

自動車開発におけるものづくりシミュレーションの足跡の概要と今後の期待

高橋 進

日本大学 生産工学部 機械工学科

1 はじめに

日本のものづくりにおいて、CAEは、開発のツールとして無くてはならない存在となっている。自動車の開発を例にした場合、衝突安全性向上のための衝突解析、高性能エンジンの開発のための燃焼解析および空気抵抗の少ない車体形状の検討のための流体解析等、自動車の機能面の検討および性能向上に貢献している解析技術を思い浮かべることが多いと思われる。一方、自動車の生産に関わる検討でも、シミュレーション技術は、無くてはならないツールとして積極的に活用されている。本稿では、生産のCAE技術に関して過去を振り返りつつ、今後の展望の私見を述べる。

2 不具合の原因究明としてのCAEの活用

1980年代における生産技術に関する領域でのシミュレーション技術の適用は、有限要素法のソフトウェアを活用した弾性解析が中心であった。当時は、部品の開発に恒常的には適用されてなく、生産上の問題が発生した時に、その原因解明と対策の検討に使用されていた。現在のように、プレス成形および鋳造等の各工法に特化した専用のソフトは、殆ど無く、NASTRAN等の汎用の解析ソフトを使用していた。プリポストも機能が不十分だったため、ステアリングラックのコイニング成形用金型の応力解析を行った時には、金型の3次元モデリングの作成は、要素の節点座標とコネクティビティを自動生成するFORTRANプログラムを作成した。この例では、ステアリングラックの歯の形状をコイニングによって加工する金型の寿命が短いために、加工時の応力分布を解析し、応力集中している部位を特定後に、許容応力以下になる形状を提案した。金型形状の修正等を定量的な解析データを使用して議論が出来たので、生産現場の技術者と金型設計者の間の技術的なコミュニケーションのツールとして活用された。この時代は、数値シミュレーションは、まだ一般的でなく、その適用は、研究職の限られた技術者のみ使用が可能で、より効果のある適用が可能かどうかの検討時期であったことから、生産技術に関するシミュレーションの黎明期と言える。

3 生産要件の事前検討でのCAEの活用

1990年代になると、計算機が飛躍的に進歩し、それと同時に、成形等の生産関連のシミュレーション用ソフトが、各分野で専用のプリポストとともに活発に開発された。開発が進められた主な工法は、自動車の車体パネル部品の成形に適用

されるプレス成形、足回り部品およびエンジンのクランクシャフト等をブロック形状材料から成形する鍛造、エンジンのシリンダブロックの成形に適用される鋳造、バンパー等の樹脂部品の成形に適用される射出成形等である。これらの工法は、自動車の主要部品の成形に適用されている。特に、車体関連のプレス部品および樹脂部品のバンパーは、新車の開発ごとに新しい部品の開発が必要となり、シミュレーションの適用回数も多く、適用効果（部品開発期間および工数削減等）が大きい。

自動車のパネル部品のプレス成形を例にして、その進歩の概要を以下に述べる。自動車の外板の金属製パネル部品は、鋼板等を金型間に投入し、プレス機械で圧縮することによって成形する。成形品の主な不具合としては、部品の一部が分離する“われ”、部品の一部が設計した形状の面外に変形する“しわ”、成形した部品を金型から取出した時に、材料内の弾性エネルギーにより変形する“スプリングバック”およびドアのハンドルエンボス近傍等に出現する小さなうねりの“面ひずみ”がある。シミュレーション結果から“われ”と“しわ”の評価技術がまず確立され、その後、材料の降伏挙動の表現式の高精度化および引張後圧縮した時等の材料の変形挙動の正確な定式化等により、“スプリングバック”の評価精度が向上した。1990年代半ばからシミュレーションの実部品の適用が部品の形状変化が比較的少ないフード等から開始された。その後、計算機等の進歩により、適用可能な要素数が増え、それに伴ってより複雑な部品形状を有するドア、フェンダ、ボディサイド等の順で適用が拡大された。自動車パネル部品で、一番大きなボディサイドの解析結果（板厚分布）を図1に示す。部品設計部署が作成したCADデータを基に、プレス成形用の金型データ等を作成してシミュレーションを行っている。成形時に不具合がない部品形状とするために、金型形状データを変更して解析が行われる。部品形状を決定するために、部品設計と生産準備の技術者が、意見交換をするが、その時に定量的な形状変更の論議が可能なものも、シミュレーションの効能である。上記に示すシミュレーションの適用により、パネル部品の成形用金型の形状検討が、金型加工前に行われることにより、金型加工後の不具合を大幅に削減でき開発期間短縮等に貢献した。

