



鉄の歴史

戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 特殊鋼の高度成長期を支えた製鋼技術の変遷

岸田 壽夫

大同特殊鋼(株) 相談役

Toshio Kishida

Transition of Steelmaking Technologies
in the High Growth Era of Specialty Steels

1 はじめに

「戦後20年(1945～1965年)の特殊鋼製鋼技術の進歩」をふえらむVol. 2, No. 9, (1997)に掲載させていただきました。その続編としてここに1965年以降の進歩について記述し、私の体験を少しでも皆様にお伝えできるチャンスを再びいただいたことに感謝します。

2 近年(1965年～)の特殊鋼業界

書き出しの年となる1965年は前年度からの不況の真っ只中にありました。特殊鋼専業メーカー13社(特殊鋼専業10社とステンレス専業3社)の内、無配会社が11社という状態で、特に業界でも有力メーカーであった日本特殊鋼が1964年12月、山陽特殊鋼が1965年3月に経営不振から会社更生法の適用を申請するという状況に追い込まれていました。

それまで特殊鋼生産は日本経済の高度成長とともに浮き沈みはあったものの、順調な増産を続けてきた業界のひとつではありましたが、構造自体の中に多くの問題を抱え、業界再編成の必要性が指摘されていました。その背景には特殊鋼専業メーカーに先駆けて高炉一貫メーカーが設備近代化を図り、特殊鋼の量産体制を確立、生産を開始したことが大きな要因となりました。特に機械構造用炭素鋼、ステンレス鋼などの分野での高炉一貫メーカーの進出は顕著であり、1965年には特殊鋼専業(13社)の生産シェア47.4%に対し、高炉一貫メーカー(8社)の生産シェア44.2%とほぼ半分に匹敵する勢いでした¹⁾。

1965年11月、産業構造審議会特殊鋼政策委員会の答申によって政府は特殊鋼業界の合理化と再編成の構想を示唆し、また、同年3月の構造用合金鋼に続き、12月にはステンレス鋼板、1966年1月には軸受鋼の不況カルテルを結成するに至りました。しかし、特殊鋼業界は翌年の1967年か

ら1971年までの、世に言う「いざなぎ景気」により好況に転じることとなりました。

一貫メーカーにおける特筆すべき出来事として、1970年3月の八幡製鐵と富士製鐵の合併があります。一方、特殊鋼業界では産業構造審議会特殊鋼政策委員会の答申後、10年余りしてようやく1976年9月に大同製鋼・日本特殊鋼・特殊製鋼の3社合併が実現しました。特殊鋼業界のこれまでの発展の基盤は再編成によるものと言っても過言ではなく、図1に示すように各社さまざまな編成を経て現在に至っています²⁾。

特殊鋼の生産高推移を全粗鋼量と併せ図2に示します。日本経済の高度成長とともに驚異的な伸びを続けてきた全粗鋼生産高は1973年の第1次オイルショックを境にそれまでの増大基調を完全に停止し、1億トン/年レベルでほぼ頭打ちの状態となりました。一方、特殊鋼生産高は1975年にわずかながら減少したものの、自動車産業、並びに産業機械の活況に支えられ、1985年まで順調に伸び続けました。1980年代は専業各社の大幅な生産能力増強投資がなされました。しかし、10年間続いた増産基調も1985年秋のプラザ合意後の急激な円高と、1991年以降のバブル経済崩壊により、1990年の2,024万トン/年をピークにほぼ成長は止まりました。

1967年から1985年までの間はまさに製造業の黄金時代であったと思います。生産が需要を満たし得ない、すなわち、造ればどんどん売れる「量の拡大」に主眼をおいた大変恵まれた時代でした。その後の製造業は「量から質へ」の変革の時代に突入し、特殊鋼業においても自動車産業界を中心とする市場要求の高品質化・低コスト化に対し、熾烈な競争を強いられ、大変厳しい状況に直面しています。

