

参考資料

参考資料1 実験計測システム

(1) 計測項目及びセンサ

走行中の自転車の状態を把握するために、以下の計測項目についての時系列データを取得するセンサを選定した。

計測に使用したセンサ一覧を表 43 に示す。

- a ハンドル舵角
- b フロントのロール角、ピッチ角及びヨー角
- c リヤのロール角、ピッチ角及びヨー角
- d 走行速度
- e 運転者の重心

なお、ロール角・ピッチ角・ヨー角とは、図 71 に示す座標系に示したローリング、ピッチング及びヨーイングの角度を表している。

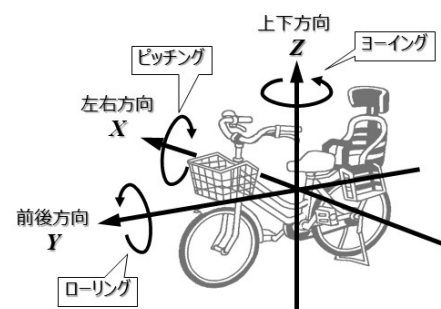


図 71 センサ座標系

表 43 計測に使用したセンサ一覧

	計測項目	センサ種類	型式	概要(精度等)
a	ハンドル舵角	インクリメンタル 光電ロータリー エンコーダ	B073W3TCFY	600パルス AB二相の仕様であるため計測分解能は0.6度
b	ロール角 ピッチ角 ヨー角 (フロント)	9軸センサ モジュール	MPU-9250	加速度3軸、角速度(ジャイロ)3軸、地磁気(コンパス)3軸の計9軸を計測可能で、計測分解能等の仕様は以下 A) 加速度 ・ 測定レンジ $\pm 2 / \pm 4 / \pm 8 / \pm 16g$ ・ 分解能:16ビット B) 角速度(ジャイロ) ・ 測定レンジ $\pm 250 / \pm 500 / \pm 1000 / \pm 2000 \text{ dps } (^{\circ} / \text{sec})$ ・ 分解能:16ビット C) 地磁気(コンパス) ・ 測定レンジ: $\pm 4800 \mu T$ ・ 分解能:14ビット/16ビット ・ 連続変換モードあり・ 内部でAK8963を用いて計測
c	ロール角 ピッチ角 ヨー角 (リヤ)	9軸センサ モジュール	MPU-9250	同上
d	走行速度	センシティブ ホール効果 センサ磁気 検出器	Y3144	一般的なサイクルコンピュータでは車輪に1つの磁石を取り付けて速度を計測するが、計測精度を向上させるため車輪には等間隔に9個の磁石を取り付けた。Y3144のサンプリングレートは50kHzであるので、5000回転/秒は計測可能
e	運転者の 重心	オールステンレ スビーム型 ロードセル	LCM13シリーズ	ハンドル左右・サドル左右・ペダル左右に設置 段差などの衝撃により体重が数倍になる可能性があること、グラム単位の計測精度は必要ないため、定格容量5kN(500.9kg)のLCM13K500のMIML R60認定品C3を利用した。

(2) 計測システム構成

システム構成概念図を図 72 に示す。表 43 に示した各種センサは自転車に取り付けた小型コンピュータ (Raspberry Pi 3 Model B+) に有線接続され、センサの計測値は小型コンピュータの記録装置に記録される。計測項目はセンサの値から計算が必要なものがあるが、計測時に計算処理を行うと、計測に影響が出ることから、計測データをローカルストレージにそのまま保存し、計算処理は計測後に行うことにより、50Hz での計測を可能にした。

また、実験本部に設置した PC へは Wi-Fi を経由して小型コンピュータと接続し、1 回の走行が終わるたびにデータを取り出し、計測が確実に行われていることを確認しながら進めた。

計測項目の計算は、PC に記録されたデータを使用し、実験後に行った。

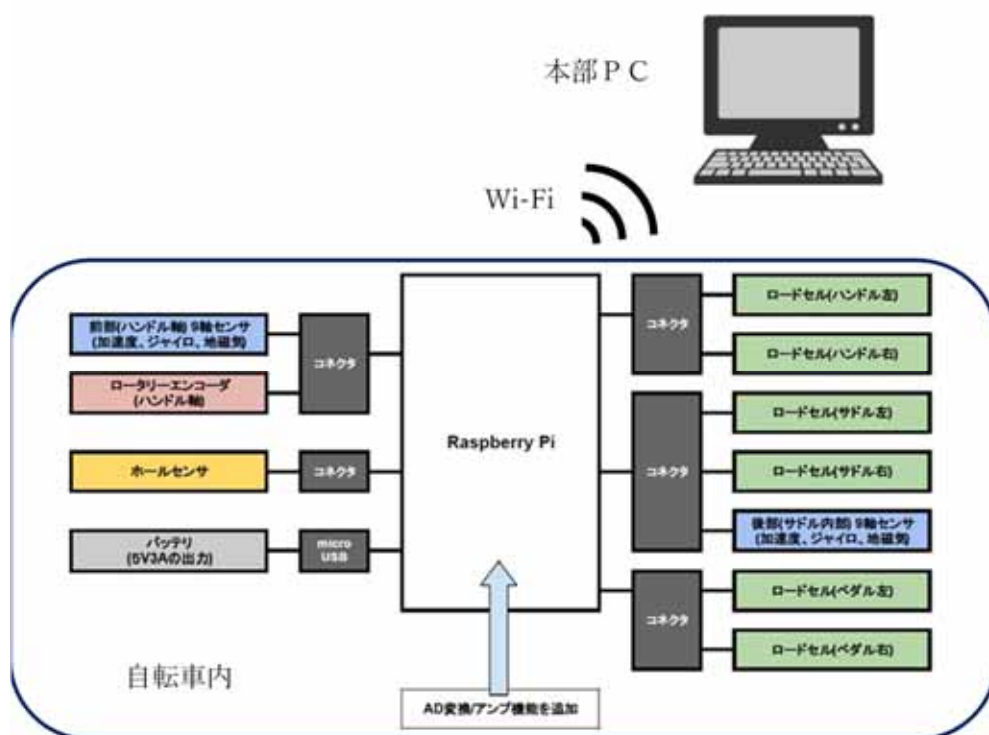


図 72 計測システム構成概念図

(3) 計測用自転車

各種センサ及び計測システムを各々の検体に搭載した計測用自転車を製作した (図 73)。

ハンドル部は、グリップ部分を残してバーのみを改造し、走行性や運転状態が変わらないようにロードセルを組み込んだ。その際、改造後のグリップ

位置が、元の位置と同じになるような改造設計を行っている。同様に、ペダル部、サドル部も元の位置と同じになるような改造設計を行った。

また、新たに追加する部品は樹脂及びアルミを使用して軽量化した。

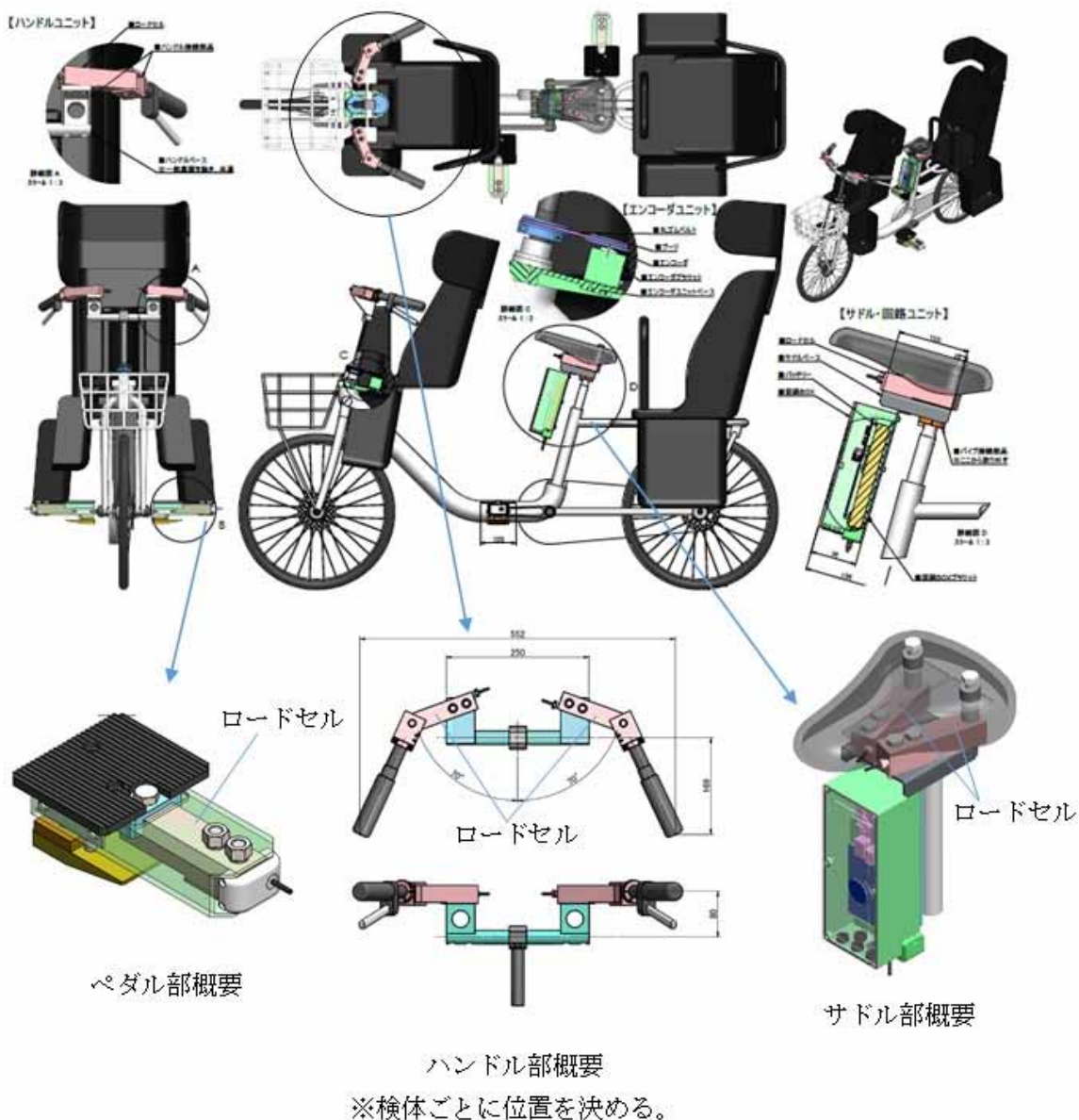


図 73 計測用自転車（後ろ乗せタイプ、カゴ付きの例）

完成した計測用自転車の一例を写真 21 に示す。後座席上方には小型ビデオカメラを設置して、走行状態を撮影できるようにした。

また、空気圧はタイヤに表示された圧力範囲の最大値になるよう管理した。

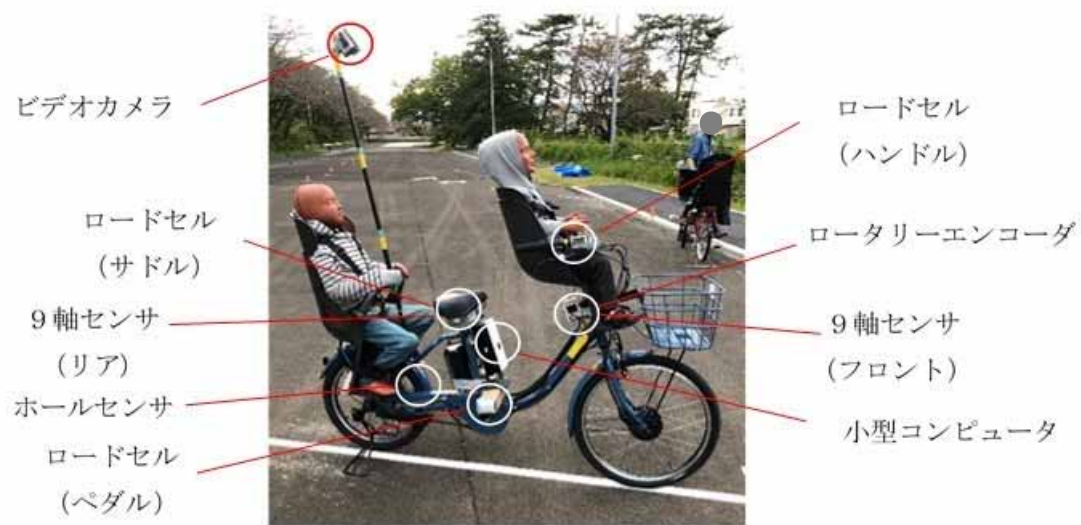


写真 21 計測用自転車（後ろ乗せタイプ、カゴ付きの例）

参考資料2 計測データの処理方法

(1) データ処理方法

① キャリブレーション

本来、センサには個体差があるため、利用前に個体差を打ち消すことができるように基準値を計測しておき、計測値を正しい値へ補正することが一般的である。これら一連の作業をキャリブレーションと呼ぶ。今回は時間の関係で、事後にキャリブレーションを行った。

具体的には、図 71 に示した Y 軸を中心に自転車を等速回転させる（写真 22）などの理想的な状態にすることによって得られた正しい値（理論値）と計測値との差を算出し、計測値を正しい値に変更するための数式を導出した。



写真 22 キャリブレーション作業

② 計測値（センシング値）から計測項目値の算出方法

計算によって求められる計測項目の算出方法を以下に示す。

a ロール角、ピッチ角及びヨー角

9 軸センサの計測値にはノイズがあるため、そのまま利用するとノイズの影響を受けて値が振動してしまう。そこで、加速度 3 軸、角速度 3 軸の計 6 軸に対してカルマンフィルタを用いて計測ノイズをできる限り取り去った上で、ロール角とピッチ角を求めた。

ヨー角も同様に計測ノイズがあるため、計測値の正規化を行った上で北を 0 度、時計回りに 360 度となるよう計算を行った。

b 運転者の重心

自転車ごとに事前に計測したセンサ（ロードセル）の取付位置を運転者の体の中心（矢状面）から左右方向に対する距離として求めた。

そして、センサによって計測された荷重とセンサの位置を用いて矢状面に対する左右方向の重心位置を求めた。

走行挙動の計測値（センシング値）から計測項目値の算出手順の概念を図 74 に示す。

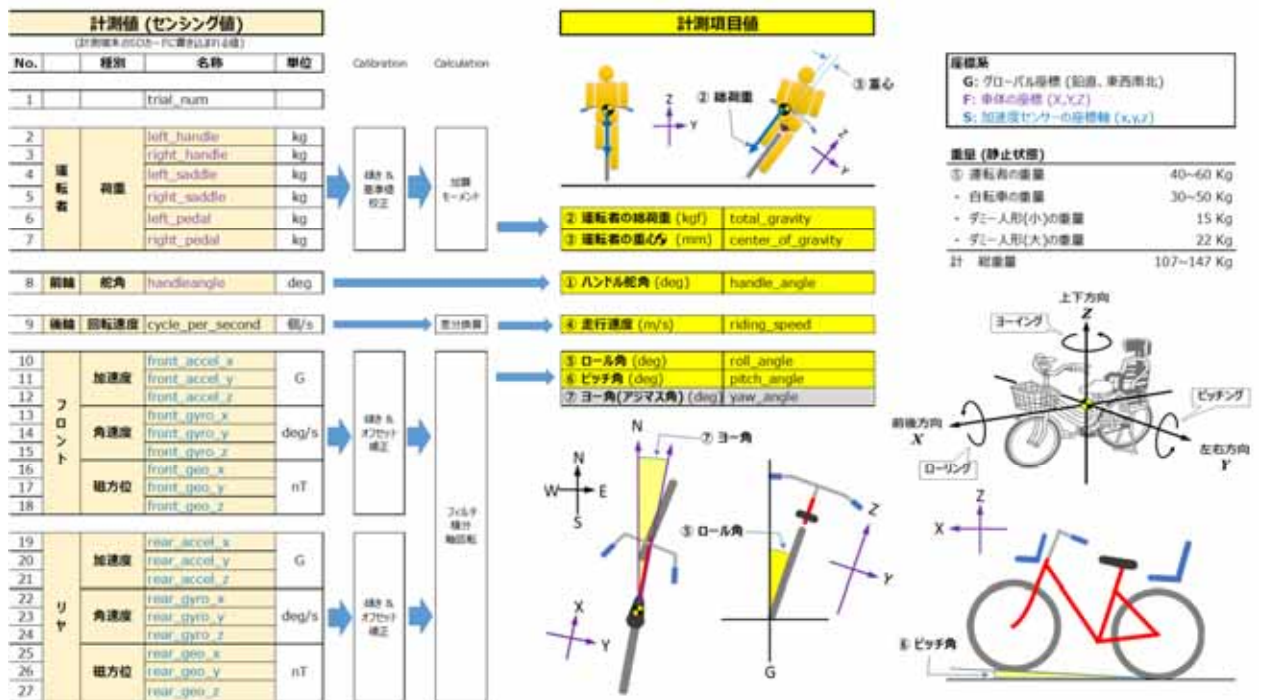


図 74 走行挙動の計測項目値の算出

(2) 計測結果 (例)

(1) のデータ処理を行った結果の一例として、実験 A のある実験条件における計測値（センシング値）を図 75、データ処理後の計測項目値を図 76 に示す。

例えば、運転者の総荷重及び重心については、ハンドル左右、サドル左右及びペダル左右の 6 箇所に取り付けたロードセルのデータを計算することによって求まる。

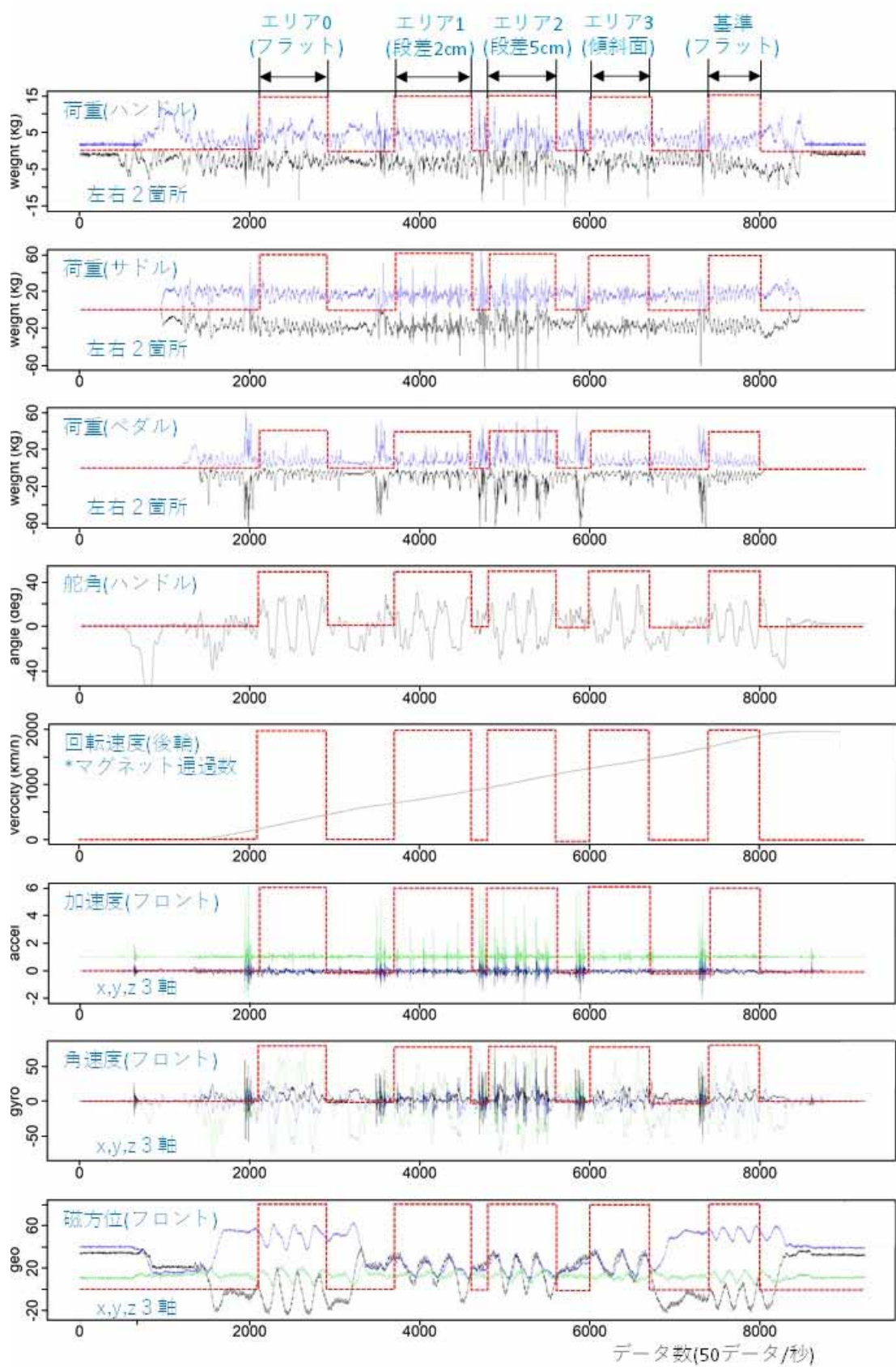


図 75 計測値(センシング値)例 (実験A)

