

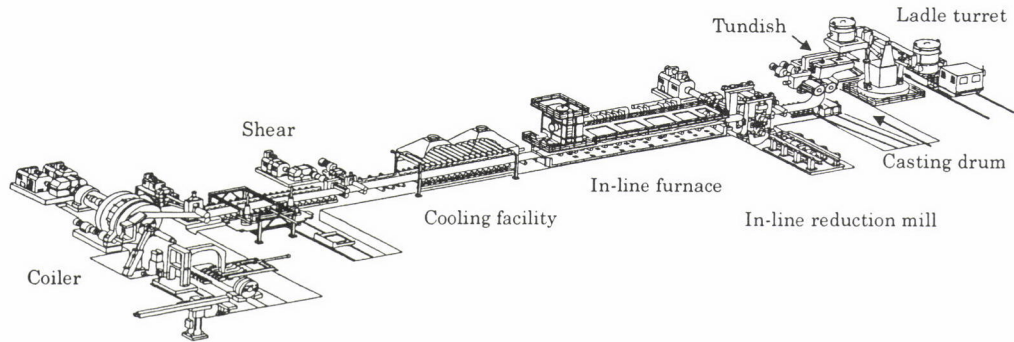


図2.17 ツインドラムストリップキャスターの概略
(CAMP-ISIJ, 15 (2002), 208.)

製鋼プロセスへの適用を提案した旋回流の利用は、その後、種々の研究の結果、ねじり羽根を用いた連铸浸漬ノズルへの旋回流の利用が実用化された。旋回流ノズルの使用によって、铸型内の流動が安定化され広幅スラブの品質向上が図れる。

2.5.7 ビレット・ブルーム連铸機の品質

条鋼用の連铸機として中断面ブルーム (220×220) に、一段の水平・垂直ロール圧延機を接続したプロセスが設置された。本方法は、既存の分塊工程を省略することが可能となり、ブルーム連铸機とビレット連铸機の中間に位置するプロセスと評価される。

シームレスパイプ用の連铸機として稼動している丸ビレット連铸機において、包晶鋼を含む全鋼種を最大3 m/minで铸造し、無手入力で圧延工程に直送する技術が開発された。また、丸ビレットの横断面中心に発生する軸心割れを防止する技術として、FCR法 (Final Compressive Cooling Process for Round Billet) が開発された。

2.6 電気炉

2.6.1 電気炉技術の変遷

1900年、Paul Heroultが電気炉の工業化に成功してから100年あまりが経った。わが国へは1916年に導入され、当初は特殊鋼の製造に限られていたが、1960年代からは普通鋼の分野においても電気炉が用いられるようになった。現在、国内粗鋼量の約3割は電気炉で生産されており、世界全体で見てもこの傾向は変わらない。このような電気炉鋼の発展は、単にスクラップ増加などの原料事情のみではなく、電気炉操業技術、設備技術の発展にもよるものである。図2.18には1970年代以降の国内電気炉の主要諸元値の推移を示したが、過去30年の技術を10年ごとに簡単に振り返って見る。

(1) 1975年から1985年まで

電気炉の生産性が飛躍的に増加し、省エネルギー化が進ん

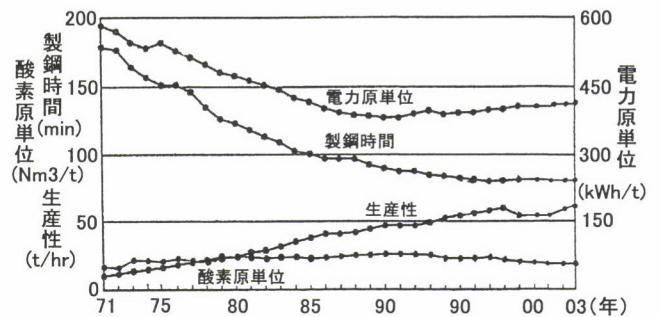


図2.18 わが国におけるアーク炉の能率、各種原単位の推移

だ時期である。これを可能にした技術としては、炉の大型化とUHP操業 (Ultra High Power：超大電力操業) の導入、炉壁・炉蓋の水冷パネル化、酸素富化操業、カーボンインジェクション操業の開発などが挙げられる。

