

(技術資料)

FASTMET[®] プロセスによる製鉄所ダストの還元処理

原田孝夫*・田中英年*・杉立宏志*

*都市環境・エンジニアリングカンパニー・製鉄・産機プラント部

Verification of the FASTMET[®] Process for Steel Mill Waste Treatment

Takao Harada・Hidetoshi Tanaka・Hiroshi Sugitatsu

The first FASTMET commercial plant using steel mill waste was built after successfully testing the Kakogawa Demonstration Plant. This commercial plant was put into operation in April 2000. Since that time, productivity and plant availability were gradually increased, and steady operation has been developed. Commercial plants of this type not only produce highly metallized DRI from steel mill waste, but also bag house dust containing high concentrations of valuable zinc oxide. The FASTMET process used in this commercial plant was clearly proven to be a superior steel mill waste process.

まえがき = FASTMET プロセスは当社と当社の米国子会社であるミドレックス社が共同で開発したプロセスで、酸化鉄に還元剤として炭材を内装させたペレットやブリケットなどの塊成物をドーナツ状の回転炉で高温下で還元させ、還元鉄をえるものである¹⁾。製鉄所からはダスト、スラッジ、ミルスケールなど(ここでは製鉄所ダストと総称する)が発生し、その大半は製鉄所内でリサイクルしたりセメント会社に売却したりされているが、亜鉛濃度が高いダストは再利用が困難なために所内に滞留するケースが多い。しかしながら、近年では環境保全の観点から、製鉄所から発生するダストを製鉄所内で完全にリサイクルする必要性が高まってきている。製鉄所ダストには酸化鉄のほか、還元剤として利用できる炭素を含んでいるものもある。これらのダストを組み合わせたり、炭材が不足する場合は石炭やコークブリーズなどを添加して、酸化鉄の還元に必要な原料に混合調整することにより、FASTMET プロセスの特徴を生かして、ダストの処理と同時に還元鉄の製造ができるようになる。

当社はこの点に着目し、実験室や加古川デモプラント(以下KDP)を使って製鉄所ダスト処理プロセスとしてのFASTMET プロセスの開発をおこなった。その結果、1999年3月にはFASTMET プロセスの最初の商業プラントを新日本製鐵㈱から受注し、同社の広畑製鐵所内にプラントを建設した。この商業プラントは2000年4月に稼働を開始し、順調な商業運転をおこなっており、当プロセスが製鉄所ダストを処理するプロセスとしても有効であることが実証された。

1. FASTMET プロセスの概要

1.1 FASTMET プロセス開発の歴史

FASTMET プロセスは1950年代にミドレックス社の前身であるミッドランド・ロス社によって開発が始まったが、天然ガスを使って還元鉄を作るミドレックス法²⁾が成功したことにより開発が中断された。しかしながら、中長期的に不足する塊鉱石やペレットを必要とせず粉鉱石が利用可能で、また、入手が容易な石炭(一般炭)を還元剤として活用できるプロセスの必要性が高まったこ

