
連続鋳造作業の自動化

Automatization of Operator Works in the Continuous Casting Process

田中 秀幸(Hideyuki Tanaka) 白石 伸司(Shinji Shiraishi) 岩永 侑輔(Yusuke Iwanaga) 日和佐 章一(Shoichi Hiwasa) 下戸 研一(Kenichi Orito) 市原 晃(Akira Ichihara)

要旨：

連続鋳造設備の操業において、高熱環境で熟練を要する重筋作業は未だに人手に頼っているのが現状である。当社の連鋳工場では、最近、次の4つの作業を自動化してきた。(1)取鍋用配線・配管着脱装置をスイングタワー上に設置して、自動的に取鍋に連結できるようにした。(2)タンディッシュイマージョンノズル交換装置をタンディッシュカーに取り付け、赤熱ノズルを遠隔操作で交換できるようにした。(3)異鋼種連々鋳時の連結金物のセットを遠隔で行えるようにした。(4)熱間スラブの成分分析用サンプルを機械切削でとれるようにした。これらの設備は、現在順調に稼働しており、省力や安全の向上、操業安定などに成果を上げている。

Synopsis：

In the operation of the continuous casting process, incidental works in the environment of high temperature and the treatment of heavy materials have to depend on skilled workers even now. In the continuous casting shop of Kawasaki steel, recently the following four techniques for incidental works have been developed to avoid such hard works: (1) Installation of a cable and pile autocoupler for the ladle on the swing tower; (2) Installation of an immersion nozzle changer for the tundish on the tundish car, where the hot nozzle is changed by using remote control; (3) Installation of setting equipment of the coolant in the mould to avoid the mixing of two different components of steel; (4) Installation of an automatic sampling machine for hot slab in the slab treatment yard, where a sample for component analysis can be taken automatically. All units of these above-mentioned equipment are employed in a good condition now, and have achieved successfully a decrease in the number of operators, safety and the high rate of operation.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Automatization of Operator Works in the Continuous Casting Process



田中 秀幸
Hideyuki Tanaka
水島製鉄所 設備部設備技術室 主査(課長)



白石 伸司
Shinji Shiraishi
水島製鉄所 設備部製鋼厚板整備課 掛長



岩永 侑輔
Yusuke Iwanaga
水島製鉄所 製鋼部第2製鋼課 課長



日和佐 章一
Shoichi Hiwasa
水島製鉄所 製鋼部第2製鋼課 掛長



下戸 研一
Kenichi Orito
水島製鉄所 設備部設備技術室 主査(課長)



市原 晃
Akira Ichihara
千葉製鉄所 保全部保全技術室 主査(課長)

1 緒 言

連続化比率の向上とともに、操業や铸片品質の安定化などを目的とした設備の増強や、合理化が進められてきた。铸片幅変更、注入量や速度制御、冷却水制御などの主要作業に関する自動化は現在のところほぼ完了している^{1,2)}。設備はますます高度化し、作業も複雑になりつつある。とくに铸込み床でのオペレータの作業は、短時間に種々の操作および作業が要求されるようになってきた。これらの作業は高熱、重筋作業でしかも熟練を要するような付帯作業が主体である。高温物への接近や溶鋼飛散雰囲気での作業であり、作業者の技量によるところが多く、作業精度がつねに保証されているとはかぎらない。自動化・機械化することにより、作業の確実性と安全性が向上する。

当社の連続鑄造工場では、設備合理化工事の一環として、取鍋のセットから精整までのうち、取鍋の配線・配管着脱、タンディッシュイマージョンノズル交換、異鋼種連々鑄時の連結金物投入および熱間スラブからのサンプル採取などの諸作業を自動化してきた。

要旨

連続鑄造設備の操業において、高熱環境で熟練を要する重筋作業は未だに人手に頼っているのが現状である。当社の連铸工場では、最近、次の4つの作業を自動化してきた。(1)取鍋用配線・配管着脱装置をスイングタワー上に設置して、自動的に取鍋に連結できるようにした。(2)タンディッシュイマージョンノズル交換装置をタンディッシュカーに取り付け、赤熱ノズルを遠隔操作で交換できるようにした。(3)異鋼種連々鑄時の連結金物のセットを遠隔で行えるようにした。(4)熱間スラブの成分分析用サンプルを機械切削でとれるようにした。

これらの設備は、現在順調に稼働しており、省力や安全の向上、操業安定などに成果を上げている。

Synopsis:

In the operation of the continuous casting process, incidental works in the environment of high temperature and in the treatment of heavy materials have to depend on skilled workers even now. In the continuous casting shop of Kawasaki Steel, recently the following four techniques for incidental works have been developed to avoid such hard works: (1) Installation of a cable and pipe autocoupler for the ladle on the swing tower; (2) Installation of an immersion nozzle changer for the tundish on the tundish car, where the hot nozzle is changed by using remote control; (3) Installation of setting equipment of the coolant in the mould to avoid the mixing of two different components of steel; (4) Installation of an automatic sampling machine for hot slab in the slab treatment yard, where a sample for component analysis can be taken automatically.

