

都市ごみ直接溶融プロセスにおける高機能化技術開発

Technical Development for High Performance in Direct Melting Process for Municipal Solid Waste

芝池 秀治^{*(1)} 高宮 健^{*(2)} 星沢 康介^{*(3)} 加藤 也寸彦^{*(2)}
 Hideharu SHIBAIKE Ken TAKAMIYA Yasusuke HOSHIZAWA Yasuhiko KATO
 田中 宏和^{*(2)} 小谷 和彦^{*(4)} 西 猛^{*(2)} 高田 純一^{*(5)}
 Hirokazu TANAKA Kazuhiko KOTANI Takeshi NISHI Junichi TAKADA

抄 録

都市ごみのガス化溶融技術の一つであるシャフト炉式直接溶融炉プロセスは、最終処分場の延命やダイオキシン等の有害物質を減らすのに有効である。しかしながら、最近、地球温暖化防止、処理対象物適用拡大、溶融炉大型化などの多様かつ高度な顧客ニーズに対応するために、直接溶融プロセスの高機能化が必要となった。そこで、直接溶融試験プラントと実用施設を用いて、可燃物吹込み技術や各種溶融炉改善の技術開発に取り組んだ。その結果として、可燃物羽口吹込みは溶融炉でコークス使用量低減に効果的である。また、溶融炉の操業条件の適正化により掘り起こしごみなどの高灰分ごみが処理でき、溶融炉プロフィールの適正なスケールアップにより200t/d実機溶融炉は安定操業している。

Abstract

The shaft-furnace direct melting process, which is one of the gasification-type melting systems for municipal solid waste, is effective in prolonging the life of final disposal sites and reducing harmful substances such as dioxins. Recently, however, the development of high performance in the direct melting process has become necessary to meet users' diverse and complex needs, such as prevention of global warming, treatment of a wider variety of waste, and the melting furnaces of larger sizes. Accordingly, the authors tackled technical development for combustible injection and some improvement of the melting furnace, using a direct melting experimental plant and some commercial facilities in operation. As a result, the combustible injection through tuyeres is effective in reducing the coke consumption in the direct melting furnace. The results also indicate that high-ash waste such as excavated waste can be treated by adjusting the operating conditions of melting furnace and a 200t/d commercial melting furnace has operated stably by optimizing the profile on a large scale.

1. 緒 言

日本の一般廃棄物発生量は年間約5000万tであり、その8割近くが焼却方式で処理され¹⁾、焼却残渣の多くは最終処分場に埋め立て処分されているが、最終処分場の枯渇やダイオキシン等の環境問題を背景として、ガス化溶融方式が1990年代より注目を浴びている。この方式は、従来の焼却方式とは異なり、ごみを直接燃やすのではなく、熱分解・ガス化してから燃焼させるため燃焼制御性に優れていることと、焼却灰の代わりに再利用可能なスラグとメタルを産出するため最終処分量を大幅に低減できる利点がある。

シャフト炉式の高温ガス化溶融方式である新日本製鐵の都市ごみ直接溶融炉(直接溶融・資源化システム)は、まさにこのコンセプトを先取りしたものであり、特に炉下部に高温のコークスベッド層を形成することが特徴である。また、このプロセスは製鐵分野で永年

培われた高炉技術をベースに20年を越える実機稼動実績を有し、溶融物(スラグとメタル)の有効利用についても流通システムが確立されている。

2000年度は、初めてガス化溶融方式の発注件数が²⁾、焼却方式の主流であるストーカ炉を上回る年となった²⁾。このように、ガス化溶融炉に対する期待が高まっているが、一方、顧客ニーズは多様化し高度化しつつあり、これに対応するために新日本製鐵では、1993年から直接溶融試験プラントを主に用いて各種プロセス技術開発に取り組んできた。すなわち、いわゆる都市ごみだけでなく、焼却不適な高灰分や高水分のごみに対して直接溶融炉で適正に処理する技術や、ごみ処理の広域化や大都市の大型案件に対応するための溶融炉のスケールアップ技術である。さらに、最近では地球温暖化防止やランニングコスト削減などのニーズも強く、コークス使用量低減のための可燃物吹込み技術の開発などに取り組み、直接溶融プロセス

