



日本鉄鋼業における独自技術の開発と現在-9

ステンレス鋼新精錬プロセス (真空AOD : VCR) の開発

Development of a New Refining Process (Vacuum-AOD : VCR)

新貝 元

Motoshi Shinkai

大同特殊鋼(株) 星崎工場長

1 緒言

ステンレス鋼精錬技術の歴史を振り返ると、その革新的進歩はステンレス鋼屑の大量使用を可能にした酸素製鋼法の導入と、低廉原料(高C Fe-Cr合金)の使用を可能にしたステンレス鋼炉外精錬法の開発であろう。特に1960年代後半に開発されたAOD、VODに代表される炉外精錬の進歩は高品質のステンレス鋼の大量生産を可能にし、ステンレス鋼の需要拡大に大きく貢献したといっても過言ではない。

ステンレス鋼のようにCrを多量に含有するFe-Cr溶融合金では、Crの影響により[C]の活量が低下するため、炭素鋼に比べ脱炭が難しくCrの酸化が助長されることから、ステンレス鋼の精錬のポイントはいかに高価なCrを酸化させずに効率よく脱炭を行うかである。

過去、数多くの研究者がステンレス鋼の脱炭反応の解析を行っているが、脱炭反応を促進する方法として発生するCO分圧を下げるのが有効であることが広く知られている。CO分圧を下げる手段として 1) 減圧下で酸素を吹き込む 2) 酸素をAr等の不活性ガスで希釈して吹き込む 方法が主流となっており、前者がVOD法(1967年～)、後者がAOD法(1968年～)として開発され、広く普及した。

しかし両法とも次に示す一長一短があった。AOD法は生産性、熱効率に優れ、SUS304に代表される汎用ステンレス鋼の精錬には適しているが、極低炭素ステンレス鋼の精錬には課題を抱えていた。すなわち低炭素領域の脱炭効率の低下により、操業コストの指標である還元材(Si)と希釈ガス(Ar)の使用量が増加するという欠点があった。一方VOD法は極低炭素ステンレス鋼の精錬においてはAOD法に比べ機能的に優れているが、高炭素領域での送酸速度が制限され、汎用ステンレス鋼の精錬プロセスとしては生産性に劣る。したがって、各ステンレス鋼製造メーカーは自社のローカルコンディションに合わせたプロセス選択を行い、コスト低減、品

質向上を推進してきた。

大同特殊鋼(株)(以下大同と略す)においても1974年をスタートにTable 1に示すように3工場にAOD、VODを導入し、ステンレス鋼製造ラインの強化を図ってきたが、1980年代後半の急激なステンレス鋼の需要増に対応するためには、製造ラインの合理化が急務となった。そこで、抜本的なコスト、品質競争力の強化を目的に、AOD法とVOD法の両法の特徴を兼ね備えた画期的な新ステンレス鋼精錬プロセスの確立を目指し、1988年にAOD法に減圧精錬機能を備えた新精錬炉(VCR: Vacuum Converter Refinerと命名)の開発に着手した。

2 新ステンレス鋼精錬プロセス開発の方針

2.1 開発の背景

電気炉をベースにしたステンレス鋼製鋼プロセスは、スクラップ原料、合金鉄などの電気炉溶解に続き、AODまたはVODによる脱炭精錬の後、連続铸造を行うものが標準的となっている。電気炉ベースのステンレス鋼製鋼においては使用する原料の低廉化は製造コスト低減において必須であり、そのため原料配合上のCは1%以上になる。溶鋼中の[C]はもちろん電気炉でも酸素吹精で低減は可能であるが、AOD対比効率面で劣るばかりでなく、電気炉が生産性阻害要因となる。もともとAODは炉外精錬のなかで高炭素域の脱炭速

Table 1 Installation of AOD and VOD in Daido Steel

AOD	VOD
1974 Hosizaki Plant (20t)	1987 Hoshizaki Plant (30t)
1979 Shibukawa Plant (20t)	
1984 Tsukiji Plant (20t)	

度、効率に優れているばかりでなく、複合吹錬法の開発¹⁾により高炭素域での送酸速度の向上が可能となり、処理時間の短縮や脱炭効率向上など機能強化を図ってきた。一方、中～低炭素領域の脱炭効率向上対策として不活性ガスによるO₂希釈率の増加²⁾、不活性ガスのみによる吹錬³⁾など気泡中のCO分圧を下げる手段がとられているが、低炭素域の弱点を克服するには至っておらず、課題を残していた。

Fig.1に大同星崎工場AODにおける低炭素域でのメタル(Cr等)酸化に消費されたO₂量を示すが、AODでの到達[C]レベルの低下に伴い、メタル酸化量の増加が顕著である。特に[C]が低くなるほど脱炭効率は悪く、極低炭素領域において大気圧下の精錬では限界があった。

