

製鋼ダスト処理のニーズとダスト処理システム技術

The Prospect for The Dust Recycling System of Steel Making Process and Dust Treatment Technology

大同特殊鋼(株) 機械事業部
設計部 溶融設備設計室
主任部員

岡本達哉
Tatsuya Okamoto

大同特殊鋼(株) 機械事業部
設計部
主席部員

松井宏司
Hiroshi Matsui

大同特殊鋼(株) 機械事業部
設計部 溶融設備設計室
室長

松尾国雄
Kunio Matsuo

1 はじめに

我が国では現在年間約1億2千万tの粗鋼生産量の内、約75%が高炉法、約25%が電炉法で生産されている。これらの製鋼プロセスからは不可避免的にスラグやダストなどが副生成物として排出され、これらの副生成物の発生量は国内だけでも44,000千tあり、内スラグが80%、ダストが14%を占めている。しかし、最終処分量の72%はダストであり、スラグに比べて再資源化率が低い状態となっており、このダストのリサイクルが緊急の課題となっている。

高炉プロセスにおいては特にダストに含まれる亜鉛はプロセスの阻害要因となるため、ダストを系外へ搬出して処理する必要がある。また電炉プロセスにおいても原料スクラップにメッキ銅板などが含まれるため、電気炉ダストには約20～25%の亜鉛が含まれている。この亜鉛は有用な資源であるが、その大部分は廃棄物として系外で処理されているのが実情である。現状では電炉ダストは約60%が亜鉛回収業者による委託処分、10%がセメント原料などへリサイクルされており、残りは埋め立て処理されている。

しかし近年では環境保全の推進により埋め立て用地の確保は困難になってきており、また産業におけるゼロエミッションへの取り組みやリサイクル推進のニーズにより、製鋼メーカーでは自社工場内でダスト処理を行いリサイクルを推進する動きが高まっている。

一方、海外においては近年鉄鋼生産量に占める電炉製鋼の比率が高まっているが、発生する電炉ダストの埋め立て廃棄に対する法規制の強化も進んできており、ダスト処理リサイクルプロセスのニーズが高まっている。特にアジアなどの発展途上国では大規模な電炉プラントの計画が進む一方で、発生する廃棄物に関する法規制やシステムの整備が迫っている。

いない事例が多く、遠くない将来これらの問題が顕在化することは明白である。

大同特殊鋼(株)(以下、大同)はこれらの社会的な要請を受け、早期から主に電炉ダストを有用な資源としてとらえ、これらに含まれる、鉄、亜鉛などの有価物を回収、リサイクルする技術の開発に取り組んできており、これらの技術を盛り込んだプロセスをユーザーに提供している。

現在、大同では主にINMETCOプロセス及びDSMプロセスという2種類のリサイクルプロセスを提供しており、廃棄物低減、リサイクルに大きな成果を上げている。本稿ではダストの処理に関わる社会情勢と、それらのニーズに対して大同が提供しているプロセス紹介及び実機実績の報告を行う。

2 各国の電炉ダスト処理の動向

世界的に電炉プロセスによる粗鋼生産量が増加している中、電炉ダストの処理についてはいずれの国においても課題となっている。電炉ダストの取り扱いについては各国様々であるが一般的には電炉ダストは有害廃棄物として位置づけられており、積極的にリサイクルを行っているケースやそのまま埋め立てられているケースなど、国より状況は異なっている。ここでは日本の状況及び特に近年電炉の生産量が増加しているアジア各国の状況について述べる。

2.1 日本

国内では年間に約50万tの電炉ダストが発生し、内60%が亜鉛回収プロセス、その他は薬注無害化処理による埋め立て処分またはセメント原料として使用されている。

現状、亜鉛回収プロセスの主流はロータリーキルン法であり、回収された亜鉛濃度50～70%の粗酸化亜鉛は有価物と

して亜鉛精錬メーカーに売却され、亜鉛原料としてリサイクルされている。今後は埋め立て処分量を削減しダストのリサイクル率を上げていくことが課題となる。

2.2 韓国

年間約40万tの電炉ダストが発生している。国内に亜鉛精錬企業は存在するが、電炉ダストの処理設備が無く、現在英国のZincOx社が年間20万t規模のRHF設備の導入を計画しており、この設備で主要電炉メーカーからダストを無償で引き取り亜鉛を回収する計画である。この計画が実現すればダスト処理、亜鉛回収のリサイクル環境が整うことになり、現状本計画の実現待ちの状態であるため、他のプロセスの推進、導入は進んでいないのが現状である。

