

平成 28 年度自転車等研究開発普及事業
事業実施報告書①

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

平成 29 年 3 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. 平成 27 年度までの取り組み状況.....	3
3. 一充電当たりの走行距離測定自動化の検証.....	4
3.1 検証方法	4
3.1.1 供試品	4
3.1.2 使用機材	5
3.1.3 走行条件	7
3.1.4 踏込時加速度.....	8
3.1.5 人漕ぎにより生じる踏込時加速度.....	9
3.1.6 ペダル駆動装置により生じる踏込時加速度.....	18
3.2 測定結果（駆動補助出力が最も大きくなる走行モードの場合）	22
3.2.1 踏込時加速度を意識せずペダリングした際の一充電当たりの走行距離.....	22
3.2.2 踏込時加速度と消費電力量の関係.....	25
3.3 測定結果（駆動補助出力が 2 番目に大きくなる走行モードの場合）	30
3.3.1 踏込時加速度を意識せずペダリングした際の一充電当たりの走行距離.....	30
3.3.2 踏込時加速度と消費電力量の関係.....	31
3.4 ペダル駆動装置使用による測定の再現性.....	35
4. 一充電当たりの走行距離測定の自動化に向けた条件設定.....	38
4.1 踏込時加速度の平均値の上限及び下限.....	38
4.2 ペダル駆動装置	40
4.3 電動アシスト自転車.....	40
4.4 自動測定の検証	41
5. まとめと今後の課題.....	44

1. 事業実施の背景と目的

本事業で取り上げている電動アシスト自転車は、1993年に世界に先駆け我が国で製品化されて以降、現在では市場規模も拡大傾向（2014年479千台）であり、今後も普及が進むと思われる。また、日本のみならず海外においても電動自転車（EPAC）の普及が進んでいる。

一方で、ISO/TC149（自転車）/SC1において、日本主導で電動アシスト自転車のISO規格の検討がスタートした。その基本的な建て付けは、各国の強制法規（道路交通法）を最大限尊重しつつ、安全要求事項の共通項目を規定化していくものである。また、日本国内の規格では、安全性と利便性の確保を図るために“設計指針”として取りまとめていたJIS D 9115：2013（電動アシスト自転車—設計指針）を製品規格化するとともに、安全要求事項及び試験方法、設計概念等を規定化することによって、国際的に理解を広げることを目的とした改正を行った。あわせて一充電当たりの走行距離測定方法を規定していたJIS D 9207：2000（電動アシスト自転車—一充電当たりの走行距離測定方法）も内容を見直した上でJIS D 9115：2017（電動アシスト自転車）に統合・廃止された。

このように、電動アシスト自転車に関して国内外で動きが活発になる中、当所でも電動アシスト自転車を研究テーマに取り上げ、電動アシスト自転車関連の研究開発普及事業として、平成25年度より電動アシスト自転車の評価方法に着目し事業を実施してきた。平成25～26年度については、基本的な評価機器の導入として、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）などを導入し、電動アシスト自転車の品質性能調査や予備的な調査などを実施した¹⁾。平成27年度は品質性能調査に加え、電動アシスト自転車走行時のペダリング解析を行うため、シャーシダイナモメータの測定パラメータとペダルセンサーの測定パラメータを同期可能なペダル踏力測定システムを構築し、アシスト制御の応答性などの評価方法の検討及び一充電当たりの走行距離測定の自動化について検討を行った²⁾。

平成28年度については、これらの設備を活用し、

- ・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
- ・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了するまで）
- ・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

の3テーマについて研究や測定を実施した。

本報告書では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についてまとめた。なお、本事業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. 平成 27 年度までの取り組み状況

平成 27 年度はシャーシダイナモメータのペダル駆動装置側の制御条件を決めることで、一充電当たりの走行距離測定の自動化が可能であるか検討した。結果としては、ペダル駆動装置の設定（クランク回転出力に関連するパラメータ）を定義すると（図 1 に入出力のイメージ図）、安定した測定は可能であるが、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。

そこで平成 28 年度は、走行速度や走行抵抗以外で駆動出力側のパラメータの条件を決め、一充電当たりの走行距離測定の自動化が可能か検証した（図 2 に入出力のイメージ図）。

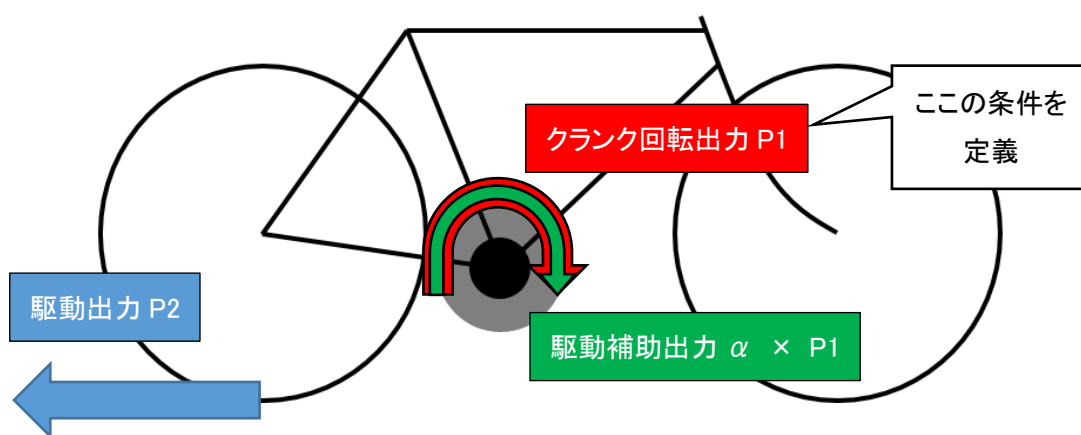


図 1 平成 27 年度実施の検証イメージ（クランク軸上合力発生一体型の場合）

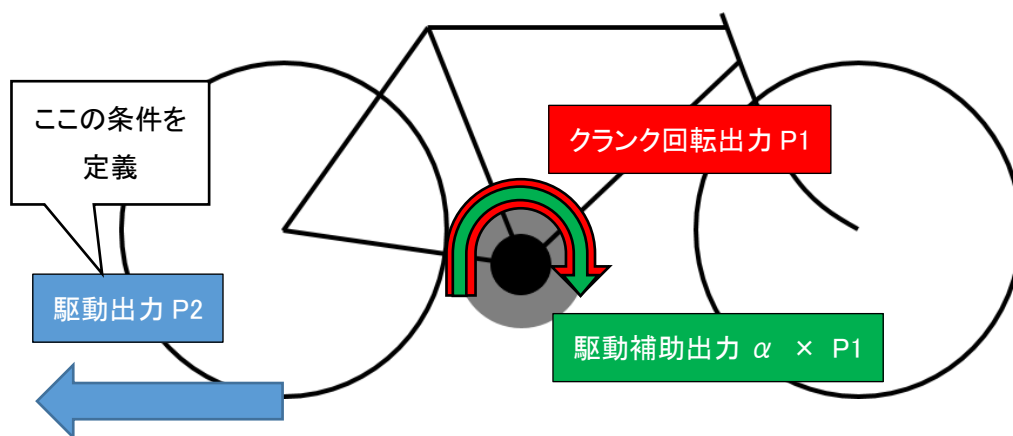


図 2 平成 28 年度実施の検証イメージ（クランク軸上合力発生一体型の場合）

3. 一充電当たりの走行距離測定自動化の検証

3.1 検証方法

3.1.1 供試品

本研究では平成 26 年～平成 28 年にかけて購入した 2014 年～2016 年モデルの 10 銘柄 10 台の電動アシスト自転車を使用した。詳細を表 1 にまとめた。なお、前述のとおり、商品テストを目的としていないため、商品名など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

購入年	供試品 No	車輪径 (前/後)	アシスト方式	電池容量※	BAA 認証品
2014 年	14A	26/26	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	○
	14B	26/26	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	○
	14C	26/26	人力・電動力別車輪発生型 (ハブモータ前輪駆動方式)	中	○
	14D	26/26	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	○
2015 年	15A	26/26	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	○
	15B	26/26	人力・電動力別車輪発生型 (ハブモータ前輪駆動方式)	中	○
2016 年	16A	26/26	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	○
	16B	26/26	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	○
	16C	27/27	人力・電動力別車輪発生型 (ハブモータ前輪駆動方式)	中	○
	16D	20/20	後車軸合力発生型 (ハブモータ後輪駆動方式)	小	

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

3.1.2 使用機材

3.1.2.1 シャーシダイナモメータ

シャーシダイナモメータは平成 26 年度に当所に導入した(株)小野測器製シャーシダイナモメータを用いた。構成図を図 3 に、外観写真を写真 1 に示す。なお、ハブモータ前輪駆動方式など前輪が駆動する電動アシスト自転車を選定する場合は、ローラ上に前後輪を両方載せ、全駆動出力を測定する必要があるが、同じ電動アシスト自転車を 2 台使用する、またはアタッチメントを使用する必要があるが、今回はアタッチメントを用いて、自転車サドル部に 65 kg のおもりを載せた際の前輪分追加加重相当の下方力 (20 kg~25 kg 程度) を付加し、測定した。シャーシダイナモメータでは測定周波数 10Hz でデータをロギングした。

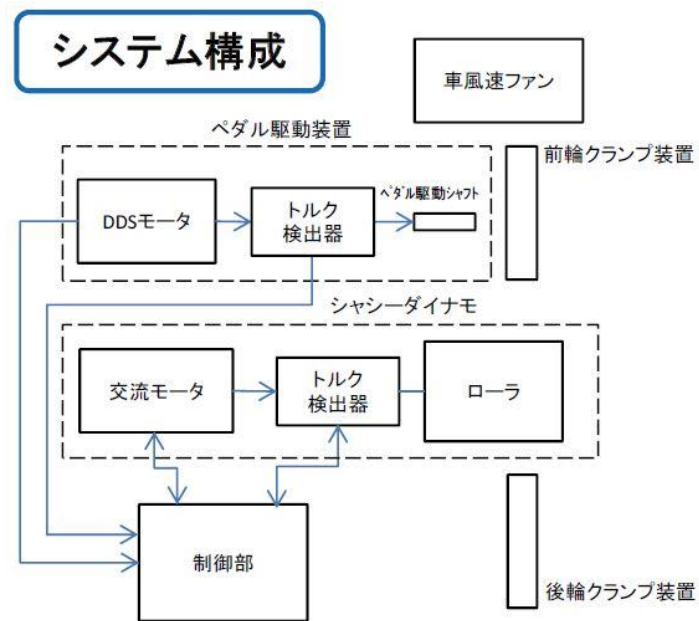


図 3 シャーシダイナモメータ 構成図



写真 1 シャーシダイナモメータとアタッチメント取付例

3.1.2.2 ペダル踏力計測装置

ペダル踏力計測装置は平成 27 年度に開発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、シャーシダイナモメータ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 2）を用いた。システムの構成図を図 4 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。ペダル踏力計測装置では、ペダリング解析時は測定周波数 500 Hz、シャーシダイナモメータとデータを同期させる時は測定周波数 10 Hz でデータをロギングした。



写真 2 ペダルセンサー外観

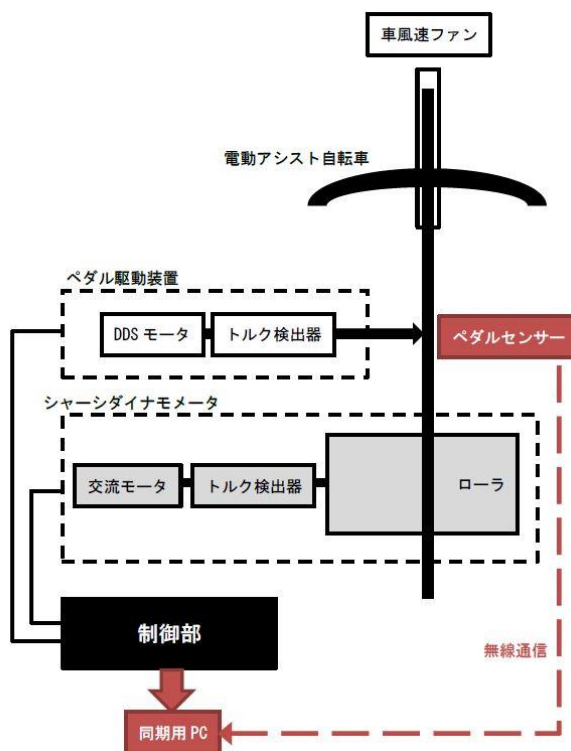


図 4 システム構成図

3.1.3 走行条件

自転車の走行条件については JIS D 9115 : 2017 及び (一社) 自転車協会の「電動アシスト自転車安全基準 (以下、BAA 基準と呼ぶ)」に準じた。今回の検証では表 2 に示すような BAA 基準で定められた標準パターン (JIS D 9115 の標準パターンと同等。以下、BAA 標準パターンと呼ぶ) を自転車の走行条件として測定を行った。なお、目標とする走行速度に対しては速度のばらつきが許容されており、平たん路及び上り坂では± 1 km/h のばらつきが許容されている。

表 2 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°	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。

以下、便宜上、順番 1 及び 3 の走行条件 (勾配 0°、走行速度 15 km/h、最大の変速段) を「平たん路」、順番 2 の走行条件 (勾配 4°、走行速度 10 km/h、中間の変速段) を「上り坂」と呼ぶこととする。

3.1.4 踏込時加速度

今回の検証では自転車が走行する際の加速度と電池の消費量の関係を調査した。一般的には、自転車の加速度は、ペダルを踏み込む、すなわちクランクに入力されるトルク（以下、クランク入力トルクと呼ぶ）を増大させ、自転車の走行速度が増大する瞬間に大きな値となる。

例として、シャーシダイナモメータ上で、平たん路を駆動補助出力が最も大きくなる走行モード（強モード）にて走行中の電動アシスト自転車の、クランク入力トルクと加速度の時間変化を測定した例を図 5 に示す。ペダルを踏み込み、クランク入力トルクが大きくなった際に、加速度は極大値（図 5 中の赤丸）となり、一定のペダリング及び速度で走行している場合は、この極大値はある程度一定の値となる。今回の検証では、対象とする走行条件・走行区間における加速度の極大値を指標とし、「踏込時加速度」と呼ぶこととした。

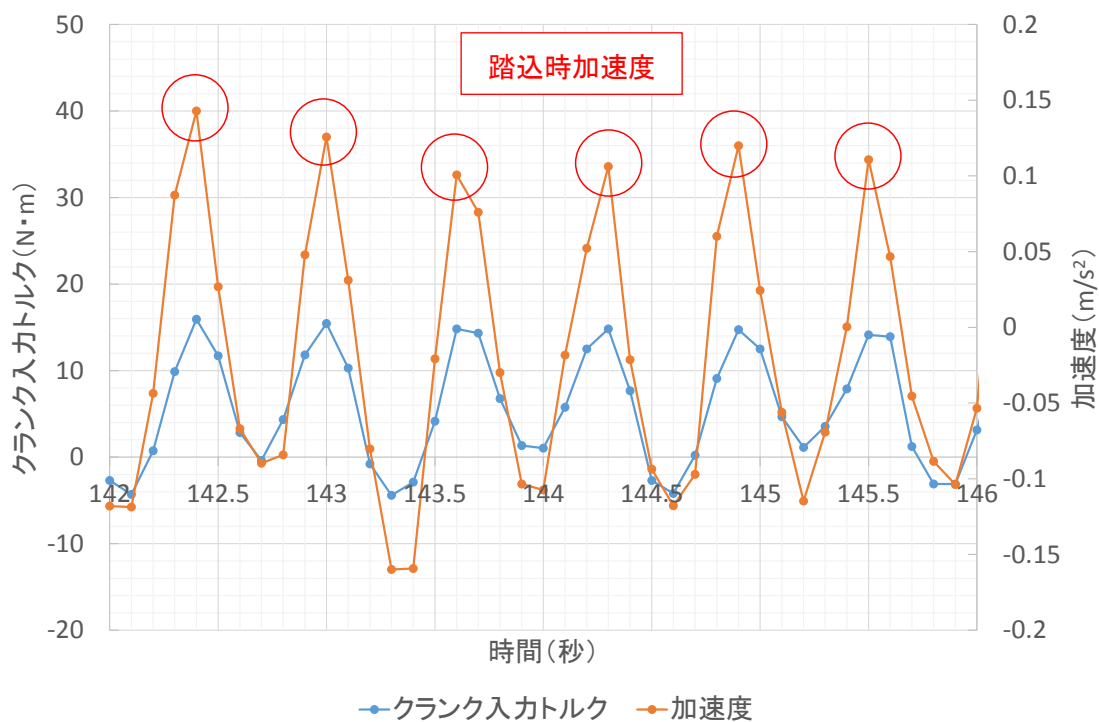


図 5 クランク入力トルクと加速度の時間変化と踏込時加速度

3.1.5 人漕ぎにより生じる踏込時加速度

ペダリングにより生じる踏込時加速度は、ペダリングの仕方により値が変わる。例えば、急激に強くペダリングを行えば、クランク入力トルクが急激に増大し、走行速度も急激に増大し、大きな踏込時加速度が生じる。逆に、クランクの回転速度を一定に近づけるような強く踏み込まないペダリングを行えば、クランク入力トルクの変動も小さくなり、走行速度の変化も小さくなり、小さな踏込時加速度となる。

今回の検証において、人漕ぎのペダリングとして、いずれもサドルに座った状態で、

- ① 踏込時加速度が極力小さくなるようなペダリング
- ② 踏込時加速度を意識せずペダリング
- ③ 踏込時加速度が極力大きくなるようなペダリング

の3パターンで測定を行った。ペダルセンサーによる測定例を図 6、3 パターンのペダリングにおける、平たん路及び上り坂の走行条件におけるペダリングの、クランク回転に有効な成分をまとめたものを図 7-1～図 7-3 及び図 8-1～図 8-3 に示す。

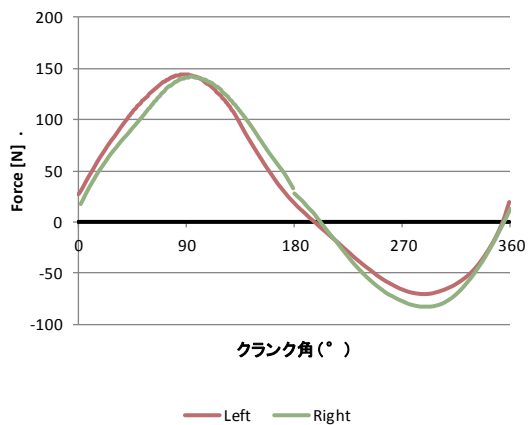
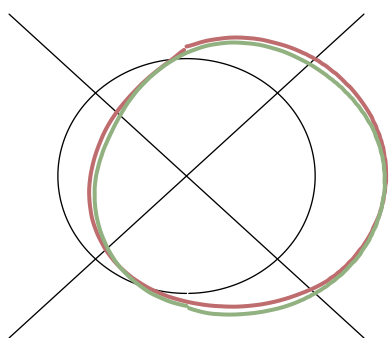
図の見方であるが、まず図 6 については、ペダルセンサーのソフトウェアで出力される、ペダリングを解析した帳票の一例である。ペダル踏力のクランク回転に有効な成分 F_e 、影響しない成分 F_u 及びベクトル図が出力可能である。この中で、各銘柄でクランク回転に有効な成分を抜き出しまとめたものが図 7-1～図 8-3 である。

