

電動アシスト自転車の寿命計算

1. 緒言

現在、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 規格化の検討を進めている。その基本的な建て付けとしては各国の強制法規を最大限尊重しつつ、安全要求事項の共通項目を規定していくものである。その中で、電動アシスト自転車の機械的な強度に関して、アシストオン時の車体への負荷がどうなるのか議論が交わされており、疲労試験などの試験力を大きくする、あるいは試験回数を増やす必要性が指摘されている。また、平成 29 年 1 月に改正した JIS D 9115 : 2017（電動アシスト自転車）においても、電動アシスト自転車特有の強度関連の試験項目の必要性について、駆動補助装置単品の疲労試験以外に具体的な規定を策定するに至らなかった。

このような背景から、本報告では、電動アシスト自転車の走行時の自転車各部への負荷を測定し、寿命計算を行うことで、電動アシスト自転車の機械的な安全要求事項、特に疲労に関する試験の試験条件が現在の内容で妥当であるかどうかを調べた。走行時に電動機が作動しているアシストオン時の車体への負荷や寿命については、これまでに国内で公表されている測定結果や測定事例がなく、まとまったデータ収集が切望されていた。

本報告に先立ち、平成 29 年度自転車等研究開発普及事業の事業実施報告書第 5 報にて、予備的な試験としてひずみ測定を実施し、その結果を報告した。1 銘柄での検証ではあるが、電動アシスト自転車をアシストオン・オフ状態で同じ走行条件で使用した場合、アシスト制御により、ペダルの踏み込みに要する力が小さくなる、あるいは乗車姿勢が変わることなどから、ひずみ波形、累積疲労に差が見られることがわかった。

今回の報告では、さらに内容を充実させた測定・解析により、電動アシスト自転車の寿命計算を行い、電動アシスト自転車の疲労試験の試験条件が妥当であるのかを検証した。

2. 測定・解析方法

2.1 測定概要、手順

今回の測定では、実走行時に自転車各部に加わる力をひずみゲージにより測定し、その測定結果を解析することで、寿命を予測し算出した。測定手順を表 1 に示す。本測定方法については EN 規格の試験力設定の検討などで実績のあるドイツのハンブルグ工科大学で自転車の寿命計算に用いられている方法をベースにしている。概要としては、自転車走行時に負荷される力を測定・頻度解析し、規格の試験条件から作成した仮想の SN 曲線を用いることで自転車の寿命を計算する方法である。

表 1 測定手順

手順	内容
1	供試車にひずみゲージの貼り付けなど車両準備
2	ひずみ量 (μm) を力 (N) に換算
3	アシストオン・オフで走行路を実走行、データ測定
4	レインフロー法による測定データの頻度解析
5	各走行路の頻度解析データを組み合わせ
6	仮想 SN 曲線、SN 線図作成
7	累積疲労損傷度及び寿命計算

2.2 供試車

電動アシスト自転車 4 台を用いた。詳細を表 2 にまとめた。自転車①～③については日本の道路交通法に準拠した日本仕様のものであるが、自転車④については EN 15194 (Fpr EN 15194:2017) に基づく欧州仕様であり、このままの状態では道路交通法の要件を満たしていないことから、公道走行不可のものである。参考として、法律や基準に基づく、日本仕様と欧州仕様のアシスト制御に関する主な違いを表 3 にまとめた。このアシスト制御の違いにより、乗車感も大きく異なるものになっている。

では乗車感に具体的にどのような違いが生じるか、電動アシスト自転車用シャシダイナモメータとペダルセンサーを用いて、ペダリングに関する測定を行った。測定には日本仕様の自転車①と欧州仕様の自転車④を用い、15 km/h、平たん路 (勾配 0°) の走行条件で実際に乗員がペダリングを行い走行した際の、クランク軸入力 $P1$ (W) と駆動出力 $P2$ (W) の時間変化の様子を測定した。測定結果を図 1 にまとめた。 $P1$ 及び $P2$ はシャシダイナモメータで計測されるパラメータを用い、JIS D 9115 の附属書 B に規定されている式により計算した値である。走行抵抗は JIS D 9115 の附属書 D に規定されている式に設定した。

まず、アシストオフの時は、自転車①、自転車④ともにペダリングによって生じる正弦波状の $P1$ に対して、駆動出力 $P2$ も同じ周期の正弦波状の波形となっていた。 $P1$ と $P2$ の振幅値の差は自転車自身のロス (摩擦抵抗やタイヤの転がり抵抗) である。

表 2 供試車

供試車	自転車①	自転車②	自転車③	自転車④
分類	JIS D 9115 (日本仕様)	JIS D 9115 (日本仕様)	JIS D 9115 (日本仕様)	EN 15194 (欧州仕様)
重量	23.0 kg	25.4 kg	26.5 kg	22.9 kg
変速	内装 3 段	内装 5 段	内装 3 段	外装 9 段
タイヤ サイズ	26 × 1-3/8	27 × 1-1/2	26 × 1-1/2	27.5 × 2.10
タイヤ 最大空気圧	450 kPa	450 kPa	450 kPa	400 kPa
駆動補助 方式	センター ユニット	センター ユニット	前輪 ハブモータ (回生充電機 能有)	センター ユニット
フレーム 形状	U形	スタaggerド 形	U形	ダイヤモンド 形
フレーム 材質	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金
前ホーク 材質	鉄系合金	鉄系合金	鉄系合金	アルミ合金
ハンドルバー 形状	アップ形	フラット形	アップ形	フラット形
ハンドルバー 材質	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金
シートポスト 材質	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金	アルミ合金

表 3 日本仕様と欧州仕様のアシスト制御の主な違い

	日本仕様	欧州仕様
電動機の最大定格出力	規定なし	250 W
駆動補助が作動する最高 速度	24 km/h	25 km/h
最大アシスト比	走行速度 10 km/h 未満 : 2 走行速度 10 km/h 以上 24 km/h 未満 : (24-V) / 7	規定なし

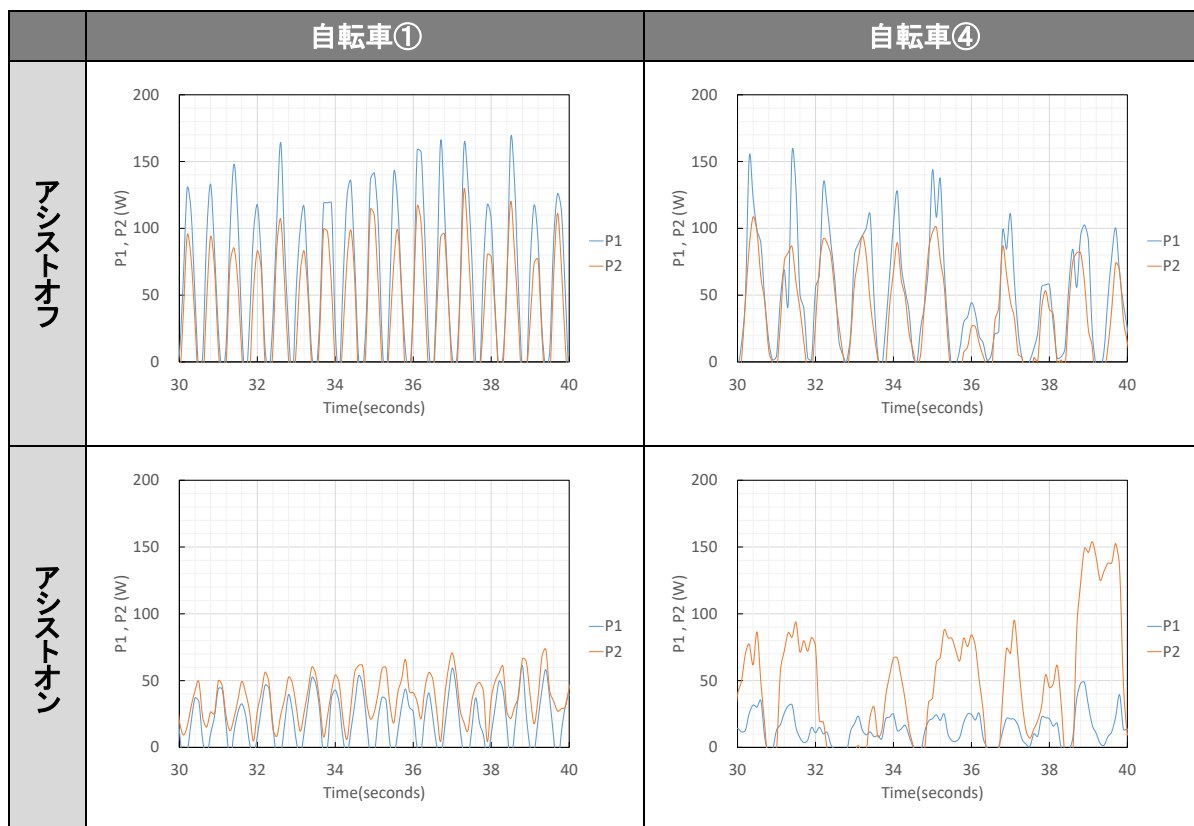


図 1 クランク軸入力 P1 と駆動出力 P2 の時間変化の様子

次に、アシストオンの状態では、両者とも P1 の値が小さくなっていった。これはアシスト制御により小さなクランク軸入力で行けることを意味している。また、特徴的な違いとして、日本仕様では P1、P2 とともに正弦波状で同じ周期の波形となっているのに対し、欧州仕様では P2 の正弦波がやや崩れており、周期も一定ではない波形となっていた。これは、日本仕様では型式認定取得時に時間応答性の検査があり、JIS D 9115 の附属書 B に「一般の自転車と同様なペダリング感覚であること」や「時間応答性の速やかさ、短時間でも自走しないこと」などの要求事項があるためである。

今回測定した自転車①、自転車④では、

- 日本仕様の自転車①では、アシスト比の上限が決められているため、電動機の出力が制限されている。また、電動機の出力がペダリングに同調するような制御を行っている。そのため、ある程度ペダリングに力を要するが、細かな走行速度の制御が可能である。
- 欧州仕様の自転車④では、アシスト比による電動機の出力に制限がないため、日本仕様と比べ電動機の出力が大きい。また、ペダリングと電動機の出力があまり同調していない。そのため、ペダリングは非常に楽であるが、細かな走行速度の制御がしづらい。

という特徴があることが分かった。

2.3 ひずみゲージの貼付位置とひずみ量 ($\mu\varepsilon$) の力 (N) 換算

乗車時、乗員や路面などから自転車に力が加わるが、実走行時にどの程度の力が負荷されているのか測定するため、前ホーク、ハンドルバー、シートポストの応力が大きくなりそうな箇所にひずみゲージを貼り付けた。具体的には前ホークの右ホーク肩、ハンドルバーのクランプ部右側の根本付近、シートポストの前側である。シートポストに関しては、フレームとのクランプ部付近が大きくなるとも考えられるが、実走行時のシート高さの調整などもあるため、シートポストの中央付近に貼り付けた。この3か所を測定すれば自転車が走行時に受ける力をほぼ網羅することができる。

次にひずみ量 ($\mu\varepsilon$) の力 (N) 換算について説明する。前ホークの疲労試験 (フレームの水平力による疲労試験)、ハンドルバーの疲労試験、シートポストの疲労試験 (フレームの鉛直力による疲労試験) の各疲労試験で定められた箇所に力を負荷し、その際のひずみ量を測定することで、ひずみ量を力に変換する変換係数を計算した。この変換により、実走行時に、各部に作用する力が測定可能になる。

図 2 にひずみゲージの貼付位置 (赤四角で示す) と疲労試験にて各箇所に負荷される試験力のイメージを、図 3 に変換係数を求めるため、実際に力を付加する様子を、図 4 にひずみゲージで測定されるひずみ量と、負荷した力の関係及び変換に用いる回帰式の例を示す。ひずみ量と力は比例関係にあるため、変換係数は図 4 の回帰式の傾きを用いた。

ひずみ測定には株式会社東京測器研究所製のマルチレコーダ TMR-200 を用いた。マルチレコーダの重量は約 4 kg である。ひずみゲージは株式会社共和電業製の KFR 箔ひずみゲージ (120 Ω 、単軸) を用い、測定は 1 ゲージ法で行った。また、電流、電圧、走行速度、ケイデンスの測定も同時に行った。測定周波数は 100 Hz とした。

