

2021 年度自転車等研究開発普及事業
事業実施報告書

電動キックボードに関する欧州規格 EN 17128 の検証 (駆動出力、構造健全性、制動性能)

2022 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	3
2. 検証内容	4
2.1 電動キックボードに関する規格・基準.....	4
2.2 本報告で検証を行った試験方法.....	4
3. 供試車及び試験機器など.....	6
3.1 供試車と各部の名称.....	6
3.2 試験機器	7
3.2.1 電動アシスト自転車用シャーシダイナモメータ	7
3.2.2 汎用ドラム試験機.....	7
3.2.3 静荷重試験用設備.....	8
3.2.4 制動性能測定.....	8
3.2.5 計測機器、及びひずみ（応力）測定箇所.....	11
3.3 実走行走路	11
4. 測定・検証結果	13
4.1 駆動出力管理	13
4.1.1 要求事項	13
4.1.2 3 km/h 以下での駆動出力の測定.....	14
4.1.3 電動機の出力測定（参考）	17
4.1.4 加速度	19
4.2 パワーアシスト時の最高速度.....	22
4.2.1 "vehicle with 100 % electric propulsion"（100 %電動推進車両）の試験.....	22
4.2.2 "partially electrically powered vehicle"（一部電動推進車両）の試験	23
4.3 静荷重試験ーデッキ／フレーム.....	24
4.4 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験.....	25
4.4.1 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（後方）	25
4.4.2 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（前方）	26
4.4.3 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（上方）	27
4.5 ハンドルバー及びステアリングコラムー垂直荷重試験.....	28
4.6 ハンドルバー及びステアリングコラムートルク試験.....	29
4.7 ハンドルバーグリップ及びプラグ	30
4.8 前方衝撃耐性試験.....	31
4.9 疲労試験（動的）	32
4.10 制動性能	35
5. 実走行時と疲労試験の比較.....	37

5.1 実走行時と疲労試験（動的）の応力比較.....	37
5.2 疲労試験（動的）が担保する物理的な寿命.....	51
6. まとめ.....	53

1. 背景と目的

近年、電動キックボードを含む PLEV (Personal light electric vehicles) あるいは PeTs (Personal e-Transporters) の普及が進みつつあり、国際的に規格開発が進められている。PLEV については CEN/TC354 (Light motorized vehicles for the transportation of persons and goods and related facilities and not subject to type-approval for on-road use) により EN 17128 (Light motorized vehicles for the transportation of persons and goods and related facilities and not subject to type-approval for onroad use - Personal light electric vehicles (PLEV) - Requirements and test methods) が 2020 年に発行され、PeTs については現在 IEC/TC125 (Personal e-Transporters (PeTs)) にて規格開発が進められている。これらの規格では ISO/TC149(自転車)の適用範囲である EPACs (電動アシスト自転車)は適用範囲から除外しているが、一部で自転車関連規格の参照や試験方法が流用されるなど、規格の面では全く無関係ではない。

近年では、日本国内においても電動キックボードを一般公道で目にする機会が増えてきた。電動キックボードについては、2022 年 3 月時点では道路交通法や道路運送車両法上、原動機付自転車以上に相当する車両¹⁾であるが、「特例電動キックボード」ということで小型特殊自動車に位置付けられた車両²⁾により実証実験やシェアリングサービスが行われるなどの動きもある。また、2021 年 12 月には「多様な交通主体の交通ルール等の在り方に関する有識者検討会」の報告³⁾により、

- 最高速度が 20 km/h 以下、車体が長さ 190 cm、幅 60 cm 以内のものを「小型低速車」と位置づけ、運転免許を不要としたうえで、車道だけでなく自転車専用レーンなども走れるようにすべき
- 年齢制限を設けて 16 歳未満の運転を禁止するとともに、ヘルメットの着用の促進や販売会社などによる交通安全教育も合わせて行う

などの方針が取りまとめられ、2022 年の通常国会での法案提出も視野に入れて、具体的な制度の在り方について、関係省庁とも連携して検討を進める方針であることが報道された⁴⁾。

一方で、電動キックボードの利用・普及に関しては、道路交通法違反や事故などの報道も少なからずあることから、まだまだ課題がある状態とも思われる。自走する車両ではあるが、自動車よりも自転車に近い車両であるということで、電動キックボードの技術的な問い合わせや相談が当所に寄せられることも増えてつつある。当所では、自転車や車椅子以外の車両について知見がなかったことから、電動アシスト自転車用シャーシダイナモメータなどの当所所有の設備を用いて、電動キックボードの最高速度測定⁵⁾や加速度測定⁶⁾などの予備的な検証を行い公表してきたが、これらは EN 17128:2020 発行前の検証であった。

本報告では市販されている代表的な電動キックボードを用いて、当所所有の自転車関連の試験機器などを活用した EN 17128:2020 の試験方法の実施可否調査、及び実走行時の負荷との比較結果などを報告する。

2. 検証内容

2.1 電動キックボードに関する規格・基準

2022年3月時点で、電動キックボードに関するJIS規格はなく、国外では先述の通りEN規格としてEN 17128:2020や、電気関係の規格としてANSI/CAN/UL 2272 (Standard for Electrical Systems for Personal E-Mobility Devices)がある。

なお、電動ではないキックボードの規格としては、日本国内ではボード系ホイール付き走行ギアのSG基準、国外ではEN 14619:2019 (Roller sports equipment - Kick scooters - Safety requirements and test methods)がありEN 17128:2020の強度関連試験についてはEN 14619:2019と類似したものもある。

2.2 本報告で検証を行った試験方法

今回の報告で検証を行った、EN 17128:2020のClass2車両(自律制御なし、設計最高速度25 km/h以下、座席なし)の2-wheeled single track vehicle向けの試験項目を表1にまとめた。これ以外にもEN 17128:2020では電池、充電器、電磁両立性などの電気関連の要求事項や試験などが規定されているが、当所では機械的強度関連試験や駆動・制動関連試験しか行うことができないため、当所では実施可能と思われるもののみ検証を行なった。なお本報告では、各試験項目の要求事項や規定値などの内容については、必要最低限のみ和訳し記載しているため、詳細についてはEN 17128:2020を直接参照していただきたい。

また表1の内容以外に、独自の項目として電動機の出力についても検証を行った。これは出力測定に関する相談が当所にしばしば寄せられることに加え、EN 17128:2020の一部試験においては電動機の拘束電流についての情報が必要であるが、その情報がない、あるいは拘束条件での測定が難しい場合、実際に電動機の性能を測定する必要があるためである。なお、EN 17128:2020では電動機の出力について特に規定がない。それはEN 17128:2020 Annex D D.3に理由が記載されており、「ラストマイルに使用されることを意図しており、他の輸送手段で運ぶことができるように、ポータブルである必要がある」、「携帯性によって、バッテリーとモーターの質量とサイズが制限され、その結果、出力も制限される」とされている。

表 1 検証実施項目

7 Driving power management	
駆動出力管理	7.1 Driving power activation 7.1.1 Requirements 7.1.2 Test method
8 Speed limitation	
パワーアシスト時の最高速度	8.2 Maximum speed with power assistance 8.2.1 Requirements 8.2.2 Test method
12 Structural integrity	
静荷重試験ーデッキ/フレーム	12.2 Static load test 12.2.1 Deck/frame 12.2.1.1 Requirement 12.2.1.2 Test method - 2-wheeled single track vehicle
ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験(後方、前方、上方)	12.2.2 Handle bar and steering column 12.2.2.1 Bending test
ハンドルバー及びステアリングコラムー垂直荷重試験	12.2.2 Handle bar and steering column 12.2.2.2 Vertical loading test
ハンドルバー及びステアリングコラムートルク試験	12.2.2 Handle bar and steering column 12.2.2.3 Torque test
ハンドルバーグリップ及びプラグ	12.2.2.4 Handlebar grips and plugs
前方衝撃耐性試験	12.3 Frontal impact resistance 12.3.1 Requirements for class 2 12.3.2 Test method for vehicle of class 2
疲労試験(動的)	12.4 Fatigue test (dynamic) 12.4.1 General 12.4.2 Requirements 12.4.3 Test method for a 2-wheeled single track vehicle
15 Adequate stability	
制動性能	15.4 Braking devices 15.4.1 General 15.4.2 Braking performance 15.4.3 Test methods

3. 供試車及び試験機器など

3.1 供試車と各部の名称

供試車として、市販されている電動キックボード1台を用いた。この車両については、市販されている車両の中では、実証実験などで使用されている車両に比較的近い仕様と思われる。供試車の主な仕様（一部の仕様については販売店による情報や取扱説明書記載の内容などを抜粋）を表2にまとめた。今回の検証のうち、駆動に関する試験については、出力が最も大きくなるモードで測定を行った。本銘柄はEN 17128:2020 発行前に販売されていた製品であることや、本検証は試買テストを目的としていないため、具体的な製品名は公表しない。報告書中の写真においても解像度を下げる、グレースケールにする、あるいは製品名部分にマーキングを施した。

表2 供試車の主な仕様（取扱説明書等に記載されている内容）

寸法(長さ×幅×高さ)(mm)	1090×420×1120
車輪径(前/後)(インチ)	9/9
ブレーキ(前/後)	電気式ブレーキ/フットブレーキ (泥除けと車輪の摩擦によるブレーキ)
車両質量(kg)	13.5
最大許容質量(kg)	100
電動機による駆動輪	前輪
最高速度(km/h)	20
航続距離(km) [フルパワー、75kgの乗員、25℃、舗装路で平均速度は最高速度の60%]	22
最大登坂角度(%)	15(8.53度)
走行可能な地形	平坦な舗装路、1cm未満の障害物、3cm未満の隙間
定格電圧(V)	36
定格容量(Ah)	5.1
電動機の定格出力(W)	300
認証	ANSI/CAN/UL 2272

3.2 試験機器

3.2.1 電動アシスト自転車用シャーシダイナモメータ

加速度や最高速度、最高出力などの測定には(株)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呼ぶ）を使用した。装置への取り付けは専用のアタッチメントを用い、車輪をシャーシダイナモメータのローラ上に設置することができるように固定した（写真 1）。固定については、本車両は前輪駆動であるため、後輪を左右からクランプすることで固定し、ハンドルの回転を抑制するため、左右ハンドルも固定した。車輪の転がり抵抗を実走行時の状態に近づけるため、上下方向には極力負荷がかからないように固定した。また、等価慣性質量については、技術的許容最大質量（以下、TPMM と呼ぶ）での測定の場合、今回の供試車では 113.5 kg となるが、当所シャーシダイナモメータでは最大 112.5 kg の設定であることから 112.5 kg に設定し、それ以外の測定では総質量に応じた等価慣性質量を設定した。電流計測の際は日置電機(株)のクランプオンハイテスタ 3284 を使用し、シャーシダイナモメータのログデータと同期させた。

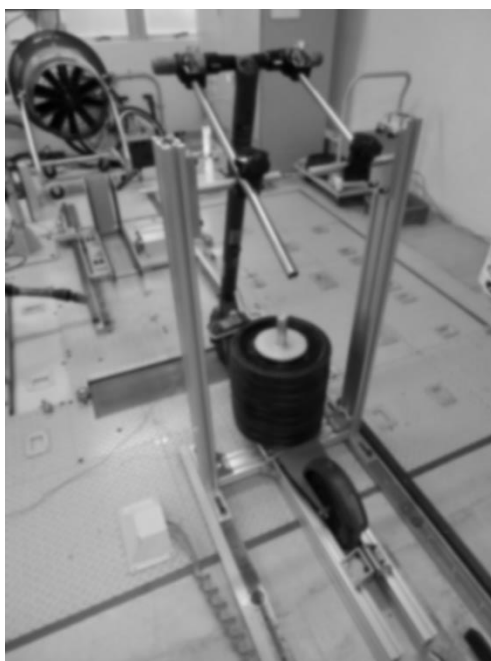


写真 1 シャーシダイナモメータへの取り付けの様子

3.2.2 汎用ドラム試験機

疲労試験の検証には、今年度開発した汎用ドラム試験機を用いた。試験機の外観を写真 2 に、主な仕様を表 3 にまとめた。この汎用ドラム試験機では EN 17128:2020 の Fatigue test (dynamic)、及び EN 14619:2019 の Endurance test が可能であり、JIS D 9313-5:2019 の附属書 A (参考) 車輪及びタイヤアセンブリの疲労試験や、ISO 4210-7:2014 の Annex A (informative) Wheel/tyre assembly — Fatigue test にも将来的に対応可能な仕様としている。

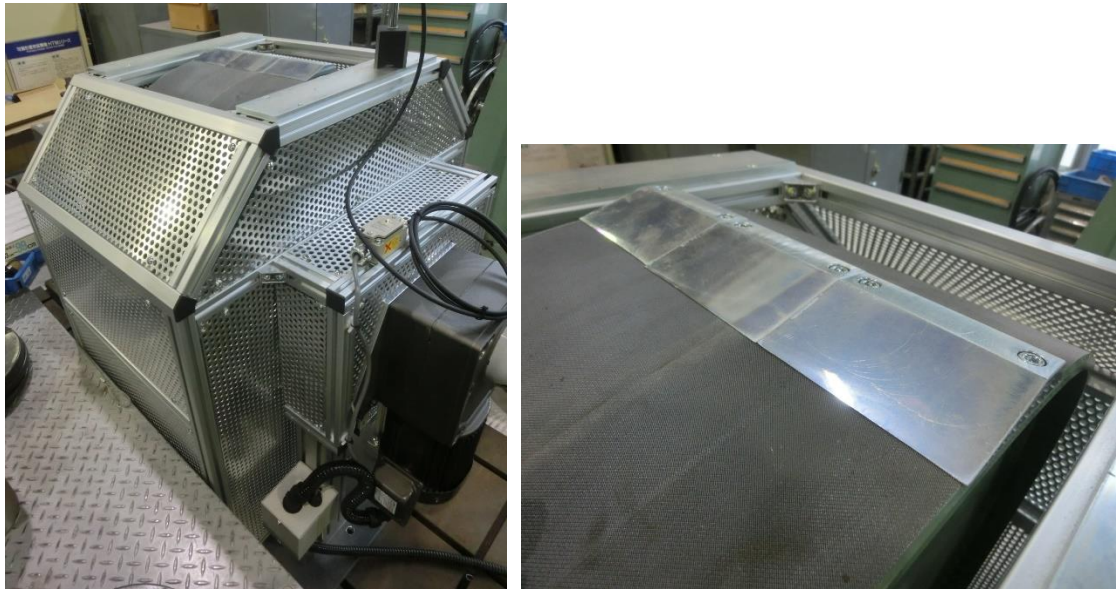


写真 2 汎用ドラム試験機（左：本体外観、右：ドラム部拡大）

表 3 汎用ドラム試験機 主な仕様

ドラム直径(mm)	700
ドラム幅(mm)	300
ドラムの最高回転速度(rpm)	200
段	EN 17128、EN 14619 規定形状の段 ドラム表面に 60 度または 90 度間隔で取り付け可
おもり	デッキ部最大 100 kg、ハンドルバー上最大 10 kg(1 kg のハンドルグリップ部取り付けアタッチメントを含む)
電動キックボードの 後輪固定	専用ジグを使用。リヤフォーク内側最小幅 50 mm M6 ねじを用いてハブ穴で固定

3.2.3 静荷重試験用設備

静荷重試験については当所にある設備、部材やおもりなどを活用し、規定の条件となるように供試車を取り付けた。各試験時の様子は 4. 測定・検証結果 の各項目で示す。

3.2.4 制動性能測定

制動性能測定には Autonics 社のロータリエンコーダ (ENC-1-2-T-24) を使用した。電動キックボードの後方でローラ部を回転させることができるよう写真 3 のように取り付けた。ローラ部に下方力を負荷するため、後方におもりを取り付け、ロータリエンコーダの自重込みで下方力が 10 N となるようにした。データロガーは㈱東京測器研究所の TMR-210 シリーズを用いた。ロータリエンコーダのデータ取得時の測定周波数は 5 kHz とした。

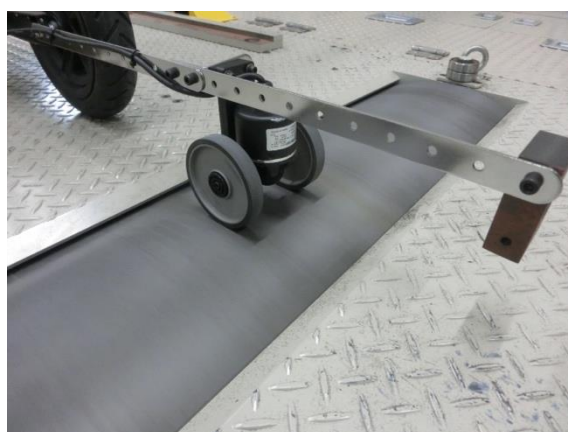


写真 3 制動性能測定用ロータリエンコーダ

ロータリエンコーダについては 10 mm で 1 パルスを検出する仕様である。速度は、10 ms あたりの検出パルス数を計算、速度に変換し、40 ms の単純移動平均値を用いて平滑化した。

走行速度の測定精度については、シャーシダイナモメータのローラ（2019 年校正時最大誤差 0.00 %）を用いて確認を行った。表 4 に 5 km/h～30 km/h での測定結果をまとめた。EN 17128:2020 で許容されている±1 %の精度は満たしていた。

表 4 走行速度の測定値比較

シャーシダイナモメータでの測定値 (km/h)	ロータリエンコーダでの測定値 (km/h)	差 (km/h)	パーセント誤差
5.00	4.98	-0.02	-0.36 %
10.00	9.99	-0.01	-0.14 %
15.00	14.99	-0.01	-0.08 %
20.00	19.97	-0.03	-0.17 %
25.00	24.95	-0.05	-0.19 %
30.00	29.93	-0.07	-0.22 %

次に、ロータリエンコーダの転がり抵抗についても、シャーシダイナモメータを用いて測定した。測定はシャーシダイナモメータのローラ上に写真 3 のようにロータリエンコーダを載せ、ローラを自転させた際にローラに負荷される力を測定した。測定結果を表 5 にまとめた。30 km/h 以下で 0.15 N 以下であった。EN 17128:2020 における平均飽和減速度（以下、MFDD と呼ぶ）の規定値は 1.7 m/s² 以上であり、今回検証を行った車両では制動性能の測定条件となる TPMM が 113.5 kg であることから、制動力に換算すると約 193 N となり、ロータリエンコーダの転がり抵抗の影響はほぼないと考えられる。