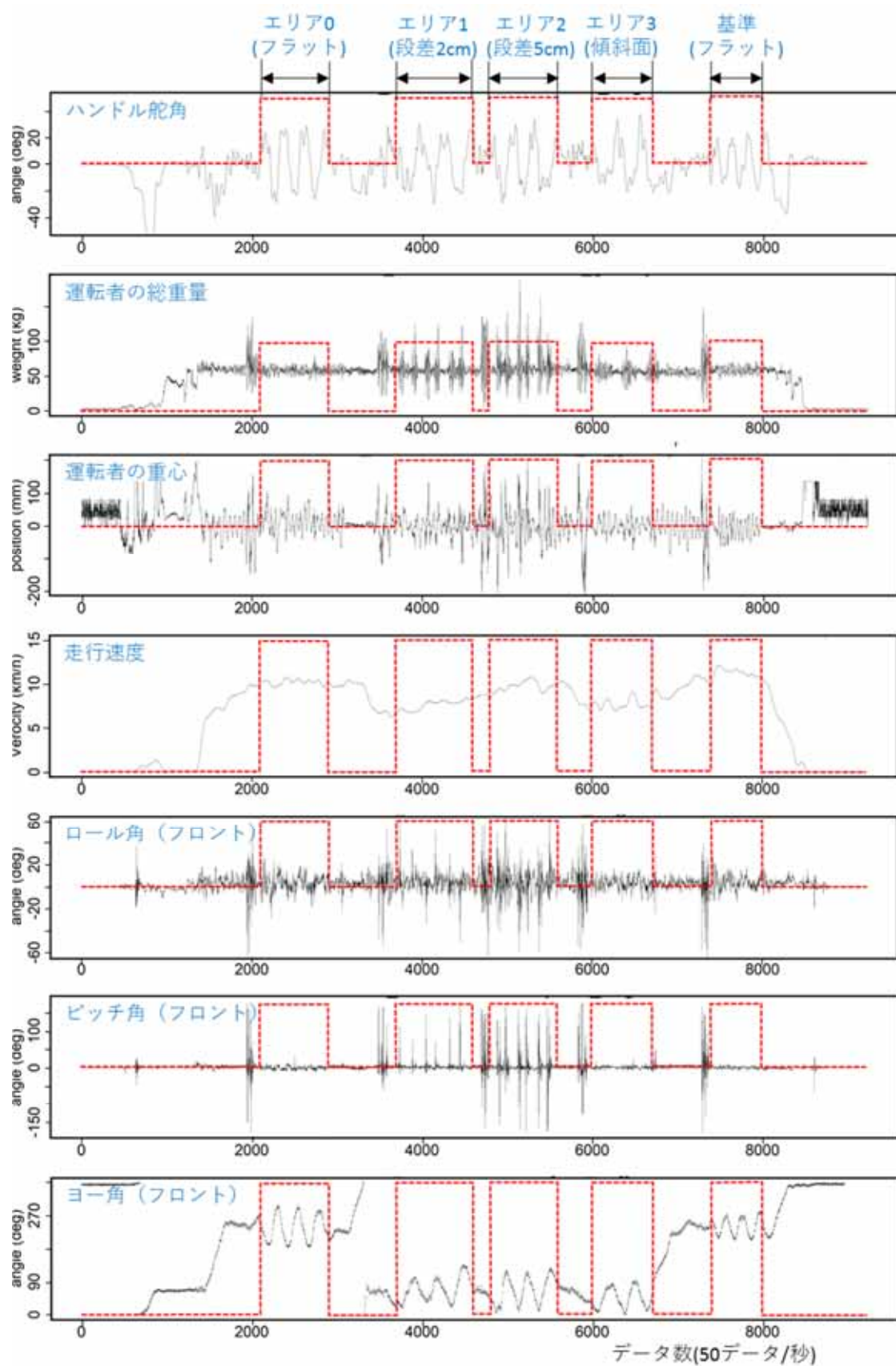


図 76 計測項目値例 (実験 A)

(3) 測定項目一覧

測定データのサンプリング周波数は 50Hz であり、1 サンプル 1 行 27 列の csv 形式で保存される。各列の測定項目は表 44 のとおりである。

表 44 測定項目一覧

No.	測定項目	No.	測定項目
1	実験試行数	15	フロント 9 軸センサ(ジャイロ z)
2	ロードセル(左ハンドル)	16	フロント 9 軸センサ(地磁気 x)
3	ロードセル(右ハンドル)	17	フロント 9 軸センサ(地磁気 y)
4	ロードセル(左サドル)	18	フロント 9 軸センサ(地磁気 z)
5	ロードセル(右サドル)	19	リヤ 9 軸センサ(加速度 x)
6	ロードセル(左ペダル)	20	リヤ 9 軸センサ(加速度 y)
7	ロードセル(右ペダル)	21	リヤ 9 軸センサ(加速度 z)
8	ハンドル舵角	22	リヤ 9 軸センサ(ジャイロ x)
9	車輪ホールセンサ	23	リヤ 9 軸センサ(ジャイロ y)
10	フロント 9 軸センサ(加速度 x)	24	リヤ 9 軸センサ(ジャイロ z)
11	フロント 9 軸センサ(加速度 y)	25	リヤ 9 軸センサ(地磁気 x)
12	フロント 9 軸センサ(加速度 z)	26	リヤ 9 軸センサ(地磁気 y)
13	フロント 9 軸センサ(ジャイロ x)	27	リヤ 9 軸センサ(地磁気 z)
14	フロント 9 軸センサ(ジャイロ y)		

(4) 座標軸について

9 軸センサの座標軸はフロントとリヤ共に傾いて設置されておりセンサ座標系は図 77 のようになる。9 軸センサでは、項目によって座標軸が異なっており、加速度・ジャイロの座標軸を実線、地磁気の座標軸を点線で示す。加速度は進行方向を y 軸、進行に対して右方向を x 軸、天頂方向を z 軸とする。ジャイロは加速度の軸の先から中心方向を見たときに反時計回り方向を正とする。地磁気は進行方向を x 軸、進行方向に対して右側が y 軸、地球の中心を指す方向を z 軸とする。

解析では、地磁気については、北を y 軸、東を x 軸、天頂方向を z 軸とする。加速度・ジャイロについては傾きを補正した図 78 の自転車座標系を用いる。進行方向を y 軸、進行方向に対して右側を x 軸、天頂方向を z 軸とする。ハンドルの回転角は右回転を正とする。

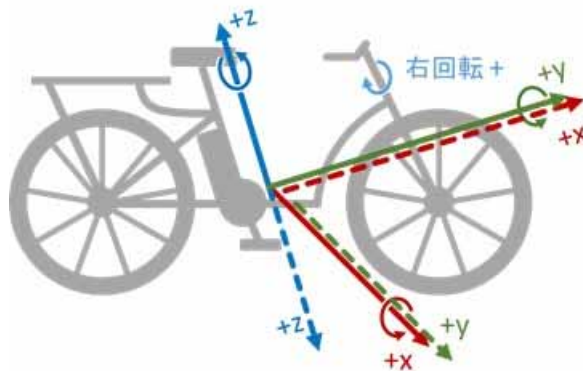


図 77 センサ座標系

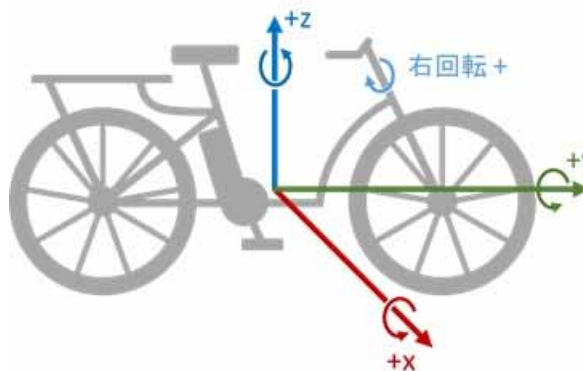


図 78 自転車座標系

(5) 各種パラメータ算出方法

分析に用いるために表 44 の測定項目から重心、ハンドル舵角、車輪回転速度、自転車のロール角・ピッチ角・ヨー角を算出する。

① 重心

3次元の重心移動ではなく、自転車の左右方向の重心移動を求める。ロードセルの左ハンドル、右ハンドル、左サドル、右サドル、左ペダル、右ペダルの計測値ベクトルを (L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , L_5 , L_6) とする。また、矢状面を 0、右側を正、左側を負として、ロードセルそれぞれの設置位置を矢状面からの位置として記録する。ロードセルの設置位置ベクトルを (x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 , x_6) とする。重心位置 x_c とすると、 x_c は式(1)で求めることができる。

$$x_c = \frac{L_1 x_1 + L_2 x_2 + L_3 x_3 + L_4 x_4 + L_5 x_5 + L_6 x_6}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6} \quad (1)$$

② ハンドル舵角

計測されたハンドル舵角は計測開始時の初期状態からの相対角度 (degree) で算出されるため、走行ごとに北向きにスタンドを立てた状態から計測を開始することで初期状態を北向き 0 度であることを担保する。よって、ハンドル舵角の補正は行っていない。

検体 A 3 及び M 4 については、取付位置の制約上、ロータリエンコーダが上下逆に設置されているため、計測値の正負を反転させる必要がある。

なお、実験 E のハンドル舵角については、ハンドル操作支援機構付き自転車 (図 117) であり、ハンドル舵角の計測方法が異なっているため、計算法も異なる。

実験 E のハンドル舵角に記録されている値はロータリエンコーダの出力する生データである。ロータリエンコーダの出力値を x 、モータギア比を 74、1 周当たりのパルス数を 1000、回転方向を合わせる極性を -1 とすると以下の式(2)で角度 (degree) に変換できる。

$$\text{ハンドル舵角} = (-1) \times 360^\circ \times \frac{x}{74 * 1000} \quad (2)$$

③ 走行速度

車輪に 9 個の磁石が等間隔に取り付けられている。車輪ホールセンサは車輪回転時にその磁石の累積通過数を計測値としている。走行ごとではなく計測装置に電源が入ってからの累積通過数なので、計測開始時の計測値をオフセット値として計測値から減ずることで、走行ごとの磁石通過数に変更して速度計算に用いている。

④ ロール角・ピッチ角

図 79 は座標系の関係を表しており、実線は 9 軸センサ座標系、二重線は自転車座標系を表している。自転車座標系の y 軸回りの回転角をロール角、自転車座標系の x 軸回りの回転角をピッチ角と呼ぶ。9 軸センサ座標系の計測された加速度ベクトルを (a_x, a_y, a_z) とし、算出する自転車座標系の加速度ベクトルを (g_x, g_y, g_z) とする。9 軸センサ座標系の y 軸が自転車

座標系の y 軸から θ_y 度、センサ座標系の x 軸は自転車座標系の x 軸から見て θ_x 度傾いて取り付けられている。9 軸センサ座標系から、地表面を基準にした自転車座標系に変換した後、ロール角・ピッチ角を算出する。

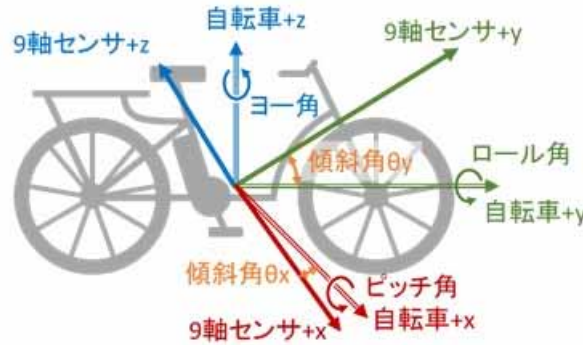


図 79 自転車座標系と 9 軸センサの座標

(座標系の変換)

9 軸センサの y 軸の傾斜角 θ_y を式(3)、x 軸の傾斜角 θ_x を式(4)を用いて算出する。

$$\theta_y = \arctan\left(\frac{a_y}{a_z}\right) \quad (3)$$

$$\theta_x = \arctan\left(\frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}}\right) \quad (4)$$

次に 9 軸センサ座標系の加速度を自転車座標系の加速度へ式(5)、(6)、(7)を用いて変換する。

$$g_x = a_x \cos \theta_x + a_y \sin \theta_x \sin \theta_y + a_z \sin \theta_x \cos \theta_x \quad (5)$$

$$g_y = a_y \cos \theta_x - a_z \sin \theta_x \quad (6)$$

$$g_z = -a_x \sin \theta_x + a_y \cos \theta_x \sin \theta_y + a_z \cos \theta_x \cos \theta_y \quad (7)$$

自転車座標系の加速度から線形カルマンフィルタを用いてロール角・ピッチ角を算出する。

⑤ ヨー角

地磁気センサ（9 軸センサ）のピッチ角は自転車のフレームに取り付けられているため変化しないを考える。ピッチ角一定の場合、地磁気センサを x 軸・y 軸の 2 軸のセンサと考えても差し支えない。ただし地磁気の座標軸は他と異なるため、他の座標系に合わせるために x と y の計測値を入

れ替え、地磁気ベクトルを(m_y 、 m_x)とする。また、走行実験では周回コースを走るため、各軸の値が 360 度全域にわたって計測されていることを利用して地磁気値を補正する。走行ごとに m_y ・ m_x の値の最大値・最小値を求め地磁気値を 1 ～ -1 に正規化した地磁気ベクトルを (mn_y 、 mn_x) とする。

ヨー角は式(8)から算出する。

$$yaw = \arctan\left(\frac{mn_x}{mn_y}\right) \quad (8)$$

ただし、 $\arctan$ には計算不能点があるため、対応済みの atan2 関数を用いる。またこの場合 x 軸(東西方向)が 0 度、反時計回りに 360 度となるため、y 軸(南北方向)を 0 にするように回転させる。

参考資料 3 走行実験について

(1) 走行安定性に影響のある外的要因

医療機関ネットワークの事故情報から転倒事故につながるリスクのある外的要因を、走行安定性に影響のある外的要因として抽出し、系統図に整理したものを図 80 に示す。本図に示す外的要因を抽象化し、実験仕様を決めた。

なお、路面とタイヤの滑りやすさについては、4. 3. 2 に示した走行中の自転車のバランス（図 37）において、路面の摩擦力に関係する。本実験では、路面とタイヤの滑りはないものとして、重力と遠心力の釣合いを主に実験を行ったため、外的要因としては盛り込んでいない。

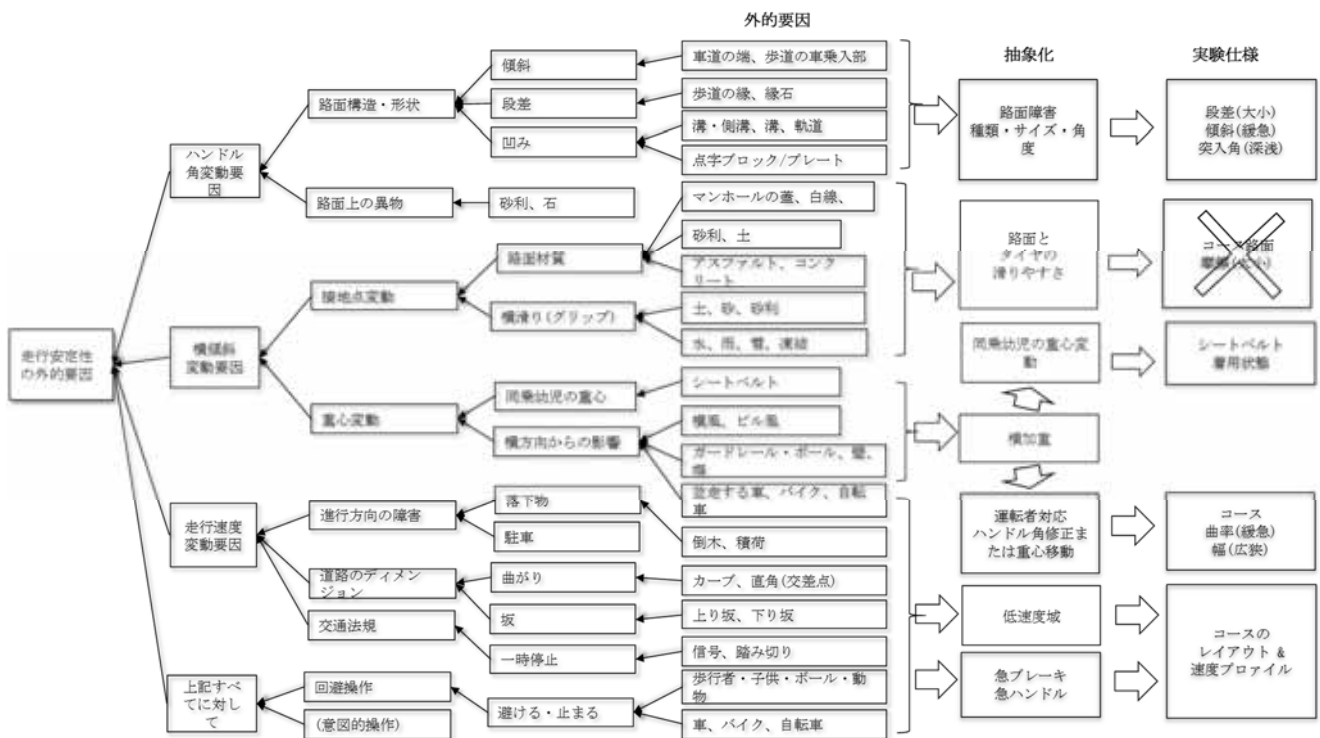


図 80 走行安定性に影響のある外的要因（系統図）

(2) 詳細仕様

本実験に先立ち予備実験を行い、以下の詳細仕様を決定した。

- a ダミー人形を乗せてスラローム走行が可能な 5.6m 間隔で走行路にパイロンを置き、各エリア 3 回のスラローム走行をする。
- b 段差 5 cm への進入角度は、30 度より小さいと転倒のおそれがあり、また、50 度を超えると実験走行路の歩道状の部分（約 1.5m 幅）における旋回が

困難であるため、安全上の理由で段差進入角度は 30 度から 50 度までの間の 10 度刻みで走行する。また、路面には正しい進入角度を白線で表示する (写真 23)。

- c 走行直前及び直後に、自転車を南北方向に引いた白線上に置き、地磁気センサで測定した方角の補正を行う (写真 24)。
- d 1 回の走行でエリア 0 からエリア 3 まで連続して走行するが、エリアごとの計測データを正しく判別できるように、各エリアの入口付近に角材を 2 本置き、必ずここを通過してからエリアを走行する。それにより、データ上でエリアの開始点を判別可能にする (写真 25)。



写真 23 段差進入角度の白線



写真 24 方角補正作業



写真 25 エリア入口の角材

(3) 実験水準

表 45 実験水準（実験 A I）

実験 No.	検体 番号	シート ベルト	ダミー人形		運転者			実験 No.	検体 番号	シート ベルト	ダミー人形		運転者		
			前	後	1	2	3				前	後	1	2	3
A I -1	M 2	固定		○			○	A I -37	M 4	固定	○		○		
A I -2	M 2	固定		○	○			A I -38	M 4	固定	○				○
A I -3	M 2	固定		○		○		A I -39	M 4	固定	○			○	
A I -4	M 2	固定	○		○			A I -40	M 4	固定		○		○	
A I -5	M 2	固定	○			○		A I -41	M 4	固定		○			○
A I -6	M 2	固定	○				○	A I -42	M 4	固定		○	○		
A I -7	M 2	固定	○	○			○	A I -43	M 4	固定	○	○		○	
A I -8	M 2	固定	○	○	○			A I -44	M 4	固定	○	○	○		
A I -9	M 2	固定	○	○		○		A I -45	M 4	固定	○	○			○
A I -10	A 3	固定		○			○	A I -46	M 1	固定		○		○	
A I -11	A 3	固定		○		○		A I -47	M 1	固定		○	○		
A I -12	A 3	固定		○	○			A I -48	M 1	固定		○			○
A I -13	A 3	固定	○	○		○		A I -49	M 1	固定	○		○		
A I -14	A 3	固定	○	○	○			A I -50	M 1	固定	○			○	
A I -15	A 3	固定	○	○			○	A I -51	M 1	固定	○				○
A I -16	A 3	固定	○		○			A I -52	M 1	固定	○	○		○	
A I -17	A 3	固定	○			○		A I -53	M 1	固定	○	○	○		
A I -18	A 3	固定	○				○	A I -54	M 1	固定	○	○			○
A I -19	M 3	固定	○			○		A I -55	A 1	固定	○	○	○		
A I -20	M 3	固定	○		○			A I -56	A 1	固定	○	○			○
A I -21	M 3	固定	○				○	A I -57	A 1	固定	○	○		○	
A I -22	M 3	固定	○	○		○		A I -58	A 1	固定		○		○	
A I -23	M 3	固定	○	○			○	A I -59	A 1	固定		○			○
A I -24	M 3	固定	○	○	○			A I -60	A 1	固定		○	○		
A I -25	M 3	固定		○	○			A I -61	A 1	固定	○				○
A I -26	M 3	固定		○			○	A I -62	A 1	固定	○		○		
A I -27	M 3	固定		○		○		A I -63	A 1	固定	○			○	
A I -28	A 4	固定	○				○	A I -64	A 2	固定	○				○
A I -29	A 4	固定	○		○			A I -65	A 2	固定	○		○		
A I -30	A 4	固定	○			○		A I -66	A 2	固定	○			○	
A I -31	A 4	固定		○			○	A I -67	A 2	固定		○		○	
A I -32	A 4	固定		○	○			A I -68	A 2	固定		○	○		
A I -33	A 4	固定		○		○		A I -69	A 2	固定		○			○
A I -34	A 4	固定	○	○			○	A I -70	A 2	固定	○	○		○	
A I -35	A 4	固定	○	○	○			A I -71	A 2	固定	○	○			○
A I -36	A 4	固定	○	○		○		A I -72	A 2	固定	○	○	○		

