

フォーミュラーカー走行におけるフレーム剛性の影響

中里武彦

1 はじめに

自動車のボディー構造の進化は、モータースポーツが大きく関わりレースで勝つためにはエンジンの高性能化だけでなく高速走行域の操縦安定性や運動性能の向上が求められる。ボディー構造の高剛性と軽量化など進化し続け、そして市販モデルにも技術がフィードバックされてきた。

そうした中でボディー構造の強度のみに特化するのではなく、“ボディー構造が適度にねじれることによる「安心感」を感じる”と、レース活動を通じ報告を受けた。

筆者のこれまでの経験からは、既存のボディー構造の理想として「高剛性で変形しにくいことが求められてきた」と認識しており、それに反する特性であるねじれが求められるのである。

ねじれによる「安心感」の理解を深めるべく本学のS-FJのフレーム剛性について報告する。

2 ボディー構造

自動車のボディー構造は大きくモノコック構造とフレーム構造の2種類に分けることができ、各構造の中にも種類が存在している、ここでは代表的なボディー構造を（表1 ボディー構造）に示す。

表1 ボディー構造

構造	モノコック構造		フレーム構造	
種類	シェル型	バスタブ型	ラダーフレーム	スペースフレーム
材質	複合材	カーボン	鋼材	鋼管

表1に示すモノコック構造、シェル型はボディーパネルなどの外郭で構成され車内スペースを広く取れ複雑なボディーデザインが可能である、また、パネル材質を変更するなど剛性と軽量化も行われている。

バスタブ型はレース専用車両に多く用いられ、近年はCFRP材で作られ軽量で変形しにくいなどの特徴があり理想ボディー構造に近い、クラッシュ等の大きなダメージを受けた時にはドライバーを守るサバイバルセルとしての機能も備わっている。

フレーム構造はラダーフレームが多くを占め、車両はトラックやSUV等、頑丈なボディー構造を必要とする車両に用いられる傾向にある。

スペースフレームは中空パイプを用い車体形状を組み上げる、利点としては少ない材料でフレーム剛性を確保できるなどがあげられ、ホンダ NSX, AMG GT などにも採用されている。

本学で使用しているS-FJは鋼管を溶接して作られたスペースフレームとなり、コンストラクターの意図でトラス構造を強化できるなど変更を行うことができ今回の実験には最適と言える。

図1-1にS-FJと図1-2 AMG GT のスペースフレーム構造を示す。

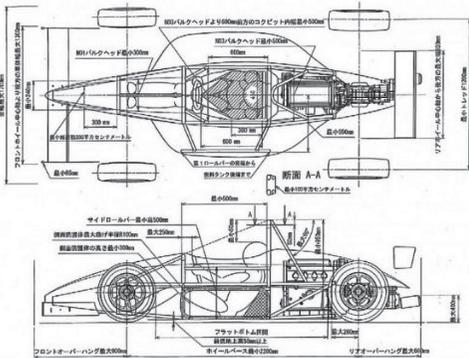


図1-1 S-FJ スペースフレーム

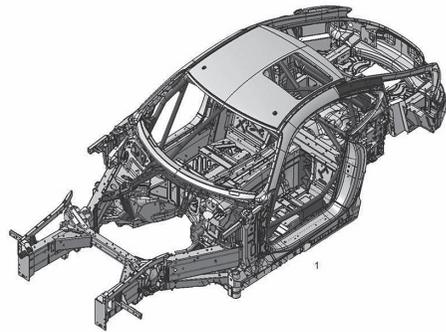


図1-2 AMG-GT スペースフレーム

AMG GTのスペースフレームは鋼管により骨格の形状が成型されている為、一見モノコック構造にも見えるがスペースフレームに分類される。

3 比較条件

3-1 比較車両

剛性比較としてMYST KKS-2 (図2-1) (以下KKS-2とする)とWEST 07J (図2-2) (以下07Jとする)を用いた。



図 2-1 MIST KKS-2



図 2-2 WEST 07J

この車種にはそれぞれ特色があるが、レギュレーションによる共通点も多くエンジン、タイヤは同じ形式の物を使用することが義務付けられている、また、JAF の定める S-FJ レースに本学のドライバーである八巻選手が両車両で出場している等、近い条件で比較できると考えられる。