とから、プロセスの商業化を目指し1990年開発を再開した。その後の開発経緯概要は以下のとおりである。

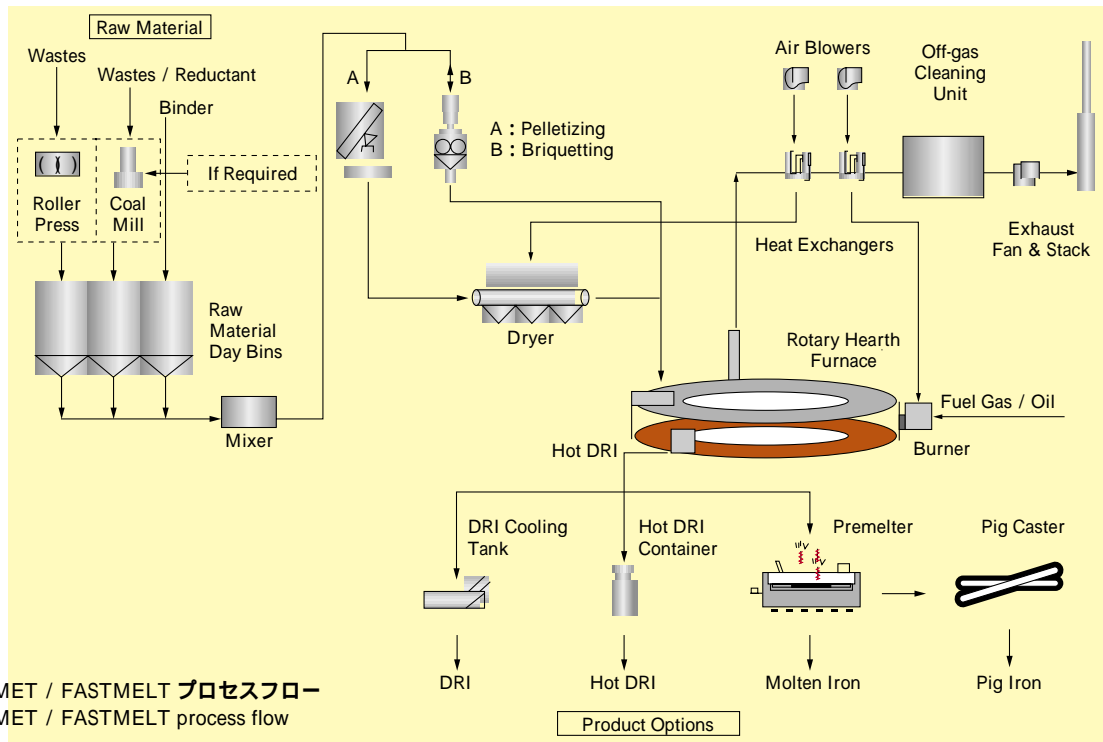
- 1) 1992年：直径2.6mの実験炉を設置(ミドレックス社内)
- 2) 1995年：直径8.5mの加古川デモプラントを建設(当社加古川製鐵所内)
- 3) 1998年：開発を完了
- 4) 1999年：商業機第1号機の受注(新日本製鐵株式会社、広畑製鐵所向け)
- 5) 2000年4月：第1号機プラントの商業運転の開始

1.2 FASTMET プロセスの原理と特徴

FASTMET プロセスは粉鉱石あるいは製鉄所ダスト¹⁾³⁾と石炭などの炭材を混合、造粒(ペレタイジングまたはブリケットング)し、ドーナツ状の回転炉床炉に1~2層に敷き詰めて、バーナで最高1400の高温で加熱することにより、6~12分の短時間で還元を完了させるプロセスである。当プロセスの特徴は以下のとおりである。

- 1) 安価な粉鉱石、石炭が使える上、鉄分やカーボン分を含むあらゆる製鉄所ダストを原料として利用できるため、亜鉛や油分を含むため処理が困難であった製鉄所ダストの処理に利用できる。
- 2) 還元炉内で高い金属化率の還元鉄がえられるため、鉄源として製鉄所内へのリサイクルが可能である。
- 3) 炉内ではペレットの動きがない静置式プロセスであることにより、ペレットの割れや粉化によって発生するダストがなく、亜鉛などの金属は高温の炉内でほとんど還元、揮発し排ガス中に飛散し、高濃度の酸化亜鉛が排ガス系で回収できる。
- 4) 高温で還元するため、ダイオキシンの発生や再合成が少なく、排ガス中のダイオキシン濃度は環境規制値を下まわっており、環境にもやさしい。

FASTMET プロセスで製鉄所ダストを処理する場合のプロセスフローを第1図に示す。水分をほとんど含まない乾燥ダストはビンに直接貯蔵する。一方、水分を含むスラッジ類は貯蔵ビンからの切出しが困難な場合が多いため、通常はヤード内でショベルカーなどを使って多種



第1図 FASTMET / FASTMELT プロセスフロー
Fig. 1 FASTMET / FASTMELT process flow

の原料を混合し、さらにこの混合した原料を乾燥機で乾燥してピンに貯蔵する。還元に必要な炭素分がダスト中に存在する場合はダストだけで還元鉄をえることが可能であるが、炭素分が不足する場合はコークブリーズや微粉炭などを貯蔵するピンを設ける。一定の割合でピンから切出された原料はバインダを添加し、十分な混合をおこなった後、造粒する。

造粒法にはペレタイジング法とブリケット法があり、使用する原料の特性や、プラントの規模から決定する。1 μ m以下の極端な微粒子を多く含んでいたり、原料粒度の変動が予測されるダストを原料にする場合は、一般的には機械的に造粒するブリケット法が適している。造粒された生ペレットは乾燥機で水分を除去後、回転炉床炉に1~2層に供給する。ブリケットは上述したように造粒前に原料を乾燥する場合が多く、この場合は造粒後の乾燥は必要ない。炉に供給されたペレット/ブリケットは最高1400の高温下で急速に加熱、還元され、6~12分の滞留時間で還元鉄となって排出機によって炉外に排出する。一方、亜鉛、鉛などの金属は炉内の反応によって揮発し、排ガス系に飛散する。

