

新日本製鐵八幡製鐵所における真空脱炭技術の発展

Development of Vacuum Decarburization Technologies at Yawata Works, Nippon Steel

沖 森 麻佑巳^{*(1)}
Mayumi OKIMORI

抄 録

DH法やREDA法は八幡製鐵所で開発された普通鋼の脱炭技術である。これら技術の特徴を述べ、極低碳素鋼の脱炭到達レベルと脱炭速度定数を評価した。特に溶鋼還流量、反応界面積や吹き込みガス量に注目し、DH、REDAとRHの脱炭能力を比較した。REDA法はDH法よりも優れており、RH法と同等の脱炭能力を有することが判明した。また、REDA法とRH法の吹き込みアルゴンガス量の増大は限界になっており、今後は溶鋼内での微細気泡発生技術を開発することが重要である。

Abstract

Characteristics are described herein of the DH and REDA vacuum decarburization technologies developed at Nippon Steel's Yawata Works for applications to ordinary steels. Their attainable decarburization level and decarburization rate-constant were evaluated regarding their applications to ultra low C steels. The processes were also compared regarding decarburization capacity, focusing especially on steel circulation amounts, reaction boundary area and Ar gas injection amounts. As a result, decarburization capacity of REDA was found to be superior to that of DH and nearly the same as that of RH. Because the amount of the Ar gas injection cannot be increased any more in the operation of REDA and RH, development of a method to generate fine bubbles in molten steel is an important task in the near future for improving the decarburization capacity.

1. 緒 言

DH真空脱ガス技術は、1960年初頭にドイツから日本に導入され発展し、品質や生産性の向上、コストダウンに大きな役割を果たした¹⁾。日本でDHを初めて導入した八幡製鐵所は、スリム型DH²⁾に続いて、新方式REDA (Revolutionary Dégassing Activater)³⁻⁵⁾を開発した。本小論では、DHからREDAに至る脱炭能力拡大を追跡し、DH、REDA、RHを比較評価し、今後のより強力な脱炭技術の開発方向を考察する。

2. DH法およびREDA法の開発と特徴

八幡製鐵所の真空脱[C]技術は、DHからREDAへと開発が進み、その変遷は第I期～第IV期に分類できる。図1を基に、各期で開発された技術のポイントや脱[C]到達値等を以下に要約する。

2.1 第I期(1960～67年)：DHの基本機能の把握

八幡製鐵所では1959年に25t DH脱ガス試験を開始し、1962年に70t DHを2基導入した。当期中、CO反応による脱[C]機構の解明や脱炭に寄与する操業因子(吸上速度と溶鋼量、昇降回数、槽内の溶鋼残留量等)を定量化し、処理後[C]：0.02%の低炭素領域まで到達した。またRI(¹⁹⁸Au)を活用して合金の溶解状況を調査し、均一混合時間 τ の考え方を導入した。

2.2 第II期(1968～78年)：DHの機能拡大及び大型化

2.2.1 機能拡大

1969年に低[C]溶鋼では脱[C]速度が低下することが示されたが、処理前の[C]と[O]を最適に組み合わせ、到達最小[C]値として50～100ppmが報告された。1970年に70t DHで吸上管からArガスを吹き込み、処理後[C]：0.014～0.02%の極低碳素ステンレス鋼を製造した。Arガス吹き込みは脱[C]に大きな効果を発揮することが判明し、以後採用されることになった。

2.2.2 大型化

設備大型化が粗鋼生産の増大を支え、DHにも大型化による大量処理が要求された。1969年に八幡/戸畑180tの大型DHが稼働を開始し、1973年に生じた第一次石油危機に対応して一層のコストダウンを進めた。

2.3 第III期(1979～90年)：スリム型DHの開発と極限追求

2.3.1 スリム型DH開発

第二次石油危機(1979年)後の鉄鋼業では品質厳格化が進み、薄板材の連続焼鈍化に対しては極低碳素鋼の大量処理が要求された。八幡では炉容330tの新製鋼工場の真空設備として、新しくスリム型DH脱ガス設備を導入し1979年に稼働開始した(330t-T-スリムDH)⁶⁾。これは図2(a)のように、槽を従来よりも縦長型にし、槽外

