

直接圧延を目指した鋼用ロータリキャスト

Rotary Caster for Direct Rolling of Steel

溶鋼から一挙に圧延製品を製造する直接圧延システムは、従来連続鋳造設備の単機能力が圧延設備に比較して $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ と非常に低いことが最大の隘路となり、両者を直結することが困難でいまだに実現されていない。日立製作所は、この連続鋳造設備単機能力を飛躍的に高めて圧延設備と同等にする鋼用ロータリキャストの開発に成功し、その後3年間にわたる実操業と各種実用化開発を鋭意進めてきた。

遠藤宗宏* *Munehiro Endo*
 二木隆夫* *Takao Futatsugi*
 相沢達志** *Tatsuji Aizawa*

その結果、圧延設備と同一水準の鋳造能力を30時間以上の長時間にわたり安定継続して確保でき、かつ鋳片を適正圧延入側温度 $1,100^{\circ}\text{C}$ 以上に制御可能なことを立証し、鋼用直接圧延システムの実現性を世界に先駆けて明らかにした。

1 緒言

溶鋼から一挙に圧延製品を製造して、大幅な省エネルギー・高歩留まり・省力化をもたらす、従来の熱間圧延プロセスに大改革をもたらす直接圧延システム実現に向け、画期的な高速鋳造可能なロータリキャスト方式の開発を進め、実用1号機の実現に成功したことは既に報告したとおりである¹⁾。

その後引き続き、実用2号機も納入し、前後約3年に及ぶ操業実績から当初の目的である高速鋳造特性を用いて、圧延設備との直結化が可能であることを実用面で世界に先駆けて立証した。

本稿では、設備配置、長時間安定高速鋳造能力、鋳片温度制御など直接圧延システム成立の基本要件に対する本方式の設備的諸特性を実測データに基づき報告する。

2 設備仕様

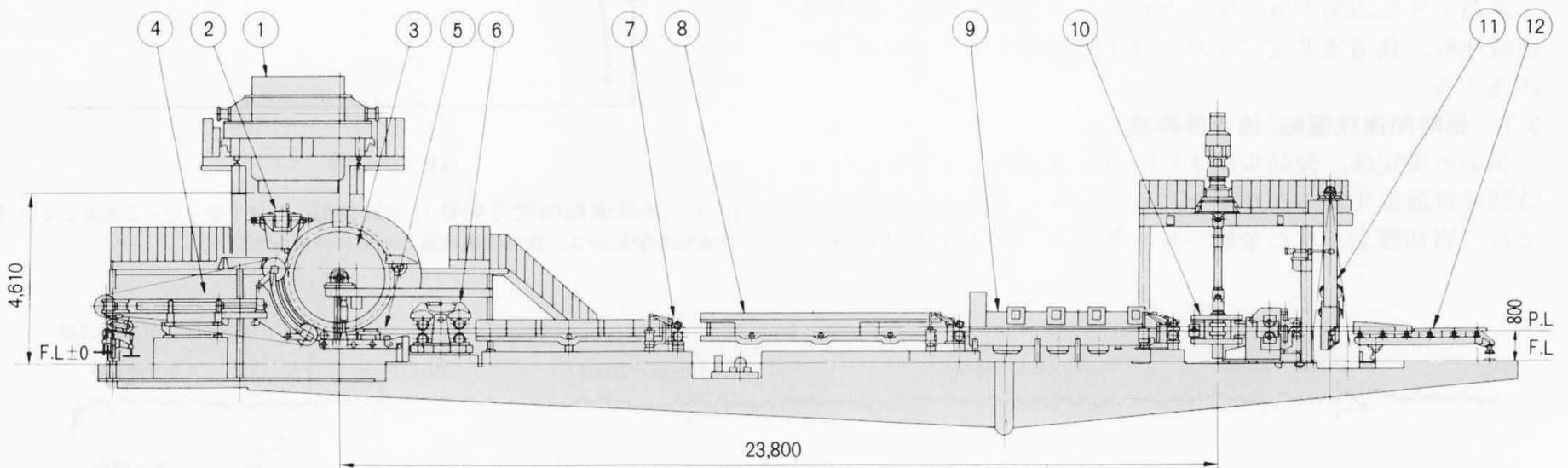
本方式の納入設備仕様及び配置例は、表1、図1に示すとおりで、本設備は下記のような特長をもっている。

