OpenFOAM勉強会 for beginner @関西の紹介

OpenFOAM勉強会 for beginner@関西
幹事　冨原 大介

OpenFOAM勉強会 for beginner@関西

昨年の12月から、関西におけるOpenFOAM初心者を
ターゲットとした勉強会を開催しています。

ほぼ月1回、大阪大学の高木先生をアドバイザーにお招きして、
大阪大学や大阪市内の会議室で開催。
次回は1月を予定（詳細は未定）。

超初心者から上級者、学生から社会人まで幅広い方々が参加。
依然として少人数ではありますが、
どんなことでも質問できる雰囲気が特徴です。

OpenFOAMってどうなんだ？
使ってみようとしたけれどよくわからない。
OpenFOAMの情報、知識を発信したい！
（受信もできるかも）

いろんな方のご参加をお待ちしています。

勉強会の日程、参加のお知らせは
Googleグループのフォーラムにて随時お知らせしています。

勉強会
https://groups.google.com/forum/#!forum/openfoambeginner
またはユーザー会
https://groups.google.com/forum/#!forum/openfoam

Q.　普段どのような感じでやっているのか？

A.　初めての方の自己紹介、発表される方の発表と
それらに対する質疑応答といった内容です。
時間が余っていることが多いので、
最後にみなさんから自由な質問の時間を設けています。

発表の内容は学生の研究発表から幹事の実験まで様々。

勉強会@関西の様子をイメージしていただくために
今日は次ような発表を用意いたしました

初心者によるOpenFOAM有限体積法入門

OpenFOAM勉強会@関西
幹事　冨原 大介

当然ながら、
OpenFOAMの計算には「有限体積法」が用いられている。

……らしい。

「有限体積法」って聞いたことはあるけれど、
