

14. JSAE 主催 第三回全日本学生フォーミュラ大会 出場車輛のフレームの設計・製作

北本 寛（工学部機能機械工学科 4年）

指導教員

榎本 啓士（自然科学研究科機能機械科学専攻 助教授）

1. 背景と研究目的

金沢大学フォーミュラ研究会は、2003年9月より、毎年開催されている、全日本学生フォーミュラ大会に出場し、優勝することを目標として活動を行っている。

全日本学生フォーミュラ大会とは、Formula SAEの日本版として、社団法人自動車技術会が主催となり、開催されている大会である。Formula SAEとは、アメリカ自動車技術協会が定めるレギュレーションに沿って、設計・製作された車輛のみにより争われる。

競技は、車輛の走行性能を競う動的競技や、自分達の車輛を、商品として市場にアピールするプレゼンテーション審査、設計時にどのような技術を採用し、どのような工夫をしているかを審査する設計審査などの静的競技に分かれており、ただ速い車輛だけでは優勝することが困難な大会となっている。

全日本学生フォーミュラ大会では、Formula SAE同様、レギュレーションに基づき、設計・製作された、車輛のみが大会参加の権利を得ることができる。

金沢大学フォーミュラ研究会は、第一回大会から、毎年参戦、完走を果たしている。第一回大会では、ほとんど手探りでの車輛の設計・製作であったが、初参加ながら参加17校中6位完走。第二回大会では、第一回大会での経験を活かし、車輛の走行性能を十分に考慮しながら設計を進めた。結果は、参加34校中8位完走と、完走はしたものの、決して満足の良い結果ではなかった。

第三回大会出場車輛(以下KF2005)では、総合優勝を目標に、更なる走行性能の向上を行う。今回、第三回大会にて総合優勝することのできる車輛のフレームを設計・製作することを研究の目的とする。

2. フレームの設計

KF2005では、製作性やコスト、そして今までの経験を活かせることから、フレームの構造を鋼管によるスペースフレーム構造とした。

2.1. フレーム形状の決定

フレームの形状を決定する際に考慮する点を以下に記す。

2.1.1. 2005FSAE レギュレーション

- 2.1.2. ホイールベース
- 2.1.3. エンジンマウント
- 2.1.4. サスペンションジオメトリ
- 2.1.5. 安全性
- 2.1.6. 製作性

2.1.1. 2005FSAE レギュレーション

フレーム形状に関する、主な項目を記す。

- (1) ロールフープ
- (2) ロールフープブレース
- (3) サイドインパクトプロテクション
- (4) ファイアウォール

以下にそれぞれの簡単な説明を記す。

- (1) ドライバーの近い位置にメインフープとフロントフープを設け、車両が転覆した場合でも、ドライバーの手と頭が、地面に接しないようにしなければならない。また、図1にあるように、メインフープとフロントフープの頂点を結んだ線と、ドライバーの頭とのすき間を 50.8mm 以上あけなければならない。
- (2) 二つのロールフープにはそれぞれ、いかなる曲げもない二本のブレースが必要である。メインフープのブレースはフープの頂点から下に 160mm を超えない範囲で結合されていなければならない。側面から見て、フープとブレースの間の角度が 30° 以上傾いていなければならない。フロントフープのブレースはフープの頂点から下に 50.8mm を超えない範囲で結合されていなければならない。ドライバーの足より前の位置まで伸びていなければならない。
- (3) サイドインパクトプロテクションとは、図1にあるアッパーフレームメンバー、ダイアゴナルメンバー、そしてロアフレームメンバーのことを言う。三本とも、メインフープとフロントフープに結合していなければならない。アッパーフレームメンバーは地面から 300 ~ 350mm の範囲にななければならない。
- (4) ファイアウォールはヘルメットの下の縁より 100mm 高い点までを、エンジンオイル、燃料供給系、冷却系の部品から覆い隠すものでなければならない。

