

の転身を図る業界の姿を現していると言える。

### 2-6-3 今後の課題

過去 10 年間における日本のフェロアロイ産業は、前述のごとく、二度にわたる石油危機により大きな衝撃を受けながらも、幾多の技術革新や合理化をはかり経営基盤を維持してきた。

しかしながら、今後の道はなおいつそうの険しさを増すことが予想される。したがって、次にあげる項目が今後の日本のフェロアロイ産業の大きな課題である。

① 既存設備・装置での徹底した自動化、省電力化、および省力化は無論のこと、エネルギー源を電力にのみ傾倒しない低コストのフェロアロイ新プロセスの早期開発をめざす。

② フェロアロイの需要家である鉄鋼・特殊鋼業界との連携をいつそう密接に行い、需要側の新技術に即応した最適品質の確保と安定供給に徹する。

③ フェロアロイの保有技術・周辺技術を駆使し、新素材、新規分野への進出をはかり、新製品の開発をなおいつそう進展させる。

## 2-7 スラ グ

### 2-7-1 概 説

鉄鋼スラグ資源化の経過の概要は、2-1-1(5)に述べられているとおりであるが、主な項目について年次別にまとめると表 2-7-1 のとおりである。

### 2-7-2 基礎研究と開発研究の推移

鉄鋼協会に設置された基礎研究部会（表 2-7-1 参照）を中心にしてスラグの基礎性状に関する研究は大いに進み、その成果は昭和 57 年「鉄鋼スラグの性質と利用」（特定基礎研究会スラグの有効利用に関する基礎研究部会編）として刊行された。

表 2-7-1 鉄鋼スラグ資源化にかかわる主要経過（年表）

	組織及び業界の動き	研究関係	公的認知及び業界指針関係	海外との技術交流
昭和 50 年以前	昭 47 立地公害委員会に「高炉滓 JIS 化推進委員」*	昭 49 建材試験センターにおける「高炉スラグのコンクリート用骨材としての JIS 化研究」		昭 50 欧米諸国におけるコンクリート用高炉スラグ骨材に関する調査
51 年	○「スラグ資源化委員会」* ○「日本鉄協協会」が「日本スラグ協会」と改称			○ヨーロッパにおける廃棄物再資源化に関する調査
52 年	○日本鉄鋼協会「スラグの有効利用に関する基礎研究部会」 ○コンクリート用水砕スラグ細骨材使用規準作成研究委員会*	○高炉徐冷スラグの黄色水の解決、水砕スラグの緻密化と固結防止 ○転炉スラグの膨張崩壊原因解明とその抑制法、エージング処理法の確立	○JIS（コンクリート用高炉スラグ粗骨材制定） ○土木、建築、土壌などの学協会や研究機関におけるスラグ利用に関する施工指針作成	○国際鉄鋼スラグ会議（フランス）
53 年	○「鉄鋼スラグ協会」設立（日本スラグ協会を発展的解散）		○高炉スラグ砕石コンクリート設計施工指針（案）作成 ○JIS（レデーミクストコンクリート）改正 ○アスファルト舗装要綱改訂	
54 年		○ユーザ団体における高炉スラグ細骨材標準化の調査研究	○JIS（ポルトランド、高炉セメント）改正	○国際鉄鋼スラグシンポジウム（オーストラリア）
55 年			○JIS（道路用スラグ）制定	
56 年			○JIS（コンクリート用高炉スラグ細骨材）制定	
57 年		○高炉熔融スラグ顕熱の回収法 ○乾式粒化法		○製鋼スラグに関する調査（カナダ・米国）
58 年			○土木、建築学会における高炉スラグ細骨材によるコンクリート設計施工指針作成	

\*印は 鉄鋼連盟内に設置された委員会

一方鉄鋼協会の講演大会における講演数も、この 10 年間に 100 編近くを数え、それを通して研究の発展、推移を見ると、まず高炉スラグでは、徐冷スラグを路盤材に使用する場合は黄色水の問題を解決して以後は、水砕スラグを細骨材として利用する上から、冷却過程での気孔発生の原因解明とその抑制の原理、成品スラグの貯蔵期間中の固結原因の調査と防止対策が重点的に検討された。同時に乾式の粒化法と、それと組み合わせた熔融スラグの顕熱回収技術の開発研究は、現在も引き続き精力的に行われている。