^{*(1)} 光技術研究部 部長
山口県光市島田3434 ☎743-0063 ☎(0833)71-5118

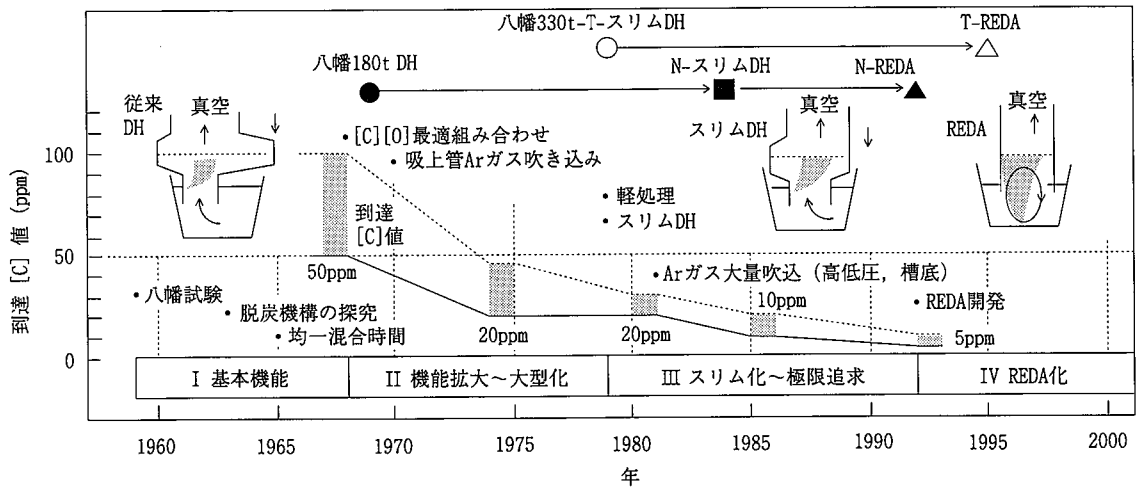


図1 DH, REDAの主要技術変遷

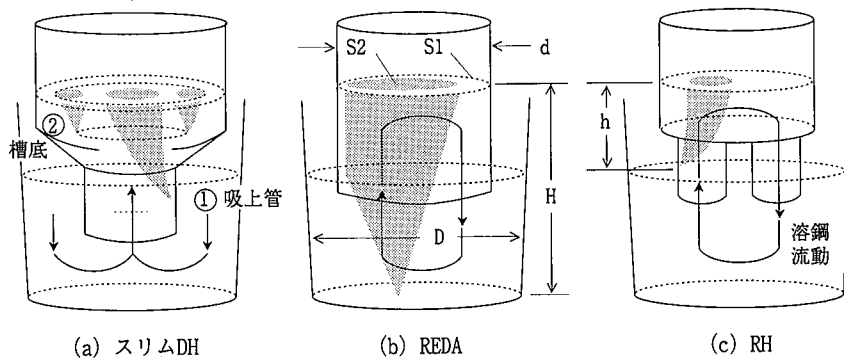


図2 槽形状とArガス吹き込み位置

径を取鍋の内径よりも小さくして槽を取鍋内に装入し、昇降ストロークを長くして一回の溶鋼の吸上量を増大させた。加えて昇降回数/分を多くし、1分間当たりの溶鋼循環量Qを大きくし、取鍋内溶鋼の攪拌エネルギーが増加して均一混合時間 τ も大幅に短縮された。さらに、1984年に八幡180t-N-DH⁷⁾をスリム型DHに改造した。

