

技術資料

ステンレス製鋼への炉外脱硫設備の導入

吉野 貴博* 森 将和** 田中 成顕*** 杉浦 正之**** 宮本 敏明*****

Introduction of out-of-furnace Desulfurizing Equipment into
Stainless Steelmaking Process

Takahiro Yoshino, Masakazu Mori, Shigetaka Tanaka, Masayuki Sugiura, Toshiaki Miyamoto

Synopsis:

Nisshin Steel, Shunan Works introduced mechanical stirring desulfurization equipment for Stainless Steelmaking Process in order to minimize CaF_2 consumption for the first time in the world. It also achieved significant reduction of CaO and electric power consumption. The overview of equipment construction and various operational improvements implemented so far is reported on this paper.

1. 緒言

当社、周南製鋼所ではステンレス製鋼としては世界初となる、機械式脱硫設備(以下、KR)を導入した。本設備は道路用鉄鋼スラグの規格(JIS A 5015)のフッ素規制に対応するため従来電気炉において脱硫のため使用していた CaF_2 の使用中止、それに伴う CaO 、溶解電力等の原単位を大幅に低減することを目的とした。

溶銑中のCrは、Sの活量係数を低下させる¹⁾ため、ステンレス鋼の脱硫は普通鋼に比べて困難である。そのため、KR操業においては適正な脱硫剤原単位や攪拌方法の検討が必要である。そして、当所のステンレス鋼電気炉溶銑は普通鋼の溶銑に比べ融点が高いため、KRによる攪拌時に飛散した地金が取鍋等に付着しやすいなどの問題がある。

本報ではKR設備概要とこれまでに行ってきた操業技術の改善について報告する。

2. プロセス概要

2.1 製鋼プロセス

図1に製鋼プロセスの概要を示す。周南製鋼所では、SUS304やSUS430等の汎用鋼種において転炉の未還元スラグをVODに全量持ち込み、金属分を還元回収する「回収操業」を行っている。一方低S鋼種やTi入りの強脱酸が必要な鋼種では、転炉でスラグカットを行い、VODで新しくスラグを作り直して精錬する「非回収操業」を行っている。「回収操業」ではメタル歩留向上による大きなメリットが得られるが、VODで還元により生成するスラグはボリュームが大きく、高塩基度に調整して脱硫能を確保するのが困難である。そのため、電気炉において[S]を成品レベルまで低減する必要がある。

周南製鋼所では2008年5月に、電気炉、転炉、VOD、CCからなるLD-VACプロセスに、炉外脱硫設備として、KRを電気炉の後工程へ導入した。従来、電気炉で[S]を成品レベルまで低減するために多量の CaF_2 を使用してきた。電気炉では、脱硫のために高塩基度($\text{CaO}/\text{SiO}_2 > 1.8$)

*周南製鋼所製鋼部製鋼技術チーム

**周南製鋼所製鋼部製鋼技術チーム (現 周南製鋼所製鋼部製鋼技術チーム サブリーダー)

***周南製鋼所設備部設備技術チーム (現 周南製鋼所設備部製鋼リフレッシュ推進チーム 主任部員)

****周南製鋼所製鋼部製鋼技術チーム主任部員 (現 周南製鋼所製鋼部製鋼課 課長)

*****周南製鋼所製鋼部製鋼技術チーム チームリーダー (現 技術総括部技術管理チーム 主任部員)

	電気炉		KR	転炉	VOD	CC
工程						
役割	溶解		脱硫	粗脱炭・粗成分調整	最終脱炭・成分調整	铸造
処理能力	No.6EF	No.7EF	80t	80t	80t	80t
	160t	160t				
サイクルタイム	180min	180min	45min	45min	45min	45min

図1 周南製鋼所 製鋼プロセス
Fig. 1 Steelmaking process in SHUNAN WORKS.

とする必要があったが、高塩基度スラグは融点が高く、スラグ滓化のために、CaF₂は不可欠であった。

新プロセスでは電気炉で溶解、取鍋へ出銑した後にKRで脱硫を行う。これにより、電気炉内での脱硫が不要となり、炉内スラグは、低塩基度にすることができる(CaO/SiO₂>1.8 → CaO/SiO₂=1.3)。低塩基度スラグは高塩基度スラグに比べ融点が高く、所定の出銑温度(1,400℃)で十分滓化する。したがって、電気炉へのCaF₂の添加をゼロとすることができる。

2.2 KR脱硫設備概要

図2にKR設備の概要を示す。図3にKR設備のレイアウトを示す。製鋼のサイクルタイム45分に対し、脱硫工

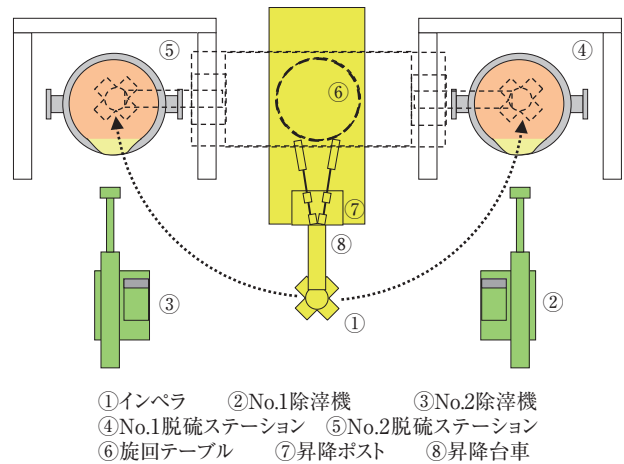


図3 KR設備のレイアウト
Fig. 3 Layout of KR desulfurizing equipment.

