

## 成蹊フォーミュラプロジェクト — 2012 年度活動報告書 —

本田 啓介\*<sup>1</sup>, 安居 麻子\*<sup>1</sup>, 堀口 淳司\*<sup>2</sup>, 瓜生 芳久\*<sup>3</sup>, 大倉 元宏\*<sup>3</sup>, 小川 隆申\*<sup>3</sup>,  
 笠原 和夫\*<sup>3</sup>, 弓削 康平\*<sup>3</sup>, 鳥毛 明\*<sup>4</sup>

### Seikei Formula Project -Activity Report in Fiscal 2012-

Keisuke HONDA\*<sup>1</sup>, Asako YASUI\*<sup>1</sup>, Junji HORIGUCHI\*<sup>2</sup>, Yoshihisa URIU\*<sup>3</sup>,  
 Motohiro Okura\*<sup>3</sup>, Takanobu OGAWA\*<sup>3</sup>, Kazuo KASAHARA\*<sup>3</sup>, Kohei YUGE\*<sup>3</sup>, Akira TORIGE\*<sup>4</sup>

#### 1. はじめに

全日本 学生フォーミュラ大会は、「ものづくりによる実践的な学生教育プログラム」であり、学生が自ら構想・設計・製作した車輛により、ものづくりの総合力を競い、自動車技術ならびに産業の発展・振興に資する人材を育成することを目的として、公益社団法人自動車技術科会主催により 2003 年にスタートした。大会に参戦する学生達は、毎年 9 月に開催される大会に向け、約 1 年間をかけてフォーミュラスタイルの小型レーシングカーを開発・製作を行う。これにより、機械・電気に限らず幅広い実践的な知識を習得するとともに、コスト管理・マーケティング能力等のものづくりにおける総合能力を養うことができ、将来を担う優秀な技術者を育成することが期待されている。また、昨今の若手技術者や学生に求められている『自ら問題を発見し、解決していく能力の向上』が期待できるとともに、ものづくりの素晴らしさ・厳しさ・喜びを実感し、メンバー間のチームワークやリーダーシップを発揮して、学生たちがものづくりを通して貴重な経験を得ることができる。

本プロジェクトは可能な限り学生だけの力でチーム運営することを目的に活動している。本稿は第 10 回大会に参加する成蹊フォーミュラプロジェクトチームの 2012 年度の活動を総括したものである。

\*<sup>1</sup> : エレクトロメカニクス学科学部生

\*<sup>2</sup> : システムデザイン学科助手

\*<sup>3</sup> : システムデザイン学科教授

\*<sup>4</sup> : システムデザイン学科准教授

#### 2. 大会概要

表 1 に示す競技内容で 9 月 3 日～7 日に大会が開催された。チームの総合力は静的競技と動的競技の合計点で競われる。書類審査にパスしたチームが大会への参加権が得られ、動的競技へ進むためには、すべての車検項目にパスしなければならない。

表 1 大会競技内容

競技種目		競技概要	配点
車検	技術検査	車両の安全・設計要件の適合、全ドライバーが5秒以内に脱出する試験。	0
	チルトテーブル	車両45度傾斜で燃料漏れ無し。ドライバー乗車し車両60度傾斜で転覆しないこと。	
	騒音試験	所定の条件で排気音110db以下であること。	
	ブレーキ試験	指定されたコースを加速し、四輪ロックすることを確認する。	
静的競技	コスト	予算とコストは生産活動を行うにあたって考慮しなければならない重要な要素であることを参加者に学ばせるのが狙いである。車両を見ながら事前に提出したコストレポートのコスト精度、チームに合等を確認し、レポートのコストと車両との適合性を審査する。一般による製造度購買品目となる2項目について、部品製造プロセスなどの口頭試問を行いそれらの知識・理解度を評価する。	100
	プレゼンテーション	学生のプレゼンテーション能力を評価することが狙いである。プレゼンテーションは、『競技のコンセプトに沿い、製造会社の役員に設計上の優れていることを確信させる』という仮定のシチュエーションのもとで行う。	75
	設計	事前に提出した設計資料と車両をもとに、どのような技術を採用し、どのような工夫をまたその設計が市場性のある妥当なものかを評価しているのか、する。具体的には車体及び構成部品の設計の適切さ、革新性加工性、補修性、組立性などについて口頭試問する。	150
動的競技	アクセラレーション	0-75m加速をする。各チーム2名のドライバーがそれぞれ2回、計4回走行し、タイムを競う。	75
	スキッドパッド	8の字コースによるコーナリング性能評価をする。各チーム2名のドライバーがそれぞれ2回、計4回走行し、タイムを競う。	50
	オートクロス	直線・ターン・スラローム・シケインなどによる約800mのコースを2周走行する。各チーム2名のドライバーがそれぞれ2回、計4回走行し、タイムを競う。	150
	エンデュランス	直線・ターン・スラローム・シケインなどによる周回路を約22km走行する。走行時間によって車の全体性能と信頼性を評価する。	300
	燃費	耐久レース(エンデュランス)走行時の燃料消費量で評価する。	100
合計			1000

### 3. 2012 年度大会結果

図 1 に 2012 年度車輛完成図，図 2 に大会会場でのチームメンバーの集合写真を示す。表 2 は我チームの第 10 回全日本学生フォーミュラ大会の結果である。



図 1 車輛完成図



図 2 チームメンバー

表 2 大会結果

	第10回大会			
	獲得ポイント [Pt]	満点 [Pt]	得点率 [%]	大会順位
コスト	45	100	45	19
プレゼンテーション	23.68	75	31.57	47
デザイン	73	150	48.67	25
アクセルレーション	28.51	75	38.01	38
スキッドパット	16.23	50	32.46	37
オートクロス	9.46	150	6.31	44
燃費	0	100	0	32(未出走)
エンデュランス	0	300	0	46(未出走)
総合	195.86	1000	19.58	45

表 2 を参照すると静的審査はまだ伸び代はあるもののみならずの成績を得ることが出来た。しかしながら、大会競技の中で得点の大半を占める動的審査の得点が伸び悩んでしまっている。特に、オートクロスは 1 位のチームと大きくタイム差をつけられてしまい、点数が落ち込んでしまっている。オートクロスでの順位は、エンデュランス競技の出走順に関わってくるため、大変重要なものとなっている。当チームは、エンデュランス競技出走

目前で競技時間終了となってしまう、この競技は未出走という結果になった。

### 4. 2012 年度車輛の設計と製作

2012 年度は「正常進化」というコンセプトの基、設計を行った。このコンセプトは、走行性能の向上、信頼性の向上、ドライバビリティの向上の 3 つの要素により構成されており、各パートがこのコンセプトに沿った設計を行った。

#### 4.1 吸排気系の設計と製作

##### 4.1.1 設計方針

吸気系はエンジンにガソリンと空気の混合気を送り、排気系はエンジンで燃焼後の排気ガスを排出する役割がある。全日本学生フォーミュラ大会における動的競技のオートクロス・エンデュランスのコースは直線が短く、カーブを中心に構成されている。このようなコースレイアウトでは最高速度より立ち上がりにおける加速性能（以下、トルクと呼ぶ）が重要な要素となってくる。そのため、立ち上がりにおけるエンジンのトルクの向上及びトルクバンドの拡大を目標とする。

##### 4.1.2 吸排気システムの役割・構成

###### ①吸気システム

エンジンへ混合気を送り込む役割を担う。そのため、吸気管の性能として求められるものは多くの空気をエンジンへ送ること、つまり、吸気管内での損失をより少なくすることや送り込まれた空気の体積効率を上げることである。図 3 に各パーツについて示す。

###### ②排気システム

シリンダ内部での爆発により発生した燃焼ガスを外へ掃き出すものである。吸気系同様、排気管内での損失をより少なくすることや効率良く燃焼ガスを掃き出すことが求められる。図 4 に各パーツについて示す。

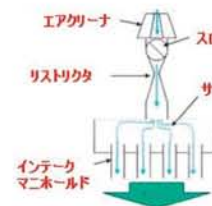


図 3 吸気系概念図

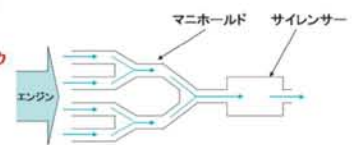


図 4 排気系概念図

4.1.3 吸排気管の設計と製作

吸排気通路の開き始めに発生する圧力波の位相をエンジンの吸排気時期と適合させることによって吸・排気作用を促進することができる。これらの効果を動的効果といい、主に以下に示す二つがある。

①慣性効果 (式(1))

