

鋼材製造技術の進歩と将来の課題

濤崎 忍*

Shinobu TOSAKI

Advancement in Steel Production Technologies and Its Future Issues



川崎製鉄(株)
取締役社長
濤崎 忍

1925年 1月21日生
1947年 東京帝国大学第一工学部冶金学科卒業
同年 川崎重工業(株)入社
1950年 同社製鉄部門が川崎製鉄(株)として分離・独立
1978年 川崎製鉄(株)取締役
1981年 同社常務取締役
1984年 同社専務取締役
1986年 同社取締役副社長
1990年 同社取締役社長に就任。現在に至る。

本日は栄えある渡辺義介賞を戴き、まことに身にあまる光栄と存じ、厚くお礼申しあげます。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る次第です。

私が川崎製鉄、当時の川崎重工業株式会社に入社したのは昭和22年のことです。葺合工場に配属になったわけですが、当時は、まだ薄板のプルオーバーや厚板の3段ミルの時代でした。それ以来、鉄鋼業に携わって40数年になります。このうち30年以上を製鉄所の現場で過ごしまして、厚板、条鋼など圧延関連の仕事に多く関わってきました。この間、水島の1厚板や2厚板の建設、操業を担当する幸運にも恵まれるなど、貴重な体験をさせて戴きました。本日はその一端をご紹介させて戴くとともに、今後の課題についても少しお話申し上げ、私に与えられた責を果たしたいと思います。

1 はじめに

第2次大戦後の鉄鋼業は経済情勢、世界情勢ともに不安定のなかで復興を開始し、平炉やプルオーバーの時代からスタートしたわけですが、その後の発展からまず振り返

てみたいと思います。図1は粗鋼生産量の推移を示したものです。

ほとんどゼロからスタートしたわが国鉄鋼業は、臨界一貫製鉄所としての大規模な設備投資、短期間の積極的技術導入、および大型化・高速化・連続化を中心とした技術開発によって急速な発展を遂げ、大量の鋼材消費の要求に応えるとともに、コスト・品質両面でも世界をリードし、基幹産業として、日本の産業発展に貢献してまいりました。

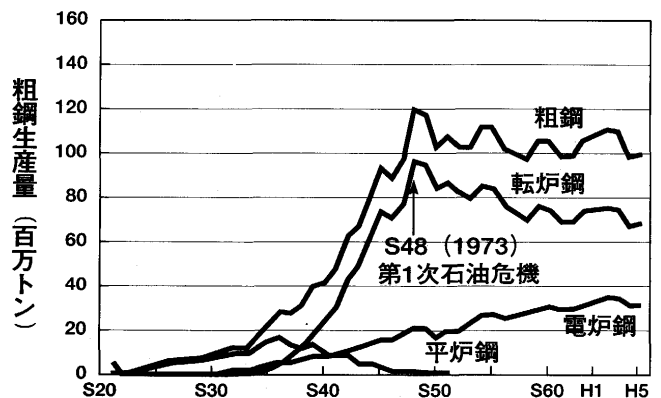


図1 全国粗鋼生産量の推移 (出典：鉄鋼統計月報)

平成6年3月本会講演大会における渡辺義介賞受賞記念講演

平成6年7月7日受付 平成6年9月2日受理 (Received on July 7, 1994; Accepted on Sep. 2, 1994)

*川崎製鉄(株)取締役社長 (President and Director, Kawasaki Steel Corp., 2-2-3 Uchisaiwai-cho Chiyoda-ku Tokyo 100)

Key words: steel production technologies; steel production; future issues; automation; chance free production; synchronized production; consumers satisfaction.

また、石油危機以後の安定生産期においては、さらにエネルギーの節約、鋼材の歩留り向上、お客様のニーズに即した新品种の開発などに大きな成果を収めてまいりました。

当社の歴史もまさにそのとおりであります。このような技術の発展の中で私が特に力をいれてきたことは次の3点に集約することができます。

すなわち

- (1) 自動化、省力化
- (2) 同期化、連続化、チャンスフリー化
- (3) 高度な要求品質の実現

であります。

今日は、この3点に関してどのような技術の進歩があったかを、主に私どもの会社の例を取り上げながらお話したいと思えます。

2 鋼材製造技術の進歩

2・1 圧延の自動化と制御技術の向上

2・1・1 第2厚板工場の建設

まず自動化、省力化の点から厚板工場建設について述べます。私は、千葉、水島両製鉄所の3つの厚板工場の建設に携わってきました。それぞれに思い出がありますが、なかでも昭和51年に稼働した、水島第2厚板工場の建設が最も印象深く思い起こされます。2厚板ではそれまでの千葉および水島1厚板で蓄積されてきた技術を統合し、さらにひとつの考えのもとに体系化を試みております。それは徹底した自動化操業技術の確立です。第2厚板工場の使命は、造船やラインパイプを始めとするあらゆる厚板分野向けに、高い品質の製品を世界最高水準の生産性で製造することにあります。

私は徹底した自動化と情報のオンライン化を推し進めることが、当時ますます高度化しつつあった品質要求と高い生産性を同時に満たすための必須の条件と考えました。それでこの考え方を“ノーマンコントロールへの挑戦”と名付けました。図2はその概念図です。

