



オープンCAEシンポジウム2013

# オープンソース・ツールだけを用いた 複雑形状大規模CFD事例の紹介

株式会社マツダE&T  
エンジニアリング事業革新部  
平岡 武宜

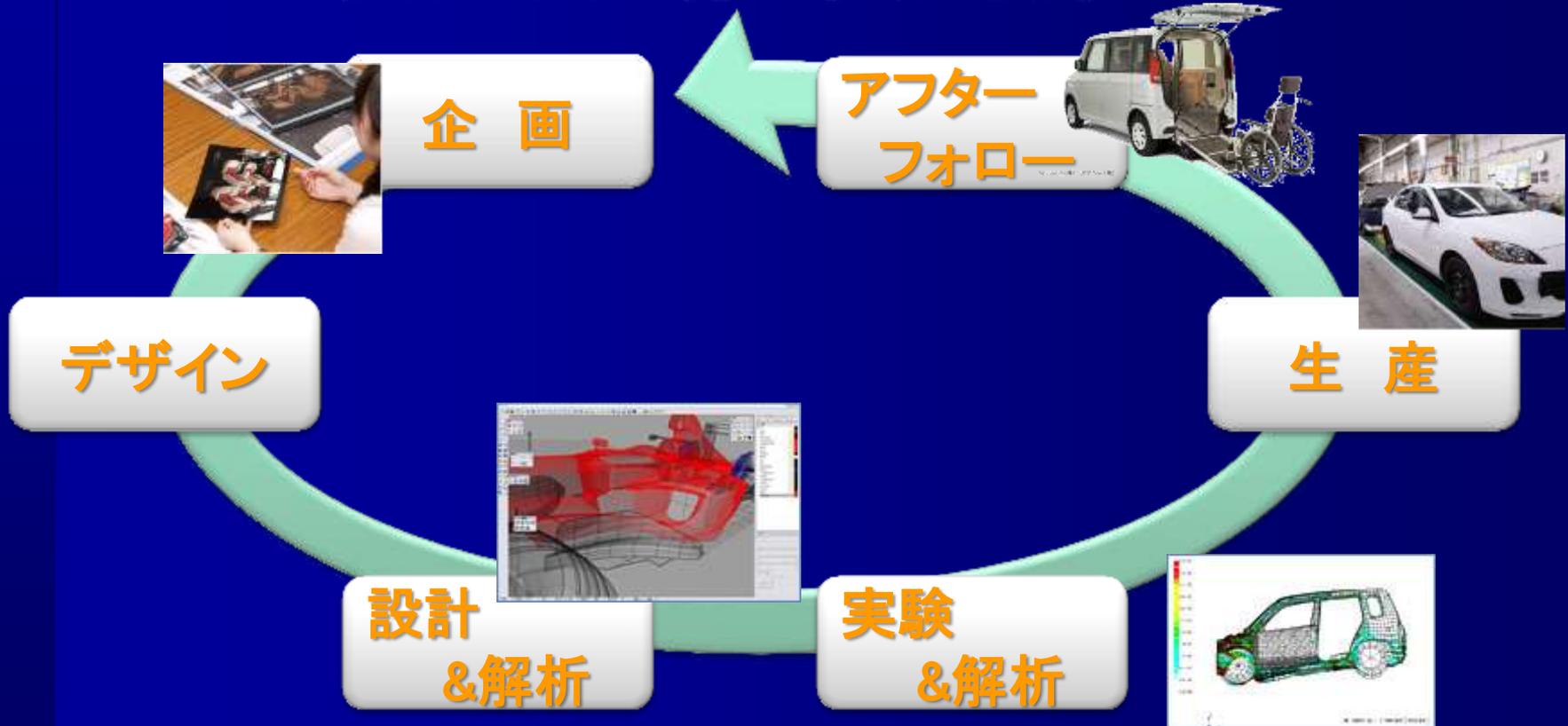
2013/12/6



# 1. 弊社の概要

## 事業内容

私たちは、Engineering & Technologyの2つの柱でクルマ社会の未来を拓く 事業を展開しています。





# 1. 弊社の概要

**MAZDA E&T**  
Mazda Engineering & Technology Co.,LTD

## 事業内容

あなたの夢をカタチにします

プレジャーカスタマイズ  
[乗用車]



ウェルフェアカスタマイズ  
[福祉車]



ビジネスカスタマイズ  
[特装车]





# 1. 弊社の概要

## 事業内容

あなたの夢をカタチにします

プレジャーカスタマイズ  
[乗用車]

ウェルフェアカスタマイズ  
[福祉車]

ビジネスカスタマイズ  
[特装車]



Photo:3人乗り [リアシート撤]



