

製鋼用電気炉の排熱回収システム



スチールプラントック株式会社
第1技術本部 製鉄・環境技術部
技師 関 隆太郎

1. はじめに

電気炉は、製品トン当たりのCO₂排出量が高炉法に比べて少ない。スクラップ溶解式電気炉では1/4程度、DRI溶解式電気炉で1/2程度である。設備コストも高炉法に比べて、はるかに安価であり、世界各国で広く導入されている。現在、全世界の粗鋼生産量の約30%は電気炉により製鋼化されているが、その占める割合は今後増加すると推測される。

電気炉製鋼に用いる原料は、地域によって様々である。一般的に、電気炉における原料はスクラップであり、先進国では蓄積されたスクラップを利用する電気炉が多い。一方、自国内での発生量が少ない途上国では、スクラップの輸入を行っているところと、代替鉄源としてDRIやHBI等を使用しているところがある。特にDRIやHBIを使用している製鋼設備は、天然ガス産出地との関係が深い。

当社は、原料の異なる電気炉において、それぞれに最適な熱回収プロセスを提供する手法を開発した。本稿では、その一例として、スクラップ100%溶解電気炉とDRI100%連続溶解炉を例に挙げ、それぞれに最適な熱回収プロセスを紹介する。スクラップ100%溶解炉については、シャフト直結炉であるECOARCを紹介する。DRI100%連続溶解炉については、炉出口においてボイラによる熱エネルギー回収を行うシステムECORECSを紹介する。

2. 電気炉におけるエネルギーバランス

ミニミルにおけるエネルギー消費量の内訳としては、電気炉で使用するエネルギーがその大半を占める。

図1に一般的なスクラップ溶解を行う電気炉のエネルギーバランスを示す。全入熱量770kWh/tonに対し、製品である溶鋼への出熱370kWh/tonを除いた出熱では、排ガスによる損失が最も大きな割合を占める。その値は280kWh/tonで、全入熱の約36%を占める。排ガスは、電気炉の後段の集塵設備において直接あるいは間接冷却を受け、更に大気吸引による合流希釈等により、バグフィルタを通過可能な温度（およそ100~200℃程度）にて大気へと放散される。

また、図2にDRI溶解炉での典型的なエネルギーバランスを示す。DRI比率は100%、DRI装入温度は常温とした。DRI溶解においては、原料中のFeOの還元が必要のため、電力原単位は600kWh/ton程度となっている。ここでも全入出熱量1,050kWh/tonに対し、排ガスによる損失熱量は430kWh/tonと全体の40%を占めている。

このように、出熱で最も大きな割合を占める排ガス熱エネルギーを、効率良く回収することが電気炉における熱回収のキーポイントとなる。しかしながら、次章以降で述べるように、スクラップ溶解炉とDRI溶解炉では炉体からの排ガス温度・成分・流量等の発生パターンが大きく異なるので、その熱回収方法についてもそれぞれに