All units of these above-mentioned equipment are employed in a good condition now, and have achieved successfully a decrease in the number of operators, safety and the high rate of operation.

本報ではこれら自動化設備の内容および稼働状況について報告する。

2 連続鑄造設備と自動化

連铸操業における溶鋼の成分と温度のコントロールや、凝固コントロールなどはこれまで多くの努力により自動化がかなりのレベルまで行われるようになってきている^{1,2)}。しかし、铸込みの準備作業や段取りなどの付帯作業はいぜんとしてオペレータの人的作業にまかされているのが実情であり、省力化や作業環境の改善が待たれるところである。

連铸設備と自動化装置について Fig. 1 にその概要を示す。

連铸作業の自動化、省力化の条件としては、

* 昭和61年10月9日原稿受付

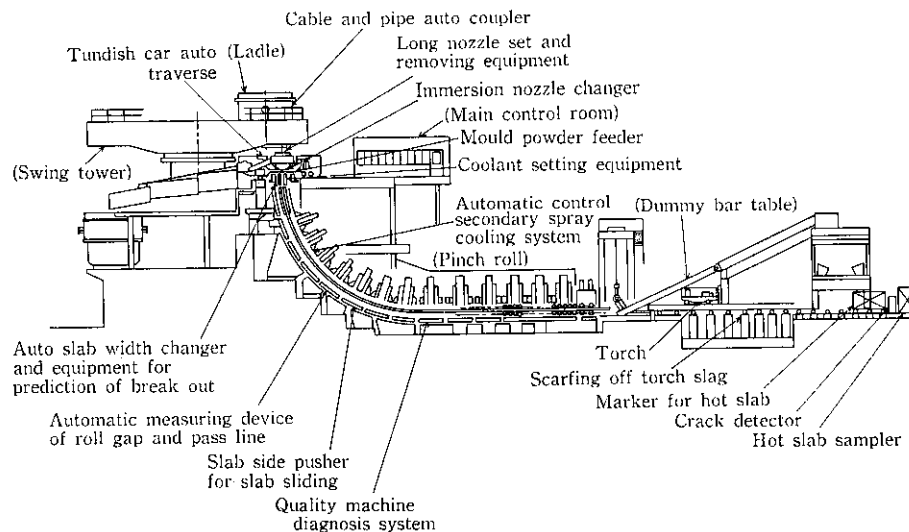


Fig. 1 Schematic diagram of automated equipment in continuous casting process

- (1) 重筋作業，不安全作業をなくす
- (2) ピーク作業を軽減する
- (3) 作業時間を短縮する
- (4) 機器の作動範囲とオペレータ作業とが干渉しないようにする
- (5) 設備の信頼性があり，保全性がよい。

などに注目しなければならない。さらに既設設備は，自動化をめざしたエンジニアリングとなっていないところが多いため，自動化設備の設置場所はせまく，しかも限定された場所となる。そのため，操作性がよくてコンパクトで据付け容易な構造とすることも必要である。

3 取鍋用配線および配管着脱装置

取鍋からの溶鋼流制御は，人手操作によるストッパー式からスライディングノズル式に変更され今日に至っている。スライディングノズル方式では，操作室からの遠隔操作が可能であるが，取鍋と鋳込床との間に電源やガス配管を接続する必要がある。従来はこの接続を手動で行っていたが，遠隔操作による自動着脱装置を開発して，1985年10月より操業に入った。

3.1 構成と特徴

この装置は，取鍋スライディングノズルの開閉制御を行うに必要な配線および配管を遠隔操作で接続，分離するものである。Fig. 2に示すように，本装置はスイングタワー上の着脱装置と取鍋側の継手から成っている。Table 1に仕様を示す。

この装置の特徴は，まず，微弱電流回路（レゾルバ，EMLI用）に低接触抵抗型ピンを用いて自動的に接続する機能をもたせたことである。ガイドによる芯合わせの後，強電流回路（電源，リミット用）の接続によって精密芯合わせを行い，最後に本回路の接続を行うようにした。また，スイングタワーと操作室間の指令，情報線用として有線FM電波を用いた多重電送方式を採用した。これにより，2個のスリプリングを介して17種の指令と情報の授受を可能としている。

