

球体周りの流れの解析 -OpenFOAM Xsim -

2018年9月23日

使用環境と参考資料元

【使用環境】 Windows10

下記のソフトを使用しますので、事前にインストールをお願いします。

- **FreeCAD** (※本資料はver.16。最新のver.17でもOK。) https://freecadweb.org/
- OpenFOAM(Windows Subsystem for Linux)
 https://www.xsim.info/articles/OpenFOAM/Install-on-Windows10.html
- **Paraview** (本資料はver5.0.1) https://www.paraview.org/download/

【参考資料】

 <u>http://opencae.gifu-</u> nct.ac.jp/pukiwiki/index.php?plugin=attach&refer=%C2%E8%A3%B2%A3%B4%B2%F3%CA%D9%B6%AF%B 2%F1%A1%A7H250810&openfile=2Dflow around cylinder with pisoFoam rev.pdf

http://www.mech.iwate-u.ac.jp/~hirose/ockitatohoku/ref/kasaisensei-text-1.pdf

目次

1. 概要 7. まとめ

- 1. 対象者 8. 次回
- 2. 講義スケジュール
- 3. 本講義の目的、目標
- 1. 作成手順
- 2. FreeCADで形状作成
- 3. Xsimで条件設定
- 4. OpenFOAMで計算実行
- 5. paraviewで結果処理

対象者

<u>こんな方はどうぞ</u>

✓商用流体解析ソフトは触ったことがあり境界条件の意味などの説明は必要ない方(CFD歴1か月以上)

✓Linuxでターミナルを立ち上げてCUI上でディレクトリ間を移動できる方

✓上記の経験はないが資料をもとに自分でコツコツやることが出来て分からない ことがあっても心を折られない方

逆にこんな方は向いていないかもしれません

✓1~10まで分かりやすく教えてもらいたい方

✓自分の質問には全部答えてほしい方

✓自分で資料などを見て勉強する気はない方

✓進行に間違いがあったときに気分が悪くなる方

講義スケジュール



本講義の目的

【受講者に向けて・・・】 OpenFOAMを触ったことがない人が解析実行までの一連の流れを学習すること (流体解析を自身で行うにあたってのきっかけになればと考えています。)

【講師側・・・】

OpenFOAM初心者が資料を見て自ら解析実行までの一連の流れを再現できる資料を残すこと。

目標

OpenFOAMを用いて球体周りの流れ(双子渦)の可視化



解析計算の対象



- 定常流れ サイクル数:500
- 定常判定値 速度 : 10⁻⁶ 圧力 : 10⁻⁵

- 非圧縮性を仮定
- 温度場は解かない
- 乱流モデル無し
- 流入条件 x成分:0.0003m/s

作業フォルダの作成

各自、下記のようにフォルダを作成してください。



※データの整理のためです。フォルダ構成はあくまで推奨です。

Jobリストで解析データを整理

解析パターンが多くなるとフォルダ内が煩雑になり、解析内容がわからなくなるので「jobリスト」で管理をします。

| Windows (C:) > Work > OpenFOAM_win | n | | 27/0-1× | | 運 圧 | 机沉 |
|--|--------------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------------|---------|
| 名前 | 更新日時 | 種類 | C > Windows (C: |) > Work > Oper | nFOAM_win > 20180923_3D_sphe | ere |
| 20180819_gihu_Xsim_ex1 | 2018/09/17 23:18 | ファイル フォルら | 名前 | ^ | 更新日時 | 種類 |
| 20180819_Xsim_ex2 | 2018/08/22 1:58 | ファイル フォルら | | | 2010/00/10 20 20 | 7-71-7 |
| 20180820_test_buyontPimpleFoam | 2018/08/23 8:29 | ファイル フォルら | > model | | 2018/09/19 20:39 | ערייג כ |
| 20180820_Xsim_vehicle | 2018/08/21 22:32 | ファイル フォルム | result | | 2018/09/19 20:39 | ファイルじ |
| 20180820_Xsim_vehicle_test1 | 2018/08/21 3:13 | ファイル フォルら | | | | |
| 20180923_3D_sphere | 2018/09/19 20:38 | ファイル フォルク | , | | | |
| 20180923_3D_sphere_example | 2018/09/19 20:39 | ファイル フォルら | F | | | |
| 📊 pitzDaily | 2018/05/19 15:13 | ファイル フォルら | | | | |
| 📊 openfoam4 - ショートカット | 2018/02/19 20:29 | ショートカット | | | | |
| | | | | | | |
| C > Windows (C:) > Work > OpenFOAM_win | n > 20180923_3D_sphere > | result | | | | |
| 名前 | 更新日時 | 重類 | | | | |
| ■ iobリスト.xlsx | 2018/09/19 20:46 | Microsoft O | | | | |

