

触媒コンバータ内の流れ

本事例は、自動車の排ガスを浄化する触媒コンバータ内の流れ分析に FLUENT を使用したものです。自動車業界では、触媒コンバータの性能を評価するために、流れのパラメータの基準を設定しています。このパラメータの計算プロセスを自動化し、設計変更を短時間で評価できるように、FLUENT でユーザー定義関数(サブルーチン)を開発しました。

触媒コンバータは、ガソリンやディーゼルエンジンからの排ガスを浄化するために使用されます。特定の使用条件下で、これらのエンジンは一酸化炭素(CO)、窒素酸化物(NOx)、未燃焼の炭化水素(揮発性有機化合物またはVOCとも呼ばれる)など、環境に有害な物質を排出することがあります。こうした有害物質を許容可能な物質に変換すべく、触媒コンバータでは、排ガスを担体と呼ばれるパラジウムや白金のような金属触媒で被覆されたセラミック構造体に通します。ガソリンエンジンの場合は、排ガスはこれらの金属と反応してCOがCO₂に転化し、NOxが窒素と酸素に転化します。また、VOCはコンバータで燃焼してCO₂と水が生成されます。ディーゼルエンジンでは、触媒コンバータは主にNOx化合物の処理に使用されます。

触媒コンバータ内の流れの性質は、非常に重要です。CFD を利用することで、エンジニアは排気系の流れを可視化して解析できるので、機器設計に CFD はきわめて重要

な役割を果たすと言えます。CFD によって、担体全体における均一流の分布のような、決め手となる設計基準を簡単に定量化でき、自動車メーカーは独自に定義するパラメータでデザイン性能を判断できます。パラメータの抽出を容易にするために、FLUENT のユーザー定義関数(UDF)を使って特別なユーティリティが開発されました。

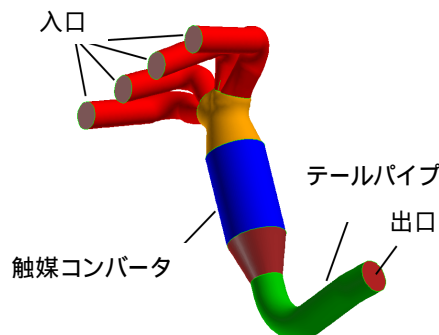


図 1: コンバータおよびその周辺の部品の形状。

このユーティリティの検証には、排気系の代表的形状(図 1)を使用します。加熱された排ガスが排気マニホールドの4つの入口から流入し、枝管を通過して、触媒コンバータ内の担体に流入します。FLUENT で

担体を多孔質媒体としてモデル化し、粘性および慣性による損失を流れ方向とそれを横断する方向の両方に指定します。多孔質媒体モデルを使用すれば、担体細部の詳細な形状を解像する必要がないので、計算メッシュのセル数を大幅に減らすことが可能となります。触媒コンバータを通過した気体は、テールパイプから流出します。乱流モデルには、標準壁関数処理とともに標準k-εモデルを使用します。流体は非圧縮性の空気と仮定します。



図 2: シミュレーション用のサーフェスマッシュ

各部の形状は複雑度が異なるため、最短時間でプリプロセスを行えるようにハイブリッドメッシュ(図 2)が選ばれました。排気用枝管では

テトラ(4 面体)セルを使用し,担体とテールパイプにはくさび形セルを使用します.最終的なハイブリッドメッシュは,合計 12 万個のセルから構成されました.排気用枝管(入口)のそれぞれには質量流量境界条件を指定し,テールパイプ出口には一定圧力境界条件を与えました.

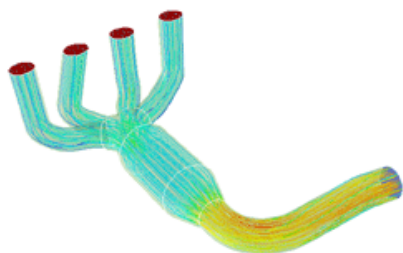


図 3: 速度の大きさによって色分けされたパスライン

図 3 は,機器全体のパスラインです.速度の大きさによって色分けされています.触媒コンバータ全体を通じ,流れは軸方向で,速度の大きさは均一です.テールパイプ内で流れの断面積が減少するにつれ,速度は増大します.図 4 は機器全体の圧力コンター図です.多孔質媒体内において流れ方向とそれを横切る方向に指定された損失係数のために,担体領域で大幅な圧力低下が起きているのが分かります.実際の担体の状態についてシミュレーションを行うために,横断方向の損失項は流れ方向の 1000 倍の値に設定し,流れ場が現実的な形で一方方向にまとまるよう保証します.担体内の流れは層流として扱い,その他の領域には完全な乱流の条件を想定します.



図 4: コンバータおよび接続管表面の静圧コンター図

自動車メーカーでは,触媒コンバータの均一特性を分析するために,圧力損失,離心率(図 5 に示すような担体断面における最大速度の位置),速度比(平均速度に対する最大速度の比)など,独自の値を設定しています.他に必要なパラメータとして,均一性指数,すなわち,断面積内で指定された最大速度の分率より速度が大きくなる部分の面積比率,空間速度(平均速度と担体長さの積),流れの均一性を測る積分値のガンマ均一性指数などがあります.これらの測定基準は,特定の「合格/不合格」基準の定義に使用できます.つまり,規定された範囲から指標のいずれかが外れれば,その触媒コンバータのデザインは不合格となります.測定基準は,FLUENT の組み込み機能で決定することもできますが,プロセスを自動化するポスト処理ユーティリティがあれば理想的です.そこでユーザー定義関数(UDF)が開発されました.このユーティリティを使用すれば,クリッカー一つで,重要なパラメー

タすべてがユーザーにレポートされます.

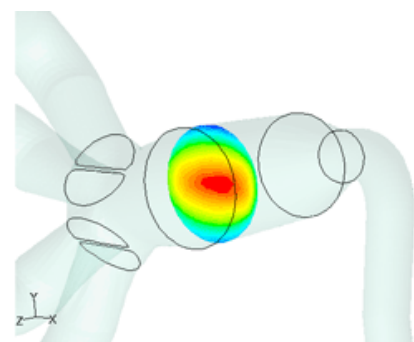


図 5: 担体の気体入口から内側方向に 25mm 離れた位置での速度分布

ここでは,自動車の触媒コンバータ内における流れシミュレーションに FLUENT を使った例をご紹介しました.理想気体を使用した非定常解析も可能ですが,現在の研究は定常状態の一定密度流れに限定されています.UDF によって実現したポスト処理機能を検証するために,単純化した計算が実行されています.UDF を使用すれば,触媒コンバータの流れの均一特性を短時間で簡単に決定できると言えます.