空力/冷却性

空調

エンジン系

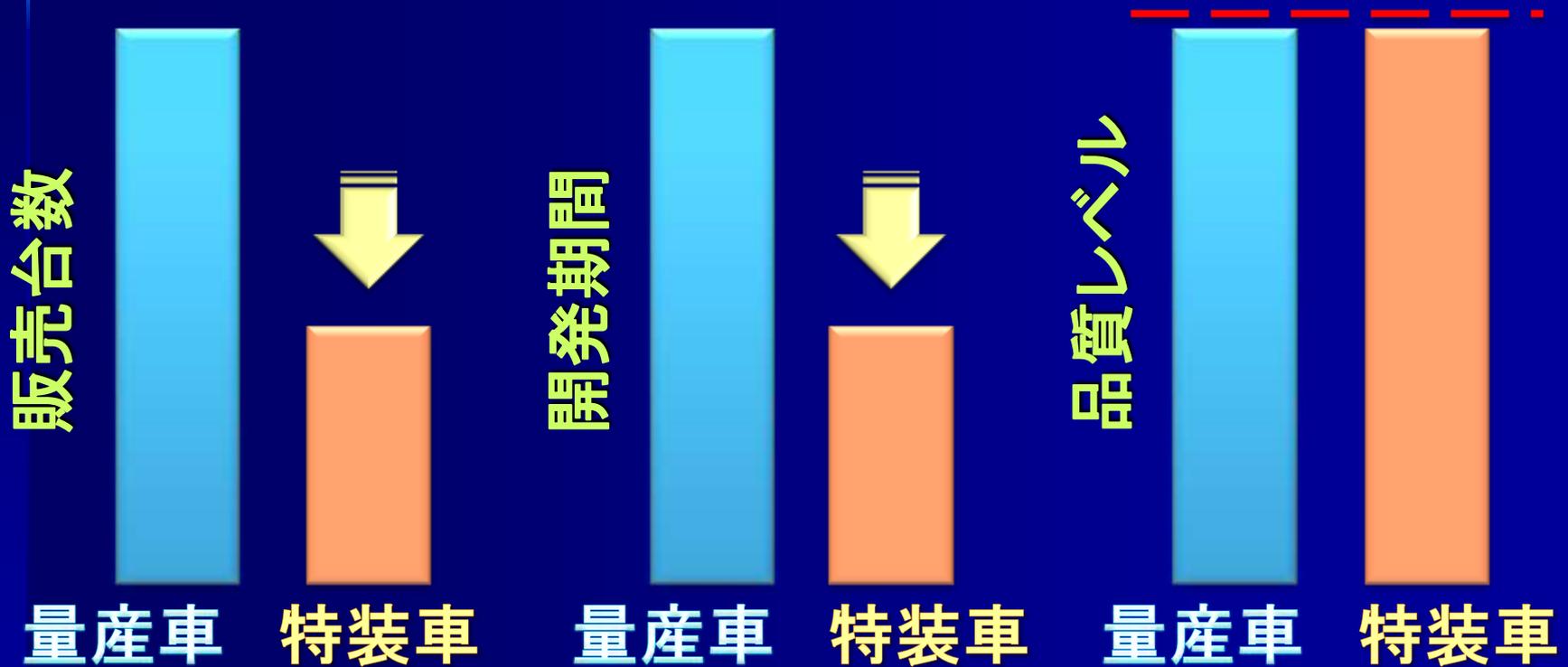
流体に関連する課題解決のニーズは高い



## 特装車開発の課題

### 特装車開発の特徴

※イメージ



キーワードは「超短期」「低投資」⇒OpenFOAMの検討へ



# 検討事例

## 空力/冷却性評価



### CFD利用の目的

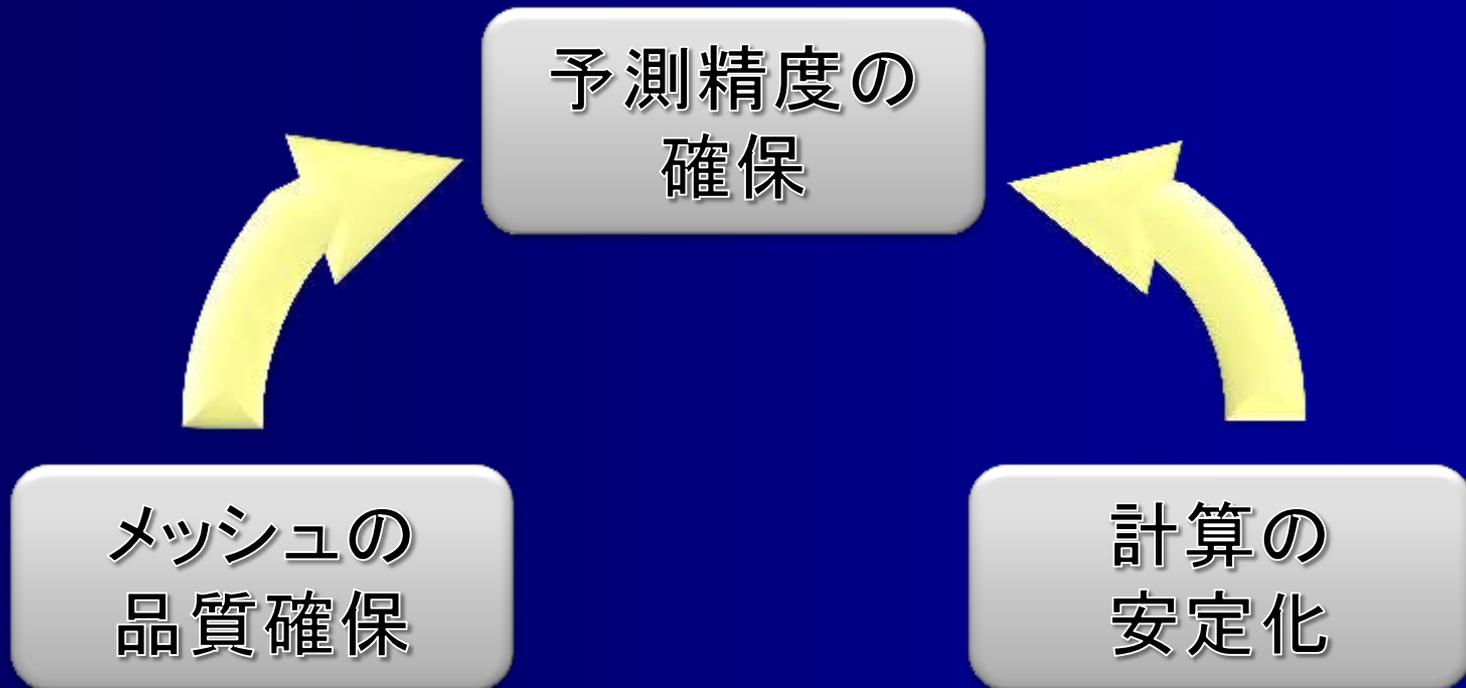
- ・燃費悪化の防止
- ・エンジン冷却性能悪化の防止

### シミュレーションの難しさ

- ・複雑形状（詳細設計済み部品多数）
- ・大規模計算



## 実用化のための能力課題



予測精度の確保には  
どちらも重要な要素



## OpenFOAMの課題

課題	課題詳細	難易度	対応
使い勝手	プリ処理ツールの機能不足(GUI)	中～高	当面は分野に特化したGUI開発が進むと予想
	UNIX系OSに限定される	高	当面は正式なWindows対応をされない様子