吸排気過程が終わる前に、そのサイクルの初めに生じた圧縮波の反射波を利用することによりシリンダ内の体積効率が高くなる効果。

②脈動効果(式(2))

前のサイクルの吸排気行程で管内に生じた圧力振動がその行程終了後も減衰しながら管内に残り、次の行程に影響を与える効果。

$$L = \left( \frac{60a}{\zeta n \pi} \right)^2 \times \frac{S}{V} \quad \dots \text{式 (1)}$$

$$L = \frac{30a}{n\zeta} \quad \dots \text{式 (2)}$$

- L : マニホールド長
- a : 吸排気管内の音速
- ζ : 脈動次数
- n : 回転数      V : 体積
- s : 吸排気管断面積

これらの効果を得られるような吸排気管長を決定する。トルクピークを 7000～8500rpmでフラットに得られるようにする。慣性効果では 8500rpm，脈動効果では 7000rpmで最大の体積効果を得られる吸排気管長を計算し、吸気管長を 460mm，排気管長を 1400mmとした。なお、詳細を図5，6に示す。

また、シャーシダイナモ試験を行うことにより設計値が実際に得られているかを検証する。その結果及び考察は5章で述べる。

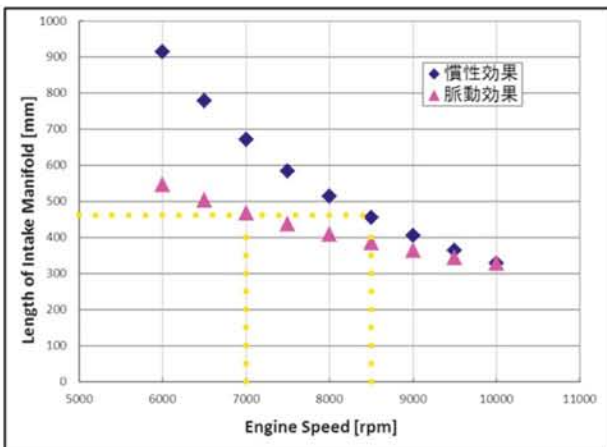


図5 2012年度インテークマニホールド長

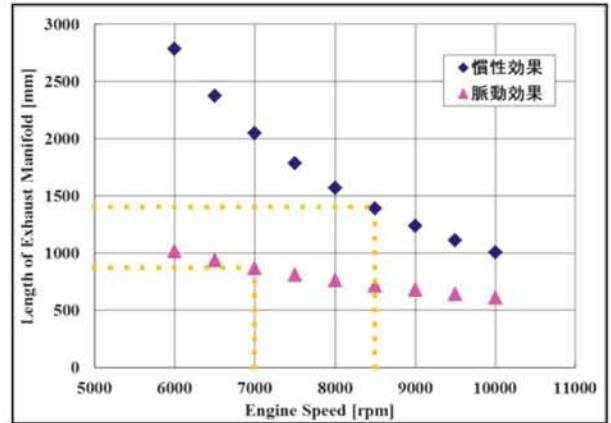


図6 2012年度エキゾーストマニホールド長

今回自作した吸排気管のCAD図とその完成品を図7，8に示す。



図7 インテークマニホールドのCAD図と完成品



図8 エキゾーストマニホールドのCAD図と完成品

4.1.4 サージタンクの設計と製作

2011年度までのサージタンクにおいて、タンク内部のエンジンへの空気流入口では断面積が急激に狭くなるため縮流を起し、大きな損失が発生する。

そこで、吸気損失を低減させるために、サージタンク内のエンジンへの流入口にテーパードファンネルを設置することとした。使用したテーパードファンネルとその取り付けの様子を図9，10に示す。



図9 使用したテーパードファンネル



図10 サージタンク内部の様子

今回自作したサージタンクのCAD図とその完成品を図11に示す。

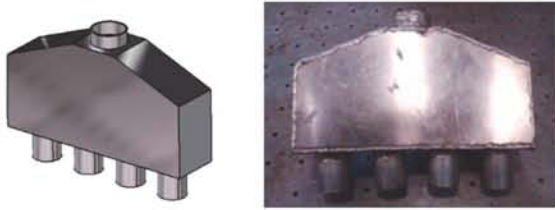


図11 サージタンクのCAD図と完成品

シャーシダイナモ試験によりテーパードファンネルを設置したことによる性能評価を行う。5章でその測定結果及び考察を述べる。

4.1.5 マフラーの設計と製作

2012年度排気消音器は図12に示す排気原音の周波数分析の結果を基に、丸部に示されている卓越した周波数である、366Hz及び554Hz, 823Hz付近の周波数を消音することを目的とした。

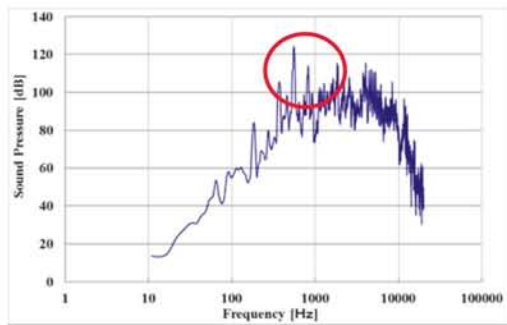


図12 2010年度測定 of 排気原音

2011年度, 2012年度のマフラーのCAD図を図13に示す。2012年度のマフラーは軽量化に重点を置き, 大きな変更を2点施した。それを以下に記す。

- ①マフラー内部に設置するバッフルプレートを1枚取り除いた。
- ②それぞれのパーツの肉厚を2.0[mm]から1.5[mm]に薄くした。



図13 2011年度と2012年度のマフラー内部比較のCAD図

次に, マフラーによる減音量(入口音圧/出口音圧)はマフラー内各室の伝達マトリックスを合成し, 入口と出口の音圧と体積速度を結び付ける伝達マトリックスを求め, マフラーの内部構造の設計を行った。

$$\begin{Bmatrix} P_{in} \\ U_{in} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_{out} \\ U_{out} \end{Bmatrix} \quad \dots(3)$$

とすると

$$\frac{P_{in}}{P_{out}} = A + \frac{B}{Z_c} \quad \dots(4)$$

となり

$$20 \log \left| \frac{P_{in}}{P_{out}} \right| \quad \dots(5)$$

$$20 \log \left| A + \frac{B}{Z_c} \right| \quad \dots(6)$$

また, 図14に2011年度と2012年度の減衰量を比較したグラフを示す。図14を見て分かるように, 11年度のマフラーは823[Hz]付近の周波数を減衰できていなかった。しかし, 12年度のマフラーは消音対象に設定した, 366[Hz], 554[Hz], 823[Hz]の全てにおいて11年度のマフラーの減衰量を上回ることができた。

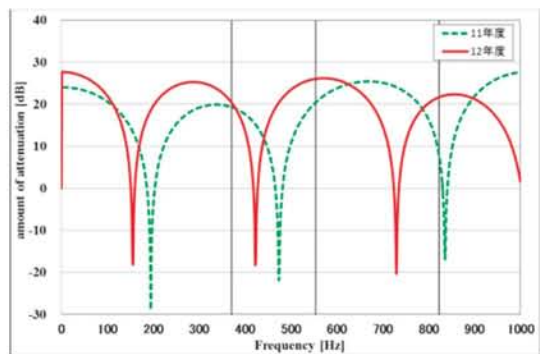


図14 2011, 2012年度マフラーの減衰量比較

今回自作したマフラーのCAD図とその完成品を図15に示す。



図 15 マフラーのCAD図と完成品

表 3 に 2011 年度と 2012 年度マフラーの騒音試験結果と重量の比較した結果を示す。

表 3 マフラーの性能比較

	2011 年度	2012 年度	比較
騒音試験結果[dBA]	106.8	106.9	+0.1
重量(CAD上)[g]	2,371	2,067	-304

4.1.6 完成図

2012 年度に設計・製作した吸排気系統の完成品を図 16, 17 に示す。



図 16 吸気系統アセンブリのCAD図と完成品

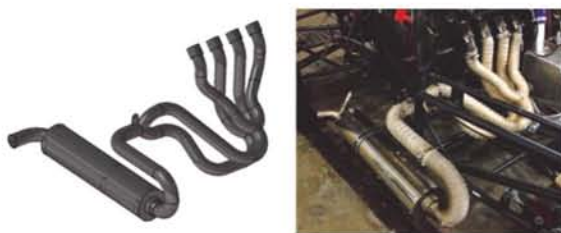


図 17 排気系統アセンブリのCAD図と完成品

4.2 シャシーの設計と製作

4.2.1 設計方針

車の三大要素である「走る・曲がる・止まる」といった運動性能を担うサスペンション、アップライト、ブレーキ、ステアリングシステムについて設計と製作を行なう。軽量化と運動性能の向上を図り、ドライバーの意思通りに動く車種を目指す。

