

平成 28 年度自転車等研究開発普及事業
事業実施報告書②

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
アシスト制御が終止するまで)

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. 本研究実施の背景と目的.....	2
2. 平成 27 年度までの取り組み状況.....	3
3. 供試品、使用機材及び測定方法.....	3
3.1 供試品	3
3.2 シャーシダイナモメータ	4
3.3 測定方法	5
4. 測定結果	9
4.1 カットオフ速度	9
4.2 カットオフ時間	9
4.3 カットオフ距離	12
4.4 カットオフブレーキレバーを使用したとき	13
5. まとめと今後の課題.....	15

1. 本研究実施の背景と目的

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応答性評価（ペダリングを止めてからアシスト制御が終了するまで）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。また、平成27年度までに購入した供試品を平成28年度も使用しているが、今回の報告書で新たに番号付けしている。

2. 平成 27 年度までの取り組み状況

シャーシダイナモメータを用いた応答性評価方法検討の一環として、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（以下、カットオフ距離と呼ぶ）測定及びアシスト制御が始動するときクランクに入力されたトルク（以下、クランク入力トルクと呼ぶ）測定を予備的に実施した。平成 27 年度の事業実施報告書の結果として、いずれの測定においても「応答性に関して製品を特徴づける指標として用いることができそうだ」とまとめるに留めたが、平成 28 年度についてはカットオフ距離測定の内容をさらに掘り下げ、引き続き調査を行うこととした。具体的な調査内容や方法については 3 章にて述べる。

3. 供試品、使用機材及び測定方法

3.1 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。このうち 14C、15B、16C、16D の 4 銘柄については、アシスト制御を終止させるカットオフスイッチ搭載のブレーキレバー（以下、カットオフブレーキレバーと呼ぶ）を備えている。なお、前述のとおり、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

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	カットオフブレーキレバー
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	○	あり
	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	○	あり
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	○	あり
	16D	20/20	後車軸合力発生型 (ハブモータ後輪駆動方式)	小		あり

※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

3.2 シャーシダイナモメータ

本調査には、平成 26 年度当所に導入した(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 1 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、ローラ上に前後輪両方載せ、全駆動出力を測定する必要があり、2 台同じ電動アシスト自転車を使用するか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担当加重相当の下方力 (20 kg~25 kg 程度) を付加し、測定した。

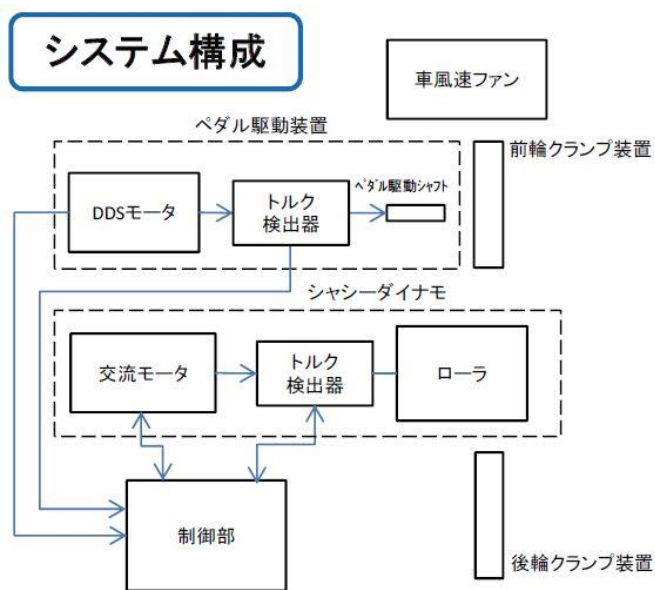


図 1 シャーシダイナモメータ 構成図

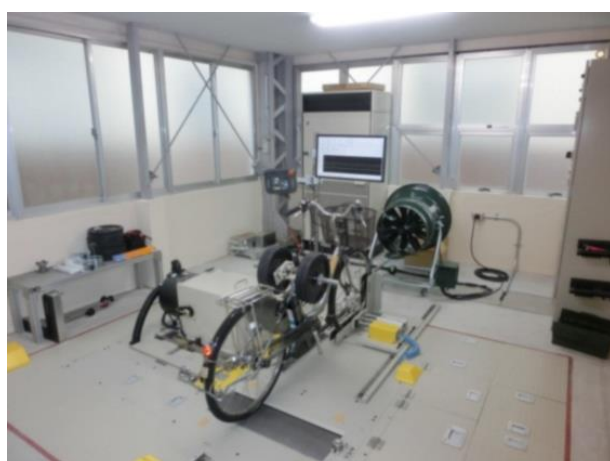


写真 1 シャーシダイナモメータとアタッチメント取付例

3.3 測定方法

現在、日本国内ではカットオフ距離について、定量的な規格・基準はなく、応答性に関する項目としては、国家公安委員会による駆動補助機付自転車の型式認定の判定基準において官能検査があるのみである。

一方、日本以外の規格では、欧州規格の EN 15194 (EPAC Bicycles) において、「Power management」の項目があり、乗員が進行方向へのペダリングを止めてからアシスト制御は終止しなければならず、アシスト制御が作動する最高速度（以下、カットオフ速度と呼ぶ）の 90% で走行した時のカットオフ距離は 2 m（カットオフスイッチのあるものについては、5 m）を越えてはいけない、というように、カットオフ距離について基準が設けられている。ただし、欧州など日本以外の国では駆動補助比率（アシスト比）の概念がないため、このような基準が設けられているという側面もある。