図 7-1～図 8-3 の見方であるが、左のグラフが左ペダル、右のグラフが右ペダルの測定結果である。縦軸がペダル踏力のクランク回転に有効な成分（この値とクランク長との積が片方のペダルによるクランク入力トルクになる）、横軸がクランク角である（上死点が 0° ）。

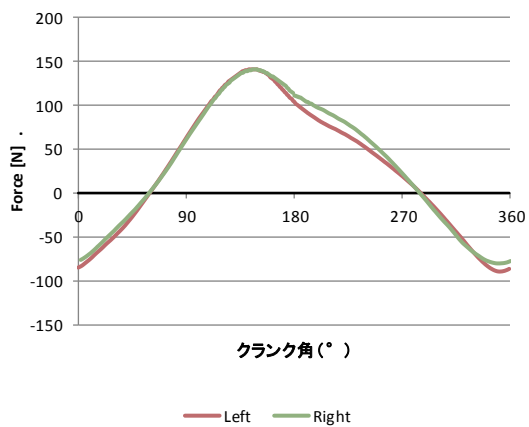
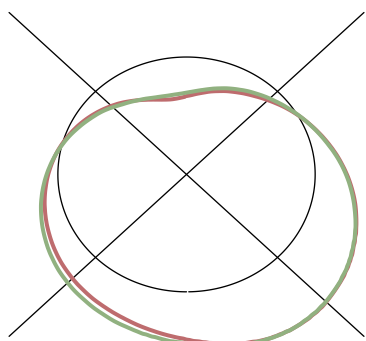
これらのグラフより、同じ走行条件において、駆動補助力の比率やアシスト制御の違いがペダリングに及ぼす影響が銘柄ごとに違うことがわかる。大きな踏力が必要となる銘柄は、駆動補助力の比率が小さく、小さな踏力となっている銘柄は、駆動補助力の比率が大きいといえる。また左右のペダリングが大きく異なる場合もあるが、これは人間の左右ペダリングの非対称性に加え、アシスト制御が左右の踏込時で異なると言えそうである。

なお、ペダルセンサーは普通の自転車での使用を想定した仕様である。一定の走行条件であればペダリング 1 サイクルで得られるデータも一定となり、ペダルセンサーの解析用ソフトウェアの仕様により、データ解析が可能であるが、16C の上り坂での測定時は、アシスト制御の仕様上ペダリングが安定しなかったため、クランク角—ペダル踏力のグラフ化が不可能であった。

Fe (ペダル踏力のクランク回転に有効な成分)



Fu (ペダル踏力のクランク回転に影響しない成分)



Fr (ペダル踏力のベクトル図)

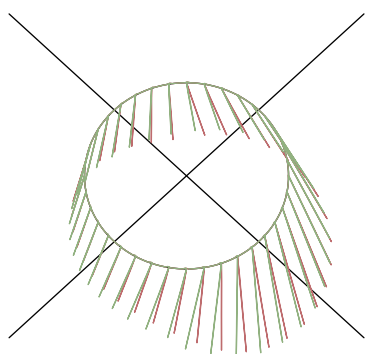


図 6 ペダルセンサーによる測定例 (ペダルセンサーのソフトウェアの帳票、一部抜粋)

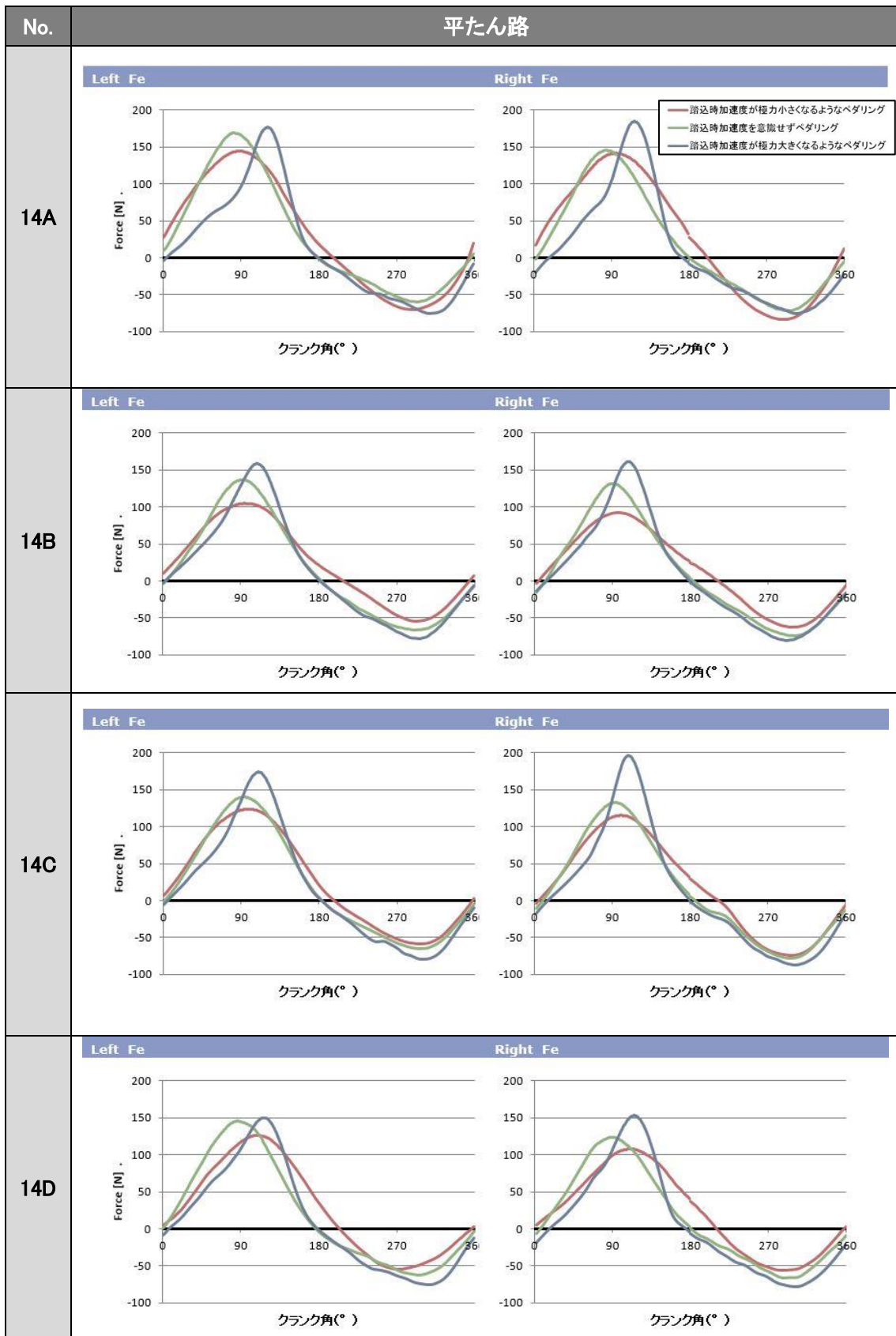


図 7-1 ペダルセンサーによるペダリングの測定例（平たん路）

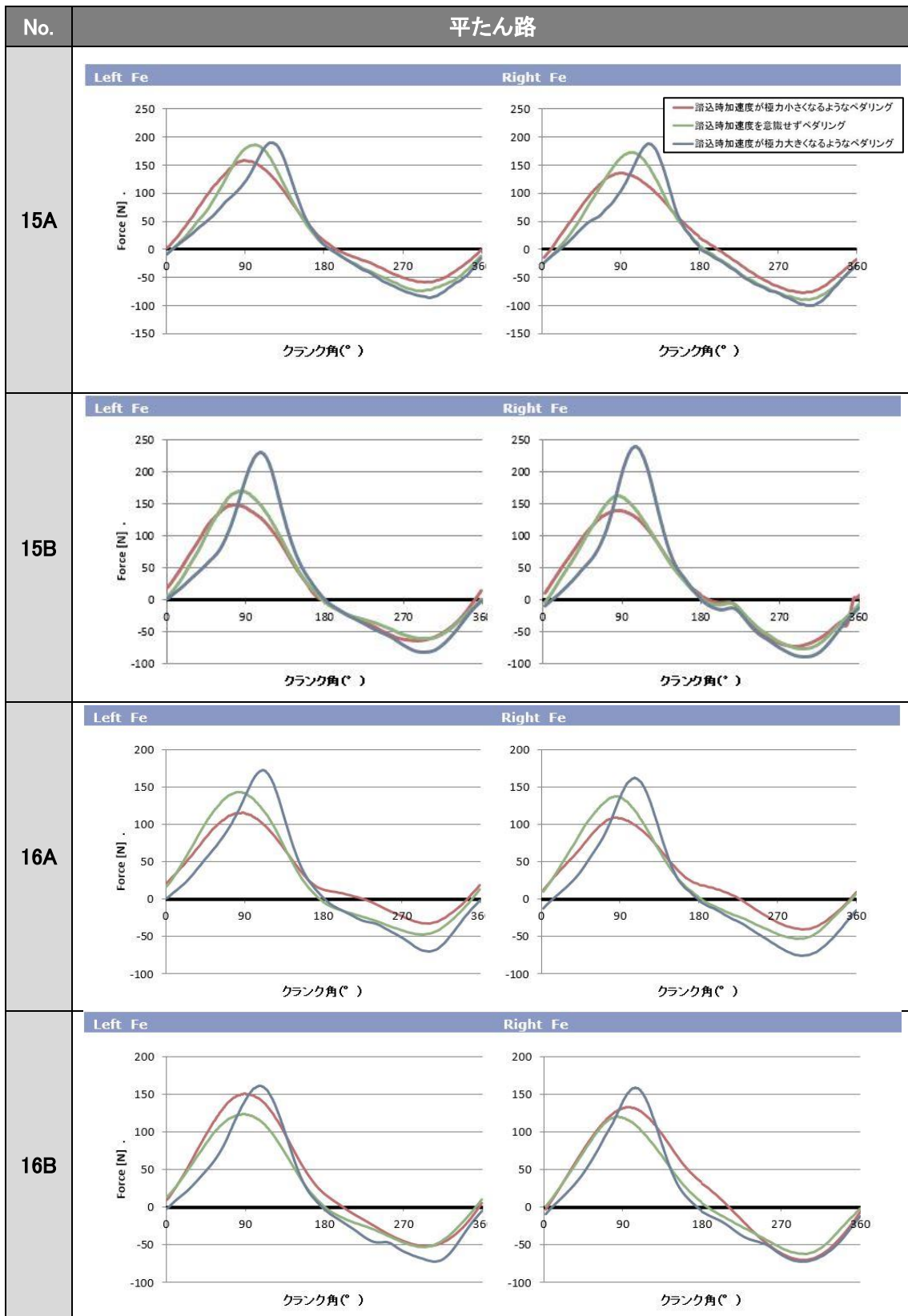


図 7-2 ペダルセンサーによるペダリングの測定例（平たん路）

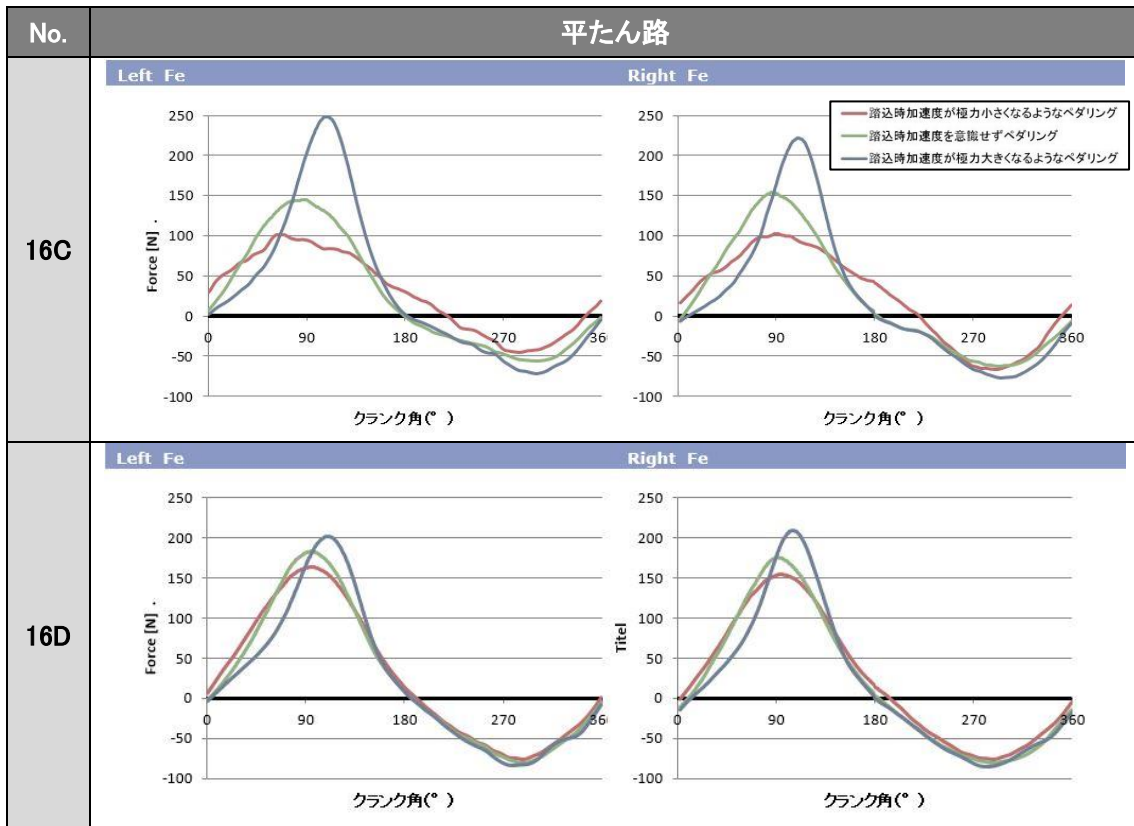


図 7-3 ペダルセンサーによるペダリングの測定例 (平たん路)

