

ることが効果的である。高炉シミュレーターによる実験では、JIS-CRI45~55の高反応性コークスと高被還元性焼結鉱(JIS-RI 82%)を用いたところ、900~1,150°Cで還元が促進され、高温熱保存帯は900°Cへ低下し、燃料比約30 kg/THMの低減が可能であるとの結果が得られた。実炉への適用では、焼結鉱に混合し炉周辺部へ堆積するように切り出して操業したところ、36 kg/THMまでの使用で問題は生じず、熱保存帯および融着帯の炉上部への移行が確認できた。今後、長期使用による燃料比低減効果の確認が待たれる。

2.8.4 酸素高炉

高炉の生産性を高め、将来的に小型化し、生産弾力性および燃料比弾力性に対処することを目的に純酸素高炉が開発されている。

酸素高炉の利点として次のことが挙げられる。①同一設備でも高出銑比が得られる、②設備コストが安い、③熱風炉が不要なため、ガス加熱時の窒素酸化物の発生が少ない、④炉

内ガス量が減少するため、炉内圧損を低減でき、細粒装入物が使用できる、などである。

炉頂ガスを部分燃焼しそのガスをシャフト部に吹き込むプロセスを紹介する。内容積3.9 m³の試験高炉による操業結果によれば、シャフト部へ吹き込まれた予熱ガスは炉壁近傍を流れ、炉下部から上昇してくるガスは中心側に偏流する。このため、予熱ガスが中心部まで浸透しなくても、炉断面積当たりの熱流比は低下し、装入物温度が上昇して還元が促進される。予熱ガスの適正温度は約1,000°Cと推定されている。

試験高炉と実炉では、鉄鉱石の粒径、全圧が異なるので還元速度が異なり、同一燃料比であっても間接還元量に変化する。試験酸素高炉の操業結果を基に、一界面未反応核モデルによって還元状況を評価し、実酸素高炉の燃料比を推定した結果では、熱損失669 MJ/THM、微粉炭比300 kg/THMの条件で、燃料比の下限は530 kg/THMと報告されている。

2.9 環境対策と排出物の資源化

2.9.1 排ガス対策

我が国の全一次エネルギー消費の約13%を鉄鋼業が占め、なかでも製鉄部門が一貫製鉄所の全エネルギーの70%弱を消費している。排ガス量はエネルギー消費量に比例する要素が強く、製鉄部門は排ガスに関わる環境問題、特にSO_x、NO_x、さらにCO₂についてはその対策に積極的に取り組まなければならない。すでに地域の公害問題として対策は推進されており、特にSO_xは昭和49年の硫酸化物総量規制(51年施行)の導入により、コークス炉ガスの脱硫および焼結機の排煙脱硫を中心とする二大対策が昭和50年台初頭に急速に実施された。その後地球環境、作業環境さらに粉塵などの

対策も地道に進められている。

(1) 焼結機の排ガス対策

一貫製鉄所では焼結工場からのSO_xおよびNO_xの発生割合が大きい。焼結機排ガスの脱SO_x法としては、従来の石灰石膏法(転炉スラグ石膏法)、アンモニア硫酸法に加え、活性炭乾式脱硫法、水酸化マグネシウム脱硫法も実機されて、Fig. 2.30に示すように我が国の稼働中の焼結機の約半数が排煙脱硫装置を設置している。NO_x対策は、発生の抑制と排煙脱硝の両面からの研究開発がなされている。排煙脱硝法としてはアンモニア接触還元法が開発され、すでに2基が稼働している。焼結過程での抑制法は基礎的な研究がなされ、焼結ベッド内でのコークス粒の燃焼制御、鉄分添加コークスの使用が効果的であることが報告されている。

