

製鉄向けプラント設備・装置

柴富信博

三菱重工業(株) 広島製作所 製鉄機械設計部部長

Nobuhiro Shibatomi

Plant Facility and Equipment for Iron and Steel Manufacturing

1 はじめに

我が国の製鉄機械設備技術は、戦後の復興期には欧米先進国からの技術導入でスタートし、1955年以降の高度成長期には粗鋼生産の増大に伴う大量生産能力、容量アップの要求に対応し、先の導入技術の改良・工夫を加えて、大規模一貫製鉄所向けに各種のプラント設備・装置が納入された。

しかしながら、1973年以降の2度にわたるオイルショックを経て低成長期になると、鉄鋼技術も大きな転換を迫られた。鉄鋼各社は大量生産指向から省資源・省エネルギー指向へと方向を転換し、競争力強化のためのプロセス開発と製品開発を図った。最近では、円高によるコスト競争力低下とエンドユーザーの高品質指向により、更に一層のプロセス合理化と高品質製品の開発へと移行している。

このような状況に対応して、設備技術もある場合には鉄鋼各社との共同で、またある場合には設備メーカー独自で、鋭意開発がすすめられてきた。

本稿では、以下、鋼板製造工程を主体にして、主要な製鉄機械設備を、一設備メーカーの立場から紹介する。

2 製造工程における主要設備

高炉－転炉プロセスにおける、薄鋼板の概略の製造工程とその主要設備を図1に示す。

まず、製鉄・製鋼工程では、高炉において主原料である鉄鉱石と石炭から鉄鉄をつくり、転炉において鉄鉄中の不純物を除去して鋼をつくり、連続铸造設備で溶けた状態の鋼を連続的に凝固させ、圧延素材であるスラブをつくる。

次に熱間圧延工程では、スラブから連続熱間圧延設備で厚さ約1～32mmのホットコイルをつくる。

その後、冷間圧延工程では、まず連続酸洗設備においてホットコイルの表面スケールを除去し、連続冷間圧延機、あるいは可逆冷間圧延機で厚さ0.15～3.2mmの冷延鋼板をつくる。次に、連続焼鈍設備で冷延鋼板を連続的に焼鈍し、強靱で加工性に富む鋼板をつくる。その後、連続亜鉛めっき設備あるいは電気亜鉛めっき設備などで、冷延鋼板にめっき処理を行い、鍍に強いめっき鋼板をつくる。

以上、概要を記したが、次に主要設備について述べる。

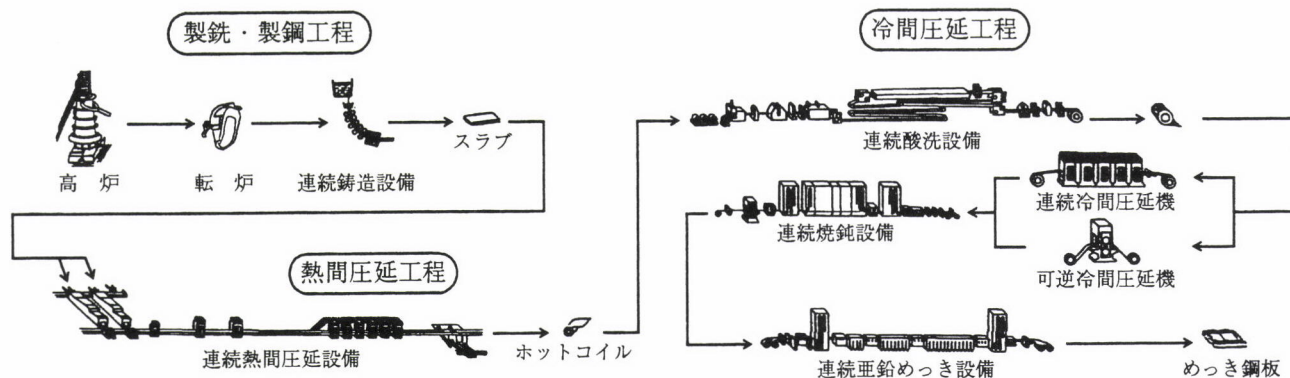


図1 製造工程と主要設備

2.1 連続鋳造設備

近年この連続鋳造設備は、さらに高速鋳造化をめざすとともに、より最終製品に近い形状の鋳片を鋳造する技術（Near Net Shape Casting）が各方面で盛んに研究されている。熱間圧延工程での粗圧延を省く薄スラブ連鋳^{1),2)}や、更には仕上げ圧延までも省くストリップ連鋳^{3),4)}が開発されている。図2に、ストリップ連鋳実証試験設備を示すが⁴⁾、1997年秋には実機運転開始が予定されている。

