

正体不明の 車室内騒音

Applus IDIADA 社の Abaqus FEA を用いた車の異音問題 解決への取り組み

ようやくピカピカの新車を手に入れたのに、ある日突然、車内のどこからか正体不明の不快な音が繰り返し聞こえてきたら、その耳障りな音に、あなたはたちまちイライラすることでしょう。

このようなきしる音やラトル音(カタカタ音など)は、異音(S&R)問題と呼ばれており、自動車業界にとっても、とてもイライラする問題です。矛盾した感じですが、他の振動騒音(N&V)分野が大きな進歩を遂げた一方で、最近の車がかつてないほど静かになったという事実が、なかなか解消できない S&R 問題を一層クローズアップさせる結果となりました。エンジン音やロードノイズが格段に減少すると、これまで隠れていた小さな音がドライバーの耳に大きく聞こえるようになります。特定の S&R 問題に的を絞ることはできても、車の軽量化や新素材採用の傾向が続く限り、この問題の全面解決への道は険しさを増すばかりです。

きしる音やラトル音は、ダッシュボードなどの内装品から聞こえてくることが多いのですが、発生源を正確に突き止めることはかなり困難です。きしる音はコンポーネントが周期的に静止と滑りを繰り返すときに発生します。またラトル音は、パート同士が断続的にぶつかり合うときに発生します。どちらの異音も、通常、組立公差の不整合や剛性不足が原因となっています。あるものは低速走行時に検知されることが多く、またあるものは加速時に顕著になります。

試乗中にきしる音やラトル音が聞こえると、品質や耐久性が不十分であると受け止められ、見込み客を失う結果となります。購入後に S&R 問題が発覚した場合、カーディーラーが原因を突き止めることは難しく、修理するにしてもコストがかかり、その修理によってさらなる S&R 問題が引き起こされる可能性さえあります。その結果生じた保証クレームは、自動車メーカーの評判と収益に大きなインパクトを与えることにもなりかねません。

このテーマに関する最も信頼のおける論文の 1 つは、SAE (Society of Automotive Engineers) 主催の 1999 年振動騒音カンファレンスで発表された論文ですが、この問題を徹底的に分析し、従来の手法について詳述するとともに、より洗練された解析手法が必要であると結論付けました。その数年前、世界の自動車産業に向けて、設計、エンジニアリング、試験、および認証サービスの面から製品開発をサポートすることを目的に IDIADA



テスト装置での車のダッシュボード

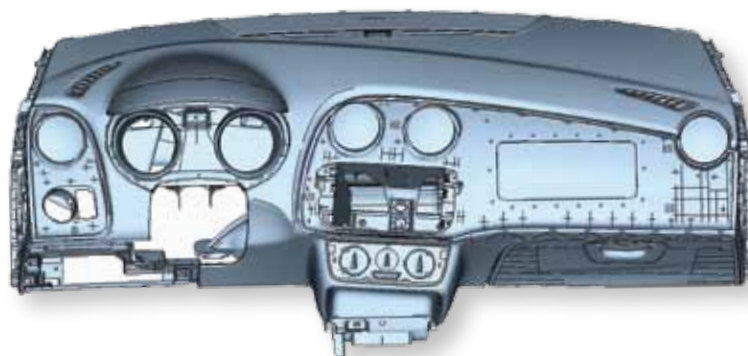


図 1. 検討に用いられたインパネの FE モデルの前面。SEAT 社提供

社が設立されました。スペイン・バルセロナに本社ならびに性能試験場を有する同社は、今では、ヨーロッパ、アジア、南米各国に支社を構えるグローバル企業に成長しました。2010 年には、IDIADA 社は Automotive Testing Technology International 誌の「Automotive Testing Company of the Year」も受賞しています。

リアリスティックシミュレーション による S&R 問題への取り組み

IDIADA 社の設計エンジニアリング部門でプロジェクトマネージャを勤める Inés Lama 氏は次のように話しています。「ここ数年、こうした問題を弊社に持ち込む自動車メーカーが増えており、異音問題は我々の大きな関心事となっています。お客様は、解決に多くのコストと時間がかかる設計プロセスの後段階ではなく、初期段階において異音発生の可能性をシミュレーションで確認できないだろうかと尋ねてきます」

