

電気炉酸素富化操業によるトータルエネルギー費低減

Total Energy Cost Reduction by Oxygen Enrichment Operation in Electric Arc Furnace



手塚 将玄
Masataka Tezuka



生方 貴
Takashi Ubukata



鈴木 忠
Tadashi Suzuki



上田 奏
Sou Ueda

要 旨

近年の電力単価の高騰に伴い、当社で最も電力使用量の多い製鋼工場 120T 電気炉でのエネルギー費の低減が大きな課題となっている。また、高操業への対応として導入したコヒーレントバーナーで燃料として使用する LPG が高コストであり、トータルエネルギー費を悪化させる要因となっていた。そこで、コヒーレントバーナーの休止や酸素吹精装置の能力増強によりエネルギーバランスの見直しを行った。また、安価で高発熱性の助燃材を採用し、スクラップ配合を見直すことでトータルエネルギー費の低減を試みた。これらの操業条件変更の結果、酸素使用量は増加したものの電力および LPG の使用量を低減しトータルエネルギー費を低減することが出来た。

— Synopsis —

The energy cost reduction in the 120 tons electric arc furnace that consumes largest electric power in JSW became a urgent problem due to the sudden rise of electricity cost. In addition, LPG as fuel for coherent burners with the high productivity was high-cost, and it was a factor to deteriorate total energy costs. Therefore energy balance was reviewed with the cessation of coherent burner and the increase of the oxygen blower capacity. Furthermore, the reduction of total energy costs was tried by using low cost and high exothermic combustion assistant material and reconsidering scrap combination. As a result of these operation condition changes, though the oxygen consumption was increased, total energy cost was successfully reduced by decreasing the electricity and LPG consumption.

1. 緒 言

近年の電力単価の高騰に伴い、当所で最もエネルギー使用量の多い製鋼工場 120T 電気炉でのエネルギー費の低減が大きな課題となっている。

製鋼工場の中で最も電力使用量が多い設備である電気炉には高操業対応溶解・精錬時間の短縮および電力使用量低減を目的に導入したコヒーレントバーナー (Co-Jet) があるが、助燃熱源として LPG が必要となりトータルエネルギー費では悪化する問題があった。今回、Co-Jet 運用方法の見直しと従来から使用していた酸素吹精装置の能力増強によりエネルギーバランスを見直し、安価熱源等の採用やスクラップ配合方法の見直しを実施することでトータルエネルギー費を低減する改善を行った。

2. 電気炉の概要

120T 電気炉の設備概要を表 1 に示す。当所の電気炉では発電所向けローターシャフトなどの低合金鋼を中心に製造している。電気炉での電力使用量は溶解期で 300kWh/ton、酸化期で約 100kWh/ton、合計で約 400kWh/ton という大電力を投入し、酸化期には Co-Jet の主要な機能であるバーナーランスにより大流量の酸素を吹精することで、効率的に酸化反応熱を得て、最大 150ton のスクラップを溶解し精錬を行っている。

表 1 電気炉設備概要

炉容		電源方式	トランス容量	1次電圧	2次電圧 (最大)	炉殻容量	水冷化率	
公称	実装						炉蓋	炉壁
120ton	150ton	交流	60MVA	66kV	750V	4270mm	84%	95%

3. 現状の課題

3.1 エネルギー費低減の必要性

2011年の東日本大震災以降、使用可能な電力量が大きく制限され、更には電力各社が火力発電の割合を増加せざるを得ないことから化石燃料の使用量が増加し電力単価も高騰した。これら社会的背景から当所の電気炉においてもエネルギー費は大きく増大したため、電力、酸素および Co-Jet の燃料である LPG の使用バランスを見直してエネルギー費を適正化するとともに熱源となる付加材の安価品探索や使用方法の見直しによるエネルギー使用量の低減が急務となっている。

3.2 社内発生スクラップ使用の必要性

当所では発電所向けの製品として Ni-Cr-Mo-V 鋼、Cr-Mo-V 鋼ロータ軸材の他に写真 1 に示す 12%Cr 鋼ロータ軸材や写真 2 に示す 18%Mn18%Cr 鋼リテイニングリングを製造している。製造時に発生する余材・切削屑等のリターンスクラップは高 Cr 材であり、多量に電気炉へ装入すると Cr 酸化物によりスラグ融点の上昇及びスラグ流動性の悪化で作業性および脱磷能が悪化する問題があり、従来から使用量を抑制してきた。また、取鋼精錬炉(LF)での装入も可能だが投入可能な電力量が小さく操業遅延、電力原単位及び耐火物原単位が悪化することから多量添加は困難であった。これらの理由により高 Cr 鋼のリターンスクラップは使用頻度が低くヤードで滞留し続ける問題があった。しかしながら、酸化反応の発熱量が比較的大きな Cr を多く含むことから適正な使用量を定めることで新たな熱源として利用でき、エネルギー使用量を低減できる可能性がある。