現在の世界の流れは明らかに自由化・規制緩和・ボーダレス化へと進み、企業に国籍の無い時代となっています。これからはすぐれた技術力・技術開発力で差別化技術・差

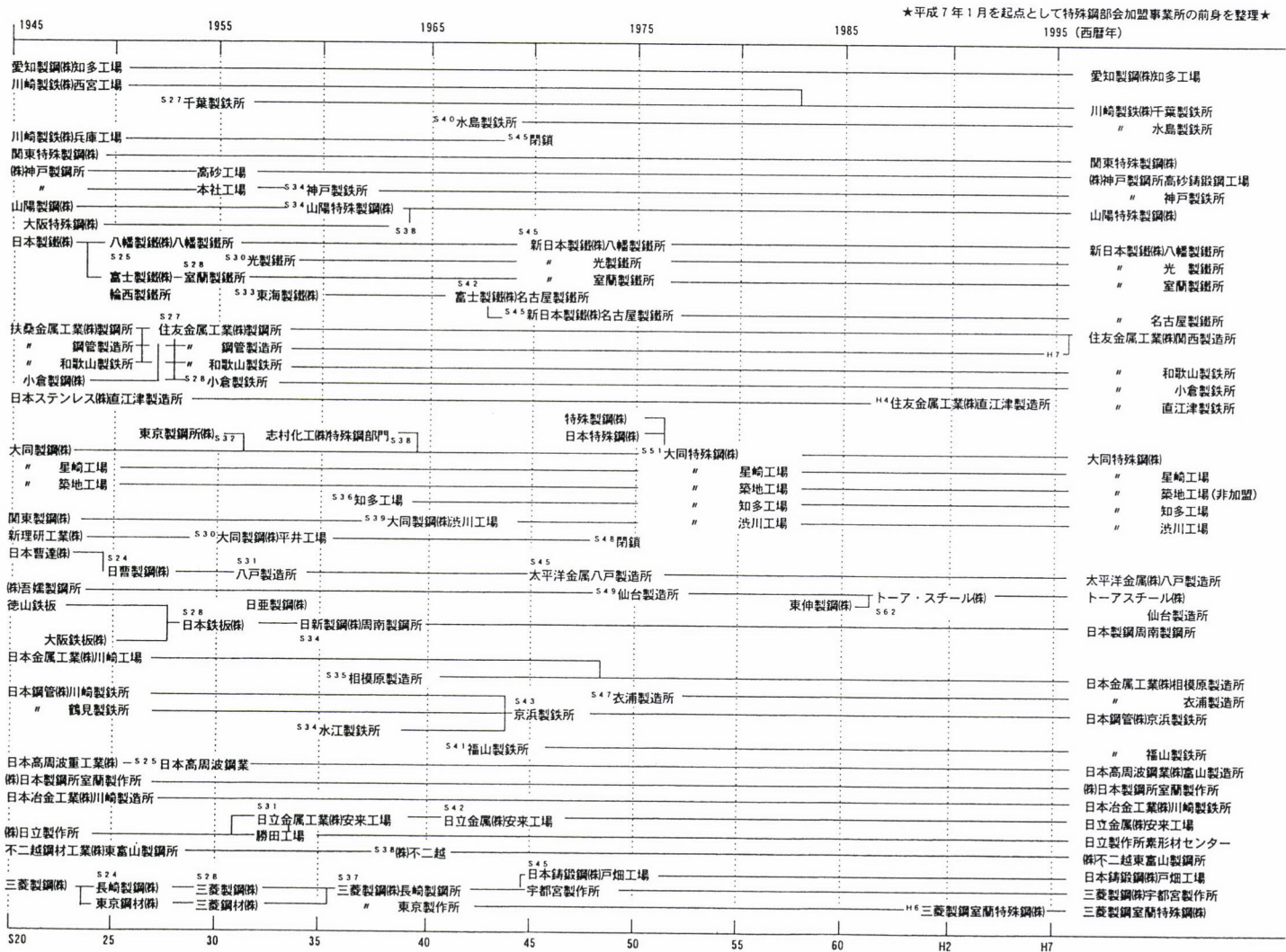


図1 特殊鋼製造各社の変遷

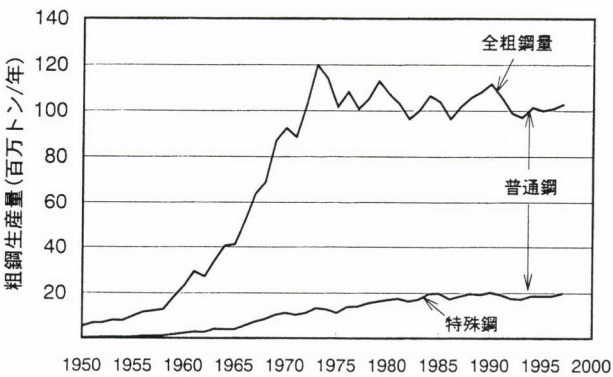


図2 日本の全粗鋼量と特殊鋼の生産高推移

別化商品を創出することが、堂々と生き残る唯一の道であると確信しています。そうした観点から、1965年以降現在までの特殊鋼電気炉製鋼に関する代表的な技術の変遷について振り返ってみたいと思います。

電気炉技術の進歩

1965年以降の電気炉操業は粗鋼生産の増大要請に積極的に応え、高生産性技術に大きな進歩を見た時代です。UHP (Ultra High Power) 操業、酸素富化操業、カーボンインジェクション操業技術が相次いで開発され、電気炉の生産性は長足の進歩を遂げることとなりました。

1963年にW. E. Schwabeらによって提唱されたUHP理論³⁾、「電気炉のトランス容量を増大するに当り、炉壁耐火物保護のためRefractory Indexを低下させる手段として、大電流ショートアーク操業とする。それにより炉壁へのアーク熱の到達量をできるだけ抑え、スクラップ及び銅浴へのアーク熱伝達を向上させる。」に誘発されるように高電力操業の導入が盛んになり、特に1970年以降の新設もしくは改造された電気炉のトランス容量は以前の2倍以上に大型化されました。

大同特殊鋼(以下大同と言う)においても電気炉のUHP

化に積極的に取り組みましたが、Schwabeらの提唱した基本的なUHP操業・低力率高電力ショートアーク操業は必ずしも実操業でよい結果をもたらさなかったように記憶しています。炉壁に近いところの未溶解スクラップの落下による電極折損が多発し、また、省電力、能率向上の点でも満足すべき成績が得られませんでした。これらの問題に対し、電極品質の改善、三極個別電力制御、炉壁水冷ボックスの導入などの助けにより、Schwabeの提唱とは相反するとも思われる、ロングアーク操業を指向しました。その結果、炉内スクラップの均一溶解による、溶解時間の短縮、消費電力の低減などが可能となり、UHP操業を高力率高電圧操業へと発展させました。

電気炉における酸素吹込みの歴史は古いのですが、スクラップの迅速溶解のために本格的に実施したのは1970年代に入ってからです。かねてより、炉側集塵の吸引力が強い場合に大気への吸い込みが増え、溶解速度が速くなることに気付いておりましたが、電気炉のコールドスポット部に残る未溶解材料のカッティングを目的に使用していた酸素を、溶解初期に形成される湯溜りに直接吹き込む方法が思いのほか効果の大きいことに驚きました。酸化反応熱をスクラップの溶解に活かす酸素富化操業は確実に生産性向上と電力低減効果をもたらしました。

しかし、1970年代後半にカーボンインジェクション操業が開発されるまでは酸素の使用量も飛躍的にはいきませんでした。問題点はなんといっても酸素富化による鉄の歩留悪化でした。今でもカーボンインジェクションを着想した時のことを鮮明に記憶しています。

私は3社合併を無事終え、大同知多工場長の職に就き1年目のことであったと思います。浜川工場で経験した特殊鋼のCC(Continuous Casting 連続鋳造)を次は知多工場に導入しようと思い、1978年11月クルーズ・ロアール社を始めとする世界のCC調査のため、製鋼課長以下主要なメンバーを自ら引率し海外出張しました。上司から「お前が自ら出張を申し出てきたのは初めてだ」と冷やかされ、製鋼課長までも動員した照れ隠しに電気炉の担当者達に次の宿題を課しました。「酸素富化操業により各炉の平均Tap-Tap85分を達成のこと」酸素富化操業については当時の武田喜三社長から常々「岸田君、“くさりはがね”だけは造るなよ」と言われていました。一寸気になり、出張中欧米から電話でチェックしたところ、生産性と品質は順調に目標をクリアしているが、歩留りが1%悪化しているとの報告を受け、やはりとは思いましたがその悪さ加減に驚きました。出鋼歩留悪化は悪化分1トンあたり約3万円に相当します。これを何とか取り戻さなければならないと思い、海外にてカーボンインジェクションの導入を決意しました。

帰国直後の12月にA炉でカーボンインジェクション操業をテストして成果を確認しました。翌年1月には4基すべての電気炉にカーボンインジェクション設備を装備し、カーボンインジェクション操業を全炉に拡大しました。カーボンインジェクションにより、スラグ中のFeOの還元反応は見事に予測通りとなり、吸熱反応の温度降下も問題とならず、酸素富化+カーボンインジェクション操業は完全に一体化しました。カーボンインジェクションがもたらすフォーミスラグによるアーク電力の着熱効率向上効果も大きく、電力原単位の改善及び能率向上には著しいものがありました。

