

# ローリングによる荷重移動特性の静的検証\*

鹿子嶋 正人<sup>1)</sup>

## Static Inspection of Moving-load Characteristic by Rolling

Masato Kagoshima

We participate in the race of the formula car, “Super-FJ class” as for beginners at Suzuka Circuit. However, it is difficult to make dynamic inspection of moving-load while running of the formula car.

Therefore we measure it on static and try for setting of suspension. This is the first report that we try to change several factors of suspension-setting

Key Words: formula car, Super-FJ, suspension, rolling, static measurement

### 1. はじめに

中日本自動車短期大学のモータースポーツエンジニアリング学科（以下、MSE学科）では、フォーミュラカーレースの入門カテゴリーであるスーパーFJ（以下、S-FJ）クラス（鈴鹿シリーズ）に、学生メカニックチームとして参戦している。（ドライバーは契約）

MSE学科は、モータースポーツを学習フィールドとし、S-FJを教材にしてスキルを高めることを目的としている3年課程の学科である。そして将来、ディーラーのメカニックとして、またメーカーのエンジニアとして活躍できるよう、自ら考え行動できる人材に育ってくれることを期待している。

さて、実際に学生たちがレースに出て、マシンセッティングを行う際、現時点で取れるロガーデータだけでは十分な情報が得られていない。しかしながら、すぐあれもこれもとロガーで取ってしまったら、何故そのデータが必要なのか、どう解析すべきなのかを考えることなく進んでしまうであろう。車両挙動の理論をしっかりと身に付けてもらうためには、自分が運転しない分、各パーツ・各要素の挙動を理解する必要がある。

そこで、手始めとして、サスペンションの主要パーツの挙動（特にロール時）を理解しセッティングに反映させるよう、静的ではあるがその挙動特性を測定することから始めた。

### 2. S-FJ 車両概要

「WEST07J」スペックおよび車両規定（図1）

フレーム構造：鋼管スペースフレーム

\*平成22年8月6日受理。第42回全国自動車短期大学協会研究発表会において発表。

1) 中日本自動車短期大学 モータースポーツエンジニアリング学科  
(505-0077 岐阜県加茂郡坂祝町深萱 1301)

- 全長：3,658mm、全高：1,010mm、全幅：1,665mm
- ホイール・ベース：2,300mm
- トレッド F：1,490mm、R：1,450mm
- ブレーキ：全輪ディスクブレーキ（アルミ、4ピストン）
- エンジン：HONDA L15A 1,500cc（S-FJ仕様）
- ミッション：5速ドッグクラッチレーシングミッション
- メーター：データーロガー内蔵デジタルメーター装着
- ステアリング：250mmD型バックスキン+クイックリリース
- ホイール：6.0J×13in
- 燃料タンク：20L 消火器：FEV2.0kg
- 重量：420kg（最低重量 495kg、ドライバー込み）

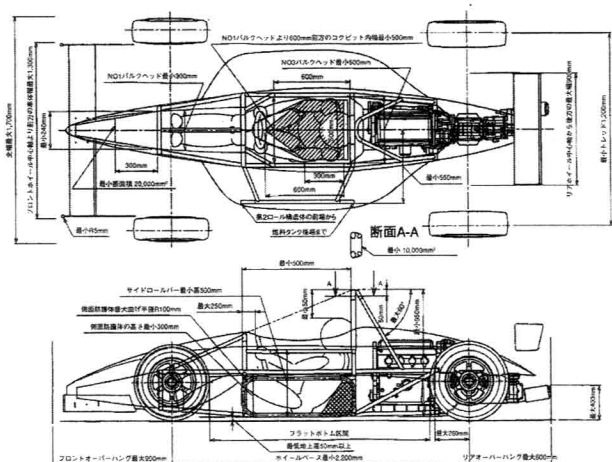


図1 S-FJ 車両規定図面

### 3. ローリング

#### 3.1. 概要（荷重移動による重量配分）

車両のコーナリング・フォース特性はタイヤの接地荷重に依存し、高荷重になるとコーナリング・フォースは頭打ちになる。

一方、直進状態からコーナリングに移行する際、車両にはロールモーメントが作用し、内輪から外輪への荷重移動が発生する。したがって、コーナリング時の内輪・外輪のトータル・コーナリング・フォースは直進時のそれに比べて、低下する。

