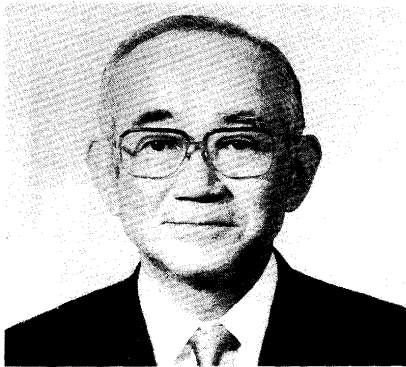


## 鉄鋼技術の進歩発展と将来展望

三好 俊吉\*

Shunkichi MIYOSHI

View of Steel Technology Development



NKK代表取締役社長  
三好 俊吉

1929年 3月16日生  
1951年 東京大学第一工学部冶金学科卒業  
同 年 NKK入社  
1982年 同社取締役  
1985年 同社常務取締役  
1988年 同社代表取締役専務取締役  
1990年 同社代表取締役副社長  
1992年 同社代表取締役社長に就任。現在に至る。

本日は栄えある渡辺義介賞を戴き、まことに身に余る光栄と存じ厚くお礼申し上げます。これもひとえに関係の方々のご指導ご支援の賜物と深く感謝申し上げます。次第です。

私が日本鋼管(NKK)に入社したのは、昭和26年で、朝鮮戦争による特需景気をきっかけとした日本経済の戦後復興の拡大初期にあたる時期でした。当時配属されたのは、京浜・渡田地区にあった川崎製鉄所の転炉製鋼課です。転炉と言っても現在のLD転炉ではなく、日本ではNKKだけが操業していたトーマス転炉です。以来40数年に渡って鉄鋼業に携わってまいりました。その内最初の20数年間は製鋼関係の仕事に従事し、LD転炉法の導入・CCの導入と「製鋼技術」の2大技術革新を経験できましたことは、鉄鋼技術者として誠に幸運でありました。

本日はこの私の経験の一端を紹介させて戴くと共に、鉄鋼技術の進歩発展と将来展望についてお話したいと思えます。

## 1 はじめに

戦後日本の驚異的な高度経済成長を支えたものの中で日本鉄鋼業の果たした役割は多大なものがあります。

その鉄鋼業が急速に発展した理由は種々ありますが、その中でも積極的な技術導入を契機とした鉄鋼技術の進歩発展がとりわけ重要な役割を果たしました。

本日は、まず最初に私が直接関与したLD転炉法の技術導入のお話をさせて戴き、その後でわが国鉄鋼業がどの様に進歩発展してきたのかを述べ、更に今後の課題についても考えてみたいと思います。

## 2 LD転炉法の導入

NKKにおける製鋼炉別粗鋼生産量の推移を図1に示します。当社は昭和11年に銑鋼一貫体制に入り、その2年後の昭和13年にトーマス転炉法を導入しました。戦後もトーマス燐肥が食料増産に寄与することもあって、トーマス転炉を再稼働し推進しました。図2は炉体構造と当時の操業成績を示したものです。当時としては予想以上の成績を修めましたが、品質的には平炉鋼より劣っていました。炉底から空気を吹き込むトーマス転炉法では吹錬後半の[P]吹き時に[N]が上がってしまうからでした。これを改善するために、酸素富化等の様々な試験を行い大変苦勞したのを覚えています。しかしながら[P][N]の点で、トーマス鋼は平

平成7年4月本会講演大会における渡辺義介賞受賞記念講演

平成7年8月22日受付 平成7年9月25日受理 (Received on Aug. 22, 1995; Accepted on Sep. 25, 1995)

\*NKK代表取締役社長 (NKK Corporation, 1-1-2 Marunouchi Chiyoda-ku, Tokyo 100)

Key words: steel technology; LD converter; steelmaking; ironmaking; hot rolled product; cold rolled product; environmental problem; slag; future issues.