前に述べましたように、もともと集塵により電気炉炉内への大気への吸引が大きい場合、溶解速度向上の傾向があり、酸素を入れる効果があることは予知されていました。しかし、これほどの顕著な効果が酸素富化操業にあったこと、またカーボンインジェクションのような間に合せとも思われる方法でこんなに見事に生産性、歩留りの改善(FeOの還元)ができたことにたいへん驚くとともに満足しました。

社長から言われた“くさりはがね”にならずに素晴らしい操業法が確立できたことを誇りに思いました。私は鉄鋼協会の特殊鋼部会長等も経験したことがあり、各社の見学や親しい交流をさせていただいておりましたので、このプロセスをあえて独占するつもりはありませんでした。別にPRした訳でもありませんが、大同でカーボンを使い出したという噂を基に、酸素富化+カーボンインジェクション操業は一気に日本中に波及しました。また、その後、世界にも波及したプロセスであったと思います。

UHP操業の導入、酸素富化+カーボンインジェクション操業の導入に伴い、これを支えるアーク炉周辺技術の発展にも目覚ましいものがあり、電力制御の自動化、助燃バーナ、水冷Boxの導入、電極品質、耐火物技術などのハード、ソフト両面の改善は枚挙にいとまがありません。ひとつの発見が次から次へと繋がるものだと思います。今振り返ってみますと各方面の技術者の献身的な技術開発に電気炉技術の進歩は裏打ちされていたものと痛感いたします。もちろん海外での技術開発もありました。一例として日本で開発された鋼製水冷Boxがドイツで見事にCu製として完成されました。

次の電気炉操業の大きな変化は炉外精錬炉、とりわけLF(Ladle Furnace 取鍋精錬炉)の登場(1971年日本特殊鋼で開発)によりもたらされました。従来の電気炉製鋼法は、スクラップ溶解に始まり酸化精錬を経て還元精錬にいたる一連の作業を電気炉にて行うのが通例でありましたが、LFの導入により、電気炉の還元精錬はLFの役割へと移行していきました。LFの導入により電気炉の除滓および還元作業が

完全に炉外に移りました。その結果、出鋼温度を下げることも可能となって、電気炉の負荷は大幅に軽減され、生産性向上のみならず耐火物寿命の向上、吹き付け補修材の低減等の経済的効果ももたらしました。電気炉は溶解専用炉としての機能を強め、その後の技術開発はスクラップ溶解能力の向上に重点がおかれるようになりました。

1980年代は需要家側からの鋼材品質の向上要請に溶解、精錬、凝固技術が一貫して対応した時代でした。CCの導入、炉外精錬の普及により、生産性や品質の向上に顕著な進展が見られました。電気炉においてはEBT (Eccentric Bottom Tapping 偏心炉底出鋼) の導入や直流電気炉 (DC アーク炉) の開発が相次ぎました。

DC アーク炉の実現には大容量のサイリスタやダイオードの開発によるところが大であったと思います。また、従来の交流電気炉 (AC 炉) の問題であった炉容の大型化・大電力化に伴うフリッカー障害、炉壁のホットスポット問題を解決する手段としてDC アーク炉が大きく注目されるようになりました。大同においても1989年から星崎工場の製鋼工場 (1995年休止) にて25トン直流電気炉の開発に取り組みました。DC アーク炉は当時の電気炉の最先端技術であり、海外ではフランスのユジノールが研究開発で先行しており、国内ではNKKがトピー工業、東京製鉄にそれぞれ30トン、130トンのDC アーク炉を設置し実操業を開始していました。開発にあたっては大同、新日鐵、およびユジノール3社の協同開発で、すでに国内で先行しているNKKに対抗する技術の確立が目標でした。

DC アーク炉の特徴は低公害 (フリッカー値がAC 炉の約50%) であること、1本電極ゆえに電極原単位がAC 炉対比大幅に低いこと、さらに強撹拌が可能であり、電力集中により溶解特性が優れているため電力原単位および溶解時間もAC 炉対比勝っていることです。しかし、DC アーク炉の開発にあたっていくつかの課題を克服しなければなりませんでした。

DC アーク炉はその構造上炉底電極を装備する必要がある、この炉底電極の制御技術が最も難しい課題でした。電流は上部電極と炉底電極の間を溶鋼を通じて流れるため、炉底電極ピンの溶融による漏鋼の危険性と常に背中合わせになっていました。この溶融ラインをいかに上方に制御するかが最大のポイントでした。炉底電極の種類には大きく分けて3種類あり、GHH (独) - NKKが開発した多ピン空冷方式、ユジノールが開発した単ピンCuモールド間接水冷方式、そしてABB社 (スイス) が開発した導電耐火物空冷タイプであり、それぞれ長所短所がありました。

大同で開発を試みたのは単ピンスプレー水冷方式でした (図3 参照)。水冷Cuモールドタイプに比較し直接スプレー

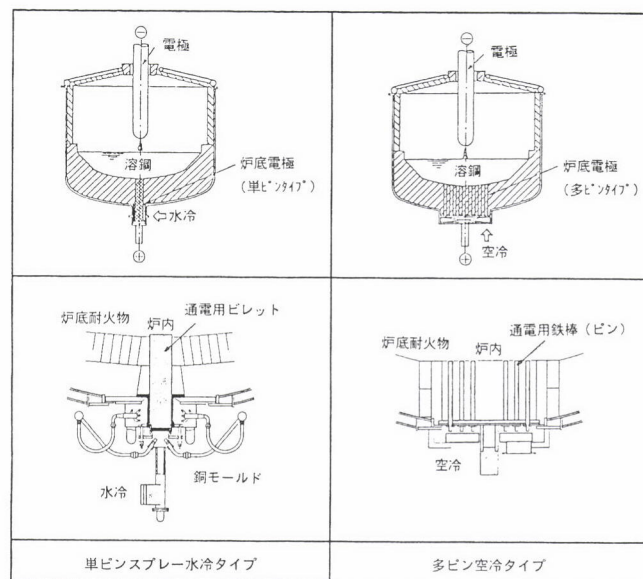


図3 代表的なDCアーク炉炉底電極

水冷方式は冷却能力が高いため、炉底電極の溶融ラインを上方に維持できるというメリットがありますが、溶融ラインが下がると即漏鋼および水蒸気爆発の危険がありました。実際の操業ではステンレス鋼の溶解に適用したため、数チャージの溶解で炉底電極が融点の低いステンレス鋼に置き換わり、溶融ラインが予想以上に低下しました。単ピンスプレー水冷方式はステンレス鋼用に適しておらず、結局、ステンレス鋼用には安全性の高い多ピン空冷方式を採用することにしました。