3.2 稼動状況

稼動初期は，取鍋側継手の熱による変形や受鋼時あるいは鍋精練時の地金の付着などによってきちんと接続されない，あるいは，ス

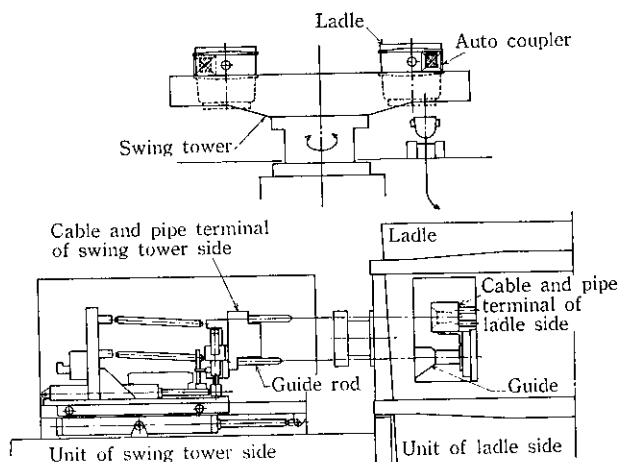


Fig. 2 Cable and pipe auto coupler for ladle

Table 1 Specifications of cable and pipe auto coupler for ladle

Item	Specification
Driving method	Pneumatic drive (Elec. control)
Centering method	Ram system
Adjustable range	
Vertical	50 mm
Horizontal	
front and rear	±150 mm
right and left	±200 mm
Incline angle	2°
Twist angle	±3°
Auto coupler	
Pipe*1	25A × 4
Cable*2	3 units

*1 Pipe for cooling gas of sliding nozzle unit and injection gas for nozzle.

*2 Cable for sliding nozzle resorva, EMLI detector for nozzle open and shut, and power for sliding nozzle.

イングタワー上への取鍋セットの不均一による接続不良などのトラブルが発生した。取鍋側への保護装置の設置や取鍋のねじれに対するスイングタワー側着脱装置の追従化などにより解決を図った。さらに取鍋段取り後の着脱テスト装置を設け、事前に問題点のチェックが行えるようにした。現在、順調に稼働しており、オペレータは取鍋にまったく近づくことなしに、しかも従来よりも確実にケーブルと配管の着脱が行えるようになった。

4 タンディッシュイマージョンノズル交換装置³⁾

イマージョンノズルはタンディッシュからモールドまでの溶鋼流シールに使われる。ほとんどの場合、赤熱した状態での取付けや交換が必要であり、しかも迅速に行わなければならない。鋳込み開始時には、タンディッシュのセット前に予熱したノズルを取り付ける。鋳込み途中ではこのノズルが溶損した場合、あるいは溶損が予測される場合に鋳込みをいったん中止して、タンディッシュを上昇させ、ノズルを交換する。これにより品質の確保と、連鋳機稼働の中断を防止するとともに連々鋳を可能にしている。

イマージョンノズル交換の手順を Fig. 3 に示す。従来はこの作業をすべて人手に頼っていた。すなわち、オペレータが予熱したイマージョンノズルをタンディッシュのスライディングゲート下の取付け位置まで運搬して迅速に取り替え、鋳込みを続行していた。この作業の場合、赤熱したイマージョンノズルを運搬するさいの接触による火傷、スライディングゲートからの漏鋼による火傷などの危険性があり、オペレータの技量によって安定操業と安全が保証されていたといえる。いったん事故が発生した場合、この作業を続行することは不可能であり、生産性が大幅に低下することは避けられない。