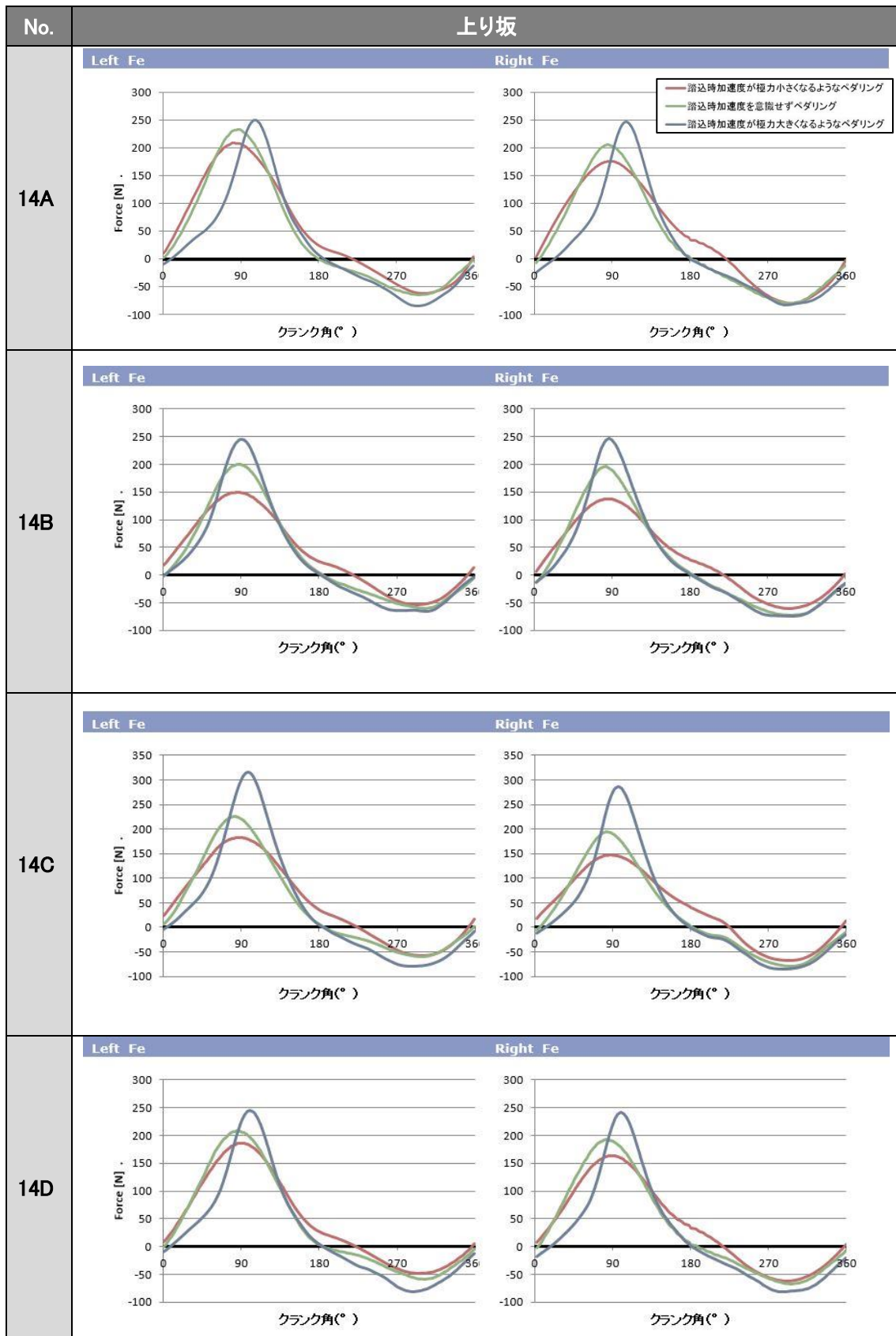


図 8-1 ペダルセンサーによるペダリングの測定例（上り坂）

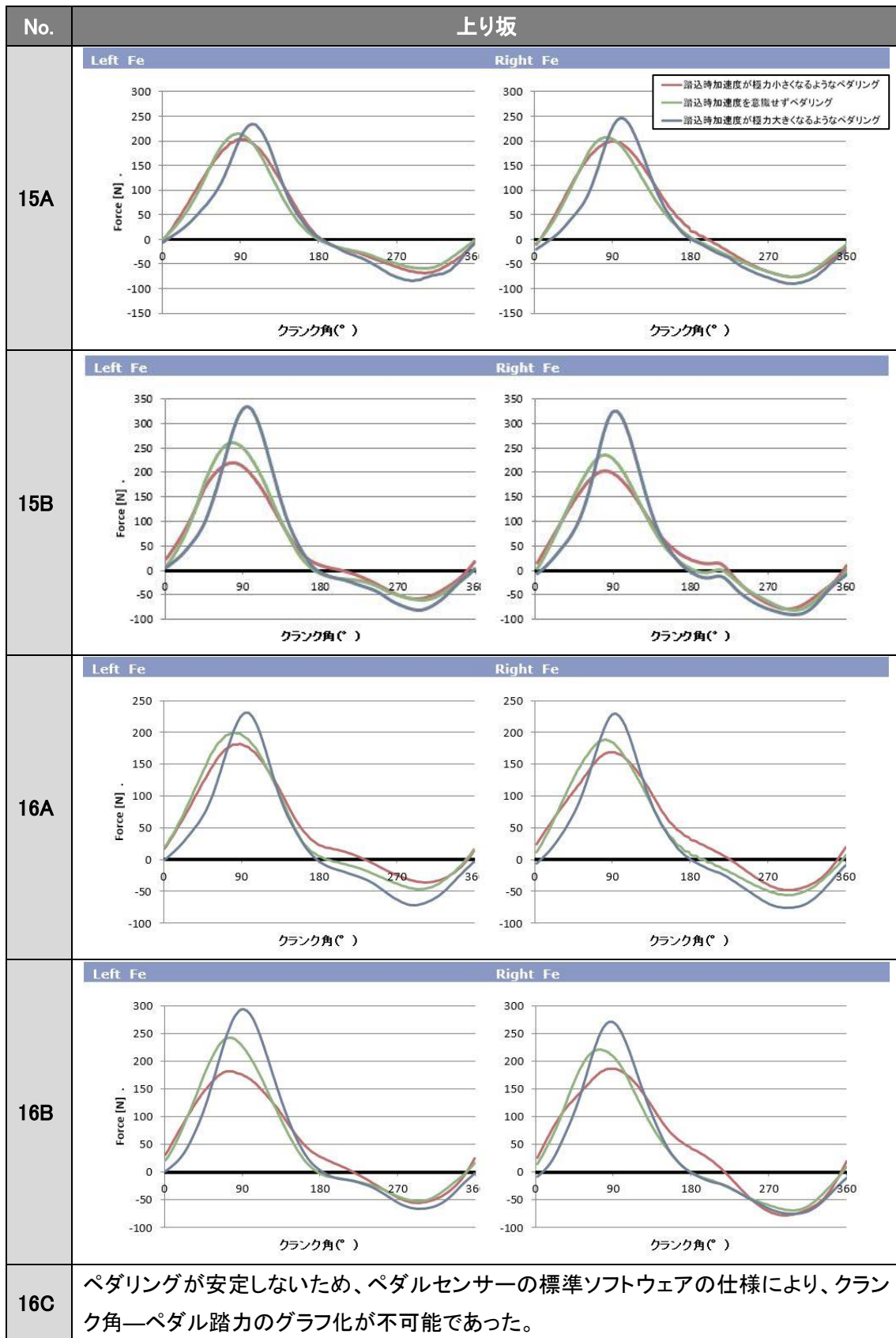


図 8-2 ペダルセンサーによるペダリングの測定例（上り坂）

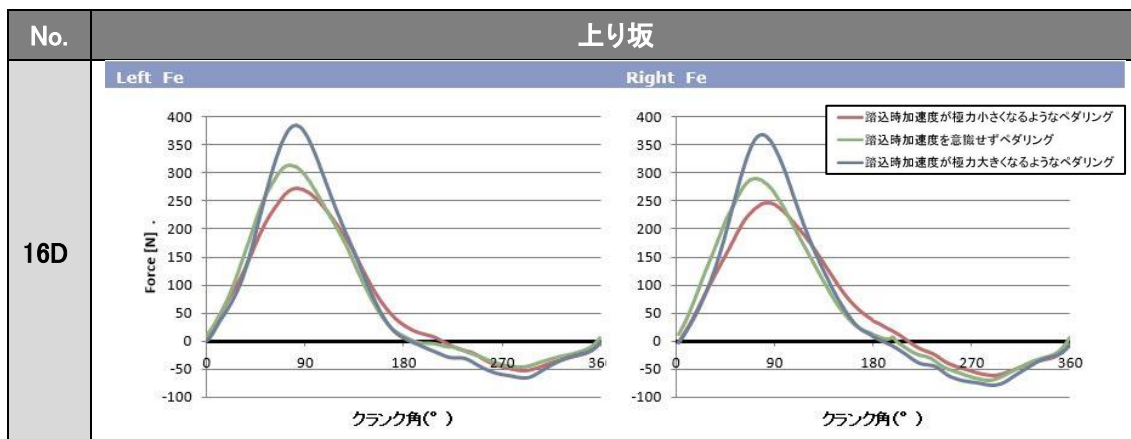


図 8-3 ペダルセンサーによるペダリングの測定例（上り坂）

この3パターンのペダリングを行った際のクランク入力トルクと加速度の時間変化の様子の例を図9～図11に示す。人漕ぎによるペダリングのため、クランク入力トルクは必ずしも安定しないが、意図したとおりに踏込時加速度の大小を制御可能であった。

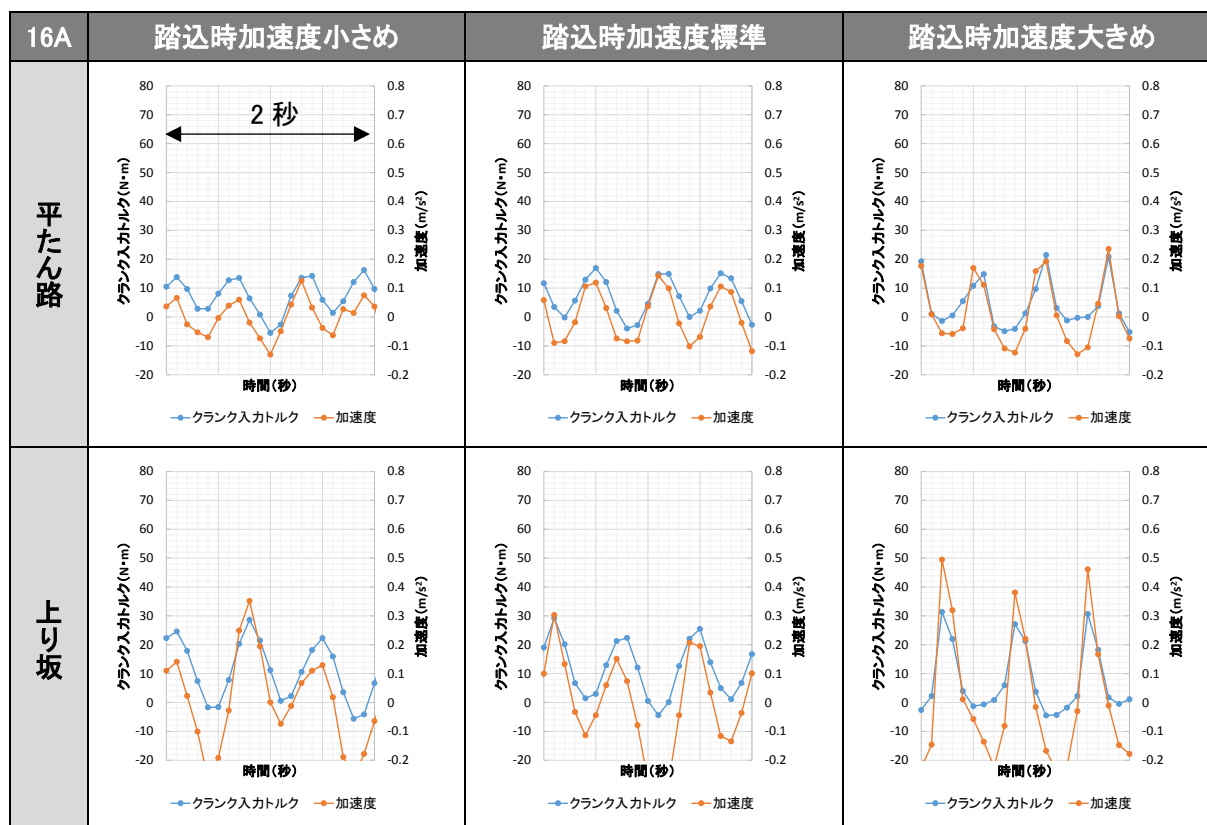


図 9 クランク入力トルクと加速度の時間変化の様子（16A）

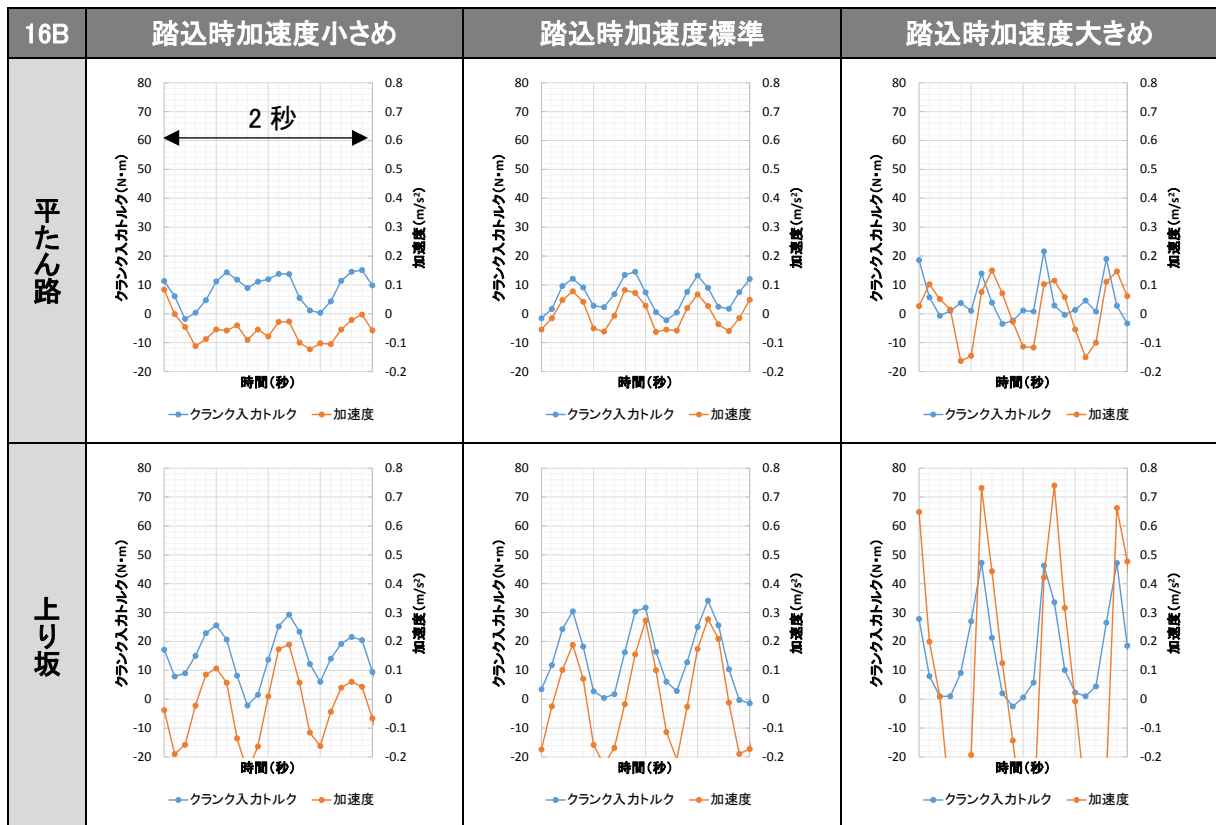


図 10 クランク入力トルクと加速度の時間変化の様子 (16B)

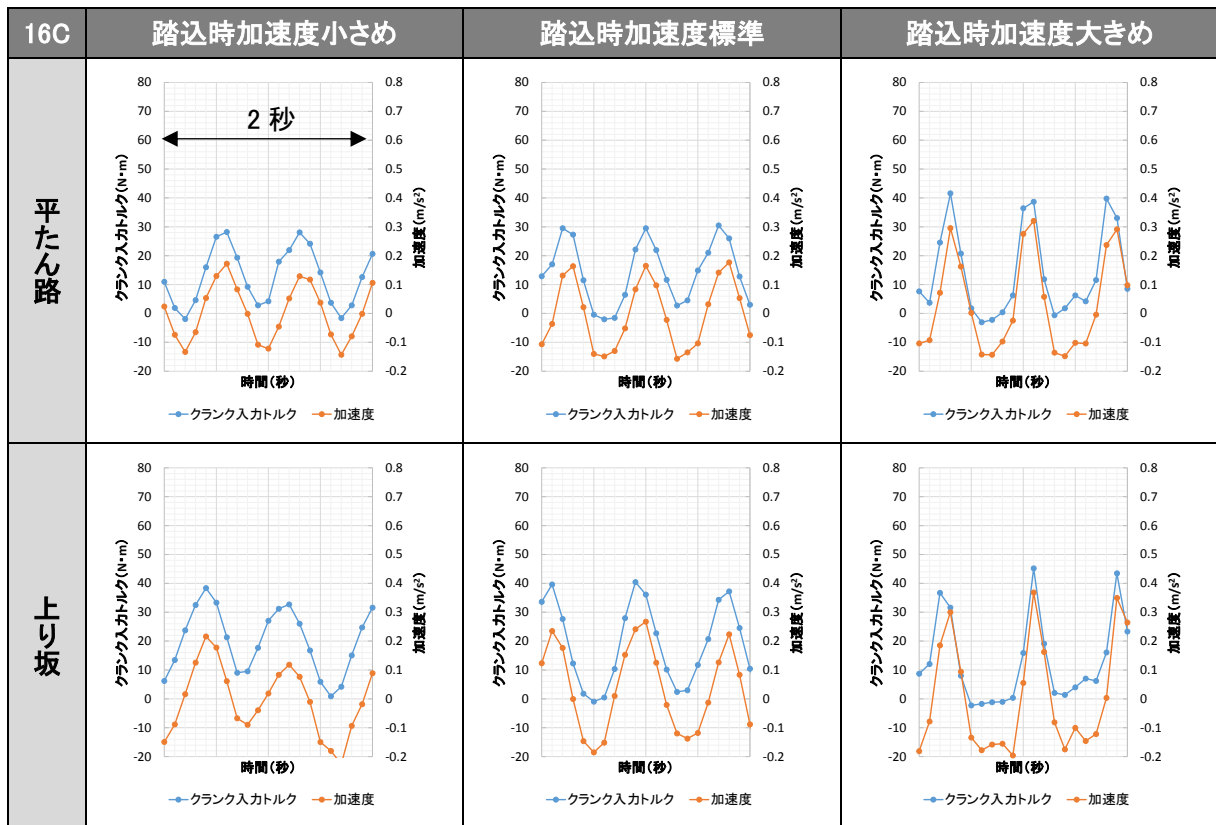


図 11 クランク入力トルクと加速度の時間変化の様子 (16C)

3.1.6 ペダル駆動装置により生じる踏込時加速度

ペダル駆動装置を用いて生じさせる踏込時加速度については、回転に関する制御パラメータを変えることでその大小を変えることが可能である。当所所有のシャーシダイナモメータのペダル駆動装置は目標とする速度に達するまでのPI制御のP及びIの値、また図12に示すように入力回転速度を正弦波的に制御可能であり、それに応じてクランク入力トルクも正弦波的な波形となる。今回の測定では、表3に示す組み合わせでペダル駆動装置を制御した。図13～図15に、P及びIの値や回転速度変動率を変えた際に生じるクランク入力トルクと加速度の時間変化の様子を示す。

図13～図15より、回転速度変動率やP及びIの値を変えることで、踏込時加速度の大小を制御可能であった。ただし、例えば図13の回転速度変動率30%、P=1.15、I=0.32の場合、踏込時加速度が大きく、目標とする走行速度を上回ってしまう時にはペダル駆動装置が制御できず、惰性で走行してしまうため加速度が安定しなかった。

3.2以降では3.1.5で述べた人漕ぎにより生じる踏込時加速度及びペダル駆動装置の設定を様々に変えた時に生じる踏込時加速度を測定し、踏込時加速度と電池の消費量の関係などをまとめた。

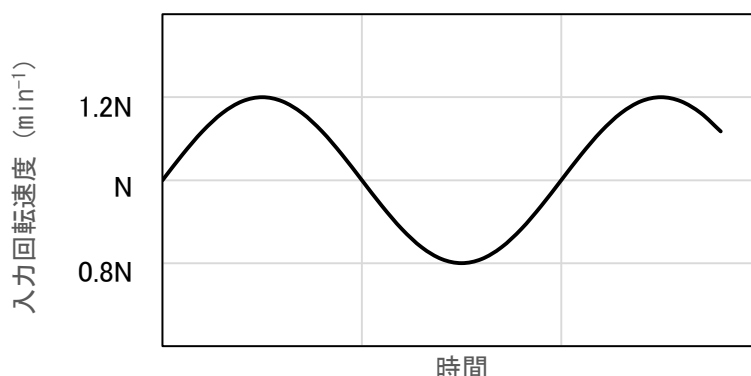


図12 正弦波的に制御した入力回転速度の例（回転速度変動率20%の場合）

表3 ペダル駆動装置制御パラメータの組み合わせ

P 及び I	回転速度変動率				
	エラー表示が出る、または人漕ぎで生じる踏込時加速度の下限程度がの踏込時加速度が生じる回転速度変動率～14%まで1%刻み	15%	20%	25%	30%
P=0.5、I=0.14	○	○	○	○	○
P=1.15、I=0.32	○	○	○	○	○
P=1.8、I=0.5	○	○	○	○	○

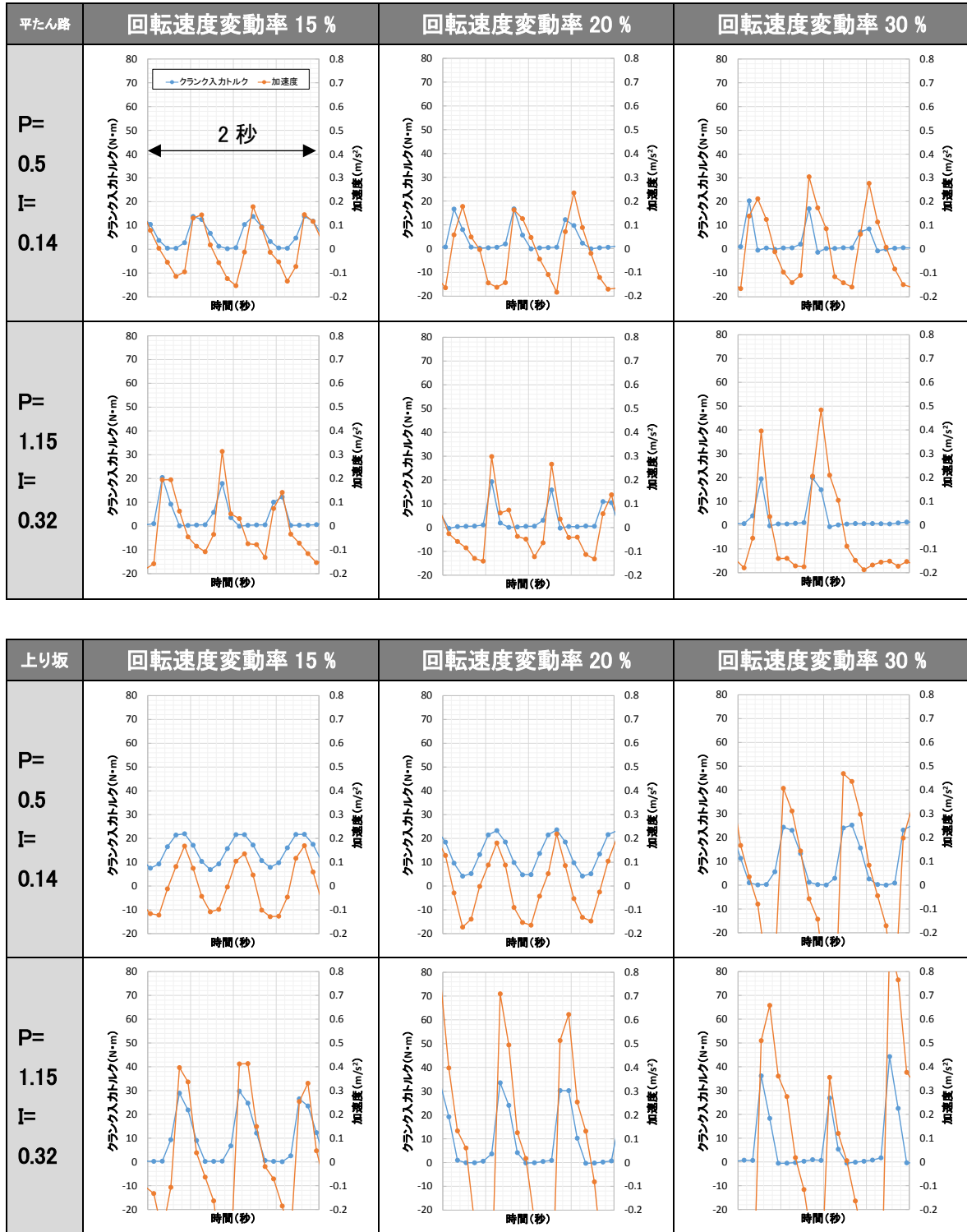


図 13 P、I 及び回転速度変動率を変えた際に生じるクランク入力トルクと加速度の時間変化の様子 (16A)