2番目の課題は、DC 炉は初期着火性がAC 炉に比較し劣るためそれをいかに向上させるかでありました。AC 炉は電極間にスクラップを介して電流が流れれば即着火します。一方、DC 炉の場合は上部電極と炉底電極にスクラップを通して電流が流れる必要があり、距離が長い上に炉底電極上にスラグが被さっていたり、また、スクラップと炉底電極の接触が悪いと着火不良を起こしました。連続溶解中は残鋼もあり、かつスラグも導電性があるため安定していますが、休転明けの冷炉スタート時は特に着火不良が起りやすい問題がありました。

この問題は炉底電極のピンの周囲の耐火物を、従来のMgOからMgO-Cに変更することにより画期的に改善することができました。また炉底電極の耐火物は溶解チャージ数とともに溶損するため、耐用チャージ数をアップさせるには中間補修技術が不可欠でした。この補修についてもMgO-C補修材が大きく役立ちました。金属のピンを溶接しなくても、ピンの上から高CのMgO-Cの補修材を積層すれば炉底電極の厚みは十分回復し、かつ着火性も確保できました。さらに、この補修は熱間で実施できるという最

大のメリットも兼ね備えておりました。この中間補修技術により多ピン空冷方式の炉底電極は大幅に寿命延長が可能となり、星崎工場のDCアーク炉の炉底電極は、1992年12月には1000チャージを余裕をもってクリアすることができました。

3番目の課題はスパーク対策でありました。AC炉の場合、たとえば上部電極の把持器でスパークが発生しても、交流は周期的に電流がゼロになるため、瞬時にしてスパークはおさまります。一方、DC炉の場合、常に正の電位が付加されているためスパークは継続し設備に大きなダメージを与えます。特に炉底電極でスパークが発生した場合、その影響は大きく、最悪漏銅にもつながる可能性があります。星崎工場のDCアーク炉においても、幸い漏銅には至らなかったものの2度ほど炉底電極でスパークを起こしました。このスパーク対策についても種々改善を重ね、最終的には鉄板と銅板の爆着技術を採用することにより完全に解決しました。

このように種々の問題点、課題を抱えながらもその1つ1つを着実に解決し、星崎工場のDCアーク炉は次第にその本来の能力を発揮し始めました。ほぼ1年後には既設のAC炉に取って代わり、主力溶解炉として星崎工場製鋼が休止した1995年まで稼動を続けました。

星崎工場のDC炉の操業実績、ならびに国内におけるDC炉導入各社の操業実績からDC炉の特長をまとめますと、フリッカーの低減、電極原単位の低減、アーク電流が溶鋼を流れることによる電磁攪拌作用、電力エネルギーの中央集中によるスクラップの迅速溶解が挙げられます。また、DC炉は炉上空間の確保が可能であることから炉上シャフト式予熱装置との組み合わせが容易であり、これらのことから今後の電気炉はDC炉が主流になると思います。

1986年からの円高不況と、1991年からのバブル経済の崩壊、さらに今回のアジアクライシスに端を発する大きな不況に直面し、国際的なコスト競争力を確保することが現在も続く大きな課題であります。このような環境下において、電気炉はコスト低減、省エネルギーをさらに進めるため、廃熱利用による電力原単位の低減が取組まれています。

電気炉廃ガスの顕熱を有効利用する技術は1980年代に集塵経路の専用タンクでクラムシェルごと予熱する方法により一部で具現化されましたが、近年ではさらに電気炉に直結した予熱装置による試みがなされるようになりました。大別するとコンスチール法、ツインシェル炉、シャフト炉に分類できます。

大同においてもDC炉の直上に多段式の予熱装置(MSP: Multistage Super Preheater)を備えた多段式シャフト炉(図4参照)を開発しました。この方式はきわめて高い予熱

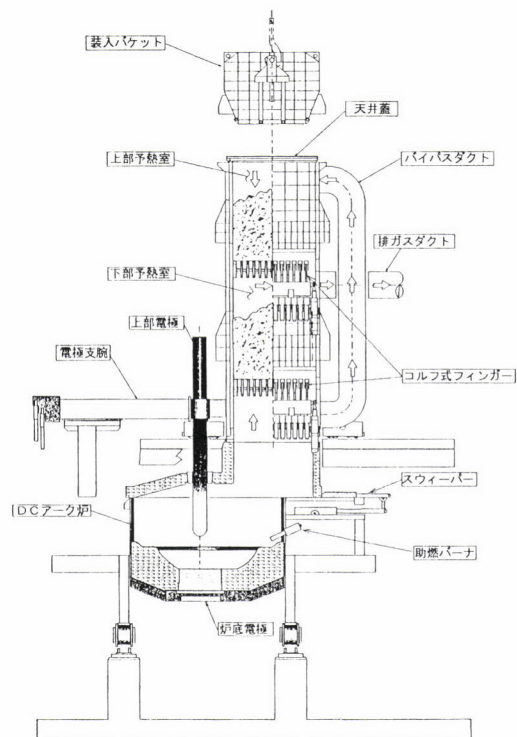


図4 大同MSP-DCアーク炉概念図

効果を確認しており、今後ますます電気炉の省エネルギー技術の進歩に寄与するものと期待しています。

現在、王子製鉄(株)群馬工場に国内2基目となるシャフト型最新鋭機を建設中であり(1999年10月完工予定)、環境調和型新電気炉として注目しております。

4 2次精錬技術の進歩

電気炉製鋼における2次精錬技術の発展は、1960年代初頭に電気炉の還元期にAlドrossを使った造滓法を適用したことがひとつのきっかけになったと思います。低融点で流動性良好なCaO-Al₂O₃系スラグの使用が取鍋精錬法の開発、進歩を後押ししました。レル・エアーキッド社で取鍋内でポーラスガス攪拌を行うガザール法が開発され、低[O]化、介在物低減に効果を発揮しましたが、温度補償ができないことから取鍋内でアーク加熱を付加するLFへと発展していきました。

また、これらの取鍋精錬法の発達に忘れてならないのはスライディングノズルの開発であります。スライディングノズルは、取鍋内に溶鋼を長時間安全に保持することを可能とした点で、従来のストッパー方式での不安を解消する素晴らしい技術開発でありました。

これらの技術に基づいて、1971年に日本特殊鋼(現大同特殊鋼)で開発、実機化されたLFは、その後、世界中で多くの電炉・転炉各社の採用するところとなり、国内では1997年

