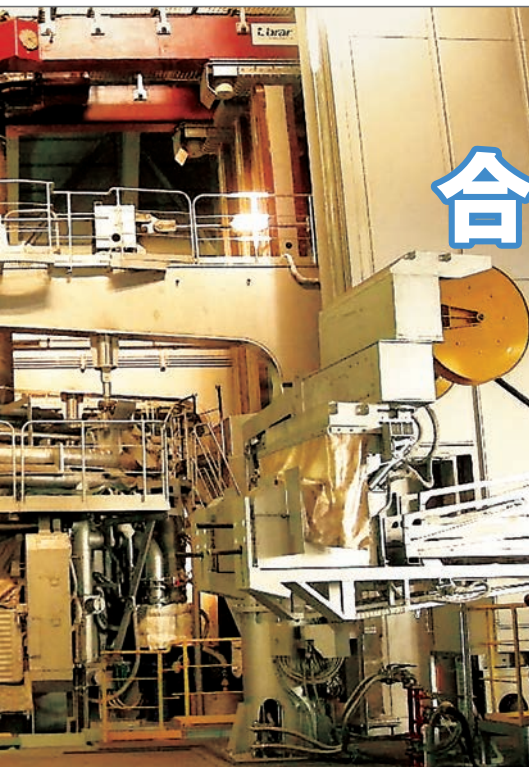




大河内記念生産特賞を受賞 合金鉄溶解炉（YES[※]）を 導入したステンレスの 新製鋼プロセス

※ YES : Yawata Environment-friendly Smelter

新日鉄住金は「省資源・環境調和型・高生産性ステンレス製鋼プロセスの開発」で、大河内賞の事業体向け最高賞である「大河内記念生産特賞」を受賞しました。貴重な天然資源であるクロムの省資源効果と、新たな生産技術開発による日本産業の国際競争力向上への貢献が高く評価された新プロセスの内容と、八幡製鉄所での開発の軌跡を紹介します。

開発技術を紹介する前に…ステンレス鋼の種類と製造法

実用化されて約100年のステンレス鋼は、高度経済成長期に厨房器具や家電など身近な製品から暮らしに浸透し、品質の向上とともに、自動車、鉄道、建築土木、エネルギーなど多彩な領域に用途を広げ、社会を支えてきた。

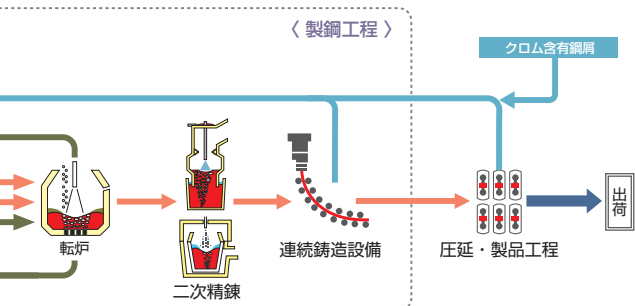
ステンレス鋼（SUS）は「クロム系」と「ニッケル・クロム系」の2種類があり、クロム系はマルテンサイト系とフェライト系、ニッケル・クロム系はオーステナイト系、そのほか析出硬化系、二相系に分類される（図1）。八幡製鉄所では、高炉で還元した溶銑と一緒にフェロクロム（※1）などのクロム源を転炉に投入し、コストパフォーマンスに優れるクロム系のフェライト系ステンレス鋼を主に生産。生産量の約5割を占める自動車排気系・二輪部品向けを中核商品として鋼材の高品質化に取り組んでいる。

ステンレス鋼の製造法はスクラップを利用する「電気炉法」と、鉄鉱石からつくる「高炉・転炉法」に大別される。一般的に、ニッケル・クロム系の製品は合金量が多く、溶解のための大きな熱源が必要なため、従来から電気炉法が主流となっている。八幡製鉄所では、直接コストでは安価で、高品質な高炉溶銑を使用した高炉・転炉一貫プロセスにより、時代とともに要求特性が高度化するクロム系の多彩な製品を製造し続けている。ピュアな原料（高炉溶銑）を使うことで高品質の製品を大量に安定生産できることから、現在、特に自動車分野では従来からの排気系部品に加えて、EV（電気自動車）やFCV（燃料電池車）の増加に伴う電池ケースなどの新たな需要増に向けて、製品のさらなる高機能化に挑んでいる。