このコーナリング・フォースの低下特性は、フロントおよびリアの移動荷重量に依存することになる。つまり、リアに比べてフロントの荷重移動が大きい場合、フロントが先にグリップを失い、いわゆる“アンダーステア”傾向になる。逆に、フロントよりリアの荷重移動が大きければ、同様にリアが先にグリップを失い、“オーバーステア”傾向となる。

### 3.2. 荷重移動特性へのスプリングの影響

#### (1) 測定方法

メーカーでの車両開発においては、シャシー静特性試験機を使用して、車両のローリング特性を計測する。この試験機は、車体を固定した状態で、左右のタイヤに逆相の上下動を加えて計測する。しかしながら、この装置は左右輪のトータル荷重が一定になるように制御され、車体の固定が必要になるため、高価で大掛かりなものである。



図2 測定輪軸荷重移動量測定

そこで、次に説明する車体を固定しない簡易な測定方法を試みた。まず、測定する左右輪をコーナーウェイトゲージ（荷重計）に載せて図2のように表示値から移動量を求める。非測定輪軸は図3のように傾斜台に載せ、非測定輪軸に傾斜を与えて車体を目的傾斜角度に合わせる。

これをスプリング、スタビライザー（以下、ARB：アンチロールバー）の組合せを変えながら、測定輪軸、非測定輪軸を反対にして測定することにより、前後のロール時の荷重配分がどう変化するかを把握することにより、ステア特性の傾向を推定する一助とする。

車体を非測定輪軸で  $0.1^\circ$  毎傾斜させた時の測定輪軸の左

右輪での荷重移動と、トレッドよりロール剛性 ( $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{deg}$ ) を求め、前後輪軸の合計から前後それぞれが合計剛性の何%を占めるかにより、アンダーステアまたはオーバーステアの特性傾向を判定する。

※注記：測定の結果、 $0.8^\circ$  を超えると、実際には内輪が浮き上がった状態になるので、測定は  $0\sim 0.8/0.1$  刻みで実施した。

