

2020 年度自転車等研究開発普及事業  
事業実施報告書

# 電動アシスト自転車の加速度調査及び 電動キックボードの加速度測定の予備調査

2021 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. 背景と目的 .....	2
2. 電動アシスト自転車の加速度.....	3
3. 電動アシスト自転車の加速度調査で用いた供試車と測定機器.....	6
3.1 供試車 .....	6
3.2 測定機器 .....	6
4. 加速度調査 .....	8
4.1 測定方法及び測定手順.....	8
4.2 測定結果と考察.....	9
4.2.1 測定波形の代表例.....	9
4.2.2 人漕ぎによる測定.....	10
4.2.3 クランク軸駆動装置を用いた測定.....	15
4.2.4 10 km/h に到達するまでの最短所要時間と平均加速度.....	26
5. 電動アシスト自転車の加速度調査まとめ.....	28
6. 電動キックボードの加速度測定の予備調査.....	29
6.1 供試車 .....	29
6.2 測定方法及び測定手順.....	30
6.3 測定結果 .....	32
6.4 電動アシスト自転車と電動キックボードの比較と今後の課題.....	37

## 1. 背景と目的

日本がコンビナーおよびプロジェクトリーダーを引き受け、電動アシスト自転車の国際規格策定に取り組んできた ISO/TC149/SC1/WG15 (ISO/TS 4210-10:2020 (Cycles — Safety requirements for bicycles —Part 10:Safety requirements for electrically power assisted cycles (EPACs)発行により、現在は解散した) にて、欧州のエキスパートから電動アシスト自転車の加速度について規定を追加するよう提案があった。欧州仕様の電動アシスト自転車では加速度が大きく、特に高齢の乗員にとって、自転車の制御が困難になる可能性があり、加速度を制限する必要があることが背景である。

提案内容については、クランク軸回転出力に対する加速度の上限値や勾配に対する最高加速度の値が例として提示されたが、WG15 内では公式な文書として公開されなかった。また、技術的なバックデータや具体的な要求事項、及び試験方法の明確な提案がなかったため、ISO/TS 4210-10:2020 (以下、ISO/TS 4210-10 という。) では加速度に関する要求事項は盛り込まれていない。一方で、ISO/TS 4210-10 の次回見直し時に電動アシスト自転車の加速に関して、何らかの提案が出てくる可能性があるが、当所では電動アシスト自転車の加速に関するデータの蓄積や試験方法の検討等はこれまで実施していない。

このような背景をもとに、電動アシスト自転車の発進時の加速度の状況について、日本の電動アシスト自転車を用い、測定方法の検証やアシストオン・アシストオフの差、及びその要因について調査したので報告する。なお、日本国内においても、電動アシスト自転車の加速について定量的な規定や要求事項はないが、道路交通法施行規則第 1 条の 3 (JIS D 9115:2018 (電動アシスト自転車) (以下 JIS D 9115 という。) 附属書 A A.3 と同等の内容) によって、安全な運転の確保に支障を生じるおそれがあることが規定されており、その検査方法として国家公安委員会が行う駆動補助機付自転車の型式認定基準 (JIS D 9115 附属書 B B.3 時間応答性の基準と同等の内容) において、乗員が実際に自転車に乗り、発進、加速などの各運転態様のつながり、時間応答性の速やかさを官能検査により確認することが規定されている。また、加速度に関連する調査として、当所の過去報告<sup>1)</sup>で駆動補助装置が作動するときのクランク軸入力トルクについての調査も行っており、車両によって作動する傾向が様々であることが判明している。

加えて、本報告では電動キックボードの加速度測定についても調査を行なった。PeTs (Personal e-Transporters、速度制御及び/またはステアリングが電気/電子である電動の輸送機器。IEC/TC125 でセグウェイや電動キックボードなどの総称として用いられている) の 1 つである電動キックボードについては、国内外で近年様々な議論がされている。その一方で、公表されている技術的な文献は少ない状態であり、当所においても今年度発行した PeTs の最高速度の測定に関する検証報告<sup>2)</sup>以外に報告書を公表していない。電動キックボードに限らず、今後、様々な PeTs が市場に出てくると思われ、その試験方法や要求事項が議論になることも想定される。そこで、電動アシスト自転車の試験機器を応用し、電動キックボードの加速度測定の予備調査を行ったので、その結果についてもあわせて報告する。

## 2. 電動アシスト自転車の加速度

電動アシスト自転車が加速度  $a$  で加速する状態のクランク軸への入力、電動機出力、及び駆動出力の関係は以下の式(1)で表すことができる。左辺がペダリングによるクランク軸回転出力、電動機出力、自転車の動力伝達時の損失、右辺が加速の際の駆動出力である。

$$\frac{2\pi}{60}NT + P_M - P_{\text{loss}} = \frac{1}{3.6}V(F + ma) \quad \dots (1)$$

ここに、  
 $N$  : クランク軸回転速度 ( $\text{min}^{-1}$ )  
 $T$  : クランク軸入力トルク ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )  
 $P_M$  : 電動機出力 ( $\text{W}$ )  
 $P_{\text{loss}}$  : 自転車の動力伝達時の損失 ( $\text{W}$ )  
 $V$  : 走行速度 ( $\text{km/h}$ )  
 $F$  : 走行抵抗 ( $\text{N}$ )  
 $m$  : 車両と乗員の合計質量 ( $\text{kg}$ )  
 $a$  : 加速度 ( $\text{m/s}^2$ )

この式(1)から、加速度の計算式

$$a = \frac{1}{mrk}T + \frac{3.6(P_M - P_{\text{loss}})}{mV} - \frac{F}{m} \quad \dots (2)$$

ここに、  
 $r$  : 駆動輪の半径 ( $\text{m}$ )  
 $k$  : ギヤ比

である式(2)が導き出される。このうち、 $m$ 、 $r$ 、 $k$ 、は各銘柄の仕様・設定や乗員により決まる値である。 $P_{\text{loss}}$ については、クランク軸回転出力から駆動出力の伝達時に生じるギヤ、チェーン、ベアリング、駆動輪の転がり抵抗などの総損失を仕事率換算したものであり、自転車ごとに固有の関数となる。走行抵抗  $F$ については、前輪の転がり抵抗、空気抵抗、登坂抵抗が主な要素となる。 $P_M$ は、日本国内では道路交通法施行規則により、走行速度に応じた駆動補助力の比率（以下、アシスト比という。）の最大値に規制があるため、電動アシスト自転車の走行速度、ケイデンス、及びクランク軸入力トルクの値に応じて規制を超えないよう制御される。

式(2)より、ある電動アシスト自転車において、乗員、ギヤ比、走行速度、走行抵抗、 $P_{\text{loss}}$ が同じ場合のアシストオン時とアシストオフ時の加速度の差は

$$a_{\text{強}} - a_{\text{off}} = \frac{3.6P_M}{mV} = \frac{N_M}{mrkN}T_M \quad \dots (3)$$

ここに、  
 $T_M$  : 電動機のトルク ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )  
 $N_M$  : 電動機の回転速度 ( $\text{min}^{-1}$ )

となり、電動機のトルクに比例する。

電動機のトルクについては道路交通法施行規則による走行速度に対するアシスト比の制限、及び電動機の最大トルクにより、走行状態に応じた上限値が決まる。 $P_{\text{loss}}$  を 0、電動機の回転速度とクランク軸回転速度が同じであると仮定すると、アシスト比の制限により、走行速度 10 km/h 以下では、電動機トルクはクランク軸入力トルクの 2 倍以下に制限される。また、その制限以下であっても、クランク軸入力トルクが非常に大きな場合には、電動機の最大トルク以上のトルクを出すことができない。

仮に、式(2)で、駆動輪の半径  $r$  が 0.33 m (26 インチ相当)、ギヤ比  $k$  が 2、電動機の最大トルクが 75 N・m、電動機とクランク軸の回転速度が同じ、 $P_{\text{loss}}$  が 0 W、乗員質量と完成車質量の合計  $m$  が 90 kg の電動アシスト自転車、走行抵抗  $F$  が JIS D 9115 附属書 D の式 D.1 で規定されている

$$F = R + 0.027V^2 + 9.8W\sin\theta \quad \dots (4)$$

ここに、 $R$  : 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。

$\theta$  : 登坂角度 (°)

$W$  : 等価慣性質量の標準値 (kg)

により変化し、アシスト比が道路交通法施行規則規定の最大値となるように制御されている (10 km/h 以下で 2、15 km/h で 1.29) と仮定した場合の、走行速度 5 km/h、10 km/h、15 km/h におけるクランク軸入力トルクに対する加速度の理論値を図 1 に示す。

図 1 より、あるクランク軸入力トルクまでは、走行速度に応じて、クランク軸入力トルクの最大 3 倍程度の加速度 (走行速度 10 km/h 以下ではクランク軸入力トルク 1 に対し電動機のトルク 2 が加わる) が生じ、クランク軸入力トルクが大きくなると、クランク軸入力トルクに電動機の最大トルク分が加えられた加速度となる。走行速度が大きくなると最大アシスト比が走行速度に対して逡減することで、クランク軸入力トルクが小さい時には加速度が小さくなる。言い換えると、走行速度が大きくなると加速しづらくなり、走行速度を上げづらくなる。JIS D 9111:2016 (自転車一分類、用語及び諸元) の表 3 で、日本仕様の電動アシスト自転車、常用速度が非電動の一般用自転車と大きく変わらないのは、このような要因もある。ISO/TS 4210-10 や JIS D 9115 において、最大アシスト比が 1:2 の電動アシスト自転車の各部強度の要求事項が非電動の一般用自転車と同程度になっているのも、常用速度が大きく変わらないことが理由の一つとなっている<sup>3)</sup>。

一方で、同じく式(2)において、欧州仕様の電動アシスト自転車を想定し、最大アシスト比が走行速度によらず最大 1:4 とし、それ以外は上記と同じ条件を用いて計算した理論値

を図 2 に示す。クランク軸入力トルクが  $10\text{ N}\cdot\text{m}$  程度と低い場合に、日本仕様の電動アシスト自転車よりも大きな加速度となっており、おおよそ 2 倍の値となった。クランク軸入力トルクが大きくなると電動機の最大トルクが影響するため、今回の仮定では日本仕様のもので変わらない。

今回の測定では、同一走行条件下でのアシストオン・アシストオフの走行時のパラメータを測定し、この理論値と実測値の比較も行った。

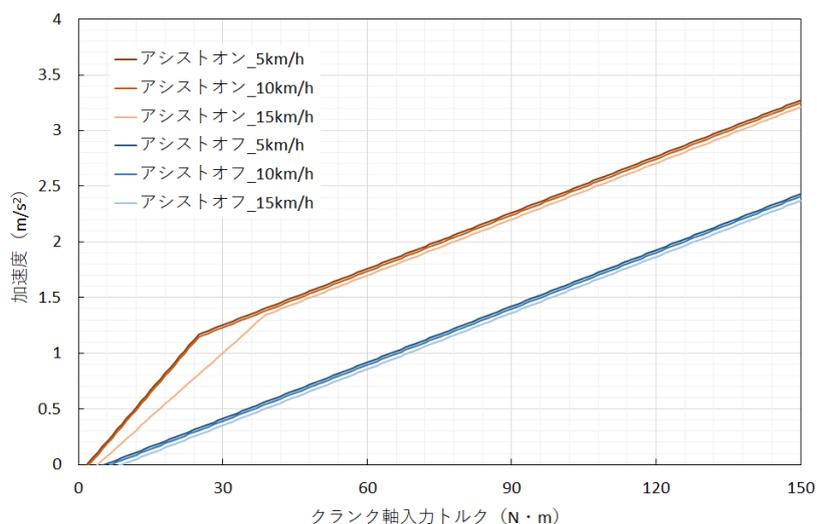


図 1 アシスト比最大 1 : 2 を想定した電動アシスト自転車におけるクランク軸入力トルクに対する加速度の理論値

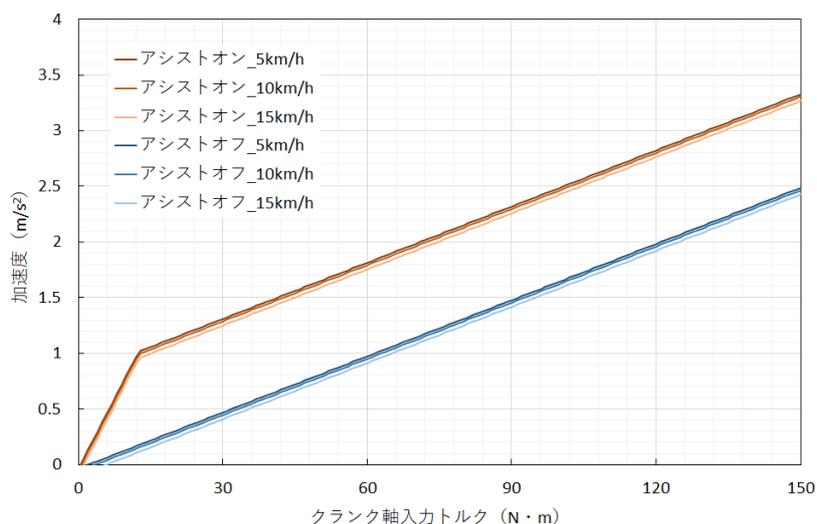


図 2 アシスト比最大 1 : 4 を想定した電動アシスト自転車におけるクランク軸入力トルクに対する加速度の理論値

### 3. 電動アシスト自転車の加速度調査で用いた供試車と測定機器

#### 3.1 供試車

供試車として、市販されているスポーツタイプの電動アシスト自転車（いわゆる E-Bike）を 2 銘柄、及び幼児二人同乗用の電動アシスト自転車 1 銘柄を用いた。供試車の概要を表 1 に示す。今回測定に用いた電動アシスト自転車は、国家公安委員会が行う駆動補助機付自転車の型式認定基準を満たすものであるため、道路交通法施行規則第 1 条の 3 で規定されている「安全な運転の確保に支障を生じるおそれがない」車両である。また、当所においても JIS D 9115 附属書 B B.2 の試験方法にてアシスト比測定を行ったが、全供試車で基準を満たしていた。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 電動アシスト自転車 供試車概要