^{*(1)} 環境プラントプロジェクト部 部長
 福岡県北九州市戸畑区中原46-59 〒804-8505 TEL:(093)872-7135

^{*(2)} 環境プラントプロジェクト部 技術グループ マネジャー

^{*(3)} 環境プラントプロジェクト部 技術グループ グループリーダー

^{*(4)} 日鉄環境プラントサービス株式会社 マネジャー

^{*(5)} 環境プラントプロジェクト部 技術グループ

の機能向上を図っている。

本論文では、特に可燃物羽口吹込み技術及び処理対象物適用拡大や大型化への取り組みについて述べる。

2. 可燃物羽口吹込み技術の開発

2.1 開発の狙い

都市ごみ直接溶融炉は、炉下部においてコークスを燃焼させ高温のコークスベッド層を形成し安定溶融を確保するとともに、ごみの熱分解・ガス化を促進している。このようなコークスの利点を維持しつつコークスの使用量を低減する研究をこれまで多段送風技術を中心に実施してきた^{3,4)}。これは羽口を多段化することにより炉内ごみ残渣中炭素の燃焼を促進して、ごみの乾燥や熱分解・ガス化のための熱源としてのコークス機能を代替させるものである。この多段送風技術によってコークス使用量(ごみトンあたりのコークス重量割合)は5～6%に低減できた。

さらに多段送風条件下でコークス使用量を低減すると溶融炉炉底から排出される溶融物の温度が低下し、スラグ中Pb濃度が上昇する傾向が見られた(図4,5参照)。これらはコークスの持つ溶融熱源と還元機能を果たすための炭素源が炉下部に十分確保できていないためと考えられる。そこで、コークス使用量をさらに低減するためには炉下部における新たな炭素源(可燃物)を確保することが重要と考えられ、可燃物を下段羽口から吹き込む技術の開発に取り組んだ。吹込み対象可燃物は、コークスと同等以上の燃焼性を有することがポイントであり、細粒の廃プラスチックや溶融炉本体より発生する可燃性ガス等が考えられる。

羽口からの可燃物吹込みは高炉では微粉炭等で既に実施されているが、直接溶融炉ではレースウエイ空間がなく、また常温送風のため燃焼状況が大きく異なると予想される。そこで、まずコークスベッド層における可燃物の燃焼挙動を調査した。そして、都市ごみガス化溶融処理条件のもとでコークス使用量低減等の効果を検討した。

2.2 コークスベッド層における吹込み可燃物の燃焼挙動

実験では新日本製鉄技術開発本部(製鉄研究開発部)の高温燃焼実験装置を使用し、直接溶融炉下部のコークスベッド層を模擬して行うこととした⁵⁾。この実験装置では、コークスを予め充填し、窒素プラズマによる加熱送風で昇温させた後に、常温の酸素富化空気を下段羽口から送風して実験を行う。コークスベッド層の高さは時々刻々低下するが、この変化を機械式レベル計で計測する。送風条件は直接溶融炉近似の条件で、表1に示す各種可燃物を羽口より吹込み、その反応状況を調査した。尚、プラスチックは工業用ポリエチレンであり、可燃ガスは溶融炉本体から発生したものである。

コークスベッド層高さ位置の時間推移、すなわち降下速度変化を図1に示す。この図ではコークス単味の場合と、プラスチックと可

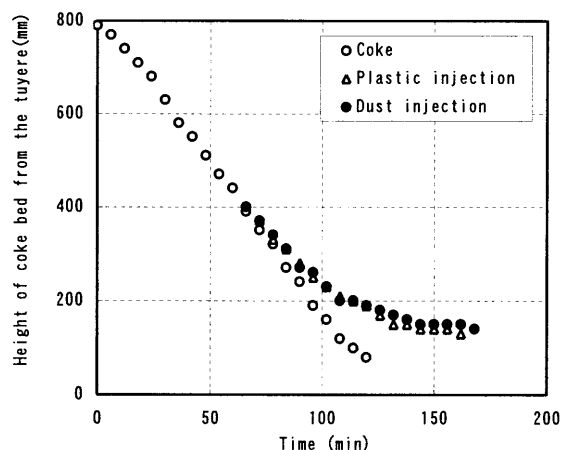


図1 可燃物吹込み時のコークスベッド層高さ推移
Transition of height of coke bed at combustible injection

燃ガストを吹き込んだ場合を比較して示す。コークス単味の場合は、羽口前でのコークス燃焼($C+O_2 \rightarrow CO_2$)とソリューションロス反応($C+CO_2 \rightarrow 2CO$)によるコークスの消費で、コークスベッド層高さは時間経過とともにほぼ直線的に低下する。一方、可燃物吹込み時には、コークス降下速度はコークス単味と比較して低下していることが認められる。このことから、羽口から吹き込まれる可燃物はコークスに対して優先的に燃焼し、コークス使用量低減の可能性が確認された。

2.3 都市ごみ処理条件下での可燃物羽口吹込み技術の効果

2.2節の結果に基づき、図2に示す都市ごみ直接溶融試験プラントを用いて、細粒プラスチックと可燃ガストの羽口吹込み試験を行った。本試験プラントは、直接溶融炉、燃焼室、ガス処理設備及び溶融資源化設備から構成され、ごみ処理能力は20t/d規模である。

