

3D-CAD を利用したフォーミュラカーの設計教育

亀井 延明¹ 石井 友之¹ 石田 弘明¹ 江川 庸夫¹ 川原 万人²

Design education of formula car using 3D-CAD

Nobuaki KAMEI¹, Tomoyuki ISHII¹, Hiroaki ISHIDA¹,
Tsuneo EGAWA¹, Takahito KAWAHARA²

We show a 3D-CAD approach to car design. This is based on the actual design process for the formula car with which Meisei University Formula Car Project team participated in the 11th Japan Formula Student.

キーワード：フォーミュラカー，設計，製作，課題解決型実習

Keywords : Formula car, design, manufacture, Project-Based Learning

1. 全日本学生フォーミュラ大会での競技車両

米国が 1981 年に初めて Formula SAE を開催した。最近では 100 校以上の学校が参加する国際的な大会になっている。追ってイギリス，オーストラリア，2003 年からは日本で同様のルールによる競技が開催された。

明星大学では，公益社団法人自動車技術会主催の日本大会に 2004 年の第 2 回大会よりプロジェクト活動として，設計・製作を行い，毎年参加している。

本報告は，2013 年 9 月の第 11 回全日本学生フォーミュラ大会に出場するために 3D-CAD(CATIA V5)を利用して車両の利用設計・製作を行ったことを報告するものである。図 1 に本年度車両を示す。

設計製作に関しては，その教育効果は本学だけではなく，各大学にて車両の設計製作技術や組織の管理運営^{(1)~(5)}，フォーミュラカー大会を活用した PBL (Project-Based Learning:課題解決型学習)教育⁽⁶⁾などの報告がある。また，本学での活動報告は継続的に行っているものである^{(7)~(9)}。



図 1 2013 年度製作の車両

2. 競技車両の設計を学生教育テーマとする意味

競技車両の設計製作を理工学部の共通科目のプロジェクトや，それに続く卒業研究のテーマとすることは，フォーミュラカーの製作という魅力的なテーマであることから，学生が主体的かつ，積極的になれるという点では，大変有効である。さらに，実際に大会に出る競技車両を製作するには，まず，英文で書かれたレギュレーションを理解し，各部が干渉しない部品の設計，つまり 3D-CAD 上でくみ上げ，また，不具合を 3D-CAD 上で，フィードバックさせて，収まりのいい設計を行い，自らの担当設計部品だけでなく，他の部品を設計する隣人とのコミュニケーション能力も問われる。また，コストレポートの作成，各種提出書類の期限までの提出等々，総合的な能力をかなり問われて，それぞれのハードルが印象よりも高く，当初の印象よりも膨大な作業が要求させてしまう。結果的には，この要素が就職活動に繋がる，語れる体験となっているようである。

また，毎年の課題としては，過去の先輩の実績を有効に引き継ぎ，設計製作に活かし，再び大会に参加をする良循環を作ることである。

この中で，以降に解説するパッケージレイアウトのフローチャートを利用することによって，問題の発見などに早めに対応でき，さらにこの設計教育を支える最大のツールであるトータル 3D-CAD システムの CATIA_V5 を最大限利用し，設計の再検討も容易になっているので，今後は，このような蓄積を有効に活用でき，早めに車両の設計製作ができるようになることが，最大の課題となっている。

3. パッケージレイアウトの概要

パッケージレイアウトとは，各主要部品の配置場所を決

1 明星大学理工学部総合理工学科機械工学系 教授

2 明星大学情報学部情報学科 准教授



図2 パッケージレイアウト (3D-CAD 図)

定する作業であり、ドライバーと全ての主要構成部品を車体図面の中にレイアウトすることである。ここで、ドライバーは、レギュレーションで指定されたパシーという人形を作成して、部品の一部として配置することになっている。パッケージレイアウトを行うことで各部品のスペース的成立性、他部品との整合性を検討することができ、各部品の寸法や重量及び車両全体の基本寸法や重量配分なども決められることができる。これにより車両全体も把握することができるため、作業効率の向上、低重量、低コスト化のチェックも事前に行うことが可能である。