2.2 開発の方針

新精錬プロセスの検討にあたっては、大同で保有する各種炉外精錬法(AOD、VOD、RH)の諸特性を比較し、また製造するステンレス鋼の材質も加味し、AOD法をベースにVOD法の特徴を有した新プロセス開発を基本方針とした。すなわち、AOD炉に真空機能を付加し、AOD法の特徴であるガスによる強攪拌機能を活かしつつ、減圧下で酸素吹精なしに溶存酸素およびスラグ中の酸化物を利用して脱炭を行う、いわゆる真空C脱酸による低炭素域の脱炭技術を着想した。

そして、新精錬プロセスでは、1) 低炭素域精錬効率の向上による精錬時間短縮、Cr歩留まり向上、還元材使用量低減 2) 脱[N]精錬機能強化によるAr代替N₂拡大による省Ar 3) 極低[C+N]ステンレス鋼の製造とコスト削減を達成しAOD法の根本的な弱点の解消を目的とした。

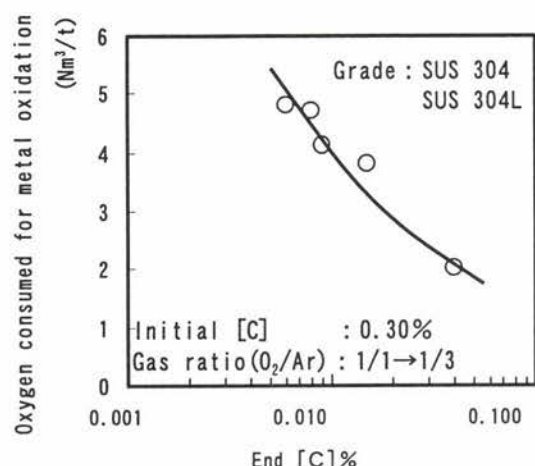


Fig.1 Oxygen consumed for metal oxidation in low [C] range

3 開発の経過

減圧装置を用いたAOD法の考えは以前よりあったが、アイデアの域を出ず、実用化にあたっては疑問視されていた。特に大量のガスを吹き込むAOD法に真空処理を適用するには以下の懸念点があった。

- ①脱炭生成ガスCOの真空装置内での爆発
- ②ベッセル上部および羽口部のシール機構と炉体揺動に対する気密性の維持
- ③溶鋼内の大量のガスによる溶鋼の飛散

新プロセスの基本冶金特性を確認するためにはこれらの懸念点を全て克服することが必要であり、炉体上部のシール方法、炉体のロック機構、真空圧力、羽口流量の減少、真空脱炭開始点など実操業を成立させるためのハード、ソフト両面の課題について1988年より詳細な検討を開始した。

当時、大同ではAOD設備を3基稼動させており、その中で最も改造が容易と考えられた渋川工場20tAOD炉を対象に簡易的な設備改造を施し、1989年1月にVCRの実証試験操業に着手した。

約1年の試験操業の結果、本プロセスの適用により、期待どおりの低炭素域([C] ≤ 0.10%)における優れた脱炭特性⁴⁾およびコスト低減効果を確認⁵⁾するとともに各種ノウハウを蓄積し、基本技術開発に成功した。そして、1990年1月には同試験設備の実機化改造を完了させAOD-VCR法によるステンレス鋼の商業生産を開始した。

さらに、約2年間の渋川工場での操業で得られたハード・ソフト両面の知見を踏まえて、ステンレス鋼製鋼部門の大幅な合理化の一環として、1991年11月に知多工場に大型70tVCRを建設し、世界で初めてのVCRによる本格的なステンレス鋼の量産ラインを完成させた^{6・8)}。

以下に知多工場70tVCRの設備とプロセスの概要、精錬特性について述べる。

4 VCR設備技術

溶鋼を減圧下で不活性ガスを用いて強攪拌処理するために、従来のAOD炉とは異なった機能を具備する必要があった。以下に設備の特徴を示す。

4.1 炉体の構造

Fig.2にVCR設備の概要を、Table 2に設備仕様を示す。炉体の気密性の確保がポイントとなるが、ベッセルを完全密閉構造にし、ベッセルのコーン部に水冷フランジを設けて、上方から移動式真空蓋をかぶせ、炉体内部を減圧できる構造にした。なおFig.3に真空蓋シール部の詳細を示すが、真空

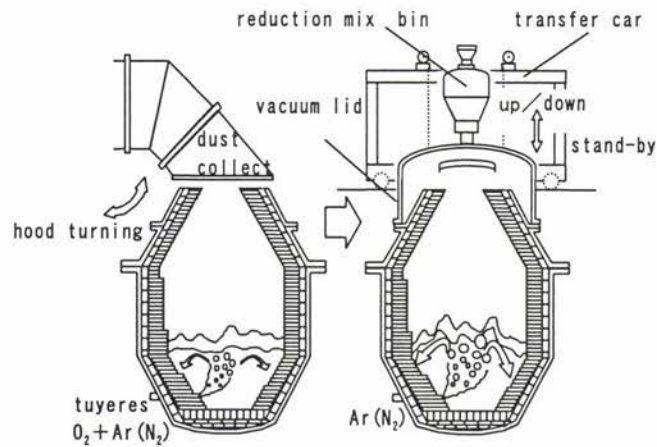


Fig.2 Schematic view of AOD-VCR

Table 2 Main specifications of 70t VCR

Item	Specification
Nominal capacity	70 t
Vessel height	6800mm
Vessel inner diameter	4000mm
Vacuum system	1 stage of steam ejector and 4 watering pumps
Vacuum evacuation capacity	6000kg/h (20℃ air) at 10.7 x 10 ³ Pa(80torr) 3500kg/h (20℃ air) at 5.3 x 10 ³ Pa(40torr)