(1) 高速鋳造能力

ストランド当たり最大50t/hと圧延設備と同等の生産能力

表1 納入設備仕様一覧表 設備の代表的仕様例を示す。

項目		納入先	大三製鋼株式会社 (1号機)	徳山工業株式会社 (2号機)
1. 溶解炉	容量	電気炉	25T/ch	電気炉 45T/ch
	鋳造断面(初期)		幅160/190×厚さ130(mm)	幅135/165×厚さ128(mm)
2. 鋳造装置	鋳造輪外径		3,000mm	3,000mm
	鋳造速度		最大 5.2m/min	最大 5.4m/min
	ベルト寸法		幅280×厚さ2.6(mm)	幅250×厚さ1.6(mm)
	取鍋底面高さ		4,640mm	4,610mm
3. 圧延搬出装置	圧延機配列		V-H(各1基)	V-H(各1基)
	圧延断面		130角, (140~160)×130	115~125角
	圧延材出側速度		最大 6.9m/min	最大 7.5m/min
	剪断機		油圧ベンジュラム方式	油圧ベンジュラム方式
4. 設備全般	圧延機位置 (鋳造輪-Vミル間)		24,600mm	23,800mm
	ストランド数 鋳造・圧延能力 生産量		1ストランド/基 最大 50t/h/基 約 6,000t/h/基 (バッチ操業)	1ストランド/基 最大 45t/h/基 約 20,000t/h/基 (連々鋳操業)



番号	機器名称	番号	機器名称	番号	機器名称	番号	機器名称
①	レール	④	ベルト装置	⑦	中間ピンチローラ	⑩	インラインミル
②	タンディッシュ	⑤	ガイドテーブル	⑧	スプレーガイド及びダミーバー装置	⑪	油圧ダイヤゴナルシャー
③	鋳造輪装置	⑥	引抜ピンチローラ	⑨	均熱装置	⑫	デプレッシングテーブル