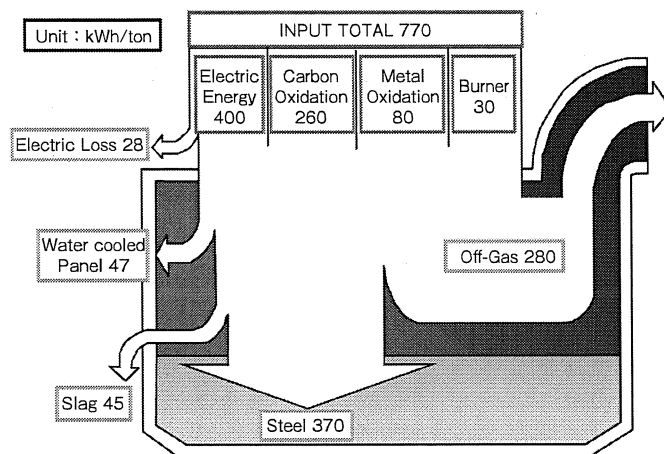


図1 スクラップ溶解炉のエネルギーバランス

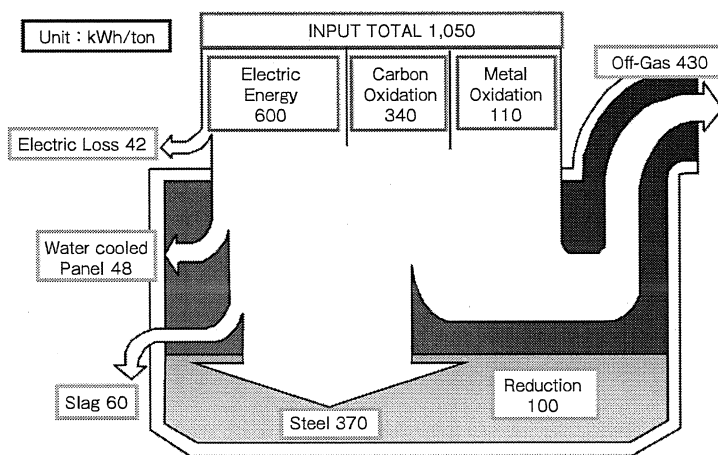


図2 DRI溶解炉のエネルギーバランス

最適な方法を検討していくことが必要である。

3. スクラップ溶解炉における熱回収技術

(1) スクラップ溶解電気炉のガス発生パターン

スクラップ溶解炉での熱回収について考察を行う。図3にバケット装入を行う電気炉における排ガス温度の発生パターンを示す。初回バケット装入後に通電を開始し、スクラップの溶解が始まる。スクラップ溶解が進むにつれ、電気炉出口エルボにおける排ガス温度は上昇する。ところが、追加バケットを装入する際、電力投入及び酸素カッティングをいったん停止し、炉蓋を開けて追加スクラップ装入を行うため、炉外に排ガスの熱エネルギーが放出され、エルボ出口の排ガス温度は急激に下がる。再び炉蓋を閉め、電力投入、酸

素カッティングを行うことにより、エルボ出口の排ガス温度は上昇する。

スクラップがほぼ溶け落ちて、炉内の溶鋼量が増すことにより、溶鋼からのCOガス発生量が増え、エルボ出口ガス温度はピークを迎える。そのままの状態では精錬作業が続き、所定の溶鋼温度になった時点で出鋼となる。出鋼時には電力投入、酸素／カーボン投入を停止するので再び排ガス温度は急激に下降する。

(2) スクラップ溶解炉における排熱回収技術—ECOARC

上記に示したようなスクラップ溶解炉での熱エネルギー回収方法としては、炉蓋の開放により放出されていた排ガスの熱エネルギーを利用する、排ガス—スクラップ間で熱交換を行うシャフト型スクラップ予熱方法が有効である。過去にも様々な方法でのスクラップ