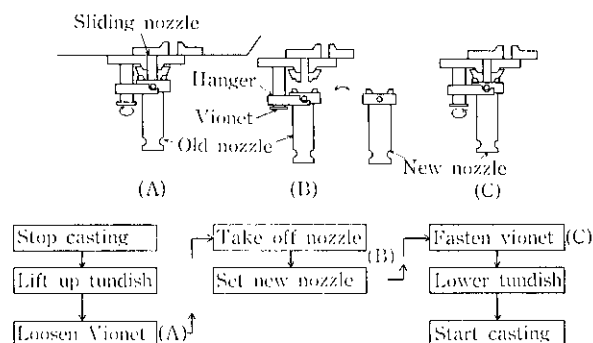


Fig. 3 Flow of tundish immersion nozzle changing

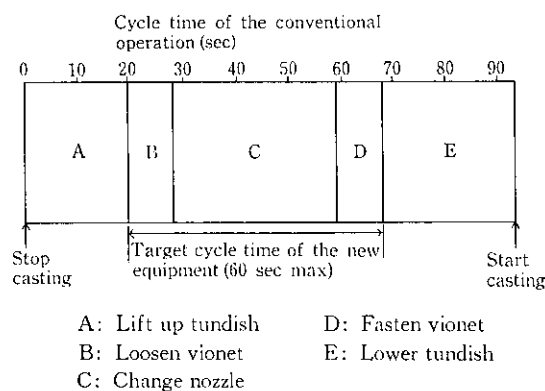


Fig. 4 Target cycle time for the nozzle changing

この作業の自動化に当たっては、実作業の分析を行い、Fig. 4 に示すように、タンディッシュがスライディングゲートを閉じて上昇し、次に下降してゲートを開にするまでの時間 90 秒を目標として自動化を図った。1984年に第1号機が稼働に入り、現在8基が操業に活用されている。

4.1 設備構成と仕様

本装置の必要機能は次の3点である。

- (1) タンディッシュ予熱場でのノズル装着および脱着
- (2) オンラインでのノズル交換
- (3) ノズルの予熱と自動ハンドリング

このうち、とくに正確かつ迅速さが要求されるのは(2)であり、しかも複雑な動きをしなければならない。

これらの機能を満足するため、本装置はノズルの交換部、ハンドリング部、予熱装置から成り立っている。装置の構成と動きを Fig. 5 に示す。

自動化設備の設置場所は既設設備の間に設けなければならないことからスペース的にも限定される。本装置は操作性、安全性から判断して既設タンディッシュカーに従動台車を連結し、搭載する方式とした。2ストランド連鋳機用としてのタンディッシュカーに装着した場合のレイアウトを Fig. 6 に示した。作業時間を短くするため2ハンド方式を採用している。

また安全対策として、本装置を反オペレータ側に集約し、旋回アーム作動範囲とオペレータとの干渉がないようにした。さらに「産業用ロボットに関する労働安全衛生規則」にもとづく標示類や完全二重切り機能の充実を図った。この装置の仕様を Table 2 に示す。

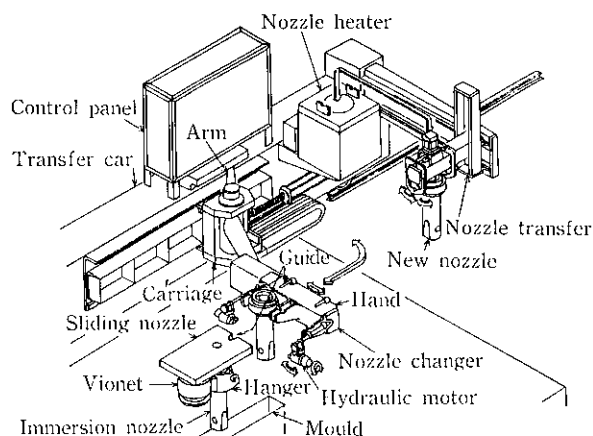


Fig. 5 Tundish immersion nozzle changing equipment

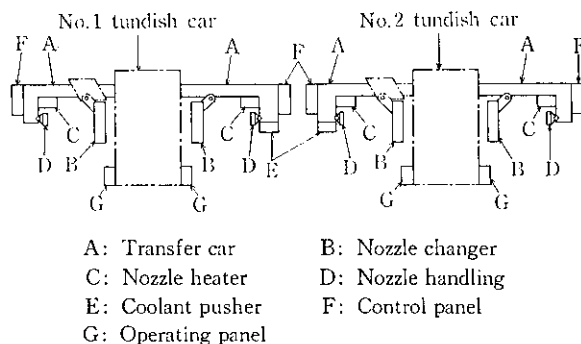


Fig. 6 Layout around the tundish car

Table 2 Specifications of tundish immersion nozzle changing equipment

Item	Specification
No. of equipment	1/mould
Driving method	Hydraulic and Pneumatic drive
Cycle time	60 sec ^{*1}
Adjustable range	
Width side of mould	±30 mm
Thickness side of mould	±70 mm
Vertical direction	-5 mm~+25 mm
Twist angle	±0.5°
Max. torque for vionet	60 kg·m
Nozzle heater	LPG burner with air blower, 60 min for heating from 20°C to 1100°C
Nozzle	
Max. weight	40 kg
Length	730 mm

^{*1} Excluding the tundish moving time

4.2 ノズル交換装置

この装置はタンディッシュ下面のスライディングゲートにセットされるイマージョンノズルを自動的に交換するもので、キャリッジ部、ハンド部およびスライディングゲートについてガイド用部品から構成されている。本装置により、イマージョンノズルをハンド部に懸架してスライディングゲートまで運搬し、旧ノズルの取外し、新ノズルの取付けを行う。

