

Fig. 3.30. Schematic view of slopping prediction system. (*Tetsu-to-Hagané*, 76 (1990), p. 1978)

定操作を確保する上で重要である。これまで各社から、さまざまなスロッピングの予知方法が提案されている。Fig. 3.30に示すように主ランスに取り付けたロードセルで検出した荷重を基にスロッピングを予知する方法、排ガス中のCO、CO<sub>2</sub>の変化挙動から予知する方法、さらにはマイクロ波を用いてスラグレベルを測定する方法が開発された。スロッピングは、Si吹き末期に発生する高粘性スラグに起因するものと、スラグの過酸化によるものに大別されるが、同一のセンサーで起因の異なる2種類のスロッピングを精度良く検知することが、今後のスロッピングセンサーの課題であるといえる。

そこで、センサーに頼ることなく、スラグフォーミング状況を直接監視する試みが行われている。側壁部に設けた孔からランスを挿入し、光ファイバーを通して炉内を直接監視する方法が実機化されているが、この方法は、スロッピングを予知するだけでなく、これまでブラックボックスであった吹錬中の炉内状況を観察できる点で画期的であるといえる。

## (2) 転炉操業における自動化技術

転炉操業における自動化は、吹錬操作の自動化、要員ピークの出鋼作業の合理化、非正常作業の自動化に大別できる。

### ① 吹錬操作の自動化

複数のオペレータによる吹錬計算、副原料投入、酸素流量変更や排ガス処理操作などの手動操作に代わって、吹錬の初期条件や各種センサー情報からプロセスコンピュータが計算した結果に基づいてDDCが自動的に操作する方式が一般的である。

そのためシステム構成としては、副原料切り出しフィーダー、ランス高さ計などのフィールド機器にシーケンサーを新設し、データウェイでDDC、プロコン、オペレータステーションなどを接続する。また、CRTオペレーション方式を採用し、操作・監視の集中化、操作性の向上を図っている。加えて、操作室を集約化し3炉分のデスクを集中配置した例もみられる。

また、自動化にはハード面だけでなくソフト面でも改善が

必要である。これにはスタティック制御、ダイナミック制御だけでなく、副原料、合金鉄の投入制御、各種センサーの情報を取り込んだスロッピング制御、鋼種や初期条件に応じた最適吹錬パターンの設定、排ガスの自動回収制御などが含まれる。

### ② 出鋼作業の合理化

転炉要員のピーク作業となるのが出鋼作業である。従来は、出鋼合図、炉傾動操作、合金投入操作、サンプリング・分析・炉口地金切り作業で4名/炉が一般的であった。この合理化策として、合金の自動切り出し、自動投入を初め、自動出鋼システムを導入し、出鋼量に応じた転炉傾動制御と受鋼台車位置制御を行っている例もある。

また出鋼時のサンプリング作業に関してもサブランスサンプリングの熱間搬送自動システムを新設し、サンプリング、試料取り出し、冷却、気送、研磨、分析処理までの全工程の自動化が実現されている。

### ③ 非正常作業の合理化

非正常作業のなかで炉口地金除去は大きな割合を占める。2本のメインランスの間に地金除去用の炉口ブローランスを設置し、溶銑装入後、中央操作室から遠隔で地金ブローを行い、約1.5 t/minの効率的な自動炉口地金除去を可能としている製鉄所もある。

以上の対策により、現在では省人が進んだ製鉄所では炉付操業者3名/炉、なかには2名/炉にまで達している製鉄所もある。今後は、主工程の完全自動化を進めるとともに、炉内補修などの付帯作業のさらなる自動化、機械化を推進し、最終的にワンマン操業を実現することが転炉操業の自動化の課題である。

## 3.4.2 連続铸造における自動化・機械化技術の進歩

### (1) 連铸における最近の自動化・機械化技術

#### (a) 概要

連続铸造化によって品質、生産性、コスト、物流など理想追求の発展をたどる中で、連続铸造プロセスにはさまざまな自動化・機械化が開発、導入されてきた。Fig. 3.31に連铸基数と自動化・機械化プロセスの実用化件数ならびに、自動化設備の平均設置率の推移を併せて示す。連铸比率の向上に伴い自動化・機械化技術が次々に実用化され、新鋭マシンには多くの自動化機械化が織り込まれてきている。また特徴的なこととして初期には生産性の向上や品質の向上、安定化を目的とした自動化技術が主体であったのに対し最近では熟練作業者を必要としないで済む作業の一定化、無人作業に向けた自動化機械化が増加してきている。

