

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 フル電動自転車の評価

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では、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 年度第二報）では、外観は電動アシスト自転車とほぼ同一でありながら、にぎり部にスロットルがついている（写真 1）など、原動機付自転車などに該当する電動自転車（以下、フル電動自転車と呼ぶ）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検証した。なお、フル電動自転車の評価等については、平成 28 年度、当所に相談が 6 件以上寄せられている。

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などを用い、走行条件を変えてフル電動自転車の駆動出力などの測定を行うことで、どのような評価が可能かを調査した。



写真 1 スロットル外観

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、フル電動自転車 2 銘柄を使用した。詳細について表 1 にまとめた。なお、本報告では市販されている電動アシスト自転車を購入しデータ測定を行ったが、商品テストを目的としていないため、商品名や自転車の詳細については公表しない。2 銘柄とも購入時の状態では道路運送車両の保安基準を満たしておらず、公道走行が不可である車両であり、取扱説明書や製品のWEBページにもその旨記載はされていた。

表 1 供試品

	供試車①	供試車②
重量(kg)	28.5	24.0
車輪径 (インチ)	26 × 1.75	26 × 1.75
変速	外装 6 段	外装 6 段
最大 空気圧 (kPa)	450	350
組電池の 定格電圧、 定格容量	24V、12Ah (WEB ページに記載)	24V、6Ah (WEB ページに記載)
駆動補助装 置の種類	後車軸合力発生型 (ハブモータ後輪駆動方式)	後車軸合力発生型 (ハブモータ後輪駆動方式)
制御部 記載の 情報	 	

2.2 測定機材

測定機材には前述のとおり、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 2、図 1 に示す。詳細については過去当所が発行した報告書を参照いただきたい。



写真 2 シャーシダイナモメータ外観

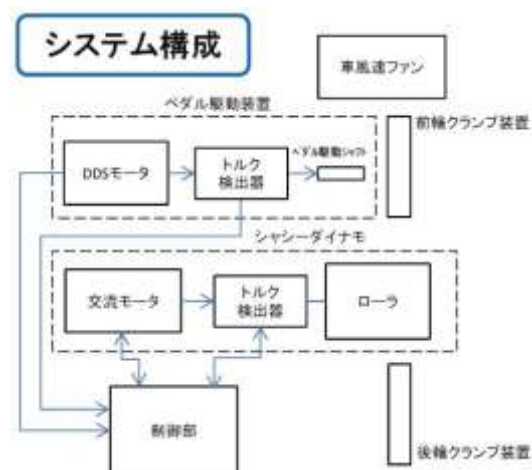


図 1 シャーシダイナモメータ構成図

2.3 測定方法

測定方法については、ペダリングなどによるクランク回転出力は発生させず、スロットルを最大限に回した状態で走行させ、走行条件を変えた際の駆動出力を測定した。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、

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

$P2$: 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 (°)

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場合 $F = F_r$ となる。なお、シャーシダイナモメータの帳票には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
電源	定電圧電源を使用。組電池の定格電圧に設定
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
走行路	平たん路(勾配 0°)から 0.2° 刻みで増加させた。
室温	20°C~25°Cの間に調整した。走行時は、走行速度に相当する風を供試車前面より与えた。
タイヤ空気圧	タイヤ側面に記載している最大空気圧とした。
測定時間	測定は停止状態からスロットルを最大限に回した状態で固定し、その後速度が一定となった状態で 10 秒間走行させ、その間の各パラメータの平均値を測定した。また、電動機の温度は、各測定前に手で触れることのできる温度であることを確認し、走行させた。

