

Feature Article

アプリケーション

4WDシャシダイナモメータでの燃費試験における不安定要因の解析

Analysis of Instability Factor for Fuel Economy Test on 4WD Chassis Dynamometer

小川 恭広

Yasuhiro OGAWA

地球温暖化対策の観点から自動車の燃費性能向上が求められ、走行性能の向上を狙って4輪駆動車が市場で増加し続けており、さらに、ハイブリッド車、電気自動車など、駆動輪と動力回生輪が異なり4WDシャシダイナモメータでなければ試験ができない車両も一般的になってきた。そのため4WDシャシダイナモメータによる4WD車の燃費試験が重要となってきている。本稿では、4WDシャシダイナモメータによる安定した燃費試験を実施するために、シャシダイナモメータの安定性、車両ロス変化、走行抵抗調整等の影響解析を行い、最終的にローラ温度やタイヤ表面温度の差が車両ロスに影響し、燃費に影響することを突き止めた。

4WD Chassis dynamometer's testing is increasing for fuel economy and emission measurements with the complexity mechanism of HEV and EV. However, the test stability and repeatability used by 4WD Chassis dynamometer is still not confirmed. Against this background, studies aiming at improvements of the repeatability of 4WD fuel economy tests have been conducted. Key factor for improving stability and repeatability has been confirmed. The stabilization of vehicle loss is essential for the test stability and it is influenced by tire and roller temperatures.

はじめに

地球温暖化対策の観点から自動車の燃費性能向上が求められており、また、走行性能の向上を狙って4輪駆動(4WD)車が市場で増加し続けている。そのため4WD車の燃費試験が重要となってきている。一方で、シャシダイナモ(シャシダイ)上における4WD車の燃費試験は、駆動系を2WD車に改造したうえで2WD車対応のシャシダイ上で計測する手法が未だに行われている。このような2WD改造での試験では、4WD車本来のかたちで燃費試験ができていない。またハイブリッド車、電気自動車など、駆動輪と動力回生輪が異なり4WDシャシダイでなければ試験ができない車両も一般的になってきた。一方でパワーエレクトロニクス技術の進化やシャシダイそのものの技術の進化によって、4WD車の特性に十分対応できる

4WDシャシダイが実用化されてきている^[1, 2]。しかしながら、燃費試験において4WDシャシダイを活用して安定した試験を行うには、解明すべき課題が多い。本稿では4WDシャシダイにおける燃費試験において、安定した試験を行うことに対して影響する要因について、長年当社シャシダイを使って実験・検討を行って来た内容をまとめた。

試験方法と結果解析

試験方法

路上で測定した走行抵抗をシャシダイの目標とし、負荷調整を実施して10・15モードでの燃費測定を行った。同時に車両のホイール仕事をホイール6分力計で求め、ホイール仕事と燃費の関係を求めた。

Table 1 Chassis dynamometer specification

ダイナモタイプ	センターモータ式4WD
ローラ表面処理	クロームメッキ
ローラ径	1219.2 mm
ローラ外側間隔	2750 mm
基本慣性	1700 kg+1700 kg
電気慣性制御範囲	-3000~2900 kg
試験慣性範囲	454~6350 kg

試験車両・設備

試験車両には、排気量1.8 Lの自然吸気式エンジンのアクティブ制御式4WD、4速AT車を用いた。シャシダイは、Table 1に示す電気制御式4WDシャシダイを用いた。

計測方法

試験では、車両が行う仕事、燃費、温度などを計測した。車両にはFigure 1に示すようなホイール6分力計を装着し、シャシダイから出力されるローラ表面力などを併せて計測した。ホイール6分力計は車軸に作用する直交3軸方向の3つの力と、各軸まわりの3つのモーメントの6分力を実際に走行しながら測定でき、干渉補正、角度補正もリアルタイムで行える。さらに車軸の回転から車両の走行速度も求めることができる。

ホイール6分力計で計測された車軸を回すモーメントトルクと回転数から求めた速度から10 msごとの仕事率を計算し、これをモード走行全体で積算してホイール仕事とした。燃費は、燃料噴射指令パルス時間を積算して規定の校正値より求めた。同時に放射温度計を用い、Figure 2に示すような方法でタイヤ表面温度も計測した。