#### (b) 品質の向上と操業の安定化

Fig. 3.32に連铸機に導入された代表的な自動化機械化技術および、それらに支えられた操業技術をまとめて示す。

##### (i) 自動注入制御

取鍋から鋳型内に至る自動注入制御は品質、操業にかかわ

る影響が大きく早くから自動化が進められてきた領域である。タンデッシュから鋳型内への溶鋼注入量制御として、油圧系の応答遅れを防止するために、スライディングノズル(SN)に応答性に優れたステッピングシリンダーが適用されている。SNのフレームと直結した構造により機械系のバックラッシュを解消したことと併せて、安定した湯面レベルが確保されている。さらに従来のPID制御に加えて、1980年代後半から現代制御理論に基づいた適応制御、オブザーバ制御、および $H^\infty$ 制御などが適用され効果をあげている。これ

ら一連の湯面レベル制御技術の向上により、湯面変動量を平均 $\pm 2$  mmまで安定させた高精度の制御ができています。

さらに連铸における鋳込開始作業および終了作業はオペレータが細心の注意を払って行う作業の一つであり、これらの非常作業はオペレータの技量に支配されやすく、不安定なものであった。この問題を解決するために鋳造開始および終了作業を完全自動化するオートスタート・ストップ制御が実用化されている。

(ii) タンディッシュ内溶鋼温度コントロール

鋳造中のタンディッシュ内溶鋼温度を一定にコントロールすることは、スラブの品質だけでなく操業を安定化させるためには特に重要な管理項目である。従来、連铸の鋳造温度は前工程の溶鋼処理後の温度に依存し、連铸工程では鋳造中の温度降下を抑制する以外は不可能であった。近年、タンディッシュにプラズマ加熱や誘導加熱を適用することによりタンディッシュ内の溶鋼温度を積極的にコントロールすることが盛んに行われている。各種加熱装置を用いてタンディッシュ内溶鋼温度をダイナミックにコントロールできるようになった背景には、溶鋼温度の連続測温装置の実用化が挙げられる。連続測温による測温実績を基に、目標温度との差に応じて加熱装置の出力を自動制御することにより溶鋼温度を一定に維持することが可能である。

(iii) 二次冷却制御

連続鋳造プロセスにおける二次冷却は、操業上、品質上重要な設備であり、早くから冷却能に優れたエアミストスプレー化や制御の自動化が進められてきた。さらに最近では、

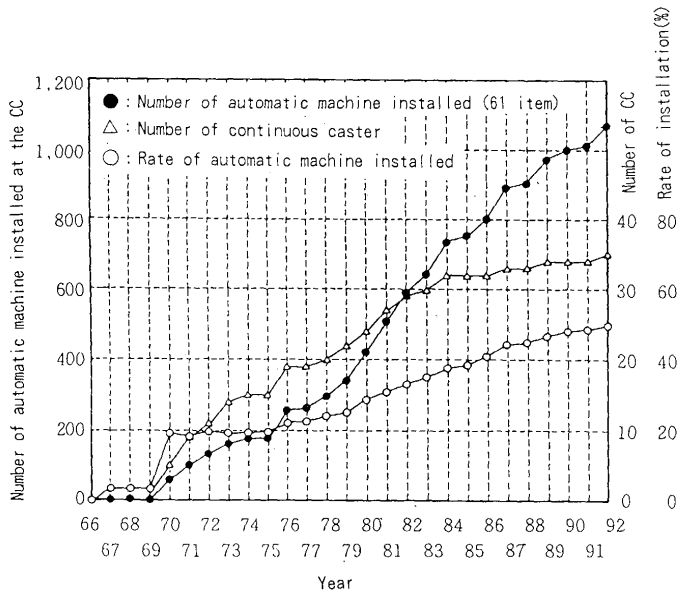


Fig. 3.31. Transition of number of automatic machine installed at the slab CC.

