

© 1988 ISIJ

技術報告

川鉄水島製鉄所における製鋼-熱延 同期化操業システム

滝沢昇一*・直井孝之*・播本 彰*
二階堂英幸*・近藤 徹*²

Synchronized Production Control System between Steel Making and Hot Rolling at Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp.

Shoichi TAKIZAWA, Takayuki NAOI, Akira HARIMOTO,
Hideyuki NIKAIIDO and Toru KONDO

Synopsis :

A synchronized production control system between steel making and hot rolling was developed at Mizushima Works, (which is named "P2 system"). This system is composed of integrated planning system and operation control system.

The former includes 5-day scheduling, daily scheduling and schedule adjustment system. And the latter covers operations of hot metal, BOF, CCM, slab yard, hot strip mill and coil yard.

In order to synchronize the production rate, these were the key technologies to be developed ; decreasing the number of slab sizes in continuous casting, quick quality check of slabs before hot rolling and schedule free rolling in hot strip mill (HSM). HSM-in-line sizing press was developed and installed for the first time in the world to decrease the number of slab sizes. Hot slab samplers were also developed and equipped in slab finishing line for the quick check of chemical composition, and all the finishing stands of HSM were equipped with work-roll-shift devices for the schedule free rolling.

This system was started in March 1987, and now demonstrating noticeable results such as improvement of material flow, hot charge rolling, production yield, quality of products, energy saving, man power saving and so on.

Key words : steel making ; continuous caster ; hot strip mill ; synchronized production ; hot charge ; sizing press ; hot slab sampler ; work roll shift ; schedule planning system ; operation control system.

1. 緒 言

水島製鉄所製鋼・熱延部門は従来、複合吹錬転炉・6 Hi ミルなどの部門固有技術を主体に強化推進してきた。一方顧客からの多様化・高級化・短納期化への要求が高まってきたこと、今回これへの対応並びに全体としてコストダウンを図るべく、製鋼-熱延部門全般にわたって効果の大きい同期化操業システムを中心とした薄板素材製造の合理化(略称:P2システム)を実施した¹⁾。本システムはホットインラインサイジングプレスなどの新設備・諸要素技術およびこれらと一体に構築した計画・実行調整システム・溶銑-製鋼-熱延操業システムよりなり、工期短縮、在庫削減、省エネルギー、省力、歩留り・品質

向上などに成果を挙げている。本報ではこれら新設備・諸要素技術・システムの内容について報告する。

2. 製鋼-熱延レイアウトと同期化操業要件

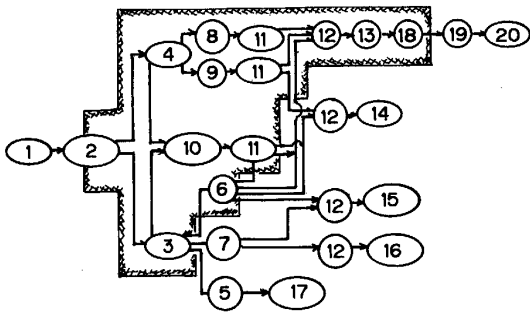
水島製鉄所は Fig. 1 に示すように厚板・薄板・条鋼の3品種素材を2製鋼・5連铸機・1分塊ミルにより製造し、5熱間ミルに供給している。このうち第1製鋼第2連铸機・第2製鋼第5・6連铸機が板系の厚板・熱延ミル用であり、連铸-ミル間のスラブ搬送にはトレーラートラックを使用している。かかる設備条件の中で同期化を図る前提として次を基本要件とした。

- (1) 連铸能力と熱延能力とのバランス
- (2) 铸造順と圧延順の一致

昭和62年4月本会講演大会にて発表 昭和62年10月19日受付 (Received Oct. 19, 1987)

* 川崎製鉄(株)水島製鉄所 (Mizushima Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Mizushimakawasaki Kurashiki 712)

*² 川崎製鉄(株)千葉製鉄所 (Chiba Works, Kawasaki Steel Corp.)



①BF ② Hot metal ③ #1 steel shop ④ #2 steel shop ⑤ #1 cc
⑥ #2 cc ⑦ #3 cc ⑧ #5 cc ⑨ #6 cc ⑩ Slabbing mill ⑪
Finishing ⑫ Slab or bloom yard ⑬ Hot strip mill ⑭ Plate mill
⑮ Large shape mill ⑯ Mid. shape mill ⑰ Billet mill ⑱ Coil yard
⑲ Pickling ⑳ Tandem cold mill

Fig. 1. P2 system scope of Mizushima Works.

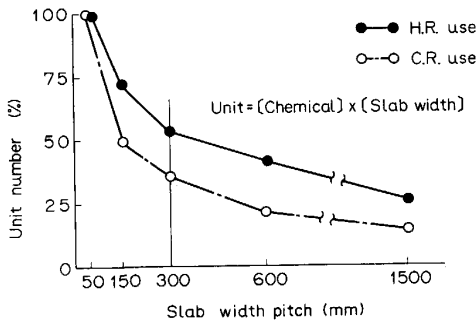


Fig. 2. Relationship between slab width pitch and unit number percentage.