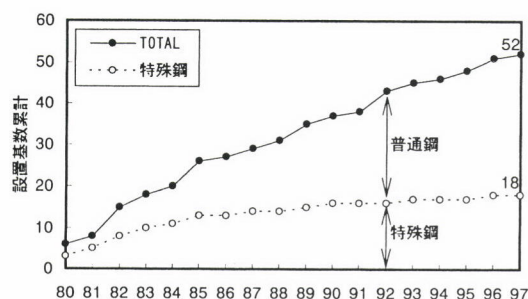


図5 国内LF設置基数推移

までに52基を設置するほどに普及しました(図5参照)。これを見ても、LFは近年の2次精錬技術の中でも画期的、代表的な精錬プロセスと言えます。

LFがここまで発展したのは、LFの諸機能が電気炉の生産性を飛躍的に向上させたことと、ユーザーからの高品質、信頼性要求が限りなく厳しくなってきたという時代のニーズに見事にマッチしたためであります。その最大の要因のひとつはCC化への対応にあったと言っても過言ではありません。CC工程においては、定められた温度の溶鋼が、定められた時間に確実にCCに供給できる体制になっていることが安定操業、品質面において不可欠です。LFはこのような溶鋼温度の厳密調整や、工程の時間管理に最大の効果を発揮することができます。

また、LFは取鍋内雰囲気为非酸化性雰囲気に保たれ、取鍋底部からのガスバブリングにより溶鋼は連続して攪拌されるので、取鍋内の成分偏差は極めて少なく、目標とする成分に精密に調整することが可能です。この機能が特殊鋼CCにとって大きな効果を発揮しています。すなわち、特殊鋼の場合、CC隣接チャージ間で元素濃度差があると、たとえ規格範囲内であっても製品の品質特性がばらつく原因となります。したがって、現在ではLFで非常に厳しい成分調整を行い、チャージ間変動の極小化を図っています。LF設置基数の増加がCC比率の向上と密接に関連しているのはこのような理由によるものです。

LFには①電極加熱による溶鋼の温度制御②強塩基性還元スラグによるスラグーメタル精錬反応③ガス攪拌による溶鋼組成の均一化と反応の促進④不活性炉内雰囲気による精錬反応の維持の4つの基本機能があります。これらは還元精錬の重要な役割を果たすとともに、それぞれが有機的に繋がって補完しあっています。これはかつての電気炉一貫精錬ではとてもできなかったことで、LFにより複雑な還元精錬操業をより効率的に、かつ再現性良く炉外で実施することが可能となりました。このようにLFの利点は数多くあり、その後RH(Rheinstahl-Heraeus式真空脱ガス装置)などの脱ガス設備との複合精錬プロセスの発展に大きく寄与しました。

LFの第5の機能として真空脱ガスを付加したLF-V[®]プロセスがあります。これは温度ドロップによりRHの適用が難しい30トン以下の小型電気炉におけるLF機能と脱ガス機能の併用に大きな意味をもちました。

1977年、大同洪川工場にLF-Vを導入(1976年の3社合併後、旧日本特殊鋼から移設)しましたが、取鍋に直接脱ガス用の上蓋を乗せて処理する方式を採用していたため、上蓋と取鍋の天端の間に地金が入り込み、しばしば蓋が持ち上がらないトラブルが発生し、油圧ジャッキを常備して処理に当たったものです。これは操業性の上で大きな問題であり、1981年にはタンク式のLF-Vに改造しました。

2次精錬炉で最も重要な項目の一つに耐火物が挙げられます。LF開発当時、取鍋用耐火物はまだ酸性煉瓦が主流の時代であり、モルタルを用いて施工する焼成煉瓦であったため、目地開きによる溶損が大きな問題でした。その後、不焼成煉瓦が開発され、寸法精度が高まることによってモルタルも不要になり目地開きの問題は一挙に解決しましたが、溶損による漏鋼事故はたびたび発生し、担当者の頭を悩ませました。この原因は煉瓦材質に起因するもので、当初メタルラインに高 Al_2O_3 、スラグラインにドロマイト煉瓦を用いていたからで、現在の $MgO-C$ 、 $Al_2O_3-MgO-C$ 煉瓦が開発されるまでこの漏鋼問題は続きました。

また、LFには攪拌が不可欠であるため、ポーラスプラグの進歩発展も大きく貢献しました。しかし、ポーラスプラグの閉塞やポーラスプラグからの湯漏れも多発し、悩みの種でした。この問題はその後、二層プラグの開発や吹き込み管への冷却ワイヤー差込で大幅に改善されることとなりました。

このようにLF開発時はいろいろと苦労の連続でありましたが、当時、ASEA-SKF(電磁攪拌)対LFの精錬能の比較論議が暫く続いたことも記憶しています。電磁攪拌ではスラグの十分な攪拌ができないことによるスラグ精錬効果の低下、およびスラグ過熱によるスラグライン耐火物溶損の問題から、ASEA-SKFも最後にはガス攪拌に変更したということです。この事実もまたガス攪拌方式によるLFの発展に拍車をかけたことは言うまでもありません。

ステンレス鋼の2次精錬技術も1965年以降に目覚しく発展しました。ステンレス鋼の精錬のポイントは、高価で酸化しやすい元素であるクロムの酸化損失を抑えつつ、いかに効率よく脱炭を行うかという点です。

1950年頃から電気炉単独でステンレス鋼精錬を始めていましたが、1960年代後半にVOD(Vacuum Oxygen Decarburization)法、AOD(Argon Oxygen Decarburization)法が相次いで開発され、ステンレス鋼の精錬も電気炉から炉外精錬へと移行しました。

AODは希釈ガスによりCO分圧を下げ脱炭反応を促進させるのが特長で、多量のガスを吹込めるので高炭域からでも短時間で脱炭できることや、吹込みガスによる強撹拌効果により低[S]鋼が容易に製造できる利点があります。一方、VODは減圧することによりCO分圧を下げ脱炭反応を促進させる方法であり、取鍋内で一貫して精錬を行うため精錬後の[C]、[N]のピックアップが少なく、極低[C+N]ステンレス鋼の製造に適しています。その反面、減圧下での脱炭精錬時の溶鋼突沸現象に対応できるように取鍋のフリーボードを十分に確保する必要があること、脱炭速度を早くできず処理時間が長いという不利な点もあります。したがって、一般的には汎用ステンレス鋼の精錬にはAODを、極低[C+N]ステンレス鋼のような特殊ステンレス鋼の精錬にはVODを採用することが多く、ちなみに、電気炉によるステンレス鋼生産量のうち75%をAODが占めています。

大同はAODを1974年に星崎工場に設置以来、1979年渋川工場に、1984年築地工場に導入しました。またLF-V兼用のVODも星崎工場に導入しました。精錬技術面では、ステンレス鋼の旺盛な受注増に対応すべく、1977年にAOD-CB法(Counter Blow)を、1988年にAOD-TH法(Top Heating)を開発してきました。

