

令和3年度 第5回加古川市石綿関連疾患リスク推定部会 次第

日時：令和3年8月31日（火）14:00～

場所：国際交流センター 201号室

1. 開 会

2. 部会員出席状況報告

3. 配布資料確認

資料1 フロースクエアの概要・入力値一覧

資料2 中間報告目次案（第2版）

4. 議 題

議題1 内部飛散シミュレーション方法の検討について
コンピューターシミュレーションソフトの係数の考え方等

【資料1】

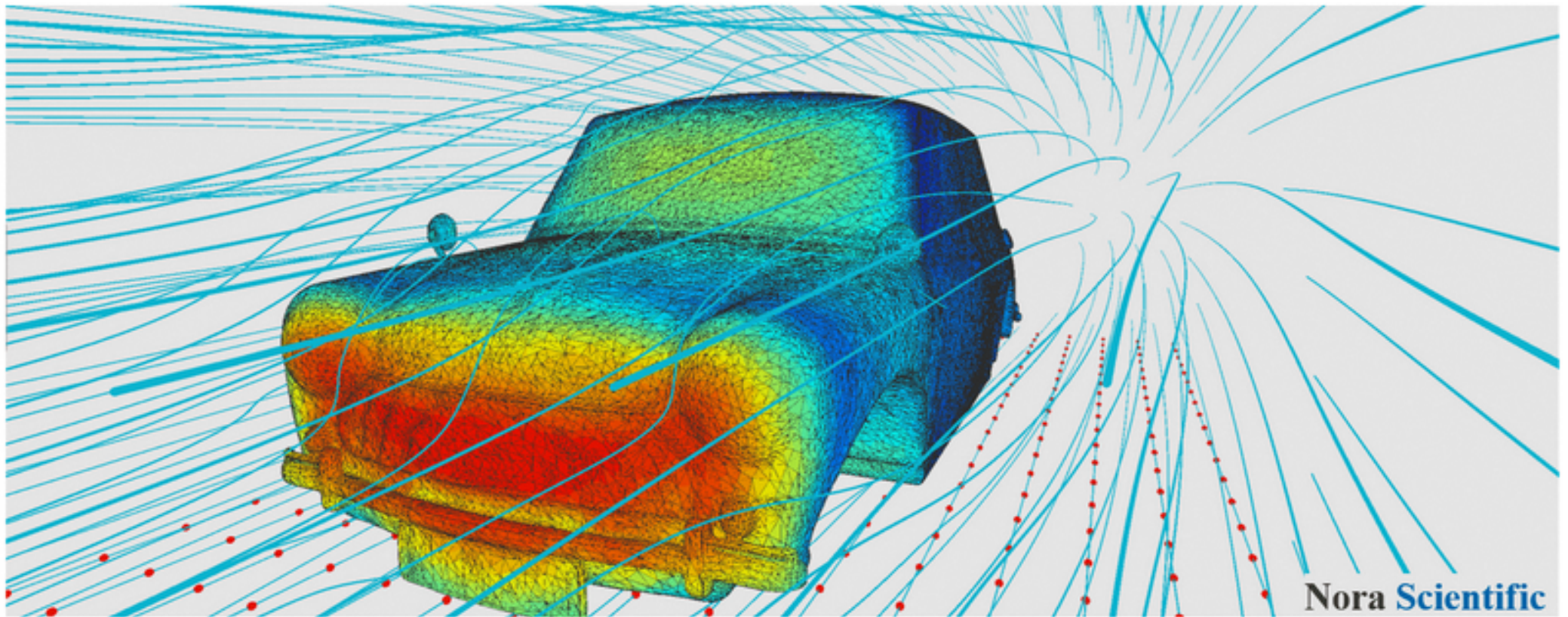
議題2 中間報告にむけての取りまとめ状況報告

【資料2】

5. そ の 他

6. 閉 会

Flowsquare+の簡単な説明



数値シミュレーション

1970年代終わりから始まったスーパーコンピュータ利用の急速な発展により、「従来の実験の多くが数値シミュレーションに置き換わる」ことが期待されるようになりました。

シミュレーションというのは模擬実験のことですから、数値シミュレーションというのは、対象とする現象を表現する数値モデルを利用して、計算機上で模擬実験をすることです。

あくまでモデルですから対象としている現象そのものと照らし合わせて正しく模擬しているかどうか検証する必要があります。一旦、検証が済んでしまえば、条件をいろいろ変えてどのようなことが起こりそうか検討することができます。

このような性質から、数値シミュレーションが特に威力を発揮するのは、

- ①実験に莫大な費用が掛かるような場合、
 - ②実験に大きな危険を伴うような場合、
 - ③実験条件に合うような環境を作り出すことが困難な場合
- などです。

<https://www.aero.jaxa.jp/topics/column/0296.html>

CFDシミュレーション計算のソフトウェアは、東日本大震災で津波の解析にスーパーコンピュータで利用されたフリーのソフトウェア「OpenFOAM」が有名ですが、実行環境がUNIX（LINUX）のため今回の利用はしませんでした。

「OpenFOAM」は非常にソルバーが多く充実していますものの、PCの性能では計算時間が数十時間かかることが予想されます。

またCFDには商品化されたソフトウェアも多数あります。これらはGraphical User Interfaceが充実して使いやすい反面、非常に高額なソフトウェアなため利用は考えませんでした。

Flowsquare+は、フルスペックでの利用には若干の費用はかかりますが、研究レベルでも負担にならず非常に充実したソフトウェアなので、利用を決めました。

また、Flowsquare+はパナソニック株式会社など大手企業や多くの大学でも利用されているように信頼できるソフトウェアです。

余談ですがコロナ感染症関係でも、電気通信大学：「アクリルパネルやビニールシートがマイクロ飛沫感染の一因に」の解析にも利用されています。

https://www.uec.ac.jp/news/announcement/2021/20210531_3411.html

Flowsquare+はCFD（数値流体力学：Computational fluid dynamics）、WindowsPCで動く流体力学の数値シミュレーションモデル

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial \varphi}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

u, v, w	wind velocity in x-y-z direction
ψ	$\psi = p / \rho$
ν	$\nu = \mu / \rho$
p	pressure
μ	viscosity
ρ	density

数値シミュレーションですので、どんな原理で計算するかですが、基本はナビエ・ストークス方程式を中心に解くことになります。

ナビエ・ストークス：流体力学の支配方程式！

運動法定式： $ma=F$ に匹敵するもの

ナビエ・ストークス方程式を解くことによって、ありとあらゆる流体の現象が記述できる。

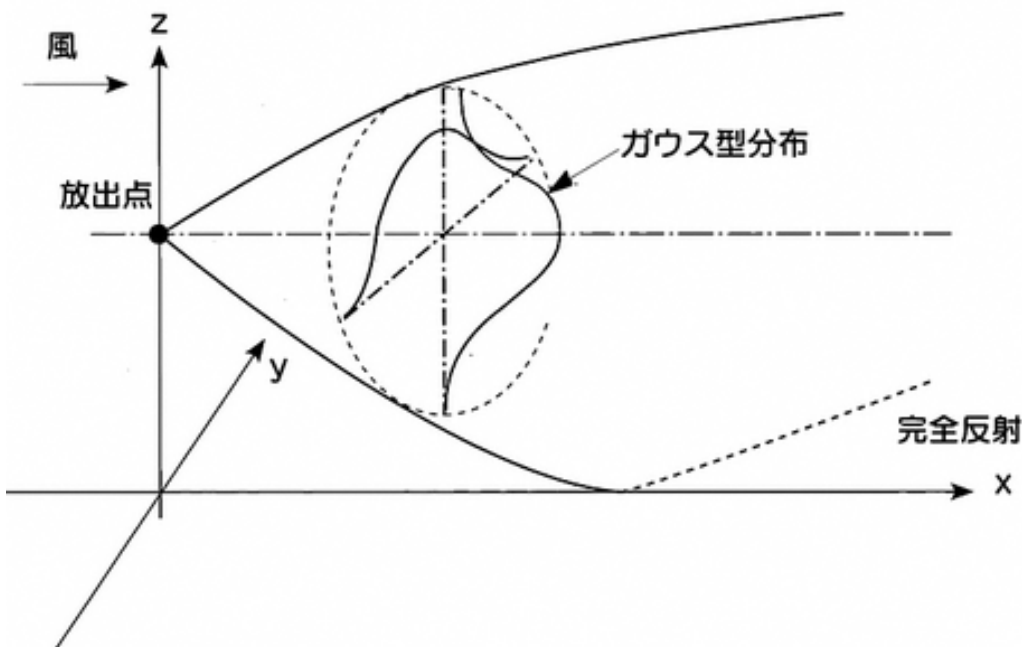
<https://www.youtube.com/watch?v=MZg0ikSqcvA>

さらに、実際の実験や観測データがある場合、それらの数値との整合性を、数値シミュレーションのパラメータ設定を試行錯誤して実際の結果と比較して検討し、その先のシミュレーション計算を行うことで、精度をより高めると考えます。

Meti-lisとCFDのシミュレーションの違いについて？！

産総研提供のMeti-lisは大気汚染物質飛散のシミュレーション計算に適用されています。Meti-lisの**ガウスプルームモデル**は、排出ガスが定常的に放出され、地形が平坦で建物などの影響が無視でき、かつ風速場が時間的空間的に一様であるという仮定の基に、移流・拡散方程式を解いた場合に得られる濃度の分布式で拡散を評価するモデルです。いわば拡散方程式の一条件で式の値を、2次元の格子ごとに解いたものです。下記の図がその考え方です。そのほか**パフモデル**でのシミュレーション計算も採用されています。

Meti-lisはさらに、ダウンウォッシュや粒子形状考慮までの条件を設定できますが、近い距離での検討は苦手、最低発生源から100m以上の距離です。また長期（数ヶ月～年）の検討を得意としています。



一方、CFDシミュレーションソフトは拡散方程式の基本のナビエ・ストークスの拡散方程式を指定範囲の3次元の格子について**差分法**で時間ごとに解く方法を採用しています。

Meti-lisのシミュレーションは一条件、一定範囲・一時期でのモデル式の計算値です。これに対してCFDシミュレーションは、連続した時間の計算値の集まりで、似て非なるものです。

