

大規模数値解析による 流体力予測精度向上方法の追求

工学院大学 工学部 機械工学科
流体工学研究室
古西 良

内容

1. 研究背景
2. 本年度の目標
3. 使用システム
4. 使用ソフトウェア
5. 事例1(船舶の抵抗係数解析)
6. 事例2(要素数約1億の抵抗係数解析)

数値解析の現状

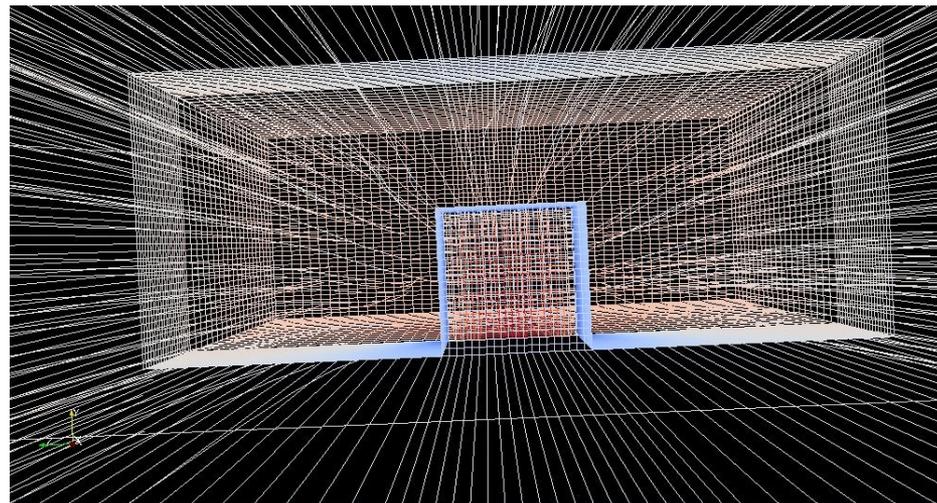
工学院大学 流体工学研究室では、大企業レベルの解析は出来なくとも、中小企業を超える解析のリソースを持っている。しかし、これを超えられない原因は、研究室に技術や経験がないからである。この事から、研究室のリソース全てを用いて行う事が出来るノウハウ等を追及する必要がある。



PRIMEHPC FX10

メッシュの重要性

正確な解析を行うためには細かいメッシュ、直交性と形状の良さが要求されるが、PCの能力を考慮して収束までに掛かる時間に注意する事も重要である。



本年度の目標

一般に、1コアで 10^6 メッシュの解析を行えると言われている。このことから、本研究室で使用できる最大コア数192(東京大学 Oakleaf-FX)を元に、 10^8 オーダーのメッシュ数における解析を行うことを目指す。目標は以下の通り。

- 10^8 オーダーメッシュを生成する。
- 10^8 オーダーメッシュの解析を行う。
- 10^8 オーダーメッシュの可視化を行う。

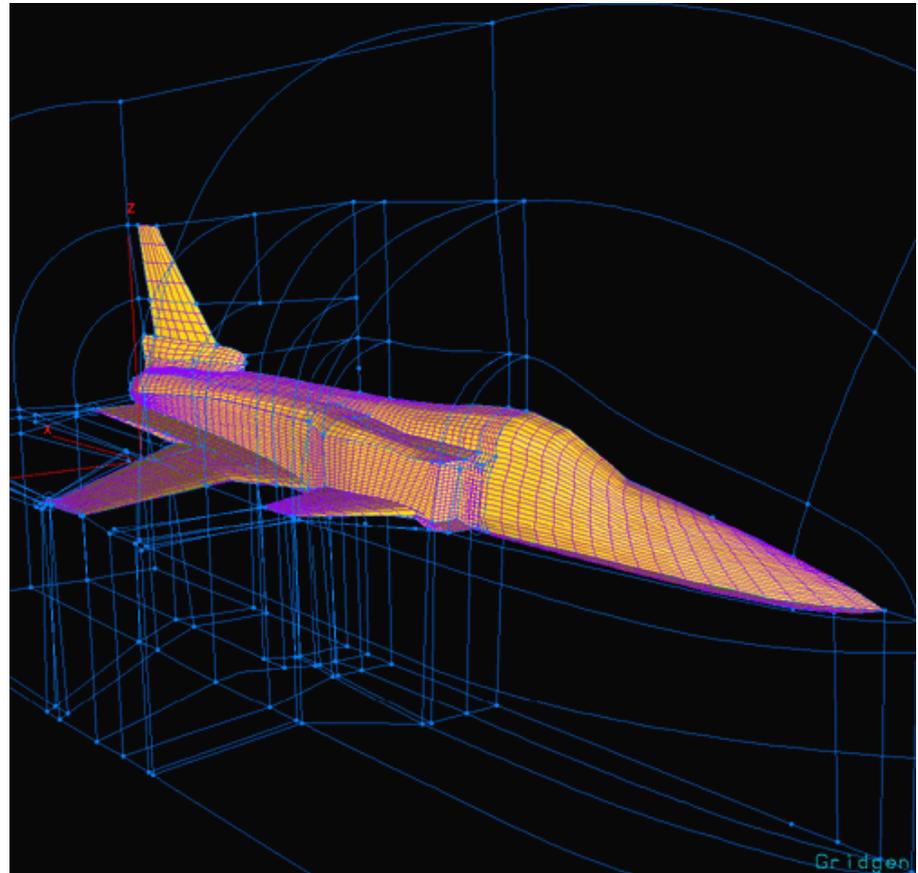
使用したシステム

各プロセスで使用したシステムは以下の通り。

	メッシュ生成 可視化用PC	解析サーバー	
CPU (クロック数)	Intel Core i7 3.07GHz	船舶	Intel Xeon X5500 (2.93GHz) } × 2
		車両	
使用可能メモ リ	24GB	船舶	48GB
		車両	348GB

Pointwise

流体解析用メッシュ
 ジェネレーター
 Pointwiseを使用した。
 先代Gridgenの機能に加
 え、高品質な境界層レ
 イヤを簡単に生成する
 事等が可能と成ってい
 る。
 また、OpenFOAM等の
 オープンソースソルバ
 にも対応している。



引用元：<http://www.vinas.com/jp/seihin/gridgen/jirei/037.html> 7

Fieldview

流体解析可視化ポスト
 プロセッサ FieldView
 は、流体解析業務の効
 率化を推進する可視化
 評価システムである。
 こちらもOpenFOAM等
 のオープンソースに対
 応している。



引用元：<http://www.vinas.com/jp/seihin/fieldview/jirei/040.html>

事例 1 (船舶の抵抗係数解析)

