

# 鉄鋼の歩みと21世紀の技術展望

## ——製鉄、製鋼、環境・エネルギー・リサイクル部門——



岸田 達  
取締役・支配人

### はじめに

戦後50年、日本の鉄鋼産業は欧米の基本技術を積極的に導入し、設備、コンピュータ、耐火物といった関連産業のバックアップと相俟って、大型化・高速化・高精度化を図り、そのプロセス技術・製品品質・生産管理技術は世界最高レベルに到達しました。

中でも大きなインパクトは、LD転炉、連続鑄造の導入であったことは周知のとおりです。当社も1947年に我が国で初めて連続鑄造技術を鉄に適用する試みをスタートさせ、60年には、本邦で最初の実用機を設置する等の鉄鋼技術発展の輝かしい歴史を有しています。

鉄鋼製造プロセスの中でも、鉄鉱石やスクラップから鋼を製造する、いわゆる鉄鋼工程は、

- ①鋼材の品質を略決定すること
- ②エネルギーを大量に必要とし、地球環境保全に、より密接に関連があること
- ③大規模な製造装置を必要とすること
- ④製造コストに占める比率が高いこと

により、そのプロセス技術の革新は常に重要であります。

鉄鉱石の酸素を還元除去し、浸炭・溶解させた後、脱炭精錬、再凝固させる現鉄鋼プロセスは、21世紀も引き続き主流を占めるとは思われますが、コークス炉、高炉を必要としない新鉄源製造法の台頭、DIOS・SCOPE21・新製鋼フォーラム等の国家プロジェクトの活性化、連続鑄造のニアネットシェープ等、革新のうねりは大きい。

高機能性と利便性と、そしてリサイクル性に優れた鉄は、引き続き産業のベース素材として21世紀でも主役であり続けます。ただし、限られた地球資源の下で、地球環境保全のために、新しい技術を随伴しながらという条件付きであります。

この新しい技術とは、例えば社会貢献度の高い、鋼材の更なる高強度化、製鉄所における未利用エネルギーの活用、スラグの再利用等が考えられます。

いずれにしても、高炉、コークス炉の更新時期をひかえ、鉄鋼技術屋に課せられた責任と期待は大きく、技術100年のまとめを一つの契機に、先人の技術革新の歴史を今一度じっくり学びながら、21世紀の鉄鋼を思う次第です。

## 製 鉄

### 1. 概 説

住友金属工業㈱は、1953年小倉製鋼㈱を合併して高炉製鉄技術を習得するとともに、鉄鋼一貫メーカーへの仲間入りをはたし、自溶性焼結鉱などの独自技術を開発、高炉操業技術発展の基礎を作りあげた。

60年代には、急激な鉄鋼需要の増大に対応するため、戦前からの懸案であった和歌山製鉄所の建設を推進、鉄鋼一貫体制を確立した。この時期の主要増産技術は、欧米からの導入技術で、鉱石整粒強化、重油吹き込み、酸素富化、高温送風、高圧操業などがあり、導入後我が国で更に発展させたものであり、燃料比の低下と増産に寄与した。また当社も、和歌山共同火力を設立して高炉ガスの有効利用を

果たしたり、我が国で初めてステープクーラーを採用したり、当時の高炉としては破格的に大きい2500m<sup>3</sup>超級のNo.4高炉を稼働させるなど、その後の我が国の一貫製鉄所の典型パターンを作りあげるのに貢献した。

更に伸びる需要を満たすため、鹿島製鉄所の建設に着手した。しかしながら鹿島建設の途上においては、鉄鋼需要にもかげりが見え、初期計画の見直しを余儀なくされた。この間には、2度にわたるオイルショックに代表される資源ナショナリズムの台頭による原燃料の高騰に見舞われたが、いち早く高炉のオイルレス操業を実施、これに対処した。また、原料炭の不足に対してはスミコールシステムのほか、成形コークス製造法の開発、高炉吹き込み用重油代替燃料の開発としてCOM (Coal Oil Mixture)、PCI (Purverized Coal Injection) などをマスターした。

85年代に入ると、円独歩高などの経済変化にも見舞われ

たが、設備と生産の集約などによる合理化でこれに対処した。その後内需拡大で経済は復興したが、輸出規制で量的には伸びず、品質レベルの高度化が潮流となつてあらわれ、溶銑に対しては低 Si が要求された。また製造コストの削減には、製造プロセスの合理化とともに高炉、コークス炉の設備寿命の延長技術は重要課題であった。特に資源問題とコスト低減、加えてコークス炉の延命に寄与する PCI 技術は急速に普及した。

以上の当社製鉄技術の発展経緯を経済動向と対比して第 1 図に示す。

## 2. 高炉操業

### 2-1 鉄鋼一貫への胎動

戦前すでに鉄鋼一貫体制に進む計画が立てられ、和歌山市に 1942 年 4 月 11 日工場を開設し、製輪、製鋼、製管設備を完成させたが、念願の高炉建設は国策の要請に従い繰り延べを余儀なくされ、終戦を迎えた。

50 年、日本製鐵の解体により鉄源の供給に変化が生じた。鉄屑の逼迫と不安定化が激しく、一貫製鉄会社の傘下に入るか、鉄源自給かの二者択一を迫られる状況にあった。当社は鉄鉄自給の道を選択し、53 年 7 月小倉製鋼㈱を合併して鉄鋼一貫の仲間入りを果たした。このとき、No.2 高炉 1 基、5 基の平炉などが稼働していた。No.2 高炉は 42 年にほとんどの設備が完成していたが、戦況思わしくなく放置されていたものを整備し、51 年に火入れされた。一方、No.1 高炉は 39 年に火入れされたが、45 年の太平洋戦争終結とともに休止していたもので、これを整備して 56 年に再火入

れられ、待望の高炉 2 基体制が整った。両炉とも 380t/d 程度の小型高炉であり、古い設備を流用していたが、比較的安定していた。

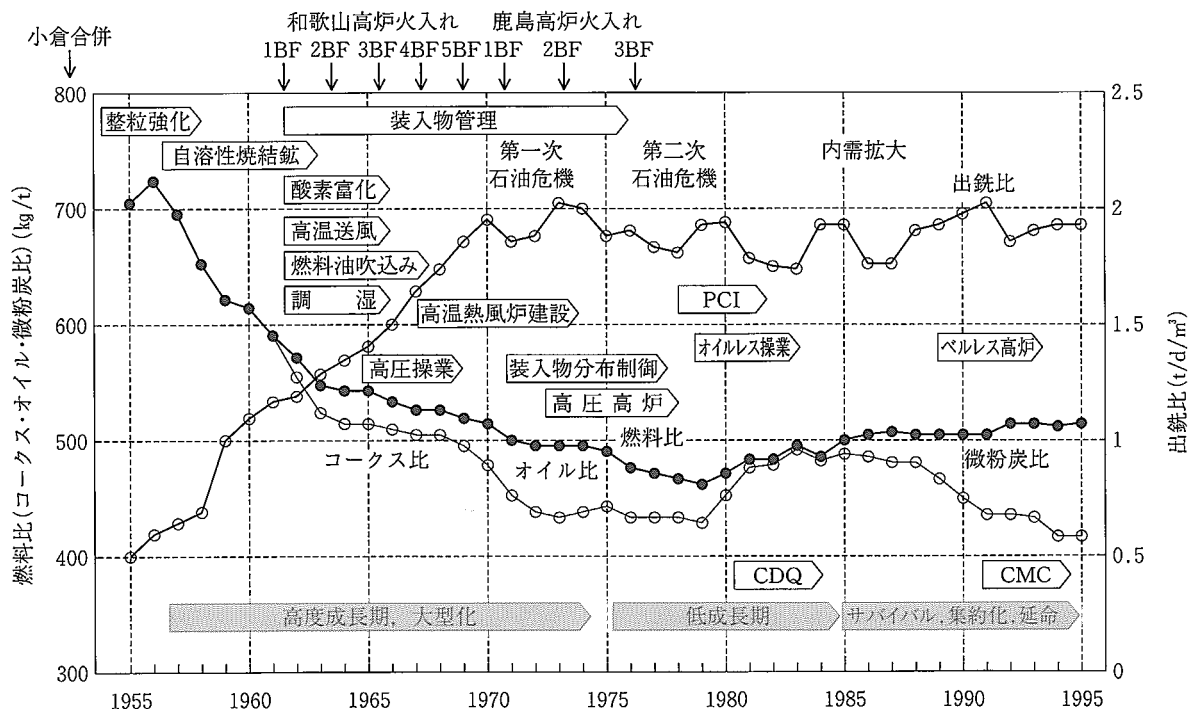
### 2-2 小倉製鉄所、新技術の導入と発展 (初期 10 年間)

小倉製鋼㈱合併当時の原料事情は極めて悪く、硫酸滓(35%)と砂鉄(20%)を大量配合する焼結銑を使用していた。これらの悪質原料の事前処理技術として自溶性焼結銑の開発に力を入れていた。57 年 No.2 高炉の吹き卸しに際して、開発中の自溶性焼結銑を 100% 使用し、好成績を収め、翌 58 年には No.1 高炉でコークス比月平均 548kg/p-t の世界記録、出銑比 1.165t/d.m<sup>3</sup> の日本記録を樹立、その後の焼結多配合操業の全国的普及に貢献した。

56 年、No.1 高炉 2 次改修時には、炉内反応解明のため炉頂ガスサンプラーを設置し、炉頂ガス分布を日常管理した。既にこの頃、装入物分布の重要性を認識し、62 年には No.2 高炉の大小ベル上での分布調査と 1/4 円周模型実験も行っている。

60 年には水蒸気を吹き込む調湿送風を実施し、62 年には国内鉄鋼 12 社共同で燃料油吹込技術をフランスのボンベイから導入し、まず小倉で実施して、順次新高炉に普及させていった。酸素富化、高温送風もこの時期に採用している。

また、63 年、64 年 No.1、2 高炉 3 次火入れ前の改修では、それぞれ 92 日間、73 日間の短期改修を実施している。今日では通常技術であるが、既にこの時期に設備の有効活用を目指した短期改修を実施している。



第 1 図 当社製鉄技術の発展 (出銑比、燃料比は全国平均値)

## 2-3 和歌山・鹿島製鉄所の建設と高炉の大型化

56～60年の第2次合理化計画（通産省長期20ヵ年計画を受け、各社第2次合理化計画策定）の臨海立地、高転炉重点主義（屑鉄の枯渇）、輸入原料への依存度拡大などの基本方針に基づき、一貫製鉄所の建設が和歌山市に決定された。長期計画委員会が計画の具体化を行い、繰り上げ建設された。工場レイアウトについては、(米)カイザーエンジニアリングに技術指導を依頼、高炉5～6基を斜め配列とし水滓池を設置、溶鉄の運搬を単純化などの助言を受けた。61年3月15日にNo.1高炉に火が入り、鉄鋼一貫の根幹をなす体制が確立された。原料は小倉での実績から焼結鉱60%以上の配合とした。炉容1350m<sup>3</sup>、熱風炉はカウパー式、チンメルマン式自動切替方式、受鉄は国内初のトーピードカーを採用した。また炉体には煉瓦損耗状況を追跡するためCo<sup>60</sup>を埋め込んだ。付帯設備としてはNo.1焼結機（ドワイトロイド式1100t/d）、No.1コークス炉（コッパース社製複式循環型4m×70門1000t/d）が建設された。このときの製鋼設備は平炉で200t炉2基と100t炉2基であった。

No.1高炉の火入れ2年後にはNo.2高炉（内容積1650m<sup>3</sup>）に火が入り、年産200万t体制とした。高圧操業は見送ったが、発電、酸素供給についてはそれぞれ和歌山共同火力、共同酸素を設立して専門的に行なわせた。和歌山共同火力は75000kWの半量を高炉ガスで賄うもので、我が国における製鉄と電力の最初のコンビナート形式を作りあげ、その後の鉄鋼業の共同火力方式の先鞭となった。付帯設備としてはNo.2焼結機（3000t/d）、No.2コークス炉（4m×50門560t/d、不足分1000t/dは大阪ガス㈱から購入）が建設された。製鋼設備としては、110t転炉2基（2年後160tに改造、ガス回収設備付き）を新設した。

65年にはNo.3高炉に火入れした。高圧操業技術を(米)リパブリックステイル社から導入して、0.7kg/cm<sup>2</sup>の高圧操業を当社ではじめて採用し、炉頂設備は2ベル・バルブシール方式とした。羽口は24本とし、高生産性を期した。原料関係およびガス清浄の計器は高炉計器室に集中して、完全自動制御とし、これに加えて熱風炉の自動運転、中性子によるコークス水分の自動測定、ガスクロマトグラフによる高炉ガスの測定など、高炉の自動化を更に進めた。

No.4高炉の建設に当たっては、第4高炉委員会を設置して、溶鉄生産量5000t/dの可能性を検討し、技術的・設備的に可能との結論を基に、世界で初めて2500m<sup>3</sup>を超える大型高炉を建設した。酸素富化、高温送風、重油吹き込み、高圧操業、複合送風などの増産技術は全て採用した。コークス炉はこの時点でNo.4、5号の5m×168門（3090t/d）が完成して、6440t/dの製造が可能となり、不足分1000t/dは引き続き大阪ガス㈱からの購入で対処した。No.4高炉火入れ時点で粗鋼年産550万tとした。また、No.4高炉は72年には、火入れ以来累計出鉄量が1000万tを超える国内新