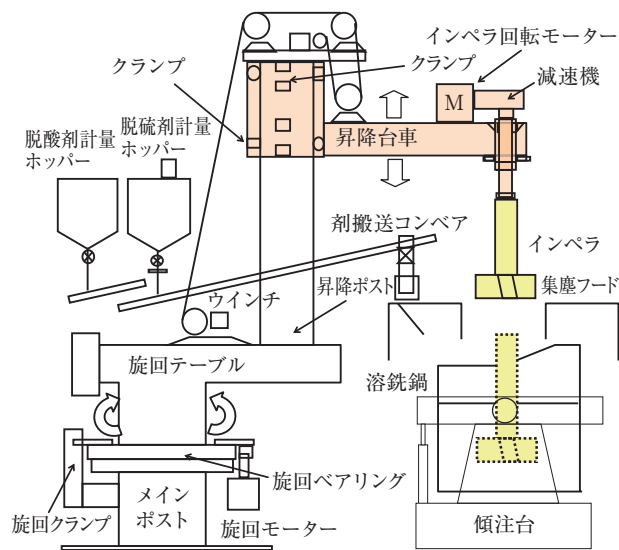


図2 KR脱硫設備
Fig. 2 KR desulfurizing equipment.

程のサイクルタイムは除滓作業、KR脱硫、取鍋移動に要する時間の合計の45分であるが、これに脱硫剤、脱酸剤の補充作業が加わったり、取鍋移動に使用するクレーンが他作業と重なったりした場合には脱硫工程が製鋼サイクルタイムをオーバーすることが予想された。そこで、脱硫ステーション(除滓場)を2箇所とし、KR設備は旋回テーブル上に搭載された昇降ポストおよび昇降台車を180°旋回して、2箇所の除滓場での攪拌を可能な仕様とした。これにより、片方の脱硫ステーションで脱硫処理を実施している間にもう片方の脱硫ステーションで除滓作業を実施することを可能とし、脱硫工程が製鋼サイクルタイムのボトルネックとならない仕様にした。

図4にKR脱硫時の概略図を示す。図5にKR脱硫時のフローを示す。電気炉で溶解、取鍋に出銑した後、電気炉スラグを取り除くため、除滓機により前除滓を行

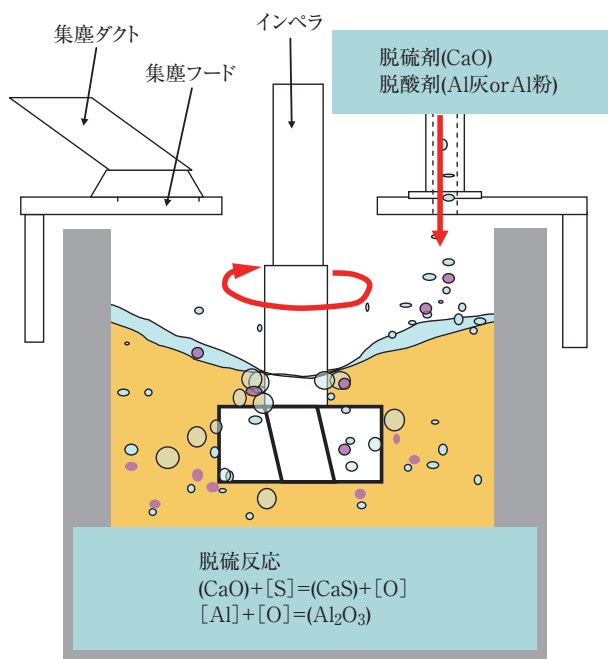


図4 KR脱硫概略図
Fig. 4 Schematic diagram of KR desulfurization.

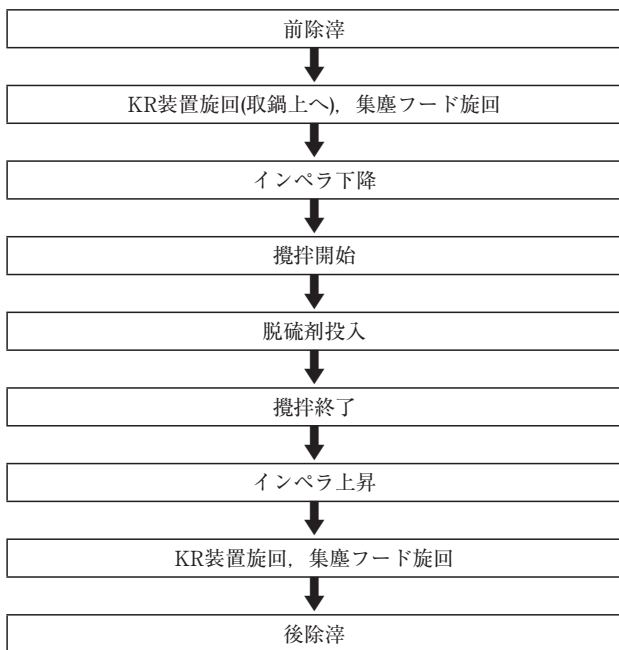


図5 KR脱硫フロー
Fig. 5 Flowchart of KR operation.

う。前除滓終了後にKR脱硫を行う。当所のKRは先述のとおり、片持ち旋回形式であり、KR装置および集塵フードが旋回し、取鍋の直上 (KR脱硫位置) で停止する。インペラ下降停止後、規定回転数まで回転速度が上昇し、攪拌を開始する。攪拌開始後、脱硫剤および脱酸

剤を投入する。脱硫剤としてCaO、脱酸剤としてアルミ灰または金属アルミ粉を使用する。規定時間攪拌後、回転停止しインペラ上昇した後、KR装置旋回、集塵フード旋回し、後除滓を行う。

