

特集論文

製造プロセスへのAI適用

AI Application to Manufacturing Processes

氏家達浩*

Tatsuhiro Ujiiie

横堀祐芽*

Yuka Yokobori

高阪 翔*

Kakeru Kosaka

榎原正朗*

Masaaki Sakakibara

*生産技術センター

要 旨

生産現場でのAI運用は、生産性向上と品質安定化に大きな社会的意義を持つ。世界の製造業では、データ駆動型の意思決定やプロセス最適化にAIを導入する取組みが加速しているが、実際の生産ラインへの実装には課題が残る。

三菱電機は、加工・組立て・検査などの工場ライン作業への高効率AI運用技術を開発している。具体的には、樹脂成形の条件導出技術、機械加工パラメーターの自動最適化、溶接パラメーターの自動最適化など、製造プロセスの各段階でAIを適用することで、生産効率と品質の向上に取り組んでいる。これらの技術によって、製造業のデジタル変革を加速させて、持続可能な生産体制の構築に貢献する。

1. まえがき

AIは世界中で急速に普及しているが、製造業の現場では他分野より限定的で、多くの企業ではPoC(Proof of Concept)にとどまっている。

当社では熟練者の知識や経験を分析し、明示的なルールを数値データとして捉え直した上で、AIに学習させる技術開発に注力している(図1)。

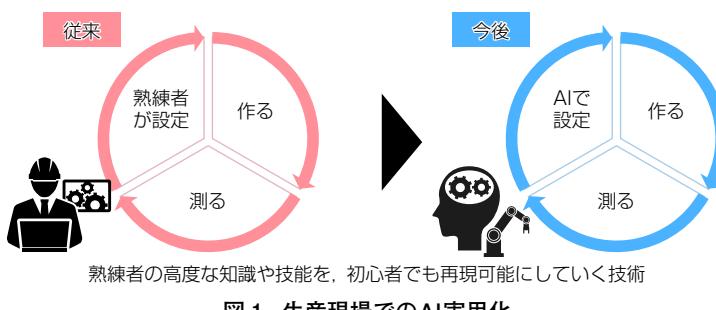


図1-生産現場でのAI実用化

加工プロセスへの適用では、①樹脂成形の条件導出技術、②機械加工パラメーターの自動最適化、③溶接パラメーターの自動最適化の開発を進めてきた。これによって、属人的技能依存から脱却し、品質の標準化・生産の安定化・技能伝承問題の解消に貢献している。

本稿では、当社の製造プロセスへのAI適用事例を述べて、生産現場でのAI実用化の展望について述べる。

2. 樹脂成形の条件導出技術

樹脂成形は、製品の外観品質と機能性を左右する重要技術である。高精度な筐体(きょうたい)や精密部品の製造を可能にして、コスト競争力と製品差別化を同時に実現する。また、多様な製品群の迅速な市場投入を支える基盤技術として不可欠である。

2.1 樹脂成形パラメーター調整の課題

樹脂成形では、条件設定が熟練者の経験と勘に依存し、エンジニアの技術水準が品質とリードタイムに影響する。当社でもトライアンドエラーによる条件調整が、リードタイム長期化と品質ばらつきの原因になっている。

2.2 ベイズ最適化を用いた樹脂成形条件導出技術

この課題解決のため、未知関数にも適用可能なベイズ最適化を活用した樹脂成形条件導出技術を開発した。成形品質の定量化が重要だが、特に外観品質は目視検査が一般的で、判断基準が不明瞭のため作業者間のばらつきが課題であった。

この解決のため、成形品質の定量化に取り組んだ。一つ目は樹脂収縮による凹み(くぼみ)(ヒケ)で、型内センサーの値と表面粗さ計による凹み量との相関からヒケ特微量という指標を見いだした。二つ目は流動の乱れによる光沢不良(フローマーク)で、画像処理技術を用いて熟練者の官能評価と相關する指標を得た。これによって、図2のように成形加工とセンシング、品質評価、AIによる条件候補導出を繰り返すことで、機械的に最適成形条件を導出することが可能になった。