炉鋼に匹敵するところまでは至らなかったのです。

この改善を図るため、当時トーマス転炉の酸素富化に関する研究が進んでいたドイツに調査団が派遣されました。その時の調査団が現地にてトーマス転炉の勉強中にある商社から新プロセスに関する情報が入り、急速オーストリアのLinz, Donawitz両工場へ行きました。そこで、初めて純酸素上吹転炉いわゆるLD転炉なるものを見たわけです。また

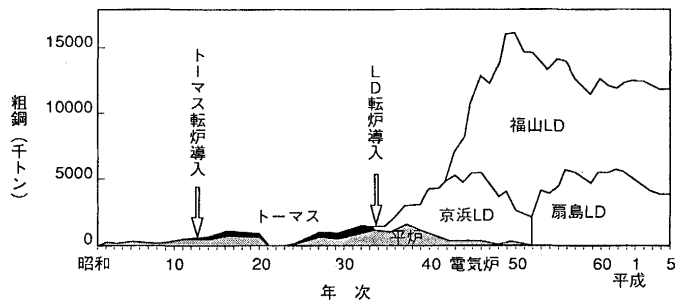
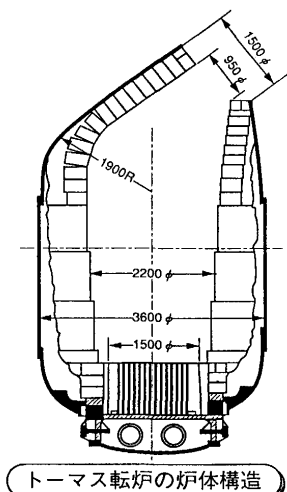


図1 NKKにおける製鋼炉別粗鋼生産量



トーマス転炉の炉体構造

操業成績 (1938年9月)	
出鋼回数 (ch)	561
製鋼時間 (min)	36
吹練時間 (min)	27
原料* (t)	11,100
良塊 (t)	9,045
歩留 (%)	81.5
基数	2.04

\*溶鉄：10,902t  
屑鉄：198t

図2 トーマス転炉の炉体構造と操業成績

その帰途にスイスのチューリッヒで、LD法の先駆者であるDr. Duerrerに会い極めて印象深い説明を受ける事ができました。

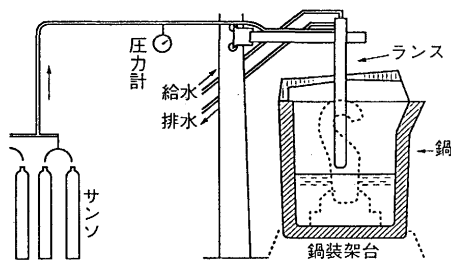
調査団の帰国後、さっそく5t鍋による上吹き試験を実施しました。その時の試験の様子を表したものが図3です。吹錬結果は上々でLD法の吹錬特性の優位性が確認できました。

このような試験を含めて上吹転炉に関する関心は徐々に高まり、LD法の技術導入の機運が盛り上がりつつありました。当初NKKと八幡製鉄は、それぞれ別々に導入交渉をしていましたが、NKKがAlpine社からかなり有利な条件を引き出していることが判明しました。そこで当時の八幡製鉄渡辺義介社長——実は私が本日戴きました渡辺義介賞の生みの親です——の「鋼管に譲れ」の大英断でNKKがゼネラルライセンスとなり国内が一本化されたわけです。Ton feeではなく一括払いとしたことで、後のLD法の大発展を考えると大変価値のあるものを安く手に入れることができたわけです。

技術導入契約に基づいて2回に渡って技術実習が行われ、私は今で言う係員として第1回目の実習に参加しました。NKKと八幡製鉄の合同部隊でAlpine社のDonawitz工場に2か月間、Voest社のLinz工場に10日間の実習を行い技術討論も行われ、十分に成果があがりました。(図4)

このようにして日本におけるLD法は、八幡製鉄・NKKの2社により開始されましたが、その後の国内他社のLD法の採用も、予想を遙に上回る速度で普及していきました。即ち、富士製鉄、住友金属、神戸製鋼、川崎製鉄と5年の間に次々とサブライセンス契約締結の上でLD法の採用が行われました。その後は各社のLD法の増強によって昭和39年には平炉生産量を追い越し、昭和53年に至って最後の平炉が休止し日本の製鋼法は転炉法と電気炉法だけになりました。

一方ライセンス契約グループ内のみで実施出来る仕組み



5T上吹実験装置



5T上吹実験の状況

図3 5 T上吹転炉試験

となっていた技術の交換に対しては、昭和33年5月にNKKと八幡製鉄との間で行われた参加人員わずか10名の技術懇談会を皮切りに、同年10月には日本LD技術懇談会が発足しました。会を重ねるごとに研究発表と見学が盛んに行われ相互の技術の発展に寄与することができました。この技術懇談会は昭和41年6月の第17回を最後に、討論の場を日本鉄鋼協会共同研究会製鋼部に譲ることとなりました。

