

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-末資源化処理量）/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

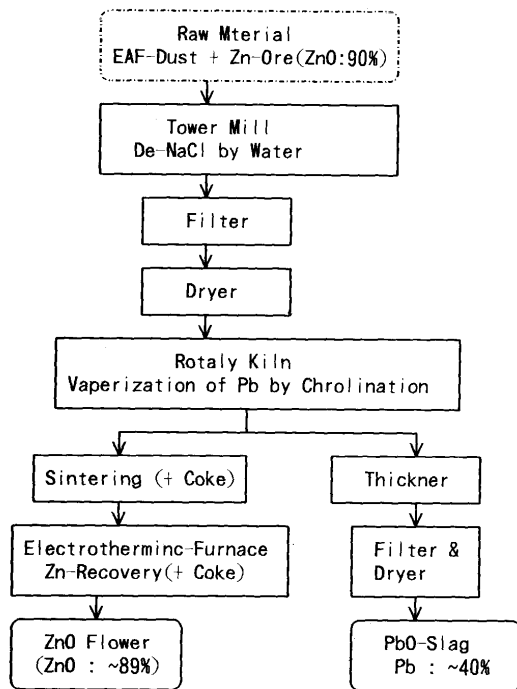


Fig. 3.40. Flow sheet of electrothermic process at Toho Zinc.
(Recent Progress of EAF-Steelmaking, (3rd Edition), ISIJ, Tokyo, Oct. (1993))

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)

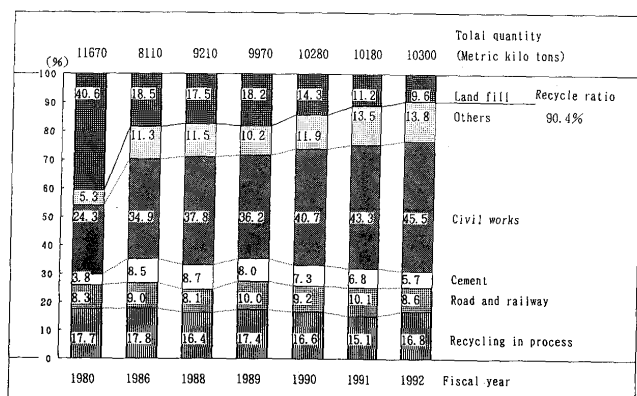


Fig. 3.41. Uses of steelmaking slag in Japan. (after the Annual Report in 1993 by Nippon Slag Association)

する脆弱な構成である。電気炉スラグについては、再利用、道路用、セメント用が30数%と転炉スラグ並みであるが、土木用が立地および供給量の制約から伸びず、資源化率として67%に留まっている。

(2) 用途開発動向

① 製鋼スラグの特性

製鋼スラグは、工程別に溶銑予備処理系、転炉系、二次精錬・鋳造系、電気炉酸化系、電気炉還元系などに分けられる。いずれのスラグも、CaO、SiO₂を主成分として、FeO、MgO、MnOなどのミネラル分を多く含有し、物理的には耐磨耗性に優れ、比重が大きいという特徴を有する。一方、工程・鋼種によりスラグの化学成分がかなり変動し、一部に遊離石灰(f-CaO)などに起因する膨張崩壊性が見られるなどの問題点もある。これら特性を踏まえて、道路用材化、セメント原料化などの用途開発が推進されている。

② 資源化開発の経過

製鋼スラグの資源化研究は1970年代半ば以降本格化し、日本鉄鋼連盟を中心に、日本鉄鋼協会、鉄鋼スラグ協会が組織的に活動した。日本鉄鋼協会では1977~82年にかけて研究部会を設置し、製鋼スラグの基礎的な特性解明を行った。1976~85年の10年の「鉄と鋼」発表論文は、膨張崩壊機構の解明、改質およびエージング処理などで60編にのぼる。スラグ協会は商品開発を担当し、1981年肥料分野で「特殊肥料」の認定を、1982年道路用材で「製鋼スラグを用いたアスファルト舗装設計施工指針」の制定を得た。1980年代は製鋼工程の多様化が溶銑予備処理設備を中心に展開され、スラグ用途開発では、路盤材研究が大学・自治体などの協力で推進された。高炉スラグ、コンクリート再生材などとの混合使用の工夫も行われ、1992年に製鋼スラグの路盤材JIS(A-5015; 道路用鉄鋼スラグ)の制定をみた。1990年代に入り「再生資源の利用の促進に関する法律」の施行(1991年)で、省資源・環境保全の観点から、製鋼スラグの資源化促進が強く要請された。新ためて、鉄鋼協会が製鋼スラグの資源化のための研究部会を発足(1993年)させるとともに、鉄鋼スラ

