

鑄型精度計測装置の開発

Development of Device for Measuring Mold shift

松岡 宏樹

Hiroki Matsuoka

小島 和哉

Kazuya Kojima

There is a "mold shift" defect as one of casting defects. This defect is occurred by shift between cope and drag. Then it is often detected during inspection of cast product. Consequently, wasteful energy is used on melting, molding, sand mixing, and shot blasting.

It takes much time to specify causes. Therefore it is very difficult to completely eliminate the causes of mold shift.

In this report, we report on the measurement system of the mold shift linked with the information from the molding machine and examination result.

KEY WORDS: Mold shift, Preventive maintenance, Defect measures, IoT

1. はじめに

近年、世の中ではIoTという言葉が盛んに使われ、産業機械分野では設備の稼働状況の見える化、異常時の早期おしらせ機能など、ユーザ支援機能が搭載されることも多い。鑄造業界でもIoTへの取り組みが始まりつつある中、当社はSSF (Sinto Smart Foundry™) という概念を打ち立て、不良を減らしていく為の見える化を推し進めている。様々な見える化技術の中でも、非接触で物体を測る技術に関しては各センサメーカーにおいても日進月歩で技術革新が進んでいる。

今回、生型を測定する技術を活用し、生型抜粋造型プロセスにおける造型機の情報と連動し、鑄型のずれを計測するシステムに取り組んだので報告する。

2. 型ずれについて

鑄物不良の一つとして「型ずれ」不良がある。型ずれ不良は上下の鑄型がずれる為に発生する不良であり、鑄物製品の検査時に検出されることが多い。不良が発生する結果として、溶解などに無駄なエネルギーが費やされたことになる。これまでは経験的に不良発生場所を想定し、対策を立てていたが、原因として想定される所が多岐にわたる為、型ずれの発生原因の特定は難しい課題と

なっている。Fig. 1 に当社が抜粋造型ラインで発生する型ずれの原因として想定している箇所の一例を示す。

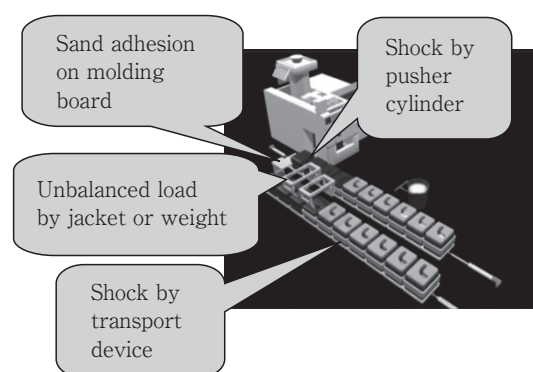


Fig. 1 Example of occurring reason of mold shift

我々が理想とするのは型ずれを発生させない設備であるが、部品の経年劣化や調整の不備などの要因もあり、現段階での実現は難しい。そこで今回は、鑄型の全数検査や予防保全を目的とした、鑄込み前の型ずれ量が検出可能となる装置の開発を行い、型ずれ量の見える化を目指した。

3. 計測方法の検討

3.1 開発課題

鑄型形状や状態の計測には、接触式の計測機から、画像処理やレーザーセンサなどを用いた非接

触式のものまで様々な方法がある。その中で鋳型形状に影響を与えず、ラインの動作にも支障を及ぼさない、かつコストを考慮した上でレーザーセンサを採用し、装置の開発を進めてきた。

お客様によっても異なるが一般的な型ずれ量の閾値は、0.3mmといわれている。そこでレーザーセンサを採用するにあたり、その閾値が判定可能であるか、測定精度の確認を行った。

3.1.1 レーザーセンサ適用の為の確認

レーザーセンサは対象物との距離を測定する際、基準距離と呼ばれる特定の間隔をあらかじめ空ける必要があり、その前後数10mm間が測定範囲となる。また、測定範囲内であったとしても、基準距離付近と基準距離から離れた位置では測定精度が異なる特徴がある。鋳型を造型ライン上で測定する際には、常に定盤台車上の同じ位置に精度良く鋳型が配置されるとは限らない為、基準距離付近と基準距離から離れた測定範囲限界付近での測定誤差を検証した。検証方法は下記の通りである。

