

を同時に添加し、さらに炉内での2次燃焼方式を採用する方法が、1993年に、新日本製鉄(株)の広畑製鉄所で、実機化され稼働している。シャフト型溶解炉は、排ガスエネルギーを効率的に回収する方式として検討されている。1982年に、ブラジルで実機化された EOF (Energy Optimizing Furnace) 法は、一部溶銑を用いているが、多段のシャフト型予熱槽の下部に位置する溶解炉での石炭、酸素の添加とその排ガスの二次燃焼が行われ、エネルギーの効率的な回収を目的としたプロセスである。ほかに、溶解炉上部での羽口からの高酸素濃度の空気と多量の微粉炭吹き込みを特徴とするコークス充填炉など、燃料、酸化性ガスの種類、添加法やスクラップの融着に対する対策などが種々提案され、検討されている。これらの動きを受けて効率的なスクラップ溶解法の開発を目指す「新製鋼フォーラム」が1991年に発足しているが(3.6節に詳細を示す)前述の日本鉄鋼協会での基礎研究活動と合わせ、効率的な研究運営が遂行されるようになっている。

今後、合金化した不純物への対策として、効率的な除去技術に関する研究の推進と予熱-溶解技術では、多面的かつ効率的なエネルギー利用を目指すとともに、環境面にも配慮したダストリサイクル、系外処理などの新しい回生利用技術が課題として挙げられる。

3.5.3 製鋼ダストの再資源化

鉄鋼業でのダスト発生量は年間450~500万tと推定され、製鋼部門からはその約38%が発生する。

(1) 転炉ダスト

転炉ダストの発生量と組成は操業条件、排ガスの処理および集塵方法により異なるが、排ガス回収で湿式集塵を行っている場合の例では、乾ダスト: 2.5~3.5 kg, 湿ダスト: 7~8 kgが粗鋼トン当たりそれぞれ発生し、その組成と性状はTable 3.3のとおりである。鉄分が高く、その大部分がFeOまたは金属Feの形態であり、後者は発火しやすく、微粒の多いのが特徴である。したがって、多くの製鉄所では前章2.9のFig. 2.35に示したようにスラリー状のまま高炉ダストと混合して脱水機にかけ、焼結原料に供給している。また、微粉対策としては前章2.9で記述したプレ簡易造粒法、ワールドペレット法などを適用しているところもある。

転炉ダストのZn含有率は他の鉄鋼ダスト、スラッジ類と前章2.9のFig. 2.36に示す関係にある。Znの含有率はスクラップの配合が自所内発生スクラップを主体とする7~8%以下なら0.1~0.2%の範囲にあり、高炉ダストの湿式分級処理と組み合わせることにより全量がリサイクルされている。しかし、スクラップ高配合率時には2~3%になり、分別してセメント原料としての外販や、一時貯蔵して少量ずつリサイクルしている。この対策として、転炉の吹錬初期にZnが急激に揮発・ダスト化することに着目した吹錬初期と後期の分別回収を行うことによる許容範囲の拡大が日新製鋼(株)において実施されている。また、欧州などでは、スクラップ配合が高く製鉄原料へのリサイクルができず、しかも埋立て規則を受けているところもある。その対応策として、(オーストリア) Voest Alpine Steel, Linz 工場ではダストの一部をブリケット化して転炉自身に循環装入してZnを15~

Table 3.3. An example of composition of oxygen converter dust.

Type of dust	Composition (%)					Size -100 mesh
	T. FeO	FeO	SiO ₂	CaO	Zn	
Dry dust	66.0	5.6	1.4	1.8	0.3	5.4%
Wet dust	68.3	62.4	0.4	3.1	0.54	97.0

Table 3.4. An example of composition and size distribution of EAF-dust. ("Recent Progress of of EAF-Steelmaking" (3rd Edition), Oct. 1993, ISIJ)

(a) Composition:

Composition	Content (%)	Composition	Content (%)
Total Fe	30.2	MnO	2.8
FeO	2.8	P ₂ O ₅	0.5
Fe ₂ O ₃	40.0	Na+K	0.4
ZnO	24.2	Cu+Ni	0.9
PbO	4.1	C	1.7
CaO	5.1	S	0.6
SiO ₂	4.8	Cl	3.3
MgO	1.3	Loss of lg.	5.3
Al ₂ O ₃	2.4		

(b) Size distribution:

Size of dust (μm)	+30	~15	~8	~4	~2	~1	-1
Weight fraction (%)	2.5	2.7	1.9	4.6	10.5	22.6	45.4

