

シミュレーションを利用して 自動車の排ガスを低減

選択的触媒還元システムのパラメトリックな設計最適化を行い、
排出量削減を効率的に実現

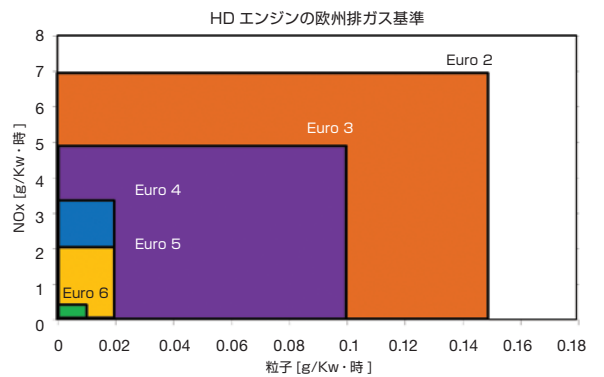
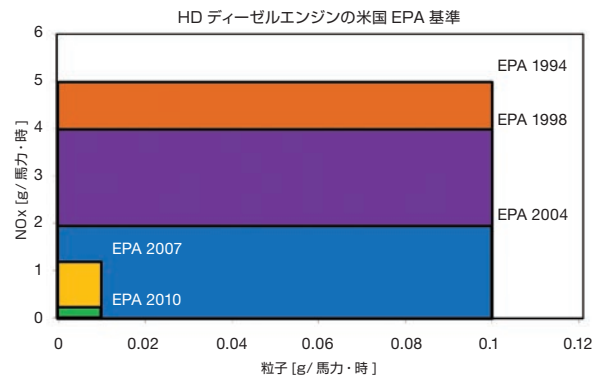
Jayesh Mutyal (ANSYS, Inc., テクノロジースペシャリスト), Padmesh Mandloi (ANSYS, Inc., シニアテクノロジースペシャリスト)

世界各国の規制機関では、厳格なディーゼル排ガス基準を設定しています。たとえば、米国環境保護庁 (EPA) が 2010 年に定めたディーゼル排ガス基準では、粒子状物質と窒素酸化物 (NOx) の排出を大幅に削減するよう求めています。最先端のインシリンダー式ソリューションでも、こうした基準を満たすレベルには達していません。しかし、これらの排ガス基準をクリアできると期待されている排気後処理システムがあります。それは、NOx を窒素と水に分解する触媒を採用している選択的触媒還元 (SCR) システムです。

ただし、このシステムの可能性を十分に引き出すには、いくつかの設計上の問題を解決する必要があります。最も重要な点は、特定のエンジンの全作動サイクルで NOx を大幅に低減できる SCR システムを設計しなければならないということです。また、このシステムに関しては、州間高速道路を時速 70 マイルで走行したり、交通渋滞の激しい都市部で商品を配送したりするなど、様々な条件下で性能を評価する必要があります。それに加え、SCR システムの可能性を引き出すのを妨げていると思われる未反応アン

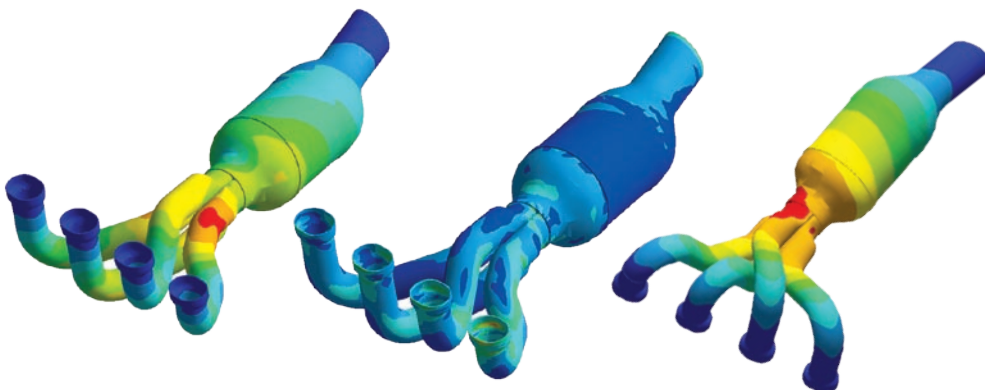
モニアの放出 (アンモニアスリップ) という問題もクリアしなければなりません。このアンモニアスリップは、アンモニアが過剰に噴射された場合や、触媒の表面積が十分でない場合に発生する可能性があります。

