

走行データの頻度分布解析

中里武彦

1 はじめに

サーキット走行での目的として、いかに速く走行できるかが目的の一つにあげられ、この目的達成の為ドライビング技術や車両の運動性能向上に努めている。そうした技術向上の一助となるのがデータログ及びデータ解析ソフトであり以前より多くの人が使用してきたがデータ解析にはさらなる可能性があると考ええる。

本学では2車種のS-FJを使用しレースに参加または、テスト走行時に車両の調整を行うことによる学生の技術向上や運動性能についてデータログを使用し理解を深める授業を行ってきた。

今回、S-FJ走行比較及びデータログを使用し、車両特性をより深く読み解くことによりイナータの有意性とその効果について報告する。

「中日本自動車短期大学論叢 第48号 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」⁵⁾ 第2報としても合わせて報告する。

2 テスト車両諸元

テストで使用するS-FJは、2007年製造のWEST-07J（以後07Jとする）と2015年製造のMYST-KKS-2（以後KKS-2とする）を使用し、この2車種を比較すると07Jはコーナリング中の操縦性に不安定な挙動が多く発生する傾向にあることがわかってきた。

この2車種にはおよそ8年の製造差があり、現在のレースでは後続機のKKS-2が上位の成績をおさめる頻度が増えてきている理由として操縦性の安定化、サーキット走行の適正化などが考えられ、この2車種を比較テストすることによりS-FJの特性を探求し07Jへの応用を探りたいと考え、今回テストに使用した2車種を下図に示し、下表にKKS-2と07Jの諸元を示す。



図1 MYST KKS-2



図2 WEST 07J

表1 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 KKS-2 はロングホイールベース、ナロートレッドであり、07J はショートホイールベース、ワイドトレッドであると言え、ドライバーからの走行の感想では、「07J は KKS-2 と比較してピッチングの頻度が多くコーナーでのコントロールが難しい」といった走行感想と、データログによるピッチング比較の結果07J では大きくピッチングしていることが判明した。ピッチングは車両前後方向の姿勢変化として現れ、主に加減速時に発生する。ピッチングにより起こされた姿勢変化は同時に荷重変化をもたら

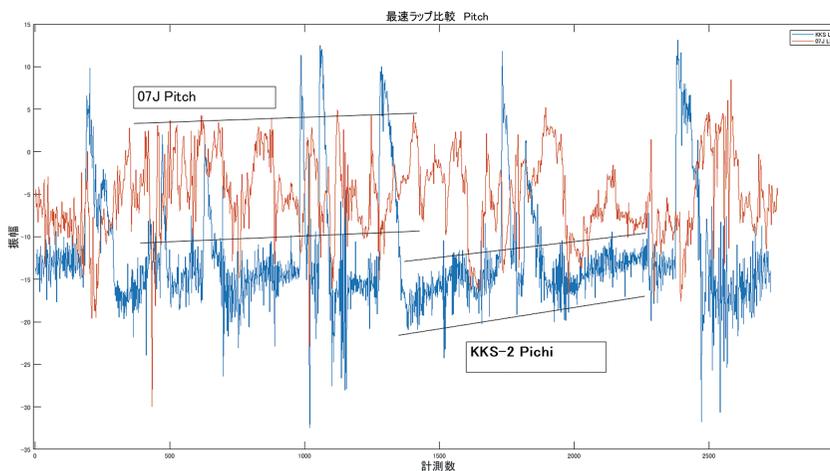


図3 ピッチング比較

しハンドル操作に影響を及ぼすことになり、図3にピッチング比較グラフを示す。

図3に示すグラフはKKS-2と07Jによる鈴鹿サーキット1周の間に発生するピッチングの大きさを示したものであり2つのグラフを重ねて表示することにより振幅の大きさを比較できる。上段のグラフは07Jの鈴鹿サーキット1周の中で現れるピッチングの状態をあらわし下段のグラフは同条件のKKS-2のピッチングである。下段KKS-2では小幅な振幅がまとまって出現しているのに対し07Jでは1周を通し大きな振幅を繰り返していることが見える。

ドライバーからの走行感想と図3比較グラフによりピッチングの差異に着目し07JとKKS-2のホイールベースには112mmの違いがあり、ロングホイールベース化することによりピッチングの振幅が縮小され操縦安定につながるのでは、と予測を立てホイールベース延長によるピッチング低減をテストすることとした。

