調査・報告

人工知能技術を用いたCAE技術に関する調査研究

片山　聡*　中部　昇**　馬場　大輔***　本田　崇**　櫻井　貴文****　村木　智彦*****

A Research on CAE Technology Applying the Artificial Intelligence Technology

KATAYAMA Satoshi*, NAKABE Noboru**, BABA Daisuke***, HONDA Takashi**,
SAKURAI Takafumi**** and MURAKI Tomohiko*****

1. 緒　　言

CAE(Computer Aided Engineering)は仮想的な実験環境をコンピュータ内に構築し，数値計算（シミュレーション）により加工方法の妥当性や製品性能を検証する技術である。その効果は試作回数の低減など，特に設計開発工程において発揮されるが，近年ではデジタルツインをはじめとする他工程との連携技術により[1,2]，製造業におけるデジタルトランスフォーメーション(DX)の推進，特にエンジニアリングチェーンの強化に欠かせない技術となっている。

DX 推進に向けた CAE の活用方法のひとつに，製品形状や材料特性をパラメータとして値を変更しながら計算し，その影響度や最適値を調査するパラメトリックスタディがある。近年では製品の機能や品質に対する要求の高まりにより，大規模なパラメトリックスタディや複数の要求を同時に満たす条件を求める多目的最適化を実施する例が増えている[3]。これらの計算で出力されるデータ量は膨大であり，パラメータとの関係性も複雑なことから，データ分析に人工知能技術が用いられることが多い[4,5]。最適化技術および人工知能技術は，今後の CAE の活用において欠かすことのできない技術であるといえる。

そこで本研究では，各製造分野の CAE ソフトウェアに搭載されている最適化技術や人工知能技術について調査し，DX 推進に向けた CAE の活用方法について検討した。

*　中越技術支援センター
**　下越技術支援センター
***　上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. CAE ソフトウェアの調査結果

2.1 構造解析ソフトウェア

構造解析ソフトウェアでは，製品の軽量化や応力低減を目的に，製品形状や寸法の最適化が実施される。形状最適化ではトポロジー最適化が，寸法最適化では実験計画法が用いられることが多い[6,7]。人工知能技術は，寸法最適化における近似モデル作成（メタモデリング）や最適値の探索に用いられている。

ANSYS 製汎用構造解析ソフトウェア Ansys Mechanical では最適化モジュールとして Ansys DesignXplorer が付属する。このモジュールにはメタモデリングアルゴリズムとしてニューラルネットワークなど 6 種類，最適化アルゴリズムとして多目的遺伝的アルゴリズムなど 7 種類が搭載されている。そのほか，感度解析機能，パラメータ相関解析機能，シックスシグマ解析機能も搭載しており，多角的なデータ分析が可能である。また Ansys Mechanical は同社製プロセス自動化・設計最適化ソリューション Ansys optiSLang，Noesis Solutions 製最適設計支援ツール Optimus，DATADVANCE 製設計空間探索プラットフォーム pSeven など，最適化に特化したソフトウェアと連携することで，逐次実験計画法など，より高度な最適化・データ分析が可能となる。

2.2 樹脂流動解析ソフトウェア

樹脂流動解析ソフトウェアでは，成形後の反り量や保圧時の型締め力の低減を目的に，ゲート位置や成形条件の最適化が実施される。

CoreTech System 製樹脂流動解析ソフトウェア Moldex 3D は，実験計画法を用いたデータ分析・最適化モジュール Expert を有しており，複数の品質要素を対象としたゲート位置および成形条件の最適化が可能である。また ESTECO 製多目的ロバスト設計最適化支援ツール modeFRONTIER と連携したパラメータ同定も可能である。

東レエンジニアリング D ソリューションズ（株）製樹脂流動解析ソフトウェア 3D TIMON では，（株）くいんと製汎用パラメータ最適化ソフトウェア AMDESS との連携により，ランナーの断面形状やバルブゲートの開閉タイミングをパラメータとした最適化が可能である。また計算設定の共有を目的とした解析データ管理システム DShare，人工知能技術により計算精度の向上および効率化を図る AI TIMON など，CAE における技能伝承に向けたモジュールも用意されている。

2.3 鋳造解析ソフトウェア

鋳造解析ソフトウェアでは，引け巣低減や歩留まり向上を目的に，溶湯温度や押湯位置の最適化が実施される。

（株）日立産業制御ソリューションズ製鋳造シミュレーションシステム ADSTEFAN では，Optimus および modeFRONTIER との連携により，多目的最適化を実施できる。また人工知能技術を利用した欠陥予測ツール ADPT が搭載されており，実際の鋳造欠陥情報と計算結果を教師データとして作成したデータベースにより，新たな鋳造方法や製品に対する欠陥発生の危険性を予測することが可能である。

2.4 塑性加工解析ソフトウェア

鍛造加工やプレス加工を対象とする塑性加工解析ソフトウェアでは，加工精度の向上や加工工程数の低減を目的に，加工条件や金型形状の最適化が実施される。

Scientific Forming Technologies Corporation 製鍛造解析ソフトウェア DEFORM には実験計画法モジュール DOE，最適化モジュール OPT が用意されている。また pSeven と連携した計算パラメータ同定も可能である[8)]。