検査 負荷 測定	測定 番号	目標 走行 速度	目標 後輪 駆動力	クランク	クランク	走行速度	後輪駆動力	クランク	車両の 補正前 駆動出力	シャーシの	車両の 補正後 駆動出力
				入力 回転速度	入力 トルク			回転出力		ロス馬力	
		(km/h)	(N)	(計測値) N (r/min)	(計測値) T (N·m)	(計測値) V (km/h)	(計測値) F (N)	(計測値) P1 (W)	(計測値) P2 (W)	(計測値) P3 (W)	(計測値) P2 (W)
設 定 条 件	1	23	16	0.0	0.3	23.0	16	0	104	4	108
	2	23	19	0.0	0.3	22.6	19	0	118	4	122
	3	22	21	0.0	0.3	21.9	21	0	128	4	132
	4	21	23	0.0	0.3	21.2	23	0	138	4	141
	5	21	26	0.0	0.3	20.8	26	0	150	4	154
	6	20	28	0.0	0.3	20.0	28	0	157	3	160
	7	19	30	0.0	0.3	18.9	30	0	158	3	161
	8	18	32	0.0	0.3	17.7	32	0	157	3	160
	9	17	34	0.0	0.3	16.7	34	0	158	2	161
	10	16	36	0.0	0.3	15.3	36	0	157	2	159
	11	14	39	0.0	0.3	14.4	39	0	158	2	157
	12	13	41	0.0	0.3	13.3	41	0	151	2	152

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

2台の供試品において、駆動出力に対する最高速度の測定結果及び駆動力と駆動出力の関係を図3にまとめた。なお、供試車②については勾配4.4°で走行させた際に異音が生じ、電動機が停止した。制御装置内部を確認したところ、コンデンサが破裂していた(写真3)

