

平成 28 年度自転車等研究開発普及事業
事業実施報告書③

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

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. 供試品、使用機材及び測定方法.....	3
3.1 供試品	3
3.2 使用機材	3
3.2.1 シャーシダイナモメータ	3
3.2.2 散水ノズル装置.....	4
3.3 測定手順	5
4. 測定結果	8
4.1 BAA 標準パターンにおける測定	8
4.2 オリジナルパターンにおける測定.....	8
5. まとめと今後の課題.....	15

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耐水性試験における応答性評価方法の検討についてまとめた。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

電動アシスト自転車本体に関する耐水性についての規格・基準としては、2017 年 1 月に改正された JIS D 9115 : 2017 において、JIS C 0920 (電気機械器具の外郭による保護等級 (IP コード)) の保護等級 4 (防まつ形) の耐水試験を行ったとき、電気回路などに異常がなく、試験直後及び 12 時間放置後に、原動機を用いて人の力を補う機能が円滑に働き、かつ、当該機能が働くこと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とはならないことが要求され、(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) においても電気回路などへの異常の有無を確認することが要求されている。

これらの要求における異常の一つとして、水による電気回路の短絡が想定されているが、短絡により保護装置が作動しアシスト制御が停止するのか、それとも暴走するのか、具体的にどのような異常が生じるかはわからない。

本研究では、そのような異常が、アシスト制御の応答性測定により確認可能か検証した。具体的な検証方法については 3 章で述べる。

3. 供試品、使用機材及び測定方法

3.1 供試品

市販されている電動アシスト自転車 1 銘柄を用いて試験を実施した。先述のとおり、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。

3.2 使用機材

3.2.1 シャーシダイナモメータ

耐水試験前後の電動アシスト自転車の応答性を確認するため、平成 26 年度当所に導入したシャーシダイナモメータを用いた測定を実施した。平成 26 年度の事業実施報告書などにも記載しているが、シャーシダイナモメータには人漕ぎによるペダリングの代わりにクラック回転出力を発生させるペダル駆動装置を備えている。外観写真を写真 1 に、構成図を図 1 に示す。



写真 1 シャーシダイナモメータ

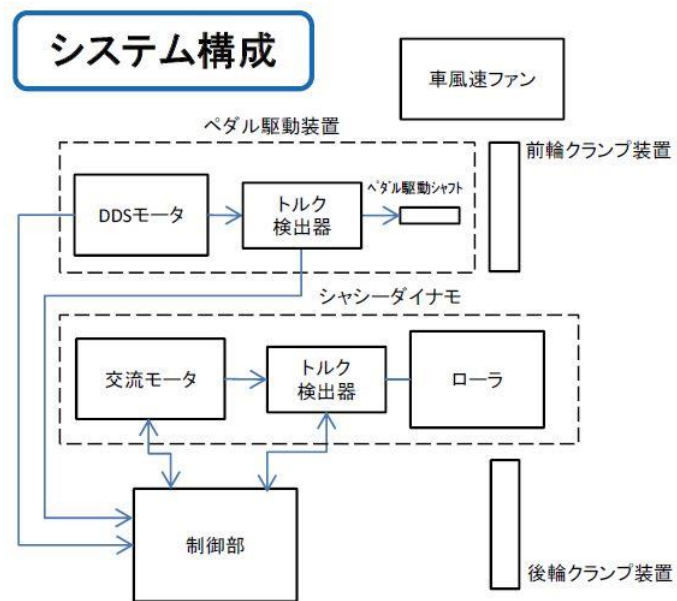


図 1 シャーシダイナモメータ 構成図

3.2.2 散水ノズル装置

耐水試験に使用する散水ノズル装置については、IPX4 対応のもの（ドイツ physcis technics lab-topics 製）を使用した。散水ノズル装置の外観写真と耐水試験時の様子を写真 2 に示す。