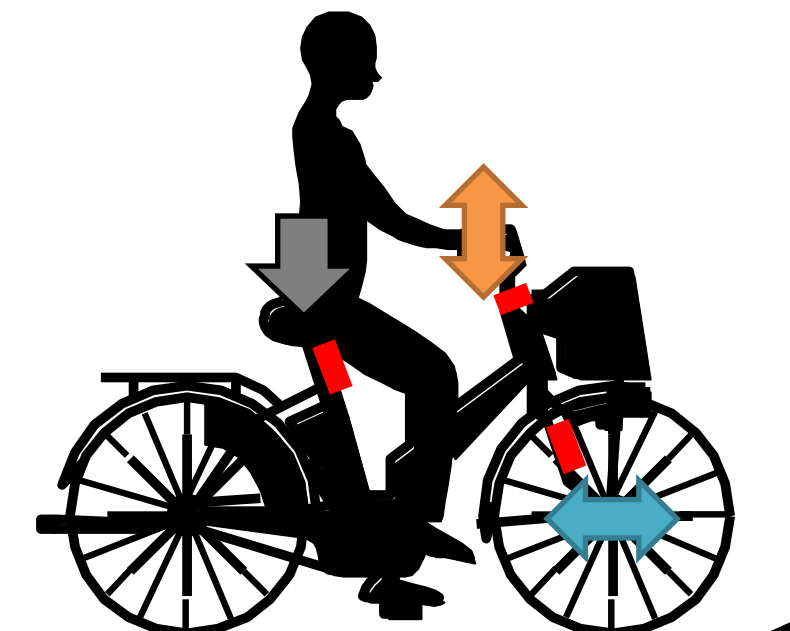


図 2 ひずみゲージ貼付位置と疲労試験にて各箇所に負荷される試験力のイメージ



図 3 変換係数を求めるため力を付加する様子

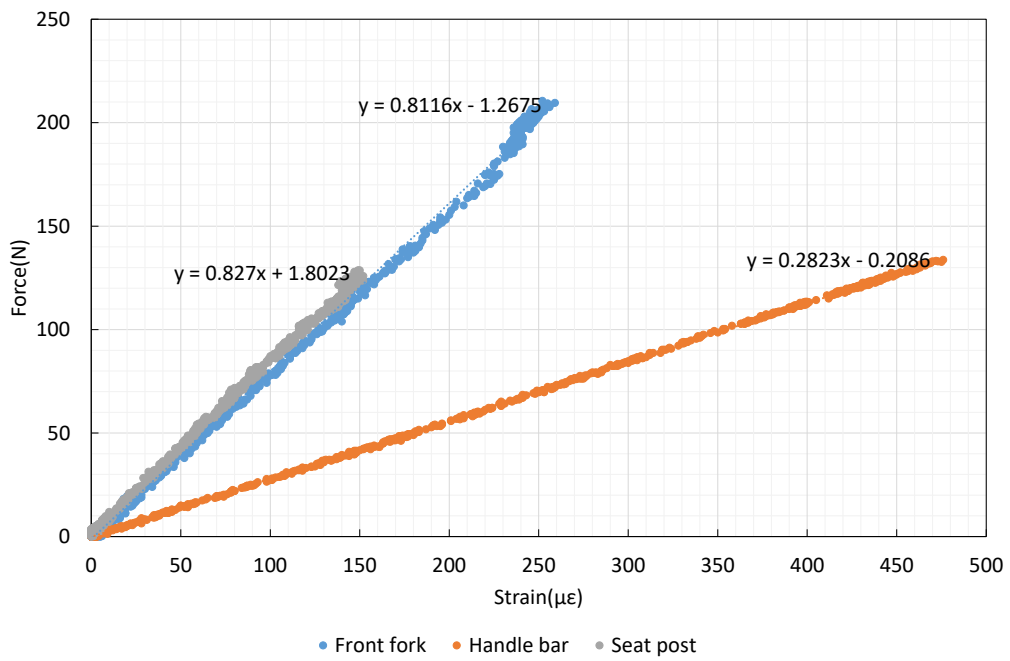


図 4 ひずみ量と負荷力の関係例

2.4 走行路と乗員

2.4.1 走行路

走行路面や走行状況については、4種類の走行路を用い、速度を変えるなどして7パターン
の走行を行った。各走行路について、詳細を以下にまとめた。

・平たん路（目標走行速度 15 km/h 及び 20 km/h）

平たん路の走行イメージを図 5 に示す。測定は目標走行速度 15 km/h 及び 20 km/h の 2 種
類を実施した。路面はアスファルトで舗装されており、約 65 m の距離を往復し、その間の
データ測定を実施した。ひずみゲージを用いて測定した、走行時の力の測定結果例を図 6
に示す。

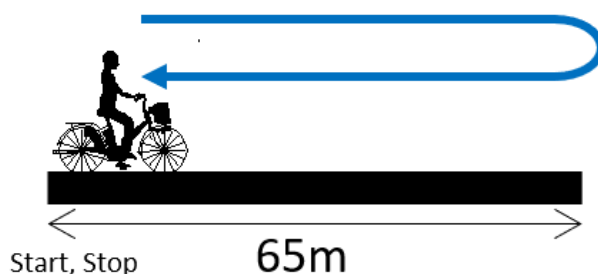


図 5 走行路イメージ図（平たん路）

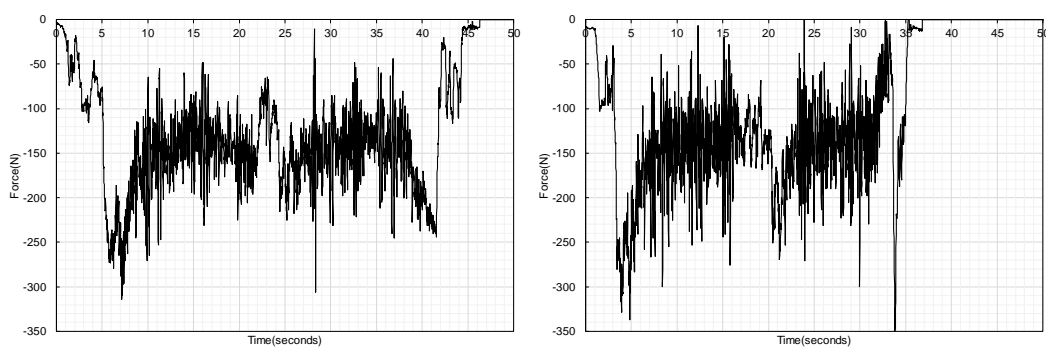


図 6 自転車③、乗員 B、アシストオンにおける
前ホークの測定結果例（左：走行速度 15km/h、右：走行速度 20km/h）

・上り坂／下り坂（目標走行速度 15 km/h）

上り坂及び下り坂の走行イメージを図 7 に示す。測定は目標走行速度 15 km/h で実施し
た。路面はアスファルトで舗装されており、上りと下りで同じ走行路を用いて測定を実施し
た。なお、下りの際はブレーキングを行う必要があるが、回生充電機能を有する車両につい
ては回生機能が十分作動するブレーキングとした。ひずみゲージを用いて測定した、走行時
の力の測定結果例を図 8 に示す。

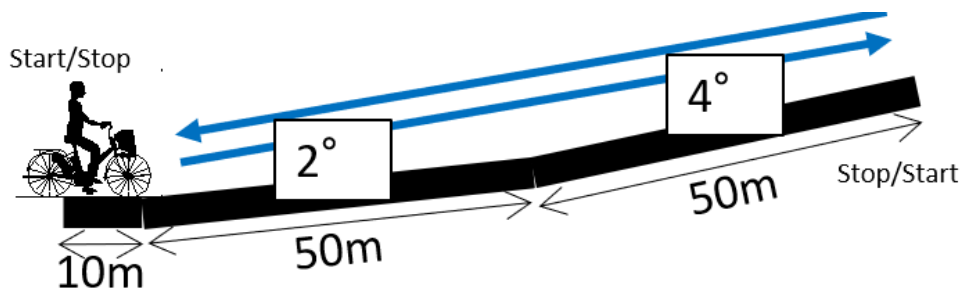


図 7 走行路イメージ図（上り坂／下り坂）

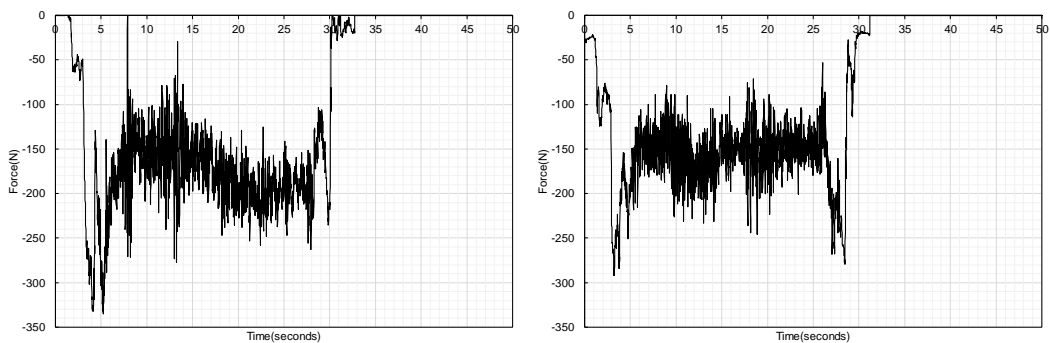


図 8 自転車③、乗員 B、アシストオンにおける
前ホークの測定結果例（左：上り坂、右：下り坂）

・石畳及びブロック（目標走行速度 15 km/h 及び 20 km/h）

石畳及びブロック走行路の走行イメージを図 9 に示す。測定は目標走行速度 15 km/h 及び 20 km/h で実施した。路面は前半 50 m はアスファルトで舗装されている平坦な路面で、その後 25 m は石畳、続けて 25 m はブロックが敷き詰められていた。ひずみゲージを用いて測定した、走行時の力の測定結果例を図 10 に示す。

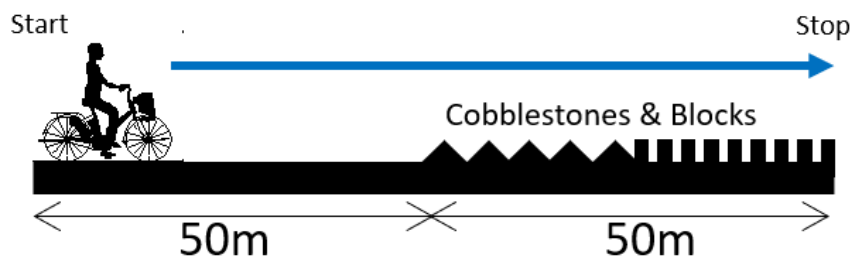


図 9 走行路イメージ図（石畳及びブロック）

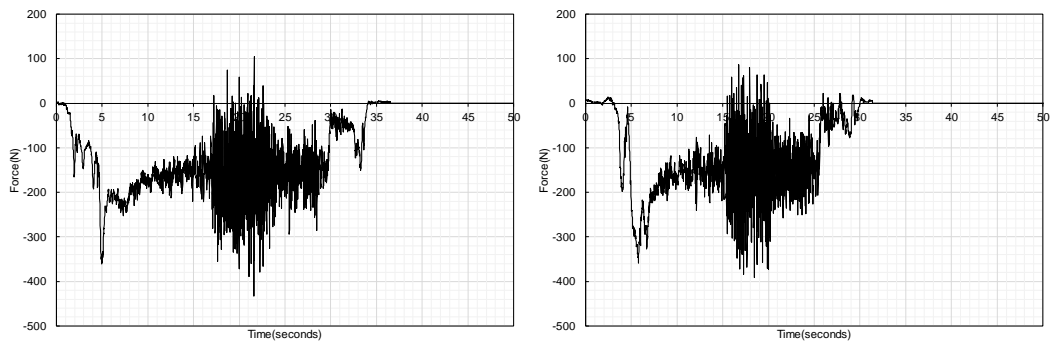


図 10 自転車③、乗員 B、アシストオンにおける
前ホークの測定結果例（左：走行速度 15km/h、右：走行速度 20km/h）

・ テストコース

テストコースの走行イメージを図 11 に示す。測定は走行速度の目標値を設けず、乗員が快適に走行できる速度、乗り方で実施した。路面はアスファルトで舗装されており、途中 1 回の停止と緩やかな登り坂、下り坂を含む走行路である。ひずみゲージを用いて測定した、走行時の力の測定結果例を図 12 に示す。