還元反応によってペレット/ブリケットから発生したCOガスは燃料として利用できるため、2次空気を炉内に吹込んで燃焼させる。このCOガスは炉内でほぼ完全に燃焼するため、バーナでの燃料の削減に大きく役立つ。炉から出た排ガスは温度が高いため、その顕熱はバーナ燃焼用空気の予熱や、乾燥機用空気の予熱に利用する。炉内の反応により排ガス中に飛散した2次ダストはバグフィルタなどで除塵後、大気に排出する。

炉内で還元された還元鉄(DRI)は高温のまま搬送し、転炉、電気炉、トービードカーなどで利用するほか、炉外に排出後すぐに冷却して高炉で利用したり、また、回転炉床炉から排出したDRIを直接溶解炉で溶解(FASTMELTプロセス)させて溶銑をえるなど、多く

の用途に対応できる。

回転炉床炉を使って製鉄ダストを処理する類似のプロセスがあるが、当プロセスは以下の点において類似プロセスと技術的な差別化をおこなっている。以降、塊成物を「ペレット」で代表させる。

- 1) ペレットの炉床への供給量を正確にコントロールできる供給装置と、供給されたペレットを炉床上に均一に敷き詰めるレベリング装置を有している。
- 2) ペレットの供給装置および製品の排出部は外部と高いシール性を有しており、炉内のガス雰囲気コントロールすることが可能である。
- 3) 長時間の安定操業が可能な炉床の管理技術を有している。

第1表に、炉床上のペレットの層数とプロセスに与える影響をまとめる。炉床上にペレットを1~2層に均一に載せ、炉内の熱をペレット全体に均一に与えることによって、過剰加熱による溶融を起こさずに還元温度を高く保つことができるので、炉の生産性を高めることができる。また、ペレットの隅々まで熱が伝わるため、高い脱亜鉛率がえられる。これは大変重要な技術である。

第1表 ペレット層数とプロセスに与える影響
Table 1 Effect of load pattern on process performance

Process	FASTMET	Other Process	
Load Pattern on Hearth			
No. of Layers	1	2	3
Reduction Temperature	High	←	→ Low
Retention Time	Short	←	→ Long
Productivity	High	←	→ Low
Product Metalization	High	←	→ Low
Product Uniformity	Uniform	←	→ Not Uniform
De-Zn Ratio	High	←	→ Low
Heat Load to Hearth	Large	←	→ Small
Technology Difficulty	Difficult	←	→ Easy

炉内のガス雰囲気のコントロールは外部空気の漏洩による製品の再酸化防止に役立つ。また、回転炉床炉での還元では、製品の金属化率や脱亜鉛率を高めるために炉内で与える強い熱が炉床にも加わることになる。炉床表面にはペレットとともに持込まれた鉄粉、排出機で取り残された鉄粉が強い熱によって焼結化して硬くなり、排出機（スクリュ式ディスチャージャ）の羽の磨耗を引き起こしたり、還元反応によって大きな金属鉄板を生成して製品の排出を不可能にさせる事態も起こりうる。このような状況を防止することは安定した作業をおこなう上で重要であり、炉床管理技術の確立はキーポイントである。当社は加古川製鉄所に建設したデモプラントでの長年の連続作業を通して、設備と作業の両面においてこの技術を確立した。

1.3 加古川デモプラント（KDP）でのテスト結果

製鉄所ガストに微粉炭を加えた原料をペレットに造粒したものを KDP の外径 8.5m の回転炉床炉に供給し、炉内温度 1 300 ~ 1 350 で 12 分の滞留時間で還元した。炉外に排出された製品および炉内の還元途中のペレットをサンプリングし、炉内での還元状況を測定した。第 2 表に炉に装入前の乾燥ペレットと大きさ 1mm 以上の製品 DRI の化学性状を示す。ここで金属化率（Met%）は以下のように定義した。

$$\text{Met}(\%) = (\text{Metallic Fe in DRI} / \text{Total Fe in DRI}) \times 100$$

KDP でのテストの結果、DRI の平均金属化率が 90% という高い値がえられた。一方炉内の還元状況を示したのが第 2 図である。テスト期間中 2 回おこなった炉内のペレットサンプリングの結果を見ると、ペレットの金属化率の上昇と炭素量の減少は約 7.5 分ごろに停滞しており、還元反応は滞留時間の途中で終了していることがわかった。また、原料ペレットが含有する亜鉛の除去率である大きさ 1mm 以上の DRI の脱亜鉛率も第 3 図に示すとおり約 7.5 分で終了していることから、還元、脱亜鉛の両方において 7.5 分の短時間で反応が終了していることがわかった。脱亜鉛率（%）は以下のように定義した。

$$\text{脱亜鉛率}(\%) = \{1 - (\text{DRI 中の Zn} / \text{DRI 中の Total Fe}) / (\text{ペレット中の Zn} / \text{ペレット中の Total Fe})\} \times 100$$