表 5 ロータリエンコーダの転がり抵抗測定結果

走行速度 (km/h)	ロータリエンコーダの 転がり抵抗 (N)
5.00	0.13
10.00	0.09
15.00	0.07
20.00	0.07
25.00	0.10
30.00	0.14

最後に、ロータリエンコーダによる走行距離の測定については、ローラ部分のスリップを考慮に入れる必要がある。当所の走行路（34.10 m）において、TPMM の状態にて発進→目標走行速度 20 km/h まで加速→ブレーキにて減速し、34.10 m ちょうどで停止する のパターンで走行した際の走行距離をロータリエンコーダで 10 回測定した。結果を表 6 にまとめた。

表 6 より、ロータリエンコーダで測定した距離は、実際の値よりもわずかに短くなるものの、EN 17128:2020 で許容されている±1%の精度は満たしていた。

表 6 ロータリエンコーダによる走行距離測定結果

測定	走行距離 (m)	実距離との差 (m)	パーセント誤差
1	34.04	-0.06	-0.18 %
2	33.89	-0.21	-0.62 %
3	33.90	-0.20	-0.59 %
4	33.93	-0.17	-0.50 %
5	33.92	-0.18	-0.53 %
6	33.96	-0.14	-0.41 %
7	34.05	-0.05	-0.15 %
8	33.88	-0.22	-0.65 %
9	33.88	-0.22	-0.65 %
10	33.88	-0.22	-0.65 %
平均	33.93	-0.17	-0.49 %

3.2.5 計測機器、及びひずみ（応力）測定箇所

機械的強度試験の際、電動キックボードの各部にひずみゲージを貼り付け試験を行った。ひずみゲージの貼付箇所、及び各部の主な名称を図 1 に示す。各部の主な名称については EN 17128:2020 の Annex E で示されている名称を参考にしたため、自転車部品とは使われ方が異なる名称がある。

使用したひずみゲージは(株)共和電業製の 2 線式箔ひずみゲージ（120 Ω、単軸のものは 5 mm、3 軸のものは 2 mm）で貼付箇所の材質に応じたものを使用した。データロガーは(株)東京測器研究所 TMR-210 シリーズを用い、ひずみ測定時の測定周波数は 100 Hz とした。

ひずみについては、測定後に応力（MPa）に変換した。材料の詳細が不明であるため、計算に用いた縦弾性係数は、鉄鋼 206×10^3 MPa、アルミ合金 70×10^3 MPa とし計算した。



図 1 ひずみゲージの貼付箇所（赤斜字）と主な各部名称（黒字）

3.3 実走行走路

実走行時のデータ取得については当所所内の走行路にて行った。図 2 に走行路や走行状態についての概要をまとめた。

走行路	写真	概要
平たん路		<ul style="list-style-type: none"> ・1回の走行あたりの走行距離約 40 m。 ・コンクリート路面、平たん、直線。 ・途中に制動性能試験用走路も含む ・停止状態から乗車、20 km/h まで加速し、その後急制動とならない程度に制動し停止する。
90 度右折、90 度左折		<ul style="list-style-type: none"> ・1回の走行あたりの走行距離約 50 m。 ・コンクリート路面、平たん。 ・1回の走行で90度の右折、または左折を2回行う。 ・停止状態から乗車、20 km/h まで加速し、足が着くことなく右折、左折可能な速度まで減速し進入する。その後急制動とならない程度に制動する。
上り坂、下り坂・急制動		<ul style="list-style-type: none"> ・登坂時は1回の走行で平たん路約 19 m とスロープ約 11 m を走行、下り時はスロープ約 11m と平たん路約 5 m を走行。 ・スロープの勾配 13 度、直線路 ・JIS D 9313-2:2019,4.6.3.1 で規定されている要件を満たす路面。 ・停止状態から乗車、登坂時は平たん路で加速、下り坂時はスロープ頂上より電動機を起動せず下る。 ・登坂時、電動機出力だけで登り切れないため、車両がストップした後に降り、スロープを登りきるまで車両を押し。 ・下り坂の際は、平たん路に進入後(約 25 km/h)、可能な限りの急制動を行う。
段		<ul style="list-style-type: none"> ・1回の走行あたりの走行距離約 25 m。 ・コンクリート路面、平たん。 ・段は JIS D 9301:2013 7.15 で規定された段(幅 50 mm、高さ 25 mm、タイヤが触れる角部に 12 mm ずつ 45° の面取りを施した段)を 4m ごとに配置、1回の走行あたり 3 回乗り上げる。 ・停止状態から乗車し加速する。段への進入速度は 15 km/h を目標とし、可能な限り速度を維持する。その後急制動とならない程度に制動する。

図 2 走行路概要

4. 測定・検証結果

4.1 駆動出力管理

4.1.1 要求事項

Class2 の 2-wheeled single track vehicle の要求事項としては、以下の項目が求められている。

- a) "partially electrically powered vehicle"の場合、3 km/h 以下の速度で前進している間は駆動出力が供給されてはならない。
- b) 使用者が使用中にいつでも駆動出力をオフにできなければならない。
- c) アシスト出力の維持よりも駆動出力の遮断が優先されなければならない。
- d) (Class3 及び 4 の要求事項のため省略)
- e) 車両がそのクラスの最高速度に近づいたとき、最高速度制限を超えないよう駆動出力を減少させなければならない。駆動出力は、円滑かつ段階的に管理されなければならない。
- f) 機械式ブレーキ装置を備えている場合、制動開始時に駆動出力が遮断されなければならない。
- g) 電気式ブレーキを装備している場合、制動が直ちに開始されるように駆動出力が管理されなければならない。
- h) (セルフバランス型車両の要求事項のため省略)
- i) (Class3 及び 4 の要求事項のため省略)
- j) (Class3 及び 4 の要求事項のため省略)
- k) (Class3 及び 4 の要求事項のため省略)
- l) 車両の加速は、不安定な走行状態を避けるため、衝撃のない滑らかなものとし、 2 m/s^2 以下でなければならない。

このうち、a)、c)、及び l)については、EN 17128:2020 の 7.1.2 で試験方法が規定されているが、今回の供試車では後ブレーキ（フットブレーキ）が電気制御系統とは独立した仕様であり、電動機による駆動の最中に後ブレーキを作動させても電動機は停止しないため、c)や f)の要求事項を満たさないことは明らかである。よって、今回の検証では a)、及び l)について検証を行った。

4.1.2 3 km/h 以下での駆動出力の測定

今回の供試品は、購入状態のままでは発進、加速の際に乗員がキックをする必要がある車両であり、EN 17128:2020 の定義 3.37 にある "partially electrically powered vehicle"（電動力に加えて人力による発進、加速、及び／または走行が必要な車両）と考えられるため、3 km/h 以下での駆動出力の測定を実施した。

本測定にはテストベンチとしてシャーシダイナモメータを用いた。試験条件については、測定機器の精度や周囲温度、風速、バッテリーの状態、ギヤ比などの規定はあるが、車両に積載する質量については規定されていないため、TPMM、及び総質量が 75 kg の時の 2 通りの測定を行った。おもりはデッキの中央に載せた。

シャーシダイナモメータへの車両の取り付けは 3.2.1 に示した方法で取り付けした。測定はシャーシダイナモメータのローラを、目標とする走行速度となるように回転させた。駆動出力の有無については電動機の 1 相分の電線にクランプメータを取り付け、電流値を測定することで判定した。なお、今回測定した車両では電動機が起動する速度を任意に調整可能であるが、この測定では初期状態の 4 km/h から設定を変えずに測定した。電動機を起動させる際に乗員が操作するスロットルの状態を感知するため、写真 4 のように自己復帰型のプッシュスイッチを介してスロットルを押した。スイッチオンにより生じる電圧については、シャーシダイナモメータの取得データと同期させた。

3 km/h と 4 km/h でローラを自転させ、目標走行速度でスロットルをオン状態にしたときの、TPMM 及び総質量 75 kg の各測定条件における走行速度、電流の絶対値、プッシュスイッチの電圧（スイッチを押した状態で 9 V となる）を図 3 に示す。各試験条件で 3 km/h では電動機は起動せず、4 km/h で電動機が起動して電流が流れていることがわかる。また 3 km/h から 0.1 km/h 刻みで速度を増加させ、電動機が起動する速度を調べた結果を図 4 に示す。図 4 では 3.7 km/h と 3.8 km/h 走行時の測定結果を示したが、各試験条件において、3.8 km/h で電動機が起動し、電流が流れることが確認できた。



写真 4 プッシュスイッチ

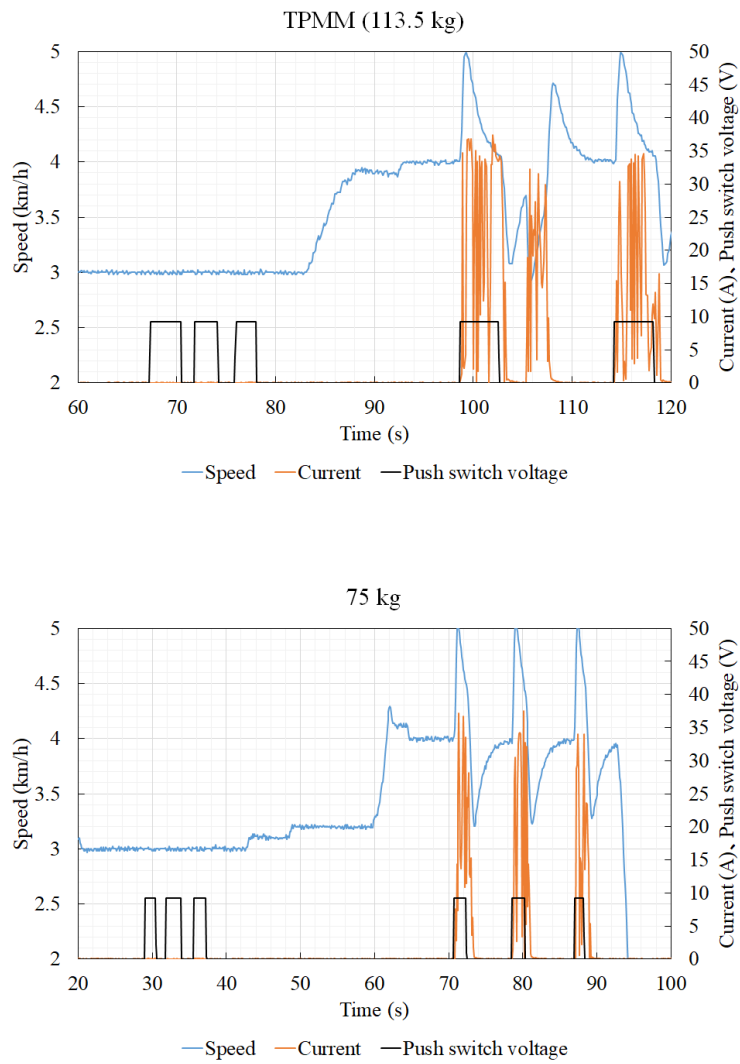


図 3 3 km/h、及び 4 km/h での駆動出力の測定結果（上：TPMM、下：総質量 75 kg）

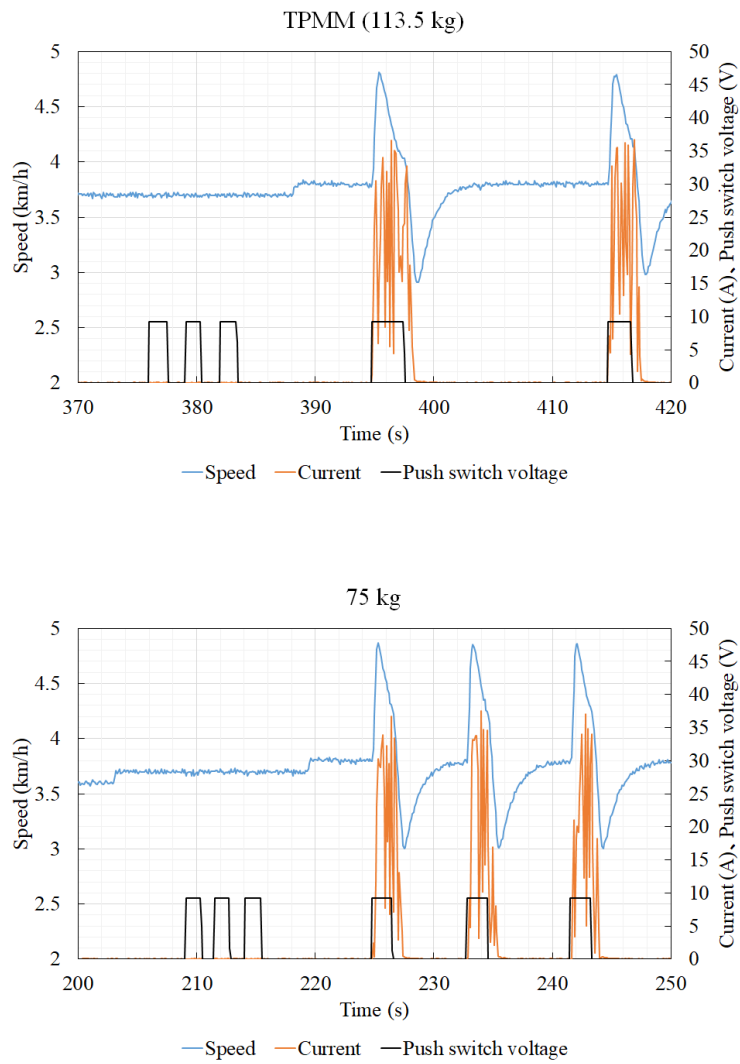


図 4 3.7 km/h、及び 3.8 km/h での駆動出力の測定結果
(上 : TPMM、下 : 総質量 75 kg)

4.1.3 電動機出力測定（参考）

本項では、EN 17128:2020 には規定されていないが、電動キックボードの電動機の性能を測定した。測定方法としては当所にて過去実施した報告書⁷⁾を参考に、表 7 に示す手順にて測定を行った。測定は TPMM、及び総質量 75 kg の 2 条件で実施した。電動機の軸トルクに対する電動機出力と電流の最大値の測定結果を図 5 に、電動機の最高出力等のまとめを表 8 に示す。

表 7 電動機出力測定手順

1	車両の整備、充電	測定車両を取扱説明書の指示に従い組み立て、整備し、電池も満充電の状態とする。充電後、測定まで 1 時間以上放置する。試験室内の環境温度は JIS D 9115:2018 附属書 D D.2.2.3 と同様 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ とする。電動機起動時の電流測定のため、本車両では電動機の 1 相分の電線を延長し、クランプメータを取り付ける。
2	非駆動輪の転がり抵抗の測定	シャーシダイナモメータに非駆動輪がローラ上に載るように車両を設置し、デッキ中央に各試験条件に応じた質量を載せる。その後、シャーシダイナモメータのローラを自転させ、5 km/h から 30 km/h まで 5 km/h 刻みで非駆動輪の転がり抵抗を測定し二次曲線により曲線回帰する。今回の車両における、各試験条件での非駆動輪の転がり抵抗は以下の通り。 TPMM : $-0.0052V^2 + 0.3016V + 10.141$ 総質量 75 kg : $-0.0029V^2 + 0.1979V + 6.177$
3	車両の設置	駆動輪がローラ上に載るように車両を設置し、デッキ中央に各試験条件に応じた質量を載せる。
4	走行抵抗の設定	シャーシダイナモメータのローラで負荷する走行抵抗は、JIS D 9115:2018 附属書 D の D.1 式を参考に、 $F = (\text{非駆動輪の転がり抵抗}) + 0.027V^2 + 9.8W\sin\theta$ に設定する。はじめは勾配 $\theta = 0$ 度とする。車両の電源をオンにし、最も出力が大きくなるモードにする。
5	駆動出力の測定	走行速度が 4 km/h 以上の状態(勾配 0 度の時は足でローラを蹴り加速する)で最大出力となるようスロットルを操作し、走行速度が安定後 10 秒間の各パラメータの平均値を測定する。
6	走行抵抗を上げる	スロットルの操作を止め、勾配を 0.2 度増加させる
7	走行できない状態となるまで走行抵抗を上げる	5、6 の操作を、走行ができなくなる状態まで繰り返す。
8	駆動輪の転がり抵抗の測定	手順 2 と同様の方法で駆動輪の転がり抵抗を測定する。今回の車両における、各試験条件での駆動輪の転がり抵抗は以下の通り。 TPMM : $-0.0058V^2 + 0.3229V + 11.869$ 総質量 75 kg : $-0.002V^2 + 0.1509V + 7.564$
9	電動機出力の計算	手順 5~7 で得られた測定結果より駆動出力を、手順 8 よりその駆動出力の時の転がり抵抗による損失を算出する。電動機出力は駆動出力と転がり抵抗による損失の和、電動機軸トルクは駆動出力測定時の走行抵抗とその時の駆動輪の転がり抵抗の和から、駆動輪の車輪径の実測値を用いて計算する。

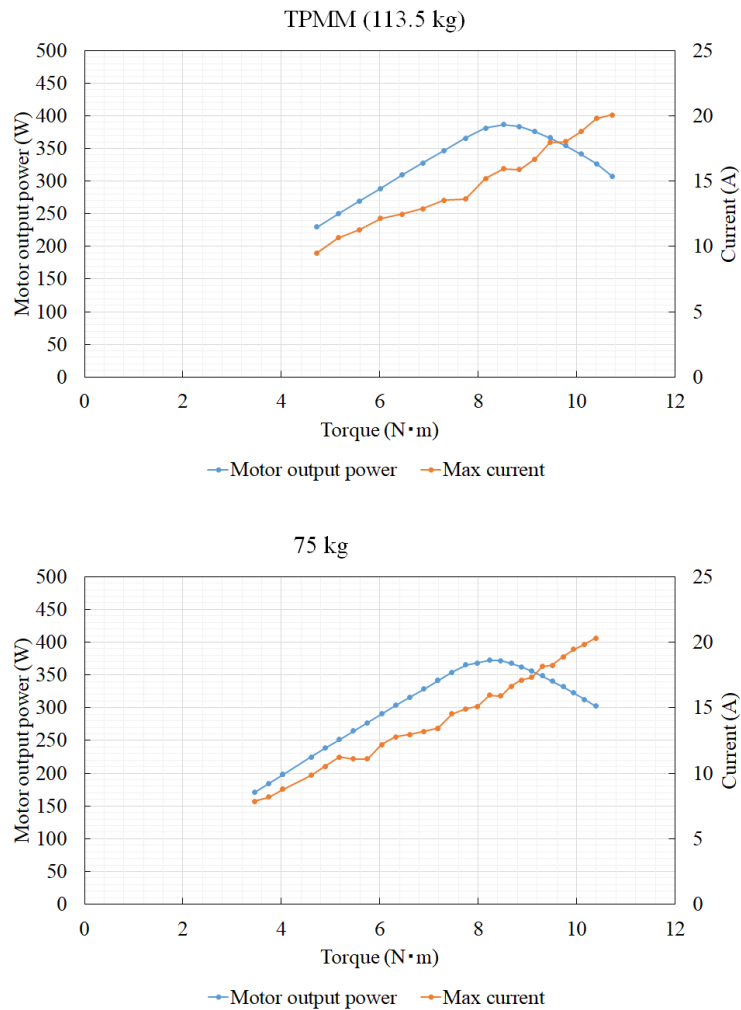


図 5 電動機出力と電流の最大値測定結果

表 8 電動機の最高出力など

測定結果	TPMM (113.5 kg)	75 kg
電動機の最高出力 (W)	387	373
電動機軸トルクの最大値 (N·m)	10.7	10.4
最大電流値 (A)	20.1	20.3