今回実施した測定は、EN 15194 の測定方法を参考にした。当所では測定に適した走行路を持ち合わせておらず、実走行中でのクランク入力トルクや電流値の測定も難しいことから、シャーシダイナモメータを活用し、ペダル駆動装置を用いたペダリングによるカットオフ距離の測定を行った。ペダル駆動装置の制御方法については人漕ぎに近いと思われる条件を独自に設定した。以下、表 2 に測定手順・条件についてまとめた。なお、クランク回転出力及び駆動出力については、JIS D 9115 附属書 B で規定されている、以下の計算式を用いて計算した。

クランク回転出力： $P1=0.105 \times N \times T$

$P1$ ： クランク回転出力 (W)

N ： 入力回転速度 (min^{-1})

T ： 入力トルク (N·m)

駆動出力： $P2=0.278 \times V \times F + Pc1$

$P2$ ： 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)

表 2 測定手順

手順	項目	内容
1	シャーシダイナモメータに自転車を取り付け、暖機運転	自転車については、変速段が最高段、走行モードは駆動補助出力が最も大きくなるモードに設定し測定を行った。乗員の代わりに 65 kg のおもりをサドル部分に取り付けた。電池は満充電状態とした。シャーシダイナモメータの暖機運転は 15 km/h で 30 分以上行った。
2	走行抵抗、等価慣性質量の設定	<p>シャーシダイナモメータの走行抵抗 $F_r(N)$ は JIS D 9115 附属書 D 及び(一社)自転車協会の電動アシスト自転車安全基準で用いられている</p> $F_r = R + 0.027V^2 + 9.8W\sin\theta$ <p> 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。 </p> <p>に設定し、勾配 $\theta = 0^\circ$ の条件で測定を実施した。等価慣性質量 W は自転車の重量 + 65 kg 相当に設定した。</p>
3	ペダリング条件の設定	ペダリングについては、ペダル駆動装置を用いて測定を行った。制御の条件は $P = 0.5$ 、 $I = 0.14$ で、回転速度変動率を 20 % に設定した。この条件であれば、トルク異常などで電動アシスト自転車側の安全装置が作動することはなかった。この制御条件における、カットオフ速度の 90 % の速度で走行時のクランク回転出力及び駆動出力の時間変化の様子を図 2-1～図 2-2 に示す。銘柄ごとにアシスト比や制御などに違いがあるため、クランク回転出力側の入力波形に対する駆動出力の波形には差が見られた。
4	カットオフ速度の測定	手順 3 のペダリング条件を用いて、ペダル駆動装置 ASR 自動制御にて 0.1 km/h/s の速さで 24 km/h まで速度を上げ、電流値が下がる時の速度を確認した。
5	カットオフ距離を走行する時間(以下、カットオフ時間と呼ぶ)の測定	カットオフ時間については図 3 に示すように、クランク入力トルクを急減させて 0 になってから、電池の電流値が 0 近傍に急減するまでの時間とした。測定周波数は 10 Hz である。同じ測定を 10 回繰り返し、平均値を求めた。
6	カットオフ距離の計算	カットオフ距離については、まずカットオフ時間を測定し、その時間とペダリングを止める直前の走行速度の積とした。厳密には、走行速度はペダリングを止めると下がり始めるが、短時間では大きく下がらないため、今回は考慮に入れなかった。

