

平成 30 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走行時の 発熱状況と温度測定方法の検討

平成 31 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. 緒言	2
2. 供試品、測定方法及び測定手順.....	2
2.1 供試品	2
2.2 測定方法及び測定手順.....	4
3. 測定結果及び考察.....	6
3.1 表面温度が最高となる箇所及び最高表面温度	6
3.2 表面温度の上昇の傾向と故障発生.....	9
3.2.1 表面温度の上昇の傾向.....	9
3.2.2 発熱と故障	11
3.3 測定方法の考察.....	13
4. 結言	14

1. 緒言

電動アシスト自転車は、乗員のペダリングによる力をクランク軸に加えた際に、道路交通法に規定された駆動補助力の比率の最大値を超えないよう、走行速度に応じて駆動補助力が付加され、通常の自転車よりも走行時の乗員のペダリングの負荷が少なくなる自転車である。駆動補助力の付加は電動機の出力によるものであるため、駆動補助の際には電動機やその制御装置等が通電により発熱する。放熱は駆動補助装置の表面などで行われることになるが、電動アシスト自転車の JIS 規格である JIS D 9115:2018（電動アシスト自転車）では表面温度に関する具体的な規定はない。一方、現在日本主導で発行を目指している電動アシスト自転車の国際規格 ISO 4210-10（EPACs）では連続接触面や非連続接触面の表面温度の熱危険性に関して、高温となる表面に警告を表示する規定が加えられる見込みである。

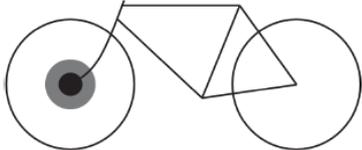
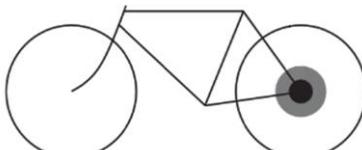
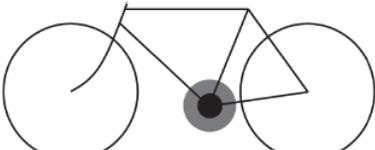
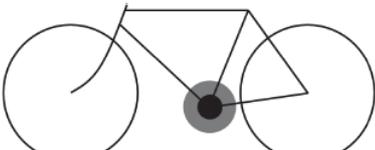
このような背景から、これまで当所で未調査であった電動アシスト自転車の駆動補助装置の発熱温度に関する調査を実施した。本報告では、シャーシダイナモメータを用いて、電動アシスト自転車を走行させた際の駆動補助装置の表面温度変化を測定し、その結果をまとめた。

2. 供試品、測定方法及び測定手順

2.1 供試品

供試品として、市販されている 4 銘柄 4 台の電動アシスト自転車を使用した。供試品の概要を表 1 にまとめた。なお、商品テストを目的としていないため、表に示す以外の電動アシスト自転車の情報は公表しない。

表1 供試品概要

供試品	完成車質量 (kg)	フレーム形状・フレーム材質・車輪径	駆動補助装置の種類	駆動補助装置の電動機の箇所
供試品①	25	U形・鉄系合金・26インチ	人力・電動力別車輪発生型 (ハブモータ前輪駆動方式)	
供試品②	19	ダイヤモンド形・アルミニウム合金・26インチ	後車軸合力発生型 (ハブモータ後輪駆動方式)	
供試品③	18	スタッガード形・アルミニウム合金・26インチ	クランク軸上合力発生一体型 (センターモータ駆動方式)	
供試品④	30	U形・アルミニウム合金・20インチ	クランク軸上合力発生一体型 (センターモータ駆動方式)	

2.2 測定方法及び測定手順

測定方法及び測定手順を示す。測定中の室温は 20 °C から 25 °C の間となるよう空調にて調整した。

(1) 電動アシスト自転車の取り付け

電動アシスト自転車をシャーシダイナモメータに取り付ける。サドル部分に 65 kg（乗車人員の体重を想定した質量）のおもりを取り付ける。シャーシダイナモメータに設定する等価慣性質量は、測定に供する電動アシスト自転車の質量に 65 kg を加えた質量の値に応じて、JIS D 9115:2018 附属書 D 表 D.1 の標準値に設定する。タイヤの空気圧はタイヤ側面に表示されている標準空気圧の最大値とする。変速装置についてはギヤの歯数比が最大となる組み合わせを選択する。走行時には走行速度に相当する冷却風を電動アシスト自転車の前面から与える。