燃費計測の結果

ホイール仕事と燃費との関係を求めるため、路上で測定した目標走行抵抗(RL1)と、転がり抵抗に相当する定数項

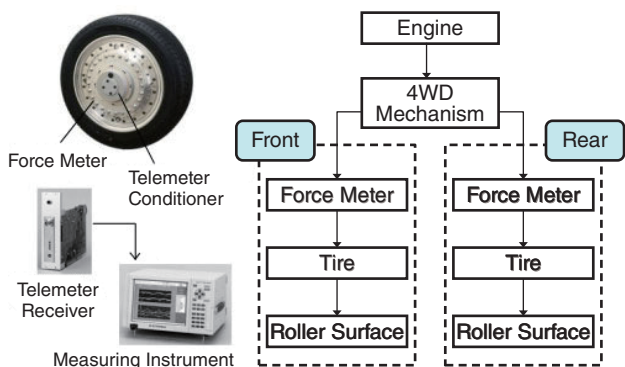


Figure 1 Six-component wheel force meter

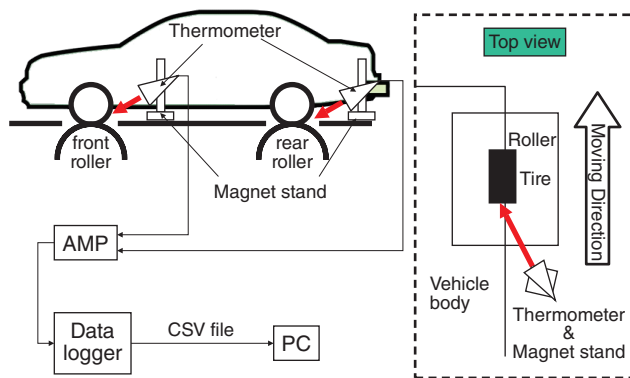


Figure 2 Temperature measurement method

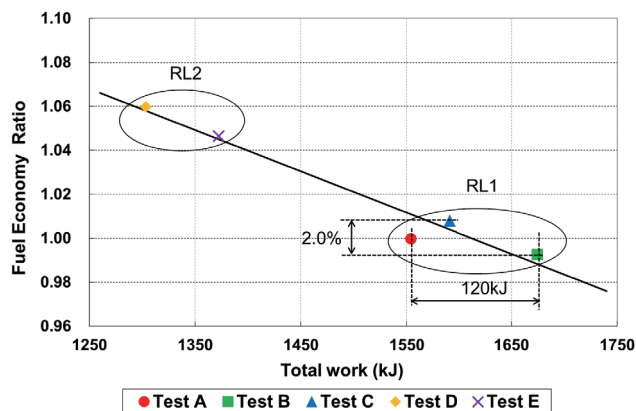


Figure 3 Relation of wheel work and fuel economy

だけを20%少なくした目標走行抵抗(RL2)の2条件で測定を行った。Figure 3にシャシダイ試験におけるホイール仕事と燃費の関係を示す^[3, 4]。燃費はRL1の3回の平均値との比率とした。全体としてみると、ホイール仕事と燃費には一次の相関がある。しかしながら、同じ目標走行抵抗を使用しているはずのRL1のTest A・Test B・Test Cの間や、RL2のTest D・Test Eにおいてホイール仕事に差があり、同一グループのTest AとTest Cにおいても、燃費2%程度の差が見られた。つまり試験の手法または試験設備などに何らかの要因があると推測される。

変動要因の解析

同じ走行抵抗設定に対してホイール仕事に差が生じる要因として、

- ①シャシダイの走行抵抗制御の影響
- ②試験方法・走行抵抗設定方法の影響
- ③エンジンから出力された駆動力がローラ表面に伝達されるまでの機械損失の影響

などが考えられる。ここでは、計測したデータをもとに、それぞれの項目について検討を行った。

Table 2 Electric inertia evaluation result

項目	測定値	許容範囲	判定
駆動力偏差率%	4.2	5.0%以下	合格
相関係数	0.9881	0.98以上	合格
回帰直線の傾き	1.0033	1±0.02	合格
回帰直線の切片	-0.81	±20N	合格

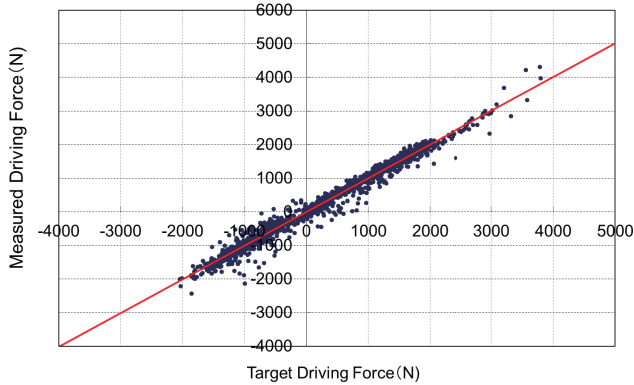


Figure 4 Electric inertia evaluation result

シャシダイの安定性

シャシダイの制御が不安定であれば、同じ走行条件であってもホイール仕事が安定しない可能性がある。シャシダイはロードセルの安定性が制御に大きく影響するため、ロードセルの再校正で経年変化の幅を確認したが問題はなかった。さらに電気制御式シャシダイでは電気慣性制御の正確さが結果に影響するため、シャシダイの基本性能評価指標となる電気慣性評価を実施した^[5, 6]。シャシダイは電気慣性制御性能の判定基準をすべて満たしており、車両駆動力の目標と実測値はほぼ1:1で高い相関があることを確認した^[3, 4]。Table 2とFigure 4の結果から、シャシダイの不安定さは認められなかった。