	メッシュャーの能力不足	低～中	他のメッシュャーを使う
計算安定性	安定性/収束性不足	高	アルゴリズムの再考が必要
サポート	サポート体制	低～中	既にいくつか存在
計算速度	計算速度	低	並列数を増やす

(2013/3 自動車技術会より)



# OpenFOAMの課題

この分野の課題を  
オープンソース・ツールだけで解決する

課題	課題詳細	難易度	対応
GUI			GUI
使い			対応をされない様子
計算安定性	メッシュャーの能力不足 安定性/ 収束性不足	低～中 高	他のメッシュャーを使う アルゴリズムの 再考が必要
サポート	サポート体制	低～中	既にいくつか存在
計算速度	計算速度	低	並列数を増やす

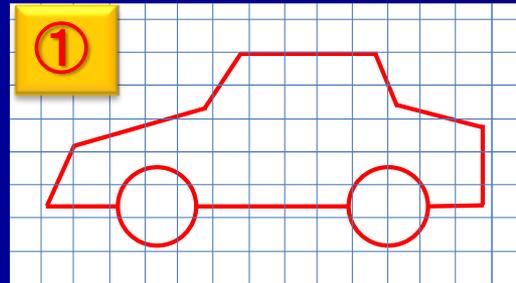
(2013/3 自動車技術会より)



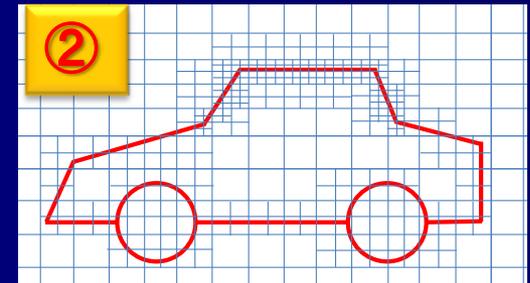
## メッシュ作成能力の改善

メッシュ生成のしくみ (OpenFOAMマニュアルより)