学生時代にプログラムを組んだことがあるわけでもないし…

「オープンソース」→「中身が見れる」とは言いながら見たことない。

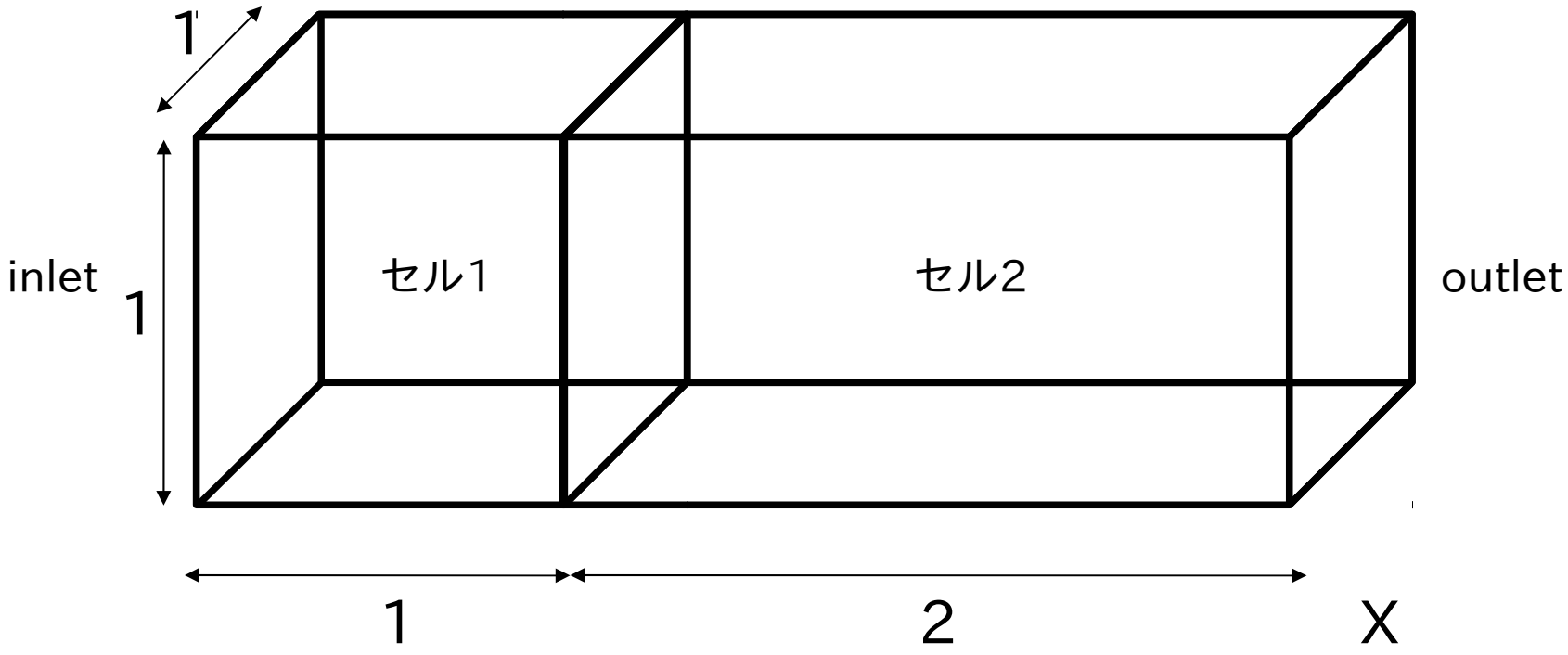
と、ずっと思っていたので、
実際に見てみました。

まず、簡単そうなソルバを探してきて、
中身を変更していきます。

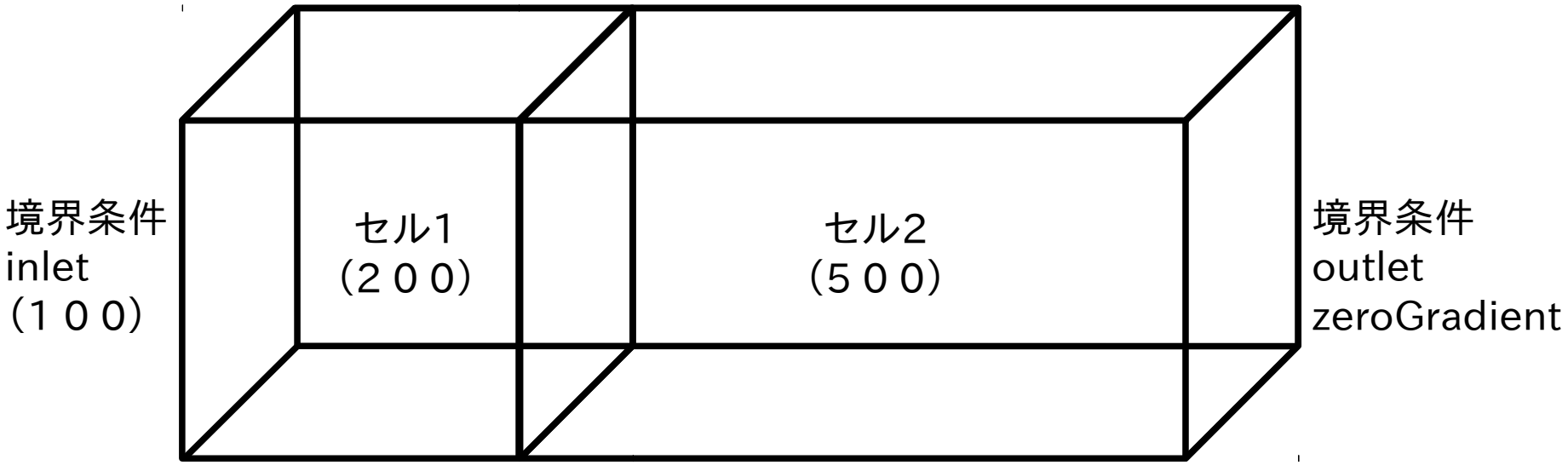
選んだのは「scalarTransportFoam」
/opt/openfoam171/applications/solvers/scalarTransportFoam
をフォルダごと適当なディレクトリにコピー。

scalarTransportFoam.C→mathFoam.Cとして作業していきます。
（makeの方法等の説明は割愛）

モデルを用意。
X方向についてのみ考えるために、
「inlet」および「outlet」以外はデフォルトでemptyとしてしまう。



0/Uの設定
※あくまで数学的に見るのが目的なので
　物理的な意味は正しくありません



①まずはモデルの情報を出力してみる。
math.Cの中身を以下のようにしてmake→実行してみる。

```
(・・・)
int main(int argc, char *argv[])
{
(・・・)
#   include "CourantNo.H"
（ここまではscalarTransportFoam.Cそのまま）

    Info<< endl;
    Info<< "------------------" << nl << endl;
    Info<< "Cell volume V() = " << mesh.V() << nl << endl;
    Info<< "-----------------

    Info<< "End\n" << endl;
    return 0;
}
```