解析対象と抵抗係数の参考値は、以下の船舶3種類である。

KRISO Container Ship (KCS): 3.5×10^{-3}



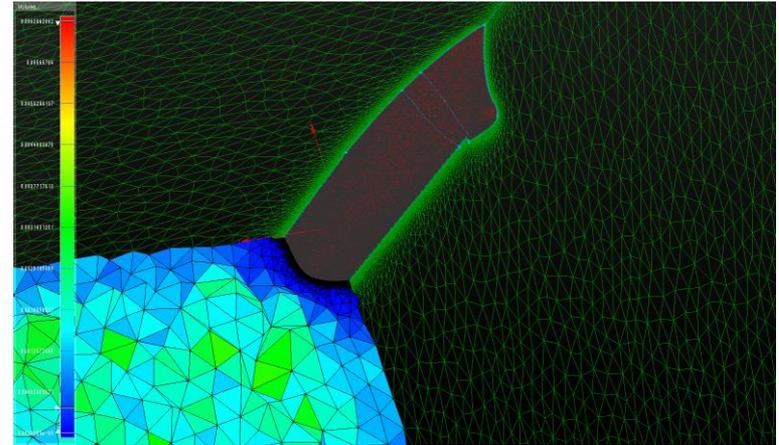
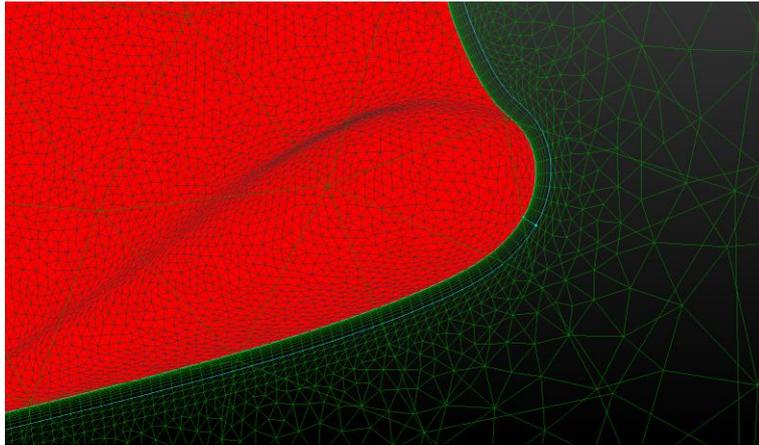
Modified KRISO Tanker (KVLCC2M): 3.5×10^{-3}



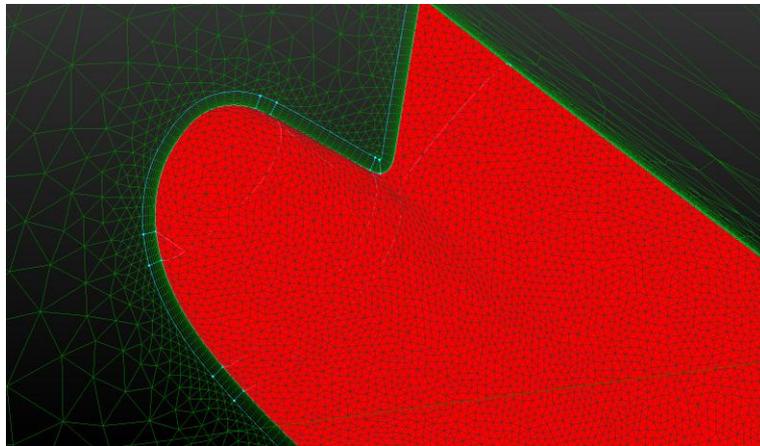
US Navy Combatant, DTMB 5415: 4.2×10^{-3}



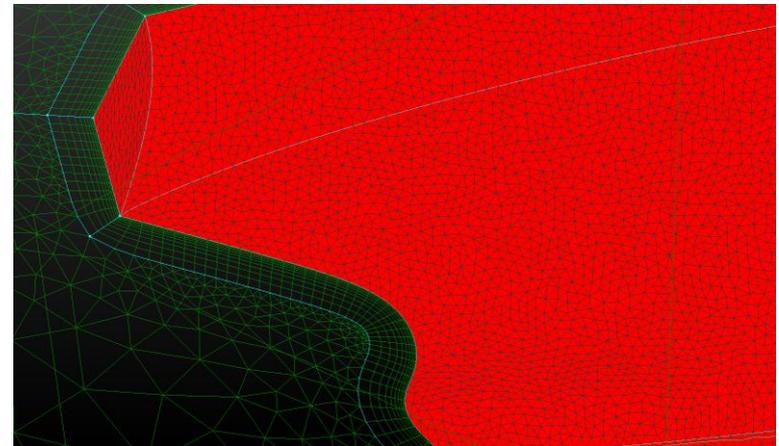
解析格子例



US Navy Combatant, DTMB 5415

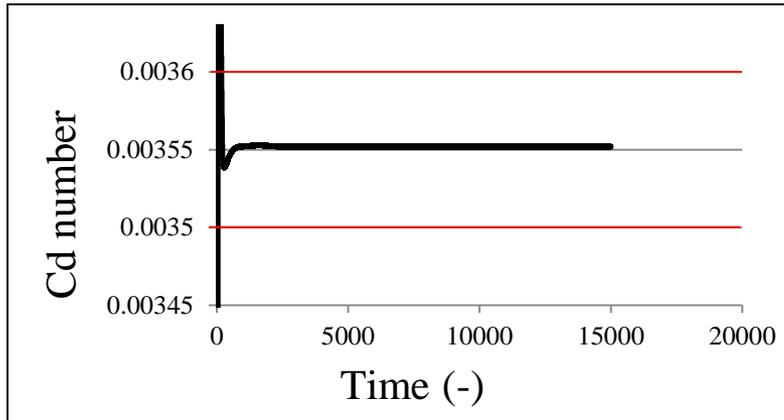


KRISO Container Ship (KCS)