エンジンからシャシダイまでの力の定義

Figure 5に、車両が一定速度で走行する場合の、エンジ

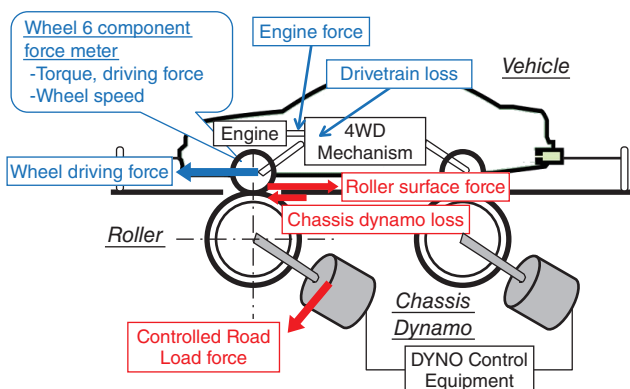


Figure 5 Relation of Vehicle and Chassis dynamo

ンで発生した駆動力がシャシダイに吸収されるまでの、車両とシャシダイの各部の力とその力が各部で消費される関係を示す。エンジンで発生したエンジン駆動力は、ホイール6分力計に伝わるまでに伝達系にある機構にて一部が消費される(伝達系ロスと呼ぶ)。ホイール6分力計で検出されたホイール駆動力は、タイヤを介してローラ表面に伝達される。タイヤがローラ表面を駆動する力は、シャシダイのローラを回すことで一部消費され(タイヤロスと呼ぶ)、さらにシャシダイの動力吸収部で吸収(ダイナモ制御走行抵抗と呼ぶ)される。また、シャシダイには装置自身も持つ機械損失(ダイナモ単体ロスと呼ぶ)を持つ。これらの力の関係は以下ようになる。

$$\text{伝達系ロス} = \text{エンジン駆動力} - \text{ホイール駆動力}$$

$$\text{タイヤロス} = \text{ホイール駆動力} - \text{ローラ表面力}$$

$$\text{ダイナモ単体ロス} =$$

$$\text{ローラ表面力} - \text{ダイナモ制御走行抵抗力}$$

シャシダイの走行抵抗設定は、車両がローラに載った状態で、目標走行抵抗に合やすようにダイナモ制御走行抵抗力を調整する。よってダイナモ制御走行抵抗力は車両の伝達系ロスとタイヤとローラ間で発生するタイヤロスを、目標走行抵抗から差し引いた値に調整される。ここでは伝達系ロスとタイヤロスの合計値を車両ロスと呼ぶ。

シャシダイの実走行抵抗力は、ダイナモ制御走行抵抗力と実際の車両ロスを足した関係となる。

$$\text{車両ロス} = \text{伝達系ロス} + \text{タイヤロス}$$

$$\text{シャシダイの実走行抵抗力} =$$

$$\text{ダイナモ制御走行抵抗力} + \text{車両ロス}$$

4WDシャシダイでの力関係

Figure 6に走行抵抗調整が完了後の目標走行抵抗力、ダイナモ制御走行抵抗力、車両ロスの力関係を示す。速度40 km/h以下の低速度域では風損影響が少なく、走行抵

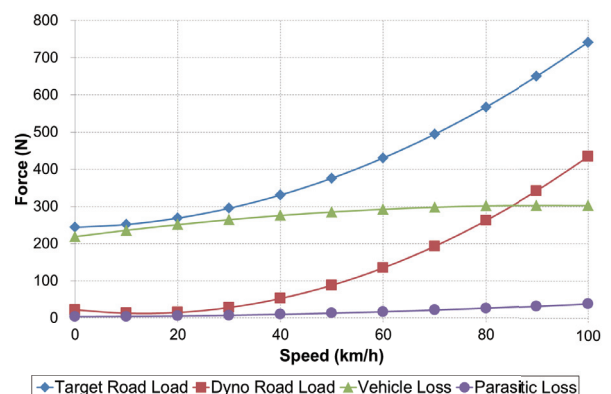


Figure 6 Relation of road load and vehicle loss

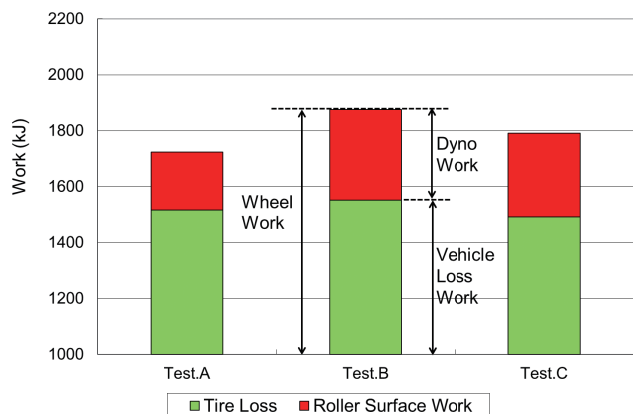


Figure 7 Wheel work breakdown

抗のほとんどは車両ロスであることがわかる^[3, 4]。また、4WDシャシダイでの試験は、タイヤ本数が2倍になるため、2WDシャシダイでの試験よりも車両ロスが大きい。そのため、4WDシャシダイの試験では、車両ロスの影響が極めておおいことがわかる。なお、シャシダイの機械ロス(ダイナモ単体ロス)は全速度域にわたって小さいこともわかる。