記録を達成した。

No.5高炉は69年に火入れされた。炉内容積はNo.4高炉とほぼ同じで2630m<sup>3</sup>、炉頂圧1.5kg/cm<sup>2</sup>、日産能力5260tである。関連設備としてはNo.5焼結機、6号160t転炉、6号コークス炉6m×106門が稼働した。この時点で和歌山の高炉建設は完了した。

鹿島No.1高炉の完工時期については通産大臣の諮問機関である産業構造審議会鉄鋼部会で審議されたが、景気好転を背景に各社の計画が集中し難航した。しかし、鹿島は新立地のため工期が長期間を要すること、および製品設備先行によりスラブを和歌山から運搬する必要があることなどの事情が認められ、No.1高炉完工は71年2月に決まった。和歌山製鉄所の建設時に比べて設備の大型化は更に進み、炉内容積3159m<sup>3</sup>、炉頂圧1.5kg/cm<sup>2</sup>、出鉄口3本、出鉄主樋の取替化、400tトーピードカー14台で受鉄など高炉周りの大型化、効率化のほか、No.1焼結機6700t/d、コークス炉7m×108門3900t/d、250t転炉2基など全てが超大型であった。連続 casting 設備は、No.1高炉火入れの1年後となり、立ち上がりは直 casting 型造塊法でスタートした。この時点での粗鋼年産能力は280万tであった。

諸設備の建設計画は県当局の承認のもとに公害防止覚え書きを取り交わして進められた。大容量集塵機の新設、コンベアーの防塵カバー設置、コークス炉ガスの脱硫設備、煙突集合高層化、低硫黄重油の使用など対策は広範囲に実施された。

No.1高炉の火入れと同時に、高炉、転炉、分塊、エネルギーセンターの各プロコンは一斉に稼働し、7月にはNo.1高炉段階の体制整備が完了した。このオンライン総合生産管理を目指したシステムはTOPS（Total On-line Production Control System）と略称された。

コークスの供給は、和歌山と同じく住金化工㈱が、酸素は共同酸素㈱が、スラグ処理は鹿島鉱化㈱が構内に工場を設置して製造に当たった。電力は、東京電力との合弁で鹿島共同火力を設立、重油と高炉ガスの混焼火力発電とした。

鹿島No.2高炉は2年後の73年3月に火入れされた。高炉の大型化は更に進み、炉内容積4080m<sup>3</sup>、炉頂圧2.5kg/cm<sup>2</sup>、出鉄口4本、外燃式熱風炉4基、ソ連式ステーブ冷却、No.2焼結機15500t/d、No.3コークス炉138門などとなった。転炉は、この時点で1基増設され2/3基操業体制を整えた。連続 casting 設備はNo.2高炉火入れに半年先行して完成していた。

76年に火入れされた鹿島No.3高炉は、世界最大級の内容積5050m<sup>3</sup>、炉頂圧2.5kg/cm<sup>2</sup>、出鉄口4本、ソ連式ステーブ採用など最新鋭設備とした。

## 2-4 高炉操業技術の改善と各所の体質改善

### (1) 吹き止め改修時の新技術開発

当社高炉操業技術の継承は、小倉製鋼㈱から小倉製鉄所へ引き継がれ、小倉で高度化したものを和歌山で更に発展させ、鹿島の大型炉に適用するというパターンを取っている。とりわけ吹き止め改修時に大きな技術開発試験が行われてきた。自溶性焼結鉱については前述したとおりであるが、その後も74年の小倉改2高炉吹き止めに際しては解体調査を行い、炉内現象の解明に役立てている。78年には、減産のやむなきに至り、新1高炉吹き止めた。2年間の短期操業であったが、再使用の可能性を残して高炉本体と熱風炉を休止した。また、鹿島2高炉で技術確立した減尺吹き出し技術を採用し、81年に小倉新2高炉で羽口までの減尺吹き出しにより内容物掻き出しを早め、45日の短期改修を行い、鉄皮と炉底煉瓦の再使用を行っている。和歌山No.2高炉では87年吹き止めた高炉の長期バンキング、再稼働試験（39日休止後76日間稼働）も行われた。

設備的改造も当然改修時期に行われた。炉容積の拡大、炉体冷却方式の変更、煉瓦材質、積み方法などの改善は毎回行ってきた。鹿島No.2、3高炉では、90年に装入装置をベル方式からベルレス方式に変更した。

### (2) 外部状況変化への対応

73年以来、オイルショックをはじめとする資源ナショナリズムの台頭により、鉄鋼生産の伸びは止まり安定期にはいるが、高炉操業にも大きな変化が生じた。オイルレス操業を他社に先駆け実施するとともに重油代替燃料として、COM、CTM (Coal Tar Mixture)、PCI などの高炉羽口吹き込み技術の開発を行った。PCIは、61年の和歌山No.4高炉を皮切りに、現在5基の稼働高炉中4基で実施中であり、残り1基も現在建設中である。当社のPCI設備は、N<sub>2</sub>をキャリアーガスとする比較的安価な自社開発設備である。この他、成形コークス、スミコールシステムの開発など原料炭の節約にも努力している。

また、省エネルギーにも積極的に取り組み、焼結機クーラーおよび主排の排熱回収、高炉炉頂圧回収タービン (TRT, Top pressure Recovery Turbine)、高炉乾式集塵 (BDC, B-gas Dry Cleaning system) の開発を行い、実用化した。

### (3) 各所の体質改善と集中生産

小倉製鉄所の体質改善の一貫として、69～76年、高炉北地区移転を完了した。しかし、78年には減産に見舞われ、新1高炉を吹き止め、新2高炉の1基体制での集中生産となった。また、和歌山製鉄所では75年にNo.1高炉を休止し、87と90年にはNo.2、3高炉を休止して、No.4、5の2基体制とした。最新鋭高炉を持つ鹿島製鉄所は、90年にNo.1高炉を休止し、No.2、3高炉の2基体制となり、この時点で全社5基稼働体制となった。

### (4) 低Si操業

製鋼工程におけるコストの低減を目的に、低Si操業が指向され、83年、和歌山No.3高炉において操業テストを行った。この結果を適用することにより、85年、和歌山No.4高炉で、年平均Si0.29%と、当社で初めて0.2%台を達成し、87年、鹿島No.3高炉で、年平均Si0.24%の当時の日本新記録を樹立した。

### (5) 高炉延命技術

80年代に入り、高炉延命技術は格段の進歩を遂げた。その要因としては、装入物分布制御による炉体保護操業技術と、減尺による吹付け補修、ステーブ取替、圧入などの炉壁補修技術が挙げられる。鹿島No.2高炉(1次)においてムーバブルアーマー使用による高炉内ガス流れ制御技術が炉体熱負荷軽減に寄与することを確認した。また、86年、鹿島No.1高炉において初の減尺吹付け補修が行われ、鹿島No.3高炉においては、87年、ボッシュ部までの減尺による小型ステーブの取付、89年にはボッシュ部ステーブの取り替えテストも行われた。

鹿島No.3高炉(1次)は、これらの技術の集大成により13年5ヶ月の長期安定操業を達成し、90年に吹止めされた。この間の操業成績、稼働日数4893日、累計出鉄量4815万トン、総出鉄比9535t/m<sup>3</sup>は、いずれも当時の世界新記録であった。また、和歌山No.4高炉では、88年～90年にかけて長時間休風によりシャフト下部ステーブの全周にわたる取り替えも行われた。

これらの技術確立は、現在でも活かされており、小倉No.2高炉、和歌山No.4高炉では、更なる補修、延命技術も織り込み、炉寿命20年以上に向け挑戦中である。

### (6) 高炉数学モデルの活用

総合技術研究所では高炉数学モデルの開発を進め、稼働高炉への活用を図ってきた。高炉内の伝熱、反応理論をベースとした高炉総合モデルとしては、1次元定常モデル、1次元非定常モデルを、更には3次元非定常モデルが開発され、各種の操業設計、新技術評価に活用されている。

また、高炉の炉頂ガスデータを利用して溶鉄温度を予測するTSMモデルが開発され、炉熱制御に活用されてきた。

## 2-5 製鉄新技術の開発

### (1) ダスト還元ペレット

製鉄、製鋼工程で発生するダストを回収して還元ペレットを作り、高炉原料として再利用する技術開発を、71年から住友重機械工業㈱と共同で取り組み、75年5月和歌山で実用化した。このプロセスの特徴は、還元剤を内装する点にあり、還元鉄の金属化率、脱亜鉛率、熱源単位などに良好な成績を収めた。一方、ロータリーキルン内で還元と造粒を同時に行う方式を久保田鉄工と共同開発した。この方式の設備は75年3月に鹿島に完成した。

## (2) SC法

高炉法では、良質のコークスと塊成鉱の使用が必須条件であるが、これらの原料処理設備の簡略化と原料制約の緩和とを目的に1982年に波崎研究センタにパイロットプラントを建設、試験を実施した。この方法は、高炉を上下に2分割し、上はシャフト還元炉、下はコークス充填式の還元鉄溶解炉で構成し、溶解炉で酸素送風することにより微粉炭を大量に使用することを特徴としている。Sumitomoで開発した Shaft type の Smelting 炉と Coal を主燃料とした Coke 充填層式 Cupola 溶解炉から構成されていることから、SC法と呼んでいる。

## (3) 新製鉄法

粉粒状の一般炭、鉄鉱石を従来のコークス法、焼結法によらず直接使用でき、生産弾力性が高い製鉄法として、DIOS法 (Direct Iron Ore Smelting reduction process) の共同研究が、88年度から95年度まで8年間にわたり、国家プロジェクトとして鉄連および高炉8社によりなされた。

この DIOS 法は、流動層式予備還元炉と鉄浴式溶融還元炉から構成され、日産500トン規模のパイロットプラント試験が実施され、所期の目標を達成して成功裡に終了した。技術的に1基年産百万トン規模の実機化が技術的に可能であり、経済性はグリーンフィールドベースで高炉法に対し有利との結果が得られている。

# 3. 製鉄原料

## 3-1 原料技術の発展の経過

焼結プロセスは非鉄金属の粉鉱石の熱間事前処理法および塊成化技術として開発され、その後鉄鉱石に応用された。自溶性焼結鉱が高炉装入物として優れたものであることが確認されたのは57年以降である。以来、我が国において、多数のドワイトロイド型焼結機が建設され、多量の自溶性焼結鉱が製造され、高炉装入原料の大半を占めるようになった。

高炉操業の円滑化のためには高炉操業の改善もさることながら、その主要な装入物である焼結鉱品質の果たす役割は極めて重要である。良好な焼結鉱品質を確保すべく、広く海外から良質な鉄鉱石を輸入するとともに精力的に自溶性焼結鉱に関する研究および開発を推進して、大きな成果を得ている。

## 3-2 鉱石事情

鉄鉱石を酸化鉄の鉱物種類から区分すると、磁鉄鉱系鉱石、赤鉄鉱系鉱石、褐鉄鉱系鉱石に大別され、磁鉄鉱系はマグネタイト ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ )、赤鉄鉱系はヘマタイト ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、褐鉄鉱系はゲーサイト ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) が主要鉱物である。必ずしも主要単一鉱物のみの構成ではなく複数の鉱物が混合している。また  $\text{Al}_2\text{O}_3$  や  $\text{SiO}_2$  成分を含有する脈

石鉱物も混入している。戦後は磁鉄鉱系が主体であったが、時代とともに赤鉄鉱系に移行し、現在は褐鉄鉱系が増加しつつある。鉄鉱石は銘柄の違いによって、その造粒性や焼結反応が大幅に異なるので、この銘柄特性の把握が焼結鉱製造に極めて重要である。

戦後の鉄鉱石事情は極めて悪く、当社では56年からの第2次合理化計画の中で、輸入鉱石への依存度拡大を打ち出している。

71年のニクソン大統領によるドル切り下げ、続いて73年、第4次中東戦争を直接のきっかけとした石油危機に象徴される資源ナショナリズムの台頭により、世界の原料事情は様相を一変してしまった。この石油危機を契機に省エネルギーの意識が一段と高まり、全社的なエネルギー節減運動が展開された。

68年に結成された鉄鉱石輸出国連合は OPEC の活動に刺激されて、76年の価格改定交渉に際しては、鉄鉱石の価格を大幅に引き上げた。一方、資源保有国の鉱山国有化の動きもあり、75年にはペルーのマルコナ鉱山国有化、また原燃料の最大供給国であるオーストラリアでは、鉱産物の新規輸出契約が許可制となり、外国資本による鉱山開発の制限、契約価格更改交渉への政府介入等が行われ、結局価格の高騰をもたらすこととなった。

これまでの原料契約は長期契約方式であったが、74、75年と2年続きの鉄鋼減産を強いられ、原料余剰が発生した。しかしこの問題は一時的なものではなく、長期化する不況下における、契約方式の再検討を迫るものであった。したがって、原料購入に際しては弾力的な契約方式を推進し、在庫能力の拡大を図る一方、更に鉱山への投資の必要性が生じてきた。

ペレットについては、67年和歌山 No.4高炉火入れ以降、鉱石事情からペレットの大量使用を余儀なくされたが、ペレットの異常膨張現象のため高炉の安定操業は得られず、やむなく焼結鉱に切り替えるため、No.4焼結機を7000t/dの大型とした。これがペレットの還元ふくれ試験法制定の発端ともなり、その後のペレットの品質向上につながった。