(1) キャリッジ部

キャリッジ付ガイドローラを備え、従動台車上に設けたレール上を油圧シリンダーにより往復運動をする。旋回可能なアームを搭載しており、このアームの旋回中心ボス部に設けたレバー先端のガイドローラが従動台車上面にあるガイド溝に嵌まりこみ、キャリッジの移動にともないアームを一定の軌跡で旋回させるようにしている。

(2) ハンド部

イマージョンノズルを懸架するハンドは、エアシリンダーによりアーム上を水平移動できるように取り付けられている。さらにハンドの両側には、スライディングノズルのパイオネットを締結するための油圧モータを設置している。エアシリンダーにより2つの油圧モータがリンク機構を介して連動して揺動する構造となっている。油圧モータの軸端にはパイオネットを回転させるためのプロペラが自動調芯できるようにつけられている。またハンドの上部に取り付けた2個の凸形ガイドはスライディングゲートに設けた凹形ガイドに嵌合し、パイオネットとの位置決めが行える。

(3) スライディングゲート部品

これは既設部品を改良した螺旋溝を有するハンガー支持ケースと螺旋溝に嵌まり込む凸形部を有する回転スリーブ、およびスリーブの回転を所定位置で停止させるストッパから成っている。回転スリーブは下端に2本の軸を設け、前述のプロペラが嵌まりこむようになっている。また回転スリーブの側面に設けたレバーを操作することにより手動でも回転させることができる。

4.3 ノズルハンドリング装置

イマージョンノズルの交換装置と、予熱箱との間の受け渡しに使うもので、旋回ブラケット、キャリッジ、クランプおよび煙突から成っている。旋回ブラケットと煙突は、従動台車に設けたブラケットに支持され、リンク機構で連動して旋回することができる。旋回ブラケットには開閉作動するフックを装備したキャリッジが昇降可能に取り付いており、フックに懸架されたイマージョンノズルを昇降および旋回運動させて、所定位置で受け渡しができるようにしている。おのおのの作動はエアシリンダーにて行っている。

4.4 ノズル予熱装置

イマージョンノズルを予熱するためのもので、送風機、電磁弁、自動着火装置を有するバーナおよび予熱箱で構成され、従動台車側面に設置されている。自動着火用パイロットバーナの点火は、出力7000Vの点火トランスのスパークで行う。ガスバーナにはLPGを使用し、燃焼熱量は10⁵ kcal/hでノズル温度は最高1200°Cまで達する。

4.5 稼動状況

稼動後の作業所要時間の測定結果をFig. 7に示す。Fig. 4の従来の手動式に比較してほぼ同一の時間でノズル交換が行えることを示している。また作業員も1モールド当り2名で行っていたのが1名で可能となり、ピーク時の省力が可能となった。

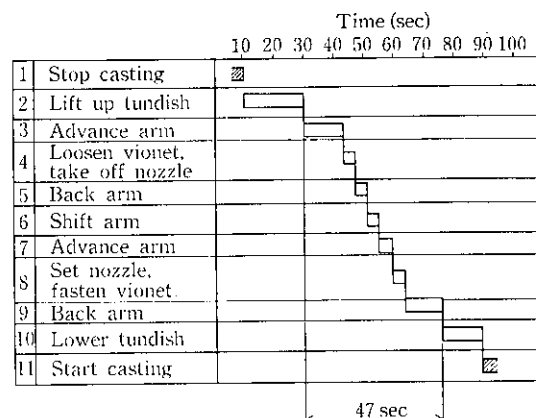


Fig. 7 Cycle time for the tundish immersion nozzle changing

設備的には、トラブルもなく順調に稼働している。安全面では、作動範囲に安全柵を設置する程度で十分であった。

この装置の利用によって安全性の向上や要員減になったこと以外に、ノズルハンドリングの安定化、ノズル締付力の一定化によりトラブルが減少し、生産性向上につながっている。

5 異鋼種連結金物投入装置³⁾

異鋼種連々鋳時の鋳片内溶鋼成分の混合を最小限にするため、タンディッシュ交換時にFig. 8に示す手順で連結金物を投入する。この金物は、注入終了後、旧タンディッシュが上昇してモールドを離れ、新タンディッシュが近づいてくる間の短時間に、すなわち鋳片トップ部のシェルの倒れこみが発生する以前に投入され、所定の位置まで押込まなければならない。従来は図のように、2~3名がモールドカバーに乗って作業を行っていた。作業中はモールド内へ

