



UDC 621.746.047 : 62-52 : 669.14-404 : 681.2

## 最近の連続鋳造における計測と制御

牛島 清人\*・古川 良治\*<sup>2</sup>・吉田 昭紀\*<sup>2</sup>・岡島 弘明\*<sup>2</sup>

### Instrumentation and Control System on Recent Continuous Casting

Kiyoto USHIJIMA, Ryoji FURUKAWA, Akinori YOSHIDA, and Hiroaki OKAJIMA

#### 1. 緒 言

わが国の年間粗鋼生産量はここ数年間 1 億 t ~ 1 億 1000 万 t で停滞しているが連続鋳造 (以下、連鋳と略す) による鋳片の生産量は著しく増加しており、1979 年には連鋳材生産量 5800 万 t、連鋳比率 52% に達した<sup>1)</sup>。1980 年にはこの比率が 60% を超えることは確実である。海外においても連鋳の適用は年々活発化し、1979 年における全世界の連鋳機は約 900 基に及び<sup>2)</sup> 同年の主要 29 カ国の合計連鋳材生産量は約 1 億 2000 万 t、連鋳比率 20.3% に達している<sup>3)</sup>。このような連鋳材の伸びは歩留りの向上、省エネルギーという連鋳法の持つ特性が高く評価されたからであるが、一方これに応える連鋳技術の著しい発展によつて、その適用範囲が大幅に拡大された結果によるものである。

連鋳法は冶金的要素に加えて機械的要素が非常に重要であり、直接、操業や品質に重大な影響を及ぼす場合が多い。したがつていかに適切な計測を行い、設備および操業を最適条件に維持・管理し得るかが連鋳の成否を決定する鍵といえる<sup>4)</sup>。近年、設備能力の巨大化、高能率化、連鋳材の品質向上、さらに熱・温片の直接圧延が指向されるなかで計測および制御方法がますます高度化、精密化され、鋳片の熱間探傷関係の計測機器およびシステムも開発され実用化の域に達してきた。以下に連鋳における計測と制御について最近の状況を取りまとめた。

#### 2. 鋳 造 温 度

鋳造温度は鋳片の品質を左右する重要な因子である。タンディッシュ内容鋼過熱度と等軸晶率を Fig. 1<sup>5)</sup> に、等軸晶率と中心偏析評点との関係を Fig. 2<sup>5)</sup> に、タンディッシュ内過熱度と U.S.T. 欠陥指数との関係を Fig. 3<sup>6)</sup> に示すが、鋳造温度と中心偏析および介在物とは密接な関係があり、特に両者を満足させる温度域は狭い。

したがつて鋳造中、設定温度目標に対する変動を小さくするために取鍋サイクルに応じた出鋼温度の管理、Ar プリング、取鍋保温蓋の使用、常に注湯可能な状態にタンディッシュを保温する自動プログラム予熱<sup>7)</sup>などが行われている。

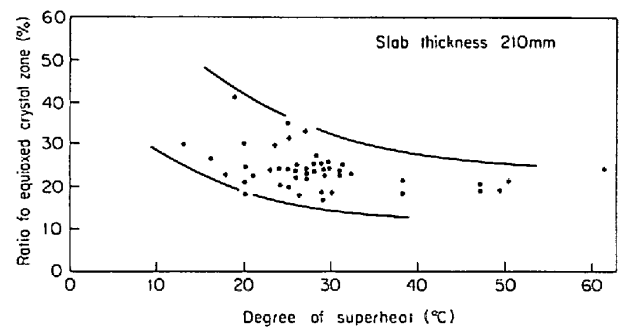


Fig. 1. Relation between superheat of molten steel in tundish and ratio of equiaxed crystal zone<sup>5)</sup>.

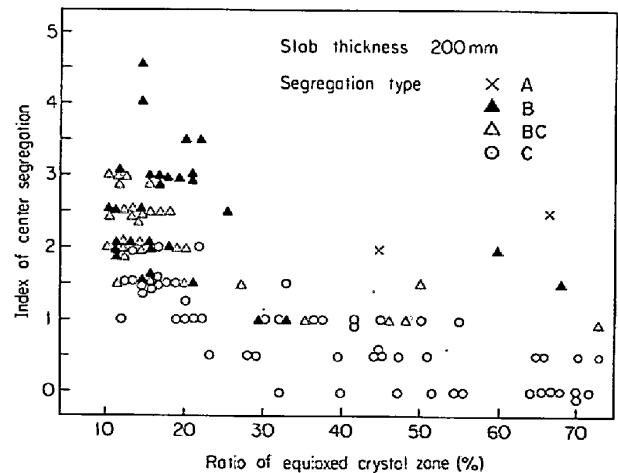


Fig. 2. Relation between equiaxed crystal zone ratio and center segregation index<sup>5)</sup>.

昭和 55 年 12 月 10 日受付 (Received Dec. 12, 1980) (依頼技術資料)

\* 住友金属工業(株)大阪本社 工博 (Sumitomo Metal Industries, Ltd., 5-15 Kitahama Higashi-ku Osaka 541)

\*<sup>2</sup> 住友金属工業(株)大阪本社 (Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

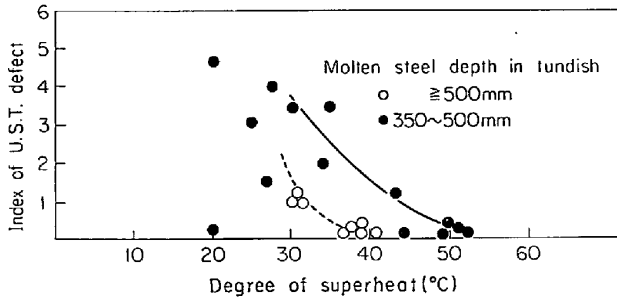


Fig. 3. Relation between superheat of molten steel in tundish and U. S. T. defect<sup>9)</sup>.

測温は現在、取鍋内およびタンディッシュ内にて手動または半自動で消耗型熱電対によつて行つてゐるが連続測温技術の開発のため保護管の溶損実験および測温実験も重ねられている<sup>8)</sup>。鋳造温度は鋳片品質に対する要求の高度化のみならず高速鋳造の実現のためにも、ますます厳格に制御する必要に迫られつつある。したがつてこの計測の重要性は将来とも高まる方向にある。

### 3. 介在物

#### 3-1 介在物起源と低減対策

各工程における溶鋼中酸素の推移をFig. 4<sup>9)</sup>に示す。連鋳法では造塊法に比べて溶鋼が空気や耐火物と接触する機会が多いので介在物の発生防止・低減対策をより厳格に講じる必要がある。その方法として取鍋内溶鋼のArバブリング、脱ガス処理、取鍋～タンディッシュ間の無酸化注入、タンディッシュ形状の改善、タンディッシュノズル内へのAr吹き込みによる介在物浮上促進といった各種の対策がとられているが、この概念図をFig. 5<sup>10)</sup>に示す。Table 1<sup>11)</sup>とFig. 6<sup>11)</sup>にスラブ内介在物の粒