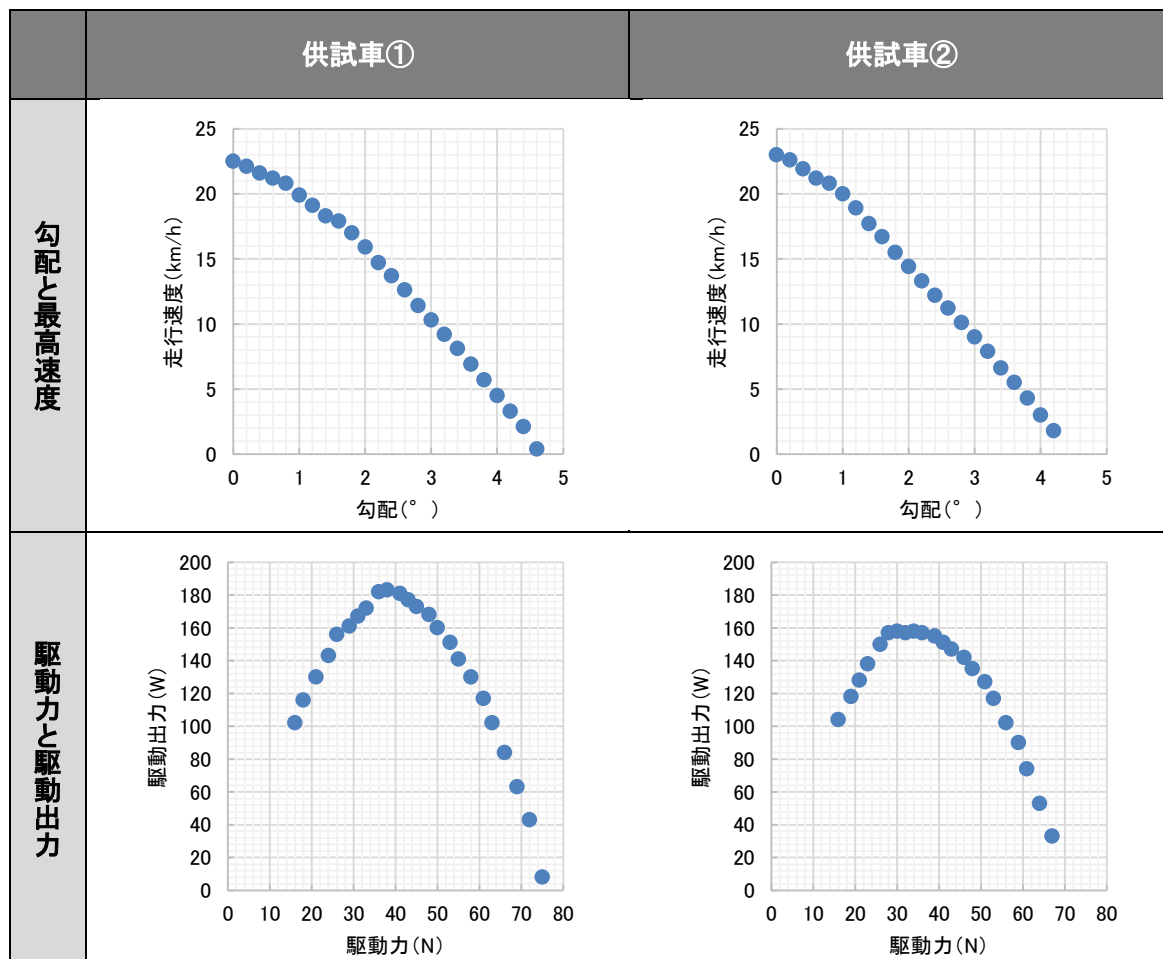


図3 測定結果



写真3 破裂したコンデンサ(供試車②)

4. 考察

4.1 車両の性能評価

今回の測定結果から、シャーシダイナモメータの測定結果より得ることが可能な、車両の駆動に関する性能値を表 4 にまとめた。

表 4 車両の駆動に関する性能値

項目	供試車①	供試車②
最高速度と その時の勾配	22.4 km/h (勾配 0°)	23.0 km/h (勾配 0°)
最高速度が 20km/h となる勾配 (走行抵抗)	1° (29 N)	1° (28 N)
最高駆動出力と その時の走行速度及び走行抵抗	183 W (17.0 km/h-38 N)	161 W (18.9 km/h-30 N と 16.7 km/h-34 N)
走行可能な最大勾配 (走行抵抗)	4.6° (75 N)	4.2° (67 N)

図 3 及び表 4 より今回測定した供試車では、勾配 1°に設定しても最高速度が 20 km/h であったことから、乗員体重 65 kg の乗員が平たん路を走行するような実使用時においても、電動機のみで 20 km/h 以上で走行可能であると思われる。また最高駆動出力や登坂可能な最高勾配は銘柄で差があったが、共に最高駆動出力 200 W 以下であり、4°以上の勾配では、電動機のみで走行は難しくなった。

4.2 電動機と制御装置を組み合わせた状態での性能の参考評価

4.1 で得た結果は完成車状態での性能評価であるが、本項では電動機と制御装置の性能評価を、3 章で得た結果を用いて行った。評価方法として参考にしたのは JIS D 1302 : 2004 (電気自動車-電動機-最高出力試験方法) である。温度測定をしていないなど完全に準拠はしていないため、あくまで参考値としての結果である。以下、各パラメータの計算方法及び測定方法についてまとめた。

・軸トルクの測定については、走行抵抗 (駆動力)、後輪の転がり抵抗 (図 4) 及び後輪半径を測定し、以下の式により計算した。

$$T = (F + \mu_r W_r + L_R) \times R_r$$

T : 軸トルク (N・m)

F : 走行抵抗 (駆動力) (N)

$\mu_r W_r$: 後輪の転がり抵抗 (N)

L_R : シャーシダイナモメータのロス抵抗 (N)

R_r : 後輪半径 (m)

