

技術資料

UDC 621.746.27.047 : 62-533

最近の連続铸造技術と計測について*

牛 島 清 人**・渡 部 保 博***

Recent Technology of Continuous Casting and Instrumentation

Kiyoto USHIJIMA and Yasuhiro WATABE

1. 緒 言

近年の連続铸造 (CC) の発展は目覚ましく、その設置状況は昭和 45 年末に約 40 機であつたものが昭和 51 年末には 145 機に達し、生産量は全粗鋼の 32%、約 3 200 万 t に及んでいる。

この様に CC が非常な発展をし得た背景としては、第一に高度成長時代の世界的な鉄鋼需要の拡大に支えられながら、企業の合理化を推進する中で、鉄鋼各社共新工場はもちろん既設工場にも積極的に CC を設置したことによるものである。第二にこの量的な拡大を支えるものとして CC の操業の安定化、自動化の採用、品質の向上等が著しく進んだことである。

CC 法は従来の造塊法と異なり機械的要素が多くなり、かつこの機械的要素が直接、操業や品質に重要な影響を及ぼす場合が多い。従つて最適の条件で铸造するために、いかに機械を適切な状態に維持するかが重要な問題となる。即ち冶金的な面のみならず機械的な面からいかに適切な計測を活用し、設備、操業ならびに品質を最適条件に維持し得るかが CC の成否を決める鍵ともいえるわけである。一般に CC の計測技術はスラブの場合が進んでいるので、以下にスラブ用連铸機を中心として CC 技術とその計測の役割について最近の状況を取纏めた。

2. 自 動 铸 込

2.1 自動铸込の方法

CC における铸込の基本的な考え方は、铸片を一定の速度で引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注入量の制御である。現在実施されている自動铸込を制御方式から分類すると下記の 3 種類になる。

(1) 铸造速度は一定に保ち、タンディッシュからの

溶鋼注入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う。ただし溶鋼レベルと基準レベルの差がある設定値を超える場合には铸造速度の制御も加わる。

(2) タンディッシュからの溶鋼注入は一定に設定し、铸造速度を制御することにより铸型内容鋼レベルの安定した铸造を行う。ただし溶鋼レベルと基準レベルの差がある設定値を超える場合はタンディッシュからの溶鋼注入量の制御も加わる。

(3) タンディッシュからの溶鋼注入量に合せて铸造速度のみ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う。

一例として上記の分類で (1) に相当する住友金属の場合について以下に説明する。図 1 に示す通り、 Co^{60} の線源を用い γ 線の強度を測定することによつて铸型内の溶鋼レベルを検出する。これと設定レベルとの偏差をタンディッシュ、スライディング・ノズルの制御系へフィードバックすることにより、溶鋼レベルを一定に保ちながら一定の铸造速度で铸造する¹⁾。

図 2 は上記自動铸込の操業実績を示すもので、溶鋼レ

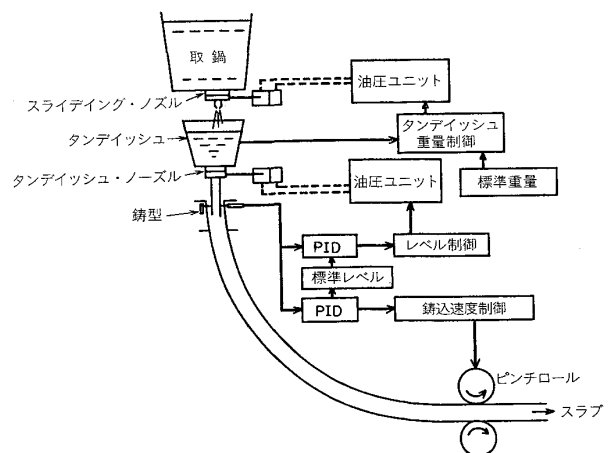
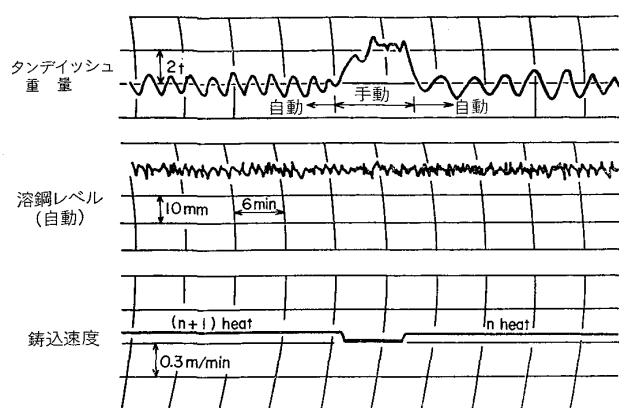
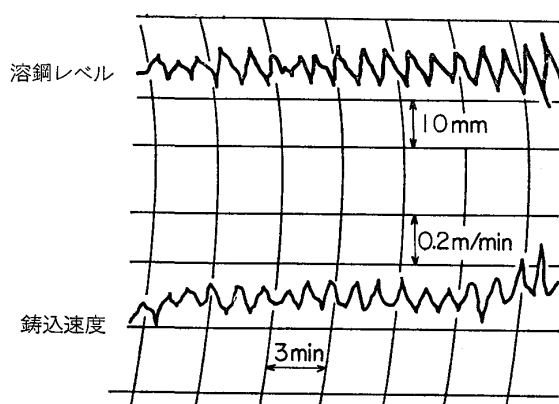


図 1 CC の自動铸込システム図¹⁾

* 昭和 52 年 10 月 1 日受付 (Received Oct. 1, 1977)

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

*** 住友金属工業(株)大阪本社 (Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

図2 自動鑄込記録¹⁾図3 手動鑄込記録¹⁾

ベルはほぼ $\pm 3\text{ mm}$ 以内に収まっており、鑄造速度についてもヒートの境界部分を除き一定に保たれている¹⁾。

2.2 自動鑄込と鑄片の品質

手動鑄込の場合はオペレーターが鑄型内の溶鋼レベルを観察しながら、タンディッシュからの注入量に合せて鑄造速度を調節するか、鑄造速度に合せてタンディッシュノズル開度を調節して鑄型内溶鋼レベルを制御しているが一般に溶鋼レベルならびに鑄造速度の変動は大きい。図3に一例として住友金属の手動鑄込時の溶鋼レベルと鑄造速度の変動を示す。これによると鑄造速度はおよそ1 min間に1回の割合で変動しており、その変動幅

は $\pm (0.10 \sim 0.15)\text{ m/min}$ である。又溶鋼レベルについても同様に $\pm (5 \sim 10)\text{ mm}$ の変動が生じている¹⁾。

