

成蹊フォーミュラプロジェクト — 2014 年度活動報告書 —

伊豆 将聡*¹, 堀口 淳司*², 岩本 宏之*³, 鳥毛 明*³, 瓜生 芳久*⁴,
 小方 博之*⁴, 小川 隆申*⁴, 齋藤 洋司*⁴, 酒井 孝*⁴, 弓削 康平*⁴

Seikei Formula Project -Activity Report in Fiscal 2014-

Masatoshi IZU*¹, Junji Horiguchi*², Hiroyuki IWAMOTO*³, Akira TORIGE*³, Yoshihisa URIU*⁴,
 Hiroyuki OGATA*⁴, Takanobu OGAWA*⁴, Yoji SAITO*⁴, Takashi SAKAI*⁴, Kohei YUGE*⁴

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・製作した車両により、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、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 12 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 2014 年度の活動を総括したものである。

*1 : システムデザイン学科学部生

*2 : システムデザイン学科助手

*3 : システムデザイン学科准教授

*4 : システムデザイン学科教授

2. 大会概要

表 1 に示す競技内容で 9 月 2 日～6 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
静的競技	車検	技術検査	0
		チルトテーブル	
		騒音試験	
		ブレーキ試験	
	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. 2014 年度大会結果

図 1 に 2014 年度大会参加車両、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 は当チームの第 12 回全日本学生フォーミュラ大会結果である。



図 1 大会参加車両



図 2 チームメンバー

表 2 大会結果

審査項目	第12回大会		
	得点	得点率(%)	順位
デザイン	37.0	26.0	63
プレゼンテーション	31.6	42.1	45
コスト	26.0	24.7	37
アクセラレーション	23.4	31.3	49
スキッドパッド	8.3	16.5	39
オートクロス	103.8	69.0	28
エンデュランス	151.4	50.5	19
燃費	0.0	0.0	-
総合成績	361.4	36.1	32

総合 32 位という結果であった。昨年度よりも 5 つ順位を落としてしまう結果となってしまったが、2 期連続全競技完走と、チームの技術力が安定してきたのではないかと考える。競技内容については動的審査のポイントは、オートクロスやエンデュランスの順位が向上したことで多く獲得したが、アクセラレーションとスキッドパッドおよび燃費に関しては低得点であった。この低得点

は競技中に発生した駆動系の伝達トラブルと適切な空燃比管理がなされていないことが原因であった。また、静的審査に関しては全審査が低得点率であった。デザイン審査は定量的な数値を用いた車両説明が少ないこと、コスト審査ではレポートと実車両との適合性に欠ける部分があることが低得点の原因であった。

4. 2014 年度車両の設計と製作

フォーミュラカーにとって「走る、曲がる、止まる」は基本性能である。2014 年度は「基本性能の追及」をコンセプトとして、「車両の軽量化」「ドライバビリティの向上」「旋回性能の向上」を重点目標として設計と製作を行った。完成した 2014 年度車両の CAD 図を図 3 に示す。

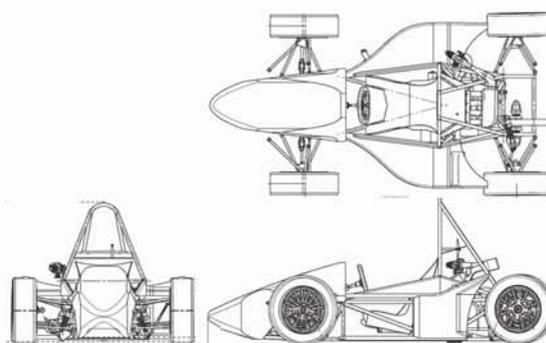


図 3 2014 年度車両 CAD 図

4. 1 フレームの設計

車両にとってフレームとは車両の基本骨格になるパーツである。基本骨格はフレーム構造とモノコック構造の 2 つに分けられる (図 4)。一般的にフレーム構造は製作が容易で強度剛性が高いが、居住性と生産性は悪い。一方のモノコック構造は曲げやねじりに強く、生産性は良いが、エンジンやサスペンションからの力の入力に弱い。



