

平成 30 年度自転車等研究開発普及事業  
事業実施報告書

# 乗員体重、幼児 2 人同乗時など、 自転車の総重量が増えた際の一充電あたり の走行距離の変化

平成 30 年 10 月

一般財団法人 自転車産業振興協会 技術研究所

## 目次

1. 事業実施の背景と目的.....	2
2. 自転車の総重量と一充電当たりの走行距離測定に関して.....	3
2.1 供試品.....	3
2.2 測定条件.....	4
3. 測定結果.....	6
3.1 一充電当たりの走行距離の測定結果.....	6
4. 考察.....	7
4.1 総重量と電流値との関係.....	7
4.1.1 総重量とシャーシダイナモメータで制御する走行抵抗の関係.....	8
4.1.2 総重量と後輪の転がり抵抗の関係.....	10
4.1.3 走行抵抗及び後輪の転がり抵抗と電流の関係.....	11
5. まとめ.....	12

## 1. 事業実施の背景と目的

環境への意識の高まりや技術の急速な進歩などにより、電気を動力源とする乗り物に注目が集まっている。その中でも電動アシスト自転車は、誰でも手軽に利用できることから、普段の移動手段としての地位が高まりつつある。例えば、電動アシスト自転車の生産台数は2017年では約56万8千台<sup>1)</sup>で、自転車全体の国内生産台数の63.7%（完成車車種別生産比率）を占めている。

電動アシスト自転車は電気を動力源としてはいるが、その動力は、あくまで人の力を補助するためのものであり、電動機（モーター）のみで駆動するものではない。具体的には、電動アシスト自転車は道路交通法施行規則第1条の3に規定するもので、電動機と人の力が独立したままでは作動せず、もっぱら人の力に対する補助力として作用するように設計されている自転車で、人力を加えた際に走行速度に応じて、道路交通法に規定された駆動補助力の比率の最大値を超えないよう駆動補助力が加わるものである。当然、駆動補助力、すなわち電動機の出力が大きくなると、その分電池の消費も大きくなる。

電池の消費に密接に関連するのが、「一充電当たりの走行距離」である。測定方法についてはJIS D 9115：2018（電動アシスト自転車）の附属書Dに規定されており、平たん路、上り坂、下り坂を組み合わせた「標準パターン」と、上り坂のみを走行する「4度登坂連続パターン」の2パターンをシャーシダイナモメータで再現し、走行した際の走行距離を測定、計算するものである。この測定においては、体重65kg以上70kg以下の乗員が実際にペダリングを行い、電動アシスト自転車を駆動させる。乗員の体重が規定されているため、電動アシスト自転車のカタログや取扱説明書に乗員がそれ以上軽い場合、もしくは重い場合の走行距離については記載が無いこともあり、「乗員体重が重くなると一充電当たりの走行距離はどの程度変わるのか？」など、当所に一充電当たりの走行距離についての相談が寄せられることも少なくない。

このような背景もあり、本報告では、現在日本で販売されている電動アシスト自転車（幼児2人同乗含む）を用い、乗員体重や荷物などの積載重量を変えることで、一充電当たりの走行距離がどのように変わるかをシャーシダイナモメータを使用し、測定した。

## 2. 自転車の総重量と一充電当たりの走行距離測定に関して

### 2.1 供試品

本研究では2017年度～2018年度にかけて購入した4銘柄4台の電動アシスト自転車を使用した。供試品の概要を表1にまとめた。自転車及び自転車については、他研究での使用歴があり、組電池の充放電回数は約20回である。なお、商品テストを目的としていないため、表に示す以外の自転車の情報は公表しない。

