

PCB汚染物等のプラズマ熔融分解処理技術

Plasma Melting Technology of PCB Contaminated Wastes

村田 光也^{*(1)} 長田 守弘^{*(2)} 高橋 正光^{*(3)} 田頭 成能^{*(4)}
 Mitsuya MURATA Morihiko OSADA Masamitsu TAKAHASHI Shigeyoshi TAGASHIRA

抄 録

慢性毒性が強く化学的に安定なPCBの処理方法として、“プラズマ熔融分解技術”を紹介した。本技術は、プラズマを熱源としたプラズマ熔融分解炉にPCB汚染物等を投入し、プラズマアークおよび熔融スラグ浴の相乗効果により効率よくPCB汚染物等を容器ごと熔融できる技術である。実証試験にて、PCB汚染物等を全国保管量按分で混合封入した混合試験とそれぞれ単独で封入した単独試験を実施した。これにより、安定した操業が出来ること、容器ごとプラズマ熔融分解処理が可能なること、スラグが均質でリサイクルが可能な性状であることが確認できた。また、プラズマ熔融分解炉から排出される、スラグ、バグフィルタ固形物および排気中のダイオキシン類およびPCBが規制値を大幅に下回ることを確認した。これらより、プラズマ熔融分解技術は、処理範囲が広く、かつ、作業員のPCB汚染を最小限に抑えることが出来る安全な技術であることが判った。

Abstract

Plasma Melting Technology, as the thermal destruction method of PCBs (polychlorinated biphenyl) that are highly toxic and chemically stable, enables an effective melting of containers containing PCB contaminated wastes at one time by using plasma arc and molten slag bath in the plasma melting furnace with plasma heat source. Two sorts of verification test were executed; one was a mixed treatment test, mixing PCB contaminated wastes based on the average components of PCB contaminated wastes stockpile in Japan, and the other was a test treating waste without mixing. These results offered a stable operation and discharge of homogeneous slag to be recyclable. And furthermore, the contents of Dioxins and PCBs in the slag, fly ash and flue gas from plasma melting furnace were substantially less than the Japanese regulations. Plasma Melting Technology is proved not only offering treatment method for various PCB contaminated wastes but also minimize the PCB contamination on environment and filed workers.

1. 緒 言

PCB(ポリ塩化ビフェニル)は、不燃性で高い絶縁性能を有し、かつ、沸点が高く熱で分解しにくいことなどの化学的安定性により、電気機器のトランスやコンデンサの絶縁油、熱交換器の加熱・冷却用熱媒体、ノンカーボン紙等、様々な用途に使用されていた。しかし、1968年のカネミ油症事件によりPCBの毒性が社会問題化し、1972年には国内のPCBの製造が中止となった。鐘淵化学工業の液状PCB(5500ton)は高温焼却処理を行ったが、それ以外は処理に至らず、使用が終了したPCBは保管が義務づけられた。

PCBは、分解しにくいことから大気中や海洋を拡散し続け、北極圏などPCBを使用していない地域の人々の母乳からもPCBが検出されるなどの地球規模の環境汚染が問題になっている中、この30年以上にも及ぶ長期保管でのPCB廃棄物の紛失、流出による環境汚染が懸念される状況となっている。

2. PCB処理の現状

PCB等による地球環境汚染を国際的に協調して廃絶、削減を行うため、“残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約POPs条約”が採択され、批准国が50か国に達したことから、2004年5月に条約が発効した。日本もこれを批准しており、2001年7月に“ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法案”(以下、PCB特別措置法という)が施行され、2016年までにPCB処理を完了することが決められるとともに、中小企業の処理費用軽減のための“ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理基金”が設立された。また、拠点的な処理施設整備、処理事業実施を環境事業団(現、日本環境安全事業株式会社)が推進している。PCB特別措置法に基づくPCB廃棄物の保管およびPCB使用製品の使用の届け出の全国集計結果(2001年7月15日現在)を表1に示す。

表1の[1]高圧トランス,[2]高圧コンデンサ,[3]低圧トラン

^{*(1)} プラント・環境事業部 PCB処理施設建設班 マネジャー
 東京都千代田区大手町2-6-3 〒100-8071 TEL:(03)3275-8079

^{*(2)} プラント・環境事業部 環境ソリューション事業センター 部長

^{*(3)} (株)神鋼環境ソリューション 新規プロセス室 室長 工博
 神戸市中央区脇浜町1-4-78 〒651-0072 TEL:(078)232-8154