なお、78年の第2次オイルショック以降、ペレットは焼成燃料の高騰により価格競争力が低下し、生産量、使用量とも減少した。

また、焼結鉱、ペレットに替わるものとして、1982年に当社独自の破砕型コールドボンド鉱を開発し、和歌山 No.2高炉で17日間、Max.15%配合のテストを実施した。

## 3-3 自溶性焼結鉱の開発と発展

小倉製鋼㈱を合併した時点での原料処理設備としては、300t/d焼結機1基であった。この設備は43年に稼働したが、45年の終戦とともに休止し、51年に6年振りに修復再稼働したものであった。当時の技術改善の主眼は、鉄鉱石、石灰石、平炉滓およびコークスなどの高炉装入物の粒度管

理を強化することであった。

54年に、No.2高炉で自溶性焼結鉱を多配して、コークス比630kg/tの好成績を得るとともに通気性の好転がみられたことから詳細な操業解析を行い、その後の焼結鉱への傾斜の方針を出した。また57年 No.2高炉の吹き出し操業において、自溶性焼結鉱100%の試験を行い好成績を収めた。これが決め手となり、焼結鉱はもはや単なる劣質鉱石の塊状化処理ではなく、更に進んだ改質処理技術として認められ、積極的開発へとつながっていった。57年には、10万t鉱石ヤードを新設、焼結機の拡大修理など増産体制を確立し、高炉での数々の新記録を樹立し、翌年5月にはNo.1高炉で月間平均コークス比548kg/tの世界記録を達成、AIMEで表彰され、焼結多配合操業の一般化に寄与した。

自溶性焼結鉱の基礎的研究でも急激な進歩を示した。改質効果の主要因は、石灰を添加することにより、難還元性のFayaliteを解離して、被還元性の良いCalcium ferriteに改善できることも確認できた。また、石灰石を事前焼成することで高炉のコークス使用を減少できるメリットもある。5%程度の石灰石でFayaliteは完全に解離して、Calcium ferriteになり被還元性が向上すること、石灰石添加は冷間強度をやや劣化させるが、高温強度を向上させることで、高炉操業に有利であることが判明した。

### 3-4 和歌山・鹿島製鉄所の焼結機設置と改造

和歌山、鹿島製鉄所の主要鉄原料は、小倉での輝かしい実績を踏まえて、焼結鉱と決まり、高炉の建設に符合して、焼結機が建設された。形式は全てドワイトロイド型、製造能力は和歌山がNo.1～5号機、1100～7000t/d/基であり、鹿島がNo.1～3号機、6700～15500t/d/基であった。

和歌山製鉄所建設時の61～70年は、高炉の大型化に伴い焼結機も大型化、高速化、自動化と製品品質の向上、機能の高度化、多様化が課題であった。鹿島製鉄所建設時の71～76年は安定成長期を迎え、環境保全や資源エネルギーの価格上昇に直面して、この対策が主課題であった。また、67年8月には公害対策基本法が施行され、焼結過程でのSOx、NOx低減の研究が行われた。また、モレタナ式排煙脱硫装置を開発し、75年に和歌山No.5焼結設備に1号機を設置した。

85年、和歌山No.4焼結機は、50%の能力向上と我が国初のセミストランドクーリング、主排ガス循環の大改造工事を、横引き工法を採用して、55日間の短期間で行い、No.2焼結を吸収した。この年、全社で10基稼働していた焼結機を5基に集約した。

### 3-5 焼結鉱の改善と操業の合理化

#### (1) 焼結鉱品質の改善

61年頃の焼結改善策としては、高負圧化、高層厚化が進められた。また同時期、焼結プロセスは、もはや単なる粉鉱の処理ではなくて、鉱石の改質事前処理の意味が大きく認識されはじめていた。またこの時期、重油添加焼結鉱などの焼結鉱品質改良試験が行われた。63年頃には、自溶性焼結鉱の強度改善を目的として、石灰ドロマイト添加の基礎試験も実施された。67年頃には、荷重軟化試験の結果から焼結鉱の塩基度の再検討が行われている。

焼結鉱製造条件の改善については、焼結過程の数式化を図り、層内温度分布、焼成時間などを算出できるようになり、その後に全機に適用されている制御モデルへと発展していった。77年頃には、小倉No.2高炉解体調査で確認された還元粉化現象を、基礎実験で確認し、還元粉化の主原因が再晶出型のヘマタイトであることを解明し、従来のTI (Tumbler Index)、RI (Reducibility Index)などに追加して低温還元粉化指数RDI (Reduction Disintegration Index)を管理指標にした。

#### (2) 操業の自動化と合理化

65年には、焼結における添加水の自動制御のため、中性子水分計自動制御設備を採用し、安定化を行った。和歌山では、77年に5基の焼結機が稼働していたが、製品の品質管理を自動で行う合理化設備を開発した。

また、同じ頃、研究所では、焼結プロセスの近似シミュレーションモデルを構築し、その後の発展の基礎を作った。78年頃には、3所の焼結プロセスコントロールシステムを稼働させ、92年には更に改良している。鹿島では、建設当初から製鉄原料管理システムをスタートし、ヤード拡張とともにシステムを拡張した。小倉では、1977年新ヤード建設時にシステムを完成している。

一方、省エネルギー対策として、焼結機クーラーの排熱回収については79年和歌山4焼結を皮切りに全焼結機に設置、主排ガス排熱回収は81年和歌山5焼結、小倉3焼結に、主排ガス循環は82年小倉3焼結、85年和歌山4焼結に設置した。その結果、当社の焼結機の純使用エネルギーはトップレベルにある。

91年頃には、焼結点火炉用の高効率マルチスリットバーナーも開発され、中国、韓国、台湾の焼結機にも適用された。

92年には、焼成エネルギーの下限界に挑戦して、2段点火焼結プロセスが研究された。

#### (3) 造粒強化

焼結工程では、生産性に大きく影響する通気性を確保するため、造粒技術が重要であり、種々の研究、改善が行われてきた。

86年には石灰分割造粒法が開発され、鹿島No.2焼結機に適用された。本法は、高CaO成分疑似粒子と低CaO成



分疑似粒子を別々に造粒した後混合して焼結する方法で、RDIを悪化させる2次ヘマタイトとカルシウムフェライトの共存組織を抑制する技術であり、難焼結性高 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 鉱石の使用増加技術として活用されている。この際、造粒強化のため、高速攪拌ミキサーを我が国で初めて適用した。

93年には小倉 No.3焼結に、微粉原料造粒強化を目的に、高速攪拌ミキサーが設置され、96年には、造粒強化による増産を目的として、和歌山 No.4焼結機に高速攪拌ミキサーを用いた分割造粒システムが設置された。

### 3-6 最近の焼結技術開発

#### (1) ピソライト鉱石多量使用技術の開発

89年以降、我が国鉄鋼業の業績が悪化、原料費低減が緊急の課題となり、オーストラリア産ピソライト鉱石の使用量が増加している。この鉱石はヘマタイト塊を核にしその周囲を多量のゲーサイトが取り囲んだ魚卵状構造のため、結晶水の蒸発による吸熱量が大きく、融液との急激な同化を起こして粗大気孔を有する脆弱な構造となりやすい。また高 $\text{SiO}_2$ のため、低強度のガラス質シリケートを形成しやすい。これらの鉱石特性が焼結操業、品質悪化の主原因である。

このような鉱石を焼結するには、パレット内のヒートパターンを均一にする制御技術が重要である。これらの視点からの対応策として、焼成制御のレベルアップ、疑似粒子設計による融液との同化抑制対策あるいは配合設計による融体流動性改善対策などが検討されている。

#### (2) 低スラグ焼結鉱の製造

高炉での微粉炭吹き込み増加による、炉内 ore/coke 比増加に伴い、融着帯の肥大化、通気性の悪化が問題となり、その対策として焼結鉱低スラグ化、高温性状改善が注目されている。また、最近スラグが余剰傾向となっており、今後スラグ発生量の抑制が必要になると予想される。

そのため、各所において、低スラグ焼結鉱製造の実機試験が実施されており、従来の $\text{SiO}_2$ 5.0%のレベルから、4.5%程度までの低減の目処を得ている。また、今後更に $\text{SiO}_2$ を低減すべく研究が進められている。

## 4. コークス

### 4-1 コークス製造技術の発展の経過

小倉製鋼(株)を合併した時に、「黒田式35門骸炭炉(未完成)」の記述があることから、建設途中で戦争の影響を受け中止されたものである。したがって、当社のコークス生産の歴史は、61年の和歌山製鉄所 No.1高炉の稼働と期を同じくして始まることになる。

和歌山の高炉は61年から2年ごとに、No.1から No.5まで建設されていったが、コークス炉もほぼこれに呼応した形で No.1から No.6まで建設された。No.1、2炉 4 m ×

120門、No.3、4、5炉 5 m × 244門、No.6炉 6 m 炉 × 106門、No.1～6 炉合計470門、生産能力9 300t-coke/dであり、高炉5基体制における不足分1 000t-coke/dは大阪ガスからの購入で賄った。

鹿島製鉄所のコークス炉は、No.1、2高炉に呼応して、No.1、2炉、計7 m × 292門が建設され、81年に2 D炉41門が建設され合計333門となった。形式は和歌山 No.1～5炉はコッパース式、和歌山 No.6炉と鹿島は住友コッパース式複式炉である。

70年代に入り、資源ナショナリズムが台頭し、資源エネルギーの高騰、原料炭の不足を招き、省エネルギー・非粘結炭の活用が重点課題となった。当社ではスミコールシステムを開発し、非粘結炭を20%配合したコークスを実用化した。また他社に先駆けて、DKS 成形コークスを開発、高炉使用試験まで行い、実用化の目処をつけた。その後、連続式成形コークスの共同開発研究が国家プロジェクトとして推進された。

80年代には国内需要低迷時代を迎え、高炉の整理統合が行われるとともに、コークス炉についても和歌山 No.1～3 炉を休止した。

一方で、CDQ (Coke Dry Quench)、CMC (Coal Moisture Control system)、自動燃焼管理システムなどを導入し、廃熱回収、乾留熱量の低減など省エネルギー、コークス品質向上および非粘結炭多配合などの合理化を推進した。また、移動機械の自動化も進められた。

80年代後半からは、21世紀の製鉄法について議論が盛んに戦わされた。その主要因はコークス炉寿命の問題であり、現有炉の寿命が尽きた以降の製鉄法は如何にあるべきかについてであったが、当面の課題は現有コークス炉の寿命延長であり、当社ではコークス炉炭化室壁を補修するプラズマ溶射補修法を開発するとともに、業界共研で遠隔溶射装置の開発実用化を行った。

### 4-2 石炭事情

当社がコークスの製造を開始した61年頃は、朝鮮動乱(50年)、スエズ動乱(56年)を経て、石炭価格は高騰していたが、オーストラリア、カナダ西部の輸出市場開発と日本の意向が合致して、豪炭は55年から、加炭は58年から輸入を開始した。ソ連炭は樺太炭に加えて、58年からクズネツ炭が追加された。一方国内炭は、数次の救済策にも拘わらず競争力を失い、シェアを後退させていった。60年末の、オーストラリアクインズランド州のモウラ炭が初めて我が国の資本参加のもとに対日向けに出荷された。その後オーストラリア、カナダで炭坑開発が次々と進められていった。

65年からの10年間は、鉄鋼生産、石炭消費とも驚異的な伸びを示し、石炭の需給の逼迫を招き、選択範囲拡大の必要性が認識され、関連する技術開発が行われた。73、78年

の石油危機によって石炭が見直され、需要が増加した。また74年の原料炭不足は、偶発的な事件が重なって生じた面もあったが、基本的には、鉄鋼生産規模の急激な増大に原料炭の供給が追従できなかったことによるものである。そこで当社では従来から推進していた原料炭節減対策を更に強化することとし、特に石炭比の低減と、低品位炭利用技術の開発に重点を置いた。その結果、石炭比はその後1～2年で著しく低下した。

#### 4-3 新設備の稼働

コークス乾式消火設備 (CDQ) については、81年稼働の鹿島 No.1CDQ 設備以降、積極的に推進し、鹿島製鉄所全コークス炉と和歌山製鉄所 No.6炉に導入し、省エネルギーとともに、非粘結炭配合比10%向上など大きな効果を上げている。

石炭調湿設備 (CMC) についても、92年に鹿島 No.1 CMC が、96年には No.2CMC が稼働し、鹿島製鉄所の全コークス炉が調湿炭操業となり、乾留熱量は約10%低減した。

#### 4-4 コークス炉寿命延長技術

既存炉の平均炉令が26年に達しており、延命対策を強力に進めて来た。主な延命対策としては、コークス炉の負荷率を適正レベルに維持するための高炉微粉炭吹き込み設備 (PCI) の設置と、コークス炉炭化室の積極的補修である。

窯口部は金属の酸化熱を利用する方法を採用し、中央部についてはプラズマ遠隔溶射法を開発し、86年に和歌山で実用化した。その後、業界の共同研究で遠隔溶射装置を開発し、96年に和歌山、鹿島で実用化した。また微細なコークス炉壁亀裂も観察できる亀裂観察装置の開発など、診断技術も向上し、コークス炉の寿命を40年以上に延ばせる目処を得た。

#### 4-5 コークス新技術の開発

##### (1) スミコールシステムの開発と実用化

非粘結炭を使用して高炉用コークスを製造する技術として、既存のコークス炉に適用できるスミコールシステムが開発された。この方法は非粘結炭と粘結炭とを固めて成形炭を作り、それと粘結炭とを混合してコークス炉に装入する技術である。これにより、20%から25%程度の粘結炭が非粘結炭で置き換えられる。

