

PCB 汚染物等プラズマ 溶融分解技術の高性能化

Progress in Plasma Melting
Technology of PCB-contaminated Wastes



技術開発本部
プロセス技術開発部廃棄物処理室
田 頭 成 能
Shigeyoshi Tagashira
清 水 由 章
Yoshiaki Shimizu
新規プロセス室
高 橋 正 光
Masamitsu Takahashi
(工学博士)

新日鉄エンジニアリング株式会社
環境ソリューション事業部
長 田 守 弘
Morihiro Osada
同PCB処理施設建設班
三 方 信 行
Nobuyuki Mikata
山 崎 良
Ryo Yamazaki

筆者らは、PCB 汚染物等の無害化処理方法として、プラズマ溶融分解法の開発をおこなってきた。今般、その高度な応用として、小型コンデンサ処理を念頭に置いたコンデンサ素子の処理試験、ならびに、排気中のダイオキシン低減化について実証試験をおこなった。コンデンサ素子においては PCB 含有量が40 wt%と大きい、同プロセスで問題なく処理できることが明らかになった。いっぽう、従来の排気処理プロセス（1BF→2BF→触媒）よりもさらなる低ダイオキシン化を目指し、排気プロセスを組替えた試験（1BF→触媒→2BF）を実施した。その結果、従来法にくらべて非常に低い排気ダイオキシン濃度を安定的にえることができ、より環境負荷を低減できることが示された。

The authors have developed a PCB-contaminated waste treatment process employing plasma melting technology. For enhanced application of the process, a series of experimental study on (a) treatment electric capacitor elements which are highly impregnated with PCB oil. And (b) new flue gas cleaning system for lower Dioxins (DXNs) emission are carried out. First, in electric capacitor element treatment, although its high PCB content of 40 %-weight, PCB and Dioxins concentration in solid residue and flue gas satisfied Japanese regulations. Next, aiming lower DXNs concentration in flue gas, 2nd bag filter is moved to the end of flue gas cleaning system. As the result of experiment, lower DXNs concentration in gas is achieved consistently, showing the effectiveness of the configuration of new gas cleaning system.

Key Words :

PCB 汚 染 物	PCB-contaminated wastes
プラズマ溶融分解技術	Plasma melting technology
小型電気機器	Small electric appliances
ダイオキシン	Dioxin
バグフィルタ	Bag filter

まえがき

PCB（ポリ塩化ビフェニル）は、工業的に合成された液状の化合物で、熱で分解しにくい、電気絶縁性が高い、化学的に安定であるなどの性質から、高圧トランス・コンデンサ、蛍光灯安定器などの電気機器の絶縁油、熱交換器の熱媒などに使用されてきた。しかし、1968年のカネミ油症事件を契機に人体に対する毒性が明らかになり、1974年に製造・輸入・使用が禁止された。しかし、PCBを含む廃棄物の無害化処理は進まず、機器を所有する各事業者が保管する状況が長く続いた。

21世紀に入り、残留性有機汚染物（POPs）に対する国際的な取り組みが進む中で、わが国においては2001年に成立した「PCB特措法」により、PCBを含む廃棄物を保管する事業者は2016年までに処理することが定められた。このうち、高圧トランス等および廃PCBについては、日本環境安全事業株式会社により全国5カ所における拠点の広域処理施設の整備が進められている。¹⁾

いっぽう、PCBを含む廃棄物のうち、小型電気機器、汚泥、ウエス、感圧複写紙、蛍光灯安定器などは「PCB汚染物」と総称される。その保管量は2004年度末において汚泥15411トン、安定器5551983個、感圧複写紙668トンなどであり、²⁾ PCB廃棄物全体の一定の割合を占めている。PCB汚染物は、トランス・コンデンサ類や液状の廃PCBと対比すると、①PCB含有量は数ppm～数十%と幅広い、②汚染物の性状、その他の成分や危険物との混

合状態などが種々雑多である、③安定器などは個数が非常に多い、などの特徴を持つ。このため、無害化処理にあたっては、選別・破碎・抽出・洗浄などの従来処理工程への適用が困難であり、可能な限り有姿のまま一括で処理できるような方法が望まれる。

プラズマ溶融分解法は、プラズマを熱源としたプラズマ溶融分解炉にPCB汚染物を投入し、プラズマアークおよび溶融スラグ浴の相乗効果により、その容器（ドラム缶など）ごと効率よく溶融分解できる技術である。筆者らはこれまで、本処理方法をPCB汚染物に適用し、代表的なPCB汚染物である汚泥、ウエス、感圧複写紙、安定器の処理試験をおこない、無害化が可能であることを示してきた。³⁾ 今般、本技術のさらなる検証として、小型電気機器を含むコンデンサ類の処理、および、排気中DXNs低減のための排気処理プロセスの検討を実験的におこなったので、以下に報告する。

