

# 鑄鉄の不純物除去技術の開発と その目的

木下 潔

(株)木下製作所 代表取締役社長

金属化合物の除去を行う溶湯精錬炉と不純物金属（主にマンガン）の除去を行うマンガン除去装置の概要とわが社がこれらの研究開発を行う目的について述べさせていただきます。

## 1. はじめに

昭和 38 年に私の父親である木下定がダクタイル鑄鉄の内部欠陥抑制と黒鉛球状化能の向上を目的として、溶湯中に懸濁した酸化物等の金属化合物を除去する精錬機能を有した特殊アーク炉（KS 式電気炉）を開発<sup>1)</sup>して以来、50 年にわたりこの技術をコア技術として生産、技術開発を行ってきた。

今回はここ 7～8 年開発に取り組んできたこの KS 炉の精錬機能を取り入れた金属化合物の除去を

行う溶湯精錬炉と不純物金属（主にマンガン）の除去を行うマンガン除去装置の概要を紹介する。

また、わが社がこれらの技術開発を行う目的は、他社にない製品を作ることによって安定した収益を上げ、社員が安心して働け、仕事に誇りが持てる会社にするためでありその点についても私の考えを記述したいと思う。

## 2. 技術の紹介

### 2.1 溶湯精錬炉（金属化合物の除去）

当社が鑄鉄溶湯中の金属化合物の除去に取り組んだきっかけは、私の父親である木下定が昭和 34 年にエール式アーク炉を導入し、Ca 系球状化剤を使用して球状黒鉛鑄鉄の製造を開始したところから始まっている。

なぜアーク炉かというと父親が呉の海軍工廠製鋼部の技師として特殊鋼の精錬等を行っていた経験から、アーク炉を使用し塩基性スラグにより脱硫をすれば球状黒鉛鑄鉄の製造が可能と考えたからである。

当初は、ダクタイル銑のみを使用し比較的良い結果を得ていたが、ダクタイルの戻り材を使用すると内部欠陥が多発し、溶解を繰り返す毎にその傾向は増加した。また、1 回のチャージ量が多い場合は欠陥の発生が多く、チャージ量が少ない場合には比較

的欠陥の発生が少なかった。

この原因についていろいろ検討した結果、アーク直下およびその周辺において短時間に昇温、溶解された溶湯には欠陥の発生が少ないことが分かってきた。

ちょうどその当時、鑄物用銑の研究が進み黒鉛球状化の阻害要因として微量元素の総和（ $\Sigma A$ ）、硫黄とともに「懸濁珪酸」<sup>2)</sup>の存在が指摘されていた。

このことにもヒントを得て、欠陥の原因は溶解過程の低温領域において形成される Si 酸化物にあるとの結論に至った。この問題点を解消するために試行錯誤を重ね、昭和 38 年にアークプラズマによる還元性雰囲気内での直接溶解と強塩基性スラグを組合わせて脱酸、脱硫を行う特殊アーク炉（KS 炉）を開発した。

以下に KS 炉の概要を示す。

## 2.2 KS式電気炉の概要

### ①溶解方法

KS炉における原料の溶解方法を図1に示す。

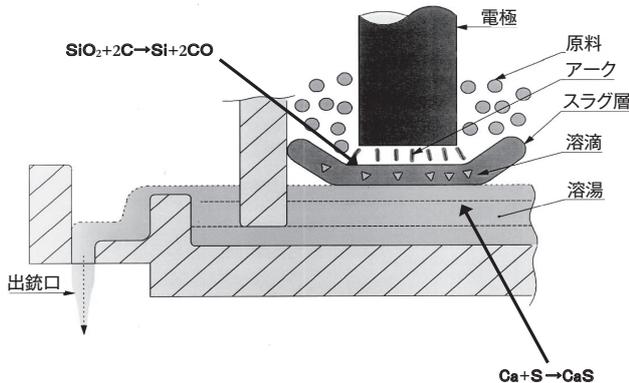


図1 KS炉の溶解部分の概略

銑ドライ粉などの小さな原料を精錬剤 (CaO) と配合して電極に沿ってアーク雰囲気中に落下させると急速に高温溶解、脱酸 (10ppm 以下) される。溶滴は、さらに電極下に形成された塩基性スラグ層を通過することにより脱硫 (0.003% 以下) される。この場合、スラグ層は溶湯と未溶解原料との接触による溶湯の汚染を防止する役割も果たす。ここで重要な点は、原材料としてドライ粉を使用している点である。原材料が微細なドライ粉であるため、アークプラズマによる昇温が急速に進むと同時に、溶滴はアーク衝撃によりいっそう微細化され、反応の界面積が拡大され、脱酸、脱硫が進行する。