AOD-CB法はAODの脱炭期に上吹きランスから酸素を吹込んで炉内COガスの2次燃焼をはかり、この時の発熱で溶鋼の昇温を早め、作業時間の短縮とクロム酸化を抑制する方法です。またAOD-TH法はCB法をさらに発展させ、LNG-酸素バーナーにより積極的に炉内にエネルギーを投入する作業法です。脱炭速度の向上と単位[C]当りの昇熱量の増加が図れるという特長を持ち、AOD処理前の[C]を下げるができるため処理時間の短縮、生産性向上が可能となります。いずれの方法もAODの操業効率化に大きく貢献しました。

このようにAODはステンレス鋼量産プロセスとして進歩、発展してきましたが、大気圧力下の精錬であるため特に極低炭素域の脱炭に課題を残していました。そのためAODに減圧精錬機能を付加し、AODとVODの長所を組合せた新精錬プロセスAOD-VCR法(Vacuum Converter Refiner)が開発されました。本プロセスは1987年に大同渋川工場20トンAODで開発に着手し実用化した後、1991年大同知多工場に量産設備として大型化し(70トン)適用しました。

AOD-VCR法はAODの特長(強撹拌力)を活かしつつ、減圧下においてO₂吹錬なしに溶存酸素およびスラグ中の酸化物を利用し低炭素域の脱炭を行うプロセスです。従来のAOD設備に減圧精錬を適用するため、図6に示すように

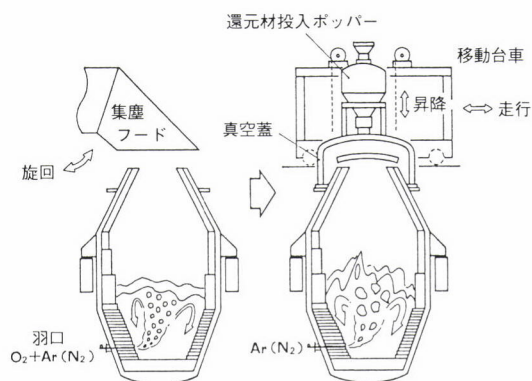


図6 AOD-VCR設備概要

AODベッセルのコーン周囲に水冷フランジを設け、上方から移動式真空蓋をかぶせて内部を減圧できる構造となっています。

低炭素域([C] ≤ 0.15%)で減圧精錬を行うため、このC域での脱炭速度が従来のAOD対比2倍以上に向上し、還元用Si原単位、Ar原単位の大幅な低減が可能となりました。さらにVODに比べ短時間で容易に極低炭素、窒素レベルが実現できるため、VODを保有しなくても極低[C+N]ステンレス鋼の製造が可能になりました。

AOD-VCR技術の確立をきっかけとして、1995年には大同星崎工場製鋼部門を休止し、ステンレス鋼の溶解を知多工場へ集約しました。

5 連続鑄造技術の進歩

我が国の特殊鋼分野で連鑄化の取組みを開始したのは早く、1964年2月に北日本特殊鋼(現大平洋金属)八戸にて低合金鋼、硬鋼線、SS41用ピレット、スラブ兼用連鑄機が稼働したことに始まります。次いで1965年から1966年に八幡製鐵(八幡)、神戸製鋼所(神戸)、住友金属工業(小倉)で相次いでピレット連鑄機が稼働し、硬鋼線、機械構造用炭素鋼、ばね鋼、軸受鋼などの製造が試みられました。

しかし、Alを添加して細粒保証をする鋼種が大部分を占めていたため、鑄片表面や内部の欠陥対策以前にタンディッシュからモールドへの注入ノズル閉塞で鑄造自体が中断する問題が大きく、Siキルド鋼の小形条製品で普通鋼電炉業界が順調に連鑄化を拡大したのとは対比的に、一旦連鑄化を断念する事態となりました。

その後、普通鋼ブルーム連鑄やスラブ連鑄で進歩した溶鋼の介在物低減対策、鑄込み時の溶鋼の再酸化防止対策、電磁撹拌技術などを新たに採用した大断面のブルーム連鑄機での連鑄化の試みが再開されました。

大同でも、1972年私が渋川工場長の時代に、燕市向け洋食器用素材製造用として渋川工場に1ストランドのブルー

ム・ビレット兼用機を建設し、同時に自動車用特殊鋼連铸化のためのテスト鑄造と本格的な品質確性を開始しました。EMS(Electro Magnetic Stirrer 電磁攪拌装置)の導入、ロングノズル断気鑄造、165mm角小断面での4孔式ノズルの実用化など、連铸技術の蓄積を図るとともに小断面(165mm角)と大断面(230mm×320mm)の比較試験を行いました。

その結果、大断面での鑄片製造はノズル詰まりの問題も軽減され、鍛錬比が大きいことによる製品の内部欠陥の改善、生産能率の向上などの利点が得られました。その後、1970年代に入って連铸化が難しいとされていた特殊鋼の連铸比率も急速に伸び、1985年以降は連铸比率80%を超えるまでに至りました⁴⁾。

私は大断面ブルーム連铸機の特種鋼への採用が連铸化を促進させた大きな要因と今でも思っているわけですが、前に述べましたように1978年、当時知多工場長であった私は自ら欧米を回り、世界の特殊鋼ビレット連続鑄造の実状とMAGNETGYR(鑄型内電磁攪拌連铸)の調査を行いました。特にロータリーCCに興味があったのですがモールド内のノロの除去作業を見て、大同への導入は作業性と品質との両面から不安があると断念したことを覚えております。その後、国内の連铸機の調査結果を踏まえ、最終的に特殊鋼量産連铸機は大断面であると確信し、知多工場に国内初の自動車向け特殊鋼量産ブルーム連铸機(全湾曲型)の導入を決めました。

断面サイズは、当時インゴットを分塊で11パスかけていましたがこれを約30%減の7パス程度まで低減でき、かつ中心品質を考慮し、偏平比1.3付近となることを条件に370×480mmとしました。湾曲半径は内質を考慮し、できるだけ大きくしたかったためメーカーと相談し16.5mRとしました。当初は1980年12月1日ホットランの予定でしたが、メーカーの多大の協力を得て、予定より半月も早い11月15日にホットランを迎えることができました。

しかし、主要客先である自動車メーカーに対し、CC材の認定を得るには製品サンプルを提供し、部品毎、鋼種毎全てにわたってベンチテスト、実車テストを行うことが条件でした。ホットラン以降、一通りのサンプル出荷を終えるまでに翌年3月頃までかかり、一時は場内に2～3万トンもの未引当て鋼片在庫の山ができたことを覚えています。苦労の末4月～7月には大半のユーザーからの認定がおり、順調に量が流れ出しました。

