

1. 背景

近年の高齢化を背景にハンドル形電動車いすが移動手段としての重要性を高めている。需要が増加する一方で、単独事故が増加しており大きな問題となっている。その中でも特に転落事故は、その発生数が最も多く、また死亡や重傷に繋がる事故も報告されており、その対策が求められている。過去に橋本ら¹⁾によって転落事故防止対策の研究は行われているが、日常空間において有効であるかについては十分な検証が行われていない。そのため、既往の対策が様々な走行環境を含む日常空間においても転落事故を防止し、安全であるかは分かっていない。そこで本研究では、既往の転落事故防止対策の日常空間での安全性を検証すること、そして転落事故を防止できない場合は日常空間への適応策を考案することを研究目的とした。

2. 本研究で使用する転落防止システムについて

本研究の転落防止システムはレーザスキャナを用いる。レーザスキャナを使った機械の制御では通常、指定した領域（エリア）内に物体が検知される場合に設置した機械を停止させるが、本研究で使用するレーザスキャナはエリア外に物体を検知した場合にハンドル形電動車いすを停止させる。このレーザスキャナを用いてエリアを設定することで、指定した段差高さ以上の段差を検知した際にハンドル形電動車いすを停止することができる（図1参照）。

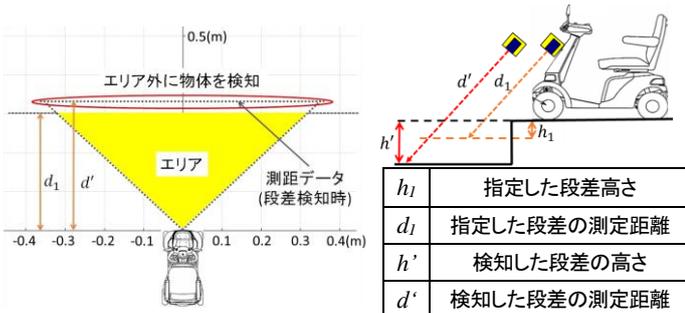


図1 段差検知概要図（左：エリア図 右：側面図）

転落事故は一度でも発生すると重篤な人的な被害が出る事が予測されることから、本研究では段差を検知した際に自動的に停止させることにする。停止後は、ハンドル形電動車いすに取り付けられた段差検知解除スイッチによって段差検知を一時的に停止し段差から離れ、走行を再開する。

3. 誤作動インベントリーの作成による誤作動の分類

まず、バリアフリー経路に対応したエリア設定で日常空間の様々な走行環境下で走行実験を行なった。その結果、53件の誤作動が発生した。その中で、転落事故が起こりうる状況で発生した誤作動は10件であった。発生した誤作動を、発生原因で6ケースに分類した（図2参照）。次に、転落事故が起こりうる状況を走行環境によって分類し、転落ケースとして定義した。（図3参照）。その結果、転落ケースは、転落ケース・側溝、転落ケース・斜面、転落ケース・農地の三つに分類された。そのうち転落ケース・斜面、転落ケース・農地は、橋本らが設定したエリア設定では、転落事故を防止できないことがわかった。よって、転落ケースに対応できるエリア設定が必要である。

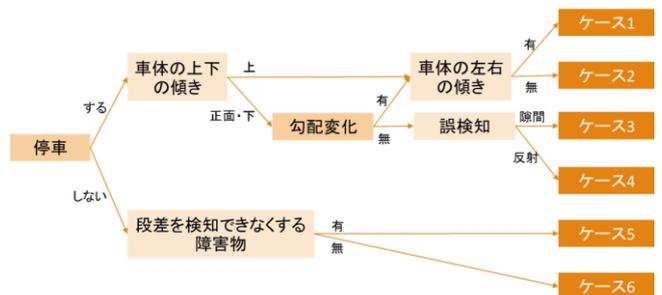


図2 誤作動ケース分類図

走行環境	転落ケース
走行している道路面と接する面との境界が側溝のように垂直	側溝
走行している道路面と接する面が土手など一定の角度の斜面	斜面
走行している道路面が畦畔であり、道路と接する面の境界が円曲線	農地

