

～ 流体力学の基礎 ～
第1回
流体について

OpenFOAM 勉強会 for beginner
2011年9月3日(土)

目次

- ・講習会を始めるにあたって
- ・流体とは
- ・流体力学で取り扱う単位について
- ・終わりに

目次

OpenFOAM
勉強会
for beginner

- ・ 講習会を始めるにあたって
- ・ 流体とは
- ・ 流体力学で取り扱う単位について
- ・ 終わりに

講習会の目的

- ・講習会「流体力学の基礎」を通して、流体の現象を理解していきたいと思います。
- ・CFDをより良く使うために、流体力学の知識を深めていきたいと思います。
- ・この講習会を通して、皆様の交流を促進したいと思います。

講習会のスタイル

- ・基本的に「OpenFOAM勉強会 for beginner」の枠内の時間を頂き講習会を進めます。
- ・本体講習会で触れなかった、より進んだ話題について、別枠で講習会を設けることがあります。
- ・別枠の講習会では、皆様の希望を伺い、取り上げてほしいテーマも募集します。
(講師の知りうる範囲になります・・・ご容赦下さい)

講習会の狙い (あくまでも現時点での予定です)

- ・本講習会は、2011年9月～2012年3月を1タームとして行います。
- ・本講習会では、流体力学を学ぶ第1歩として、「水力学」という学問を中心に進めます。このタームでは、理論よりも流体の現象を理解することを目指します。
- ・本格的な(?)流体力学の講習会は次年度以降に行います。

講習会のスケジュール概要 (あくまでも現時点での予定です)

OpenFOAM
勉強会
for beginner

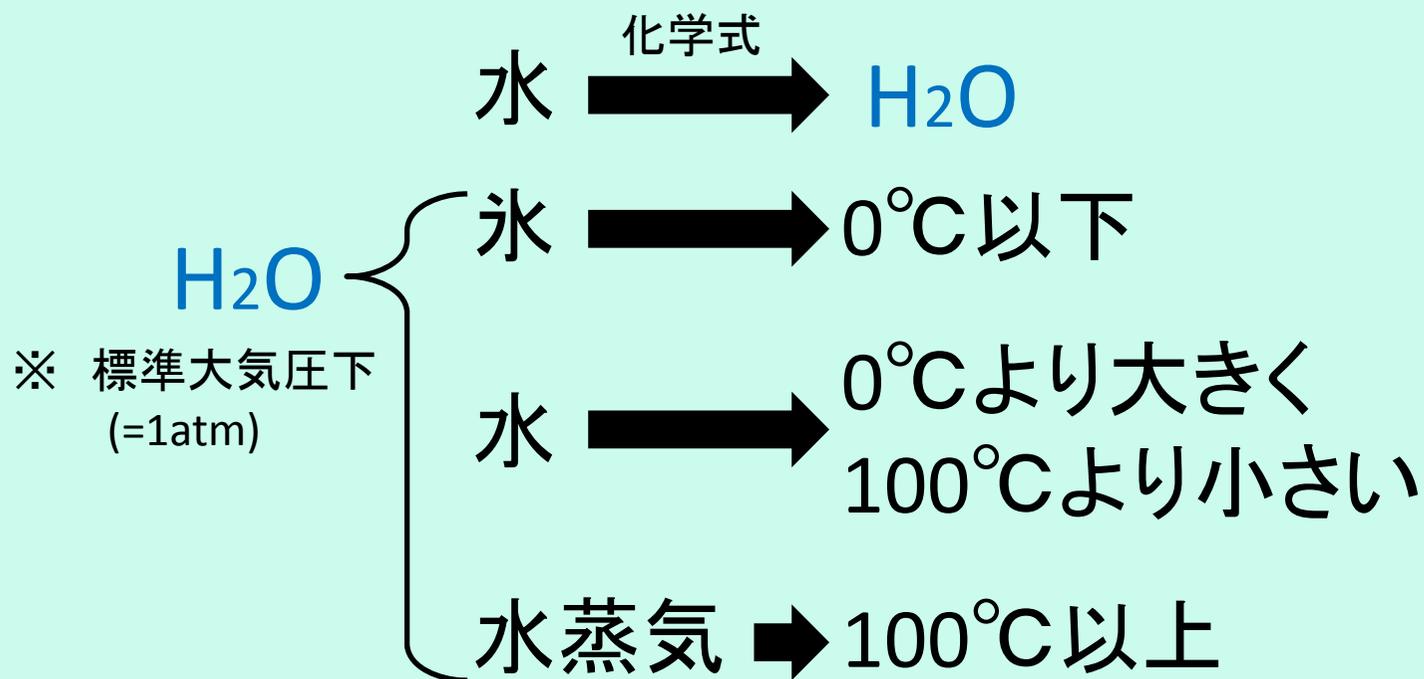
流体力学の基礎		
第 1回目	2011.09	流体について
第 2回目	2011.10	流体静力学
第 3回目	2011.11	流体運動の基礎理論1
第 4回目	2011.12	流体運動の基礎理論2
第 5回目	2012.01	流体摩擦および境界層1
第 6回目	2012.02	流体摩擦および境界層2
第 7回目	2012.03	流体抵抗

