

DEXCS for OpenFOAM を用いた 競技用一人乗り電気自動車の空力検討

PROJECT MONO◇TTDC

○新井 英行
山本 晴彦
中島 亨

PROJECT MONOとは？

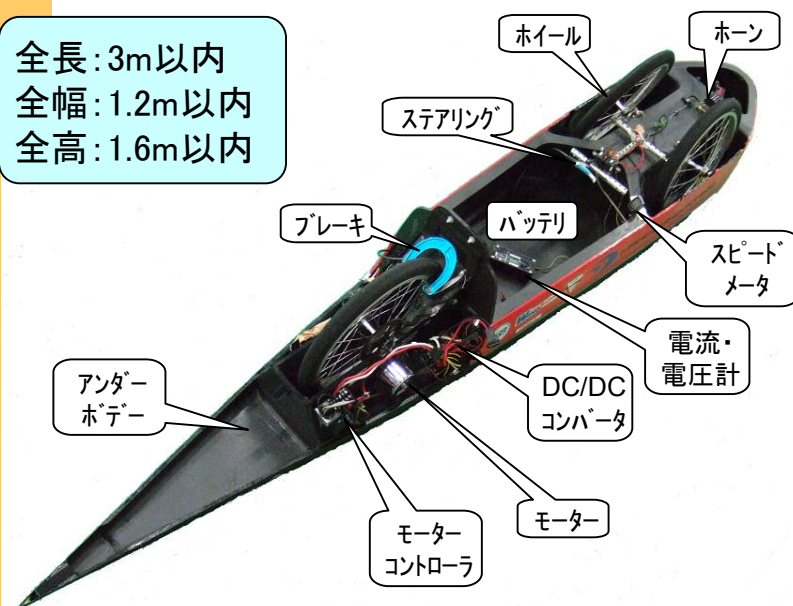
「モノ作り」を自らの手で実践し、専門分野を超えた幅広い年齢層の社員と交流する場として2003年12月に発足。業務では体験できない苦難に立ち向かい達成感を求めて活動。

車両を自分達で企画・調整・設計・製作し、日本各地で開催されるWEM-GPに参戦。



WEM (World Econo Move) とは？

日本各地で年間5～8戦開催される。各大会の規則に沿った手作りの一人乗り電気自動車(エコノムーバ)と支給バッテリー(オートバイ用のものを4個)で規定時間内(2時間)にどれだけ多くの距離を走れるかを競う。バッテリーの電力量は144Whであり、電気代にして3円程度である。



日本全国 参戦! (海外でも開催)



PROJECT MONO歴代車両・・・

2004



初代 MONO-1

2005



2代目 ハナモトくん

2006



3代目 MONO-X

2009



4代目 MONO-XX(ダブルイクス)

2011



現行車両

5代目 MONO-X³(イクスキューブ)

