

# オープンCAEを活用した 大規模高速演算及び 大規模モデルの取扱

株式会社デンソー  
技術管理部  
CAE開発設計・促進室  
野村悦治、今川洋造

<http://top500.org/>

Performance Development



705,024コア



数千コア

FOCUSスパコン利用料金表

[http://www.j-focus.or.jp/spacon/pricelist\\_spacon.pdf](http://www.j-focus.or.jp/spacon/pricelist_spacon.pdf)

1ノード当り、1か月 60,480 円  
(12コア)

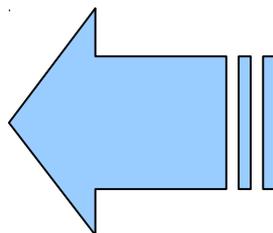


<http://aws.amazon.com/jp/ec2/>

クラスタコンピュータ リザーブド インスタンス	1年間
クアドラブル エクストララージ	\$4290

(8コア)

100コア級の計算環境  
約500万円／年

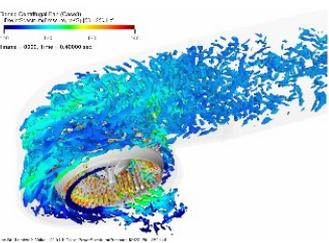


<http://www.ajk2011-fed.org/index.html>

**AJK2011-23018**

---

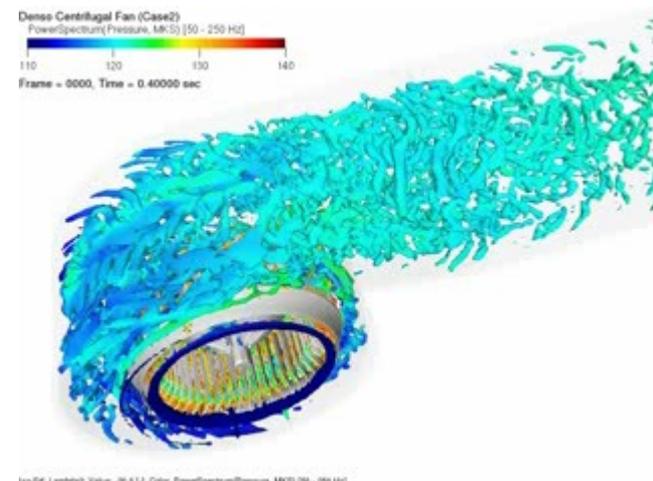
**HVAC blower aeroacoustics predictions  
based on the  
Lattice Boltzmann Method**



*F. Pérot, K. Wada  
K. Norisada, M. Kitada, S. Hirayama, M. Sakai, S. Imahigasi  
N. Sasaki*

---

**ASME-JSME-KSME Joint Fluids Eng. Conf.,  
2011 July 24-29**



メッシュ(ボクセル)  
約1500万セル  
現象0.5s(25回転)  
計算時間:  
32h@96コア

<http://ckatolab.iis.u-tokyo.ac.jp/propeller.htm>

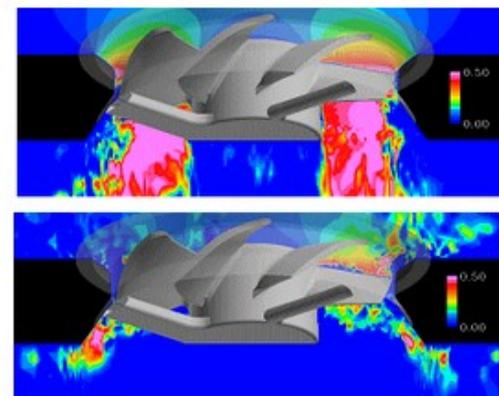
## Kato Chisachi Lab. Fluid Flow and Thermal Systems Control

ckatolab.
member
research
gallery
facilities
publications
access
link

### 流体騒音の予測と低減

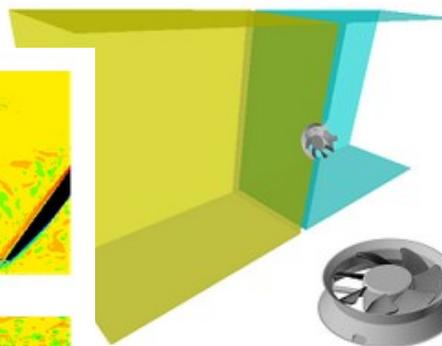
#### プロペラファンから発生する空力騒音の数値シミュレーション

本研究は、プロペラファンから発生する空力騒音の数値的予測手法を研究開発し、さらに、低騒音ファンの設計指針を確立することを最終的な目標としている。まず、検証データを取得するためプロペラファンから発生する空力騒音を計測し、さらに、大規模LESによる数値シミュレーションから広帯域騒音の定量的予測と騒音源の特定を行った。この結果、騒音のスペクトルを定量的に予測できる見通しが得られた。

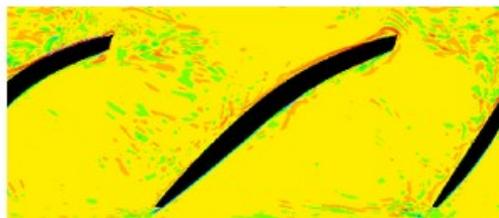
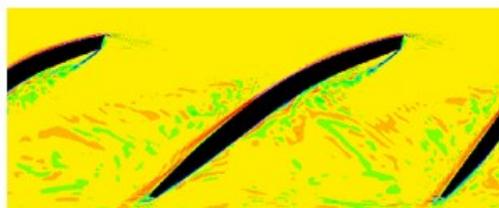


(b) ファンの後流

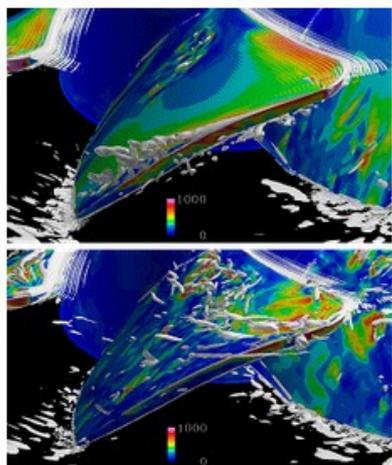
(<上>高流量時,<下>低流量時)



(解析メッシュ3200万要素)



(d) 翼端付近の断面で見た瞬時の渦構造  
(<上>高流量時,<下>低流量時)



(c) 瞬時の渦構造  
(<上>高流量時,<下>低流量時)

- 自動車用の回転送風機器  
カーエアコン送風機、ラジエータファンなど

試作前段階で性能（流体騒音、ファン性能・効率）評価

- 流体騒音（広帯域騒音を含む）を計算で予測
- 製品CADデータを使用→自動メッシュ作成

- 汎用ソフトの利用 → コスト
- オープンCAEの利用 → ソフトの性能、ノウハウ不明

02      03      04      05      06      07      08      09      10      11



文部科学省ITプログラム  
**戦略的基盤ソフトウェアの**  
 Frontier Simulation Software for Industrial



文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発  
**革新的シミュレーションソフトウェアの**  
 Revolutionary Simulation Software

文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発

**イノベーション基盤**  
 シミュレーションソフトウェアの研究開発



文部科学省次世代IT基盤構築  
 スーパーコンピュータ  
**先端ソフトウェア産業応用部会**



ダクト(静止体)の騒音解析    ファン(回転体)の騒音解析

**カーエアコンから騒音を予測する開発が！**  
**騒音を予測する**  
 (株)デンソーでは、カーエアコンの低騒音化技術開発の一環として、送風騒音に着目して、流体騒音予測技術を開発中であるが、これまで実験検証する以外に有効な解析手法がなかった。ここに次世代流体解析グループで開発したFrontFlow/Blueを使って流体解析し、得られた圧力変動から、騒音をかなりの高精度で予測できそうな結果を出しつつある。これにより、送風システムの低騒音設計が可能になることを期待している。

