

## 第 60 回宇宙科学技術連合講演会 に参加して

三 崎 良 輔

Ryosuke MISAKI

機械システム工学専攻修士課程 2年

### 1. はじめに

私は 2016 年 9 月 6 日から 9 日にかけて北海道の函館アリーナにて開催された第 60 回宇宙科学技術連合講演会に参加し、「空気力学 (2)」のセッションにおいて「乱流モデルを考慮した円柱周りの流れに関する研究」という題目で発表した。

### 2. 研究背景・目的

現在、惑星探査に地上走行ロボットが使用されている。ロボットが地上を走行する際、凹凸のある惑星の地表を走行するため探査範囲の問題や画像解析の精度の問題等が挙げられる。そのため飛行機を代用した惑星探査が望ましいと考えられる。飛行機を宇宙空間で使用するためにはロケットに搭載することを考慮したものでなければならない。インフレータブルウイングと呼ばれる収縮可能な柔軟構造の翼を持つ飛行機であれば機内への収納が容易である。その凹凸のある翼は円柱の集合体と見なすことができ、本研究では円柱周りを流体解析する際、数値流体力学解析 (CFD 解析) により行い乱流モデルの影響を調べた。乱流モデルの違いに着目し、円柱周りの流体解析を行うことで乱流モデルの違いが計算結果にどのように影響を及ぼすのか考察した。昨年度以前の研究結果で見られた実験結果と解析結果の不一致の原因を追究するため、乱流モデルの違いに着目した。これは、インフレータブルウイングは翼面が凹凸の形状であるため乱流の考慮が重要であり、乱流モデルの違いによる結果の検討が必要であると考えたからである。形状が単純な円柱を用いて解析を行い、変化の挙動について調べた。流体モデルの違いのみならず、定常流と非定常流、レイノル

ズ数を変えて解析結果がどのように変化するか追究した。

### 3. 解析条件・方法

円柱周りの二次元解析を行うにあたり、図 1 に示す計算格子 96 点の直径 1 m を解析対象とした。計算ソフトは ANSYS FLUENT 16 を用い、流体モデルは laminar モデル、Spalart-Allmaras モデル (以下 S-A モデルと呼ぶ)、Detached Eddy Simulation モデル (以下 DES モデルと呼ぶ) を使用した。計算式は式 (1) に示す Navier-Stokes 方程式を使用した。格子数は円の内部・外部共に 96 点に設定した。流体は空気を用い、流体の密度を  $1 \text{ kg/m}^3$ 、流体の温度を  $288.16 \text{ K}$ 、流入側の流速を  $1 \text{ m/s}$  に設定した。また、抗力係数を計算する際に図 2 のように抗力係数が時間と共に変化するため平均をとり計算した。抗力係数のばらつきの程度を比較するために、標準

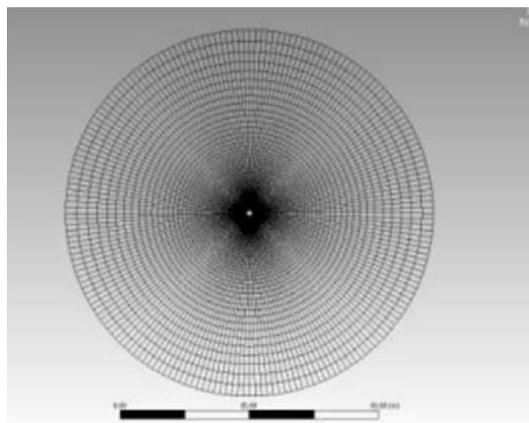


図 1 格子数 96 点の円柱

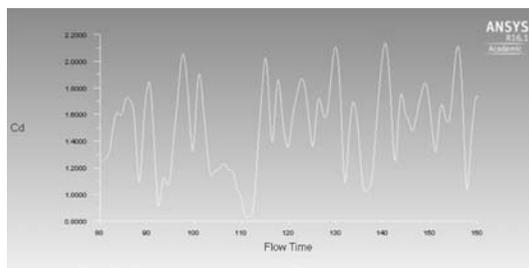


図 2 レイノルズ数 10000 の DES モデルの抗力係数の時間履歴

偏差を取り計算した。

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \rho(\bar{u} \cdot \nabla) \bar{u} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \bar{u} \quad (1)$$

## 4. 解析結果

### 4.1 抗力係数の結果

抗力係数の結果を表 1 にまとめた。非定常流における laminar モデルの結果では、レイノルズ数が増加すると抗力係数と標準偏差の値も増加することが分かった。非定常流における S-A モデルを使用した場合のレイノルズ数別の結果を比較すると、レイノルズ数が増えなくても結果に大きな違いはなかった。DES モデルの結果をみると、レイノルズ数が増えなくても、抗力係数や標準偏差は大きく変化することが分かった。表 2 に laminar, S-A, DES 各モデルの結果の比較を示す。レイノルズ数が増えなくても使用する流体モデルが異なると結果が大きく異なることが分かった。

### 4.2 速度分布・渦度分布の結果・まとめ

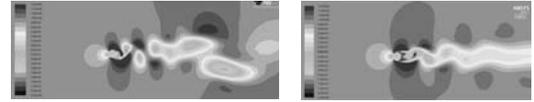
図 3 (a), (b), (c) にレイノルズ数 5000 の場合の laminar, S-A, DES 各モデルを用いて解析を行った速度分布の結果を、図 4 (a), (b), (c) に同

表 1 レイノルズ数別の各モデルの比較

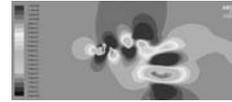
流体モデル	Re	抗力係数	標準偏差
laminar	1000	0.9968	0.2774
laminar	1200	1.0023	0.2936
laminar	5000	1.1194	0.3882
S-A	5000	0.8780	0.1101
S-A	10000	0.8723	0.1144
S-A	20000	0.8185	0.1055
DES	5000	1.0861	0.5813
DES	10000	1.0568	0.5021
DES	20000	0.7238	0.2776

表 2 流体モデル別の比較 (レイノルズ数 5000)

流体モデル	Re	抗力係数	標準偏差
laminar	5000	1.1194	0.3882
S-A	5000	0.8780	0.1101
DES	5000	1.0861	0.5813

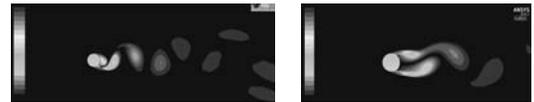


(a) laminar モデル (b) S-A モデル



(c) DES モデル

図 3 速度分布



(a) laminar モデル (b) S-A モデル



(c) DES モデル

図 4 渦度分布

様のレイノルズ数・流体モデルを用いて解析を行った渦度分布の結果を示す。S-A モデルの結果において、よどみ点（流体中の速度がゼロの点）が円柱の近傍に密集していることが確認できたが、DES モデルではよどみ点が分散していることが分かった。本記事には分布図を記載していないがレイノルズ数を 1200 から 5000 へ変化させた場合の結果を比較すると、S-A モデルではほとんど結果に変化がなかったが DES モデルではより大きく剥離しながら渦を生成していることが分かった。このようにレイノルズ数や流体モデルの違いが結果に大きな差異を生むことが分かった。

## 5. おわりに

今回初めて学会に参加し、他大学の方や JAXA の方々へ自らの研究成果の披露を行う貴重な経験となりました。

最後に研究や発表に対してご指導頂きました大津広敬先生に深く御礼申し上げます。