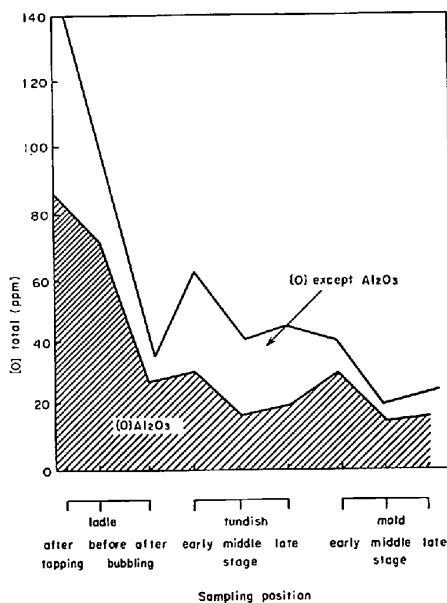


Fig. 4. Behavior of [O] in molten steel at every stage<sup>9)</sup>

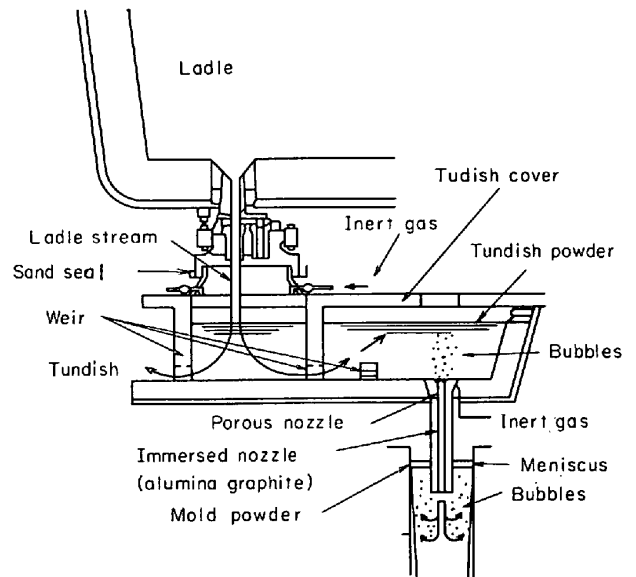


Fig. 5. Schematic representation of casting<sup>10)</sup>.

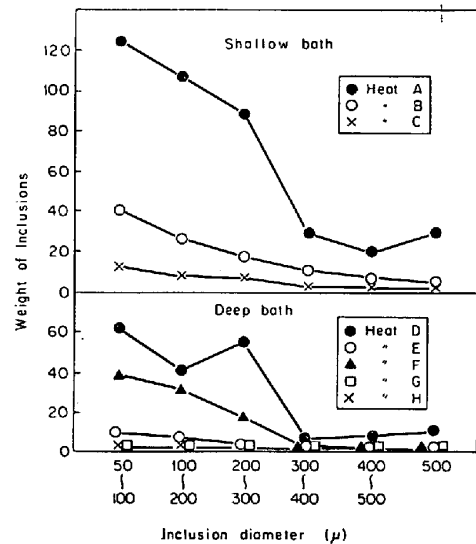


Fig. 6. Influence of teeming method and tundish structure on distribution of inclusion diameter in slab<sup>11)</sup>.

Table 1. Casting condition of experiment<sup>11)</sup>.

Heat No	Ar gas shroud	Teeming spout	Tundish	
			Depth	Dams
A	×	×	Shallow	×
B	×	○	Shallow	×
C	○	○	Shallow	×
D	×	×	Deep	×
E	×	○	Deep	×
F	×	×	Deep	○
G	×	○	Deep	○
H	○	○	Deep	○

○ : Equipped.  
 × : Not - equipped

径分布に及ぼす注入法, タンディッシュ構造の影響を示すように空気酸化防止およびスラグの铸型内への混入防止により介在物が低減できることがわかる。

### 3.2 シール効果測定

シールの効果を知る手段として雰囲気酸素濃度が用いられており, シール空間のガスを吸引して主に磁気式酸素分析計を用いて分析している。この分析に際しては分析ガス中に多量のダストが含まれているのでフィルター詰まりが生じやすく, 適宜ブローバックするなど定期的に点検し掃除を行う必要がある。もちろん分析計の定期的検定は欠かすことができない。

### 3.3 取鍋のスラグ流出検出

铸型内へのスラグ混入を防ぐため铸込最終の取鍋からタンディッシュへのスラグ流出を検出し防止する努力がされている。これまで検出方法として2色温度計(1200°C~1700°C)を使用し铸造温度を測定する光学式や, 取鍋ノズルに検知用コイルを取り付けて電気信号として取り出す電気式が研究されてきたが, 不活性ガスシール铸造が広く採用されるようになったことから電気式の開発に重点が置かれ, そのオンライン化, システム化が実現されるに至った。Fig. 7<sup>12)</sup>に装置の原理を示す。

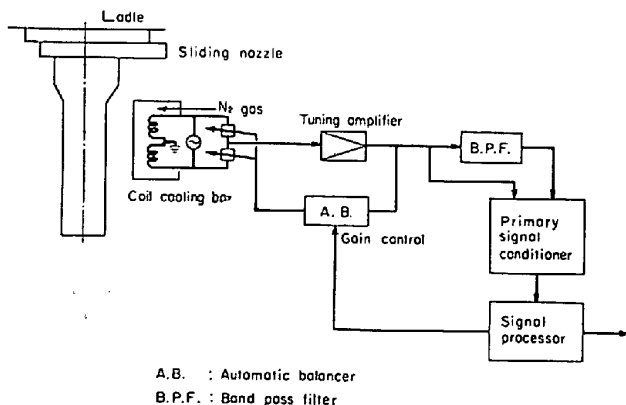


Fig. 7. Principle of flow-out slag detector<sup>12)</sup>.

## 4. 自動铸造

### 4.1 自動铸造と铸片の品質

連铸における铸造の基本は铸片を一定の速度で引き抜きかつ铸型内の溶鋼レベルを一定に保ちながら铸造を行うことである。このために最も基本となるのがタンディッシュから铸型への流出量の制御である。手動铸造の場合は铸型内溶鋼レベルならびに铸造速度の変動は大きい。手動铸造と自動铸造との溶鋼レベル変動の比較をFig. 8<sup>13)</sup>に示すと手動铸造に比して自動铸造は変動幅は小さく湯面が安定する。その効果として铸片のピンホールやスカム巻き込み疵が少なくなり铸型パウダーの流れ込みが均一となるためFig. 9<sup>14)</sup>に示すように割れも少なく铸片の表面性状は大幅に改善される。

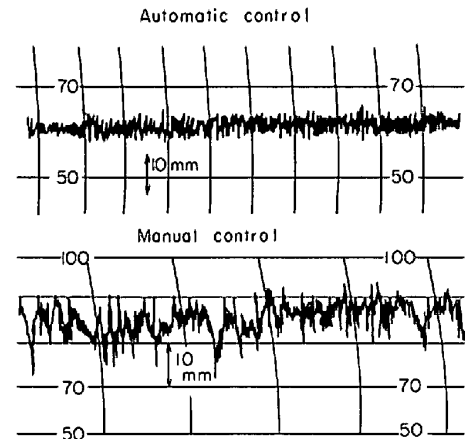


Fig. 8. An example of automatic level control casting<sup>13)</sup>.

