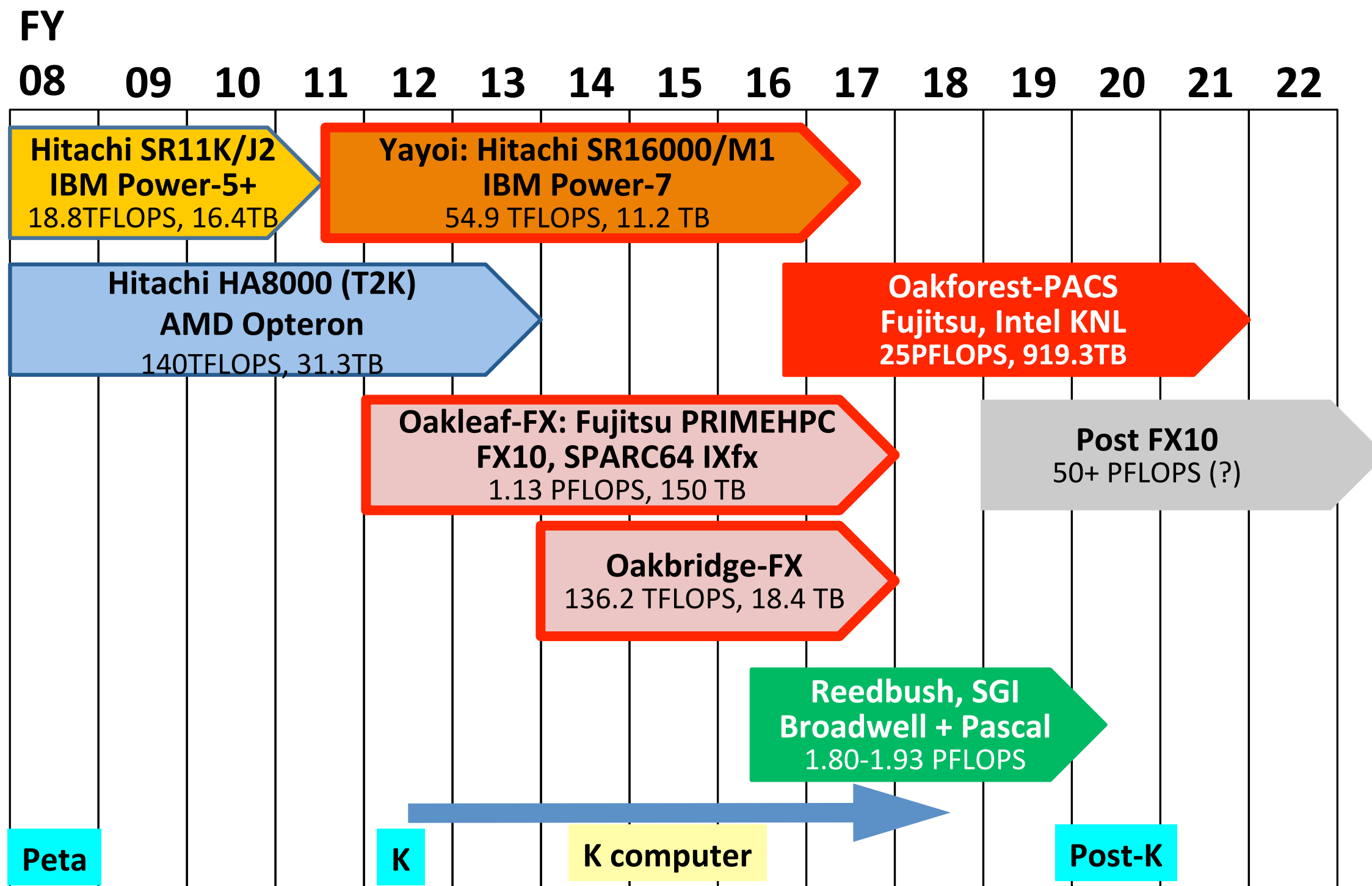

東京大学情報基盤センター
お試しアカウント付き並列プログラミング講習会

「Oakforest-PACS概要・OpenFOAM概要」

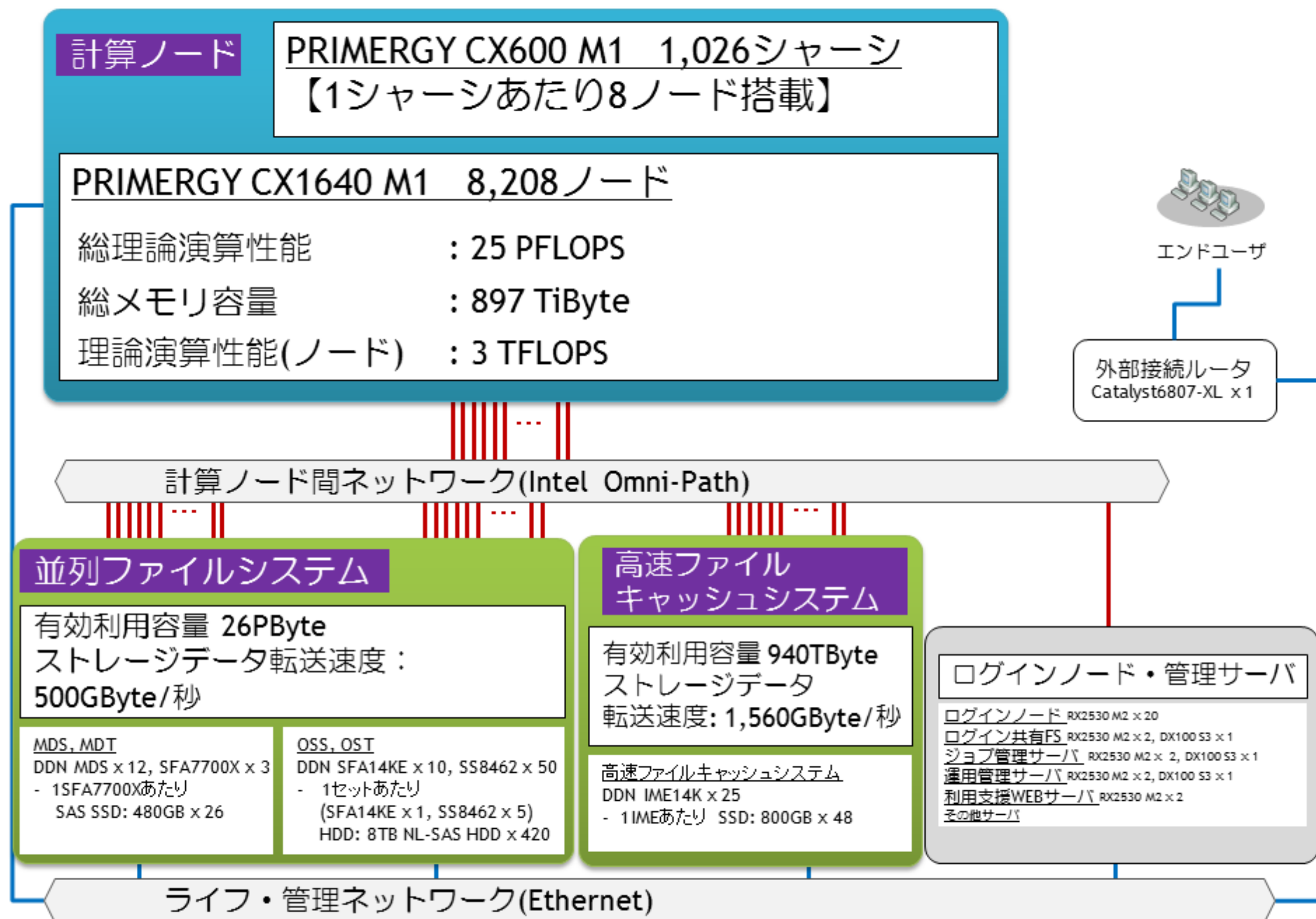
今野 雅
(東京大学客員研究員・株式会社OCAEL)

東京大学情報基盤センターの運用システム



これまでは概ね2基の大型システム、約6年サイクルで更新

Oakforest-PACS(OFP)のシステム構成



OFPのハードウェア全体構成

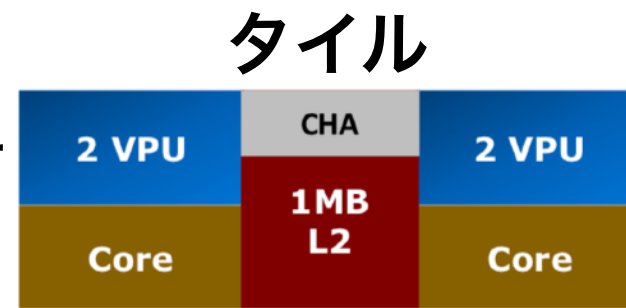
項目		仕様
総理論演算性能		25.004 PFlops
総ノード数		8208
総主記憶容量		897 TByte
ネットワークトポロジー		Full-bisection Fat Tree
並列ファイルシステム	システム名	Lustreファイルシステム
	サーバ(OSS)	DDN SFA14KE
	サーバ(OSS)数	10
	ストレージ容量	26 PB
	ストレージデータ転送速度	500 GB/sec
高速ファイルキャッシュシステム	サーバ	DDN IME14K
	サーバ数	25
	容量	940 TB
	ストレージデータ転送速度	1,560 GB/sec

OFPのノード構成

項目		仕様
マシン名		Fujitsu PRIMERGY CX1640 M1
CPU	プロセッサ名	Intel® Xeon Phi™ 7250 (開発コード名: Knights Landing)
	プロセッサ数(コア数)	1 (68)
	周波数	1.4 GHz
	理論演算性能	3.0464 TFlops
Memory		96 GB(DDR4) + 16 GB(MCDRAM)
インターコネク		Intel® Omni-Path ネットワーク(100 Gbps)

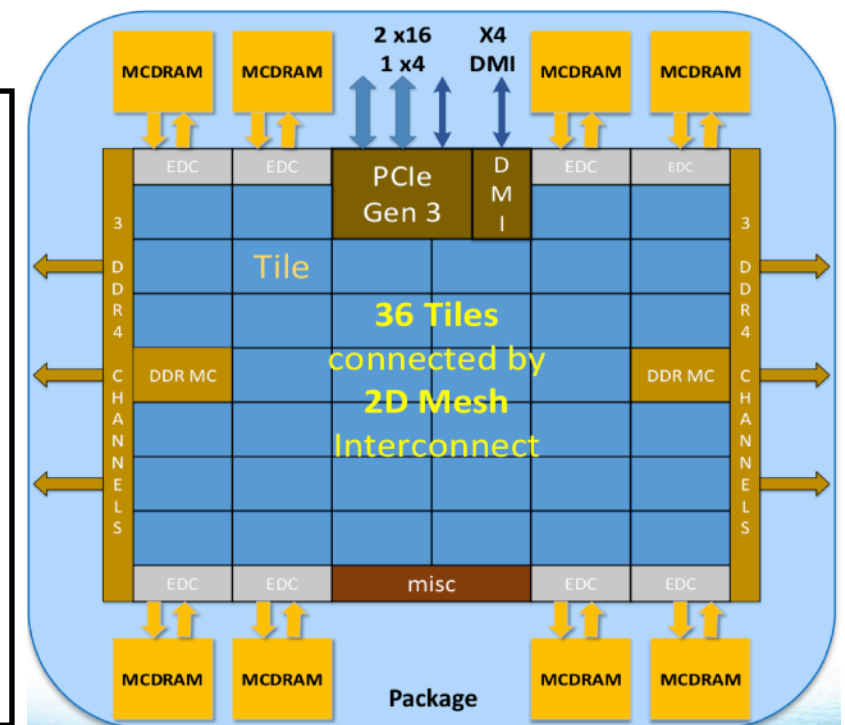
Xeon Phi 7250(Knights Landing, KNL)プロセッサ

- プロセッサ: 34タイル
- タイル: コア×2 + 共有L2キャッシュ
- コア: Atom(1.4GHz)
- メモリ



- ✓ MCDRAM: 16GB, 490~GB/s(注, 高バンド幅)
- ✓ DDR4: 96GB, 115.2GB/s(大容量)

図出典: Hotchips 27 (注) Stream Triadベンチマーク



OFPの利用料金

- **パーソナルコース：年間10万円(1口あたり)、最大3口まで**
 - ✓ トークン：17,280ノード時間(2ノード×24時間×360日分)
 - ✓ 消費係数：1(8ノード以下), 2(8ノード超)
 - ✓ ディスク：並列ファイルシステム1TB
 - ✓ 企業利用無し
- **グループコース：申込8ノードあたり年間40万円(企業48万円)**
 - ✓ トークン：Nノード×24時間×360日分 (N：申込ノード数)
 - ✓ 消費係数：1(Nノード以下), 2(N超)
 - ✓ ディスク(グループ当り)：並列ファイルシステム8TB
- **1年未満で月数別利用負担制度もあり**
- **企業利用(グループのみ)は利用審査があり、簡単な成果公開が必要**
- **Reedbushとのトークン相互交換可能(一般利用のみ、企業、HPCI等では不可)**
- **1週間お試しアカウント付き講習会(年10回程度)、トライアルユース(無償・有償)有り**

トライアルユース

有償トライアルコース(安価)

無償トライアルコース(企業のみ)

- アカデミック利用：最大3ヶ月

- ✓ パーソナルコース
- ✓ グループコース

- 企業利用

- ✓ パーソナルコース：最大3ヶ月

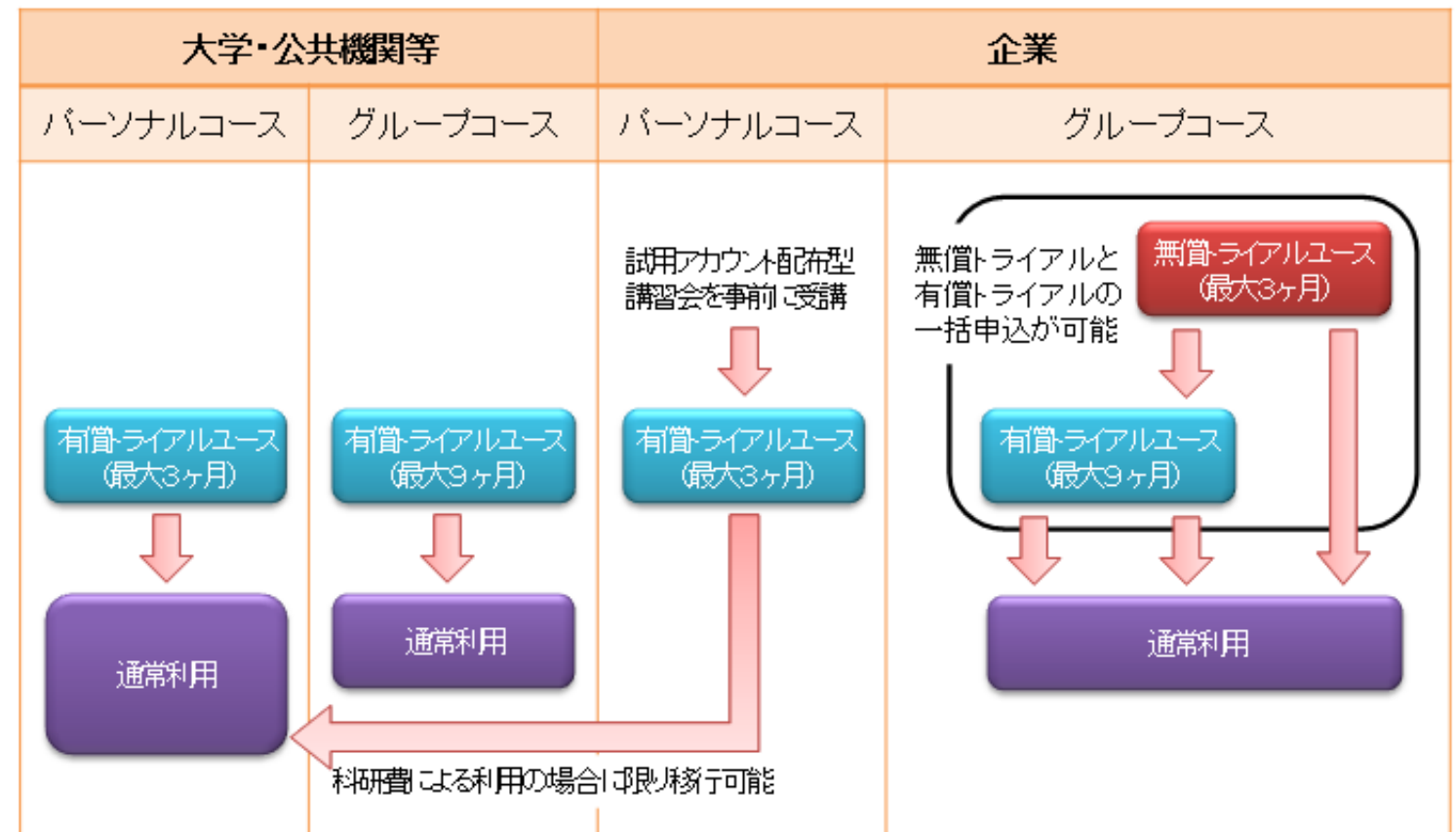
- 本講習会の受講が必須、審査無

- ✓ グループコース

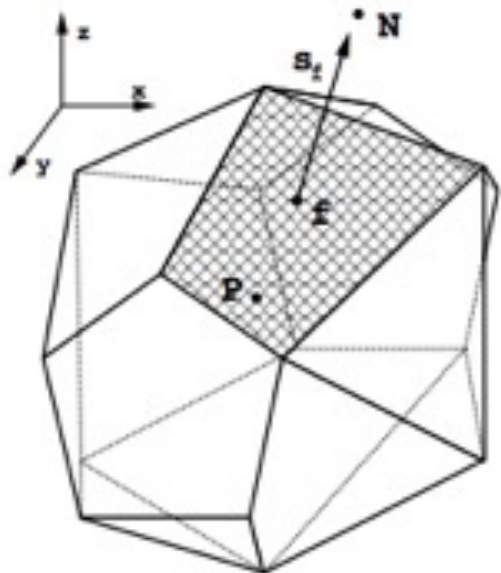
- 無償トライアルユース：最大3ヶ月
 - 有償トライアルユース：最大9ヶ月

- スーパーコンピュータ利用資格者審査委員会の審査が必要（年2回実施）

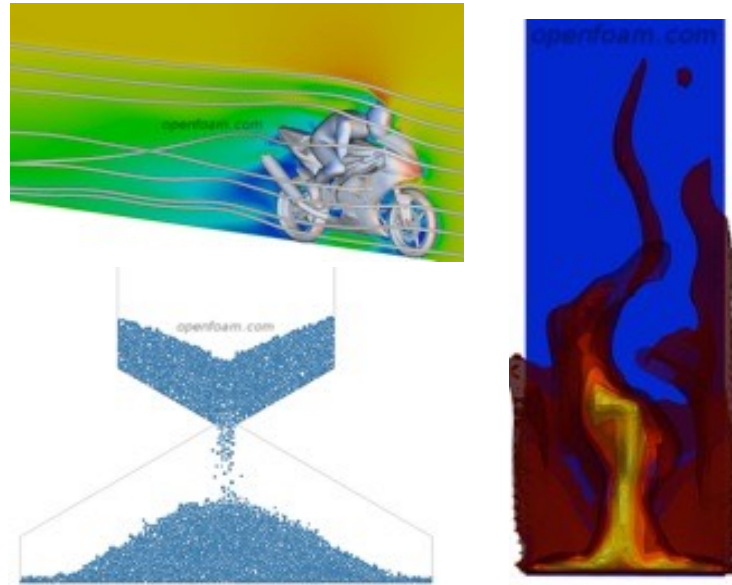
- ✓ 双方のコースともに、簡易な利用報告書の提出が必要



OpenFOAM概要



有限体積法
ポリヘドラル



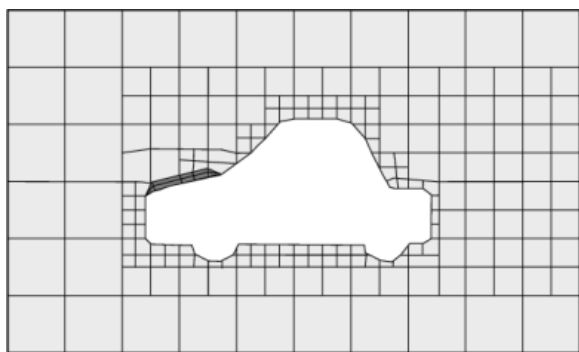
マルチフィジックス

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (UT) + \nabla \cdot (\alpha \nabla T) = S_T$$



```
solve(fvm::ddt(T)
+ fvm::div(phi,T)
- fvm::laplacian(DT,T)
== fvOptions(T));
```

