

(解説)

## 廃棄物・難分解性物質の処理技術

### Municipal Solid Waste and Improved Organic Pollutant Treatment Systems



高橋正光\*

Dr. Masamitsu Takahashi

Dioxins and polychlorinated biphenyls (PCBs), typical organic pollutants, concentrate and accumulate in human bodies, and affect public health. The Japanese government has enforced laws concerning special measures against these substances. Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd. has developed the fluidized bed gasification/swirl-flow melting method and the plasma ash melting method to decompose dioxins in municipal solid waste. The fluidized bed gasification/swirl-flow melting system can gasify solid waste and melt fly ash in a single, seamless process, thereby reducing dioxin content to less than  $1 \mu\text{g-TEQ/t-refuse}$ . The plasma ash melting system melts ash discharged from incinerators. PCBs are dechlorinated using a sodium dispersion (SP) method. PCB-contaminated sludge and sediment can be treated by reductive heating and the SP (RH-SP) method. PCB-contaminated waste can be decomposed using the plasma melting system. All these systems have shown excellent results in pilot-scale experiments and have been authorized by the government as recognized as efficient technologies for managing these kinds of pollutants.

まえばき = 環境への関心は、1990年代に飛躍的に高まった。その最たるものがダイオキシン類への関心である。日本では、1983年に都市ごみ焼却炉の飛灰中にダイオキシン類が検出されたと報道されてから問題になり、1990年には当時の厚生省が都市ごみ焼却炉に対する「ダイオキシン類発生防止等ガイドライン」を作成し、通知した。このガイドラインは1997年に改訂され、新ガイドラインとしてごみ処理における具体的な削減対策の指導が始まった。さらに、2000年には「ダイオキシン類対策特別措置法」が施行され、ごみ焼却炉のみならず他の施設も含めた排出の規制強化などが実施された。ごみ処理分野では、対策として高温処理(溶融)技術が導入され、1990年代に大きなプロセス変革が訪れた。

ダイオキシン類と同じく、毒性が強く難分解性で生物体内での蓄積性がある残留性有機汚染物質として、2001年のストックホルム条約で製造・使用や輸出入の禁止もしくは制限が課されたものにPCB(ポリ塩化ビフェニル)がある。わが国もこの条約を締結しており、2001年にPCB特別措置法を施行して、15年以内に国内からPCBを廃絶することを決定した。

このような残留性有機汚染物の処理に対する要請に応え、1990年代に㈱神鋼環境ソリューションが開発・商品化した廃棄物・難分解性物質の処理技術について紹介する。

#### 1. 灰の溶融技術

都市ごみ焼却施設から排出されるダイオキシン類の約90%が、飛灰に含まれている。そこで、飛灰を溶融し無害化する技術として、当社は流動床式ガス化溶融技術と

プラズマ式灰溶融技術を開発した。

##### 1.1 流動床式ガス化溶融技術

㈱神鋼環境ソリューションの流動床式ガス化溶融技術<sup>1)</sup>は、多くの納入実績を有する都市ごみ流動床式焼却技術と下水汚泥焼却灰の旋回流溶融技術を組み合わせ、ごみの熱分解ガス化から飛灰の溶融までを一貫して行う技術として開発された。2000年10月以来、現在までに7件の施設を竣工、3件を建設中である。納入実績を表1に示す。

図1に、㈱神鋼環境ソリューションの流動床式ガス化溶融システムのイメージ図を示す。このシステムはどちらも円筒型型の流動床式ガス化炉と旋回流溶融炉を直結して構成されている。

廃棄物は破碎された後、流動床式ガス化炉に定量的に連続投入される。

流動床式ガス化炉では炉底から供給した空気ですの流動床が形成されており、この空気ですの廃棄物が部分燃焼しながら熱分解ガス化され、可燃物と灰分は可燃性の熱分解ガス、未燃炭素、および飛灰として後段の旋回流溶融炉に運ばれる。廃棄物中の金属片などの不燃物は、炉底の分散板中央部に設けられた抜出管から砂と一緒に連続的に炉外に排出され、篩で選別されて系外に排出される。砂は再び炉内に戻される。