(3) 計画と実績の一致

2.1 基本課題とその対応策

上述の基本要件に対する主課題は下記が挙げられる。

(1) 水島熱延ミル生産能力 (t/h) は単体連铸機生産能力 (t/h) より大きい。従つて連铸機の铸造能力を上げ、稼動日生産能力 (t/h) として製鋼-熱延を同一水準に合致させること。

(2) 水島スラブ連铸機は条鋼・厚板・熱延材铸込みチャンスで競合があり、また各連铸機でモールドサイズなど特性の違いがある。さらにこのような条件下で铸造されたスラブ群を遅滞なく圧延させることが重要である。そのために、連铸铸込みチャンス制約・熱延ロールチャンス制約の両方で緩和を図り、铸造順・圧延順を同一とすること。

(3) 製鋼-熱延での品質向上・安定生産を図り、計画精度を向上すること。

(4) 製造ロットの大型化、判定の迅速化を進め、物流速度向上、物流の簡素化を図ること。

これらの課題に対し、実施した対応策を以下に記す。

①スラブ幅集約

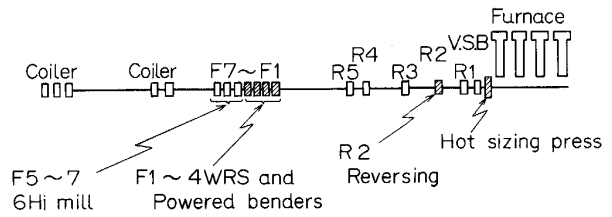


Fig. 3. Layout of Mizushima hot strip mill.

Table 1. Specifications of C.C.M., hot strip & plate mill at Mizushima Works.

CCM	MOULD SIZE	MILL	PRODUCT SIZE
2	215x800~1,500 ^{mm} 250x950~1,250	HOT	1.2 700 } x { xC 32.0 2,200
5	220x850~1,750 (1,000~1,900)		PLATE
6	215x1,600~2,175 310x2,240~2,500		

連铸能力向上・製造ロット大型化・物流の簡素化にスラブ幅集約が効果大であることは異論がないであろう。

Fig. 2 はある時点のオーダー群を〔同一成分〕×〔同一幅〕1個のユニットとして集約し、ここで〔同一幅〕を50mm以内、150mm以内、300mm以内、……とした場合のユニット数比率を示す。ユニット数が半減し、投資効果が大きいスラブ幅ピッチ300mmを今回採用したことにより、従来の50mmピッチに比べ幅種類は1/6に集約された。この幅集約手段として世界初のスラブ全長サイジングプレスを開発しホットインラインに設置した (Fig. 3)。

②連铸モールド広幅化

他品種との競合回避・铸造チャンス制約緩和・連铸能力向上にモールド広幅化が有効である。Table 1 に板系連铸機と熱延・厚板ミルサイズスペックを示す。従来第5連铸機のモールド幅は850~1550mmであつたが、この幅を200mm拡幅し850~1750mm、および、さらに150mm広い方にシフトしたモールド幅1000~1900mmと使用範囲を広げ、かつ本機を熱延向専用機と位置付け、同期命令の自由度を向上させた。

③熱延ロールチャンスフリー

同期化操業に対し、後続プロセスのチャンスフリー化の影響度は大きい。水島熱延ミルは仕上圧延機7基すべてをワークロールシフト機構に改造し、ロール摩耗に影響の大きい珪素鋼などの特殊鋼圧延にも機能を発揮させ

るようにした。

④ 連铸精整処理自動化

連铸出側のトーチカット後、スラブの物流速度、熱片率向上のためには、全面スカーフ材・連铸でのトップ・ボトム部等の非定常部スラブの精整処理自動化が重要である。第5・6連铸機精整ラインの増強・熱間スラブ迅速サンプラーの新設・各機器の自動化を図つた。

⑤ 計画・実行調整・操業システム

製鋼-熱延同期化操業には当範囲はもちろん、前工程の溶銑処理・後工程のコイルヤードも含めて計画・実行精度を高めることが重要である。今回新設・改造した設備・技術を取り込み Fig. 1 の斜線部に示す範囲を主にカバーする5日単位週間計画・実行調整・溶銑・製鋼・熱延操業の各システムを構築した。

⑥ 安定操業化

製鋼(特に連铸)、熱延ミルの品質操業トラブルは同期化操業に対し、直接影響を及ぼす。かかるトラブルを未然に防止するために、重要設備群に対するセンサーを含む品質・設備診断システムを構築した。