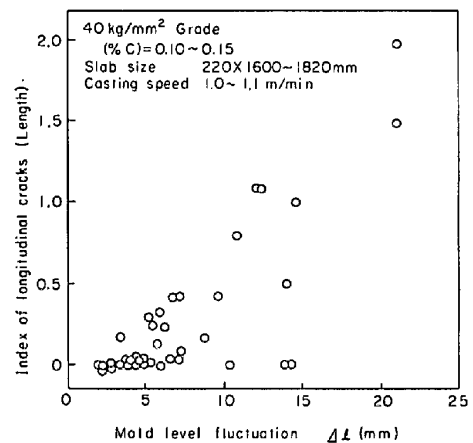


Fig. 9. Effect of mold level fluctuation on longitudinal crack of slab for plate<sup>14)</sup>.

### 4.2 自動铸造制御システム

自動铸造の制御方法としていくつかの方式が検討されたが, 現在は铸造速度を一定に保ちタンディッシュからの溶鋼流出量を制御することにより铸型内溶鋼レベルの安定した铸造を行い, 溶鋼レベルと基準レベルとの差がある設定値を超える場合にのみ铸造速度の制御も加えるという方式が広く用いられている。一例をFig. 10<sup>9)</sup>に示すように湯面計を用いて铸型内の溶鋼レベルを検出し, これと設定レベルとの偏差をタンディッシュノズルの制御系へフィードバックし, またタンディッシュの重量をロードセルなどで測定し, タンディッシュの重量を所定の値に保つよう取鍋ノズルを制御する。さらに溶鋼レベルと基準レベルに大きな差が生じ, 設定された値を超える場合にはピンチロールの引き抜き速度制御を併用することとし, レベル偏差に演算を施しその結果をピンチロール速度制御系へ伝え, モーターの回転数を調節する。最近では油圧系の改善とシステムにマイクロコンピュータが利用されるようになり一段と高い制御精度が得られるようになった。

4.3 鋳型内溶鋼レベルの検出

自動鋳造の中心となるのは鋳型内溶鋼レベルの検出で、これまで主として $\gamma$ 線方式と熱電対方式が用いられ、さらに渦流方式、電磁方式、電極追従方式および赤外線方式が実用化されている<sup>15)~17)</sup>。Fig. 11<sup>15)</sup>、12<sup>15)</sup>、13<sup>15)</sup>、14<sup>17)</sup>に主な方式の原理と取り付け状況を示す。各方式はおのおのの操作条件に対応して使用されているがさらに改良が加えられつつある。

5. 鋳型および周辺設備

5.1 鋳型テーパ

鋳型は鋳片の初期凝固に最も重要な役割を果たしており凝固収縮に対応した適正な鋳型テーパを設定、維持することがブレイクアウト事故防止および疵発生防止に欠かせない<sup>18)19)</sup>。現在、鋳型のテーパ管理は鋳型交換時に人手によつて測定する例も多いが、繁雑さと個人誤

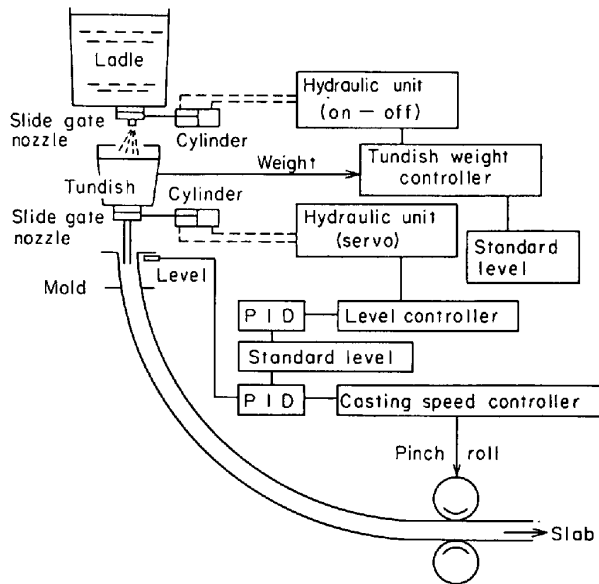


Fig. 10. Outline of automatic casting system<sup>9)</sup>.

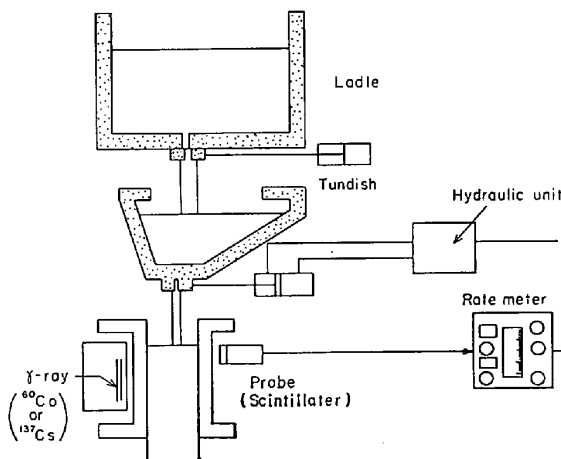


Fig. 11. Schematic diagram of  $\gamma$ -ray type level meter<sup>15)</sup>.

差があり時間的にも精度的にも満足できず加速度計を利用した自動測定器が開発されている。さらに多連々鋳造が可能となり歩留り、能率の向上に寄与しているが、その効果を上げるために鋳造中のスラブ自動幅替技術が開発されるに至り短辺テーパの変更・管理、また鋳造速度に対応したダイナミックなテーパ制御が要求されるようになり、Fig. 15<sup>12)</sup>に示すような鋳型短辺のテーパおよび幅制御システム構成の例が実用化されつつある。

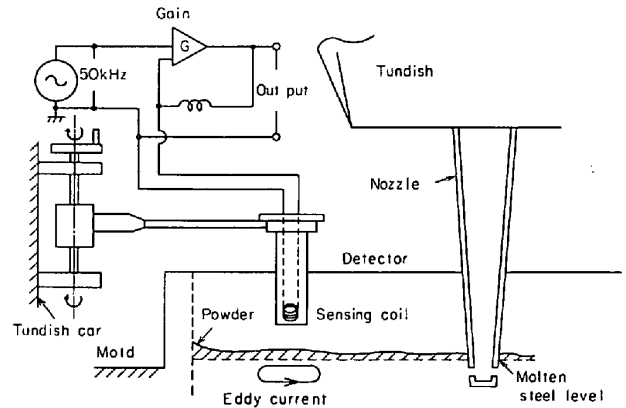


Fig. 12. Schematic diagram of eddy current type level meter (1)<sup>15)</sup>.

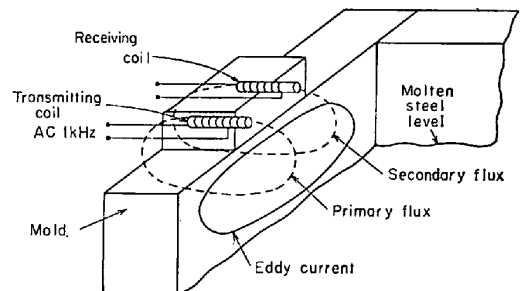


Fig. 13. Schematic diagram of eddy current type level meter (2)<sup>15)</sup>.