第27回技術討論会<熱機器ブロック> 1/14

**流体騒音予測技術の開発**  
 -HVAC基礎モデルでの騒音予測の検証-

発表者: フック開発2部 CAE室 若原 善行  
 倉庫房実験部 CAE室 北田 基博  
 開発部 野村 悦治

2006 第20回  
 数値流体力学シンポジウム



2004.Dec **FSISNEWS**

Open FOAM



- 研究の目的

オープンCAEで実用可能性を見出す

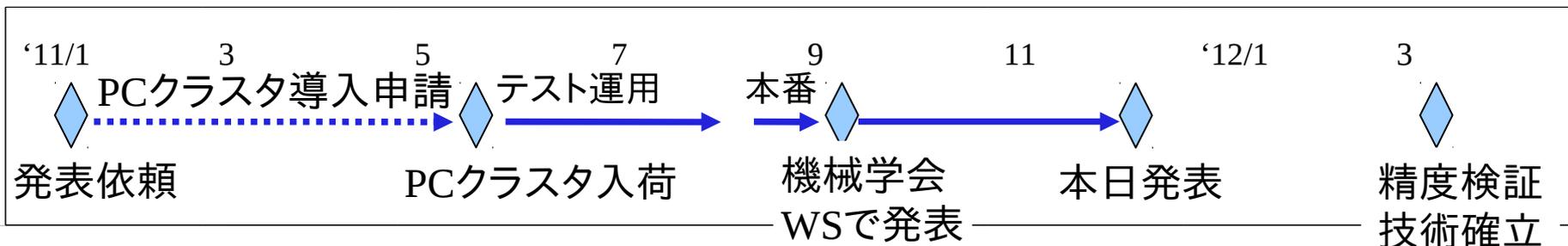
既存技術・公開情報の活用、  
 自助努力(独自解釈)、自己責任  
 ⇒ 活用ノウハウの構築

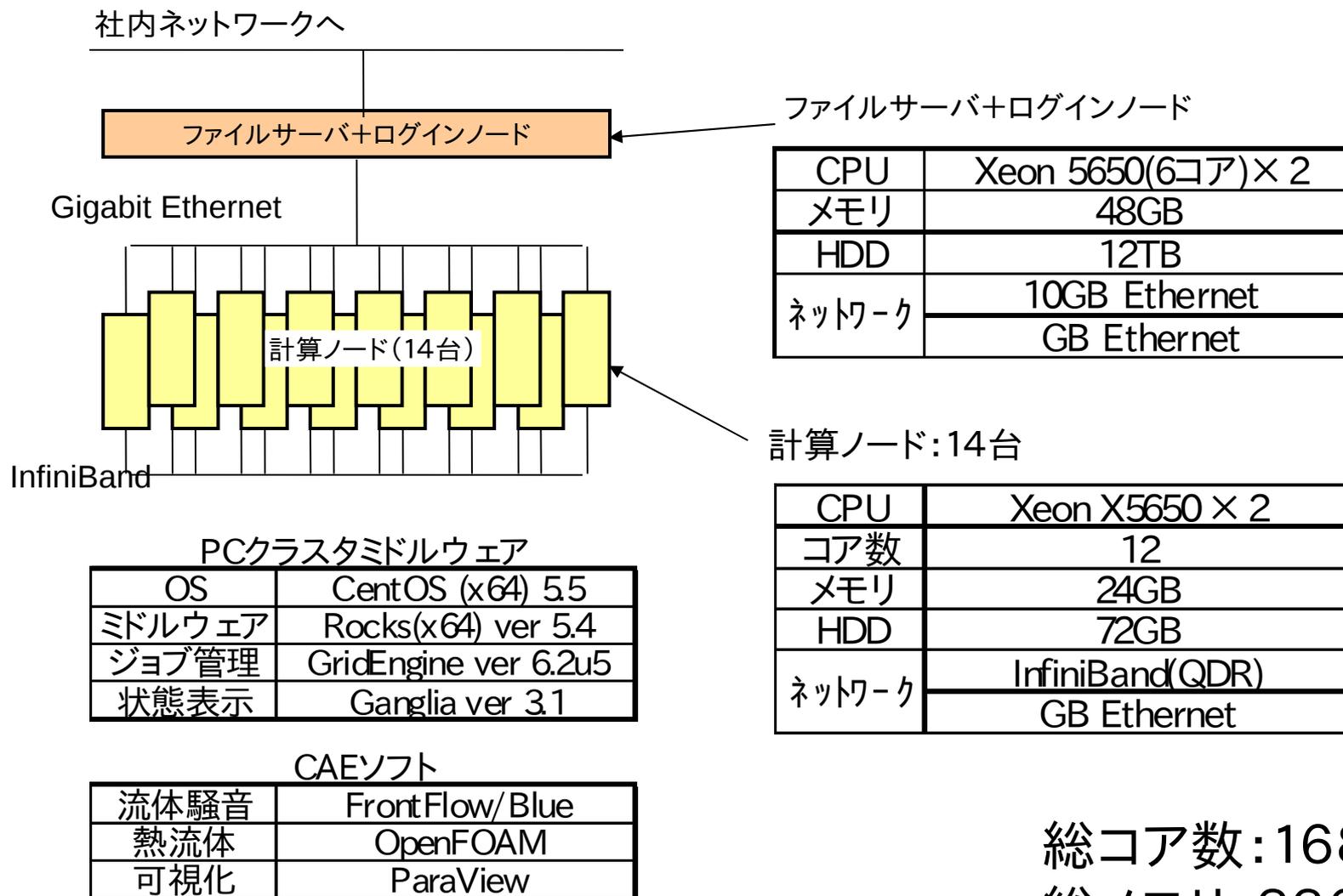
- 発表の目的

活用ノウハウ、ソフト性能評価結果の公開

オープンCAE開発・利用者からのFB  
 利用者の拡大⇒新たな視点・ノウハウ

- ゴール(計画)





総コア数:168  
総メモリ:336GB

- FrontFlow/Blue(FFB)

- 有限要素法ソルバー
- メッシュは独自 (GF) 形式、gridgen形式は変換OK
- メッシュタイプは、全テトラまたは全HEX
- v6.1 ('11/6) 以降、マルチ要素にも対応

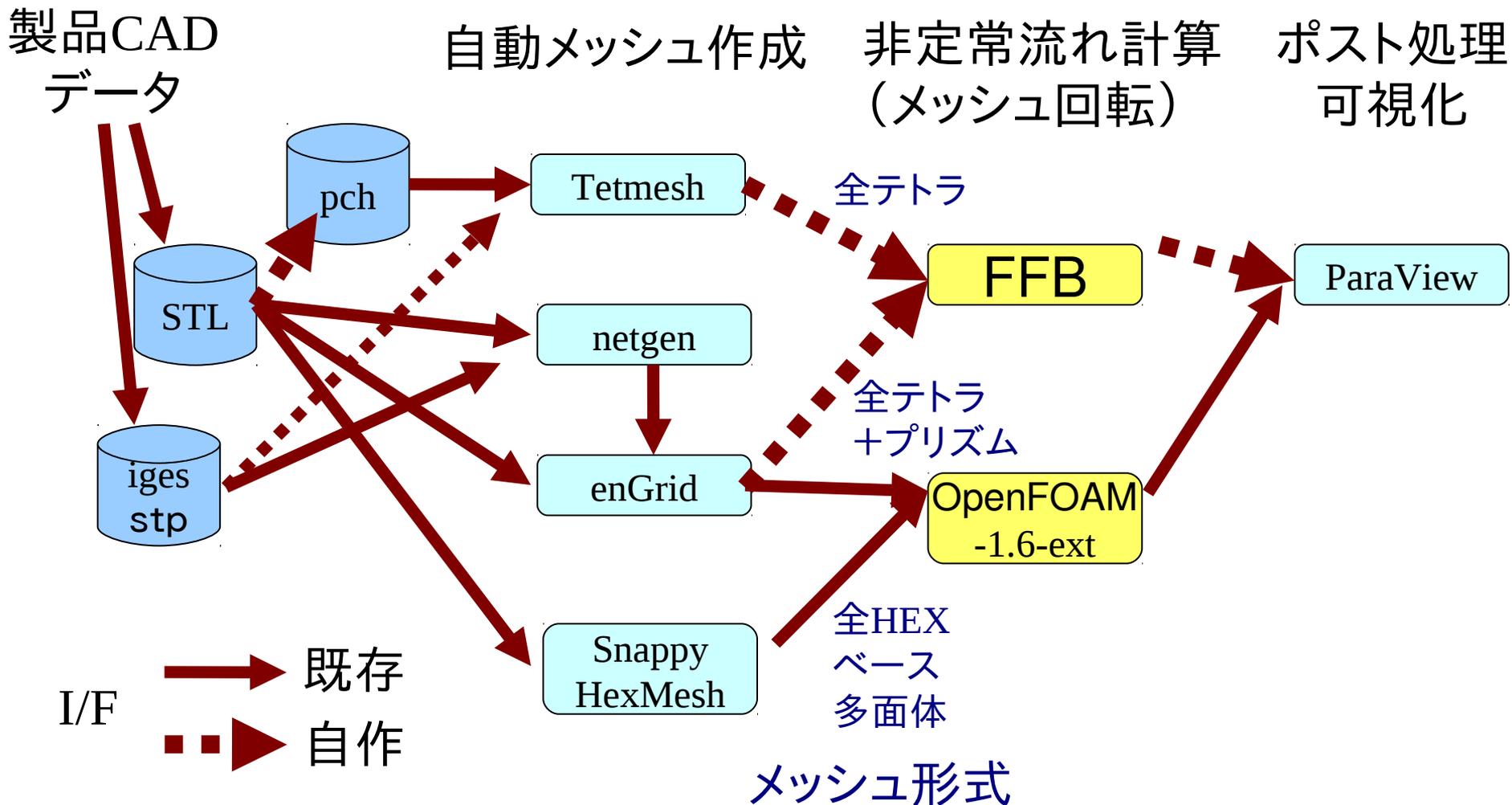
文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発

