

電動パワートレインのモーター開発 における塑性加工CAE活用事例

日産自動車株式会社様

自動車の電動化に各社がしのぎを削る中、世界でいち早く量産型のEV「LEAF」を生み出し国産EVの発展に大きく寄与されてきた日産自動車株式会社様は、近年電動化戦略をさらに加速させる取り組みを次々と発表され、グローバルに開発生産の競争力向上を進められています。

その中で、重要な役割のひとつを担うのが、エンジンに代わって車の動力を生み出す電動パワートレインです。今回は、モーターの部品製造にTRANSVALOR MATERIAL FORMINGを活用した事例として「電動パワートレインのモーター開発における塑性加工CAE活用事例」をご紹介します。

TRANSVALOR MATERIAL FORMINGは、Transvalor社（仏）FORGEの日本国内の名称になります。

■ 導入前の課題

実験の繰り返し検討による膨大な時間や費用を削減したい
大変形を伴う回転塑性加工を精度良く解析したい
大規模構造解析ソフトウェアとの受け渡しを容易にしたい

■ 使用CAEソフトウェア

TRANSVALOR MATERIAL FORMING

パワートレイン生産技術開発部門の役割やCAE利用状況をお聞かせください。

エンジン、モーター、サスペンション、ディファレンシャルギア等の商品開発、製造方法の検討を行っており、3つのP：革新的な新技術を実現化する先行技術開発（Product）、工法・工程・設備を含む競争力のある生産ラインの開発（Process）、グローバル生産拠点への量産ライン展開（Plant）に取り組んでいます。そして、それらの製造方法を検討するため、鍛造の成形性確認にTRANSVALOR MATERIAL FORMING、鋳造の流動性確認や型温度の確認にMAGMASOFT、各種構造解析や塑性加工解析にADVENTUREClusterを使用しているほか、他分野においても多種多様のCAEソフトウェアを活用しています。



日産自動車株式会社
パワートレイン生産技術開発本部
パワートレイン生産技術企画部
先進パワートレイン要素技術開発グループ
田口 直人 様

選定するにあたり、機能としてワークやツールが回転する定義ができること、既に他グループで利用していたADVENTUREClusterとの連成解析（ツールの構造解析、設備全体剛性の検証）が可能なこと、またCAEを扱える人材が十分いなかったため手厚いサポートがあることなどを要件

TRANSVALOR MATERIAL FORMINGの導入に至った背景や経緯を教えてください。

わたしたちのグループは新設で当時CAEがなく、試作実験を繰り返しての製造検討に依存しており、時間や費用が非常に掛かっていました。そこで、シミュレーションで効率的に製造方法を検討するため、回転塑性加工のCAEソフトウェアを探していました。



にして他のCAEと比較検討しました。そして、実際に解析した結果と実験結果の乖離があまりなく解析精度が良かったこと、ADVENTUREClusterヘデータの受け渡しが容易なことなどが決め手になり導入に至りました。

TRANSVALOR MATERIAL FORMINGはどのような検討に利用されていますか。

わたしたちは、各種フローフォーミング成形技術を活用して、ドラムクラッチ、ドライブプレート、モーターシャフト、フロントカバーなどの部品を設備メーカーと共同開発しています。フローフォーミングとは、回転させた金属材料に工具を押し付けて所定形状に塑性変形させる回転塑性加工法で、しごき加工、しぼり加工、裂開加工、増肉加工などがあり、これらの組み合わせで様々な成形を行います。このフローフォーミング成形の事前検討にTRANSVALOR MATERIAL FORMINGを利用しています。

日産では電動化戦略として、現在さらにEVやe-Powerなど搭載車種を増やしており、高出力化小型化を進めています。例えば、EV車の初代LEAFでは、充電器、直流コンバーター、インバーター、モーター制御機器、減速機の上にモーターと大きなバッテリーが乗る構造でしたが、このモーターユニットが新型LEAFでは一体型が進み非常にコンパクトになっています。図1は、LEAFに使われている電動パワートレインですが、このモーターの構成要素であるローターシャフトの加工をTRANSVALOR MATERIAL FORMINGで解析しました。

■ EM57ユニットの例

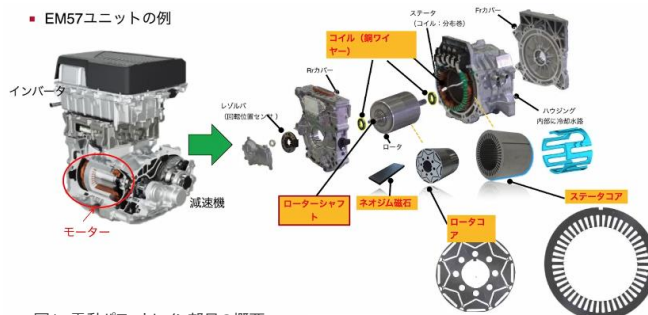


図1 電動パワートレイン部品の概要

具体的な解析内容についてご説明ください。

このローターシャフトは、中炭素鋼を使用しており、完成形状は長さ320mm、径70mmです。この加工は、径245mmの丸棒素材を10mmの厚さの円盤に加工し、20mmの穴を開けてから500度に加熱して裂開します。その後、押しごきで円筒状のパイプにして、さらに過熱して縮管し機械加工するという流れで製造します。これらの中のいくつかの工程をTRANSVALOR MATERIAL FORMINGで正確に再現できるかを検証しました。

まずは、裂開工程です。TRANSVALOR MATERIAL FORMINGのALE法（境界面が移動する問題に適した解析手法）を使い、ローターの侵入速度を、条件1として変速（接触時低速→裂開進行後高速）、条件2として定速（最初から高速）として2種類のパターンで計算しました。