2.3 台湾

台湾におけるダスト処理設備は台湾鋼聯 (Taiwan Steel Union Co. Ltd.) が2基のロータリーキルンを有しており処理能力は年間約17万tであるが、計画処理量に至っていない。他に嘉徳技術開発 (KATEC) が日本のプラントメーカーと共同開発した4万t/年のESRF設備があるが、これも現状は計画処理量に至っていない。政府の方針として2014年6月末迄に各社の貯蔵ダスト処理を完了させる旨が通達されているが、現状で国内のダスト貯留量は約50万t程度あるとみられ、中小規模の電炉メーカーの足並みの乱れも顕在化しており、電炉ダストの処理は逼迫した問題となっている。台湾は国内に亜鉛精錬企業が存在しないため、回収された粗酸化亜鉛は国外へ売却している。

2.4 その他東南アジア

アジア地域で高炉法による製鋼プロセスを保有しているのは日本、中国、韓国、台湾、インドのみであり、これらを除くアジア諸国の製鋼プロセスは主に還元鉄、スクラップを原料とする電炉プロセスである。よって鉄鋼の生産の増加とともに多量の電炉ダストが発生しており、その処分が問題となっている。しかし、これらの国にはダスト処理設備がなく、ダストの多くは埋め立て処理されているか、未処理のまま貯留されている状態である。近年これらアジア諸国においてもダストの取り扱いに対する法規制は強化されつつあるが、それに対応するダスト処理システムの整備は遅れており、近年の大型電炉建設と相まって電炉ダストの処理は大きな課題となっている。

3 製鋼ダスト処理プロセスの今後の展望

新興国地域での鉄鋼生産量は年々増加している一方で、日本や韓国、台湾等では国内の需要は近年横ばい状態であり、鉄鋼生産量の増加は主に輸出に振り分けられている。大手鉄鋼メーカーは付加価値の高い製品を除いて現地生産へ移行する傾向にある。現在では今後需要の増加が見込まれる、中国、インド、タイ、ベトナムなどの国で外資系を中心とした新たな高炉プラントの建設プロジェクトが多数進行中である。また中東、トルコなどでは経済性、環境性から電炉の需要増大が見込まれている。しかし、これらの設備において製鋼ダストの処理までを備えたプロセスは少なく、今後各国の規制が強化されるとともにダスト処理設備のニーズが増加していくことが期待される。また、今後のダスト処理設備の普及には環境意識の向上とともに各々の製鋼プロセスに適したダスト処理設備を提供していくことが必要となっている。

4 INMETCO プロセスの紹介と稼働実績

4.1 INMETCO プロセスの特長

大同は1996年に米国INMETCO社より回転床炉を利用した廃棄物リサイクル技術である「INMETCO法」を導入しステンレス製鋼ダスト処理プロセスを提供している。

INMETCO プロセスは酸化金属粉末と還元材粉末を混合、造粒し回転床炉を用いて直接還元し有価金属として再資源化するプロセスである。INMETCO プロセスのフローをFig.1に示す。本プロセスは原料の受入、造粒、回転床炉 (RHF) による還元、サブマージ式電気炉 (SAF) による溶融還元で構成されている。

ダスト、還元材、バインダはあらかじめ定められた配合比

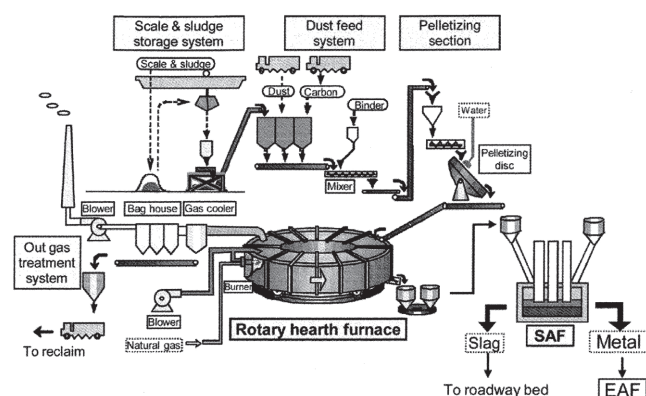


Fig.1 INMETCO プロセスフロー

でサイロから切り出され、造粒機によりペレット化される。ペレットはRHF内に投入され、加熱、直接還元され金属化率の高い還元鉄となる。生成した還元鉄ペレットは独自開発した特殊スクリーフィーダでRHFから連続抽出され保温ビンに移される。保温ビンはクレーンでサブマージ式電気炉(SAF)上の保温ビンステーションに移送され、SAF内に連続投入される。SAF内で還元ペレットは熔融還元され、比重差により炉内で溶銑とスラグに分離される。これらはSAF側面のタップホールから定期的に抽出される。抽出された溶銑は直接製鋼プロセスへ戻されるか、鋼塊もしくは延べ棒状に鋳込まれ、製鋼原料として製鋼プロセスにリサイクルされる。

