

自転車等研究開発普及事業

平成 27 年度事業実施報告書

電動アシスト自転車 品質性能調査方法の検討

平成 28 年 4 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. 現行規格・基準による電動アシスト自転車の品質性能調査.....	3
2.1 供試品	3
2.2 駆動補助力の比率.....	3
2.2.1 測定方法	3
2.2.2 測定結果	4
2.2.3 電源の違いによる駆動補助力の比率の違い.....	6
2.2.4 変速位置の違いによる駆動補助力の比率の違い.....	8
2.3 一充電当たりの走行距離.....	11
2.3.1 測定方法	11
2.3.2 供試品と乗員.....	12
2.3.3 測定結果	12
2.3.4 一充電当たりの走行距離と駆動補助終止条件.....	14
2.3.5 回生充電機能がある銘柄の一充電当たりの走行距離.....	15
2.3.6 一充電当たりの走行距離と体重差.....	17
2.3.7 一充電当たりの走行距離と漕ぎ方.....	18
2.3.8 非 BAA 認証品を BAA の測定方法で測定した時の一充電当たりの走行距離	24
3. アシスト制御の応答性などの評価方法の検討.....	25
3.1 アシスト制御が始動するときのクランク入力トルク	25
3.1.1 測定方法	25
3.1.2 測定結果	26
3.2 ペダリングを止めてからアシスト制御が終止するまでの走行距離.....	29
3.2.1 測定方法	29
3.2.2 測定結果	29
4. 一充電当たりの走行距離測定の自動化.....	31
4.1 自動化の目的	31
4.2 測定方法	31
4.3 測定結果	32
4.4 考察	34
5. まとめと今後の予定.....	36

1. 事業実施の背景と目的

昨今、多種多様な電動アシスト自転車が流通し普及が進んでいる。出荷台数では平成 20 年に原動機付自転車を上回り、その後も国内出荷台数は増加傾向にある。これは環境意識の高まりや脱化石燃料の動き、健康志向のユーザーの増加、電動アシスト自転車の進化、利便性など様々な要因が重なったものと思われる。海外においても電動自転車（EPAC）の普及が進んでいる。今後は電動アシスト自転車を含めた LEV（Light Electric Vehicle）の普及が加速すると考えられ、LEV など軽車両の進化とともに、電動アシスト自転車も進化していくと考えられる。その点で、評価方法も進化していかねばならない。

電動アシスト自転車特有の主な評価項目としては、駆動補助力の比率と一充電当たりの走行距離がある。前者は道路交通法にて決められた、いわゆる「アシスト比が 1 : 2」を満足するかを測定するものであり、電動アシスト自転車が満たすべき要件として最も重要な項目である。一充電当たりの走行距離は、各製品を特長づける指標の一つであり、消費者が電動アシスト自転車購入の際に重要視する指標である。これらの評価項目については、シャーシダイナモメータと呼ばれる装置を用いて測定する。

上記の背景をもとに、自転車等技術開発推進事業の自転車等研究開発普及として、平成 26 年度に電動アシスト自転車用シャーシダイナモメータを導入した。平成 26 年度の報告書¹)に概要を示すとおり、本装置は（公財）日本交通管理技術協会の電動アシスト自転車（駆動補助機付自転車）の型式認定審査で使用されるシャーシダイナモメータと同仕様であり、平成 26 年度は予備試験的な形で電動アシスト自転車に関するパラメータ測定を行った。

平成 27 年度は現状の電動アシスト自転車の品質性能調査に加え、新たな評価方法についての模索を行った。実施に際し、パターン放電装置を導入することで、一充電当たりの走行距離測定が実施可能となった。加えて、全ての電動アシスト自転車に容易に取り付け可能なペダルセンサーの測定パラメータとシャーシダイナモの測定パラメータを同期させるシステムも新たに導入し、実際に人が漕いだときのペダリングとアシスト制御の応答などを一元的に測定することが可能になった。

本報告書では以下の内容について報告する。

- ・ 現行規格、基準による電動アシスト自転車の品質性能調査
- ・ アシスト制御の応答性などの評価方法の検討
- ・ 電動アシスト自転車の一充電当たりの走行距離測定方法の検討

なお、本報告書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. 現行規格・基準による電動アシスト自転車の品質性能調査

2.1 供試品

平成 26 年度は 4 銘柄 4 台の測定を実施し、平成 27 年度は新たに 6 銘柄 6 台を加えた測定を実施した。表 1 に各供試品の概要をまとめたが、前述のとおり、銘柄名や商品の詳細については公表しない。

表 1 供試品概要

	供試品 No	車輪径 (前/後)	購入年度	アシスト方式	電池容 量※	BAA 認証品
平成 26 年 度 実 施 分	A	26/26	平成 26 年度	クランク軸上合力発生一体型 (センターモータ駆動方式)	小	○
	B	26/26	平成 26 年度	クランク軸上合力発生一体型 (センターモータ駆動方式)	中	○
	C	26/26	平成 26 年度	人力・電動別車輪発生型 (ハブモータ前輪駆動方式)	中	○
	D	26/26	平成 26 年度	クランク軸上合力発生一体型 (センターモータ駆動方式)	中	○
平成 27 年 度 実 施 分	E	26/26	平成 26 年度	人力・電動別車輪発生型 (ハブモータ前輪駆動方式)	小	○
	F	26/26	平成 27 年度	クランク軸上合力発生一体型 (センターモータ駆動方式)	大	○
	G	26/26	平成 27 年度	クランク軸上合力発生一体型 (センターモータ駆動方式)	小	
	H	20/20	平成 26 年度	後車軸合力発生型 (ハブモータ後輪駆動方式)	小	
	I	26/26	平成 26 年度	後車軸合力発生型 (ハブモータ後輪駆動方式)	小	
	J	26/26	平成 26 年度	人力・電動別車輪発生型 (ハブモータ前輪駆動方式)	小	

※電池容量 200Wh 未満：小、200Wh 以上 300Wh 未満：中、300Wh 以上：大 とした

2.2 駆動補助力の比率

2.2.1 測定方法

JIS D 9115 : 2013 (電動アシスト自転車—設計指針) の附属書 B.1.2 に規定されている方法で駆動補助力の比率を測定した。シャーシダイナモメータは平成 26 年度に導入した株式会社小野測器製の電動アシスト自転車用シャーシダイナモメータを用いた。ペダル駆動装置は平成 26 年度と同様、ペダル駆動装置のモータ出力をモータ電流値で制御する方法である ACR (定電流制御) で測定者が手動操作にて速度を調整した。クランク入力の異常を感知し、アシスト制御を停止する安全装置が作動する銘柄については、クランク入力トルク値を正弦波制御し、実際のペダリングに近いクランク回転を行うことで作動を回避した。電源は各供試品に附属する電池を、満充電状態にして行った。また変速位置はギヤ比 (前ギヤ歯数/後ギヤ歯数) が最大となる位置、走行モードは強モードで測定を行った。

2.2.2 測定結果

表 2 に駆動補助力の比率の測定結果を、図 1 に各設定条件・走行速度で測定した駆動補助力の比率を示す。設定条件 1（緩やかな上り勾配の走路を走行する場合の負荷状態）と設定条件 2（急な上り勾配の走路を走行する場合の負荷状態）については、JIS D 9115 : 2013 の附属書 B.1.2 に規定されており、走行速度は 5、10、15、20、24、28km/h とした。駆動補助力の比率については供試品 A～供試品 F については 3 回～14 回、供試品 G～供試品 J については 5 回測定の平均値を用いた。

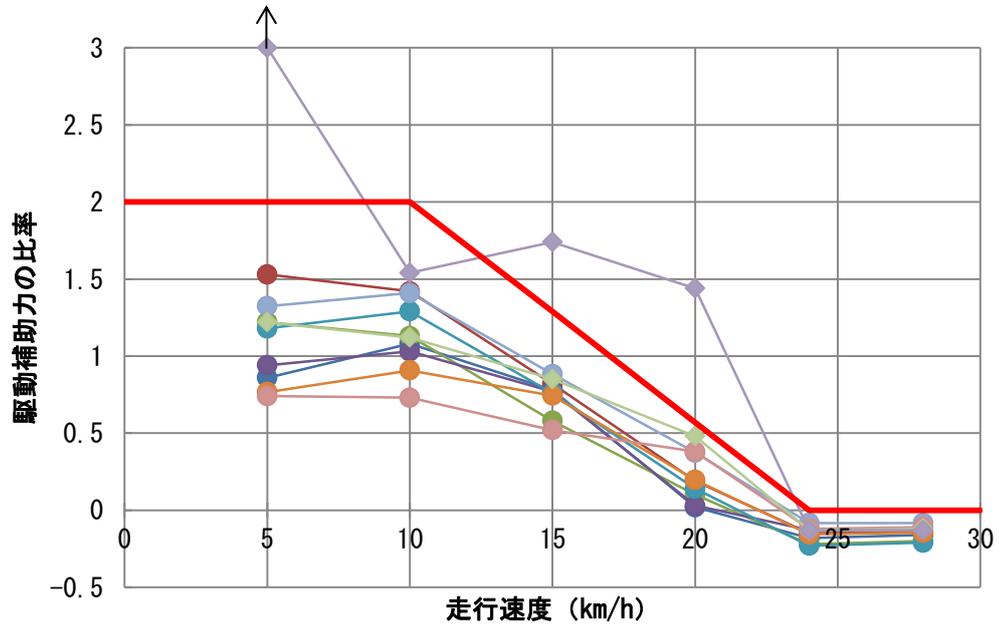
表 2 駆動補助力の比率 測定結果

	供試品 No	基準値を超えた条件
平成 26 年度 実施分	A	なし
	B	なし
	C	なし
	D	なし
平成 27 年度 実施分	E	なし
	F	なし
	G	なし
	H	なし
	I	設定条件 2 の 5km/h
	J	設定条件 1 の 5km/h、15km/h、20km/h 設定条件 2 の 5km/h～20km/h

表 2 及び図 1 の結果より、満充電の電池を用いた測定においては、昨年度分を含め 8 銘柄で規格に適合していた。駆動補助力の比率の大小はあるが、これは各製品の設計思想にもよるためよし悪しを判断するものではない。

供試品 I と供試品 J の 2 銘柄については、測定条件・走行速度によっては駆動補助力の比率が基準値を超えていた。特に供試品 J については駆動補助力の比率が 30 程度になり、設定条件 1 の 5km/h の条件ではクランクは回転しているが、クランク入力トルクがほぼ 0 の状態で走行している自走に近い状態であった。

設定条件1



設定条件2

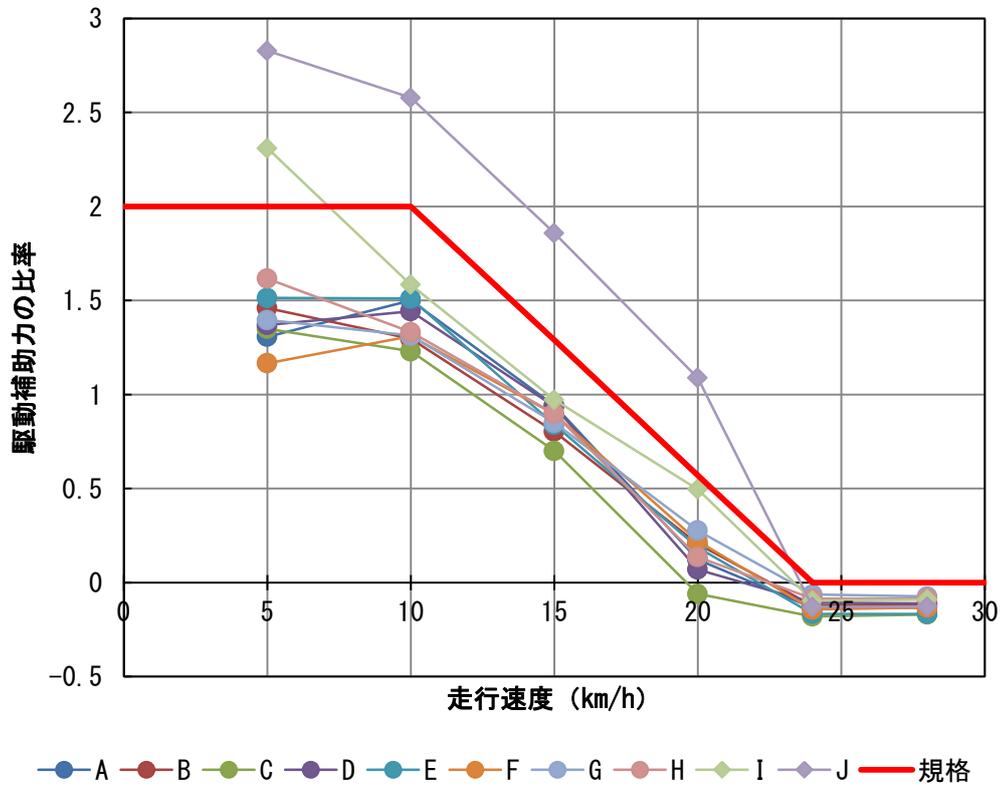


図 1 駆動補助力の比率 測定結果 (上：設定条件1、下：設定条件2)

2.2.3 電源の違いによる駆動補助力の比率の違い

JIS D 9115:2013 の附属書 B.1.2 においては、定電圧電源を用いた定格電圧時の測定についても規定されている。入力電圧値によっては駆動補助力の比率が変わる可能性があるため、駆動補助力の比率が基準値を超えた供試品 I と供試品 J については定電圧電源を用いた定格電圧値での測定も実施した。結果を図 2～図 4 にまとめた。

