

ボルテックス(HEV) ミキサー

Minye Liu(アメリカ, デラウェア州ウィルミントン, DuPont Engineering Technology),
Arthur Etchells(アメリカ, ペンシルベニア州フィラデルフィア, AWE3 Inc. - 現在はDuPont社を退職),
Richard LaRoche(Fluent Inc.)

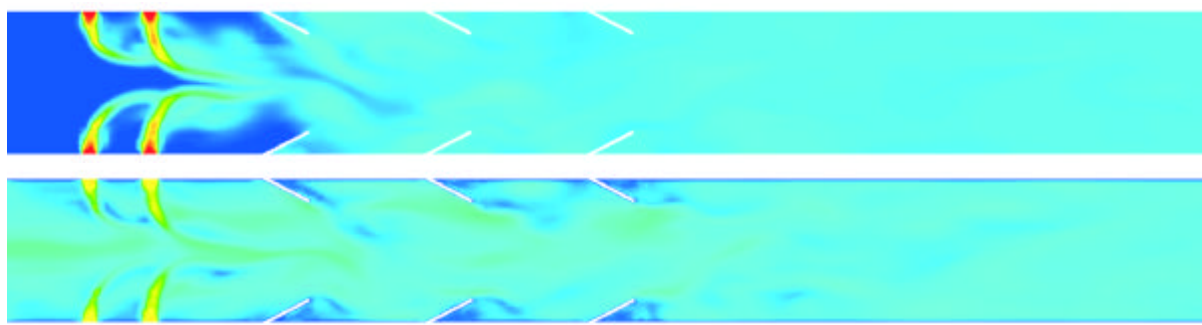
DuPont社は、技術を基盤とするサイエンス・カンパニーとしてさまざまな製品を世に送りだし、人々の生活を向上させ、安全かつ快適なものにしています。DuPont社の製品は多岐にわたり、栄養食品からアパレル、住宅・建築、エレクトロニクス、輸送、安全・防護に及びます。これらの製品は、その大半が流体力学や混合現象が重要な役割を占めるプロセスを経て製造されます。DuPont社が最近実施したプロジェクトでは、2種類の気体を混合するプロセスで収率を向上させました。そのキーとなったのは、スタティックミキサー内部流れのCFDモデルでした。

このプロセスでは、2種類のガスを均一に混合するため、スタティックミキサーに供給します。混合された物質は反応器に供給され、次の生産プロセスへと進みます。混合物の品質は反応を大きく左右するため、反応器の収率に大きな影響を与えます。生産ラインのスタティックミキサーは高効率ボルテックス(HEV)ミキサーで、その性能を向上させるには、形状を変更しながら何度もテストする必要がありました。従来、生産ラインでテストを実施していましたが、製造が毎回中断され、コスト面

で見合わないうえ、多数の設計案には対応できません。そのため、DuPont社では目的を達成するためにCFDを使用することを決定しました。

使用したHEVスタティックミキサーは円管状で、その壁面には多数のタブ(ツメ状の突起)が付いており、2種類のガスはタブの上流から管内に供給されます。高レイノルズ数乱流では、各タブの角から渦が対になって短い周期で発生するため、2種類の気体は効率よく混合されます。ただし、生産現場の制約で、2種類の気体はミキサーに、特別設計されたパイプ側面の多数の孔から供給されます。ミキサーの効率を左右する要因には、タブのサイズ、形状、角度、枚数、配置(他のタブや入口の孔との相対的な)などさまざまなものがあります。

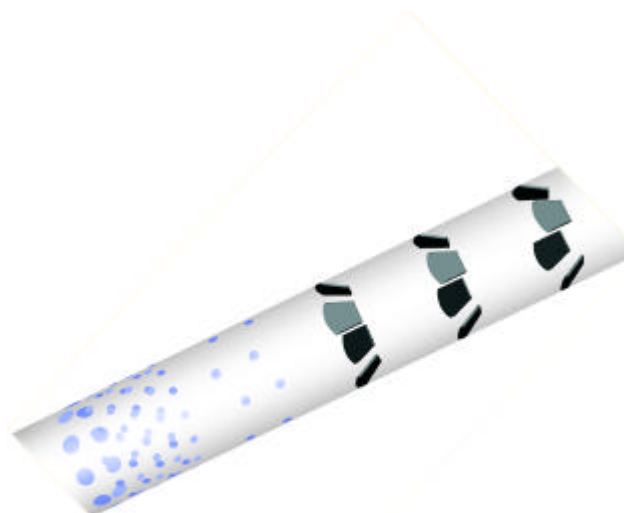
ミキサー内部の乱流は $k-\epsilon$ 、LES乱流モデルの両方でモデル化しました。グリッドへの依存性を検証するため、ミキサーの3次元流れ領域全体について3通りのグリッド密度でメッシュを生成したところ、モデルは500,000 ~ 1,200,000セルになりました。ミキサーの効率は、ミキサー出口における分散係数(CoV)で判定し



ミキサー中央面で切ったある瞬間のモル濃度場(上)と速度(下)。LESモデルによる計算。気体の混合の様子が分かる。

ました。ただし、k-eモデルで定常解が得られる場合でも、LESモデルでは一段と計算要件が厳しい非定常計算でなければ混合解析には十分なデータが得られません。したがって、多くの設計条件をk-eモデルでふるい分けし、有望であると判明したものに限りLESでモデル化するという戦略をとりました。また計算の回転率を上げるため、パラレルソルバーを全解析で利用しました。また、その一方でCFD作業と並行しつつ、メーカーで試験装置を構築し、評価用のデータを収集しました。

CFDの結果をk-eモデルとLESモデルで比較したところ、k-eモデルの方が格段に小さいCoVの予測値を与える点で一貫していました。つまり、現実的でない何らかの拡散が解に含まれていることを示しており、Navier-Stokes方程式のレイノルズ平均が一因と考えられます。一方で、LESのCoVは実測値と極めて良く一致しました。以上のシミュレーションによって、DuPont社は攪拌を促進させた設計変更箇所を特定することができ、下流にある反応器の収率を向上させました。結果として大きなコスト削減を実現したのです。



HEV ミキサーの形状