

電子式ハンドル形電動車いすの安全走行制御に関する研究

—レーザレンジファインダを用いた溝・段差回避—

Research on safe running control of steer-by-wire type electric wheelchair

—A fall / fall down avoidance system for electric wheelchair using laser range finders—

○ 渋谷一輝 (職業大) 垣本映 (職業大) 鈴木重信 (職業大) 斎藤哲也 (職業大)

松野史幸 ((株) コーヤシステムデザイン) 関口行雄 (精密測定技術振興財団)

Kazuki SHIBUE, Akira KAKIMOTO, Shigenobu SUZUKI, Tetsuya SAITOU, Polytechnic University
Fumiyuki MATUNO, Koya System Design Inc.

Yukio SEKIGUCHI, The Precise Measurement Technique Promoting Foundation

Abstract: Users of mobility scooters (handle-type electric wheelchair) are increasing due to the growing number of the elderly people, 75 and over, in the super-aged society. When we consider the cognitive characteristics and exercise capacity of the elderly people, active safety is essential as a safety measure to prevent an accident. In this study, through the investigation of an environment for electric wheelchairs we identify that the tendency turning downhill on cross slope and popping out on roadways, and fall or fall down by gutters and curbs between sidewalks and roadways are the risk factors. To overcome these risks, we designed and tested a safety drive support system to repress the tendency turning downhill on cross slope using a vibration gyro sensor, and to avoid curbs and gutters by using laser range finders. Both of sensor and laser range finders are equipped on our steer-by-wire type electric wheelchair.

Key Words: Electric Wheelchair, Elderly, Welfare Engineering

1. はじめに

超高齢社会、とりわけ後期高齢者の増加に伴い、移動手段にハンドル形電動車いすを利用することが多くなってきている。一般的な高齢者用ハンドル形電動車いすでは、回転半径が大きく、屋内や公共交通機関等での使用が困難である。

そこで、藤井らは¹⁾屋内、屋外で使用できる旋回性と操作性を持ち合わせた電子式ハンドル形電動車いすを開発した。この車いすには、事故が発生した場合の対策として、衝突時緊急停止バンパー、転倒検知センサ、転倒時のメール送信機能が搭載されているが、高齢者の認知特性や運動能力を考えると、事故を未然に防ぐ安全対策（予防安全）が不可欠であると考えられる。しかし、電動車いすの利用環境は様々であり、事故の形態も様々となるので、環境条件に応じて対策されなければならない。また、搭乗者が危険要素に気付かない場合でも、電動車いすが検知し未然に事故を回避することが重要である。

本研究では、電動車いすの利用環境を調査した結果、駐車場出入口の片流れ斜面における車道への飛び出し、歩道と車道の境界の段差や溝における転落・転倒、人通りの多い歩道における歩行者との接触や衝突などの危険要素を特定した。そして、事故を未然に防ぎ、より安全な走行を実現するための安全対策ユニットとして、ジャイロセンサによる片流れ抑制システム、レーザレンジファインダにおける溝・段差検知・回避システムを検討したので報告する。

2. 片流れ抑制システム

本研究では、片流れ抑制する手法として、ハンドルから入力された目標角速度とジャイロセンサで取得した実際のヨー角速度との差を0にするため式(1)のようにPI制御をする。プログラムによってハンドル操作角 $\phi(t)$ を操作量として求め、片流れを抑制する。 $e(t)$ はヨー角速度の偏差、

