

特別講演

UDC 669.14.018.2/8-669.18

製鋼技術の進歩発展と特殊鋼について*

武 田 喜 三**

Recent Developments of Steelmaking Technology and the Situation of Special Steels in Japan

Kizo TAKEDA

1. 緒 言

本日は皆様方の御推挙により渡辺義介賞を頂きまことに身に余る光栄と存じ心から御礼申し上げます。今後も一層鉄鋼業のために微力を尽くしたいと考えて居りますのでよろしく御指導御鞭撻を御願い申し上げます。

この機会に「製鋼技術の進歩発展と特殊鋼について」申し上げます前に、鉄鋼業界に身を投じて 40 有余年、ふりかえつて見ますと走馬燈の様にいろんな事が思い出されるのであります。その中で印象の強い思い出話をさせて頂きたいと存じます。

(1) 平炉のガスポート

私は日本鉄鋼業の進歩発展については、各学協会特に日本鉄鋼協会の功績は見逃す事にはできないと思います。ことに鉄鋼技術共同部会の各部会の活躍は目覚ましかったのであります。これは戦前からもありましたが、昭和 14 年に神戸で製鋼部会が開かれた時の事です。私は時の八幡製鉄所の松原武三郎製鋼部長のお伴で出席しました。松原さんは其の後昭和製鋼所の技師長を務められ、戦後日亜、日新の顧問をされた方です。この松原さんと川崎造船所の製鉄工場長の西山弥太郎さん、この存じの元の川崎製鉄の西山社長です、とが何かのきっかけから話が平炉のガスポートすなわち噴出口の問題に集中し、片やフリードリッヒタイプ、片やルップマンタイプを固執され、互いに譲らず議論 1 時間に及んだのであります。

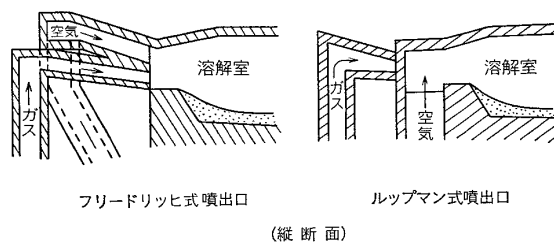


図 1 平炉の噴出口

す。約 40 年前の話ですが忘れる事ができません。

その後我々製鋼仲間では「西に松原東に西山あり」と製鋼の大先輩として敬服しておたのであります。ご兩人とも已に故人となつておられます。

(2) 酸素転炉法 (LD 法)

昭和 27 年八幡の製鋼部長時代文献にオーストリアの酸素転炉の記事がちよつと出ておりましたのに注目し、当時の湯川正夫常務と相談して八幡で 5t 転炉で横吹き、上吹きを試験して自信を得、昭和 30 年 BOT との特許問題で交渉を始めたのですが、これまたすでに交渉中の日本鋼管とかち合つたのです。しかし当時の八幡の渡辺義介社長と鋼管の河田重社長の英断で、「手を組んで一緒にやろうじゃないか」と話合いができ、日本全体で 120 万 \$ で特許実施権を買取り、日本鋼管が窓口になつて日本 LD 委員会ができました。両社の話合いには当時の通産省の三井製鉄課長の橋渡しがあつたのです。

渡辺さん、湯川さん、河田さん、皆故人になられました。

2. 鉄鋼業における特殊鋼

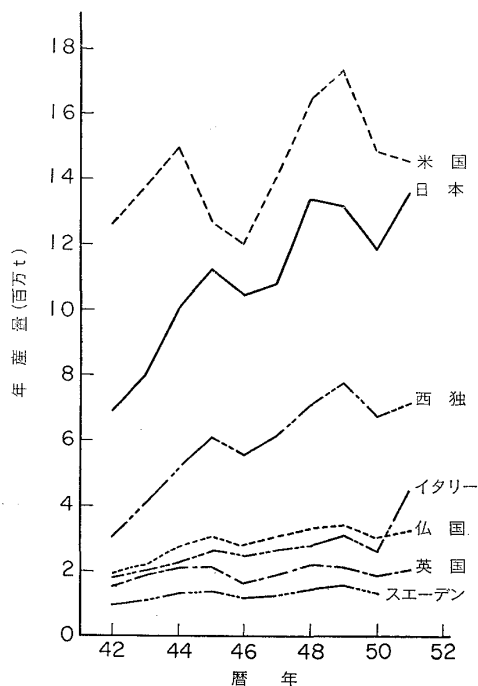
我国の鉄鋼業は周知のごとく量的、質的に目覚ましい発展を遂げて来ましたが、特殊鋼の分野でもそれに劣らぬ著しい成長を達成して参りました。

図 2 から我国の特殊鋼の粗鋼生産が 10 年間で約 2 倍になり、他の主要製鉄国に比して最も伸びていること、51 年度には総量 1300 万 t に達し米国に迫っている事がわかります。特殊鋼粗鋼の生産はこの間全粗鋼の 11~13% を占めており、粗鋼全体の著しい伸びに遅れず追隨したわけです。