さて私は渡田のLD転炉建設立ち上げの後に、水江転炉の建設に参画しました。これはNKK 2番目のLD転炉であったため、それまでの転炉技術の蓄積をフルに盛り込むことができました。スロッピングや長いランスには大変苦勞させられたこともあって、炉形状・ランスの懸垂装置等には注意を払いました。特に「ランスの揺れをどうするか」と悩みましたが、籠に固定したらどうかと考えて籠懸垂方式を考案し、これが見事に成功しま

した。この方式は、各社で採用されることになり現在の懸垂装置になったわけです。

図5に水江転炉の炉体形状とキャップド鋼鑄込作業を示します。当時のキャップド鋼は米国方式の平行台車配列による上注ぎ方法が一般的でしたが、水江では楕形配列による大型下注キャップド鋼を採用し成功しました。

このようにして水江で生産した薄板溶鋼の品質は画期的に向上し、トーマス転炉鋼以来LD転炉に至るまで苦心を重ねてきた技術の蓄積が一気に実現化できました。

その後私は福山製鉄所勤務となり、このキャップド鋼のCC化に取り組みました。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系介在物や中央偏析の問題を解決しCCの適用拡大を図りましたが、本日はCC導入時期のお話は省略させていただきます。

### 3 鉄鋼技術の進歩発展

#### 3.1 鉄鋼技術の発展の歴史

それでは次に私が直接関与したLD法やCC法も含めた全鉄鋼技術の歴史を調べてみたいと思います。

図6は鉄鋼技術特にプロセス技術に関してその発展の歴史を示しています。

まず製鉄製鋼分野を見てみますと、19世紀以前に主に英国において、コークス高炉法やベッセマー転炉法などの各種製鋼法の基本プロセスが確立され、1950年前後に独国やオーストリアでCC法やLD法がそれぞれ開発されています。逆に1970年以降を見てみますと基本プロセスの高度化技術といった面で日本鉄鋼業が主役の座を占めているのがわかります。

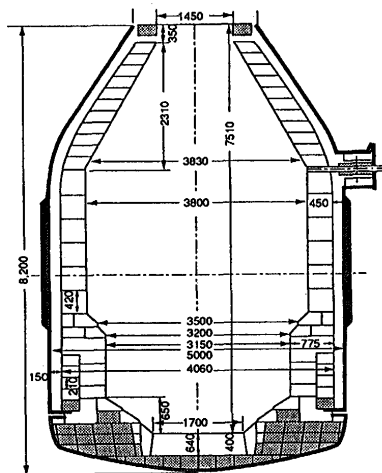
圧延や表面処理分野を見てみますと19世紀から20世紀初頭にかけて、主として米国や独国において各種圧延法や表



坂本 土居  
Brandner 森田・Dobrowsky Wegscheider 甲谷 岸田  
前原 阿南

図4 技術実習一行とDonawitz技術者(三好撮影)

#### 水江転炉 炉体形状



□ タードロマイトスタンプ  
■ 焼ドロマイト煉瓦

#### キャップド鋼鑄込作業



(昭和35年4月)