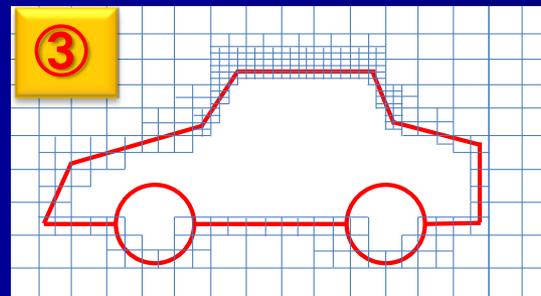
メッシュの  
品質確保



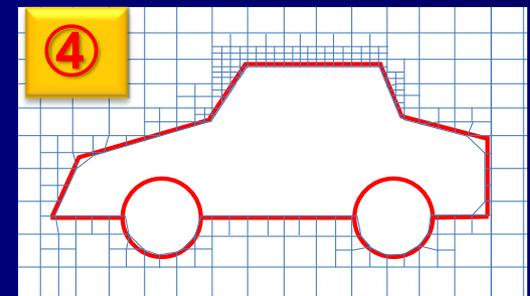
基本メッシュを生成



CAD付近を詳細化



不要メッシュを中抜き



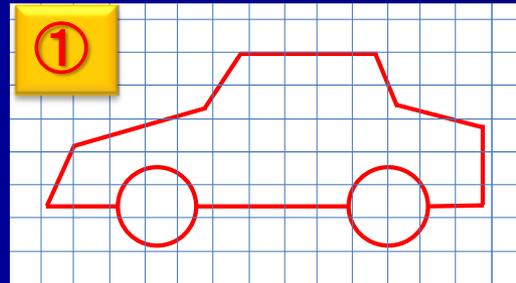
CADに沿うよう変形



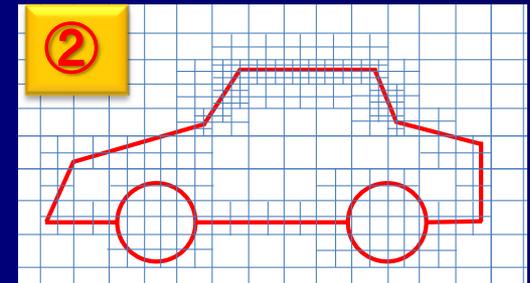
## メッシュ作成能力の改善

メッシュ生成のしくみ (OpenFOAMマニュアルより)