図3に可燃物吹込みシステムを示す。可燃物の羽口への供給装置は、テーブルフィーダー切り出しによる気流搬送方式であり、搬送流体は空気で各羽口に同時に切り出しができる。可燃物は下段羽口部で送風用空気や酸素と合流後、炉内へ吹き込まれる。

試験に使用した細粒プラスチックは表1と同様のもので、供給装置へ適宜補給して試験した。一方、可燃ガストについては、溶融炉と燃焼室の間に設置した除じん器(サイクロン)により熱分解ガス中の可燃ガストを捕集し、これを冷却・篩い処理後、ホッパーである供給装置に供給した。本試験においてサイクロンで捕集された可燃ガストの性状は、低位発熱量11～13MJ/kg、平均粒径50～80 μ m程度である。

可燃物羽口吹込み試験結果例を表2に示す。プラスチックの吹込み量(ごみトンあたりの可燃物重量割合)は3%とし、可燃ガストの場合はサイクロンでの捕集量分(約5%程度)を羽口より吹き込み、搬送性には特に問題はなかった。いずれもコークス使用量を3%レベルとしたが、ごみ処理量は20t/dを維持しており、溶融物の排出状況も良好であった。特に可燃ガスト吹込みでは溶融物比は増加しており、可燃ガスト中の可燃分は羽口先で燃焼し、灰分は溶融していることがわかる。

コークス使用量と溶融物温度の関係を図4に示す。多段送風条件下で羽口吹込みを行わない場合、コークス使用量の低減により溶融物温度が低下する傾向が見られるが、良質なスラグを得つつ安定溶融操作をするには1450以上が望ましい。可燃物羽口吹込みによ

表1 可燃物の性状
Properties of combustibles

		Plastic	Dust
Chemical composition (%)	C	85.6	34.5
	H	14.3	1.0
	O	< 0.1	6.3
Ash (%)		-	55.9
Lower calorific value (MJ/kg)		44	12
Mean size (mm)		0.7	0.06