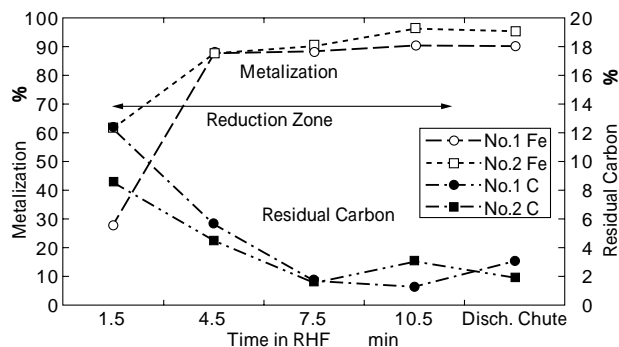
2. 商業プラントの運転結果

製鉄所ガストを原料にする場合においても、高い金属化率と脱亜鉛率が達成できることを実証した KDP でのテスト結果を受けて、1999 年 3 月新日本製鐵から FASTMET プロセスの商業プラントを受注し、2000 年 4 月より商業運転を開始した。当プラントは広畑製鐵所で発生するガスト類に、還元剤として微粉炭を添加した原料を造粒して作った生ペレット 19 万トン / 年を FASTMET プロセスで処理し、14 万トン / 年の Hot DRI を製造するものである。当商業プラントを写真 1 に、また、プロセスフローの概要を第 4 図に紹介する。

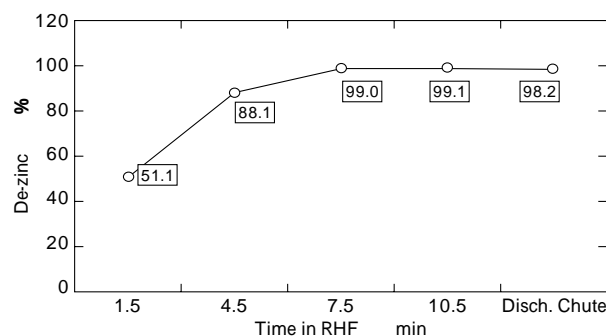
生ペレットは当プラント外部（当社の範囲外）で製造後、運び込まれる。受取った生ペレットは粒度をそろえるためスクリーンに通した後、炉内での急激な加熱によってペレットが爆裂しないよう乾燥機で水分を除去し、

第 2 表 乾燥ペレットと DRI の化学性状

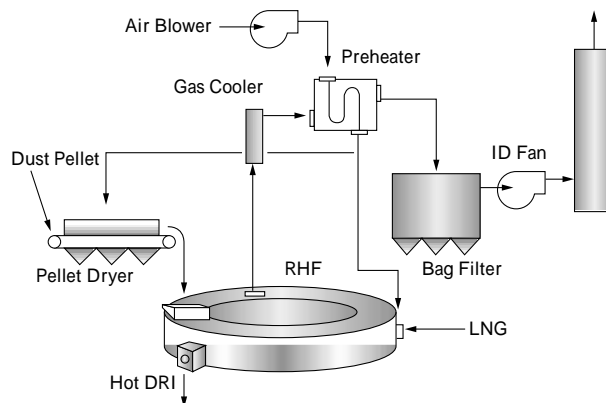
	T. Fe	M. Fe	FeO	C	S	Zn
Dry Ball	58.70	17.10	36.60	11.90	0.17	0.75
DRI	82.20	74.20	7.40	3.30	0.23	0.05



第 2 図 KDP 炉における金属化率と残留炭素量の時間変化
Fig. 2 Metalization and residual carbon at KDP furnace



第 3 図 KDP 炉における脱亜鉛率の時間変化
Fig. 3 De-zinc curve inside KDP furnace



第 4 図 FASTMET 商業 1 号機のプロセスフロー
Fig. 4 FASTMET process flow at first commercial plant