^{*(4)} (株)神鋼環境ソリューション 廃棄物処理室 室長

表1 PCB廃棄物の保管状況及びPCB使用製品使用状況の集計結果
Quantity of PCB contaminated wastes in stockpile and use

	In stockpile	In use
[1] High voltage transformers	16 496	1 689
[2] High voltage condensers	220 345	30 502
[3] Low voltage transformers	30 412	616
[4] Low voltage condensers	1 146 383	17 510
[5] Pole mounted transformers	1 713 291	1 967 000
[6] Ballasts	4 170 839	868 256
[7] PCB	12 955 ton	55 kg
[8] Oil contained PCB	142 261 ton	3 kg
[9] Copy papers	679 ton	-
[10] Cloth wastes	215 ton	-
[11] Sludge	17 698 ton	-
[12] others	199 873	42 067

ス,[4]低圧コンデンサ,および,[7]PCB,[8]PCBを含む油は,日本環境安全事業株式会社が全国にトランス,コンデンサの拠点の広域処理施設を建設して,期限までにPCB処理を完了する体制を整えつつある。拠点の広域処理施設では,PCBが付着した容器などはPCBを洗浄・分離し,封入された廃PCB(油状)は化学処理で分解することでPCBを無害化する。

表1の[5]柱上トランスは,各電力会社が保管・使用していることより,自社処理の方向で処理の計画が進行している。ただし,抜き出した廃PCB油の一部は,拠点の広域処理施設で処理する。表1の残りの,[6]安定器(1都3県は拠点の広域処理施設で処理),[9]感圧複写紙,[10]ウエス,[11]汚泥,[12]その他機器等,およびそれらを保管していたピット,容器等のPCB汚染物等は,化学処理ではPCB分解処理が困難であったり,経済的に高価になることがある。また,処理の過程で発生するPCB二次汚染物等の処理も可能な幅広い処理能力が望まれることより,化学処理とは別の方法として,“プラズマ溶融分解技術”を(株)神鋼環境ソリューションと共同開発したので紹介する。

3. プラズマ溶融分解技術

3.1 プラズマ溶融分解技術の基本原則

本技術は,プラズマを熱源としたプラズマ溶融分解炉にPCB汚染物等を投入し,プラズマアークおよび溶融スラグ浴の相乗効果により効率よくPCB汚染物等をドラム缶ごと溶融分解できる技術である。

PCB汚染物等を密封したドラム缶は,プラズマ溶融分解炉に投入される。ドラム缶上部のPCB汚染物等に直接プラズマを照射し,溶融分解する。ドラム缶下部のPCB汚染物等は溶融スラグ浴に浸かり,1400以上の高温により溶融分解する。溶融が進み,ドラム缶が溶融した後においては,スラグより比重の軽い汚泥,コンクリート,ウエス,感圧複写紙等は,溶融スラグ浴表面に浮遊するので,プラズマの直接照射により溶融分解する。スラグより比重の重い安定器は沈み高温の溶融スラグ浴により溶融分解する。プラズマ溶融分解炉模式図を図1に示す。

