



UDC 621.771.23 : 669.012.5

厚板圧延における歩留り向上技術

平 井 信 恒*

Yield Improvement Techniques in Plate Rolling

Nobutsune HIRAI

1. はじめに

当初、欧米諸国の先進技術を導入して出発した日本の鉄鋼業は、その後の技術開発によつて、今や発展途上国だけでなく、欧米諸国までへも技術援助が行われるまで進歩した。

しかも、第一次および第二次の石油危機以後、高生産性から省資源、省エネルギーへと技術開発の指向を大きく変換し、コスト削減に大きく貢献している。

特に、厚板製造のような巨大設備産業において、国際競争力を維持してゆくには、品質の向上だけでなく、コストの削減が重要な課題となる。この厚板製造における省資源、省エネルギーに関する課題として、歩留り向上があげられる。厚板の歩留りは、世界各国の水準を大きく引き離し、今や世界のトップレベルに達している。

本稿は、厚板歩留りの向上に寄与した要因およびその技術開発の将来の展望についてまとめたものである。

2. 厚板圧延^{(1)~(4)}

2.1 厚板圧延の概要

厚板製品は、船舶、橋梁、圧力容器、一般構造物、海洋構造物およびパイプ用素材など、各種分野で大量に使用されているが、ほとんど一品生産に近い多品種小ロット生産である。

厚板圧延機での製造は、通常、板厚 4.5 mm 以上であり、最大 300 mm 以上に及ぶ。板幅は、最小約 1 m から注文に応じて種々の寸法の製造が可能であり、これが厚板圧延の特徴である。最大板幅 5.35 m の製造が可能な超広幅圧延機も出現している。板長さについては、通常、6~20 m ぐらいで使用されているが、最大 36 m まで製造可能な工場もある。製品単重の面でも大型化は著しく、80 t 以上が処理できる場所もある。

2.2 厚板の歩留り

歩留りは、製品重量を、それを採取するに要した素材

重量で割った値で示すが、厚板での歩留りは、いわゆる注文歩留りを指し、注文のついた製品だけを製品重量として計算している。図 1⁽⁶⁾に、最近 10 年間の歩留りの向上推移を示す。この歩留りに影響する要因を次に示す。

2.2.1 厚板圧延技術⁽⁷⁾

図 2 (a) は、圧延された直後の鋼板の形状を模式的に示しており、歩留り、品質を左右する要因として以下がある。

- (1) 要求寸法に対する圧延寸法 (厚み、幅、長さ)

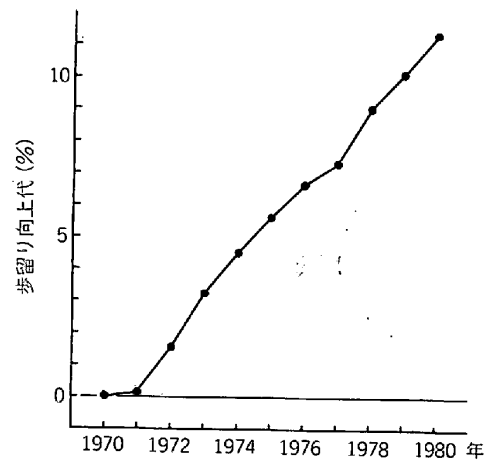


図 1 日本における厚板の歩留り向上推移

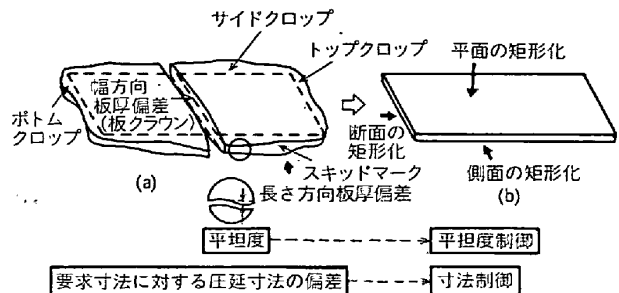


図 2 厚板圧延技術のねらい

昭和 56 年 3 月 23 日受付 (Received Mar. 23, 1981) (依頼解説)

* 本会共同研究会鋼板部会厚板分科会主査 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Mizushimakawasakidori Kurashiki 712)

の偏差

- (2) 鋼板平面形状ロス (幅, 長さ方向クランプ)
- (3) 鋼板断面形状ロス (板クラウン)
- (4) 鋼板側面形状ロス (長さ方向板厚偏差)
- (5) 平坦度, 横曲がり等

したがって, 厚板圧延において, 歩留り, 品質の向上をはかるには, 図 2 (b) に示すように, 寸法精度, 平坦度の向上および平面, 断面, 側面のおおのの面における形状の矩形化をはかり, 余分な部分を極力少なくすることが必要である。

2.2.2 基準命令歩留り式

厚板は注文生産であるから, 注文に応じてスラブ設計, チャージ設計を行う。

基準命令歩留り式 (Y) は, 前述の厚板圧延技術を反映させたもので次式で示される。

$$Y = \frac{t \times w \times l \times \rho_P}{(t + \Delta t)(w + \Delta w)(l + l_{TP} + \Delta l)(1 + S)\rho_S}$$

- ここで,
- t : 圧延板厚
 - w : 圧延板幅
 - l : 圧延長さ
 - t + Δt : 目標板厚 (平均)
 - w + Δw : 圧延平均幅
 - l_{TP} : 試験長さ
 - l + l_{TP} + Δl : 圧延平均長さ
 - S : スケールロス率
 - ρ_P : 厚板の比重
 - ρ_S : スラブの比重

圧延寸法偏差, 鋼板平面形状, 板クラウン等を考慮して, 各圧延寸法ごとに適切に Δt, Δw, Δl を決めないと歩留りロスが生じる。また圧延寸法精度が向上すると, Δt, Δw, Δl の値を小さくすることができ, 歩留り向上につながる。

2.2.3 素材設計技術

製品寸法に対して, 設備能力的に可能な圧延寸法はずつと大きい。このため, いくつかの製品を組み合わせる。場合によっては, 図 3 に示したような組み合わせが

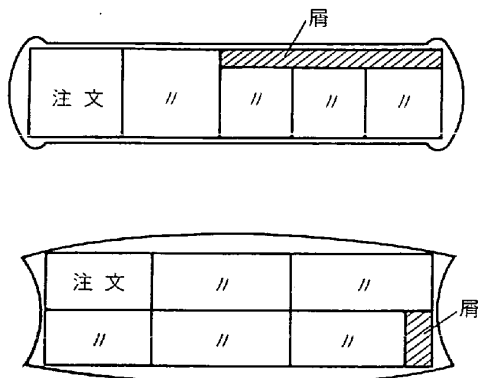


図 3. 幅, 長さの異なる寸法組み合わせ

発生し歩留りが低下する。したがって, 高度なスラブ設計, チャージ設計の技術が必要となる。

2.2.4 不合格の発生

圧延による寸法不良 (厚み, 幅, 長さ) のほかに, スラブ内質に起因する UST 不良, 断側面割れや表面品質に起因する表面疵あるいは, 機械的性質不良により, 製品不合格が発生し, 歩留り低下の原因となる。

2.2.5 余材

材料請求時のスラブ組み合わせ不良や, スラブ製造時に生じる欠陥によつて余材が発生する。この余材に製品を振り当てる場合にロスが生じ, 歩留りの低下となる。このため, 余材への製品振り当ての技術や, 余材発生そのものを減らすことが必要となる。

3. 歩留りの向上に寄与した要因

3.1 連铸比率の向上

厚板用の素材として連铸製スラブが使われ始めたのは 10 年程前からである。分塊製スラブにくらべ造塊, 分塊工程の省略による大幅なコストダウンが期待されることから連铸スラブの使用率は急激に増加してきた。

特に, ここ数年の連铸の普及は目覚ましく, 造塊を持たない全連铸を基本とした製鉄所も出現するに至つてい

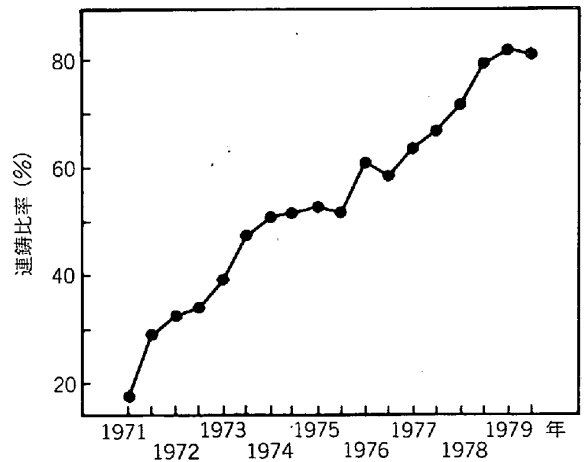


図 4 日本の主要厚板工場の連铸比率の推移

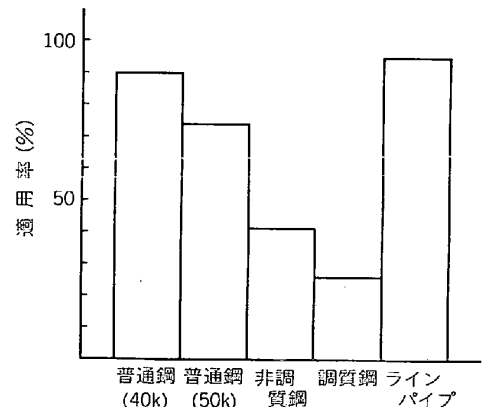


図 5 連铸スラブの適用率

る。図4⁹⁾は、日本の主要厚板工場の連铸スラブの使用率の推移である。

最近では、引張強さが 40 kgf/mm² 級の普通鋼板のみならず、50 kgf/mm² および 60 kgf/mm² 級の高張力鋼板やラインパイプ用鋼板等の高級鋼板にも連铸スラブが使われている。図5¹⁰⁾に、連铸スラブの適用状況を示す。

厚板歩留りへの連铸スラブの寄与は次のとおりである。

3.1.1 素材品質の向上

連铸スラブは、積年の研究、開発の成果により¹¹⁾、内部および表面欠陥の大半は解明され必要な対応策が確立されている。厚板歩留りの向上には次の点でつながっている。

- (1) スラブの寸法、重量精度がよい。(結果として、圧延寸法精度の向上につながる。)
- (2) スラブ品質の向上により、発生余材が少ない。
- (3) スラブの外観形状がよい。(圧延後の鋼板の平面形状におよぼす要因が明確となり、後述する鋼板平面形状制御技術の発展につながった。)