表 46 実験水準（実験 A II）

実験 No.	検体 番号	シート ベルト	ダミー人形		運転者			実験 No.	検体 番号	シート ベルト	ダミー人形		運転者		
			前	後	1	2	3				前	後	1	2	3
A II-1	A 2	緩め		○	○			A II-37	A 4	緩め	○		○		
A II-2	A 2	緩め		○			○	A II-38	A 4	緩め	○			○	
A II-3	A 2	緩め		○		○		A II-39	A 4	緩め	○				○
A II-4	A 2	緩め	○	○		○		A II-40	A 4	緩め	○	○			○
A II-5	A 2	緩め	○	○			○	A II-41	A 4	緩め	○	○		○	
A II-6	A 2	緩め	○	○	○			A II-42	A 4	緩め	○	○	○		
A II-7	A 2	緩め	○		○			A II-43	A 4	緩め		○		○	
A II-8	A 2	緩め	○				○	A II-44	A 4	緩め		○			○
A II-9	A 2	緩め	○			○		A II-45	A 4	緩め		○	○		
A II-10	A 1	緩め	○			○		A II-46	M 3	緩め	○		○		
A II-11	A 1	緩め	○		○			A II-47	M 3	緩め	○			○	
A II-12	A 1	緩め	○				○	A II-48	M 3	緩め	○				○
A II-13	A 1	緩め		○		○		A II-49	M 3	緩め		○			○
A II-14	A 1	緩め		○			○	A II-50	M 3	緩め		○		○	
A II-15	A 1	緩め		○	○			A II-51	M 3	緩め		○	○		
A II-16	A 1	緩め	○	○	○			A II-52	M 3	緩め	○	○		○	
A II-17	A 1	緩め	○	○			○	A II-53	M 3	緩め	○	○	○		
A II-18	A 1	緩め	○	○		○		A II-54	M 3	緩め	○	○			○
A II-19	M 1	緩め	○	○			○	A II-55	A 3	緩め	○			○	
A II-20	M 1	緩め	○	○	○			A II-56	A 3	緩め	○				○
A II-21	M 1	緩め	○	○		○		A II-57	A 3	緩め	○		○		
A II-22	M 1	緩め		○			○	A II-58	A 3	緩め		○	○		
A II-23	M 1	緩め		○		○		A II-59	A 3	緩め		○			○
A II-24	M 1	緩め		○	○			A II-60	A 3	緩め		○		○	
A II-25	M 1	緩め	○		○			A II-61	A 3	緩め	○	○		○	
A II-26	M 1	緩め	○				○	A II-62	A 3	緩め	○	○	○		
A II-27	M 1	緩め	○			○		A II-63	A 3	緩め	○	○			○
A II-28	M 4	緩め	○	○	○			A II-64	M 2	緩め	○			○	
A II-29	M 4	緩め	○	○		○		A II-65	M 2	緩め	○		○		
A II-30	M 4	緩め	○	○			○	A II-66	M 2	緩め	○				○
A II-31	M 4	緩め		○		○		A II-67	M 2	緩め		○		○	
A II-32	M 4	緩め		○	○			A II-68	M 2	緩め		○			○
A II-33	M 4	緩め		○			○	A II-69	M 2	緩め		○	○		
A II-34	M 4	緩め	○				○	A II-70	M 2	緩め	○	○		○	
A II-35	M 4	緩め	○		○			A II-71	M 2	緩め	○	○	○		
A II-36	M 4	緩め	○			○		A II-72	M 2	緩め	○	○			○

表 47 実験水準（実験 B）

実験 No.	検体 番号	ダミー人形		走行 速度	運転者			実験 No.	検体 番号	ダミー人形		走行 速度	運転者		
		前	後		1	2	3			前	後		1	2	3
B-1	M 4		○	速い			○	B-10	A 4		○	ゆっくり		○	
B-2	M 4		○	速い	○			B-11	A 4		○	ゆっくり	○		
B-3	M 4		○	速い		○		B-12	A 4		○	ゆっくり			○
B-4	M 4		○	ゆっくり			○	B-13	一般		○	速い		○	
B-5	M 4		○	ゆっくり		○		B-14	一般		○	速い			○
B-6	M 4		○	ゆっくり	○			B-15	一般		○	速い	○		
B-7	A 4		○	速い			○	B-16	一般		○	ゆっくり	○		
B-8	A 4		○	速い	○			B-17	一般		○	ゆっくり		○	
B-9	A 4		○	速い		○		B-18	一般		○	ゆっくり			○

表 48 実験水準（実験 C）

実験 No.	検体 番号	ダミー人形		荷物運び方		運転者			実験 No.	検体 番号	ダミー人形		荷物運び方		運転者		
		前	後	ハント [®] ル 掛け	カゴ	1	2	3			前	後	ハント [®] ル 掛け	カゴ	1	2	3
C-1	一般		○	○		○			C-16	A 4		○		○	○		
C-2	一般		○	○			○		C-17	A 4		○		○		○	
C-3	一般		○	○				○	C-18	A 4		○		○			○
C-4～6	欠番								C-19	M 4		○	○			○	
C-7	一般		○		○	○			C-20	M 4		○	○		○		
C-8	一般		○		○			○	C-21	M 4		○	○				○
C-9	一般		○		○		○		C-22～24	欠番							
C-10	A 4		○	○				○	C-25	M 4		○		○		○	
C-11	A 4		○	○		○			C-26	M 4		○		○	○		
C-12	A 4		○	○			○		C-27	M 4		○		○			○
C-13～15	欠番																

表 49 実験水準（実験D）

実験 No.	検体 番号	路面		ダミー人形		運転者		実験 No.	検体 番号	路面		ダミー人形		運転者	
		通常	滑り	前	後	1	2			通常	滑り	前	後	1	2
D-1	A 1	○				○		D-17	A 1	○			○	○	
D-2	A 1		○			○		D-18	A 1		○		○	○	
D-3	A 1	○					○	D-19	A 1	○			○		○
D-4	A 1		○				○	D-20	A 1		○		○		○
D-5	A 4	○				○		D-21	A 4	○		○		○	
D-6	A 4		○			○		D-22	A 4		○	○		○	
D-7	A 4	○					○	D-23	A 4	○		○			○
D-8	A 4		○				○	D-24	A 4		○	○			○
D-9	A 1	○		○		○		D-25	A 1	○		○	○	○	
D-10	A 1		○	○		○		D-26	A 1		○	○	○	○	
D-11	A 1	○		○			○	D-27	A 1	○		○	○		○
D-12	A 1		○	○			○	D-28	A 1		○	○	○		○
D-13	A 4	○			○	○		D-29	A 4	○		○	○	○	
D-14	A 4		○		○	○		D-30	A 4		○	○	○	○	
D-15	A 4	○			○		○	D-31	A 4	○		○	○		○
D-16	A 4		○		○		○	D-32	A 4		○	○	○		○

注記

各実験水準ごとに、ブレーキ操作は、前（右）のみ→後ろ（左）のみ→前後（両方）の順で実施

参考資料4 MT法

MT法とは、マハラノビス・タグチ法の略称で、1990年代に品質工学の田口玄一博士が考案された「異常検知・診断手法」である⁹²。

異常を検出するためには異常現象をモデル化しその評価値で判定するのが一般的だが、それらの現象は多様で、既知であっても全ての現象をモデル化できているとは限らない。そこで未知の異常も含めて検知する方法として考案されたのがMT法で「正常群の中心から分布に応じた距離」を尺度として「正常状態からの外れ量」を求め、これで異常程度を評価する方法である。

この距離尺度に用いるのがマハラノビス距離(Maharanobis Distance、本報告ではMD値と略称)で、インド数理統計研究所のマハラノビス博士により1936年導入された「n次元の距離尺度」で、判別分析やクラスター分析に用いられてきたが、近年では機械学習の評価関数としても利用されている。

(1) MD値(マハラノビス距離)

MD値は多変量の距離尺度の一つである。

基準とする多変量データ群の各変数の中心(平均値)から各々の分散を単位量とするが変数間の相関を考慮した距離であることが特徴である。

データが x と y の2変量の場合は、対象となるデータ (x_i, y_i) におけるMD値 D^2 を、基準データ群の平均と標準偏差での正規化値 (X_i, Y_i) と相関係数行列 R を用い以下の式で算出する。

$$\begin{aligned} D^2 &= \frac{1}{2} \cdot [X_i \ Y_i] \cdot R^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{2} \cdot [X_i \ Y_i] \cdot \begin{bmatrix} 1 & r \\ r & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{X_i^2 - 2rX_iY_i + Y_i^2}{(1 - r^2)} \end{aligned}$$

例として、基準データ群の相関係数が0.7の場合の算出例を図81に示した。

⁹² 「マハラノビスの距離入門」(2001年2月 品質工学会誌、救仁郷)

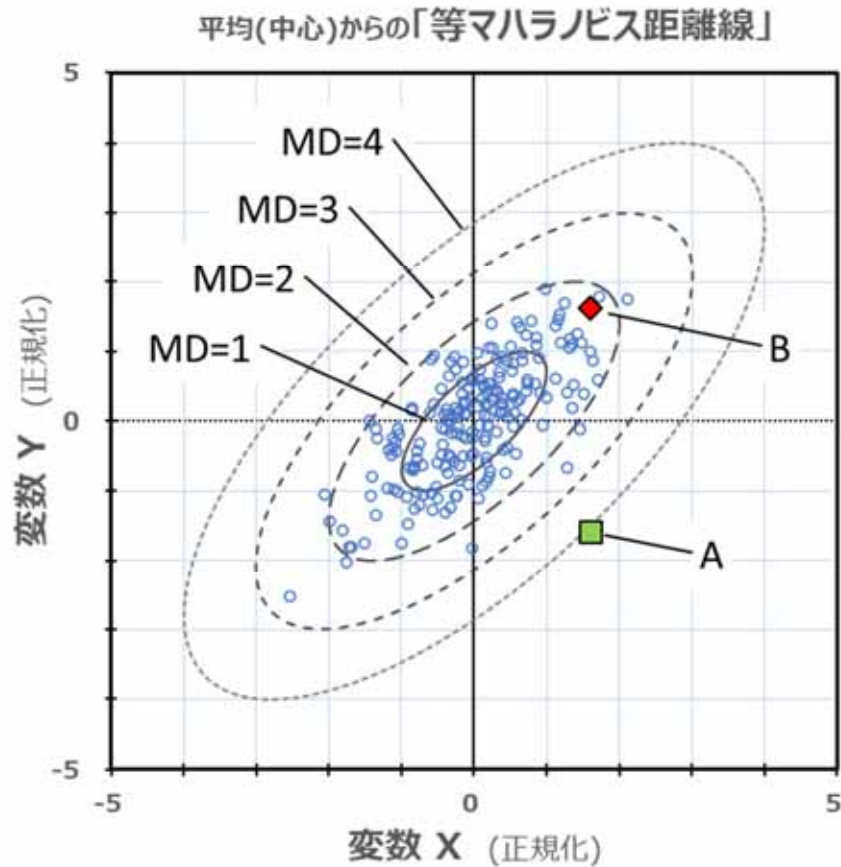


図 81 MD 値の特徴

このように原点からのMD値の等距離線は右肩上がりの楕円となり、点Aと点Bは2次元上等距離であるものの点AのMD値は4、点Bは1.8となる。このようにMD値は基準データ群の分布に応じて基準に近いかどうかを示す距離尺度となっている。

なお、データが k 変量の場合の式は以下である。

$$D^2 = \frac{1}{k} \cdot [X_1 \quad \cdots \quad X_k] \cdot \begin{bmatrix} 1 & \cdots & r_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & \cdots & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_k \end{bmatrix}$$

(2) 計算例

自転車の走行安定状態では、ハンドル舵角、ロール角、重心(傾斜)、遠心力

などに相関関係があるとの研究⁹³より、走行安定性の評価に有用と判断しMD値を採用した。

実験A～Cでは、幼児同乗自転車が「フラットな路面を緩いスラロームで軽快に走行した状態」を正常状態とし、それを基準として「段差など転倒事故につながるリスクのある外的要因の影響を受けた」際にどれだけ正常から逸脱するかをMD値で表す。

MD値算出に用いるデータは自転車の横方向のバランスに関わる特徴量として、ハンドル舵角、ロール角、運転者の総荷重及び重心の計4計測項目である。

例として、実験Aの144走行のうち1走行分(190秒間)の計測項目値の時系列データを図82に示す。この図は解析対象エリアのみの波形を示したもので、左から解析対象のエリア0（フラット）、エリア1（段差2cm）、エリア2（段差5cm）、エリア3（傾斜面）の4路面条件と、基準走行のデータである。

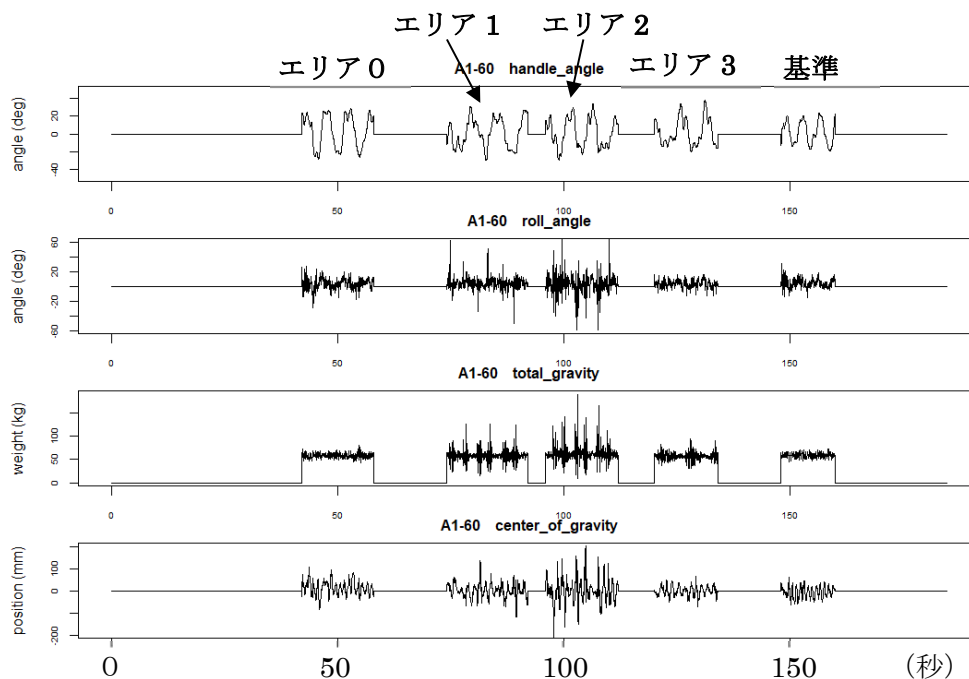


図 82 MD値算出に用いる計測項目値(実験A I-60)

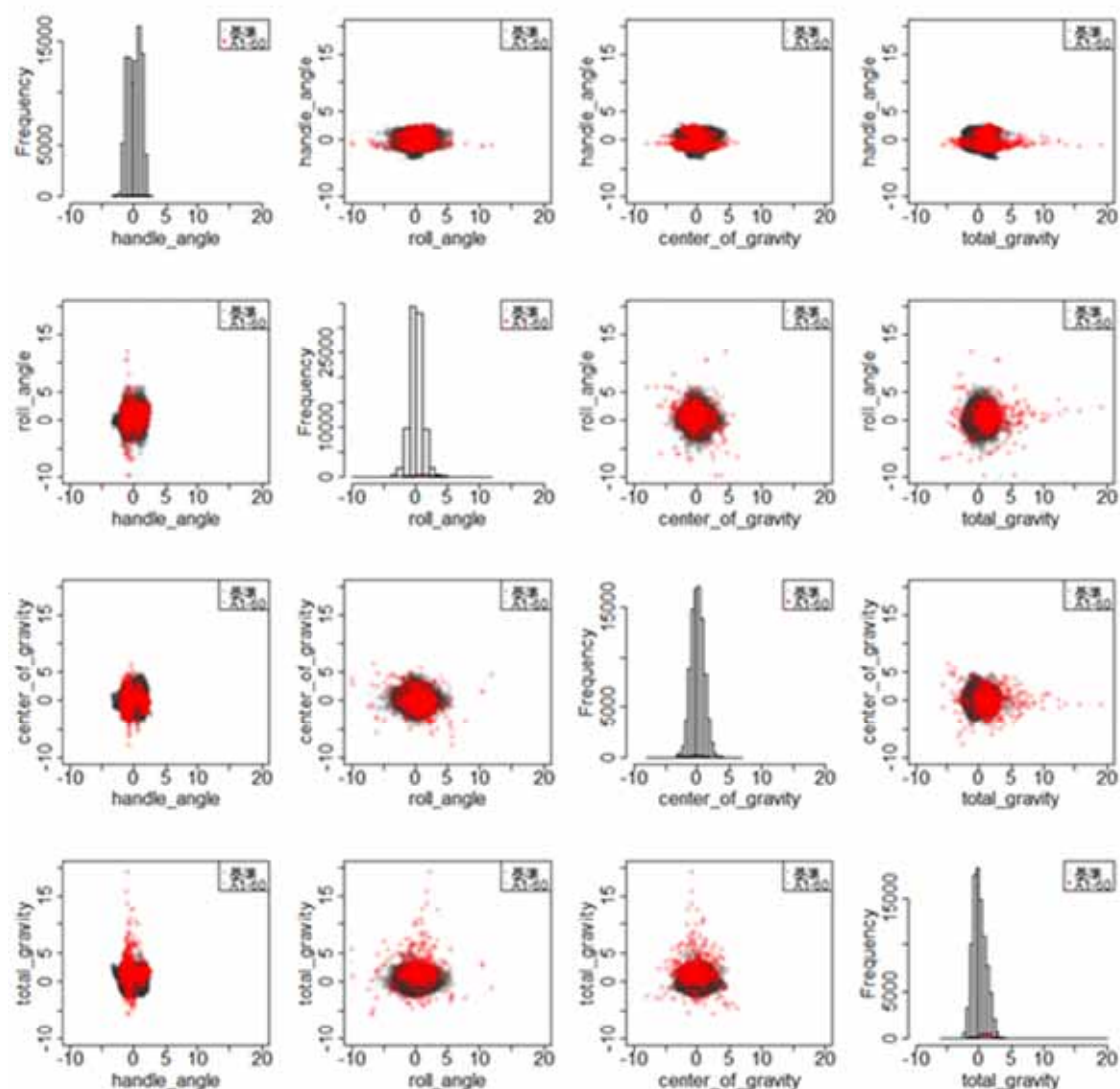
図から解析対象の各エリアの波形が、基準走行に比べて大きく変化していることが見える。

MD値の算出の基準となる正常状態のデータは、市販されている代表的な8

⁹³ 「自転車の危険の振る舞いの検出」(一般社団法人情報処理学会 2011 年第 73 回全国大会講演論文集 松井、森)、「低速時における自転車転倒の予測」(一般社団法人情報処理学会 2017 年第 79 回全国大会講演論文集 鈴木、岡、森)

車種で、一般的な対象として想定される運転者や幼児の乗せ方を包含した上での、フラットな路面を緩いスラロームで軽快に走行した状態で、これが一般的な意味での安定走行状態と考えられることから、それらを包含した基準走行全て(計 144 走行)とした。

それらの基準データ群と、参考データとして段差 5 cm エリアのテスト走行の、4 計測項目値間の散布図を列举した多変量連関図を図 83 に示す。



注 1、基準走行とテスト走行の 1 例として A1-60 段差 5cm エリア走行のデータをプロット。データ数は、基準が約 9 万、A1-60 は 800。

注 2、連関図のうちヒストグラムの横軸および散布図の縦軸は各々計測項目値の基準データの平均値と標準偏差で正規化した値。無次元数であるため単位は無い。ヒストグラムの縦軸は度数。

図 83 基準データ群(黒)とテスト走行例(赤)の計測項目値(正規化値)

これらの基準データを用い、全 144 走行における解析対象のエリア 0（フラット）、エリア 1（段差 2 cm）、エリア 2（段差 5 cm）、エリア 3（傾斜面）の時々刻々の MD 値を算出した。図 82 の走行データに対応した MD 値を図 84 に示す。

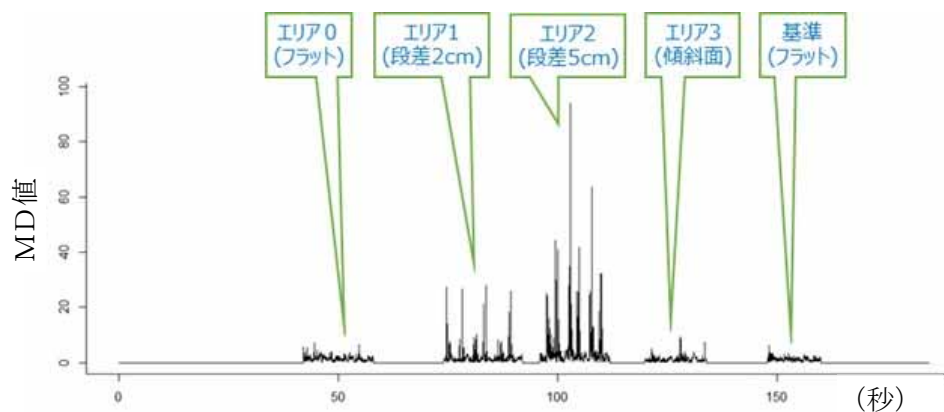


図 84 時々刻々の MD 値

以上の手順で算出した時々刻々の MD 値から、解析対象の各走行区間の平均値を求め、これを解析対象の MD 値とした。その結果を、基準及び路面条件 4 エリアごとに層別して示す（図 85）。