4 新材料および新工法へのCAEの活用

2000年頃になると、安全基準の強化等で、それまでの材料の適用では、車体重量の増加が避けられなかった。その対応

策として、より高強度の材料である高張力鋼板と構造部材でない部品の材料にアルミニウム合金板が適用され、車体の軽量化を加速した。しかしながら、これらの材料は、自動車部品への適用としては経験が少ないために、成形ノウハウの蓄

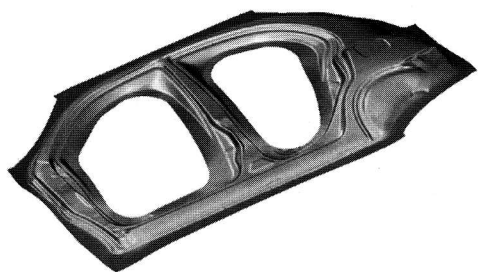


図1 ボディサイドのプレス成形解析結果

積も少なく、成形不具合が発生した時に、現場での対応に時間がかかっていた。そこで、成形シミュレーションを活用することにより、金型準備期間の短縮が進められた。

また、部品を閉断面形状にすることにより、強度等の向上が期待できる。そこで、鋼製パイプあるいはアルミニウム合金製パイプを、部品形状が加工されている金型に挿入後、パイプ内に高圧液体を充填させることにより成形するハイドロフォームの適用においても、シミュレーション技術の開発¹⁾により、事前の成形性検討が可能となり、開発の効率化がなされている。

このように、シミュレーションを有効活用することにより、過去に使用の経験が少ない材料および工法の適用まで期間を短縮することが可能である。また、通常では加工等が困難な金型形状および金型の動きもシミュレーションでは可能なことから、新工法の検討が可能である。また、成形可能な材料特性も検討できるので、材料メーカー等に対して機械的特性等の要望も提案できることも利点である。また、最近ではプレス機のスライドの位置および速度を任意に設定可能な、サーボプレスの適用が進められている。成形性が向上するプレス成形プロセスをシミュレーションで検討した場合、その結果を直ぐに確認可能なインフラが整いつつあるので、成形性が飛躍的に向上する成形プロセスの実現に期待したい。

5 成形品の組立へのCAEの活用

シミュレーションを適用することにより、種々の工法における部品の成形性の検討が可能であることは前述したが、製品としての寸法精度を確保するためには、部品どうしを締結する必要がある。自動車のフードおよびドア等は、アウトとインナ部品を重ねて、インナ部品より少し大きめのアウト部品の外周部を折り曲げて締結するヘム加工が一般的に用いられている。この成形方法は、直線的に折り曲げる場合は、変形しない。一方、折り曲げ部が、円弧形状等の場合は、伸びまたは縮みフランジと呼ばれる成形となり、部品の剛性が不足する場合は、変形する可能性がある。そこで、ヘム加工時

に部品の剛性が充分かどうかを事前に評価することにより、試作後の金型修正を極力少なくすることが可能となる²⁾。また、公差解析等との併用により、製品の寸法精度を確保するために必要な、部品各部位の寸法精度を検討でき、一律の寸法精度より金型の開発コストを圧縮可能であると考えられ、今後の研究に期待したい。

6 最適化技術とCAEの融合

前述の全てのシミュレーション技術は、実際の成形の代替として適用されている。したがって、シミュレーションソフトは、入力された条件で解析し結果を出力するだけである。計算機の高精度化により、計算時間は短くなってきているので、計算機が夜、働いていない状態が多いと思われる。そこで、シミュレーション技術と最適化技術を融合させて、シミュレーションから得られた結果を最適化エンジンで判断し、必要であれば解析条件を変更して再度解析を行い、解析結果を評価する変数が、目的の値に到達するまで解析を繰り返す³⁾。このシステムを構築することにより、夜間の解析リソースの有効活用が可能になるとともに、金型設計の効率化が図れる。現在は、プレス成形条件であるビード力、プランクサイズおよび簡単な金型形状の変更にとどまっており、より複雑形状の金型の形状最適化の研究成果が望まれる。

7 まとめ

自動車の生産準備における特にプレス成形を例として、シミュレーションのこれまでの適用等の概要と今後の期待について述べた。

成形シミュレーションは、自動車の生産準備において、必要不可欠の成形プロセス検討用ツールである。

今後は、最適化技術とCAE技術の融合により、シミュレーションの知能化を進め、より効率の良い自動車の開発に期待したい。

参考文献

- 1) Takahashi, S., Terada, K.: Proc. of the IDDRG 22nd Biennial Congress, (2002), 61-70
- 2) 高橋進, 今林功, 須長秀行, 高村正人, 久恒智彦, 田中美徳: 塑性と加工, **47**-551, (2006), 1173-1177
- 3) 守屋岳志, 高橋進, 桑原利彦: 塑性と加工, **49**-574, (2008), 1081-1085