形鋼分野においても、鉄鋼各社では更なる高速鋳造化のニーズが高まっている。ピレット連続鋳造設備において、高速鋳造のキーとなるモールドに対し凝固・歪解析が行われ、図3に示すように、モールドの下部コーナを切欠き、鋳片を直接スプレー冷却により凝固を促進させ、かつ鋳片とモールドの接触を向上させる構造により、従来の約2倍の速度である5 m/min以上の高速鋳造が可能になっている⁵⁾。

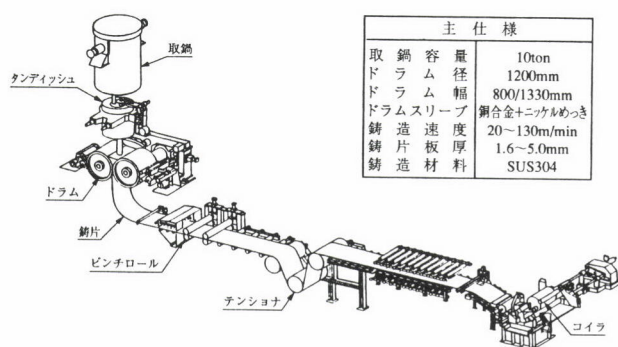


図2 ストリップ連鋳実証試験設備

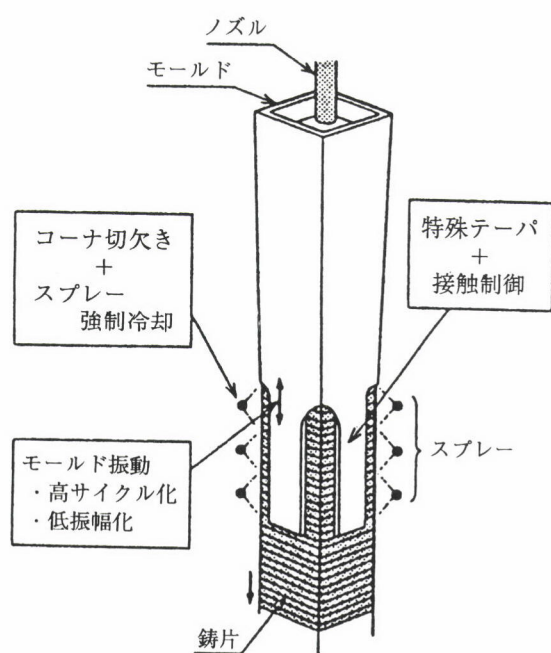


図3 高速ピレット連鋳機の特徴

2.2 熱間圧延設備

本設備においては、生産性と省エネルギーを維持しつつ、少量・多品種、高品質帯鋼を製造するスケジュールフリー圧延技術が注目を浴びている。このニーズに呼応し、従来のロール原単位を維持し、ロールを交換することなく用途に応じた製品が圧延できるロール・カーブ・フリー技術として、材質温度、圧延荷重、板幅条件に応じた形状制御能力の大きいペアクロス（PC）ミルが開発された^{6),7)}。PCミルの原理は、図4に示す様に上下のロール群をペアでクロスさせたときに生じる上下ワークロール間の隙間が、ワークロールに凸状のロールクラウンを付けたのと等価になることを利用したもので、熱間圧延機のほか、厚板圧延機に適用され⁸⁾、図5に示すように、厚板圧延での板クラウン減少効果を得ている⁹⁾。さらに最近ではステッセルミルへも適用されて稼働を始めている。

$$Cr = \frac{b^2}{2D_w} \theta^2$$

ここで

b : 圧延材の幅=1500mm

θ : ロールクロス角

D_w : WR直径=φ700mm

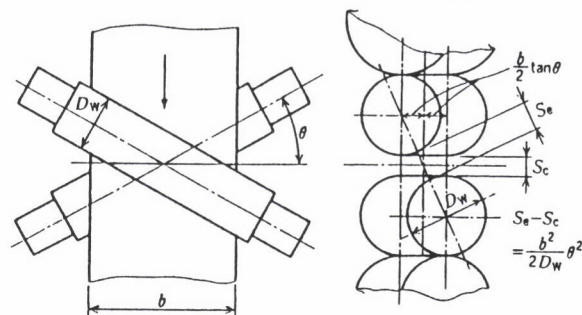
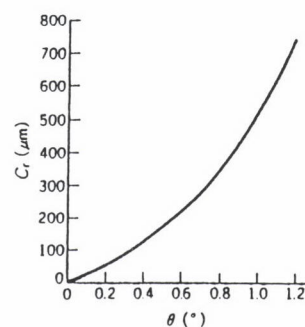


