

製造・修理工程の効率化を目的とした不具合情報分析と製造・修理計画の 支援技術に関する研究

曾賀野健一*、松原早苗*、小原和也†、飯沼洋二†

**A study on the defect information analysis and the support tools for the purpose of improving the efficiency of
manufacturing and repair processes**

SOGANO Kenichi*, MATSUBARA Sanae*, OHARA Kazuya† and IINUMA Yoji†

金型の試作工程において、過去の不具合履歴情報を活用しきれていないため同じような不具合が発生し、製品の開発期間増大や試作コストの増加等の生産効率の低下が課題となっている。この問題を解決するため、製造現場の現状を把握し、過去の不具合履歴情報を活用するための方法を検討した。本年度は、製造現場で扱う帳票類の調査をふまえて、帳票等に記載のある全ての管理項目を一元的に把握可能なデータリストの整備を行い、「面反り」という不具合を対象にデータ分析とデータ分布傾向の確認を行った。また、分析結果に対して製造現場（熟練者）の見解を確認したので報告する。

1. はじめに

製造現場では、試作にかかる人員・材料・時間等の限られた生産投入資源を最大限に有効活用し、生産性向上を図るため、業務改善の取り組みが求められている¹⁾。

金型の製造工程では、はじめに仕様を検討する。この仕様に基づいて「トライ」と呼ばれる試作工程に進み、試作品の形状等の検査を行い、仕様を満たすモノを作ることが可能か、量産に向けての調整が行われる。ここで試作品に不具合が発生すると「トライ」を繰り返すことになり、試作にかかるコストや時間が増大する大きな要因となっている。過去に同じ形状や種類の金型を試作製造している場合にも同じ不具合が発生しており、「トライ」を繰り返すことになるため生産効率の低下を招いている。これは、過去の不具合履歴情報が紙媒体や様々な電子媒体を用いて現在は管理しているが、多忙な現場では膨大な情報（183個の管理項目）をまとめることが難しく、不具合の要因を掴みきれていないことに起因する。

そこで本研究では、ある金型を対象に過去の不具合履歴情報を調査・整備し、「面反り」という不具合発生の傾向を分析した。この分析結果に基づいて仕様検討時に設定値の推奨範囲を示す等の対策に資するツールを構築・運用することにより生産性向上の一助とする。

2. 帳票類の調査とデータリストの整備

はじめに、製造現場で扱う帳票や電子情報を調査した。

「トライ」に関わる工程で扱う帳票は、仕様書、トライ依頼書、トライ結果報告書、成形条件表等、様々な帳

票や電子情報が散在しているが、全ての情報（管理項目）を一元的に把握可能なデータリストは存在しない。この帳票や電子情報の中に不具合の発生や対策に関わる情報が埋もれていたとしても、如何に扱えばよいか容易ではなく、仕様検討時に活用できていないのが実状である。そこで、ある金型を対象に帳票や電子情報に関わる全ての管理項目を一元的に把握可能なデータリストを整備し、「面反り」の発生に対して重要度の高い要因が存在するか探索することとした。探索にあたり、データ数を確保する必要があるが、製造現場で扱う金型は多様であり同型のデータを数多く収集することは困難であったため同型かつトライ数の多い型を対象とし、ある型に関するデータリストを整備した。整備した型のデータ件数は8件であり多いとはいえないが、3章で述べる分析手法によりデータ件数が少ない場合にも分析が可能となっている。

3. データ分析手法の検討

2章で整備したデータリストを用い、データ分析を行うための手法について検討を行った。

なお「面反り」とは、平面の形状が金型から取り出された後に変形する現象のことであり、成形品が変形すると見映えのほか、組み立て時に相手部品との干渉や隙間が生じるといった不具合につながるものである。

「面反り」の発生に対して重要度の高い要因を探索するため、因子分析という手法を採用した。因子分析は、観測変数に対して共通に影響を与えている新しい変数（共通因子）を探索し、探索された共通因子の線形結合によって観測変数を表す統計的手法である。因子分析のモデルを図式化すると図1のようになる。 X は観測変数を表し、本報告では183個の管理項目に対応する。 F は共通因子を、 ε は独自因子を表す。 F から X に対するパ