セルの体積のオブジェクト
mesh.V()

①まずはモデルの情報を出力してみる。
math.Cの中身を以下のようにしてmake→実行してみる。

```
(・・・)
------------------

Cell volume V() = dimensions      [0 3 0 0 0 0 0];

value           nonuniform List<scalar> 2(1 2);


------------------
```

難しいコードは何ひとつ書いていないにもかかわらず、
きちんとセルの体積が出力される。

面の面積ベクトルSf　<mesh.Sf()>

```
Face area vectors Sf() = dimensions      [0 2 0 0 0 0 0];

internalField   uniform (1 0 0);

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            sliced;
        value           uniform (-1 0 0);
    }
    outlet
    {
        type            sliced;
        value           uniform (1 0 0);
    }
    defaultFaces
    {
        type            sliced;
        value           nonuniform 0();
    }
}
```

面の面積の絶対値|Sf|　<mesh.magSf()>

Face area magnitudes |Sf|() = dimensions　[0 2 0 0 0 0 0];

internalField　uniform 1;

boundaryField
{
　inlet
　{
　　type　　calculated;
　　value　　uniform 1;
　}
　outlet
　{
　　type　　calculated;
　　value　　uniform 1;
　}
　defaultFaces
　{
　　type　　empty;
　}
}

セルの中心C　<mesh.C()>

```
Cell centers C() = dimensions      [0 1 0 0 0 0 0];

internalField   nonuniform List<vector> 2((0.5 0.5 0.5) (2 0.5 0.5));

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            sliced;
        value           uniform (0 0.5 0.5);
    }
    outlet
    {
        type            sliced;
        value           uniform (3 0.5 0.5);
    }
    defaultFaces
    {
        type            sliced;
        value           nonuniform 0();
    }
}
```

面中心Cf　<mesh.Cf()>

```
Face centers Cf() = dimensions      [0 1 0 0 0 0 0];

internalField   uniform (1 0.5 0.5);

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            sliced;
        value           uniform (0 0.5 0.5);
    }
    outlet
    {
        type            sliced;
        value           uniform (3 0.5 0.5);
    }
    defaultFaces
    {
        type            sliced;
        value           nonuniform 0();
    }
}
```

ちなみに、
面に関しては「face.C」内の
　　Foam::face::centreや
　　Foam::face::normal、
セルに関しては「cellModel.C」内の
　　Foam::cellModel::centreや
　　Foam::cellModel::mag等によって
中心や面積を求めている（と思われる）。
数学的にとことん追いかけたい人は
そちらを参照してください。
（20～30行程度のコード。）

②少しずつ計算してみる。

scalarTransportFoam.Cの計算していそうな部分のコード

```
(・・・)
    for (int nonOrth=0; nonOrth<=nNonOrthCorr; nonOrth++)
    {
        solve
        (
            fvm::ddt(T)
          + fvm::div(phi, T)
          - fvm::laplacian(DT, T)
        );
    }
(・・・)
```

いきなりこれを見ても、正直よくわからない
→プログラマーズガイドをよく見てみる

②少しずつ計算してみる。

プログラマーズガイドによると、

fvm::ddt(T)→陰的な∂T/∂t
fvm::div（phi,T）→陰的な∇・（φT）

…らしい。

「fvm::」を「fvc::」にすることで陽的な値を求めることが出来る。
とあるが、違いがよくわからないので一度出力してみる。

②少しずつ計算してみる。
math.Cの中身を以下のようにしてmake→実行してみる。

```
(・・・)
int main(int argc, char *argv[])
{
(・・・)
#   include "CourantNo.H"
（ここまではscalarTransportFoam.Cそのまま）

    Info<< endl;
    Info<< "------------------" << nl << endl;
    Info<< "fvm::div(U) = " << fvm::div(U) << nl << endl;
    Info<< "fvc::div(U) = " << fvc::div(U) << nl << endl;
    Info<< "----------------

    Info<< "End\n" << endl;
    return 0;
}
```