3.2 プラズマ溶融分解技術の基本フロー

図2に基本フローを示す。PCB汚染物等は,ドラム缶に密封さ

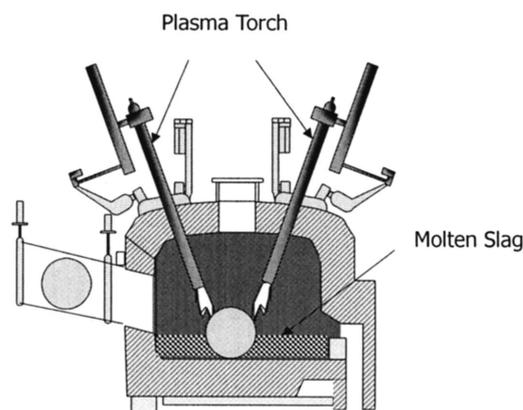


図1 プラズマ溶融分解炉模式図
Schematic illustration of plasma melting furnace

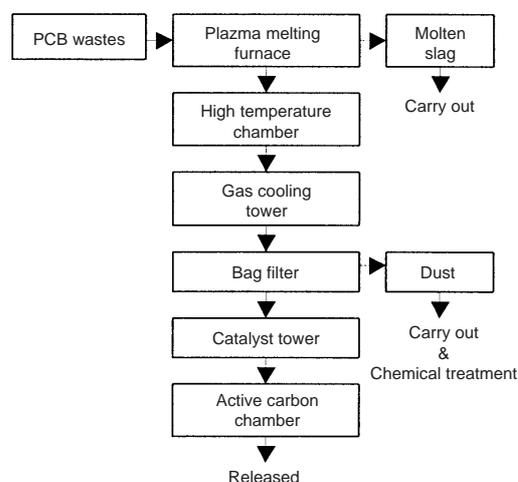


図2 基本フロー
Basic flow

れ,プラズマ溶融分解処理施設に搬入される。プラズマ溶融分解炉への投入は,ドラム缶のまま一括投入を行い,ドラム缶ごと溶融分解処理を行う。プラズマ溶融分解炉へ投入されたドラム缶は,炉内監視カメラで確認しながらプラズマトーチを操作して溶融分解処理を行う。写真1に炉内溶融状況を示す。ドラム缶1缶ごと完全に溶融分解した後,次のドラム缶を投入するので,炉内にPCB汚染物等が蓄積されることなく,トラブル時の対応を容易にすると同時に,

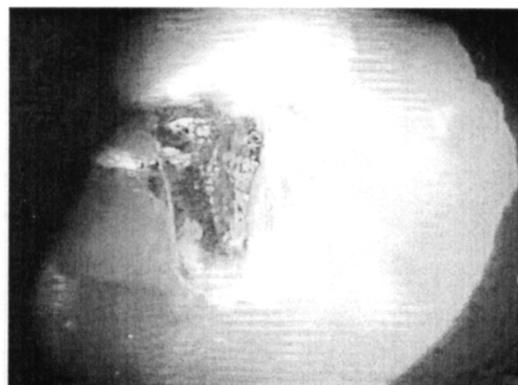


写真1 炉内溶融状況
Melting state in the plasma melting furnace

確実な溶融分解処理が可能となる。

PCBや可燃物は、プラズマ溶融分解炉でCO₂、H₂Oまで完全に分解され、不燃分は溶融スラグとなる。排気は、減温塔で200℃まで水噴霧により温度を下げ、バグフィルタで消石灰を吹き込み、HC1、SO_xを除去する。触媒反応塔でアンモニアを吹き込み、NO_xを除去する。排気中のダイオキシン類は、バグフィルタで粉末活性炭を吹き込み、吸着除去するとともに、触媒反応塔の触媒により分解除去する。排気処理設備のセーフティネットとして、活性炭槽を最後段に設置する。

溶融スラグは、プラズマ溶融分解炉から払い出し、卒業判定(PCBが含まれていないことを確認)合格の後、施設外に排出し、リサイクルもしくは最終処分する。バグフィルタで捕集した固形物も、卒業判定合格の後、重金属溶出抑制の薬剤処理を行い、施設外に搬出し、最終処分する。

3.3 プラズマ溶融分解技術の特徴

プラズマアーク、および溶融スラグ浴による溶融分解を特徴とする本技術の優位点は、以下の通りである。

ノントランスファープラズマトーチの採用により幅広い性状の処理対象物に対し、安定運転が可能である。

PCBの分解性能が高く、すぐれた安全性を有している。

ドラム缶ごと一括処理が可能で、汚染物ハンドリング時の汚染を最小化できる。

前処理がほとんど不要である。

スラグ、固形物は均一で安定である。

二次汚染物が発生しない、自己完結型の処理方式である。

4. PCB汚染物等処理実証試験

PCB汚染物等処理設備の実機化をにらみ、実証試験を実施した。

4.1 実証試験設備

実証試験設備の規模は、1 ton/日相当である。実証試験設備の全景を写真2に示す。

4.2 実証試験条件

実証試験は、それぞれのPCB汚染物を全国保管量按分で混合、封入した混合試験とそれぞれ単独で封入した単独試験の2ケースについて実施した。混合試験は、連続5日間同一条件で実施した。単独試験は、それぞれ1日ずつ実施した。実証試験は、午前10時から午後6時までの8時間運転とした。8時間あたりのPCB汚染物等投入量は表2、3の通りである。

試験試料は、実処理でのドラム缶を模擬した20リットル容積の

表2 混合試験を行なったPCB汚染物等の種類と投入量
Kind and weight of wastes of mixed test

	(kg)				
	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4	RUN 5
Ballasts	96	96	96	96	96
Copy papers	4.5	4.3	4.3	4.4	4.3
Cloth wastes	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Sludge	116	116	116	116	116
Concreat block	67	68	68	64	65
Plastic pelets	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Pail cans	32	32	32	32	32
Total	319	320	320	317	318

表3 単独試験を行なったPCB汚染物等の種類と投入量
Kind and weight of wastes of non-mixed test

	(kg)			
	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4
Ballasts	315			
Copy papers		140		
Sludge			208	
Cloth wastes				130
Pail cans	18	56	52	52
Total	333	196	260	182