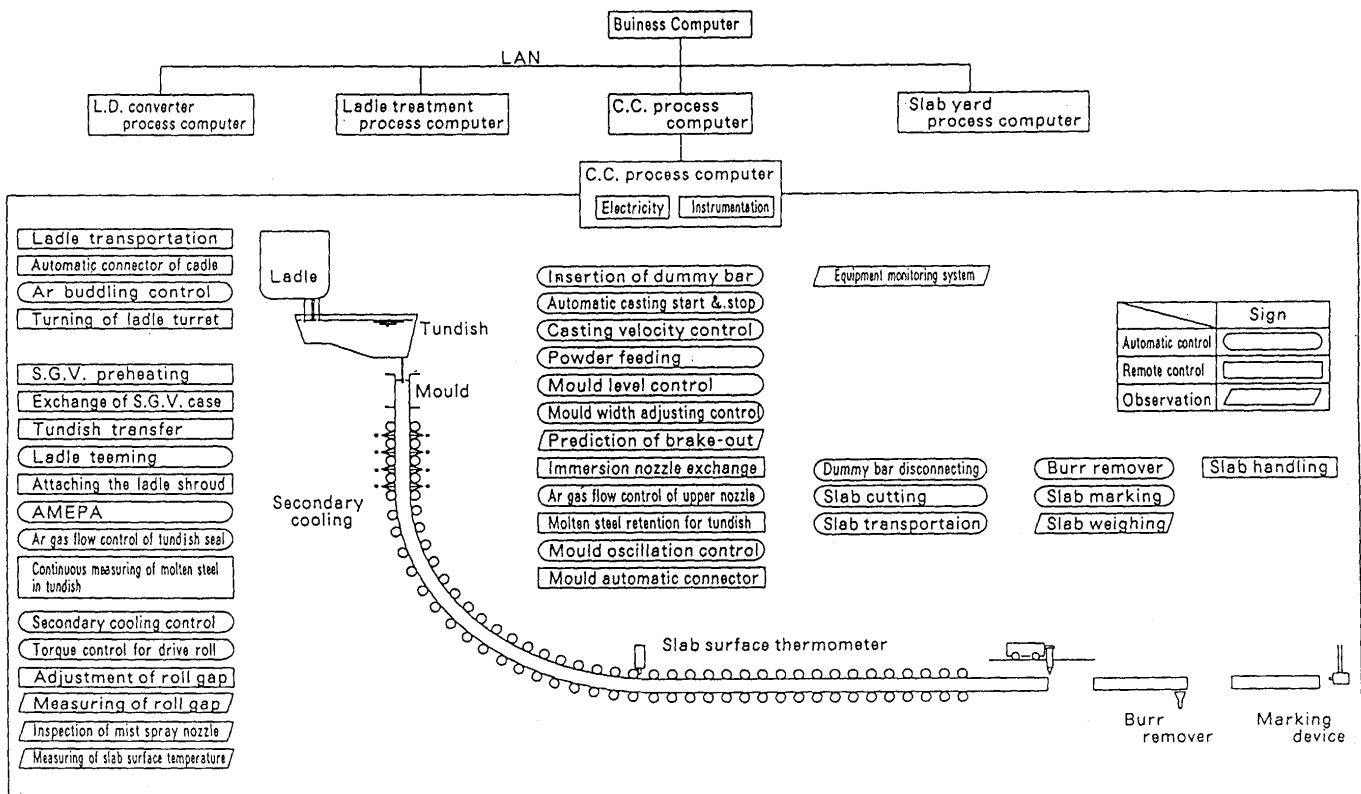


Fig. 3.32. Mechanization and automation of casting process.

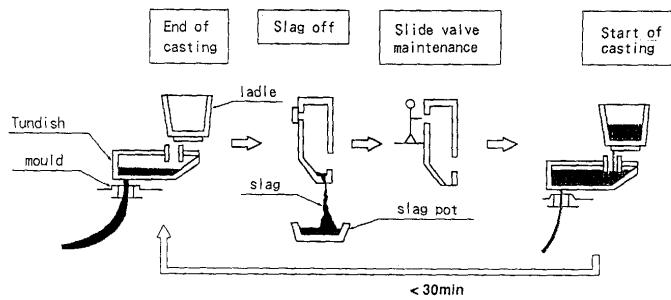


Fig. 3.33. Continuous recycle operation of tundish under hot condition.

ノズル詰まり状況のオンライン検知やスラブ表面温度の連続計測などが実用化され、より安定したスラブ冷却を実現するに至っている。

### (c) 労働生産性の向上

#### (i) 鑄造中幅変更システム

連鑄の生産能力を拡大する上で連々鑄率の向上は大きな要素であり、これは単に生産能力の拡大だけでなくコストダウンや歩留り向上面からも重要である。しかし連鑄工程は、圧延工程の製品サイズに応じたスラブ幅を供給することが使命であり、これらのニーズに対して連鑄では、連々鑄を続けながら異なる幅のスラブの製造が可能な鑄造中幅変更システムが一般に採用されている。

