

射出成形における間欠的不良の発生メカニズムの研究

中村 航[†]三木 良雄[†]工学院大学[†]工学院大学[†]

経営情報システム研究室

経営情報システム研究室

1. はじめに

射出成形は、複雑な 3 次元形状を短いサイクルで大量生産する事が可能であり、現代の産業において幅広く活用されている。しかしながら射出成形においては、金型や温度、樹脂の可塑化プロセスに関わる現象の多くは複雑であり、成形条件に大きな影響を及ぼしうる。その為、安定して良品を作り出す成形条件を整えたとしても、根本的な要因が特定できない間欠的不良がなくなる事がないのが現状である。

こうした間欠的不良による品質低下や損失は深刻であり、日本の製造業に大きな影を落としている。本研究では、実際の射出成形機からデータを収集した。このデータを解析し、間欠的不良の発生メカニズムとその要因を考察することを本研究の目的とする。

2. 従来研究

射出成形の欠陥の原理と対策については、製造業の長い歴史の中で経験則的に知識が蓄積されてきた。例えば製品表面に銀色の筋が走るシルバーストリークという欠陥については、樹脂内の水分や溶解時のガスといったものを巻き込んで起こるものであり、対策としては樹脂に水分が含まれないようにするほか、射出時の圧力と温度を下げる事が有効であると一般的に知られている[1]。

これまでには金型内の視覚的観測[2]、スクリュ・ホッパーの形状の改善[3][4]といったアプローチが為されているが、欠陥の発生メカニズムを数理的に検証する事はまだ行われていない。また、間欠的に起きる欠陥に対する分析としては MT 法を適用する中田らの研究[5]があるが、射出成形機のデータに数理的な解析が適用された物は少ないか、前任者の研究を除いて未だない。

3. 予備調査

3.1 用語定義

本研究について説明する為の前提として、成形条件と間欠不良について定義しておく。

成形条件とは、射出成形機に設定される温度、圧力などの設定値であり、生産管理においては、外的要因・機械的誤差によるばらつきを踏まえても成形品が良品に収まるように定められる数値であると定義する。

そして間欠不良とは、成形条件が整えられても間欠的に発生し続ける点で特徴的な不良であると定義する。

3.2 境界線的な判別

従来の方法の効果の検証として、Python 上で SVC 及び K-NN を用いたアプローチを試みた。この際使用したデータ数は欠損値を除いた 353 個で、モデルの学習時に 0.5 の比率で学習用とテスト用データに分割した。以下の表 1, 2 に学習済みモデルでテスト用データを予測した際に得られた混合行列を示す。表の縦軸は実データの値、横軸は予測値をそれぞれ示しており、表中の Positive は良品、Negative は不良品をそれぞれ示している。これらの表ではいずれのアルゴリズムにおいても予測が Positive 側に偏っており、この事から境界線を定めて判別する方法では有効な判別を行うのは困難であると判断された。また SVC においては、モデルの説明変数の重みに再現性は確認されなかった。

表 1: SVC の混合行列 (n=176)

| Kernel=linear | 予測/Positive | 予測/Negative |
|---------------|-------------|-------------|
| 実データ/Positive | 137 | 0 |
| 実データ/Negative | 39 | 0 |

表 2: K-NN の混合行列 (n=177)

| Neighbors=5 | 予測/Positive | 予測/Negative |
|---------------|-------------|-------------|
| 実データ/Positive | 124 | 16 |
| 実データ/Negative | 30 | 7 |

3.3 独立成分分析(ICA)

ICA とは、データの次元削減法の一つであり、互いが確率的に独立した軸を求める。この技術は波形の分解に応用されており、観測値たる波形の個数以下の数の波形を発生源として求める事ができる。正しい発生源数を設定してこれを行えば、任意数の波形を得て、そのうちホワイトノイズに関わる観測値を精査する事で間欠不良の発生原因に至る事ができると考え、これをデータに対して適用した。結果として得られた波形にはカラードノイズの特徴的な物が確認されたが、それらに対する観測値の重みを考察しても有効な関係が導かれるには至らなかった。

3.4 エネルギースペクトル算出

本研究に用いられる射出成形機のデータがタイムスタンプと観測値を持つ擬似的な時系列データであることに注目し、データを波形と捉えて周波数帯に分解するエネルギースペクトルの算出も試みた。以下の図 1 に不良発生のエネルギースペクトルの散布図を示す。図 1 では、高周波数帯になっても成分が集中するエネルギーの高さがあまり変わらない。これはホワイトノイズの特徴に類似しており、このスペクトルを持つ波形は時系列上に自己相関の様な関係を持たない。低周波数帯の類似に関連性を見出