(2) 組電池の取り付け

使用する組電池は満充電の状態まで充電し、電動アシスト自転車に取り付ける。

(3) 電動アシスト自転車の駆動補助機能の設定

電動アシスト自転車の電源をオンの状態にし、最も駆動補助力が大きくなる走行モード（強モードやパワーモードなど）を選択する。

(4) 電動アシスト自転車の電流値または電力値が最大となる条件の確認

シャーシダイナモメータのクランク軸駆動装置を用いて電動アシスト自転車を走行させ、シャーシダイナモメータのローラで負荷される走行抵抗や、走行速度を変えながら、組電池から放電される電流値や電力値が最大になる条件を調べる。各供試品で電流値や電力値が最大になった条件を表 2 に示す。なお、走行抵抗は JIS D 9115:2018 の附属書 D で規定されている $F=2.6+0.027V^2+9.8W\sin\theta$ により負荷し、勾配 θ の値を変えることで走行抵抗を調整した。

表 2 電流値や電力値が最大になる条件

	供試品①	供試品②	供試品③	供試品④
車速 (km/h)	10	9	15	10
勾配 (°)	7	8	5	7

(5) 組電池の取り付けと駆動補助機能の設定

(2) 及び (3) の手順を行う。

(6) 発熱箇所の確認

シャーシダイナモメータのクランク軸駆動装置を用いて電動アシスト自転車を表 2 の条件で走行させ、発熱する箇所を赤外線サーモグラフィ (FLIR 社製 FLIR E6) にて確認する。

(7) 熱電対の取り付け

最も高温になる箇所付近と、高温部付近の空間^{※1}に熱電対 (K 熱電対 ϕ 0.32 ビニール被覆) を取り付ける。

※1 室温の測定は熱電対にて行った。室温の測定は高温部と同等の高さの空間とし、高温部の熱の影響を受けないよう 0.5 m 程離れた位置、かつ冷却風を受ける位置で行った。

(8) 組電池の取り付けと駆動補助機能の設定

(2) 及び (3) の手順を行う。

(9) 温度測定

シャーシダイナモメータのクランク軸駆動装置を用いて電動アシスト自転車を表 2 の条件で走行させ、温度が高くなる箇所を赤外線サーモグラフィにて数分ごとに撮影する。また、データロガー (日置電機社製 LR8431) にて熱電対を用いた温度測定を行う。測定は組電池が空になる、あるいは温度上昇しなくなる熱平衡の状態になるまで実施する。

(10) 赤外線サーモグラフィの校正

測定後、赤外線サーモグラフィの温度と熱電対の温度を確認し、赤外線サーモグラフィの校正を行う。

3. 測定結果及び考察

3.1 表面温度が最高となる箇所及び最高表面温度

各供試品の表面温度が最高となった時に、赤外線サーモグラフィで得られた温度分布の画像を図1及び図2にまとめた。また、各供試品の最高表面温度と測定箇所について、表3にまとめた。

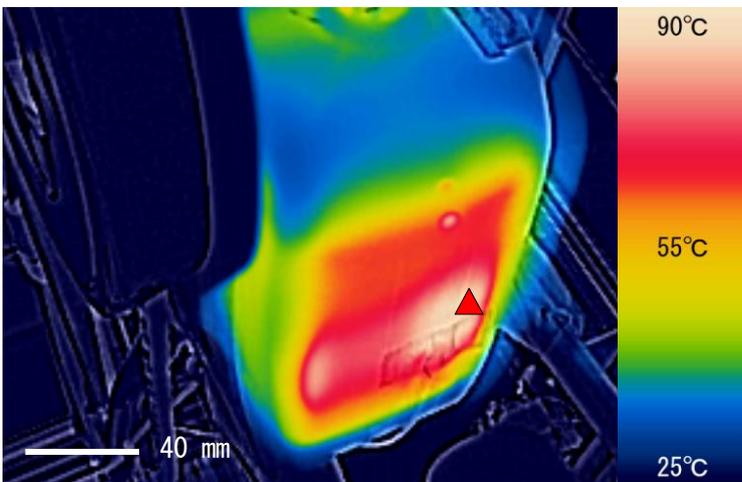
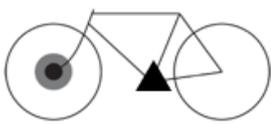
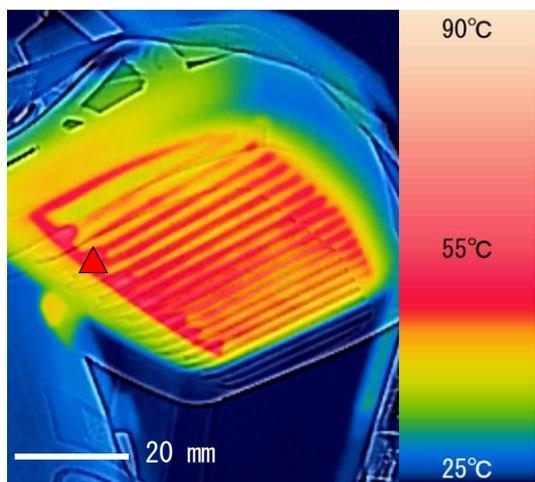
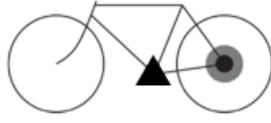
供試品	赤外線画像（▲部が最高温度）	●：駆動補助装置 ▲：最高温度箇所
供試品①		
供試品②		