INMETCOプロセスの主要設備であるRHFの概念図をFig.2に示す。RHF内は加熱帯、還元帯、装入・抽出帯の3ゾーンに分かれている。装入帯からRHF内に投入された生ペレットは加熱帯において、バーナ火炎、雰囲気、炉壁からの輻射により加熱される。排ガスはペレットの移動方向とは反対方向に流れるカウンターフロー構造となっており加熱の熱源となっている。加熱されたペレットは還元帯において還元され金属化率が上昇する。還元反応は主に投入位置から70～240°の範囲で起こり、得られた還元金属は抽出スクリーにより排出され保温ビンに投入される。その後SAF上の保温

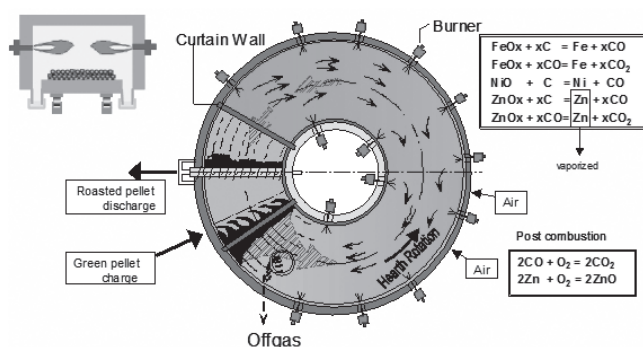


Fig.2 RHF 概念図

ビンステーションに搬送後炉内に投入される。投入されたペレットはSAF内で還元熔融処理され溶銑として回収される。処理前の生ペレット及び処理後の溶銑の組成実績例をTable 1に示す。

一般にRHFを採用した直接還元プロセスには以下のような特長がある。

- ・還元時間が10～20min.と短く、還元効率も高い。
- ・安価な石炭系のエネルギーを利用可能でランニングコストの節約に有効である。
- ・ロータリーキルンのようにペレットを攪拌しないため、炉内でのペレットの粉化程度が低く、二次ダストへの重金属の濃縮度が高い。
- ・操作が簡易であり、安定連続運転に適する。

また、他のRHFを採用した直接還元プロセスに比べてINMETCOプロセスは下記のような特長を持っている。

- ・INMETCO独自開発の水冷式ペレット抽出スクリー
高温の還元鉄ペレットを炉外へ抽出する方法としてはスクリー排出方式が安定性、確実性において適している。しかし、高温の還元鉄ペレットの連続排出運転においてはシャフトへのペレット溶着やフライトの摩耗、雰囲気によっては腐食などの問題がある。INMETCO社により独自開発された特殊水冷スクリーはこれらの問題に対する様々な改良を加え、実績として2年以上の耐久性を確保している。これにより設備のメンテナンスインターバルの長期化、ランニングコストの低減を実現している。
- ・長期安定操業技術

30年以上に渡る製鋼関係廃棄物の処理実績から、原料形態の選択、最適配合制御、処理パラメータ、メンテナンス方法、炉管理制御技術など高効率、安定操業を実現するノウハウが本設備に蓄積されている。

本設備は主に処理量ベースで5万t/年以上の比較的中～大規模のダスト処理に適しており高炉ダスト、電気炉ダストを問わず適用が可能である。また高炉メーカーの場合は高炉ガ

Table 1 生ペレットと溶銑の組成 (例)

Item	Component [mass %]									
	Fe	Ni	Cr	C	Zn	Pb	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Cl
Green pellet	28.7	2.0	7.1	14.9	5.5	0.8	5.4	9.09	1.43	0.1



Item	Component [mass %]									
	Fe	Ni	Cr	C	S	Mo	Mn	Co	Cu	P
SAF metal	71.4	5.0	15.2	4.3	0.05	0.17	2.81	0.04	0.95	0.05