C++



境界適合Hex
メッシュャー

乱流モデル:
RAS, LES, DES, ...
線型ソルバー:
AMG, PCG, PBiCG, ...
離散化スキーム: ...
多数のモデル実装済

GPL

Open Source

カスタマイズ可能
低コストな超並列計算

図出典: [OFF] The OpenFOAM Foundation (<http://www.openfoam.org/>)

OpenFOAMの歴史

- 1989年－2000年：**研究室のFORTRANコード時代**、開発元：英Imperial CollegeのGosman研(Star-CDの開発元)の Henry Weller, Charlie Hill
- 1993年夏：**事故により全コード消失**。C++で書き直し(FOAM)
- 1999年－2004年：**商用コード期 (FOAM)** Field Operation And Manipulationの略、開発元：▽Nabla(Henry, Hrvoje Jasak, Mattijs Janssensら)、代理店：CAEソリューションズ(元フルイドテクノロジー)
- 2004年12月：**オープンソース化 (現在のOpenFOAMに名称変更)**、開発元：OpenCFD(Henry, Mattijs, Chris Greenshields)
- 2011年8月15日：**SGIによる買収**、GPL下のソースの管理や配布は、同時に設立されたThe OpenFOAM® Foundationが運用
- 2012年9月12日：**ESIによる買収**、Foundationによる運用は継続
- 2014年：**Henryらが独立(CFD Direct社)**。ソースはFoundationが管理

標準ソルバー・チュートリアルのカテゴリ

カテゴリ名	カテゴリ内容	カテゴリ名	カテゴリ名
DNS	直接数値解析	finiteArea	有限面積法
basic	基礎的なCFDコード	heatTransfer	熱輸送
combustion	燃焼	stressAnalysis	固体応力解析
compressible	圧縮性流れ	incompressible	非圧縮性流れ
discreteMethods	離散要素法	lagrangian	ラグランジアン粒子追跡
electromagnetics	電磁流体	multiphase	多層流
financial	金融工学		

リリース年	2016				2017			2018		
リリース月	Jun	Oct	Jul	Dec	Jun	Jul	Dec	Jun	Jul	Dec
バージョン	4.0	4.1	v1606	v1612	v1706	5.0	v1712	v1806	6	v1812
カテゴリ	12	12	12	12	12	12	13	13	12	13
ソルバ	82	82	86	86	95	86	101	98	80	99
チュートリアル	207	207	226	253	284	229	298	322	240	337

注) 青色バージョン：OpenFOAM Foundation系, 赤色バージョン：Plus(ESI)系

Foundation系はv1606+以降に採用されたMPIのメモリ使用量最適化がなされておらず、概ね2,000並列以上で使用量が莫大に増加するので、大規模並列ではPlus系を使用する必要がある

チュートリアルとは

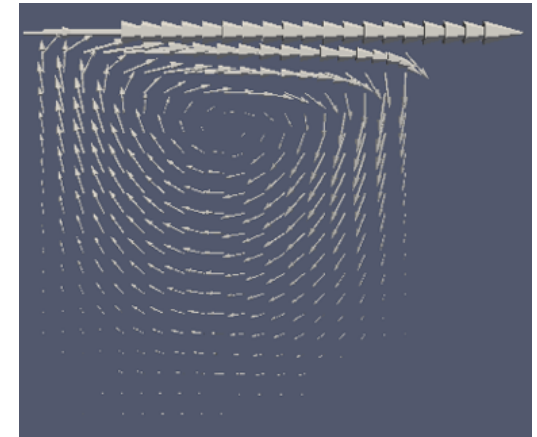
▶ チュートリアルとは

✓ OpenFOAM標準ソルバーの実行例

✓ foamRunTutorials コマンドにより自動的に解析が実行できる

▶ ユーザガイド第2章で扱っているチュートリアル

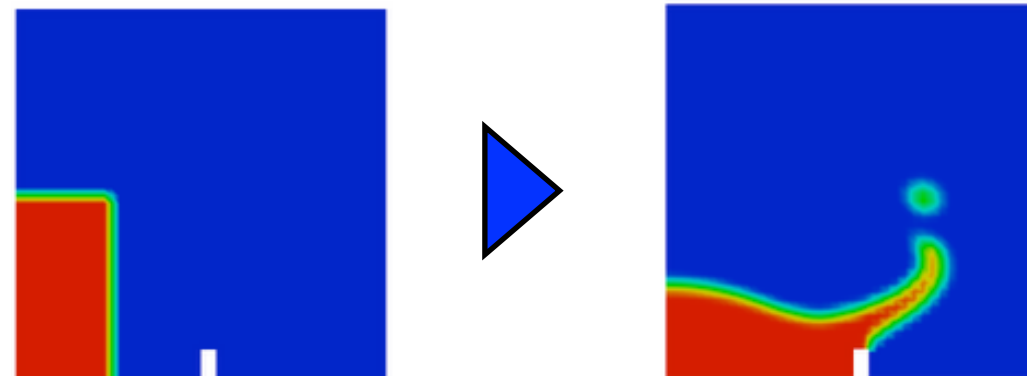
✓ cavity : 天井駆動のキャビティ流れ



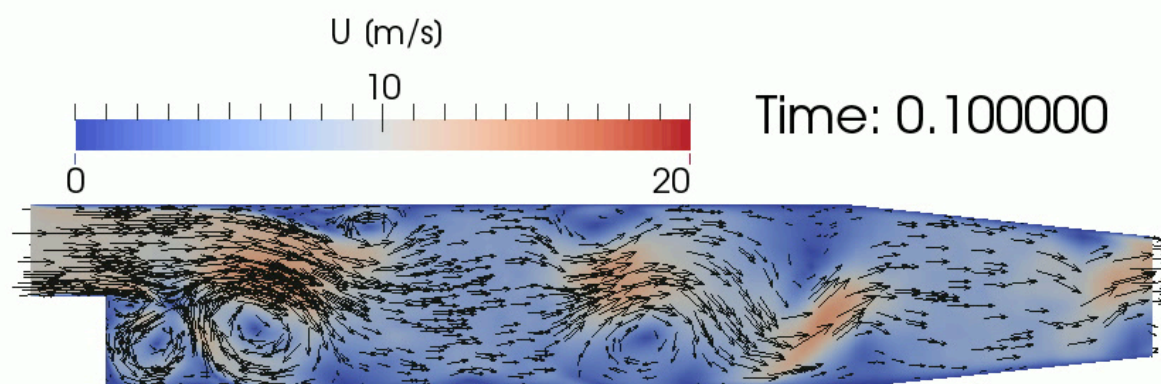
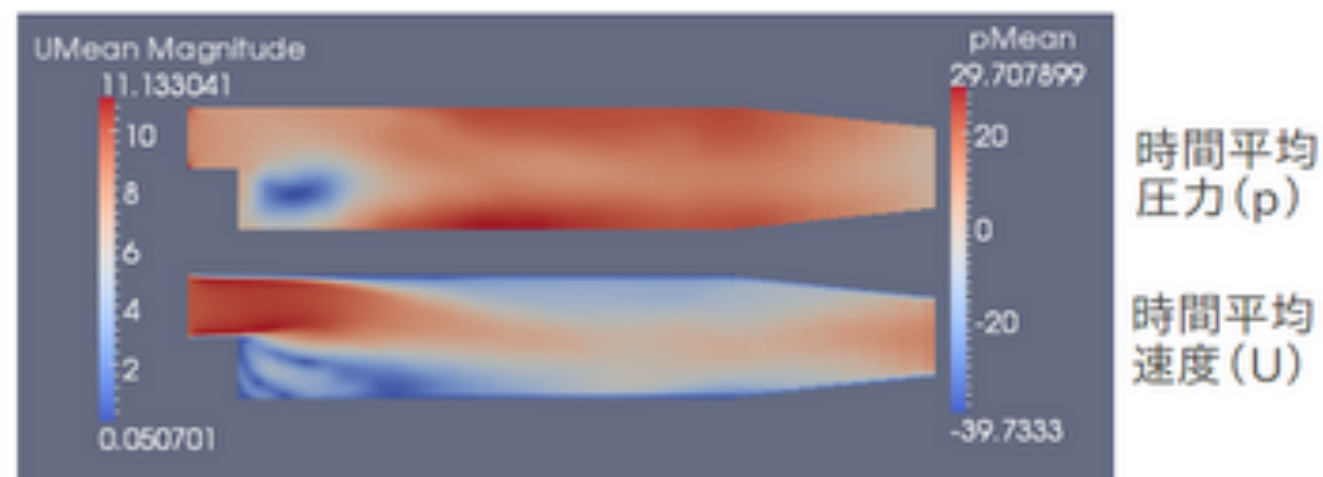
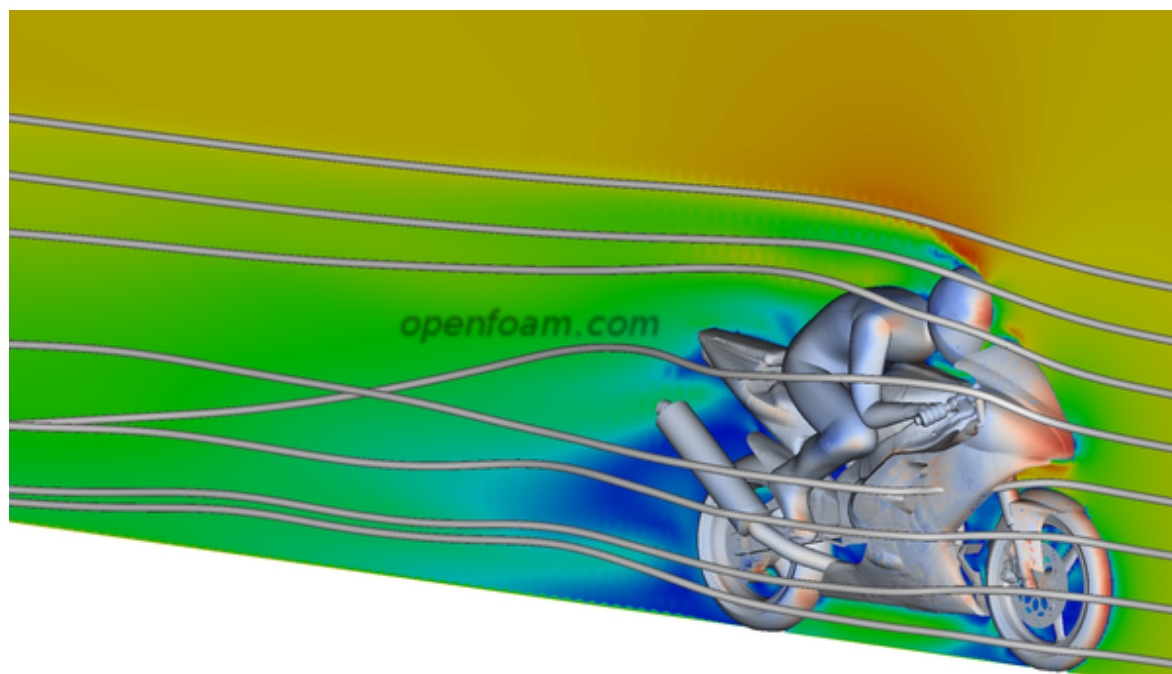
✓ plateHole : 穴あき板の応力解析



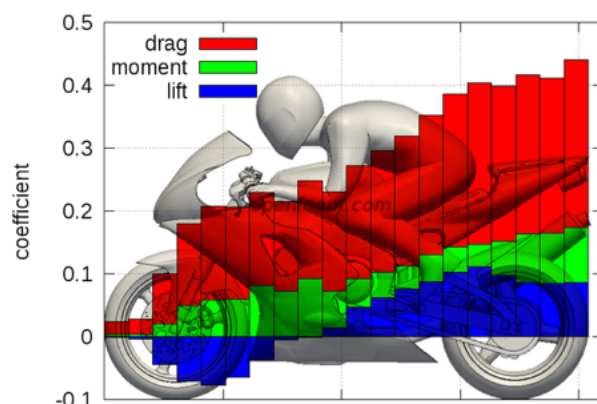
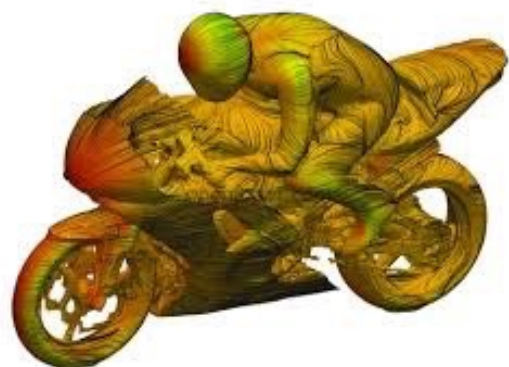
✓ damBreak : ダムの決壊



単相等温流れのチュートリアル例



バックステップ流れ(LES)
pitzDaily

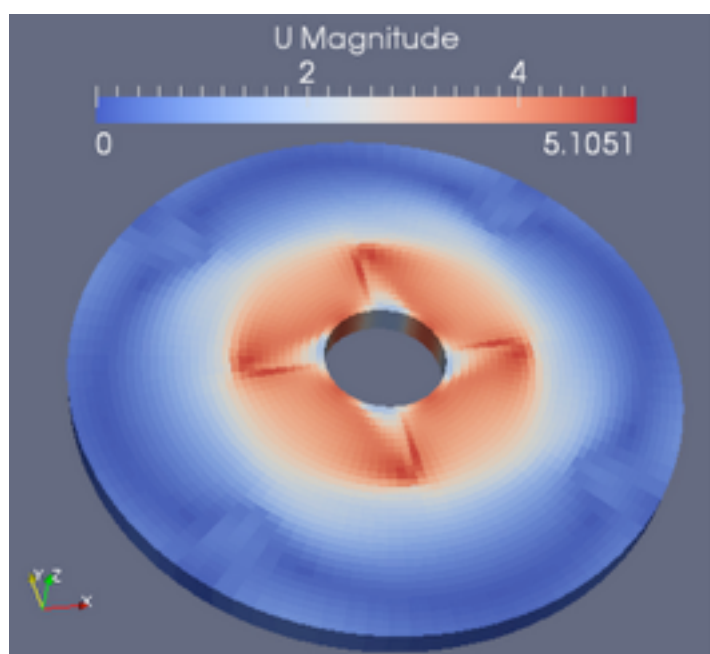
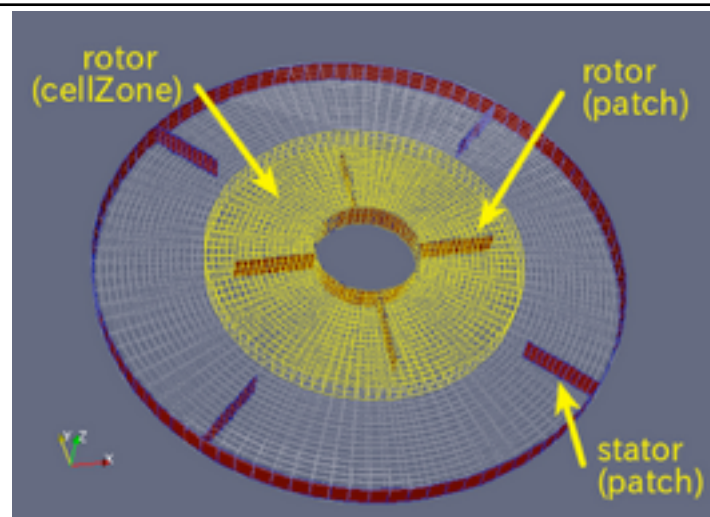


バイク周りの流れ
moterBike

図出典: [OFF]

[OFT] オープンCAE勉強会@関西OpenFOAMチュートリアルドキュメント作成プロジェクト

回転攪拌槽のチュートリアル例

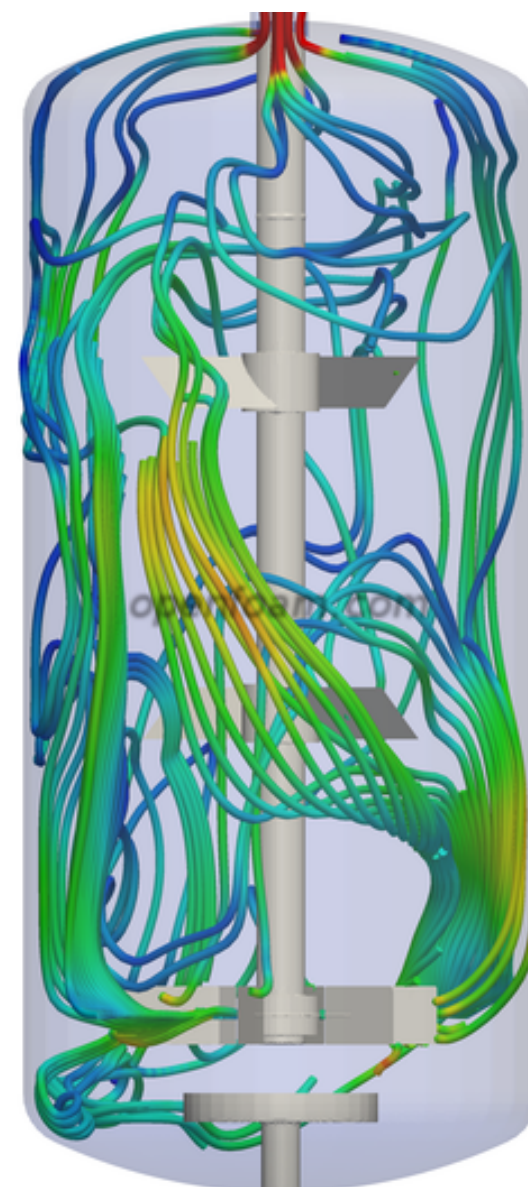


回転攪拌槽の流れ(MRF)
mixerVessel2D

図出典
[OFT]

