

MT システムを活用した良品条件の判定方法

株式会社 アーレスティ栃木
鋳造技術課
田上 康博 松本 伸男

1. はじめに

弊社はアルミダイカスト(Die Casting)と言う鋳造方法を用いて、自動車のシリンダーブロック、ミッションケースやボディ部品などを生産している。ダイカスト製品で特に重要とされるのが製品の内部品質であり、内部品質を向上させるには鑄巣と呼ばれる欠陥の発生をいかに少なくするかが重要となっている。この鑄巣とはアルミ溶湯を金型に鑄込む際、ガスの巻き込み(ブローホール)・アルミ凝固時の熱収縮等により製品内部に出来てしまう空洞(ひげ巣)欠陥のことをいう。すなわち、鑄巣が少ない製品は製品内部の空洞が少ないため、強度、耐圧性に優れることになり、ゆえに内部品質が重要とされている。鑄巣が不良として発見されるのは、鋳造工程ではなく製品を切削加工している後工程が大半であることから、加工費を含む損失額も大きくなる。そればかりか大量に鑄巣不良が発生した場合は加工工程の生産性低下にも大きな影響を与える問題となる。

今回の報告は鑄巣発生に影響の高い事が分かった 2 つの鋳造条件の最適水準化と、「不良品をつくらない」「不良品を後工程へ流さない」これらの観点から MT システムを活用した良品条件の判定の試行について報告する。

2. 背景

対象製品は自動車メーカー様で加工、圧検、組み立てを行っているエンジンのシリンダーブロックで、その納入不良率の目標値は 1800ppm 以下であり、これまでも改善を行ってきたが鑄巣不良が原因で目標未達になる事がある。

アーレスティの改善活動の基本となる考え方は国内外グループで統一出来る様に、(注 1)「OPCC でのものづくりプロセスを実現する」で活動を行っており、鋳造条件の最適化と良品条件の判定方法は「C 良品鋳造条件を設定し管理する」に該当する施策となっている。

これらの考えは「不良品をつくらない」「不良品を後工程へ流さない」を根幹としている活動であり、その実現には従来の品質の適合、不適合の判断の他、工程の正常、異常の判断となる MT 法の活用が必要不可欠であると考えた。

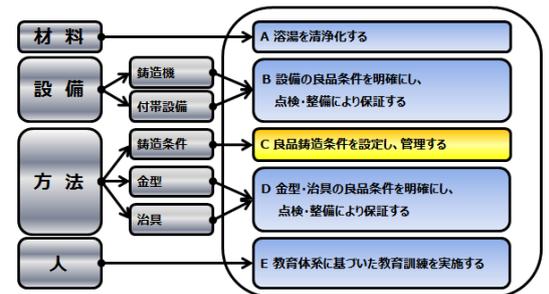


図 1 OPCC でのものづくりプロセスを実現する

注 1 OPCC とは 4M(material machine method man)から設備と方法についてダイカスト工程に関連するものの良品条件と判断基準を明確にすることが重要と考えている。それをアーレスティでは、Optimal・Process・Condition・Control(略して OPCC)と呼ぶ。

3. 現状把握 鑄巣不良の要因の整理

3.1 納入不良内訳と鑄巣不良内訳と発生部位（改善部位の明確化）

納入不良の内、鑄巣不良占有率は95.5%であり、中でも α 部の鑄巣不良の占有率が62.4%と最も高い。 α 部に発生する鑄巣はひげ巣とブローホールの混合型であるが、鑄巣不良の大半は規格外のひげ巣で不良となっている。 α 部を4分割して発生部位を調査すると特定方向にひげ巣が集中して発生していることがわかった。この事から、ひげ巣発生メカニズムの系統図を作成して影響する要因系の把握を行った。

3.2 鑄造条件の把握（不良に影響する要因を探る）

金型温度の確認、鑄造条件の理論値との比較を行ったところ、鑄造条件の中の低速速度がひげ巣改善に対して理論値より低い値となっていた。

3.3 日々の不良率把握（不良に影響する要因を探る）

P管理図と4M履歴カレンダーで不良の多い日の工程の状態を確認したところ、ある要因系の異常Xがあると不良が増える事がわかった。しかし、このXは結果系の異常であり鑄造条件でコントロールできるものではない。

3.4 α 部のひげ巣と鑄造条件の紐付け実験と判別分析(不良に影響する要因を探る)