この成形炭製造設備は、75年5月和歌山製鉄所で稼働し、鹿島製鉄所では、このスミコールシステムを更に発展させた、アスファルトの熱分解により得られる粘結剤 (ASP) を利用した成形炭製造設備が75年10月稼働した。この人造粘結炭は、呉羽化学、住金化工と当社により製造法が開発され、ユリカ工業で製造された。

##### (2) DKS 成形コークスの開発

DKS 成形コークス製造法は、非粘結炭を主な原料として成形コークスを製造する新技術で、西ドイツのデイデアエンジニアリング社 (Didier Engineering GmbH)、京阪練炭工業、住友商事と当社で共同開発された。この実施に先立ち、小倉改2高炉で成形コークス50%使用試験を、更に74年和歌山 No.1高炉で成形コークス100%使用試験を行い、十分使用できるとの結論を得て、パイロットプラントを建設し75年5月から約1年間にわたり製造試験した結果、実用化の目処を得たが、その後の経済状況の変化で実用化を見送った。

##### (3) SCOPE21への参画

21世紀初頭には、国内コークス炉の寿命が到来し、大幅なコークス不足時代を迎えようとしている。これに備えるべく、次世代コークス製造技術の開発を目標に、94年から国家プロジェクトとして発足した。

本プロジェクトは「21世紀における生産性、環境保全性を革新するスーパーコークス炉」を開発する意味で、“SCOPE21” (Super Coke Oven for Productivity and Environment enhance-ment toward the 21st century) と名付けられた。当社も、独自に研究してきた成果をベースに、積極的に参加している。

### 5. 製鉄耐火物技術

#### 5-1 高炉耐火物

高炉の炉壁、炉底の耐火物については、63年の小倉の高炉の改修以降、改修の機会ごとに解体調査を含めて検討を加えてきた。

当初には、炭素沈積、アルカリ侵食等化学的な面や伝熱特性の検討から、炉壁煉瓦として従来のシャモット質に対して、高アルミナ質煉瓦の適用などを行った。炉底の煉瓦積みについても、シャモット煉瓦とカーボンブロックの上下配置を替えて、試行を重ねた。

73年鹿島 No.2高炉以降、ソ連式ステープの導入にともない、その周辺耐火物特に炉壁耐火物について、炉体冷却効果および鉄皮の拘束力を加味した強度の検討、更に実操業下での温度変化に基づく熱応力の検討など、有限要素法による解析検討によって、煉瓦積み設計を行った。材質については、炉壁冷却、熱応力の点から SiC や C を含有した高熱伝導性煉瓦が優位であった。これらの結果は、鹿島 No.3高炉、No.1高炉 (2次)、和歌山 No.3高炉 (3次) などに活用できた。

一方、炉底については、今までに改修を余儀なくされるような、大きなトラブルの経験はないものの、炉底側壁鉄皮のホットスポットの発生や稼働中における補修の難しさから、炉底側壁の局部侵食対策と管理として、ライニング材質、配置とともに炉底構造としての熱応力についても検



討してきた。

82年に火入れした和歌山 No.3高炉（3次）では、炉底底盤下の冷却強化、底盤上に高熱伝導性のグラファイトカーボンの適用、更に炉底側壁に細気孔径化、高熱伝導化を図った SiC 添加人造黒鉛主体のカーボンブロックを採用し、以降の改修高炉でも継続してきている。

この炉底側壁に使用したカーボンブロックは、プレス成形製品であり、それまでの国内カーボン製品が押し出し成形であるのに対して、内部亀裂防止や充填性の向上すなわち細気孔径化の面で有効であった。本高炉は10年以上の稼働で、側壁の残厚680mm以上の好結果であった。

炉底に用いるカーボンブロックは、形状的にも（400×500～500×600）×1500～2500mmと大型であり、成形上等その製造技術の難しさもあり、内部亀裂などの製品検査として超音波探傷による非破壊検査法を独自に開発して、79年改修の鹿島 No.1高炉（2次）以降全数検査を行ってきた。

稼働中の炉底侵食状況の管理としても、多点測温からの温度分布を基に有限要素法で侵食プロフィールを求める方法を主体に、電位パルスの TDR (Time Domain Reflectometry) 原理を用いた ED 法や熱流法も用いている。

## 5-2 熱風炉耐火物

67年に火入れした和歌山 No.4高炉の大型化、高圧化に対処して、熱風炉も和歌山 No.3高炉までのカウパータイプ内燃式から、コッパースタイプ外燃式を導入した。

しかし、70年代の出鉄量増大にともなう送風温度、送風圧力の上昇が短期間に進められた結果、多くの他社と同様に各熱風炉とも圧損の増大、送風量の減少など操業に支障をきたした。結局、蓄熱室の高温化による炉体損傷が判明し、高温域の珪石煉瓦の設計などの見直しを行った。

ところが、その後のオールコークス操業時には、送風温度の抑制からこの珪石煉瓦の許容下限温度が問題となり、珪石煉瓦の400℃以下での複雑な相変態から、500℃以上と設定して対処した。その後、PCの多量吹込み化により、再度高温送風指向となってきている。

この珪石使用熱風炉は、それまで高炉改修時には保温保持が必要とされていたが、高炉の吹き止め—休止—再稼働までが長期にわたる場合の対応として、徐冷—再昇温技術を開発、適用した。

また、熱風炉炉体の損傷状況の診断技術や高炉休風中の燃焼室バーナ部の熱間補修技術も向上し、熱風炉も延命が可能になってきた。

## 製 鋼

### 1. 概 説

近代製鋼法は、1856年ベッセマーによる酸性転炉法と1879年トーマスによる塩基性転炉法に始まる。両法とも空気底吹き法であり、トーマス法は高リン鉱石の多いヨーロッパで普及した。

一方同時期にシーメンスらによって発明された平炉法は良質な鋼ができることと、屑鉄を大量に溶解できることから、米国を中心に普及し、我が国においても戦後復興期の主力製鋼法であった。

しかし、リンデが開発した深冷分離法による安価な酸素は鉄鋼精錬に大きな変動をもたらすこととなった。平炉においては酸素製鋼法に成功するが、皮肉にも、より酸素を有効に利用できる純酸素転炉法により、その寿命を縮めることとなった。1949年オーストリアで工業化された純酸素上吹き転炉法（LD法）は、我が国において、めざましい発展を遂げた。当社においても60年代終わりには、全ての平炉はLD転炉に置き換えられ、更に80年代には上底吹き転炉（複合吹錬転炉）に転換され、一層の機能向上が図られた。70年代以降は、需要家の鋼材品質に対する要求が高度化した時代であった。

これに対して溶銑予備処理、上底吹き転炉および二次精錬を組み合わせる機能分化が主流となった。高級鋼製造法としての溶鋼脱ガス処理、その他の二次精錬設備も種々の遍歴を辿った。59年に鋼管製造所と製鋼所にボフマー法（真空滴流脱ガス法）が白点防止の目的で設置されて以来、製鋼所、和歌山製鉄所、鹿島製鉄所にDH法、小倉ではVAD真空脱ガス法、更にその後、鹿島ではRH法、LF法、和歌山ではRH法を導入した。また、当社独自の真空下粉体製錬技術については、尼崎のVODへの実用化を皮切りに、製鋼所のLFV、和歌山のRHに導入し、高純度鋼製造技術確立した。転炉製鋼法と並び、戦後の革新技術と言われる連続 casting 技術を鉄に適用する試みは47年に我が国では初めて、当社の尼崎鋼管製造所で行われている。

その後、この技術を引き継いだ製鋼所は、当時最も進んでいた米国アービンロッシーと53年技術契約し、56年に初の連続 casting 機を建設、また、その成果として60年には、2ストランド連铸機を建設し、バネ鋼、構造用炭素鋼、合金鋼およびステンレス鋼鑄込み技術を開発し、その後の発展の基礎を作った。連続 casting 技術の発展は、適用鋼種の拡大を支えた鑄片品質向上技術もさることながら、大型転炉にマッチした高エネルギー連続 casting 設備および操業技術の発展によるところも大きい。当社での普及率をみると、75年に25%であったものが10年後には93%にまで達している。

この間、精錬工程における二次精錬処理の普及と、鑄造工程における高精度湯面制御、モールドメッキ技術、二次

冷却技術、高速鑄造技術、タンディッシュ迅速交換などの普及により、連続鑄造法は生産性においても、品質においても造塊法を凌駕するものとなった。連続鑄造機形式は、初期の垂直型から湾曲型を経て、気泡や介在物の分離浮上に優れた垂直曲げ型に進み、更に熱延ミルとの直結化、同期化が進められた。以下、これらの技術の発展の経緯について述べる。

## 2. 平炉製鋼法

当社は、1901年に日本鑄鋼所（民間企業では日本最初の平炉工場）を買収して、住友鑄鋼場を開設し、鉄道、船舶、鉱山用などの鑄鋼品の製造を開始した。これが当社初の鉄製品である。このときの溶解炉は3.5tシーメンスマルチン式酸性平炉（34年に廃止）であった。その後工場の移転、改称、改組を重ねるとともに、新規事業を展開、設備を拡大していった。

35年住友伸銅鋼管株式会社と株式会社住友製鋼所が合併し、住友金属工業株式会社が発足し伸銅所、製鋼所および鋼管製造所を設置した。38年製鋼所は、40t平炉3基を新設（計4基）し外輪と大型鍛鋼品を、電気炉にて鑄鋼品を生産する体制を整えた。その数年後には平炉をベンチュリータイプに改造している。鋼管製造所は非常に珍しいテルニー式40t平炉を稼働させており、60年50t電気炉に置き換わるまで、40年にわたり製鋼技術の主体をなしていた。

また小倉製鉄所の前身である小倉製鋼株式会社も、18年に25t平炉3基で、小形、線材圧延の事業を開始している。和歌山製鉄所は、42年に開設されたが、ここでも70t平炉3基で車輪、鋼管などを生産した。

このように各所とも、60～70年の間に大型電気炉や転炉に置き換わるまでは、平炉が主な製鋼設備であった。戦後の復興は、まず製鋼所と尼崎の平炉の再稼働であった。和歌山は48年から70t平炉3基を塩基性に改造して徐々に運転を再開した。当時は米国の製鋼技術指導者が駐在していたが、この推薦により、炉形式をベンチュリー式に改造、操業指導を受けて好成績を収めた。スロート部の形状管理から負荷のかけ方など細かい指導が行われていた模様が報告されている。この頃の問題点は、ギッター室のガス流れ改善とか珪石煉瓦の損傷などであった。

53年には、尼崎のNo.3炉を全塩基性重油専焼平炉に変更した。炉形式は、我が国初の吊り型全塩基性セミベンチュリー型（メルツ型とベンチュリー型の中間）であった。製鋼所、和歌山もこれに追従して重油化を図っていった。

この頃溶鋼温度測定法が光高温計から浸漬型熱電対に変更され、精度が向上した。平炉の問題点のもう一つは、天井煉瓦構造である。煉瓦材質が酸性の珪石煉瓦から塩基性に変更されると、煉瓦構造も吊り天井からアーチを基本としたゼブラ、箱形、スーパーゼブラ天井など様々な工夫が

なされた。着眼点は、酸素有効利用による能率向上と天井寿命の延長を同時達成することであった。62年には、小倉No.4平炉を懸垂ブロック式天井構造に改造、炉寿命を大幅に延長するとともに築炉工数を半減した。

59年、和歌山では200t平炉2基をメルツペーレンス式平炉に更新、酸素吹き込み技術を採用した。引き続いて、（セミ）ベンチュリー型100t平炉2基を200tメルツペーレンス型1基に変更、操業面でも酸素吹き込み、溶鉄操業へと大幅に変更していった。このように、数々の改善で高度化した平炉操業技術も次世代の革新技術である転炉および大型電気炉の新しい波に飲み込まれその姿を消していった。

尼崎においては、50年に50t電気炉を新設し、40年にわたる平炉を休止、合金鋼の自給と特殊鋼専門溶解工場として面目を一新した。

製鋼所では、61年に80t電気炉を新設した。インド向け輪軸の仕様の関係上、酸性平炉の稼働を延期せざるを得なかったが、68年には休止した。和歌山製鉄所では68年メルツペーレンス全塩基性200t平炉2基を休止して、転炉への転換を図った。

小倉も70年には、平炉を休止し、当社の平炉は消滅した。この間には基礎技術についても輝かしい実績を残している。白点の発生原因が酸素と水素量にあることを解明したり、鋼塊に発生するゴースト、割れ傷、砂傷、気泡などの原因究明と防止策などである。とりわけ、溶鋼中の酸素の直接測定が、固体電解質で測定可能であることを、既に51年に発表しており、技術レベルの高いことを示している。炉構造に関しては、ギッター煉瓦室のガス流れおよび平炉内ガス流れなどの模型実験も行われている。

## 3. 転炉製鋼法

### 3-1 転炉製鋼法の導入

当社の転炉製鋼法の始まりは、58年純酸素上吹き転炉製鋼法による特許実施権者の日本鋼管から再実施権を得て、61年小倉製鉄所に40t転炉（64年に70tに改造）2基を建設したときにある。

小倉は当社の転炉設置の先駆者となり、製鋼時間の短縮、品質の向上等、生産、技術両面で多くの貴重な経験を得た。その後、高炉の北工場への移転に伴い、69年から76年の間にNo.3、4、5号機を稼働させ、現在に至っている。