一方自動鑄込については前述したとおり非常に安定した鑄造ができる。従つて鑄片品質についても表2のごとく²⁾、自動鑄込の採用によって表面状況が明らかに改善される。ピンホール、スカム捲込は湯面が安定している効果として自動鑄込の方がはるかに少なくなっている。又横割れの減少も認められるが、これは湯面が安定しているためにパウダーの流れ込みが均一になるからであると考えられる。この様に鑄片表面は自動鑄込の方が明らかに良好であることが確認されている。

2.3 自動鑄込の問題点

自動鑄込を制御方式から見ると3つに大別できる事は前述のとおりであるが、これを計測の面から見て溶鋼レベルの検出方法から分類すると、熱電対方式とR I方式2のつに分類される。

図4に熱電対方式の一例として新日鉄、八幡で実施されている制御構成を示す³⁾。いずれの方式にしても溶鋼レベルの検出装置は欠く事のできない重要な計測機器でこのレベル検出いかんが自動鑄込制御の良否を左右する。このレベル検出装置に要求される重要な条件を挙げると

- (1) レベルの検出精度が高いこと
- (2) 応答性に優れていること
- (3) 耐久性に優れていること
- (4) 取扱い及び管理が容易なこと

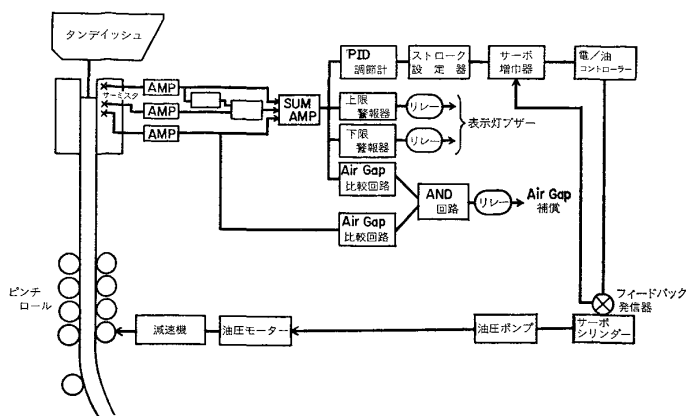
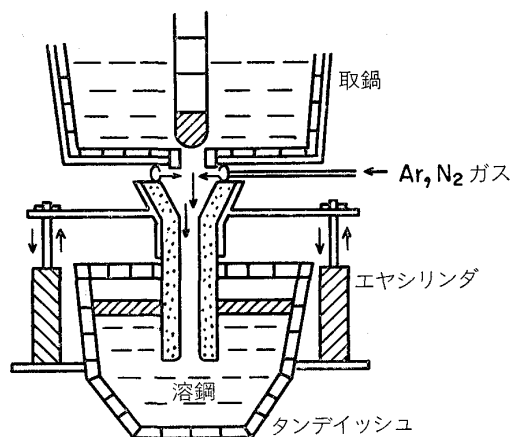
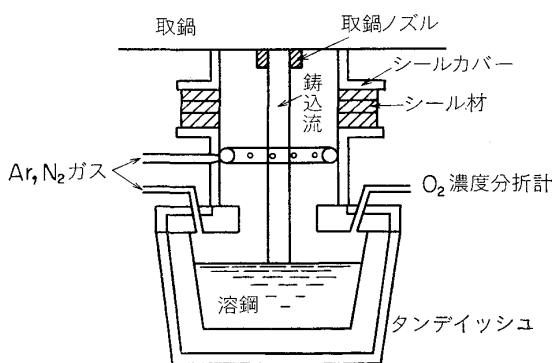
等である。

現状では上記のすべての条件を満足する検出装置は開発されていない。熱電対方式については精度及び応答性に問題があり、R I方式では取扱いならびに管理上に問題がある。又直接計測の問題ではないが制御系に関する問題としては、例えばスライディングノズルのプレート間の面圧の変動あるいは機械的なガタが生ずるために溶鋼注入量の制御に安定性を欠く事がある。従つてこの様な機械的要因に対する対策を実施して制御の安定性を確保する必要がある。

以上簡単にC Cの自動鑄込について述べてきたが、こ

表1 湯面変動とスラブ表面欠陥指数²⁾

	自動鑄造				手動鑄造
	湯面変動幅			合計	湯面変動幅 $\leq \pm 15\text{ mm}$
	$\leq \pm 3\text{ mm}$	$\leq \pm 5\text{ mm}$	$\leq \pm 10\text{ mm}$		
縦割れ	0.9	1.1	0.4	0.9	1.0
横割れ	0.4	0.4	0.5	0.4	1.0
ピンホール	0.2	0	2.5	0.5	1.0
スカム捲込	0.5	0.8	1.1	0.6	1.0
手入面積	0.7	0.8	0.8	0.7	1.0
スラブ枚数	232	51	18	301	310

図4 熱電対-サーモスタ Casting 速度制御方式³⁾図5 取鍋-タンディッシュ間エアシール装置⁴⁾図6 取鍋-タンディッシュ間エアシール装置⁵⁾

れにより品質の改善はもちろん操業の標準化, 安定化が図られ, さらにパウダーの自動供給により人員の合理化も可能である。

3. 不活性ガスシール鑄込

3.1 シール鑄込の方法

品質の向上に大きな役割を果たしている技術に取鍋からの溶鋼注入流の空気酸化防止対策があり。これは介在物の少ない事を要求される高級鋼のCCに広く実施されている。例えば図5はロングノズル型の注入管を利用し

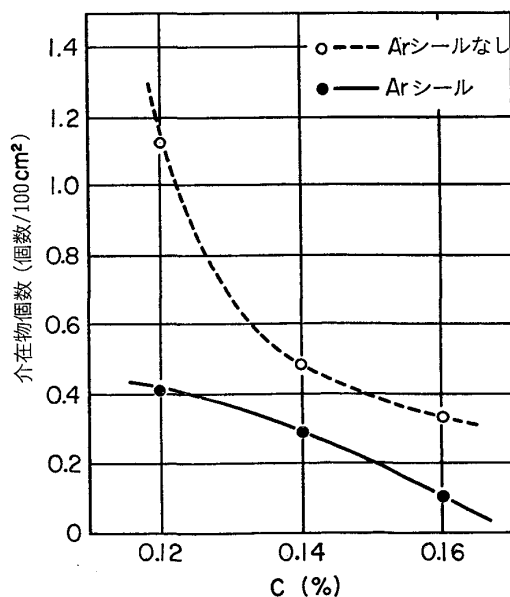
たもの⁴⁾, 図6はシールカバーによるもので⁵⁾, いずれも溶鋼を不活性ガス雰囲気中で包むことにより酸化を防止する方法である。具体的にはシール中の雰囲気ガスの濃度分析を行ない, 酸素濃度でシール状況を管理しており, 雰囲気ガスの酸素濃度は $\leq 0.2\%$ ⁶⁾, あるいは $\leq 0.8\%$ ⁷⁾程度に管理するのが通常である。