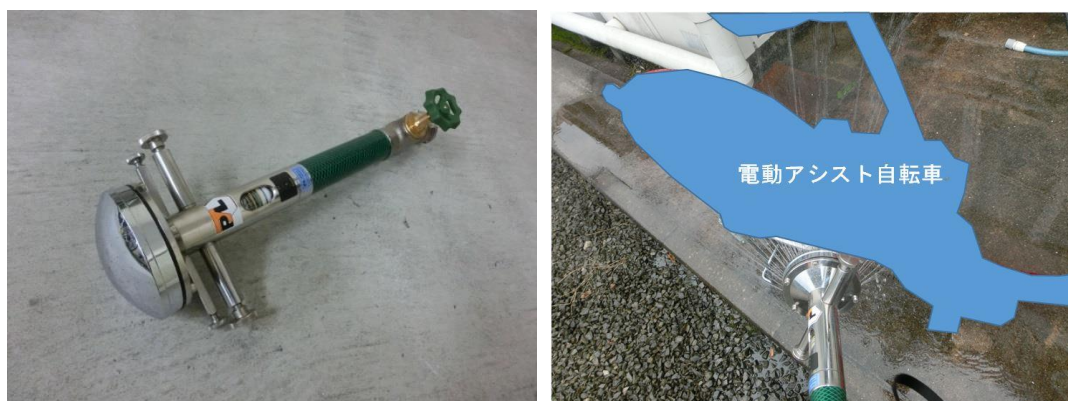


写真 2 散水ノズル装置外観と耐水試験の様子

3.3 測定手順

測定手順を表 1 にまとめた。現在、耐水試験前後の試験方法が具体的に規定されていないので、JIS D 9115 附属書 D 及び BAA 基準による一充電当たりの走行距離測定で用いられている標準パターン（以下、BAA 標準パターンと呼ぶ）の一部、及び測定範囲をさらに広げたオリジナルパターンを用いて、クランク回転出力に対して生じる駆動出力を耐水試験前後で比較し、応答性評価を実施した。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 ($\text{N}\cdot\text{m}$)

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)

オリジナルパターンについては、JIS D 9115 附属書 B における以下の内容のうち、BAA 標準パターンでカバーしていない勾配及び速度について実施したものである。

- ・ 走路：平たん路及び登坂路（勾配は 2° ～ 4° ）において検査する。
- ・ 検査手順：次の手順で運転操作及びペダリング感覚の検査を行う。
 - 1) 停止した状態からの発進
 - 2) 10 km/h 未満の速度の走行
 - 3) 10 km/h 以上 24 km/h 未満の速度の走行
 - 4) 24 km/h 以上の速度の走行

また、ペダリングにより生じるクランク回転出力については、人漕ぎによる測定では測定が安定せず、再現性がないため、耐水試験前後での比較が難しくなる。そこで、ペダル駆動装置を用いてクランク回転出力を発生させることとした。

表 1 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、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 65kg のおもりをサドル部分に取り付けた。シャーシダイナモメータの暖機運転は 15km/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 BAA 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、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。
4	耐水試験前のアシスト制御の応答性測定	<p>手順 3 のペダリング条件を用いて、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・BAA 標準パターン(図 2)の平坦路及び上り坂 ・オリジナルパターン(図 3) <p>の 2 走行路を連続して走行した。組電池(バッテリー)は満充電状態のものを用いた。計測室の気温は 20°C~25°C とした。</p>
5	耐水試験 (IPX4)	JIS C 0920:2003 に規定されている第二特性数字 4 に対する試験 (IPX4) の散水ノズル装置を使用する場合の試験方法に準じて耐水試験を実施した。自転車の鉛直方向に対して $\pm 180^\circ$ の位置から、実際に水がかかるおそれがあるすべての方向・箇所へ散水した。ノズル先端と電動アシスト自転車の距離は 300~500 mm、水量は 10 L/min \pm 0.5 L/min、試験時間は 5 分とした。
6	耐水試験直後のアシスト制御の応答性測定	手順 4 と同じ内容の測定を実施した。なお、タイヤに付着した水分のみふき取った。
7	耐水試験から 12 時間以上経過後のアシスト制御の応答性測定	手順 5 終了後から 12 時間以上シャーシダイナモメータ上に放置した後、手順 4 と同じ内容の測定を実施した。

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)

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。

図 2 BAA 標準パターンの平たん路及び上り坂

順番	走行路	勾配	速度	走行距離	変速段
1	平たん路 5 km/h	0°	5 km/h	200 m	最大の変速段
2	平たん路 10 km/h	0°	10 km/h	200 m	最大の変速段
3	平たん路 15 km/h	0°	15 km/h	200 m	最大の変速段
4	平たん路 20 km/h	0°	20 km/h	200 m	最大の変速段
5	平たん路 25 km/h	0°	25 km/h	200 m	最大の変速段
6	2° 勾配 5 km/h	2°	5 km/h	200 m	最大の変速段
7	2° 勾配 10 km/h	2°	10 km/h	200 m	最大の変速段
8	2° 勾配 15 km/h	2°	15 km/h	200 m	最大の変速段
9	2° 勾配 20 km/h	2°	20 km/h	200 m	最大の変速段
10	2° 勾配 25 km/h	2°	25 km/h	200 m	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。

