

技術資料



Technical Paper

漏洩風量変化を用いた鋳型湯漏れ事前検知装置の実用化

布施直紀*¹, 楯 賢一*², 小森 篤*²

Pre-Detecting Method for Molten Metal Leakage in Casting Process by Using Air Leakage Through Molds

Naoki Fuse, Kenichi Tate, and Atsushi Komori

Synopsis

DLCC (Daido Low pressure Cold box Casting) is applied for turbine housing manufacturing process in Daido Castings Co.,Ltd. In this method, molten metal is vacuumed up to the mold in reduced pressure and kept until the metal is solidified. However, the molten metal is leaked out from the molds if there is a crack or a gap between the molds. As a result, hard labor and a great expense are needed as well as scrapping the products. For the purpose of preventing the disaster, an equipment for detecting cracks or gaps between the molds has been developed and installed just before the casting process. MEMS air flow sensing device is used to detect minute leak air from cracks or gaps between the molds. The aim of this paper is to give an outline of the development.

1. 緒 言

地球規模での環境保全が全産業で求められているなか、自動車産業においても有害排出ガス削減対策に努力が注がれている。なかでも環境規制の厳しい欧州各国では今後の排出ガス規制である「EURO5」, 「EURO6」への対応を図るべく、燃焼効率、燃費効率のよいターボチャージャーを搭載した車がディーゼルエンジン車はもちろんのこと、ガソリンエンジン車においても増加している。日本でもガソリンエンジンにおける燃費向上という点で、軽自動車を中心にターボチャージャー搭載車が増加している。

大同キャスティングス(株)ではターボチャージャー構成部品を製造しており、その主要部品の一つであるタービンハウジングは減圧吸引鋳造方法(DLCC:Daido Low pressure Cold box Casting)により生産されている。本方法では鋳型の湯口を溶湯に浸し、鋳型を減圧吸引させることにより溶湯を鋳型内に吸い上げ、製品部の凝固が完了した時点で減圧を停止させる。このとき、もし鋳型に割

れが発生していたり、上／下鋳型の間に隙間があると、吸引した溶湯がこれらの割れ部あるいは隙間部から鋳型の外に漏れてしまう。そのため、製品不良に至るのは当然ながら、漏れた湯が凝固し、鋳込み装置の清掃・復旧工数、さらにはその間のライン停止による生産ロスなど、一回の湯漏れにより多大な費用、損失が発生する。

そこで筆者らは、鋳型の隙間、割れなどを確実にかつ容易に検査可能な検査技術を開発し、鋳込み工程の直前に鋳型検査工程を追加することにより、湯漏れ発生を回避することに成功した。隙間、割れなどの検出方法として、微小な風量変化を測定可能な MEMS 風量センサを用いている。

2. タービンハウジング鋳造の現状と課題

2. 1 DLCC 工程の概要

DLCC 法は従来のプロセスでは製造不可能であった最小肉厚 2 mm の複雑形状品を製造可能という特徴を有する。

2008 年 8 月 13 日受付

* 1 大同特殊鋼(株)研究開発本部 (Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

* 2 大同キャスティングス(株)中津川工場 (Nakatsugawa Plant, Daido Castings Co., Ltd.)

DLCC工程で用いられている鋳型はコールドボックス法と呼ばれる方法により成形されており、鋳型砂とバインダー樹脂とを含有する混練物を金型内へブローイングし、バインダー樹脂に硬化触媒を作用させて鋳型を常温成形させるものである。本方法により成形された鋳型は、熱間成形される従来のシェルモールドと比較して通気性が良いという利点がある。このような利点を有した鋳型の湯口を溶湯に浸し、鋳型全体を減圧吸引させることにより湯廻りよく溶湯を内部に吸い上げることが可能となる。製品部の凝固が完了した時点で減圧を停止させ、鋳型から製品を取り出すことにより鋳込み工程は完了となる (Fig.1).