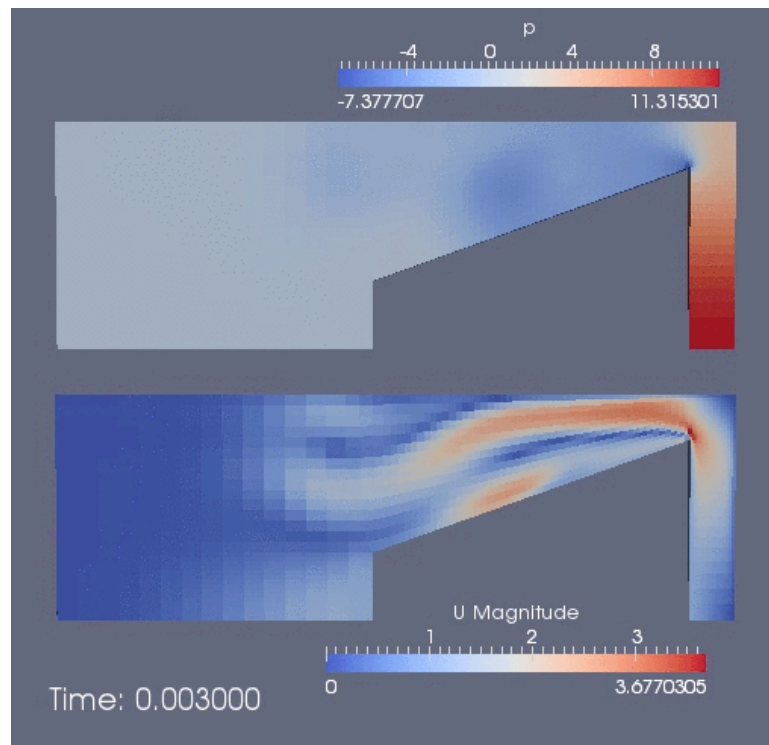
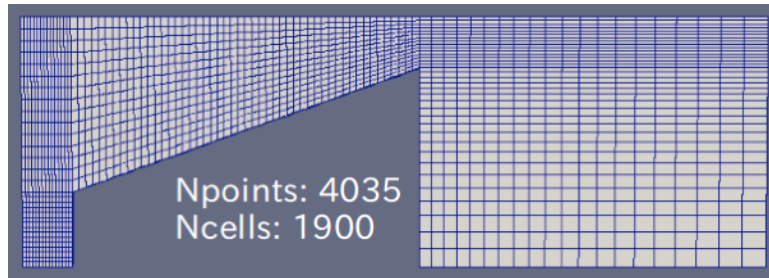


回転攪拌槽内の流れ(移動格子・AMI)
mixerVesselAMI

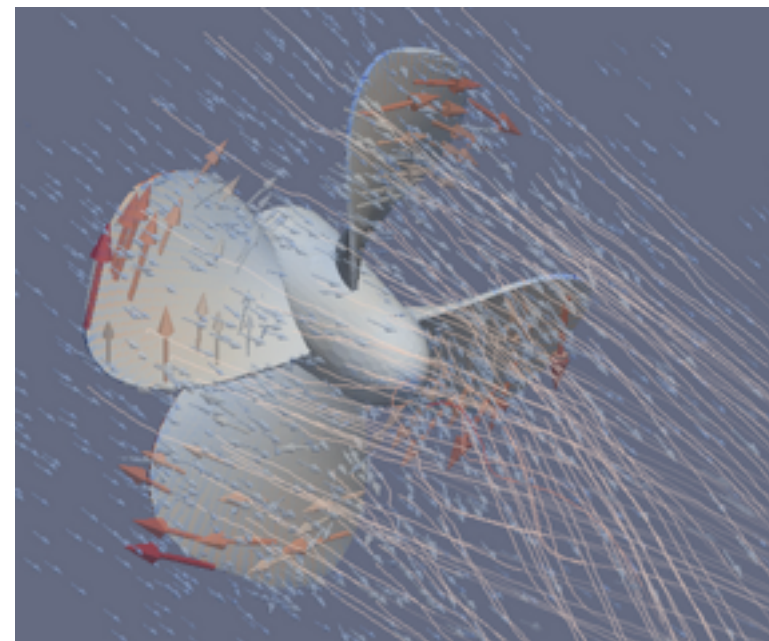
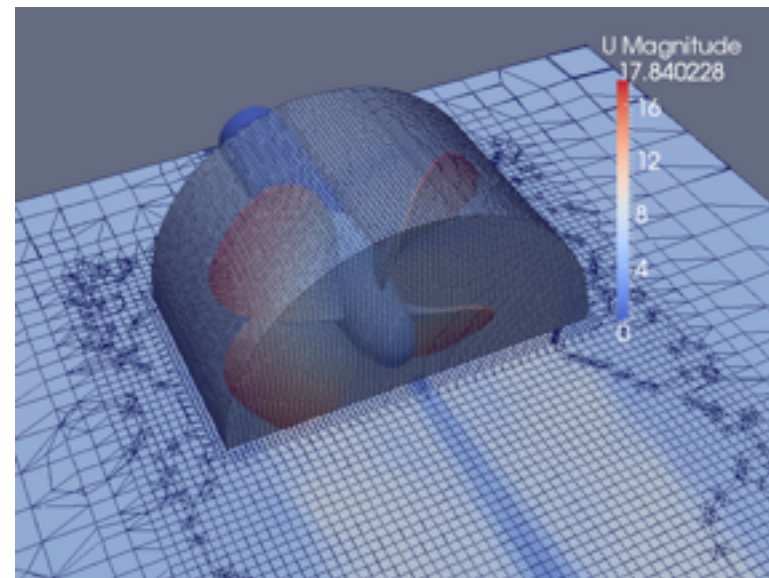


MRF: Multiple Reference Frame(回転領域内で遠心・コリオリ力を付加し, 回転座標系で解く)
AMI: Arbitrary Mesh Interface(移動格子と静止格子上でのパッチ間で諸量の補間処理等を行う)

移動格子のチュートリアル例

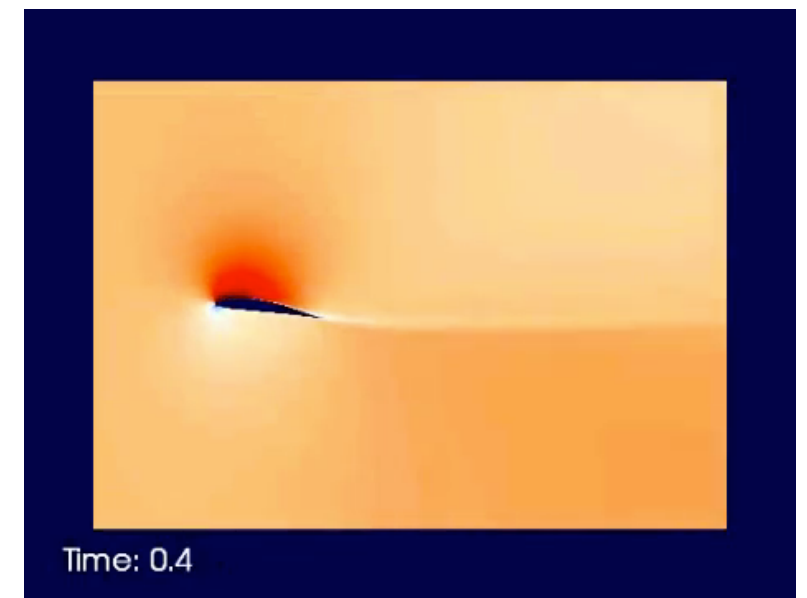
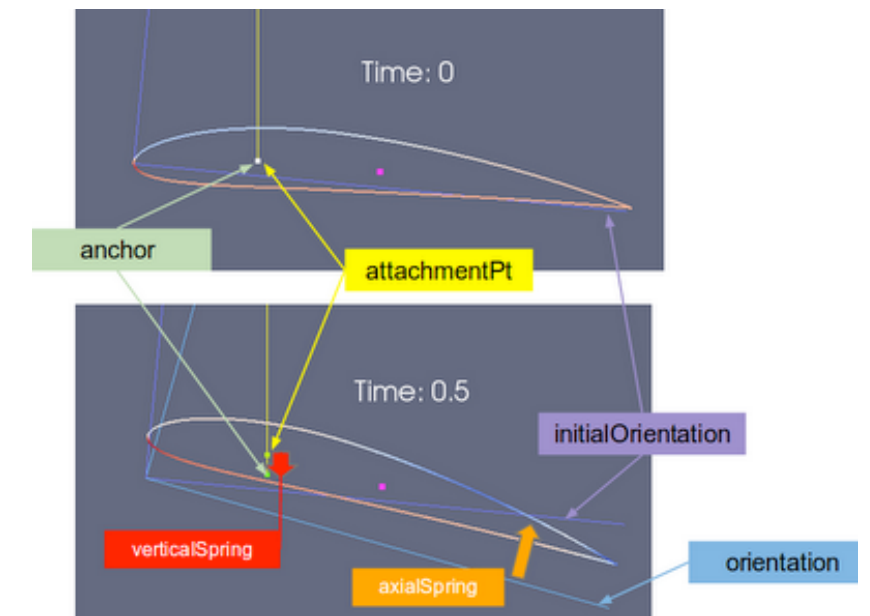


ピストン押し込み流れ
movingCone



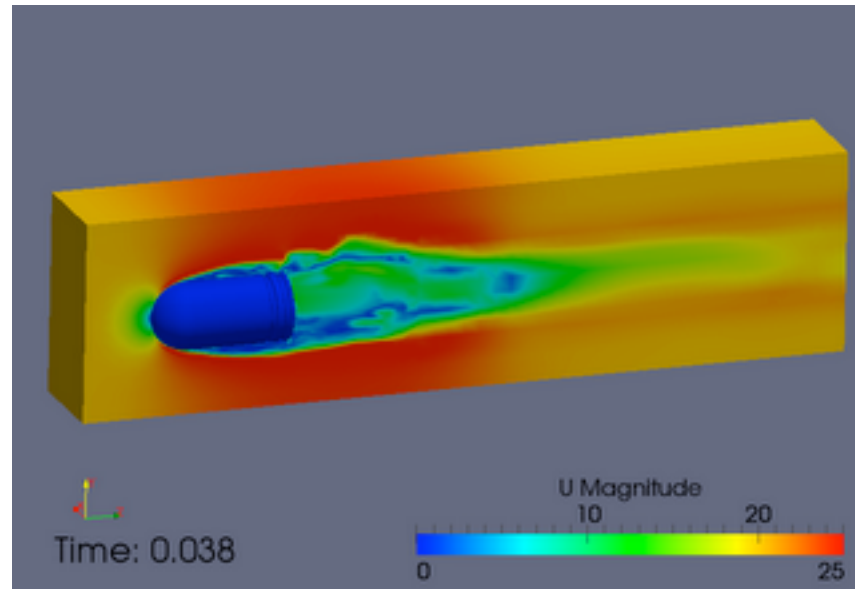
スクリューの回転流れ場
propeller

図出典 [OFT]

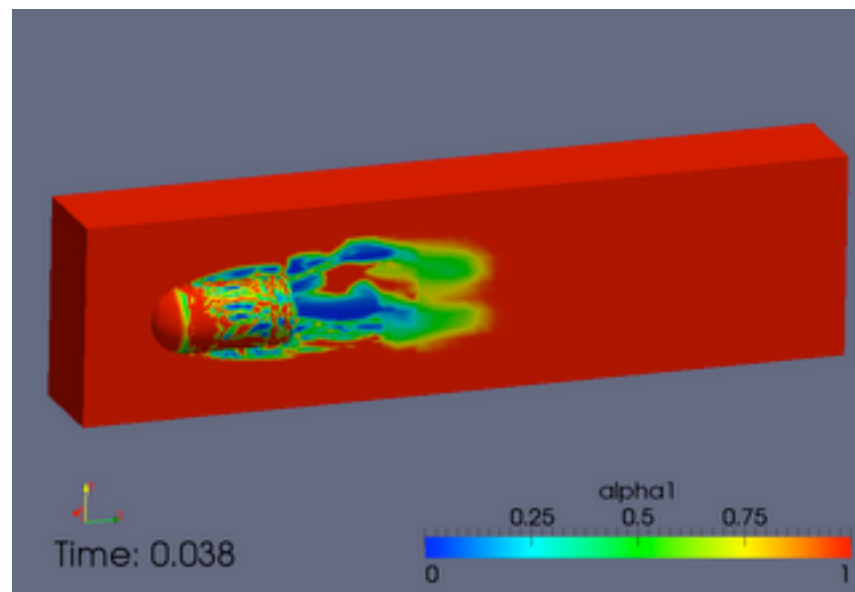
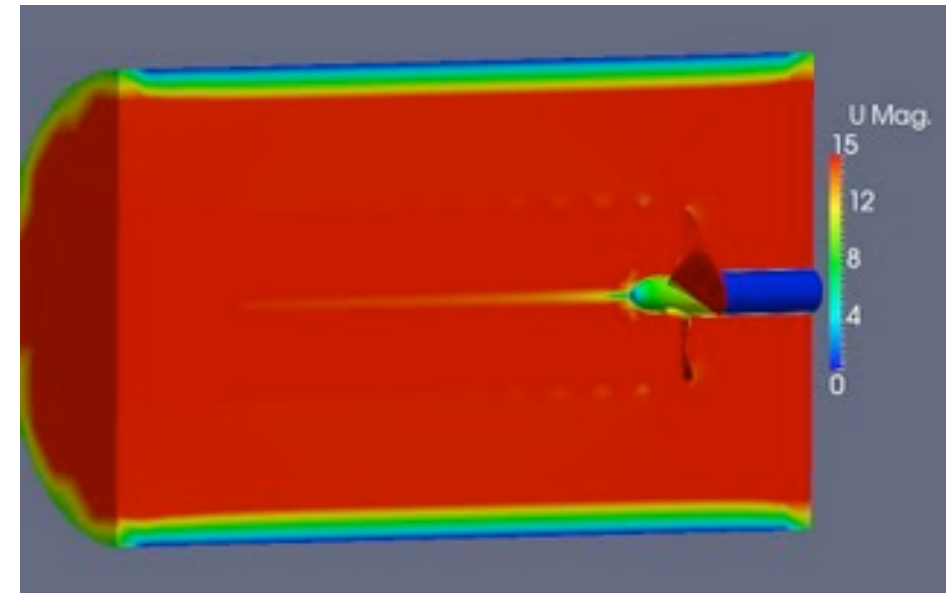


翼型の6自由度剛体運動
wingMotion

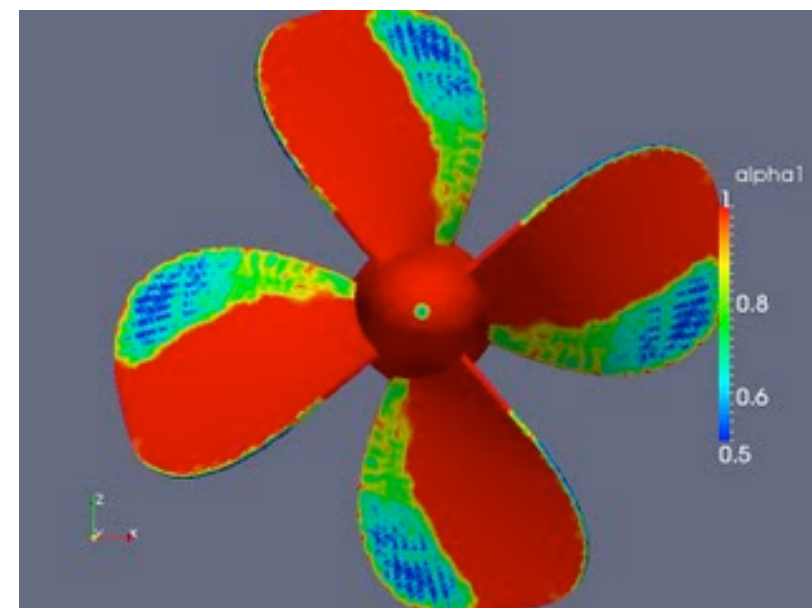
相変化のチュートリアル例



速度



相率



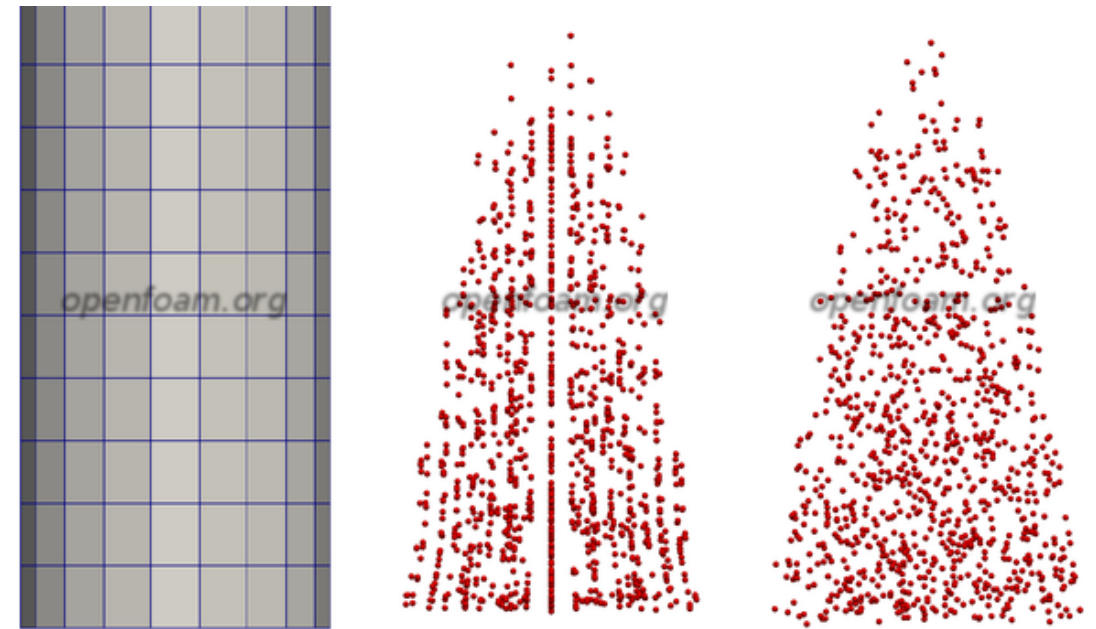
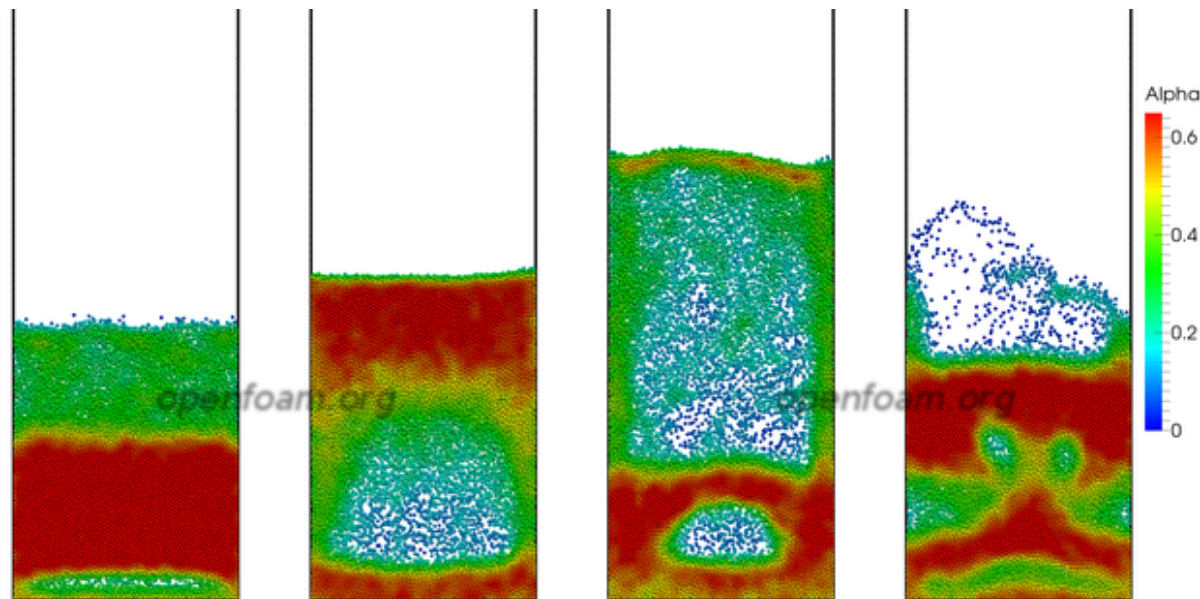
弾丸周りのキャビテーション
cavitatingBullet