図 3 オリジナルパターン

4. 測定結果

4.1 BAA 標準パターンにおける測定

図 4 に走行条件を BAA 標準パターンの規定内容に設定し測定を実施した際の、耐水試験前、耐水試験直後及び耐水試験から 12 時間以上後（約 16 時間）におけるクランク回転出力に対する駆動出力の時間変化の様子を発進時、定常時及び停止時に分けてまとめた。ペダル駆動装置を用いたペダリングのため、速度が一定である定常時のペダリングはほぼ一定であった。

耐水試験前、試験直後、耐水試験から 12 時間以上後の、平たん路及び上り坂の発進、定常、停止時におけるクランク回転出力及び駆動出力の波形に大きな差は見られなかった。これはすなわち、耐水試験前、試験直後、耐水試験から 12 時間以上後でアシスト制御の応答性に異常が生じなかったということである。違いを挙げるならば、若干ではあるが、駆動出力が耐水試験前⇒試験直後⇒耐水試験から 12 時間以上後と徐々に小さくなっていった点である。この現象については試験実施とともに組電池の残量が減少することに起因すると考えられるため、耐水試験による異常ではない。

4.2 オリジナルパターンにおける測定

図 5-1～図 5-5 に走行条件をオリジナルパターンに設定し測定を実施した際の、耐水試験前、耐水試験直後及び耐水試験から 12 時間以上後（約 16 時間）におけるクランク回転出力に対する駆動出力の時間変化の様子を発進時、定常時及び停止時に分けてまとめた。今回の測定においてもペダル駆動装置を用いたペダリングのため、速度が一定である定常時のペダリングはほぼ一定であった。

BAA 標準パターンの測定時と同様、耐水試験前、試験直後、耐水試験から 12 時間以上後の、平たん路及び上り坂の発進、定常、停止時におけるクランク回転出力及び駆動出力の波形に大きな差は見られなかった。違いを挙げるならば、BAA 標準パターンの場合と同様に、駆動出力が耐水試験前⇒試験直後⇒耐水試験から 12 時間以上後と徐々に小さくなっていった点である。

加えて、耐水試験とは関係ない事項であるが、図 5-1 の平たん路 5 km/h の定常状態の測定において、クランク回転出力がほぼ 0 W であるにもかかわらず駆動出力が発生していた。これはすなわち、走行抵抗が小さく、低速度での走行時には自走気味になる恐れがあるということである。また図 5-3 の 2° 勾配の 5 km/h の定常状態においては、クランク回転出力が正弦波状であるにもかかわらず、駆動出力が正弦波状ではなく不安定であった。これらの駆動出力の挙動についても、耐水試験前、試験直後、耐水試験から 12 時間以上後と同様に確認できた。

