

く、一般系廃プラスチックの高炉原料化が進められている。また、石炭燃焼ボイラにRDF、木材チップ、合成樹脂RPFを石炭代替として省エネルギーを図った例も報告されている。

高性能工業炉開発プロジェクトは、燃焼炉に吹き込まれる空気を従来よりはるかに高温の1,000℃以上に予熱し、かつ、低酸素濃度に希釈されたその高速噴流中に燃料を吹き込む「高温空気燃焼」を利用して、炉温平均化技術、炉温高温化技術、加熱制御技術、NO_x制御技術をコア技術として、第2世代のリジェネレティブ燃焼を普及させる目的で1993年から7年間続き、その間、基礎的研究から応用・実用化研究が進められた(図8.9)。本プロジェクトでは、省エネルギー30%、ダウンサイジング20%、NO_xの大幅低減を可能とする目途がたち、1998年からは、実機適用拡大を目的に、高性能工業炉導入フィールドテスト事業とエネルギー使用合理化支援事業が行われ、高性能工業炉が広く普及した。燃焼特性としては①自着火燃焼する。②保炎手段が不要である。③瞬間最高火炎温度は低い④火炎の温度変動が小さい、等の特徴を有していることが確認されている。蓄熱体としてはハニカム型、ボール型の2種類がある。既設炉への蓄熱バーナへの

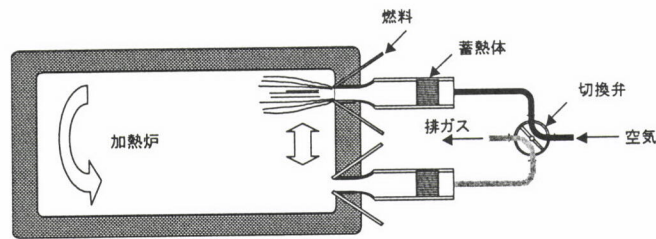


図8.9 リジェネレティブ燃焼の模式図

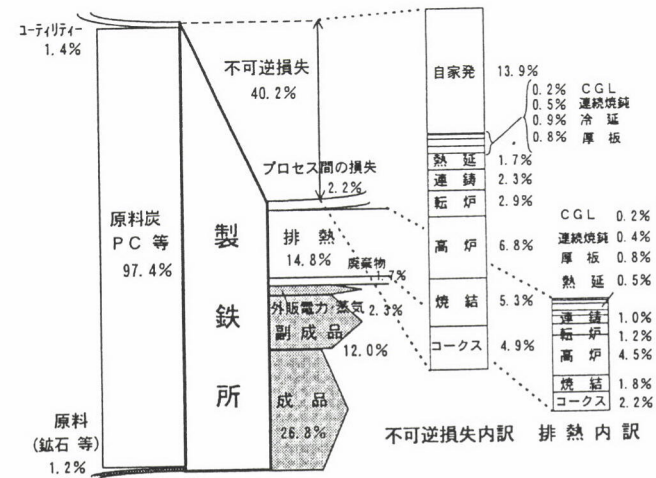


図8.10 現状モデル製鉄所 エクセルギーフロー (製鉄プロセスにおけるエクセルギー評価とエネルギー有効利用の可能性研究、日本鉄鋼協会、(1997))

の転換や増設、箱型バッチ炉やラジエントチューブへの適用、オール蓄熱バーナ炉建設等の多くの実績がある。

電気炉に関する省エネルギーの事例として、環境対応型の高性能アーク炉がある。この炉は、炉からの排ガスでスクラップを予熱するアーク炉で、溶解室と予熱シャフトが直結し、炉全体が半密閉構造の形のアーク炉である。半密閉型にすることで排ガス量は従来の1/3～1/4程度となり、空気の混入がなく、低窒素の溶湯が得られる。また、炉からの排ガスは燃焼塔、急冷塔、集塵装置を経由して放散されることによって白煙、悪臭、DXN発生が少ない。その他、省エネルギーに関する新しい取組みとして、98℃の温排水にアンモニア水混合体を用いたカリナサイクルを適用して、電力を回収した事例、転炉より発生する排ガスの顕熱回収にOGボイラに、スパイラルフィンチューブ型接触伝熱管を組み込み、排ガスの顕熱回収率を従来の65%から80%に向上した事例などがある。

