

# 合金鉄溶解炉による 資源循環システムプロセスの開発

加藤勝彦<sup>1)</sup> 浅原紀史<sup>2)</sup> 小川雄司<sup>3)</sup>  
平嶋直樹<sup>4)</sup> 府高幹男<sup>5)</sup> 兼川 賢<sup>\*\*</sup>

## 1. 概要

新日鐵住金株式会社では、フェロクロム合金の転炉投入によってフェライト系ステンレス鋼を主とする含クロム鋼を生産してきた。フェロクロム合金を転炉内で溶解するには多量の熱源を消費するため、従来はクロム鋼屑のリサイクルが困難であった。また、転炉で脱炭精錬を行う際に同時に酸化されるクロムを還元回収するため、精錬後にフェロシリコン合金を投入していたが、スラグ発生量の増大につながる課題があった。今回、合金鉄溶解炉<sup>(1)-(3)</sup>を導入することで、クロム鋼屑の溶解利用および酸化クロムの効率的な還元回収を実現し、資源循環型の生産プロセスを確立した。

## 2. 開発の背景

新日鐵住金<sup>株</sup>では、電気炉によるスクラップ溶解に比べて安価な高炉溶銑を主原料とし、上底吹き転炉にてフェロクロム合金を連続投入する含クロム鋼製造技術を構築してきた。しかしながら、溶銑に対してフェロクロム合金を多量に溶解するには熱源が必要となる。必要な熱源は炭材添加によって確保されるが、炭材には不可避免的に硫黄が含まれるため、低硫鋼の製造に課題が生じる。したがって、クロム鋼屑を転炉で再利用することは困難であった。

また、溶銑中の炭素濃度低減および燃焼熱の確保の観点から、転炉では酸素ガスによる酸化精錬が必須である。この際、炭素のみならず添加したクロムの一部が酸化される。従来、酸化精錬で生じた高濃度クロム酸化物は、転炉内にフェロシリコン合金を添加することで還元回収していた。しか

し、還元時にシリコンの酸化物が生成し、転炉でのスラグ発生量の増大を招いていた。また、高価なフェロシリコン合金の使用は製造コストの悪化につながる点も課題であった。更に、高濃度クロム酸化物は融点が高く溶解し難いため、クロム酸化物の還元には限界があった。

## 3. 合金鉄溶解炉の概要

本技術では転炉の前工程に合金鉄溶解炉(電気炉)を導入することで、電気炉法による電気加熱能力と高炉法による安価な主原料供給能力の両者をハイブリッドに活用する資源循環システムを構築する(図1)。

すなわち、合金鉄溶解炉においてクロム鋼屑およびフェロクロム合金をアーク熱によって溶解することが可能となり、クロム鋼屑の全量リサイクルを達成できる。

更に、転炉で発生した高濃度クロム酸化物は合金鉄溶解炉に装入され、フェロクロム合金中に含まれるシリコンを活用して還元される。従来に比べてフェロシリコン合金の使用量を大幅に削減できるため、スラグ発生量低減およびコスト削減が可能となる。

なお、一般的な電気炉操業では全装入原料に対する副原料の配合比率は5%程度<sup>(4)</sup>であるが、合金鉄溶解炉では約30%を占め大半が高濃度クロム酸化物である。本技術では、スラグ組成や処理温度、攪拌条件の適正化により、多量の高濃度クロム酸化物を少量の溶銑で還元処理し、高効率にクロムを