3. 操業条件

3.1 電気炉スラグ組成

当所の電気炉では、炉内で生成したスラグを先行して溶銑取鍋に排出し、続いてメタルを同取鍋に出銑している。そのため、電気炉からの出銑温度に対して、スラグの融点が高い場合、出銑口がスラグにより閉塞傾向となり、スラグおよびメタルが炉内に残留する。そこで、電気炉におけるCaF₂を添加しない、適正なスラグ組成について、CaO-SiO₂-Al₂O₃三元系状態図を用いて検討した。図6にCaO-SiO₂-Al₂O₃三元系状態図²⁾より求めたCaO濃度と液相率の関係を示す。電気炉スラグには材料中のコンタミによるAl₂O₃が5~10mass%存在する。1,400℃においてスラグの液相を50%以上確保するためには図6に示すとおり、CaO/SiO₂を1.5以下とする必要

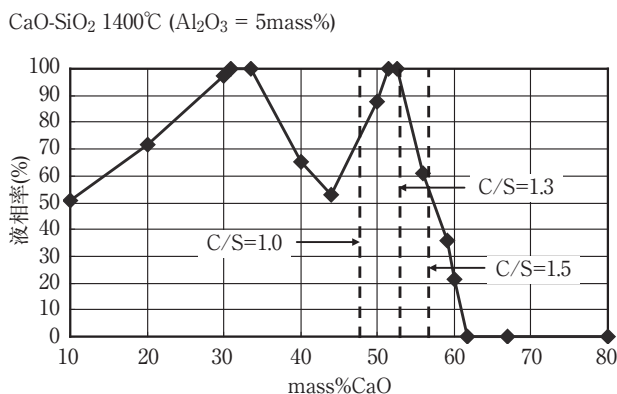


図6 mass%CaOとスラグ液相率の関係 (CaO-SiO₂-5Al₂O₃, 1400℃)
Fig. 6 Relation between mass%CaO and fluid phase ratio.

がある。一方、図7にスラグ塩基度とスラグ中の理論平衡Cr濃度について計算³⁾で求めた関係を示す。Cr₂O₃を還元し、歩留を確保するためにはCaO/SiO₂が高い方が望ましい。液相率、塩基度ともに最大となる条件はCaO/SiO₂=1.3であることから、操業条件はCaO/SiO₂=1.3とした。

3.2 インペラ仕様

ステンレス鋼溶銑の脱硫は普通鋼に比べて困難であることが予想された。効率よく脱硫し、製鋼サイクルタイム内に脱硫処理するためには、攪拌を強化する必要がある。

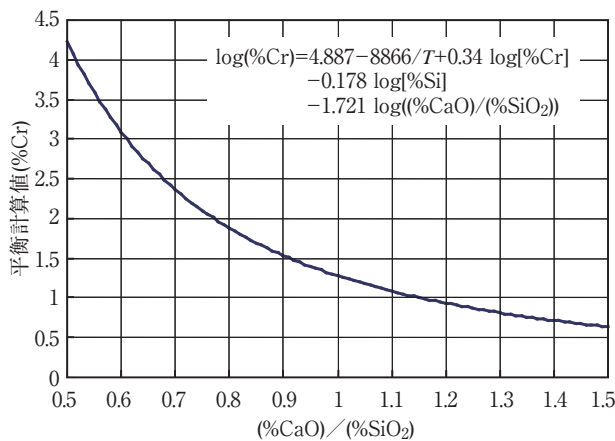


図7 スラグ塩基度と(%Cr)の関係 ([Si]=0.3%, [Cr]=18%, 1400℃)
Fig. 7 Equilibrium chromium contents of slag.

る。一方で、当所ステンレス鋼の溶銑は普通鋼の溶銑に比べ、溶銑温度が高く、インペラ耐用が低くなる恐れがある。インペラ耐用を上げるためには、インペラの回転数を低く設定し、損耗を抑える必要がある。そこで、低回転数で高い脱硫率を得られるよう、操業条件の検討を行った。そのため、実機の1/3の水モデル実験を行い、最適なインペラ径および回転数を求めた。

表1にテスト条件、表2にテストインペラの仕様をそれぞれ示す。インペラは翼径比(インペラ外径と槽内径の比)の異なる3種類と、インペラ幅を大きくした1種類の合計4種類を用い、インペラ回転時に静止水面高さから盛り上がる水面高さおよび流れの様子を比較した。なお、浸漬深さは水面からインペラ上面までの距離を指し、テストでは170mm一定とした。

図8にインペラ回転数と水面盛り上がり高さの関係を示す。翼径比を増加させることで、同一回転数に対して盛り上がり高さが増加する傾向が見られた。No.3とNo.4の比較では、インペラ幅の影響は150rpm以上で認められたが、

表1 水モデルテスト条件

Table 1 Condition of KR water model test

項目	実機	水モデル	
モデルサイズ	1	1/3	
槽	径(D)	2760mm	920mm
	材質	定型耐火物	アクリル
	浴深	1980mm	660mm
浸漬深さ (水面～インペラ上面)	500mm	170mm	
インペラ	材質	不定型耐火物	SS, 外面塗装
	軸径	600mm	191mm
	位置	槽中央	槽中央

表2 テストインペラ仕様

Table 2 Specification of test impeller

インペラ No.	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	θ (mm)	翼径比 a/D
1	333	300	140	217	85	0.36
2	367	330	154	217	85	0.40
3	400	360	168	217	85	0.43
4	400	360	168	250	85	0.43

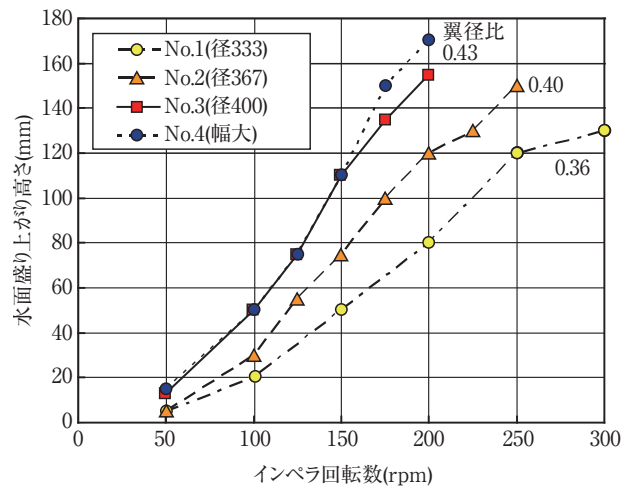
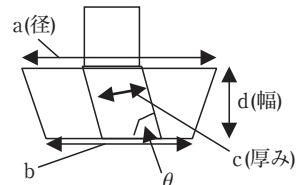


図8 インペラ回転数と水面盛り上がり高さの関係

Fig. 8 Relation between revolution speed and rising surface height.