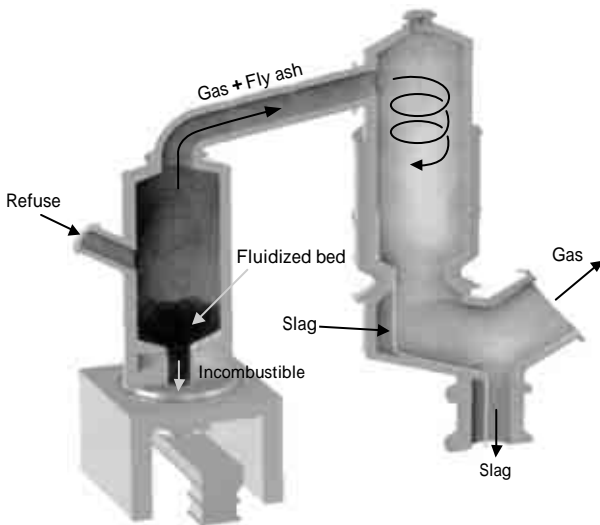
廃棄物の熱分解ガス化で生成した未燃炭素と飛灰は、熱分解ガスとともに旋回流溶融炉に接続方向に吹込まれる。ここで初めて、完全燃焼に必要な空気量が供給されて燃焼する。この燃焼は、おもにガス燃焼のため燃焼効率がよく、少ない空気ですの高温を得ることができる。旋回流に乗って運ばれた飛灰は、この熱ですの溶融してスラグとなり、溶融炉の内壁を流下して、溶融炉底部の出滓口か

\* ㈱神鋼環境ソリューション 技術開発本部 プロセス技術開発部

表 1 ガス化溶融施設納入実績

Table 1 Commercial plants of gasification and melting system

Delivery places	Location	Capacity of facility	Power generation	Completion
Chubu-kamikita area-wide service association	Kamikita county, Aomori prefecture	60 t/d (30 t/d × 2 units)	-	October, 2000
Aki regional sanitary facility management association	Aki county, Hiroshima prefecture	130 t/d (65 t/d × 2 units)	1,300 kW	November, 2002
Kazuno area-wide administrative association	Kazuno city, Akita prefecture	60 t/d (30 t/d × 2 units)	-	November, 2002
Ishinomaki area-wide administrative association	Ishinomaki city, Miyagi prefecture	230 t/d (115 t/d × 2 units)	2,600 kW	March, 2003
Nakatsugawa/Keihoku environmental facilities association	Nakatsugawa city, Gifu prefecture	98 t/d (49 t/d × 2 units)	900 kW	March, 2004
Oono/Katsuyama area-wide administrative association	Oono city, Fukui prefecture	84 t/d (42 t/d × 2 units)	-	March, 2006
Nemuro-Hokubu waste management area-wide association	Bekikai cho, Hokkaido	62 t/d (31 t/d × 2 units)	-	February, 2007
Sashima environmental management association	Bando city, Ibaraki prefecture	206 t/d (103 t/d × 2 units)	3,000 kW	Under construction
Sagamihara city	Sagamihara city, Kanagawa prefecture	525 t/d (175 t/d × 3 units)	10,000 kW	Under construction
Iwade city	Iwade city, Wakayama prefecture	60 t/d (30 t/d × 2 units)	-	Under construction



Fluidized bed gasification furnace Swirl-flow melting furnace

図 1 流動床式ガス化溶融のイメージ図

Fig. 1 Schematic drawing of fluidized bed gasification and swirl-flow melting system

ら炉外に排出される。出滓口下部の出滓シュートは水封されており、滴下した溶融スラグは水冷されて固化、回収される。

（株）神鋼環境ソリューションが納入した石巻プラントのダイオキシン類総排出量<sup>2)</sup>を表 2 に示す。本施設の排ガス中ダイオキシン類濃度の保証値は 0.01ng-TEQ/m<sup>3</sup>N であるが、安定した運転により排ガスの保証値を満足することはもちろん、総排出量も 0.53 ~ 1.3 μg-TEQ/ごみ t と、非常に低い値を示していることがわかる。

