

論文の内容の要旨

論文題目 少量分散生産用加工機群を実現するための CAE に関する研究

氏 名 加藤千景

自動車を取り巻く環境は地球温暖化対策・新興国の台頭・CASE (Connected・Autonomous・Shared・Electric の頭文字を取った造語) 領域の技術革新と大きく変化しているが、環境に対する企業責任を果たしつつ、高品質で高機能の製品を低価格で遅れなく納めることが製品競争力に繋がることは不変である。従来、自動車及び自動車部品メーカーは、製品の高機能化・高品質化のためメーカー内・メーカー間で擦り合わせしながら、じっくり技術開発を進めてきたが、進化の早い電子・電気製品に合わせ素早くアップデートすることが求められている。また高速加工できる大型設備により大量集中生産し、低コスト化な製品を各消費地に輸出してきたが、近年は世界各地での少量分散生産にシフトしている。更に CASE 用など高機能製品は従来よりも多工程となり、専用建屋に設置された大型加工機を繋ぐ従来の生産方式では、工程間搬送のための物流費増加・サイクルタイム差から工程内在庫が増加しコストアップとなる。同期一貫ラインは全工程を連結することで物流費を削減し、サイクルタイムを同期化することで中間在庫を無くす生産方式であるが、この実現のためには素形材加工の大型設備の小型化が必須である。しかし単に素形材加工機を小型化するだけでは、加工圧力が低下し加工品質が悪化する。

本論文で対象とした小型加工機は小型であるものの、高品質が得られる技術を追加した設備である。この設備が実現すれば同期一貫ラインが成立可能であるが、その技術を「必要な個所に必要な圧力、タイミングで供給」する必要がある、プロセスウィンドウが狭い加工法となる。最適条件導出を特に加工専門家の少ない地域で行うと、試行錯誤となり生産準備が長期化し、製品競争力が低下する懸念がある。プロセスウィンドウを効率的に明らかにするためには、加工中の材料挙動を把握することが有効だが、素形材加工では重厚な金型中の高温・高圧の材料の状態を実験的に把握することは困難である。一方、加工 CAE は連続体の概念に基づき素形材加工や接合・熱処理などの現象をコンピュータ上で可視化する手法

であり素形材加工中の材料の状態を可視化可能であることから 各加工に特化した CAE ソフトが数多く市販され、活用されている。しかし、広範囲の複雑な現象を現実的な時間で計算するため、仮定を置いて基本方程式を省略する場合があります、結果の妥当性を実験にて検証する必要があるが、前述のように金型キャビティ内の可視化・計測ができず、妥当性確認が困難な場合が多い。

本研究の目的は、小型素形材加工機のプロセスウィンドウを、妥当性が確認された加工 CAE を用いて短時間に把握できる汎用性のある方法と、しきい値を確立することである。特に加工 CAE 結果の妥当性把握には拘り、実験等で確認を行った上でプロセスウィンドウ導出に使用する。

第 1 章は序論であり、自動車部品製造と素形材加工の現状と課題、加工 CAE の概要と小型加工機の工程設計に対する加工 CAE の役割を述べた後、本研究の目的と取り組み方針を記した。第 2 章では小型射出成形機を対象とし、加工圧力が低くとも高品質と短サイクルタイムを両立する生産条件を短時間で把握する方法と、しきい値の導出に取り組んだ。成形を多数個取りから 1 個取りにすることにより低圧化は達成されたが、サイクルタイム短縮のために樹脂冷却中、高圧型締め力を解放する必要があった。この解放タイミングを短期間で把握する手法として、高圧型締め力解放直前の固化層厚さと、樹脂圧力から成るバリ発生マップを作成し、品質が確保されるしきい値を設定した。固化層厚さは射出成形加工 CAE にて算出し、自作したフィルムセンサによる温度分布計測と、成形品の組織から妥当性を確認した。加工 CAE の活用により、試作実験のみの場合より検討期間を 20%以上短縮できた。第 3 章では小型ダイカスト加工機を対象とし、加工圧力が低くとも高品質となる生産条件を、短時間で把握する方法の確立に取り組んだ。鋳物中に発生する巣に、局所的に加圧された溶湯を供給することで鋳巣を削減する局所加圧は一般的だが、その加圧タイミングを誤れば効果が無く、また金型寿命を低下させる懸念がある。そこで鋳巣体積の経時変化を示すプロファイルを求め、そのプロファイルに沿って局所加圧ピンを移動させることとした。鋳巣のうち、巻込み巣体積は鋳物のガス分析より求め、ひけ巣体積はダイカスト加工 CAE にて算出した。加工 CAE の妥当性は、ひけ巣の発生位置を実験と比較することで確認した。なお鋳物中の巻込み巣とひけ巣を層別するため、両者の球形度をしきい値とすることを提案し、その妥当性を決定木分析にて確認した。加工 CAE の活用により、試作実験のみの場合より検討期間を 24%短縮することが

できた。第4章では揺動運動により加圧面積が減少し、低荷重加工となった小型揺動鍛造機を対象とし、「揺動1回転当たりの圧縮量」と変形領域の関係を明らかにし、変形を制御することに取り組んだ。まず基礎実験と塑性加工 CAE により変形し易さを示す指標としきい値して、無次元化最小主応力が-1.2 以下を提案した。加工 CAE の妥当性は、揺動鍛造の特徴である上型と素材の接触面積と外形にて確認した。加工 CAE を活用により、試作実験のみの場合より検討期間を 22%短縮することができた。今回、示した期間短縮効果は何れも製品の複雑さや担当者の経験・知識、ラインと金型工場の距離により増減するため、加工 CAE による効果は本論文で示した効果を大きく上回ることもある。

第5章では2~4章のまとめであり、最適条件の短時間導出方法・技術的成果・時間短縮の効果について述べた。最適条件を短時間で導出するために加工 CAE は有効な手段であるものの、その前に各加工における課題を明らかにし、課題を解決するために適した実験・加工 CAE を行うことが必要である。更にその実験・加工 CAE の結果が妥当であることを確認することが重要であり、本研究を通じて拘った点である。小型加工機の基本コンセプトは「ムダの排除」である。高品質を得るために加工中、常時作用させていた高圧力を見直し、必要な個所に最適タイミングで必要圧力のみを作用させることにより加工圧力低減と高品質を両立させる。これを達成するためには金型中の材料の分析が不可欠であるが、金型中の材料は可視化・計測が困難なことが多い。実験による評価が困難な場合は、ひけ巣分布などで代替したが、今後の型内計測などの計測技術の向上により金型中の材料の可視化が期待される。

しかしセンシング方法が進化したとしても、それだけで現象を明らかにすることは困難であり、加工 CAE を含めたシミュレーションを組み合わせることは必須であろう。逆にシミュレーションも実験結果と比較することでモデルを進化させ、より現実に近い解析結果が得られるようになる。

更に IoT やデータサイエンスにより工場がスマート化し、センシングで得られた条件をフィードバックし、工程条件に反映したり、シミュレーションにより条件を調整したりすることで、より高品質な製品を製造することができる。シミュレーションソフトとハード・センシング技術の進化が合わさり、現物に近い結果が短時間で得られるようになれば、良品しかできない夢の工場が可能となってくる。そのような夢を実現するためには、その加工・現象の課題を明らかにし、ふさわしいシミュレーションモデルを選

択し、その妥当性を確認することが重要である。これは本論文が拘った内容であり、本論文の成果は次世代の工場にも生かすことができる。

以上