

(解説)

## 連続鋳造設備の新技術紹介

### New Technologies for Continuous Casting Machine



西岡智則\*<sup>1</sup>  
Tomonori NISHIOKA



浅野文樹\*<sup>1</sup>  
Fumiki ASANO



川口浩志\*<sup>2</sup>  
Hiroshi KAWAGUCHI

In pursuit of high productivity, energy saving, steel-type versatility and more stringent quality, each engineering company of steel making equipment has made a variety of unique development and improvement of its continuous casting machine since its full-scale practical applications in the 1960s. Kobe Steel has newly developed an optimal support mechanism for large tundish and a highly precise weighing mechanism for tundish cars, which are deeply related to safety and workability. In addition, the company has newly developed a structure, capable of maintaining high rigidity and movements without backlash for an extended period of time, for the mold oscillation apparatus and support roll stand, which can significantly affect the quality of cast blooms. This paper introduces these technologies, which have been employed in the continuous bloom casting machine for special steel, the equipment delivered to Kobe Steel's Kakogawa Works in January 2017.

まえがき = 連続鋳造設備は、「溶けた鋼を固体の鋼に連続的に冷やし固める設備」であり、各装置は高温環境下で安定して性能を発揮しなければならない。

最上流側に位置する鋳込設備では、レードル・タンディッシュ・タンディッシュカーの大型装置が三次元的に交錯しながら旋回・昇降・走行動作を行う。当社が近年納入した当社加古川製鉄所向け第6号連続鋳造設備の鋳込設備では240トンもの溶鋼が入った取鍋(レードル)をハンドリングしている。溶鋼をハンドリングする鋳込設備では設備トラブルが重大事故につながる危険性がある。そのため、各装置は作業性に優れ、かつ信頼性の高いものでなければならない。

鋳床設備の下流側に位置する本体設備では、鋳型内で初期凝固殻を形成したあと二次冷却帯の噴霧冷却によって凝固殻を成長させ、半製品である鋳片を連続的に製造する。表面や内部に有害な割れのない高品質の鋳片を製造するためには、凝固中の鋳片に許容値を超えるひずみを与えてはならない。鋳型・鋳型振動装置・ロールスタンドは、高温かつ高負荷状態であっても、高い剛性とがたを排除した動きによって鋳片を軌道に沿って正確に引き抜ける構造とすることが要求される。

当社は、設備の信頼性のみならず鋳片品質においても客先の要求に応えるべく、さまざまな開発と改良を繰り返して行ってきた。本稿では、2017年1月に当社加古川製鉄所に納入した特殊鋼用ブルーム連続鋳造設備に採用した技術を紹介する。

#### 1. タンディッシュカー

##### 1.1 タンディッシュカーの役割

タンディッシュカー(以下、TDカーという)とは、

取鍋から注湯される溶鋼を複数のストランドに振り分ける役割をもつタンディッシュ(以下、TDという)を運搬する自走式の台車である。図1<sup>1)</sup>にTDを搭載した従来のTDカーを示す。TDは待機位置で加熱装置により内部を高熱状態に加熱され、鋳込み開始直前にTDカーによって鋳込み位置に運搬される。

TDカーには、走行機能に加えて、TDの底に配した浸漬ノズルを鋳型内に挿入するための昇降機能、浸漬ノズルの位置を調整するためのセンタリング機能、および溶鋼レベルを一定に保ち不純物を浮上分離するための溶鋼レベル自動制御機能を備えている。溶鋼レベル自動制御の重要機能の一つである計重機能には、時々刻々と変動するTD内の溶鋼重量を高精度で把握することが求められる。