図5 水江転炉炉体形状とキャップド鋼鑄込作業

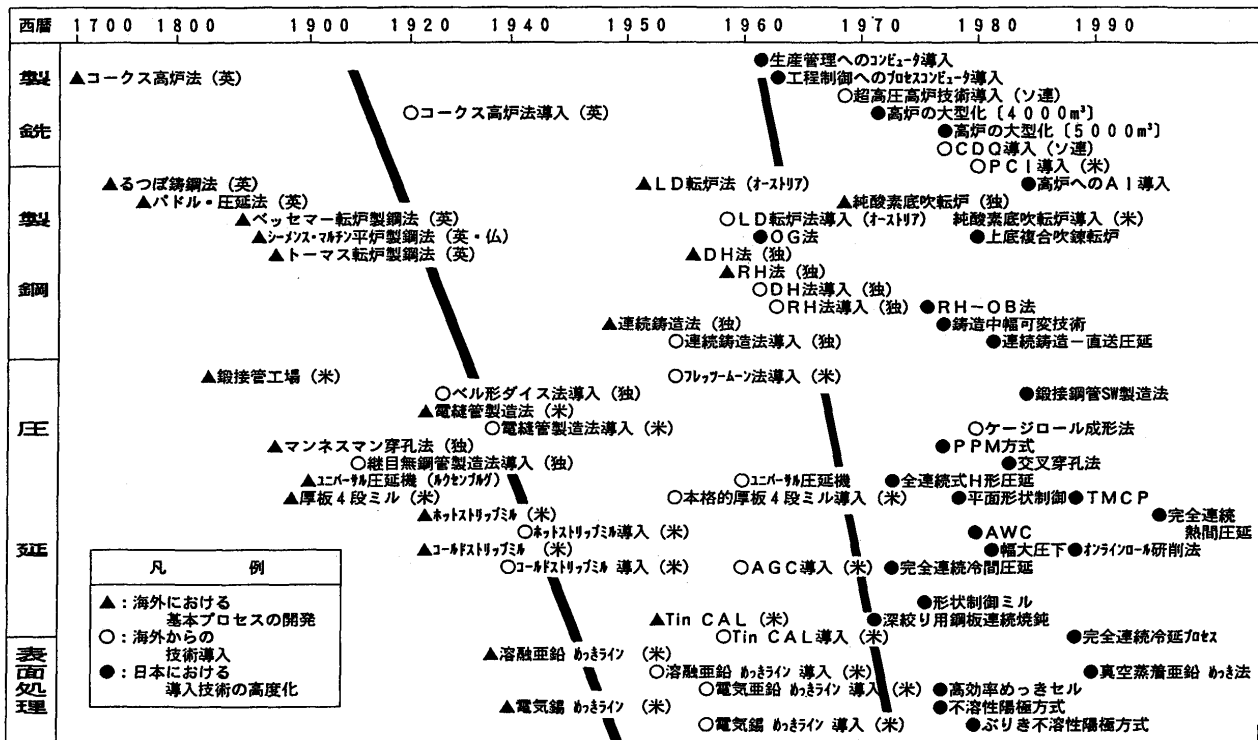


図6 鉄鋼技術(プロセス技術)の発展の歴史

面処理ラインが開発されています。ところが1960年以降になると各基本プロセスの高度化技術はほとんど日本で開発されています。

また商品技術に関してその発展の歴史を調べてみますと、やはりプロセス技術と同様な傾向があります。即ち1960年位までは全商品が海外で開発されていますが、70年以降になるとほとんどわが国が開発していると言っても過言ではありません。

### 3・2 最近の鉄鋼技術の進歩発展状況

今まではプロセス技術や商品技術についての歴史をみてまいりましたが、この次はほとんどわが国がその開発を担った最近の鉄鋼技術の進歩、発展状況について具体的に説明したいと思います。

図7は最近25年間の高炉技術の進歩についてまとめたものです。1965年から75年にかけては、高出鉄比達成のための酸素富化技術、重油多量吹込技術が開発されました。75年から85年にかけては、2度にわたる石油危機に対処するため、補助燃料の重油から微粉炭への転換が試みられました。またこの時期は5000m<sup>3</sup>以上の大型高炉が出現し、これに対応した操業技術の開発が始まりました。85年以降になると100K/Tの微粉炭多量吹込技術(PCI)、AI導入による高炉操業技術が確立されました。

転炉においては、上下吹き吹酸化への改造が進むと同時に溶鋼成分・温度をオンライン・リアルタイムに検出・推定する各種センサー制御技術、取鍋へのスラグ流出防止技術、鉬石還元や脱燐を主目的とする溶銑予備処理時の攪拌強化などの技術が開発されています。

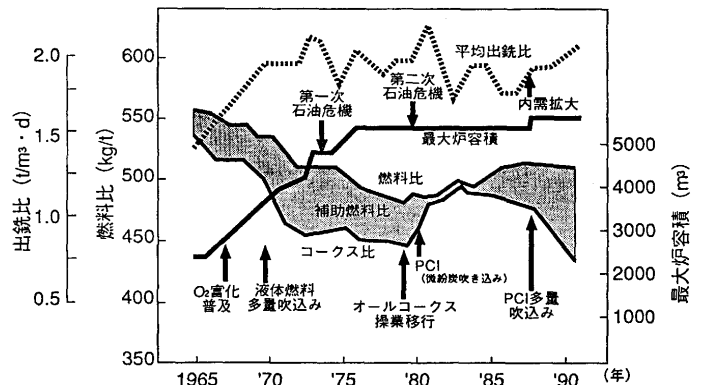


図7 製鉄分野をとりまく環境と技術の進歩

二次精錬においては、自動車用極低炭素鋼の需要の増大に対応して、大還流量、大量ガス吹込、高速大量排気等の真空処理技術が実現して炭素の限界値は著しく低下し、最近では10ppm以下の炭素濃度も可能となっています。