	供試車①	供試車②	供試車③
車種	スポーツタイプ	スポーツタイプ	幼児二人同乗用自転車
車輪径（前/後） （インチ）	29/29 相当	28/28 相当	20/20
変速段	外装 9 段	外装 9 段	内装 3 段
等価慣性質量 （車体質量+65） （kg）	90	87.5	95

#### 3.2 測定機器

測定機器には、株式会社小野測器製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いう。）、及びドイツ・Radlabor 社製ペダルセンサーを用いた。（写真 1 各機材の概要については過去当所が公表した報告書<sup>4)</sup>などを参照）。

シャーシダイナモメータでは任意の走行抵抗を設定し、実際に人が漕いで走行する、あるいはクランク軸駆動装置を用いて機械的に様々なペダリングを再現し、自転車を走行させることが可能である。ペダルセンサーはどのような自転車にも取り付けることができ、その測定データをシャーシダイナモメータの測定データと同期させることが可能である。これらの機材を用いることで、主に表 2 に示すパラメータのリアルタイムでの測定や制御が可能である。測定機器の仕様により、ペダルセンサー使用時の測定周波数は 100 Hz、クランク軸駆動装置使用時の測定周波数は 10 Hz とした。

表 2 測定、及び制御可能な主なパラメータ

	駆動	クランク軸入力	電気
測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 走行速度 (ローラの回転速度)</li> <li>・ 加速度</li> <li>・ 走行抵抗 (ローラの回転トルク)</li> <li>・ 走行距離</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ クランク軸入力トルク</li> <li>・ クランク軸回転速度</li> <li>・ クランク角度 (ペダルセンサーによる)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 組電池～駆動補助制御 装置間の電流、及び電圧</li> </ul>
制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 走行抵抗 (任意の計算式や数値が設定可能)</li> <li>・ 走行速度 (下り坂などの走行状態を再現可能)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ クランク軸回転速度</li> <li>・ ペダリングの波形 (強い踏み込みや弱い踏み込みなど)</li> </ul>	



写真 1 測定機器外観 (左：シャーシダイナモメータ、右：ペダルセンサー)

## 4. 加速度調査

### 4.1 測定方法及び測定手順

実際に乗員が供試車に乗り、シャーシダイナモメータ上でペダリングを行う人漕ぎ測定、及びクランク軸駆動装置を用いた機械漕ぎ測定で、車両の加速状態の測定を行った。測定手順を以下にまとめる。

- ① 電動アシスト自転車の組電池を満充電の状態まで充電する。車両は取扱説明書に従い適切に整備する。人漕ぎの場合はペダルセンサーを取り付ける。
- ② シャーシダイナモメータの等価慣性質量を供試車質量+65 kg に設定する。
- ③ シャーシダイナモメータに電動アシスト自転車を取り付ける。機械漕ぎの場合はクランクアームを取り外し、クランク軸にクランク軸駆動装置を取り付ける。
- ④ アシストのオン/オフ、変速段、シャーシダイナモメータで負荷する走行抵抗（勾配）などを設定し、目的とする条件に設定する。走行抵抗は前述の式(4)を用いた。
- ⑤ 人漕ぎの場合は乗員（体重 67 kg）が電動アシスト自転車に乗り、右ペダルを進行方向前方に向ける。測定データのロギングを開始し、完全に停止した状態から右ペダルを踏み込みペダリングを開始する。機械漕ぎの場合はサドル部に 65 kg のおもりを取り付け、目標走行速度や走行抵抗などを設定したプログラムを起動し、クランク軸駆動装置を作動させる。
- ⑥ 人漕ぎの場合は 15 km/h を目標走行速度として加速した後、ブレーキをかけて停止する。機械漕ぎの場合は目標走行速度を 15 km/h として走行させ、漕ぎ出しから 20 秒後に自動的に停止するよう制御する。
- ⑦ 人漕ぎの場合、⑤、⑥の内容を 30 回繰り返す。加速時のペダリングについては強い踏み込みや弱い踏み込み、急加速等、乗員が可能な範囲で様々なペダリングを行う。機械漕ぎの場合は、回転速度変動率や目標値に対する PI 制御のパラメータなどを変えることで、踏み込み強さや加速度の異なるペダリングとなるように制御する。回転速度変動率は 20 %、25 %、30 % の 3 通り、PI 制御のゲインの設定は 3 通り、加速度は 2 km/h/s、3 km/h/s、4 km/h/s の 3 通りの計 27 通りの組み合わせでペダリングを行う。
- ⑧ ④の条件を変え⑤～⑦の手順を行う。

このうち、手順④の測定条件については以下のとおりである。

- ・ アシストオン時はアシスト比が最大となる走行モード（パワーモードや強モードなど）に設定する。以下、このモードを「アシスト強」という。
- ・ 変速段はギヤ比が最大となる変速段、ギヤ比が最小となる変速段、及び最高段と最小段の間の変速段の 3 パターンとする。中間の変速段の定義は、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し、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。

## 4.2 測定結果と考察

### 4.2.1 測定波形の代表例

まず、図 3 に人漕ぎ測定により得られたクランク軸入力トルク、及び加速度の代表的な波形の例を示す。

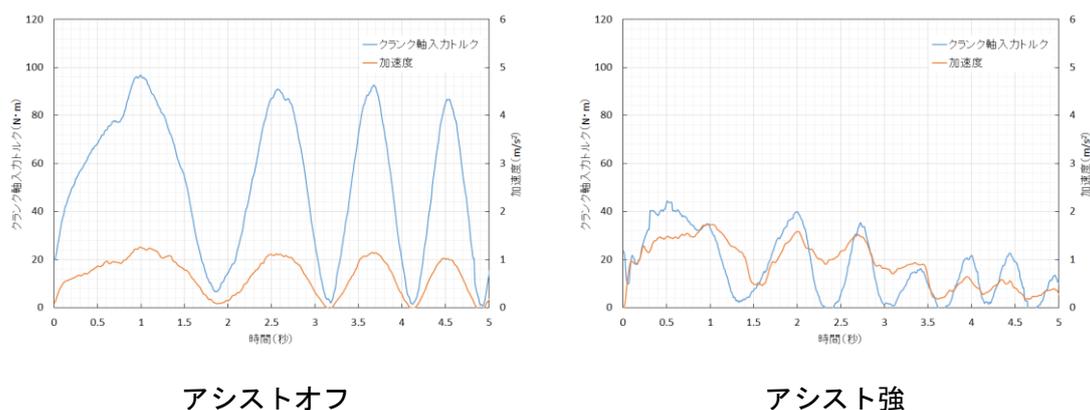


図 3 クランク軸入力トルク及び加速度の代表的な波形例

アシストオフ、及びアシスト強ともに、ペダルを踏み込むことでクランク軸入力トルクが増加する。そのクランク軸入力トルクがギヤやチェーンなどを伝達し駆動輪の駆動力に変換され、その時の走行抵抗に応じた加速度が生じる。アシストオフでは、クランク軸入力トルクと加速度の関係はおおむね比例しているが、アシスト強では、電動機のトルクが加えられることで、クランク軸入力トルクがそれほど大きくないにもかかわらず、加速度はアシストオフ時よりも大きくなっていることが分かる。

次に、クランクアームの向きが上下方向となる上下死点において、クランク軸入力トルクがほぼ  $0 \text{ N} \cdot \text{m}$  になりアシストオフ時は加速度もほぼ  $0 \text{ m/s}^2$  になるが、アシスト強時は上下死点においても、加速度の値が  $0 \text{ m/s}^2$  以上である、すなわち加速を続けている状態であった。これは電動機のトルクによるものである。

以上から、アシストオフ時にはペダル踏み込みに応じた加速度だけが生じるが、アシスト強時にはペダル踏み込みの際に生じる「人漕ぎ+電動機」による加速度と、ペダルを踏みこまない上下死点においても作動している電動機のトルクによる加速度が生じる。

#### 4.2.2 人漕ぎによる測定

人漕ぎで駆動した際に、各供試品の各測定条件（ギヤ比、アシストの状態）で得られたクランク軸入力トルクと加速度の全測定データをまとめてプロットしたグラフを図 4～図 6 に示す。右クランクが進行方向前方にある時を  $0^\circ$  としたとき、 $-45^\circ$ 以上  $45^\circ$ 未満、及び  $135^\circ$ 以上  $225^\circ$ 未満の時を「踏み込み時付近」、その他の時を「上下死点付近」とし、色を変えてプロットした（図 7）。また、各電動アシスト自転車の  $P_{\text{loss}}$ 、及び電動機の最大トルクをシャーシダイナモメータにて測定し、アシストオフ時及び、アシスト比が 2 となる場合を想定した、 $10 \text{ km/h}$  走行時の理論値も併せてプロットした。

図 4～図 6 より、まずアシストオフの状態では、計 30 回の測定結果をプロットした結果、クランク軸入力トルクと加速度の関係はほぼ理論値通りとなった。

次に、アシスト強の状態では、計 30 回の測定結果をプロットした結果、以下の傾向が見られた。

- ・ 踏み込み時付近の加速度プロットについて、各供試車でおおむね理論値に近い値、あるいはそれ以下の値となっていた。理論値のプロットがアシスト比 2 の時を想定しているため、今回の供試車では理論値プロットの下側あるいは右側に多くプロットが見られた。
- ・ クランク軸入力トルクが低く、理論値以上となる加速度については、上下死点付近のプロットが多くを占めていた。

以上より、まず供試車①、及び供試車③の踏み込み時付近の加速度については、ほぼ理論通りとなっており、人漕ぎのクランク軸入力トルクに加え、電動機のアシスト比分のトルクあるいは最大トルク分だけ加速度が増加していたと考えられる。一部のプロットで踏み込み時付近の加速度が理論値以上となったのは、踏み込み時付近のクランク角度を広くとったことが原因であり、すでにペダルの踏み込みを終えてクランク軸入力トルクが減少しているときのデータを含んでいるためである。供試車②については、供試車①や供試車③と比べアシストが作動する走行速度やクランク軸入力トルクがやや高かったため、プロットの傾向が異なった。

また、アシスト強、及びアシストオフ時の最高加速度について表 3 にまとめた。乗員の脚力により加速度が変わるため、あくまで参考値とはなるが、今回測定を行った供試車において、アシスト強時の最高加速度はアシストオフ時の最大約 2 倍となっていた。

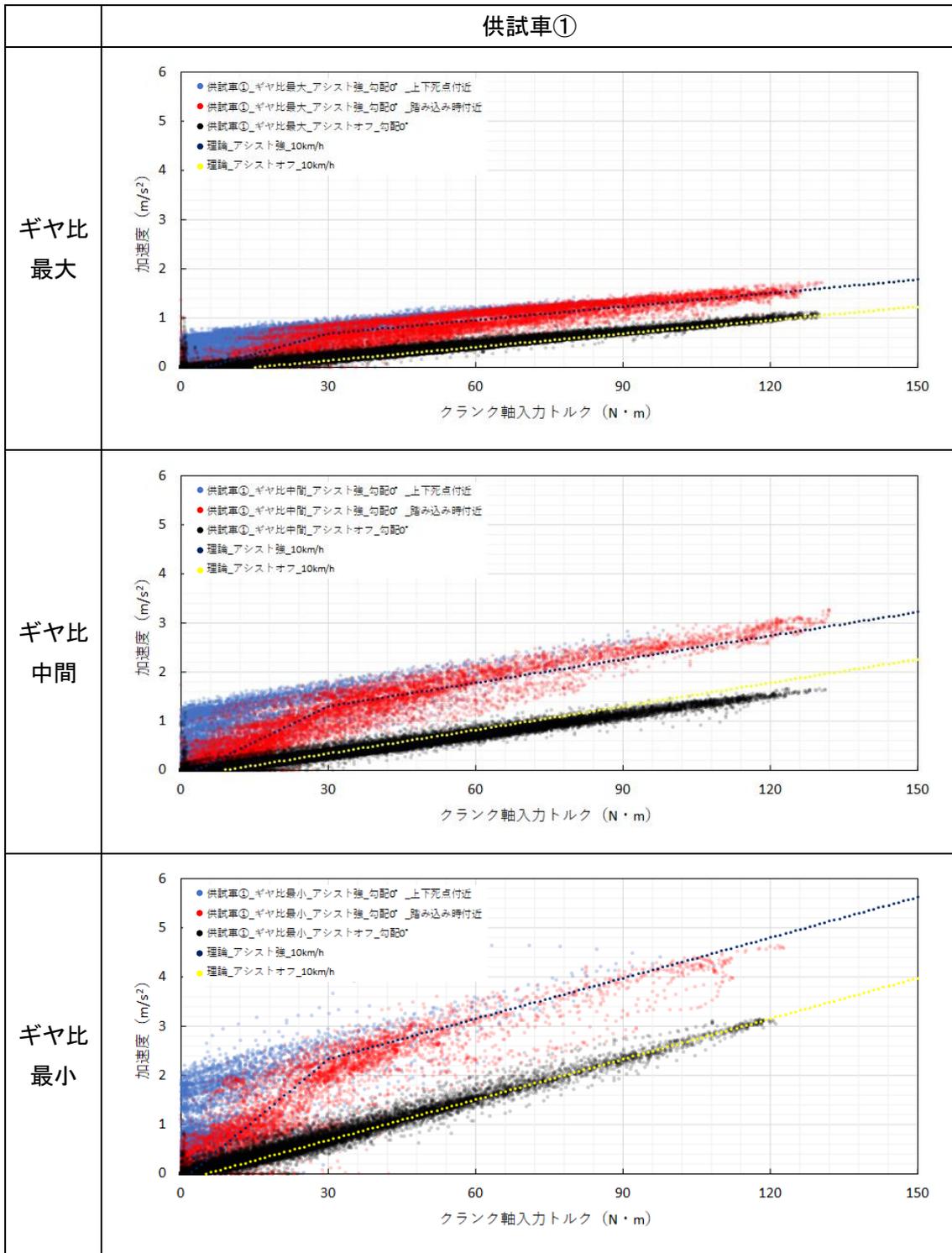


図 4 クランク軸入力トルクと加速度の人漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車①、勾配 0° )