低回転数域では同程度の盛り上がり高さとなった。同一盛り上がり高さを得るための回転数は翼径比0.36を1とすると、翼径比0.40および0.43ではそれぞれ約0.80, 0.65と求められた。KRは、溶銑と比べて比重の小さい脱硫剤を上部から投入するため、脱硫効率を高めるためには、インペラ形状には下向きの流れを誘起できるものが良いと報告されている⁴⁾。今回の実験では、インペラ形状はオーソドックスな十文字形状であり、下方向の流れに差を確認することはできなかった。したがって、実機では今回の実験において低回転数で最も高い盛り上がり高さを得ることができた翼径比0.43(実機で1200mm相当)とし、初期回転数80rpmで操業を行うこととした。これは、翼径比0.36のインペラの130rpmに相当する攪拌力を持つと考えられる。

3.3 KR脱硫条件

ステンレス鋼ではSの活量を低下させる元素であるCrを含有するため、普通鋼に比べて脱硫剤の原単位が多くなることが予想された。そのため、Cr濃度のS分配比(%S)/[%S]への影響を検討した。

S分配比はサルファイドキャパシティ C_S を用いて以下のように表される。

$$\frac{1}{2} S_2(g) = [S] \quad :$$

$$\log K_S \left(= \log \frac{a_S}{\sqrt{P_{S_2}}} \right) = \frac{6540}{T} - 0.96^{(5)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{1}{2} O_2(g) = [O] \quad :$$

$$\log K_O \left(= \log \frac{a_O}{\sqrt{P_{O_2}}} \right) = \frac{6120}{T} + 0.18^{(5)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$C_S = (\%S) \sqrt{\frac{P_{O_2}}{P_{S_2}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

(3)式および(1)(2)式より、

$$\log \frac{(\%S)}{[\%S]} = \log \frac{C_S \sqrt{\frac{P_{S_2}}{P_{O_2}}}}{[\%S]}$$

$$= \log C_S + \log \sqrt{P_{S_2}} - \log \sqrt{P_{O_2}} - \log [\%S]$$

$$= \log C_S - \log K_S + \log a_S + \log K_O - \log a_O - \log \frac{a_S}{f_S}$$

$$= \log C_S - \log K_S + \log K_O - \log a_O + \log f_S$$

$$= \log C_S - \frac{430}{T} + 1.14 - \log a_O + \log f_S \quad \dots\dots\dots (4)$$

K は平衡定数、 P は分圧、 a は活量、 f は活量係数を表す。 $\log a_O$ および $\log f_S$ は表3に示す相互作用助係数⁶⁾を用いると、式(6)、(7)のように表される。ただし、表3の相互作用助係数で温度による変化の表記がないものについては、式(5)で計算した値を用いる。

表3 相互作用助係数 e_i^j (1873K)
Table 3 Interaction parameters of elements

i \ j	C	O	Si	Cr
S	0.111	-0.27	0.075	-94.2/T+0.040
O	-0.421	-1750/T+0.76	-0.066	-0.055 [Cr<3] -380/T+0.151 [3<Cr<30]
Si	0.18	-0.119	0.103	-0.0003

$$e_i^j(T) = T' \times \frac{e_i^j(T')}{T} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\log f_S = e_S^{Cr} \times [\%Cr] + e_S^{Si} \times [\%Si] + e_S^C \times [\%C] \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\log a_O = \log f_O + \log [\%O]$$

$$= e_O^{Cr} \times [\%Cr] + e_O^{Si} \times [\%Si] + e_O^C \times [\%C] + \log [\%O] \quad \dots (7)$$

ここで、 $\log a_O$ および、 $[\%O]$ については、

$$SiO_2(s) = [Si] + 2[O] \quad \dots\dots\dots (8)$$

(8)式の平衡より、下記の式(9)~(13)および表3の相互作用助係数を用いて計算できる。

$$K = \frac{a_{Si} \times a_{O_2}}{a_{SiO_2}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\log a_O = \frac{\log K - \log a_{Si} + \log a_{SiO_2}}{2} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$a_{Si} = f_{Si} \times [\%Si] \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\log f_{Si} = e_{Si}^C \times [\%C] + e_{Si}^O \times [\%O] + e_{Si}^{Si} \times [\%Si] \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\log K + \log a_{SiO_2} = \frac{-30110}{T} + 11.4^{(7),(8)} \quad \dots\dots\dots (13)$$

[C] = 3.0mass%, [Si] = 0.3mass%として、以上計算式を用いてCr含有量0mass%, 11mass%, 18mass%についてそれぞれS分配比を求めた。その計算結果を図9に示す。

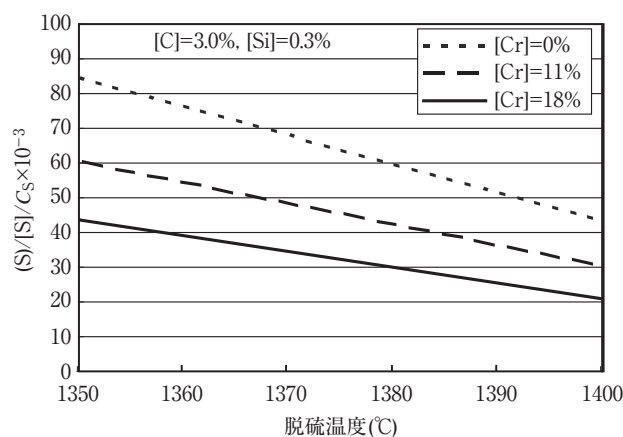


図9 Cr含有量と(S)/[S]に及ぼすCr含有量の影響
Fig. 9 Influence of chromium contents on (S)/[S] ratio.