またTDカーは通常、ストランド数が多くなるほど大

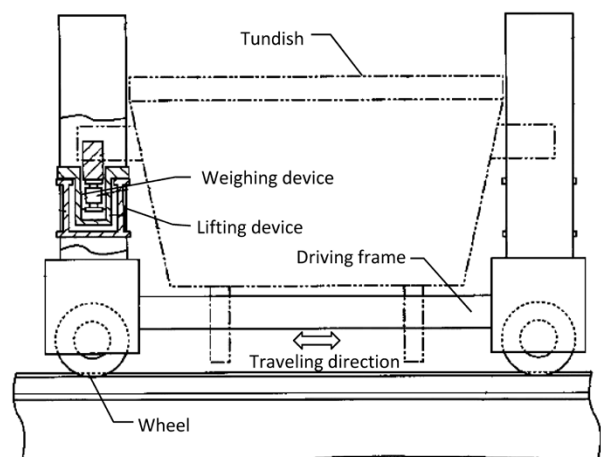


図1 タンディッシュを搭載した従来のタンディッシュカー<sup>1)</sup>  
Fig. 1 Conventional tundish car mounting tundish<sup>1)</sup>

\*<sup>1</sup> 機械事業部門 産業機事業部 重機械部 \*<sup>2</sup> 神鋼テクノ株式会社 産機本部

型化し隣接装置との干渉関係が厳しくなる。そのため構造的に無駄を排除した機構としなければならない。

## 1.2 従来技術の問題点

当社が近年納入した多ストランド用ブルーム連続鋳造設備は、TDは大型になり総重量は200トンを超える。TDの上方には取鍋が、側方にはレードルターレットが、そして下方には鋳型が隣接している。この限られたスペースの中で「走行・昇降・センタリング・計重」機能をまっとうしなければならない。さらに、オペレータは取鍋・TD・鋳型の周辺作業を安全に行うことができない。

昇降機能と計重機能を備えた当社の従来タイプのTDカーでは、TDの両端トラニオン部を支持する積載方法が一般的であった。しかしながら、当社の従来構造を採用すると、今回のような多ストランド用の大型長尺TDでは自重によってTD自体に大きな曲げ応力が発生する。このためTDの剛性を高めなければならず、限られたスペースで構成することが困難であることが判明した。

## 1.3 新技術

### 1.3.1 新TDカーの主要フレーム構成

新TDカーは台車フレーム、車輪、昇降フレーム、サドルフレーム、昇降装置、計重装置、サドルフレーム駆動装置、および走行駆動装置で構成される。図2にTDが搭載された新TDカーを示す。図右側が昇降装置を上昇させた状態、左側が下降させた状態である。鋳造作業中は後者の状態である。

新TDカーでは台車を矩形フレーム構造とし、その四隅の下部に車輪を、上部に油圧シリンダ式昇降装置を配備している。さらに、それぞれの油圧シリンダのロッド頂部に矩形昇降フレームを搭載している。ロッド頂部とフレームの四隅とは一致させ、それらの間にはロードセルを配備している。矩形昇降フレームの2辺を囲うようにサドルフレームを配備し、昇降フレームの四隅に設けた受けローラにサドルフレームの両端部を載置している。TDはサドルフレームに設けた4箇所の受部に載置される。新TDカーではサドルフレーム駆動装置にも油圧シリンダを使用した。

油圧シリンダのトラニオン部を昇降フレームに、クレビス部をサドルフレームに接続し、サドルフレームを昇

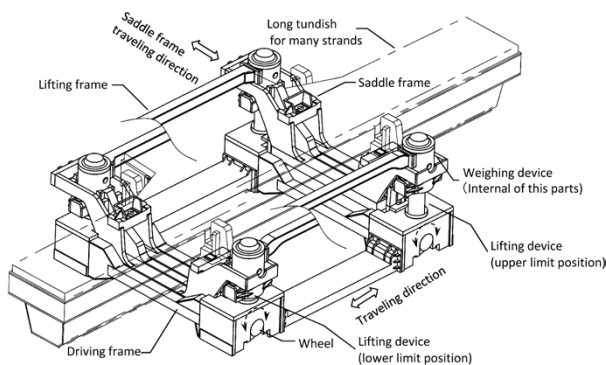


図2 タンディッシュ搭載状態の新タンディッシュカー (右: 上昇時、左: 下降時)

Fig. 2 New tundish car mounting tundish (right: lifting state, left: lowering state)

降フレームに対して水平方向に移動できるようにしている。すなわち、TDカー走行方向に直交する方向にTDを移動でき、浸漬ノズルが鋳型内の中央になるよう調整できるようにしている。