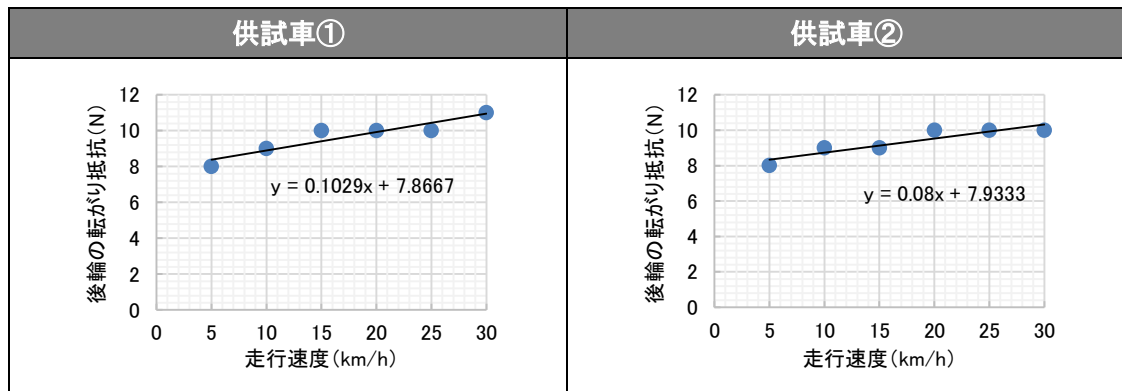


図 4 後輪の転がり抵抗

- ・電動機回転速度については、走行速度と後輪半径から、以下の式により計算した。

$$N = \frac{1000 \times V}{60 \times 2\pi \times R_r}$$

N : 電動機回転速度 (min^{-1})

V : 走行速度 (km/h)

R_r : 後輪半径 (m)

- ・制御装置入力電流についてはクランプメータを用いて測定を行った。
- ・電動機の温度は測定していない。

上記内容により計算した電動機回転速度、軸トルクより JIS D 1302 による計算方法で軸出力及び供試電動機と制御装置との組み合わせ総合効率を計算した。軸出力は単位を W として計算した。電動機最高出力曲線及び得られた各パラメータを図 5 及び表 5 にまとめた。