Metlisは一つの時間での計算値
数値シミュレーションは連続した時間の計算値の集まり

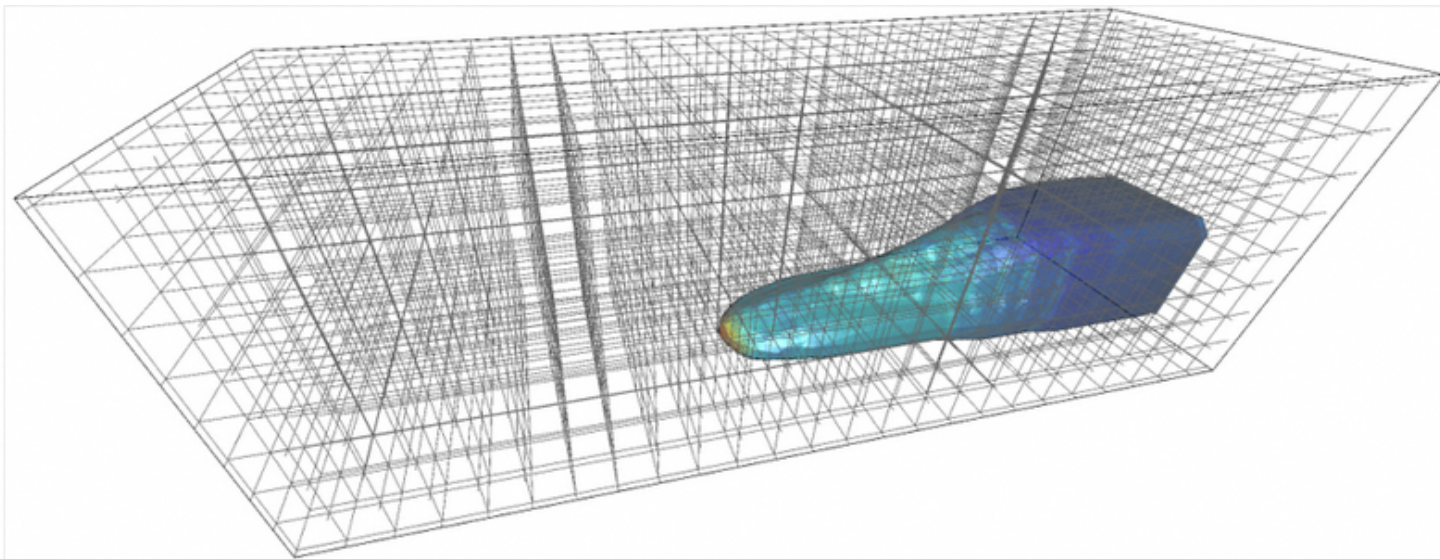
ここからはFlowsquare+シミュレーション計算

1. シミュレーションの空間離散化

数値流体解析では、対象となるシミュレーション領域を微小領域に分割（離散化）してそれぞれの離散点（格子点）や微小領域において流体に関する方程式を解きます。例えば、Flowsquare+で採用されているような、直交格子による分割では、縦・横・奥行き（ x, y, z の範囲）が L_x, L_y, L_z の領域を、それぞれ N_x, N_y, N_z 個（分割したグリッドの数）の格子点に分割します。したがって、 $L_x \times L_y \times L_z$ の体積を $N_x \times N_y \times N_z$ 個の格子点に分割していることになります。

各方向の格子点同士の間隔を格子点間隔と呼び、それぞれ $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ と記述します。したがって、1格子の体積（微小体積）は、 $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z$ となります。

一般的に、分割数が増えれば増えるほど（微小体積が小さければ小さいほど）、数値解析の精度は向上します。しかし、流体に関する方程式を解く回数（ $=N_x \times N_y \times N_z$ 回）も増えるので、計算時間が増大します。

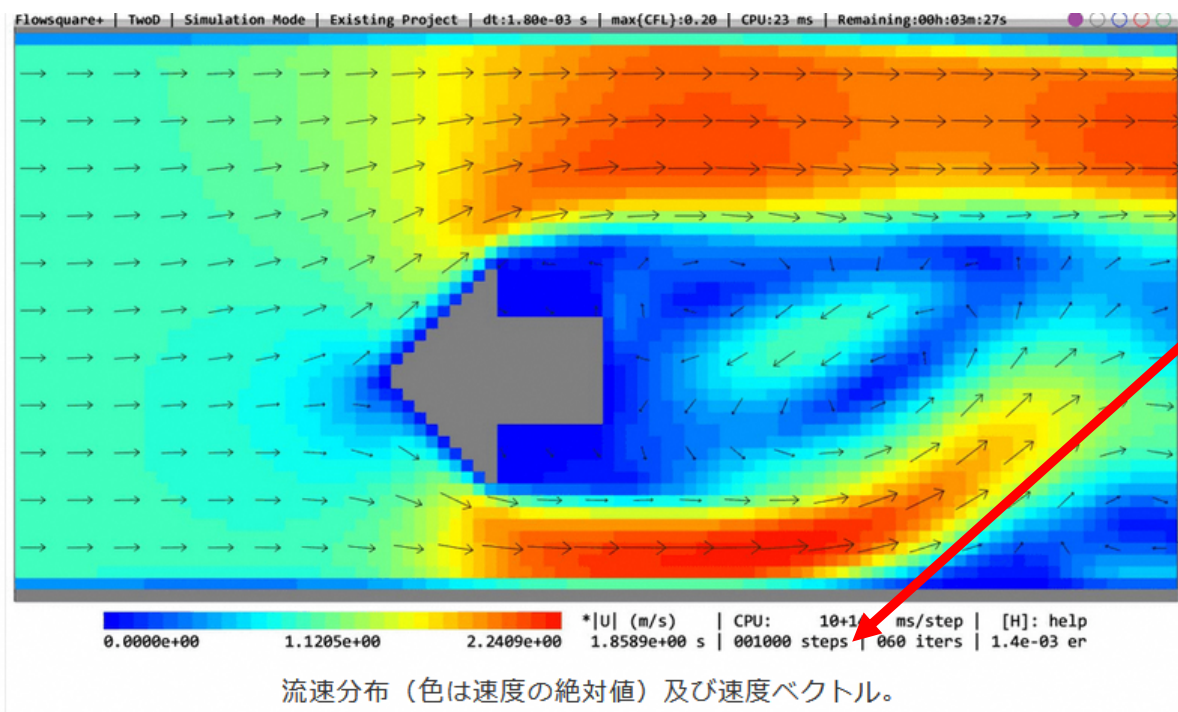


シミュレーション領域と格子分割の概略図。

2. シミュレーションの時間前進

数値流体解析（流体数値シミュレーション）では、対象となるシミュレーション領域において、微小時間（ Δt 秒）未来の流体に関する方程式を解く操作ステップ（時間ステップ、又はタイムステップ）を繰り返す（時間前進）ことで、**流れ場（図はLx, Ly範囲）**の予測を行います。例えば、 $\Delta t=0.01$ 秒の計算条件で時間ステップを 100 回繰り返すと、シミュレーションで設定する初期の流れ場から、 $0.01 \times 100 = 1$ 秒だけ未来の流れ場を得ることができます。

一般的に、時間ステップ幅（ Δt ）が小さくなれば小さくなるほど、数値解析の精度は向上します。しかし、同じ物理時間のシミュレーションに必要な時間ステップ数は増大するため、結果として必要な計算時間が増加します。



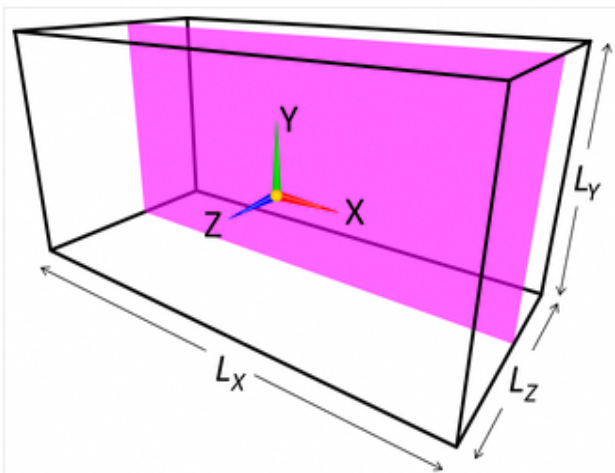
ここにあるのがタイムステップです。
ステップごとに表示可能です

簡単なイメージ例（流速と速度ベクトル）

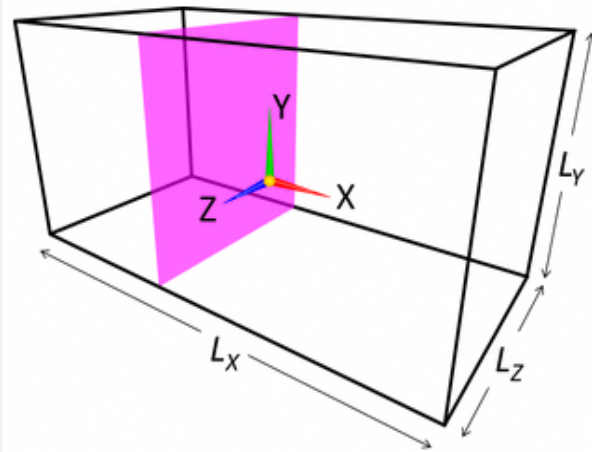
3. ビットマップ図による入力に関して

Flowsquare+で用いる入力ファイルは、

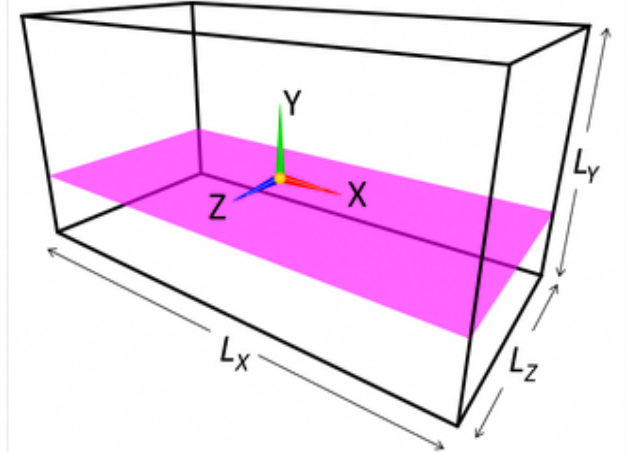
- ①各パラメータを指定するコントロールファイル、
- ②境界条件（Boundary Condition, BC: 流入境界や壁などの流れ場のモデル形状）を設定するための
 - i)ビットマップ画像ファイルと、
 - ii)CADなどで作成した3次元モデルのSTLファイルから構成されます。