ペール缶に詰めた。このとき、混合試験では汚泥、ウエス、感圧複写紙は設定量を計量しながらペール缶に封入した。安定器は破碎せず、1本単位でペール缶に封入した。PCB汚染物等を保管しているコンクリート容器ならびに樹脂容器の代替として、市販のコンクリートブロックならびに樹脂ペレットを封入し、実処理対象物を模擬した。また、単独試験ではそれぞれ単独に安定器、感圧複写紙、汚泥、ウエスをペール缶に詰めた。なお、この他、スラグ性状を調整するための塩基度調整剤を封入した。

PCB汚染物等は封入されたペール缶ごと1缶ずつプラズマ溶融分解炉へ投入した。午前10時に第一缶の投入を行い、以降等間隔にペール缶を投入した。4時間処理した段階でプラズマ溶融分解炉内に溜まったスラグを排出し、その後、残る4時間を同様に処理した。分解炉溶融浴の温度は1400℃以上とし、処理設備から排気が系外に漏出しないように、分解炉内圧力を負圧となるよう制御した。

実証試験に用いたPCB汚染物を写真3から6に示す。



写真2 実証試験設備全体写真
Overview of test plant

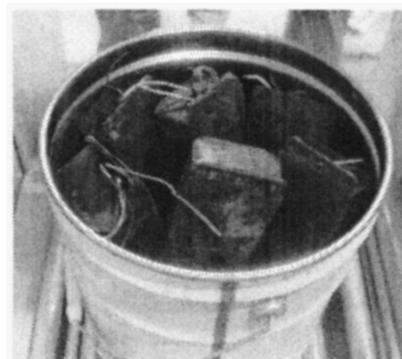


写真3 PCB入り安定器
Ballasts containing PCB

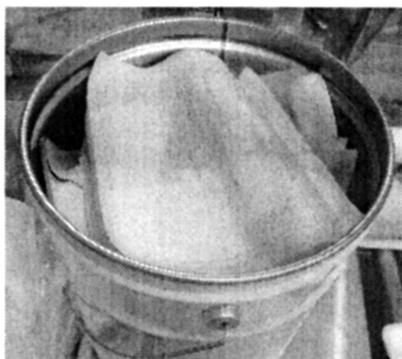


写真4 PCB入り感圧複写紙
Copy paper containing PCB



写真5 PCB汚染汚泥
Sludge containing PCB



写真6 PCB汚染ウエス
Cloth wastes containing PCB

4.3 実証試験結果

溶融浴温度、排気量と炉内圧力の経時変化の代表例として図3に混合試験のRUN4の結果を示す。8時間にわたる実証処理試験中、溶融浴温度は1400℃以上、炉内圧力は負圧が安定して保たれていることがわかる。この状態は、すべての試験において共通である。PCB収支を表4、5に、PCB分解率とともに記載する。PCB分解率は、すべてのRUNにおいて99.9999%以上を確保した。

この結果より、プラズマ溶融分解処理技術でPCB汚染物等が安全に処理できることが確認でき、搬入したPCB汚染物等をそのまま、混合などの前処理なしに処理できることが確認できた。ダイオキシン類の分析結果を表6、7に示す。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、すべて規制値を大幅に下回っている。これより、プラズマ溶融分解処理技術でPCBを完全に無害化処理できることが確認できた。

プラズマ溶融分解炉から排出されたスラグを写真7に示す。分析用試料採取のため、空冷後、破碎した状態のものであるが、溶け残りなどなく、均一な性状であることが判る。また、スラグ中の鉄分は、そのほとんどがプラズマにより酸化され、スラグと金属鉄の分離は見られない。全量、スラグとしてリサイクルが可能である。

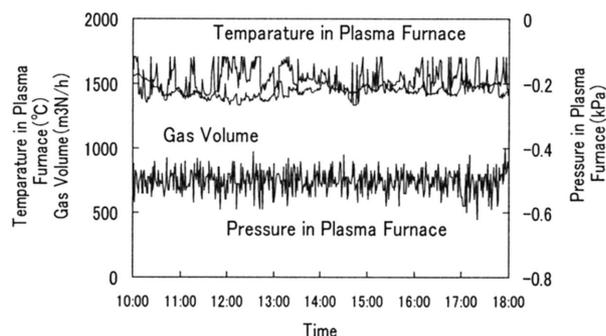


図3 実証試験中の溶融浴温度、排気量、炉内圧力の経時変化 (RUN4)
Chart of molten slag temperature, gas volume and furnace pressure (RUN4)