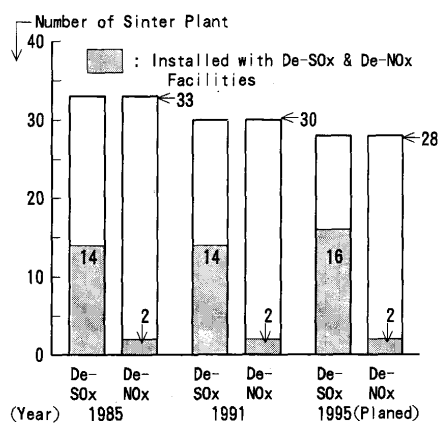


Fig. 2.30. Trend in number of sinter plant installed of De-SO_x and De-NO_x facilities in Japan. (The 146th and 147th Nishiyama Memorial Seminar, ISIJ, Tokyo, (1993))

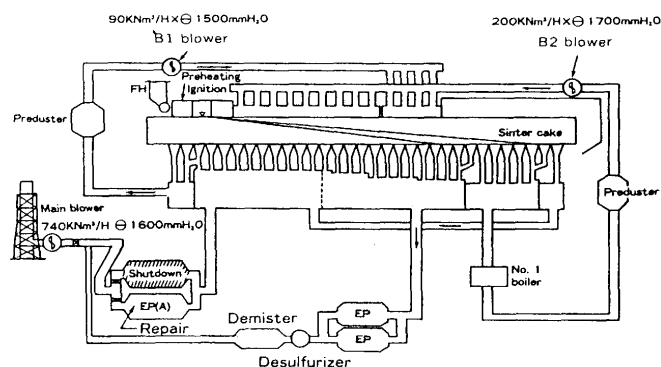


Fig. 2.31. Layout of exhaust gas recirculation system in Tobata-3DL. (Proc. the First Int. Cong. on Science and Technology of Ironmaking, ISIJ, (1994), p. 661)

最近の注目すべき技術として排ガス循環技術が挙げられる。新日本製鐵(株)戸畑3号およびNKK福山4号の焼結機、さらにドイツLurugi社の開発によるEOS-ProcessがオランダIJmuidenの焼結機での実施あるいは実施計画が報告されている。Fig. 2.31に示す戸畑3号焼結機では28%の排ガス量の低減、56%のダスト放出低減、63%のSO_x発生低減効果が得られたと報告されている。さらにエネルギー消費とNO_xの低減効果もあり、今後の改善・普及が期待される。

廃棄物の焼却炉などでダイオキシン類のエミッションが観察されており、焼結機でも塩素などのハロゲン化合物および有機物が存在した場合に同様な化合物の生成が懸念される。定量方法の確立と装入物組成および操業の条件との関係、さらにエミッション限界の考え方の検討が望まれる。

(2) コークス炉の排ガス対策

コークス炉では、すでに脱硫コークス炉ガスなど低硫黄ガスの適用による低SO_x化が図られており、NO_xが残る課題である。この課題には乾留過程の省エネルギーによる絶対燃焼量の低減と燃焼温度の低下とその管理制御によるNO_x発生抑制対策が採られてきた。省エネルギーには調湿炭装入法、予熱炭装入法のほかに燃焼管理自動制御システム、プログラム・ヒーティングが効果をあげ、過去15年間に乾留熱量を全国平均約12%低減している。

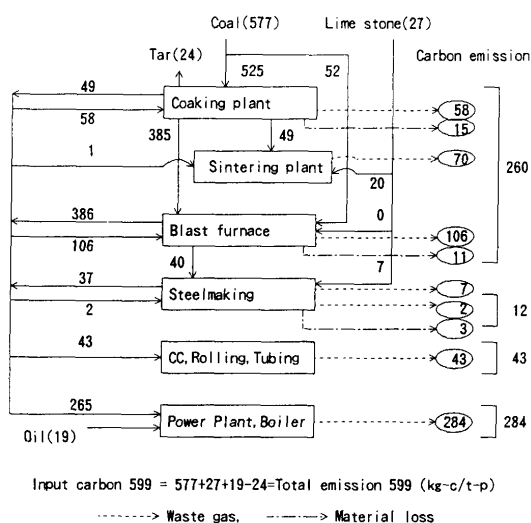


Fig. 2.32. Carbon balance flow in an integrated steel works. (Proc. the First Int. Cong. on Science and Technology of Ironmaking, ISIJ, (1994), p. 685)