なお、後述の乗員 A～C がテストコースを走行した際の平均走行速度を図 13 にまとめた。自転車①～③ではアシストオン・オフによらず平均走行速度はほとんど変わらなかったが、自転車④では 1 km/h 程度平均走行速度が上昇していた。2.2 で述べたように、アシスト制御の違いが影響したと思われる。

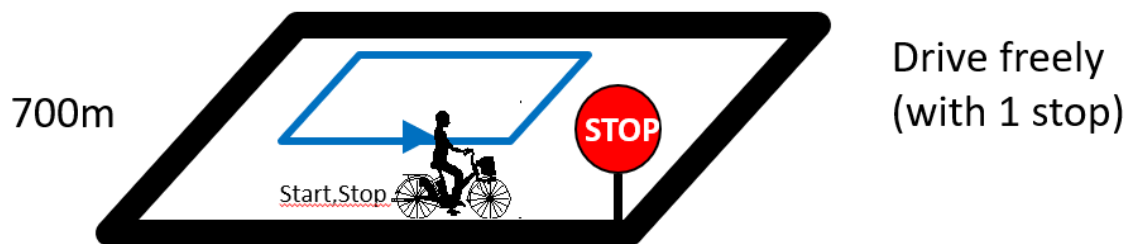


図 11 走行路イメージ図（テストコース）

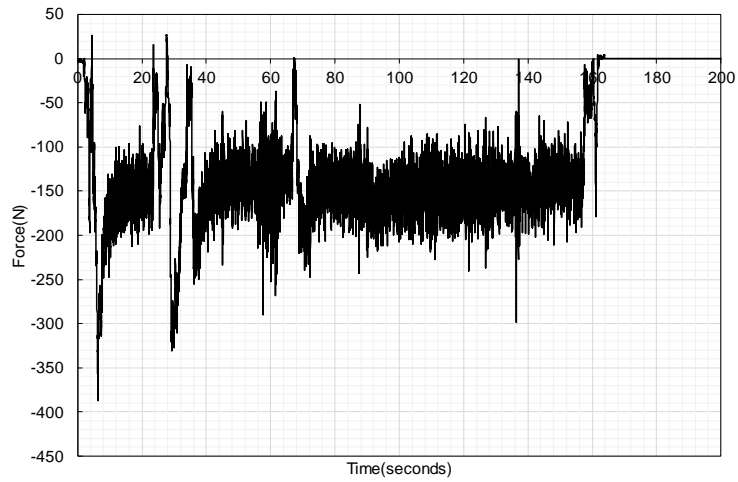


図 12 自転車③、乗員 B、アシストオンにおける前ホークの測定結果例

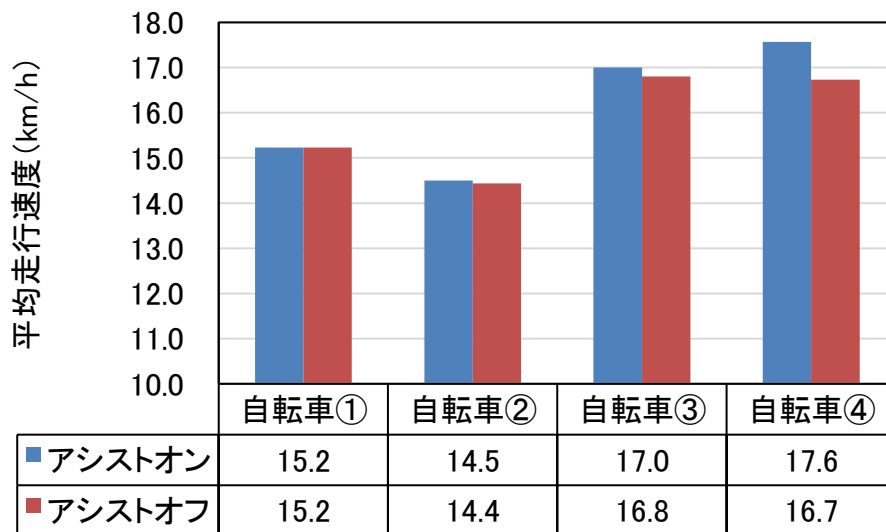


図 13 テストコース走行時の全乗員の平均走行速度

2.4.2 乗員

乗員の情報と乗車した供試車の組み合わせを表 4 に示す。乗員 A が体重 50 kg 台、乗員 B (B1~B4) が体重 60 kg 台、乗員 C が体重 70 kg 台である。乗員 B については供試車によって乗員が異なる。また、B2/B4 や B3/B4 のように表記しているものについては、B2 や B3 が平坦路、上り坂、下り坂の走行を行い、B4 が石畳・ブロック、テストコースの走行を実施したことを示している。

表 4 乗員と乗車した供試車の組み合わせ

乗員	年齢 (歳)	身長 (m)	体重 (kg)	乗車した供試車
A	59	1.70	55	①②③④
B	B1	40	1.58	②
	B2/B4	46/36	1.66/1.70	①④
	B3/B4	40/36	1.69/1.70	③
C	44	1.68	79	①②③④

2.5 レインフロー法による測定データの頻度解析例

頻度解析にはレインフロー法³⁾を用いた。レインフロー法とは対象とする波形の変動幅を正確に把握し、頻度処理できる解析方法である。詳細については参考文献などを参考にしていただきたいが、レインフロー法は、測定した波形データを 90° 回転させ、多重の屋根として考え、屋根の高い位置より雨滴を流すことをイメージする。これにより複雑に変化する波形から振幅成分とそのカウント数を抽出することができるという方法である。

今回測定したデータとその頻度解析例を図 14 に、各走行路での頻度解析結果例を図 15 に示す。

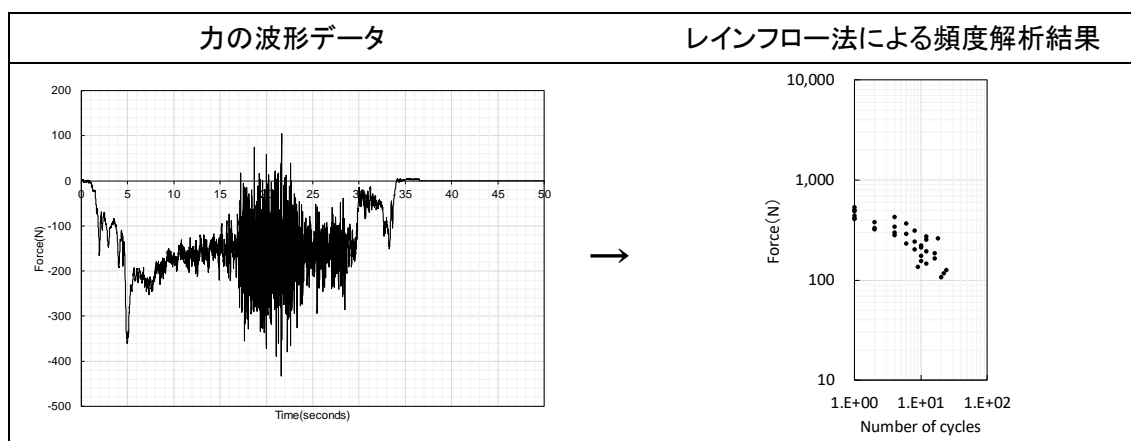


図 14 測定データとレインフロー法による頻度解析例

(自転車③の前ホーク、乗員 B、アシストオン、石畳及びブロック・目標走行速度 15km/h)

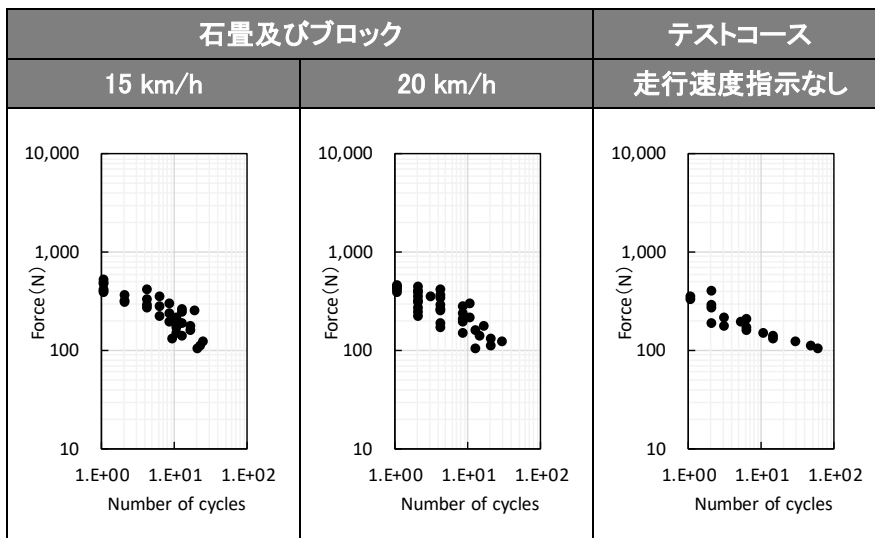
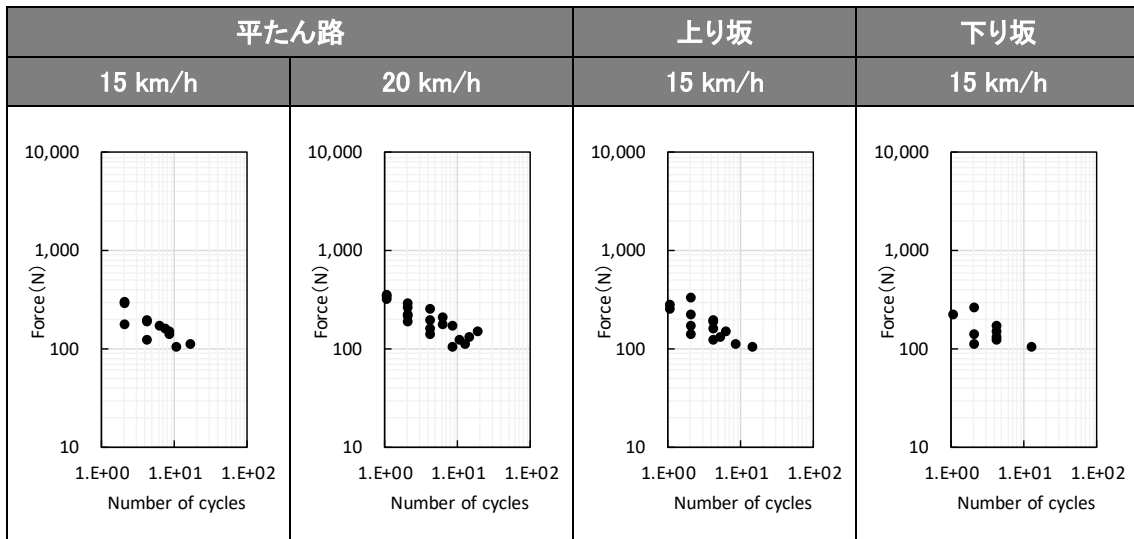


図 15 レインフロー法による頻度解析例（自転車③の前ホーク、乗員 B、アシストオン）

2.6 各走行路の頻度解析データを組み合わせ

本検証では、一般的な走行路を走行して、寿命がどのようになるかを計算するのが目的であるが、一般的な走行路の定義（路面状態の出現比率や割合）は非常に難しい。そこで、既出の論文やレポート¹⁾²⁾などで用いられている走行路の路面状態を参考にした走行路を設定した上で、各走行路の測定データの頻度解析結果を組み合わせ、足し合わせたものを用いて、寿命計算を行った。

参考とした走行路の路面状態の内訳を図 16 に示す。市街地、大学構内など大まかに分類されているが、坂道などを含むアスファルト舗装路（図の黒枠部）が約 65%～76%、石畳など凹凸のある路面（図の赤枠部）が 24%～35%となっていた。ドイツでの測定であるため、石畳など凹凸のある路面の割合は、日本の路面より高めになっていると思われる。

今回の計算で用いる走行路の組み合わせも、図 16 に近い割合を目標とした。組み合わせの内訳を表 5 及び図 17 に示す。上り坂、下り坂を含むアスファルト路面が約 77%、凹凸のある路面が約 23%の組み合わせとした。組み合わせ後の総走行距離は約 20,000 km としたが、これは、Regulation (EU) No 168/2013 及び Regulation (EU) No 3/2014 にて、カテゴリ L1e-B に属する車両（two wheel moped など）に要求されている設計寿命が 16,500 km であり、他文献³⁾でも 20,000 km を指標として用いていることから、本報告においても目標とする寿命として 20,000 km を設定した。

