

タイヤ空気圧の違いが及ぼすペダリングへの影響 (電動アシスト自転車用シャーシダイナモメータを活用した 一般用自転車・ロードレーサの評価)

1. 緒言

当所では、平成 26 年度より電動アシスト自転車に関する研究を実施するため、電動アシスト自転車用シャーシダイナモメータ（以下、シャーシダイナモメータと呼ぶ）を導入した。シャーシダイナモメータを用いて、駆動補助力の比率測定や一充電当たりの走行距離測定、及び電動アシスト自転車の評価方法について研究を行ってきた^{1)~5)}。

平成 29 年度の自転車等研究開発普及事業は、自転車に関して当所へ寄せられる相談や、社会的要請のある事象について、技術的側面から随時データ収集を行うこととし、速やかに報告を行う。

本報告（平成 29 年度第一報）では、電動ではない自転車、いわゆる一般用自転車やロードレーサにおいてシャーシダイナモメータを活用した評価が可能かを検証した。なお、シャーシダイナモメータを用いた一般用自転車の評価については、平成 28 年度、当所に相談が 2 件寄せられた。

主な検証内容としては、タイヤ空気圧や車種の違いによるクランク回転出力・駆動出力の測定を行い、ペダリングなどにどのような違いが生じるかである。過去、近い内容の報告⁶⁾も多数あるが、本報告ではシャーシダイナモメータ及び駆動補助力の比率測定に用いる測定ソフトウェア及び出力される帳票を用い、簡易的な測定を行うことでどのような評価が可能かを調査した。

2. 供試品、測定機材及び測定方法

2.1 供試品

供試品として、当所所有のシティ車及びロードレーサを使用した。詳細について表 1 にまとめた。

表 1 供試品

	自転車①	自転車②
種類	シティ車	ロードレーサ
外観		
重量(kg)	19.7	8.0
車輪径	26×1 3/8	700×23C
変速	単段(ギヤ比:1.86)	外装 2×10
クランク長 (mm)	165	170
最大 空気圧	300kPa	850kPa

2.2 測定機材

測定機材にはシャーシダイナモメータを用いた。外観及びシステムの概要を写真 1、図 1 に示す。詳細については過去に当所が発行した報告書を参照いただきたい。



写真 1 シャーシダイナモメータ外観

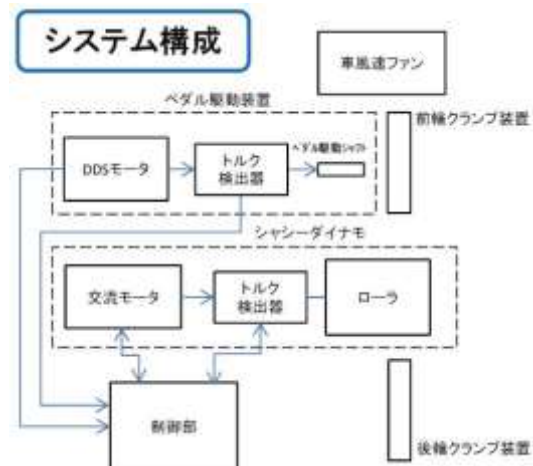


図 1 シャーシダイナモメータ構成図

2.3 測定方法

測定方法については、ペダル駆動装置を用いたペダリングで走行し、走行条件を変えた際のクランク回転出力及び駆動出力を測定した。クランク回転出力及び車両の補正後駆動出力（以下、駆動出力と呼ぶ）については、JIS D 9115：2017（電動アシスト自転車）の附属書 B で規定されている、

$$P1=0.105 \times N \times T$$

$P1$ ： クランク回転出力（W）

N ： 入力回転速度（ min^{-1} ）

T ： 入力トルク（ $\text{N}\cdot\text{m}$ ）

$$P2=0.278 \times V \times F + Pc1$$

$P2$ ： 駆動出力（W）

V ： 走行速度（ km/h ）

F ： 車輪駆動力（N）

$Pc1$ ： シャーシダイナモメータのロス馬力（W）

の計算式を用いた。また、測定条件については表 2 にまとめる条件とした。なお、走行抵抗（ F_r ）については、同じく JIS D 9115 の附属書 D に規定されている、