20% 前後に濃縮し、後述する電気炉ダストと同様に Zn 回収処理に供している。

また、近年転炉で特殊鋼を吹錬する比率が高くなり、それに伴ってダスト中の合金元素の含有率が上がり、高炉原料に

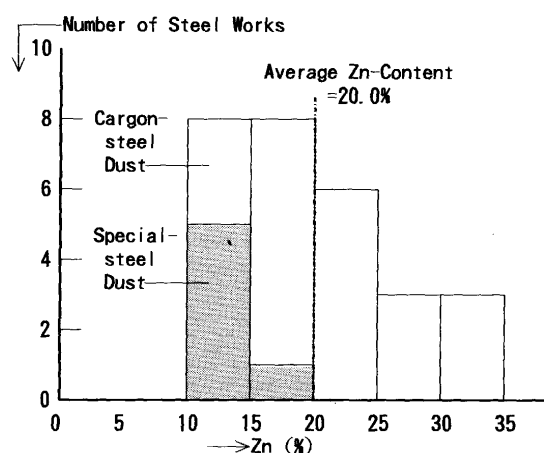


Fig. 3.39. Zn-contents of carbon steel EAF-dust and special steel EAF-dust in Japan. (Recent Progress of EAF-Steelmaking, (3rd edition), ISIJ, Tokyo, Oct. (1993))

Table 3.5. Zn recovery processes of EAF-dust and their annual capacity in Japan. (Recent Progress of EAF-Steelmaking, (3rd Edition), ISIJ, Tokyo, Oct. (1993))

Process	Plant	Capacity (t/y)
Waelz kiln	Himeji Tekko Refine	50,000
	Sumitomo Mining	90,000
	Sotetsu Metal	40,000
Electric furnace	Toho Zinc	50,000
Half-shaft furnace	Miike Smelting	40,000
	Kaneko Corp.	30,000
Total		300,000

Table 3.6. Characterization of steel-dust treatment processes by Zn- and Fe-recovery.

Fe-recovery	Zn-recovery		
	Zn-concentrated	ZnO for zinc smelting	Metallic Zn
Ironmaking	• CFB-P (Lurgi-Thyssen)	• SPM & SDR-P • Acid-leaching • Chrolination	
Metallized for steelmaking	• INMETOCO	• SL/RN • Rotary kiln process: Kawasaki, Muroran, etc.	
FeO-clincker		• Waelz kiln • HTR-process	• Tetronics plasma F.
FeO-slag		• Flame reactor • Kanako-shaft F • Erectothermic-P (Toho-Zinc) • MF-process (Mitsui)	
Hot metal	• Star-P. • Ladle treatment	• Iron-bath process • Dust-smelting EF	• Plasma dust • Hiplas-process • SHI-process

リサイクルできない場合も生じてきている。川崎製鉄(株)千葉のステンレス吹錬転炉のダストはシャフト型溶融環元炉で別途処理することが報じられている。今後、日本においてもスクラップ高配合、高合金鋼の溶製が多くなり、転炉ダストの別途処理の必要性が高まる。この場合、ダストの回収方式(湿式、乾式)、ハンドリング技術についての見直しも含めた処理技術の開発が必要になる。

(2) 電気炉ダスト

アーク式電気製鋼炉からのダスト(ここでは電気炉ダストと呼ぶ)の発生量は平均 15 kg/t-溶鋼で、全国で年間 45~50 万 t 発生する。その組成と粒度分布の一例を Table 3.4(a), 3.4(b) に示す。電気炉ダストは転炉ダストに比べ比較的粗い粒子を多く含むこと、スクラップの影響を受けて Zn 含有率が高く、その他の重金属、アルカリなどの成分も含んでいるのが特徴である。また、普通鋼電気炉ダストと特殊鋼電気炉ダストでは Zn 含有量が異なり Fig. 3.39 に示す調査例がある。

ダストの処理は概略、Zn の回収処理: 60% , 埋立て: 30% , その他(セメント骨材など): 10% となっている。Zn の回収処理は主に Zn 含有率の高い普通鋼ダストが対象となり、Table 3.5 に示すプロセスが適用されている。

(3) ダスト再資源化技術

地球環境保全などから、廃棄物の管理・再資源化は重要な課題となってきた。製鋼ダストは鉄分、Zn 分が高く有用な資源として従来からも考えられてきたが、合金元素、スクラップなどに付着する物質に由来する重金属、Cl 分などについても十分な配慮が必要となっている。

鉄分の再資源化の観点からは、上記のとおり転炉ダストの大部分は高炉用鉄源として、また転炉および電気炉ダストの一部がセメント用鉄源としてリサイクルされている。高炉用原料の場合は各製鉄所の亜鉛バランスによりその残留 Zn の

許容上限が異なるが、製鉄所内の発生ダストの場合は 0.1~0.2% が一つの目安であり、新規に製鉄所に持ち込む場合は Zn: 0.01~0.02% が上限となる。この値は脱 Zn として 90~99% 以上に相当し、非常にむずかしい目標である。したがって、後述するヴェルツ法の鉄滓の高炉用原料への再利用は少ない。

Zn の回収再資源化は高 Zn ダストにかなり限られており、Zn 回収処理法としては、従来からヴェルツ法が代表的である。この方法はロータリーキルン内で 1,200°C 前後の温度で Zn を環元揮発し、Zn は ZnO として回収され、亜鉛精錬の原料となる。残りの鉄分は主に FeO の状態で他の脈石と軟化状態のクリンカー（鉄滓）を生成し排出される。その他に Zn および鉄分の再資源化を目的とした処理技術が多数開発あるいは工業化されている。これらを Zn の回収形態および鉄分