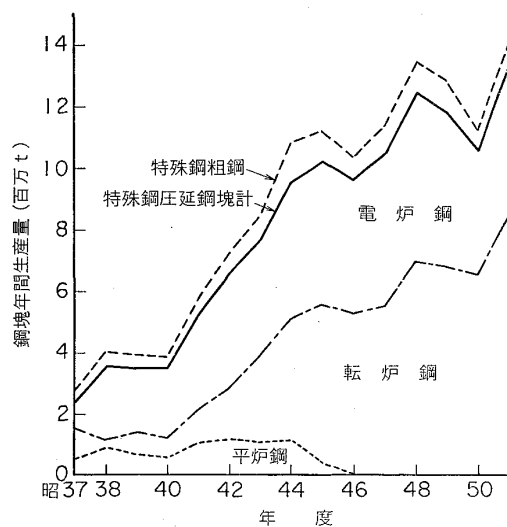
ただし、特殊鋼の定義そのものは各国により解釈がまちまちで、統計を完全に同じ条件では比較できません。例えば機械構造用炭素鋼 (SC) は我が国では特殊鋼に米国では普通鋼に分類され、珪素鋼は逆に我が国で普通鋼米国では特殊鋼に入れられております。

* 昭和 53 年 4 月 4 日本会講演大会における渡辺義介賞受賞記念特別講演

** 大同特殊鋼(株) 取締役社長 工博 (Daido Steel Co., Ltd. 1-11-18 Nishiki-cho Nada-ku Nagoya 460)



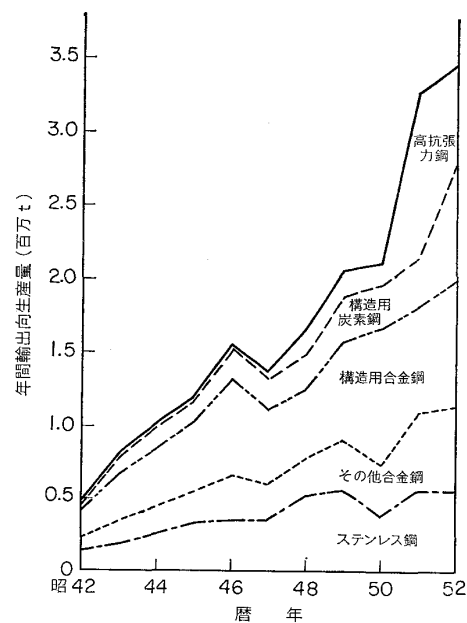
出所：日本鉄鋼連盟，海外鉄鋼統計四半期報
図 2 主要国特殊鋼粗鋼年産推移



出所：日本鉄鋼連盟資料
図 3 特殊鋼圧延用鋼塊炉別推移

図 3 は，特殊鋼粗鋼の大部分を占める圧延用鋼塊を生産炉別に示したものです。以前は特殊鋼の主要製造炉は電炉であり一部を平炉が受け持ってきたのですが，40年代になって転炉鋼の進出著しく，44年以降電炉鋼との生産比は逆転しており，現状では転炉鋼比率が約 62% になっております。

図 4 は，特殊鋼鋼材の輸出実績ですが，この方はさらに伸びが大きく，10年間で約 5 倍，現在年間 300 万 t を越えるに到りました。これに対し我が国の特殊鋼輸入量は，今精々年間数千 t に過ぎません。これは我が国の特殊鋼が，品質価格面ともに十分な国際競争力を備えるに



出所：日本鉄鋼連盟，特殊鋼熱間圧延鋼材需給実績
図 4 わが国の特殊鋼鋼材輸出の推移

到つた一つの実証例であると思います。

3. 製鋼技術の推移展望

3.1 LD 転炉技術の進歩発展

LD 転炉が我が国に導入されて既に 20 年を経過しましたが，その間 LD 製鋼法は急速に発展を遂げました。その理由として，鉄鋼の需要増大と相まって LD の特色である高生産性，品質，コスト面の優位性を十分に発揮した事が挙げられます。

図 5 に，転炉炉容大型化の推移を示します。昭和 36 年頃から我が国の転炉は大型化に進み，生産性向上を目指しました。その傾向は 40 年代に入り急速に強まり，昭和 45 年には既に 300 t 転炉が出現しております。