まず、表 8 より、電動機の最高出力については、総質量によって若干の差が見られたが測定は可能であった。今回の供試車の仕様では定格出力が 300 W であり、まずまず妥当な値と思われる。電動機への負荷については車輪の転がり抵抗等の影響を含めて評価しているため、理論的には総質量が変わっても最高出力は変わらないと考えられるが、総質量で差が見られた原因としては、勾配で走行抵抗を調整していることから、各条件で測定回数が変わった (TPMM の方が、測定回数が少なくなる) ことにより、電池残量に差が出たことが考

えられる。電池残量については測定終了時、TPMM では 50 %と表示されていたが、75 kg では 38 %であった。今回の供試車では電池を取り外すことが困難であり、満充電状態の電池を使用し測定したが、車両の電源として、直流電源装置を用いる方が良いと思われる。

次に、電動機の拘束トルクや 4.1.4 の加速度測定で値が必要な拘束電流（加速度測定は、停止状態から電動機の起動が不可能なものについては、走行速度 6 km/h の状態で運転させた際、拘束電流の 33 %が流れるよう負荷をかけた状態から加速させる必要がある。そのため、事前情報として拘束電流が必要である。）を調べるべく、可能なところまで走行抵抗を上げて測定を行ったが、電動機の軸トルクが約 11 N・m 以上の測定を行うことができなかつた。車両の状態としては、スロットルを作動させていても十分に加速することができず、徐々に減速する状態であった。これは過負荷を避けるなどの制御が働いたことが理由と考えられる。このため、この供試車では拘束トルクにおける拘束電流を測定することはできなかつた。

今回は、拘束電流を測定できなかったため、電動キックボード側の設定を変更し、停止状態から電動機が起動できるようにし、駆動輪（前輪）をロックした状態での起動時の電流を測定した結果、電流値は最大で約 36 A であったため、拘束電流を 36 A と仮定し、4.1.4 の加速度測定を行った。

4.1.4 加速度

本測定にはテストベンチとしてシャーシダイナモメータを用いた。試験条件については、3 km/h 以下での駆動出力の測定と同様、測定機器の精度や周囲温度、風速、バッテリーの状態、ギヤ比などの規定があり、車両に積載する質量についても"under normal operation"と規定されている。"normal operation"については EN 17128:2020 の 3.46 に定義されており、「バッテリーが完全に充電された PLEV の機能部分は、乗車位置をシミュレートするような方法で操作される」とあり、注釈として「本装置には、最小質量 100 kg または取扱説明書に指定された最大質量のいずれか大きい方の質量を積載する。電動機は、その回転軸の負荷を正転方向に調整することによって、拘束電流の 66 %まで負荷される。」と記載されている。

そのため、本車両での加速度測定は最大質量積載状態、すなわち TPMM での試験となる。今回の検証では TPMM の状態に加え、総質量が 75 kg の時の 2 通りの測定を行った。おもりはデッキ中央に載せた。また、今回測定した車両では電動機が起動する速度を任意に調整可能であるが、初期状態の 4 km/h から設定を変えずに測定した。

測定手順を表 9 にまとめた。6 km/h 走行の際は電動機への負荷の規定があるが、それ以外の速度域では負荷の規定がないため、出力測定時と同じく表 7 の手順 4 に示す値に走行抵抗を設定した。測定結果を図 6 に、各条件での加速度の計算結果を表 10 に示す。結果としては、今回の車両では各試験条件で 2 m/s^2 を下回り、要求事項を満たしていた。総質量の違いにより加速度にも違いが見られ、総質量が軽い方が大きな加速度が生じていたが、これは慣性力や転がり抵抗の違いによると考えられる。全ての車両が該当するかはわからない

が、ワーストケースで測定するのであれば、可能な限り総質量が軽くなる条件の方が良い。一方、試験時の問題として、先述の拘束電流の情報がない場合の測定方法や、試験時の電流値の制御が非常に難しい点が挙げられる。規格では公差が規定されていないが拘束電流のちょうど 33%を試験中に実現、維持することは困難であり、±5%程度の公差が必要ではないかと思われる。

表 9 加速度測定手順

1	車両の整備、充電	測定車両を取扱説明書の指示に従い組み立て、整備し、電池も満充電の状態とする。充電後、測定まで 1 時間以上放置する。試験室内の環境温度は JIS D 9115:2018 附属書 D D.2.2.3 と同様 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ とする。電動機起動時の電流測定のため、本車両では電動機の 1 相分の電線を延長し、クランプメータを取り付ける。
2	非駆動輪の転がり抵抗の測定	シャーシダイナモメータに非駆動輪がローラ上に載るように車両を設置し、デッキ中央に各試験条件に応じた質量を載せる。その後、シャーシダイナモメータのローラを自転させ、5 km/h から 30 km/h まで 5 km/h 刻みで非駆動輪の転がり抵抗を測定し二次曲線により曲線回帰する。今回の車両における、各試験条件での非駆動輪の転がり抵抗は以下の通り。 TPMM : $-0.0052V^2 + 0.3016V + 10.141$ 総質量 75 kg : $-0.0029V^2 + 0.1979V + 6.177$
3	車両の設置	駆動輪がローラ上に載るように車両を設置し、デッキ中央に各試験条件に応じた質量を載せる。
4	走行抵抗の設定	シャーシダイナモメータのローラで負荷する走行抵抗は、JIS D 9115:2018 附属書 D の D.1 式を参考に、 $F = (\text{非駆動輪の転がり抵抗}) + 0.027V^2 + 9.8W\sin\theta$ に設定する。はじめは勾配 $\theta = 0$ 度とする。車両の電源をオンにし、最も出力が大きくなるモードにする。
5	6 km/h ± 2 km/h での速度維持と走行抵抗の調整	走行速度が 4 km/h 以上の状態(足でローラを蹴り加速する)でスロットルを操作し電動機を起動させる。6 km/h ± 2 km/h 及び電流値が拘束電流の 33%で安定する状態となるよう、スロットル及び走行抵抗を調整する。今回の車両においては、電流計にリアルタイムで表示される計測値(実効値表示)が概ね 8.5 A _{rms} となるように調整した。
6	加速及び加速度の計算	規定の試験方法に従い、スロットルを最大位置まで移動させ、車両が最高速度の 60%(今回の車両では 12 km/h)に達するまでその位置を維持する。スタートから最高速度の 50%(今回の車両では 10 km/h)に達するまでの時間を計測し、加速度を計算する。

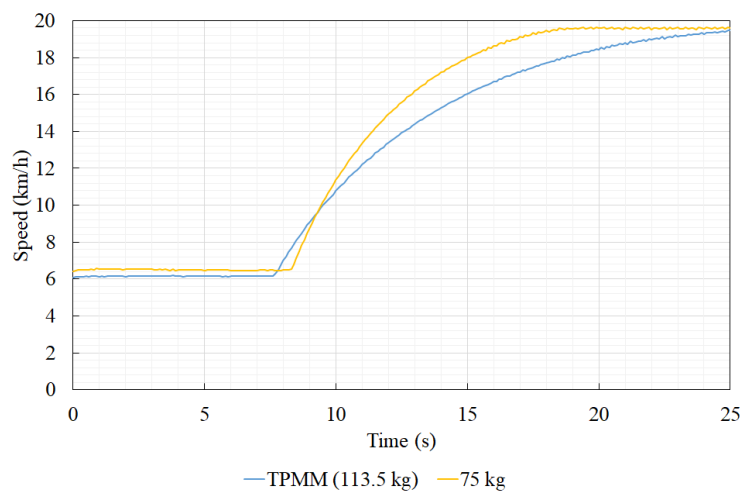


図 6 加速度測定結果

表 10 加速度計算結果

	TPMM (113.5 kg)	75 kg
スタート速度 (km/h)	6.15	6.54
スタートから最高速度の 50 % に達するまでの時間 (s)	1.9	1.2
加速度 (m/s ²)	0.56	0.80

4.2 パワーアシスト時の最高速度

4.2.1 "vehicle with 100 % electric propulsion" (100 %電動推進車両) の試験

今回の供試品は、前述の通り"partially electrically powered vehicle"と考えられるが、設定によってはキック不要で発進、加速することも可能であるため、まずは100%電動推進車両の最高速度測定を実施した。

本測定にはテストベンチとしてシャーシダイナモメータを用いた。試験条件については、測定機器の精度、分解能や周囲温度、風速、バッテリーの状態などの規定があり、"normal operation"の状態、電動機は拘束電流の33%となるように負荷される、とも記載されているが、走行中のどのような状態で"normal operation"としなければならないのかが明確ではない。また、テストベンチの条件として"simulate normal road conditions" (通常の道路状況を模擬する) とだけ規定されている状態で、詳細は規定されていない。

そのため、本測定ではTPMM、及び総質量が75 kgの時の測定を行った。おもりはデッキの中央に載せた。また、走行抵抗は出力測定時や加速度測定時と同じく表7の手順4と同じ制御となるように設定し、勾配0度の状態及び、TPMM状態での測定では最高速度での走行時に拘束電流の33%となる走行抵抗でも測定を行った。測定手順は規定の通り、

- ① 達成可能な最高速度まで上げ、少なくとも60秒間その速度を維持する
- ② 速度を測定する

の手順にて測定した。測定結果を表11に示す。

表11から、各試験条件で要求事項(クラスの許容最高速度の±10%以下、及び製造業者が取扱説明書などで示した最高速度の±10%以下)を満たしていたが、総質量、走行抵抗によって、パワーアシスト時の最高速度は微妙に違いがあり、走行抵抗が大きくなる状態の方が、最高速度が小さくなった。加速度測定と同様に、全ての車両が該当するかはわからないが、ワーストケースで測定するのであれば、可能な限り総質量が軽くなる条件で測定するべきだと考えられる。

また、EN 17128:2020の8.1 Pedestrian mode (歩行者モード)についても類似の測定方法であるため、実施可能と思われる。

表 11 パワーアシスト時の最高速度 (100 %電動推進車両の試験) 測定結果

	TPMM (113.5 kg) 最高速度で拘束電流の33%となる時	TPMM (113.5 kg)	75 kg
最高速度 (km/h)	19.9	20.2	20.5
走行抵抗 (N)	39.0	25.2	20.3
最高速度時の最大電流 (A)	12.2	10.1	8.5

4.2.2 “partially electrically powered vehicle”（一部電動推進車両）の試験

“partially electrically powered vehicle”では、以下の手順での最高速度の測定方法が EN 17128:2020で規定されている。

- a) PLEVの速度を、電力のみで達成可能な最高速度の120%まで上昇させることができ、かつ、EN 17128:2020の8.1.2.1に規定の試験条件に従って車両の速度を測定できるように、動力付きのテストベンチで試験を実施する。
- b) 車両をテストベンチに置き、車両の電力のみで達成可能な最高速度にする。
- c) テストベンチ駆動により、車両の電力を用いて達成可能な最高速度の120%まで車両速度を上げ、30秒間維持する。測定された速度は、25 km/h (±10%) および製造者が取扱説明書／シートに示した最高速度 (±10%) (低い場合) を超えてはならない。
- d) 車速制御を達成可能な最大設定に維持したまま、テストベンチの駆動装置を切り離す。車速を測定する。

この手順で試験を行うと、b)の段階では4.2.1の結果から約20 km/hの最高速度となるが、そこからテストベンチによって最高速度の120%である24 km/hまで加速する方法は明確ではないが、テストベンチのローラを自転させ加速する場合、当然測定される速度も24 km/hとなる。この時点で、今回検証に用いた車両では、説明書記載の最高速度である20 km/h ±10%を超えることになるため規定を満たさないことになる。

一方で、今回の車両の購入時の状態では発進・加速時のみ人の力を必要とするが、一定以上の速度域では100%電動機の出力のみに推進する車両であり（20 km/hの状態では乗員が路面をキックすることも不可能ではないが、加速することはほぼ不可能と思われる）、“partially electrically powered vehicle”、及び“vehicle with 100% electric propulsion”の両方に該当すると思われる。今回のような電動キックボードではどちらの方法で最高速度を測定するかが明確ではないが、最高速度時に人力が不要のものについては“vehicle with 100% electric propulsion”で試験を行うべきと思われる。

4.3 静荷重試験—デッキ／フレーム

試験の様子を写真 5 に示す。EN 17128:2020 の規定にない事項として、車両を自立させるため、あるいは試験時のハンドル旋回による転倒防止のため、ハンドルが回転しないように右グリップ部分を固定し、前輪も力が加わらない程度に左右への回転を抑制した。



写真 5 静荷重試験—デッキ／フレーム 試験時の様子

静荷重試験—デッキ／フレームについて、今回の供試車では試験後、亀裂または破損、構造の崩壊、又はロック機構の解除はなかった。

次に、試験中の応力測定結果の最大・最小値を図 7 に示す。デッキに最大許容積載荷重の 2.5 倍である 250 kg のおもりを載せたため、デッキ部後方上面の圧縮応力が大きかったが、右ハンドル上面の応力も大きくなった。これは、試験中車両を固定あるいはハンドルの回転を防ぐため、右ハンドルを固定したためである。EN 17128:2020 では車両の固定については特に明記されていないが、電動キックボードが自立しないため、試験時の車両の転倒を防ぐ必要があり、何らかの方法で固定する必要がある。固定方法によっては負荷のかかる箇所も変わるため、注意しなければならない。

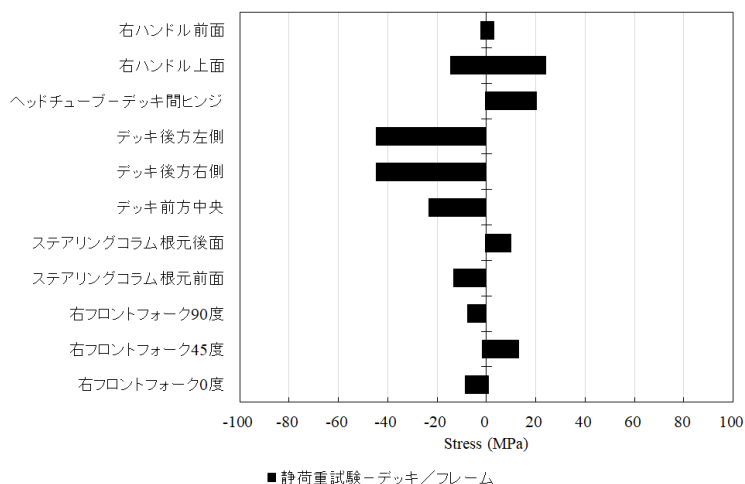


図 7 静荷重試験—デッキ／フレーム 応力測定結果（最大・最小）

4.4 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験

4.4.1 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（後方）

試験の様子を写真 6 に示す。車両の固定については、前輪のハブ軸に金属ワイヤーを掛け、支柱に固定した。後輪についても試験時に動かないように支柱に軽く固定した。おもりについては、ハンドルバー上部中央にロープをかけ、ロープに規定質量分のおもりをぶら下げた。



写真 6 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（後方） 試験時の様子

ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（後方）について、今回の供試車では試験後、ハンドルバーやステアリングコラムに亀裂や破損、または動作の劣化はなかった。

次に、試験中の応力測定結果の最大・最小値を図 8 に示す。後方への曲げ試験についてはステアリングコラム根元の前面では引張方向、後面では圧縮方向の応力が大きくなった。また車両が折りたたまれる方向であることから、ヘッドチューブーデッキ間のヒンジ上面の引張応力も大きくなった。

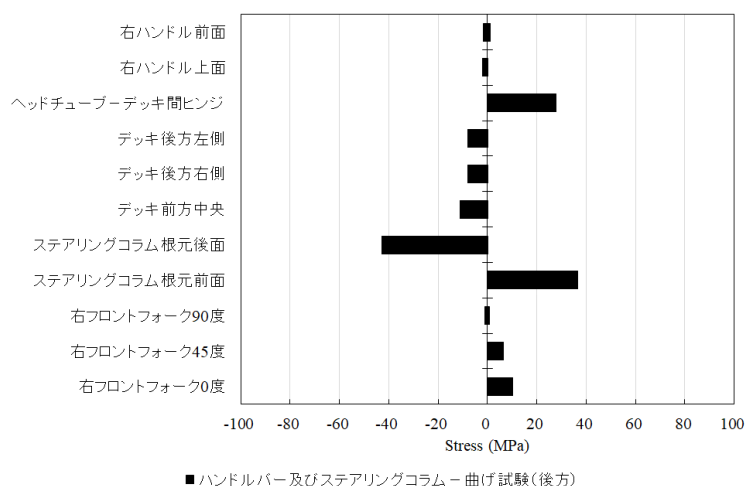


図 8 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（後方） 応力測定結果（最大・最小）

4.4.2 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（前方）

試験の様子を写真 7 に示す。車両の固定については、後輪に金属ワイヤーを掛け、支柱に固定した。前輪についても試験時に動かないように支柱に軽く固定した。おもりについては、後方試験と同様にハンドルバー中央上部にロープをかけ、ロープに規定質量分のおもりをぶら下げた。



写真 7 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（前方） 試験時の様子

ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（前方）について、今回の供試車では試験後、ハンドルバーやステアリングコラムに亀裂や破損、または動作の劣化はなかった。