世界的課題となっているクロムの省資源化とリサイクル

普通鋼とステンレス鋼の大きな違いはクロムの含有量にある。普通鋼の場合は、炭素、マンガ、シリコンなど鉄以外の成分は高くても1%未満。ステンレス鋼中のクロムは、JIS規格では少ないもので11%、多いもので32%になる。ステンレス鋼の優れた耐食性の源泉となっているクロムは、レアメタルのなかでも可採年数が短い貴重な天然資源の一つだ。中国などの経済発展により、世界のステンレス粗鋼生産量が大幅に増

図1 ステンレス鋼の種類



主成分	区分	JIS 鋼種代表例
Cr鋼	マルテンサイト系	SUS403
	フェライト系	SUS430
Ni-Cr鋼	オーステナイト系	SUS304
	析出硬化系	SUS630
その他	オーステナイト・フェライト系（二相系）	SUS3291J1

※1 フェロクロム：鉄とクロムの合金



新製鋼プロセス開発を実現した中心メンバー

社会的ニーズ

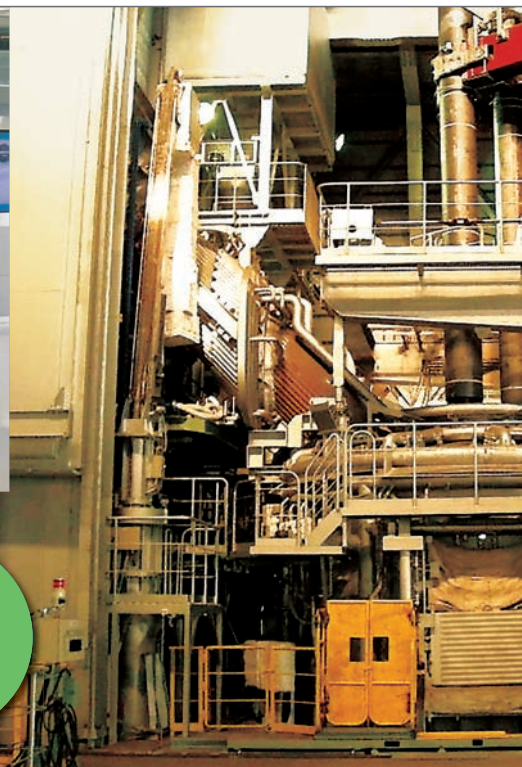
クロム省資源
環境調和
高機能
低コスト

- エコプロセスの推進
クロムなどの省資源化、
環境負荷低減、
低コスト化
- エコプロダクツの提供
高機能と省資源を両立した
SUS 鋼材の供給

環境変化

能力過剰
競争激化
鋼屑増加
(クロム含有)

- エコノミーの追及
高コストパフォーマンス、
ライフサイクルコストに優れた
SUS 鋼材の安定供給
- エコマテリアルの活用
高炉溶銑＋強還元電気炉による
クロムリサイクル資源の最大活用



加した今、クロムの省資源化とリサイクルは世界的な課題といえる。高炉溶銑とフェロクロムを主原料とした転炉法でのステンレス鋼の製造は、従来、転炉内で酸素吹き込みによる溶銑の脱炭と、その反応熱を使ったフェロクロムの溶解を同時に行っていた。溶銑が入った転炉にフェロクロムを入れるのは、いわば熱いお湯に冷たい石をたくさん入れるようなもの。当然ながら転炉内の温度は下がり、大量のフェロクロムを溶解するために熱量が取られ、クロム含有のスクラップや酸化スケールのリサイクルが困難だった。

また、転炉で溶銑の脱炭処理とフェロクロムの溶解を同時に行うと、溶解したクロムも酸化してしまい、歩留まりが落ちる。そこでクロム酸化物を系外に排出させないために、従来はフェロシリコン(※2)を脱炭・溶解後に投入してクロムの還元処理を行っていた。その結果、転炉工程で大量のスラグが発生する上に、スラグ内に還元処理できないクロムが残留する「クロムロス」が発生するなどの課題があった。