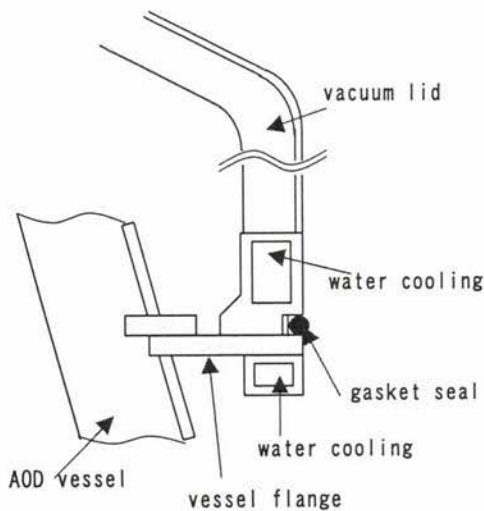


Fig.3 Seal structure between vacuum lid and AOD vessel

蓋ーベッセルフランジ間のシールにはガスケット方式を採用し、さらにFig.4に示したように羽口部もフランジ方式により完全シールを行った。

一方、減圧精錬時の炉体振動を抑えるためにバックラッシ

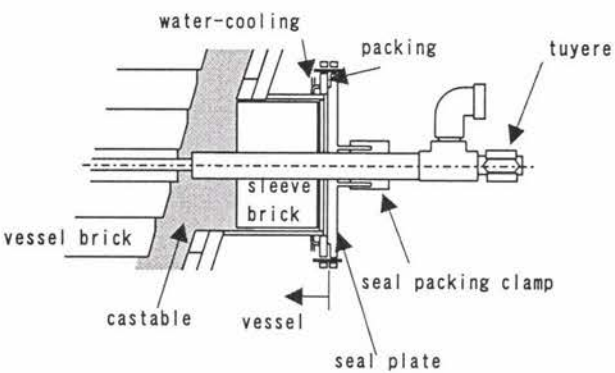


Fig.4 Seal structure around tuyere

ュレス機構シャフトマウント方式の傾動装置を採用することにより、炉体ロックを可能にした。この炉体ロック機構の採用により、ベッセル天端での振動は3～5 mmに低減する（ロック無しの場合は7～10 mm）ことが可能になり、真空蓋のシール性が向上するとともに真空ダクトペローズの振動低減にも効果を発揮した。

4.2 真空蓋の構造

Fig.2に示したように、真空蓋は昇降装置と減圧精錬中に還元材、造滓材が添加可能なホッパーを装備し、自走式の台車に組み込んだ構造とした。したがって、台車は通常のAOD 操業時には待機位置に退避していることになり、AOD 単独での操業も可能である。

また、減圧精錬下の強攪拌によるスプラッシュ飛散が懸念されたが、真空蓋の内部に内張を耐火物でライニング施工した中蓋を設けることにより、スプラッシュ対策とした。

4.3 減圧装置内のCOガス爆発対策

密閉反応容器内で脱炭反応を促進させる場合の最大の注意点はCO ガス爆発である。VCR法ではO₂吹精なしに脱炭反応を促進させるため、理論上排ガス中にO₂は存在しないが、実操業上においてはシール部のリークにより大気進入の可能性があるため、CO 爆発は無視できない課題であった。CO ガス爆発は排ガス中のCO、CO₂、O₂組成および温度により予知できるため、排ガス組成および排ガス温度の連続測定装置を導入し、減圧精錬中の常時監視を行うことでCO ガス爆発予防を可能にした。

5 AOD－VCRプロセスの概要^{9,10)}

Fig.5にオーステナイト系ステンレス鋼におけるAOD 法とAOD－VCR法の代表的精錬パターンを示す。AOD 法は、溶鋼中の[C]－[Cr] 濃度と平衡するCO ガス分圧に対して、O₂ガスと希釈ガスの比率を高炭域で高く、低炭域で低く制

御している。したがって、低炭域ほど希釈ガスの使用量が多くなる。一方、AOD-VCR法は[C]が0.10%程度までは通常のAOD法による希釈ガス脱炭を行い、AOD法の最終脱炭期に相当する第4ステップを不活性ガス（ArまたはN₂）のみで攪拌する減圧精錬を実施し、最終目標[C]まで脱炭するプロセスである。また減圧精錬の後半には減圧下の強攪拌を利用して第3ステップまでに生成したメタル酸化物の還元を行うためのSiなどを添加する。