図1 表面温度が最高となった箇所の赤外線画像（供試品①、②）

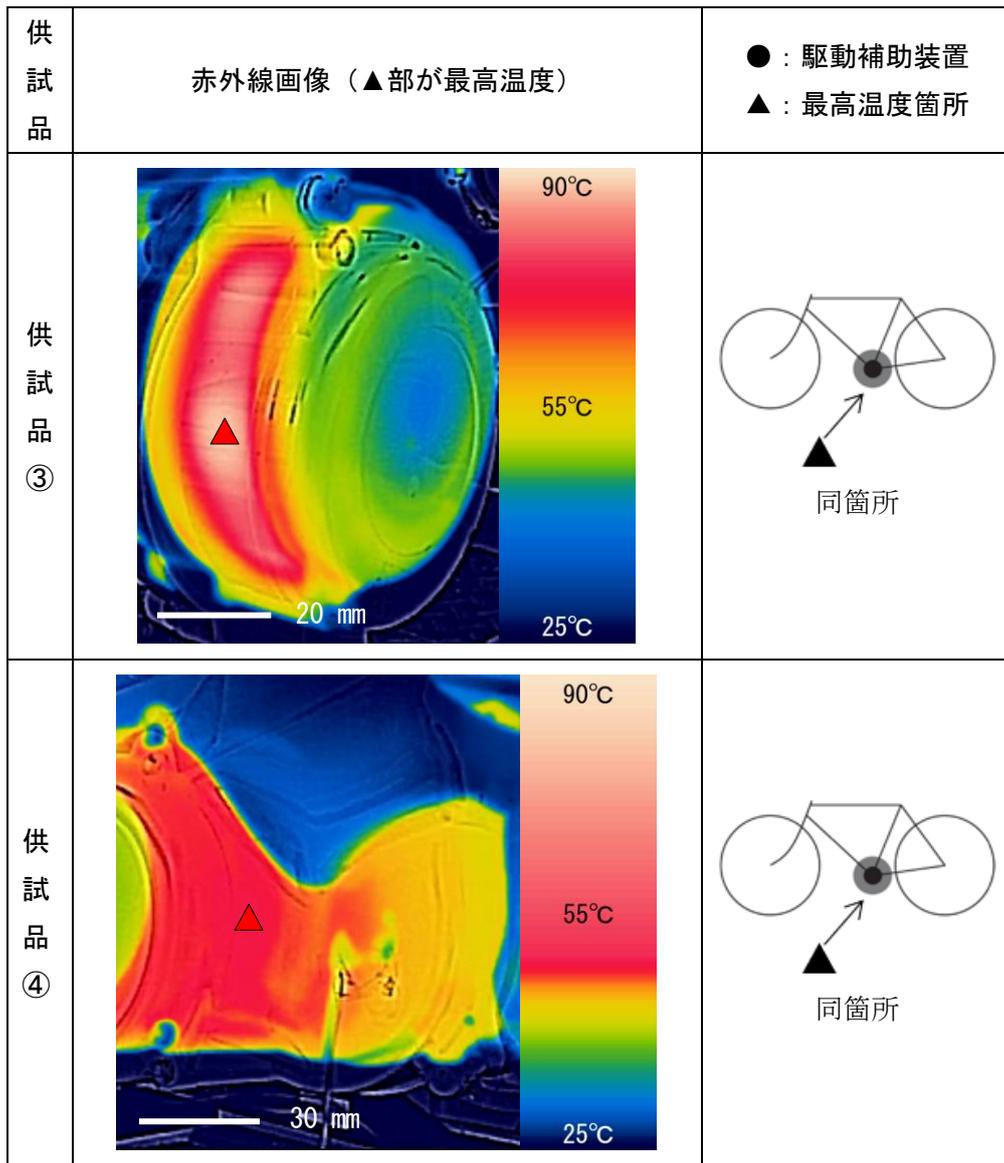


図2 表面温度が最高となった箇所の赤外線画像（供試品③、④）

表3 赤外線サーモグラフィで測定した最高表面温度と測定箇所

	供試品①	供試品②	供試品③	供試品④
最高表面温度（℃）	86.7	50.7	82.2	52.2
測定箇所	駆動補助装置 制御部下面	駆動補助装置 制御部下面	駆動補助装置 制御部及び 電動機前面	駆動補助装置 制御部及び 電動機側面

図 1 及び図 2 で、表面温度が最高となったのは、非連続接触面^{※2}である駆動補助装置の制御部であった。表 4 は、各供試品の最高表面温度と許容温度をまとめたものである。表面温度が最高となった箇所は非連続接触面のため、乗員の接触時間は ISO 4210-10 (EPACs) で検討されている非連続接触面の接触時間である 1 秒とした。その許容温度は、ISO 13732-1 (Ergonomics of the thermal environment – Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces – Part1:Hot surfaces) の 4 章の図 2 及び図 6 にて示されており、接触時間 1 秒における火傷の温度閾値の最低温度付近とした。