また、TDと鋳型との間を大きくするとTDから吐出する溶鋼の落下エネルギーが大きくなり、浸漬ノズルも長尺になるので好ましくない。そのため、TD底部と鋳型天端との空間は狭小である。この狭小空間に、台車フレーム、昇降フレーム、およびサドルフレームの中途部を横断させなければならないが、図2に示す構造とすることでそれを可能にしている。

### 1.3.2 新TDの支持機構

新TDカーでは、TDの変形を最小に抑えることができる箇所を支持し、両端部をオーバハング状態で載置することでTD自体に発生する曲げ応力を低く抑えた。さらに、台車フレームに曲げ荷重が作用しないよう、車輪、台車フレーム、昇降用油圧シリンダ、ロードセル、および昇降フレーム載置部を鉛直線上に並べる構造を考案した。

これらの工夫を盛り込むことにより、大型長尺TDに最適な支持機構を実現した。

### 1.3.3 新TDの重量計測機構

ロードセルによる重量計測精度を高めるためには、積載物の自重をロードセルによって鉛直方向だけで支持する理想的な機構を実現しなければならない。計測精度を高めるために、当社はダブルコンベックスタイプのロードセルを採用している。傾いた状態にあるダブルコンベックスタイプのロードセルに鉛直荷重が作用した場合、起き上がり小法師(こぼし)のように、ロードセル自身が鉛直方向に転動する性質がある(図3)。ロードセルの傾きが大きいほど鉛直(直立)方向への復元力が大きくなるという特性があり、ロードセル上に載置された昇降フレームはゆりかご状態となる。TDカーの走行加減速時に昇降フレームに対して水平方向に力が発生してロードセルが傾斜するが、定速走行時や非走行時にはロードセルが直立状態に復元する。この性質を利用し、昇降フレームを拘束する昇降ガイド類を不要にすることによ

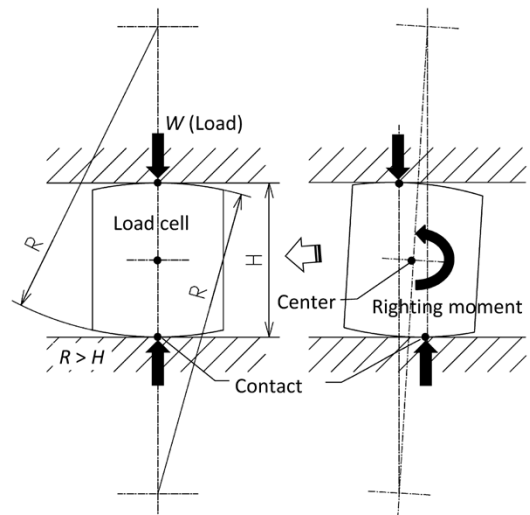


図3 ロードセルの復元原理

Fig. 3 Restoration principle of load cell

って計測精度を悪化させる拘束物を排除した。その結果、極めて良好な計測精度を確保した。

## 2. 鋳型振動装置

### 2.1 鋳型および鋳型振動装置の役割

一次冷却装置である鋳型は、背面水冷された銅板に接した溶鋼を冷却し、均一に凝固させることによって健全で均質な初期凝固殻を造るための設備である。また鋳型振動装置は、鋳型と凝固殻表面との固着を防止する目的で鋳型に対して鋳片の引抜方向に振動を与える設備である。このときの振動は主に正弦波が用いられる。加振中の鋳型に横振れが生じると湯面変動が大きくなり、鋳型振動のサイクルごとに形成されるメナスカス部における初期凝固殻の形成に悪影響を与える。すなわち、オシレーションマークに乱れが生じ、表面欠陥の原因となる。鋳片の表面品質を確保するうえでは、鋳型振動装置の横振れを抑えることが非常に重要な要素となる。