写真 1 12%Cr 鋼ロータ軸材 (約 17 ton)



写真 2 18%Mn18%Cr 鋼リテイニングリング (約 3 ton)

4. エネルギー低減の取り組み

4.1 酸素富化操業、LPG 使用量抑制

当所製鋼工場の電気炉には操業時間短縮および電力使用量低減を目的として 2006 年に Co-Jet を設置したが、2011 年の東日本大震災以降出鋼量が低下したため高操業対応の必要性が低下した。一方で燃料として使用する LPG は、化石燃料の価格が高騰したことからエネルギー費上昇の要因となっていた。この対応策として Co-Jet を休止し従来の消耗型カロライズパイプを使用する酸素吹精へと変更した(図 1)。また、電力単価が大幅に上昇したことから、Co-Jet 操業時と同レベルの酸素富化操業とし電力使用量を抑制する操業条件を検討した。Co-Jet 導入前のカロライズパイプを使用した従来操業では酸素吹精量が $4,000\text{Nm}^3/\text{h}$ ($2,000\text{Nm}^3/\text{h} \times 2$ 本) と Co-Jet の $5,250\text{Nm}^3/\text{h}$ ($1,750\text{Nm}^3/\text{h} \times 3$) に比べ少ないという問題があった。そこでスラグフォーミング用の C 粉や助燃によるエネルギー費低減を目的とした Al 灰を吹込むラインを酸素吹精装置に取り付けていたが、これを流用し 2 本から 3 本で酸素吹精できるように設備を改造した。本改造により酸素吹精量は $4,000\text{Nm}^3/\text{h}$ から $6,000\text{Nm}^3/\text{h}$ へと増加し、Co-Jet 使用時と同等以上となった。

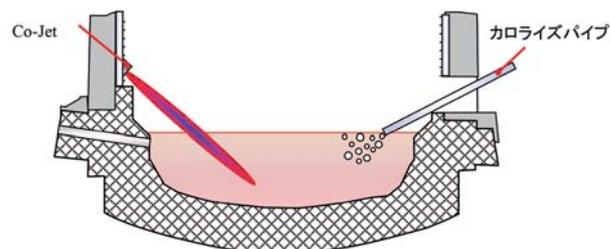


図 1 電気炉での Co-Jet およびカロライズパイプ使用時の模式図

4.2 付加材の探索と使用方法見直し

① AI 灰使用方法変更

従来、AI 灰 (30%M-AI) は炉外から電気炉作業口を経て圧送吹込で添加していた。問題点として①吹込速度が遅く多量に添加するには時間を要する、②急激な反応によりスラグが吹き上がる頻度が多く連続的に吹込むことができず、添加量増加が困難である、ということが挙げられる。今回、これらの問題点を解決すべく、「吹込み方式」から1ヒートあたり500kgのAI灰をスクラップと共にクラムセルバスケット内に入れる「一括装入方式」に変更した。

② IPB の使用

表2に示すように鉄粉と廃プラスチックを混合したIPB (Iron Powder Briquette、鉄粉：廃プラスチック≒7：3) は従来のコークスと比較して含有硫黄分が少ないことその他に最大7,000cal/gと大きな発熱量を有しており、酸素富化操業と合わせて大きな発熱量が得られることから試験を実施した。使用時には加炭材使用量を低減しその代替としてIPBを1ヒートあたり1,000kgを使用した。

表2 塊コークスとIPBの比較

	C%	S%	発熱量(cal/g)	単価指数
コークス	90	0.5~0.6	2,200	100
IPB	-	≤0.1	5,000~7,000	19

4.3 配合計算 Cr 量の増加

12%Cr鋼や18%Mn18%Cr鋼などの高Cr鋼を多量に電気炉へ装入すると、Cr酸化物によりスラグ融点が上昇スラグ流動性が低下することから従来からその使用量を抑制してきた。しかし、Crの酸化反応熱はCやMnに比べ大きく^{1) 2)}、エネルギー使用量低減に効果があると考えられ、段階的に高Cr鋼スクラップの配合率を増加させ配合計算Cr量の適正化について検討した。