2013

新型車両

四大抵抗



空気抵抗

$$C_d \times A \times \rho \times v^2 / 2$$

空気抵抗
係数

前方投影
面積

空気密度

速度

転がり抵抗

$$\mu \times M \times G$$

転がり抵抗
係数

車両重量

重力加速度

加速抵抗

$$(M + Mw) \times a / G$$

車両重量

回転体重量

加速度

重力加速度

勾配抵抗

$$M \times G \times \sin \theta$$

車両重量

重力加速度

CFDの運用方法



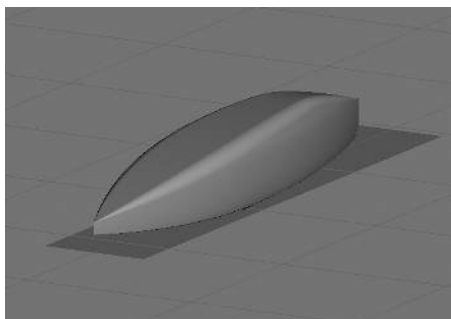


DEXCS for OpenFOAM

形状修正



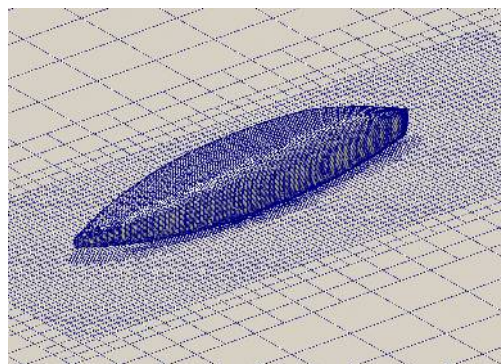
※形状は設計者がCADで作成



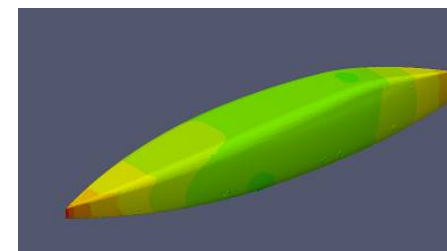
メッシュ&計算

OpenFOAM

The Open Source CFD Toolbox

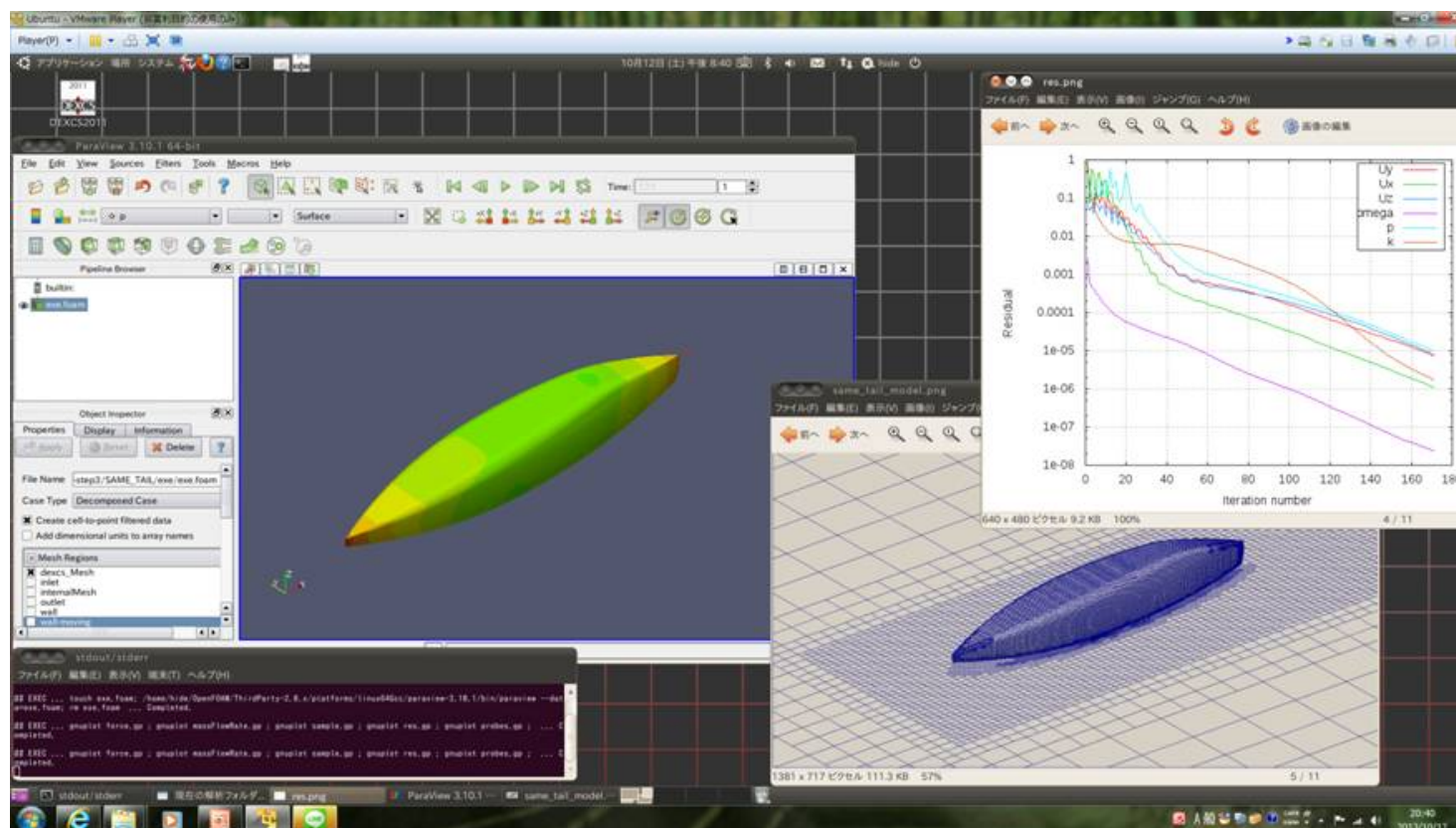


可視化

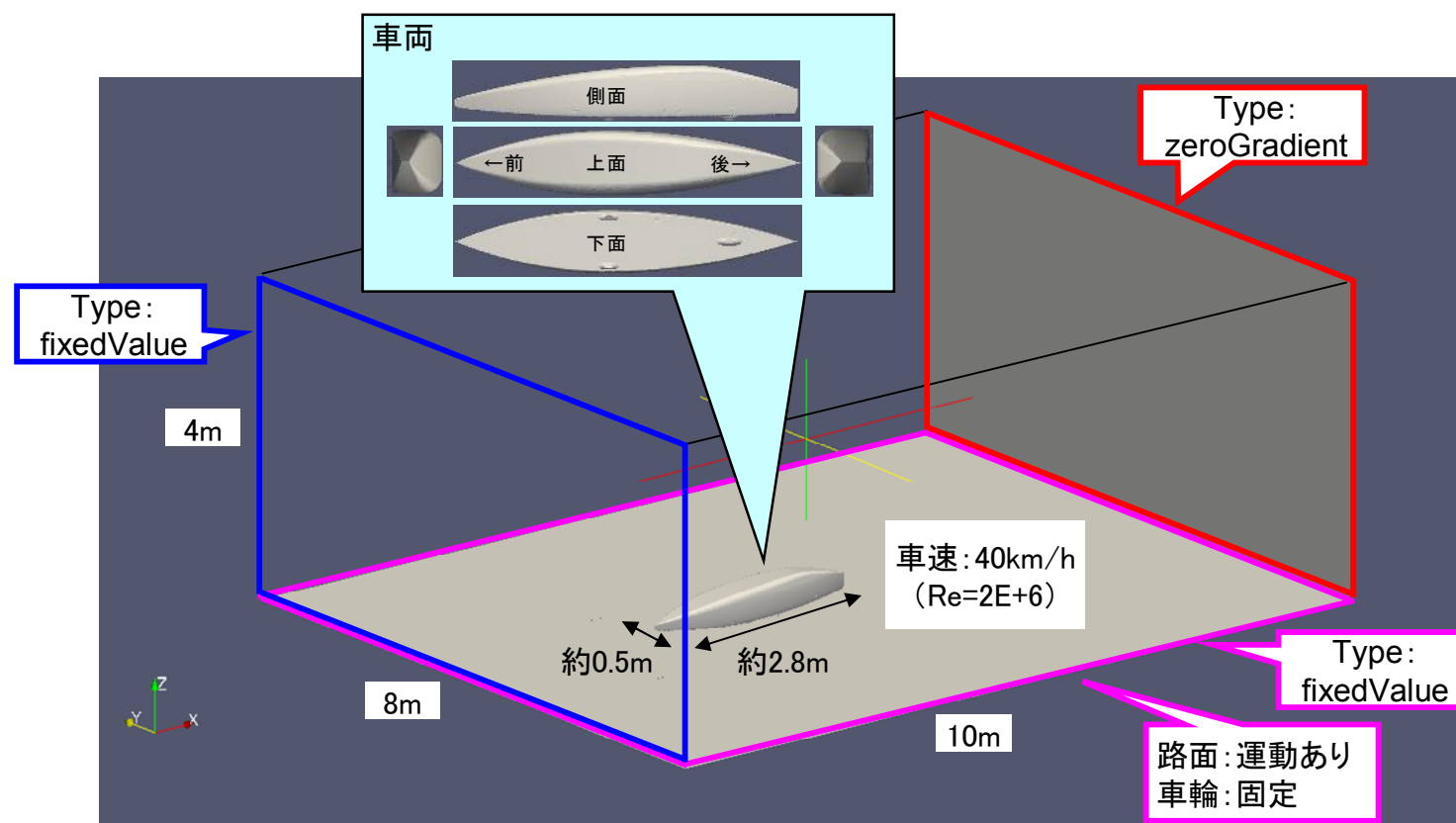




操作画面

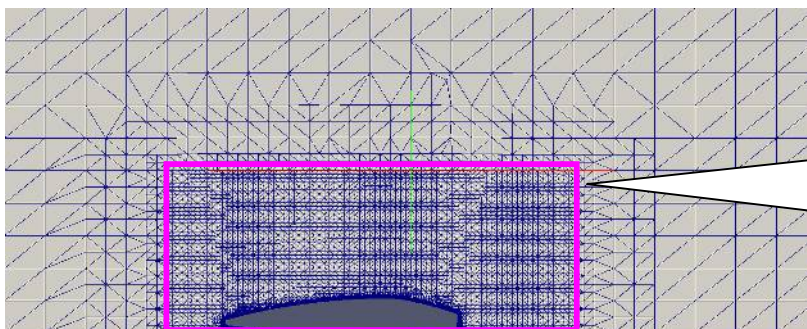


計算モデル