1. 試験設備の概要

図1に、プラズマ溶融分解炉の概念図を示す。PCB汚染物等は、容器（本実証では20Lパール缶）に密封され、投入装置によりプラズマ溶融分解炉に投入される。容器上部のPCB汚染物等へは直接プラズマを照射し、溶融分解する。容器下部のPCB汚染物等は溶融スラグ浴に浸かって、1400℃以上の高温により、溶融分解する。なお、運転時においては、炉内をカメラで監視し、汚染物の溶融分解状況に応じてプラズマトーチの照射位置を移動して、効率的に溶融分解を図っている。写真1に、実証試

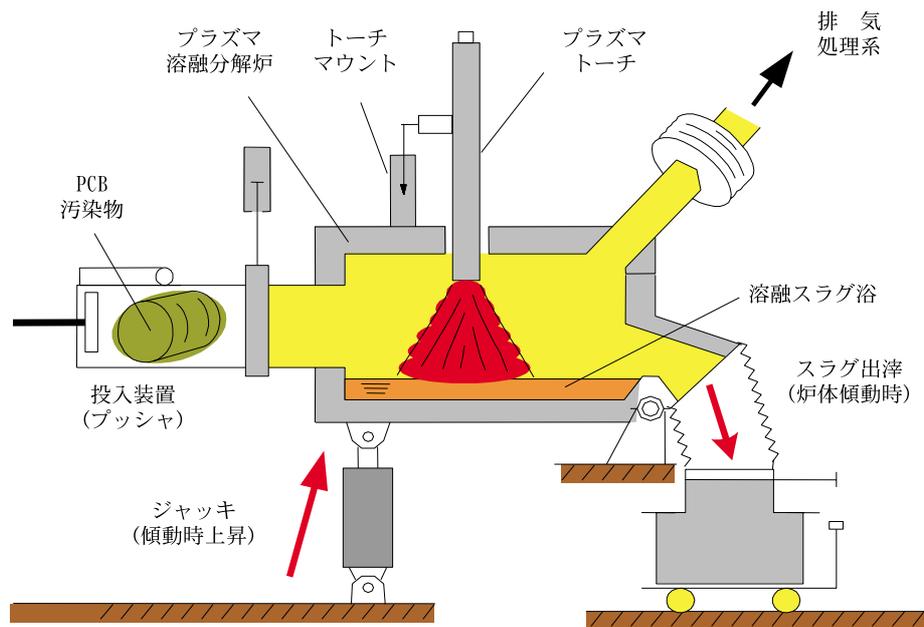


図1 プラズマ溶融分解炉の概念図



写真1 実証設備全景

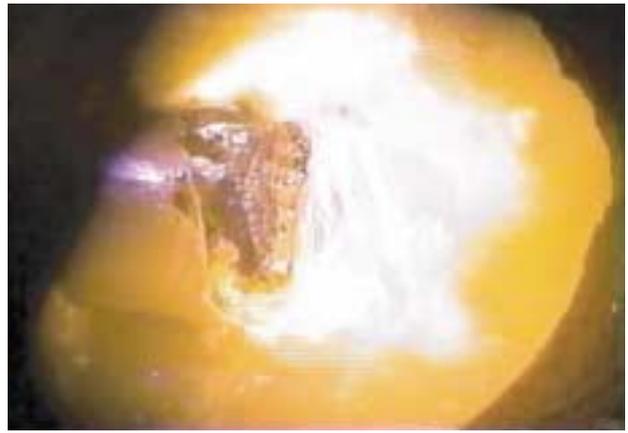


写真2 炉内熔融状況

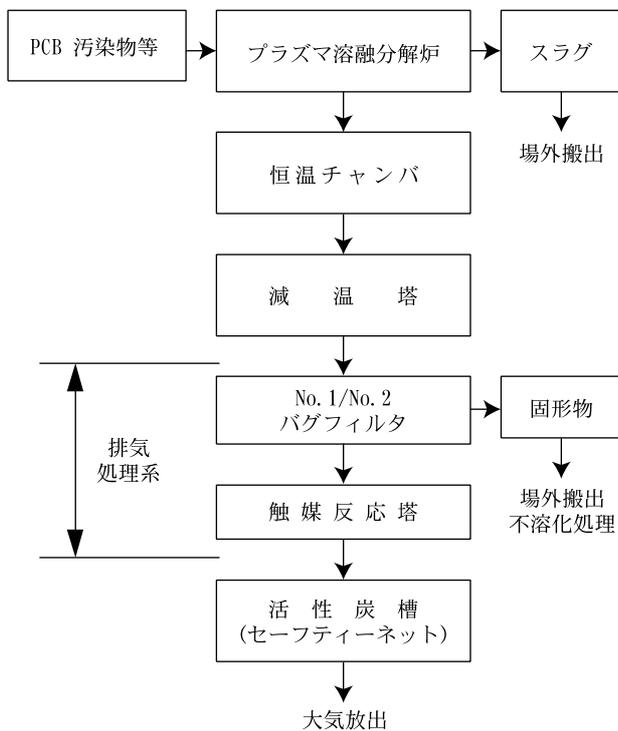


図2 実証試験設備のフロー図

験設備の全景を、写真2に、炉内監視カメラの画像を、それぞれ示す。

プラズマ熔融分解炉において、PCB や可燃分は H_2O 、 CO_2 、 HCl などに分解されて後段の排気処理系に送られる。また、不燃分は熔融スラグとなり、定期的に炉体を傾動して炉から払い出す。

図2に、実証試験設備全体のフロー図を示す。プラズマ熔融分解炉からの排気は恒温チャンバで $1200\text{ }^\circ\text{C}$ ・2秒の滞留時間を確保したのち、減温塔で $200\text{ }^\circ\text{C}$ まで水噴霧により温度を下げる。その後の排気処理系においては、バグフィルタで消石灰を吹き込み、 HCl 、 SO_x を除去し、触媒反応塔でアンモニアを吹き込み、 NO_x を除去する。排気中のダイ



写真3 コンデンサ素子

オキシシン類は、バグフィルタにて粒子状のダイオキシシン類を除却するほか、触媒反応塔の触媒により分解除去する。排気処理はここまでで完了するが、不測の事態に備えて後段にセーフティネットとしての活性炭槽を設置し、PCBの排出防止に努めている。

なお、排気処理系については、排気中DXNs低減のために新たな排気処理方式の検討をおこなったが、それについては3項に詳細を述べる。

2. コンデンサ素子処理試験⁴⁾