$$F_r=R+0.027V^2+9.8W\sin\theta$$

F_r ： 走行抵抗（N）

V ： 速度（ km/h ）

W ： 等価慣性質量の標準値（kg）

θ ： 登坂角度（ $^\circ$ ）

R ： 転がり抵抗（N）。シャーシダイナモメータのローラ上に設置しない車輪 1 本当たりの転がり抵抗を 2.6 とする。

の計算式を用いた。速度一定で走行している時は $F = F_r$ となる。なお、シャーシダイナモメータの帳票にはクランク回転出力、駆動出力などの各パラメータは JIS D 9115 附属書 B に従い、図 2、表 3 のように出力される。

表 2 測定条件

項目	条件
ペダリング	ペダル駆動装置を使用。目標速度に対し、入力回転速度を一定に制御し自転車を駆動させた。下り坂走行時は回転させなかった。
おもり	65 kg のおもりをサドル部に取付
等価慣性質量	JIS D 9115:2017 附属書 D に準じ、自転車重量 + 65 kg に設定
走行速度	5 km/h～30 km/h まで 5 km/h 刻みで測定
走行路	平たん路(勾配 0°)、上り坂(勾配 2°)、下り坂(クランクをまわさず、シャーシダイナモメータのローラを回し目標速度で走行させた)
タイヤ空気圧	タイヤ側面に記載している最大空気圧の 50%、75%、100% で測定
ギヤ比	自転車①:1.86、自転車②:1.79、3.56
測定時間	速度が一定の状態 で 5 秒間の平均値を測定

測定 番号	目標 走行 速度 (km/h)	目標 後輪 駆動力 (N)	クランク 入 力 回転速度	クランク 入 力 トルク	走行速度	後輪駆動力	クランク 回転出力	車両の 補正前 駆動出力	シャーシの ロス馬力	車両の 補正後 駆動力
			(計測値) N (r/min)	(計測値) T (N·m)	(計測値) V (km/h)	(計測値) F (N)	(計算値) P1 (W)	(計算値) P2' (W)	(計測値) Pd (W)	(計算値) P2 (W)
1	5	3	10.9	11.7	5.0	3	13	4	0	5
2	10	5	21.9	14.5	10.0	5	33	14	1	15
3	15	8	32.7	18.7	15.0	8	64	34	2	36
4	20	13	43.7	24.8	20.0	13	114	71	3	74
5	25	19	54.7	32.5	25.0	19	187	131	5	136
6	30	26	65.6	41.7	30.0	26	287	218	7	224
7	5	29	11.0	42.8	5.0	29	50	40	0	41
8	10	31	21.9	45.4	10.0	31	105	85	1	86
9	15	34	32.9	49.7	15.0	34	172	142	2	144
10	20	38	43.8	56.1	20.0	38	258	214	3	217
11	25	44	54.8	63.3	25.0	44	364	309	5	314
12	30	52	65.6	71.8	30.0	52	495	431	7	438

図 2 駆動補助力の比率 帳票 (今回の測定条件で測定した場合、一部抜粋)

表 3 各パラメータの帳票への出力方法

入力回転速度	小数第 1 位まで読み取る
入力トルク	小数第 2 位まで読み取る
走行速度	小数第 1 位まで読み取る
車輪駆動力	整数位 (小数第 1 位四捨五入)
クランク回転出力	整数位 (小数第 1 位四捨五入)
駆動出力	整数位 (小数第 1 位四捨五入)

3. 測定結果

同等のギヤ比にした 2 台の供試品において、タイヤ空気圧をタイヤ側面に記載している最大空気圧の 50%~100%に変えた際の、走行速度に対するクランク回転出力（平たん路、上り坂）及び駆動出力（下り坂）の測定結果を図 3 にまとめた。なお、下り坂の駆動出力は、ペダリングを行わずに後輪をローラで強制的に回している状態であり、ローラとタイヤ間の転がり抵抗と後ハブ軸受部の摩擦抵抗などによる後輪のエネルギー損失に相当する。