3 テスト概要

ホイールベース延長方法は、07J サスペンション・アームを新規で設計、製作し延長する事とした。前後輪の選択ではレギュレーションにより後輪車軸を後方に移動することができず前輪を前方に移動させることにより延長し、延長距離の選定は車両構造上サスペンション・アームの変更のみで延長できる最大限である120mm 延長する事にした。図4に製作したサスペンションと表2にテスト順番と内容を示す。



図4-1 120mm アッパーアーム



図4-2 120mm ロワアーム

表2 07Jテスト内容

テスト順番	日時	テスト内容	ホイールベース	ドライバー	走行タイム
基本	両日	07J (STD)	2313mm	三瓶, 八巻	2'17"649
①	2/23	07J (120mm Long)	2433mm	山下, 八巻	2'19"241
②	12/13	07J (40mm Long)	2353mm	山下	2'24"00
③	12/13	07J (40mm+ イナータ)	2353mm	山下	2'24"64

図4のサスペンション・アームは、ダブルウィッシュボーン式サスペンションのアップーアームとロウアームである。アームのフレーム側取り付け位置は変更せずハブ側の位置のみ前方に移動するように製作し、図4の中では2つのアームが示され上が120mm 延長アームで下が純正アームとなりハブ取付位置を比較している。

表2のテスト順番には時間的開きと、その時々による乗車ドライバーも違っているが鈴鹿サーキットフルコースのみの走行結果である事と、同じ車両を使用し07J (STD) 無改造車とテスト車両は別の07J 車両を用いて比較テストを行った。

表2②③のテストは1日のテストの中で同じドライバーにより行われ、イナータの有無について比較をしている。ロングホイールベース化による前後荷重変化の制御に対し、振幅自体を低減することによる車両への影響を調査することによりイナータの効果を見出しS-FJでの実用性を探求することが目的である。また(下報5)の続報を兼ねる。

4 走行テスト

4-1 走行テスト120mm 延長

走行テストは2020/2/23鈴鹿フルコースにて120mm 延長された07J (図5) とSTDの07Jの2台により行われドライバーは山下選手、八巻選手がそれぞれの07Jで走行し、走行が安定したところを見計らい途中で車両を交換比較した。両ドライバーの感想を次に示す。

- ・リアのトラクションが掛かりにくい。
- ・荷重移動がしにくい。
- ・前後タイヤのグリップ感はあるがコーナリングしにくい、また、無理をするとスピンしてしまう。
- ・ヘアピンコーナーのスピードが遅く、ギアレシオが違うみたいだ。
- ・ブレーキの利きが悪い、長くかけているが荷重が乗らない。
- ・07Jの良いところなくなっている。



図5 120mm 延長07J

など、両ドライバーとも共通の感想であり実際の走行を八巻選手による2台乗り比べの走行タイムで比較すると07J (STD) では2' 17" 649に対し120mm 延長では2' 19" 241と約1.5秒も遅くなっている。この結果からも120mm 延長は的確ではないと言え、この現象に対する考察としてフロント重量配分の比較を行った、結果を表3に示す。

表3 重量配分比較

車両	フロント重量配分
KKS-2	42.1%
07J (STD)	42.9%
07J 120mmLong	39.5%
07J 40mmLong	41.8%

(乗車重量にて測定)

120mm 延長したことによりフロント重量が07J (STD) と比較し3.4% 減少していた、また、データログの数値から減速時ではフロントへの荷重移動に遅れが生じヘアピンコーナーの進入ではアクセルに対する車両の反応が07J (STD) と比較し0.16秒遅くなっていることが読み取れた。ドライバーの感想とデータログの数値に一致が見られ、ピッチング抑制効果は認められたが120mm 延長は過大であったと判断した。

4-2 走行テスト 40mm 延長

120mm 延長での問題点を踏まえ、新たなサスペンション・アームを製作する事とし、重心位置からの距離によるフロント重量配分を求めた結果40mm 延長した場合フロントの重量配分(表3)がピッチング抑制の指針となる KKS-2 と0.3% 違いである為40mm 延長サスペンション・アームを再度製作しテストを行った。



図6 クラブマンレース (雨)