表 2 石巻プラントにおけるダイオキシン類総排出量

Table 2 Total discharge of dioxins on Ishinomaki Plant

Run No.	1		2	
	Concentration (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N) (ng-TEQ/g)	Total discharge (μg-TEQ/t-refuse)	Concentration (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N) (ng-TEQ/g)	Total discharge (μg-TEQ/t-refuse)
Flue gas	Unit 1:0.0069	0.045	Unit 1:0.0033	0.034
	Unit 2:0.0074		Unit 2:0.0078	
Slag	0.000099	0.0032	0.000050	0.0016
Incombustibles	0.0016	0.031	0.00098	0.019
Fly ash	0.093	1.2	0.026	0.37
Dehydrochloric residue	0.0056	0.042	0.011	0.11
Total		1.3		0.53

## 1.2 プラズマ式灰溶融技術

神戸製鋼グループでは、1990 年に製鋼分野のタンディッシュ加熱でプラズマの利用が始まり、その後、廃棄物の焼却灰や飛灰の溶融へ適用されるようになった。プラズマ灰溶融炉の納入実績を表 3 に示す。

表中の下関市のプラントは、ストーカ式ごみ焼却炉の焼却灰と飛灰を混合溶融するもので、他の 3 施設はすべて流動床焼却炉の飛灰を溶融する炉である。いずれの施設も、プラズマトーチは金属製でプラズマガスとして空気をを用いる。

プラズマ溶融炉の模式図を図 2 に示す。焼却施設から排出された灰は、いったん貯留された後、プラズマ灰溶融炉に連続的に定量供給される。炉内で、灰は高温のプ

表3 プラズマ灰溶融炉の納入実績  
Table 3 Commercial plants of plasma ash melting furnace

Delivery places	Location	Capacity of facility	Kinds of refuse to be treated	Completion
Tokushima prefecture Mima environmental management association	Mima county, Tokushima prefecture	5 t/16 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>Single melting of fly ash from municipal refuse fluidized bed incineration furnace</li> <li>Attached to the fluidized bed incineration furnace with a capacity of 72 t/16 h</li> </ul>	March, 1997
Shimonoseki city	Shimonoseki city, Yamaguchi prefecture	41 t/24 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melting of incineration residue from municipal refuse stoker type incineration furnace</li> <li>Attached to the new furnace with a capacity of 180 t/16 h. The ash from new furnace is mixed with the incineration residue from the existing furnace with a capacity of 220 t/24 h for treatment.</li> </ul>	November, 2002
Imizu regional area-wide administrative association	Imizu county, Toyama prefecture	12 t/24 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>Single melting of fly ash from municipal refuse fluidized bed incineration furnace</li> <li>Attached to the fluidized bed incineration furnace with a capacity of 138 t/24 h</li> </ul>	March, 2003
Kakogawa city	Kakogawa city, Hyogo prefecture	30 t/24 h	<ul style="list-style-type: none"> <li>Single melting of fly ash from municipal refuse fluidized bed incineration furnace</li> <li>Attached to the fluidized bed incineration furnace with a capacity of 432 t/24 h</li> </ul>	March, 2003