今後の省エネルギーに関する新しい動きの一つに、現状の高炉法による製鉄法において、どこまでの燃料比や炭酸ガス排出量が可能であるか、この課題を定量的に検討するためのエクセルギー解析があげられる。理論最小のエクセルギー消費量に比べて現状のエクセルギー損失量を比較し、省エネルギーの方策を模索することは有意義である。図8.10は現在のモデル製鉄所のエクセルギーフローの評価例であるが、今後は、理論的な最小値を達成すべく、更なる省エネルギーを推進すべきであり、その対策として産業間のエネルギーカスケード利用も今後、展開されると思われる。

8.2.3 副産物利用技術の進歩

鉄鋼副産物として最も多量に発生するスラグは、この10年間に利用用途が大きく変化し、新しい用途の開発も進んだ。一方で、高炉セメント、鉄鋼スラグ路盤材、鉄鋼スラグ骨材、土工用水砕スラグがグリーン購入法による指定品目となったことにより、今後ますます有用な資源としての利用が期待されている。

(1) 鉄鋼スラグ利用用途の変化

①高炉スラグ

過去10年間における高炉スラグの利用用途別出荷量の推移を図8.11に示す。従来、セメント用、道路用で安定した需要のあった高炉スラグも近年の公共工事縮減の影響による国内セメント需要の減少から、セメントクリンカー原料の需要が大幅に減少した。これを補うため、セメント向けの輸出、コンクリート細骨材用、土工用への利用を図ってきている。水砕スラグの輸出量は1993年度の44万tから2003年度では389万tへ、9倍に増加している。潜在水硬性を活かした高炉

セメント、高炉スラグ微粉末としての利用が海外にも受け入れられた結果といえる。高炉水砕スラグ細骨材は保管中の固結の問題等があり、利用が低迷していた。近年、瀬戸内海での海砂採取規制の強化により、海砂の代替材としてのニーズが高まり、新たな固結防止剤の開発、粒度調整技術の進歩により、スラグ細骨材の出荷量は1993年度の56万tから2003年度は234万tへ、4倍に増加した。土工用については、水砕スラグの軽量かつ内部摩擦角が大きいという特徴を活かし、1995年の阪神淡路大震災後、神戸港の復旧に120万tが用いられるなど、港湾工事への利用が増加している。

②製鋼スラグ（転炉系）

過去10年間における地金分を除いた転炉系製鋼スラグの利用用途別出荷量の推移を図8.12に示す。所内リサイクル利用、道路用、地盤改良用が増加し、利用率が93→98%に向上した。転炉スラグ発生原単位にはほとんど変化がないものの、予備処理工程、焼結・高炉工程へのリサイクル技術が進歩し、製鉄所内での再利用量は1993年度の82万tから、2003年度には217万tへと増加した。1992年に「JIS A 5015 道路用スラグ」が製鋼スラグも対象にした「道路用鉄鋼スラグ」に改正され、蒸気エージングによる膨張抑止技術や、コンクリート廃材・高炉スラグ等との複合化により、路盤材への

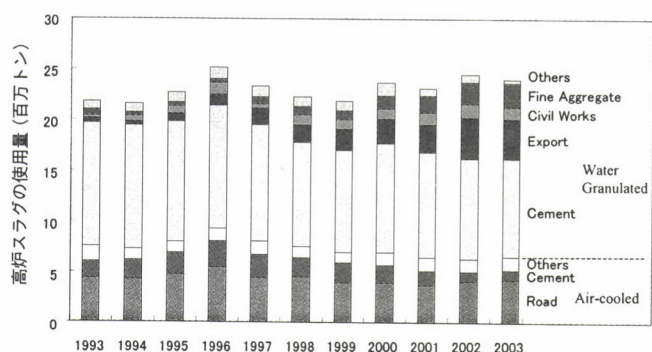


図8.11 高炉スラグ使用内訳推移
(鉄鋼スラグ協会)