3.2 シール鑄込と品質

介在物の種類はアルミナクラスター, シリケート系介在物及びCaを含むアルミネート系介在物などがある。この介在物の集積位置はCC型式によって異なり, 湾型曲CCでは湾曲上面側の1/4~1/6厚み位置に, 垂直型及び垂直曲げ型CCでは中心にそれぞれ集積しやすい。一般用厚板材では大型シリケート系及びアルミナクラスターがラミネーションや超音波探傷欠陥等の原因となる。又深絞り用低炭素Alキルド鋼については鑄片表層部のアルミナクラスターが表面欠陥となる⁸⁾。

鑄片の介在物の起源や生成機構が種々解析されているが⁹⁾¹⁰⁾, 厚板50 kg/mm²鋼を対象に研究した結果によると, 取鍋から鑄片までのsol. Alの酸化量のうち取鍋からタンディッシュの溶鋼流の空気酸化が最も寄与率が高く32.9%であり, 次いでタンディッシュ内のスラグ及びライニングとの反応が28.4%, 巻込んだパウダーによるものが23.9%, ノズル溶損物によるものが14.8%であるとされている¹⁰⁾。

以上の事から溶鋼の酸化防止は介在物減少対策として極めて有効な手段である事が明かである。図7¹¹⁾, 図8¹²⁾に介在物に及ぼすArシールの影響を示す。図7によるとArシールを実施した鑄片の介在物の個数は明らかに減少し, 特に鋼中Cが低い程その効果が大きい¹¹⁾。又図8は低炭Alキルド鋼におけるArシール鑄込の結果を示し, アルミナクラスターがシール鑄込により大幅に

図7 Ar シールが鑄片の大型介在物に及ぼす影響¹¹⁾

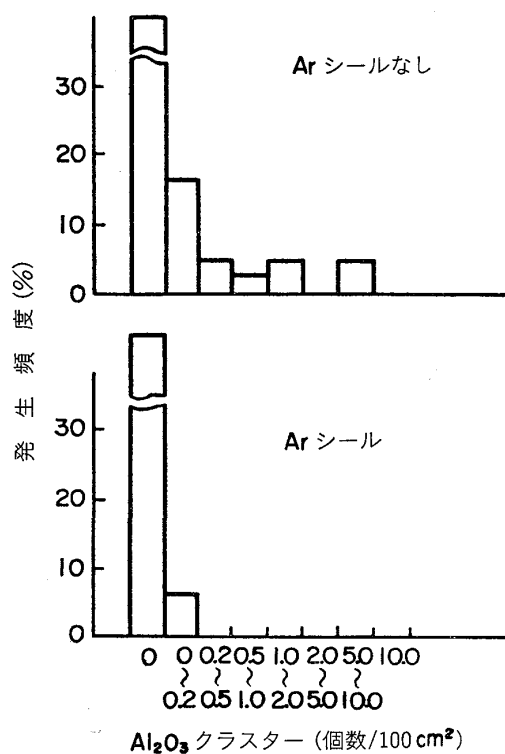


図8 Ar シールが鋳片表皮下の Al_2O_3 クラスターに及ぼす影響¹²⁾

減少する事が判る¹²⁾。

3.3 シール鑄込の問題点

シール空間のガス分析については次の様な注意が必要である。分析ガス中には多量のダストが含まれているので分析計のフィルター詰りが生ずる恐れが十分あり、定期点検ならびに掃除を実施する必要がある。又分析計の検定についても定期的に確実に実施し、常に正確な測定ができる状態を整えておく必要がある。

次に溶鋼注入流のシールを実施する事により新たに操業上の問題が生じてくる。即ち取鍋からの溶鋼注入流が観察できないために取鍋内溶鋼の鑄込終了のタイミングを把握し難くなる。従つてこの問題を解決するために取鍋からの滓の自動検出装置が必要であり、一部では既に使用されつつあるが、さらに使いやすい機器とすることが今後の開発課題である。

4. 鋳型のオッシレーション

4.1 オッシレーション

鋳型から鋳片を引抜く際、鋳型内面と鋳片とのスティッキ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は図9に示すごとく種々の方式があるが¹³⁾、サインカーブ方式が機構的にも簡単で問題の少ないところから最近ではこのサインカーブ方式が一般的になっており、さらに若干のネガティブストリップをかけるのが普通である。

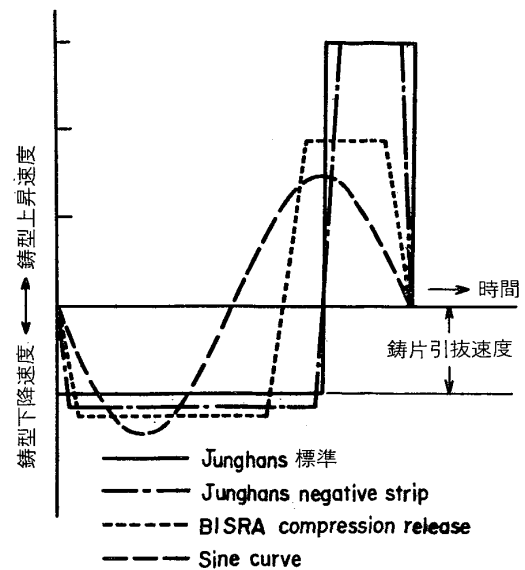


図9 鋳型運動サイクル¹³⁾

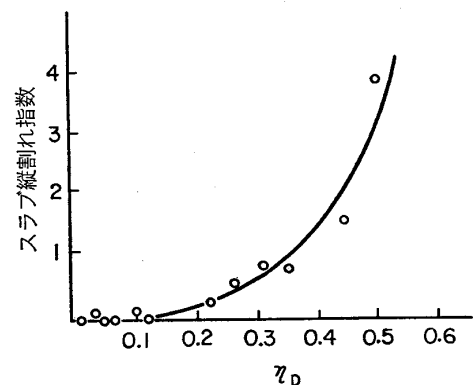


図10 オッシレーションの乱れが鋳片の縦割れに及ぼす影響¹⁴⁾

オッシレーションそのものは本来機械的構造により定まるものであるが、その機械的構成要素の一部例えばベアリングや摺動部の不良ならびに損耗あるいは鋳型本体の据付状態の不整などによって所定の運動から外れる事がある。従つてオッシレーションの状態を管理するためにオンライン又は鋳型替時にオッシレーション波形の測定を実施するのが普通である。

4.2 オッシレーションと品質

鋳型オッシレーションの乱れが鋳片品質に与える影響を図10に示す¹⁴⁾。ここでオッシレーションの波形乱れを(1)式で定義する。

$$\eta_D = \frac{\int_0^{2\pi} |g(t) - f(t)| dt}{\int_0^{2\pi} |f(t)| dt} \dots\dots\dots (1)$$

ここで $f(t)$ はオッシレーションの周期、ストローク及びネガティブストリップ、鑄込速度等から理論的に定まる理想波形の時間関数であり、 $g(t)$ は実際に行なわれた鋳型変位の時間関数である。図10から正常波 (η_D