転炉スラグについては最初風化膨張原因が究明され、それが遊離状態にある石灰の水和に帰因することがわかってからは、凝固スラグの鉱物組成を安定化させるため、熔融スラグの改質が種々試みられた。そして技術的な見通しは得られたものの、かなりのコスト高になることからいまなお設備化されるには至っていない。その他熔融スラグの還元による有価金属の回収法や、凝固スラグを微粉碎して水硬性を利用する方法などが検討されたが、同様の経過をたどっている。現実的な方法としてはエージング処理法が確立し、合わせてその安定化機構や成品評価法の研究も進んだ結果、現在では路盤材としての利用が次第に広がりつつある。

2.7.3 製 造

高炉、転炉および電気炉で生成された直後の鉄鋼スラグは 1400°C 以上の高温熔融状態にあり、まず冷却処理されるが、冷却方法によつて異なる物性を持つことから利用目的に応じた冷却処理が行われる。その方法としては、スラグ冷却場において大気中で徐々に冷却する方法と水・空気などを用いて急速に冷却する方法とが一般的である。現在急冷処理に広く採用されている方式は、大量の圧力水を熔融スラグに噴射し粒状化して冷却する水砕処理であり、この方法は高炉スラグだけに採用されている。

昭和 58 年度には高炉スラグは約 2300 万 t 生成しているが、その内水砕スラグは約 1070 万 t と半分近くを

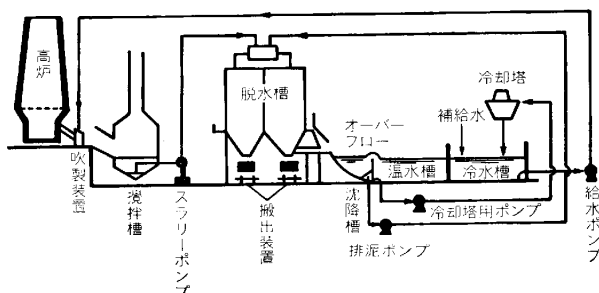


図 2.7.1 高炉水砕スラグ製造設備の一例 (ラサシステム)

表 2.7.2 水砕スラグ製造設備能力の推移

		昭和 52 年	54	56	58
基 数	炉 前	—	31	29	30
	炉 外	—	8	10	9
設 計 能 力 (万 t/月)	炉 前	—	96	105	116
	炉 外	—	17	22	20
水砕化率 (%)		17.2	33.8	41.3	46.8

注 1. 基数および設計能力はそれぞれの年の 4 月 1 日現在を示す。  
 2. 水砕化率 =  $\frac{\text{水砕スラグ製造量}}{\text{高炉スラグ生成量}} \times 100 (\%)$   
 水砕化率は各会計年度の実績値を示す。

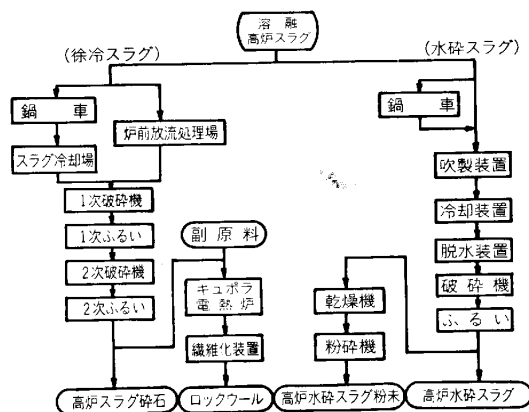


図 2.7.2 高炉スラグ製品の製造工程の一例

占めている。

水砕スラグ製造設備として代表的なものは、昭和 42 年に鋼管福山 1 高炉に初めて設置された「ラサ」システムであり、その後このシステムは各社において独自の改良が加えられ採用されている。このほか水砕スラグ製造設備としては、INBA 方式、日立造船-AJO-HOESCH 方式などがある。

水砕スラグの品質は、吹製装置でほぼ決まるため、この装置には各製鉄所で種々の工夫が、例えば水量、水圧、噴射口の数、径、角度について、また圧力水と圧力空気の併用などが行われており、さらに吹製制御技術の進歩により品質のばらつきがほとんどなく、目標の物性を安定して製造できるようになっている。また炉前環境の改善あるいは電力消費量の低減を図るための様々な工夫が行われているが、神鋼では昭和 55 年に加古川において水砕スラグの輸送と脱水を兼ね、スラリー輸送に代わるスクリーコンベア方式を開発実用化している。

水砕スラグ製造設備能力の推移を表 2.7.2 に、また高炉スラグ製品の製造工程の一例を図 2.7.2 に示す。

2.7.4 品 質

鉄鋼スラグ製品は、原料の管理、最新の設備と優れた操業技術、および徹底した品質管理が行われている。高炉スラグの主要 3 成分を昭和 51 年と 58 年で比較する

と  $\text{SiO}_2$  33~34%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  14~15%,  $\text{CaO}$  41~42% の範囲内にあり, また各製鉄所間におけるばらつきは非常に少ない. 従つて製品の物理的性質は, 冷却条件とその後の破碎・粒調などで決定されることとなる.