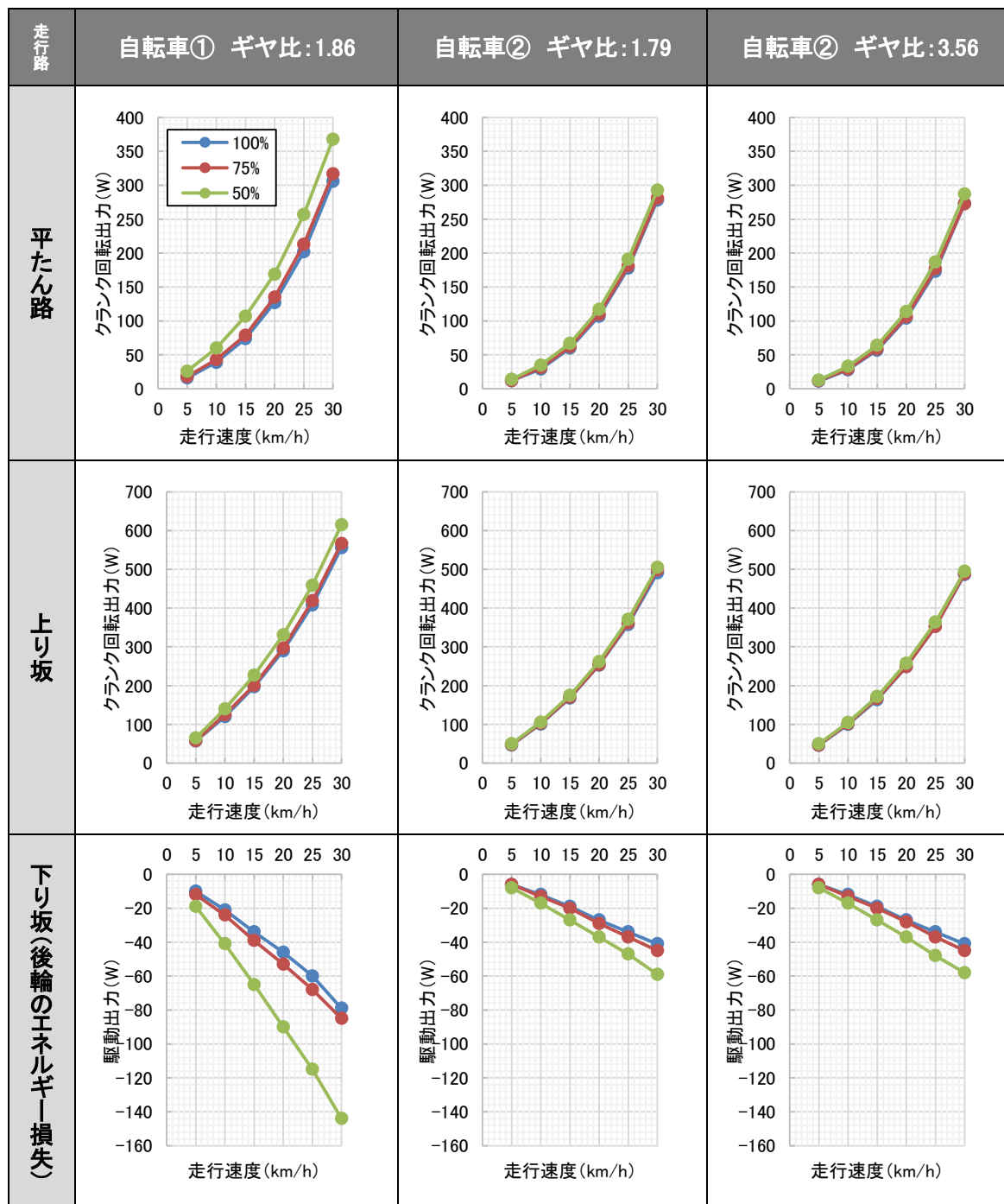


図 3 測定結果

4. 考察

① 空気圧の違い

一般的に、タイヤ空気圧が減少するとペダリングが重く感じる。この現象を今回の測定結果から考察する。

まず、図 3 より、2 銘柄とも空気圧の減少により下り坂走行時の駆動出力（後輪のエネルギー損失）が増大したが、これは図 4 に示すように、空気圧の減少とともに、接地部におけるタイヤの変形量が大きくなり、タイヤの一時的変形により、運動エネルギーが熱エネルギーになって失われるヒステリシスロスも増大するため、転がり抵抗が大きくなったことがエネルギー損失に反映されている。

