

# サーキット走行における S-FJ に与えるイナータ・ダンパーの影響

中里武彦

## 1. はじめに

イナータの研究<sup>1)</sup>の続報を報告する。2016年よりサスペンションの減衰を制御する装置としてイナータを本学の所有する Super-FJ（以後 S-FJ）に取り付け性能試験を行ってきた。2016年の報告ではポストリグ試験を行った結果までであったが、今回は鈴鹿サーキットの実走行の結果と、2017年製作イナータの試験結果の比較について報告する。また、イナータへの入力方法についての考察も合わせて報告したい。

## 2. 2016仕様イナータ装着による影響について

2016年に製作したイナータ（図1）は、フロントサスペンションのアンチロールバーに取り付けられ、路面の入力に対しリンクを介して作動する。イナータの構造は図2に示す様にサスペンションからの振幅を、ボールネジを介してはずみ車の回転運動に変換している。

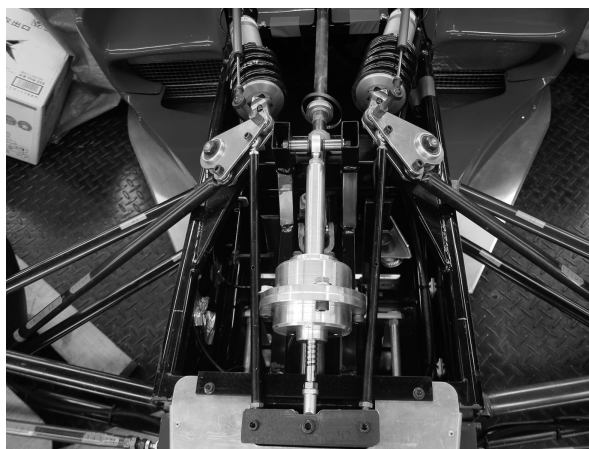


図1 2016イナータ

振幅を回転運動に変えることにより、今までのスプリング・ダンパーだけでは対応できなかった加速を制御し、サスペンション振幅を適正に保ち

タイヤのグリップ性能を上げる狙いがあったが、ポストリグ試験の結果では S-FJ にイナータを取り付けることにより減衰が強くなり過ぎタイヤが振幅を吸収してしまっている真逆の性能<sup>1)</sup>と判断をした。試験結果からはイナータの希望結果を得られないまま、2017年6月に鈴鹿サーキットにてテスト走行を行った。LAP Time とアクセル開度を以下に示す。

表1 2017. 6月イナータテスト

走行順	LAP TIME	イナータ有無
1回目	2'20"223	無し
2回目	2'19"418	無し
3回目	2'19"684	有り
4回目	2'18"016	有り