2020/07/24鈴鹿クラブマンレースに40mm 延長を取り付け三瓶選手により参加したが、走行すべてが雨であった為、条件が違いすぎているので比較には至らなかったが三瓶選手の感想は「違和感もなく普通に走れる」にわずかな手ごたえを感じた。図6にクラブマンレース参戦時を示す。

晴れのテストは2020/12/13鈴鹿テスト走行となり、ドライバーは山下選手が担当し、整備担当の学生は代替したばかりの新2年生が担当した。

テスト結果は同日に、07J (STD) を走行していた三瓶選手の走行タイムが2' 19" 322に対し2' 24" 00と4秒遅い走行タイムであったが、ミッションが入りづらいなど問題もあり走行タイムだけの比較にはならない部分もあった。走行の感想ではアンダーステア傾向があり車高バランスやスタビライザーの微調整を行うことで適正化が得られ、今回の走行テストではこの状態がベストであるとドライバー及び学生の判断によりテストを終えることになった。07J (STD) とのピッチング比較を図7に示す。

図7よりピッチングの振幅が、STD と比較しまとまって出現し、40mm 延長されたことにより低減されたと言える。

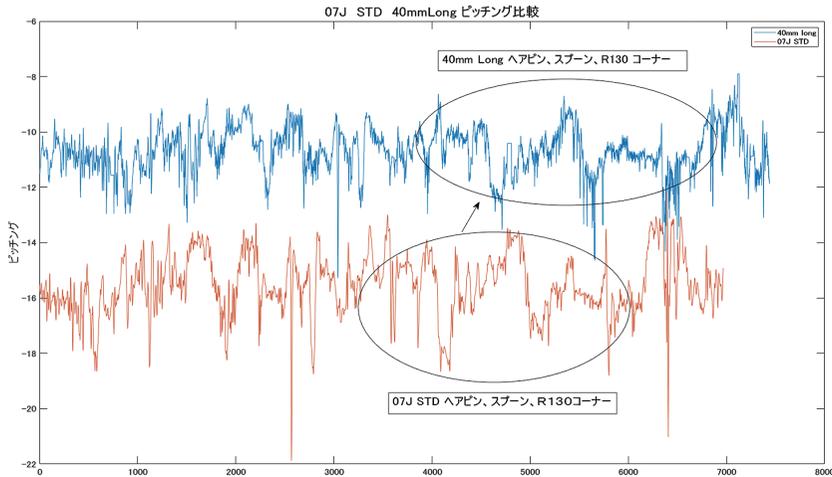


図7 ピッチング

4-3 走行テスト 40mm 延長+イナータ取付け

2020/12/13の40mm 延長でのテスト走行の中で、リア・サスペンションにイナータを取り付けピッチングの抑制効果についてもテストを行った。

イナータとはサスペンションからの振幅運動をはずみ車の回転運動に変換することにより、サスペンションの振幅を最適化する効果が期待できるダンパーである⁵⁾。

以前の研究でも S-FJ のフロントにイナータの取り付けテストを繰り返したが、当時の研究では期待する効果が得られなかった経緯があり、今回リア側にイナータを取り付けることによりピッチング抑制効果及び運動性能向上に期待をしている。テストドライバーは山下選手が担当した。イナータ取付けを図8に示す。

走行の結果、イナータの有無比較では、イナータ有りが0.6秒遅くドライバー感想では「リアが突っ張るので操作が難しい」であった。やはり期待する効果には至らないのか、もう少し微調整ができる時間があれば別な感想になったかもしれない、などを考えつつ走行にて集められたデータを確認することができた。図9にイナータの有無によるエンジン回転の比較を示す。

図9の実線がイナータ有り点線がイナータ無しである。この図からイナータ無しがエンジン回転数で高い値を示す頻度が多く感じられるが、大きく回転を落とす所も存在し全体としてばらつきが多く単純に比較するには適しているとは言い難くイナータの効果が読み取りにくい状態である。コーナーごとの詳細について比較することはこれまでにも行ってきたが的確なイナータの効果とまでは至っていない。

