



バーチャル プロトタイピングによる ロードノイズ評価

VI-grade Senior NVH Application Specialist

坂本 優美子

自動車の音と振動はなぜ重要なのか？



車室内

- 快適性
 - ・ 不快さ
 - ・ うるささ
- 品質感
- 個性
 - ・ ドライバー満足度
 - ・ コミュニケーション

Brand
DNA



車外

- 個性
- サウンドスケープ
- 歩行者への警告



自動車NVHは以下に影響を与える

- 最初の購買意思決定
- 顧客満足 / 保証費用
- 顧客ロイヤルティ / リピート顧客

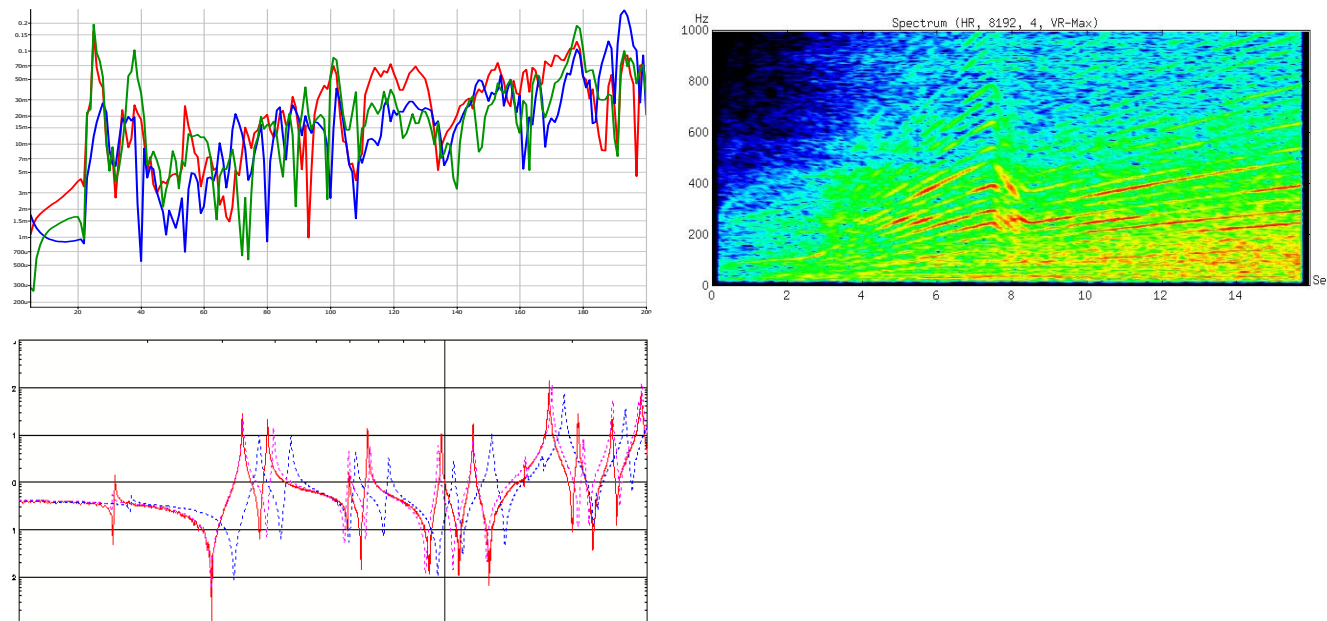
NVHは自動車の洗練性とブランドDNAをコントロールし実現するための主要な特性のひとつ



NVH評価とターゲット設定 そしてその達成



多くのタイプのエンジニアリングデータやCAE解析は、視覚的に十分、表現、確認、理解することができる。コンピューターのディスプレイを見て、決定することができる。



NVHデータは、グラフや数値などの視覚的方法で十分に、表現、確認、理解することはできない。数値やグラフは非常に有用だが、「これはよい音か?」、「xxよりも良いか?」、「これはどんな音か?」などの疑問には答えられない。