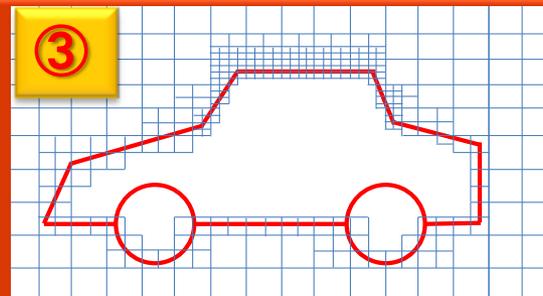
メッシュの  
品質確保



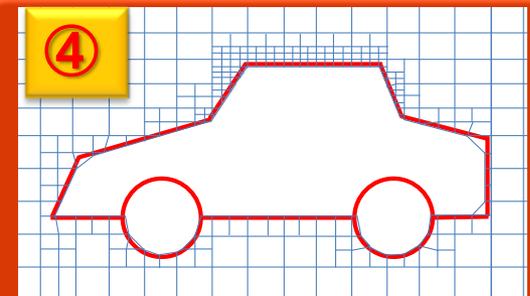
① 基本メッシュを生成



② CAD付近を詳細化



③ 不要メッシュを中抜き  
CADのギャップに弱い



④ CADに沿うよう変形  
低品質のCADに弱い

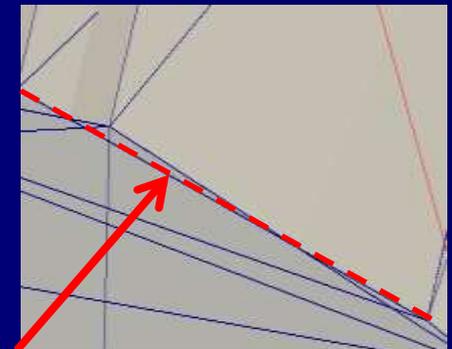


## メッシュ作成能力の改善



**弱点**

OpenFOAMのメッシャーには  
低品質CAD(STL)や微小ギャップを  
改善する機能がない

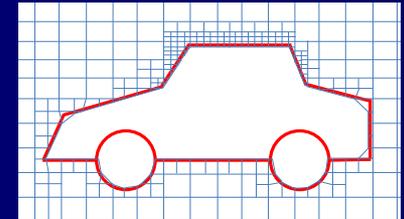




# メッシュ作成能力の改善

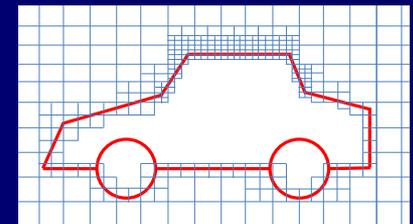
対策方針

・低品質のCADを修正



メッシュの  
品質確保

・CADのギャップを修正



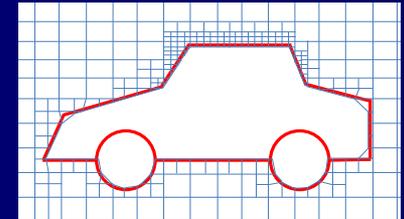


## メッシュ作成能力の改善

### 対策方針

・低品質のCADを修正

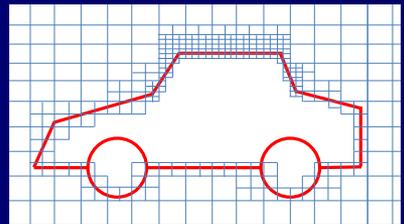
→ ADMesh(オープンソース) を  
用いてCAD品質を改善



・CADのギャップを修正

→粗いLevelでメッシュ作成

→サーフェイス抽出



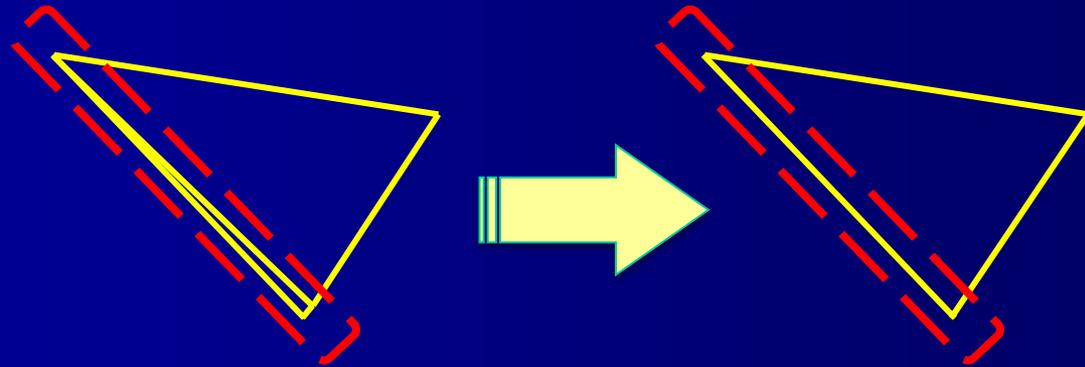
メッシュの  
品質確保



## メッシュ作成能力の改善

ADMESHとは

メッシュの  
品質確保



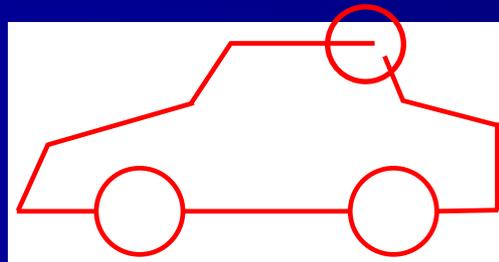
微小なエッジ、面積を含む面を  
結合/削除して STLの品質を改善



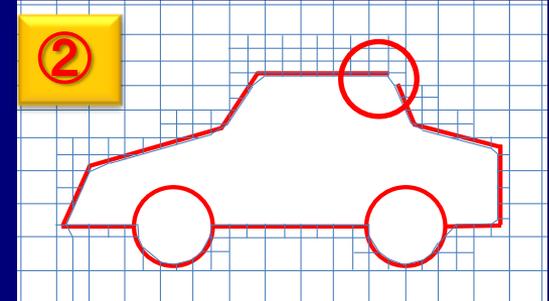
## メッシュ作成能力の改善



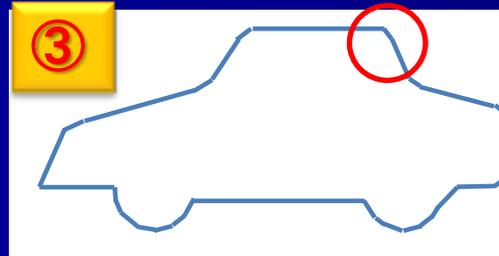
微小ギャップを埋める



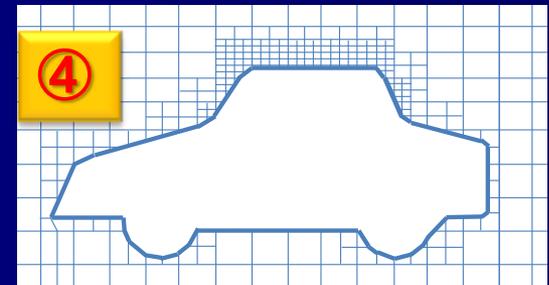
隙間を含むCAD



荒めのメッシュ化



サーフェスを抽出  
閉空間が出来る



新たに空間に  
詳細メッシュを作成

**[閉空間の作成]**

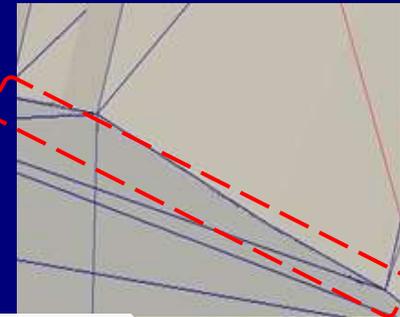
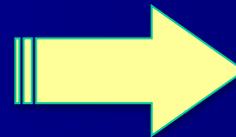
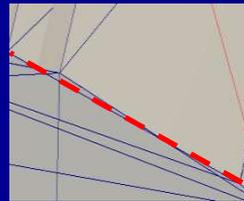
大きなメッシュで大きな  
隙間を埋めてしまう  
閉じた空間で  
詳細メッシュを作成