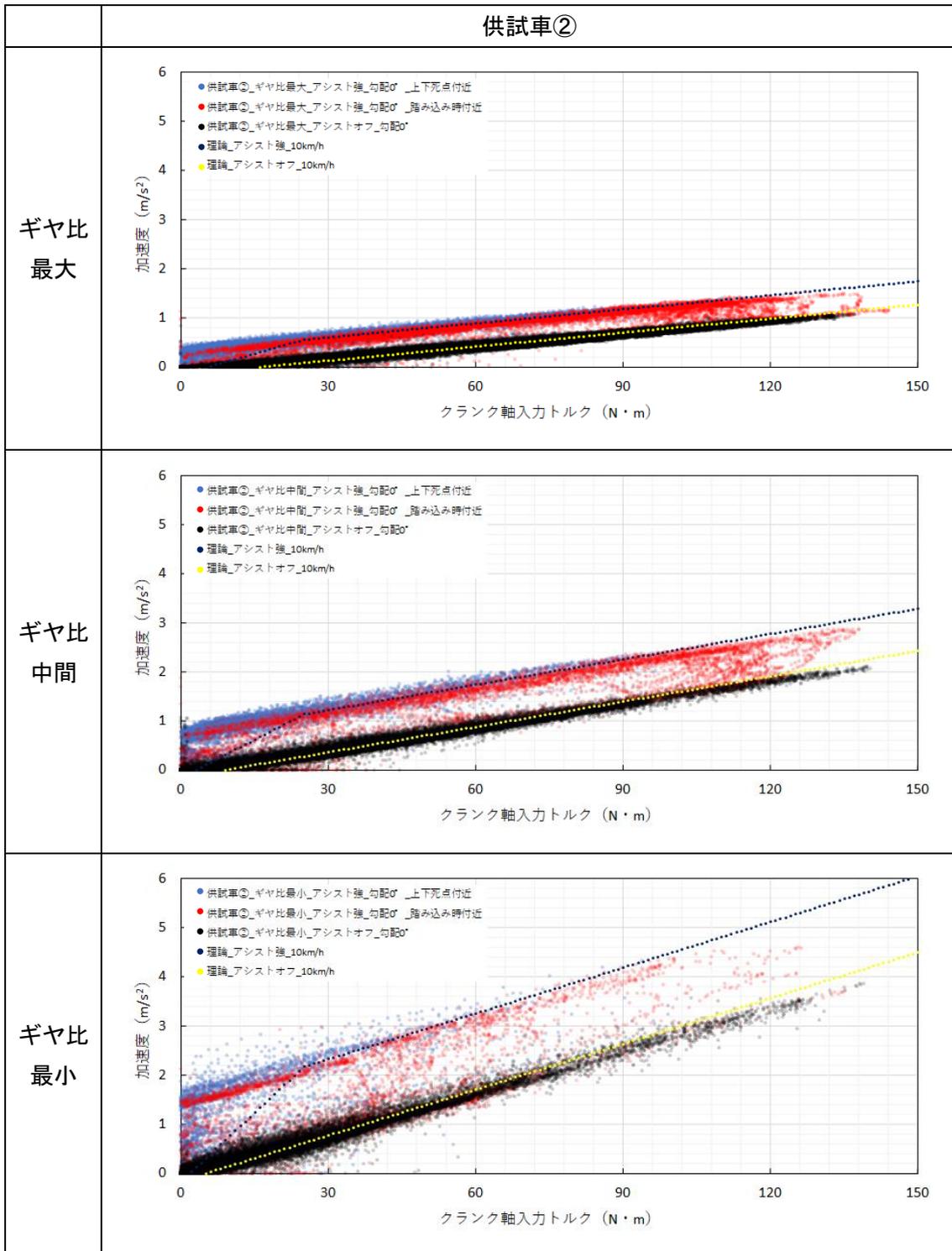


図 5 クランク軸入力トルクと加速度の人漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車②、勾配 0° )

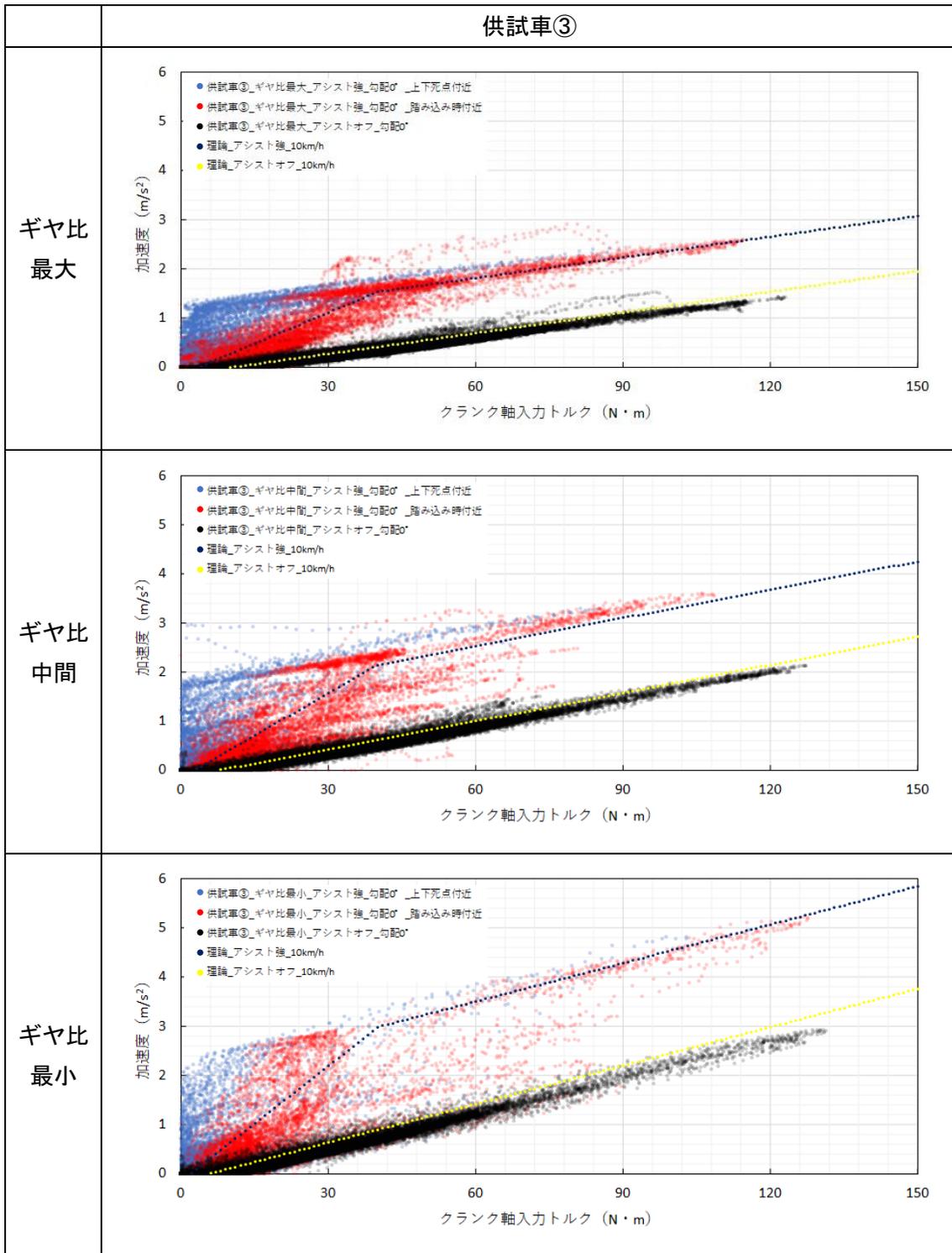


図 6 クランク軸入力トルクと加速度の人漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車③、勾配 0° )

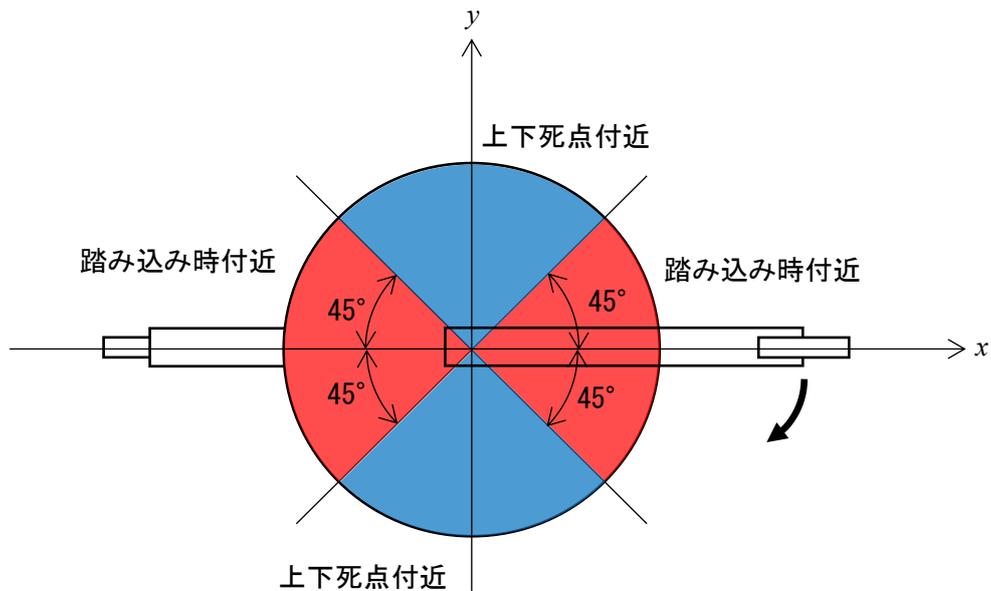


図 7 クランクアームの角度とプロットの種類

表 3 人漕ぎにおける最高加速度

ギヤ比	アシスト	供試車①		供試車②		供試車③	
		最高 加速度 (m/s <sup>2</sup> )	強/オフ 増加率	最高 加速度 (m/s <sup>2</sup> )	強/オフ 増加率	最高 加速度 (m/s <sup>2</sup> )	強/オフ 増加率
最大	強	1.72	154 %	1.52	141 %	2.91	191 %
	オフ	1.12		1.08		1.52	
中間	強	3.27	197 %	2.87	136 %	3.61	169 %
	オフ	1.66		2.11		2.13	
最小	強	4.64	148 %	4.60	119 %	5.22	178 %
	オフ	3.14		3.87		2.94	

### 4.2.3 クランク軸駆動装置を用いた測定

シャーシダイナモメータのクランク軸駆動装置を用いた機械漕ぎにて、アシスト強、及びアシストオフ時の勾配  $0^{\circ}$ ~ $4^{\circ}$ までの測定を行った。機械漕ぎ時のクランク軸入力トルクと加速度の代表的な波形を図 8 に、各測定で得られたクランク軸入力トルクと加速度の関係を図 9~図 17 にまとめた。比較のため、図 4~図 6 の勾配  $0^{\circ}$ での人漕ぎ測定時のデータも併載した。なお、クランク軸駆動装置ではクランク角度の測定ができないため、踏み込み時付近や上下死点付近といった分類をせずプロットした。クランク軸駆動装置使用時のデータについては目標速度に十分達するまでの時間である測定開始から 10 秒までのデータをプロットした。

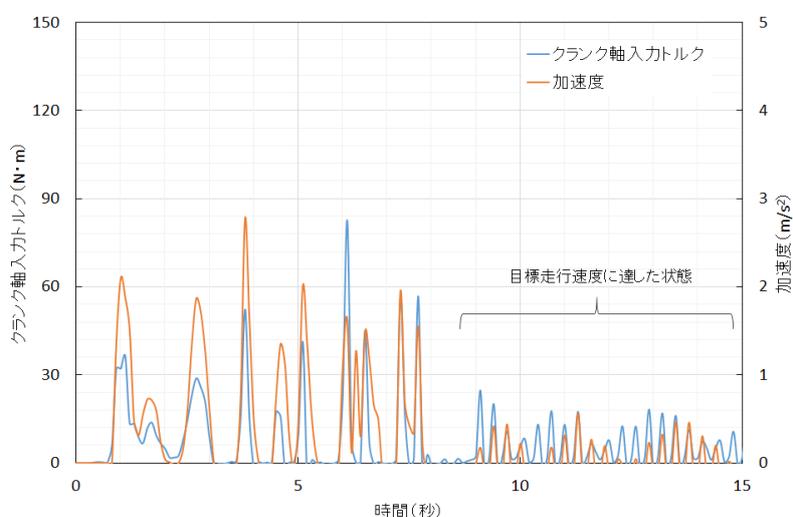


図 8 機械漕ぎ時のクランク軸入力トルクと加速度の代表的な波形例

図 9~図 17 より、まず、勾配  $0^{\circ}$ の人漕ぎと機械漕ぎを比較すると、クランク軸駆動装置を使用した場合には測定周波数が 10 Hz であるため、ペダルセンサー使用時と比べデータ数は少ないものの、ほぼ同様の傾向が見られた。次に勾配  $1^{\circ}$ ~ $4^{\circ}$ までの測定結果であるが、勾配が大きくなるに伴い、勾配  $0^{\circ}$ 時のグラフを y 軸マイナス方向にオフセットしたような傾向が見られた。これは式(2)の  $F$  が大きくなることを反映しており、ほぼ理論値通りの結果であった。よって、勾配が大きくなっても、その分だけ大きなクランク軸入力トルクであれば勾配  $0^{\circ}$ 時と同じ加速度を生じることが可能である。

なお、クランク軸駆動装置使用時にアシスト強、及びアシストオフ時に見られる低いトルク側での理論値との差については、測定開始から 10 秒以内に加速をしない状態になったからであり、今回は全測定で一律 10 秒をプロット対象としたため、そのデータも一部含んでいることが原因である (図 8 参照。9 秒以降目標走行速度に達した)。