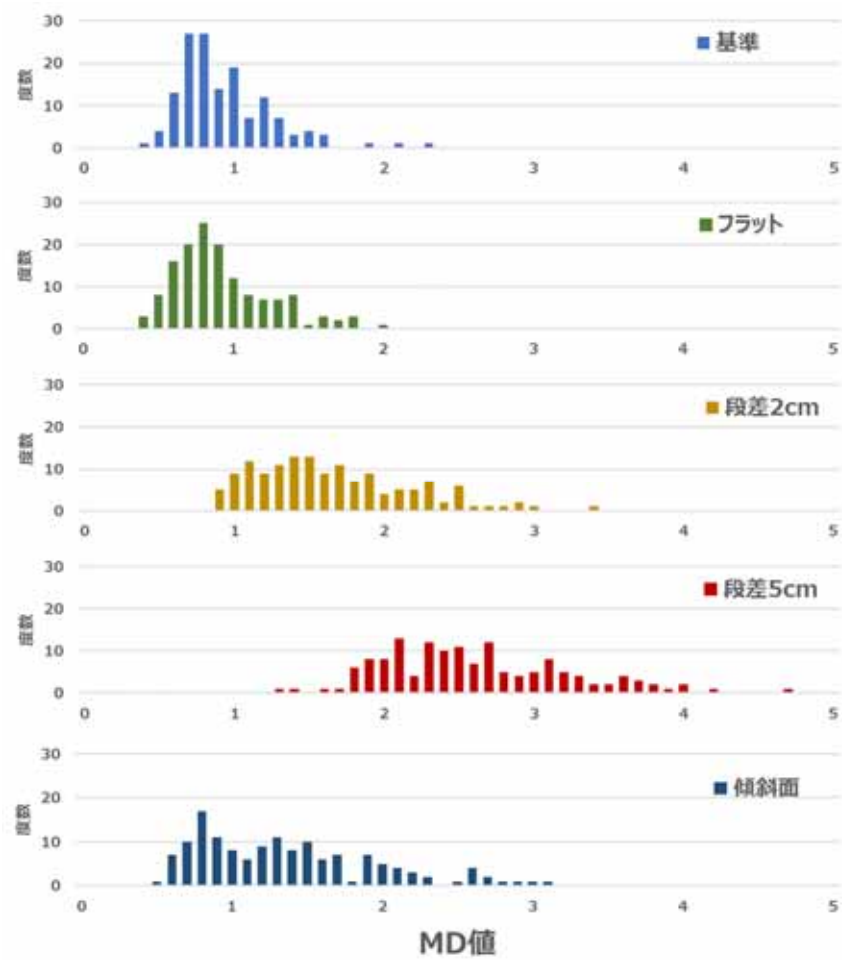


図 85 エリア別MD 値の計算結果

参考資料 5 重回帰分析及び主成分分析

実験 A において、設計特性による評価のため、段差 5 cm における MD 値を解析対象として、自転車の仕様・寸法が MD 値に与える効果を把握するため、多変量解析手法の重回帰分析及び主成分分析を実施した。

(1) 重回帰分析

「重回帰分析」とは統計学上のデータ解析手法のひとつである。「重」は「複数」、「回帰」は「因果関係」を意味する。つまり重回帰分析とは、ある結果（目的変数）を説明する際に、関連する複数の要因（説明変数）のうち、どの変数がどの程度、結果を左右しているのかを関数の形で数値化し、両者の関係を表すとともに予測を行う統計手法である。

それらの関係を表す重回帰式は、目的変数 y を複数の説明変数 x_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) と、それらに対する回帰係数 β_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) 及び定数項 β_0 を用いて表す。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4$$

この重回帰式の算出に当たっては、与えられた説明変数を順次入れ替えつつ、それらが目的変数に与える効果を計算し、目的変数 y と右辺の式の値の相関係数が最も高くなるまで反復計算する。

ただし、①変数間の相関が高い、②複数の変数の和が一定値になるなどの変数間の「多重共線性」が高い場合には、結果の精度が悪化するため、分析に用いる変数の精査・選択が重要である。このため、事前に変数間の傾向や関係を把握することが必要で、その方法が、変数間の単相関係数、変数間の関係式の精査、及び次に述べる主成分分析である。

(2) 主成分分析

主成分分析は、変数が多数ある場合に、それをごく少数（たいていは 1 ～ 3）の項目に置き換えることで、データを解釈しやすくする「次元の縮約」の分析手法である。具体的には、複数の変数から新しい合成変数（軸）を生み出し、それらの軸（主成分）ごとに寄与の高い変数をまとめる、すなわち似通った変数を層別できる。

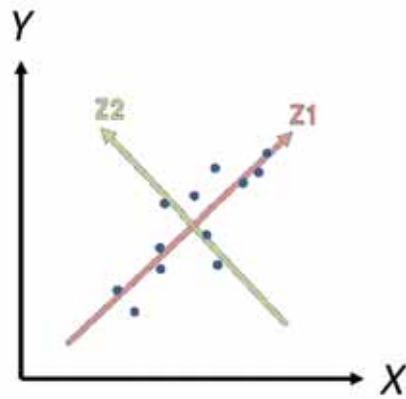


図 86 変数 X 、 Y から新たに主成分軸 $Z1$ 、 $Z2$ を作成した例

一般には、新たに作成された軸を使って、データ群の特徴についての解釈をするが、本報告では、前述の重回帰分析を実施するための変数選択の参考情報として用いた。

参考資料 6 周波数解析のデータ分析方法

走行実験で計測した検体の挙動は、スラローム走行におけるハンドル舵角、ロール角及び重心の変化を計測し、評価している。これらの計測データには、路面から伝わる振動や人間の腕のブレなど細かい振動が含まれている。ここでは走行が不安定になったときの腕のブレのみを観測したいため、ハンドル舵角の細かい高周波の振動については、測定データの移動平均を取ることで、ローパスフィルタとして除外した。

実際には、走行中にハンドルがふらつくことで走行不安定になる。そこで、走行中に撮影した動画を観察し、ハンドルのふらつきの周波数を計測した結果、1.25Hz～1.75Hz であることを確認したため、この周波数帯における周波数解析を行った。

ハンドルのふらつきの大きさは、パワースペクトルと呼ばれる振幅の2乗に相当するものであり、この値が大きくなるほどハンドルのふらつきが大きくなることを表している。なお、これをデシベル変換する場合もあるが、今回は実験水準間の差を強調する評価であるため変換はしていない。

以下、①～⑥に周波数解析によるデータ分析の方法を示す。

データ分析の方法(アルゴリズム)

- ① 走行実験のハンドル舵角の計測データから、スラローム走行区間のみを切り出す。
- ② 切り出したスラローム走行のデータに対して、移動平均（50 データ）によるローパスフィルタをかける。
- ③ フィルタ後のデータに対して窓関数としてカイザー窓（ $\beta = 14$ ）を適用する。
- ④ 窓関数を適用したデータに対して、離散フーリエ変換を行う。
フーリエ変換は、python のライブラリ scipy の fftpack を使用。
なお、scipy の fftpack の引数はフーリエ変換をする信号、fftpack の戻り値はフーリエ変換後の値となる。サンプリング周波数は 50Hz。
- ⑤ フーリエ変換によって得られる振幅スペクトルを2乗してパワースペクトルに変換する。
- ⑥ 求めたパワースペクトルは周波数分解能ごとに値があり、1.25Hz から 1.75Hz の周波数帯のパワースペクトルの平均を求める。
周波数分解能 = サンプル周波数 / フーリエ変換に使用した信号のデータ数

補足：周波数解析とは

大半の波はいくつかの周期的な波を合成することで表現することができることが知られている。例えば図 87 のような波は、

$$f(x) = 3 \sin x + 2 \sin 2x + \sin 10x$$

のように、3つの周期を持つ $\sin$ 波の合成で表される。このことを逆にいうと大半の波は単純な周期を持つ波に分解可能であると言える。例えば図 87 の波は $\sin x, \sin 2x, \sin 10x$ の3つの $\sin$ 波に分解できることを表している。

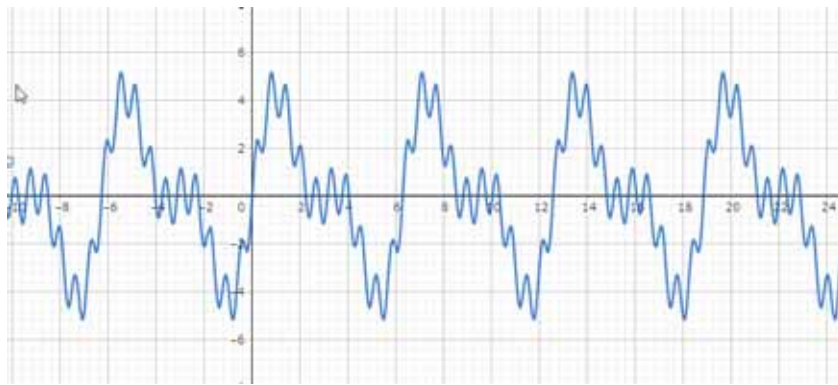


図 87 ある波形

周波数解析とは、得られた複雑な波を単純な波に分解することでその波の性質を解析するための手法であり、図 88 のような手順で行う。

例えば時系列データの場合、時間軸空間で表現されている波を周波数軸に変換すると言える。また、今回は高速フーリエ変換（FFT）と呼ばれる算法で計算している。

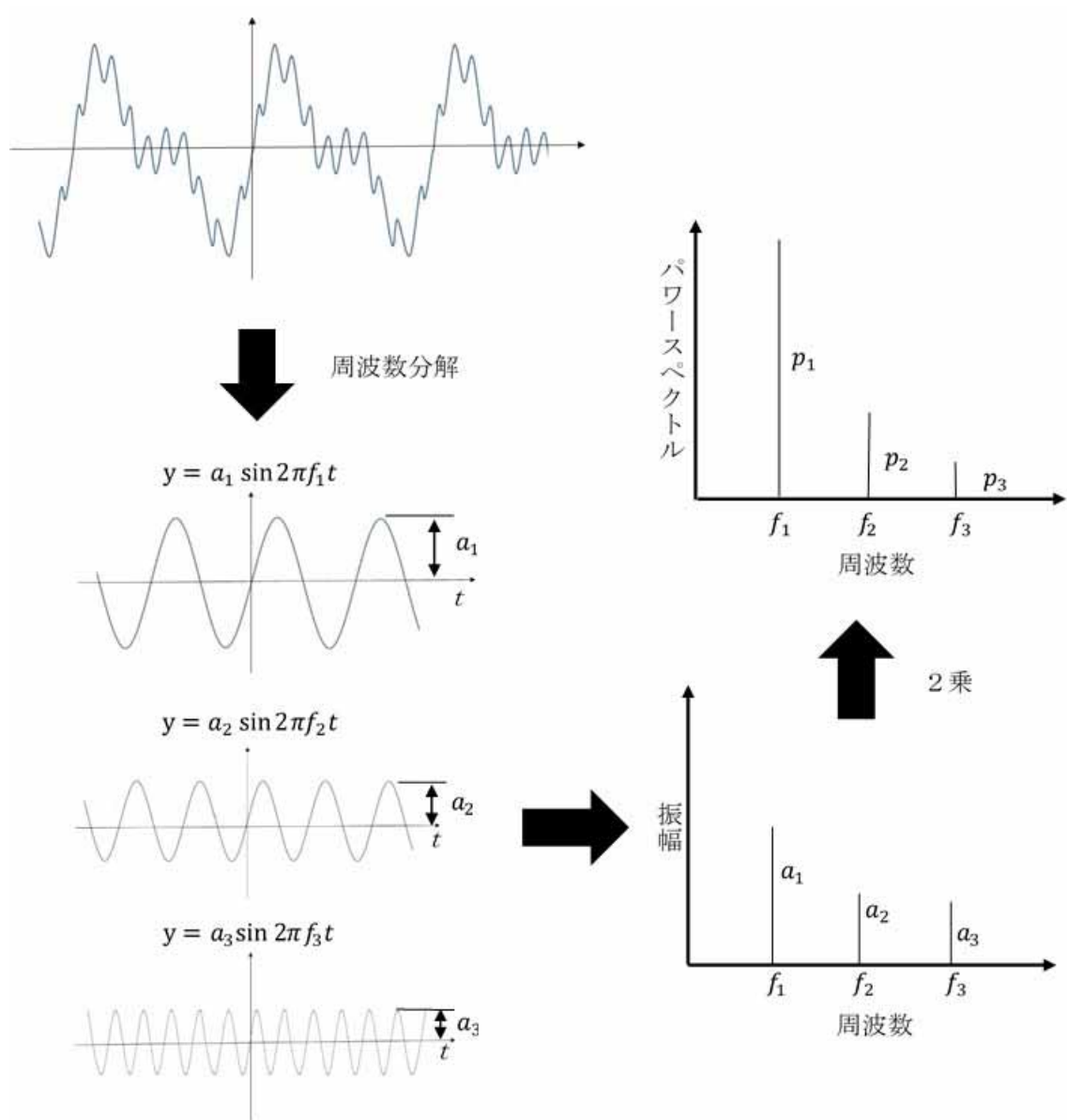


図 88 周波数解析の手順

参考資料 7 実験 A～C 結果詳細

1 解析結果（実験 A）

（1）MD 値の算出

本実験は、代表的な幼児 2 人同乗用自転車が通常使用条件の範囲で、転倒事故につながるリスクのある外的要因によってどの程度、走行が不安定になるかを把握し、ひいては自転車の設計仕様と走行安定性の関係について検討することを目的としたものである。

実験条件については、本文に詳細な記載があるが、クラスター分析により層別抽出した 8 検体を始め、下記に示した条件の総当たりである計 576 通りの走行データから算出した MD 値を用いて走行安定性を評価した。

評価対象	使用条件			外的要因	計
検体 8 車種	×	幼児同乗位置 3 状態	×	運転者 3 名	×
組合せ(直交表) 8 条件 (路面条件含む)					=
8×3×3 = 72					576 通り

MD 値の算出に使用する計測項目は、自転車の横方向のバランスに関わる特徴量として、計測データから算出したハンドル舵角、ロール角、運転者の総荷重及び運転者重心（ずれ）の 4 項目とした(図 89)。

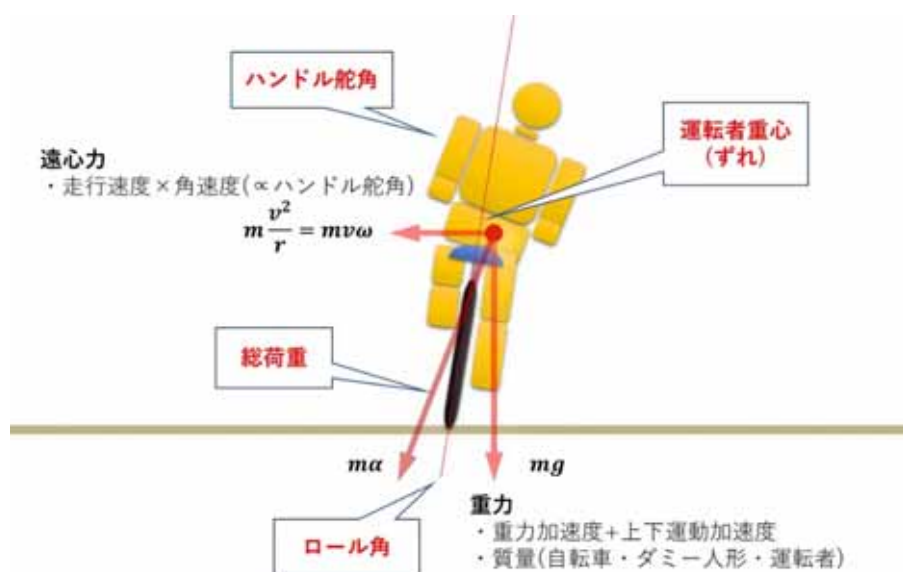


図 89 MD 値算出に用いる計測項目

(2) MD値による評価結果

① 全体傾向

全ての要因についてMD値への影響を見るため、分散分析表及び要因別の評価結果を表 50 及び図 90 に示す。ここで特性値としているMD値は外的要因（ダミー人形乗せ位置、運転者、走行路の障害）の影響を受けた際の自転車の走行安定性であり、以下のことが分かる。

- a 検体間には有意な差があり、全体的には電動アシストあり（検体A 1～A 4）の方が、電動アシストなし（検体M 1～M 4）よりもMD値が小さく、外的要因の影響に対して走行安定性が高い。
- b ダミー人形乗せ位置及びシートベルトの違いによる有意な差はない。
- c 運転者間の有意な差がみられた。
- d 走行路の障害別では「段差 5 cm」のMD値が最も大きく、走行安定性が低い。

表 50 分散分析表

Source	f	S	V	F	S'	ρ
A 検体	7	14.56	2.08	20.55 **	13.85	6.5%
B 外的要因(L8)	7	109.31	15.62	154.28 **	108.60	51.3%
C ダミー人形	2	0.02	0.01			
D 運転者	2	16.27	8.14	80.39 **	16.07	7.6%
A*B 検体×外的要因	49	12.66	0.26	2.55 *	7.70	3.6%
A*C 検体×ダミー人形	14	1.42	0.10			
A*D 検体×運転者	14	4.99	0.36	3.52 *	3.57	1.7%
B*C 外的要因×ダミー人形	14	1.00	0.07			
B*D 外的要因×運転者	14	5.27	0.38	3.72 *	3.85	1.8%
C*D ダミー人形×運転者	4	0.29	0.07			
e1 実験間誤差	448	46.05	0.10			
e 誤差	482	48.78	0.10		58.20	27.5%
T 合計	575	211.84			211.84	100.0%

【記号の説明】

f: 自由度

S: 変動・・・要因の水準間の平均の差の二乗和(ばらつき/差の効果)

V: 分散・・・1自由度あたりの変動

F: 分散比・・・誤差分散と要因の分散との比

S': 純変動・・・変動に含まれる誤差を差し引いたもの

ρ : 寄与率・・・全変動のうち、個々の要因の変動(効果)が占める割合

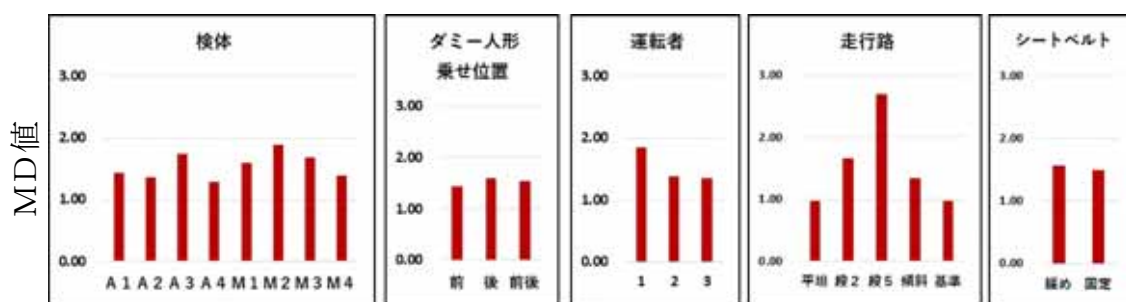


図 90 要因別の評価結果（全体）

次に走行路の違いに注目し、それらと検体、ダミー人形乗せ位置、運転者、及びシートベルトの交互作用について示したのが図 91 である。

ここで、「段差 5 cm」は他の要因とその傾向は似ていること、さらにいずれの場合も走行安定性の低さを最も顕著に示していることから、以降は「段差 5 cm」のデータに絞って解析を行うこととした。

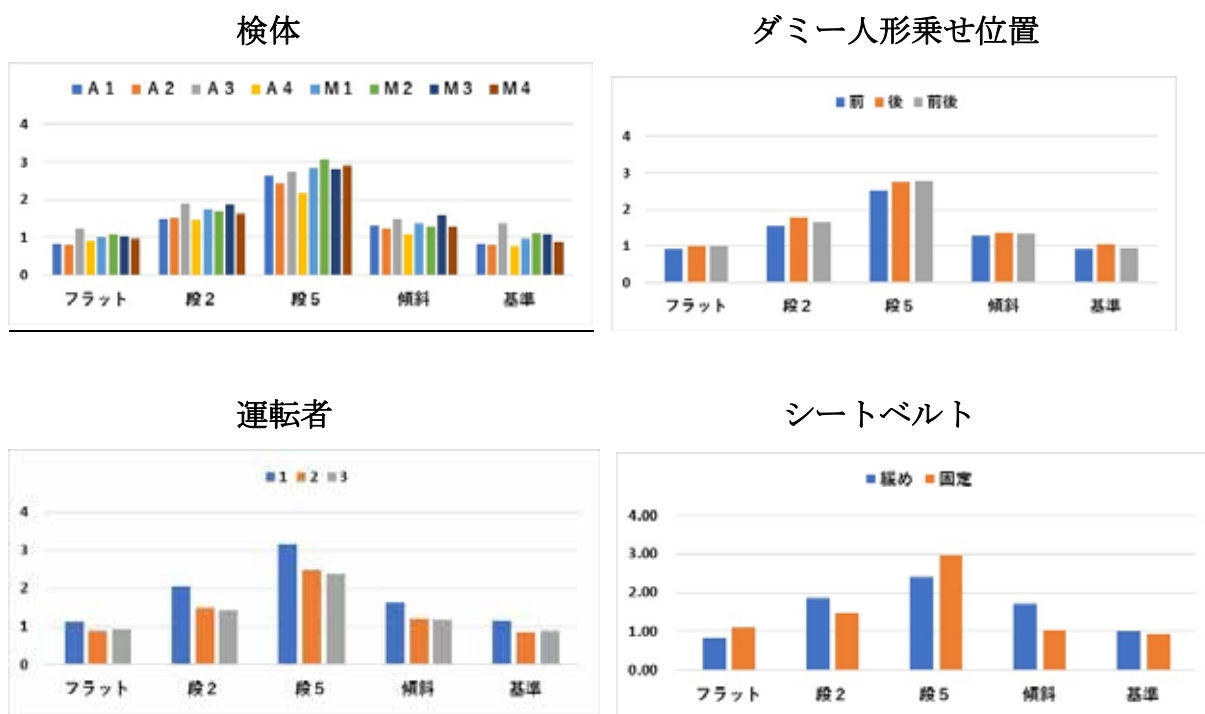


図 91 走行路の違いによるMD値

② 「段差 5cm」における特徴

段差 5 cm（エリア 2）における要因別のMD値による評価結果を図 92 に示す。図から、全体の結果（図 90）と比較して、段差 5 cm において、以下の特徴が分かる。