仕事の変動

RL1における3回のモード走行(Test A・Test B・Test C)で、ホイール仕事に差があることがわかった。そこで、ローラ表面力と速度から求めたダイナモ仕事と車両ロス仕事とに区分して比較したものをFigure 7に示す^[3, 4]。

車両ロス仕事はホイール仕事からダイナモ仕事を差し引いた値を用いた。ホイール仕事の差は主にダイナモ仕事の差であることがわかる。さらに、タイヤロス仕事にも少し差がある。これらの試験においては、各試験前に走行抵抗調整を実施していることから、RL1における走行抵抗調整直後の実走行抵抗とダイナモ制御走行抵抗の比較をFigure 8に示す。車両とシャシダイを含めた実走行抵抗は良く一致しているものの、ダイナモ制御走行抵抗に差があることがわかる。シャシダイ自身は安定していることを確認済みのため、走行抵抗調整時の車両ロスに差があったため、結果的にダイナモ制御走行抵抗が変化したものと推測できる。

また、ホイール仕事自身に差があることから、走行抵抗調整時の車両ロスおよび燃費試験中の車両ロスに何らかの差が生じていると推測した。

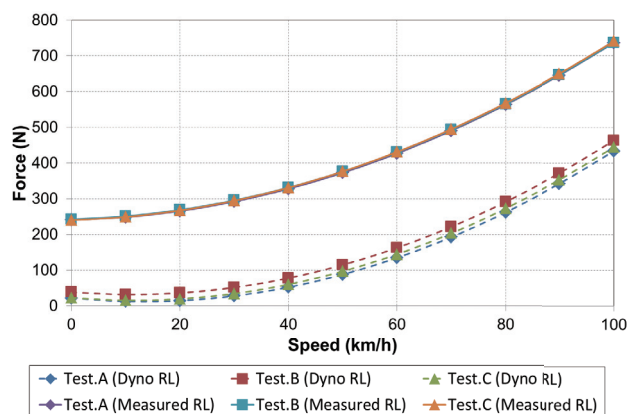


Figure 8 Comparison of road load

車両ロス変動の要因解析

前章で燃費試験の再現性確保には車両ロスが大きく関与していることがわかった。そこで、車両ロスの変動とその影響について調査した。

車両ロスの変動実験

車両ロスの内訳

車両ロスの詳細を確認するため、実際に車両が走行しているときの車両ロスの内訳を調査した。伝達系ロスの測定は、シャシダイを定速度制御でローラ側から車両を駆動し、デフ・トランスミッションなどの駆動系のロスを6分力計で測定した。Figure 9にシャシダイを20 km/h定速度制御を行った時の測定結果を示す。伝達系ロスは約25Nであった^[3, 4]。

タイヤロスの測定は、シャシダイを定速度制御とし、車両は吸気負圧を一定(エンジン駆動力一定)にして車両からローラを駆動し、ホイール駆動力を6分力計で測定した。同時にシャシダイの吸収力も測定した。ホイール駆動力から吸収力を差し引いた値をタイヤロスとして求めた。