小型電気機器とされるPCB汚染物のうちには、小型・低圧のコンデンサが多く含まれている。コンデンサの内部には、紙またはポリエチレンフィルムなどとアルミニウム箔を多層に積層した部材（コンデンサ素子）があり、その内部には多量の液状PCBが含浸されている。したがって、小型電気機器の処理にあたっては、コンデンサ素子の処理可能性が重要となる。そこで、数個のPCB含有コンデンサを解体して素子を抜き出し、その無害化試験をおこなった。

試験では、コンデンサ素子を20リットル容積のペール缶に約7kg/缶ずつ封入し、計20缶の処理をおこなった。このペール缶は、実際の処理時に想定される200リットルドラム缶の1/10スケールである。写

真3に試験にもちいたコンデンサ素子を示す。なお、投入したコンデンサ素子のPCB濃度は40wt%であった。

実証試験の所要時間はスラグの払いだしに要する時間を含めて7.5時間であり、ペール缶は一定時間間隔で炉内に投入し、熔融分解処理した。試験中、プラズマ熔融分解炉の温度は1400℃以上であり、また、炉内圧力は負圧に維持された。

表1に、設備から排出される排気、固形物（スラグ、No.1・No.2バグフィルタ下の固形物）の排出量とPCB濃度を示す。また、No.1・No.2バグフィルタ固形物の溶出試験結果は0.0005 mg/L以下であった。このことから、排気、固形物のいずれも、いわゆる卒業判定基準（排気：150 μg/m³_N、固形物の溶出：0.003 mg/L）未満であった。また、PCB分解率は、99.99999%以上であった。

表2にDXNsについての測定結果を示す。スラグ、バグフィルタ固形物および、排気に含まれるダイオキシン類は、すべて目標基準値（スラグ・固形物：3 ng-TEQ/g、排気0.1 ng-TEQ/m³_N @O₂=12%換算）を下回っている。

3. 排気低ダイオキシン化試験⁵⁾

これまでに報告した試験結果においては、排気中

のダイオキシン濃度は、プラズマ熔融分解方式に対する規制値である0.1 ng-TEQ/m³_N (O₂=12%換算)を下回った。しかしながら、より環境負荷を低減するために、図3のように排気処理系を変更し、低ダイオキシン化を目指した試験をおこなった。すなわち、1段目、2段目のバグフィルタでは、粉末活性炭を噴霧し、ダイオキシンの吸着を積極的に実施するとともに、2段目のバグフィルタと触媒との順序を交換し、触媒におけるダイオキシン除去性能にかかわらず、2段目のバグフィルタで確実なDXNs除去を目指す方式とした。