#### (ii) 厚・幅可変鑄型

スラブの厚み変更については、従来より鑄型を交換することで対処してきた。しかし、鑄型交換を頻繁に行うことは生産性を著しく低下させるため、圧延スケジュールとアンマッチな鑄造スケジュールを採用せざるを得なかった。そこでこれらの問題を解決するために、2種類の厚み替えを可能とする厚・幅可変鑄型が実用化されている。広面銅板の両端部に突起部を設けることにより同一鑄型で厚み変更を可能とした鑄型であり、厚みと幅を短時間で変更できることにより圧延工程の要求サイズに完全にマッチしたスラブの供給が可能となった。また従来の鑄型交換におけるピーク作業が排除されたため、省力にも大きく貢献している。

### (d) 3K 作業の排除

これまで述べてきた種々の自動化・機械化技術は高度成長の中で製造業が追求してきた競争力の強化を目的としており、各社が実用化を競ってきたものである。しかし最近オペレータの作業環境の改善を目的に、自動化・機械化が取り上げられる例が増加している。その中の代表的な例として、取鍋の各種ホースの接続作業の自動化・機械化を目的とした取鍋のオートコネクタ装置、溶鋼の測温・サンプリング装置、浸漬ノズル着脱装置などが挙げられる。

### (2) 熱間タンディッシュ繰り返し操業技術

タンディッシュ熱間再使用を極限まで追求したプロセスとして、タンディッシュ熱間繰り返し使用プロセスが開発、実用化され、省エネ、省力、および耐火物コスト低減に大きな効果を発揮している。Fig. 3.33 に(株)神戸製鋼所・加古川

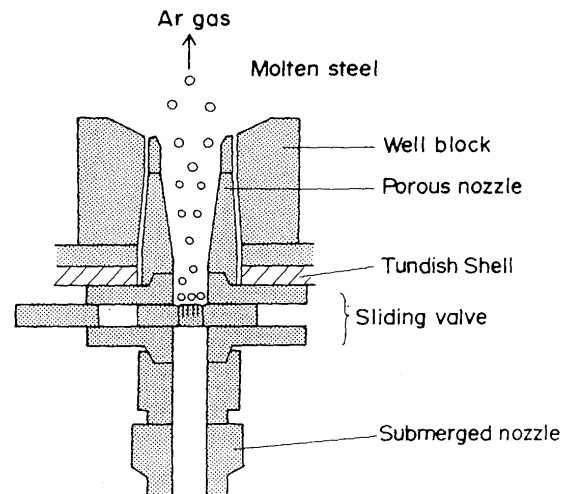


Fig. 3.34. Schematic diagram of molten steel holding technique in the tundish before casting.

製鉄所4号連鑄1ストランド設備における実施例を模式図で示している。本例では、密閉型タンディッシュを用いて鑄造終了後、タンディッシュを傾転して残鋼滓を専用の排滓口から排出した後でオンラインでスライディングノズルの整備のみを行い、タンディッシュをそのまま次の鑄造に使用するという熱間繰り返し使用プロセスを採用している。

これまでこうしたタンディッシュの使用方法はタンディッシュ内に残留した前キャストのスラグが溶鋼を汚染するという品質上の問題によって限界があったが、以下の諸対策の実施により本プロセスの完全実用化が可能になった。

- ① タンディッシュ内残鋼滓の効果的な排出を可能にした排滓設備、およびタンディッシュ形状の採用
- ② タンディッシュ内スラグの流動性を高めるフラックスの添加
- ③ 鑄造初期のタンディッシュ内での溶鋼湯溜による介在物の浮上促進 (Fig. 3.34 参照)
- ④ 高シール性密閉型タンディッシュの採用による再酸化防止と高蓄熱化

現在、本プロセスでは1台のタンディッシュを450チャージ以上にわたり熱間で繰り返し使用した後、オフラインでスラグラインおよび敷部の一部の耐火物を中間補修して再使用している。その結果、タンディッシュ耐火物原単位はオフラインで整備を行っている従来タイプの同社3号連鑄と比較して1/10以下に減少した。

さらに、1992年1月に稼働した加古川製鉄所4号連鑄2ストランドは、各種機械化・自動化をさらに推し進めることによりタンディッシュ整備まで含め4名/シフトの操業を可能としている。これら機械化設備の中でも特筆されるのがタンディッシュ用スライディングノズル耐火物一括交換装置である。当装置の採用は、スライディングノズル耐火物の事前高温加熱を可能ならしめ、タンディッシュ1台での熱間繰り返し使用における唯一の課題であった準備時間の延長に対