イノベーション基盤  
シミュレーションソフトウェアの研究開発



- OpenFOAM-1.6-ext / pimpleDyMFoam

- 有限体積法ソルバー
- メッシュタイプは多面体なら何でもOK
- 独自形式、様々な形式 (fluent, ccm+, ..) の変換も可能
- 独自のメッシュ作成ツール (blockMesh, snappyHexMesh)

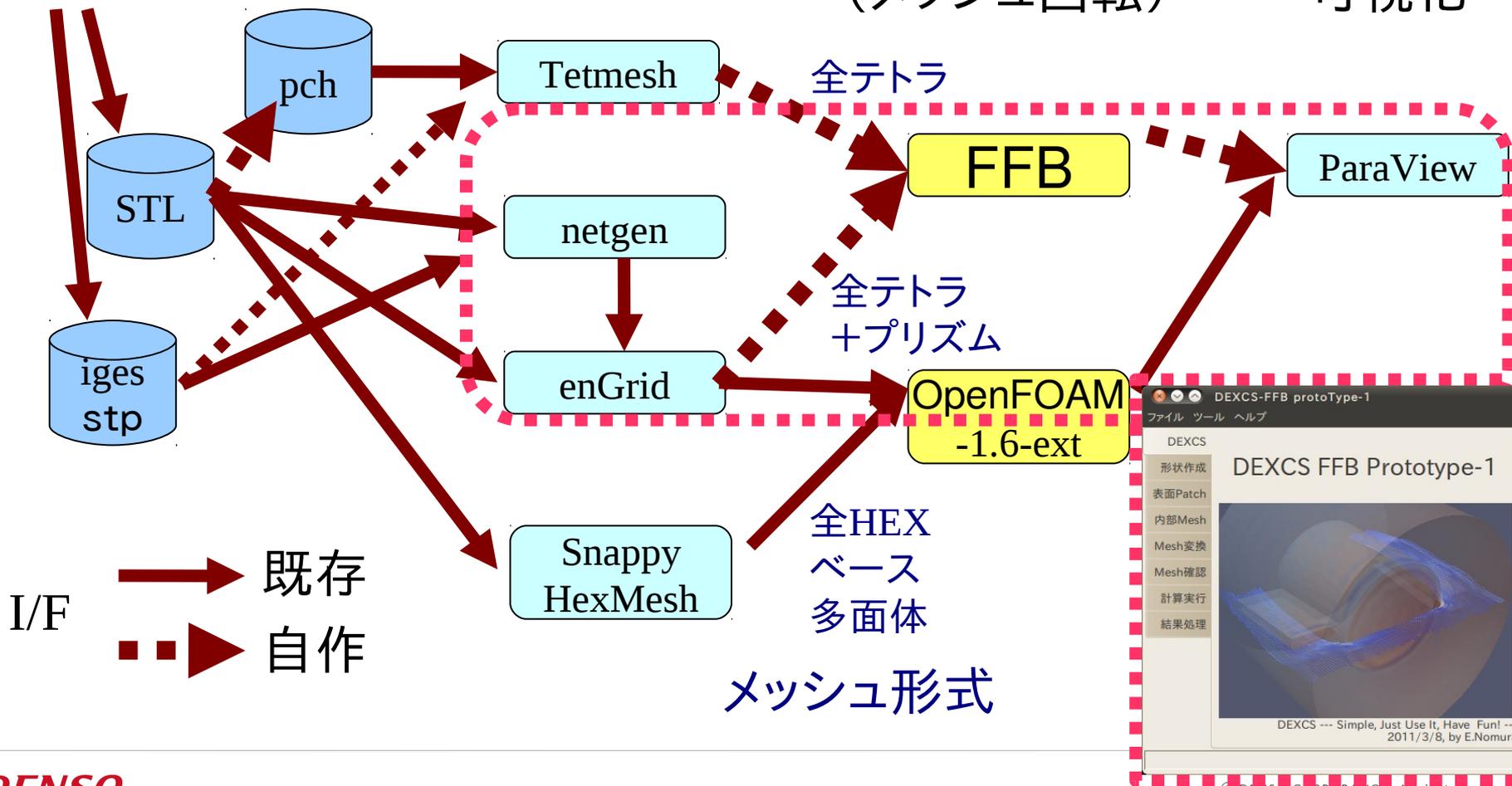


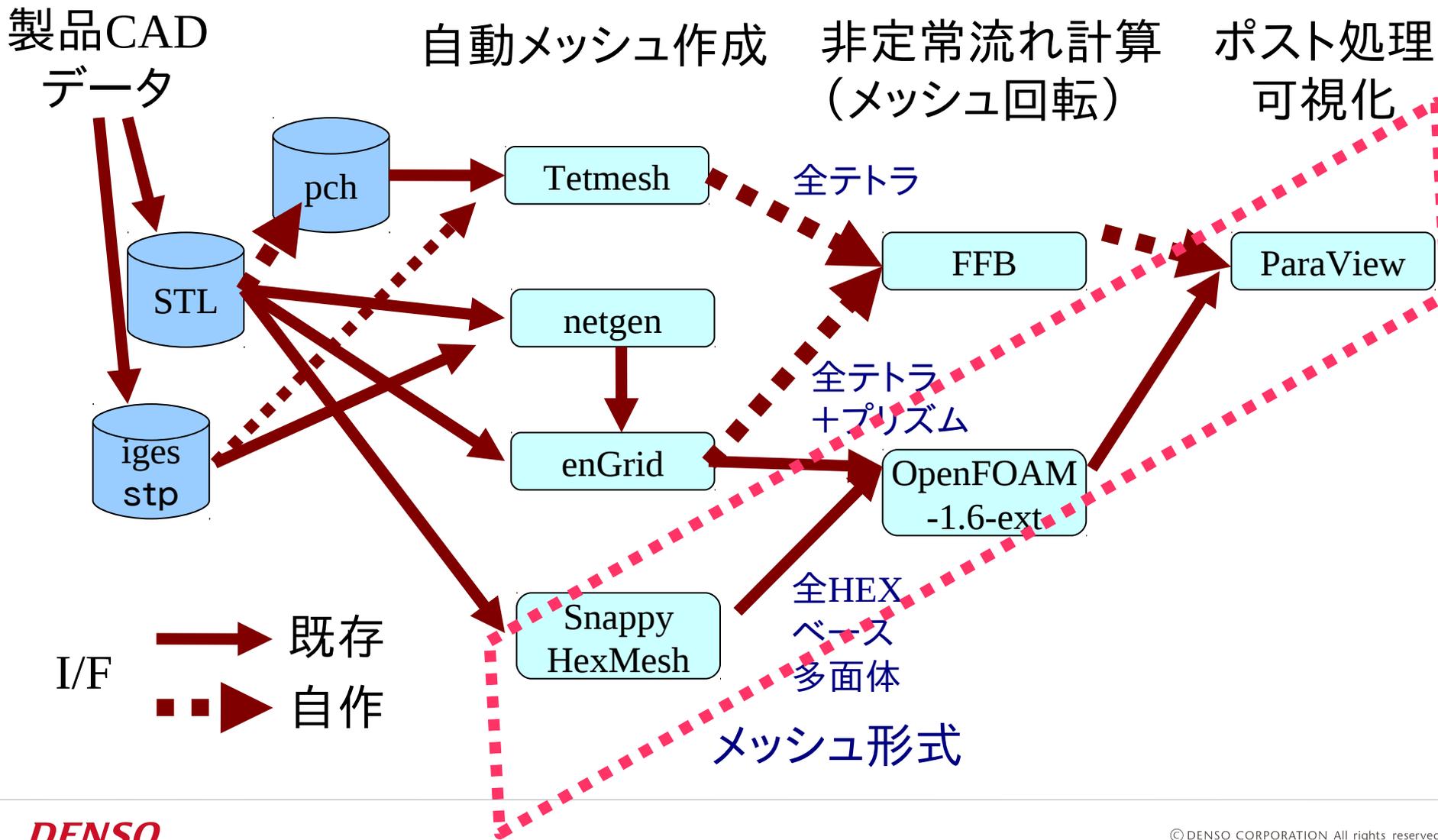
製品CAD  
データ

自動メッシュ作成

非定常流れ計算  
(メッシュ回転)