プロペラ周りのキャビテーション
propeller

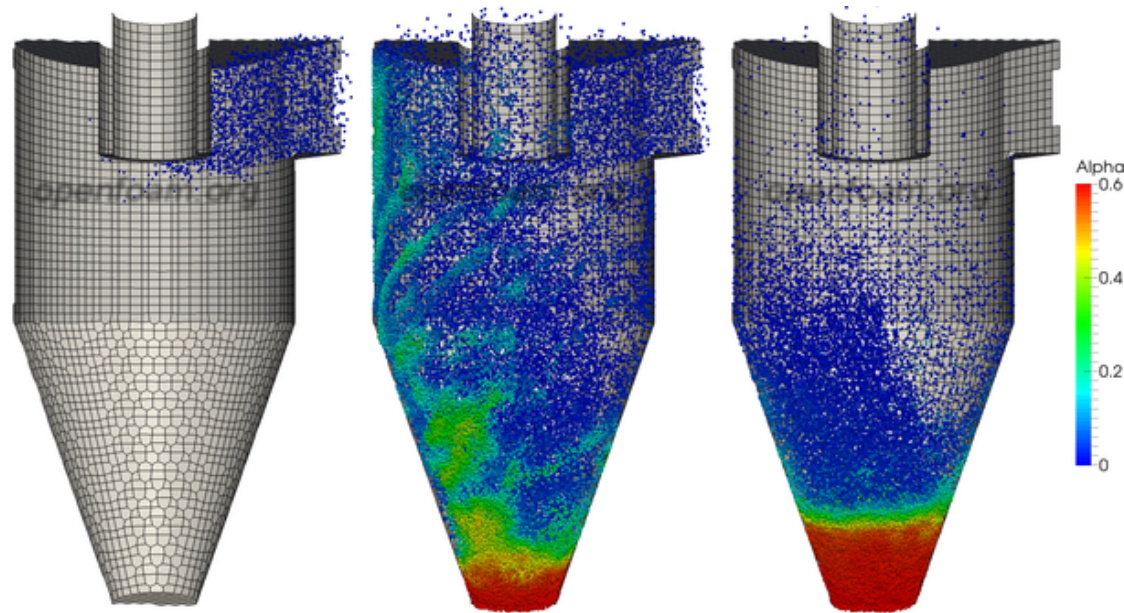
図出典 [OFT]

粒子計算のチュートリアル例

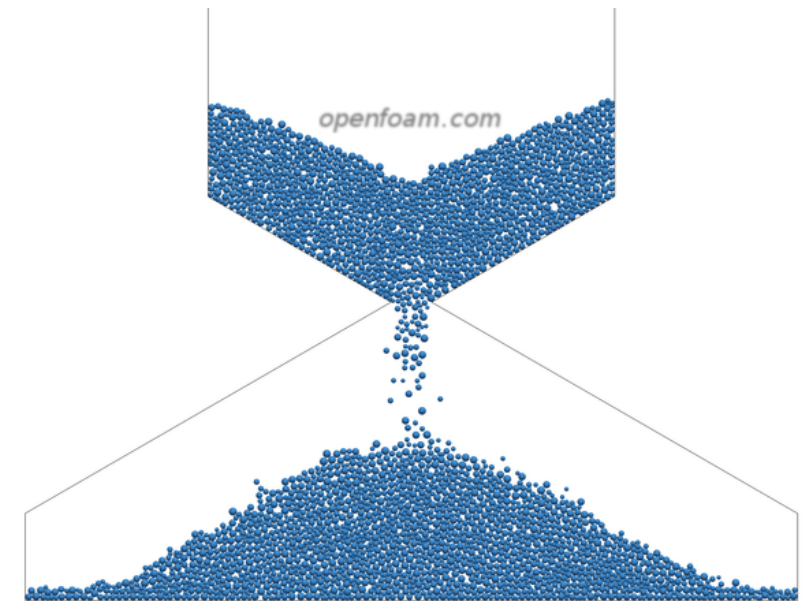
図出典: [OFF]



Particle Tracking

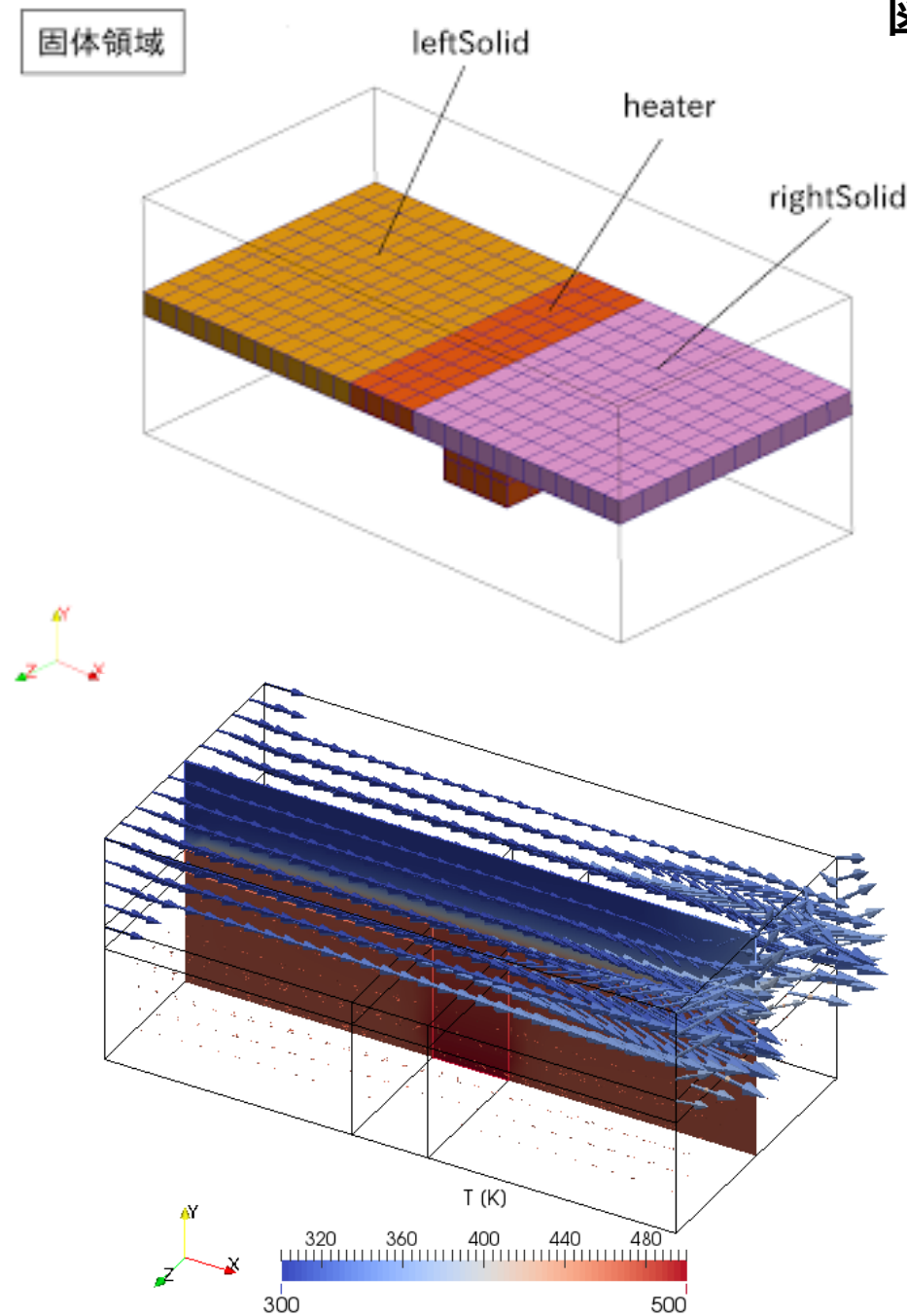


Multiphase Particle-in-Cell
(MP-PIC)

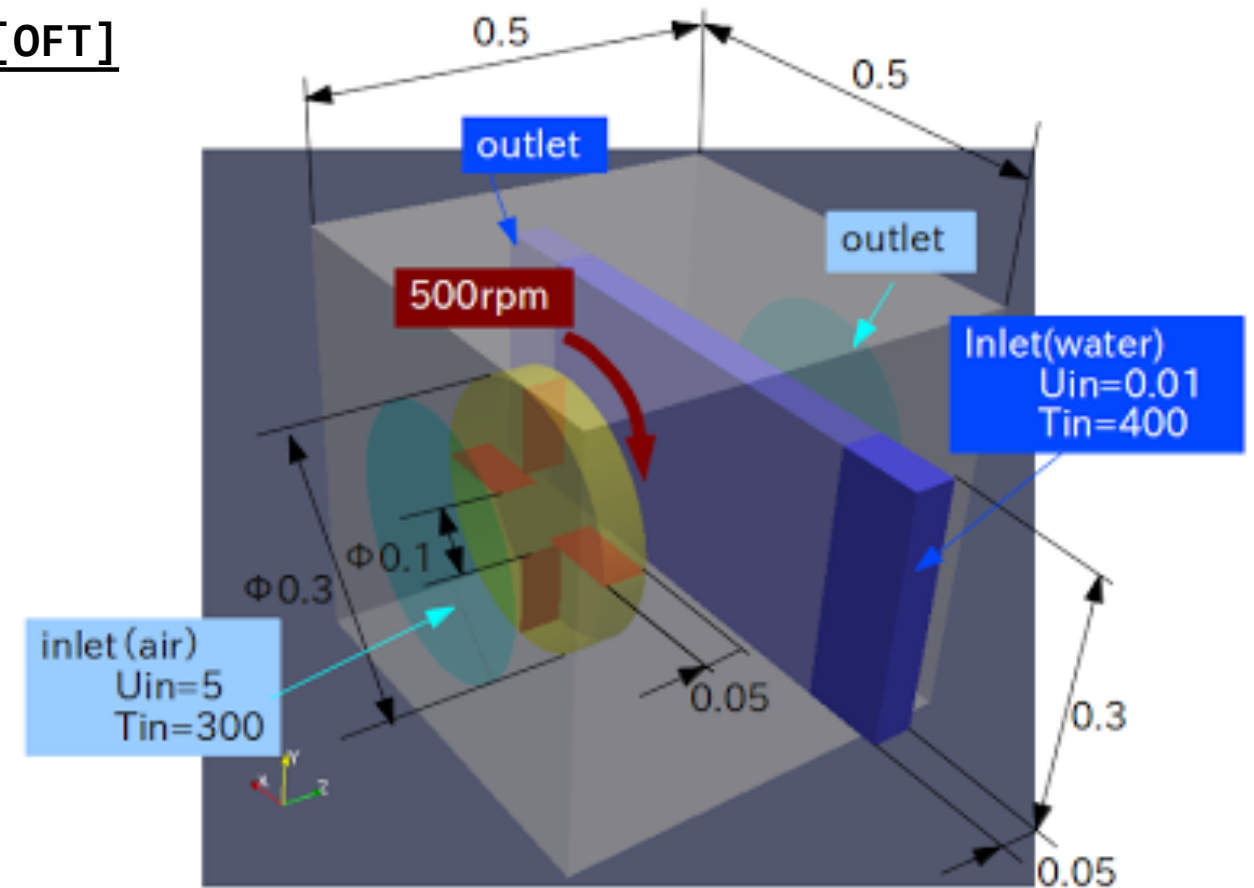


Discrete Element Modeling
(DEM)

連成熱伝達解析(CHT)のチュートリアル例



図出典 [OFT]



回転する熱交換機解析(MRF)
heatExchanger

OpenFOAMのCHT解析における欠点

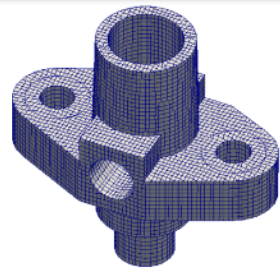
- エネルギー保存式を全領域で連成せず、領域毎に解くので収束が遅い
- 形態係数を用いた放射解析の精度が悪い
- 熱収支計算が容易ではない(熱解析共通)

連成熱伝達解析
multiRegionHeaterRadiation

OpenFOAMでの代表的な解析手順

前処理(格子生成など)

格子生成
[blockMesh,
snappyHexMeshなど]



または

格子生成(サードパー
ティ)
[cfMesh, Salome, gmesh
商用メッシャー等]

必要あれば格子変換
[gmshToFoam等]

解析

初期設定
[setFields等]

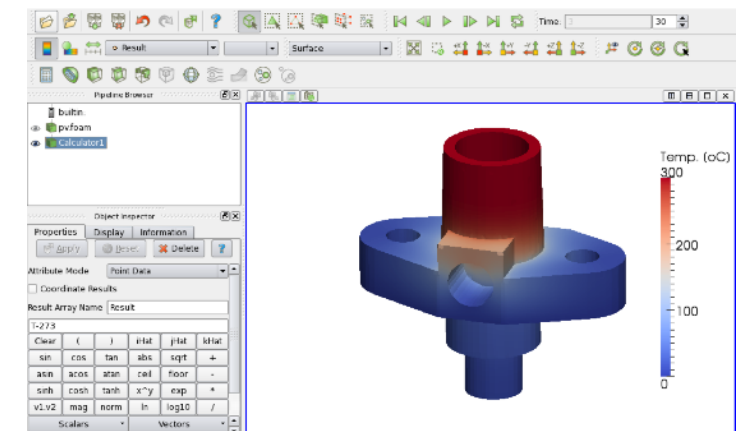
領域分割(並列計算時)
[decomposePar]

解析ソルバ
[icoFoam等]

領域統合(並列計算時)
[reconstructPar]

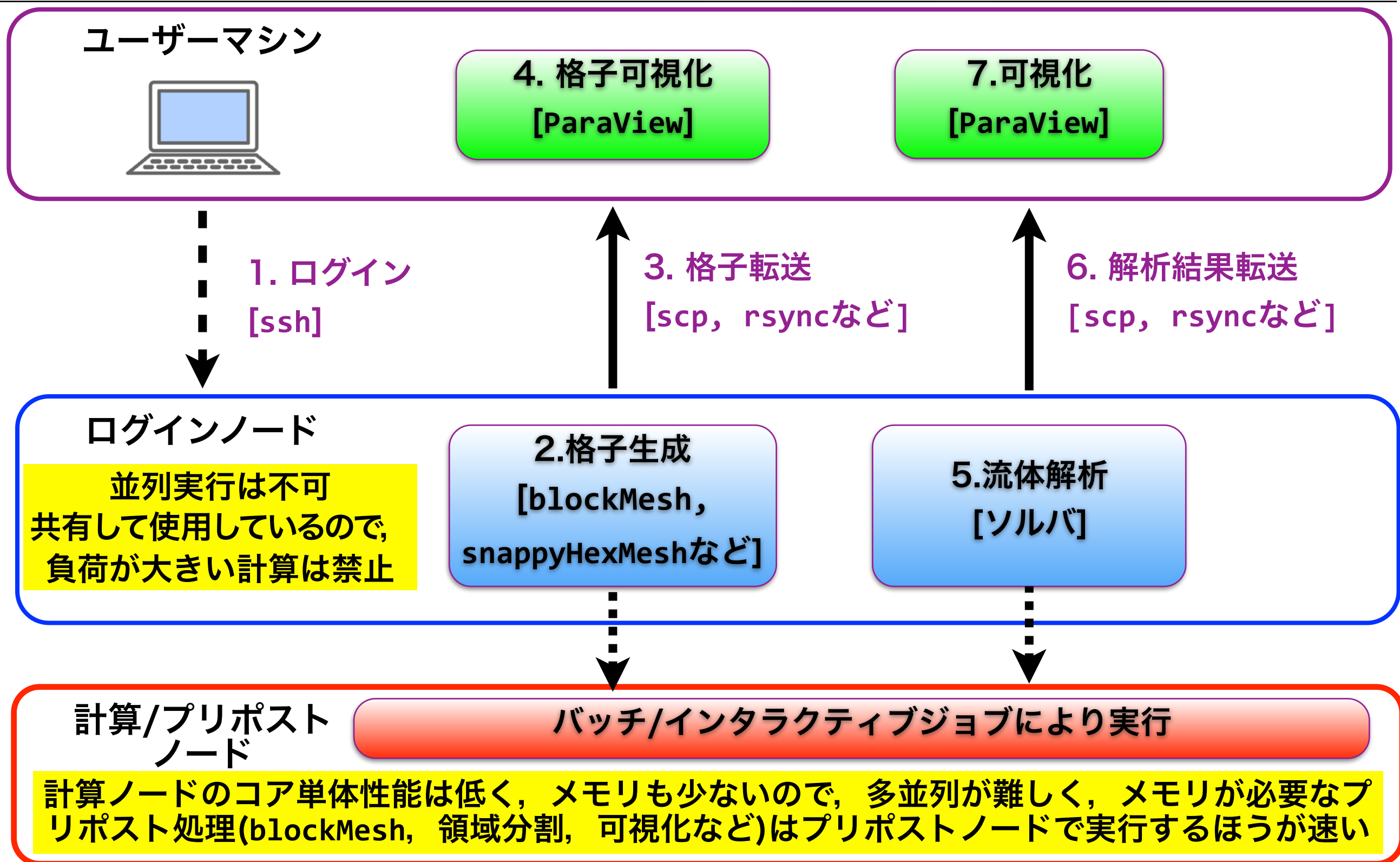
後処理(可視化など)

可視化(サードパーティ)
[ParaView, Visit,
商用可視化ツール等]



様々な結果後処理
[sample等]

OFPでのOpenFOAMの代表的な解析手順



OpenFOAMの稼働環境

Linux, Mac, Windows機で動作



FOCUS

東工大 TSUBAME

東大 Reedbush-U, H, L

名古屋大学FX100

JCAHPC Oakforest-PACS

九州大学ITO

大阪大学 OCTOPUS, etc.

Laptop PC
~100万格子

クラスタ
~1000万格子

クラウド

スーパーコンピュータ
~10億格子

フラッグシップ
~1000億格子



Amazon EC2 (GPU機あり)

Microsoft Azure (GPU機あり)

富士通TCクラウド

Etc.