2.3.2 Ar大量吹き込みによるDHの極限追求

スリム型DHにおいて、1980~1985年頃に図2 (a)のように、①吸上管、②槽底部において多量のArガスを吹き込み、脱[C]向上が試みられた。吸上管からのArガス吹き込み(図2 (a)①)では、溶鋼を槽内に吸い上げる時は高圧多量で、取鍋に排出する時は低圧少量のArガスを吹き込んで、溶鋼の流れにガスが抵抗することを抑制する方式を開発した¹⁾。本方式によりArガスを大量に吹き込んだ場合の脱[C]の時間推移を図3に示す¹⁾。ガス吹き込みの無い場合のAに対して、Bの2500 l/minでは、[C]: 50~20ppm範囲の脱[C]速度が上昇し、20分の処理で約10~20ppmまでに低減した。このときの脱[C]速度定数 K (l/min) = 0.15である(ここで K 値 (l/min) は、 $d[C]/dt = -Kt$ において、炭素濃度[C](%)、処理時間 t (min)で、脱ガス開始 $t = 0$ min, 脱[C]後 $t = 15 \sim 20$ minで計算)。

しかし約3000 l/minのガス吹き込み量では、槽内から取鍋に戻ってくる溶鋼の追従遅れが発生し、吹き込みガス量には限界があることが明らかになった。次に槽底部からのArガス吹き込み(図2 (a)②)については、槽内でのスプラッシュの発生が多く脱[C]促進効果はあったが⁸⁾、槽底羽口の溶損状況が把握できないことやスラグが槽底に残存し羽口を埋めて安定操業が不可能になること等から実

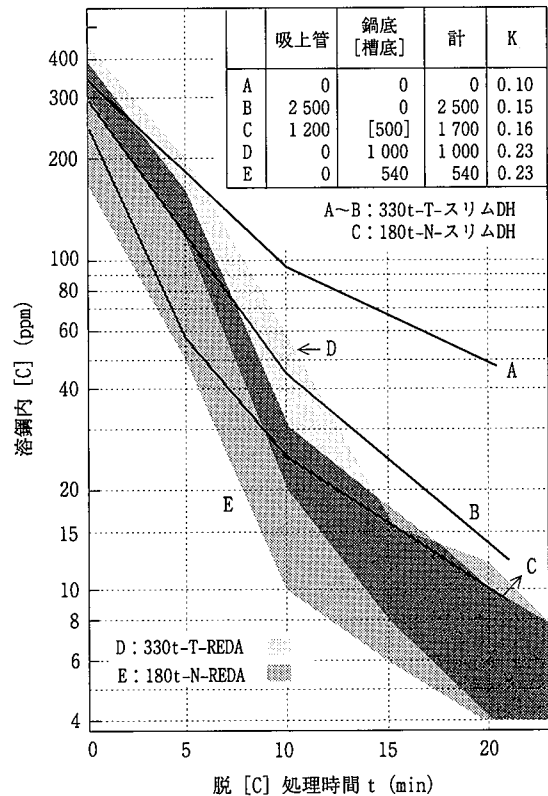


図3 DHとREDAの脱[C]曲線

機化ができなかった。なお、180t-N-スリムDHでは、吸上管および槽底部からのArガス吹き込みで、図3のCのように20分処理で10ppmまで脱[C]が進行した¹²⁾。

2.4 第IV期(1991~99年)：DHのREDA化

2.4.1 REDA導入

取鍋底部から連続的にガスを吹き込み溶鋼循環流をつくる方式では均一混合時間が十分に短いことをヒントに、1991年に180t-N-スリムDHを改造して新方式REDAを開発し、1994年に330t-T-スリムDHをREDAに改造した^{3,5)}。REDAは、図2(b)のように槽は従来の吸上管よりも大きめの径を有し、昇降は実施しない。槽内に取鍋底部からArガスが吹き込まれ脱[C]が進行し、槽と取鍋間で溶鋼の循環流が発生する。REDAはスリム型DHよりも脱[C]能力にすぐれていることが判明した。

