

がこれまでに開発、実用化されてきた。最近のバーナー構造の一例を図2.21に示した。このバーナーは「COHERENTバーナー」と呼ばれるもので、従来のバーナーのような酸素と燃料を単純混合燃焼させるだけでなく、メイン酸素、燃料、二次酸素を同心円上に配し、フラームを収束させてその径と長さを長く維持することでスクラップの溶断を効率的に行うものである。内管の高速純酸素ガスによりスラグやスプラッシュ等の付着が抑制されるのでバーナー先端部が閉塞するトラブルを防止できるという特徴もある。

2.6.3 電気炉排ガスおよびダスト処理

2000年1月に施行されたダイオキシン類対策特別措置法によれば、製鋼用電気炉のダイオキシン類排出基準値は、既設炉では $<5.0 \text{ ng-TEQ/Nm}^3$ 、新設炉は $<0.5 \text{ ng-TEQ/Nm}^3$ と定められた。この新たな規制に呼応してダイオキシン捕捉効率の高い排ガス処理設備の開発が関心を集めている。例えば「2段バグ方式」では、電気炉用の直引集塵装置と建屋集塵装置を直列に連結させるもので、直引集塵を通過した排ガスをさらに建屋集塵入口に導入して2段ろ過とすることで、排ガスの低温化を図ることによりダイオキシンの捕捉効率を高めようとしたものである。この方式は周知の技術であり現在多くの事業所で採用されている。一方、「2段バグ+活性炭方式」(図2.22)はさらにダイオキシンの低減を狙ったもので、2段目バグの手前で活性炭を吹き込むことによりダイオキシンの吸着除去を図っている。この方式はごみ焼却炉で実

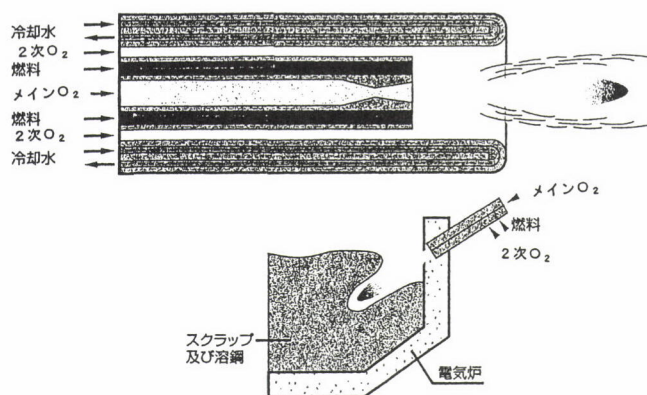


図2.21 電気炉COHERENTバーナー

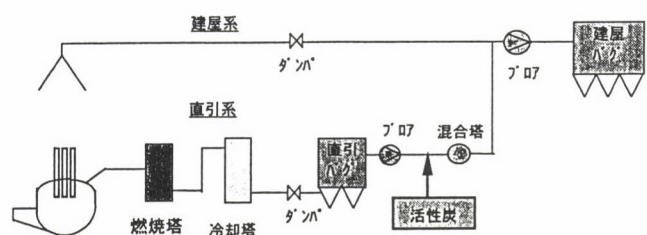


図2.22 電気炉排ガス処理フロー（2段バグ+活性炭吹込）

施されている活性炭吹き込み方式とは異なり、直引バグ通過後のダストの無いガスに活性炭を吹き込む点に新規性があり、電気炉排ガスで $<0.1 \text{ ng-TEQ/Nm}^3$ の達成が可能とされている。

電気炉ダスト処理については、いくつかの方法が実施されている。大別すると、電気炉に直接リサイクルするオンライン処理と、専用設備を設けて処理するオフライン処理に分けられる。オンライン処理は、ダストを粉体のまま溶鋼中にインジェクションしたり、石灰と混合、ブリケット化して炉内に投入する方法などが実用化されている。オフライン処理はダストを溶融してダスト中の有価金属の回収を図るもので各社独自の方法を実施している（詳細は省略）。