和歌山製鉄所では63年のNo.2高炉火入れに伴い、110t転炉（max160t）2基を稼働、2年後の65年No.3高炉火入れ時に、このNo.1、2号転炉に隣接してNo.3号（160t）を建設し、大型転炉での3基整備2基稼働体制を我が国で初めて採用し、生産能力は360万t/年となった。

その後は、高炉の建設にあわせて、69年No.6号転炉まで建設するとともに平炉を次々休止した。途中、68年高級鋼や小ロット受注を対象とする特殊鋼精錬用にNo.7の70t

転炉を建設した。

鹿島製鉄所では、71年 No.1高炉火入れに伴い、No.1、2号250t転炉を稼働させた。2年後に No.2高炉が火入れされ、No.3転炉も稼働し、2/3基体制が整った。翌年には No.4、5号転炉が稼働し、No.3高炉受け入れ態勢が整った。

転炉技術は、たとえばランスノズル形状、酸素吹き込み方法、転炉形状、副原料使用方法等の改善、およびコンピュータによる吹錬制御技術の導入により大幅に進歩し、出鋼歩留の向上とともに低コストで良質な鋼が、安定して得られるようになった。特に吹錬制御では、ダイナミック制御技術の導入により無倒炉出鋼が可能となり、製鋼能率の向上、鋼質の安定、炉寿命向上等が達成できた。

### 3-2 転炉複合吹錬法への転換

LD 転炉はその生産性、制御性、品質の良さからほぼ完成された製鋼法と考えられていたが、68年純酸素底吹き転炉が出現すると、激しい攪拌効果による溶鋼の過酸化の抑制、良好なスラグ—メタル反応およびスロッピング、スピittingの減少などのメリットがあることが判った。

他方LD 転炉の良さは、酸素供給速度の柔軟性、スラグ生成制御の柔軟性(T.Fe コントロール)、スクラップの大量消費および耐火物の安定性などである。この両者の良さを組み合わせた複合吹錬法の開発が世界各国で活発に行われた。

当社では、80年に鹿島第2製鋼工場に複合吹錬法(STB: Sumitomo Top & Bottom blowing process)を業界に先駆けて実用化した。また、底吹きガスとしてCO<sub>2</sub>ガスを使用するとともに、このCO<sub>2</sub>ガスを転炉廃ガスよりリサイクル製造することは当社独自技術であり、特徴である。

一方、70年代以降は、後述する連鑄法の導入、鋼種拡大とともに、需要家からの鋼材品質向上要請が強くて時代であった。これに応えるべく溶銑予備処理、二次精錬と機能分化が進んだ。溶銑予備処理法においては、まず70年初めには低硫化の要望が大きく、転炉精錬での脱硫制約から溶銑脱硫が発展した。

73年小倉、鹿島でKR法、74年には、和歌山にMg-coke脱硫法、また76年和歌山、鹿島にトービード脱硫法がそれぞれ導入された。80年代に入り低燐化の要望が増加し、技術開発が加速された。溶銑の脱燐には、前段階として脱珪が必要であり、高炉での低Si化、あるいは種での脱珪技術が82年から83年にかけて各所に導入された。それと相前後して、各種溶銑脱燐法が開発・導入された。鹿島では82年にソーダ灰をサイクル使用するSARP法(Soda Ash Refining Process)が完成し、大量処理が可能となった。

また、85年には和歌山に生石灰を用いたトービード脱硫脱燐法が完成した。更に鹿島では、第2製鋼工場の生石灰インジェクション脱硫法から発生するスラグを、第1製鋼

工場のKR法(機械攪拌溶銑予備処理設備)で再使用するプロセスを開発して、合理化に貢献した。

一方、87年に鹿島では、脱燐炉と脱炭炉の2基の転炉を組み合わせ、脱炭炉で発生したスラグを溶銑予備処理用の脱燐炉で再利用し脱燐する方法(SRP: Simple Refining Process)を開発し、第1製鋼工場で実用化し、更に和歌山にも導入した。予備処理された溶銑をスラグの少ない状態で脱炭処理すると、スラグの多い状態に対して低炭素領域までFeO、MnOの生成を抑制し、優先的に脱炭できる。

また、このSRP 溶銑予備処理法には次の特徴がある。すなわち、脱炭炉スラグを脱燐炉で再使用することにより全造滓剤の使用量を最も少なくすることができる。また、溶銑脱燐時、その後の脱炭時にマンガニ鉱石添加により、合金鉄の節減が可能である。操業的には、転炉は内容積が大きいので、精錬ガス供給速度を大きくしても溶銑やスラグの系外への飛散を防止できる。スラグ、メタルが攪拌されるので、脱燐効率が向上し短時間処理でき、温度低下も最小に抑えられる。脱Si、P、Sした溶銑を転炉精錬する場合は、脱炭と温度調整のみが転炉の役割である。

最後にRHなどで成分調整と温度調整をして、連鑄へとつないでいる。普通鋼製錬技術の集大成として和歌山に建設中の新製鋼工場のメインプロセスは、KR脱硫-SRP-STB・高速脱炭-スラグ改質-RH・PBとなる予定である。

## 4. 電気炉製鋼法

### 4-1 電気炉製鋼法の変遷

電気炉製鋼法はいつの時代においても副次的生産手段として日本の粗鋼生産量の20から30%以上のシェアを占めている。このことは電気炉が他の方法に比べて小回りが利き、少量多品種生産に適しているためと考えられる。日本の粗鋼生産量は、73年に1億2千万tを達成するまでは急激な増産を続けてきたが、その後今日まで、1億t前後で推移している。

しかし我が国のスクラップも長年の蓄積で、その還流の時代を迎えつつあり、電気炉鋼比率は83年28%であったものが、93年には31%に増大している。当社の電気炉の歴史は古く、26年に住友鑄鋼所(当社の前身)に、ドイツデマーグ社製フィアット型3t電気炉が設置されたところから始まる。

当社において、電気炉が主役を演じるのは、60年尼崎に50t弧光式電気炉、61年製鋼所に80tの大型電気炉が設置された時期である。尼崎の電気炉は、炉蓋旋回による原料のトップチャージ、媒溶剤・合金鉄の完全前処理、自動電流調整装置等を有しており、これにより、40年に及ぶ平炉製鋼法に終止符を打ち合金鋼を自給するとともに、特殊鋼専門工場としての面目を一新した。

製鋼所においては慢性的鋼量不足に対処したばかりでな

く、和歌山、鹿島の建設用鋳鋼品の自給に貢献した。その後、88年製鋼所において80t電気炉に炉底出鋼装置 (EBT: Eccentric Bottom Tapping) を導入し、コスト合理化、品質向上を図った。

## 4-2 高生産性電気炉

94年に製鋼所と尼崎の鋼管製造所の組織統合により関西製造所が発足し、また、95年には特殊管事業所 (旧、尼崎) に分塊設備に代わる高能率、高精度の高速鍛造機を導入するとともに、96年両所の電気炉他の製鋼設備の製鋼品事業所 (旧、製鋼所) へのリフレッシュ統合を行った。直流式ツインシェルトタイプの40t電気炉を導入し、普通鋼とステンレス鋼生産の高生産性、コスト低減、品質向上を図った。ステンレス鋼溶製への直流式電気炉の導入は世界で初めてであり、ニッケル系とクロム系 (普通鋼系) を同時に、交互に溶解する特徴あるプロセスである。

## 5. 炉外精錬法

### 5-1 真空脱ガス処理法

鋼には酸素、水素、窒素などの有害ガスが含まれ、これが鋼の性質を劣化させるが、この有害ガスを除く工業的方法として、50年ドイツにおいて真空流滴脱ガス法 (Bochumer Verein A.G. 社開発) が開発され、当社においても、58年製鋼所、59年尼崎に、この真空脱ガス製造設備を完成させ、大型鋼塊ならびに鋳鋼品の白点防止等の品質改善を図った。

その後、各種の真空脱ガス法が開発されてきたが、当社の普通鋼分野では、DH法、RH法の導入が代表的である。DH設備 (真空揚動脱ガス法: Dortmund-Hoerder Huetten union A.G. 開発) に関しては、当社は1965年製鋼所に導入し、鋳鍛鋼品を対象とする鋼種に適用した。

その後、68年から72年にかけて、和歌山および鹿島に設置され、鋼管・鋼板の高級化と量産化に対処した。この間、溶鋼中の酸素量が高い状態のまま真空処理する未脱酸処理法を開発して脱水素効率の向上を図り、製品圧延工程で発生する水素割れなどの欠陥の減少に効果を上げた。こうして真空脱ガス法の適用範囲は、極厚鋼板、大径ラインパイプ等の高級品まで拡大された。

一方、自動車、家電用途の熱冷延鋼板は大半をリムド鋼鋼塊から製造されていたが、これを連続製造化するに当たり高能率脱炭に適したRH法 (Reinstahl Hutten werk & Heraeus) を81年鹿島、和歌山に導入し、今日薄板用の代表鋼種となっている低炭素アルミキルド鋼の製造が開始された。

その後、冷延鋼板の連続焼鈍プロセスの導入に対応して炭素濃度30ppm以下の極低炭素鋼の製造技術も確立され、今日月産10万トン規模で量産されている。更に、ステンレス鋼の分野の尼崎では上記真空脱ガス製造設備の導入によ

り製造工程の安定化、製品品質の向上に大きく貢献したが、処理能力に限界があることと、更に高度な品質要求から、これをリプレースし72年50t取鍋脱ガス設備 (Witten 法) を導入、高級合金鋼、ステンレス鋼の品質の著しい向上に貢献した。

### 5-2 その他取鍋処理法

新規なRH処理技術として、脱炭反応に必要な高い酸素濃度を維持し、溶鋼温度の低下を防止する目的で、真空槽内の溶鋼に酸素を供給する技術 (RH-OB法) を導入し、和歌山、鹿島に設置した。

一方で、このRH-OB設備の負荷軽減と、他の安価な溶鋼昇熱法の開発を進め、取鍋でのアルミ燃焼による簡易昇熱法 (IR-UT法: Injection Refining Up Temperature) を開発、87年和歌山、93年小倉に導入した。

その他の取鍋精錬法として、アルミを用いずクリーンな電気エネルギーによる昇熱とスラグ精錬が可能な方法として、79年小倉にVAD法 (Vacuum Arc Degassing 法) を設置し高級条鋼品に適用した。またLF法 (Ladle Furnace 法) については、81年鹿島の厚板主体の小ロット特殊鋼用に、84年製鋼所の鋳鍛鋼用に、96年小倉の高級条鋼用に、それぞれ導入、戦力化した。

### 5-3 取鍋粉体精錬法

近年高純度鋼に対する要求がますます厳しくなっているが、普通鋼分野では、1970年代初頭に和歌山でCa処理による耐サワー鋼溶製が本格的に開始された。しかし年々高度化するユーザーニーズに対応すべく、Ca処理ではその技術水準の向上が常に要求され続けてきた。このような要求に答えるべく、研究対象は平衡論から速度論へ、また、実操業は単なるCa添加からSCAT法 (合金弾打ち込み法)、インジェクション法、ワイヤー法、RH-PB適用法へと変化してきた。このような技術開発の結果、現在では、耐サワーX-80鋼までの溶製が可能となっている。一方ステンレス鋼の分野では、たとえばフェライト系ステンレス鋼においては、成分である炭素、窒素濃度を極低値 (たとえば、 $C+N \leq 150\text{ppm}$ ) にすることにより、溶接熱影響部の靱性、耐孔食性が向上すること、また連続焼鈍工程で製造される普通鋼薄板では低炭素、低窒素化で深絞性が向上することなどが知られており、これらの超高純度化要求に対しては、従来の真空脱ガス処理では対応が不十分であり、当社では真空下、粉体を溶鋼に侵入、分散させることにより、脱炭、脱窒、脱水素、脱硫反応を促進させる技術開発を行った。

90年尼崎の50tVOD-PB法 (VOD: Vacuum Oxygen Decarburization, PB: Powder Blowing) としてまず実用化した。その後、製鋼所のLFV取鍋精錬法等に適用拡大し、普通鋼への適用としては95年和歌山のRH法に導入し、RH-PB法として極低硫鋼等の高純度鋼板製造の

コスト改善に寄与している。

## 6. ステンレス精錬法

### 6-1 ステンレス精錬法の変遷

ステンレス鋼の名は、1914年英国の H.ブレアリーが13% Cr 鋼でナイフを作ったときに始まる。2年後には我が国にも紹介され不銹鋼と名付けられた。したがってその歴史はまだ80年である。特に我が国で本格的に増産されたのは第2次世界大戦後で、これは35年以降米国で普及した酸素製鋼法を導入したことによる。この導入により高温精錬が可能となり、低炭素ステンレス鋼の生産が軌道に乗ったためである。我が国では普通鋼生産が頭打ちになった最近でも、ステンレス鋼は順調に伸び、年間300万tを超えている。

ステンレス鋼の炉外精錬技術としては、従来の電気炉法による溶解から仕上精錬までの製造法に代わり、72年尼崎に真空酸素脱炭法(Witten法)が導入された。その後、76年に尼崎、和歌山にアルゴン酸素脱炭法(AOD法: Argon Oxygen Decarburization)が導入された。