2.4.2 REDAによる脱[C]能力向上

REDAでは、図2(b)の幾何学的な関係において、湯面高さHが高くなるとガス攪拌力が増加し、さらに槽内界面積S1と槽内Arガス暴露面積S2が広がると脱[C]が進行する。一方、槽径dを大きくすると槽内界面積S1は大きくなり脱[C]は進むが、湯面高さHは低くなり暴露面積S2が小さくなって脱[C]は抑制される。従って最も大きな暴露面積S2となる最適な槽径dの選択が必要になる。330t-T-REDAでは、槽径dは約2mで取鍋内径Dに対してd/D=0.5である^{6,11)}。均一混合時間 τ を水モデルで調査した結果、スリムDHで約80sであったが、REDAでは約65sとなっており、約20%の短縮となった⁵⁾。その結果、実機の330t-T-REDAでは約200t/min、180t-N-REDAでは約160t/minの溶鋼還流量となった。

図3は、スリムDHを改造した330t-T-REDA(D)と180t-N-REDA(E)の脱[C]挙動である^{3,4)}。この図から明らかなように、REDAでは約15分処理で約10ppmが得られており、20分では10~5ppmに到達し、スリムDHよりも脱[C]速度が大きいことが判明した。こうして、図1に示すようにDH導入から35年にして、REDAによって10~5ppmが実操業で容易に得られることになった。

3. スリムDH、REDA、RHの脱[C]能力の考察

以下に脱[C]速度を決定する溶鋼還流量Q、反応界面積S、吹き込みArガス量Aに注目し、スリムDHとREDAの脱[C]能力を比較する。また最近の文献からRHの脱[C]能力を調査し、スリムDHやREDAと比較評価する。

3.1 スリムDHとREDAの比較

3.1.1 溶鋼還流能力の比較

脱[C]能力の増大には、取鍋内溶鋼を多量に真空槽内に循環せしめ真空中に暴露させることが必要である。図4のように還流量の指標：還流量I (l/min) = 溶鋼還流量Q(t/min)/炉容W(t/heat)は、従来形状DHからスリム型DHへの改善により大幅に増加し、さらにREDA化により約20%の増加がはかられた。

3.1.2 槽内の界面積の比較

図5は、従来形状DHからスリム型DH、さらにREDA化への進展において、真空槽内の界面積S(真空槽の断面積)と脱[C]速度定数Kを比較したものである。従来形状DHからREDA化へと槽内界面積Sが小さくなっているにもかかわらず、従来形状180t-N-DHのK:0.12が、スリム型化でK:0.15~0.16となり、REDA化でK:0.23に増加した。