このように溶解、精錬された溶滴は電極下の限定された炉床に集約し連続的に出銃される。

これらのKS法の基本原理をまとめると表1のようになる。治金的にも物理的にも総て精錬作用に適した好条件が集積されており、この溶解部分が最も重要な点で、精錬過程を持たない溶解方法による溶湯性状と大きな相違になるものと考えられる。

表1 KS法の基本

1. 溶解原料に銑ドライ使用	—	反応界面積の拡大
2. アークプラズマによる直接溶解	—	高温、還元性雰囲気による脱酸 (0 < 15ppm)
3. 強塩基性スラグ層による溶滴のろ過	—	脱硫 (S < 0.003%)
4. スラグ層による精錬溶湯と未溶解原料との隔離	—	精錬溶湯の未溶解原料による接触、汚染防止

ただ、この方法では原材料が銑ドライ粉に限定される。また、溶解帯がアーク直下に限定されるため、大容量の溶解ができないという問題点があった。

この点を改善するため、高周波炉等の一般的な溶解炉で溶解した後に、アーク・スラグ処理による精錬を行う溶湯精錬炉の開発を行った。この場合大きな問題点として考えられたのが、表1のKS法の基本1のように反応界面積を大きくすることが難しいので脱酸、脱硫が短時間でできるかという点であった。

以下にこの溶湯精錬炉の概要を示す。

### 2.3 溶湯精錬炉

平成21～24年にかけて経済産業省の戦略的基盤高度化支援事業 (サポイン事業) において、木下製作所、ナニワ炉機研究所、広島大学、広島市産業振興センター、三重県工業研究所で溶解後の鑄鉄溶湯から金属化合物を除去する装置の開発を行った。

図2の装置の外観を示す。電極3本は直列に配置し集塵がとりやすいようにしてある。

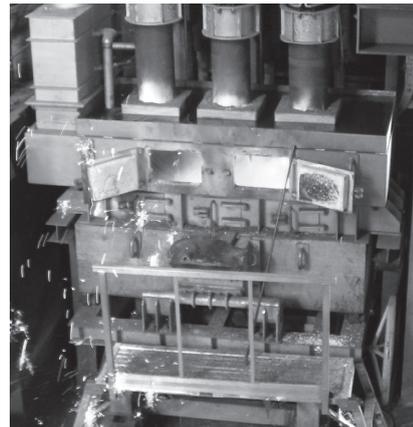


図2 アーク式溶湯精錬炉

図3に溶湯精錬炉による脱酸、脱硫の結果を示す。図にあるように精錬開始後20～30分で酸素量は5ppm以下、硫黄量は0.010%以下に下げることができ、金属化合物の低下によって内部欠陥が低減され、溶湯流動性の向上により薄肉化が可能となった。一番懸念していた反応時間の問題については高周波炉等の溶解時間、作業のタイムサイクル等を考えれば問題ない範囲に収まった。

この処理による電力使用量は300～400kwh/溶解トンであるが、誘導炉からの出湯温度は1350～1400℃と通常よりも低く抑えられるためコストアップは4～5円/kg程度に抑えることができる。