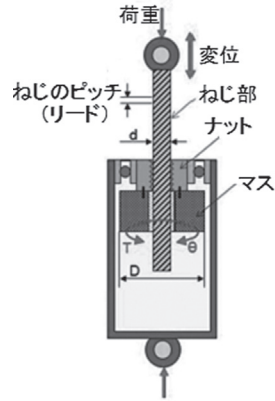


図2 イナータ模式図

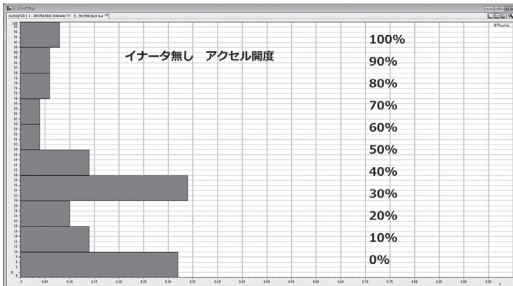


図3 イナータ無しアクセル開度

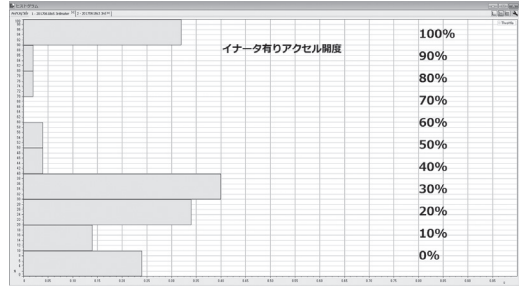


図4 イナータ有りアクセル開度

表1は、1回につき30分のテスト走行を4回行い、3、4回目にイナータを取り付け比較した結果である。4回目のイナータ有りでLAP Timeが速くなっている事がわかる。イナータ装着時のドライバーの感想は、「1、2コーナーなど大きなコーナーでステアリング修正が必要なく安定して走れる。」であった。走行結果をデータログで確認したところステアリング操舵に若干の違いが確認されたが、それ以上にアクセル開度に変化が見えたので図3、図4に1、2コーナーにおけるアクセル開度ヒストグラムを示す。横軸に頻度を縦軸はアクセル開度になり、図3、図4を比較すると、図4はアクセルが100%と30%以下に集中している。これに対して図3では40%以下に集中している。つまり、イナータ有りはドライバーの感想通り、マシンの挙動が安定しているためにアクセルを100%開ける頻度が多くなったのである。

ポストリグ試験結果からは、タイヤが弾み、グリップが下がると思われたがこの結果よりイナータは機能し走行結果が向上しているといえる。

しかし、デグナーコーナーなどすばやく向きを変えるコーナーではマシンの動きに遅れを感じる問題が出てきた。イナータの効果上車両の急激な減衰を減少させる働きがあり、ここではポストリグ試験結果も踏まえ、イナータの効果がS-FJに対して過大と考え、慣性力の少ないイナータ

タを製作することにした。

### 3. 2017仕様イナータ改良及びテスト走行

軽く作動する為の改良点は、ボールネジのリード（ピッチ）図2を2016仕様の10mm から20mm とし、入力に対してはずみ車（マス）が軽く作動するようにした。調整幅を維持する為、マス重量を追加できるようにもし、軽い方を A, 重い方を B とし2016, 2017 A, B イナータ諸元を表2に示す。また、マシンへの取り付け方法（図5）も左右の入力に対して個々に反応できるようにしイナータ変位量も増えるよう改良を加えたが、図面上で確認したところ左右同相時でダンパーとほぼ同量の変位しもなく2016仕様と同様の変位量であった。

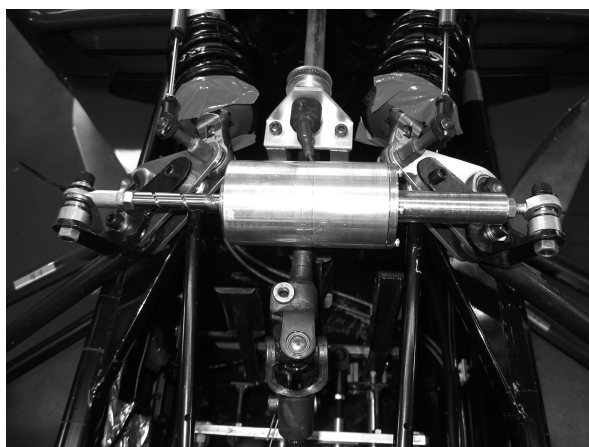


図5 2017イナータ取り付け

2017年12月に鈴鹿サーキットで走行テストを行ったが当日はウエット路面で、徐々に乾き始めるコンディションであった為作動テストには差し支えない状態と判断し表2にある2017 A をテストした。LAP Time は2' 18" 650と6月の走行と比べると0" 634秒遅かったが、路面状況を考慮すれば改良前と同様のLAP Time であるといえる。ドライバーの感想は「デグナーコーナーで操舵の反応が遅い、2コーナーの出口で他車に遅れる。」であった。2017A 仕様のイナータも2016仕様と同様の特性を示し、軽く作動する事の利点が見出されなかった。週末にレースを控えていたこともあり、2017B の走行テストは見送ることにし、ポストリグ試験に委ねる事にした。