4.2.2 シャシーの役割・構成

①サスペンション

路面の凹凸を車体に伝えない緩衝装置としての機能と

車輪の上下動や操舵による車種の姿勢を定め、車輪の路面に対する接地性を維持することで乗り心地や操縦安定性などの改善を目的とする機構である。サスペンションシステムの設計次第で乗り心地、操縦安定性、旋回性能が大きく変化するので重要なセクションである。

②ハブ・アップライト

タイヤが装着される部分である。その内部にはアーム、タイロッドが正確な設計位置に取り付けられている。足回りの部品で最も精度が求められる。

③ブレーキ

車種を制動するためのパーツである。ブレーキ方法はいくつかあるが、当車種はディスクブレーキ方式を採用している。

④ステアリング

ハンドルの回転運動からタイヤを転舵させるパーツである。ステアリングはレスポンスの良さ、操舵力、走行後の前輪トー変化など考慮しなければならない点が多数ある為、バランスの取れた設計を行うことが重要である。

4.2.3 アーム・サスペンション設計

2011 年度車種において問題となっていたインリフトの抑制や対地キャンパー角のポジティブ方向への変化(図 18 参照)、オーバーロールなどの改善も考慮し、車種コンセプトと軽量化を重視して設計・制作を行った。

転舵キャンパーを考慮しつつ、フロント、リア共に旋回時にキャンパー変化を抑えるようにジオメトリを設計した。これは、大会で使用するコースは車種が旋回姿勢にある時間が 9 割近いためである。転舵キャンパーを考慮したキャンパー角は式(7)で求められる。

$$\varphi = \varphi_0 + \arccos(\sin\theta_k \cos\sigma) + \theta_k + \arccos(\sin\theta_c \sin\sigma) - 180 \dots \text{式(7)}$$

- ここで、  $\varphi$  : キャンパー角[°]
- $\varphi_0$  : イニシャルキャンパー角[°]
- $\theta_k$  : キングピン角[°]
- $\theta_c$  : キャスター角[°]
- $\sigma$  : 操舵角[°]

である。

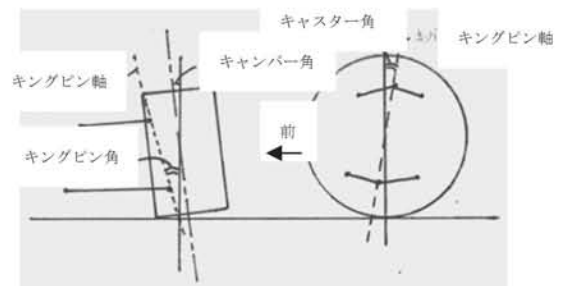


図 18 キャンパー角とキングピン角, キャスター角

この転舵キャンバーは車体がロールしたときに発生するキャンバー角とは打ち消しあう方向に発生する。表 4 に 2011 年度車輛との比較を示す。なお、ここでは制動時はサスペンションのストローク量が 30[mm]，回転時は車輛のロール角が 2.0[°]の時のキャンバー角を比較したものである。

表 4 回転時のキャンバー変化の比較

	フロント	リア
2011 年度車輛	1.25[°]	1.36[°]
2012 年度車輛	0.98[°]	0.96[°]

表 5 のようにフロントタイヤは-0.27[°]，リアタイヤは-0.40[°]キャンバー変化を抑えることによって，それぞれの接地率がそれぞれ 21.6[%]，44.1[%]向上した。インリフト現象の要因となるジャッキアップ力を抑制するため，ロールセンター高を下げたジオメトリを採用した(図19, 20 参照)。図 21, 22 にサスペンションのCAD図を示す。

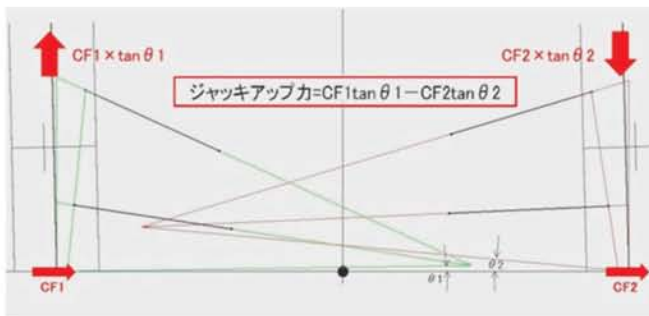


図 19 ジャッキアップ力

表 5 ロールセンター高の比較

	2011	2012
フロントロールセンター高[mm]	35.1	40.2
重心位置におけるロールセンター高[mm]	52.6	43.1
リアロールセンター高[mm]	70.1	45.9

表 6 ジャッキアップ力の比較

	フロントジャッキアップ力	リアジャッキアップ力
2011	392.3(N)	586.1(N)
2012	121.0(N)	215.7(N)

アーム取り付け点にジオメトリ調整機構を設け，コースの性格やドライバーの技量や好みにサスペンション特性を合わせられるようにした。

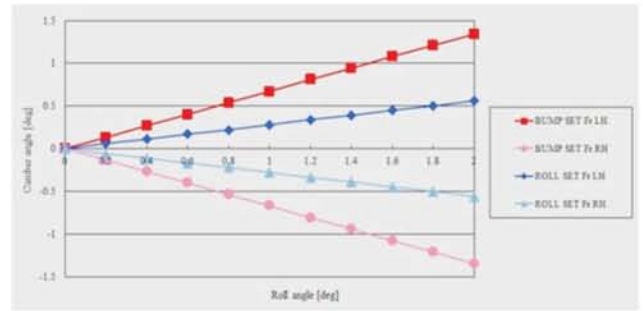


図 20 ジオメトリ調整幅のグラフ (ロールキャンバー変化)

表 7 キャンバー変化量比較

	回転時キャンバー変化	加減速時キャンバー変化
Roll SET	0.56(deg)	2.06(deg)
Bump SET	1.34(deg)	0.94(deg)

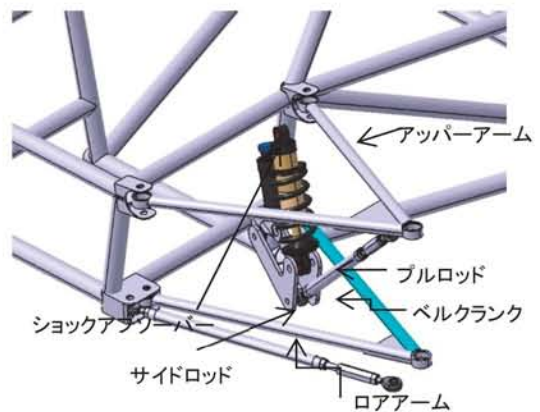


図 21 サスペンションシステム

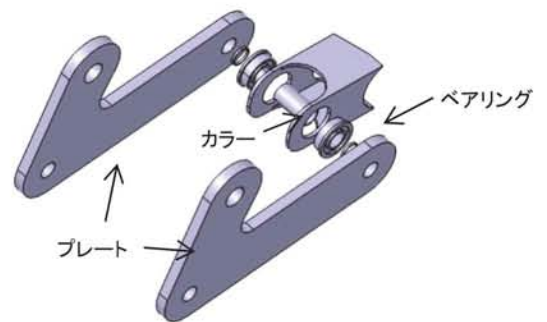


図 22 ベルクランク構成

4.2.4 ハブ・アップライト設計

ハブの種類は大きく分けて鉄製とアルミニウム製の2種類に分類される。鉄製は主に角パイプや丸パイプを切断、溶接して製作される。アルミニウム製は主に削り出し、鋳造の2種類であるまた近年ではマグネシウム製もみられる。

以下の特徴も考慮し選定を行った。

アルミニウム合金ハブの特徴

- ①軽く、省エネ効果が明らかである。軽合金ハブは鋼質ハブより質量が明らかに軽く、これは車体の加速性、制動性と操作性の改善に有利であり、燃料消費効率高めに有利である。
- ②放熱が速く、車輛安全度が高い。アルミニウム、マグネシウム合金の熱伝導係数は明らかに鋼より高く、放熱効果をもっと良いから自動車の制動性能を強化し、自動車の安全走行を効果的に保障している。
- ③緩衝性が高く、快適性をもっと強い。