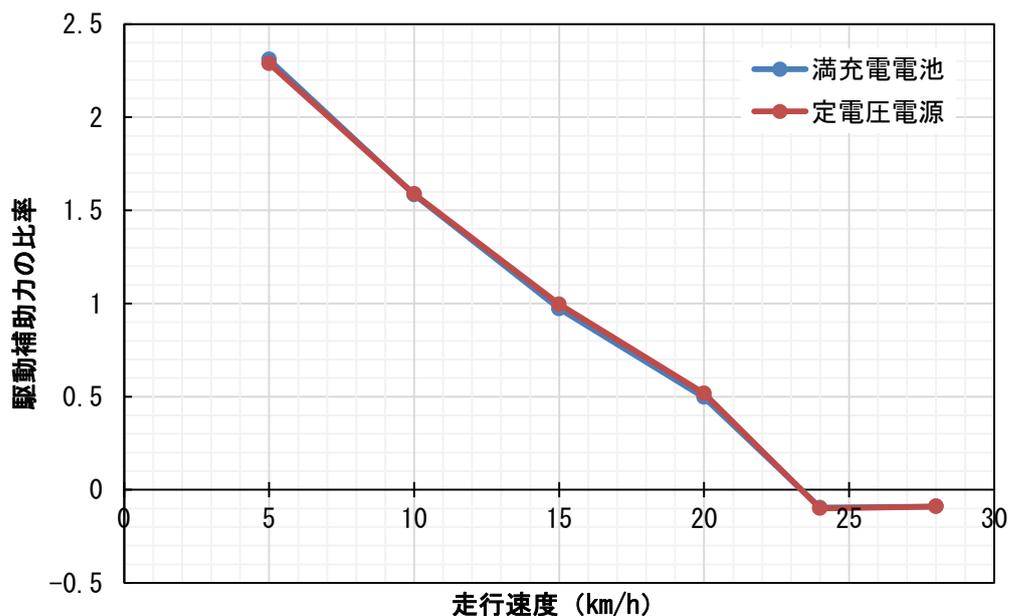


図 2 供試品 I 設定条件 2 測定結果

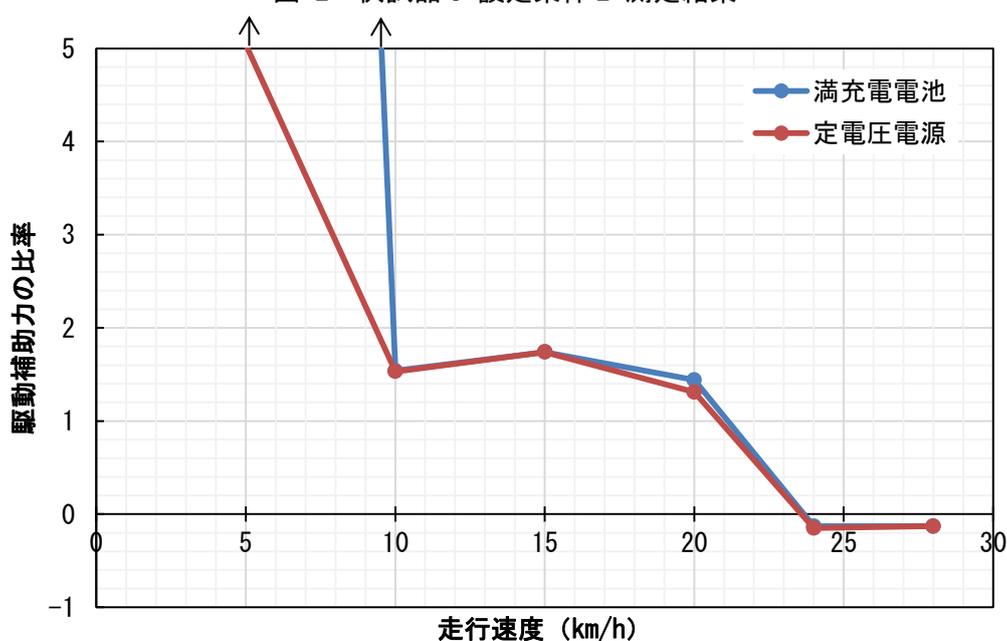


図 3 供試品 J 設定条件 1 測定結果

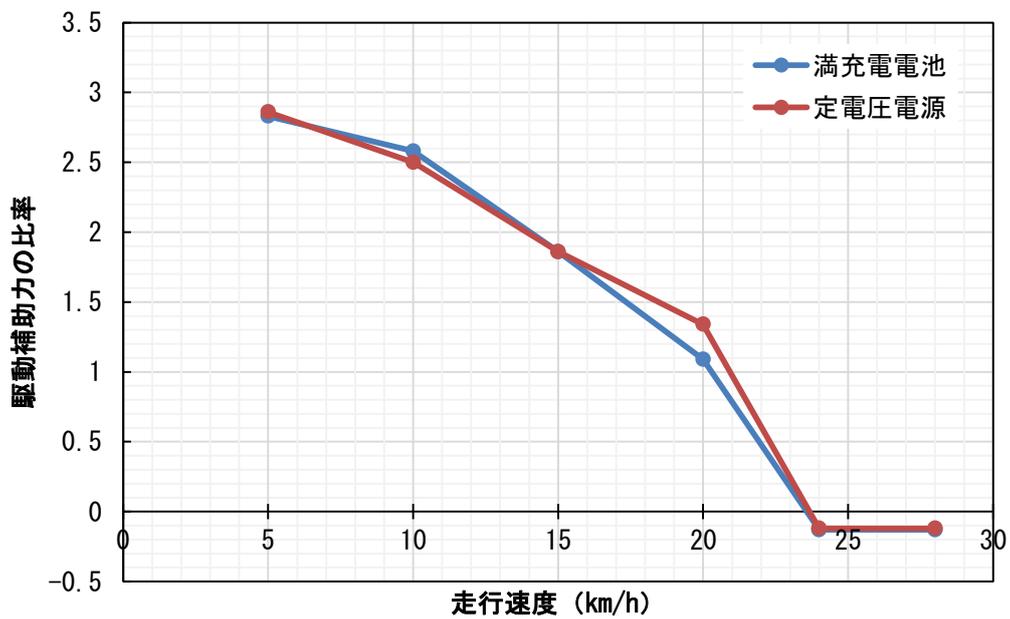


図 4 供試品 J 設定条件 2 測定結果

供試品 J の設定条件 1 の 5km/h については満充電の電池では、駆動補助力の比率 36 程度 (図 3 の範囲外)、定電圧電源使用の場合は 5 程度であったが、駆動補助力の比率の傾向は供試品 I、供試品 J とも大きく変わらなかった。このため、供試品 I と供試品 J については、満充電状態の電池と定電圧電源による定格電圧、どちらを測定に採用しても、測定条件・走行速度によって駆動補助力の比率が基準値を超える時がある銘柄と考えられる。

2.2.4 変速位置の違いによる駆動補助力の比率の違い

次に変速位置と駆動補助力の比率の関係について考察する。JIS D 9115:2013 の附属書 B.1.2 において「変速装置を有する車両については、駆動補助力の比率の範囲が最大となる変速位置において検査する」とされているが、最大となる変速位置については、製造業者の指示がない限り、測定してみないとわからない。2.2.1 項では最高段（ギヤ比が最大）で測定を行ったが、本項では他の変速位置における駆動補助力の比率を調べた。