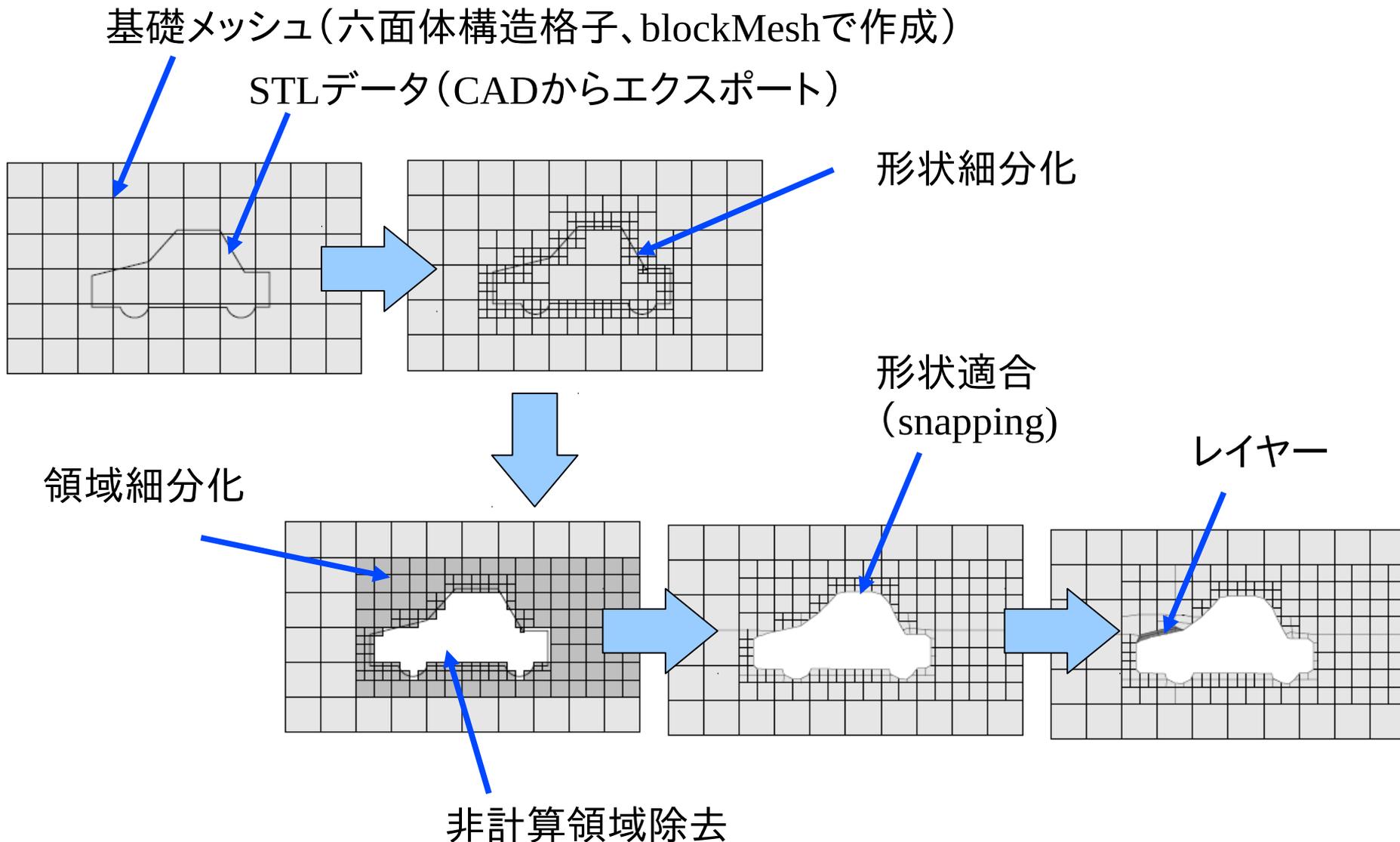
ポスト処理  
可視化

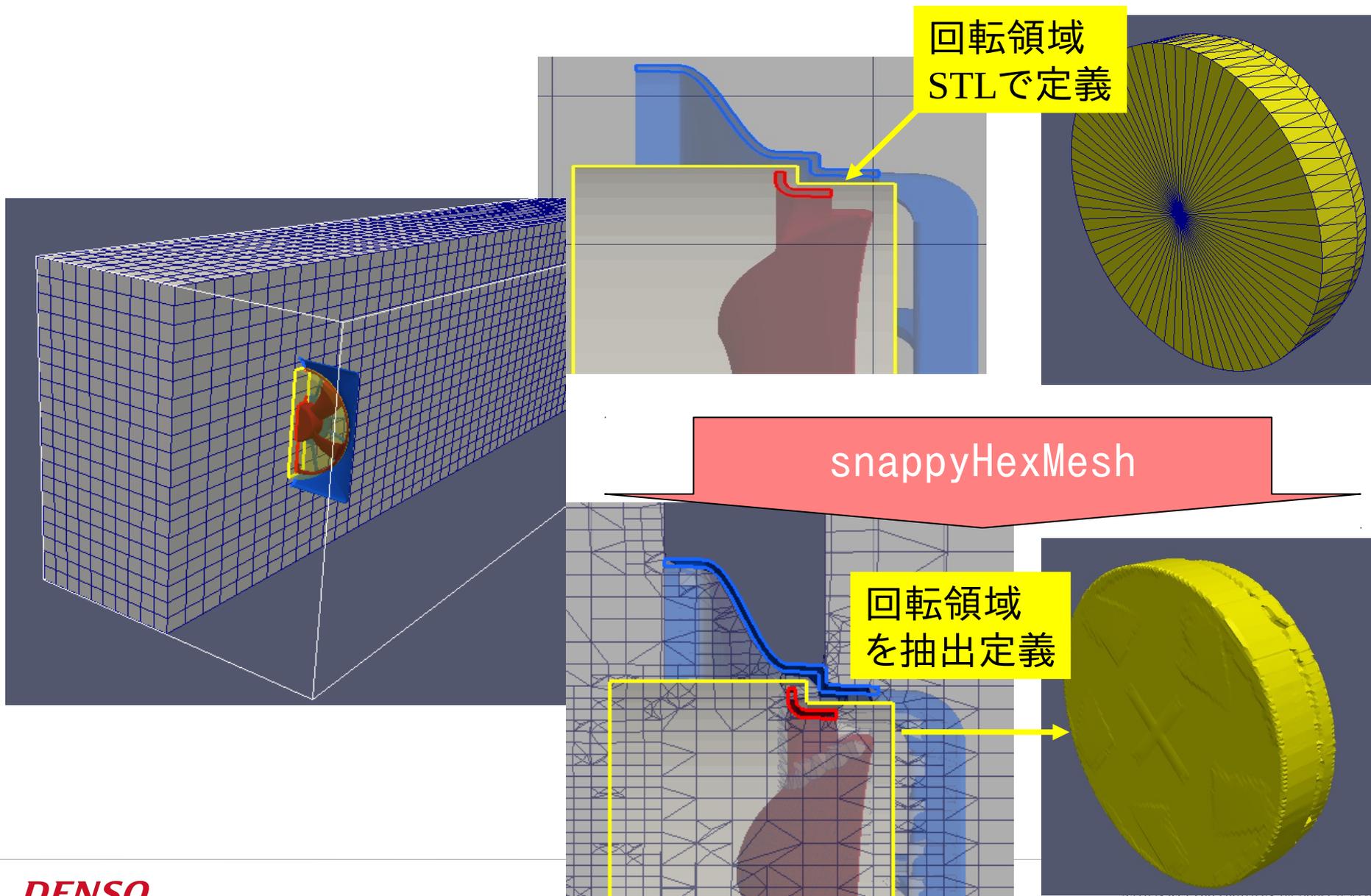


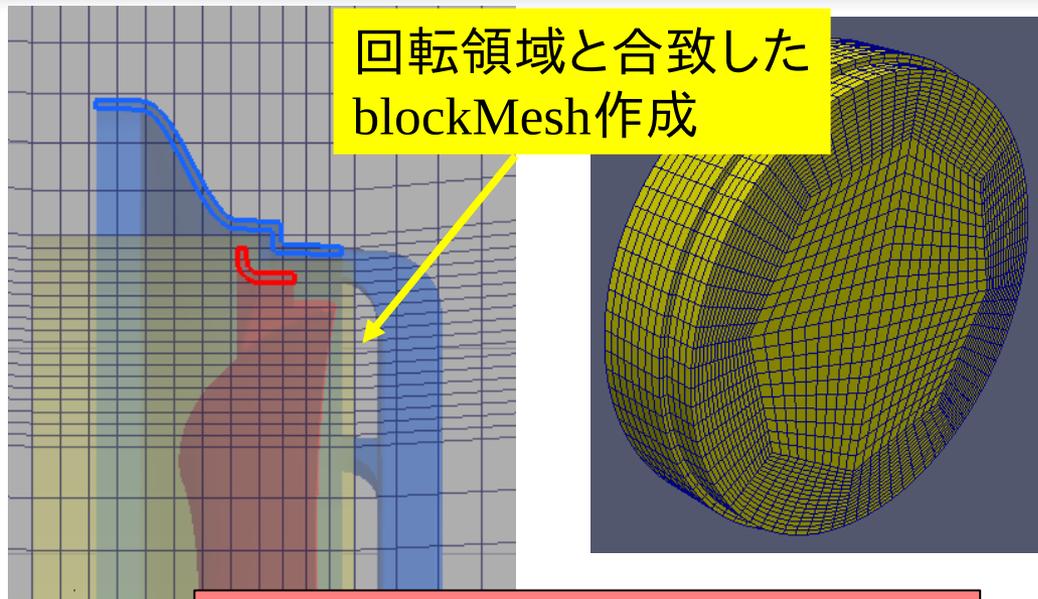
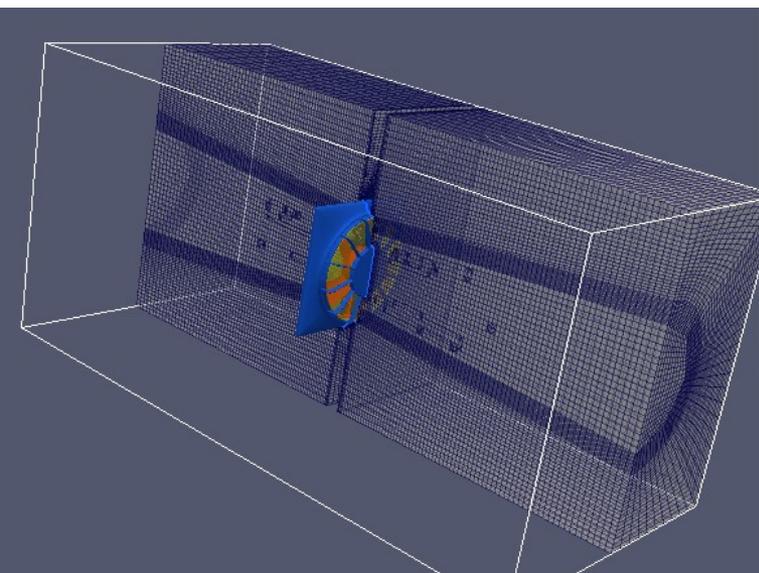


- オールテトラ: 数100万セルでの計算は実施済 ('09/12)  
計算速度はOK、計算精度に難(境界層の分解能)
- マルチ要素(レイヤーメッシュ)対応版の調査('10/6～)
  - 製品CADデータを使ったメッシュ自動作成は目処がついたものの、FFBでの計算は発散
- 上記自動メッシュ作成ツールは並列計算対応困難で、1000万超メッシュは、FFBのリファイナー機能に期待