以上の点から 2012 年度車輛ではアルミニウム合金 (A7075) の削り出しを採用した。

2011 年度ハブと基本形状は変更せず、サイズダウンした設計を行なった。これは、ブレーキディスクの径を小さくしたことにより実現することができた。

ハブに最も力が加わるのは、旋回と制動を同時に行ったときである。旋回と制動を同時に行ったとき、瞬間的に前輪外側に大きな力がかかる。実際の状況よりさらに厳しい状況を想定し、旋回時の旋回加速度が 2.0G、制動時の減速度を 1.6Gとした時の条件でCAE解析を行った。

解析結果を図 23 に示す。最大応力が 133.9MPaとなり、安全率は 3.74 となった。安全率は例年通りの値が得られたため、使用しても問題ないと判断した。2011 年度ハブに比べ、安全率を落とすことなく約 30%の軽量化に成功した。

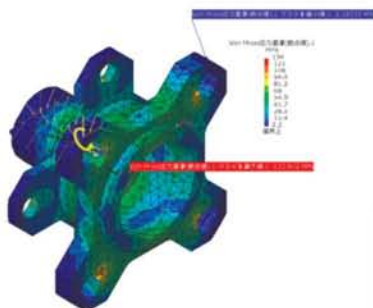


図 23 ハブ解析結果



図 24 2012 年度ハブ

次に、アップライトの設計について述べる。フロントアップライトの一体化したロアアーム取り付け部の形状をコの字型からロの字型とすることでアームからの入力を分散し、強度を向上させた。また、フロントアップライトのアップラーブラケット取り付け部分に 11mmのシムをはさんだ状態で設計することでネガティブ方向に約 3 度の調整幅を持たせた(図 25, 26 参照)。

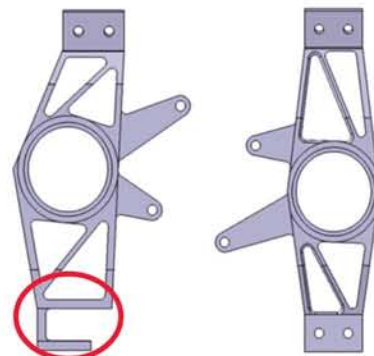


図 25 2011 年度アップライト

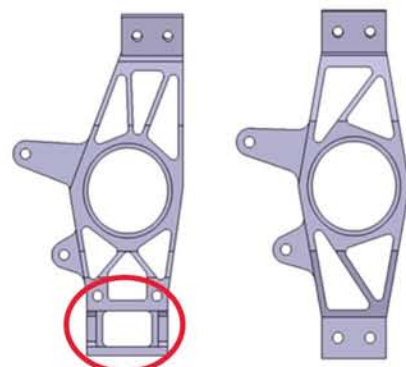


図 26 2012 年度アップライト

CAE解析を行い安全率の算出と肉抜きによる軽量化を進めていくこととした。アップライトに対して最も力が加わるのは、旋回と制動を同時に行ったときである。その際、瞬間的に前輪外側のアップライトに 1.2G程度の加速度が加わることになる。解析条件は実際の状況よりさ

らに厳しい状況を想定し、旋回時の旋回速度が 2.0G、制動時の減速度を 1.6Gとした。解析結果を図 27 に示す。フロント、リアの安全率を表 8 に示す。

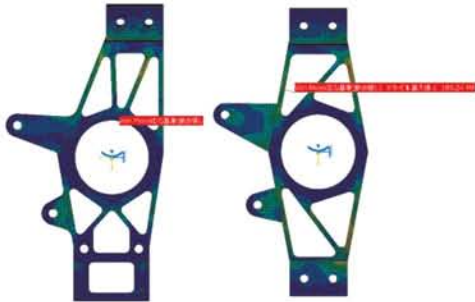


図 27 アップライト解析結果

表 8 アップライト安全率比較

	2011 年度安全率	2012 年度安全率
フロントアップライト	1.24	1.51
リアアップライト	1.31	1.56

#### 4.2.5 ブレーキ設計

車輛に使用しているブレーキパーツが実際に発生させるブレーキ力である前後輪の実ブレーキ力 $B_{dF}$ 、 $B_{dR}$ は式(8)、式(9)により表される。

$$B_{dF} = (BEF)_F \cdot P_F \cdot A_{WF} \cdot \frac{r_F}{R} \dots \text{式(8)}$$

$$B_{dR} = (BEF)_R \cdot P_R \cdot A_{WR} \cdot \frac{r_R}{R} \dots \text{式(9)}$$

$BEF_{F,R}$  : パッド摩擦係数(Fはフロント, Rはリア)

$P_{F,R}$  : ブレーキペダルを踏んだ時に発生するブレーキオイルの圧力

$A_{WF,WR}$  : キャリパーピストン面積

$r_{F,R}$  : ブレーキ有効半径

(ブレーキディスク半径)-(キャリパーピストン半径)

R : タイヤ半径

2012 年度車輛ではブレーキ試験において四輪ロックをクリアできた 2010 年度車輛を参考に設計を行った。ブレーキディスクの径を $\phi 220[\text{mm}]$ から $\phi 190[\text{mm}]$ に変更すること約 25%(約 0.8kg)の軽量化した。ディスクを小さくしたことで制動力は落ちるが、ペダルのレバー比を 1:4 から 1:4.8 に変更することで制動力を維持した。



図 28 ブレーキディスク

(左 :  $\phi 220[\text{mm}]$  右 :  $\phi 190[\text{mm}]$ )

#### 4.2.6 ステアリング設計

2012 年度車輛のステアリング設計方針を以下に示す。

- ①学生フォーミュラでは大会コースがスラロームやコーナーが多く、速度域が約 60[km/h]以下ととても低いためアッカーマン理論に基づいた設計を行い、走行性能向上。
  - ②他パーツとの連携を取り、干渉 0 を目指した。それにより信頼性向上。
  - ③操舵力の軽減、コックピット担当者との連携を取り、ドライビングポジションからハンドルの位置を決定することにより、ドライバビリティの向上。
- これらの方針に基づき設計を行った。

大会コースの最小Rの 4500[mm]より大きく余裕を持ち、最小回転半径を 3900[mm]とした。次に、アッカーマン理論に基づき以下の式を用いて、転舵角を求めた。

$$R = \frac{L}{\sin \beta} + C = \sqrt{\frac{L}{\sin \alpha} + 2K + \frac{2KL}{\tan \alpha}} + C \dots \text{式(10)}$$

$$\text{内輪の切れ角 } \tan \alpha = \frac{L}{(R-C) \cos \beta - K} \dots \text{式(11)}$$

$$\text{外輪の切れ角 } \sin \beta = \frac{L}{R-C} \dots \text{式(12)}$$

R : 最小回転半径  $\alpha$  : 内輪切れ角

$\beta$  : 外輪切れ角 L : ホイールベース T : トレッド

K : 左右のキングピンの距離 C :  $(T - K)/2$

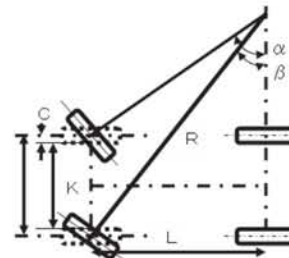


図 29 アッカーマン理論

これよりタイロッド取り付け転座標の決定を行った。歴代では 2 次元の計算しか行ってこなかった。2012 年度では、Susprog3D という 3 次元での数値解析を行うソフトと Excel ファイルを用いてより高度な設計を行った。Susprog3D で計算した結果は以下のとおりである。

表 9 Susprog3D を用いて得た値

内輪[°]	外輪[°]	理想内輪角[°]	理想外輪角[°]
29.53	23.61	32.86	23.61



アッカーマン率は

$$\frac{29.53 - 23.61}{32.86 - 23.61} \times 100 = 64\%$$

となった。2011 年度車輛と理想アッカーマン曲線、パラレルステアリングの比較を図 30 に示す。

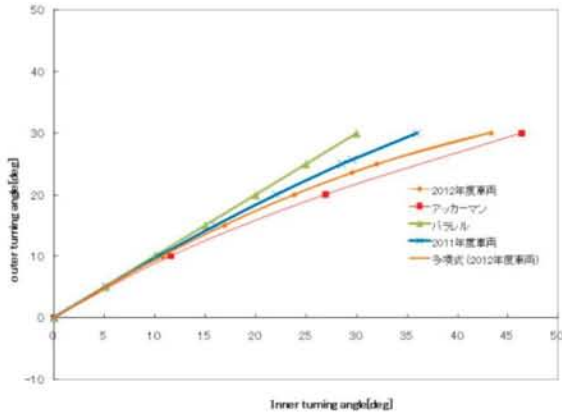


図 30 アッカーマン曲線

図から 2012 年度車輛のアッカーマン曲線は理想アッカーマン曲線に近いことが分かる。

また、2010 年度車輛においてピニオンの強度が足りず破断してしまったことを踏まえ、再度強度計算を行い、設計を行った。図の下に示されているのはシャフト部の径である。