5. 効果

5.1 酸素富化、LPG 抑制の効果

図2にCo-Jet使用時、Co-Jet休止後およびカロライズパイプ増設後のエネルギー原単位およびトータルエネルギー費を、図3に電気炉操業時間を示す。Co-Jet休止後には電力原単位が増加し酸素原単位が低下したが、LPGを使用しなくなったことでトータルエネルギー費を0.5%低減することが出来た。更に、カロライズパイプを増設したことで電力原単位を低減しトータルエネルギー費を従来比1.2%と大きく低減することが出来た。操業時間についてはCo-Jet休止後には単位時間当たりの投入エネルギーが減少したことにより13%増大した。また、カロライズパイプを増加させた後はCo-Jet使用時には及ばないものの操業時間を短縮することが出来た。

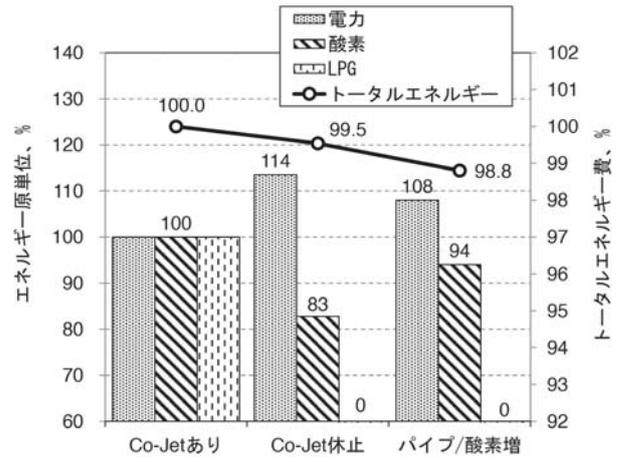


図2 Co-Jet 使用前後および酸素増加時のエネルギー原単位およびエネルギー費 (Co-Jet ありを100%としたときの比較)

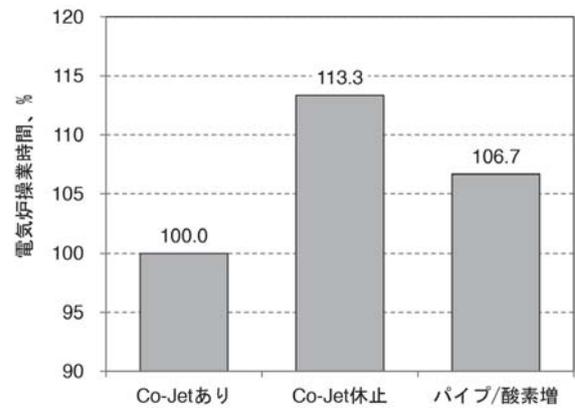


図3 Co-Jet 使用前後および酸素増加時の電気炉操業時間 (Co-Jet ありを100%としたときの比較)

5.2 付加材料改善による効果

① AI 灰使用量増加の効果

写真3に示すように材料装入と共にAI灰を炉内へ添加するよう作業変更し、AI灰の異常反応はなく作業性は良好であった。AI灰使用量を増加させたことにより図4に示すように酸素原単位は増加したものの電力原単位を低減することが出来た。また、図5のようにエネルギー費を5.0%低減することができ、AI灰の単価を加えても2.7%のコスト低減が得られた。



写真3 AI 灰添加時の状況

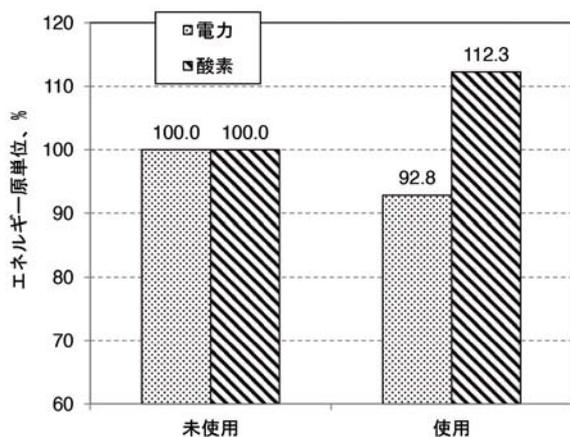


図4 AI灰添加方法改善前後のエネルギー原単位 (未使用を100%としたときの比較)