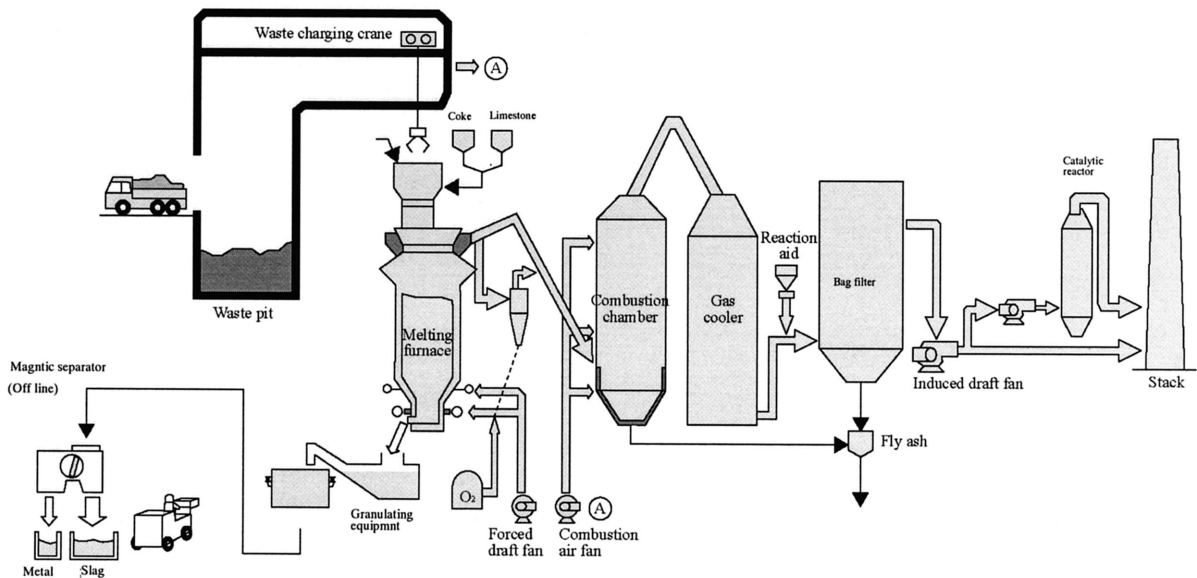


図2 直接溶融試験プラントフロー
Flow diagram of direct melting experimental plant

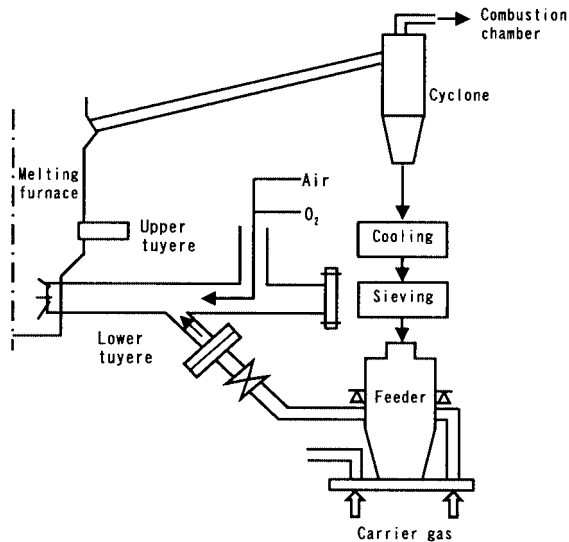


図3 可燃ダスト吹込みシステムフロー
Flow diagram of combustible dust injection system

表2 可燃物羽口吹込み試験結果
Operating results of combustible injection

	Conventional	Plastic injection	Dust injection
Coke consumption ratio (%)	5.0	3.2	3.0
Waste treatment rate (t/d)	20.0	21.8	21.9
Molten matter ratio (kg/t-waste)	127	125	155
Molten matter temperature (°C)	1596	1491	1500
Lower calorific value of MSW* (MJ/kg)	9.2	8.3	7.0

* MSW : Municipal solid waste

り、コークス使用量3%においても、溶融物温度は1450以上を維持することができた。これは羽口吹込みによる炉底部でのコークス消費抑制・代替効果と考えられる。

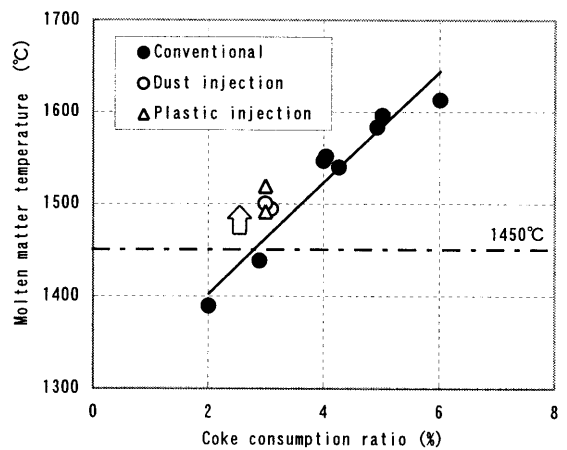


図4 コークス使用量と溶融物温度の関係
Effect of coke consumption ratio on molten matter temperature

また、図5に示すように、羽口吹込みを行わない場合、コークス使用量を低減するとスラグ中Pb濃度が上昇する傾向が見られる。これはコークス低減に伴い溶融炉下部の温度が低下し還元雰囲気弱くなり、Pbの揮発が抑制されスラグへの移行が促進されたためである。一方、可燃ダストとプラスチック羽口吹込み時は低コークス時でもスラグ中Pb濃度は低位に維持されている。このことから可燃物羽口吹込みにはコークスの持つ還元能力の代替効果があると推察される。以上より、プラスチックと可燃ダストの下端羽口吹込みによりコークス代替が可能であり、コークス使用量低減と高温還元雰囲気確保が図れることが確認された。

さらに、溶融炉本体から発生する可燃性ダストについては、これを羽口から吹き込むことで可燃ダスト中の灰分を溶融・スラグ化でき、バグフィルタで捕集される溶融飛灰の発生量も半分程度に低減できる。また、可燃ダスト吹込み時は、燃焼室での固体燃焼負荷が低減される。図6に、可燃ダストのサイクロン捕集の有無による燃焼室出口と触媒反応塔出口の2箇所での、燃焼排ガスダイオキシン

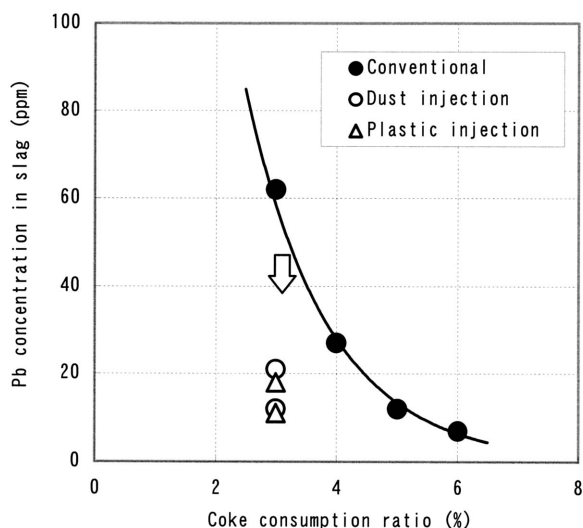


図5 コークス使用量とスラグ中Pb濃度の関係
Effect of coke consumption ratio on Pb concentration in slag

