敦 雄

本研究の目的は、環境負荷と安全性を考慮し反応圧力が大気圧で反応温度が 80 °C 以下である紫外線分解法と触媒分解法の組み合わせによる PCB 無害化処理プロセス（以下、光／触媒法と称す）技術を確立し、①実用 PCB 無害化処理施設を建設、②安全解析手法の確立により実用機設置許可過程でリスクコミュニケーションによる住民の合意を得ること、および③プロセスと安全性評価手法が国内および国連の公認を受け、今後の全 PCB 処理施設に適用されることなどの成果を得ることである。以下にその内容の要旨を記述する。

第 1 章では、まず、日本では 1987～1989 年に実施された 5,500 トンの液状廃 PCB の高温熱分解処理後は処理設備が建設されていない事実を分析した。この理由を解明し、PCB 処理装置の設置に関わる特有の問題として、① 規制法が多岐にわたること、② 多数の処理方式が認可されていること、および ③ PCB 処理への特別な住民感情があること、を明確にした。さらに PCB 処理の推進の条件として PCB の「保管リスク」より「処理リスク」を低くしなければならぬことを指摘し、PCB の主要な「保管リスク」は PCB などの有害物の環境への漏洩と、それによる住民のばく露であることを示した。この結果、処理プロセスへの訴求点として、PCB、ダイオキシン類および処理施設からのその他の未知の有害反応副次生成物の環境への漏洩や排出を抑制し環境負荷を低減するという条件が重要であることを述べた。以上に基づき PCB 処理施設に求められる設計コンセプトを ① 固有の安全性を有し処理温度・圧力が

低いこと ② 使用薬品が特殊なものではなく、取り扱いが容易であること ③ 有害反応副次生成物を生成せず、反応生成物が単純かつ分離容易で再資源化が可能であり、閉鎖系で処理が実施され環境への排出が抑制され環境負荷が低減されること ④ 反応速度が早く、社会的コスト負担が最小であること ⑤ ダイオキシン類も同時に処理でき、かつ塩素を固定化でき、廃油などのサーマルリサイクル時のダイオキシン類などの2次的発生を可能な限り少なくすること、と明確化した。この設計コンセプトに基づき、本研究の目的を定めた。

第2章では、PCB処理に関連する他の研究のうち現在廃棄物処理法で定められている方式の代表例の概要を述べ、現実のPCB処理施設の建設をするためには、① PCB蒸発量を低減し環境への有害物の排出および漏洩を最小限に抑制すること、② PCB処理施設の安全性、③ 処理済み油のサーマルリサイクルのため塩素源を除去、④ プラント建設コスト低減、などの理由から、反応温度を80℃以下、圧力は大気圧、反応速度をできる限り早くすることが本研究の課題であることを示した。

第3章では、PCB製品であるKC300により紫外線分解単独の反応スキームを実験結果と文献により考察し、反応速度式を推定し紫外線分解と触媒分解を切り替える濃度の最適なタイミングを推定した。さらにスケールアップ設計法を確立した。予備実験により、反応温度を50～60℃、およびアルカリ濃度を $\text{NaOH/Cl}=2.6$ とすることとした。続いて紫外線分解単独の実験の分解率を考察し反応スキームを考え反応速度定数の妥当性を評価し予測式を提案した。紫外線分解と触媒分解を切り替える濃度の最適なタイミングはPCB初期濃度の1/10～1/20の範囲が望ましいことを推定した。スケールアップ設計法として、各プラントのPCBに対する紫外線強度： I^{PCB} の補正係数を明確化しPCB溶液の攪拌条件を考慮し、装置間でできるだけ近い値にすることを確認した。

第4章では、触媒分解単独の見かけ反応速度定数を実験的に考察し、紫外線分解から触媒分解を切り替える濃度の最適なタイミングを推定し、スケールアップ設計法を確立することを目的とした。Pd/C添加量はIPA 1リットル中に2g、溶媒温度は(75±1)℃が最適であることを示した。スケールアップ設計法に関しては初期濃度470,1000,および2100ppm初期濃度と反応速度定数の関係を求め、EX2の初期濃度470ppmの反応速度定数1.086に、初期濃度比の逆数を乗じることでスケールアップによる反応速度定数を推定することを明らかにした。紫外線分解からの切り替えタイミングは、PCB初期濃度の1/10～1/20以下が反応速度的に最適と推定した。