### 2.2 従来技術の問題点

鋳型振動装置の現在主流の方式例を図4に示す。平行四辺形状に構成したリンクで振動テーブルを支持し、駆動レバー端部に上下運動を与えることによって設備のプロフィールに沿った疑似円弧運動を作り出す機構である。上下運動の駆動源には、油圧シリンダや偏心軸を用いた電動機が用いられる。この方式は、鋳型から離れた良好な環境に加振源を配置できることから、熱影響の回避や良好なメンテナンス性、さらには振幅変更などの対応が容易になるという利点がある。いっぽう、リンクを接続するジョイント部を複数有し、いずれのジョイント部も正逆の回転を繰り返す機構となっている。リンク長に対して振動振幅が非常に小さいため、各ジョイント部に内装されたベアリングの転動角度は微小で、ベアリング内のころの転動角度も極めて小さい。このため、ころ転動面で潤滑油膜が形成されず、ベアリングが早期摩耗し良好な振動状態を長期間維持できないという欠点がある。さらに、各ジョイント部に存在する空隙は加振中に横振れを引き起こす原因ともなる。

## 2.3 新技術

### 2.3.1 新鋳型振動装置の構成

図5<sup>2)</sup>に示す当社の新鋳型振動装置<sup>3)</sup>では、固定軸

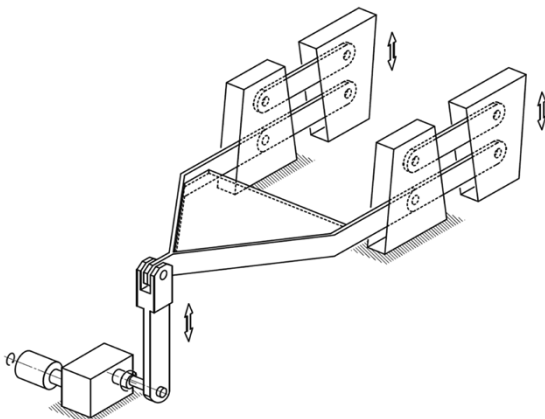


図4 レバー式鋳型振動装置  
Fig. 4 Lever-type mould oscillation equipment

受箱で支持された一対の偏心軸を矩形枠状の固定側テーブルの上面に配備し、それぞれの偏心軸は減速機を介して共通の電動機によって駆動される。それぞれの偏心軸にはベアリングを介して2個の可動軸受箱が取り付けられている。

可動軸受箱は、縦向きに配備した薄板状のコネクティングプレートを通じて矩形枠状の振動テーブルの四隅を下方から支持する。スプリングプレートの両端部は固定側テーブルによって支持され、スプリングプレートの中央部は振動テーブルに接続される。

### 2.3.2 横振れを排除した振動機構

当社の新鋳型振動装置は、以下に述べる振動機構で横振れを排除することを実現している。すなわち、スプリングプレートが鉛直方向に曲り変形することによって振動テーブルの上下方向変位を許容している。いっぽうで、スプリングプレートは振動テーブルの横方向変位を規制している。

偏心軸の回転に伴って可動軸受箱は、偏心軸の回転中心軸を中心に偏心量を半径とする周回運動を起こす。可動軸受箱の周回運動に対し、薄板状のコネクティングプレートは周回運動の上下方向変位のみを振動テーブルに伝達する。周回運動の水平方向変位はコネクティングプレートが湾曲することによって吸収する。その動作を図6に示す。