十分注意を払っていたにもかかわらず2～3のトラブルがありました。一例として、あるユーザーのデファレンシャルギア部品でCC材サンプル品が割れたことがありました。よく調べてみるとインゴット造塊材との比較テスト

ではなく、CC材だけのテストであり、つまりユーザーがかなり過酷な実車負荷テストを行った結果の問題でありました。CC材、インゴット造塊材両方の比較をお願いしたら両方とも割れる結果となり、CC材だけの問題でないことが実証されました。このように物を造り製品で実証することの地道な積み上げがユーザーのCCに対する認識を徐々に変える結果となりました。

操業スタートから約半年間、関係者はハードな毎日が続きましたが、先駆者として見切り発車でしたので、当然のことだと思っています。他社でもその後、1982年までに高炉メーカーおよび特殊鋼専門メーカーが競って、計4基の特殊鋼専用大断面ブルーム連铸機を設置し、特殊鋼のCC化、製造プロセスの効率化が一気に加速しました。

1980年代から現在にかけては、さらなる品質技術、小ロット対応とコスト改善技術発展の時代でした。品質技術の代表的なものは、それまで中心偏析要因で連铸化困難とされていた高炭素鋼への電磁攪拌、軽圧下技術の適用が挙げられます。また、高纯净化対応としてタンディッシュ内溶鋼加熱技術もこの時期に発展したものです。小ロット対応とコスト改善技術としては特にタンディッシュの熱間繰り返し使用技術が挙げられます。そして、1992年大同知多工場に、私が昔見たロータリーCCの丸鑄片への思いと、前述した国内初の自動車用大断面ブルーム連铸機で培った技術との結集として丸断面一完全垂直型ブルーム連铸機を誕生させました。

このCCは、通常は一つの鍋から4ストランドの鑄込みをしますが、2鍋を同時に2ストランドずつ鑄込み分けができる機能をもたせており、近年の小ロット対応技術としては特筆すべきものであります(図7参照)。また、丸鑄片が

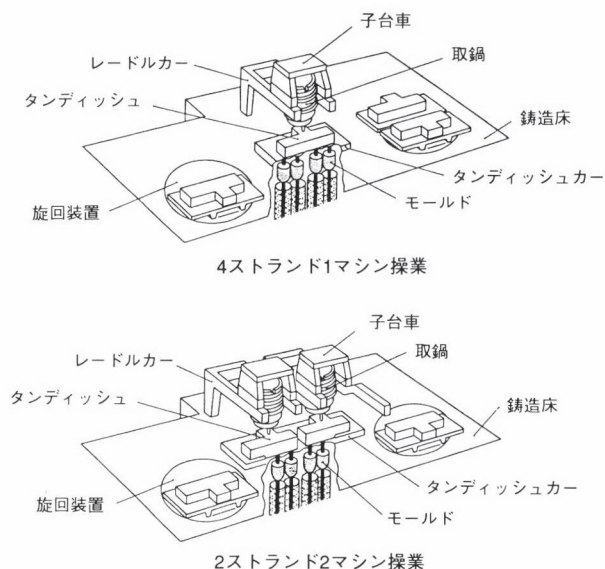


図7 4ストランド1マシン操業と2ストランド2マシン操業概念図

ゆえ、表面から内部への均質性に優れ、丸棒鋼製品には製品特性上最も適したものと確信しています。

The Steel remembers its original shape. (鋼は己の生まれたままの形を覚えている)という言葉は私は忘れません。

6 特殊溶解技術の進歩

特殊溶解は、真空誘導炉(VIF)に代表される1次溶解法とVAR(Vacuum Arc Remelting)・ESR(Electro Slag Remelting)に代表される再溶解法に大別されます。

VIFは戦後大型真空ポンプの実現などにより工業的規模での実用化が可能となりました。1960年代において、大容量サイリスタの急速な発達に伴い、中・高周波電源の大幅な効率化が進み現在に至っています。真空下での放電対策として、シリコン系絶縁物の発達もVIF発展の影の功労者でしょう。

我が国におけるVIFの適用は、電機メーカーが磁性材を中心に生産を行った事から始まり、1940年代に入って鉄鋼メーカーが本格的に超合金の生産を開始しました。現在、鉄鋼、特殊鋼メーカーで稼働中のVIFは1トン以上の容量で17基に達しています。欧米のVIFは言うまでもなく航空機、電力関連がそのニーズを生み出し、日本と比べ炉容も大きく超合金の開発と共に発達しました。

全世界的に見て、現在Carpenter Technology社(米)の20トンVIFと大同澁川工場の9トンVIFが最新鋭炉と考えられます。澁川工場のVIFは1973年製の3トンVIFに始まり、設備的には世界初の1電源2炉のクイックチェンジ方式を採用しました。技術的には従来のCO反応をベースとした真空精錬に対し、造滓脱硫技術を確立、また、レードル方式による真空中での下注造塊を実現してきましたが、これら設備・技術を結集し、本年(1999年)、最新鋭の9トンVIFを設置しました。

近年、電気炉技術の発展に伴い、Ni基超合金の大ロット材、あるいは汎用材の母材溶解についてVIFから電炉への移行が一部進められています。しかし、小ロット材、および航空機用などの品質厳格材溶解用として、VIFの活躍の舞台は今後も極めて多岐に渡っており、アーク炉製鋼法とは一線を画した分野における発展に期待したいと思います。

一方、再溶解設備はVARが1949年米国にて、ESRが1954年旧ソ連にて基礎が確立され、それぞれのプロセスからくる操業、品質、経済性の長所、短所を有しながら今日に至っています。1960年以降設置された再溶解炉は、世界でVARが約200基、ESRが約100基あり、TiおよびTi合金や航空機関連のニーズがVARにある事が設置数の差に現われています。

現在、VAR・ESRとも主に航空機用、電力用の回転体に適用されていますが、近年、その使い分け、住み分けが不鮮明になってきています。それはそれぞれの持つ長所、短所が設備・技術の進歩で補完されてきたことによるものです。

たとえば、ESRに対しVARの最大の弱点であった銅塊表面手入れについては、1985年以降、アークギャップコントロールの精度改善により不要の時代になりつつあります。

また、VARに対しESRの最大の弱点であったスラグによるAl、Tiなどの活性元素の変動や、大気影響による水素ピックアップの問題については、1985年のスラグメタル平衡制御技術の確立、および1989年の真空ESR、1998年のシールドESRの開発によりVAR並みの品質を得ることが可能になってきています。ヨーロッパでは1970年に開発された高圧力ESRによる高窒素クロムステンレス鋼の出現も、今日にわかに脚光を浴びつつあります。