京 (SPARC64機)

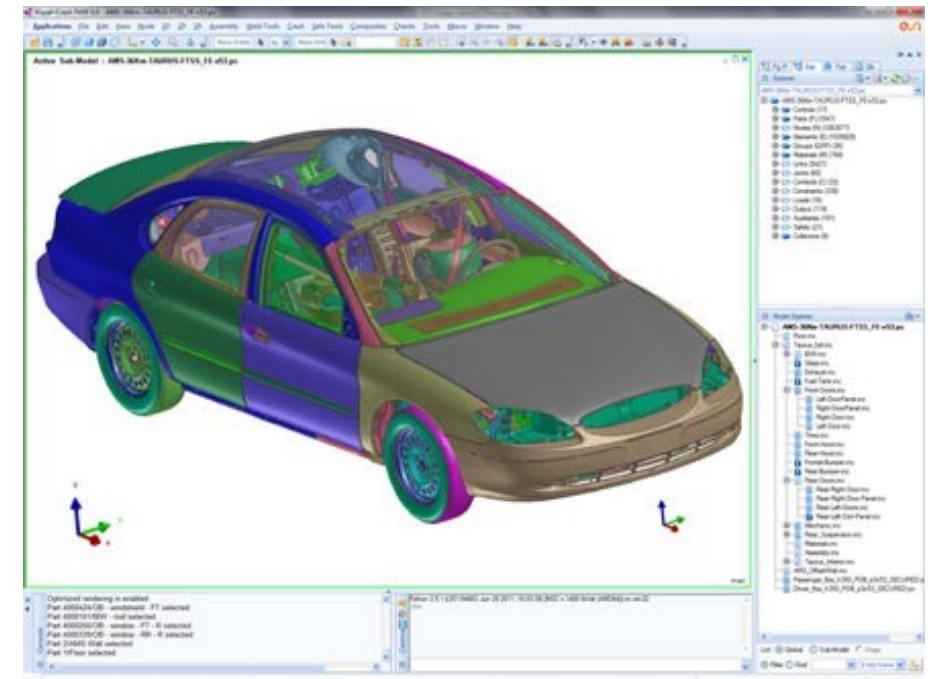
RISTがHPCI課題の
京ユーザ向けに最適
化を支援



OpenFOAMの主な派生版(Fork)

- 商用版

図出典：ESI (https://www.esi.co.jp/news/2014/PressRelease_0128.html)



- ✓ **HELYX(Engys):** OF拡張版+GUI

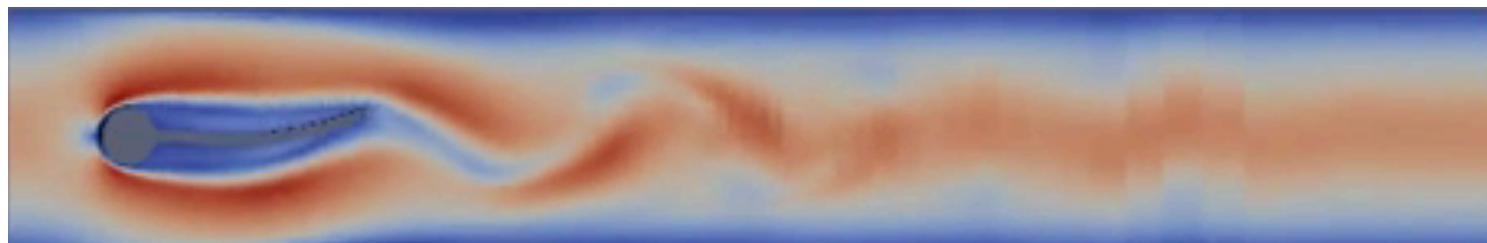
- ✓ **iconCFD(IDAJ, ICON):** OF拡張版+GUI

- ✓ **Visual-CFD(ESI):** GUI

- オープンソース版

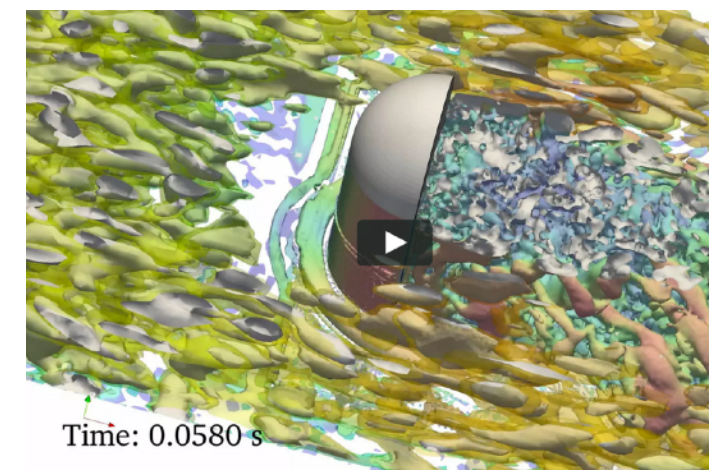
- ✓ **HELYX-OS(Engys):** GUI

- ✓ **foam:** Hrvoje Jasak(クロアチア ザグレブ大学教授, Wikki社 代表)が主導するコミュニティベース版. FSIやBlock coupledソルバ等の公式版に無い機能を実装



foamの 流体・構造連成(FSI)

- ✓ **OpenFOAM+(ESI):** 安定化と機能拡張



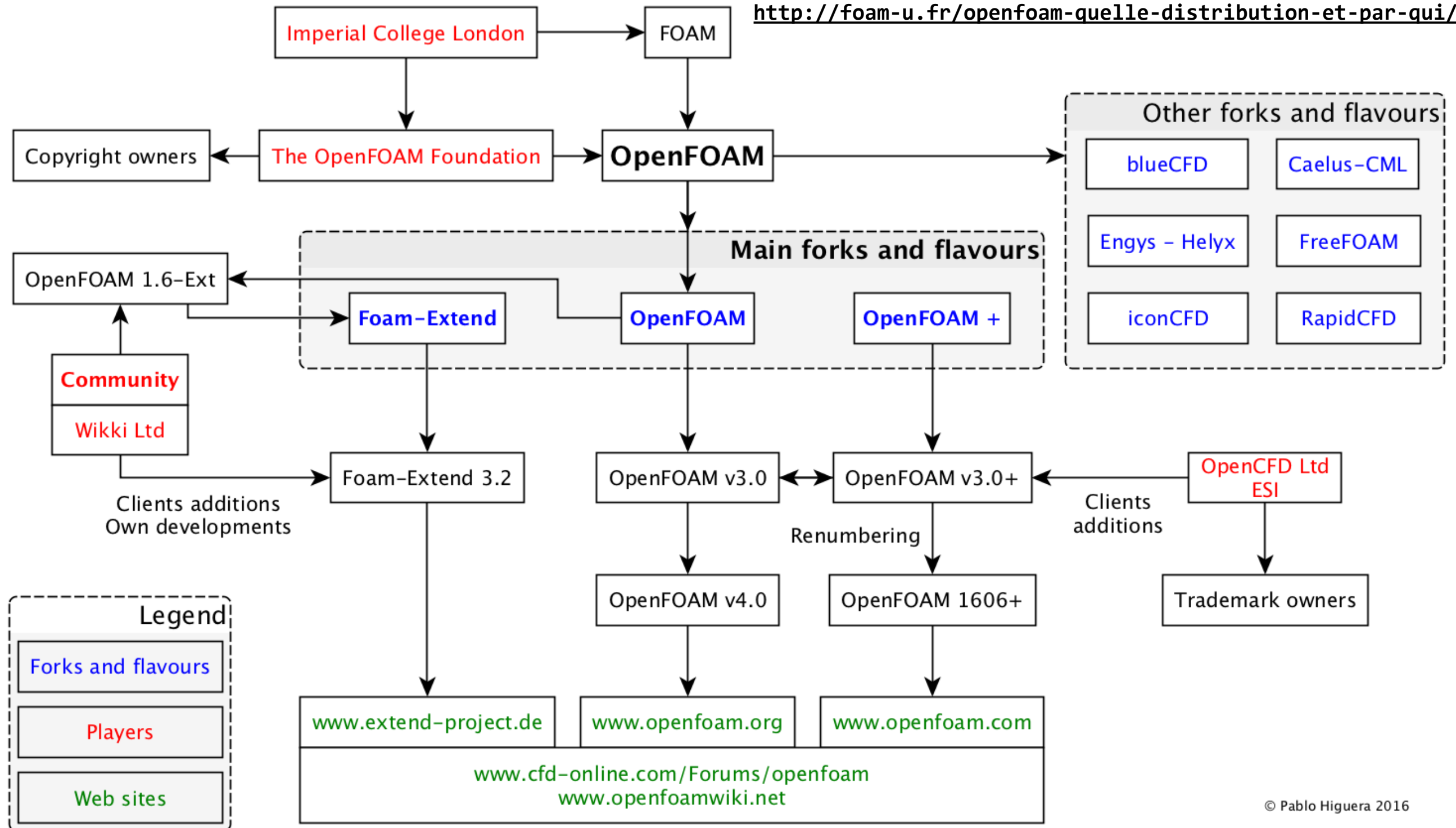
OpenFOAM+の変動風生成

図出典：www.openfoam.com

OpenFOAMの派生図

図出典 : olaFoam

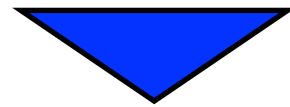
<http://foam-u.fr/openfoam-quelle-distribution-et-par-qui/>



© Pablo Higuera 2016

OpenFOAMの課題

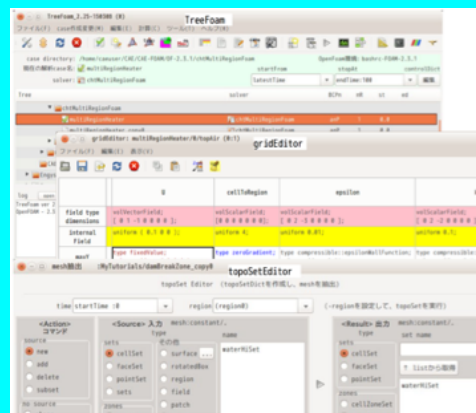
- ▶ 設定用GUIが無く、全てテキストファイルで設定する必要があるが、詳細な公式マニュアルがほとんど無い → ソースコードを読まないで詳細な設定方法がわからないので、初心者には設定が困難。解析条件に応じた推奨設定も不明



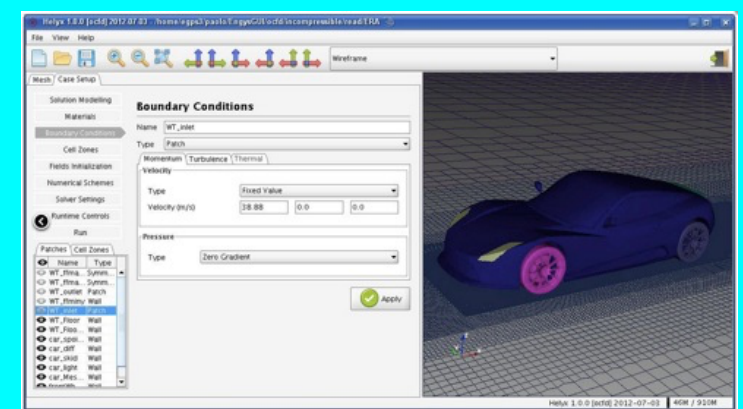
- ▶ GUIに関しては商用(iconCFD, Visual-CFD), オープンソース(HelyxOS, DEXCS, TreeFoam)などが続々登場してきた
オープンソースGUI例



DEXCS (野村氏作)



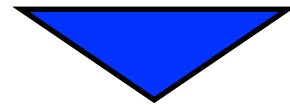
TreeFoam(藤井氏作)



HelyxOS(engys社)

OpenFOAMの課題

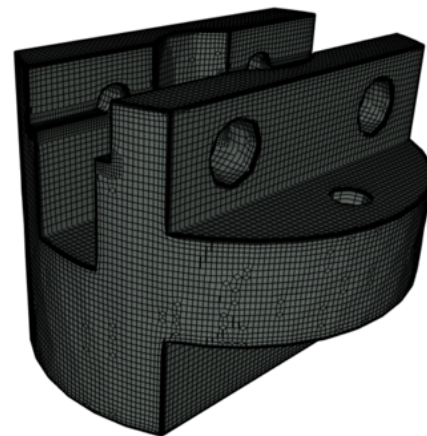
- ▶ メッシャー(blockMesh, snappyHexMesh)で格子を生成するのが遅く、質の良いレイヤを貼るのは困難 → 初心者は格子生成で断念



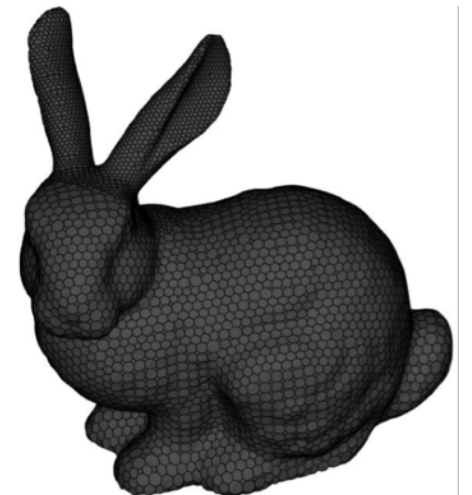
- ▶ Pointwise, HEXPRESSなどの商用メッシャーはOpenFOAMの格子を出力できるようになっている。
- ▶ Helyx, iconCFDなどの商用ForkではsnappyHexMeshの機能を改善
- ▶ オープンソースでハイブリッド並列、レイヤ付加性能に優れたOpenFOAM用メッシャーcfMeshも登場(v1712に取り込まれた)



cfMesh
による
レイヤ付
き六面体
格子



cfMesh
による
ポリヘド
ラル格子



並列計算による台数効果と並列化効率

- 並列計算による台数効果 (スピードアップ) S_P

$$S_P = T_S / T_P$$

ここで

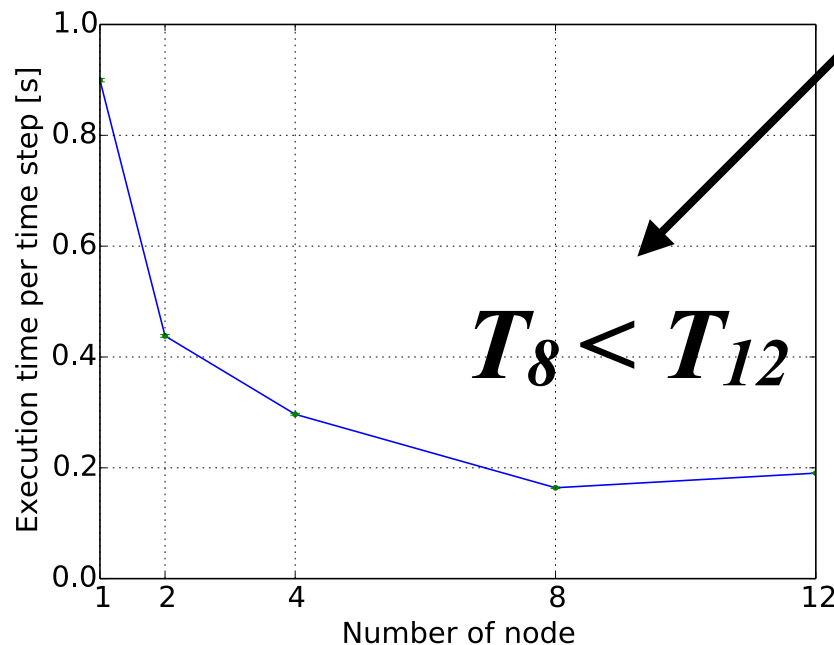
T_S : ベースとなるプロセス数(1プロセス, 1ノード等)での実行時間

T_P : ベースとなるプロセス数×Pでの実行時間

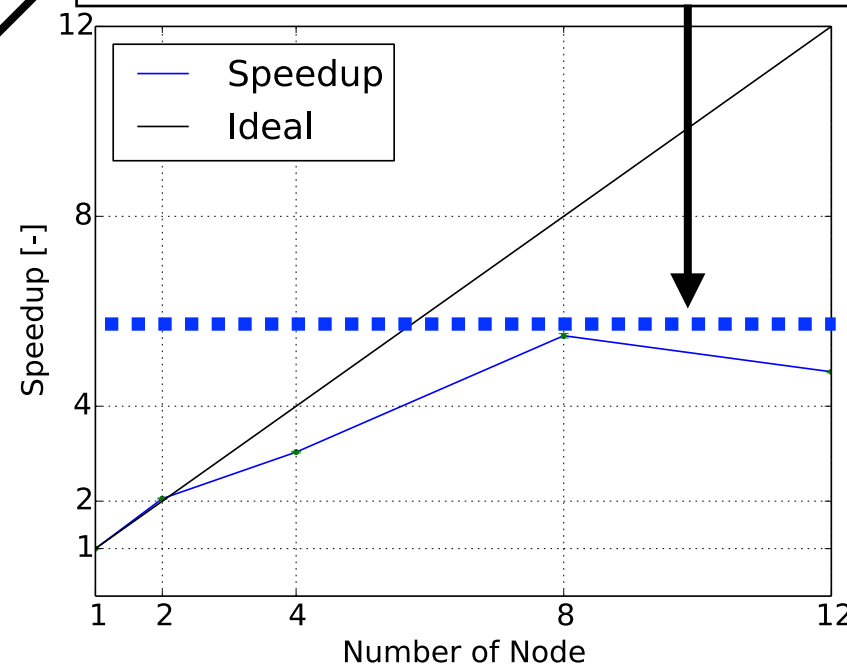
- 並列化効率 E_P

$$E_P = S_P / P \times 100 [\%]$$

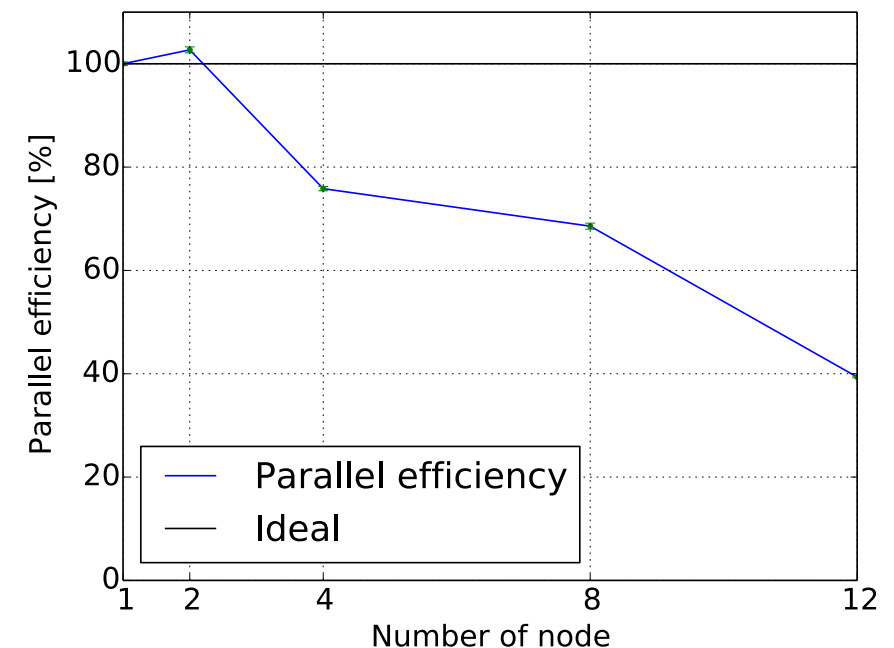
このケースでは12ノード以上使用しても非効率
→台数効果の飽和(Saturation)をベンチマークテスト
で事前に把握し、非効率な計算を行わないことが重要



実行時間



台数効果(スピードアップ)



並列化効率

並列計算のベンチマークテスト

- **ベンチマークテスト：プログラム実行時間やFLOPS値などの性能指標の計測**
- **並列計算機でのベンチマークテストは重要**
 - ✓ 並列数を変更させて、台数効果(スピードアップ)や並列化効率を調べ、効率の良い並列数を決定できる
 - ✓ 時間ステップ数や反復数が小さい予備計算で検討するのが効率的
- **OpenFOAM等のCFDコードでは圧力線型ソルバのベンチマークテストも重要**
 - ✓ 実行時間は圧力線型ソルバの種類や前処理・スムーズ方法に強く依存
 - ✓ 線型ソルバーの速さは並列数にも依存
 - 並列数小→GAMG(代数マルチグリッド) > PCG(前処理付き共役勾配法)
 - 並列数大→PCG > GAMG
 - ✓ 問題にも依存するが、PCGの前処理としてGAMGを用いると、広い並列数の範囲で概ね最速。なお、GAMGのスムーザはDIC(不完全コレスキー分解)またはDICGaussSeidel(DICとガウスザイデル法の併用でより安定)が概ね最速
 - ✓ さらに並列数が増えると、前処理がDICのPCGが概ね最速