コネクティングプレートおよびスプリングプレートは、鋳型振動の1サイクルごとに両振り曲げ変形を生じるが、変形によって生じる応力を疲労限度以下としてい

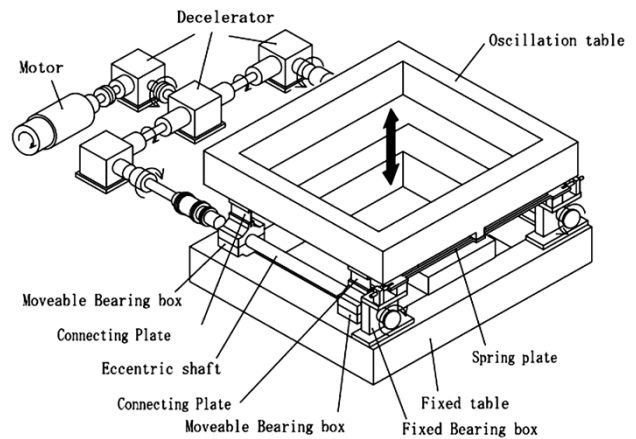


図5 新鋳型振動装置  
Fig. 5 New mould oscillation equipment

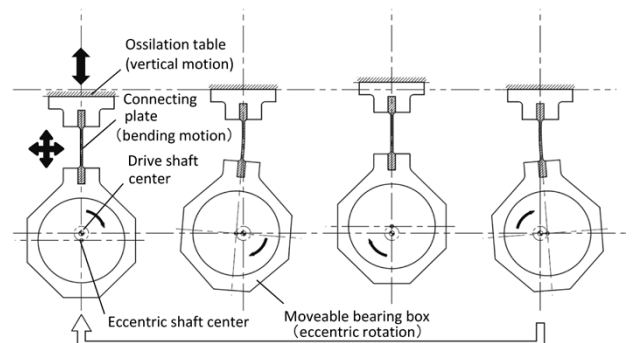


図6 コネクティングプレート動作図  
Fig. 6 Motion of connecting plate

る。鋳型自重、振動テーブル自重、鋳型と鋳片との間に生じる摩擦力、および加振時の加速度がコネクティングプレートに対する圧縮力として作用する。コネクティングプレートの厚さを大きくすれば座屈に対する強度は増す反面、曲げ応力は大きくなる。逆に、薄くすると曲げ応力は軽減できるが座屈に対する強度は低下する。当社のコネクティングプレートでは、二律背反の関係にある曲げ応力と耐座屈強度を両立させている。

### 2.3.3 高精度振動性能の維持

当社の考案した前述の振動機構によって、従来技術の問題点であった正逆回転する支点を全廃できた。これにより、高精度の振動を長期間維持することができるようになった。振動中の横振れはスプリングプレートによって空隙なしで水平方向を規制しているため、横振れを生じることがない。また、全てのベアリングは360°一方向回転のため微少な正逆回転の繰り返しに伴う問題を生じない。ベアリング部にわずかな空隙があっても、鋳型自重で空隙が下方に押圧された状態を維持するため、振動波形を乱すことがない。2本の偏心軸の偏心位相に差異が生じると振動テーブルが首振り運動をするが、2本の偏心軸は1台の電動機から分岐された減速機により駆動されるので偏心位相に差異が生じることはない。また、2本の偏心軸は互いに反対の向きに回転させており、加振時に発生する水平力を相互に打消すことができる。さらに、両振り曲げ変形により発生する応力を疲労限度以下にしているため、コネクティングプレートは長期耐久性が確保されている。固定側テーブルは専用架台に着脱自在に載置される構造のため、鋳型振動装置をユニット一体で搬出してオフラインでの整備が可能で、オンラインでの整備が不要である。減速機と偏心軸とを駆動シャフトで連結することで、鋳型から離れた良好な環境に加振源を配置できる。