=0) では鋳片の縦割れ発生はないが η_D の増加とともに縦割れが急増することが明らかである。オシレーション波形の乱れが極端な場合はブレイクアクトの発生を誘発し操業に重大な支障をきたすこともある。

4.3 オシレーション波形測定の問題点

オシレーション波形測定用のセンサーとしては差動トランス、ポテンシオメーターあるいはパルス発信器が用いられているが、いずれにしても耐久性が問題となっている。即ち測定位置の環境が悪く常に水、水蒸気あるいは粉塵などにさらされておりセンサーの故障が起こりやすい。従って鋳型周辺の環境に十分耐えるセンサーの開発が必要である。

5. 鋳片の冷却

5.1 適正な冷却

鋳片の冷却は品質を大きく左右するので操業上極めて重要である。鋳片冷却の基本は最適な鋳片温度を維持しつつ、スラブでは広幅面の幅方向の均一冷却、ブルーム、ビレットでは4面の均一冷却を行うことである。従って上記の冷却方針を実現するために、長いスプレー帯での冷却は特に重要である。

スプレーノズルについては種々の型のものが使用されており、このスプレーノズル詰りに対して定期的なノズルの点検、交換を実施している。一方水処理の面からも冷却水炉過の強化あるいは薬注の徹底を図っている。しかし実操業においては種々の要因により所定の鋳片表面温度を外れる場合があり、鋳造条件と鋳片温度の測定による冷却水制御が必要となつている。

5.2 鋳片の冷却と品質

一般に鋳片の縦割れは鋳型パウダー¹⁵⁾¹⁶⁾や鋳型の冷却条件¹⁷⁾が不適切な場合に起こる。又鋳型内で発生した微

小な割れがスプレー帯での冷却でさらに拡大される場合もあると考えられている。従って鋳型の冷却水量、水温及び鋳型長短辺の冷却バランスなどの管理が重要である。特にステンレス鋼の鋳造においては図11に示すごとく、鋳型冷却水の厳密な管理が必要であるという報告もある¹⁸⁾。

湾曲型CCで鋳造された鋳片はピンチロールによって

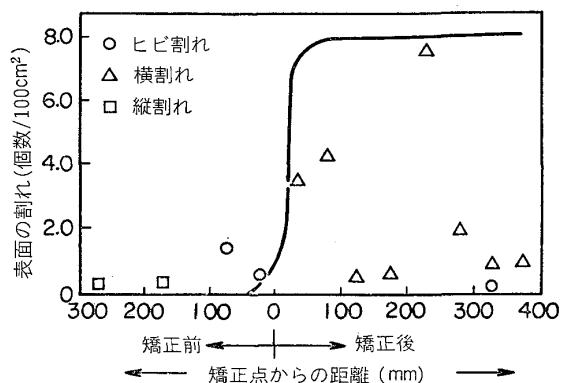


図12 鋳片表面の割れに及ぼす矯正の影響¹⁹⁾

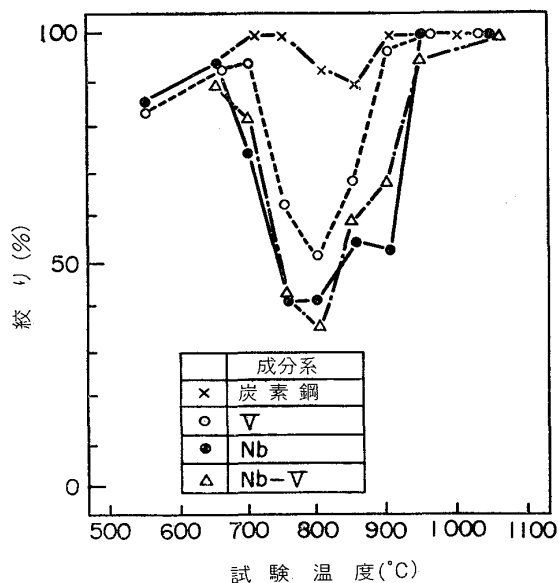


図13 紋りに及ぼす温度の影響²⁰⁾

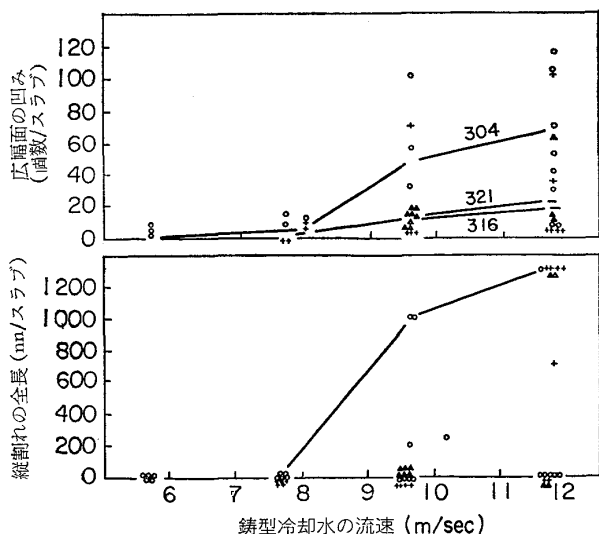


図11 鋳片広幅面の凹みと縦割れに及ぼす鋳型冷却水の影響(ステンレス鋼)¹⁸⁾

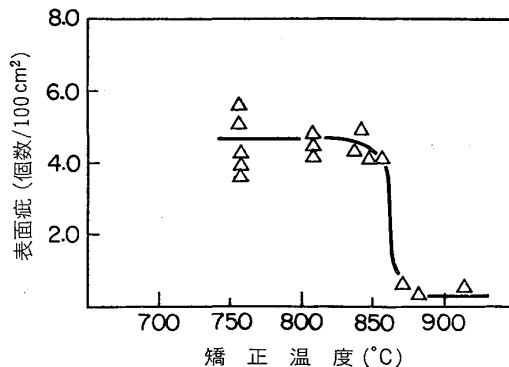


図14 鋳片の表面疵に及ぼす矯正温度の影響²²⁾

矯正されるが、この矯正力によりコーナー割れあるいは横割れが発生し、鋳片手入で見過した場合は成品の表面欠陥となる。図 12 に表面疵に与える矯正の影響を示す¹⁹⁾。一般に $700^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$ の範囲で鋼の延性が低下することが知られており²⁰⁾²¹⁾、特に V, Nb などの合金鋼において著しい。一例として図 13 に温度と絞りとの関係を、図 14 に鋳片表面疵に与える鋳片矯正温度の影響を示す。実操業では鋳片の矯正温度が上記脆性域に入らない 900°C 以上あるいは 700°C 以下にする様な冷却を実施する場合が多い²²⁾。