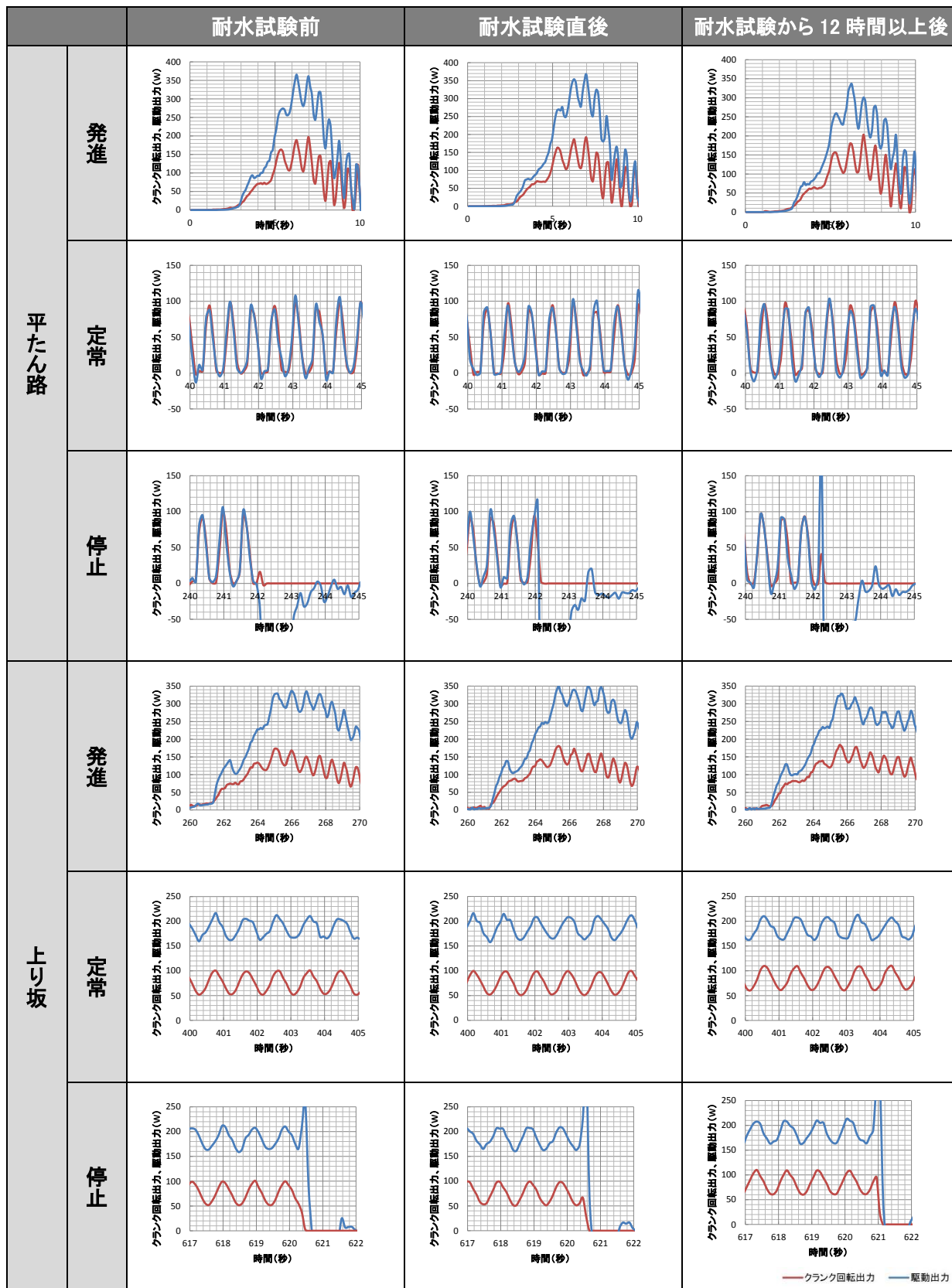


図 4 クランク回転出力に対する駆動出力の時間変化の様子 (BAA 標準パターン)