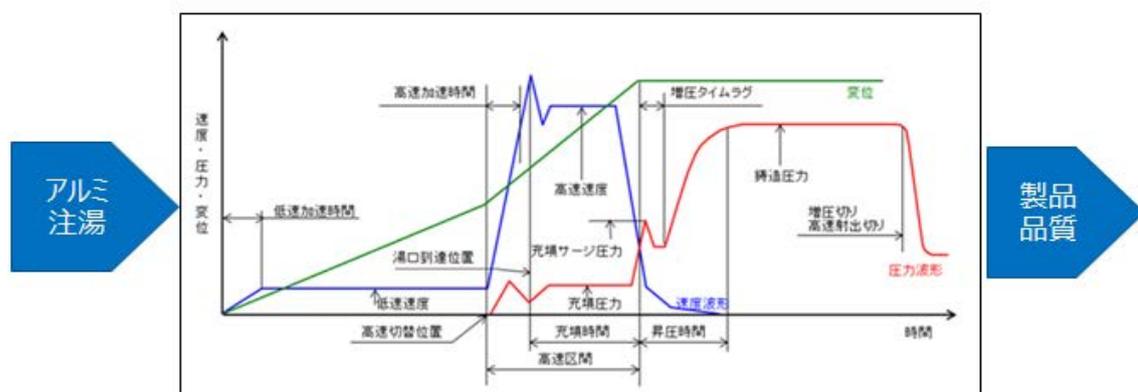


図2 ダイカストの模式図

鑄巣不良の大半を占める「部位α」と鑄造条件の紐付け実験を行った。

- ① 説明変数：図2 鑄造条件の射出波形の計測ポイントより8項目 他 2項目
- ② 特性値：鑄巣の有無
- ③ 評価したデータ数：96個

図2 多変量連関図より「User Velocity(高速速度)と鑄巣の有無の分布」と、「離型剤流量と鑄巣の有無の分布」に違いがある。表1 判別分析より User Velocity(高速速度)と離型剤流量が因子として抽出され、そのジャックナイフ判定の正答は77.08%であった。「規格外のひげ巣」に関しては、技術的に高速速度の影響が大きいと考えられる。

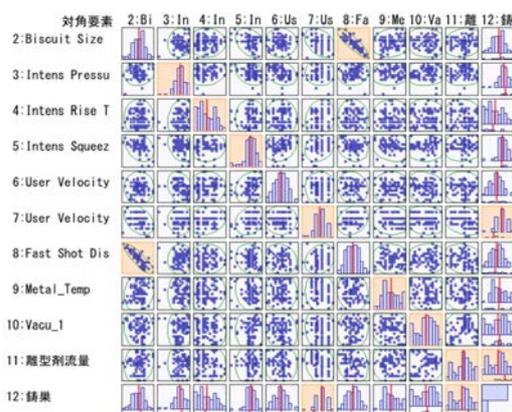


図3 多変量連関図

表1 判別分析結果

目的変数		判別効率 ²	D* ²	D** ²	詳	重心 ³
鑄巣	マホルバ ² 距離	2.474	2.287	2.111	0:c0	1.237
	誤判別率(%)	21.579	22.479	23.379	l:c1	-1.237
		判別効率 ²	変化量	誤判別率	F値	P値(上側)
vNo.	定数項					0.269
IN 7	User Velocity	0.681	-1.794	33.999	23.469	0.000
IN 11	離型剤流量	2.012	-0.463	23.911	5.098	0.026

	定数項	User Veloci	離型剤流量
判別関数	F1= +0.269	+13.746 X7	-0.038 X11

表2 ジャックナイフ判定結果

正答(実測値)	74	77.08%	
誤答(実測値)	22	22.92%	
観測/予測	c0	c1	合計
c0	60	18	78
c1	4	14	18
合計	64	32	96

3.5 現状把握まとめと要因分析

α部のひげ巣の改善が必要であり、理論値より低い値になっていた「低速速度」、判別分析よりF値が最も高くなった「高速速度」を含む内容で特性要因図を作成して要因分析を行った。

4. 目標

α部の鑄巣不良 0ppm

5. 要因の検証

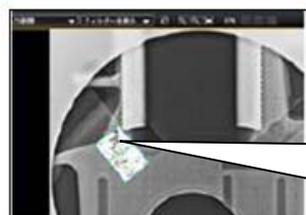
射出条件のL8直交実験

判別分析で得られた要因A、要因Bと特性要因図と鑄巣発生メカニズムから、技術的に

影響が考えられる要因 C を選定して、L8 直交実験を行った。

表 3 因子と水準

因子	水準
A 高速速度	A1:(現行条件) A2:
B 低速速度	B1:(現行条件) B2:
C 圧力C	C1:(現行条件) C2:



特性値
この黒い部位【铸巢】の面積を数値化

表 4 分散分析表

No	要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P値(上側)
1	A:A	27254344.50	1	27254344.50	545086.890	**	0.001
2	B:B	87362.00	1	87362.00	1747.240	*	0.015
3	C:C	1200.50	1	1200.50	24.010		0.128
4	AB	4140.50	1	4140.50	82.810		0.070
5	AC	1800.00	1	1800.00	36.000		0.105
6	BC	1860.50	1	1860.50	37.210		0.103
7	誤差	50.00	1	50.00			
8	計	27350758.00	7				

図 4 特性値の計測画像

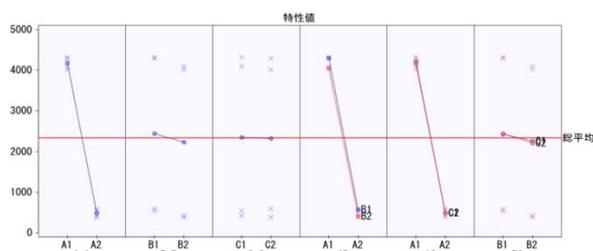


図 5 実験データプロット

① 実験の目的：要因が与える特性値の影響度調査

② 実験方法

特性値： 铸巢面積 (図 4)

因子と水準： 高速速度 低速速度 圧力 C の 3 因子 2 水準 (表 3)

実験の型： L8 (三元配置)

解析方法： 分散分析

③ 得られた結果

実験データプロットより ①主効果 A が大きいと言える②交互作用はなさそうである
分散分析表より、主効果 A が高度に有意であり、主効果 B が 5% 有意であった。これらは特性値に対して影響を及ぼす因子として考えられる。

因子 A： A1 → A2 にしたことで、铸巢面積値が減少した。

因子 B： B1 → B2 にしたことで、铸巢面積値が減少した。

この結果を技術的に解釈を行ったが、技術的にも説明がつく結果となった。

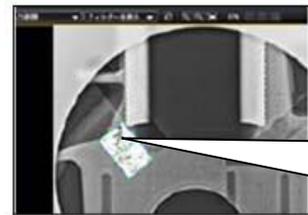
よってこの因子 A 因子 B の最適水準の探索が必要であると考えられる。

6. 射出条件の最適化 応答曲面解析

L8 実験で得られた要因 A、要因 B の最適水準を求める為応答曲面解析を行った。

表 5 因子と水準

因子	水準
A 高速速度	A1: A2: A3:(L8最良水準)
B 低速速度	B1: B2:(L8最良水準) B3:



特性値
この黒い部位【鑄巣】の面積を数値化

図 6 特性値の計測画像

表 6 分散分析表

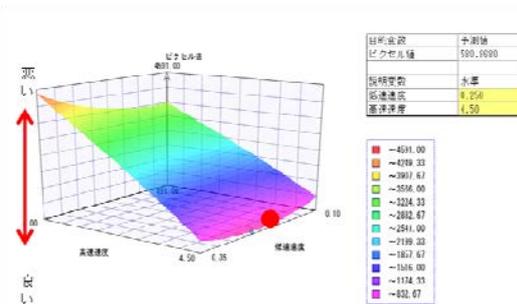


図 7 3D 図

目的変数名	重相関係数	寄与率R^2	R*^2	R**^2	残差自由度	残差標準偏差
ピクセル値	0.988	0.976	0.970	0.964	21	235.941
要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	P値(上側)
回帰	46756052.716	5	3351210.543	165.1493	**	0.000
当てはまりの悪さ	149825.136	3	49941.712	0.8820		0.469
純誤差	1019210.000	18	56622.778			
計	47925087.852	26				

① 実験の目的：要因の最適水準の探索

「A:高速速度」については、他部位への品質悪化の背反も考えられるため、L8 直交実験での最良水準と同等な水準はないかの検証

② 実験方法

特性値： 鑄巣面積 (図 6)

因子と水準： 高速速度 低速速度 の 2 因子 3 水準 (表 5)

実験の型： 繰り返しのある 2 元配置

解析方法： 分散分析

③ 得られた結果

最適水準は A3 B3 であり、分散分析表より、回帰は高度に有意となった。

この結果について技術的見解より、A3 値は従来の理論値の値を超えてしまったが、製品外観上の不良は見られなかった。改善効果が高く背反事象の問題も無いと判断し応答曲面解析から得られた最適条件を適用した。また、今回の実験から得られた知見を基にシリンダーブロック製品の理論値の改訂と横展開を行う。

7. 最適解での現場確認

応答曲面解析から得られた結果をもとに、良品条件を設定して量産に適用した結果、α部の対策後不良率は 209ppm まで良化した。しかし、0ppm を目標としているため目標は未達である。ここまでの実験において、射出速度(高速速度・低速速度)について最重要因子