2.7 環境その他

わが国では、1993年に環境基本法、1994年に環境基本計画が制定されて以降、循環型社会の形成に向けてリサイクル関連法体系が整備されるとともに、廃棄物の処理と清掃に関する法律・ダイオキシン類対策特別措置法・土壤環境基準などが制改定され、廃棄物処理や排出規制の強化がなされてきた。また、鉄鋼業界としても1996年に「鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画」を策定し、2010年のエネルギー消費量を対1990年比 $\Delta 10\%$ 削減の数値目標を立てて活動をしている。このような背景から、最近10年の製鋼技術の発展においては、従来からの品質、コスト、生産性に加えて、環境への対応が重要なキーワードになっている。

製鋼工程における環境対応としては、①熱ロス低減・熱回収をはじめとする省エネルギー、②スラグ・ダストなど副産物の3Rの推進と最終処分量のミニマム化、③他産業で発生する副産物の資源化、がある。今や環境対応と個々の製鋼技術の発展とは密接に関連しており、具体的には溶銑処理および転炉におけるスラグ発生量の削減とリサイクルの推進、電気炉における高効率スクラップ予熱技術の開発、製銑技術を利用した回転炉床炉や縦型炉におけるダスト処理などが実用化されている。これらについては、一部の重複を除いて個別の章に譲り、ここでは製鋼工程における環境周辺技術についてまとめる。

2.7.1 製鋼工程における省エネルギー・熱ロス低減・熱回収

混銑車の大型化、溶鋼取鍋への蓋付き操業の適用拡大、溶鋼取鍋の物流改善によるサイクルタイム短縮、溶鋼温度管理システムの適用などにより、生産能力増強とともに、放熱ロスの低減が図られてきた。また、低熱伝導率のMgO-Cレンガ、マイクロ気孔を有する断熱材、中空骨材を使用した低熱容

量不定形耐火物など、耐火物の改善による放熱ロス低減も進められてきている。取鍋加熱においては、蓄熱式バーナーを適用することにより大幅な加熱燃料原単位の削減が達成されている。

このような改善が継続的に進められてきている一方、新たな観点からの技術開発が行われている。例えば、誘導加熱装置付き貯鉄炉が導入され、電気炉より高い熱効率でスクラップを溶解すると同時に、高炉と転炉～連铸の能力差を調整するバッファーとして製鋼工程の物流改善に利用されている。また、電気炉工場に溶鋼貯留設備が設置され、夜間電力で製造した溶鋼を保持して昼間に使用し、昼間の電力原単位を削減するとともに、スクラップからの不純物成分の変動を平均化する効果を得ている。

熱回収では、転炉排ガスダクト冷却水の低温排熱を利用する世界初のカーナサイクル発電設備が実用化された。カーナサイクル発電システムでは、アンモニア水の非等温蒸発・凝縮特性と、混合比により凝縮圧力が変化する特徴を利用し、従来の低温熱源システムより約40%高い発電効率を達成している。

2.7.2 スラグ

製鋼スラグ発生量は年間1,200万トンに達し、製鋼工程で発生する副産物の最も大きな割合を占めている。製鋼スラグは、塩基度が高く不均一であるがゆえに利用度が低く、以前は埋め立て処分や土木用が大半を占めていた。これに加えて、高純度化を中心とした品質要求の厳格化、製鋼コストの低減、生産性向上などを目的として、製鋼工程は機能分化した多段階のプロセスとなっており、製鋼各工程から発生するスラグも多種多様なものとなり、その発生量は増加する傾向にあった。図2.23に、転炉事業所における製鋼スラグの生成原単位、所内再使用を除いた排出原単位、および所内再使用率の推移を示す。90年代前半まで生成原単位、排出原単位はともに上昇した。しかしながら最近10年においては、溶鉄処理の拡大・効率化とそれに伴っての所内再使用の拡大によ