Table 3にVCR法の根幹となる操業条件を示すが、操業条件の決定に際しては以下の点を考慮した。

- ①ガス流量は羽口が閉塞しない最低流量を設定して不活性ガスの使用量低減を図る。
- ②真空度は真空蓋直近の真空ダクトで測定し、 2.7×10^3 Paより高真空側では過度のスプラッシュ飛散が生じるため、実操業下では 2.7×10^3 Paより低真空度を選定。
- ③COガス爆発対策として、万一、各種シール部からのリークにより系内にO₂が侵入しても排ガス組成がCOガス爆発領域に入らないように、COガス発生量をコントロールするため、真空のスタート[C]は原則0.15%以下とした。

AOD	Fe-Si ↓ <table><tr><th colspan="5">Decarburization</th><th rowspan="2">Red.</th></tr><tr><th>1S</th><th>2S</th><th>3S</th><th>4S</th></tr></table>						Decarburization					Red.	1S	2S	3S	4S
	Decarburization					Red.										
	1S	2S	3S	4S												
	[%C] 1.5 <0.03															
	Gas <u>O₂</u> 65 53 22 18 0															
(Nm ³ /min) <u>Ar</u> 4 21 40 48 39																

AOD-VCR	Fe-Si ↓ <table><tr><th colspan="4">Decarburization</th><th>lid</th><th rowspan="2">VCR</th><th>lid</th></tr><tr><th>1S</th><th>2S</th><th>3S</th><th>on</th><th>off</th></tr></table>						Decarburization				lid	VCR	lid	1S	2S	3S	on	off
	Decarburization				lid	VCR	lid											
	1S	2S	3S	on	off													
	[%C] 1.5 0.10 <0.03																	
	Gas <u>O₂</u> 65 53 22 0																	
(Nm ³ /min) <u>Ar</u> 4 21 40 25																		
Pressure 20~60 torr																		

Fig.5 General refining pattern of AOD and AOD-VCR

Table 3 Operating conditions in VCR refining

Steel grade	SUS304, SUSXM7
Steel weight	70 ~ 80t
Gas flow rate	Ar or N ₂ 25 Nm ³ /min
Treatment time	10 ~ 20 min
Pressure	2.7 ~ 8.0 x 10 ³ Pa (20~60torr)
Initial [%C]	0.05 ~ 0.15%
Bath temperature	1710 ~ 1760 °C

5.1 VCRの精錬機能

5.1.1 脱[C]機能

Fig.6、Fig.7に代表鋼種であるSUS304とSUSXM7の減圧処理中の[C]挙動をそれぞれ示す。なお処理時間は減圧処理開始から還元材投入までの時間である。VCRは高真空度を必要とせず、短時間で極低[C]レベルを達成できるプロセスといえる。

ここで、脱炭反応を[C]の拡散律速と考え、一次反応と仮定すると脱炭速度は次式で表すことができる。

$$-\frac{d[C]}{dt} = K_c ([C] - [C]_e) \dots \dots \dots (1)$$

K_c：見かけの脱炭反応容量係数 (min⁻¹)

[C]：[C]濃度 (%)

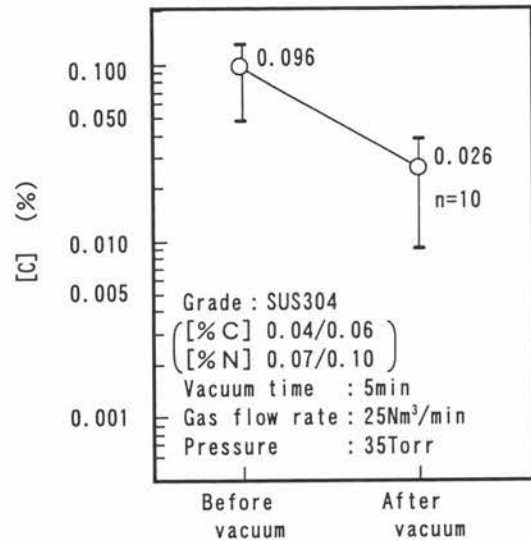


Fig.6 Change of carbon content during VCR (SUS 304)

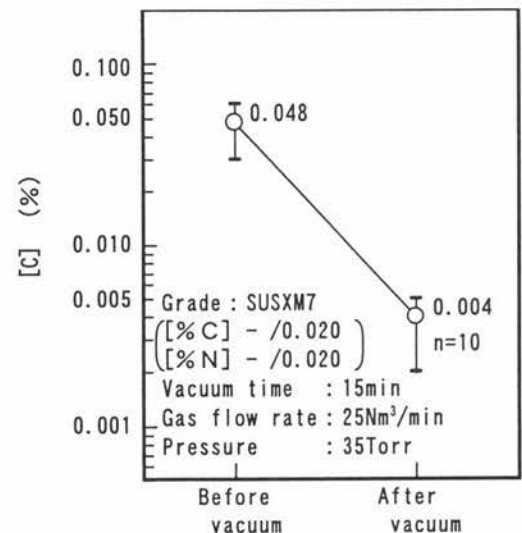


Fig.7 Change of carbon content during VCR (SUS XM7)