ステンレス精錬における革新技術 AOD 法の発明は54年 W. A. Krivsky による。彼は、Fe-C-Cr 系合金の平衡実験結果と平衡計算結果とに差異があることに疑問を持ち、O<sub>2</sub>に Ar を添加したガスを使用して脱炭したところ、低い温度で高温の場合と同じ Cr-C 濃度関係を保つことができるという重大な関係が現れることに気づき、ステンレス鋼精錬の新しい方法を着想した。VOD 法が理論からの着想であるのに対し、偶然からの発明であった。工業レベルに技術開発し、その成功を発表したのは米国 Union Carbide Corporation (UCC) であり、発明から13年後であった。

この AOD 法は、安価な原料を多く使用でき、急速な脱炭が可能で、クロム歩留が高いなどの特徴があり、これにより低炭素ステンレス鋼の量産が可能となった。従来ステンレス鋼の溶製は電気炉により屑溶解する方法が主流であったが、脱炭溶銑の使用により、電気炉を用いない脱炭溶銑-AOD 法を84年和歌山が実用化し、クロム系ステンレス鋼のコスト合理化を図った。近年の高純度ステンレス鋼の要望と対応については、取鋼粉体精錬で記載しているとおりである。

### 6-2 鉬石溶融還元法

当社では、85年頃から鹿島製鉄所の試験転炉でクロム鉬石の溶融還元技術の開発を行い、87年和歌山製鉄所にステンレス専用転炉を設置した。これは、通常のステンレス精錬の他に、クロム鉬石の溶融還元も実施できるものである。脱炭された溶銑を転炉に装入後、クロム鉬石とコークスを添加し、溶融還元によりステンレス母溶湯を溶製するプロセスで、この溶融還元で使用するコークス中の炭は、ほ

ぼ全量溶湯中に移行するため、また、クロム含有溶湯の脱炭は熱力学的に困難であるため、溶銑の炭濃度を低下させておく必要があるが、溶銑脱炭の高度化によりこれが達成された。本法は原料価格変化に伴う経済的理由により93年8月に中断した。

## 7. 特殊溶解法

原子力、タービン航空宇宙などの、特に高温での品質性能を重視する鋼材用には、真空誘導溶解法(VIM: Vacuum Induction Melting)、消耗電極式真空弧光炉法(VAR: Vacuum Arc Remelting)、エレクトロスラグ再溶解法(ESR: Electro Slag Remelting)等の特殊溶解法が欠かせない溶製法である。活性金属元素の正確な調整には VIM 法、積層凝固による鋼塊内質改善には VAR 法、ESR 法が適している。小型の0.9t VAR が60年尼崎に、また62年直江津に1.8t VAR が設置された。

また尼崎については、83年には、5t ESR も設置され、特殊用途の合金鋼に適用されとともに、その後、特殊管分野での用途拡大とユーザーの高級化に対応するため、91年3tの VIM-VAR 法を導入した。直江津では、87年に純ニッケルの溶製を開始し、89年には2t VIM 法を導入し、汎用ステンレスのみならずステンレス高合金への足がかりを得た。

## 8. 連続製造法

### 8-1 連続製造法の変遷

#### (1) 連続製造技術の揺籃期

転炉製鋼法と並び、革新的プロセスと言われる連続製造技術は非鉄金属に始まる。これを鉄に適用する試みは、47年に当社の尼崎鋼管製造所において、丸鋼片で行われている。

この技術を製鋼所が引き継ぐとともに、当時最も進んでいると言われていた米国アービン ロッシー(後の Concast AG)と53年契約し、技術の導入と機械の製造販売権(後に現、住友重機械工業に変更)を取得した。

56年には製鋼所北工場に我が国初の Rossi 型連続製造機を建設し、設備・品質上の調査、研究を行った。その成果として60年同型の2ストランド連鎖機を設置し、特殊鋼圧延用素材の生産を行った。バネ鋼、構造用炭素鋼、合金鋼およびステンレス鋼の開発に成功し、その後の発展の基礎を作った。本設備は64年に、小倉からの安価な転炉鋼を使用した圧延ビレットに切り替えのため、その使命を終えて休止された。

#### (2) 連続製造法の発展期

連続製造技術はその後発展を続けていったが、適用鋼種の拡大を支えた鑄片品質向上技術もさることながら、大型転炉にマッチした高能率連続製造設備および操業技術の発展によるところも大きい。

当社が本格的連続铸造機を設置したのは、条鋼用が最初で67年小倉に No.1S 型 6 ストランドビレット連铸機を設置した。この設備は、平炉から転炉に切り替わって 6 年経過し、安定操業に入った転炉と直結したもので、36 万 t/年の能力があり、当社のビレットセンターとしての機能を果たした。また、上工程の北地区移転に伴い 76 年 No.2 ビレット連铸機 (36 万 t/年) を新設した。

その後、小倉の高級化路線に対し、品質問題から条鋼への連铸ビレット適用に限界があり、両マシンとも大断面ブルーム (分塊用) に改造された。時を経て 95 年には最新鋭の No.3 ブルーム連铸機を新設した。

この設備は、高度化する自動車産業用線材、棒鋼の要求に応え、また高生産性も考慮したもので、誘導加熱・大容量タンデিশユ、溶鋼レベル高精度管理装置等を導入し、またレードルクレーン操作、ブルーム切断およびマテハンなどに工夫を凝らし、4 名での操業を可能にした新設計モデル (住友式垂直-多点曲げ SVB 型) である。

和歌山製鉄所に初めて連続铸造設備が設置されたのは 69 年で、当社として初めてのスラブ用かつステンレス用の 1 ストランド No.1 スラブ連铸機である。平炉を休止して、特殊鋼用 70 t 転炉、DH 真空処理設備、ステンレス用 80 t 電気炉などが次々と建設された頃である。この稼働を契機に連続铸造時代が開花した。広幅化、高速铸込化、パウダの開発等、経済的な連続铸造技術の開発により、71 年普通鋼用スラブを対象に当社で初めての No.2 スラブ連铸機を建設した。

また、このとき初めてスライディングノズルを開発採用して完全自動铸造への道を開いた。79 年には管材用 No.2 ブルーム連铸 (117 万 t/年) が新設され、43 日間 1129 連々铸の世界記録を達成した。

一方、従来のブルーム-分塊プロセスに対し、連铸材を直接製管ミルに供給する丸形状铸片ビレット連铸の開発を進め、85 年には No.2 スラブ連铸機を改造してラウンド連铸機を稼働させ鋼管製造の合理化を図った。

更に 96 年には本格的な 6 ストランドのラウンド連铸機を建設して、高級シームレス鋼管の 90% 以上のビレット連铸化を図った。スラブ連铸機に関しては、No.1、2 号機の成果を踏まえ、81 年 No.3 スラブ連铸機を設置し、96 年には更なる品質向上を目的に垂直曲げ型に改造した。

鹿島製鉄所では、No.1 高炉時点では、直铸铸型による造塊、分塊方式でスタートしたが、翌 72 年には、和歌山製鉄所でのスラブ連铸技術の開発・改善を背景に、更なる大型の転炉にマッチングし得る、高速化、広幅化、自動铸込み等の技術改善を織り込んだ No.1 スラブ連铸機を稼働させ、主として厚板向け素材の連铸化を図った。

引き続き 74 年には、No.2 スラブ連铸機を稼働させ、前述したリムド鋼代替鋼種である低炭素アルミキルド鋼の铸込み技術の開発を行い、熱延向け素材の連铸化拡大を実施した。

一方、79 年には当社独自設計の経済型の多点矯正、低機型のスラブ、ブルーム兼用 SH-CC (40 万 t/年) を開発し、大型形鋼素材の合理化を図った。

また、83 年には、No.3 VB 型スラブ連铸機を設置し、ほとんどの熱延向け材の連铸化を図るとともに、熱延に直結化、同期化を図った。直江津製造所はステンレス鋼板が主体であり、79 年にスラブ連铸機を設置し、品質の向上とともに製造コスト低減を図った。

当社での連続铸造普及率をみると、75 年に 25% であったものが 85 年には 93% に達しており、この 10 年間で切り替えをほぼ完了した。

## 8-2 連続铸造铸片の品質向上と熱延との直結化

品質面からみると、造塊法も铸型形状、铸込み方法の改善など着実に進歩したが、鋼塊の凝固に伴う偏析、不均質については本質的な問題をかかえていた。この問題を根本的に変えたのが連続铸造であった。

石油危機以来、省エネの旗手として次々と設置されたが、その品質、内質の均一性は鋼塊法に比して歴然と優位にあった。また、特にリムド鋼代替としての低炭素 A1 キルド鋼が RH との併用で完成されたことは革新的なことであった。

铸片品質改善のため、モールド複合メッキ、高精度湯面制御技術、エアミストノズル二次冷却や、電磁攪拌、電磁ブレーキなどの铸型内溶鋼の流動制御も広く普及した。連続铸造機形式は、初期の垂直型から湾曲型を経て、気泡や介在物の分離浮上に優れた垂直-曲げ型へと展開した。システム化も進み、铸込中自動幅替え技術、ブレードアウト予知システム、自動铸片切断システムなど、铸込から搬出まで広範囲にわたる自動化と製鋼から圧延ラインまで一貫した物流管理が一元的に行われている。

また製鋼工程から製品工程までの一貫歩留まりの向上と熱効率の向上、品質向上などを目的に、熱延との直結化、同期化を図ってきた。特に、鹿島 No.3 連铸機は各種自動化技術、コンピューターシステムを装備し、2 m/分以上の高速铸造を実施する熱延直結マシンであり、更に引き抜き中铸込開始法の開発、熱延サイジングプレスの導入により、月産 33 万トン以上という世界最高レベルの生産を誇っている。

## 8-3 ニアネットシェーブ連铸技術

鋼板、H 形鋼、シームレス、線棒などの製造分野において、近年連続铸造法で最終製品の形状に近いものを铸造し次工程に供給する、ニアネットシェーブ連铸法が研究開発されている。特に、薄中厚スラブ連铸法は、89 年米国の Nucor 社が採用して以来実用化が拡大進行中である。粗圧延工程の一部または全体の省略を狙うものであり、設備投資額の低減、エネルギーの節減、省力、工程省略に伴う納



期短縮などを目的としている。鋼板製造用としては薄中厚スラブ連铸機（铸片厚約25～120mm）とストリップ連铸機（铸片厚約2～5mm）に分類される。薄中厚スラブ連铸機は熱間圧延工程の粗圧延の一部または全てを省略でき、ストリップ連铸機は熱延の圧延工程全てを省略できる。

当社では、鹿島製鉄所に設置した高速用中厚試験連铸機で、高級薄板用中厚スラブを高品質、高生産性で製造する技術の開発に成功し、91年には铸片厚90mm（未凝固圧下の場合～70mm）、低炭素鋼で铸込速度5m/分の技術を完成した。この技術は米国NSS/BHP社とTrico Steel社および、タイ国SSM社に技術販売された。

また、ストリップ連铸機については直江津製造所において開発に着手し、初めは狭幅（240mm）を開発し、96年からは中幅（720mm）の実機規模の開発を行っている。

その他の特殊な連铸機としては、80年に鋼管製造所で高合金少量多品種向の水平連铸試験機がある。この設備は89年実用化され、95年には製鋼品事業所に移設、高速化改造された。

## 9. 製鋼耐火物技術

### 9-1 炉体ライニング耐火物

精錬炉の平炉から転炉への転換をはじめ、その後の精錬技術の進展における真空脱ガス処理（DH、RH）や取鍋処理（VOD、VAD）および混鉄車による溶銑予備処理などに対応して、各炉体のライニング材料も精錬上、鋼質上、炉命上更に原単位の面から、最適材の選択使用を進めてきている。

転炉では、当初のタールドロマイトから種々の材質変遷を経て、最近では電融原料の配合、高圧成形によるMgO-C煉瓦を適用している。この間に操業技術、補修技術の改善向上もあり、89年和歌山第2製鋼工場の転炉で、炉寿命7777ch.の複合吹錬として当時の世界記録を達成した。

取鍋においても、ろう石煉瓦主体から最近では高アルミナ系不定形材に変化してきているが、いずれも鋼の品質の高度化要求から多様化してきた炉外精錬とともに、種々変遷してきた。

90年鹿島第2製鋼工場では、取鍋側壁を煉瓦積み施工から不定形材の流し込み施工に切り替え、94年に継ぎ足し施工を実施し、取鍋寿命の大幅延長、耐火物コストの半減化を達成した。和歌山においても逐次不定形化を進めている。

また、鹿島における混鉄車での溶銑予備処理として、ソーダ灰を用いるSARPでは、ライニング材の改善では対応できず、効率的な補修に熱間観察装置を備えた吹き付け補修システム（HART）を86年に開発した。

一方、ここ数年の円高を活用した耐火物の輸入化にも積極的に取り組み、転炉および取鍋スラグラインのMgO-C煉瓦を主体に、中国、韓国更に米国からも輸入使用してい

る。

### 9-2 特殊機能耐火物

取鍋容量の増大の上に炉外精錬の高温化、長時間化によって、各社とも取鍋からの注湯に用いていた内装タイプのストッパーノズル方式に耐用上の限界が生じ、外装タイプのスライディングノズル方式の技術を採用した。

住友重機械工業㈱と東芝セラミックス㈱がスイスINTERSTOP社から技術導入し、68～69年に、中研、小倉、和歌山と試用、実用テストを重ねた。本方式の採用による、安全性の向上、重筋作業の軽減更に自動化の可能性から、一般造塊と当時設備設置が相次いだ連続铸造への適用が進んだ。71年8月から和歌山No.2スラブCCでテストを行い、翌年4月には全タンディッシュで3枚プレートのスライディングノズルに切り替えている。