次に、試験中の応力測定結果の最大・最小値を図 9 に示す。前方への曲げ試験についてはステアリングコラム根元の前面では圧縮方向、後面では引張方向の応力が大きくなった。また後方試験とは異なり、ヘッドチューブーデッキ間のヒンジ上面の応力は小さかった。

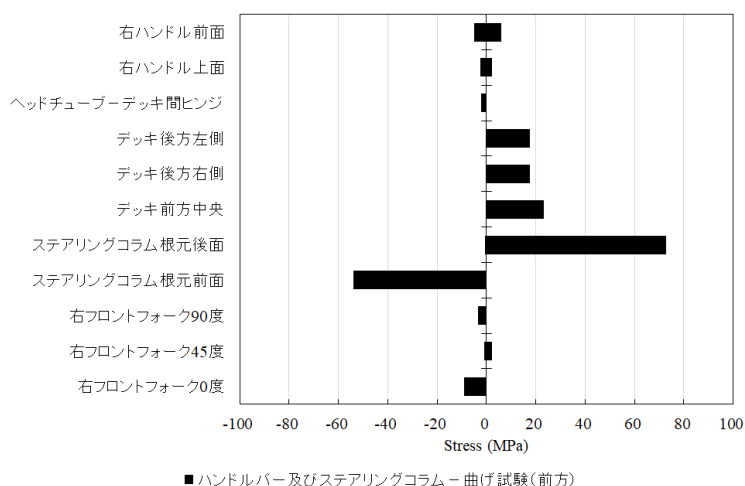


図 9 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（前方） 応力測定結果（最大・最小）

4.4.3 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（上方）

試験の様子を写真 8 に示す。車両の固定については、規格には明記されていないがデッキが水平になるよう固定した。おもりについては、こちらも規格には明記されていないが、垂直荷重試験と同様に左右グリップ部中央におもりをぶら下げ可能なアタッチメントを取り付け、規定質量のおもりをぶら下げた。

ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（上方）について、今回の供試車では試験後、ハンドルバーやステアリングコラムに亀裂や破損、または動作の劣化はなかった。

次に、試験中の応力測定結果の最大・最小値を図 10 に示す。ハンドル上面の圧縮応力が非常に大きくなった。この試験では要求事項に「ハンドル」が含まれているかは明確ではなく (EN 17128:2020

で「ハンドルバー」がどこまでを指すかが明確ではない)、ハンドルバーやステアリングコラムへの負荷に影響する可能性もある。一方で、ハンドル部におもりをぶら下げる位置が規格に明記されていないことから、試験の際は注意が必要である。



写真 8 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（上方） 試験時の様子

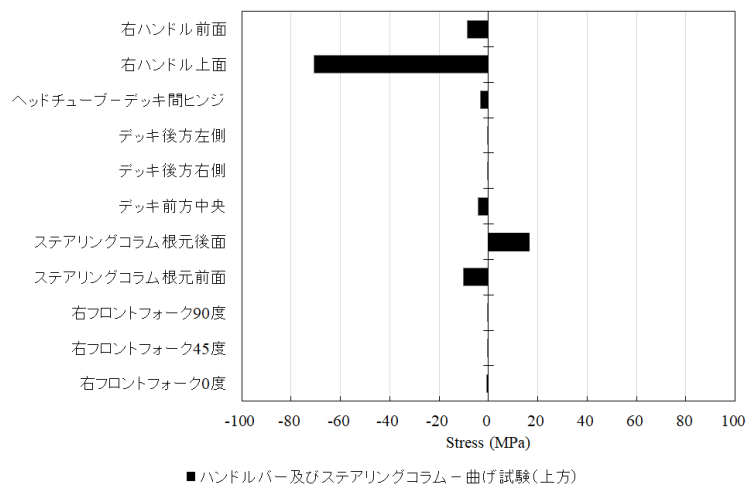


図 10 ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（上方） 応力測定結果（最大・最小）

4.5 ハンドルバー及びステアリングコラムー垂直荷重試験

試験の様子を写真 9 に示す。車両の固定については、規格中では特に規定されていないが、転倒防止のためデッキ部を定盤に固定し、前輪も左右に回らないように側面からクランプし固定した。おもりについては、左右グリップ中央部に、おもりをぶら下げ可能なアタッチメントを取り付け、規定質量のおもりをぶら下げた。

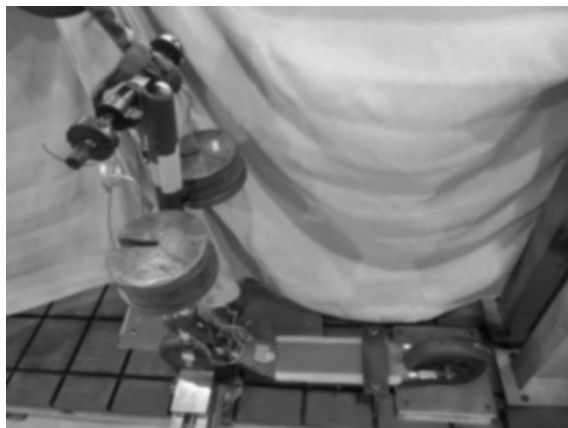


写真 9 ハンドルバー及びステアリングコラムー垂直荷重試験 試験時の様子

ハンドルバー及びステアリングコラムー垂直荷重試験について、今回の供試車では試験後、ハンドルバーやステアリングコラムに亀裂や破断、または動作の劣化はなかった（なお、伸縮部の固定についても確認する必要があるが、今回の車両では伸縮部はない）。

試験中の応力測定結果の最大・最小値を図 11 に示す。ハンドルバー及びステアリングコラムー曲げ試験（上方）とは逆方向の力がかかるため、ハンドル上面の引張応力が大きくなった。

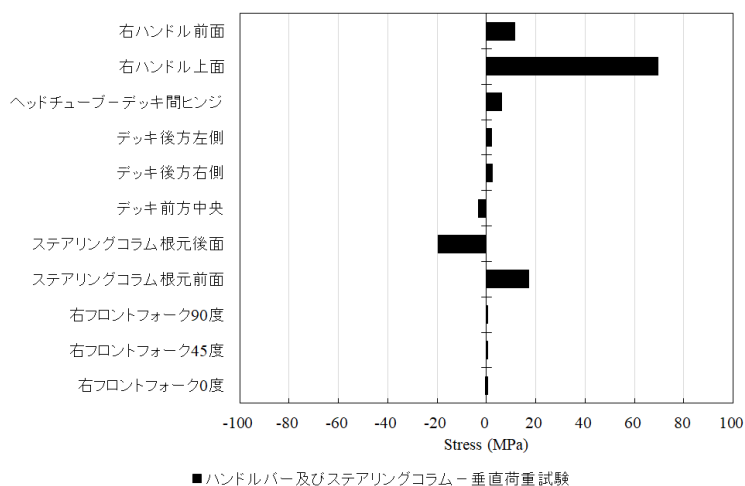


図 11 ハンドルバー及びステアリングコラムー垂直荷重試験 応力測定結果 (最大・最小)

4.6 ハンドルバー及びステアリングコラムトルク試験

試験の様子を写真 10 に示す。車両の固定について、規定では車輪を外した状態でフロントフォークを地面と固定する図が例示されているが、固定できるアタッチメントを持ち合わせていなかったため、本検証では前輪を左右からクランプすることで定盤上に固定し、デッキ部も定盤上に固定した。ハンドルへの 20 N・m の負荷については、ハンドルバー中心から $d=0.2\text{ m}$ の箇所に $F=100\text{ N}$ の力を、プッシュプルゲージを用いてハンドルバー回転の回転接線方向に負荷した。



写真 10 ハンドルバー及びステアリングコラムトルク試験 試験時の様子

ハンドルバー及びステアリングコラムトルク試験について、要求事項では「ステアリングチューブに対するハンドルシステムの動き」を確認するよう規定されているが、「ステアリングチューブ」、「ハンドルシステム」が電動キックボードのどの箇所に該当するかが明確ではない（用語の定義がない）ため、操舵系統で、ネジなどで固定された箇所の動きを確認することとした。試験後、これらの箇所にトルク負荷による動きはなかった。

次に、右側ハンドル部に力を負荷した時の、試験中の応力測定結果の最大・最小値を図 12 に示す。右ハンドル前面の引張応力が大きくなった。

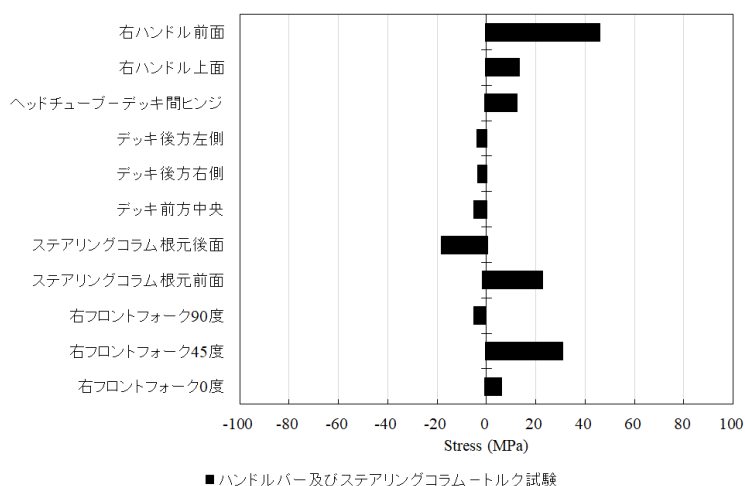


図 12 ハンドルバー及びステアリングコラムトルク試験 応力測定結果 (最大・最小)

4.7 ハンドルバーグリップ及びプラグ

試験の様子を写真 11 に示す。車両の固定について、特に規定はないが、グリップを引っ張った際に前輪が動かないように車両を固定した。引き抜きは ISO 4210-5:2014 の 4.1 で規定されているアタッチメントを用い、ロードセルを介して手動にて引っ張った。

本試験は、ISO 4210-5:2014 4.1 で規定されているグリップの離脱力試験と類似した試験であるため、設備的には当所でも実施可能であるが、今回検証を行った供試車の仕様上、この試験は適さない構造であった。写真 12 にグリップ内部の構造写真を示すが、グリップの内側に留め具がついており、このままの状態ではアタッチメントで引っ張ったとしても留め具に引っ掛かり、グリップ自体を引っ張ることができなかつた。そのため、留め具のナットを緩めた後、引張試験を行った。

試験の結果、約 50 N でグリップが抜けた (図 13)。電動キックボードのグリップについては自転車と構造が異なるものがある可能性があり、試験の際には注意が必要である。

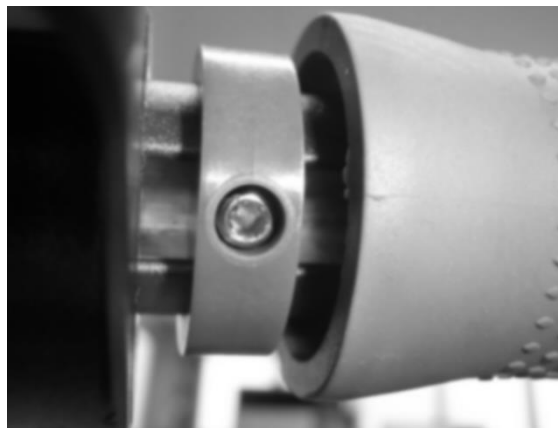


写真 11 ハンドルバーグリップ及びプラグ
試験時の様子

写真 12 グリップ内側の留め具 外観

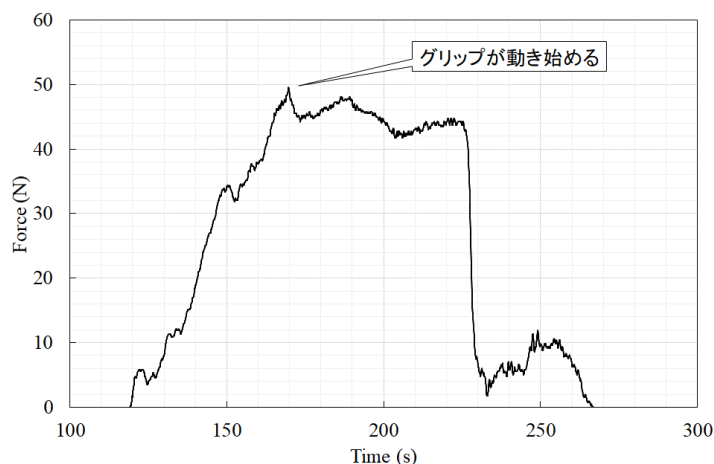


図 13 グリップの引張力

4.8 前方衝撃耐性試験

試験の様子を写真 13 に示す。車両の固定については定盤上に後輪を固定した。ハンドルへのおもりの取り付けについてはハンドルバーの左右と規定されているが、具体的な取り付け位置が規定されていないため、左右グリップの根元の可能な限り内側に、おもりを直接取り付けした。また、ハンドルの左右への回転を抑制するため、左右ハンドル端部にアタッチメントを取り付け、ロープで固定した。落下高さの調整については、デッキ部に取り付けたおもりにビニール紐を掛け、クレーンで前輪と金床との距離が 200 mm となるように引き上げ、落下を行う際はビニール紐を一気に切断して落下させた。



写真 13 前方衝撃耐性試験
試験時の様子

前方衝撃耐性試験について、今回の供試車では試験後、折りたたみ機構－ヘッドチューブ－ハンドルバーアセンブリ及びフレームに目に見える亀裂や破損は見られず、要求事項を満たしていた。

次に、試験中の応力測定結果の最大・最小値を図 14 に示す。衝撃試験のため、非常に大きな衝撃応力が、特にハンドル上面に生じた。ハンドル部に大きな負荷がかかる試験ではあるが、ハンドル部へのおもりの取り付け位置が規格に明記されていないことから、試験の際は取り付け位置に注意が必要である。

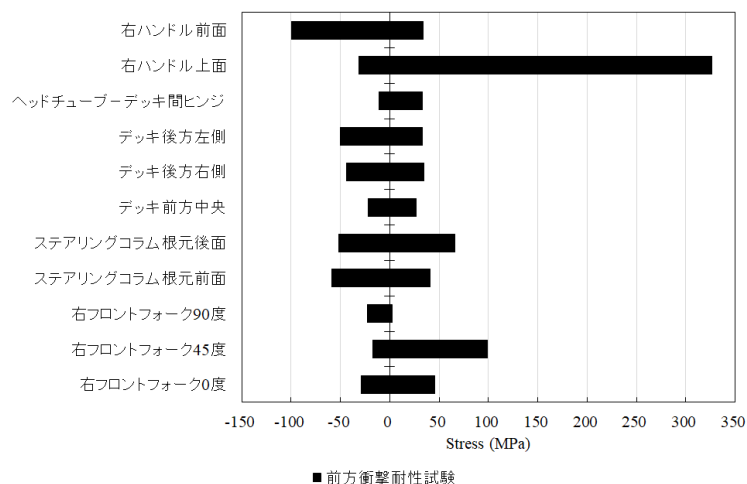


図 14 前方衝撃耐性試験 応力測定結果（最大・最小）

4.9 疲労試験（動的）

試験の様子を写真 14 に示す。規定にない点として、左右ハンドル端部にアタッチメント、ワイヤーを取り付け、ハンドルの回転を抑制した。ワイヤー張力は、直進走行時は極力負荷されないようにした。

ハンドルバー上に取り付けるおもりは、ハンドルバー、およびハンドルの根元付近の上から計 9 kg のおもりをぶら下げ、グリップ部に前述のハンドル回転抑止用ワイヤー取り付けのアタッチメント左右計 1 kg を加えた計 10 kg を取り付けた。なお、規定ではハンドルバーの中央上に 10 kg のおもりを載せることが規定されているが、スペースの問題からハンドル部の根元付近におもりをぶら下げて載せざるを得ない状況であった。



写真 14 疲労試験（動的） 試験時の様子（左：全景、右：段差乗り越え時の様子）

疲労試験について、25 km の走行後、折りたたみ機構－ヘッドチューブ－ハンドルバーアセンブリや、フレームのいかなる部分にも目に見える亀裂や破損は見られず、要求事項を満たしていた。

次に試験中の主な箇所の応力波形（10 秒間）を図 15 に、応力の最大・最小値を図 16 に示す。応力は、ドラム回転開始前の状態をゼロ点とし、最大・最小値は 120 秒間の測定を行った間の最大・最小値とした。段差乗り上げ時に負荷がかかり、フロントフォークでは 45 度方向、ステアリングコラムでは根元の前側、デッキ部ではデッキ後方の応力がやや大きくなったが、発生応力としてはせいぜい ± 20 MPa 程度であった。