ラインの連続化および自動化技術の開発と、従来個別に発達してきた生産管理システム技術、製造プロセス制御技術、省力化・自動化技術を総合・融合化して、有機的な全体システムを構築することが、ひとくちに言えば本開発の内容です。

図3は第2厚板工場の労働生産性をそれ以前の厚板工場と比較したものです。従来の約2.5倍に向上していることがお判り戴けると思います。私達は自動化を進める上で、もう一つ念頭に置いたことがあります。それは人間性の尊重です。ありがちな例ですが、中途半端な自動化のために、一人の人間が暇で無味乾燥な仕事にあきあきしている、と言うのでは何のための自動化か判りません。残すなら面白い仕事を一人前、というのが私の考えです。第2厚板工場

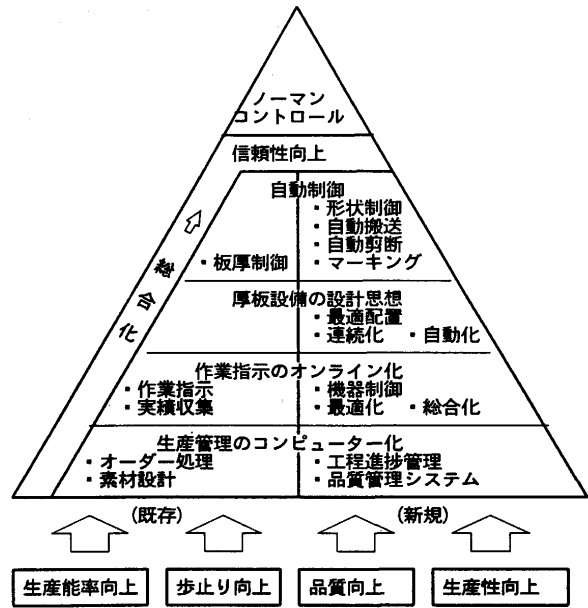


図2 厚板の“ノーマンコントロールへの挑戦”概念図

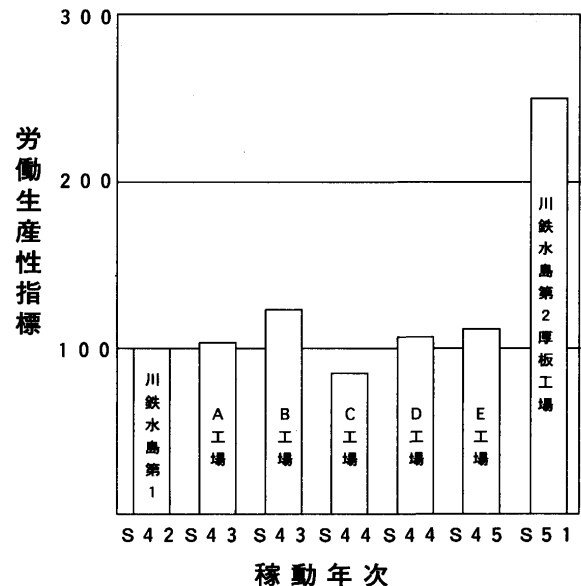


図3 厚板工場の労働生産性比較

*水島1厚板を100とする

(出典:大河内賞30年のあゆみ・大河内記念会編)

が現在においても、高い生産性とモラルを保持しているとすれば、この設計思想の成果であると自負しております。

2・1・2 平面形状制御

当社での平面形状制御技術は二つのステップを経て確立されました。その第1段階は昭和54年に開発したMAS (Mizusima Automatic plane view pattern control System) 圧延法です。四角いスラブを幅方向、長手方向に圧延して厚板にしていくわけですが、コーナー付近と定常部では伸びが違うため、圧延後の形状は太鼓になったり鼓になったりして、自然に真四角の形になるものではありません。そこで図4にありますように、予成形の段階で予め伸ばし

たい部分を厚く残しておいて、圧延後の形を最適なものにしようというのがMAS圧延の思想です。合成写真を使ったりして、形状変化を定量化し、形状予測式の精度を向上させて、図5に見られますように、平面形状の優れた厚板の製造技術を確立致しました。その結果、約4%の歩留り向上が得られ、当時としては画期的な93%の歩留りを達成致

