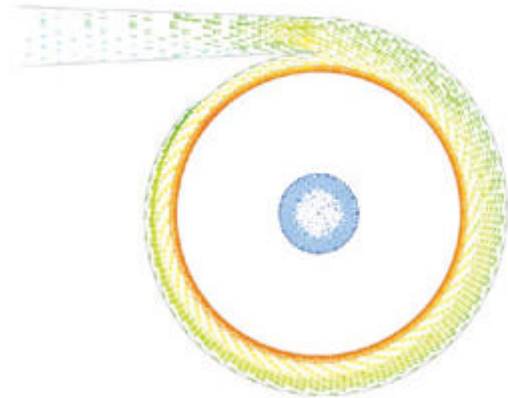


血流ポンプ設計のためのバーチャルプロトタイプ

J Valentin Izraelev, Andrei Khodak (アメリカ ミネソタ州ホプキンス, Advanced Bionics, Inc.)



血流ポンプのハウジング。左側が入口, 右側が出口



ポンプ出口平面の断面, 速度ベクトルを示す

1990年代の終わりから, ABI (Advanced Bionics, Inc.) は, 同社が特許を持つベアリングやシールを使用しない回転ポンプ技術の開発に Fluent のソフトウェアを本格的に利用してきました。医療用血流ポンプは, ABI の主要業務です。100年以上の歴史を持つ従来の渦巻きポンプの理論は, 流速が 0.3 - 1.5 gal/min, 差圧が 1.0 - 6.0 psi の小型血流ポンプには当てはまりません。さらに複雑な問題として, 小型血流ポンプは駆動速度が変化し, 独自の最適化基準を使用します。流速, 圧力, 効率等の従来のポンプの特徴に加えて, 血流ポンプでは, 溶血や血栓等の血液操作に関する特性も重要になります。溶血とは赤血球の破壊のことで, ずり応力および滞留時間と関連します。血栓とは血液の塊りが形成されることで, 血管壁のずり応力と関連します。従って, 最適な血流ポンプの稼動時には, 血管壁のずり応力を (溶血を抑えるために) 過剰にならないように抑制すると同時に, (血栓予防のために) 一定のレベルに維持する必要があります。ABI は, 血流ポンプの性能分析で知識と経験を積み重ね, その成果をポンプの寸法を表す多数の変数を用いたバーチャルなプロトタイプ設

計ツールに利用してきました。実際に血流ポンプを使用した多くの試験の結果でも, 計算結果と実測値が極めてよく一致しています。

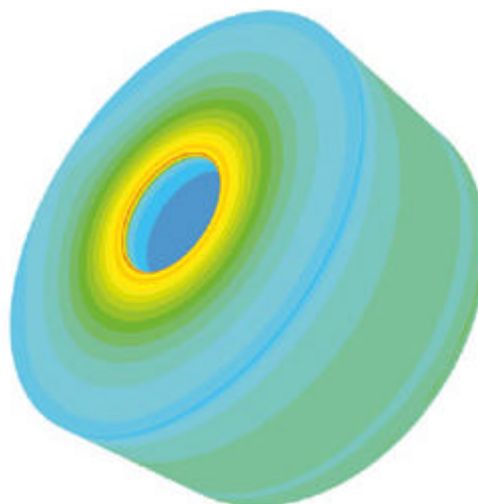
正確な分析を行うために, ポンプ全体に加えて, 多くの場合は出口領域の大部分にメッシュを生成する必要があります。GAMBIT を使用して, ローター領域周囲に, 多くの場合は不連続なスライディング インターフェイスを持つ 3 次元グリッドを構築しました。このような柔軟性を生かして, 複雑な形状のブレードに精密なメッシュを生成できます。典型的な計算用メッシュサイズは, 約 300,000 セルです。GAMBIT のジャーナルファイルを利用して, ジオメトリを微調整し, 計算グリッドを自動的に再構築できます。これは, 毎回の設計変更に伴うメッシュ生成時間を大幅に短縮できることを意味します。このようなパラメトリックアプローチによって, 予め与えられた形状パラメータのマトリックスから様々な変更を加えたバーチャルプロトタイプを短時間で製作できます。

このパラメトリックアプローチは, FLUENT の解析

とポスト処理でジャーナルファイルを使用する時にも適用できます。使用条件を変更して各デザインの性能を試験しました。ジャーナルファイルによって与えられた回転速度と流速の境界条件から各領域のケースファイルとデータファイルを自動的に生成できます。乱流領域の解析には、標準k-ε乱流モデルを適用します。FLUENTの改良型壁関数を使用して、適切なメッシュ規模を保ちながら壁近傍領域を正確に予測できました。非定常計算の初期条件には、複数基準座標(MRF)モデルの計算結果であるフローズローターの解を使用します。

CFDの解析結果のポスト処理では、ポンプの圧力上昇、ローターのトルク、流体力、せん断応力等を予測してポンプのデザインの性能を量的に評価します。ベクトル図は詳細な流れのパターンを示し、コンター図は血液が破壊される可能性が最も大きい領域の位置を示します。ポスト処理ではジャーナルファイルを使用し、計算結果の総合的なレポートを準備します。

必要に応じて、スキームファイルに特別な手順を記述してFLUENTに読み込みます。このような手順によって、ソルバーの実行時およびポスト処理時にコードの機能を拡張する複雑な循環的操作が可能になります。最適なバーチャルデザインを決定した後に初めて、実際のプロトタイプ構築を開始します。ABIが開発した極めて効率的なバーチャルプロトタイプ製作システムは、設計時間と開発費用を大幅に削減しました。



Tesla 型ポンプのローター壁における壁せん断応力のコンター ;ポンプのローターの半分