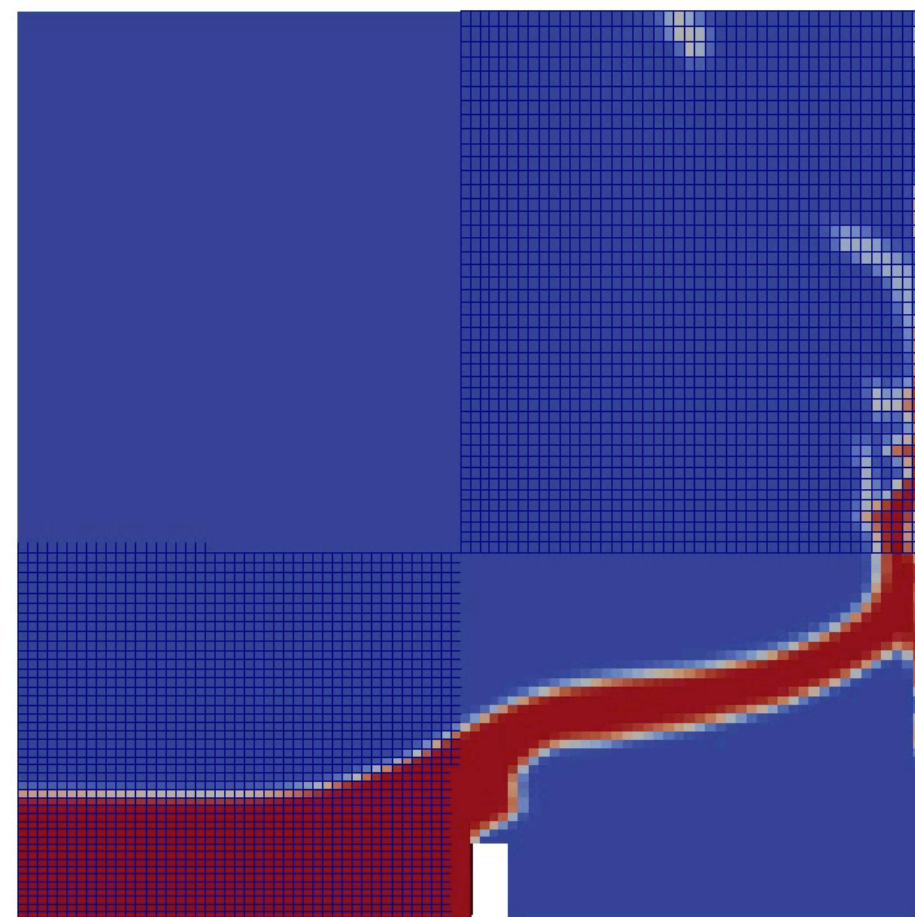
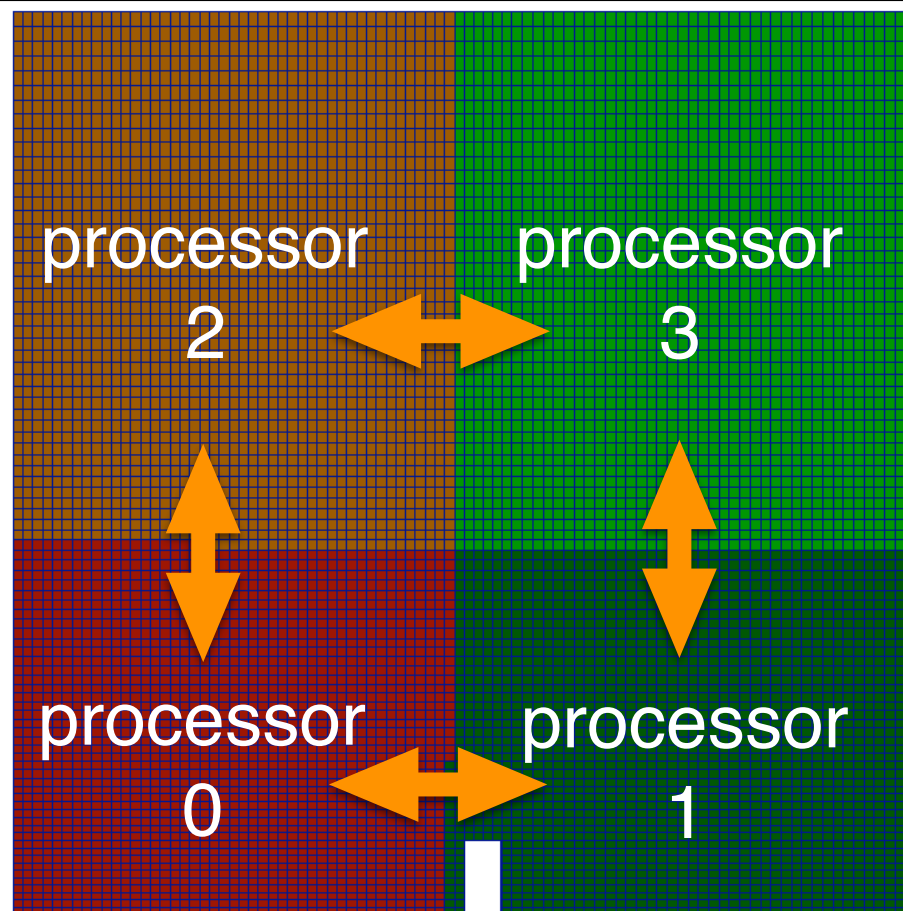
OpenFOAMの並列計算手法

OpenFOAMの並列計算手法

1. 格子生成
2. 領域分割 (decomposePar)
3. MPI並列でソルバを実行
(MPI+OpenMPのハイブリッド並列は標準では未実装. 研究例有り)
4. 領域毎の解析結果を再構築 (reconstructPar)

プロセッサ
間MPI通信
(フラット
MPI通信)

プロセッサ
間通信は,
計算効率を
低下させる



Phase fraction
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Time: 0.40 s

damBreakFineチュートリアル

領域分割の設定

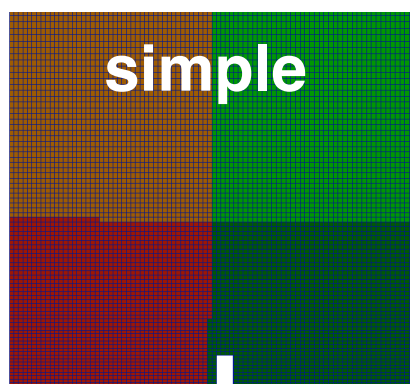
system/decomposeParDict

```
numberOfSubdomains 4; //領域分割数
```

```
method simple; //領域分割方法
```

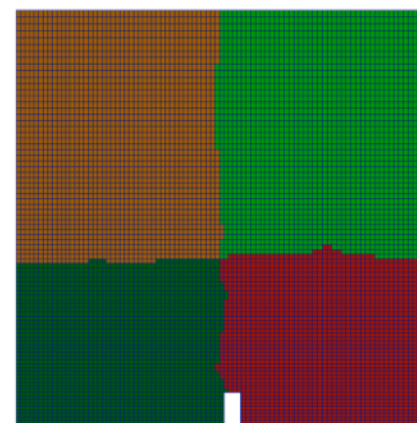
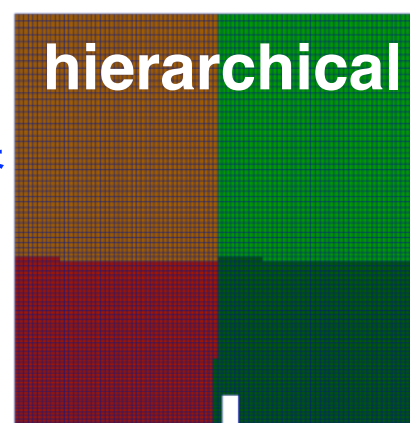
```
simpleCoeffs //単純に軸方向に分割
```

```
{  
  n ( 2 2 1 ); //分割数  
  delta 0.001;  
}
```

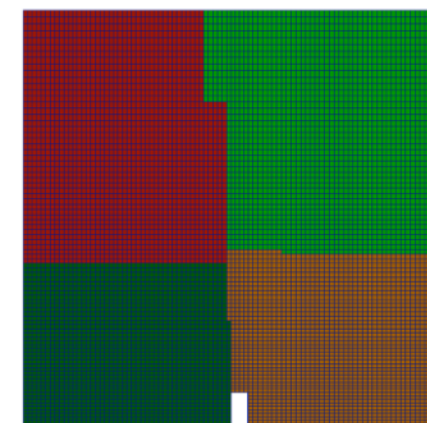


```
hierarchicalCoeffs //分割方向の順番を指定
```

```
{  
  n ( 2 2 1 );  
  order xyz; //分割方向の順番  
  delta 0.001;  
}
```



metis



sctoch

metis : Metisライブラリを使用。プロセッサ間の通信量に大きく影響する分割領域間の界面数を最小化。ライセンスにより商用利用や再配布が自由ではない

scotch : Scotchライブラリを使用。フリーソフトライセンスでMetisと互換APIを持つ

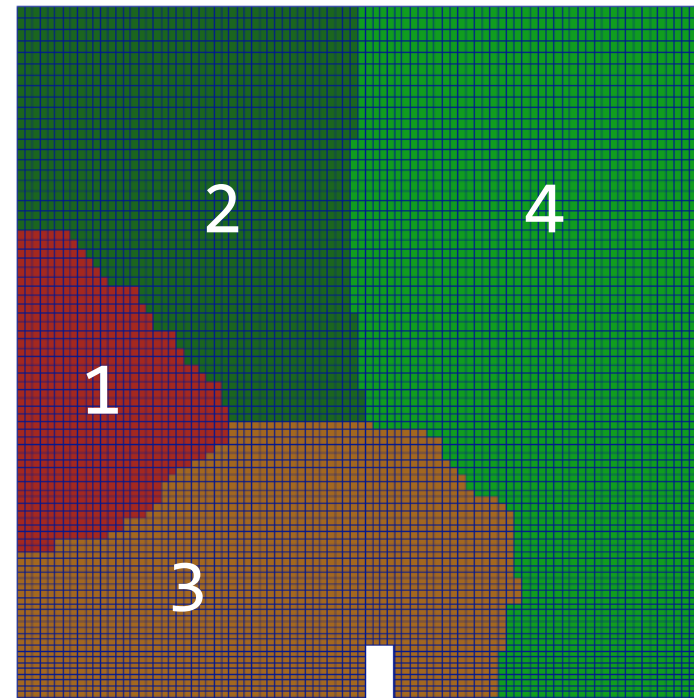
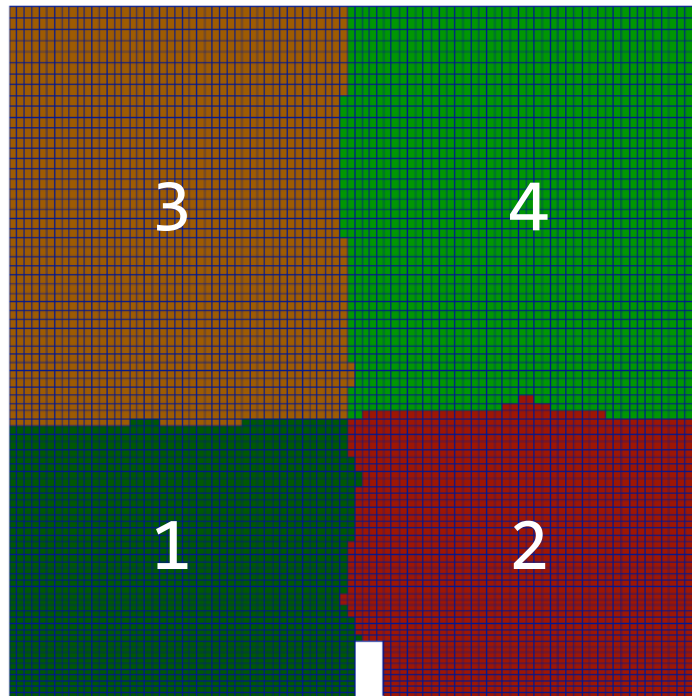
manual : 格子を割り充てるプロセッサを手動で指定

重み付き領域分割例

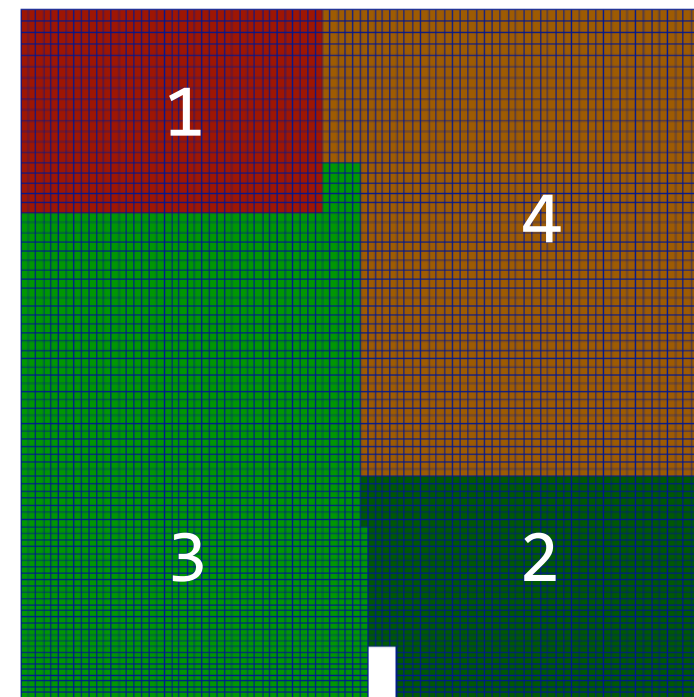
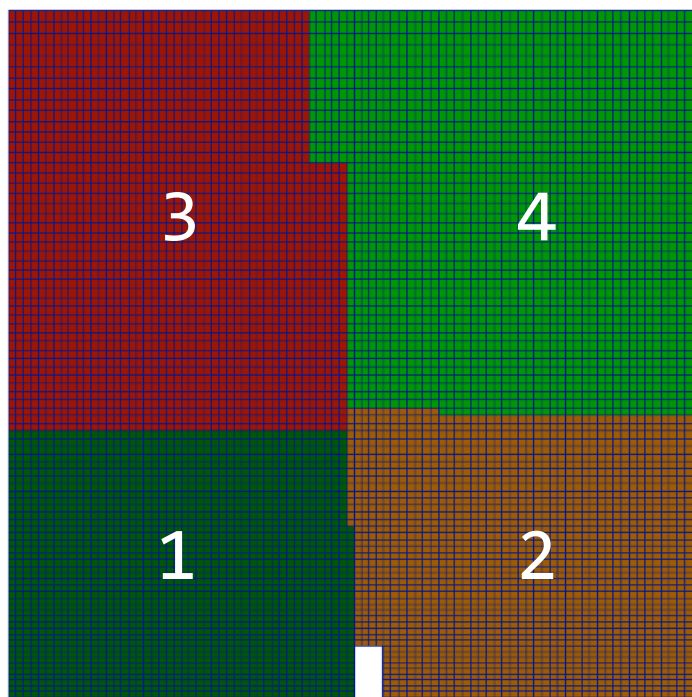
重み無し

重み付き

metis



scotch



```
system/  
decomposeParDict
```

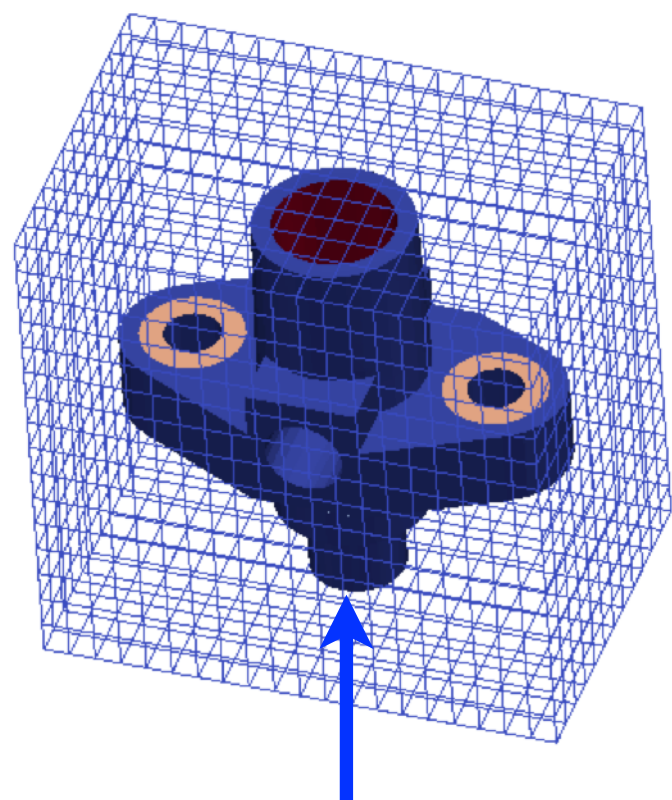
```
scotchCoeffs  
または  
metisCoeffs  
{  
    processorWeights  
    ( 1 2 3 4 );  
    //プロセッサ毎の格子  
    数の重み係数  
    //省略時は重み無し  
}
```