表1 供試品概要

供試品	購入年度	完成車重量 (kg)	駆動補助装置の種類	認証の有無	備考
自転車	2017	25	クランク軸上合力発生一体型 (センターモータ駆動方式)	BAA, TS	他研究での使用歴あり (充放電回数20回程度)
自転車	2017	24	クランク軸上合力発生一体型 (センターモータ駆動方式)	BAA, TS	他研究での使用歴あり (充放電回数20回程度)
自転車	2018	25	人力・電動力別車輪発生型 (ハブモータ前輪駆動方式)	TS	新品
自転車	2018	30	クランク軸上合力発生一体型 (センターモータ駆動方式)	BAA, TS, 幼児2人同乗基準適合車	新品

## 2.2 測定条件

一充電当たりの走行距離の測定は JIS D 9115 : 2018 (電動アシスト自転車) の附属書 D に記載されている標準パターンで行った。表 2 に標準パターンについて示す。標準パターンは、平たん路、上り坂などを組み合わせており、実使用時に近い一充電当たりの走行距離を測定できる。今回は 1 パターンの計 4 km で測定を行い、パターン放電装置にて消費電池容量を測定した。走行モードについては、駆動補助力が一番大きくなるモード (強モード・パワーモードなど) とした。電圧低下により駆動補助に係る電池出力電流を停止させる駆動補助終止条件については、当方では詳細に把握できないため、組電池の電圧が 20.5 V になる時とした。

表 2 標準パターン

順番	走行路	勾配	速度	走行距離	変速段
1	平たん路	0°	15 km/h	1 km	最大の変速段
2	上り坂	4°	10 km/h	1 km	中間 (注 1)
3	平たん路	0°	15 km/h	1 km	最大の変速段
4	下り坂	4°	20 km/h	1 km	最大の変速段

イメージ図

各走行路の間では、10 秒間の停止を入れる。

注 1 上り坂の変速段は、最大変速段が奇数の場合、最大変速段数を 2 で除した数字を切り上げた整数の段とする。

最大変速段が偶数の場合、最大変速段数を 2 で除した数字に 1 を加えた整数の段とする。最大変速段数が 2 以下の場合は下の段とする。

測定に際しては、前述の通り体重 65 kg 以上 70 kg 以下の乗員がペダリングを行い、乗員 65 kg + 完成車重量相当の総重量を想定し測定を行うが、本報告では、総重量の違いで一充電当たりの走行距離がどのように変わるかを調べるため、「条件 A：総重量が軽い条件（乗員体重 55 kg）」、「条件 B：JIS で規定された重量範囲での条件（乗員体重 65 kg）」及び、「条件 C：総重量が重い条件（乗員 55 kg + 取扱説明書記載の最大積載重量分のおもりを積載）」の 3 つの乗員及び積載条件にて測定を行った。なお、条件 C については、当方所有のシャーシダイナモメータでは等価慣性質量の最大総重量が 112.5 kg までしか設定できないため、自転車の総重量は 113.75 kg 以下となるよう設定（JIS D 9115:2018 の附属書 D 表 D.1 より）。また、各自転車の取扱説明書に記載されている許容積載重量（自転車：リヤキャリア 27 kg + フロントバスケット 3 kg、自転車：前後合わせて 27 kg、自転車：リヤキャリア 27 kg + フロントバスケット 5 kg、自転車：前後合わせて 27 kg）を超えないように設定した。前後合わせて 27 kg と記載のあるものに関しては、本研究ではリヤキャリアに許容積載重量分のおもりを載せた。各条件における総重量について表 3 にまとめた。

表 3 各条件における総重量

供試品	完成車重量 (kg)	総重量 (kg)		
		条件A	条件B	条件C
		体重約55 kgの乗員のみ (、 はリヤキャリア 上に約3 kgの幼児座席付)	体重約65 kgの乗員のみ (、 はリヤキャリア 上に約3 kgの幼児座席付)	体重約55 kgの乗員 + 許容積載重量
自転車	25	80	90	110
自転車	24	79	89	106
自転車	25	83	93	113
自転車	30	89	99	112