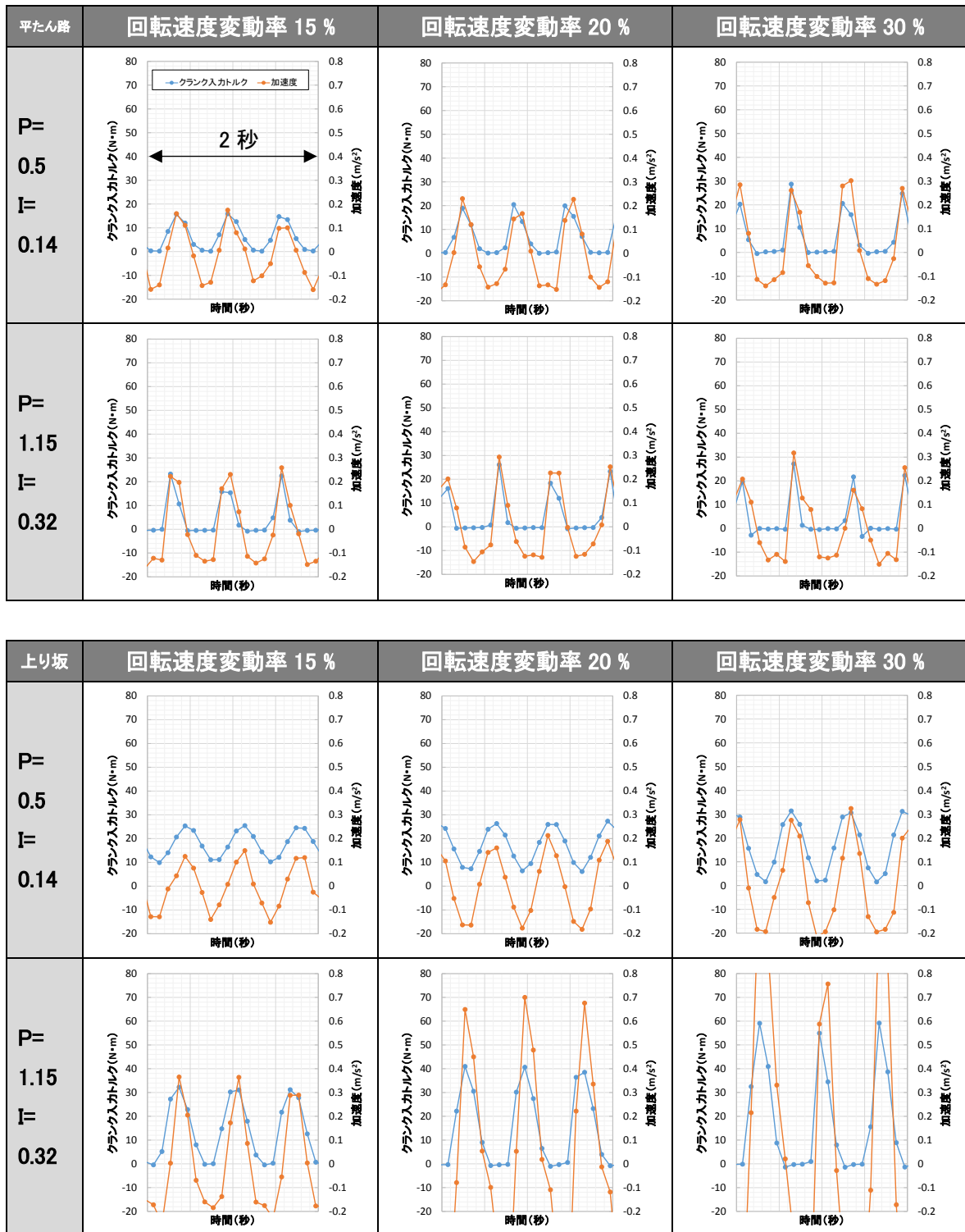


図 14 P、I 及び回転速度変動率を変えた際に生じるクランク入力トルクと加速度の時間変化の様子 (16B)

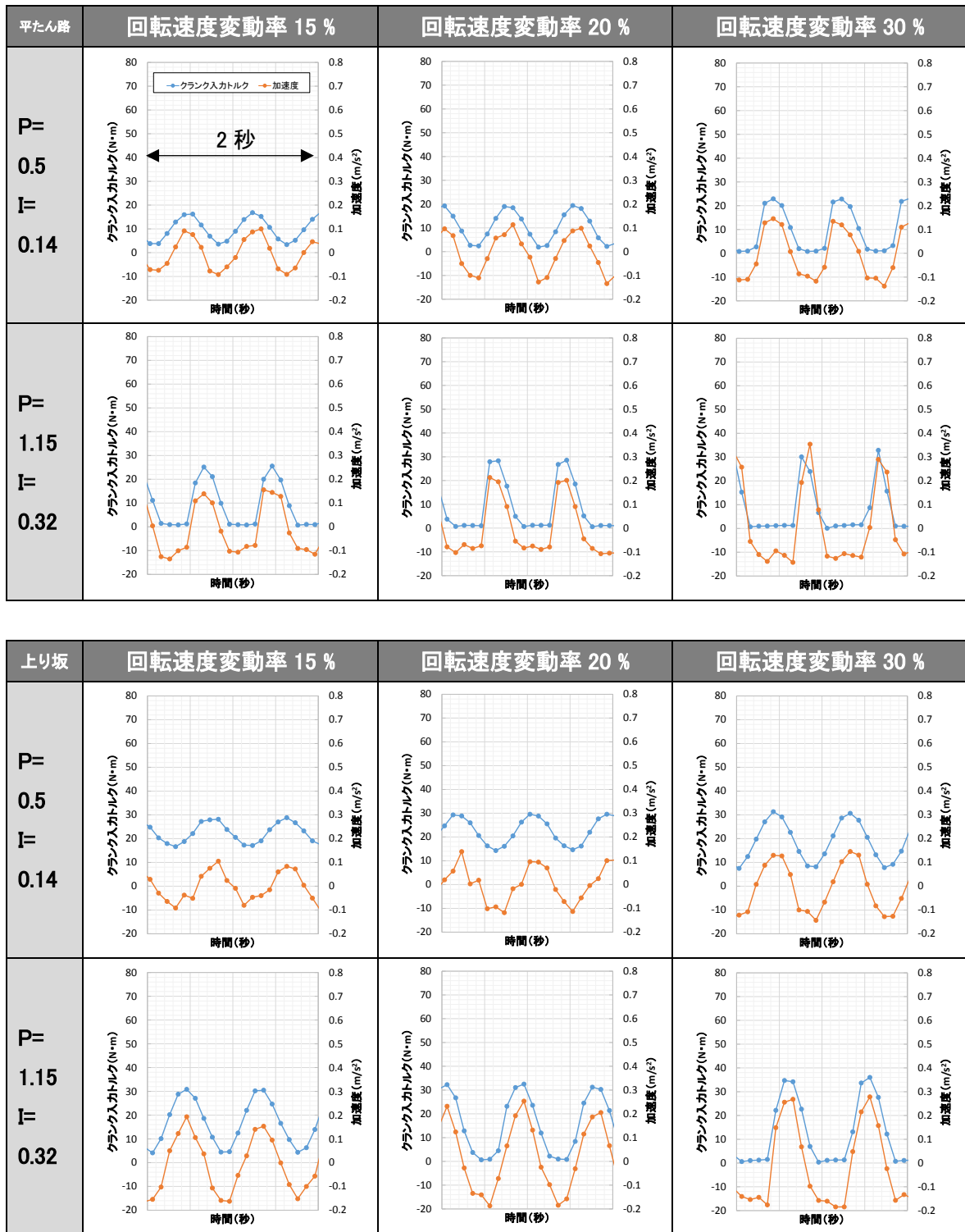


図 15 P、I 及び回転速度変動率を変えた際に生じるクランク入力トルクと加速度の時間変化の様子 (16C)

3.2 測定結果（駆動補助出力が最も大きくなる走行モードの場合）

3.2.1 踏込時加速度を意識せずペダリングした際の一充電当たりの走行距離

3.2 では駆動補助出力が最も大きくなる走行モード（強モードやパワーモード、高モードなど）で測定を行った。

まずは、踏込時加速度を意識せずペダリングをした際の一充電当たりの走行距離を測定した。測定・計算方法は JIS D 9115 附属書 D（BAA 基準と同等）に準じて行った。以下、測定・計算方法の概要をまとめた。

・パターン走行時の消費電池容量及びパターン放電による電池容量の測定によって走行距離を求める方法

図 16 に測定手順を示す。（大まかな流れをまとめた。）

- ・1/2 程度の残量にした組電池を用い、パターン走行（今回の測定は 1 サイクル・ $L_G = 4$ km で実施した）当たりの電流パターン・消費電池容量 C_G を測定する。
- ・その測定結果を用いて満充電状態の電池からパターン放電させ、電池容量 C_B を測定する。
- ・測定で得られた C_G 、 C_B より一充電当たりの走行距離 D_G を以下の計算式で求める。

$$D_G = \frac{C_B}{C_G} \times L_G$$

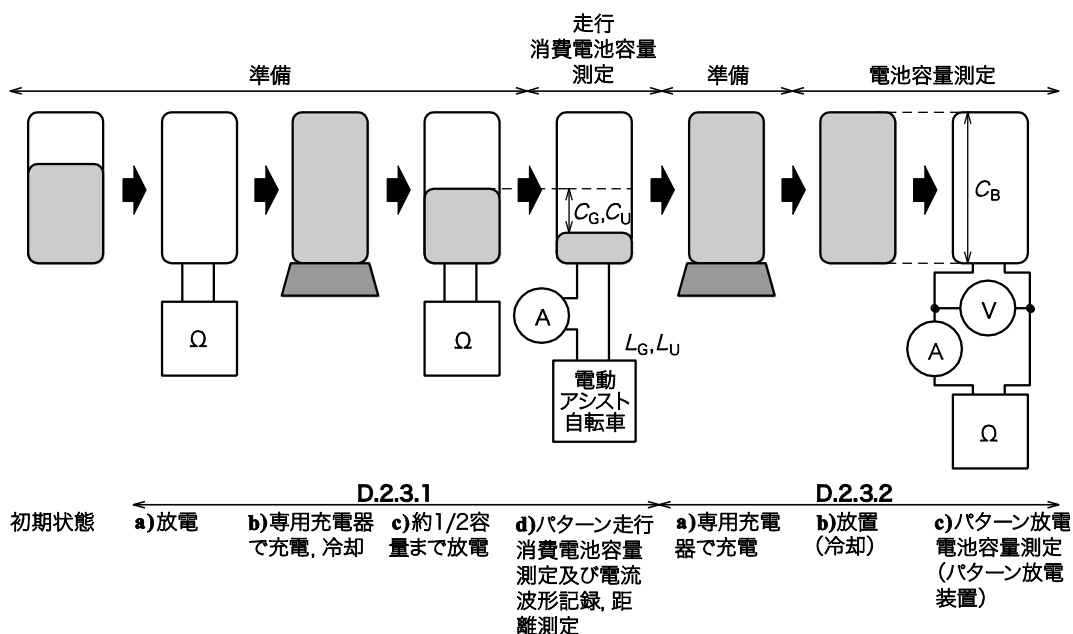


図 16 パターン放電による電池容量の測定手順

・パターン走行時の消費電力量及び定電力放電による電池電力量の測定によって走行距離を求める方法

図 17 に測定手順を示す。大まかな流れをまとめた。

- ・ 1/2 程度の残量にした組電池を用い、パターン走行サイクル（今回の測定は 1 サイクル・ $L_G = 4 \text{ km}$ で実施した）当たりの消費電力量 P_G を測定する。
- ・ その測定結果を用いて 1 パターン分の平均電力を計算し、満充電状態の電池から定電力放電させ、電池電力量 P_B を測定する。
- ・ 測定で得られた P_G 、 P_B より一充電当たりの走行距離 D_G を以下の計算式で求める。

$$D_G = \frac{P_B}{P_G} \times L_G$$

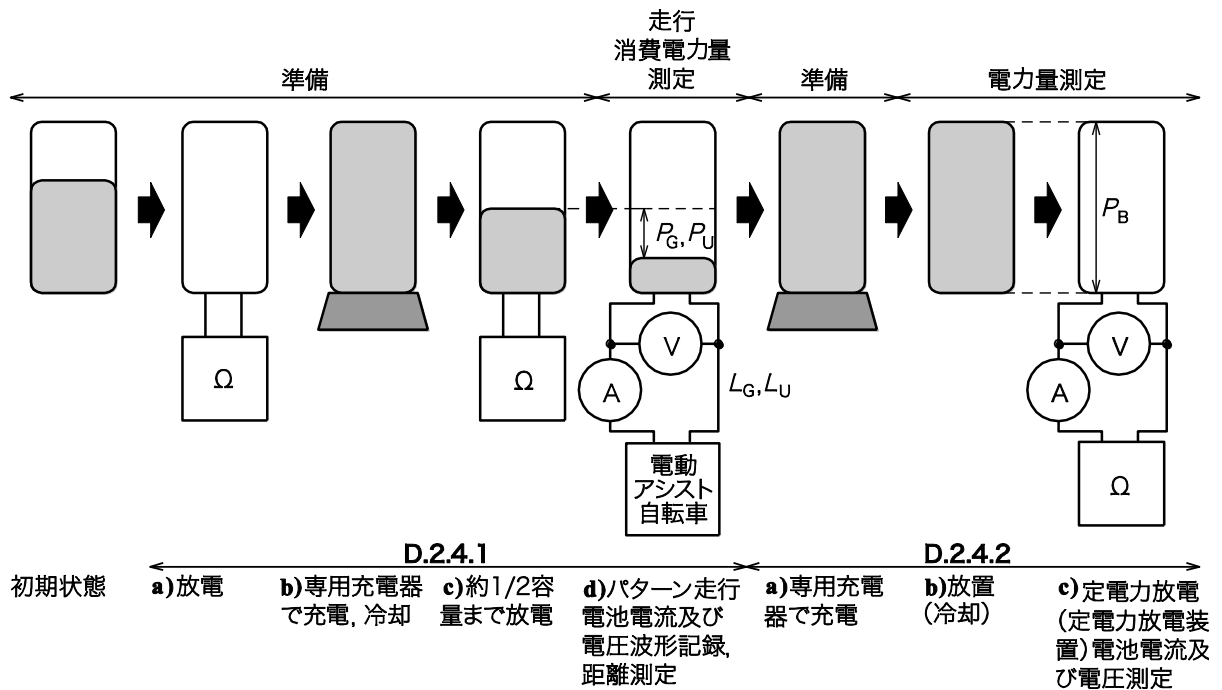


図 17 消費電力量及び定電力放電による電池電力量の測定手順

14C、15B、16C はパターン走行時の消費電力量及び定電力放電による電池電力量の測定によって走行距離を求める方法、それ以外はパターン走行時の消費電池容量及びパターン放電による電池容量の測定によって走行距離を求める方法にて一充電当たりの走行距離を測定した。あわせて各区間 1 km 走行時の踏込時加速度の平均値も測定・計算した。表 4 に測定結果をまとめた。なお、踏込時加速度の平均値については、走行速度が安定し、目標走行速度の± 1 km/h の範囲で走行している際の値の平均値（図 18 参照）を用いた。

表 4 より、取扱説明書に記載されている一充電当たりの走行距離に比べ、踏込時加速度を意識せずペダリングをした際の一充電当たりの走行距離が短くなる傾向があった。これは、取扱説明書に記載されている数値がベストに近い値である、あるいは乗員のペダリングが、電力を大きく消費するペダリングであるなどの理由が考えられる。また回生充電機能を持つものについてはブレーキングの仕方や回生充電の仕様により回生充電量に差が生じるため、銘柄によっては取扱説明書記載の値より大きくなる場合があった。加えて、16D に関しては、取扱説明書に走行条件が記載されておらず、おそらく BAA 標準パターンよりも過酷な条件で測定した値を記載していると考えられるため、実測値と値が大きくなった。

表 4 一充電当たりの走行距離（駆動補助出力が最も大きくなる走行モードの場合）

No.	取扱説明書に記載されている一充電当たりの走行距離 (km)	踏込時加速度を意識せずペダリング		
		一充電当たりの走行距離 (km)	踏込時加速度の平均値 (m/s ²)	
			平たん路	上り坂
14A	17	16	0.17	0.31
14B	30	29	0.07	0.22
14C	34 (回生含)	32 (回生含)	0.07	0.23
14D	32	31	0.12	0.29
15A	50	48	0.12	0.27
15B	32 (回生含)	35 (回生含)	0.14	0.33
16A	21	21	0.11	0.24
16B	26	25	0.08	0.29
16C	35 (回生含) 26 (回生別)	31 (回生含) 23 (回生別)	0.14	0.22
16D	25	41	0.10	0.40