XY断面形状画像。



YZ断面形状画像。



ZX断面形状画像。

l_x [エル・エックス] x方向領域
物理サイズ (m)。
主な流れの方向 廊下の長さ

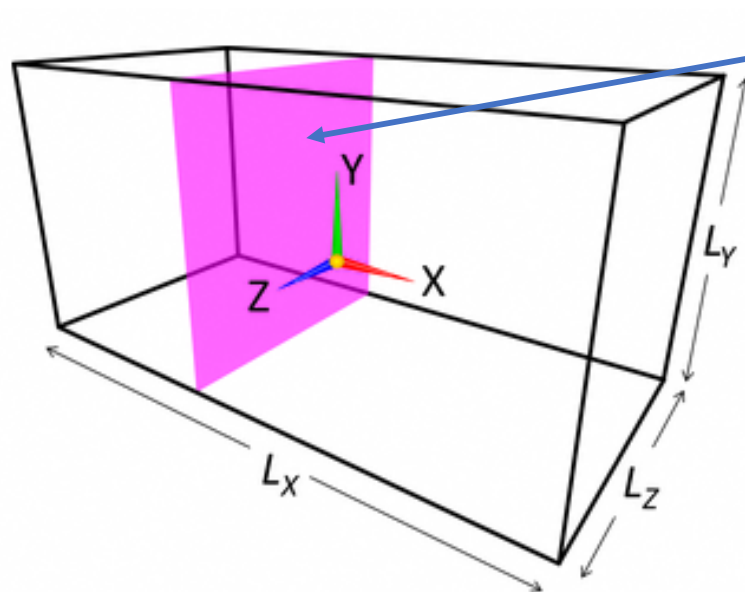
l_y [エル・ワイ] y方向
領域物理サイズ (m)。
廊下の高さ

l_z [エル・ゼット] z方向
領域物理サイズ (m)。
廊下の幅

4. 境界条件の設定ファイル名

Flowsquare+の壁や流入境界といった境界条件は、ペイントソフトなどで編集できるビットマップ画像を用いて指定できますが、これらのビットマップ画像は、**前ページ図の様にXY断面、YZ断面、ZX断面**を指定する画像から構成され、それぞれbcXY#.bmp、bcYZ#.bmp、bcZX#.bmpというファイル名とします。

#には0～9までの数字が入り、異なる数字のファイルを作成することで、断面図を各方向最大10枚まで同時に用いることができます。



YZ断面形状画像。

例えばこの面を、Lx方向に10枚までセットできるということです。Lx方向に変化がある構造の場合、その変化を表せるため波のような表現もできます。

天井裏や教室や階段や他のフロアというような場の流れが変化する場所（穴や隙間などの空気の流れの条件としての境界）を10枚の絵まで入れることが可能

5. Flowsquare+のペイントカラーの役割

境界条件の種類は、(R, G, B) 色コードで指定します。流入境界は、

- 青色 (0, 0, 255) Z
- 赤色 (255, 0, 0) X
- 緑色 (0, 255, 0) Y
- 黄色 (255, 255, 0)
- シアン色 (0, 255, 255)

で指定します。これらの色は、各色に関連する[解析パラメータ](#)の与え方次第で壁条件や流出（吸引）境界とすることも可能です。

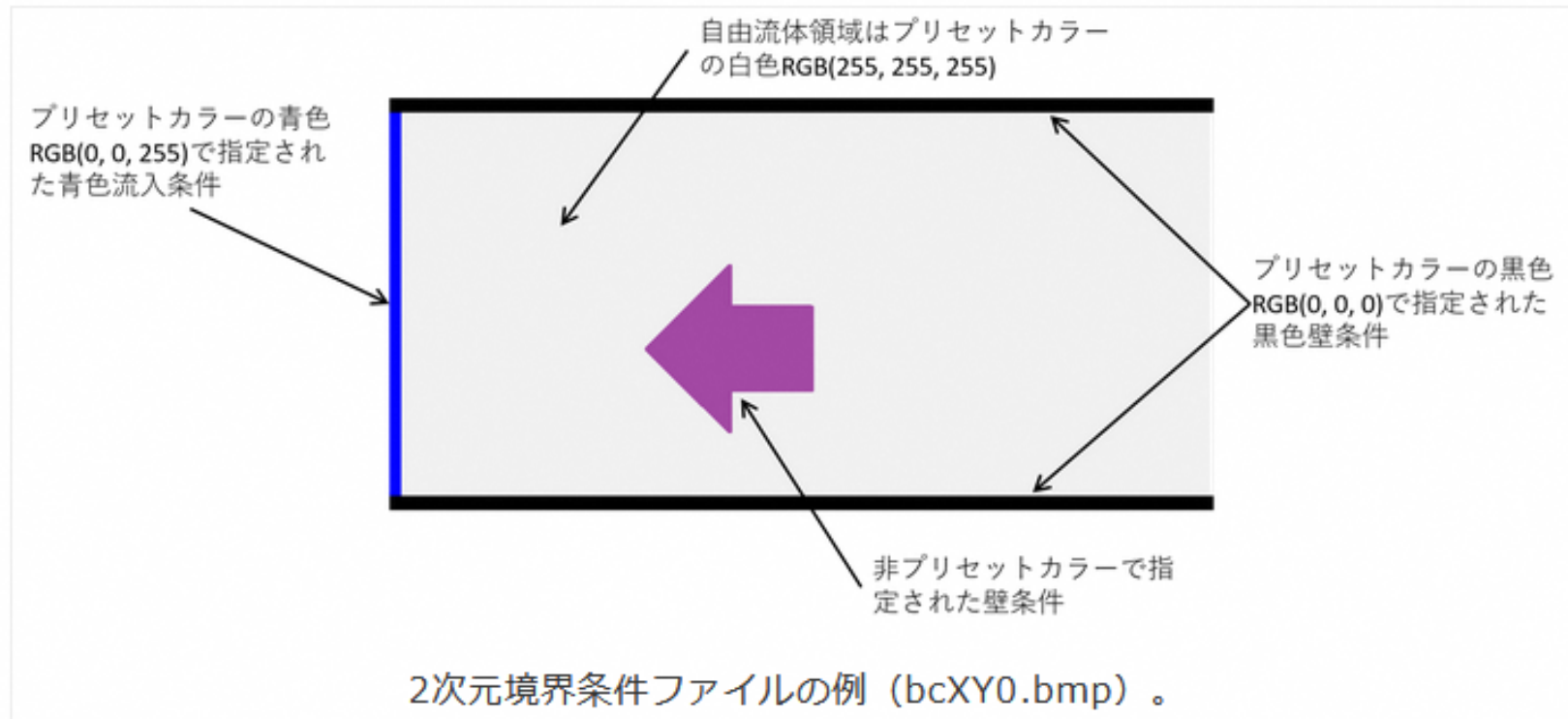
物体を構成する（個体）壁境界条件は、

- 黒色 (0, 0, 0) で指定することができます。障害物、壁・天井床、階段
- 白色 (255, 255, 255) の領域は、流体領域または自然流入・流出（開放）境界となります。

これらの 青、赤、緑、黄色、シアン色、黒、白色 はいずれもプリセット色（既定の色）と呼ばれます。これらのプリセット色以外（非プリセット色）は、全て黒色と同様の壁境界を構成する要素となります。

次のページに、2次元シミュレーションにおける境界を指定した境界条件ファイル（bcXY0.bmp）の例を記します。

いままで説明したルールに基づき、左側の境界から右へ流体が流入し、上下を壁に囲まれた中に、左向き矢印形状の物体が存在する場合の流れ場を指定しています。左に位置する（流入）境界条件をプリセット青色（数値解析の始まりの位置）で、上下の壁をプリセット黒色で、真ん中の矢印形状物体を非プリセット色（色の条件に設定されていない）紫色で定義しています。「bcXY0.bmp」としてセットします。



この例でパラメータを設定して解析する例を次ページから示します。

6. パラメータのセット param.txt

1. **cmode**

0の流体解析モード（密度一定の液体、及び気体用）

2. **lx**

領域のX方向サイズは2m。空気が流れていく方向

3. **ly**

領域のY方向サイズは1m。幅が 1 m

4. **nx、ny、nz**

格子点数は、各自必要な空間解像度を考慮して決定します。(nx, ny, nz) = (100, 50, 1：計算したのは5000格子)とし、各方向で同じ格子点間隔を用いています。また、パラメータ編集画面でご覧になれるように、nzについては、（2次元なので）明示的な設定を行っていません。これは、nzの規定値が1であり、設定する必要がないためです。

