

ポストリグ試験に基づくダンパー減衰の最適化について

Optimization of Attenuation Based on the Results Obtained by the Post Rig Tests

加藤 泰世 中里 武彦

Yasuo KATOH Takehiko NAKAZATO

This paper is a report analyzing the damper attenuation of Super FJ which we are doing in the class at post rig. In this report the results are described about the properties of dumper displacement influenced on the variation of loading frequency and grounding presser of the tire.

1 はじめに

本学 MSE 学科 2 年生を対象としたモータースポーツ演習Ⅲの授業の一環として、Super-FJ を使用したポストリグ試験¹⁾を行っており、本報は本年度実施した試験の結果を示したものである。ポストリグ試験では、車両 4 輪に直接振動を与え、実走行では測定不可能なタイヤのグリップに直結する「加振による接地圧の変動」や「車体の揺れに伴う各部の振動」を数値で把握することで、走行性能を判断することが可能である。

自動車の運動性能は、サスペンションに左右されやすく、中でも振動を吸収するダンパーの特性が重要である。また、ダンパー特性は振動を吸収するだけでなく、自動車を運転するドライバーの感覚とも関連付けながら運動性能をいかに最大限に発揮させるかという事も重要な点の一つである。

以前からレースの業界では、ポストリグ試験が実施されており、サスペンションのスプリングの選定やダンパーの調整などで威力を発揮してきた。現在も新技術が開発され続けているこの分野であるが、本報はレース参戦で使用する Super-FJ で行ったポストリグ試験によって「路面接地」の立場を含めた最適化の手法を調べた結果である。

ポストリグは、別名で 7(セブン)ポストとも称され、4 輪への加振を与える油圧ポストモ



図 1 ポストリグと Super-FJ

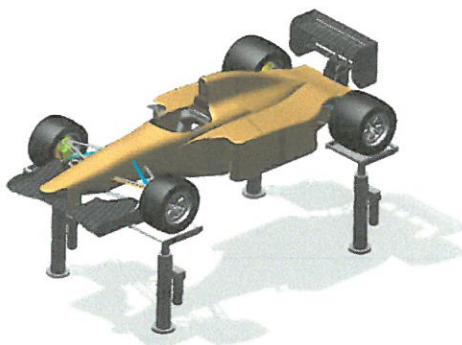


図 2 ポストリグ接地²⁾

ジユール4機の他に車両の挙動であるピッキングと、ロール運動を強制的に与えるための油圧ポストモジュール3機を加えた7機のポストモジュールのことを略して7ポストと称するが、今回の試験では、4輪への加振のみ行う4ポスト²⁾で行った。(図1、図2)

測定箇所は、ポストリグの上面に荷重計が取り付けられており、加振による荷重の変化を経過時間に対して測定した。また、入力に対するダンパーストロークの変位と速度、およびタイヤ(駆動軸)の変位も合わせて測定した。

タイヤの接地性を高めるためには、タイヤと路面の接地圧の変化(負荷変動)をなるべく少なくし、路面入力振動によるバネ上・バネ下共振も抑えることが望ましい。このような、接地圧と共振点の調整は走行の中で把握し調整することは困難であり、また、ポストリグ試験が優位とする分野である。

2 ポストリグ試験の目的

ポストリグ試験の目的は、Super-FJ(以後S-FJと記す)レースに参戦するにあたり、サスペンションに関する知識を得ることである。サーキットでの走行中ではドライバーからの要望(操縦安定性)を重視したサスペンション調整になりがちであるが、ドライバーからの要望は乗り心地の感覚などが優先されることもあるのでレース結果に対しては必ずしも最適とは限らず、こうした点を改善するためにタイヤ接地性を高めるための調整方法について調べる必要がある。今回使用したS-FJの概要について表1に示す。

表1 S-FJポストリグ試験車両概要

項目	概要
シャーシー	MYST KK-S II
ホイルベース	2420mm
トレッド	(F,R)1580mm
最低地上高	50mm
エンジン	1500cc(HONDA L15A)
重量	497kg(ドライバー込み)
タイヤサイズ	(F) 150/575R13 (R) 170/605R13
スプリング	F 450lb/inch R 500lb/inch
ダンパー	MYST製(Rebound/Compression共通32段)