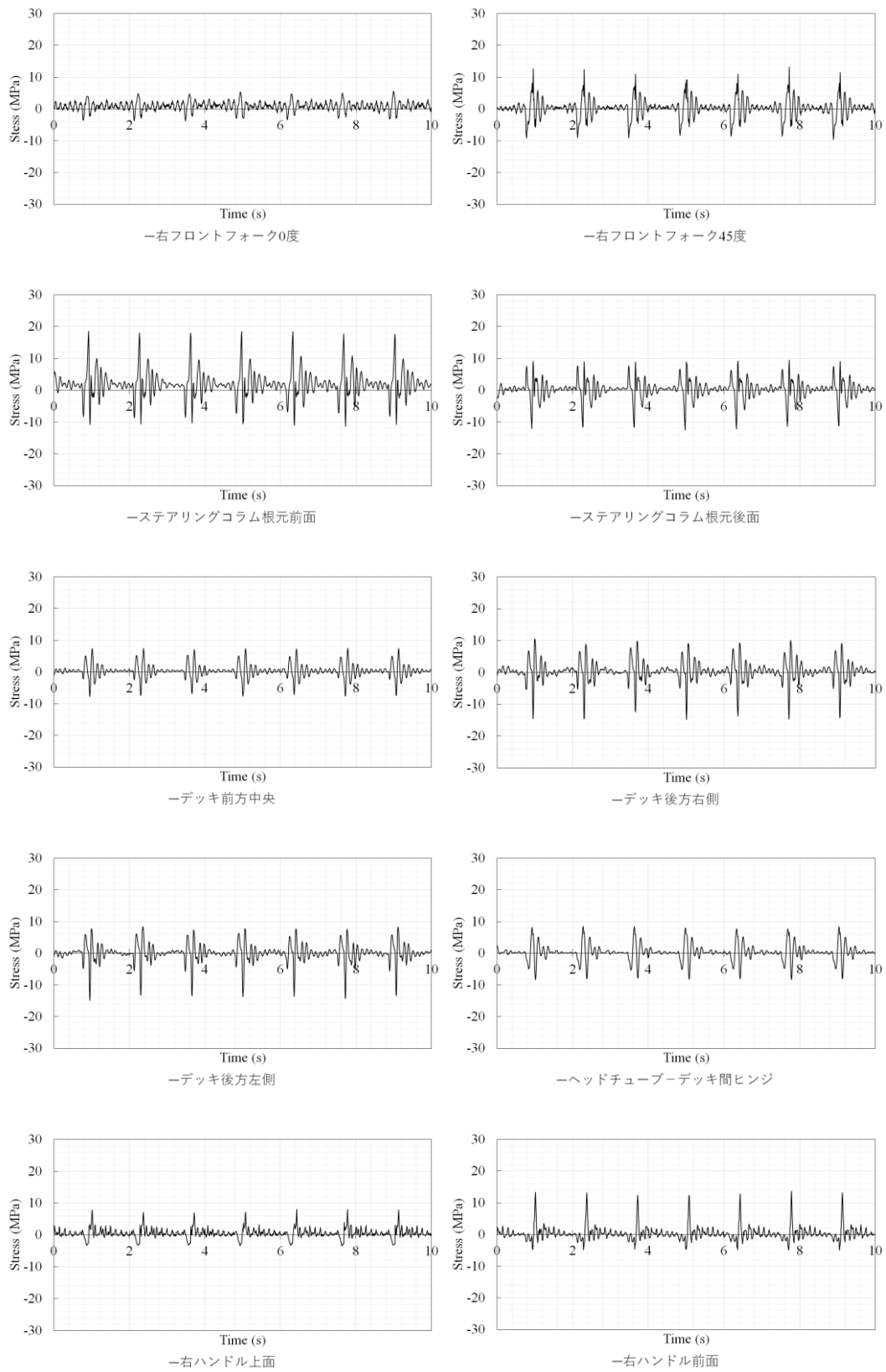


図 15 疲労試験（動的）の主な箇所の応力波形

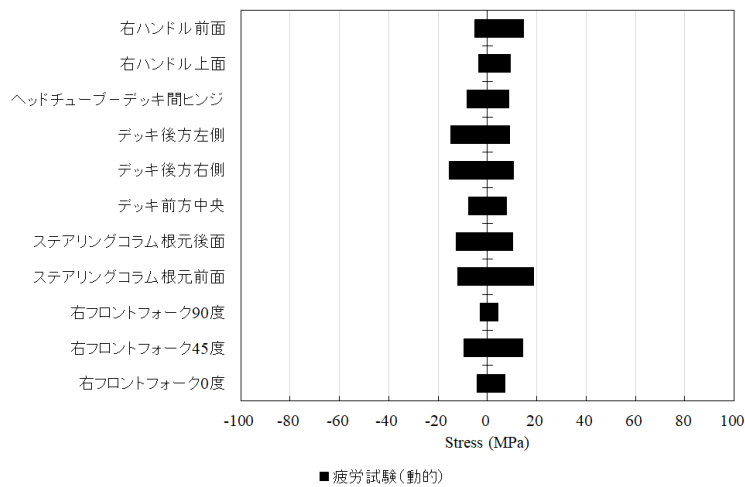


図 16 疲労試験（動的） 応力測定結果（最大・最小）

本試験での問題点として、ドラムの周速度 0.8 m/s で 25 km 走行、段差乗り上げ 1.5 秒毎が規定の試験条件であるが、これを実現するためにはドラム直径 764 mm で段差を 2 つ設置する必要がある。当所設備ではドラム径を 700 mm（規定ではドラム直径最小 700 mm であるため、EN 17128:2020 の規定を満たす仕様である。開発時は EN 14619:2019 対応ということで設計した）としたため、約 1.4 秒毎の段差乗り上げとなり、段差乗り越え回数が完全に規定に整合する仕様の場合より多くなる（規定値通り：20,833 回、当所ドラム：22,748 回）。

図 15 の応力波形では、各測定箇所段を乗り越えた後 1 秒程度で負荷による振動も落ち着くことから、1.5 秒でも 1.4 秒でも 1 段あたりの車体へのダメージはほぼ変わらないと思われる。

なお、ドラムを用いて試験を行う JIS D 9313-5:2019 附属書 A の車輪及びタイヤアセンブリの疲労試験においてはドラム表面速度の公差が ±10% で段差による衝撃付加回数が 75 万回と規定されている。本試験において、段差による衝撃が車両へのダメージであることから、測定の再現性の点で、走行距離で規定するよりも衝撃付加回数での規定とすることが望ましい。また、表面速度も完全に一定とすることは現実的でないため、ある程度公差が必要ではないかと思われる。

もう一つの問題点として、本試験ではハンドルバーの中央上におもりを載せる必要があるが、電動キックボードの構造的にハンドルバーの中央上に 10 kg のおもりを載せることは困難であり、ハンドル部におもりをぶら下げて載せざるを得なかった。加えて直進させるためにハンドル回転を抑制する必要もある。これらの負荷によりハンドル部にも多少の応力が発生し、ハンドルバーの応力などにも影響を及ぼす可能性があるため、試験の際には注意が必要である。

4.10 制動性能

試験の様子を写真 15 に示す。制動性能については、当所の直線走路（図 2 の平たん路の一部）にて試験を行った。乗員+測定機器の総質量 77 kg、デッキ中央におもりを 23 kg の計 100 kg をデッキ上に積載、TPMM の状態となるようにし、測定を行った。目標走行速度は最高速度の 90 % である 18 km/h とし、18 km/h になった時点で直ちに制動を開始した。走行中の速度は車両のディスプレイにリアルタイムで表示される値を参考にした（事前にシャーシダイナモメータで精度を確認済、ほぼシャーシダイナモメータと同じ走行速度を表示していた）。

ブレーキの操作力については、前ブレーキは電気式ブレーキで、操作部が軽い力でも押し切ることができるスロットル状の構造であったため、規定されている「レバー先端から 25 mm の位置で 200 N 以下」を確認することができなかった。そのため、制動時はスロットル中央部を押し切ることとした。後ブレーキについては足で操作するものであり、今回測定した乗員の足では垂直方向にせいぜい 500 N 程度の力しか負荷することができなかったため、今回試験中の制動時にも規定の 700 N 以下となっていたと思われる。制動時はブレーキの真上から垂直方向に力を負荷するように意識し、操作した。

走行速度や距離の測定はロータリエンコーダ（3.2.4 参照）を用いた。ロータリエンコーダでの測定結果例（x 軸：走行距離、y 軸：走行速度）を図 17 に、前ブレーキのみ、後ブレーキのみ、前後両方のブレーキ使用時の平均飽和減速度（MFDD）の計算結果を表 12 に示す。それぞれ 5 回測定を行った。

表 12 より、本車両では後ブレーキのみあるいは前後両方のブレーキについては乾燥時制動の要求事項である 1.7 m/s^2 以上を満たしたが、前ブレーキのみの場合、すべての測定において要求事項を満たすことができなかった。なお、本試験ではどのブレーキを制動した際の MFDD が要求されているのかが明記されていないため、前ブレーキのみの結果が要求されているかどうかは明確ではない。また、湿潤時の制動性能については、試験手順には走行条件が規定されているが、水を吹き付けるノズルのつけ方、水量やそもそも湿潤時の MFDD の規定値が規定されていない。そのため、今回は検証を行わなかった。

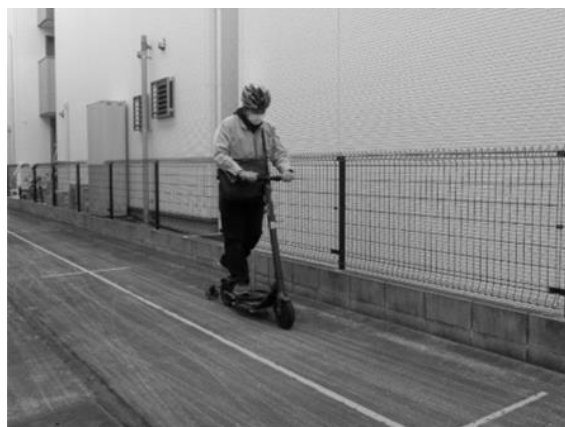


写真 15 制動性能試験 試験の様子

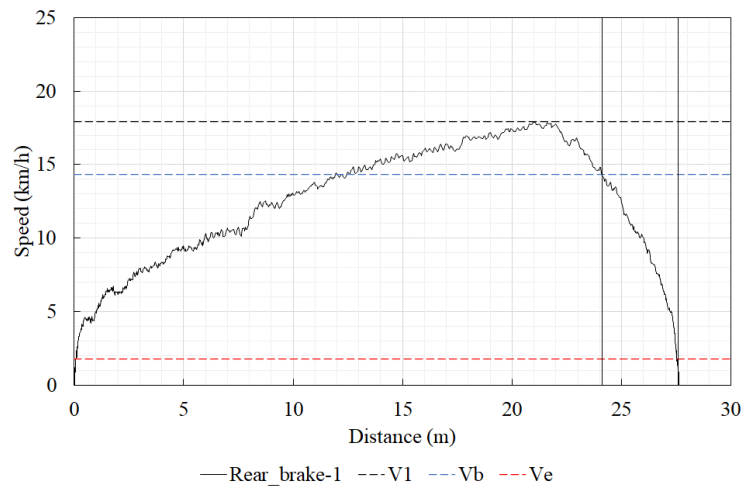


図 17 測定結果例（後ブレーキのみ、1回目）

表 12 MFDD の計算結果（赤字：最低値）

	前のみ	後のみ	両方
1回目	1.34	2.25	2.78
2回目	1.27	2.43	3.02
3回目	1.37	2.12	3.19
4回目	1.25	2.33	2.92
5回目	1.31	2.21	2.88

5. 実走行時と疲労試験の比較

5.1 実走行時と疲労試験（動的）の応力比較

本章では、実走行で生じる各部の応力の測定を行った結果と疲労試験（動的）の結果を比較する。実走行の走行路や走行条件は 3.3 に示した内容である。乗員+測定機器の総質量は 77 kg であり、総質量 90.5 kg で測定を行った。各走行路でそれぞれ 5 回の走行を行った。各走行路走行時の主な箇所（図 18～図 23）の応力波形例と乗車時の主な走行状況を図 18～図 23 に、発生応力の最大・最小値を図 24～図 29 に、疲労試験（動的）時の応力の最大・最小値（図 16）と、各走行路の実走行結果 5 回分での応力の最大・最小値との比較結果を図 30 にまとめた。なお、実走行での応力は、乗車前の無負荷状態をゼロ点とした。

まず、図 18～図 23 より、各測定箇所の応力が大きく変化するの乗車、キックでの加速時、減速時、段差走行時であり、フロントフォーク 45 度、ステアリングコラム根元、ハンドル前面など、前後方向の力を受ける箇所と比較的大きな応力が生じていた。これらの走行状況のうち、段の走行については取扱説明書で許容されている段差高さよりも過酷ではあるが、加速・減速についてはごく普通に起こる状況である。各走行路での 5 回の最大・最小応力を示した図 24～図 29 について、各走行路で 1 回の測定ごとの応力最大値、最小値に多少の差はあるものの、同じような傾向が見られた。

次に、疲労試験（動的）との比較であるが、図 30 より、最大値と最小値の差（P-P 値）で比較すると、疲労試験（動的）で生じる応力は、各走行路での実走行で生じる応力よりも概ね小さかった。特に平坦路走行は、当所敷地内で停止状態から乗車し、20 km/h まで加速、その後減速し停止する のパターンで約 40 m の平坦な直線路を走行した際の測定で、前述の通り通常使用でも普通に起こる使用状況であり、疲労試験（動的）では、その状況よりも小さな力しか負荷できていないことになる。