以上から、クランク軸駆動装置を用いた測定では、人漕ぎ同等の結果を得ることが可能で、走行抵抗の大きな状態においてもアシスト強、アシストオフの測定が可能であった。

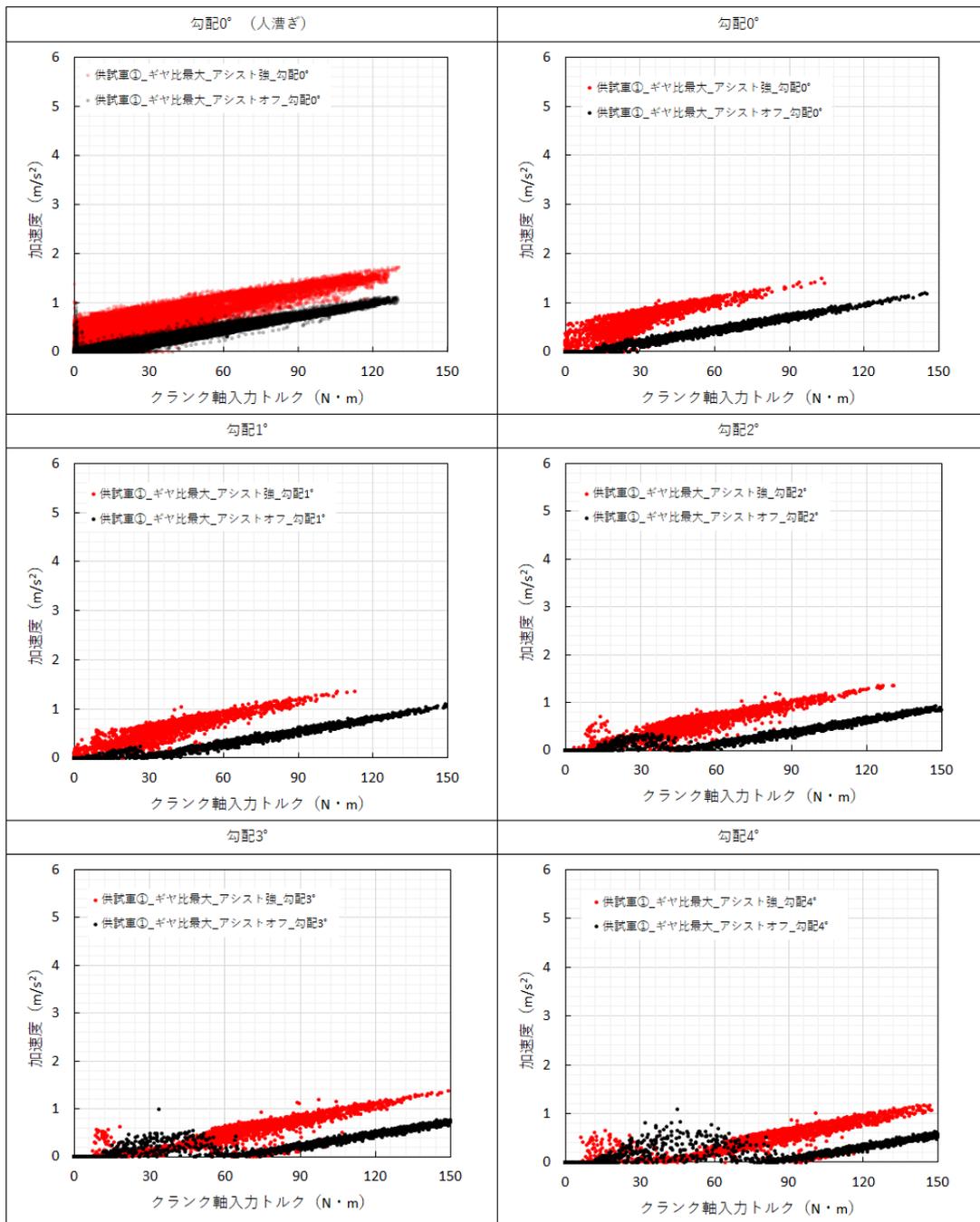


図 9 クランク軸入力トルクと加速度の機械漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車① ギヤ比最大)

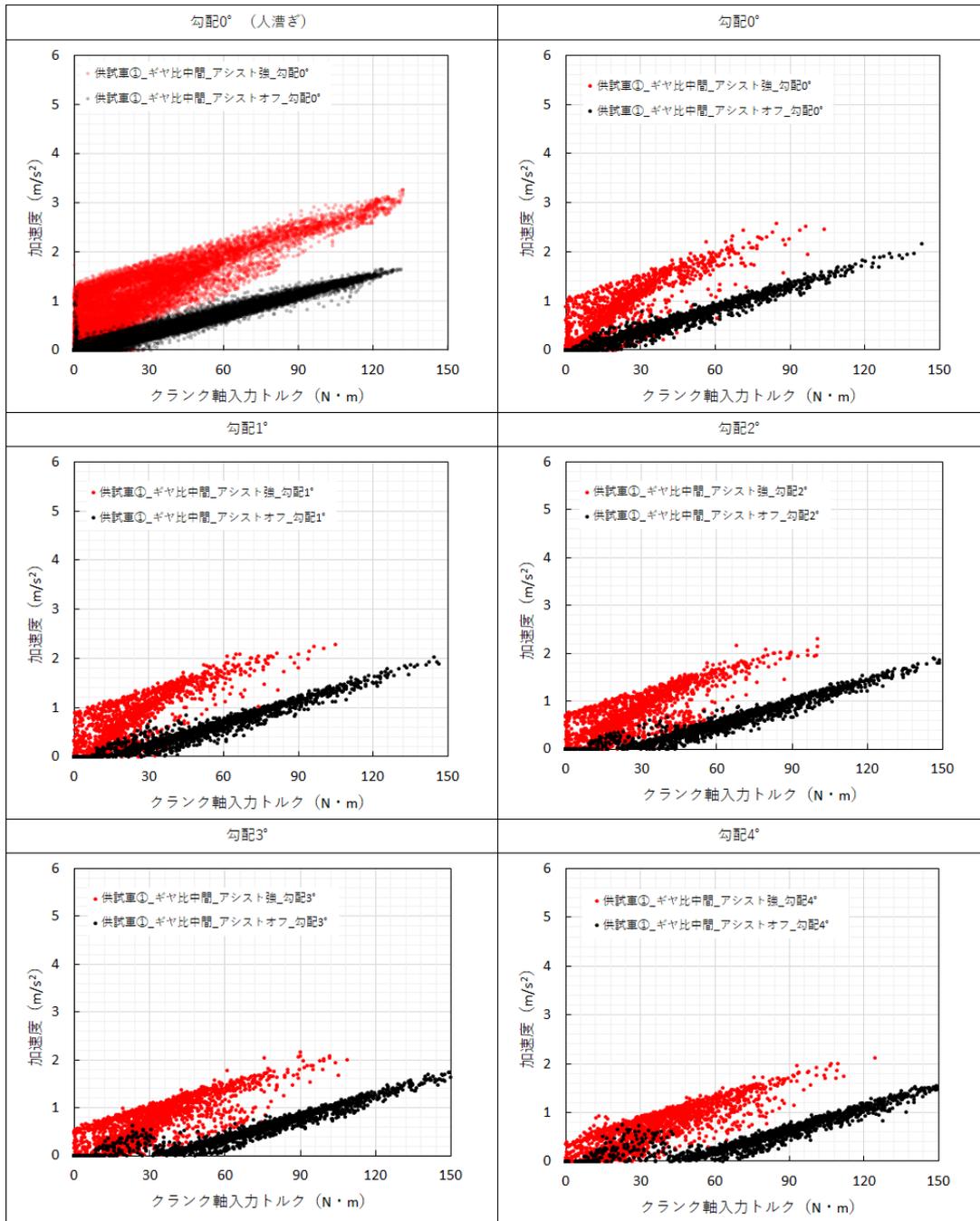


図 10 クランク軸入力トルクと加速度の機械漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車① ギヤ比中間)

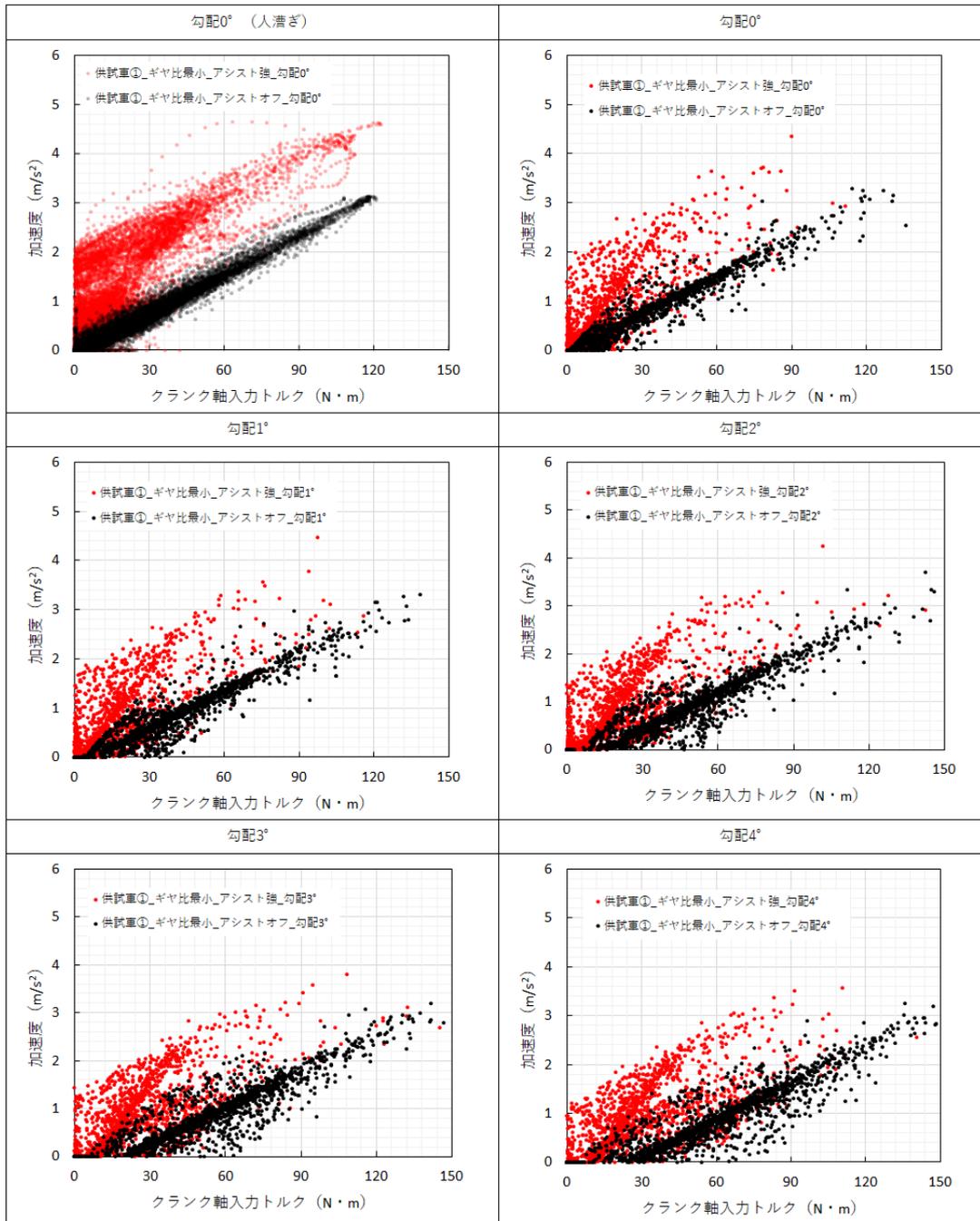


図 11 クランク軸入力トルクと加速度の機械漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車① ギヤ比最小)

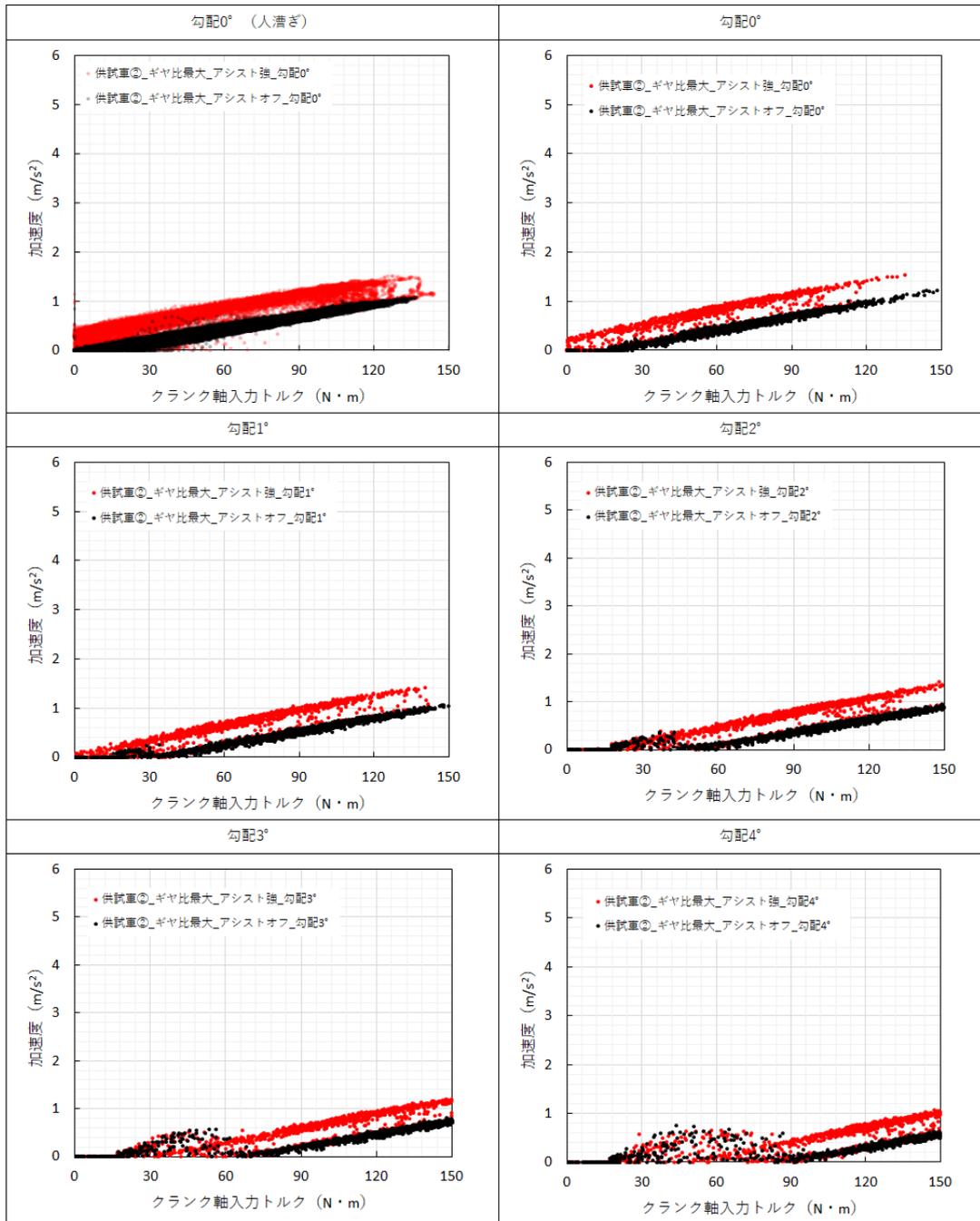


図 12 クランク軸入力トルクと加速度の機械漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車② ギヤ比最大)

