

電気炉技術の最近の動向

日本の粗鋼生産量の約1/4を占めている電気炉鋼。鉄スクラップを原料として鋼を製造する電気炉は、鉄資源活用としての意味合いに加え、CO₂削減を目指す鉄鋼業において重要な役割を果たすと期待されている。生産性やコスト、環境性能など、さまざまな特徴を持つ新しい電気炉技術が提案されている。

鉄スクラップから高品質な鋼を作る電気炉 画像提供：JFE条鋼(株)

CO₂排出削減で注目される電気炉

2020年10月、菅首相が「日本の温室効果ガスの排出量を2050年までに実質ゼロにする」と発表、さらに2021年4月には、「2030年度の日本の温室効果ガス削減目標を、2013年

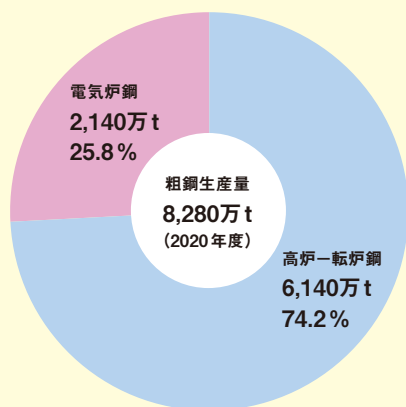
度比で46%削減する」と発表した。これに呼応し、日本の産業界はCO₂削減の取り組みを一層本格化させた。

鉄鋼業は、日本のCO₂排出量全体の約14%を占めるといわれる。そこで、今後CO₂排出量を減らすための有効な方策として、電気炉の活用がクローズアップされている。

現在主流の高炉一貫プロセスでは、まず高炉に鉄鉱石とコークスとを交互に投入し、高炉下部から熱風を吹き込み、溶けた鉄を製造する。次に転炉で不純物を除去し、その後の工程で製品の形状に合わせて、鋳造、圧延する。

一方、電気炉は、電気エネルギーにより原料のスクラップを加熱する。鉄鋼製造に用いられる電気炉は主にアーク炉であり、電源に接続された電極と主原料のスクラップとの間にアーク放電を発生させて生じた熱エネルギーでスクラップを溶解する。

日本の粗鋼生産量のピークは2007年度の1億2,150万tであり、2019年度までは約1億t前後であった。一方、電気炉鋼の生産量のピークは1990年度の3,530万tで、粗鋼生産量に占める割合は31.6%であった。その後、リーマンショックや建設投資の増減に伴い電気炉鋼の比率は変動してきた。2020年度の粗鋼生産量8,280万tのうち、電気炉鋼は2,140万tで25.8%を占めている(図1)。