各銘柄の全変速位置、5km/h～20km/h で駆動補助力の比率を測定し、横軸をギヤ比、縦軸を駆動補助力の比率としたグラフにまとめた（図 5～図 7）。

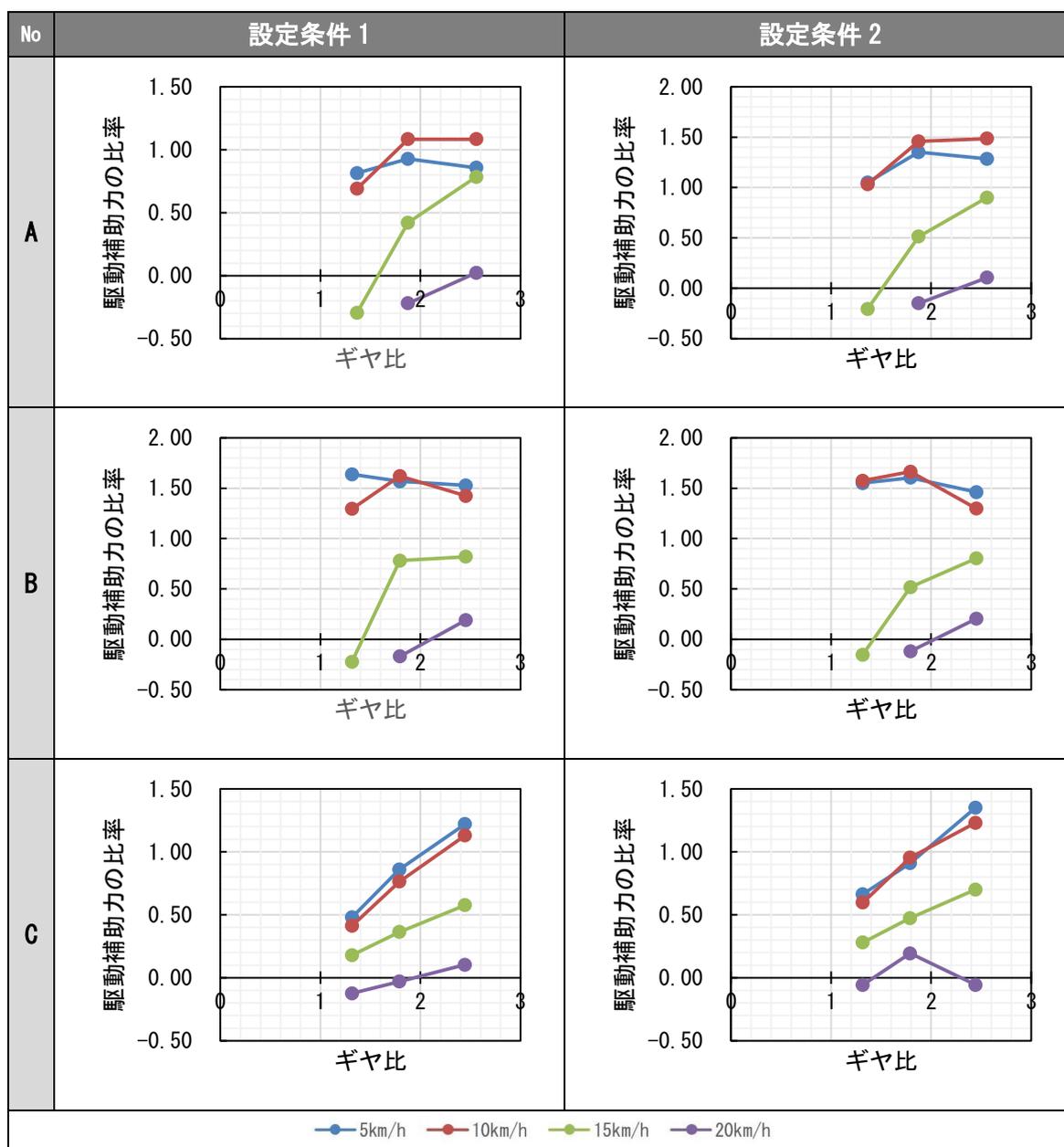


図 5 ギヤ比と駆動補助力の比率との関係（供試品 A～供試品 C）

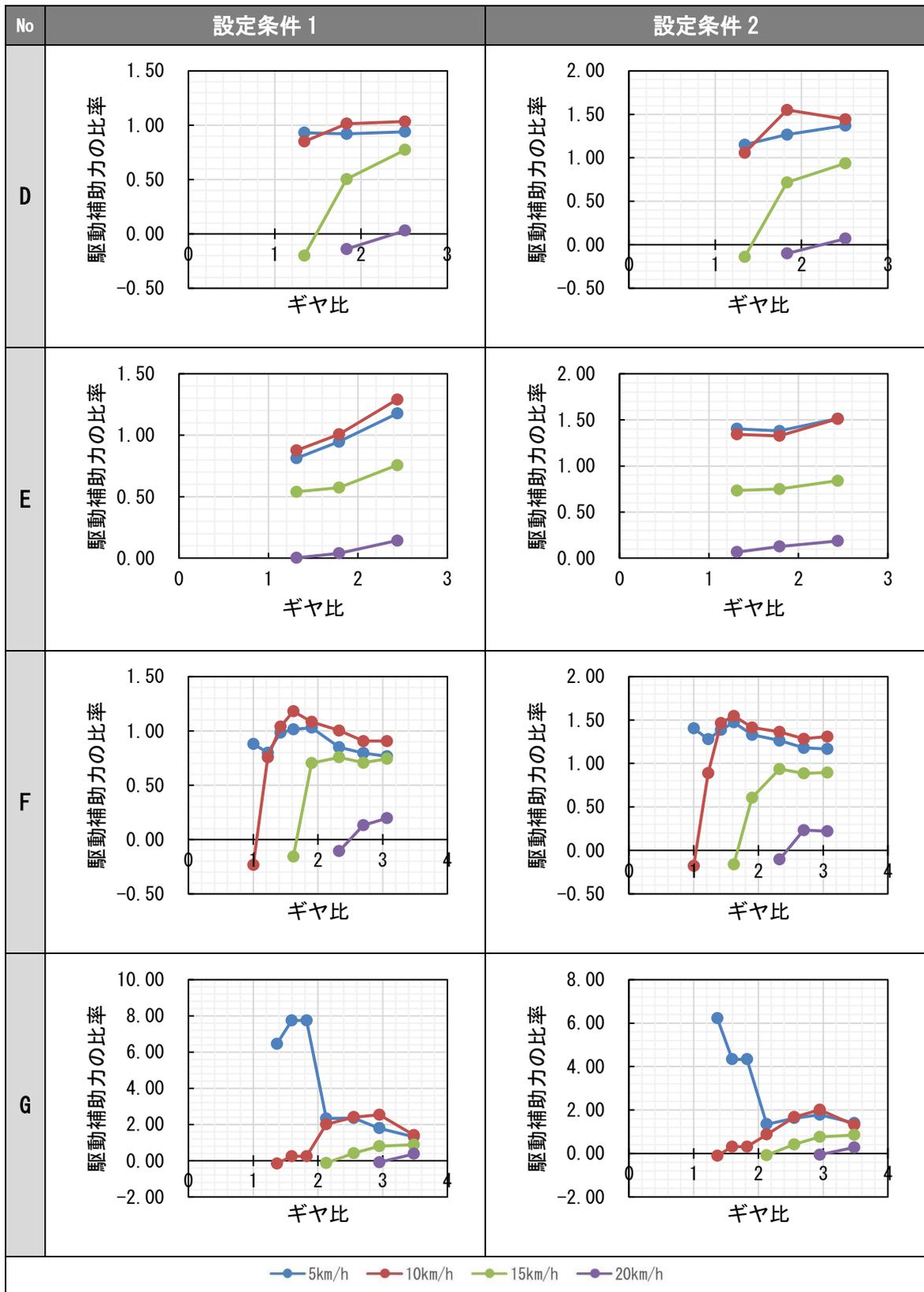


図 6 ギヤ比と駆動補助力の比率との関係（供試品 D～供試品 G）

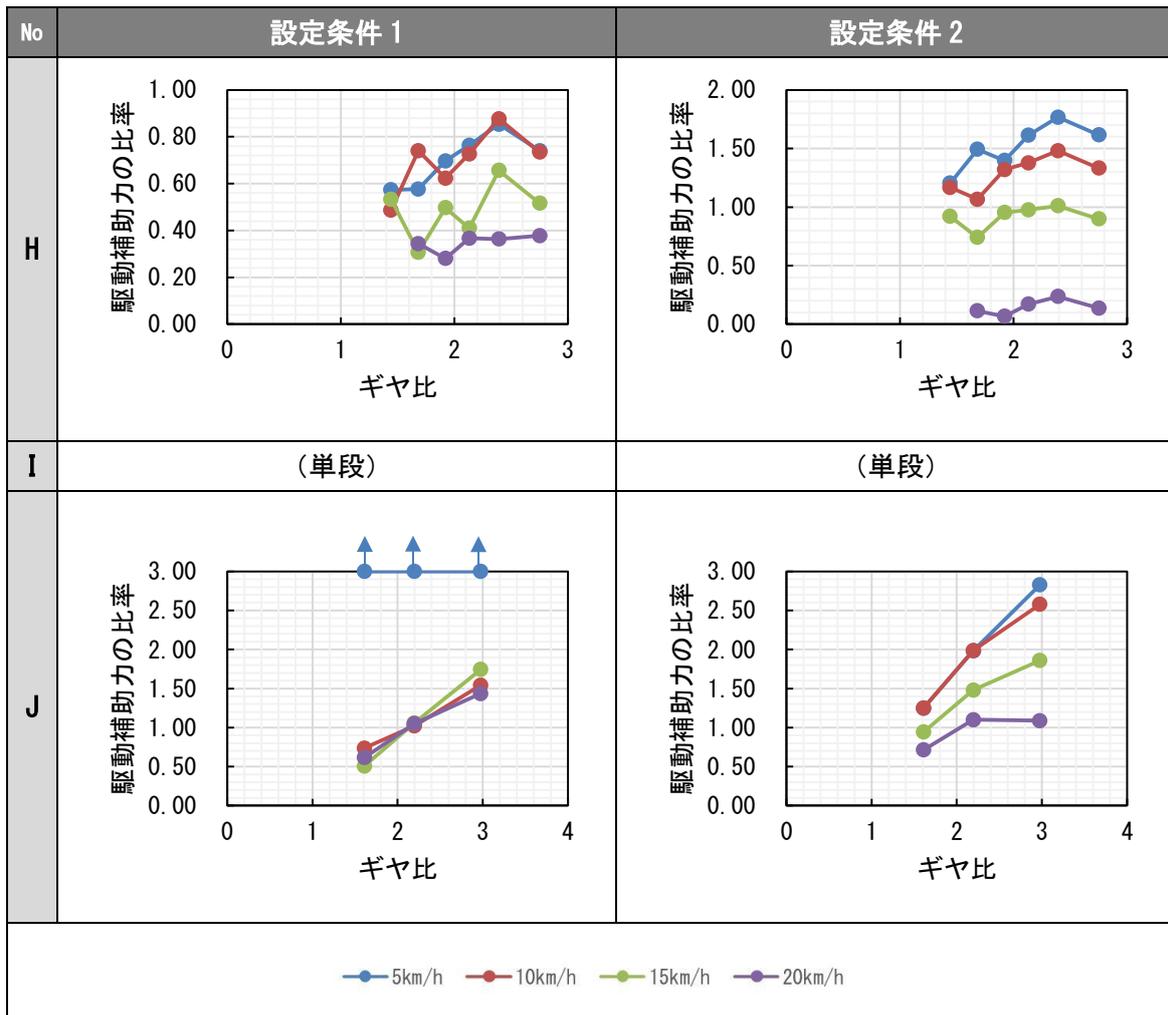


図 7 ギヤ比と駆動補助力の比率との関係（供試品 H～供試品 J）

結果は、およそ 3 パターンに分けられる。

- ① ギヤ比が小さくなくても、5km/h、10km/h では駆動補助力の比率はあまり変わらないが、15km/h、20km/h では駆動補助力の比率が小さくなる（供試品 A、供試品 D）
- ② ギヤ比が小さくなると、駆動補助力の比率も小さくなる（供試品 C、供試品 E、供試品 J）
- ③ ギヤ比が小さくなると、駆動補助力の比率が大きくなる場合がある（供試品 B、供試品 F～供試品 H）

①や②に関しては、駆動補助力の比率が最大となる条件は、おおよそギヤ比が最大となる変速位置で測定した場合となる。

注意しなければならないのは、③の場合である。最も駆動補助力が大きくなる変速位置が銘柄により様々であり、加えてギヤ比を小さくすると、駆動補助力の比率が基準値を超えるような場合もあった。

一方で全ての銘柄に対して言えることであるが、ギヤ比が小さくなるとアシスト制御がオフになる速度が小さくなっていくことがわかった。加えてシャーシダイナモメータのペダル駆動装置の性能上、クランク回転速度には上限があり、ギヤ比が小さいと高速度域での測定が不可能である。よって、アシスト制御が作動する上限の速度を調べるのであれば、最高段（ギヤ比が最大）で測定する必要がある。

2.3 一充電当たりの走行距離

2.3.1 測定方法

一充電当たりの走行距離の規格としては JIS D 9207 : 2000（一充電当たりの走行距離測定方法）、業界基準としては電動アシスト自転車安全基準（BAA）で一充電当たりの走行距離測定方法が規定されている。非 BAA 認証品においても BAA と同様・類似の方法で試験を行っているものもあれば、独自の自社基準で測定しているものもある。現状 JIS D 9207 を用いた測定は測定難易度が高く、実使用時の走行距離との整合性も良くないことから主流ではない。

本項では、各銘柄の取扱説明書の記載方法による一充電当たりの走行距離測定結果を報告する。供試品 A～供試品 F の BAA 認証品については、表 3 に示す標準パターンで測定を行った。供試品 G～供試品 J の非 BAA 認証品については、表 4 に示す取扱説明書記載の走行条件で測定を行った。走行モードごとに走行距離を記載しているものについては、走行距離が最も短くなる走行モードで測定を行った。

また、全ての測定において、パターン放電装置による放電にて走行距離を測定したが、測定方法は BAA の方法に準じて、測定開始時の電池の容量を約 1/2 にして測定を行った。駆動補助終止条件（電池残量が少なくなることで、駆動補助が終止する条件）については、実際に BAA 標準パターンで走行し続け、自転車が電池切れと判断し、アシスト制御が切れたときの電圧を測定し、その電圧値を用いた。

表 3 BAA 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度	15km/h	1km	最大の変速段
2	上り坂	4度	10km/h	1km	(注1)
3	平たん路	0度	15km/h	1km	最大の変速段
4	下り坂	4度	20km/h	1km	最大の変速段

イメージ図

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。

表 4 供試品 G～供試品 J の取扱説明書に記載されている測定条件の概要

No.	測定条件の概要
G	BAA 標準パターンに類似、変速段の記載なし
H	BAA 標準パターンに類似、変速段、走行モードが BAA と異なる
I	平たん路走行、走行速度、走行モード記載なし、乗員体重 60kg
J	上り下り勾配が 2°（旧 BAA 標準パターンに類似）、変速段記載なし

2.3.2 供試品と乗員

供試品については、2.1.2 で示した 10 銘柄 10 台にて測定を行った。供試品 A、供試品 B、供試品 E については、体重 65kg 以上 70kg 以下の基準を満たす当所職員 3 名（①66kg、②68kg、③69kg [小数点以下は切り捨てた]）により測定を行い、それ以外の銘柄については乗員②のみで測定を行った。なお乗員②の測定については 3 回測定を行った。

2.3.3 測定結果

取扱説明書の記載方法による一充電当たりの走行距離の測定結果を、図 8 にまとめた。測定結果については、電動アシスト自転車安全基準に従い小数点第一位を四捨五入しているので、測定結果にある程度の幅がある（例えば四捨五入前の測定結果が 16.5km や 17.4km であると同じ 17km になってしまう）点は考慮しなければならないが、図 8 の結果から、取扱説明書の記載値と今回の測定値には差がある銘柄が多かった。

差の傾向としては

- ・ BAA 認証品（供試品 A～供試品 D、供試品 F）では取扱説明書の記載値よりも短くなる傾向があった
- ・ 供試品 E では取扱説明書の記載値よりも走行距離が大きく、個人差が大きかった
- ・ 非 BAA 認証品（供試品 G～供試品 J）では取扱説明書の記載値との差が BAA 認証品よりも大きかった
- ・ 乗員が同じでも 1～2km のばらつきがあった

などの結果が見受けられた。以下、これらの差が生じる原因を考察する。

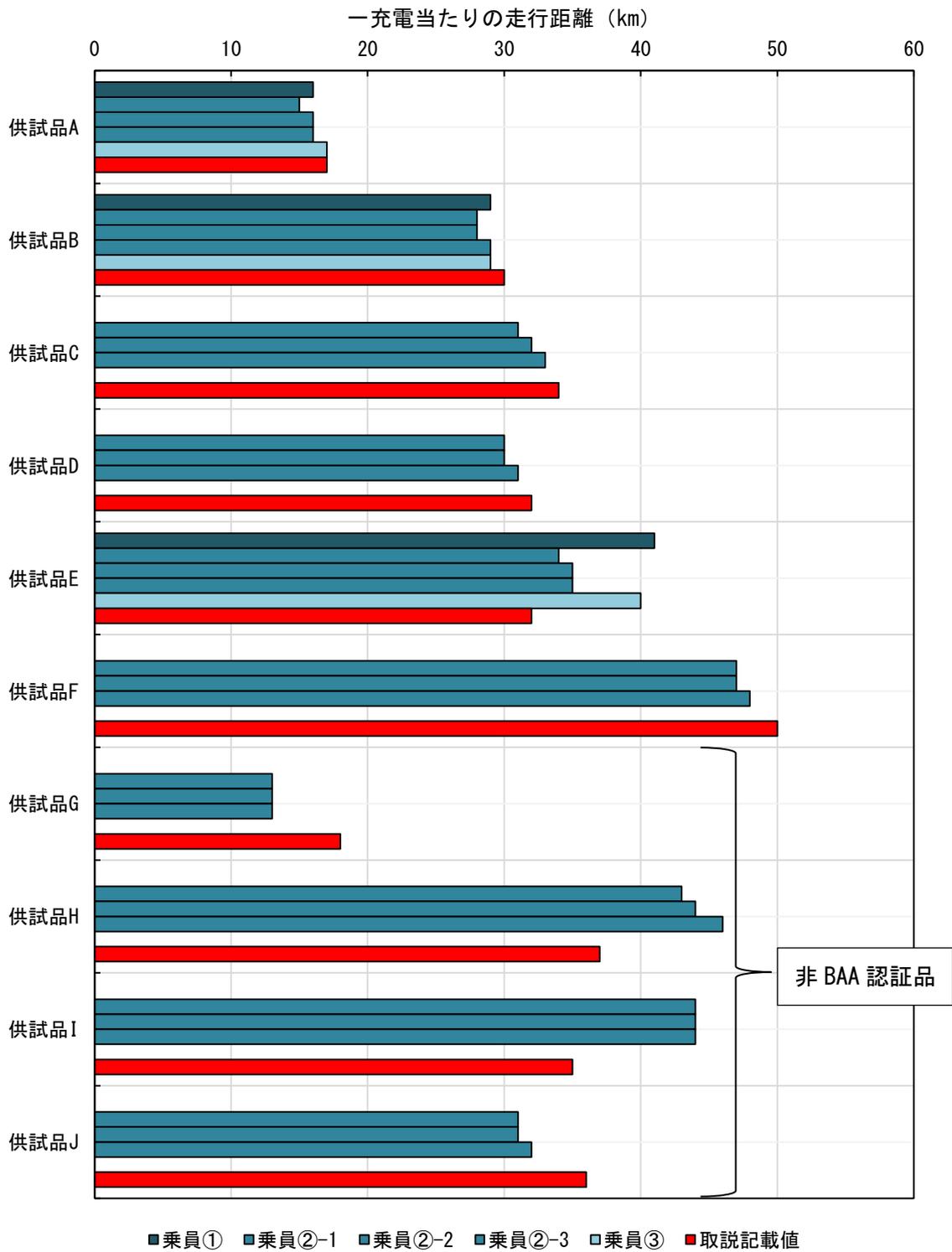


図 8 取扱説明書記載方法による一充電当たりの走行距離 測定結果

2.3.4 一充電当たりの走行距離と駆動補助終止条件

今回の測定で、BAA 認証品については、当所で測定した値が小さくなる傾向があった。この点で注目したいのが、電池残量が少なくなることで駆動補助が終止する駆動補助終止条件である。駆動補助終止条件については、電圧値などで製造業者が指定した値であるため、製造業者以外知ることはできない。今回の測定では、標準パターンで漕ぎ続け、駆動補助が終止した際の電圧値を駆動補助終止条件として用いた。しかし、その値と当所で測定し設定した条件が異なる場合、一充電当たりの走行距離に差が生じる。これは当所が設定した駆動補助終止条件における電池の残量が、製造業者の指定する駆動補助終止条件よりも多い状態であり、一充電当たりの走行距離が短くなったということである。

例として、放電電流値を変えて同電圧まで放電した際の消費電池容量を測定した。図 9 に放電電流と消費電池容量をまとめた。使用した電池は 5Ah のリチウムイオン電池で、平成 26 年度に購入したものと平成 27 年度に購入した同銘柄のものを用いた。放電終止条件は電池の電圧が 21V になった時とした。

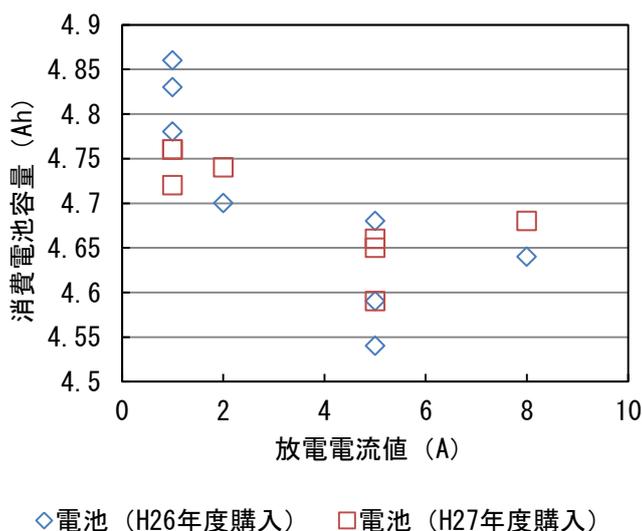


図 9 放電電流値と消費電池容量

図 9 より放電電流値が小さいほど電池消費容量が大きくなる傾向があった。また放電電流値 1A と 5A の測定は 3 回行ったが、±0.5Ah 程度のばらつきが見られた。この例から、放電電流値が異なる場合、駆動補助終止条件までの消費電池容量も変わるということである。

標準パターンの欠点として、電動アシスト自転車のモータ出力が大きく、電流値が大きくなる登り坂の最中に駆動補助終止となる場合が多い。登り坂を走行できれば、次は電流値が小さい平たん路と下り坂なので、走行距離が延びる。よって、平たん路で駆動補助終止となる場合に比べて一充電当たりの走行距離が短くなる測定になる。

また、今回の測定では大きな差は見られなかったが、製造年度による電池の劣化や個体差も影響すると思われる。

以上より、駆動補助終止条件の差が一充電当たりの走行距離の差に最も大きく影響したのではないかと思われる。

2.3.5 回生充電機能がある銘柄の一充電当たりの走行距離

供試品 E については一充電当たりの走行距離が取扱説明書の記載値よりも大きく、個人差も大きかったが、本銘柄は回生充電機能を備えた銘柄である。標準パターンの下り坂で充電することで一充電当たりの走行距離が延びるが、電動アシスト自転車安全基準では、「発進して目標速度になった後、制動装置で間欠的な制動を行い、±20%以下の変動幅で目標速度を維持する」とある。よって制動時の充電が一充電当たりの走行距離にも影響することが考えられる。