K_p , K_i は比例動作と積分動作のゲインである。

なお、本研究で使用するジャイロセンサはシリコン振動構造ジャイロセンサ CRS03-02S (シリコンセンシングシステムズジャパン製)である。なお、本システムで制御周期は20msである。

$$\phi(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (1)$$

3. 片流れ抑制実験

試作した片流れ抑制システムが有効であるか確認するために、屋内に模擬横断傾斜路を作成して走行実験を行った。実験条件は傾斜角度を 3° , 5° , 搭乗者の質量を60kg, 80kg, 走行速度を1.3km/h, 3.0km/h, 4.5km/hとし、それぞれの場合で車いすのハンドルを正面の 90° の位置で固定したまま左側が谷側になるように走行した。試作機の質量は104kgである。同様の実験を制御ありとなしの場合についても行った。実験条件の中で最も片流れの影響を受けやすい傾斜角度 5° , 搭乗者の重量85kg, 走行速度1.3km/hの場合のハンドル角度とヨー角速度をFig. 1, Fig. 2に示す。グラフで、ヨー角速度は中心を0として反時計方向が正である。また、ハンドル角は 0° から 180° を操作範囲として、中心(直進)が 90° , 反時計方向が正である。なお、制御ありの場合のゲインは事前に実験により求めた $K_p=8.0$, $K_i=4.0$ を用いる。

この結果、制御なしの場合、ハンドルから入力された目標角速度は $0^\circ/s$ であるが、片方に偏ったヨー角速度が発生している。このように目標角速度とジャイロセンサで取得した実際のヨー角速度との差が生じる。これは片流れが発生していることを示す。一方、制御ありの場合は制御なしの場合と比べ、片流れしていないことが角速度の発生がないことからわかる。また、操作感からも片流れを軽減できることが確認できた。

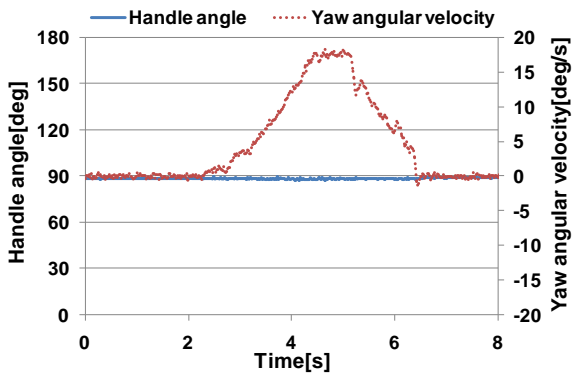


Fig. 1 No repression control of tendency turning downhill on cross slope

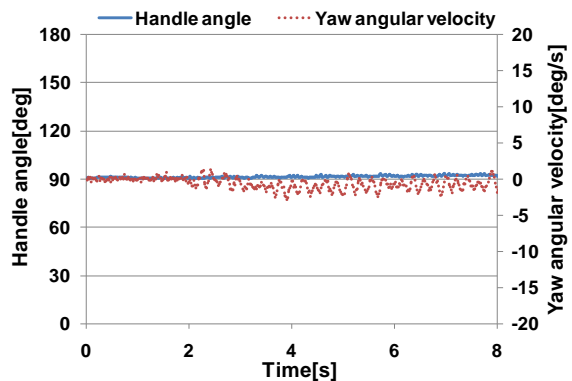


Fig. 2 Repression control of tendency turning downhill on cross slope

4. レーザレンジファインダによる溝・段差回避システム

本研究では転落・転倒回避を実現するために、比較的正確かつ安定した距離計測が可能なレーザレンジファインダ, Simple-URG (北陽電機製) を用いて、走行路面に対する距離計測を行う。このセンサの検出距離は 20 から 5600mm で検出角度は前方 240° である。レーザレンジファインダを電動車いすの前方にセンサの底面が水平になるように高さ 90cm の位置に左右 1 台ずつ設置し、それぞれミラーを前面と側面の 2 枚取付けることでレーザの照射方向を変えて前方向と横方向の路面を 2 面スキャンする。ミラー角度はどちらも水平面から下方に 20° 傾けてある。測距範囲は前方向、横方向ともにミラーを中心に約 30° で測定距離はセンサの検出部から検出路面までの距離が約 1m である。なお、搭乗者から見て右側のセンサを LRF1, 左側を LRF2 とする。