  - リファイナー機能がオーバーセット計算で不具合

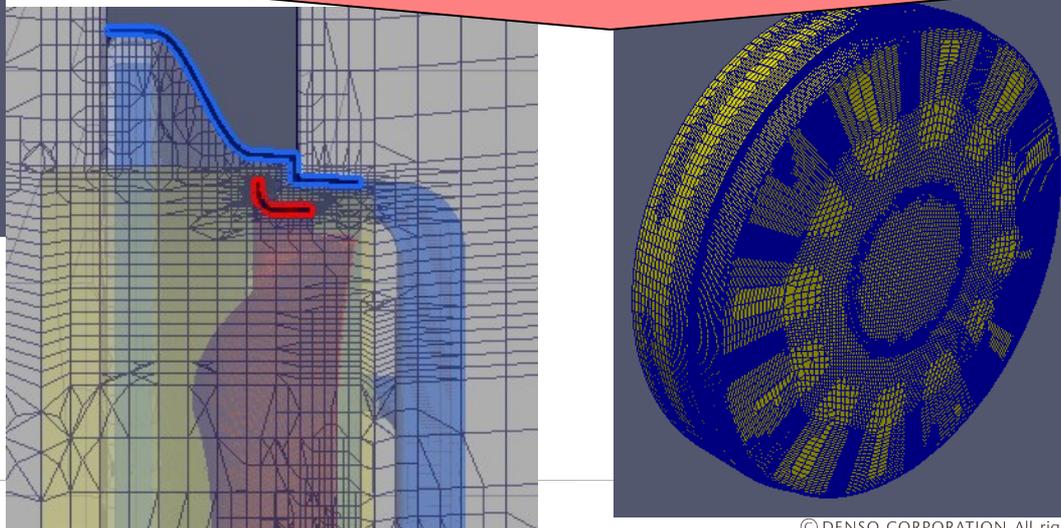
- 製品CADデータを使ったsnappyHexMeshによる自動メッシュ作成は実用化の可能性大
- 定常計算であれば、1000万超規模の計算も並列高速化可能
- メッシュを回転させる非定常LES計算は、OpenFOAMのext版のGGI機能を利用可能
- 回転領域のメッシュ作成に工夫が必要であったが動作確認は出来た
- 並列演算による高速化性能はやや物足りない



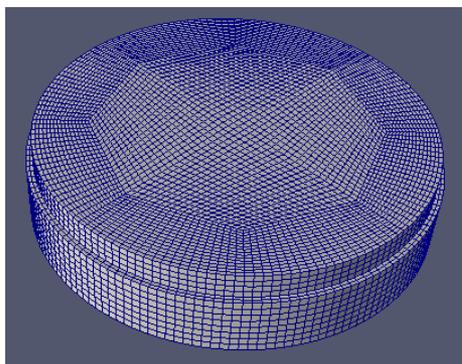
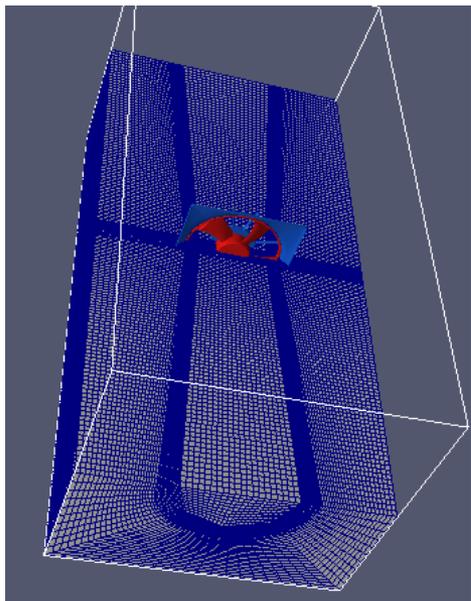