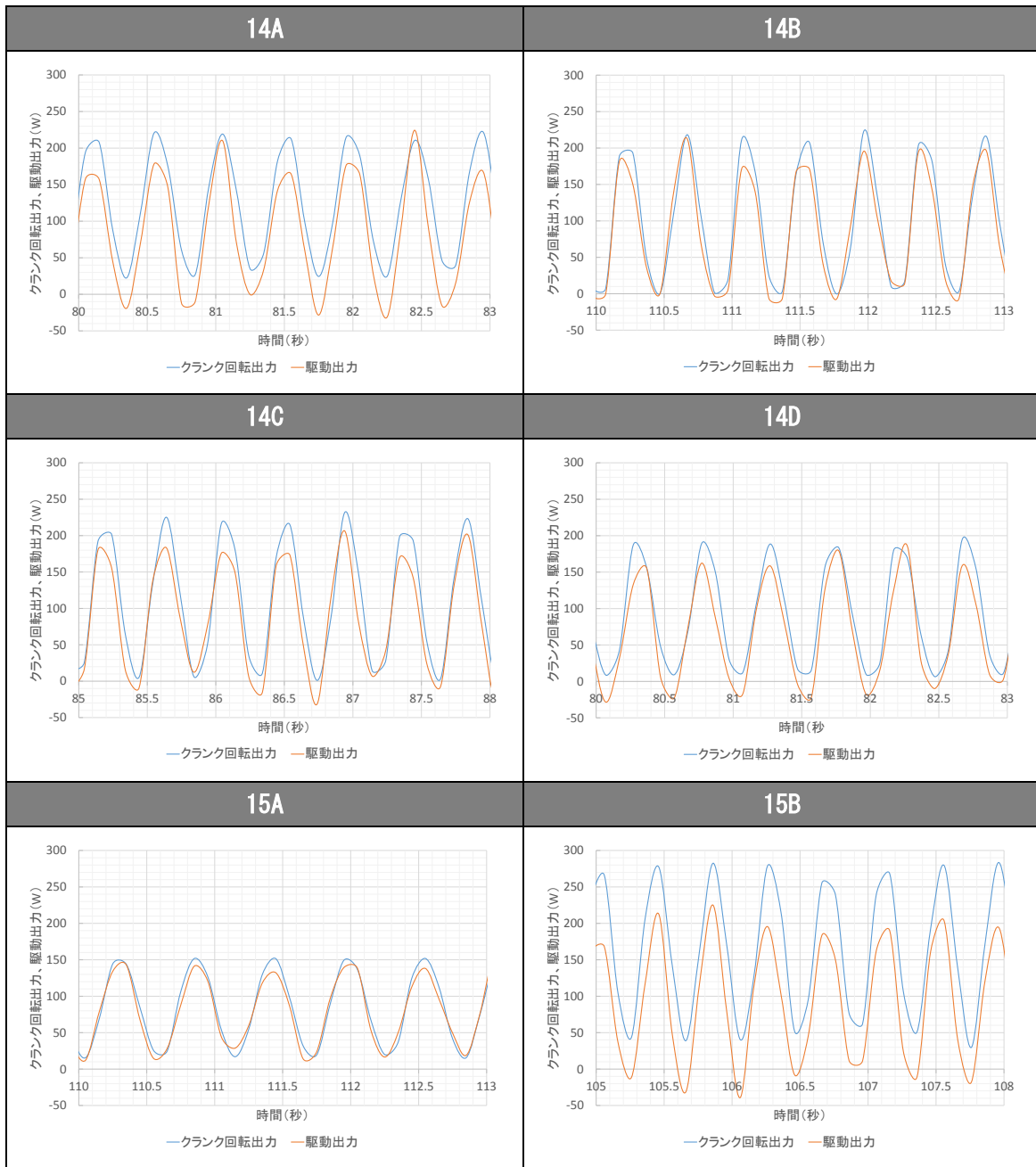


図 2-1 カットオフ速度の 90 %の速度におけるペダル駆動装置を用いたクランク回転出力と駆動出力 (14A~15B)

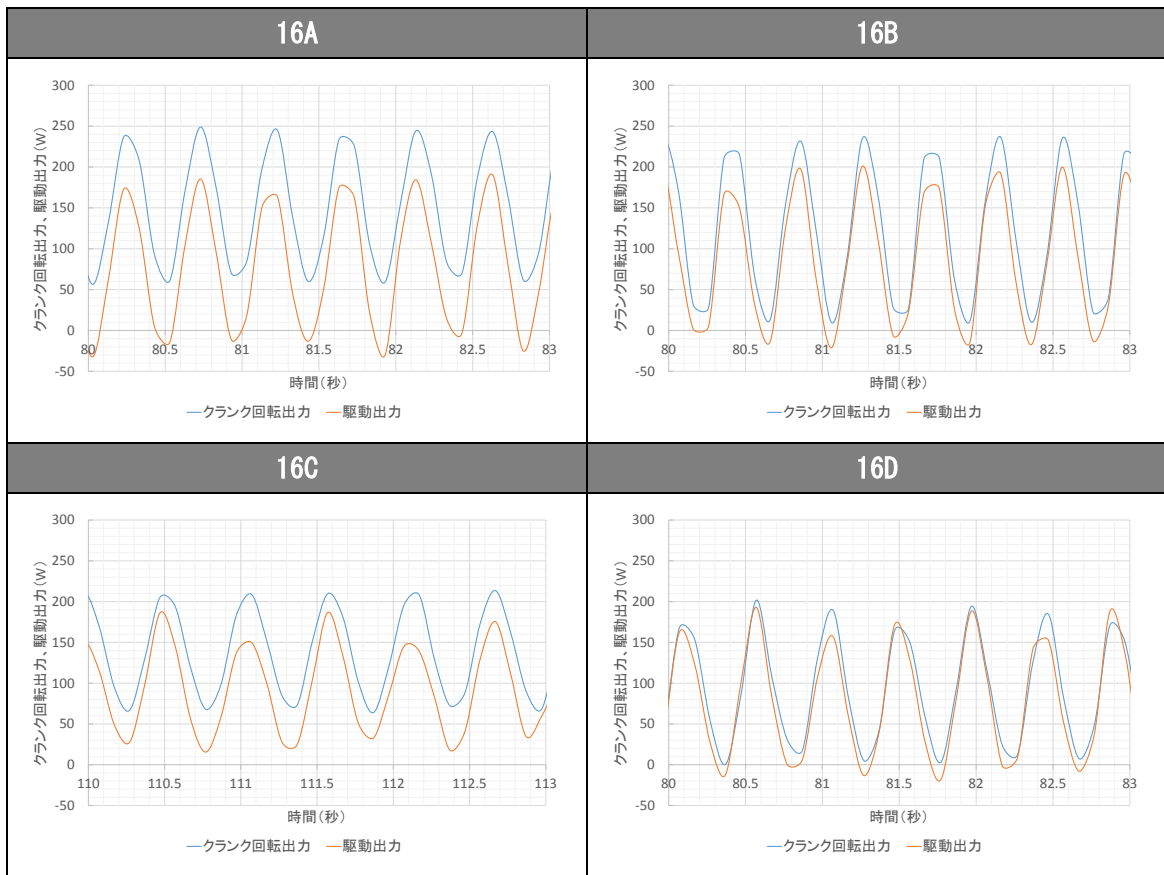


図 2-2 カットオフ速度の 90 %の速度におけるペダル駆動装置を用いたクランク回転出力と駆動出力 (16A~16D)

