

ハンドル形電動車いすの自動減速による 搭乗者への効果に関する研究

橋本 真彌¹・猪井 博登²・栗山 龍起³・岡田 和也⁴

¹学生非会員 大阪大学 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:hashimoto.shinya@civil.eng.osaka-u.ac.jp

²正会員 大阪大学助教 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail:inoi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

³非会員 IDEC株式会社 規格安全ソリューションセンター (〒532-8550 大阪市淀川区西宮原1-7-31)
E-mail:kuriyat@idec.co.jp

⁴非会員 IDEC株式会社 規格安全ソリューションセンター (〒532-8550 大阪市淀川区西宮原1-7-31)
E-mail:kokada@idec.co.jp

近年、ハンドル形電動車いす利用者による単独事故が増えてきている。この現状を改善するためには現在おこなわれている車体側・走行環境側の視点からの対策だけでは不十分で、搭乗者の視点に立った対策も必要だと考える。そこで本研究では新たな対策としてハンドル形電動車いすを自動減速をさせることによる搭乗者の運転を支援する方法を提案する。ハンドル形電動車いす初心者を対象に行った実験の結果、実験コースにおいて自動減速をおこなうことで搭乗者の操作性を向上させることができることがわかった。また、特にハンドル形電動車いすの運転を難しいと思う人ほど効果があることがわかった。

Key Words : handle type wheelchair, safety assessment, accident countermeasures

1. 背景

(1) ハンドル形電動車いすの普及と問題点

近年、高齢者や身体障害者のように身体的ハンディを理由に移動を自由に行えない人が多く存在する。平成23年度現在、65歳以上の高齢人口は過去最大で総人口の23.1%を占めており、40年後には高齢化率が40%に達すると見通されている¹⁾。高齢化が進むわが国では、身体的な理由により移動に困難を抱える人たちが今後ますます増えていくと予想される。そのため、このように移動に困難を抱える人たちのための移動手段が必要となる。

近年では移動手段の一つとしてハンドル形電動車いすを利用されている。ハンドル形電動車いすは、操作が簡単で気軽に移動できるといったことや、一定の条件を満たせばレンタル費用が介護保険で補助されるといったことなどから需要が伸び、使用者の数は年々増加している²⁾。しかしながら利用が増える一方で、ハンドル形電動車いすの利用に関して問題も出てきている。

近年、ハンドル形電動車いすの利用が増えるにしたがって、関連する事故も増えてきている。製品評価技術基盤機構³⁾によると、平成17年から21年の5年間に67

件の単独事故が起こっている。このうち、死亡事故が20件、重傷事故が16件で死亡・重傷事故が全体の半数を占めている。また、原因がわかっている死亡・重傷事故のうち約75%が使用者の誤使用または不注意が原因でおこった事故であることがわかっている。

また、近年では利用者の要望により公共交通機関や公共施設内でハンドル形電動車いすを利用できるようになる⁴⁾など、室内で使用する機会が増えてきている。しかしながら、室内は物理的制約がある所が多いうえ、現在の建物や公共交通機関の整備基準にハンドル形電動車いすは想定されていないため、ハンドル形電動車いすで走行するには狭い場所もあるなど移動に支障が出ることが想定される⁵⁾。

ハンドル形電動車いす利用者が安全かつ自由に移動するためには、ハンドル形電動車いすに対応した整備が求められる一方で、事故に対する対策や狭い空間でも走行できるような対策が早急に求められる。

(2) 現在の対策と問題点

現在行われている事故対策としては、2009年におこなわれた、JIS T 9208の制定があげられる。このJISの

制定により、ハンドル形電動車いす独自の基準が制定され、安定性能の増加、リスクマネジメントによる設計の追加などが規定された。この結果、転倒しにくくなる、故障しにくくなるなど、製品に起因する事故は減っていくと予測される。しかしながら一方で、今回の JIS の改正は車体に関する基準がメインで、搭乗者の操作ミスや判断ミスによる事故を防ぐことは期待できない。現在ある操作ミスを防ぐ対策としては握り込み緊急停止機能⁶⁾ などがあるものの、現在ある機能があっても事故が起こっていることを考えると、現状の対策だけではまだ不十分である。また、室内の移動に対する対策は、従来のハンドル形電動車いすより回転性能が向上した室内向けの改良型ハンドル形電動車いすが販売されている。しかしながら小回り性と旋回安定性はトレードオフの関係にあり、回転性能が良くなると安定性が悪くなってしまい、転倒などの事故につながる可能性もある。安定を維持しつつ狭い空間でも走行しやすくするには、現行でおこなわれている対策では不十分であり、新たな対策が求められる。現行の対策では機械側、走行環境側からの対策はおこなわれているが、搭乗者側からの対策が行われていないのが現状である。よって新たな対策が必要である⁽⁴⁾。