[C]_e : 平衡 [C] 濃度 (%)

t : 時間 (min)

(1) 式において [C]_e = 0 として求めた K_c と攪拌エネルギー密度 $\dot{\epsilon}$ の関係を Fig.8 に示す。

ここで攪拌エネルギー密度 $\dot{\epsilon}$ は (2) 式¹¹⁾ を用いて算出した。

$$\dot{\epsilon} = (6.185QT/W) \{ (1 - 298/T) + \ln(1 + H/148P^*) \} \quad (2)$$

$\dot{\epsilon}$: 攪拌エネルギー密度 (watt/ton)

Q : 吹き込みガス量 (Nm³/min)

T : 溶鋼温度 (K)

W : 溶鋼重量 (ton)

P* : 雰囲気圧力 (atm) (1.01 × 10⁵ Pa)

H : ガス吹き込み深さ (cm)

VCR法はAOD法に比べ吹き込みガス量が少ないにもかかわらず、減圧精錬のため攪拌エネルギーが大きく、K_cが大幅に向上していることがわかる。

またここでVCR法の吹き込みガスとしてN₂を使用した場合のK_c値がArを使用した場合と比べ大きいのは、溶鋼中に溶解した[N]が溶鋼表面近傍において微細なN₂気泡となり脱炭反応を促進するためと考えられる。

次に減圧処理中に還元材を投入しないチャージにおけるVCRプロセス前後のΔ[O] %とΔ[C] %の関係をFig.9に示す。

Δ[O] %とΔ[C] %の変化は化学量論的關係から大きく偏倚しており、脱炭の酸素源としてスラグ中のFe、Cr、Mn等の金属酸化物が寄与していると考えられる。すなわちVCRにおける総括的な脱炭反応は (3) 式で表すことができ

ると推察される。



ここでMe_xO_yはFe、Cr、Mn等の金属酸化物である。

酸素を利用しない脱炭技術の効果を確認するため、AOD-VCRプロセスにおける吹止め[C]レベルとSi原単位の関係を調査した。その結果をFig.10に示す。

従来のAOD法では低炭素域になるに従い脱炭効率が低下し、金属酸化O₂量の増加が顕著である。一方、VCR法では熱裕度確保のためVCR前の金属酸化O₂量が従来のAOD法対比若干高位となっているが、減圧処理後には処理前レベルより減少傾向にある。すなわち、VCR法では減圧精錬を適用する最終脱炭期には高炭素領域に生成した酸化物を酸素源として脱炭を進行させることができるため、極低炭素領域までCr等の金属を酸化させることなく効率的な脱