図2は3D-CADを利用してパッケージレイアウトによりモデル化した車両である。

本プロジェクトで標準化したフローチャートは、前提条件としてプロジェクトのチーム編成を足回り・操作班、フレーム班、エンジン班の3班に分けた場合である。

図3は一例としてフレーム班を取り上げたフローチャートである。コンセプト立案から始まり、目標決定、エンジンの選定、エンジン搭載位置の検討、ドライビングポジション選択、ホイールベース・トレッドの検討、主要部品搭載位置の決定などがパッケージレイアウトの流れとなっている。各選択肢ではそれぞれに利点や欠点、その他の理由等を記入し判断する基準とした。

本プロジェクトチームとしては、コンセプトに「コンパクト」、エンジンは、「単気筒 450cc」、また「スチールのスペースフレーム」等々、メンバーで考え選択し、進めていったものである。

各班がレイアウトを決定する際、他の班と相互検討する項目がある。相互検討を行わずに部品設計を行うと、部品同士の干渉、各部品の稼働環境に影響を及ぼし部品を再設計する要因となる。これを防ぐ為に、各班が部品に対して最も良い配置関係になるように何度も組み合わせを行い、慎重に判断していく必要がある。

本プロジェクトで制作したフローチャートを用いることで車両設計を行うまでに必要な選択肢やレイアウトの決定に時間をかけることなく的確に決定出来るようになった。また次期チームが今までの経験やノウハウを活かすことが出来るため迅速に車両設計や製作を行うことが出来ると思われる。



図3 設計フローチャート

図 4 は他の班と相互検討した項目を示すフローチャートである。足回り・操作班，フレーム班，エンジン班の 3 班は，当然配置などにより，全体が大きく変わる可能性があり，相互干渉をしないように常に全体の設計を考えて進めざるを得ない，また，後での変更が，全体設計への遅延とも関わることから，学生同士のミーティングは，ほぼ毎日の日課になる場合がある。その緊張感が，教員には計り知れない主体性となっているのは事実である。

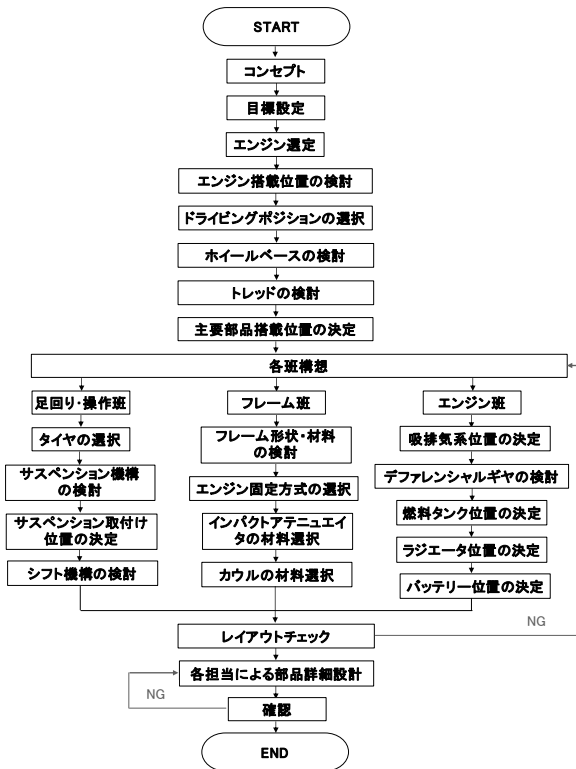


図 4 全体のフローチャート

4. 設計例

ここでは，一部の設計例を紹介する。

4.1 フレームの設計

図 3 の設計フローチャートに沿って，まず，各部の概略寸法に基づいてフレームの形状の検討をチーム全員で行い，最終的に図 5 のジオメトリーとなった。

次に全体フレームの 3D-CAD 設計を図 6 に示す。左図は，当初の設計であり，コックピットが，レギュレーションとほぼ同寸法であったため，レギュレーション違反の可能性を回避する理由より，既に設計が終わっていた足回りの設計班との協議により，コックピットの形状を，当初台形型から図 6 の右図のような四角型に変更した。形状については，足回りの設計との干渉をなくすためのものとなっている。この設計変更は，図 4 に示したように，当初の設計→レイアウトチェック(レギュレーションチェック)→他班との干渉チェックを行ったものである。さらに図 8 に示した FEM 解析による強度のチェックを行った。ここでは，横方向に遠心力 13.5kN が働いた時を想定し解析し，変位が大き