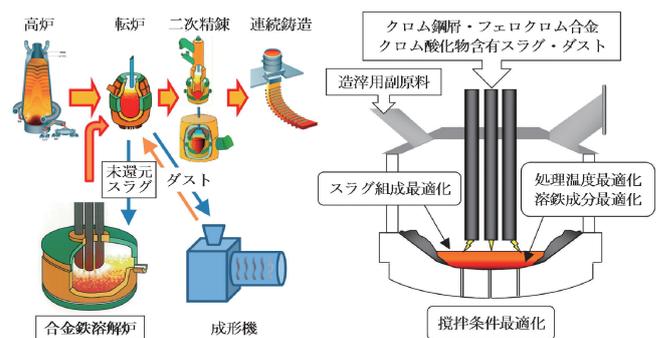


図1 合金鉄溶解炉による資源循環システムプロセスの概要。

\* 新日鐵住金株式会社  
八幡製鐵所；1) ステンレス企画室長 4) 元製鋼部長  
5) スパイラル鋼管工場長  
技術開発本部；2) 主幹研究員 3) プロセス技術部長  
\*\* 新日鐵住金ステンレス株式会社 光製造所；製鋼工場長  
Development of the Multi-Material Recycling System Using Electric Arc Furnace for Melting Ferro-Alloy; Katsuhiko Kato\*, Norifumi Asahara\*, Yuji Ogawa\*, Naoki Hirashima\*, Mikio Futaka\* and Satoshi Kanekawa\*\* (\*Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp. \*\*Nippon Steel & Sumikin Stainless Steel Corp.)  
2016年10月27日受理[doi:10.2320/materia.56.36]

還元回収できる。特にスラグ組成としては、環境負荷が懸念される螢石(CaF<sub>2</sub>)を使用することなく低融点化を実現している。

#### 4. 溶解炉実験による基礎検討

##### (1) 実験条件

処理温度およびスラグ組成の基礎検討のため、溶解炉実験を実施した。主な実験条件を表1に示す。ラボ溶解炉にて70 kgの含クロム溶銜を溶製した後、粉碎した未還元転炉スラグや生石灰を上置き添加した。スラグの熔融促進剤として、一部の水準ではアルミナも添加した。炉底に設けたポーラスプラグからArガスを吹き込み、攪拌を付与した。未還元スラグ投入時点から40分間での還元挙動を評価した。

##### (2) 処理温度の影響

種々の条件下で、酸化クロムの還元反応は概ね一次反応に従い、反応速度は下式で表された。

$$-d(\%Cr_2O_3)/dt = k(\%Cr_2O_3) \quad (1)$$

ここで、 $k$ ：一次のCr還元反応容量係数(1/min)， $(\%Cr_2O_3)$ ：スラグ中Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>成分濃度(mass%)である。以

表1 主な実験条件。

実験装置	100 kg 大気溶解炉	
溶鉄量	70 (kg)	
副原料投入量	未還元スラグ	50 (kg/t-metal)
	生石灰	3.6-25.7 (kg/t-metal)
	アルミナ	0-14.3 (kg/t-metal)
攪拌方法	Arガスによる底吹き攪拌	
攪拌動力密度 <sup>(5)</sup>	0.04 (kW/t-metal)	
攪拌時間	40 (min)	
温度	1450, 1550, 1650 (°C)	
溶鉄成分	[Cr]	16 (mass%)
	[C]	4.2 (mass%)

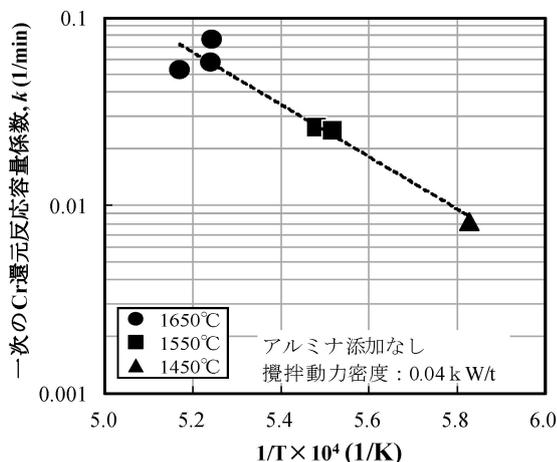


図2 処理温度と反応速度の関係。

降、反応速度の大きさは一次のCr還元反応容量係数 $k$ で評価した。

処理温度と酸化クロムの還元速度の関係を図2に示す。処理温度が高いほど容量係数 $k$ は増大することが確認された。

##### (3) 螢石レス下でのスラグ組成の適正化

攪拌動力密度0.04 kW/tの条件下でアルミナ添加量や温度を変化させた場合の反応速度および到達(%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)を図3、4に示す。種々の指標との相関を調査した結果、図中の横軸に示すように実験終了時点の(%CaO)/{(%SiO<sub>2</sub>) + (%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)}を指標とした時に最も相関が強かった。