### 3. 測定結果

#### 3.1 一充電当たりの走行距離の測定結果

各条件で測定した一充電当たりの走行距離の測定結果を図1にまとめた。横軸が総重量、縦軸が一充電当たりの走行距離である。

図1より、総重量と一充電当たりの走行距離に相関がみられ、今回測定した供試品では重量増により走行距離が減少しており、総重量に対して一充電当たりの走行距離は線形的な減少傾向がみられた。各プロットを線形回帰させ、その回帰直線の傾きを表4にまとめた。回帰直線の傾きはkm/kgのため、総重量が1kg変化すると、一充電当たりの走行距離は傾き×1km増減する。したがって、表4より、各自転車で総重量が10kg増加すると、一充電当たりの走行距離は2~4km程度減少することが分かった。

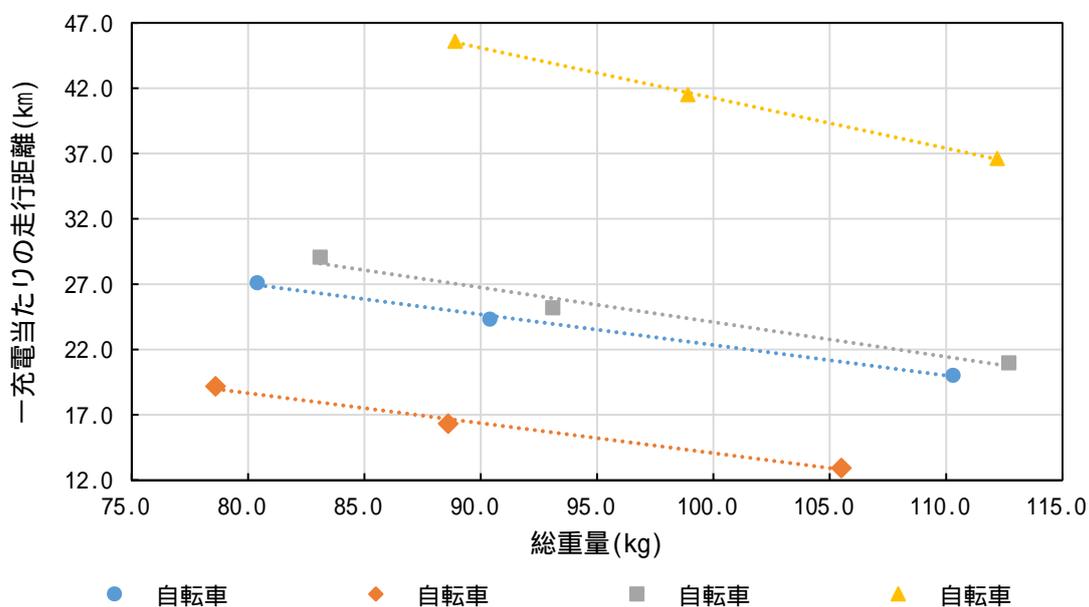


図1 総重量と一充電当たりの走行距離の関係

表4 図1における各自転車の回帰直線傾き

	回帰直線の傾き ( km/kg )
自転車	-0.23
自転車	-0.23
自転車	-0.26
自転車	-0.38

## 4. 考察

### 4.1 総重量と電流値との関係

総重量の増加で一充電当たりの走行距離が減少するという事は、総重量が増加するほど電池の消費が増える、すなわち走行時に大きな電流が流れているからである。そこで、標準パターンの中で、「下り坂」区間では走行時に電池を消費しないことから、電池を消費する「平たん路」区間と「上り坂」区間（加速及び停止時を除いた区間）の走行時において、各乗員及び積載条件で電池から電動アシスト自転車に流れる電流の平均値（以後、平均電流と呼ぶ）を走行時の測定データより計算し、それぞれ図2にまとめた。

図2は平たん路と上り坂（4°勾配の登坂）走行時の総重量と平均電流の関係を表したものである。全ての供試品において、総重量が大きくなればなるほど、平均電流が大きくなっていった。また、その増え幅については、上り坂走行時の方が大きかった。