2. 2 課 題

鋳型の内部にセットする中子は複雑形状であるため分割して製作し、それらを組み合わせて配置される。しかし、複雑形状の中子を鋳型内に多数個並べる作業は現在のところ人によって行われているため、微妙な位置合わせの際にずれが生ずる場合がある。そのため中子の位置ずれが大きい場合、上型と下型の合着状態が悪くなり鋳型間

に隙間が発生する。また、鋳型の成形はロボットなどにより自動化されているものの、鋳型割れなどの検査は目視に依存しており、鋳型全体を短時間で検査するには限界があるため、小さな割れなどは見逃してしまうことがある。したがって、上記のような鋳型の隙間、割れを短時間で確実に検査する方法が求められていた。正常な鋳型の外観を Fig.2 に示す。

3. 検出仕様と検出方案の選定

鋳型の隙間あるいはクラックを検出する方法として、画像処理方式、および漏洩空気検出方式について検討した。

3. 1 検出仕様

実験の結果、上下鋳型間の隙間が 0.5 mm 以上の場合に湯漏れが発生することがわかっている。したがって、要求検出仕様を 0.5 mm 以上とした (Fig.3).

3. 2 画像処理による隙間の検出

3. 2. 1 実験方法

赤色スリットレーザ光を上／下鋳型の合着部に照射し、その合着部を CCD カメラにより撮像する。撮像した画像

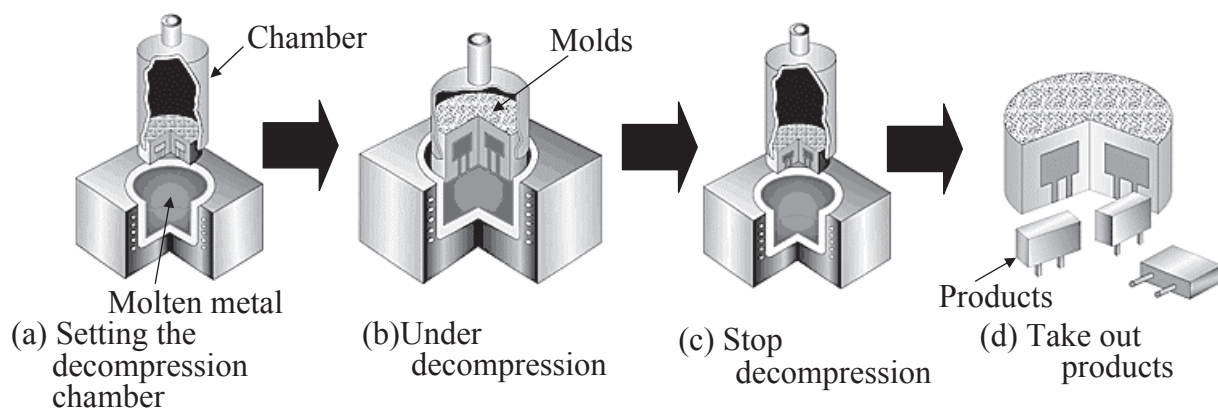


Fig.1. Outline of the DLCC process.

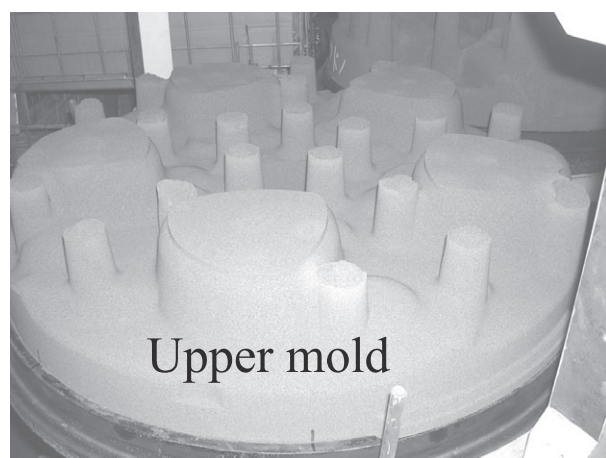


Fig.2. Appearance of a normal mold.