### (1) 道路用材

高炉スラグ路盤材の JIS 化活動は昭和 47 年から開始されたが, エージングによる黄水防止, 水硬性粒度調整スラグ (HMS) の強度特性などのメカニズムに関する研究を進めると共に, スラグ製造は品質管理の徹底が図られ, 55 年 11 月には JIS が制定されるに至っている.

一方, 製鋼スラグ路盤材は, 材質の改良, エージングによる安定化等を行い, 公的認知を取得すべく製品の品質判定基準の設定などの研究も続けられている.

最近ではセメント向け高炉スラグの需要増から一部の地域では高炉スラグ路盤材が不足する事態も出ているが, 今後は製鋼スラグがその不足を補っていくものと思われる.

### (2) セメント用材

高炉セメントの JIS が制定されたのは昭和 25 年であり, セメント用材としての高炉スラグの歴史は古い. わが国のセメント用水砕スラグは, 潜在水硬性の程度を示すガラス化率が 95% 以上と非常に高く, また塩基度 ( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ ) も JIS では 1.4 以上と規定されているが実際には 1.8 以上の値を持つことからセメント用材には大変適している. 一方, 昭和 54 年 10 月にはポルトランドセメントの JIS が改正され, 普通ポルトランドセメントに高炉スラグなどが 5% まで混合できることになっている.

コンクリート中の骨材とアルカリ (Na, K) が反応して起こるアルカリ骨材反応によるコンクリートのひび割れ, ポップアウト, 変形などの現象がこの 1~2 年わが国でも問題となつてきている. しかしアルカリ骨材反応については, 1940 年に米国で発見されて以来欧米各国で発見されており, 米国, 英国, 西ドイツ, 南アフリカなどの国では反応性の高い骨材を使用する場合はコンクリート中のアルカリの量を減らす目的から高炉スラグなどを 50% 以上混合したセメントを使用することを指導あるいは規格化してこの問題に対処している.

### (3) コンクリート骨材

コンクリート骨材としての鉄鋼スラグは, まだ高炉スラグに限られているが, 良質な天然骨材と比較しても何ら遜色のない物性を有している.

昭和 50 年代に入つて環境保全の問題が広く採り上げられるようになってから, 良質な天然砂の採取が困難となつてきており, このため最近では特に関西地方で, 海砂使用に伴うコンクリート中の鉄筋腐食によるコンクリ

ートのひび割れ発生が問題となつている.

このため, 塩分あるいは粘土分等のコンクリートへ悪影響を及ぼす成分を含まずしかも安定した品質のスラグ細骨材 (砂) の需要が今後期待されている.

さらにスラグ細骨材は, 粒度分布の偏つた天然砂の粒度調整用として使用することを考慮して昭和 56 年 6 月に制定された JIS では 4 種類の粒度構成を持つスラグ細骨材を規定している.

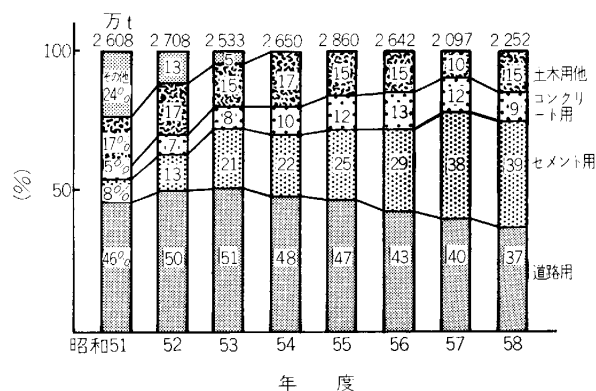
## 2.7.5 利用

### (1) 高炉スラグ

高炉スラグの利用量の推移を図 2.7.3 に示す.

高炉スラグの道路用・セメント用・コンクリート骨材用の主要三用途の全体に占める比率は約 60% (51 年度) から約 85% (58 年度) に増加している. 特にセメント用は, 218 万 t から 876 万 t と 4 倍に急増しており, 58 年度には道路用を抜くに至つた.