図 10 に供試品 E の回生により伸びた走行距離をまとめたが、乗員①・③と乗員②で4～5kmの差があった。この差について調べるため、図 11 に制動時の回生電力の変化の様子をまとめた。

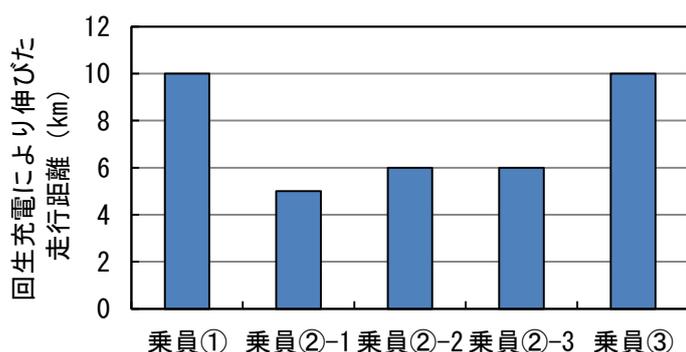


図 10 回生充電により伸びた走行距離（供試品 E）

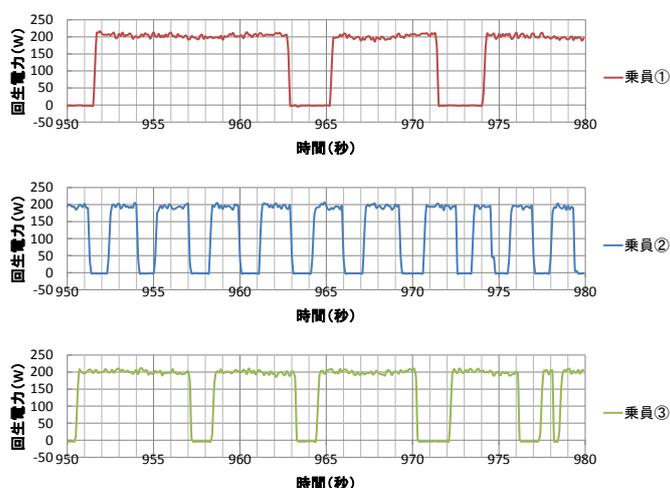


図 11 制動時の回生電力（供試品 E）

図 11 より、走行距離が大きく伸びた乗員①・③と伸びが少なかった乗員②の間に制動の違いで明確な差が見られた。乗員①・③は1回の制動時間が長く、乗員②はこまめに制動をしていた。制動回数と時間を表 5 にまとめたが、こまめに制動を行うよりも、一回の制動時間を長くする方が、一充電当たりの走行距離が延びることが分かった。

表 5 制動回数と制動時間

	乗員①	乗員②-1	乗員③
制動回数 (回)	25	54	27
制動時間 (秒)	135.5	114.2	143.7
回生充電により 伸びた走行距離	10	5	10

回生充電の銘柄が少ないので、本銘柄で見られた傾向を全てにあてはめるわけにはいかないが、制動方法により一充電当たりの走行距離が大幅に変わる可能性があると言える。

なお、供試品 E については、図 12 に示すように、回生分を除いた走行距離が他の BAA の銘柄と同様の傾向が見られたため、以降、回生分を除く走行距離を必要に応じて使用する。

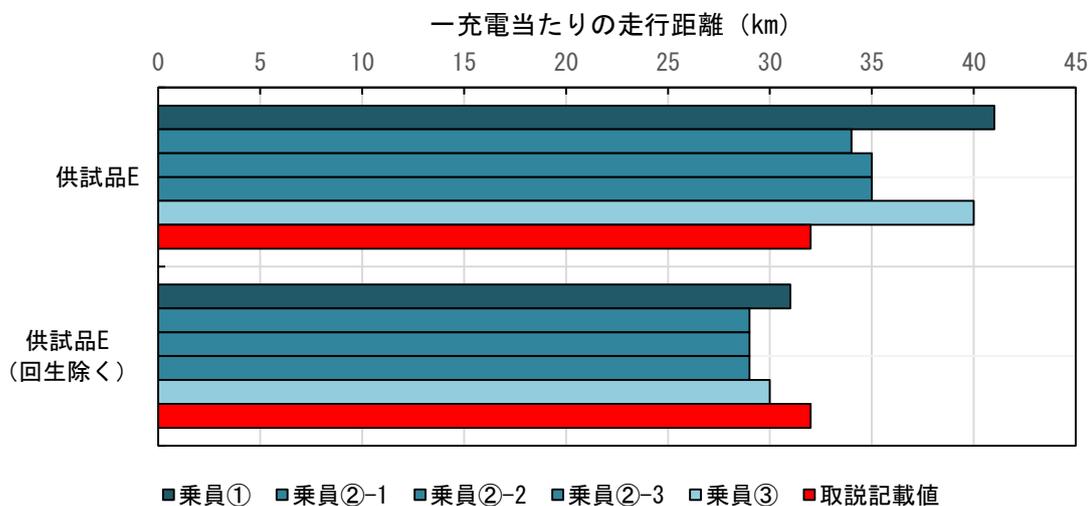


図 12 回生分を除いた一充電当たりの走行距離 (供試品 E)

2.3.6 一充電当たりの走行距離と体重差

次に乗員差が生じる要因について考察する。主な要因としては体重や漕ぎ方がある。

まず、シャーシダイナモでの測定では走行抵抗は方程式により定められており、走行抵抗に乗員体重が反映されるのは等価慣性質量値である。BAA では乗員体重は 65kg 以上 70kg 以下と規定されている一方で、等価慣性質量に反映される乗員体重分は 65kg とされているので、シャーシダイナモメータの走行抵抗に乗員体重差は反映されない。そのほかに体重差が影響するのは後輪タイヤの転がり抵抗であるが、転がり抵抗は実測値で数 N 程度であり、一充電当たりの走行距離に大きく影響する上り勾配 4° 走行時の走行抵抗が 70N 程度であるため、規定体重の範囲内における体重差は走行抵抗への影響は小さいと考えられる。

実際に基準値内の体重差で生じる影響として、供試品 A、供試品 B、供試品 E における体重と一充電当たりの走行距離の関係を図 13 にまとめた。体重の大小と一充電当たりの走行距離の長短に関して銘柄ごとに傾向が異なり、明確な関係性は見られなかった。体重差以上に漕ぎ方やアシスト制御が影響していると考えられる。

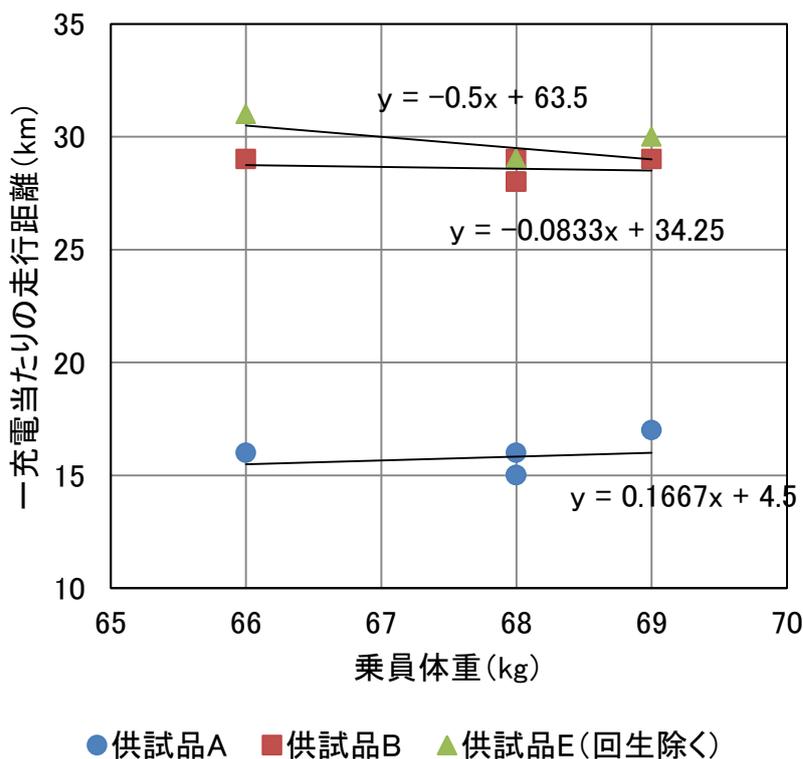


図 13 乗員体重と一充電当たりの走行距離

2.3.7 一充電当たりの走行距離と漕ぎ方

乗員の漕ぎ方の差については、まず走行速度の安定性が乗員により変わることが影響すると考えられる。基準では平坦路と上り坂では速度変動±1km/h が認められているため、ある程度の走行速度差が生じるのは避けられない。今回測定した乗員の、各走行条件での速度変動±1km/h の範囲内の平均走行速度を表 6 に示す。今回の測定では各銘柄、各乗員において平均走行速度の差はほとんどなかった。

表 6 各乗員の平均走行速度

走行条件 乗員	勾配 0 度、15km/h、3 速			勾配 4 度、10km/h、2 速		
	①	②	③	①	②	③
供試品 A	15.2	15.2	15.1	10.4	10.2	10.0
供試品 B	15.2	15.1	15.1	10.3	10.2	10.0
供試品 E	15.1	15.1	15.1	10.1	10.2	10.1

次にペダリングに個人差があると考えられる。これによりアシスト制御の応答にも違いが生じるため、電池の消費量も変わってくる。そこで、各乗員が測定時にどのようなペダリングをしているかを調べることにした。

今回用いた計測装置は株式会社ディケイエイチ社に開発を依頼した計測システムであり、ペダルセンサーで測定したペダル踏力などのパラメータと、シャーシダイナモで測定したパラメータの同期が可能である。その中でペダルセンサー部については RadLabor 社製の PowerForce (写真 1) を用いた。システムの概要を図 14 にまとめた。シャーシダイナモメータ自体には改造を加えず、機能を追加する形で計測システムを構成した。



写真 1 ペダルセンサー外観

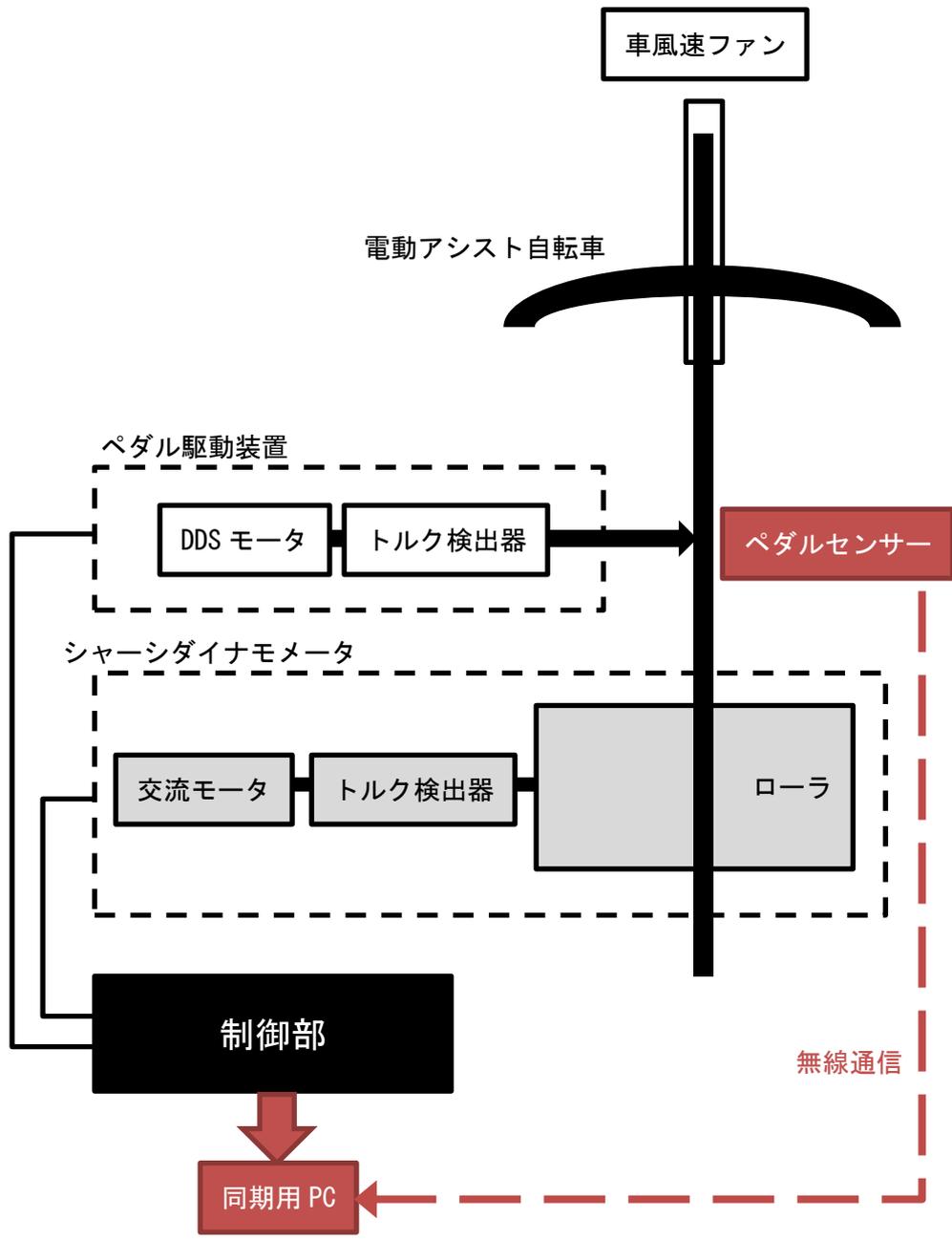


図 14 システム概要

図 15～図 17 に各走行条件における平均的なペダリング（一定速となった時の 15 秒間の平均）の様子をまとめた。なお、図の右方向が自転車の進行方向、赤線が左ペダル、緑線が右ペダルのペダル踏力ベクトルである。