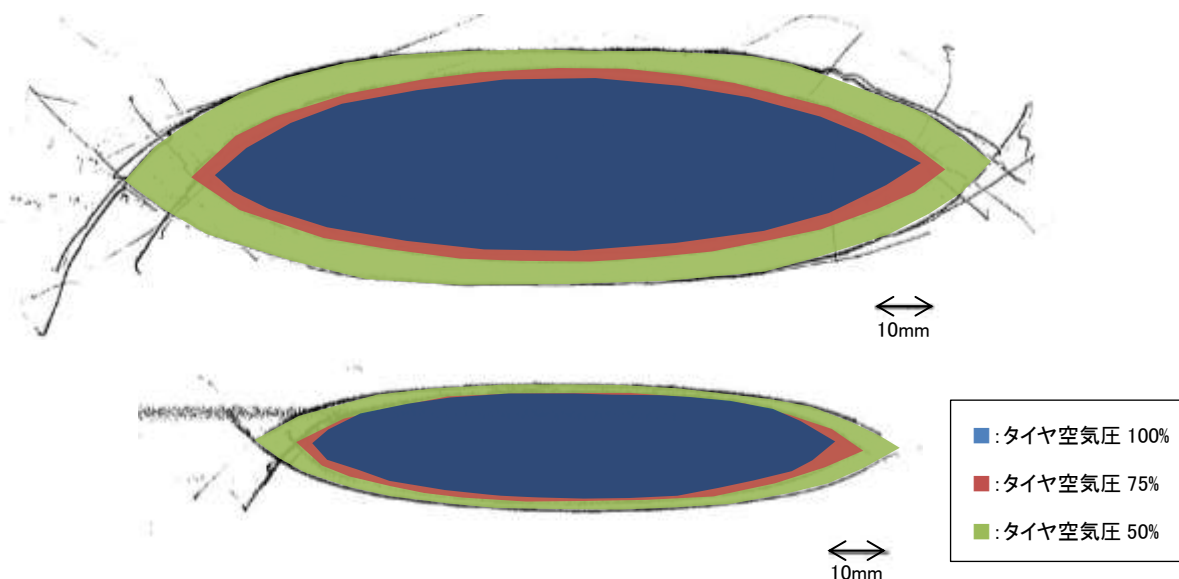


図 4 タイヤーローラ間の接地面積（上：自転車①、下：自転車②）

この損失が及ぼすペダリングへの影響として、平たん路や上り坂走行時、空気圧の減少とともにクランク回転出力が増大した。タイヤ空気圧 100 % のクランク回転出力及び駆動出力に対して各タイヤ空気圧でのクランク回転出力及び駆動出力の増加率を図 5 にまとめた。平たん路と勾配 2° の上り坂を走行する場合において、自転車①ではタイヤ空気圧 75 % と 100 % ではクランク回転出力は最大 1.12 倍であったが、タイヤ空気圧 50 % と 100 % では最大 1.63 倍に、自転車②では 2 パターンのギヤ比で傾向は大きく変わらず、タイヤ空気圧 75 % と 100 % ではクランク回転出力は最大 1.09 倍であったが、タイヤ空気圧 50 % と 100 % では最大 1.21 倍になった。

また今回の測定においては、同銘柄、同速度において入力回転速度（ケイデンス）はほぼ同じであるため、クランク回転出力の増大はクランクに入力されるトルクの増大、すなわちペダル踏力のクランク回転に有効な成分の増大と言い換えることができる。