図8は、連続化比率の推移とその間に開発された主な連続技術を示したものです。1970年代に電磁攪拌・軽圧下鋳造の適用による中心偏析対策が、介在物対策として垂直曲げが採用されました。80年代に入ってからモールドパウダーの改善や、電磁ブレーキによるモールド内溶鋼流動制御により、大幅に品質が向上しました。また薄板の連続においては、高速鋳造と高品質スラブの造り込みによって直接圧延が実現しました。

次に圧延技術ですが、まず高度成長時代には高速圧延技術が開発実用化され、70年代からは質への要請が強まり、制御圧延技術(CR)・熱加工制御技術(TMCP)など材質制御

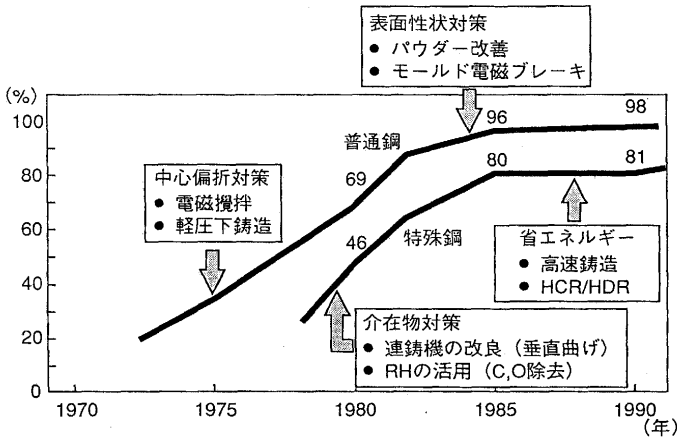


図8 連続鋳造技術の発展(CC比率の推移)

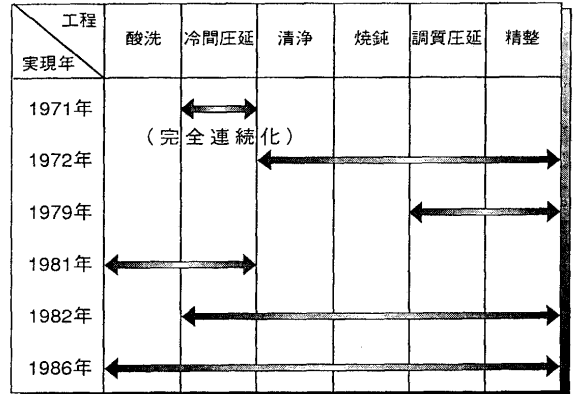
技術が進展しました。またコンピュータ・センサーなどの周辺技術の大幅な進歩を有効に利用して、高精度の圧延ができるようになりました。最近のホットストリップミルは国内のほとんどのミルが形状クラウン制御ミルを導入し、長さ方向だけでなく幅方向の板厚精度も大幅に改善しています。これにより通板中の平坦度も容易に制御でき、狭幅から広幅へのスケジュールフリー圧延が可能となりました。また近年は大幅な生産性向上や板厚・形状制御性能の向上が図れる画期的なものとして完全連続熱間圧延技術が実用化されようとしています。

一方冷延工程については、1970年頃から連続化技術の開発・実機化が世界に先駆けて行われてきました。図9は連続化・直結化の進展を実現した年の順に示したものです。80年代からは、まず酸洗と冷間圧延の連続化が試みられ、86年には酸洗から精整までの6つの工程が完全に連続化された設備が実現しました。

それでは次に、自動車対応を中心とした鉄鋼材料の進歩発展について説明します。図10は自動車用熱延鋼板の開発経緯を示したものです。自動車用熱延鋼板は自動車の足回り部品に用いられますが、車体軽量化による燃費向上ニーズに対応して、鋼板の高強度・高加工性を進めてきました。当初は、製鋼の脱硫処理や熱延制御圧延技術の適用により、Nb等を添加した析出強化鋼板を中心に加工性や靱性の改善を、次いで、ランナウト制御冷却を用いた連続圧延後の熱履歴制御による変態強化型鋼板の開発を進めました。この結果、伸びフランジ性や延性、更には、耐穴あき腐食性に優れる種々の高強度熱延鋼板の開発に至っております。