転炉の大型化を助けた周辺独自技術としては，転炉計算制御技術，環境規制に即応した排ガス処理設備，原材料輸送やハンドリング設備などの開発があります。

特にコンピューターによる吹錬終点制御はサブランス技術との組合わせでダイナミック制御方式へと進展しま

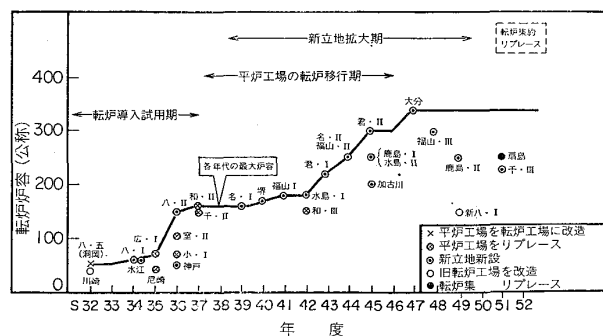


図 5 わが国における転炉炉容大型化の推移

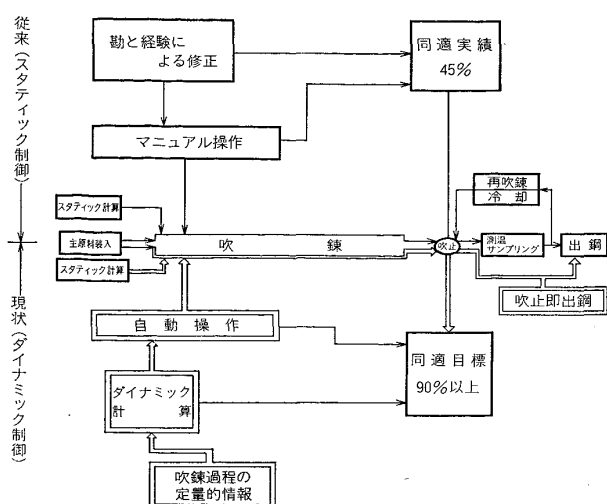


図6 転炉ダイナミック制御フロー図
(新日本製鉄資料)

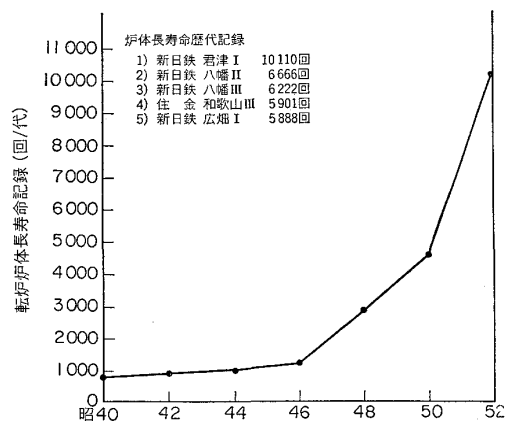


図7 転炉炉体長寿命記録の推移

した。当初の終点制御は初期条件から経験的予測をするスタティック制御であり、終点C、温度の適中率は60%が限界とされてきました。

サブランスによる成分、温度の中間測定値をもつて吹錬末期の修正制御を行うようになってからは、終点Cと温度の同時適中率は90~95%と飛躍的に向上しております。

最近の新しい操業技術上の進歩に、転炉の炉体の長寿命化があげられます。図7は、我が国における炉体寿命の推移であります。炉材の材質向上の他、熱間吹付補修軽焼ドロマイトによるスラグの成分調整、炉体表面温度管理などの技術の確立により、著しい回数の伸長がもたらされております。

炉転による高級鋼および特殊鋼の生産も漸次増加し鋼種的にも拡大されて来ました。これは、電気炉鋼の特長とされてきた硫化物酸化物系介在物の少い高級品種が、転炉の一貫した技術で溶製可能になったためであります。

本来転炉内反応は酸化反応で、脱硫、介在物の減少には限度があります。しかし機械的攪拌を利用した溶銑脱硫、真空脱ガス処理、取鍋精錬炉などの組み合わせになる総合溶製技術の開発により、極低硫鋼を初め幅広い高級鋼の製造が可能になりました。

脱酸や脱水素において、DH、RHなどの脱ガス処理は転炉の高級鋼化の推進に大きな役割を果たしました。真空脱ガス法はさらに真空脱炭や、合金成分および温度の調製等にも活用されております。

そのうちのひとつに、LD-VOD法があり、取鍋を真空槽内に入れ、酸素のランス吹きによつて脱炭精錬を行う方式であります。また図8は、LD-RH-OB法で取鍋上のRH設備の横から酸素を吹込み、同様に真空脱炭させるものです。これらは今、ステンレスの転炉溶製には欠かせない技術であります。

最近二重管ノズルの技術開発に伴い、新たな底吹転炉が出現しました。この方式は、西独 Maximilianshütteの開発になるものですが、その構造は図9に示す通りで、