生型砂を突き固めテストピースを作成し、ハイトゲージに固定する。テストピース下部にレーザーセンサからレーザーを照射させ距離を読み取る。次にハイトゲージの高さを変化させ、ハイトゲージの高さの値とセンサで測定した値が一致するか確認する。

検証の結果、基準距離 ± 10 mm間でのセンサ変化値とハイトゲージの値の差は最大0.01mm、測定範囲限界付近である基準距離から ± 30 mmの位置における差は最大0.03mmとなり、センサの測定範囲内であれば基準距離付近から鋳型が離れてしまった場合でも、使用可能な精度であることが確認できた (Table 1)。

3.1.2 上型と下型の型ずれ量の測定

実際に、抜粋造型機で造型した鋳型を対象とした場合の上型と下型の型ずれ量の算出方法を検討した。Fig. 2 のように見切り面より+15mm(上型)、-25mm(下型)の順にセンサが固定されたフレームをシリンダを用いて移動させ、鋳型側面にレーザー光を照射させてセンサと鋳型間の距離を測定した。下型の測定点は補助プレート厚さ15mmの段差の影響を考慮し、上型と下型で勾配が同じとなる部位を選択した。次に下型(-25mm)の測定位置を基準とし、上型(+15mm)の測定値との差を算出した。型ずれが発生していない場合はこの値が常に一定となり、値に変動があればずれが発生していると考えた。

型ずれが発生していない同一の鋳型を繰り返し測定した結果、最大差は0.06mmとなった。この誤差の原因としては、一回の測定ごとに鋳型を定盤台車ごと測定範囲外に移動させ、再度測定位置に設置しなおして次の測定を行ったことによるレールや定盤台車の車輪の摩耗や異物付着の影響、もしくはシリンダの位置決め精度やセンサが固定されているフレームのたわみの影響などの積み重ねが考えられる。

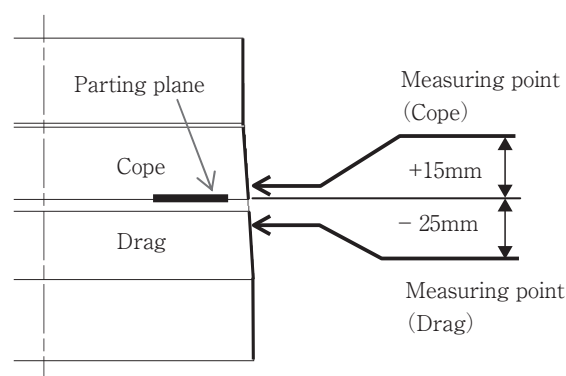


Fig. 2 Measuring points

Table 1 Difference in measurement results between height gauge and sensor

Height gauge value [mm]	- 30.00	- 20.00	- 10.00	0.00 (Reference position)	10.00	20.00	30.00
Sensor value [mm]	- 29.98	- 19.99	- 9.99	0.00	9.99	19.98	29.97
Difference of the value [mm]	- 0.02	- 0.01	- 0.01	0.00	0.01	0.02	0.03

3.1.3 定盤台車の傾きによる測定値への影響の確認

実際のライン上では、レールの摩耗や異物の付着が発生した場合に定盤台車が傾き、センサと鋳型間の測定距離が変化してしまう可能性が考えられる。例えばFig. 3のようにレールと定盤台車の車輪の間に1mmの異物が噛んだと想定した場合、計算上では定盤台車と鋳型がライン進行方向と垂直の方向に 0.09° 傾き、下型と上型の測定値の最大差は0.08mmとなる。

このように実ラインでは、レールの摩耗や異物を噛んだ場合だけでなく、定盤台車の傾きなど様々な要因で測定位置が変化してしまう可能性が考えられることから、傾きの影響を受けずに正確に型ずれ量が測定できる方式を新たに検討した。