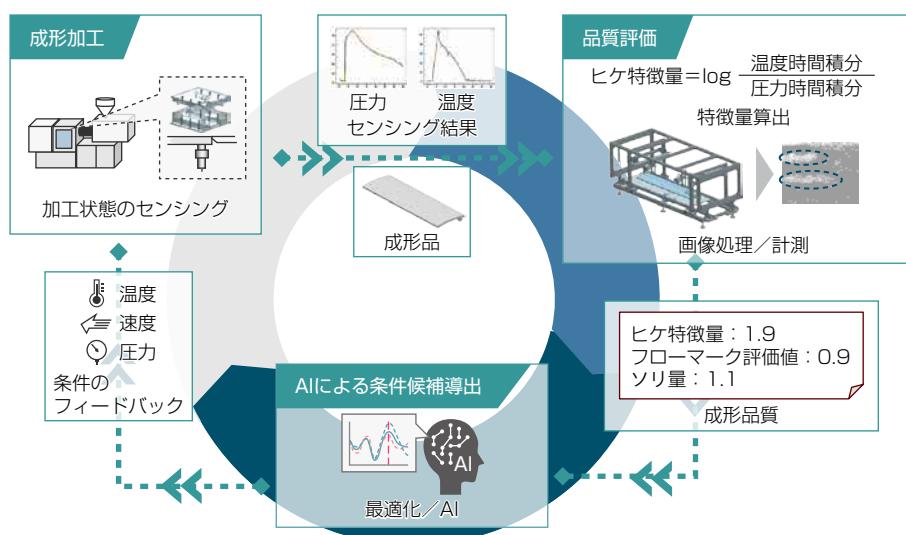


図2-ベイズ最適化を用いた樹脂成形条件導出技術の概略図

2.3 ベイズ最適化を用いた樹脂成形条件導出技術の適用例

この技術の検証内容を図3で示す。長尺板状意匠部品を対象として、成形条件の導出能力をこのシステム、熟練者、非熟練者で比較した。対象とする不良はソリ、ヒケ、フローマークの三つとして、それらが要求品質値を満たせば良品と判定した。

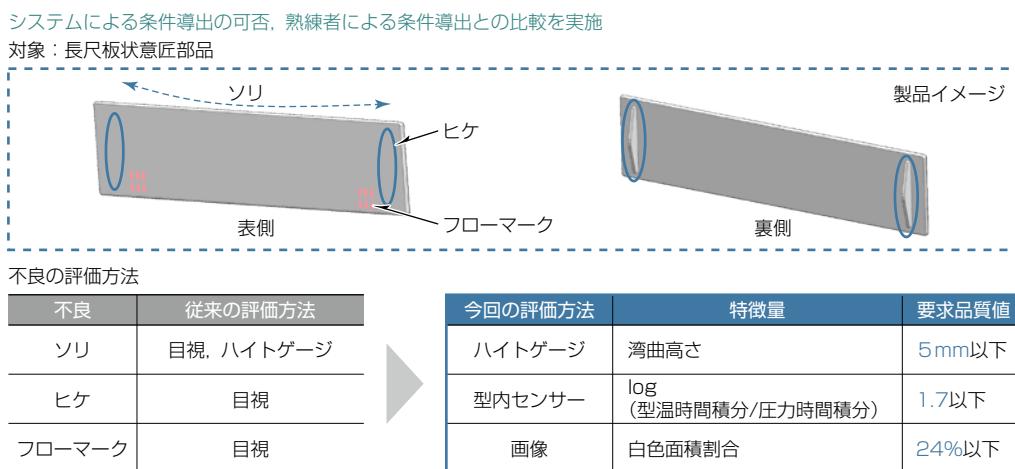


図3-検証方法

比較結果を図4で示す。それぞれ導出した成形条件に基づいた成形品について、評価結果をまとめた。また、必要になった変更回数も示す。その結果、システムと熟練者は要求品質を満たす成形条件を導出できたが、非熟練者は導出できなかった。さらに、システムは熟練者をわずかに上回る変更回数で同等の品質を達成できた。



図4-AI適用による効果確認

2.4 今後の展望

この研究で開発した樹脂成形の条件導出技術は、属人的技能依存からの脱却に向けた第一歩として一定の成果を上げた。今後は、AI判断根拠の可視化を更に強化し、熟練エンジニアの判断プロセスを再現できるようにして、エンジニア育成の加速を図る。これらの取組みによって、熟練者の経験や勘に依存しない科学的アプローチに基づいた樹脂成形技術を確立し、製造業全体の技術基盤強化と競争力向上に貢献していく。

3. 機械加工パラメーターの自動最適化

機械加工は製造業の根幹を支える基盤技術であり、製品の寸法精度や表面品質を決定する。企業競争力の源泉になる高精度部品の安定生産、コスト削減、及び短納期化を実現するためには、機械加工パラメーターの最適化が不可欠である。