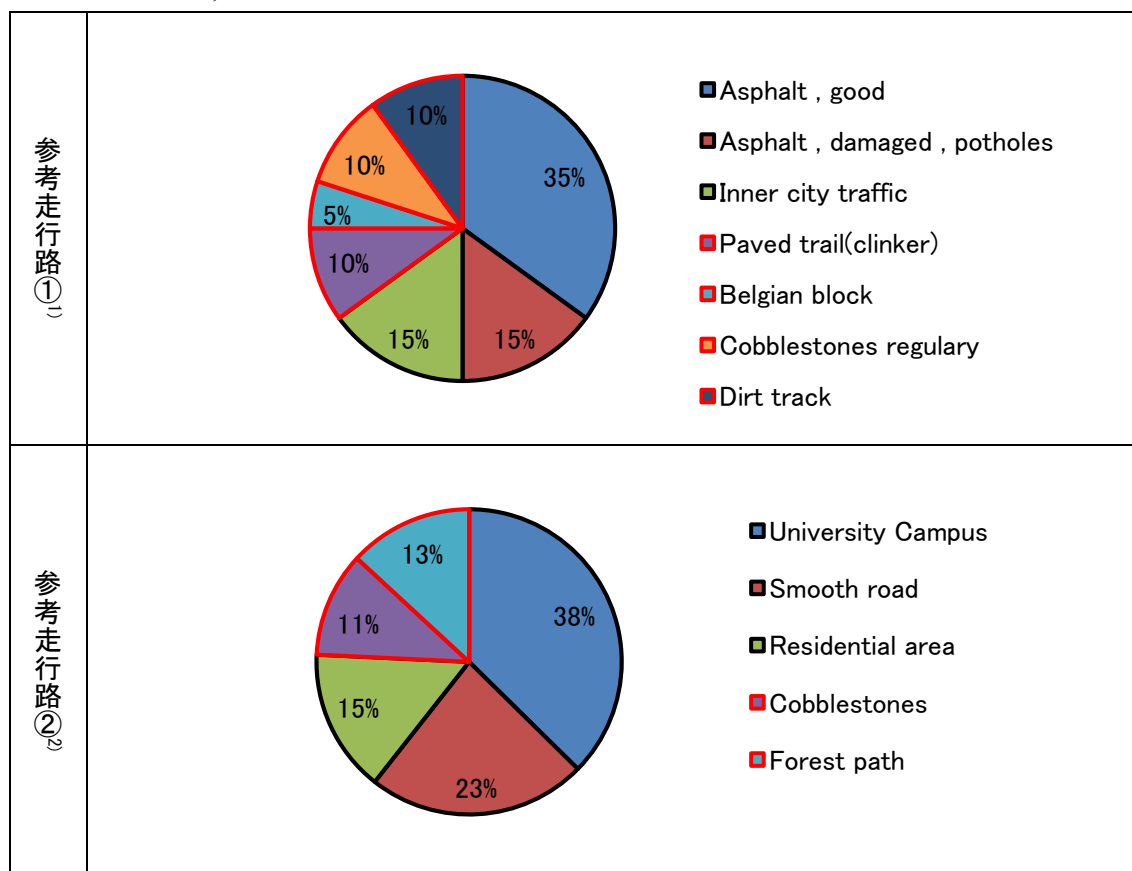


図 16 参考とした海外論文での走行路の内訳

表 5 走行路の組み合わせと内訳

走行路	組み合わせ回数	目安走行距離 (km)					計
		平たん路	テストコース	上り坂 (2°、4°)	下り坂 (2°、4°)	石畳及びブロック	
平たん路 (15 km/h)	9000	1170					1170
平たん路 (20 km/h)	9000	1170					1170
上り坂 (15 km/h)	9000	90		900			990
下り坂 (15 km/h)	9000	90			900		990
石畳及びブロック (15 km/h)	45000	2250				2250	4500
石畳及びブロック (20 km/h)	45000	2250				2250	4500
テストコース	9000		6300				6300
計		7020	6300	900	900	4500	19620

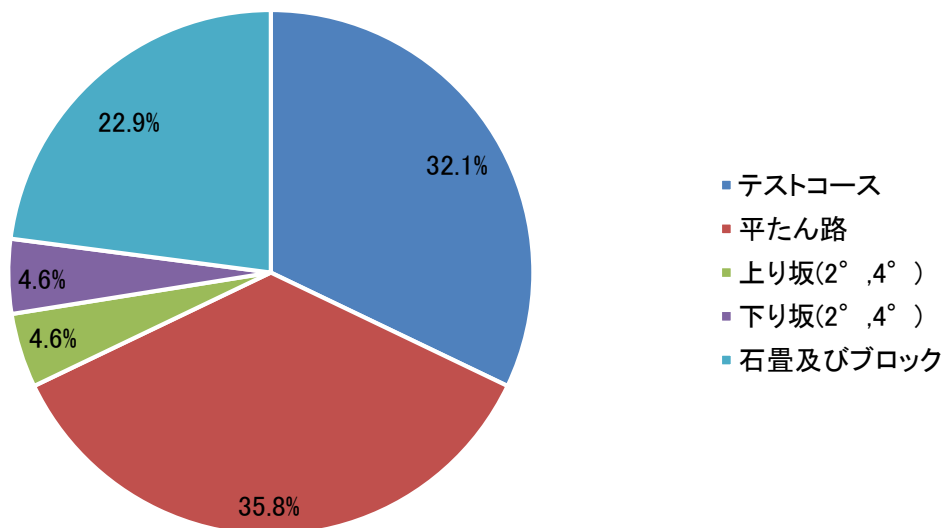


図 17 走行路内訳

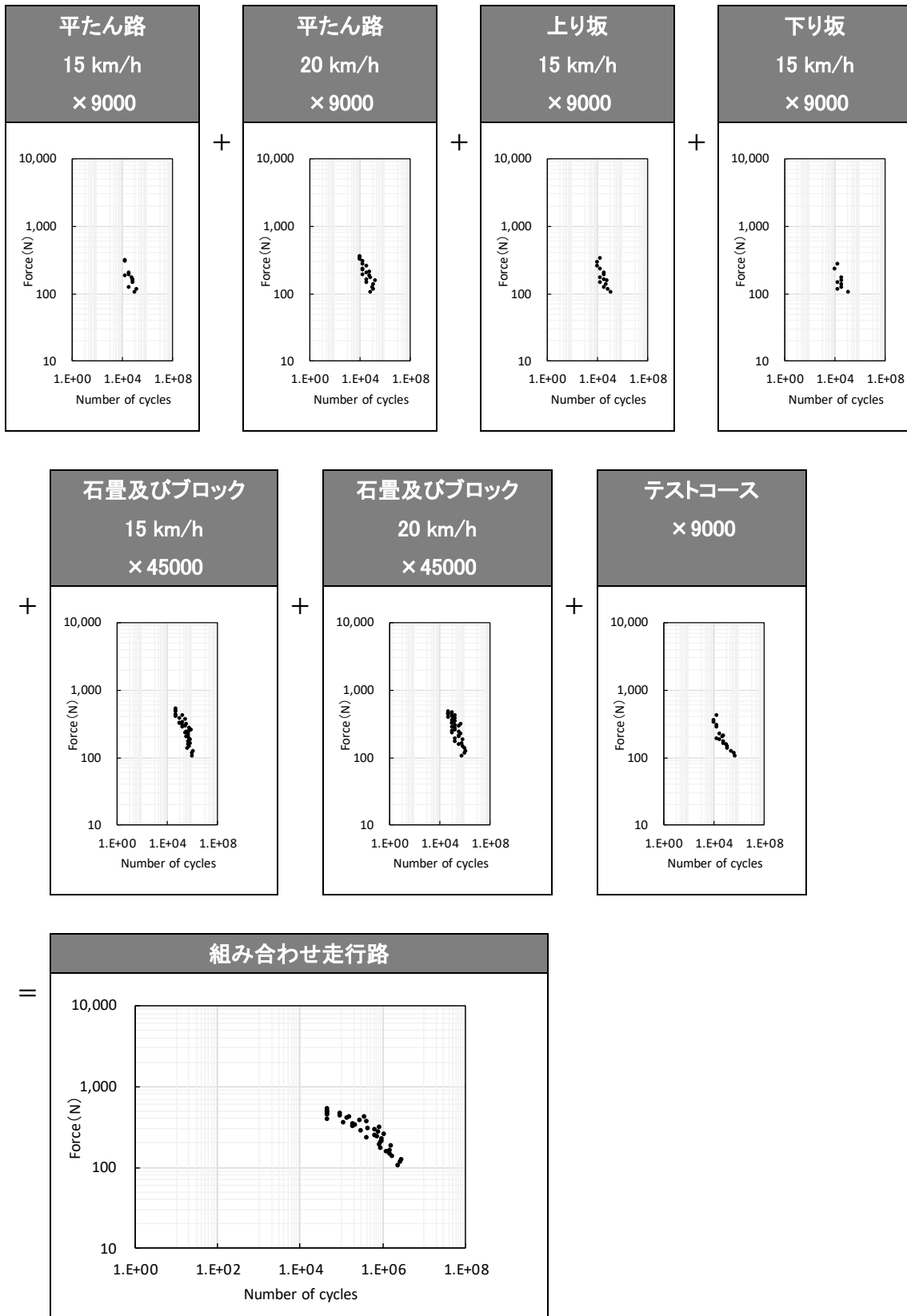


図 18 組み合わせ走行路の頻度解析結果例

2.7 仮想の SN 曲線と SN 線図

寿命計算では SN 曲線が必要となる。本検証では、規格、基準の試験条件をちょうどクリアできる製品を想定した仮想の SN 曲線を作成し、寿命計算した。本方法についても先述のハンブルグ工科大学の報告書¹⁾において用いている方法であり、各部品の最小の寿命が計算されることになる。

仮想の SN 曲線は以下の式を用いて作成した。

$$N = N_D \cdot \left(\frac{F}{F_D}\right)^{-k}$$

N_D : 規格・基準の繰り返し回数

F_D : 規格・基準の試験力、最大値と最小値の差

k : Wöhler exponent ($k = 6$ and 12)

ここで、Wöhler exponent として $k = 6$ と $k = 12$ を用いた。 k は材料や構造物に応じて値が変わり、例えば 鋼鉄 : $k = 10..11$, 鋳鉄 : $k = 13..14$, アルミニウム : $k = 12$ であり⁴⁾、アルミニウム合金製の自転車部品であれば 7005 番 : $k = 12.2$, 6065 番 : $k = 6.2$ をハンブルグ工科大学の寿命計算では用いている^{1),2)}。よって、自転車部品においては $k = 6$ 及び $k = 12$ の SN 曲線で寿命計算すれば、自転車で用いられるほぼすべての材料を網羅できる⁵⁾。

次に N_D や F_D の値であるが、前ホーク、ハンドルバー、シートポストの疲労試験で用いられている試験条件 (表 6) を用いた。表 7 に今回の寿命計算で用いた N_D や F_D の値をまとめた。

表 6 各部品の疲労試験 試験条件

	JIS D 9115 (= JIS D 9301:2013)	EN 15194
前ホーク	±450 N × 100,000 回	±500 N × 100,000 回
ハンドルバー	第一段階: ±200 N × 100,000 回 第二段階: ±250 N × 100,000 回	第一段階: ±220 N × 100,000 回 第二段階: ±280 N × 100,000 回
シートポスト	1000 N × 100,000 回	1000 N × 100,000 回

表 7 仮想 SN 曲線に用いた N_D や F_D の値

	自転車①~③		自転車④	
	F_D	N_D	F_D	N_D
前ホーク	900	100,000	1,000	100,000
ハンドルバー	500	200,000	560	200,000
シートポスト	1000	100,000	1000	100,000

3. 寿命計算結果

3.1 前ホーク

各自転車、各乗員における前ホークのアシストオン・オフ時の SN 線図を図 19 に、寿命計算結果を図 20 に示す。図 20 の寿命計算結果より、日本仕様の自転車①～自転車③については、前ホークの寿命が 40,000 km 以上となることがわかった。一方で自転車④については寿命が 5,500 km～16,000 km 程度となった。