(2)

(3) 研究目的

(3)

本研究では新たな対策として、ハンドル形電動車いすを自動減速させることにより操作性を向上させることによる対策を考える。自動減速をおこなう方法は、LRF（レーザーレンジファインダ）を用いることにより⁽⁵⁾実現させる。具体的な仕組みは次項にて説明する。自動減速をおこなうことのメリットとしては、機械による検知のため、搭乗者の運転能力に関わらず自動減速を行うことで事故の被害を減らすもしくは誘発を防ぐことが出来ると考えられる。また、人がおこなう動作のうち、障害物等を見つける認知の一部と、速度調整など速度に関する判断と操作の一部を機械が補助することにより、搭乗者の負担が軽くなってハンドル操作がおこないやすくなり、操作性が向上すると考えられる。一方、デメリット⁽⁶⁾としては、機械による勝手な減速は搭乗者の走行の自由⁽⁶⁾奪うことにつながる可能性があるなど、利便性を損なう可能性がある。自動減速をおこなうことによる効果は実際にはまだ不明であるため検証する必要がある。また、自動減速によって操作性の向上が見込まれる場合、日常生活でハンドル形電動車いすを使用する際に自動減速をおこなうことが効果的な状況を調べることも大切である。そこで本研究の目的は以下の二点とする。

- ① ハンドル形電動車いすを自動減速することによる操作性・利便性の変化を検証する
- ② 自動減速をおこなうことが効果的な状況を検証する
評価指標としては、操作性の変化を検証する指標とし

て客観指標として衝突回数⁽⁷⁾の計測、主観指標としてヒアリングとアンケートを、利便性の変化を検証するために客観指標として走行時間の計測、主観指標としてヒアリング、アンケートを行う。また、効果的な状況は、アンケート、ヒアリング結果をもとに検証する。

なお、自動減速の効果を検証する上で、LRF による検知範囲の設定は結果に大きく影響する。自動減速の効果を最大限計るために、今回は実験コースに合った検知範囲を事前に検証し、設定する。最後の考察では今回得られた知見より望ましい検知範囲についても検証する。

また、今後初めてハンドル形電動車いすに乗る人にも効果があるか調べるため、ハンドル形電動車いす初心者を対象に実験をおこなう。

以上を検討することによりハンドル形電動車いすを自動減速させることで利便性を損なわずに操作性を向上させることが出来るか検証し、特に効果的な状況を検証することで、事故防止や狭い空間での走行改善に役に立つかを考えていく。

2. 実験で使うハンドル形電動車いすについて

(1) LRFについて

本研究ではハンドル形電動車いすの自動減速を実現するためにLRFを用いる。今回使用したLRF（SE1L-H02LP試作機、IDEC社）の外観と使用を表1、図1、図2に示す。

表1 LRFの仕様

項目	仕様内容
型式	SE1L-H02LP試作機
防護エリア	最大3.5m
警告エリア	最大10m
検出角度	190°
スキャン周期	30ms
応答時間	off 60ms~510ms on 210ms~510ms
外形寸法	90mm(L),90mm(W),95mm(H)
重量	1.0kg以下
光源波長	905nm



図1 LRFの外観



図2 LRF付きハンドル形電動車いすの外観

LRFはハンドル形電動車いすの中心線上、設置高さは床面からの高さ540mmとする。なお、設置高さはレーザー一発射位置までの高さとする。

LRFでは、レーザーを発射してから測定対象にあたり、反射したレーザーが再び戻ってくるまでの時間から対象までの距離を求める。

これにより、設定したエリア内に障害物が入ったことを検知することができる。検知範囲は図3に示すように危険に応じて3つまで設定することができる。今回はエリアを一つだけ利用する。