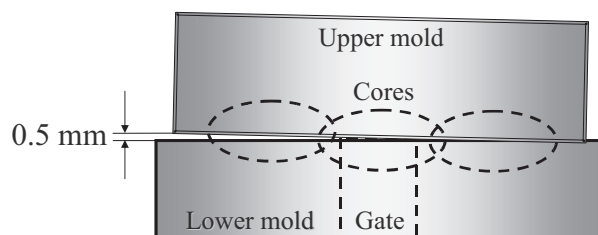


Fig.3. Required accuracy for detecting gap or crack.

に対し画像処理を施し、スリットレーザ光のみを抽出する。ここで、鋳型に隙間がない場合、鋳型合着部のスリットレーザ光は連続したものとなるが、隙間がある場合、スリットレーザ光は鋳型合着部に不連続となることから、隙間を検出可能である (Fig.4).

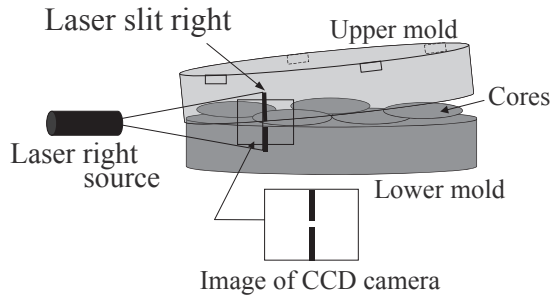


Fig.4. Gap detecting method with image processing.

3. 2. 2 実験結果

隙間を変化させたときのスリット光を画像処理し、不連続部のエッジ間距離を算出した結果を Fig.5 および Table 1 に示す。撮像に用いた CCD カメラの画素数は 80 万画素で、分解能は 0.05 mm/pixel である。本結果より鋳型に隙間のあるものはスリット光が不連続であることを確認することができたが、実際の隙間間隔と画像処理によるエッジ間距離とは誤差が大きかった。これはスリット光が照射されている鋳型のエッジ部に付着した砂などの表面状態に影響しているものと考えられる。外乱光を遮蔽し、コントラストを向上させることによりこの問題は解決されることが考えられる。

3. 2. 3 課題

本実験では鋳型合着部の隙間を検出する実験のみを行ったが、実操業では鋳型割れ不良も発生している。鋳型割れは発生場所が特定できないため、本方式による検査ではスリット光を鋳型全面に照射し撮像する必要がある。しかし鋳型は複雑な形状を有し、さらに寸法がΦ 600 mm 以上であるため全面検査には時間を要する。したがって本方式では鋳型割れは検出できず、鋳型の隙間のみを検出可能と判断した。隙間検出においても鋳型全周検査を行うには、3 台以上の CCD カメラを設置するか、CCD カメラあるいは鋳型を回転させる必要がある。

Table 1. Result of gap detection with image processing.

Actual gap width [mm]	Counts of pixels between edges
0	0 pixel
0.5	18 pixels (0.9 mm)
1	22 pixels (1.1 mm)

3. 3 漏洩風量検出による隙間の検出

3. 3. 1 実験方法

風量センサと吸引ファン、パッキンが装備されたケースを上鋳型に装着し、上鋳型を外気より隔離させる。吸引ファンを始動させたときの吸引力は鋳込み時の減圧吸引力に比べて非常に小さいため、鋳型に隙間がない場合は鋳型を通気する風量はわずかである。したがって風量センサにより検出される風量は、隙間が全くない場合に比べて隙間のあるほうが大きくなることを利用して隙間の有無を判定可能である。検出概要図を Fig.6 に示す。

3. 3. 2 風量センサの概要

使用している風量センサは MEMS センサ^{1),2)} (Micro Electro Mechanical Systems Sensor) と呼ばれ、微小基板上に温度センサをマイクロマシニング技術を利用して形成したものである。原理としては、センサ内の空孔を通過する空気量により温度センサの検出温度が変化し熱起電力として出力されるが、その変化分を風量換算するのである。この温度センサには温度補償機能が装備されており、センサ周囲環境の温度が急激に変化しても測定温度に大きな誤差が生ずることはない。Fig.7 にセンサ構造と原理の概要図を示す。センサ内部の微小空孔に粉塵が溜まった場合、センサの性能低下あるいは故障の原因となる。このため、センサ前段部に数マイクロンオーダーのパーティクルを除去可能な HEPA フィルタ (High Efficiency Particulate Air Filter) を設ける必要がある。