]「jobリスト.xlsx」

| 4 | A | В | С | D | E | F | G | Н | Ι | J | К | L | М | N |
|---|--------|------------|------|------|---------|-------------|----------------|-----------|-------|------------|----|-------------|-----|----|
| | 解析no. | ソルバ | ver. | 解析目的 | モデル | メインメッシュ(mm) | 再分割メッシュ(分割レベル) | 定常 or 非定常 | 乱流モデル | 流入 | 流出 | 境界条件 静止壁 | すべり | 温度 |
| a | ana001 | simpleFoar | 4 | 双子渦 | 100mm 球 | 30mm | 15mm | 定常 | 無し | 0.0003 m/s | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

作成手順



球体モデル stlファイル作成

FreeCAD <u>https://freecadweb.org/</u>



FreeCADはオープンソースの汎用3D CAD モデラー。 (構造解析も可能)

主に機械工学やプロダクトデザイン向けであるが、それにとどまらず建築やその他の専門分野など工学全般での利用に適している。

現在、開発途中でアルファ版やベータ版の段階にある。













<u>FreeCADを用いて、半径100mmの球体を作る。</u>



球体モデル stlファイル作成





球体モデル stlファイル作成

<u>マウス操作</u>

| 平行移動 | 拡大・縮小 | 回転 |
|--------------|---------|-------------------|
| マウス中ボタン+ドラッグ | マウスホイール | マウス中ボタン+右ボタン+ドラッグ |
| | | |

球体モデル stlファイル作成





作成した球体モデルのstlファイルを作成する。





<u>球体モデルのstlファイルを保存する。</u>



球体モデルのFreeCADのデータも保存しておく。





<u> 寸法をParaviewで確認</u>



※寸法としては、半径100程度であることが確認できるが単位がわからない。 FreeCADでは「半径100mm」として作成したが、単位がなく単なる数値として読み込まれている。

解析者が単位は任意に選んで計算することができる。 例: (1)mm-ton-sec (2)m-kg-sec(SI)単位系 **← 流体解析では主** (3)mm-kg-ms

OpenFOAM

URL : https://cfd.direct/openfoam/user-guide/

オープンソースの流体解析 数値解析用の ライブラリー アプリケーションパッケージ。



OpenFOAM User Guide

[Table of Contents] [Index] [Version 6 | Version 5 | Version 4]

 $[Introduction \rightarrow]$

The OpenFOAM User Guide provides an introduction to OpenFOAM, through some operation of OpenFOAM. OpenFOAM is a collection of approximately 250 applicatic

● 主な機能 有限体積法による流体解析が可能。 圧縮性 / 非圧縮性流れ、熱流体、多 相流、回転境界など・・・ 基本的な流体解析はひと通り可能。

- 対応プラットフォーム Linux 。 WSL を使用すれば Windows 上でも使用可能。
- 開発元 現在は ESI Group 傘下の CFD Direct 社、 OpenCFD 社が開発
- ライセンス GPL Ver.3