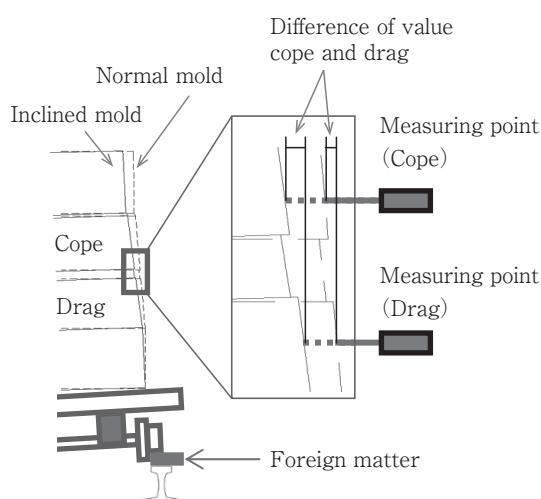


Fig. 3 Inclined mold exert an influence on measuring value

3.2 鋳型外形近似線を使用した計測方法

一般的に抜粋造型機によって造型される鋳型の側面は、抜粋時の抵抗を低減する為、上型、下型ともに勾配が設けられている。この勾配は上型と下型が同じであり、側面形状を利用して型ずれを計測した。

上述の鋳型の定点を測定していた方法から、レーザーセンサを上下に移動させることで、鋳型側面とレーザーセンサの間の距離を上型から下型まで鋳型側面に沿って連続的に測定する。得られた距離の測定値を造型機から得られた下型の厚み

データを用いて鋳型見切り面より上型と下型に分け、それぞれにおいて最小二乗法を適用し、鋳型外形の近似線を算出する。抜粋造型機で造型する鋳型は鋳型厚さが設定によって変わり、コンパクトビリティなど、砂性状のバラツキや模型高さによっても鋳型厚さが変動する為、見切り面の位置も変わってくる。造型後の鋳型厚さの情報を受け取ることで見切り面位置を判断し、適正に上型と下型の測定点を求めることができる。

この上型・下型それぞれの近似線が見切り面と交差する部分の切片値の差を求めることで、上型と下型の型ずれ量が判明する (Fig. 4)。

近似線作成に使用する測定値はFig. 4に示すように、上型・下型の勾配の等しい見切り面から20mm～80mm程度の測定値を使用している。

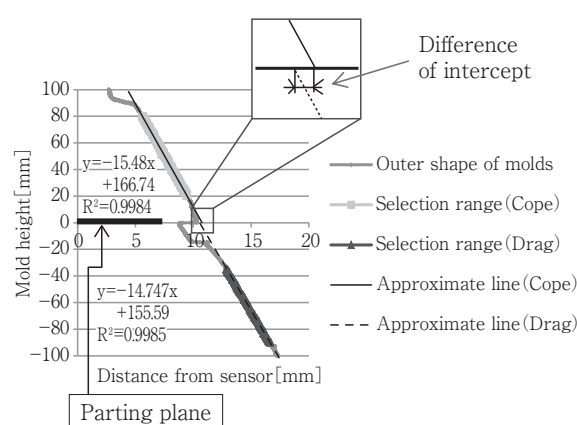


Fig. 4 Result of measurement using approximate line

4. 計測装置の概要

4.1 装置構成

実際の抜粋造型ラインでの使用を考え、装置の構成を検討した。また、造型ラインの中に設置し測定を行う工程は、造型機より造型ラインに鋳型が押し出されるモールド押し出し後とした。鋳型のずれは各装置のアクチュエータの動作方向である鋳型の進行方向、及び進行方向と垂直な方向の単純なずれだけでなく、ねじれも生じる。装置には鋳型中心のねじれ角と型ずれ量を算出する為に3個のレーザーセンサを用いた。更に、前述したように鋳型の側面を上型から下型まで連続して測定する為に、上下移動を行うシリンダがあり、シ

リンダに取り付けたフレームにセンサを固定することで、フレームと一体となりセンサを昇降できる。センサA、Bはライン進行方向に対して直角方向から、センサCはライン進行方向に対して斜め45°の位置からレーザー光を照射させる（Fig. 5）。