コークス炉については、1986年および1990年にそれぞれ改訂されたドイツおよび米国の大気汚染防止法に見るように石炭の装入、コークスの押し出し時および炉蓋、炉壁などからの粉塵発生、乾留ガスのリークなどローカル性の強い環境対策も重要性を増してきている。

(3) CO₂の発生抑制

CO₂は地球温暖化ガスの一つとして、その発生低減の必要性がここ10年間にクローズアップされた。

一貫製鉄所の炭素の工程別バランスフローと炭素エミッション量の試算例をFig. 2.32に示す。製鉄工程には製鉄所への全炭素投入の約95%が石炭(577 kg/t-HM, 92%)および石灰石(20 kg/t-HM, 3.2%)とともに装入される。全体の約41% (234 kg/t-HM)が製鉄工程でCO₂として放出され、残りは次工程に送られる。現状の製鉄工程におけるCO₂の発生低減には1)省エネルギー、2)代替の還元剤および燃料(低炭素/水素比燃料)の使用の二つの方向がある。1)の省エネルギーは原料条件と、製鉄所のエネルギーバランス、すなわち下工程へのクリーンな副生ガス供給などの制約の範囲内で行う必要があり、大幅な低減はむずかしい。しかし、コークス製造工程における先に示した乾留熱の低減、CDQによる高圧蒸気の回収、焼結工程における歩留の向上、排ガスの循環、ダストなど微粉原料のHPS-Processあるいはセメントレスコールドペレット法の適用などこまかな積み上げによる効果が期待される。2)の代替燃料は、日本では石炭の直接使用の範囲に止まり、その代表技術は微粉炭の吹込みで現在200 kg/t-HMの試みが行われている。この場合5%近いCO₂の低減が期待される。

その他炭酸ガス抑制製鉄プロセスとその効果について、日本鉄鋼協会基礎研究会「鉄鋼業における炭酸ガス抑制対策研究会」で検討が行われた。溶融還元製鉄法などは10%前後の低減が見込まれる。また、多量のガスエネルギーの併産と発電を直結する方法、高炉の炉頂ガスからメタノールを合成する方法の有効性も検討されている。

2.9.2 ダストの対策と資源化技術

一貫製鉄所内のプロセス系ダストの発生と循環の一例をFig. 2.33にまた代表組成をTable 2.4に示す。このほかに表面処理工程からのスラッジ、および輸送系からの集塵ダストと水処理などからの汚泥がある。

ダストリサイクルの向け先は主に製鉄原料である。製鉄原

Table 2.4. Analyses of blast furnace dusts.

Blast furnace dust	Component (%)						
	Fe	FeO	SiO ₂	CaO	Zn	C	K+Na
Dry dust	28.6	4.3	4.8	4.3	0.59	38.2	0.046
Wet dust after wet cyclone treatment							
Low-Zn	38.0	6.2	4.3	4.3	0.25	28.4	0.135
High-Zn	34.4	8.3	6.1	3.5	2.95	23.7	0.543