<u>https://www.xsim.info</u> 「お問い合わせ」から連絡可能

Xsim URL : <u>https://xsim.work/</u>







OpenFOAM 用の設定ファイルを作成できるウェブサービス。

2017 年 10 月に Ver.0.1 をリリース。現在 Ver.0.7

● 主な機能 GUI ベースで OpenFOAM の設定ファイルを作成

現在は熱流体を含む非圧縮性流れのみ対応(順次機能を追加予定)。

● 対応プラットフォーム 最新版 Chrome、 FireFox、 IE 、 Edge 、 Safari 。 推奨は Chrome 、 FireFox

現状、タブレットは未検証(将来的には対応予定)。





<u>マウス操作</u>

| 平行移動 | 拡大・縮小 | 回転 |
|--------------|---------|-------------------|
| マウス中ボタン+ドラッグ | マウスホイール | マウス中ボタン+右ボタン+ドラッグ |
| | | |

設定の大項目があり、ユーザーは上から順番に設 定することで解析用のファイルが作成できる。

| ana001 - XSim | |
|--|---|
| 形状のインポート メッシュ 基本設定 物性 初期条件 流れ信界条件 | がへ 次へ 形状のインポート |
| 計算設定 出力 エクスポート | ファイル選択 ファイルドロップ 形状の追加 形状の編集 ここにファイルをドロ ップ(.stl, .ast, .stla, |
| | " .stlb,Obj,3ds) インポートされたファイルのサイズ |

・形状のインポート:
 解析に使用するモデルを読み込む

・メッシュ: メッシュの生成

・基本設定:
 「定常・非定常」
 「乱流モデル」
 「温度場の考慮」などの設定

・初期条件: 時刻0での速度や圧力の値

•流れ境界条件: 「流入、流出」「壁条件」

 ・計算設定:
 時間のステップや精度や安定性をどこまで 追い求めるかの設定

・出力:
 物理量の出力の設定

•エクスポート: 上記の設定ファイルの出力

球体モデル「model.stl」をインポートする。





単位変換を行う。



流体領域(外側領域)の追加。



前へ次へ

メッシュ作成:以下の3点をおさえておく





<u>再分割メッシュ</u>

指定した範囲のベースメッシュを段階的に細かくする。



レイヤーメッシュ

物体表面では流れが遅くなり、表面から離れるにしたがって流れが速くなる。 また、表面に沿って流れが分布されるため流体の速度変化をとらえるための メッシュの層を挿入することが推奨される。





ベースメッシュの作成。





レイヤーメッシュの作成。



定常流れ・非定常流れ

定常流れ:時間が経っても流れは変化せず一定の状態

非定常流れ:時間の経過とともに流れが変化する状態

<u>レイノルズ数による定常流れ・非定常流れの区別</u>

※写真は円柱周りの流れ



境界条件、計算条件の設定

層流・乱流

層流:整然とした流れ



例:流速が遅い場合

乱流:時々刻々と変動する乱れた流れ



例:流速が速い場合

<u>層流・乱流を見極めるひとつの目安</u>





境界条件、計算条件の設定

乱流現象を再現する難しさ

渦流れ

乱流とは、

「<mark>大小様々な渦が複雑に絡み合った時々刻々と変動する流れ」</mark> である。

大小様々な渦を再現できるだけの解像度(メッシュ分割)が必 要である。

⇒とてつもないメッシュ数 現実的ではない!!

幸い十分発達した乱流や限定的な場合において、少ないメッシュ数で計算出来る理論的なモデルが開発されている⇒**乱流モデル**








境界条件、計算条件の設定

初期条件

解析の開始時点における状態を設定する条件



定常解析:0サイクル目の流れを初期状態に与える 非定常解析:0秒の流れを与える

初期条件





境界条件、計算条件の設定

<u>境界条件</u>

計算領域の端は、情報がないために境界条件を与える必要がある。



- ・ディリクレ境界条件:境界面の値を直接指定する条件 流速規定、質量流規定、圧力規定、静圧規定
- ・ノイマン境界条件:変数の勾配を与える条件 $\frac{\partial f}{\partial x} = 0$ フリースリップ条件、断熱条件
- ・周期境界条件: 2つの面の値が等しくなるという条件