空気圧の違いがペダリングに及ぼす影響についてまとめると、今回用いた供試品についての結論ではあるが、タイヤ空気圧以外の条件が同じ場合、

・シティ車ではタイヤ空気圧が 75 %になるとペダル踏力は最大 1.12 倍、タイヤ空気圧が 50%になるとペダル踏力は最大 1.63 倍必要であった。

・ロードレーサではタイヤ空気圧が 75 %になるとペダル踏力は最大 1.09 倍、タイヤ空気圧が 50 %になるとペダル踏力は最大 1.21 倍必要であった。

と言えるだろう。

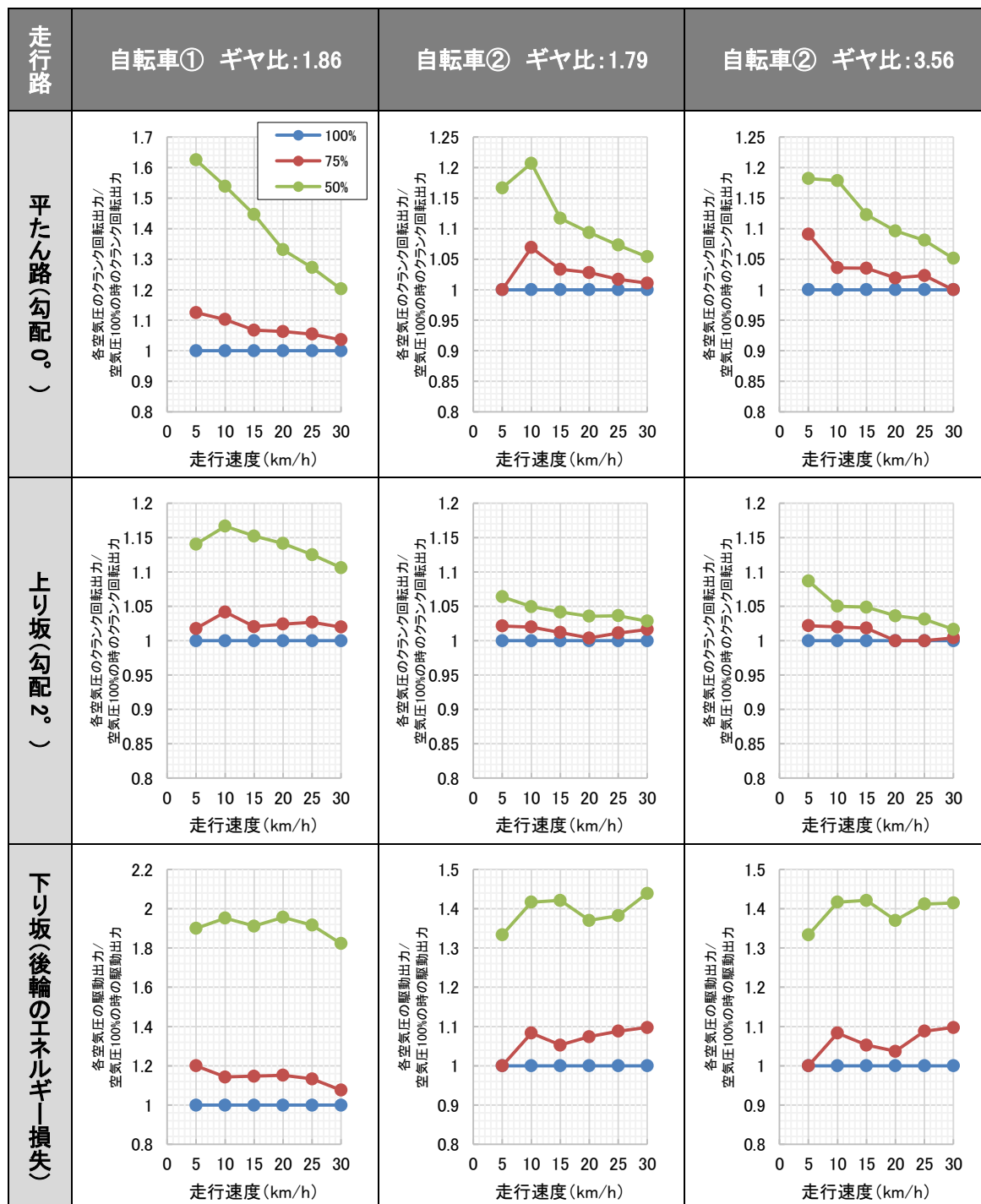


図 5 タイヤ空気圧 100%のときに対する各タイヤ空気圧のクランク回転出力及び駆動出力の増加率

② シティ車とロードレーサのクランク回転出力の違い

一般的に、シティ車と比較してロードレーサは容易に高速走行が可能である。これは主にペダリングの軽さに由来するものであるが、この現象を今回の測定結果から考察する。今回測定した2銘柄で、タイヤ空気圧が100%、ギヤ比が近い条件（自転車①：1.86、自転車②：1.79）でクランク回転出力を比較し、図6にまとめた。