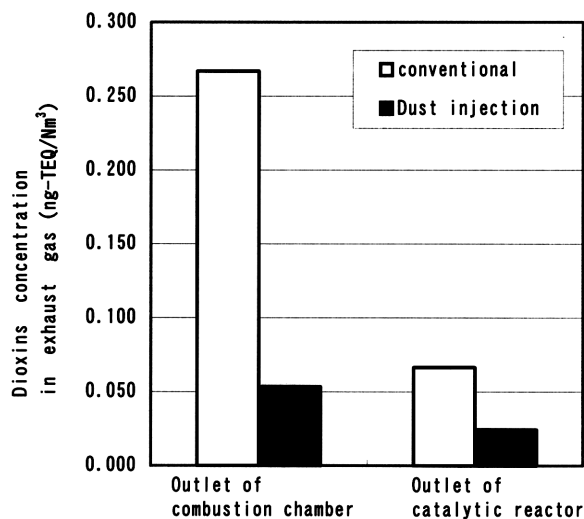


図6 排ガスダイオキシン類濃度
Dioxins concentration in exhaust gas

類濃度の同時測定結果(各 n=3)を示す。可燃ダスト吹込みをしない時の平均値は、燃焼室出口濃度が0.27ng-TEQ/Nm³となり、触媒反応塔出口で0.07ng-TEQ/Nm³となった。一方、可燃ダスト吹込み時の平均値は、燃焼室出口濃度において0.05ng-TEQ/Nm³まで低下し、触媒反応塔出口では0.02ng-TEQ/Nm³まで低下した。このように可燃ダスト吹込みにより燃焼室での燃焼性が向上し、ダイオキシン類の発生抑制が図れ触媒反応塔出口濃度はさらなる低減が可能となった。

以上の成果は、20t/d試験プラントで得られたものであるが、可燃ダスト羽口吹込みについては、大阪府茨木市環境衛生センターの1炉150t/d規模の実用施設に同様の吹込み試験設備を設置し、同市と共同研究を実施した⁶⁾。その結果、コークス使用量3%レベルで安定操業できるなど20t/d試験プラントと同様の効果が確認された。この可燃ダスト羽口吹込み技術は2002年以降多くの実用施設で採用されている。

3. 処理対象物適用拡大の取り組み

3.1 処理対象物の適用拡大技術

直接溶融プロセスでは、乾燥、熱分解・ガス化から溶融までの機能を一つのシャフト炉の中に備えている。しかもこれらの機能が幅広い処理対象物性状に対してフレキシブルに作用し、適正な処理が可能となる。

都市ごみ以外で処理ニーズの高い廃棄物としては、焼却炉から発生する焼却残渣や高水分の汚泥及び最終処分場に埋め立てられた雑多な廃棄物を掘り起こしたものの(以下掘り起こしごみ)、さらには産業廃棄物であるシュレッダーダスト⁷⁾やオゾンを破壊するフロン⁸⁾等、多数ある。

図7に示すようにこれらの廃棄物の性状は低位発熱量、灰分とも広範囲にわたる。直接溶融プロセスでは対象物に応じて単独処理あるいは都市ごみとの混合処理を行い、広範囲な性状の廃棄物に対応している。いずれの廃棄物についても、直接溶融試験プラント等でその処理性を検証し、最適な操業条件を把握した上で実機への適用を図っている。

直接溶融プロセスの実用施設において、都市ごみとの混合で溶融処理している廃棄物の実例を表3に示す。いずれも都市ごみとの混合率は10~20%程度で、安定して溶融処理している。これらの中で、最近、埋立地再生総合技術の一つとして注目を集めている掘り

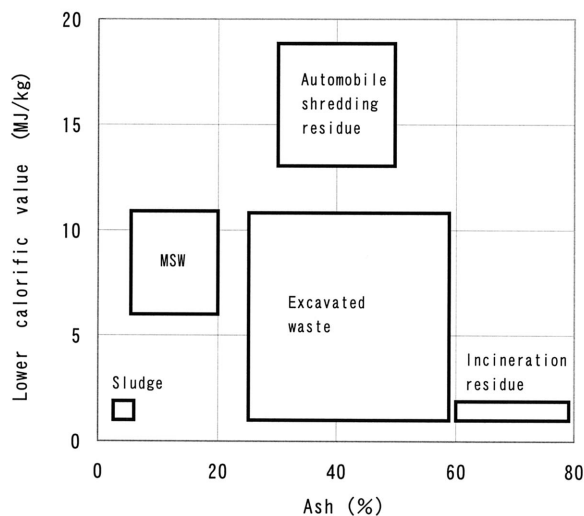


図7 廃棄物の性状
Properties of waste

表3 実用施設における都市ごみとの混合廃棄物
Waste mixed with MSW in commercial plants

Waste	Facility	Start-up
Sludge	Iizuka city, Fukuoka Pref.	1998.4
Sludge	Kochi west union, Kochi Pref.	2002.12
Sludge	Tajimi city, Gifu Pref.	2003.4
Incineration residue	Kazusa Clean System Co., Ltd., Chiba Pref.	2002.4
Incineration residue	Toyokawa-hoi union, Aichi Pref.	2003.4
Sludge and incineration residue	Akita city, Akita Pref.	2002.4
Excavated waste	Kameyama city, Mie Pref.	2000.4
Excavated waste	Makimachi union, Niigata Pref.	2002.4