図1 実用2号機設備配置図 設備高さが低く、既設圧延工場内にも設置可能なことが分かる。

* 日立製作所日立工場 ** 日立製作所日立研究所 工学博士

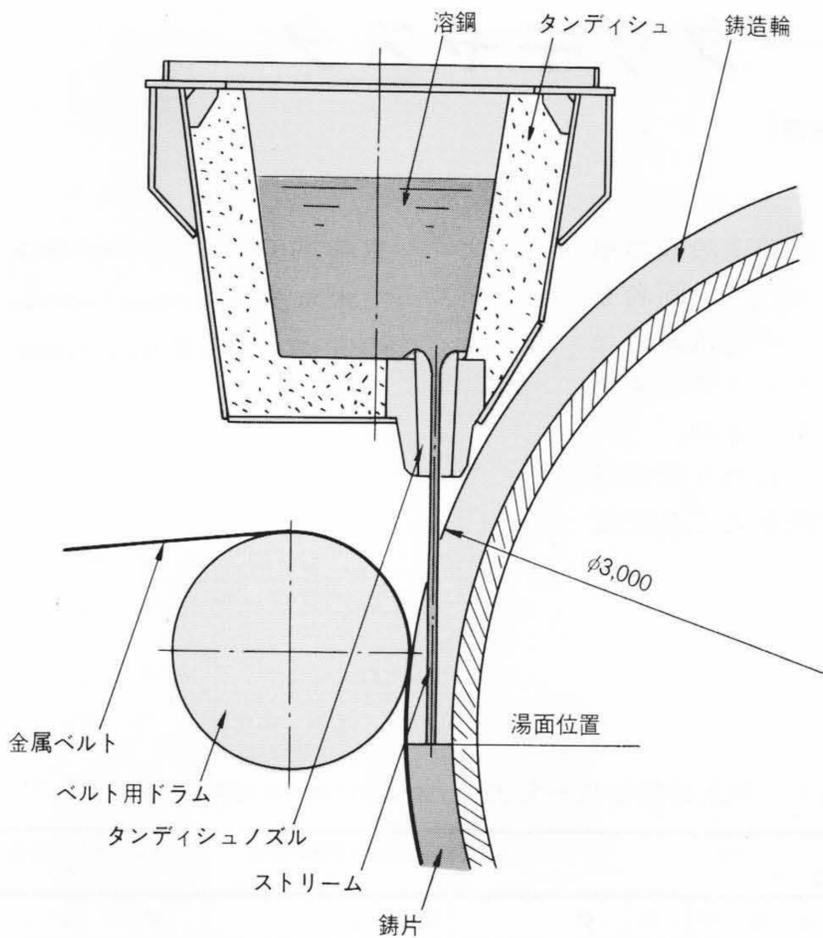


図2 タンディッシュ-鑄造輪間溶鋼注入方式 特殊形状の高品質タンディッシュノズルを使用し、溶鋼ストリームの長時間安定化を図っている。

を確保できる。

(2) 低設備高さ

取鍋(とりべ)底で4.6mと従来の1/2以下となり、圧延工場と同程度の建屋高さに収容可能である。

(3) 均熱炉配置

鑄片温度制御を行ない、適正圧延温度を確保できる。

(4) 圧延機直結

インラインサイジングミルを直接配置し、各種鑄片寸法に粗圧延するとともに、直接圧延システムの可能性を立証した。

3 鑄造特性

鑄造・圧延設備を直結するための所要性能のうち、長時間連続運転、鑄造速度安定性及び高速鑄造能力について以下に詳述する。

3.1 長時間連続運転(連々鑄操業)

操業の安定性、製品歩留まり向上の観点からできるだけ長時間連続運転することが望まれる。本ロータリキャスト方式では、当初懸念された金属ベルト寿命は、強冷却方式の採用

などにより開発初期段階で実用化水準まで到達し、最終的にはタンディッシュ耐火物寿命に制約される面が強かった。タンディッシュノズル形状及び注湯方式は図2に示すようにして、操業技術の改善、耐火物材質の進歩により長時間連続運転記録は図3のように飛躍的に伸長し、現状ではタンディッシュを交換することなく30時間以上の連続運転が可能となっている。これは、ほぼ仕上圧延機ロール寿命に匹敵するものである。

3.2 鑄造速度安定性

本ロータリキャスト方式では完全自動運転システムを採用しており、鑄造輪内湯面は γ 線湯面計を用いて鑄造速度にフィードバックすることにより自動制御されている¹⁾。湯面及び鑄造速度は実測例を図4に示すように4.2m/minという高速鑄造であるにもかかわらず、インラインミルを含む全ライン一括制御で湯面変動(ΔH_{mean})=15mm

速度変動(ΔV_{mean})=0.08m/min(約±1%相当)