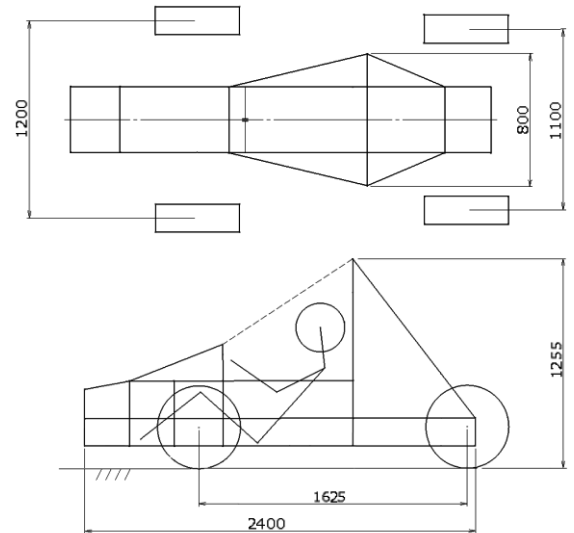


図 5 3D-CAD による 2D ジオメトリーの設計 (図中では主な寸法のみ記載)

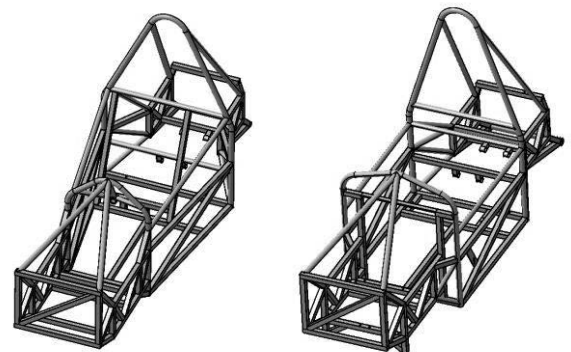


図 6 全体フレームの設計変更 (左図は変更前，右図が変更後)

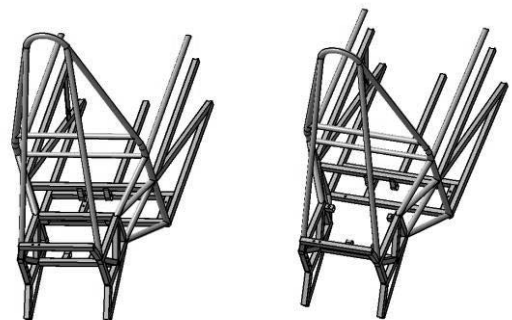


図 7 リアフレームの設計 (左図は変更前，右図が変更後)

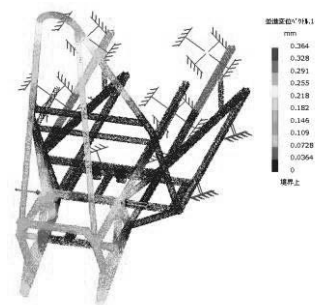


図 8 リアフレームの FEM 解析

い場合は、フレームの強度を上げるために構造を検討することもある。このように、繰り返しの作業により、3D-CAD システムを活用することにより、学生が検討しやすく、また、3次元的な構想がすぐに行われるようになっている。

4.2 デフケース及びデフマウントの設計

ドライブシャフトへの伝達をする図 9 に示すデフ部分では、一例として図 10~12 のデフマウントについて解説する。図 10 が当初の設計だが、図 11 は設計変更後となる。当初の設計から、強度を保ちつつ、デフマウントを軽量化するために、連結部を固定し下方方向に荷重を加え解析し、図 12 の結果から、連結部と外周部の肉厚を当初の 20mm を 10mm まで薄くすることができた。

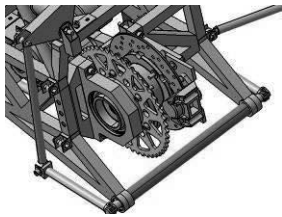


図 9 デフケースの設計



図 10 デフマウントの設計
(変更前)

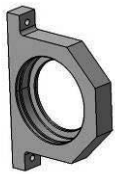


図 11 デフマウントの設計
(変更後)

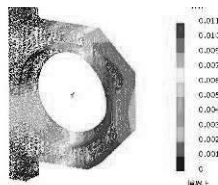


図 12 デフマウントの設計
(FEM 解析)