3.1.2 余材の減少

余材は、スラブ製造時のばらつきによつて、生産ロット単位に発生する。

一般に、造塊法の生産ロットは、10~40t であるのに対し、連铸法では連々铸等により、100~1000t と大きい。

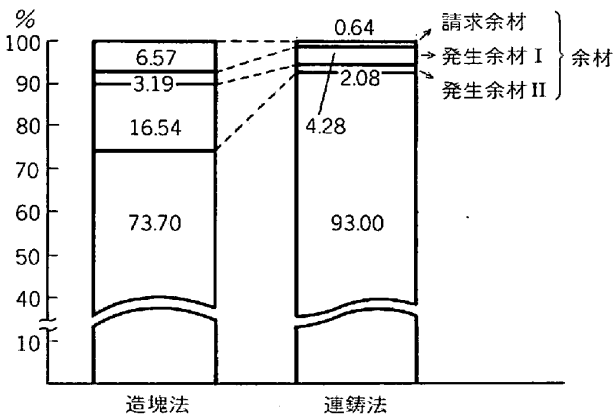


図 6 連铸法と造塊法の余材発生率の比較

いので、図6に示すように連铸法では余材の発生が少ない。

3.1.3 組み合わせ重量範囲の制限の緩和

造塊法における鋼塊重量と連铸法の1ヒート1ストランド内重量を比較すると、一般には後者の方がはるかに大きい。このことは、素材請求時1スラブ当たりの製品の組み合わせ本数が増え、端板処理の頻度が減少する。したがって、設備能力から決まる最大圧延寸法に近いスラブの構成比率が増大し、スラブの平均単重が上がるとともに、歩留りが向上する。

3.2 厚板設備の近代化

3.2.1 わが国の厚板設備の変遷²⁾¹²⁾

わが国の厚板設備は昭和30年代が近代化の幕開けであり、その後40年代および50年代と約10年を区切りとして新設備が逐次建設され急激な速度で近代化が図られた。そして図7に示すように同時代の厚板設備はほぼ同程度の設備規模、生産規模および技術レベルを有しているのが、わが国厚板設備の特徴である。

表1に昭和30年代以降のわが国厚板圧延工場の設備および技術の変遷を示す。

昭和30年代は従来のラウト式3重圧延機に代わり、高精度、高能率の4重式圧延機が導入され近代化の端緒が開かれた(わが国における最初の4重式圧延機の導入は昭和29年4月である)。設備規模は160''ミルが主体

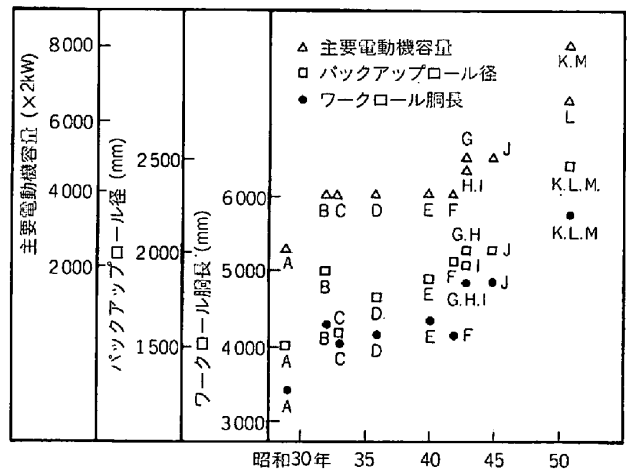


図 7 厚板圧延機主要諸元の変遷

表 1 厚板圧延設備と圧延技術の変遷

		昭和30年代	昭和40年代	昭和50年代
設備	ミル配置	2Hi-4Hi	4Hi-4Hi	(4Hi)-4Hi
	ロール胴長	160'' が主体	185~186'' が主体	216''
設備	ミル定数	500 t/mm	800 t/mm	1 200 t/mm
	圧延速度	250 m/min	320 m/min	450 m/min
新技術		・4Hi 圧延機	・ミル計算機制御 (低レベル) ・電動式ロックオン AGC ・ロールペンダ	・ミル計算機制御 (高レベル) ・油圧式絶対値 AGC ・平面形状制御 (MAS)

であり操業は手動ベースであった。

昭和 40 年代にはいり、わが国の厚板設備は大型化し、185" ミルが主体となつた。また粗圧延機には従来の 2 重式圧延機に代わり、4 重式圧延機が導入された。同時にミルにおける計算機制御、電動式 AGC、ロールベンド、熱間γ線厚さ計など新設備、新技術が導入され飛躍的な近代化が図られた¹³⁾。しかしこれらの新技術が熟し、その威力を発揮するのは 40 年代後半からである。昭和 50 年代に至り厚板設備はさらに大型化し¹⁴⁾、設備規模としては 216" が主体となり 64" UO パイプ素材の供給が可能となつた。圧延技術に関しては基本的には昭和 40 年代の延長線上にあるが、それらの技術が十分に開花した時代といえる。たとえば計算機による自動運転は計算機の信頼性向上、自動化に適した設備の開発、技術の完成などにより非常に進歩した。AGC に関して従来電動式 AGC に代わり応答性の優れた油圧 AGC が導入され、機能もロックオン制御に代わり絶対値制御が付加された。これらにより板厚精度は格段によくなり、歩留り向上に大きく寄与した。またこの時代の新技術として特筆すべきものに、エッジを用いずに圧延過程の段階で平面形状を制御する MAS 圧延法がある。

3.2.2 厚板圧延機の計算機制御^{15)~27)}

昭和 40 年代後半から、厚板圧延機に計算機が導入さ

表 2 圧延計算機制御機能

1	圧延材のトラッキングおよびミルベising
2	圧延機の自動運転制御 (付帯設備を含む) a. テーブルの運動範囲, 起動停止制御, 速度制御, ドラフト補償 b. 圧延機の正逆転制御, 速度制御 c. 上記を含め, パス間の正逆転時間を最小にするキックアウトコントロール d. サイドガイド開度設定 e. デスケーリング噴射回数と噴射タイミング
3	最適パススケジュール計算および制御 a. 板厚制御 (圧延幅制御を含む) b. プレートクラウン制御 c. 平坦度制御 d. キャンバ (横曲がり) 制御 e. パス回数制御, 最小パス回数
4	圧延機ロール開度セットアップおよび修正
5	AGC モード ロックオン AGC, 絶対値 AGC
6	粗圧延機, 仕上げ圧延機の最適負荷配分
7	鋼板の仕上げ温度制御, CR 材の温度制御
8	CR 材の圧延能率を最大にするための交互圧延制御
9	各種表示
10	データロギング

れたが、そのねらいは次のとおりである。

- (1) 厚板製品の歩留り, 品質の向上
- (2) 生産性の向上
- (3) 自動化
- (4) 操業の安定化

またその主な機能を、表 2 に示す。このうち、厚板の歩留り向上に影響する要因として、平坦度制御、板クラウン制御および板厚制御があり、これら計算機制御システムの一例を図 8 に示す。

3.2.3 平坦度制御および板クラウン制御^{28)~39)}

板クラウンに影響する主な要因は次のとおりである⁴⁰⁾。

- (1) ワークロールの初期クラウン
- (2) バックアップロール, ワークロールの弾性変形^{41)~44)}
- (3) ワークロールの摩耗
- (4) ワークロールのサーマルクラウン^{46)~48)}
- (5) パススケジュール

ロールの弾性変形, 摩耗, サーマルクラウン等によるロールプロファイル変化には、初期ロールクラウンの付与や適切なロールチャンスの選択等の方法がある。設備的

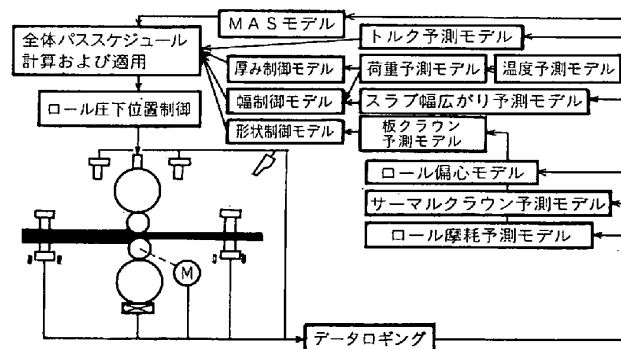


図 8 厚板圧延機の計算機制御システム (一例)

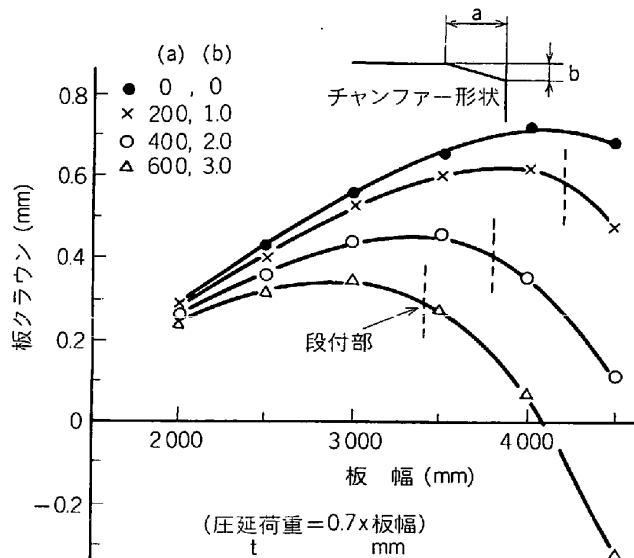


図 9 チャンファア量と板クラウンの関係

にはバックアップロールの大径化がある。またバックアップロールにチャンファを付与することによつて、図9に示すように、板クラウンの減少がはかられている³⁶⁾。

一方、圧延パススケジュールの面で、板クラウン制御は平坦度を損なわず所定の板クラウンを得る平坦度制御方法としては、クラウン比率一定という基本理念にもとづき、板幅方向メタルフローによる歪みの吸収を考慮した図10に示す考え方が中心となつている⁴⁹⁾⁵⁰⁾。