最近の自動車用冷延鋼板については、深絞り性を一層向上した材料や強度を高めた材料を開発しています。また車体の構造部分や補強材に用いられる60キロ以上の鋼板については、延性向上によってより複雑な部品への適用や、150キロ級まで強度を高めることによりインパクトパイプの軽量化を可能にしています。

防錆鋼板は、北米やヨーロッパなどの融雪塩散布地域で



技術ポイント

- ・完全連続冷間圧延機の登場 (1971)
- ・連続焼鈍技術の実現 (1972)
- ・酸洗-冷間圧延の連続化 (1981)
- ・完全連続・冷延鋼板製造設備の実現 (1986)

図9 冷延工程の連続化・直結化

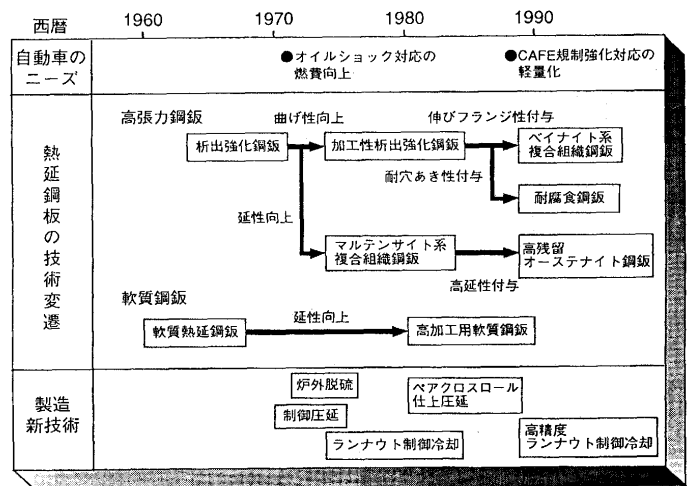


図10 自動車用熱延鋼板の開発経緯

の車体腐食が激しいことから、そのニーズが生じてきました。これらの国々では、政府が法令として自動車の防錆品質のガイドラインを提示しています。溶融めっき法で製造される亜鉛-鉄合金めっき鋼板と電気めっき法で製造される亜鉛-ニッケル合金めっき鋼板に大別されますが、溶融めっきは厚目付けが可能のため防錆性に優れており、電気めっきは薄目付けでプレス成形性と溶接性を向上させたものです。

## 4 今後の課題

これまで述べて参りましたように、現在の鉄鋼技術は大きく進歩しその中で日本の果たした役割は多大なものがあります。ここではその歴史的意味付けをもう一度考えてみたいと思います。図11は鉄鋼技術から見た日本のポジションを模式的に表したものです。即ち各基本プロセスは海外

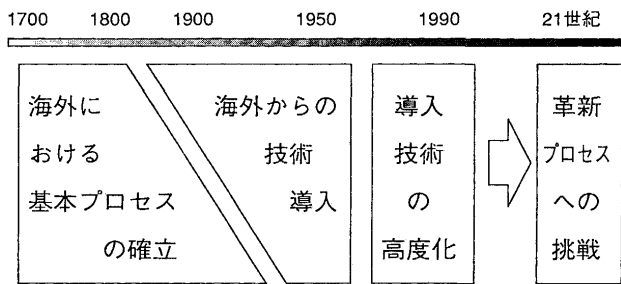


図11 鉄鋼技術の進歩発展

において確立されています。これを日本が積極的に技術導入しました。更にその基本プロセスを改良進歩発展させるという役割は、ほとんど日本が担ったと言っても過言ではありません。この各基本プロセスの高度化を図ることによって日本鉄鋼業は、大きく発展してまいりました。そしていまやその鉄鋼技術の蓄積は世界に類を見ない程の水準であるといえます。従って今後我々日本の鉄鋼技術陣は革新的な新基本プロセスを世界に先駆けて開発し、それをもって世界の人々に恩返しする責任があります。