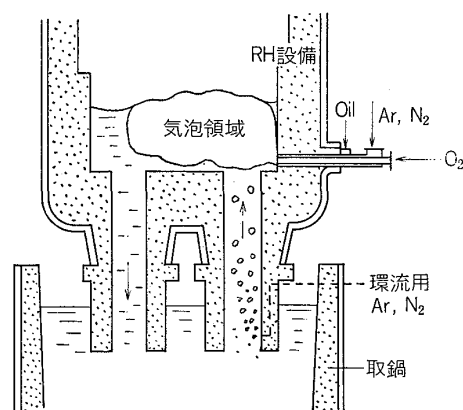


図8 RH-OB 設備概念図

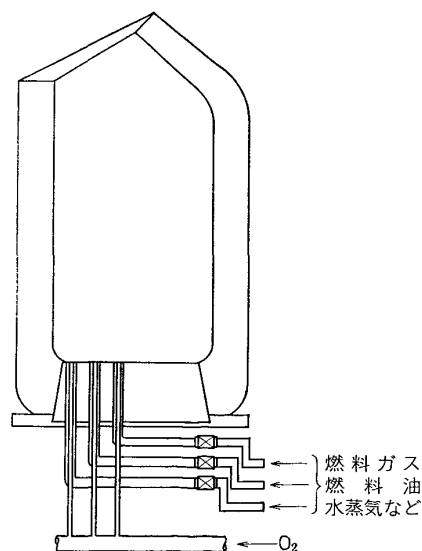


図9 底吹転炉法の概念図

ノズルの内管から酸素、外管から燃料ガスなどが吹き込まれます。この転炉は、US スティールに従って Q-BOP 法と呼ばれ、溶鋼攪拌強度は大きく、酸素効率が高いため歩留も良いと考えられます。特に底吹きのため建設費が安価であり、海外では US スティールのゲーリー製鉄所に 180 t 炉が、国内では昭和 51 年川崎製鉄千葉製鉄所に 230 t 炉がそれぞれ建設され、稼働に入っております。炉底煉瓦寿命や鋼中 H 含有量についての論議もあるようですが、経済性、品質水準、操業の安定性も含めて今後の発展が期待される処であります。

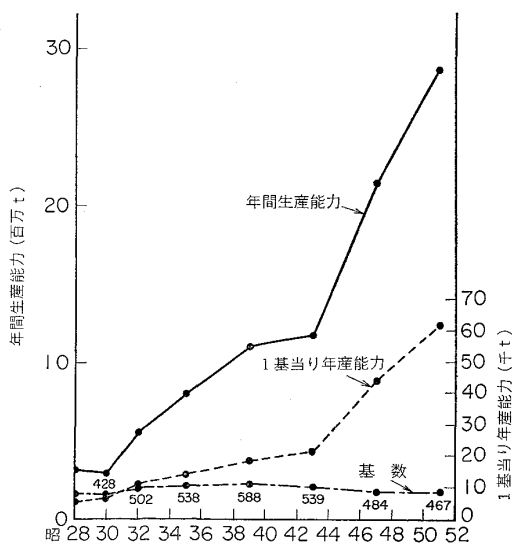
3.2 電炉製鋼の高能率化

電炉の製鋼能率も著しい躍進をして今日に到っております。能率の向上は、昭和 20 年代後期の酸素製鋼の採用や、トップチャージ炉の導入から始まり、次いで 30 年代には電炉の大型化が急速に進み、生産能率の増大に寄与しました。40 年代になると、大型炉の建設と重なって HP, UHP など高電力操業の炉が多数出現するようになり、今一つの飛躍的な能率化が遂げられて現状に到つたものであります。

この他、能率向上をもたらした操業上あるいは精錬技術上の要因として、オイルバーナーの設置、炉前作業の自動、省力化、単滓法の採用、炉外精錬法の発展などが挙げられます。

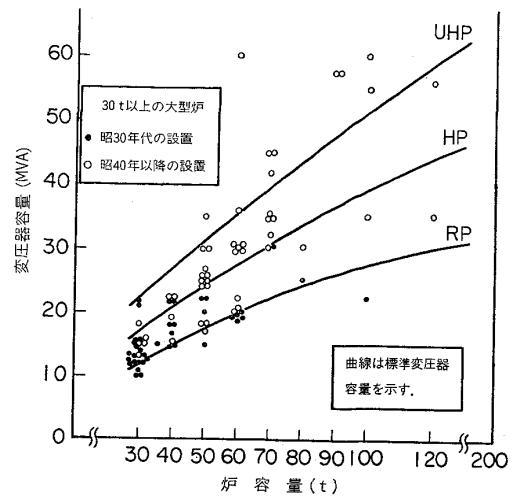
図 10 に示すごとく、国内の電気炉の生産能力は 51 年で 28 百万 t を越え、向上のスタートを切つた 30 年に比し約 9 倍に伸張しております。この間電気炉の基数はあまり変つては居りません。図 11 は、30 t 以上の大型炉の炉容と変圧器容量の関係ですが、40 年以降に設置された炉は炉容に対し大きな変圧器を持つものが多く、UHP への移行が明白に表れております。