「酸化」と「還元」を分離した、画期的なプロセスを開発

2010年4月に稼働した開発設備は、従来からの高炉・転炉一貫プロセスに「合金鉄溶解炉(YES)」を組み合わせ、ステンレススクラップの溶解と再利用、クロム酸化物の効率的な還元回収を行う資源循環型の新たな製鋼プロセス。「酸化精錬は転炉」「還元精錬はYES」という完全な機能分離により、クロムの省資源化・リサイクルを極限まで追求することを可能にした(図2)。

転炉の前工程となるYESは、温度や成分など操業条件の最適化により、装入物(スクラップなど)の溶解と反応(還元精錬)を高速・高効率に行う世界に類のない設備。スクラップやダストなどのクロム含有物を全量リサイクルする上に、転炉で生まれた高濃度のクロム酸化物(転炉スラグ)も溶解して徹底的に還元回収することで、クロムの系外排出量を従来比で9割以上削減した(図3)。

また、還元精錬を行うYESでフェロクロムを溶解することにより、フェロクロム中に存在するシリコンを酸化ロスなくクロムの還元回収に活用できるため、新たに投入するフェロシリコンの量が抑えられ、スラグの発生量を大幅に減らした。今回の受賞はこうした省資源・高生産性による社会・産業への貢献が高く評価されたものだ。

図3 導入効果 (主原料配合比率の変化、クロム鋼屑リサイクル率の変化)

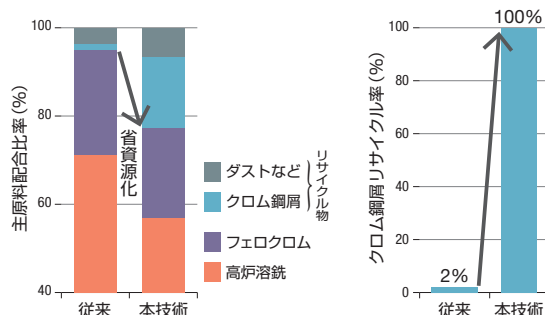
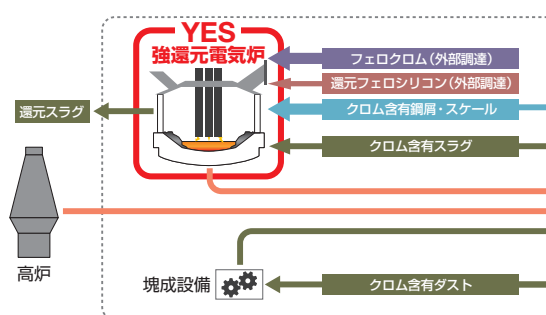


図2 合金鉄溶解炉 (YES) を導入した新製鋼プロセス



※2 フェロシリコン：鉄とシリコンの合金

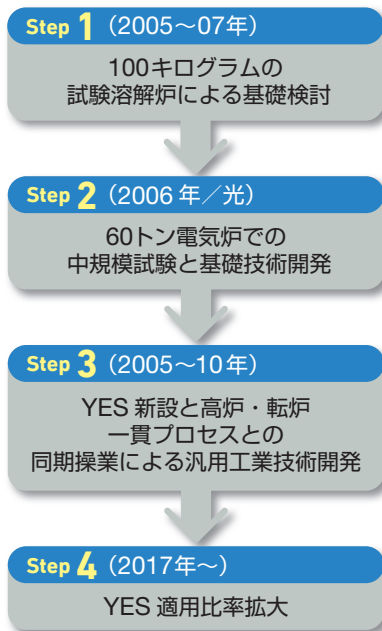
大河内賞とは

故大河内正敏博士の功績を記念して、大河内記念会がわが国の生産工学・高度生産方式の実施などに顕著な業績を表彰する伝統と権威ある賞。当社は旧会社時代を含めて1990年代以降、生産賞20回、生産特賞6回、技術賞1回の受賞実績がある。