- a 全体的に水準の違いによるMD値の差が大きくなったが、特に電動アシストありと電動アシストなしの差がより大きくなった。
- b 全体平均では効果が見られなかったシートベルトによる差が見られ、シートベルト固定の方がMD値は大きく、走行安定性が低い。

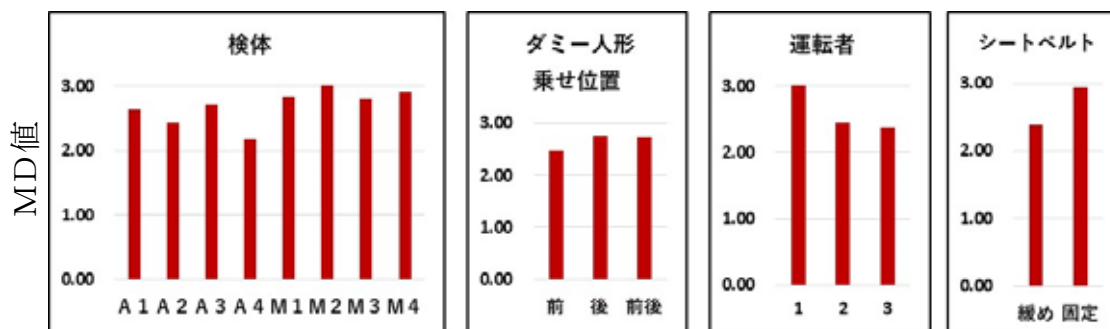


図 92 要因別の評価結果（段差 5 cm）

また、ダミー人形乗せ位置別にMD値を算出した結果を図 93 に示す。

図のように、ダミー人形を前座席に乗せた場合には検体間の差は小さいが、特に前後に乗せた場合では電動アシストなしの検体のMD値が大きくなるなど、検体間で走行安定性の傾向に違いが見られる。

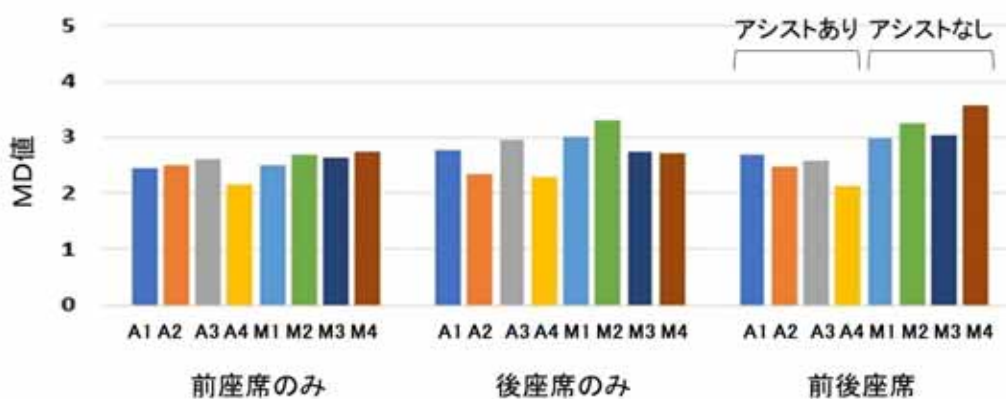


図 93 ダミー人形乗せ位置別の評価結果（段差 5 cm）

③ 設計項目における傾向

自転車の走行状態に関係する主な設計項目を図 94 に示す。なお、フレーム等の名称を本報告書では図 95 のように設定した。

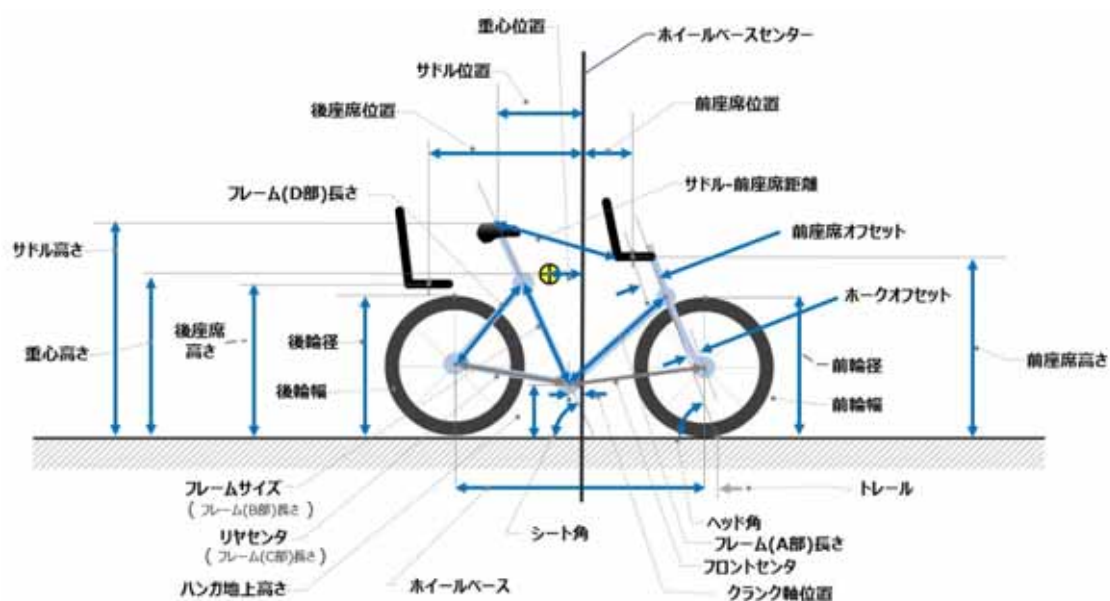


図 94 走行状態に関する設計項目

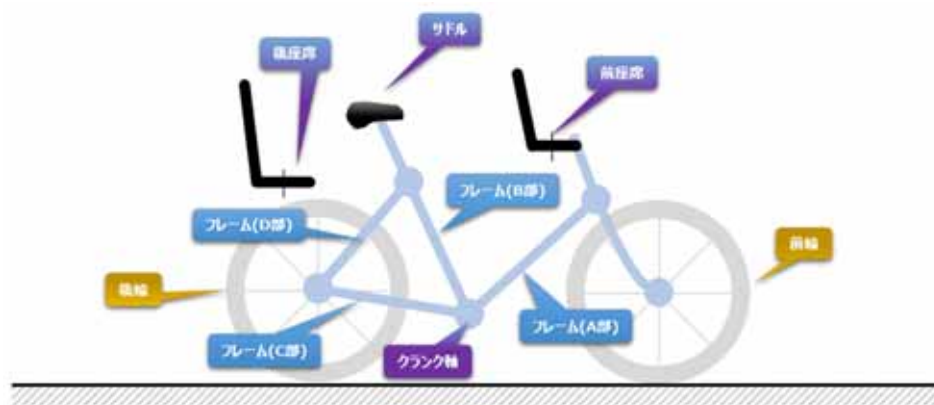


図 95 フレーム及び関連部位の名称

これらの 8 検体について、自転車の設計に関わる仕様、寸法及び重量などをカタログ値や実測結果から取り得る計 28 項目の説明変数を表 51 に列挙した。これら説明変数を用いて以下の解析を実施した。

ただし、これらの 28 項目の説明変数は、カタログ値や実測から取り得るものを列挙した関係で、物理的又は構造上から重複するものが多く含まれる。このため、重回帰分析において多重共線性が多く発生することが懸念されるため、まず単相関係数の絶対値が 0.9 を超える前輪幅と前輪径、後輪幅と後輪径について、それぞれの前者を削除し、またヘッド角、前輪径、及び前輪オフセットの 3 変数から、一意に算出されるトレールについても削除した上で、変数層別の観点から主成分分析を実施した。

分析に使用した説明変数の数値の一覧を表 52 に示す。本実験で使用し

た計測用自転車は、これらの数値を変化させないように各センサを装着している。

表 51 設計評価のための説明変数

X(1) : アシスト	X(11) : ヘッド角	X(21) : 後座席高さ
X(2) : 前輪径	X(12) : ホークオフセット	X(22) : 車体重心位置
X(3) : 前輪幅	X(13) : 前座席オフセット	X(23) : 車体重心高さ
X(4) : 後輪径	X(14) : シート角	X(24) : 車体重量
X(5) : 後輪幅	X(15) : 前座席位置	X(25) : サドル-前座席距離
X(6) : ホイールベース	X(16) : 前座席高さ	X(26) : リヤキャリア部側方剛性
X(7) : フレームサイズ (フレーム(B部)長さ)	X(17) : クランク軸位置	X(27) : トレール
X(8) : フレーム(A部)長さ	X(18) : ハンガ地上高さ	X(28) : フロントセンタ
X(9) : フレーム(D部)長さ	X(19) : サドル位置	
X(10) : リヤセンタ (フレーム(C部)長さ)	X(20) : 後座席位置	

表 52 説明変数に使用した数値一覧

No.	説明変数	単位	最小	～	最大	幅	A 1	A 2	A 3	A 4	M 1	M 2	M 3	M 4	算出根拠
1	アシスト		0	～	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	カタログ
2	前輪径	mm	508	～	660	152	610	508	508	660	508	559	508	559	カタログ
3	前輪幅	mm	35	～	54	19	44	54	50	35	44	35	54	44	カタログ
4	後輪径	mm	508	～	660	152	508	508	508	660	559	660	508	559	カタログ
5	後輪幅	mm	35	～	54	19	54	54	50	35	44	35	54	44	カタログ
6	ホイールベース	mm	1131	～	1260	129	1202	1235	1244	1176	1131	1170	1260	1180	カタログ
7	フレームサイズ	mm	328	～	411	83	328	354	342	358	347	411	330	372	写真
8	フレーム(A部)長さ	mm	584	～	616	31	602	603	613	602	584	616	603	605	写真
9	フレーム(D部)長さ	mm	442	～	591	149	513	578	574	472	445	442	591	521	写真
10	リヤセンタ	mm	461	～	607	146	524	562	562	499	461	474	607	505	写真
11	ヘッド角	deg	66	～	72	6	72	72	70	66	69	71	72	69	写真
12	ホークオフセット	mm	44	～	82	38	82	51	46	71	44	82	48	45	写真
13	前座席オフセット	mm	0	～	159	159	145	45	128	125	0	0	0	159	写真
14	シート角	deg	68	～	72	4	70	70	68	70	69	69	72	69	写真
15	前座席位置	mm	174	～	435	261	184	371	274	209	351	334	435	174	写真&実測
16	前座席高さ	mm	679	～	883	205	883	686	753	724	679	758	797	784	写真&実測
17	クランク軸位置	mm	-119	～	-25	94	-54	-58	-69	-72	-113	-119	-25	-78	写真&実測
18	ハンガ地上高さ	mm	250	～	283	34	281	279	283	250	267	266	253	254	写真&実測
19	サドル位置	mm	-348	～	-174	174	-267	-245	-255	-257	-325	-348	-174	-286	写真&実測
20	後座席位置	mm	-778	～	-639	139	-676	-748	-710	-639	-690	-725	-778	-743	写真&実測
21	後座席高さ	mm	554	～	742	188	576	561	593	716	661	742	595	554	写真&実測
22	車体重心位置	mm	-63	～	34	96	16	-50	7	34	-63	-59	14	-9	実測
23	車体重心高さ	mm	363	～	403	40	390	397	397	369	382	403	363	377	推定値
24	車体重量	kg	38	～	48	10	48	47	47	47	38	41	40	40	実測
25	サドル-前座席距離	mm	363	～	566	204	363	561	434	394	541	566	478	421	写真
26	リヤキャリア部側方剛性	N	7	～	15	8	14	13	11	7	10	9	12	15	実測
27	トレール	mm	11	～	68	57	13	29	42	68	53	11	32	57	No.2,11,12より計算
28	フロントセンタ	mm	701	～	792	91	763	711	719	792	715	766	701	741	No.2,4,6,10,18より

(3) 主成分分析による結果

分析計算を実施し、算出された累積寄与率が 0.8 となる第 4 主成分までを

ピックアップし、それぞれについて因子負荷量の上位を占める変数を選択し、表 53 及び図 96 のような層別を行った。

表 53 主成分ごとの因子負荷量(上位)

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分
X(2) : 前輪径		+ 前輪径		
X(4) : 後輪径	+ 後輪径			
X(6) : ホイールベース	- ホイールベース			
X(7) : フレームサイズ	+ フレームサイズ			+ フレームサイズ
X(8) : フレーム(A部)長さ				+ フレーム(A部)長さ
X(11) : ヘッド角	- ヘッド角			
X(14) : シート角			- シート角	
X(15) : 前座席位置		- 前座席位置		
X(16) : 前座席高さ				
X(18) : ハンガ地上高さ			+ ハンガ地上高さ	
X(19) : サドル位置	- サドル位置			
X(20) : 後座席位置				
X(21) : 後座席高さ	+ 後座席高さ			
X(22) : 車体重心位置		+ 車体重心位置		
X(24) : 車体重量			+ 車体重量	
X(25) : サドル-前座席距離				
固有値	5.240881	3.756119	2.601141	1.844327
寄与率	0.327555	0.234757	0.162571	0.11527
累積寄与率	0.327555	0.562313	0.724884	0.840154

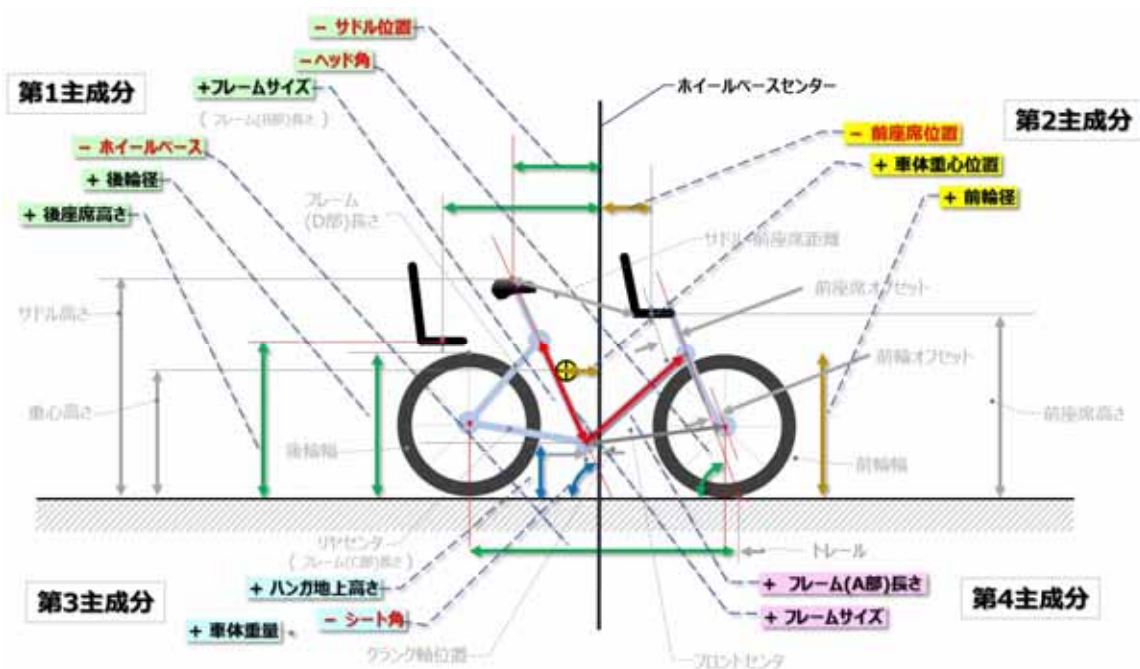


図 96 第 1 ～ 4 主成分の主要因子

以上の主成分ごとに作成した主成分得点のプロットに「MD 値 > 3」を示したのが、図 97 である。

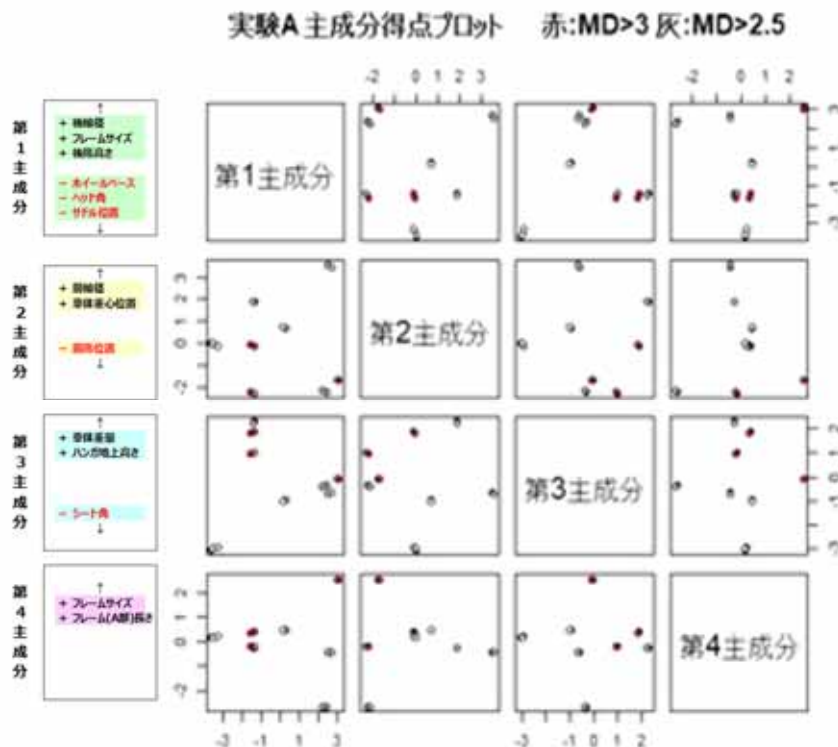


図 97 主成分得点のプロット図

上記の主成分得点のプロット図（図 97）の赤く表示した「MD値＞3」のプロットの分布から、第2～第4主成分がMD値、すなわち走行安定性への傾向が見られている。

- ① 第2主成分は車体前部の寸法成分であり、前輪径が小さくなる、あるいは前座席を前に出するなど、車体前部がより前方に配置されるほど走行安定性が低くなる（MD値が大きくなる）傾向にある。
- ② 第3主成分は車体重心に関わると考えられる成分であり、重心が高く、重量が増えるとMD値が増し、走行安定性が低くなる傾向にある。
- ③ 第4主成分はハンドル軸からシートポストまでの距離に関する成分で、この値が増すと走行安定性が低くなる傾向にある。

（4）重回帰分析による結果

目的変数を「段差5cmにおけるMD値」とし、表 51 の28項目の説明変数に対する効果を重回帰分析で求める。ただし、これらの28項目の変数間には共線性が多く存在するため、主成分分析による変数の層別結果と単相関とを考慮して絞り込んだ14項目の変数を用いて解析を行った（表 54）。

具体的には、前輪幅と前輪径、後輪幅と後輪径、トレールとヘッド角など
 相関の高い変数についてはどちらか一方を使用した。

表 54 説明変数

No.	説明変数	メモ		説明変数
1	アシスト	車体重量と相関大	⇒ ×	
2	前輪径		⇒ ⇒	前輪径
3	前輪幅	前輪径と相関大	⇒ ×	
4	後輪径		⇒ ⇒	後輪径
5	後輪幅	後輪径と相関大	⇒ ×	
6	ホイールベース		⇒ ⇒	ホイールベース
7	フレームサイズ		⇒ ⇒	フレームサイズ
8	フレーム(A部)長さ		⇒ ⇒	フレーム(A部)長さ
9	フレーム(D部)長さ	ホイールベースと相関大	×	
10	リヤセンタ	ホイールベースと相関大	×	
11	ヘッド角		⇒ ⇒	ヘッド角
12	ホークオフセット	前輪径と相関大	⇒ ×	
13	前座席オフセット	前座席位置と相関大	×	
14	シート角		⇒ ⇒	シート角
15	前座席位置		⇒ ⇒	前座席位置
16	前座席高さ		⇒ ⇒	前座席高さ
17	クランク軸位置	ホイールベースと相関大	×	
18	ハンガ地上高さ		⇒ ⇒	ハンガ地上高さ
19	サドル位置		⇒ ⇒	サドル位置
20	後座席位置		⇒ ⇒	後座席位置
21	後座席高さ		⇒ ⇒	後座席高さ
22	車体重心位置		⇒ ⇒	車体重心位置
23	車体重心高さ	ペダル軸高さと相関大	×	
24	車体重量		⇒ ⇒	車体重量
25	サドル-前座席距離		⇒ ⇒	サドル-前座席距離
26	リヤキャリヤ部側方剛性	後座席高さと相関大	⇒ ×	
27	トレール	ヘッド角などより一意	×	
28	フロントセンタ	リヤセンタなどより一意	×	

次に、前述の分散分析結果からダミー人形乗せ位置と検体との交互作用が
 大きく、ダミー人形乗せ位置ごとに検体間の優位性に違いがあることから、
 ダミー人形乗せ位置別の重回帰分析を行った。その結果を以下に示す（図 98
 ～図 100）。