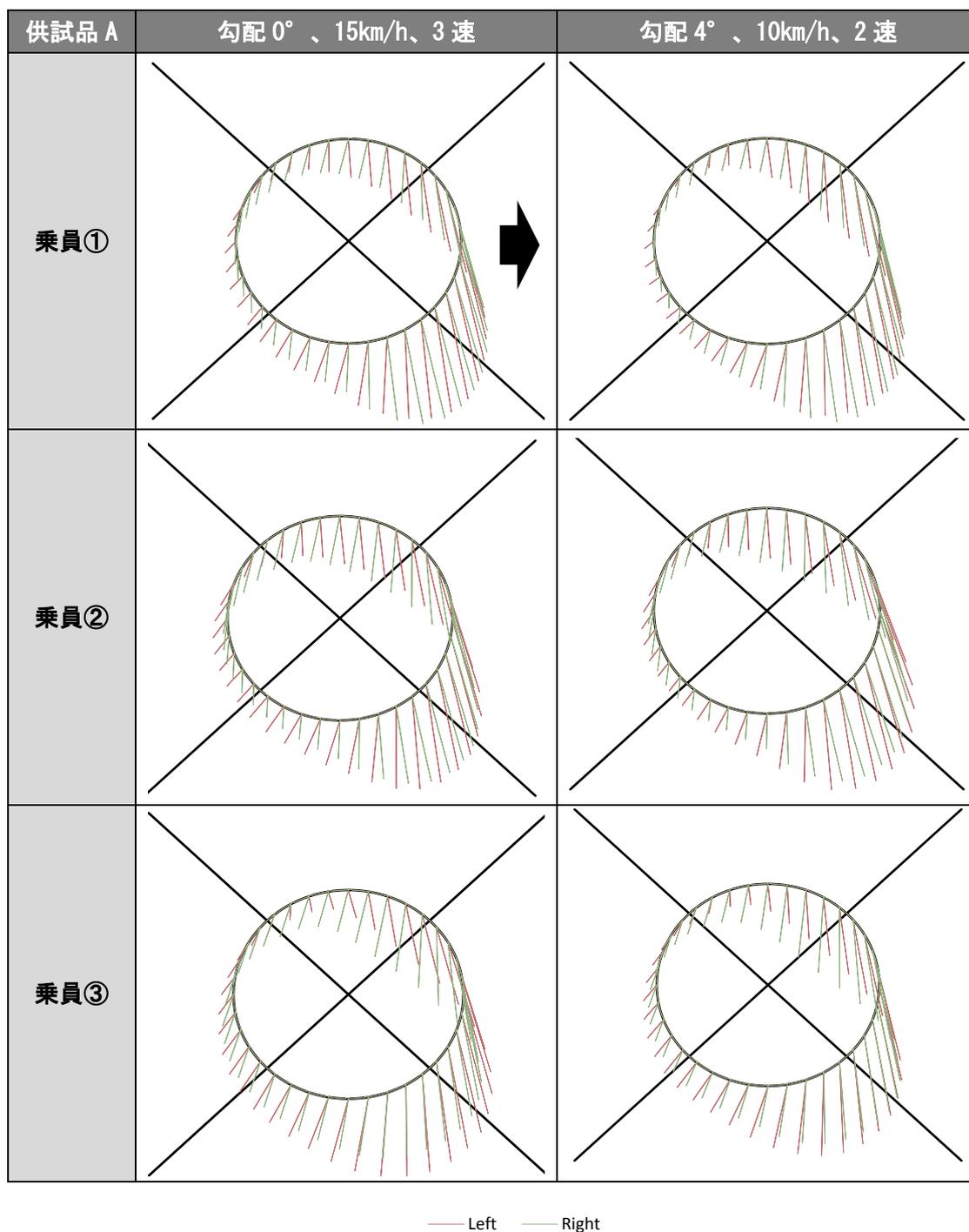


図 15 各走行条件における各乗員の平均的なペダリング（供試品 A）

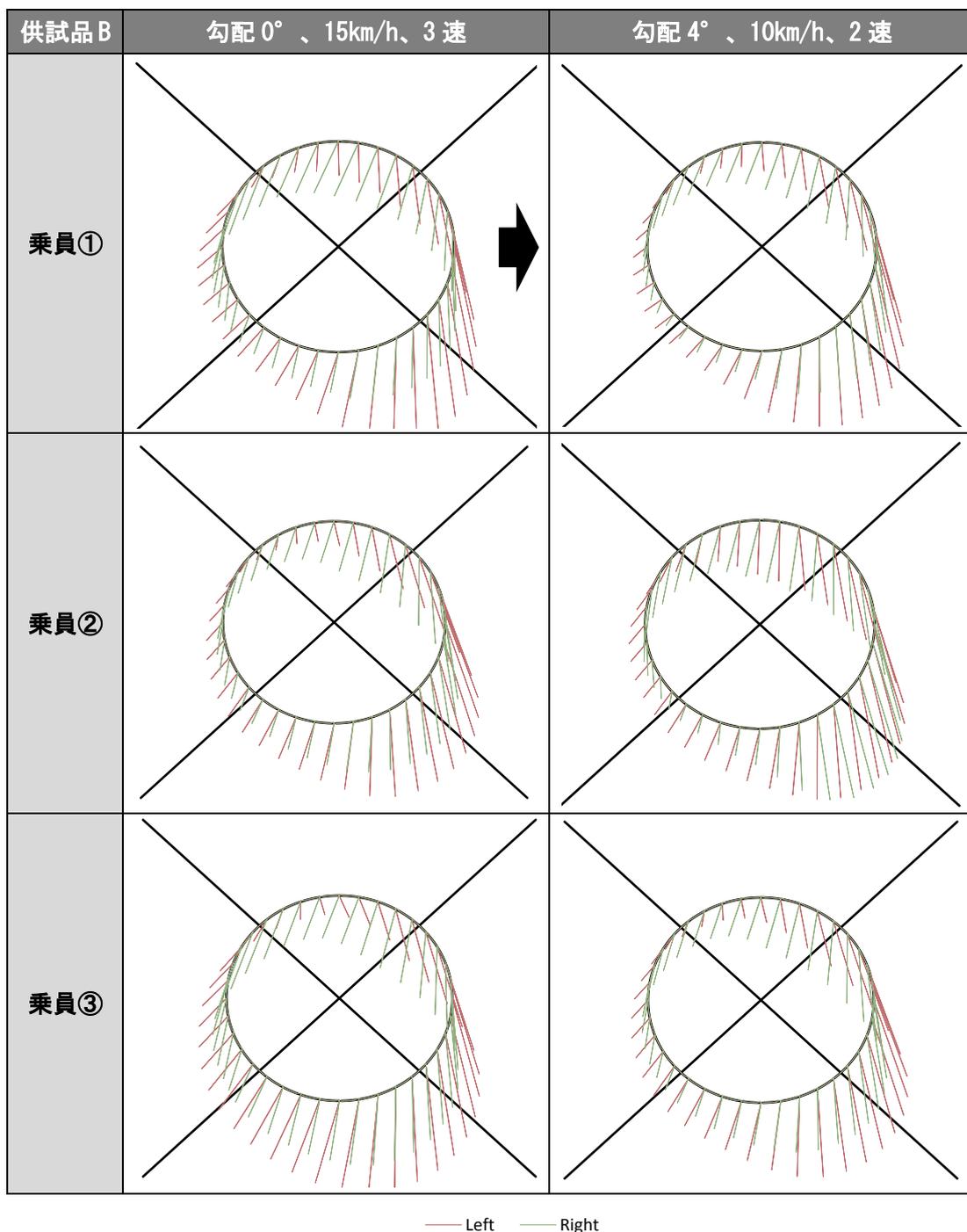
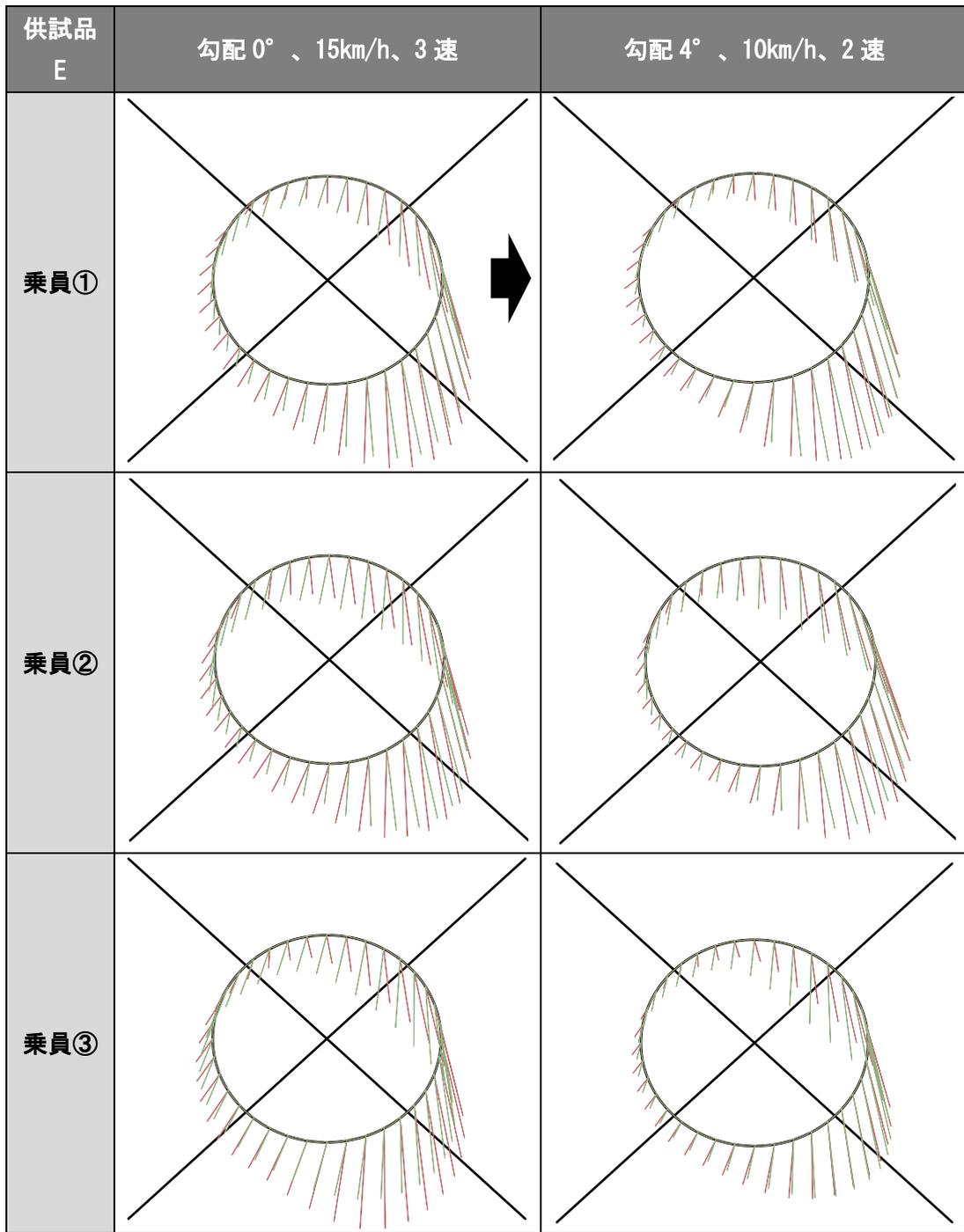


図 16 各走行条件における各乗員の平均的なペダリング (供試品 B)



— Left — Right

図 17 各走行条件における各乗員の平均的なペダリング (供試品 E)

図 15～図 17 より見られた特徴として、主に以下の 3 点が挙げられる。

① 左右のペダル踏力ベクトルに差が見られた：

各銘柄及び各乗員において、赤線（左ペダル）と緑線（右ペダル）の向きや大きさが異なることが多く、ペダリング時、必ずしも左右で同じような踏力が生じているわけではなかった。理由として、乗員のペダリングのばらつき以外に、電動アシスト自転車のアシスト制御の応答が左右のペダリング時に一定でない可能性もある。

② 踏力ベクトルの向きに差が見られた：

同銘柄でも乗員によっては踏力ベクトルの向きが異なっていた。例としては、図 16 において、乗員①と乗員②の踏込時における踏力ベクトルの向きが異なる様子が見られた（乗員②のほうが進行方向にベクトルが向いている）。

③ 下死点～後方付近での踏力ベクトルに差が見られた。

特に図 16 の勾配 0° 、15km/h、3 速において、乗員③の下死点～後方の踏力ベクトルが大きかった。

これらの特徴からでは、ペダリングと一充電当たりの走行距離の関連は把握しづらい。そこで、実際に BAA 標準パターン 1 サイクル（走行距離 4km、所要時間約 17 分）走行中の各乗員のペダリングを測定し、駆動に影響する踏力の回転接線方向の成分から計算されるクランク入力トルクとクランク回転速度及びクランク回転出力を調べ、それより計算される、BAA 標準パターン 1 サイクルあたりのペダリングによる仕事を計算した。なお、クランク回転出力は、クランク入力トルク $T(N \cdot m)$ とクランク回転速度 $N(r/min)$ から求められるクランク回転出力 $P1(W)$

$$P1(W) = 0.105 \times N \times T$$

を用いて計算した。ペダリングによる仕事は、単位を Wh（ワット時）として計算した。測定周波数は 10Hz とした。

図 18 に BAA 標準パターン 1 サイクルの間のペダリングによる仕事と一充電当たりの走行距離の関係性をまとめた。図 18 より、ペダリングによる仕事が大きくなると一充電当たりの走行距離も大きくなる傾向が見られた。これは、走行抵抗や走行速度及び走行距離などの条件が同じという前提があれば、

ペダリングによる仕事大きい \Rightarrow アシストの負担が減る

\Rightarrow 電池の消費量が小さくなる \Rightarrow 一充電当たりの走行距離が伸びる

と考えることができる。

よって、ペダリングによる仕事が大きくなるペダリングを行えば、一充電当たりの走行距離が延びるといえる。ペダリング 1 回転で考えると、下死点でもクランク回転トルクが常に生じるようなペダリングを行い、ペダル踏力もクランク回転接線方向に大きく作用するようにすれば、一充電当たりの走行距離が伸びるのではないかと考えられる。

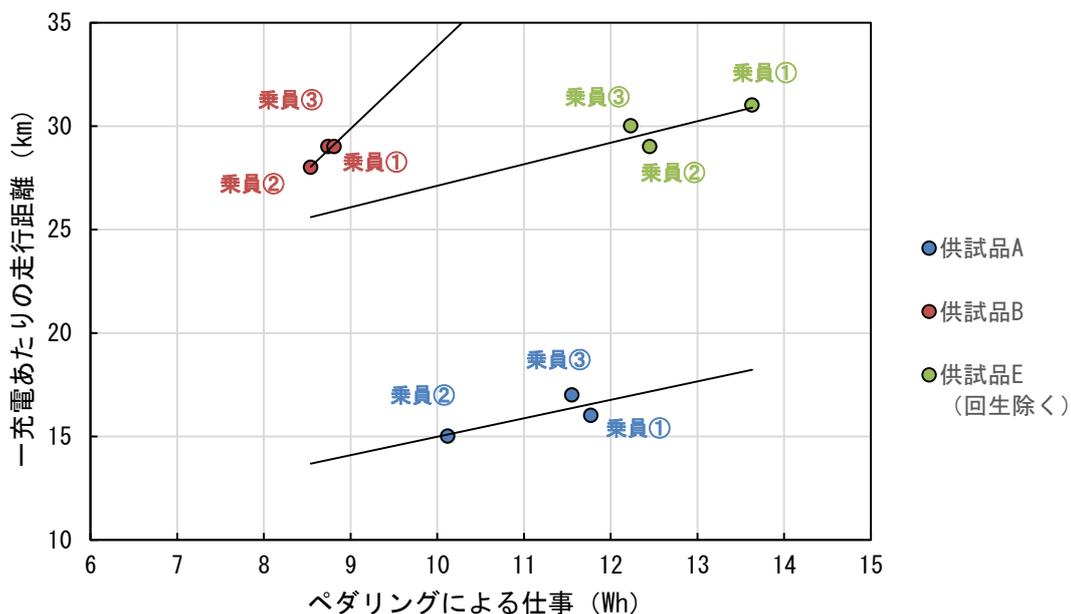


図 18 ペダリングによる仕事と一充電当たりの走行距離

2.3.8 非 BAA 認証品を BAA の測定方法で測定した時の一充電当たりの走行距離

本項では、非 BAA 認証品を BAA の測定方法で測定した際、どのような差が見られるかを調べた。測定方法は 2.3.1 で示した BAA 標準パターンとし、測定は乗員②のみで 3 回実施した。測定結果を図 19 にまとめた。