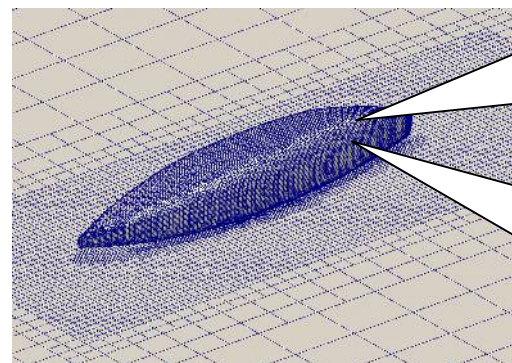
計算メッシュ

車速が変わらない限り、以後すべてのケースにおいて下記の設定を使用



Box領域細分化

```
135 refinementRegions
136 {
137   box1
138   {
139     mode inside;
140     levels ((1E15 3));
141   }
142 }
```



車面表面細分化

```
109 refinementSurfaces
110 {
111   dexcs
112   {
113     // Surface-wise min and max refinement level
114     level (5 6);
115   }
116 }
117 // Resolve sharp angles
118 resolveFeatureAngle 30;
119
```

細分化レベル(5 6)

y+=30以上狙い

レイヤー層挿入

```
197 // Per final patch (so not geometry!) the layer information
198 layers
199 {
200   dexcs_Mesh
201   {
202     nSurfaceLayers 5;
203   }
204 }
205 // Expansion factor for layer mesh
206 expansionRatio 1.0;
207
```