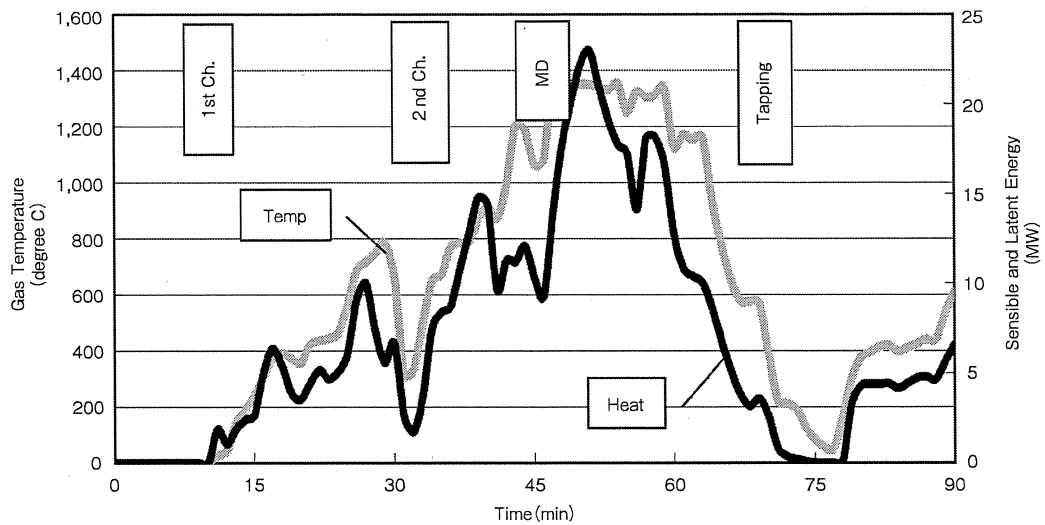


図3 スクラップ電気炉出口エルボ付近における排ガス温度及び熱量の推移

予熱装置が開発されているが、その回収熱量は50～100kWh/ton程度の効果である。

当社ではこれまでのスクラップ予熱装置の問題点を調査して多くの課題をクリアし、現在世界で最もスクラップ予熱効率が高い新式高効率アーク炉ECOARC (Ecological friendly and Economical Arc Furnace) を実用化している。高温のスクラップ予熱効果と密閉型による侵入空気低減により、電力原単位低減効果は150kWh/tonに達している。

ECOARC本体の概念を図4に示す。予熱シャフトは炉殻と直結して炉内への侵入空気を極小としている。常時、溶鋼が炉内に大量に存在するフラットバ

ス操業が基本で、スクラップ搬送設備でシャフト上部より装入されるスクラップは、下部が高温の溶鋼に接触しながら少しずつ溶解していく。スクラップ予熱時に発生する未燃ガス分やダイオキシン類は、後続の2次燃焼室で燃焼熱分解され、更に散水冷却により急冷後、集塵して大気放散される。

図5にECOARCのエネルギーバランスを示す。スクラップを予熱するシャフトは炉体に直結しており、炉内より発生した排ガスは直ちにスクラップと熱交換を行う。これにより、排ガスとスクラップの間で効率の良い熱交換が行われ、電力原単位250kWh/ton(導入前より150kWh/tonの削減効果)を達成している。

