

高せん断インライン式ミキサー

高せん断ミキサーの分析に FLUENT が使用されました。このローター・ステーター式の装置は、化学やバイオメディカル、医薬品から日用品まで、幅広い産業分野でよく使用されています。非定常のスライディングメッシュモデルによって、機器の動作特性についての重要な洞察、さらに観察結果とよく一致する予測値が得られました。

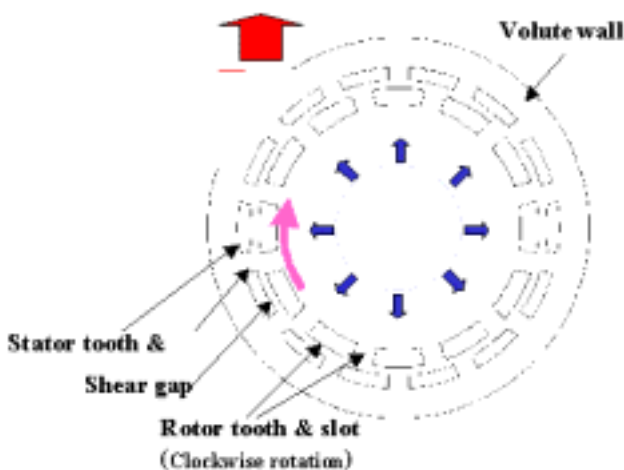


図 1: 高せん断ミキサーの 2 次元形状

インライン・ローター・ステーター式ミキサーは、乳化、分散、混相ゲル化や、粒子サイズ制御などの化学プロセスで広く用いられています。しかし、その広い使用範囲にもかかわらず、性能の理論的予測や実験的評価のための基盤はないに等しいものでした。その結果、プロセス開発、規模拡大および運用は試行錯誤に頼ることが多く、プロセス費用の増大、立ち上げ時の問題発生、製品化の遅れなどの原因になっていました。こうした機器の設計エンジニアの目標は、単相と混相の両

方プロセスを制御する流体力学の基本的な理解を得ることでした。ここでは、FLUENT を使用して、図 1 に示す高せん断ミキサーの 2 次元シミュレーションを実施しました。溶液は機器の内側から放射状に流入し、1800 rpm で回転する内側のローター歯の列にあたります。その後、流れはステーター歯の列を通過してポリュートに流入し、最後にミキサーから出ていきます。ローターとステーターの歯数が異なるため、溝が完全に整列することはありません。その結果生まれる複雑な流れの挙動により、この機器は攪拌、均質化、溶解、分散、乳化、反応加速、粉碎、懸濁、可溶化、ポンピング、固体崩壊、凝集減少に理想的なものになります。

方プロセスを制御する流体力学の基本的な理解を得ることでした。

ここでは、FLUENT を使用して、図 1 に示す高せん断ミキサーの 2 次元シミュレーションを実施しました。溶液は機器の

ローター・ステーター相互作用の非定常の挙動は、FLUENT のスライディングメッシュモデルを使用して把握しました。4 辺形エレメントからなるグリッドが使用されます。図 2 に示すように、ローターとステーターの歯の間にある 0.5 mm 幅の環状のギャップおよび隣接するローター(ステーター)の歯の間の溝では、メッシュが細かくなっています。スライディングメッシュモデルを使用する場合、ステーター部のグリッドは、ステーターの外にあるポリュート部のグリッドと同様に静止しています。放射状に入口まで並んで延びるローター部のグリッドは、ローターの移動とともに回転します。ローター

