

令和元年6月12日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06101

研究課題名(和文) 航空機翼面と胴体のコーナー部に生じる3次元乱流境界層の直接数値シミュレーション

研究課題名(英文) Direct numerical simulation of a three-dimensional turbulent boundary layer with emphasis on a corner flow in a wing-body junction

研究代表者

阿部 浩幸 (ABE, HIROYUKI)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・航空技術部門・主任研究開発員

研究者番号：80358481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、航空機翼面と胴体のコーナー部に生じる3次元乱流境界層の乱流輸送現象の解明を目的に、DNSコードの開発を行った。加えて、コーナーフローを予測可能とするRANSモデルの開発として、研究代表者らが開発を進めてきたk-εモデル(AMMモデル)に対し2次非線形渦粘性表現を開発し、モデルをJAXAが開発した圧縮性ソルバーFaSTARに導入した。航空機周りの代表的なテストケースであるNASA Common Research Model(CRM)の風試結果に対して検証を行った結果、開発したモデルは高迎角時の翼と胴体のコーナー部の剥離を実験と同程度の大きさに予測し、コーナーフローの予測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3次元乱流境界層のDNSデータは、2次元乱流境界層に比べ圧倒的に少なく、本研究で得られたDNSデータの学術的意義は大きい。また、開発した乱流モデルは、その学術的な新規性に加え、研究代表者の研究機関の主要コードにも実装されており、社会的な役割も果たしている。

研究成果の概要(英文)：In the present study, we have developed a simulation code to perform a direct numerical simulation of a three-dimensional turbulent boundary layer with emphasis on a corner flow in a wing-body junction. In addition, we have also developed a low Reynolds-number quadratic nonlinear k-epsilon model (AMM model), with a view to predicting a corner flow. The AMM model has then been implemented into a CFD code for compressible flows 'FaSTAR' developed by JAXA, which successfully yields a reasonable prediction for the corner separation in a NASA CRM wing-body junction flow.

研究分野：工学

キーワード：乱流 3次元乱流境界層 コーナーフロー

1. 研究開始当初の背景

航空機の翼面を念頭においた 3 次元乱流境界層の DNS については、流入条件や境界条件の設定など計算上取り扱いが難しい部分が多く、Moin ら(1990)、Coleman ら(2000)により後退翼を念頭に置いた DNS が幾つか実行されているものの、今後の発展が待たれる状況であった。特に、翼面と胴体のコーナー部の 3 次元乱流境界層を念頭に置いた DNS については、未だ行われていなかった。他方、レイノルズ平均モデルを用いたコーナー部の 3 次元乱流境界層の予測は、航空機の抵抗係数の予測においてキーとなっており、各国で精力的に予測とその改善が行われてきた。後者のレイノルズ平均モデルを用いた予測では、迎角が大きくなり翼面にかかる逆圧力勾配が大きくなると後縁のコーナー部において剥離が過大評価される傾向が報告されていた。この現象の予測は、非線形渦粘性表現の使用により改善される報告もあったが、未だ統一的な見解が得られていない状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、翼面と胴体のコーナー部に生じる 3 次元乱流境界層の直接数値シミュレーション(DNS)を実施し、圧力勾配とレイノルズ数の 2 つのパラメータの依存性を明らかにするとともに、乱流モデルの開発に資する DNS データベースを構築することを目的とする。加えて、DNS データを用いてコーナーフローを予測可能とする RANS モデルの開発を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、航空機翼面と胴体のコーナー部に生じる 3 次元乱流境界層の乱流輸送現象の解明を目的に、逆圧力勾配の平板乱流境界層 DNS コードと コーナーフローDNS コードの開発を行った。なお、の DNS は、コーナー部と翼面の乱流境界層の違いを定量化するために必須である。の計算は、リスケーリング・リサイクリング法(Lund ら, 1998)を用いてドライバ一部の計算を行い、そのデータを流入条件として与え、逆圧力勾配の平板乱流境界層の DNS を行うものである。逆圧力勾配の形成は、乱流境界層に平衡状態が得られる条件を念頭に置き、上部境界の主流速度の大きさを操作することにより行った。空間的離散化は、流れ方向・スパン方向は 4 次精度中心差分、壁垂直方向は 2 次精度中心差分で行った。一方、の計算は、翼と胴体のコーナー部の 2 次流れを念頭に、矩形ダクトの DNS を行うものである。空間的離散化は、流れ方向は 4 次精度中心差分、その他の方向は 2 次精度中心差分で行った。