5. **rhoW**

流体密度は、常温常圧の空気の値（1.2 kg/m³）を使用。

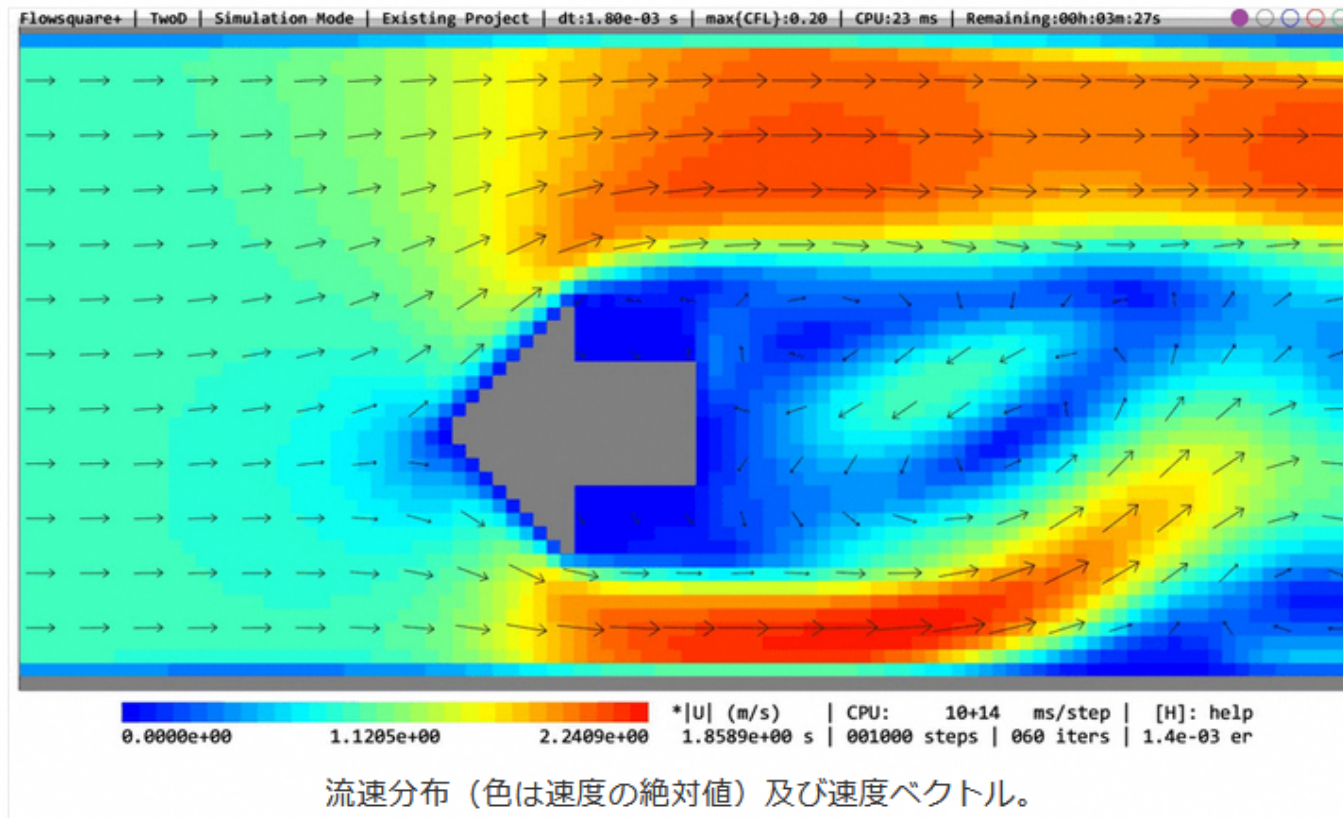
6. **uinB**

プリセット・カラーの青色で指定した流入流速は、1m/s。

別PPTで紹介しているFlowsquare+のパラメータは多彩で多くのパラメータが用意されていますが、すべてのパラメータを入力して解析計算することはありません。個々の解析計算で必要なパラメータを、設定するだけで解析計算が可能です。

※3次元の場合は領域のz方向サイズ (lz) と、z方向格子点数 (nz) をパラメータ設定画面にて追加すると、シミュレーションが実行可能です。例：lz=1m、nz=50

7. シミュレーションの実行、解析



上から見た二次元条件で、セットした場に矢印の壁を置いた流れの解析図です。（4ページと同じ）
計算は5000格子だか、表記は見やすくして275格子にしてある。

解析例：クルーズ船デッキにおける空気汚染

アスベスト拡散についてのシミュレーション計算解析例はありませんので、煙の拡散という観点から、「クルーズ船デッキにおける空気汚染」の例を示します。

- ・ 豪華なクルーズ船のデッキの空気は、北京、チリの首都サンティアゴなど、大気汚染で知られる都市と同じくらい汚染されている可能性がある。ジョンズ・ホプキンス大学の研究で明らかになった。
- ・ 研究によると、煙突の後ろ — バスケットボールコート、ランニングトラックなどのエクササイズエリアがあるところが、煙突の前よりも汚染がひどかった。という記事を参考に計算した例です。



(1) 計算パラメータの設定

本シミュレーションにおける主なパラメータについての説明です。
特に重要なパラメータは、パラメータ名の後の**で明記します。

1.1 cmode

0の流体解析モードを選択

1.2 lx

x方向領域サイズは25m。

1.3 ly

y方向領域サイズは10m。

1.4 lz

z方向領域サイズは10m。

1.5 nx、ny、nz

(nx, ny, nz) = (250, 100, 100)

1.6 uinW

初期x方向流体速度は10m/s（約19ノット）と指定。残りの領域内初期速度成分（vinW, winW）は0.0m/s（ゼロ）であり、これは既定値であるので、特に指定しなくてもよい。

1.7 massfrW**

領域内の初期排気ガス濃度（質量分率）は0を指定。これは、規定値であるので、特に指定しなくてもよい。

1.8 vinR

煙突からの排気ガスの排出速度（流入速度；上向き）は、 $\text{vinR} = 2.0\text{m/s}$ と指定。残りの速度成分（ uinR , winR ）は 0.0m/s （ゼロ）であり、これは既定値であるので、特に指定しなくてもよい。

1.9 massfrR**

煙突から排出される排気ガス濃度は1（=100%）。※排気ガス濃度：ある座標の流体中に占める排気ガスの質量割合。

1.10 uinG

流入境界からのx方向流体速度は 10m/s （約19ノット）と指定。残りの流入速度成分（ vinG , winG ）は 0.0m/s （ゼロ）であり、これは既定値であるので、特に指定しなくてもよい。また、本ケースでは、青ではなく緑境界を流入境界として用いる。この理由は、トレーサー粒子は、青及び赤色境界から流入し、緑境界からは流入しないため、以下に紹介する動画のように、煙突から排出される排気ガス輸送をより明確に示すことができるため。

設定パラメータはこれだけです。ほかは、初期設定値や入力しない項目は何も入力しません。

ファイル名は param.txt

Param.txt

```
//=====//
// Flowsquare+ parameter file...      -- 2020R1.0 --      //
//-----//
// You may directly edit this file, but follow below rules. Each      //
// parameter entry consists of three blocks divided by [SPACE] or      //
// double-slash(//). The order of these entries can be arbitrary.      //
// Example:                          //
// 003:name    0.00123456789 // some explanation of the parameter      //
// ^^^^^^^^^  ^^^^^^^^^^^^^  ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^      //
// 1st block   2nd block     3rd block starts after (//).      //
//=====//
----- General Parameters -----

002:cmode      0 // Simulation mode. [0] Fluid simulation mode (constant density and temperature, suitable for gas and liquid single-phase flows). [1] Thermo-fluid simulation mode (variable density and temperature, suitable for gas phase flows).
003:parallel   3 // Level of parallelism. [0] Serial (no parallelism). [1] Two, parallelism=2. [2] Low, max(2, maxThreadsAvail/4). [3] Medium, max(2, maxThreadsAvail/2). [4] High, max(2, maxThreadsAvail).
004:domx      1800 // Nominal screen size (horizontal) during simulations. (unit: pixels)
005:nx        250 // Number of mesh points in x-direction. This number may be set independent from physical domain dimensions.
006:ny        100 // Number of mesh points in y-direction. This number may be set independent from physical domain dimensions.
007:nz        100 // Number of mesh points in z-direction. This number may be set independent from physical domain dimensions.
008:lx        25.0 // Physical domain size in x-direction. (unit: m)
009:ly        10.0 // Physical domain size in y-direction. (unit: m)
010:lz        10.0 // Physical domain size in z-direction. (unit: m)
011:sts       0 // Start time step. A new simulation starts from sts=0. To restart, sts should be a timestep at which dump data was output in the previous simulation.
012:latts     20000 // End time step. For simulations under a trial license, this is limited.
013:nfig      100 // Interval time step for image output. Result images are saved in the 'image' directory once in every 'nfig' time steps. Setting zero value disable image output.
014:nfile     1000 // Interval time step for dump data output. Result dump data are saved in the 'dump' directory once in every 'nfile' time steps. Setting zero value disable dump output.
----- Boundary and Initial Conditions -----

016:presW     1.0E+05 // Mean pressure. Atmospheric pressure is 1.013E+5 (Pa). (unit: Pa)
017:uinW      10.0 // X-velocity component for the initial field (WHITE color). If set properly, the simulation reaches (quasi-) steady state quickly, but zero value is just fine for most cases. (unit: m/s)
018:rhoW      1.2 // Mean density. Approximately 1.225 (kg/m^3) for the air at 15 (deg.C), and 1.20 (kg/m^3) at 20 (deg.C). The water density is 997 (kg/m^3) independent of temperature. (unit: kg/m^3) [*] This parameter is effective for 'cmode=0'.
019:massfrW   0.0 // Mass fraction of a species (if simulated) in the initial field (WHITE color).
020:vinR      2.0 // Y-velocity component for the RED inflow boundry. If the value is set as '-', this boundary is slip boundary in y-direction. (unit: m/s)
021:massfrR   1.0 // A species mass fraction for the RED inflow boundry. If the value is set as '-', no mass fraction constraint is imposed on this boundary. (unit: K)
022:uinG      10.0 // X-velocity component for the GREEN inflow boundry. If the value is set as '-', this boundary is slip boundary in x-direction. (unit: m/s)
----- Physical and Model Parameters -----

024:mu        2.0E-6 // Dynamic viscosity of the fluid. mu is approximately 1.8E-5 (kg/m/s) for the atmospheric air at 15~25 (deg.C). For water at 20 (deg.C), mu is 1.0E-3 (kg/m/s). (unit: kg/m/s)
----- Graphics & Visualization Parameters -----

026:ndiv      2 // Interval mesh points between displayed visualization related objects such as vectors, streamlines and particles.
#End of file
```

(2) 3次元モデル構築

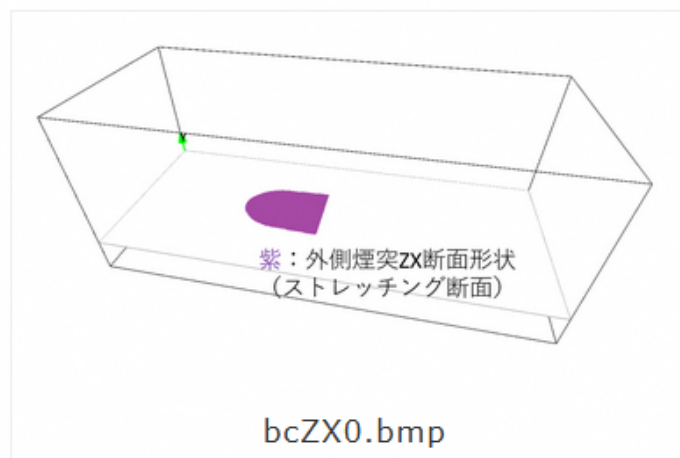
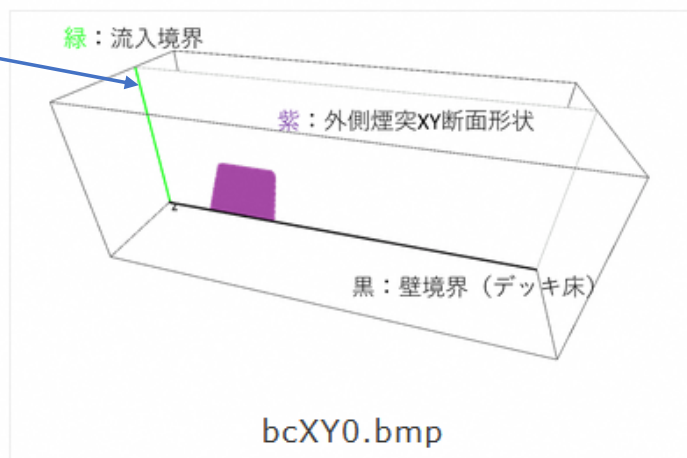
3次元モデル構築は、ペイントなどのツールを利用して行います。