道路用は, ここ数年減少化傾向にあり今後もセメント用の増加に伴いこの傾向が続くものと考えられるが, 前にも述べたようにその分高炉スラグに替わつて製鋼スラグが道路用に使われていくものと思われる.



- 注 1. 「土木用他」とは, 土木用, 建築用, 肥料, 土壌改良材等向けをいう.  
 2. 「その他」とは, 埋立て等スラグ資源化の目的以外に向けられたものをいう.

図 2.7.3 高炉スラグ利用量の推移

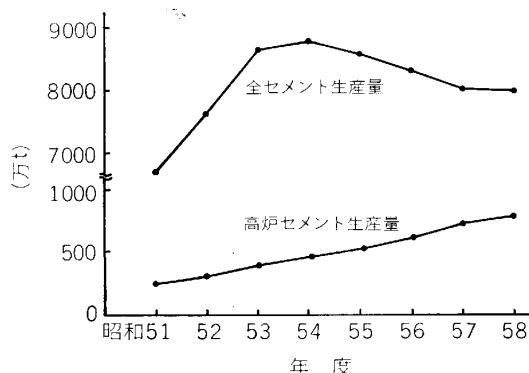
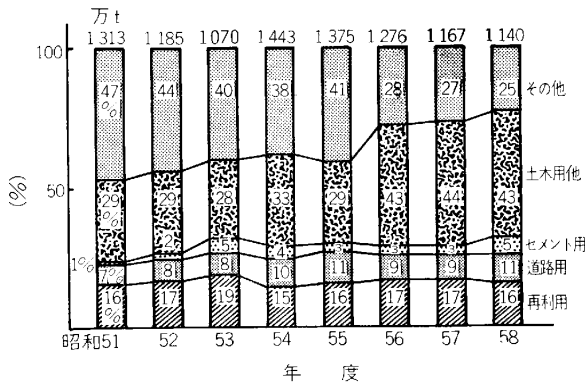


図 2.7.4 全セメント及び高炉セメント生産量の推移



注 1. 「土木用他」とは、土木用、建築用、肥料、土壌改良材等向けをいう。  
 2. 「その他」とは、埋立て等スラグ資源化の目的以外向けられたものをいう。  
 図 2-7-5 製鋼スラグ利用量の推移

一方、高炉セメントの生産量は昭和 51 年度には 250 万 t (全セメント生産量に対して 3.7%) であつたが、58 年度には 795 万 t (同 10.0%) にまで増加している。(図 2-7-4)

その他の用途としては、肥料、地盤改良材、港湾工事・土木工事などの土工用材、ロックウール・建材用などの建築用材などがあり、この内建築用がわずかながら増加を続けている。

(2) 製鋼スラグ

製鋼スラグの利用量の推移を図 2-7-5 に示す。

製鋼スラグの有効利用率としては、昭和 51 年度の 53% から 58 年度の 75% へと増加している。

製鋼スラグの主用途は、港湾工事・土木工事などの土

表 2-7-3 各国における鉄鋼スラグ利用状況 (1979年) (ECE 鉄鋼委員会資料)

	鉄鋼スラグ生成量	利用量計	道路用	セメント用	コンクリート用	再利用	その他
西ドイツ (1978)	9 969	10 504	7 510	2 128	—	—	866
	6 686	5 220	1 568	—	—	1 602	2 050
フランス	10 762	11 931	6 068	2 942	289	—	2 632
	—	2 298	—	—	—	—	2 298
ソ 連	52 500	46 265	17 000	22 665	—	—	6 600
	24 000	10 160	8 500	—	—	1 100	560
アメリカ	—	25 846	18 230	136	4 600	—	2 880
	—	7 711	6 940	—	—	—	771
日 本	26 080	26 270	13 000	6 500	3 500	—	3 270
	14 760	14 760	1 390	920	—	2 800	9 650
20 ヶ国計	—	136 521	61 334	42 848	11 336	—	21 003
	—	41 326	18 058	945	—	5 533	16 790

注 1. 単位は 1000 t 2. 上段は高炉スラグ、下段は製鋼スラグ。

工用材であるが、再利用、道路用、セメント用のほか土壌改良資材などにも利用されている。

(3) 各国における利用状況

ECE 鉄鋼委員会における Ad hoc meeting において 1980 年に日本が幹事国となつて各国における鉄鋼スラグの利用状況を調査した (表 2-7-3)。それぞれの国情に応じて種々の用途に供されているが、高炉スラグは道路用がほぼ 50%、以下セメント用 30%、コンクリート用 8% の順になつている。また製鋼スラグについても道路用がほぼ 50% を占めている。