

## 中小金型メーカーにおける「熟達者 AI」, 「IoT 金型」の開発事例

乙 部 信 吾\*1・浦 野 真 理\*1・大 泉 圭 一\*1・林 孝 之\*2  
石 神 明\*3・Natthapong Chuaponpat\*3・伊 藤 浩 志\*3

### 1. はじめに

安定した品質の成形加工を実現するため、金型メーカーでは、出荷前の自社トライアル段階で熟達技能者が複数回の「パラメータチューニング（金型修正，成形機条件出し）」を行い，良品製造の諸条件を固めている。しかし，納入先工場と同条件での成形を行っても，品質不良が発生するケースが少なくない。これには金型以外の要素が影響していると考えられる。例えば，工場内の温度，湿度，作業者のスキル，段取り方法，取付方法，材料の調合方法，等（以下「環境差」という）や成形機の種類や経年劣化に代表される機械自体の個体差（以下「機差」という）等，様々な条件に成形品質は左右される。

この問題を解決するため，㈱LIGHTzと㈱IBUKIは，複数のIoTセンサを付与した金型を製作し，その計測，学習データを基に機差・環境差推定アルゴリズム（AI）を開発している。山形大学は，このAIに対して，樹脂成形分野における汎用知を学術的な視点での示唆として与えるための「メカニズム（原理原則）辞書」の構築を担当している。本稿ではその取り組みについて紹介する。

### 2. 開発ステップ

通常，AIやIoT等のデータ解析システムの開発は，利用する統計アルゴリズムの選定から開始することが通例であるが，本取り組みでは，現場の熟達者からヒアリングを行い，その思考を教師データ（仮説）として設定すること

を起点に開発を進めた。今回採用したAI開発のステップは，以下の通り。また，開発の概要を図1に示す。

#### <「IoT 金型/AI」開発ステップ>

- ①熟達者ヒアリングによる測定箇所の決定
- ②センサの選定，IoT 金型の設計，製作
- ③ブレインモデル構築，AI アルゴリズム設計
- ④成形サイクルでのデータ計測，統計解析
- ⑤AI システム（リコmendエンジン）構築

最終的には，海外（遠隔）での生産管理の実現を目的にAIによるリコmendシステムを構築していく。

まず初めに熟達者が有している「金型内部の挙動（溶融樹脂の流れ，各機構部の動作，変形，等）」に関する予測ノウハウをヒアリングし，どの点に着眼しているか，その特異点の特徴をどのように見つけるか，そこからどのように要因を予測し，対策立案するかという頭の中で行われている思考（推定）の流れを「ブレインモデル（Brain Model）」と呼称する言語ネットワーク形式で可視化した。

次にその予測ノウハウを基に「IoT 金型」を設計した。射出成形や板金プレスの挙動をIoTセンサで可視化する取り組みは，国内外を問わず多数見られるが，その大部分は成形機本体や金型の外側にセンサを取り付けて間接的に挙動を解析するものである。これに対し，今回の取り組みでは，耐熱性のセンサをメーカーと共同で開発し，金型内部に埋め込めるようにしたことで，熟達者の予測ノウハウとして得られた着眼点に対し，ダイレクトにセンサを配置することができた。

以下，作成したブレインモデルを図2に，IoT 金型の設計仕様を図3に，選定したセンサの仕様一覧を図4に示す。

センサは，射出成形サイクル内の各工程でどのような挙動をセンシングしたいかを定義し，その観測が叶うセンサを選定している。例えば，型締め，樹脂流入，保圧段階で金型隙間から樹脂が漏れ出すことが原因で起こる「バリ」現象を把握するために，流入圧力や保圧に対して金型が開いていないかを検出する「変位センサ」を配置している。

Development of "Expertized AI" and "IoT-Based Mold" in Mold Manufacturing SME

\*1 Otobe, Shingo/Urano, Makoto/Oizumi, Keiichi

㈱LIGHTz

つくば市千現 2-1-6 (〒305-0047)

shingo.otobe@lightz-inc.com

\*2 Hayashi, Takayuki

㈱IBUKI

山形県西村山郡河北町谷地字真木 160-2 (〒999-3511)

\*3 Ishigami, Akira/Natthapong Chuaponpat/Ito, Hiroshi

山形大学

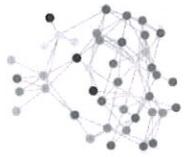
米沢市城南 4-3-16 (〒992-8510)