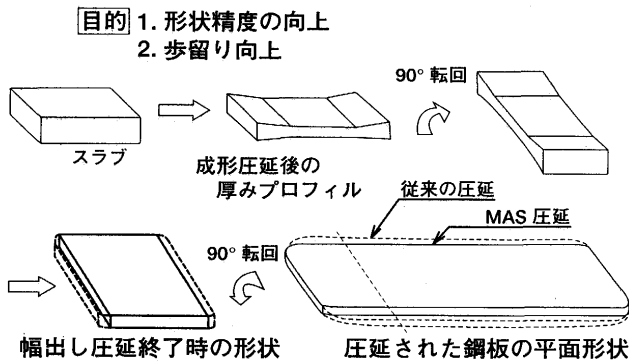


図4 MAS圧延法の概念図

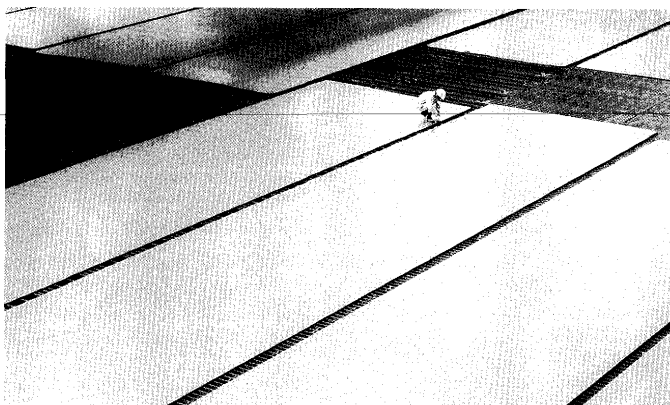


図5 MAS圧延の適用例

目的 1. 歩留り向上
2. 顧客でのトリミング省略

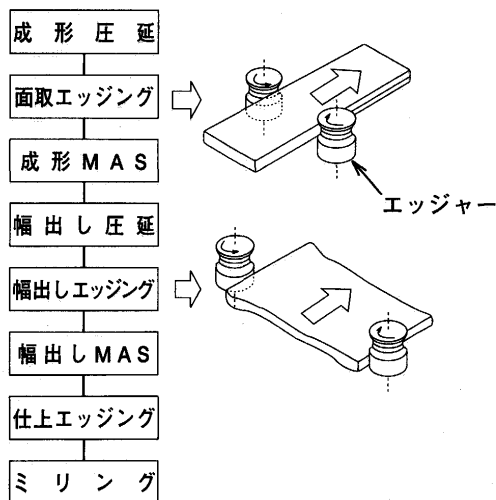


図6 トリミングフリー鋼板 (TFP) の製造法

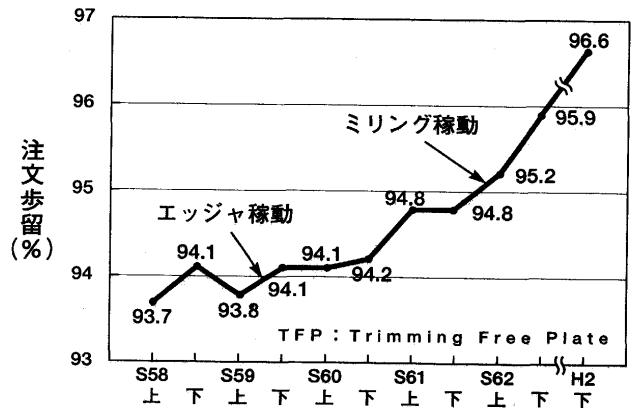


図7 TFP製造技術開発過程における注文歩留りの推移

しております。

次のステップはTFP (Trimming Free Plate) 製造技術の開発です。TFPというからには平面形状は商品として十分な矩形化を達成していなければなりません。もちろんキャンバーは許されませんし、巾方向両端部の断面形状もスクエアでなくてはなりません。MAS圧延法のさらなる改善と、図6にありますように、ミル直近に設置したエッジャーを使いこなすことがポイントでしたが、当時急速に発展していたセンサーの技術と、プロセスコンピューターの助けがあったことはもちろんです。

エッジャーの活用に加え、平面形状測定、ミリング設備の導入などTFP製造技術の完成により、厚板の歩留りは図7に示すように96%台にまで向上しております。これは殆ど限界に近い数字と思いますが、当時は正直言ってここまで来るとは思ってもいませんでした。

2・2 同期化、連続化、チャンスフリー化への挑戦

次に同期化、連続化、チャンスフリー化の例について述べたいと思います。鋼材の生産プロセスは何段階かの工程に分れておりますが、それぞれの工程毎に処理チャンスというものがああります。例えば転炉ですと、なるべく同じような成分の湯を出鋼したい、特殊鋼の後には高純度鋼の出鋼は避けたいと考えます。圧延ですとなるべく硬さや寸法の近いものをまとめたい、1セットのロールでなるべく多くの材料を処理したい、というのもそうです。しかしそれぞれの工程が好みのスケジュールを組むためにはそれぞれの工程の前にたつぷりと材料を揃えて置かねばなりません。

事実、昔はそのとおりでありまして、広大なスラブヤードに何万トンものスラブが置いてありまして、手入れも随分派手にやっていたものです。ストックされる度に折角の高温の鉄を冷やしてしまうのですから、大変なエネルギーのロスですし、在庫分の金利だけでも無視できません。だいいち、お客様へ短納期で製品をお納めすることができません。高炉から梱包、出荷まで、一貫した処理計画のもとに、すべてオンラインで製品が造れないか、と私は考えました。

そのためには各工程のチャンス規制をなくし、かつ、同期化、連続化を図ることが必要です。このような考えのもとに各工程のチャンスフリー化を推進してきた次第です。

2.2.1 製鋼技術の発展

製鋼段階での同期化への取組のひとつは精錬工程の安定化です。精錬工程で予定どおりの出鋼ができませんかとの工程全てに響いてきます。精錬工程能力を不安定にし、溶鋼汚染を招く主因は転炉における脱磷反応にあります。もともと、昇温と脱磷反応は相反する事象であります。そこで、図8に示しますように、溶銑予備処理に脱磷機能を分担させることでこの点の解決を図る事としました。