この開発により、原材料の制約という点は解消されたが大容量の溶解についてはその有効性はまだ検証できていない。この方法は溶解後にアーク・スラ

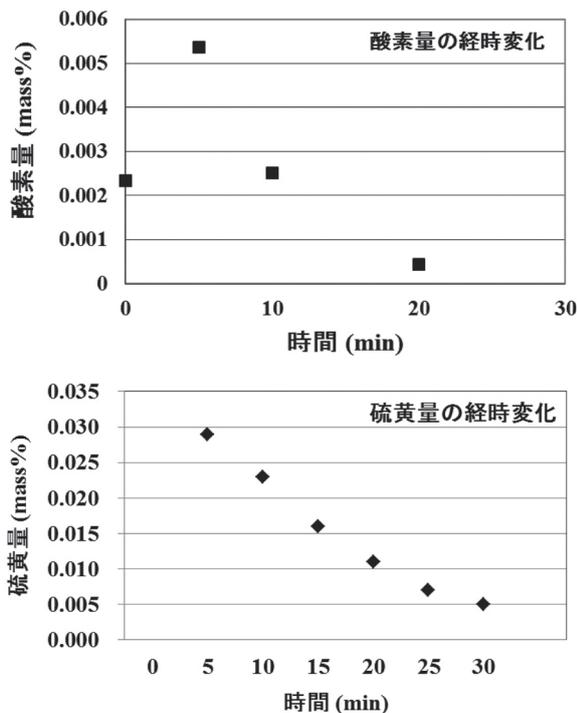


図3 溶湯精錬炉による脱酸、脱硫

グ精錬を行うため、工程が1工程増え操作性、製造コストにおいてはKS炉のほうが優位性が高い。

ただ、バッチ式のためKS炉に比べて成分調整が容易という利点がある。この点を利用して耐熱材質(ハイシリコンモリブデンFCD)や正確な成分調整を必要とする肉厚200mmを超える厚肉FCDの生産に活用している。ハイシリコンモリブデン材においては精錬によりSiの酸化が防げることからSi量は5%程度まで上げて流動性が落ちない。また、厚肉FCDについては肉厚400mm程度のもので欠陥の発生が少なく、機械的性質についても肉厚中心部でFCD450~500のJIS規格を満足する製品が製造可能である。今後この特性を生かして用途開発を行いたいと考えている。

作業性を考えれば、将来的にはキューボラのような連続出湯の溶湯を連続的に精錬する方式もテストしたいと考えている。

## 2.4 マンガン除去装置(不純物金属の除去)

平成18~21年にかけて溶湯精錬炉の開発と同様に経済産業省の戦略的基盤高度化支援事業(サポイン事業)において、(社)日本鋳造協会を管理法人として企業12社、大学2校、三重県工業研究所で鋳鉄溶湯中の不純物金属(主にMn)の除去技術の開発に取り組んだ。その際にMn除去装置の製作を(株)ナニワ炉機研究所殿が行い、製作した装置を(株)木下製作所に設置して実験を実施した。当初は回転炉を使って実験を行っていたが、実験の過程で取鍋上に酸素バーナーとバブリング機能を持った簡易な装置をか

ぶせて処理作業を行えば低コストで簡単にMn除去が行えることがわかった。この開発の詳細については藤川ほかの報告書<sup>3)</sup>を参照されたい。

この結果をもとに平成23年度に広島市の補助金を受給して取鍋式Mn除去装置を製作し実験を行った。図4に装置の外観を示す。

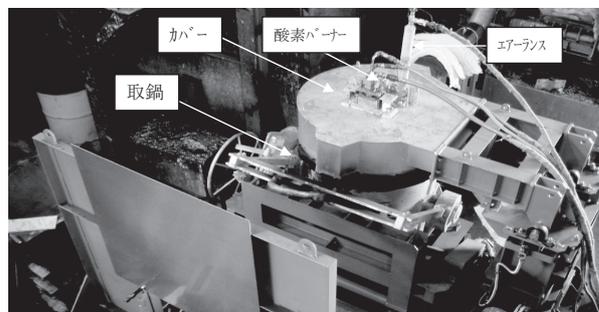


図4 取鍋式Mn除去装置

図5は取鍋を使ったMn除去試験の除去速度を示す。図にあるようにMn除去速度は0.8mass%/h程度の脱Mn効率を達成している。この除去速度であれば、0.2%程度の脱Mnであれば前後の工程を含めても20分程度で処理できるため実用上問題ないと考えている。