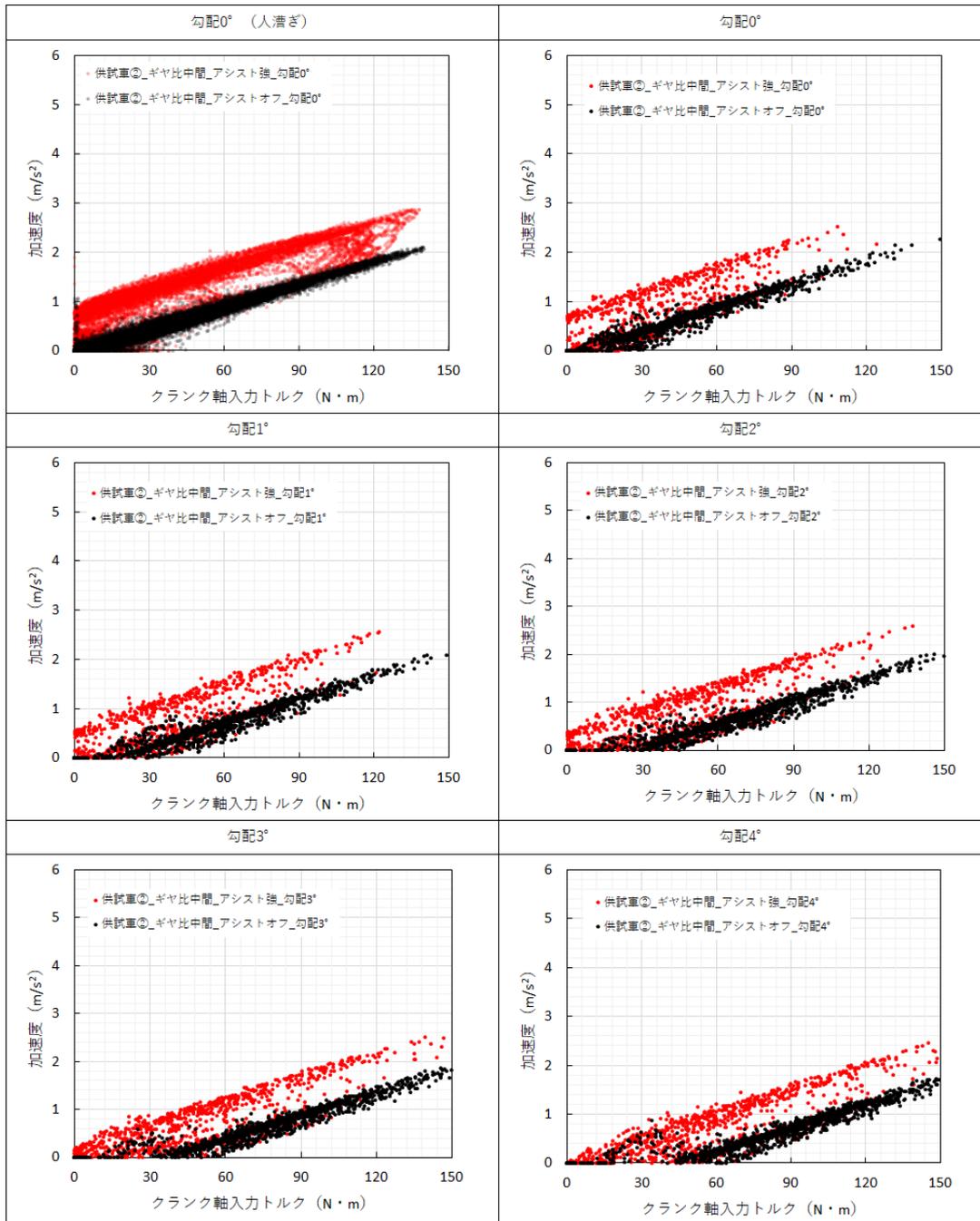


図 13 クランク軸入力トルクと加速度の機械漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車② ギヤ比中間)

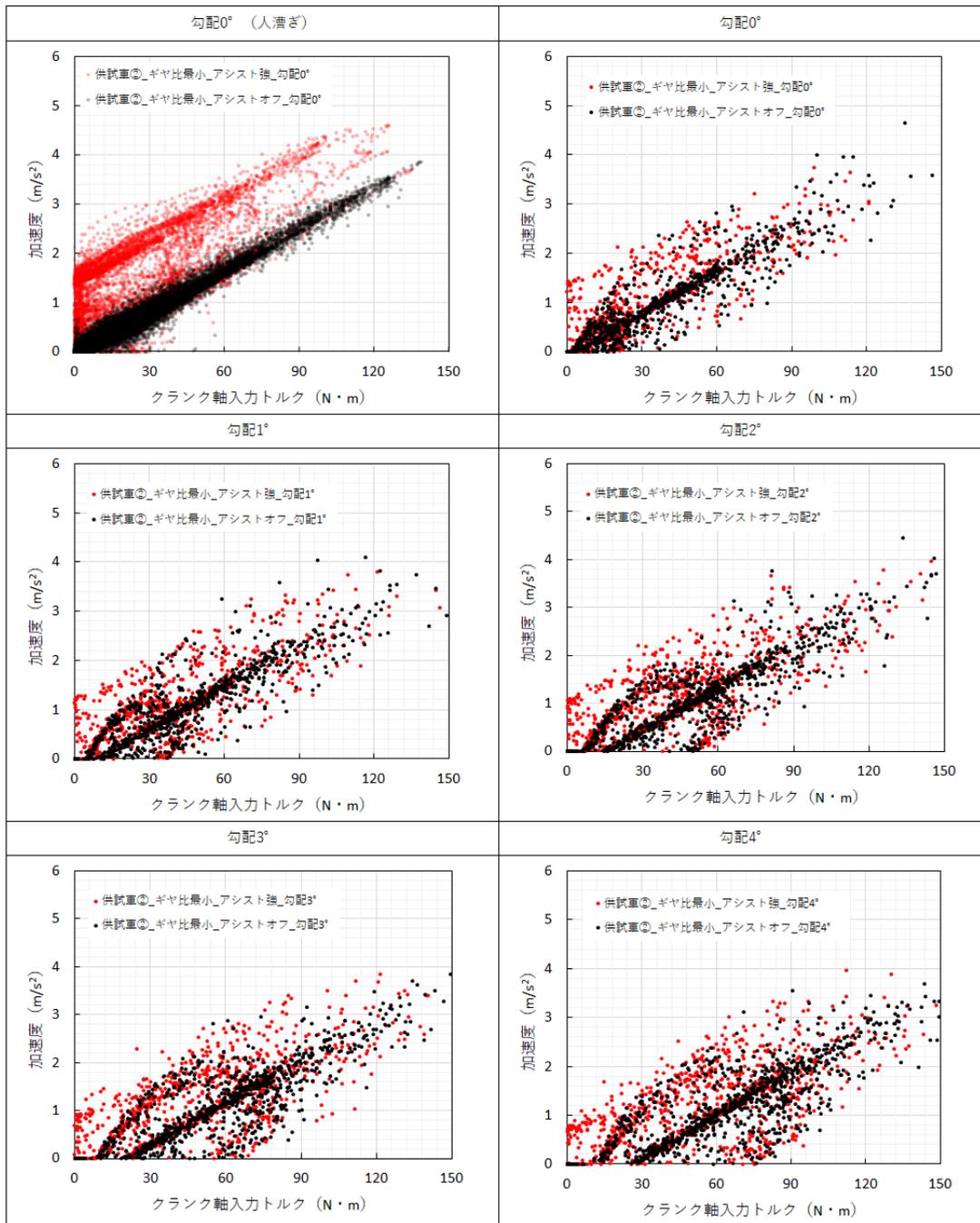


図 14 クランク軸入力トルクと加速度の機械漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車② ギヤ比最小)

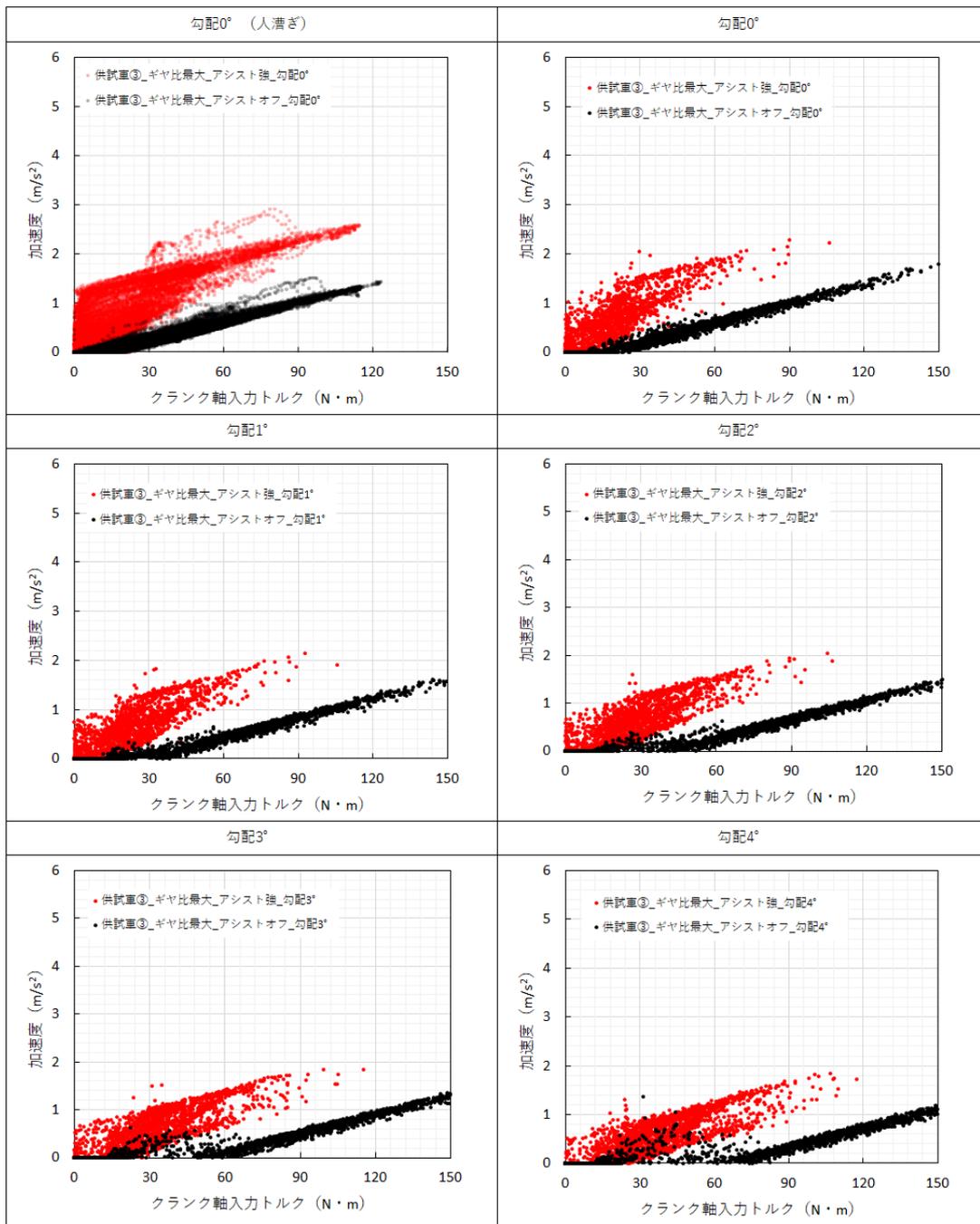


図 15 クランク軸入力トルクと加速度の機械漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車③ ギヤ比最大)