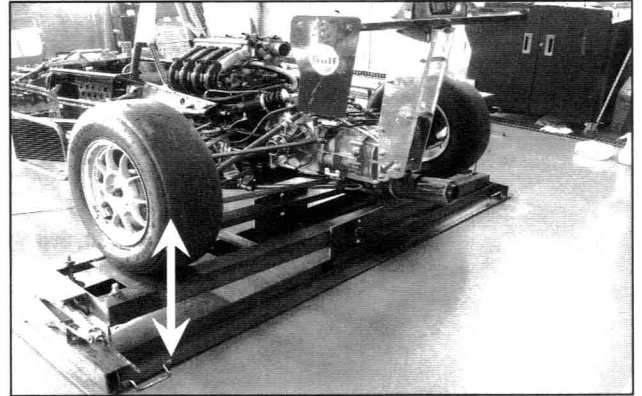


図3 傾斜台（非測定輪軸）

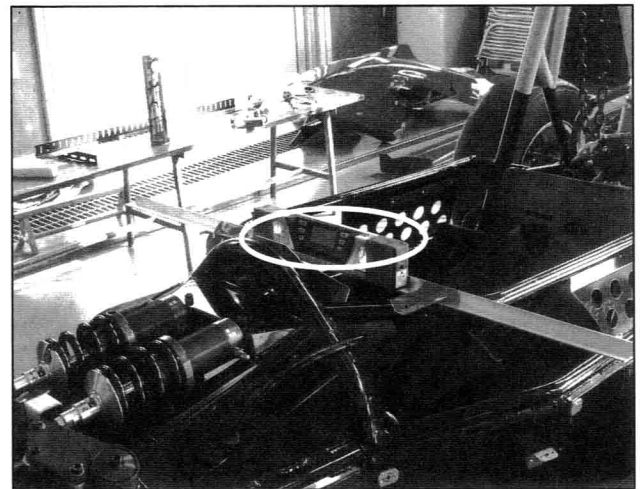


図4 車体傾斜測定（レーザーによる三角法）

#### (2) 測定結果および考察

表1の結果より、例えばフロントに  $650\text{lb}/\text{in}$  の T0 を、リアに  $450\text{lb}/\text{in}$  の T0 を用いた場合、フロントは、 $0.5^\circ$  傾けると  $70\text{kg}$  の荷重移動がある。つまり、 $1^\circ$  なら  $140\text{kg}$  移動することになる。（ロール剛性は車両を  $1^\circ$  傾けるために必要なトルクを表す）また、リアは  $144\text{kg}$  となる。

また、フロントのトレッドは  $1,490\text{mm}$  であるから、その半分  $745\text{mm}$  に  $140\text{kg}$  を乗じた値： $104300\text{kg}\cdot\text{mm}$  がフロントのロール剛性となる。同様に、リアのトレッドは  $1450\text{mm}$  であるから、ロール剛性は  $104400\text{kg}\cdot\text{mm}$  となる。

以上から、前後総剛性は  $208700\text{kg}\cdot\text{mm}$  となり、配分はフロン

ト：49.976%，リア 50.004%でほぼニュートラル・ステア特性を示すことが予想され、事実、前年度までのコース選択学生たちが試行錯誤してセッティングした結果に一致する結果となった。

ただし、これは荷重の移動量の問題であり、荷重の絶対値に大小がある前後のコーナリング・フォースが等しくなったことを意味するものではない。

※注記1：測定時の左右輪荷重の「差」を荷重移動量として扱っている。

※注記2：T（ターン）およびスプリング呼称について

“T”を掛けるとは、スプリング・シートを1回転締めこむとネジピッチ分スプリングを縮めることになる。1回転をT1、2回転をT2と表記する。これを“プリロードを掛ける”とも言う。

尚、スプリング・レートは lb/in が単位として使われているので、スプリングの種類と呼称としてそのまま使用する。

表1 スプリング・レートにおけるターンの影響

【フロント】

450lb/in にTを掛けて傾斜させた時の

移動荷重 (kgf) (以下同様)

傾き (deg)	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	16	20	14	16	22	22	24
0.2	28	30	26	28	36	42	44
0.3	38	46	42	46	52	58	68
0.4	46	54	52	60	68	72	84
0.5	58	63	64	72	80	84	96
0.6	66	72	80	86	96	100	108
0.7	78	86	92	102	108	112	120
0.8	84	100	106	116	120	124	130

650lb/in

傾き (deg)	T0	T1	T2	T3	T4	T5
0	0	0	0	0	0	0
0.1	24	15	14	21	24	24
0.2	40	30	26	35	44	44
0.3	48	41	42	54	64	66
0.4	61	54	59	70	82	84
0.5	70	64	72	84	92	100
0.6	84	82	90	98	108	116
0.7	96	96	104	112	124	128
0.8	109	110	116	126	132	138

950lb/in

傾き (deg)	T0	T1	T2	T3
0	0	0	0	0
0.1	18	16	18	24
0.2	32	29	37	44
0.3	48	46	56	62
0.4	62	62	72	80
0.5	76	80	87	94
0.6	85	92	100	108
0.7	101	110	116	120
0.8	116	120	126	132

【リア】

450lb/in

傾き (deg)	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	24	14	7	13	19	13	12
0.2	36	27	16	19	27	24	18
0.3	49	37	31	29	38	30	32
0.4	61	46	39	38	47	44	42
0.5	72	55	46	49	55	54	49
0.6	79	62	55	59	63	61	58
0.7	90	74	71	67	75	73	67
0.8	97	84	79	76	84	79	77