し、25分以下の準備時間が達成されている。

### 3.4.3 耐火物における最近の進歩

#### (1) 耐火物の施工・補修における機械化、自動化

最近の主な一貫製鉄所の製鋼工程（溶銑搬送から連铸まで）における耐火物原単位はおよそ10 kg/t前後であり、この10年間に30%程度の低減が図られている。また施工の省力、機械化を目的として、不定形耐火物の使用量が増加してきており、鉄鋼向け耐火物のおよそ50%が不定形耐火物で占められるようになってきている。中でもキャストブルの使用量が大きく増加しているが、これは低セメントキャストブルの開発に負うところが大きい。

Fig. 3.37 に主要一貫製鉄所の取鍋耐火物の原単位ならびに不定形耐火物の使用比率の推移を示す。ジルコン質キャストブルを用いた取鍋の流し込み施工は1980年頃にすでに実用化されていたが、取鍋における2次精錬の増加による操業条件の苛酷化などのために広く普及するに至らなかった。アルミナ・スピネル質キャストブルが開発されたことによって、取鍋の不定形化が急速に普及していった。最近では側壁のみならず敷部にも流し込み施工が行われており、不定形化

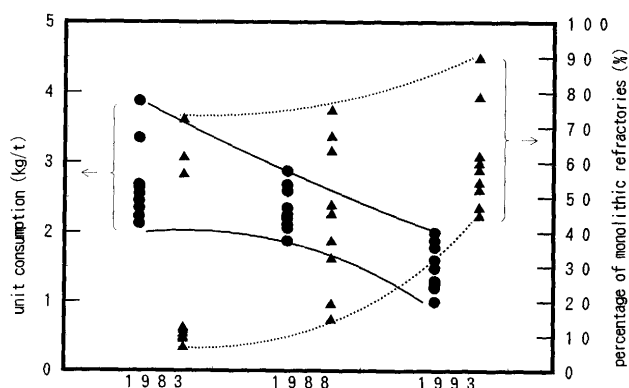


Fig. 3.37. Changes of refractories unit consumption (●) and percentage of monolithic refractories (▲) for steel ladles in the major steel works from 1983 to 1993.

比率は50%をこえるところまできている。一部の製鉄所ではスラグラインへの施工も実施しており不定形化比率が90%に達している。製鉄所によって若干の差があるが平均的には、流し込み施工はれんが施工に比べて、耐火物コストで20~30%、施工工数で30~40%の低減効果が得られている。今後、MgO-Cれんがに匹敵するキャストブル、あるいは継ぎ足し補修技術、などの開発が進めばいっそうの施工の省力とコスト低減に寄与するものと思われる。

タンディッシュ本体の各製鉄所平均の不定形化率はおおよそ60%前後となっている。永久張りれんがを除いて、内張りはすべてキャストブルの流し込み施工とし、不定形化率が90%に近い工場もある。

タンディッシュの断熱ボードあるいは鍍塗りコーティング材の施工は、自動吹き付け機の開発によって施工の自動化と同時に作業環境の改善も図られた。このほか、スライディングノズル交換作業の自動機器なども積極的に取り入れられてきている。

不定形耐火物による施工を、混銑車、転炉などにも拡大していく試みがなされているが、実用化レベルには至っておらず、まだ当分の間はれんが施工が主流でありつづけると思われる。転炉においては、寿命向上のために長尺の大型れんがが使用されており、これに伴ってバランスなどをういたれんが積み付け機が導入されてきている。また、れんがの搬入から積み付けまでの一連の作業を自動化した設備も開発されている。この設備においては、れんがは事前に積み付ける順番にパレットに組み込んでおく。炉内の築炉ロボットは積込み位置を自己演算する動作制御機能を有しており、築炉工が施工するのと同程度の築炉精度が可能と報告されている。

耐火物の補修で一般的に行われている方法は湿式の吹き付け施工法であり、自走式の吹き付け機あるいは自動吹き付け機が開発されている。熱間吹き付け補修の際には、添加水分量の微妙な調整が必要であるが、れんが表面温度を測定し最適な水分量を自動的に調整することによって補修作業を自動

Table 3.1. Summary of refractories diagnosis methods applied for each equipment.

Method	Equipment						
	B.F. trough	Torpedo	Charging ladle	BOF	Teeming ladle	RH, DH degasser	Tundish
Thermo-couple	○						
Fine multi-sensor	○			○			
Optical fiber	○						
Infrared thermometer		○					
Laser profile meter		○	○	○	○	○	
Micro-wave profile meter				○			
Electro-magnetic sensor					○		
ITV camera		○				○	
Observation by eye	○		○	○	○		○