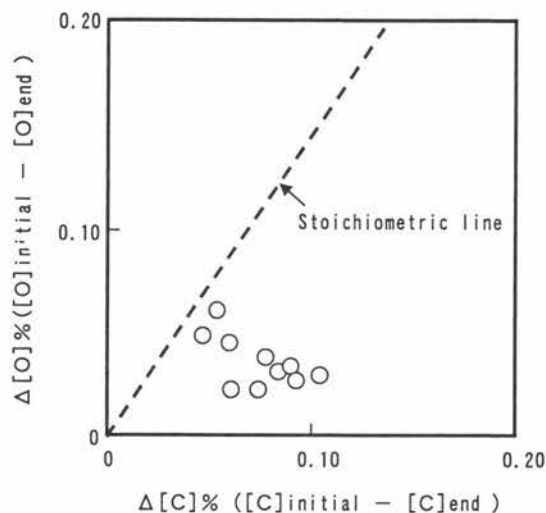


Fig.9 Relation between Δ[O] % and Δ[C] % during VCR treatment

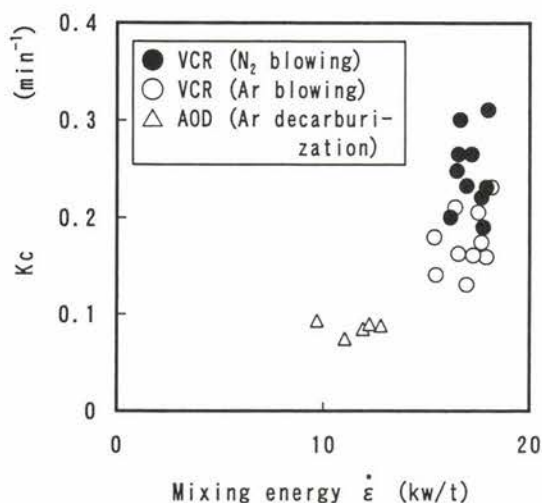


Fig.8 Effect of mixing energy on apparent decarburization rate constant

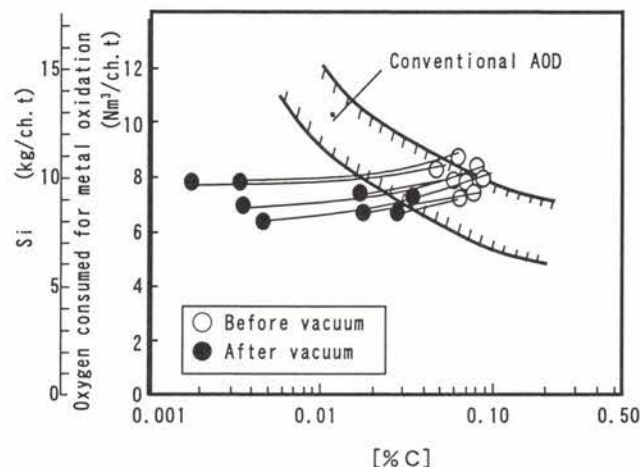


Fig.10 Effect of VCR treatment on oxygen consumed for metal oxidation

炭が可能となり、大幅な還元材の低減効果が得られる。特に低炭素ステンレス鋼における効果が大きいことがわかる。

5.1.2 脱[N]機能

AOD法では要求される[N]レベルに応じて適切な時期より酸素希釈用の吹き込みガスをN₂からArに切換えて[N]のコントロールをしており、AOD-VCR法においても基本的な考え方は同じである。しかし、VCR法の場合には減圧精錬時の高い脱窒能によりN₂からArへの切換えタイミングをAOD法よりさらに処理末期に移行することが可能である。

Fig.11はAOD-VCR法において減圧処理終了までオールN₂操作を行ったときの[N]レベルを調査したものである。なお、P_{N₂}=1atmの時の窒素の平衡値[%N]_eは(4)式¹²⁾で求めた。

$$\begin{aligned} \log [\%N]_e = & -188/T - 1.25 - \{ (3280/T - 0.75) \\ & (0.13[\%C] + 0.047[\%Si] \\ & + 0.01[\%Ni] - 0.01[\%Mo] \\ & - 0.023[\%Mn] - 0.045[\%Cr]) \} \end{aligned} \quad (4)$$

減圧処理後の[N]レベルは操作圧力とほぼ平衡関係にあり、例えば[N]レベルを0.08%程度にコントロールしているSUS304のような鋼種では、減圧処理終了までオールN₂操作が可能であることがわかる。

Fig.12に出鋼後の[%N]とAr原単位の関係を示す。AOD-VCR法ではVCR時の高い脱窒能によりN規格に応じて高価なArガスの原単位を大幅に低減することができる。

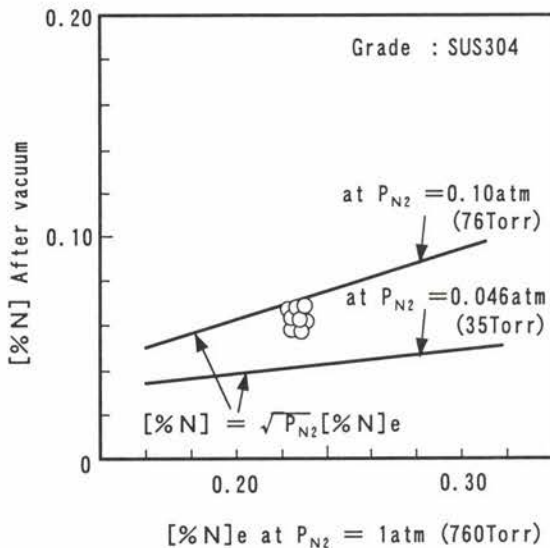


Fig.11 Comparison of the calculated nitrogen content with measured values after VCR treatment with N₂ blowing

5.1.3 到達[C+N]

AOD-VCRプロセスは優れた脱炭機能により極低Cは容易に達成することができるため、極低[C+N]ステンレス鋼溶製時には低窒素化が重要なポイントとなる。ステンレス鋼はその組成から平衡窒素濃度が大きく異なるため、VCR法の低窒素化を評価する手段として、(4)式から算出できるP_{N₂}=1atmとした時の[%N]_eとVCR法で得られた到達[%N]の関係を求め、平衡している見掛け上のN₂分圧を推定した。その結果をFig.13に示す。

ここで[%N]_eと[%N]の関係は(5)式で与えられる。

$$[\%N] = P_{N_2}^{1/2} [\%N]_e \quad (5)$$

Fig.13は20分のVCR処理を実施した結果であるが、VCR法は見掛け上のN₂分圧がほぼ0.0005atmに相当する平衡[N]レベルを達成可能なプロセスであり、脱Nという点で