起こしごみ処理について、新潟県巻町鑑潟クリーンセンターの事例を以下に述べる。

3.2 掘り起こしごみ溶融処理システム

鑑潟クリーンセンターのごみ処理フローを図8に新旧比較して示す。新施設はシャフト炉式溶融炉とリサイクルプラザから構成されている。可燃ごみや脱水汚泥に加え、従来埋め立てられていた粗大破砕ごみやプラスチック、ビニール等の焼却不適物の溶融処理を行うとともに、ごみの減量化とリサイクル化を促進するために併設したリサイクルプラザの残渣も溶融処理し、溶融物は全量資源化することで最終処分量の大幅な低減を図っている。さらに、最終処分場から掘り起こした掘り起こしごみを10~15%程度混合溶融処理することにより、最終処分場内に新たに発生する溶融飛灰を埋め立てる容積を確保している。

最終処分場は98 × 10³m³の埋め立て容量の管理型処分場であり、2000年度末で累計約80 × 10³t埋め立て処分された。当処分場には、既設ストーカ炉の焼却灰、焼却飛灰に加えて、プラスチック系の高分子ごみ、破砕した粗大、不燃ごみ等の雑多な焼却不適物が埋め立て処分されている。表4に処分場内の3地点における掘り起こしごみの分析結果を示す。

掘り起こしごみ溶融処理システムのフローを図9示す。

最終処分場では、重機(バックホー)を使用して埋め立てごみを掘り起こし、処分場に隣接した簡易な篩い装置へ搬送し選別する。プラスチック類主体の篩い上(大塊は除去)と焼却灰主体の篩い下に分け、それぞれ搬送用トラックにより溶融処理施設のごみピットへ搬入する。また、掘り起こしたエリアは、ゴムシートを施工し、順次溶融施設から排出される溶融飛灰の処分スペースとして活用する。

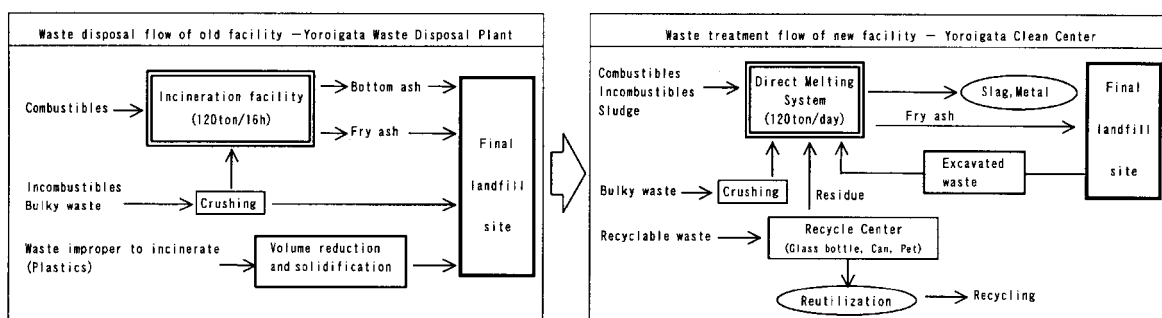


図8 新旧施設のごみ処理フロー比較
Waste disposing process flow compared between old and new facilities

表4 掘り起こしごみの性状
Properties of excavated waste

		Point A - 3m depth	Point B - 3m depth	Point C - 3m depth
Moisture		22.0	20.4	21.5
Combustible	(%)	40.7	10.6	22.4
Ash		37.3	68.9	56.1
Lower calorific value	(MJ/kg)	13.9	1.1	4.7
Specific gravity	(t/m ³)	0.64	1.27	0.92