第5章では、紫外線分解法および触媒分解法の各々単独分解法の特徴を組み合わせた光／

触媒法の組み合わせの最適化に関し技術およびコストの両面から検討した。続いて最適な光／触媒法を適用した PCB 処理実証試験装置により、反応速度およびダイオキシン類など有害反応副次生成物の生成と環境への排出の両方が抑制されていることを評価基準とし、光／触媒法の性能および有効性を確認した。まず、反応速度的には、340 ppm まで紫外線分解しその後触媒分解に切り替えた結果、反応速度定数は 0.132 min^{-1} であり目標値 0.102 min^{-1} を上回った。この結果、スケールアップ設計および切り換えタイミングの妥当性を確認した。次に有害反応副次生成物の分析を行い、一般に有害物として可能性が高い高分子塩素化合物などの物質は 50ppb 以下であることを確認した。さらに塩素回収率は 86%であることを計算し、実験装置からの塩素化合物の漏洩が認められないことから脱塩した塩素はほぼ全量 NaCl となっていると推定された。最後に、ダイオキシン類などの減少率は $10^{-6} \sim 10^{-8}$ でありダイオキシン類の低毒性化という観点からも光／触媒法の有効性を確認し、プロセス技術を確立した。結果として、PCB、ダイオキシン類およびプロセスから生じる恐れのあるその他の未知の有害反応副次生成物など環境負荷と安全性に関わる物質の環境への漏洩や排出を抑制するという条件に応える PCB 処理プロセスの性能および有効性を確認した。成果は国内的には廃棄物処理法、国際的には国連環境計画（UNEP）の公認技術として登録された。

第 6 章では、光／触媒法を適用し、川崎市に設置した実用 PCB 処理施設（以下 HM1）により安全解析を数値的に実施し PCB 無害化処理施設の適切な安全性評価手法に関する技術を確認することを目的とした。安全評価は ①DBA の決定 ②DBA に至る前段階事象のシナリオの決定 ③前段階事象が生じた場合の最終結果として DBA の安全性評価、の手順で実施した。第 1 に DBA の決定に関しては、原子力発電所の例を参考にして、「PCB 処理施設近傍住民の PCB ばく露」と定義し、ばく露に至るシナリオは、PSA と FMEA を実施し、PCB を含む IPA の火災／爆発による最終的な PCB の住民のばく露と決定した。続いて IPA を内包する機器からの IPA 漏洩による火災／爆発時の周辺地域への影響評価を実施した。漏洩面積を安全側に考え最大でも 1mm^2 と仮定し、隣接地建物の爆風圧は 6kPa 以下であることを示した。この場合の隣接地建物の損害は屋根の損傷程度と予測され、軽微な影響であり許容される損傷であると推定した。さらに、IPA 火災／爆発に基づく施設近傍の住民への PCB ばく露に関する影響評価を実施した。3次元拡散解析の結果、発生元濃度は $0.14\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、最大着地点濃度は敷地内に発生し、 $1.5 \times 10^{-7}\mu\text{g}/\text{m}^3$ でありいずれも日本の PCB 排出濃度基準値 $0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回り、施設近傍の住民の PCB ばく露被害は許容範囲であると推定された。以上の具体的安全評価解析により、安全性評価の観点からも光／触媒法を適用した施設の高い有効性を示すことができ、

さらに PCB 無害化処理施設の適切な安全性評価手法に関する技術を確立できた。成果は HM1 設置許可過程の住民説明会でリスクコミュニケーションを確立し住民の合意を得ることに結実した。さらに本技術は国内全 PCB 処理施設の安全性評価手法の技術標準になりつつある。