車両NVHをインタラクティブな 走行シミュレーションで評価

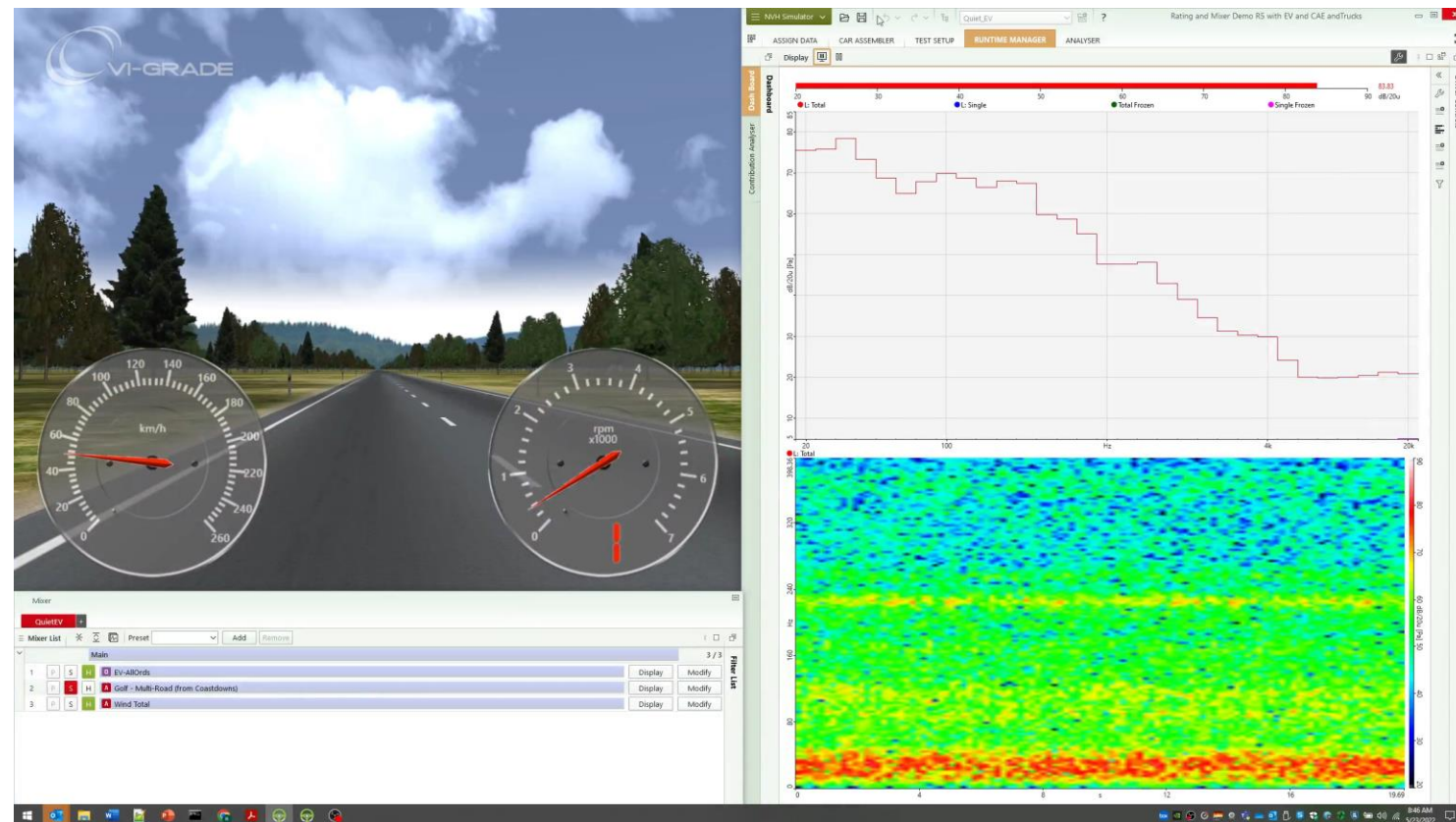
DESKTOP NVH SIMULATOR



INTRODUCTION

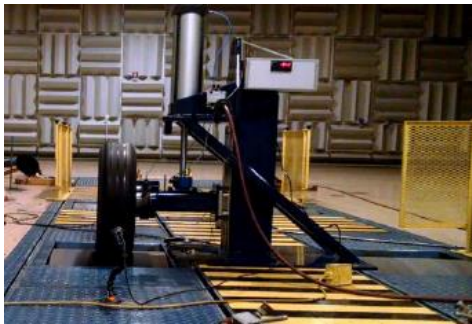
- ロードノイズは特に低い速度で走行している際に車両の車室内音で高い寄与を占める
- 顧客は継続的に静かな車を求めており、その傾向は電気自動車により強まっている
- 車両の設計開発フェーズでロードノイズ、特に空気伝搬成分の検討を行うためのプロセスを紹介する