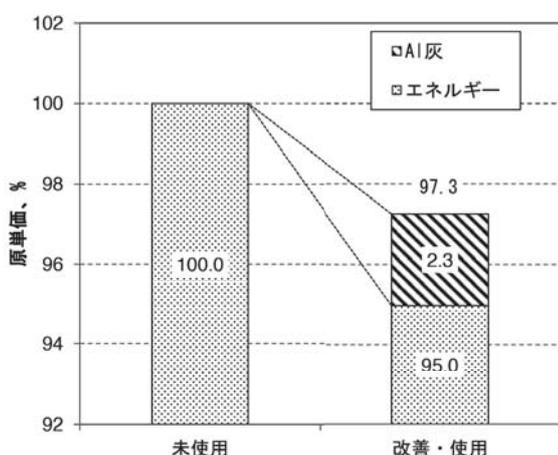


図5 AI灰添加方法改善前後のAI灰およびエネルギー単価 (未使用を100%としたときの比較)

② IPB 使用の効果

使用開始当初、直接炉内に装入すると写真4のように火炎、発煙があがる。排ガス温度も従来より高くなる影響で水冷している集塵ダクトからの水漏れトラブルが懸念されたが、クラムセルバスケット内にスクラップで挟むようにIPBを入れることで火炎、発煙の問題は解消された。前述のようにIPBは加炭材の代替として使用したことから酸素原単位の悪化はなくコストも加炭材減少分と相殺出来たことから資材のコストへの影響はなかった。IPBを使用すること



写真4 IPB 試験使用時の火炎状況

で酸化熱を従来よりも多く得ることが出来、図6に示すように電力原単位を6.9%低減できた。装入方法を適正した後のIPB燃焼時の着熱効率は約80%と高くエネルギー低減に大きく寄与したと考えられる。

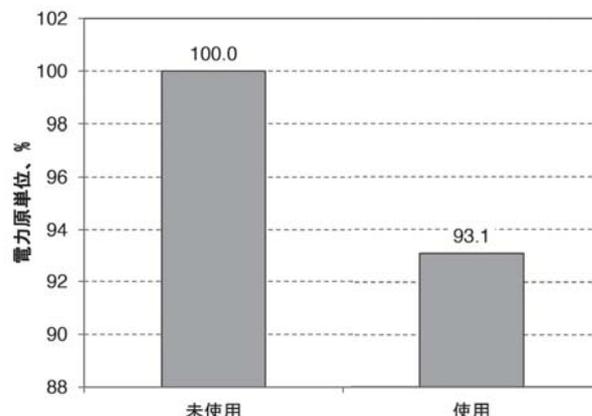


図6 IPB使用前後の電力原単位 (未使用を100%としたときの比較)

5.3 材料配合変更による効果

高Cr鋼スクラップ配合率の増加により従来より高Cr配合とする試験を行った。その結果を図7に示す。カロライズパイプ2本のときは配合Cr量が1.9mass%まではエネルギー低減の効果が認められたが1.9mass%を超えると悪化の傾向となった。これは高融点のCr酸化物を含有するスラグの流動性が悪化したため、精錬の作業性が悪化し操業時間が伸びたためである。しかし、酸素吹精装置のカロライズパイプを増設し酸素吹精量が増加した後は、配合Cr量2.2mass%まではエネルギー費を低減できた。これは単位時間当たりの酸素吹精量が増加したことにより酸化発熱量が増加しスラグ温度が上昇したためと考えられる。また、配合Crが2.2mass%を超えるとカロライズパイプ増加前と同じくスラグの流動性が悪化しエネルギーコスト低減の効果は得られなかった。配合Cr量を2.2mass%としたときトータルエネルギー費はカロライズパイプ増加前と比べ約23%と大きく改善された。