我が国の UHP 炉は世界的に見ても特に優れた操業成



出所：日本鉄鋼連盟、鉄鋼生産設備の現況（昭和51年12月）

図 10 国内弧光式電気炉設備能力の増大



出所：日本鉄鋼連盟、電気炉作業調査表

図 11 国内電炉設備の高電力化

績を挙げ、特殊鋼の溶解においても 2 時間そこそこのサイクルで、また炉によってはさらに短い時間で出鋼しており、それに伴って電力、電極、炉材などの原単位も低下し、コスト低減への寄与も大であります。この成功には UHP 操業に伴いやすいホットスポット溶損の問題を、世界にさきがけて炉体への水冷ボックス取付けで解決した事が大きな原因になっております。

3.3 炉外精錬

最近 10 年間の炉外精錬の発展は、まことに目覚ましいものがあります。スライディングノズルの開発に支えられて現在多くの方法が実用化され、精錬の目的も多様になっております。元来溶解炉で行っていた精錬の一部を取鍋その他の容器に専門的に受け持たせ、溶解炉の負荷を減じて能率向上を狙えるのが一つの利点です。しかし炉外での精錬自体に新しい機能や領域が見出され、様々な可能性を提供しており、その技術上の意義は大きいと思うものであります。

現在普通鋼、特殊鋼を問わず広く採用されている方法に、DH, RH などの部分脱ガス法があります。大量処理に適し、温度降下が小さく、しかも脱ガス効率の良いこれらの方法は、脱ガス鋼の量産設備として既に長期間使用されていますが、一方では転炉鋼から高級特殊鋼を製造する途を拓いた方法であり、炉外精錬という名にふさわしい最初の技術と言う事ができます。

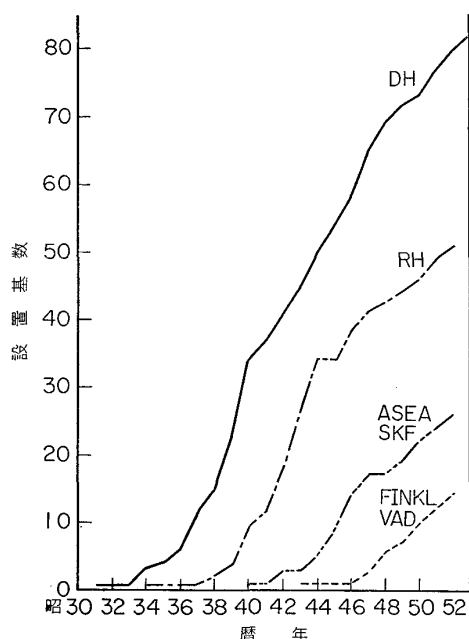
ところで溶鋼の脱ガス処理には、温度降下のため処理時間に限界があり、また高温出鋼その他種々の制約を生じます。降下する温度を補償する発想から出現したのが電極加熱機構を備えた取鍋精錬炉です。現在電磁攪拌装置をもつ ASEA-SKF 法、真空下での加熱を図つた FINKL-VAD 法、また国内では Ar 攪拌を採用した大同-LF 法などが実用化されております。

温度補償の結果、自由な脱ガス処理が可能になり、ガ

ス含有量の確実な低減が狙えるようになりました。さらに取鍋炉は電極加熱を備えたため、造滓精錬が可能となつて脱硫や介在物低減に顕著な効果を示しております。

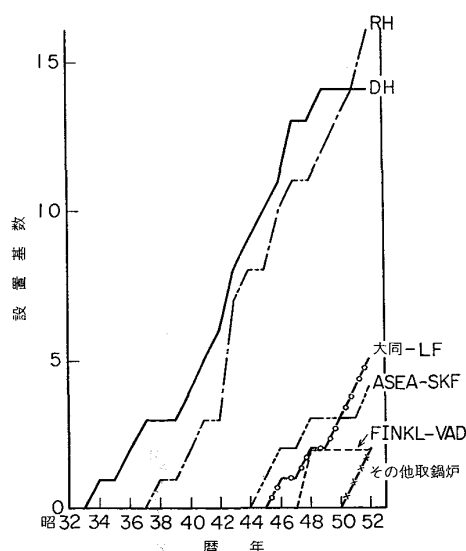
現在これら取鍋炉は高合金鋼、高級鍛造品用鋼の精錬に、あるいは転炉鋼からの高級特殊鋼や極低硫鋼の製造に使われています。

図 12 は、世界中の各種炉外精錬法の設備基数の増加状況を示したものです。部分脱ガス法では DH の方がその出現が早く、世界全体の基数は 80 を越えています。これに対し DH の方は 50 基余りです。しかし図 13 で



出所: Ironmaking & Steelmaking, 1977 No. 2 J. C. C. Leach

図 12 各真空処理法の設備基数 (全世界)



出所: Ironmaking & Steelmaking 1977 No. 2 J. C. C. Leach
日本鉄鋼連盟. 鉄鋼生産設備の現況 (昭51. 12月)