さらに、平坦度および板クラウンの制御能力を向上さ

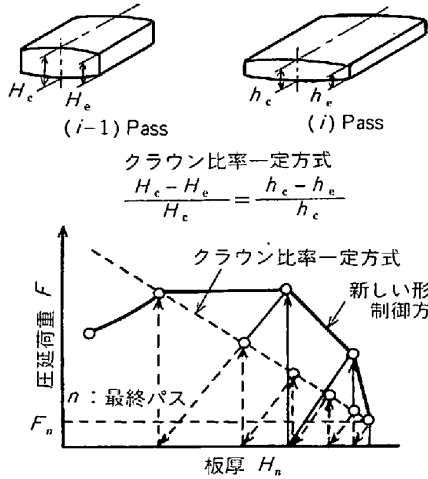


図10 厚板平坦度制御法

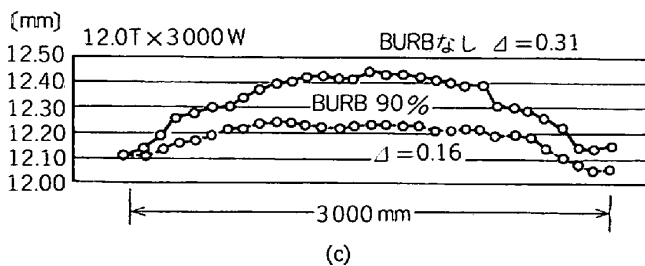
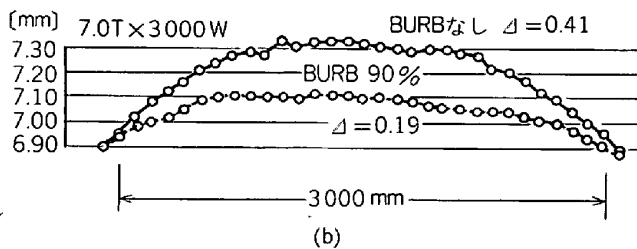
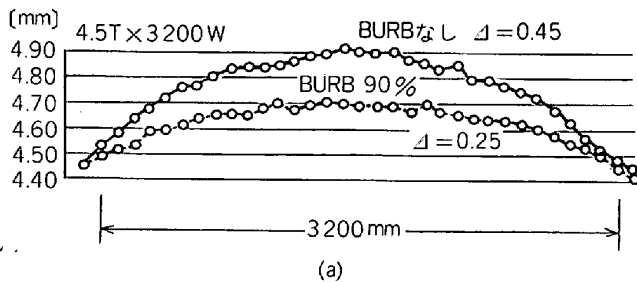


図11 バックアップロールベンダー (BURB) の操業実績

せる方法としてロールベンダーがある。ロールベンダーには、ワークロールベンダー (WRB) とバックアップロールベンダー (BURB) がある。

図11にBURBの板クラウンにおよぼす効果を示す。

3.2.4 板厚制御⁵¹⁾

厚板圧延の板厚精度は、ソフト面では鋼板の温度予測⁵²⁾、圧延荷重予測(変形抵抗予測を含む)⁵³⁾⁵⁴⁾、ゲージメータ式の各モデルの精度でほぼ決定される。これらモ

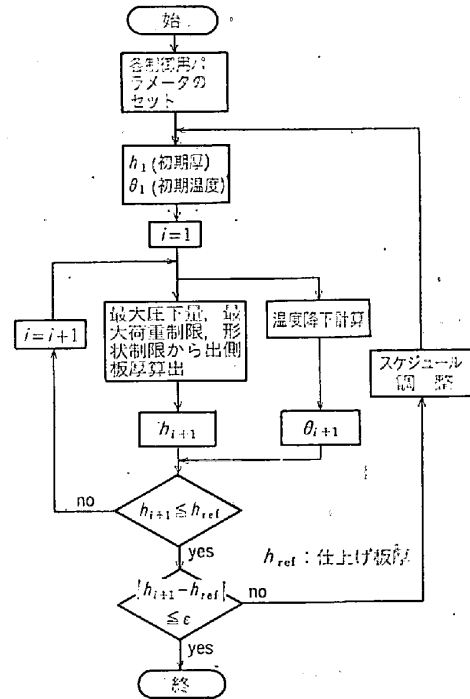


図12 パススケジュール計算フローチャート

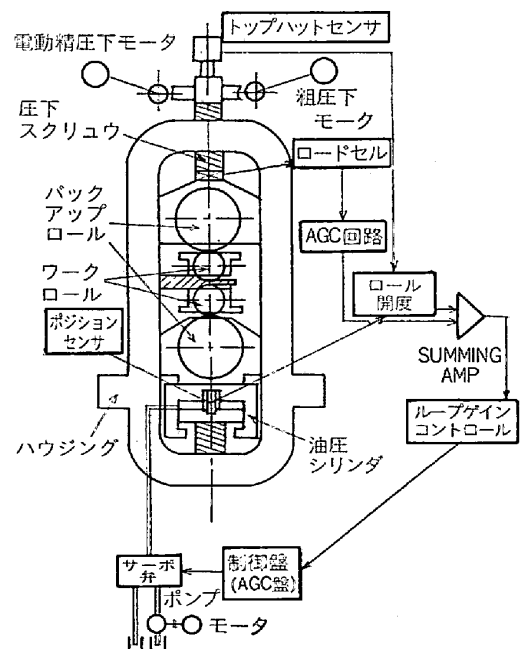


図13 油圧の概略図

デル式は、従来の実験式にかわり圧延理論にもとづいて、高精度で厳密になつている。図 12 に、実際のパススケジュールの計算フローを示す。

一方ハード面では、放射線厚さ計の進歩により⁵⁵⁾⁵⁶⁾、オンラインで実厚をフィードバックしゲージメータ式を修正するダイナミック制御方式も開発実用化されている。

また、従来の電動 AGC にかわり⁵⁷⁾、応答性の優れた油圧 AGC の導入により、長さ方向の板厚偏差が少なくなると共に、絶対値 AGC の機能が付加されることにより、板厚精度が大幅に向上している⁵⁸⁾。図 13, 14 に、油圧 AGC の概略図およびその結果得られた板厚精度を、それぞれ示す。

3.3 厚板の平面形状制御技術

3.3.1 厚板圧延と平面形状

一般に、平板の圧延においては、断面積が減少し圧延方向に長くなると同時に、幅方向にも変形し幅広がりが生ずる。幅広がり現象は被圧延材の先後端でより大きくおこるため、圧延後の鋼板の平面形状が矩形から外れてくる。

この現象は、主として板厚が厚い段階すなわち成形圧延および幅出し圧延でおこり、圧延終了時の平面形状は、それぞれの段階で生じた変化が合成されて形成される。

成形圧延および幅出し圧延の過程で生ずる平面形状変化を図 15 に示す。これらの変化は基本的には同一である。図 15 の A および A' 部分のような凹形状は、先後端の局部的な幅広がりによつて生じている。また B および B' 部分のような凸形状は幅方向両端部が中央部に比べ幅広がりが多いことにより、長さ方向の伸び率に

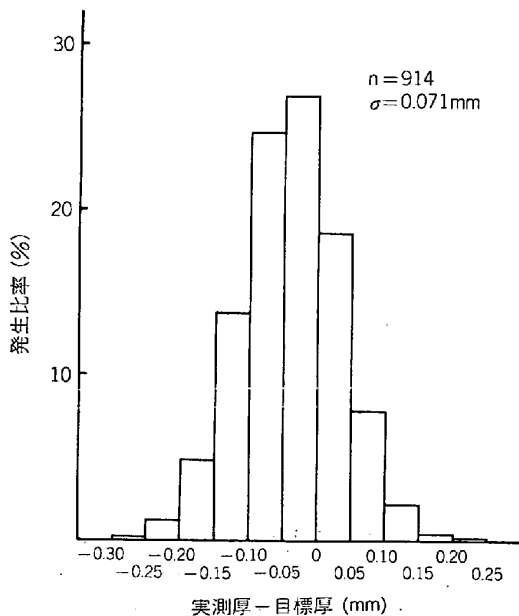


図 14 板厚精度 (川鉄水島第 2 厚板の例)

差が生じることに加えて、A および A' 部分の局部的幅広がり影響により生じている。

したがつて、圧延終了時の鋼板平面形状は、スラブ寸法、圧延寸法および圧下スケジュール等の幅広がり影響因子によつて決定される。

すなわち、幅方向圧延比 (圧延幅/スラブ幅、以後幅出し比と称す) が小さく、長さ方向圧延比 (圧延長/スラブ長さ) が大きい場合には、図 4 の成形圧延時の A および B 部分の影響が大きく残り、図 15 (a) に示すように、圧延終了時の平面形状は、トップ、ボトムクロップが凸形状に、サイドクロップがつづみ形状となる。

一方、幅出し比が大きく、長さ方向圧延比が小さい場合には、幅出し圧延時の A' および B' 部分の影響が大きく残り、図 15 (b) に示すように、トップ、ボトムクロップは凹形状に、サイドクロップはたいこ形状になる。

このような矩形から外れた部分は、製品を採取する時に無駄な切り捨て代となり、歩留り向上をはかるうえで大きな障害となる。

3.3.2 平面形状制御技術の進歩⁷⁾

1976 年頃から平面形状を矩形化する技術の研究、開発が活発になつた。この時期は工業用光学機器や各種センサー類の進歩が著しく⁵⁹⁾⁶⁰⁾、また強力な精度、応答性の優れた油圧 AGC 設備などの導入時期でもあつた。これらの技術や設備が今日の平面形状制御技術の進歩をもたらしており、その開発過程は次のように分類される。

- (1) 厚鋼板の平面形状変化の基礎的研究^{61)~74)}
- (2) 平面形状の測定装置の開発
- (3) エッジの有効利用技術⁶²⁾⁶⁷⁾⁷⁵⁾
- (4) 圧延前スラブの加工技術⁷⁶⁾
- (5) 平面形状予測にもとづいた特殊圧延技術

これを図 16 にまとめて示す。

これらの技術が歩留り向上に及ぼした効果は大きく、たとえば MAS 圧延法により、従来 5.5% あつたトップ、ボトムクロップおよびサイドクロップが 1.1% に減少した。またエッジによる方法でもほぼ同様の歩留り