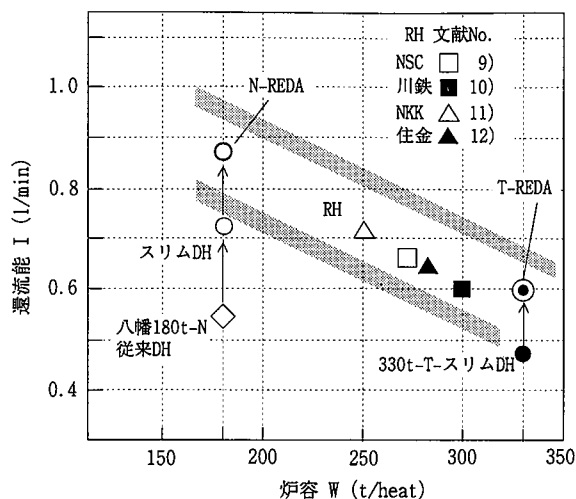


図4 炉容と還流量の関係

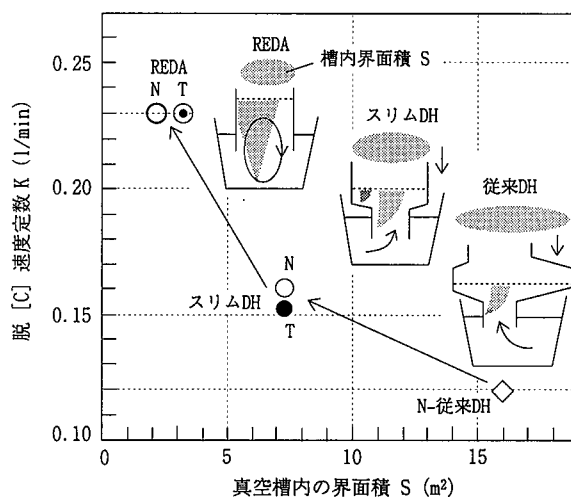


図5 槽内界面積と脱[C]速度定数の関係

3.1.3 吹き込みArガス量の比較

脱[C]速度定数Kと吹き込みArガス量A (l/min・t)の関係を図6に示す。スリム型DHではArガスの増加に比例して速度定数Kは増加したが、結局、速度定数K:0.15~0.16が限界となっている。スリムDHからREDA化では、Arガス量は2~4 l/min・t⁵⁾でスリムDHの半分以下となったにもかかわらず、速度定数K:0.23と大幅に増加している。

以上述べたようにREDAのK値が大きいのは、前述の溶鋼還流量Qの増加と真空中に暴露されるスプラッシュ増加⁵⁾で得られた効果である。

3.2 REDAとRHの比較

3.2.1 脱[C]能力比較

図4に見られるようにRHの還流量IはREDAと同じ傾向の帯の中に入っている。また図6から、REDAの速度定数K:0.23が、最近の公開文献から調査したRHの速度定数K:0.22~0.24^{9,15)}と同等で、REDAとRHは同じ脱[C]能力を有していると考えられる。

3.2.2 Arガス増大の限界

図6から、RHのArガス量AはREDAに対して圧倒的に大きい。これは、真空面から深い湯面高さH(図2(b))のもとでガスを吹き込むREDAに対して、浸漬管から浅い湯面高さh(図2(c))でガス

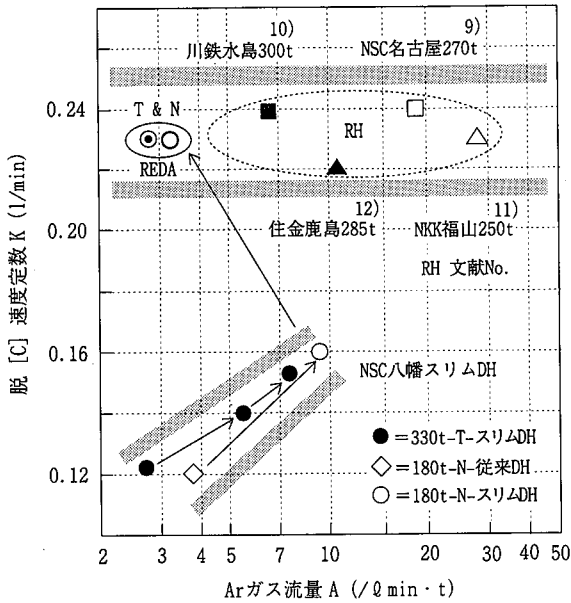


図6 Arガス流量と脱[C]速度定数の関係

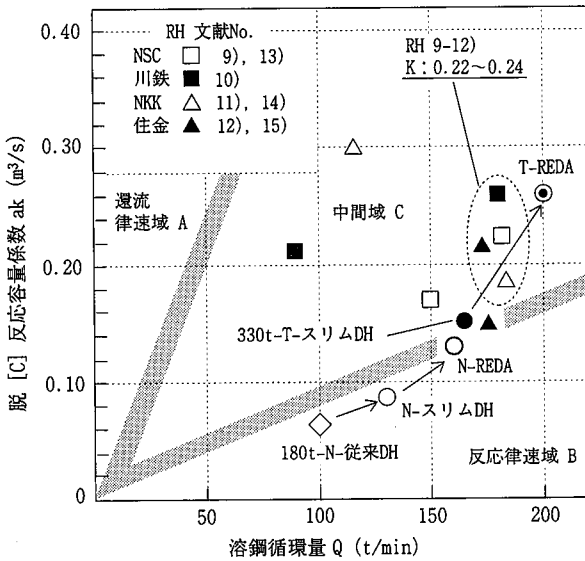


図7 循環量と脱[C]反応容量係数との関係

を吹き込むRHが大量の攪拌ガスを必要とするためである。RHではArガス量を増大させても速度定数Kは増加してない。一方、REDAでは現状以上にArガスを吹き込んで循環流が乱流化し、ガス増加は有効ではないと考えられる。