5層

等ピッチ

計算条件設定 (fvScheme, fvSolution, RASproperties)

```

1 /-
2 //
3 %%      F i e l d
4 %%      O p e r a t i o n
5 %%      A n d
6 %%      M a n i p u l a t i o n
7 -/
8 FoamFile
9 {
10     version      2.0;
11     format        ascii;
12     class         dictionary;
13     object        fvSchemes;
14 }
15 // *****
16
17 ddtSchemes
18 {
19     default        steadyState;
20 }
21
22 gradSchemes
23 {
24     default        Gauss linear;
25 }
26
27 divSchemes
28 {
29     default        none;
30     // div(phi,U)      Gauss linearUpwindV grad(U);
31     div(phi,u)         Gauss upwind;
32     div(phi,k)         Gauss upwind;
33     div(phi,omega)     Gauss upwind;
34     div(phi,epsilon)   Gauss upwind;
35     div((nuEff*dev(T(grad(U))))) Gauss linear;
36 }
37
38 laplacianSchemes
39 {
40     default        Gauss linear corrected;
41     // default      Gauss linear limited 0.5;
42     // default      Gauss linear uncorrected;
43 }
44
45 interpolationSchemes
46 {
47     default        linear;
48 }
49
50 snGradSchemes
51 {
52     default        corrected;
53 }
54
55 fluxRequired
56 {
57     default        no;
58     p;
59 }
60
61 // *****

```

```

2 /*
3 **      /      Field
4 **      /      Operation
5 **      /      And
6 **      /      Manipulation
7
8 FoamFile
9 {
10     version      2.0;
11     format       ascii;
12     class        dictionary;
13     object       fvSolution;
14 }
15 // *****
16
17 solvers
18 {
19     p
20     {
21         solver      GAMG;
22         tolerance    1e-7;
23         relTol      0.1;
24         smoother     GaussSeidel;
25         nPreSweeps   0;
26         nPostSweeps  2;
27         cacheAgglomeration on;
28         agglomerator  faceAreaPair;
29         nCellsInCoarsestLevel 10;
30         mergeLevels  1;
31     }
32     U
33     {
34         solver      smoothSolver;
35         smoother     GaussSeidel;
36         tolerance    1e-8;
37         relTol      0.1;
38         nSweeps      1;
39     }
40     k
41     {
42         solver      smoothSolver;
43         smoother     GaussSeidel;
44         tolerance    1e-8;
45         relTol      0.1;
46         nSweeps      1;
47     }
48     omega
49     {
50         solver      smoothSolver;
51         smoother     GaussSeidel;
52         tolerance    1e-8;
53         relTol      0.1;
54         nSweeps      1;
55     }
56 }
57 SIMPLE
58 {
59     nNonOrthogonalCorrection
60     residualControl
61     {
62         p
63         U
64         k
65         omega
66     }
67     potentialFlow
68     nNonOrthogonalCorrection
69     relaxationFactors
70     {
71         p      0.3
72         U      0.7
73         k      0.7
74         omega  0.7
75     }
76 }
77 }
78 }
79 cache
80 {
81     grad(U);
82 }
83
84 // *****

```

RASproperties

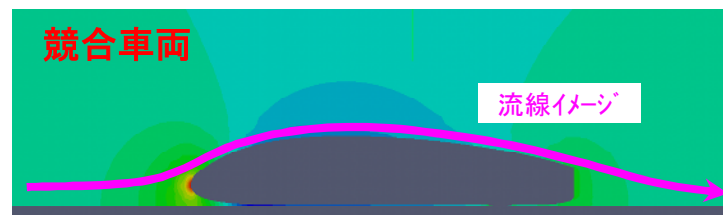
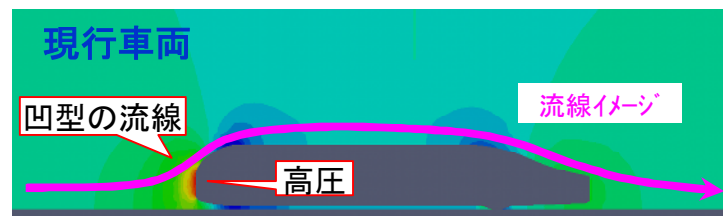
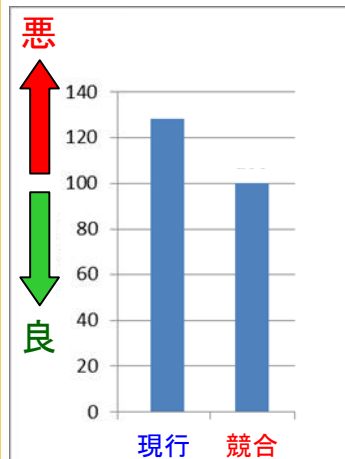
打ち切り残差
1e-5