傾向としては、アシストのオン・オフ問わず、乗員体重が重いほど寿命が短くなる傾向が見られ、供試車によっても寿命に差が見られた。

また、自転車③及び自転車④においては、アシストオフ時と比べアシストオン時に寿命が短くなることがあった。原因については後で考察する。

3.2 ハンドルバー

各自転車、各乗員におけるハンドルバーのアシストオン・オフ時の SN 線図を図 21 に、寿命計算結果を図 22 に示す。図 22 の寿命計算結果より、全供試車において、ハンドルバーの寿命が 39,000 km 以上となることがわかった。

傾向として、アシストのオン時には乗員体重が重いほど寿命が短くなる傾向が見られたが、アシストオフ時はアシストオン時ほど明確な傾向は見られなかった。前ホーク同様供試車によっても寿命に差が見られた。

また、前ホークとは異なり、全供試車でアシストオフ時と比べアシストオン時は寿命が長くなった。

3.3 シートポスト

各自転車、各乗員におけるシートポストのアシストオン・オフ時の SN 線図を図 23 に、寿命計算結果を図 24 に示す。図 24 の寿命計算結果より、全供試車において、シートポストの寿命が 23,000 km 以上となることがわかった。

傾向としては、前ホーク同様、アシストのオン・オフ問わず、乗員体重が重いほど寿命が短くなる傾向が見られ、供試車によっても寿命に差が見られた。

また、全供試車において、アシストオフ時と比べアシストオン時に寿命が短くなることがあった。原因については後で考察する。

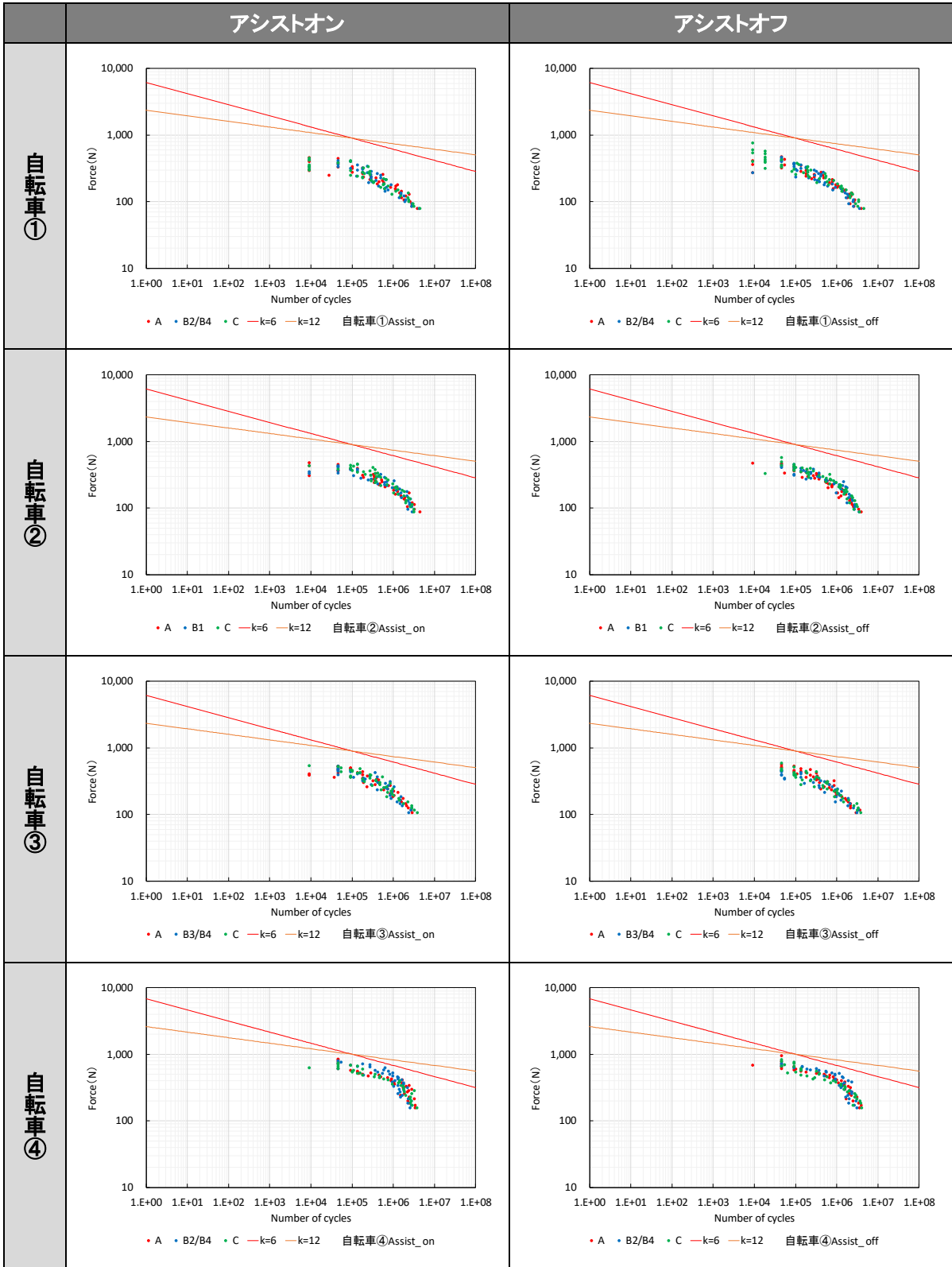
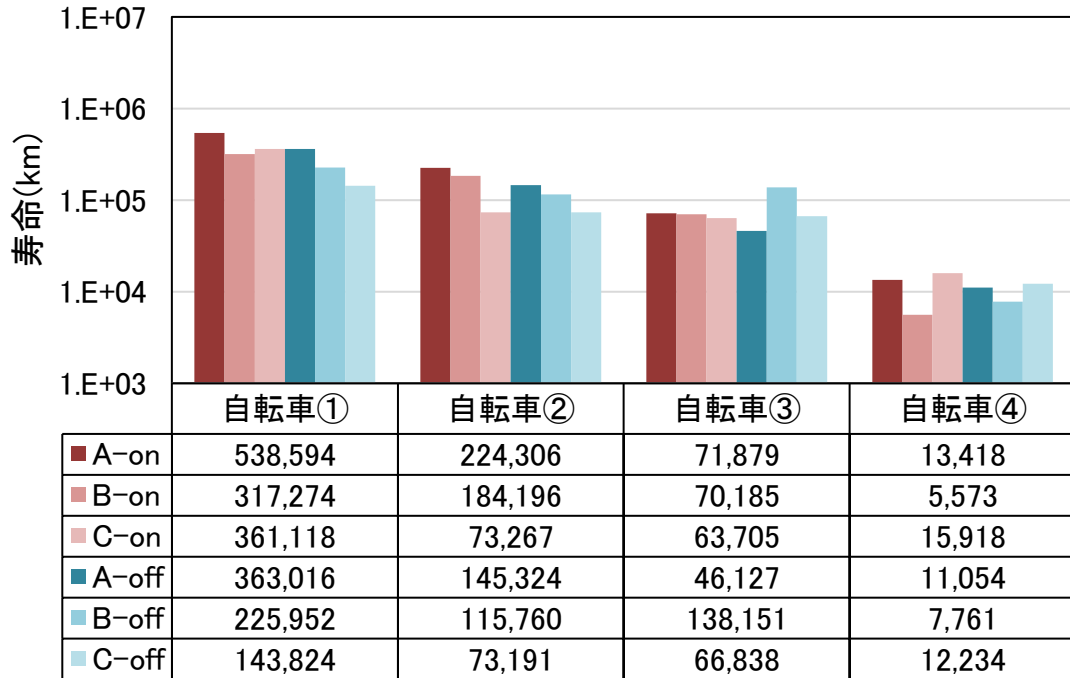


図 19 S-N 線図 (前ホーク)

$k = 6$



$k = 12$

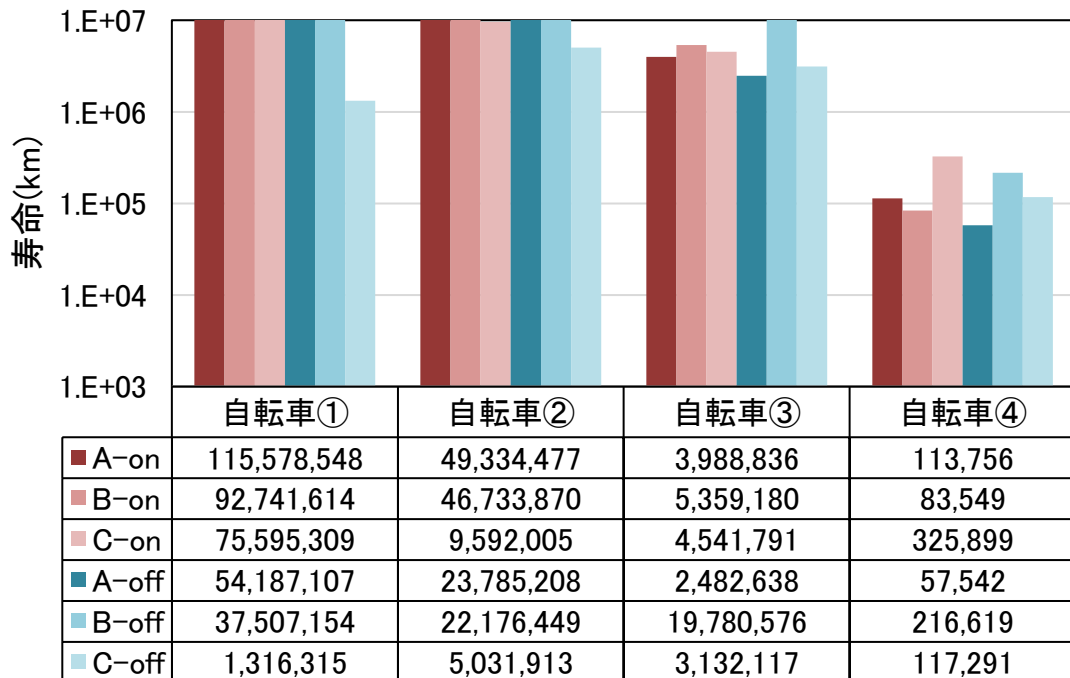


図 20 寿命計算結果 (前ホーク)