図4 PCミルのクロス角と等価ロールクラウンの関係

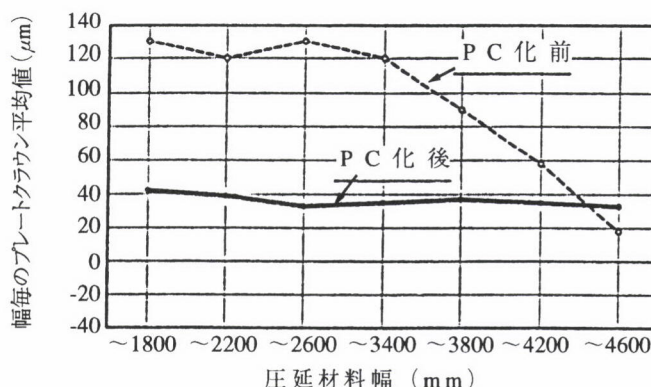


図5 厚板PCミルでの板幅別クラウンの改善状況

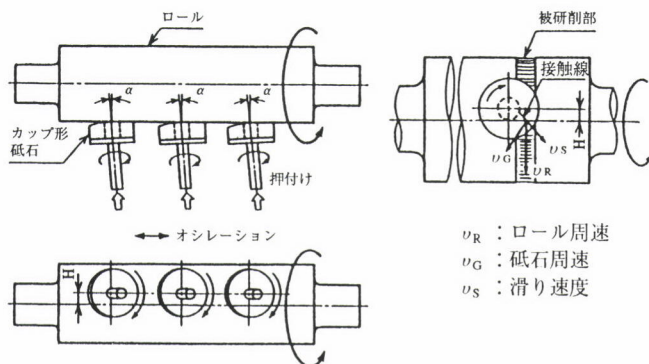


図6 ORGの研削原理

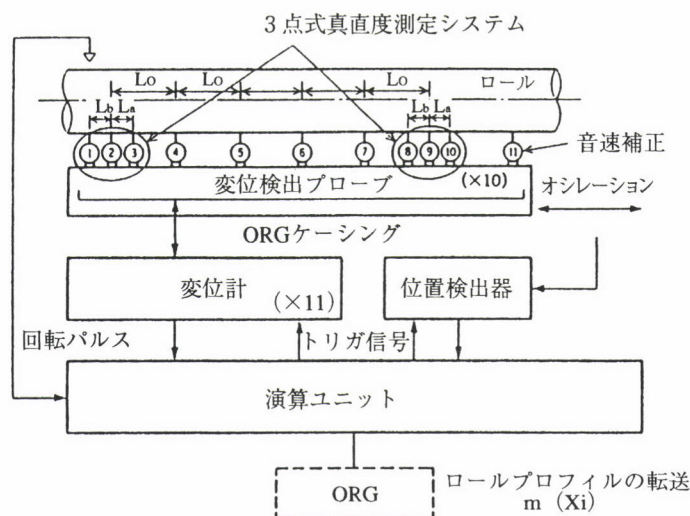


図7 OPMシステムの概要

スケジュールフリー圧延のもう一つの要素である板幅フリー圧延技術として、板道の段差部を解消するとともにワークロールの摩耗を平滑化できるオンライン・ロール・グラインダー (ORG) が開発された¹⁰⁾。図6に示すように、ORGは砥石の回転軸とワークロールの回転軸との間についたオフセット量により、駆動装置なしでロール表面を研削できることが特徴であり、ロール表面を修正研削してロール組替え周期を延長できる効果は大きい¹¹⁾。また、このORGに複数の超音波式変位計を設置して、3点式真直度測定法を応用したオンライン・プロフィール・メーター (OPM) が開発されており^{12),13)}、このOPMシステムの概要を図7に示す。圧延機内という過酷な環境下でも高精度でロールプロフィールを測定し、ORGにフィードバックして所定のロール形状に研削するシステムが実機化されている¹¹⁾。また、最近では、仕上ミル後段あるいはハイスロール対応として、高速回転可能な駆動式ORGも開発され、実機稼働を始めている。