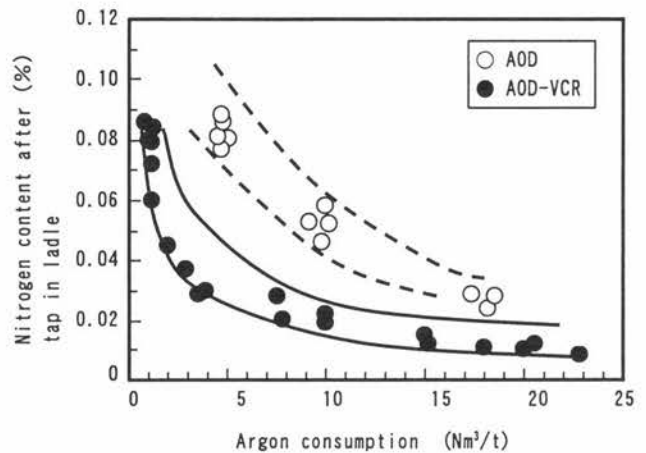


Fig.12 An empirical relation between nitrogen content and argon consumption

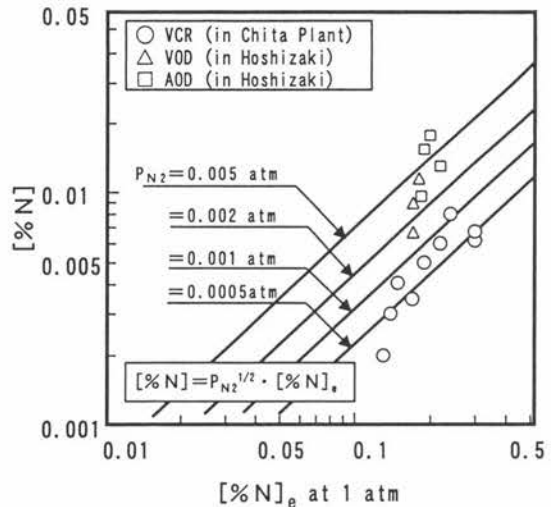


Fig.13 Comparison of the calculated nitrogen content with observed values after VCR with argon blowing

も高い精錬能力を示すことがわかる¹³⁾。

Table 4にAOD－VCRプロセスにおける代表的なステンレス鋼の到達 [C]、[N] レベルを示す。20分間の減圧精錬の適用により到達 [C+N] は13Crステンレス鋼で50ppm、20Crステンレス鋼でも100ppmが得られている。このようにVCRプロセスはVOD法のような高真空度 (≦133Pa) を必要とせず、短時間でVOD法と遜色ない極低C・Nレベルまで脱炭・脱窒が可能である。

6 経済性効果

Table 5に知多工場70tVCRにおける新精錬プロセスの経済性評価をAOD法と対比し示す。

- 本プロセスの経済性評価をまとめると次のようになる。
- (1) 減圧精錬適用時の見掛けの脱炭反応容量係数KcはAOD法対比約2倍になり脱炭速度が向上し処理時間が短縮できる。
 - (2) 脱炭の酸素源としてスラグ中酸化物の寄与が大きく、O₂吹精なしにいわゆる真空C脱炭で反応が進行するため、還元用Si原単位が低減できる。
 - (3) 減圧精錬時の高い脱窒能によりAOD法対比大幅にAr原単位を低減できる。特に、Table 5に示したようにVCR法適用による効果は低 [C]、[N] ステンレス鋼であるSUSXM7の方が顕著であり、AOD－VCR法は低 [C]、

Table 4 Attained [C] and [N] in VCR process

(ppm)			
	13Cr	20Cr	18-8
C	20	20	20
N	20 ~ 40	70 ~ 90	60 ~ 80
C+N	40 ~ 60	90 ~ 110	80 ~ 100

Table 5 Economical benefit of AOD-VCR in comparison with AOD process

Grade	Spec. (%)	Items	Process		Gain
			AOD	AOD-VCR	
SUS304	C 0.04/0.06 S 0.020/0.030 N 0.07/0.10	Time(min)	48.1	45.5	2.6
		Si (kg/t)	13.5	11.8	1.7
		Ar (Nm ³ /t)	4.3	1.2	3.1
		N ₂ (Nm ³ /t)	17.1	15.0	2.1
SUSXM7	C ≦0.020 S ≦0.002 N ≦0.020	Time(min)	74.3	65.3	9.0
		Si (kg/t)	17.5	12.0	5.5
		Ar (Nm ³ /t)	33.8	22.0	11.8
		N ₂ (Nm ³ /t)	-	-	-

[N] ステンレス鋼の溶製の有効なプロセスといえる。

7 結言

大同知多工場にステンレス鋼新精錬炉VCRを建設し、知多工場で本格的なステンレス鋼の量産体制を確立した。1991年建設以降、生産量を順調に伸ばし、1994年には量産ステンレス鋼のほぼ全量を星崎工場から知多工場への生産移行を完了した。さらに本プロセスの操業技術確立により、VOD法に比べ短時間で容易に極低C・Nステンレス鋼の溶製が可能となったことから、従来星崎工場のVOD法で溶製していた鋼種も知多工場に順次移行し、1995年4月には星崎工場製鋼工場を完全に休止し、製鋼部門の大幅な合理化を達成した。その後も多くの技術改善を実行しながら現在に至っている^{14, 15)}。

また、本法は1996年新日鐵住金ステンレス株式会社光製造所の60tAODにも採用され、優れた精錬特性を発揮している¹⁶⁾。

AOD法は高生産性などの利点から、1970年代以降急速に普及し、現在ではステンレス鋼の約70%がAOD法で生産されている。本技術は長年にわたり解決できなかったAOD法の弱点を解消した画期的新精錬プロセスであり、今後、世界のステンレス鋼精錬法の主流であるAODプロセスに技術革新をもたらすものと確信している。