②少しずつ計算してみる。
math.Cの中身を以下のようにしてmake→実行してみる。

mathFoam.C:79: error: no matching function for call to
‘div(Foam::volVectorField&)’

fvm::div(U)ではエラーとなってmake出来ないことが判明。
fvc::div(U)のみにして再make実行すると成功する。
（温度Tだとfvm::(T)としてもmake可。ベクトルだとダメということらしい）
↓
makeは成功。
しかし、実行すると「スキームが設定されていない」と
エラーメッセージが出力される。

いよいよスキームの話が登場することになる。

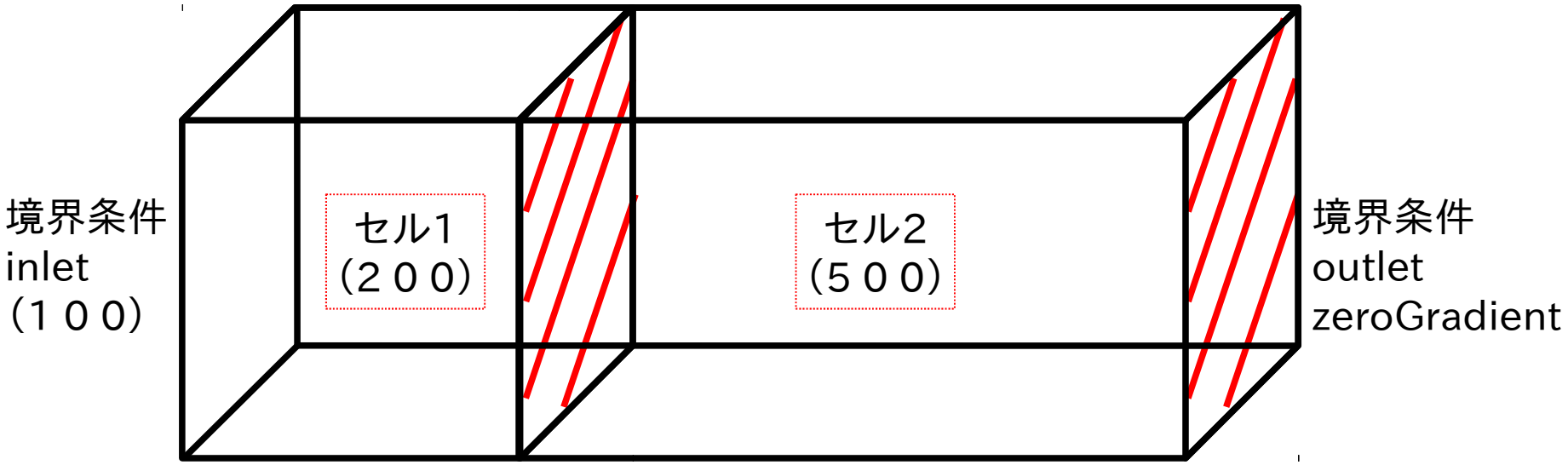
有限体積法による発散の求め方（教科書より）

①もともと値はセル（の中心）で持っている

②セルの中心の値を用いて面の中心の値を求める→値の内挿

③面の中心の値から面全体の値を求める

④面の値をすべて足し合わせ（体積で割ったもの）が発散



②少しずつ計算してみる。
　　math.Cの中身を以下のようにしてmake→実行してみる。

＜面への内挿＞
fvc::interpolate(U)で確認することが出来る。

math.Cにfvc::interpolate(U)を出力するように設定し、makeする。
/system/fvSchemesファイルにスキームを指定して実行。

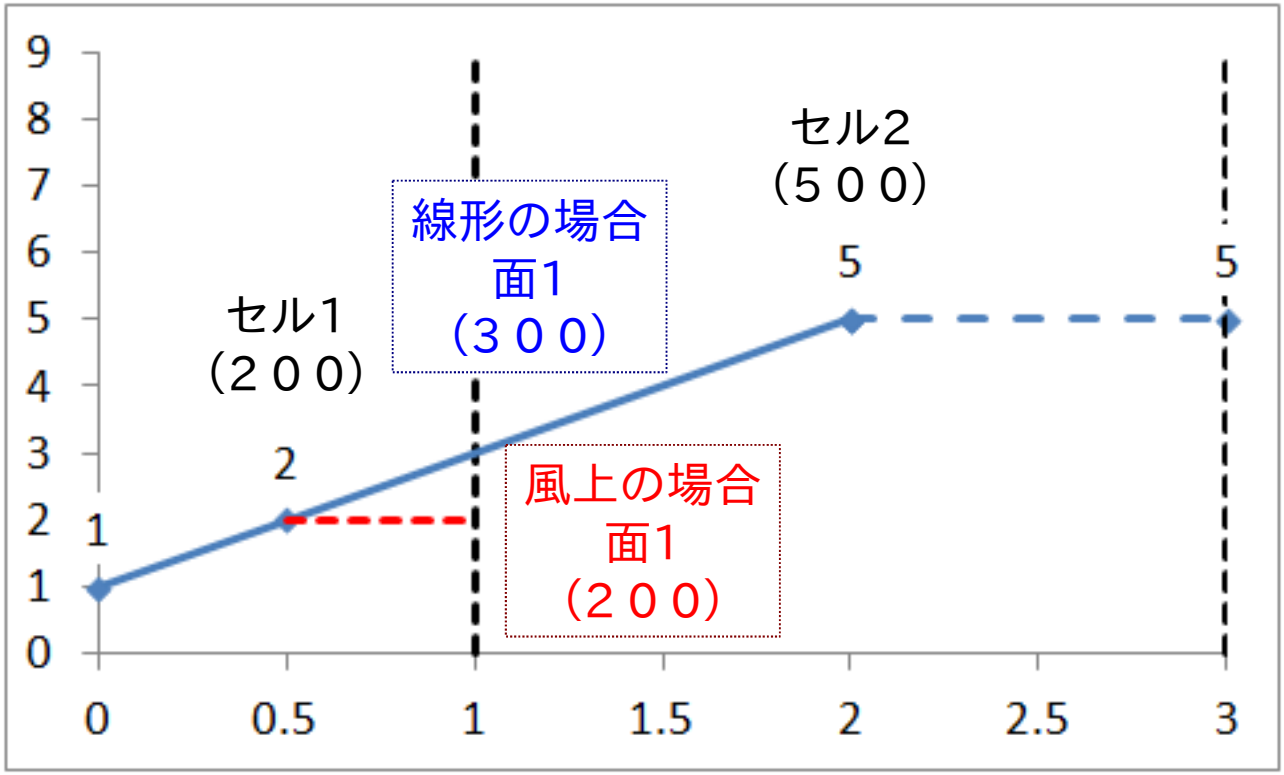
```
interpolationSchemes
{
    default         none;
    interpolate(U)  linear;（線形の場合）
  //interpolate(U)  upwind differenceFactors_;（風上の場合）
}
```

Uの内挿　<fvc::interpolate(U)>

```
interpolate(U) = dimensions      [0 1 -1 0 0 0 0];

internalField   uniform (3 0 0);

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            calculated;
        value           uniform (1 0 0);
    }
    outlet
    {
        type            calculated;
        value           uniform (5 0 0);
    }
    defaultFaces