斬新な発想と地道な操業改善で イノベーションを巻き起こす

稼働から約8年、安定操業を続ける新プロセス。決して平坦ではなかった
ここまでの道のりと、実機立ち上げ当時の思い出を、開発メンバーに聞きました。

Step 1～4の開発スケジュール



酸化反応と還元反応を分け、
クロム資源を、しぼり尽くす。

八幡製鉄所では、ステンレス鋼の製造を開始した1920年当初、実は電気炉を使っていた。1979年に鉄源コスト構造の合理化を狙い、安価でピュアな高炉溶銑を使用する現在の方式になる。その後は、溶銑と一緒に転炉に投入するフェロクロムの装入方法の改善など、精錬の熱不足への工夫と対策の歴史だったと、開発設備の立ち上げ班長を務めた加藤勝彦室長は言う。

「熱エネルギーの投入法として有効な電気炉の導入には巨額の設備投資が必要です。21世紀初頭のフェロクロムの価格高騰を機に、今しかない！という思いで2005年に開発検討をスタートしました。徹底的にクロムをしぼり尽くす省資源・低コスト化への挑戦が始まりました」開発検討のなかで、せっかく電気炉を導入するのであれば、熱源以外の諸課題も解決して投資効果を最大化したいという思いが生まれる。「もう一つの大きな課題だった転炉スラグ量削減について、酸化還元反応など原理原則に立ち返ってアイデアを出し検討する過程で、転炉と電気炉で

「酸化」と「還元」を分離する発想が生まれました」
(加藤室長)

「攪拌が足りない！」
実機操業で想定外の壁に当たる

世界初の挑戦は100キログラム規模のラボ試験(Step 1)から始まり、その後、実機化前に、未還元スラグを八幡から光に運び、新日鉄住金ステンレス(株)光製造所の60トン電気炉でパイロット試験を重ねた(Step 2)。「成分を最適にコントロールして初めてスラグは熱で溶けやすくなります。ラボ試験のデータをもとに、その効果を確かめました。電気炉でのステンレス鋼製造の知見を持つ光製造所の協力の下、実機化前に着実にステップアップでき、当社グループの総合力の高さを改めて実感しました」と、加藤室長と共にプロジェクトを統括した副班長の府高幹男主幹は振り返る。

光のパイロット試験で導いた安定的な工業生産条件を指標に、実機の詳細設計が始まる。その2年後の2010年4月、YESの実機炉(容積90トン)が立ち上がった(Step 3)。操業の早期安定化を使命に、現場オペレーションの改善に注力した森雄一郎課長は、「電気炉には魔物がいる」と実機操業の難しさを語る。

「直径約6メートル、深さ1メートルもない大きな洗面器型の炉の中で溶解と還元を促進するためには、底吹き羽口からの攪拌で、いかに全体を満遍なくかき混ぜるかがポイントです。電極の外側に羽口を配置するセオリーがあるなかで、設備仕様として決めた羽口をどこに付けるのが最適なのか確信がなく、羽口位置

主な開発メンバー 今後の抱負



八幡製鉄所 ステンレス部
ステンレス企画室
加藤 勝彦 室長

今後のステンレス鋼板事業の統合を視野に入れ、当社グループ一丸で新たな技術開発に挑戦できる事業基盤を確立していきたいと思っています。



八幡製鉄所 工程業務部
出荷物流室
府高 幹男 主幹
(開発当時)
八幡製鉄所 製鋼部製鋼技術グループ マネジャー

困難はチャレンジのチャンス。それを実感した成功体験を、構内物流の効率化を含めた八幡製鉄所のさらなる進化につなげていきます。



八幡製鉄所 製鋼部
戸畑製鋼工場 特殊精錬課
森 雄一郎 課長

オペレーターのスキルを磨き、本プロセス永遠のテーマであるスラグ・ダスト発生量の低減に取り組み、新たな技術開発にも挑みたいですね。



を微妙に移動できるように計10個孔を開け、立ち上げ操作をしながら羽口の最適位置を探りました。しかしどうやっても攪拌が足りず溶解も還元も進まない。いざ連続操業になって想定外の壁が立ちました