3.3 今後の課題(微細気泡発生機構の導入)

脱[C]速度定数K (l/min)は、溶鋼の還流速度Q'(m³/min)、取鍋

内溶鋼量V(m³)、脱[C]反応容量係数ak(m³/min)等との関係で、 $K = (Q' \times ak) / (V \times (Q' + ak))$ で表現される¹⁶⁾。図7は還流量Q(t/min)と脱[C]反応容量係数akの関係のプロットしたものである。還流律速域Aと反応律速域Bの中間領域Cにおいて、矢印のように従来DHからスリムDHを経てREDAへと還流量Qと容量係数akが増大している。しかし大型のRHとREDAは共に、還流量Qの限界が約200t/minとなっている。従って、今後は容量係数akの一層の増加が重要である。例えば、REDAの大きな溶鋼循環流の中により微細な気泡発生機構を取り込み、真空中に暴露される気泡面積を一層増大させることが解決策の一つとして考えられる。

4. 結 言

八幡製鐵所に導入されたDHは機能拡大や大型化等を経て、循環流を連続化したREDA法に新展開をした。本小論の技術史的な考察から、特に反応容量係数akの増大に注目した微細気泡生成技術の開発が、今後ますます必要である。

参考文献

DHとREDA関連

- 1) 沖森麻佑巳:鉄と鋼. 79, 1(1993)
- 2) 王寺睦満, 工藤和也, 平野真悟, 沖森真弓, 小菅俊洋, 武田欣明:鉄と鋼. 66, S250 (1980)
- 3) 青木裕幸, 古田仁司, 平島直樹, 北村信也:CAMP-ISIJ. 11, 757(1998)
- 4) 青木裕幸, 古田仁司, 藤原邦彦, 山下幸介, 米澤公敏, 北村信也:CAMP-ISIJ. 11, 758(1998)
- 5) Aoki, H., Kitamura, S., Miyamoto, K.:Iron & Steel Maker. July, 17-21 (1999)
- 6) Ohji, M., Tanizawa, K., Kohtani, T.:Stahl und Eisen. 101 (10), 39(1981)
- 7) Takeuchi, T., Takeda, Y., Kawanishi, H., Moritama, N.:Proc. 8th ICVM. 1985, p.701
- 8) 辻野良二, 小島正道, 遠藤公一, 沖森麻佑巳, 小倉順, 中島潤二:鉄と鋼. 76, 1953 (1990)

RH関連

- 9) 国武意智, 今井正, 田崎智晶, 松尾充高, 東和彦:CAMP-ISIJ. 9, 702(1996)
- 10) 桐原理, 山口公治, 加藤嘉英, 上原博英, 水藤政人, 浜上和久:CAMP-ISIJ. 6, 142-145(1993)
- 11) 桜井栄司, 粕谷昌紀, 吉岡敬二, 田辺治良, 村井剛, 松野英寿:CAMP-ISIJ. 10, 953 (1997)
- 12) 青木伸秀, 尾花友之, 池永寛, 吉田克磨, 城田良康, 興紹昌平:CAMP-ISIJ. 3, 156-159(1990)
- 13) 東和彦, 小野山修平, 梅沢一誠, 渡辺久, 大貫一雄, 水上義正:CAMP-ISIJ. 3, 168-171(1990)
- 14) 井上茂, 碓井務, 古野好克, 福味純一:CAMP-ISIJ. 3, 164-167(1990)
- 15) 黒川伸洋, 谷川克也, 西田宏二, 城田良康, 興紹昌平:CAMP-ISIJ. 6, 134-137 (1993)
- 16) 住田則夫, 藤井徹也, 小口征男, 森下仁, 吉村啓介, 数土文夫:川崎製鉄技報. 15 (2), 152-157(1983)