こうした問題は、ANSYS 社のシミュレーションソフトウェアを使用して SCR 部品およびシステムの流体・熱・構造挙動をモデリングすることで、解決することができます。たとえば、数値流体力学 (CFD) ソルバーを利用すれば、尿素と排ガスの混合、尿素的蒸発および分解、その後発生する化学反応、さらに排ガスと機械部品の熱挙動を把握でき、有限要素解析 (FEA) ソルバーを使用すれば、応力や振動が加わったときの部品の構造挙動をモデリングすることができます。

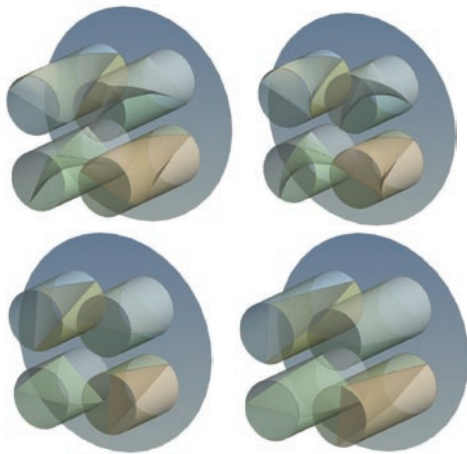


欧州排ガス基準と米国 EPA 基準 (幹線道路沿道)
出典: [U.S. EPA and European Union emission standards]

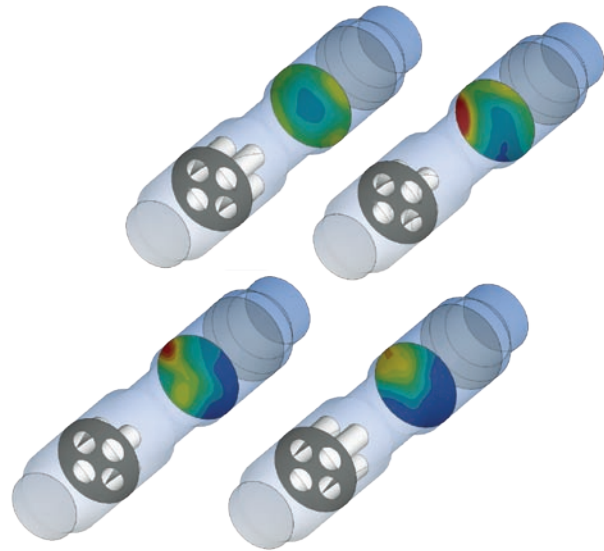
多くの場合、500K を超える高温になると、触媒が浄化作用を発揮しますが、排気後処理部品も高温に晒されることとなります。また、エンジンの負荷条件が変わると、排気温度が変動して熱応力が大きくなると同時に、排気後処理部品に熱疲労が生じることがあります。ANSYS 社の流体・構造連成解析 (FSI) ソリューションでは、CFD ソルバーで求めた壁温度を FEA ソルバーに入力して、SCR 構造に発生するこうした応力や変形を簡単に予測することができます。なお、1つのプラットフォームとして機能する ANSYS Workbench 環境では、この2つのソルバーを利用してデータをシームレスに交換することができます。



排気システムの全体的な変形のシミュレーション (左)、排気マニホールド表面にプロットした von Mises 応力 (中央)、第1周波数モード (右)