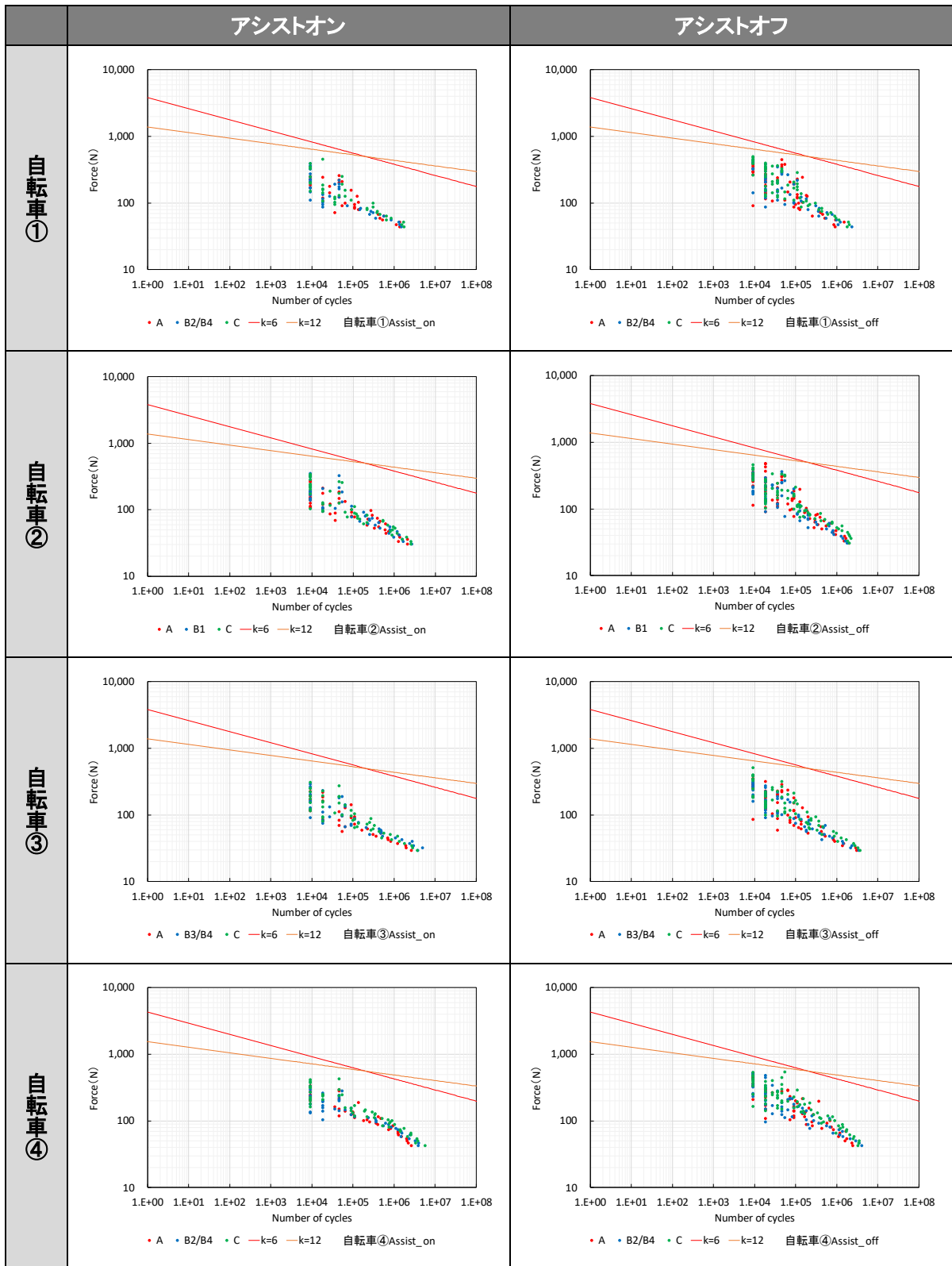
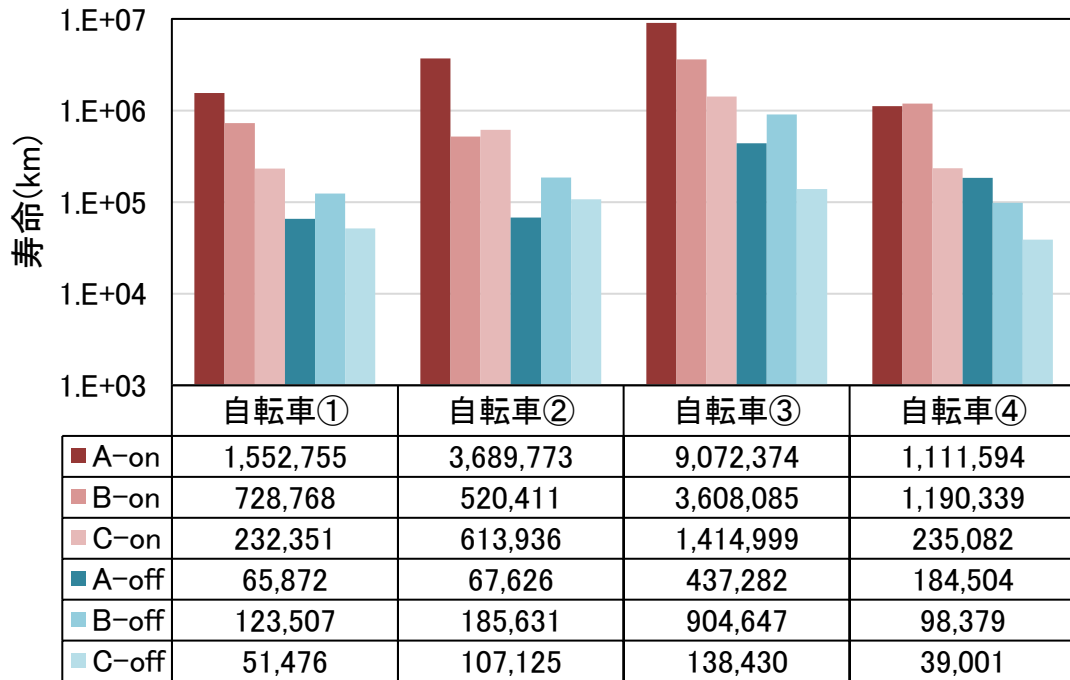


図 21 S-N 線図 (ハンドルバー)

$k = 6$



$k = 12$

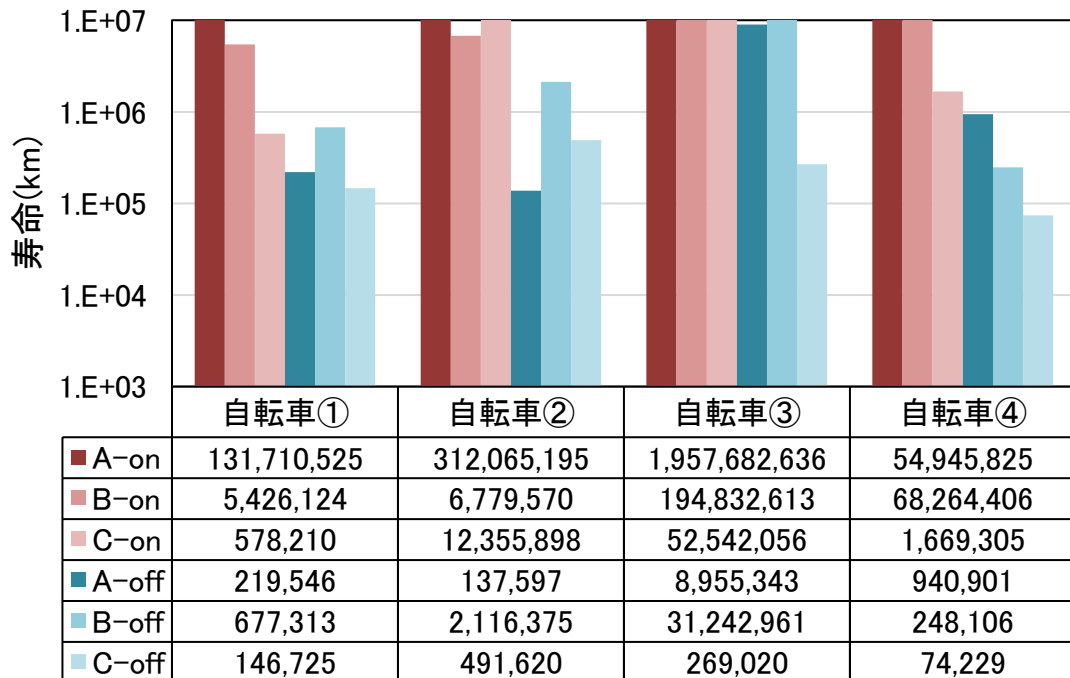


図 22 寿命計算結果 (ハンドルバー)

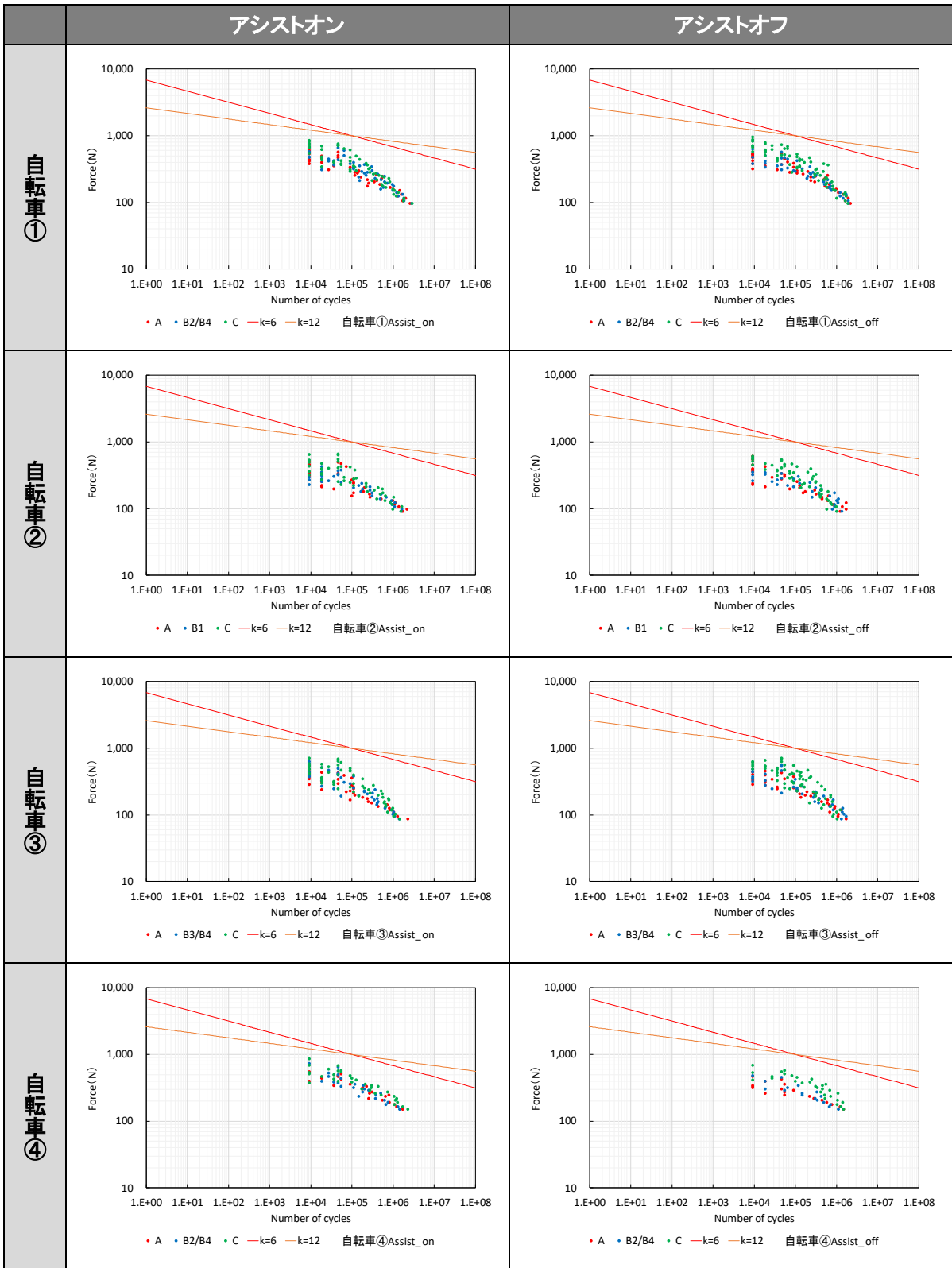
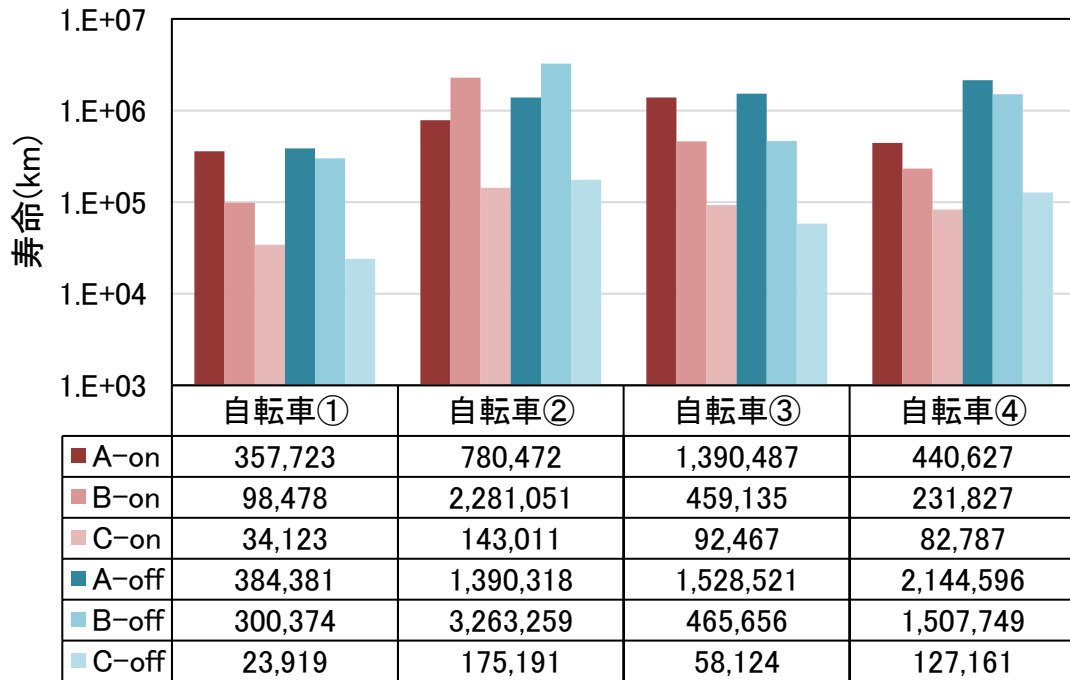