本指標が1.1以下では、本指標が高くなるほど還元速度は増大し、還元処理後の到達(%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)は低下した。これは熔融スラグの粘性低下による物質移動速度の向上によるものと考えられる。一方、本指標が1.1を超えて過剰に高くなると、反応速度の低下が見られた。これはスラグの液相率が低下して固液共存状態となり、スラグ全体の流動性が悪化したためと考えられる。

以上より、本指標が1.1程度となるようにアルミナと生石灰を添加した場合に最も還元速度が大きく、同時に還元処理後の(%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)も低位になると推定された。

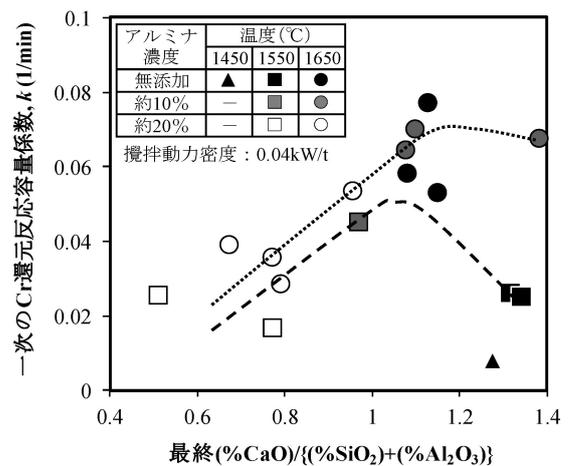


図3 反応速度に及ぼすスラグ組成の影響。

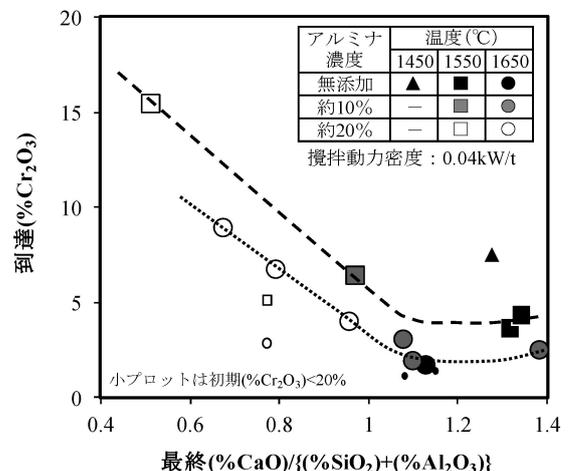


図4 到達(%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)に及ぼすスラグ組成の影響。

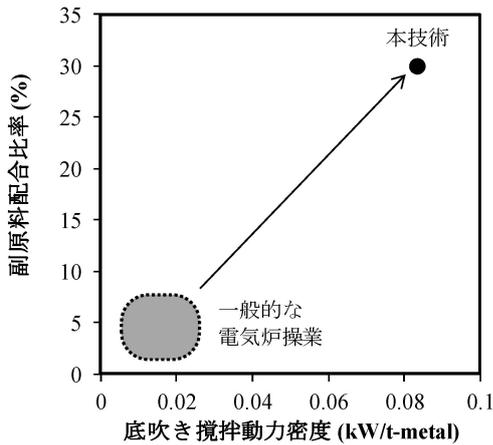


図5 攪拌力と副原料配合比率の関係。

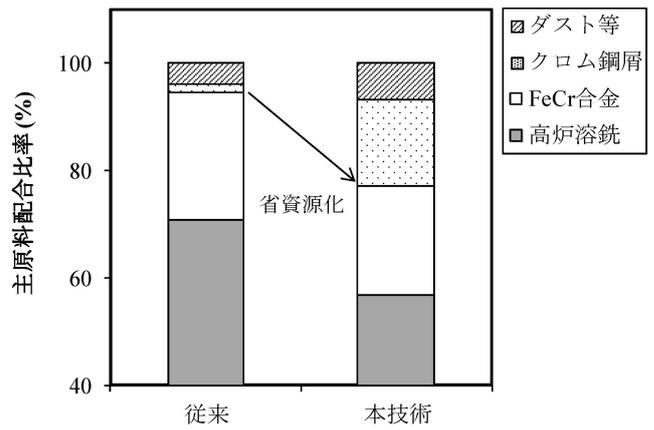


図7 主原料構成の変化。

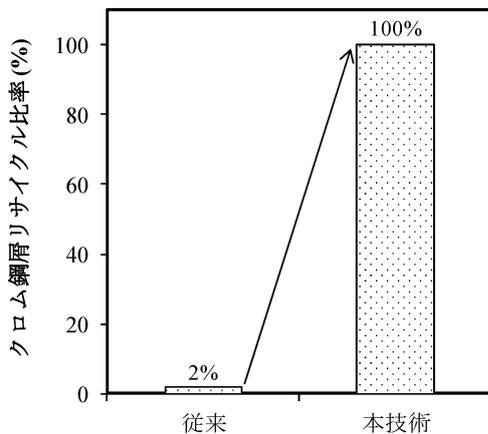


図6 クロム鋼屑リサイクル比率の変化。

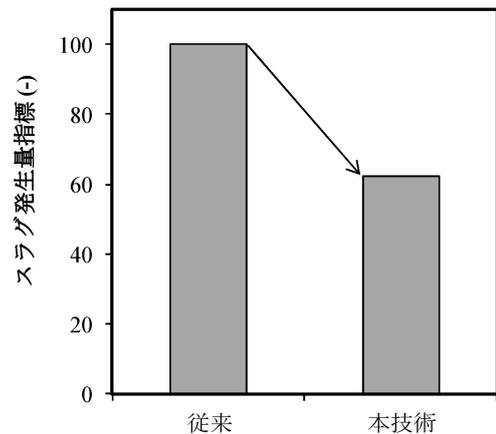


図8 一次精錬でのスラグ発生量の変化。

## 5. 本技術の実機化および主要成果

新日鐵住金(株)八幡製鐵所(戸畑地区)において、合金鉄溶解炉を実機化した。なお実機化にあたっては、多量のスラグを高効率に処理するため、一般的な電気炉操業<sup>6)</sup>に比べて底吹き攪拌力を強化した(図5)。また、ラボ溶解炉に比較して相対的にスラグが浅く広く分布する形状となるため、空間的に均一に攪拌することも重要である。そこで、通電加熱に伴う攪拌を加味しながら、底吹きガスの吹込み位置を数値流体解析等によって最適化した。