目次

- ・講習会を始めるにあたって
- ・流体とは
- ・流体力学で取り扱う単位について
- ・終わりに

水の性質

OpenFOAM
勉強会
for beginner



**H_2O は温度によって状態が異なる。
さらに、 H_2O は圧力や密度によっても
状態が異なる。**

物質の3態

OpenFOAM
勉強会
for beginner

H₂Oは温度、圧力および密度によって状態が異なる。



H₂Oに限った話ではなく、物質全般に言える。



物質は基本的に「**個体**」、「**液体**」、「**気体**」の状態に分類できる。この3つの状態を**物質の3態**と呼ぶ。

物質の3態		水の状態
個体	↔	氷
液体	↔	水
気体	↔	水蒸気

分子から見た固体(分子間力)



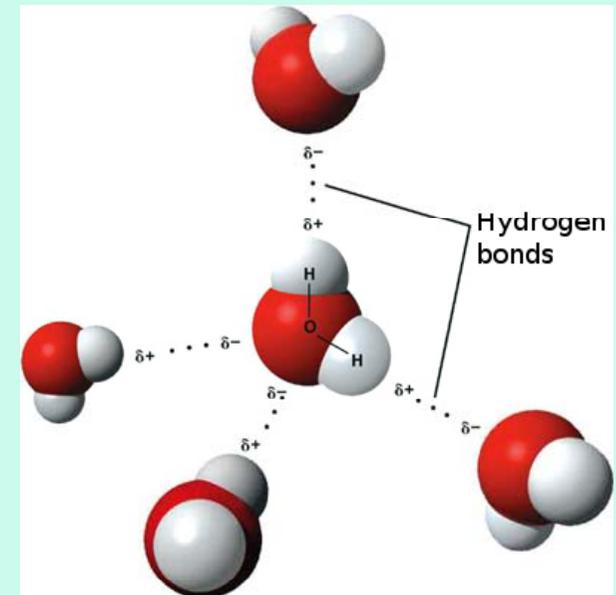
分子レベルで見た固体:
固体を構成する分子の間に結合力
(**分子間力**)が強く作用している状態

氷に作用している分子間 \Rightarrow **水素結合**

その他分子間結合:

共有結合 > **イオン結合** > **水素結合**

> **金属結合** > **ファンデルワールス結合**



空気の主成分の窒素や酸素に作用する結合がこれ

分子は常に動いている

分子レベルで見た固体:

固体を構成する分子との間に分子間力が強く作用している状態



分子自体は常に動いている

(通常的环境下では分子の熱的な自由運動が支配的)

分子の自由運動エネルギーが分子間の結合エネルギーを一定量上回ったとき...