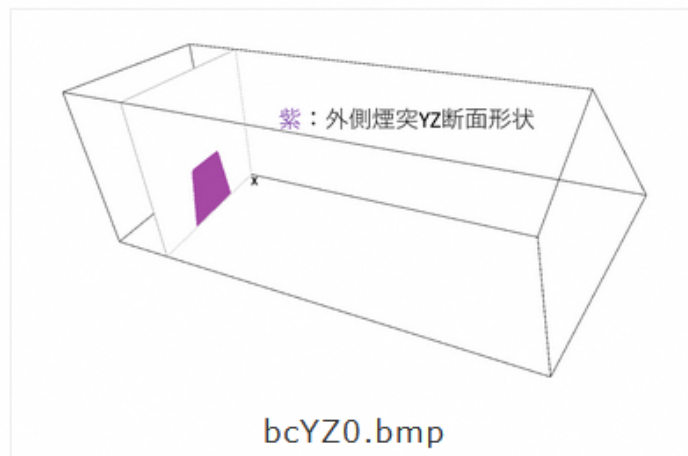
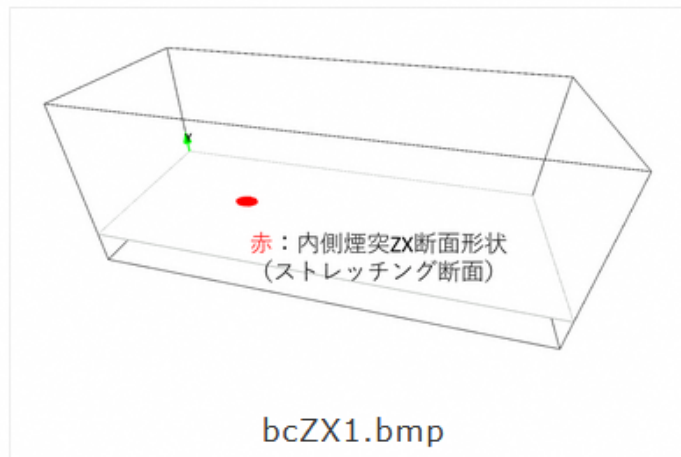
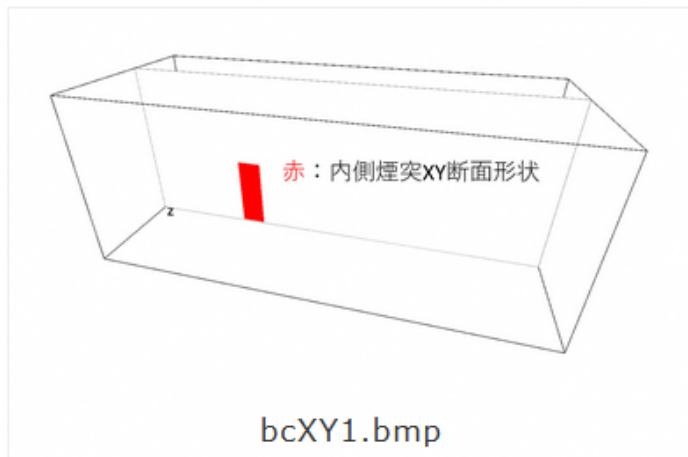
本シミュレーションにおいては、以下のような平面方向を有する5枚のペイント画像を利用して、煙突モデルを構築します。以下の画像における色及びその色で構築されている壁面は、

- ・壁境界：外側煙突（煙突の装飾的なカバー、非プリセット・紫色）
- ・流入境界：内側煙突（排気ガスの実際の通り道・排出口、プリセット・赤色）
- ・壁境界：デッキ床（プリセット・黒色）
- ・流入境界（プリセット・緑色）