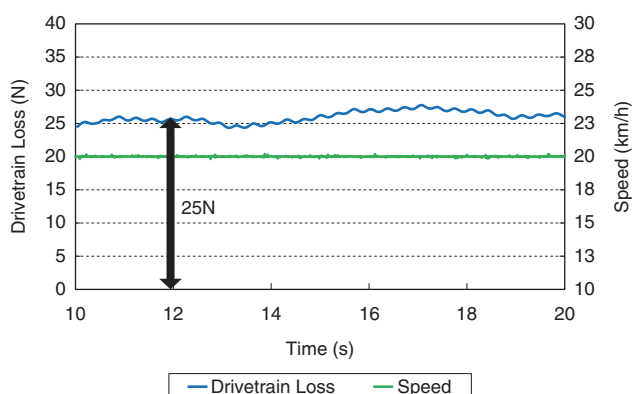


Figure 9 Drivetrain loss

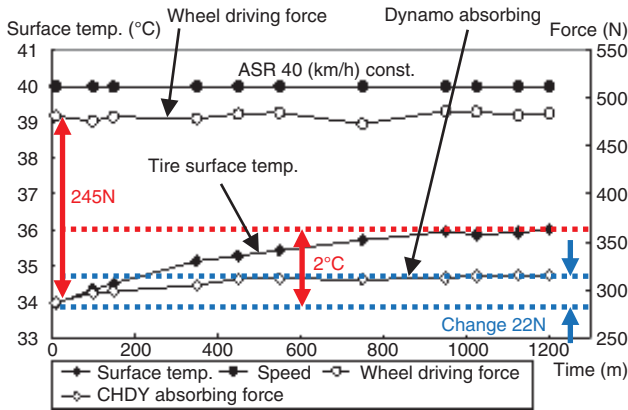


Figure 10 Tire loss behavior

Figure 10に、シャシダイを40 km/hの定速度制御とし、車両の吸気負圧を一定にして運転をおこなった結果を示す^[3]。走行開始時のタイヤロス約245Nで、車両ロスのほとんどはタイヤロスであることがわかる。さらに、20分間の走行において、タイヤ表面温度は約2°C上昇し、タイヤロスは22Nも変化(減少)していることもわかった。このことからタイヤ表面温度とタイヤロスの挙動について調べることにした。

車両ロスとタイヤ表面温度の挙動

一般的な試験運転として、車両暖機走行、10・15モード走行、定常走行を行い、各走行間で惰行法による車両ロスとタイヤ表面温度の変化を求める実験を行なった。ここでは車両ロスは惰行時の計測吸収力からダイナモ設定吸収力を引いた値とした。タイヤ表面温度は各走行の終了直後の車両の駆動輪側である前輪タイヤを測定した。また、車両暖機走行中のタイヤ温度と車両ロスの変化も測定するため、40分60 km/hの暖機走行の代わりに、10分間60 km/hを4回繰り返した。Figure 11に、惰行試験時における速度中央値である50 km/hでの車両ロスとタイヤ表面温度の関係を示す。車両ロスは各試験工程にお

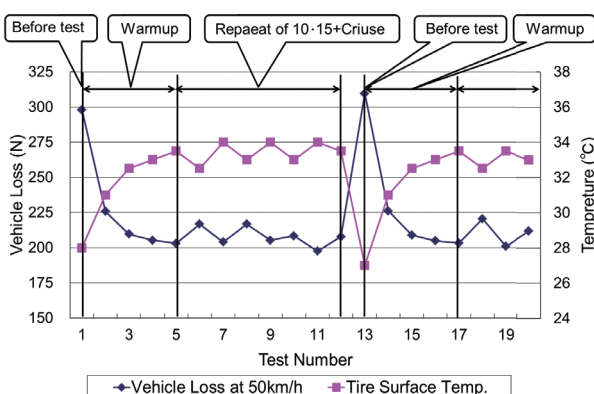


Figure 11 Vehicle loss and Tire surface temperature

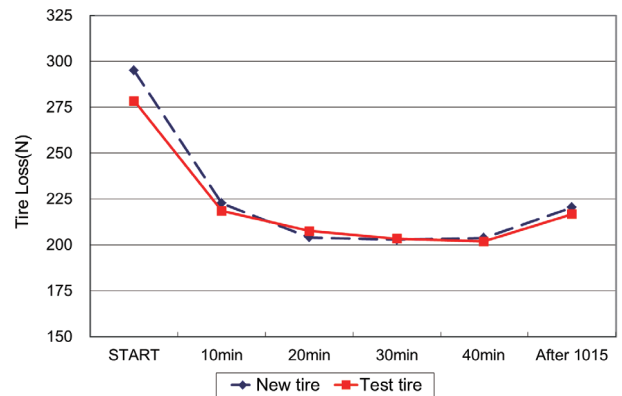


Figure 12 Comparison of Tire

いて大きく変化していて、その挙動はタイヤ表面温度変化と逆の傾向にあることがわかる。

タイヤの経時変化影響の確認

試験はテストコースでの測定からシャシダイ上での測定まで、長期間実施していることもあり、車両ロス変化の要因にタイヤの経時変化(摩耗)の影響がないかを確認した。確認方法は、試験に使っていたタイヤと新品タイヤを使い、80 km/h定常暖機で、装着直後からの車両ロスの変化(Figure 12)を比較した^[3, 4]。新品タイヤを使用した車両ロスは、装着直後は試験に使用した車両ロスと比べて大きかったが、30分程度で、ほとんど差がなくなった。燃費試験は40分の定常暖機運転後に実施していたため、今回の実験において使用したタイヤには、経時変化(摩耗)の影響はないと判断した。

走行抵抗調整時の変動要因

一般的な燃費試験では、車両ロスの変化によって走行抵抗調整をやり直すケースがある。この間の実走行抵抗の変化を把握するため、走行抵抗調整を実施した後に継続して確認惰行を繰り返した。Figure 13に目標走行抵抗、