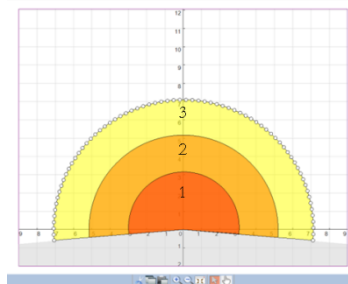


図3 エリアの設定例

(2) 自動減速について

ハンドル形電動車いすの前方に LRF をつけることにより、前方の障害物を検知させる。また、ハンドルの向きと LRF の向きを連動させることで、常に進行方向を検知できるようにする。これにより、走行中に設定したエリア内に入ってくる障害物を検知することができる。エリア範囲に入ってきた障害物を LRF が検知すると、ハンドル形電動車いすが自動で減速する仕組みとなっている。エリア内に障害物がない状態では、通常のハンドル形電動車いすと同様に最高速度は 6km/h であるが、エリア内に障害物がある状態では最高速度でも 2km/h までしか出ないようになる。つまり障害物を検知後、速度は通常の三分の一になる。なお今回使用したハンドル形電動車いすでは、減速率については不明であるが、6km/h の走行時に障害物検知後、減速が完了するまでに約 1m かかる。

(3) 検知エリアの設定について

LRF を用いた自動減速方法はまだ開発途中であり、検知エリアなどが確立されていない。実験をおこなう前に LRF のエリア設定について考える必要がある。今回は事前実験を行うことによってどのようなエリア設定を行

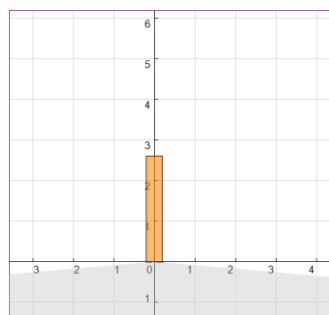


図4 実際の設定エリア

えばよいか検討した。事前実験の結果、検知範囲に求められていることは、ハンドル操作を行う前に減速度となるような検知距離設定をおこなう、進行方向のみ検知するようなエリア設定にすることがわかった。

また、実験の際の注意事項として、自動減速に関する情報を明確に伝えるようにする。具体的には減速開始距離と減速完了距離や検知エリアに関する情報を伝え、実際に経験してもらう。以上のように設定した上で、実験をおこなう。

3. 実験

(1) 実験概要

実験日：

12月9日（午後） 12月13日（午前・午後）
12月16日（午後）

実験時間：

午前 9：30～12：00
午後 15：00～17：30

実験場所：

大阪大学フォトニクスセンター IDEC 株式会社
実験室内（室内）

被験者数：

8名（男性4名、女性4名）

被験者は 65 歳以上のハンドル形電動車いす初心者である。

実験コースとしては、ハンドル操作をおこなう状況を想定したコースを2種類設定し、コースの難易度は先行研究などを参考にして、ある程度の運転技術が求められる難易度に設定する。これにより、日常生活でハンドル形電動車いすを利用する際に、操作性の向上が求められる状況を再現する。評価指標としては操作性・利便性に関係すると考えられる指標として、走行時間・衝突回数などの計測による客観指標とアンケート・ヒアリングによる主観指標をとる。自動減速の有無により各評価指標がどのように変化するかを調査・分析することで目的を達成する。以下では自動減速させる場合を「自動減速」、自動減速が無い場合を「現状」と呼ぶ。以下に2種類の実験コースについて概要図を示す。