<u>流れ境界条件</u>



<u>流れ境界条件</u>



ツリーで面の名前を選択するとハイライト表示される。

<u>流れ境界条件</u>



モデルが複数あり、面の名前だけでは判断できなくなった場合は、 ツリーで面の名前を選択するとハイライト表示される。



境界条件、計算条件の設定

緩和係数

定常解析における計算安定化の手法のひとつ





<u>定常収束判定</u>



$$|f^{(n+1)} - f^{(n)}| < 定常収束判定値$$
のとき定常状態になったとみなして計算終了。



<u>計算指定</u>



<u>出力</u>

どのタイミングのデータ(物理量)の出力を行うかを設定する。



前へ次へ

<u>エクスポート</u>

解析条件の設定が終了したので、設定ファイルを出力する。





• 端末上からどうやって作業フォルダへ移動するのか?

\$cd /mnt/c/ でcドライブへ移動できる。

penF0AM_win/20180923_3D_sphere/result/ana002\$ cd /mnt/c/

• そもそも作業フォルダはどこにあるのか??

C:¥Users¥Owner¥AppData¥Local¥Packages¥CanonicalGroupLimited.U buntuonWindows_79rhkp1fndgsc¥LocalState¥rootfs

| Cano | onica | IGroupLimited.UbuntuonWindows_7 | 9rhkp1fndgsc > LocalState | > rootfs | ~ Ū |
|------|-------|---------------------------------|---------------------------|------------|-------|
| | 名前 | ћ ^ | 更新日時 | 種類 | ~ サイズ |
| | | bin | 2018/05/27 9:53 | ファイル フォルダー | |
| | | boot | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | |
| r . | | dev | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | |
| ٢ | | etc | 2018/09/15 16:04 | ファイル フォルダー | |
| r . | | home | 2018/05/19 8:29 | ファイル フォルダー | |
| r | | lib | 2018/05/19 9:46 | ファイル フォルダー | |
| | | lib64 | 2018/05/19 8:47 | ファイル フォルダー | |
| | | media | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | |
| | | mnt | 2018/05/19 8:29 | ファイル フォルダー | |
| | | opt | 2018/09/19 20:29 | ファイル フォルダー | |
| | | proc | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | |
| | | root | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | |
| | | run | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | |
| | | sbin | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | |
| | | snap | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | |
| | | srv | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | |
| | | sys | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | |
| | | tmp | 2018/09/19 0:57 | ファイル フォルダー | |
| | | usr | 2018/05/19 8:20 | ファイル フォルダー | |
| | | var | 2018/05/19 8:20 | ファイル フォルダー | |
| | R | init | 2018/09/18 23:53 | ファイル | |

計算実行 OpenFOAM

<u>ファイル構造</u>

| Nindows (C:) > Work > OpenFOAM_win > 20180923_3D_sphere > result > ana001 | | | | | |
|---|-----------------|------------------|------------|--|--|
| | 名前 | 更新日時 | 種類 | | |
| r r | <mark></mark> o | 2018/09/19 21:25 | ファイル フォルダー | | |
| | constant | 2018/09/19 21:25 | ファイル フォルダー | | |
| | system | 2018/09/19 21:25 | ファイル フォルダー | | |
| ۲ | 🖼 Allclean | 2018/09/19 12:24 | ファイル | | |
| ۲ | 🗃 Allrun | 2018/09/19 12:24 | ファイル | | |



<u>時刻ディクショナリ</u> U,Pなどの物理量の初期値、境界条件





transportProperties:輸送物性値 turbulenceProperties:乱流モデル(RANS、LES)指定



<u>systemディクショナリ</u>

blockMeshDict:ベースメッシュ controlDict:ソルバー、時間設定(終了時間、タイムステップ) fvSchemes:有限体積法の離散化方法の指定 fvSolution:有限体積法の方程式解放と収束判定の指定



