

2.2. システム構成

システム構成図を以下の図2に示す。加速度センサと速度計と振動モータを車椅子の中央部に搭載し、加速度と速度を計測する。加速度センサと速度計から取得したデータを Arduino マイコンで読み込み、振動モータを計測した加速度または速度の値に応じて動作させる。加速度のデータは 0.1 秒ごとにサンプルを取得しており、1回のシナリオごとに 100 サンプルを計測する。

実験時では心拍センサをノートパソコンと USB で接続し、心拍データを実験の前後に計測する。搭乗者の実験前後の心拍データをそれぞれ取得し、ノートパソコンに保存する。脳波計は走行実験中に操縦者に取り付け、操縦時の集中度及びリラクセス度を計測する。

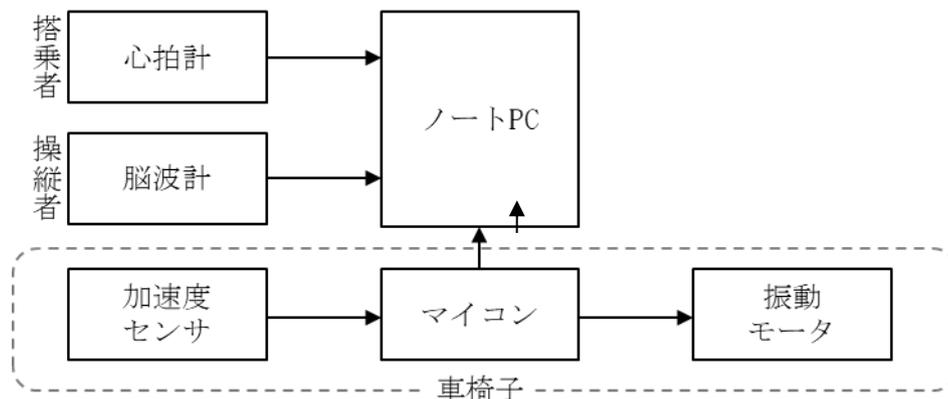


図2 システム構成図

2.3. 使用機器

本研究の実験用システムは下記の機器を使用する。

- | | |
|---|-----|
| 1. カワムラサイクル, 介助用標準型車椅子 (KR5-40N) | 1 台 |
| 2. Arduino, Arduino Uno R3 (A000066) | 1 個 |
| 3. 秋月電子通商, 3 軸加速度センサ (KXSC7-2050) | 1 個 |
| 4. 秋月電子通商, 円盤型振動モータ (FM34F) | 2 個 |
| 5. NeuroSky, MindWave Mobile (MW003) | 1 台 |
| 6. 東京デバイス, 汎用心拍センサ開発キット「パルス・ラボ」(IWS920-DEV) | 1 台 |

3. 実験概要

3.1. 実験方法

車椅子に製作したシステムを搭載し、あらかじめ設定した条件下で走行実験を行う。車椅子介助時における危険なシナリオとして急ブレーキ・急加速・急旋回・急ハンドル・段差・振動・蛇行を項目とし、それぞれの項目を 10 秒間に再現し、操縦者の脳波及び車椅子の加速度を計測する。心拍データは走行実験の前後に計測する。また、これらのシナリオは全て上記の順番で連続 5 回走行し、計 3 セットを行う。

心拍から取得した心拍間隔データを用いて精神的ストレスの指標となる自律神経バランスを算出し、シナリオが発生した時に搭乗者に与える影響を確認する。サンプル数 L 、データ番号 x 、データ間隔 t 、データ周波数 n 、波数 k 、 x 時点の心拍間隔データ $f(x)$ とすると、パワースペクトル $p(k)$ は以下の式 (1) のように求めることができる[4]。

$$p(k) = \frac{\Delta t^2}{L} \cdot \left[\left\{ \sum_{x=0}^{L-1} f(x) \cdot \cos\left(n \cdot \frac{2\pi}{L} \cdot x\right) \right\}^2 + \left\{ \sum_{x=0}^{L-1} f(x) \cdot \sin\left(n \cdot \frac{2\pi}{L} \cdot x\right) \right\}^2 \right] \quad (1)$$

また、交感神経 LF の波数領域を 0.05~0.15, 副交感神経 HF の波数領域を 0.15~0.4 とすると、自律神経バランス LF/HF は以下の式 (2) のように求めることができる[5].

$$LF/HF = \frac{\sum_{0.05}^{0.15} p(k)}{\sum_{0.15}^{0.4} p(k)} \quad (2)$$

自律神経バランスの数値は基本的に高ければ高いほど精神的ストレスを感じていると言える[5]. 脳波から取得したデータから集中度の項目を注目する. 集中度は高度に集中しているときや注意の度合いを示しており, 注意散漫, 集中力の欠如により, 数値が低下する. ただし, 脳波には個人差があるので必ずしも決まった値が出るとは限らない.

3.2. 実験結果と考察

心拍実験の結果を次に示す. 表 1 は 7 つのシナリオをそれぞれ 50 秒間に 5 回再現し, それを 3 セット行った前後の被験者 A と被験者 B の自律神経バランスの平均値を示す表である.