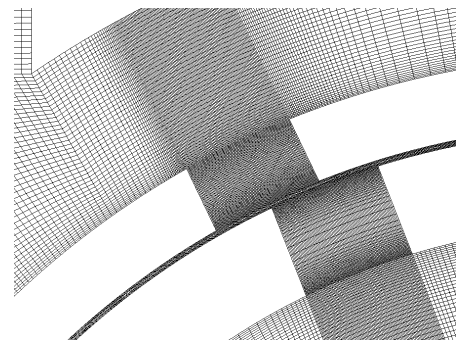


図 2: シミュレーションに使用される非構造 4 辺形メッシュ

とステーターの間の狭い環状ギャップの中央にある円形のインターフェイスで、移動グリッド領域と静止グリッド領域の間の情報が交換されます。この単純な形状にメッシュ生成するにあたっては、使用する乱流モデルとスライディンググリッドインターフェイスに対する細心の注意が必要です。

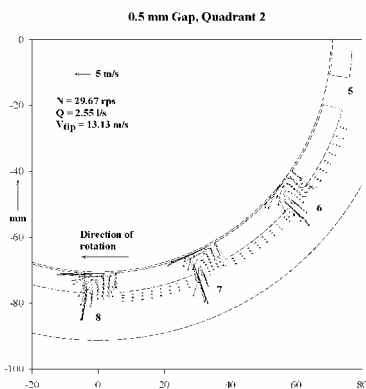


図 3: 時間平均速度は、a) LDA 測定値 (左) と b) CFD 予測値 (右) の間で量的一致を示している。

流れの速度を LDA で測定したものを図 3a に示します。速度ベクトルは、環状ギャップ内の強い流れ、ステーターへの流れの衝突、溝の中の流れの循環を示しています。溝の位置に関係なく、ポリュートから溝への液体の巻き込みが溝の流れ

の特徴としてみられます。FLUENT でも、図 3b の時間平均速度ベクトルにみられるような同じ流れのパターンが報告されました。図 4 は溝の 1 つの拡大図です。速度ベクトルを見ると、流体が溝へ巻き込まれ、高速でステーター歯に衝突し、スロットから流出するようになりますがわかります。

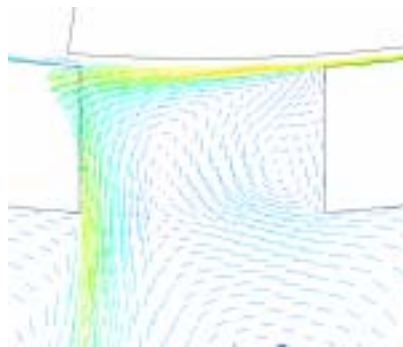


図 4: 溝の 1 つの速度場の拡大図。複雑な循環パターンを示す。

図 5 は、乱流運動エネルギー瞬間値のコンター図です。高せん断ローター・ステーター機器の目的は、流体にエネルギーを与えて分裂、均質化、乳化などを行うことです。ステーター先端にみられる高乱流エネルギーは、この機器で速度の相対的大きさが影響を及ぼしていることを示しています。ローターが溝を過ぎる間に、ステーター上の乱流エネルギーは増大し、ステーターの溝が閉じたときに最大となります。

以上をまとめると、インライン・ローター・ステーター式ミキサーの 2 次元スライディングメッシュによるシ

ミュレーションは、近似ではあっても、試験的設計のための有益な洞察と基盤を提供します。シミュレーションの部分的検証と複雑な流れ場のさらなる解明のために、固定座標 LDA 測定が実施されました。CFD と LDA を組み合わせた研究は、実験データが存在しない場合にも、ローター・ステーター式ミキサーの性能に関する理解と評価を進めるのに役立つでしょう。今後の研究では、混相流だけでなく単相流の力学の調査も予定されています。

資料提供: University of Maryland

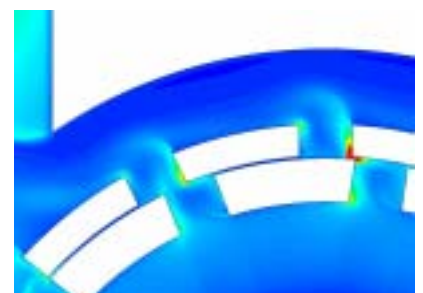


図 5: 瞬間乱流運動エネルギーのコンター図