また、慣性力を利用したイナータを取り付けることによる車両への影響と、イナータによるサスペンションの最適化について調べることも一つの目的である。

イナータの利点は、車輪からの負荷を軽減させることにあり、このような特性を生かした例としてエンジンのフライホイールがある。すなわち、軽いフライホイールは車輪から

の負荷の増減に敏感であるが、重いフライホイールは負荷の増減に急激には反応しない。このように、イナータの取り付けによって、サスペンションの性能を向上させることが期待できる。

なお、昨年も同様にイナータの取り付けの効果に関する試験¹⁾を行ったが、今回はイナータへの振動による変位の与え方を変更し、イナータンス（イナータの持つ力）が低くなるように改良を加えた。

イナータンスを低くした理由は、昨年のイナータを車両に取り付け鈴鹿サーキットを行った結果、1コーナー・2コーナーではフロントのグリップが安定し、ステアリングの修正がほとんど必要なかったのに対し、急激に向きを変えたいデグナーコーナーでの操舵に遅れを感じるといったドライバーからの要望に応えるためである。

ここでは、イナータ特性について改良前の昨年の結果と区別するため、「2016 イナータ」・「2017 イナータ」のように作製年度が分かるように表記することとし、また本年度作製した「2017 イナータ」についてはウェイト（図5に示すマス重量）の異なる2種類の条件で行なっている。これらのイナータの取り付け方法と諸元を（図3、図4、表2）に示す。なお、表2に記したイナータの諸元については、図5に示すとおりである。

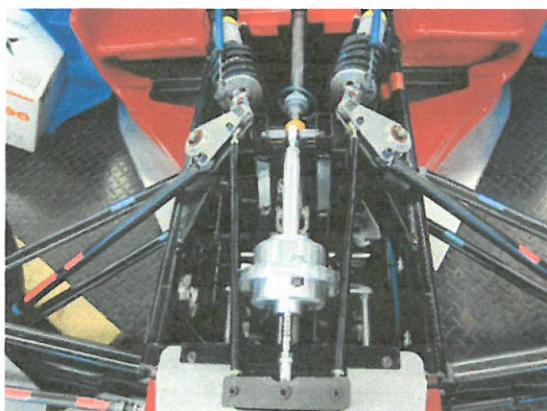


図 3 2016 イナータ取り付け

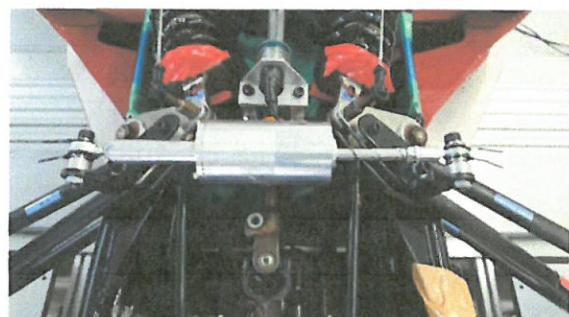


図 4 2017 イナータ(A,B)取り付け

表 2 イナータ諸元

	2016 イナータ	2017 イナータ A	2017 イナータ 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

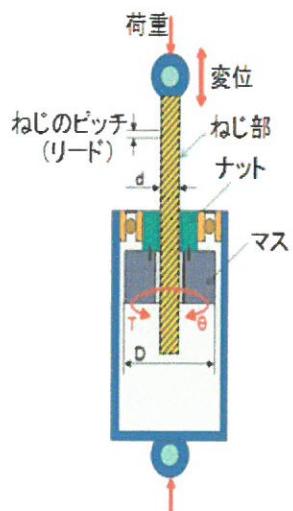


図 5 イナータ模式図³⁾

図3、図4の両図からも分かるように2016イナータでは、左右のダンパー変化に個別に応答することができなかったが、2017イナータでは左右からの入力に対応できるようにした、また、入力ストロークを大きくしようと改良を試みたが、図面上ではどちらも同相ではダンパーストロークとほぼ同じストローク量であった。

尚、ポストリグ試験の前に行なわれた鈴鹿サーキットでの走行では、2017イナータAを用いたが、その時のドライバーからのコメントでは2016イナータと際立った差異がなく、今回はレース前であったので2017イナータBを用いたサーキットでの走行は控えた。今回のポストリグ試験では両方の試験を行ったので合わせて報告する。