このような取鍋、タンディッシュへのスライディングノズルの採用によって、取鍋～タンディッシュ～モールド間の溶鋼流量制御の連動化が可能となり、73年10月より和歌山No.2および鹿島No.1スラブCCにて、自動铸込みシステムがオンライン操業に入った。

更に、タンディッシュからモールドへの給湯にも、小倉ビレットCC等ではオープンノズルを使用していたが、溶鋼の酸化、溶鋼温度の降下および注入流の乱れなどの問題から、スラブCC段階のパウダーキャスティングでは浸漬ノズルの適用が必須となった。浸漬ノズルの材質は、当初耐熱衝撃性の面からスリップ成形による溶融石英質が用いられたが、孔径拡大など耐食性に問題があり、オーガー成形の粘土-黒鉛質を経て、ラバープレス（CIP）成形によるアルミナ-黒鉛質に変わってきた。この材質は、カーボン結合、均一成形体で溶鋼への高耐食性から、その後の生産性向上に大きく貢献した多連铸化を可能とした。ただし、モールドパウダに対してはアルミナが反応し耐食性に劣るため、対策にパウダとの接触部のみにシリコニア-黒鉛質を用いた、二層一体型浸漬ノズルを採用している。

また、連続铸造の铸込み技術上に重要なタンディッシュ内の溶鋼温度の変動抑制、管理に、取鍋内の溶鋼温度の均一化を図る方法として、取鍋底部からの不活性ガス吹き込みバブリングによる溶鋼攪拌を採用した。このガスバブリングに用いるポーラスプラグも高通気性ととも高耐食性と独特の機能を要求され、高アルミナ質、マグネシア質などの材質および比較的均一粒子で構成した粒子間隙を通気孔とした構造やストレートな通気孔としたスリット構造を用いている。

この通気性耐火物によるガス吹き込みをノズル閉塞防止や取鍋処理での溶鋼攪拌、反応促進に活用している。

このように機能性耐火物の開発、改善によって、溶鋼処理、反応や流量制御等の製鋼プロセス技術の向上、革新を推進できた。

## 製鉄、製鋼、環境・エネルギー・リサイクル部門

## 製鉄、製鋼 年表

年代	製 鉄	製 鋼
1901	[日本製鋼所（我が国初の平炉工場）を買収、住友製鋼所を開設、製鋼品製造を開始]	
35	[住友伸銅鋼管(株)と住友製鋼所(株)が合併、住友金属工業(株)が発足]	
42	[和歌山製鉄所を開設]	
53	[小倉製鋼(株)を合併して小倉製鉄所を設置、高炉 1 基、平炉 5 基などが稼働中]	
56	小倉No.1高炉を改修、第 2 次火入れ、2 基体制となる [和歌山製鉄所の鉄鋼一貫化を主体とする第 2 次長期設備合理化計画を発表]	我が国初の連続铸造機を製鋼所に建設
58	小倉No.1高炉、自溶性焼結鉄の使用により コークス比月平均548kg/tの世界記録達成	純酸素転炉法 (LD法) 技術導入
59	[中央技術研究所を新設] [和歌山第 2 ～ 4 高炉段階の第 3 次長期設備合理化計画を発表]	
1960		尼崎50 t 電気炉を新設
61	和歌山No.1高炉火入れ、和歌山共同火力(株)を設立	小倉No.1, 2 号転炉を新設、製鋼所80 t 電気炉を新設
62	高炉燃料油吹込技術を12社共同導入、小倉高炉で実施、全炉に普及	共同酸素(株)を設立
63	和歌山No.2高炉火入れ	和歌山No.1, 2 号160 t 転炉を新設
65	和歌山No.3高炉火入れ、高炉高圧操業技術を導入	和歌山No.3号160 t 転炉を新設、2/3基体制
67	和歌山No.4高炉火入れ、2 535m³世界最大炉容	和歌山No.4, 5, 6 号160 t 転炉、50 t 電気炉を新設 小倉No.1連続铸造機を新設、ビレット専用機
68		和歌山No.7号転炉を新設、特殊鋼用
69	和歌山No.5高炉火入れ、小倉改 2 高炉火入れ、北地区移転開始	和歌山No.1連続铸造機を新設 (ステンレススラブ) 和歌山No.6号160 t 転炉を新設、和歌山建設完、和歌山80 t 電気炉新設
1970		小倉No.3号70 t 転炉を新設 (北地区)、小倉 4 号平炉を休止、これで全社の平炉休止
71	鹿島No.1高炉火入れ	鹿島No.1, 2 号250 t 転炉を新設 和歌山No.2連続铸造機を新設 (普通鋼スラブ)
72	和歌山No.4高炉累積出鉄量1000万 t 超の記録	鹿島No.1連続铸造機を新設
73	鹿島No.2高炉火入れ (ソ連式ステープ採用)	鹿島No.3号250 t 転炉を新設
74	DKS成形コークスを共同開発、和歌山No.1高炉にて100%使用試験実施 小倉新No.2高炉火入れ、小倉改 2 高炉吹き止め時解体調査	鹿島No.2連続铸造機を新設 鹿島No.4.5号250 t 転炉を新設 小倉No.4号70t転炉を新設
75	ダスト還元鉄を開発、和歌山、鹿島で実施 スミコールシステムを開発、和歌山、鹿島で実施	
76	小倉改 2 高炉を改修、新 1 高炉として火入れ 鹿島No.3高炉火入れ、鹿島No.1高炉1 433万 t、燃料比480kg/t記録	小倉No.5号70 t 転炉を新設 和歌山AOD, 80 t 電炉、連铸でステンレス一貫生産
78	小倉No.1高炉を吹き止め、1 基体制となる、和歌山PCIテスト開始	
79	鹿島No.2高炉羽口まで減尺吹き止め	和歌山第 2 製鋼にブルーム連铸機を新設
1980		鹿島複合吹錬法 (STB) を開発
81	全高炉オイルレス操業に移行、小倉No.2高炉45日の短期改修	鹿島、和歌山RH導入
82	新製鉄法 (SC法) 開発	SARP法開発
84		全社連铸比率90%を超える (9 月93.1%)
84		溶鉄予備処理と転炉機能の拡大 (Mn, Ni, Crの溶融還元)
86	鹿島CDQ全炉導入完了	和歌山転炉耐火物7 777回を記録
87	住金化工を合併	鹿島SRP法開発
1990	和歌山鹿島ともに高炉 2 基体制となる 鹿島No.3高炉13年 5 ヶ月の長寿命記録、4 815万 t 鹿島No.2, 3高炉でベルレス装入装置採用	
91		中厚高速スラブ連続铸造技術を開発
92	鹿島No.2コークス炉CMC導入	
93		鹿島第 1 製鋼全量SRP処理
94	和歌山No.6コークス炉CDQ導入	
95		関西製造所大阪に50 t 2 炉体 1 電源直流電気炉
96	鹿島No.1コークス炉CMC導入	和歌山No.1 RCC (丸鋳片連铸) を新設
97		和歌山新シームレス工場スタート

## — 環境・エネルギー・リサイクル —

### 1. 環境

#### 1-1 発生源対策の推進

鉄鋼業は、原材料として鉄鋼石、石炭等を使用し、また製造工程で多量のエネルギーを消費するため、ハンドリングや燃焼に伴って粉塵、ばい塵、硫黄酸化物、窒素酸化物等の大気汚染物質を排出する。

一方、冷却、洗浄、集塵等に多量の水を使用し、排水している。また騒音の発生源となる多数の工場設備を有している。そのため製鉄所に数多くの環境対策設備を設置し、また独自に技術開発を行い、環境保全に努めてきた。

##### (1) 大気汚染対策

60年代の大気汚染の主役はばい塵と硫黄酸化物であった。当社は粉塵・ばい塵対策としては、当時から工程・設備ごとに高効率集塵機の設置、燃料の軽質化等の対策を進め、最近でも90年焼結機としては初めて電気集塵機にパルス荷電方式を採用するなど改善に努めてきた。また、原料ヤードへの散水には粉塵飛散を防ぐコーティング剤の添加などの対策を行ってきた。硫黄酸化物対策としては、70年頃より燃料転換を進めてきたほか、72年にコークス炉副生ガス(COG)の脱硫装置を導入し、73年には富士化水工業(株)と共同でモレタナ式排煙脱硫装置を開発して、以後社内のボイラー、加熱炉、焼結機等に設置した。同装置はモレタナと称する多孔板を数段組み込んだ塔内で排ガスと吸収液とを向流接触させ、燃焼排ガス中の硫黄酸化物を除去するもので、従来型より多孔板の開孔率を大きく取ることで、空塔速度が大きく、したがって装置がコンパクトになる特徴がある。これらにより硫黄酸化物排出量を大幅に低減した。

73年頃から窒素酸化物が新たな課題となってきたが、これに対しては74年モレタナ式同時脱硫脱硝装置を開発し、また75年のSNT型バーナを初めとして設備や燃料種に応じた各種の低NO<sub>x</sub>バーナを開発・設置してきた。これらのバーナは、いずれも1次または2次空気に強い旋回流を与えて、低空気比で完全燃焼させることによりNO<sub>x</sub>低減効果を得るもので、海外も含め多くの企業で採用されている。燃料転換も継続して推進し、一貫3製鉄所および関西製造所ではオイルレス操業を行っている。またCOG脱硫も脱アンモニア工程を経ることから、有効な窒素酸化物対策になっている。

##### (2) 水質汚濁対策

製鉄所で使用する水は、主に海水を用いる一過性の間接冷却水と、集塵、冷却、洗浄、酸洗等工程で使用する水がある。後者は、その性状に応じた適切な処理が必要であり、SS除去の凝集沈殿処理、酸アルカリの中和処理、油分対策の加圧浮上処理、金属類に対する酸化還元処理等を組み

合わせ、各工程ごとに最適な水処理設備を設置している。現在では一般的なコークス炉ガス液の活性汚泥処理は、72年当社が我が国で初めて導入したものである。

##### (3) 騒音対策

鋼管は当社の主力品種であり、製造時に発生する騒音を防止するため、転送台上での鋼管同士の衝突を防止するチェーン式転送装置や落下時の衝撃を減殺する装置を開発してきた。また、冷却塔においても低騒音型ファンを採用するなど、各設備で騒音防止を図っている。

#### 1-2 シミュレーションモデルの開発

環境対策を実施しようとする場合、その効果を予測することで、より有効な対策を選択することができる。当社は各種の環境対策の経験を踏まえシミュレーション手法を開発し、対策に活用してきた。

82年に開発した粉塵拡散降下シミュレーションモデルは正規分布の大気拡散モデルと重力沈降を組み合わせたものである。84年には周波数帯で区切って壁面透過、屈折、減衰、吸収を考慮できるようにした騒音伝搬シミュレーションモデルを開発している。

#### 1-3 環境管理システムおよび地球環境問題への対応

当社は69年に全社環境対策会議、71年に全事業所に環境管理主管組織を設置し、翌72年環境管理規定を制定するなど組織的にも環境管理を積極的に推進する体制を早くから整えてきた。近年では92年の環境監査の導入、93年の「地球環境に関する行動指針」の制定、など新たな体制づくりを行ってきた。また各事業所ではISO14001環境マネジメントシステム規格への適合を目指して活発な環境保全活動を展開しており、和歌山、鹿島両製鉄所は97年4月認証を取得している。

地球環境問題に対しては、次に述べる省エネルギー・リサイクルの推進のほか、特定フロン等の全廃、海外への環境技術協力などを実施してきている。

## 2. エネルギー

### 2-1 石油危機以前(～73)

60年代のエネルギー部門の主要課題はエネルギー有効利用、供給安定が中心であった。

和歌山製鉄所、鹿島製鉄所の建設に伴って、エネルギー供給設備の建設を進める中で、高炉・転炉ガス等の副生ガスの有効活用と低廉な電力供給のため、三菱重工業(株)と共同で高炉送風機と蒸気タービン・発電機を一体化した串型送風発電設備を開発(67～)するなど、高効率自家発電設備の建設を進めた。

また、国内で初めて電力会社と共同で和歌山共同火力(株)

を建設 (63~), ついで鹿島共同火力 (63~) を建設 (73~) した。これにより副生ガスの有効利用が図られ、製鉄所内に大容量発電所を持つことによる電気供給安定、また大型化による効率向上を図ることができた。

## 2-2 石油危機～80年代前半

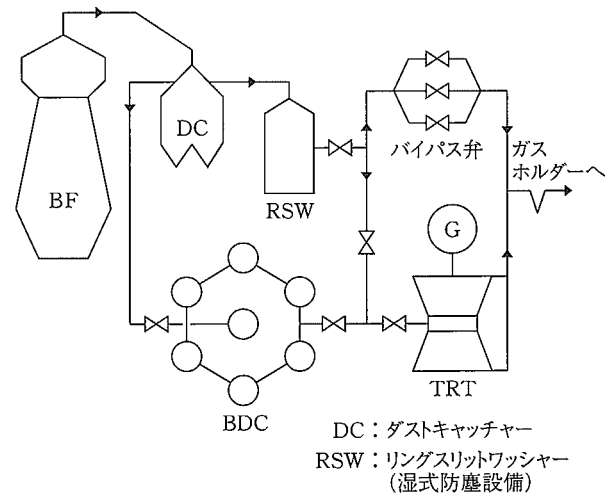
第一次石油危機 (73), 第二次石油危機 (79) を契機に、エネルギー価格が高騰し、当社としても、コスト削減のため積極的に省エネルギーに取り組み、その手段として、74 年以降今日まで 9 度にわたる省エネキャンペーンを行ってきた。