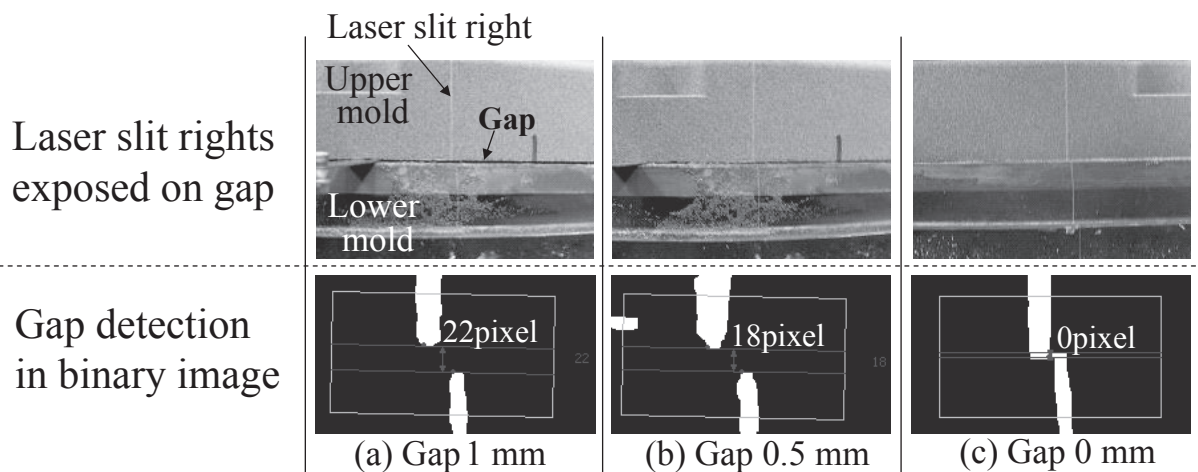


Fig.5. Before and after image processing.

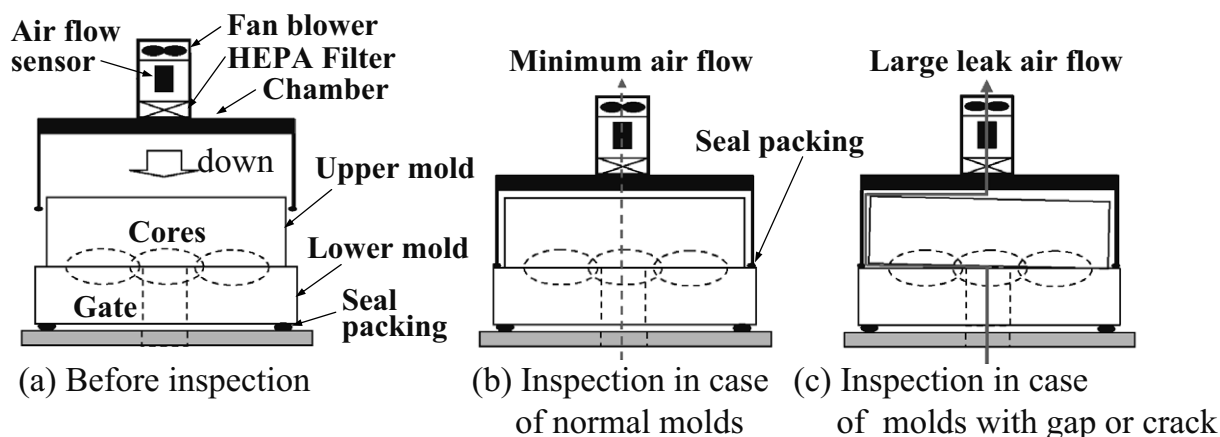
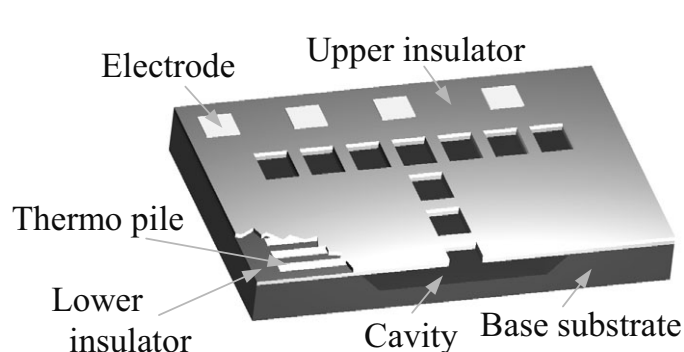
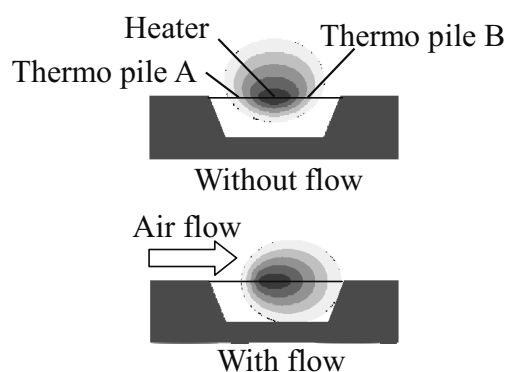