5.2 ではこの応力測定結果から、疲労試験（動的）が担保する実走行での走行距離を計算した。

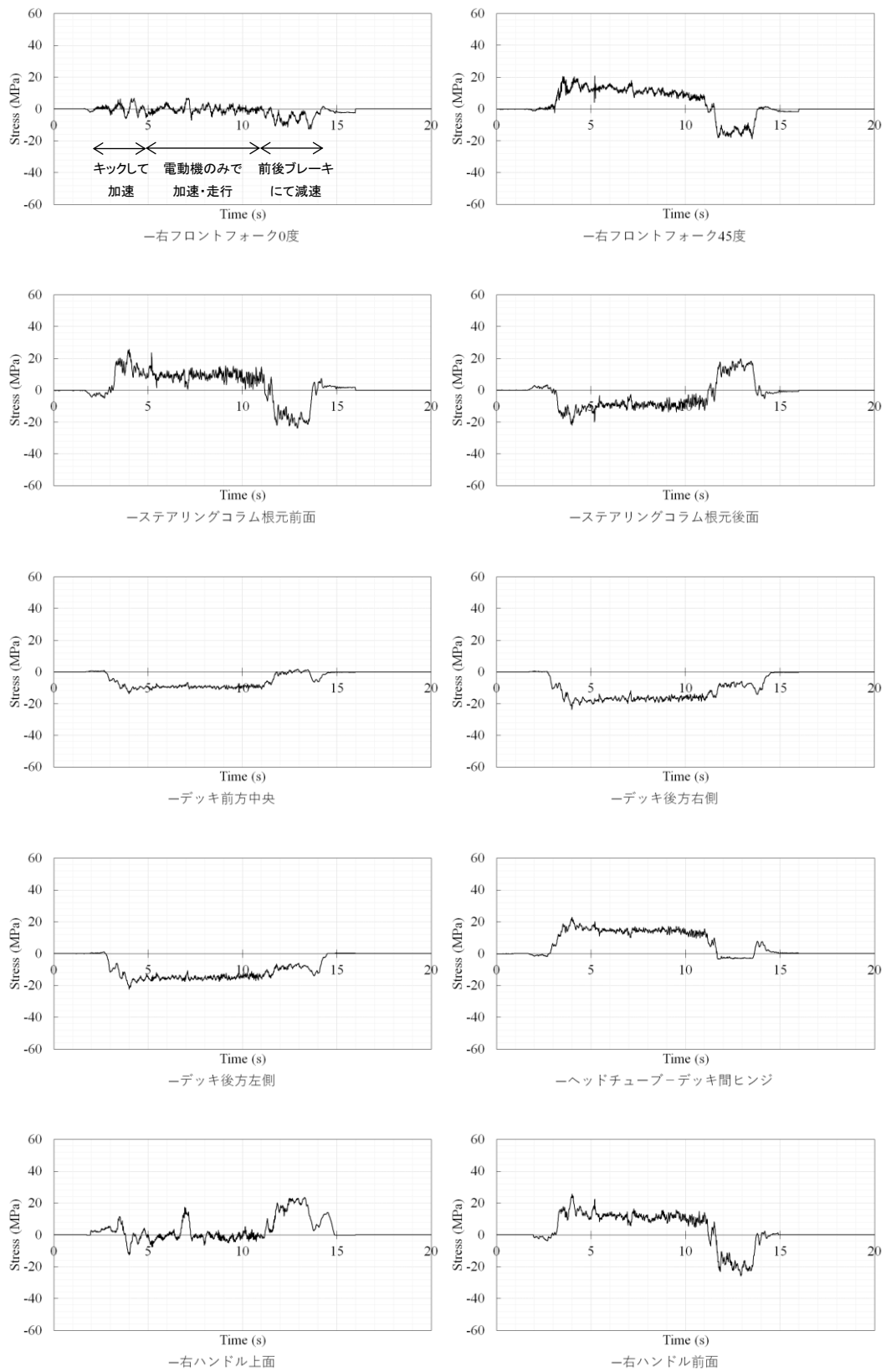


図 18 平たん路走行時の応力波形例（走行1回目）

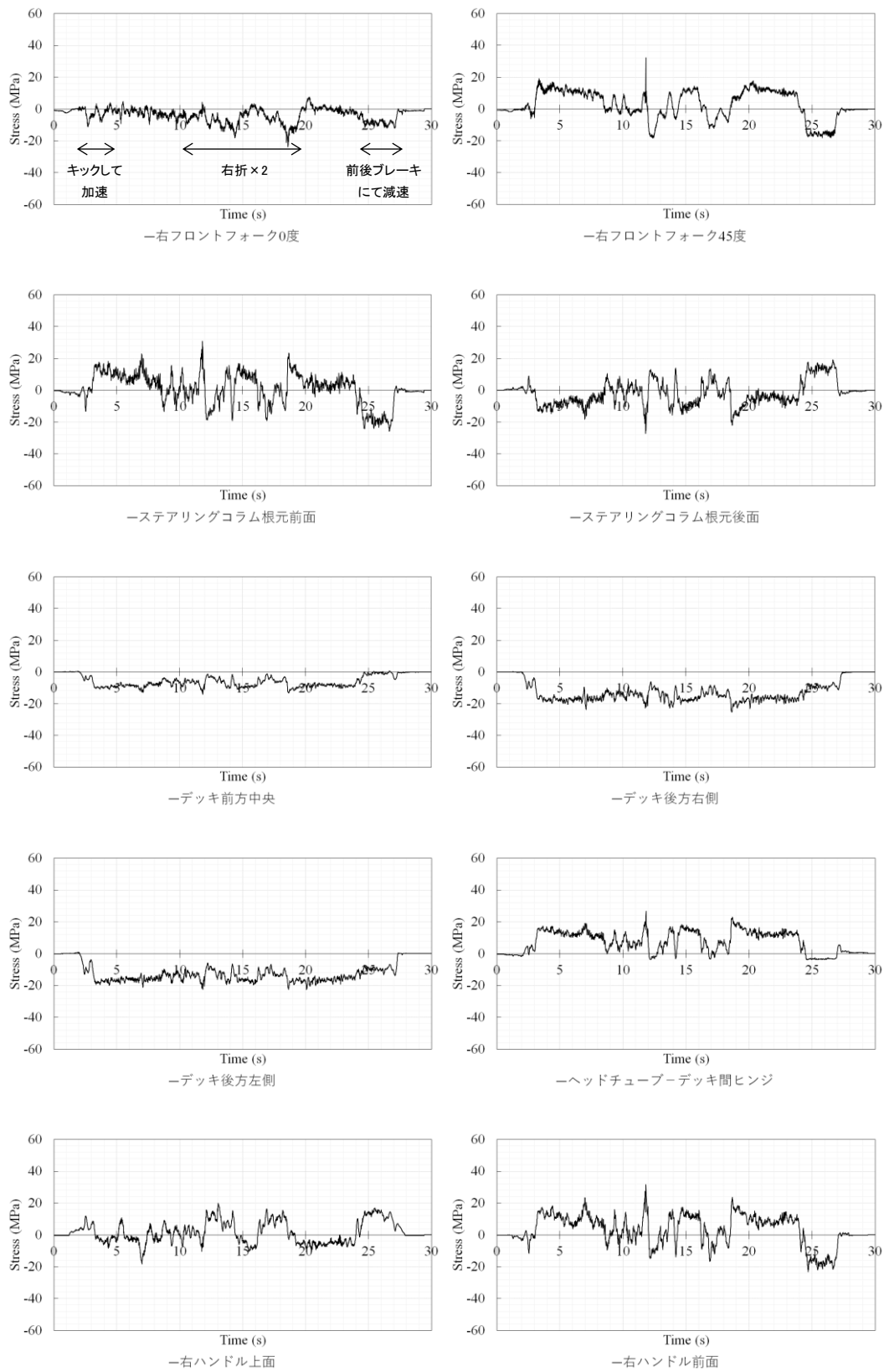


図 19 90度右折走行時の応力波形例（走行1回目）

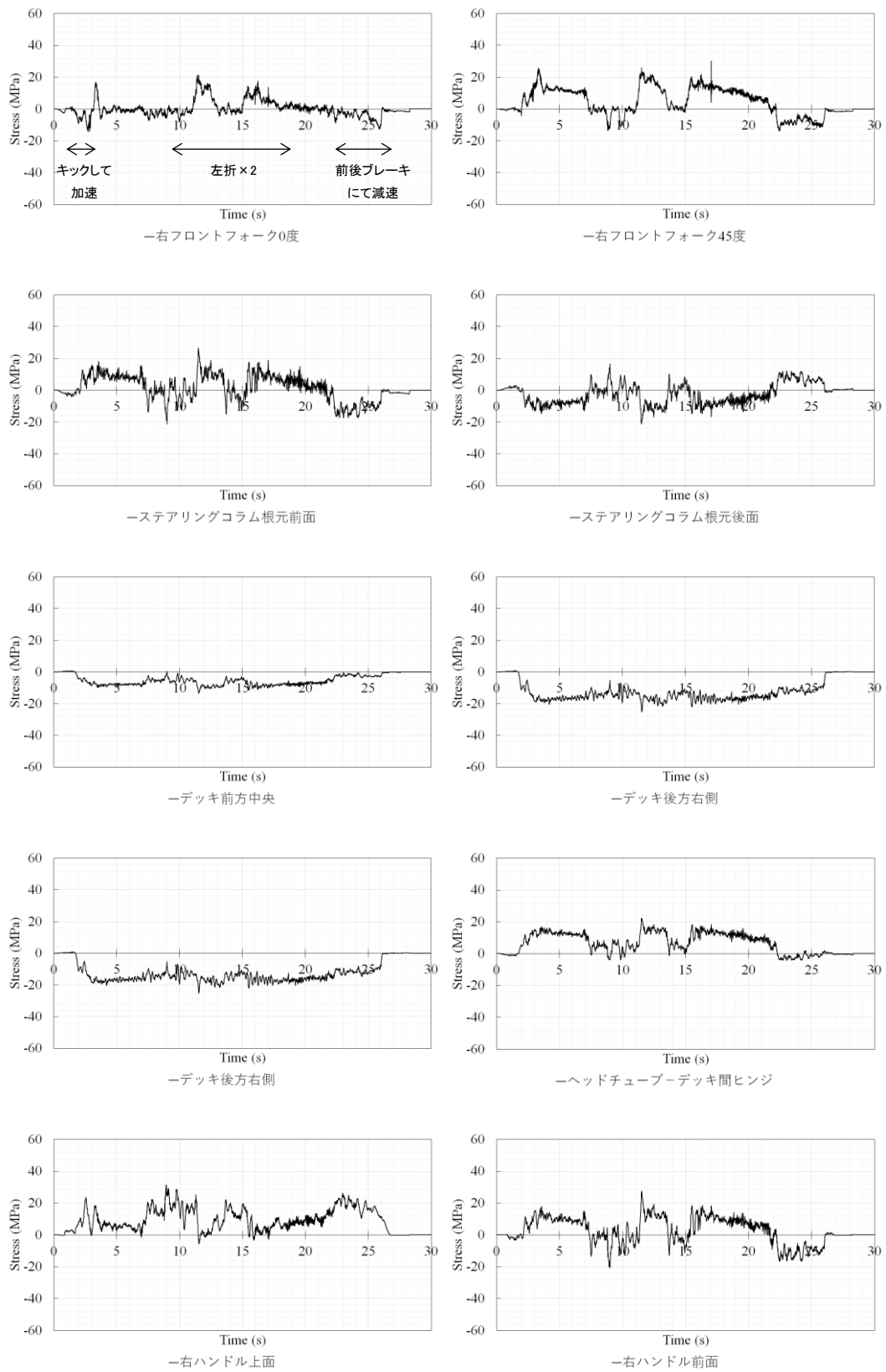


図 20 90度左折走行時の応力波形例（走行1回目）

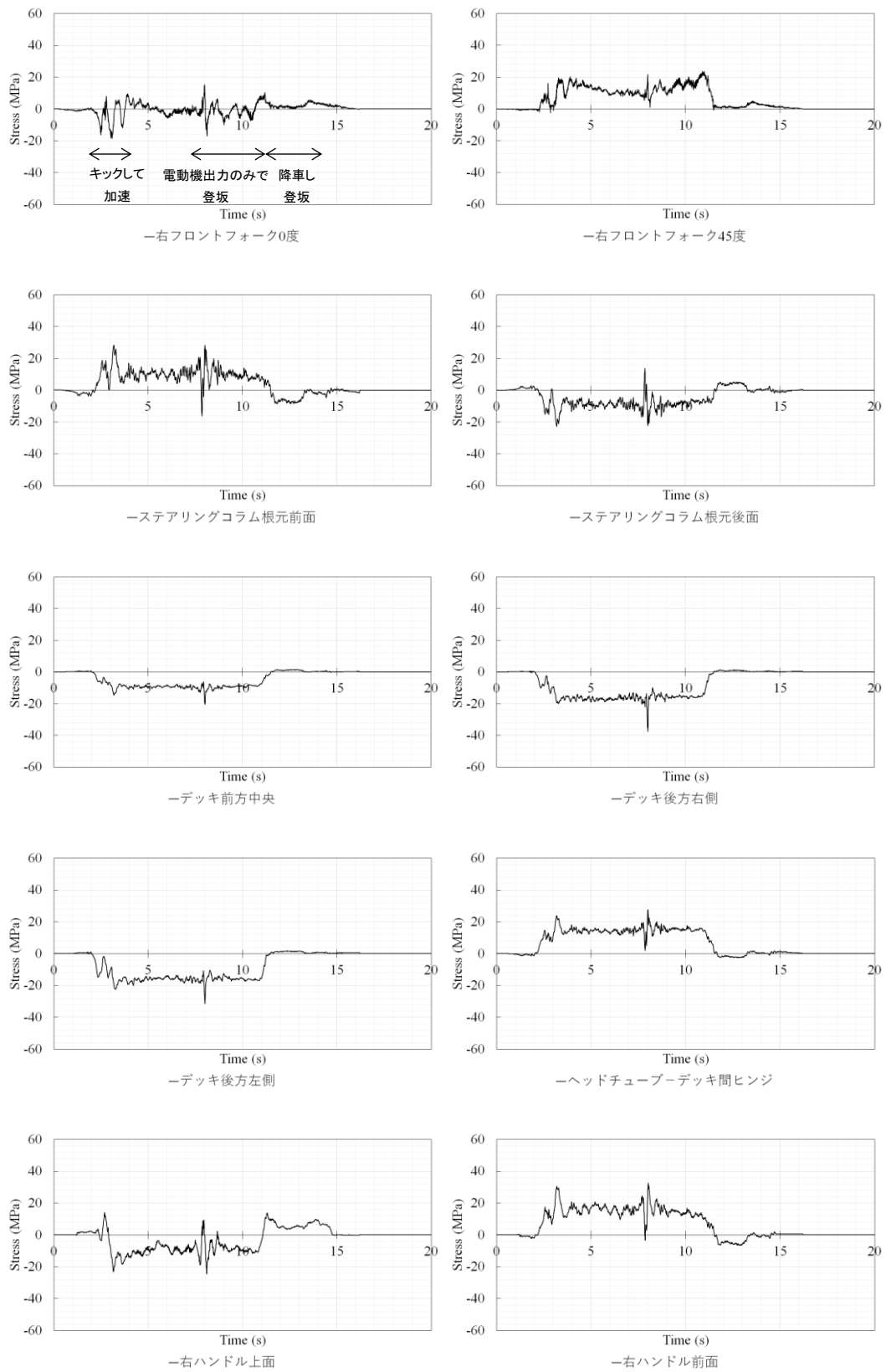


図 21 上り坂走行時の応力波形例（走行1回目）

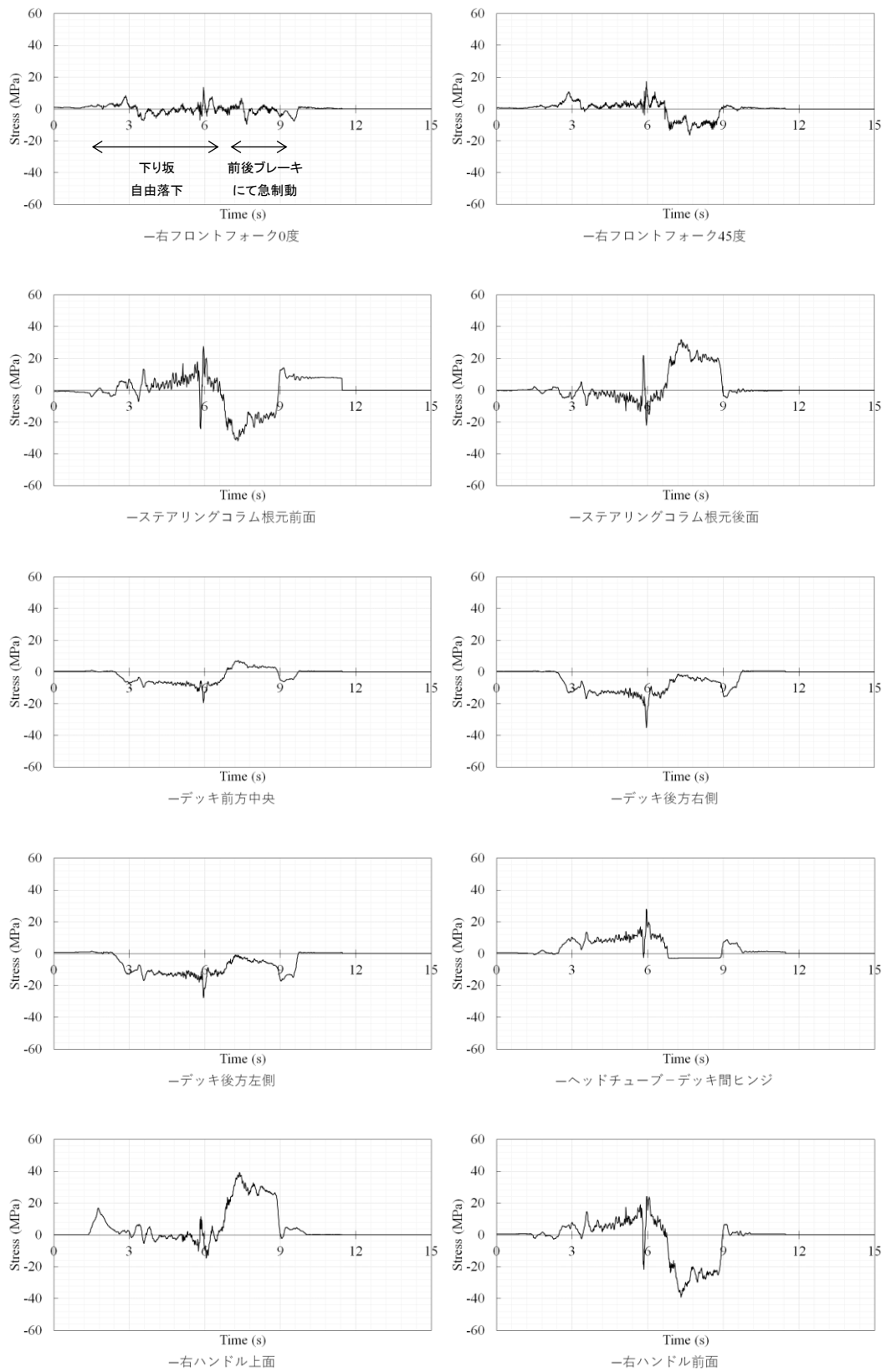


図 22 下り坂・急制動走行時の応力波形例（走行1回目）

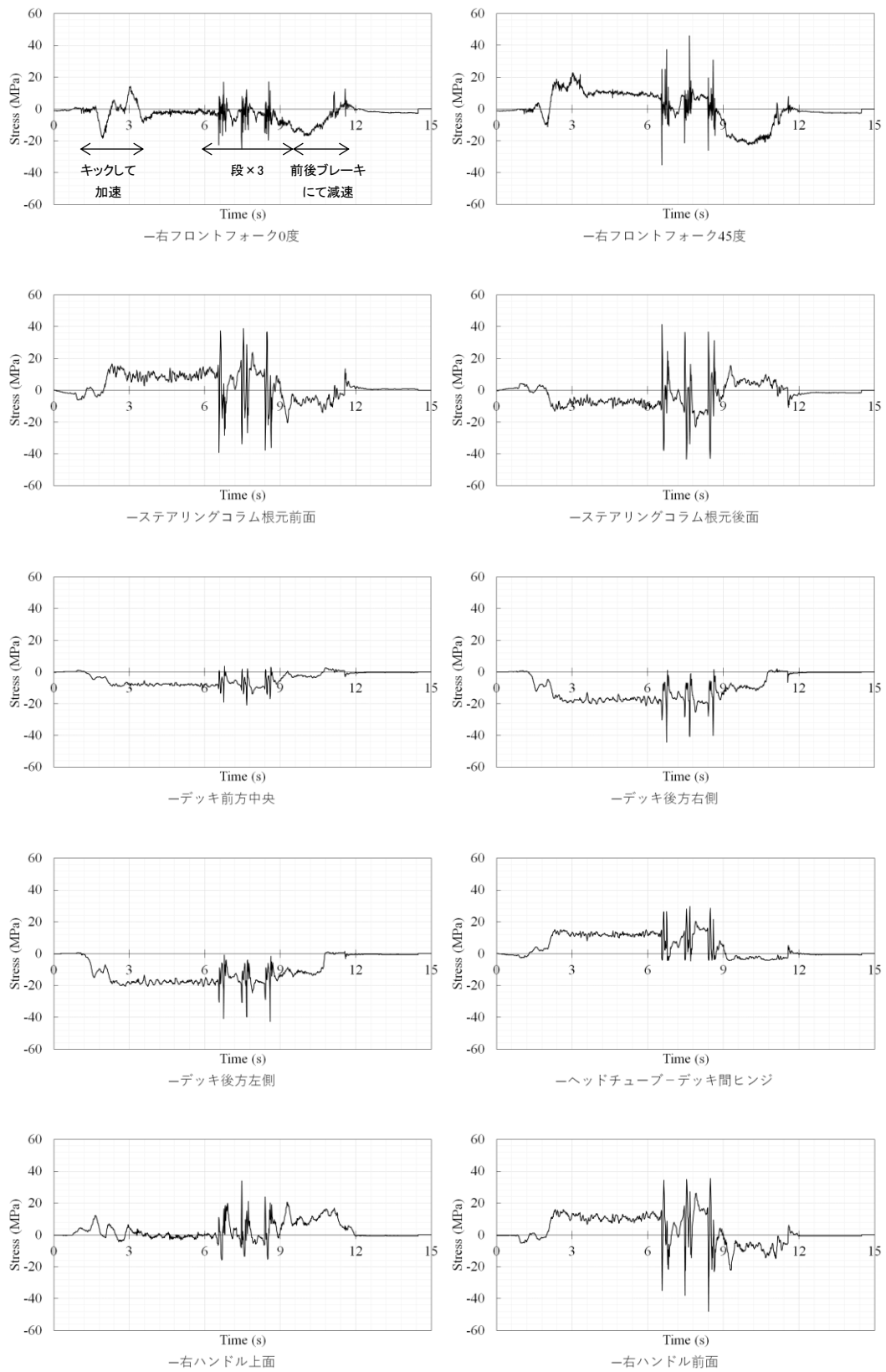


図 23 段走行時の応力波形例（走行1回目）

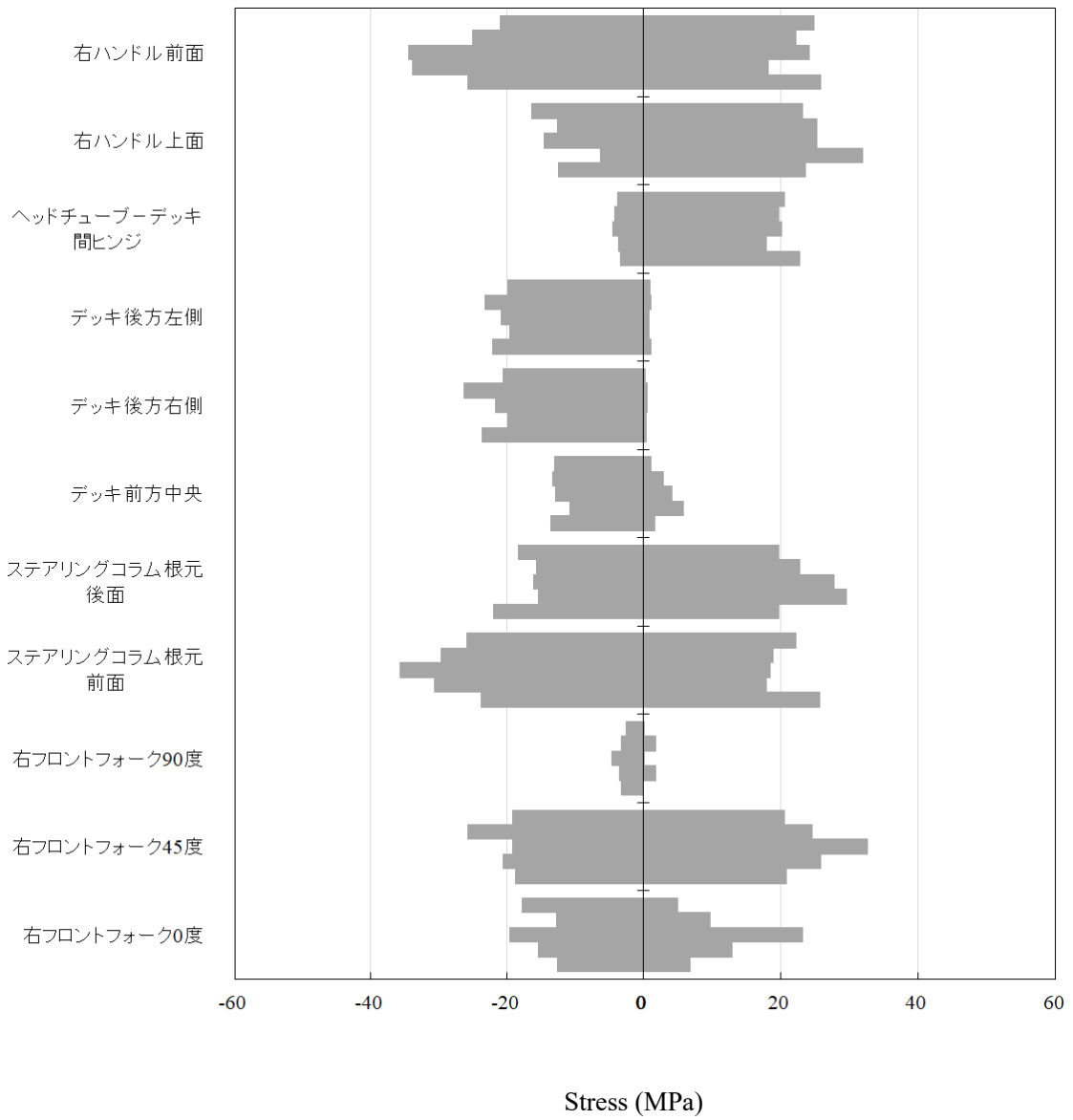


図 24 平たん路走行時の応力（最大・最小）

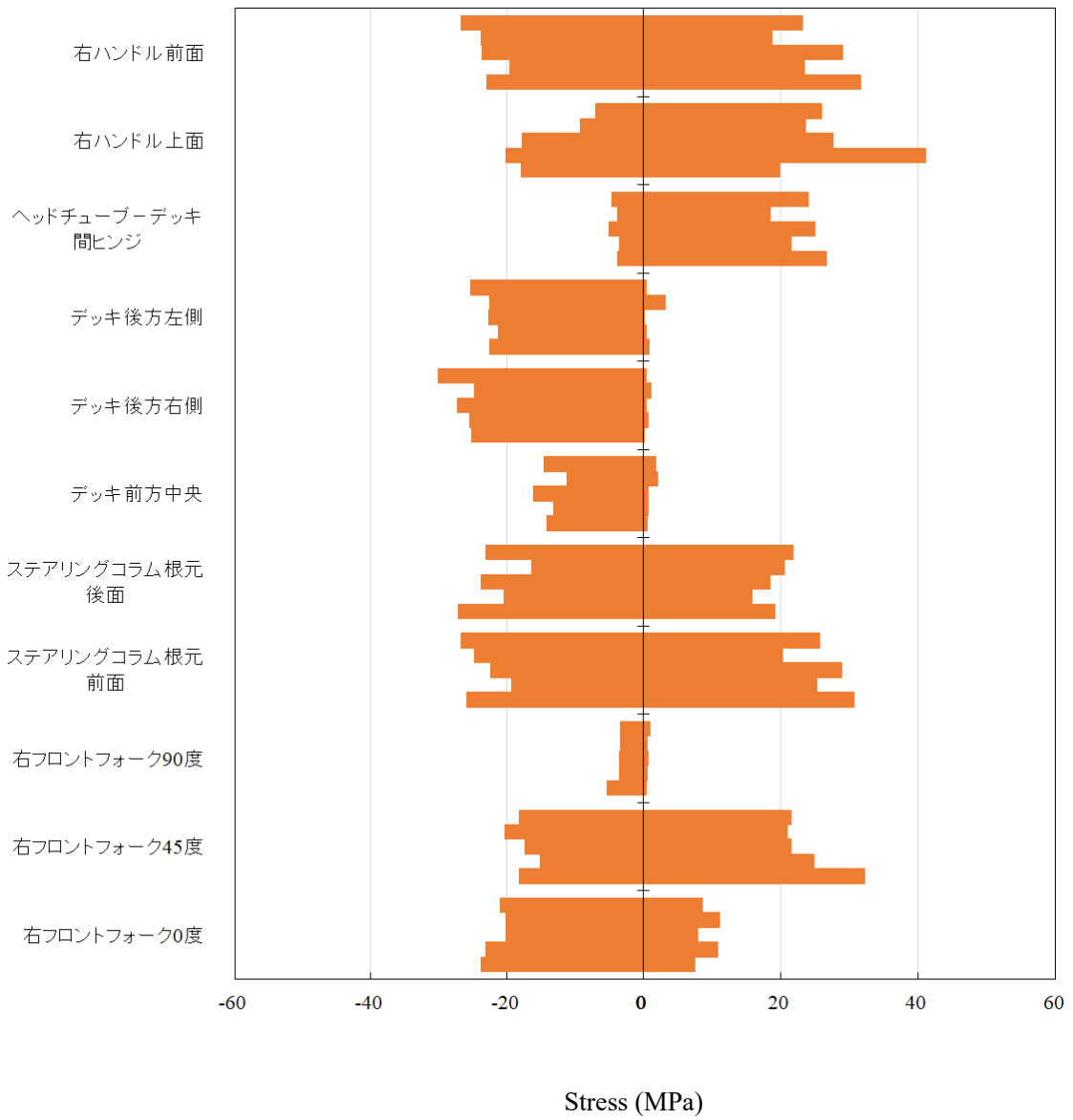


図 25 90度右折走行時の応力（最大・最小）

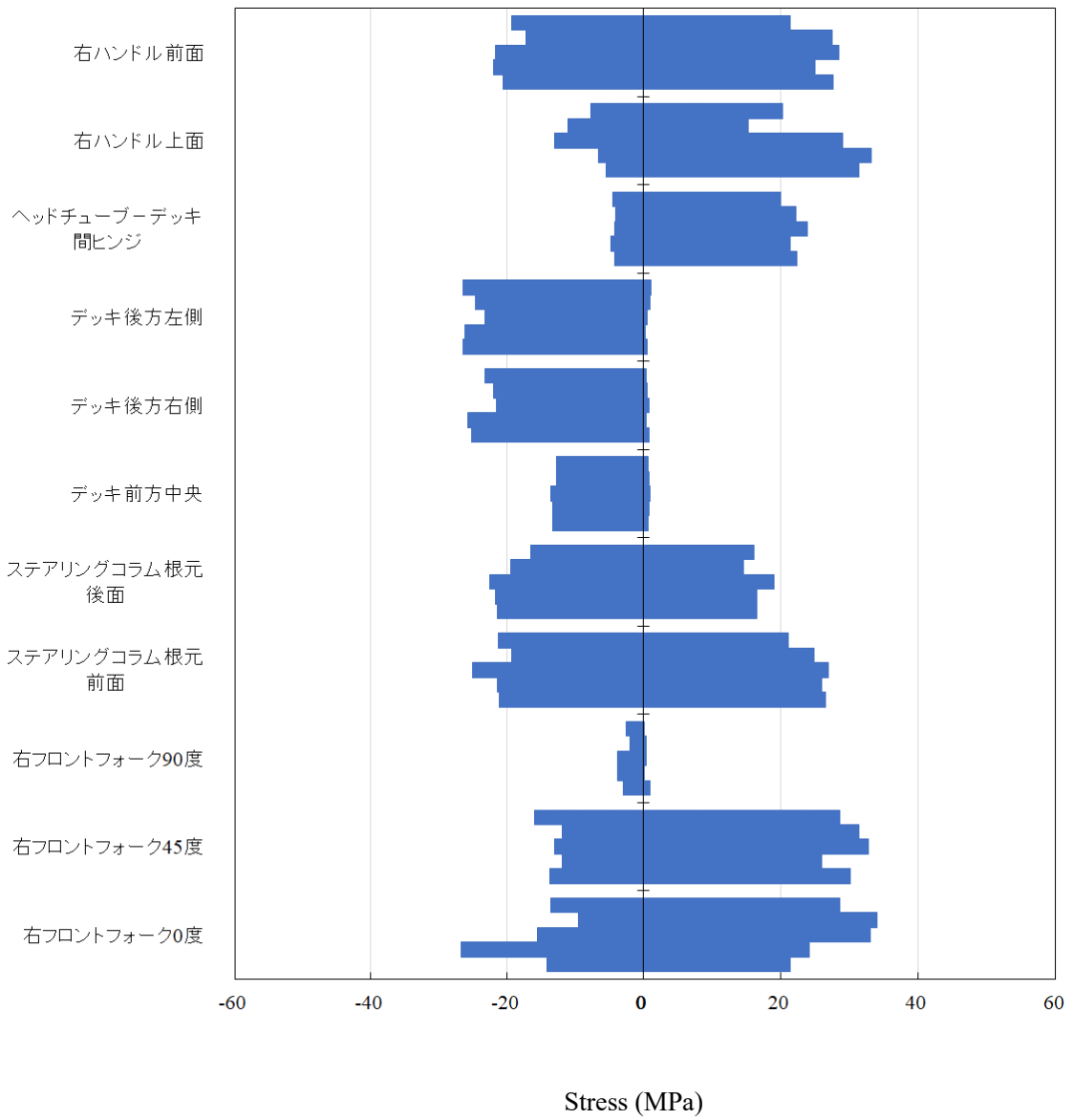


図 26 90度左折走行時の応力（最大・最小）

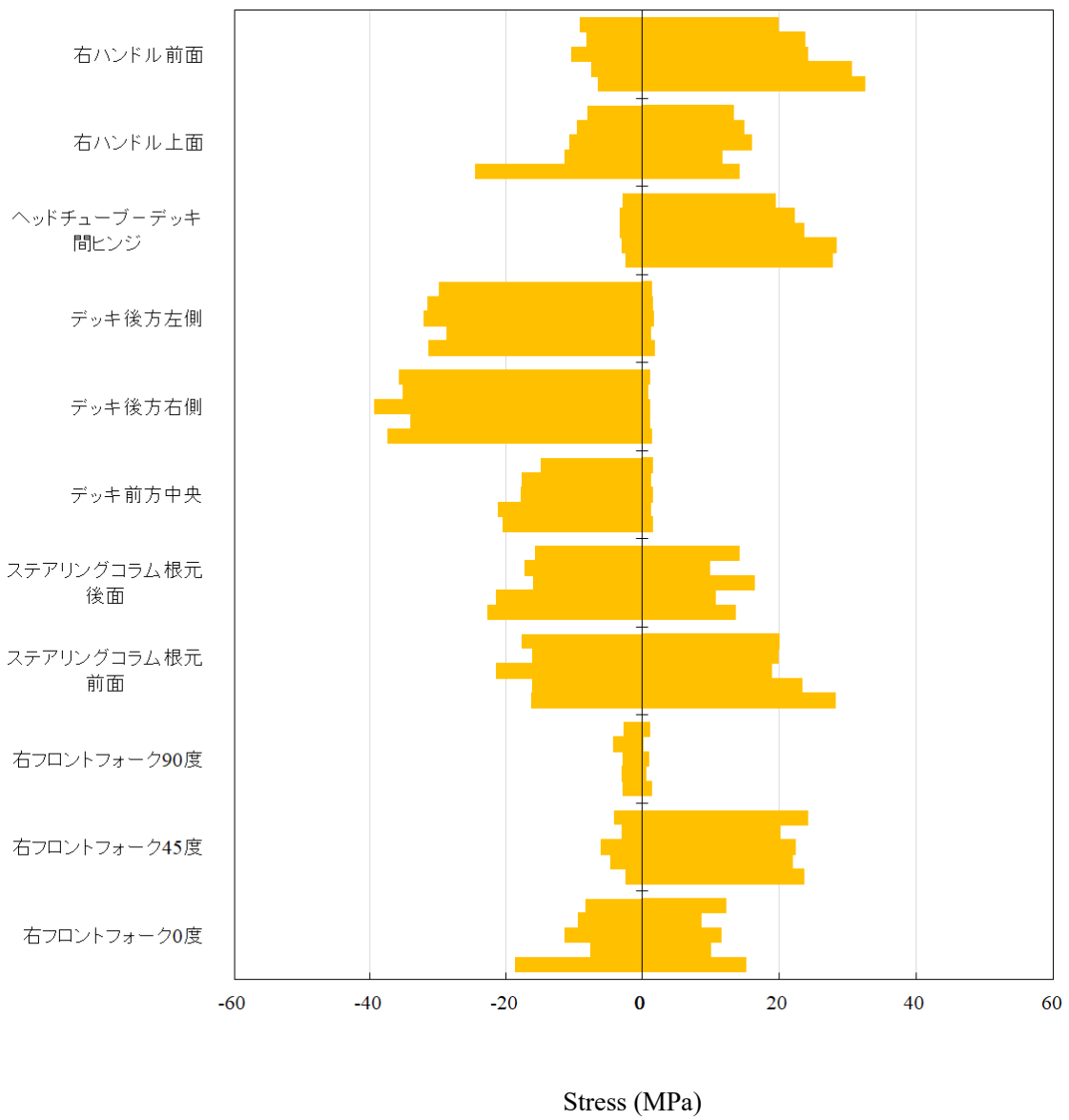


図 27 上り坂走行時の応力（最大・最小）

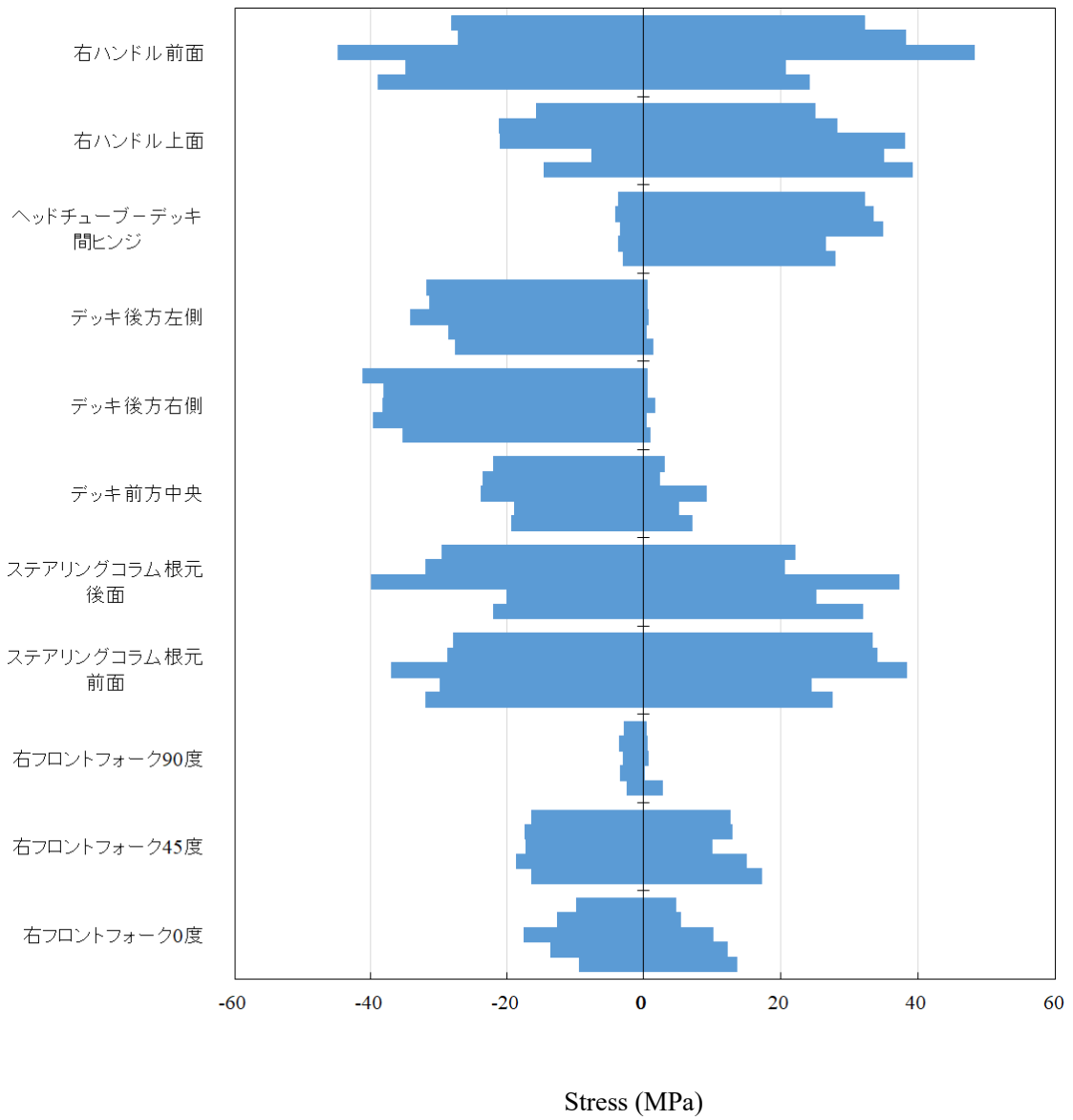


図 28 下り坂・急制動走行時の応力（最大・最小）

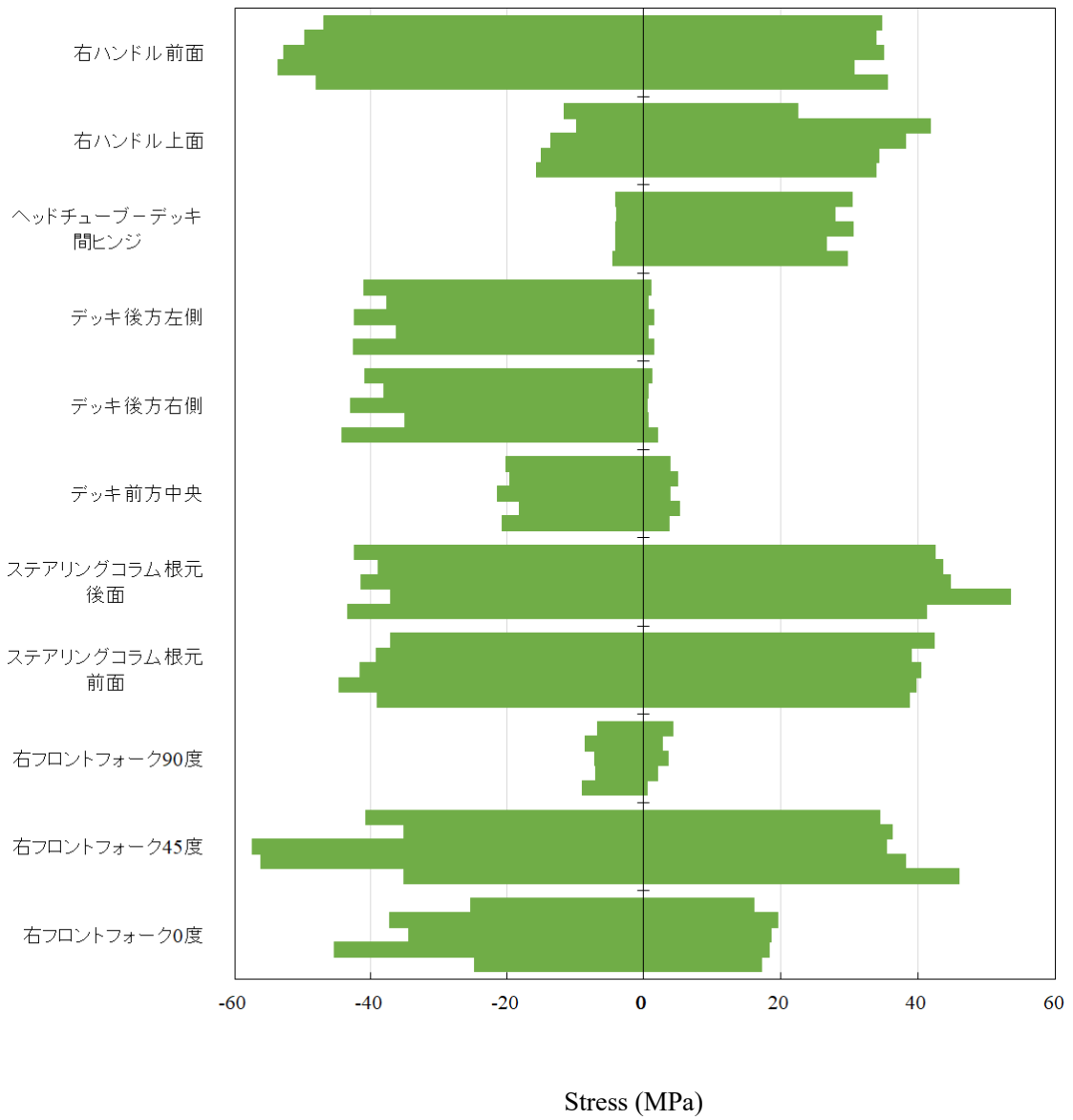


図 29 段走行時の応力（最大・最小）

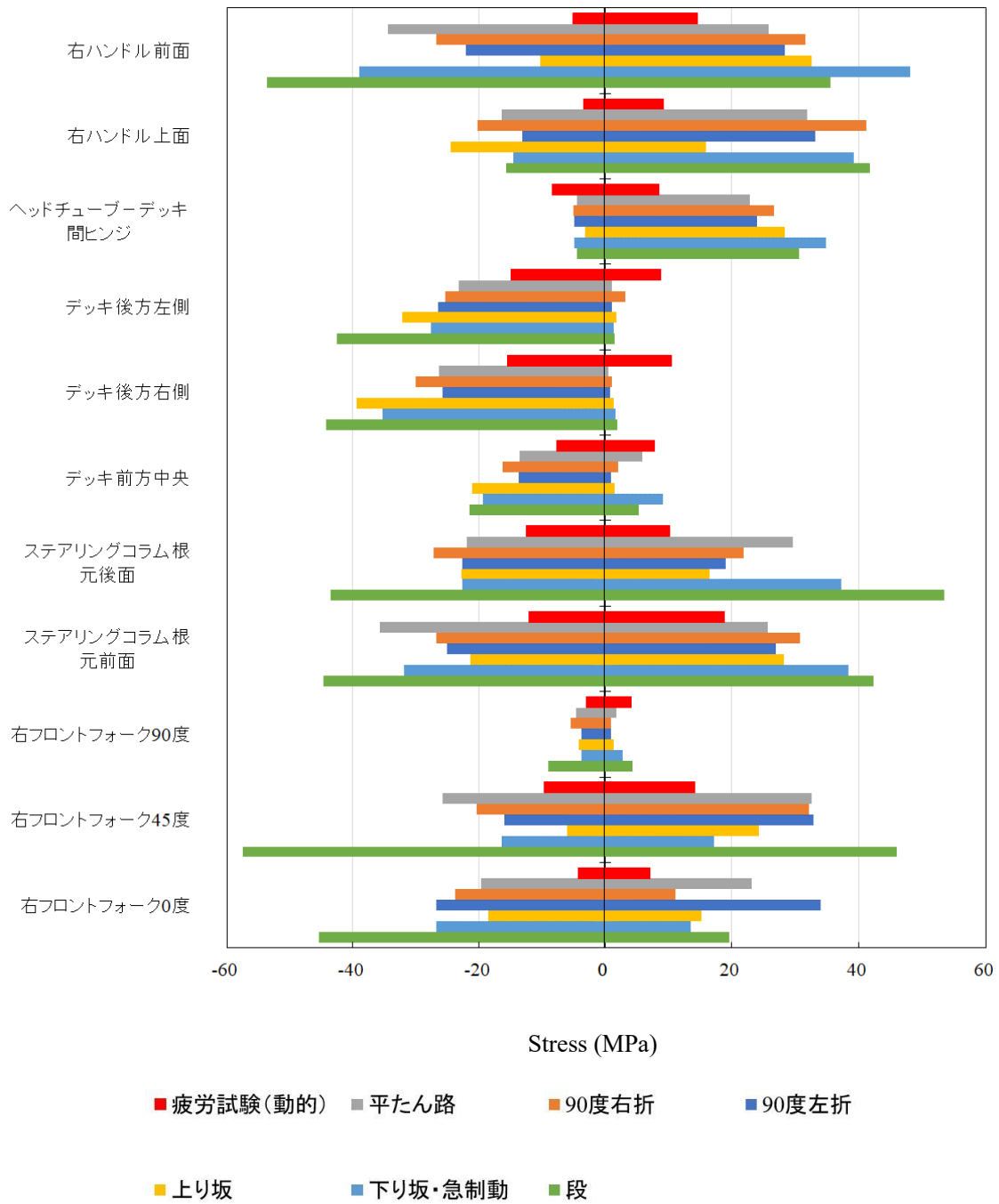


図 30 疲労試験（動的）と実走行時の発生応力比較（最大・最小）

5.2 疲労試験（動的）が担保する物理的な寿命

自転車の ISO 規格である ISO 4210 では、消耗品を除くフレームやフロントフォークなどの主な部品については、走行距離 20,000 km 以上をベースとした疲労試験が規定されていることが多い。電動キックボードで必要とされる物理的な寿命は、どの程度が妥当であるかはわからないが、今回の供試車の場合、航続距離が 22 km であり、電池の寿命を充放電 300 回と仮定すると 6,600 km が寿命の一つの目安となる。

ここで、あくまで想定状況での寿命計算であるが、疲労試験（動的）と、走行状態として通常走行で普通に起こりうる平坦路走行時の応力測定結果から、疲労試験（動的）がどれだけの平坦路走行に相当するのか、すなわち疲労試験（動的）が担保する製品の物理的な寿命を計算した。

計算方法として、線形累積損傷則、及び修正マイナー則を用いた。寿命計算のベースとなる S-N 曲線については、疲労試験（動的）で図 16 の各箇所（段乗り越え時の応力範囲）の最大・最小値の応力範囲（段乗り越え時の応力範囲）が繰り返し負荷され、ドラムの表面速度 0.8 m/s で 1.5 秒に 1 回段を乗り上げ、25 km 走行した際の段乗り越え回数である 20,833 回ちょうどで破断する状況を想定した、以下の仮想 S-N 曲線を用いた。

$$\sigma = \sigma_D \left(\frac{N_D}{N} \right)^{\frac{1}{k}}$$

ここに

- N: 負荷サイクル数
- N_D : 破断サイクル数（ここでは 20,833 試験サイクル）
- σ : 応力範囲（各箇所の応力最大値と最小値の差）
- σ_D : N_D サイクルで破断する応力範囲
- k: Wöhler 係数（ここでは自転車のアルミ部品で用いられる 6.2 とした⁸⁾）

この仮想 S-N 曲線と、平坦路 5 回分の応力波形（停止状態から乗車⇒20 km/h まで加速⇒減速⇒停止 が 5 回で計 0.2 km の走行）のレインフロー法による頻度解析結果（図 31 にステアリングコラム根元後面の例を示す）を用いて、線形累積損傷則により右フロントフォーク 90 度、ハンドル部以外の各箇所の平坦路 5 回分の損傷度、及び疲労試験（動的）25 km 走行が平坦路の何 km 走行相当であることを計算した。結果を表 13 に示す。