3. ホットスラブ幅サイジングプレスの開発

3.1 開発の基本的な考え方

ホット工場におけるインラインサイジング設備に要求される機能として以下の項目が挙げられる。

- (1) 生産能力が高いこと
- (2) 品質が良いこと
- (3) 歩留りが良いこと
- (4) 幅圧下効率が低いこと
- (5) 設備費やランニングコストが安いこと

これらの項目に対して、従来使用されている縦Vロールによるサイジングでは幅圧下効率が低いこと、長手方向に幅変動を生ずること、先後端クロップが大きくなることなど多くの問題点が挙げられる。これらは主としてVロール圧延時の接触弧長が小さく幅方向へ圧下が浸透しないために端部のみが局所的に変形することに起因している。

ドッグボーン変形を小さくおさえ、先後端クロップなどの局所変形を防ぐためには接触弧長を大きくする必要があるが、ロールでは限界がある。

接触長を大きくとれるプレスによる幅圧下方法²⁾が有望であるが、従来の自由鍛造プレスで全長にわたって幅圧下する場合には大荷重となり設備が大きくなる、生産能率が低下するなどの問題が残る。

このような問題点を解決するプレス方法として、新たにスラブサイジングプレスを考案した。

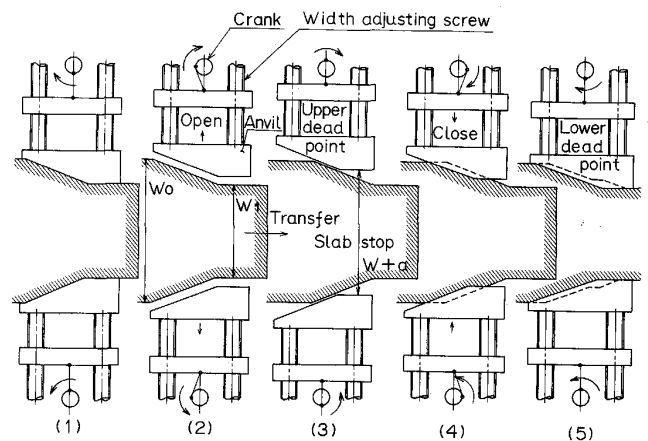
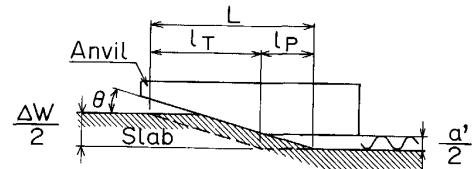


Fig. 4. Motion of anvil and position of slab in reducing slab width by sizing press.



$$l_P = \frac{a'}{2 \tan \theta}$$

$$L = l_P + l_T = \frac{a' + \Delta W}{2 \tan \theta}$$

Fig. 5. Geometrical relation between anvil and slab.

3.2 サイジングプレスの概要とその開発

Fig. 4 にサイジングプレスの動作概念図を示す。相対する金型の平行部の最小距離を目標の幅 W とし、最大距離は $W + a'$ となるように開閉動している。

① 金型が開いている間にスラブを急速搬送し、

② 金型が閉じ始める前にスラブを停止する。

③ 金型が閉じ始め平行部間距離が W となるまでの間圧下する。

以後①から③を繰り返して先端から後端へとスラブを圧下していく。スラブは間欠的に圧下を受けるが、金型の傾斜部により複数回の圧下を受けることによりスラブ幅端面に変形の段差は生じない。Fig. 5 に圧下量と搬送ピッチ、接触長との関係について示す。傾斜角度 θ を小さくすれば接触長が長くなりプレス荷重の増大、すなわち設備が大きくなるが、1回あたりの搬送ピッチも大きくなるため少ない回数の圧下でスラブ全長をプレスできる。また、 a' を大きくすれば、 θ を小さくした時と同様にプレス荷重が大きくなるが、1回あたりの搬送ピッチは大きくなるため少ない回数でスラブ全長を圧下できる。反面 a' を大きくしすぎると大きい圧下率で幅圧下することになり段差がついたりスラブの座屈をひき起こす。

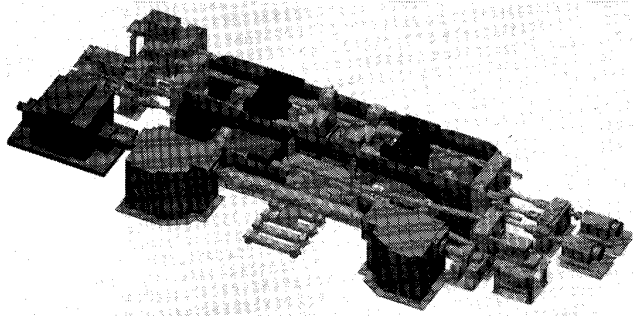


Photo. 1. General view of sizing press.

Table 2. Main specifications of sizing press.