図 23 S-N 線図 (シートポスト)

$k = 6$



$k = 12$

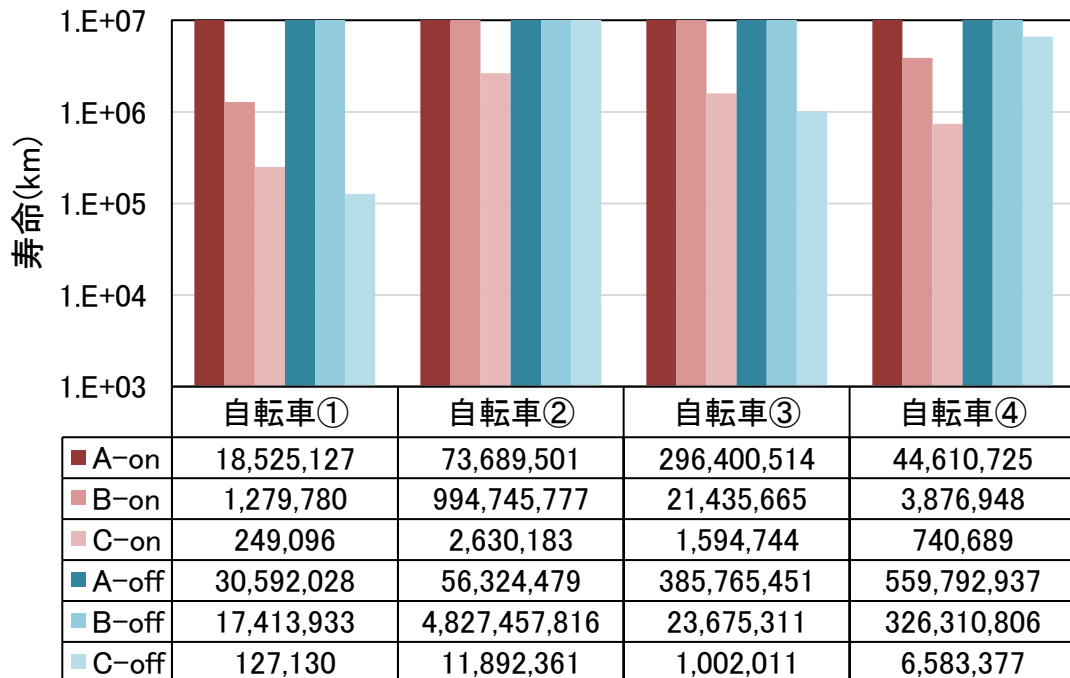


図 24 寿命計算結果 (シートポスト)

4 考察

4.1 寿命と試験条件

今回測定した3銘柄の日本仕様の電動アシスト自転車については、寿命は20,000km以上あることが分かった。製品に必要な寿命が20,000kmの場合、日本仕様の電動アシスト自転車では現状の疲労試験の試験条件で問題ないと思われる。一方で今回測定した1銘柄の欧州仕様の電動アシスト自転車の前ホークについては20,000kmを下回った。このことから、製品に必要な寿命を20,000kmとした場合、欧州仕様のものでは前ホークの疲労試験の測定条件および同様の力を負荷するフレームの水平力による疲労試験の試験条件を厳しくする必要がありということになる。

では20,000kmの寿命を担保するために必要な試験条件は何なのかを考えると、まず一番シンプルなのは、疲労試験の繰り返しサイクル数を増やすことである。サイクル数100,000回で5,500kmの寿命だったため、必要なサイクル数は $100,000 \times 20,000 \div 5,500 \approx 370,000$ 回となる。しかし、促進試験という点では繰り返しサイクル数が増えるのは好ましくなく、自転車部品の疲労試験では100,000回を用いるのが一般的であるため、100,000回の繰り返しサイクル数で20,000kmの寿命を担保するのに必要な試験力を計算する。

図25に、繰り返しサイクル数370,000回の際の仮想SN曲線($k=6$ 、 $F_D=1,000$ 、 $N_D=370,000$ 、図の赤線)を記載した、自転車④の前ホークのSN線図を示す。この仮想SN曲線が100,000回の繰り返しサイクル数の際の試験力が、求める試験力であるので、この場合、図25より1240Nが必要な試験力となる。よって欧州仕様の電動アシスト自転車の前ホークの疲労試験で20,000kmの寿命を担保するのに必要な試験力は、今回の測定結果から±620Nとなる。

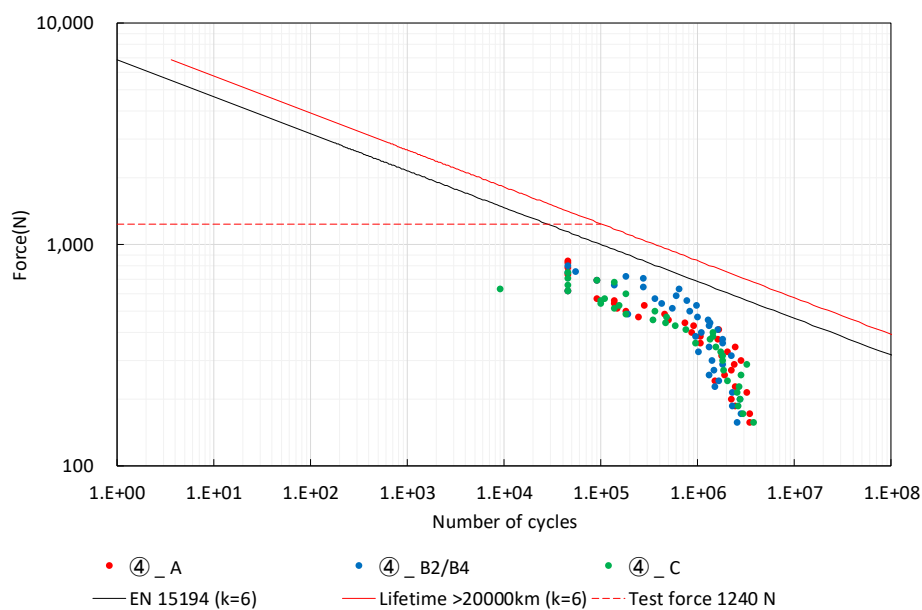


図 25 繰り返しサイクル数 370,000 回の際の仮想 SN 曲線を記載した SN 線図
(自転車④、前ホーク)

4.2 アシストオン・オフで生じる違い

次に、アシストオン・オフで寿命がどの程度変わったかを表 8～表 10 にまとめた。表に示す数値は、図 20、図 22 及び図 24 に示した、各 k 値におけるアシストオン時の寿命をアシストオフ時の寿命で割ったものである。すなわちこの値が 1 を下回っていれば（表中赤字）、アシストオン時に寿命が短くなっているということになる。

表 8 アシストオン・オフによる寿命の比較（前ホーク）

乗員	k=6			k=12		
	A	B	C	A	B	C
自転車①	1.5	1.4	2.5	2.1	2.5	57.4
自転車②	1.5	1.6	1.0	2.1	2.1	1.9
自転車③	1.6	0.5	1.0	1.6	0.3	1.5
自転車④	1.2	0.7	1.3	2.0	0.4	2.8

表 9 アシストオン・オフによる寿命の比較（ハンドルバー）

乗員	k=6			k=12		
	A	B	C	A	B	C
自転車①	23.6	5.9	4.5	599.9	8.0	3.9
自転車②	54.6	2.8	5.7	2268.0	3.2	25.1
自転車③	20.7	4.0	10.2	218.6	6.2	195.3
自転車④	6.0	12.1	6.0	58.4	275.1	22.5

表 10 アシストオン・オフによる寿命の比較（シートポスト）

乗員	k=6			k=12		
	A	B	C	A	B	C
自転車①	0.9	0.3	1.4	0.6	0.1	2.0
自転車②	0.6	0.7	0.8	1.3	0.2	0.2
自転車③	1.8	0.4	0.8	3.1	0.1	0.9
自転車④	0.2	0.2	0.7	0.1	0.0	0.1

まず、前ホークについて、表 8 より、自転車③、自転車④で、アシストオン時に寿命が短くなることがあった。乗員と供試車の組み合わせによって傾向が異なるため、乗車姿勢や乗り方などの影響が大きいとも思われるが、それ以外で何が影響し寿命が短くなったかを考察する。

自転車③の特徴として、前輪ハブモータにより前輪が駆動する点が挙げられる。前輪が駆動することにより、前ホークのハブ軸部分に、通常の自転車やセンターユニット方式の電動アシスト自転車では生じない力が作用する。

図 26 に自転車③、乗員 B による石畳及びブロック（目標走行速度 15km/h）走行時の前ホークの測定データを示す。図中の赤線がアシストオン時に前ホークに負荷された力、黒線がアシストオフ時に前ホークに負荷された力、黄線がアシストオン時の電流値であるが、加速局面（5 秒付近）以降、アシストオン時に負荷される力（進行方向向きの力）がアシストオフ時よりも大きくなっている。このタイミングでは電流も流れており、アシストが作動していることから、前輪が駆動したことが前ホークに負荷する力に影響し、寿命を短くする一因になったと考えられる。

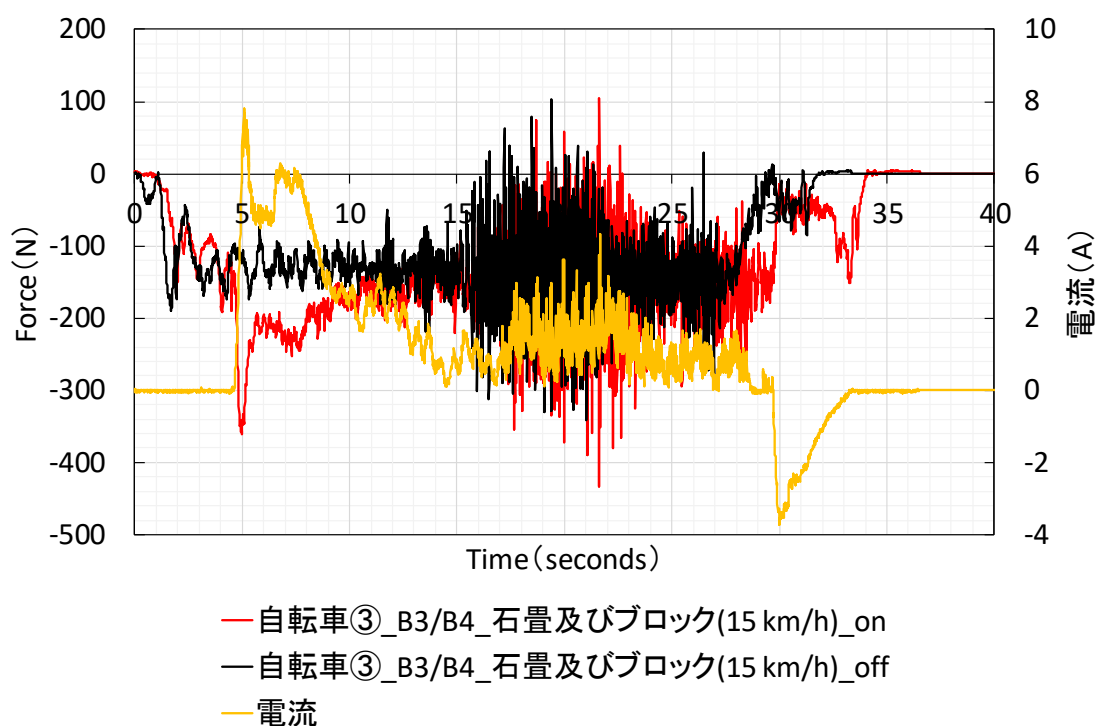


図 26 自転車③の前ホークの力測定データと電流データ

次に自転車④であるが、欧州仕様の自転車④では、2.2 で述べたように、乗員が速度を制御しようと意図しても、それ以上のスピードが出る。これが原因でアシストオフ時よりも前ホークに負荷される力が大きくなる可能性について考察する。