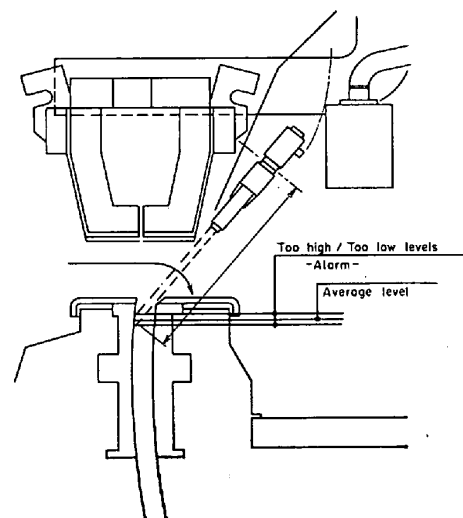


Fig. 14. Schematic diagram of infrared type level meter<sup>17)</sup>.

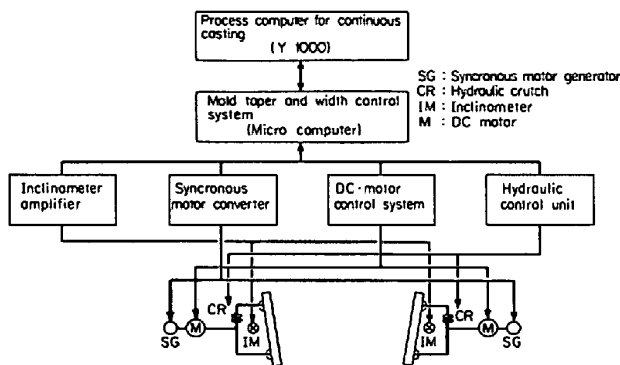


Fig. 15. Principle of mold taper and width control system<sup>12)</sup>.

### 5.2 オッシレーション波形

鋳型から鋳片を引き抜く際、鋳型内面と鋳片とのステッピングを防止するために鋳型に周期的な上・下往復運動を与えている。このオッシレーションには種々の方式があるが<sup>20)</sup>サインカーブ方式が機構的にも簡単で問題が少ないのでこの方式が一般的に行われており、さらにネガティブストリップ<sup>21)</sup>をかけるのが普通である。凝固シェルの形成状態、その高温物性とオッシレーションに伴う応力との関係と割れ発生との対応から明らかなように<sup>22)</sup>オッシレーション波形の乱れが縦割れに関係し、極端な場合はブレイクアウトを誘発することが確認されている。したがってオッシレーションの状態の管理が重要で鋳型交換時、またはオンラインで差動トランス、ポテンションメータあるいはパルス発振器を用いてオッシレーション波形の測定が行われている。

### 5.3 鋳型フリクション

縦割れやブレイクアウトは鋳片と鋳型との接触状態に密接な関係があるとの認識<sup>23)24)</sup>に基づいてこの接触状態を鋳型に伝達される振動として検知しそれを解析すること、あるいは鋳型支持力の測定、オッシレーション伝達機構の弾性歪みの測定などにより縦割れやブレイクアウトの予知、また鋳型パウダーの管理・開発の手段として利用する試みがなされている<sup>12)17)19)25)~29)</sup>。実機テストにおける鋳片表面の縦割れ発生と鋳型振動の出力信号の変化を Fig. 16<sup>27)</sup>に示し、鋳型支持力の変化によるブレイクアウト予知例を Fig. 17<sup>28)</sup>に示す。これらから縦割れおよびブレイクアウトについて予知できる可能性のあることが確認される。

## 6. 鋳片の冷却

### 6.1 適正な冷却<sup>2)</sup>

連鋳鋳片の表面と内部に割れが発生することがある。

(1) 面縦割れ：スラブでは広幅中央部に発生することが多く、ブルームでは面に発生することは少ない。鋳型内において初期の凝固シェル厚みが不均一になると応力集中を生じ微小な割れが発生する。一般的に縦割れは

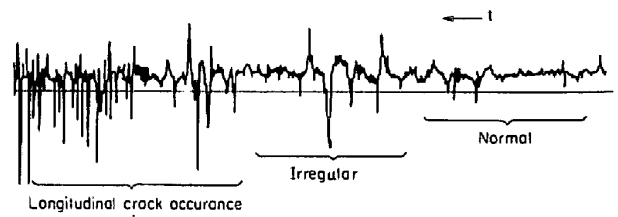


Fig. 16. Crack presumption by measurement of mold-metal friction<sup>27)</sup>.

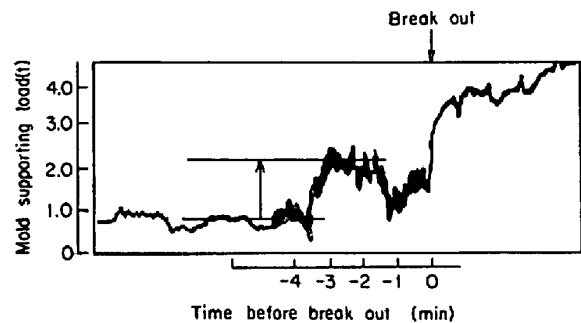


Fig. 17. Bonding between mold and bloom before breakout<sup>28)</sup>.

これらが2次冷却により拡大されたもので誘因としては鋳型テーパー、偏平比、鋳型内での溶鋼の流れ、オッシレーション、鋳型パウダーなどが考えられている。

(2) コーナー縦割れ：主としてブルーム、ピレットで問題となり、その発生要因として鋳型形状、鋳型内1次冷却および鋳造温度などがあげられる。

(3) 横ひび割れ、ひび割れ：矯正時鋳片表面に引張応力がかかることから矯正後に発生することが多い。割れ発生は Al, Nb, V, Cu などの合金元素の添加により助長され、2次冷却帯での冷却条件に強く依存している。したがって鋳片表面温度の管理を目的とする2次冷却の制御が行われている。炭素鋼ブルームには粒界割れによるひび割れが発生することがあり、鋳型パウダーと2次冷却パターンとの関係が確認されている。

(4) コーナー横割れ：2次冷却においてコーナー部分が面部と比較して過冷になりやすいことによるものとメニスカス付近で発生する深いオッシレーションマークによるものがある。

(5) 内部割れ：スラブに発生する内部割れは脆弱な凝固界面に引張力がかかり、デンドライト間に割れが生じるもので、ロール間バルジング、ミスアライメントに起因する非定常バルジングあるいは熱応力による内部歪みに起因している。また完全に凝固していない状態でピンチロールにより曲げおよび矯正あるいは必要以上の圧下を受けた場合にも同様の割れが発生する。また高張力鋼においては表面直下に内部割れが見られることがあり、これは冷却による熱応力と鋼の変態応力の複合により生じると考えられ主として2次冷却の制御で対処され