ス (COG) を燃料として使用すればランニングコストを低く抑えることが可能になる。

4.2 INMETCOプロセスの実績

大同はY社にINMETCOプロセスを納入し、2004年から商業ベースの処理を開始している。本設備は隣接する年間生産量80万tのステンレス製鋼プロセスからの発生廃棄物を処理する設備であり、処理規模は50,000t/年である。

また処理対象物は電気炉ダスト、精錬炉ダストなどの乾粉ダストだけではなく、酸洗焼鈍ラインからのスラッジ、ミルスケールなど水分を含んだ廃棄物も含まれている。これらの処理物は乾燥、粉碎した後、皿形造粒機でペレットに造粒される。ペレットはRHFに連続的に投入され炉内で予備還元され、RHFから抽出されたペレットは搬送ビンでSAFに搬送され溶融還元される。出鋼時のメタル温度は1440～1540℃に維持されニッケル、クロムなどを含んだ銑鉄が得られる。抽出された銑鉄は原料インゴットとして鋳込み、電気炉原料としてリサイクルしている。SAFスラグの成分、温度の調整、維持が安定操業の維持、高品質メタルの回収にとって重要であり、長年の技術開発で得られたノウハウが生かされている。Fig.3にSAF全景を、Table 1に処理前ペレットと処理後のSAFから抽出されたメタルの実績の性状を示す。本設備では廃棄物中の鉄だけでなくニッケル、クロムなども高効率で回収することが可能であり、現在では廃棄物からの金属回収率は95%に達している。またSAFスラグは米国環境保護庁 (EPA) のTCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) 法による重金属溶出規制値を満足しており、路盤材などに問題なく利用されている。

INMETCOプロセスは高炉、電炉を問わず比較的大規模の処理量に適しているため、大同ではこれらの実績から、より大規模なステンレス製鋼プロセスへのINMETCOシステムの適用を計っていく。



Fig.3 SAF全景

5 DSMプロセスの紹介と稼働実績

5.1 DSMプロセスの特長

大同では様々な操業規模の電炉メーカーでダストの無害化、再資源化をオンサイトでできるようにDSM (Daido Special Method of Dust Slag Melting) プロセスを独自開発した。このプロセスは大同が長年蓄積してきた製鋼技術を応用して、高効率でダストを処理、リサイクルすることができるよう独自開発したシステムである。DSMのプロセスフローをFig.4に示す。

このプロセスの基本コンセプトは、製鋼ダストを空気輸送で高温の酸素火炎中に投入しダスト中の酸化亜鉛を還元し、金属亜鉛として揮発させ、炉外で再酸化した亜鉛を二次ダスト中に濃縮させ亜鉛原料としてリサイクルするものである。Fig.4に示すとおり、還元材としてコークス粒を炉内に投入し、またスラグプール内での亜鉛の還元反応を促進するため炉底から窒素で攪拌する機構を備えている。最新の技術開発では、還元材を炉内のスラグプール内に直接装入し高効率で亜鉛の還元が行えるカーボンインジェクション機構を備えている。また原料と同時に炉内投入している還元スラグは塊状のスラグを炉頂から投入できる装置を備えており、スラグの微粉化するための前処理費用を削減することに成功している。

DSMプロセスにおける溶融還元反応の模式図をFig.5に示す。

炉内に投入された電炉ダストに含まれるZnOと還元材として投入されたカーボンとの還元反応によりZnを蒸気として排気し、炉外で酸化することで高濃度の粗酸化亜鉛を得ることができる。しかし、バーナ燃焼酸素比が高すぎたり、リークエアなどにより炉内雰囲気酸化性になると還元されたZnが炉内で酸化され、ZnOとして再びスラグ中に取り込ま