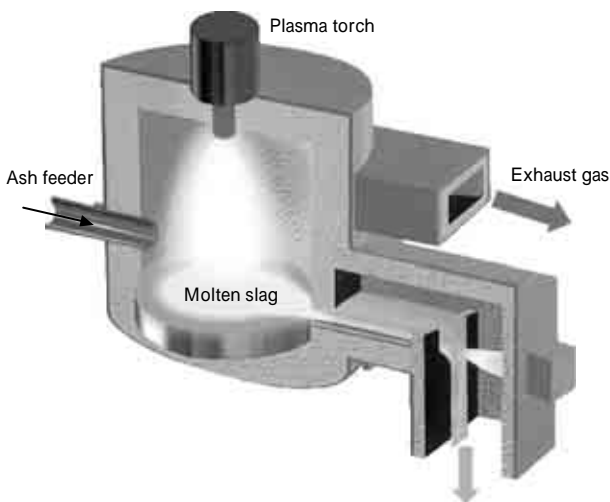


図2 プラズマ灰溶融炉のイメージ図  
Fig. 2 Image drawing of plasma ash melting furnace

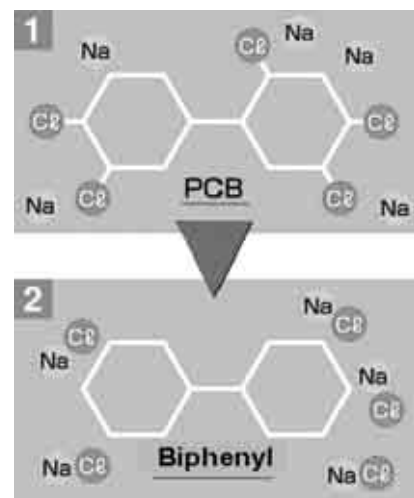


図3 金属ナトリウム分散体によるPCBの無害化の概念図  
Fig. 3 Dechlorination of PCBs by sodium dispersion

ラズマとスラグ浴により溶融して、十分な滞留時間をかけて性状の安定したスラグ浴を形成し、このスラグが連続的に排出される。排出されたスラグの冷却は水冷、空冷などの方式が選択可能であるが、省スペースと取扱いの容易さから、ほとんど水冷方式である。プラズマ溶融式は燃焼式と比べ、熱源から二酸化炭素や硫酸化物を生成せず、排ガス量を低減できることが大きな特長である。

## 2. PCB 処理技術

### 2.1 脱塩素化分解技術 (SP 法)

脱塩素化分解技術 (SP 法) とは、PCB などと金属ナトリウムを反応させ、無害であるビフェニルと塩化ナトリウムに変える分解技術<sup>3)</sup>である。そのイメージを図3に、フローを図4に示す。

電気機器から採取したPCBや、汚染物を洗浄した結果としてPCBを含有するオイルに金属ナトリウム分散体を投入する。金属ナトリウムは単独では危険物第3類に相当するが、この分散体は鉱物油の中に金属ナトリウムの微粒子が分散されており、危険物第4類第3石油類と

