九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

低速ファンの翼周りにおけるはく離渦流れ場および音響場の数値解析に関する研究

草野, 和也

https://hdl.handle.net/2324/1441226

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

KYUSHU UNIVERSITY

論文の要約

論文提出者：草野　和也

論文題名：低速ファンの翼周りにおけるはく離渦流れ場および音響場の数値解析に関する研究

本研究では，半開放形プロペラファンにおける翼端渦の三次元流れ構造を明らかにすることを目的とし，Navier-Stokse 方程式を支配方程式とした DES（Detached Eddy Simulation）解析を行った．また，次世代の大規模並列計算機へ適合した CFD 手法の構築を目的とし，格子ボルツマン法（Lattice Boltzmann Method: LBM）に基づく計算手法を開発し，レイノルズ数が 10^5 程度の低速ファンのはく離渦流れ場に対する計算手法の有効性を検証した．さらに，低マッハ数の流れ場から発生する空力音の直接計算に対する LBM の適用性を検証するために，レイノルズ数が 10^5 程度の二次元翼まわりのはく離遷移流れから発生する乱流音の高精度な予測を試みた．本論文は次の 6 章から成る．

第 1 章では，本研究の背景を述べるとともに，本研究で取り組む 3 つの課題ついて述べた．

第 2 章では，数値解析手法の概要を述べた．まず，三次元圧縮性 Navier-Stokes 方程式を支配方程式とした DES についてその概要を説明した．次に，大規模な並列計算に適した LBM に基づく計算手法を提案した．さらに，可視化処理の方法として，渦構造の同定法について概要を述べた．

第 3 章では，半開放形プロペラファンの流れ場を支配する翼端渦について詳細な三次元流れ構造を明らかにすることを目的として，DES 解析結果に対して翼端渦の詳細な可視化を行った．翼端渦は，開放領域では主流に沿って移流するが，シュラウド面下ではシュラウド面との干渉の結果，その軌跡は周方向（隣接翼の方向）に転向する．本研究では，翼端渦の周方向への転向は動翼下流の半径外向き流れに支配されていることを明らかにした．さらに，翼端渦の急速な成長に伴う流れ方向の大きな順圧力勾配に起因して，渦中心に最大速度をもつジェットタイプの渦軸方向速度分布が形成されることが示された．このことは翼端渦が軸方向を向いていれば，翼端渦によるブロッケージ効果が小さくなり，翼先端部での流量低下を抑制できることを示唆している．

第 4 章では，次世代の大規模並列計算機へ適合した CFD 手法を構築し，将来的に低速ファンにおける乱流の DNS や空力音の直接計算などの大規模計算の実現を可能にすることを目標に，LBM に基づく計算手法を開発し，レイノルズ数 10^5 程度の翼周りの流れ場に対する本計算手法の有効性を検証した．LBM の適用範囲は，これまでレイノルズ数が非常に小さい流れ場に限られており，レイノルズ数 10^5 程度の低速ファンへ適用した例は極めて少ない．まず，レイノルズ数が 1.0×10^5 の NACA0018 翼まわりのはく離遷移流れに対して DNS を実施し，翼面上の圧力分布および速度プロファイルについて実験結果と比較して，良い一致が得られることを示した．さらに，低速ファンまわりの三次元渦流れの計算を行い，低速ファンまわりの複雑なはく離渦流れ場について実験結果と比較して良好な結果が得られていることが確認でき，本計算手法の低速ファンへの適用可能性が示された．

第 5 章では，低速ファンから発生する乱流音の高精度な予測の実現を目指して，低マッハ数の流れ場から発生する空力音の直接計算に対する LBM の適用性を検証した．レイノルズ数が 1.0×10^5 の単独翼から発生する離散周波数音の計算を行い，ピーク周波数が LBM により予測できることを実験結果と比較して示した．また，離散周波数音の周波数および音圧レベルともに，非熱流体モデルおよび熱流体モデルの計算結果に有意な差は認められず，エネルギーの保存を考慮しない非熱流体モデルであっても空力音の直接計算が可能であることを示すとともに，非熱流体 LBM は熱流体 LBM および Navier-Stokes 方程式の差分法に対して計算速度において優位性があることを示した．最後に，レイノルズ数が 2.0×10^5 の NACA0012 翼から発生する乱流音の広帯域スペクトルの定量的予測を試みた．計算結果を実験結果と比較することにより，翼まわりのはく離遷移流れが再現できていることを確認し，さらに，乱流音の広帯域スペクトルが本計算手法により高精度に予測できることを示した．

第 6 章は結言であり，本論文を総括している．