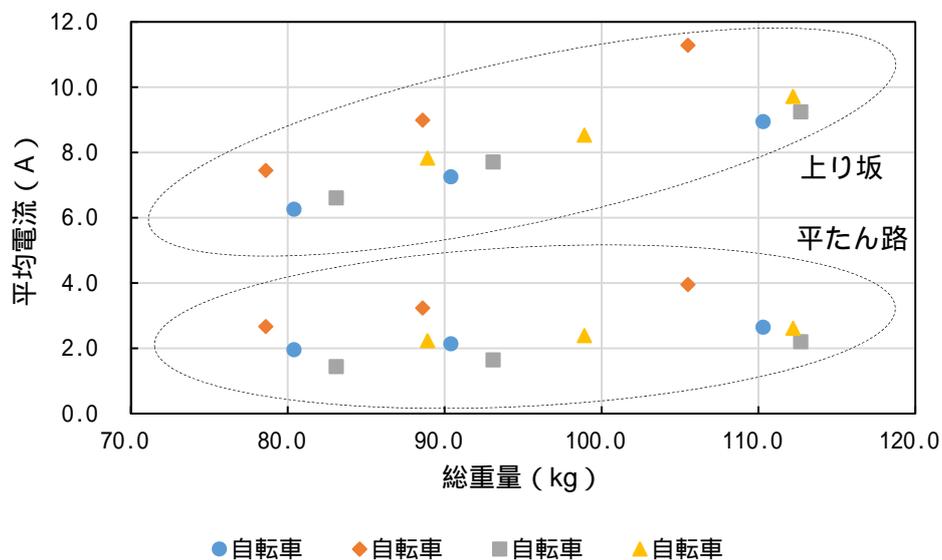


図2 総重量と平均電流の関係

#### 4.1.1 総重量とシャーシダイナモメータで制御する走行抵抗の関係

総重量が大きくなると平均電流が大きくなる理由について考察する。総重量が増えることで変わるのが、勾配抵抗である。JIS D 9115 : 2018 の附属書 D では、実際に路面を走る際の前輪の転がり抵抗、空気抵抗、勾配抵抗などの走行抵抗を以下の計算式で定義し、シャーシダイナモメータのローラで制御している。

$$F = R + 0.027V^2 + 9.8W\sin\theta \cdots \cdots \cdots \text{(式 1)}$$

$F$  : 走行抵抗 (N)

$V$  : 速度 (km/h)

$W$  : 等価慣性質量の標準値 (kg)

$\theta$  : 登板角度 (°)

$R$  : 転がり抵抗 (N)。シャーシダイナモメータ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。

0.027 : 空気抵抗係数

等価慣性質量の標準値は、JIS D 9115 : 2018 表 D.1 より、総重量に依存するため、総重量が増加すれば、等価慣性質量の標準値も増加する。したがって、式 1 の走行抵抗のうち勾配抵抗 (式 1 の  $9.8W\sin\theta$  部) が増加することになる。

平たん路と上り坂における式 1 より算出した総重量と走行抵抗の関係を図 3 に示す。図 3 で示す青線は平たん路を 15 km/h で走行した時の総重量と走行抵抗の関係を、橙線は上り坂を 10 km/h で走行した時の総重量と走行抵抗の関係を示したものである。

平たん路走行時には、総重量が変化しても勾配抵抗は変わらないため、走行抵抗も変わらないが、上り坂走行時には、総重量が大きくなると勾配抵抗が大きくなり、走行抵抗が線形的に大きくなる。自転車の駆動補助制御の仕様により差はあると考えられるが、走行抵抗が大きくなると乗員のペダリングを少しでも楽にするために駆動補助出力が大きくなるように制御されると考えられるため、上り坂走行時においては、総重量が増すほど、電池の消費量が増加すると考えられる。