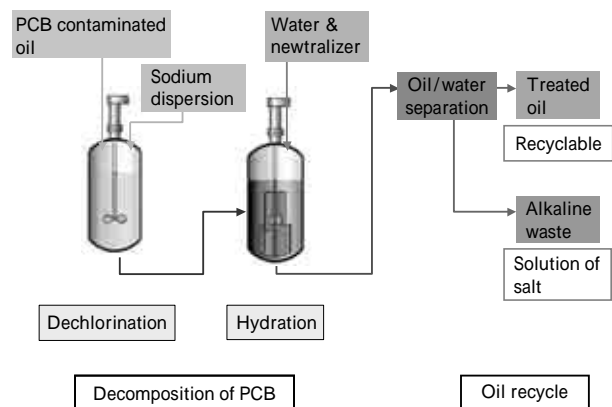


図4 SP プロセスのフロー  
Fig. 4 Flow of SP process

して取扱うことができる。常温で液体であり、空気や水との反応が穏やかであることが特徴である。

反応終了後、水を添加して生成した塩を溶解させ、油と分離する。こうして無害化した油は再生油として再利用が可能である。

このプロセスは、汚染物からのPCB分離技術である容

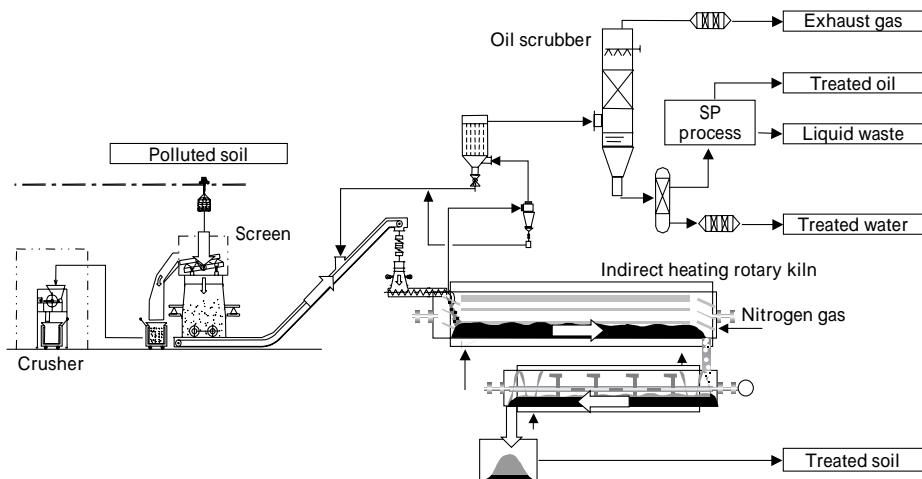


図5 RH-SP プロセスのフロー  
Fig. 5 Flow of RH-SP process

器溶媒抽出分解 (SED 法) や還元加熱と組合わせて、PCB 汚染物一貫処理プロセスや POPs 汚染土壌処理プロセスを構築している。SED 法は日本環境安全㈱豊田事業所および北海道事業所で採用され、SP 法は同北海道事業所で採用された。

次に還元加熱と、この SP 法を組合わせた土壌処理技術である RH-SP 法について説明する。

## 2.2 PCB・ダイオキシン類汚染土壌処理技術

本技術<sup>4)</sup>のプロセスを図5に示す。PCBなどで汚染された土壌や底質を、窒素雰囲気下で約600℃の低温で間接加熱し、PCB、ダイオキシン類を分離する。分離された汚染物質は排ガス処理装置のオイルスクラバで洗浄・回収され、洗浄オイルを前述のSP法により処理して無害化する。

排ガス処理に二次燃焼装置や減温設備を設けていないため、系外への排出ガス量が少なく、設備もコンパクトにすることができる。

RH-SP法による処理結果の代表例を表4に示す。PCBやダイオキシン類に汚染された土壌、底質、コンクリートガラが無害化できている。

本システムは、ダイオキシン類汚染土壌浄化技術、PCB含有汚泥からのPCBの除去技術、港湾底質ダイオキシン類分解無害化処理技術として技術評価を受けている。

## 2.3 PCB汚染物などのプラズマ溶融分解技術

PCB汚染物の中には、分解してPCBを容易に取出すことができない感圧複写紙や安定器のようなものや、種々の廃棄物が混在して容器に封入されているものがある。これらの汚染物の処理技術として開発したのがプラズマ溶融分解技術<sup>5)</sup>である。

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汚染物などを密封したドラム缶を1缶ずつそのまま投入する。そのため、PCB汚染物の解体や洗浄、破砕などの前処理を行う必要がない。プラズマ溶融分解炉へドラム缶ごと投入された汚染物は、炉内監視カメラでその姿を確認しながらプラズマトーチを操作して、プラズマアークの照射と1,400℃以上の高温の溶融スラグ浴の相乗効果により効率よく溶融分解される。

表4 RH-SP 処理結果の代表例  
Table 4 Experimental results of RH-SP process

Material	Soil	Soil	Soil	Sediments	Sediments	Concretes
Main contaminants	PCB	PCB	Dioxins	PCB	Dioxins	PCB
Initial PCB (mg/kg)	3,400	3,400	-	26	-	14
Initial DXNs (pg-TEQ/g)	5,700	5,700	3,100	130	7,000	460
Treatment time (h)	6	1	1	3	3	3
Final PCB (mg/kg)	0.019	10	-	0.0038	-	0.085
PCB elution (mg/ℓ)	ND	ND	-	ND	-	ND
Final DXNs (pg-TEQ/g)	0.0075	70	0.02	0.0026	58	0.029