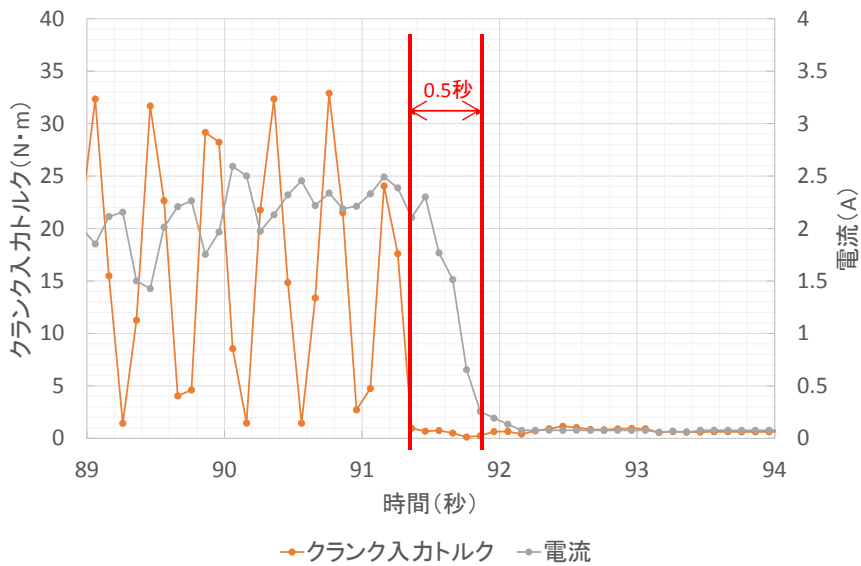


図 3 カットオフ時間の測定例

4. 測定結果

4.1 カットオフ速度

カットオフ速度の測定結果を図 4 に示す。カットオフ速度は銘柄により異なるが、おおむね 22 km/h～24 km/h の間に設定されていた。道路交通法では 24 km/h 以上の速度で自転車を走行させることとなる場合において、原動機を用いて人の力を補う力が加わらないことが求められているが、今回測定を行った銘柄ではすべて満足していた。

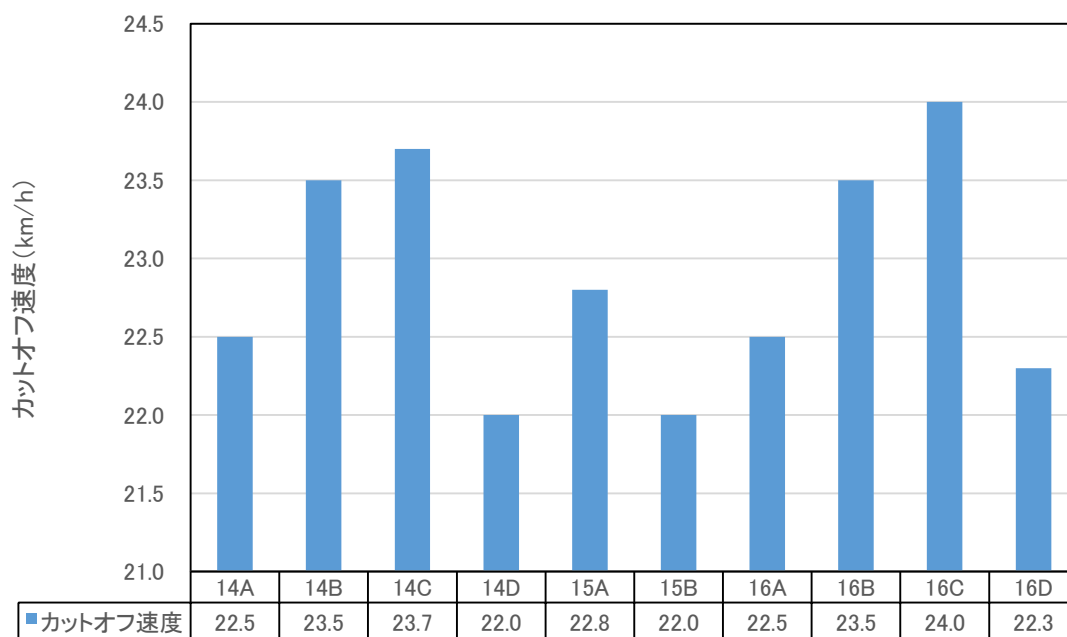


図 4 カットオフ速度

4.2 カットオフ時間

カットオフ時間について、図 5 に測定結果をまとめた。測定結果は 10 回測定を行った平均値である。

図 5 より、走行速度が 10 km/h、15 km/h、及びカットオフ速度の 90 %のいずれの速度においても、ペダリングを止めてから概ね 1 秒以内にアシスト制御が終止していたが、16D については、カットオフ速度の 90 %の場合は 2 秒ほど時間を要してアシスト制御が終止した。