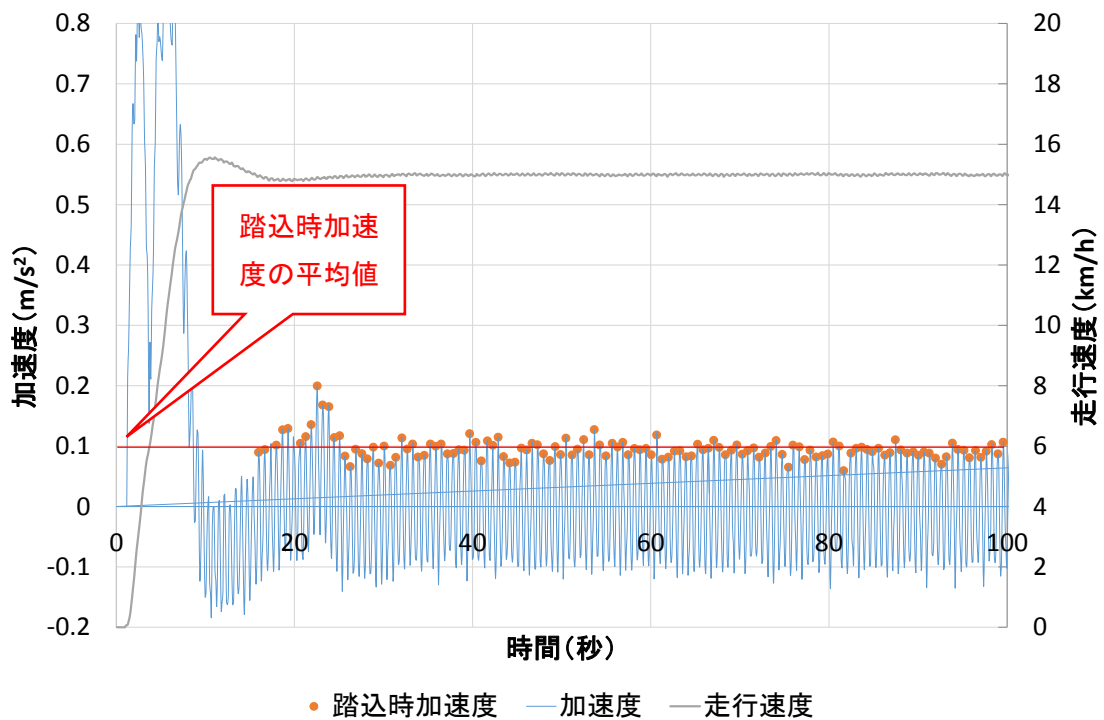


図 18 踏込時加速度の平均値（例）

3.2.2 踏込時加速度と消費電力量の関係

① 平たん路の 1km 区間

人漕ぎ及びペダル駆動装置によるペダリングにて、平たん路を 1 km 走行（図 19）した際の踏込時加速度の平均値と 1 km 走行当たりの電池の消費電力量の関係を図 20-1～図 20-2 にまとめた。

3.2.2～3.2.3 においては、JIS D 9115 の測定条件、3.1.5 及び 3.1.6 で記載したペダル駆動方法に加え、以下の条件で測定を実施した。

- ・人漕ぎによる測定は、踏込時加速度が極力小さくなるようなペダリングによる走行で 2 回、踏込時加速度を意識しないペダリングによる走行で 3 回、踏込時加速度が極力大きくなるようなペダリングによる走行で 2 回測定した。
- ・ペダル駆動装置による測定は表 3 に示した組み合わせで各 1 回測定した。なお、踏込時加速度が大きな場合（平たん路で 0.5 m/s^2 以上、上り坂で 1 m/s^2 以上）は図示していない。
- ・踏込時加速度の平均値については、目標走行速度の $\pm 1 \text{ km/h}$ の範囲で走行している際の値を用いて計算した。
- ・電池は 1/2 以上残量のある状態で測定を行った。

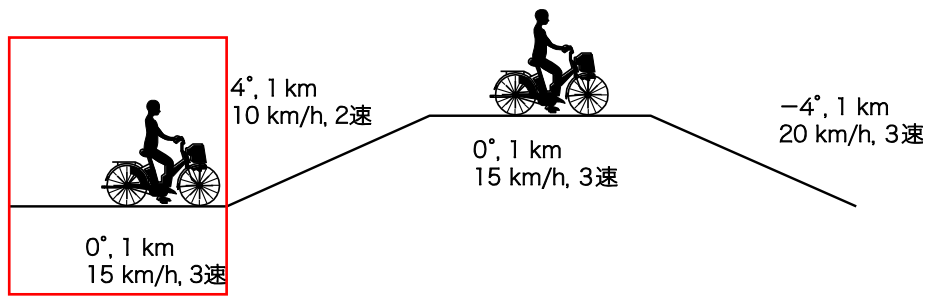


図 19 平たん路区間

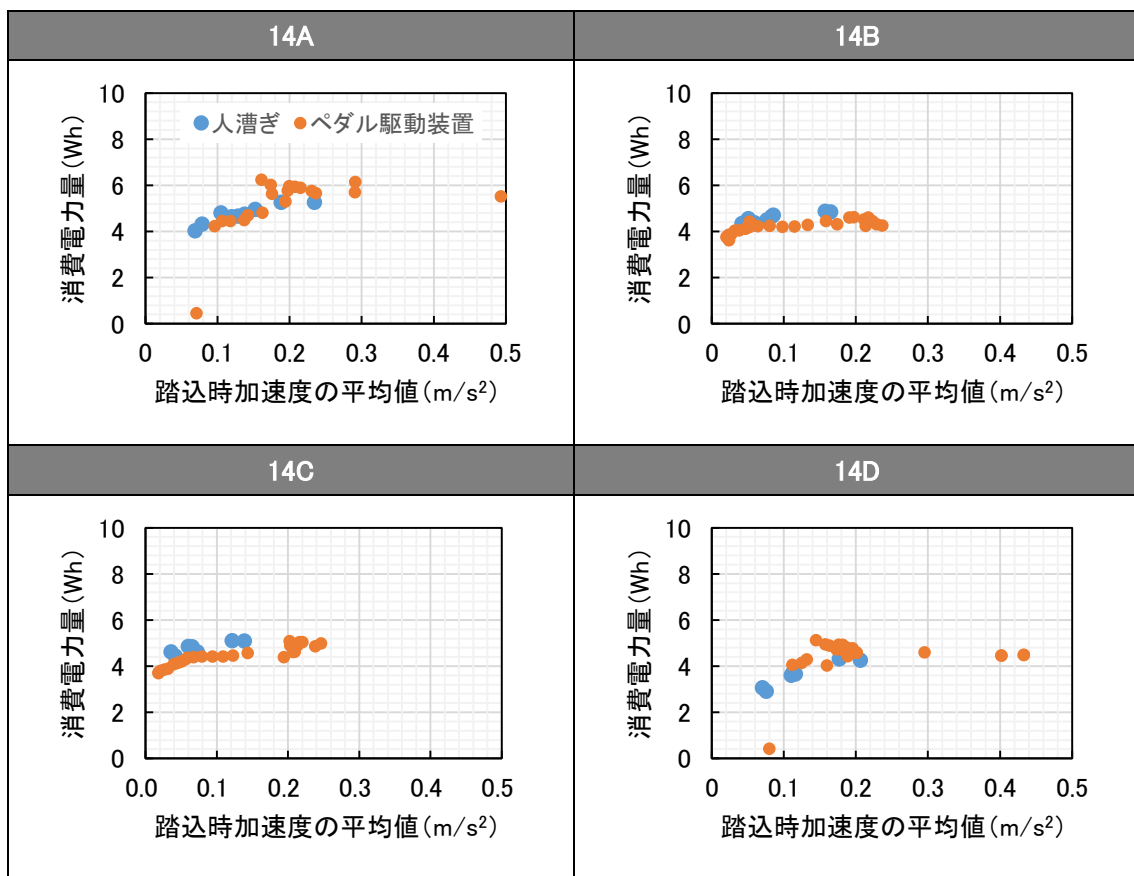


図 20-1 踏込時加速度の平均値と 1 km 走行当たりの電池の消費電力量
(平たん路・駆動補助出力が最も大きくなる走行モードの場合)

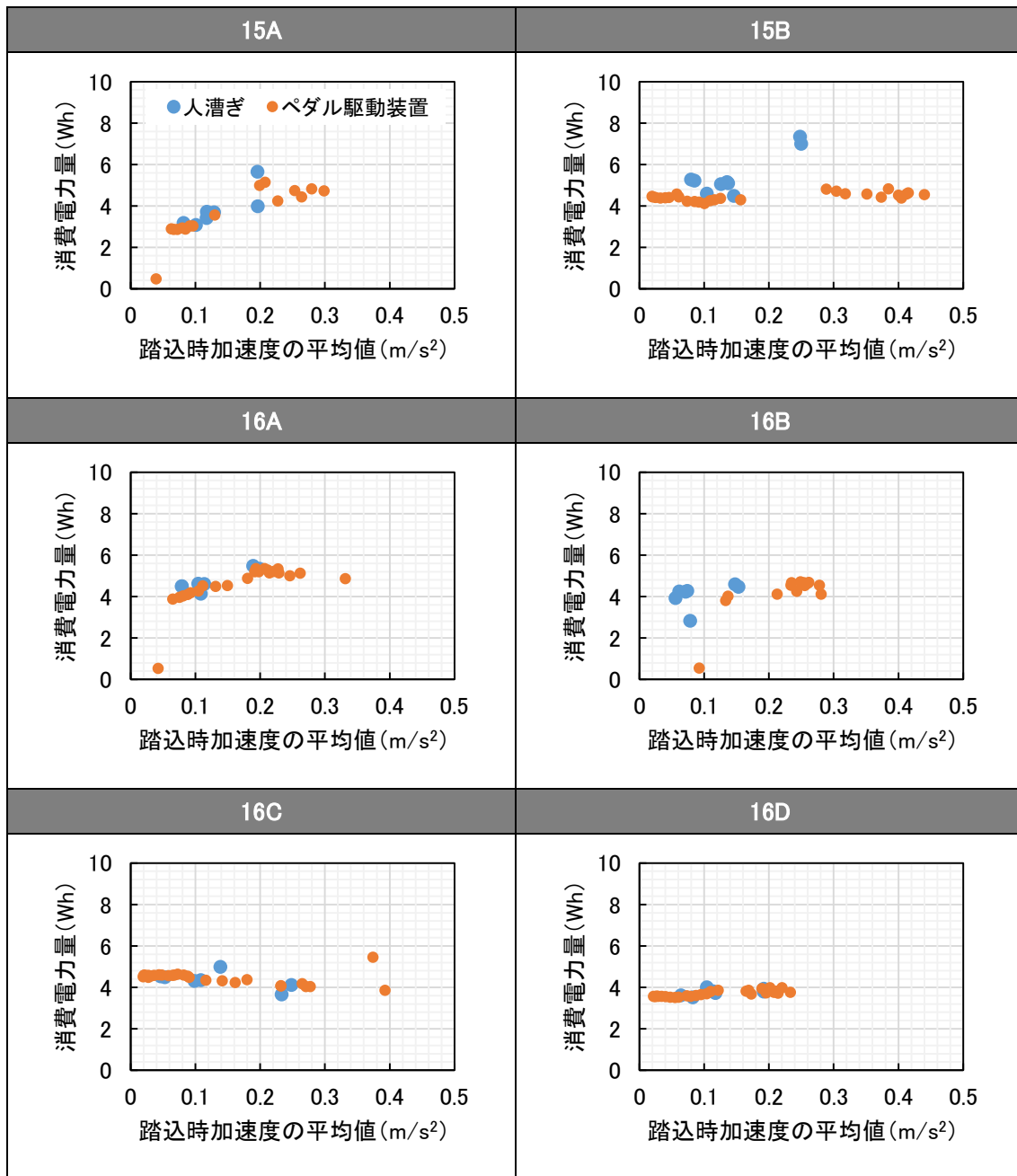


図 20-2 踏込時加速度の平均値と 1 km 走行当たりの電池の消費電力量
(平たん路・駆動補助出力が最も大きくなる走行モードの場合)

図 20-1～図 20-2 より、踏込時加速度の平均値と消費電力量について、主に 2 つの傾向が見られた。

傾向 1：人漕ぎにより生じる踏込時加速度の平均値には上限・下限があり、ペダル駆動装置で同じ踏込時加速度の平均値を生じさせることができた。

傾向 2：銘柄によって傾向に違いがあるものの、人漕ぎ・ペダル駆動装置ともに、踏込時加速度の平均値と消費電力量に同じような相関が見られ、踏込時加速度の平均値に対して、おおよその消費電力量が決まっていた。

② 上り坂の1km 区間

人漕ぎ及びペダル駆動装置によるペダリングにて、上り坂を1 km 走行（図 21）した際の踏込時加速度の平均値と1 km 走行当たりの電池の消費電力量の関係を図 22-1～図 22-2 にまとめた。

図 22-1～図 22-2 より平たん路の場合と同様の傾向が見られた。

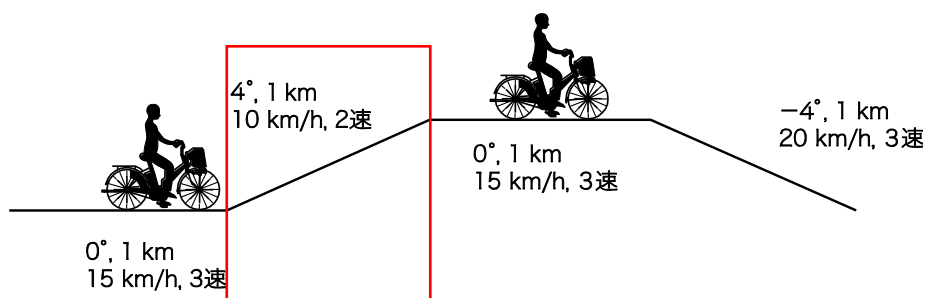


図 21 上り坂区間

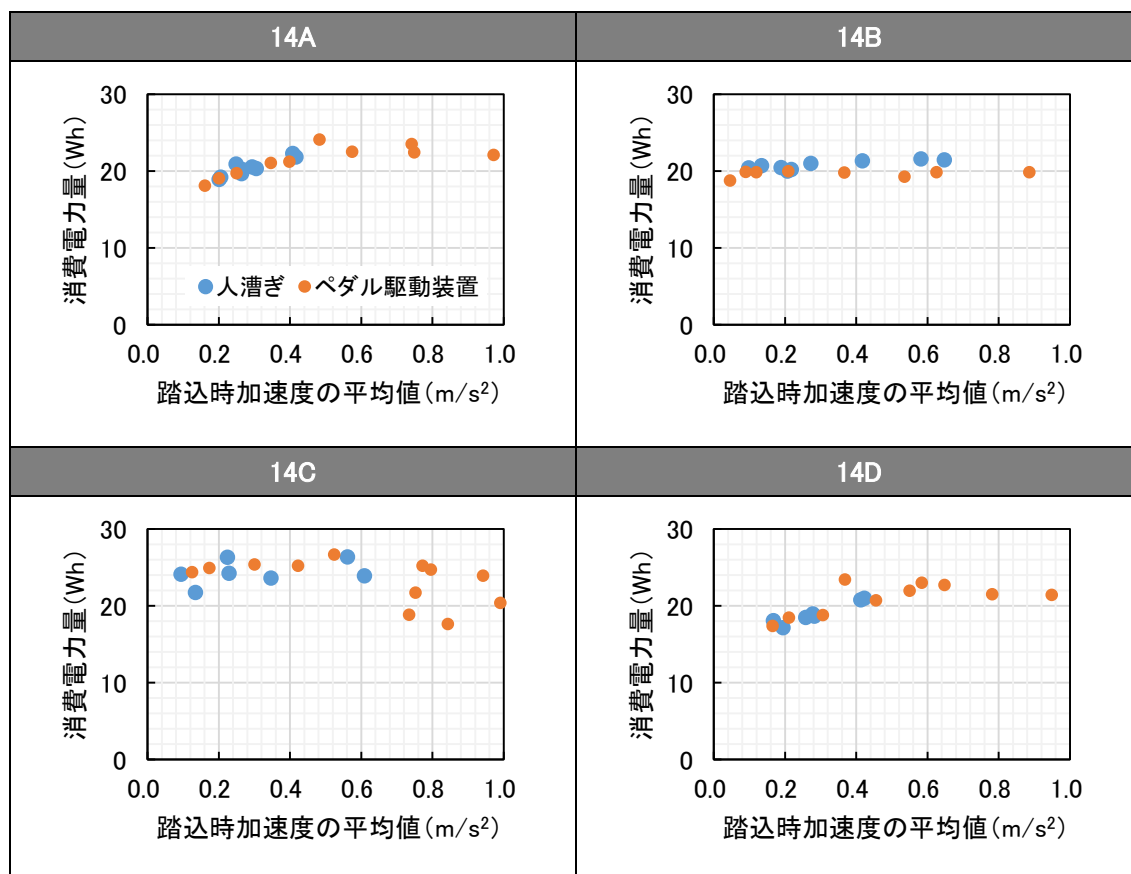


図 22-1 踏込時加速度の平均値と1 km 走行当たりの電池の消費電力量
(上り坂・駆動補助出力が最も大きくなる走行モードの場合)

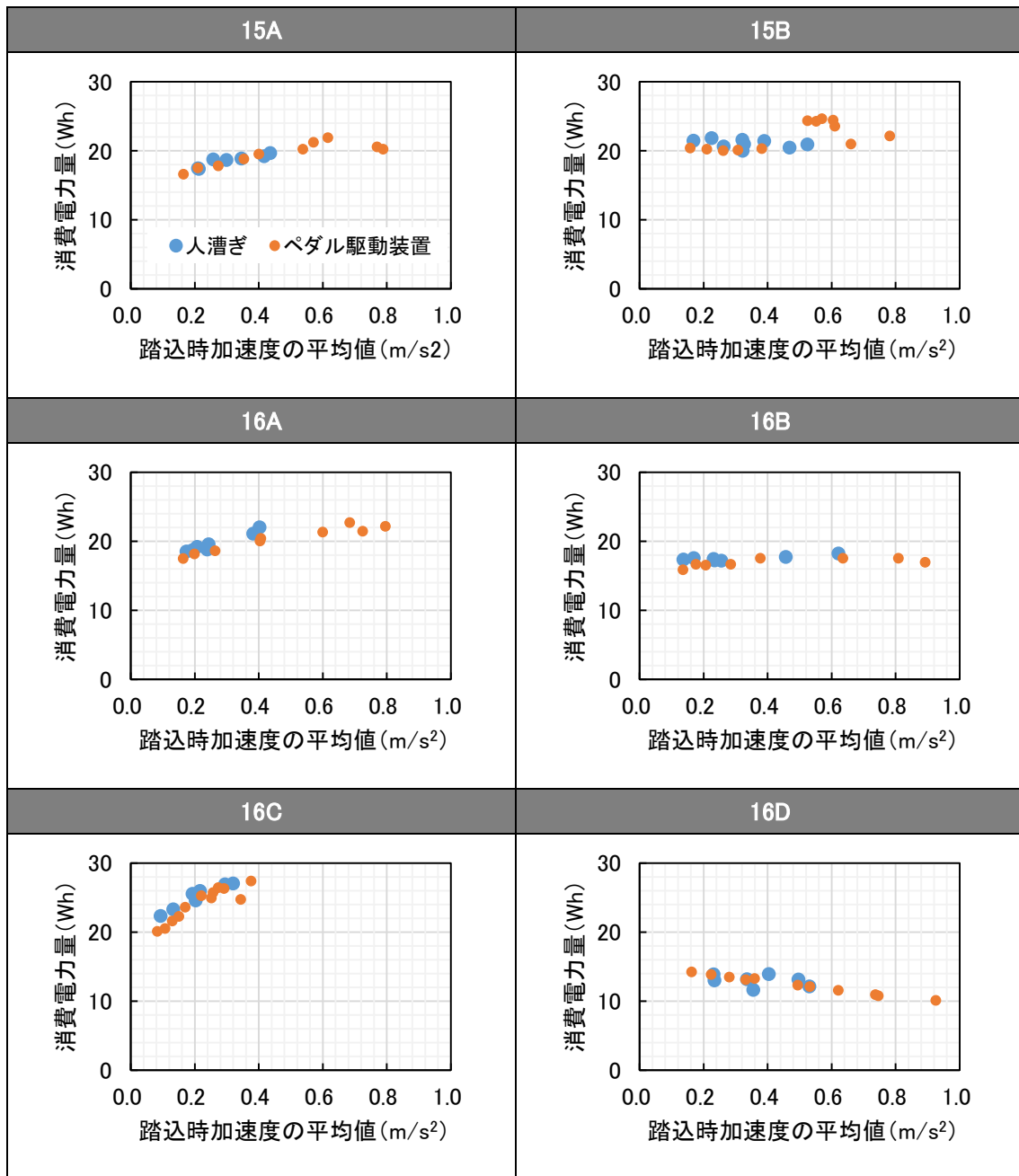


図 22-2 踏込時加速度の平均値と 1 km 走行当たりの電池の消費電力量
(上り坂・駆動補助出力が最も大きくなる走行モードの場合)