3 試験内容

試験内容は下記の3通りである。

- (1) ダンパー・アジャストに伴うダンパー変位の周波数特性の変化
- (2) ポストリグ試験結果とサーキットでのロガー・データとの比較
- (3) イナータ取り付けによるダンパー特性の影響

なお、加振条件として、ヒーブ試験、ロール試験の2種類で行った。ヒーブ試験は左右のタイヤに同相の加振を1Hzから30Hzまで周波数を徐々に変化させながら、逐次サスペンションの特性を測定するのに対し、ロール試験は左右のタイヤに逆相の入力を与え、主にアンチロールバー（ARBと記す）の変位測定を行った。なお、ヒーブ試験は同じ試験を2回ずつ行い計測した。

試験番号（Runに番号を付して表記）と内容、条件を表3に示す。表中に示すダンパーの数値であるが、ダンパーは32段階に強さを変えることができるため、強い方からの弱い方への段階をフロント側とリア側でそれぞれ示した値である。尚、この表には、これ以降の考察で取り上げていない内容も含めた全ての試験内容を示している。

表3 ポストリグ試験内容

Run	内容	加振条件	ダンパー		Front ARB (deg)	Rear ARB (deg)	空気圧 (kPa)
			Front	Rear			
1,2	F プリ -0.5T (鈴鹿決勝)	ヒーブ	18	18	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4
3,4	F プリ 0T	ヒーブ	18	18	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4
5,6	F,R 6 クリック ハード	ヒーブ	12	12	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4
7,8	F,R 12 クリック ソフト	ヒーブ	24	24	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4
9,10	2015 鈴鹿セット	ヒーブ	18	12	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4
11,12	F 10 クリック ソフト	ヒーブ	28	12	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4

13,14	F イナータ取り付け	ヒーブ	28	12	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4
15,16	F イナータ ウエイト追加	ヒーブ	28	12	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4
17,18	F イナータ ロッドエンド固定	ヒーブ	28	12	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4
19,20	ピッティング共振	ロール	28	12	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4
21,22	ロール共振	ロール	28	12	22.5-0	45-22.5	1.4/1.4
23	F ARB	ロール	28	12	45-22.5	45-22.5	1.4/1.4
24	F ARB	ロール	28	12	45-11.25	45-22.5	1.4/1.4
25	F ARB	ロール	28	12	45-0	45-22.5	1.4/1.4
26,27	AIR プレッシャー基本	ヒーブ	28	12	45-0	45-22.5	1.4/1.4
28,29	AIR 前後 0.2 上げ	ヒーブ	28	12	45-0	45-22.5	1.6/1.6
30,31	AIR 前後 0.3 下げ	ヒーブ	28	12	45-0	45-22.5	1.3/1.3

4 ポストリグ試験結果

4.1 ダンパー・アジャストに伴うダンパー変位の周波数特性の変化

はじめに、周波数に対するダンパーの変位について報告する。図 6 は表 3 の Run3,5,7 の測定結果であり、横軸に周波数、縦軸にダンパーの変位を mm で表示したものである。赤のグラフがフロントダンパーの変位、青がリアダンパーの変位である。フロント・リアともに縦軸の 0 mm が自然長の位置になり、プラス方向が縮み (compression) で、マイナス方向が伸び (rebound) を意味している。加振によってダンパーの変位が加振の周波数に応じて変化していく様子を示しており、このグラフで縮み側での振幅の最大値がバネ上共振になり、またバネ上共振の右にピークが現れる高い山がバネ下共振になる。

プラス側の山とマイナス側の山の中間付近に黒い振幅範囲が存在するが、これは、周波数に対する振幅の平均値の範囲を表している。黒で示した振幅の範囲が中心より上側（縮み側）にあるのはダンパーが縮みやすく伸びにくい状態を示す。これをジャッキダウン現象と言う。