鋳片内面の欠陥の中で図 15 に示すような断面割れが発生する場合がある。この割れはかなりの広がりを持った面状の割れで、原因は種々あるが、凝固先端部の冷却あるいは鋳片短辺側の冷却が大きな要因であるといわれている。図 16²³⁾ 及び図 17²⁴⁾ に断面割れに与える冷却の影響を示す。

5.3 鋳片の冷却の問題点

上記のごとく鋳片の温度は品質を直接左右するので鋳片の温度測定は CC において不可欠の計測である。温度計としては放射温度計が使用されているが、この問題点としては冷却水あるいは蒸気の影響によつて正確な温度測定が難しい事、同様に冷却水、蒸気あるいはスケールの付着などによって耐久性が非常に悪い事である。しかし最近の温度計はかなり良くなりつつある様である。なお通常ローラーエプロンのロールとロールの限られた間隙に温度計を設置せざるを得ないので測定視野が非常に狭く、取付方向が若干でもずれると全く異つた温度を示し実質的に使用不可能となる。通常スラブの場合は鋳片幅方向で表面温度が一樣とは限らないので、鋳片幅方向の温度測定が可能でかつ精度及び保守性の良好な機器の開発が必要である。正確な鋳片の表面温度が安定して得られて初めて鋳片温度を取り込んだ冷却水量のダイナミック制御が可能となり、安定した鋳片品質が得られる。

鋳片の冷却に際して所定の冷却パターンに従つて予定の冷却効果を正しく上げるためには基本的にノズル詰りのない状態での冷却が必要で、このためにはノズルの定期点検あるいは定期交換は欠かす事のできない重要な作業である。ノズルの点検を能率よく行なうためにはオンラインでのいいかえれば準備時間内での自動スプレイチェック装置開発の要望がある。

6. ローラーエプロン (R/A) 及びピンチロール (P/R)

6.1 R/A 及び P/R の役割

CC 鋳片の凝固の特徴の一つは長い液相の存在である。従つて鋳込面からの位置に応じた溶鋼静圧が鋳片の凝固殻に働いて、常に鋳片表面の凝固殻を外に押し拡げようとしている。即ち常にバルジング力が働いており、この傾向は特にスラブの場合に著しい。R/A はこのバ

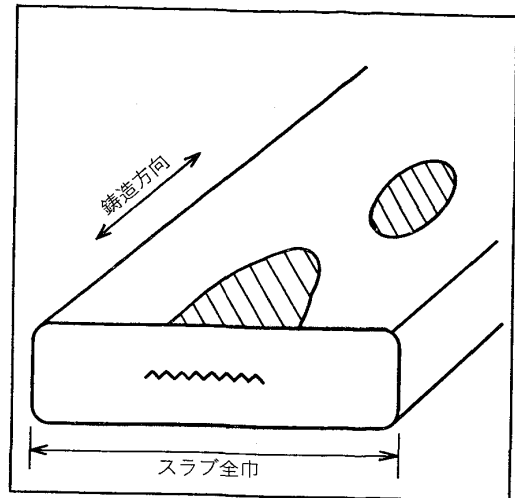


図15 鋳片の断面割れ²³⁾

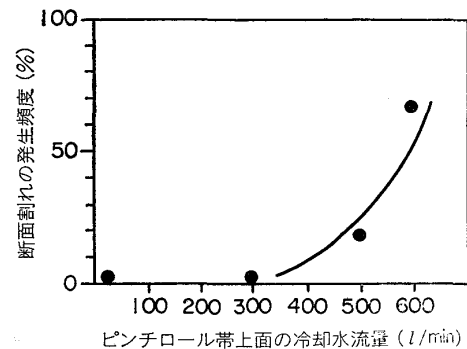


図16 ピンチ・ロール帯の冷却が鋳片の断面割れに及ぼす影響²³⁾

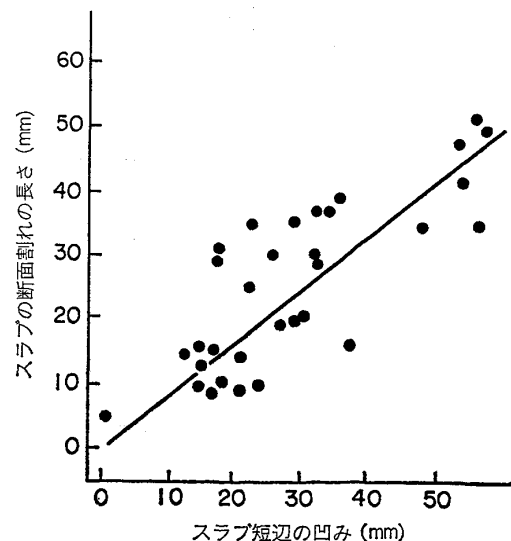


図17 スラブの短辺凹みと断面割れ長さの関係²⁴⁾

ルジングを防止する目的で適切な径及びピッチでロールを配置してある。又同時に鋳片引拔のガイドの役割も果たしている。P/R は鋳片の引拔を目的に設置され、湾曲型 CC にあつては同時に鋳片の矯正が重要な目的で

ある。

実際には種々の型式の R/A 及び P/R が使用されているが、いずれにしても実操業においてそれらを常に理想状態に維持する事は難しい。例えばロールの曲り、ロールの損耗、ベアリング不良などにより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むしろ一般的である。この不整がある限度内であれば問題ないが、その限界を越えた場合は鋳片の重大な欠陥につながるのでロールアライメントの管理は極めて重要である。従つてこの様な不整をできるだけ生じさせない様、ロールの強度向上あるいはベアリングの改良などの対策も合せて実施している。

6.2 ロールアライメント不整と品質

ロールアライメントの不整により鋳片がバルジングあるいは圧下され、これに起因する鋳片の内部欠陥が発生することは良く知られている。中心偏析は凝固末期のミ

クロ偏析による濃化鋼溶が柱状晶のからみ合いによるブリッジングまたは鋳片のバルジングにより発生し²⁵⁾ C C 特有の偏析であり一例を図 18 に示す²⁶⁾。中心偏析に及ぼす要因としては冶金的要因と機械的要因に分けることができる。主なものとして前者には溶鋼の鋳造温度あるいは引抜速度などの鋳造条件があり、後者には凝固先端付近でのバルジング量を左右するロールアライメントの不整が挙げられる。鋳片のバルジング量を近似式として両端支持における弾性梁のたわみ量として計算した結果によると²⁷⁾、最近のスラブ C C におけるバルジング量は 0.1~1.0 mm のオーダーにしかならない。しかし実際には数 mm 以上のバルジングが実測される。この様に予想以上のバルジングが発生する原因としてはロールの芯