フレーム構造 モノコック構造

図 4 車両の基本骨格

車両の用途等により基本骨格を選択する必要がある。

近年、カーボンモノコック構造のフレームを採用するチームが増えてきているが、設備と製作に対するリスクやコストを考慮するとスペースフレーム構造が主流であ

る。当チームでは主に製作コスト重視で歴代スペースフレーム構造を採用している。

今年度は、3D-CAD (CATIA V5) のアナリシス機能を用いたフレームの曲げやねじり剛性の解析に加え、車両クラッシュ時のフレームの変形状況を調べるため、汎用クラッシュ解析ソフト (LS-DYNA) 用いた解析を行った。

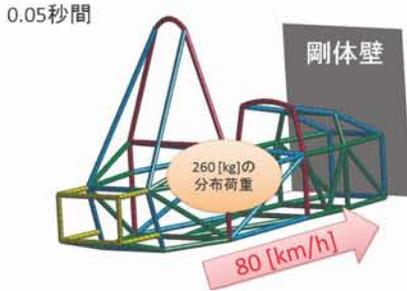


図5 動解析条件

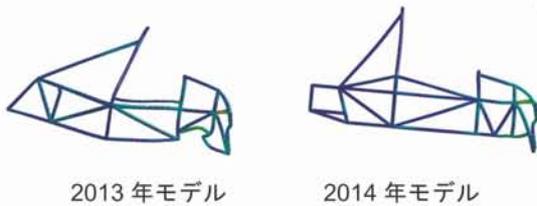


図6 フレームの変形状況

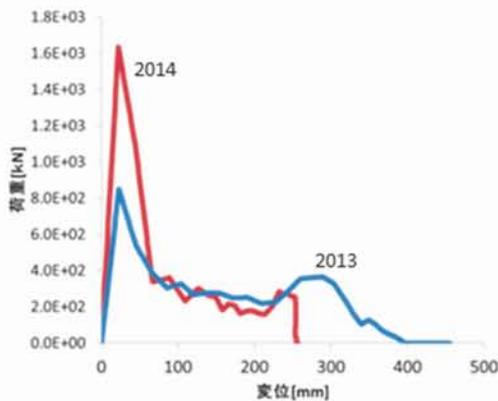


図7 荷重変位曲線

2013年度と2014年度フレームモデルの解析条件を図5に示す。実際の車両ではフレーム前部にレギュレーションで規定された衝撃緩衝材が取り付けられているが、本解析事例では緩衝材を取り付けず、フレームに260kgの分布質量を荷重し、剛体壁に80km/hの高速で衝突させた(本大会では安全に競技が運営されており、このような厳しい衝突条件には遭遇しない)。フレームの変形状況を図6、荷重変位曲線を図7に示す。2014年度モデル

の変形量は2013年度モデルに比べ6割程度であることが確認できた。2014年度モデルの初期荷重が大きく立ち上がっているが、これはフレーム剛性が高くフレーム前部に緩衝材を取り付けていないためである。このようにLS-DYNAを用いることで、実車実験を行うことなく車両衝突時のフレームの変形状況等を評価することが可能となった。

4.2 サスペンションの設計

サスペンションは路面からの衝撃を車体に伝えにくくする緩衝装置としての機能と、車輪の上下動や操舵による車両の姿勢を定め、操縦安定性や乗り心地などの改善を目的とする機構である。車両の走行性能に大きく影響するため、足廻りの性能向上が求められる。

2014年度は車両の基本性能である「走る」「曲がる」「止まる」の3つの性能の向上を目指した。具体的な内容を次に示す。走行時の安定性を向上させるため、トレッドの拡大とホイールベースの延長を実施した。また、重心高を下げるため、最低地上高を35mmとした。車両諸元を表3に示す。

表3 車両諸元

年度	2014	2013
ホイールベース [mm]	1680	1625
トレッド [mm]	F:1240 R:1240	F:1220 R:1180
最低地上高 [mm]	35	55

ロールセンター高を低く設定しジオメトリの見直しを行うことで、ジャッキアップ力を低減した。これにより不安定な挙動を低減し車両安定性、旋回時の限界性能を向上させ、フラットライドなフィーリングを実現した。ロールセンター高の比較を表4に、ジャッキアップ力の比較を図7に表す。