次に、カットオフ時間の測定ばらつきについてであるが、図 6 に各速度における標準偏差 σ を示す。カットオフ速度の 90 %では σ は 0.03～0.09 であり、10 km/h や 15 km/h ではそれ以上に σ が大きくなる銘柄もあった。この要因として、今回の測定ではクランク入力トルクを 0 にする際のクランク角を設定することができないことが影響している。上死点・下死点付近でクランク入力トルクを急減させた場合 (図 7) と、ペダルを踏み込んでいるような状況でクランク入力トルクを急減させた場合 (図 8) では、アシスト制御の反応が

変わる銘柄があり、特に走行速度が小さな場合は、カットオフ時間に対しての影響が大きくなりがちであるため、 σ が大きくなったと考えられる。

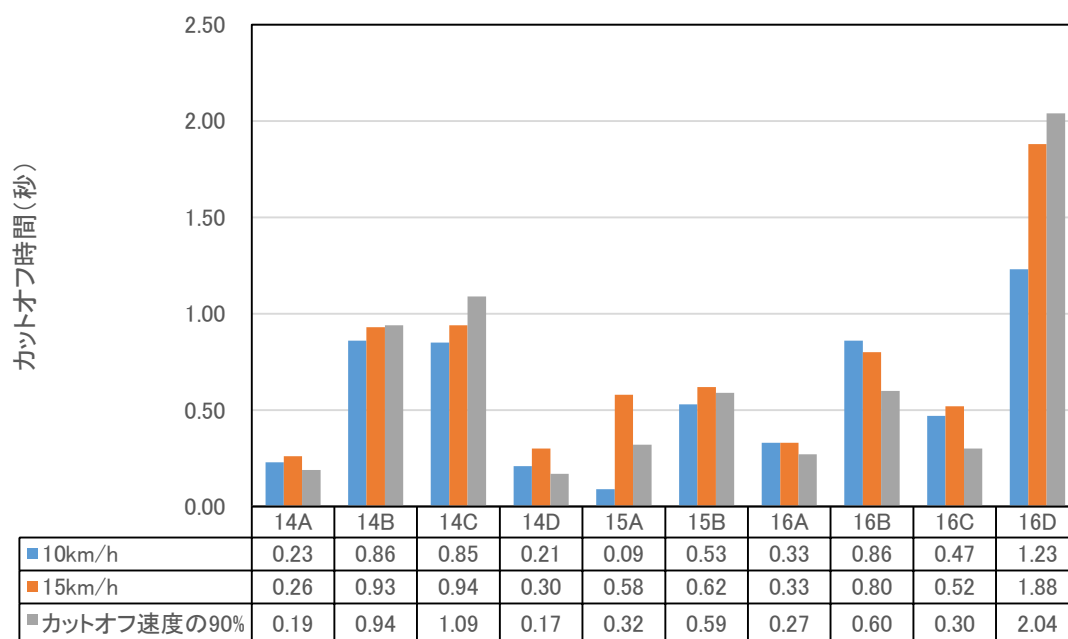


図 5 測定結果 (カットオフ時間)

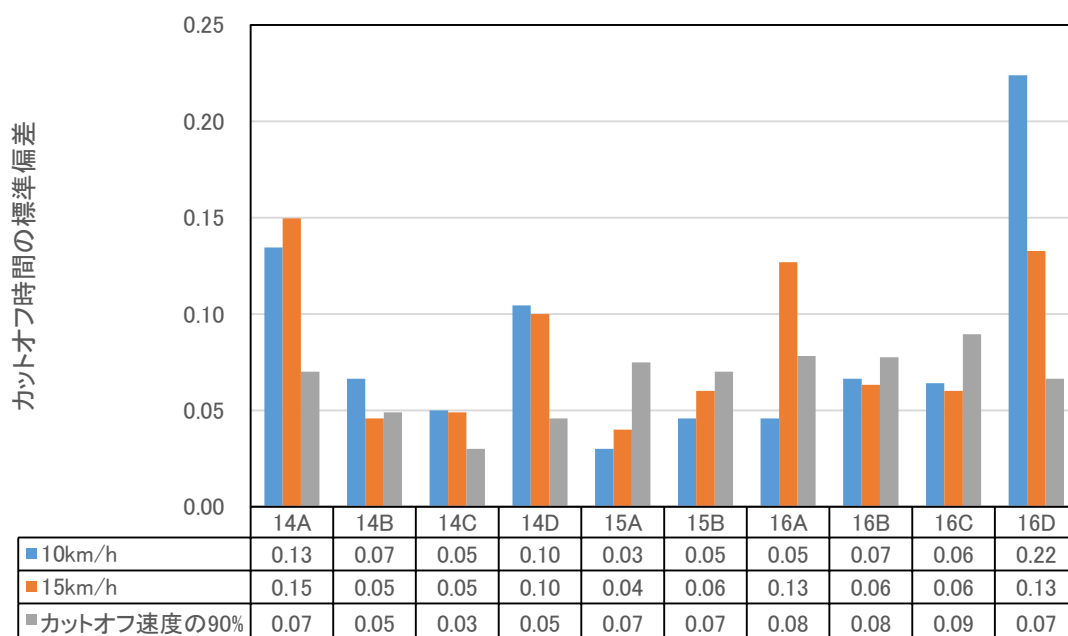


図 6 標準偏差 (カットオフ時間)