重み付けは、ノード間で性能が異なる場合に用いる場合があるが、通常は用いない

snappyHexMeshによる格子生成

blockMesh
構造格子メッシャー

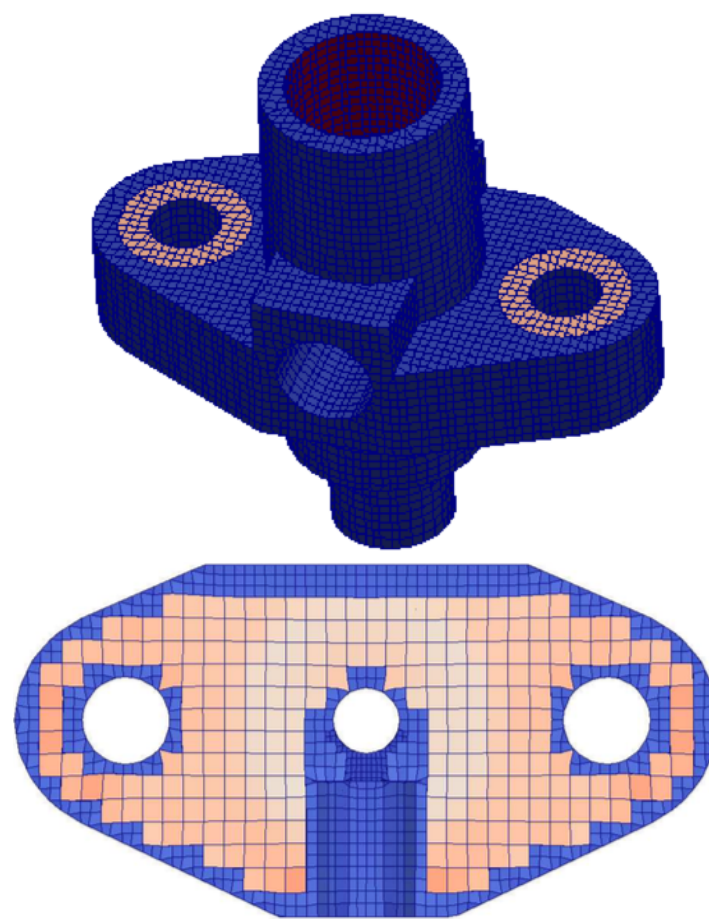
解析領域を含む
構造格子のベース格子
を生成



解析領域

snappyHexMesh
構造格子メッシャー

ベース格子を細分割し
て、形状に適合したメ
ッシュを自動的に生成



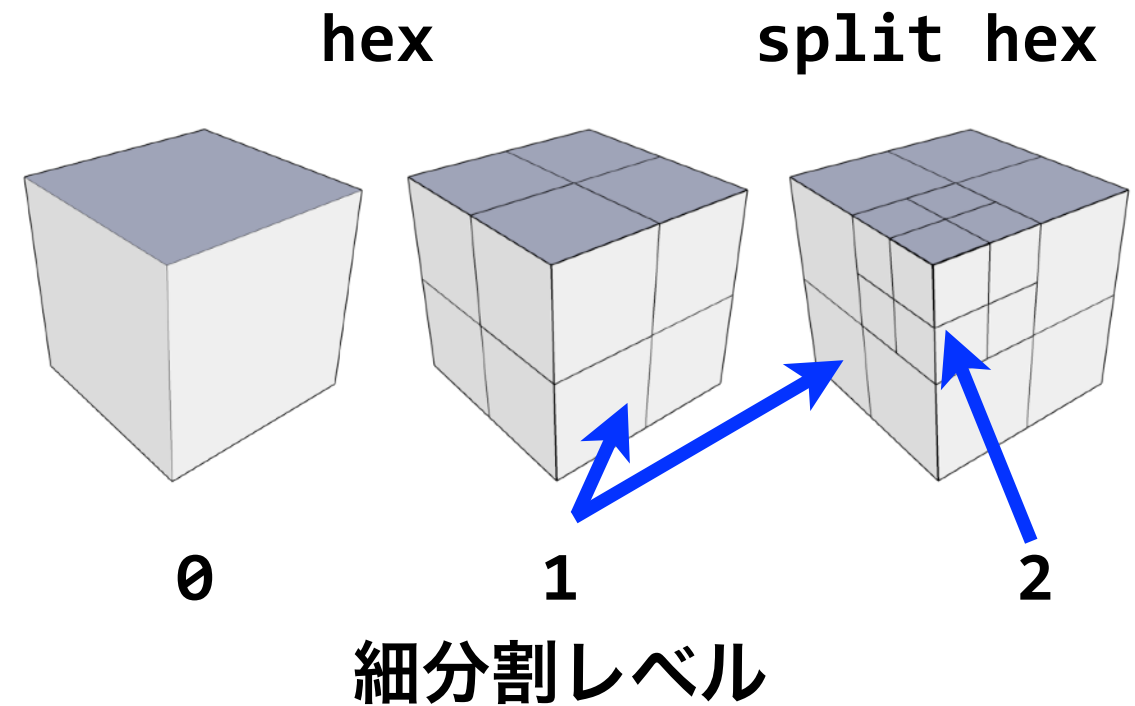
○ ほぼ六面体の格子
が自動的に生成可能

× 任意間隔のベース格
子が作成が難しい

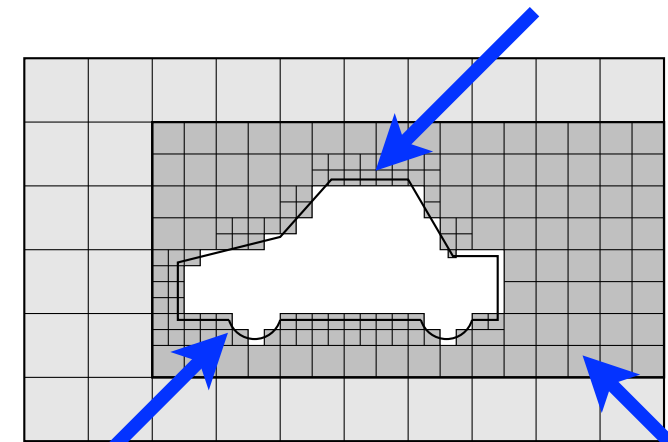
× 生成格子がベース格
子の形状に大きく依存

snappyHexMeshの特徴

- 六面体格子(hex)または”面が分割された六面体的状格子”(split hex)からなる格子を自動生成する
- STL形式等の三角形分割曲面形状に適合した格子が生成できる(辞書で定義される直方体や球面等の基礎形状も利用可)
- 格子の細分割は8分木(2x2x2の分割を再帰的に行う)
- 曲面形状や基礎形状の表面の細分割レベルを指定できる(表面ベースの細分割)
- 細分割領域を曲面形状や基礎形状を用いて別途定義できる(領域ベースの再分割)



三角形分割曲面形状
(STL, wavefront OBJなど)

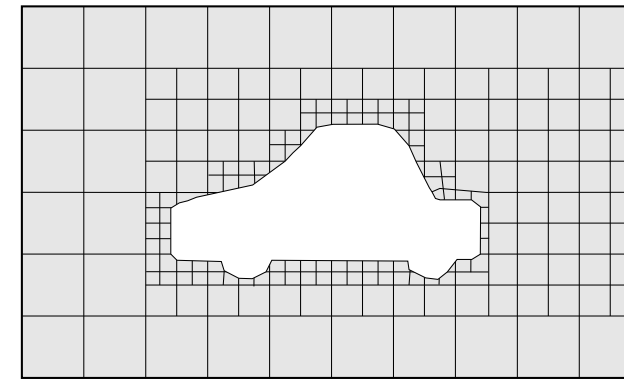


表面ベース細分割

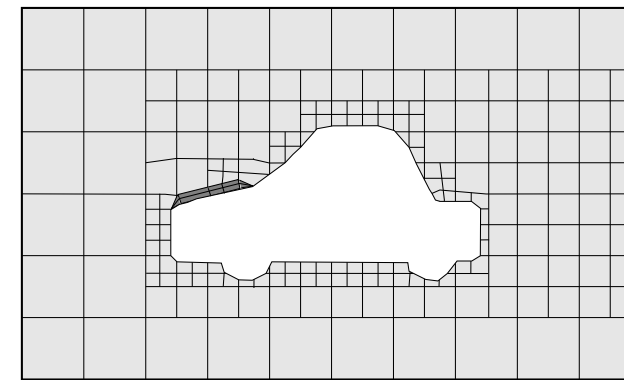
領域ベース細分割

snappyHexMeshの特徴(続き)

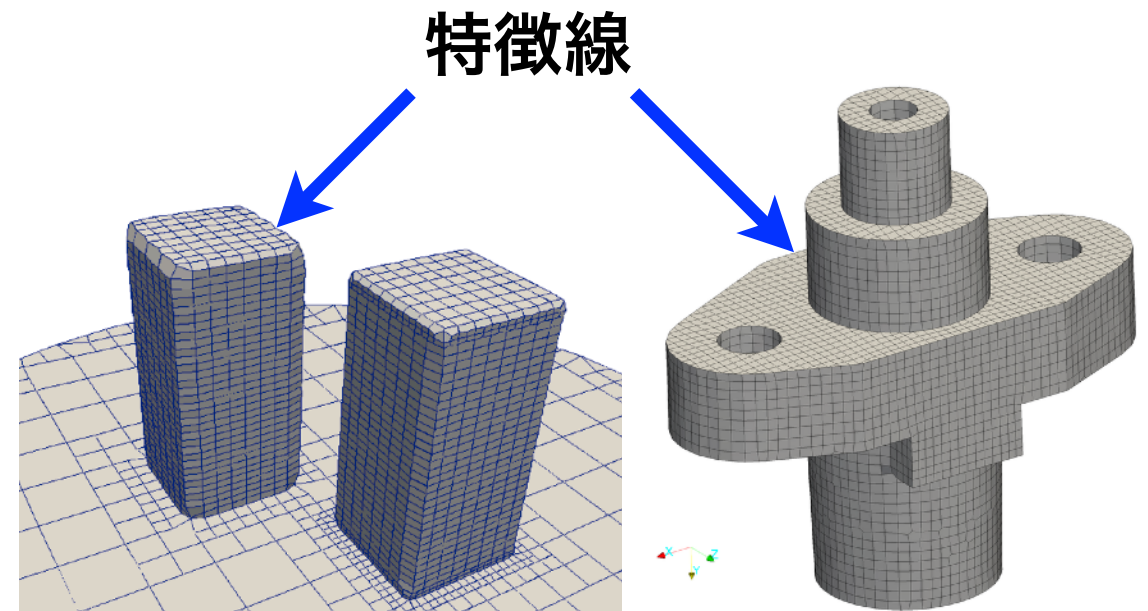
- STL表面や基礎形状の表面に境界適合するように格子を滑らかに移動させることができる
- STL表面や基礎形状の表面にレイヤを滑らかに挿入できる
- 分割領域毎の格子数をロードバランシングしながら、並列に格子生成ができる
- 境界適合における特徴辺の再現はVer. 2までは実装されておらず、特徴辺は丸くなったが、Ver. 2から特徴辺再現機能が実装され、形状再現性が高まった
- 自動格子生成が可能だが、設定が複雑で、特にレイヤ挿入の設定・制御は困難



境界適合
(snapping)



レイヤ挿入

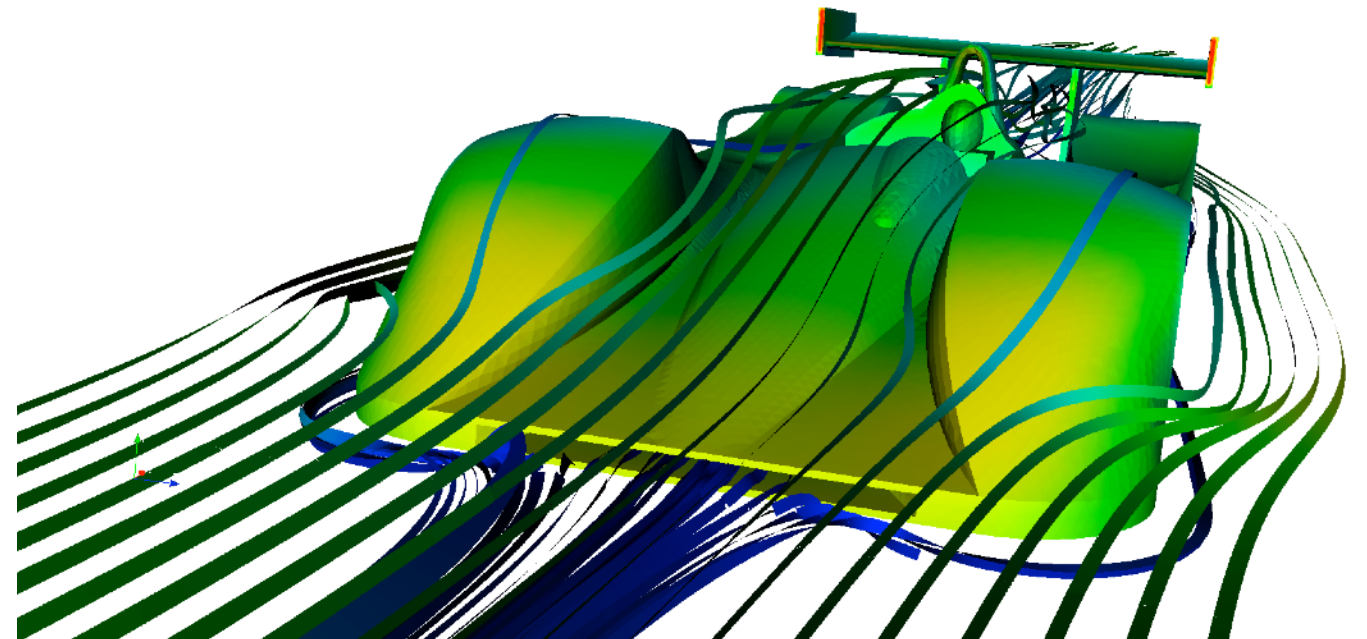


Ver. 2未満

Ver. 2以降

ParaViewとは?

- オープンソース、スケーラブル、かつマルチプラットフォームな可視化アプリケーション
- 大容量データセットを処理するための分散型計算手法のサポート
- オープン、柔軟かつ直感的なユーザインターフェイス
- オープンな規格に基づいた拡張性の高いモジュール化構造
- 柔軟な3条項BSDライセンス
- 有償の保守およびサポート

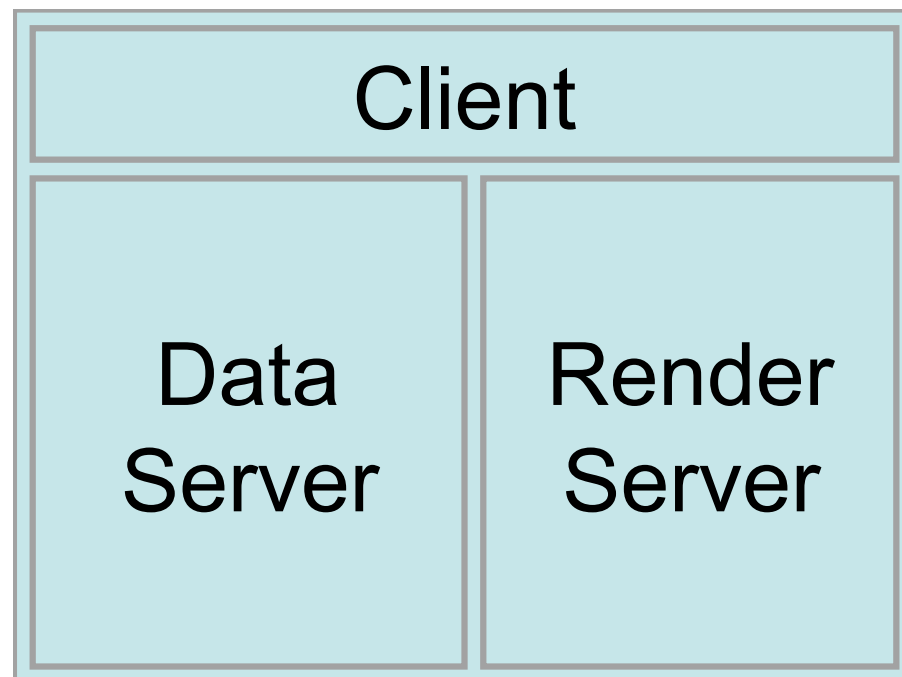


ル・マンのレースカー周りの気流

(ブラジル リオ・デ・ジャネイロ NACAD/COPPE/UFRJ Renato N. Elias)

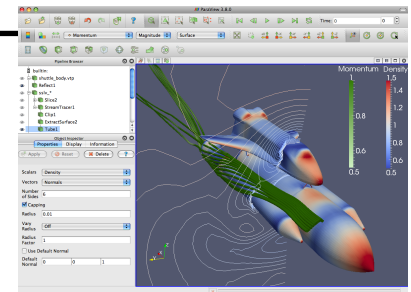
図出典 : Kenneth Moreland et.al : Large Scale Visualization with ParaView, Supercomputing 2014 Tutorial, November 16, 2014

ParaViewの3層構造



・クライアント

- ✓ 可視化の作成を担当(GUI)
- ✓ オブジェクトの作成、実行、削除を制御するが実際のデータは全く保持しない
- ✓ 常にシリアル実行



・データ・サーバ

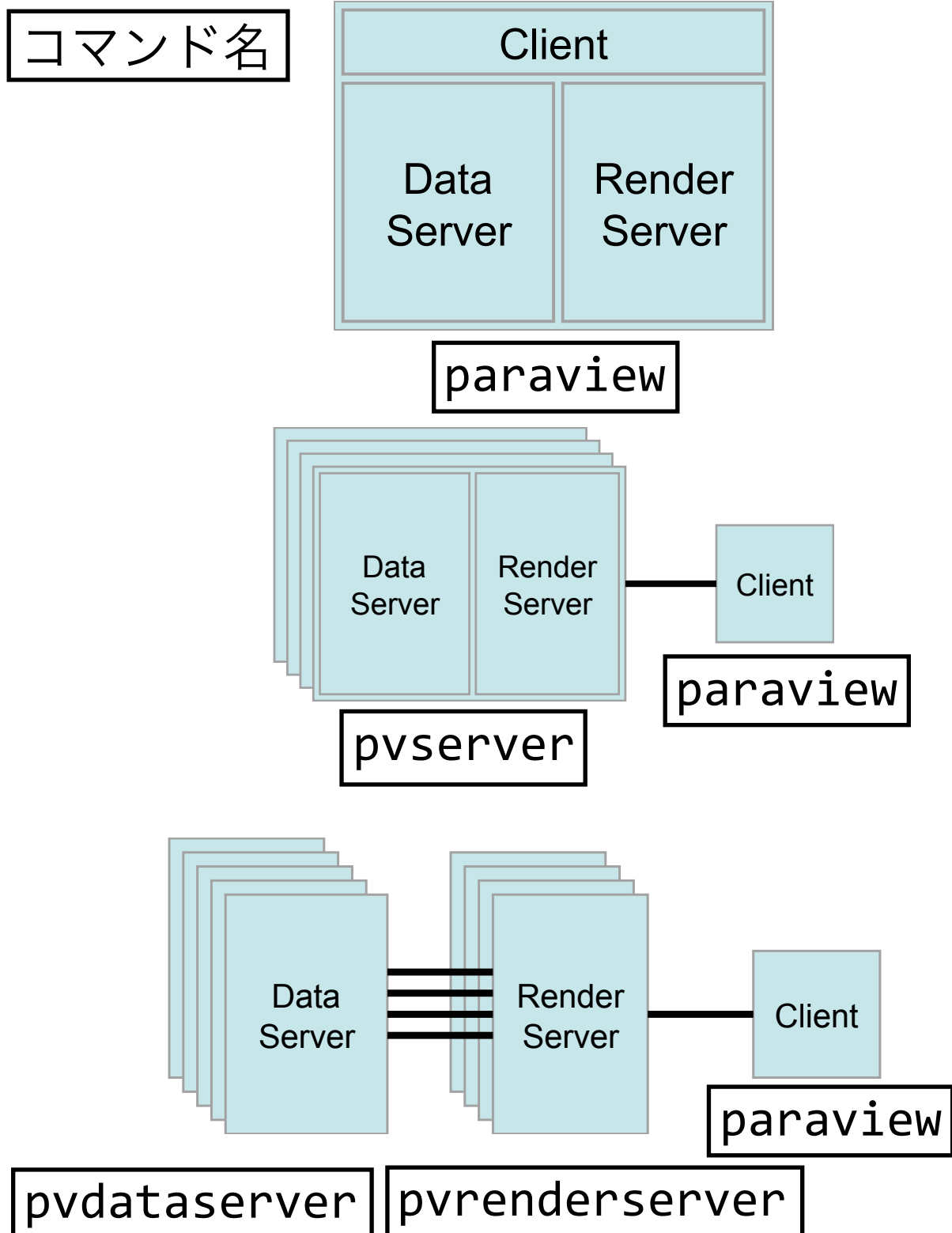
- ✓ データの読み込み、フィルタリング、書出しを担当
- ✓ 全てのパイプライン・オブジェクトはデータ・サーバが保持
- ✓ 並列実行可能

・レンダラー・サーバ

- ✓ レンダリングを担当を担当
- ✓ 並列実行可能 (内蔵の並列レンダリング機能が有効化)

図出典：The ParaView Tutorial for Version 4.4
https://www.paraview.org/Wiki/The_ParaView_Tutorial

ParaViewの3層構造



スタンドアローン・モード

- 全てが統合してシリアル動作

クライアント-サーバ・モード

- 並列可視化可能
- リモート可視化も可能

クライアント-レンダラー・サーバ- データ・サーバ・モード

- サーバ間の通信量が多く、3つが独立動作する利点が少ないので、非推奨

ParaViewによるOpenFOAMデータ可視化

✓ OpenFOAMの格子や解析結果はParaViewで可視化やデータ解析が可能

✓ OpenFOAMデータ読み込み方法

- **OpenFOAM附属のparaFoamコマンド使用 (非推奨)**

- ParaViewを起動するクライアント側にOpenFOAMの環境が必要
- ログインノード上で可視化する場合は通常この方法
- ログインノードでの起動は負荷が掛かり，かつX転送は遅いため，非推奨

- **通常のParaView(Ver.3.8以降)を使用**

- ParaViewを起動するクライアント側にOpenFOAMの環境は不要
- OpenFOAMのデータを読むには拡張子が.foamのダミーファイルが必要

- ▶ **スタンドアローン・モード**：スパコン側の格子・解析結果をクライアント側に転送して，クライアント側のParaViewで可視化 **(今回はこの方法)**

- ▶ **クライアント-サーバ・モード**：スパコン側で起動したpvserverと，クライアント側で起動したParaViewが通信して可視化

OpenFOAMユーザーガイド和訳

- 和訳のLaTeXソースや図など全てオープンCAE学会のレポジトリで公開
- オープンCAE学会による和訳はOpenFOAM FoundationのWEBに掲載
- 現在, 3.0.1版まで公開. 学会で最新plus版の和訳を計画中