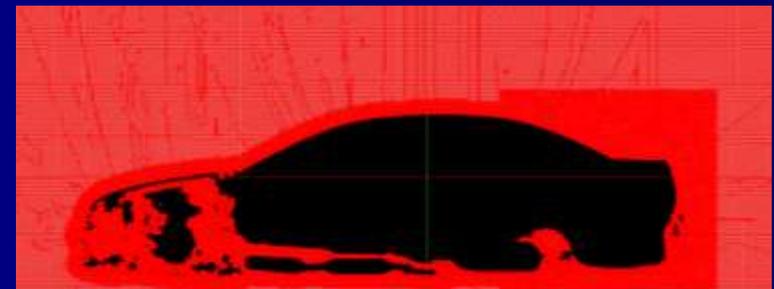
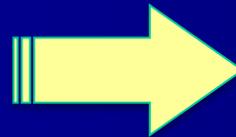
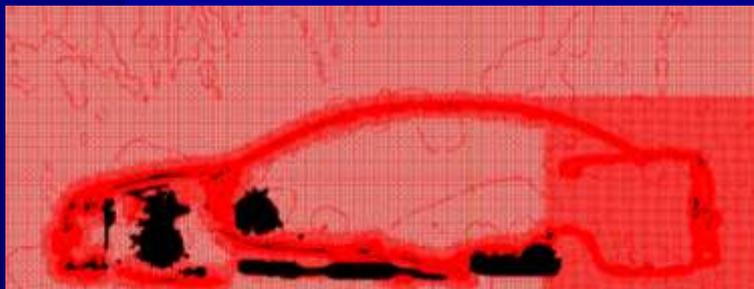
## メッシュ作成能力の改善



ADMeshの効果



粗いメッシュ化による  
微小ギャップ修正の効果



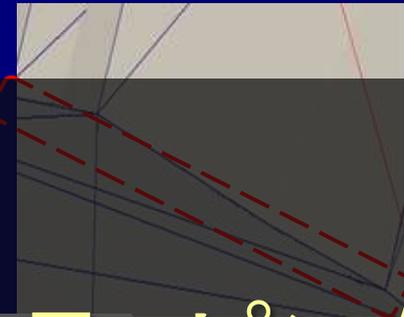
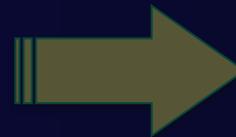
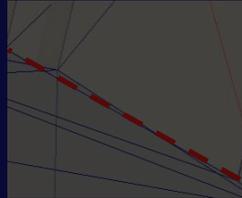
ギャップ修正無し

ギャップ修正あり



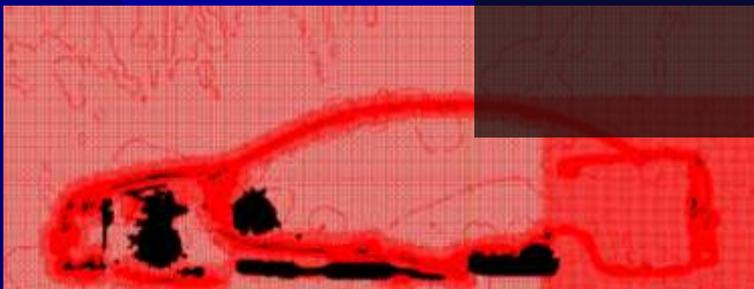
## メッシュ作成能力の改善

ADMeshの効果



メッシュの  
品質確保

粗いメッシュ化と  
微小ギャップの発生  
サーフェイス・ラッピングと  
同等の効果を再現



ギャップ修正無し

ギャップ修正あり



## 計算安定性の改善

OpenFOAMの発散パターン

RAS型乱流モデルが振動

移流項が不安定化

計算が発散

計算の  
安定化

弱点

OpenFOAMは乱流モデルが振動しやすい



## 計算安定性の改善

OpenFOAMの発散パターン

RAS型乱流モデルが振動

移流項が不安定化

計算が発散

計算の  
安定化

対策方針

乱流モデルの解法に  
安定化重視の手法を利用する



# 計算安定性の改善

## 乱流ソルバの安定化

```
gradSchemes
```

```
{
```

```
  default      Gauss linear; (標準)
```

```
⇒ cellLimited Gauss linearに変更
```

```
}
```

```
divSchemes
```

```
{
```

```
  default      bounded Gauss linear; (標準)
```

```
div(phi,U)  bounded Gauss linearUpwindVを適用
```

```
div(phi,p)  bounded Gauss linearUpwindを適用
```

```
div(phi,kなど)  bounded Gauss upwindを適用
```

```
}
```