2019. 6. 10 受理

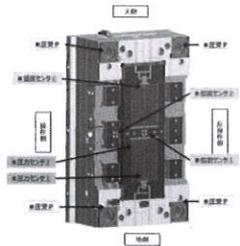
ブレインモデル

IoT金型

グローバル生産管理



金型内部の挙動に関する熟達者の予測ノウハウ



熟達者の視点の可視化  
思考回路 AIアルゴリズム化

最適なセンサ種類の選択  
レイアウト配置の決定

海外生産拠点に対する  
遠隔での生産指示

図1 熟達者思考のAI化, IoT金型化の開発ステップ

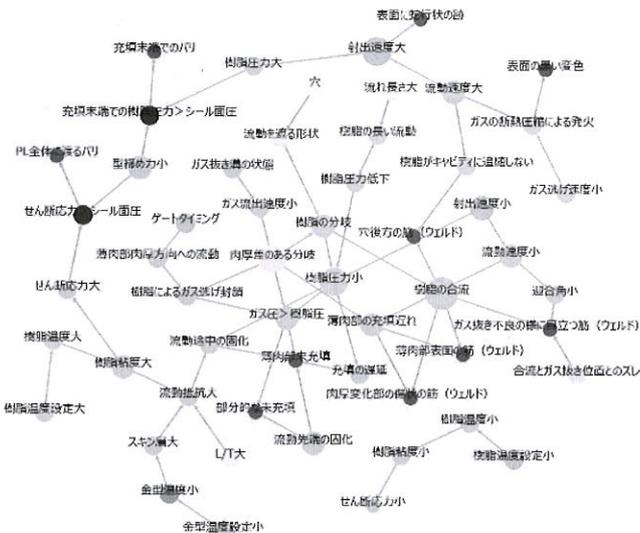


図2 ブレインモデル (思考の言語ネットワーク化)

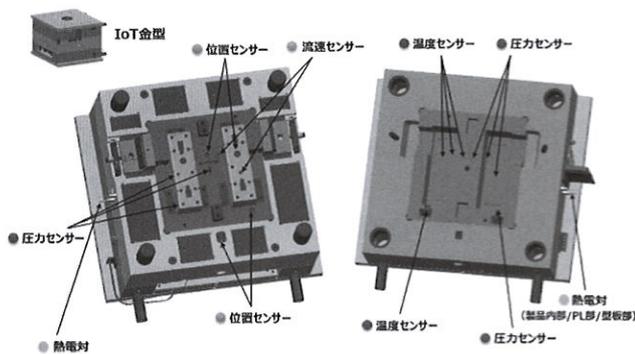


図3 IoT金型の設計仕様 (センサ種類, 配置)

3. AIアルゴリズム

熟達者ヒアリングを基にブレインモデルを構築した結果、熟達者の思考は「路式 (ルート)」に結論を導いているのではなく、「網式 (ネットワーク)」に様々なことを考えながら対策を立案していることが分かった。この分析によって、熟達者が行っている「金型から取り出された樹脂製品

| 射出成形サイクル                  | IoTセンサの種類 / 用途 |                                |
|---------------------------|----------------|--------------------------------|
| <b>[STEP1] 型締め</b>        | 変位センサ          | 金型内外の構造部の変形や型開きの挙動を変位センサで計測    |
| <b>[STEP2] 樹脂流し入れ</b>     | 温度センサ          | 樹脂が高温で流し込まれてから冷却されるまでの熱サイクルを把握 |
|                           | 流速センサ          | 金型内部に樹脂が流入してくる速度を計測            |
| <b>[STEP3] 保圧 / 冷却</b>    | 内圧センサ          | 射出の流入口圧力に対する金型内部の圧力分布を計測       |
|                           | 振動センサ          | 金型が機構動作する開閉時のビビリ現象を検知          |
| <b>[STEP4] 型開き / 取り出し</b> | サーマルカメラ        | 成形品取り出し時の表面の温度分布を把握            |

図4 選定したIoTセンサの仕様一覧

| 「不具合事象」毎に取り出した「熟達者思考・判断」のブレインモデル |           |        |         |         |
|----------------------------------|-----------|--------|---------|---------|
| ショートショット                         | バリ        | フローマーク | ウエルトライン | ジェットイング |
| ヒケ                               | シルバーストリーク | ガス焼け   | 反り      | 糸引き     |
| 離型不良                             | クレーシング    | 光沢不良   | ポイド     |         |

図5 不具合種別ごとに分割したブレインモデル

の外観を確認した後、成形機のチューニングパラメータを同定するまでの間に様々な要因や対策候補を想像し、その優先度や設定順序を固めているというプロセス」の複雑性、複合性を理解することで、その思考をベースにAIを構築するのであれば、オントロジカル (概念的、直感的) な論理構造を模すアルゴリズムに仕上げていくのが有効であるということが判明した。

