

# 開発裏話～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\*

## 1. 開発の背景

わが国の鉄鋼業の工業出荷額は製造業全体の6%にあたる19兆円であるが、お客様である自動車等の主要産業の出荷額154兆円を加えると、鉄鋼業が関連する出荷額は製造業全体の60%弱の173兆円に上る<sup>†</sup>。従って当社には、製造段階での省資源や省エネルギー、環境負荷を低減しつつ、コストパフォーマンスに優れた鋼材を安定供給する社会的使命がある。

ステンレス鋼においても、より過酷な環境での使用に耐えうる高耐食性鋼材、ライフサイクルコストを考慮した長期耐用性鋼材、更には省資源型で要求特性を満足できる鋼材等のニーズは年々高まり、高機能と省資源を両立させたステンレス鋼製品が求められている。

当社では、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、溶鉄中の炭素濃度低減および燃焼熱の確保の観点から、転炉では送酸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、送酸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。

このように、ステンレス鋼は製造段階でクロムやニッケル

を多量に加えるが、クロムの酸化ロスや熱不足に起因した、製造段階におけるクロム含有発生物(鋼屑・ダスト・スラグ等)の再利用リサイクル率低位が業界共通の長年の課題であり、ステンレス鋼をさらに高効率に製造できるプロセス開発が急務と判断した。

## 2. 資源循環システムプロセスの着想と特徴

当社では、ステンレス鋼製造プロセスにおいて、クロム酸化ロス極小化、発生物利用による省資源化、発生物の系外排出量ミニマム化とふっ素レス化による環境負荷軽減、かつ低コスト化を実現するために、高炉・転炉一貫プロセスに還元溶解電気炉を加えた資源循環型ステンレス鋼製鋼プロセスを開発、2010年に実用化した。

では、なぜ資源循環型ステンレス鋼製鋼プロセス構築に当り、高炉・転炉一貫プロセスに敢えて増工程となる合金鉄溶解炉を加えたのか、という点について触れたいと思う。

従来、前述した理由によって、クロム鋼屑のリサイクル比率は図1に示す様に2%しかなく、大部分のクロム鋼屑をリサイクルできない状態であった。しかも、クロム鋼屑は磁着する性質から、普通鋼屑との分別が非常に難しい。一旦混在してしまえば、クロム鋼屑中のクロムは有害なコンタミ成分となってしまう。ステンレス鋼にとっては、欠くことのできない重要な元素であるにも関わらず、クロム資源の国内循環率は実に1/3程度しかない<sup>††</sup>。一方、クロム資源の確認可採年数は、レアメタルの中でも短く<sup>†††</sup>、ステンレス鋼製造の事業継続性が危ぶまれる状況と考えられた。

また、高炉・転炉一貫プロセスでステンレス鋼を製造する場合、クロム添加は転炉工程で行われるが、クロム源であるフェロクロム合金中には、その製造過程で不可避免的にシリコンが一定量含まれる。転炉でフェロクロム合金の添加とともに、純酸素による脱炭処理を行う事から、合金中のシリコンは酸化物としてスラグ化し、同時にクロムの一部も酸化されてクロム酸化物となりスラグに取り込まれてしまう。このク

\* 新日鐵住金株式会社八幡製鐵所 ステンレス部ステンレス企画室；室長(〒804-8501 北九州市戸畑区飛幡町1-1) Development Story～Development of the Multi-Material Recycling System Using Electric Arc Furnace for Melting Ferro-Alloy; Katsuhiko Kato(Stainless Steel Planning & Coordination Department, Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation YAWATA WORKS, Kitakyushu)

Keywords: electric arc furnace, multi-material recycling system, stainless steelmaking, reduction of chromium oxide YES(yawata environment-friendly smelter)

(まてりあ第56巻1号36-38頁「新技術・新製品」掲載)

† 経済産業省大臣官房調査統計グループ平成26年(2014)工業統計表「産業編」。

†† 産業技術総合研究所「地質ニュース」2009.12月号。

††† 環境省\_平成23年版\_環境・循環型社会・生物多様性白書。2018年2月27日受理[doi:10.2320/materia.57.230]

