

ディーゼル燃料噴射器のキャビテーション

ここでは、FLUENT のキャビテーションモデルを使用して、ディーゼル燃料噴射器のキャビテーションに関する調査を実施しました。結果は、キャビテーションが発生する 2 つの領域を示しています。実測は困難ですが、このモデルを使用すれば燃料噴射器をさまざまな運転条件とデザインで調査できます。

燃料噴射器は、内燃(IC)エンジンのシリンダーに燃料を供給します。噴射器のノズルを通じて、燃料と空気の混合を促進して燃料効果が高められるように、燃料は通常、高圧で噴霧されます。ディーゼルエンジンの燃料噴射器は、しばしば 25 MPa 以上の噴霧圧力で運転されます。最新型の客車やトラックは、内燃エンジンの排気レベル低減のために、以前のモデルよりも高い噴霧圧力を使用して燃料の微粒化を促進しています。供給される燃料の量は、噴射器の開放時間によって制御されます。燃料噴射器の性能判断に決め手となる要素は、液体燃料供給制御と得られる燃料噴霧の特性です。

残念なことに、ディーゼル噴射器の使用圧力の高さが原因で液体燃料のキャビテーションが起き、性能低下や噴射器の構造破壊にいたることがあります。通常の燃料噴射器は小さく、現象の実測値を得るのが難しいことから、CFD による分析が注目を集めています。特に、噴射器のキャビテーションが著しい場合は

最悪の事態となりかねないので、こうした例を調査して、チョーク状態の質量流量と圧力分布を予測することに特に関心が向けられています。さらに、分離した水蒸気の気泡を追跡し、どこで壁に衝突して構造破壊を引き起こす可能性があるかを解明できます。

ここでは、FLUENT 6.1 のキャビテーションモデルを使用し、1 台の噴射器を調査しました。この燃料噴射器は 8 つの対称部分から構成されるため、シミュレーションでは 45 度の部分のみを使用します。入口と出口は、入口でゲージ圧が 1701 atm、出口で 0 atm の圧力境界としてモデル化します。作動流体は、液体ディーゼル燃料とディーゼル蒸気の混合流体で、蒸気圧も含めた 2 相のすべての物理的性質を指定します。キャビテーションモデルは蒸気生成と 2 相の分離を追跡し、ディーゼル燃料中の非凝縮性気体の効果を考慮し、キャビテーションの予測精度を向上させます。乱流条件には標準 $k-\epsilon$ モデルを使用しました。キャビテーション領域を正確

に解像するために、6 個または 7 個以上のセルがこの領域に含まれるようにグリッドを構成しました。

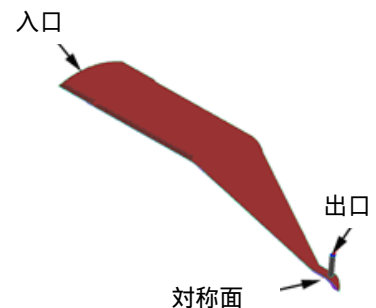


図 1: 燃料噴射器の形状

図 1 に燃料噴射器の形状を示します。燃料は左側の入口から流入して 2 つの角を曲がり、噴霧孔から流出します。図 2 はシミュレーションに使用したサーフェスメッシュです。

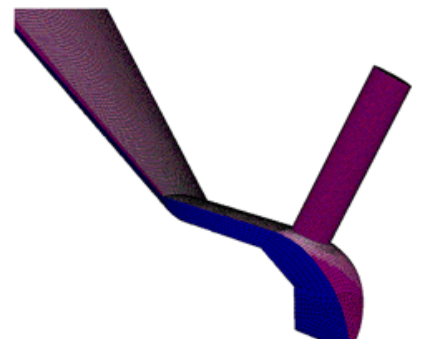


図 2: カップと噴霧孔付近の領域における燃料噴射器境界のサーフェスメッシュ

23万1,000個のセルからなるハイブリッドメッシュは、大部分がヘキサ(6面体)セルでカップ領域に部分的にテトラ(4面体)セルを含みます。図3は噴射器の中心断面の絶対圧力の分布です。色の違い(スケール表示なし)は、2つの異なる領域で、絶対圧力が蒸気圧力にほぼ等しくなることを示しています。これはキ

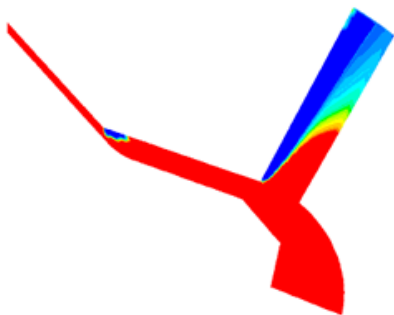


図 3: 燃料噴射器の中心断面における絶対圧力コンター図

ャピテーションが起きやすい領域と考えられ、中心断面におけるディーゼル蒸気分率分布(図4)でこの予想が正しいことを確認できます。こ

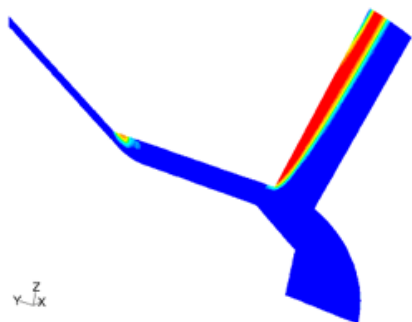


図 4: ディーゼル蒸気質量分率のコンター図。2つのキャピテーション領域を示す。

の図は循環が最も活発で、圧力が蒸発圧力以下になる領域でキャピテーションが発生することを示しています。また、この図から、ディーゼ

ル蒸気が出口を通過して燃料噴射器の外に運ばれていることが分かりますが、これはキャピテーションが著しい状態を示しています。

この例では、FLUENTのキャピテーションモデルを使用して、キャピテーションの発生するディーゼル燃料噴射器のシミュレーションを実施しました。その結果得られた圧力場は、キャピテーションが予想される領域を示しています。すなわち、循環が起き、圧力が問題設定で指定された蒸気圧値に近い領域です。ディーゼル蒸気分率を調査したところ、実際に、そのような位置でキャピテーションが起きることが確認されました。燃料噴射器の試験的なデザインをさまざまな使用条件で測定することは現実には難しいため、キャピテーションモデルはこのような検証に適した経済的な方法といえます。