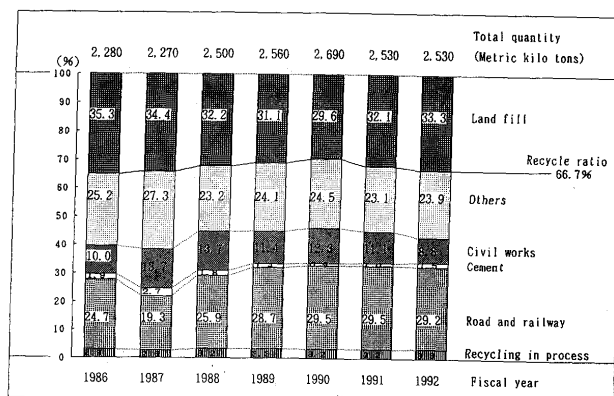


Fig. 3.42. Uses of electric arc furnace slag in Japan. (after the Annual Report in 1993 by Nippon Slag Association)

グ協会の商品化活動が強化された。

③ 用途開発への鉄鋼各社の活動

各社の資源化活動は、生成スラグの低減化、スラグ処理・商品化設備などで進められている。スラグ量低減化では、反応効率の向上、生成スラグの再利用などの観点から、溶銑予備処理の拡大、新フラックスの活用、銑鋼工程での再利用拡大などが推進された。予備処理設備は、1980年代後半多くの工場に導入され、スラグ生成量は明確に減少した。しかし、その後、鋼の高品質化が進み、生成量は増加し旧に戻ってしまった。フラックス試験では、かつてソーダ灰が目されたが、コスト、リサイクル性の点で下火となり、最近では金属Mg活用の動きがでてきている。生成スラグの再利用にはP、Sなど有害成分循環の問題はあるものの、地金、CaO源回収を目的にかなり積極的に進められている。冷却設備として、環境対策に有効で、ロット別に分離回収できる平鍋薄層冷却方式(スラグパン法)が新日本製鐵(株)・八幡(1976年)、大分(1979年)に続き、中部鋼板(株)(1984年)、(株)神戸製鋼所・加古川(1989年)、北越メタル(株)(1991年)と徐々に広がっている。急冷設備として、転炉スラグの風砕設備がNKK・福山(1981年)、電気炉スラグのドラム微粒化設備が中部鋼板(株)(1992年)などで稼働している。商品化設備として、路盤材のための促進エージング設備が蒸気利用の大同特殊鋼(株)・知多(1986年)、温水利用の(株)神戸製鋼所・加古川(1989年)と設置された。蒸気エージング設備は膨張対策に有効と評価され、1992年の住友金属工業(株)・小倉以降、各工場での設備設置の動きが出ている。

④ 用途開発への鉄鋼スラグ協会の活動

鉄鋼スラグ協会では、製鋼スラグの資源化を最重点に、公認化として「港湾土木材」および「水質・底質浄化材」の認定化研究を推進している。港湾土木工事材として砂・碎石の代替使用を、浄化材としてヘドロ堆積海域で栄養塩の溶出抑制を目的とした覆砂への活用を目指している。活用拡大化として路盤材化およびセメント原料化を推進している。路盤材の認定へ向けての舗装試験を各自治体と共同で推進してお

り、セメント原料化のための研究課題の探索を進めている。
今後、さらに推進すべき課題は、スラグ品質の安定化と溶

銑予備処理系、電気炉還元系など個々に違った特性を持つス
ラグに対し、個別の最適な用途先の開発と考えている。

3.6 次世代製鋼法と開発課題

3.6.1 緒言

日本の鉄鋼業を取り巻く環境がバブル崩壊と急速な円高により激変したため、鉄鋼各社はリストラクチャリングの早期完遂を余儀無くされている。一方、資源リサイクル、環境保全などの社会的要請は日増しに高まり、企業の積極的な取り組みも求められる状況となっている。こうした業界内外の課題に対処するため、とりわけ生産、コスト、品質の要である製鋼分野では、経営に資する創発的な技術革新が期待されている。しかし、他方では製鋼プロセスはすでに成熟期にあるとの見方もあり、次世代に向けて技術をなおいっそう打破していく必要がある。そこで、製鋼分野の動向を周辺環境との関連から概括するとともに、21世紀に向けて解決すべき開発課題について述べる。