図 31 φ12 シャフト

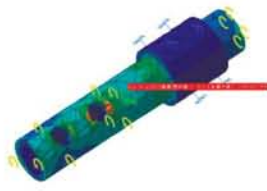


図 32 φ15 シャフト

応力のかかっているところを注目すると、シャフト部がφ12 のピニオンはシャフト部とギア部の境界に最大応力がかかっていることが分かる。その部分の応力を見ると、シャフト部がφ12 のピニオンは 120[MPa]、シャフト部がφ15 のピニオンは 53[MPa]であることが分かった。歴代で破断してしまったのはシャフトとギア部であることから、走り込みによる金属疲労が原因のひとつであると考察する。2012 年度はシャフト部径がφ15 のピニオンを採用し、信頼性を向上させた。

次に、操舵力の軽減を達成するために、タイヤ回転軸とアップライト側のタイロッド取り付け点の距離を稼ぐことによりモーメント力を増大させ、操舵力を低減した。

据え切り転舵するときの測定方法、測定値の条件を以下に示す。

測定方法：バネばかりと定規を用いた測定法

路面温度：12.6℃、気温：13.2℃、タイヤ空気圧：100[kPa]

実測した操舵力を表 10 に示す。

表 10 年度別操舵力比較表

年度	操舵力[N]
2009	128
2010	55.9
2012	48

2011 年度車輛はアップライト側の精度が低いため、測定値の精度も低いため省略した。2010 年度車輛と比較すると操舵力を軽減できていることが分かる。

### 4.3 電装部品の設計と製作

#### 4.3.1 設計方針

「ドライバビリティの向上」のコンセプトの基、表示系の目視のし易さやフィードバック、各種操作性の向上を目指した設計・製作を行った。

また、電装は例年トラブルの起きやすいパートであり危険も伴う。非常に多くの配線が行き来しているが、センサー配線等の接続・接触不良が一点あるだけで車輛に重大な影響を及ぼす場合もある。そのため、電装におけるトラブル・事故のゼロを目指し、外的な刺激に強くトラブルを発見しやすく、かつ整備性の優れた配線となるよう製作を行った。

#### 4.3.2 電装系統の役割・構成

電装部品には、緊急時の対策や既定規格の部品を使用する等のレギュレーションが存在する。それらの規定のある主な部品を以下に示す。

##### 緊急スイッチ

プライマリーマスタースイッチ、コックピットマウントマスタースイッチ、オーバートラベルスイッチの3つがある。図 33 に各スイッチの取り付け状況を示す。



図 33 プライマリーマスタースイッチ(左)とコックピットマウントマスタースイッチ(右)

プライマリーマスタースイッチは、ドライバーの右肩付近に設置し、車外から容易に操作ができること、車載されたすべての電気系統の電源が切れること、リレーを

介さず直接作動させることが決められている。2012年度車輻では、2011年度車輻に使用していたスイッチの故障部のパーツを交換し利用した。

コックピットマウントマスタースイッチは、緊急時にドライバーが容易に操作できること、ステアリングホイール付近に設置し他部品に操作を妨げられないこと、ブッシュプルスイッチであることが決められている。

上記2スイッチは非常時に車輻の動作を人為的に停止させるものであり、付近に国際的な電気シンボルマークを貼り付け、車外から容易に発見できるようにする必要がある。シンボルマークはカウル上に貼り付けることで目視性を上げた。

オーバートラベルスイッチは、点火と燃料ポンプが切れること、位置が適切であること(ブレーキ踏み込みストロークの2倍程度の位置)、ドライバーによって再セットができないことが決められている。このスイッチはブレーキペダル後部に装着し、緊急時にドライバーがブレーキを踏み込むことで燃料の供給等を停止させるものである。図34に取り付け状況を示す。

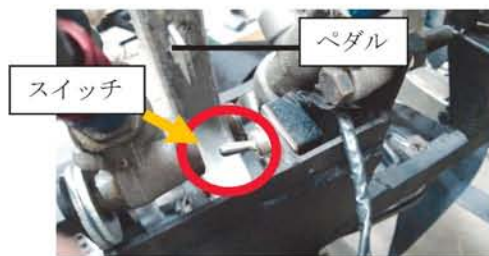


図34 オーバートラベルスイッチ

## ②電気系

ブレーキライト、バッテリーに関してのレギュレーションがある。

ブレーキライトは赤色で15W以上、あるいは相当品で後部から明瞭に確認できること、車輻センターライン上でホイールセンターからドライバーの方の間に設けることが決められている。LEDにより新たに製作した。

バッテリーはフレームにしっかりと固定し、端子は絶縁することとなっている。よって、絶縁した鉄部材でバッテリー上部を固定しボルト止めした。

## ③メーター

ドライバーは運転に際して回転数を確認する必要がある。また排気音試験においても回転数を確認する必要がある。エンジンは95℃から105℃が適切な動作温度であるため、冷却水温度を確認しつつ冷却水循環ポンプのスイッチやラジエーターファンのスイッチを操作する必要がある。

以上のことよりドライバーヘデータを示すため2011年

度まではCBR600RR純正である大型のメーターを使用していたが、2012年度は社外品を採用した。

## ④ワイヤーハーネス

すべての電気、信号配線の集まりであり車輻の前部から後部まで100近いさまざまな配線が存在する。そのうち1点でも接触不良があると走行に重大な問題が発生することがあり、ドライバーに危険が及ぶこともあるが、配線は引張りや曲げねじりに非常に弱く最もトラブルが起きやすいパートのひとつである。

## 4.3.3 メインパネルの設計・製作

整備性を考慮し一体型とした。目視性や配線(アース)のスマート化のため、1mmのアルミ板にて製作したスイッチパネルを別に設けた。メインパネルはカーボン合板を用いて製作した。

図35に示すようにコックピット右側にスタータースイッチ・コックピットマウントマスタースイッチ、左側に社外メーター電源スイッチ・ラジエーター冷却ファン電源スイッチ・冷却水循環ポンプスイッチを設けた。

スイッチングのフィードバックとして、昨年度ドライバーよりスイッチがONになっているときにパイロットランプが光るとわかりやすい、という意見があった。しかし、オープンタイプのフォーミュラカーでは日中にパイロットランプが光っているか目視がしにくいということがあり、物理的に目視できたほうが良いと考えた。また、スイッチは限られたスペースに設置しなければならないためステアリングホイールと接近してしまう。

ステアリングの際の誤操作を防ぐため、例年では動きが非常に固いスライドスイッチを使用していたが、ドライビンググローブをした状態での操作が困難であった。

以上より、ドライビンググローブを装着した状態でも押し上げ・押し下げの感触がわかりやすく、かつスイッチの上向き・下向きの差が大きくON・OFFを目視しやすいクリック感のあるバウタイプトグルスイッチを採用した。



図35 コックピット左側のスイッチ類

#### 4.3.4 メーター周りの設計・製作

ドライバーへより多くの情報を、コンパクトに表示するため図 36 に示すような社外メーター(PERCUL社 LAPCOM S LITE 100)を使用した。ロギング機能があり、ドライビング中の車輛の情報をSDカードへ保存する事が出来るので、今後の車輛製作(特にエンジン、ラジエター周りの設計)に応用できる。入力・表示・ロギングができるのは、水温(2データ)・回転数・車速・ギアポジション(回転数・車速のデータより算出)・ラップタイム・ステアリング角度・GPS車輛位置追跡などで、2012年度は水温・回転数・車速を入力し表示させた。データは付属のコンピュータへ入力し、メーターに表示する。



図 36 使用したメーター

また、メーターはステアリングホイール上にマウントした。その様子を図 37 に示す。昨年までフロントフープにメーターを装着していたため、ステアリングホイールの隙間からメーターを見ることになっていた。ステアリングホイール上に設けることで目視性の向上を図った。その様子を図 38 に示す。

社外メーター背面からはボルトが 1 本出ているため、ステアリングホイールの前面と背面に製作したマウント部品を固定し、マウント部品と社外メーターのボルトを固定することでステアリングホイールと社外メーターを固定した。