Altair Engineering 製プレス成形シミュレーションソフトウェア Altair Inspire Form および同社製複合領域設計性能スタディ・最適化ソフトウェア Altair HyperStudy では，実験計画法要因分析やメタモデリングおよび成形条件の最適化が可能である。また Altair Inspire Form には金型の追加コンセプトを作成し，代替案の評価と最適化を行うダイ形状モジュールも搭載されている。

2.5 材料特性値同定ソフトウェア

CAE において材料データ（材料特性値）の精度は計算結果に大きな影響を及ぼす。材料特性値は各種の評価試験により取得することが一般的であり，これには多大な時間を必要としてきたが，近年では材料の合金成分や代表的な試験データを入力することで材料特性値を予測するソフトウェアが開発されている。

Sente Software 製金属物性値計算ソフトウェア JMatPro は，金属合金の温度，冷却速度，ひずみ速度依存の物理的，熱力学的物性値および機械的物性値を，その化学成分より計算するソフトウェアである。一般鋼，ステンレス鋼，アルミニウム合金，鋳物などに対応しており，鍛造解析ソフトウェア，鋳造解析ソフトウェアへデータを受け渡すことが可能である。

ESI 製プレス成形解析ソフトウェア PAM-STAMP に搭載されている材料パラメータ予測ツール ESI Mat-Wizard では，0°，45°，90°方向の単軸引張試験データを入力することで，2 軸引張試験や面内反転負荷試験を実施することなく，降伏関数や加工硬化則のパラメータを推定することが可能である。同等の機能を有するソフトウェアとして，EZModeling 製最適材料モデル選定および材料パラメータ同定ツール CalSysSmart，（株）CEM 研究所製降伏関数異方性同定ツール MatYLD，吉田・上森モデル材料パラメータ同定ツール MatPara がある。

3. DX 推進に向けた CAE の活用方法

上述のように，現在市販されている CAE ソフトウェアの多くには，最適化技術や人工知能技術が搭載されている。この流れは中小企業に広く普及している設計者向け CAE ソフトウェアにも展開することが予想され，今後は多くの設計者が最適化技術や人工知能技術を利用するものと考えられる。

CAE の活用においては計算品質を保証する観点から，V&V（Verification & Validation：検証と妥当性確認）[9]への理解も重要であるが，まずは計算結果の活用を目的とし，最適化技術や人工知能技術の知識や経験を蓄積するというのもひとつの方法である。これらの技術の概要は Orange や RapidMiner などの非プログラミングツールを用いることで，比較的容易に学ぶことができる。現在 CAE ソフトウェアを所有していない企業においてもこれらのツールを活用することで，今後の CAE 活用および DX 推進に役立つものと考えられる。

なお，本報告書に記載した Ansys Mechanical, pSeven, Moldex 3D, DEFORM, ADSTEFAN, ESI Mat-Wizard は本年度当所に導入されており，今後はこれらを用いた企業支援，共同研究，受託研究を実施するとともに，データ分析技術に関する調査研究も開始する予定となっている。

4. 結　　言

(1) 現在市販されている CAE ソフトウェアの多くには，最適化技術や人工知能技術が搭載されている。

(2) 人工知能技術はメタモデリングや最適値の自動探索，過去の計算データからの結果予測に用いられている。

(3) DX 推進に向け，計算結果の分析技術に対する知識と経験を蓄積していくことが重要であると考えられる。

参考文献

1) 白瀬敬一，“デジタルツインの捉え方－シミュレーションからデジタルツインへ－”，日本機械学会誌，124 巻，1231 号，2021，pp.6-9.

2) 工藤弘行，“水素社会実現のためのプラント運転管理・点検技術の開発”，　福島県ハイテクプラザ試験研究報告，2020，pp.1-8.

3) 小平剛央，“大規模並列計算を用いた複数の車体構造の同時設計最適化”，日本機械学会誌，119 巻，1169 号，2016，p.222.

4) 横井俊昭，“CAE と機械学習による設計最適化に向けた取り組み”，計算力学講演会講演論文集，2018，p.163.

5) 平野徹，“CAE と AI の融合によるデジタルツイン開発とスマートサービスのモデル化”，計算力学講演会講演論文集，2019，p.F01-1.

6) 奥村克博，“トポロジー・形状最適化による軽 量構造の設計手法の開発”，福岡県工業技術センター研究報告，30 号，2020，pp.53-56.

7) 満嶋弘二，“モデルベース開発のための CAE 活用法”，KYB 技報，62 号，2021，pp.42-45.

8) 吉田佳典，“機械学習に基づく最適化手法を用いた金型－素材接触界面における摩擦係数および熱伝達係数の同時自動同定”，塑性加工春季講演会講演論文集，2021，pp.169-170.

9) 前田太一，“CAE 解析手順の標準化手法の開発”，設計工学，53 巻，8 号，2018，pp.615-626.