また、連続鍛造工程の安定化のポイントのひとつは溶鋼の成分、温度の均一性と清浄度ですが、これはRH脱ガス処理の導入により、大幅な改善効果が得られました。そして、これが重要なところですが、中途半端な実施率ではチャンスフリーも同期化も達成できません。そこで、予備処理もRH処理も全量実施の体制をとって、圧延工程との同期化を進めました。

連続鍛造工程能力の高位安定化のためには、モールドパウダー性欠陥や介在物性欠陥を増やさずに、スループットを高くする工夫が必要です。昭和49年、千葉2CCで垂直曲げ型を採用したのもそのひとつです。

また、最近ではFC (Flow Control) モールドを開発しております。図9はその概念図です。磁場がモールド全幅に作用し、湯面の変動を抑えてパウダー性欠陥を抑えると同時に、下降流を減速させて介在物の湾曲部への侵入を防止します。この結果パウダー性欠陥を1/10以下にする事が可能です。

これらの対策は、鋼種によるスループット規制をなくしてチャンスフリー化を実現しつつあり、また、品質面で下流工程の安定化にも大きな効果を発揮しています。

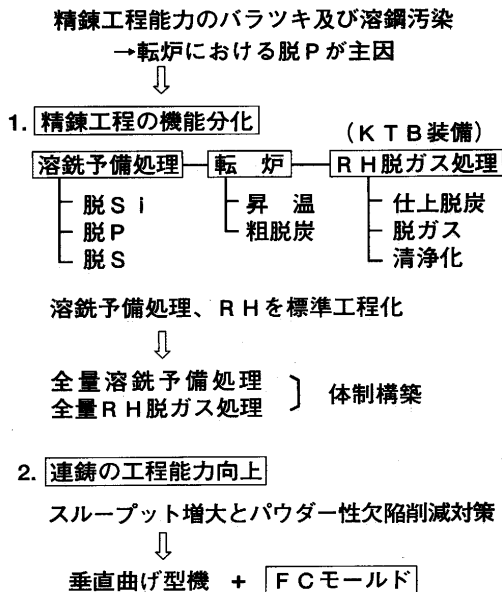


図8 精錬の安定化と連鑄の能力向上の考え方

- 目的 1.パウダー性欠陥の低減
2.スループットの増大

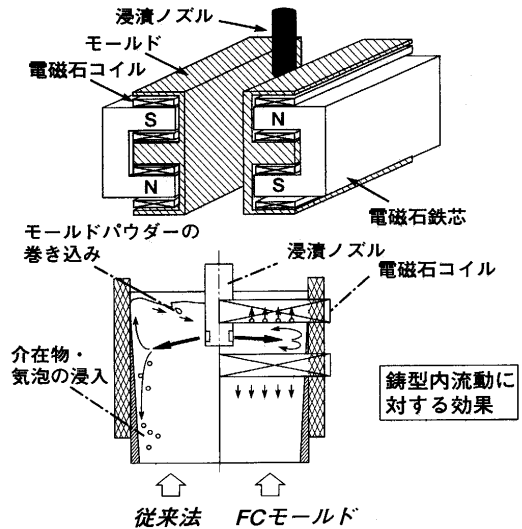


図9 フローコントロール (FC) モールドの概念図

2.2.2 形鋼圧延技術の進歩

次に、形鋼製造の連続化の例をご紹介します。これは寸法の大きなH形鋼の製造に関するものです。図10にありますように、従来の方法では造塊工程で作ったインゴットを均熱し、分塊圧延機にかけて、まず、ビームブランクにします。ビームブランクは、製品サイズに応じてそれぞれサイズが違うわけですが、一旦冷やして疵の手入れなどをおこない、再度加熱炉で加熱されてH形鋼圧延に供されます。これはエネルギーや歩留りの大きなロスでありますし、連鑄素材が使えない、という大きな問題を抱えていました。そこで連鑄スラブを素材として大形Hを製造する技術の開発に取り組みました。

従来、H形鋼圧延の常識では、素材の断面より大きな断面の製品はできないとされていました。しかしまずこの常識に挑戦しないことには道が開けません。私共は、図11にありますように、ベリー法という突起付ロールによるフランジの幅拡げ圧延と、ウェブ分割法というウェブ高さの拡大圧延法を開発することでこの常識を打ち破ることに成功し