立上げ時の脱硫剤原単位については、普通鋼における脱硫剤原単位が一般的に約4kg/t以上であることと、図9のグラフより1350~1400℃におけるS分配比がステンレスと普通鋼では1.5倍~2倍であることを鑑みて、6~8 kg/tとした。

4. KR脱硫操業結果

4.1 導入初期の操業結果

図10に立上げ初期のKR脱硫結果を示す。 $[\%S]_i$ は脱硫前、 $[\%S]_f$ は脱硫後の[S](mass%)値を表し、KR脱硫率を $([\%S]_i - [\%S]_f) / [\%S]_i$ と定義する。立上げ初期のKR脱硫率は目標値の80%以上より低い結果となった。

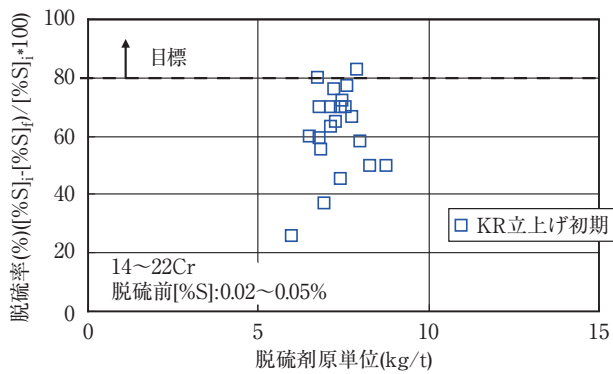


図10 KR立上げ初期の脱硫率
Fig.10 Desulfurizing ratio in the beginning.

図11にインペラの損耗状況を示す。(a)は89回使用にて耐火物が脱落し、芯金の羽根部が溶損した状況である。(b)は使用開始後80回で羽根部上(湯面部)に付着した地金が成長した状況である。付着した地金が、インペラ昇降時に集塵フードと干渉し、設備の運転ができなくなる問題が生じた。立上げ初期は、羽根部上の地金付着と芯金溶損により、頻繁にインペラ交換を行う必要があった。

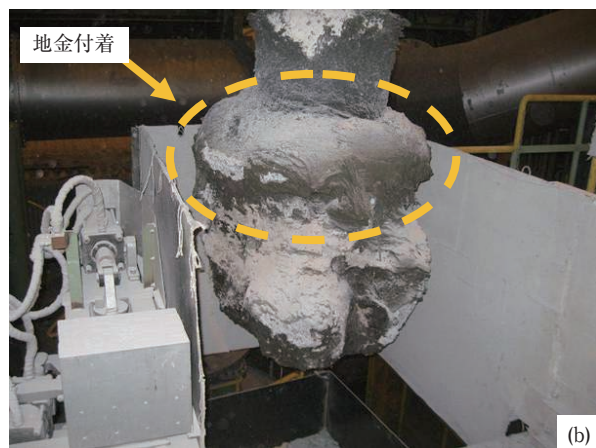


図11 インペラ損耗状況
Fig.11 Appearances of worn out impellers.

図12にKR操業に用いた溶銑取鍋の状況を示す。KR脱硫では攪拌の際に湯面より上の取鍋壁から鍋縁にかけて地金およびスラグが付着し、成長した。これにより、歩留低下、取鍋重量アップによる出銑量制限、転炉への注銑時に鍋縁地金が堰となって注銑を妨げ取鍋内に湯が残

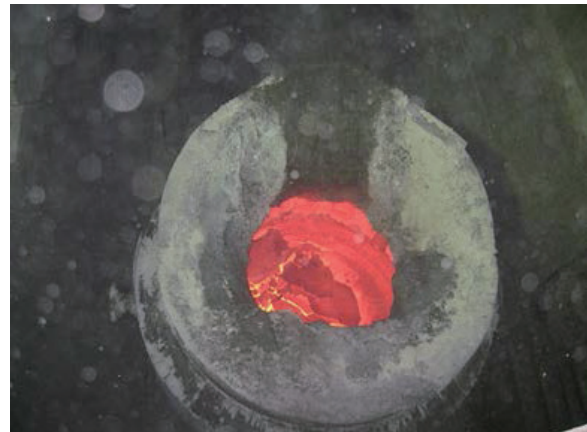


図12 地金・スラグが付着した溶銑取鍋(上から見た様子)
Fig.12 Appearance of ladle adhered metal and slag.

る問題や、取鍋内の残り湯が次に出銑した湯に混入し成分が外れる等の問題が生じた。

4.2 改善内容

4.2.1 脱硫不良対策

操業状況の観察から、脱硫不良の原因として以下の点が考えられた。

- ・インペラの羽根形状が早期に喪失し、攪拌力が低下

表4 脱硫不良対策

Table 4 Measures against desulfurization failure

大項目	改善項目	内容	狙い
インペラ羽根形状確保	幅拡大	幅:650mm→750mm	溶損時の有効攪拌面積確保
	芯金羽根形状変更	羽根厚み:80mm→50mm 外形テーパ付与	金属, 耐火部の膨張差による 外周角部スポーリング防止
脱硫剤	剤原単位UP	6~8kg/t→6~13kg/t	脱硫率の安定
	粒径UP	最大径:150μm→2mm	溶銑への巻き込み促進
脱酸剤	脱酸剤Al純分UP	Al灰のAl分15%→35%	脱酸強化, サルファイドキャパシティUP