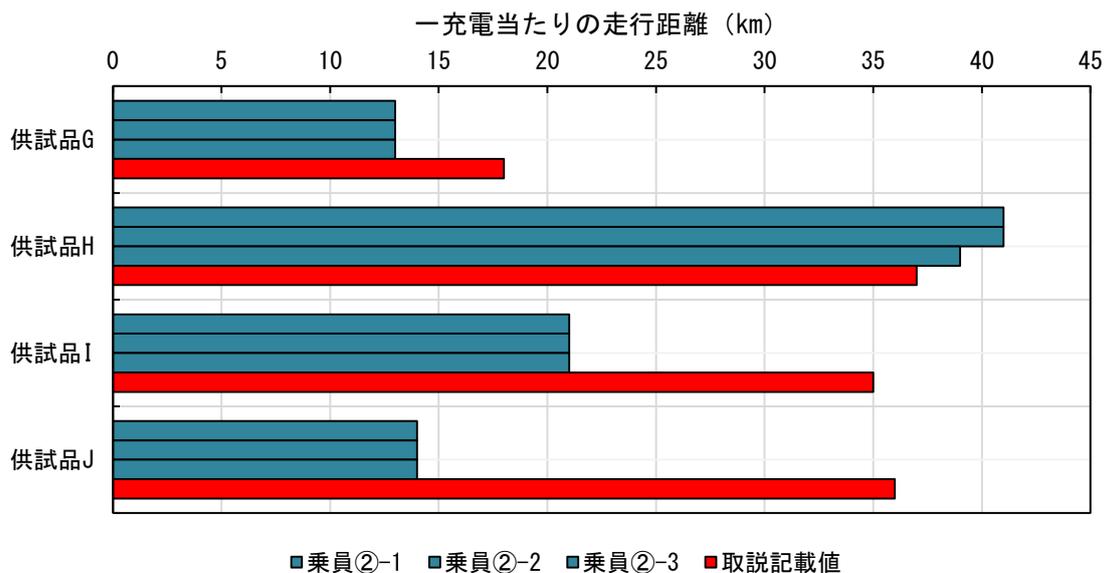


図 19 非 BAA 認証品を BAA 標準パターンで測定した際の一充電当たりの走行距離

図 19 より、BAA 標準パターンで測定した際、取扱説明書記載値との差が 20km 程度になる銘柄があった。測定方法が異なるので走行距離も変わるのは当然ではあるが、例えば図 8 に示す通り、供試品 C と供試品 J では、取扱説明書記載値は同程度であるが、同条件で走行し比較した際は大きな差が生じるということである。電動アシスト自転車のユーザーに対して適正な比較データが提供されていない現状から、今後測定方法の統一が望まれる。

3. アシスト制御の応答性などの評価方法の検討

3.1 アシスト制御が始動するときのクランク入力トルク

電動アシスト自転車のアシスト制御は、ペダルを漕ぎ始めてから始動する。ペダルの漕ぎ始めを感知する方法はクランク入力トルクやクランク回転速度及び走行速度など、製造業者や銘柄により異なると思われるが、多くの製品ではトルクセンサーによりクランク入力トルクを測定し、その値がアシスト制御にフィードバックされているようである。

この時の応答により、乗員は瞬時に動き出す、あるいはゆっくりと動き出すといったことを感じる。このアシストの応答について、現在行われている検査方法は JIS D 9115 : 2013 附属書 B.2 に規定されている官能検査によるものであり、発進・加速・定常・減速・惰行及び停止の各運転態様を組み合わせて実際に走行することで安全性を確認する。官能検査である理由としては、アシストの応答性の機械的な評価が難しいという一面がある。

本項では、シャーシダイナモメータを用いた評価が可能なかを調べた。まず、ペダルを漕ぎ始めてアシスト制御が始動するときのクランク入力トルクの値を測定し、どのような傾向があるか調べた。

3.1.1 測定方法

測定方法については現在基準がないため、今回はシャーシダイナモメータとそのペダル駆動装置を使用して測定を実施した。測定手順は表 7 のとおりである。

表 7 アシスト制御始動時のクランク入力トルク測定

手順	項目	内容
1	アシスト制御始動時のクランク入力トルク測定	停止状態から、ペダル駆動装置 ASR 自動制御にて 3km/h/s の速さで速度を上昇させ、モータ始動により電流値が上昇する時のクランク入力トルクを確認した。シャーシダイナモメータの勾配設定と変速段は表 8 に示す 23 通りの組み合わせで行った。サドル部に載せるおもりは 65kg とし、電池は満充電状態、室温は 20° ±5° とした。 電動アシスト自転車の走行モードは強モードに設定した。 測定は 3 回実施し、平均値を測定値とした。
2	走行モード変更	標準モードで同様の測定を実施した。

表 8 シャーシダイナモメータの勾配設定と変速段

シャーシダイナモメータの勾配設定 (°)									
最大変速段	0	0.5	1	1.5	2				
中間段※	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
1 速	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4

※中間段は、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。

3.1.2 測定結果

各銘柄の強モードでの測定結果を図 20 に、標準モードでの測定結果を図 21 にまとめた。なお、図では手順 1 で示した測定条件全ての値における最大及び最小値を記載した。

図 20、図 21 より、アシスト制御の始動トルクについて、

① 10~30N・m 程度で始動 (供試品 A~供試品 G)

比較的小さなクランク入力トルクでアシストが始動するため、漕ぎ出しが軽いと思われる。また、漕ぎ出し時の勾配に関係なく、同程度のクランク入力トルクでアシスト制御が始動した。

② 20~40N・m 程度で始動 (供試品 I、供試品 J)

①よりも強く漕ぎ出さないとアシストが始動しないため漕ぎ出しが①より重いと思われる。また、①と同様に漕ぎ出し時の勾配に関係なく、同程度のクランク入力トルクでアシスト制御が始動した。

③ 30~70N・m 程度で始動 (供試品 H)

漕ぎ出し時の状況、特に勾配のある状況での漕ぎ出し時は、強く踏み込まないとアシストが作動しないと言える。

の3パターン傾向が見られた。走行モードによる差はほとんど見られなかった。

各傾向については、製品の設計思想もあるため良し悪しの指標にはならないが、製品を特徴づける指標として定量化が可能と考えられる。

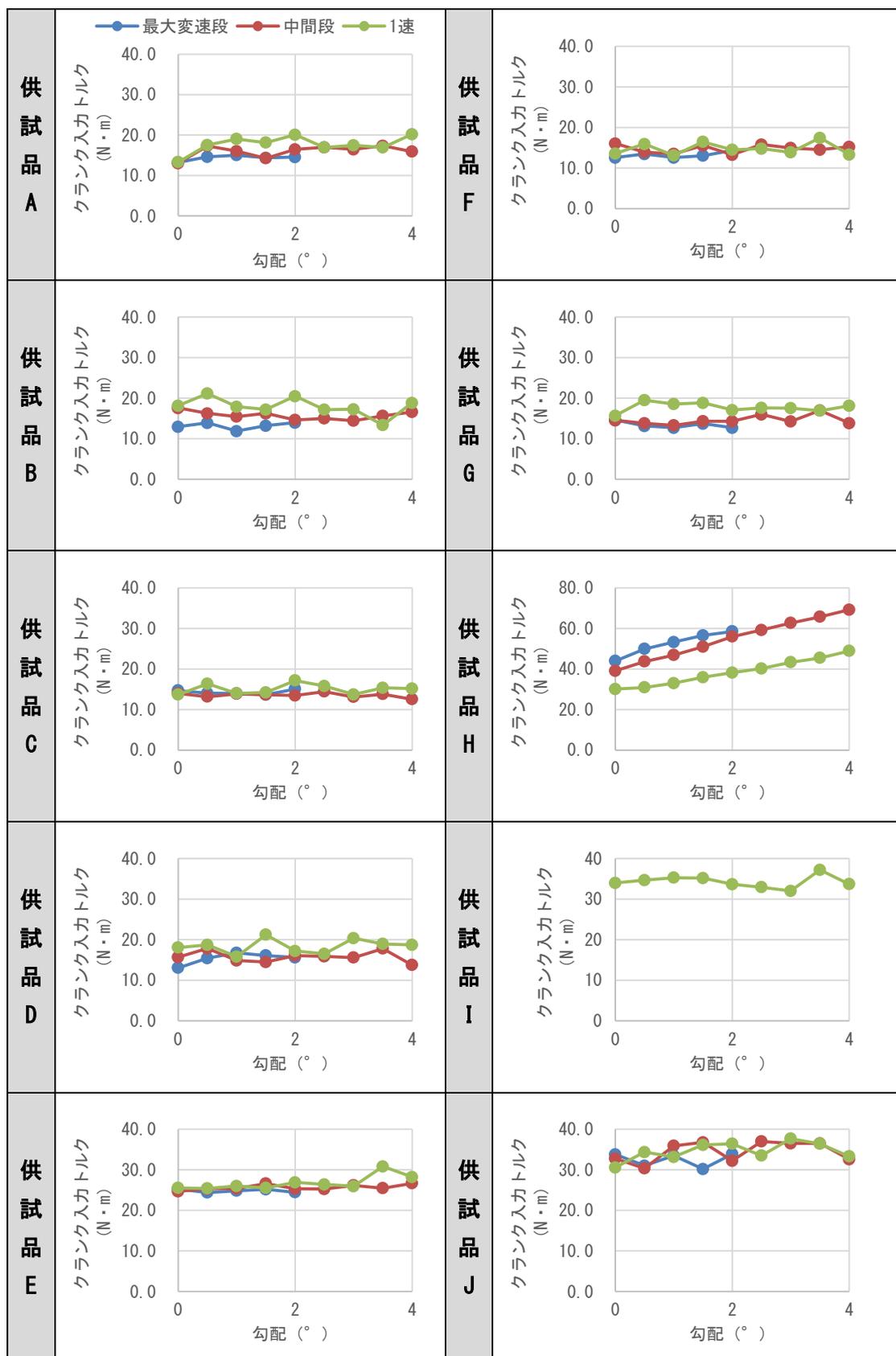


図 20 勾配とクランク入力トルク (強モード)

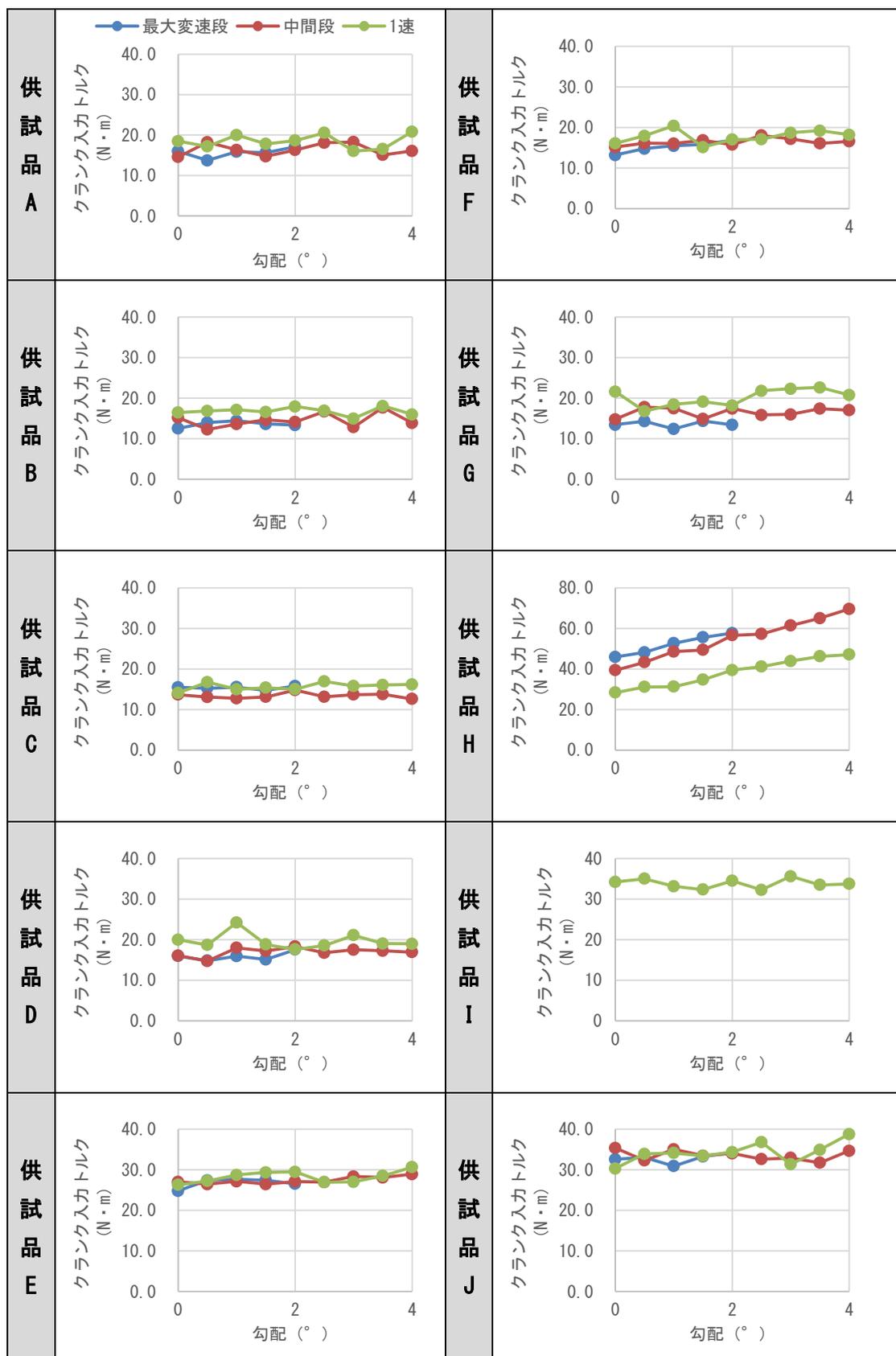


図 21 勾配とクラック入力トルク (標準モード)

3.2 ペダリングを止めてからアシスト制御が終止するまでの走行距離

電動アシスト自転車のアシスト制御は、あくまで人の力を補う機能であるため、ペダリングを止めると速やかに作動しなくなるのが安全面の視点からも望ましい。しかしペダリングを止めてからアシスト制御が終止するまでには時間差が生じる。ペダリングを止めてからアシスト制御が終止するまでの時間差とその間の走行距離について、日本国内では定量的な規定はないが、本項では欧州の EN 規格で規定されている EPAC の測定方法にて調査を行い、どのような傾向が見られるかを調べた。