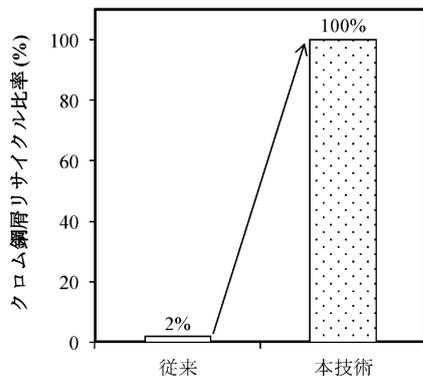


図1 クロム鋼屑リサイクル比率の変化。

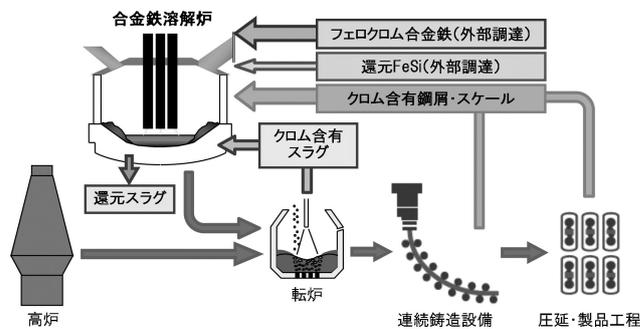


図2 本開発のステンレス鋼製鋼プロセス全体概要。

ロム酸化物を還元回収する新たなフェロシリコン合金の添加により多量のスラグが発生してしまう。

クロム鋼屑のリサイクルと、無駄にスラグ化してしまうフェロクロム合金中のシリコンを何とか有効に使えないか、議論の末に行きついたのが、合金鉄溶解炉を新たに加えた新しいステンレス鋼製鋼プロセスであった。

本プロセスの特徴は、酸化精錬によって脱炭処理を行う転炉と、還元精錬により高濃度クロム酸化物をフェロクロム合金中のシリコンで還元するとともにクロム鋼屑をリサイクルする合金鉄溶解炉とに、完全に分離したプロセス構成を取っている点である(図2参照)。これにより、発生物リサイクル・スラグ発生量低減・コスト低減が可能となる。合金鉄溶解炉では、スラグ組成や処理温度、攪拌条件の適正化により、蛍石を使用することなく高効率にクロムを還元回収できる技術を確認した。

### 3. 開発の経緯

資源循環システムプロセスの構想が固まってからは、いかに効率的な処理を行えるか最適条件探索試験を、ラボや実機電気炉を使って実施した。本プロセスを適用する八幡製鐵所には電気炉が無かったため、室蘭製鐵所や新日鐵住金ステンレス(株)光製造所の電気炉による調査や実証試験を約2年がかりで繰り返し行った。

操業条件の適正化も終え、いよいよ実機設備建設へとステージは移行した。新しいプロセスの追加であり、新たな操業クルーの結成とともに、新規 YES<sup>†</sup>プロジェクトチームが開始した。

八幡におけるステンレス鋼製造は、1920年の13クロム鋼試作から開始された。当初は高炉溶銲は使用せず電気炉による原料溶解法を選択していたが、1979年、鉄源工程の八幡地区から戸畑地区への移管を契機に、高炉・転炉一貫プロセスへと移行した。それから30年近く電気炉操業からは遠ざかっていた。YESプロジェクトは電気炉経験のない素人集団だった。

この窮地を乗り越える為、ステンレス鋼電気炉操業経験の長い、新日鐵住金ステンレス(株)(NSSC)への応援を要請、技術スタッフや現場叩き上げの作業長を八幡 YES プロジェクト

に招き、全面的な協力体制を構築した。また、宴席で隣り合わせた人からの情報で、定年された電気炉一筋の筋金入り助っ人を得ることができた。幸運はどこに潜んでいるか判らないとつくづく実感した。一方 YES 操業クルーは、半数が入社3年目以下の若手集団であり本当に大丈夫か、といった声も耳にしたが、1年間 NSSC 光製造所の電気炉で実操業経験を積むことで、そんな不安を一蹴し電気炉操業感覚を身に付けた。クルー全員の努力には頭が下がる思いであった。

2年半に及ぶ YES 建設は順調に進み、計画通り2010年4月2日に初溶解を迎えた。資源循環システムプロセスが産声をあげた瞬間である。

初溶解操業はすこぶる順調であった。しかし、やはり魔物は潜んでいた。立上げから数チャージの溶解で、炉壁耐火物が想定を遥かに上回る速度で溶損していた。また、ウルトラハイパワー電力の投入により、誘導加熱による設備損傷が散発した。また、装入した原料の未溶解による処理時間延長の頻発も余儀なくされた。何れも、YESの安定稼働を阻害するものであった。

このままでは、当初の目的はおろか、多額の投資が水泡に帰してしまう。プロジェクトチームの総力を挙げた格闘が始まった。操業クルー、製鋼技術スタッフに加え、設備担当、炉材担当、研究部隊、協力会社と、まさに総力戦で臨んだ結果、1年後には当初計画通りの設備・操業技術を確認することができた。

### 4. 開発を振り返って

本開発は、クロム資源循環を核に、従来のプロセスとは全く異なる、高炉・転炉一貫プロセスに還元溶解電気炉を加えた資源循環型ステンレス鋼製鋼プロセスという前例の無い技術へのチャレンジであった。そのような新技術を工業生産プロセスとして実現できたことは、構想から5年に亘る研究開発成果と、2010年工業設備立上げ以降の総力を挙げた改善努力の集大成の結果である。更に言えば、八幡製鐵所製鋼技術に関わった多くの先人が、本開発を構想する遙か昔より、ステンレス鋼製鋼工程への電気炉復活を夢見ていた脈々としたパッションが後押ししてくれた事は紛れもない事実である。

本開発技術が、クロムをはじめとする限りある地球資源の有効利用の一助となれば幸いである。

<sup>†</sup> Yawata Environment-friendly Smelter.