時速50 km/h走行時のEVの車室内音



ロードノイズのエンジニアリングプロセス

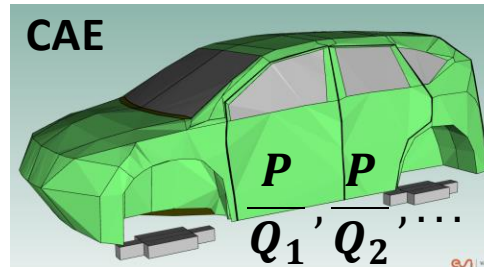
音源強度



HBK タイヤテストスタンド



車両伝達関数



バーチャルプロトタイプ



Test



パワートレイン音と風切り音

タイヤテストスタンドでの実測

- タイヤ単体試験用のスタンドは、HBKのNVHシャーシダイナモメータに設置。このスタンドに各種センサーを取り付け
 - 加速度ピックアップ
 - ひずみゲージ
 - ひずみセンサー
 - マイクロホン
- これらのセンサーの組み合わせにより、非常に低い周波数から**構造伝搬音源**と**空気伝搬音源**を同定
- タイヤは、異なるプリロード、タイヤ空気圧、ローラーサーフェスで試験を実施。稼働条件は、一定速（10 km/hごと）とする



空気伝搬音源強度の同定

- タイヤの音源は、蹴り込み、蹴り出しの2点とする
- 伝達関数は、体積速度音源を用いて計測する。結果は、単位体積速度あたりの音圧として表される
- 等価音源は、逆行列法を用いて以下のように求められる：