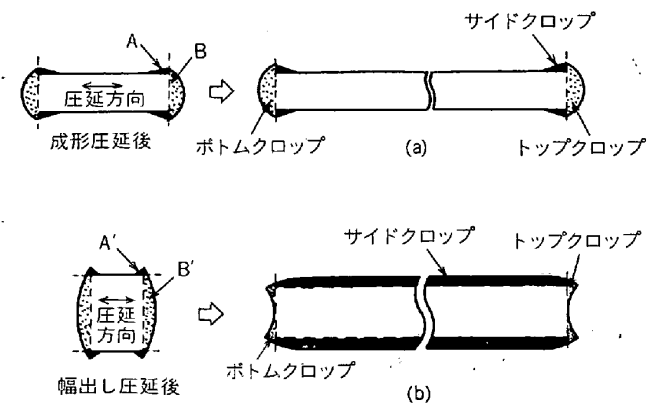


図 15 鋼板の平面形状変化の模式図

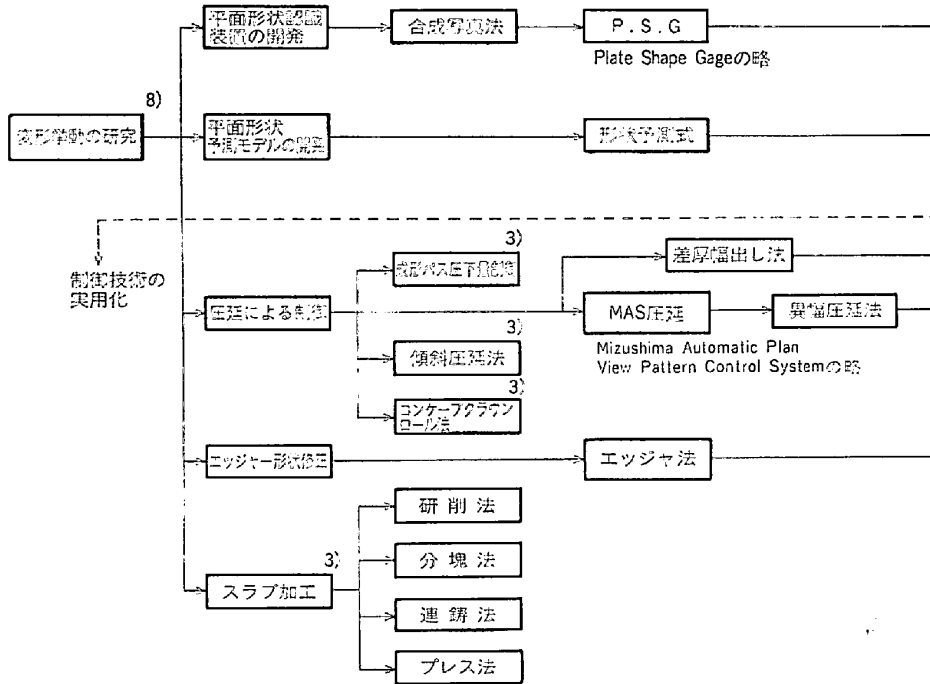


図 16 厚板平面形状制御技術の発展過程

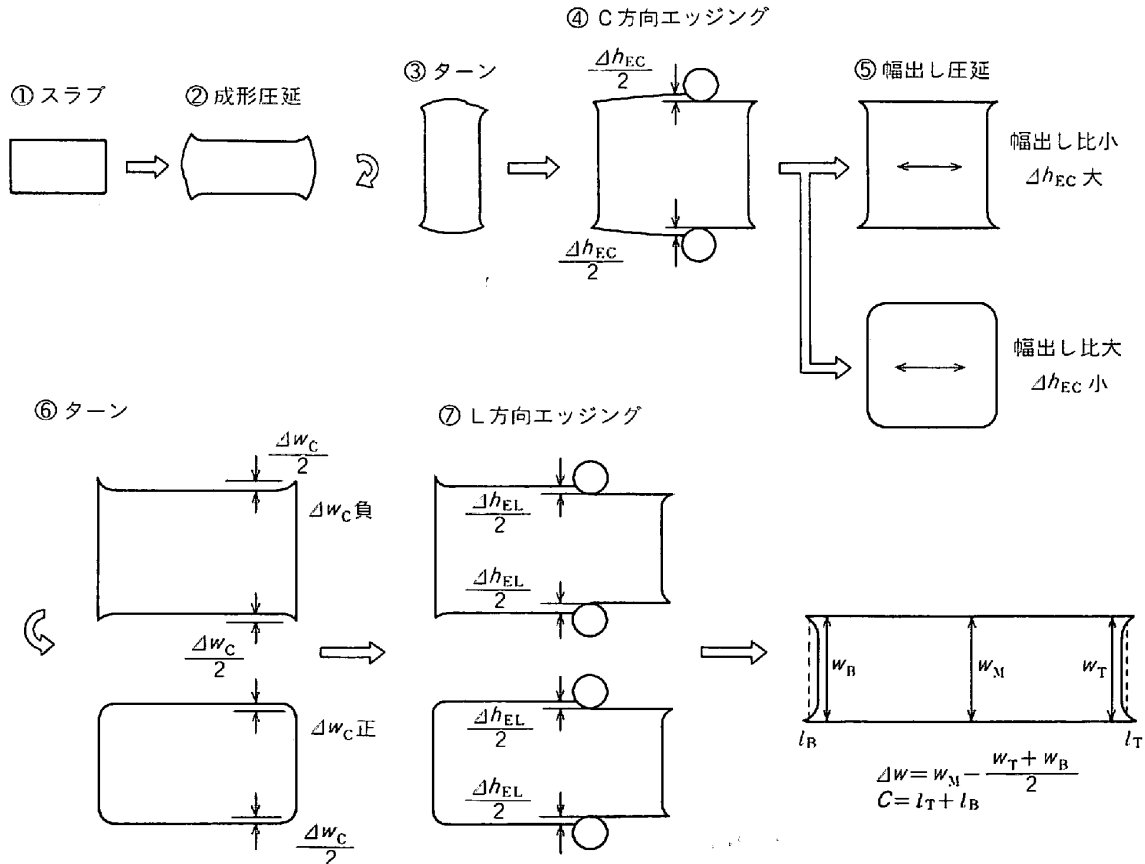


図 17 エッジャ使用方法

向上が得られている。

3.3.3 主な平面形状制御技術

(1) エッジャによる方法^{77)~79)}

図 17 に示すように、圧延の初期または中期に堅型口

ールによる幅殺し圧延を行い、平面形状を矩形化する方法である。最近では、平面形状予測モデルにもとづいて適正制御を行い精度向上をはかっている。この方法は圧延能率の低下をきたすことが欠点であるが、クロップお

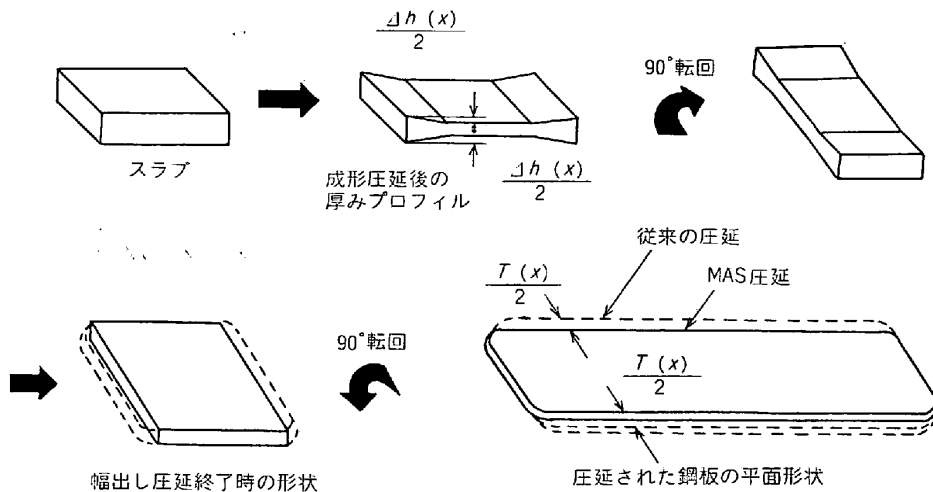


図 18 MAS 圧延法

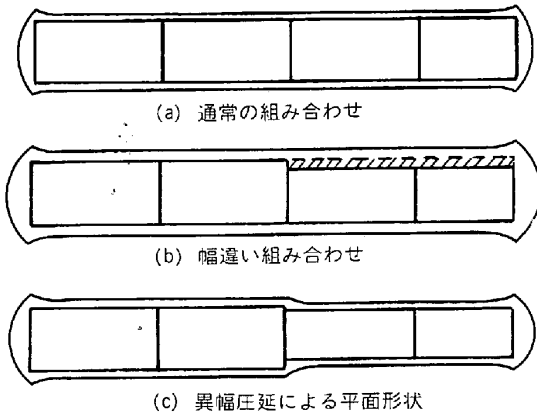


図 19 厚板における製品の組み合わせと異幅圧延における平面形状

よび圧延幅が直接制御できる利点がある。

(2) MAS 圧延法^{80)~86)}

圧延後の鋼板の平面形状を個々の圧延寸法ごとに予測して、圧延初期の段階で素材の厚さプロフィールに変化を

与えて平面形状を制御する方法である。この原理を図 18 に示す。精度の高い予測モデルにもとづいた制御によって、大きな効果が得られており、また今後の応用範囲も広い。

(3) 異幅圧延法⁷⁾

厚板では製品寸法を組み合わせる圧延し、精整工程で所定の寸法に切断する。この場合、図 19 (a) の組み合わせが一般的であるが、図 19 (b) のような製品幅の異なる組み合わせが発生することがある。この場合には、図 16 (c) に示す形状に圧延することによって、斜線部のスクラップスを減らすことができる。図 20 に示すように、MAS 圧延の応用から発展したこの方法は、従来の板圧延の常識を大きく変え、丸板や異形板への圧延と発展している⁸⁷⁾⁸⁸⁾。