メーターをステアリングホイール上に装着するに従い、メーターまでのケーブルを可動式とする必要があった。

8 芯カールコードにてメーター用ケーブルを製作し、車輛とステアリングホイール上のメーターを接続した。



図 37 メーター装着図とカールコードの運用図



図 38 ドライバー目線でのコックピットパーツ

次に、データの入力について述べる。先述したように、2012年度は水温・回転数・車速を入力し表示させた。それぞれのセンサーの取り付け位置と方法を示す。

ドライバーは運転中に水温を確認し、冷却水温度の変化によって冷却ファン、冷却水循環ポンプの電源を ON/OFF してエンジンをオーバーヒート・クールにさせないようにする必要がある。正しい水温を測れるようにするため、図 39 のようにエンジンの冷却水出口付近に水温センサーを取り付けた。



図 39 水温センサー取り付け図

車速センサーは駆動輪である後輪に取り付けるとタイヤがグリップしていないときに正しいスピードが取れない可能性があるため、左前輪のブラケットへマウント部品を溶接し取り付けした。センサーはマグネット近接センサーであり、4 マグネットをタイヤへ取り付けその接近の時間の間隔で車速を測定するものである。

回転数(RPM)はECU(Engine Control Unit)から出力されるエンジン回転数RPM出力をメーターのコンピュータへ入力し表示させた。

昨年度エンジンがかかる段階でメーターにECUからのRPM信号を入力したところ、5000~6000回転で表示が消えてしまう事象が起きていた。エンジンを始動できないとデータを取ることができないため、昨年度のメーターの挙動よりECUからどのようなデータが出力されているのか疑似波形をメーターへ入力し推測した。

発振器(IWATSU FG-350)を用いて疑似波形を入力したところ、メーターでは発振信号が2.1Vを下回ると、6,000回転付近以上の表示が消えてしまう事がわかった。これ

により、ECUの出力するRPM信号は2.1V以下であり社外メーターで信号の認識に必要な電圧に達していないと考えた。よって電圧を5.1Vまで引き上げる図40のようなアンプを製作した。

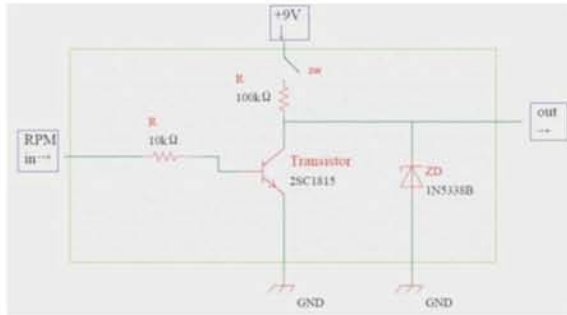


図40 RPM信号の増幅アンプ回路図

電源として9Vボックス電池を用いた。またサイドウォールへ取り付けられるよう強化プラスチックケースにケーシングし、アルミ部材のマウント部品を取り付けた。

発振機にて動作確認を行った。擬似信号を出力したところ、1.5V程度の信号でも5.1Vへ増幅され12,000回転まで正しく表示ができた。そこで、2012年度実車輻にてRPM増幅回路の動作確認をした。

まずECUより出力されるRPMの信号を直接社外メーターのRPM入力へ接続し、エンジンを始動したが、この試行ではやはり社外メーターにて回転数を正しく表示させることはできなかった。次にRPM増幅アンプをECUと社外メーター間に装着しエンジンを始動したが、社外メーターにて正しく回転数を表示させることはできなかった。エンジンが動作している状態でECUから出力されているRPMの信号電圧を計測したところ、5V以上(12V)を示していたため、正しく表示されない原因が電圧不足でないことがわかった。そこで、純正メーターを社外メーターと同時に(並列)接続したところ、社外メーターにて正しく回転数表示をすることができた。図41のように純正メーター分の抵抗(900Ω)を並列に接続することで、社外メーターのみでの表示は成功した。抵抗を並列に入れたことで電流が多く流れたためであると考えられる。

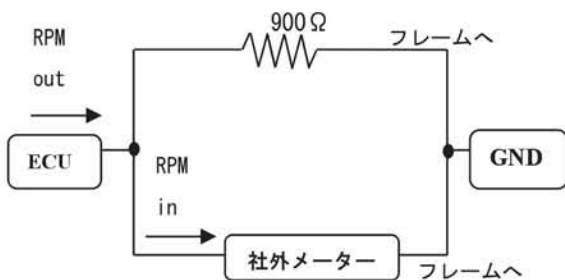


図41 メーターにてRPMを正しく表示できた回路

#### 4.3.5 ワイヤハーネスの設計・製作

2012年度は信頼性・整備性の向上をテーマに、断線の可能性のある部分を洗い出し配線のし直しや強化を行い、外的な刺激に強く、かつ整備性の良い配線を心がけ製作を行った。

図42のように木製のモックアップモデルを用いてパーツの位置やパーツ間の距離を確定し、すずらんテープでシミュレートした。

実際の配線にはカバーとしてすべての箇所にもルゲートチューブ、スパイラルチューブを使用した。動きが必要な箇所(試作電動シフターのパドルスイッチの配線等)では動きに柔軟なスパイラルチューブを採用した。

昨年度まで配線は大きくひとまとめになって必要な箇所へ分散していくようになっており、整備をする際やトラブルを発見する際にはまとまった配線から目的のケーブルを探し出し、行く先を追っていかねばならなかった。2012度は、信号線と電力線をルゲートチューブで分けてまとめ、信号線の中でもケーブルの至る場所ごとに直径の異なるルゲートチューブで2重に分けることで目的のケーブルの発見を容易にし、整備性の向上を実現した。

また、配線の絶縁には、ベタつきのない自己融着テープと熱により縮み密着する熱収縮チューブを用いた。自己融着テープはテープ同士が完全に密着するもので接着剤を用いないためベタつきがない。熱収縮チューブは熱によりチューブ直径が二分の一ほどになるもので、接着剤を用いず絶縁したい部分に密着させることができた。



図42 木製モックアップモデル

次に、電装パーツをマウントするためのサイドウォールを製作した。

そして、すべての配線をカバーしているルゲートチューブは切れ目を自己融着テープで完全にチェックしており、大きく剥き出しになってしまう部分は防水カバーを使用することで、防水性を高めた。図43、44にその様子を示す。



図 43 サイドウォールにマウントした電装部品とハーネス



図 44 エンジン左側面の配線

また、2011 年度まで使用していたストップランプは暗く晴天下で確認し難いものであったため、目視性向上のためストップランプを新たに製作した。

光源に省電力のチップ型LEDを54個用いて配列した(図45 参照)。



図 45 ストップランプ(中央)と装着図

#### 4.4 シフターの設計と製作

##### 4.4.1 設計方針

大会のコースでは短い直線で加速する必要があり、特にアクセラレーションではコンマ何秒というタイムが競われるため、無駄の無いシフトチェンジが勝敗のポイントとなっている。また、MT車はドライバーがシフターの操作を行うため、シフトチェンジでのロスを軽減する必要があり、操作方式やインターフェース面での改良が重要となる。

##### 4.4.2 シフターの役割・構成

フォーミュラで使用されているのは主にオートバイ用 (MT) エンジンであり、エンジンとトランスミッションが一体となっている。シーケンシャルシフトと呼ばれ、ドライバーが入力軸を回転させることで一速ずつアップダウンの操作を行うことができる。

##### 4.4.3 電動シフターの設計と製作

2012 年度は、前年に比べて車両の操作性と加速性能を向上させるため、ソレノイド式のアクチュエータを用いた電動式パドルシフターを採用した。これによりドライバーはパドルスイッチを弾くことでステアリングを握ったまま変速を行うことができる。

当チームで使用しているエンジンはHONDA社製 CBR600RR用のエンジンであり、そのエンジンにおけるシフターの入力軸を図46に示す。アクチュエータを用いてこの入力軸を正回転、逆回転にそれぞれ 15°回転させることでシフトダウン、シフトアップを行うことができる。

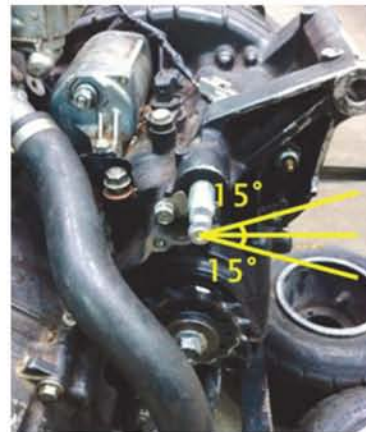


図 46 シフター入力軸

また、アクチュエータとして、PINGEL社製のelectric shifter を使用した。electric shifter kit はオートバイ用の市販キットであり、その内容を図47に示す。