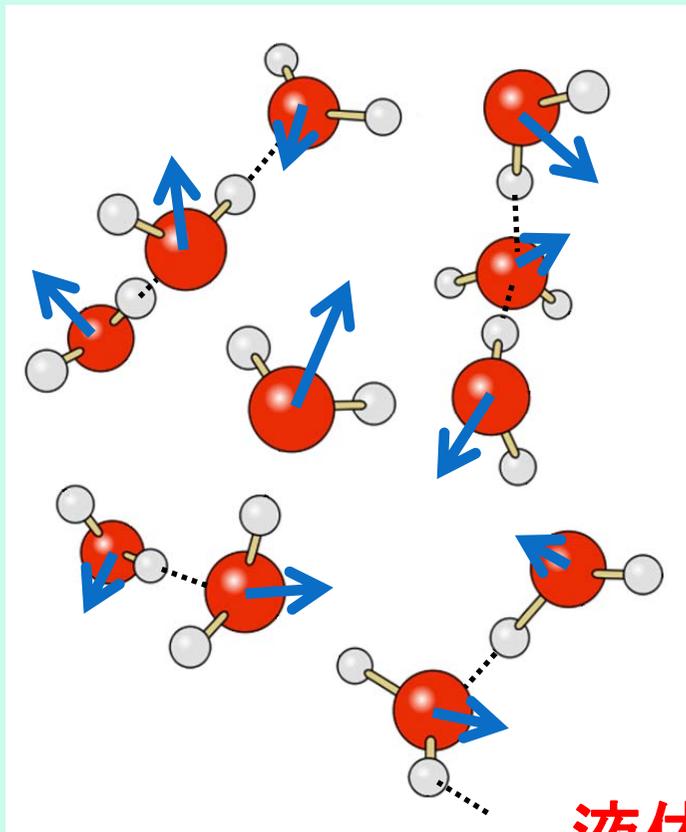


固定されていた分子が動き始め、固体の状態を維持できなくなる(**融点**)。 ⇒ **液体になる**

※通常じゃない环境下:
絶対零度⇒この場合も分子は振動しています(零点振動)

分子から見た液体 (分子間力と分子の自由運動の併存)

H₂O $\xrightarrow{\text{液体}}$ 水



分子レベルで見た液体:

分子が自由に運動している状態。

分子間力も一定の影響力有。

分子間

近づき過ぎる \longrightarrow 斥力

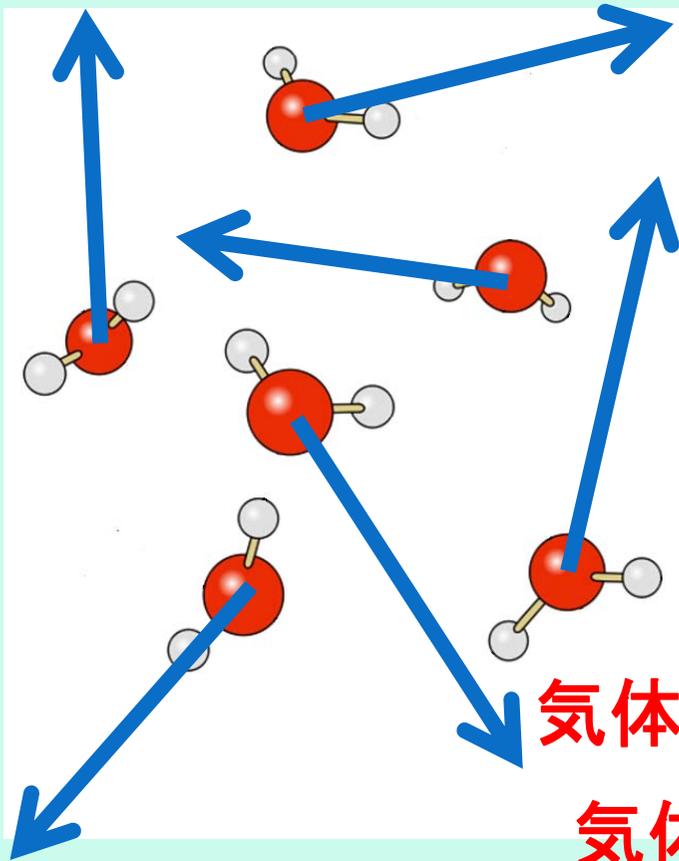
離れ過ぎる \longrightarrow 引力



分子間で一定の距離を保とうとする

液体の、圧力に対する体積変化は小さい

分子から見た気体 (分子の自由運動が支配する状態)