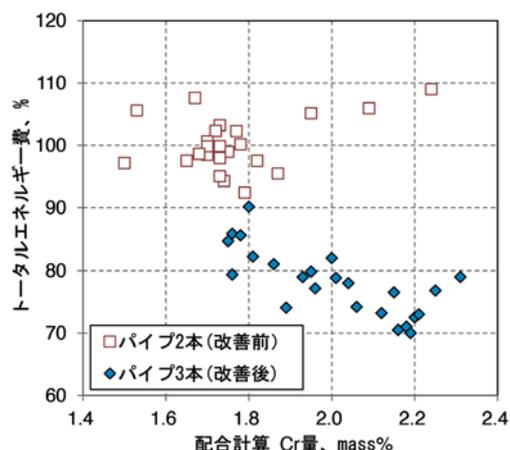


図7 酸素パイプ増加前後のCr量とトータルエネルギー費の関係

5.4 エネルギーコスト低減の全効果

図8に各改善前後の熱効率を示す。日本工業規格『アーク炉の熱勘定方式』により電気炉の熱収支に関する項目について調査を行い、連続3ヒートの操業結果に基づいて計算を行いその平均値を用いた。Co-Jet使用を休止した直後には電気炉操業が長時間化したことにより熱効率は低下したが、Al灰やIPB使用方法の改善や酸素使用量増加、配合Cr量増加によりCo-Jet使用時には及ばないものの熱効率は大きく改善された。

エネルギーおよび付加材のコストは図9に示すように、Co-Jet休止により電力原単位は悪化したもののLPGのコスト低減効果が大きくトータルのエネルギーコストを低減することが出来た。更に、付加材やカロライズパイプの増加、配合Cr量増加の改善後は6%とさらなるコスト低減の効果をj得ることができた。

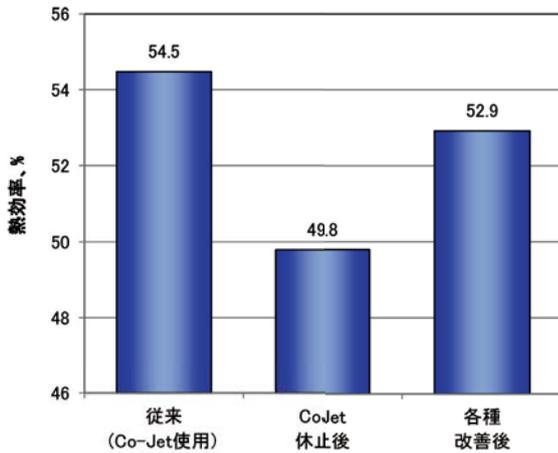


図8 各改善前後の熱効率

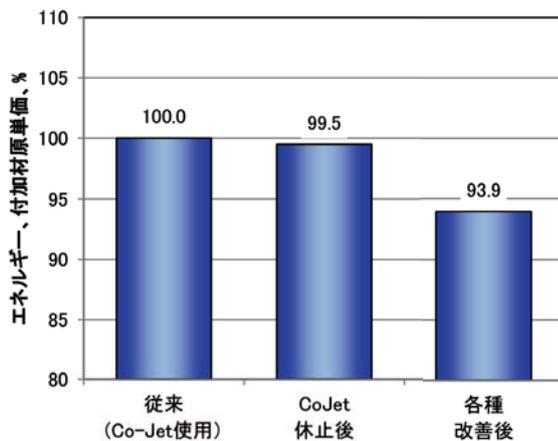


図9 各改善前後の原単価
(Co-Jet使用時を100%としたときの比較)

6. 結 言

近年のエネルギーの使用制限や単価上昇の対応として、エネルギーバランスの見直しや安価熱源等の採用や使用方法の改善を実施することで、電力使用量およびトータルエネルギー費を低減する活動を行った。その結果、以下の効果を得ることが出来た。

- ① Co-Jet 休止および消耗型ランスパイプのライン増加により電力原単位、LPG使用量を低減しトータルエネルギー費を低減することが出来た。
- ② 従来、十分に使用できなかったAl灰の使用方法を見直し作業性を悪化させることなくトータルエネルギー費を低減することが出来た。
- ③ 鉄粉と廃プラスチックを混合したIPBの使用を開始し、添加方法の改善を加えることでトータルエネルギー費を低減することが出来た。
- ④ 消耗型カロライズパイプのライン増加に加え、従来使用が停滞していた高Cr鋼スクラップの配合率向上によりトータルエネルギー費を低減することが出来た。
- ⑤ 全ての改善を行った後は従来に比べエネルギー、付加材を合わせコストは約6%と大きな低減効果を得ることが出来た。

参 考 文 献

- 1) 日本鉄鋼協会：電気炉製鋼法(2000), p.103
- 2) 東北大学出版会：Thermodynamic data for steelmaking (2010), p.10, p.19