薄鋼板の熱間圧延では、コイルの先後端で非定常になり

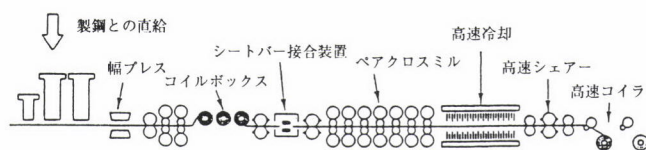


図8 川崎製鉄千葉第3ホットストリップミルの概要

表1 エンドレス圧延における効果

項目	効果	
品質	ストリップ全長にわたり板厚変動がほとんどない	±30 μm 板厚変動 96% → 99.5%
	ストリップ全長にわたり板幅変動がほとんどない	板幅マージン 6 mm → 3 mm
	ストリップ全長にわたり板温度変動がほとんどない	±30℃ → ±15℃
生産性	生産性の増加	20%増加
	絞りこみに伴う突発のロール替え時間の排除	90%減少
歩留り	先端部と尾端部における形状不良の大幅な減少	80%減少
	絞りこみマークによる表面欠陥の大幅な減少	90%減少

やすく、品質上、また操業上問題があった。これを解決する一つの技術として、図8に示すように仕上ミル前でシートバーを接合し、仕上げ圧延を連続的に行ういわゆる完全連続化があり¹⁴⁾、そのキーの一つであるシートバー接合装置が開発された。1996年より稼働開始している。表1に示すような品質、生産性などの向上のほかに、従来製造困難であった0.8mmまでの極薄物も製造可能であり、又コイル全長にわたり強潤滑、強圧下圧延や高精度高速冷却が可能なため、新材料特性を持った製品への期待もある¹⁵⁾。

2.3 連続酸洗設備

一般に、冷間圧延前に熱間圧延工程で生じた酸化スケールを酸液で除去する必要がある。これには連続酸洗設備が使用される。本技術のポイントは、省エネルギーで短時間に酸化スケールを除去することにある。

冷延鋼板の主要需要先である自動車業界および家電業界では、加工性の優れた極低炭素鋼を使用しているが、一般鋼に比べ酸洗時間が2～3倍と長く、生産量が伸びないため、酸洗時間の短縮が課題となっていた。これを解決すべく噴流酸洗方式が開発されている¹⁶⁾。この方式は、その構造を図9に従来の浸漬方式と併せて示すが、噴流ノズルからの噴流と上下面のせきによる境界層厚さの低減化により、酸洗の促進効果がもたらされ、図10に示すように、必要ライン長は従来の浸漬方式に比べ噴流方式で約65%、スーパ噴流方式で約55%に短縮可能となる。鋼種と生産量に応じ、各種方式が選択可能である。最近では特殊鋼などの難脱スケール

ル材にも適用が拡大されている。

2.4 冷間圧延設備

自動車用鋼板を主体として、冷延コイルに要求される品質は一段と高級化しており、しかも自動車の軽量化を狙って、硬質化と薄肉化が指向されている。このようなニーズにこたえるためには高圧下機能とストリッププロフィール改善（エッジドロップ低減）機能が必要となる。このような必要機能に対し、熱間圧延設備で実績を有するPCミルが非常に有効ことがわかり、連続冷間圧延設備の前段3スタンドに実機適用された^{8),17)}。その効果を図11に示す¹⁷⁾。

ステンレス鋼に代表される特殊鋼は変形抵抗が大きく、そのため高圧下を目的として、小径ワークロールを形状制御に優れた中間ロールと特殊機構のバックアップロールで支持した12段クラスタータイプの圧延機であるクラスターロール（CR）ミルが開発され^{18),19)}、特殊鋼向けに実績をあげてきている²⁰⁾。CRミルの形状制御システムのハード構成を図12に、CRミルの外観を図13に示す。