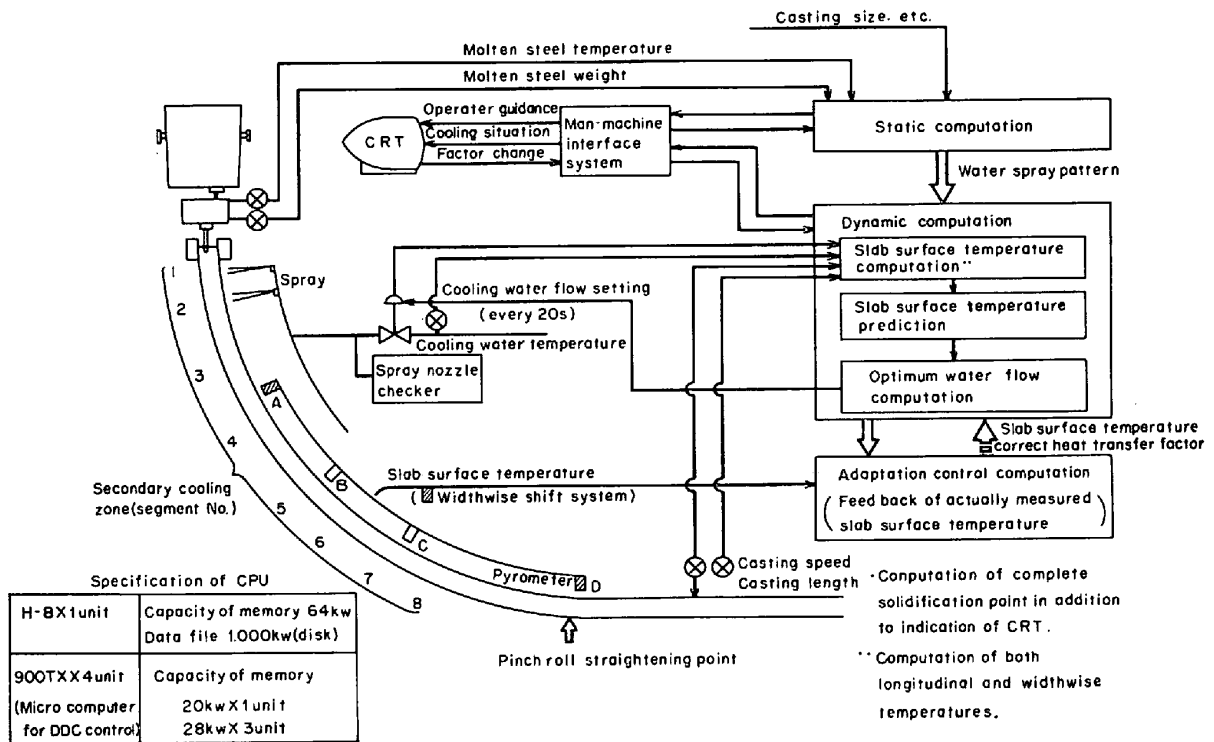


Fig. 18. Outline of cooling water control system<sup>9)</sup>.

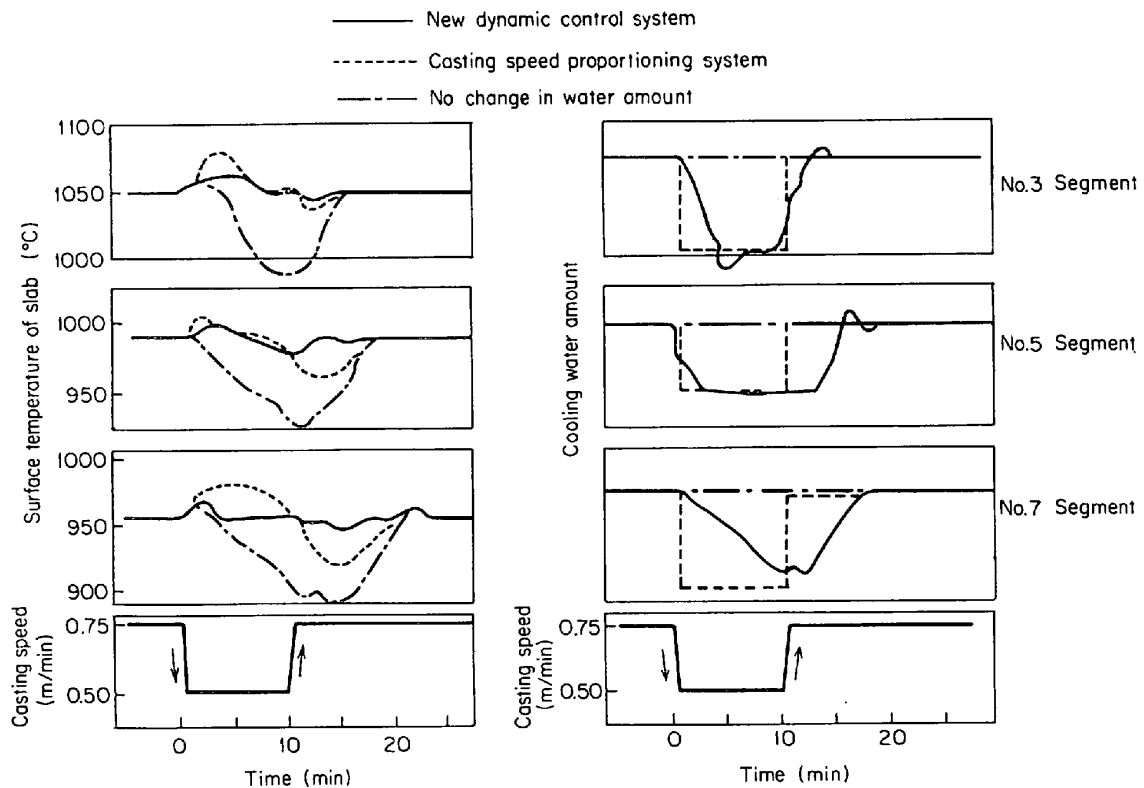


Fig. 19. Change in temperature and set water amount under variation of casting speed (Simulation)<sup>9)</sup>.

ている。ピレットとブルームではコーナー部表皮下，中間部および中心付近に内部割れが発生することがある。コーナー部内部割れは鋳型内でのコーナー部の凝固遅れ

を少なくするため低温低速鋳造あるいはテーパ鋳型が採用されている。表皮直下の内部割れはスラブと同様，熱応力と変態応力の複合などによるものである。中心部

内部割れは主として熱応力によるもので比水量の減少と2次冷却帯の延長という対策がとられている。

このように鋳片の冷却は鋳片の品質を大きく左右するので操作上極めて重要な因子であり、長い2次冷却帯での冷却は特に重要である。したがって鋼の熱間強度の温度依存性や成分の影響についての基礎研究が進められると<sup>30)~36)</sup>とも適正な冷却パターンの設定と制御の開発が進められている。

## 6.2 2次冷却水制御システム

2次冷却スプレー水制御の例では、これまで鋼種をパラメータとして比水量、冷却ゾーン配分比率、冷却ゾーンごとの係数をコンピュータにあらかじめ記憶させておき、鋳造速度の変化によりスプレー水流量を演算し制御する方式が行われていたが、この方法では連々鋳作業のタンディッシュ交換時などの非定常作業の制御は十分には行われない。したがって最近では熱伝達モデル式により鋳片の抜熱履歴計算を行い各ゾーン位置での鋳片温度、シェル厚みを予測し理想冷却履歴になるように制御を行い、さらに予測温度、予測シェル厚みと実測温度、実測シェル厚みとの差から熱伝達係数の計算を行わせモデル式の精度向上を図るコンピュータ制御が実施されている<sup>37)</sup>。Fig. 18<sup>9)</sup>、19<sup>9)</sup>に2次冷却スプレー水制御システムの概要を示す。