(2) 1985年から1995年まで

LF (Ladle Furnace取鍋精錬炉) が普及した時代であった。LFの導入により、従来電気炉で行っていた還元精錬が不要となり、電気炉はスクラップの溶解と酸化精錬のみを行えばよくなり、電気炉の生産性が向上したのみならず、LFの優れた精錬能力は電気炉鋼の品質を向上させた。

LF操業は、電気炉出鋼時に取鍋に混入した酸化スラグの除去からスタートするが、この作業を省略する目的でEBT (Eccentric Bottom Tapping：偏心炉底出鋼) 炉が開発された。従来の出鋼方式は、炉を傾けて炉側部に設けた出鋼樋から取鍋に溶鋼を移す操作であったため電気炉内の酸化スラグが溶鋼と一緒に取鍋に流入するのを避けられなかった。これに対してEBT炉は出鋼口を炉底部に設けることでこの問題を解消した。一方、新しい電気炉を模索する動きも見られた。代表的なものが直流電気炉の開発である。従来の交流電気炉はフリッカー (電圧変動による周辺電気設備への障害) 問題が大型化・UHP化の大きなネックになっていたが、直流電気炉はこの問題を軽減できる炉として注目を集め、1988年に1号機が稼動して以来1994年までに14基が設置された。

(3) 1995年から2004年まで

この10年は環境の時代といえよう。環境意識の高まりに応えるべく多くの環境対応技術が開発された。後述するように電気炉排ガスに対する法規制が強化されたため、新たな排ガス処理技術が開発された。また、スラグ、ダストなど排出物の再資源化、リサイクル化技術もかなり進み、ゼロエミッションへの取り組みが活発に展開されている。一方、直流電気炉は、現在の設置基数は22基（休止炉含む）に達した。しかしその反面、既存の交流電気炉の改善も活発で、上記(2)の1980年代では交流電気炉の大型化・UHPには限界があるとされていたが、その後の電気設備技術（フリッカー防止装置）の発達により、トランス容量の大型化が進み最近では比トランス容量（スクラップ装入t当たりのトランス容量KVA/t）が1,000に達する（参考：1970年代のUHP炉の比トランス容量は500程度であった）超UHP炉が出現している。この結果、“大型・UHP炉は直流電気炉が優位”という通説が見直される状況になっている。

また、スクラップ溶解促進を目的とした助燃バーナーについても設備技術の改善が重ねられ、以前に比べると高性能のバーナーが開発、実用化されている。

先の図2.18は、鉄鋼連盟所属企業の電気炉（約70基）のデータであるが、国内の優良電気炉を有する企業がメンバーである鉄鋼協会・電気炉部会のデータによれば、1995年から2002年の7年間で、電気炉生産性は85t/hから90t/hに、普通鋼製鋼時間（tap-tap）は64 minから59 minと改善している。

2.6.2 最近の技術

ここでは、「スクラップ予熱型電気炉」「助燃バーナー」「電気炉排ガスおよびダスト処理」を紹介する。

(1) スクラップ予熱型電気炉

1970年代後半に開発された酸素富化・カーボンインジェクション操業は、それまでアーク熱に頼っていたスクラップ溶解熱源を化学熱に置換したという意味で革新的な技術であった。ただ、その結果としてカーボン燃烧に伴う排ガス熱の増加を招き、この活用策が課題となった。

図2.19は電気炉熱精算の代表例を示したが、排ガス顕熱が全出熱の2割近くを占めている。また、排ガスには未燃のCOガスも含まれており、この潜熱を利用する目的で、炉内に酸素ガスを吹き込んでCO燃烧熱の有効利用を図っている事業所もある。