省エネルギーのための方策としては、ポンプ・ブロウ等の回転数制御、燃料自動点火装置の導入等の無駄・ムラの排除、高炉炉頂圧回収タービン (TRT) (78~), コークス乾式消火設備 (CDQ) (81~) 等の排エネルギー回収設備設置、高効率バーナ開発や加熱パターンの変更等の燃焼改善、鋼片連続製造設備 (CC, 69~), 連続焼鈍装置 (CAPL, 81~) の導入等の生産工程の省略、等対策を行ってきた。

更に連続製造鋼片の顕熱利用のため、CC-加熱炉直送・運搬台車保温等により、加熱炉熱片装入比率・装入温度向上を図った。

中でも、焼結排熱回収装置 (住友重機工業株との共同開発, 79) や高炉炉頂圧タービンおよび乾式除塵装置 (第 1 図: 日立造船株との共同開発, 81), 加熱炉高温化に伴う NO<sub>x</sub> 増加対策として SNT 型 (Sumitomo Nallow Tile) 低 NO<sub>x</sub> バーナの開発等は、当社が独自に開発したものである。

以上の対策を講じるにより、粗鋼 t 当たりのエネルギー使用量は 73 年に比較し、85 年には 20% 以上低減するこ



第2図 エネルギー原単位推移グラフ

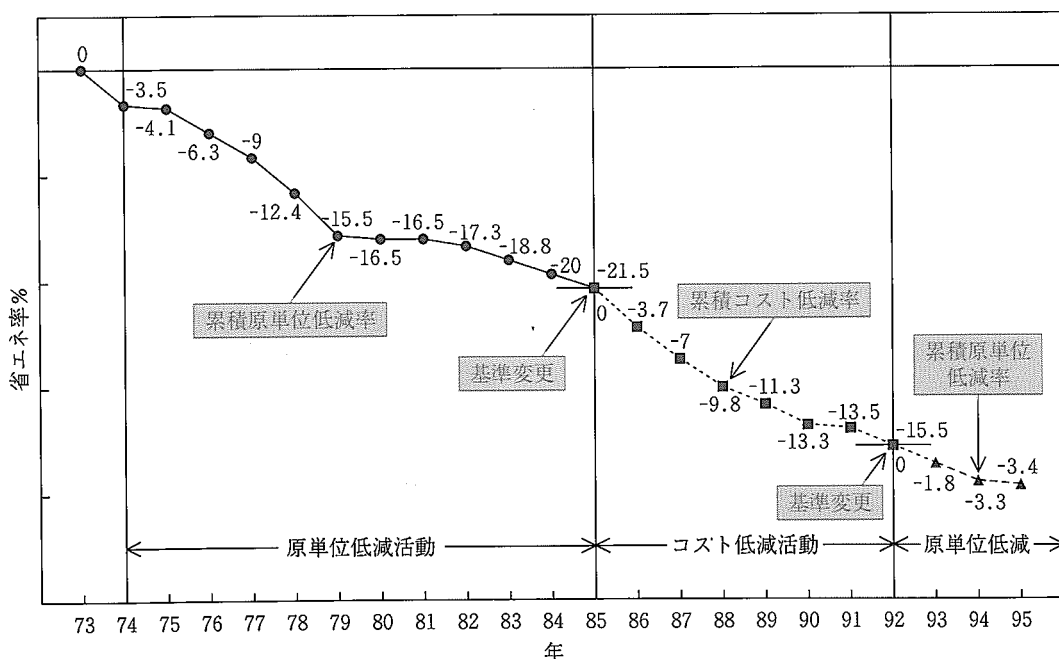
とができた。(第2図) この中で特に、設備・操業に対するきめ細かい改善が、多大の効果があつた。

## 2-3 80年代後半～現在 (95)

85以降は原油価格が低迷する中、省エネ案件も減少し、コスト削減に活動の中心をシフトし、高炉への微粉炭吹き込み (86~), 石炭焚きへのボイラ改造 (85), 非一貫事業所での燃料転換 (重油→LNG, 83~), 同じくコージェネ設置 (93) 等に積極的に取り組んできた。

また、バーナ開発では、酸化鉄スケールの低減・加熱効率向上のため、超低 NO<sub>x</sub>・直火還元型の SSC バーナ (Sumitomo Staged Combustion, 93) を開発し、連続焼鈍設備 (93) や加熱炉に設置した。

更に副生ガスを単に燃料として使用するだけでなく、



第1図 乾式炉頂圧回収タービンプロー

COGやLDGからの水素製造(83～)のごとく、より付加価値の高いガス原料へ変換する等の技術開発も行ってきた。

以上のようなハード面での対策のほか、製鉄所内でのエネルギー需給の最適化・昼夜間格差のある外部電力購入費削減等を目的にエネルギーセンターの改造・統合を数度にわたって実施し、各種エネルギーの一元管理・エネルギーコストのミニマム化を図ってきた。

## 2-4 96年以降

当社では、21世紀にも競争力のある製鉄所を目標に、製造設備のリフレッシュを行いつつある。例えば、和歌山新シームレスミル、和歌山新製鋼等の建設が進行中である。これらの設備建設に当たっては、エネルギー原単位面でも高効率な設備建設に取り組んでいきたい。更に、自家発電設備・酸素プラントのリフレッシュも今後検討していく。また、他の章で触れられている革新的な製鉄プロセス(DIOS、次世代コークス、ストリップキャスター)等も積極的に技術開発を行っており、実用化に向けての検討を予定している。

地球環境問題への関心が高まる中、当社では第9次省エネルギー推進活動を95年より行っており、エネルギー原単位の1%／年を目標として活動している。

この目標達成のためには、従来からの各種省エネ対策推進のほかに、93年より開発に取り組んでいる、燃焼技術面で従来に比べ高効率なリジェネレイティブ燃焼用の低NO<sub>x</sub>バーナの加熱炉への設置や、地域熱供給等中低温排熱の有効利用先の開拓、廃プラスチック等従来都市ゴミとして焼却されていた廃棄物の製鉄所での活用等、従来行われていなかった案件についても、検討していきたい。

## 3. リサイクル

### 3-1 鉄鋼スラグのリサイクル技術の発展と経過

#### (1) 高炉スラグ

高炉スラグのリサイクルについては、70年代前半までは、徐冷スラグの状態では破碎・整粒し、路盤材、土木用材を中心にリサイクルしてきたが、76年に小倉製鉄所に当社初の水砕スラグ製造設備を設置し、セメント原料としての本格的な販売も開始した。

その後、鹿島製鉄所、和歌山製鉄所にも水砕スラグ製造設備を設置し、徐冷スラグから水砕スラグへと生産量をシフトさせていく一方で、スラグの高付加価値商品への開発にも取り組んだ。その結果として86年、鹿島製鉄所に高炉スラグ微粉末製造設備を設置し、高炉セメントの原料としてセメントメーカーへの販売を開始した。

91年には、和歌山製鉄所内に住友大阪セメント(株)との共同出資で和歌山高炉セメント(株)を設立し、高炉セメント原

料として高炉スラグ微粉末の製造を開始した。更に96年には鹿島製鉄所に、付加価値の極めて高い超微粉末の製造設備を設置し、97年からグラウト材等の原料としてセメントメーカーへの販売を開始する。

95年度の高炉スラグ生成量は、全社で約350万トン、その内訳は、徐冷スラグ約220万トン、水砕スラグ約130万トン(微粉末約39万トン含む)である。用途別ではセメント原料に約180万トン、路盤材として約120万トン、土木用として約30万トン使用されているが、それ以外にも少量ではあるが建材用、肥料用にも使用されており、高炉スラグのリサイクル率は100%である。

#### (2) 製鋼スラグ

製鋼スラグについては、65年に小倉製鉄所で破碎・整粒作業を開始し、土木用材等へのリサイクルがスタートした。しかし、各製鉄所とも埋立地が確保されていたこともあり、本格的なリサイクルへの取り組みは、80年代に入ってからである。鉄鋼スラグ協会を中心に、肥料および路盤材へのリサイクル技術開発・公的認知活動が展開されてきた。

特に路盤材等へのリサイクルにおいては、製鋼スラグの膨張を早期に安定化させるエージング技術の開発に取り組んできたが、その結果、90年に小倉製鉄所、95年に鹿島製鉄所で蒸気エージング設備を設置・稼働させ、更に和歌山製鉄所では加圧式蒸気エージング設備を開発、95年より操業を開始した。従来、道路用路盤材は徐冷スラグが主体であったが、製鋼スラグを膨張安定化させることによって、徐冷スラグと製鋼スラグを混合した複合路盤材が主流となってきた。95年度の製鋼スラグの生成量は、全社で約140万トンであり、用途別の内訳は、路盤材約20万トン、土木用材約30万トン、所内リサイクル約50万である。残りの製鋼スラグについては、埋立用材等として活用されている。

鉄鋼スラグの技術開発については、埋立地の確保が困難になっていること、また、廃コンクリート、石炭灰等のリサイクル品との競合が激しくなってきたことから、製鋼スラグを中心に今後も引き続き用途開発に取り組んでいく必要があるが、同時に高炉、転炉操業の見直しによるスラグ改



質や発生量削減についての研究開発も今後重要となってくる。また、現状埋立処分しているステンレススラグについても技術開発が必要である。

### 3-2 副生物のリサイクル技術の発展と経過

ダスト、スラッジのリサイクルについては、75年、和歌山製鉄所および鹿島製鉄所にダスト還元鉄製造設備をそれぞれ設置し、所内で発生するダスト、スラッジを焼結原料としてリサイクルする体制を確立した。

鹿島製鉄所では、ダスト還元鉄製造設備から副次的に回収された亜鉛分は粗亜鉛の原料として売却し、また電気炉ダスト等の処分を外部から請け負うことで、ダスト還元鉄設備の操業単価を低減してきた。また和歌山製鉄所では、

現在、ダスト、スラッジの本格的な所内リサイクルに向け、技術開発、設備の設置に取り組んでいる。

鋼板酸洗工程から排出した廃酸についても、廃塩酸の再生・酸化鉄の回収技術には70年頃から取り組んできており、鹿島製鉄所では80年に、和歌山製鉄所では90年に現在の焙焼炉にそれぞれ改造した。回収した酸化鉄は磁気材料等の原料として販売している。今後、更にリサイクルに取り組むべき産業廃棄物としては、所内で発生する建設廃材、耐火物等が挙げられる。

山田匡修／鉄鋼技術部 次長

塩出純孝／鉄鋼技術部 参事

倉重宗寿／地球環境部 次長

(問合せ先) 山田 TEL: 03(3282)6383

### 環境・エネルギー・リサイクル年表

年代	エ ネ ル ギ ー	環 境 ・ リ サ イ ク ル
1959	和歌山共同火力㈱を設立 (本邦初)	
61	串型送風発電設備を三菱重工と共同開発	
63	和歌山共火1号機 (75MW) 稼働	
69	鹿島共同火力㈱を設立	(尼) 兵庫県・尼崎市と公害防止協定&覚書を締結
71		(和) 和歌山県・市と公害防止協定&覚書を締結
72		(鹿) コークス炉ガス脱硫 (鹿) コークス炉ガス液に活性汚泥処理設備を設置 (本邦初)
73	鹿島共火1・2号機 (各350MW) 稼働 ＜第1次オイルショック＞	(和) コークス炉ガス脱硫 (和) 低硫黄対策としてLPG導入 (鹿) 茨城県・地元三町と総合的な公害防止協定を締結
74	第1次省エネルギー計画 (3ケ年)	
75	スラブクーリングボイラを開発。(鹿) 1・2CCに設置	SNT型低NO <sub>x</sub> バーナ開発 (和) (鹿) ダスト還元鉄製造設備を設置
76		(小) 1BFに水砕スラグ製造設備を設置
77		高炉滓処理場の臭気対策技術を開発
78	(鹿) 2BFにソ連式TRTを設置	
79	焼結クーラ排熱回収設備を住友重機と共同開発。(和) 4焼結に設置 湿式軸流式TRTを日立造船と共同開発。(和) 4BFに設置	(関製) オイルレス化 (LNG化)
81	高炉ガス乾式除塵装置を日立造船と共同開発。(小) 2BFに設置 焼結主排ガス熱回収設備を住友重機と共同開発 (鹿) コークス乾式消火設備II-C, Dに設置	
82		(鹿) (和) 両製鉄所でオイルレス化実現
83	(和) COGからの水素製造設備を設置	(小) 高炉2次ガス灰乾式分級設備を設置(世界初)。焼結原料としてリサイクル
85	(鹿) LDガスからの水素・炭酸ガス製造設備を設置	
86		(鹿) 高炉スラグ微粉末製造設備を設置
90		(小) 転炉スラグ蒸気エージング設備を設置
91		和歌山高炉セメント㈱設立。設備稼働
92	(鹿) IIコークス石炭調湿装置設置	
93	(海) (関) コージェネ (自家発) 稼働	
94	高性能直火還元バーナを開発 (SSC)	社内環境監査制度を導入 特定フロン等を全廃
95	第8次省エネルギー計画 (2ケ年)	(和) 転炉スラグ加圧式蒸気エージング設備を設置 (世界初)
96		(鹿) 高炉スラグ超微粉末製造設備を設置