表4 混合試験のPCB分解率収支
Balance of PCB decomposition of mixed test

				RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4	RUN 5
Input	PCB wastes	Amount	kg/8h	319	320	320	317	318
		PCB concentration	%	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Output	Slag	Amount	kg/h	30.25	27.75	29.75	39.25	28.5
		PCB concentration	mg/kg	0.000027	0.000023	0.000025	0.00019	0.0000072
	No. 1 blast furnace dust	Amount	kg/h	9.68	8.32	9.13	7.50	7.34
		PCB concentration	mg/kg	0.00016	0.000044	0.0000043	0.00019	0.0000049
	No. 2 blast furnace dust	Amount	kg/h	11.41	8.88	9.68	8.13	7.49
		PCB concentration	mg/kg	0.000069	0.000049	0.000017	0.00020	N.D.*1
	Catalyst tower gas	Volume of dry gas	m³N/h	1 790	1 860	1 790	1 780	1 820
		PCB concentration	μg/m³N	0.0051	0.0038	0.0016	0.019	0.0016
PCB decomposition			%	99.999998	99.999998	99.999999	99.999991	99.999999

*1 N.D.: not detected

表5 単独試験のPCB分解率収支
Balance of decomposition of non-mixed test

				RUN 1 Ballasts	RUN 2 Copy papers	RUN 3 Sludge	RUN 4 Cloth wastes
Input	PCB wastes	Amount	kg/8h	333	196	260	182
		PCB concentration	%	1.5	0.65	27	21
Output	Slag	Amount	kg/h	63	5.5	5.8	3.8
		PCB concentration	mg/kg	N.D. ^{*1}	0.0000028	0.000017	0.0000092
	No. 1 blast furnace dust	Amount	kg/h	5.7	6.1	5.5	7.5
		PCB concentration	mg/kg	0.00089	0.0071	0.00074	0.0025
	No. 2 blast furnace dust	Amount	kg/h	5.2	6.2	5.3	5.8
		PCB concentration	mg/kg	0.00018	0.00095	0.0013	0.0082
	Catalyst tower gas	Volume of dry gas	m ³ /h	1 450	1 640	1 620	1 700
		PCB concentration	μg/m ³ N	0.019	0.023	0.012	0.024
PCB decomposition			%	99.9999944	99.999945	99.9999965	99.9999978

*1 N.D.: not detected

表6 混合試験のダイオキシン類
DXNs concentration of mixed test

		RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4	RUN 5
Slag	ng-TEQ/g	0	0	0	0.00000071	0
No. 1 blast furnace dust	ng-TEQ/g	0.0000031	0.00000018	0	0.0000011	0
No. 2 blast furnace dust	ng-TEQ/g	0.00000020	0.00000016	0	0.00000079	0
Catalyst tower gas	ng-TEQ/m ³ N	0.00029	0.0000061	0.0000056	0.0046	0.0000043

表7 単独試験のダイオキシン類
DXNs concentration of non-mixed test

		RUN 1 Ballasts	RUN 2 Copy papers	RUN 3 Sludge	RUN 4 Cloth wastes
Slag	ng-TEQ/g	0	0	0	0
No. 1 blast furnace dust	ng-TEQ/g	0.0036	0.0038	0.10	0.068
No. 2 blast furnace dust	ng-TEQ/g	0.0019	0.00000072	0.016	0.093
Catalyst tower gas	ng-TEQ/m ³ N	0.041	0.044	0.00023	0.068



写真7 空冷後破砕したスラグ
Crashed slag after cooled by air

4. 結 言

本実証試験にて、PCB汚染物等を全国保管量按分で混合封入した混合試験とそれぞれ単独で封入した単独試験を実施した。これにより、安定した操業が出来ること、ドラム缶ごとプラズマ溶融分解処理が可能なること、スラグが均質でリサイクル可能な性状であることが確認できた。また、プラズマ溶融分解炉から排出される、スラグ、バグフィルタ固形物と排気中のダイオキシン類およびPCBが規制値を大幅に下回ることを確認した。これらより、プラズマ溶融分解技術は、処理対象物の適用範囲が非常に広く、かつ、作業員のPCB汚染を最小限に抑えることが出来る安全な技術であることが判った。

本検討は、PCB汚染物等の処理設備を想定した実証試験であり、実機化に向けた貴重なデータが入手できたものとする。この技術を用いてPCB処理を促進させることで、環境保全に貢献していきたい。