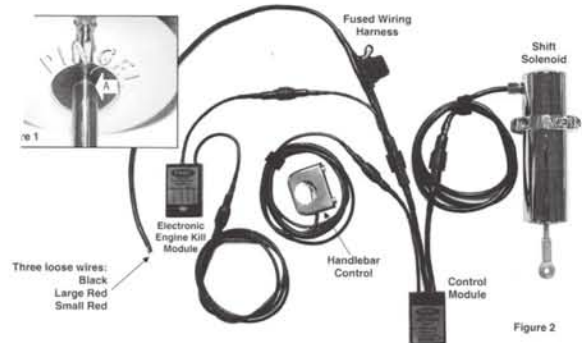


図 47 PINGEL 社製 electric shifter kit

図 47 の右側に示してある「Shift Solenoid」がソレノイド式アクチュエータであり、スイッチングでロッドがスライドする使用になっている。図 48 のような汎用品のリンクを介して入力軸を回転させることで変速を行う設計とした。

ロッドの全ストローク量は 58mm であり、通常時は中点で留まるよう配置する。リンクは、入力軸に取り付けた状態の軸中心から作用点までの距離は 90mm であった。以上から、リンクとロッドのなす角を 80~90° に設定した場合、入力軸を逆方向に 15° ずつ、計 30° 回転させるのに十分な諸元であることを確認した。3D-CAD を用いた動作部の機構を図 49 に示す。また 3D-CAD 設計時の車輛全体における配置イメージを図 50、製作したものを実際に車輛に取り付けた状態の様子を図 51 に示す。

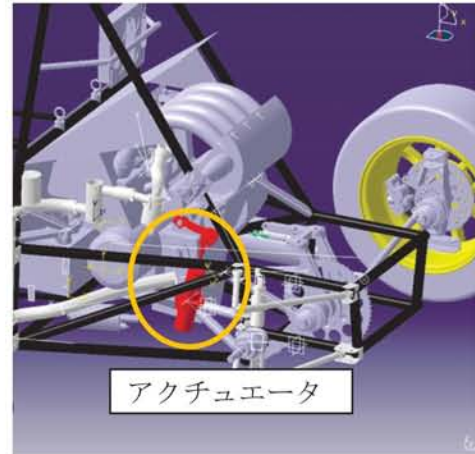


図 50 3D-CADによる取り付けイメージ



図 48 使用したリンク

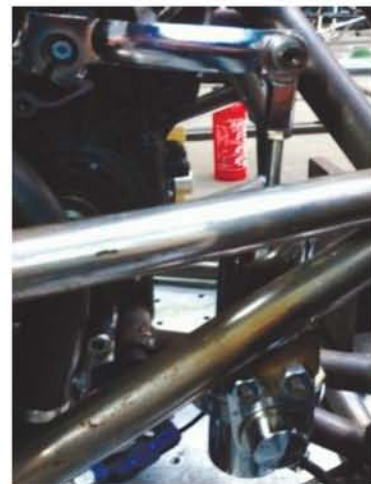


図 51 実際の取り付け状態



図 49 動作部の機構

次に、パドルスイッチについて述べる。アクチュエータを動作させるためON/OFFスイッチをパドルスイッチとして設計する。ステアリングシャフトに図 52 のような部品を取り付けることで、ドライバーはステアリングを握ったまま左右のパドルを弾くことができる。実際に製作したパドルスイッチを図 53 に示す。



図 52 パドルスイッチ概形



図 53 製作したパドルスイッチ



図 55 試験の様子

5. シャーシダイナモ試験による検証

5.1 目的

製作した吸排気系統が、実際に設計で狙った値を得られているかを検証することを目的とした。測定するものは主にトルク・馬力である。まず、サージタンクについては容量や形状の似ている 2010 年度のものと比較して検証することとした。また、2011 年度との吸気管によるトルクカーブの違いを比較した。

5.2 シャーシダイナモ試験とは

車輛の動力(馬力・トルク)を測定する試験である。図 54 のようなローラーの上に測定車輛を乗せ、エンジンを始動し、ローラーを回転させることで動力を測定する。

今回の試験では、全負荷状態で試験を行った。全負荷とは、スロットルを全開にし、最高回転速度まで上げた状態のことである。



図 54 シャーシダイナモ試験機

5.3 試験手順

- ① ローラーの上に駆動輪である後輪を載せる。
- ② 試験時に車輛が動かないように、ジャッキアップポイント及びフロントバルクヘッドローブによって固定し、接地させる。
- ③ エンジンを回し、1 速から 5 速まで一段ずつギアをチェンジする。
- ④ 回転数を 10000 回転まで回す。

試験の様子を図 55 に示す。

5.4 試験の条件

試験は 3 回行った。以下の表 11 に使用したパーツの組み合わせについて示す。また、それぞれの管長とサージタンク容量を表 12 に示す。

表 11 試験の条件

	試験 1	試験 2	試験 3
インテーク マニホールド	2011 年度	2011 年度	2012 年度
サージタンク	2010 年度	2012 年度	2012 年度
エキゾースト マニホールド	2012 年度	2012 年度	2012 年度
マフラー	2012 年度	2012 年度	2012 年度
マップ	純正	純正	純正

表 12 マニホールド長とサージタンク容量

	2010 年度	2011 年度	2012 年度
インテーク マニホールド	385mm	385mm	460mm
サージタンク	2600cc	3100cc	2900cc

5.5 測定結果及び考察

5.5.1 サージタンクによる比較

試験 1~3 の測定結果を図 56, 図 57 に示す。それぞれ図の横軸は回転数[rpm]を表しており、図 57 はトルク、図 58 は馬力の性能曲線を示している。損失した馬力、トルクなどから割り出したものである。

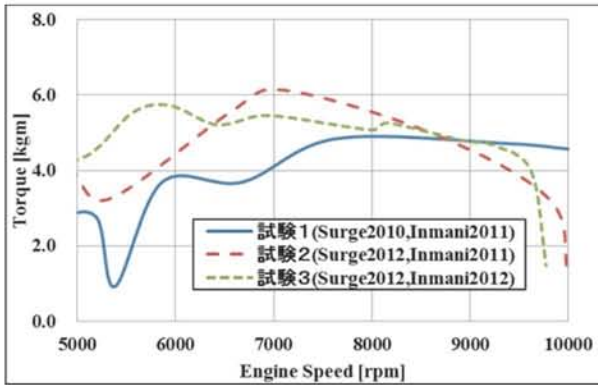


図 56 エンジントルク曲線

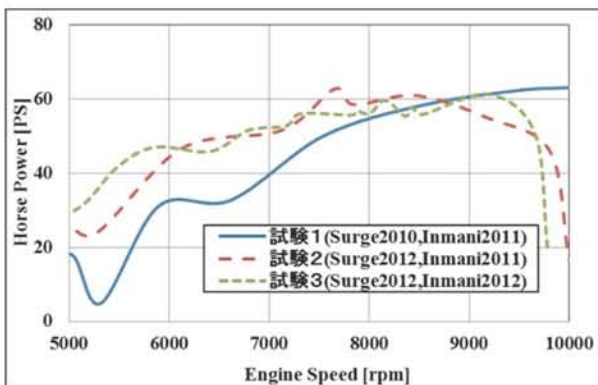


図 57 エンジン出力曲線

まずサージタンクについて比較する。試験 1 と 2 を比較すると、馬力は少し低い、2012 年度モデルの方が一般的に高いトルクを得られていることがわかる。また、トルクカーブを見ると 2012 年度モデルは広範囲においてトルクを得ることができている。よって、サージタンク内に設置したテーパードファンネルによって吸気損失を低減させることができたためシリンダへの吸入空気量が増加したためではないかと考えられる。

インテークマニホールドについて比較する。試験 2 と 3 を比較すると 2012 年度モデルの方が約 6000~8000rpm におけるトルクカーブはよりフラットになっており、設計で狙った 7000~8500rpm においてトルクが得られていることがわかる。よって、慣性・脈動効果により狙った設計が出来たと考えられる。

また、両方も高回転域においてトルクが下降していることがわかる。その原因は大会において装着が義務付けられているリストラクタのためではないかと考えられる。より空気を必要とする高回転域において十分な空気が供給されていないためではないか。そして、2011 年度モデルの方がより下降しているのは設計で狙ったトルクピークがリストラクタの影響が大きい高回転域に設定したためではないかと考えられる。

## 6. エンジンベンチ設計

### 6.1 目的

学内にエンジンベンチテストを行える設備がないため、現在学外の施設を借りて行っている。また、車輛すべてのパーツが完成しないと試験が行えないため、大会までにパワートレインの十分な調整が行えていない。そこで、エンジンベンチを設計し製作へと繋げることで、学内でパワートレインのみで実験を行えるようにし、大会までに十分な調整を行える環境をつくる。