表4 ロールセンター高の比較

年度	2014	2013
F Roll center [mm]	19.4	30.6
R Roll center [mm]	34.6	72.2

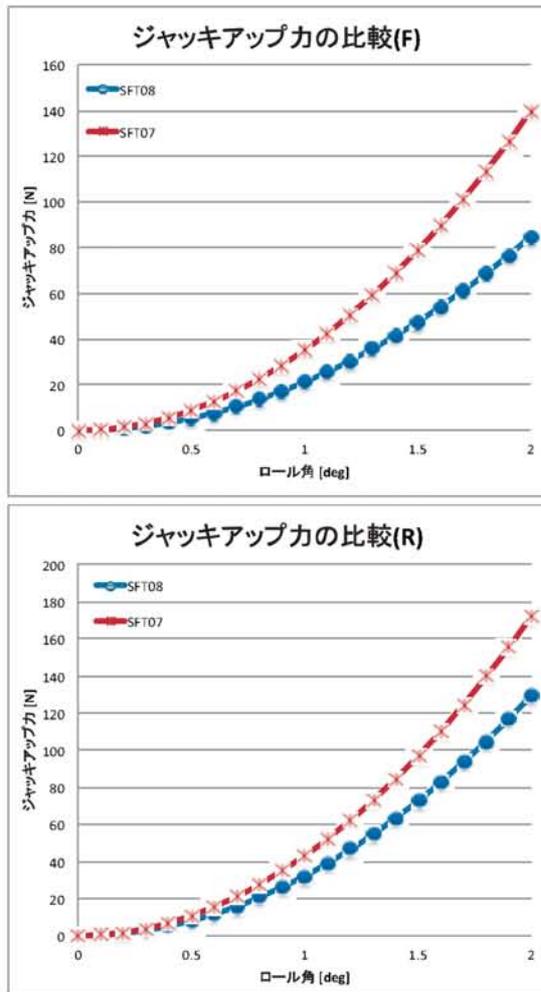


図8 ジャッキアップ力の比較

本大会で走行するエンデュランスコースの大半がコーナー、スラロームで占められている。したがって、ロール時に適切なキャンパー変化をもつジオメトリを設計し、新たにステアキャンパー理論を取り入れることで、タイヤの接地面積を最適化し旋回性能の向上を目指した。また、今年度初めてアンチスカットジオメトリを採用し、加速時の不安定なリアの沈み込みを抑え、加速性能の向上も目指した。サスペンション設計解析ソフトSuspro3Dを用いた模式図を図9に表す。

サスペンションアームとブラケットの強度の安全率および剛性においても強度解析を行い、部品単体の強さを調べた。これらに走行時の最大負荷を与えて解析を行ったところ問題がないことを確認した。サスペンションアームとブラケットの強度解析結果を図10に示す。

オートクロス競技において昨年に比べ6秒ほどラップタイムを短縮できたことと、翌日のエンデュランス競技では雨上がりの路面ウェットコンディションからスタートし、ドライへ変化していく難しい路面状況の中、安定した走りを見せたことは、旋回性能とドライバビリティ