Fig.6. Principle of gap detection with air flow sensor.



(a) Structure



(b) Principle

Fig.7. MEMS air flow sensor used in the experiment.

3. 3. 3 微小風量検出性能の向上

風量変化を用いたセンシングにおいては、気流の状態を層流化することにより微小風量の検出感度を向上させ、通風状態のバラツキを低減できるとが分かっている^{3), 4)}。このことから、本実験機でも風量センサの前段に整流管、後段に吸引ファンを設置し、鋳型内部の空気を外部に吸引する方式とした (Fig.8)。

3. 3. 4 実験結果

風量測定による隙間検出では、吸引ファンの入力電圧を一定（回転数を一定）とすることにより吸引風量を定めている。吸引風量（以下、バイアス風量と記す）の大小により、風量検出感度、再現性が変化することが分かっているため³⁾、バイアス風量と検出感度について検証し、最適バイアス風量を決定した。

鋳型の隙間を一定にした状態にて、吸引ファンへの印加電圧を変化すなわち、風量を変化させたときの風量変化率（隙間のない鋳型の風量を基準とした場合の、検出風量の割合）を算出した (Fig.9)。本結果よりバイアス風量を大きくした場合、風量変化率が小さくなることがわかる。

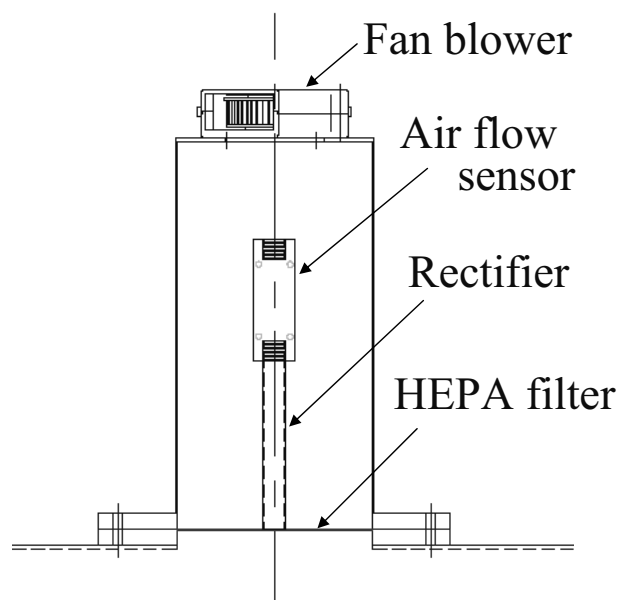


Fig.8. Section diagram of the sensing part.