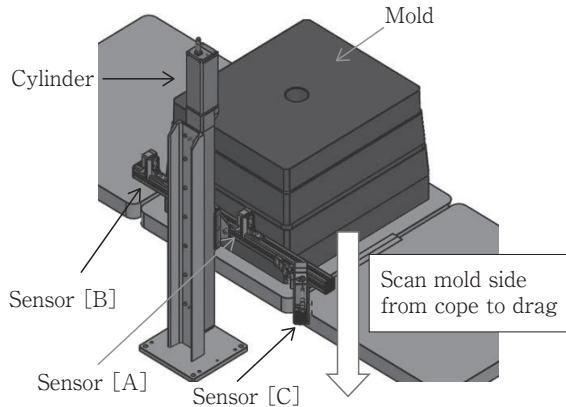


Fig. 5 Appearance of equipment

4. 2 型ずれ量の計測方法

センサA、B、Cそれぞれの位置における切片の差（Fig. 4 参照）を使用して、以下a) ~c) の計算を行い、鋳型のねじれ角と型ずれ量を算出する。Y軸をライン進行方向、X軸をその直角方向とする（Fig. 6）。

a) 下型に対する上型のねじれ角

ねじれ角 θ =

$$\tan^{-1} \left(\frac{\Delta D_A - \Delta D_B}{L_{AB}} \right)$$

b) 下型を基準とした上型中心のX方向の型ずれ量

センサA、Bより得られた上型・下型の切片の差 $\Delta D_A - \Delta D_B$ とねじれ角 θ を考慮したX方向補正值を加味し、鋳型中心のX方向の型ずれ量 ΔX を求める。

c) 下型を基準とした上型中心のY方向の型ずれ量

センサCより得られた上型・下型の切片の差 ΔD_C をセンサの取り付け角度を用いてY方向のずれに変換し、ねじれ角 θ によるY方向補正值を加味した鋳型中心のY方向の型ずれ量 ΔY を求める。

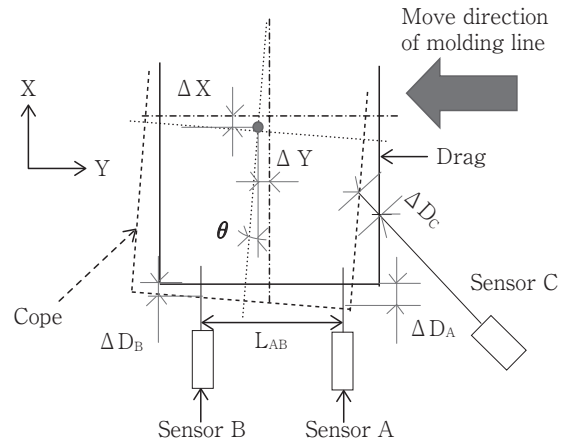


Fig. 6 Calculate method of mold shift (torsion angle)

4. 3 計算結果と実測値との相関性の確認

下型を基準とした上型の中心の型ずれ量は、前述の測定・計算方法によって求めることができた。そこで、装置から得たデータをもとに算出した計算上の鋳型の型ずれ量に対し、注湯後の製品の型ずれ量が一致するか確認を行った。テストには直径222mmのブレーキドラムの型を用いた。

型ずれ量を確認するテスト方法は、造型機から造型ラインに鋳型を押し出すモールド押し出しシリンダの速度を故意に変更し、強制的に一方にずれを発生させた鋳型を作製した。押し出しシリンダは下型を押している為、強制的に力を加えると上型が力を加えた方向と逆（Fig. 7の矢印と逆の方向）にずれる。装置を用いて鋳型側面のずれを測定し、センサから得た結果により、計算上の下型に対する上型中心の型ずれ量を算出した。また、今回使用した型は2個込めであり、鋳型の中心と製品の中心は一致していない。その為計算上の鋳型中心の型ずれ量から製品中心部の型ずれ量に補正を行った。一方、実際の製品は、型ずれを発生させた同じ鋳型に石膏を流し込んで製品を作製した。石膏を用いたのは、引けなどの形状に関わる変形要因を極力除外する為である。石膏で作製した製品の上型面を割り出し盤でチャックし、ダイヤルゲージで上型・下型の外形を測定した。ドラムの円周寸法を15°刻みで測定した際の上型と下型、それぞれの製品外形をFig. 7に示す。上型、下型とも模型は真円であり、得られた製品の