図 13 国内各炉外精錬法の増加状況

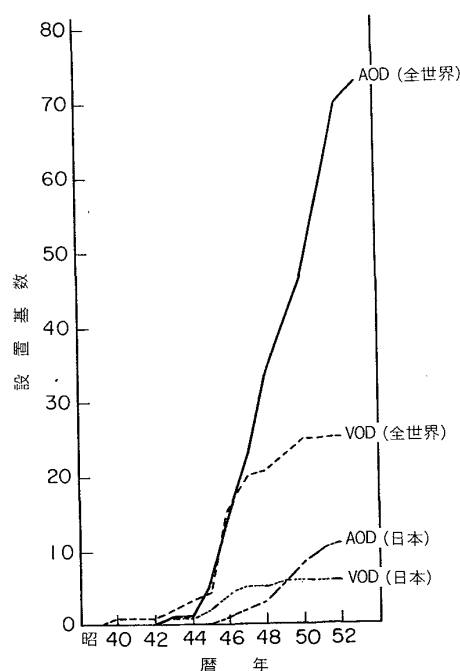
我が国における基数を見ると RH の方が多くなつており、双方合せて国内の保有は 30 基に上ります。取鍋精錬炉の方は、我が国では各方式合わせて 13 基が稼働中であります。

炉外精錬の諸法中最も急速な伸張を見せているのが、VOD, AOD などのステンレス脱炭精錬法です。

いずれも脱炭反応の生成物質である CO の分圧を低下せしめて脱炭を促進させる方法ですが、低下の手段として VOD は真空を使用し、AOD は Ar 稀釈に依るわけであります。これ等の方法の適用以来、極低炭素ステンレスもそれまでのような極端な高温や、Cr の大量滓化を要せず、ごく容易に確実に脱炭可能となりました。

大体、酸素の底吹き、あるいは横吹きは転炉における長い間の懸案で、その実現に多くの努力が払われてきました。AOD は二重管ノズルの開発により、初めて酸素からの羽口保護に成功した方法です。また酸素とアルゴンの比率を精錬の進行と共に大きく変化させて反応効率を高め、最後は Ar100% の吹込に転じて Cr 還元や脱酸脱硫を促進する独特な使い方がこの方法の特長です。

AOD 法は VOD に 3 年遅れて出現し、現在ようやく 10 年になる処ですが、図 14 に見られる通りその基数 70 余、容量合計 3000 t に達し、現在なお急激に増加の一途をたどっています。一方の VOD も世界で 25 基ほどが設置されており、容量は合わせて 1200 t に上ります。国内には現在 6 基の VOD、11 基の AOD 設備があつて、既にステンレス溶解の主体はこれら新プロセスに移行しております。



出所: Ironmaking & Steelmaking 1977 No. 2 J. C. C. Leach

図 14 AOD および VOD の設備増加状況

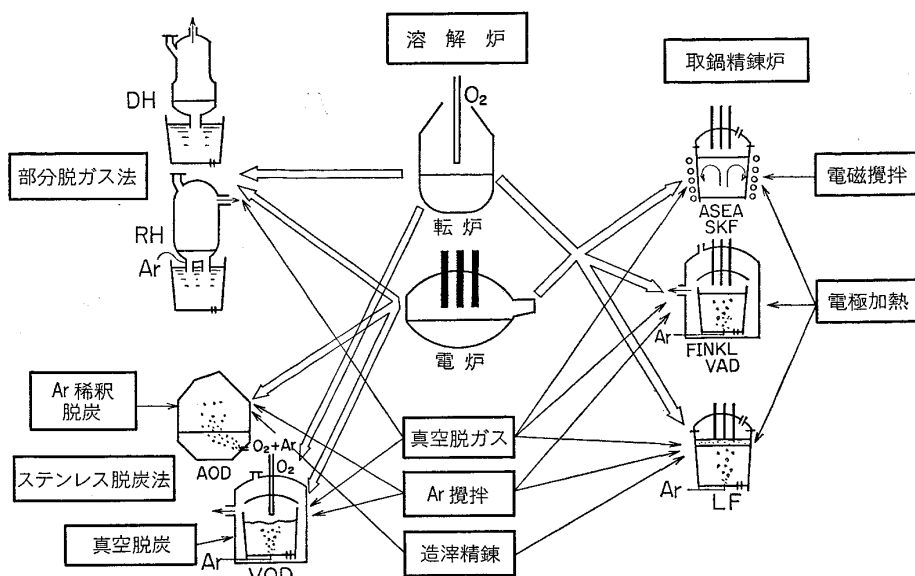


図 15 炉外精錬法の構造と機能

表 1 主な炉外精錬法とその特長

名 称	脱水素	脱炭素	精 練 機 能	脱炭	脱硫	脱磷	温度制御	特 長
DH法	○	○						迅速、効率的な脱ガス 大量処理 温度降下小 容易確実な合金添加
RH法	○	○						
VOD法	○	○	○		○	○		極低炭ステンレス O歩留向上 電炉の生産性向上
AOD法		○	○		○	○		
FINKL-VAD法	○	○	(○)		○	○	○	自由度大きい真空精錬 脱硫、介在物低減 成分、温度の制御
ASEA-SKF法	○	○			○	○	○	
大同-LF法	○	○			○	○	○	
T-N法 (Ca-INJECTION)		○			○			O、Sの迅速低減 介在物低減 形状制御