3.2.1 測定方法

測定方法については EN15194 (Cycles — Electrically power assisted cycles — EPAC Bicycles) に基づき測定を行った。EN15194 は EPAC の規格であるため、日本の電動アシスト自転車のような駆動補助力の比率に関する基準はないが、モータの出力やパワーマネジメントに関する基準がある。その中でペダリングを止めてから補助力の供給が停止されるまでの走行距離の範囲が定められており、アシスト制御のカットオフ速度（アシスト制御が作動する最高速度）の 90% で走行し、ペダリングを止めてからアシスト制御が終止するまでの走行距離は、2m（ブレーキレバーカットオフスイッチがない場合）または 5m（ブレーキレバーカットオフスイッチがある場合）以内でなければならないと定められている。今回はシャーシダイナモメータとペダル駆動装置を使用して測定を実施した。測定手順を表 9 にまとめた。

表 9 ペダリングを止めてからアシスト制御が終止するまでの走行距離測定

手順	項目	内容
1	カットオフ速度測定	シャーシダイナモメータの走行抵抗は平坦路走行時（勾配 0°）に設定。サドル部に 65kg のおもりを載せる。 ペダル駆動装置 ASR 自動制御にて 0.1km/h/s の速さで 24km/h まで速度を上げ、電流値が下がる時の速度を確認
2	走行距離測定	ペダル駆動装置 ASR 自動制御にて 0.1km/h/s の速さでカットオフ速度×0.9km/h まで速度を上げ、500m 走行させた後、ペダル駆動装置を止める。クランク入力トルクが 0 になった時と電流値が下がった時の時間差を調べる。10 回測定を行う。
3	走行距離計算	上記の時間差とカットオフ速度×0.9km/h の積を走行距離とした。

3.2.2 測定結果

図 22 に各銘柄のカットオフ速度を、図 23 にペダリングを止めてからアシスト制御が終止するまでの走行距離の最大値と最小値及び平均値をまとめた。カットオフ速度について

は、全銘柄で 24km/h 以下であり、銘柄で差が見られた。

走行距離に関しては、10 回測定したときの平均値が 2m 前後になる銘柄が多かったが、5m を超える銘柄もあった。現状 JIS や電動アシスト自転車安全基準で規定にない項目であるので、この数値を意識して製品設計されているとは限らないが、製品を特徴づける指標の一つとなりそうである。

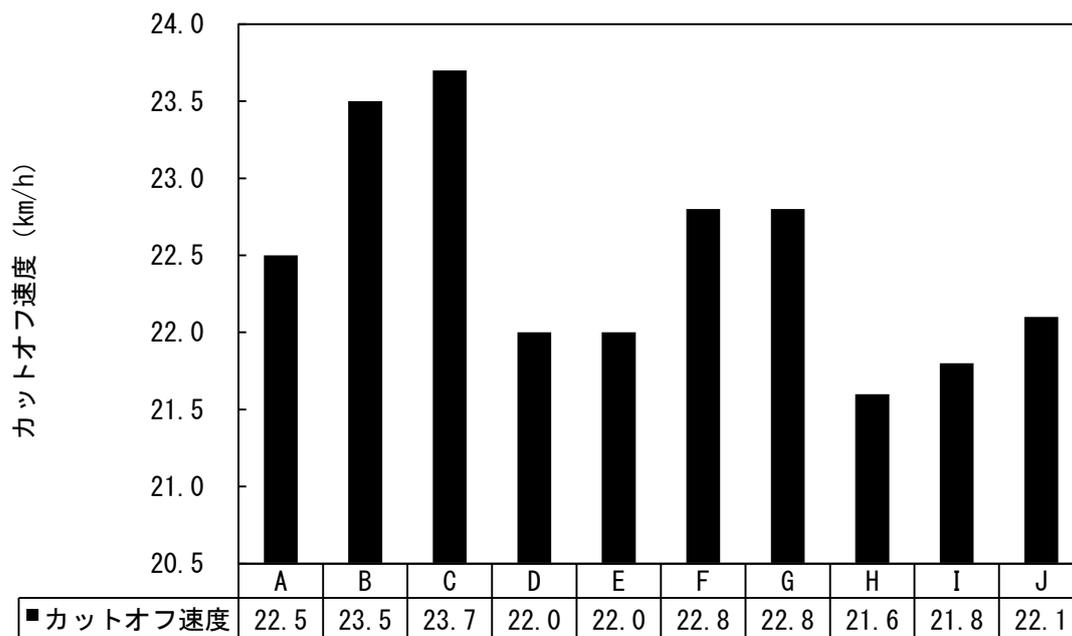


図 22 アシスト制御カットオフ速度

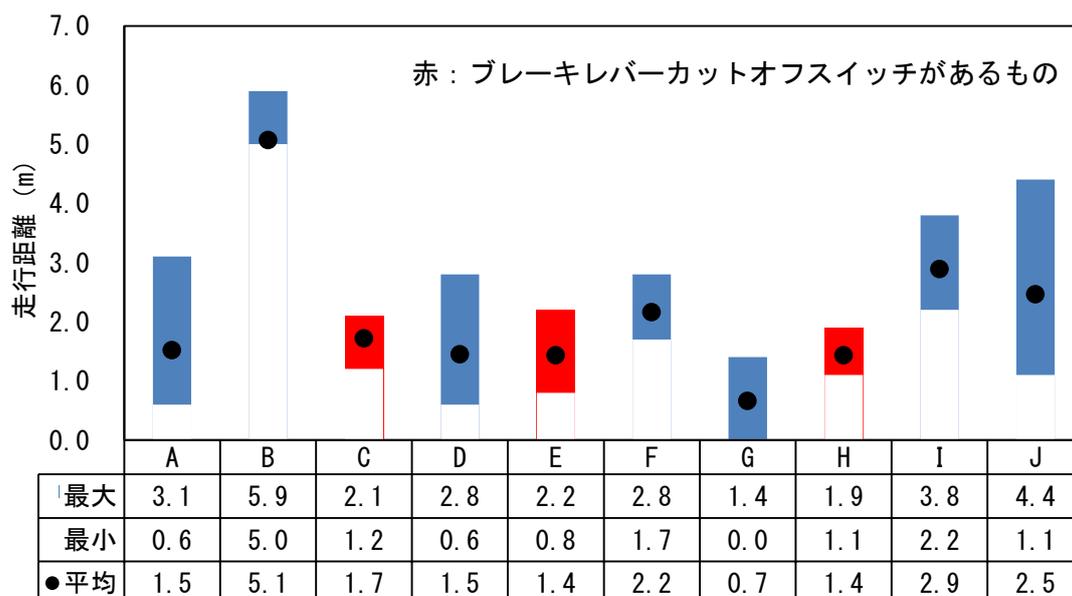


図 23 ペダリングを止めてからアシスト制御が終止するまでの走行距離 測定結果

4. 一充電当たりの走行距離測定の自動化

4.1 自動化の目的

前述のとおり、現在電動アシスト自転車の一充電当たりの走行距離の測定方法としては JIS D 9207 と BAA による方法がある。現状、実使用時の走行距離との整合性や測定の難易度などから BAA による方法が主流となっている。

しかし BAA の短所として、人漕ぎによる測定を行うため、乗員による測定ばらつきが生じやすいと考えられている。前述のとおり、3 人の乗員で測定しても、1~2km の差が生じ、同じ乗員でも 1~2km 程度のばらつきがあった。この乗員によるばらつきをなくすには、ペダリングを機械的に行うことが最も有効であると考えられる。平成 26 年度はペダル駆動装置の回転速度変動率を 20% に設定し測定を行った結果、人漕ぎと多少のずれはあるが、ペダル駆動装置を用いた測定自体は可能であることを報告した。

今回、シャーシダイナモメータのペダル駆動装置（写真 2）を活用し、機械的なペダリングを行うことで一充電当たりの走行距離測定の自動化が可能なのか、測定方法をどのようにすべきか検証・検討した。



写真 2 ペダル駆動装置

4.2 測定方法

今回報告するペダリングのパターンとして、

- ・回転速度変動率が 15%、20%、30%
- ・クランク入力トルクの極小値が 0 になるように回転速度変動率を調整

の 4 パターンでペダル駆動装置を制御し、BAA の標準パターンを走行した際の一充電当たりの走行距離測定を行った。クランク入力トルクの極小値が 0 というのは、人漕ぎによるペダリングで見られた状態である。極大値については各銘柄の駆動補助力の比率によって変わるので調整が非常に難しく、極小値のみ調整した。

その他、乗員の代わりとしてサドル部に 65kg のおもりを取り付けた点とペダル駆動装置によってペダリングを行った以外は、BAA に記載されている測定方法で測定を実施した。

4.3 測定結果

各条件における一充電当たりの走行距離測定結果を図 24 にまとめた。

いずれの測定結果も、小数点第一位を四捨五入しているため、測定結果にある程度の幅がある点は考慮しなければならないが、まず、供試品 A と供試品 E に関しては、速度変動率を調整した場合、速度変動率が小さいほど走行距離が延びる傾向があった。一方、供試品 B に関しては、速度変動率と走行距離に相関が見られなかった。トルクの極小値が 0 となるよう回転速度変動率を制御した場合は、走行距離が短くなる傾向があった。

また、測定の安定性であるが、速度変動率 20% の測定 3 回では、供試品 A と供試品 B では変わらず、供試品 E も 1km の差で収まっていた。人漕ぎの場合が 1~2km の差だったので、ペダル駆動装置を用いた測定のほうが多少は安定した測定ができています。

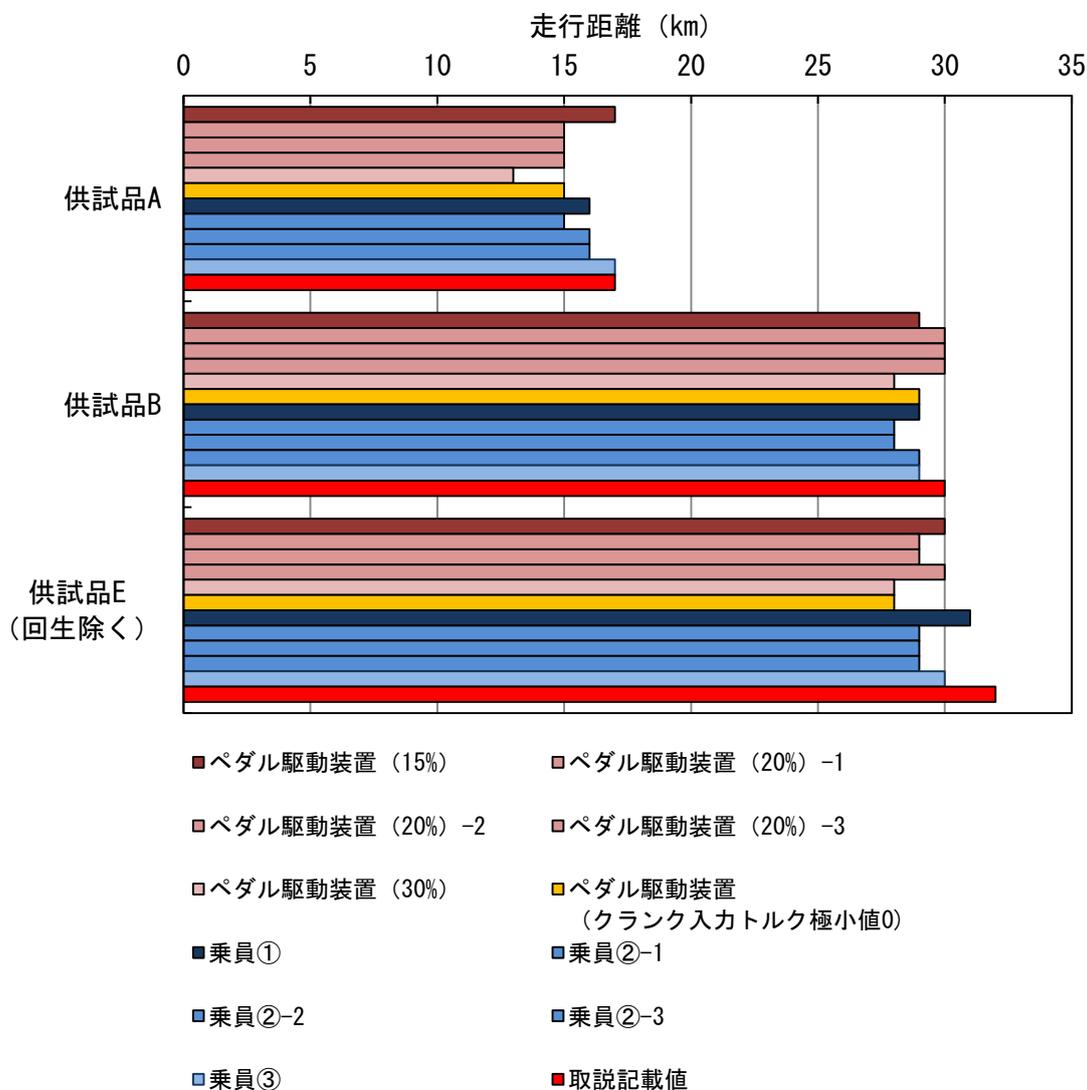


図 24 各クランク入力方法による一充電当たりの走行距離

次に各走行条件で、BAA 標準パターン 1 サイクルの間のペダリングによる仕事と一充電当たりの走行距離の関係調べた。図 25 に各銘柄、各ペダリング時の BAA 標準パターン 1 サイクルにおける仕事と一充電当たりの走行距離をまとめた。

図 25 より、供試品 A ではペダリングによる仕事が大きければ、一充電当たりの走行距離が大きくなるという相関が見られ、回転速度変動率が小さくなるにつれ、ペダリングによる仕事も大きくなる傾向が見られた。回転速度変動率が 15%~20% で人漕ぎを再現できそうである。

一方で、供試品 B と供試品 E では供試品 A ほどの相関は見られなかった。また、ペダル駆動装置の回転速度変動率とペダリングによる仕事の間にも相関が見られなかった。人漕ぎ時との比較では供試品 B と供試品 E で、ペダル駆動装置を用いた測定のほうが、仕事が大きくなった。

クランク入力トルクの極小値が 0 になるように回転速度変動率を調整した場合についても、人漕ぎと同じような仕事にはならず、一充電当たりの走行距離との相関も見いだせなかった。

これらの結果より、ペダル駆動装置の回転速度変動率の設定によっては、一充電当たりの走行距離が有利あるいは不利になる銘柄があった。理由として、各銘柄でクランク入力に対するアシスト制御の応答が異なることが考えられる。