* 情報技術部

† 岐阜プラスチック工業株式会社

スに付した重み λ は、共通因子から観測変数に対し重要度を示す因子負荷量であり、重要な指標となる。

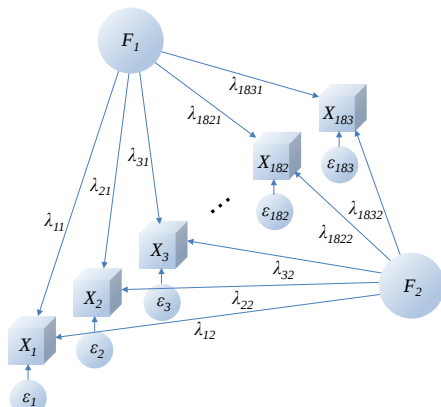


図1 因子分析モデル（共通因子数が2個の例）

因子分析の計算は、観測変数間の相関行列を用いて行う。相関行列により因子分析のモデル（共通因子が直交モデルの場合）を表現したものが式(1)である。

$$\Sigma = \Lambda\Lambda^T + \Gamma \quad (1)$$

Σ は相関行列を表し、 Λ は因子負荷量行列を表す。 Γ は、対角要素に独自因子の値を、非対角要素に0を入力した行列である。独自因子は、共通因子が直交モデルの場合に因子負荷量を用いて求めることができる²⁾。

分析では、層別変数を不具合群（「面反り」が属する群）と非不具合群（「面反り」が属さない群）に分類し、二群（不具合群と非不具合群）を分類できる可能性が高い共通因子を探索した。

なお、観測変数には単位や桁数等、種類の異なる様々なデータが混在しているため、データの標準化（観測変数別にデータの平均値に対する重み付け）を行った。

4. 分析結果と製造現場（熟練者）の見解

3章で標準化したデータを用いて因子分析を行った。分析では、統計解析ソフトJUSE-StatWorks/V4.0を用いた。共通因子の抽出方法は主因子法を用い、累積寄与率が60%以上となる共通因子とした。因子負荷量は、因子軸の回転（Varimax Method）を考慮し、各共通因子に対し因子負荷量の大きさが0.6以上となるものを採用した。分析結果を表1に示す。

表1 観測変数の因子負荷量

観測変数	共通因子	独自因子
X	F	ε
保圧時間	0.996	-0.006
射出時間	-0.994	0.009
冷却時間	0.911	0.009
切替位置	0.884	0.040

共通因子 F を構成する重要度の高い因子負荷量として、保圧時間（0.996）、射出時間（-0.994）、冷却時間

（0.911）、切替位置（0.884）が導かれた。切替位置とは、一次圧で金型内に樹脂を充填し始め、設定された位置で二次圧（保圧）に切り替わる設定値である。括弧内の数値は因子負荷量の大きさを示している。不具合群の分布は、共通因子 F において負の領域に確認できることから、「保圧時間が短い」、「射出時間が長い」、「冷却時間が短い」、「切替位置が近い」という因子負荷量の解釈が「面反り」の発生要因として示される結果となった。次に、因子分析により導かれた4つの因子負荷量を主構成とする共通因子 F についてデータの分布傾向を確認するため、因子得点を用いて二群の母平均の差の検定を行った。検定の結果、平均値の95%信頼区間において有意水準1%で有意となった。このことは、二群に関して共通因子 F を用いることにより分類できる可能性が高いことを示している。

この分析結果に関して、製造現場（熟練者）の見解を確認したところ、保圧時間が短いと樹脂の充填不足になる、射出時間が長いと過度に圧力を与える、冷却時間が短いと金型内で樹脂が硬化しにくい、切替位置が近いと過度に圧力を与えるといった傾向があるのではないかと考えられており、この熟練者の見解は因子分析により導かれた因子負荷量の解釈と一致している。

5. まとめ

金型の試作工程における生産効率低下の要因となる課題を解決するため、帳票や電子情報を基に、ある金型を対象に全ての管理項目を一元的に把握可能なデータリストを整備した。このリストを用いて「面反り」の発生に対し重要度の高い要因が存在するか探索するため、因子分析を行った。その結果、重要度の高い4つの因子負荷量を主構成とする共通因子が得られた。この共通因子に対して二群の母平均の差の検定を行った結果、二群は、この共通因子を用いることにより分類できる可能性が高いことが示された。「面反り」という不具合に関する因子分析の結果は、製造現場（熟練者）の見解と一致し、熟練者の経験に関わる部分をデータから裏付けることができたのではないかと考えている。

今後は、今回のデータ調査・分析により得られた情報を現場（仕様検討）の業務に如何に反映させるか、不具合の対策に資するツールやデータベースの設計に関わる課題について、企業と連携し進める予定である。

【参考文献】

- 1) 経済産業省, 我が国ものづくり産業が直面する課題と展望, pp82-89, 2018
- 2) 中村知靖, “心理尺度作成における因子分析の利用法”, The Annual Report of Education Psychology in Japan Vol.46, pp42-45, 2007