Type	Horizontal rigid housing, electric drive crank
Anvil angle	13°
Crank radius	50 mm
Load	Max. 2 500 t
Main drive	AC 3 300 kW × 600 rpm × 1
Slab width	800~2 175 mm

このように金型の傾斜角度と振幅関係は処理能力と設備仕様を決定する要因であるとともに変形特性にも影響を与えるので十分な検討が必要である。Table 2 にサイジングプレスの主仕様を、Photo. 1 にサイジングプレスの立体図を示す。

4. サイジングプレスの諸特性と実操業

4.1 幅圧下効率

前章でも述べたようにサイジングプレスの圧下接触長はVロール圧延の圧下接触長に比べて大きい。このため板端部に生じる増厚量は小さく断面形状は矩形に近い形状となる (Fig. 6)。したがって、幅圧下に続く水平圧延における幅広がり量は非常に小さい。幅圧下効率 η を式(1)で定義し種々のスラブ幅における幅圧下量と η の関係を示すと Fig. 7 のようになる。

$$\eta = \frac{\Delta W_P - \Delta W_H}{\Delta W_P} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 ΔW_P : サイジングプレス幅圧下量
 ΔW_H : 水平圧延幅広がり量

幅圧下効率 η はスラブ幅が大きい場合であつても60%以上、幅圧下量 ΔW_P が $\Delta W_P \geq 250$ mm以上では80%以上の高い値が得られている。比較のためにV.S.B.ロール(カリバなし)圧下されたスラブの η も示しているがサイジングプレスの η の方が格段に大きい値となっている。

4.2 クロップロス

Fig. 8 に種々の幅のスラブを圧下したときの幅圧下量とクロップ長さの関係について剛塑性有限要素解析を

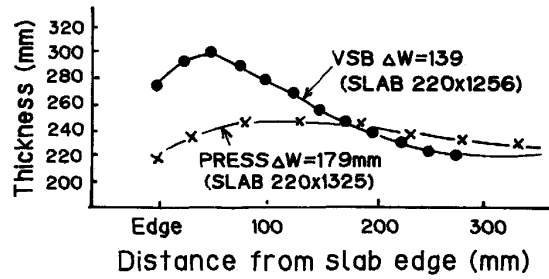


Fig. 6. Comparison of thickness distribution near side edges of slabs after reducing slab width by sizing press and V.S.B. rolling.

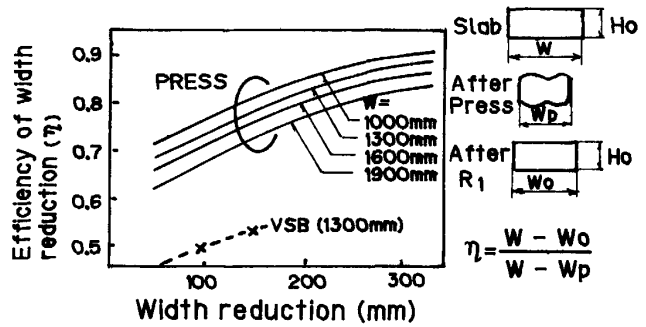


Fig. 7. Efficiency of width reduction by sizing press and V. S. B..

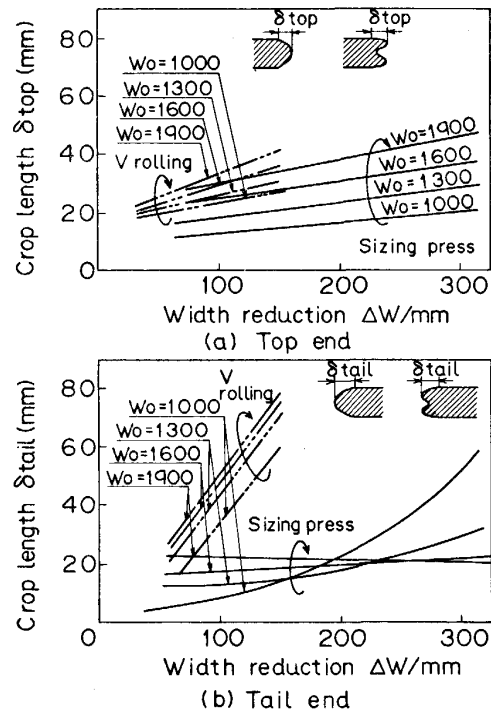


Fig. 8. Relationship between crop loss length and width reduction.