(4) 差厚幅出し圧延法⁸⁹⁾⁹⁰⁾

ロールを傾斜させて幅方向端部だけを圧延し、トップ、ボトムクロップの凸形状を改善する方法である。既設の圧延機への適用が可能な点で汎用性が広い。この原

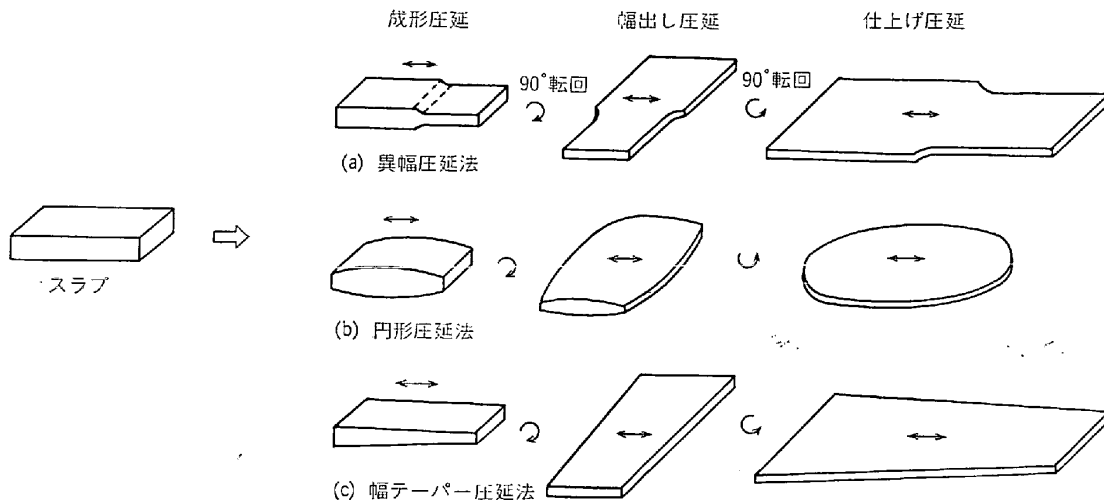


図 20 MAS 圧延法を利用したその他の形状修正圧延方法

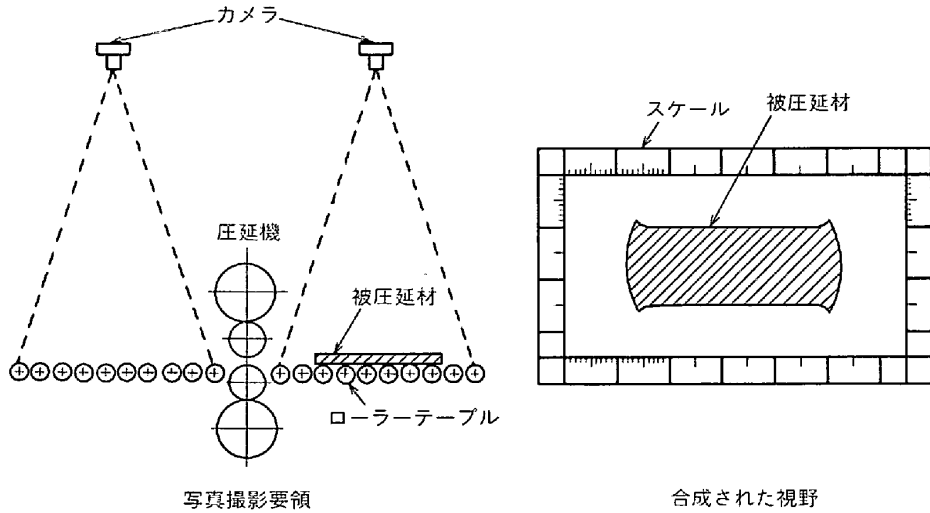


図 22 合成写真法

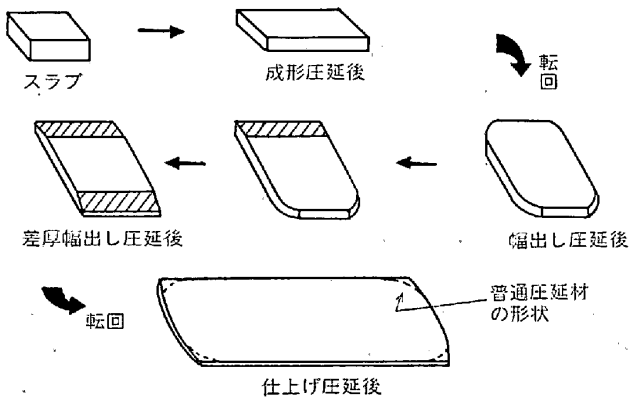


図 21 差厚幅出し圧延法

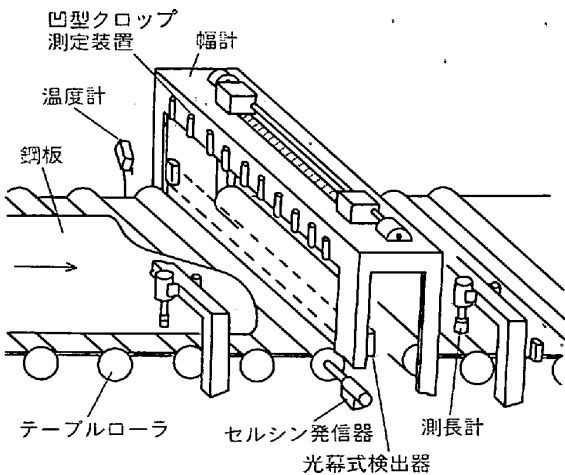


図 23 PSG を構成する主な測定機器

理を図 21 に示す。

3.3.4 平面形状認識方法

鋼板の平面形状を精度よく測定することは、平面形状制御だけでなく、スラブ設計や精整作業の自動化の点でも重要である。

(1) 合成写真法⁹¹⁾

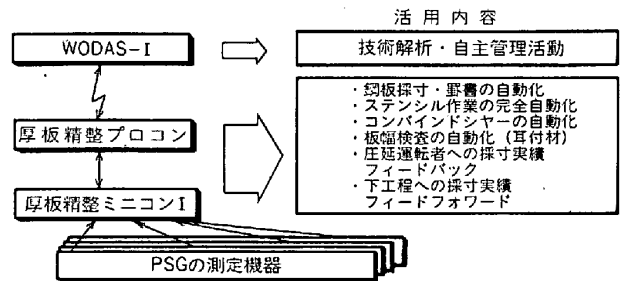


図 24 PSG関連システムの構成と認識結果の活用方法

MAS 圧延の開発時に考案された測定法で、図 22 に示すように、テーブル上にあらかじめ置いた目盛板と圧延中の鋼板の平面形状をそれぞれ別に撮影し、そのネガを合成することによって平面形状を測定する。

(2) P. S. G (Plate Shape Gauge)^{92) 93)}

図 23 に示すように P. S. G は、幅計、測長計、凹型クランプ測定装置、光幕式検出器およびコンピュータ等より構成されている。

P. S. G は、採寸、表示、切断の自動化、板幅検査、ミルへのフィードバックのほか、図 24 に示すようなスラブ設計解析システムにも活用されている。

将来、圧延に適用され平面形状のダイナミック制御に活用される可能性が大きい。

3.4 システム化技術の発展^{94) ~ 99)}

厚板の製造は、多品種少量の受注生産方式をとり、注文仕様が多種多様なため、歩留り、品質および納期などにきめ細かい管理が要求される。この要求に答えたのが厚板生産管理システムの発達である。