表 4 より、供試品②、③、及び④に関して最高温度は、接触時間 1 秒における許容温度以下の温度であった。一方で、供試品①に関しては、最高温度が許容温度を越えていた。具体的な箇所としては、図 1 の供試品①の赤外線画像に▲で示した部分であり、1320 秒走行後、最高表面温度 86.7℃に到達した。

※2 非連続接触面は、通常の使用及びメンテナンス中に乗員の手、脚などに接触する可能性のある電動アシスト自転車の表面である。

表 4 赤外線サーモグラフィで測定した最高表面温度と許容温度

	供試品①	供試品②	供試品③	供試品④
最高表面温度 (°C)	86.7	50.7	82.2	52.2
許容温度 (°C)	85	64	85	85
測定箇所の材質	プラスチック	金属	プラスチック	プラスチック

また、図 1 及び図 2 に示す表面温度が最高となった箇所以外に、走行時に温度が高かった箇所を図 3 に示す。図 3 左に示す赤外線画像は、供試品①の電動機と駆動補助装置の制御部との間のケーブルであり、最高温度は 54.0℃であった。また、図 3 右に示す赤外線画像は、供試品②の電動機であり、最高温度は 46.2℃であった。今回の供試品では主に駆動補助装置の制御部、電動機、その間のケーブルが発熱していた。

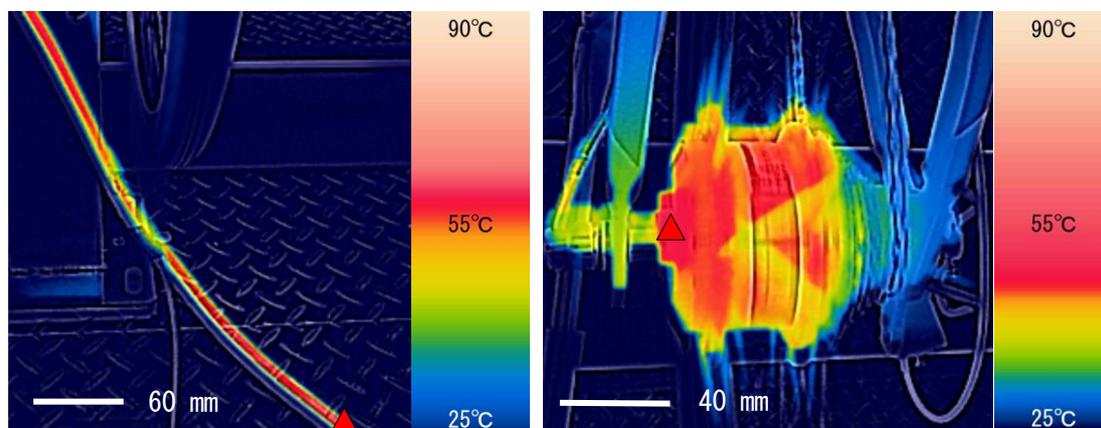


図 3 赤外線画像 (左：供試品①、右：供試品②)