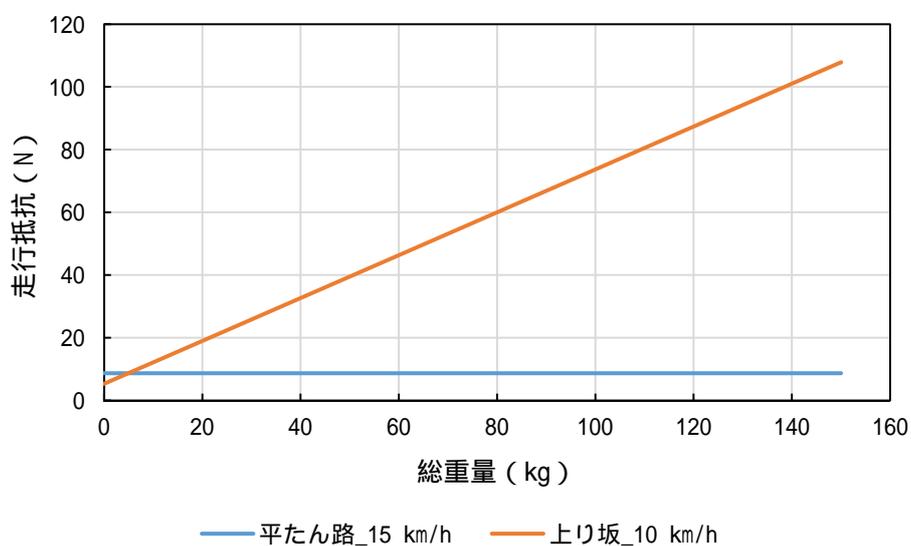


図 3 式 1 より算出した総重量と走行抵抗の関係

#### 4.1.2 総重量と後輪の転がり抵抗の関係

次に、今回の測定で総重量の変化が影響すると考えられる後輪の転がり抵抗について考える。転がり抵抗は、主にタイヤ接地部の一時的な弾性変形による、ゴムタイヤ独特のヒステリシス現象に起因するものである。シャーシダイナモメータ上で走行する際もローラ面と後輪タイヤが接するため、後輪の転がり抵抗が生じる。そこで、シャーシダイナモメータにて、各条件における後輪の転がり抵抗を測定した。

測定方法に関しては、条件 A から C の状態で自転車の後輪をシャーシダイナモメータのローラ上に載せ、ペダリングをせずローラのモータを駆動させることでローラを回転させ、その時のローラにかかる負荷を測定した。ローラ速度を 10 km/h 及び 15 km/h で、それぞれの速度及び条件 A から C の重量条件における後輪の転がり抵抗を測定した。

図 4 に各自転車及び各条件における総重量と後輪の転がり抵抗の関係を示す。横軸に総重量、縦軸に後輪の転がり抵抗を示したものである。15 km/h (平たん路走行時の速度)、10 km/h (上り坂走行時の速度) とともに、総重量が増加することによって、後輪の転がり抵抗が増加することがわかった。総重量の増加によりシャーシダイナモメータで制御する走行抵抗 (勾配抵抗) の増加に加えて、後輪の転がり抵抗が増加した分、駆動補助出力が大きくなると考えられる。