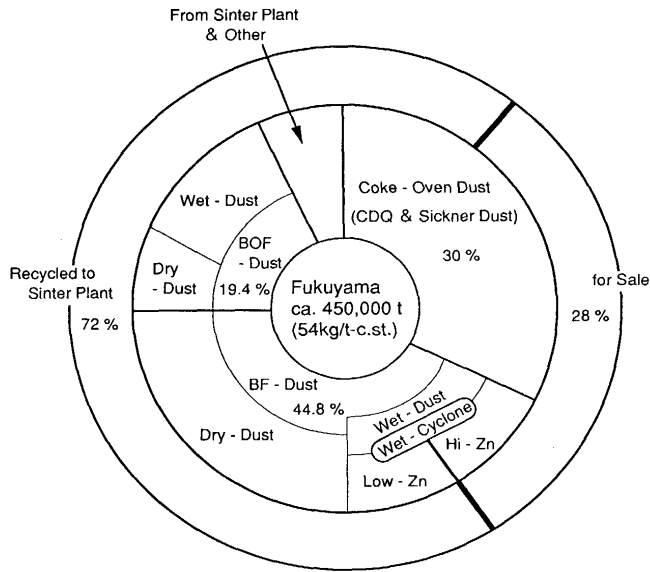


Fig. 2.33. Process dust treatment in an integrated steel works.

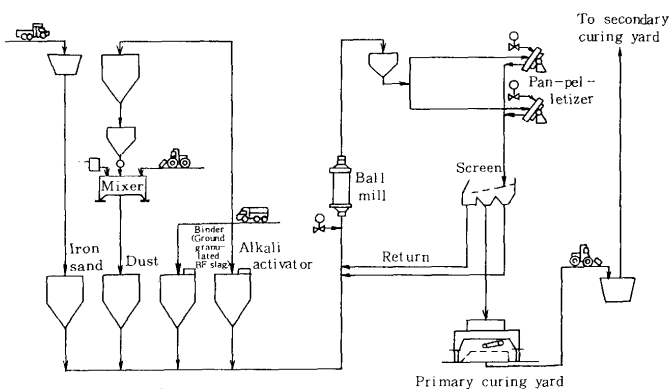


Fig. 2.34. Flow sheet of cementless cold-bond pellet plant. (Tetsu-to-Hagané, 77 (1991), p. 767)

料に循環する場合の問題点は微粉の増加による焼結機の生産性低下と高炉の Zn 装入量限界の 2 点で、焼結原料の微粉化対策としては、ダスト類を簡易造粒した後、焼結機に装入するダスト造粒法、セメントや微粉碎スラグなどの水硬性バインダーを添加し、造粒・養生するコールドペレット法が新日本製鐵(株)名古屋、君津において実機化されている。Fig. 2.34 に示すセメントレスコールドペレット法は環境に優しいプロセスとして注目される。高炉の Zn 装入量の上限について、日本では 150~200 gr/t-HM に管理しているところが多い。この対策として、高炉ダスト中の微粉粒度側の Zn 濃度が高い性質を利用した湿式分級技術が多く適用され、Fig. 2.35 に示すように脱 Zn 率 70~80%、低 Zn 濃度スラッジ回収率 80~70% を得て、バランス制御を行っている。高 Zn 側は外販などに供している。しかし、鉄鋼系のダスト、スラッジの Zn 濃度の関係は Fig. 2.36 のとおりで、表面処理系のスラッジ、スクラップ高配合時の転炉ダストに対しては抜本的な脱 Zn 処理が必要となる脱 Zn 処理技術としては、ロータリーキルンによる還元揮発法、塩化揮発法などの技術が確立されており、昭和 40 年代後半から昭和 50 年代前半には多くの製鉄所で還元揮発法によるロータリーキルンが稼働した。しかし、エネルギー消費が大きいこと、転炉の

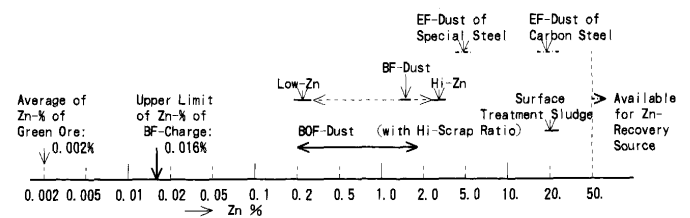


Fig. 2.36. Relation of zinc content of dusts and sludges in steel works to ironmaking raw materials.