3.3 測定結果（駆動補助出力が2番目に大きくなる走行モードの場合）

3.3.1 踏込時加速度を意識せずペダリングした際の一充電当たりの走行距離

3.2では駆動補助出力が最も大きくなる走行モードで測定を行ったが、3.3では駆動補助出力が2番目に大きくなるモード（標準モードやオートモード、中モードなど）にて同様に測定を行った。

まずは、踏込時加速度を意識せずペダリングをした際の一充電当たりの走行距離を測定した。14C、15B、16Cはパターン走行時の消費電力量及び定電力放電による電池電力量の測定によって走行距離を求める方法、それ以外はパターン走行時の消費電池容量及びパターン放電による電池容量の測定によって走行距離を求める方法にて一充電当たりの走行距離を測定した。また走行の際の踏込時加速度の平均値も測定した。表5に測定結果をまとめた。

表5より、駆動補助出力が最も大きくなる走行モードで測定した場合と同様、取扱説明書に記載されている一充電当たりの走行距離に比べ、踏込時加速度を意識せずペダリングをした際の一充電当たりの走行距離が短くなる傾向があった。

表5 一充電当たりの走行距離（駆動補助出力が2番目に大きくなる走行モードの場合）

No.	取扱説明書に記載されている一充電当たりの走行距離(km)	踏込時加速度を意識せずペダリング		
		一充電当たりの走行距離(km)	踏込時加速度の平均値(m/s ²)	
			平たん路	上り坂
14A	20	18	0.14	0.23
14B	36	30	0.08	0.22
14C	47(回生含)	49(回生含)	0.12	0.29
14D	39	34	0.13	0.27
15A	59	59	0.11	0.27
15B	42(回生含)	51(回生含)	0.19	0.43
16A	25	22	0.13	0.23
16B	30	30	0.11	0.32
16C	54(回生含) 36(回生別)	37(回生含) 28(回生別)	0.21	0.27
16D	30	49	0.12	0.38

3.3.2 踏込時加速度と消費電力量の関係

① 平たん路の1km 区間

人漕ぎ及びペダル駆動装置によるペダリングにて、平たん路を1 km 走行した際の踏込時加速度の平均値と1 km 走行当たりの電池の消費電力量の関係を図 23-1～図 23-2 にまとめた。

図 23-1～図 23-2 より、駆動補助出力が最も大きくなる走行モードの平たん路の場合と同様の傾向が見られた。

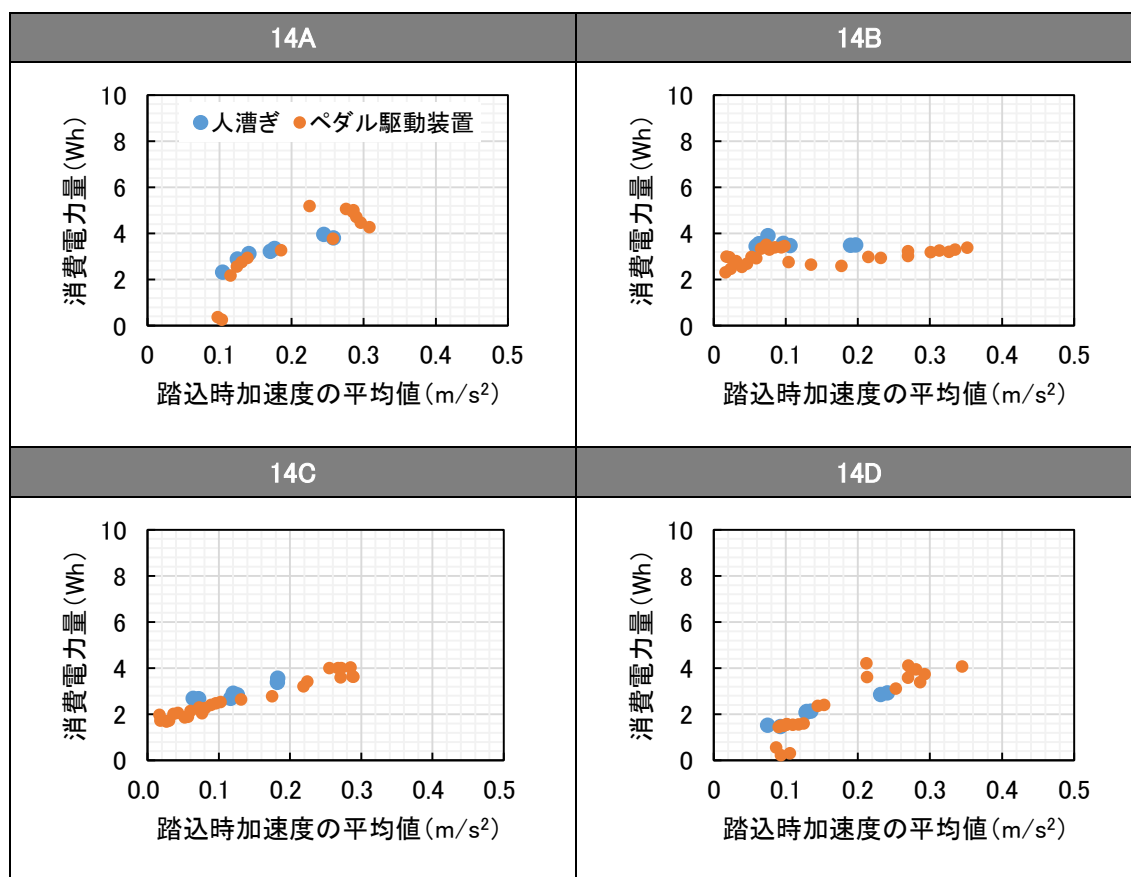


図 23-1 踏込時加速度の平均値と1 km 走行当たりの電池の消費電力量
(平たん路・駆動補助出力が2番目に大きくなる走行モードの場合)

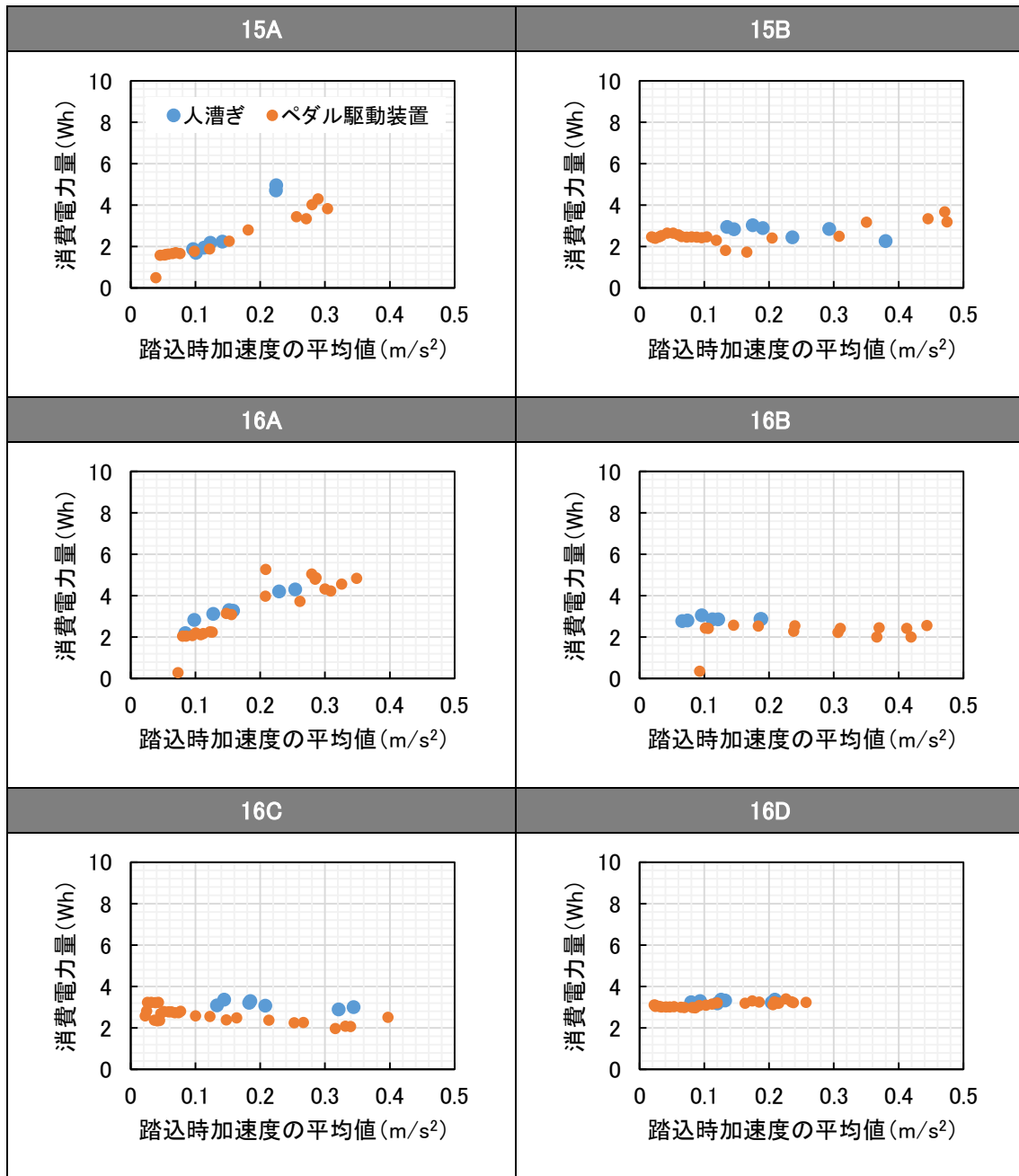


図 23-2 踏込時加速度の平均値と 1 km 走行当たりの電池の消費電力量
 (平たん路・駆動補助出力が 2 番目に大きくなる走行モードの場合)

② 上り坂の1km 区間

人漕ぎ及びペダル駆動装置によるペダリングにて、上り坂を1 km 走行した際の踏込時加速度の平均値と1 km 走行当たりの電池の消費電力量の関係を図 24-1～図 24-2にまとめた。

図 24-1～図 24-2 より、駆動補助出力が最も大きくなる走行モードの平たん路の場合と同様の傾向が見られた。

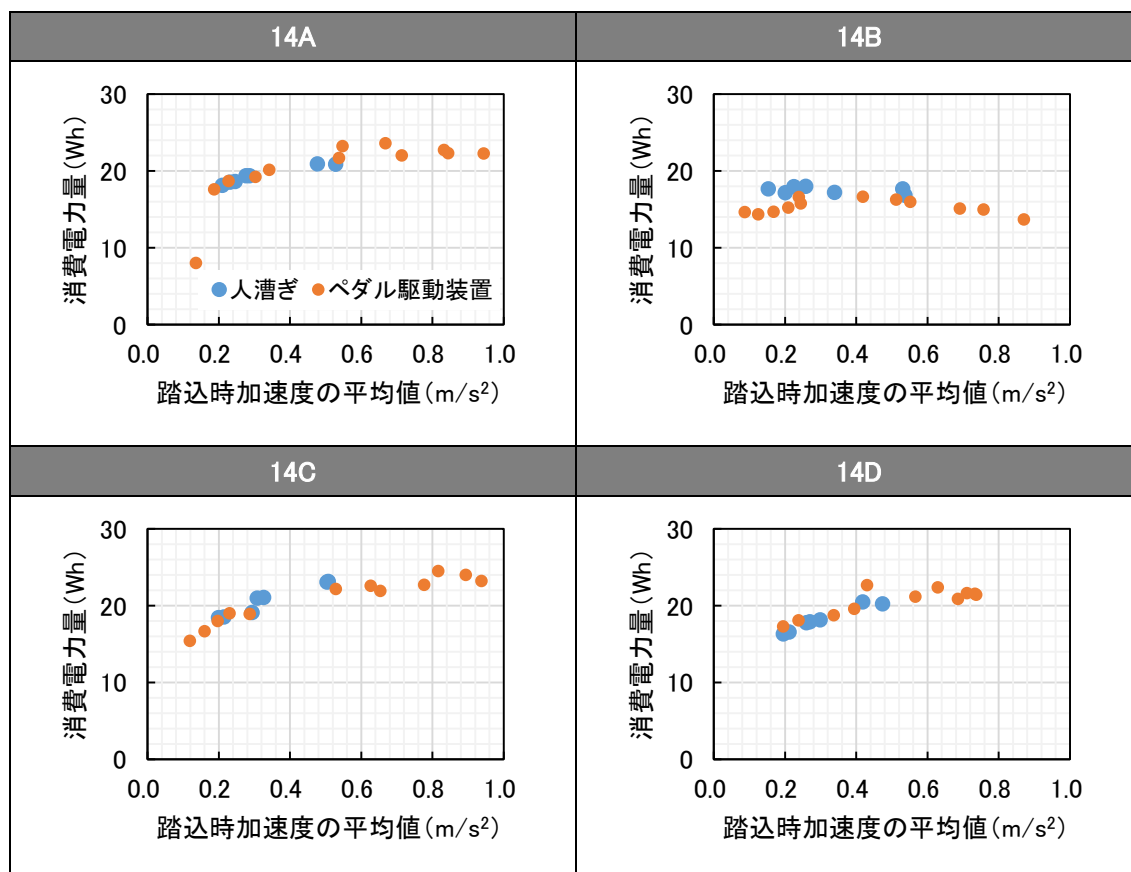


図 24-1 踏込時加速度の平均値と1 km 走行当たりの電池の消費電力量
(上り坂・駆動補助出力が2番目に大きくなる走行モードの場合)

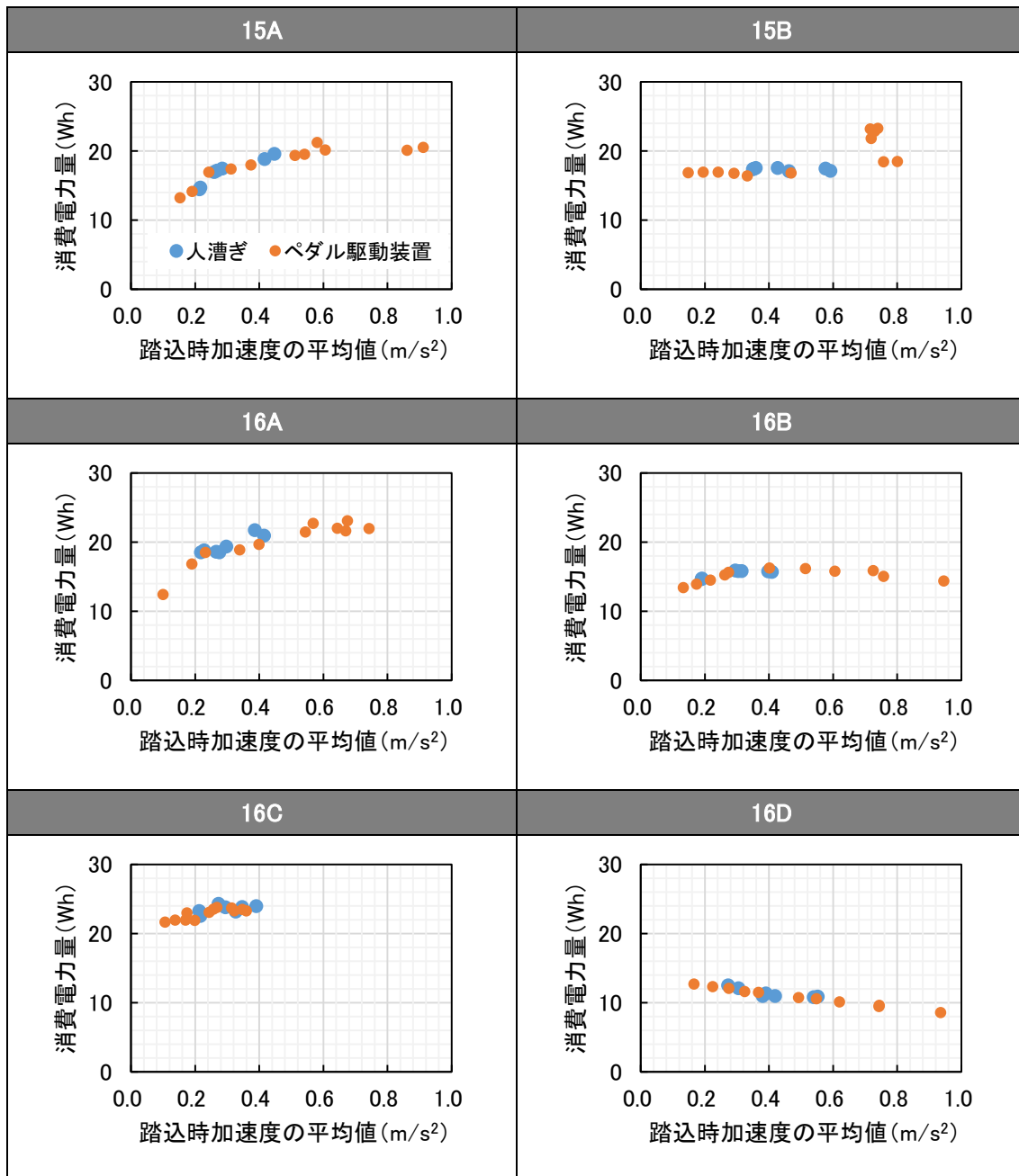


図 24-2 踏込時加速度の平均値と 1 km 走行当たりの電池の消費電力量
(上り坂・駆動補助出力が 2 番目に大きくなる走行モードの場合)

3.2.2 及び 3.3.2 より、走行モードや走行条件を問わず、踏込時加速度の平均値と消費電力量の間に 3.2.2 で示した 2 つの傾向が見られた。これらの傾向から言えることとして、人漕ぎ・ペダル駆動装置ともに、踏込時加速度の平均値と消費電力量に同じような相関が見られ、踏込時加速度の平均値に対して、おおよその消費電力量が決まっていたことから、踏込時加速度の平均値さえ決まれば、ペダル駆動装置を用いた一充電当たりの走行距離測定が可能であることが判明した。