以上のように、性能の長期維持の達成も含めた各種の工夫によって、図7に示すように加振時の横振れ量が0.05 mm以下であることが確認できた。

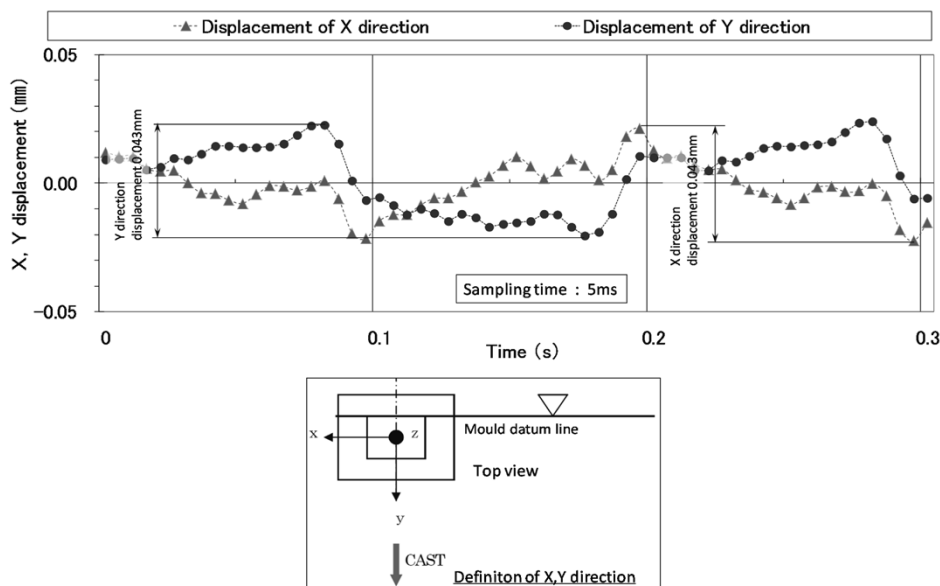


図7 新鋳型振動装置 振動テスト時の横振れ  
Fig. 7 Oscillation test results (X,Y displacement) of new mould oscillation equipment

## 3. サポートロールスタンド

### 3.1 サポートロールスタンドの役割

サポートロールスタンドとは、内部が未凝固状態の鋳片を、所定のプロフィールに配置されたロールによって案内するためのものである。鋳片は二次冷却帯の噴霧冷却水により凝固が促進されて完全凝固に至り、鋳片の品質が決定される。鋳片内部に存在する溶鋼プールの静圧力で凝固殻に生じるバルジングの抑制や鋳片の熱収縮に見合ったロール間隔の絞り込み、曲げ部や曲げ戻しによるひずみの軽減など、サポートロールスタンドの役割は大きい。そのため、サポートロールスタンドには熱影響による変形、鋳片から受ける力に耐える高い剛性が求められる。

### 3.2 従来技術の問題点

従来のサポートロールスタンド（以下、旧スタンドという）は図8に示すように、下フレーム、下ロール、上フレーム、上ロール、および下フレームと上フレームとを接続する繋ぎ（つなぎ）部材で構成される。下フレームと上フレームのそれぞれに、複数のロールが軸受を介して所定の間隔で取り付けられ、下ロールと上ロールとを対峙（たいじ）するように繋ぎ部材で上下フレームを接続している。

鋳造中は、下ロールと上ロールとで鋳片を挟持した状態になり、溶鋼静圧力や矯正反力により繋ぎ部材を伸長させようとする力が作用する。さらに、下フレームと上フレームを曲げようとする力が作用する。また、鋳造時の雰囲気温度の上昇や鋳片からの輻射熱によって、サポートロールスタンドの各部材が複雑に熱変形する。このため、各ロールは所定のプロフィールから変位してアライメントの不整を生じる。

アライメントの不整は鋳片内部割れの原因になる。これを解消するためには構成部材（上フレーム、下フレーム、繋ぎ部材）の高剛性化が考えられるが、スタンドの重量やコストの面から限界がある。いっぽう、構成部材

の温度変化によって生じるロールアライメントの変動は、高剛性化によっても回避不可能である。このため、旧スタンドの構造ではロールアライメント変動を解消することは困難であった。

### 3.3 新技術

#### 3.3.1 新サポートロールスタンドの構成

新サポートロールスタンド<sup>4)</sup>では、下ロールを支持する下軸受箱と上ロールを支持する上軸受箱とをロール一对ごとに締結して、旧スタンドでは必須であった上フレームを廃止した。図9<sup>5)</sup>に新サポートロールスタンドを示す。アライメント調整用のシムを介して下軸受箱の下面を下フレームにボルト締結している。さらにその下軸受箱にはロール面間寸法調整用のシムを介して上軸受箱を積層し、両者をボルトで結合している。

#### 3.3.2 新サポートロールスタンドの利点

新サポートロールスタンドの構造では、旧スタンドを構成していた上フレーム、および下フレームと上フレームとを接続する繋ぎ部材に生じる伸び変形や熱変形の影響は小さい。ロールに作用する溶鋼静圧力や矯正反力に対しては、軸受箱内の小さな領域の弾性変形に限定されるためロール変位量は小さい。さらに、上・下軸受箱は内部を水冷しているため周囲の温度変化の影響を受けることが少ない。周囲環境が変化しても、初期設定したロール面間寸法とロールアライメントを高精度に維持することを可能にした。