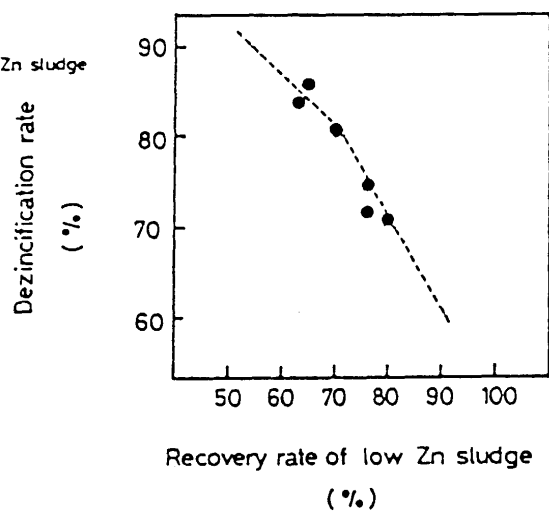
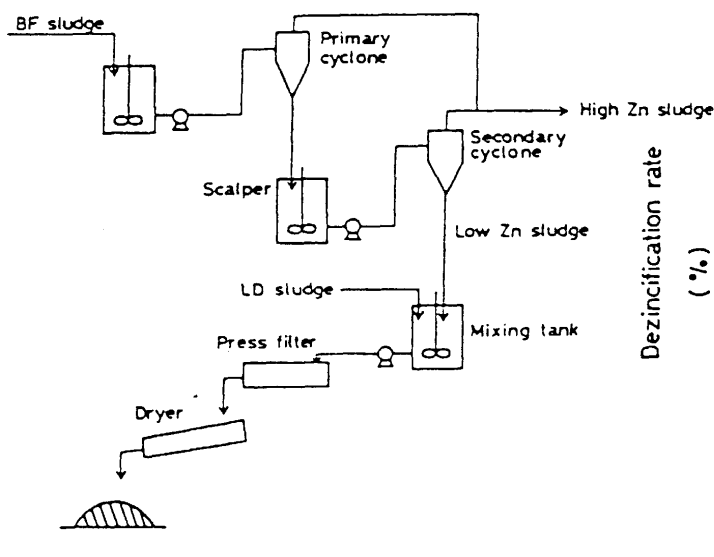


Fig. 2.35. Flow sheet of hydraulic cyclone for blast furnace dust treatment and its efficiency of De-zinc. (CAMP-ISIJ, 2 (1989), p. 51)

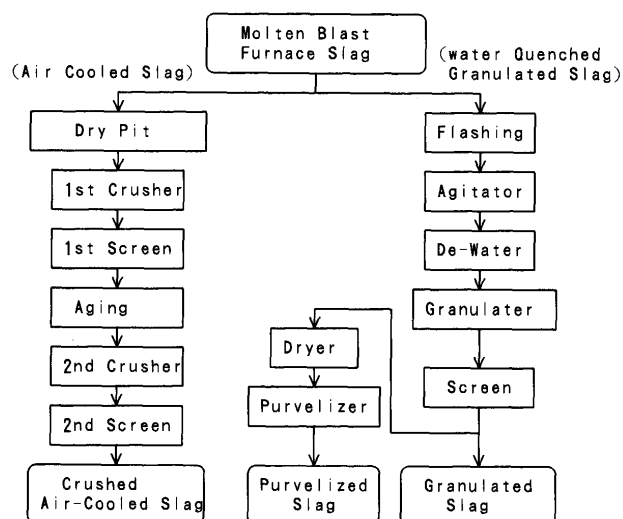


Fig. 2.37. Flow sheet of typical blast furnace slag treatment process.