する。

- ・脱硫剤の粒径が小さいため、表面に滞留し、溶銑に混ざりにくい。
- ・脱硫剤の原単位が不適切である。
- ・脱酸剤不適切(脱酸不足, Al₂O₃によるサルファイドキャパシティ低下)

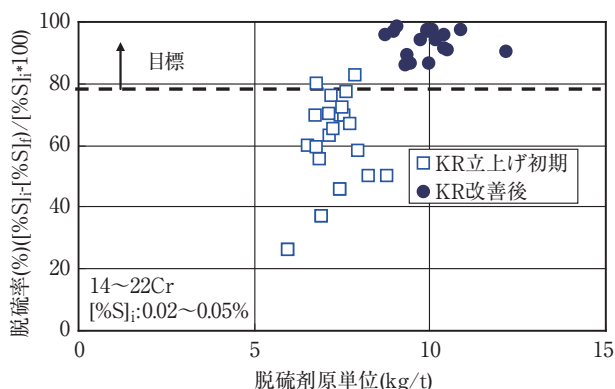


図13 改善前後の脱硫率比較

Fig.13 Comparison of desulfurizing ratio between before with after improvement.

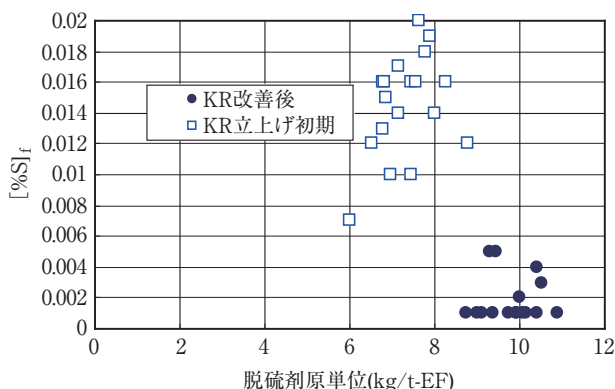


図14 改善前後の[S]_f比較

Fig.14 Comparison of [S]_f between before with after improvement.

そのため、それぞれの対策を実施した。表4に脱硫不良対策を示す。インペラ羽根形状を確保するための改善や、脱硫剤粒径の変更、脱硫剤原単位の適正化、脱酸剤Al品位の変更を行った。

図13に脱硫剤原単位と脱硫率、図14に[%S]_fの関係をそれぞれ示す。目標である80%以上の脱硫率が得られた。また、[%S]_fも0.005mass%以下を満足することが可能になり、安定して低い[%S]_fが得られるようになった。

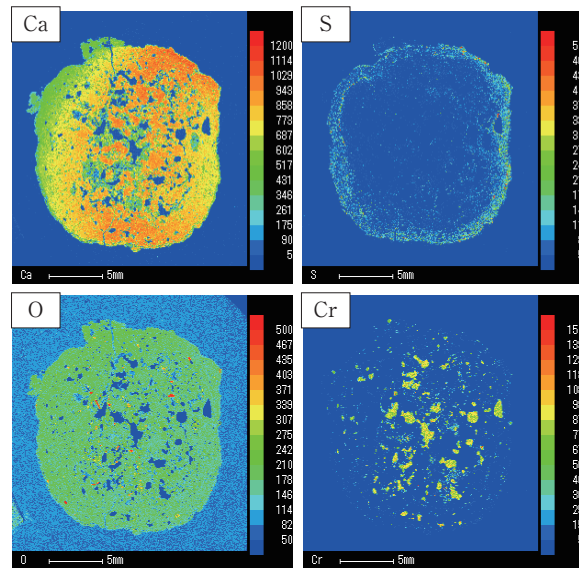
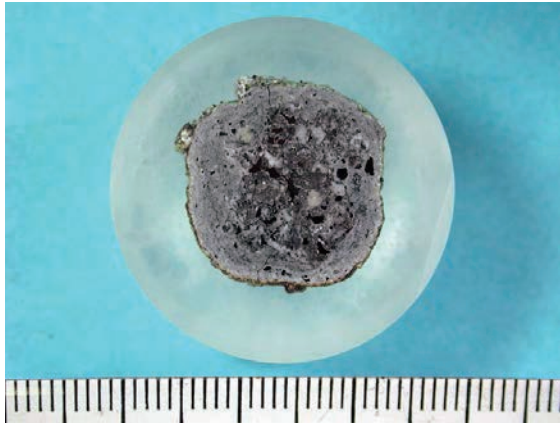
図15に脱硫スラグの分析結果の一例を示す。(a)は粒度変更前、(b)は粒度変更後の脱硫後スラグである。いずれも15mm程度の塊であるが、改善前のスラグは緻密で表層のみにSが分布しているのに対し、改善後のスラグは粒が粗く、内部までSが分布していることが確認された。また、改善後の操業においては、脱硫剤が溶銑表面に留まって大きな塊を形成する頻度が少なくなったことが観察された。したがって、脱硫剤の粒度の変更により溶銑へ脱硫剤が混ざりやすくなり、脱硫率が安定したと考えられる。

4.2.2 インペラ寿命向上

表4に示した「インペラ羽根形状確保」は、即ち、耐火物のインペラ耐用改善にも繋がった。しかし、一方で、インペラ羽根部の上に付着成長する地金が問題となり、耐用回数を延ばすことができなかった。そこで、付着地金を解消する方法について検討を行い、偏心攪拌操業による解決方法を見出した。偏心攪拌とは、KRによる攪拌において、インペラの軸心を取鍋の中心軸から偏心させた状態で攪拌を行うことである。図16に中心攪拌と偏心攪拌の概略図を示す。水モデルにより実験を行い、偏心攪拌(偏心量α)は中心攪拌に比べ以下のような流動の差異が認められた。