写真1 実証試験設備  
Photo 1 Overview of test plant

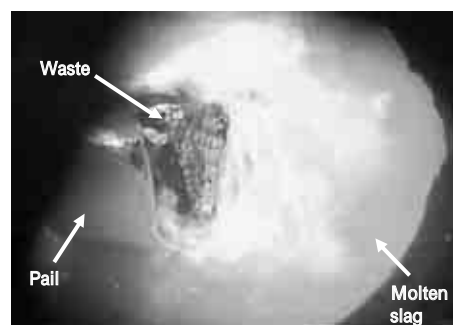


写真2 溶融分解状況  
Photo 2 Melting in plasma furnace

写真1に、処理能力としてPCB汚染物1t/日相当の実証試験設備の外観を示す。実証試験ではドラム缶の替りにペール缶を用いた。写真2には、実証試験の際の炉

内溶融状況を示す。

ドラム缶1缶が完全に溶融分解したことを確認した後、次のドラム缶を投入するので、炉内にPCB汚染物などが蓄積されることがなく、トラブル時には投入を停止するなどの対応が容易であると同時に、確実な溶融分解処理が可能となる。

プラズマ溶融分解炉で、PCBや可燃物は、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oまで完全に分解される。このため、排気は通常のごみ処理と同様の排気処理が可能であるが、最終段にはセーフティネットとしての活性炭充填槽が設置される。

汚染物中の不燃分は溶融スラグとなり、プラズマ溶融分解炉から払出され、PCBが含まれていないことを確認（卒業判定）後、施設外に排出し、リサイクルもしくは最終処分される。排気処理のバグフィルタで捕集した固形物も、卒業判定の合格確認後、重金属溶出抑制の薬剤処理を行い、施設外に搬出し、最終処分される。

PCB汚染物である安定器、感圧複写紙、汚泥、ウエスをそれぞれ単独処理したときの処理結果<sup>6)</sup>を表5に示す。処理後の排出物は、いずれの汚染物においてもPCB、ダイオキシン類ともに基準値以下の非常に低い値になっており、分解率もすべての処理で99.9999%以上を達成した。

むすび＝ダイオキシン類やPCBといった難分解性有機汚染物質に関する当社の無害化技術として、廃棄物処理分野における流動床式ガス化溶融、プラズマ灰溶融、そしてPCB汚染物などの処理分野におけるRH-SP、プラズマ溶融分解について解説した。

かつてダイオキシン類発生施設の代表のように言われていたごみ処理施設も、いまやごみ中のダイオキシン類を低減する施設になった。また、ただ厳重保管するしか

表5 PCB汚染物の分解試験結果  
Table 5 Results of PCB decomposition test

			Ballasts	Copy papers	Sludge	Cloth wastes	Regulations
IN	Waste	PCB (mg/kg)	15,000	6,500	270,000	210,000	
	Slag	PCB (mg/kg)	ND	0.0000028	0.000017	0.0000092	0.01
		DXNs (mg/kg)	0	0	0	0	3
	No.1 BF dust	PCB (mg/kg)	0.00089	0.0071	0.00074	0.0025	0.01
		DXNs (mg/kg)	0.0036	0.0038	0.10	0.068	3
OUT	No.2 BF dust	PCB (mg/kg)	0.00018	0.00095	0.0013	0.0082	0.01
		DXNs (mg/kg)	0.0019	0.00000072	0.016	0.093	3
	Catalyst tower gas	PCB (μg/m <sup>3</sup> N)	0.019	0.023	0.012	0.024	150
		DXNs (ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)	0.041	0.044	0.00023	0.068	0.1
	PCB decomposition (%)		99.9999944	99.9999945	99.9999965	99.9999978	

なかったPCBとその汚染物を無害化できるようになった。これらの技術を通じて、廃棄物やPCB汚染物の適切な処理を進め、難分解性有機化学物質の拡散と蓄積の防止に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 高橋正光：神鋼環境ソリューション技報，Vol.1, No.1(2004) p.22 .
- 2) 佐藤義一ほか：神鋼環境ソリューション技報，Vol.1, No.2 (2004) p.27 .
- 3) 牛越憲治：神鋼環境ソリューション技報，Vol.2, No.2 (2005) p.8 .
- 4) 川井隆夫：神鋼環境ソリューション技報，Vol.1, No.1 (2004) p.28 .
- 5) 田頭成能ほか：神鋼環境ソリューション技報，Vol.1, No.2 (2004) p.21 .
- 6) 田頭成能ほか：「環境資源工学 53」，Vol53, No.2 (2006) p.78