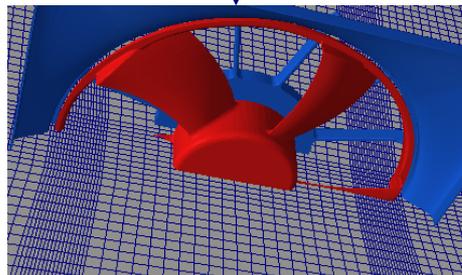
snappyHexMesh



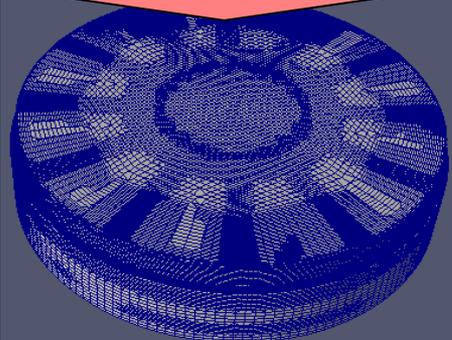
## 基礎メッシュ



一体

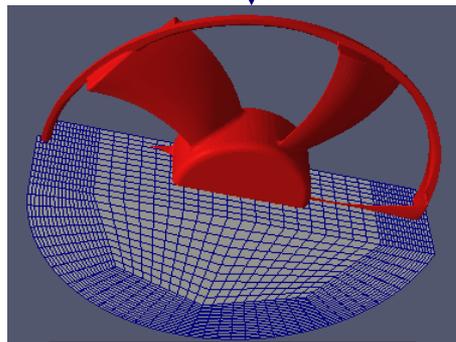


snappyHexMesh

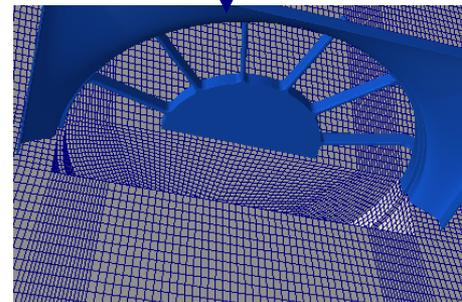
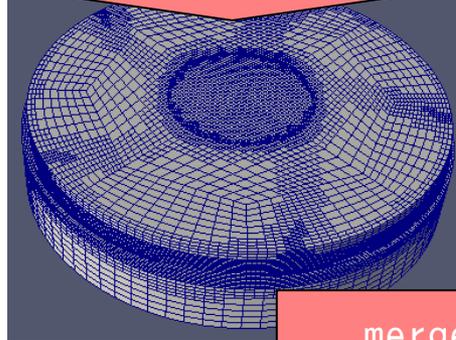


連続メッシュ

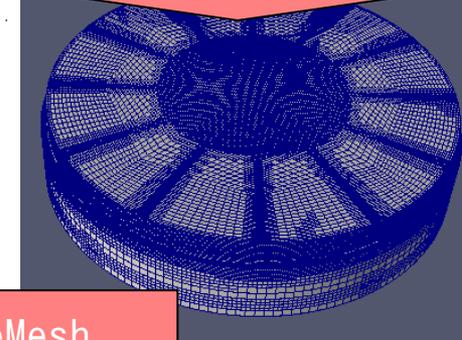
分割



snappyHexMesh



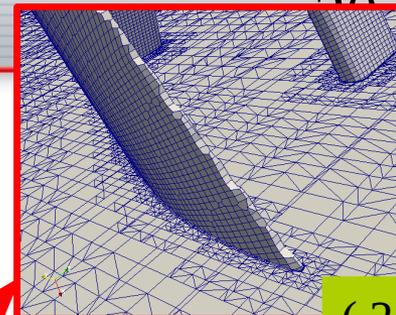
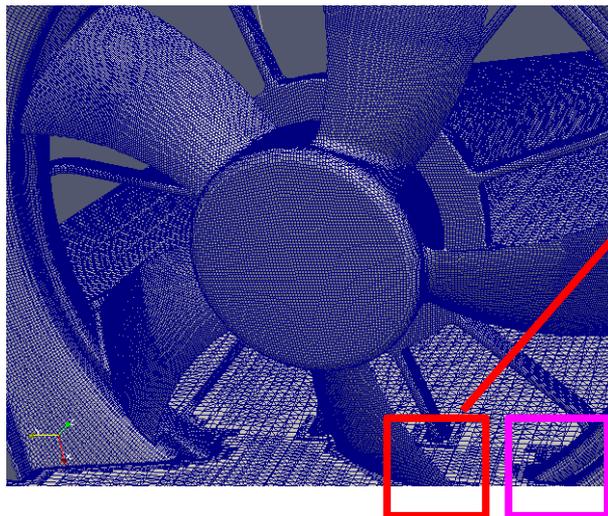
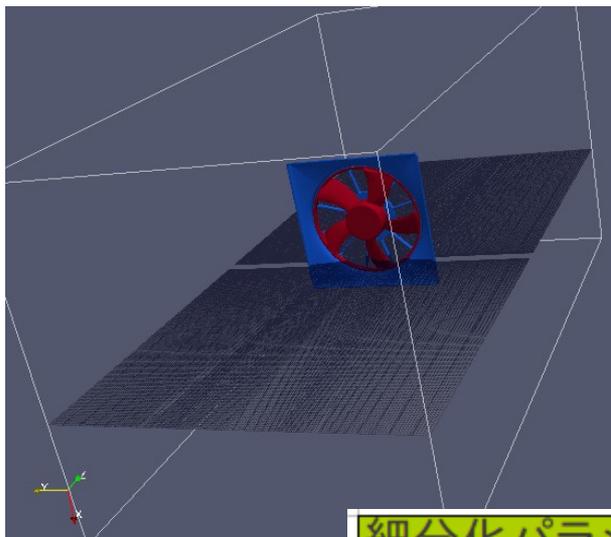
snappyHexMesh



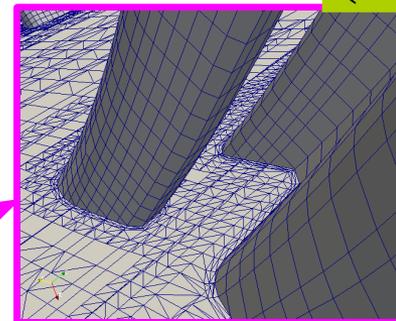
mergeMesh

不連続メッシュ

# メッシュ作成例

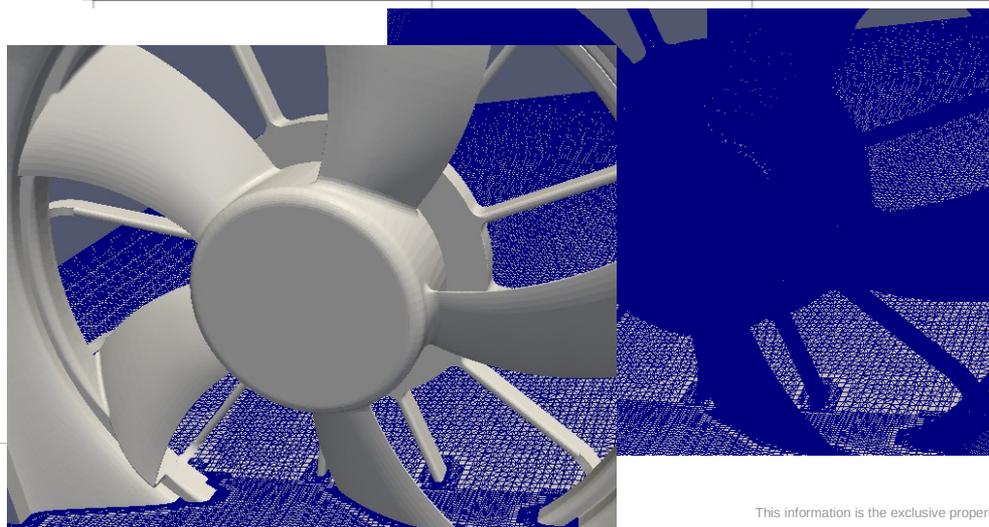


(2 2)



(3 4)

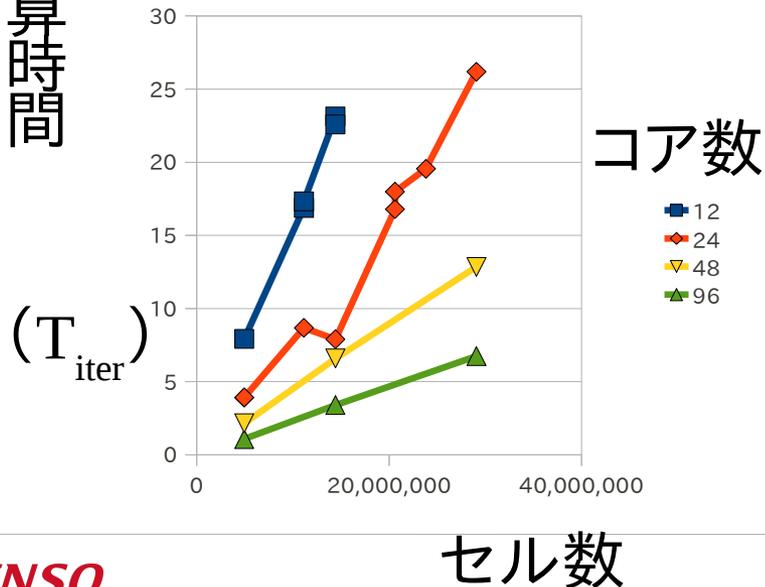
細分化パラメタ	nPoints	nCells
(2 2)	12,007,308	11,143,146
(3 4)	35,138,350	29,082,052