### (1) 省資源化

合金鉄溶解炉設置前後のクロム鋼屑リサイクル比率を図6に示す。クロム鋼屑のリサイクル比率は、以前は2%程度と低位であったが、合金鉄溶解炉導入によって100%化を達成した。

また、本技術によってスラグの還元率が向上し、従来は約5%であった還元後スラグ中酸化クロム濃度は約2%まで低減した。これに相当するフェロクロム合金削減効果も得られた。

以上の結果、フェロクロム合金の使用量としては約15%、高炉溶銑とフェロクロム合金を合せた新規原料の使用量では約20%の削減効果が得られており、省資源化につ

ながった(図7)。

### (2) スラグ発生量の削減

本技術ではフェロクロム合金中シリコンの活用による酸化クロムの還元回収を実現したことで、従来法に比べてフェロシリコン合金の使用量を約60%削減できた。その結果、図8に示す一次精錬(転炉、合金鉄溶解炉)でのスラグ発生量を約40%低減するとともに、大幅なコスト削減を達成できた。

## 6. 特許

本開発に関連して出願した主な特許は以下である。

特許第5454313号、特許第5458631号、特許第5326475号、他登録特許・実用新案全6件、公開特許5件、出願特許9件。

## 文 献

- (1) 楠伸太郎, 西原良治, 加藤勝彦, 坂上仁志, 福永新一, 平嶋直樹: 新日鐵技報, **394**(2012), 111-118.
- (2) 金子尚樹, 加藤勝彦, 田中康弘: CAMP-ISIJ, **28**(2015), 69.
- (3) N. Kaneko, K. Kato and Y. Tanaka: Proc. Asia Steel 2015, (2015), 488-489.
- (4) 森井 廉: 電気炉製鋼法, 日本鉄鋼協会, (2000), 100.
- (5) 森 一美, 佐野正道: 鉄と鋼, **67**(1981), 672-695.
- (6) 森井 廉: 電気炉製鋼法, 日本鉄鋼協会, (2000), 170.