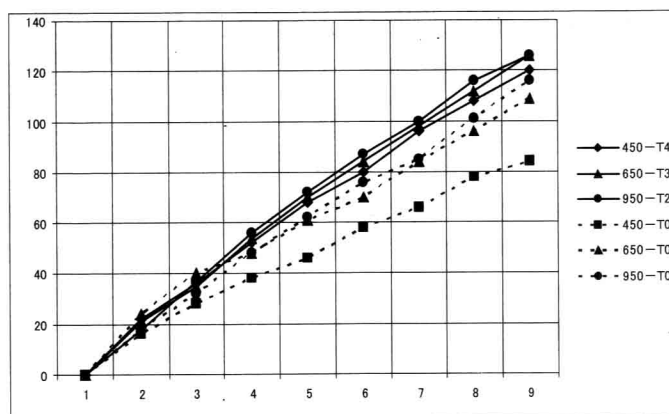


図5 フロント・スプリング比較  
(フロント・スプリングデータから抽出)

まず、フロント・スプリングに関して言える事は、移動荷重 130kg くらいまで (0.8° ロール時) ならば、450lb/in の T4 と 650lb/in の T3 と 950lb/in の T2 はほとんど同じ働きをすることが予想される。

各ターンを掛けた時の荷重が、表 2 のように始動点となると考えると納得できる。

表 2 スプリング始動点

450 l b / i n	T4=48.18 k g f
650 l b / i n	T3=52.24 k g f
950 l b / i n	T2=50.88 k g f

※ちなみに、フロントおよびリアの重量配分は 83 k g と 130 k g である。(両輪なら 2 倍)

それぞれのフロント・スプリングが 83k g の荷重を担うためには、セット時から下記の量だけ縮まる事が予想される。

450lb/in T4: 約 4.35mm

650lb/in T3: 約 2.65mm

950lb/in T2: 約 1.9mm

T0 でセットすれば、1 G の状態(車両が地面に置かれている状態)になると、上記だけスプリングが縮むことになる。

(表 3 参照)

表 3 スプリング圧縮量(mm)と反力(kgf)

圧縮量 mm	450 T4	650 T3	950 T2
0	48.2	52.2	50.9
1	56.18	63.84	<b>67.78</b>
2	64.18	<b>75.44</b>	<b>84.68</b>
3	72.18	<b>87.04</b>	101.58
4	<b>80.18</b>	98.64	118.48
5	<b>88.18</b>	110.24	135.38
6	96.18	121.84	152.28
7	104.18	133.44	169.18
8	112.18	145.04	186.08
9	120.18	156.64	202.98
10	128.18	168.24	219.88

次にリアについてであるが、リアも大体 5mm 以降で差が大きくなるが、実際リアを測定すると、スプリングの伸び縮みはそれ以下で、フロント同様にあまり動いていないことが確認できる。

### 3.3. ARB の特性について (荷重移動影響ファクター)

#### (1) 測定方法

スプリングの試験同様車輪を上下させる訳であるが、ARB の試験においては、片輪のみ上下させて ARB のねじれによって変化する車輪荷重を算出する。

そのためには、車輪をジャッキアップする際、ボディが浮き上がり測定精度が疑われるので、実習室のチェーン・ブロック用レールから支柱を降ろし押さえ込むようにした。ボディ下部は低馬に載せて支え、ボディの動きを規制した。

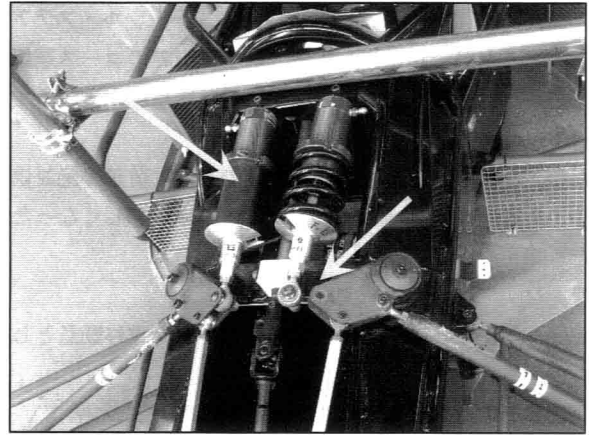


図 6 リンク・スプリング外し (フロント)