① ダミー人形を「前座席」のみに乗せた場合

重相関係数： 0.8859
 寄与率： 0.7848
 赤池の情報量基準： 1.2423
 自由度調整済み寄与率： 0.725
 ◆◆分散分析表◆◆

	自由度	平方和	不偏分散	F 値
回帰	5	3.4801	0.6960	13.1269
残差	18	0.9544	0.0530	
計	23	4.4345		

No	変数名	回帰係数	標準回帰係数	偏相関係数	回帰係数の 標準誤差	標準回帰係数の 標準誤差	F 値	V I F
X(19) : サドル位置		-0.02558	-2.65720	-0.86026	0.00357	0.37119	51.24491	11.52349
X(14) : シート角		0.39724	1.03605	0.82581	0.06394	0.16676	38.59824	2.32585
X(6) : ホイールベース		0.01423	1.35475	0.77207	0.00276	0.26285	26.56431	5.77840
X(7) : フレームサイズ		-0.01284	-0.74471	-0.70146	0.00308	0.17835	17.43598	2.66017
X(2) : 前輪径		-0.00181	-0.22497	-0.38582	0.00102	0.12680	3.14798	1.34462
定数		-43.73255						

図 98 重回帰分析結果(ダミー人形前座席のみ)

ホイールベース中央からサドル位置を前方にするとMD値が増え、シート角を立ててフレームサイズを短くする方向もMD値が増えて走行安定性が低くなる。また、ホイールベースを長く、前輪径を小さくする方向も、MD値が増えて走行安定性が低くなる結果となった。

② ダミー人形を「後座席」のみに乗せた場合

重相関係数： 0.6217
 寄与率： 0.3866
 赤池の情報量基準： 27.0659
 自由度調整済み寄与率： 0.3281
 ◆◆分散分析表◆◆

	自由度	平方和	不偏分散	F 値
回帰	2	2.2650	1.1325	6.6168
残差	21	3.5942	0.1712	
計	23	5.8592		

No	変数名	回帰係数	標準回帰係数	偏相関係数	回帰係数の 標準誤差	標準回帰係数の 標準誤差	F 値	V I F
X(19) : サドル位置		-0.00696	-0.62916	-0.60098	0.00202	0.18259	11.87313	1.14133
X(11) : ヘッド角		0.10864	0.42075	0.44925	0.04715	0.18259	5.30994	1.14133
定数		-6.77070			3.54689			

図 99 重回帰分析結果(ダミー人形後座席のみ)

ホイールベース中央からサドル位置を前方にするとMD値が増え、ヘッド角を大きくすることもMD値が増えて走行安定性が低くなる結果となっ

た。

③ ダミー人形を「前後座席」に乗せた場合

重相関係数： 0.6996
 寄与率： 0.4894
 赤池の情報量基準： 21.2307
 自由度調整済み寄与率： 0.4128
 ◆◆分散分析表◆◆

	自由度	平方和	不偏分散	F 値
回帰	3	2.4858	0.8286	6.3907
残差	20	2.5931	0.1297	
計	23	5.0789		

No	変数名	回帰係数	標準回帰係数	偏相関係数	回帰係数の 標準誤差	標準回帰係数の 標準誤差	F 値	V I F
X(24) : 車体重量		-0.05681	-0.49539	-0.56342	0.01863	0.16243	9.30153	1.03350
X(11) : ヘッド角		0.13101	0.54498	0.54011	0.04565	0.18988	8.23747	1.41235
X(21) : 後座席高さ		0.00241	0.35592	0.38203	0.00131	0.19252	3.41775	1.45190
定数		-5.73998			3.85005			

図 100 重回帰分析結果(ダミー人形前後座席)

①及び②と異なり、車体重量が重要変数になり、車体の軽い方がMD値が増え、後座席を高くすることもMD値が増える結果となった。また、②と同様にヘッド角を大きくすることもMD値が増えて走行安定性を低くする結果になった。

④ 設計特性による評価

主要な設計特性に対する重回帰分析によるMD値に対する回帰係数の計算結果を表 55 に示す。

表 55 重回帰分析によるMD値に対する回帰係数

説明変数				回帰係数		
名称	単位	最小	～ 最大	後座席のみ	前座席のみ	前後座席
X(2) : 前輪径	mm	508	～ 660		-0.00181	
X(6) : ホイールベース	mm	1131	～ 1260		0.01423	
X(14) : シート角	deg	68	～ 72		0.39724	
X(7) : フレームサイズ	mm	328	～ 411		-0.01284	
X(19) : サドル位置	mm	174	～ 348	-0.00696	-0.02558	
X(11) : ヘッド角	deg	66	～ 72	0.10864		0.13101
X(21) : 後座席高さ	mm	554	～ 742			0.00241
X(24) : 車体重量	kg	38.0	～ 48.3			-0.05681

この結果を自転車の設計特性の走行安定性向上に対する効果として図101に示す。

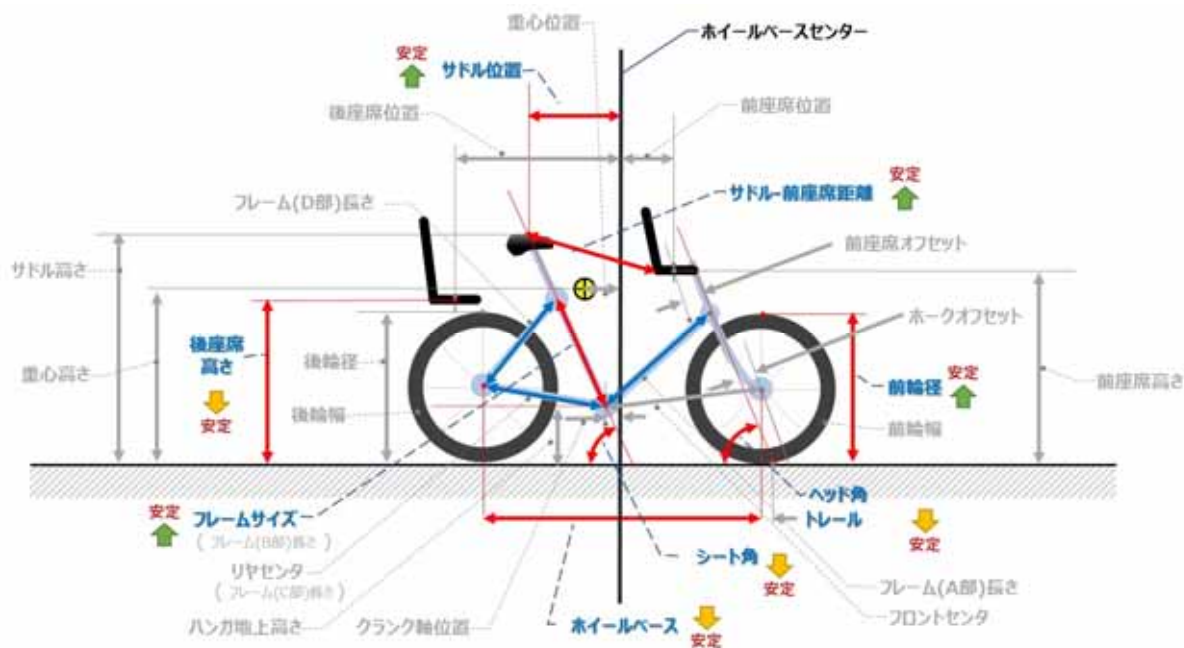


図 101 幼児同乗自転車の設計特性とMD値の解析結果

これらの解析結果として、ダミー人形乗せ位置ごとに効果が見られる設計特性に差異はあるものの、それらの方向性に相反するところはないため、全体として走行安定性向上の設計特性として以下の傾向が考えられる。

- a 運転者の乗る位置を後方にする。
- b 車体重量を大きくする、又は電動アシスト付きにする。
- c ホイールベースを短くする。
- d 前輪径を大きくする。
- e ヘッド角を小さくする、又はトレールを大きくする。

2 解析結果（実験B）

（1）評価方法

本実験は、車道を走行中に歩道へ移動する際の安全性、特に段差乗り上げ時の転倒事故に至る不安定さを検討することを目的とし、車両乗り入れ部の標準的な高さ 5 cm の段差への進入角度、速度を変えて走行した中から、段差乗り上げ時のMD値を用いて不安定性を評価した。

- ① 実験走行路： 段差 5 cm （エリア 2）
- ② 進入角度： 30 度、40 度、50 度
- ③ 走行速度： 速い／ゆっくり
- ④ 検体： A 4 (電動アシストあり)、M 4 (電動アシストなし)、
一般用自転車
- ⑤ 運転者： 運転者 1 ～ 3 の 3 名
- ⑥ ダミー人形乗せ位置： 後座席のみ
- ⑦ シートベルト： 固定

（2）MD値による評価結果

実験Aと同様に走行し、各自転車に搭載した各種センサからの出力値を記録した。ただし、本実験では、段差乗り上げ時の影響を詳しく評価することを目的とするため、下記の加速度波形（図 102）より「段差乗り上げ」の 1 秒前から「乗上げ～降下」の中間点までを対象（赤い破線）とした。

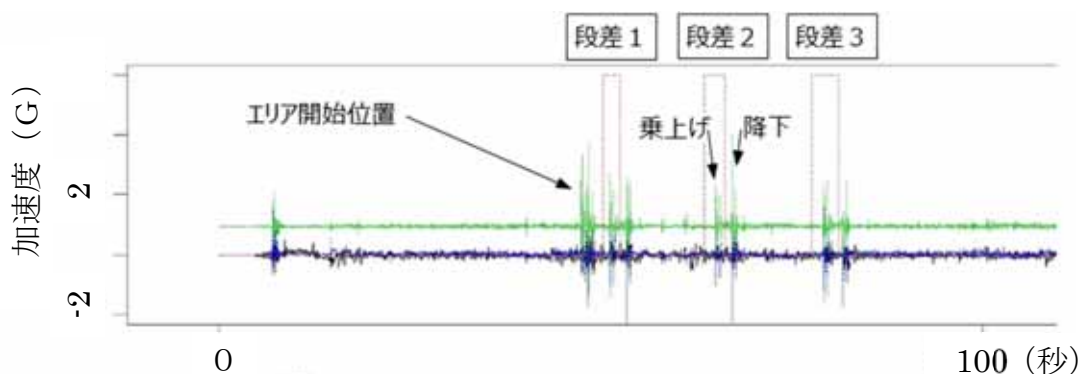


図 102 実験Bの加速度波形（例）

このようにして特定した「段差乗り上げ区間」でのハンドル舵角、ロール角、運転者総荷重、運転者重心の 4 測項目からMD値を算出し、繰り返し 3

回の平均値を示した結果を図 103 に示す。

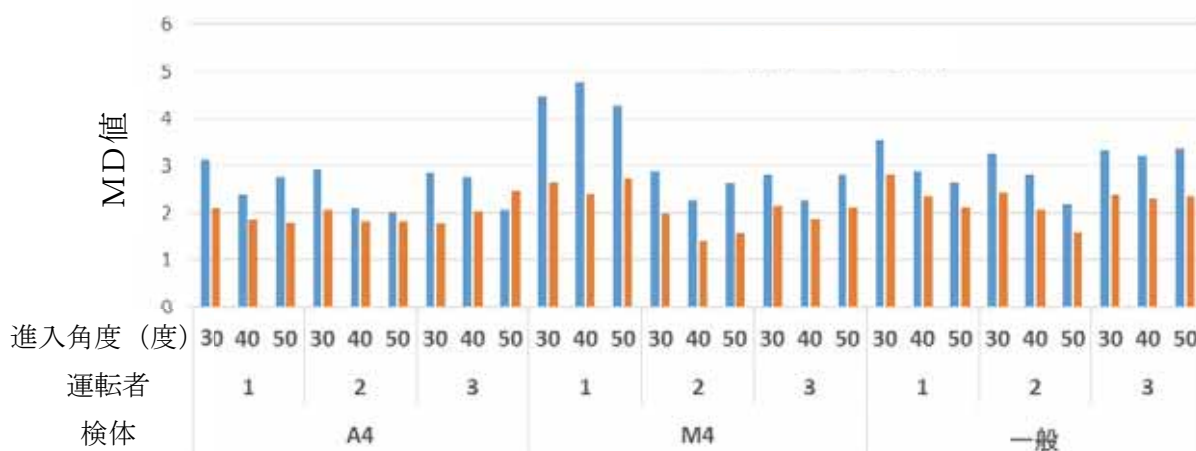


図 103 実験B全水準組合せごとのMD値

※棒グラフは、左：速く、右：ゆっくり

まず全般に走行速度の高い方がMD値の高い傾向にある。

これは、対象データを乗り上げ時に絞ったため衝撃成分の寄与が増したこともあるが、全体としては衝撃起因の不安定さであり、段差を乗り上げるのに必要以上の走行速度は好ましくないという結果と考えられる。

また特異的に検体M4でかつ体格の良い運転者の場合についてのMD値の高さが目立つが、これは実験Aで観測されたMD値増加要因の検体M4、幼児後座席、運転者1（67kg）、及びシートベルト固定という条件が重畳された最悪パターンであることが原因と思われる。

なお、結果として実験Bの目的の一つの「安全な進入角度範囲」について実験データとして確認できなかったことは、本文に記載のとおりである。

3 解析結果（実験C）

（1）評価方法

本実験は、荷物の乗せ方による安全性を検討するため、荷物をカゴに入れる場合とハンドル掛けの場合の2通りで実施し、各走行路でのMD値を用いて走行安定性を評価した。

- ① 荷物の載せ方：手さげ袋（4.5kg）をハンドル掛け、カゴ
- ② 実験走行路：フラット（エリア0）、段差5cm（エリア2）、傾斜面（エリア3）、狭い道
- ③ 検体：A4（電動アシストあり）、M4（電動アシストなし）、

一般用自転車

- ④ 運転者：運転者1～3の3名
- ⑤ ダミー人形乗せ位置：後座席のみ
- ⑥ シートベルト：固定

(2) MD値による評価結果

実験Aと同様に走行し、各自転車に搭載した各種センサからの出力値を記録し、走行路の各エリアにおけるハンドル舵角、ロール角、運転者総荷重、運転者重心の4計測項目からMD値を算出し、繰り返し3回の平均値を示した結果を図104に示す。

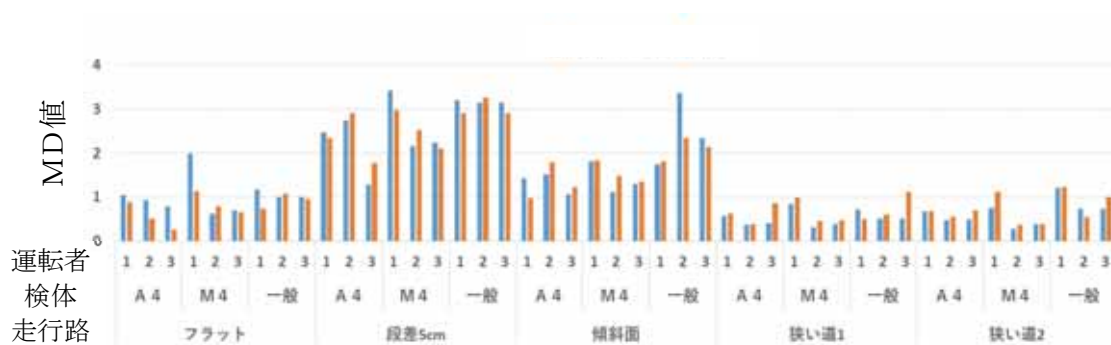


図104 実験C 全水準組合せごとのMD値

※棒グラフは、左：ハンドル掛け、右：カゴ

図を俯瞰して言えることは、全般に実験A同様、段差5cm、次いで傾斜面でのMD値が高く、逆に狭い道ではフラット路面よりMD値が低く安定した傾向にある。

ただし、実験Cの目的であった「荷物の載せ方」については、ハンドル掛けとカゴにおいて有意な差が検出できなかったことは、本文に記載のとおりである。

なお、本実験の目的からやや外れるが、特に段差と傾斜面において、幼児2人同乗用自転車の検体A4（電動アシストあり）、M4（電動アシストなし）に比べて一般用自転車の走行安定性は低いと観測された。

本実験に用いた検体3種の仕様を比較（表56）すると、一般用自転車は車体重量とその前後バランス、剛性が他の2車種と異なっている（赤丸部）が、実験Aの解析結果から、車体重量が大きい方の走行安定性が高いと分析されていたことから、一般用自転車は、その車体重量の軽さが走行安定性の低くなる要因である可能性が考えられる。

表 56 実験B及び実験Cで使用した検体の主な仕様

仕様	検体	A4	M4	一般
前輪径	inch	26	22	26
前輪幅	inch	1.38	1.75	1.18
後輪径	inch	26	22	26
後輪幅	inch	1.38	1.75	1.18
ホイールベース	mm	1176	1180	1170
車体重量	Kg	47.3	39.6	31.7
車体重量(前)	Kg	25.0	19.5	11.0
車体重量(後)	Kg	22.3	20.1	20.7
リヤキャリア部側方剛性	N/mm	7.4	15.1	5.3

参考資料 8 実験D結果詳細

(1) 評価方法

本実験は、制動をかけて目標地点に正確に停止することを目標とした。安定した制動状態とは、ブレーキングが乱れずに、スリップもせず、目標地点に正確に停止する状態である。

よって、本実験では、以下のような制動状態を「不安定」として評価した。

- ① ブレーキングが一様にならず、乱れる。
- ② 目標地点を 0.5m 以上オーバーランする。
- ③ 車輪がスリップする。

評価方法としては、①については自転車の進行方向の減速度（負の加速度）の形状に注目し、制動開始から停止するまでの 3 m における減速度の形状を以下の a ～ d の 4 種類に分類して評価した。

a フラット

一定したブレーキをかけている。最も安定した制動と考える。

b 右上がり

最初に強めにブレーキをかけ、その後徐々に緩めている。

c 右下がり

最初は緩めのブレーキから、その後徐々に強めにしている。

d 変動

減速度が変動している。つまり、ブレーキを強くしたら緩めたりして調整しており、ブレーキングが乱れている。

ここで、b 及び c の違いは、運転者が前半でブレーキを強めにするか、若しくは後半で強めにするか、それぞれのブレーキのかけ方の個人差が表れていると考えた。よって、減速度の形状は、a、b 及び c を安定した制動であるとし、d のみを不安定な制動であるとして評価を行った。

制動時の減速度データの例を図 105 に示す。図中には、安定した制動（a、b 及び c）を黄色でマーキングし、不安定な制動（d）を赤色でマーキングして示している。

また、②については、停止線の $\pm 0.5\text{m}$ 以内に停止しなかったものの、停止線よりも前方で停止した場合は、安全上において問題はないので、不安定な制動には含めないこととしている。

③については、運転者の主観評価結果で、スリップ音がした等のコメントが記載されている場合を抽出した。

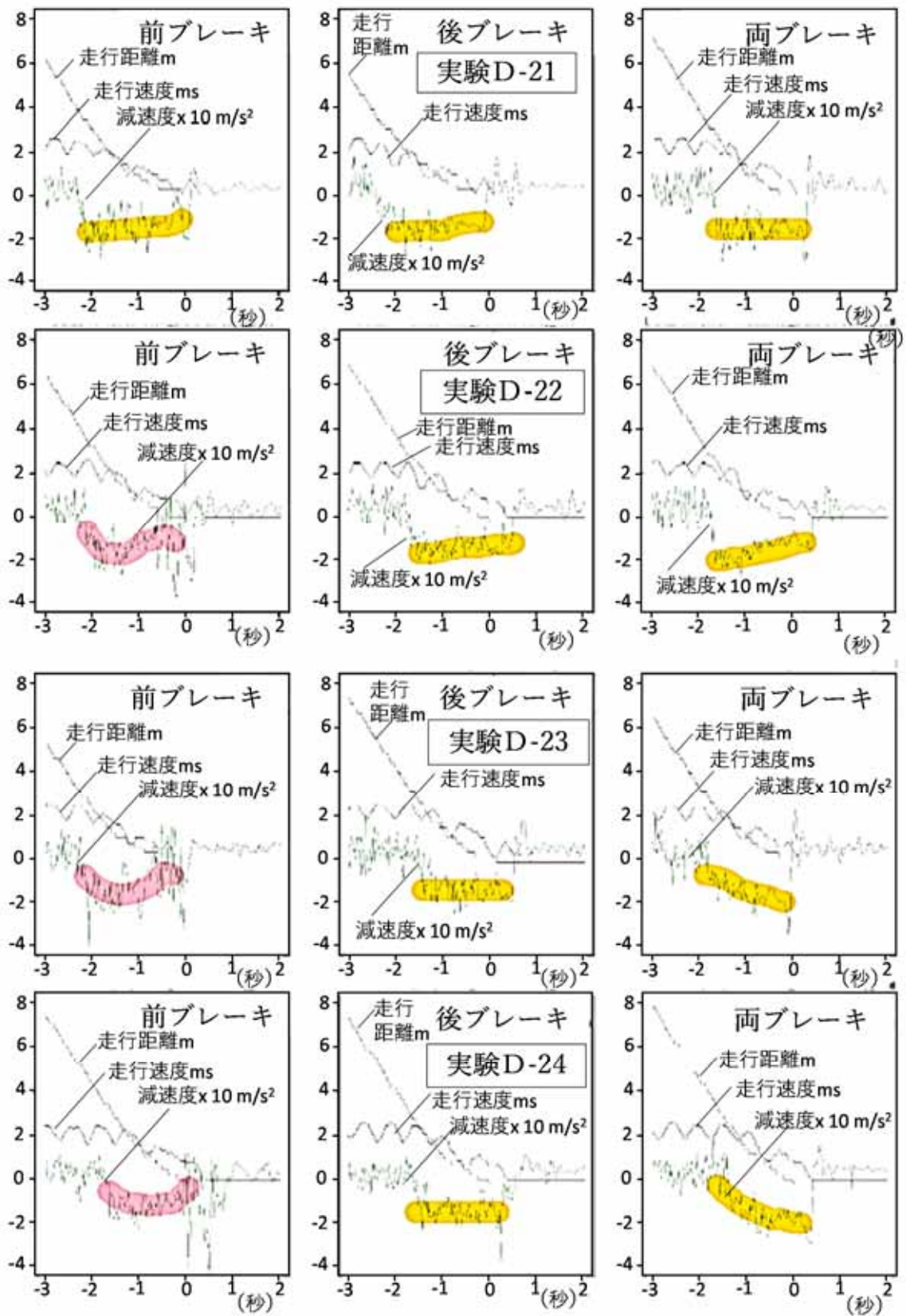


図 105 制動時の減速度データ例（実験D）

(2) 実験結果

(1) の評価方法からまとめた本実験の結果一覧を表 57 に示す。

ここで、目標停止線の±0.5m以内で停止できなかった場合は、走行をやり直した。そのため減速度の形状及びスリップについては、やり直した後に±0.5mで停止できたときのデータを記載している。