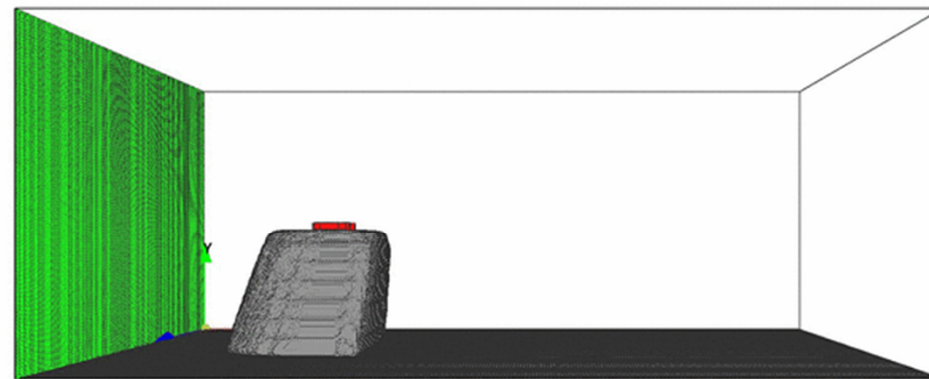
の4項目を別々の色を用いて指定します。

uinG



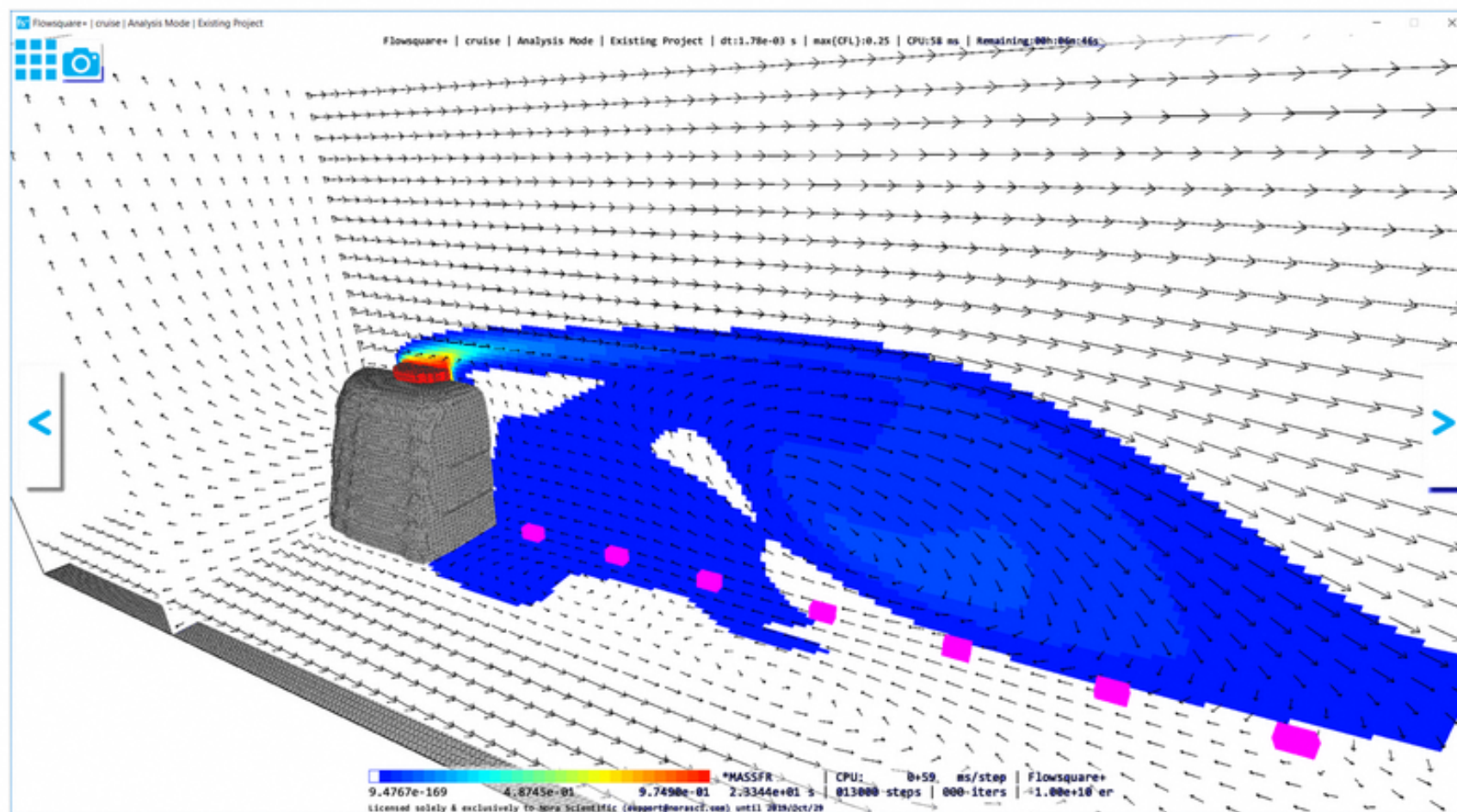


Snapshot



(3) シミュレーションの実行、解析及び考察

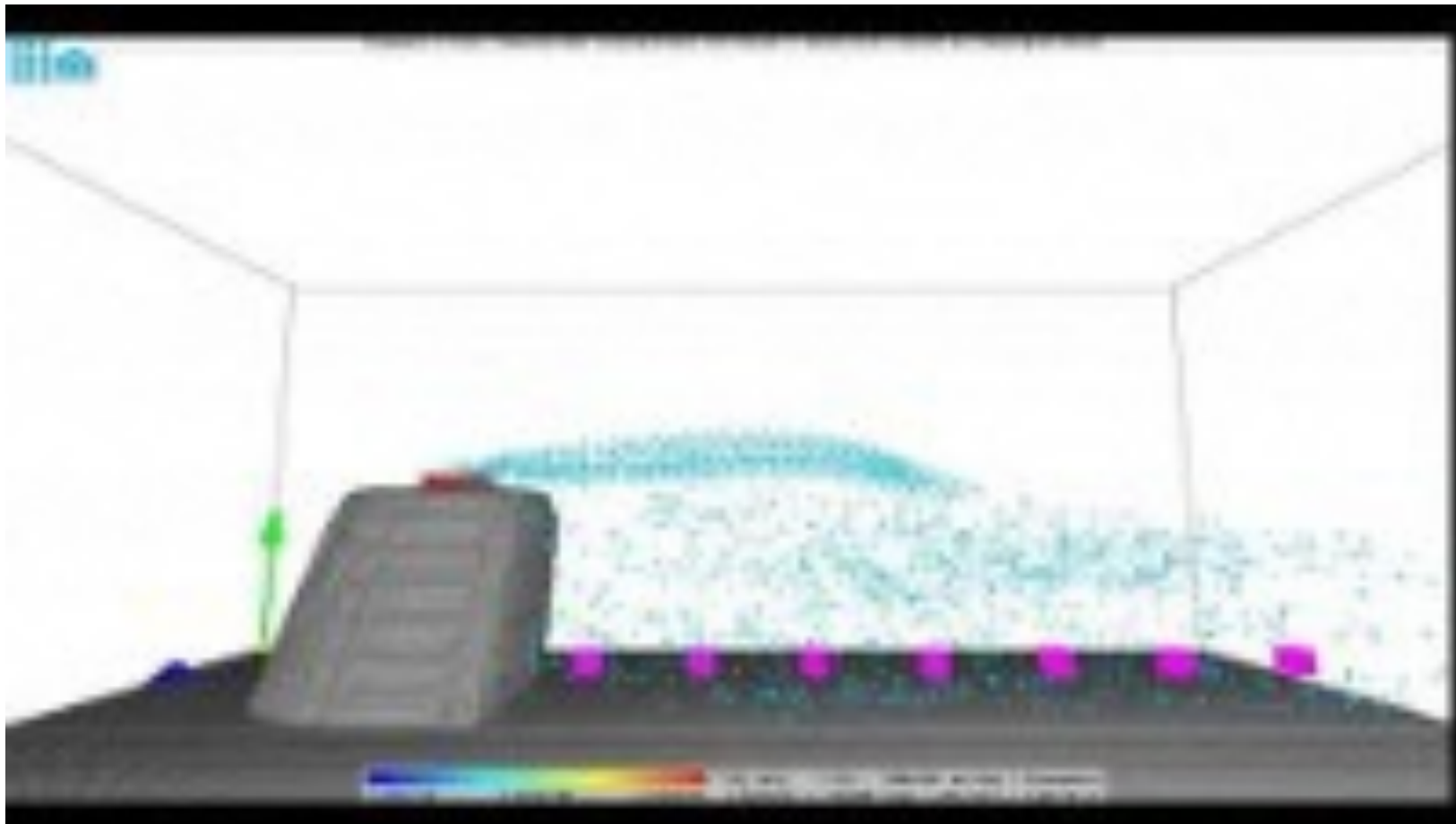
以下に、本シミュレーションから得られる典型的な可視化結果を示します。



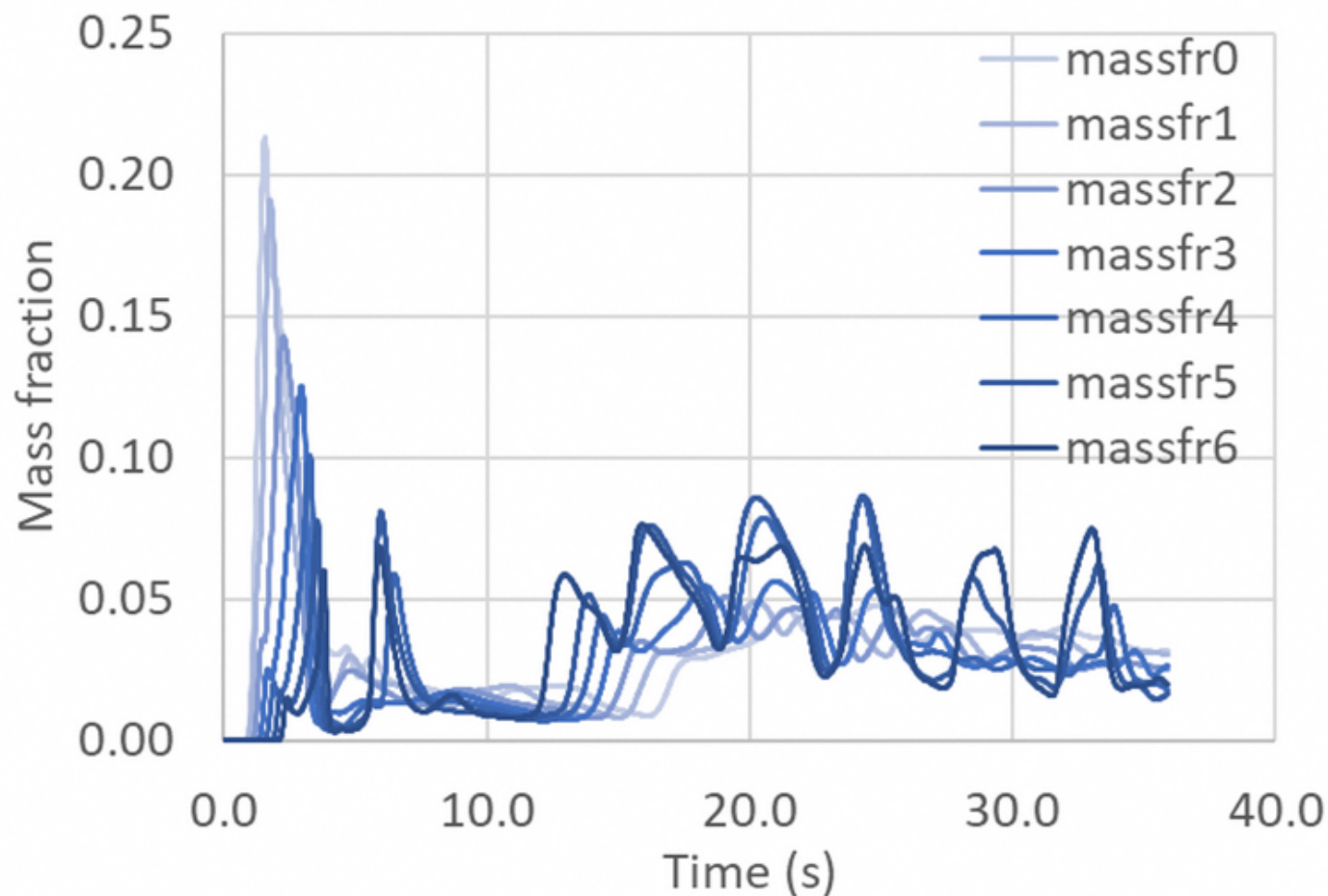
瞬時の断面内速度ベクトルと、排気ガス質量分率分布。

以下の動画中のトレーサー粒子に示されるように、煙突からの排気ガスが、定期的に下方へ巻き込んでいることが分かります。これは、高速流体と低速流体の界面で発生するケルビン・ヘルムホルツ不安定性に基づく大規模な流体構造に起因しています。この大規模渦により、煙突から排出された排気ガスが船上デッキを通過し、上流へ逆流しているメカニズムが分かります。

このように流体シミュレーションを活用することで、上記ニュース内の測定では不明であった船体デッキにおける空気汚染の発生メカニズムを明らかにすることができました。



また、上記動画内に示す、領域内7か所（前々ページ、前ページのピンクの位置）に設置したプローブにおける排気ガス濃度の時間変化は以下のように計測されます。



プローブにより計測された排気ガス濃度の時間変化（左端のプローブが0、右端が6）。

本シミュレーションでは、排気ガスと周辺空気の温度差や浮力の影響は考慮していません。Flowsquare+では、これらの効果も考慮することが可能です。

Flowsquare+の82項目に及ぶパラメータ(設定可能なパラメータ)

全パラメータを指定しなければいけないこともありません。必要に応じて、パラメータの追加、削除、並び替え等をパラメータ編集画面にて行うことができます。全てインターフェースを通じて設定し、param.txtに保存されます。※[]は規定値

1. cmode [シーモード] [0]

シミュレーションモード。ラジオボタンにより選択。

0：流体解析モード（密度一定の液体、及び気体用）

1：熱流体解析モード（温度変動のある理想気体を仮定）

2. ageFlag [エイジ・フラグ] [0] [2021R1.0以降] その領域に入って来てから出ていくまでの時間 換気

流体の滞留時間に相当するage変数の輸送方程式をシミュレーションに含めるか（ageFlag=1）、含めないか（ageFlag=0）。

3. parallel [パラレル] [0] 並列計算を何個行うか？

並列レベル。ラジオボタンにより選択。0：並列無し、1：レベル茸、2：レベル梅、3：レベル竹、4：レベル松。

npx, npy, npzは自動で割り当てられる。

1：レベル茸：並列数=2

2：レベル梅：並列数= $\max(1, \text{maxThreadsAvail} / 4)$

3：レベル竹：並列数= $\max(1, \text{maxThreadsAvail} / 2)$

4：レベル松：並列数= maxThreadsAvail （最大スレッド数による最速計算モード）

*maxThreadsAvail：システムで決定される最大並列数

4. nprocs [エヌ・プロセス] [なし] [2020R1.0以降] 並列計算振り分け

並列数。parallelで指定できない並列数を1以上の整数にて指定可能。nprocsを指定した場合、parallelの選択肢にかかわらず、nprocsが優先される。システム最大スレッド数（maxThreadsAvail）以下。npx, npy, npzは自動で割り当てられる。

5. npz [エヌピーエックス] [なし] [2020R1.0以降] 並列計算振り分け

シミュレーション領域のx方向に割り当てる並列数（1以上の整数）。npzを指定する場合、npy、npzも共に指定。npz、npy、npzを指定した場合、上記nprocsの設定に関わらず $\text{nprocs} = \text{npz} * \text{npy} * \text{npz}$ となる。

6. npy [エヌピーワイ] [なし] [2020R1.0以降] 並列計算振り分け

シミュレーション領域のy方向に割り当てる並列数（1以上の整数）。npyを指定する場合、npx、npzも共に指定。npx、npy、npzを指定した場合、上記nprocsの設定に関わらず $\text{nprocs} = \text{npx} * \text{npy} * \text{npz}$ となる。

7. npz [エヌピーゼット] [なし] [2020R1.0以降] 並列計算振り分け
シミュレーション領域のz方向に割り当てる並列数（1以上の整数）。npzを指定する場合、npx、npyも共に指定。npx、npy、npzを指定した場合、上記nprocsの設定に関わらずnprocs = npz * npy * npzとなる。

8. ibm [アイ・ビー・エム] [1] [2019R1以降] 過去のファイルをデフォルトで使う場合、埋込境界条件
境界条件手法。ラジオボタンにより選択。0：従来の境界条件を使用、1：埋込境界条件を使用