不足緩和係数

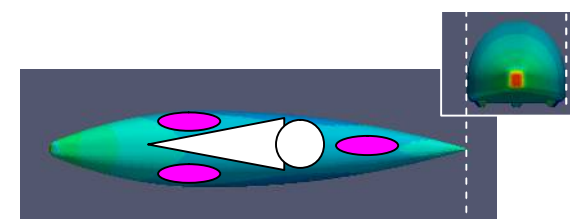
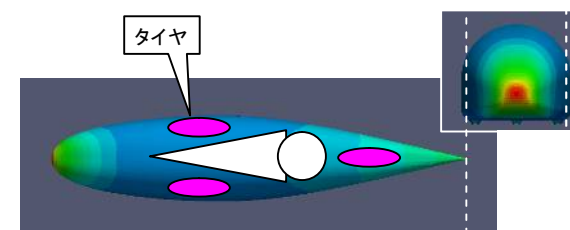
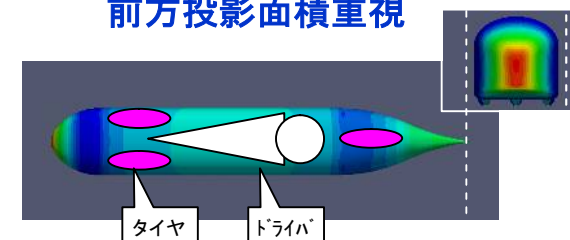
k-eは定点圧力が異常値となったため kOmegaSSTを採用

空力検討 STEP0 ～競合車両の分析～

競合との空気抵抗比較

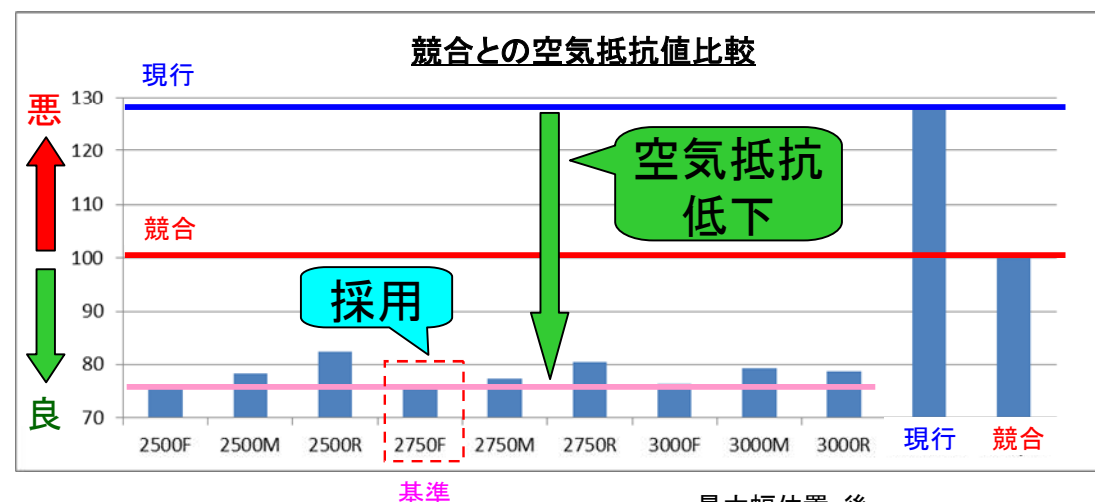
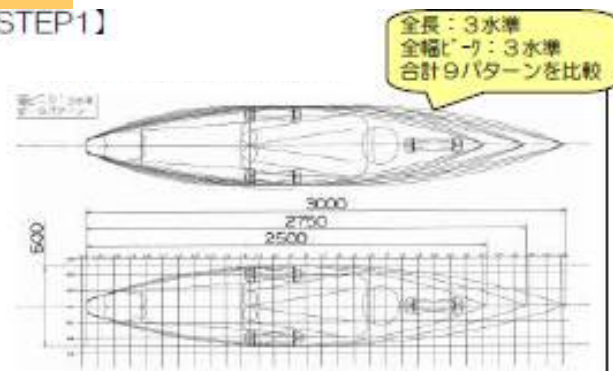