今回は、不具合種別ごとに対策を引き当てていくAIシステムを構築することを目的にブレインモデルを以下の14種類の代表的な不具合を定義し、分割した (図5)。

次にセンシングデータを起点にブレインモデルを引当て、

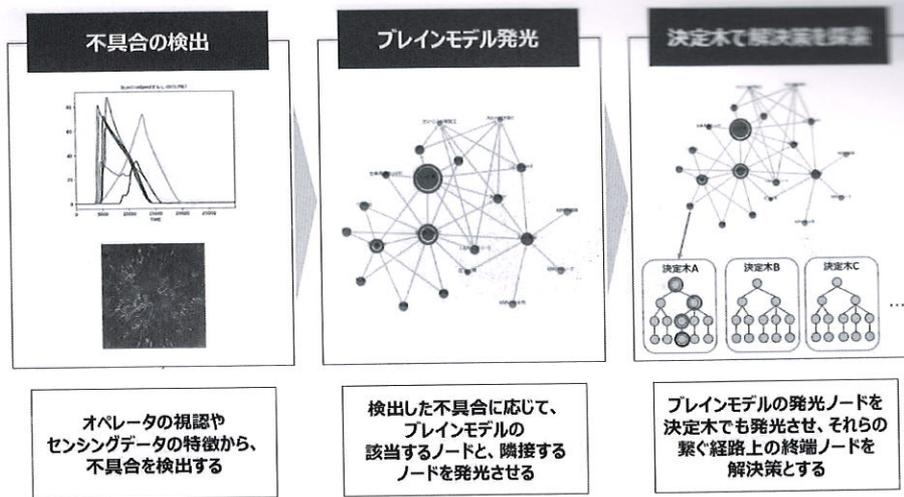


図6 アルゴリズム概要 (センシングデータ～ブレインモデル～決定木)

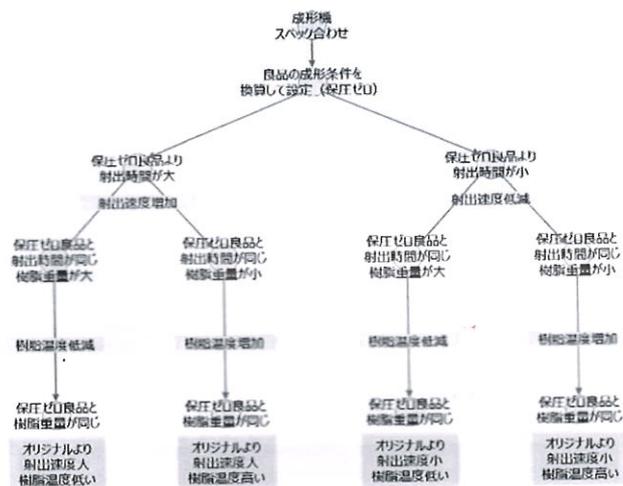


図7 決定木 (Decision Tree (対策決定モデル))

対策等のリコメンドを生成するアルゴリズムを考えた。

1段階目として、センサの検出データが不具合につながる兆候を示した場合、ブレインモデル内の特定の単語(以下「ノード」という)を引き当てるというデータとテキスト情報の紐づけを行った。

2段階目として、ブレインモデル上での網羅的なノードの引き当てから対策実施の優先度をツリー上で決定する「決定木(Decision Tree)」と呼ぶアルゴリズムを作成した。

以下、「センシングデータから熟達者知見や対策を引き当てていく」という本アルゴリズムの概要を図6に示す。

ブレインモデルは、熟達者の網羅的な思考空間を表すのには適しているが、そこから特定の対策を引き当てるという構造を持っていないため、決定木につなげることで優先度の高い対策を導き出せるようにしている。以下、本取り組みで整備している決定木のイメージ図を図7に示す。

決定木はLIGHTzにて作成した後、山形大学にて学術論文や研究知見の観点から精査を行い、その妥当性を検証し、仕上げている。その結果は、今年度(2019年度)中に「メカニズム(原理原則)辞書」としてまとめ上げる予定である。

- 加温条件: 恒温恒湿器\*1, 50℃, 90%RH, 20日間
- PA6では4.6%まで水分率上昇 (⇔ PP, PP+タルク, PCは微増)