図6にこの処理によるMnとC、Siの減耗率を示す。

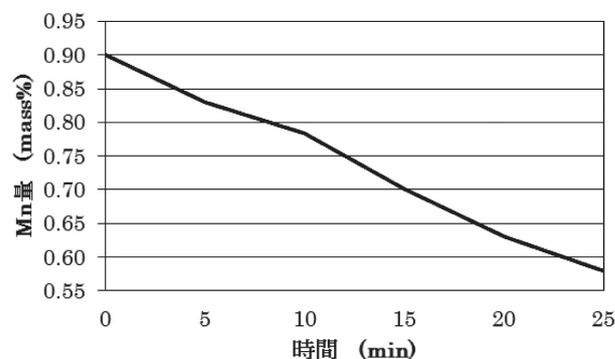


図5 Mn除去速度

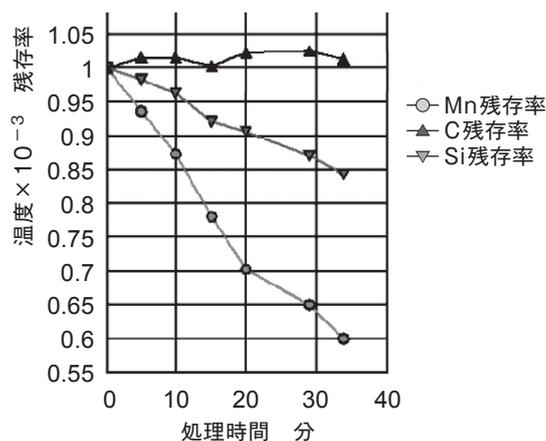


図6 処理によるMn、C、Siの減耗率

この図にあるように Mn の減耗率に比べて C、Si の減耗率が低い。この点がこの方法の大きな特徴であり、処理後の大きな成分調整を必要としないため操業面への負荷が少なくコストの増加も抑えられる。

また、Zn、Al、Ti 等の不純物も同時に除去される。最近では表面処理鋼板のスクラップから混入する Zn の問題が大きくなっているがこの方法ではこれらの金属も除去され、高純度銑鉄に近いものが得られることもわかった。図 7 に Zn、Al の除去例を示すが、これらの軽金属は処理開始後 10 分以内に ppm オーダーまで除去することができる。

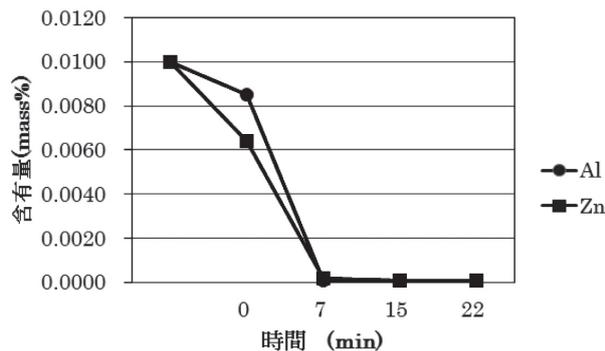


図 7 Zn、Al の除去

除去コストは条件にもよるが 3 円 /kg 以下で収まる。また、取鍋を使ったシンプルな構造であるため装置の設置面積が狭くてすみ、後付けが可能である。

問題はスラグの処理である。なるべくスラグの発生量を減らすよう検討中であるが、現状では処理溶湯に対して 2～5% 程度のスラグが発生し、その除滓方法および廃棄物処理方法が課題と考えている。

開発はほぼ完了し、現在プロト機を製作中であり 2015 年 3 月頃より (株) 前川製作所殿の東広島工場においてテスト操業を開始する予定である。

## 2.5 不純物除去システム

上記の 2 つの開発を組み合わせる必要に応じて金属化合物の除去、不純物金属の除去を行う不純物除去システムが構築できればと考えている。

一般の炉 (キューボラ、高周波炉等) では低品位または高 Mn のスクラップは使用できず、高品位低 Mn のスクラップを使用しても溶解過程で金属化合物が生成されるので、溶湯性状が悪化し高品質の製品は製造できにくい。

この溶解システムでは低品位・高 Mn のスクラップを使用しても高品質の製品が製造できる。また、原材料の種類と製造する製品の品質レベルに応じて、図 8 のとおり、フレキシブルに溶解システムを選択することができる。

- a. 低品位・低 Mn スクラップから高品質製品を製造  
スクラップの品位は低い Mn 量は少ない場合は、アーク炉により金属化合物を除去することで高品質の製品を製造できる。
- b. 品位は低くないが高 Mn のスクラップから通常製品を製造  
品位は低くないが Mn 量が高いスクラップから通常品質の製品を製造する場合は、Mn 除去装置により Mn を除去することで製造できる。
- c. 低品位・高 Mn スクラップから高品質製品を製造  
低品位・高 Mn のスクラップから高品質の製品を製造する場合は、まず Mn 除去装置で Mn を除去した後、アーク炉により金属化合物を除去することで高品質の製品を製造できる。