Lama 氏は、大学で振動騒音問題を専攻し、さらに IDIADA 社で同様のマルチフィジクス問題に 10 年以上の経験を持つ機械エンジニアですが、車両が一般道に出てから問題となるような、複雑な材料挙動をリアリスティックシミュレーションによって可視化し予測することにとっても精通しています。Lama 氏と彼女のチームは、長年、Abaqus Unified Finite Element Analysis (FEA) を使い続けてきました。彼女

は次のように話しています。「我々は、運転席まわりの設計と試験のため Abaqus を用いて熱解析、衝撃解析、モーダル解析などを行ってきましたが、Abaqus 単体で異音問題の新しい荷重ケースを開発することは、十分意味のあることだと思いました」

2008 年から、IDIADA チームは Abaqus をベースとした S&R 特有のシミュレーション手法の開発に取り組んできました。そして、本年 5 月にバルセロナで開催された 2011 年 SIMULIA Customer Conference では、インパネのラトル異音問題に適用され、実験によって検証された事例をもとに、この手法の最新の改善内容が発表されました。このインパネ(実物および仮想モデルの両方)は、スペインの自動車メーカー SEAT 社が IDIADA 社に提供したもので(図 1 参照)、この手法を検証するための相関検討に用いられました。FE モデルは、通常コンポーネント開発プロセス(衝突時の挙動、静的・動的剛性解析、および熱解析)で用いられていたものです。しかし、ラトル現象は通常の使用条件では生じないため、試験構成だけでは運転席にラトル音を生じさせるように特別に設計されました。

線形解析による非線形ラトル現象の近似

ラトル音はパーツ同士が互いにぶつかり合うことで生じますが、それらの相対運動がノイズを生むのは、衝突位置付近の面が可聴音を放射する場合です。そのような事象のシミュレーションに対して新しい荷重ケースを開発することは、当然ながら一筋縄ではいかず、IDIADA チームは研究を重ねる必要がありました。

従来の N&V 解析（エンジン回転やタイヤ転動の影響を見る解析）では、車両の特定のパーツが振動し始めるときの周波数を予測するためにモード理論が用いられます。Lama 氏は次のように話しています。「モード理論は、接触を考慮しない線形の仮定に基づいています。しかし S&R 現象は、周波数依存の N&V タイプの状況にはありますが、本来非線形問題であり、異音を発生させるパーツは互いに 3 次元的に影響を及ぼし合っています。通常の固有モードをベースとした N&V 手法だけでは、ラトル音を生じさせる接触をモデル化することも予測することもできません」

エンジニアは、周波数 (N&V) と接触 (S&R) の両方の挙動を表現するようなシミュレーションを考え出す必要がありました。Lama 氏は次のように説明しています。「Abaqus の独特なコネクタ要素は、我々がこうした課題に取り組む上で非常に有用でした」CAE チームの Abaqus 上級ユーザの一人である Pau Cruz 氏と彼の同僚の Jordi Viñas 氏ならびに Andreas Rousounelos 氏は、コネクタ要素が接触を検出する「仮想センサー」として利用可能であることに気がきました。インパネ FEA モデルの節点間にコネクタ要素を配置することで、モデルが 3 方向に独立して示す挙動の計測が可能になります。（互いにぶつかり合う可能性のある 2 つの面に関連して、コネクタ要素を適切に配置するため、IDIADA チームは「厚み付け」を行いました。図 2 参照）

この「仮想センサー」は 2 つのパーツの相対運動（干渉）の大きさについてはより正確な情報を与えましたが、大きさだけでは異音の可能性を予測できないことがわかりました。さらに、食い込み量、すなわち、どの程度パーツが互いに干渉し合っているかも調べる必要がありました。また一方で、この干渉量は、インパネの

さまざまな位置でコンポーネントが振動しているときの周波数に影響されていました。

たとえば、低い周波数では、パーツの動きが大きくなるのに対して、衝突した場合の衝撃速度は減少します。周波数が高くなると、パーツの動きは小さくなりますが、衝撃速度は増大します。このことから、IDIADA チームは、検出された干渉量を衝突時の運動エネルギーでスケール倍することによって、彼らが望む「ラトル率」を計算する必要があると判断しました。このラトル率が分かったことで、エンジニアは大きな食い込みが生じる可能性、従って、インパネのパーツ間で実際にラトル音が生じる可能性をより正確に追跡することができました。