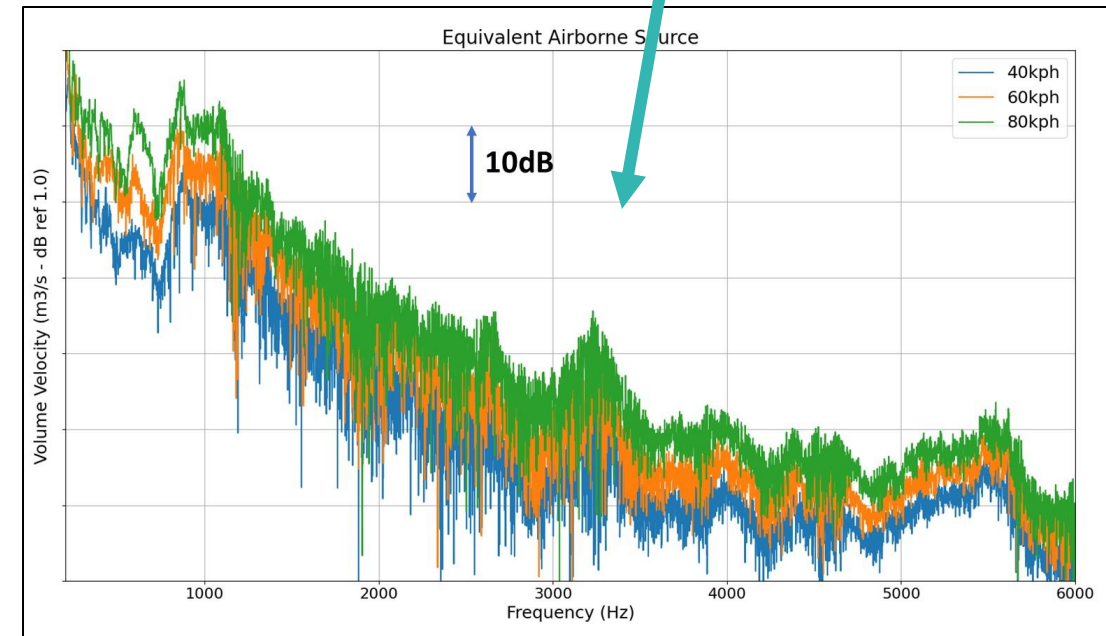
$$\{Q\} = [H]^+ \{p\}$$

- $\{Q\}$ は音源ベクトル、 $[H]^+$ は伝達関数の疑似逆行列、 $\{p\}$ は実稼働時の音圧レベルベクトルを示す



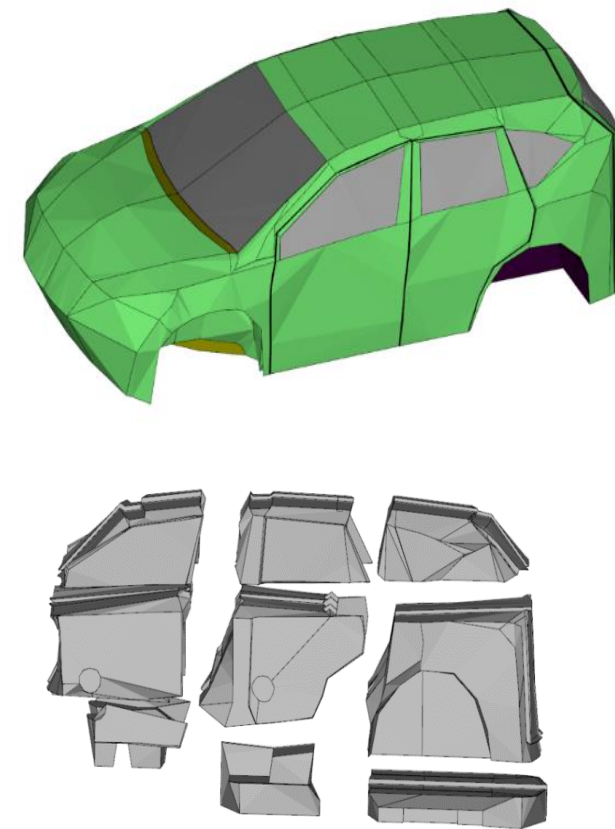
空気伝搬音源

- 音源は、周波数領域で求められる
- 蹴り込み、蹴り出しそれぞれの等価音源が狭帯域周波数スペクトルとして与えられる
- このプロセスを、すべての稼働速度、プリロード、タイヤ空気圧条件のデータに適用する
- この結果は、ある位置で実稼働時に計測された音圧レベルと、同定された音源強度と音源位置からその位置までの伝達関数を用いて計算された寄与の和を比較することで検証される



統計的エネルギー解析法：空気伝搬騒音の伝達感度

- 統計的エネルギー解析法（Statistical Energy Analysis, SEA）は、高周波数領域で有限要素解析を補う手法として開発された
- 空気伝搬音の伝達感度シミュレーションで広く用いられている
- 車両は複数のサブシステムに分離して扱われる：
 - パネル
 - 音響キャビティ
- サブシステム間でエネルギーが移動、消散、保存される
- SEAは、各サブシステムにおける平均エネルギーを推定するためにパワー平衡の式を解く。計算は、周波数バンド（1/3 Oct.バンド）ごとに行われる



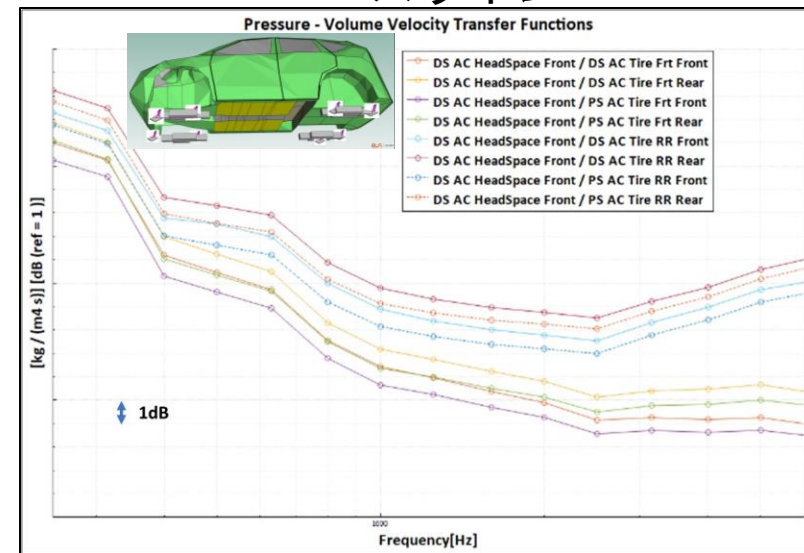
SEAによる伝達関数予測

- 伝達関数の計算に際し、タイヤの前後に当たるキャビティにそれぞれ単位音響パワーを入力し、その時の車室内の運転席耳位置に当たるキャビティにおける音圧レベルを計算する
- その結果を単位体積速度あたりの音圧に変換するために、以下の音響パワーと体積速度の関係式をもちいる：