行つた結果を示す。これより、サイジングプレスを導入することにより、少なくとも従来のV.S.B.圧下(100

mm 以下)におけるクロープ長さよりも短くなることが理論的に推定された。Fig. 9 に実操業におけるクロープロスの推移を示す。サイジングプレスを試験的に使用していた期間においてはクロープロスは従来の値よりもやや大きい値となっているが、クロープ低減のためにサイジングプレスにおいて最適な条件で先後端予成形を行った結果、クロープロスを従来の値よりも低減させることができた。300 mm の幅変更を行いつつこのような低いレベルのクロープロスを達成することは、サイジングプレスの大きな長所であると同時にこれらの値は、従来のVロールによる大幅圧下ではほとんど達成不可能な値と推定される。

4.3 幅変動

Fig. 10 に、幅 750~2200 mm、厚さ 220 mm のスラブがサイジングプレスにより最大 300 mm 幅圧下され続いて粗・仕上圧延されて得られた製品の幅変動と、上記と同一寸法範囲のスラブが V. S. B. により最大 50 mm 幅圧下されてから粗・仕上圧延された製品の幅変動を比較して示す。サイジングプレス材は V. S. B. 材に比べて大きい幅圧下が行われているにもかかわらず、平均変動量 \bar{x} が 1 mm、ばらつき σ も約 1 mm 小さくなっている。

サイジングプレス材では幅圧下によるスラブ幅端部の

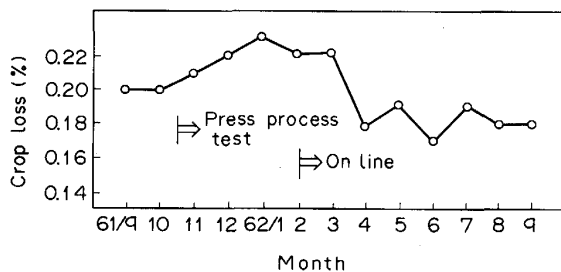


Fig. 9. Variation of crop loss.

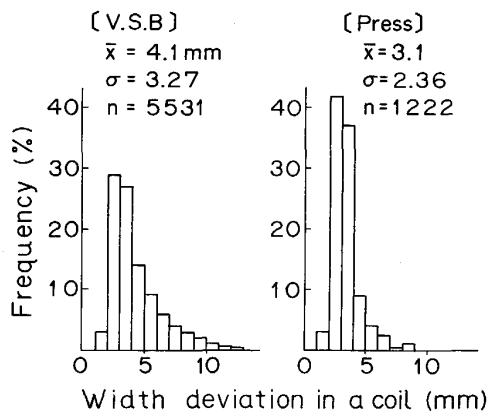


Fig. 10. Comparison of width deviation of V. S. B. rolled and pressed coil.

増厚が小さくしかも続く水平圧延での幅広がりが小さいため、スラブのサイジングによる幅変動は V. S. B. による幅変動よりも小さくなったと考えられる。サイジングプレスは、製品の幅変動を小さくすることに対して V. S. B. より有効な設備である。

5. ロールチャンスフリー技術

熱延仕上ミルは昭和 58 年に後段 3 スタンドの 6 Hi 化改造時に ± 100 mm のワークロールシフト機構を導入しプロフィール改善・ロールチャンスフリー化を開始した。今回特殊鋼を含め、よりチャンスフリー化を図るべく前段スタンドのワークロールシフト・ロールベンダー力強化、後段スタンドのシフト量拡大を実施した (Table 3)。これにより、幅戻り制約緩和 (従来 30 mm \rightarrow MAX 600 mm)、厚み接続制約緩和 (前後材厚比 2 倍 \rightarrow 4 倍)、同一幅連続制約緩和 (連続長 50 km \rightarrow 100 km) クラウン厳格材・難圧延材のサイクル内組込位置規制緩和、ロールカーブ統一 (1 種類) などが可能となり、チャンスフリーを実現させることができた。さらに圧延操業としては、圧下・速度以外に WR シフト量・IMR シフト量・ベンダー圧等を総合的に制御することがチャンスフリー条件下で高品質を作り込むうえで必要である。Fig. 11 に水島熱延ミルでの制御構成を示す。これらの制御

Table 3. Specifications of roll shift equipment of Mizushima H. S. M. finishing stands.

F1~F4 (4 Hi)	WR shift stroke	Max.	± 175 mm
	Increase bender	Max.	280 t
F5~F7 (6 Hi)	WR shift stroke	Max.	± 150 mm
	Increase bender	Max.	75 t
	IMR shift stroke	Max.	750 mm

WR : Work roll IMR : Intermediate roll

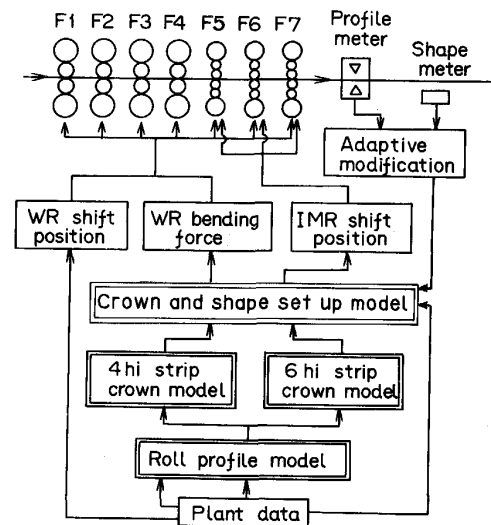


Fig. 11. Strip crown and shape control system of Mizushima H. S. M..