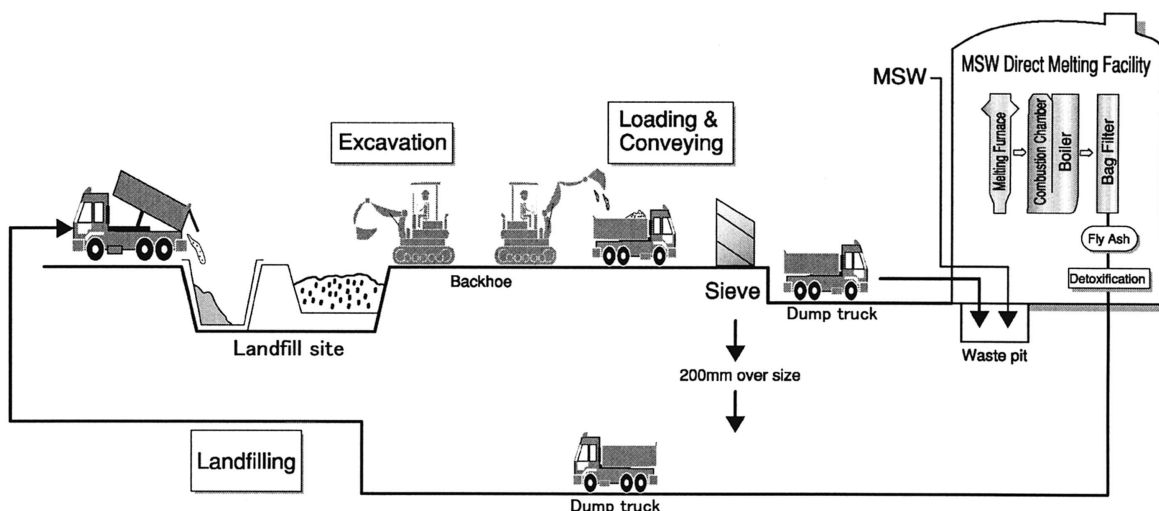


図9 掘り起こしごみ処理フロー
Flow diagram of treating excavated waste

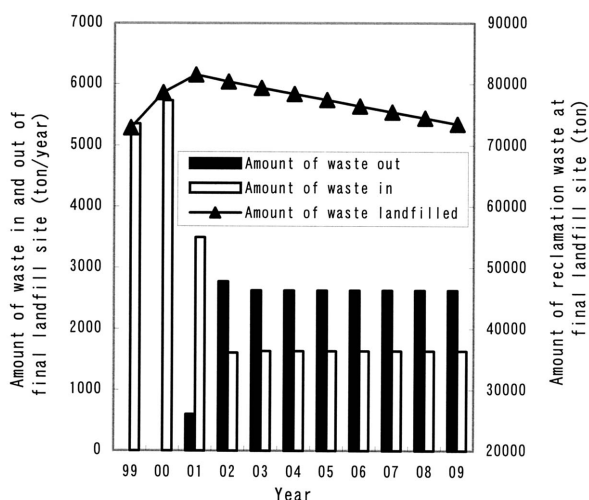


図10 最終処分場延命化効果
Effect of prolonging the life of final landfill site

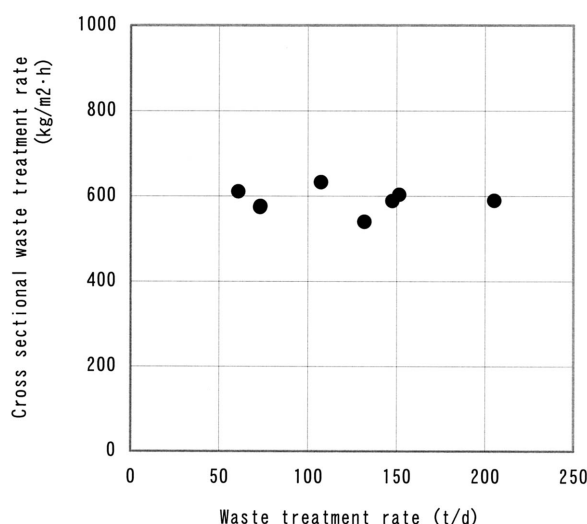


図11 シャフト断面処理量
Cross sectional waste treatment rate in the shaft

溶融処理施設へ搬入された掘り起こしごみは、ごみピット内で他のごみと攪拌した後、溶融炉(60t/d × 2炉)へ装入し一括処理される。コークス使用量は掘り起こしごみなし時と比較して2%程度高めとしている。溶融処理により発生するスラグは主にインターロッキングブロックや路盤材等に利用され、メタルは非鉄精錬用の還元剤等に利用される。そして、無害化処理後の溶融飛灰のみが最終処分場に搬入され埋め戻される。

本施設は、2002年4月に稼働を開始し、年間約3000(約3000m³)の掘り起こしごみ(混合率10%)を含む合計30 × 10⁴tのごみを安定溶融処理している。一方、最終処分場への搬入量は旧施設時と比較して約1/3の1600(約1600m³)に大幅に減少している。2002年度実績を基に今後の最終処分場の埋め立て量を試算すると、図10に示すように最終処分場の埋め立て量は2001年度をピークに減少に転じ、その結果、釜淵クリーンセンターでは今後50年程度の処分場の延命化が可能となる。

4. 大型化への取り組み

4.1 溶融炉の大型化技術

大都市の大型案件やごみ処理の広域化に対応するためには、溶融炉本体の大型化技術の取り組みが必要である。大型化とは溶融炉の炉容積を拡大することである。溶融炉プロフィールを設計する際には、特にシャフト部でのガス流れとごみの物流の安定性確保が重要であるが、シャフト部断面処理量が一つの指標となる。これは溶融炉シャフト部における単位断面積・時間あたりのごみ処理量である。