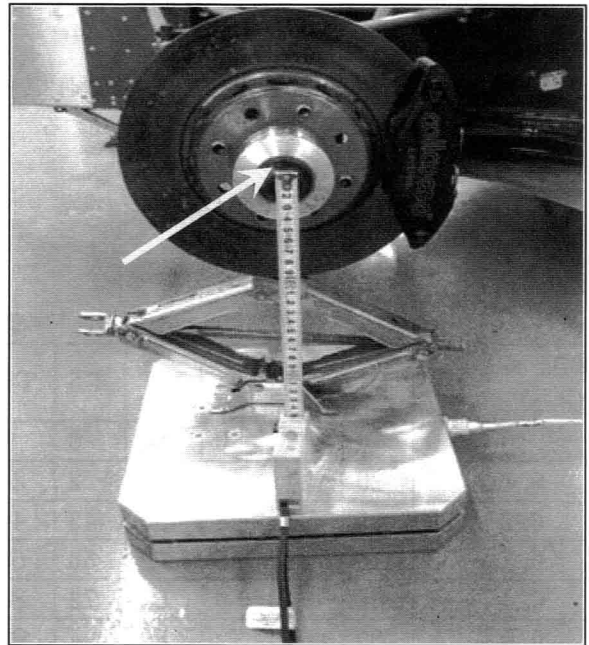


図 7 荷重測定輪

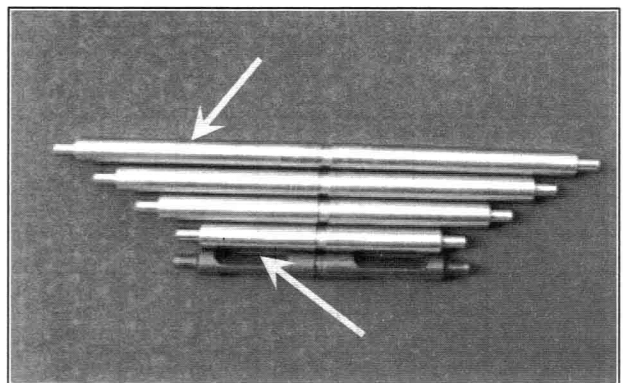


図 8 標準バーと試作バー

次に、持ち上げる側のショック・アブソーバを図 6 のようにベル・クランク作用点から外し、スプリングの影響を排除した。

図7のようにコーナー・ウェイト・ゲージに載せた状態で測定輪をジャッキでバンプ0から2mmずつ持ち上げ、その時の荷重を読み取ることで、ARBの効き具合を推定する。

用意したARBを図8に示す。長さは、標準品と同じ長さ130mmに加え170mm, 210mm, 250mmを用意し、交換しながら測定を行った。ここで、標準品は断面が長方形（試作品は真円）である。これを移動方向に対して回転させ固定する事により、剛性を変化させるように設計されている。この働きを検証するのが今回のテストの目的でもある。

尚、リアは構造上長いARBを取り付けることができないので、今回は標準品の取り付け角度（標準品は丸棒ではなく角度で効き具合が調整できる構造となっている）のみを変更して測定した。

ここで、注意しなければならない点がある。それは、ホイール・レート測定の時、スプリングを外してショック・アブソーバのみにしても、車両を押し上げてしまう傾向が見られることである。（ただし輪荷重の少ないフロントのみ）理由は、ショック・アブソーバに15kg/cm<sup>2</sup>もの窒素ガスが入れている（このガス圧も今後の検証対象）ので、ショック・アブソーバ単体でも、伸びようとする圧力が常に働いているからである。