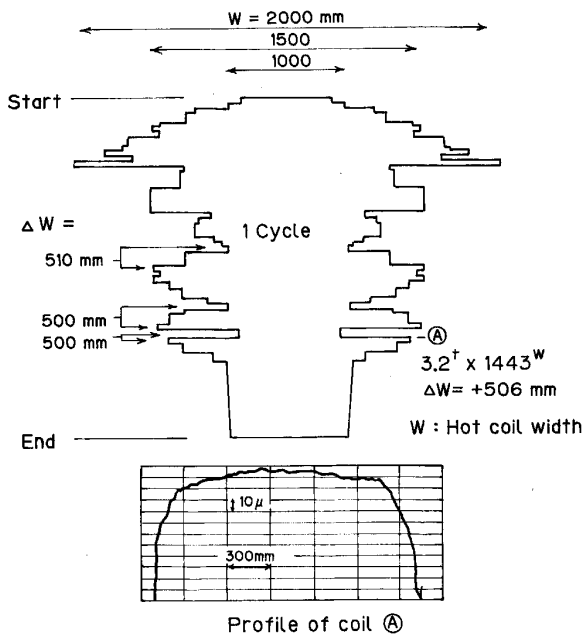


Fig. 12. An example of coil profile after random size rolling with work roll shift.

によつて Fig. 12 のようなジグザグ幅圧延の場合でも、良好な板厚プロファイル・形状が得られている。

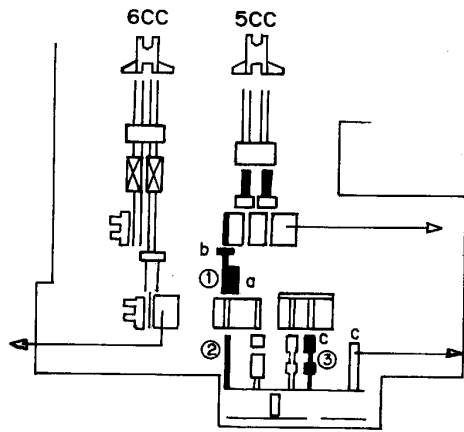
6. 連鑄精整処理自動化

鑄造・トーチカット完了後の熱片の比率を高く、かつ迅速に熱延工場に搬出するには、定常部の高速搬送および異鋼種連連継ぎ目等の非定常部スラブの異常・合否判定迅速化、精整でのオンライン処理が重要である。前者に対しては連鑄機出側ベッドからクレーンにて土間に仮置きせず直接トレーラーに積み込めるよう、品質判定・搬送指示の迅速化を行い³⁾、後者に対しては第5連鑄機と既設精整ラインを直結させるサンプリングラインを設け、併せてクロップ切断装置・熱間スラブ迅速サンプラー・2次切断ライン・バイパスライン・スラブマーカなどを増設した (Fig. 13)。熱間スラブ迅速サンプラーはサンプリングライン上にスラブトップ部用・ボトム部用の計2基設置し、Fig. 14 に示すように熱間スラブから固形サンプルをカッターによりくり抜き分析センターに気送後、乾式分析させる。この結果、従来、土間降ろし冷却後ドリルサンプルを採取し、湿式分析判明まで 24 h 要していたものが、0.5 h に短縮された。

7. 同期化操業における生産管理システム

同期化操業に要求される情報システム面の基本機能は以下の項目が挙げられる。

- (1) 順番どおりに物を流す



① Sampling line ② By-pass line ③ Secondary torch cut line
a: Hot slab sampler b: Crop cutter c: Slab marker

Fig. 13. Layout of slab finishing line.

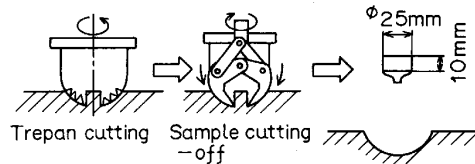


Fig. 14. Sampling method of hot slab sampler.

各製造工程のロットを先入れ先出し方式で最適ロット編成しスケジューリングする機能。

- (2) 計画どおりに物を流す

品質・操業の攪乱を抑え込む高度な品質づくり込み機能および攪乱時の影響範囲を最小限にとどめ迅速に元の計画に復帰させる実行監視・調整機能。

- (3) 物流の迅速化

全プロセスをカバーする現品管理機能、物を滞留させない迅速合否判定機能。

上記機能を達成するために、サイジングプレスによるスラブ幅集約、ロールチャンスフリー技術を最大限に活かした5日単位の週間計画システム、日間計画システム、実行調整システム、さらに溶銑～熱延コイルヤードに至る操業システムを全面的にリフレッシュ再構築した。