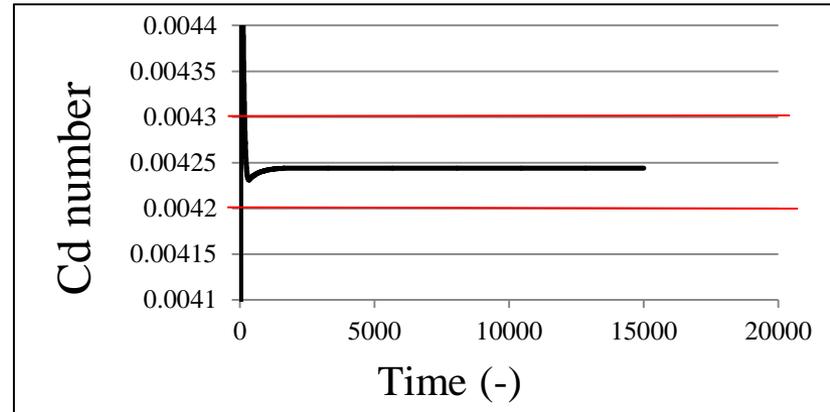


Modified KRISO Tanker (KVLCC2M) 10

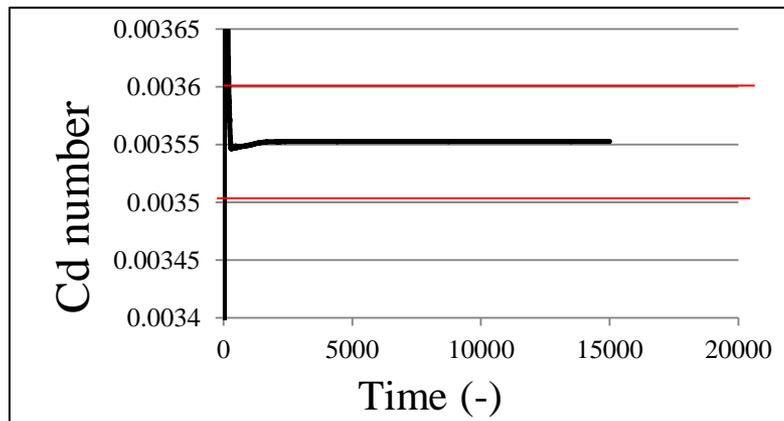
船舶3種の抵抗係数解析結果



KRISO Container Ship (KCS):0.0035



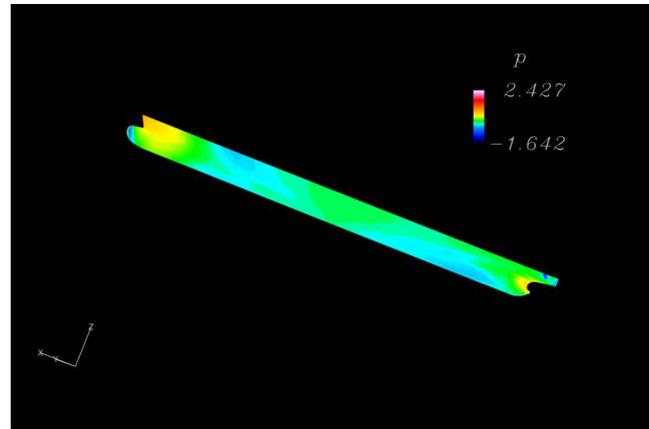
US Navy Combatant, DTMB 5415:0.0042



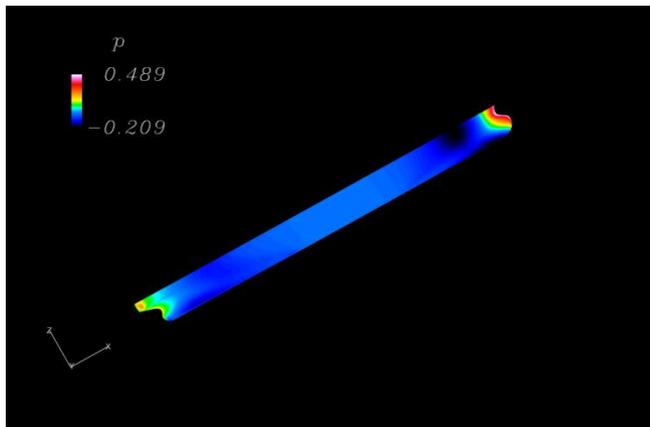
Modified KRISO Tanker (KVLCC2M) 0.0035

10⁻⁴オーダー迄合致し、
本解析は成功した。

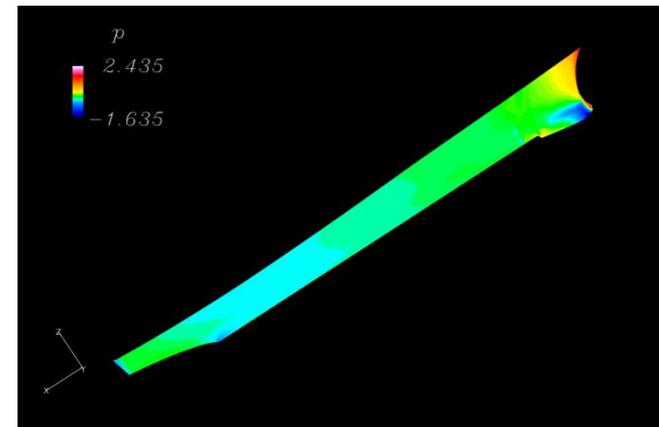
船舶3種の圧力分布



$U=2.197\text{m/s}$



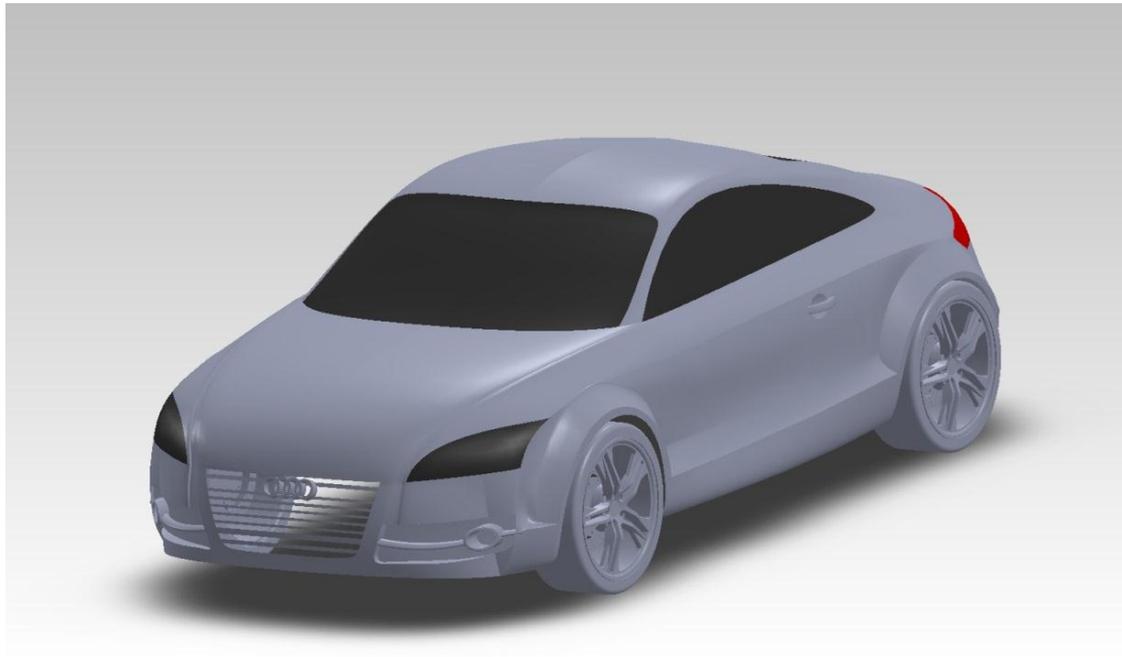
$U=0.994\text{m/s}$



$U=2.10\text{m/s}$

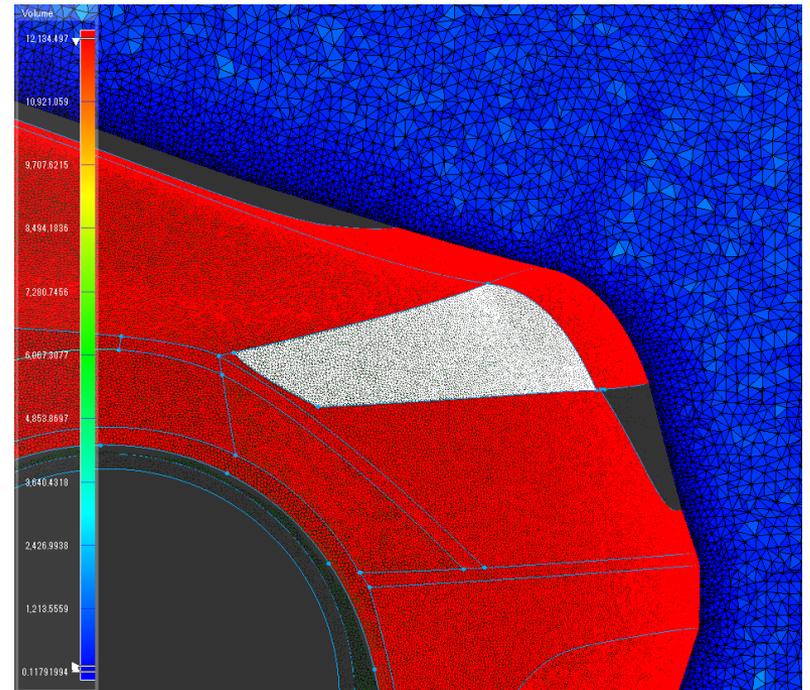
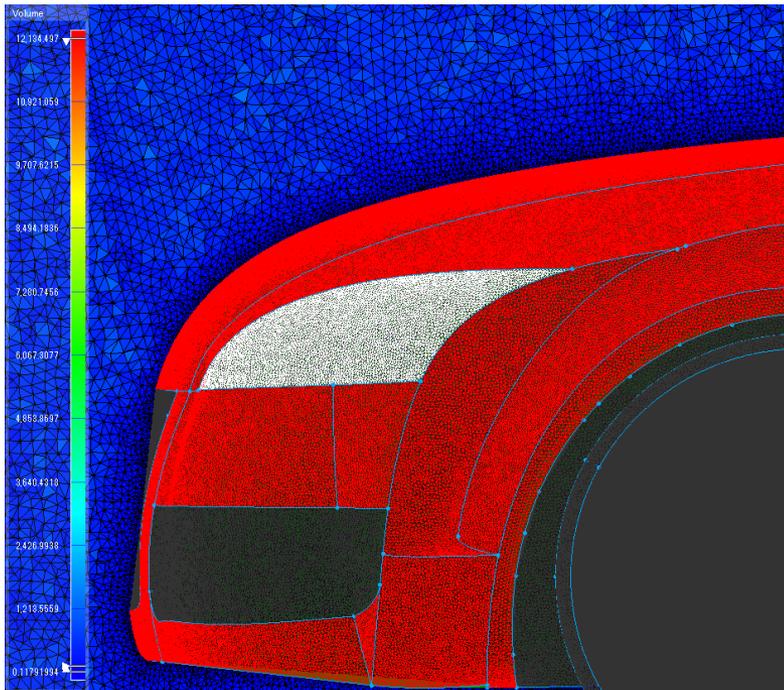
事例2(自動車周辺の流体解析)