第 1 章から第 6 章までの結論として、PCB、ダイオキシン類およびプロセスから生じる恐れのあるその他の未知の有害反応副次生成物など環境負荷と安全性に関わる物質の非意図的な生成や環境への漏洩および排出を抑制するという条件に応える反応温度 76 °C、反応圧力：常圧による PCB 処理プロセス（光／触媒法）を開発し技術を確立した。光／触媒法は国内および UNEP に技術認可された後、実用機 HM1 に適用され現在純 PCB の分解に貢献している。また安全解析手法の開発は HM1 設置許可過程でリスクコミュニケーションを確立し住民の合意形成に貢献した。本技術は世界的に公認されたことで、POPs 条約で 2028 年までに、日本では PCB 特別措置法で 2016 年までに世界で約 200 万トン保管される PCB を全廃するための安全な技術として採用が期待される。以上の論文の構成を Fig.1 に示す。

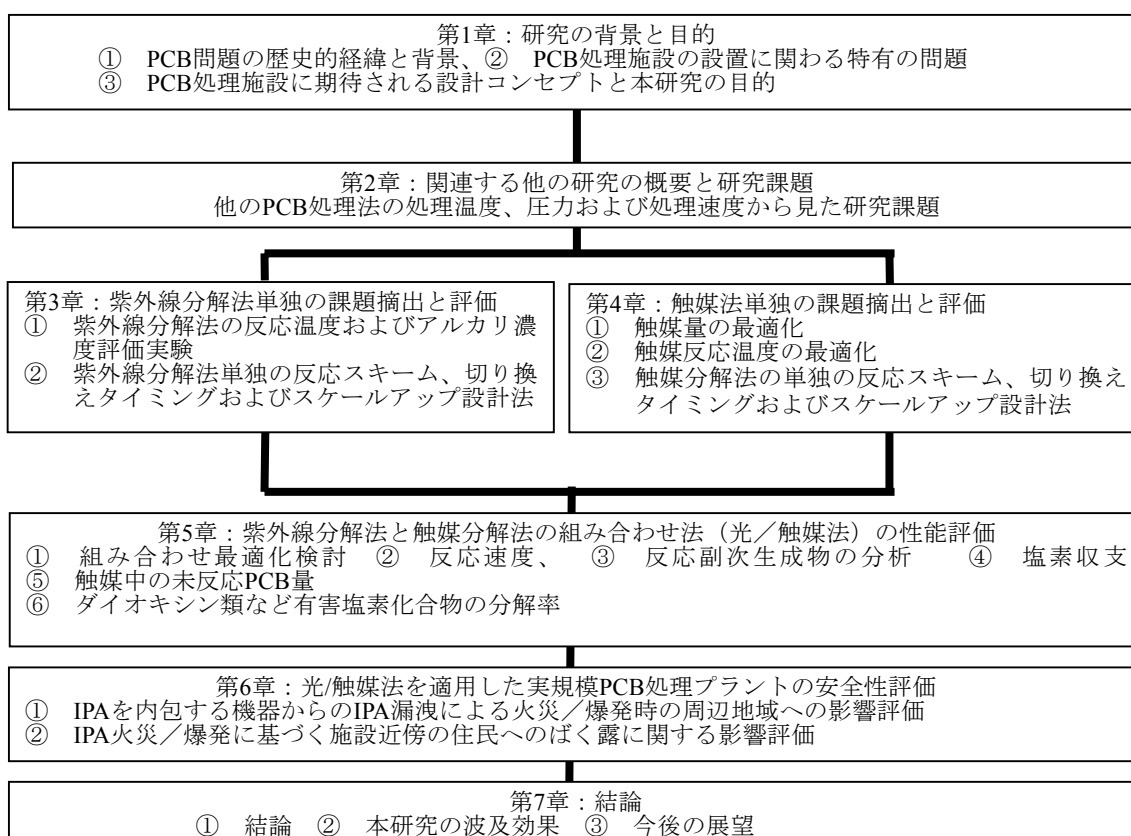


Fig.1 Flow chart of the outline for this dissertation