と非常に安定した操業状態を保持しており、仕上圧延機を直結しても十分速度制御が可能であることを立証した。

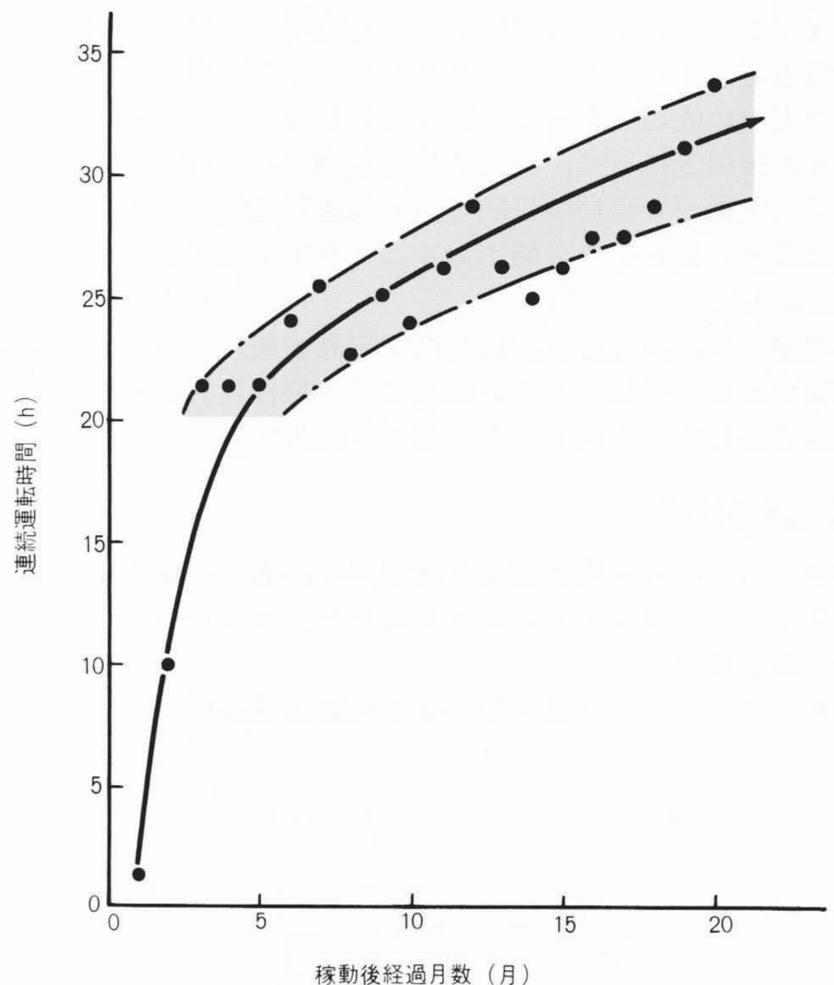


図3 連続運転時間月間最長記録推移 タンディッシュ交換をしない連続運転時間記録は、設備稼働経過とともに伸長している。

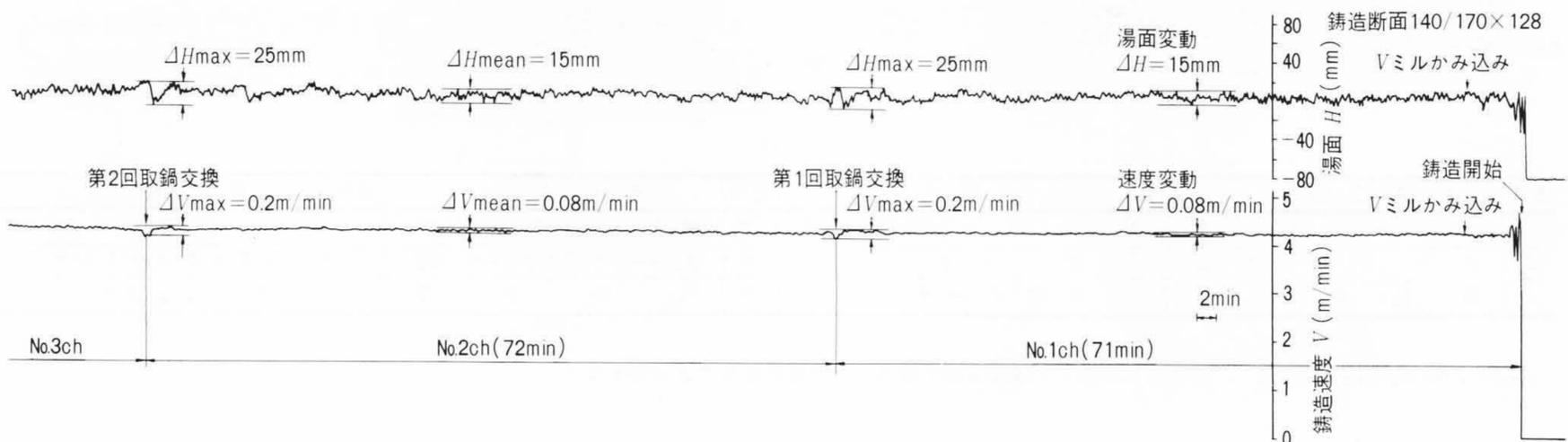


図4 鑄造輪内湯面・鑄造速度記録 鑄造速度を調整して、鑄造輪内湯面を自動制御している。取鍋交換による長時間多連続鑄造時も安定して操業が可能である。

また、取鍋交換を行なう連々銑継ぎ部でも最大速度変化 (ΔV_{max})は0.2m/min(約±2.5%相当)程度であり、変化率も小さいことから、品質面も含め実用上問題のないことを確認した。

3.3 高速鋳造能力

本ロータリキャスト方式での鋳造能力実績を図5に示す。同図は従来方式の連続鋳造設備との対比が容易なように、鋳片寸法を鋳造断面積で代表して、鋳造速度及び鋳片能力(ストランド当たり)を示したものである。鋳造能力実績は、連々銑操業での溶解炉能力とのバランスなど実操業面で種々の制約を受けるため、設備能力の限界を示すとは言えないが、既に単一ストランドで35~50t/hと圧延設備と同一水準まで到達可能なことを実用機で明らかにした。特に、小鋳造断面の範