## 6.3 鋳片温度の測定

鋳片の温度管理は品質を左右する重要な事柄であるので鋳片の温度測定は連鋳において不可欠の計測である。温度計としてはシリコンセルを用いた連続光高温計や放射温度計が使用されている<sup>26)38)</sup>。Fig. 20<sup>9)</sup>に2色温度計による測定結果を示す。これには冷却水、蒸気の影響やスケールの付着などによる測定誤差の対策として種々の配慮がなされている。コンピュータ制御の基礎データとして鋳片の温度履歴測定や放射温度計の校正用としてCA シース熱電対を取り付けた小銀片を溶接する熱電対スタッド溶着法<sup>40)</sup>ならびに凝固遷移層近傍の温度分布の測定のための複合鋳による方法<sup>39)</sup>も開発されている。

## 6.4 凝固シェル厚さの測定

鋳片の凝固状況を推定する手段として近似的に次式が用いられている。

$$d = k \cdot \sqrt{t}$$

$d$  : 鋳片凝固層の厚さ (mm)

$t$  : 凝固時間 (min)

$k$  : 冷却条件による凝固係数 ( $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$ )

$k$ の値は熱電対による凝固点測定、ラジオアイソトープの投入法、溶鋼排出法、鋳打法、デンドライトアーム間隔の測定あるいは数学的方法で求められている<sup>41)</sup>。しかし実際の鋳造では鋳片の凝固状態にばらつきがあり上記の近似式では不十分である。特に鋳型直下と凝固先端部の鋳片の凝固状態を直接測定して凝固を制御することが望ましく、さらには初期凝固シェル形成に影響を及ぼすエアギャップ測定装置の開発が期待されている。

最近、電磁超音波は導電性材料に電磁誘導的に超音波を透入・検出できることからそれを利用して鋳片の凝固シェル厚さをオンラインで非接触かつ連続的に測定する装置が開発され有力な計測法として注目されている。測定原理を Fig. 21<sup>42)</sup>に示す。

## 6.5 スプレーノズル詰まりの検出

スプレーノズル詰まりは鋳片の冷却状態を不均一にし表面ならびに内質に悪影響を及ぼすので冷却水のろ過による不純物の除去、スプレーノズルの点検整備が必要である。さらにスプレーノズルが操業状態で正しく噴射しているか否か知るためのノズル詰まり自動検出装置が開発されている<sup>43)</sup>。その他テレビカメラを用いてスプレーノズルの噴射状況を直接観察する方式が実用化され<sup>44)45)</sup>、背圧変動検知や直接感圧素子を使用した方式も実験されている。

## 7. ロールアライメント

### 7.1 ローラーエプロンとピンチロール

連鋳鋳片における凝固の特徴の一つは長い液相の存在である。したがって鋳込面からの位置に応じた溶鋼静圧が鋳片の凝固シェルに働いて常に鋳片表面の凝固シェルを外に押し上げようとするバルジング力が働いている。ローラーエプロンはこのバルジングを防止する目的で適切な径およびピッチでロールを配置して鋳片引き抜き

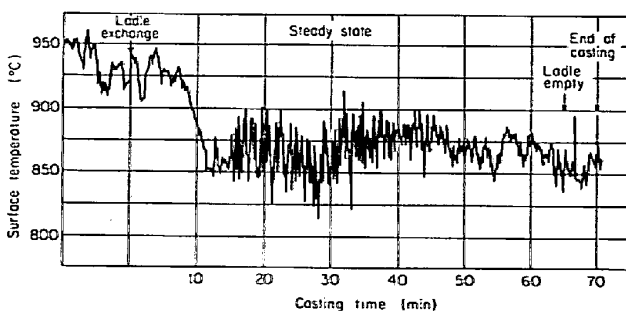


Fig. 20. Temperature of slab surface by using two-color eye pyrometer<sup>39)</sup>.

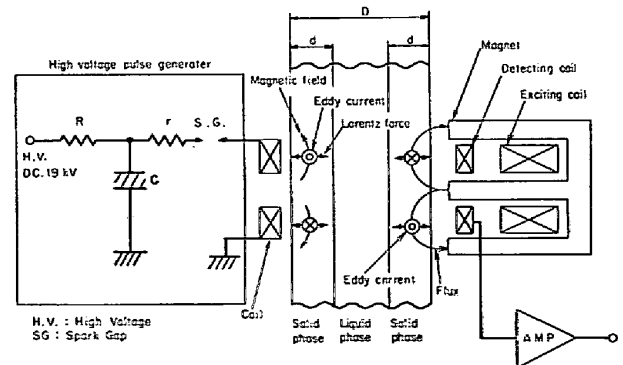


Fig. 21. Outline of electro-magnetic ultra-sonic method<sup>42)</sup>.

ガイドの役割を果たしている。ピンチロールは鋳片の引き抜きを目的に設置され湾曲型連鋳においては鋳片の矯正も重要な目的である。したがって設計の際、種々の配慮がされているが、実操業においてそれらを常に理想状態に維持することは難しく、ロールアライメントは若干なりとも不整の状態にあるのが普通である。この不整がある限度を越えた場合は内部割れや中心偏析といった鋳片の欠陥を発生させたり、悪化させたりするので<sup>5)12)46)~52)</sup>ロールアライメントの管理は重要である。中心偏析への影響ならびに内部割れとの関係をおのおの Fig. 22<sup>50)</sup>、23<sup>52)</sup> に示す。最近のように高速鋳造化が進むと歪み速

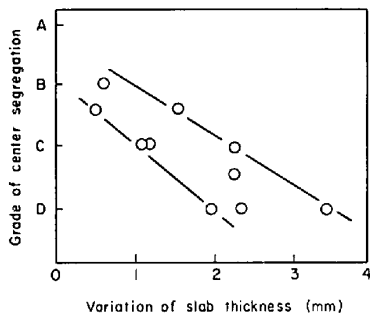


Fig. 22. Influence of slab thickness variation on center segregation<sup>50)</sup>.

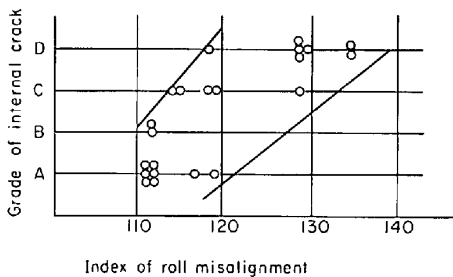


Fig. 23. Relation between roll misalignment and internal crack<sup>52)</sup>.

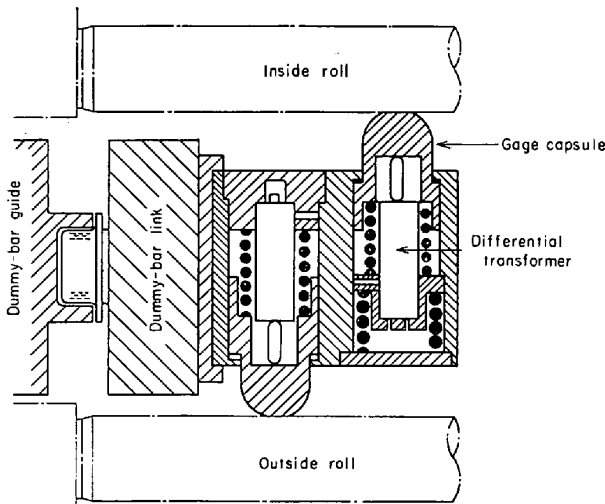


Fig. 24. Cross section of roller cavity detector<sup>9)</sup>.