厚板生産管理システムの構成は、図 25 に示すように基本的には処理の即時性に対するレベルに応じて次の三つの階層に分けられる。すなわち、

(1) バッチ工程管理システム¹⁰⁰⁾

本社のオーダーエントリーシステムから供給された受注情報にもとづき、製鋼から出荷に至る工程負荷、設備能

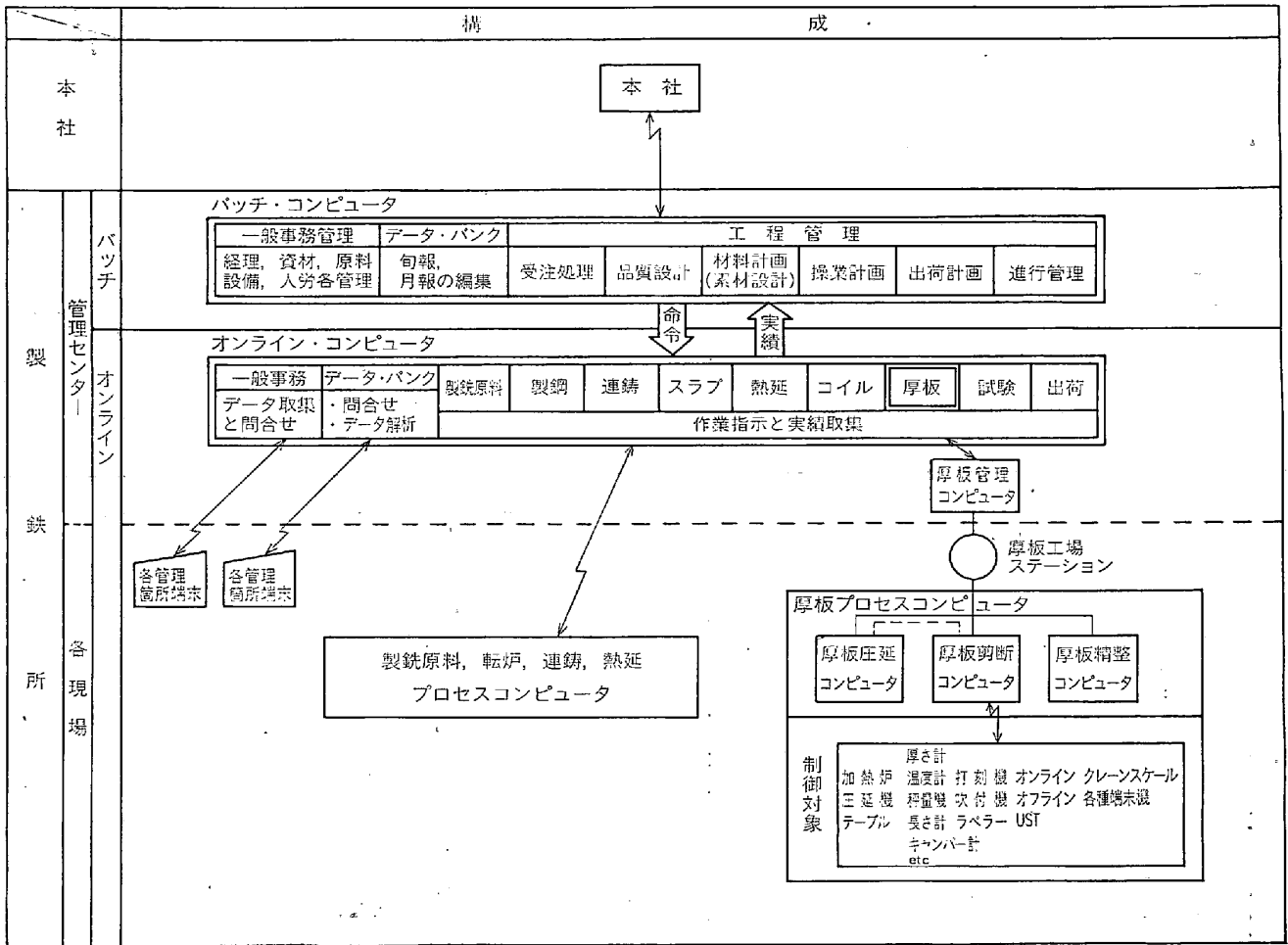


図 25 厚板生産管理システムの構成

力および輸送バランスを総合的に調整し、品質設計、材料計画、材料請求、日程計画および進捗管理（作業指示、実績収集）をバッチ的に処理する。

(2) オンラインシステム¹⁰¹⁾

バッチシステムからの命令により、厚板工場内全域の製造工程の一元管理を行う。

すなわち、各プロセスへの作業指示、異常材発生時の処置、精整ヤード、倉庫における置場、在庫管理、工場全体の物流管理、さらに各種操業実績の収集およびオンラインデータバンクとしての情報提供を行う。

(3) プロセスコントロールシステム^{102)~105)}

オンラインシステムからの作業情報にもとづいて、圧延、剪断、精整の各プロセスを自動制御し、同時に製造実績や技術解析データ等の情報収集および伝送を行う。板厚制御、平面形状制御等にもみられる製造プロセスの制御精度の向上は、このプロセスシステムの発達によるところが大きい。

これらのシステムの実用化が、歩留り向上に寄与した効果は大きい。特に、歩留りと関係が深いシステムの内容について次に述べる。

3.3.1 材料計画の主要システムである 素材設計シ

テム¹⁰⁶⁾

本社のオーダーエントリーシステムから供給されたオーダーについて、素材請求および作業情報上の必要な製造諸元を決定したのち、種々の制約条件のもとでオーダーの組み合わせを行う。以前は、これらを手作業で行っていた。しかし、通常 20000t 以上、7000 枚におよぶオーダーについて最適の組み合わせを行うことは、おのずから限界があつた。しかもこの組み合わせの結果は、歩留り、圧延能率および燃料原単位等に大きな影響をおよぼす。

素材設計システムは、大量のオーダー全量を対象にして組み合わせの試行錯誤を行い最適条件を見出すことによつて、歩留りロスを減らし、スラブ単重の拡大をはかっている。

また、基準命令歩留り式についても、このシステムの発達によつて現場の工程能力を正確に反映した精度の高い、複雑な内容のものとなつている。

余材についても、その発生を極力おさえるためのチャージ編成技術、余材使用時の歩留りを可能な限り最適歩留りに近づける振り当て技術も同時に開発された。素材請求および作業情報作成のフローの一例を図 26、図 27

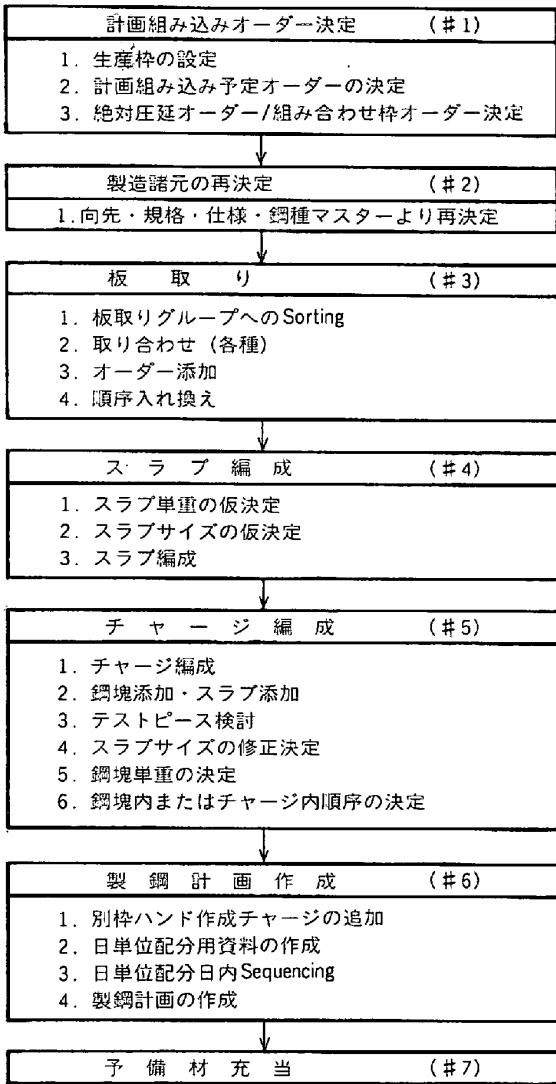


図 26 素材請求 General flow

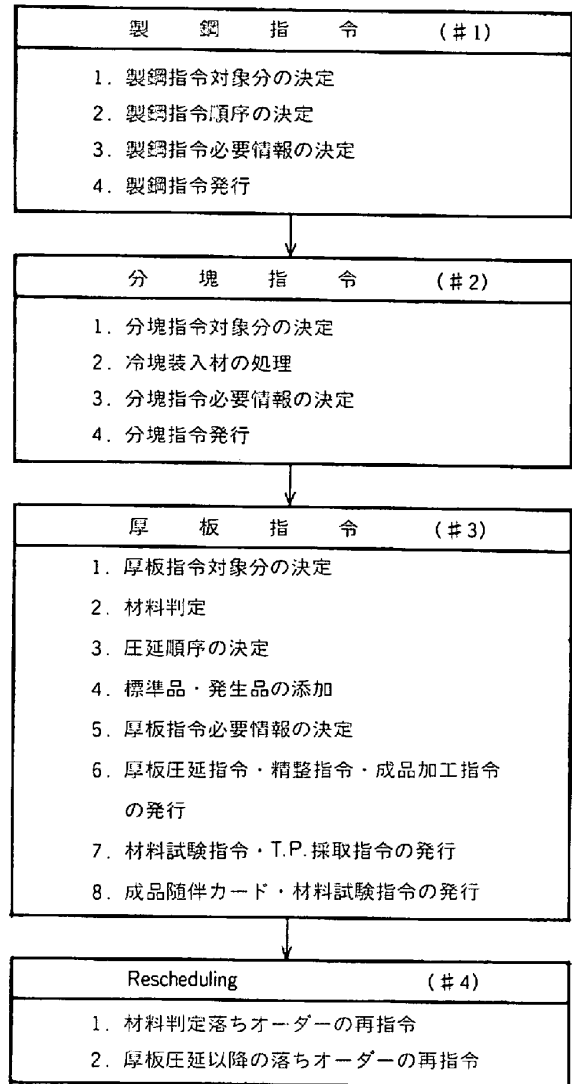


図 27 作業情報 General flow

にそれぞれ示す。

3.3.2 厚板品質実績情報解析システム^{107)~111)}

これは、製鋼、分塊、厚板および機械的試験の各工程での品質実績情報を、一元的に必要なつど任意に組み合わせ即時に解析し、工場への作業指示や、次回の製造条件の変更をタイムリーに行う機能を有している。

したがって、解析データの精度の向上と量の拡大によつて、基準命令歩留り式の精度向上や製品不合格が低減し、結果として歩留り向上に結びついた。

3.5 その他

3.5.1 圧下比緩和圧延法^{112)~115)}

鋼塊に発生するザクや連铸々片にみられる中心偏析、マイクロポロシティに起因する厚板製品品質への影響を軽減するために、低速強圧下圧延法および次式にもとづいた強圧下圧延法が開発実用化されている。

$$d_0 \frac{H_k}{H_0} \leq \sum_{j=1}^k \frac{H_k}{H_j} \cdot w_0 (c_0 + c_1 m_j + c_2 m_j^2)$$

$$m_j = \frac{2\sqrt{R(H_{j-1} - H_j)}}{H_{j-1} + H_j}$$

ここで、 d_0, w_0 : 圧延前のポロシティ厚み
 H_j : j パス後の板厚
 H_0 : 圧延前の板厚
 m_j : 圧延形状比
 R : ロール半径
 c_0, c_1, c_2 : 定数

これら技術によつて、連铸スラブの使用範囲が拡大されると同時に、厚板製品の不合格率が減少した。

3.5.2 操業管理技術の向上

歩留り向上には、これまで述べた技術によるところが大きい。これ以外に現場作業員の細かい努力の積み重ねや、設備保全技術の発達による作業率の向上も見逃すことはできない。

図 28 は、日本の主要厚板工場の作業率¹¹⁶⁾ (圧延時間/作業すべき時間)の推移である。昭和 51 年以降は安定的に向上している。

4. 今後の課題

厚板が今後とも世界的に優位な立場を維持していくには、これまでどおり、歩留り、品質の向上、省エネルギー、操業の自動化および製造プロセスの改善のための技術開発が必要である。さらに長期的には、付加価値の高い新製品、高級材料の開発に積極的に取り組んでいかなければならない。ここでは特に、歩留り向上に関する技術開発の課題について触れる。

4.1 無切断鋼板圧延方法

厚板製品は、圧延したままの鋼板の先後端および幅方向端部に生じる形状不良部分を切断除去するのが一般的である。しかし、MAS 圧延法等によつて鋼板の平面形状の矩形化が達成され、圧延寸法精度が向上してくると、これにエッジャーによる幅圧下制御を導入することによつて、切断時と同等の側面形状が得られる。これにより、幅切断が不要となり大幅な歩留り向上が期待される。