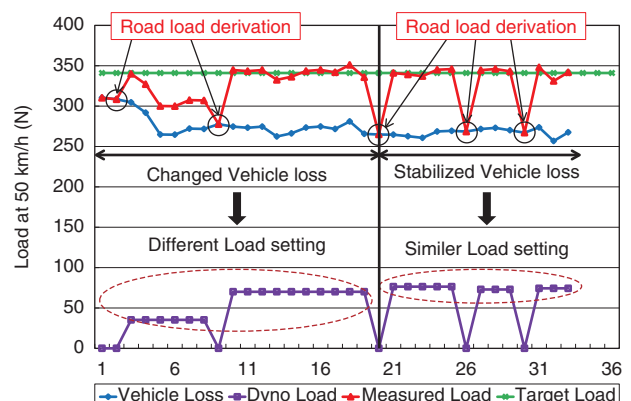


Figure 13 Dynamo Load change by Vehicle loss

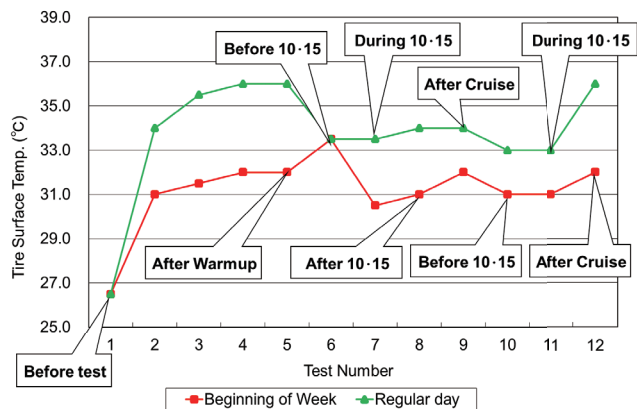


Figure 14 Tire temperature changing for different day

実測走行抵抗, ダイナモ制御走行抵抗, 車両ロスについて, 各々の50 km/h時の値を示す^[3]。

車両ロスが不安定で大きいときに走行抵抗調整を行うと, ダイナモ制御走行抵抗値は小さくなる。さらに調整直後は実測走行抵抗と目標値とは一致しているが, 車両などの温度が変化して車両ロスが変化すると, 車両に作用する実測走行抵抗も明らかに変化する。逆に, 車両が安定し, 車両ロスが安定した状態で走行抵抗調整を実施すると安定したダイナモ制御走行抵抗が得られ, それにより実測走行抵抗値も安定していることがわかる。これらの検証から, 車両ロスの大半を占めるタイヤロスの変動を抑える必要があり, そのためにはタイヤ表面温度の安定化が, 燃費試験の再現性確保に非常に重要であることがわかった。

タイヤ表面温度の日間変動

タイヤ表面温度変化は, 日毎に異なる挙動であることもわかった。Figure 14に示すように, 週の試験始めの日とその他の日とでは, 試験開始後からのタイヤ表面温度の

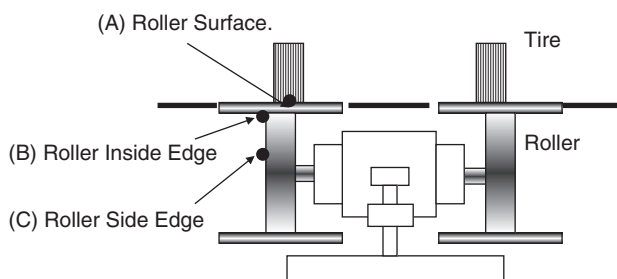


Figure 15 Roller temperature measurement point

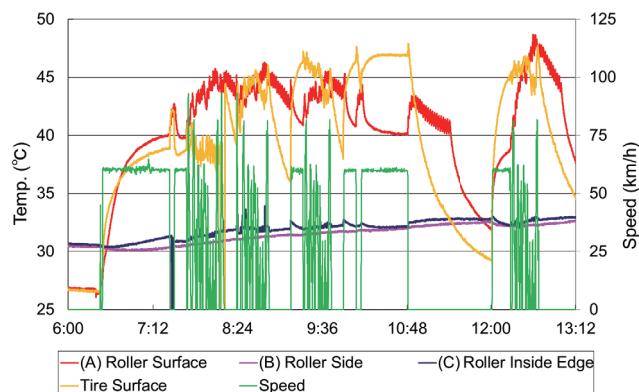


Figure 16 Roller temperature changing

上昇が大きく異なることがわかった^[3]。この違いの要因として, 週末はシャシ室と地下ピットの空調をOFFにしていたため, タイヤと接触するローラ温度の影響と, 試験前のシャシダイの暖機方法にも要因があると推測した。

ローラ温度影響

最初にローラのどの部分の温度を測定するのが良いか検証を行った。そこでFigure 15に示す, (A)ローラ表面, (B)ローラ内側上部と(C)ローラ内側横部分の温度を測定し, 試験開始からの温度変化を確認した^[4]。Figure 16にそのとき各部の温度変化を示す。タイヤ表面温度変化や冷却風の影響を受けにくく, かつローラそのものの温度変化を測定できるポイントとして(B)のローラ内側上部の温度を見ることにした。