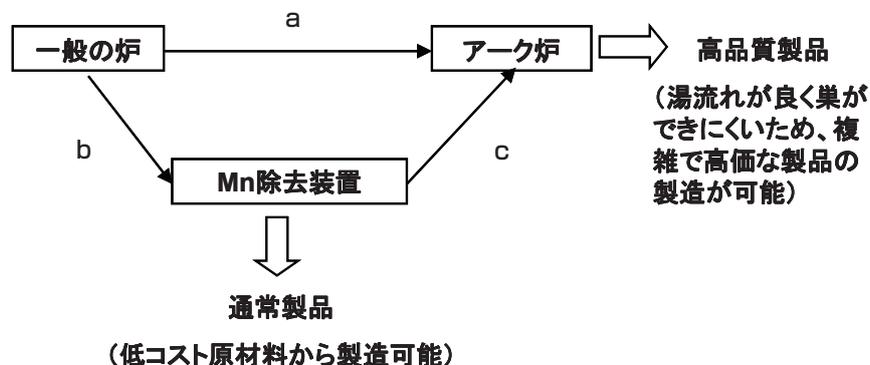


図 8 溶解システム全体図

### 3. 技術開発に取り組む目的

図9にあるように我社は経営理念として、

1. 技術による社会への貢献
2. 自主独立
3. 社員が安心して働け、仕事に誇りが持てる会社にする

という目標を掲げているが、これを達成するためには安定した収益を確保することが不可欠であり、その方法としてコア技術（KS 炉）を活かした技術開発と生産体制の充実を両輪として最終的には「アジア」と言われるような高付加価値の自社製品を開発することを目標としている。

今回ご紹介した二つの技術開発はこの考え方に沿って進めているものである。

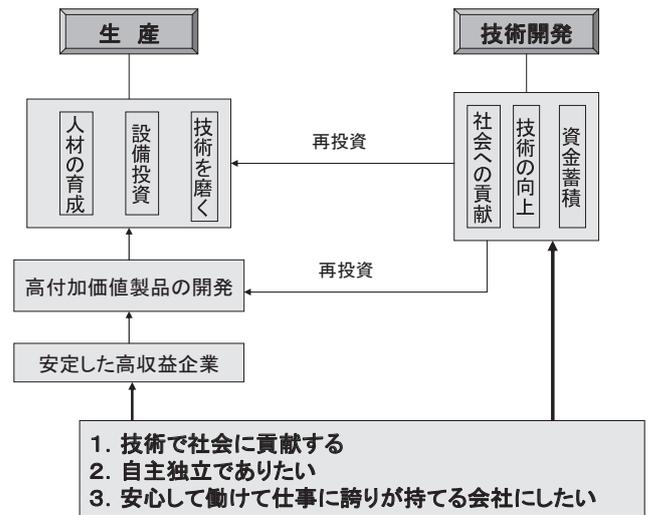


図9 事業展開の考え方

### 4. まとめ

鑄鉄溶湯中の金属化合物、不純物金属を除去する溶湯精錬炉、マンガン除去装置の概要と開発の目的について述べさせていただいた。近年鑄物産業を取り巻く環境は厳しいものがあるが、よく考えてみるとまだまだ発展していける要素はあると思われる。

#### ① 鑄物の付加価値は案外高い

あれだけ多くの部品を使ったテレビ等の家電製品の価格が鑄物 100kg と同じ程度と考えれば鑄物は良い仕事のように思われる。

#### ② 鑄物の輸出

中国、東南アジア等に行って感じることは、日本製品の品質の高さとそれに対する現地の人たちの信頼性の高さである。鑄物は自動化が難しく、地道な努力によって培われた人間の暗黙知に頼る部分が多いので品質面での優位性はなかなか縮まらないように思う。

これらの諸国の経済水準が上がってきているので、品質がよければ化粧品や食品のように多少高くても輸出ができるのではないかと考えている。何でもというわけにはいかないが、高品質を要求される製品においてはだんだん可能になってくるのではないだろうか。

そうやって日本に根を張りながら枝葉を海外に伸ばして栄養を吸収し、根、幹を太らせることで日本での生産を続け、発展させていければと考えている。将来的に根、幹がしっかりしたら、さし木をして海外に工場を作り現地のお役にたつようなことを考えてもよいのではと思っている。

夢のような話かも知れないが、このようなことを考えながら日々鑄物を作っている。

最後になりましたが、これらの研究開発は我々のような小企業では単独で実施することは難しく、資金、知識、設備等でいろいろなところから御支援をいただきながら進めている。関係者が多く個々にお名前を上げることはできませんが深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 木下 定：特許公報（昭 40.10）
- 2) 谷村他：製鉄研究（1963.8）
- 3) 藤川ほか：“新しい鑄鉄溶湯の不純物除去技術” 三重県工業研究所研究報告 No.34（2010）p.38

#### 株式会社木下製作所

〒732-0802 広島県広島市南区大州4-11-39  
TEL. 082-285-2121 FAX. 082-285-3071  
<http://www7.ocn.ne.jp/~ksworks/>