KKS-2 と 07J の諸元を表 2 に示す。

表 2 S-FJ 諸元比較

車両	ホイールベース	トレッド (F/R)	重量	エンジン	タイヤ
KKS-2	2425mm	1385/1396 mm	497kg	L15A	S-FJ 専用
07J (STD)	2313mm	1430/1418 mm	495kg	L15A	S-FJ 専用

この 2 車種の諸元比較によりホイールベースとトレッドに違いがみられる他、スペースフレーム設計にも違いがあり、スプリングやスタビライザーの調整も変化しサーキット走行にも大きく影響をしてくる。

3-2 比較に用いたデーターとコース

フレーム剛性比較として、鈴鹿サーキットのコーナーの中から、S 字コーナーが適していると考えられ、今回の研究では、S 字コーナーでの比較について論じる。

S 字コーナーの特色としては、高速で左右にリズムよく走行することが求められ、フレームには左右それぞれに負荷がかけられることになり八巻選手からも kks-2 と 07J では走行ラインの違いがあるとの報告も要因の一つとなった、図 3 に鈴鹿サーキット S 字コーナーの位置と表 3 に比較走行データーを示す。

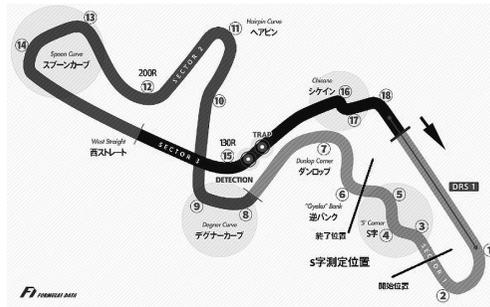


図3 鈴鹿S字コーナー

表3 走行データ

車両	走行日	走行タイム	備考
KKS-2	2023/12/01	2'14"702	テスト走行
07J	2024/06/15	2'17"104	予選

走行データは近年の中でラップタイムが速く、走行内容も安定しているものを選んでいる。

4 比較検証

4-1 ロール量

ドライバーの八巻選手は鈴鹿サーキットS字コーナーでの車両の挙動について「KKS-2はロールの動きがスムーズでロール中の挙動が安定しているので、一定のロール量を維持しやすい、07Jはロール中の挙動がKKS-2に比べて安定しないので、修正動作が多くなって一定のロール量を維持するのが難しい。」とコメントをしている。

八巻選手のコメントから実際にはどのような違いがみられるのか検証するため、左右のスプリングの縮み量をグラフに表し車両の挙動について探ってみることにした。

グラフの縦軸はスプリングの縮み量をmmで表し、"0"を中心として車両の左右どちらに荷重が掛かりロールしているのかを意味し、上側(+側)は主に左側のスプリングが縮む右コーナーを表し、逆に下側(-側)は右側のスプリングが縮む左コーナーを表している。