乱流の解法には1次近似を適用

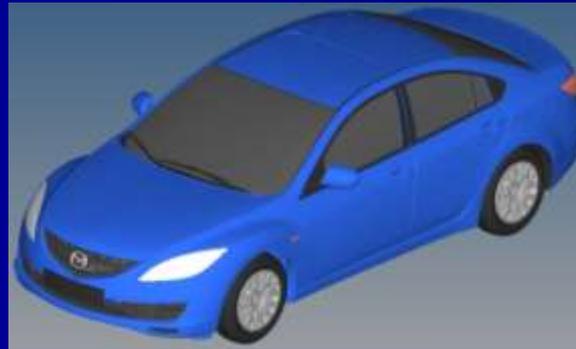
計算の  
安定化



## 計算事例



予測精度の  
向上



対象:

平成22年式

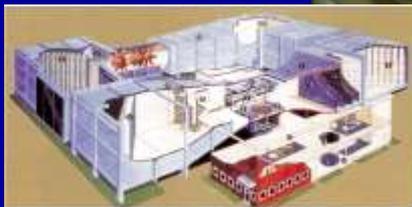
マツダ・アテンザ

評価指標:

車両 $C_D$

比較対象データ:

マツダ(株)風洞試験  
(閉風路)



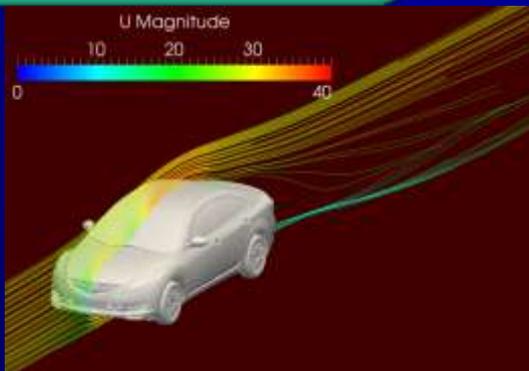
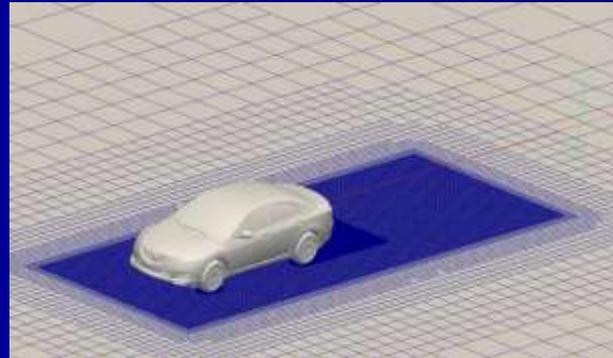
データ協力:マツダ(株)



## 計算事例



予測精度の  
向上



**メッシュ:**

規模: 約2500万セル

品質: skewness以外パス

**計算手法:**

・**ソルバー:**

非圧縮定常

(porousSimpleFoam)

・**勾配スキーム:**

中心差分

・**発散スキーム:**

2次風上差分

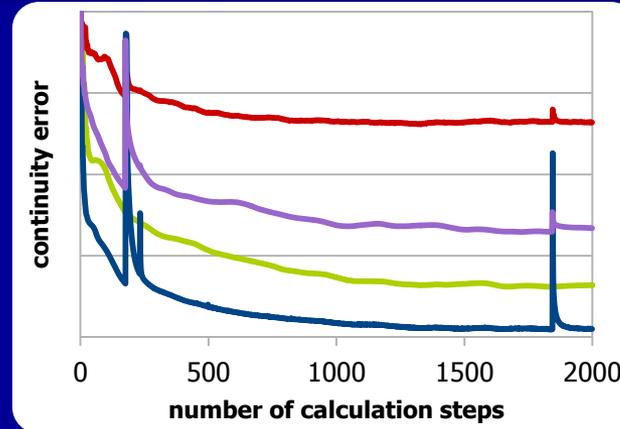
(乱流モデルは1次)

・**初期場:** 風速0m/sec.