タイヤの接地性からみれば、これらのグラフの山（ダンパーストローク）は低く抑えられ、すなわち共振時の振幅が小さくなり、また伸び側と、縮み側の振幅の値は同じになる

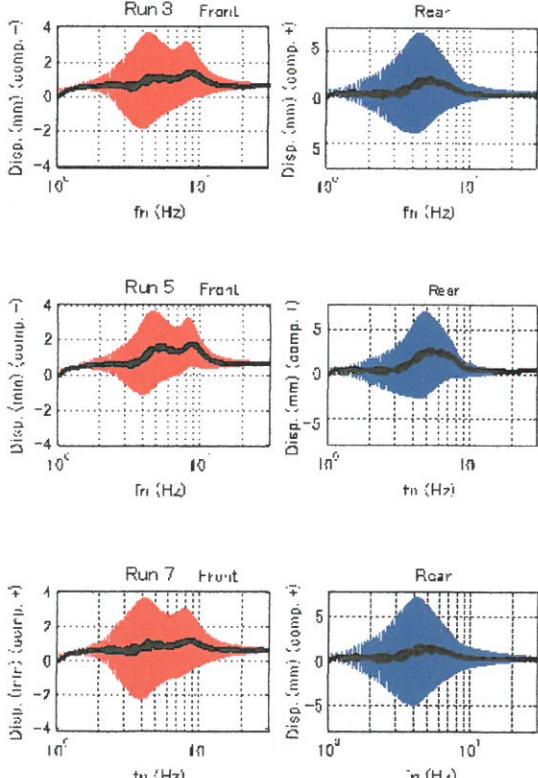


図 6 ダンパー変位の周波数特性

ことが望ましい。

Run3 は、今回の S-FJ のレースで基本セットになる、このセットを採用したのは、ドライバーのコメントによる学生達の見解で合わせて得られた結果である。グラフから読み取れるのはフロント 8Hz 付近にバネ下共振点があり、大きくジャッキダウン現象が起こっているようである。リアは 4~6Hz 付近にジャッキダウンがあるが、比較的対称的である。

RUN5 では前後のダンパー減衰を 6 クリック固くしたことによりグラフが上側に移動し、縮み側の変形が顕著であるのに対し伸び側の変形が小さくなる傾向が認められる。

一昨年この S-FJ を走らせ始めたときも同様の結果が得られており、当時のドライバーからもコーナー進入でフロントタイヤがグリップしない、高速コーナーでもグリップしないなど Run5 のグラフに示す内容と同じコメントであった。

Run7 は Run5 とは逆に Run3 より減衰を柔らかくした場合の結果であるが、Run3 および Run5 と比較するとダンパーの変位に縮み側と伸び側での対象性が明確であり理想的であるといえる。特にリアのグラフは対称的でタイヤ接地の安定が見込まれるが、この位置での走行はまだなく、今後の走行で確認したい。

4.2 ポストリグ試験結果とサーキットでのロガー・データとの比較

図 7 は、Run1 と Run3 の比較である、Run1 は、レースにおいてドライバーから Run3 でのアンダーステアの症状を改善してほしいとの要望に応えるために、フロント車高をスプリングシートで下げ、重量バランスをフロントに移動したのである。減衰は調整していないが、フロントのグラフが、ほぼ対象的に近くなっている、一方、Run1 と Run3 ではバネ上共振に際立った差異は認められない。固有振動数 f_n を求める式は、

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (k: \text{ばね定数}, m: \text{質量})$$

であり、フロントでの接地圧が大きくなるように車高を調整したことによって理論上はフロント荷重の変化が減衰にも影響及ぼしてきていたと言える。実際にドライバーのコメントもアンダーステアが減ったということであった。

ここでは、Run1, Run3 の走行データーの中のダンパーストロークのデーターも合わせて報告する。図 8 と図 9 は Run1,3 それぞれの鈴鹿サーキットスプーンコーナーのサスペンションの動きをグラフにしたものである。