の向上が実現できたと言えるのではなかろうか。

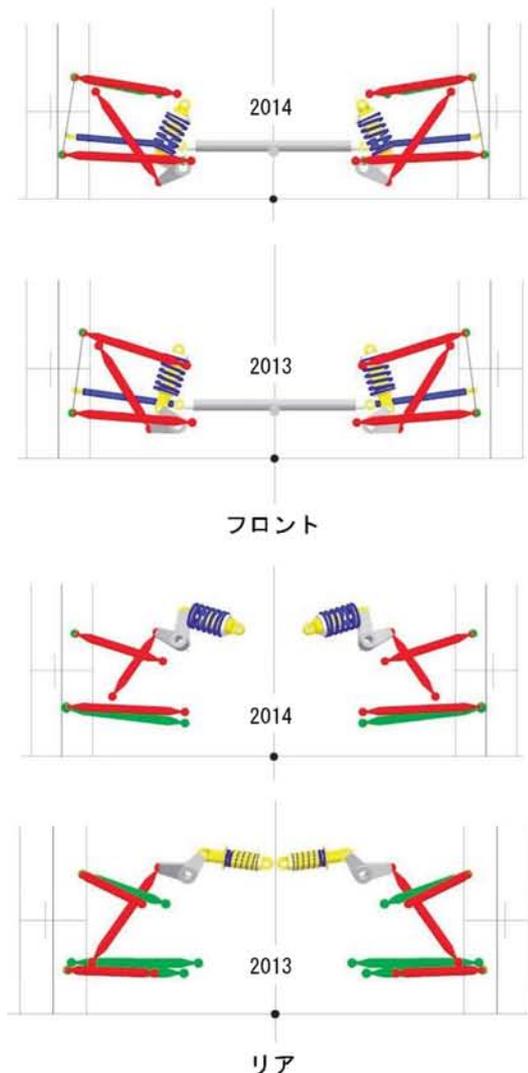


図9 サスペンションシステム模式図

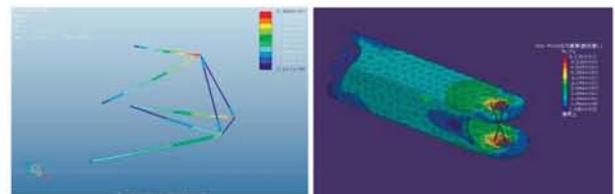


図10 アームとブラケットの強度解析

4.3 ステアリングの設計

ドライバーがストレスなく旋回できるようアッカーマンジオメトリ（遠心力が無視できる極低速での旋回を考えると、タイヤに横すべりが生じないため、外輪よりも内輪の切れ角を大きくし、内輪外輪の回転中心を一致させるよう設計するものであり、このときアッカーマン率が100%）を設定した。2014年度は2013年度車両による旋回試験時のタイヤと路面の接地状況とドライバーの意

見により、アッカーマン率を僅か下げ40%程度を目標値としてステアリング周りの諸寸法を決定した。この諸寸法の決定にはサスペンション設計解析ソフトSuspro3Dを活用して設計を進めた。内外輪の切れ角の状況を図11に示す。また、実測を行ったところ設計値通りの内外輪の切れ角を確認した。

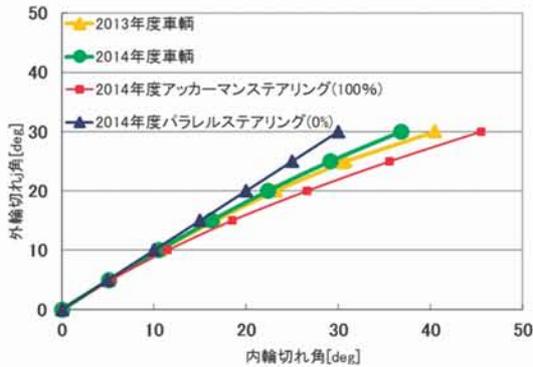


図 11 内外輪の切れ角

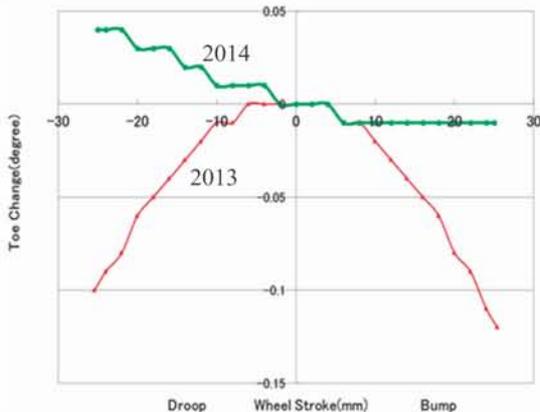
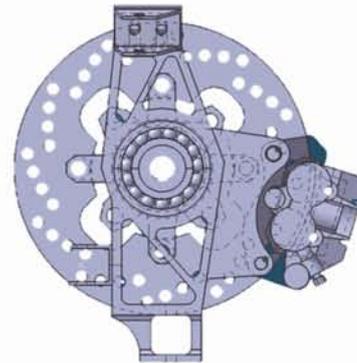


図 12 バンプステア特性

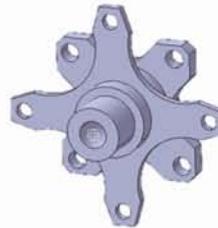
2014 年度車両はサスペンションのストローク変化によるバンプステアが小さくなるようステアリング機構を考慮した。図12はSuspro3Dを用いて車体が上下25mm(横軸)変位した時の車輪の切れ角(縦軸)を調べた結果である。両年度とも振れ角の絶対値は小さいものの2014年度車両は、より小さくなっていることを確認した。