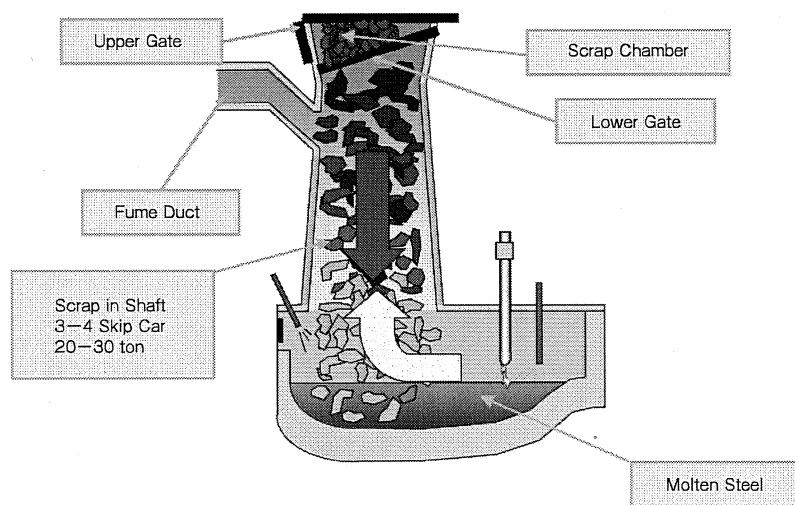


図4 ECOARC概念図

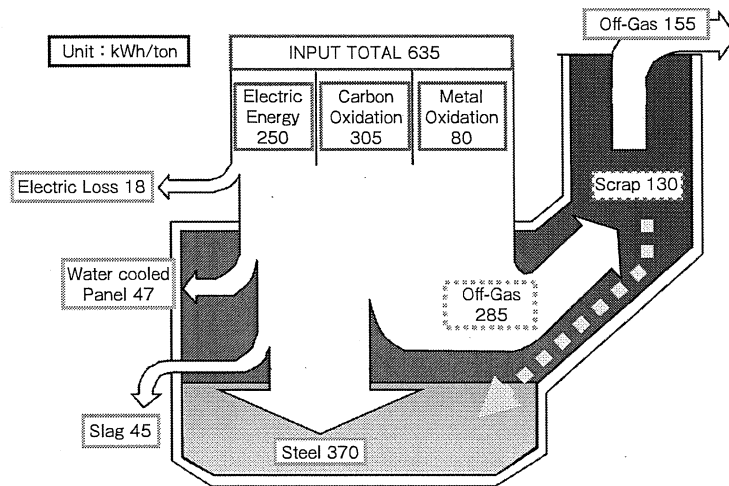


図5 ECOARCのエネルギーバランス

表1 ECOARC供給実績

稼働年	メーカー	国	主仕様
2001	岸和田製鋼機	日本	70トン AC
2005	JFE条鋼機 姫路製造所	日本	140トン AC
2008	JFE条鋼機 仙台製造所	日本	130トン AC
2010	東国製鋼 仁川製造所	韓国	120トン AC

表1にECOARCの供給実績を示す。現在までに3基が商用稼働しており、いずれの工場でも電力原単位削減、生産性向上の効果が確認されている。2010(平成22)年冬には韓国/東国製鋼にて4号機が稼働した。

4. DRI連続溶解炉における熱回収技術

(1) DRI溶解電気炉のガス発生パターン

スクラップの国内発生が少ない地域においては、DRIを原料とした電気炉溶解を行っている。DRI溶解炉は、スクラップを主体とした溶解方法と異なるため、排ガスの発生パターンも大きく異なる。

図6に示すように、DRI連続溶解においては、炉蓋が開放されずに原料送入されるため、エルボ出口での排ガスの温度、成分等が比較的安定した状態で推移する。それに伴い、ガスダクト冷却水の吸熱量も安定して推移する。このような場合、ガスダクト冷却水により排ガスの熱エネルギーを回収するボイラ熱回収の適