新排気処理方式での試験①～⑩について、排気系DXNs濃度のデータを図4に示す。また、これらの試験で処理したPCB汚染物の種類、試験時間を表3に示す。試験①、④、⑧については、排気系の最終段だけでなく、1BF入口、1BF出口（＝触媒入口）、触媒出口（＝2BF入口）の三点でもダイオキシン濃度を測定し、各単位操作の効果についても評価した。なお、図中のDXNs濃度はO₂=12%に換算した濃度である。

排気測定をおこなった試験のすべてで、排気系出口（2BF出口）のダイオキシン濃度は0.001 ng-TEQ/m³_N [O₂=12%]を下回り、これは従来の排気系による

表1 コンデンサ素子処理におけるPCB分解率収支

項目		単位	コンデンサ素子
投入	PCB汚染物	処理物量 PCB濃度	kg/h %
			24 40
排出	スラグ	発生量 PCB濃度	kg/h mg/kg
			4.5 0.000093
	No.1バグフィルタ固形物	発生量 PCB濃度	kg/h mg/kg
			4.3 0.0053
	No.2バグフィルタ固形物	発生量 PCB濃度	kg/h mg/kg
		3.0 0.0022	
	触媒塔出口排気	乾ガス量 PCB濃度	m ³ /h μg/m ³ _N
			1800 0.027
PCB分解率			%
			99.999999

表2 コンデンサ素子処理におけるダイオキシン類の濃度

項目	単位	
スラグ	ng-TEQ/g	0.0028
No.1バグフィルタ固形物	ng-TEQ/g	0.011
No.2バグフィルタ固形物	ng-TEQ/g	0.039
触媒塔出口排気	ng-TEQ/m ³ _N	0.019
	ng-TEQ/m ³ _N (@O ₂ =12%)	0.021