旧スタンドの組み立てにあたっては、まず上フレームと下フレームのそれぞれにロールを組み立てる。つづいて、上フレームの天地を反転してロール側の面を対向さ

せて上下フレーム間をタイロッドで連結する。その後、軸受箱とフレームとの間のシムによってロール面間を所定の寸法に調整する作業を必要とした。しかしながら、新サポートロールスタンドでは、上軸受箱を下軸受箱に積載して上下の軸受箱をボルト締結する構造であることから、組立作業が安全かつ容易に進められるようになった。

むすび=連続鋳造設備は1960年代に本格的に実用化され始め、それ以降、「高生産性・省エネルギー・鋼種拡大・品質厳格化」を追求するさまざまな研究開発と改良がなされてきた。本稿では、安全と作業性にかかわりの深いタンディッシュカー、鋳片品質にかかわりの深い鋳型振動、およびサポートロールスタンドに関する新技術を紹介した。

設備の安全性や信頼性、鋳片品質のさらなる向上も含めて、顧客のより高度な要求に応えるべく、今後も開発と改良に継続して取り組んでいく。

#### 参考文献

- 1) 川口浩志. 計重装置および該計重装置を備えた容体支持装置. 特許第5030598号.
- 2) 川口浩志. 神鋼テクノ技報. 2015, Vol.27, No.43, p.16.
- 3) 川口浩志ほか. 鋳型振動装置. 特許第4974702号.
- 4) 川口浩志. 連続鋳造設備における鋳片案内装置. 特許第4593992号.
- 5) 川口浩志. 神鋼テクノ技報. 2015, Vol.27, No.43, p.18.

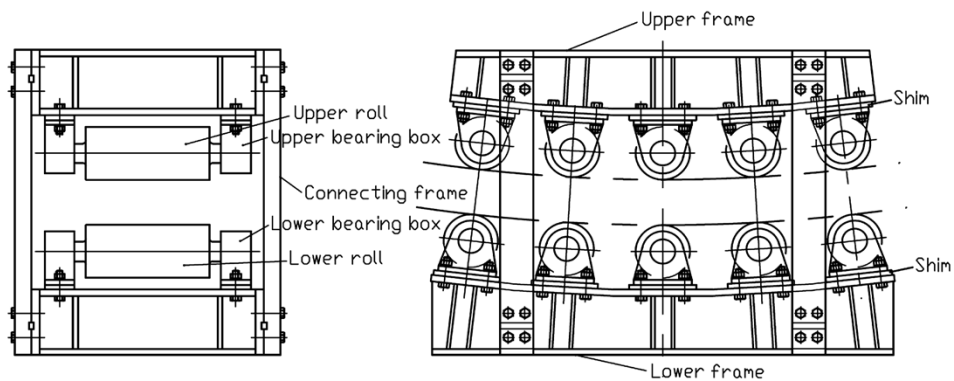


図8 従来のサポートロールスタンド  
Fig. 8 Conventional support roll stand

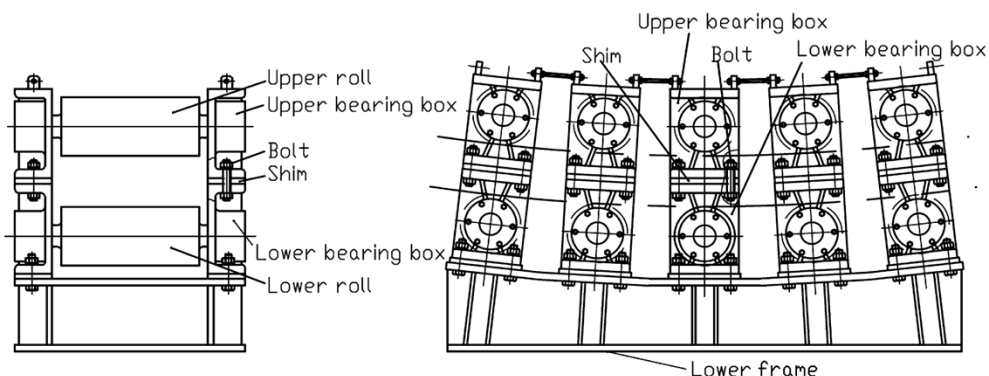


図9 新サポートロールスタンド  
Fig. 9 New support roll stand