大同澁川工場の再溶解設備は、1976年の3社合併当時VAR2基、ESR2基でしたが、前述した技術の社内開発はもちろん、海外の先進技術の導入を積極的に行い、現在では最新鋭機も含め、VAR5基、ESR7基の世界有数の再溶解工場になりました。さらに6基目のVAR導入を1999年末に計画しています。

このように大同では澁川工場に特殊溶解設備の拡充をしてきました。その理由は、澁川工場が鍛造品主体の一貫工場であり、高級帯を始めとする高級鋼のピレットセンターとしての役割を果たすためです。品質的にも要求が厳しく、かつ熱間加工性に課題を持つ超合金などを能率良く安定生産するため、鍛造生産性の飛躍的向上を狙った4面高速鍛造機を1986年に導入し鍛造技術の革新も図ってきました。4面高速鍛造機はオーストリアのGFM社が1946年に開発した機械クランク型式の鍛造機であり、難加工材の鍛造に威力を発揮しています。

立ち上げ当初は加工発熱の制御や設備の高精度維持、治工具の改善などいろいろと担当者の頭を悩ませたものでした。現在は材質毎の鍛伸プログラムを確立し、主力設備として稼働しています。ちなみにGFM社およびEUMUCO社が製作した4面高速鍛造機は国内で7基、海外で17基が稼働しております。

「高級鋼のメッカ澁川」をめざした設備、技術のラインナップは特殊溶解、高能率鍛造、機械加工の充実により、高付加価値製品への対応力を着実に増し、幅広い分野への製品供給を果たしてきました。

7 おわりに

私は終戦の混乱期である1946年12月に大同製鋼(現大同特殊鋼)に入社しました。以来「特殊鋼とともに52年余り」の歳月が流れました。

本文で記述した、さまざまな先進技術の導入、および開発もさることながら、戦後の日本が驚異的とも言える産業発展、経済成長を遂げた理由のひとつに自主管理活動があります。

1950年にアメリカからデミング博士が来日し、統計的品質管理を我が国にもたらしました。当時の製品品質の国際競争力はアメリカが日本の先生格でした。その後、日本独自の発展を遂げ、技術者のみならず現場で作業する人達自身が「自分達の力で改善するのだ」という強い意欲が自主管理活動を完全に定着させました。

大同では1967年に築地工場が「QCサークル活動」という名前で取り組んだのが始まりです。当時、知多工場次長であった私は、現場に合った活動をするために、現場の皆さんに親しみを持って取組んでもらえるように「QCグループ活動」という名で導入しました。しかし、全くの手探り状態であったことを覚えています。

私の学生時代に、最初の冶金担当主任教授であった池田謙三博士(後の秋田大学学長)が繰り返し強調された人間工学(Human Engineering)および、1979年頃、当時鉄鋼新聞のコラム欄に掲載された武田豊氏(当時新日本製鐵副社長)の「創造の心は、大脳生理学者によれば前頭葉の新皮質で司られており、目標を設定することにより推理、連想、思考、工夫、判断の一連の創造活動が作動し、その結果、創造というものが生まれる。つまり目標設定、問題意識のないところには創造は生まれない」⁵⁾という思想は私にとって大変参考になりました。そこで渋川より知多へ移って早々に一寸キザな表現で、うまく全員にアピール出来るかどうか心配したのですが「フロー改善、効率アップ」「不良半減、事故半減」などのスローガンを強烈に打ち出しました。これは、各工程それぞれに機械化、省力化も進み、自主管理活動も一応の前進が見られる中、前工程と後工程との繋がり意識の欠如を私自身感じたことからですが、これにより、工場全員一丸となり、上工程から下工程までお互いに品質感覚を刺激し合い、全体の人員バランスも考慮しつつ自主管理活動を活性化しました。

その後、皆さんの真摯な努力の積み重ねと、特に鉄鋼各社の相互研鑽もあって、安全の確保、品質・生産性の向上、コスト低減などに非常に大きく寄与し、会社を支える柱に成長しています。

資源もエネルギーもほとんど持たない我が国では人材だ

けが貴重な資源であり、やはり基本となるのは言い古された言葉ですが「鉄づくりは人づくりだ」と考えています。

「人がいて、技術が出てきて、独自の技術が生まれ、独自の設備が出てくる」まさにその通りです。

最近、中日新聞のコラム欄に中坊公平氏の「現場主義」が掲載されました。一節を以下に紹介します。

「現実には、現場にいて、現物を手にとって、自分の目・耳・鼻・舌・そして手(触り)の五官をもって物事をつかむ。するとそこには物事の本質が見える」⁶⁾

製造業に携っていない方からこのようなお話は全く意外でしたが、内容に全く同感しました。

思い出してみますと、私は製鋼マンとしてのキャリアを電気炉の炉前工として始めました。この経験からでしょうか、私は常に「現場第一主義」を座右の銘として現場の事象のみならず、そこで仕事をする皆さんとの人間的交友を重視してきました。その上になって「勇気は自信に先行する」といわれた西堀栄三郎先輩の言葉通りに、新技術の開発や導入を行ってきました。この時代は日本の特殊鋼業界の高度成長期に当り、質・量ともに一段と優れた特殊鋼を自動車業界を中心に日本の基幹産業に供給できた時期でありました。

昨今、未曾有の不況に直面し、現場の皆さんのご苦勞も大変なものだと思います。しかし、今でも改善の源は現場(含ユーザー)に沢山ある筈です。これからの特殊鋼を担う若い皆さん、コンピューターは一つの手段に過ぎません。現場に出て現象を直視して下さい。そこから必ず21世紀の次の飛躍の基が生まれてくる事を確信して下さい。若いエネルギーが花開き、さらに発展して行くことを心から期待して、終わりとします。

〈追伸〉

私がここまで来られたのは、恩師、金森九郎教授、深堀佐市講師をはじめとする大学および企業の諸先輩、友人の教えによるものが大きかったと思います。戦後、復興の50有余年に亘る数々の局面を思い起こしつつ、時には山々に心を洗われた思い出とともに筆を置くことにします。

拙い回顧録にお付き合いいただいた読者の皆さんに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 特殊鋼の知識, 鉄鋼新聞社, (1994)
- 2) 特殊鋼部会100回の歩み, 日本鉄鋼協会編, (1996)
- 3) W. E. Schwabe et al.: J. of Metals, 17 (1965), 1, 75,
- 4) わが国における鋼の連続鑄造技術史, 日本鉄鋼協会編, (1996)
- 5) 談論, 日本鉄鋼新聞, (1979.7.17), 武田豊の実戦・大脳生理学, (1986)
- 6) 紙つぶて, 中日新聞 夕刊, (1999.3.3)

(1999年4月14日受付)