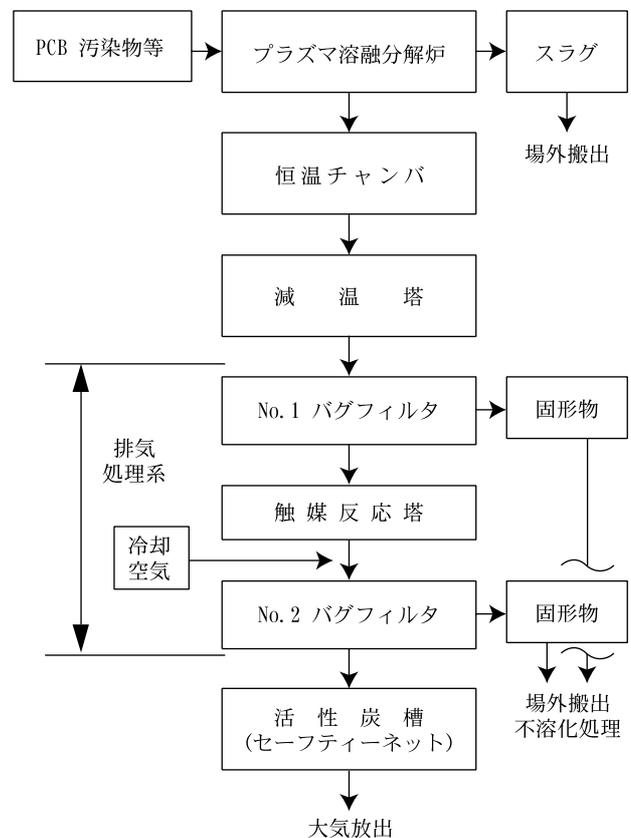


図3 改良型排気系を含む実証試験設備のフロー図

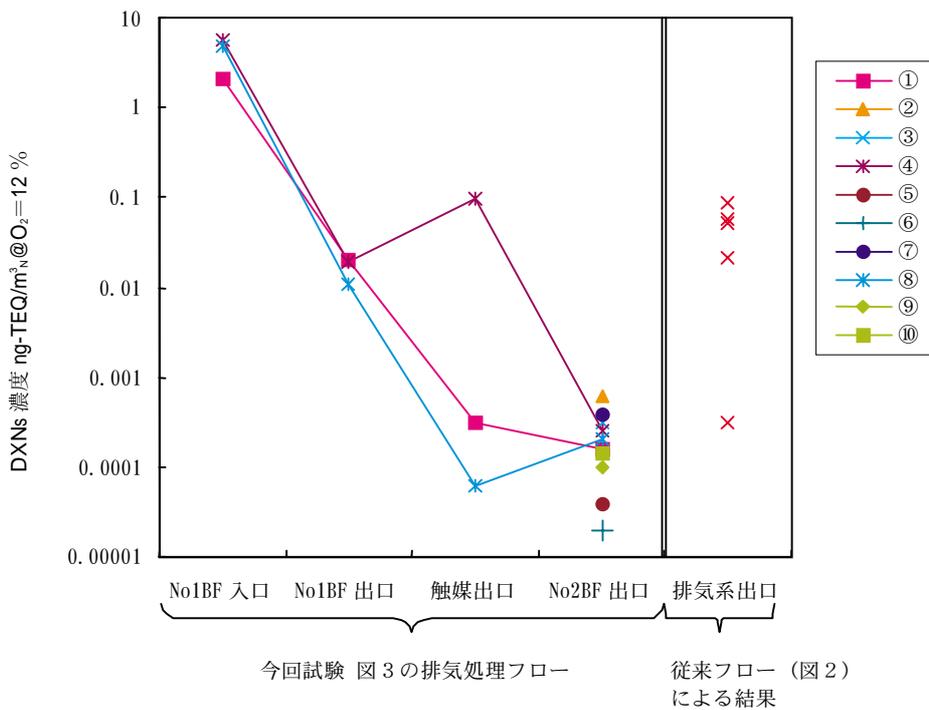


図4 改良型排気処理系における排気 DXNs 濃度測定結果

表3 新排気系処理における試験条件

試験 No.	処 理 物	PCB 含有量 wt %	ペール缶あたり封入量	缶投入間隔 (平均)
①②③	安 定 器	3.0 %	12 kg/缶	30分
④⑤⑥	小型電気機器 (コンデンサ)	20 %	5~7 kg/缶	20分
⑦	小型電気機器 (安定器部材)	14 %	5 kg/缶	20分
⑧⑨⑩	コンデンサ素子	7~22 %	7 kg/缶	30分

試験結果 (0.00031~0.089 ng-TEQ/m³_N [@O₂=12 %]) の分布にくらべて大きく改善していることがわかる。また、試験の一部で、触媒の後段におけるダイオキシン濃度が上昇している場合が見受けられるが、その場合でも2BFでのダイオキシン除去効果により排気処理系出口でのダイオキシン濃度を低減できており、本処理系の効果を確認することができた。

なお、触媒出口から No.2BF 出口にかけてダイオキシン濃度が上昇しているデータも見られるが、このデータは0.0001 ng-TEQ/m³_N のオーダーという非常に低いレベルにあり、測定誤差の範疇と考えられる。

このほか、排気中の PCB 濃度については、試験全体を通して2BF 出口において0.009~0.22 μg/TEQ/m³_N [@O₂=12 %] であり、基準値である150 μg/TEQ/m³_N [@O₂=12 %] を満たしている。

む す び

プラズマ溶融分解法のさらなる応用のため、実 PCB を含むコンデンサ素子の処理試験、ならびに、排気中 DXNs を低減するための新たな排気処理系

の試験をおこなった。その結果、処理対象物の範囲を広げ、かつシステムとしての環境負荷を下げることができ、本処理方式の実用化に向け寄与するものである。我が国の PCB 問題に貢献するべく、今後とも技術の充実を図りたい。

[参考文献]

- 1) 環境省編、『平成19年度版 環境白書・循環型社会白書』(2007), pp.70-72
- 2) 環境省報道資料「PCB 特別措置法に基づく PCB 廃棄物の保管等の届出の全国集計結果について」(2006), <http://www.env.go.jp/recycle/poly/hokan/ref04.html>
- 3) 田頭, 高橋, 村田, 長田: 「PCB 汚染物等のプラズマ溶融分解技術」, 神鋼環境ソリューション技報, Vol. 1, No.2 (2005), pp.21-26
- 4) 梶原, 清水, 田頭, 長田, 三方, 山崎: 「プラズマ溶融分解による含浸性 PCB 廃棄物の処理について」, 第15回環境化学討論会講演要旨集 (2006), pp.42-43
- 5) Tagashira, S., Takahashi, M., Shimizu, Y., Osada, M., Mikata, N., Yamazaki, R.: "Plasma Melting Technology of PCB-contaminated Wastes", *proc. Dioxin2007* (Tokyo), to be published