3.2 表面温度の上昇の傾向と故障発生

3.2.1 表面温度の上昇の傾向

各供試品の時間と赤外線サーモグラフィで測定した最高表面温度の関係を図 4 に、各供試品の走行距離と赤外線サーモグラフィで測定した最高表面温度の関係を図 5 に示す。

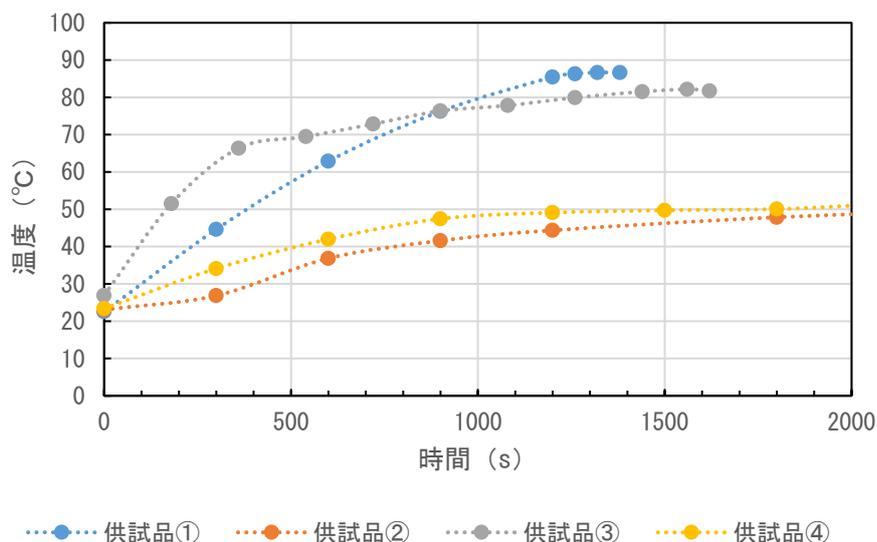


図 4 時間と赤外線サーモグラフィで測定した最高表面温度の関係

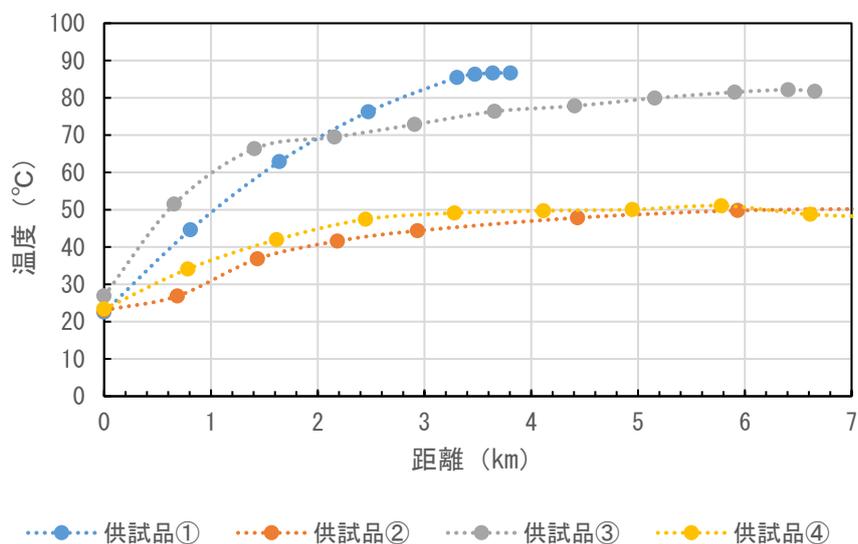


図 5 走行距離と赤外線サーモグラフィで測定した最高表面温度の関係

図 4 より、測定開始後約 1300 秒から 1500 秒程度で表面温度が平衡状態になることがわかった。走行距離換算では、図 5 より約 3 km から 5 km 程度であった。温度上昇に関しては、供試品①及び③が時間・距離ともに早い段階で上昇している。これは図 6 に示すよう

に、供試品①及び③は供試品②に比べ、走行開始直後の消費電力が大きいため、早い段階で温度が高くなったと考えられる。供試品④の消費電力が大きいかかわらず温度上昇が緩やかな点に関しては、局所的に温度が高くなる箇所がないことから（図2参照）、発熱量が多くても熱が分散し放熱される設計になっていることが主な原因と考えられる。