表 57 実験結果一覧 (実験D)

実験 No.	検体 番号	路面 状態	幼児同乗 位置	運転者	減速度形状			停止位置判定			スリップ		
					前ブレーキ	後ブレーキ	両ブレーキ	前ブレーキ	後ブレーキ	両ブレーキ	前ブレーキ	後ブレーキ	両ブレーキ
D-1	A 1	通常	なし	運転者 1	右下がり	右下がり	変動						
D-2	A 1	滑り	なし	運転者 1	右下がり	右下がり	右上がり					○	
D-3	A 1	通常	なし	運転者 2	右上がり	フラット	フラット						
D-4	A 1	滑り	なし	運転者 2	右下がり	右下がり	フラット						
D-5	A 4	通常	なし	運転者 1	変動	右下がり	変動			ショート			
D-6	A 4	滑り	なし	運転者 1	右下がり	右下がり	フラット						
D-7	A 4	通常	なし	運転者 2	変動	右下がり	右下がり						
D-8	A 4	滑り	なし	運転者 2	変動	フラット	右下がり						
D-9	A 1	通常	前	運転者 1	フラット	右下がり	フラット						
D-10	A 1	滑り	前	運転者 1	右下がり	右下がり	フラット						○
D-11	A 1	通常	前	運転者 2	フラット	フラット	フラット		ショート				
D-12	A 1	滑り	前	運転者 2	右下がり	右下がり	右下がり			ショート			
D-13	A 4	通常	後	運転者 1	フラット	フラット	変動		オーバーラン				
D-14	A 4	滑り	後	運転者 1	フラット	フラット	変動						
D-15	A 4	通常	後	運転者 2	フラット	フラット	右下がり	1回目オーバーラン 2回目ショート		ショート			
D-16	A 4	滑り	後	運転者 2	フラット	右下がり	変動						
D-17	A 1	通常	後	運転者 1	変動	右下がり	右下がり						
D-18	A 1	滑り	後	運転者 1	右下がり	変動	右下がり					○	
D-19	A 1	通常	後	運転者 2	右下がり	右下がり	フラット		ショート				
D-20	A 1	滑り	後	運転者 2	右下がり	右下がり	右下がり				○	○	
D-21	A 4	通常	前	運転者 1	右上がり	右上がり	フラット	オーバーラン					
D-22	A 4	滑り	前	運転者 1	変動	右上がり	右上がり						
D-23	A 4	通常	前	運転者 2	変動	フラット	右下がり						
D-24	A 4	滑り	前	運転者 2	変動	フラット	右下がり						
D-25	A 1	通常	前後	運転者 1	右下がり	右下がり	右下がり						
D-26	A 1	滑り	前後	運転者 1	フラット	フラット	フラット					○	
D-27	A 1	通常	前後	運転者 2	フラット	フラット	右下がり			ショート			
D-28	A 1	滑り	前後	運転者 2	右下がり	右下がり	右下がり						
D-29	A 4	通常	前後	運転者 1	フラット	フラット	フラット		1回目オーバーラン 2回目オーバーラン				
D-30	A 4	滑り	前後	運転者 1	変動	右下がり	右上がり						
D-31	A 4	通常	前後	運転者 2	変動	フラット	変動			ショート			
D-32	A 4	滑り	前後	運転者 2	変動	フラット	右下がり						

(3) 結果の分析

① 減速度形状における分析

表 57 において、前ブレーキのみ、後ブレーキのみ、及び両ブレーキのいずれかの場合で、減速度の形状が「変動」していた実験 No. を抜き出した結果を表 58 に示す。表を見ると、検体、路面状態、ダミー人形乗せ位置や運転者によらず「変動」があることが分かる。また、前ブレーキのみの場合に変動が多い傾向にあり、後ブレーキの調整でうまく停めている可能性が考えられる。

表 58 制動時の減速度の形状（実験 D）

実験 No.	検体番号	路面状態	幼児同乗位置	運転者	減速度形状		
					前ブレーキ	後ブレーキ	両ブレーキ
D-1	A 1	通常	なし	運転者 1	右下がり	右下がり	変動
D-5	A 4	通常	なし	運転者 1	変動	右下がり	変動
D-7	A 4	通常	なし	運転者 2	変動	右下がり	右下がり
D-8	A 4	滑り	なし	運転者 2	変動	フラット	右下がり
D-13	A 4	通常	後	運転者 1	フラット	フラット	変動
D-14	A 4	滑り	後	運転者 1	フラット	フラット	変動
D-16	A 4	滑り	後	運転者 2	フラット	右下がり	変動
D-17	A 1	通常	後	運転者 1	変動	右下がり	右下がり
D-18	A 1	滑り	後	運転者 1	右下がり	変動	右下がり
D-22	A 4	滑り	前	運転者 1	変動	右上がり	右上がり
D-23	A 4	通常	前	運転者 2	変動	フラット	右下がり
D-24	A 4	滑り	前	運転者 2	変動	フラット	右下がり
D-30	A 4	滑り	前後	運転者 1	変動	右下がり	右上がり
D-31	A 4	通常	前後	運転者 2	変動	フラット	変動
D-32	A 4	滑り	前後	運転者 2	変動	フラット	右下がり

② 停止位置における分析

表 57 において、オーバーランによるやり直しがあつた実験 No. を抜き出した結果を表 59 に示す。表を見ると、前ブレーキのみ又は後ブレーキのみの使用では目標位置に停止できず、オーバーランしてしまう場合が、32 回

の実験条件のうち4回発生した。また、ダミー人形を前後座席に乗せた場合は、非常に重いため、2回にわたってオーバーランしている。一方、前後両ブレーキを使用した場合は、いずれも目標位置で停止できていた。このことから、両ブレーキの使用が安定的に停止するために必要であることが分かる。

なお、実験においては、停止位置で停めることを想定した速度で助走してからブレーキをかけているため、オーバーラン発生時は、運転者が制動に当たり想定した以上に停止距離が長くなっていたと言える。

表 59 オーバーランでやり直した場合（実験D）

実験 No.	検体 番号	路面 状態	幼児同乗 位置	運転者	停止位置判定		
					前ブレーキ	後ブレーキ	両ブレーキ
D-13	A 4	通常	後	運転者 1		オーバーラン	
D-15	A 4	通常	後	運転者 2	1回目オーバーラン 2回目ショート		ショート
D-21	A 4	通常	前	運転者 1	オーバーラン		
D-29	A 4	通常	前後	運転者 1		1回目オーバーラン 2回目オーバーラン	

③ 車輪のスリップにおける分析

表 57 において、スリップがあったと記録された実験 No. のみを抜き出して表 60 にまとめた。表を見ると、スリップが記録されたのはいずれも滑り面（けい砂散布）の場合であり、主に後ブレーキによるものであると思われる。

表 60 スリップがあった場合（実験D）

実験 No.	検体 番号	路面 状態	幼児同乗 位置	運転者	スリップ		
					前ブレーキ	後ブレーキ	両ブレーキ
D-2	A 1	滑り	なし	運転者 1		○	
D-10	A 1	滑り	前	運転者 1			○
D-18	A 1	滑り	後	運転者 1		○	
D-20	A 1	滑り	後	運転者 2	○	○	
D-26	A 1	滑り	前後	運転者 1		○	

参考資料 9 主観評価結果詳細

(1) 主観評価の方法

走行実験における運転操作性についての主観評価を、1回の走行ごとに運転者に記入してもらった。記入例を図 106 に示す。評価はエリアごとに行い、運転操作性として、「運転しにくさ」又は「怖さ」を強く感じた方から、「大」、「小」、「なし」、及びそれらの中間を含めた5段階で記入した。

また、自由記入欄には運転していて気付いた事や感想をありのままに記入してもらった。記録票の上段部分は、実験実施担当者が走行状態をチェックして記録したものである。

＜走行状態記録票＞

実験番号	A ² - 12
------	---------------------

運転者(○を付ける) 男性1 女性1 女性2

走行状態(担当者が記入)

エリア	スラローム			メモ
	1回目	2回目	3回目	
フラット (エリア0)	✓	✓	✓	
段差2cm (エリア1)	✓	✓	✓	
段差5cm (エリア2)	✓	✓	✓	
傾斜面 (エリア3)	✓	✓	✓	
フラット (基準測定)	✓	✓	✓	
その他				

主観評価(運転者が記入) ※該当する部分に○を付ける

エリア	運転しにくさ		怖さ		その他
	大	小	大	小	
フラット (エリア0)		○		○	
段差2cm (エリア1)		○		○	
段差5cm (エリア2)		○		○	
傾斜面 (エリア3)		○		○	
フラット (基準測定)		○		○	
自由記入欄	右側の位置が高く、視界が悪い。 前が見づらい分、怖い				

＜走行状態記録票＞

実験番号	A ¹ - 15
------	---------------------

運転者(○を付ける) 男性1 女性1 女性2

走行状態(担当者が記入)

エリア	スラローム			メモ
	1回目	2回目	3回目	
フラット (エリア0)	✓	✓	✓	
段差2cm (エリア1)	✓	✓	✓	
段差5cm (エリア2)	✓	✓	✓	後輪が上り時、少し 前はフツツと出る
傾斜面 (エリア3)	✓	✓	✓	
フラット (基準測定)	✓	✓	✓	
その他				

主観評価(運転者が記入) ※該当する部分に○を付ける

エリア	運転しにくさ		怖さ		その他
	大	小	大	小	
フラット (エリア0)		○		○	
段差2cm (エリア1)		○		○	
段差5cm (エリア2)		○		○	
傾斜面 (エリア3)		○		○	
フラット (基準測定)		○		○	
自由記入欄	左側の段差を登る際、前輪は、右側へ倒れ 後輪は、左側へ倒れ、段差に上る時に、後輪が 右にズレる(滑る)				

図 106 主観評価記録票（実験Aの例）

(2) 分析方法

図 106 の主観評価記録票で「大」と評価した場合を最大の 4 点、「なし」とした場合を最小の 0 点とし、0 点から 4 点までの 5 段階に点数を付け分析を行った。さらに、運転者の採点の個人差をなくすために、運転者ごとに点数の標準化を行った上で全体の分析を行った。標準化後の評価の点数は、平均点が 0、分散が 1 となる数値となる。

なお、「運転しにくさ」と「怖さ」は、ほぼ似た傾向を示す評価結果となったため、本報告書では、運転操作性として「運転しにくさ」についての分析結果を記載した。

(3) 分析結果

① 実験 A

a 電動アシストあり／なしの評価

電動アシストあり／なしにおける運転操作性の評価結果を図 107 に示す。若干、電動アシストありの方が運転操作性は悪くなっているが、検体 A 4 を除いた比較では、電動アシストありの方の評価が高くなり、両者の差は分からない結果と考えられる。

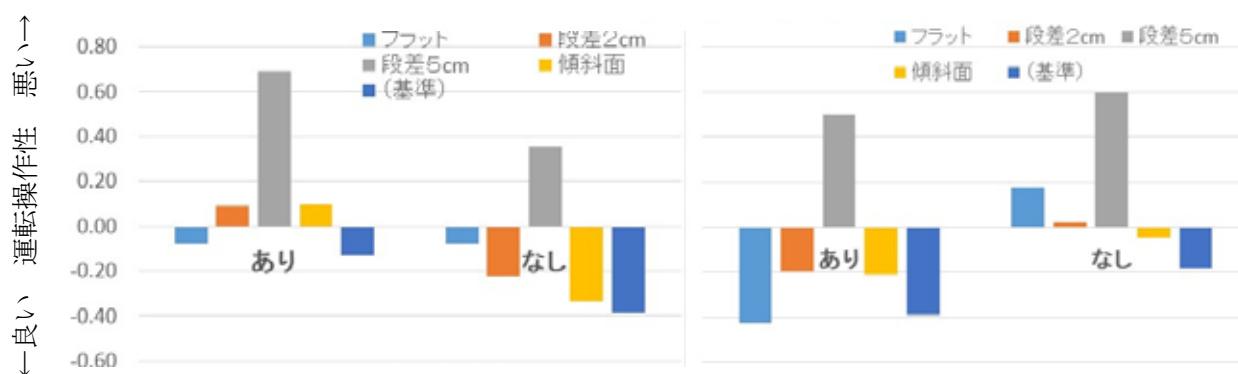


図 107 電動アシストあり／なしの評価結果（実験 A）

※右は検体 A 4 を除いた場合

b ダミー人形乗せ位置による評価

ダミー人形を前後座席に乗せた場合に最も運転操作性が悪いという結果となった（図 108）。

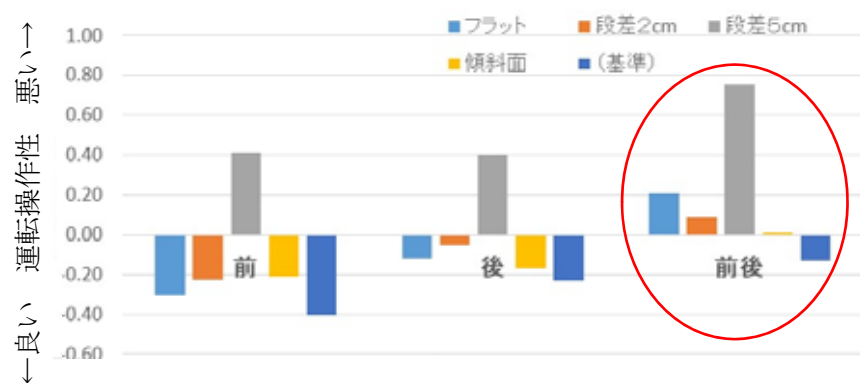


図 108 ダミー人形乗せ位置による評価結果（実験A）

② 実験B（段差走行方法による評価）

段差への進入角度が 30～50 度の間では、進入角度による運転操作性の違いは検体により異なる結果となった。検体 A 4、M 4 及び一般用自転車の比較では、検体 M 4 が最も運転操作性は良いと感じている（図 109）。

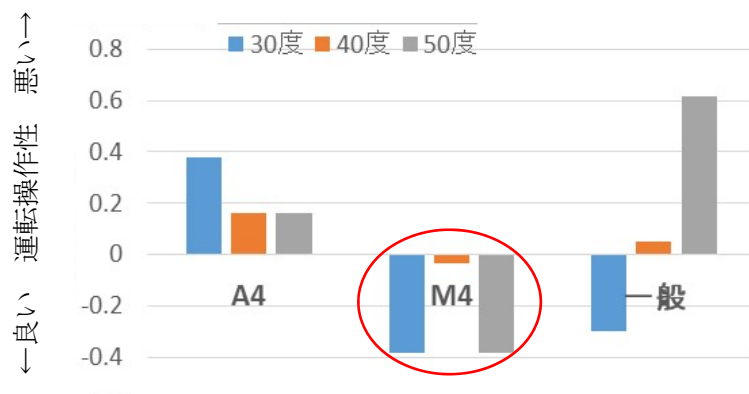


図 109 段差進入角度による評価結果（実験B）

段差の走行速度については、速度が速い場合は進入角度が大きいほど運転操作性が悪いと感じている（図 110）。これは、速度が速いと歩道に乗り越えてから旋回するのが難しくなるからと思われる。

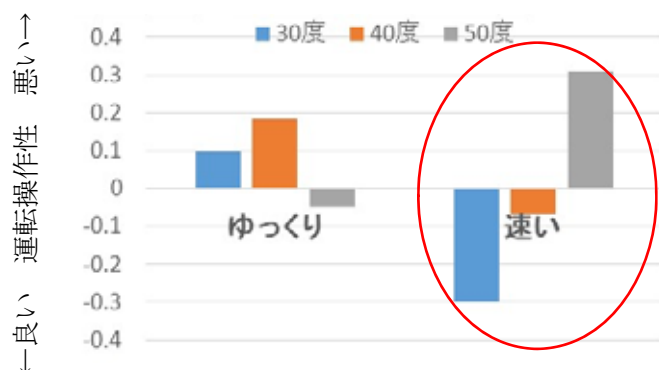


図 110 段差進入速度による評価結果（実験B）

③ 実験C（荷物の運搬方法による評価）

4.5kg の荷物をカゴに入れた場合とハンドルに掛けた場合とでは、検体 A 4 と一般用自転車では差がなく、検体 M 4 の評価が高い（図 111）。

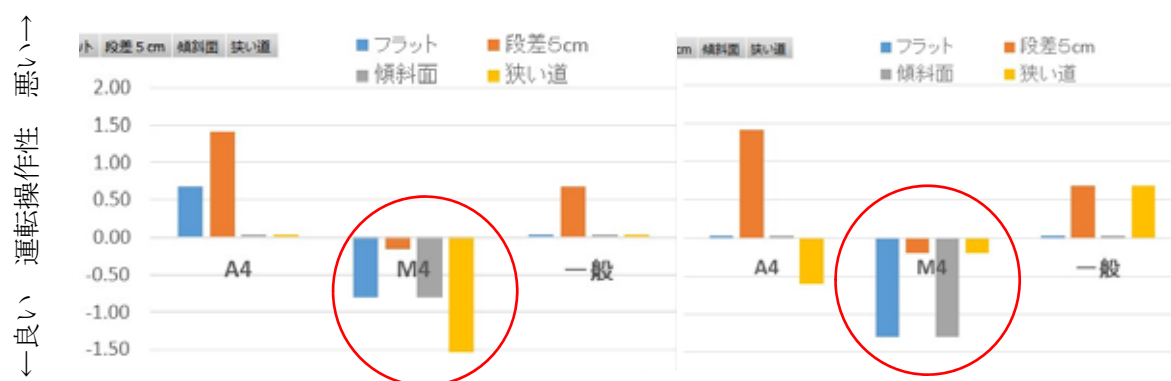


図 111 荷物の運搬方法による評価（1）（実験C）
（左：カゴ入れ 右：ハンドル掛け）

また、狭い道では、ハンドル掛けにすると運転操作性が悪くなる結果となった（図 112）。

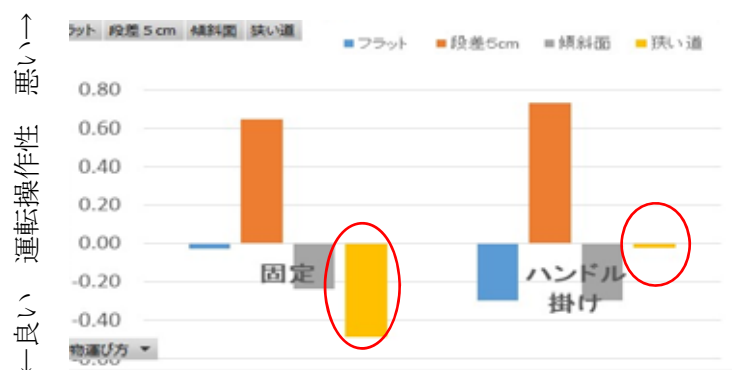


図 112 荷物の運搬方法による評価（2）（実験C）

④ 実験D（制動状況による評価）

検体A 1 と検体A 4 の比較では、検体A 4 の評価が低く、後ブレーキのみ使用した場合が最も評価が低い（図 113）。

また、ダミー人形乗せ位置別で見ると、全体の重量が重い、前後座席に乗せた場合が最も評価が低い（図 114）。

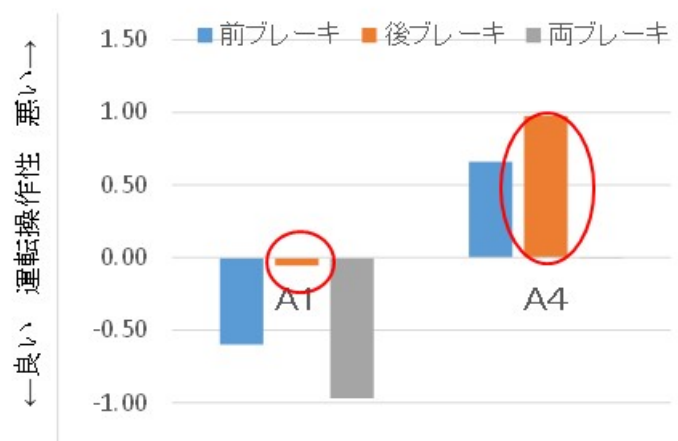


図 113 検体別制動状況評価結果（実験D）

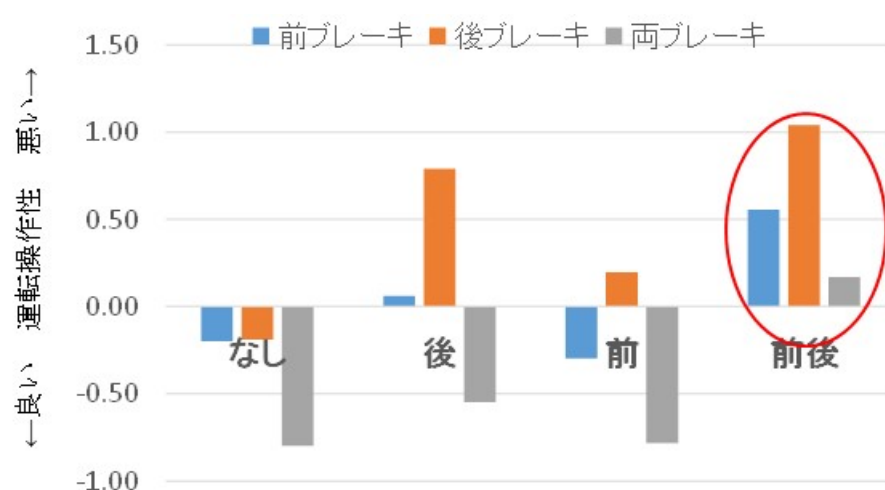


図 114 デミー人形乗せ位置別制動状況評価結果 (実験D)