今回、これを測定しておく。方法は図6のようにスプリングを外し、ショック・アブソーバのみをベル・クランクに取り付けた状態で、同様の測定を行った。

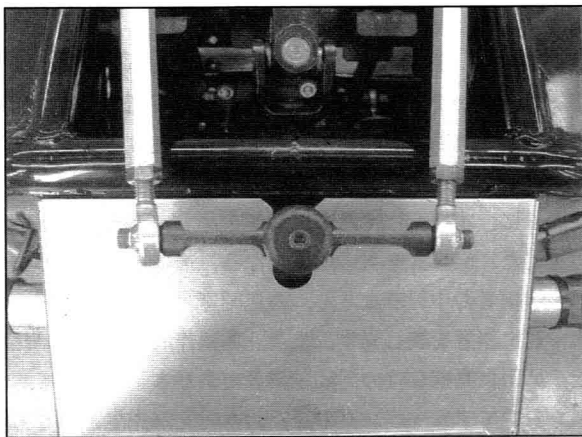


図9 標準ARB装着状態

(2) 測定結果および考察

スプリングを外し、ショック・アブソーバのみをベル・クランクに取り付けた時の計測結果を、表4に示す。

表4 ホイール上昇量と荷重

上昇量 (mm)	0	2	4	6	8	10
荷重 (kg)	11	34	34	34	34	34

ここからショック・アブソーバのガス圧は、すべての位置でスプリングの力に23kg (34-11=23)を足したものになる。この23kgはバネレートの計算時に考慮すべきである。加えて、バネ下重量が測定値に及ぼす影響も測定する必要がある。

ARB、ショック・アブソーバともに外し、ブリーキ・ローター（キャリパー付）および上下Aアームのみで同様の測定をすれば、バネ下重量が測定できる。

表5 バネ下重量計測

上昇量 (mm)	0	2	10	20	30
荷重 (kg)	11	11	11	13	13

表5に示すように、バネ下重量は11kgである。20mm、30mm上げると微増しているが、ロッド・エンド等をこじめる抵抗が増えている可能性がある。通常上下動の範囲は20mm以下であるから、ここでは無視する。

尚、これはAアーム類を取り外した時に測定した総重量（フロント：23kg、リア：28kg）のほぼ半分となり、他の半分はロッド・エンドを介して車両側に掛かっていると考えられる。

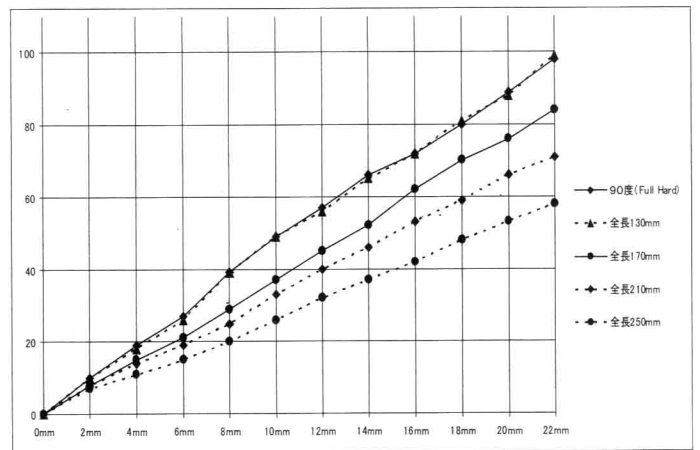


図10 フロント・ホイールをストロークさせるための荷重（バネ下重量除く）

図10に示すように、標準ARBのフル・ハードは直径15mmの全長130mmの丸棒と殆ど同じ傾向（菱形-黒実戦と▲-黒破線）を示した。

図11は、標準ARBでは30°がフル・ハードとフル・ソフトのほぼ中間の荷重値を示している。図12に標準ARBのひねりの程度によって、ARBとしての効き具合に影響を与える有効寸法を示す。ほぼ整合することが判る。表6は図11の生データである。