それらの結果をふまえ, 休日明けの試験開始状態と, 週中の試験開始状態を再現し, それぞれの状態でのローラ温度上昇の比較を行った。Figure 17結果を示す。明らかにローラ温度上昇が異なることがわかる。

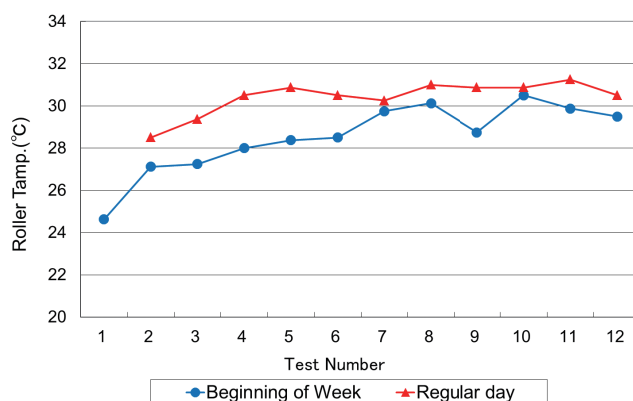


Figure 17 Roller temperature for different day

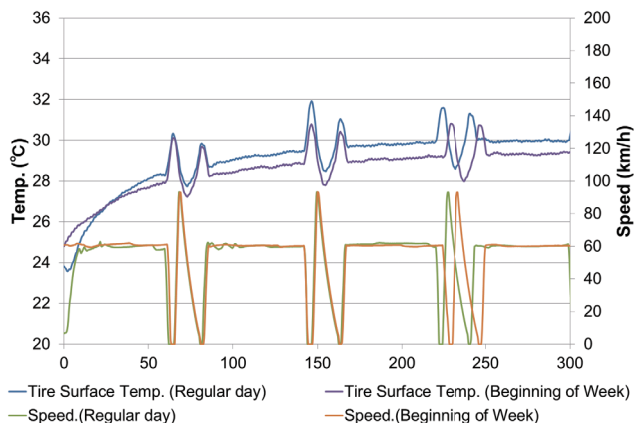


Figure 18 Comparison of tire surface temperature

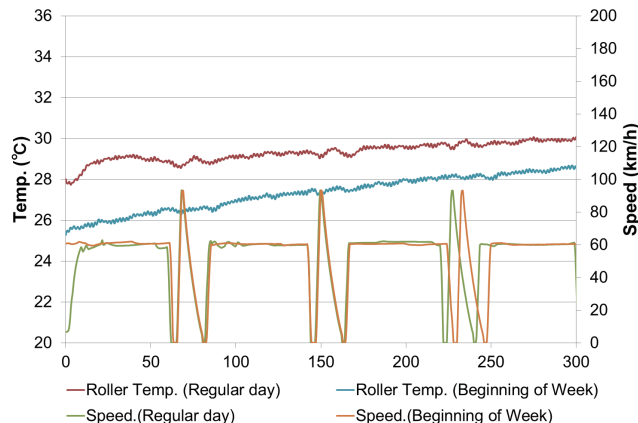


Figure 19 Comparison of roller temperature

そこで、両者のタイヤ表面温度とローラ温度の上昇度合いを比較した。Figure 18からタイヤ表面温度に差があり、その違いがFigure 19に示すローラ温度の差に起因していることがわかる。以上のことから、週初めの試験でタイヤ表面温度が低い理由は、ローラの温度自身が低く、通常のローラ暖機だけではローラ温度は上昇しにくい。その影響でタイヤ表面温度が上昇しにくいことが、タイヤロスに大きな影響を与えていると言える。このことは、長年言われていた休日明けの試験結果が悪くなる傾向の要因であると推測される。

ローラ温度影響の改善方法

週末はシャシ室と地下ピットの空調をOFFにしていたことにより、休日明けの試験開始時のローラ温度の状態が異なっていたことがわかった。この改善策として、週末も地下ピットの温度を30℃で空調制御を行った場合との比較を行った。Figure 20の結果から、休日明けの試験開始時のローラ温度の挙動も、週中の試験開始時の挙動に近付くことがわかった。このことから、試験開始時のローラ