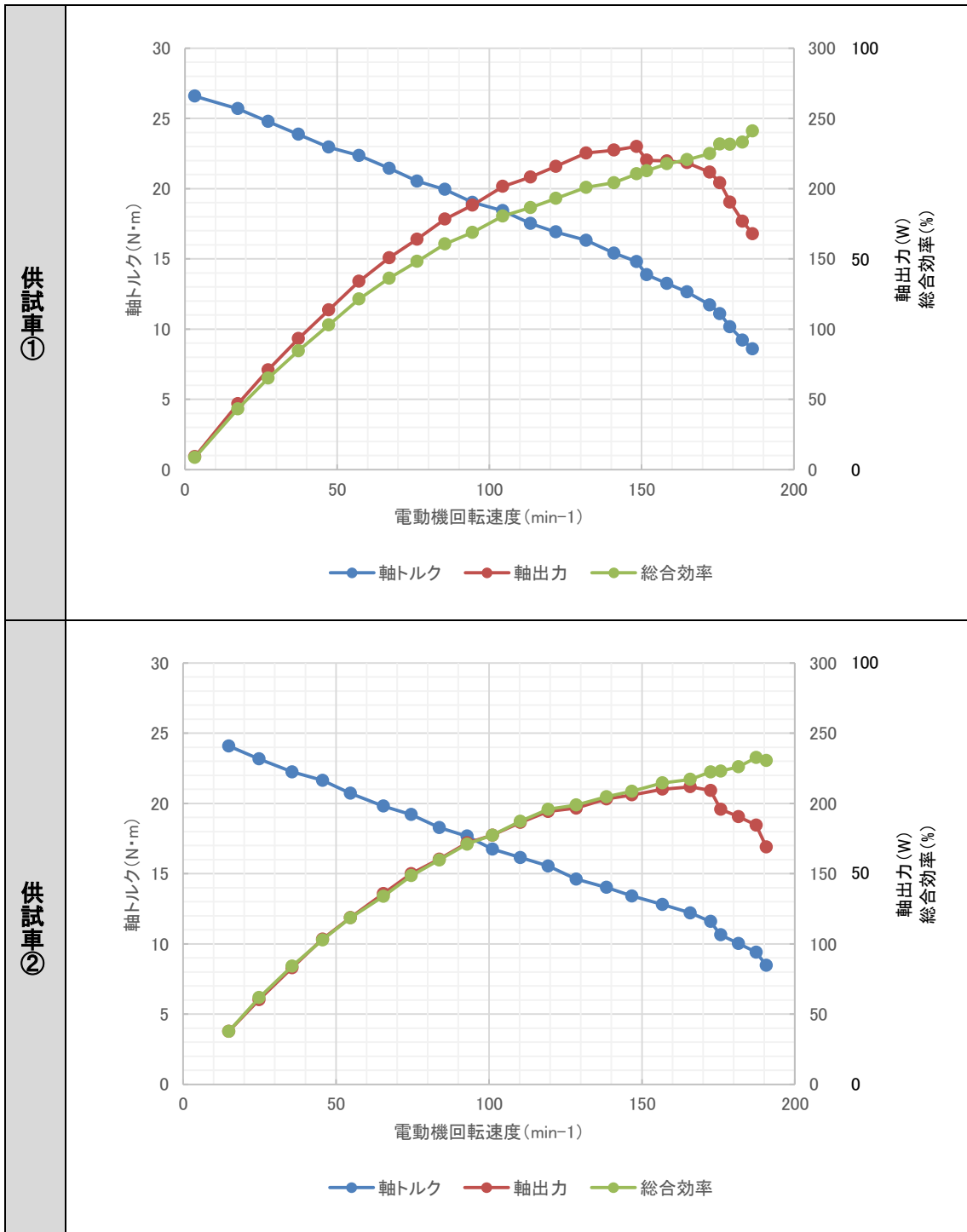


図 5 電動機最高出力性能曲線

表 5 電動機と制御装置とを組み合わせた状態での各パラメータ

項目	供試車①	供試車②
軸出力の最大値と その時の電動機回転速度	230 W (141 min ⁻¹)	212 W (166 min ⁻¹)
総合効率の最大値と その時の電動機回転速度	80.3 % (186 min ⁻¹)	77.5 % (187 min ⁻¹)
最大回転速度	186 min ⁻¹	191 min ⁻¹
最大軸トルク(推定)	27 N・m	25 N・m

図 5 及び表 5 より、シャーシダイナモメータを用いて、あくまで参考値ではあるが、各供試車の電動機及び制御装置を組み合わせた状態での性能曲線及び各パラメータを得られた。ただしこれらのパラメータは、実使用時の走行抵抗相当の負荷を与えた状態で測定していることから、例えば最大回転速度は無負荷状態ではさらに大きくなると考えられる。

また、軸出力の最大値に注目すると、供試車②においては制御装置に定格出力（额定功率と表記されていた）が 250 W と表示されているにも関わらず、電動機と制御装置とを組み合わせた状態での軸出力の最大値は 212 W であり、軸出力の最大値を上回る定格出力を表示していると思われる。

5. 結言

シャーシダイナモメータを活用して、フル電動自転車の測定を行うことでどのような評価が可能かを調査した。以下に結果をまとめた。

- ・車両の性能評価については JIS D 9115 : 2017 の附属書 B をベースにした測定により、最高速度や駆動出力などを測定可能であった。
- ・電動機と制御装置を組み合わせた状態での性能評価については、JIS D 1302 : 2004 を参考にし、最高出力や回転速度などが、参考値として測定可能であった。
- ・電動機の軸出力の最大値を上回る定格出力を表示していると思われる製品があった。
- ・走行抵抗が大きな状態で走行させる場合、製品によっては故障する場合があった。

これらの結果から、フル電動自転車の車両としての性能評価及び参考として電動機及び制御装置を組み合わせた状態での性能評価は、参考値の水準であれば当所所有のシャーシダイナモメータで測定可能であると思われる。

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証（ペダリングを止めてからアシスト制御が終了するまで）” 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