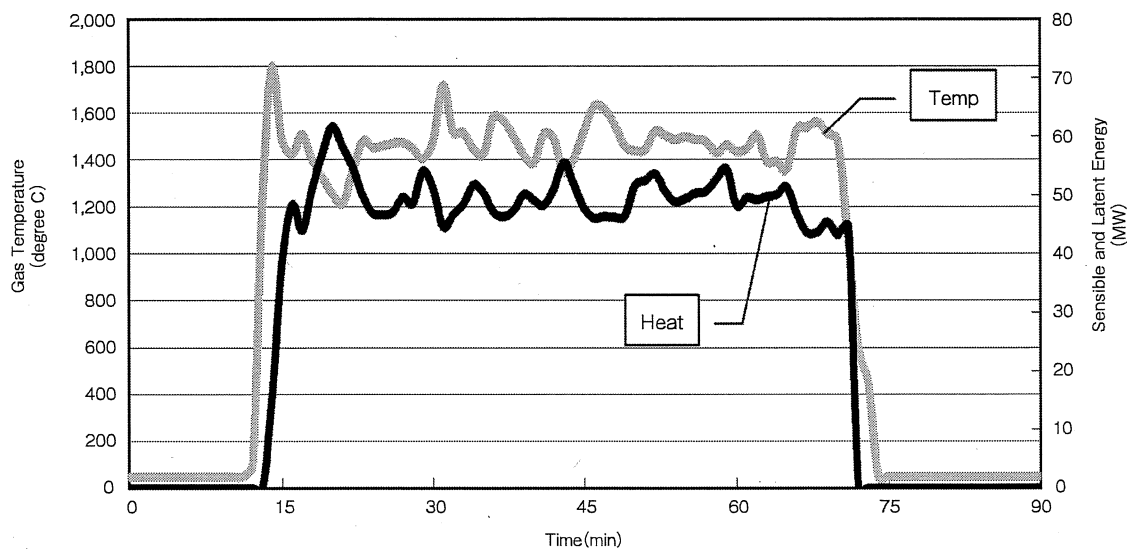


図6 DRI電気炉出口エルボ付近における排ガス温度及び熱量の推移

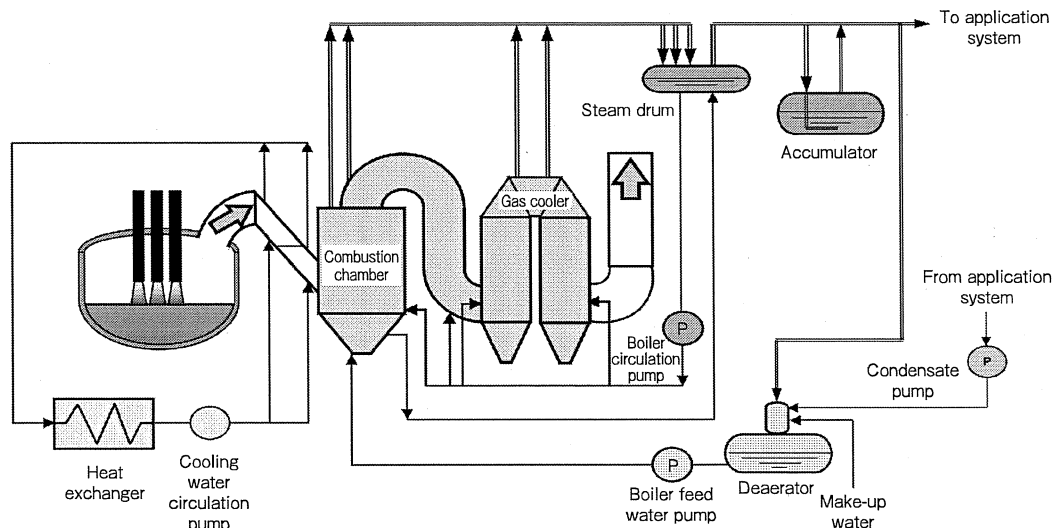


図7 Ecorecsのシステム構成

用が有効である。シャフトタイプの予熱装置の適用に関しては、DRIの場合、その粒子の大きさが小さく、またシャフト内で半溶融状態になる恐れがあるため、シャフト間の通気性を悪くし、不向きである。

(2) DRI連続溶解炉における排熱回収技術—ECORECS

当社は電気炉におけるボイラ熱回収のシステムとして、ECORECS (Ecological and Economical heat Recovery System) を開発した。そのシステム構成を図7に示す。メンブレンパネルを用いた熱回収用煙

道構造を有している点、アキュムレータにより供給蒸気を平滑化している点など、転炉排ガス処理設備OG SYSTEMを踏襲している。

ボイラ化したのは、燃焼室からそれ以降につながる排ガスダクトである。エルボと燃焼室の間にあるダクトは空気流入時に動く稼働部であるため、強制水冷方式としている。ボイラシステムは脱気器、蒸気ドラム、ボイラ式ガス冷却器、アキュムレータ及び給水ポンプ、循環ポンプにより構成される。脱気器で脱気・加熱さ