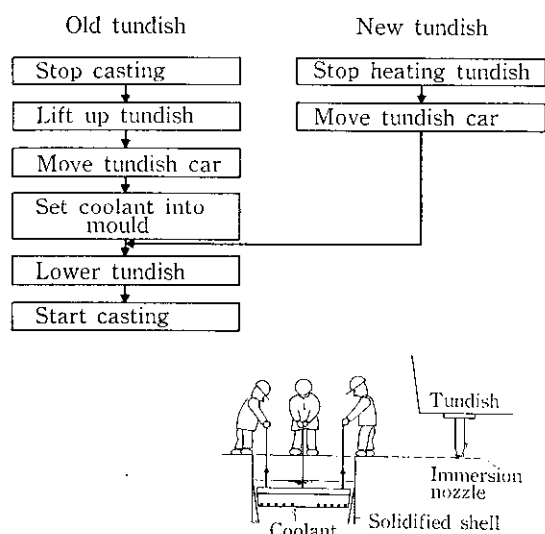


Fig. 8 Flow of the coolant setting

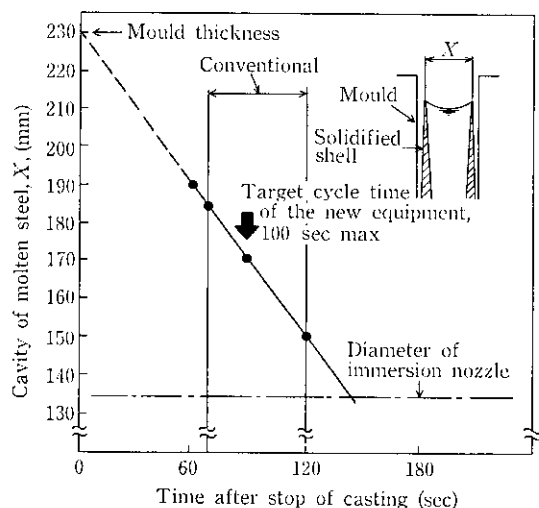


Fig. 9 Change in cavity of molten steel after stop of casting

の落下、突沸によるスプラッシュ吹上げなどの危険があり、安全性は作業者の注意にまかされていた。この作業もまたいったん事故が発生すれば、作業を中断せざるをえなく、生産性の低下はきわめて大きい。また入手に頼る場合、大断面スラブ用の連結金物は重くて(max 100 kg) ハンドリングできず、連々鋳が行えなかった。

上記作業を機械化するに当たり、旧タンディッシュが上昇、移動して新タンディッシュが移動してくるまでの時間が70~90秒であることから、最大100秒を目標に計画を進めた。この値は、またFig. 9に示すように、モールド内銑片トップ部の溶融部の厚みが、タンディッシュからの溶鋼供給停止後の時間に比例して小さくなることおよび連結金物の厚みやイマージョンノズルの寸法から、最大100秒以内にすべきであるといえる。

5.1 設備構成と仕様

本装置の必要機能は

- (1) 連結金物の保持と受け渡し
- (2) 連結金物の押し込み

の2点である。複雑な動作はないが、タンディッシュ交換中のモールド内シエルの倒れ込みに順応した調芯性が要求される。この装置はFig. 10に示すように、連結金物投入本体部およびシフト台車と

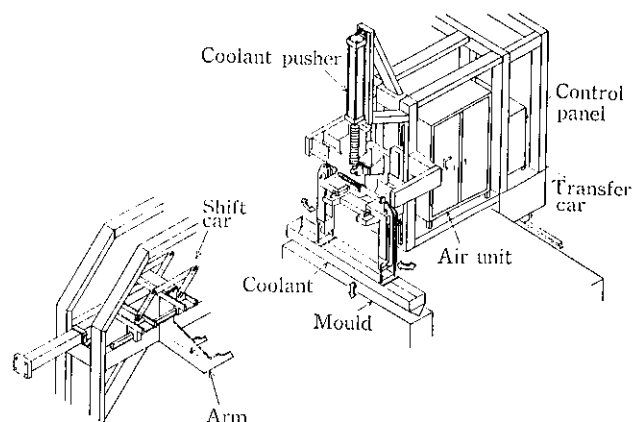


Fig. 10 Coolant setting equipment

Table 3 Specifications of coolant setting equipment

Item	Specification
No. of equipment	1/tundish car
Driving method	Pneumatic drive
Cycle time	90 sec*1
Adjustable range	
Thickness side of mould	±50 mm
Stroke of vertical direction	0~1 000 mm
Pusher	
Pushing force	50 kgf~300 kgf
Holding time	0~180 sec