今回の研究ではイナータの効果を探求すべく、前回の研究とは違った解析方法を使用することにより今回のテスト走行での現象を探ってみた。



図 8-1 イナータ取付



図 8-2 イナータ取付詳細

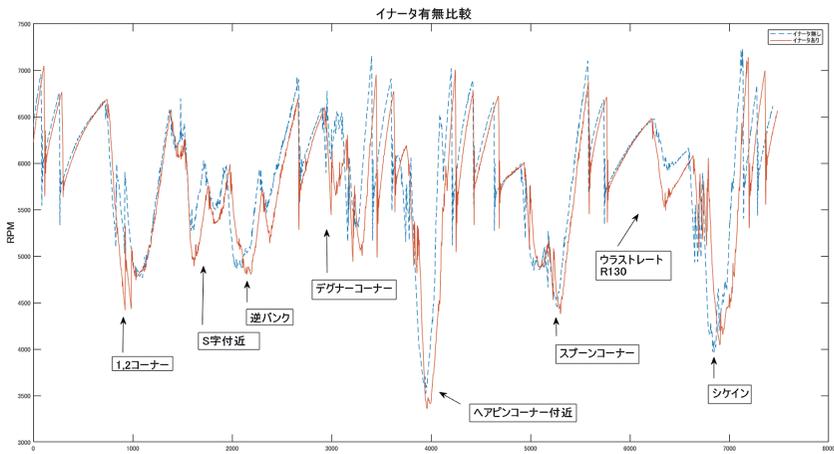


図 9 イナータの有無による RPM 比較

5 走行結果解析

5-1 散布図による解析

書籍「Analysis Techniques for Racecar Data Acquisition」(p139)¹⁾で紹介されている手法で前後加速度（以後前後 G とする）と横加速度（以後、横加速度を横 G とする）を散布図に表し、比較する方法が紹介されていた。イナータの特性上、振幅の横加速度方向に効果が表れることがすでに判明している為この手法は有効ではないかと考え、データログに内蔵された加速度センサー値から図 9 に対応する値を選び散布図で表現した結果を次に示す。

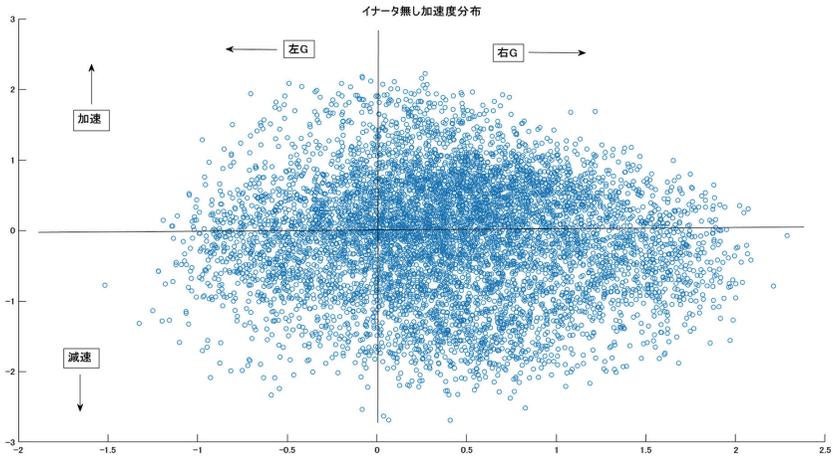


図10 イナータ無し加速度分布

図10は山下選手のドライブによる40mm 延長，イナータ無し車両の加速度を前後左右に0.02秒ごとに値をとり散布図で表した。図の中心線は前後，左右への加速度が0を意味し，x 軸から伸びる中心線の右側が右への横Gとなり左側はその逆である，またy 軸より伸びる中心線は前後の加速度を表し，中心線から上が車両の加速を表し，下側は減速を表している。図11では同様にイナータ有り車両データを表わした。

この2つの図を比較するとイナータ有りでは全体的に値が散らばり，特に左右へ広がりを見せ出現している。イナータの効果により加速度分布に変化が表れたと考えられる。私感ではあるがイナータ有りでは車両のピッチングが多少緩和されているように感じられる。しかし，走行テス