- ・旋回方向の流速が小さく、水面盛り上がり高さが低い
- ・不規則な上下方向の流れが生じる
- ・インペラ軸心位置の渦が消失し、新たな渦心が、偏心させた方向とは逆の約2αの位置に、新たな渦が発生

(a)改善前



(b)改善後

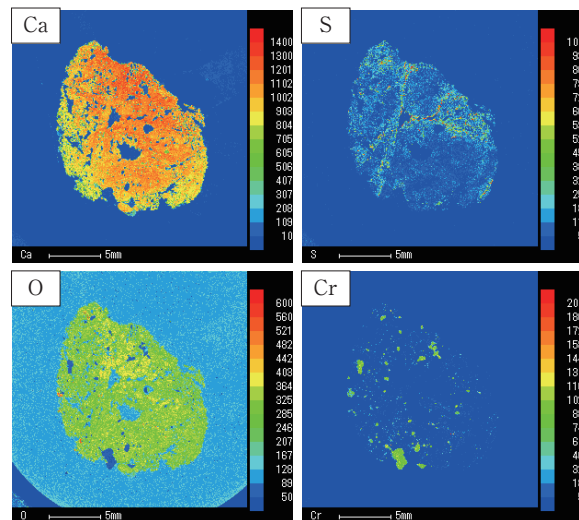
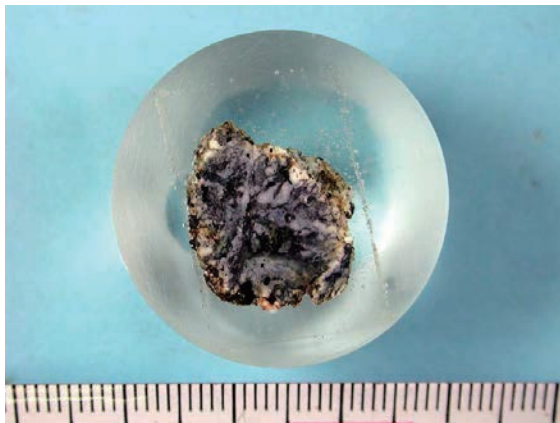


図15 脱硫スラグ分析 (EPMA) 結果 (a:改善前, b:改善後)
 Fig.15 EPMA results of desulfurizing slag.

した。

偏心攪拌では、新たに発生した渦によりスラグがインペラ軸に集まるのが妨げられ、インペラ軸へのスラグや地金の付着が抑制されることが期待された。但し、偏心攪拌による脱硫能低下や振動の発生が懸念された。そこで、実機により偏心攪拌による付着物抑制効果およびKR操業への影響を調査した。

実機操業で偏心攪拌操業を行ったところ、狙いどおりインペラ軸棒への地金の付着がなくなったが、逆に174CHでインペラ軸棒が溶損した。そこで、インペラ中心攪拌と偏心攪拌を交互に実施したところ、インペ

ラ軸棒が溶損することも付着物が成長することもなくなり、インペラが十分に損耗して、脱硫効率が低下するまで使用可能になり、耐用回数が388CHと大幅に改善できた。

図17は中心攪拌と偏心攪拌を交互に併用し、インペラ回転数一定で操業したときの、中心攪拌と偏心攪拌の $[\%S]_f$ について比較したものである。 $[\%S]_f$ の違いや、溶銑取鋼の状況により $[\%S]_f$ に多少のバラツキはあるが、平均すると、共に0.002mass%程度で安定しており、脱硫能についてほとんど差異はないことが確認された。

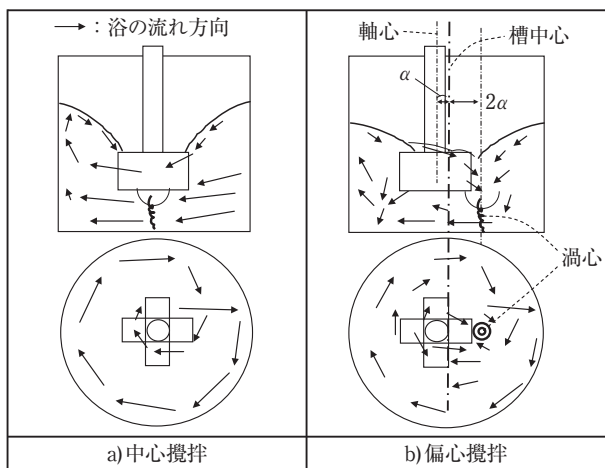


図16 中心攪拌と偏心攪拌の流動状況
 Fig.16 Appearances of flows of concentric stirring and eccentric stirring.

4.2.3 溶銑取鍋へのスラグ・地金付着の解消

取鍋の縁に付着する地金については、定期的に除去することにより解決できる。そこで、電気炉、転炉間の取鍋移送台車上で地金を落とす、オンライン地金落し機を新たに導入した。図18にオンライン地金落し機の概略図を示す。オンライン地金落し機は、移送台車のレール上にゲート型のオーバーデッキを設置し、その上に重機を置いた構造であり、転炉注銑後の空取鍋に対し、鍋整備場に移動させることなくオンラインにおいて短時間で地金を鍋内に落とすことが可能である。鍋内に落とした熱を持った地金は、次の出銑時に溶銑の熱によって再溶解する。オンライン地金落し機の導入により、歩留ロス・熱ロスを低減し、安定操業するこ

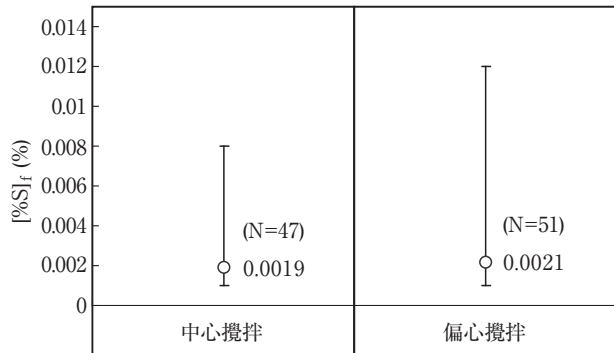


図17 中心攪拌と偏心攪拌の流動状況
 Fig.17 Comparison of sulfur contents in molten iron after desulfurization between concentric stirring with eccentric stirring.