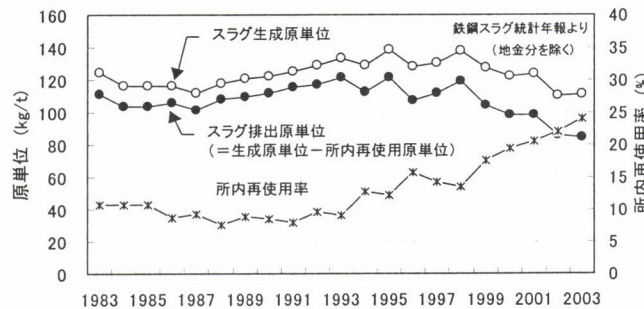


図2.23 転炉事業所における製鋼スラグの発生と再使用の推移 (鉄鋼スラグ協会編 鉄鋼スラグ統計年報のデータをもとに作成)

り、生成原単位、排出原単位ともに低下し、所内再使用率は20%以上に達している。また、蒸気エージングの適用により路盤材など付加価値の高い用途への利用が行われている。電気炉事業所における製鋼スラグについては、この間の生成原単位・排出原単位の低下はわずかであるが、土木用・道路用への利用が進められた。

溶鉄処理技術の進展とそれに伴うスラグ発生量減少・リサイクル量増加については、別の章に譲り、ここではその他のリサイクル技術について述べる。スラグの熱間リサイクルは、顕熱の有効利用と、スラグ処理工程の省略という点で効率的な手段である。脱炭炉スラグがステンレス溶融還元炉に熱間でリサイクルされ、スラグ処理費と溶融還元炉における造滓剤の削減を達成している。また、取鉄精錬炉 (LF) における還元スラグが電気炉に熱間リサイクルされ、石灰原単位低減の他、電気炉における脱りん効率向上効果が得られている。

利用の観点では、近年の公共工事の縮減を受け、これまで製鋼スラグの主要な用途であった陸域土木用・路盤材の市場がシュリンクしつつあり、これらに代わる新規用途の開発が大きな課題となっている。これに対しては、積極的に環境を改善する「環境資材」として、海域での覆砂材などへの適用研究が進められている。

2.7.3 ダスト

製鋼ダストについても、発生量抑制とリサイクル使用の拡大が図られた。

転炉におけるダスト発生抑制としては、上吹き酸素ジェットの変更が行われてきている。不適正膨張による噴流流速低下、異径ノズルの適用、ノズルの広角・大径化による火点面積の拡大や衝突運動量の低下が行われている。また、ダスト発生量のオンライン測定技術が開発され、ランスノズル・送酸パターンの改善に適用されている。

リサイクル技術としては、大規模な方式として回転炉床炉、縦型炉が開発され、適用されている。比較的小規模なダスト処理専用プロセスとして、図2.24に示すように、重油・酸

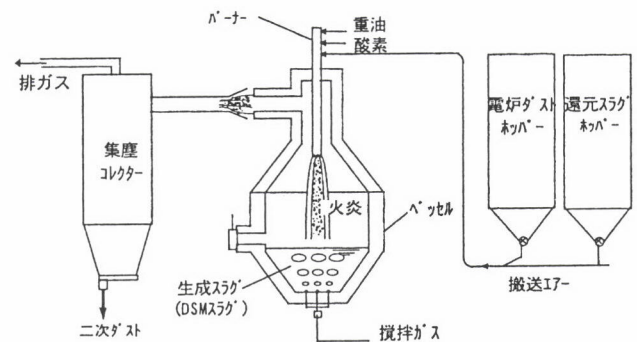


図2.24 電気炉ダスト処理プロセス (DSMプロセス)

素バーナーにより、電気炉ダストと還元スラグを溶融・スラグ化するプロセスが開発されている。スラグは路盤材として利用され、ダスト中Zn、Pbは2次ダストとして回収し、原料としてリサイクルされている。また、電気炉ダストを真空中で加熱還元することにより、ダスト中ZnOを還元して高純度のZnとして回収し、残渣の酸化鉄はペレット化後、電気炉にリサイクルする技術が開発されている。

オンサイトにおける熱間リサイクルとしては、横型ホットサイクロンがステンレス溶融還元炉に適用され、炉内への熱間リサイクルが行われている。また、簡易なりサイクル法として、電気炉集塵ダストにアルミドロス、廃油を混合して造粒したものを電気炉にリサイクルする方法が開発されている。この他、電気炉集塵ダストに生石灰を配合したブリケットの電気炉へのリサイクル、ダストを粉体のまま水冷ランスにより電気炉にインジェクションする方式も開発されている。