前方投影面積重視



空力検討 STEP1 ～コンセプト確認と基準形状の決定～

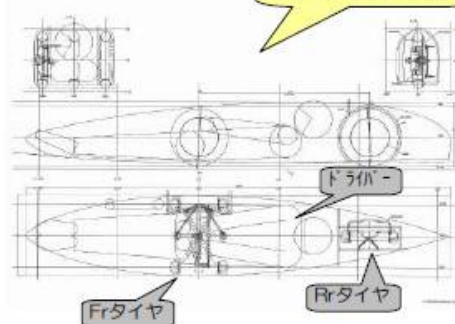
【STEP1】



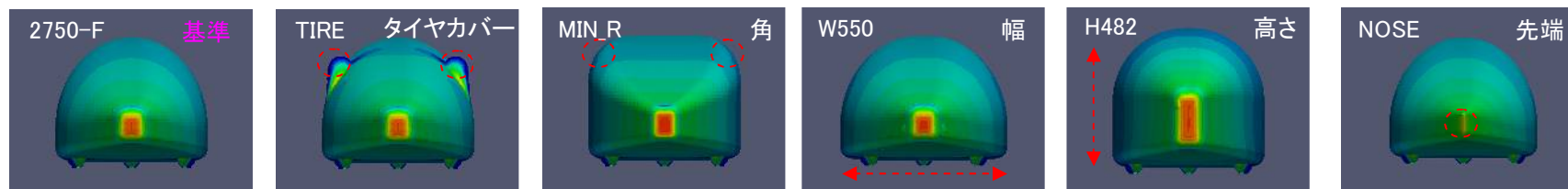
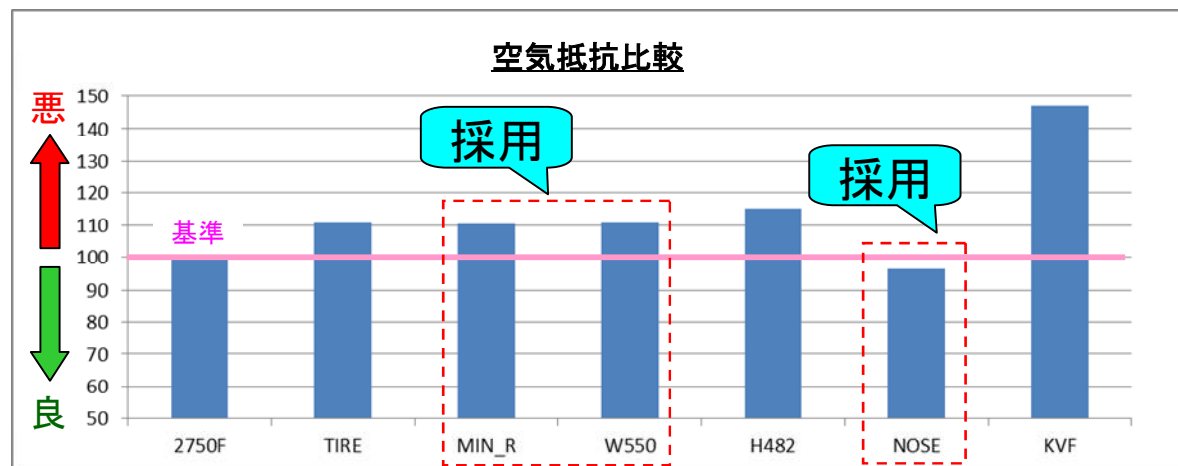
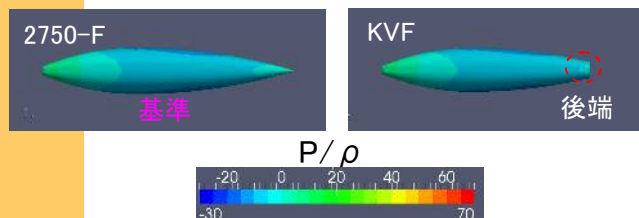
空力検討 STEP2 ～パッケージ成立性検討～

《パッケージ検討》

大まかな部品配置を実施
車両レイアウトを決定



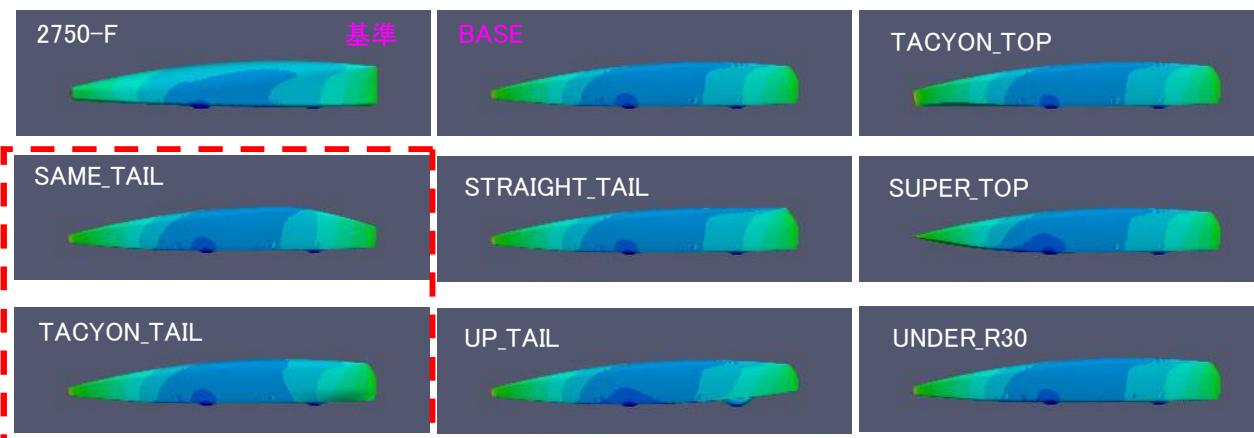
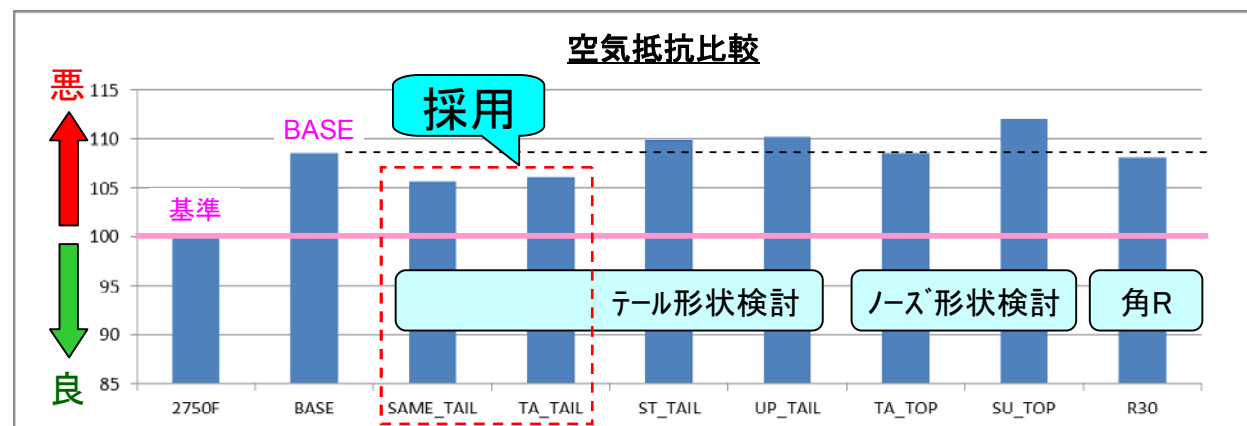
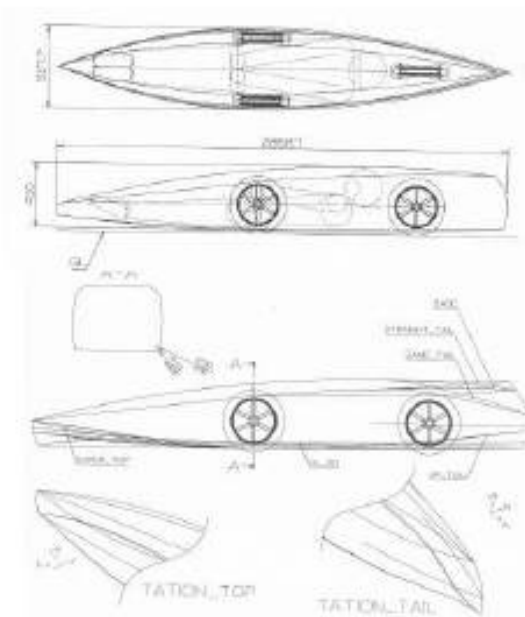
部品配置(特にFrタイヤ)が成立する形状を探す。