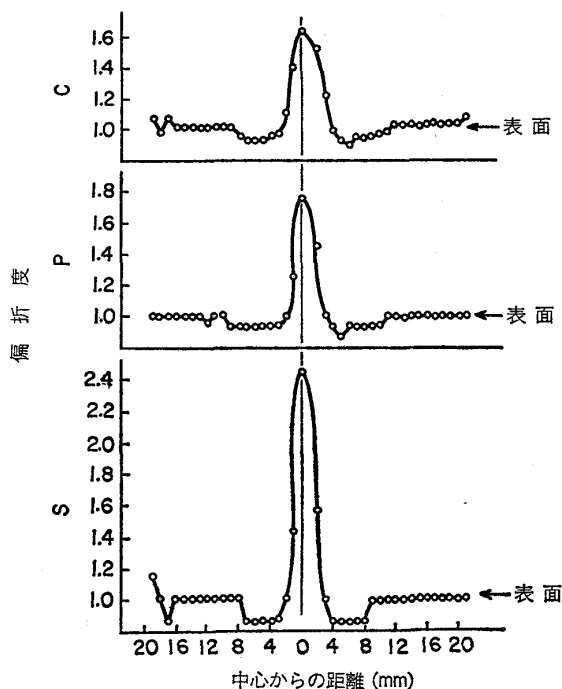


図18 鋳片の中心部の偏析状況²⁶⁾

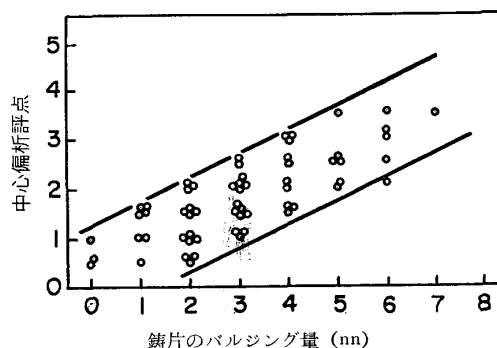


図19 鋳片の偏析評点に及ぼすバルジングの影響²⁸⁾

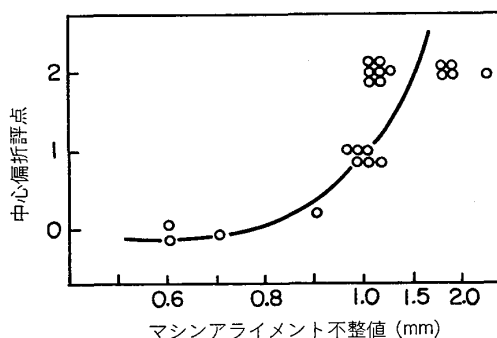


図20 最終凝固域のマシンアライメント不整値が鋳片の中心偏析評点に及ぼす影響²⁹⁾

表 2 鋳片に欠陥を誘発する要因とその程度³¹⁾
(湾曲型 C C 機における通常鋳込条件の場合)

スラブに悪影響を及ぼす要因		場 所	通常の不連続量	凝固界面歪量
1	セグメント間のロール径の違いに伴うロール撓みの不連続	鋳型から 12m の所	0.14 mm	0.07%
2	ロールの摩耗に伴うセグメント交換時に生ずる不連続	〃 12m 〃	0.5 mm	0.25%
3	熱影響によつて生ずるロールの曲りによる不連続	〃 5 m 〃	0.5 mm	0.11%
4	ロールのミス・アライメントに伴う不連続	〃 12m 〃	0.3 mm	0.04%
5	バックアップロールを一部に使用する時のロールの撓みの不連続	〃 20m 〃	0.8 mm	0.47%
6	スラブのベンディング又はアンベンディングに伴う歪	〃 20m 〃	—	0.07%
7	スプレイ冷却による熱応力の影響	全 範 囲	—	0%
8	バルジングによる歪	鋳型から 12.6m の所	バルジング量 1.0~1.5 mm	0.9~1.35%

出し不良，ロールベアリングの破損，鋳片保持力の不足あるいは機械自体の剛性不足等があり，ロールが正しく鋳片を保持し得ないためである．図 19²⁸⁾，図 20²⁹⁾にそれぞれバルジング量，凝固先端付近のロールアライメント不整が鋳片の中心偏析に及ぼす影響を示すが，いずれもその値が大きくなるに従って偏析は大となる．

近年 C C の生産性向上を図るべく鋳造速度を高めてきたがこの高速化により鋳片内部の未凝固先端位置が下方に移動し，この位置が矯正ロール帯に入り込む場合はいわゆる未凝固矯正となり内部割れが発生しやすい．即ち鋳片の凝固先端近傍は極めて脆くわずかな歪で割が発生する³⁰⁾．凝固先端近傍に歪を誘発する要因としてはロールアライメント不整による応力ならびにバルジング，冷却過程における熱応力，矯正時の圧下ならびに矯正等が考えられるが，表 2 に示すごとくバルジングによる影響が最も大きいことが判る³¹⁾．又内部割れの発生位置と個数ならびに中心偏析評点との関係等の研究結果から，内部割れは矯正ロール以前のバルジングによって発生し，矯正で助長される．又このバルジングによる内部割れの増加と共に偏析は悪化することが知られている³²⁾．

6.3 ロールアライメント管理上の問題点

上述のごとくロールアライメントは鋳片の重大な欠陥に直接結びつくので，機械の整備ならびに適切な状態の維持には大きな努力が払われる．ただ現状では必ずしも十分にロールアライメントを把握しているとはいえず，定期修理ごとの点検程度に止まっているのが普通である．従って準備時間内に自動的にロールアライメントを測定できる装置を用いて，常に鋳造する時点でのロールアライメントを把握することが望ましい．又この様な自動測定機によれば作業能率，環境の改善も期待し得る．一部では既にロールアライメントの自動測定装置を使用しているが，今後広く採用される計測機の一つといえよう．

7. 鋳片の自動切断

鋳片の自動切断技術は測長装置，切断装置を組合せて早くから実施されており，比較的安定した切断作業を実施している．又最近の自動切断は単なる指示長さの切断をするばかりでなく，鋳片の最適取合せも同時に実施している場合が多い．従って歩留向上を厳しく要求されている今日，さらに切断長さ測定精度の向上を要望する声もある．図 21 に新日鉄大分の自動切断構成図を示す³³⁾．鋳片長さの測定は測長ロールの回転によるパルスのカウントで行い，予め設定された切断長あるいは計算機からの指示長に達した位置でカッターが切断を開始する．