の再資源化形態に着目して分類し、Table 3.6 に示す。回収については Zn: 50% 以上が目標となっている。また、金属 Zn への製錬効率を配慮した Cl および F 分の除去をシステムとして採り入れたプロセスもある。Fig. 3.40 に高純度の ZnO を製造し、亜鉛製錬原料以外に利用している例を示す。

以上述べたように製鋼ダストの再資源化の課題は、Zn を数%から 10% 前後含有するダストおよび高 Zn 含有ダストの Zn 回収処理後の残渣（鉄滓）の再資源化率が低いことである。これは、Zn を環元揮発回収する条件すなわち、1,200°C 前後の高温で鉄分を金属鉄まで同時に環元するのは、他の製鉄法に比べエネルギー消費量が高く、経済的にむずかしいためである。これには、鉄源としてある程度の Zn を許容でき、しかも Zn の濃縮回収の可能な効率の良い、経済的な新しい製鉄プロセスの開発が必要で、米国 AISI のプロジェクトに見られる熔融還元製鉄技術の応用などもその検討対象の一つである。

3.5.4 製鋼スラグの活用技術

鉄鋼製造で生成する多量のスラグの活用に関しては昔から多大な努力が続けられている。その結果、鉄鋼スラグの資源化率（=（全処理量-未資源化処理量）/全処理量）は 1992 年度で 95% の高率に達している。しかし、スラグ別に見ると、高炉スラグの資源化率 100% に対し、転炉スラグ・電気炉スラグを含めた製鋼スラグの資源化率は 86% で、製鋼スラグはまだ資源化途上と言える。

(1) 鉄鋼スラグの生成量および活用実績

高炉・製鋼スラグの生成量推移を Table 3.7 に示す。この 20 年、ほぼ 1 億 t の粗鋼生産であり、高炉スラグ約 2,400 万 t、製鋼スラグ約 1,200 万 t が生成されている。製鋼スラグの内訳は転炉スラグが約 80%；950 万 t、電気炉スラグが約 20%；250 万 t である。次に各スラグの活用推移を Fig. 3.41, 3.42 に示す。転炉スラグの資源化率は 90% にまで向上してきた。しかし、資源として多量・安定使用が望める再利用（製鉄リサイクル）、道路用、セメント用は約 30% に留まり、50% 近くを加工度の低い需要不安定な土木用に依存

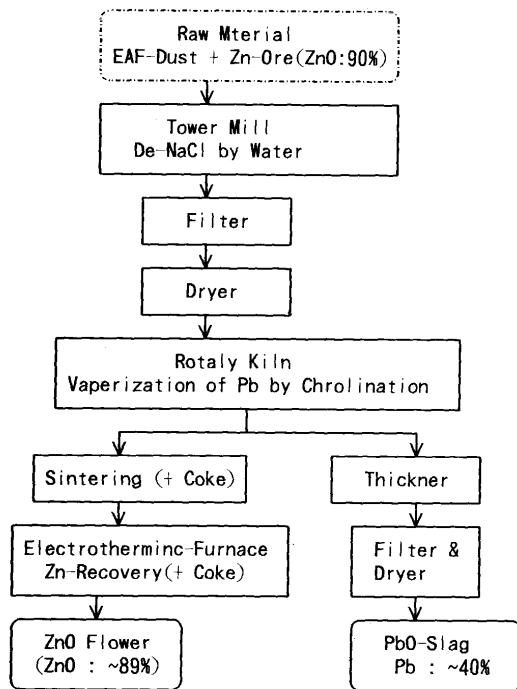


Fig. 3.40. Flow sheet of electrothermic process at Toho Zinc.
(Recent Progress of EAF-Steelmaking, (3rd Edition), ISIJ, Tokyo, Oct. (1993))

Table 3.7. Production of iron and steel slag in Japan. (unit; metric kilo tonnes)

Fiscal year	1980	1985	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Crude steel production	107,386	103,758	101,877	105,656	108,139	111,710	105,854	98,937
Pig iron production	84,893	79,253	75,979	79,247	80,013	80,835	77,830	73,029
Blast furnace slag (Ratio of water granulated slag: %)	26,137 (36.2)	25,654 (45.1)	23,255 (52.3)	24,219 (53.2)	24,616 (54.7)	25,160 (56.4)	24,290 (58.6)	22,600 (62.5)
Steel production from converter	81,223	73,368	71,890	73,970	74,810	75,922	73,154	67,090
Steelmaking slag (Ratio of converter slag: kg/t)	11,348 (140)	9,247 (126)	8,825 (123)	9,533 (129)	9,947 (133)	10,236 (135)	9,965 (136)	9,564 (143)
Steel production from electric arc furnace	15,800	20,797	20,688	22,145	23,033	24,128	21,891	21,156
Electric arc furnace slag (Ratio of electric arc furnace: kg/t)	2,079 (132)	2,500 (120)	2,422 (117)	2,588 (117)	2,630 (114)	2,807 (116)	2,605 (119)	2,565 (121)
Total steel slag	13,427	11,747	11,247	12,121	12,577	13,043	12,570	12,129

Note: E. F. Slag is covered about 70%. (after the Annual Report in 1993 by Nippon Slag Association)