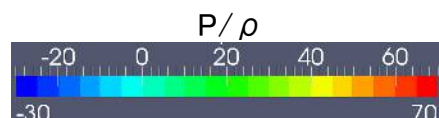
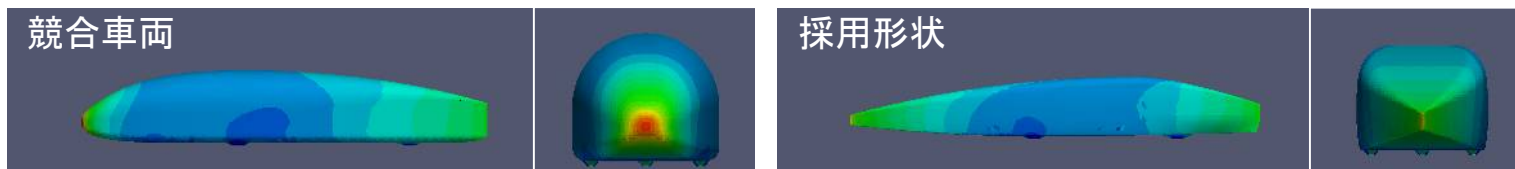
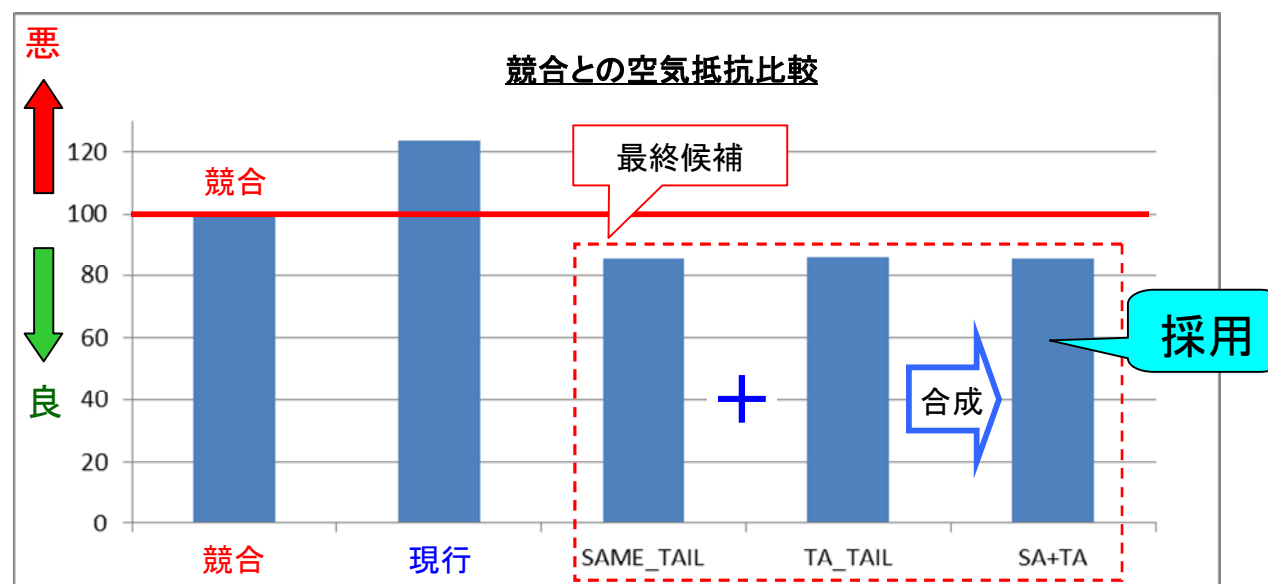
空力検討 STEP3 ～細部の形状検討～