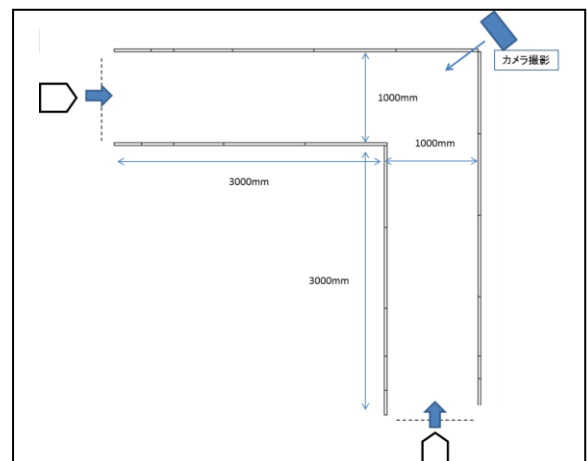


図5 直角路コース概要図

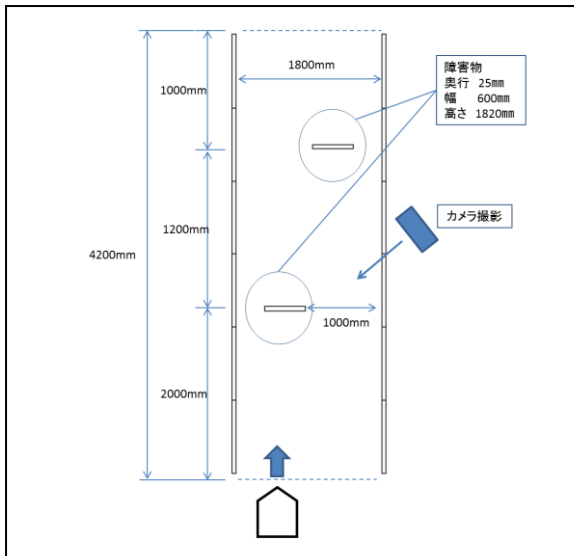


図6 障害物コース概要図

(2) 実験手順

実験前に被験者にはハンドル形電動車いすの運転に習熟させるため事前走行を課した。ハンドル形電動車いすの操作方を説明した後、10～20分走行練習をおこなう。

実験手順を以下に示す。

1. 被験者はスタート地点で待機し、走行条件の確認をおこなう。
2. 走行コース、走行条件(自動減速の有無)は実験ごとに変える(付録・走行表)。
3. スタートの合図とともに被験者はハンドル形電動車いすを発進させ、ゴール地点まで走行させる。
4. 走行中、作業員の一人が被験者の後ろからついていき被験者の走行時間とコースとの接触回数を記録する。また、別の作業員は上から走行の様子をビデオ撮影する。
5. 被験者は走行終了後、系列カテゴリーによるアンケートを行う

以降1-5を「現状」「自動減速」の場合それぞれで走行してもらう。1セット終了後、一対比較によるアンケートを行う。3セット繰り返す。3セット終了後、自由回答によるヒアリングを行う。もう一方のコースでも同様におこなう。なお、1回の実験で被験者2人の実験をおこなう。

(3) 検証方法

自動減速による効果を検証するために、各種指標の計測をおこない、自動減速の有無で比較することにより効果を検証する。衝突回数の増減は操作性に関係し、走行時間の増減は利便性に影響すると考えられるため客観指標として衝突回数・走行時間を採用する。また、走行終了後にアンケート・ヒアリングをおこなうことにより搭乗者の主観による検証をおこなう。自動減速を行うこと

は搭乗者の判断・操作に影響を与えられらる。そこでアンケート項目にそれらの項目を作り検証をおこなう。

4. 実験結果

(1) 走行時間の計測結果

各コースにおける「現状」と「自動減速」での走行時間の平均と、検定結果を表2に示す。

表2 コース別平均走行時間と検定結果

コース	平均走行時間(s)		有意確率 (中央値の検定)	有意差 (5%水準)
	現状	自動減速		
直角路 (左折)	13.43	12.38	0.026	あり
直角路 (右折)	16.67	14.43	0.161	なし
障害物	14.36	14.67	0.449	なし

※ 検定にはウィルコクソンの順位和検定を利用

実験の結果、自動減速を行うことによる走行時間の増加はみられなかった。よって、今回の実験において走行時間からの利便性を低下は確認できない。これより、今回のコースでは自動減速を行うことにより搭乗者が不便を被る可能性は少ないといえる。

(2) 衝突回数の計測結果

各コースにおける「現状」と「自動減速」での衝突回数の平均と、検定結果を表3に示す。

表3 コース別平均衝突回数と検定結果

コース	平均衝突回数(回)		有意確率 (中央値の検定)	有意差 (5%水準)
	現状	自動減速		
直角路 (左折)	0.13	0.08	0.655	なし
直角路 (右折)	0.13	0.13	1.00	なし
障害物	0.38	0.08	0.068	なし

※ 検定にはウィルコクソンの順位和検定を利用

実験の結果、自動減速を行うことによる衝突回数の減少は全体としては見られなかったが、障害物コースで減少傾向がみられる。減少傾向がみられる状況について次章でもう少し詳しく分析する。検定結果で有意差がみられなかった理由としては、元の「現状」での衝突回数が少なく、サンプル数も少なかったため差が出にくかったものと考えられる。

(3) アンケート結果

アンケートは各走行終了時と、「現状」「自動減速」両走行終了後の2種類おこなった。前者は走行時の各種難易度に関するアンケート、後者は自動減速の有無での比較によるアンケートをおこなった。

走行時の各種難易度に関するアンケートでは、以下の項目に関する質問を7段階評価でおこなった。

- 走行したコースの難易度はどうだったか
- 曲がる際ハンドルを切るタイミングは判断しやすかったか
- ハンドル操作はおこないやすかったか
- イメージ通りに走行できたか