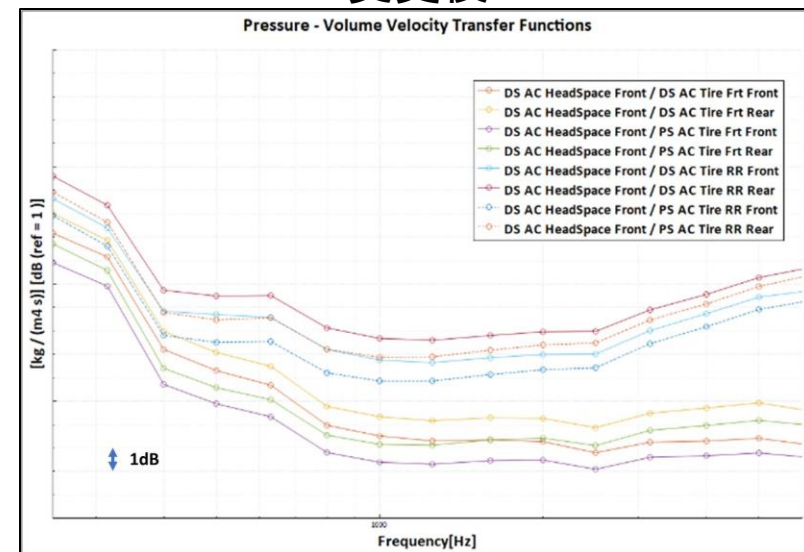
$$Q = \sqrt{\frac{8\pi L_W}{\rho c k^2}}$$

- 2種類の構成を計算、比較：
 - ベースラインサウンドパッケージ
 - 変更後サウンドパッケージ。ホイールハウス、ヘッドライナー、カーペット、ドアに対策を追加

ベースライン

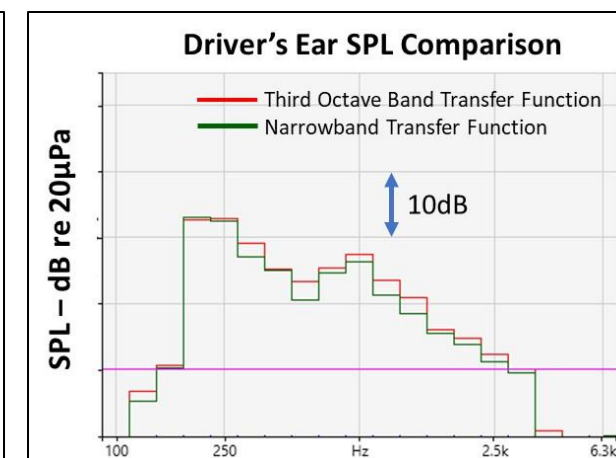
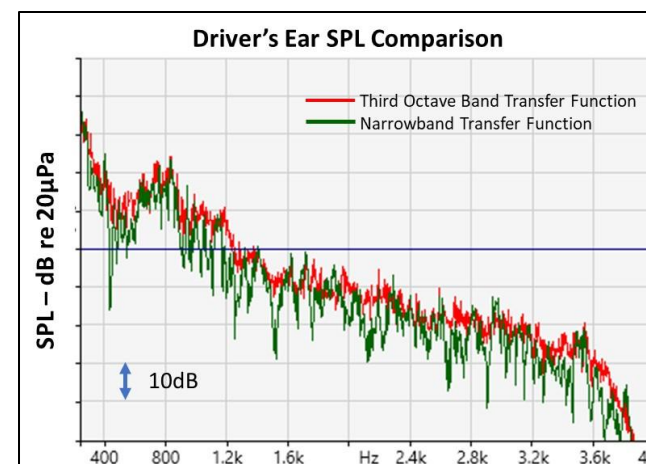
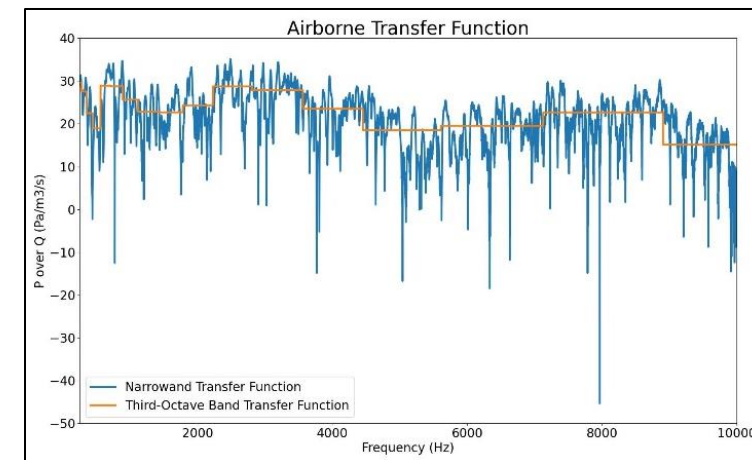