都市ごみを主として溶融処理する場合には、図11に示すようにシャフト断面処理量は600 ± 100kg/(m²h)の範囲に設定している。国内最大級のガス化溶融施設である秋田市溶融炉(200t/d × 2炉)は、この考え方で設計し安定稼働しているが、その状況を以下に述べる。

4.2 大型炉の稼働状況

秋田市総合環境センター溶融施設は、老朽化した既設焼却施設(150t/d × 2炉)を更新したものであり、循環型都市づくりを支える秋田市の中核施設である。施設概要を表5に示す。本施設では、都市ごみと下水・し尿汚泥及び既設ストーカ炉の焼却残渣との混合処

表5 秋田総合環境センターの施設概要
Outline of Akita Total Environment Center Facility

Processing capacity	400 t/d (200 t/d × 2 furnaces)
Furnace type	Shaft furnace type gasification and melting furnace
Power generation facilities	Designed power capacity : 8,500 kw Steam condition : 400 , 4MPa
Treated waste	(1) Domestic waste (2) Residue from the recycle facility (3) Sludge from sewage and human waste (4) Residue from bulky waste (5) Incineration residue from stoker furnace

理を実施している。

2002年4月より稼働を開始し、年間約130 × 10⁴tを安定して溶融処理している。2002年度におけるごみ処理実績及び溶融物、無害化処理灰の発生量を表6に示す。ごみ処理量は平均で1号炉206t/d、2号炉205t/dである。また、下水・し尿汚泥と焼却残渣は全量処理しており、ごみ処理全体に対する混合率はそれぞれ8.7%、3.1%である。現在、メタルは非鉄精錬用還元剤として利用され、スラグはコンクリート二次製品業者での利用や場内土木工事で利用されているが、今後、スラグは秋田市や秋田県の公共工事でもアスファルト合材として利用される予定である。そのため、本施設における埋め立

表6 2002年度物資収支
Material balance in fiscal 2002

		Weight (t)	Rate to total throughput (%)
Total throughput	Waste	111,169	88.2
	Incineration residue	3,816	3.1
	Sludge	11,002	8.7
	Total	125,987	100.0
Slag		13,698	11.0
Metal		2,212	1.8
Detoxification ash		3,553	2.8

て対象は無害化処理灰のみとなり、減容率は約1/138となる。

また、本施設では、安定稼働をベースにボイラーで400 t、4 MPaの高温・高圧蒸気を回収し、高効率のごみ発電を行っており、1炉運転時、2炉運転時とも余剰電力を売却できている。さらに、可燃ダスト羽口吹込み技術も導入しており、コークス使用量や集じん灰発生量の低減を図っている。

5. 結 言

都市ごみ直接溶融炉における高機能化のためのプロセス技術開発として、可燃物羽口吹込み、処理対象物適用拡大、溶融炉の大型化に取り組み、以下の知見を得た。

- (1) 直接溶融炉の下段羽口から吹込まれる可燃物(プラスチック、可燃ダスト)はコークスに対して優先的に燃焼することが認められ、可燃物羽口吹込み技術はコークス使用量低減や高温還元雰囲気確保などが図れる。
- (2) 溶融炉の操業条件調整により、処理対象物の適用拡大が可能である。特に、最終処分場の掘り起こしごみの溶融処理については処分場延命ができるシステムである。
- (3) 溶融炉プロフィールの適正なスケールアップにより、200t/d規模の大型溶融炉は安定操業している。

今後の廃棄物処理には、ダイオキシン対策を含めた環境保全と資源循環型社会構築が実現できるより高度な技術が必要になる。このような状況において、これらの課題に対応しつつ、廃棄物を適正に処理する技術としてガス化溶融技術への期待はますます高まっていくものと思われる。

こうした中で新日本製鐵の「直接溶融・資源化システム」はガス化溶融における先駆けとして長年の実績と様々な経験を蓄積した技術であり、その期待に対して十分に応えることができるものである。今後は、本システムの特徴を活かしつつ、さらなる技術改善を図り、環境問題の解決や資源循環型社会の構築に向けて貢献していきたい。

参考文献

- 1) 環境省:環境白書(平成16年版)東京 2004 p.109
- 2) 環境施設 (84) 33(2001)
- 3) 俵洋一 ほか:新日鉄技報 (360) 25(1996)
- 4) 白石光彦 ほか:第5回廃棄物学会研究発表会講演論文集.1994 p.343
- 5) 芝池秀治 ほか:鉄と鋼 89(11) ,1093(2003)
- 6) 上野義治 ほか:第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集 2001 p.813
- 7) Shibaïke, H. et al.: ISIJ Int. 40(3) 252(2000)
- 8) 上野義治 ほか:第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集.1997 p.901