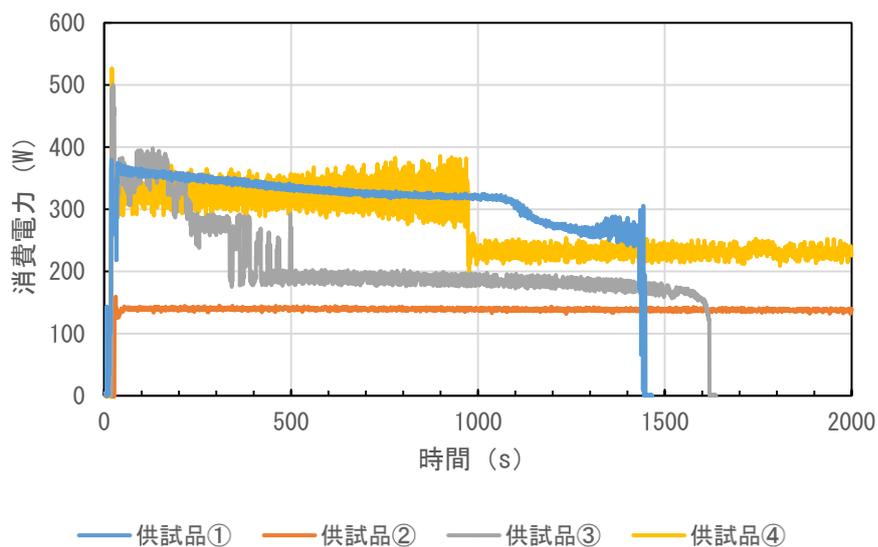


図6 時間と消費電力の関係

また、許容温度を越えた供試品①とその他の供試品の違いを考察すると、供試品③及び供試品④に関しては、特定の時間で消費電力が低くなる制御をしていることがわかる。特定の時間とは、供試品③で約200秒及び約400秒、供試品④で約1000秒の消費電力が低下している部分である。図7に供試品③及び④の時間と温度、消費電力の関係を示すが、同時間で温度の上昇が抑制されているのがわかる。供試品②に関しては、発進時から消費電力が低く、すなわち駆動補助出力が他の供試品に比べて小さい仕様になっていたため、温度の上昇は緩やかであった。

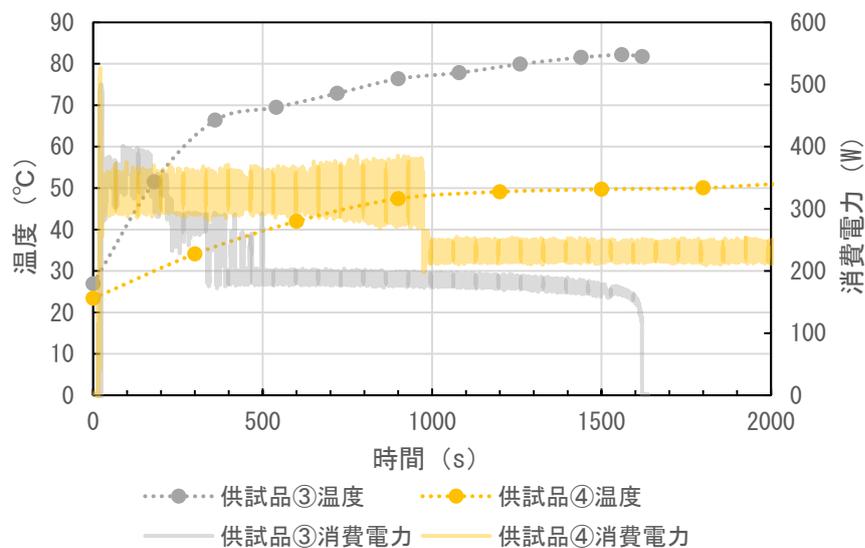


図7 時間と温度、消費電力の関係（供試品③及び④）

3.2.2 発熱と故障

供試品①に関しては、走行開始後、約 1400 秒、走行距離にして約 3.8 km の時点で駆動補助装置が突然作動しなくなった。組電池が空の状態ではなかったため、駆動補助装置の故障を疑い、制御部内部を観察したところ、電解コンデンサの膨張を確認した（図 8）。表面温度が 86.7 °Cまで上昇していたため、駆動補助装置内部ではそれ以上の温度上昇が考えられ、また、図 1 で示した赤外線画像の最高温度となった箇所内部に位置することから、発熱により損傷したものと考えられる。なお、電解コンデンサ表示の許容温度は 105 °Cであった。

