調査・報告

機械学習による塑性加工技術の高度化に関する調査研究

片山　聡*　本田　崇**　櫻井　貴文***　村木　智彦****

Research on Advanced Technique of Plasticity Using Machine Learning

KATAYAMA Satoshi*，HONDA Takashi**，SAKURAI Takafumi*** and MURAKI Tomohiko****

1.　緒　　言

塑性加工分野の技術開発において重要な役割を果たすのがCAE技術である。CAE技術ではコンピュータ内に構築した仮想環境で実験・試作を繰り返せるため，加工段取りや金型の製作に多大な費用と期間を要する塑性加工においては特にその効果が大きい。また実際の加工では観察できない金型内部の材料挙動を可視化できることも利点である。一方，シミュレーション結果の評価・分析や改善策の考案は作業者の経験に頼っているのが現状であり，その自動化が技術課題となっている。

これを解決する技術として注目されているのが機械学習・データマイニングである。機械学習は入力条件と出力値の関連性から法則を構築する技術で，未知の入力条件に対する出力値の予測や識別，分類を可能とする。データマイニングは多くのデータを分析して有益な情報，知識を見出す技術で，その分析手法として統計解析や機械学習を利用する。これらはシミュレーション結果だけでなく，様々な分野のデータ分析にも用いられる。

そこで本調査研究では塑性加工分野における機械学習・データマイニングの適用事例を調査した。

また温間絞り加工シミュレーションを対象に，機械学習・データマイニングツールの予測精度を検証した。

*　中越技術支援センター
**　下越技術支援センター
***　県央技術支援センター
****　研究開発センター

2.　調査内容

2.1　技術動向・活用事例調査

塑性加工分野における機械学習・データマイニングの適用事例は，CAE 技術との連携，IoT技術との連携，要因分析に大別される。

CAE 技術との連携では加工条件の最適化，材料特性値やシミュレーションパラメータの同定に機械学習が利用されている。加工条件の最適化では応答曲面法と遺伝的アルゴリズムが組み合わされることが多いが，高効率な探索手法として逐次応答曲面法を用いた探索も注目されている[1)]。材料特性値やシミュレーションパラメータの同定は大学・企業だけでなく，公設試でも積極的に研究が進められており[2),3)]，最適化ツールやひずみ計測を目的とした画像相関法システムの導入も進んでいる。

IoT 技術との連携では，予知保全や加工精度の改善に機械学習が利用されている。予知保全では加工力や金型温度の時間変化を記録し，現在時刻からの状態変化を予測することで故障などの発生を防いでいる[4)]。加工精度の改善では，金型内の材料の表面位置を取得し，理想状態との差異をもとに加工ストロークを調整して高精度化を実現している[5)]。

なお，これらの研究の多くにはサーボプレスが使用されている。

要因分析では，決定木やランダムフォレストなどの手法を用いたデータマイニングによって，ばらつき発生要因の特定[6)]や加工条件の重要度の算出[7)]が行われている。これらの取り組みは暗黙知の可視化を実現し，塑性加工分野における技能伝承の一助になると考えられる。

2.2 検証実験

塑性加工分野における機械学習・データマイニングツールの予測精度を検証するため，非線形構造解析ソフトウェア LS-DYNA を用いて温間円筒絞り加工シミュレーションを実施し，最適化ツール ANSYS DesignXplorer およびオープンソースとして公開されているデータマイニングツール Orange による機械学習を試みた。

温間円筒絞り加工シミュレーションは金型形状，材料特性値を固定し，金型温度，絞り比を入力条件（3 因子），加工高さを出力値（予測対象）として設定した。学習データは 60 条件，検証データは 15 条件とし，ラテン超方格法によってサンプリングした。学習性能の評価には学習データに対する決定係数（R^2）を，予測精度の評価には検証データに対する平均平方二乗誤差率（RMSPE）を用いた。学習アルゴリズムはニューラルネットワークとし，それぞれのツールにて R^2 が最大になるよう中間層におけるニューロン数や活性化関数などを調整した。各ツールの R^2 と RMSE を表 1 に示す。今回実施したシミュレーションにおいてはツール間の差は見られず，3.35%前後の数値となった。

本検証実験で使用した Orange はウィジェットを接続してワークフローを作成するビジュアルプログラミングツールであり，プログラミング未経験者が機械学習・データマイニングを学習するのに適している。

また決定木など，各種アルゴリズムによる要因分析も可能であり，汎用性も高い。そのため，機械学習・データマイニングを始めようとする県内企業においては導入しやすいツールのひとつであるといえる。当所においても企業支援，技術普及を目的に，さらなる精度検証や事例作成に努める必要がある。

表 1　各ツールの R^2 と RMSPE

ツール名	R^2	RMSPE(%)
Orange	0.965	3.376
ANSYS DesignXplorer	0.969	3.326

3. 結　　言

(1) 塑性加工分野における機械学習・データマイニングの適用先はシミュレーション結果の予測や加工機械の予知保全，暗黙知の可視化による技能伝承など多岐にわたり，県内企業の技術力向上に大きく貢献すると考えられる。

(2) オープンソースのデータマイニングツール Orange の予測精度を検証し，商用ツールと差がないことを確認した。県内企業においても導入しやすいツールであると考えられ，当所においても事例の作成に努める必要がある。

参考文献

1) 北山哲士，“機械学習を活用した最適設計とその応用事例”，最適設計法の活用・講演資料，2020 年 12 月 18 日

2) 松下五樹，“鍛造シミュレーションの高度化－進化的計算手法と機械学習の活用－”，第 26 回型技術ワークショップ 2020 in ふじのくに講演資料，2020 年 12 月 3 日

3) 村田真伸，“名古屋市工業研究所における塑性加工分野の取り組み”，ぷらすとす，vol.3，no.35，2020，pp.682-686.

4) 長洲慶典，“加工センシングによるプレス金型異常検知に関する研究”，長野県工業技術総合センター研究報告書，no.15，2020，pp.7-12.

5) 稲田篤盛，“サーボプレスの知能化による板鍛造の高精度加工”，東海支部第 89 回塑性加工懇談会講演資料，2020 年 11 月 14 日

6) 佐々木千明，“機械学習による寸法ばらつきの要因分析手法の検討”，第 71 回塑性加工連合後援会講演論文集，2020，pp.47-48.

7) 橋本翔，“ねじり付加鍛造接合における機械学習の援用による接合条件の検討”，第 71 回塑性加工連合後援会講演論文集，2020，pp.21-22.