混合器のパラメトリックモデルで SCR システムをシミュレーションしているところ



混合器の設計案をシミュレーションして、触媒入口部のアンモニア質量分率, NH₃ の均一性, 圧力損失を予測しているところ

また、脱 NO_x 反応を詳細にモデリングして NO_x 転換率を予測することもできます。さらに、このシミュレーション結果をグラフィックイメージやアニメーションで表示すれば、情報の幅と質を高め、物理試験を実施した場合よりも効率的に設計案を把握することができます。たとえば、流体解析を行って、触媒入口部の流れ、アンモニア、イソシアン酸の均一性を予測できるほか、シミュレーションを実行し、SCR システムに粒子が流れる様子をアニメーション化してデッドゾーンを簡単に突き止め、その原因となっている形状の特徴を捉えることもできます。

多くの場合、SCR システムの初期モデルは、既存のプロトタイプに基づいて作成します。その後には、物理試験の結果と対比して、このモデルの精度をチェックします。このようにしてモデルを検証した後は、各種の設計案の性能を迅速に評価し、設計を最適化することができます。その際には、双方向 CAD 連携機能、自動メッシュ生成機能、プロジェクトレベルの更新メカニズム、広範囲のパラメータ管理機能、統合型最適化ツールを使用して、様々な設計案を解析し、生産性の大幅な向上を図ることもできます。なお、ANSYS Workbench のプロジェクトウィンドウでは、表形式にまとめた一連の設計点を自動的に実行して、複数の what-if 解析を実施し、設計案の可能性を探ると同時に、広範囲の値にわたる噴射開始時期やインジェクタ方向などの噴射パラメータの影響を調査することもできます。

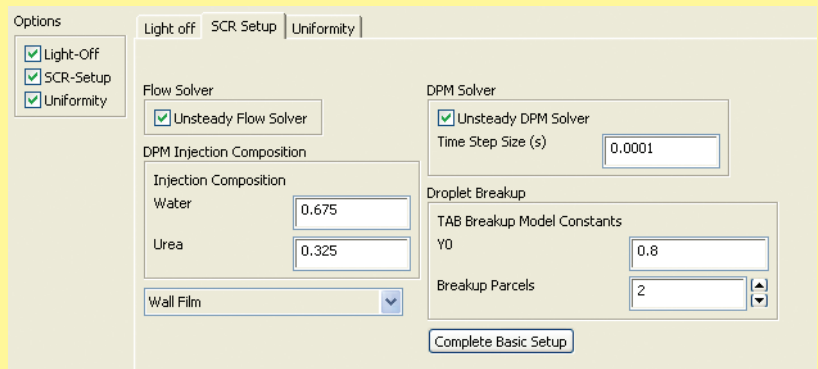
また、ANSYS Workbench 環境で ANSYS DesignXplorer を使用し、応答曲面法 (RSM)

による実験計画法 (DOE) を実施すれば、設計プロセスをスムーズに進めたり、実験を計画して様々な影響を同時に調査し、シミュレーションの回数を低減したりすることが可能になります。さらに、ANSYS DesignXplorer では、設計を繰り返し行い、設計全体を従来の手法よりも短時間で確実に最適化することができます。

プロトタイプを作成することなく、SCR

システム的设计コンセプトの性能を正確にモデリングして、多数の設計を同じ期間中に評価できるシミュレーションには、物理試験を実施した場合よりも多くの設計データを活用して、SCR システムの性能を大幅に向上させることができるというメリットもあります。また、シミュレーションにかかるコストは少なく済み、リードタイムも短いため、市場投入期間の短縮と開発コストの削減を図ることもできます。■

後処理ユーティリティ



カスタムの後処理ユーティリティ

ANSYS 社では、1つの画面で必要な情報のすべてまたは大半を入力してシミュレーションの設定時間を大幅に短縮できるレディーメイド (ready-made) のカスタムユーティリティを提供しています。このシミュレーション環境に SCR システムの形状データをインポートすれば、解析に必要な情報を 5~10 分で入

手することができます。一貫したプロセスフローを使用してミスを回避できるという利点もあるこの半自動プロセスでは、必要な情報を入力して、尿素噴射装置の上流から触媒出口までの流体領域をモデリングできるほか、多化学種解析を実施して排気流の各成分を評価することも可能です。