【STEP3】

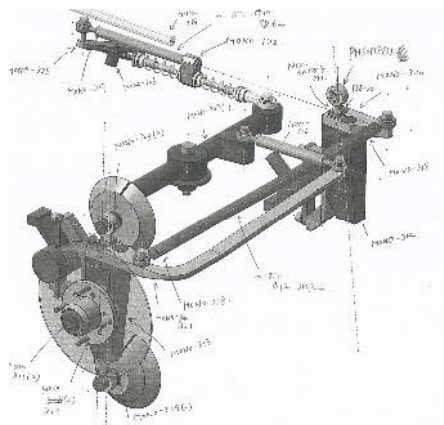
更なる詳細パターンを比較



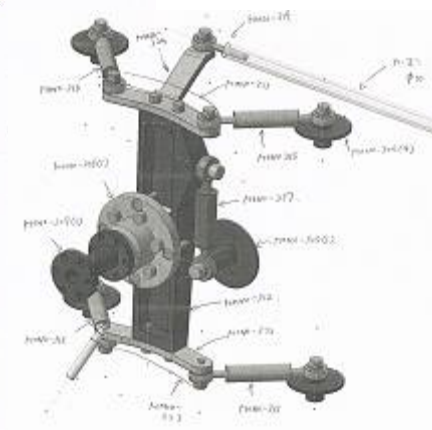
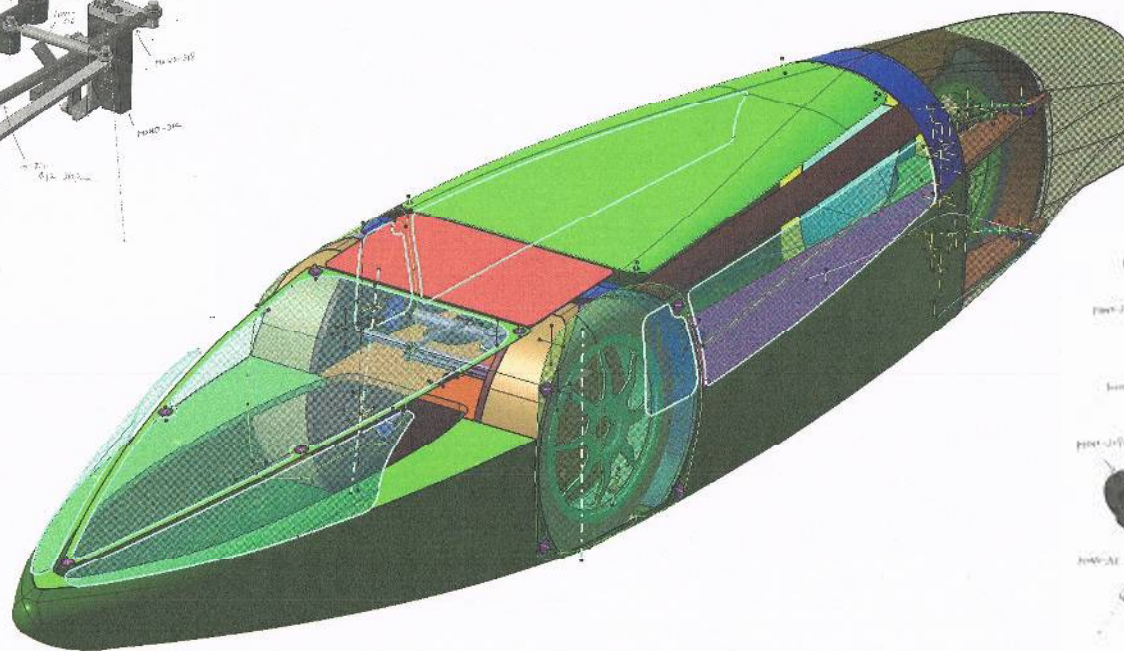
空力検討 ～まとめ～



詳細設計 ～すべて内製設計～



Fr足廻り



Rr足廻り

製作(超)概要 ～製作期間:6ヶ月～

オス型



メス型



金属加工



カーボン成型



新型車



完成品

デビュー戦の結果 ～WEM第7戦 成田 2013.11.15～

優勝



最後に

柴田 良一 様（岐阜工業高等専門学校）
野村 悦治 様（OCSE2）
オープンCAE勉強会岐阜の皆様

ご指導、ご助言ありがとうございました。
これからもどうぞよろしくお願いします。