- 目的 大形H用素材の連鑄化による同期化の実現

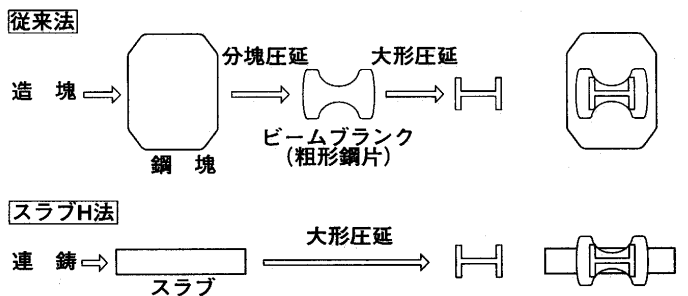


図10 スラブH法による大形H形鋼の製造

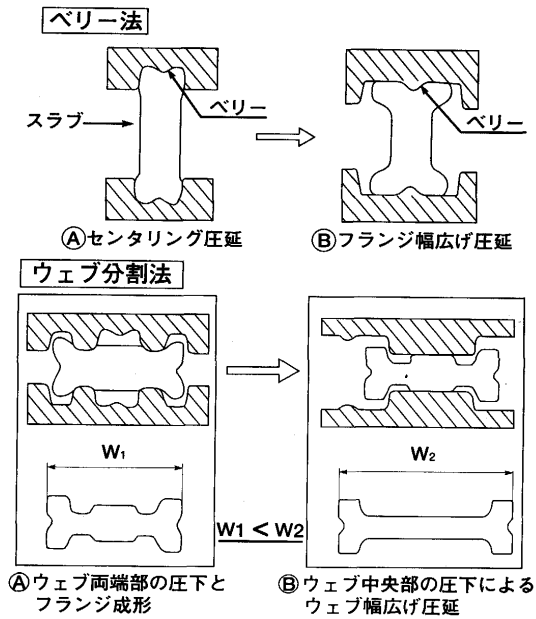


図11 スラブH法での圧延技術

ました。

この結果、連铸スラブを用いたワンヒート圧延が可能となり、形鋼素材の連铸化を一気に達成することができました。

2.2.3 熱延技術の進歩

2.2.3.1 オンライン大幅圧下技術

次にホットストリップ圧延での技術について述べてみたいと思います。連铸機はスラブ幅を変えることもできますが、幅変更は生産能率、品質、歩留りどの面から見ても望ましいことではありません。連铸機はあくまでも幅を変えずに、一定速度で操業するのが安定操業の秘訣です。しかしお客様の要求は色々ありますので、何処かで幅を変える必要があります。従来は、熱延ラインの縦ロールで幅圧下をしていたのですが、幅圧下量が大きくなるとスラブが振れたり、ドッグボーンが大きくなってクロップが長くなったり、という欠点がありました。対策として縦ロールの径を大きくすれば良いことは判っていたのですが、設備化には限度があります。そこで私共が開発したのが、図12にあります熱延インライン大幅圧下プレス：HARP (Hot Advanced width Reduction Process) です。プレスはいわば半径無限大のロールですから、縦ロールのような不具合もなく、大きな幅圧下が可能となりました。

これにより、1サイズのスラブで多くのコイル幅をカバーできるようになり、チャンスフリー化を大きく前進させるとともに、連铸の幅変更頻度を少なくすることができました。さらに金型の形状も自由に選べますので、先後端のクロップロス低減にも、図12にありますように大きな効果を挙げる事ができました。

2.2.3.2 K-WRS (Kawatetsu-Work Roll Shift)

従来の熱延ミルでは、ワークロールを交換した後、ロー

- 目的 1. 連铸と熱延との連続化
- 2. クロップロスの最小化

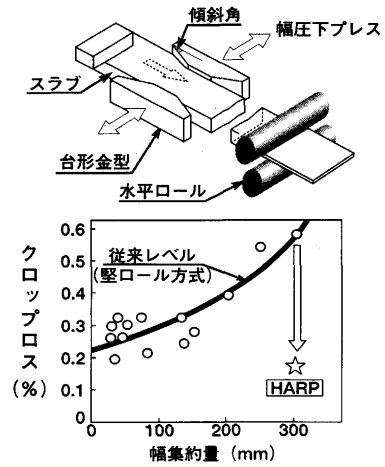


図12 熱延でのインライン大幅圧下 (HARP) 設備および効果例

ルのヒートクラウンが定常になるまではコイルクラウンが大きく、それ以降はロールのエッジ摩耗が進展するため、徐々にコイル幅をせばめていき、最小幅コイルでロールサイクルを終わる、という圧延をしてきました。

また、1ロールサイクル内は似たような材料だけを集めて、それに合ったクラウンのロールを揃えていました。しかし、それでは連铸との同期化操業には甚だ不都合です。

ロールチャンスフリーを実現するため、私共はK-WRS圧延法を実用化しました。K-WRSはワークロールエッジ部にテーパーをつけることと、ロングストロークのシフトにより、エッジドロップの低減やロールの摩耗分散に大変有効な武器となりました。図13には1サイクル内のコイルクラウンの推移を示していますが、K-WRS材は小さいクラウンで、しかも一定していることが判ります。このような効果で熱延ミルのロールサイクル数は大幅に減り、しかも、同一幅の許容本数も増えて連铸との同期化操業は大きく進展しました。