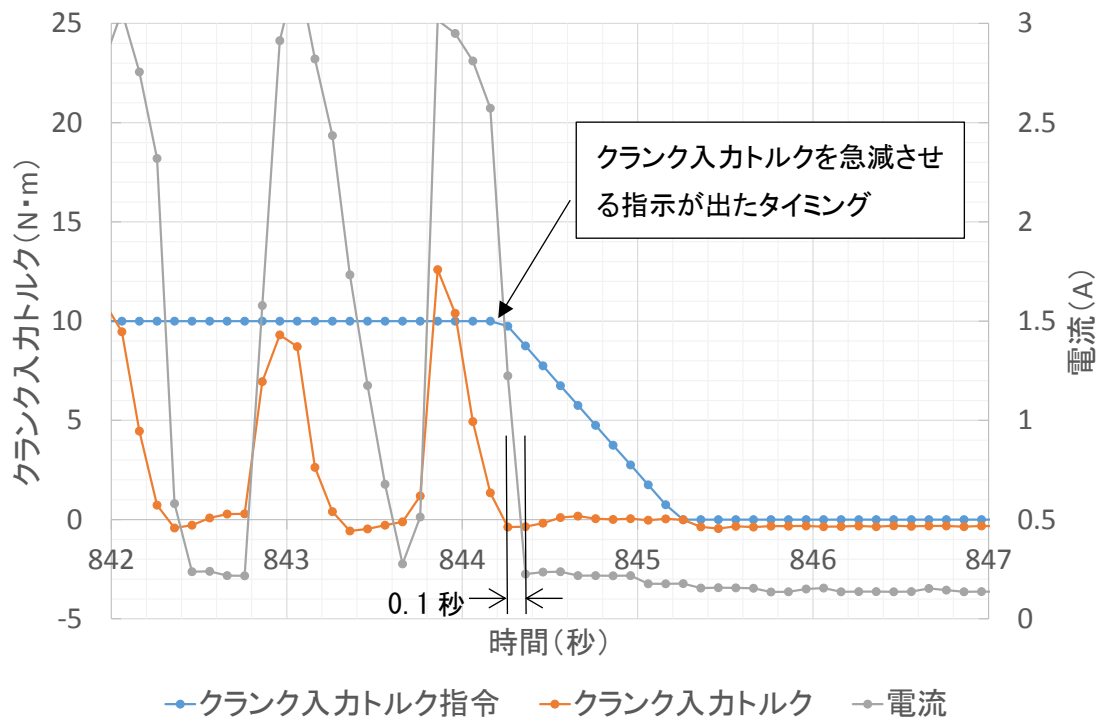


図 7 上死点・下死点付近でクランク入力トルクが急減する場合の例

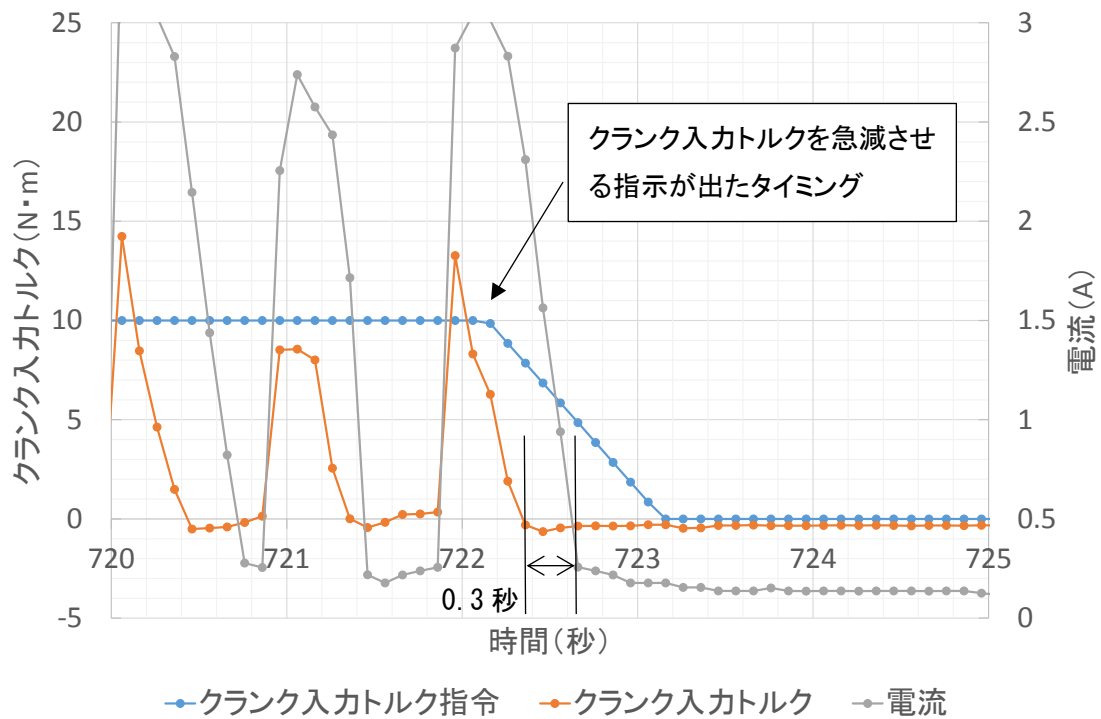


図 8 踏込時にクランク入力トルクが急減する場合の例

4.3 カットオフ距離

次に、カットオフ距離の計算結果を図 9 にまとめた。測定結果は 10 回測定を行った平均値である。なお、図中赤枠で示した銘柄はカットオフブレーキレバーを備えた銘柄である。結果から見られた傾向として、主に以下の 3 点が挙げられる。