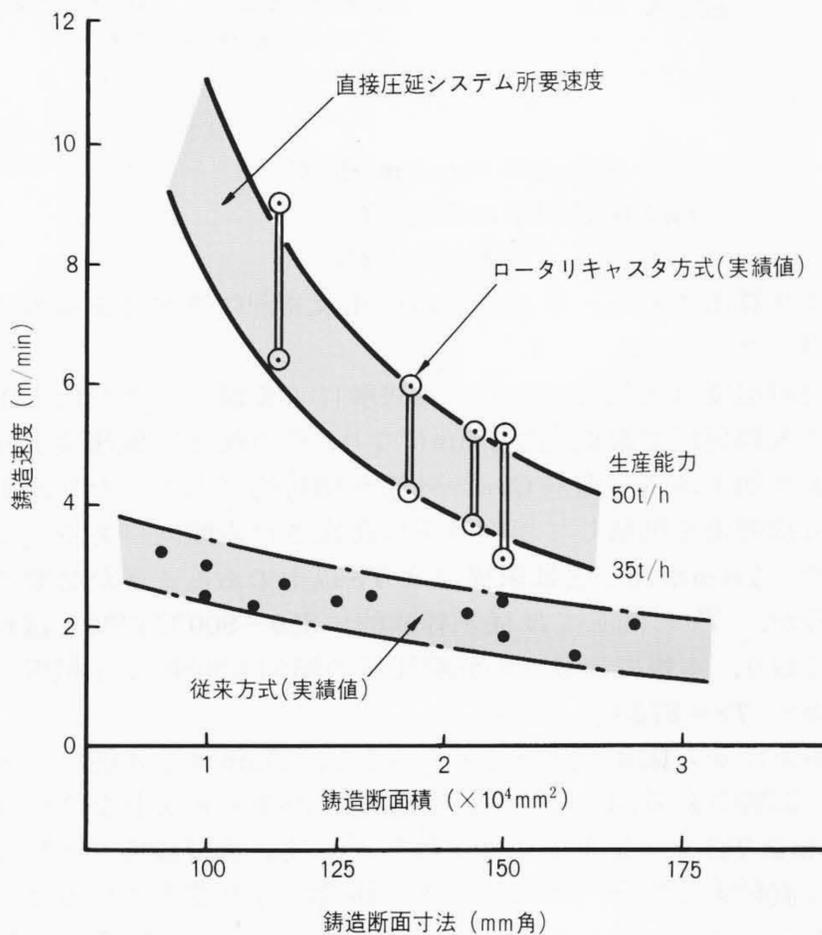


図5 連続鋳造速度の比較 直接圧延システムに必要な鋳造速度をロータリキャスト方式は実用機で達成した。従来方式は圧延設備能力の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ であった。