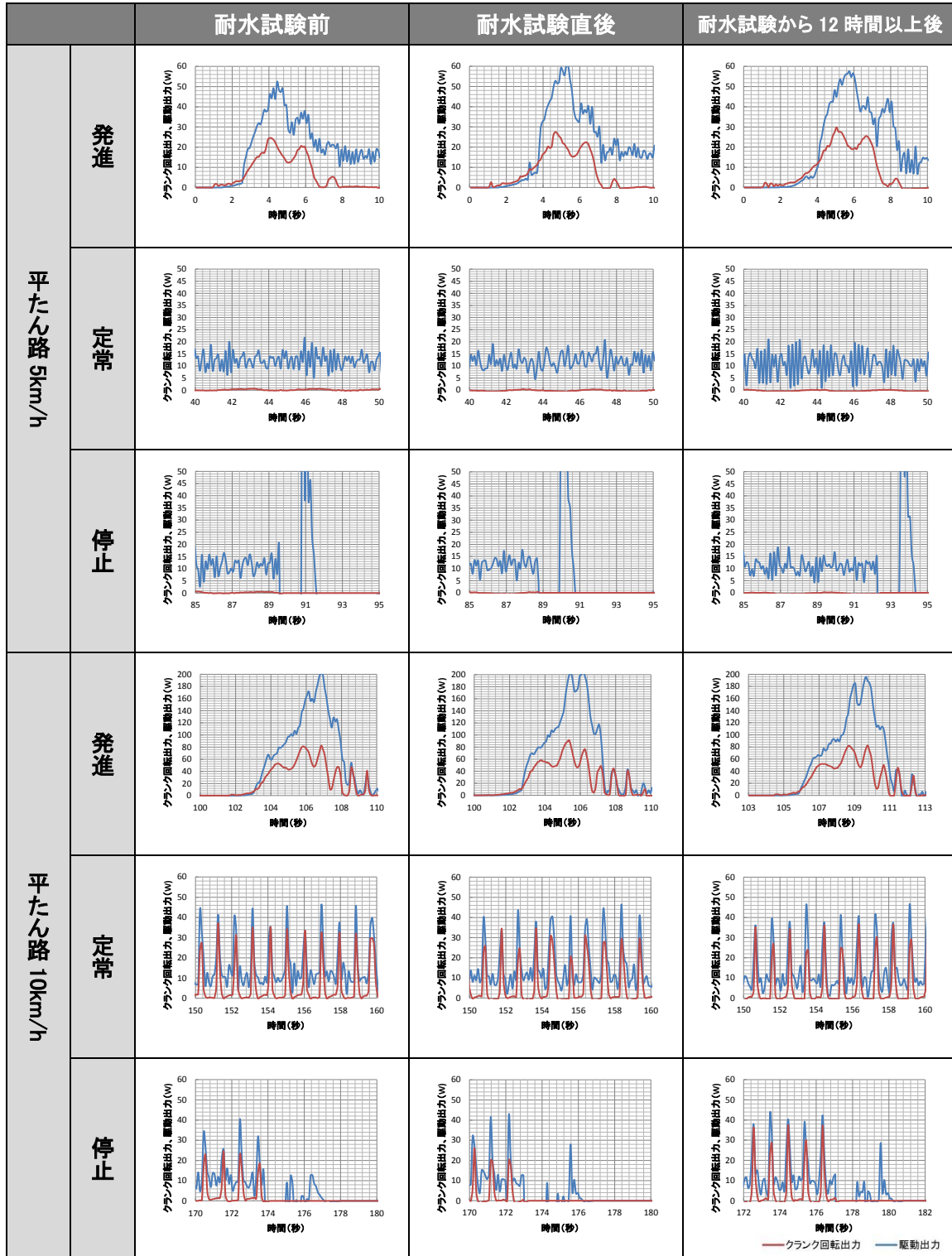


図 5-1 クランク回転出力に対する駆動出力の時間変化の様子（オリジナルパターン）

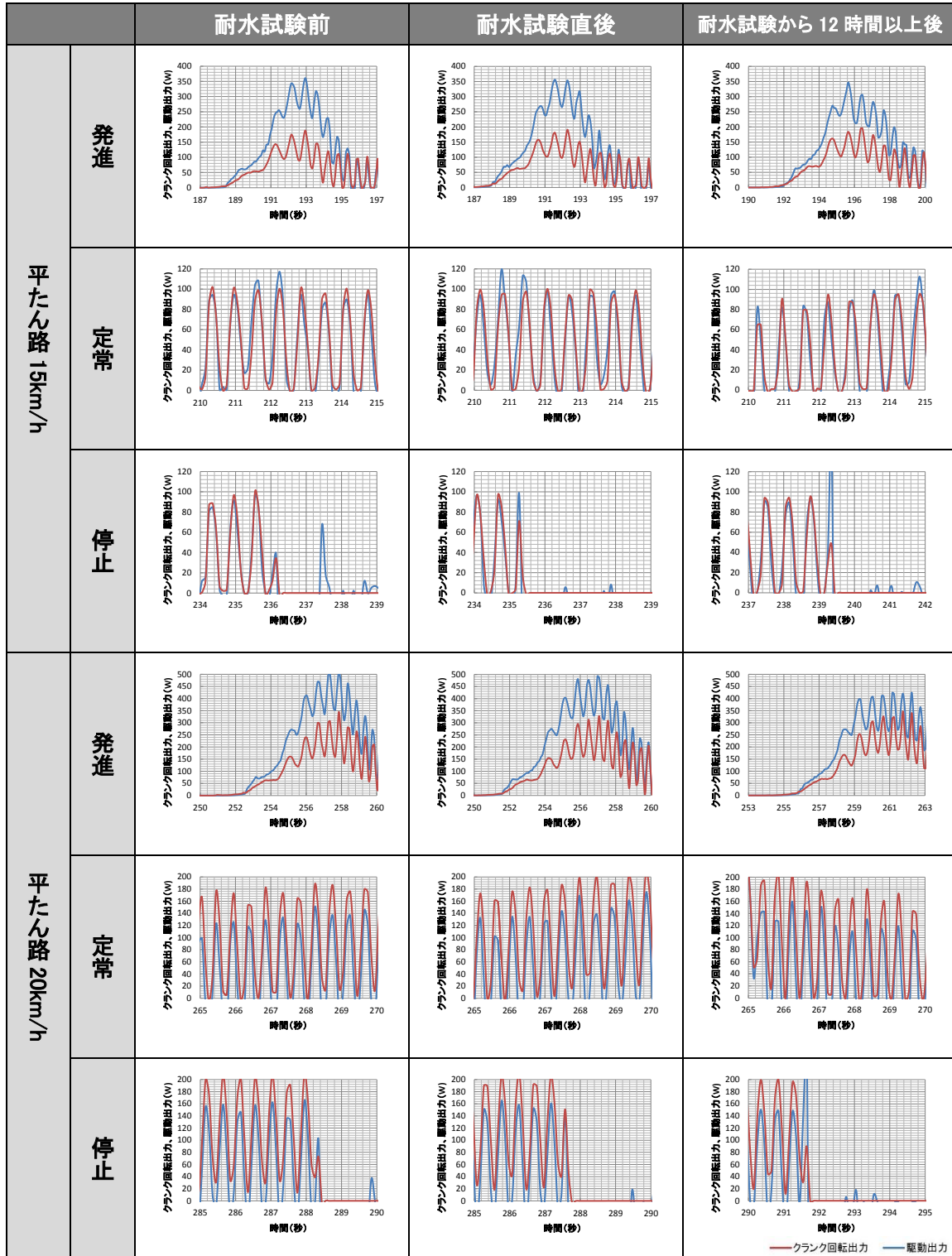