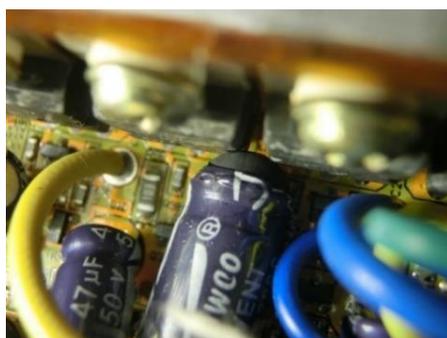


図8 電解コンデンサ膨張の様子

供試品①では、発熱による駆動補助装置の故障と思われる現象が生じたが、実際にこのような状況が起こり得るのかを、測定条件や得られたデータから考察する。

まず測定条件については、7°（約 12.3 %）の上り勾配を走行速度 10 km/h で、走行距離約 3.8 km を連続して駆動し走行した。この程度の勾配は峠などで実在し得る。

次に図9に示すのが、供試品①走行時のクランク軸回転出力と熱電対で測定した温度である。クランク軸回転出力は故障発生ままでの間、220 W 以下であり、これは成人男性の短時間出馬力の目安である 0.3 馬力 (約 225 W)¹⁾ を下回るため、1 時間程度は継続してペダリング可能な負荷である。

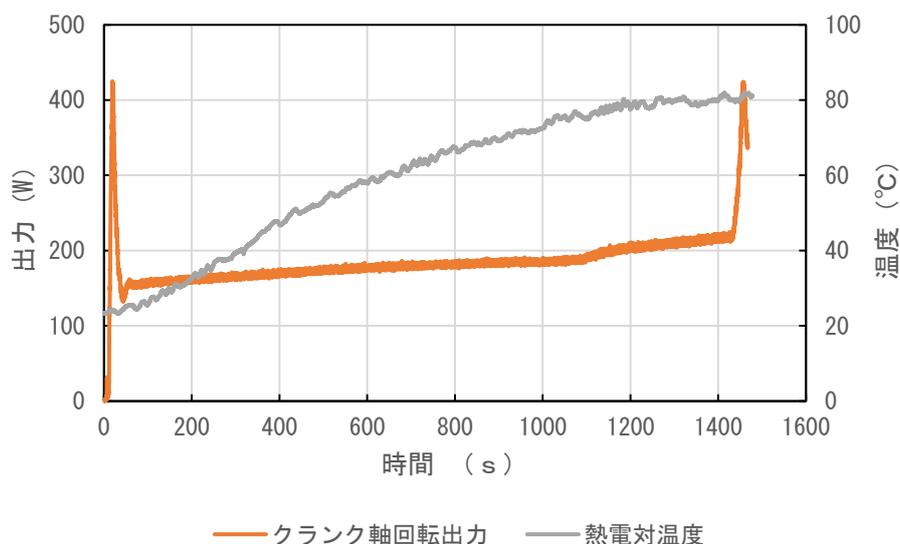


図9 供試品①走行時のクランク軸回転出力と熱電対温度

また、今回は気温 20 °C から 25 °C で体重 65 kg の乗員が荷物を搭載せずに走行した状況を想定し、測定を実施したが、乗員体重や荷物の積載などで車両の総質量が増えた状態においては、走行抵抗が大きくなるため、もっと緩い勾配や短い走行距離で故障が生じる可能性があると思われる。また夏場など外気温が高い場合には、さらに最高温度到達までの時間が短くなる可能性がある。よって、今回の供試品①の熱による故障は、山登りや峠越えなどの実走行において起こり得る現象である。

許容温度を越える表面温度上昇の抑制には、制御面では特定の温度で消費電力を下げる（駆動補助出力を抑える）制御が、また機構的には熱拡散の構造最適化が必要だと考えられる。

3.3 測定方法の考察

本研究では温度測定に赤外線サーモグラフィと熱電対を用いた。表 5 に赤外線サーモグラフィと熱電対の特徴を示す。温度測定に 2 種類の装置を用いた理由だが、赤外線サーモグラフィは、電動アシスト自転車全体から温度の高い箇所を見つけるため、またその箇所から表面温度が最高となる点を測定するためである。また熱電対は、最高温度付近の温度を一定時間連続測定し、詳細な温度変化を測定するため、また赤外線サーモグラフィを校正するために用いた。