スクラップ配合率が低下したこと、湿式分級技術が発展したことなどからその後順次休・停止され、現在では乾燥と還元揮発の2段のキルンからなる。SPM法が住友金属工業(株)鹿島で1基稼働しているのみである。この方法は高炉スラッジ、転炉スラッジ、および表面処理系スラッジを混合し、造粒しないで装入するのが特徴である。さらに、高炉ダスト中の炭素分でバランスする配合を見だし、特別の燃料の添加なしに操業している。そのほか、溶銑鍋にダストを直接投入して脱Znと鉄分の回収を同時に行う技術、循環流動層技術を適用してロータリーキルン法より低い温度で脱Znを行う技術、炭剤を内装したペレットを回転床炉で還元と脱Znを同時に行う技術などの試みが内外で報告されているが、実機化には至っていない。

2.9.3 高炉スラッジの資源化技術

高炉スラッジは銑鉄1tから約320kg発生し、年間2,200～2,500万t副産する。高炉スラッジはセメントと同様な水硬性を持つことで注目され、その資源化技術は、日本鉄鋼連盟に設置された昭和47年の高炉滓JIS化推進委員会、昭和51年のスラッジ資源化委員会の活動による高炉セメント、道路用スラッジなどのJIS化、製造技術の開発と管理体制の確立、ま

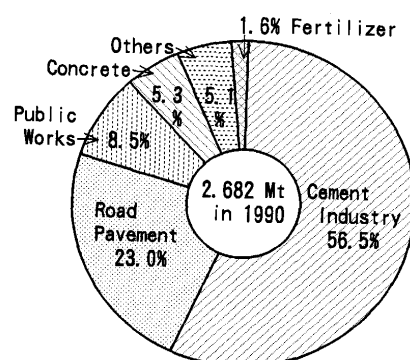


Fig. 2.38. Utilization of blast furnace slag. (Tekkou-kaihou, Oct. 21, 1992)

た日本鉄鋼協会の基礎研究部会のバックアップ研究を得て、昭和50年代に基本技術と体制はほぼ完成した。

(1) 製造と品質

高炉スラッジは冷却方法により、急冷(水砕)スラッジと徐冷スラッジがあり、水砕スラッジは主にセメント原料に、また徐冷スラッジは土木用材料に利用される。その製造工程の一例をFig. 2.37に示す。水砕スラッジはガラス化率の高い硬質の水砕スラッジ製造が必要で、吹製装置の水量、水圧、噴射口の条件による制御と品質管理技術の確立が図られ、ガラス化率90%以上、 $(CaO+MgO+Al_2O_3)/SiO_2$ 1.75以上が保たれている。また、路盤材用などの徐冷スラッジはエージングによる黄水防止、水硬性粒度調整スラッジの強度などの品質管理がなされている。

(2) 資源化利用

水硬性を持つ材料としての評価が定まり、その資源化率は高く、Fig. 2.38に示すように1990年には100%に達している。特に、付加価値率の高いセメント原料への利用が50%を越えるに至っている。強い潜在水硬性を持つため非焼成でセメントに混和でき、有害成分が少なく、アルカリ骨材反応にも強いなど省エネルギーで地球に優しい、いわゆる「エコマテリアル」の性質を有する。

特殊な用途としては、スラッジウール、軽量発泡コンクリート(ALC)の原料などがある。また、水砕スラッジ微粉末の新たな用途開発の検討も推進されている。

2.10 炉体長寿命化

2.10.1 高炉本体設備の長寿命化

近年高炉長寿命化技術の進歩は著しい。1960年代後半に火入れた高炉の寿命が5～6年であったものが1970年代火入れの大型高炉では11年に達している。

1994年2月現在稼働中の川崎製鉄(株)千葉6号高炉(4,500m²)は16年7カ月を経過して、内容積当たり累計出

銑量が11,000tを超えているが、まだ数年の稼働を予定している。

高炉長寿命化技術の進歩は設備・操業・保全各技術の総合力によって成し得たものであって、以下に列記する技術の総合効果によって長寿命化が達成された。

- ① シャフト・ボッシュ部へのSiCレンガ、炉底部への高密度カーボンレンガ適用などの耐火物技術の進歩