自動切断は直接鋳片の品質に関係するものではないが操業としては極めて重要な要素でここでの事故は直ちに C C のラインの停止に連なるので不断の整備が重要である．

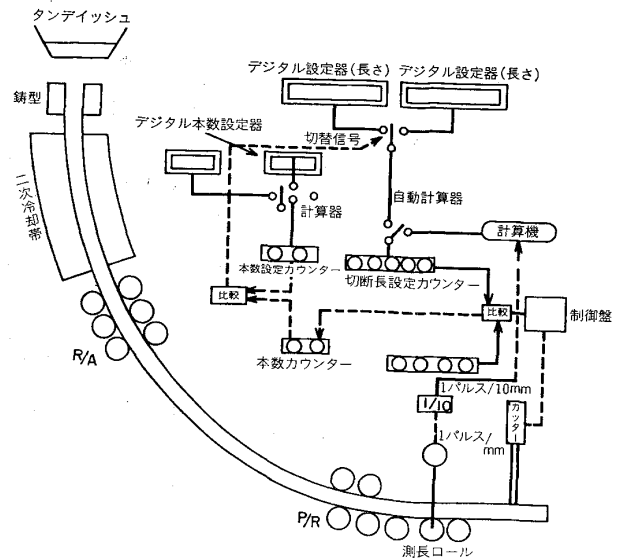


図21 鋳片の自動切断構成図³³⁾

8. その他

8.1 鋳片の凝固状況の把握

鋳片の凝固状況を正確に把握することができれば操業改善ならびに品質向上に寄与するところは大きい．通常凝固状況を推定する手段として近似的に(2)式が使用されている．

$$d/2 = k \cdot \sqrt{t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで， d ：鋳片の厚さ (mm)

t ：凝固時間

k ：冷却条件等によって決まる定数

k は R I の投入あるいは鋳打などで大略の値は求められており，C C 設備の設計において重要な因子となっている．しかし実際の鋳造では鋳片の凝固状況にバラツキがあり，上記の近似式では不十分な場合がある．特に操業，品質に直接関係のある鋳型直下ならびに凝固先端部の鋳片の凝固状況を直接測定して，凝固を制御することが望ましい．鋳造温度，鋳造速度，鋳片表面温度測定に加えて凝固速度の直接測定も含めた総合的な制御が C C 技術の今後の進むべき方向になるものと考えられる．

具体的には鋳型直下の凝固厚み測定装置，凝固先端の位置ならびに形状の検出装置の開発が望まれる．又鋳型と鋳片のエアーギャップは初期の凝固殻形成に重要な役割を果たすことから，このエアーギャップ測定装置の開発も望まれている．

8.2 ブレイクアウト (B.O.) の検出

操業事故に C C 特有のブレイクアウト (B.O.) があるが，大きな B.O. になるとその処置ならびに復旧に長時間を要し減産はまぬがれない．従って B.O. の発生防止には十分注意を払った操業を実施している．しかし頻度は少ないが現実には皆無ではないので，発生と同時に小さな B.O. のうちに検出してその被害を最小限に止め

表 3 C C の 計 測 の 現 状 (スラブ・マシンの代表例)

区分	項	目	各社の計測, 制御の現況						機器及び方式	問題点と計測部門への要望
			A社	B社	C社	D社	E社	F社		
鍋 取 鑄 型	1.	取鍋, タンデンスイッシュ内の溶鋼温度測定	○	○	○	○	○	○	浸漬型熱電対	1. タンデンスイッシュ内溶鋼連続测温計の開発
	2.	取鍋からの滓出し	○	○	○	○	○	○	赤外線式	2. 取鍋からの滓出検出器の開発
	3.	取鍋からの自動供給	○	○	○	○	○	○	固体電解質, 磁気式, セル式	3. 鑄型内溶鋼レベル検出器の開発
	4.	パワースイッシュ内溶鋼重量測定	○	○	○	○	○	○	回転計, セル, マグネセル	4. 鑄型内高精度検出器の開発
	5.	タンデンスイッシュ内溶鋼重量測定	○	○	○	○	○	○	7線方式, 熱電対方式	5. 鑄型直下の鑄片凝固装置の開発
	6.	自動鑄込制御	○	○	○	○	○	○	差動トランス, パルス発振器	6. 鑄片の表面温度測定において, 冷却水等に影響されない温度計の開発
	7.	鑄型内溶鋼レベル検出	○	○	○	○	○	○	測温抵抗体	7. スプレンノズル詰りの自動検出装置の開発
	8.	鑄型内溶鋼レベル検出	○	○	○	○	○	○	オリアフィス差圧式, 電磁式	8. 鑄型内溶鋼レベル検出装置の開発
	9.	鑄型内溶鋼レベル検出	○	○	○	○	○	○	熱電対	9. 鑄片の凝固先端及びその形状の検出装置の開発
	10.	鑄型内溶鋼レベル検出	○	○	○	○	○	○	計算機, 流量計	10. 鑄片の凝固先端及びその形状の検出装置の開発
R/A P/R	11.	ウォーキングバー冷却水温度測定	○	○	○	○	○	○	放射温度計, 2色温度計	11. 鑄片表面厚みの自動検出装置の開発
	12.	2次冷却水流量自動設定	○	○	○	○	○	○	メジャローセル	
	13.	カスケード制御	○	○	○	○	○	○	オリフィス	
	14.	鑄片表面温度測定	○	○	○	○	○	○	電磁振子式	
	15.	鑄片厚み測定	○	○	○	○	○	○	差動トランス	
切 断 〜	16.	鑄片の自動切断	○	○	○	○	○	○	マグネスケール	
	17.	鑄片長さ測定	○	○	○	○	○	○	傾斜計	
	18.	鑄片の重量測定	○	○	○	○	○	○	ロードセル	
	19.	クーラー冷却水流量制御	○	○	○	○	○	○	ストレーンゲージ	
	20.	鑄型のテーパー測定	○	○	○	○	○	○	セルシ	
そ の 他	21.	ロール間隔測定	○	○	○	○	○	○		
	22.	バスライン測定	○	○	○	○	○	○		
	23.	鑄片ペンディング力測定	○	○	○	○	○	○		
	24.	マシンの応力測定	○	○	○	○	○	○		
	25.	ロール間隔調整	○	○	○	○	○	○		

表 4 C C の計測の現状 (ブルーム・ビレット・マシンの代表例)

区分	項 目	各社の計測, 制御の現状				機 器 及 び 方 式	問題点と計測部門への要望
		A 社	B 社	C 社	D 社		
取 鍋 ~ 鋳 型	1. 取鍋, タンデンシユオオシユ内溶鋼温度測定	○	○	○	○	浸漬型熱電対	1. タンデンシユオオシユ内溶鋼温度で連続的に長時間測定可能なものの開発
	2. レンタシユオオシユ内溶鋼濃度測定	○	○	○	○	磁気式	2. 鋳型内溶鋼レベル検出において次の
	3. タンデンシユオオシユ内溶鋼濃度測定	○	○	○	○	ロータリセル, ロードセル	(1) 管理面で面倒な R I 方式による
	4. タンデンシユオオシユ内溶鋼濃度測定	○	○	○	○	7 線	(2) 精度の高い検出器
	5. 自動溶鋼制御	○	○	○	○	差動トランス, パルス発振器	3. 鋳型の鋳片と鋳型との空隙測定器の開発
	6. 自動溶鋼制御	○	○	○	○	測温抵抗体	4. スプレノズル詰まりの検出装置の開発
	7. 鋳型冷却水流量測定	○	○	○	○	オブリフ式差圧式	5. 鋳片の表面温度計において冷却水等に影響されない温度計の開発
	8. 鋳型冷却水流量測定	○	○	○	○	電流量計	6. 鋳片の凝固厚み測定器の開発
	9. 鋳型冷却水流量測定	○	○	○	○	放射温度計	7. 鋳片の凝固厚み測定器の開発
R / A ~ 切 断	10. 2 次冷却水流量自動設定	○	○	○	○	パルスジェネレータ, タター, メジャロー	
	11. カスケーダ制御	○	○	○	○		
	12. 表面温度調整	○	○	○	○		
	13. 表面温度調整	○	○	○	○		
	14. 鋳片の長さ測定	○	○	○	○		
	15. 鋳片の長さ測定	○	○	○	○		