表 5 赤外線サーモグラフィと熱電対の特徴

	赤外線サーモグラフィ FLIR 社製 FLIR E6	熱電対 K 熱電対 φ0.32 ビニール被覆
測定精度	校正の必要あり	高い
測定範囲	高範囲	1 点
一定時間の 連続測定	手動	自動

本研究では、熱電対を用い赤外線サーモグラフィの校正を行ったが、熱電対を取り付ける箇所によっては、熱電対自体が放熱の役割を負ってしまうことがあった。その様子を図 10 に示す。左が熱電対を付けた状態での赤外線画像、右が熱電対のない状態での赤外線画像である。車両の前面から走行速度に相当する風を直接受けており、その影響で熱電対による放熱の影響が大きくなり、取り付けた箇所では約 25℃温度が低くなってしまった。

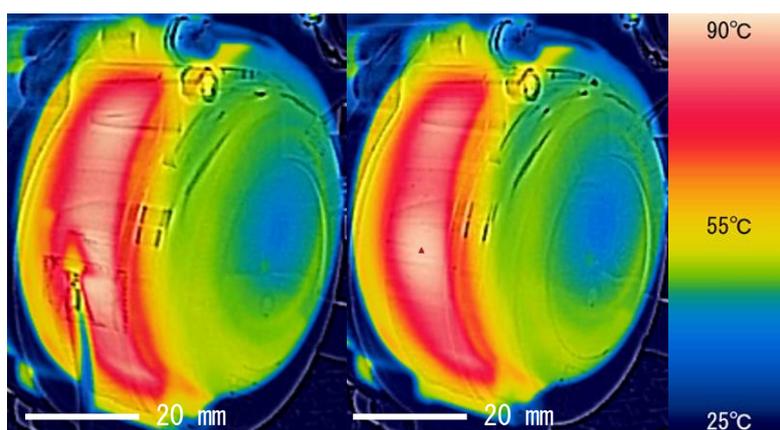


図 10 熱電対あり（左）となし（右）の赤外線画像

また、本研究では、恒温槽に測定箇所を入れ、その温度を測定することで熱電対と赤外線サーモグラフィの校正を行ったが、シャーシダイナモメータ上で測定する際と光環境が異なる（太陽光の光量や照明の違い）ため、測定箇所以外の外部の赤外光の影響により、

赤外線サーモグラフィの温度が数度ずれている可能性がある。この方法を採用したのは、供試品②と③である。そのため、供試品③の最高表面温度は許容温度と 2.8℃しか差がなかったことから、測定の方法を改善することで、最高表面温度が許容温度を上回る可能性がある。

今回熱電対を取り付けることで、約 25℃の温度低下が確認された。対策として、熱電対の径を 0.32 mm から 0.1 mm にするなど、細い熱電対を用いることで、熱電対による放熱を抑制できる可能性がある。

また、必要であれば、赤外線サーモグラフィの精度を高めるために、供試品の測定部を黒体塗料または黒体テープで覆うなどの対策を施す必要があるだろう。

4. 結言

今回、4 銘柄 4 台の電動アシスト自転車を用いて、シャーシダイナモメータ、赤外線サーモグラフィ及び熱電対を用いた表面温度の測定を行った。結果を以下にまとめる。

- 1) シャーシダイナモメータ、赤外線サーモグラフィ及び熱電対を用いて、電動アシスト自転車の表面温度が最高となる箇所を把握することが可能であった。測定の結果、ISO 13732-1 の許容温度（プラスチック部において接触時間 1 秒で 85℃）を超える状態（86.7℃）になる電動アシスト自転車があった。
- 2) 許容温度を越えた高温状態での連続運転で、駆動補助装置が故障した。これは実使用においても、過酷な走行条件であれば起こりうる故障である。
- 3) 温度測定における課題として、風が直接当たる部分において、熱電対自体が放熱の役割を負ってしまうことがあった。本研究においては恒温槽にて校正を行ったが、今後の対策として、より細い熱電対を使うこと、また、黒体塗料や黒体テープを用いることを検討する。

今回はサンプル数が少ないことに加え、供試品の故障により、シャーシダイナモメータを用いた測定の実施のみとなった。今後、実施の使用状態での発熱状況の調査や、夏など気温が高くなる状態での発熱状況調査、駆動補助装置の電氣的な耐久性調査など、電動アシスト自転車の熱に関する調査を継続して実施したい。

参考文献

- 1) (一財) 自転車産業振興協会：自転車実用便覧 第 4 版