

令和6年 3月29日

令和5年度 学生自主研究成果報告書

教 育 本 部 長 様

学生自主研究グループ名	タイヤ研究委員会	
研究課題名	走行性能に及ぼすタイヤ変形の影響評価	
研究代表者（学生）	学籍番号	B24M048
	氏 名	餅田悠誠
指導教員	学 科	機械工学科
	氏 名	境 英一

学生自主研究の報告書を別紙のとおり提出します。

走行性能に及ぼすタイヤ変形の影響評価

システム技術学部 機械工学科
2年 餅田 悠誠 2年 大下 宗志朗 2年 中川 将尊
指導教員 システム技術学部 機械工学科
准教授 境 英一 教授 水野 衛
学生支援スタッフ システム科学技術学部 機械工学科
4年 中村 太一

1. 研究の背景および目的

自動車の走行においてタイヤの転がり抵抗は無視できない。この転がり抵抗の最も大きな要因となっているのが、回転するタイヤの路面接地による負荷と除荷の繰り返しによるゴム内部のエネルギー損失であることが知られている。すなわち、路面接地時のタイヤの変形量を小さくすることが走行性能向上につながるということであり、その方法の一つとして、空気圧を高くすることがあるが、過剰に高くすると、タイヤの偏摩耗が生じてタイヤ自体の寿命が短くなってしまう。

本研究では、空気圧によって変化する路面接地時のタイヤ形状と航続距離や回転半径のずれなどの関係を調査し、走行時のタイヤ形状が走行性能にどのような影響を及ぼすかを明らかにする。

2. 使用機材

本研究では、経営工学科の嶋崎真仁教授よりお借りしたトヨタ車体(株)製の超BEV「コムス」(ZAD-TAK30-DS、以下COMS)を実験に用いた。車両重量は420kgであり、運転者の重量は70kgになるようにバラストで調整した。なお、COMSの純正タイヤは145/70R12のノーマルタイヤであり、特筆がない限りこのタイヤを用いて実験した。

3. 実験方法

3-1 航続距離の測定

アスファルトの下り坂(勾配:約2%)上端入り口において時速20km/hの巡航状態で進入させ、COMSのギアをニュートラルに入れ、どのくらい離れた地点まで残りの運動エネルギーで進行できるのかを測定した。実験時の天候は小雨、湿度50%、気圧1020.6hPaの環境で実施した。

3-2 旋回半径の測定

COMSを用いて空気圧の変化における旋回半径を計測した。スタート地点においてCOMSの舵を最大にした状態で開始した。スタート直後は原則スリープ現象を利用して半周したところで停車し、スタート地点からの距離を測定した。なお、スタート時においてのみクリーブでは発進できなかったため多少アクセルを踏んだ。実験時の天候は小雨、湿度50%、気圧1020.6hPaの環境で実施した。

3-3 タイヤの接地面積測定実験

実際に50kPaや100kPaの空気圧差においてどのくらい接地面積に影響があるかを調査した。実験は厚紙をタイヤに巻いて行った。また、地面側にも厚紙を設置した。タイヤ側に塗料を付着させ、地面側の厚紙にタイヤ側の塗料がどのくらい付着したかを測定して空気圧による接地面積

の変化を評価した。約半周分のタイヤに紙を張り付け、塗料付着の終点までにおいて、COMS 自体はギアをニュートラルで人力にて少しずつ前進させた。

4. 結果および考察

4-1 航続距離

図 1 にタイヤ空気圧と坂道での航続距離の関係を図 1 で示す。

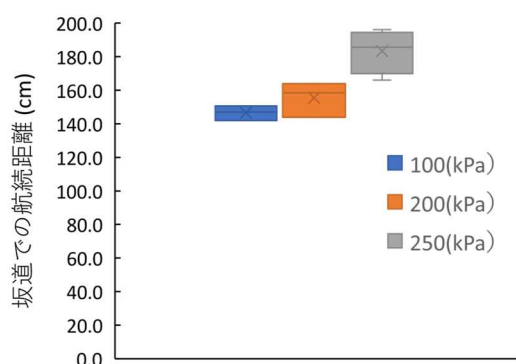


図 1 空気圧と坂道での航続距離の関係

図より、空気圧が高くなることでほぼ線形的に坂道下における航続距離が増加することが分かる。これは、タイヤの空気圧を高くしていくことによる接地面積の減少により、摩擦力によるエネルギー損失が抑えられたことで運動エネルギーが増加したためと考えることができる。物体同士が面で接しているとき、接触面はお互いに力を及ぼしあっておりその力の接触面に垂直な成分を垂直抗力という。また、動摩擦力の大きさは垂直抗力に比例しており、動摩擦力を R 、動摩擦係数を μ 、垂直抗力を N とすると、