最大のブレイクスルーとなった 底吹き羽口の改善

定期的な開発と操業のメンバーが集まり、「攪拌不足」対策の検討を繰り返した。単純に電力を上げれば攪拌力は高まるが、耐火物に負荷がかかり鉄皮に孔が開いてしまう。「立ち上げ後の実機操業において現場で起こる事象が理解できないときに、熱流体力学など原理原則のメカニズムに立ち返って要因を特定し、操業条件の最適化につなげていくことに全力を傾けました。しかし実際のところは対策を打つてもまた壁にぶち当たると繰り返しが続き、辛かったですね」と、研究部門（八幡技研）の立場から、開発技術の知財化と操業改善に取り組んだ浅原紀史主幹研究員は振り返る。

トライ&エラーを繰り返す過程で、地道に知見を蓄積する日々が続く。流動解析のシミュレーションと実機での検証など、実際に起こる現象のデータ解析で操業条件の最適化に取り組んだ田中康弘課長は、「普通の電気炉は原料を溶かすのが目的ですが、YESは酸化物（未還元スラグ）の還元までを行う、これまでに前例のない設備です。立ち上げ後は操業上の情報がある。現場に張り付き、課題を一つずつ解決して実機の安定操業に取り組む日々でした。今振り返ると、多くのハードルがあったなかで最大のブレイクスルーは羽口の底吹き改善でした。強攪拌を常に確保するため、羽口の配置などを最適化しました」と、操業安定化への挑戦を語る。

耐火物の健全化を含め、 フル稼働での安定操業を目指す

一方、世界初の設備操業を支える耐火物にも新たな挑戦があった。YESの炉体管理を担当した近藤正章班長は、「耐火物を安定させれば操業も安定する」という強い信念で立ち上げに取り組む。「漏れや赤熱などのトラブルを絶対に起こしてはなりません。立ち上げ直後、高温のスラグが常時接触する炉体上部（スラグライン）と、3000℃の輻射熱を受ける電極近くの炉内壁部（ホットスポット）の損傷が激しく、炉体2基の交換方式でもメンテナンスのための時間が足りない状況になりました。そこで壁面の材質を変更し、ホットスポットについては、レーザー距離計で熱負荷と煉瓦損傷の相関を分析して、熱負荷を低減する電極の通電パターンを確立することで、損傷を劇的に抑えました」

新製鋼プロセスは稼働3年後の2012年末に安定操業の軌道に乗る。それ以降、年々徐々にステンレス鋼製造におけるYES適用率を上げ、2017年には八幡製鉄所のステンレス鋼生産量約4万トン／月のうち、YESからの供給量1万4000トン／月を記録した。今後は電気エネルギーコスト低減に向かう社会環境のなかで、低品位クロムを使用できる強みも活かし、YES適用率をさらに上げ、フル稼働を目指す（Step4）。

最後に加藤室長は、開発・操業メンバーの思いを次のように締め括る。「成熟産業と思われる製鉄業において、酸化・還元反応など原理原則に立ち返り、隠れた「宝の山」を探り当てていく。そんな取り組みだったと思います。今後はその情熱をステンレスの製造技術だけでなく、製鉄にかかわる多彩な技術分野に活かしていきたいと思っています」



八幡製鉄所 製鋼部
炉材技術室 炉材整備課
近藤 正章 班長

耐火物を守るのは操業を守ること。このマインドを若手につなぎながら、耐火物の原単位低減や長寿命化技術を追求していきます。



八幡製鉄所 製鋼部
戸畑製鋼工場 精錬課
田中 康弘 課長

適用率や原料バランスが変わるなかで、設備をいかに使いこなすかという視点から、八幡オリジナルの特殊精錬技術確立できればと思います。



技術開発本部 プロセス研究所
製鋼研究部
浅原 紀史 主幹研究員
（開発当時）
技術開発本部 八幡技術研究所

今回は製鉄所発信による操業・開発の連携モデルでしたが、次は研究発信で、製鉄所と共に社会的意義のある開発に挑戦していきたいですね。