*1 Including the traverse time of tundish car

から成っている。

連結金物投入作業が、タンディッシュ交換中に行われることや、連鋳機が2ストランドから成っていることより、Fig. 6に示すように、2台のタンディッシュカーのそれぞれ内側に設けた従動台車に搭載し、その芯はモールド中心に合わせて配置した。時間短縮のため2台同時投入が可能である。装置の仕様をTable 3に示す。

5.2 投入装置本体

この装置は従動台車に垂直に取り付けた2本のガイドレールに沿って昇降する上部キャリッジおよび下部キャリッジから成っている。下部キャリッジは上部キャリッジ内をエアシリンダーにより昇降可能になっている。下部キャリッジには、エアシリンダーにより開閉するフックのついたクランプ台を直線移動できるように乗せ、キャリッジ下降時に調芯移動できるようになっている。また従動台車に水平に取り付けたシフトフレーム上には、位置決め台車およびシフト台車を搭載している。位置決め台車はクランプ台をモールド芯にあらかじめセットするためのもので、手動ハンドルを回すことにより調整できる。

5.3 シフト台車

シフト台車は、連結金物を懸架するアームを有し、従動台車に水平に取り付けたシフトフレーム上をエアシリンダー駆動により水平移動する。リンク機構により投入装置本体のクランプに懸架する連結金物の受取り、受渡しを行うことができる。なお、鋳込み床での連結金物の運搬は、足踏み式昇降装置のついた手押し車で所定の位

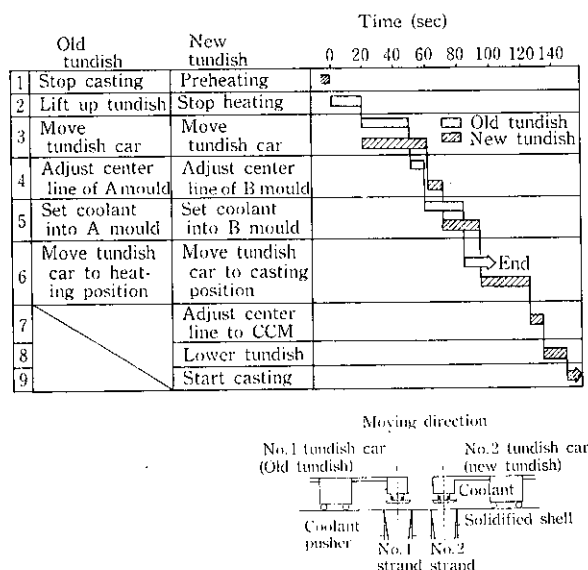


Fig. 11 Cycle time of coolant setting equipment

置まで移動させ、前述のリンク機構を用いてアームに懸架する。

5.4 稼動状況

1984年10月から稼動に入ったが、ほとんどトラブルなしで順調に作動し、操業上多くのメリットを生じている。

- (1) 作動時間は Fig. 11 に示すように目標の100秒に対し、実績は93秒であった。人手による場合、この値は71~130秒とばらついていたが、自動化によりほぼ一定である。また100秒をこえるとブレイクアウトや溶鋼漏れなどのトラブルが発生していたのがまったくゼロになっている。時間一定化の他に、連結金物セットの完全水平化や位置の固定化などによる好影響もあると考えられる。
- (2) 1モールド当り2~3名で連結金物投入を行っていた作業が1名で行えるようになった。しかも遠隔操作可能なためまったく安全である。
- (3) 大断面スラブ用の連結金物の投入が可能となり、あらゆる形状のスラブの異鋼種連続鋳が行えるようになって、生産性の向上に寄与している。さらに、大断面スラブのトップ処理金物の投入も可能となり、不純物混入も防げるようになった。

6 熱間スラブ迅速サンプリング装置

スラブの最ボトム部、最トップ部および異鋼種連結部のサンプルをとり、その分析結果を工程に迅速に反映させることは非常に重要である。これまでのサンプリング手法はオフラインでの人手によるドリルサンプリングあるいはガス切断などであった。このやり方は多くの要員と長時間を要するとともに、スラブを冷却する必要があることから熱ロスも大であった。この問題を解決するには分析結果を早く得ることが重要であることから、従来の湿式分析を固形サンプルを用いた機器分析（乾式分析）へ変更することとした。固形サンプルを採取する装置として、Fig. 12に示すような機械切削式サンプリング装置を開発し、1986年10月に、スラブ精整ヤードに設置した。