$$R = \mu N \quad (1)$$

となることより、接地面の減少による動摩擦力の低下も要因と言えるだろう。

4-2 旋回半径

図 2 にタイヤの空気圧と旋回半径の関係を箱ひげ図で示す。

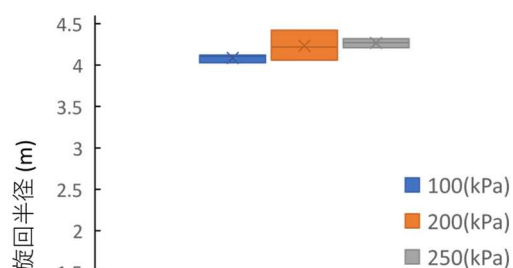


図 2 タイヤの空気圧と旋回半径の関係

図より、空気圧 200kPa でのみ分散が大きいが、空気圧が高くなるほど旋回半径も大きくなる傾向が見られる。この実験において、発進時にクリープ現象を使うことができなかった。空気圧が低下している条件下において標準の空気圧よりも接地面積が大きいと仮定すると、旋回中のタイヤの回転方向とは逆側にタイヤのゴムがずれようとする摩擦力が発生すると考えられる（この力をコーナリングフォースと呼ぶ）。同じ舵角において速度が大きいと車体自身への遠心力や、タイヤの摩擦が大きくなってしまふことは自明である。高速でコーナリングをしたとき、タイヤがキーッと鳴るのは、タイヤが路面をこすって元に戻るときに発する音である（自動車がカーブを曲がる際に運転者が減速させているのは旋回半径を小さくさせるためである）。これにより、空気圧が高いと旋回半径が大きくなってしまふと考えられる。

4-3 タイヤの接地面積

上記のように、航続距離や旋回半径はタイヤの接地面積と強く関係していると考えられるため、接地面積を調べた。

地面側のタイヤの塗料付着跡は直線的には得られなかった。よって、2つ接続させた地面側の厚紙の中央側から100mm間隔の5つのポイントでタイヤの幅を測定し、その平均値を結果とみなすことにした。ものさしを適当な位置に配置して、大きい値のメモリから小さい値のメモリを引き算してタイヤの幅を導出した。誤差も出ることを考慮して3回測定してその平均値を出した。図3にこれより得られたタイヤの空気圧と地面に接地したタイヤ幅の関係を箱ひげ図で示す。

図より、小さい空気圧差においてもわずかではあるが接地面積に差ができており、空気圧が高くなると接地面積は減少傾向を示している。一方で、250kPaの分散が大きいことから分かるように、タイヤの跡を均一に厚紙に付着させるのは困難であった。そこで、タイヤの中央に存在する大きな溝の伸縮具合に関しても測定することとした。なお測定は3回行い、平均値を算出してそれをデータとしている。図4にタイヤの空気圧と接地時の溝幅の関係を示す。

図より、空気圧が高くなると溝幅が大きくなることが分かる。また、その傾向はタイヤの幅より明確である。したがって、タイヤの空気圧が変化することで接地面積が変化することが明らかとなった。空気圧が高いと、ゴムが引っ張られ、まずタイヤのサイドウォール部（タイヤの側面部）の面積が増加すると考えられる。よっ

て相対的にトレッド部（タイヤが接地しているところ）が減少し、接地面積が減少すると考えられる。また、サイドウォール部の面積が増加するため、溝両端が引っ張られて幅が大きくなると推測される。