横軸は距離(m)を表し、グラフの始まりはS字コーナーの進入位置から逆バンクコーナー手前までの約1.2Kmの区間をフロント及びリアスプリング縮み量である。

図4にKKS-2のグラフを、図5に07Jのグラフを示す。

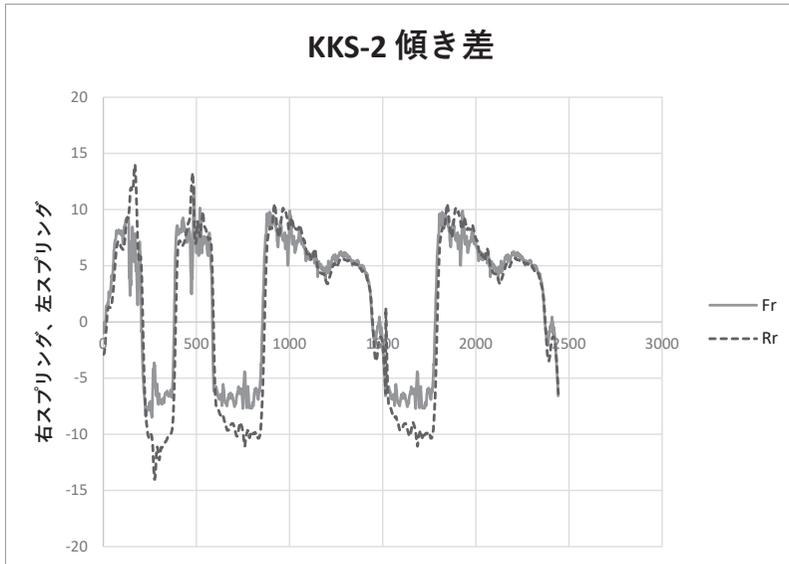


図4 KKS-2 傾き

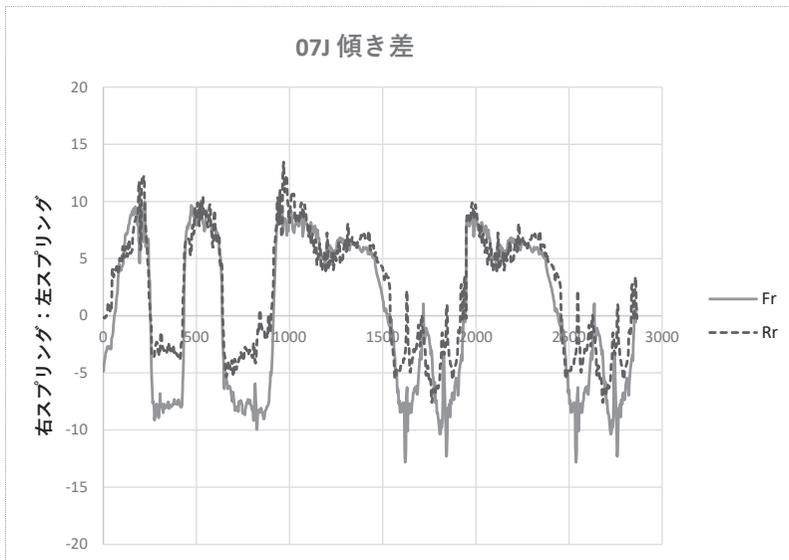


図5 07J 傾き

KKS-2と07Jのグラフを比較するとKKS-2ではFrとRrスプリングの動きが同調しているのに対し07Jはズレが生じているのが見てとれる。特に1500m～2000m付近ではグラフに突出した値いがあるなどスプリングの縮みに違いが確認でき、これは右から左にロールが戻ったことを意味している。八巻選手のコメントにもあるように修正舵が多くなった部分と言える。

こうした違いの要因としてタイヤの摩耗やスプリングレートの違いがあげられるが、07Jは予

選のデーターであり、タイヤは新品であるなど KKS-2 より好条件であった。

また、スプリングレートについてはサスペンションレバー比を加味したホイール端ばね定数を表 4 に示す。

表 4 スプリングレート

	Fr ホイル端ばね定数	Rr ホイル端ばね定数
KKS-2	4.65 Kg/mm	4.67 Kg/mm
07J	4.20 Kg/m	5.12 Kg/mm

ホイール端ばね定数に両車両での違いはあるが、S-FJ のセッティングでは車両特性を生かすための最適化を行ってきている。表 4 はそうした最適化の数値であり、大きく修正舵を行うばね定数に調整したとは考えにくい。