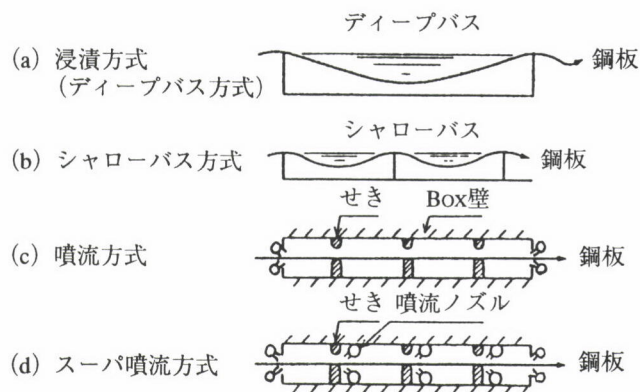


図9 各酸洗方式の構造

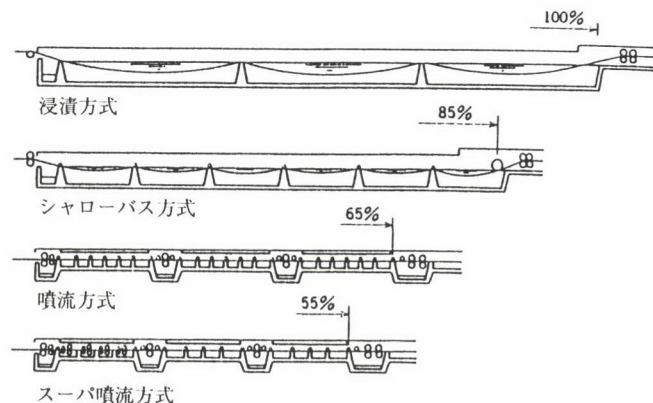


図10 各酸洗方式の必要ライン長の比較

2.5 連続焼鈍設備

最終板厚に圧延された薄板は、その用途に応じ各種の処理を施し仕上げられる。最も一般的な工程の中で重要な工程は、加工工程で生じる内部ひずみや内部組織を調整する焼鈍工程である。本工程はコイルごとに焼鈍していたバッチ方式から連続方式に切替わり、画期的な生産効率向上と

試験条件

ストリップ 圧下率	低炭素鋼, 4.0 → 1.1' × 1200' mm No.1-3スタンド: 30%, No.4スタンド: 20% No.5スタンド: 1% (ダルロール)				
圧延速度	50m/min (No.5スタンド)				
スタンド	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Case	クロス角/°			目標ストリップ形状	
1	0.60	0.75	0.71	中伸び	平坦 (自動)
2	0.60	0.75	0.71	平坦	
3	0.60	0.75	0.50	平坦	
4	0.60	0.40	0.50	平坦	
5*	0.35	0.40	0.50	平坦	
6	0	0	0	端伸び	

* Case 5 は従来レベルの条件

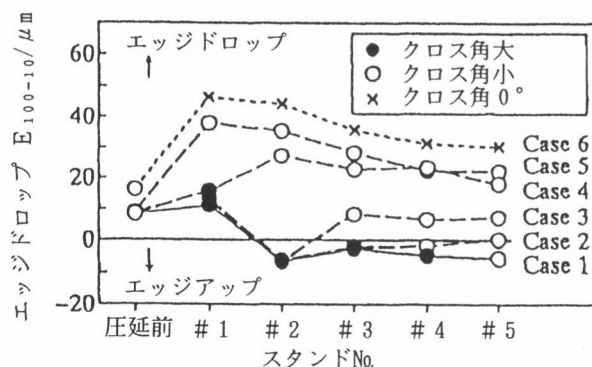


図11 冷延PCミルのエッジドロップ低減効果

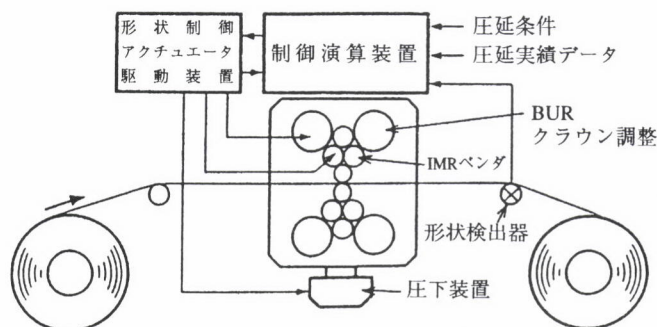


図12 CRミルの形状制御システムのハード構成

品質向上が達成された²¹⁾。連続焼鈍設備の技術上の重点は、板の加熱と冷却方法であり、各種の方法が考案された。最近では、設備のコンパクト化と省エネ化を狙い、焼鈍材に錆を発生することなく加熱できる直火加熱バーナ、従来法よりさらに冷却性能の良いサクシオン冷却ロール等が開発され、実用化されている²²⁾。図14に直火加熱バーナとして開発されたインピンジングバーナの基本構造を、図15にサクシオン冷却ロール装置の概要を示す。