変更後



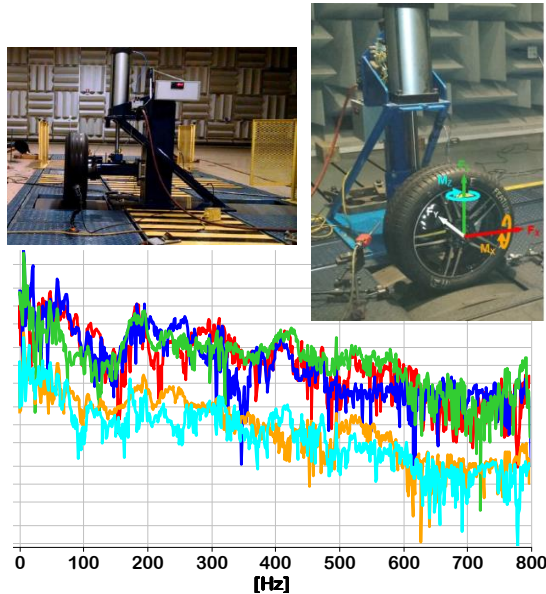
1/3オクターブ vs ナローバンド

- 通常の伝達関数は、ナローバンドの周波数スペクトルで与えられる一方、SEAの結果は、1/3オクターブスペクトルとなる
- この差の影響を確認するため、実車で計測した伝達関数を用い、そのままのものと1/3オクターブに合成したものをそれぞれ伝達関数として寄与の合成に用いて比較を行った
- ナローバンドの伝達関数を用いた際、聴感上、合成音の粒度が高いと感じられた
- 再生音を1/3オクターブバンドで比較すると、レベル差がみられる。レベルの高い低周波域では、その差は0.5 dB以内となった
- 以上より、1/3オクターブの伝達関数も有用であり、現実的な結果を得ることはできると言える