<u>データの初期化用スクリプト</u>

計算のやり直しなどの際にデータを初期化するスクリプト









ra@DESKTOP-ODOILDE:/mnt/c/Work/OpenFOAM_win/20180923_3D_sphere/result/anaU

計算実行 OpenFOAM

\$./Allrun

と打つとスクリプトが実行される。







Paraview https://www.paraview.org/

ParaView

ParaViewは科学技術可視化の並列化と対話操作のための、自由に利用できるオープンソースプログラムである。







Paraviewで以下の操作方法を示す





<u>メッシュの確認</u>







<u>コンター図</u>







<u>流線</u>





\$paraFaoam

nt/c/Work/OpenFOAM_win/20180923_3D_sphere/result/ana001\$ paraFoam

ParaView 5.0.1 64-bit (Legacy Rendering Backend)





<u>マウス操作</u>

| 平行移動 | 拡大・縮小 | 回転 |
|--------------|---------|-------------------|
| マウス中ボタン+ドラッグ | マウスホイール | マウス中ボタン+右ボタン+ドラッグ |
| | | |











流速のコンター図が確認できた!







ベクトル表示:流速



結果処理





Opacity:0.3 流体解析領域を透明にする。



結果処理





まとめ

OpenFOAMを用いて<mark>球体周りの流れ(双子渦)</mark>の可視化までの一連の流れ を体験した。









設定ファイルの理解する。

Xsimで設定した項目は、OpenFOAMのケースファイルのどこと関係があるのかを学ぶ。









非定常解析を行う。

流入条件である流速を速くした場合に、流れ場は定常・層流ではなく なる。

その際に、「計算時間間隔などの設定に注意を払う」、「乱流モデル などの設定を考える」など定常・層流などよりも考える項目が増える。



※乱流モデルは非常に内容が多いので別途行う。



Appendix



※この例を円柱周りの流れです



基礎方程式

● レイノルズ数と流れ場

レイノルズ数Reによる流れ場の変化



本資料では「Re=60」とし、双子渦の流体解析を行う。

拡張子なしファイルをエディタで開く設定



turbulenceProperties

2018/09/18 23:55
WSLでインストールされたOpenFOAMはどこに?

C:¥Users¥Owner¥AppData¥Local¥Packages¥CanonicalGroupLimited.U buntuonWindows_79rhkp1fndgsc¥LocalState¥rootfs

| Cano | onica | IGroupLimited.UbuntuonWindo | ws_79rhkp1fndgsc > LocalState | > rootfs | ~ Ū | | | |
|------|-------|-----------------------------|-------------------------------|------------|-----------------------|--|--|--|
| | 名前 | t ^ | 更新日時 | 種類 | サイズ | | | |
| | | bin | 2018/05/27 9:53 | ファイル フォルダー | | | | |
| 7 | | boot | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | | | | |
| * | | dev | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | | | | |
| * | | etc | 2018/09/15 16:04 | ファイル フォルダー | | | | |
| * | | home | 2018/05/19 8:29 | ファイル フォルダー | | | | |
| * | | lib | 2018/05/19 9:46 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | lib64 | 2018/05/19 8:47 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | media | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | mnt | 2018/05/19 8:29 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | opt | 2018/09/19 20:29 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | proc | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | root | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | run | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | sbin | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | snap | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | srv | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | sys | 2018/05/19 8:17 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | tmp | 2018/09/19 0:57 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | usr | 2018/05/19 8:20 | ファイル フォルダー | | | | |
| | | var | 2018/05/19 8:20 | ファイル フォルダー | | | | |
| | 8 | init | 2018/09/18 23:53 | ファイル | | | | |