図3 転落ケース分類図

4. 転落ケースに対応したエリア設定の考案

まず、3章で分類した転落ケースに対応するために、転落ケース・側溝に対応する設定（側溝設定）、転落ケース・側溝,斜面に対応する設定（斜面設定）、転落ケース・側溝,農地に対応する設定（農地設定）、転落ケース・側溝,斜面,農地に対応する設定（斜面+農地設定）の4つのエリア設定を考案した。なお、3章において転落ケース・側溝は橋本らの設定したエリア設定で転落事故を防止できたので、側溝設定は橋本らの設定に準じる。次に、考案したエリア設定に本研究で使用するハンドル形電動車いすの諸元を導入し走行実験を行い、転落事故を防止できるかを確認した。その結果、4つの設定を用いることで、3章で発生した全ての転落ケースに対応できることが確認できた（図4.5参照）。一方、複数の転落ケースに対応できるより安全なエリア設定では、頻繁に安全な場所でハンドル形電動車いすが停止した。よって、誤作動を少なくハンドル形電動車いすを利用するためには、必要に応じたエリア設定の選択方法が必要である。

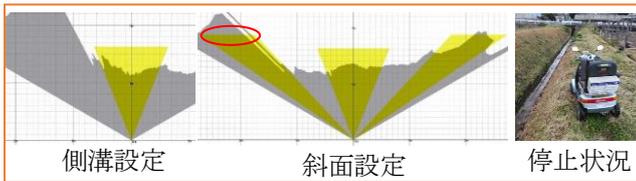


図4 斜面設定による転落ケース・斜面への対応

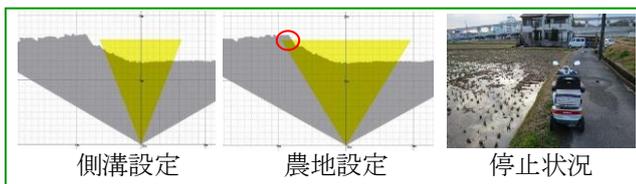


図5 農地設定による転落ケース・農地への対応

5. エリア設定の選択方法の考案

適切なエリア設定を選択するための方法として、100mメッシュごとに推奨するエリア設定を示すマップを作成し、利用者ごとの利用範囲に応じてエリア設定を選択するという方法を考案した。推奨するエリア設定の予測には多項ロジットモデルを用いた。説明変数を、GISを用いて算出した転落ケースが発生すると考えられる道路長、目的変数を、現場で判断した結果望ましいと考えられるエリア設定（137サンプル）として多項ロジットモデルの推定を行った。ただし、サンプルに目的変数が「斜面+農地設定」となったメッ

シュが一つだったので分析から外した。その結果、McFaddenの決定係数が0.911、判別率的中率が95.6%となり、精度の良い多項ロジットモデル（式1,2）を作成することができた。

$$\log \frac{p_{\text{斜面設定}}}{p_{\text{側溝設定}}} = -4.819 - 0.333x_1 + 0.177x_2 \dots (1)$$

$$\log \frac{p_{\text{農地設定}}}{p_{\text{側溝設定}}} = -4.539 + 0.183x_1 - 0.012x_2 \dots (2)$$

x_1 : あるメッシュに含まれる転落ケース・斜面が発生すると考えられる道路長
 x_2 : あるメッシュに含まれる転落ケース・農地が発生すると考えられる道路長

また、この予測モデルを用いて大阪府域における推奨するエリア設定を示すマップを作成した（図6参照）。ただし、農地+斜面設定は作成した多項ロジットモデルでは予測することができないので、推奨するエリア設定が斜面+農地設定となった100mメッシュのサンプルを基に、算出農地長が799.987m以上のメッシュを、斜面+農地設定とした。このマップを用いて、利用者が利用する範囲に合わせて適切なエリア設定を選択することができる。

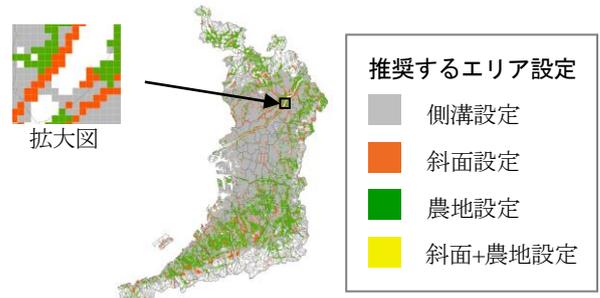


図6 推奨するエリア設定を示すマップ（大阪府）

6. 結論

本研究では複数のエリア設定と適切なエリア設定の選択方法の考案により、ハンドル形電動車いすの日常空間に適応した転落事故対策を実現した。

今後の課題としては、歩道のバリアフリー化が進むなど走行環境が変化すれば、再度エリア設定を見直す必要がある。また、推奨するエリア設定の予測モデルは、山間部、郊外部、都心部などで条件を分けて推定することでより正確な予測が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 土肥正男、栗山龍起、猪井博登、橋本真彌：屋外搭乗型生活支援ロボットにおける安全エンジニアリング技術の開発とその適用事例、ロボティクス・メカトロニクス講演会2013講演概要集、2013.