2.7.4 廃耐火物

使用済み耐火物に関しては、耐火物原料としての再利用技術と耐火物原料以外への利用技術が開発されてきた。

典型的な再利用方法として、スライドゲートプレートの再生使用技術が開発された。これは、回収したプレートレンガの損傷が溶鋼接触部に限られることから、損傷部位をボーリング除去し、再生リングを装着することにより再使用する方式である。耐火物原料としての再利用は、主に Al_2O_3 系、 MgO 系の使用済み耐火物を耐火物原料として再使用する技術が開発されている。今後更なる再利用を図る上で、スラグ・地金との分離回収、不定形耐火物のファイバーの除去などが課題となっている。

耐火物原料以外への利用としては、 $MgO-C$ 、 MgO 、ドロマイト系の使用済み耐火物を転炉、電気炉、LFの生石灰、焼成ドロマイトの代替の造滓剤として使用する事が行われている。製鉄工程以外では、景観煉瓦や製鉄所内道路工事の路盤材などにも利用されている。

2.7.5 他産業で発生する副産物の資源化

以前より、製紙スラッジ、アルミドロスは製鋼工程の保温材や造滓剤として利用されている。最近の大規模な取り組みとしては、廃タイヤチップの冷鉄源溶解炉への使用がある。溶解熱源である微粉炭の一部を廃タイヤチップで代替し、同時に廃タイヤ中に含まれるスチールコードを鉄源として利用している。

2.8 凝固現象・ castingプロセスの学術的发展

2.8.1 動向

図2.25は、1994年から2003年までに鉄と鋼およびISIJ Internationalに掲載された凝固・ casting分野の論文数である。全体としての論文数はほぼ一定といえるが、鉄と鋼に掲載された数は1997年を境として急速に減少し、代わりにISIJ Internationalの論文数が増している。図2.26は、ISIJ International掲載論文の筆頭著者名が外国人名と日本人名でわけた数である。1995年は凝固に関する特集号が出されているので、論文数は特に多くなっているが、それを除くと7割以上が外国人名となっている。この分類には、日本人との共著も含まれている（日本で学位を取得するために留学している外国人）ので、一概に外国からの投稿数が多いとは言えないが、外国および留学生の寄与が大きい反面、日本人学生および企業による研究報告が減少している。このことは日本企業における凝固研究—主に連続 casting凝固—の必要性が少なくなっているのか、あるいは凝固に関する大きなテーマが見つけないなどの研究に対するモチベーションの低下が考えられる。

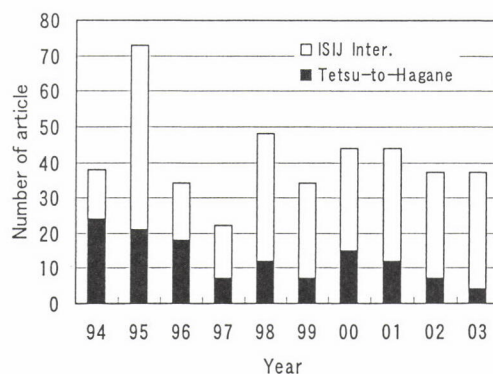


図2.25 ISIJおよび鉄と鋼に掲載された凝固及び castingに関する論文数

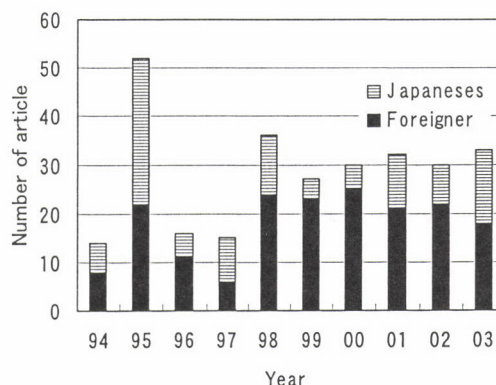


図2.26 日本および日本以外の国に分類したISIJの掲載論文数