C:¥Users¥Owner¥AppData¥Local¥Packages¥CanonicalGroupLimited.Ubuntu onWindows_79rhkp1fndgsc¥LocalState¥rootfs¥opt¥openfoam4¥tutorials

| c (c coldSate) roots > opt > optimary > tutority main 4 fr main 2018/05/19-86 7/16/21/67 6 fr 0 18/05/19-86 7/16/21/67 2018/05/19-86 7/16/21/67 6 compossible 2018/05/19-86 7/16/21/67 2018/05/19-86 7/16/21/67 6 compossible 2018/05/19-86 7/16/21/67 7/16/21/67 7/16/21/67 7/16 2018/05/19-86 7/16/21/67 7/16/21/67 | | | | | LocalS | State > rootfs > opt > openfoam4 > | * | | | | |
|--|--------|-----------------------------------|-----------------|------------|--------|--|---------------------------------|--------------------------|---------------|------------------------|---------------|
| AFR ERLB# ERL Particitions 2018/05/19.966 7/1/6 7.1/6 0. compossible 0. compossible 0. discreteMethods 0. 2018/05/19.966 7/1/0.71/6/- 0. discreteMethods 2018/05/19.96 7 | < Loca | alState > rootfs > opt > openfoar | .m4 → tutorials | | | 名前 | 更新日時 | 種類 | | | |
| basic 2018/05/19.805 77/h. 73h/F- Source/19.805 77/h. 73h/F- PC > Windows (C) > Work combustion 2018/05/19.805 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- composible 2018/05/19.805 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- DNS 2018/05/19.805 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- electromagnetics 2018/05/19.805 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- incompressible 2018/05/19.805 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- mesh 2018/05/19.805 77/h. 73h/F- Source/19.85 77/h. 73h/F- Source/19.85 | | 名前 | 更新日時 | 種類 | | applications | 2018/05/19 9:55 | ファイル フォルダー | | | |
| Combustion 2018/05/19.905 7/1// 7/1/ダ- compressible 2018/05/19.905 7/1// 7/1/ダ- discreteMethods 2018/05/19.905 7/1// 7/1/ダ- financial 2018/05/19.905 7/1// 7/1// financial 2018/05/19.905 7/1// 7/1// financial 2018/05/19.905 7/1// 7/1// financial 2018/05/19.905 7/1// 7/1// financial 2018/05/19 | | basic | 2018/05/19 9:06 | ファイル フォルダー | * | bin dor | 2018/05/19 9:56 2018/05/19 9:56 | ファイル フォルダ・ ファイル フォルダ・ | PC | > Windows (C:) > Work | |
| compressible 2018/05/19.905 アイル アオルダー DNS 2018/05/19.905 アイル アオルダー DNS 2018/05/19.905 アイル アオルダー electromagnetics 2018/05/19.905 アイル アオルダー financial 2018/05/19.905 アイル アオルダー financial 2018/05/19.905 アイル アオルダー incompressible 2018/05/19.905 アイル アオル アオル / incompressible 2018/05/19.905 アイル アオル / incompressible 2018/05/19.905 アイル 71.97.00 incompressible 2018/05/19.905 アイル 71.97.00 incompressible 2018/05/19.905 アイル 71.9 | Я | combustion | 2018/05/19 9:06 | ファイル フォルダー | * | etc | 2018/05/19 9:55 | ファイル フォルダ・ | | ^ | |