3.4 ペダル駆動装置使用による測定の再現性

16A、16B、16Cにおいて、ペダル駆動装置を用いた同じ測定を3回繰り返し、踏込時加速度の平均値及び消費電力量にどの程度のばらつきが生じるかを調べた。測定条件としては、ペダル駆動装置のPI制御のパラメータをP=0.5、I=0.14に固定し、回転速度変動率を15、20、25、30%の4パターンに設定し、測定した。測定結果を図25～図27にまとめた。

3銘柄の測定において、測定のばらつきは銘柄や走行路によって差はあるものの、踏込時加速度の平均値で最大0.05 m/s²、消費電力量で最大1.11 Wh程度であった。踏込時加速度の平均値が大きくなるとばらつきも大きくなるが、これは3.1.6で述べたが、惰性で走行して踏込時加速度が不安定な状況で平均値を計算しているためである。また、銘柄別では16Cの消費電力量でばらつきが大きい結果となったが、踏込時加速度の平均値はほぼ同じであることから、アシスト制御側の影響であると思われる。

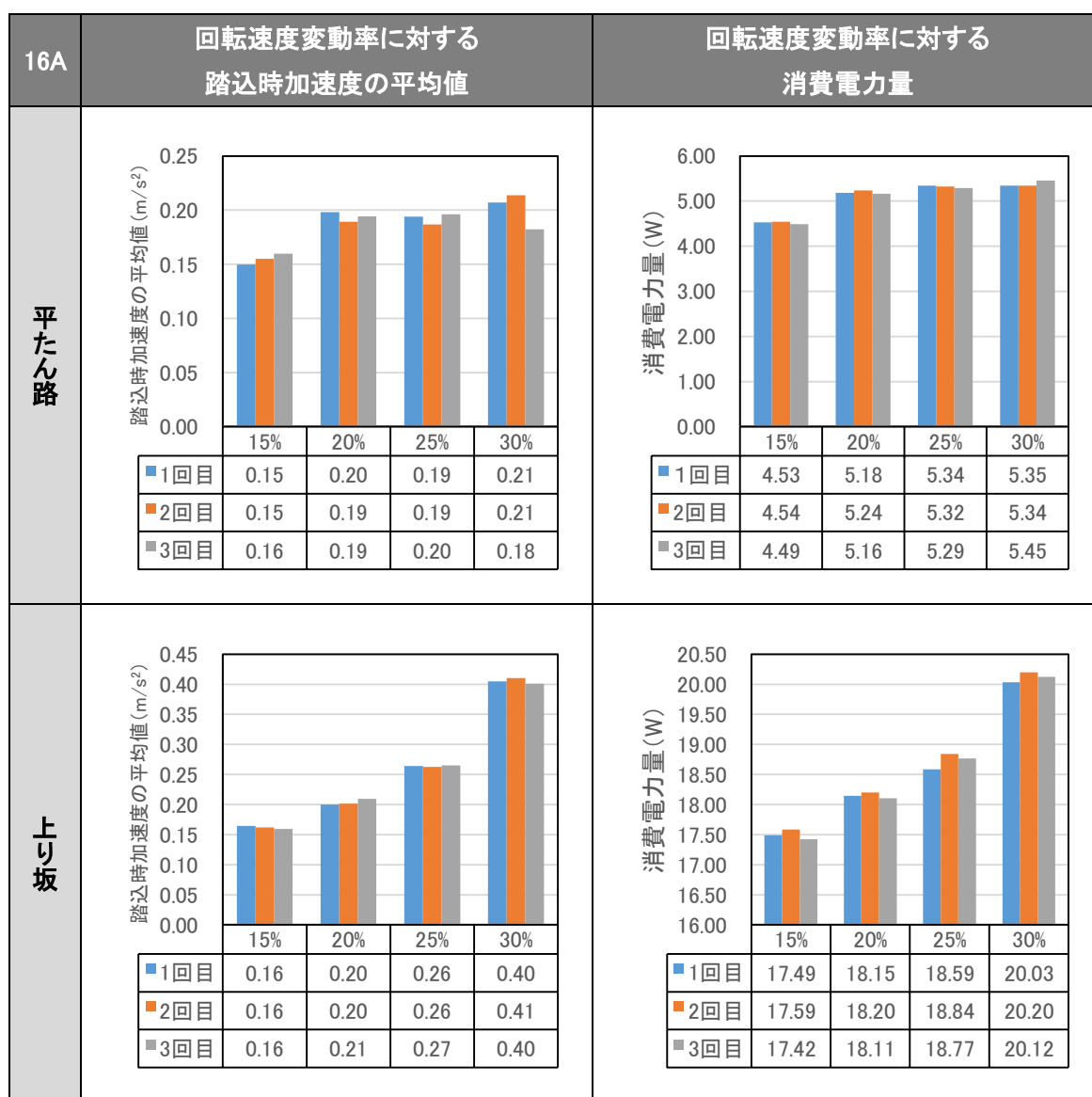


図 25 回転速度変動率を変えた際の各走行路における測定ばらつき (16A)

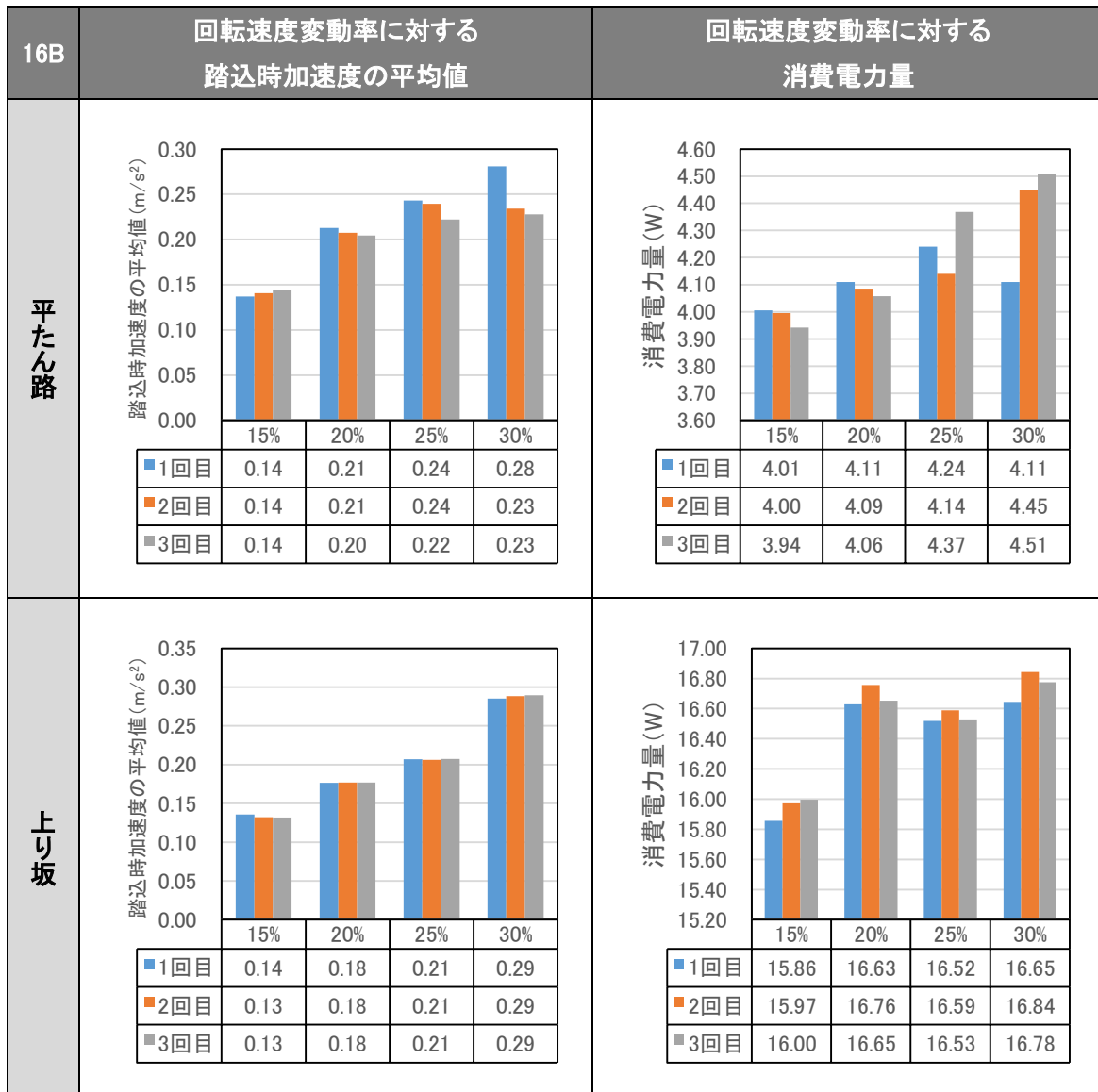


図 26 回転速度変動率を変えた際の各走行路における測定ばらつき (16B)

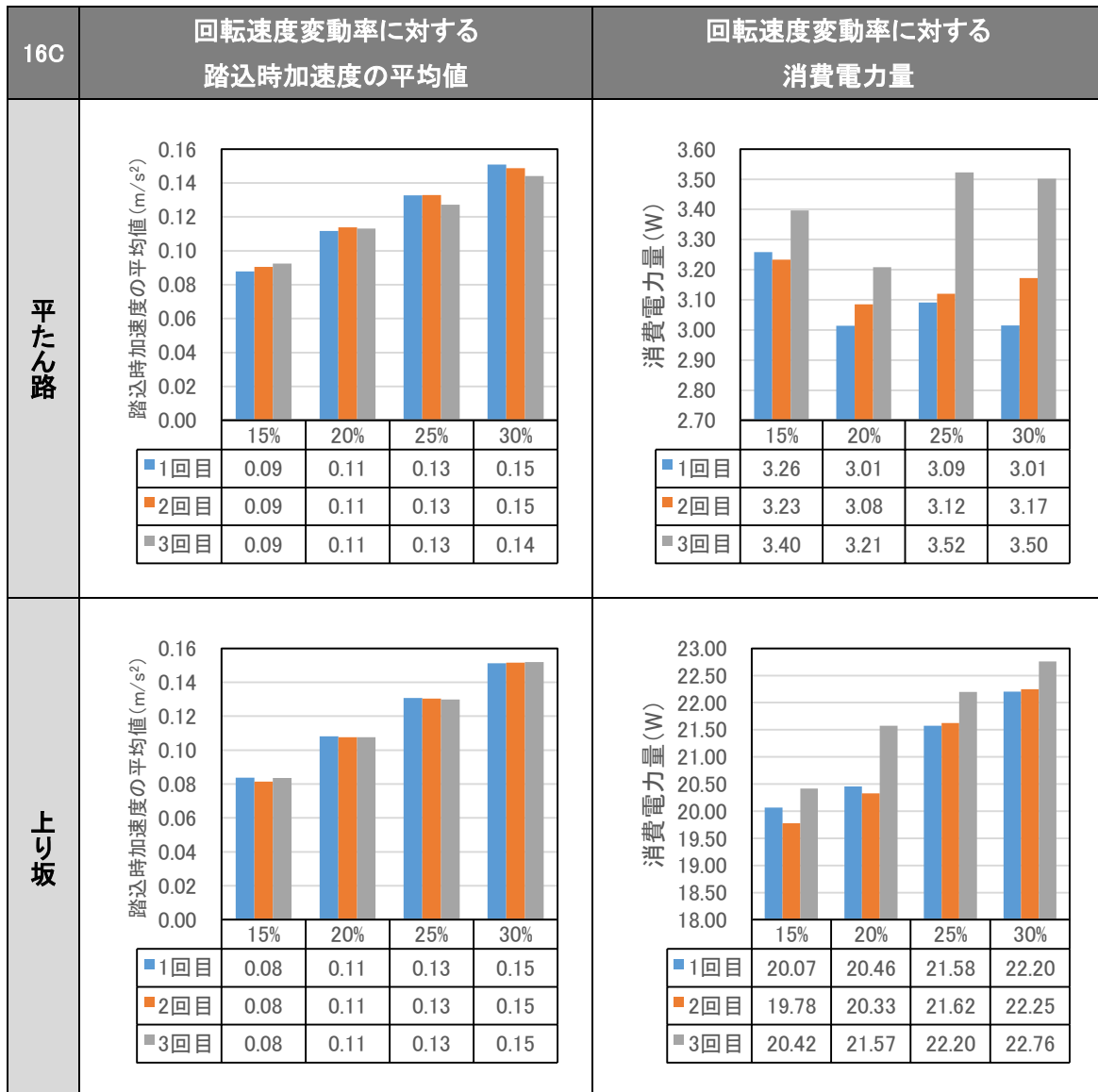


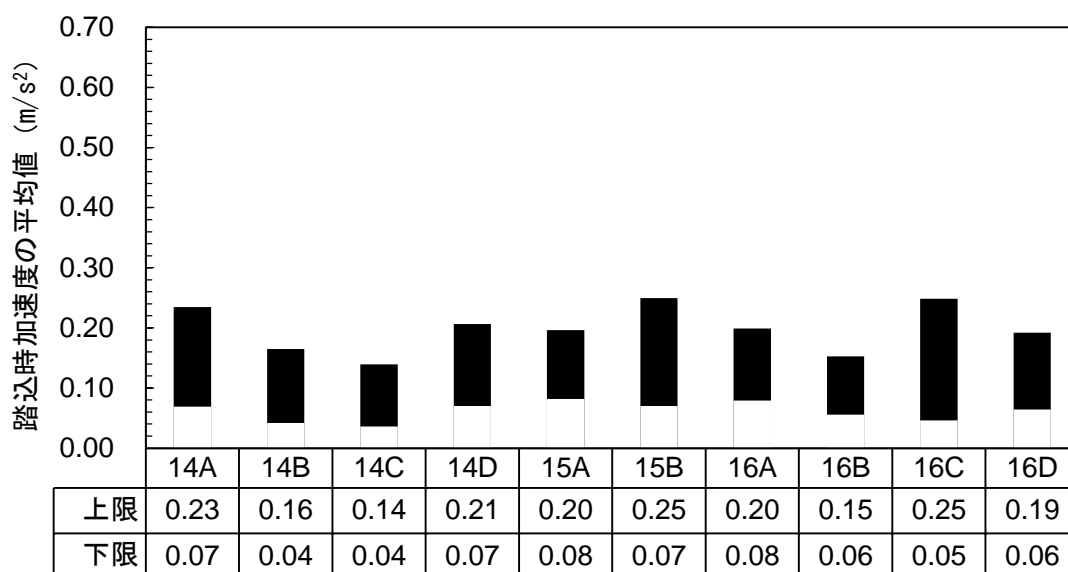
図 27 回転速度変動率を変えた際の各走行路における測定ばらつき (16C)

4. 一充電当たりの走行距離測定の自動化に向けた条件設定

4.1 踏込時加速度の平均値の上限及び下限

まず、今回測定に用いた 10 銘柄の駆動補助出力が最も大きくなる走行モード及び 2 番目に大きくなるモードにおいて、人漕ぎの際に生じる踏込時加速度の平均値の上限及び下限は、図 20-1、図 20-2、図 22-1～図 24-2 に示す人漕ぎのプロットをまとめると、図 28 及び図 29 に示す値であった。

平たん路



上り坂

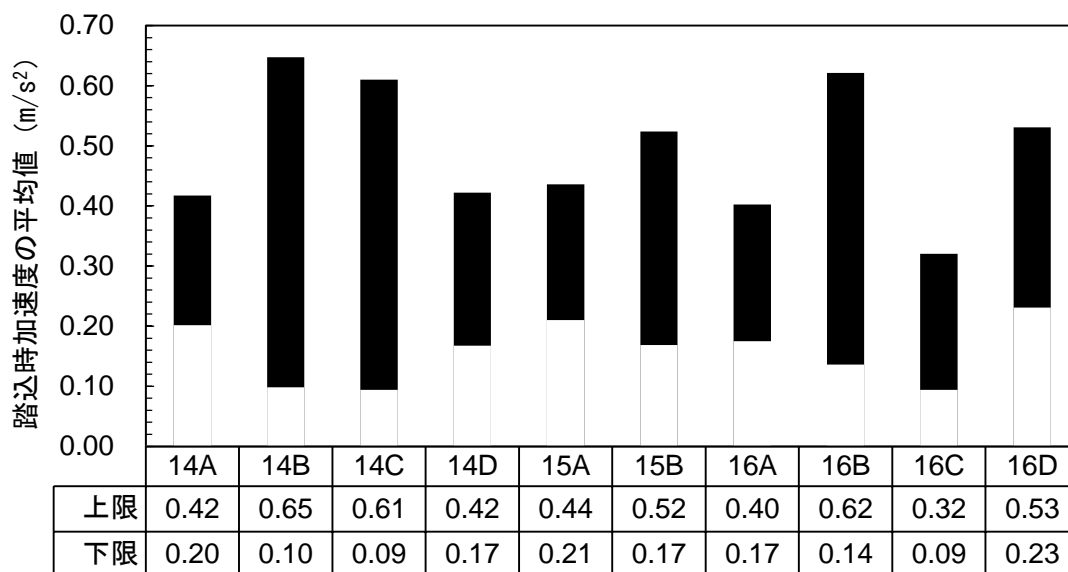
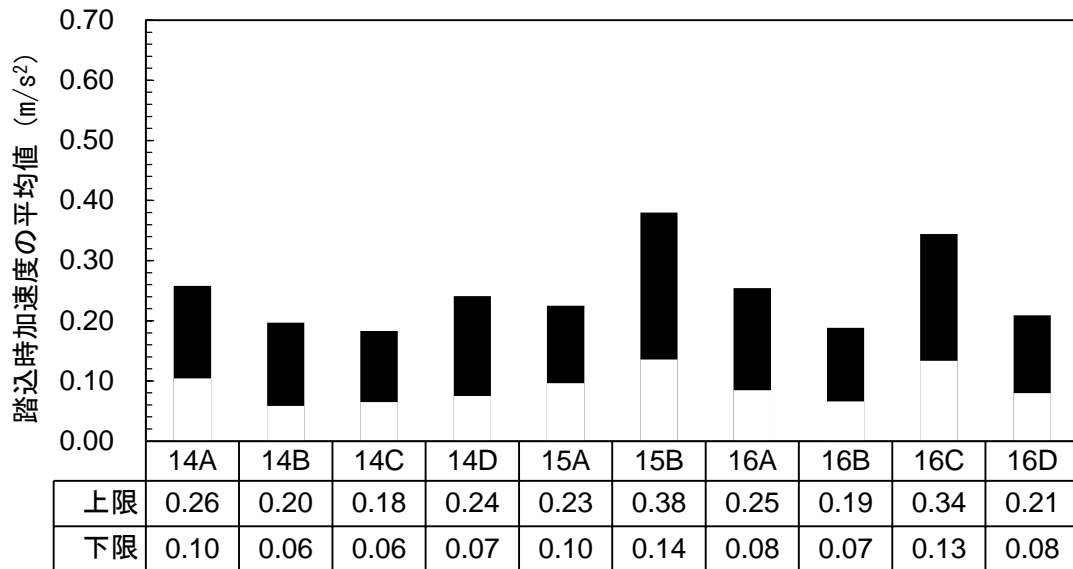