表 13 より、疲労試験（動的）25 km 走行はフロントフォークやステアリングコラムでは平坦路数 km から数十 km 走行相当、デッキ部では 1000 km～2000 km 相当であり、物理寿命の目安とした 6,600 km には及ばなかった。あくまで仮想した条件下での計算のため、厳密な結果とは言い切れないが、箇所によっては 1 桁～3 桁の差があることや、今回の計算では平坦路走行よりも過酷な急制動や段差走行状態を含めていないことから、EN 17128:2020 の疲労試験（動的）は、ステアリングコラムやデッキなどの各箇所に必要なダメージを負荷する疲労試験として、十分と言いきれない。

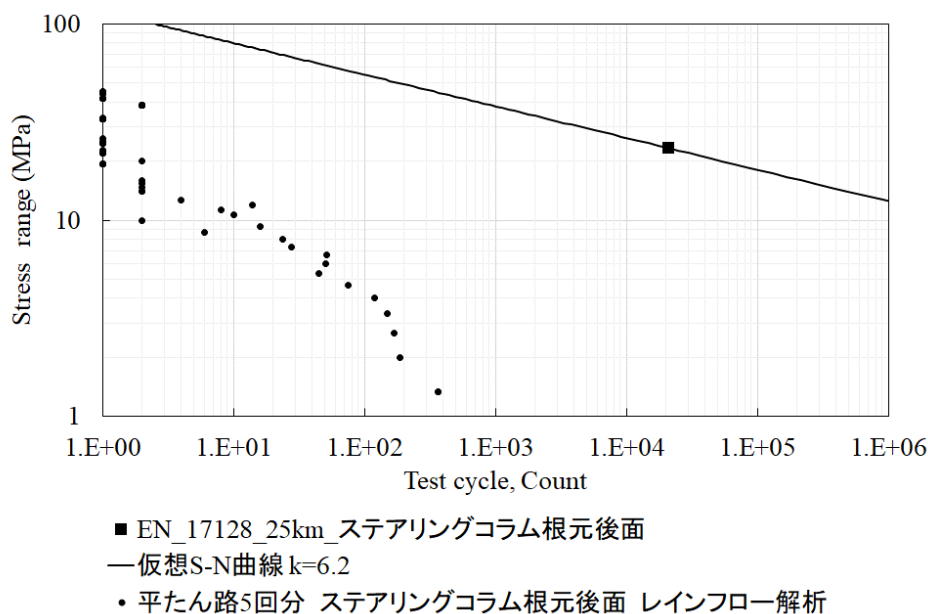


図 31 仮想 S-N 曲線とレインフロー法頻度解析例（ステアリングコラム根元後面）

表 13 損傷度、及び平たん路の走行距離換算

箇所	損傷度	平たん路走行距離換算 (km)
右フロントフォーク 0 度	1.16×10^{-1}	1.7
右フロントフォーク 45 度	9.37×10^{-3}	21.3
ステアリングコラム根元前面	2.71×10^{-3}	73.7
ステアリングコラム根元後面	5.34×10^{-3}	37.4
デッキ前方中央	2.00×10^{-4}	1001
デッキ後方右側	1.16×10^{-4}	1723
デッキ後方左側	1.56×10^{-4}	1284
ヘッドチューブーデッキ間ヒンジ	1.70×10^{-3}	118

EN 17128:2020 では、車両本体の疲労試験としてはこの試験しか規定されていないが、自転車の場合は着座、ペダリング、加減速、ハンドル操作、路面からの衝撃などにより様々な力が車体に負荷されるため、部品、箇所ごとに様々な疲労試験が規定されている。これらの疲労試験は、概ね試験サイクル回数 10 万回で 20,000 km 走行相当となるように試験力が規定され、試験周波数にもよるが 1 日から 2 日程度で完了できる促進試験となっている。

電動キックボードが一般公道を走行可能となった場合には、自転車相当の耐久性が必要と思われ、加速・減速時やハンドル操作時の力を想定したハンドル及びステアリングコラムの前後方向や上下方向、フロントフォーク前後方向の疲労試験や、乗車時にデッキ上に負荷される力を想定したデッキ下方向への疲労試験などを追加・規定すべきと思われる。

6. まとめ

今回の検証結果を以下にまとめる。

- ・ **表 1** に示した EN 17128:2020 の一部の試験（駆動出力、構造健全性、制動性能）は当所設備にて試験実施可能であった。
- ・ 一方で EN 17128:2020 の規定内容には不明確な点、規定内容が不十分な点、解釈の余地のある点が多く、実際に試験を行う際には注意が必要であった。特に試験結果に大きく影響する試験条件などが明確にされていないものもあり、試験所の解釈・判断だけでは試験を行うことが困難である。今回検証した規定内容において、不明確な点や、試験時に注意が必要な点を **表 14** にまとめた。
- ・ 電動キックボードの電動機出力測定も可能であったが、電池残量により測定結果が変わるため、電源として直流電源装置を用いる方が良い。
- ・ 応力測定の結果から、実走行での使用状況と比較し、疲労試験（動的）だけではステアリングコラムやデッキなどに十分な負荷を与えることができていないと思われる。

なお、実走行時の負荷について、今回の検証では公道走行不可の車両を用いたことから、当所敷地内のみでの測定となった。そのため、限られた走行状況での測定しかできなかったが、他の走行状況や長距離での走行でどのような負荷が生じるかは、一般公道にて検証を行う必要があると思われ、今後も引き続き検証を行いたい。

表 14 今回検証した規定内容において、不明確、注意が必要な点

駆動出力管理・3 km/h 以下での 駆動出力の測定	・積載質量