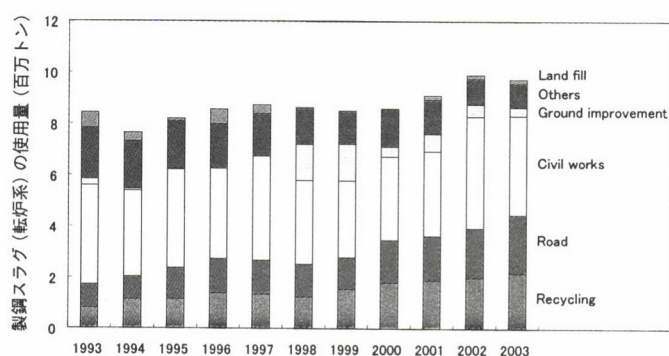


図8.12 転炉系製鋼スラグの利用用途別出荷量
(鉄鋼スラグ協会)

の利用が進んだ。路盤材用製鋼スラグの比率は、1993年度には16.2%であったが、2003年度には34.6%、226万tへと増加した。

③電気炉スラグ

電気炉スラグの利用率も道路、土木利用を主に増加し、1993年度の69.4%から2003年度には93.4%に達した。2003年6月には「JIS A5011-4 (コンクリートスラグ骨材—第4部：電気炉酸化スラグ骨材)」が制定され、今後の利用増加が期待されている。

(2) 鉄鋼スラグの新しい用途

従来用途の需要縮小から新規用途の開発が勢力的に行われ、既存材料の代替用途や環境改善を図る目的で新しい用途が開発された。

①既存材料の代替用途

・コンクリート代替製品

天然骨材やセメントを使用せずに鉄鋼スラグを主原料とした鉄鋼スラグ水和固化体（フェロフォーム）の製造技術が開発され、図8.13の例のように港湾用土木材料等に利用されている。通常のコンクリートと同様の設備・手順で製造でき、コンクリート相当の強度を有し、耐磨耗性に優れ、海中ではコンクリートに比べて多種、多量の生物が付着し易く、生物親和性が高い。その他コンクリート代替製品として、製鋼スラグとフライアッシュ、セメントを用いたFSコンクリートや、電気炉還元期スラグから製造される漁礁ブロックがある。

・港湾工事用地盤改良材

天然の砂に比べて単位容積質量や内部摩擦角が大きいという製鋼スラグの特性を利用して、サンドコンパクションパイル工法への利用が図られ、広島港の埋立地の地盤改良用に計370万tが使用された。2000年には「港湾工事用製鋼スラグ利用手引書」（鉄鋼スラグ協会・沿岸開発技術研究センター）が作成されている。

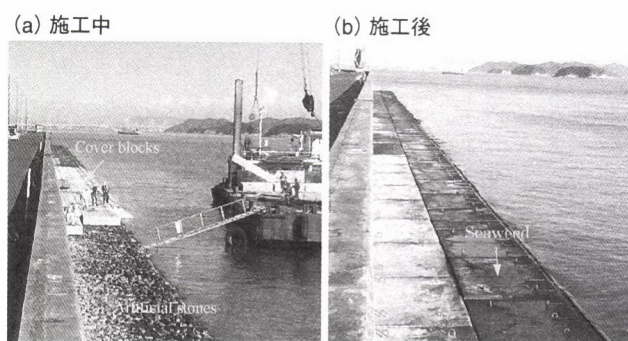
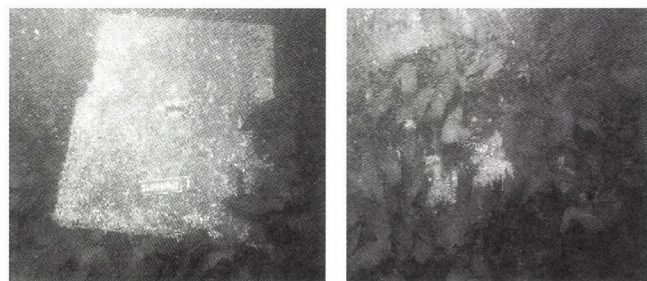


図8.13 鉄鋼スラグ水和固化体（フェロフォーム）を用いた人工石と被要ブロックによる港湾護岸工事
(JFE技報)



コンクリートブロック

マリμβロック

図8.14 神奈川県城ヶ島海域でのコンクリートブロックとマリμβロック（鉄鋼スラグ炭酸固化体、1m×1m×1m）のブロック上面の比較（JFE技報）

②環境改善材料

・水質・底質浄化材

高炉水砕スラグで海底のヘドロ層を覆うと、青潮の発生原因となる硫化水素の発生が抑制される特性が見出され、海底の覆砂材として利用が図られている。島根県宍道湖ではシジミ漁場材として、水砕スラグの利用を検討しており、天然砂と同等以上の良好な結果が得られている。