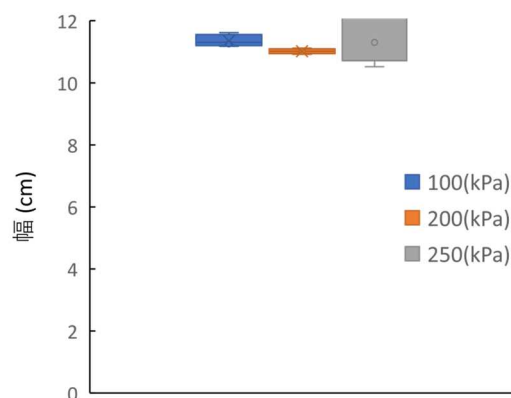


図3 空気圧と接地したタイヤ幅の関係

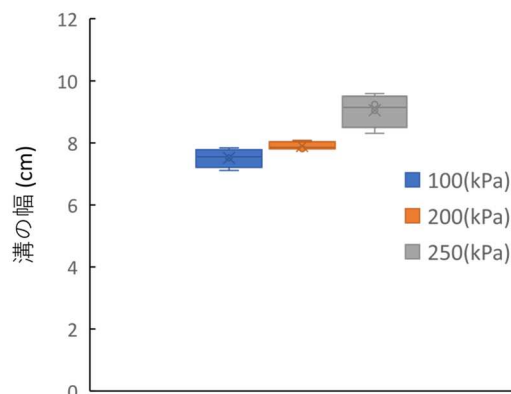


図4 空気圧と接地時の溝幅の関係

以上より、タイヤの空気圧の変化により接地面積が変わるため、その走行性能に変化が起きると結論付けられる。この接地面積の変化より、圧縮負荷によるタイヤ形状の変化が空気圧により変化することを示唆する。

4-4 天然ゴムの繰り返し引張・圧縮挙動

タイヤのサイドウォールに用いられる

天然ゴムの引張・圧縮変形におけるヒステリシスループを調査し、上記の実験結果を考察した。天然ゴムは市販の板材を用い、プレス機と打ち抜き刃により JIS 基準のダンベル型試験片を作製し、10 サイクルの繰り返し引張・圧縮試験を行った。このとき、試験は公称ひずみ 50%と 150%の条件で実施した。またサーモグラフィで撮影することで温度変化を調べた。図 5 に得られた応力-ひずみ線図を、図 6 に試験開始時と 0.5 周期時の温度を示す(いずれも付加ひずみ 150%)。

図 5 より引張・圧縮時の応力 - ひずみ関係は明らかに不可逆である。また、図 6 よりゴムは引張により明確に発熱しており、ひずみエネルギーを熱として損失していることが分かる。このため、弾性変形の範囲内でも応力 - ひずみ関係は不可逆になる。また、紙面の都合で載せられないが、付加ひずみ 50%のときより 150%の方が損失は大きく現れた。

COMS での実験において、空気圧により接地時のタイヤ形状が変化、すなわち圧縮によるひずみの大きさが変化することが分かった。当然であるが、走行時のタイヤは接地から解放されると元の形状に戻ろうとする。つまり、したがって、図 5 のようなエネルギー損失が生じていると推測される。空気圧が低いと形状変化が大きくなることから、エネルギー損失も大きくなることが予想される。

以上より、空気圧を変化させると接地時のタイヤ形状に変化が生じ、エネルギー損失が変わるため、走行性能も変化すると言える。

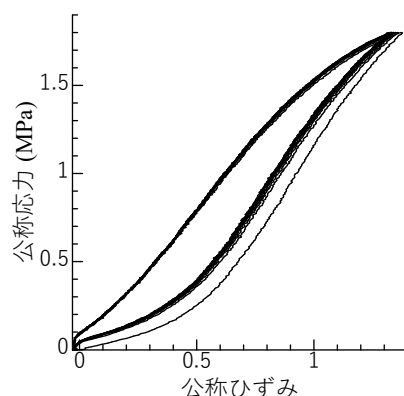


図 5 ヒステリシスループ (付加ひずみ 150%)

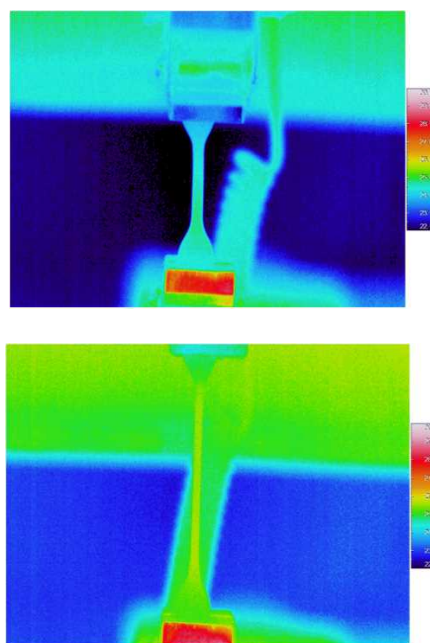


図 6 試験開始時(上)と 0.5 周期時(下)の温度分布 (付加ひずみ 150%)

5. 結論

空気圧の変化によって走行性能に確かに差が出ることがわかった。今現代の SDGs の考えの背景から、無駄のない省エネルギー化が求められている。限りある資源を大切に使うためにも、タイヤの空気圧はタイヤ記載の適正空気圧を入れて無駄のないエネルギー利用をしたい。