9. domx [ドム・エックス] [1024]
シミュレーション・ウィンドウの暫定横幅サイズ（ピクセル）、モニターの分解能。推奨は、1600ピクセル以上。

1 0. nx [エヌ・エックス] [1]
x方向格子点数。格子点数は、計算領域の縦横比などに関係なく設定できる。

1 1. ny [エヌ・ワイ] [1]
y方向格子点数。格子点数は、計算領域の縦横比などに関係なく設定できる。

1 2. nz [エヌ・ゼット] [1]
z方向格子点数。格子点数は、計算領域の縦横比などに関係なく設定できる。2次元シミュレーションの場合はnz=1を設定。

1 3. lx [エル・エックス] [1.0]
x方向領域物理サイズ (m)。描画される計算領域アスペクト比は、本サイズに基づく。

1 4. ly [エル・ワイ] [1.0]
y方向領域物理サイズ (m)。描画される計算領域アスペクト比は、本サイズに基づく。

1 5. lz [エル・ゼット] [1.0]
z方向領域物理サイズ (m)。描画される計算領域アスペクト比は、本サイズに基づく。

1 6. sts [エス・ティー・エス] [0] 再開時のスタートタイムステップ
シミュレーション開始時のタイムステップ。全ての新規シミュレーションは0ステップから開始される。シミュレーションの再スタートの場合は、stsで指定する（0ではない）タイムステップからのシミュレーション再開となるが、本タイムステップにおいて前回のシミュレーションで、瞬時場ファイルが出力されていることが必要。nfile参照。

1 7. latts [ラット・ティー・エス] [300]
シミュレーション終了時のタイムステップ。

1 8. cfl [シー・エフ・エル] [0.1]

シミュレーション中の時間ステップ幅 (Δt) を決定する際に用いるクーラン条件。計算中、計算領域内の最大cflを監視し、最大cfl数がparam.txt内の本cflになるように Δt を動的に決定。したがって、 Δt は時刻により異なる。多くの場合、cfl=0.2~0.3が最適。コンピュータが選んだ最適時間ステップ幅

1 9. deltat [デルタ・ティー] [なし] [2020R1.0以降]

シミュレーション中の時間ステップ幅 (Δt) (s)。指定した場合、 Δt は上記cflによる動的に決定されず、常に指定した値をとる。

2 0. nfil [エヌ・フィル] [0]

解析に数値不安定性が出る際に用いる空間フィルタの適用頻度。使用しない場合は、0を指定する（規定値）。nfil>0を設定すると、nfilタイムステップに1度、空間フィルタが適用される。

2 1. wfil [ダブル・フィル] [0.0]

上記nfilで指定する空間フィルタの重み ($0.0 \leq wfil \leq 1.0$)。生の値をqraw、フィルタ済みの値をqfilとすると、重みづけされる値は、 $q = wfil * qfil + (1 - wfil) * qraw$ と計算される。通常は使用しない。

2 2. npfil [エヌ・ピー・フィル] [1] [2019R2以降]

解析に数値不安定性が出る際に用いる圧力場に対する空間フィルタの適用頻度。Flowsquare+で解析される多くのケースでは、物理境界が十分に解像されていないケースが多いため、これが原因でシミュレーションに不具合が生じる場合、本フィルター操作を利用する。使用しない場合は、0を指定する（規定値）。npfil>0を設定すると、npfilタイムステップに1度、本空間フィルタが圧力場に適用される。

2 3. wpfil [ダブル・ピー・フィル] [0.5] [2019R2以降] 車や飛行機等の場合

上記npfilで指定する空間フィルタの重み ($0.0 \leq wpfil \leq 1.0$)。生の値をpraw、フィルタ済みの圧力値をpfilとすると、重みづけされる値は、 $p = wpfil * pfil + (1 - wpfil) * praw$ と計算される。

2 4. peps [ピー・イー・ピー・エス] [1.0e-6] 重力や熱伝導の場の時使う

ポアソン方程式に関する収束計算の収束条件 (presWに対する相対誤差)。収束計算は、pepsに達していなくても、以下のloopmaxに達すると終了するので注意。

2 5. omega [オメガ] [1.8] 重力や熱伝導の場の時使う

ポアソン方程式の計算に用いるSOR法に関する収束速度係数。通常1.8が最適であるが、計算が発散する場合は、1により近い値を用いることもある。

2 6. loopmax [ループ・マックス] [1000] 重力や熱伝導の場の時使う

ポアソン方程式に関する収束計算の最大繰り返し計算数。収束計算は、loopmaxに達すると無条件で終了する。

presW [プレス・ダブル] [1.0e+5]

2 7. presW [プレス・ダブル] [1.0e+5]

White (ホワイト)。境界条件ファイル (bcで始まるビットマップ・ファイル) にて指定される、計算領域内の白の領域における初期圧力 (Pa)。実質的には、本圧力が領域全体の初期圧力となる。1気圧は、101325 (Pa)、約1.0e+5 (Pa)。

2 8. uinW [ユー・イン・ダブル] [0.0]

White (ホワイト)。境界条件ファイルにて指定される、計算領域内の白の領域における初期x方向速度成分 (m/s)。

2 9. vinW [バイ・イン・ダブル] [0.0]

White (ホワイト)。境界条件ファイルにて指定される、計算領域内の白の領域における初期y方向速度成分 (m/s)。

3 0. winW [ダブル・イン・ダブル] [0.0]

White (ホワイト)。境界条件ファイルにて指定される、計算領域内の白の領域における初期z方向速度成分 (m/s)。

3 1. rhoW [ロー・ダブル] [1.0]

White (ホワイト)。境界条件ファイルにて指定される、計算領域内の白の領域における初期密度 (kg/m³)。常温、常圧の空気の密度は、1.2 (kg/m³)。cmode=0 (流体解析モード) の時のみ有効で、本密度が領域内の流体密度となる。

3 2. tempW [テンプ・ダブル] [300.0]

White (ホワイト)。境界条件ファイルにて指定される、計算領域内の白の領域における初期温度 (K)。cmode=1 (熱流体解析モード) の時のみ有効。
*温度の単位は(K; ケルビン)。

3 3. massfrW [マスフラ・ダブル] [0.0]

White (ホワイト)。境界条件ファイルにて指定される、計算領域内の白の領域における物質の初期質量分率 (Mass Fraction)。質量分率は0から1の間の値をとり、物質の濃度は、密度×質量分率で計算できる。

3 4. uinB * [ユー・イン・ビー] [0.0]

Blue (ブルー)。境界条件画像ファイルで指定する、青色 (流入) 境界条件に適用されるx方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、青色領域は個体壁として取り扱われる。

3 5. vinB * [バイ・イン・ビー] [0.0]

Blue (ブルー)。境界条件画像ファイルで指定する、青色 (流入) 境界条件に適用されるy方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、青色領域は個体壁として取り扱われる。

3 6. winB * [ダブル・イン・ビー] [0.0]

Blue (ブルー)。境界条件画像ファイルで指定する、青色 (流入) 境界条件に適用されるz方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、青色領域は個体壁として取り扱われる。

3 7. tempB * [テンプ・ビー] [300.0]

Blue (ブルー)。境界条件画像ファイルで指定する、青色 (流入) 境界条件に適用される温度 (K)。0を指定すると、断熱条件 (青色境界における熱流束がゼロ) が適用される。cmode=1 (熱流体解析モード) の時のみ有効。

3 8. massfrB * [マスフラ・ビー] [0.0]

Blue (ブルー)。境界条件ファイルにて指定する、青色 (流入) 境界条件に適用される物質の質量分率 (Mass Fraction)。質量分率は0から1の間の値をとり、物質の濃度は、密度×質量分率で計算できる。

3 9. uinR * [ユー・イン・アール] [0.0]

Red (レッド)。境界条件画像ファイルで指定する、赤色 (流入) 境界条件に適用されるx方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、赤色領域は個体壁として取り扱われる。

4 0. vinR * [バイ・イン・アール] [0.0]

Red (レッド)。境界条件画像ファイルで指定する、赤色 (流入) 境界条件に適用されるy方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、赤色領域は個体壁として取り扱われる。

4 1. winR * [ダブル・イン・アール] [0.0]

Red (レッド)。境界条件画像ファイルで指定する、赤色 (流入) 境界条件に適用されるz方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、赤色領域は個体壁として取り扱われる。

4 2. tempR * [テンプ・アール] [300.0]

Red (レッド)。境界条件画像ファイルで指定する、赤色 (流入) 境界条件に適用される温度度 (K)。0を指定すると、断熱条件 (赤色境界における熱流束がゼロ) が適用される。cmode=1 (熱流体解析モード) の時のみ有効。

4 3. massfrR * [マスフラ・アール] [0.0]

Red (レッド)。境界条件ファイルにて指定する、赤色 (流入) 境界条件に適用される物質の質量分率 (Mass Fraction)。質量分率は0から1の間の値をとり、物質の濃度は、密度×質量分率で計算できる。

4 4. uinG * [ユー・インー・ジー] [0.0]

Green (グリーン)。境界条件画像ファイルで指定する、緑色 (流入) 境界条件に適用されるx方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、緑色領域は個体壁として取り扱われる。また、緑色 (流入) 境界からは流線及びトレーサ粒子は発生しない。

4 5. vinG * [バイ・インー・ジー] [0.0]

Green (グリーン)。境界条件画像ファイルで指定する、緑色 (流入) 境界条件に適用されるy方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、緑色領域は個体壁として取り扱われる。また、緑色 (流入) 境界からは流線及びトレーサ粒子は発生しない。

4 6. winG * [ダブル・インー・ジー] [0.0]

Green (グリーン)。境界条件画像ファイルで指定する、緑色 (流入) 境界条件に適用されるz方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、緑色領域は個体壁として取り扱われる。また、緑色 (流入) 境界からは流線及びトレーサ粒子は発生しない。

4 7. tempG * [テンブ・ジー] [300.0]

Green (グリーン)。境界条件画像ファイルで指定する、緑色 (流入) 境界条件に適用される温度度 (K)。0を指定すると、断熱条件 (緑色境界における熱流束がゼロ) が適用される。cmode=1 (熱流体解析モード) の時のみ有効。

4 8. massfrG * [マスフラ・ジー] [0.0]

Green (グリーン)。境界条件ファイルにて指定する、緑色 (流入) 境界条件に適用される物質の質量分率 (Mass Fraction)。質量分率は0から1の間の値をとり、物質の濃度は、密度×質量分率で計算できる。

4 9. uinY * [ユー・インー・ワイ] [0.0] [2021R1.0以降]

Yellow (イエロー)。境界条件画像ファイルで指定する、黄色 (流入) 境界条件に適用されるx方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、緑色領域は個体壁として取り扱われる。また、緑色 (流入) 境界からは流線及びトレーサ粒子は発生しない。

5 0. vinY * [ブイ・インー・ワイ] [0.0] [2021R1.0以降]

Yellow (イエロー)。境界条件画像ファイルで指定する、黄色 (流入) 境界条件に適用されるy方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、緑色領域は個体壁として取り扱われる。また、緑色 (流入) 境界からは流線及びトレーサ粒子は発生しない。