図6より、クランク回転出力に大きく差が生じており、自転車②のクランク回転出力に対する自転車①のクランク回転出力の計算結果から、自転車②は自転車①に比べ平坦路では70%~90%程度のクランク回転出力で走行でき、勾配2°の上り坂では80%~90%程度のクランク回転出力で走行できていた。勾配2°の条件では総重量により走行抵抗に違いは生じることやクランク長の違いを考慮に入れる必要はあるが、今回の測定では自転車①、自転車②で入力回転速度（ケイデンス）もほぼ同じであり、シティ車と比較しロードレーサは、同速度・同ギヤ比において平坦路で70%~90%程度、勾配2°の上り坂では80%~90%程度のペダル踏力で走行できると言えるだろう。

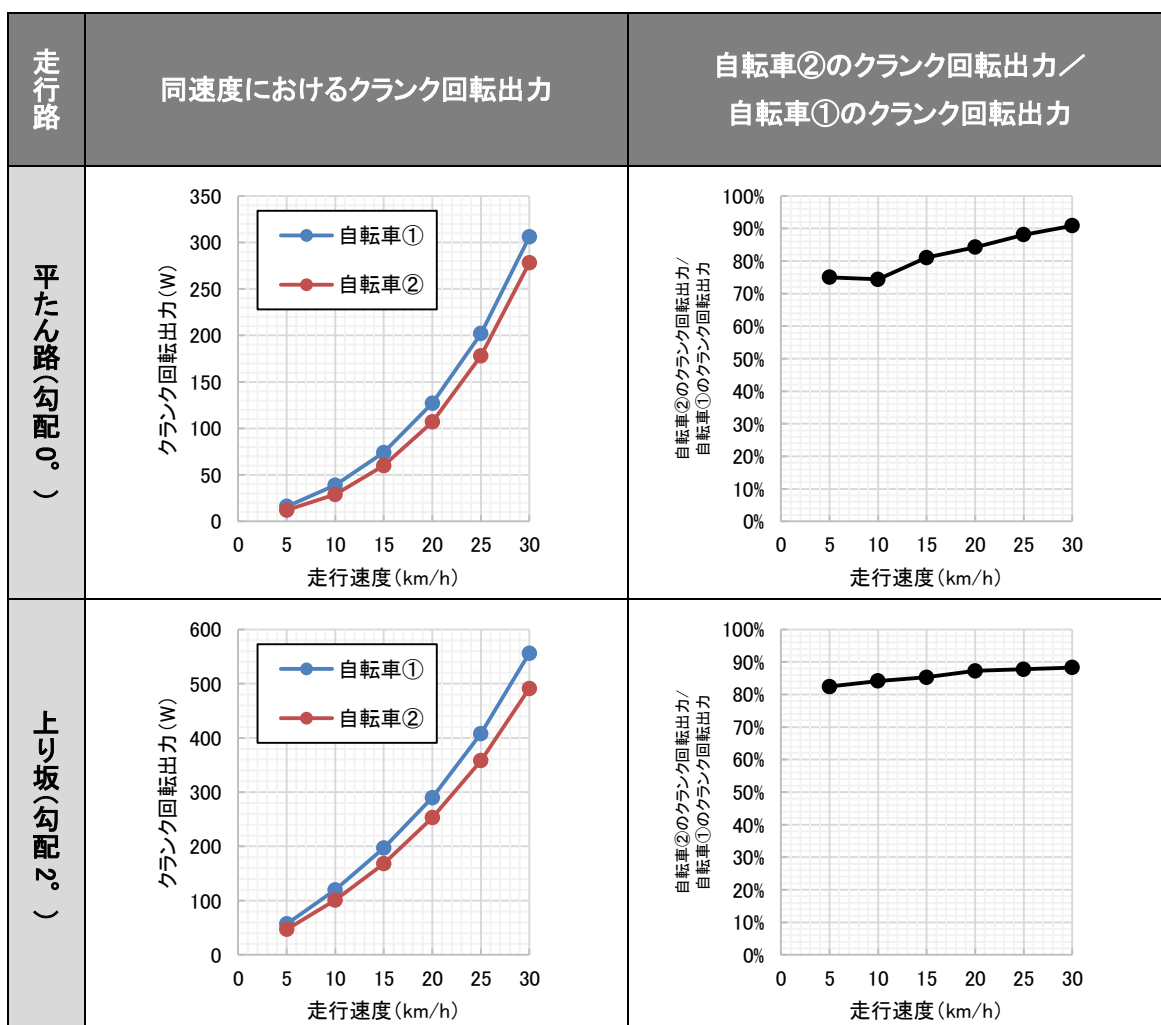


図6 自転車①と自転車②のギヤ比が近い条件でのクランク回転出力比較

③ エネルギー損失の評価

②で生じた違いについて、何が影響しているのかを走行時のエネルギー損失の大きさから考察する。タイヤ空気圧 100 %、平たん路における、各銘柄の走行速度に対する駆動出力とクランク回転出力の差（全エネルギー損失）や後輪のエネルギー損失の割合などを図 7 にまとめた。

図 7 から、自転車①と自転車②のエネルギー損失で明確な差があるのが後輪のエネルギー損失分であり、また各自転車とも後輪のエネルギー損失が、全エネルギー損失の 80 %～90 %程度を占めることがわかった。これは過去の報告書⁹⁾などで報告された値と同水準であった。また自転車②のギヤ比による違いとして、その他の部分の損失（軸受部及びチェーンとギヤ間における機械的なエネルギー損失）が 0 になるときがあるなど、帳票への出力時の数値の丸めが影響し、詳細な評価ができなかったが、ギヤ比を大きくするとその他の部分の損失が小さくなる傾向が見られた。これについては主に歯数やチェーンのたわみ具合などが影響したと考えられる。また軸受部の機械的なエネルギー損失がそれほど大きくないことから、後輪によるエネルギー損失はタイヤローラ間の転がり抵抗が大きな割合を占めていると言える。

以上から、今回用いた供試品、走行条件での結論ではあるが、後輪によるエネルギー損失分（主にタイヤの転がり抵抗による）の違いが、走行に必要なペダル踏力に大きく影響していた。