解析対象は以下の車体「Audi TT」、抵抗係数の参考値は $C_d=0.3$ である。解析に使用したFX10 (Oakelaf-FX)には OpenFOAM-2.1.0がプリインストールされている。
本解析では30m/sでの走行を想定した。

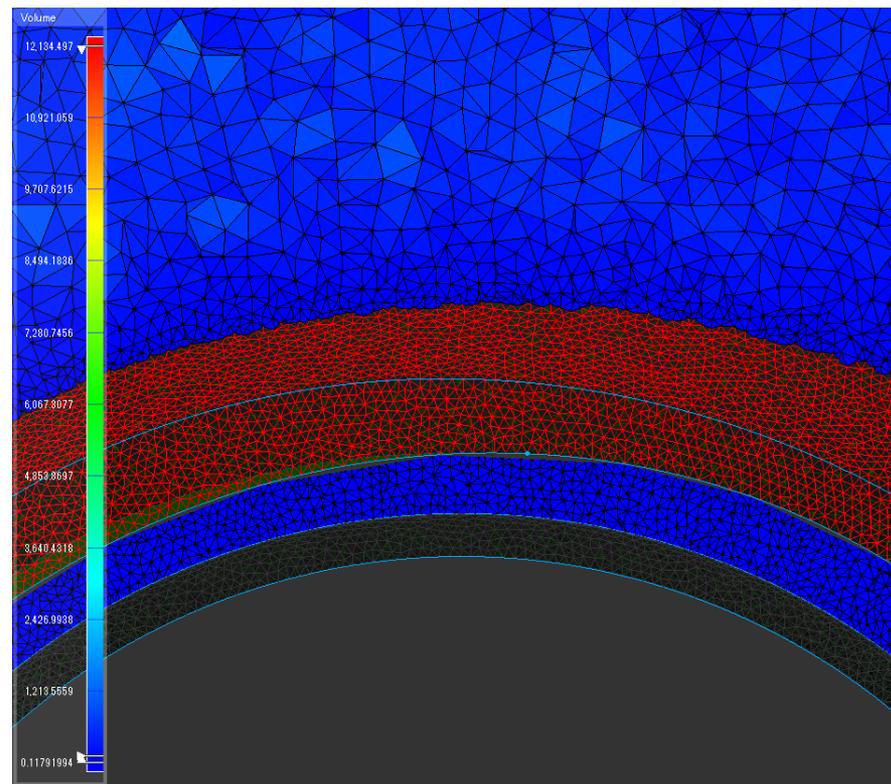
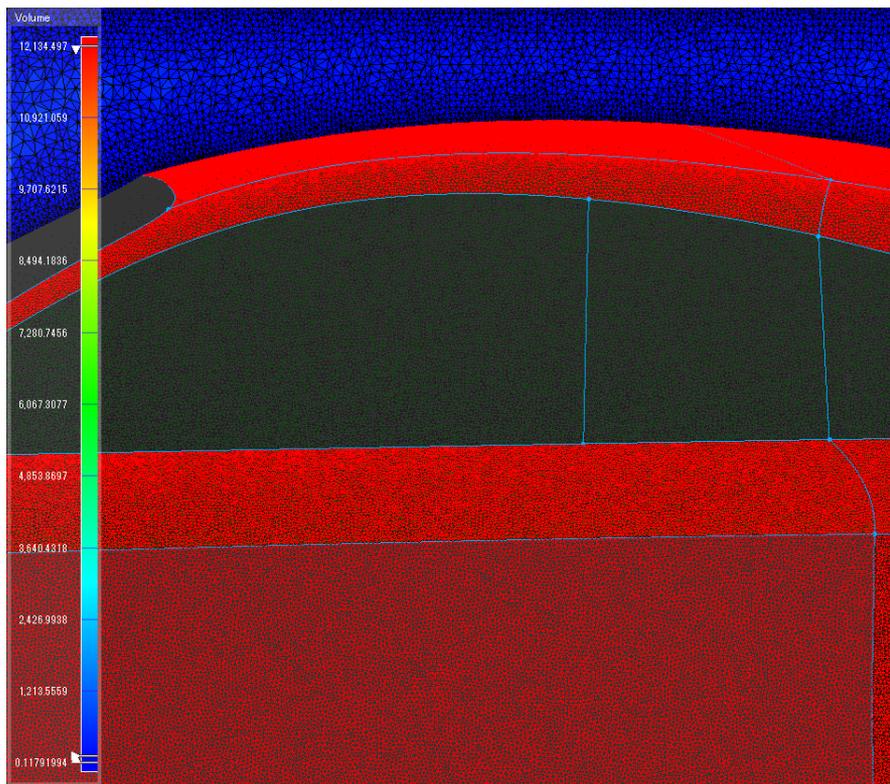


解析格子(1/2)

Pointwiseを用いて、以下の様なテトラ構造格子を1億2000万生成した。



解析格子 (2/2)



各種境界条件

各種境界	境界条件				
		k	omega	p	u
流入口	type	fixedValue;	fixedValue;	zeroGradient;	fixedValue;
	value	\$internalField;	\$internalField;		uniform
流出口	type	inletOutlet;	inletOutlet;	fixedValue;	inletOutlet;
	inletValue	\$internalField;	\$internalField;		uniform (0 0 0);
	value	\$internalField;	\$internalField;	\$internalField;	\$internalField;
仮想風洞	type	slip	slip	slip;	slip;
	value				
路面	type	kqRWallFunction;	omegaWallFunction;	zeroGradient;	fixedValue;
	value	\$internalField;	\$internalField;		uniform
車体	type	kqRWallFunction;	omegaWallFunction;	zeroGradient;	fixedValue;
	value	\$internalField;	\$internalField;		uniform

fvSchemes

ddtSchemes

```
{
  default          steadyState;
}
```

gradSchemes

```
{
  default          Gauss linear;
}
```

divSchemes

```
{
  default          none;
  div(phi,U)       Gauss upwind;
  div(phi,k)       Gauss upwind;
  div(phi,omega)   Gauss upwind;
  div((nuEff*dev(T(grad(U)))) Gauss linear;
}
```

laplacianSchemes

```
{
  default          Gauss linear corrected;
}
```

interpolationSchemes

```
{
  default          linear;
}
```

snGradSchemes

```
{
  default          corrected;
}
```

fluxRequired

```
{
  default          no;
  p;
}
```

fvSolution (1/2)

```
p
{
  solver          GAMG;
  tolerance       1e-7;
  relTol          0.01;
  smoother        GaussSeidel;
  nPreSweeps      0;
  nPostSweeps     2;
  cacheAgglomeration  on;
  agglomerator    faceAreaPair;
  nCellsInCoarsestLevel  10;
  mergeLevels     1;
};
```

```
U
{
  solver          PBiCG;
  preconditioner  DILU;
  tolerance       1e-05;
  relTol          0.1;
};

k
{
  solver          PBiCG;
  preconditioner  DILU;
  tolerance       1e-05;
  relTol          0.1;
};
```

fvSolution (2/2)

```

omega
{
  solver          PBiCG;
  preconditioner  DILU;
  tolerance       1e-05;
  relTol          0.1;
};