4. 研究成果

DNS コードの開発後、矩形ダクトにおいてレイノルズ数効果とアスペクト比の影響(図 1)の検討を行った。加えて、コーナーフローを予測可能とする RANS モデルの開発として、研究代表者らが開発を進めてきた $k-\omega$ モデル(AMM モデル)に対し DNS データを用いて 2 次非線形渦粘性表現を開発(図 2)するとともに、開発したモデルを JAXA が開発した圧縮性ソルバー FaSTAR に導入した。NASA Langley Research Center の乱流モデルテストケースに対する検証の後、航空機周りの乱流場の代表的なテストケースである NASA Common Research Model (CRM) の風試結果に対して検証を行った結果、開発した非線形 $k-\omega$ モデルは、高迎角時の翼と胴体のコーナー部の剥離を実験と同程度の大きさに予測し、コーナーフローの予測に成功した(図 3)。

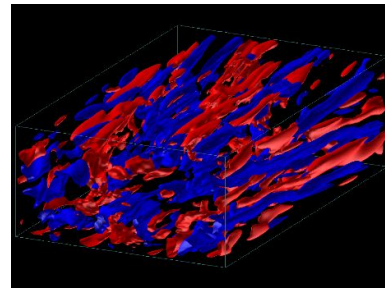
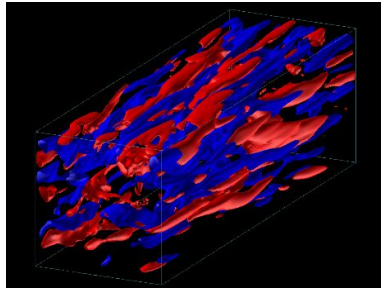


図1 矩形ダクトのDNSにおける低速(青)・高速(赤)領域の3次元可視化:
(左)アスペクト比1; (右)アスペクト比2.

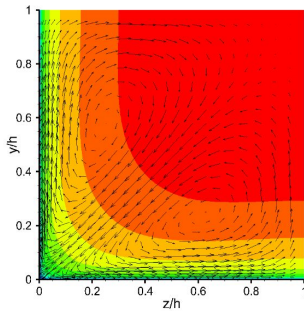


図2 AMM モデルによる矩形ダクトの計算結果:主流速度コンター及びベクトル図 (阿部ら 2018)

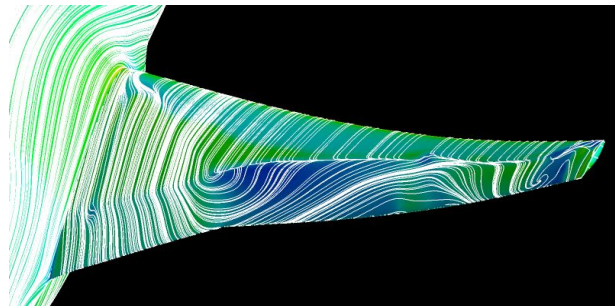


図3 AMM モデルによる NASA CRM の計算結果: 摩擦係数(コンター)及び流線の分布 (阿部ら 2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

(1) 阿部 浩幸, 溝淵 泰寛, 松尾 裕一, “ 剥離乱流境界層のDNSデータを用いたk-モデルの開発,” 第50回流体力学講演会 / 第36回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム (2018年7月4日~6日, 宮崎市民プラザ), (CD-ROM).

(2) 阿部 浩幸, 溝淵 泰寛, 松尾 裕一, “ 剥離乱流DNSデータを用いたk-モデルの開発,” 日本機械学会 第96期流体工学部門講演会 講演論文集 (2018年11月29日~30日, 室蘭), (CD-ROM).

(3) 阿部 浩幸, 溝淵 泰寛, 松尾 裕一, “ 非線形k-モデルを用いた航空機翼周りの乱流場の予測,” 第51回流体力学講演会 / 第37回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム (2019年7月1日~3日, 早稲田大学 早稲田キャンパス 国際会議場), 発表予定.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

研究代表者名： 阿部 浩幸
ローマ字氏名： ABE HIROYUKI
所属研究機関名： 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
部局名： 航空技術部門
職名： 主任研究開発員
研究者番号（8桁）： 80358481

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。