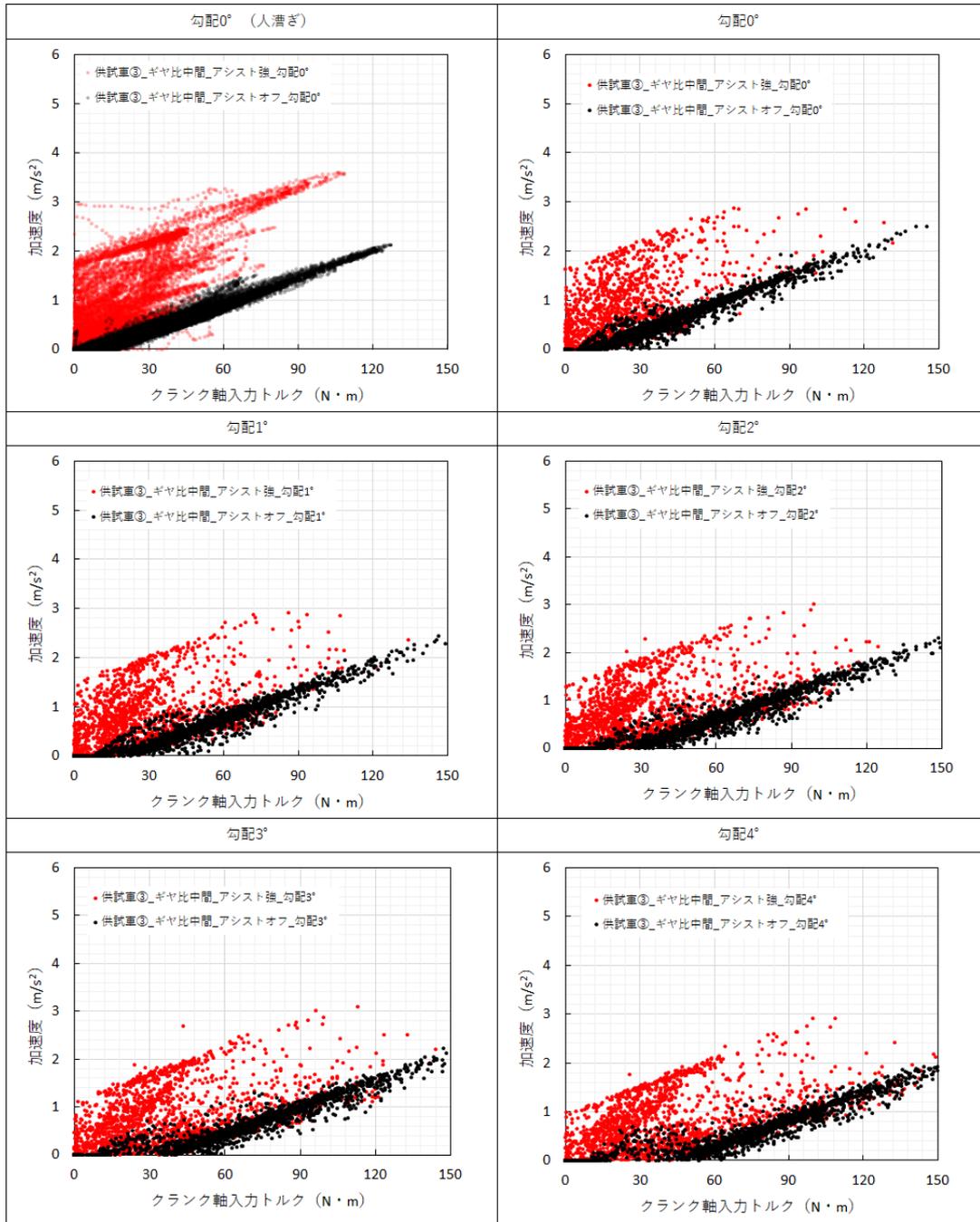


図 16 クランク軸入力トルクと加速度の機械漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車③ ギヤ比中間)

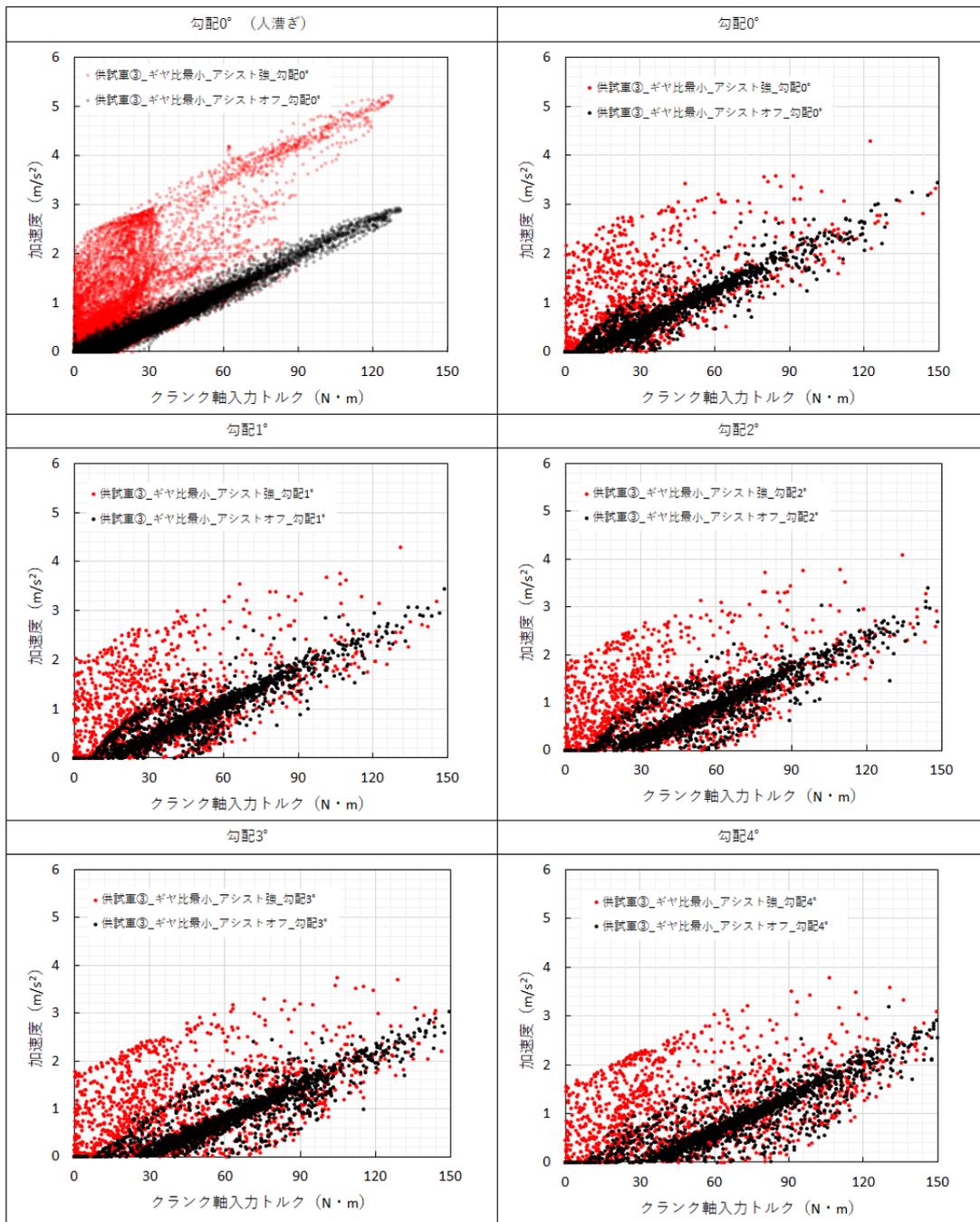


図 17 クランク軸入力トルクと加速度の機械漕ぎ時全測定データプロット  
(供試車③ ギヤ比最小)

以上の結果から、今回調査した日本仕様の電動アシスト自転車 3 銘柄の加速度について、以下の内容が明らかとなった。

- ・ アシスト強のペダル踏み込み時付近、及びアシストオフのどちらの場合においても、ほぼ理論値通りの結果となった。同じクランク軸入力トルクで比較すると、ギヤ比最小の時に加速度が最大となった。
- ・ アシスト強時の加速度については、アシストオフ時の加速度に電動機のトルクによる加速度が加えられる分増加した。電動機のトルクについては道路交通法施行規則の最大アシスト比の制限や電動機の最大トルクにより、加速度の増加分も各銘柄、各走行条件で上限があった。また、上下死点付近においても電動機のトルクによる加速度が生じていた。
- ・ 勾配が大きな場合でも、道路交通法施行規則の最大アシスト比の制限や電動機の最大トルクにより、加速度の増加分も各銘柄、各条件で上限があった。勾配 0°時に、最も小さなクランク軸入力トルクで大きな加速度を生じることができた。

#### 4.2.4 10 km/h に到達するまでの最短所要時間と平均加速度

ここまで、測定により得られるパラメータから解析を行ってきたが、実使用状態で体感する加速度の違いを調べるため、平たん路の人漕ぎ測定におけるアシスト強時とアシストオフ時の加速について、所要時間の点から解析を行った。

変速段が最大・中間・最小の3通り、アシストが強・オフの2通り、計6通りの組み合わせで、平たん路（勾配0°）の走行抵抗において、停止状態から10 km/h に到達するまでの最短所要時間（図 18 参照）を調べ、結果を表 4 にまとめた。時間についてはペダルを漕ぎ出し、走行速度が0.1 km/h 以上に達した時を0秒とした。加えて、最短所要時間から計算した10 km/h に到達するまでの最高平均加速度を表 5 にまとめた。

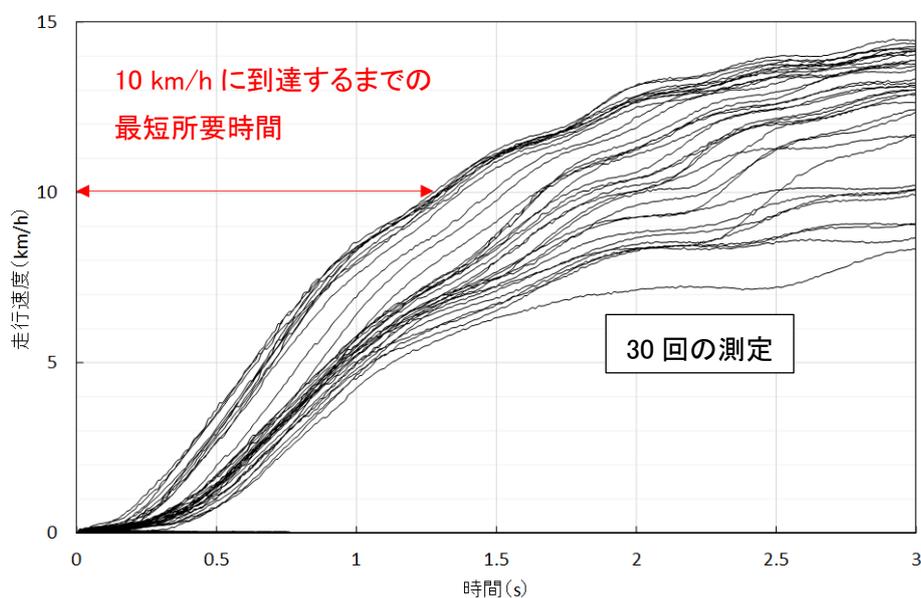


図 18 10 km/h に到達するまでの最短所要時間の例

表 4 10 km/h に到達するまでの最短所要時間（勾配 0°）

ギヤ比	アシスト	供試車①	供試車②	供試車③
		最短所要時間 (秒)	最短所要時間 (秒)	最短所要時間 (秒)
最大	強	2.30	2.60	1.46
	オフ	4.35	3.71	4.48
中間	強	1.29	1.45	1.30
	オフ	2.91	1.96	3.11
最小	強	0.93	0.99	0.96
	オフ	1.51	1.34	2.25

表 5 10 km/h に到達するまでの最高平均加速度（勾配 0°）

ギヤ比	アシスト	供試車①		供試車②		供試車③	
		最高平均 加速度 (m/s <sup>2</sup> )	強/オフ 増加率	最高平均 加速度 (m/s <sup>2</sup> )	強/オフ 増加率	最高平均 加速度 (m/s <sup>2</sup> )	強/オフ 増加率
最大	強	1.21	189 %	1.07	143 %	1.90	307 %
	オフ	0.64		0.75		0.62	
中間	強	2.15	226 %	1.92	135 %	2.14	239 %
	オフ	0.95		1.42		0.89	
最小	強	2.99	162 %	2.81	135 %	2.89	234 %
	オフ	1.84		2.07		1.23	

表 4 及び表 5 より、まず、アシスト強、及びアシストオフのどちらの状態においても、ギヤ比が小さくなるとともに 10 km/h に到達するまでの最短所要時間が短くなり、それから計算される最高平均加速度は大きくなった。

次に、アシスト強とアシストオフの違いについて、アシスト強時の 10 km/h に到達するまでの最短所要時間はアシストオフ時よりも全て短くなり、そこから計算される最高平均加速度は大きくなった。10 km/h に到達するまでの最高平均加速度は最大 307%増加していた。最高平均加速度を 10 km/h までの加速状態で計算しているため、加速度が最大 3 倍程度になるアシスト比による加速度増加が大きく反映されていると考えられる。

最高平均加速度の観点でまとめると、今回測定を行った供試車及び乗員で見られた傾向は、アシストの状態に関わらず、変速段が小さいほど 10 km/h に到達するまでの最高平均加速度が大きくなっていた。また、アシスト強の状態では、10 km/h に到達するまでの最高平均加速度がアシストオフ状態の最大 3 倍程度になっていた。

## 5. 電動アシスト自転車の加速度調査まとめ

今回調査した結果から、電動アシスト自転車の加速度について、以下の内容が明らかとなった。

- ・ 電動アシスト自転車の最高加速度については、現在の日本国内の道路交通法施行規則の最大アシスト比の規制（10 km/h 以下のアシスト比最大 1 : 2）、及び電動機の最大トルクにより決まることが理論値あるいは実測値から判明した。理論値では走行速度 10 km/h 以下で踏み込み時のクランク軸入力トルクが小さいときは、アシストオフ時の加速度の 3 倍以内に、クランク軸入力トルクがある程度大きくなると、電動機の最大トルクで発生可能な加速度に抑えられる。また上下死点では、電動機のトルクが加速度に反映される。
- ・ 電動アシスト自転車の 0 km/h～10 km/h における最高平均加速度については、増加率は異なるものの最高加速度と同じような傾向があり、平たん路走行ではアシスト強時の最高平均加速度はアシストオフ時のおおむね 3 倍以内となっていた。

以上を踏まえ、冒頭で述べた加速度の規定化については、ギヤ比や車輪径など車両の仕様や乗員の脚力によりアシストオフ時でも大きな加速度となる状況があるため、単純に加速度の値で規定することはできない。前述のとおり、10 km/h 未満の速度でアシスト比最大 1 : 2 による規制や電動機の最大トルクで、アシストオフ時からの加速度の増加量もおのずと決まってくることから、