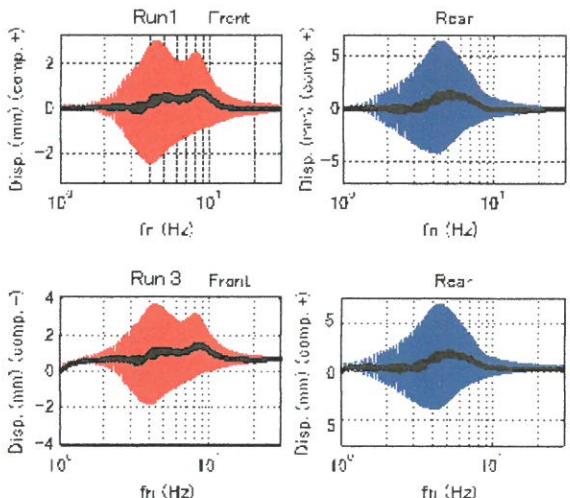


図 7 重量バランスの改善に伴うダンパー変位の周波数特性

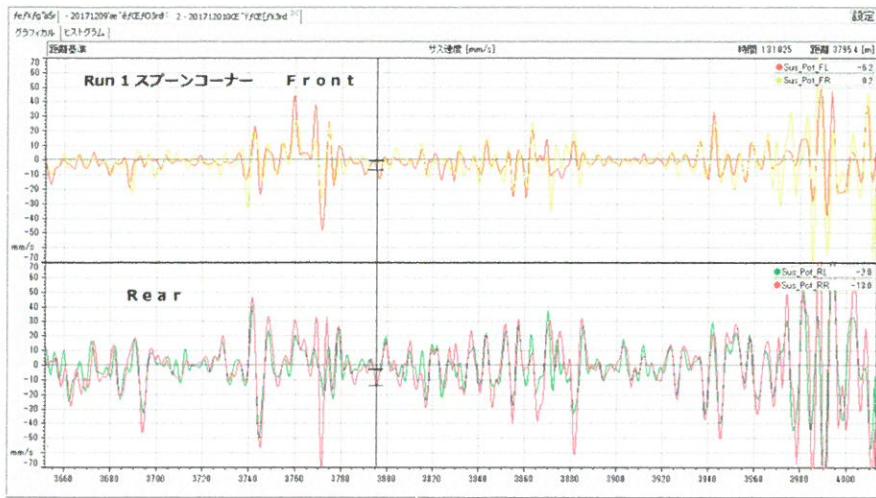


図 8 Run1 鈴鹿サーキットスプーンコーナーのサスペンション

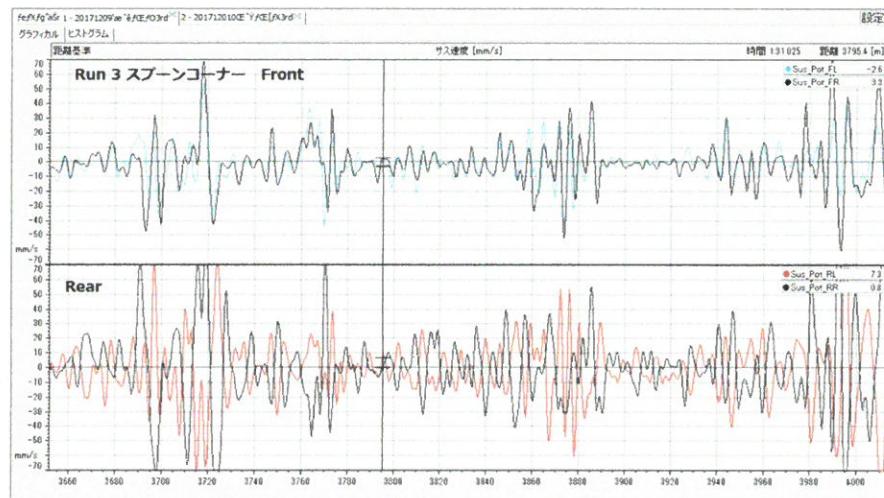


図 9 Run3 鈴鹿サーキットスプーンコーナーのサスペンション

Run3 ではサスペンションが大きく動き、タイヤの接地圧も変動しているが、Run1 では安定した状態になっている。こうしたことからもドライバーのコメントとも一致し、ポストリグ試験の有意性が確かめられた。

4.3 イナータ取り付けによるダンパー特性の影響

ここでは、イナータの試験結果について報告する。図 10 にイナータの測定結果を示す。上から Run1, Run 11, Run 17 の結果を示しており、Run17 はイナータを取り付けた状態のデータである。

Run11 は、今回のポストリグ試験の中で理想に近い状態に調整したものである、Run1

にあるバネ下共振(2つ目の山)部分が軽減されているのがわかる、Run11の状態にイナータを取り付けたのがRun17である。

イナータに期待するのは、路面からの入力に対するダンパーの振幅を低く抑えることでタイヤ接地圧を一定に保つことであり、その意味からRun17を見ると若干ダンパーストロークが抑えられていることがわかる。若干ではあるが機能していることが明らかとなった。実際に1, 2コーナーでは安定しているとドライバーコメントも頂いているが、もう少し振幅は抑えたいところである。