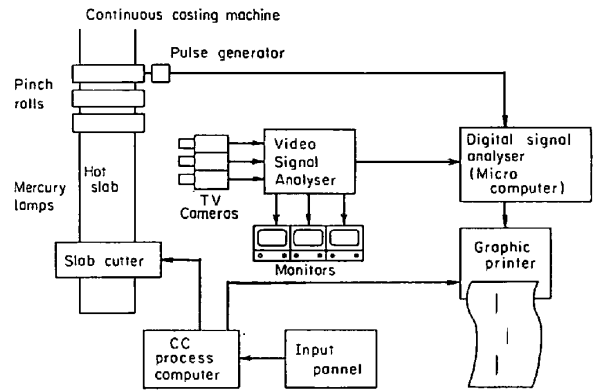


Fig. 25. Schematic diagram of TV inspection system for hot slab<sup>54)</sup>.

度が増加するので一層の整備が必要である。

### 7.2 ロール間隔測定<sup>15)</sup>

ロール間隔測定はロールアライメントの状態を把握する有力な手段である。ロール間隔異常の計測にはスタティック計測とダイナミック計測がある。

(1) スタティック計測: Fig. 24<sup>9)</sup> に示すごとくダミーバーの先端部に差動トランスを取り付け、移動させることによつて各ロールの間隔を測定するものであり、ダミーバー装入作業に併行して実施される。測定原理はスプリング力で開いた接触子が各ロール間隔に応じて圧縮されるのを差動トランスによつて検出する。その出力信号を巻き取りドラムのケーブルを通し送信することによるもの<sup>9)12)38)</sup> や無線伝送するもの<sup>52)</sup>、記録を内蔵するもの<sup>45)</sup> などがあり測定精度としては  $\pm 0.2 \text{ mm}$  程度が要求されている。

(2) ダイナミック計測: エプロンロールならびにピンチロールにロードセルを取り付け、鋳造中のロール反力を直接測定し、前後ロールとの差によりロール間隔不整を判断する方法やスタティック計測器のスプリング部を油圧シリンダーにし操業状態と同じ状態で測定する方法もある。

### 7.3 鋳片のバルジング量の測定

鋳片のバルジングはロールアライメントの状態のみならず操業要因によつても変動するので実質的な管理をするためにはオンラインで鋳片とロールの挙動を計測することが必要である。ロールの挙動測定については差動トランスなどを用いて測定する試みがなされている<sup>50)53)</sup>。しかしながら鋳片についてはいまだに開発されておらず、今後精度よく連続的に計測する方法の開発が期待される。

## 8. 熱間探傷と自動切断

鋳片の表面性状および内質は連鋳技術の進歩により改善され、ホットチャージ比率は近年著しい向上を示し、省エネルギーの見地からさらに適用品種・鋼種の拡大が要求されており、また設備能力の巨大化、高能率化に伴い



操業・設備の不備による鑄片欠陥の発生の影響が一段と大きくなることから鑄片の表面、内質および形状を良好に維持し保証するための計測機器と制御システムの必要性が増大している。

### 8.1 鑄片表面疵の検出

鑄片表面疵の検出法として次の数種類の方法が開発され適用されている。

(1) 光学式探傷法：この方式は鑄片表面を水銀灯で照明し鑄片表面をテレビカメラで受像して画像化し、コンピュータによる画像処理技術で欠陥の程度・位置をモニターすることができる。比較的大きい有害な表面欠陥を検出しホットチャージ可否の判定および鑄造作業へのフィードバックに活用されている<sup>54)55)</sup>。Fig. 25<sup>54)</sup>にそのシステムの一例を示す。

#### (2) 渦流式探傷法

光学式では検出できないような表面および表面直下の微小割れの検出法として熱間渦流式探傷法の適用が検討され、連鑄鑄片の特徴であるオッシレーションマークがノイズとなるので探傷面を部分溶削するための溶削火口と渦流式探傷プローブを組み合わせた渦流式探傷法<sup>56)</sup>が開発されている。Fig. 26<sup>56)</sup>にこの方式により横ひび割れを検出した例を示す。

#### (3) 誘導加熱式探傷法

この方式は光学式探傷法が疵の平面的大きさを評価する方法であることに対して疵の深さを検出する方法とし

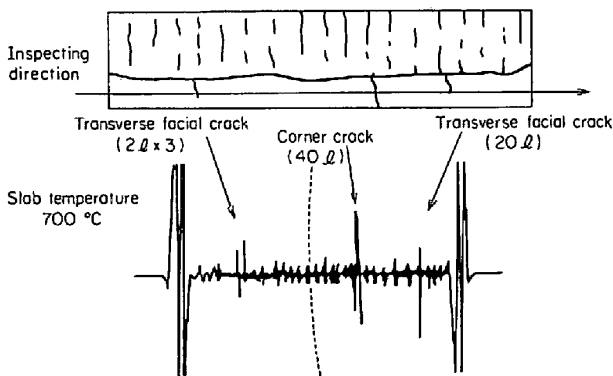


Fig. 26. An example of inspection of transverse facial crack detection<sup>56)</sup>.

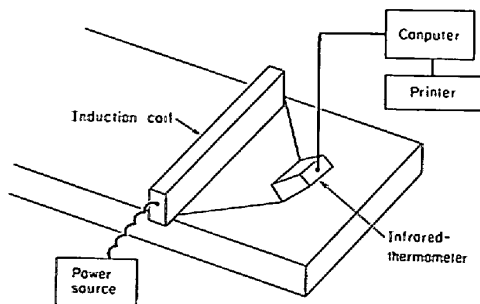


Fig. 27. Outline of induction heating inspection system<sup>57)</sup>.

て開発された<sup>57)</sup>。その原理は鑄片表層部に電流を流すと鑄片表面は一様に加熱されるが疵部では電気抵抗が大きいため表面温度がさらに上昇し、これを赤外線温度計によつて検出するというものである。Fig. 27<sup>57)</sup>にシステム構成を示す。

### 8.2 鑄片の内質検査

高速鑄造においては曲げ、矯正歪み、熱歪みおよびバルジング歪みなどによる内部割れ発生の可能性が増えるとともに迅速な対応が要求される。現在はオフラインで鑄片試料断面の迅速サルファープリントにより、またオンラインで U. S. T. 法で早期フィードバックが行われている<sup>58)</sup>程度であり、今後、熱間内質検査法の開発が期待される。

### 8.3 鑄片の自動切断

鑄片の自動切断は厚み、幅、長さおよび重量測定装置と切断装置を組み合わせられて実施されている。また単なる指示長さの切断を行うばかりでなくコンピュータにより鑄片の歩留りを最高にするための最適取り合わせも同時に実施している場合が多い。

## 9. 結 言

連鑄の飛躍的發展のために、計測機器は重要な役割を果たしてきたし、また連鑄ではこれまでの造塊技術と違って計測技術が広く適用された結果、作業の定量化、基準化が進み、操業の改善に大きく寄与した功績は見逃せない。