これらのレギュレーションは、ドライバーの安全を最低限確保するために定められたものである。

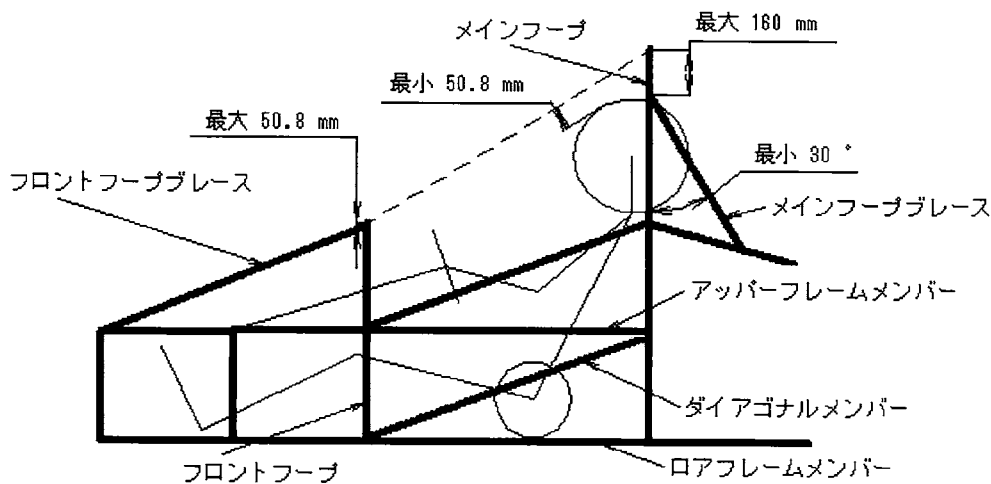


図1 2005FSAE レギュレーション

2.1.2. ホイールベース

ホイールベースとは、前後輪の車軸間距離のことである。この値が大きければ直進安定性が向上する。逆に言えば、曲がりにくい車輛になってしまう。

KF2005 では、レギュレーションで定められている、コースの幅やコーナーの半径を考慮し、ホイールベースを1600mmとした。

この値を達成するために、サスペンションアームの取り付け位置をフロントフープ前のメンバーから、フロントフープにすることで、ホイールベースを約30mm短くする事ができた。また、フロントフープはレギュレーションにおいて、比較的頑丈な部材に指定されているため、無駄な重量増加も無く、アーム取り付け部の剛性を上げることができた。

KF2005 では、シートとファイアウォールを一体化としたため、ドライバーを約50mm後ろに下げることが可能になった。これにより、ホイールベースを短くできたと共に、重量物を集中させることもできた。

2.1.3. エンジンマウント

エンジンのフレームへのマウント方法として、エンジンをストレスメンバーとして考え、フレームの構造体の一部としてマウントする方法と、構造体とはせずにフレームにマウントする方法が考えられる。表1にそれぞれの長所と短所を記す。

表1 エンジンマウント方法

エンジンを構造体の一部とする	長所	・エンジンマウント位置の自由度が大きい ・軽量化
	短所	・エンジンを固定するメンバーの取り付けに高い精度が必須 ・全体的に剛性が低くなる
エンジンを構造体的一部分としない	長所	・フレームの組み立てが容易になる ・フロア剛性が上げやすく、全体の剛性も上げやすい
	短所	・重量増 ・エンジンまわりのフレームの寸法が大きくなる

エンジンを構造体的一部分とした場合、フレームのメンバーが減ることで、軽量化と加工数

の削減が可能となる点大きい。また、エンジンの取り外しが容易になることで、整備性が向上する。その反面、フレームのねじりや曲げに対して弱く、タイヤからサスペンションアーム、サスペンションダンパーを伝わり、入力された力がフレームの変形によって吸収されてしまう。これにより、サスペンションが設計どおりに動かなくなり、設計どおりの運動性能は得られないと思われる。

エンジンを構造体の一部としない場合、フロア剛性を高めることで全体の剛性が向上することが可能となる。また、フロア剛性を向上させるための重量投資は、そのまま重心の低下にも貢献し、車輛の運動性能が向上する。しかし、エンジンを構造体の一部としない場合、エンジンのまわりをフレームで覆ってしまうため、寸法が非常に大きくなってしまう。この解決策としては、更にフレームの全幅を広げて、補記類をすべてフレームの構造体内部に収めることで、余計なブラケット等の増加を防ぐことが可能になる。