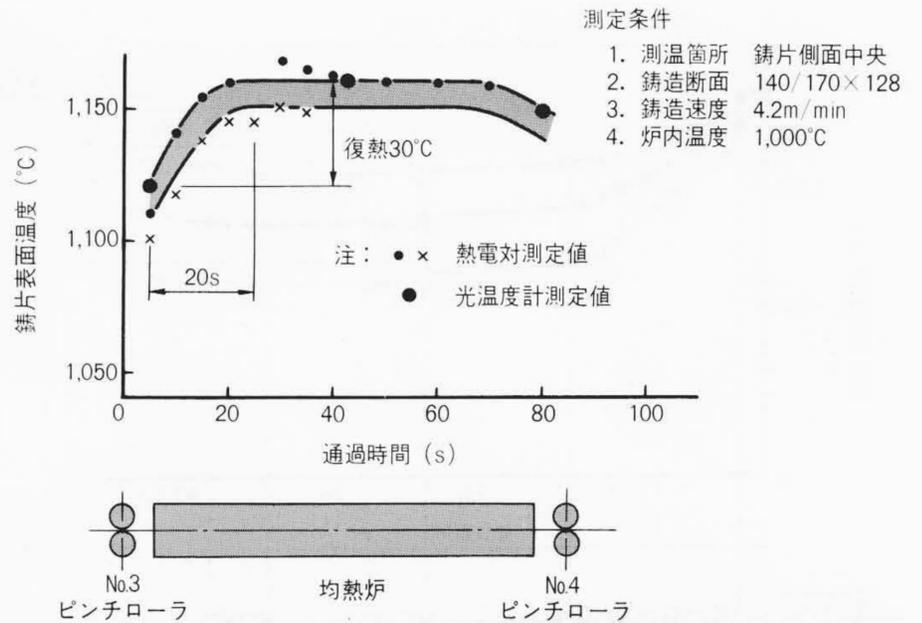


図7 均熱炉内鋳片表面温度復熱状況 炉内での復熱は20秒程度で完了し、その後は安定した状態で推移する。

囲で従来方式よりも約3倍と大幅な鋳造能力の増大を実現したことは、直接圧延システムの実現に非常に効果的である。

4 圧延特性

鋳造された鋳片を直接圧延するためには、その温度制御が重要である。鋳片温度分布及び直接圧延時の温度条件について以下に詳述する。

4.1 鋳片温度分布

鋳片表面温度測温の代表例として、側面中央及び下コーナを採り、実測例を図6に示す。全般的に鋳造輪、矯正ナイフ部での強冷却後No.1ピンチローラまでで復熱し、その後スプレー装置内で緩やかに温度低下してゆくが、均熱炉内で再度鋳片表面が昇温均熱化し、面中央で1,150°C、コーナ部で1,100°Cと適正圧延入側温度となってインラインミルに供給されている。これは上面及び上コーナとも、同一傾向である。

この均熱炉内部での温度変化について、特別に熱電対を鋳片表面に固定して連続測温した結果を図7に示す。均熱炉はバーナなどによる炉内加熱をいっさい行なわず、断熱雰囲気での鋳片内部熱エネルギーだけによって表面温度復熱効果を期待するもので、実測例では約20秒という比較的短時間で