6.1 構成と特徴

Fig. 12に本装置の概要を示すように、スラブをサンプリング専用のテーブルローラ上で切削し、サンプルを採取する。サンプルの

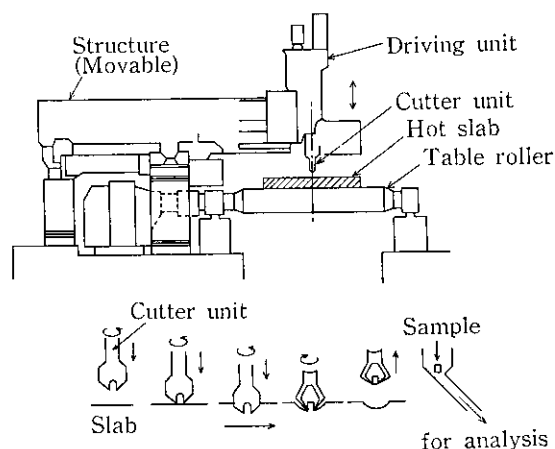


Fig. 12 Hot slab sampler

採取位置はスラブのボトム側上面およびトップ側端面である。スラブの搬出入はテーブルローラによる方式と図の右方向から横送りする方式とが可能であり、サンプリング時はスラブが動かないようクランプ装置でロール中央部に固定できるようになっている。

切削により得られたサンプルは気送管により分析センターへ送られる。サンプルを気送管に投入するのは人手によるが、サンプリング装置の運転はオペレータによる遠隔操作で行う。

この装置により、常温から800°Cまでのスラブからのサンプリングを迅速にかつ確実にとることができる。

6.2 稼動状況

スラブの定位置停止から、刃物の位置合せをしてサンプル1個をとり、スラブが移動しはじめるまでのボトム側上面の実績時間をTable 4に示す。スラブの温度と材質によって切削モードを変化させているため、ばらつきが見られるが、3.5分から5分程度でサンプル採取が行える。

サンプリング後のスラブ表面の凹部は半球状であり、そのまま圧延しても何ら支障はでない。

設備的には、防熱対策などの改善を要したのみで順調に稼働している。また、分析方式を変えたことにより、結果判明までの時間が従来の1日前後から30分以内へと短縮され、リードタイムの短縮と、ホットチャージの拡大に大きな効果を得ている。

Table 4 Sampling time*1 of hot slab sampler (sec)

Slab material	Temperature of slab (°C)			
	20°C	300°C	500°C	700°C
Low carbon steel	215	243	282	251
Middle carbon steel	215	243	282	251
High carbon steel	220	243	311	271

*1 Time periods between the stop of slab movement to take one sample and the restart of it.

7 結 言

連鋳操業において、高熱環境で人手に頼っている作業の自動化を目的として次の装置を開発し、工程設備化した。

- (1) 取鍋用配線・配管着脱装置をシングタワー上に設置して、鋳造前後に遠隔操作で配線および配管を連結、取外しできるようにした。オペレータはまったく取鍋に近づく必要がなくなっ

た。

- (2) タンディッシュイマージョンノズル交換装置をタンディッシュカーに設置した。ノズル予熱装置も併設し、遠隔操作で赤熱ノズルが交換できるようにした。オペレータがタンディッシュの下に入らなくて済むようになり、まったく安全になった。
- (3) 異鋼種連々鑄時の連結金物投入装置をタンディッシュカーに設置した。オペレータがモールドカバー上に立って、重い連結金物のセットをする必要がなくなった。連結金物のセットも確実になった。
- (4) 熱間スラブ迅速サンプリング装置をスラブ精整ヤードに設置した。サンプルの採取は機械切削式を採用し、800℃までのスラブからサンプリングできるようになって、ホットチャージ拡大が図られた。

上記の装置の機械化および自動化に当たって、取鍋用配線・配管着脱装置および熱間迅速サンプリング装置は日本エアブレーキ株式会社と、タンディッシュイマージョンノズル交換装置と異鋼種連結金物投入装置は川崎重工業株式会社と共同開発を行って設備化を進めてきたものである。

ここに関係各位のご協力に感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 飯田義治, 前田端夫, 江本寛治, 山崎須次郎, 下戸研一, 平田賢二, 上田正美, 高橋 暁: 川崎製鉄技報, 12 (1980) 3, 110
- 2) 坪井邦夫, 佐野和夫, 堀内好造, 小森重喜, 坪井 勇, 和田 勉: 日本鋼管技報, 93 (1982), 93
- 3) 白石伸司, 日和佐章一, 岩永信輔, 金子英夫, 井上英二, 村田 明: 鉄と鋼, 71 (1985) 4, S154