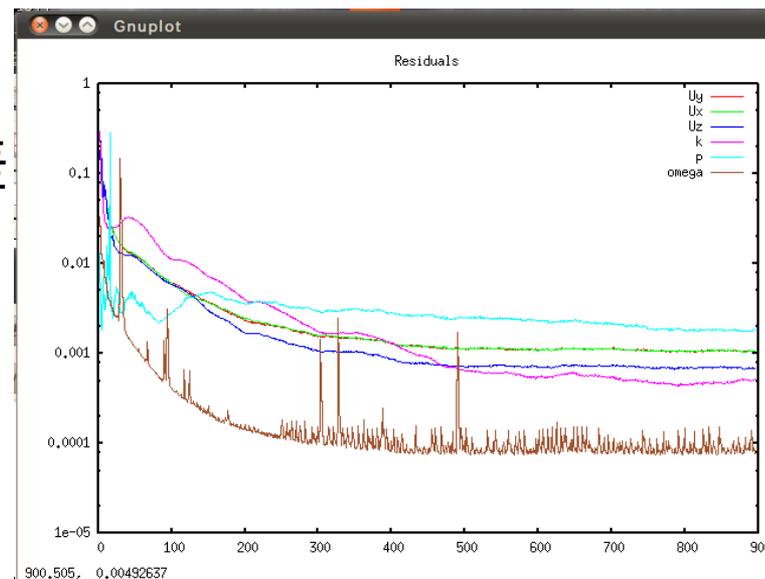
ソルバー: MRFSimpleFOAM  
(OpenFOAM-1.7.x)

$T_{iter}$ : イタレーション(1回)  
に要する時間(sec)

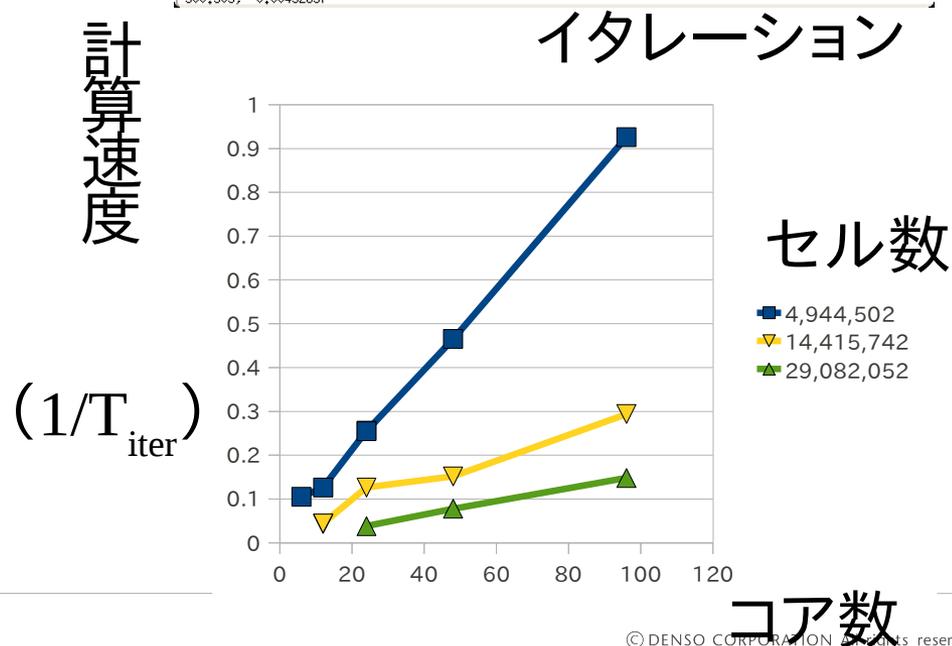
計算時間



残差



計算速度

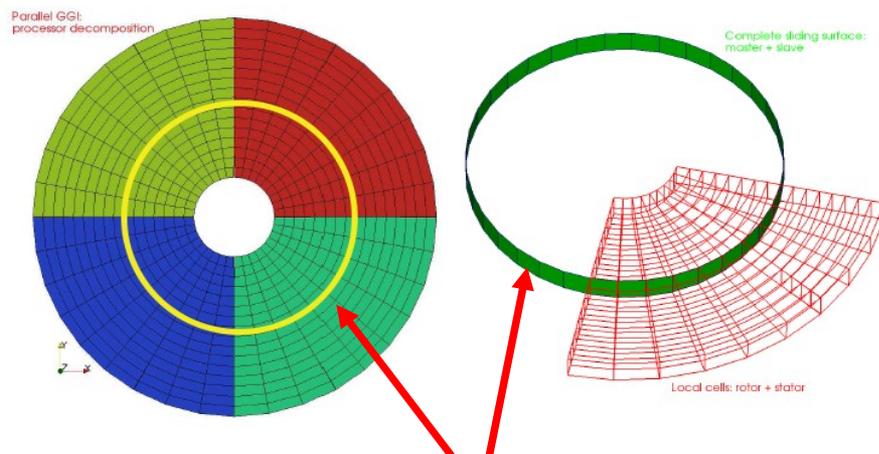


ソルバー: MRFSimpleFOAM

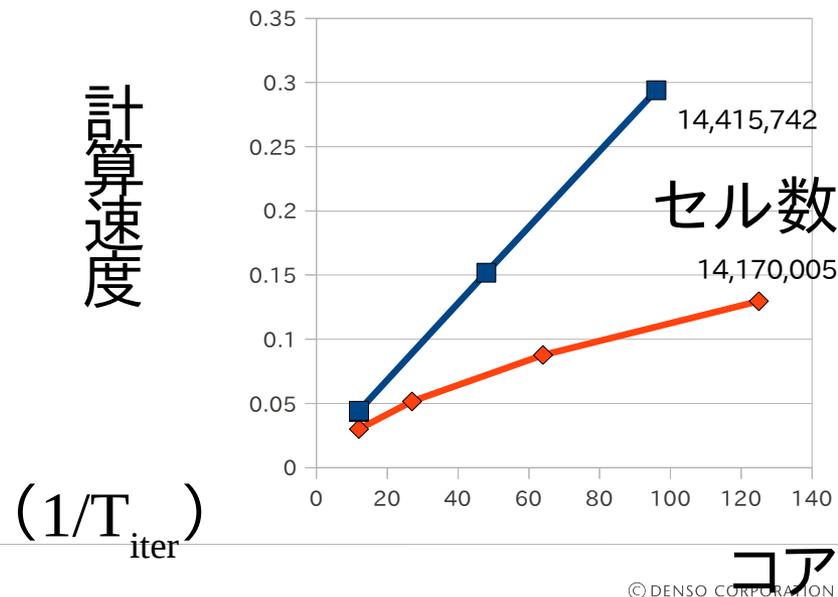
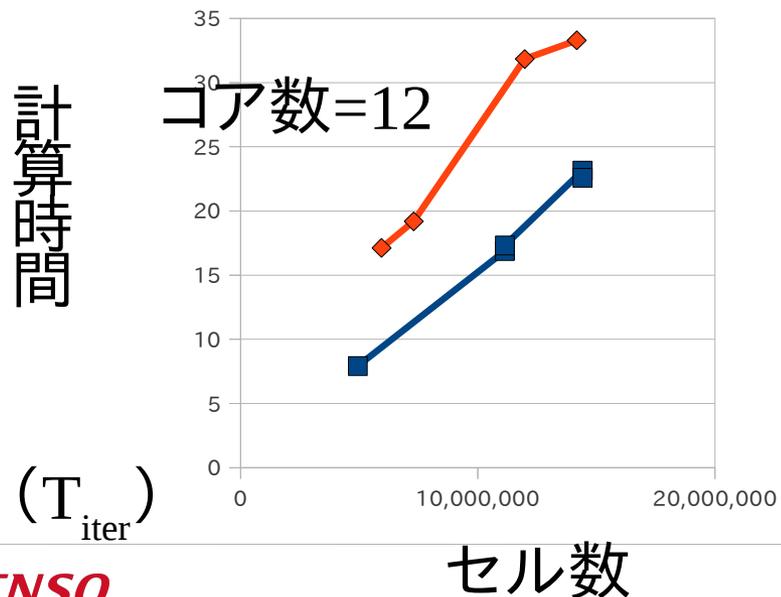
連続メッシュでの計算  
OpenFOAM-1.7.x

不連続メッシュでの計算  
OpenFOAM-1.6-ext

$T_{iter}$ : イタレーション(1回)  
に要する時間(sec)



Global sync of GGI data



## OpenFOAM

‘04/12~GPL

OpenCFD Ltd.