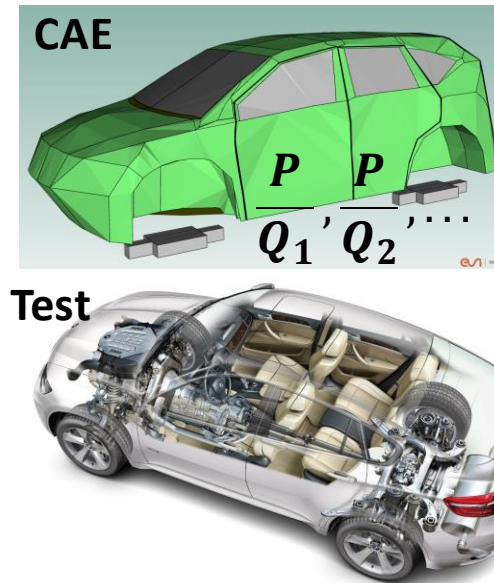
NVH SIMULATORを使用した主観評価

空気伝搬音源強度



タイヤデータベース

車両伝達関数



主観評価

バーチャルプロトタイプ



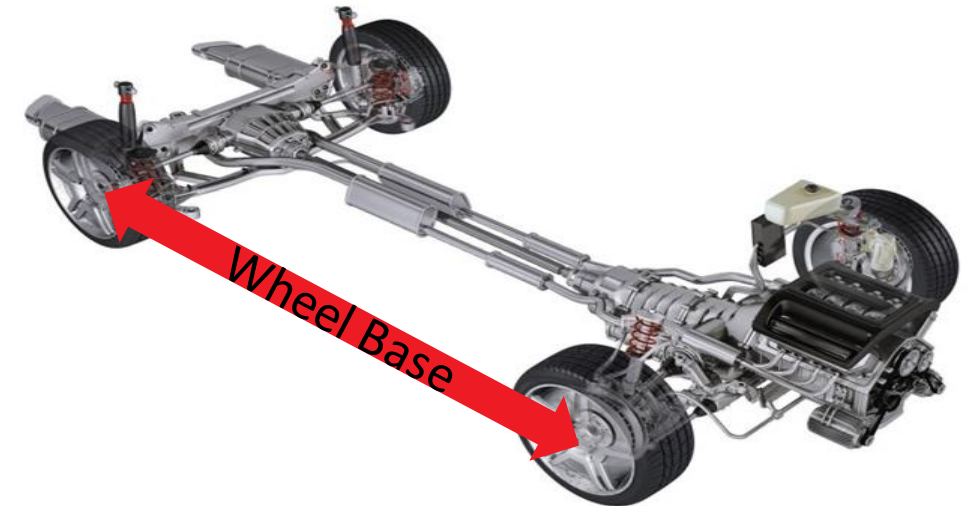
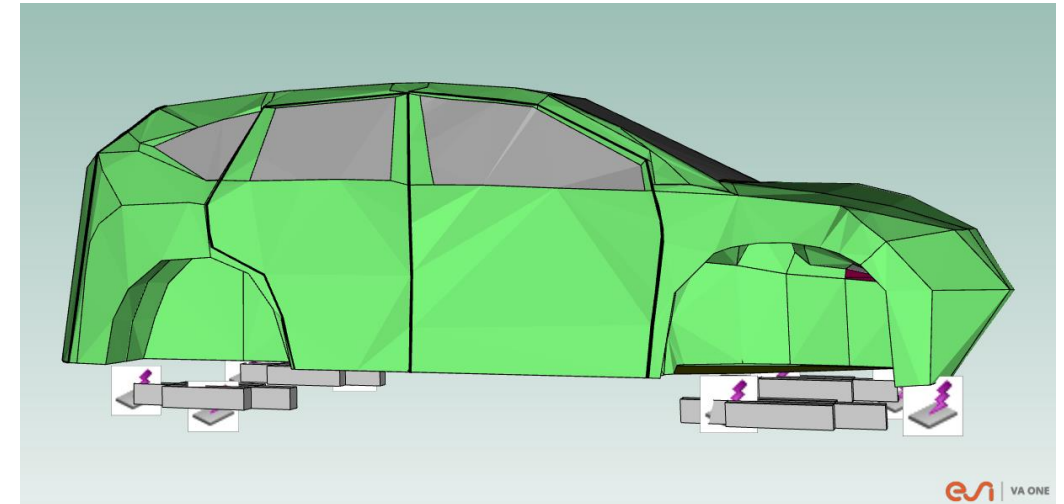
自由走行