2.1.4. サスペンションジオメトリ

サスペンションジオメトリとは、フレームとタイヤをつなぐ、サスペンションアームの形状や、位置関係のことである。

フロントのサスペンションジオメトリを考える際には、ドライバーの居住性を優先し、リアのそれは、ディファレンシャルギア(以下デフ)やデフホルダーについて考える必要があった。フロントは、原寸大のモックアップを作成し、ドライバーの居住性を確保した上で、サスペンション担当者との話し合いにより、寸法を決定した。リアについては、エンジンの左右のオフセットを調整することで、サスペンションアームの長さが、最大限確保出来るようにした。

2.1.5. 安全性

ドライバーの腕まわりを保護するために、アッパーフレームメンバーの上に更にフレームメンバーを追加した(図2参照)。これにより、車輛が転倒したときにも、ドライバーの腕が外に飛び出すのを防ぐことが出来る。先にも述べたが、補記類をフレーム構造体の内側に配置するために、メインフープの下を850mmまで広げた。これは、側面衝突時に、最初にフレームがぶつかることで、補記類を保護することを目的とした。



図2 安全性

2.1.6. 製作性

昨年度の車輛KF2004のフレームを製作したとき、最も時間を費やしたのは材料のすり合わせで、次に溶接を行う前のメンバーの固定であった。このことを踏まえて、KF2005では、メンバーの加工性(すり合わせの容易さ)と部材の配置についても十分に検討した。加工性については、フレームのメンバーを鋼管だけでなく、角鋼管や異径の鋼管を用いるこ

とで加工数や加工時間を削減した。ただし、メインとなるメンバーは、鋼管では外径 25.4mm、角鋼管は一辺を 25mm とした。

何本ものメンバーが集中する箇所では、図 3 から図 4 のように接合箇所が交わらないようにし、加工数を削減したとともに、溶接箇所が一点に集中することを防いだ。表 2 に改良前後の加工数の一覧を記す。

部材の配置については、フレームのフロアをフラットにすることで溶接前のメンバーの固定に費やす時間を大幅に削減することができた。

表 2 加工数の比較

加工材料	加工	改良前の加工数	改良後の加工数	加工数の差
鋼管 (外径 25.4mm)	面出し	108	84	-24
	Φ25.4mm のエンドミルによる加工	78	48	-30
	Φ26mm のエンドミルによる加工	6	6	0
	面出し後、斜めに削る	24	23	-1
鋼管 (外径 15.9mm)	面出し	0	24	24
	Φ25.4mm のエンドミルによる加工	0	19	19
	面出し後、斜めに削る	0	6	6
鋼管(外径 16mm)	面出し	0	4	4
鋼管(外径 26mm)	面出し	12	8	-4
角鋼管 (25mm×25mm)	面出し	14	12	-2
	Φ25.4mm のエンドミルによる加工	2	2	0
角鋼管(16mm×16mm)	面出し	0	2	2
全体		244	238	-6

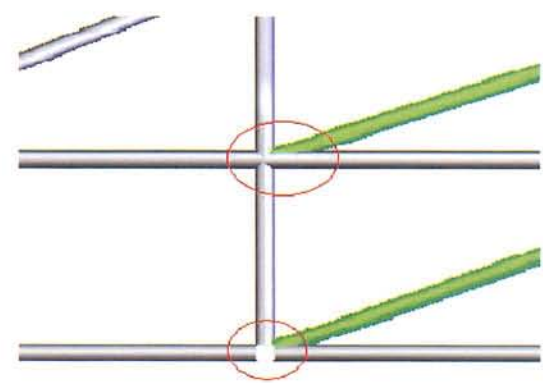


図 3 メンバー集中箇所(改良前)