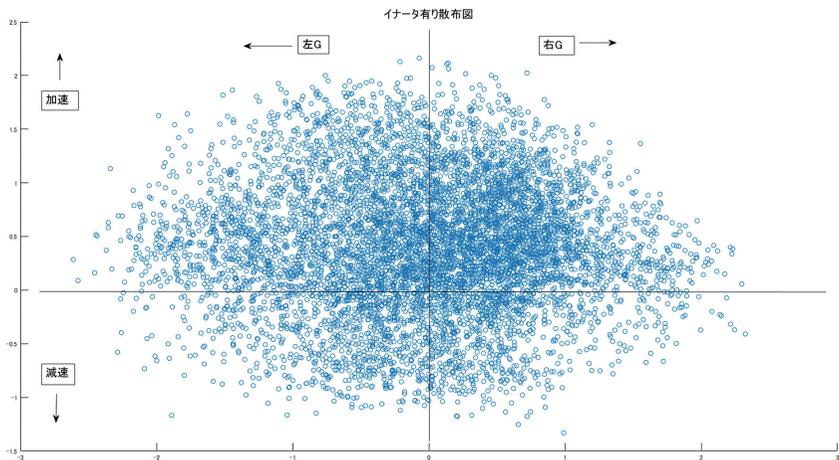


図11 イナータ有り加速度分布

ト結果ではラップタイムも遅く、ドライバーの感想が良くないことがこのグラフだけでは示されていない為さらに解析を進めてみる事とした。

5-2 ヒストグラムによる解析

次の手法としてヒストグラムによる解析を試みた、ストグラムとは縦軸に度数、横軸に階級をとった統計グラフである。データの分布状態を視覚的に認識するために主に利用され、散布図からは読み取りにくい分布を見出すことが期待できる。図12に図10、11の前後加速度データのみを選別しヒストグラムで示す。

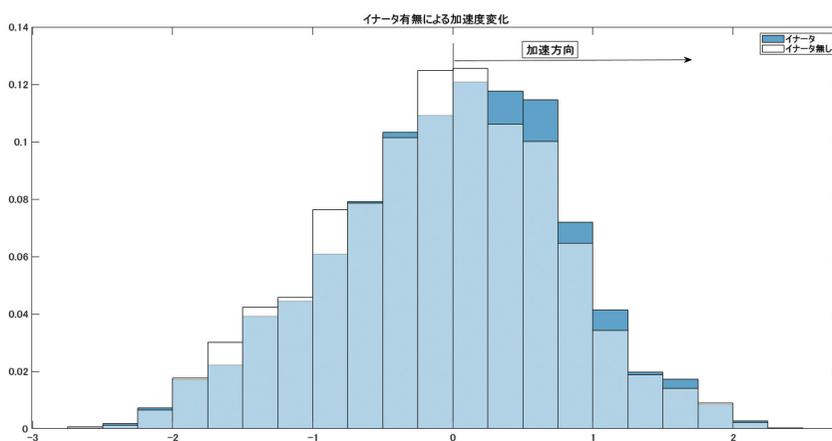


図12 前後加速度ヒストグラム

図12のヒストグラムの中心付近“0”に示すグラフは加減速が0付近の度数を表している、グラフ右側が加速方向となり中心から離れたグラフはより強い加速を示し、加速の割合により出現度数が少なくなっている、逆に左側が減速での出現度数を表し、徐々に少なくなっているのがわかる。

各棒グラフの中で白く表示されているグラフは図10で示されたイナータ無しのグラフが示した値であり、濃く表示されたグラフは図11イナータ有りで示した値である、全体を占めるグレーは図10、11どちらの図でも示す値で、大部分が重なる値となる。

濃く表記されたイナータ有りの部分に注目をすれば、車両の加速方向に多く出現している、逆に白く表記されたイナータ無しに注目すれば減速時に多く出現していることが読みとれ、このことからイナータを取り付けることにより減速の割合が減少し、加速に使用する割合が増えたことがわかる。ラップタイムを早くするためにはコーナーリングで減速した車速をいち早く加速する必要がありヒストグラムの結果は良い傾向を示している。