表2 イナータ諸元表

	2016	2017 A	2017 B
マス重量 g	94	140	330
マス外径 mm	44	24	44
リード mm	10	20	20
シャフト径 mm	12	12	12

\*2017A と 2017B では、マス重量を変えてある

#### 4. イナータ比較

##### 4-1 加速度

2016, 2017仕様のイナータを製作し, 走行テストを行った結果どちらも高速コーナーでは安定し, 急激に向きを変えるコーナーでは操舵に遅れを感じる傾向にあることがわかってきた。これは, イナータの特性として存在するものであり, 長所短所を理解し, S-FJ とドライバーの感性に合わせる必要が出てきた。そこで, 長所であろう鈴鹿1, 2コーナー(高速コーナー)でのダンパー加速度の割合をデータログより表3, 図6にまとめ, 検討してみた。

表3は, S-FJ フロントダンパーの加速度の発生回数をまとめたものである。加速度の(-)はリバウンド方向, (+)はバンプ方向をあらわし, 表3, 図6で加速度を比較することにより振幅の変位量では比較しにくい微細な動きを比較することが出来る。加速度を求めるために左右のダンパーストロークを50Hzで計測し, 縁石乗り越えの数値をなるべく減らすため左右の平均とした。数値が大きくなると加速度も増すことになる, 図6は表3をグラフに表し横軸に加速度段階として表3の加速度を用いた, 縦軸に出現回数を表示している。

図6から加速度の多くは,  $-280 \sim 280 \text{ mm/s}^2$ に集中している, その後バンプ, リバウンドともに加速度が増すと出現回数が減少する傾向にあるが, イナータ無しではバンプ側1961~2240  $\text{mm/s}^2$ まで加速度が出現しているが, イナータ有りは低くおさえられている。リバウンド側は

表3 ダンパー加速度発生回数比較

加速度 (mm/s <sup>2</sup> )	イナータ無し	2016仕様	2017A仕様
-2240~-1961	0	0	1
-1960~-1681	0	0	1
-1680~-1401	0	4	2
-1400~-1121	0	1	5
--1120~-841	4	14	12
-840~-561	34	30	23
-560~-281	75	75	68
-280~-1	164	161	186
0~280	131	145	139
281~560	67	61	58
561~840	27	22	21
841~1120	11	19	9
1121~1400	5	5	13
1401~1680	2	0	5
1681~1960	2	3	0
1961~2240	5	0	0

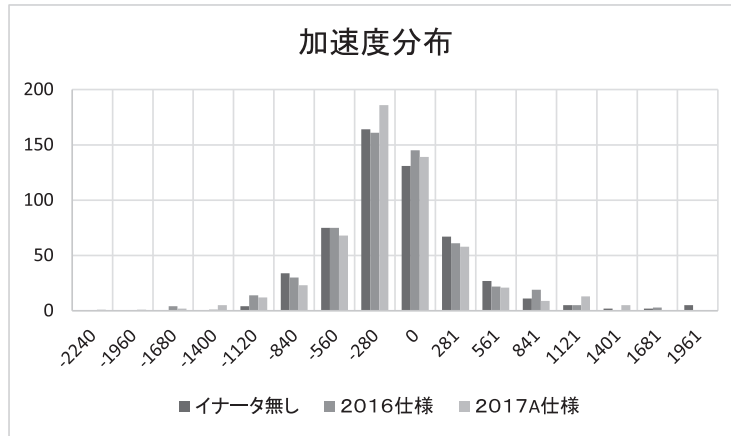


図6 ダンパー加速度分布

イナータ無しでは $-1120 \sim -841 \text{ mm/s}^2$ であるのに対してイナータありは $-1680 \text{ mm/s}^2$ まで出現している。イナータ有りの加速度は $0 \text{ mm/s}^2$ を中心にバンプ、リバウンドの値が平均的であるが、イナータ無しではバンプ側に片寄っていると見え、この結果をタイヤのグリップ増減の見地からすれば、高速でサスペンションが動くことによりタイヤの接地圧がはげしく変化しグリップレベルが低下することになるので加速度が低く抑えられていることが望ましく、イナータ有りは加速度を低く抑え理想に近いといえる。2016仕様では加速度が全体におさえられ高速域での出現も少ない、2017A仕様もイナータ無しと比較すれば高速域での出現回数が少なく、これにより操舵が安定したと言える。