表4にアンケート結果を示す。なお、点数が高いほど簡単・おこないやすいなどの肯定的な評価、点数が低いほど難しい・おこないにくいなど否定的な評価となる。

実験結果より、一つ以外全ての項目において自動減速を行うことによって評価が高くなっていることがわかる。これより、自動減速を行うことによって搭乗者自身は操作がおこないやすくなったと感じていることがわかる。

続いて自動減速の有無による比較でのアンケートでは、「現状」「自動減速」両走行終了後に各項目について自動減速の有無でどちらがよかったかアンケートをおこなった。アンケート結果と各項目について図7に示す。この結果より搭乗者は全ての項目において自動減速があった方が評価が高いことがわかる。

表4 各種難易度におけるアンケート結果

コース	項目	現状	自動減速	有意確率
直角路 コース (左折)	コースの 難易度	1.25	1.75	0.003**
	曲がる タイミングの判断	1.08	2.13	0.000**
	ハンドル操作	1.00	1.46	0.040*
	イメージ通りに 走行できたか	1.21	2.00	0.003**
直角路 コース (右折)	コースの 難易度	1.08	1.74	0.002**
	曲がる タイミングの判断	1.21	1.93	0.001**
	ハンドル操作	1.04	1.48	0.007**
	イメージ通りに 走行できたか	1.30	1.51	0.185
障害物 コース	コースの 難易度	0.67	1.42	0.016*
	曲がる タイミングの判断	0.71	1.92	0.002**
	ハンドル操作	0.42	1.38	0.001**
	イメージ通りに 走行できたか	0.79	1.67	0.002**

**1%有意 *5%有意

※ 検定にはウィルコクソンの順位和検定を利用

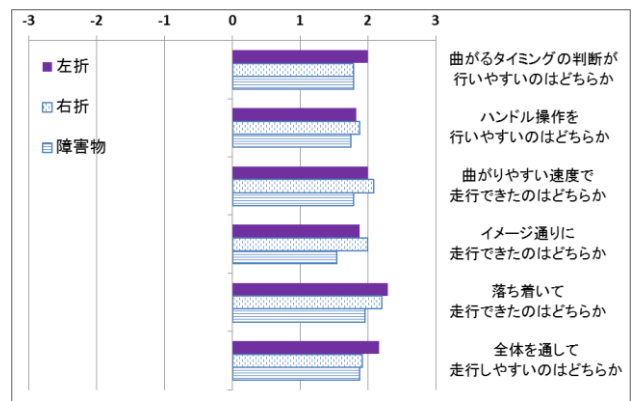


図7 自動減速の有無での比較によるアンケート
(+ : 自動減速の方がよい - : 現状の方が良い)

両アンケートの結果より、自動減速を行うことによって、曲がるタイミングが判断しやすくなる、落ち着いて走行できるようになる、ハンドル操作がしやすくなるということがわかる。搭乗者へのヒアリングからその理由を考える。落ち着いて走行できるようになった理由としては、認知遅れがあった際でも自動減速してくれることや障害物の近くでは速度が制限されるため衝突しても大きな被害になりにくくなることで安心感が生まれるため、曲がるタイミングが判断しやすくなったりハンドル操作がおこないやすくなった理由は、自動減速により速度調整がおこないやすくなったため曲がるタイミングの判断やハンドル操作に集中できるようになったため、と考えられる。

以上より、ハンドル形電動車いすを自動減速させることにより今回のコースでは利便性を低下させることなく操作性を向上させることができることがわかった。

5. 分析

(1) 効果的な状況の検証について

4章より自動減速を行うことで搭乗者がハンドル形電動車いすを操作しやすくなることがわかった。自動減速を行うことがより効果的な状況を調べるために、条件別で効果に違いがあるかを検証する。

(2) 各種条件別違いの検証

各種条件の違いにより自動減速の効果に違いがあるかを検証する。検証方法は、各走行後におこなったアンケートにおいて自動減速によって各種項目の向上が条件別によって違いがでるかをカイ二乗検定をおこなうことによって検証する。検定の結果、コースの違い・走行回数の違いによる自動減速の効果の違いはみられなかった。一方で「現状」時に感じた走行難易度別によって自動減速の効果に違いが表れた。「現状」走行時に感じた走行