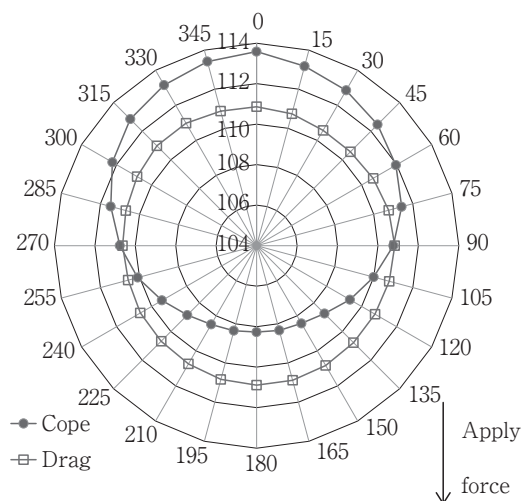


Fig. 7 Result of pouring test in case of occurring mold shift

形状も真円だったが、下型に対し上型が図の上方にずれていることが確認できる。

鋳型側面の型ずれから計算した製品の中心型ずれ量と、石膏で作製した製品を実測した中心の型ずれ量を比較した結果、計算上の製品中心の型ずれ量は2.81mm、実測した製品中心の型ずれ量は2.75mmとなり、計算結果とほぼ一致した。

5. 型ずれの発生原因の究明

ここまでの検証結果で、鋳型側面の型ずれから内部の製品の型ずれを予測することが可能であることを示した。

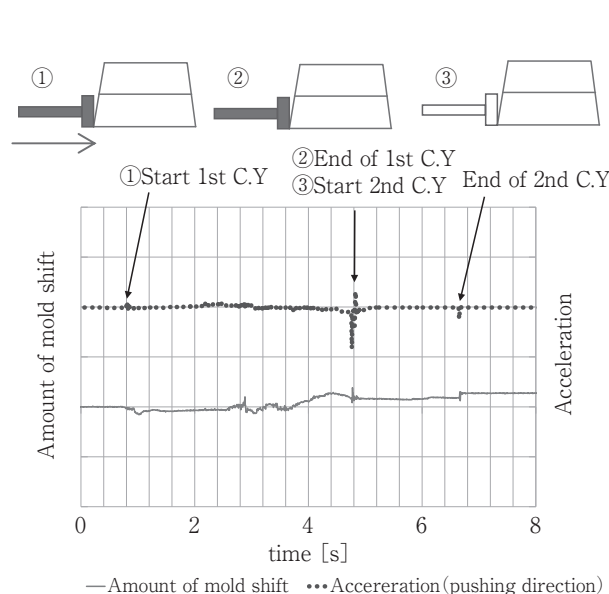


Fig. 9 Result of mold shift and acceleration in case of normal condition

しかし、最終的な目標は型ずれを発生させない設備の実現である。また、型ずれを未然に防ぐには、発生原因を究明する必要がある。

型ずれ不良発生要因の一つである、造型後の鋳型押し出し工程に着目し、ずれの発生について調査した。

モールド押し出し工程中の鋳型に加わる衝撃と、それによる鋳型の型ずれを測定する為に、モールド押し出し板に変位センサと加速度センサを取り付け、押し出し工程中の押し出し板の加速度と、押し出し板で押される上下鋳型の変位を測定した (Fig. 8)。

調査した造型機のモールド押し出し工程では、シリンダ全長を抑える為、2段階のシリンダ動作となっている。第1シリンダが加速しながら鋳型を押し始め (Fig. 9 ①)、定速状態を経て、ある距離まで到達すると第1シリンダが減速工程に入り、スムーズに第2シリンダの押し出しに移行する (Fig. 9 ②、③)。押し出し工程は油圧動作