Fig. 15 にシステム概要を示す。

7.1 計画システム

ハードウェアでのチャンスフリー化により、ロットの構成・スケジューリングのロジックがシンプルなものとなるとともに、実行保証精度の高い、素材～各熱間圧延プロセス間全品種の5日単位の週間計画システムとすることが可能となつた。その処理フローを Fig. 16 に示す。

- (1) 実行保証精度の追求

実オーダをベースにして連鑄でのキャストのロット編成から熱延でのサイクルのロット編成まで一貫して分単

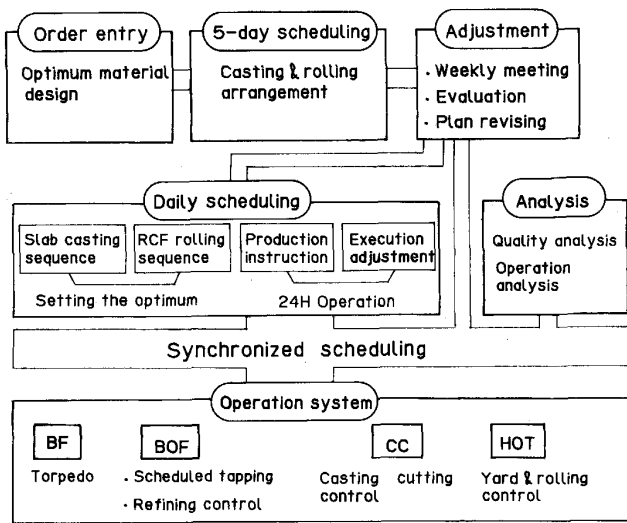


Fig. 15. Outline of P2 system at Mizushima Works.

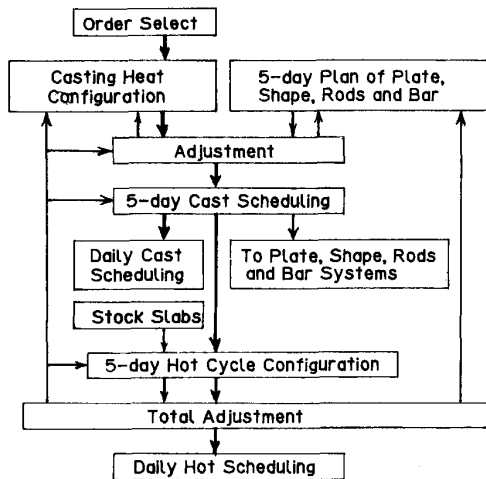


Fig. 16. 5-day schedule planning system.

位のメッシュで5日分同期化計画をくみため、そのまま日間計画へ1日分ずつ切り出していくことを可能としている。日間計画ではキャスト内のスラブ切断順番と圧延サイクル内のロールチャンスフリー単位の圧延順番を決め込むだけの機能に限定しており、週間計画の段階で同期化度・コスト・納期などの価値を最適に決定する仕組みとしている。また本社へ製造仕様付加の前出しを行い、本社販売生産管理システムのオーダー投入調整機能を強化した。

(2) 連铸・熱延共通ロット

連铸では〔成分×幅×製品厚〕をユニットとし、熱延では〔材料区分×幅×製品厚〕をロールチャンスフリー(略称 RCF) ロットとし、共通概念でまとめたロットで各プロセスの実行順編成が行えるようにしている。ここで材料区分とは成分・熱延加熱温度・製品表面区分か

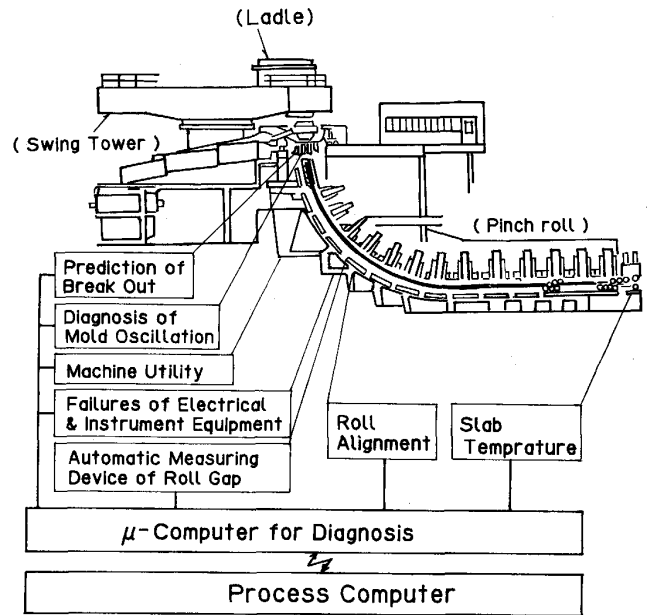


Fig. 17. Quality machine diagnosis system in C. C. M.