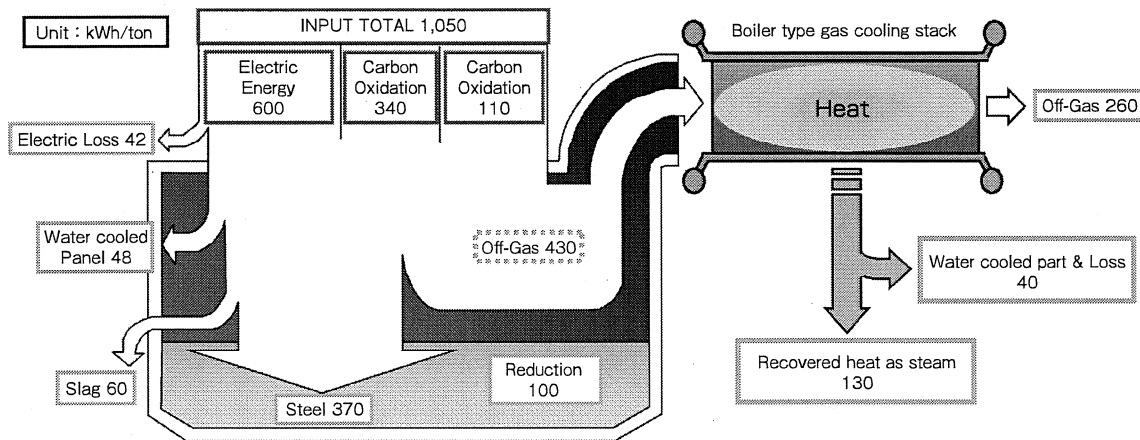


図8 Ecorecsのエネルギーバランス

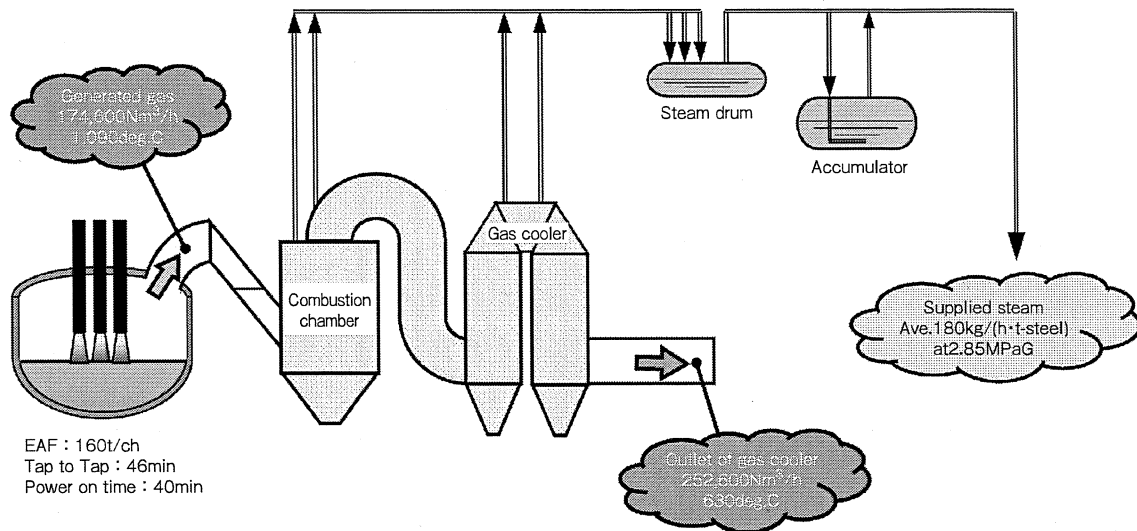


図9 Ecorecsのエネルギー回収量

れた給水は給水ポンプで送水され、節炭器として構成された燃焼室の一部を通ることで予熱され、ボイラドラムへ給水される。次に、水は循環ポンプでガス冷却器内を循環しながら、冷却器内部を通る排ガスの熱エネルギーを吸収し、汽水混合の飽和蒸気としてボイラドラムへ戻る。ボイラドラム内では、飽和蒸気と飽和水に汽水分離され、水は冷却器内を再循環し、蒸気は蒸気発生量の変動を吸収するアキュムレータを介し、必要に応じて2次利用設備に供給される。ボイラの運転は最高使用圧力4.1MPa、最高使用温度253℃の飽和蒸気の状態で行い、蒸気体積を可能な限り小さくなるようにすることで、軽量コンパクトなシステムとしている。

図8にEcorecsのエネルギーバランスを示す。ボイラ式ガス冷却器を採用することにより、排ガス熱エネルギーの30%を飽和蒸気として回収することができる。

この飽和蒸気による排熱の回収システムとしては、図9に示す条件下で180kg/h・ton-steelの蒸気を生成し、連続供給が可能である。

ボイラによる排熱回収では、スクラップ溶解電気炉のエネルギー原単位削減のように、その回収したエネルギーを電気炉自体の生産性を上げることに、直接的に還元することはできないが、例えば蒸気は、製鋼工場内のVD/RH設備や自家発電設備、空気分離装置、

冷凍機に使用することができる。また、中東諸国で急増している海水淡水化設備や、これから増えていくことが予想されるCO₂分離・回収設備にも応用することができる。蒸気は化石燃料に変わり得る大きなエネルギー源であり、またCO₂削減に寄与できる。

5. おわりに

電気炉におけるエネルギー回収については、画一的な排熱回収方法ではなく、その炉に合う排熱回収方法を適用すべきである。エネルギーバランス、排ガス温度及び熱量推移、排ガス組成等を考慮すると、原則的には、原料にスクラップを使用している電気炉にはスクラップ予熱を、原料にDRIを使用している炉にはボイラを適用することが推奨される。