駆動出力管理・加速度測定	<ul style="list-style-type: none"> ・(事前情報がない場合)拘束電流の測定 ・テストベンチでの試験の場合、走行抵抗 ・6 km/h での安定時、電流値を一定にすることが困難であり、試験中の電流値の公差が必要 ・TPMM はワーストケースではない
速度制限	<ul style="list-style-type: none"> ・最高速度状態で人力が不要な車両は“ partially electrically powered vehicle”なのか、“ vehicle with 100 % electric propulsion”なのか。 ・“ vehicle with 100 % electric propulsion”の試験でテストベンチでの試験の場合、走行抵抗 (normal road condition) が明確ではない ・TPMM はワーストケースではない
静荷重試験—デッキ/フレーム	・車両の固定方法
ハンドルバー及びステアリングコラム—曲げ試験(前方)	・Figure 6 d)に示す固定方法では車両が回転するため固定できない。
ハンドルバー及びステアリングコラム—曲げ試験(上方)	<ul style="list-style-type: none"> ・車両の固定方法(デッキが水平なのか、ハンドルバーが垂直なのか) ・おもりの取り付け位置
ハンドルバー及びステアリングコラム—垂直荷重試験	・車両の固定方法
ハンドルバー及びステアリングコラム—トルク試験	・「ハンドルバーステム」「ステアリングチューブ」が何なのか定義されていない
ハンドルバーグリップ及びプラグ	・グリップ構造によっては規定通りの測定ができない
前方衝撃耐性試験	・ハンドルバーへのおもりの取り付け位置とハンドルの固定方法
疲労試験(動的)	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンドルの固定方法、ハンドルバー上へのおもりの取り付け ・ドラム表面速度、及び段周期の公差 ・走行距離での規定、ダメージに影響するのは段の乗り越え回数
制動性能	<ul style="list-style-type: none"> ・電気式ブレーキなどレバーがない場合の操作力負荷 ・前ブレーキまたは後ブレーキのみの要求事項なのか、前後両方なのか ・湿潤時の試験条件、要求事項が不明

参考文献

- 1) 警察庁交通局 (2002) . いわゆる「電動キックボード」及び「電動スクーター」について
<https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku6/kickboard.htm> (閲覧日 : 2022 年 2 月 25 日)
- 2) 警察庁交通局 (2021) . 電動キックボードに係る産業競争力強化法に基づく特例措置について (通達) 警察庁丁交企発第 132 号、丁規発第 57 号
- 3) 警察庁 (2021) . 多様な交通主体の交通ルール等の在り方に関する有識者検討会 報告書
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/council/saisyuhoukokusyo.pdf> (閲覧日 : 2022 年 2 月 25 日)
- 4) 国家公安委員会 (2021) . 令和 3 年 12 月 23 日分 国家公安委員会委員長記者会見要旨
https://www.npsc.go.jp/pressconf_2021/12_23.htm (閲覧日 : 2022 年 2 月 25 日)
- 5) 一般財団法人自転車産業振興協会 (2020) . 「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」
- 6) 一般財団法人自転車産業振興協会 (2020) . 「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」
- 7) 一般財団法人自転車産業振興協会 (2017) . 「電動アシスト自転車用シャーシダイナモメータを活用したフル電動自転車の評価」
- 8) Eric Groß (2014) . “POWER MEASUREMENT AND ROAD LOAD DATA ACQUISITION FOR SPEED EPACs “ : Technische Universitat Hamburg-Harburg