図 28 人漕ぎの際に生じる踏込時加速度の平均値の上限及び下限
(駆動補助出力が最も大きくなる走行モードの場合)

平たん路



上り坂

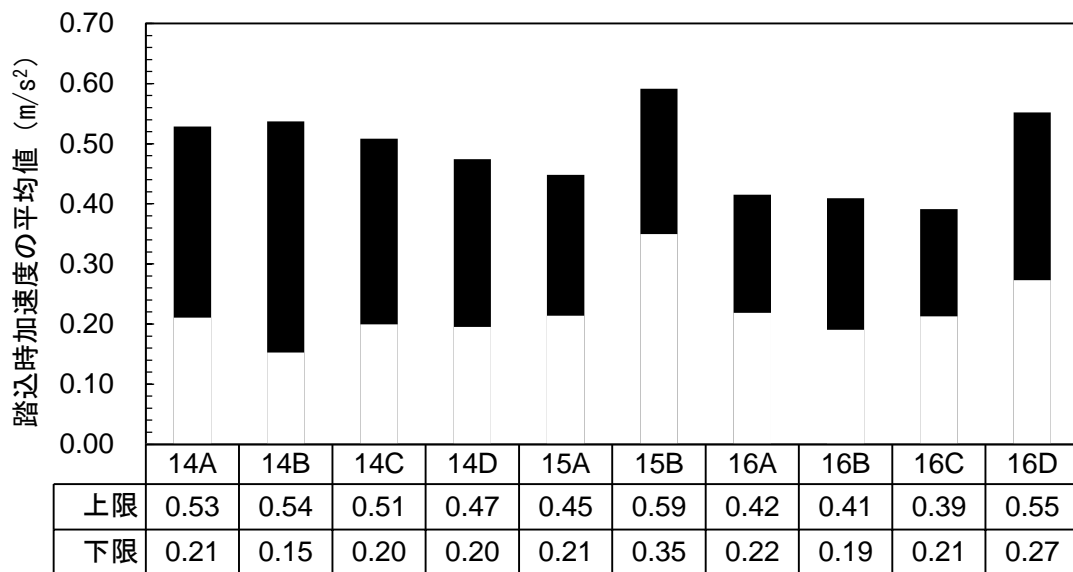


図 29 人漕ぎの際に生じる踏込時加速度の平均値の上限及び下限
(駆動補助出力が2番目に大きくなる走行モードの場合)

これらの結果より、ペダル駆動装置を用いて一充電当たりの走行距離測定を行う場合、今回の10銘柄での測定から導かれる踏込時加速度の上限及び下限を表6に示す値とすることで、人漕ぎによって測定されうる一充電当たりの走行距離相当の結果が得られる。加えて、異常を感知しエラーを起こさない程度、及び加速度が大きくなりすぎて惰性で走行しないような踏込時加速度の平均値を設定する必要がある。

表 6 10 銘柄測定における踏込時加速度の平均値の上限及び下限

走行モード	走行路	踏込時加速度の 平均値 (m/s ²)	
		下限	上限
駆動補助出力が最大 (強モードやパワーモード、高モードなど)	平たん路	0.04	0.25
	上り坂	0.09	0.65
駆動補助出力が2番目に大きい (標準モードやオートモード、中モードなど)	平たん路	0.06	0.38
	上り坂	0.15	0.59

4.2 ペダル駆動装置

ペダル駆動装置については、4.1 で規定した範囲の踏込時加速度の平均値を発生させる必要があるため、規定の走行条件（BAA 標準パターンなど）で電動アシスト自転車を駆動可能であり、時間経過に対して人漕ぎ時のペダリングに近い正弦波的なクランク回転出力が発生可能でなければならない。

4.3 電動アシスト自転車

電動アシスト自転車側の条件については、乗員の代わりに 65 kg～70 kg のおもりを乗せる必要がある。また、内装変速機の場合は停止中に変速可能であるが、外装変速機の場合は走行させる必要がある、ペダル駆動装置から一度外す必要がある。そのため、停止時間 10 秒の間にうまく変速を完了させる必要があるが、10 秒で一連の作業を終えるのは難しいため、停止時間を 10 秒以上にする、あるいは走行時に素早く変速を完了させる必要があるだろう。

4.4 自動測定の実証

平成 28 年度購入分の 16A～16C について、表 6 の上限及び下限内の条件で一充電当たりの走行距離が伸びる結果が出る付近の踏込時加速度の平均値が生じるようペダル駆動装置を設定し、駆動補助出力が最も大きくなる走行モード及び 2 番目に大きくなるモードにおける一充電当たりの走行距離を測定、計算した。

まずは駆動補助出力が最も大きくなる走行モードであるが、図 30 に踏込時加速度の平均値、表 7 に一充電当たりの走行距離の測定結果をまとめた。16C の平坦路以外は踏込時加速度の平均値が小さいほど消費電力量も小さくなるため、できる限り踏込時加速度が小さくなるよう設定した。16C の上り坂では踏込時加速度を大きめにした。結果としては、16A、16B は取扱説明書記載の走行距離と同じ結果となり、16C についても取扱説明書記載の走行距離に近づく結果となった。

次に、駆動補助出力が 2 番目に大きくなる走行モードであるが、図 31 に踏込時加速度の平均値、表 8 に一充電当たりの走行距離の測定結果をまとめた。こちらは 16A、16B は取扱説明書記載の走行距離以上の結果となり、16C については人漕ぎと同じ走行距離となった。

これらの結果から、16A、16B に関してはペダル駆動装置を用いてベストなペダリングを行った結果、取扱説明書記載の走行距離以上の測定結果となった。各銘柄の取扱説明書の記載値がベストな結果とは限らないため、駆動補助出力が 2 番目に大きくなる走行モードについてはある程度測定ばらつきを考慮した走行距離を記載している可能性もあるが、踏込時加速度を制御することで各製造業者の記載値を再現可能であるため、妥当な値も測定可能である。

16C に関しては、ペダル駆動装置を用いた測定で人漕ぎ相当の測定を再現することが可能であったが、取扱説明書記載の走行距離は再現できなかった。理由として、例えば電池の個体差が影響した可能性がある。加えて 16A や 16B と異なり、人力・電動別車輪発生型（ハブモータ前輪駆動方式）の電動アシスト自転車では電動機による前輪駆動とクランク回転出力による後輪駆動が独立しているため、アタッチメントを使用して測定した影響も考えられる。なお、規格・基準においても人力・電動別車輪発生型（ハブモータ前輪駆動方式）の試験機への取付方法が明記されていない。

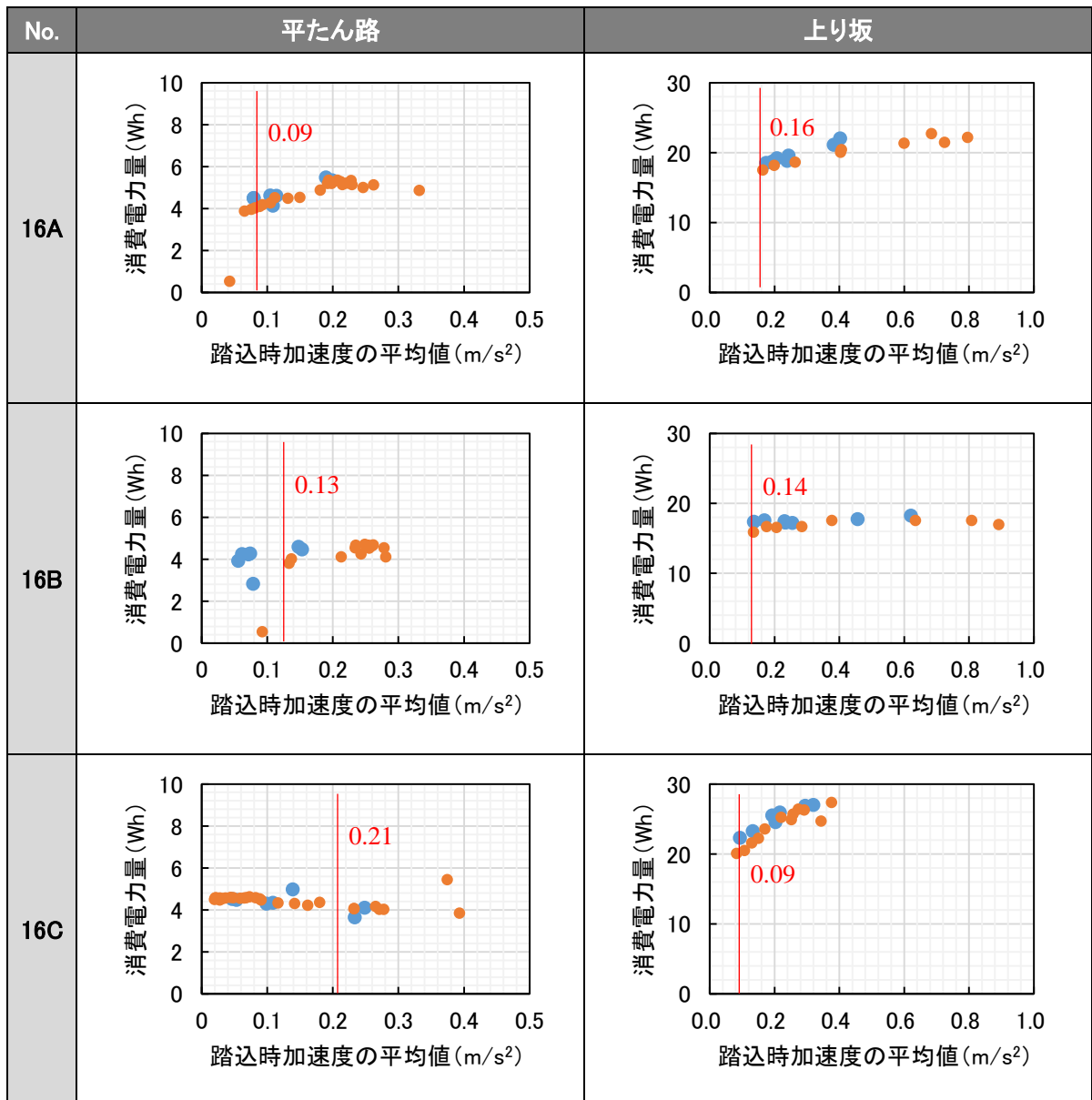


図 30 検証時の踏込時加速度の平均値（駆動補助出力が最も大きくなる走行モード）

表 7 測定結果（駆動補助出力が最も大きくなる走行モード）

No.	取扱説明書記載 の走行距離(km)	踏込時加速度を意識しない人漕ぎによ るペダリング		ベスト付近の条件にてペダル駆動装置 を用いてペダリング			
		一充電当たりの 走行距離(km)	踏込時加速度の 平均値(m/s ²)		一充電当たりの 走行距離(km)	踏込時加速度の 平均値(m/s ²)	
			平たん路	上り坂		平たん路	上り坂
16A	21	21	0.11	0.24	21	0.09	0.16
16B	26	25	0.08	0.29	26	0.13	0.14
16C	26(回生別)	23(回生別)	0.14	0.22	24(回生別)	0.21	0.09

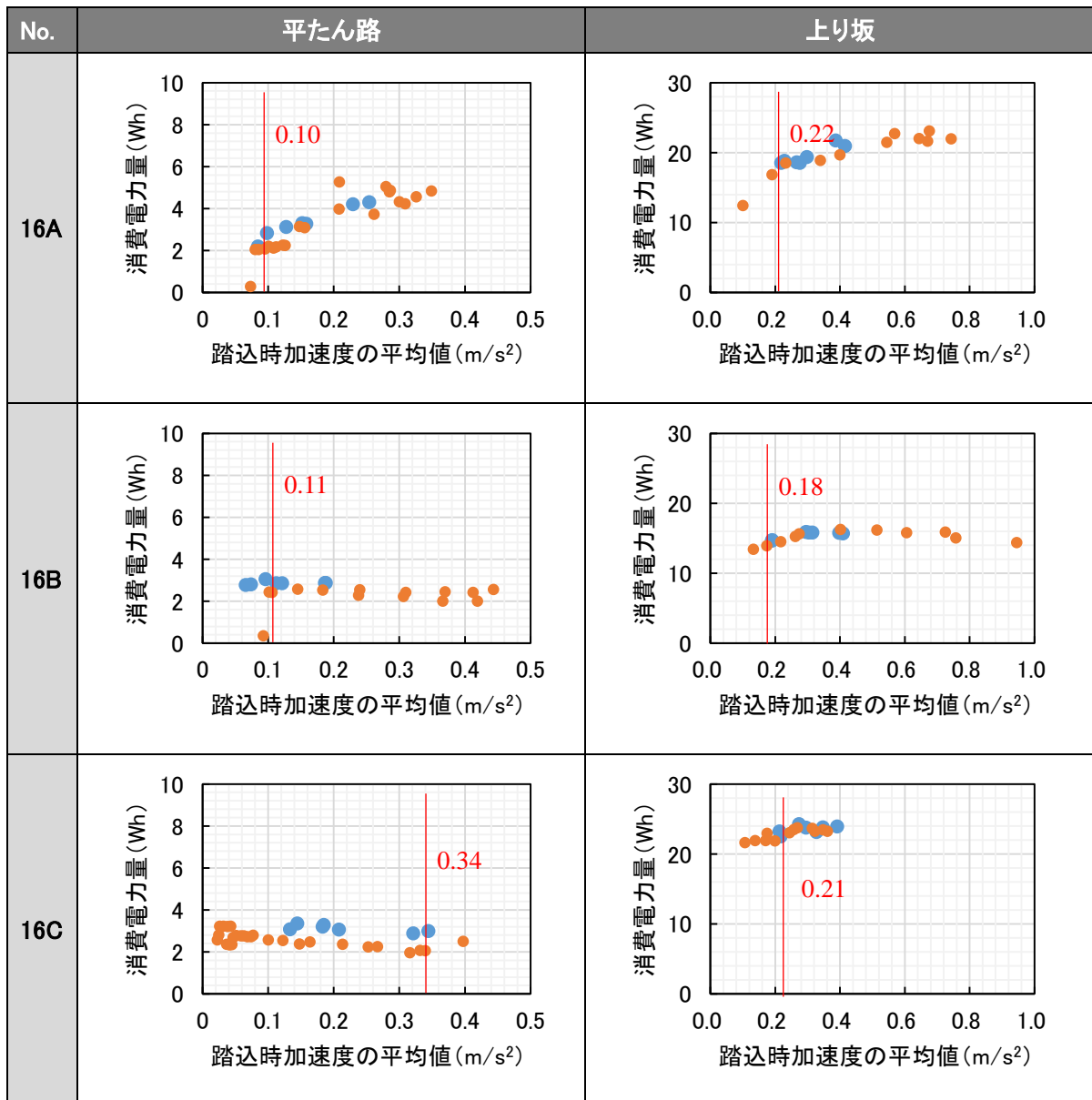


図 31 検証時の踏込時加速度の平均値（駆動補助出力が2番目に大きくなる走行モード）

表 8 測定結果（駆動補助出力が2番目に大きくなる走行モード）

No.	取扱説明書記載 の走行距離(km)	踏込時加速度を意識しない人漕ぎによるペダリング		ベスト付近の条件にてペダル駆動装置を用いてペダリング			
		一充電当たりの 走行距離(km)	踏込時加速度の 平均値(m/s ²)		一充電当たりの 走行距離(km)	踏込時加速度の 平均値(m/s ²)	
			平たん路	上り坂		平たん路	上り坂
16A	25	22	0.13	0.23	30	0.10	0.22
16B	30	30	0.11	0.32	33	0.11	0.18
16C	36(回生別)	28(回生別)	0.21	0.27	28(回生別)	0.34	0.21

5. まとめと今後の課題

今回行った検証結果は以下のとおりである。

- ① BAA 標準パターンの平たん路 1 km 走行及び上り坂 1 km 走行において、規定の速度で一定走行中に、ペダルを踏み込む瞬間に生じる加速度の極大値「踏込時加速度」の平均値と、電池の消費電力量には銘柄や走行路ごとに相関があった。この相関は人漕ぎやペダル駆動装置を用いた測定などクランク回転出力の発生方法に関係なく成り立っていた。
- ② 今回測定した 10 銘柄では、BAA 標準パターンの平たん路 1 km 走行及び上り坂 1 km 走行において、踏込時加速度の平均値の上限及び下限があった。
- ③ 踏込時加速度の平均値の上限及び下限の範囲内でクランク回転出力を生じさせ、BAA 標準パターンを走行すれば、踏込時加速度に応じた消費電力量を生じさせることが可能であり、人漕ぎによる測定結果である各製造業者の取扱説明書の記載値を再現可能であった。

①～③より、ペダル駆動装置を用いた一充電当たりの走行距離の自動測定は下記要件を満たせば可能であると考ええる。

- ・電動アシスト自転車に 65 kg のおもりを載せる。
- ・走行抵抗や等価慣性質量など、人漕ぎ以外の測定条件は BAA 標準パターンなどに準じる。
- ・BAA 標準パターンなど規定の走行条件で駆動可能であり、時間経過に対して人漕ぎ時のペダリングに近い正弦波的なクランク回転出力を発生させるようペダル駆動装置を制御する。
- ・規定の一定速度で走行中にペダルを踏み込む瞬間に生じる加速度の極大値「踏込時加速度」の平均値の上限及び下限を設定し（今回測定した 10 銘柄では表 6 に示す上限及び下限を得た）、その範囲内でペダル駆動装置を制御し電動アシスト自転車を走行させれば、人漕ぎ時と同様の結果を得られる。

一充電当たりの走行距離測定に関する今後の課題として、

一つ目に回生充電機能の評価が挙げられる。平成 27 年度の報告書において、回生充電機能を備えた自転車において、乗員のブレーキングの違いに起因する回生充電の差を報告した。販売台数や銘柄数が平成 28 年度時点でそれほど多くなく、回生充電機構やその制御についても銘柄で異なるなどの理由により、今回の検証では回生充電機能の評価については行わなかった。しかし、今後回生充電機能を持つ銘柄が増えると、その評価方法についても検討の必要性が出てくるだろう。

二つ目に、人力・電動別車輪発生型（ハブモータ前輪駆動方式）の試験機への取付方法である。これは一充電当たりの走行距離の測定だけに当てはまる課題ではないが、今回も取扱説明書記載の走行距離と実測定で差が生じた理由として、シャーシダイナモメータへの取付方法による影響が否定できない。今後、先述の回生充電機能とともに人力・電動別車輪発生型（ハブモータ前輪駆動方式）の銘柄も増える可能性があるため、一定の基準が必要になるのではないかとと思われる。

最後に、走行条件の向上である。今回の検証に用いた走行条件は、現在多くの電動アシスト自転車で採用されている BAA 標準パターンを用いた。この BAA 標準パターンについては実使用時の走行距離との差や測定の難易度などの面で、今日に至るまで改良されてきたものであり、JIS D 9115 : 2017 にも JIS D 9207 に代わって盛り込まれたが、実使用時との整合という点では、さらに向上の余地はあると思われる。今後必要となれば検証を行いたい。

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普及検討会」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” 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