例として図 27 に自転車④、乗員 B による石畳及びブロック（目標走行速度 15km/h）走行時の前ホークの測定データを示す。加速局面及び平坦路走行時（～17 秒付近）は負荷される力にあまり差が見られないが、石畳に差し掛かって以降（17 秒以降）及びブロックに差し掛かって以降（22 秒以降）、前ホークに負荷する力が大きくなっていた。また図中の黄線がアシストオン時の走行速度、青線がアシストオフ時の走行速度であるが、全体を

通してアシストオン時の走行速度のほうが大きくなっていった。このことから、走行速度が大きくなった状態で凹凸のある石畳及びブロックを走行したことが前ホークに負荷する力に影響し、寿命を短くする一因になったと考えられる。

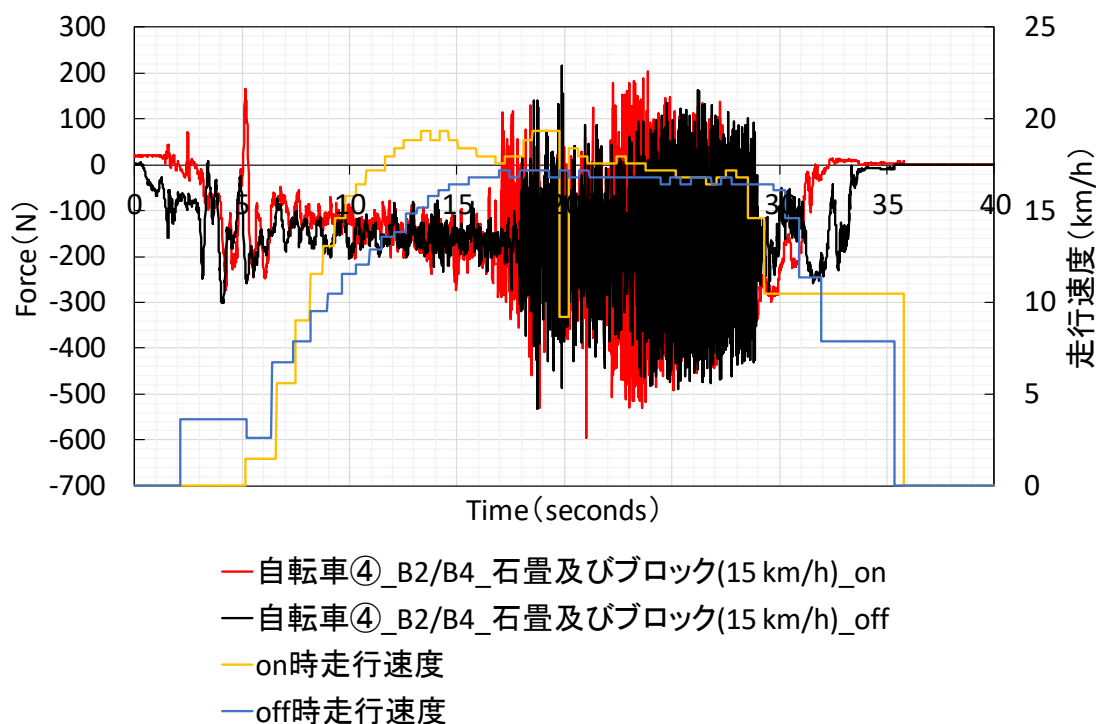


図 27 自転車④の前ホークの力測定データと電流データ

次にハンドルバーについては、表 9 より、全車両、全乗員でアシストオン時に寿命が延びることがわかった。理由としては、アシストオン時には、ペダルを踏ん張って漕ぐ動作が少なくなる、あるいはペダル踏力が小さくなるため、サドルに体重が載るような乗車姿勢となり、ハンドルに作用する力が小さくなることが影響していると考えられる。図 21 からも、アシストオン時の方が、負荷される力（図の縦軸）が全体的に小さい傾向が全供試車で見られた。

最後に、シートポストについては、表 10 より、全供試車で、アシストオン時に寿命が短くなることがあった。前ホークと同様、乗員と供試車の組み合わせによって傾向が異なるため、乗車姿勢や乗り方などの影響が大きいとも思われるが、それ以外で何が影響し寿命が短くなったかを考察する。

寿命が短くなった一因として、全供試車に対して共通することは、アシストオン時には、ペダルを踏ん張って漕ぐ動作が少なくなる、あるいはペダル踏力が小さくなる点である。ハンドルバーの場合はハンドルに作用する力が小さくなると考えられたが、シートポストについては、サドルに体重を載せて走行する機会が多くなると考えられる。

例として、自転車①、乗員 B による石畳及びブロック（目標走行速度 15 km/h）走行時のシートポストの測定データを図 28 に、自転車④、乗員 A による石畳及びブロック（目標走行速度 15 km/h）走行時のシートポストの測定データを図 29 に示す。加速局面（～10 秒付近）において、アシストオフ時はペダルを踏ん張る必要があるため、シートポストにはペダリング周期とおなじ周期で力が負荷しているが、アシストオン時は電流が流れ始めて以降、一定の力が負荷されていた。これはアシストが作動することでペダル踏力が小さくても自転車が駆動することになり、サドルにしっかり体重が載った状態で走行しているためと考えられる。その後、石畳に差し掛かる（15 秒以降）と、凹凸路面を走行するため、力の波形の振幅が増すことになるのだが、抵抗の多い路面で速度を維持するため、平坦な路よりもペダル踏力が必要になる。ここでも、ペダリングに力を要しないアシストオン時についてはシートポストに体重が負荷されると考えられるため、シートポストへの負荷が大きくなっていた。

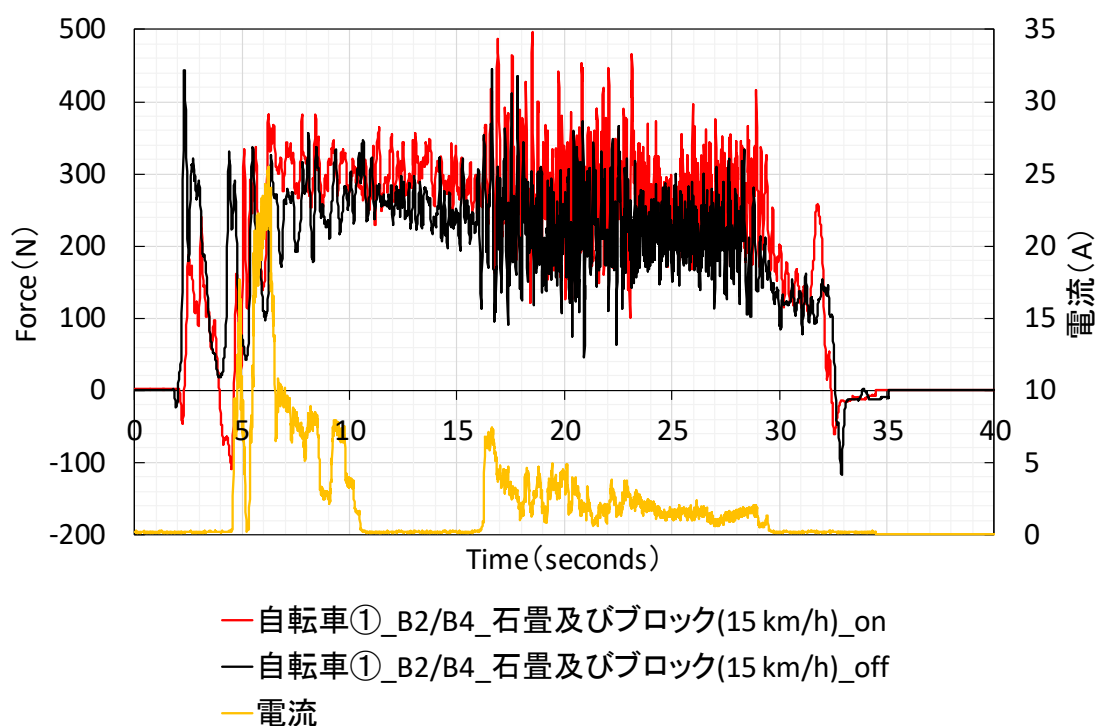


図 28 自転車①のシートポストの力測定データと電流データ

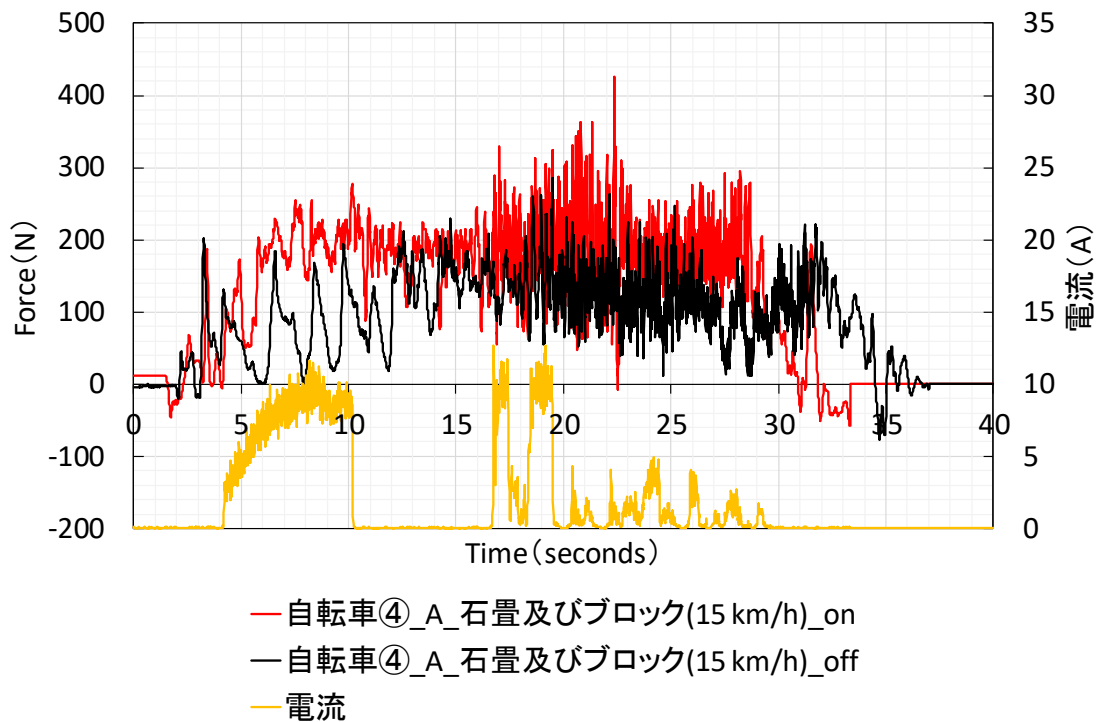


図 29 自転車④のシートポストの力測定データと電流データ

5. まとめ

今回の調査で以下の2点が明らかとなった。

- ・ 今回測定した日本仕様の電動アシスト自転車3 銘柄の寿命は 20,000 km 以上であり、欧州仕様の自転車1 銘柄については寿命が 20,000 km 未満であった。現在の日本の道路交通法のアシスト比のレギュレーションでは、JIS D 9115 に規定されている疲労試験 (JIS D 9301 と同じ) を満足することで 20,000 km 以上の寿命を担保できていると考えられる。
- ・ 電動アシスト自転車のアシスト作動による各部寿命への影響はあり、乗車姿勢などの影響も考慮する必要があるが、前輪駆動による影響や、アシスト力の強さ、走行速度の増大なども寿命に影響を及ぼすことが分かった。特に前ホークやシートポストに負荷される力が増大していた。

今後の懸念としては、現在よりもアシストの出力が大きくなるようなレギュレーションとなった場合は、前ホーク、シートポストに負荷される力も大きくなる可能性があることから、今回のような寿命測定を行い、必要に応じて疲労試験などの試験条件を見直す必要が出てくるかもしれない。

参考文献

- 1) Eric Groß, “POWER MEASUREMENT AND ROAD LOAD DATA ACQUISITION FOR SPEED EPACS “ : Technische Universität Hamburg-Harburg 2014 年
- 2) Johannes Koch, “Operational Loads on Electric Power Assisted Cycles(EPAC)“ : Technische Universität Hamburg-Harburg 2010 年
- 3) 遠藤達雄・松石正典・光永公一・小林角市 『「Rain Flow Method」の提案とその応用』九州工業大学研究報告 1974 年
- 4) CRGRAPH "Weibull & Wöhler", <http://media.crgraph.de/Woehler.pdf> (最終アクセス日 2018 年 3 月 12 日)