Wikki Ltd.

v1.3

v1.4

v1.5

v1.6

v1.7

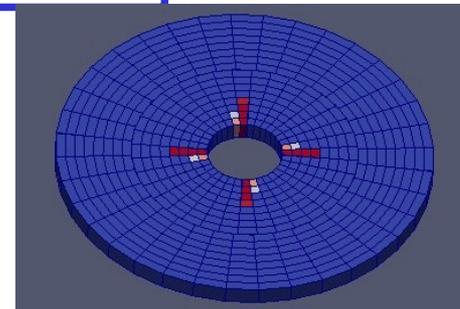
v2.0

v1.5-dev

v1.6-ext

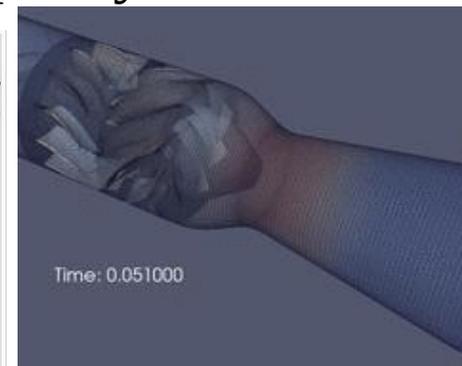
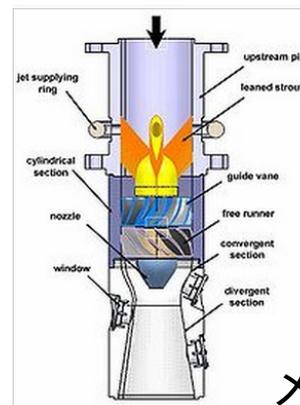


icoDyMFoam

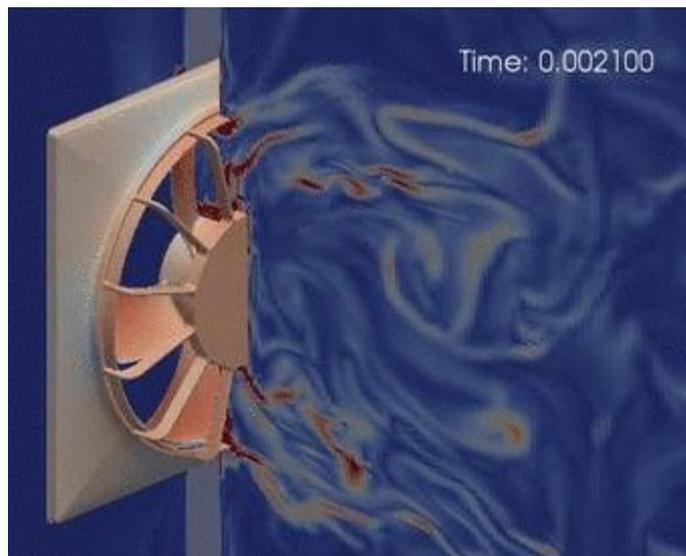


pimpleDyMFoam

transSimpleDyMFoam

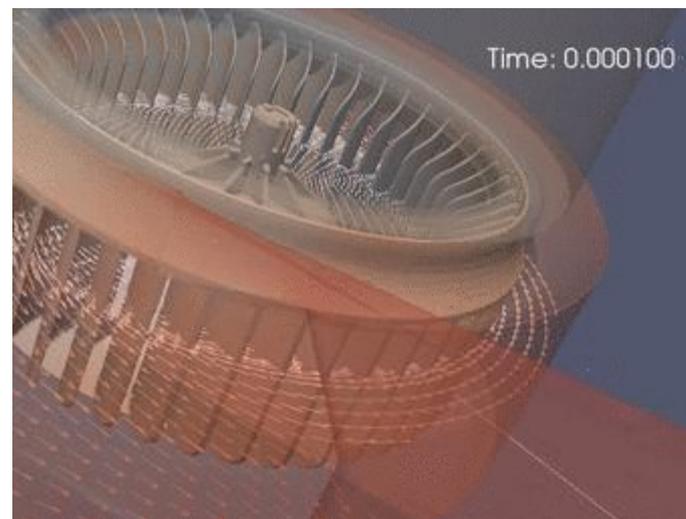


メッシュ: 約270万セル  
現象1.0s (15回転 / 920rpm)  
計算時間: 20h @ 32コア



caseA

メッシュ:約1400万セル  
 現象0.03s (1回転 / 2000rpm)  
 計算時間:17h@80コア



caseB

メッシュ:約1900万セル  
 現象0.01s (0.5回転 / 3000rpm)  
 計算時間:50h@64コア

- メッシュ自動作成ツール  
snappyHexMesh 以外は並列計算非対応、または不明
- FFBの前処理 (リファイナ、オーバーセットデータ作成)
- OpenFOAMの後処理 (reconstructPar)

- paraview

		caseA	caseB
セル数		1400万	1900万
データ出力間隔 (現象時間)		0.0001sec	←
1出力当たり	データサイズ	700MB	1150M
	計算時間	3.4分 (@80コア)	30分 (@64コア)
	再結合時間	10.6分	23分
	(paraview) 動画 用シーン作成時間	5.5分	2.7分

モデル	caseA-s1	caseA-s2	caseB-s1	caseB-s2	caseA	caseB	TSG	
メッシュ作成ツール	STAR-CCM+				snappyHexMesh		ICEM	
節点数	13,258,893	13,242,464	5,881,765	5,927,035	14,170,005	23,565,836	2,860,358	
要素数	2,608,714	2,624,614	1,929,365	1,900,733	16,123,406	18,942,599	2,703,588	
回転領域要素数	1,446,255	1,444,270	1,554,566	1,139,503	3,165,632	13,009,472	708,050	
GGI境界面の数	回転側	259,301	259,245	31,650	50,983	42,717	116,646	26,950
	静止側	259,301	259,245	12,446	8,249	119,004	83,106	20,338
チェックメッシュの結果 朱字はエラー	未使用節点	2,039,203	2,041,736	128,409	139,112			
	最大アスペクト比	48.8	52.7	91.0	357.4	100.2	110.1	25.5
	最大非直交角	86.8	118.7	129.5	120.1	77.9	77.8	74.9
	非直交面の数	1,292	988	24,338	49,086	16,780	7,567	675
	非直交面エラー	0	4	26	15	0	0	0
	ピラミッド面エラー	3	19	210	147	0	0	0
	面方向不良	3	17	206	143	0	0	0
	最大スキュー角	13.4	120.1	254.0	69.9	3.5	9.3	1.8
スキュー面不良	69	17	654	295	0	138	0	
MRFSimpleFoam	◎	○	○	○	◎	◎	○	
pimpleDyMFoam	○	△	△	×	○	○	◎	
transientSimpleDyMFoam	△	△	○	△	○	○	◎	

MRFSimpleFoam: 定常RANS計算 (マルチフレーム)  
 pimpleDyMFoam: 非定常LES計算 (スライディングメッシュ)  
 transientSimpleDyMFoam: 非定常RANS計算 (同上)

◎: デフォルトパラメタにて安定計算可能  
 ○: パラメタチューニングにて安定計算可能  
 △: 同上だが、結果が不合理  
 ×: 発散

- 自動車用回転送風機器の流体騒音計算を製品の試作前段階で評価できるべく、オープンソースのLES計算ソフト(FFB,OpenFOAM)につき調査した。
- FFBは計算速度面で有望という感触を得たが、メッシュ品質に対するロバスト性に難があり保留中。
- OpenFAOM-1.6-extのGGIソルバーは、計算速度面で劣る面はあったものの、自動作成したメッシュにて計算可能であった(但し、計算精度検証は未実施)
- 1000万メッシュ超のデータの取扱いに際しては、ソルバー面での問題は少ないが、プリポスト処理に要する時間が計算時間以上に必要であった。