分子レベルで見た気体:
分子が自由に運動している状態。

↓
分子の自由運動エネルギーがとても大きく、分子同士の平均距離も大きい (分子間力の影響が小さい)。

↓
気体は無限に広がろうとする性質を有する
気体の、圧力に対する体積変化は大きい

連続体

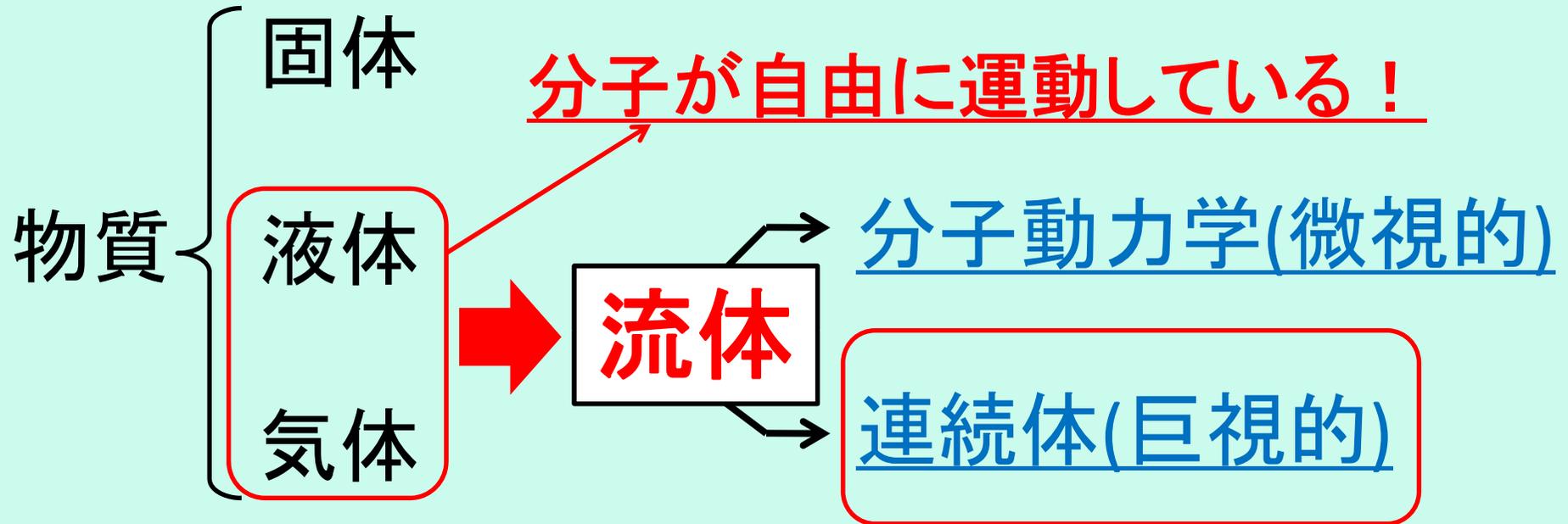
- ・ある物体の代表長さ : L
 - ・ある物体を構成する分子の平均的な大きさ: dl
- $$\frac{dl}{L} \rightarrow 0$$

このような場合、分子の微視的な運動の統計的性質が物質の巨視的な特性を決定する。

連続体: 物質の巨視的な特性で体系化された状態

- ・固体の場合 \Rightarrow 固体特有の弾塑性特性
- ・液体、気体の場合 \Rightarrow **流動する特性**

流体とは



流体の物性：分子が熱的に自由運動を行うことから
も分かるように、流体の物性は熱力学的な状態と密
接な関係がある。

流体を連続体として取り扱える大きさ

流体を連続体として取り扱える大きさ:

流体を構成する分子の平均自由行程の100倍以上

※ **平均自由行程** : ある分子が他の分子に衝突することなく進むことのできる距離の平均値

大体であるが、

{ **気体**の場合: **1 μ m以上、**
 液体の場合: **0.1 μ m以上、**

が連続体とみなせる。

※ これら以下では連続体として取り扱う場合、要注意！
連続体としての流体の基礎方程式(NS式など)は使えないかも！？

流体の主な分類

粘性の有無による分類	μ (粘性係数)	<ul style="list-style-type: none"> ・非粘性流体(理想流体) ・粘性流体
粘性の特性による分類		<ul style="list-style-type: none"> ・ニュートン流体 ・非ニュートン流体
流れの状態による分類	-	<ul style="list-style-type: none"> ・定常流 ・非定常流
乱れの有無による分類	Re (レイノルズ数)	<ul style="list-style-type: none"> ・層流 ・乱流
圧縮性による分類	M (マッハ数)	<ul style="list-style-type: none"> ・非圧縮($M < 0.3$) ・亜音速($0.3 \leq M < 0.8$) ・遷音速($0.8 \leq M < 1.2$) ・超音速($1.2 \leq M < 5$) ・極超音速($M \geq 5$)

流体力学の学問分野 (流体力学ハンドブック目次より)

OpenFOAM
勉強会
for beginner

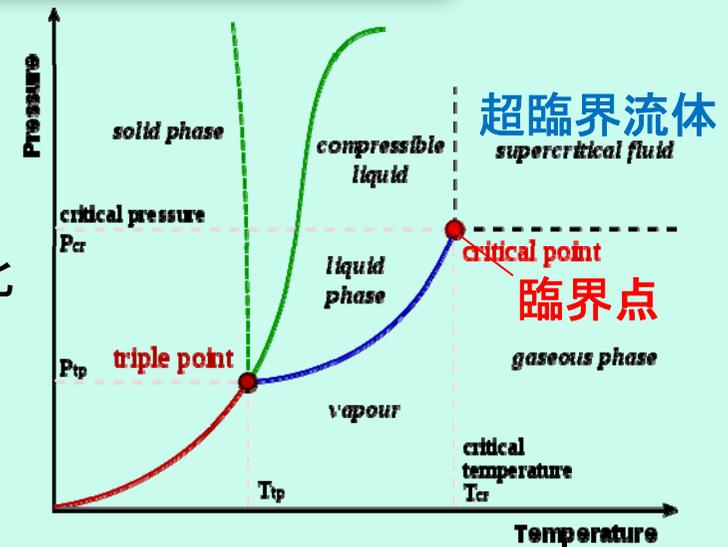
1	基礎方程式	16	海岸の波と流れ
2	完全流体	17	密度成層流体
3	粘性流体	18	回転流体
4	圧縮性流体	19	地球流体(回転成層流体)
5	渦	20	解離・電離・化学反応
6	波	21	希薄気体流体(分子気体流体)
7	流れの安定性と遷移	22	電磁流体力学
8	乱流	23	非ニュートン流体
9	管路流	24	混相流
10	物体の抵抗	25	多孔性固体中の流れ
11	流れと熱伝達	26	生物流体力学
12	流体機械に伴う流れ	27	環境と流れ
13	流れと振動	28	実験法・相似則
14	流れと音	29	数値解析
15	開水路流れ		

特殊な流体

超臨界流体

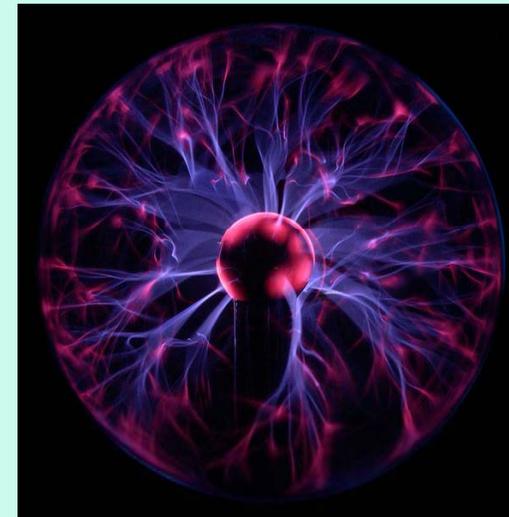
臨界点を越えた温度、圧力状態の流体

- ・液体と気体の区別がなくなる
- ・わずかな温度、圧力の変化で密度が大きく変化する
- ・溶媒として優れた性質を有している
- ・複雑な反応を誘発する
(超臨界水の場合、水酸化反応)