4. 4 アップライト・ハブの設計

アップライトとハブは車輪、ブレーキパーツ、サスペンションアームと接続され、制動時や旋回時には非常に大きな力がかかるパーツである。これらの荷重に耐えられる強度と車体バネ下運動に影響のある部品であるため軽量化も求められている。図13に2014年度に設計したアップライトとハブを示す。



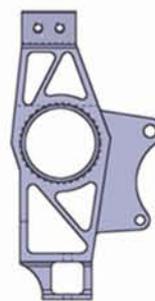
フロントアップライト周りのアッセンブリ



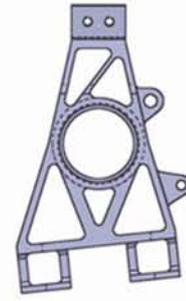
フロントハブ



リアハブ



フロントアップライト



リアアップライト

図 13 2014 年度アップライト・ハブ

2014 年度アップライトでは、図13のようにフロント・リア共にロアアーム取り付け点をアップライトと一体化し、フロントのステアリングブラケットはアップライト側面に取り付け、ブラケットの材質であるスチールの使用量を減らすことで、軽量化を行った。また、部品点数が減ったことで整備性も向上させることができた。

さらに、アッパーブラケット取り付け部分に1~10mm厚のシムを挟むことで、車輪のキャンバー角を約±2.9°の範囲で調整することが可能となった。

パーツの軽量高剛性化はCATIAを用いた強度解析を行った。1.5G程度の旋回および制動時の荷重に対して使用するアルミ合金材料の許容強度比で安全率2程度が得られるようパーツの形状を決めた。図14にアップライトとハブのCATIAによる強度解析画像を示す。この解析結果により、アップライトは1パーツあたりフロント793g、リア802g、ハブはフロント332g、リア311gの質量で設計製作した。

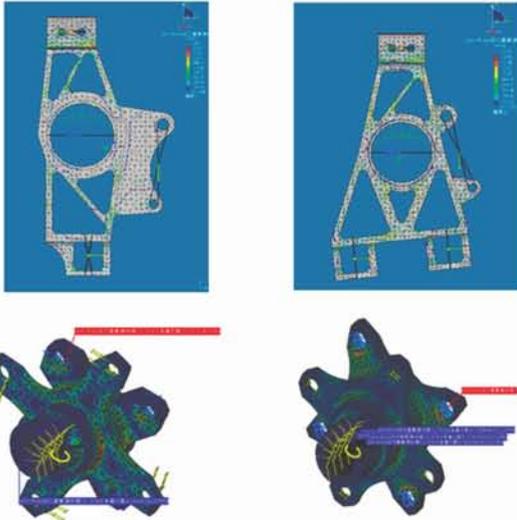


図 14 アップライト・ハブの強度解析

4.5 駆動系の設計

動力伝達部はエンジンからの出力をタイヤに伝える部分全体の総称であり、フロントスプロケット、リアスプロケット、チェーン、ディファレンシャルギア、デフマウント、ドライブシャフトからなるパーツで構成されている。ここでは、動力伝達の際に生じるデフマウントの応力の解析とディファレンシャルケースの補強部品について報告する。2014年度はフレーム後部をコンパクトな空間にしたことから、昨年まで使用していたデフマウント形式を廃止して、シンプルな構造のデフマウントを採用した。デフマウントの固定にはL字型の角パイプを後部フレームに溶接し、ここにデフマウントをボルトナットで締結する構造とした(図 15)。チェーンの張り調整はこれら間にスペーサーとなる板材を挟み込むことで行う。図 15 にL字型フレームとデフマウントの強度解析の結果を示す。解析結果より両部品の強度に問題がないことを確認した。しかしながら、試走行にて走り込みを行ったところスプロケットの取り付け部となるデフケースのフランジ部分が破損してしまった(図 16)。デフケースのフランジ部の強度と剛性を上げるため、図 17 に示すような補強部品でスプロケットを挟み込みボルトで締結した。