図 5-2 クランク回転出力に対する駆動出力の時間変化の様子（オリジナルパターン）

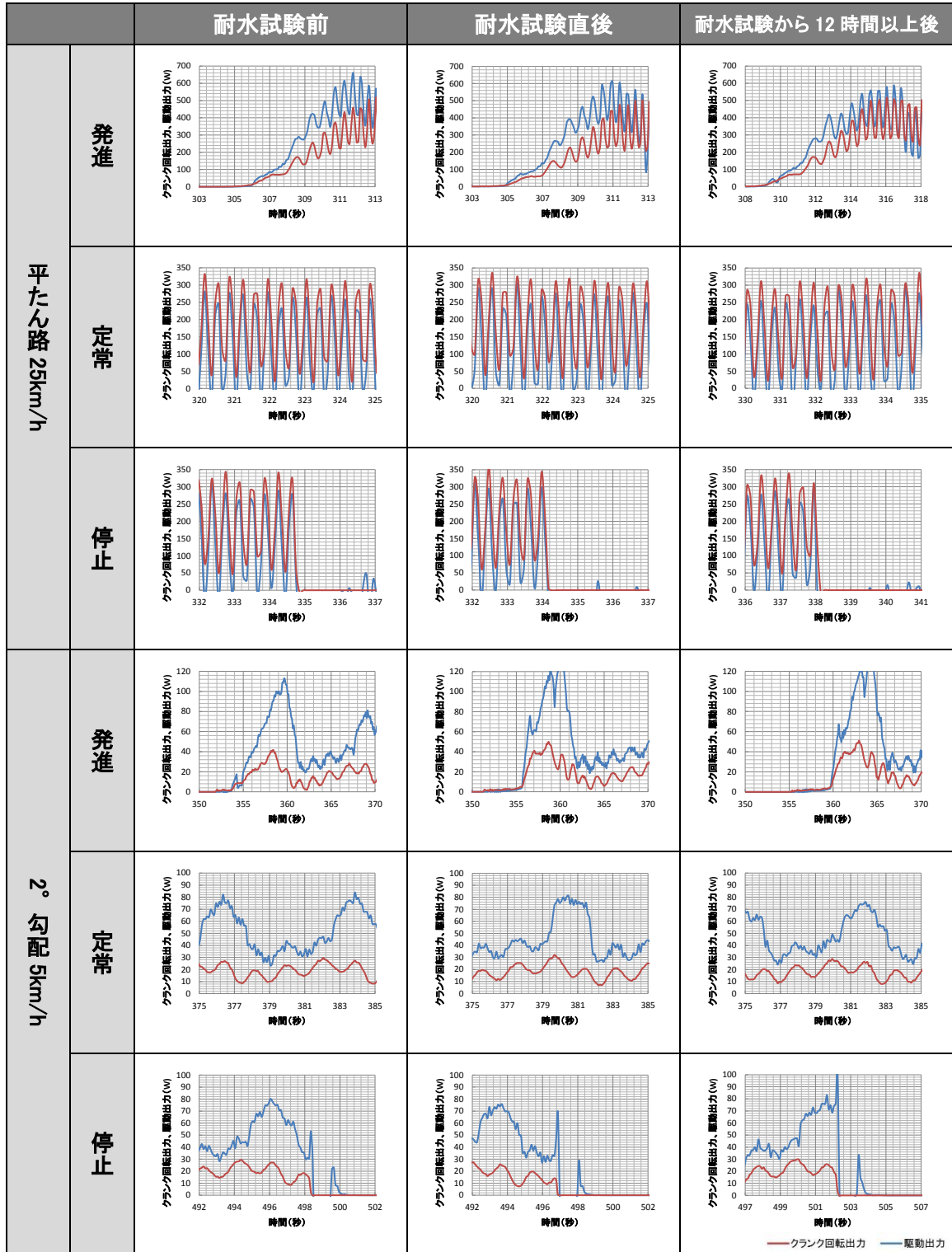