らなる、品質より見た区分とし、通常材はいずれも加熱炉を含めた熱延ミルでのチャンスフリー技術で吸収するようにしている。

(3) 環境変化への柔軟性

計画立案処理プロセスを細分化し、コンピューターで行うべき機能と人間が判断すべき機能を適切に切り分け、会話型で立案していく仕組みとしている。これによりオーダー・操業などの周辺条件に対応できるようにしている。また週間計画は実生産の2日前に1日で立案し、日間計画は実生産の1日前に作成することにより、リードタイム短縮を図っている。

(4) 計画評価機能の強化

計画の前提となつている操業・技術条件、あるいは納期・コストの価値優先順位などの諸要素を変化させたシミュレーションを可能としている。これにより種々の角度から見た全体最適案がとれるようにした。

7.2 実行調整システム

各工場間の調整を行う総合指令室と各工場内の調整を行う管制室との二階層の体制としている。従来の製鋼～鋼片工場間中心の調整範囲から、今回、溶銑・製鋼管制室、熱延スラブヤード管制室、熱延コイルヤード管制室を新たに設け、調整範囲を拡大した。また総合指令室の機能に日間計画機能を分担させ、24h体制の調整業務をより円滑に行えるようにした。機能内容は以下のとおり。

(1) 実行監視機能

各プロセスの同期化度レベルに対応したメッシュで現品処理予定時刻と実績との差異状況、影響度の判定およ

び物流状況（現品格落ち異常検知，量バランス，ヤード荷揃い完山状況など）を表示し，迅速・的確に監視できる仕組みとしている。

(2) 実行調整機能

スケジュール変更機能，それにとりまなう製造命令変更機能，格落品を救済するオンライン充当機能を備えており会話処理方式にて迅速に実行調整するようにしている。

7.3 操業システム

同期操業を達成するために溶銑予備処理から熱延コイルヤードに至る操業系システムを①品質つくり込み・保証の強化，②物流管理機能の強化の2点から見直しリフレッシュを図った。以下に特徴的なシステムを記す。

7.3.1 品質つくり込み・保証の強化

(1) 品質設備診断システム

連鑄機 (Fig. 17) および熱延ミルの主要設備に設けたセンサー類からの情報をもとにした監視・診断システムを構築し，品質・操業の安定化を図った。

(2) 迅速合否判定システム

スラブ連鑄プロセスにおいて品質判定コードを核とした命令項目をベースにオンライン・コンピューター，プロセス・コンピューターで各種判定の全自動化を実現させた。鑄込み異常，タンディッシュ・スラブサンプルの分析成分，表面検査などを鑄片完全トラッキングに基づきスラブ一品ごとに即時に判定を行い，最適スラブ調整切断への反映，マクロ分析要否などの精整ライン物流指示および熱延命令へのフィード・フォワードを行い，品質保証を強化するとともに物流迅速化に貢献している。

7.3.2 物流管理機能の強化

(1) 溶銑管理システム

トピード・ディーゼルの車番読取装置，進路選択装置などによるトピード運行管理システム，溶銑事前紐付けシステムなどの構築により溶銑予備処理を最適化し，ト

ピード台数削減，充填量向上に大きな成果を上げている⁴⁾。

(2) スラブヤードシステム

ヤードへのスラブ受入れから加熱炉装入までのクレーンによる多数枚同時ハンドリングの作業指示を自動化し，あわせて保熱ピット開閉など地上設備の自動運転を実現させた。

(3) コイルヤードシステム

コイル2段積の複雑なクレーンハンドリング作業指示を自動化し，ヤードスペースの効率化を図るとともに玉掛無人化を実現させた。

8. 結 言

本システムの中核である世界初のホットインラインサイジングプレスの技術開発と併行して，溶銑～コイルヤードまで広範囲な設備・ソフト一体となつたシステムを開発し，昭和61年9月～62年3月に順次稼動させた。なかでも実行精度の高い5日単位の生産計画により，製鉄所全体の最適生産が可能となり，仕掛在庫減少，加熱原単位向上などの所期成果を達成した。さらにサイジングプレスにより，予期以上の効果も上げられている。今後はますます高まる短納期・小ロット化する顧客要求の中で全プロセス在庫レスを目指した。さらにレベルの高い生産管理を実現させていきたい。

文 献

- 1) 滝沢昇一，藤原煌三，平山勝久，播本 彰，葛原民雄，中西正夫：鉄と鋼，73 (1987)，S 369
- 2) 中川吉左衛門，金成昌平，片岡健二，佐々木徹，宮田克彦，斎藤吉弘，小西敏広，植木 茂：鉄と鋼，66 (1980)，S 295
- 3) 成石正明，平山勝久，日名英司，田中秀幸，岩村忠昭，滝沢昇一：鉄と鋼，73 (1987)，S 370
- 4) 三崎規生，武 英雄，平山勝久，栗屋三男，山根 明，岩村忠昭：鉄と鋼，73 (1987)，S 272