す事も可能とされるが、全ての観測値において類似関係は確認されなかった。

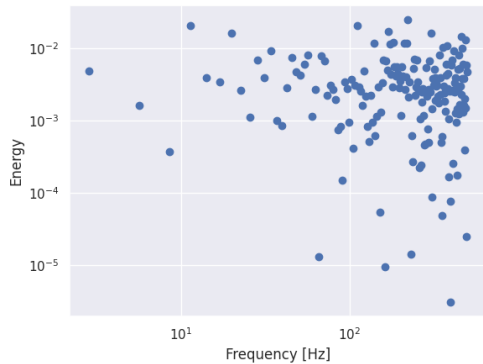


図1:不良発生のエネルギースペクトルの散布図

4. 提案方法

予備調査として行った分析の結果を受けて、個々のショットに対する分析によって不良の発生傾向を考察する事は難しいと判断した。よって、本研究では不良が発生する密度という観点に立った方法を提案する。具体的な方法は以下の(1)~(3)に従う。

(1) 不良発生密度の定義

データのある区間における不良の発生頻度によって不良発生の疎密を定義した。具体的には、不良が発生した時点で密度フラグを 1 とし、その時点から閾値となる時間を越えて不良が発生しなかった場合以降のデータの密度フラグを 0 とした。この際、生成されるゾーン数と傾向判別精度から閾値はタイムスタンプ上で 20 分とした。

(2) 密度に基づくデータの分類

(1)において付与したフラグに従い、フラグの切り替わりを区切りとしてデータをゾーン分けした。またゾーン毎に観測値の平均値を算出して格納し、続く回帰処理の前処理として多重共線性の排除と標準化を適用した。

(3) 不良発生密度の傾向判別

(2)においてゾーン毎に纏めて前処理を施したデータを基に Scikit-learn の重回帰を適用した。その際、目的変数は密度フラグ、説明変数はゾーン毎の観測値とした。

5. 結果

回帰の結果、モデルの正解率は 1.0 という極めて高い値を示した。このことから、観測値を密度フラグに結びつける事は十分可能であると判断できる。またモデルの各変数に対する重みを以下の図 2 に示す。図中では、キャビティ周辺の温度系統と型内やシリンダー一部の背圧といった圧力系統の変数の多くは大きく負であり、射出速度系統の変数の多くが正である。

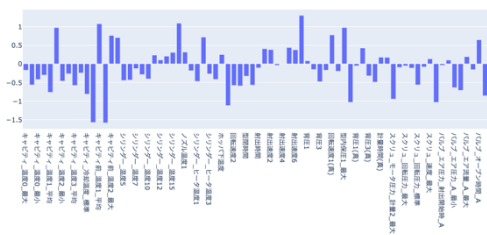


図2: 重回帰モデルの各説明変数の重み

6. 考察

結果からは、キャビティ周辺の温度と樹脂にかかる圧力の低さ、ノズルからキャビティ内に射出される樹脂の速さに不良との関係性があると疑われる。前者については、樹脂の流動性が損なわれ、かつそれによって生じた成形不良を圧力で補完しきれていない事を示唆している。また後者については、射出速度の速さからキャビティ内を上手く充填しきれなくなるヘジテーション現象の可能性もある。

これらの要因から引き起こされる不良の典型例はキャビティ内で合流した樹脂の合わせ目が成形品に残るウェルドラインであり、実際に本研究に用いた射出成形機の実験データにおける不良の内訳の多くはこの不良である。

このことから、線形回帰のモデルの重みと実際の不良にはある程度整合性が取れていると解釈することができる。また不良を発生密度である程度纏めて取り扱うというやり方であれば、不良発生密度の傾向に関わる観測値は発見できる。そして発見した観測値を基に不良発生密度を下げる方向に成形条件を調整することも将来的には可能である。

7. 結論

本研究では、射出成形における間欠的不良のメカニズムの解明を目的として、射出成形機から得られたデータに対するデータ解析を行った。その結果として、データを不良発生密度によってゾーニングするという方法によって処理し、解析する事で不良発生密度を上昇させる観測値を特定出来た。

しかしながら、個々のゾーン内に良品と不良品が不規則に混じるような、マイクロで見た際の不良発生の間欠性の根本を掴むには至らなかった。真に間欠不良の発生メカニズムを究明するにはより高度な時系列解析が必要だと見られ、今後へ向けての大きな課題である。また、今回提案した手法である不良密度の低減を生産管理において活用する事の実現性や汎用性の検討も実験を通して行われる必要がある。

参考文献

[1] 横田 明,射出成形加工の不良対策 第2版,日刊工業新聞社,2012
 [2] 横井秀俊,林高樹,平岡弘之, ” 射出成形における型内樹脂挙動の直接観察”,生産研究,39 巻 7 号,pp.20-23,1987
 [3] 龍野道宏, ”射出成形”,成形加工,31 巻 7 号,pp254-258,2019
 [4] 井上 玲, ”射出成形におけるスクリュー可塑性技術”,成形加工,31 巻 3 号,pp46-47,2019
 [5] 中田 絢子, 山村英記, 徐世中, 杉山昭, 斎藤之男, 矢野宏, ” MT システムを用いた油圧射出成形工程の診断と予測 ” ,品質工学,19 巻 4 号,pp.33-36,2011