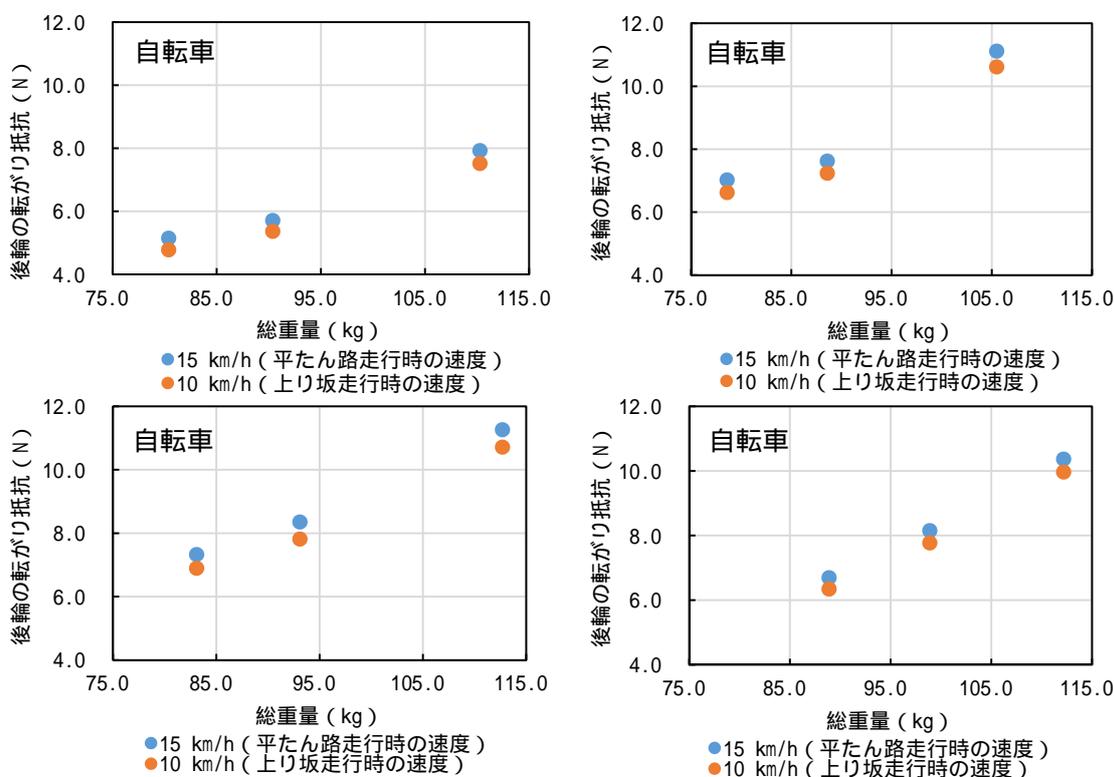


図 4 総重量と後輪の転がり抵抗の関係

#### 4.1.3 走行抵抗及び後輪の転がり抵抗と電流の関係

走行抵抗（式1）及び後輪の転がり抵抗増加による電流への影響について考察する。図5に総重量、走行抵抗と後輪の転がり抵抗の合計値（以後、抵抗 a と呼ぶ）と平均電流の関係を示す。