<https://gitlab.com/OpenCAE/OpenFOAM>



This repository Search Pull requests Issues Gist

opencae / OpenFOAM Unwatch 5 Star 0 Fork 0

Code Issues 0 Pull requests 0 Wiki Pulse Graphs Settings

Branch: master OpenFOAM / doc / Create new file Upload files Find file History

iYohey OpenFOAM 3.0.1 ユーザガイド和訳 chapter 4 まで Latest commit 6cb8bcf 10 days ago

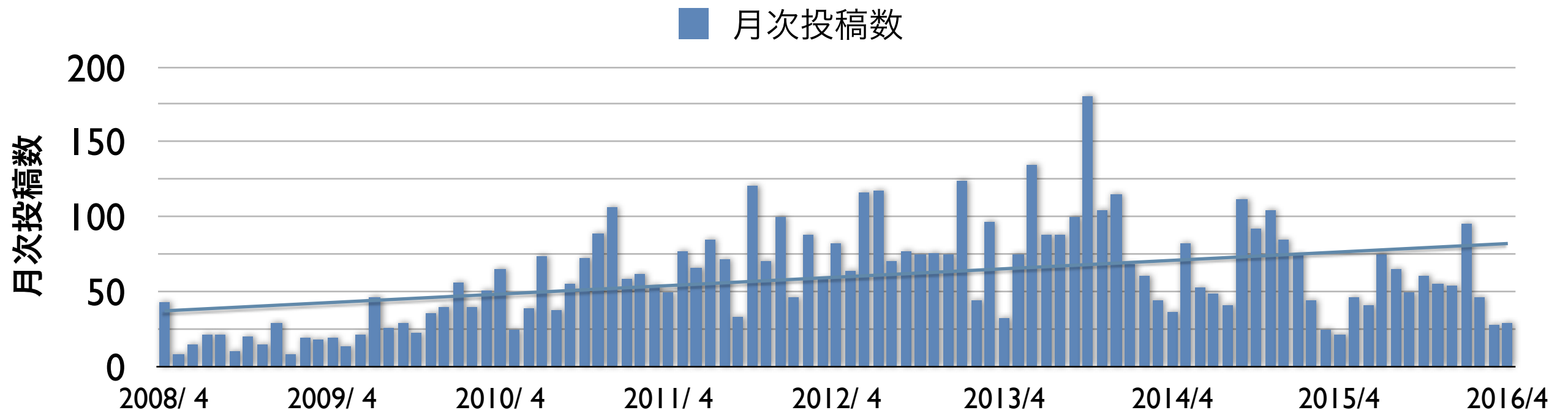
..		
OFstyle	OpenFOAM 3.0.1 ユーザガイド和訳 chapter 3 まで	11 days ago
ProgrammersGuideJa	表の間隔を調整	2 years ago
UserGuideJa	OpenFOAM 3.0.1 ユーザガイド和訳 chapter 4 まで	10 days ago
binding	r67	3 years ago
temp	OpenFOAM v3.0+ docs	a month ago
Makefile	OpenFOAM 2.1.0 ユーザガイド和訳 仕上げ, Makefile 作成, トレードマークリスト更新, #6・#13 対応	4 years ago

日本版OpenFOAM掲示板

OpenFOAM Googleグループ

- 設立：2008年3月
- 登録者：959名 (2019/1/7時点)
- 質問, 情報交換, イベント告知
- 匿名で質問可能
- 初心者の駆け込み寺

第47回オープンCAE勉強会@岐阜のご案内 (1)	1件の投稿	5月9日
OpenFOAM-v3.0+のバイナリインストールについて (4)	4	5月6日
チュートリアルcircuitBoardCoolingの設定について (3)	3	5月6日
オープンCAE講習会のご案内 (1)	1	5月5日
移動メッシュの破たんについて (3)	3	5月3日
【関西】(4/24)第48回オープンCAE勉強会@関西 開催のご案内 ...	3	4月23日
interDymFoamでの質問 (3)	3	4月23日
convectiveOutletの対流速度につきまして (2)	2	4月20日
第30回オープンCAE勉強会@広島 4月16日開催 (2)	2	4月10日
メッシュの結合について (enGridとblockMesh) (12)	12	4月9日
【勉強会@富山】4月16日(土)オープンCEA勉強会@富山(第42回)開...	1	4月8日



<https://groups.google.com/forum/#!forum/openfoam>

オープンCAE勉強会

1. @関東(流体など)(2010年6月～)

Ustream配信(初期), OpenFOAMコード検証勉強会

2. @関西(2010年12月～)

自作風洞実験, ブックレビュー

3. @岐阜(2011年1月～)

初心者のみ質問会・夏合宿

4. @富山(2012年5月～)

ミニ講習会・鱒寿司制覇懇親会

5. @広島(2012年7月～)

ミニ講習会

6. @関東(構造など)(2014年10月～)

構造解析に特化した勉強会

7. 合同勉強会

ほぼ毎月全国6箇所で開催

発表資料・講習会資料も掲載
されているので, WEBサイト
を参照



ERCOFTAC SIG15ベンチマーク

オープンCAE学会のレポジトリで実験値との検証ケースを公開。実験値との比較も可能

ERCOFTAC(European Research Community on Flow, Turbulence And Combustion)内の乱流モデリンググループのワークショップ('95-'01)で実施したベンチマーク

4.1 Couette Flow with Plane and Wavy Fixed Wall

4.2 2D Model-Hill Flows (Single and periodic)

4.3 Swirling Boundary Layer in a Conical Diffuser

4.4 Wing/ Body Junction with Separation

4.5 Developing Flow in a Curved Rectangular Duct

5.1 2D Plane Wall Jet

5.2 Natural Convection Boundary Layer

5.3 Natural Convection in a Tall Cavity

6.1 3D Plane Wall Jet

6.2 Fully Developed Flow and Heat Transfer in a Matrix of Surface-Mounted Cubes

6.3 Flow around a Single Surface-Mounted Cubical Obstacle

7.1 Fully developed flow in a rotating plane channel

7.2 Flow and heat transfer over a rib-roughened wall

7.3 Flow and heat transfer in a rotating rib-roughened duct

8.1 Plane Couette Flow with Spanwise Rotation

8.2 Flow through an Asymmetric Plane Diffuser

9.1 Swirling flow in a model combustor with heat release

9.2 Periodic flow over a 2-D hill

9.3 Periodically perturbed separated flow over backward-facing step

9.4 Flow around a simplified car body (Ahmed body)

10.1 Contra-rotating jets

11.1 2D hump with flow control through a slot jet

11.2 Flow over an axisymmetric 3D hill

11.3 Slanted jets in cross-flow

11.4 Multiple-impinging jets: flow and heat transfer

12.1 Tip-gap turbulent flow in a low-speed compressor cascade

12.2 A model of tubo-annular swirl combustor

13.1 Round jet impinging onto a rotating, heated disc

13.2 Flow in a 3-D diffuser

計29ケース

OpenFOAMで10ケースを実施・整備

市街地風環境ベンチマーク

日本建築学会 流体数値計算による風環境評価ガイドライン作成WG が整備

書籍

WEBサイト(実験データや標準計算条件)



	test case		dataset	Ref.
A	2:1:1 shape building model		Data file : CaseA(1_1_2).xls	[1]
B	4:4:1 shape building model		Data file : CaseB(4_4_1).xls	[2][3]
C	Simple Building blocks		Data file : CaseC(City_blocks).xls	-
D	A high-rise building in city blocks		Data file : CaseD(Highrise+Blocks).xls CAD File(DXF) : CaseD_dxf.zip CAD File(MCD) : CaseD_mcd.zip	[5]
E	Building complexes with simple building shape in actual urban area (Niigata)		Data file : CaseE(Niigata).xls CAD File(DXF) : CaseE_dxf.zip CAD File(MCD) : CaseE_mcd.zip	[6]
F	Building complexes with complicated building shape in actual urban area (Shinjuku)		Data file : CaseF(Shinjuku).xls CAD File(DXF) : CaseF_dxf.zip CAD File(MCD) : CaseF_mcd.zip CAD File(STL) : CaseF_stl.zip	[6]
G	Two-dimensional pine tree		Data file : CaseG(Tree).xls	[7]

OpenFOAM
で6ケースを
実施・整備

工学ナビ

東京大学生産技術研究所・革新的シミュレーション研究センター(センター長：加藤千幸先生)が制作運営しているWEBサイト



Knowledge Base
 解析事例データベース
 最先端のシミュレーションソフトウェアによる、さまざまな解析事例を取録

- ・ 複合材料強度信頼性評価 (10)
- ・ FrontCOMP (10)
- ・ 音響解析 (2)
- ・ FFB-Acoustics (2)
- ナノテクノロジー (65)
- ・ 第一原理電子状態解析 (65)
- ・ PHASE (65)
- ライフサイエンス (36)
- ・ フラグメント分子軌道法 (16)
- ・ ABINIT-MP (16)
- ・ 標準密度汎関数法 (20)
- ・ ProteinDF (20)

- OpenFOAM (16)**
- ・ OpenFOAM Version 2.2.2 (16)
- ・ 最適化設計 (3)
- ・ CHEETAH (3)
- ・ 構造解析 (37)
- ・ ADVENTURECluster Solver (4)
- ・ Front ISTR (31)
- ・ 流体構造連成解析 (1)
- ・ 流体解析 (54)
- ・ FFR (4)
- ・ FFV (16)
- ・ FrontFlow/blue (28)
- ・ GKV (2)
- ・ GT5D (2)
- ・ LANS3D (3)

解析格子を以下に示す。計算格子生成にはOpenFOAM付属の自動格子生成ユーティリティsnappyHexMeshを使用し、学会提供のCADデータをSTL形式に変換したデータを使用して約530万要素の格子を自動生成させた。

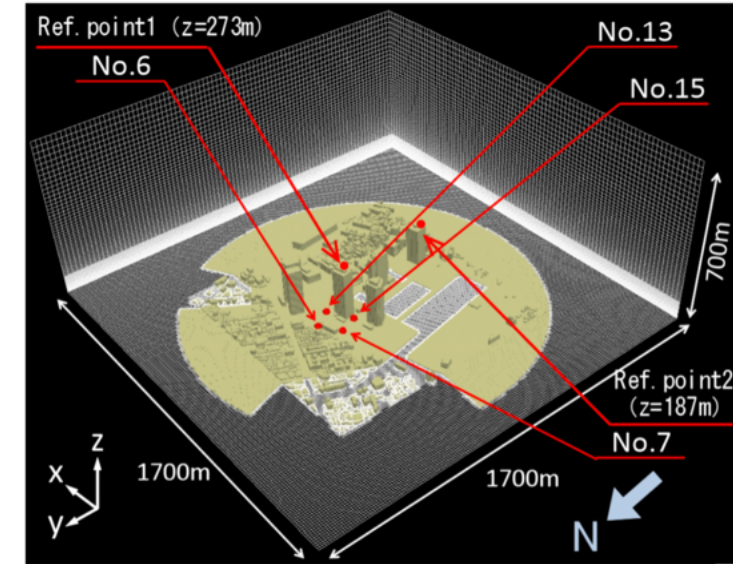
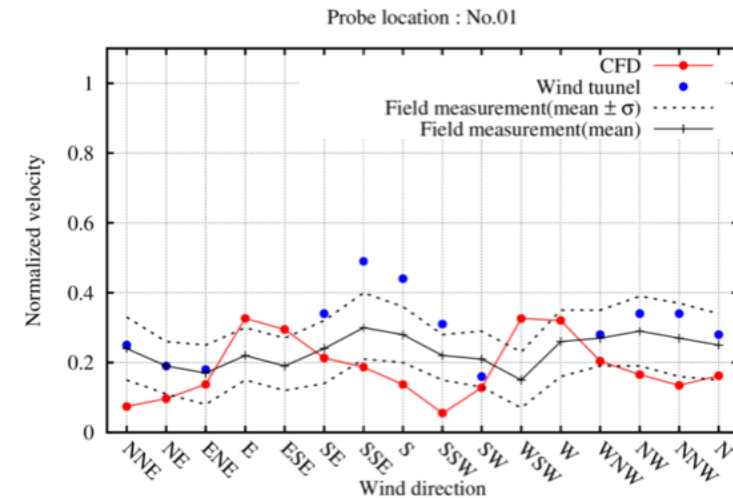


Fig. Calculation mesh (参考文献[Imano2010]から引用)

計算結果

各計測点における風向別の風速比を以下の図に示す。風洞実験値及び実測値[AIJ]も合わせて示す。何れの結果も、風向NE~N~NWでは参照点1(D)、それ以外の風向は参照点2(C)の風速で基準化してある。

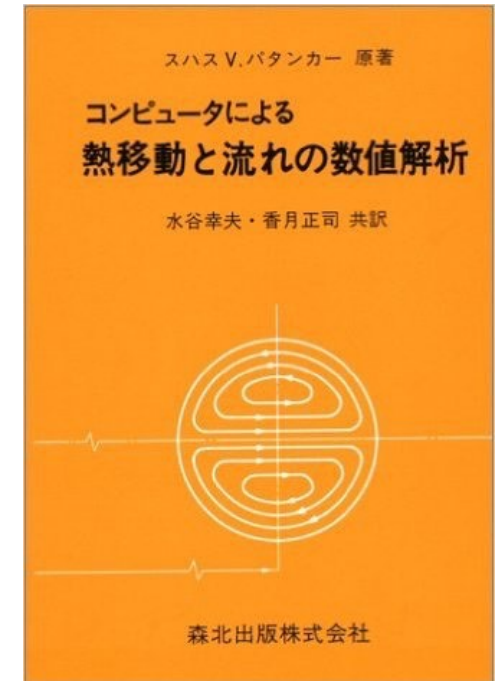


例：新宿副都心高層ビル群の風環境

OpenFOAM書籍



- 発売日：2016年6月17日
- 価格：3,456円(税込)
- 編集：オープンCAE学会
- 出版社：森北出版
- 日本初のOpenFOAM本
- 書籍名はスハス V.パタンカー(森北出版)の「コンピュータによる熱移動と流れの数値解析」のオマージュ
- 第4刷はOpenFOAM-2.4.0, 3.0.x, 4.x, 5.0, 6に対応した脚注あり



OpenFOAMの主な国内会議

- オープンCAEシンポジウム(2010年～, 参加約80～150名)
 - ✓ 主催: オープンCAE学会
 - ✓ 2～3並列×3～4コマ程度のトレーニング(構造解析・可視化・1DCAEも含む)
 - ✓ OF以外の流体解析ツールや構造解析・可視化関連の発表も有る. 資料WEB公開
 - ✓ **現状OpenFOAM関連の発表件数は日本最大規模. 年々増加**
- OpenFOAM・CAEワークショップ(2013年～, 参加約50～100名[参加費無料])
 - ✓ 主催: 高度情報科学技術研究機構(RIST)
 - ✓ HPCI課題による「京」でのOFの事例. RISTによるOFのチューニング. 富士通によるコンパイラの最適化などHPC向けの発表. 資料WEB公開
- ソフトウェアベンダーのユーザ会でのOpenFOAMセッション
- オープンCAE学会以外の学会でのOpenFOAMに関する研究発表

学会, ユーザ会, HPC系WSなどで, 年々OpenFOAMの発表が増加している

OpenFOAMの主な国際会議

- OpenFOAM Workshop(2006年～, 参加約140～400名)
 - ✓ 主催: OpenFOAM Workshop committee
 - ✓ **世界最大規模(ドイツ開催時は参加者約400人)**
 - ✓ 3並列×4コマ程度のトレーニング(参加費に含まれる)
 - ✓ Hrvoje Jasakによる基調講演(開発方針など)
 - ✓ OFのカスタマイズ例・適用例など発表多数. 講習会資料も公開
- OpenFOAM User Conference (2013年～, 初回参加222名)
 - ✓ 主催: ESI社
 - ✓ 基調講演: OF開発にファンドしているVolkswagen等
 - ✓ 開発メンバーによる今後の開発方針, ユーザ適用事例等



**多くの発表資料や講習会資料が公開されているので、
興味がある分野の資料を検索してみてください**

OpenFOAM関連のmodule

標準でloadされているmoduleの表示

```
module list
```

```
Currently Loaded Modulefiles:
```

```
1) impi/2018.1.163    2) intel/2018.1.163
```

利用可能なmoduleの表示

```
module avail -l
```

-lオプションは必須ではないが、更新日などの詳細が表示される

```
- Package -----+ Versions +- Last mod. -----  
:  
OFのmoduleはgcc版なので表示されない
```

全moduleのunloadと利用可能なmoduleの表示

```
module purge
```

```
module avail -l
```

```
gcc/4.8.5          default      2017/02/22  5:03:57  
gcc/4.9.4          2017/04/28  9:50:51
```

gcc moduleのload

```
module load gcc
```

/バージョンを省略すると、defaultのバージョンが指定される

gcc/4.8.5をloadするとIntel MPIのmodule impi/2017.3.196が自動的にloadされる

OpenFOAM関連のmodule(続き)

利用可能なmoduleの表示

```
module avail -l
```

```
- Package -----+ Versions +- Last mod. -----  
/home/opt/local/modulefiles/L/mpi/gcc/4.8.5/impi/2017.3.196:  
openfoam/3.0.1                default      2017/02/23  5:30:01  
openfoam/4.1                  2017/07/26  8:43:28
```

OpenFOAMは3.0.1(デフォルト)と4.1. ビルド環境 : Gcc-4.8.5, Intel MPI 2017.3, 整数ラベル・実数変数サイズ64bit. 最適化フラグが-O3なので, ログイン/プリポスト/計算ノードで動作する

```
/home/opt/local/modulefiles/L/compiler/gcc/4.8.5:  
impi/2017.1.132                2017/02/23  1:54:40  
:  
impi/2017.3.196                default      2017/06/30  4:26:35  
impi/5.1.3.258
```

MPIライブラリはIntel MPI 2017.3がデフォルトで使用される

```
/home/opt/local/modulefiles/L/core:  
vtune/2016.4.0.470476          2016/11/11 11:34:22  
:  
vtune/2018.1.0.535340          default      2017/12/20  8:29:14
```

性能プロファイラ(Intel VTune)のmoduleも使用できる

module版OpenFOAM 4.1の環境設定

module openfoam/4.1のhelp表示

```
module help openfoam/4.1
```

(2) Make a job script

```
[username@ofp01 ~]$ vi run.sh  
#!/bin/sh
```

バッチジョブ独自の設定

```
#PJM -L rscgrp=regular  
#PJM -L node=1  
#PJM -L elapse=1:00:00  
#PJM -j
```

module版OF-4.1の環境設定部分

module purge	標準で有効なmoduleをpurgeで全てunload
module load gcc/4.8.5	Gcc-4.8.5のmoduleをload
module load openfoam/4.1	OF-4.1のmoduleをload
source \$WM_PROJECT_DIR/etc/bashrc	OpenFOAMの環境設定

module版はKNL独自のバイナリではなく、Intel Xeon機のログイン/プリポストノードでも動作するので、module helpでのjob scriptにおける環境設定部分を実行すれば、ログイン/プリポストノードでもOpenFOAMのコマンドが実行可能(ただし、ログインノードでは並列計算は禁止)

関連Webサイト

[OFF] The OpenFOAM Foundation (<http://www.openfoam.org/>)

[OFC] OpenCFD Ltd (ESI Group)(<http://www.openfoam.com/>)

[OFT] オープンCAE勉強会@関西OpenFOAMチュートリアルドキュメント作成プロジェクト(<https://sites.google.com/site/freshtamanegi/>)

[OCSJ] オープンCAE学会(<http://www.opencae.or.jp/>) OpenFOAMユーザガイド和訳, プログラマズガイド和訳, The ParaView Tutorial和訳, 過去のシンポジウム・ワークショップ・講習会資料

[PENGUINITIS] (<http://penguinitis.g1.xrea.com/>) 圧倒的な情報量

[FN365] (<http://caefn.com/>) 多くのOpenFOAMに関するスライド(日本語・英語)も公開

[installOpenFOAM] OpenFOAM自動ビルドスクリプト(<https://gitlab.com/OpenCAE/installOpenFOAM/blob/master/README.md>) スパコンでOpenFOAMを自動でビルドする