```

```

SIMPLE
{
  nNonOrthogonalCorrectors  0;
  pRefCell                   0;
  pRefPoint                   0;
  pRefValue                   0;
}

```

```

potentialFlow
{
  nNonOrthogonalCorrectors  0;
  pRefCell                   0;
  pRefPoint                   0;
  pRefValue                   0;
}

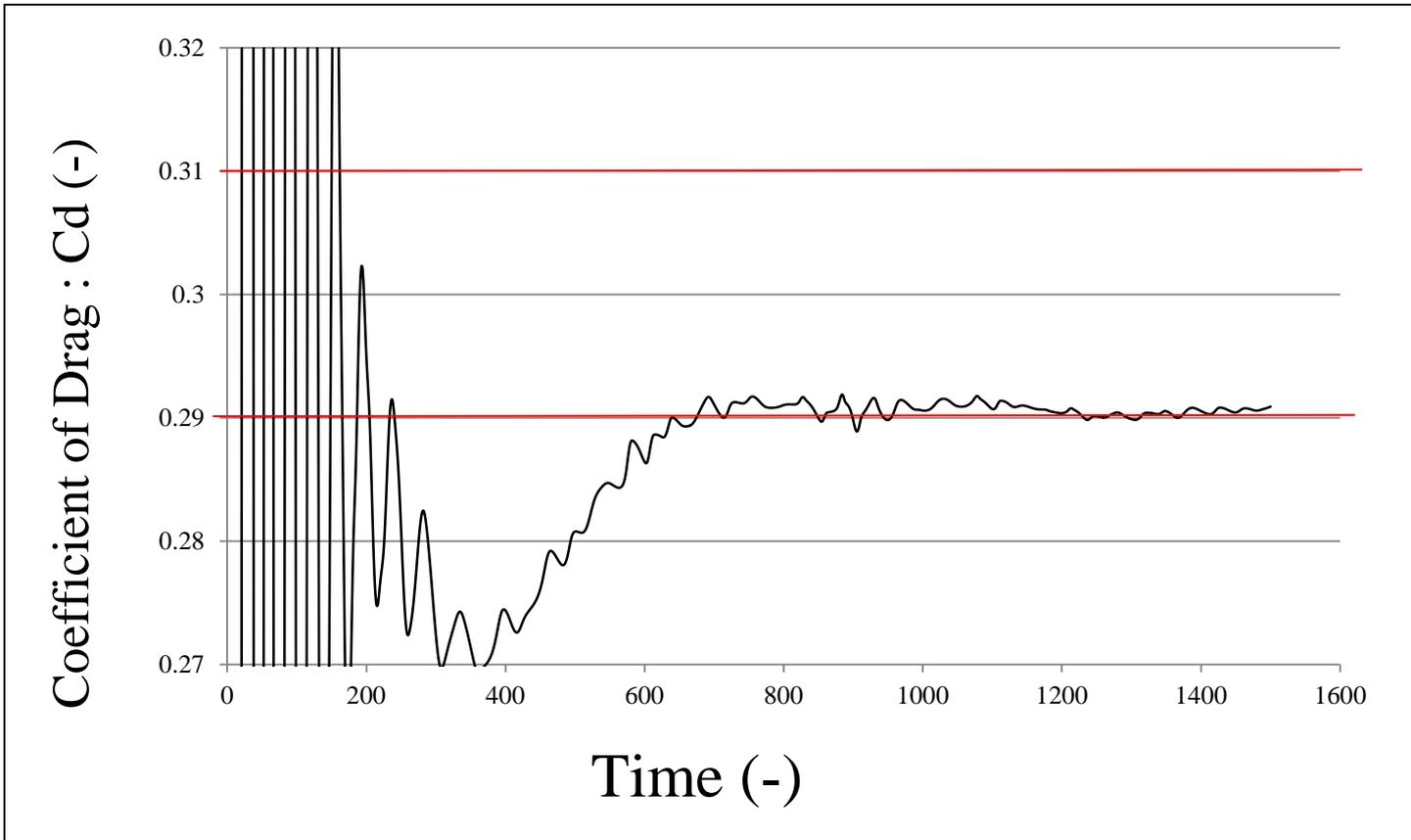
```

```

relaxationFactors
{
  p          0.05;
  U          0.15;
  k          0.15;
  epsilon    0.15;
  omega      0.15;
}

```

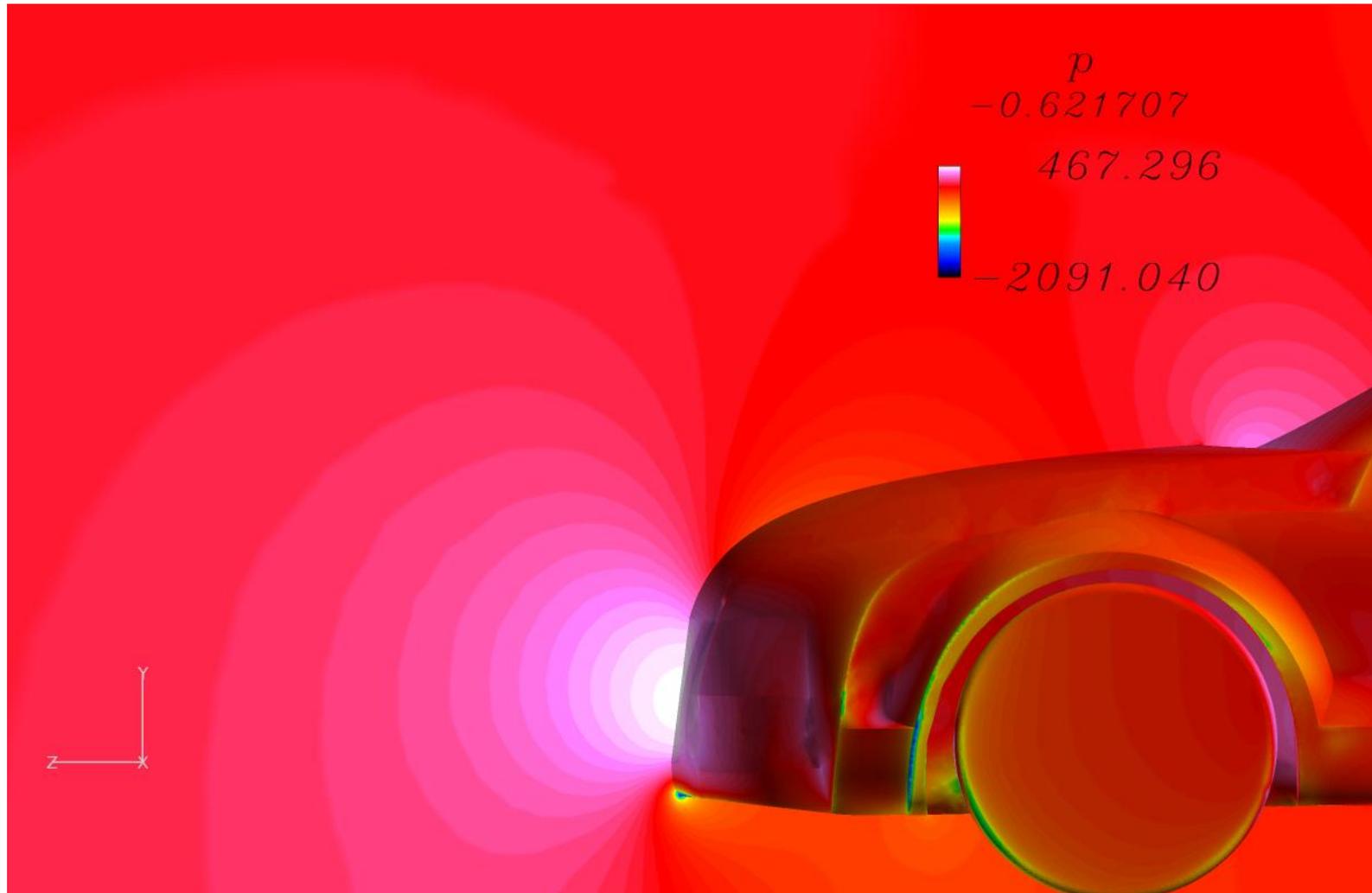
解析結果 (Cd値)