3.1 機械加工パラメーター調整の課題

機械加工では、図面で要求される寸法公差、幾何公差、表面粗さを満たす加工条件設定が重要である。新製品形状の加工では、熟練者でもワーク形状などによって精度が変わるために、複数回の試加工が必要になる。

このような試行錯誤は材料コスト増加、設備稼働率低下、リードタイム長期化を招く。さらに近年の多品種少量生産化や製品ライフサイクル短縮化によって、新規加工条件設定の頻度が増加し、迅速かつ適切な条件設定が課題になっている。

3.2 機械加工パラメーターの自動最適化手法

この課題解決のため、加工条件から加工精度を予測する自動最適化システムを開発した(図5)。このシステムはマシニングセンターのエンドミル加工を対象として、加工条件と加工精度をデータベース化して機械学習によって関係性をモデル化している。入力変数にはワークの形状情報(厚み、高さなど)と加工条件(送り速度／軸切り込みなど)を使用した。各品質指標の特徴量を求めて、ワーク形状及び加工条件の影響度を明らかにした。例えば平面度では、壁高さや壁厚みの形状情報が重要な特徴量になった。モデル構築では直交表や機械学習特徴選択による要素絞り込みを実施し、データを効率的に活用した。



図5-自動最適化システム

3.3 自動最適化の適用例

開発システムを、簡易化した製品模擬ワークの実加工に適用した(図6、図7)。表面粗さの予測精度は約30%以内に収まり、軽切削領域を除いて、ワーク形状や加工条件変更時の寸法・幾何公差の増減傾向が実測と予測で合致した。この予測モデルによって加工前に加工条件と精度の関係把握が可能になった。このシステムの利用で、従来の経験ベース手法(約380min/条件)と比較し、機械学習を用いたこのシステムでは192min/条件になり、約49%の時間削減が実現できる。



図6-製品模擬ワーク



図7-製品模擬ワークのエンドミル加工

3.4 今後の展望

この取組みでは一定の成果を得たが、更なる高度化を目指している。具体的には、加工状態変化のセンシング手法を確立し、微小変化の影響を学習モデルへ反映する。これによって、寸法・幾何公差の予測精度向上と要求品質を満たす最速加工条件の導出を目指す。この技術は多品種少量・高精度が求められる大型ワーク製造に有効である。加工前の品質・能率評価は製造現場のニーズに合致しており、加工条件最適化によって高品質製品の安定供給とコスト競争力強化を両立していく。

4. 溶接パラメーターの自動最適化

溶接は製造業の主要接合技術であり、多くの製品で不可欠なプロセスである。溶接部の品質は製品の信頼性に直結するため、適切なパラメーター設定は安全性と品質向上に重要である。また、溶接条件の自動最適化によって、製造コスト削減と生産性向上が実現できる。

4.1 溶接パラメーター調整の課題

溶接プロセスでは、電流・電圧・速度などの多様なパラメーターが品質や形状精度に影響する。従来、これらの調整は熟練技術者の経験に依存し、最適条件の導出には多くの試作が必要であった。市販シミュレーションも存在するが、実機との乖離(かいり)があり実用的な予測が難しいため、製造現場でのパラメーター最適化が課題になっている。

4.2 自動最適化手法

当社では高精度独自データベースとAIモデルを組み合わせた溶接パラメーター自動最適化システムを開発した。核になるのは熱弾塑性解析の代理モデルで、溶接歪(ひず)みを推定するニューラルネットワークを構築した(図8)。溶接条件、材料特性、継手形状を入力として、変形量を出力として学習させている。標準データベース使用時の実機との乖離には、実測データを織り込んだ独自データベースで対応した。このシステムによって、溶接パラメーターの最適化を効率的に実施でき、実験と計測に依存せず開発プロセスの高速化と高精度化を同時に達成している。

4.3 自動最適化適用例

遮断器筐体モデルのケーススタディーによって、標準データベースを用いた従来手法と、歪み実績値を織り込んだ独自データベースの解析結果を比較した(図9)。独自データベースは実機の変形挙動に近い数値を示した。溶接後の熱収縮による歪みパターン予測では、標準データベースの最大240%の誤差が、独自データベースでは最大121%に改善された。開発したAIモデルによる予測結果を適用した結果、標準データベースより優れた精度で実機変形を予測できた。筐体フランジ面のZ方向の変位差で実機計測が2.11mmであるのに対して、AI予測値を活用した解析結果は1.88mmになり、高い整合性を示した(図10、図11)。