図 5-3 クランク回転出力に対する駆動出力の時間変化の様子（オリジナルパターン）

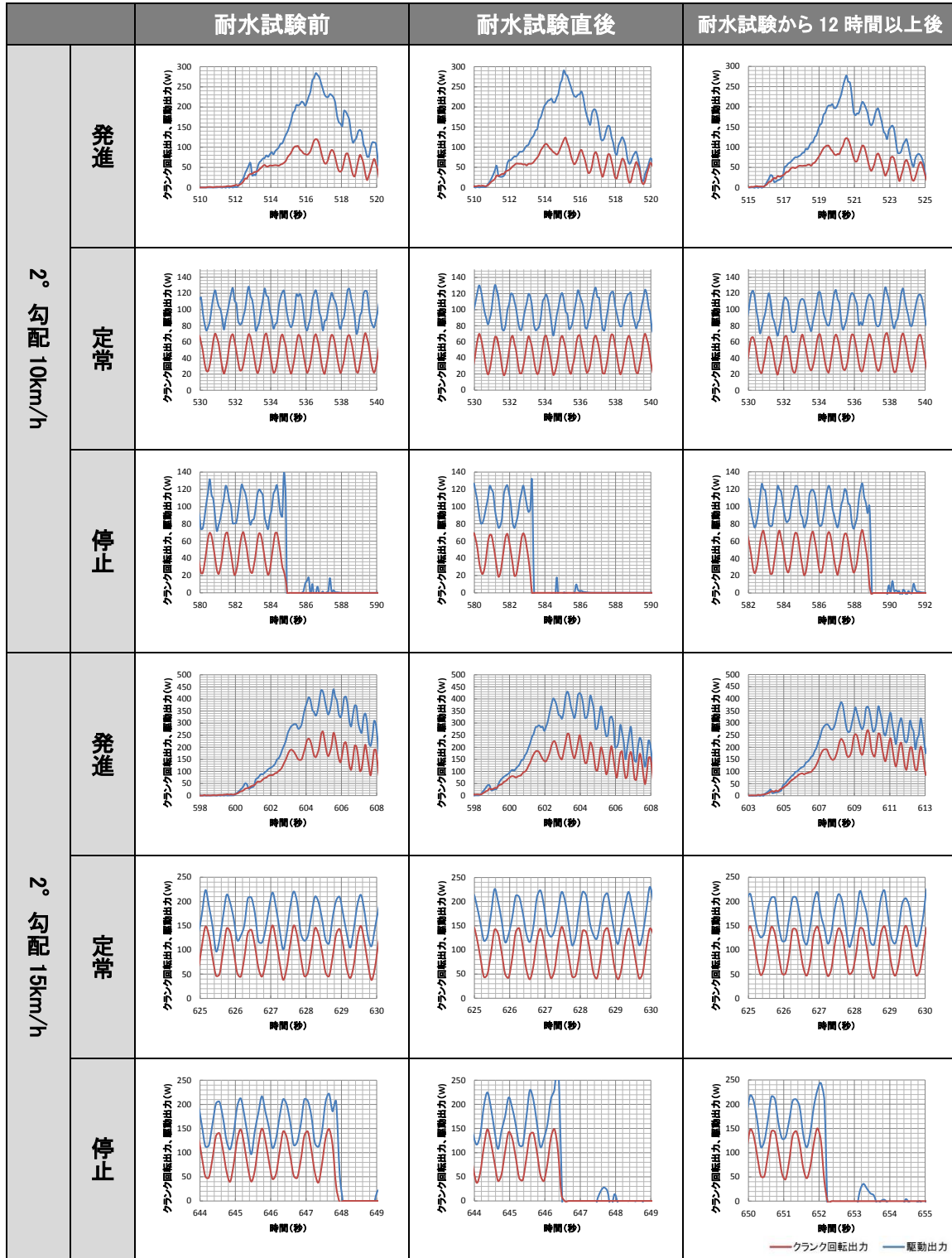


図 5-4 クランク回転出力に対する駆動出力の時間変化の様子 (オリジナルパターン)