4-2 横 G

修正舵を行う原因としてコーナーリング中のオーバースピード等、横方向への過大な力が起因の修正舵も考えられる。

KKS-2 と 07J の横加速度（横 G）を図 6 に示す。

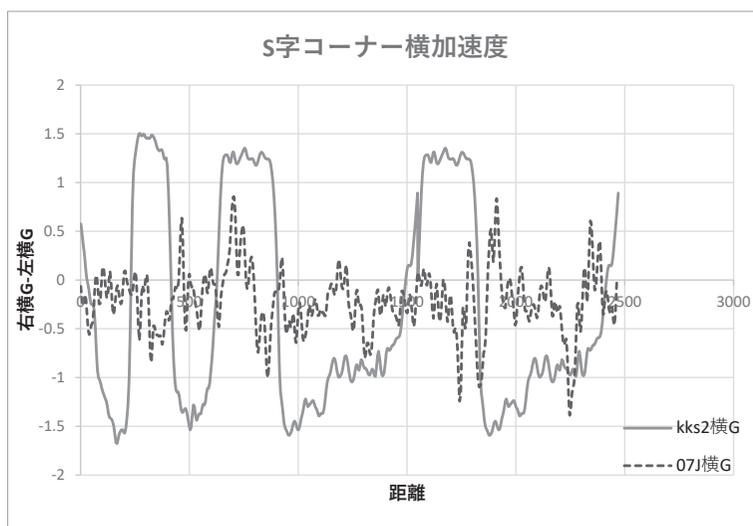


図 6 横 G 比較

図 6 では” 0 “より上側が車両左に横 G が掛かり、下側が車両右側を表している。

KKS-2 では左右に大きく横 G が掛かっていることが読み取れ、07J では小刻みに横 G が推移している。この横 G は KKS-2 より小さくタイヤのグリップを超え修正舵を行うほどの横 G が掛かったとは考えにくい。

また、図4、図5スプリングの縮み量のグラフからは横Gほどの差は見られないが、タイヤ摩擦円の考え方であればスプリングが縮むことによりタイヤに荷重が掛かり、摩擦が増大するはずである、つまり、KKS-2も07Jも同様の横Gが得られるはずである。

仮説として横Gを得られない理由として07Jは前後スプリングの縮み量に差があり（図5）、この前後の差が修正舵を起こす原因と考えた。

4-3 応力解析

CADを用いて両車両のフレームの応力解析を行った。

この応力解析は高下レーシングサービスの高下氏の研究であり、今回、ご厚意により引用させていただいた。

図7にKKS-2、図8に07Jの解析を示す。

図7、8は、四角いプレートがフレームに接続されているような図になっている、これはフレームに“ねじり応力”を与えるために仮に作図されたものである。

解析の中で、フレームの色に濃淡の違いが見える。これは応力への耐力を示し濃い部分は強く、色が薄い部分は耐力が低い事を意味する。

07Jに対してKKS-2は薄い部分が多く耐力が07Jと比較し全体的に低いと言える、この違いとしてフレームに組み込まれているトラス構造の違いがあげられると考えられる。

KKS-2のフレームの耐力は07Jと比較して強くないと言える。しかし、07Jよりも大きな横Gを発生させている事には、違和感を感じてしまう。こうした現象の糸口として、マツダアクセラの開発の中で「ねじれ変形の位相遅れ」について述べられていた、引用する。“車体は複数の部品を溶接で接合することで構成されるため塑性変形が発生する。これをヒステリシスという。こ