3.6.2 周辺環境からみた製鋼の変遷

この四半世紀の製鋼の変遷を周辺環境やニーズの視点から総括し、Table 3.8 に示した。マクロ的には、

- 第1期：粗鋼生産の長期拡大の時代（1950～60年代）
- 第2期：地域環境保全（公害）対応の時代（1970年代）
- 第3期：高品質・高機能商品造込みの時代（1980年代）
- 第4期：環境調和-都市共生の時代（1990年代～）

に分割される。時代の流れから今後を予測すれば、これまで築いてきた高品質・低コスト製造体制を基にリサイクル、地

球環境などの新たな課題を解決して都市と共生するとともに、新規鉄鋼需要を開拓していかなばならないことになる。換言すれば、原料事情や鉄鋼商品ニーズの高度化・多様化に即応しながら社会環境に調和する製鋼プロセスを構築し、国際競争力を高めていかなばならない時代になったことになる。

3.6.3 次世代製鋼プロセスの構成要件

ここで、次世代製鋼法を考えるに当たり製鋼を取り巻く諸要件を Table 3.9 に示す。中でも特に製鋼原料中のスクラップ比率の高まり、環境・エネルギー問題への対応、新たな鉄

Table 3.9. Measures against problems surrounding Japanese steel industry and main projects.

Item	Target and Means	Projects
Resource energy environment	1. Flexible use of raw materials 2. Countermeasures for greenhouse effect 3. Reducing of various emissions 4. Oil savings 5. Transfer of efficient technology 6. Use of fuels containing hydrogen 7. Use of unutilized materials	<ul style="list-style-type: none"> ▷ DIOS smelting reduction ◎ Smelting reduction for ferro-chrome alloy
Recycling	1. Recovery of scrap and reclamation 2. Reuse of steel-dust and slag 3. Eco-factory and eco-materials	<ul style="list-style-type: none"> ▷ New steelmaking process
Steel Products	1. Various requirements of users - high quality, minimum lots, just in time 2. Innovation of new function-materials - beauty, ultra-high strength	<ul style="list-style-type: none"> ▷ FFR Ferrous frontier renaissance
Innovation of Steelmaking	1. Expansion of flexibility in production 2. Process elimination 3. Direct casting of products (NNS-CC) 4. Introduction of advanced technology	<ul style="list-style-type: none"> ★ Semi-solid processing (Rheo-Cast) ★ Electromagnetic metallurgy
Improvement on Work	1. Amenity 2. Flexible working hours	<ul style="list-style-type: none"> △ Factory automation

Table 3.8. Change of backgrounds in Japanese steel industry and progress of steelmaking process.

Period	1st period (1950～60)	2nd period (1970～)	3rd period (1980～)	4th period (1990～)
	Capacity increase	Pollution prevention	High grade steel	Environment—friendly process
Background	High economic growth ① Expansion of demand and large-scale investment ② Import of cheap and good quality iron ore	Oil crisis, energy saving ① Steel works harmonized with citizen life ② Severe control of environmental pollution	Depression by Yen's strength ① User requirements of high quality and new products ② Quality guaranteed system ③ Multi-function products	Restructuring & recycling ① Environment—friendly technology ② Multi-energy ③ Recycling of resources
Progress of steelmaking	(1) Introduction & commercializing of BOF (2) Mass production by BF-BOF (3) Introduction of DH & RH (4) Introduction of AOD & VOD	(1) First plant with all CC (2) Rapid expansion of CC process (3) Non polluting device (4) Energy saving technology	(1) Mass production of high grade steel—Division of refining function, combined blowing, high speed casting (2) Improvement of EAF process	(1) Scrap recycling (2) Flat products by EAF (3) R & D for near net shape CCM (4) Flexible operation (5) Electromagnetic metallurgy