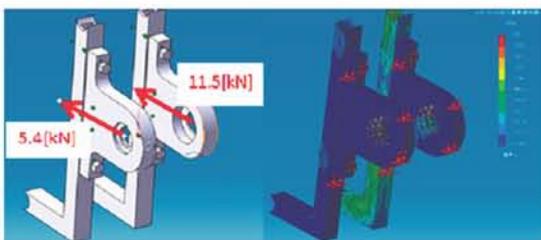


図 15 デフケースフランジ部分の破損状況



正常部品 フランジ部破損
図 16 デフケースフランジ部分の破損状況



図 17 デフケースフランジ部分の破損状況

4.6 ペダルユニットの設計

ペダルユニットはドライバーが走行中に操作する部位の中で、ステアリングと同じように重要な部品である。ペダルユニットはクラッチペダル、ブレーキペダル、アクセルペダルで構成されており、それぞれのペダルがワイヤーまたは油圧シリンダにリンク機構で接続されている。ペダルユニットに要求される性能は強度と操作性である。強度に関してはCATIAを用いて軽量高剛性な部品になるよう形状変更と強度解析を繰り返した。操作性に関しては各ペダルがドライバーの体格と好みの位置に合うよう、それぞれのペダルが前後に 100 mm 程度移動できる構造とした。2014 年度ペダルユニットの構造を図 18 に示す。

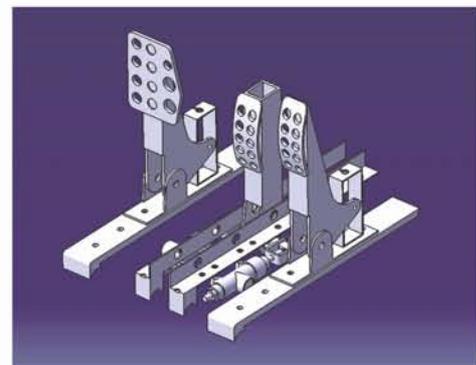


図 18 2014 年度ペダルユニットCAD図

5. まとめ

昨年度は総合 27 位、成蹊フォーミュラチーム初の全競技完走を果たした。今年度はその技術データを活かし試走行に多くの時間を費やすことで 2 期連続全競技完走を目指した。その結果として総合成績 32 位、全競技完走を果たしたが、静的審査項目全般に渡って提示資料の完成度を落としてしまい静的審査点が伸び悩んだ。

2015 年度メンバーの新体制では、今年度の反省点である静的審査の点数向上を達成するため、2014 年度車両を用いた走行データの収集に取り掛かっている。このデータを基に説得力のあるデザイン審査資料の作成を目指す。また、コストレポート提出締切（5 月末日）の一カ月前（4 月末日）を車両のシェイクダウン日と決め製作に取り掛かっている。コストレポートと完成車両との適合性を上げることで審査での得点獲得を目指す。

6. 謝辞

本プロジェクトの実施にあたりシステムデザイン学科、理工学部同窓会、活動面では大学工作室の佐藤道憲技術員、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から、活動費・部品提供・技術指導を頂いた。ここに記して感謝の意を表す次第である。

7. 研究室所属メンバーの担当・役割

振動音響制御研究室

伊豆 将聡(サスペンション・プロジェクトリーダー)

佐藤 亮太(フレーム・マネージメントリーダー)

計算力学研究室

中野 伸治(フレーム・会計)

手嶋 翔平(駆動・WEB)

西川 沙羅(プレゼンテーション)

流体力学研究室

笹岡 祐太(カウル・ラジエータ・会計)

仁井田 みこ(吸気・燃タン・コスト)

電力系統研究室

新井 大輝(電装・渉外)

電子デバイス研究室

鈴木 洸太(シート・車両統括)

知能機械研究室

湯浅 聡一郎(ステアリング・WEB)

制御工学研究室

吉田 梨穂(ハブ・ナックル・コスト)

材料力学研究室

川口 大河(サスペンション・車両統括)

参考文献

- 1) 宇野高明：車両運動性能とシャシーメカニズム，グランプリ出版，1994
- 2) 景山克三：自動車の操舵性・安定性，山海堂，1992
- 3) 安部正人：自動車の運動と制御，山海堂，1993
- 4) 野崎博路：サステューニングの理論と実際，山海堂，2000
- 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
- 6) 日本学生フォーミュラ大会日産サポート講座テキスト，日産自動車，2012