2.6 連続めっき設備

銅板へのめっきは、用途に応じてめっき金属が異なり、めっき方法も溶融浸漬、電気、真空蒸着と各種あるが、主体は亜鉛を溶融浸漬または電気でめっきする方法である。

溶融浸漬法においては、亜鉛浴中の浸漬ロールを浴中フ

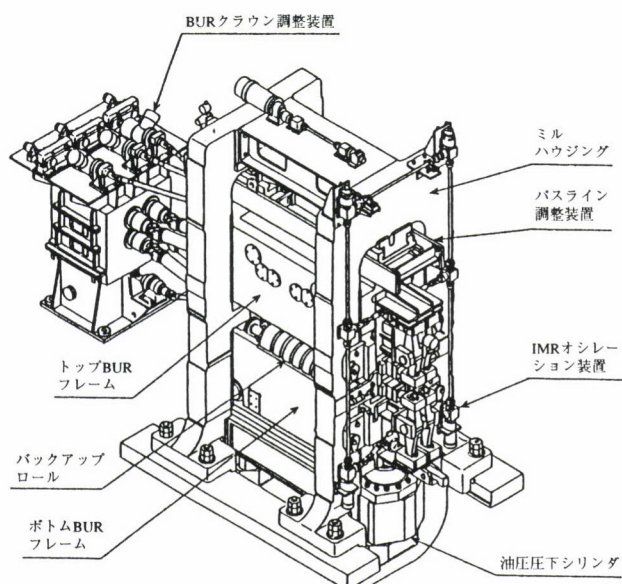


図13 CRミルの外観

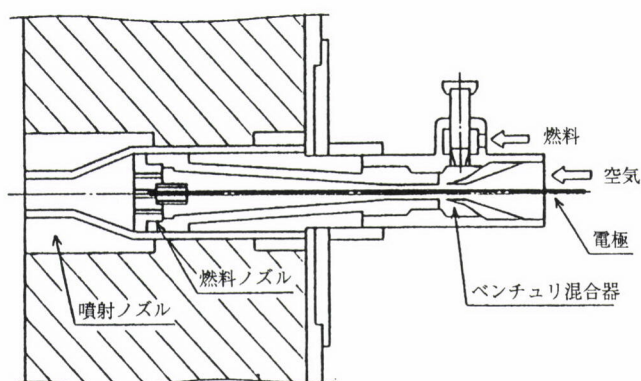


図14 インピンジングバーナの基本構造

ロータで代替し、非接触で方向転換することが開発されている²³⁾。図16に連続亜鉛めっき浴中フロータの構成を示す。また、銅板の制振法^{24),25)}とめっき後の合金化を効率よく行う合金化炉が開発され^{26),27)}、本設備の改善が図られている。図17に銅板制振装置のシステム構成を、図18に合金化加熱装置でのコイルを示す。

真空蒸着設備では、多段差圧排気方式で真空を維持しながら連続で銅板を搬送できる連続真空蒸着設備が開発された^{28),29)}。図19にそのライン構成を示すが、本設備は薄目付から厚目付めっき銅板までを高い生産性でできるなどの特徴を有する。