4.3 サスペンションの設計

本プロジェクトでは、前後サスペンションに図 13 に示すモノショックシステムを採用した。理由を以下に示す。

- ・コスト削減ができる点
- ・取り付け位置などの製作精度が悪くても、車両重心の左右位置を車体の中心に調整できる点。

また、CATIA の中で 2D ジオメトリーを作成して、タイヤの軌跡を調べる「計測ツール」の機能があり、これを使用し設計を行った。図 14 のように車体を 25mm 沈めたときにタイヤの接地面が大きくなるように設計した。

この機能を使用し、タイヤのキャンバー角が目標の 1.0deg 以内にはいる 0.8deg となる設計ができた。

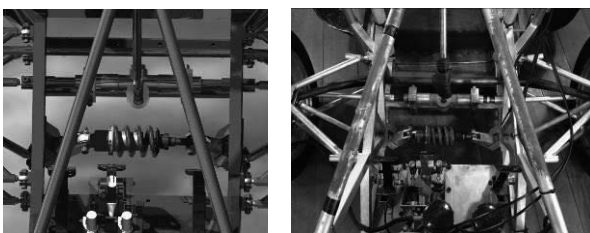


図 13 サスペンションの設計
(左図は CAD 図、右図は実機)

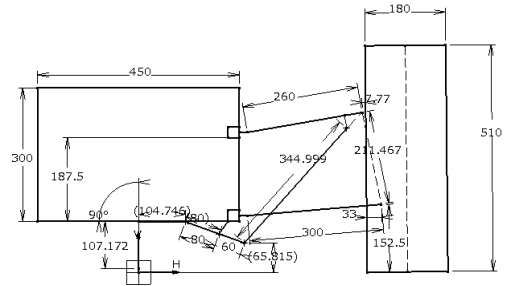


図 14 前輪のジオメトリー(左側のみ表示)

5. おわりに

現在、3D-CAD(CATIA_V5)を利用したフォーミュラカーの実際の設計を試みている。問題点はまだ設計に時間を要している点である。学生が毎年変わるなかで、設計変更をあまりしないことが、設計を短期に終わらせることに繋がると予測して、フルモデルチェンジをあまりしないように予定しても、微妙に変わるレギュレーションをクリアするために、一部の変更により、全体の変更を余儀なくしてしまう場合が多い。この報告にも解説したが、各班の干渉をチェックし、 μm 単位の精度を設計段階で考慮し、さらに製作に至る過程は、決して短期設計に繋がるものではない。あくまで 3D-CAD に頼りながら進めて、各班とのコミュニケーションや各班の素早い判断・決断が、最終的な短期設計と繋がっているようである。

それでも 3D-CAD での設計の効率をあげるためには、過去の設計手法の構築を行い、今回作成したようなフローチャートも利用しながら進めて発展することが、今のところ有効だと考えている。

今後は、3D-CAD を活用し、かつフローチャートの構築による支援ツールの開発も行い、さらなる最短設計を試みていくことが必要と考えている。

参考文献

- (1) 宇田和史:「シリーズ:設計・製図・もの作り教育の今(北から南から)(4) 神奈川工科大学システムデザイン工学科における設計・製図・もの作り教育事例」,設計工学,35,8,pp297-302(2000)
- (2) 伊藤宏一:「フォーミュラカーSAE 参加希望チームへのアドバイス-航空高専 TEAM ALLOWA の取り組み」,設計工学,38,2,pp51-57(2003)
- (3) 宇田和史,狩野芳郎:「神奈川工科大学における Formula-SAE プロジェクト」,設計工学,38,2,pp58-64(2003)
- (4) 三原雄司:「武蔵工業大学のフォーミュラ SAE への取り組み-2002 年合同チームの活動を中心として-」,設計工学,38,2,pp65-70(2003)
- (5) 関根太郎,星野倫彦:「日本大学における Formula Car を用いた”ものづくり”実践教育」,設計工学,38,2,pp71-75(2003)
- (6) 若林克彦,中山紘一:「国士館大学におけるフォーミュラ SAE 競技を活用した PBL 教育」,設計工学,38,2,pp76-82(2003)
- (7) 亀井延明ら:「フォーミュラカープロジェクト 2010」,明星大学理工学部紀要,47,pp111-116(2011)
- (8) 亀井延明ら:「フォーミュラカープロジェクト 2011」,明星大学理工学部紀要,48,pp35-42(2012)
- (9) 亀井延明ら:「フォーミュラカープロジェクト 2012」,明星大学理工学部紀要,49,pp59-66(2013)