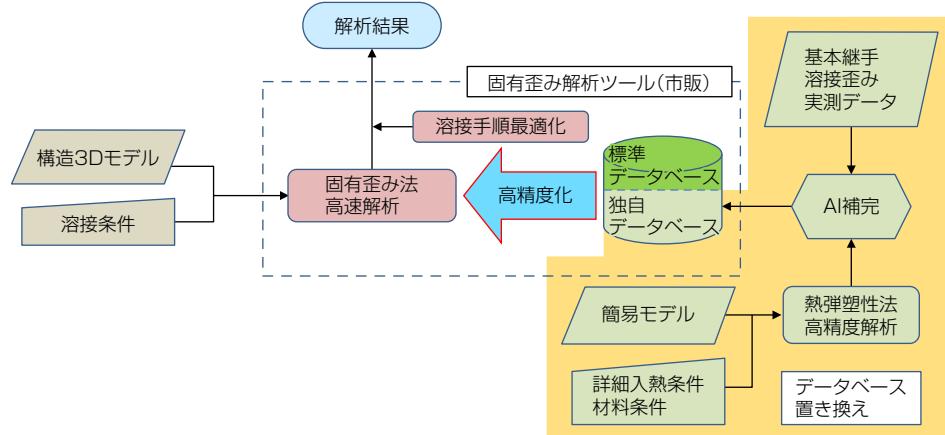


図8-データベース置き換えシステム

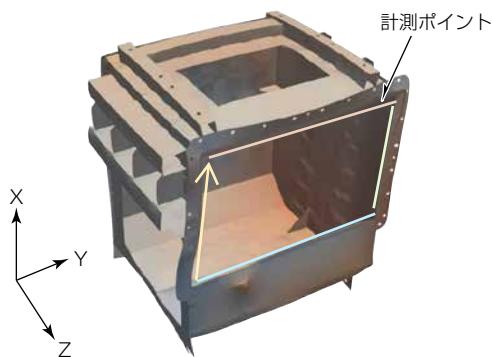


図9-溶接後の遮断器筐体解析結果

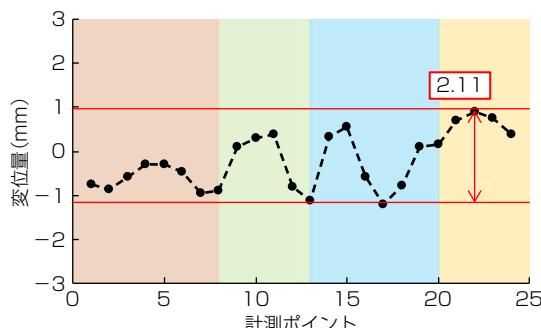


図10-実機フランジ取り合い面のZ方向変位差

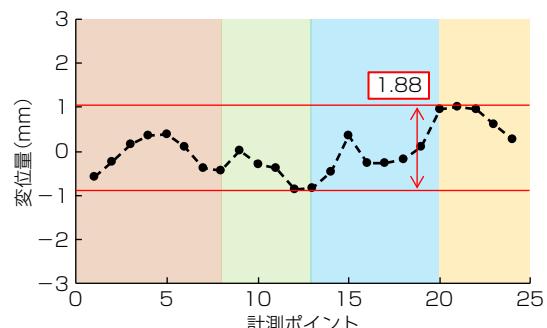


図11-AI解析したフランジ取り合い面のZ方向変位差

このケーススタディーによって、AIモデルと高精度データベースの組合せが溶接構造物の変形予測に有効であることが確認された。これによって複雑な溶接構造物の高精度変形予測が可能になり、設計段階での最適化とリードタイム短縮を実現した。

4.4 今後の展望

この研究で開発した溶接パラメーター自動最適化システムは高い実用性を示すが、更なる発展を目指している。重要課題はAIモデルの適用範囲拡大であり、今後は異なる材料や特殊環境への適用も視野に入れている。これによって熟練技術者の知見のデジタル化と技術継承を促進し、製造業の持続基盤構築に貢献する。この技術は製造プロセスの効率化と高品質製品の安定供給を実現する重要な技術として発展が期待される。

5. む す び

樹脂成形、機械加工、溶接の製造基幹工程でのAI活用技術を述べた。これらは熟練者の暗黙知をデジタル化し、製造パラメーターを自動最適化することで、品質向上と生産効率化を両立させる。

今後は、技術の精度向上と適用範囲拡大によって、製造業のデジタル変革を促進し、持続可能な生産体制構築に貢献する。