参考文献

- 1) 大同特殊鋼 (株), 私信, (1982年3月)
- 2) 大野剛正, 西田祚章: 鉄と鋼, 63 (1977) 13, 2094.
- 3) 大同特殊鋼 (株), 私信, (1977年12月)
- 4) 中山傑, 松淵周司, 佐久間仁, 井坂剛: 材料とプロセス, 6 (1993), 204.
- 5) T. Kishida, H. Ushiyama, Y. Hasegawa and T. Yajima: Scand. J. Metallurgy, 22, (1993), 173.
- 6) 森井廉, 久村修三, 森広司, 新貝元, 佐久間仁: 電気製鋼, 64 (1993), 4.
- 7) 森井廉, 森広司, 稲垣佳夫, 新貝元, 津野雅英, 久村修三: 材料とプロセス, 6 (1993), 205.
- 8) 森井廉, 小沢正俊, 新貝元, 津野雅英, 永谷哲洋, 森広司: 鉄と鋼, 79 (1993), T137.
- 9) 稲垣佳夫, 新貝元, 津野雅英, 永谷哲洋, 森広司: 材料とプロセス, 7 (1994), 1068.
- 10) 稲垣佳夫, 新貝元, 津野雅英, 永谷哲洋: 電気製鋼, 66 (1995), 11.
- 11) Y. Sundberg: Scand. J. Metallurgy, 7, (1979), 81.
- 12) J. Chipman and D.A. Corrigan: Met. Soc. AIME,

- 233 (1965), 1249.
- 13) 中坪修一, 新貝元, 津野雅英, 永谷哲洋, 松谷博司:
電気製鋼, 67 (1996), 62.
- 14) 松淵周司, 井坂剛, 中山傑: 材料とプロセス, 6 (1993),
1112.
- 15) 天野肇, 永谷哲洋, 江口潤: 電気製鋼, 74 (2002), 49.
- 16) 五十嵐昌夫, 田中智昭, 岩崎央, 槇野伸幸, 沖森麻佑
巳, 中尾隆二, 下村健介: 材料とプロセス, 12 (1999),
750.

(2005年3月10日受付)

ブックレビュー

鉄理論＝地球と生命の奇跡

矢田浩 著

2005年3月 講談社現代新書発行

B6判 222頁 定価720円(消費税別)

鉄鋼製造プロセスや鉄鋼材料の開発に携わる技術者・研究者は、鉄が生命を支える重要元素であることを日頃余り意識していないが、そういった会員諸氏にとり、本書の内容は著者の化学者らしい洞察に溢れており、もう一度元素としての鉄を広い視野から見直し、新たな鉄の価値を理解するのに有益である。著者は1961年に東大・化学を修了して八幡製鉄に入社、鉄鋼材料の開発研究に従事し、その後1991年に静岡理科大学に移り2004年まで教授を務めた。

著者は執筆の動機について「鉄はすべての元素のなかでもっとも安定な原子核を持ち、その持っている電子の数のために、生命にとっても、現代文明にとっても、かけがえがない機能を持つ元素となった。このことが、生命の誕生と発展のなかで、またさらに人類文明の展開のなかで、数々の奇跡を起こしてきた。・・・(中略)・・・自分で驚いているだけでなく、その驚きを人に伝えたいと思ったのは、地球と文明の将来に関わりがあるからである」と述べている。

本書は、奇跡の誕生(第1章)、生命は鉄にどのように依存しているか(第2章)、鉄から見えてくる生命の歴史(第3章)、鉄が人類を救うか(第4章)、鉄が人類に高度な文明をもたらした(第5章)、鉄から見た文明史(第6章)、鉄器時代は終わらない(第7章)から成る。このうち1章から3章までは生化学に関わる鉄の話であり、鉄鋼技術者にはあまり馴染みのない世界が大変興味深く展開されている。たとえば、「生物は酸化還元反応によりエネルギーを獲得する。古代生物において酸化還元反応の主役は鉄であった。その意味で古代生物は3価の鉄を呼吸していた。」などと記述されている。会員諸氏の多くは直接・間接に鉄で生計を立てている、言いかえれば「鉄で呼吸している」とも言えるわけであるが、著者の「鉄学」に共鳴しつつ引き込まれる。

4章では海洋の炭酸ガス吸収力を飛躍的に増大させて地球温暖化を防止しようとする試みが取り上げられる。世界の海には、窒素やリンなどの栄養分が十分あるのに、植物プランクトンが少ない海域がある。それは世界各所にあり、広い面積を占めている。アメリカの海洋科学者マーチン博士は、これらの海域では特に鉄分濃度が低いことを見出した。彼はタンカー一杯分の鉄を撒けば世界で1年に発生する炭酸ガスの半分を吸収できる、と予言した。これが「鉄仮説」であるが、これはその後の実験により、今や「鉄理論」に進化したと著者は主張する。是非一読をお薦めする。

(静岡理科大学 中西恭二)