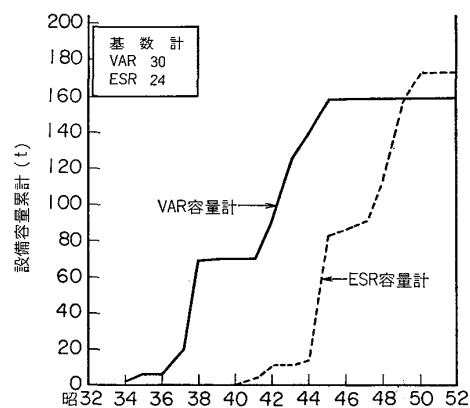
図 15 には、転炉、電炉を中心としてそれに繋る各種炉外精錬法の構造と機能を概観的に示します。また表 1 には主要炉外精錬法の精錬上の特長や効果を要約しておきました。

3.4 2次溶解法

2次溶解法は、一般に水冷された銅坩堝中で、鋼自身の消耗電極を溶解する方法で、品質に完全さを要求される特別きびしい用途の素材の製造に使われます。これにはエレクトロンビーム法、プラズマーク法などありますが、現在広く行きわたっているのは、VAR 法と ESR 法の 2法です。

2次溶解法は、特に鋼塊の凝固の機構に特長があり、それが緻密、均質で健全な組織を作り、真空あるいはスラグ精錬の効果を合わせて素材の品質に優れた特性を生む原因となっています。

図 16 に示す通り、我が国の VAR 設備は昭和 35 年以降 10 年間各社で設置が相次ぎ、その数 30 基に達しましたが、その後は代って ESR 設備が増加、現在に到っております。



出所：日本鉄鋼連盟、鉄鋼生産設備の現況（昭和51年12月）

図 16 VAR ESR 国内設備能力の推移

2法間で選択が可能な時は、鋼塊肌が良く手入れ不要で歩留も有利な ESR が選ばれる傾向にあり、最近では鍛造品等の大型鋼塊用に ESR の設置が増えております。

4. 製鋼法と消費エネルギー

前記したように、製鋼技術の進歩は転炉からの特殊鋼の製造を容易にしましたが、ここでエネルギーの面から各製鋼プロセスを比較して見たいと思います。昭和 48 年のオイルショックの直後、国内の工場における粗鋼生産所要エネルギーを検討しました。その結果が図 17 で、中型高炉-転炉、ならびに 70 t 電気炉において特殊鋼を溶解した時の使用エネルギー実績値です。操業の条件および計算の前提条件は以下の通りです。

- 1) 転炉の溶銑配合率 92%。
- 2) 高炉+転炉の工程で回収活用されたエネルギーは総投入量から差し引く。

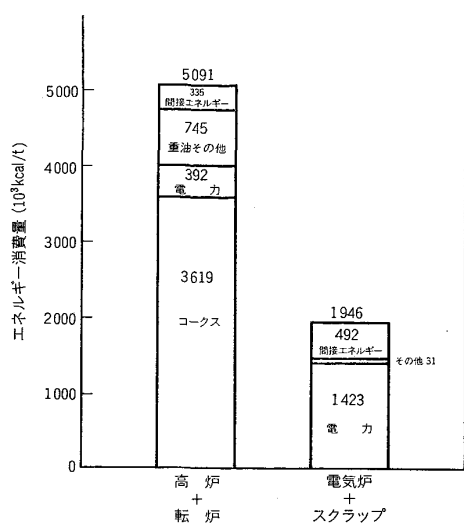


図 17 粗鋼トン当りエネルギー使用量 (国内実績値)

3) 電力エネルギーは、発電効率 35% での所要重油エネルギーに換算。(=2450 kcal/kWh)

4) 間接エネルギーを加算。間接エネルギーとは、製鋼用資材(電極、耐火物、鋳型、合金鉄など)の製造に要するエネルギーです。

この結果は、高炉+転炉法と、電炉スクラップ法との使用エネルギーの比がほぼ 2.6:1 である事を示しております。

またその後、国際鉄鋼協会 (IISI) が昭和 51 年に提出したエネルギー調査報告の中で、同じような比較が行われています。これは 3 通りの製鋼プロセスにおけるエネルギー所要量を比較したものです。