5 1. winY * [ダブル・インー・ワイ] [0.0] [2021R1.0以降]

Yellow (イエロー)。境界条件画像ファイルで指定する、黄色 (流入) 境界条件に適用されるz方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、緑色領域は個体壁として取り扱われる。また、緑色 (流入) 境界からは流線及びトレーサ粒子は発生しない。

5 2. tempY * [テンブ・ワイ] [300.0] [2021R1.0以降]

Yellow (イエロー)。境界条件画像ファイルで指定する、黄色 (流入) 境界条件に適用される温度度 (K)。0を指定すると、断熱条件 (緑色境界における熱流束がゼロ) が適用される。cmode=1 (熱流体解析モード) の時のみ有効。

5 3. massfrY * [マスフラ・ワイ] [0.0] [2021R1.0以降]

Yellow (イエロー)。境界条件ファイルにて指定する、黄色 (流入) 境界条件に適用される物質の質量分率 (Mass Fraction)。質量分率は0から1の間の値をとり、物質の濃度は、密度×質量分率で計算できる。

5 4. uinC * [ユー・インー・シー] [0.0] [2021R1.0以降]

Cyan (シアン)。境界条件画像ファイルで指定する、シアン色 (流入) 境界条件に適用されるx方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、緑色領域は個体壁として取り扱われる。また、緑色 (流入) 境界からは流線及びトレーサ粒子は発生しない。

5 5. vinC * [ブイ・インー・シー] [0.0] [2021R1.0以降]

Cyan (シアン)。境界条件画像ファイルで指定する、シアン色 (流入) 境界条件に適用されるy方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、緑色領域は個体壁として取り扱われる。また、緑色 (流入) 境界からは流線及びトレーサ粒子は発生しない。

5 6. winC * [ダブル・インー・シー] [0.0] [2021R1.0以降]

Cyan (シアン)。境界条件画像ファイルで指定する、シアン色 (流入) 境界条件に適用されるz方向速度成分 (m/s)。全x, y, z方向速度成分をゼロとすると、緑色領域は固体壁として扱われる。また、緑色 (流入) 境界からは流線及びトレーサー粒子は発生しない。

5 7. tempC * [テンブ・シー] [300.0] [2021R1.0以降]

Cyan (シアン)。境界条件画像ファイルで指定する、シアン色 (流入) 境界条件に適用される温度度 (K)。0を指定すると、断熱条件 (緑色境界における熱流束がゼロ) が適用される。cmode=1 (熱流体解析モード) の時のみ有効。

5 8. massfrC * [マスフラ・シー] [0.0] [2021R1.0以降]

Cyan (シアン)。境界条件ファイルにて指定する、シアン色 (流入) 境界条件に適用される物質の質量分率 (Mass Fraction)。質量分率は0から1の間の値をとり、物質の濃度は、密度×質量分率で計算できる。

5 9. tempWallK [テンブ・ウォール・ケイ] [300.0]

黒色 (プリセット・カラー) で指定する壁境界における固体壁温度 (K)。0を指定すると、断熱条件 (壁における熱流束がゼロ) が適用される。cmode=1 (熱流体解析モード) の時のみ有効。

6 0. tempWall [テンブ・ウォール] [300.0]

プリセット・カラー以外の色で指定する壁境界における固体壁温度 (K)。0を指定すると、断熱条件 (壁における熱流束がゼロ) が適用される。cmode=1 (熱流体解析モード) の時のみ有効。

6 1. tempWallSTL [テンブ・ウォール・エス・ティー・エル] [300.0] [2019R1以降]

STLファイルにて指定するモデルの固体壁温度 (K)。0を指定すると、断熱条件 (壁における熱流束がゼロ) が適用される。cmode=1 (熱流体解析モード) の時のみ有効。

6 2. unitSTL [ユニット・エス・ティー・エル] [0] [2019R1以降]

STLファイルの使用単位。STLファイル編集画面においてもグラフィカルに調整可能。

0 : m

1 : cm

2 : mm

3 : インチ

4 : フィート

6 3. xOffstSTL [エックス・オフセット・エス・ティー・エル] [0.0] [2019R1以降]

STLモデルのx方向オフセット距離 (m)。STLファイル編集画面においてもグラフィカルに調整可能。

6 4. yOffstSTL [ワイ・オフセット・エス・ティー・エル] [0.0] [2019R1以降]

STLモデルのy方向オフセット距離 (m)。STLファイル編集画面においてもグラフィカルに調整可能。

6 5. zOffstSTL [ゼット・オフセット・エス・ティー・エル] [0.0] [2019R1以降]

STLモデルのz方向オフセット距離 (m)。STLファイル編集画面においてもグラフィカルに調整可能。

6 6. normVecDirSTL [ノーム・ベック・ディー・アイ・アール・エス・ティー・エル] [0] [2019R1以降]

STLモデルを構成する各ポリゴンの法線方向の向き。通常のSTLファイルは、モデル外向きであるので、Flowsquare+もそれを既定値としている。

0：外向き

1：内向き

6 7. xRotSTL [エックス・ロット・エス・ティー・エル] [0.0] [2019R1以降]

STLモデルのx軸周りの回転量 (度)。STLファイル編集画面においてもグラフィカルに調整可能。

6 8. yRotSTL [ワイ・ロット・エス・ティー・エル] [0.0] [2019R1以降]

STLモデルのy軸周りの回転量 (度)。STLファイル編集画面においてもグラフィカルに調整可能。

6 9. zRotSTL [ゼット・ロット・エス・ティー・エル] [0.0] [2019R1以降]

STLモデルのz軸周りの回転量 (度)。STLファイル編集画面においてもグラフィカルに調整可能。

7 0. openPresFlag [オープン・プレス・フラグ] [0] [2019R1以降]

計算領域境界上に位置する流出境界における圧力の取り扱い。通常は、0：ノイマン条件を用いるが、（準）閉空間からの自由境界のようなケースにおいては、1：ディリクレ条件を用いる方が良い場合もある。

0：ノイマン条件

1：ディリクレ条件 (=presW)

7 1. presAdjustFlag [プレス・アジャスト・フラグ] [1] [2019R1以降]

平均圧力を強制的にpresWにする調整を行うか否か。openPresFlag=1（ディリクレ条件）の場合、presAdjustFlagは自動的に0になる。

0：行わない

1：行う

7 2. mu [ミュー] [1.0e-5]

流体の粘性係数 (Pa*s)。現状のFlowsquare+では、温度依存性は考慮しない。常温・常圧において、空気は $\mu=1.8\text{E-}5$ (Pa*s)、水は $\mu=1.0\text{E-}3$ (Pa*s)。

7 3. Pr [ピー・アール] [0.7]

流体のプラントル数 (Prandtl number)。通常は0.7程度の値をとる。cmode=1 (熱流体解析モード) の時のみ有効。

7 4. Sc [エス・シー] [1.0]

流体のシュミット数 (Schmidt number)。通常は1.0程度の値をとる。上記のパラメータ項目であるmassfr# (#はワイルドカード) を用い、物質の質量分率を考慮するときのみ有効。

7 5. Cs [シー・エス] [0.17]

Smagorinskyモデル定数。解像度以下の乱流の効果をモデル化するために必要な定数。通常は0.17程度の値をとる。触らない

7 6. ScT [エス・シー・ティー] [0.7]

乱流シュミット数。解像度以下の乱流による温度場・物質場の混合の効果をモデル化するために必要な定数。通常は0.7程度の値をとる。物質の質量分率や温度場の輸送をシミュレーションするときのみ有効。

7 7. nfig [エヌ・フィグ] [1000]

シミュレーション描画画面の画像出力頻度。nfig>0を指定すると、nfigタイムステップごとに画像を出力する。出力された画像は、プロジェクト・フォルダ内のfigsフォルダにタイムステップから始まるファイル名で保存される。頻繁に保存しすぎると、計算速度に影響が大きいので注意。

7 8. nfile [エヌ・ファイル] [1000]

シミュレーションの瞬時結果ファイル出力頻度。nfile>0を指定すると、nfileタイムステップごとに瞬時の結果を出力する。出力された画像は、プロジェクト・フォルダ内のdumpフォルダにタイムステップから始まるフォルダ名で保存される。また、保存したタイムステップから、シミュレーションの再スタートや、解析モードにおける実行が可能。頻繁に保存しすぎると、計算速度に影響が大きいので注意。

7 9. ndiv [エヌ・ディブ] [4]

速度ベクトル、トレーサ粒子、流線などの表示に用いられる格子点数間隔。ndiv格子点ごとに1つのベクトル、粒子 (初期位置)、流線が表示される。

8 0. gfx [ジー・エフ・エックス] [0.0]

x方向外力 (m/s²)。cmode=1 (熱流体解析モード) でのみ有効。

8 1. gfy [ジー・エフ・ワイ] [0.0]

y方向外力 (m/s²)。下向きの重力の場合、gfy=-9.8 (m/s²)。cmode=1 (熱流体解析モード) でのみ有効。

8 2. wfilWallBC [ダブル・フィル・ウォール・ビーシー] [0.25] [2020R1.0以降] 結果画像の見せ方

ペイント画像から構築される壁境界へ適用するフィルターの重み。0以上1以下で指定。重みが大きくなるほどペイント画像から構築される壁境界の形状は滑らかになるが、シミュレーション格子解像度が十分でない場合、ペイント画像形状の再現性は失われる可能性がある。逆もまた然り。

2021.8.31

リスク推定部会

中間報告の目次案（第 2 版）

1. 部会の開催状況と議題内容
2. リスク推定を進めるためのフローの検討
3. 関係者ヒアリングおよび現場調査の実施
 - ・ヒアリングの実施
 - ・現場調査の実施
 - ・アスベスト含有量の推定
 - ・工事現場における作業の特定(追加ヒアリングの扱い)
4. 擬似漏洩実験による屋内漏洩状況の推定
 - ・実験における諸条件の設定
 - ・実験の実施概要
 - ・結果の概要
5. 周辺地域の濃度推定に向けた作業経過
 - ・対象とする区域の区分
 - ・大気拡散モデルを用いた推定
 - ・用いるシミュレーションソフトの概要
 - ・濃度推定のフロー
 - ・気象データの特定
 - ・仮条件を設定した場合の拡散状況の例示
 - ・数値シミュレーションを用いた推定
 - ・用いるプログラムの概要
 - ・濃度推定のフロー
 - ・気象データの特定
 - ・仮条件を設定した場合の拡散状況の例示
6. 今後の予定
 - ・屋内／屋外における濃度の推定
 - ・ばく露対象の属性別リスクの推定