次に、バイアス風量を 1800 mV、1500 mV の二水準で変化させたときの、鋳型隙間と風量変化率との関係を Fig.10 に示す。本結果よりバイアス風量が高い場合、風量変化率は低いもののバラツキ幅が小さいことがわか

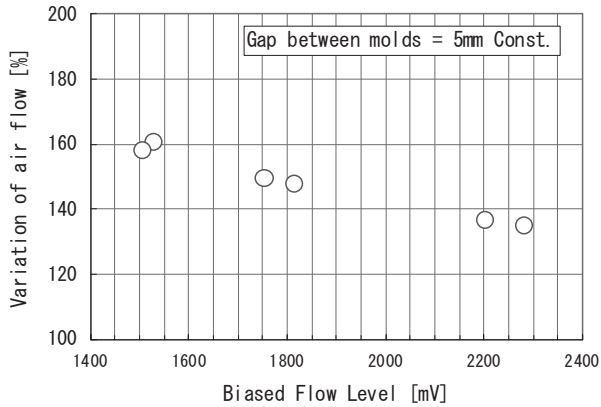
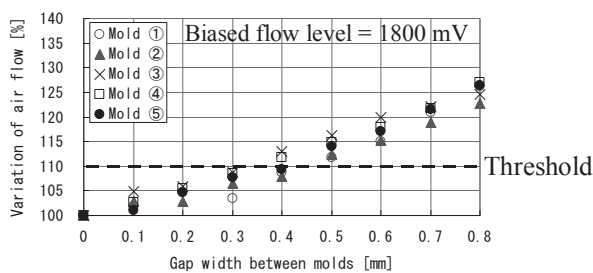
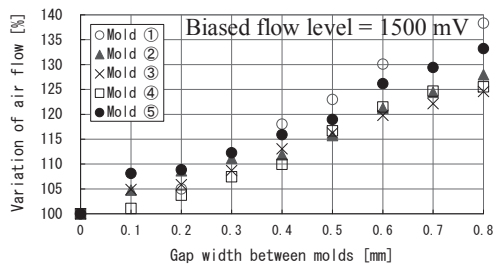


Fig.9. Relationship between biased flow level and variation of air flow.



(a) Variation in case of high biased flow level



(b) Variation in case of low biased flow level

Fig.10. Relationship between gap width and variation of air flow.

る。要求検査性能としては 0.5 mm の隙間量を確実に検出できることであるため、検出の安定性を優先し、バイアス風量は 1800 mV（電圧換算値）と設定した。

本結果より、鋳型個体差によるバラツキを考慮しても、鋳型隙間量 0.2 mm 以上は検出可能であると考えられる。

Fig.10 より、閾値を風量変化率 110 % 程度に設定することにより湯漏れの発生する隙間量 0.5 mm 以上を確実に検出できる。

上記実験は鋳型の隙間を想定した実験であるが、鋳型割れの場合についても割れの程度に応じた空気の漏洩が生ずるため同様の結果が得られると考えられる。

判定性能を確認するため、欠陥のない鋳型と割れの発生した鋳型 (Fig.11) を測定した。結果を Fig.12 に示す。本結果より、欠陥のない鋳型は風速変化量がほぼ一定して 100 % であるのに対し、割れの発生した鋳型は 118 % であり、割れを有する鋳型も十分判定可能であることがわかった。