適切なコンテキストを実現するため、このバーチャルプロトタイプには、空気伝搬ロードノイズに加え、パワートレイン、構造伝搬ロードノイズ、風切り音等を含める

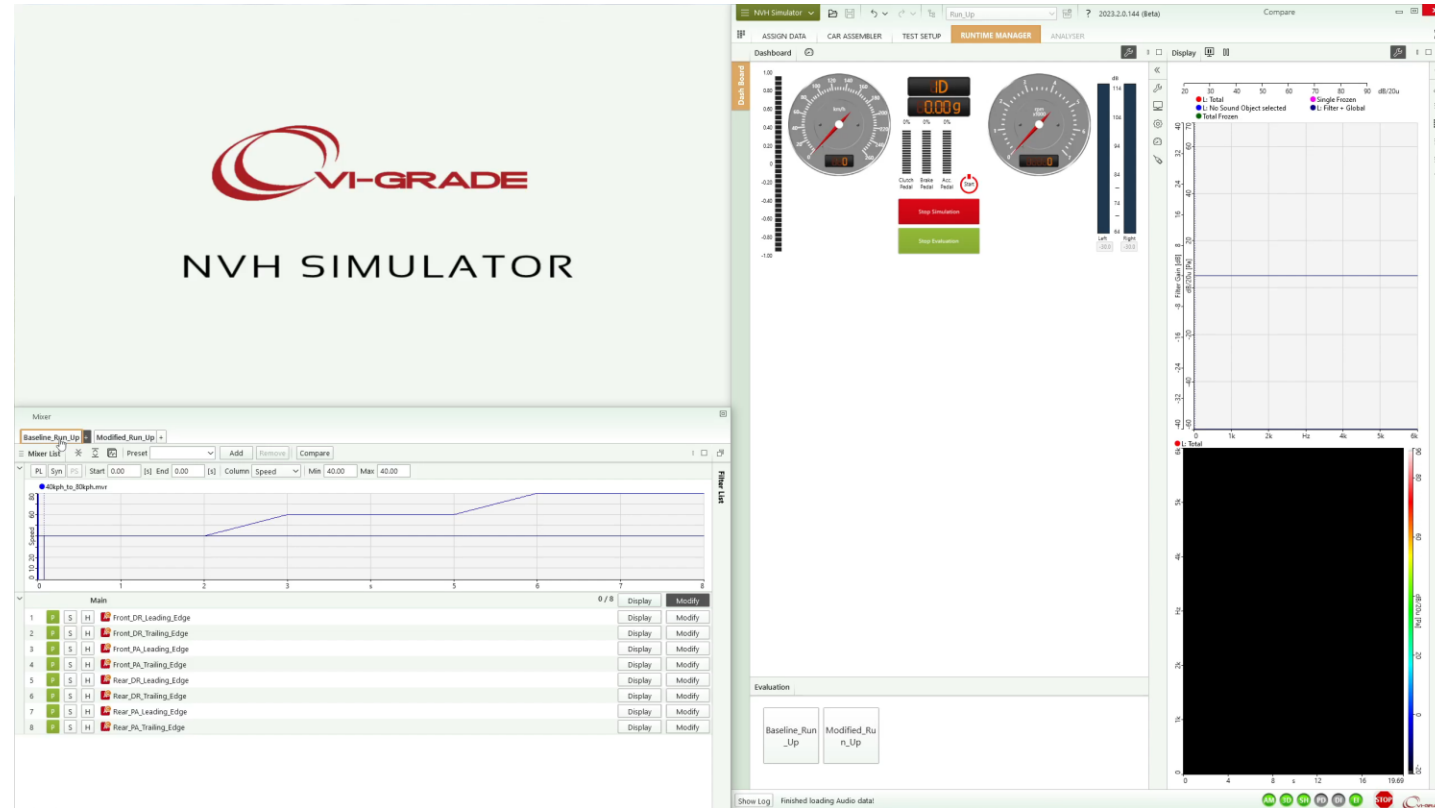
四輪の相関性を考慮するには

- 各タイヤでの励起は、相関あり、一部相関あり（左右のタイヤなど）、相関無しが含まれると考えられる
- 相関のある入力については、同位相と逆位相を仮定
- リアタイヤのフロントタイヤに対する遅れは以下で考慮される：

$$e^{-j\omega\left(\frac{Wheel\ Base}{Speed}\right)}$$



ロードノイズ評価（40から80 KM/H）



このプロセスにより、ロードノイズ性能をバーチャルプロトタイプを用いて開発の早い段階で検討でき、必要に応じ設計の最適化や対策により時間をかけられるようになる

ロードノイズ評価：まとめ

- 自動車の空気伝搬ロードノイズをNVHシミュレータ上にモデル化し、可聴化する方法を紹介した。ここでは、タイヤスタンドを使用した試験で同定された音源とSEAシミュレーションで求めた伝達関数を用いた
- 空気伝搬ロードノイズ以外にも、これまでにパワートレイン、風切り音、構造伝搬ロードノイズについても、シミュレーションと実験を組み合わせることで開発の早い段階で評価する手法を検討、開発してきた。これにより、実際の車両でNVHの問題が生じるリスクを最小化するために、バーチャルプロトタイプ上でNVH性能評価を行うことができる



- NVHシミュレータで使用するためのデータ準備を支援
 - 実車試験（実走行試験、伝達関数計測など）
 - 伝達経路寄与解析
 - CAEソフトウェアツールとの連携
- NVHの課題解決を支援
 - ベンチマーク
 - トラブルシューティング
 - アクティブサウンドデザイン など





Thank you for your attention !