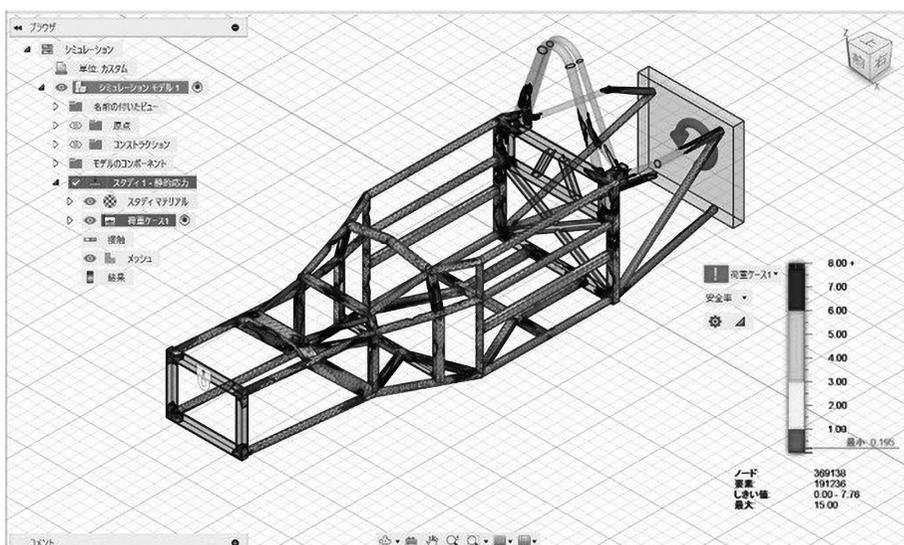


図7 KKS-2 応力解析

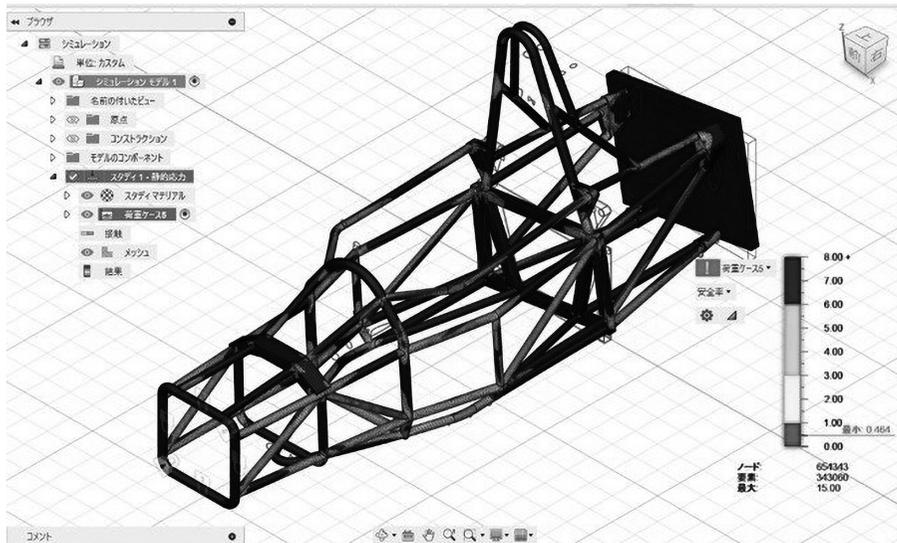


図8 07J 応力解析

の値が大きいと運転者は「ハンドル操作と車両動きに一体感がない。」(1)と感じるとあった。

改めてKKS-2と07Jを比べると、07Jのトラス構造継ぎ手のところやパイプフレームが集まる箇所で耐力が変化していることが読み取れその部分の剛性が高いことがわかる。この事によりねじれ変形の位相遅れによる前後荷重に差が生じやすい傾向と言える。KKS-2では全体的に同じような耐力を示しているため、ドライバーに「安心感」を与え、位相遅れが少なく応答性の良いフレームに仕上がっていたと考えられる。

5 ま と め

S-FJ フレーム剛性の研究として得られた結果は以下の通りである。

- ① ねじれ変形の位相遅れが少ないフレームは「安心感」を感じる。
- ② トラス構造継ぎ手部などで耐力に変化が出て、位相遅れを起こす。

フレームの研究は自動車開発と同じ歴史を持っていると言っても過言ではないと言えるが、今回強固であるフレームにねじれを求める探求をし、構造体には、まだまだ奥の深い知見があることに気づかされた。

今回の研究は、実証実験までは行えておらず、推論の域を出る事はなかったが実走行の中での調査に期待したい。

6 謝 辞

高下氏と知り合ってから何年になるだろうか、今でもサーキットで顔を合わせると冗談を言い合え

る特別な存在である。今回の CAD 解析も「お互いつくろう。」と言っておきながら高下氏のみの制作となった。

怠慢な私の要望に二つ返事で使用を快諾していただいた，高下直也氏に心より感謝を述べる。また，長期にわたり本学の S-FJ にご理解を示し，本件の研究でも的確なご意見を頂戴した八巻渉選手に感謝を述べる。

参 考 文 献

- 1) 新型マツダアクセラダイナミック性能 嶋中常規，中山伸之，友貞賢二，吉井群治，渡邊雅哉