排ガス熱で次ヒートのスクラップを予熱しようとする考えは古くからあった。当初はスクラップを充填したバケット内に排ガスを流入させる簡便な方式であったが、予熱中にスク

ラップに混在していた非金属類が燃烧してバケットから白煙や悪臭が発生するという問題が生じ中断した。

最近のスクラップ予熱は電気炉に近接した位置に専用の予熱装置を設けて周辺環境を汚染することなく効率的に排ガス熱を回収できる方式が開発、実用化されている。現在、国内では7基が導入されているが、その方式は、「シャフト方式」「水平型連続予熱方式」「2炉体方式」など様々である。図2.20にシャフト方式の一例を示した。いずれの方式も一長一短があり、通常の電気炉に比し格段の効果を認めるまでには至ってない。今後の展開が興味深い。

(2) 助燃バーナー

電気炉内ではアークの特性上、スクラップの溶けにくいコールドスポットと呼ばれる個所がどうしても発生する。そのため、コールドスポットのスクラップ溶解を促進する目的でバーナーが使用される。バーナーは炉側部に通常数箇所設置されるがもっと多数のバーナーを設けるところもある。

バーナーの構造は燃料（灯油、重油、LNG）と酸素をバーナー出口で混合燃烧させるタイプが一般的であるが、いかに効率的に未溶解のスクラップを溶断することができるかによって、バーナーの評価が決まる。そのために多くのバーナー

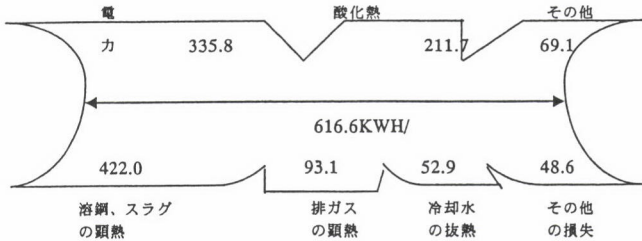


図2.19 電気炉熱精算

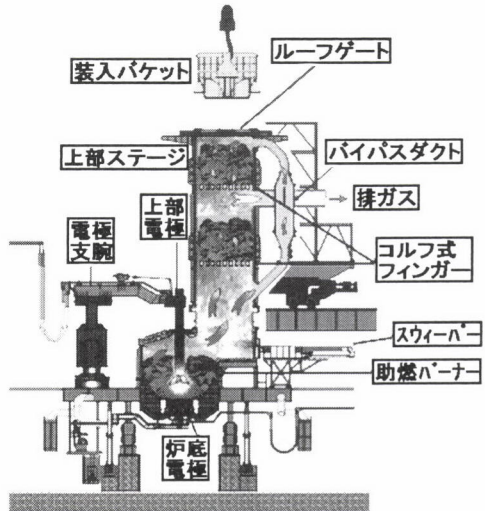


図2.20 シャフト式スクラップ予熱型電気炉

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

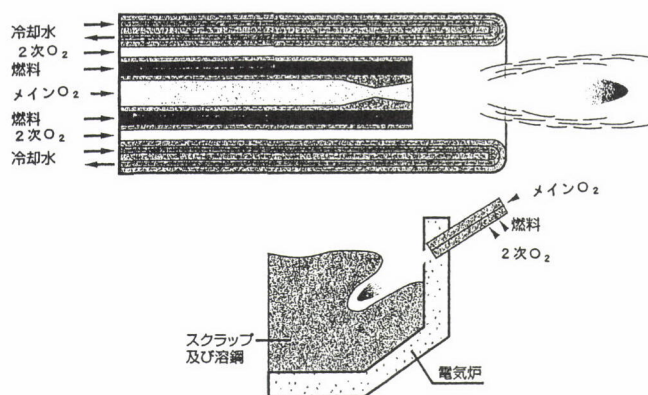


図2.21 電気炉COHERENTバーナー

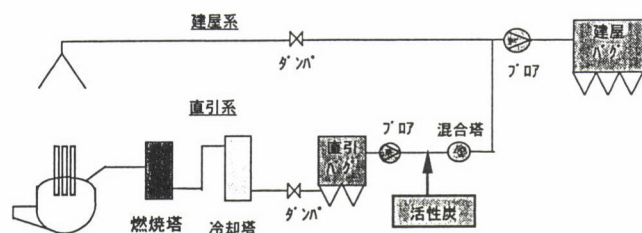


図2.22 電気炉排ガス処理フロー（2段バグ+活性炭吹込）

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熔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