・海域環境改善材料

藻場造成礁（鉄鋼スラグ炭酸固化体；マリμβロック）は、製鋼スラグの成形体にCO₂を吹き込むことにより製造される。スラグ粒子周囲に炭酸カルシウムの皮膜を生成させて、スラグ粒子間を結合し、ポーラスコンクリートと同様に多孔質のブロックとなっている。日本全国14の海域でコンクリートブロックとの比較試験を実施し、図8.14の例のように藻の着生、成長に優れた材料であることが実証されている。

・CO₂固定化

栄養塩が不足している海洋に製鋼スラグを散布することにより、栄養塩が溶出し、海洋植物プランクトンを増殖させCO₂を固定化しようとする取り組みが行われている。

・都市環境改善材料

都心部のヒートアイランド現象抑制対策として、保水性舗装が目目されている。通常の密粒度舗装に比べ路面温度が最大13℃低下する高炉スラグを原料とした保水材が開発され、各地で採用が広がっている。

8.2.4 製鉄プロセスを活用した環境・リサイクル技術

(1) 環境調和型製鉄所への動き

近年、環境に関わる様々な問題の解決を目指し、循環型社会実現への取り組みがあらゆる場で進められている。鉄鋼業界も従来のプロセスの生産性向上、効率化など量拡大とコスト低減を主眼にした技術開発に加え、自然環境と地域社会との共生をベースに、環境負荷軽減、資源・物質循環を重視したプロセス技術の開発も同時に開始している。製鉄技術の環

境・リサイクル分野への展開は従来にはまったく無かった技術ジャンルであり、この10年において鉄鋼技術の新しい流れを作りつつある。特に高炉、コークス炉を利用した廃プラスチックのリサイクルに関しては実機化まで進み、社会からも認知され、製鉄所のイメージを変えている。このように円滑に実績を挙げ、期待されるに至った背景には鉄鋼業が培ってきた高度なプロセス開発技術が根底にあるが、製鉄所自体に次のようなリサイクルへの高いポテンシャルを本質的に有することも挙げられる。

- ・製鉄所は高炉、コークス炉など廃棄物をガス、還元材に高効率で変換し資源として有効活用するに適した高温プロセスを有する。そして優れた環境保全設備によりクリーンな利用が可能である。
- ・広大な敷地のもとに大量に対象物をハンドリングできる設備を有し、陸上、海上からアクセスが容易で、周囲との連携を取りやすい。

本節では製鉄プロセスを活用した各種リサイクル技術について、既に商用化に至っているものは勿論、またこの10年間に開発され、現在、実機化に向け進みつつあるものも含めて述べる。

(2) 廃プラスチックの資源化技術

プラスチックは加工性、耐久性に優れることから、日本におけるプラスチック原材料生産量は2001年統計で1,388万トンに達している。それに伴い廃棄されるプラスチックの量も急増し、一般廃棄物系および産業廃棄物系合計で1,016万トン（2001年）と推定されている。この廃プラスチックのうち、再生利用されているのは、その約50%にすぎず、残りは単純焼却、埋立処分されているのが現状である。この実状はこの10年間、大きく変化していない。よって、環境問題、資源の有効利用の観点から、容器包装リサイクル法が制定され、2000年より一般廃棄物系のすべての廃プラスチックに対して適用が開始されている。

廃プラスチックのリサイクル方法としては図8.15に示すように廃プラスチックを再生加工し、二次製品として再利用する方法と、化学的、熱的に処理して再利用する方法に大別される。さらに後者には廃プラスチックを油化し、液体燃料あるいはナフサ代替など石油化学原料として再利用する方法、高炉の還元剤として利用する方法、油化と高炉還元剤を兼ね備えたコークス炉原料化として活用する方法などがある。それぞれには特質があるが、純粋に油化する方法は化学的手段によって廃プラスチックを液状原料、燃料に変換、精製するもので望ましいリサイクルの手段であるが、適用性、経済性に関して課題もある。高炉、コークス炉を活用する方法は対応力に富み、大きな処理量が期待できる。高炉原料化