走行テストデータよりイナータの影響を計算で求め表4に示す。計算式は富樫研究所<sup>2)</sup>のイナータの計算式を使用し、加速度は1、2コーナーの平均を算出し $1.7 \text{ mm/s}^2$ とした、マス重量を変えた2017B試算値も合わせて求め現状の把握をした。

$$\text{Inertance} = \left( \frac{2\pi^2 \cdot m \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\text{pitch}^2} \right) (\text{kg}) \quad (1)$$

$$\text{Inerter Force} = \left( \frac{2\pi^2 \cdot m \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\text{pitch}^2} \right) \ddot{x} (\text{N}) \quad (2)$$

Pitch；リード (m)      m；mass (kg)      D；daameter of mass (m)       $\ddot{x}$ ；acceleration

表4 イナータ力比較

イナータ仕様	2016仕様	2017 A	2017 B
Inertance	10.7 kg	1.0 kg	7.9 kg
Inerter Force	18.8 N	1.6 N	12.7 N

リードが細かい2016仕様は質量が大きく、Inerter Force 値も2017A仕様ではサスペンションの動きに1.6Nmしか作用していないが、2016仕様では18.8Nmと10倍以上の力を発生している。図6の結果と比較するとイナータの作用が大きいほど加速度が低く抑えられている事が読みとれたが、Inerter Forceが実際の走行に及ぼす影響については、2017A, Bの比較を行い、イナータの利点を明確にさせていきたい。

#### 4-2 操舵比較

ここまで、イナータの利点について報告してきたが、不利な点としてデグナーコーナーにおける操舵反応遅れがあるログデータからデグナーコーナーにおけるFLダンパーのバンプに要した時間とアクセルオフの時間を表5にまとめて報告する。

コーナーリング進入では、フロントタイヤに荷重を掛けながら操舵をするのでダンパーが早く沈み込む(荷重移動を素早く行う)必要があり、それにより操舵も早く完了することによってアクセルを早く踏み込むことが出来る。表5 イナータ有無を比較すると、ダンパー沈み込み時間では2016仕様で0.15秒遅く、2017A仕様では、0.051秒速い結果になった。この値であれば2017A仕様はよい結果と言えるのだが、アクセルオフ時間が、イナータ無より多くなっている。2016仕様ではダンパー沈み込みに時間がかかり、2017A仕様では、進入以外に問題があるといえ、さらなる原因調査が必要である。

表5 デグナーコーナー比較

	ダンパー沈み込み時間(S)	アクセルオフ時間(S)
イナータ無	0.135	1.636
2016仕様	0.285	2.299
2017 A仕様	0.084	2.209

#### 5. イナータ取り付け考察

2016仕様の取り付け方法(図1)は、フロント左右ARBをつなぐことによりイナータを取り付けていた。この方法ではARBに強弱をつけることが出来ないため、別にイナータ用のシャフトを図7に追加しARBの調整機構を残し走行テストを行ったが、結果としてはタイヤからの入力に対しARBのねじれ応力がイナータの力よりも大きくなった時にイナータが作動し、バンプ、リバウンドともにイナータの動きに遅れを生じた、ドライバーからは「動きが理解できない。」と意見され、5Lap程度で図1の取り付け方法に戻した。しかし、図7は失敗作といえるが図1, 図5の取り付け方法の違いでも図8, 図9に示すようにポストリグ試験グラフに特徴を見出すことができた。