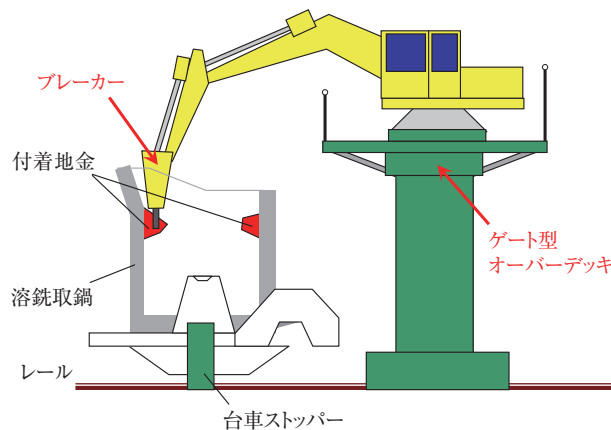


図18 オンライン地金落し作業概略図
 Fig.18 Schematic diagram of the work to strike the metal from the rim of the ladle.

とが可能となった。

5. KR導入結果

5.1 CaO, CaF₂使用量低減

図19に従来法と炉外脱硫法におけるCaOおよびCaF₂の使用量の変化を示す。KRを導入することにより、電気炉内での脱硫負荷が軽減されたため、塩基度を低下させることが可能となった。これに伴い、CaF₂の添加を中止することが可能となった。また、フッ素レスのスラグとしたことにより、電気炉スラグを全量、路盤材として資源化することが可能になった。

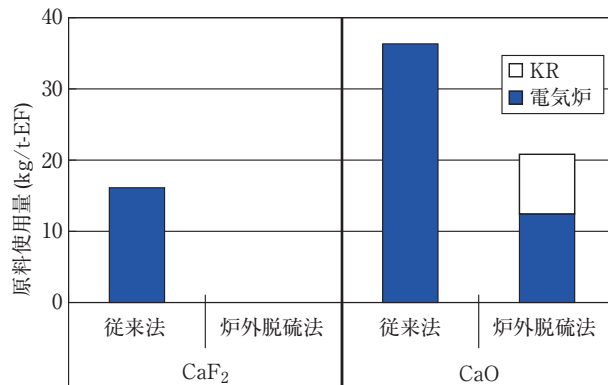


図19 造滓剤原単位の比較 (電気炉,KR)
 Fig.19 Comparison of consumption of flux(CaO,CaF₂) at EAF and at KR.

5.2 使用電力量低減

図20に電力原単位の節減量を示す。KR導入により、脱硫時の温度低下を補償するため、出銑温度は従来よりも高くなったが、従来、造滓剤を溶解するために必要としていた電力が不要となることにより、溶解用電力を9kWh/t-EF低減することが可能となった。

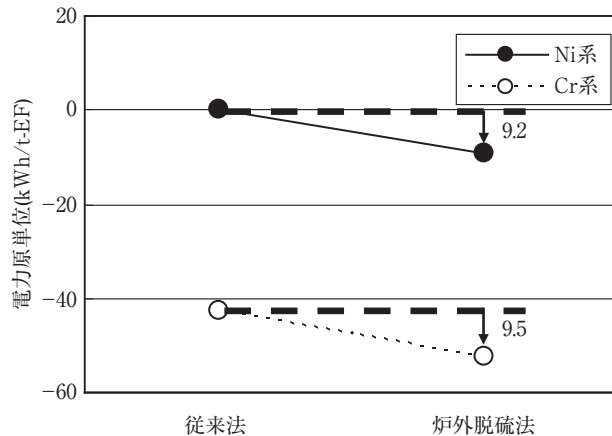


図20 電力原単位の比較(従来法, Ni系の電力原単位を基準とする。)
Fig.20 Comparison of electric power consumption.

6. 結 言

周南製鋼所において、2008年5月、ステンレス製鋼に於いては世界初となる炉外脱硫設備を導入し、様々な技術改善を行ってきた結果、安定した操業が可能となった。その結果、電気炉でのCaF₂の使用をゼロとし、フッ素レスのスラグとしたことで、スラグをリサイクル可能とし、ステンレス製鋼スラグの循環型社会形成において大きな技術進歩となった。一方、造滓剤を低減したことで溶解用電力原単位の改善および造滓剤原料費におけるコスト低減を実現した。今後は一層の操業改善を行い、更なるエネルギー低減、コスト低減を図っていきたい。

参考文献

- 1) ステンレス鋼便覧 第3版, ステンレス協会編, 日刊工業新聞社, 807.
- 2) Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh) ed.: SLAG ATLAS 2nd Edition, Verlag Starleisen GmbH, D-Düsseldorf, (1995), 105.
- 3) C.W.McCoy and F.C.Langenberg: Journal of Metals (1964), 421.
- 4) 野村卓也, 井口学: 鉄と鋼, 88 (2002), 1.
- 5) Mitsutaka Hino and Kimihisa Ito: THERMODYNAMIC DATA FOR STEELMAKING, Tohoku University Press, (2010), 203.
- 6) Mitsutaka Hino and Kimihisa Ito: THERMODYNAMIC DATA FOR STEELMAKING, Tohoku University Press, (2010), 259-264.
- 7) Mitsutaka Hino and Kimihisa Ito: THERMODYNAMIC DATA FOR STEELMAKING, Tohoku University Press, (2010), 55.
- 8) 製鋼反応の推奨平衡値 改訂増補: 学振19委編, (1984), 131.