(4) デミー人形乗せ位置別の評価結果

幼児座席及びサドルの取付位置と運転操作性 (段差 5 cm 走行時) の関係を表 61 に示す。幼児を前座席のみ及び後座席のみに同乗した場合の検体間の評価結果に大きな違いがみられた。

表 61 幼児座席及びサドルの取付位置と運転操作性 (段差 5 cm)

項目	A1	A2	A3	A4	M1	M2	M3	M4
運転操作性 (前座席のみ)	0.48	0.26	0.49	2.09	0.06	0.27	-0.68	0.27
運転操作性 (後座席のみ)	0.23	0.06	0.23	2.30	0.05	1.18	0.05	-0.64
運転操作性 (前後座席)	0.00	0.26	0.44	1.62	0.96	1.68	0.53	0.70
運転操作性 (全て)	0.19	0.08	0.30	1.36	0.20	0.66	-0.03	0.08
サドル-前座席距離	363	561	434	394	541	566	478	421
前座席高さ	883	686	753	724	679	758	797	784
サドル高さ設定 (運転者1)	830	870	870	870	870	870	870	870
サドル (運転者1) - 前座席高さ	-53	184	117	146	191	112	73	86
サドル高さ設定 (運転者2)	810	800	800	810	810	850	740	830
サドル高さ設定 (運転者3)	810	800	800	810	810	850	770	830
サドル高さ設定 (運転者2, 3)	810	800	800	810	810	850	755	830
サドル (運転者2, 3) - 前座席高さ	-73	114	47	86	131	92	-42	46
後座席高さ	576	561	593	716	661	742	595	554
自転車タイプ	後乗せ	前乗せ	後乗せ	後乗せ	前乗せ	前乗せ	前乗せ	後乗せ

参考資料 10 リヤキャリヤ部側方剛性の測定

走行実験を行う中で、特にダミー人形を後座席に乗せた場合、検体によってはリヤキャリヤ部の剛性が弱く、側方に揺れて結果的に運転操作性が悪い（運転しにくい）と感じられることが分かった。リヤキャリヤの強度は、JIS D9453:2013（自転車ーリヤキャリヤ及びスタンド）で規定されているが、これらの試験はリヤキャリヤ単体における強度である。

しかし、実際にリヤキャリヤに幼児座席を載せて幼児を同乗させる際には、フレーム（A部）や車輪のねじれ及びたわみを加味した強度を確認する必要があると考えた⁹⁴。

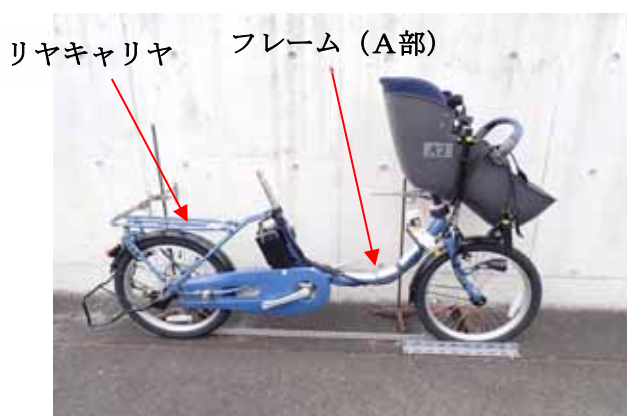


写真 26 測定装置

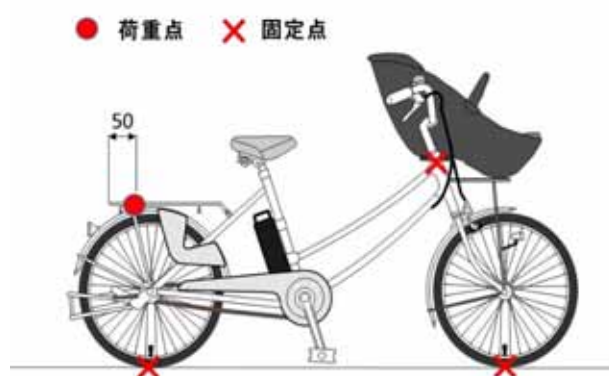


図 115 測定方法（荷重点、固定点）

また、幼児を乗せた状態での側方の揺れについては、永久変形を生じる前の弾性範囲内の剛性（加えた力／たわみ量）を求めることが有効である。

そこで、フレーム（A部）とリヤキャリヤ及び車輪等を合わせたリヤキャリヤ部の側方剛性を計測するため、写真 26 及び図 115 のような測定装置で、ハンドルステムの下部及び前後輪の接地部分の 3 箇所の側方を固定し、その状態でリヤキャリヤ後端から 50mm の位置を、フォースゲージを用いて約 200N の力で押した（写真 27）。

そして、リヤキャリヤの側方変位量をノギスで計測し、変位量とフォースゲージの計測値から、リヤキャリヤ部の側方剛性を検体ごとに求めた。比較のため

⁹⁴ 参考文献

・「フレーム・キャリヤの検証試験報告」（2012 年 5 月（一財）自転車産業振興協会技術研究所）
・「幼児 2 人同乗用自転車の開発に係る既存モデルの強度・剛性試験」（2008 年 5 月（一財）自転車産業振興協会技術研究所）

め、一般用自転車の測定も行った⁹⁵。

各検体のリヤキャリア部の側方剛性測定結果を図 116 に示す。

幼児 2 人同乗用自転車である 8 検体のリヤキャリアは、いずれもクラス 27（最大積載質量が 27kg (270N)、シートと着席幼児の合計）であり、リヤキャリア単体は十分な剛性を有しており、本測定方法によるリヤキャリア部の側方剛性も、一般用自転車と比較して十分に高いことが確認できた。しかし、同じ幼児 2 人同乗用自転車でも、測定した検体間の剛性は約 2 倍の差（検体 A 4 の 7.4N/mm と比較して、検体 M 4 は 15.1N/mm で約 2 倍の剛性）があることも分かった。



写真 27 フォースゲージで押している状態

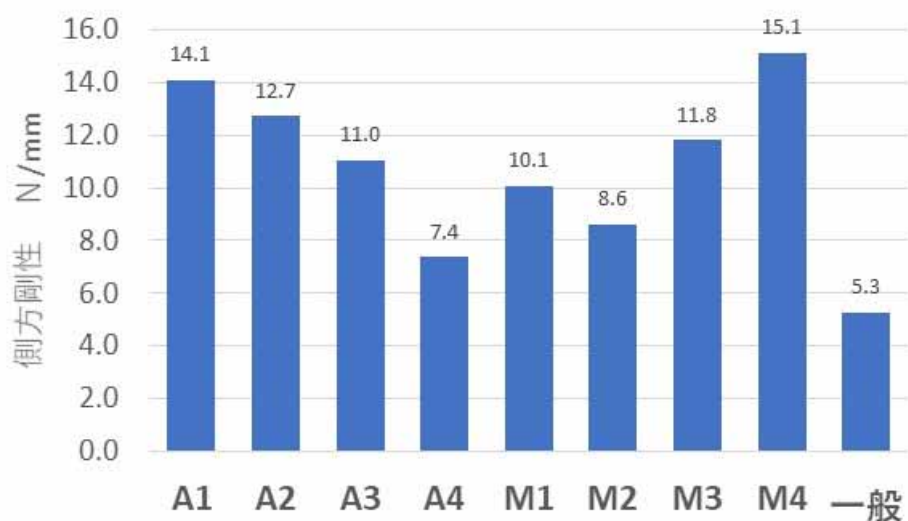


図 116 リヤキャリア部の側方剛性測定結果

⁹⁵ 参考文献

・「自転車フレーム体の剛性に関する調査」（1993 年 3 月（財）自転車産業振興協会技術研究所 自転車技術情報 No. 59 稲田、林）
・「フレーム各部剛性試験装置の試作」（1989 年 10 月（財）自転車産業振興協会技術研究所 技研ニュース No. 111）

参考資料 11 ハンドル操作支援機構について（実験 E）

（1）概要

近年、幼児 2 人同乗用自転車に、ハンドル操作支援機構（幼児を乗せた場合のハンドル操作を軽くするパワーステアリング）を搭載した自転車が研究されている（図 117）⁹⁶。外的要因のある環境下における走行で、このハンドル操作支援機構を装備することによってどの程度の転倒リスク低減効果を示すか確認のため、走行実験（実験 E）を行った。



図 117 操作支援システム搭載自転車（東京電機大学提供資料）

（2）実験内容

ハンドル操作支援機構の制御をオン、オフして、狭い道（フラット）、エリア 0（フラット）、エリア 2（段差 5 cm）、エリア 3（傾斜面）及び基準測定（フラット）を連続して走行した。実験 E 1 はダミー人形乗せ位置 3 通り（前座席のみ、後座席のみ、前後座席）で実施。また、実験 E 2 は、ダミー人形を後座席のみに乗せ、4.5kg の手さげ袋をハンドルに掛け及びカゴに入れた場合で走行した。走行方法を図 118、実験水準を表 62 に示す。

⁹⁶ 「幼児同乗自転車の動特性解析と安全性を改善する機構（2009 東京電機大学総合研究所年報 大野、松澤、岩瀬、貞弘）、「安全・安心・快適を実現する幼児同乗用インテリジェント自転車に関する研究」（平成 25 年 6 月 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書 岩瀬）

面条件、ダミー人形乗せ位置及び荷物の載せ方によるハンドル操作支援機構の制御ON、OFFで顕著な差は見られなかった。

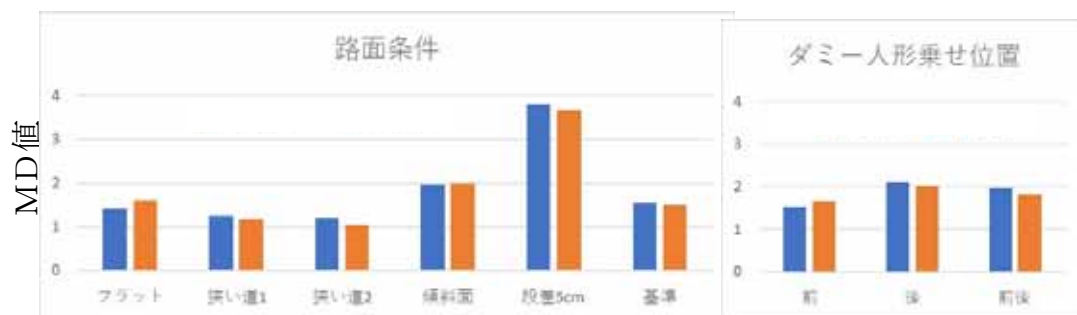


図 119 ダミー人形乗せ位置によるハンドル操作支援機構の効果（実験 E 1）
（ハンドル操作支援機構の制御OFFと制御ONの違い）
※棒グラフは、左：制御OFF、右：制御ON

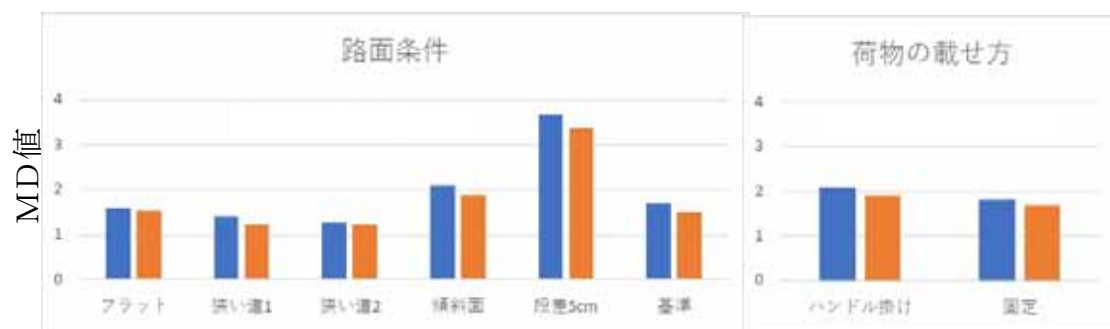


図 120 荷物の載せ方によるハンドル操作支援機構の効果（実験 E 2）
（ハンドル操作支援機構の制御OFFと制御ONの違い）
※棒グラフは、左：制御OFF、右：制御ON

この理由として、MT法による解析は、スラローム走行中の荷重、重心、ロール角及びハンドル舵角など「運転者、ダミー人形を含む運動体の状態」を時々刻々に評価したものであるが、ハンドル操作支援機構の効果は、操作に対する反力や路面からの振動としてハンドルから運転者に伝わるものが主であるがゆえに、顕著な傾向を抽出するに至らなかったと思われる。

そこで、ハンドル反力のデータは未採取であるが、ハンドル舵角データからその高周波成分を比較した。一例を図 121 に示す。上が、実験 E 2－4（制御OFF）、下が実験 E 2－3（制御ON）のグラフである。また、各グラフの下段に、ハンドル舵角の 2 Hz 以上、5 Hz 以上及び 10 Hz 以上の振動成分を取り出したものを示す。この例では、荷物をハンドル掛けで狭い道を走行した場合のハンドルの振動が、ハンドル操作支援機構の制御をON

にすることで、5 Hz 以上及び 10 Hz 以上の振動の振幅が小さくなっていることが分かり、本機構の効果が見られていると考えられる（図中赤枠部）。

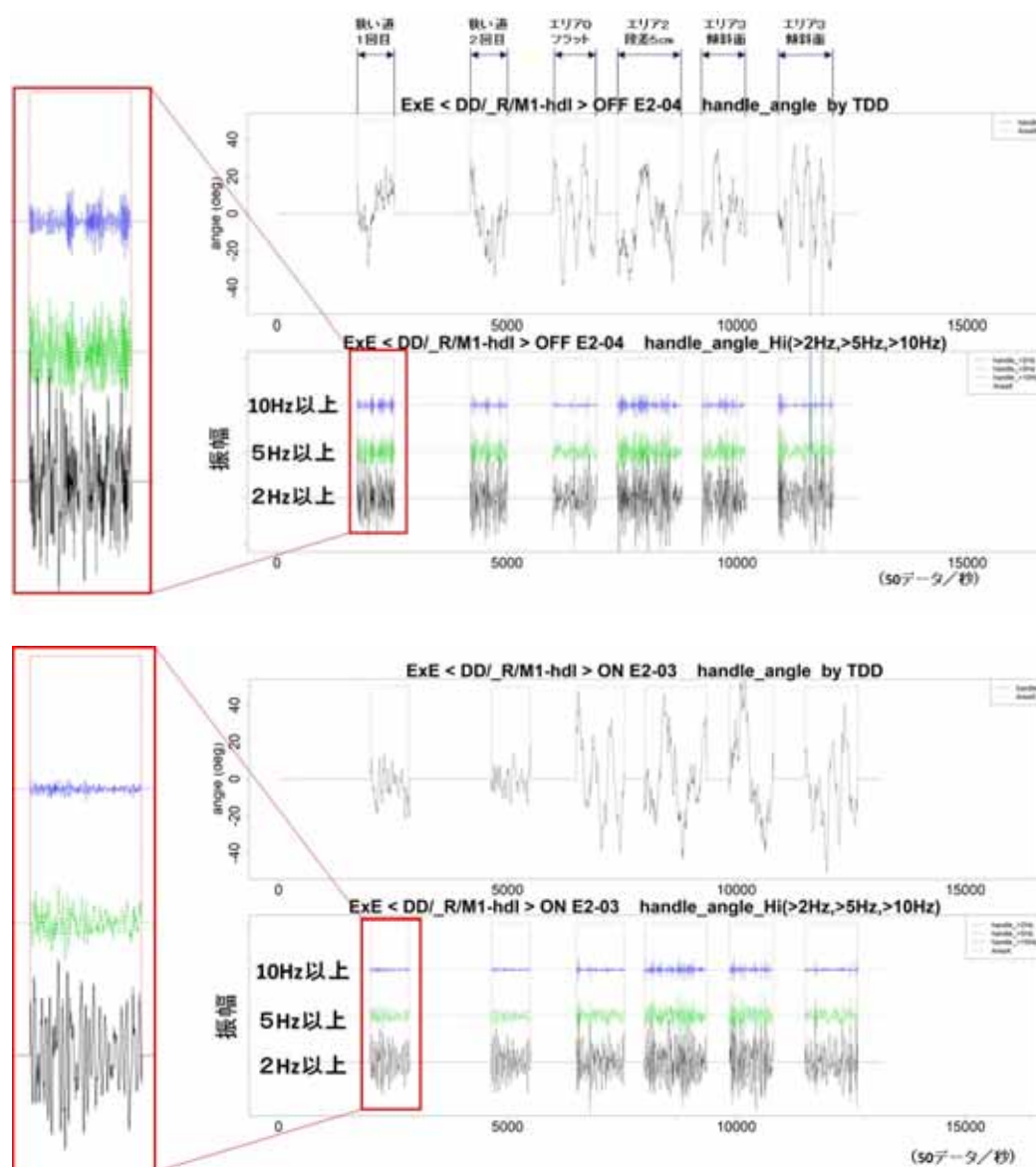


図 121 ハンドル操作支援機構の制御OFFと制御ONによる
ハンドル舵角の比較例（実験E2）

上：実験E2-4（制御OFF）、下：実験E2-3（制御ON）

また、運転者の主観評価の結果を図 122 及び図 123 に示す。図から、ダミ一人形乗せ位置にかかわらず本機構の制御をONすることで、運転操作性は向上しており、特に、荷物をハンドル掛けで狭い道を走行した場合に運転操作性が向上している結果となった（赤矢印）。

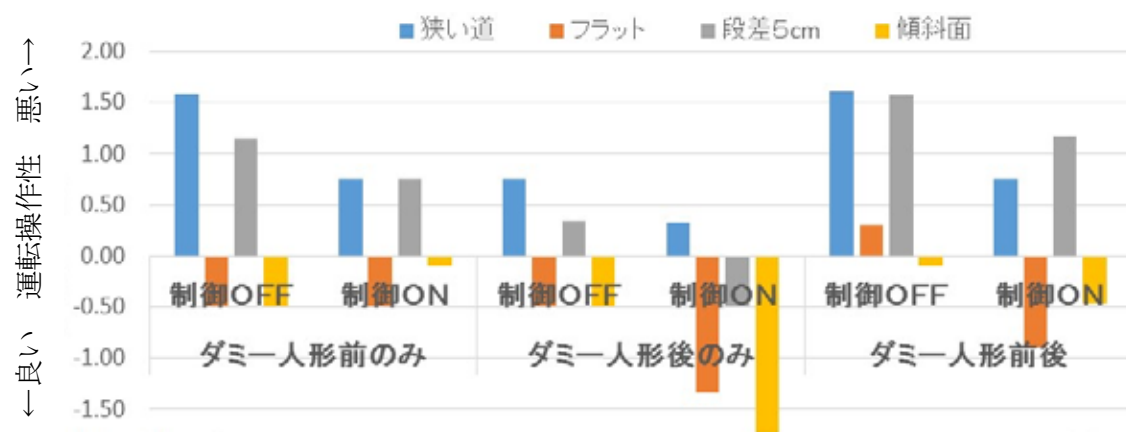


図 122 ダミー人形乗せ位置別のハンドル操作支援機構の効果（実験 E 1）
（ハンドル操作支援機構の制御OFFと制御ONの違い）

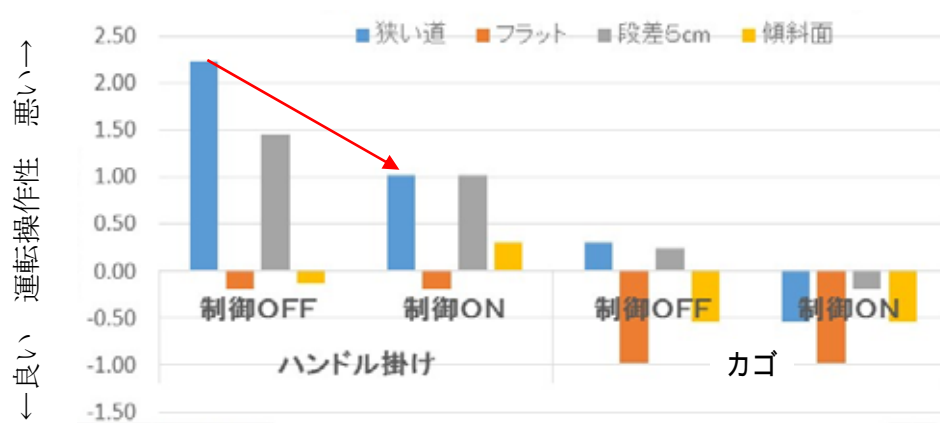


図 123 荷物の運搬方法別のハンドル操作支援機構の効果（実験 E 2）
（ハンドル操作支援機構の制御OFFと制御ONの違い）

これらの結果から、ハンドル操作支援機構は、幼児同乗中の、特に狭い道の走行などにおいて、細かいハンドル操作を支援し、運転操作性を向上する効果があると考えられる。その結果、外的要因による転倒リスクの低減に効果もある可能性が考えられることから、更なる安全性向上のための将来開発課題の1つとなり得るものとする。