図8, 9の矢印はイナータの取り付けによる効果が顕著に現われている部分を示す。どちらも、

イナータの仕様を変えても同様の結果がグラフに出現した。この事により、イナータ特性以外の可動リンクの特徴による結果としてみる事ができ、車輛への影響にも期待できる。また、ポストリグ試験時にイナータの力が増すと図9矢印のグラフが上に伸び、現段階では2017仕様取り付けが良いと思われる。

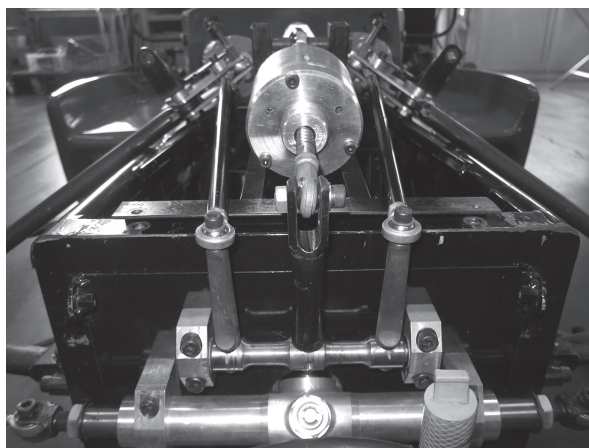


図7 3本 ARB 仕様

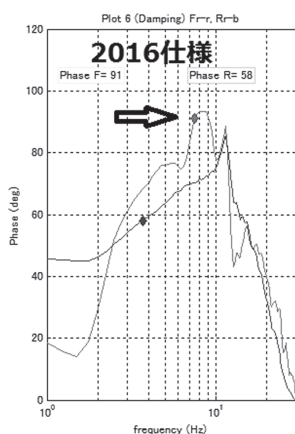


図8 2016減衰力

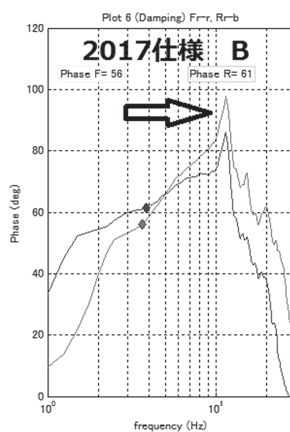


図9 2017減衰力

## 6. ま と め

今回の試験にて得られた結果は以下の通りである。

- ① イナータを取り付けることにより、鈴鹿サーキット1, 2コーナーで操舵が安定し、フルスロットル頻度が上がる。
  - ② イナータ取り付け後デグナーコーナーなどすばやく向きを変えるコーナーで操舵に遅れが生じる問題がある。
  - ③ イナータ取り付け方法による影響も考慮する必要がある。
- ①と②は互いにイナータの持つ特性が影響し、消すことは出来ない問題であるが、今後、③の取

り付け方法やイナータに改良を加え、サーキット走行に満足できるイナータを模索していきたい。

## 7 謝 辞

今回の研究，ポストリグ試験評価で多くの教示をいただいたルマンの富樫氏，森本氏に謝意を表します。また，走行試験でS-FJをドライビングしていただいた八巻氏と，研究に協力していただいた中日本自動車短期大学 MSE 学科の諸君に感謝します。

## 参 考 文 献

- 1) イナータの試作およびポストリグ試験 中里武彦 中日本自動車短期大学論 叢第47号
- 2) <http://aollw.broada.jp/cantalwaysget/> 富樫研究開発
- 3) Malcom C, Smith, Fellow, IEEE, Synthesis of Mechanical Networks, The Inerter
- 4) 竹原 伸 初めての自動車運動学, 森北出版, (2014)
- 5) 酒井 秀樹 自動車の運動力学, 森北出版, (2015)
- 6) <http://banemasu.blogspot.jp/2014/11/2.html> ばねます日記