では、どのような革新プロセスに挑戦するべきなのかを考えてみたいと思います。

現在の科学技術の状況は、人類の持っている技術能力が地球の大きさに匹敵するまでになっています。例えば鉄鋼産業や自動車産業のように一桁の企業で全世界の需要を賄えるようになった生産能力、人類を何回も破滅させることができる核兵器の破壊力、炭酸ガス・フロンを始めとした地球環境問題などがその証左であります。従って人類の持続できる発展のためには、技術パラダイムの転換が必要であり、「技術と人間、自然、社会、環境との調和」の方向に技術開発の軌道を修正することです。

そういった観点から整理したのが図12です。これは鉄鋼業を取り巻く環境とそれに応じた技術開発を示しています。

まずユーザーニーズですが、多様化高度化基調に大きな変化は無いと思いますが、新たな動きとして、用途に応じた適用鋼板性能、即ち過剰品質を是正して用途に適合した性能を有する鋼板の利用及び鉄づくりがあります。言い換えれば、性能と価格がほどよくバランスした材料利用と材料づくりが求められる時代になりつつあるようです。

更に生産性の一層の向上にはじまる諸施策を実施し、廉価型製造プロセスの開発に努めなければならないと考えています。そのためには、ここに挙げている工程プロセスの直結化・連続化の一層の推進や、熱延・冷延材の高機能化による一部表面処理鋼板の代替といった技術開発が必要になるかと思えます。

また、内需拡大策を想定すると、インフラ整備関連の技術開発も重要であり、新建設用鋼材・工法の開発がこれに該当するかと思えます。

次に、環境問題は今後避けて通ることの出来ない大きな

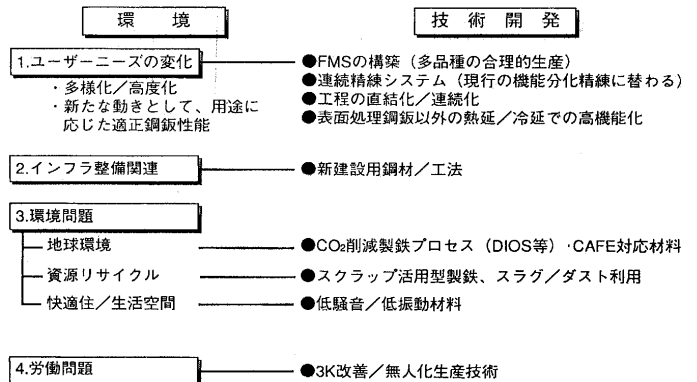


図12 鉄鋼業を取り巻く環境と技術開発

課題であり、地球環境保全はもとより生活者優先社会の進展とも相まって、環境と企業成長の共生は、21世紀に向かってくる大きなテーマです。地球環境問題に関しては、溶融還元製鉄を始めとするCO<sub>2</sub>削減製鉄プロセスの開発が、資源リサイクルにはスクラップ活用型製鉄やスラグ・ダストの利用技術開発が、また快適な住生活空間創出のために低騒音・低振動材料の開発などがあります。

労働作業環境の改善や、これからの若年労働者不足、高齢化に対応するため、3K改善、無人化生産技術も今後の大きな注力分野です。

それではこれらの課題技術の幾つかを、具体的にみてみたいと思います。

まず高炉では、酸素高炉の導入が予想されます。これは、羽口送風を現行の加熱空気から酸素とすることにより、炉体を小型化しつつ現行の約2倍の高生産性が得られるプロセスです。微粉炭を大量に燃焼させることができるとともに、CO<sub>2</sub>の発生量を約5%減らすことができます。

次に溶融還元製鉄法ですが、現在ナショナルテーマとしてNKK京浜製鉄所内のパイロットプラントで実験中ですが、基本的な製鉄原理は、原料として鉄鉱石と石炭をそのまま鉄浴の中に入れ銑鉄を得るものです。焼結工程・コークス製造工程が不要となり、CO<sub>2</sub>の発生量も約10%減らすことができます。

このような技術を集約し、2010年に実現しているであろう銑鉄生産量年間当たり1千万トン規模のプラントの模式図を示したのが図13です。コークス炉では、非粘結炭を原料とする成形コークス炉が導入され、従来型高炉のほか、酸素高炉と溶融還元炉が稼働しているものと想像されます。

図14は連続製造プロセスの今後についてまとめたものです。用途、品質ニーズ、生産性に適合したプロセスが普及すると考えられます。大幅な省エネ、省工程を目指したニアネットシェイプ連鑄法の開発は今後も継続され、ミニミルでは薄スラブ・ホット直結プロセスは低コスト化への進展が更に進むものと考えられます。ステンレス鋼の鑄造分野では、ストリップキャストの開発が内外で進められており、近い将来に実機化されるものと期待されます。