次に横加速を左右に分けた値をヒストグラムに示す。

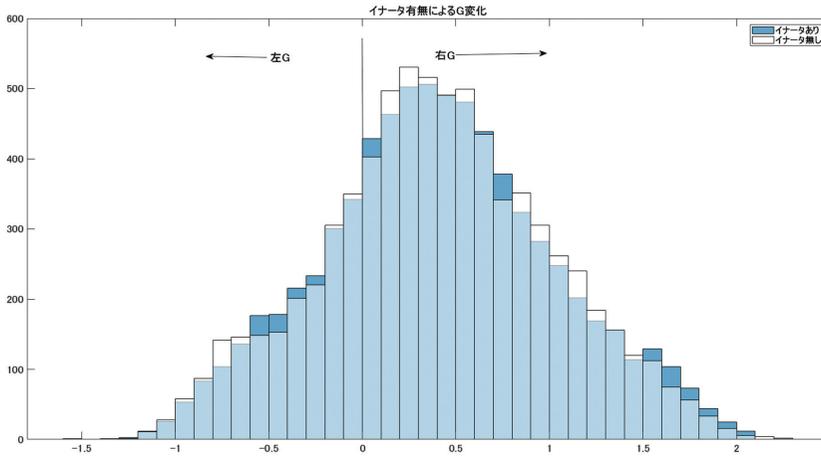


図13 横加速ヒストグラム

図13のストグラムは散布図10, 11の左右加速を表したものであるが、前後加速と同様で白いグラフがイナータ無しであり、濃いグラフがイナータ有である、右Gの裾野、1.5以上の周辺にイナータ有の濃いグラフが多く出現している、これは左コーナーでの現象であるが、左G（右コーナー）での出現は少ない、また、中腹付近の右Gは減少し大きな右Gに集中して出現している、つまりコーナーに進入時点では右Gをあまりかけずコーナー後半に一気に横Gをかけ車両の向きを変えたと考えられる。横Gの変化が左右均等に出現しないなどグラフに示す値を考慮し車両性能からの現象よりも走行環境による現象の可能性は高いといえる。しかし、左コーナーが曲がりづらかったことは確かである。

この解析の結果よりイナータを取り付けることにより車両全体としては加速方向に割合が増えていたと言え、研究目的のピッチングの低減による効果を確認することができた。

しかし、現状ではラップタイムが遅くなり、操縦性もよくない状態である。まずはこの問題を解決し、イナータの持つ本来の効果を生かす必要がある。

6 ま と め

イナータによる車両への影響として、WEST-07Jを使用しテストを行ない得られた結果は以下の通りである。

- ① 過大なロングホイールベースによる荷重不足は運動性能に後れをもたらす。
- ② イナータはピッチング抑制に有効であり、WEST-07Jに取り付けることにより加速の割合が増した。
- ③ ヒストグラムを使用した解析方法は有意義である。

時間の関係上ヒストグラムを使用した解析を②イナータの効果についてのみの報告になってしまったが、他の数値でも有効であり07J (STD) や KKS-2 との比較は早期に実現したい。

また、研究の結果からイナータの実用性が見えてきた、しかし、問題として操縦性の改善とラップタイムの向上があげられ、07J にさらに改良を加えレースで結果が得られるよう模索していきたい。

7 謝 辞

ご存知のように、2020年は世界中にコロナウイルスが蔓延し、国内でも外出規制が取られるなどすべての活動に規制がかかる大変な一年であった。鈴鹿サーキットも活動を停止する期間が長くあり S-FJ のレースも中止もしくは延期とされ、我々の活動も同様に停滞した。

しかし、このような苦しい時にも走行が再開されたときには快くドライバーを務めていただいた八巻選手、福島から毎回駆けつけていただいた三瓶選手、本学 OB でもあり後輩思いの山下選手、心より感謝を述べる。

また、少ない時間の中、懸命に車両を整備し走行に間に合わせてくれた MSE の諸君にも同様に感謝を述べる。この研究に当たり、多くの方々から助言をいただき、その一言一言が研究の原動力となり進んでくれた、紙面の都合により紹介しきれないが、本研究に関わっていただいた皆様に謝意を述べる。

苦難に負けず地道に続ける大切さを知った一年であり、この気持ちを忘れずに研究を継続したいと思う。

参 考 文 献

- 1) Analysis Techniques for Racecar Data Acquisition Jorge Segers SAE International
- 2) MATLAB ハンドブック 小林一行 秀和システム
- 3) 算数だけで統計学 石井俊全 ベル出版
- 4) 仕事に使える統計学 本丸 諒 かんき出版
- 5) サーキットにおける -FJ に与えるイナータ・ダンパーの影響 中里武彦 中日本自動車短期大学論叢 第48号