- ・カットオフブレーキレバーがない銘柄については、多くの銘柄で 2 m 以下であったが、一部 2 m を超える銘柄もあった。
- ・走行速度とカットオフ距離はおおむね比例関係があった。
- ・16D については他の銘柄と比較し、カットオフ距離が大きく、カットオフ速度の 90 % で走行した場合、約 11 m 走行した後にアシスト制御が終止した。

今回の銘柄については全て型式認定を取得しているため、EN 規格を満たさなくても日本国内においては法律的に問題がある製品ではない。一方で、例えば 16D では 10 km/h で走行し、ペダリングを止めても 3 m 以上アシスト制御が作動する状態である。これが自走状態で危険なのかを判断するのは非常に難しいが、同じ走行速度 10 km/h において最小 0.25 m でアシスト制御が終止するものもあることから、少なくともほかの銘柄と乗車感などに違いがあると思われる。

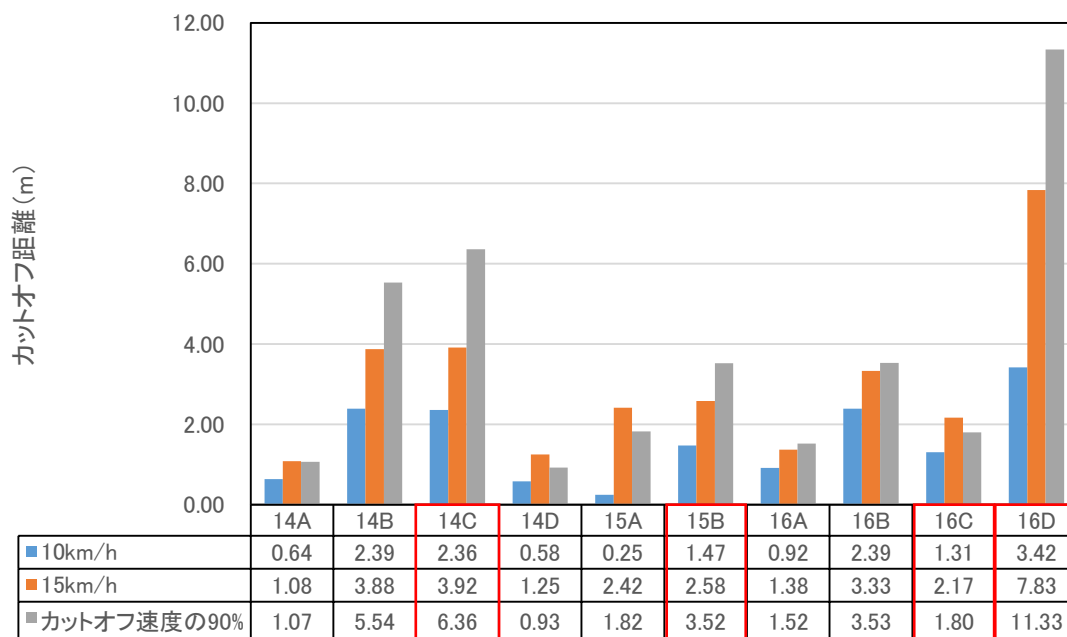


図 9 測定結果 (カットオフ距離)

4.4 カットオフブレーキレバーを使用したとき

カットオフブレーキレバーを備えている 14C、15B、16C 及び 16D について、クランク入力トルクが急減するタイミングで、カットオフブレーキレバーを使用した場合のカットオフ時間及びカットオフ距離を図 10 及び図 11 にまとめた。

カットオフブレーキレバーについては、ブレーキを引くと動作するような機構であり、今回の測定においても、人間がクランク入力トルクの急減するタイミングでブレーキ動作をすることから、ペダリングを止めてからの人間の反応速度が大きく影響する。今回の測定においても、カットオフ時間がほぼ 0.5 秒以下であった。人間の反応速度については様々な研究がなされており、自転車においてはブレーキングの判断時間と動作時間の和が約 0.6 秒程度という報告もある³⁾。この 0.5 秒という数値については、人間のブレーキングに対する判断時間と動作時間の和と考えてよいだろう。