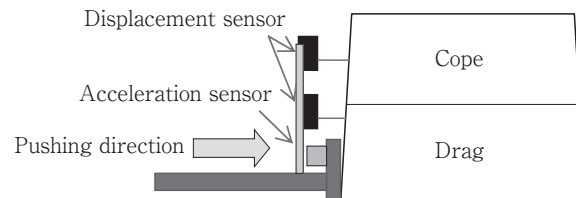


Fig. 8 Position of sensor

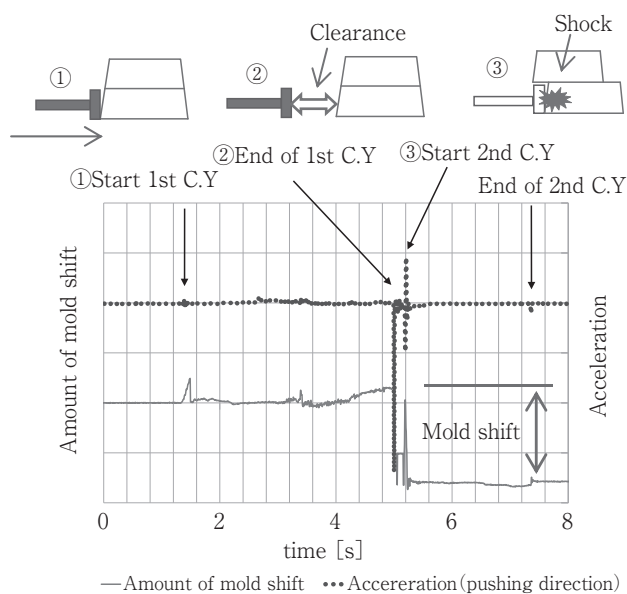


Fig. 10 Result of mold shift and acceleration in case of abnormal condition

やバルブの異常、定盤台車上の砂付着などにより押し出し板の加減速や鋳型への衝撃が変化する恐れがある。今回は、第1シリンダの減速が正常に行われなかった場合を想定して検証を行った。

検証の結果、押し出し工程が正常に行われた場合には上型と下型の型ずれは見られなかった (Fig. 9)。第1シリンダが減速せずに鋳型を押し出した場合は、第1シリンダの行端になると同時に押し出し板と鋳型との間に隙間が生じ (Fig. 10 ②)、この後続いて第2シリンダ作動開始時に、押し出し板が鋳型に当たった衝撃で型ずれが発生したと考える (Fig. 10 ③)。

この結果により、型ずれを発生させない一つの知見として、押し出し工程の加速度や衝撃値の監視を行うことが有効であると考ええる。今回の検証のように、型ずれの発生に関係する箇所に取り付けたセンサ類の信号も、型ずれ検知装置や造型機と紐づけて監視することで、早期に不良の発生原因を特定し、対策を施すことができると考える。

6. 装置の活用効果

今回開発した型ずれ検知装置の利用により、下記2点の効果が期待できる。

(1) 不良品流出低減と型ずれ量測定

造型後の全鋳型に対し、型ずれ量があらかじめ設定された閾値を越えたものに警告を発することで、異常の早期発見につながる。

(2) 測定データの蓄積による傾向管理

予防保全を目的とし、鋳型中心座標の変化をグラフで見える化することで、型ずれ量が大きくなっていないか確認ができ、傾向管理が可能となる (Fig. 11)。また、部品などの交換周期も把握できるようになる。

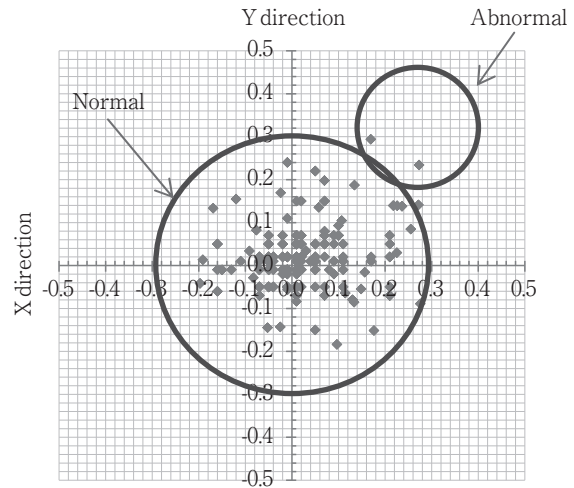


Fig. 11 Change of central coordinates of the mold

7. おわりに

今回開発を行ったこの装置により、不良対策の第一歩である型ずれ量の見える化が達成できた。また、型ずれ不良対策の為の効果的な情報の蓄積が可能となり、予防保全に活用できるようになった。今後更にこのような情報を活用し、分析を進めることで鋳造工場における不良率の低減や生産性向上に貢献できると考えている。