- ・ 日本の道路交通法施行規則に基づくアシスト比の規制
- ・ 電動機の最大トルクによる規定

が有効であると考え。電動機の最大トルクについては、現在日本国内で型式認定を取得している製品で、インターネットなどで公表している数値では 85 N・m が最大であるため、電動機の最大トルクについては 85 N・m 以下であればよいと考えられる。

## 6. 電動キックボードの加速度測定の予備調査

### 6.1 供試車

市販されている電動キックボード3 銘柄を用いた。概要を表 6 に示す。なお、商品テストを目的としていないため、表に示す以外の情報は公表しない。

表 6 電動キックボード 供試車概要

	供試車 A	供試車 B	供試車 C
車体質量 (kg)	7.4	12	5.3
駆動輪と駆動方式	前輪 ハブモータ	後輪 チェーン駆動	後輪 ハブモータ
車輪径(前/後) (インチ)	5.5/5.5	8/8	6/4
取扱説明書に記載の 最高速度 (km/h)	23	18	15
電動機の作動機構	ハンドル部のアクセ ルボタンを押すことで 電動機が作動する	一定速度まで加速し た後に、ハンドル部 のスロットルを回すこ とで電動機が作動す る	一定速度以上で電動 機が自動的に作動す る。アクセルボタンや スロットルはない

## 6.2 測定方法及び測定手順

測定方法及び測定手順を以下にまとめる。

- ① 電動キックボードの電池を満充電状態まで充電する。取扱説明書に従い車両を整備する。
- ② 非駆動輪の転がり抵抗を測定するために、電動キックボード取り付け用のアタッチメント（写真 2）をシャーシダイナモメータに取り付け、非駆動輪がローラ上に載るように電動キックボードを固定する。車両の固定方法については、車両の上下方向に固定による力が負荷されないようハンドルを固定し、車体が前後方向に動かないよう駆動しない車輪を前後方向への移動が抑制される形で固定する。
- ③ 乗員相当の質量を負荷するため、デッキ中央部（キックスクーターの EN 規格である EN 14619:2019 (Roller sports equipment - Kick scooters - Safety requirements and test methods) の Figure 8 に定義されている）におもりを取り付ける。おもりは 65 kg 以上とし、車両質量と乗員質量の合計が 75 kg に満たない場合は、総質量が 75 kg になるようおもりを調整する。
- ④ シャーシダイナモメータのローラを自転させ、非駆動輪の転がり抵抗を測定する（写真 3）。
- ⑤ 車両を一度取り外し、駆動輪がローラ上に載るよう固定し、手順③と同様におもりを取り付ける。
- ⑥ 非駆動輪の転がり抵抗を用い、走行抵抗を設定する。
- ⑦ 通常使用方法にて停止状態から電動機を起動させ、その時の加速状況を測定する。電動機の起動方法は、アクセルボタンがあるものについては、走行速度が上限に達するまでボタンを押し続ける。また、供試車 B 及び供試車 C については電動機を作動させるため走行速度を上げる必要があるため、足でローラを蹴り回転させる。

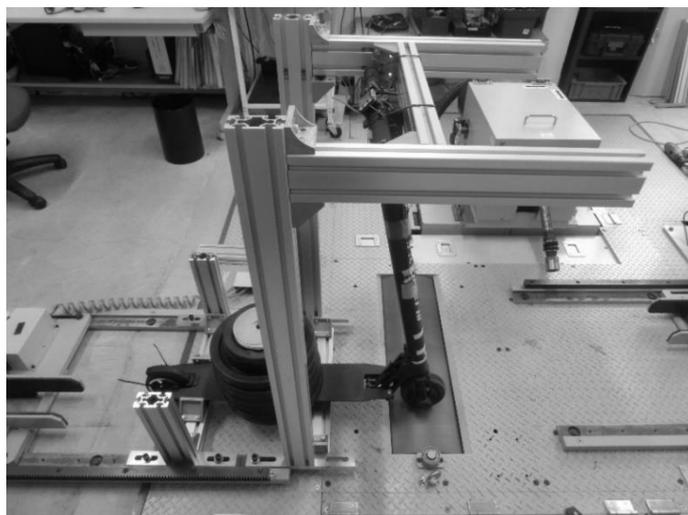


写真 2 電動キックボード用アタッチメント

手順⑥の走行抵抗については、電動アシスト自転車と同じく式(4)に準じ、非駆動輪の転がり抵抗、空気抵抗、及び登坂抵抗の合計とした。空気抵抗については測定を行っていないため、自転車と同じ  $0.027V^2$  とし、登坂抵抗も自転車と同じ  $9.8W\sin\theta$  とした。非駆動輪の転がり抵抗については、手順④で測定した値を用いた。各供試車の非駆動輪の転がり抵抗の測定結果を図 19 に示す。走行抵抗の転がり抵抗  $R$  の設定値として、表 7 に示す 10 km/h の時の値を採用することにした。

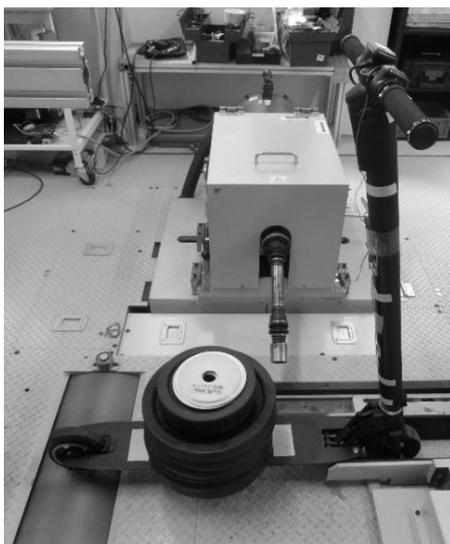


写真 3 転がり抵抗の測定の様子

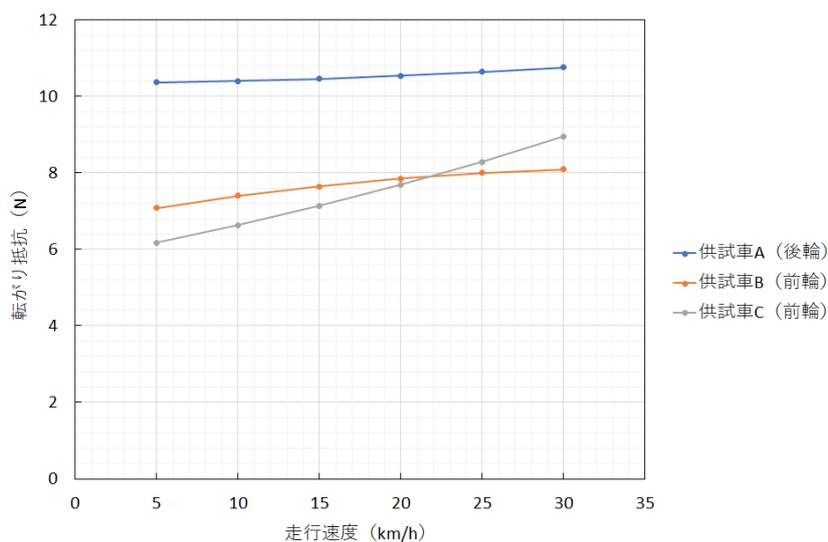


図 19 電動キックボードの非駆動輪の転がり抵抗

表 7 非駆動輪の転がり抵抗の設定値

	供試車 A・後輪	供試車 B・前輪	供試車 C・前輪
非駆動輪の転がり抵抗 (N)	10.4	7.4	6.6

### 6.3 測定結果

供試車により、測定結果の傾向に差があったので、供試車ごとに結果をまとめ考察する。

#### ・供試車 A

図 20 に加速度の波形、図 21 に走行速度の波形を示す。勾配は  $0^\circ$  から  $0.2^\circ$  ずつ増加させ、勾配  $2^\circ$  で発進が不可能となったため、勾配  $1.8^\circ$  までの波形を示す。また、図 22 に各勾配における最高加速度と最高速度をプロットした。

まず図 20、図 22 より、加速度は勾配  $0^\circ$  の時に最高  $1.31 \text{ m/s}^2$  となった。急加速を防ぐために意図した制御なのかは明らかではないが、加速度についてはアクセルボタンを押し続けているにもかかわらず、段階的に電動機が作動したため、加速度も段階的に増加した。また、勾配が大きくなるにつれて、加速度が最高となるまでに要する時間もおおむね大きくなった。

次に、図 21、図 22 より最高速度については、勾配  $0^\circ$  の時に最高  $19.2 \text{ km/h}$  となった。取扱説明書記載の最高速度は  $23 \text{ km/h}$  であったが、この数値は駆動輪に負荷のない状態での測定値あるいは電動機の性能から算出したものと思われる。

最後に、 $10 \text{ km/h}$  に到達する最短所要時間は勾配  $0^\circ$  の時に最短  $3.2$  秒であり、そこから計算した最高平均加速度は  $0.87 \text{ m/s}^2$  であった。

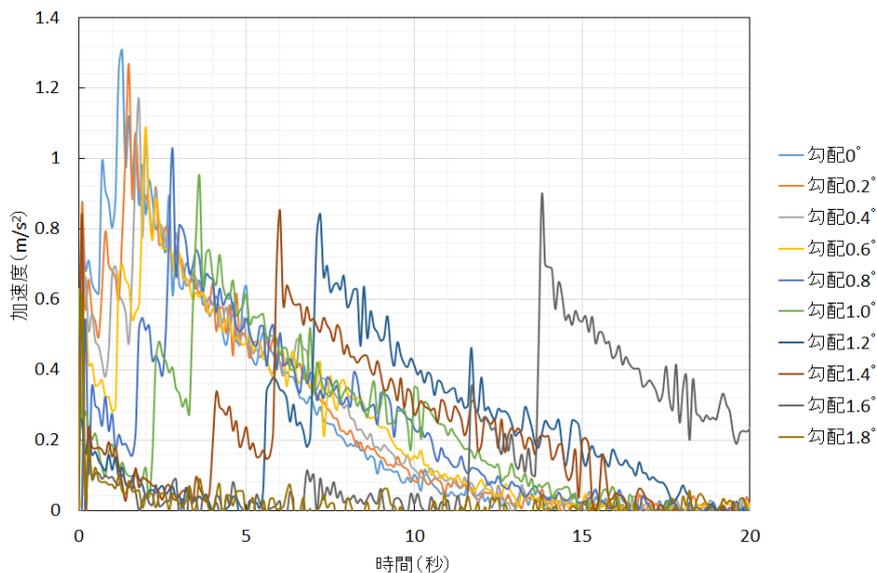


図 20 供試車 A 各勾配での加速度波形

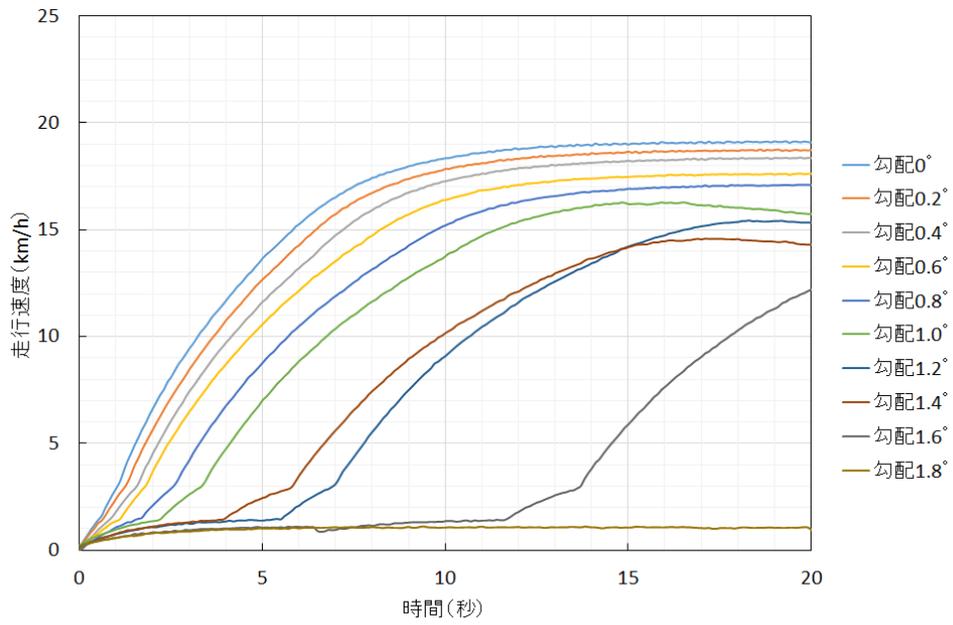


図 21 供試車 A 各勾配での走行速度波形

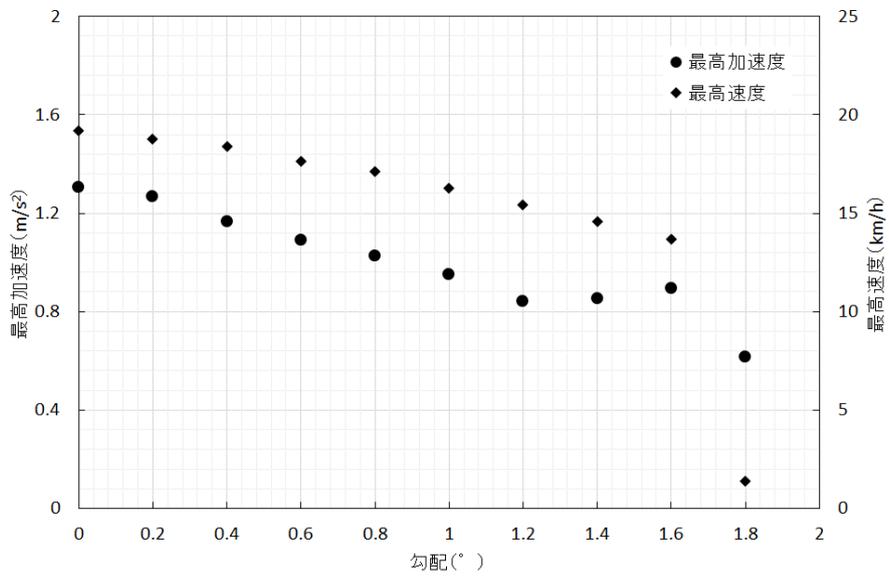


図 22 供試車 A 走行抵抗と加速度の関係

## ・ 供試車 B

供試車 B については、ある程度の速度（約 5 km/h）で走行しないと電動機が作動しない仕様であるため、シャーシダイナモメータのローラを実際の使用時のように足で蹴り、電動機が作動するまで加速した。電動機が作動するのは人が足でローラを蹴り加速している最中であつたため、人が足で蹴って駆動している際の加速度と電動機のみで駆動している時の加速度を分けて考えた（図 23）。なお、勾配が 0.2°以上では、電動機が作動する走行速度までローラを蹴って加速することが不可能であつた。