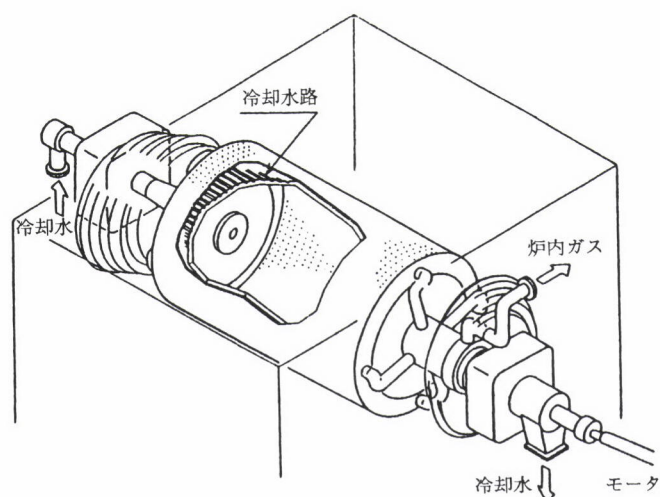


図15 サクシオン冷却ロール装置の概要

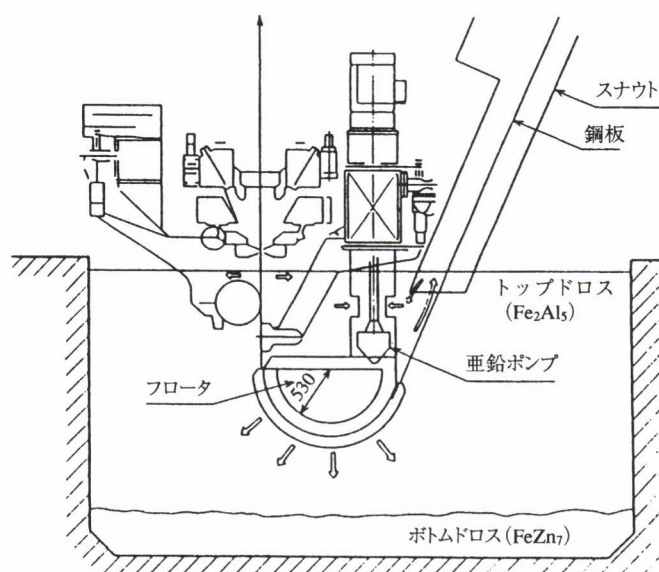


図16 連続亜鉛めっき浴中フロータの構成

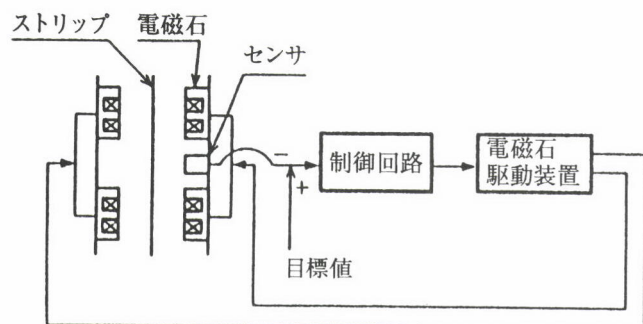


図17 鋼板制振装置のシステム構成

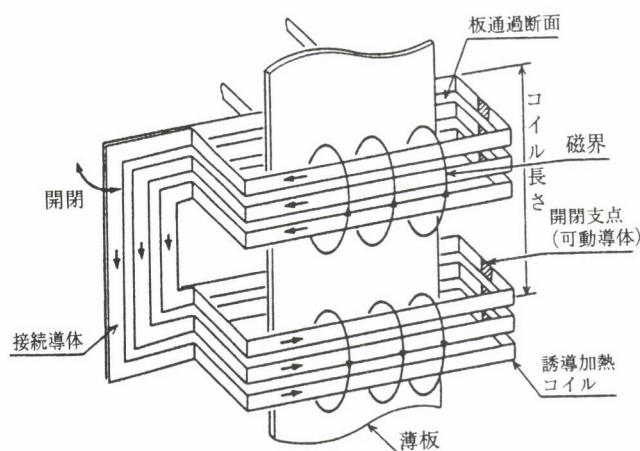


図18 合金化加熱装置のコイル

3 おわりに

現在の高炉－転炉プロセスに代表される大規模一貫製鉄所での大量生産プロセスは、今や成熟化の域にあり、将来への新たな模索が懸命に行われている。

かたや海外では、革新的な技術である薄スラブ連铸設備が開発、実用化され、高炉設備を持たないで、電炉－薄スラブ連铸－ホットストリップミルのいわゆるミニミルプラントが稼働し始めており、設備費廉価という大きな特徴を持っている。更には、良質の鉄源を安価に得るプロセス、プラントも開発されつつあり、これら一連の上流製鉄での動向は極めて注目すべきである。

中長期的に、我が国の国内鉄鋼需要は大きな伸びは期待できないが、開発途上国も含めた世界的視野では逐次増大傾向にある。

このような状況下で我が国の設備技術が国際競争を勝ち抜くには、高付加価値製品とそのプロセス開発が必須であり、そのためには単なる従来技術の延長だけでなく、新たな発想に基づくブレークスルーが必要に思える。