| discreteMethods 2018/05/19.905 7r/lv 71/v ² /r 2018/05/19.905 7r/lv 71/v ² /r 2018/05/19.905 2 | * | compressible | 2018/05/19 9:05 | ファイル フォルダー | * | platforms | 2018/05/19 9:07 | ファイル フォルダ・ | | 名前 | 更新日時 |
| 2 DNS 2018/05/19.905 7r/h 7h/θ- 2018/05/19.905 7r/h 7h/θ- 2018/05/19.905 2r/h 7h/θ- 2018/05/19.905 2018/05/19.905 2r/h 7h/θ- 2018/05/10 2018/05/19.905 2018/05/19.905 2r/h 7h/θ- 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/19.905 2018/05/19.905 2018/05/19.905 2r/h 7h/θ- 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 2018/05/10 </td <td>*</td> <td>discreteMethods</td> <td>2018/05/19 9:06</td> <td>ファイル フォルダー</td> <td>*</td> <td>src</td> <td>2018/05/19 9:55</td> <td>ファイル フォルダ</td> <td></td> <td></td> <td></td> | * | discreteMethods | 2018/05/19 9:06 | ファイル フォルダー | * | src | 2018/05/19 9:55 | ファイル フォルダ | | | |
| electromagnetics | * | DNS | 2018/05/19 9:05 | ファイル フォルダー | | tuto 🗮 <(0) 56 | ファイル フォルジ・ ファイル フォルダ・ | | ANSYS_seminar | 2018/03/14 | |
| financial 2018/05/19:905 7xf/k 7xl/k ² - 2018/05/19:905 7xf/k 7xl/k ² - 2018/05/19:905 2018/05 | * | electromagnetics | 2018/05/19 9:06 | ファイル フォルダー | | .giti .giti | 52 | GITIGNORE 77 | R | Calculix Temp | 2017/08/25 |
| heatTransfer 2018/05/19 906 7xf/k 7k/k ² 0 7xf/k 1 FrontIster 2018/08/29 22 2018/05/19 906 7xf/k 7k/k ² 0 0 7xf/k 0 0 0 7xf/k 1 FrontIster 2018/08/29 22 2018/05/19 906 7xf/k 7k/k ² 7xf/k 7k/k ² 0 | | financial | 2018/05/19 9:05 | ファイル フォルダー | 2 | Ally V177 F70EXLE7B0 Windows Defender 774#1/33 | 52 | ファイル | | | 2011/00/20 |
| 22 incompressible lagrangian 2018/05/19 906 7x/lv 7xlv//- 0800x/19 906 7x/lv 7xlv//- 0800x/19 906 2018/05/19 907 2018/05/19 | | heatTransfer | 2018/05/19 9:06 | ファイル フォルダー | | | > 0 | 77414 | ~ | FrontIster | 2018/08/29 |
| 22 ■ lagrangian 2018/05/19 905 7r/lv 7λl/ダー mesh 2018/05/19 905 7r/lv 7λl/ダー multiphase 2018/05/19 905 7r/lv 7λl/ダー resources 2018/05/19 907 7r/lv 7λl/ダー stressAnalysis 2018/05/19 905 7r/lv 7λl/ダー William 2018/05/19 952 7r/lv 7λl/ William 2018/05/19 952 7r/lv 7λl/ William 2018/05/19 952 7r/lv 7hl/ William 2018/05/ | | incompressible | 2018/05/19 9:06 | ファイル フォルダー | | REA 以前のパージョンの復元(V) | 2 | ファイル ORG ファイル | * | OpenEOAM win | 2018/09/18 |
| 22 mesh 2018/05/19 905 ファイル フォルダー multiphase 2018/05/19 905 ファイル フォルダー resources 2018/05/19 905 ファイル フォルダー resources 2018/05/19 905 ファイル フォルダー Min 2018/05/19 905 ファイル フォルダー Min 2018/05/19 905 ファイル フォルダー Min 2018/05/19 952 ファイル Min 2018/05/19 952 Pin 2018/05/19 | | 📙 lagrangian | 2018/05/19 9:06 | ファイル フォルダー | | REA FEB | > 52 | ファイル | | Open OAn_min | 2010/03/10 |