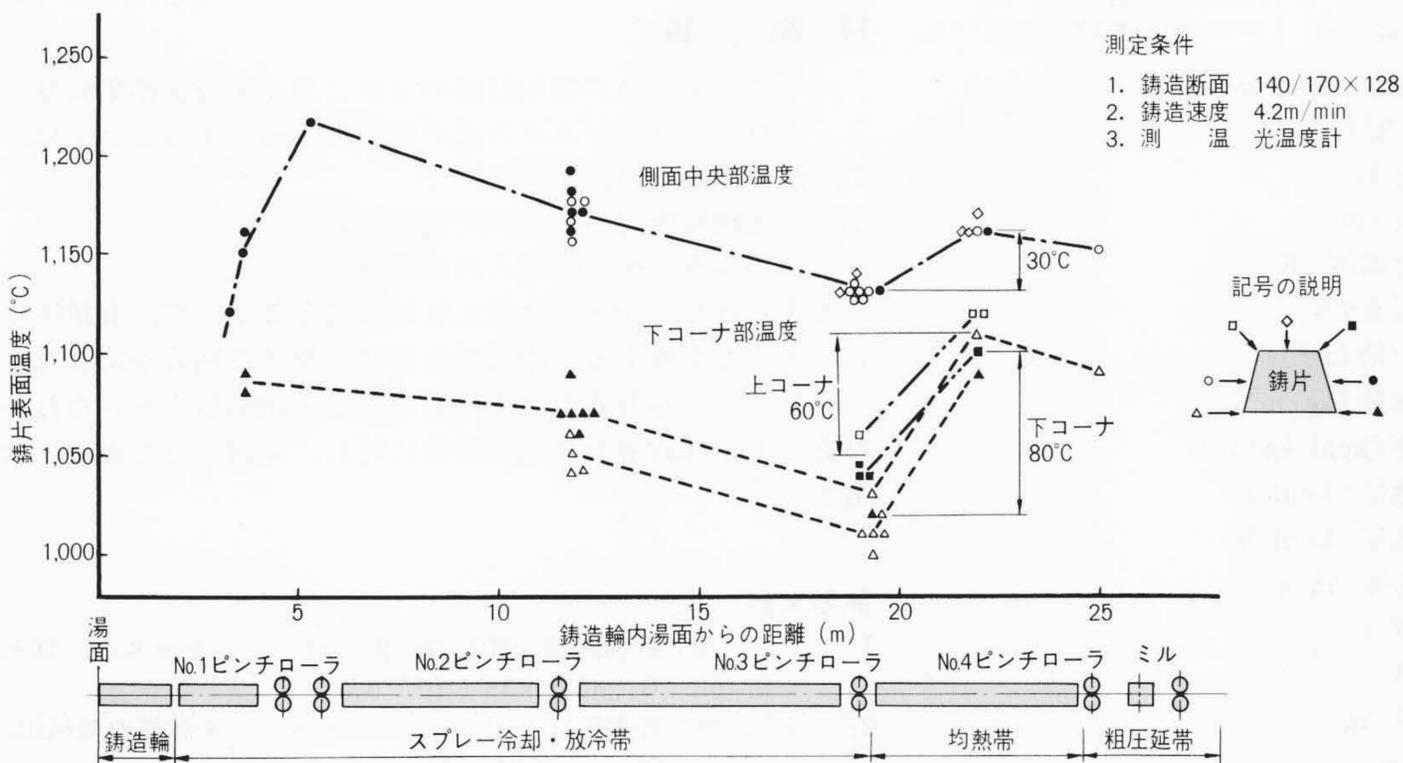
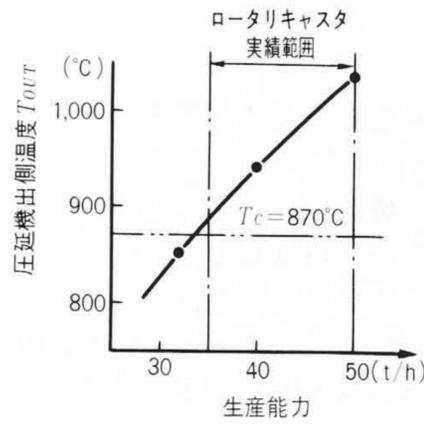
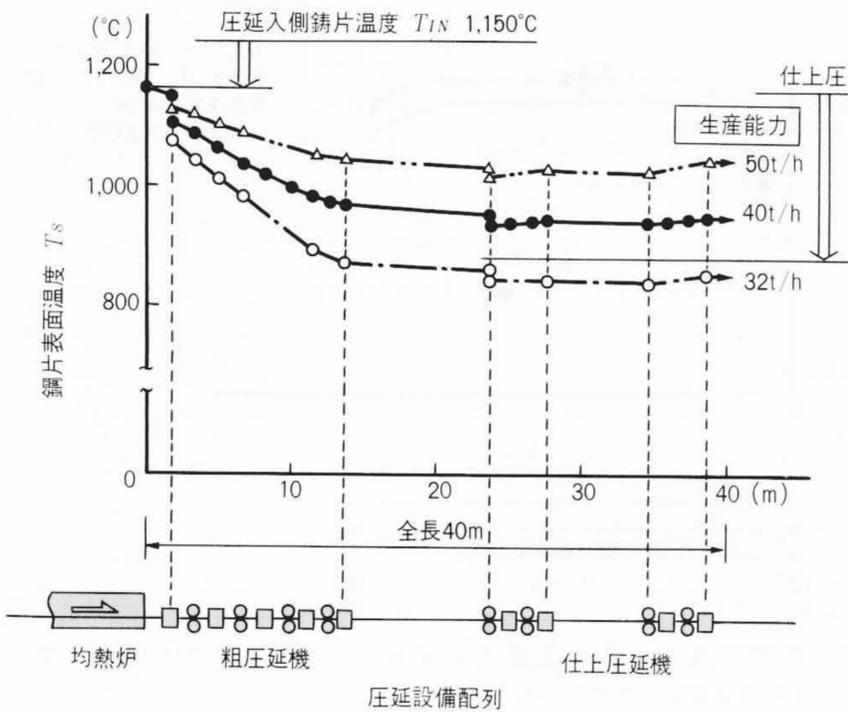


図6 鋳片表面温度変化 スプレー冷却後の鋳片は、均熱炉内で圧延適性温度まで回復する。



操作条件
 鋳造断面 140/170×128t
 圧延断面 φ13

図8 直接圧延システムでの生産能力と圧延鋼片温度の関係
 適性生産能力以下では、圧延の途中で圧延温度限界以下に鋼片温度が低下し、圧延不能となるので、連続鋳造設備として35t/h以上は必要となる。

面中央部 昇温 30°C (到達温度 1,160°C)
 コーナ部 昇温 60~80°C (到達温度 1,110°C)
 と適正圧延入側温度1,100°C以上を実現している。本均熱炉は、コーナ部温度確保に特に効果的であるだけでなく、鋳造初期及び終了時での低炉壁温度・鋳造速度低下状況にも圧延温度確保に大きく寄与しており、実操業時でも温度低下によるインラインミルでの鋳片表面圧延割れは発生していない。