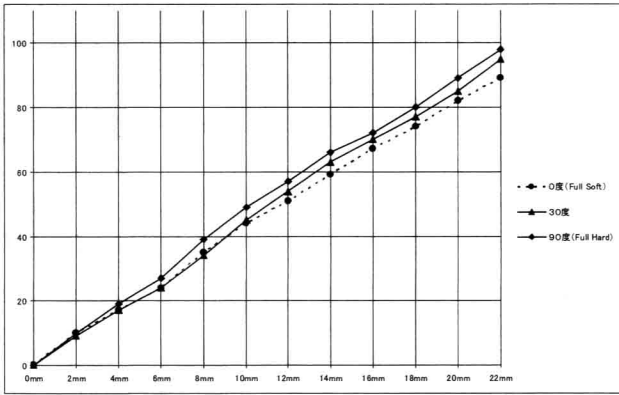


図 11 標準ARBのフロント・ホイールをストロークさせるための荷重 (バネ下重量除く)  
F・S, 30°, F・Hの比較

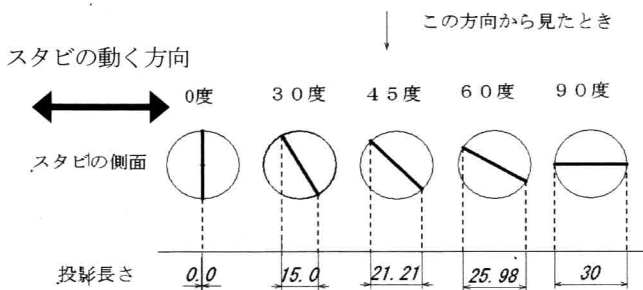


図 12 標準ARBの角度別有効寸法

表 6 F・ホイールを上昇させた時の荷重 (標準ARB)

上昇量 (mm)	0mm	2mm	4mm	6mm	8mm	10mm	12mm
0° (F・S)	0	10	17	24	35	44	51
30° (half)	0	9	17	24	34	45	54
90° (F・H)	0	10	19	27	39	49	57

特にフル・ソフトと30°の差が10mmまでほとんど現れないのは、このARBの構造上(薄い部分の厚み)の問題ではないだろうか。標準ARBの30°は10mmストロークまではフル・ソフトと同じであり、10mm以降では、フル・ソフトとフル・ハードの中間値を示している。差が出ないのは、ある荷重までは板厚5mmでは荷重が逃げている可能性がある。バー自体は一部を薄肉にして、回転させることによりその剛性に変化を与えている、と言える。

標準ARBは14mmストロークで7kgの差しかない、ストロークの少ない範囲(実用範囲)では3~4kgの差しかない。これは、ロールし始めの状態ではその効果が出にくく、

ロールが大きくなってからARBとしての働きをしていると考えられる。

それに対し、今回のテストした試作バー(形状は丸棒のまま、長さを変えたもの)は、凡そ予測できる働きが認められた。これ以上ARBを硬くするためには、垂直に立っているバーの直径(現在12mm)を13mm程度に太くし、ねじり剛性を大きくすることで効果が得られるであろう。

尚、ARBのファクターとして計測を行わなければならない部分は、まだ多く残っている。

最後に、ロール剛性前後配分の計算をするには、車両を1°傾けるのに必要な力で計算するのでARBのバネレートもスプリングと同様にホイールが何mm上昇したら、車両が1°傾くかをトレッドから計算し、その時加えた力kgfを求める必要がある。

従って、ホイールを2mm刻みで上昇させたことが、この車両では何度傾いたことになるのかを計算する。

トレッド(F:1490, R:1430)に対し左右のホイールのストローク差(今回測定したもの)2,4,6,...mmから計算したものが車両を何度傾斜させたかを表すことになる。今後、これをロール角度と荷重移動の計算式で使用していく予定である。(例、表6)

#### 4. まとめ

著者は、MSE学科は今まさにスタートを切ったところであり、実戦に絡めた実習がどう効果を上げるか、これからが正念場であると考えている。

今回の発表は、その第一段階の状況報告である。今後、より効率的に、高いデジタル情報処理能力・分析能力や柔軟なアナログ感覚・判断力といったスキルを身に付けさせてやれるよう工夫していきたい。

終わりに、本研究にあたっては学生諸君、諸先生の多大な協力を得た。MSE学科の前身となる「モータースポーツコース」選択者の中村麻衣さん、西尾昭憲君、藤本拓也君、郡山隼一君に謝意を表します。また、本稿作成に助言をいただいた、尾川自動車(有)の共同創業者であり本学アドバイザーのエンジン・チューニングの匠、鈴木美記朗先生とMSE学科長の森本一彦教授に深謝いたします。

そして、「財団法人 東京自動車技術普及協会」から助成を頂きましたことに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- (1) 野崎博路: サスチューニングの理論と実際, 株式会社海堂, p.81-98 (2000.6.30, 初版)
- (2) ウェストレーシングカーズ株式会社HP記載スペック引用
- (3) JAF 2010 国内競技車両規則レース車両規定引用