この試算には、エネルギーの節減面から理想的なモデルプラントが想定されており、現行技術で可能な限りの最小エネルギー消費で運営するという前提で計算されています。したがって実際の工場実績値から見るとかなりきつい値ですが、その差は努力の余地があるという意味で良い指標たり得ると思います。

図 18 がその結果で、高炉+転炉、電気炉+スクラップ、電気炉+還元鉄の 3 プロセスの、粗鋼トン当りの所要エネルギーです。その算定には以下の前提が置かれています。

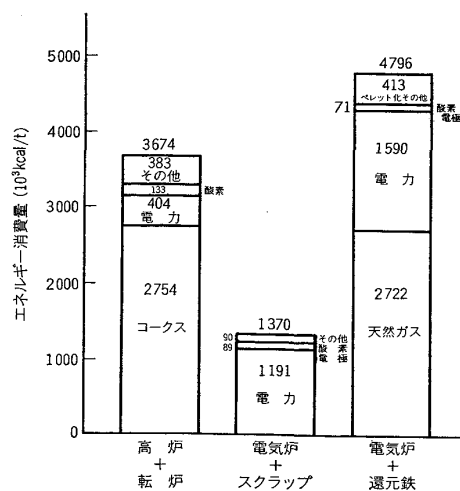
1) 転炉溶銑配合率は 75%。残 25% はスクラップ配合とする。

2) 電炉への還元鉄の配合率は 75%。残 25% はスクラップ配合とする。

3) 高炉+転炉の工程で、回収活用されたエネルギーは総投入量から差引く。(回収分は総量の 25% ほどに相当する)

4) 電力エネルギーは同様に発電効率 35% で重油換算 (2450 kcal/kWh)

5) 間接エネルギーは計算に入れてない。



出所: IISI. A Technological Study on Energy in the Steel Industry.

図 18 粗鋼トン当りエネルギー所要量 (モデルプラント試算値)

この結果を見ると、電炉で還元鉄を原料とした場合が最もエネルギー消費が大きく、高炉+転炉法に比し 30% 程高くなっております。スクラップ法に対して電力の消費にかなりの差がありますが、還元鉄の方が溶解電力原単位が多少高いほか、直接還元工程に電力を要するためです。

この試算の前提は、前の工場実績値の前提とかなり違うのですが、やはり結果的には高炉+転炉法と電炉+スクラップ法とのエネルギー比が略 2.6:1 と、類似した値になっております。ここに生じる大きな差から見て、私は、スクラップはエネルギーを持っている、スクラップにはカロリーがある、と言いたいのであります。

5. 将来への展望

冒頭に述べた通り、戦前戦後を通じて業界、学界の諸先輩の努力により、我国の鉄鋼業は質、量共に世界の驚異と言われる程に進歩をとげて参りました。

さてこれから先の数年、あるいは 10 年間を考えた場合、わが鉄鋼業はどんな途を歩んで行く事になるでしょうか。特にオイルショック後、全世界の動きと共に激しく変動する我が国の経済情勢を考えると、それまでのような高い伸び率は期待できず、生産規模の問題は残念ながら論外とせざるを得ませんが、技術分野に限って私見の一端を述べてむすびと致したいと思います。

申すまでもなく産業の基礎資材としての鉄鋼の地位は不変であります。今後新しく要請されるニーズがいくつあるかと思ひます。これらは多く材料の品質性能に関するものであり、その要求に応え得るか否かが我が国の将来に大きく影響すると思ひられます。

その代表例として、エネルギー開発に関するものがあります。核燃料サイクル上の重要課題であるウラン濃縮

を遠心分離法で解決するには、より高性能の耐蝕性超高張力鋼を要し、その開発が要望されて居ります。また高温ガス炉、高速増殖炉の開発実用化には、従来の材料では得られない高温強度、高温耐蝕性が要求されるでしょう。

さらに海洋開発、地熱発電等が考えられて居り、それらについてもそれぞれ新しいニーズが出現するわけでありります。

以上のごとき高級特殊鋼ばかりでなく、例えばエネルギー消費節減の一環として自動車の軽量化への指向がますます強くなりますが、この課題の一端を鉄鋼が果たすには、要請される高強度材料を供給すると同時に、その製造に要するエネルギーを、直接、間接を問わず極力低

減する事が必要です。

材料特性へのニーズに対しては、先に触れた各種の精錬装置およびその技術を活用する事により、比較的容易に品質水準を高め、信頼性をより確実にする事は可能であります。場合によつては、不純物元素を極限まで減少せしめて、性能を飛躍的に改善し要求に応える事も可能でありましょう。

以上に述べたような事柄が、今後の我々鉄鋼技術者の重要な使命の一つではないかと考える次第です。今後の我が国鉄鋼業は、量的拡大による発展は望めず、研究、技術開発になお一層の重点がかかるものと思います。その力は十分にあり、今後我が国がこの分野でも世界をリードするようになる事を、私は期待しております。