4.2 直接圧延システムの温度条件

前章の鋳片温度条件を基礎に、本ロータリキャスト方式を用いた直接圧延システムでの材料温度変化状態を検討し、その一例を図8に示す。温度計算は条鋼圧延でのプログラム²⁾を用いて行なったもので、その概要は次の(1)式によって示される。

$$\Delta t_n = -\Delta t_{sn} + \Delta t_{rn} \dots (1)$$

ここに Δt_n (n-1), n番スタンド間の温度変化
 Δt_{sn} 材料表面からの対流, 輻射による温度変化
 Δt_{rn} 圧延加工・ロール接触による温度変化

$$\Delta t_{sn} \text{は} \begin{cases} \Delta t_{sn} = t_n - t_{(n-1)} \dots (2) \\ \{ \alpha(t - t_a) + 4.96 \times 10^{-8} \epsilon (T^4 - T_a^4) \} s d l d z \\ = A n \gamma c \cdot d l d t \dots (3) \end{cases}$$

$$\Delta t_{rn} \text{は} \begin{cases} \Delta t_{rn} = \frac{Q_{pn} - Q_{rn}}{3,600 A n V n \gamma c} \dots (4) \\ Q_{pn} = U L n \quad (\text{圧延加工項}) \dots (5) \\ Q_{rn} = 2 l m b m k (t_m - t_r) \quad (\text{ロール接触項}) \dots (6) \end{cases}$$

ここに α : 対流熱伝達係数 (kcal/m²·h·°C)
 t_a : 空気の温度 (°C)
 ϵ : 圧延材の輻射率
 s : 圧延材の周長 (m)
 T : 圧延材の絶対温度 (K)
 T_a : 空気の絶対温度 (K)
 A : 圧延材の断面積 (m²)
 γ : 圧延材の比重量 (kg/m³)
 c : 圧延材の比熱 (kcal/kg·°C)
 Q_p : 塑性変形発熱量 (kcal/h)
 Q_r : ロール伝達熱量 (kcal/h)
 V : 圧延材出側速度 (m/s)
 U : 860 (kcal/kW·h)
 L : 圧延動力 (kW)
 $l m$: 平均接触弧長 (m)
 $b m$: 平均接触幅 (m)

k : 熱通過率 (kcal/m²·h·°C)
 t_m : 圧延材平均温度 (°C)
 t_r : ロール内部温度 (°C)

により算出される。なお詳細は引用文献²⁾に述べてあるので省略した。

材料温度は大気放冷とロール接触による温度降下で仕上圧延機入側付近で最低温度 T_{min} になり、その後は圧延速度上昇により加工エネルギー Q_{rn} の効果が相対的に大きくなり、前記冷却要素を補償して温度低下は防止される傾向にある。この際、 T_{min} が仕上圧延限界温度 T_c 以上であることが必要であるが、 T_c に関しては従来経験的に 850~900°C 程度と言われており、本報では最近の低温圧延の傾向も加味し、 γ 相析出限界の $T_c = 870^\circ\text{C}$ と設定した。

本条件から図8の計算結果をみると、 T_{min} は生産能力に大きく影響される傾向をもち、生産能力が 35t/h 以上なければ $T_{min} \geq T_c$ を満足することが難しく、連続鋳造設備を圧延設備に直結する場合、これと同等の鋳造能力を要求されることになる。これに対し本ロータリキャスト方式は、図5から明らかかなように実操業レベルでこれを達成しており、直接圧延システム実現の基本的要件を連続鋳造設備として初めて満足することができた。

5 結 言

ロータリキャスト実用設備の3年に及ぶ実操業結果に基づき、本ロータリキャスト方式の実用性を確認するとともに、
 (1) 低設備高さの設備配置
 (2) 高速鋳造能力・長時間安定連続運転
 (3) 鋳片温度の適正圧延入側温度確保
 などを立証し、今後更に仕上圧延設備と直結して、直接圧延システムを実現する可能性を世界に先駆けて明らかにした。

終わりに、本方式の実機操業に際し終始御尽力をいただいた徳山工業株式会社の関係各位に対し、深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 山本, 外: 新高速連続鋳造設備鋼用ロータリキャスト, 日立評論, 62, 6, 433~438 (昭55-6)
- 2) 清水, 外: 棒鋼圧延におけるパススケジュール計算の機械化, 日立評論, 53, 7, 639~645 (昭46-7)