



蒸気タービンの動翼から飛散する液滴挙動の数値解析

研究・開発機関 : [富士電機株式会社](#)
 利用施設 : 自社設備
 計算規模 : 16コアの並列計算で90時間
 利用ソフトウェア : STAR-CCM+

Before

- 水蒸気でタービンを回転させ電力を得る蒸気タービンの低圧段で発生する液滴による効率損失を低減するため、検証モデルを作成し液滴挙動を再現する数値解析に着手しました。
- これを実行するためには壁面への衝突による液滴の微細化や液膜の形成、液膜からの液滴の離脱といった複雑な現象をコンピュータ上で再現する必要がありました。

After

- 固体粒子を含む流れ解析によく用いられるラグランジュ混相流と液膜モデルを組み合わせることで、複雑な液滴挙動をコンピュータ上で再現できるようになりました。
- 液滴衝突位置の傾向が実験と数値解析で一致することが分かり、多段蒸気タービンでのドレンキャッチャの構造改善に取り組むための基礎ができました。

背景と目的

蒸気タービンの低圧段では水蒸気の凝縮により発生した微細な液滴が静翼（流体を整流するための羽根）で粗大化し、飛散し動翼に衝突することにより損失が発生します。この損失を低減するため、蒸気タービン低圧段の外周部にはドレンキャッチャと呼ばれる水の回収機構が設けられています（図1）。

ドレンキャッチャの構造を改善するには、動翼から飛散した液滴の衝突位置を予測することが重要です。そこで蒸気タービンの動翼に発生した液膜が翼端から飛散する現象をラグランジュ混相流と液膜モデルを組み合わせることで市販CAEソフト（STAR-CCM+）を用いて計算により明らかにしました。

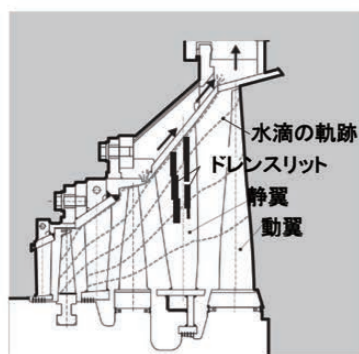


図1 ドレンキャッチャの仕組み

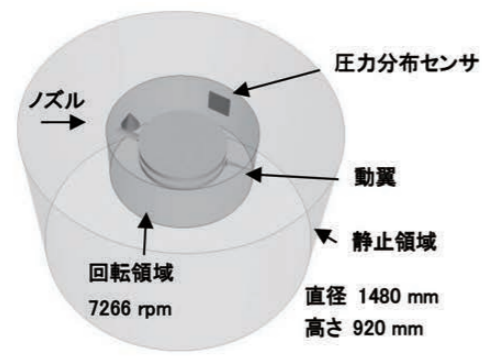


図2 解析対象の概略図



図3 動翼とローター

図2に解析対象の概略図を示します。7266rpmで回転する動翼に対してノズルから水を噴霧し、動翼から飛散する液滴の挙動を評価する実験をコンピュータで再現しました。

実験に合わせて112mm角の圧力分布センサを模擬する壁面を配置し、衝突する液滴の質量流量を計算しました。回転領域には図3に示す動翼とローターのみが含まれ、ノズルと圧力センサは外側の静止領域にあります。

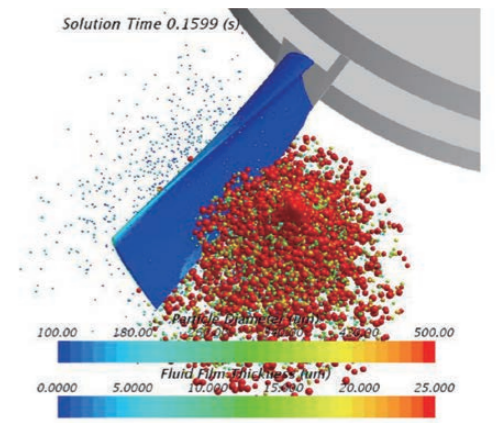


図4 液滴と液膜の計算結果 (上から見る)

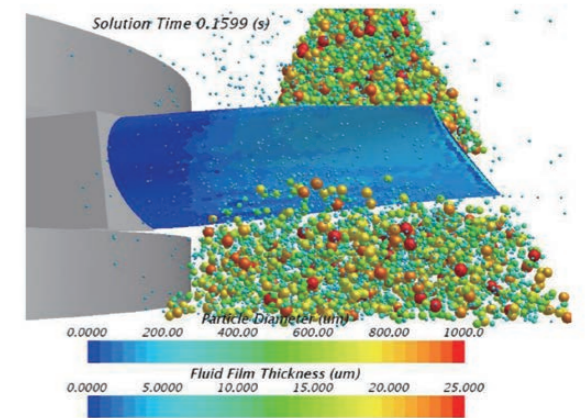


図5 液滴と液膜の計算結果 (横から見る)

■ 利用成果

ラグランジュ混相流と液膜モデルを組み合わせ、動翼表面への液滴の衝突による液膜の形成、衝突による液滴の微細化、および液膜からの液滴の離脱といった現象を考慮したシミュレーションを行いました。

流体の物性値は実験条件と同じ圧力1000Pa、温度20°Cでの空気と水の値を用い、密度は一定とし、圧力場と流れ場を交互に計算する分離型アルゴリズム (Segregated flow) を用い、2次精度の離散化スキームを採用しました。

乱流現象は多くの空気力学アプリケーションで使用される2方程式渦粘性モデルであるk- ω SSTモデルを使用し、時間刻み1 μ sの非定常解析で動翼20回転分に相当する0.17秒間の計算を行いました。

図4と図5に動翼に衝突して飛散する液滴の状況の計算結果を示します。動翼の前面に衝突した液滴が、直径300 μ m以下に微細化して回転方向の前方に飛散しています。液滴の一部は動翼の表面に付着して液膜を形成し、遠心力により翼端へ移動し、最終的に翼端から離脱する様子が見られます。

図6に圧力分布センサに衝突する液滴の質量流量分布の計算結果と、実験で測定した圧力分布から求めた液滴衝突位置の分布とを比較した結果を示します。

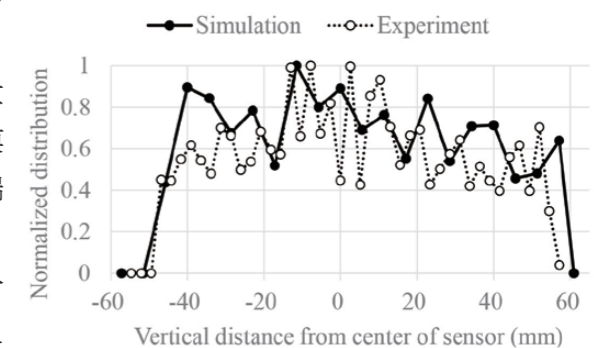


図6 圧力センサでの液滴衝突量の分布

圧力分布センサで検出できない微小液滴の影響を除くと、液滴衝突量は計算結果も実験結果も中央部が両端よりやや多い分布となり、実験と解析の傾向が一致することが分かりました。

今後はこの方法を応用して蒸気タービンのドレンキャッチャを改良するため、実際の運転条件における多段蒸気タービンでの液滴の数値解析を実現していく予定です。

出典：榎並 義晶、清野 純一、「蒸気タービンの動翼から飛散する液滴の数値解析」、第32回計算力学講演会、2019