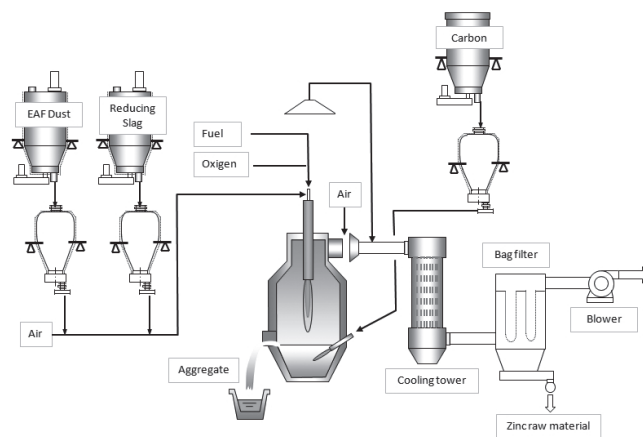


Fig.4 DSMプロセスフロー

れることになるため、最適な燃焼調整方法や炉体設計などに大同の長年のノウハウが生かされており、高いZnの回収率を実現している。

このDSMプロセスの主な特長は以下の通りである。

- ・高温の酸素バーナで直接溶融するため製鋼プロセスから発生する広範囲の副生成物を溶融可能である。
- ・高温火炎中に直接ダストを吹き込むため着熱効率が高く、かつ炉体がコンパクトなため放散熱によるエネルギーロスが少なく高効率処理が可能である。
- ・炉体がコンパクトなため、処理規模に対して少ないスペースで設置が可能である。またシステム構成が比較的シンプルであるためメンテナンスが容易である。
- ・ダストに含まれる有害物の完全無害化、資源化が可能である。
- ・亜鉛を抽出した後のスラグは冷却、粉碎後に重量骨材としてリサイクルが可能である。
- ・重油、灯油、LPG、LNGなど客先のユーティリティ状況に

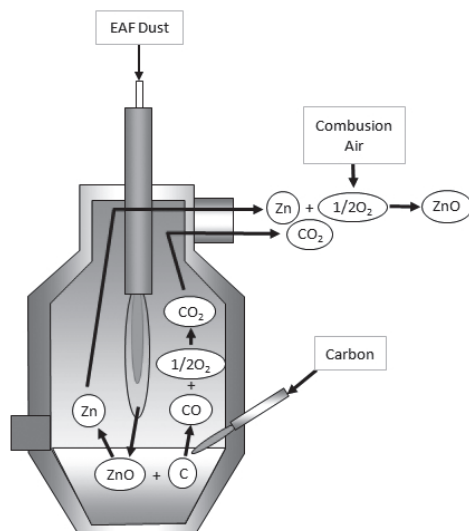


Fig.5 DSM溶融還元反応

応じた各種の燃料に対応可能である。

- ・代替燃料として廃プラスチックを使用することが可能で、燃料及び還元材コストが削減できる。
- ・操業が簡便でありより少ないオペレータで安定操業が可能である。

Fig.6にDSM操業タイムサイクル(例)を示す。タイムサイクルが示すようにDSMプロセスの操業は基本的にバッチ操業の繰り返しであるため、半日操業、連続操業などへの対応も可能である。つまり各々の客先の操業状況に合わせた運転が可能であるため、ユーティリティやオペレータの制限により連続操業ができない客先においてもフレキシブルに対応可能なシステムである。

またダストに含まれるダイオキシン類については高温による炉内分解と、排ガスの急冷システムによる再合成防止により、実績平均で98%以上のダイオキシン類除去実績があり国内の法規制へ対応できることはもちろん、国外において今後厳しい規制が施行された場合においても対応が可能となっている。

本設備は処理能力とエネルギーロスのバランスを考慮すると比較的小～中規模の電炉メーカーに適しており、最もユーザーの多いターゲットに幅広く対応できるシステムである。

5.2 DSMプロセスの実績

大同は1996年3月に知多工場内に3000t/月処理規模のDSMシステムの実機を設置し、現在に至るまで約15年間様々な技術改善を行いながら連続操業を続けている。Fig.7にDSM全景を、Table 2にその基本緒元を示す。本設備では知多工場から発生する製鋼ダストを全量処理する他、現在では他社からのダスト受け入れも行っており、多様なダストへの対応が可能であること、長期間の安定操業が可能であることを実機操業にて実証している。また、長期間の実機による技術、操業改善により高効率化を計り、高品位な粗酸化亜鉛を低コストで安定的に生産する技術を確立した。

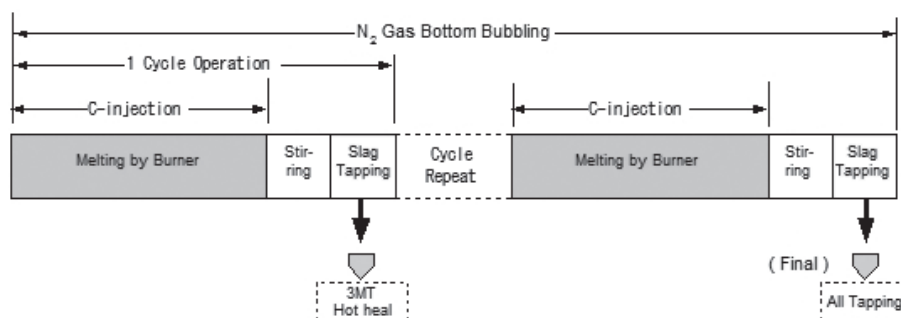


Fig.6 DSMの操業タイムサイクル(例)