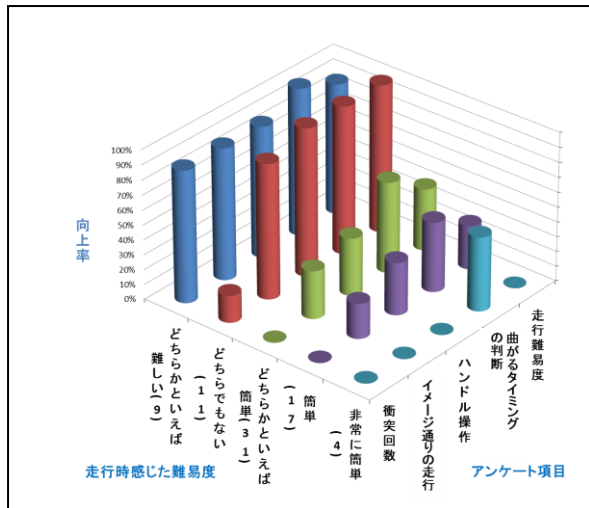


図8 「現状」走行時に感じた走行難易度別向上項目

難易度別にまとめたものを図8に示す。これをみると「現状」走行時に走行難易度を高いと感じた群ほど自動減速を行うことによって操作性全般において向上する率が高いことがわかる。

(3) 分析のまとめ

自動減速の効果は走行時に感じた難易度により、効果に違いが出てくるのがわかった。その理由としては、現状時に走行難易度を高く感じる人はハンドル操作や曲がるタイミングの判断の難易度も高く感じる傾向にあり、そのような人々には自動減速によって曲がるタイミングの判断やハンドル操作の向上効果が期待できる。また曲がるタイミングの判断やハンドル操作がおこないやすくなった結果、走行難易度が簡単になったり、イメージ通り走行しやすくなったたりしたと考えられる。そのため、現状時の走行難易度を高く感じる群では操作性全般が向上したと考えられる。また、走行難易度を高く感じる人は衝突回数も減少し、客観指標からの向上も見られる。

走行時に感じる難易度の差は、搭乗者によって違う。全員ハンドル形電動車いすの走行は初めてで練習時間も同じであることを考えると、この違いは被験者による習熟度の違いと考えることもできる。よって習熟度の低い人ほど効果があると考えることもできる。

6. まとめ

自動減速を行うことにより利便性を損なうことなく搭乗者の主観的に操作性を向上させることがわかった。今回客観指標から全体の向上は確認できなかったが、分析の結果走行難易度を高く群では客観指標からの向上も見られた。

具体的な効果としては、アンケートやヒアリングの結

果から直接的な効果としては速度調整がおこないやすくなる、落ち着いて走行できるようになる、またその結果、間接的な効果として曲がるタイミングの判断、ハンドル操作がおこないやすくなるのがわかった。

次にどのような状況で効果的であるかと検証した結果、自動減速をおこなうことの効果は搭乗者が走行した際に感じるコースの難易度によって差があることがわかり、走行したコースの難易度を高く感じる人たちに自動減速をおこなうと、操作性全般が向上するという結果となった。その理由として、走行難易度を高く感じている人は曲がるタイミングの判断やハンドル操作の難易度も高く感じていること、曲がるタイミングの判断やハンドル操作は難易度を高く感じている人ほど向上率が高いことがわかった。

最後に、今回は初心者のみを対象としたものであるため、経験者にも同様の効果があるのかを検証する必要がある。また、今回の結果は実験コースのみの結果であるため、日常空間でも同様の効果が得られるかも検証する必要がある。その際に今回同様LRFを用いて自動減速をおこなう時には、事前実験を参考に考えると、検知エリアはハンドル操作を行う前に減速度となるよう調整する、進行方向以外のは検知しないようにする、などの配慮が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府共生社会政策統括官 平成23年版 高齢社会白書
- 2) 電動車いす安全普及協会ホームページ 出荷台数の推移
- 3) 独立法人製品評価技術基盤機構:ハンドル型電動車いすの安全性調査結果についての報告書
- 4) 大田智之 及川裕介 石橋達勇:「公共施設におけるハンドル形電動車いす使用の受け入れへの対応と実態に関する調査研究」日本建築学会北海道支部研究報告集(78) 項 421-424 20050716
- 5) 交通バリアフリー技術規格調査研究報告書 平成15年3月 国土交通省
- 6) 林邦宏:「電動車いす、電動三輪車、四輪車の安全・快適技術」国際交通安全学会誌 27(2)、107-114、2002-10-31