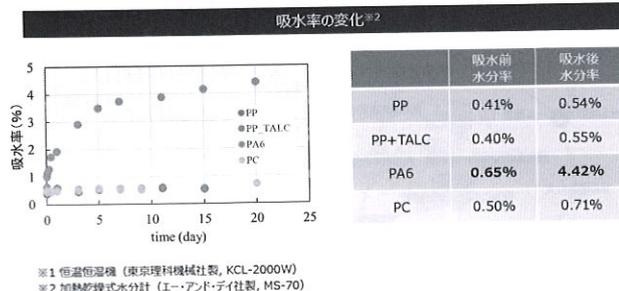


図8 樹脂材料「吸水実験」結果

- 4つの材料のうち、PA6およびPCに吸水による粘度の低下が確認された
- PCは、吸水率低いが、粘度変化が大きい ⇒ 加水分解に寄与する吸水が多い

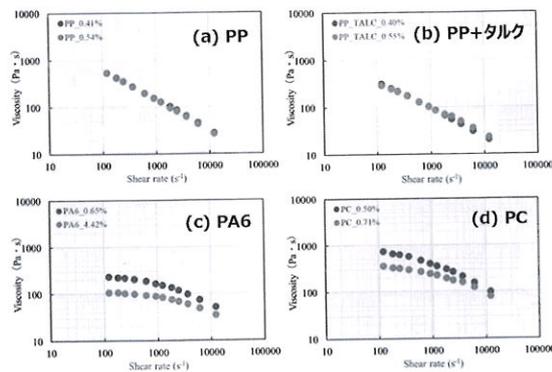


図9 樹脂材料「粘度試験(吸水前/後)」結果

#### 4. 中小企業における学術的取り組みの価値

本システムは、2020年からの本格稼働を目指し、開発中であるが、その途中で得られている「中小企業における学術的取り組みの価値」について、報告する。

図8は、4種類の樹脂材料(PP, PP+タルク, PA, PC)に対して行った吸水実験の結果である。次に吸水前、後の樹脂材料を用いた粘弾性(レオロジー)試験を行った結果を図9に示す。

吸水実験は、IoT 金型の出荷先として想定される東南アジア等の高温多湿地域での環境影響を調査するために行ったものである。結果としては、PA だけに吸水が見られ、他の材料の吸水率の変化は微少であった。

次に行った粘弾性試験では、想定通り、PA で粘度が低下したが、吸水が観測されなかったPCでも加水分解による同様の現象が起こった。PA は表面に水分が付着しているだけなので成形前の予備乾燥が有効だが、PC では予備乾燥をしても粘度特性は回復しないことを注意しなくてはならない。このように学術知見を中小企業が知ること、暗黙的な現場ノウハウが、正しい知識、技能継承のアイテムに変えることができるという点で本活動は好事例になったと考える。

今後、このような知見を活用しながら「IoT/AI」開発を進めていきたい。

## 5. 結 言

熟達者は自らの経験や成功体験に沿って成形パラメータの良否を判断するが、若手や海外要員は、同様の判断ができない。今回の開発では、熟達者 AI による「思考のアシスト」を活用することで、技能継承が実現し、製造品質を維持、向上できる可能性があることを示せたと考えている。このような形で現場知見を AI 化できる道筋を作ることができれば、日本のものづくりを支える中小製造業が活性化していくことにも貢献できるのではないかと考えている。

### 賛助会員ならびに会員の皆様へ

#### 「知りたい、見たい、訪ねたい—成形加工の元気な仲間—」の 訪問取材を希望される会社を募集中

「成形加工」誌には、「知りたい、見たい、訪ねたい—成形加工の元気な仲間—」を掲載しています。本企画は、プラスチック成形加工に携わり、日本のものづくり産業の基盤を支えている活気ある企業を、本誌編集委員自らが訪問取材して、会社概要および自慢の製品・技術を広く会員に紹介することを目的としたもので、詳細は以下のとおりです。

1. 主として賛助会員あるいは正会員の所属する会社を、本誌編集委員が訪問し、新製品・新技術等を、実際の製品を見て、あるいは現場見学を交えて取材し、記事としてまとめ上げる。会員による原稿執筆は一切不要。
2. 取材は、2 時間程度。
3. 原稿は、図表を含めて刷り上がり 2~3 ページとする。
4. 掲載料は無料。

この「知りたい、見たい、訪ねたい—成形加工の元気な仲間—」の訪問取材を是非ご検討下さい。

本企画は、年間 4~5 件を掲載する予定です。記事のスタイル、内容等につきましてはすでに掲載されている幾つかの記事をご参照下さい。

「成形加工」編集委員会