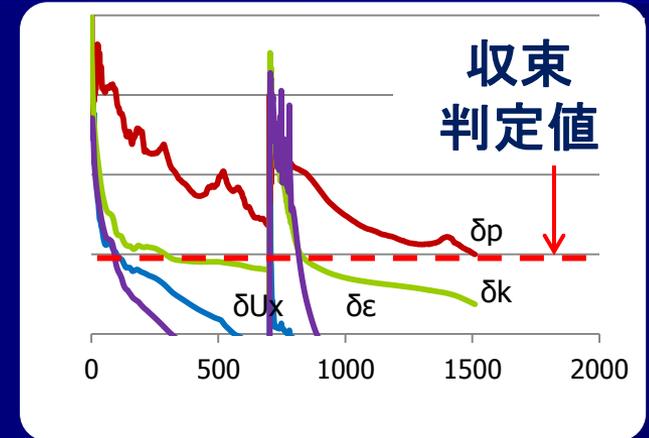


## 計算事例

予測精度の  
向上



未対策

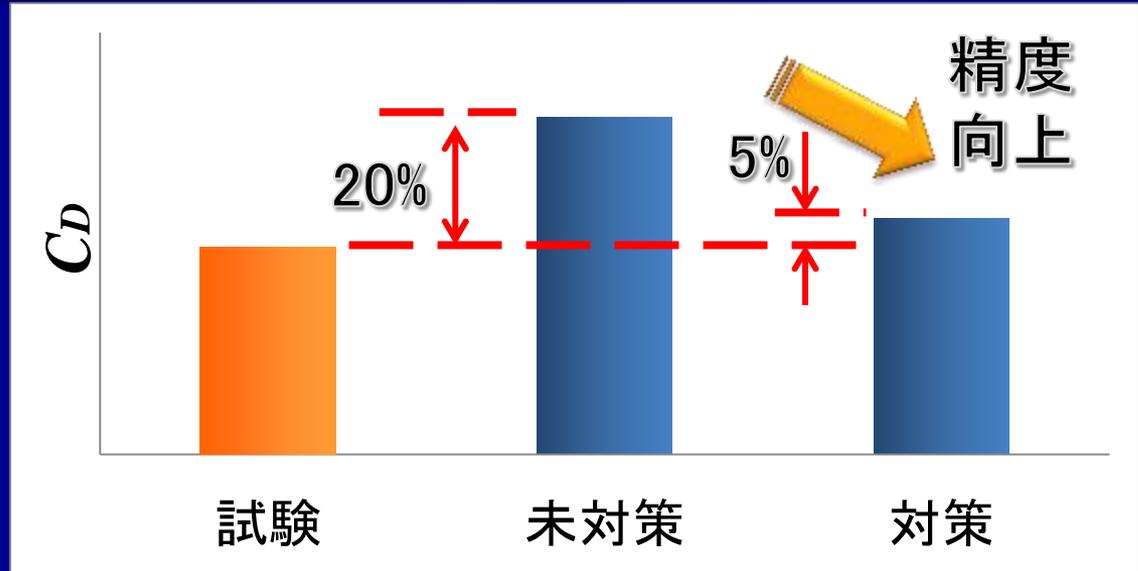


対策

- ・本対策により計算の安定性の改善を確認
- ・初期場の適正化で更なる改善を期待



## 計算事例



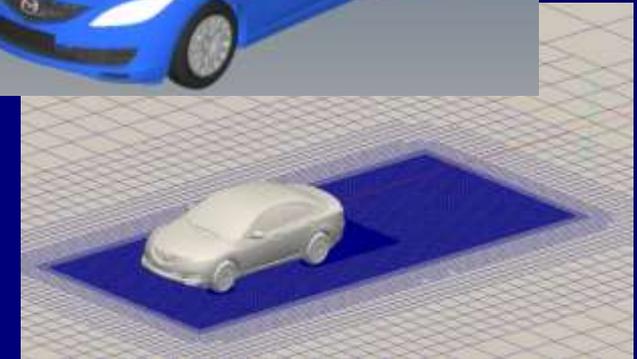
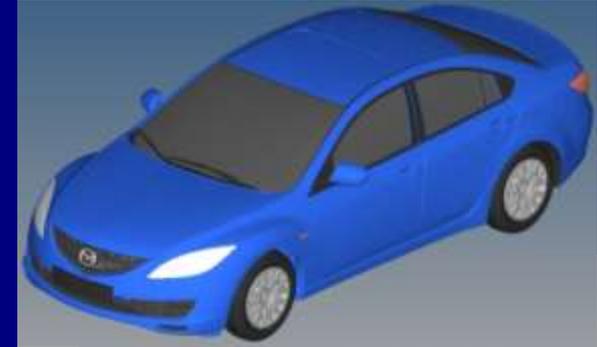
「メッシュ品質」と「計算安定性」の改善で  
計算精度が向上することを確認した

参考：  
計算機能力：AMD Opteron 24並列  
CPU時間：約1.5日



# 結 論

- ・**OpenFOAMの実用性を確認**  
商品設計用CADを対象としたCFDで  
実用的な精度を持った予測が  
可能であることを確認した
- ・**オープンソースのみのCFD環境**  
CADデータの改善から  
メッシュ作成、計算、結果処理と  
一連の工程を、  
「オープンソースのみ」で  
運用可能であることを確認した



**少量生産品へのCFD適用が身近に！**



ご静聴、誠にありがとうございました