Lama 氏は次のように話しています。「分かりやすく可視化するには、検討したい全範囲にわたって周波数掃引し、どの周波数においてラトル音が生じるかを 2 次元プロットで確認します。あるいは、3 次元プロットを用いて最も危険な周波数の分析を行い、スクリプトを記述することで、ラトルの可能性をベクトルで表現したファイルを作成します」

原因はダクトにあった！

モデルからラトルの可能性を検出するには、接触に敏感な領域で周波数応答シミュレーションを正確に実施する必要があります。そのため、チームは FEA モデルと実験との相関性を取ることに細心の注意を払いました。これは、モード信頼性評価基準 (MAC) を用いて行われました。MAC によって、シミュレーション結果と実験データの相関性を評価し、モデルの改良に役立てることができました。

エンジニアは、モデルに詳細形状を追加したり、ラジエータの質量を HVAC システムに含めたり、さまざまな結合点の剛性を微調整することで、結果に最も影響を与えるインパネ内の 3 箇所を突き止めることができました。それらは、両サイドのデフューザに通じる HVAC ダクトの結合部 2 箇所と、中央のデフューザに通じる HVAC ダクトの結合部 1 箇所でした（図 3 参照）。

今後に向けた S&R 解析の改善

これら 3 箇所の最初のシミュレーションで、十分な相関性でラトル音を検出することができたのですが、興味深いことに、シミュレーションでは実機試験よりもさらに多くのラトル問題が見つかりました。

Lama 氏は次のように述べています。「今後は、ラトル検出基準の改良に取り組むことで、耳に届くラトルと届かないラトルを識別したいと思います。また、運転席の公差に問題がありそうな区画も含めることで、引き続き解析に磨きをかけていくつもりです。現在はまだ、動きや衝撃速度を検出する手続きの効率化が達成されつつある段階です。しかしいずれは、ある種の公差基準を組み込みたいと思っています」

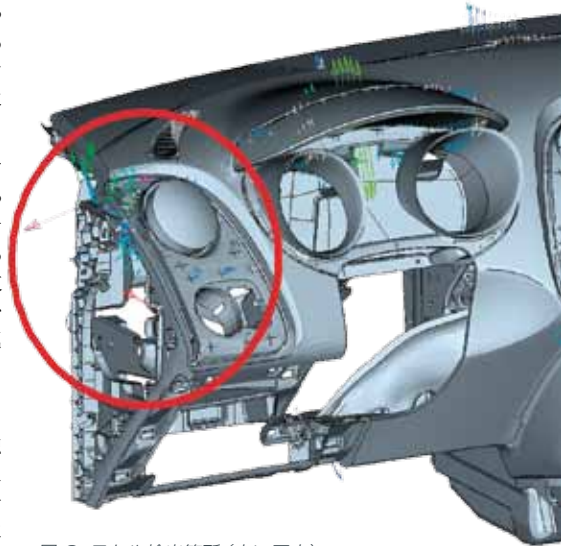


図 3. ラトル検出箇所 (赤い円内)

この IDIADA 社開発の先進の解析手法が Abaqus の協力のもと進化を続けられれば、異音が大幅に軽減され、多くの自動車メーカーそしてドライバーが悩みから解放される日もいずれやってくることでしよう。

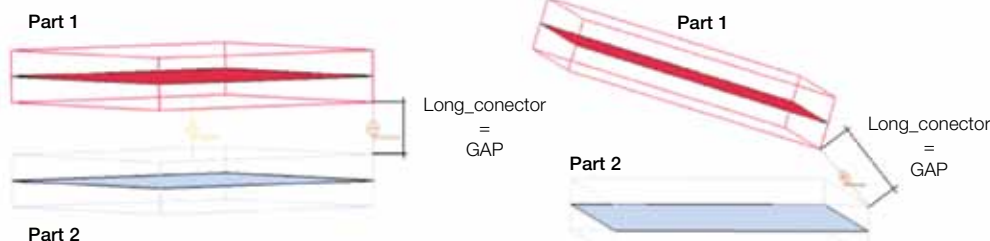


図 2. 厚み付けされた互いに平行 (左図) または傾斜 (右図) した要素間に Abaqus のコネクタ要素を適切に配置することで、IDIADA チームは要素間の隙間 (その結果、ラトル音の可能性) をより正確に評価できるようになりました。

詳細は以下をご覧ください
www.idiada.com
www.simulia.com/cust_ref