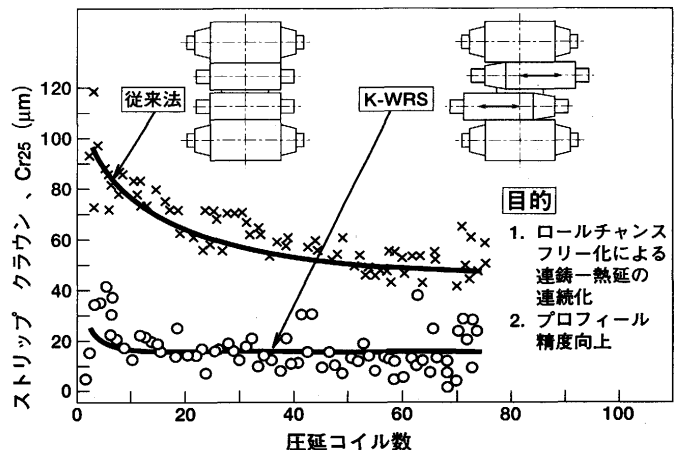


図13 熱延におけるワークロールシフトミル(K-WRS)の効果

- 目的 1. 冷延鋼板焼鈍工程の連続化
- 2. 高強度・高加工性冷延鋼板の開発

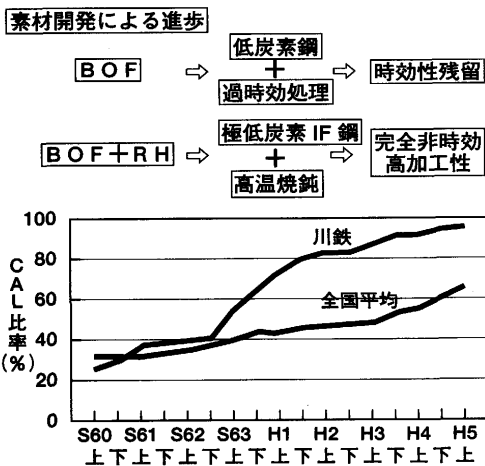


図14 シートゲージ材のCAL化の考え方とCAL比率の推移

2・2・4 冷延技術の進歩

従来の冷延工程では、圧延後のコイルを積み上げて、いわゆるバッチ焼鈍に何日もかけていたものですが、CALの出現で分単位の工程に変わりました。しかし、時効性の問題には各社とも苦労しました。

私共は昭和55年に、ブリキ原板兼用の千葉2 CALを建設しましたが、この点の解決策として、極低炭材を素材にした完全非時効性鋼板を考えていました。しかし当時の極低炭素鋼溶製技術はまだ幼稚園の段階でした。RH脱ガスの活用など精錬技術の進歩が必要であったわけです。その後、昭和59年に水島1 CALを立ち上げた頃には、 $C \leq 30\text{ppm}$ ができるようになっていまして、1 CALは、はじめての大容量・極低炭シートゲージCALとなったわけです。もちろんこの間のCAL設備自体の技術開発も大きなものがあり、高温高速通板、急速冷却、高精度板温制御などのどれが欠けても実現はできなかったと思います。

この大容量極低炭シートゲージCALの思想は、千葉3 CAL、水島2 CALにも引き継がれて、シートゲージ材CAL比率は図14にごさいますようにかなり高い値になっております。

2・3 高度な要求品質の実現

これまで、プロセス技術について申し上げてきたわけですが、これらの技術は同時にお客様の要求品質にお応えする面でも活かされてきております。高度な品質を要求される製品と言いますと、加工熱処理、いわゆるTMCP(Thermo Mechanical Control Process) 技術を活用した高強度・高靱性厚板、自動車用薄鋼板、表面処理鋼板などが量も多く、広く知られていると思います。これらについては立派な解説が沢山ありますのでそちらに譲ると致しまして、ここでは、ユニークな加工技術がお客様の高度な要求に結びついた例をいくつかご紹介させて戴こうと思います。

2・3・1 外法一定H形鋼

最初は、建築用に広く使われるようになりました外法一定H形鋼についてです。H形鋼は、従来、内法一定が常識でした。これは実は作る方の都合によるものでして、従来法ですとH形鋼の内法は水平ロールの凸部分で圧延していた関係で、もし、内法を変えたいと思えば、ロールを替えるしか方法がないと言うのがその理由でした。しかし、この図15にありますように、異なる厚さの梁接合部等では外法一定の方が使い易い、というお客様の声に何とかお応えしたいという考えで試行錯誤を重ねた結果、水平ロールの凸部分の幅を可変にすれば良いではないかということになりました。本技術の開発になった訳です。と言え簡単ですが、この発想を具体化するには時間が掛かりまして、塑性加工、伝熱、材質制御、設備技術など多岐に亘る技術分野の総合力が必要でありました。例えば、幅可変ロールひとつとっても色々な苦労があった訳です。

現在、業界ではウェブ内幅を拡大する方法、縮小する方法の2通りの製法で造られていますが、生産量も製造開始当初から急速に増え、幸いお客様のご要望にお応えする事ができて大変嬉しく思っております。

2・3・2 連続鍛圧材

連続鍛造技術の開発は鋼材の品質改善、コスト低減に大きく寄与しました。しかし、連続鍛造時の溶鋼の凝固メカニズムの結果として、中心偏析の発生は避けられないものとされてきました。中心偏析は線材伸線時の切断トラブルの誘因となったり、ボールベアリングの疲労損傷の原因となったりするので、連鍛材はこのような用途には不向きとされてきました。連続鍛圧技術はこの点の解決策として開