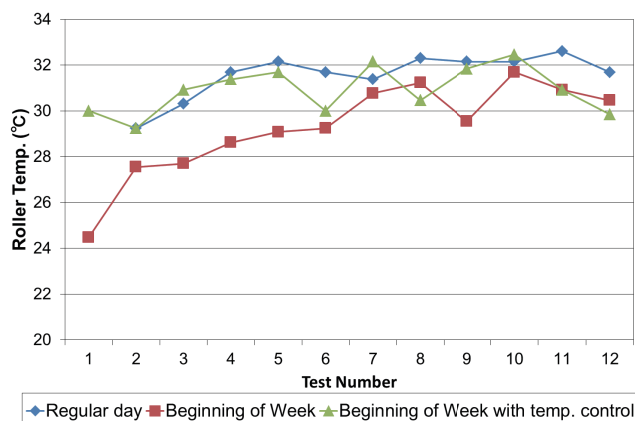


Figure 20 Roller temperature by pit temperature control

温度を管理することが重要である。

ローラ暖機についての考察

通常シャシダイ自身の暖機は、シャシダイ単独で実施することが多い。そこでシャシダイ単体で暖機する場合と、車両を使って暖機した場合とのローラ温度の比較を行った。Figure 21に結果を示す。シャシダイ単独で暖機運転を行ってもローラの温度は上昇しないが、車両を用いてシャシダイの暖機運転を行うとローラの温度が上昇する。したがって、休日明けのシャシダイの暖機を別の車両により、車駆動でローラ温度を上昇させておくのも有効な方法と言える。

おわりに

4WDシャシダイでの燃費試験において、ローラ温度やタイヤ表面温度違いが車両ロスに影響し、最終的にホイール仕事や燃費に影響すること確認し、以下の結論が得られた。

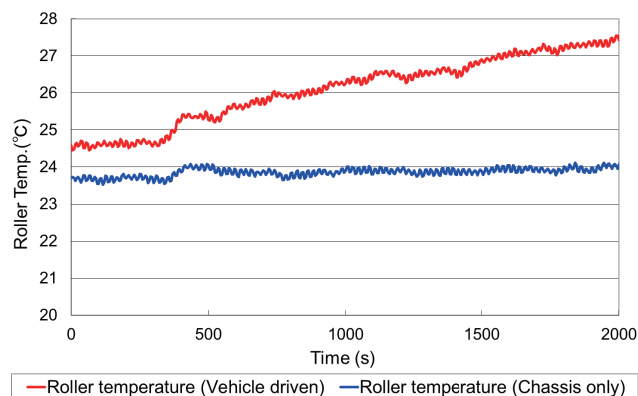


Figure 21 Roller temperature different by Warm-up

- ・車両ロスの大部分を占めるタイヤロスはタイヤ温度に大きく左右され、運転状態により変化する。
- ・車両ロス(含むタイヤロス)が安定しない状態で走行抵抗調整を実施すると、正しいシャシダイ設定が行えず、燃費に影響を与える。
- ・たとえ車両やタイヤ表面温度が安定していても、ローラ温度に大きな違いがあると、車両ロスに影響を与え、燃費に影響する。

以上のように、シャシダイにおける燃費試験では、車両の安定だけでなく、シャシダイのローラ温度も安定させることが重要であることが裏付けられた。今後の課題として、安定した試験を実施するための環境条件、暖機条件などを明確にする必要がある。

最後になるが、弊社の最新型4WDシャシダイ(VULCAN EMS-CD48L 4WD)の写真を掲載しておく。



Figure 22

弊社は、1980年に電気慣性式2軸ローラタイプのシャシダイを開発し、販売を開始した。1991年には米国環境保護局(EPA)に、2WD車用の電気慣性式1軸48インチ(ローラ径1219.2 mm)シャシダイを納入し、北米向けの基準機となっている。さらに、2004年は4WD車用の電気慣性式1軸48インチシャシダイも納入している。国内では、本稿でシャシダイの基本性能評価として用いた、電気慣性評価法^[5, 6]の検討から規格決めにも参加している。このような沿革を経て、現在のVULCAN EMS-CD48Lシリーズに至っている。

参考文献

- [1] 野田ほか：4輪駆動車の排出ガス・燃費試験に適用可能な4WDシャシダイナモメータの性能要件の検討, (社)自動車技術会 学術講演前刷集, No.29-06(2006)
- [2] 鈴木ほか：4WD車における実路走行と台上走行での車両駆動特性の実験解析, (社)自動車技術会 学術講演前刷集, No.29-06(2006)
- [3] Sato, Y. Kusakage, T. Satonaka, T. Nakamura, S. Ogawa, Y. and Noguchi, S : An analysis of behavior for 4WD vehicle on 4WD-chassis dynamometer. In: SAE paper 2010-01-0926(2010)
- [4] Kusakabe, T. Sato, Y. Ogawa, Y. and Noguchi, S. : Influence of Vehicle Loss on Fuel Economy Measurement of 4WD Vehicles. In: ATZ 07-0812011 Volume 113(2011)
- [5] 電気慣性式シャシダイナモ性能基準の検討JASO Technical Paper JASO TP-6001(2006)
- [6] 自動車-四輪駆動車用シャシダイナモメータの要件及び評価方法-燃料消費率試験への適用 JASO E011(2011)



小川 恭広

Yasuhiro OGAWA

株式会社 堀場製作所
開発本部 エンジニアリングセンター
自動車計測システム設計部