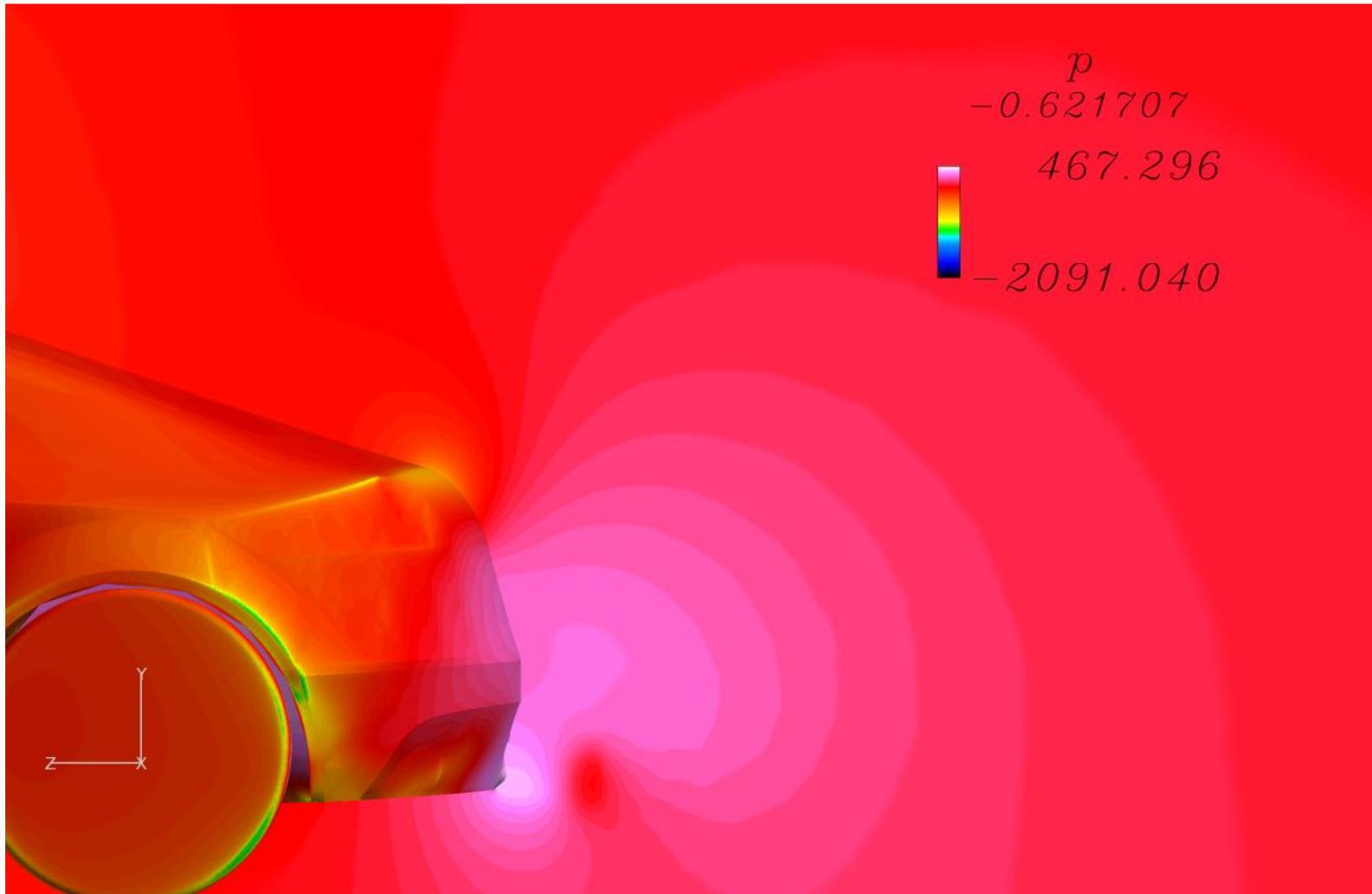
解析結果 (圧力)



解析結果 (压力)



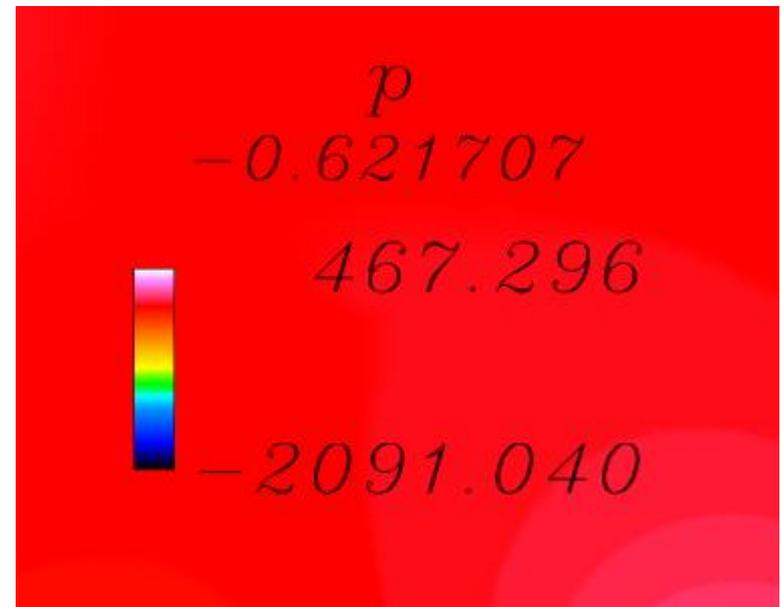
解析結果 (压力)