本稿は、製鉄機械設備の一端の紹介になったが、今後と

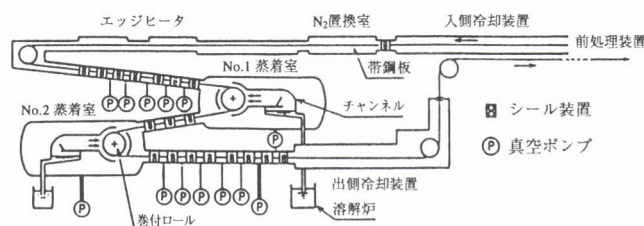


図19 真空蒸着亜鉛めっきライン構成

も更なる新技術ならびに新設備の開発が強く望まれる。

文 献

- 岡田力美, 山本利樹, 片平圭一, 大野剛正, 樫尾茂樹, 長田修次, 米田順吉, 平田耕一: 材料とプロセス, 7 (1994), p.1187
- H. Fujioka, K. Taii, H. Nakajima, K. Hirata, S. Kasio and N. Kanai: SEAIISI 40 CONFERENCE, Vol. No.2 (1996), SESSION 5: PAPER 3
- 新井貴士, 山田衛, 桐原端史, 中島啓之, 竹内英麿, 山上靖博, 柳謙一, 山本恵一, 佐々木邦政: 材料とプロセス, 6 (1993), p.254
- 柳謙一, 山本恵一, 佐々木邦政, 竹内英麿, 中島啓之: 三菱重工技報, 32 (1995) 3, p.207
- 中嶋宏, 山本恵一, 佐々木邦政, 藤岡宏規: 三菱重工技報, 34 (1997) 2, p.124
- 中島浩衛, 川本利治, 波多江誠亮, 大森舜二, 塚本穎彦, 日野裕之, 荒谷博史: 三菱重工技報, 21 (1984) 6, p.809
- 西山泰行, 芝尾信二, 島津智, 青田英樹, 辻勇一, 小川茂: 圧延理論部会第100回記念シンポジウム, (1994), p.79
- 中野恒夫, 大園隆一, 荒谷博史, 塚本穎彦, 森本和夫: 三菱重工技報, 29 (1992) 1, p.3
- 西岡潔, 堀裕二, 水谷泰, 久富木行治, 霍茂則, 小川茂: 圧延理論部会第100回記念シンポジウム, (1994), p.69
- 山本国雄, 林寛治, 塚本穎彦, 江川庸夫, 後藤崇之: 三菱重工技報, 25 (1988) 4, p.352
- 増田健一, 藤田文夫: 圧延理論部会第100回記念シンポジウム, (1994), p.55
- 林寛治, 島筒博章, 西崎純一: 三菱重工技報, 29 (1992) 1, p.13
- 島筒博章, 増田堅司, 林寛治, 垣野義昭: 精密工学会関西支部創立50周年記念学術講演会講演論文集, (1991), p.63

- 14) 江本寛治：鉄鋼界，45 (1995) 11, p.40
- 15) 二階堂英幸，磯山茂，野村信彰，林寛治，森本和夫，坂本秀夫：川崎製鉄技報，28 (1996) 4, p.26
- 16) 柴富信博，谷口信行，坂成人，板野重夫，古沢雄二，手柴東光，樋野悦司：三菱重工技報，29 (1992) 1, p.24
- 17) 浜田龍次，鎌田俊二，江藤学，梶原哲雄，橋本正一，松田裕：塑性と加工，38 (1997) 437, p.71
- 18) 福原明彦，加地孝行，葉山安信，寺戸定，阿部光博，福山五郎：三菱重工技報，25 (1988) 4, p.331
- 19) 中野恒夫，福山五郎，有田一豊，梶原哲雄，森本和夫：三菱重工技報，29 (1992) 1, p.8
- 20) 井上美智正，兼安信太郎，佃宣和：圧延理論部会第100回記念シンポジウム，(1994)，p.115
- 21) 福島丈雄：第88・89回西山記念技術講座，(1983)，p.137
- 22) 深谷保博，橋本律男，新屋謙治，福島丈雄，三原一正：三菱重工技報，29 (1992) 1, p.30
- 23) 平井悦郎，三原一正，進 修：三菱重工技報，32 (1995) 6, p.437
- 24) 森井茂樹，川田則幸，井上淳司，藤岡宏規，片山圭一：電気学会第4回シンポジウム，電磁力関連のダイナミックス講演論文集，(1992)，p.429
- 25) 森井茂樹，川田則幸，井上淳司，末盛秀明，佃和弘：三菱重工技報，32 (1995) 2, p.128
- 26) 加藤光雄，鶴崎一也，三原一正，福島丈雄：第29回日本伝熱シンポジウム講演論文集，(1992)，p.237
- 27) 加藤光雄，鶴崎一也，長井直之，花本幹夫，三原一正：三菱重工技報，30 (1993) 2, p.157
- 28) 前田正恭，森田直彦，古川平三郎，和気完治，下里省夫，柳謙一，加藤光雄，和田哲義：三菱重工技報，21 (1984) 6, p.873
- 29) 古川平三郎，柳謙一，加藤光雄，平井悦郎，伊藤武彦，愛甲琢哉：真空，30 (1987) 10, p.11

(1997年6月20日受付)