出所：経済産業省

図1 日本の粗鋼生産量に占める電気炉鋼の割合

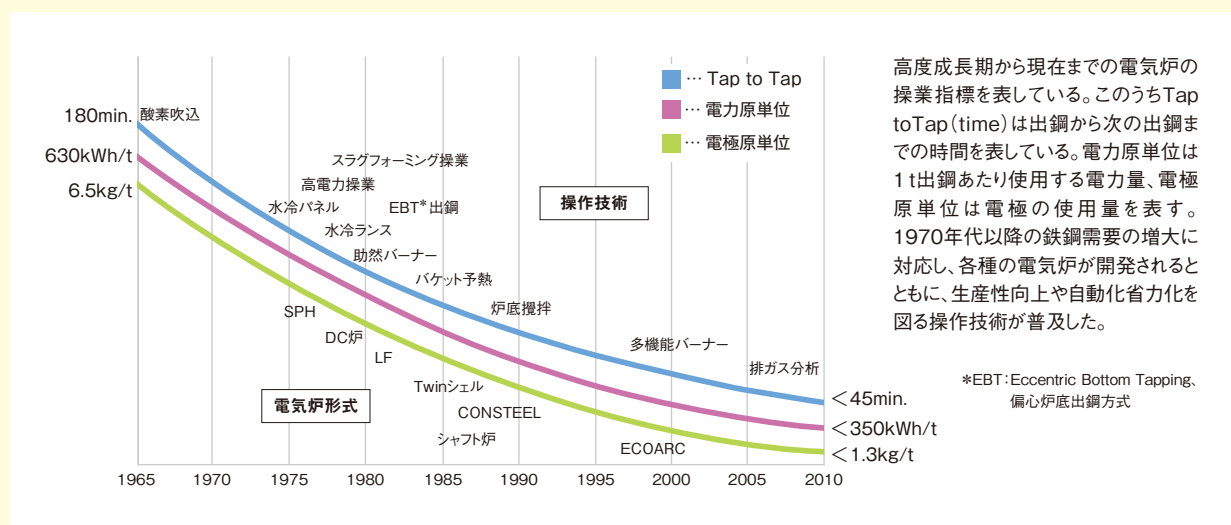


図2 電気炉の平均的な操業指標の推移

出所：第242回西山記念技術講座テキスト(2021)、p23

電気炉操業には多くの電力が必要

現在の電気炉製鋼の工程は、高炉—転炉工程に比べ製品トンあたりのCO₂排出量は約4分の1と少ない。また高炉—転炉工程に比べ設備コストが安価であるため、世界的にも広く導入されている。しかし、電気炉のエネルギーは電力であり、多くの電力を消費する。

それでは、電気炉はスクラップを溶解するのにどれほどの電力を消費するのだろうか。図2に電気炉の操業指標の推移を示す。ここに示した指標のうちTap-to-Tap (Time)は100tの電気炉で1回出鋼あたりの所要時間を表したもので、この値が小さいと生産効率が高いことになる。1960年代には約180分かかっていたが、2010年までには約45分まで短縮されており、出鋼効率は約4倍に向上したことになる。

また電力原単位は、1t出鋼あたりの電力量を表したものであり、1965年代には約630kWh/tだったが、2010年には約350kWh/tまでと、半分近くまで削減されていることがわかる。

2010年の数値を元に考えると、電気炉でスクラップを溶解するための所要時間約45分、使用電力量は約350kWh/tである。一般家庭の1ヵ月使用電力量は約400kWh程度なので、大まかな計算では電気炉で鉄を1t作るのに家庭で1ヵ月に使う電力をわずか45分ほどで使ってしまう計算になる。電気炉では、このように多くの電力を毎日使って生産を行っている。

電力原単位の削減は、電気炉メーカーにとって最大の課題となっている。

大きな進歩を遂げた電気炉技術

昭和の高度成長期以降、電気炉鋼の主な用途は建設鋼材向けであり、生産量は国内建設投資動向の変化に大きく影響されてきた。これに伴い、電気炉業界ではさまざまな設備投資が行われ、1980年代には、炉外精錬炉^{*1}の導入や偏心炉底出鋼方式^{*2}の普及により、現在の電気炉製鋼技術がほぼ確立したといわれる。さらに1980年代後半から1990年代には、電気炉メーカー各社で電気炉の新設や改造が行われ、2000年以降には、省エネルギー、生産効率向上、環境対応を目指した設備投資が進んだ。

電気炉の設備は、長年にわたってさまざまな改良や改善が加えられてきた。1980年代以降に導入されてきた代表的な電気炉形式は、トップチャージ式とスクラップ予熱式である。トップチャージ式は、スクラップを1ヒートあたり1～3回程度電気炉に投入する形式である。1980年代以降、生産能力増大のニーズに応じて大型の直流電気炉の導入が行われ、電力や電極原単位の削減や生産性の向上、設備のシンプル化や自動化・省力化が進められてきた。その一環として、1985年頃からスクラップ予熱式の導入が始まった。

スクラップ予熱式は、原料のスクラップを排ガスで予熱し

*1 炉外精錬：転炉または電気炉で作られた溶鋼から不純物を除き、成分元素を添加する工程。炉を使用せず溶鋼を搬送する取鍋を使用することから炉外精錬または取鍋精錬とも呼ばれる。

*2 偏心炉底出鋼方式：電気炉の炉底に出鋼口を設けることにより、以前よりわずかな傾度で傾けることによって出鋼できる方式。出鋼時間の短縮により、生産性の向上と溶鋼温度低下の防止が可能となった。

て投入・溶解する形式である。電気炉の操業では、入熱は基本的には電力であり、さらに生産効率を向上するために酸素やカーボンを吹き込む。これらの熱でスクラップを溶解するのだが、この時発生する排ガスが持ち去る熱は大きく、入力約37%にあたる熱が利用されずに排出されていた。この熱エネルギーをスクラップとの熱交換により有効利用しようとするのが、スクラップ予熱式である。電気炉の排ガスから発生する熱をスクラップの予熱に利用して電力原単位の削減を図るもので、予熱方法や電気炉の構造など、各社から特徴ある仕組みが多く提案されている。

スクラップ予熱式電気炉の例としては、水平コンベア型予

熱炉であるConsteel[®]、フィンガーシャフト型予熱炉のQuantum、2001年に稼働開始したシャフト直結型予熱炉のECOARC[™]などがある。またトップチャージ式では、2013年に稼働開始した炉体旋回式トップチャージ炉のSTARQ[®]などがある。これらの電気炉の例を図3～6に示す。