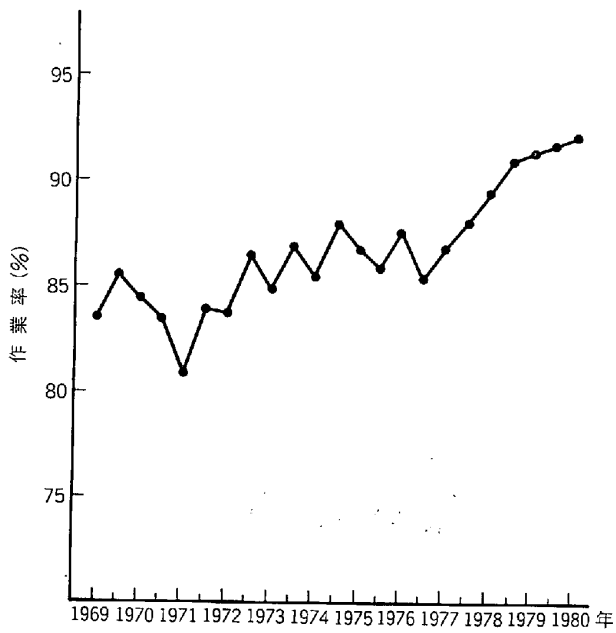


図 28 日本の主要厚板工場の作業率推移

る。

このためには、次の技術開発が必要であろう。

- (1) エッジャの最適圧下スケジュール
- (2) 厚板での AWC(Automatic Width Control)
- (3) キャンバー制御技術
- (4) エッジングによる座屈防止技術

4.2 厚板圧延機の計算機制御技術のレベルアップ

厚板圧延における板厚精度は、従来にくらべ最近では標準偏差 (σ) で 70μ まで向上したが熱圧のそれは 20μ のレベルに達している。このためには制御モデルの精度向上のほか、各種センサー類の精度、信頼性の向上が望まれる。特に板厚に関していえば、圧延機に直近させた放射線厚み計あるいは、ロール開度直接測定装置による絶対板厚制御が必要であろう。

また平坦度制御に関しても、板厚 8 mm 以下の薄物で、圧延幅が 3 m 以上になると、まだ問題が残されている。

これは板厚と平坦度のそれぞれの制御が独立していないことに起因している。したがって広範囲に独立制御が可能な設備、たとえば 6 Hi 等の開発実用化が必要であろう。

4.3 自動解析機能を有する品質・歩留り総合管理システム

厚板製造プロセスは、板厚制御を例にとると、圧下スケジュールの計算、出側板厚の計算、圧延、放射線厚み計による実測、板厚予測モデルの修正、次パスへの反映と部分的にはクローズドなシステムになつている。

しかしプロセス全体で考えると、圧延前の素材の情報や圧延後の鋼板の平面形状、キャンバー、切断等に関する情報の把握収集は十分とはいえない。(一部平面形状認識装置が開発実用化されているが。)

このため、厚板プロセス全体について、各種センサー類の開発、実績情報にもとづいた自動解析、さらにはその結果の素材設計等への自動的反映と完全にクローズドなシステムが理想であろう。

図 29 は、このシステムの概念を示したものである。

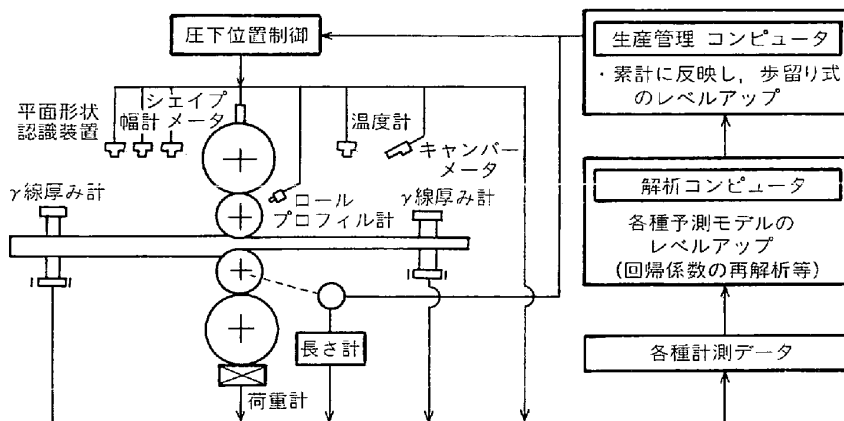


図 29 総合レベルアップ機能制御システム (完全自動閉回路)

4.4 その他

以上述べた課題のほか、たとえば

- (1) さらに高度な素材設計技術
 - (2) 連铸比率向上のための製鋼技術および厚板圧延技術
 - (3) 制御圧延、制御冷却等に代表されるような圧延過程での材質制御技術 (これにより、素材設計時の製品組み合わせの自由度が大幅に改善される.)
- 等の開発研究が進められるであろう。

5. ま と め

厚板の歩留り向上に寄与した大きな要因として、

- (1) 連铸比率の向上
- (2) 厚板設備の近代化、大型化 (厚板圧延機の計算機制御技術を含む.)

(3) 厚板の平面形状制御技術

(4) システム化技術の発展

について述べた。これらは、お互いに密接に関連しているもので、それぞれの歩留り向上代を明確に区別することはできない。しかもこれ以外に、細かい現場努力の積み重ねによつて始めて現在の高歩留りが得られたと考えている。

また今後の課題についても触れたが、ここでは厚板歩留り向上に関する技術開発の課題について述べた。

しかし、今後先進欧米諸国だけでなく発展途上国の追い上げが一層厳しくなることを考えると、歩留りについても単に厚板の歩留りとしてではなく、製鉄、製鋼さらには最終用途まで考えた総合一貫歩留りとしてとらえ、幅広い視野に立つた取り組みが必要と考える。

最後に、本稿をまとめるにあたり、貴重な資料の提供や、御助言、御協力をいただいた日本鉄鋼協会共同研究会の厚板分科会の各委員の方々に、深く御礼申し上げる次第です。

文 献

- 1) 鉄鋼便覧 (第3版), 日本鉄鋼協会編 (1980) p. 221 [丸善]
- 2) 壽崎 忍: 鉄と鋼, 64 (1978) 9, p. 139
- 3) 大山 登, 木村 勲: 塑性と加工, 19 (1978) 215, p. 988
- 4) 平井信恒: 機械の研究, 33 (1981) 2, p. 13
- 5) T. YANAZAWA: The 10th Regular Meeting of the Committee on Technology, IISI, Apr. (1978)
- 6) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第29回~第50回鋼板部会厚板分科会資料による (私信)
- 7) 壽崎 忍: 日本金属学会会報, 19 (1980) 2, p. 79
- 8) 平井信恒: 第71回塑性加工シンポジウム, (1980. 5), p. 22
- 9) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第31回~第50回鋼

板部会厚板分科会資料による (私信)

- 10) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第50回鋼板部会厚板分科会資料による (私信)
- 11) たとえば喜多村 実, 副島利行, 小山伸二, 松田義弘, 安封淳治: 神戸製鋼技報, 29 (1979) 3, p. 11
- 12) 藤橋 桂, 岸 治: 産業機械, (1977), p. 17
- 13) 三菱重工技報, 11 (1974) 6, p. 137
- 14) 国友武夫, 小林俊平, 松本最幸, 宮部 隆: 日本鋼管技報, 74 (1977), p. 59
- 15) 北之園英博: 日立評論, 49 (1967) 7, p. 17
- 16) W. L. WEEKS and D. J. FARIANO: Iron Steel Eng. Apr. (1971), p. 29
- 17) 横井玉雄, 美坂佳助: 第24回塑性加工連合講演会講演論文集 (1973. 11), p. 29
- 18) 宮崎泰次, 杉山忠男: 鉄と鋼, 59 (1973) 13, p. 48
- 19) 日本鉄鋼協会共同研究会: 圧延理論部会 20周年記念シンポジウム (1973. 6), 住友金属工業(株) p. 149
- 20) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第59回計測部会, (1975. 2), 日本鋼管(株) (私信)
- 21) 岡本豊彦, 美坂佳助, 横井玉雄, 木瀬一孝, 藤巻巖: 住友金属技報, 27 (1975) 3
- 22) Y. SEGAWA, K. TSUBOTA, M. INOUE, K. ISOBE, T. NAOI, and H. HONJO: Iron Steel Eng. Annual Convention, (1979, 9)
- 23) B. FAZAN, D. BOUBEL, P. PATTE, J. BOUVARD, and F. WEBER: Iron Steel Eng. Nov. (1980), p. 58
- 24) 田中英輔, 大西輝幸, 福井正博, 天方健二: 神戸製鋼技報, 30 (1980), 4, p. 33
- 25) M. TAKUMI, Y. NABA, K. OMATA, S. TANIMOTO, and H. TSUKAMOTO: Proc. of International Conference on Steel Rolling, Sept.-Oct. 1980, Vol. 1, p. 331
- 26) D. PARINGEN: 同上 Vol. 1, p. 205
- 27) J. LAGRANGE, H. RENNINER, M. CHABOND, and B. FAZAN: 同上 Vol. 1, p. 308
- 28) 柳本左門: 日本機械学会誌, 74 (1971) 631
- 29) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第54回計測部会, (1973. 7) 住友金属工業(株) (私信)
- 30) 美坂佳助, 横井玉雄: 第24回塑性加工連合講演会講演論文集 (1973. 11), p. 41
- 31) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第62回計測部会 (1976. 2) 住友金属工業(株) (私信)
- 32) 平野 坦, 小久保一郎, 大池美雄, 木川佳明: 神戸製鋼技報, 27 (1977) 3, p. 31
- 33) 大池美雄, 木川佳明, 小久保一郎, 平野 坦: 鉄と鋼, 64 (1978), S277
- 34) 平野 坦, 小久保一郎, 大池美雄, 木川佳明: 神戸製鋼技報, 29 (1979) 4, p. 62
- 35) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第62回圧延理論部会 (1979. 3) (株)神戸製鋼所 (私信)
- 36) 升田貞和, 平沢猛志, 市之瀬弘之, 田中明広, 鎌