本供試車については勾配 0° での測定を 10 回行い、人の蹴り具合の差により電動機作動時の差があるかも調べた。測定結果を表 8 に、10 回の測定の走行速度の波形を図 24 に示す。

表 8 より加速度については人が足でローラを蹴るときの最高加速度が 2.02 m/s<sup>2</sup>、電動機のみで生じる最高加速度は 0.87 m/s<sup>2</sup>であつた。平均加速度については 5 km/h から 10 km/h までの間の所要時間から算出し、最高で 0.77 m/s<sup>2</sup>であつた。また、図 24 より電動機が作動する速度まで達する時間に差はあるが、電動機作動は全て約 5 km/h であり、電動機作動後はほぼ同じ波形となつた。

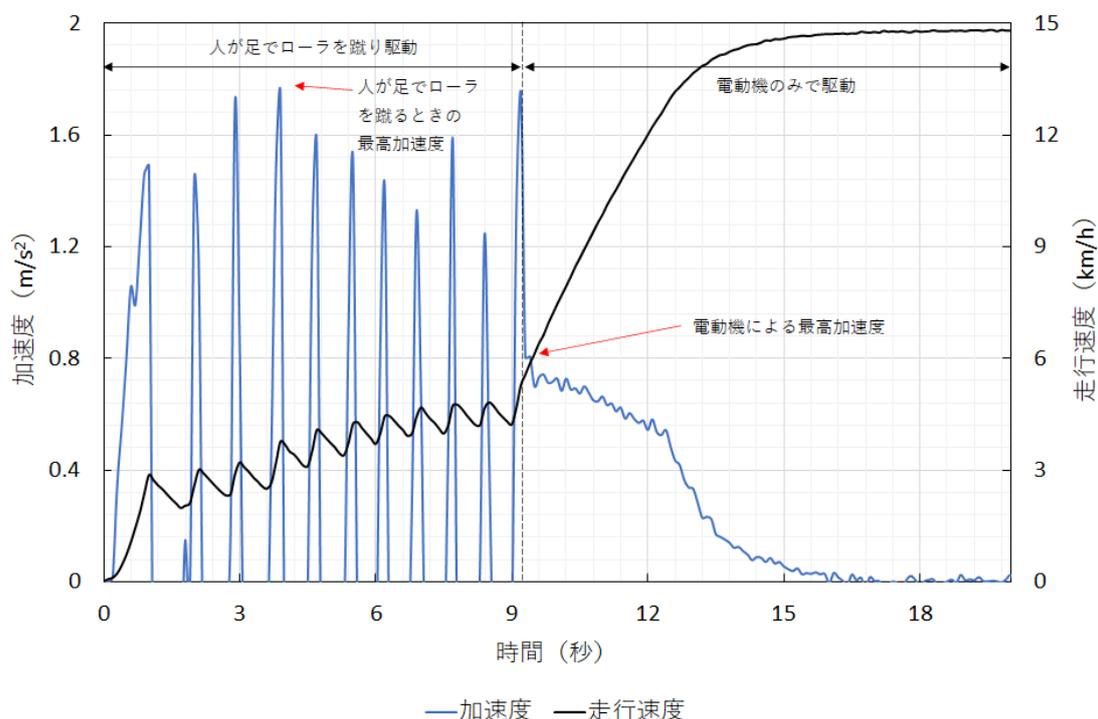


図 23 供試車 B 加速度と走行速度の波形

表 8 供試車 B 勾配 0° での 10 回の測定の測定結果

	最高速度 (km/h)	最高加速度 (足蹴りのみ) (m/s <sup>2</sup> )	最高加速度 (電動機のみ) (m/s <sup>2</sup> )	5~10km/h の 所要時間 (秒)	5~10km/h の 平均加速度 (m/s <sup>2</sup> )
1 回目	14.8	1.75	0.81	1.9	0.73
2 回目	14.9	1.83	0.84	1.8	0.77
3 回目	14.9	1.85	0.81	1.9	0.73
4 回目	14.9	1.73	0.84	1.8	0.77
5 回目	14.9	1.84	0.82	1.9	0.73
6 回目	14.9	1.81	0.80	1.9	0.73
7 回目	15.0	1.67	0.83	1.9	0.73
8 回目	15.0	1.56	0.87	1.8	0.77
9 回目	15.0	2.02	0.84	1.8	0.77
10 回目	15.0	1.60	0.84	1.8	0.77
平均	14.9	1.76	0.83	1.85	0.75
最大	15.0	2.02	0.87	1.9	0.73
最小	14.8	1.56	0.80	1.8	0.77

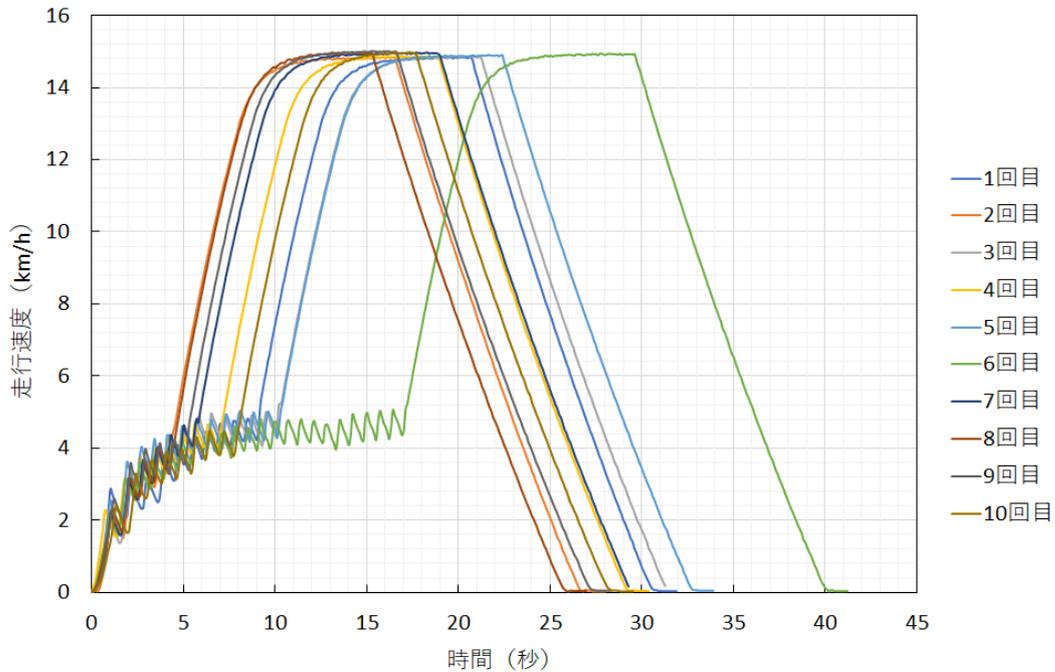


図 24 供試車 B 勾配 0° での 10 回の測定の走行速度の波形

### ・ 供試車 C

供試車 C について、シャーシダイナモメータ上で、勾配  $0^\circ$  に設定し走行した際の加速度及び走行速度の波形を図 25 に示す。本車両については供試車 B と同様、一定の走行速度以上で電動機が作動する仕様であるため、供試車 B と同様にローラを足で蹴ることで加速した。

図 25 より、足蹴りにて約  $9 \text{ km/h}$  まで走行速度を上げたが、結局電動機は作動しなかった。実際の路面においても、乗員が勢いをつけてそれなりに速度を上げないと電動機が作動しなかったが、ローラ上での足蹴りでは勢いをつけることができず、実際の路面ほど走行速度を上げることができなかった。また本車両については電動機の出力は非常に小さく、加速というよりも速度が低下しづらい、という乗車感覚であった。供試車 C のような車両の測定については別途方法を検討する必要があるだろう。

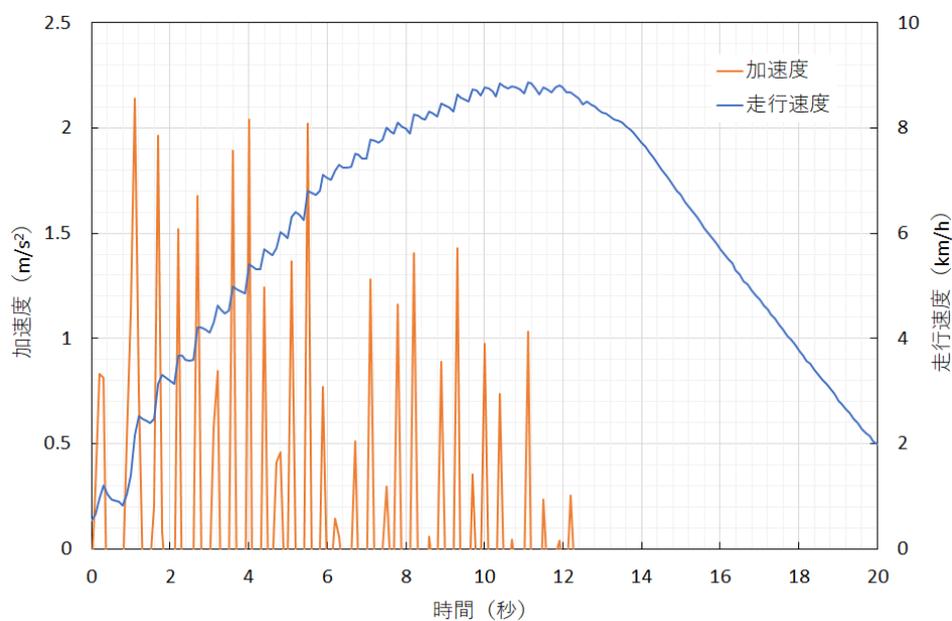


図 25 供試車 C 加速度と走行速度の波形

#### 6.4 電動アシスト自転車と電動キックボードの比較と今後の課題

今回測定を行った電動アシスト自転車の供試車①～供試車③と電動キックボードの供試車 A～供試車 C について、最高加速度と最短所要時間から計算した 10 km/h に到達するまでの最高平均加速度、及び電動機のみで駆動している際の最高速度を表 9 にまとめた。電動アシスト自転車については、今回測定を行った乗員による人漕ぎ時のデータとした。

表 9 電動アシスト自転車と電動キックボードの比較

	供試車① 人漕ぎ	供試車② 人漕ぎ	供試車③ 人漕ぎ	供試車 A 電動機のみ	供試車 B 電動機のみ	供試車 C 電動機のみ
最高 加速度 (m/s <sup>2</sup> )	(アシスト強) 1.72～4.64 (アシストオフ) 1.12～3.14	(アシスト強) 1.52～4.60 (アシストオフ) 1.08～3.87	(アシスト強) 2.91～5.22 (アシストオフ) 1.52～2.94	1.31	0.87 ※1	測定不可能
最高 平均 加速度 (m/s <sup>2</sup> )	(アシスト強) 1.21～2.99 (アシストオフ) 0.64～1.84	(アシスト強) 1.07～2.81 (アシストオフ) 0.75～2.07	(アシスト強) 1.90～2.89 (アシストオフ) 0.62～1.23	0.87	0.77 ※2	測定不可能
最高 速度 (km/h)	—	—	—	19.2	15.0	測定不可能

※1 供試車 B の最高加速度は走行速度 5 km/h 以上で電動機が作動した後の、電動機出力のみで生じる加速度とした

※2 供試車 B の最高平均加速度は走行速度 5 km/h 以上で電動機が作動した後の、走行速度 5 km/h～10 km/h の間の最短所要時間より算出した

今回測定した供試車において、電動キックボードの最高加速度及び最高平均加速度は、電動アシスト自転車よりも小さな値となっていた。一方で、電動アシスト自転車は乗員が動力となり、その動力をアシストする形で電動機が作動する乗り物であるため、加速状態については人間が感覚的にコントロールすることが可能であるが、アクセルボタンを押すだけで電動機が作動する電動キックボードについては、乗員がデッキ上に直立した状態で手元の操作のみで加速するため、自転車とは感覚が異なる。また、電動アシスト自転車では乗員がサドルに座りハンドルを握る姿勢で使用するが、電動キックボードでは乗員がデッキ上に直立しハンドルを握る姿勢となる。この違いが乗員の感覚にどのような影響を及ぼすのかは、単に加速度の数値だけでは比較できないと思われるため、加速度の数値だけでなく他の観点で今後さらなる調査が必要であると考えられる。

また、今回は PeTs のうち電動キックボードの加速度の予備調査を行ったが、電動キックボードについては制動性能や車体の強度などが、その他の PeTs については知見がない状態である。これまでに当所が培った自転車に関する試験技術を活かし、今後も他の乗り物の測定検証を行いたい。

## 参考文献

- 1) 一般財団法人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」 平成 28 年 4 月
- 2) 一般財団法人自転車産業振興協会：「日本仕様ではない電動アシスト自転車のウォークアシスタンスモードの測定方法の検証 及び PeTs (Personal e-Transporters) の最高速度測定への応用検証」 2020 年 7 月
- 3) 一般財団法人自転車産業振興協会：「電動アシスト自転車の寿命計算」 2018 年 1 月
- 4) 一般財団法人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」 平成 29 年 3 月