    {
        type            empty;
    }
}
```

```
interpolate(U) = dimensions      [0 1 -1 0 0 0 0];

internalField   uniform (1 0 0);

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            calculated;
        value           uniform (1 0 0);
    }
    outlet
    {
        type            calculated;
        value           uniform (5 0 0);
    }
    defaultFaces
    {
        type            empty;
    }
}
```

0/Uの内挿　スキームによる違い



境界条件
inlet
（１００）

境界条件
outlet
zeroGradient

②少しずつ計算してみる。
　math.Cの中身を以下のようにしてmake→実行してみる。

＜面への内挿から面全体の値＞
fvc::interpolate(U)と面の面積ベクトルmesh.Sf()の内積。

→fvc::interpolate(U)&mesh.Sf()

＜面全体の値を足し合わせてセルの体積で割る＞
fvc::surfaceIntegrate()という関数が用意されている。

→fvc::surfaceIntegrate(interpolate(U)&mesh.Sf())
→これが、fvc::div(U)と等しくなる。

スキームの設定を合わせて確かめてみる

Uの発散　<fvc::div(U)>　※fvSchemesの設定

```
divSchemes
{
    default         none;
//    div(phi,U)      Gauss linear;（線形）
    div(phi,U)      Gauss upwind differenceFactors_;（風上）
//    div(U)          Gauss linear;（線形）
    div(U)          Gauss upwind differenceFactors_;（風上）
}

interpolationSchemes
{
    default         none;
//    interpolate(U)  linear;（線形）
    interpolate(U)  upwind differenceFactors_;（風上）
}
```