全体的に上に移動しているのはイナータの摺動抵抗によるものと考えられる。

減衰の強さを比較したグラフを図9に示す。図11のグラフの赤い線がフロント減衰の強さを示す、細い線がRun11で太い線がRun17である、このグラフからもわかるようにイナータを取り付けたことにより6Hz以降の減衰自体は大きくなっているが、さらに大きなイナータを組み込むとこの部分のグラフが上に伸びてくることになる。

この試験で、イナータが有効であることは判明したが、コーナー進入での操縦安定性の部分は残念ながらポストリグ試験では再現できなかった、操縦安定性については今後の課題としたい。

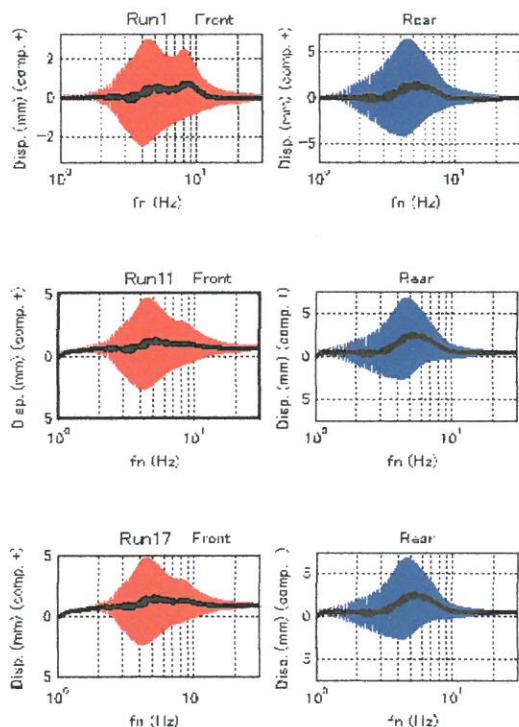


図10 イナータの取り付けによる
ダンパー変位の周波数特性

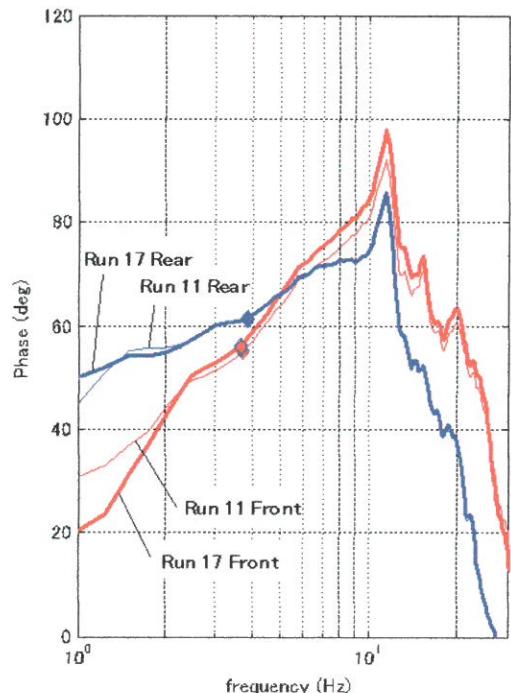


図11 イナータの取り付けによる減衰変化

5 まとめ

今回のポストリグ試験を通して、ダンパー変位と周波数特性の様々な関係を確認することができた。また、ダンパー変位の平均値の変化からタイヤ接地圧にも各種試験条件が直接走行に影響してくることが明らかであるといえる。

具体的には、ダンパー・アジャストに伴う周波数特性および接地圧の変化が認められ、ウェイト・バランスをフロント側に移動させた場合の周波数特性への影響を確認し、またイナータ取り付けによって周波数特性および接地圧にはほとんど影響が現れないが、顕著な減衰変化のあることが明らかとなった。

しかしながら、減衰だけが走行に影響しているわけではなく、操縦安定性も重要な意味を持っている、この相反する要望をどこまで取り入れることが出来るかがレースで勝つための条件になってくる。今後も学生とともに挑戦していきたい。

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) www.isid-industry.jp 電通国際情報サービス
- 3) <http://aollw.broada.jp/cantalwaysget/> 富樫研究開発