るよう適切な処置をとる必要がある。そこで信頼性の高い B.O. の予知装置の開発が望まれる。

8.3 鋳片のバルジング量の測定

鋳片のバルジングは品質に悪影響を与え、その基本的な要因はロールアライメントの不整であることは前述したとおりである。しかしバルジングは操業要因によって拡大されるので、実質的な管理をするためにはオンラインでのバルジング測定が必要である。既に差動トランスをセンサーとして間接的な測定は実施されているが³⁴⁾、測定精度についてはロールのたわみ又はロールショックの傾動等の影響を受け問題がある。従って直接バルジング量を測定できる精度の高い測定装置の開発が望まれる。

8.4 鋳片表面疵の検出

今日鋳片の表面状況は改善されて、一部の鋼種では無手入れ圧延が実施されている。しかし一般的には全ての鋳片の表面が無欠陥というところまではいつていないので現状ではどうしても鋳片手入れは必要である。従ってこの鋳片表面の手入れの合理化を図る上からも又歩留向上の面からも、オンラインでの鋳片表面疵の自動検出装置の開発が望まれている。

9. 各社における 3CC 計測技術の現状

製鋼部会加盟の代表各社のアンケートに基づき、スラブならびにブルーム・ビレット C C の計測関係の現状と問題点ならびに計測部門への要望を表 3、表 4 に取纏めた。既に述べた各種の C C 計測の具体例と採用状況が明らかであるが、今後計測部門へ特に改良開発を要望したい点を下記に示す。

- (1) 鋳片表面温度が正確に測定できる温度計。
- (2) 鋳片内部の凝固先端位置およびその形状検出装置。
- (3) 鋳片表面疵の自動検出装置。

10. 結 言

種々の対策ならびに改善によって C C の操業安定と品質向上が図られている中で計測機器は重要な役割を果たしてきた。しかしなお悪環境に耐える計測の信頼性の確保、増々厳しくなる鋳片品質に対する要求に応えるべき新しい計測機器の開発などが強く望まれている。

最後に表 3、表 4 のアンケートに御協力戴いた製鋼部会の関係各社に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) 梨和 甫, 橋尾守規, 徳田 誠, 青木紀之: 鉄と鋼, 60 (1974) 7, p. 869
- 2) 市川 浩, 小林隆衛, 山崎 勲, 徳田 誠: Biarritz 国際会議 (1976) May. 6
- 3) 堀 珊吉: 第 40, 41 回西山記念技術講座, p. 86
- 4) 根本秀太郎, 川和高穂, 佐藤秀樹, 阪本英一: 鉄

- と鋼, 58 (1972) 3, p. 391
- 5) 玉本 茂, 佐々木寛太郎, 市川 浩, 鷹野雅志, 浦知: 住友金属, 26 (1974) 2, p. 146
- 6) 松永吉之助, 波木周知, 荒木泰治: 鉄と鋼, 59 (1973) 1, p. 73
- 7) 例えば, 熊井 浩, 松永 久, 坂東英明, 富永忠男, 木村英二, 塗 嘉夫: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, S 92
- 8) 熊井 浩, 松永 久, 坂東英明, 富永忠男, 木村英二, 塗 嘉夫: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, S 92
- 9) 植田嗣治, 丸川雄浄, 豊田 守: 鉄と鋼, 60 (1974) 7, p. 951
- 10) 川崎製鉄: 第 60 回製鋼部会
- 11) 熊井 浩, 広本 健, 松永 久, 大橋徹郎, 大野唯義: 鉄と鋼, 60 (1974) 7, p. 932
- 12) 新日本製鉄: 第 54 回製鋼部会
- 13) 根本秀太郎: 鉄と鋼, 60 (1974) 7, p. 763
- 14) 川崎製鉄: 第 62 回製鋼部会
- 15) 大和製鋼: 第 51 回製鋼部会
- 16) 市川 浩, 岸田 達, 南村八十八: 鉄と鋼, 57 (1971) 11, S 457
- 17) 野崎輝彦, 高木弥, 鈴木 章, 鈴木 武: 鉄と鋼, 57 (1971) 11, S 673
- 18) 日本冶金: 第 52 回特殊鋼部会
- 19) 大野唯義, 大橋徹郎, 有馬良士, 広本 健: 鉄と鋼, 62 (1976) 4, S 91
- 20) 伊藤 篤, 撰持吉雄, 作本賢正: 鉄と鋼, 61 (1975) 4, S 132, 61 (1975) 12, S 516
- 21) 長谷部茂雄, 古賀敏昭, 矢村 隆, 筋川義和: 鉄と鋼, 58 (1972) 4, S 221
- 22) 安斎孝蔵, 山上 淳, 宮下芳雄, 阪本英一, 菅克之, 角南英八郎: 鉄と鋼, 60 (1974) 7, p. 974
- 23) 川和高穂: 第40, 41回西山記念技術講座, p. 183
- 24) 飯田義治, 守脇広治, 上田典弘, 垣生泰弘: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, S 89
- 25) 高石昭吾, 小舞忠信, 野呂克信, 秋田靖博: 鉄と鋼, 60 (1974) 7, p. 915
- 26) 川崎製鉄: 第 55 回製鋼部会
- 27) 住友金属: 第 55 回製鋼部会
- 28) 浅野鋼一, 広本 健, 大橋徹郎: 鉄と鋼, 59 (1973) 4, S 82
- 29) 住友金属: 第 60 回製鋼部会
- 30) 仙田富男, 松田福久, 高野元太, 渡辺 潔, 小林忠明, 松坂 矯: 溶接学会誌, 41 (1972) 6, p. 709
- 31) 古茂田敬一: 第27, 28回西山記念技術講座, p. 214
- 32) 堀 珊吉, 打田安成, 山本利樹, 三隈秀幸: 鉄と鋼, 61 (1975) 4, S 58
- 33) 堀 珊吉: 第40, 41回西山記念技術講座, p. 88
- 34) 日本鋼管: 第 59 回製鋼部会