回転炉床炉に投入する。乾燥ペレットは直径 21.5m の回転炉床炉の中で約 1 300 の高温で加熱、還元する。製品 DRI は約 1 000 の高温の状態で排出機によって排出する。これ以降は当社の範囲外で、高温の DRI は溶解炉工場にて溶解される。一方、ペレット中の亜鉛は炉内の還元によって揮発、除去された後、排ガス系の中で酸化亜鉛になり、粗酸化亜鉛としてバグフィルタで回収する。また、炉から出た排ガスの顕熱を利用して、炉の燃焼用空気とペレット乾燥用空気を予熱し、燃料消費量の低減をおこなっている。

当商業プラントには次の特徴がある。



写真1 FASTMET 商業プラント
Photo 1 FASTMET commercial plant

- 1) 従来完全なリサイクルが容易でなかった製鉄所ダストを処理し、有価な還元鉄に変えること。
- 2) 排ガス系内で有価な高濃度の粗酸化亜鉛がえられること。
- 3) 公害物質の排出量が少なく、環境面に優しいこと。

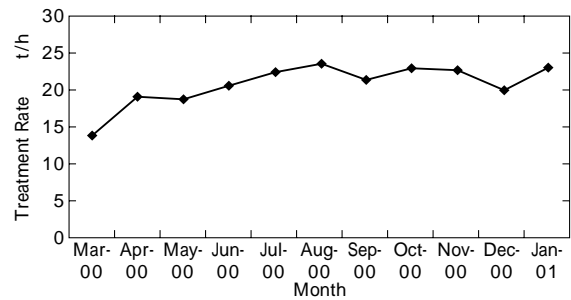
当商業プラントの月平均のペレット処理量とプラント稼働率をそれぞれ第5図と第6図に示す。商業機として生産が順調におこなわれていることがわかる。また、2000年8月におこなった性能保証運転の結果、100kg-DRI/m²/hという高い生産性で運転し、DRIの金属化率91.9%、脱亜鉛率94.0%（ともに代表値）というすばらしい成績を残した。バグフィルタで回収された粗酸化亜鉛中の亜鉛濃度も63.4%と高く、価値の高い副産物として利用されている。

一方、炉から大気に排出される排ガスの分析結果は第3表のとおりであり、NO_x、SO_x、煤塵の排出量が低く、当プロセスは環境にとっても優しいプロセスであることが証明できた。

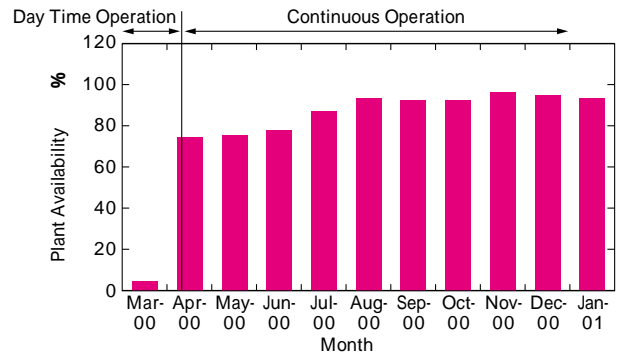
むすび = FASTMET プロセスの商業プラントは高い性能を示すとともに、順調な操業がおこなわれており、商業プラントの運転によってFASTMET プロセスの優秀さは製鉄所ダスト処理プロセスとしても証明された。

一方、当社の加古川、神戸、高砂の3製鉄所で発生する製鉄所ダストを処理するためにKDPの改造をおこない、2001年4月に商業プラントとして操業を再開した。このプラントでは、高亜鉛含有スラッジ、含油スラッジ、電気炉ダストなど、製鉄所内での処理が困難なダスト類のリサイクルをおこなう予定である。

FASTMET プロセスは投棄可能な場所の制約により、その処理が問題視されてきた製鉄所ダストを無害化する抜本的な解決法として、国内外の高炉、電気炉業界から高い評価を受けており、製鉄所の環境対策設備として今後広く採用されていくものと期待される。



第5図 商業1号機のダスト処理量
Fig. 5 Waste treatment rate at commercial plant



第6図 商業1号機の稼働率
Fig. 6 Plant availability at commercial plant

第3表 FASTMET 商業機の排出ガス測定値
Table 3 Emission gas data of FASTMET commercial plant

	NO _x (Nm ³ /h)	SO _x (Nm ³ /h)	Dust (kg/h)
Guarantee	< 3.8	< 2.7	< 2.09
Actual	1.98	0.08	< 0.12

参考文献

- 1) 神保淳ほか: R&D神戸製鋼技報, Vol.46, No.1(1996) P. 14.
- 2) 西田信直: 鉄鋼便覧II, 第3版(1979年) P.332, 丸善株式会社.
- 3) J. Jimbo et al.: KOBELCO TECHNOLOGY REVIEW, No.22 (1999) p.60.