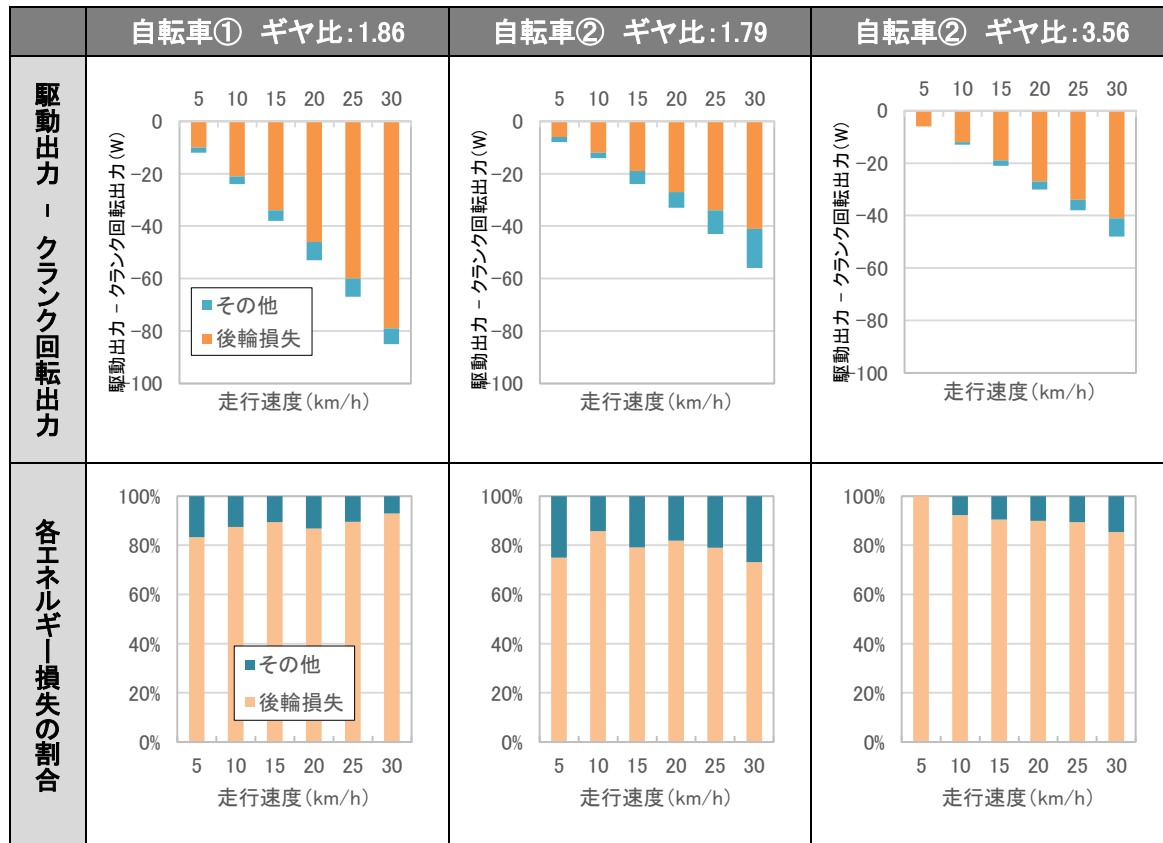


図 7 駆動出力とクランク回転出力の差（全エネルギー損失）や各損失の割合

5. 結言

シャーシダイナモメータを活用して、当所所有のシティ車及びロードレーサ 2 銘柄を測定し、タイヤ空気圧や車種の違いによるクランク回転出力・駆動出力の測定を行い、ペダリングなどにどのような違いが生じるか測定した。今回用いた供試品における結論ではあるが、以下、結果をまとめた。

- ・タイヤ空気圧以外の条件が同じ場合、シティ車ではタイヤ空気圧が 75 %になるとペダル踏力は最大 1.12 倍、タイヤ空気圧が 50 %になるとペダル踏力は最大 1.63 倍必要であった。また、ロードレーサではタイヤ空気圧が 75 %になるとペダル踏力は最大 1.09 倍、タイヤ空気圧が 50 %になるとペダル踏力は最大 1.21 倍必要であった。
- ・同条件で整備し、同速度・同ギヤ比で測定した場合、シティ車と比較しロードレーサは平たん路で 70 %～90 %程度、勾配 2° の上り坂では 80 %～90 %程度のペダル踏力で走行できた。
- ・後輪のエネルギー損失分（主にタイヤの転がり抵抗による）の違いが、走行に必要なペダル踏力に大きく影響していた。

これらの結果から、シャーシダイナモメータを活用し、タイヤ空気圧や車種によるエネルギー損失の違いがクランク回転出力に及ぼす影響の比較測定の可能性が明らかとなった。例えば軸受部及びチェーンとギヤ間における機械的なエネルギー損失など、小さな値で出力されるパラメータについては、帳票の表記上、小数点以下の丸めなどにより細かな評価が測定条件によっては難しく、ある程度大きな違いが見込まれる測定、例えば今回のようにシティ車とロードレーサなど、ペダリングの重さが明らかに異なる自転車での比較測定を行うのは可能であることがわかった。

参考文献

- 1) (一財) 自転車産業振興協会：“電動アシスト自転車の評価機器と品質性能調査方法の検討” 2015 年 3 月
- 2) (一財) 自転車産業振興協会：“電動アシスト自転車 品質性能調査方法の検討” 2016 年 3 月
- 3) (一財) 自転車産業振興協会：“電動アシスト自転車の一充電当たりの走行距離測定自動化の検証” 2017 年 3 月
- 4) (一財) 自転車産業振興協会：“電動アシスト自転車の応答性評価方法の検討（ペダリングを止めてからアシスト制御が終止するまで）” 2017 年 3 月
- 5) (一財) 自転車産業振興協会：“電動アシスト自転車の耐水性試験における応答性評価方法の検討” 2017 年 3 月
- 6) 日米富士自転車株式会社：「乗って軽い自転車を作るには」、『自転車生産技術』, NO.8 (1955 年 3 月) P.129-139,
(一財) 自転車産業振興協会