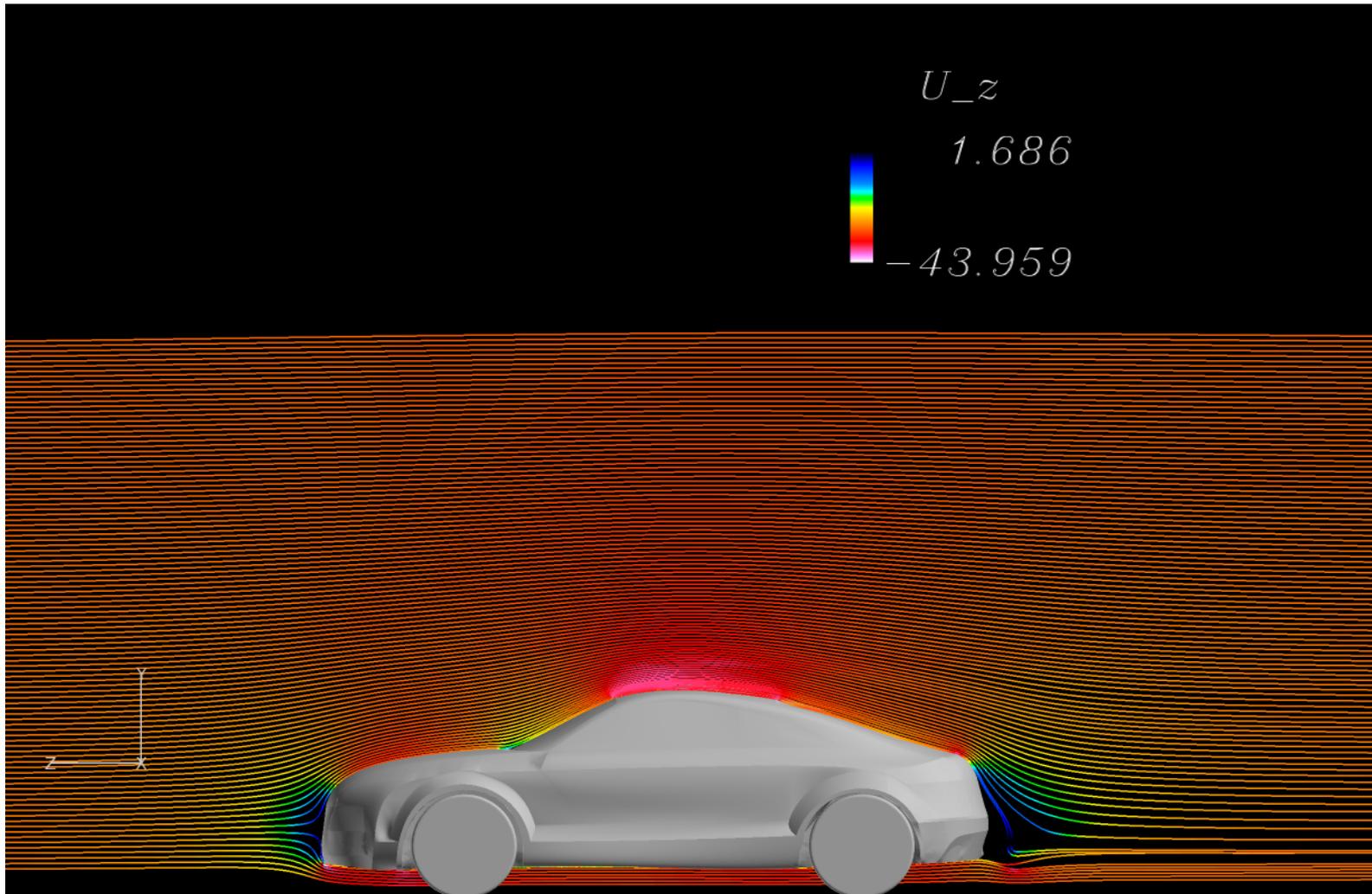
解析の妥当性

抵抗係数解析結果0.29
は、参考値の0.3に近い
値と成って居る。

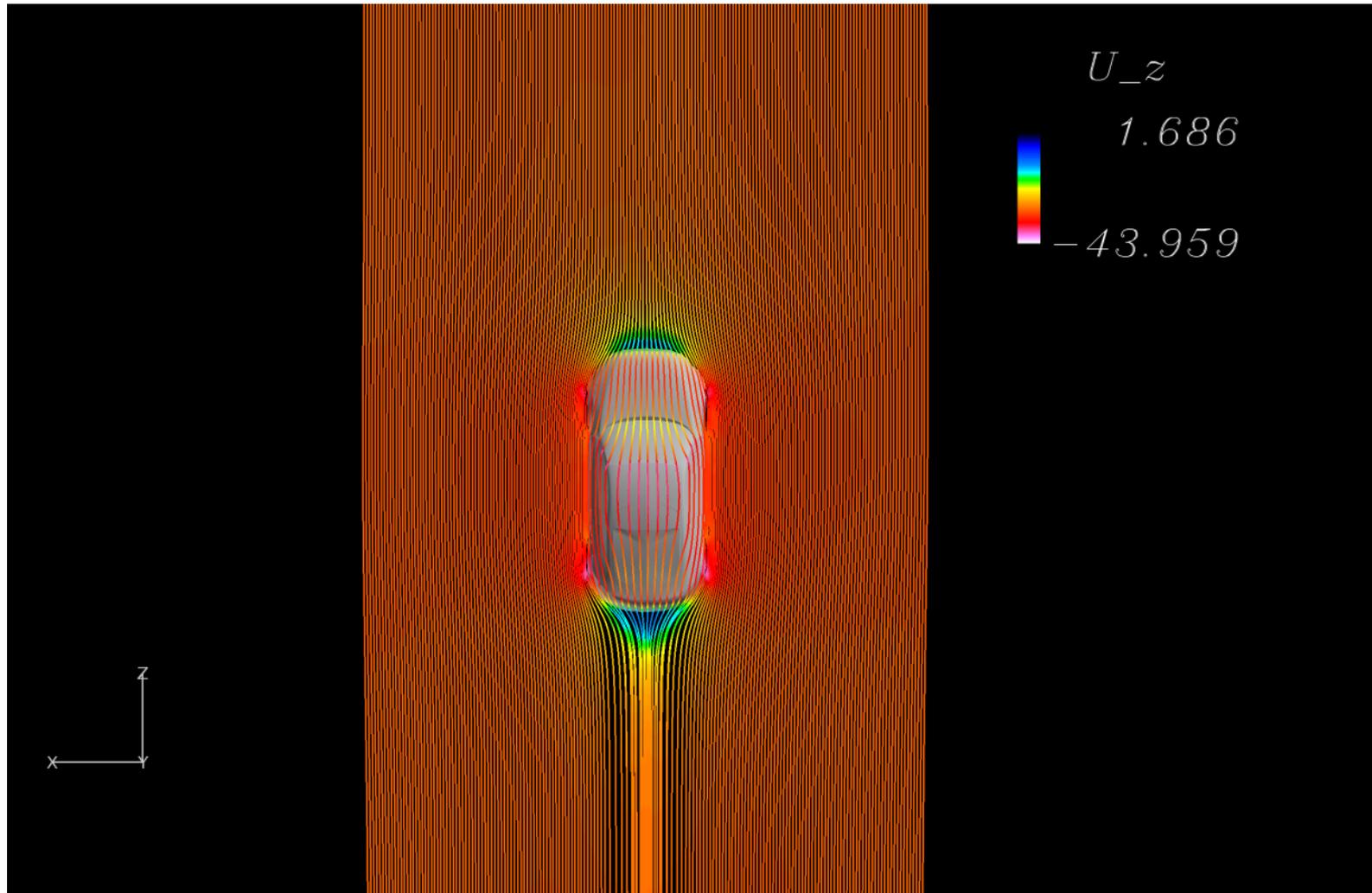
U=30m/sより、よどみ
点圧は動圧の式から算
出される値と同様の値
を示している。