これらの改善によりDSMから発生する二次ダストは粗酸化亜鉛原料として亜鉛精錬メーカーへ有価で売却している。DSM スラグもセメント原料や重量骨材として売却されており、大同のゼロエミッション計画へ大いに貢献している。Table 3にDSM 処理前後のダストの性状実績を示す。本表に示すように一般的な電気炉ダストを本設備で処理することにより、Zn濃度50%以上の粗酸化亜鉛原料を得ることができ、有価物としてリサイクルすることが可能となっている。本設備により従来の廃棄物処分コスト削減に加えて、粗酸化亜鉛の売却益によりユーザーのコスト負担軽減が実現できると

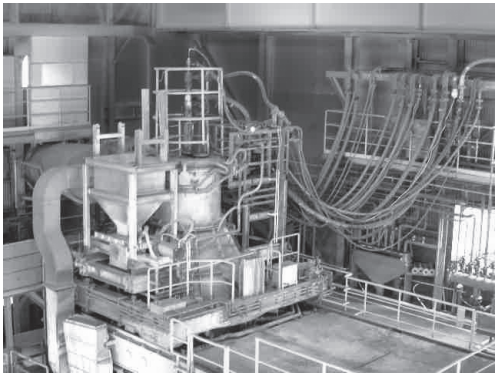


Fig.7 DSM 全景

Table 2 DSM の基本緒元

DSM	生産能力	3,000t/月
炉仕様	処 理 速 度	MAX 9t/h
	操 業 温 度	1,400～1,500℃
	攪拌室素量	200m3N/h
バーナ仕様	燃料 (重油)	MAX 1,000L/h
	酸 素	MAX 2,000m3N/h
	燃 焼 容 量	MAX 37,700MJ/h

Table 3 処理前後のダストの組成 (例)

Item	Component [mass %]						
	T-Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Pb	Zn	Others
EAF dust	36.3	4.8	4.2	1.7	2.4	18.1	32.5

↓

Item	Component [mass %]						
	T-Fe	CaO	SiO ₂	Cl	Pb	Zn	Others
DSM dust	6.5	2.5	0.9	7.7	8.5	52.3	19.8

もに廃棄物リサイクルに貢献することができる。

また大同は2011年に台湾の電気炉ユーザー向けに1700t/月規模のDSM設備を受注した。前述の通り、台湾には中小規模の電炉メーカーが数多く存在し、電炉ダストの処理は緊急の課題となっている。またこれらのダスト処理設備ではダイオキシン類の排出量を0.1ng-TEQ/m³N未満にする厳しい排出基準があり高いダイオキシン類除去性能が求められる。DSMプロセスの受注はこれら電炉メーカー毎の操業形態に対応可能なプロセスのフレキシビリティと安定操業実績、また高いダイオキシン類の除去実績が評価された結果である。

今後も大同における長期実機操業で培ったノウハウを様々なユーザーの操業形態やダスト性状に応用し、ダスト処理プロセスのニーズへ応える所存である。

また、今後もこれらのプロセスの納入実績及び稼働実績を積み上げることで国内外を問わずリサイクル、ゼロエミッションの推進に貢献していく。

6 結言

廃棄物の削減、リサイクルは世界的な趨勢であり、今後の資源の高騰への対応と経済発展を両立させるために、先進国のみならず発展途上国でもこれから乗り越えていかなければならないハードルの一つである。これらの取り組みは各分野において行われているが、特に製鋼ダストのような発生量の多い廃棄物に関しては、リサイクルのシステムを確立させることはその社会、経済、環境に与える影響が大きいと考える。今後、世界的な環境意識の高まりとともにこれらのシステム整備のニーズは高まっていくことが予想されるが、大同は本稿にて紹介した廃棄物処理システムをより多くの顧客に提供することで、循環形社会の構築へ貢献していく所存である。また大同は「高効率、低負荷なシステム」を技術的なキーワードととらえ、今後も技術改善を継続し、より高品質なプロセスをより広範囲に提供していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 速石正和, 岡本徹夫, 高橋元: 電気製鋼, 72 (2001), 37.
- 2) 松井宏司, 松尾国雄, 山本孝幸: 電気製鋼, 80 (2009), 199.
- 3) 中山道夫: 工業加熱, 48 (2011), 13.

(2012年3月7日受付)