5. レーザレンジファインダによる段差回避実験

上り段差と下り段差を対象に段差検出実験を実施した。実験は屋内において高さ 5cm の上り段差, 屋外において高さ 25cm の下り段差を対象に実施した。電動車いすの最高速度設定を低速 (1.3km/h), 中速 (3.0km/h), 高速 (4.5km/h) のそれぞれに設定し、それぞれの段差に対して接近させ、センサが段差を検出した際、停止の制御をかける。なお、段差の判定はセンサが 100ms/scan でスキャンした距離データから取得した移動平均値が 70mm 以上変化したとき段差と判定する。なお、段差判定の閾値を 70mm としたのは 5cm の段差をスキャンした場合、距離データが約 77mm 変化することから今回は 70mm と設定した。接近させる角度は段差と平行な角度を 0° とし 20° から 90° まで 10° 刻みの角度で接近させる。そして各角度 10 回ずつ段差を検知してから停止した位置の前輪キャスタの接地面から段差の縁まで

の最短距離を測定する。実験の様子を Fig. 3, LRF1 に対して上り段差に接近させた場合の停止位置から段差の縁までの平均距離を Fig. 4, 下り段差の場合を Fig. 5 に示す。

実験の結果, 上り段差の場合, 高速走行時では最大 30°, 中速走行時では最大 60° の角度まで段差と接触する前に停止でき, それ以上の角度では接触した。そして, 低速走行時では全ての角度で接触する前に停止できた。また, 下り段差では高速走行時では最大 20°, 中速走行時では最大 40° の角度まで脱輪する前に停止でき, それ以上の角度では脱輪した。そして, 低速走行時では全ての角度で脱輪する前に停止できた。なお, LRF2 に対して行った場合も同様の結果を示した。この結果から屋内, 屋外において転落・転倒回避が行える可能性があると考えられる。

6. 今後の予定

路面状況の悪い環境でも安定した障害検出が可能か走行実験を行う予定である。また, 利用者の意思を尊重した回避動作が可能なシステムとすること, 電動車いすによる事故事例から使用環境に応じて必要な安全ユニットを選択可能とすることなどについても検討していく。



Fig. 3 Approach test (curb, gutter)

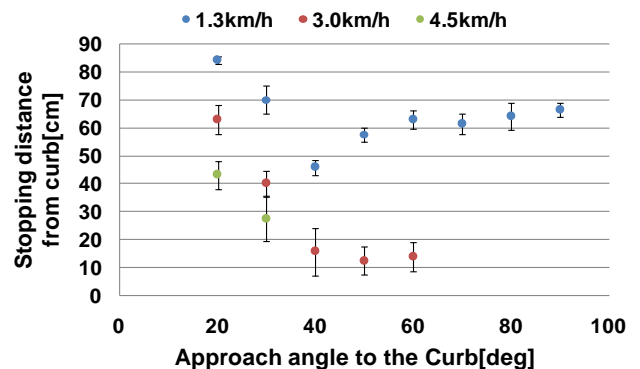


Fig. 4 Curb [Height 5cm]

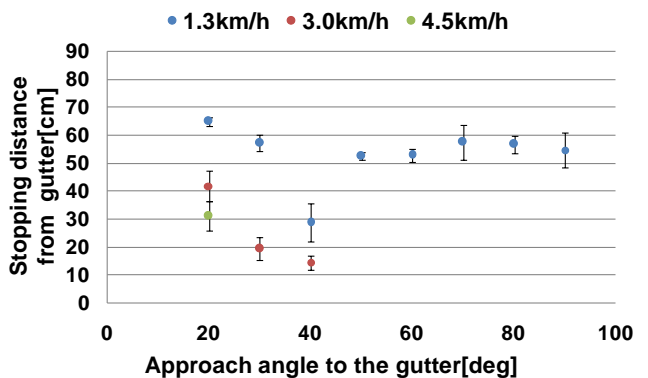


Fig. 5 Gutter [Height 25cm]

参考文献

- (1) 藤井雄介, 電子式ハンドル形電動車いすの開発, 精密工学会大会学術講演会講演論文集, 2008.