表 1 自律神経バランスの平均値

		被験者A		被験者B	
		LF/RF	増加量	LF/RF	増加量
急ブレーキ	実験前	0.6554	24.142	0.8479	7.168
	実験後	0.8136		0.9087	
急加速	実験前	0.5279	45.956	1.303	62.89
	実験後	0.7706		2.122	
急旋回	実験前	0.4642	17.163	1.078	13.65
	実験後	0.5439		1.225	
急ハンドル	実験前	0.7048	17.619	1.001	32.28
	実験後	0.8289		1.324	
段差	実験前	1.284	35.798	1.823	31.32
	実験後	1.744		2.394	
振動	実験前	1.385	4.958	0.9762	31.82
	実験後	1.454		1.287	
蛇行	実験前	1.156	91.275	2.526	16.76
	実験後	2.211		2.949	

表 1 により, 本研究で行った 7 項目のシナリオは全て搭乗者に精神的ストレスを与えることが分かったと共に, これらのシナリオが搭乗者に与える影響の有無を検証することができた. しかし, 同じシナリオであっても搭乗者に与える精神的ストレスに違いがあることも今回の実験で検証できたので, シナリオによって与える影響に個人差があると言える.

脳波の得られたデータから, それぞれの項目及び平地走行の分散と平均値を求める. まず項目ごとの分散と平地走行の分散で F 検定を行い, 分散の違いがあるかを確認する. このとき帰無仮説は「2 つの分散は等分散である」とする. また危険率は 0.05 とする. 自由度は実験の回数が 2 回で比べるのが平常時とシナリオの 2 つなので (1,1) になる. 次に項目ごとの平均値と平地走行での平均値で t 検定を行い, 有意差の有無を確認する. このとき帰無仮説は「2 つの平均値に差があるとする. また危険率を 5% とする. 自由度は実験の回数が 2 回で比べるのが平常時とシナリオの 2 つなので 2 になる.

F 検定および t 検定の結果から平地走行と 7 つのシナリオで集中度の違いがみられないということになった. このような結果になった原因は操縦者の習熟度や実験の順番・方法だと考えられる. 実験は全ての項目の実験を 1 回行った後, 続けて 2 回目の全ての項目の実験を行ったので, 前後の実験の条件に違いが生じたため, 平均値の分散が大きくなり, 有意差が見られなくなったと考えられる.

本研究で行った7項目のシナリオの走行実験時に取得した加速度のデータに基づいて定めた閾値を表3に示す。

表3 シナリオ別の加速度の閾値

シナリオ	閾値
急ブレーキ	進行方向の加速度が $-0.49G$ 以下
急加速	進行方向の加速度が $0.31G$ 以上
急旋回	横加速度が $0.49G$ 以上または $-0.49G$ 以下
急ハンドル	横加速度が $0.45G$ 以上(2秒以内) 逆向き加速度が $-0.45G$ 以下
段差	傾斜角が $\pm 2.1^\circ$ 以上
振動	垂直加速度の10秒間の分散が 0.02 以上
蛇行	横向き加速度が $0.25G$ 以上(3秒以内) 逆向き横加速度が $-0.25G$ 以下が2回以上発生

4. まとめと今後の課題

今回の実験から7項目のシナリオがすべて搭乗者に与える影響の有無を検証することができた。また、各シナリオを検出する基準となる加速度の閾値も定められたが、現状だと平坦な路面以外では正常に動作しないことが予想されるため、これからは傾斜や速度などの走行情報も加味し、正確に車椅子の動作を検出できるようにする。

脳波の実験から集中度は、その日の体調や状況に影響しており、集中度の平均値等の数値変化を見ることは困難であるとわかった。そこで次の実験は、集中度がどのように変化をしているかを、時系列グラフを用いて視覚化し、分析をおこなう。そのために集中している状態と休憩の状態の集中度を測定してグラフで視覚化する予備実験を行う。グラフから集中度が状態によってどのように変化するかを確認し、本実験の実験時間及び休憩時間を設定する。最終的に本実験では、車椅子の介助操作時に操作を妨げるシナリオ(スマホ操作、音楽を聴く等)を考案し、通常走行時とシナリオの脳波及び加速度・速度計測し、変化が起こるかを確認する予定である。

最後に、本研究で使用している手法や製作した装置は車椅子のみではなく、自転車やベビーカーなどの乗り物にも活用できると考えられる。特にベビーカーにこのシステムを利用すれば、幼児の快適かつ安全な移手段の確立につながると考えられる。

参考文献

- [1] 内閣府, 高齢社会白書(平成28年版), 日経印刷, 2016, pp.23-26
- [2] 大島千広, 市川雄太, 江草拓海, マイコンを用いた車椅子介助操作の安全化, 平成27年度神奈川大学卒業論文, 2017, pp.1-39
- [3] 古谷遼平, 脳波と姿勢計測における学習状態脳推移, 筑波大学修士(情報学)学位論文, 2016, pp.4-37
- [4] 小川智哉, 渋谷道雄, 渡邊八一, Excelで学ぶフーリエ変換, オーム, p.102, 2013
- [5] 中川千鶴, 特集③人間工学のための計測手法 第4部: 生体電気現象その他の計測と解析(5)―自律神経指標の計測と解析―, 人間工学, Vol.52 No.1, pp.6-12, 2016