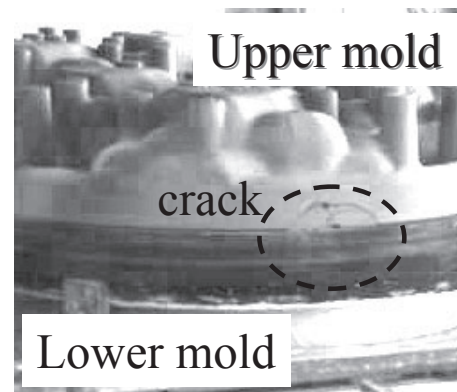
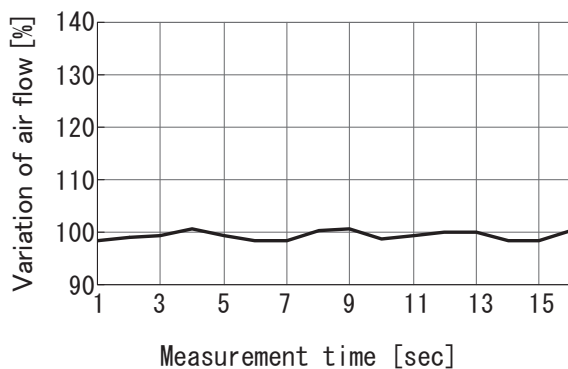
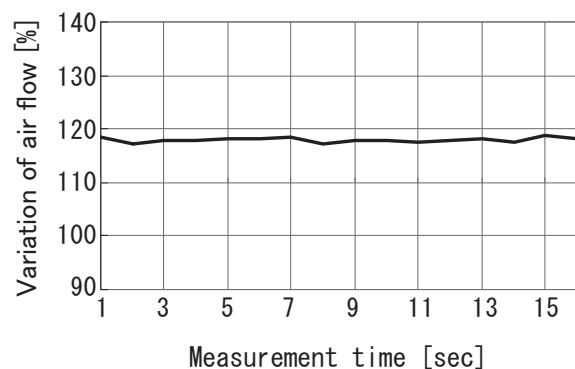


Fig.11. Molds with crack.



(a) Normal molds



(b) Cracked molds

Fig.12. Comparison of air flow between normal molds and cracked molds.

3. 4 検出方案の決定

前項までの二つの方式による検証結果を Table 2 に示す。検出性能、装置コストの両面において漏洩空気検出方式が優位であることから、本方式を採用した。

4. 実用化

4. 1 装置構成および設置場所

装置構成と外観写真をそれぞれ Fig.13, Fig.14 に示す。

風量センサと吸引ファンが内蔵されたメインユニットが PLC(Programmable Logic Controller) により制御されており、風量センサにより測定されたデータはデジタル化され PLC に取り込まれている。また吸引ファンの回転数はパルス数により管理している。本装置は鋳込み工程の直前に設置した。

4. 2 稼動状況

'06 年 8 月に実機を設置して以来、これまでに実操作で

Table 2. Comparison of image processing method and air flow leakage method.

Detecting method	Costs	Accuracy	Crack detection	Overall rating
Image processing	×	△	×	×
Air flow leakage	○	◎	◎	◎

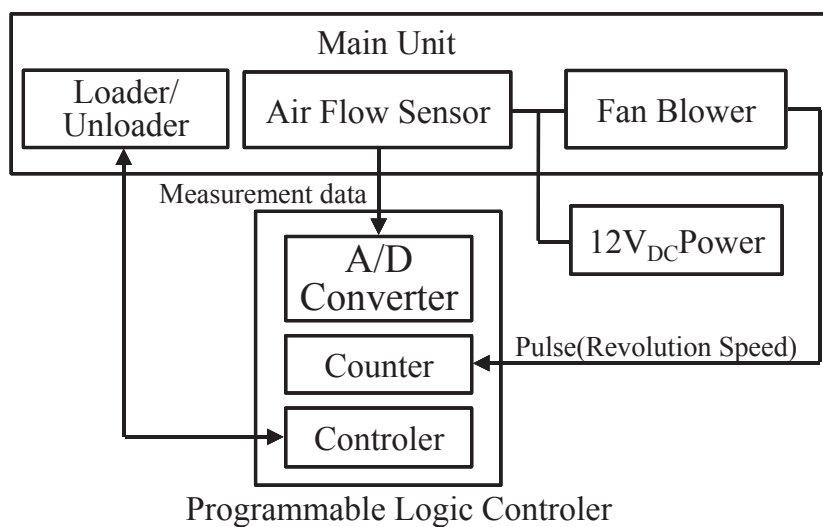


Fig.13. Schematic diagram of the developed equipment.