| ■ multiphase 2018/05/19 9:05 アイル フルルチー 第第00 2018/05/28 ■ resources 2018/05/19 9:05 アイル フル ルチー 第第00 第第100 ■ stesshanlysis 2018/05/19 9:05 アイル フル ノー 第100 1 ● Allclean 2018/05/19 9:52 フイル 1 <td>32</td> <td>- mesh</td> <td>2018/05/19 9:06</td> <td>ファイル フォルダー</td> <td></td> <td>▲ 新凍</td> <td>></td> <td></td> <td>R</td> <td>OpenModelica</td> <td>2018/08/11</td> | 32 | - mesh | 2018/05/19 9:06 | ファイル フォルダー | | ▲ 新凍 | > | | R | OpenModelica | 2018/08/11 |
| resources 2018/05/19 9x07 ファイル フォルダー アイル フォルダー アイル フォルダー まtressAnalysis 2018/05/19 9x06 ファイル フォルダー アイル フォルダー アイル フォルダー W Allclean 2018/05/19 9x52 ファイル アイル アイル フォルダー アイル フォルダー W Allcest 2018/05/19 9x52 ファイル アイル アイル アイル アイル アイル アイル アイル W Allcest 2018/05/19 9x52 ファイル アイル アイル アイル アイル アイル アイル アイル アイル アイル アイル アイル アイル <td></td> <td> multiphase</td> <td>2018/05/19 9:05</td> <td>ファイル フォルダー</td> <td></td> <td></td> <td>></td> <td></td> <td></td> <td> python</td> <td>2018/03/28</td> | | multiphase | 2018/05/19 9:05 | ファイル フォルダー | | | > | | | python | 2018/03/28 |
| ■ stressAnalysis 2018/05/19 9x06 ファイル フォルダー 2017/07/20 W Allclean 2018/05/19 9x52 ファイル マイル W Allcest 2018/05/19 9x52 ファイル マイル W Allcest 2018/05/19 9x52 ファイル 2018/05/19 9x52 W Allcest 2018/05/19 9x51 ファイル マートにどン塗めす 30P) 23+レビン 2018/05/19 9x51 ファイル | | resources | 2018/05/19 9:07 | ファイル フォルダー | | 压稿(U) | > | | ~ | python | 2010/00/20 |
| ● Allcelan 2018/05/19 9:52 77-/ル 2018/05/19 2018/05/19 2018/05/19 30 30 | | stressAnalysis | 2018/05/19 9:06 | ファイル フォルダー | | ライブラリに追加(1) | > | | | python_for_datascience | 2017/07/20 |
| We Allrun 2018/05/19:952 ファイル 2018/05/19:951 ファイル 2018/05/19:951 ファイル 2018/05/19:951 ファイル 2018/05/19:951 ファイル 2018/05/19:951 ファイル 2018/05/19:951 マートたどン語のする(P) 38/N 30 2018/05/19:951 2018/05/19 30 2018/05/19:95 2018/05/19 30 | | 🞯 Allclean | 2018/05/19 9:52 | ファイル | | M 75+** | | | | tutorials | 2018/09/18 |
| We Alltest 2018/05/19 9:51 ファイル 2018/05/19 9:51 ファイル 39-トに注シ溜めする(P) 送め(D) 送め(D) ざい ざい ざい ざい じつ の Penfoam4 - ジョート刀ット 2018/09/19 ざい ざい じつ | | 🞯 Allrun | 2018/05/19 9:52 | ファイル | | 日ま消 | | | | | Lo 10/ 01/ 10 |
| | | 🞯 Alltest | 2018/05/19 9:51 | ファイル | | スタートにビン留めする(P) | | | | 📊 openfoam4 - ショートカット | 2018/09/19 |
| | | | | | | 送3(N) | | - | | | |
| | | | | - | | 22.9(11) | | | 2 | | |

問題演習

【課題1】

初期速度と流入速度を「0.003m/s」とした場合の解析を行ってみましょう。

※その際、定常収束判定や流速の可視化なども確認してみましょう。 流速を早めた場合に、「定常解析」で良いのかどうかを考えると良い。

【課題2】

流体の基礎方程式(ナビエストークス方程式)を無次元化することで、理論的 なパラメータがレイノルズ数Reのみになることを示してみましょう。 ※単純化して「1次元(x方向のみ)」にして考えても良い。

【課題3】

ナビエストークス方程式を無次元化することで理論的なパラメータがレイノル ズ数のみになることを導いてみましょう。

(※現実は重力などの影響もあるので必ずしも実現象がこうなるわけではないことに注意)



おわり