プラズマ

高エネルギー下において、気体(分子)が電離した状態を言う。固体、液体、気体に続く第4の相とも言われる。



目次

- ・講習会を始めるにあたって
- ・流体とは
- ・流体力学で取り扱う単位について
- ・終わりに

単位系の主な種類



非圧縮性粘性流体の基礎方程式

質量保存式
(連続の式)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

運動量保存式
(Navier-Stokes方程式)

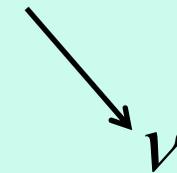
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2}$$

この式の中にある変数 ⇒ 少なくとも以下の変数の単位は抑えておきたい

$x_i (= (x, y, z))$: 長さ t : 時間

$u_i (= (u, v, w))$: 流速 p : 圧力

μ : 粘性係数(粘度) ρ : 密度 $\nu = \mu / \rho$: 動粘性係数(動粘度)



流速の単位

- 良く用いられる単位 \Rightarrow m/s
- 乗り物の速さで良く用いられる単位 \Rightarrow km/h
- 良くある単位変換 $m/s \Leftrightarrow km/h$

関係式 : $1m/s = 3.6km/h$

例) 空気の音速 $=$ $347.4(m/s)$
 $= 347.4(m/s) \times 3.6$
 $=$ $1250.64 (km/h)$

圧力の単位

● 通常良く用いられるSI単位 ⇒ MPa
(=N/m² x10⁶ =N/mm²)

● 天気予報で良く用いられる単位 ⇒ hPa (ヘクトパスカル)

● その他良く用いられる単位 ⇒ atm (~気圧)

● かつて良く用いられていた工学単位 ⇒ kgf/cm²

● 単位変換

関係式: 1atm(1気圧) = 0.101325MPa ≈ 0.1MPa

関係式: 1kgf/cm² = 0.0980665MPa ≈ 0.1MPa

粘性係数、密度、動粘性係数の単位

● 粘性係数の単位 ⇒ Pa·s

● 密度の単位 ⇒ kg/m³

● 動粘性係数の単位 ⇒ m²/s

標準大気圧(1気圧)における水の性質

温度 (°C)	密度 (kg/m ³)	粘性係数 (mPa·s)	動粘性係数 (mm ² /s)
0	999.8	1.792	1.792
20	998.2	1.002	1.004
40	992.2	0.653	0.658
60	983.2	0.467	0.475
80	971.8	0.355	0.365
100	958.4	0.282	0.295

標準大気圧(1気圧)における空気の性質

温度 (°C)	密度 (kg/m ³)	粘性係数 (μPa·s)	動粘性係数 (mm ² /s)
-10	1.342	16.74	12.47
0	1.293	17.24	13.33
10	1.247	17.72	14.21
20	1.205	18.22	15.12
30	1.165	18.69	16.04
40	1.128	19.15	16.98

流量と単位

体積流量 …… 単位時間あたりに流れる
流体の体積

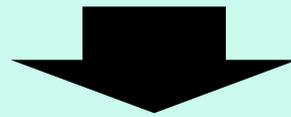
単位例) m^3/h 、 l/s

質量流量 …… 単位時間あたりに流れる
流体の質量

単位例) kg/h 、 g/s

単位の取り扱いは慎重に

エンジニアリングの現場では、
単位変換をする機会が多い。



油断していると結構間違える。

ミスをしないためには・・・

- (1) 丁寧に単位変換を行うこと(再チェックお勧め)
- (2) 取り扱う対象や現象を良く理解すること
(良く理解していれば変な数値にすぐ気付く)

目次

- ・講習会を始めるにあたって
- ・流体とは
- ・流体力学で取り扱う単位について
- ・終わりに

次回の予告

次回の流体力学の基礎では、
「**流体静水学**」と題して講習会を行います。

次回も今回と同様、
OpenFOAM勉強会for beginner(10月)の中で
行いたいと思います。

本日は、講習会「流体力学の基礎」に
お付き合い頂きありがとうございました。