であることが分かったので、2 因子についてさらに深掘りすることとした。

8. 良品条件の判定方法 1 MT 法による射出波形解析

MT 法を用いて射出波形の良品波形と不良品波形の比較

鋳造工程の射出波形を計測し、良品波形と不良品波形の比較を MT 法で解析した。良品波形 n=19 の 6 ポジションでの速度(図 8)において単位空間を作成し、他の良品波形と不良品波形の MD 値を算出したところ識別できることが明らかになった。(図 9)

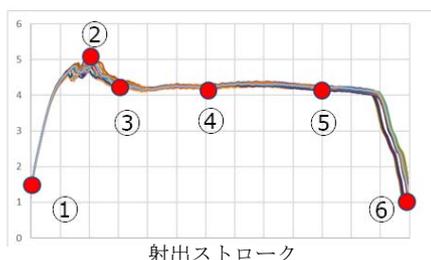


図 8 波形での項目部位



図 9 良品と不良品の度数分布グラフ

図 9 に示した 6 項目のうち、どの項目が良品・不良品に対して影響しているかを把握するために、「その項目を使用する」を第 1 水準「その項目を使用しない」を第 2 水準として Paley 型 L12 直交実験を実施した。良品と不良品の分離程度を表す望大特性の SN 比を算出し、利得の確認をしたところ項目⑤の時の高速速度、項目⑥の時の高速速度が大きいことがわかった。分散分析表より、項目⑤の時の高速速度は高度に有意となった(表 7)。

つまり、最適な射出条件範囲でもコントロールできてはいない波形があり、この点を見れば正常であるか否か判断できることがわかった。

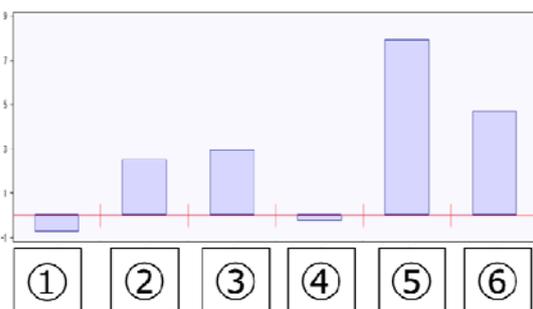


図 10 SN 比利得要因効果図

表 7 分散分析表

No	変数名	状態	SN比		分散分析表		検定
			利得(1-2)	1: 使用 2: 不使用	F値	p値	
2	①	使用	-0.7443	0.5000	1.3442	0.145	0.7104
3	②	使用	2.4703	2.2072	-0.2631	1.502	0.2627
4	③	使用	2.9070	2.4055	-0.4015	2.205	0.1977
5	④	使用	-0.2333	0.0554	1.0007	0.014	0.9090
6	⑤	使用	7.0946	4.0193	-2.0753	16.259	0.0100 **
7	⑥	使用	4.0757	3.3009	-1.3650	5.703	0.0025

これらを踏まえて、ダイカストマシンの波形監視モニターの有意となった高速速度周辺の平均値に管理閾値を設定した。

9. 閾値設定後の現場確認

項目⑥部位の高速速度の管理閾値の設定により α 部の鑄巣不良は 0ppm となった。

10. まとめ

占有率が最も高い α 部鑄巣に対して、重要因子の最適化と管理幅設定をすることで目標の 0ppm を達成することができた。

最後に、本事例に対しまして「StatWorks」を使用した解析をさせて頂きましたが、すべての解析において解析までのフローが明確であり、簡単かつ迅速に改善をするツールとして有益に活用することができました。お礼申し上げます。

参考文献

- 手島昌一・長谷川良子 (2017) 『入門 MT システム』立林和夫 編著, 日科技連出版社.
- 奥原正夫 (2015) 『実践に役立つ 実験計画法入門』日本科学技術連盟.

解析ソフト

JUSE-StatWorks/V5 株式会社 日本科学技術研究所

本著作物は原著作者の許可を得て、株式会社日本科学技術研修所（以下弊社）が掲載しています。本著作物の著作権については、制作した原著作者に帰属します。

原著作者および弊社の許可なく営利・非営利・イントラネットを問わず、本著作物の複製・転用・販売等を禁止します。

所属および役職等は、公開当時のものです。

■公開資料ページ

弊社ウェブページで各種資料をご覧ください <http://www.i-juse.co.jp/statistics/jirei/>

■お問い合わせ先

(株)日科技研 数理事業部 パッケージサポート係 <http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/contact.html>