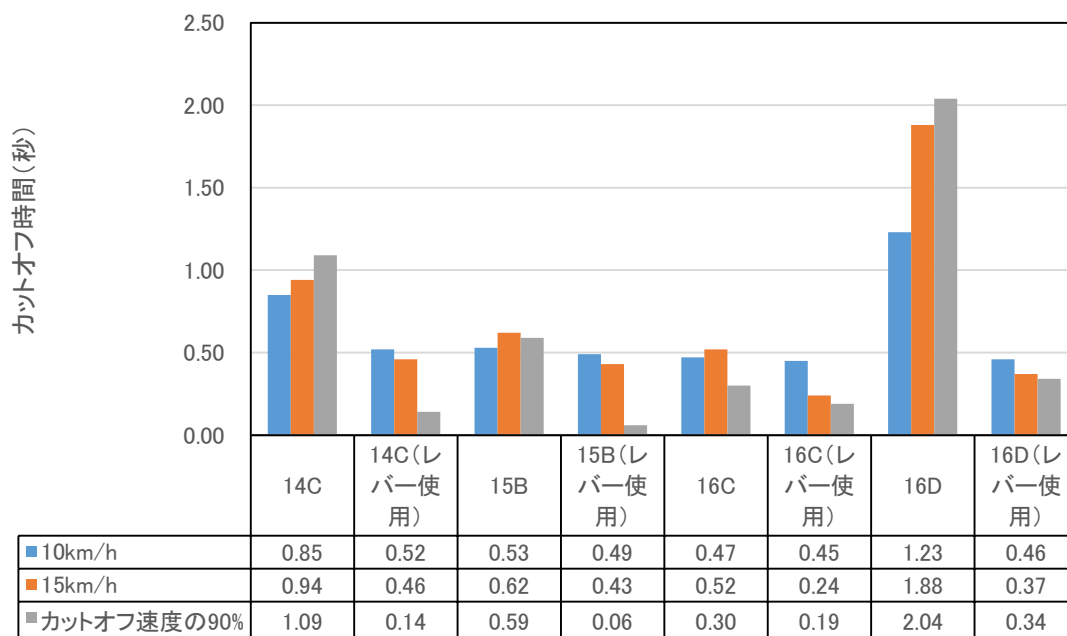


図 10 カットオフブレーキレバーを使用した場合のカットオフ時間

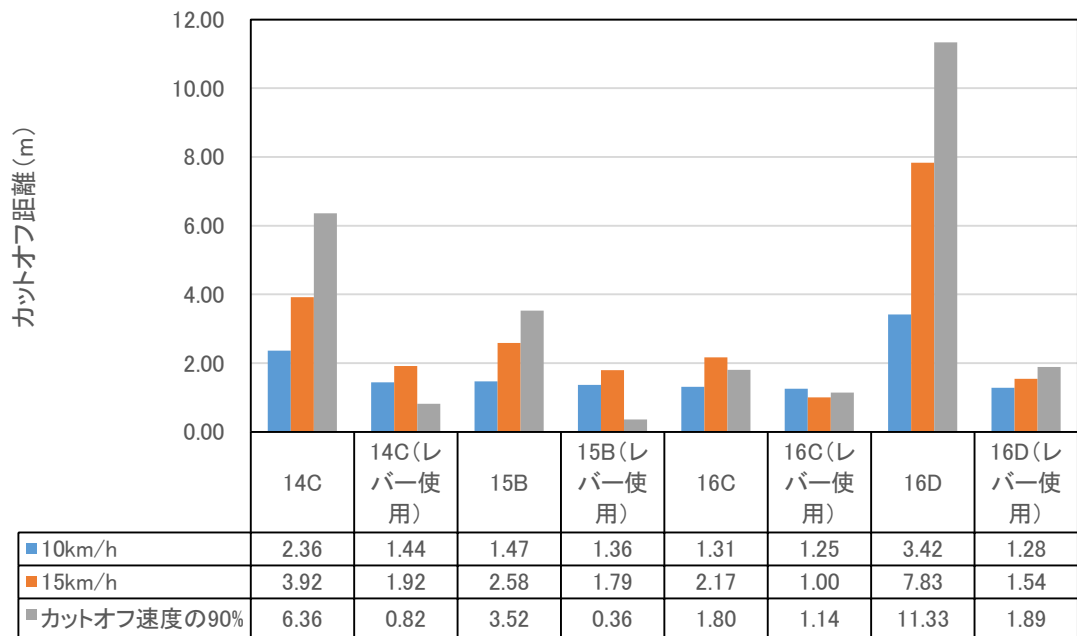


図 11 カットオフブレーキレバーを使用した場合のカットオフ距離

5. まとめと今後の課題

応答性の評価について、カットオフ距離に着目して測定を実施した。結論としては平成27年度の報告と同様に、銘柄ごとに差が見られ、応答性に関して製品を特徴づける指標の一つとして用いることが可能だとわかった。一方で、銘柄によってカットオフ距離が大幅に異なる場合もあった。カットオフ距離などアシスト制御の応答性に関しては、取扱説明書やカタログには記載されない事項であり、実際に使用しないと実感できないため、電動アシスト自転車を購入する際には、自転車の特性を把握するための試乗機会が必要であり、購入後も電動アシスト自転車の制御に慣れるため、ある程度習熟運転を行うのが良いだろう。

応答性評価に関する今後の課題は、急発進や自走など、ユーザーにとって危険となり得る走行状態の定量的な評価方法の確立が挙げられる。近年、一部製造販売業者の電動アシスト自転車において、欧州仕様の製品が混入するなどの理由で、道路交通法施行規則に適合しない製品が国内で流通している事象も生じており⁴⁾、今後、製品事故が発生した場合などに、市場で販売されている電動アシスト自転車の応答性に関しても、第三者による評価が求められる可能性がある。現時点で応答性評価について、定量的な評価方法の確立は難しいが、今後も継続して検証を行っていきたい。

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
- 3) 『自転車実用便覧第4版』、(財)自転車産業振興協会 1982年
- 4) 警察庁広報資料，“道路交通法の基準に適合しない「電動アシスト自転車」と称する製品について”，
https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/bicycle/pdf/281027motor_assisted_bicycle.pdf, 2016年10月