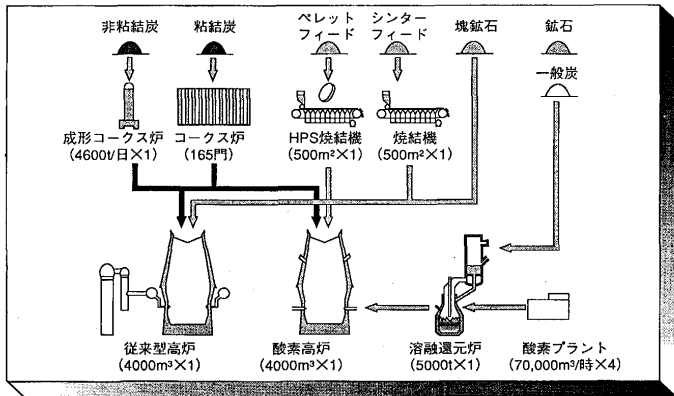


図13 1千万トン/年規模のプラント(将来予想)

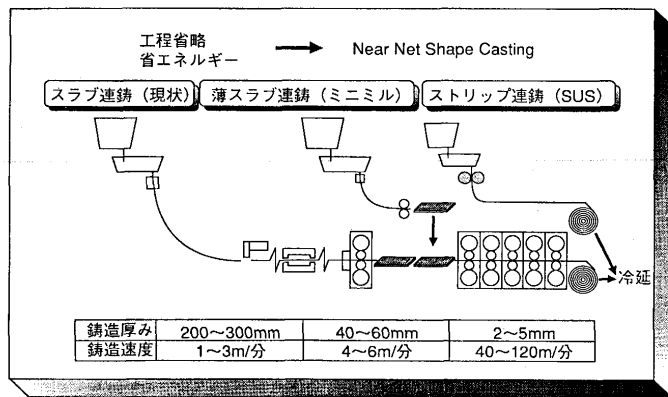


図14 連続铸造プロセスの今後

次に環境問題に目を向けますと、まず鉄スクラップの課題があります。高度成長期に蓄積された土木、建築関係の鉄鋼はこれから更新リサイクル期に入るために、今後10年から15年の間に、いわゆる市中老廃屑が1千万トンから1千5百万トン増加すると予測されます。鉄スクラップは重要な製鋼鉄源であり、収集・処理体制をしっかりと整備し、不純物の除去を合わせた新製鋼プロセスを開発していく必要があります。

一方スラグは、製鉄プロセスでは必然的に副生するもの

であり、粗鋼トン当たり450キロ発生し、鉄鋼業全体では年間約4千万トンになります。利用・資源化には従来から業界をあげて努力を払ってきました結果、利用度は非常に高くなっています。特に高炉スラグは、100%再資源化利用が達成されています。なお、焼成後のセメントクリンカーと混合使用されるため、焼成時のCO<sub>2</sub>発生を削減することもできます。ただし転炉スラグは、高炉スラグに比べて利用度がまだ低く、いまだに10%前後が埋め立てにまわされているのが現状です。

今後は、スラグの発生量自身を減少させるとともに、スラグが再資源化しやすいものとなるように開発していく必要があります。

最後に3K・無人化プロセスの開発についてであります。対象となる職場は鉄鋼・圧延分野に多くあります。技術課題としては、手入れ・清掃・加工等の各種作業の機械化、プロセス及び設備の自動診断、プロセスの自動制御化、品質計測及び検査の自動化、クレーン等各種移動機の自動化などが挙げられます。これらの開発により、三K作業の改善解消による快適職場の創造及びプロセスの無人化・省力化を大幅に進展させる必要があります。

## 5 おわりに

以上のように鉄鋼業が今後対応しなければならない課題は多数ありますが、なによりもその根底におかなければならないことは、地球、地域環境や生活者との共存共栄であります。鉄鋼業のみならず大学、学協会または官庁、時には他産業との共同開発を進めることによってこれを実現したいと願っております。特に今後革新技術創造の場面では、サイエンステクノロジーによるブレイクスルーが必要な局面が多々出現することが予測され、学術、基礎分野での大学と企業との関係の再構築を願っており、この鉄鋼協会が指導的役割を果たしていくことを強く希望を致しまして私の講演を終わらせて頂きます。