図2のように、条件1の場合はローラーが次第に侵入していき、途中から侵入速度を高速化するため、ワークの裂開が上手く進みました。グラフのように、ローラーの荷重は初めゆるやかに増加し、ワークにV字がある程度形成されて剛性が出た段階でローラーが高速侵入して裂開していくため、荷重は急激に大きくなります。また、ワークの径が次第に小さくなるため、ローラーの回転速度も下がっていきます。それに対し、図3の条件2では最初からローラーが高速侵入するため、ワークが座屈する現象が確認されました。実際の現物でも参考例（図：写真）のように割れてしまいます。

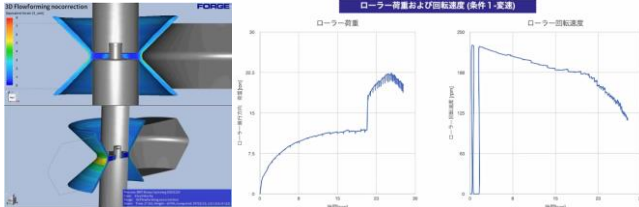


図2 条件1 変速での解析結果



図3 条件2 定速での解析結果

次に、しごき加工によりローラーを上下に3往復させて、ワークを円筒状に近づけます。図4の4～6パスの解析結果を見ると、中央に極端に薄い部分が見られます。加工の中で材料の径が小さくなり増肉されることにより、さらにしごかれてマンドレルとの接触量が多くなるためですが、実際にもこれに似た現象が起きていることが確認できました。

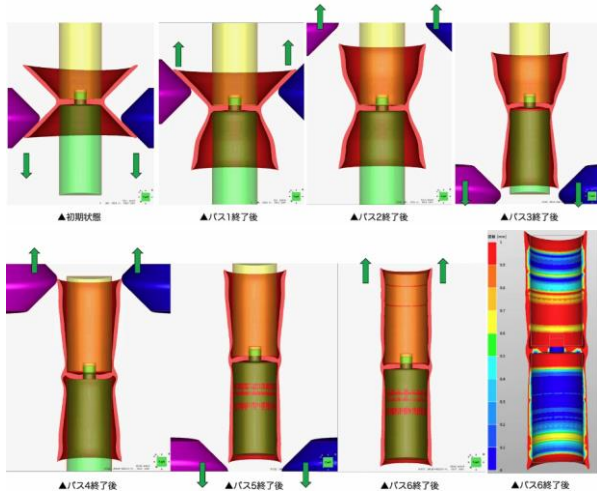


図4 しごき工程の解析結果

以上のような工程を経て仕上げ加工をした現物が図5です。センターリングの穴は20mmのところを50mmにしても成形可能であり、これだけ中空化ができていますので、二重シャフトへも対応可能と考えられます。さらに、板厚も5～7mm以上確保されており問題ありません。このように、TRANSVALOR MATERIAL FORMINGの利用により実際の工程計画やツール形状の検討がより効果的に行えるようになりました。

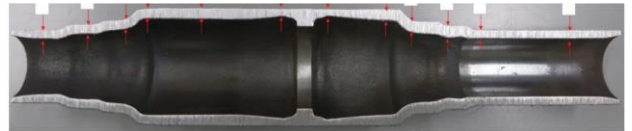


図5 日本スピンドル製造株式会社にて試作した、温間フローフォーミングの最終品

成果として特に注目したい点や工夫された点などを教えてください。

現在の開発プロセス上、「デジタル試作」が実現したことが大きいと思います。計画した工程の解析結果により成形用ツール形状やパスを見直すことで、フィジカルな試作がほぼ1回で済みました。つまり通常約3回実施するところを、デジタル1回、フィジカル1回で終了でき、結果として約3か月リードタイムを短縮できました。

工夫したのは、解析結果を感覚的に合うまで突き詰めるのではなく、起こりうる不具合を関係者で危険予知することで、形状を変えたツールやワーク形状を若干変化させたものを準備したということ。そこは苦労した点でもあります。また、計算時間はかかるため、ある程度絞り込んだ条件で計算する必要があり、その絞り込みに悩みました。

TRANSVALOR MATERIAL FORMINGの利用により他にどのような効果がありましたか。また今後のビジョンなどをお聞かせください。

今回のような「デジタル試作」がある程度できたことから、部門内に「もっとCAEを活用しよう！」という機運がうまれました。ですから、その波を推し進めていくためにも、今後はCAE毎に異なるプリポストを共通化して、インターフェースがとりやすいものを導入したいです。全部の機能（設定）を使うわけではないので、ある程度標準化や共通化するとユーザーの負担が減り、普及が進むと思います。また、構造解析等と連成解析を進めて精度を高めていきたいです。

SCSKとしても、効果的なCAE解析の運用のお手伝いができるよう一層支援させていただければと存じます。この度はインタビューにご協力下さり誠にありがとうございました。

お客様紹介

日産自動車株式会社

設立：1933年12月

事業概要：自動車の製造、販売および関連事業。北米、中国、欧州、日本などを中心に、2021年度実績でグローバル販売台数380万台以上、連結売上8兆4千億円超。

<https://www.nissan.co.jp/>



TRANSVALOR MATERIAL FORMINGの製品情報はこちら：<https://www.scsk.jp/product/common/forge>

記事制作（取材日：2023年4月10日）：SCSK株式会社 デジタルエンジニアリング事業本部 川畑誠、加来翔生、近藤晶子