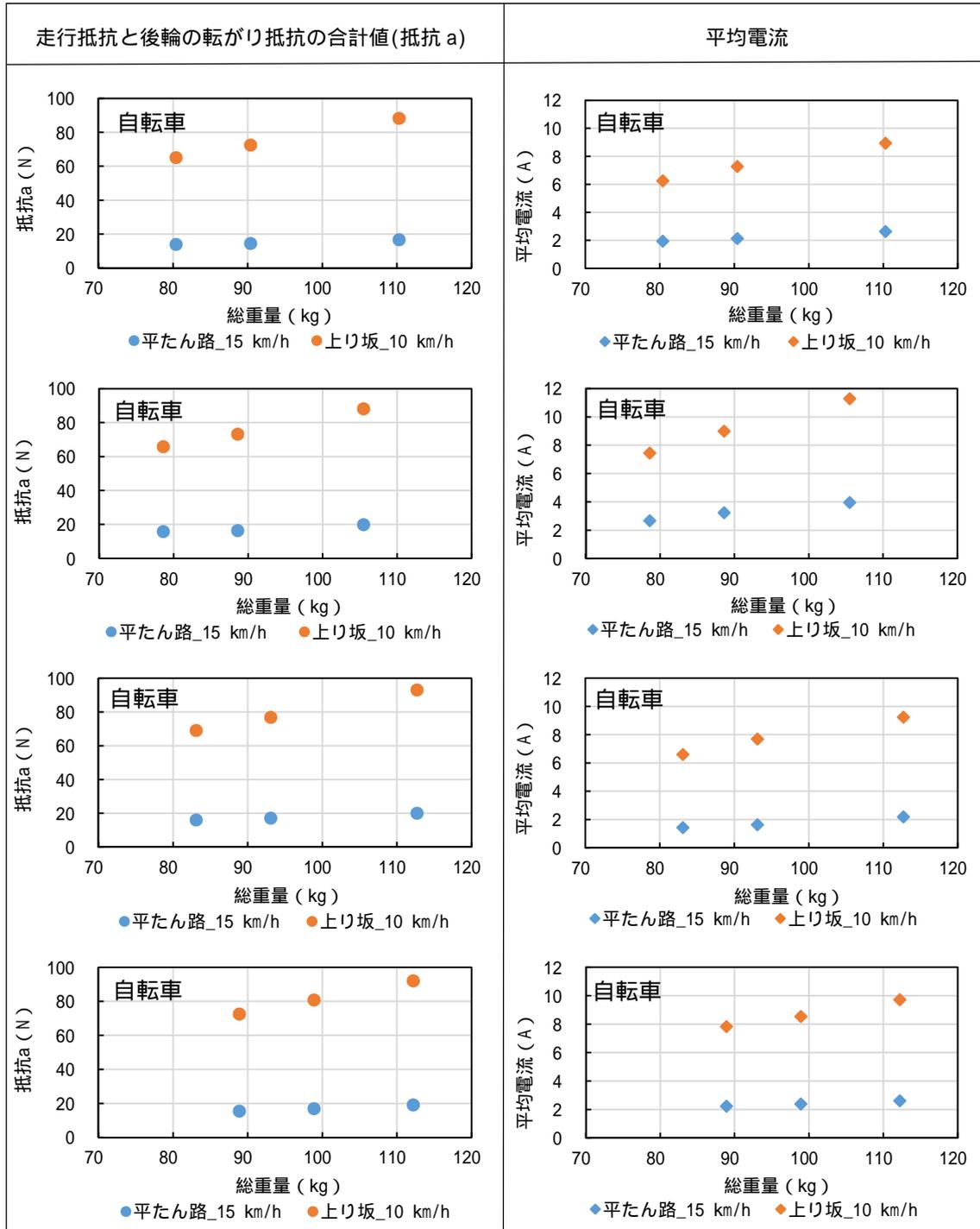


図5 総重量、抵抗 a と平均電流の関係

図5において、各図の青点は平たん路走行時の値、橙点は上り坂走行時の値である。各自転車において、総重量に対する抵抗  $a$  と平均電流の傾向を比較すると、どちらも平たん路走行時は増え幅が少なく、上り坂走行時は増え幅が大きくなるなど、各自転車の抵抗  $a$  と平均電流の増加傾向は同様であり、抵抗  $a$  の増減が電池の消費に大きく影響していることがわかった。一方で、例えば自転車 の平たん路走行時は、他の自転車と比べ総重量増加に対する平均電流の増え幅がやや大きかった。これは、今回の報告では検証が出来なかったが、走行の際に生じる慣性力やペダリングに対する駆動補助制御の違いなどが影響したと考えられる。

## 5. まとめ

JIS D 9115:2018 附属書 D の標準パターンにおいて一充電あたりの走行距離を測定した。総重量が大きくなるにつれて、一充電あたりの走行距離は減少し、今回測定した 4 台の供試品においては、総重量が 10 kg 増えると一充電あたりの走行距離は 2~4 km 程度短くなる傾向が見られた。

総重量と一充電あたりの走行距離の関係については、走行時の電池の消費が変わることが原因であり、各総重量における「平たん路」及び「上り坂」走行時の平均電流を調べたところ、総重量の増大により平均電流も大きくなっていった。総重量増で平均電流が大きくなった理由としては、主に勾配抵抗と後輪の転がり抵抗が大きくなり、少しでもペダリングを軽くするために駆動補助出力が大きくなるよう制御されたことが原因であると考えられる。

## 参考文献

- 1) (一財)自転車産業振興協会：平成 29 年 自転車生産動態・輸出入統計