電気炉導入のために解決すべき課題

今後の電気炉の導入には、いくつかの解決すべき課題が指摘されている。

例えば電力コストの改善である。電気炉は大量の電力を

最新型の電気炉形式の例

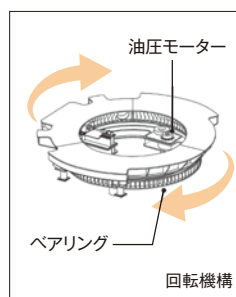


炉体旋回前



炉体旋回後

図3 炉体旋回式電気炉の例 (STARQ[®])



電気炉の炉体旋回により、電気炉内で発生するホットスポットとコールドスポットを入れ替え、不均一溶解を解消し、熱損失を抑制する。低コストかつ小スペースで省エネルギーを実現する。

資料提供：大同特殊鋼(株)



図4 水平コンベア型予熱炉の例 (Consteel[®])

スクラップコンベア上に原料を連続装入し、電気炉排ガスをを用いて予熱しながら連続的に電気炉本体へ供給される自動化システム。非常に多様な原料の種類・サイズに対応されるフレキシブルな連続操業システムである。連続操業により、非常に高い静寂性や環境性を持つ。また、ホットメタルの高い攪拌性を持っていることから高い生産性を持ち、世界で最も実績のあるシステムである。

資料提供：住友商事マシネックス(株)

消費し、電気炉メーカーの売上高当たりの電力購入量は一般的な製造業の約10倍に上るといふ。そもそも日本の電力コストは諸外国に比べて高いため、コスト競争力を維持するための対策が必要である。

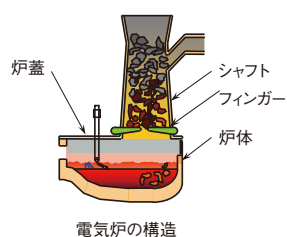
電気炉鋼の品質確保も重要である。日本の鉄鋼製品は、自動車向けなどの高級鋼分野に大きな強みを持つ。電気炉の原料のスクラップには銅などの不純物が含まれることが多く、不純物の除去や高度な成分調整が必要となる。電気炉生産の比率を高めるには、高炉と同レベルの品質を得ることが求められる。

最近、高炉生産から大型電気炉へのシフトを期待する

声も強まっている。しかし、現在の平均的な電気炉の容量は100tレベルであり1回操業あたり所要時間は50～60分程度かかる。一方、転炉の容量は200t以上、所要時間が40分以下ですむため、電気炉は、既存の転炉と比較すると生産性では劣る。電気炉の導入を本格的に検討するのであれば、容量の大型化に加え、それに見合う生産効率の向上やさまざまな設備の開発が不可欠だと考えられる。

世界全体の共通課題であるCO₂排出削減は、鉄鋼業にとって避けて通れない重要な課題である。電気炉においても、今後さまざまな技術開発の進展によって、CO₂排出削減に大きく貢献することを期待したい。

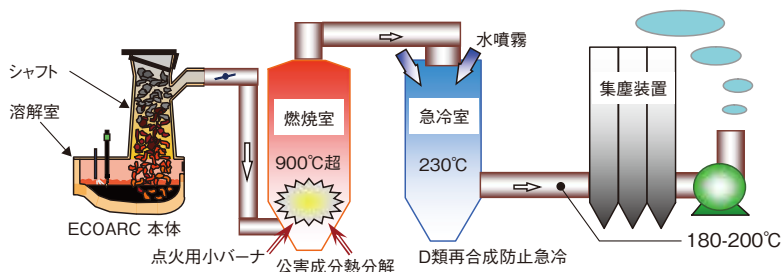
●取材協力 スチールプランテック(株) ●文 杉山香里



エレベータシステムにより、スクラップを供給する。シャフト内ではフィンガーによりスクラップを保持し、炉内からの排ガスにより効率的に予熱を実施する。炉蓋及びシャフトは固定式で、出鋼時には炉体のみを下降・傾動させて出鋼する。また炉体迅速交換が可能。

図5 フィンガーシャフト型予熱炉の例(Quantum)

資料提供: Primetals Technologies Japan(株)



予熱シャフトと溶解室が直結した半密閉構造が特徴。スクラップは常に予熱シャフト内に保持され、排ガスによって直接予熱されながら炉体に連続的に送られて溶解するように、炉体の形状が最適化されている。溶解炉の後段に、白煙、悪臭、ダイオキシンを分解する燃焼室を備えている。

図6 シャフト直結型予熱炉の例(ECOARC™)

資料提供: スチールプランテック(株)