今後、造塊の大半が連鑄化されて行くなかで高能率操業、無手入れ圧延率の向上など連鑄技術の克服すべき課題は一段と厳しくなるので操業用のみならず保全用も含めて、これまで以上に作業性が良く耐久性のある高精度な計測機器の開発と制御システムの開発が期待される。

## 文 献

- 1) 山本全作：第 69, 70 回西山記念技術講座，(1980/9)，p. 1
- 2) 日本鉄鋼協会：鉄鋼便覧第 3 版 II，(1979)，p. 611
- 3) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼統計要覧，(1980)，生産 53
- 4) 牛島清人，渡部保博：鉄と鋼，64 (1978) 6，p. 124
- 5) 和田 要，萩林成章：製鉄研究，294 (1978)，p. 91
- 6) 大西稔泰，江波戸紘一，若杉 勇，鈴木康夫，塩飽 潔，太田安彦：神戸製鋼技報，29 (1979) 3，p. 6
- 7) 秋葉豊知，丸山正寿：住友重機械技報，21 (1973) 62，p. 34
- 8) 篠原幹三：計測技術，5 (1977) 11，p. 79
- 9) T. UEDA, Y. OHKITA, A. YOSHIDA, T. OKAZAKI, and M. TOKUDA: The Sumitomo Search, 22 (1979)，p. 72
- 10) 伊藤幸良：第 69, 70 回西山記念技術講座，

- (1980/9), p. 259
- 11) 垣生泰弘: 博士論文「造塊工程ならびに連铸工程における鋼中大型非金属介在物の低減法に関する研究」, (1977)
  - 12) 飯田義治, 前田瑞夫, 江本寛治, 山崎順次郎, 下戸研一, 平田賢二, 上田正美, 高橋 暁: 川崎製鉄技報, 12, (1980) 3, p. 110
  - 13) 岡本 穆, 田中哲三, 大岩太郎, 辻川 宏, 西峰保: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 656
  - 14) 住友金属 提供
  - 15) 藤井國一: 計測と制御, 19 (1980) 6, p. 45
  - 16) 大西稔泰, 柿原與志人, 塩沢武夫, 尾崎幸男, 鈴木康夫, 横山秀樹, 年煤知義, 仁村嘉孝: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 657
  - 17) H. HATZENBICHLER: SEASIS Conf. Resour Effic Iron Steel, p. 388
  - 18) H. KRAINER, and B. TARMANN: Stahl u. Eisen, 69 (1949), p. 813
  - 19) B. TARMANN and O. KLEINHAGAUER: Stahl u. Eisen, 81 (1961), p. 111
  - 20) 根本秀太郎: 鉄と鋼, 60 (1974) 7, p. 763
  - 21) I. M. D. HALLIDAY: JISI., 191 (1959), p. 121
  - 22) T. KITAGAWA, and M. ISHIGURO: The Fourth Japan-Germany Seminar, (1980/11), p. 249
  - 23) J. SAVAGE and W. H. PRICHARD: JISI, (1954) 11, p. 269
  - 24) A. V. TRETYAKOV: Stal in Eng., (1967), p. 387
  - 25) B. MAIRY: Metallurgical Reports C. R. M., (1977/4)
  - 26) P. NILLES, P. DAUBY, J. GLAS, and A. ETIENNE: Freiberg Forschungsh B, 212 (1979), p. 9
  - 27) 中森幸雄, 川口 正, 曾我 弘, 南 憲次: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 851
  - 28) 梨和 甫, 吉田圭治, 友野 宏, 木村 隆, 辻田進: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 856
  - 29) 反町健一, 野村 寛, 長谷川衛, 糸山哲司, 矢野修也: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 3, p. 45
  - 30) C. J. ADAMS: Proc. Nat. O-H Comm., (1971), p. 290
  - 31) A. T. PETERS: Proc. Nat. O-H Comm., (1972), p. 246
  - 32) 長谷部茂雄, 古賀敏昭, 矢村 隆, 筋川義和: 鉄と鋼, 58 (1972) 4, S 221
  - 33) G. KOMMA, G. VOGT, and K. WUNNENBERG: Iron Steel Eng., (1973/6), p. 68
  - 34) 伊藤 篤, 摂持吉雄, 作本賢正: 鉄と鋼, 61 (1975) 4, S 132, 61 (1975) 12, S 516
  - 35) 鈴木洋夫, 西村 哲, 中村 泰: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 805
  - 36) 北岡英就, 木下勝雄, 江見俊彦: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 811
  - 37) 大西稔泰: 第 69, 70 回西山記念技術講座, (1980/9), p. 31
  - 38) S. S. DANIEL, W. A. SECH: Proc. Nat. Open Hearth Basic Oxygen Steel Conf., 61 (1978), p. 70
  - 39) 森 隆資, 綾田研三, 河原 実, 安西 章, 原田新一, : 神戸製鋼技報, 29 (1979) 3, p. 22
  - 40) 鈴木久夫, 大野二郎: 鉄と鋼, 64 (1978) 8, p. 134
  - 41) 牛島清人: 第 4 回西山記念技術講座, (1969/6)
  - 42) 川島捷宏, 中森幸雄, 室田昭治, 曾我 弘: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 712
  - 43) 西池成俊, 佐藤武良, 秋葉豊知: 住友重機械技報, 22 (1974) 63, p. 96
  - 44) 池内祥晴, 榎本良敏, 山田恒夫, 岸本哲司, 森川英二: 鉄と鋼, 65 (1979) 4, S 119
  - 45) 市原 晃, 久保田和雄, 丹野栄一, 石亀公夫, 佐藤貞夫: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 3, p. 127
  - 46) 浅野鋼一, 広本 健, 大橋徹郎, 鉄と鋼, 59 (1973) 4, S 82
  - 47) 高石昭吾, 小舞忠信, 野呂克信, 秋田靖博: 鉄と鋼, 60 (1974) 7, S 915
  - 48) 堀 珊吉, 打田安成, 山本利樹, 三隈秀幸, 鉄と鋼, 61 (1975) 4, S 58
  - 49) 伊藤幸良, 大佐々哲夫, 前出弘文, 内田恒次, 高尾滋良: 製鉄研究, 294 (1978), p. 55
  - 50) 加藤一郎, 杉谷泰夫, 小林純夫, 石村 進, 足立隆彦, 山田恒夫: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 713
  - 51) 上田典弘, 浜上和久, 越川隆雄, 白石昌司, 垣生泰弘: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 3, S 75
  - 52) 倉元俊一, 山本利樹, 真鍋吉弘, 大島善之: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 849
  - 53) 堀 珊吉: 第 40, 41 回西山記念技術講座, (1976/9, 10), p. 59
  - 54) 橋尾守規, 越後臣康, 加藤裕勝, 中塚康雄, 松井健一: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 857
  - 55) 楯 昌久: 第 69, 70 回西山記念技術講座, (1980/9), p. 140
  - 56) 白石俊男, 広島龍夫, 坂本隆秀, 大垣一郎: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 985
  - 57) 田藤競則, 大橋徹郎, 福山 勝, 江頭武二: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 844
  - 58) 工藤和也, 木村弘之, 村瀬昭次, 草野昭彦, 村田誠, 下笠知治, 大村 博: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 846