### 6.2 水動力計

動力試験には、図 58 に示す他大学から提供して頂いた水動力計を用いる。この水動力計の原理は、ケース内に満たされた水を主軸に接続された回転羽根とケースに接続された固定羽根の間の摩擦により発生するトルクを計測するものである。動力計に流入する水量の増減で負荷をコントロールする。この動力計には吸収トルクと釣り合うように振り子式の重りが付いており、目盛盤で指示針で吸収トルクが指示される。



図 58 水動力計

### 6.3 校正試験

水動力計の目盛盤(図 58 参照)に指示される吸収トルクの校正試験を行った。試験の様子を図 59 に示す。ケーシング上部にバネばかりを掛け水平方向に引き、バネばかりの荷重値と水動力計の目盛盤の指示値から吸収トルクの校正を行った。校正の結果、目盛盤の 1 目盛りあたり 2Nm のトルク値であった。



図 59 校正試験の様子



## 6.4 エンジンベンチ設計

旧型車のフレームを再利用したベンチフレームのCAD図を図 60 に示す。実際にエンジンの性能試験を行うには、水動力計への水の給排水の装置の設置と数種のパラメータ（回転数や吸入空気量等）の計測が必要である。ベンチの製作と計測の準備は次年度の作業とする。

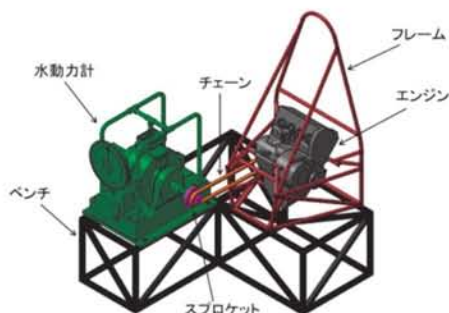


図 60 エンジンベンチ構成図

## 7. 試験走行による検証

### 7.1 パドルシフトでの検証走行

実際に電動式パドルシフターを搭載し、富士スピードウェイ、南千葉サーキットのコースを走行した。その結果最低限の変速動作が行える程度のものであり、大会等の本番走行においてタイムを縮める為の武器とするには、以下に挙げる改良が必要であることが分かった。

#### ①ニュートラル操作

ニュートラルにするためには1速と2速の中間点を出す必要がある。現状でニュートラルからの変速動作は行えるものの、ギアの入った状態からニュートラルに戻すことはできない。ソレノイドアクチュエータはストローク量の制御ができないため困難ではあるが、大会で実用化するにあたってクリアしなければならない。

#### ②インジケータ

今年度の電動シフターではフィードバックの悪さが問題になった。ドライバー能力により程度は異なるが、全ドライバーの試走において走行時に何速なのかわからない、または変速が行われた実感が無いという印象が得られた。これを解決する方法として、インジケータを取り付けることが挙げられる。これは、今つながっているギアを数字、あるいはLEDの点灯等でコックピットに表示させるものである。車速とエンジン回転数からギアを計算予測する方法や、機械的にスイッチでカウントしていく方法などが考えられる。

#### ③点火カット回路について

自作コントロールモジュールによる点火カット回路を試作したが、これはまだ対応できる幅が狭く、十分な走

行試験も行っていないため不具合が起きてもおかしくないものである。完全な点火カット回路を製作するためにはすべての状況において確実に動作、あるいは他の機能に影響与えないよう調整を行う必要がある。

### 7.2 センサー類の活用

2011年度まで、サスペンションは目標とするスキッドパッド競技のタイムから旋回加速度を計算し、設計の指針としていたが、2013年度からは実際の車輻にGPSロガーやストロークセンサーを搭載して、図 61 のような走行時の加速度と車速を測定し、設計の指針とする。

これにより、より実際の走行状況に即したロール剛性値の設定・設計が可能になり、最終減速比など他の部品の設計にも役立てることができる。

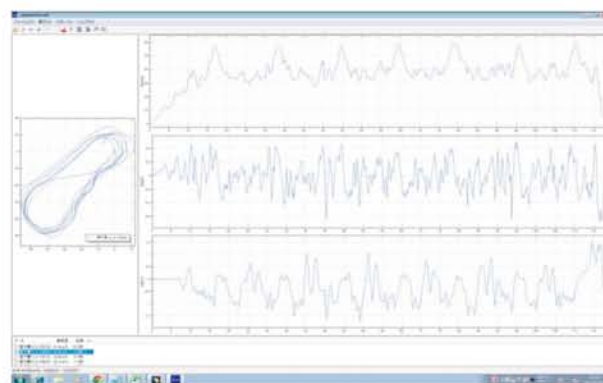


図 61 GPSロガーで測定した車輻の加速度及び速度

## 8. まとめ

大会では、総合45位という結果となった。2011年度は車検落ちという結果という事もあり、2011年度大会データを採集することが出来なかった。また、2010年度は台風の影響を受けていたため晴れの大会というのは2012年度メンバーにとっては初めての経験であった。そのため、データとしては1年のブランク、経験としては2年のブランクを抱えての参戦となってしまった。当チームの車輻の完成度は歴代比較では高かったものの、いざ大会で他チームと競うと、上位チームに技術面で後れを取ってしまっていることは明らかであった。動的競技での車輻性能とドライビングは中堅の順位がやっとという状況であった。大会種目のメインであるエンデュランス競技に出走目前で競技時間終了のため未出走という結果も、より車輻の完成度が高ければ出走出来ていたかもしれない。大変悔やまれる。

2012年度チームは傾きかけたフォーミュラチームを立て直す所からスタートした。なんとか大会で結果を出

せる完成度の高い車を作ろうとチームメンバー丸となって設計・製作を行った。また、コストをかけられない状況の中、コストマネジメントを徹底し無駄の徹底排除を行った。チームメンバー各々の意識は徐々に高くなり、また仲良くもなった。1年間で元気のあるフォーミュラチームを取り戻すことができた。

2013年度は、チーム丸は当たり前、データ採集は当たり前、先手先手で動いていくことが望ましい。技術面としては、パワートレインのパワーバンドの調整を完全なモノにしていかなければならない。燃費の問題、加速性能はこの調整にかかっているからだ。また、各パーツの軽量化、低重心化は必須である。

## 9. 謝 辞

本プロジェクトの実施にあたり予算面では成蹊会チャレンジ助成金、理工学同窓会、活動面ではホンダマイスタークラブ並びに多くの企業や個人の方々に、ご援助ご指導をいただいた。

ここに記して感謝の意を表す次第である。

## 10. 研究室所属メンバー

本田 啓介(プロジェクトリーダー, ステアリング担当)(弓削研究室)

安居 麻子(マネジメントリーダー, 吸気・アッテネータ担当)(弓削研究室)

白田 翔吾(マネジメントリーダー, 電装担当)(鳥毛研究室)

関根 慎太郎(車輛統括者, サスペンション・アーム担当)(弓削研究室)

篠田 和憲(会計, 排気担当)(弓削研究室)

鈴木 浩介(会計, コックピット担当)(大倉研究室)

小林 千浩(次世代教育 ハブ・ナックル・ブレーキ担当)(弓削研究室)

大藪 康平(次世代教育, シフター担当)(鳥毛研究室)

長谷川 涼(コスト・渉外, フレーム担当)(笠原研究室)

深尾 昌平(コスト・渉外, 駆動系部品担当)(笠原研究室)

鳴原 顕英(安全・衛生, 電装担当)(瓜生研究室)

野口 衛(安全・衛生, カウル・冷却系部品担当)(小川研究室)

—チーム補助員—

井上 亮(主にエンジンマッピング)(斎藤研究室)

古川 裕也(主にフレーム製作)(大倉研究室)

## 参考文献

- 1) 宇野高明：車輛運動性能とシャシーメカニズム，グランプリ出版，1994年
- 2) 景山克三：自動車の操舵性・安定性，山海堂，1992年
- 3) 安部正人：自動車の運動と制御，山海堂，1993年
- 4) 野崎博路：サスチューニングの理論と実際，山海堂，2000年
- 5) 技術中核人材育成委員会：自動車開発・製作ガイド，社団法人自動車技術会，2007年
- 6) 平成23年度 学生フォーミュラカーの設計と製作
- 7) 全日本学生フォーミュラ大会日産サポート講座 2012年 日産自動車
- 8) 是松孝治・森棟隆昭：「エンジン—熱と流れの工学—」，産業図書株式会社，(2005)
- 9) 平成22年度学生フォーミュラカーの設計と製作
- 10) マグロウヒル大学演習 電気回路
- 11) The science of Formula1 Design(Third Edition)