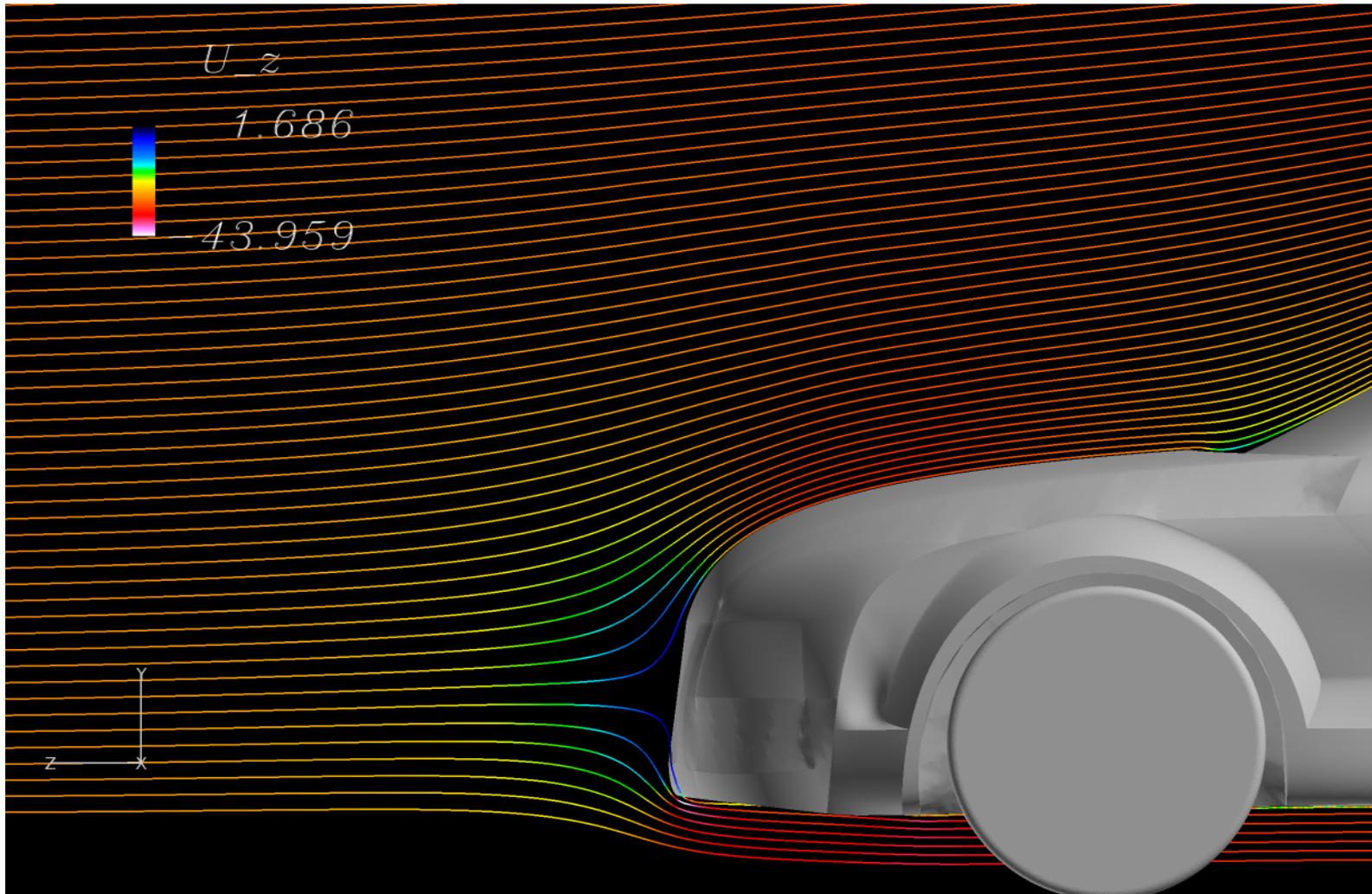
解析結果 (速度)



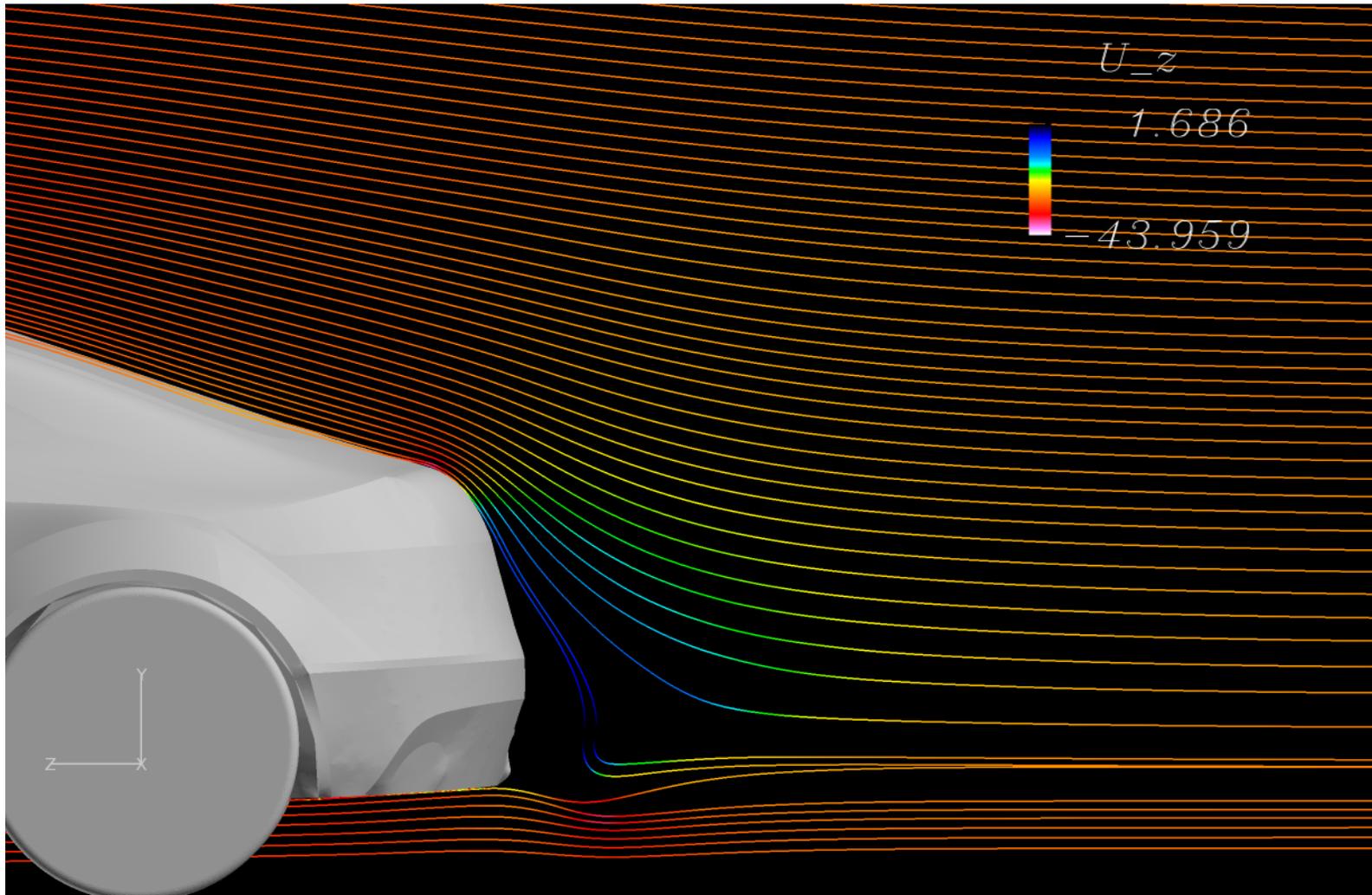
解析結果 (速度)



解析結果 (速度)



解析結果 (速度)



事例2の課題

マシンスペックが足りない事から境界層レイヤを生成出来て居ない。この事から要素数を減少させたが、車両フロントマスクの湾曲がきつい為、現在も境界層レイヤの生成に成功して居ない。

※念の為にyPlusRASを実行した所、平均30であった。

結論

境界層レイヤの有無を除けば、OpenFOAM-2.1.0を用いた非構造格子且つk- ω SSTモデルによる要素数1億2千万の解析は成功したと言える。