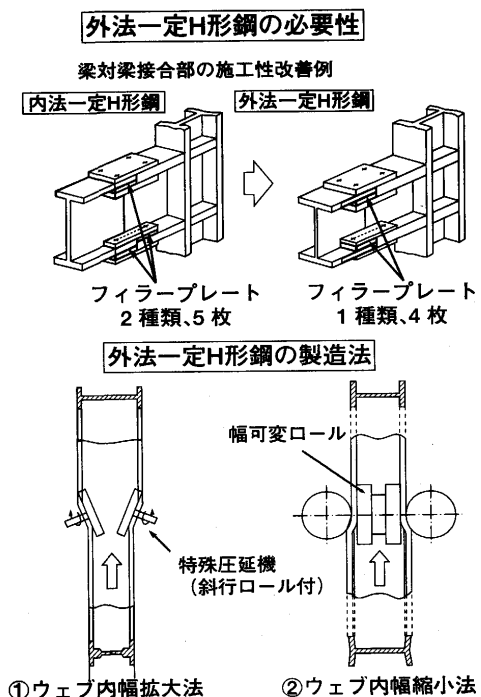


図15 外法一定H形鋼の製造法と使用例

発されたものです。

図16に示しますように、丁度溶鋼が凝固を完了する部分に偏析成分が濃縮されているわけですが、この濃縮液を外から圧力を加えて、排出してやれば正常な部分だけが残るはず、というのが本技術のそもそもの発想です。実用の技術として完成させるには、凝固終了位置の正確な検出技術、適切な圧下装置の設計、圧下量の設定、結果の保証技術等の要素技術の開発が必要でした。本技術は平成4年に設備化され、以来、ベアリングレース、鋼球を始めとする高級線材の供給に活用されつつあります。また、連鍛材は硬い偏析部分が少ないため、お客先の工具寿命の延長にも効果を発揮している、とお聞きしています。

2・3・3 高純度ステンレス鋼

最後に、最近の話題になった一つの例を紹介させて戴こうと思います。

今年竣工の関西国際空港は、関西経済圏活性化の起爆剤として大いに期待されています。そのため24時間開港の海上空港となっており、使用される鋼材は誠に厳しい腐食環境に晒されることになります。また一方では、美しい都市景観を実現するためにも、日本の新しい玄関にふさわしい品格のあるデザインが要求されますが、この空港の象徴ともいべきターミナルビルの屋根に、私共のステンレス鋼をお使い戴いております。

図17に見られますようにターミナルビルの屋根は長さ1,700m、面積9万m²という巨大なものです。使用されたのは30%クロム—2%モリブデンの高純度ステンレス鋼SUS447J1約1千トンです。本素材は(C+N)≤100ppmという高純度鋼の製鋼技術によって高い耐食性を実現できたものです。

また、空港の屋根が光り過ぎるのは航空管制官やパイロットにとっては問題があります。仕上げのダル圧延での表面性状の制御、それを保証する測定法の開発などの技術に

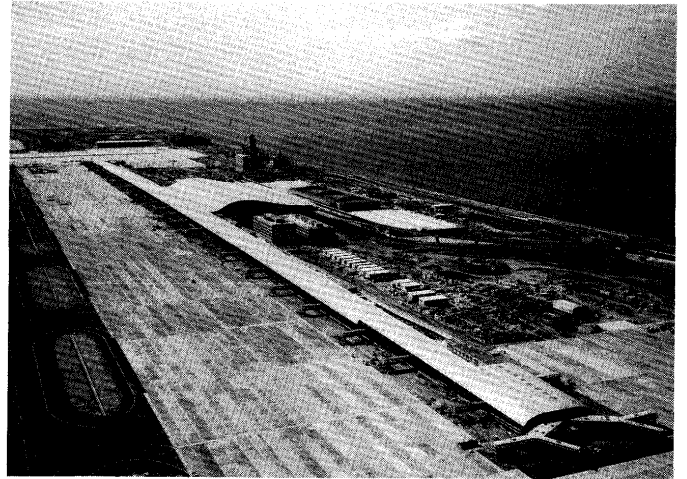


図17 高純度ステンレス鋼を使用した関西国際空港ターミナルビルの屋根

より、意匠性と防眩性を兼ね備えたステンレス鋼を製造し、その美しい色調はデザイナーから高い評価を戴きました。

3 鋼材製造技術の今後の課題

以上、鋼材製造技術の進歩について、私の経験をもとにお話しさせて戴きましたが、ここで、これからの課題などについて私の考えていることを簡単に述べてみたいと思います。現在、日本の産業は構造そのものの大きな変換期にあります。特に大幅な円高はその変換をより急速なものに加速しており、今や品質・コストの両面で抜本的な変革が要求されている状況にあります。徹底したコストダウン、顧客との連携、鉄の新しい用途開拓等が今後採るべき大きな方向かと思えます。