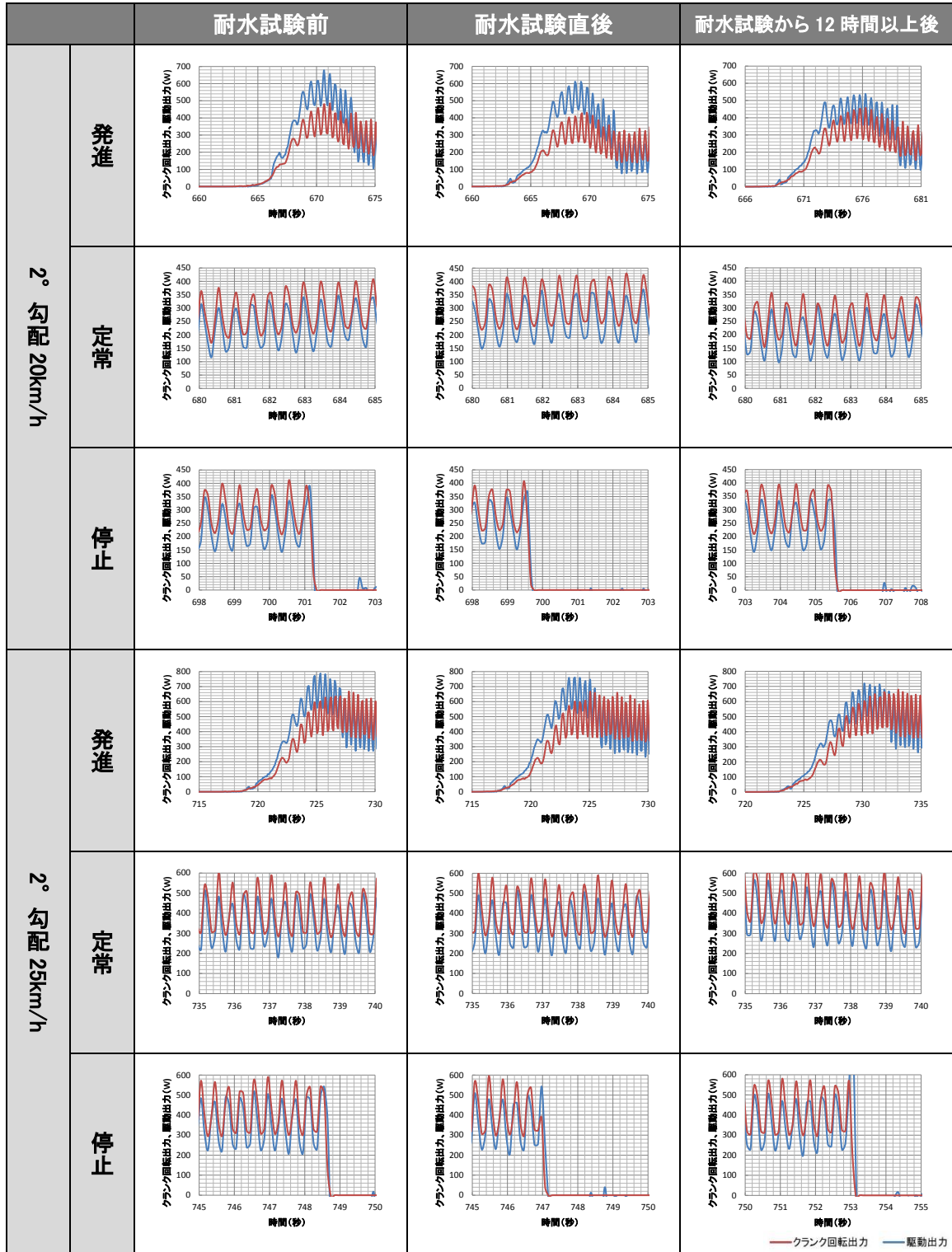


図 5-5 クランク回転出力に対する駆動出力の時間変化の様子（オリジナルパターン）

5. まとめと今後の課題

今回の調査では、様々な走行抵抗下で、ペダル駆動装置を用いた再現性のあるクランク回転出力を発生させることで、耐水試験前後のアシスト制御の応答性比較を行った。その結果、耐水試験前後の応答性比較により、耐水試験後の異常の有無の確認が可能であったという点で有効なデータを取得できた。

今後の課題として、今回 1 銘柄のみの検証を実施したが、他の銘柄ではどのような傾向が見られるか、調査する必要がある。製品によっては今回の測定方法が必ずしも有効とは限らない可能性もあるため、今後、耐水性に関して検証を行う際には、今回の結果をもとに、試験条件などの再検討を含め、取り組む必要があるだろう。

また、電動アシスト自転車の普及に伴い、新たな機構の製品や新たな事故事例が出てこないとは限らない。耐水性に限らず、電動アシスト自転車の安全性にとって更なる評価項目は必要なのか、当所としても電動アシスト自転車の安全性確保の一助となるような検証試験や評価方法の提案を今後も引き続き実施したい。

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