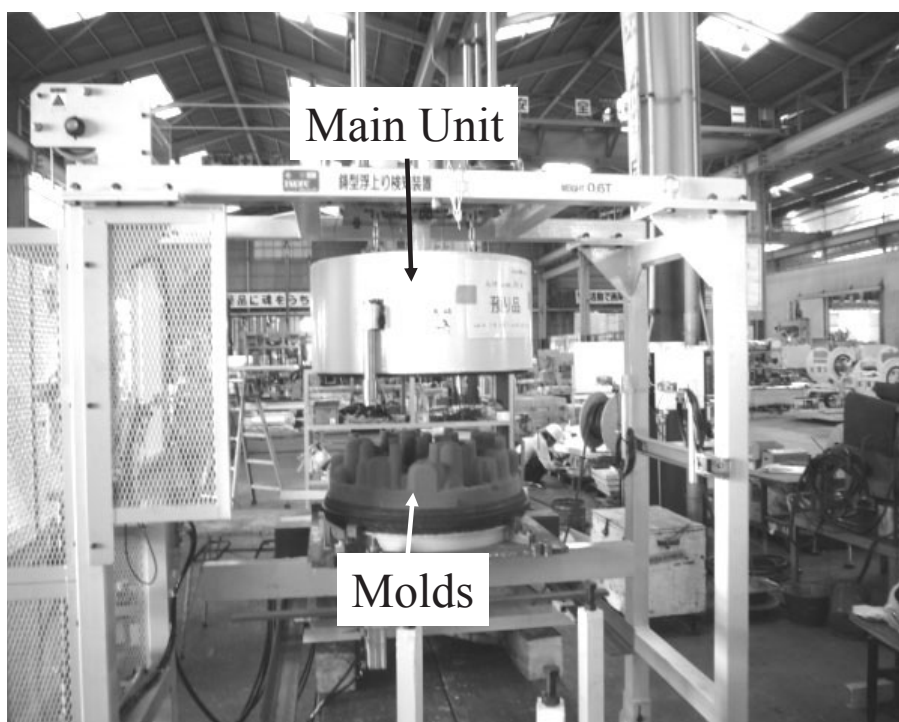


Fig.14. Appearance of the developed equipment.

の湯漏れは全く発生していない。

2 件／月程度発生していた中子位置ズレ起因による鋳型の浮上りや、鋳型割れなどは本装置によりすべて事前検知している。Table 3 にこれまで検知した主な鋳型不良の例を示す。

HEPA フィルタの交換については毎日交換しているためセンサの故障、検出性能劣化などの問題は発生していない。なお、隙間および割れの有無を判定する閾値は製品種類ごとに変化するが、既存品はもちろんのこと、新規品についても閾値管理を徹底している。

Table 3. Examples of the detection in operation.

Category of detecting defects	Cause of defects
Crack	Mistake in carriage
Crack	Mistake in carriage
Large gap	Misalignment of cores
Large gap	Misalignment of cores
Large gap	Faulty design
Large gap	Faulty design
Large gap	Misalignment of cores

5. 結 言

本装置により 0.2 mm 以上の鋳型隙間を検出可能であった。湯漏れの発生する鋳型隙間（0.5 mm 以上）を確実に検出することができた。

その結果、DLCC 工程での鋳込み時に発生していた湯漏れを完全に撲滅することが可能となり、湯漏れ事故に至った場合の生産ロス、復旧工数、装置修繕などの費用を大幅に削減することができた。

開発した風量検出方式による検査タクトタイムは 15 sec／台であり、鋳型造型工程のライン速度 40 sec／台に十分対応可能である。

（文 献）

- 1) オムロン(株)：MEMS フローセンサ カタログ。
- 2) 藤原敏光，野添悟史，上田直亜：OMRON TECHNICS, 151, 3, 199.
- 3) 布施直紀：電気製鋼, 77 (2006), 197.
- 4) 上運天昭司：「マイクロフローセンサ」を用いた流量計測，山武(株)，Savemation review, 19 (2001)。