Uの発散　<fvc::div(U)>　※風上スキームを指定した例

```
fvc::div(U) =
dimensions      [0 0 -1 0 0 0 0];

internalField   nonuniform List<scalar> 2(1 1.5);

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            zeroGradient;
    }
    outlet
    {
        type            zeroGradient;
    }
    defaultFaces
    {
        type            empty;
    }
}
```

```
fvc::surfaceIntegrate(interpolate(U)&Sf) =
dimensions      [0 0 -1 0 0 0 0];

internalField   nonuniform List<scalar> 2(1 1.5);

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            zeroGradient;
    }
    outlet
    {
        type            zeroGradient;
    }
    defaultFaces
    {
        type            empty;
    }
}
```

③方程式を考えてみる

対流項だけの運動方程式（？）を考える。

$\partial U / \partial t = \int_V \nabla \cdot (\phi U) dV$

→fvm::ddt(U) = fvc::div(phi,U)

fvc::ddt(U) = fvc::div(phi,U)　とは出来ない。

fvcとは値がすでにはっきりしているもの？
　　→だからfvc=fvcは方程式ではない。
fvmとはddtで言えばU（t+Δt）のように不明な変数を含む？

③方程式を考えてみる

流速phiの設定

ソルバによってphiの求め方が色々あるようだが、
ここではスキームの確認のため、自分でphiを設定してしまう。
（scalarTransportFoamではUの内挿に線形スキームを
　使用してphiを求める設定になっている）

phi　＝　（面に内挿したUの値）・（面の面積ベクトル）
コードにphiの生成を直接追加する。
→phi = fvc::interpolate(U)&mesh.Sf();

③方程式を考えてみる

div(phi,U)の確認

fvc::div(phi,U)は今までのdivの考察から、

→fvc::surfaceIntegrate(phi*fvc::interpolate(U))

となる。

③方程式を考えてみる

方程式のコード

solve（fvm::ddt(U) == fvc::div（phi,U））

とすることで、計算時間がΔtだけ進む。
Uを出力させるとΔtだけ進んだ値になっている。

それとは別に、「runTime」というオブジェクトが時刻を持つ。
＜時刻関係の出力＞
runTime.timeName() : runTimeの時刻
runTime.deltaT().value : deltaT
runTime.write() : 結果ファイルを出力する

③方程式を考えてみる

以下のコードで対流項のみの方程式の計算が実行できる。

```
(・・・)
    phi = fvc::interpolate(U)&mesh.Sf();
    for(int n=1; n<=5; n++){
        solve(fvm::ddt(U) == fvc::div(phi,U));  runTime++;
        phi = fvc::interpolate(U)&mesh.Sf();
        runTime.write()
    }
    Info<< "End\n" << endl;
    return 0;
}
```

③方程式を考えてみる

以下のコードでも全く同じ計算が出来る

```
(・・・)
    for(int n=1; n<=5; n++){
        solve(fvm::ddt(U) ==
        fvc::surfaceIntegrate((fvc::interpolate(U)&mesh.Sf())*fvc::interpolate(U)));
        runTime++;
        runTime.write()
    }
    Info<< "End\n" << endl;
    return 0;
}
```

捕捉

今回は陽解法（solve（fvm==fvc））を用いているので、
線形ソルバは用いていない。
（fvSolutionファイルは必要だが、中身は使用されていない。）

陰解法で解く場合は以下のようにする。

→solve（fvm::ddt(U) - fvm::div（phi,U））

「==」ではなく、「-」になっている。
陰解法を使用する場合は別途fvSolutionの設定が必要となる

以上、ご清聴ありがとうございました。

いろんな方の勉強会へのご参加をお待ちしています。

勉強会の日程、参加のお知らせは
Googleグループのフォーラムにて随時お知らせしています。

勉強会
https://groups.google.com/forum/#!forum/openfoambeginner
またはユーザー会
https://groups.google.com/forum/#!forum/openfoam