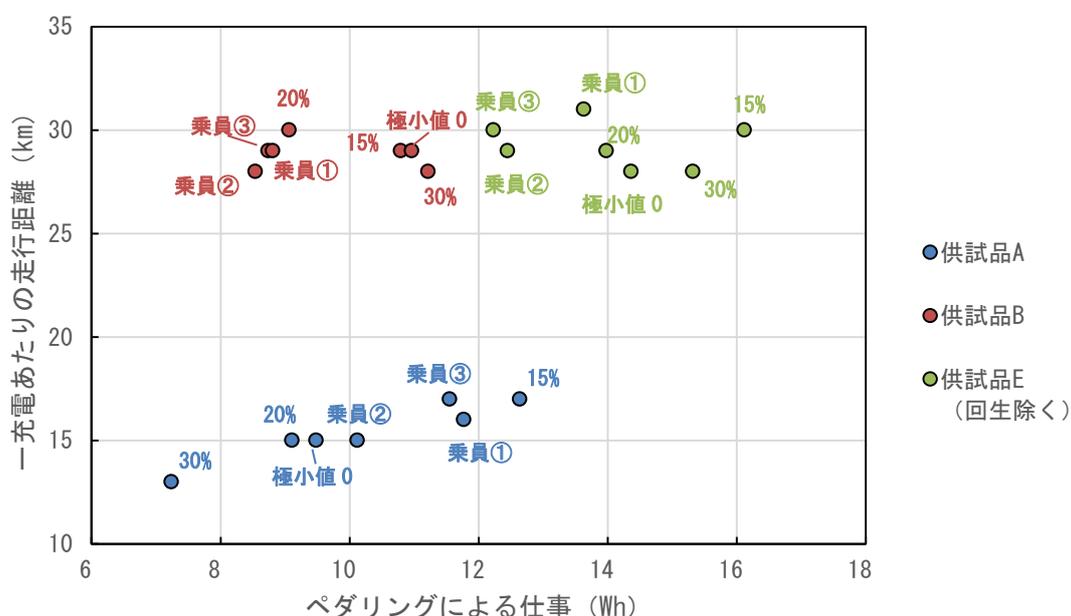


図 25 ペダリングによる仕事と一充電当たりの走行距離

4.4 考察

今回の測定では一充電当たりの走行距離測定の自動化を目指して調査を行ってきた。クランク入力に対して、各銘柄でアシスト制御の応答が異なることから、クランク入力側の設定では最適な条件を見出すことはできなかった。今回は 3 銘柄でしか調査を行っていないが、他の電動アシスト自転車、特に非 BAA のものも含めると最適な条件設定はさらに難しくなると考えられる。

また、ペダル駆動装置の回転速度変動率の設定については、株式会社小野測器製のシャーンダイナモメータにはその機能があるが、他社製のシャーンダイナモメータにあるとも限らない。加えて、ペダル駆動装置のモータ出力や制御方法によってはクランク入力トルク値に差が生じることも考えられるため、装置性能によらない条件設定が必要である。

自動測定を行うには、例えば、各銘柄で 1~2km 程度の有利不利があったとしても、画一的に測定条件を決めてしまわなければならない。条件設定の案としては、各銘柄に平等に適用できる条件でなければならないので、駆動補助力の比率の差が影響するクランク入力トルクでは条件設定は難しい。クランク回転速度変動率も前述のとおり一般化するのが難しい。一方、電動アシスト自転車の出力側で考えると、速度や走行抵抗は条件が決まっている。残るパラメータの中で、可能性があるのが走行中の加速度である。

図 26~図 28 に、各銘柄における乗員②及びペダル駆動装置を用いた 4 パターンの走行時の加速度の極大値分布のヒートマップを示す。クランク回転入力力が正弦波であるので、加速度も正弦波的に正~負と変化するが、速度を一定に保つようにしているので、正負の絶対値はおおむね同程度であり、正側で考える。

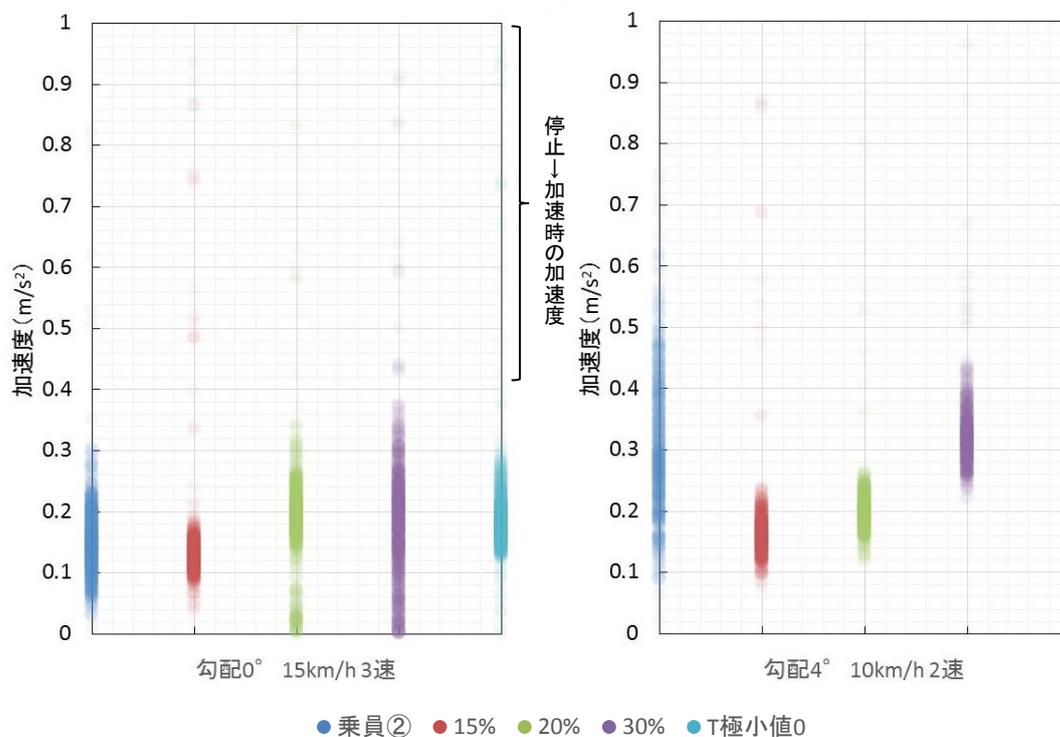


図 26 加速度極大値分布のヒートマップ (供試品 A)

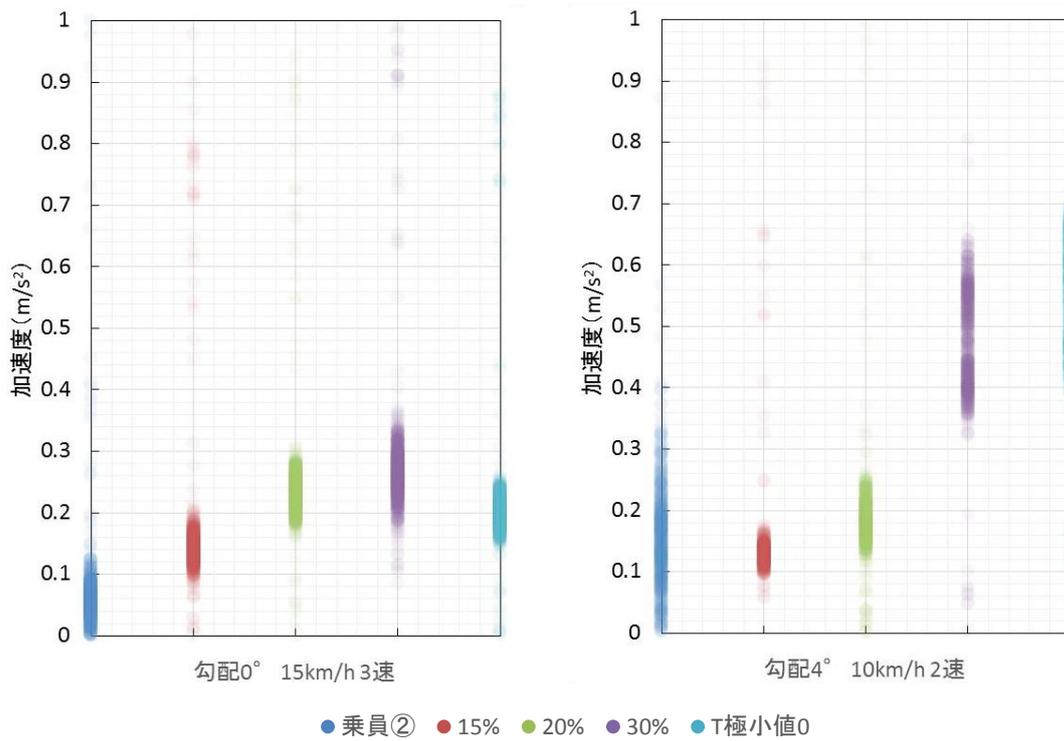


図 27 加速度極大値分布のヒートマップ (供試品 B)

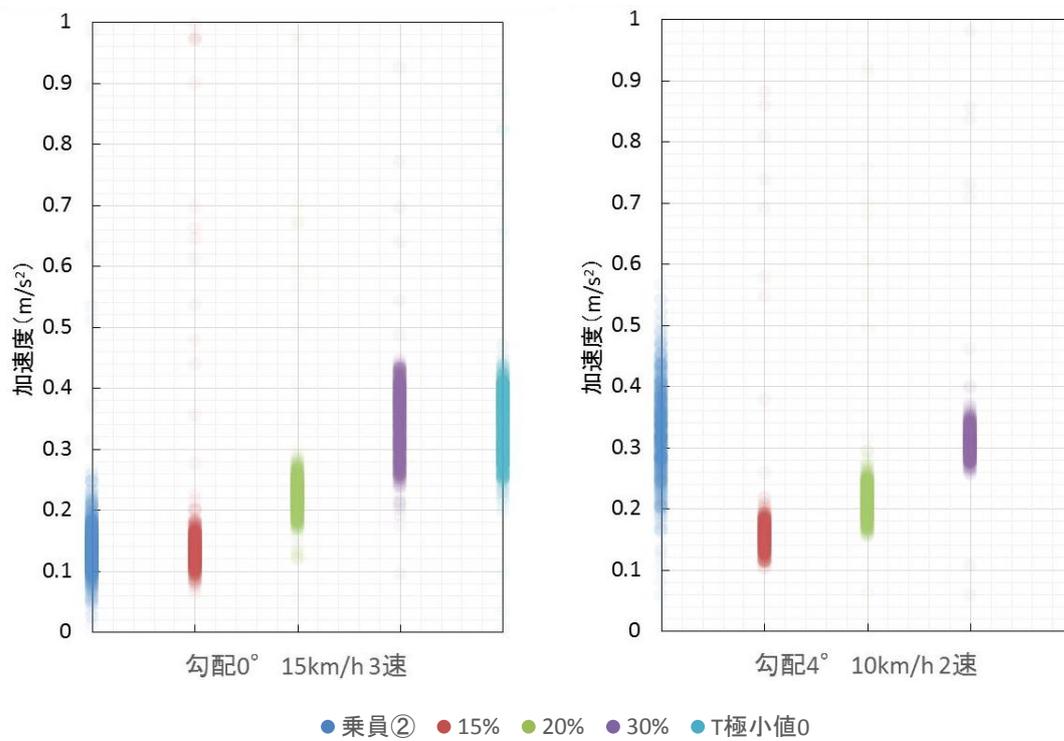


図 28 加速度極大値分布のヒートマップ (供試品 E)

図 26～図 28 より、人漕ぎ時の加速度の分布は銘柄によって差はあるが、停止状態からの加速あるいは走行時から停止状態までの減速時以外は、ある程度の範囲で収まっていることがわかる。勾配 0°、15km/h、3 速では、 $0 \text{ m/s}^2 \sim 0.3 \text{ m/s}^2$ 、勾配 4°、10km/h、2 速では $0.1 \text{ m/s}^2 \sim 0.5 \text{ m/s}^2$ の範囲である。ペダル駆動装置の制御もこの範囲で設定することが可能である。

そこで、例えば、走行時の条件を「各区分における加速度の絶対値が 0.5 m/s^2 以下となるように正弦波的なクランク回転入力を与え走行する」などとすれば、自動測定や人漕ぎ測定などクランク回転入力の方法を問わず、一充電当たりの走行距離測定が可能となる。ただし、前述のとおり、銘柄によって有利不利が生じる可能性もある。

5. まとめと今後の予定

今回の実施内容より得られた結果を以下にまとめる。

① 駆動補助力の比率：

電動アシスト自転車 10 銘柄において駆動補助力の比率に関して規格に準じた測定を行った。駆動補助力の比率では 2 銘柄で基準値を上回った。また、ギヤ比を下げると駆動補助力の比率が上がるものもあった。

② 一充電当たりの走行距離：

電動アシスト自転車 10 銘柄において、一充電当たりの走行距離に関して取扱説明書記載の測定方法に準じた測定を行った。BAA 認証品で距離が短くなる傾向があったが、これは駆動補助終止条件など、検査機関では知ることのできない情報も多く、製造業者が取得したデータと、当所が取得するデータに差異が生じたためと考えられる。また人漕ぎ測定における乗員差や電池の個体差も影響したと考えられる。非 BAA 認証品では取扱説明書記載の距離との差が比較的大きく、また BAA 標準パターンによる測定を行うと 10km 以上差が生じる銘柄もあった。

③ アシスト制御の応答性などの評価方法の検討：

電動アシスト自転車 10 銘柄においてアシスト制御の応答性などの評価方法を検討した。
・アシスト制御が始動するときの始動トルクについては 3 パターンの傾向が見られ、定量的な測定が可能であった。

・ペダリングを止めてからアシスト制御が終止するまでの走行距離については EN15194 に準じた試験を行ったが、銘柄ごとに傾向が異なった。

各銘柄の設計思想もあるので一概に良し悪しは言えないが、製品を特徴づける指標として上記 2 つのパラメータ測定は有効であると思われる。

④ 一充電当たりの走行距離測定の自動化：

一充電当たりの走行距離測定の自動化では、ペダル駆動装置を用いた一充電当たりの走行距離測定の自動化を試みた。安定した測定は可能であるが、クランク入力に対するアシスト制御の応答が各銘柄で異なるため、測定条件によっては銘柄に有利不利が生じた。再現性のある測定ができるのは長所であるが、人漕ぎ測定と比較して明確な優位点を見出せなかった。ペダル駆動装置側の設定を決めるのではなく、例えば走行時の加速度などで測定条件を決めるなど、測定条件の研究の余地はありそうである。

今後は、引き続き新製品を購入し、現行規格などで品質性能調査を行うとともに、新たな評価方法の模索を行う予定である。また、一充電当たりの走行距離測定に関しても引き続き調査を行っていく。

本事業を実施するにあたり、以下により構成する「電動アシスト自転車評価方法開発検討会」を設置し、

公立大学法人大阪府立大学大学院工学研究科機械系専攻 中川 智皓 助教

一般財団法人日本車両検査協会

パナソニックサイクルテック株式会社

ブリヂストンサイクル株式会社

ヤマハ発動機株式会社 (五十音順)

の協力を得て事業を遂行しました。ここに感謝の意を表します。

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” 平成 27 年 3 月