- 田正誠, 平部謙二: 鉄と鋼, 66 (1980), A169
- 37) 大池美雄, 木川佳明, 小久保一郎, 平野 坦: 鉄と鋼, 66 (1980), A177
- 38) K. NAKAJIMA, K. KOKAI, M. KOIKE, T. KIKUMA, M. ATAKA, and Y. KAKO: Proc. of International Conference on Steel Rolling, Sept. Oct. 1980, Vol. 1, p. 296
- 39) P. MANTYLA, and P. VAARNÖ: 同上 Vol. 1, p. 320
- 40) 鈴木 弘, 上田長正: 生産研究, 22 (1970) 4
- 41) 長瀬光夫, 清水茂成, 河原英磨: 鉄と鋼, 53 (1967) 4, p. 10
- 42) 上田長正, 中村良樹, 藤田 達: 昭和 47 年度塑性加工春季講演会講演論文集 (1972. 5), p. 65
- 43) 新谷定彦, 本城 恒, 小出誠二, 加藤寿彦, 小島精也: 石川島播磨技報, 15 (1975. 9) 5, p. 565
- 44) 岡戸 克, 中内一郎: 第 27 回塑性加工連合講演会講演論文集 (1976. 11), p. 81
- 45) 柳沢忠昭, 坪田一哉, 瀬川佑二郎: 鉄と鋼, 62 (1976), S615
- 46) 水田篤男, 藤田 達: 第 24 回塑性加工連合講演会講演論文集 (1973. 11), p. 73
- 47) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 50 回圧延理論部会, (1973. 9) (株)神戸製鋼所 (私信)
- 48) 有村 透, 岡戸 克, 藤田文夫: 塑性と加工: 16 (1975) 168
- 49) 瀬川佑二郎, 坪田一哉, 井上正敏, 本城 恒, 樋口均一, 江森 隆: 塑性と加工, 20 (1979) 217
- 50) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 48 回鋼板部会厚板分科会, (1979. 4) 川崎製鉄(株) (私信)
- 51) 横井玉雄, 美坂佳助: 塑性と加工, 16 (1975) 168
- 52) 鈴木桂一, 南谷昭次郎, 植田憲治, 高橋祥之: 鉄と鋼, 62 (1976), A49
- 53) 加古幸博, 増田一郎, 阿高松男, 菊間敏夫, 湖海克明, 中島浩衛: 鉄と鋼, 64 (1978), S302
- 54) 同上, S696
- 55) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 67 回計測部会, (1977. 11) 日本鋼管(株) (私信)
- 56) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 69 回計測部会, (1978. 7) 新日本製鉄(株) (私信)
- 57) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 67 回計測部会, (1977. 11) 川崎製鉄(株) (私信)
- 58) 高橋亮一, 美坂佳助: 塑性と加工, 16 (1975) 168, p. 25
- 59) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 59 回計測部会 (1975. 2) 東京芝浦電気(株) (私信)
- 60) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 61 回計測部会, (1975. 11) 住友金属工業(株) (私信)
- 61) 川村浩一, 福田次男, 佐藤 満: 鉄と鋼, 63 (1977), S218
- 62) 同上: 64 (1978), S281, S282
- 63) 川村浩一, 福田次男, 佐藤 満, 平石勇一, 森克博: 鉄と鋼, 63 (1977), S217
- 64) 坪田一哉, 竹川英夫, 井上正敏, 磯山 茂, 旭一郎, 池谷尚弘: 鉄と鋼, 63 (1977), S657
- 65) 同上: 64 (1978), S279
- 66) 川村浩一, 福田次男, 馬場 稔: 鉄と鋼, 64 (1978), S280
- 67) 渡辺和夫, 時田秀紀, 中島浩衛: 鉄と鋼, 64 (1978), S697
- 68) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 60 回圧延理論部会, (1978. 3) 日本鋼管(株) (私信)
- 69) 岡戸 克, 有泉 孝: 鉄と鋼, 64 (1978), S278
- 70) 時田秀夫, 渡辺和夫, 中島浩衛, 福田次男: 鉄と鋼, 65 (1979), S300
- 71) 平沢猛志, 升田貞和, 市之瀬弘之: 鉄と鋼, 65 (1979), S300
- 72) 日本塑性加工学会: 第 13 回圧延工学分科会, (1979. 6), 住友金属工業(株)
- 73) 同上: 日本鋼管(株)
- 74) 横井玉雄, 美坂佳助, 吉松幸助, 木村俊一, 大高脩: 鉄と鋼, 66 (1980), A181
- 75) 時田秀紀, 渡辺和夫, 中島浩衛, 市川司郎: 鉄と鋼, 65 (1979), S297
- 76) 千野達吉, 古茂田敬一, 坪田一哉, 吉門照幸, 佐々木徹, 大井 浩: 鉄と鋼, 62 (1976) S131
- 77) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 48 回鋼板部会厚板分科会, (1979. 12) (株)神戸製鋼所 (私信)
- 78) 長田修次, 河原田実, 中島浩衛, 神山藤雅: 鉄と鋼, 65 (1979), S303
- 79) 笹治 峻, 久津輪浩一, 堀部 晃, 野原由勝, 山田稔久, 渡辺和夫, 鉄と鋼, 66 (1980), A165
- 80) 柳沢忠昭, 三芳 純, 坪田一哉, 菊川裕幸, 池谷尚弘, 磯山 茂, 旭 一郎, 馬場和史: 川崎製鉄技報, 11 (1979) 2
- 81) 池谷尚弘, 坪田一哉, 瀬川佑二郎, 磯山 茂, 菊川裕幸, 旭 一郎: 鉄と鋼, 65 (1979), S304
- 82) 瀬川佑二郎, 石井功一, 池谷尚弘, 磯山 茂, 馬場和史, 尾脇林太郎: 鉄と鋼, 65 (1979), S305
- 83) 石井功一, 坪田一哉, 菊川裕幸, 馬場和史, 旭一郎, 尾山博美: 鉄と鋼, 65 (1979), S306
- 84) 池谷尚弘, 柳沢忠昭, 坪田一哉, 菊川裕幸, 瀬川佑二郎, 三芳 純: 昭和 54 年度塑性加工春季講演会講演論文集 (1979), p. 457
- 85) 平井信恒, 吉原正典, 坪田一哉, 菊川裕幸, 西崎宏: 鉄と鋼, 66 (1980), A157
- 86) K. Tsubota, H. Kikugawa, K. Baba, and S. Isoyama: Proc. of International Conference on Steel Rolling, Sept.-Oct. 1980, Vol. 1, p. 193
- 87) 五弓勇雄, 斎藤好弘: 鉄と鋼, 54 (1968) 9, p. 31
- 88) 高橋 裕: 日本製鋼所技報, 27 (1970), p. 54
- 89) 饗場満雄, 渡辺秀規, 高橋祥之, 金田欣亮: 鉄と鋼, 66 (1980), A161
- 90) 中里嘉夫, 千貫昌一, 竹川英夫, 奥村健人, 御厨尚, 渡辺秀規: 鉄と鋼, 66 (1980) S291
- 91) 菊川裕幸, 坪田一哉, 旭 一郎, 池谷尚弘, 石原甫: 鉄と鋼, 63 (1977), S216

- 92) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 70 回計測部会,
(1978. 11) 住友金属工業(株) (私信)
- 93) 萩原康彦, 久保田貞夫, 八柳 博, 川畑友明, 森
本哲夫: 鉄と鋼, 66 (1980), A 173
- 94) 鈴木久正, 濱啓三郎, 出川一郎: 日立評論, 59
(1977) 11, p. 51
- 95) 宮崎義利, 加藤正夫, 鈴木久正, 鈴木輝義, 久保
田昌兌, 浜 啓三郎, 出川一郎, 大場善次郎: 製
鉄研究, 295 (1978), p. 36
- 96) 中川 勝, 大田友房, 梅沢 実: 住友金属技報,
304 (1978), p. 30
- 97) 藤井靖治, 渡辺就市, 古谷俊雄: IBM RE-
VIEW, 77 (1979), p. 39
- 98) 小坂 勝: 第 12 回 IBM 装置工業 MIS シンポ
ジウム (1980), C-1
- 99) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 68 回計測部会,
(1978. 2) 新日本製鉄(株) (私信)
- 100) 神戸製鋼技報, 21 (1971) 1, p. 89
- 101) 栗田邦夫, 今村俊一, 笹森寛城, 南谷昭次郎, 奥
村健人: 川崎製鉄技報, 7 (1975) 4, p. 26
- 102) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 63 回計測部会,
(1976. 6) 川崎製鉄(株) (私信)
- 103) 三浦 恒, 飯田永久, 佐藤明宗, 石井功一, 守谷
正一, 瀬川佑二郎, 増田邦彦: 川崎製鉄技報, 8,
(1976) 3, p. 74
- 104) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 67 回計測部会,
(1977. 11) 新日本製鉄(株) (私信)
- 105) N. IIDA, H. MIURA, S. MORIYA, A. SATO,
J. MIYOSHI: Iron Steel Eng. Oct. (1978),
p.34
- 106) 徳山博干, 櫻 保夫, 村井嗣志, 櫻原一好, 和田
正範: 鉄と鋼, 66 (1980), S 389
- 107) 新日本製鉄: 鉄鋼の IE, 12 (1974) 3
- 108) 日本鋼管: 同上
- 109) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 39 回品質管理部
会, (1978. 11) (株)神戸製鋼所 (私信)
- 110) 日本鉄鋼協会共同研究会: 同上 新日本製鉄(株)
(私信)
- 111) 久保田貞夫, 八柳 博: 住友金属技報, 30
(1978) 4, p. 102
- 112) 中尾仁二, 山場暁太, 青木 至, 川合亜之, 間淵
秀里, 高石昭吾: 鉄と鋼, 62 (1976) 13, p. 106
- 113) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 61 回圧延理論部
会, (1978. 11) (株)神戸製鋼所 (私信)
- 114) 田川寿俊, 武重寛治, 田中淳一, 岩崎宣博, 山田
真, 山口哲夫: 日本鋼管技報, 86 (1980), p. 15
- 115) 奥村直樹, 久保田猛, 丸山忠克, 南雲道彦: 鉄と
鋼, 66 (1980) 2, p. 33
- 116) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 27~第 28 回鋼板
部会厚板分科会資料による (私信)