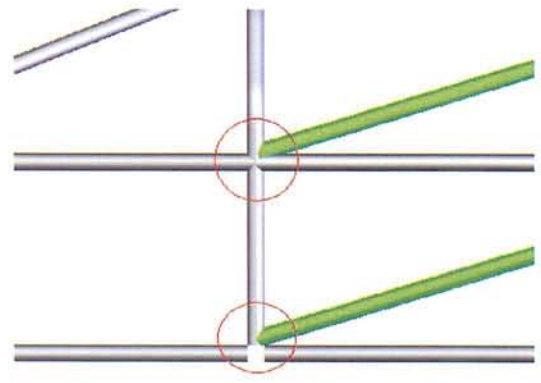


図 4 メンバー集中箇所(改良後)

2.2. フレーム材料の決定

フレーム材料の選定基準として、以下について検討する。

- 2.2.1. 強度
- 2.2.2. 軽量
- 2.2.3. コスト
- 2.2.4. 加工性、溶接性

表 3 フレーム部材候補の機械的性質

材質	耐力[MPa]	引張り強さ[MPa]	比重	溶接性
STKM11A	—	290 以上	7.9	◎
STKM13C	380 以上	510 以上	7.9	◎
STKR400	245 以上	400 以上	7.9	◎
SCM435TK	785 以上	930 以上	7.9	○
A2024TD	294 以上	441 以上	2.8	×
A6063TD	196 以上	226 以上	2.8	◎

◎：良好 ○：普通 ×：実用的ではない

表 3 にフレーム部材の候補とした材質と、その機械的性質を記す。

2.2.1 強度

強度は、SCM435TK が群を抜いている。アルミ系材料でも、A2024TD は、STKM 材や STKR400 と同等かそれ以上の強度を持っている。

2.2.2. 軽量

軽量化を考えた場合、アルミ系材料は、STKM 材の約 1/3 の重さで、A2024TD を見れば強度も十分あるため、同じ寸法の部材を使えば、強度は同じで重量を約 1/3 にすることも可能である。

SCM435TK では、比重こそ STKM 材と変わらないものの、引張り強さが非常に強いいため、肉厚を薄くすることで軽量化を図ることも可能である。

2.2.3. コスト

コスト的には、STKM 材が一番安価であり、STKR400 もコスト的には STKM 材と大差は無い。A6063TD や A2024TD のアルミ系材料は STKM 材の 2 倍以上で、SCM435TK では 5 倍以上もコストがかかってしまう。これより、コストの面では STKM 材が優れている。

2.2.4. 加工性、溶接性

加工性に関しては、A6063TD は切削性がよく、加工し易いといえる。また、STKM 材も比較的切削は容易だ。溶接性に関しては、A6063TD はアルミ系材料の中では、比較的溶接しやすい材質に入る。しかし、現在使用している溶接機では、アルミ溶接は非常に難しく、溶接部に十分な強度を期待することが出来ない。

2.2.5. フレーム材料の決定

以上の、2.2.1.から 2.2.4.を考慮すると、アルミ系材料の A2024TD と A6063TD は溶接の問題や、コスト的にも使用しない。SCM435TK では薄肉にすることで、フレームの軽量化を図ることが可能だが、コストの面を考えると使用はしない。

残った STKM 材と STKR400 は、強度もそれなりにあり、入手が容易で、比較的、加工も容易で安価ということから、STKM11A、STKR400 そして、ロールフープには STKM13C を使用する。

3. 研究成果

- ・フレームの重量：33.5kg 昨年比 - 1.2kg (約 3.5 %減)
- ・フレームのねじり剛性：400Nm/deg 昨年比 + 241Nm/deg(約 150 %増)
- ・第三回全日本学生フォーミュラ大会 総合優勝

4. 結論

研究の目的であった、第三回大会での総合優勝は果たせたが、改良の余地はまだ多く存在する。次年度に向け、構造解析も行い、更なる剛性の確保、軽量化を行って行かなければならない。

参考文献

- [1]2005FSAE レギュレーション (2004)
- [2]JIS G3441 (2004)
- [3]JIS G3445 (2004)
- [4]JIS G3466 (2004)
- [5]JIS H4040 (1999)
- [6]JIS H4080 (1999)
- [7]SolidWorks Student Edition 2004 SolidWorks Corporation