その中で鋼材製造技術の今後の課題を図18に列挙しまし

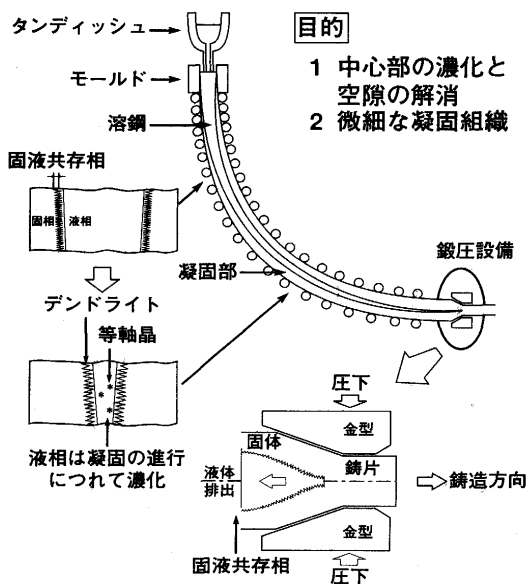


図16 連続鍛圧技術の概念図

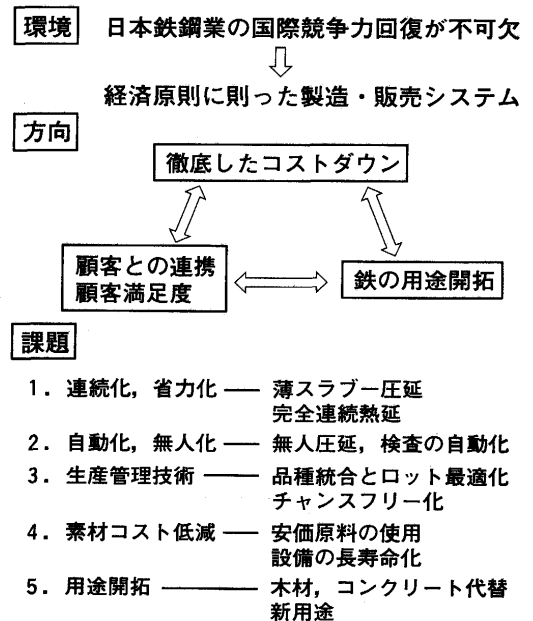


図18 鋼材製造技術の今後の課題

た。連続化，省工程化はまだまだ発展を続けていくことと
 思います。薄スラブ連铸材も一定の位置を占めていくこと
 でしょう。また品種統合，チャンスフリー化技術は，製造
 工程の単純化と多様なニーズへの対応を同時に実現する事
 を可能にします。計算機とセンサーそれに制御理論の発展
 は実に目ざましいものがあります。従来は熟練の技能者で
 ないとできなかった作業が自動化できるのもそう遠い日の
 事ではありません。

鉄は最も可能性の高い素材といわれています。お客様か
 ら要求される機能を満たしながら，コストの低い鋼材をタ
 イムリーに提供するのが我々の永遠の課題と考えています。
 また，さらに我々の側から新しい鋼材の用途をご提案して
 いきたいとも考えています。

4 日本鉄鋼業の将来の課題

最後に，鉄鋼業の将来に向かったの課題について考えて
 みたいと思います。日本鉄鋼業の現状は誠に厳しい状況に
 あります。急速に進む円高の環境にあって，海外他社に対
 抗していける体質を取り戻すのは容易なことではありません。
 しかし，是が非でもやり遂げなければなりません。

また一方で図19に挙げましたように，原燃料に関わる
 問題があります。特に原料については良質鉄鉱石の減少や，
 直接還元鉄など代替鉄源の可能性，増大するスクラップの
 活用など，大きな課題を抱えています。

これら課題の解決のためには，現在，通産省のご指導を
 得てナショナルプロジェクトとして研究が進められている
 熔融還元法やスクラップ回生技術などのように，発想を変
 えた新プロセスを是非，実用化して行かねばならないと考
 えています。

5 おわりに

将来の課題については大まかな整理をするだけに終わっ

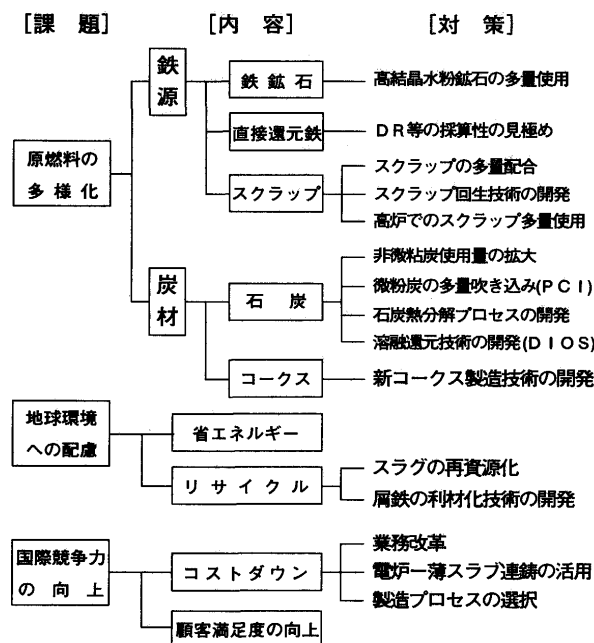


図19 日本鉄鋼業の将来の課題

てしまいましたが，我々は全力をあげてこれらの課題の解
 決，夢の実現に努力していかなければなりません。

これら諸課題の実現について，個別企業で十分対応可能
 なものもありますが，その内容，規模から見て，会社の枠，
 業種の枠のなかでは容易に解決できないものも少なくあり
 ません。今後，これらの技術開発を円滑に進めていくため
 には，それぞれの企業において創造性を発揮し独自の技術
 力を充実していくことはもちろんですが，業界内，業界間
 における共同研究を積極的に推進することもまた重要であ
 ると考えます。さらに基礎研究分野における各学会のご協
 力もこの場をお借りしてお願い申し上げる次第です。

以上をもちまして私の講演を終わらせて戴きます。