

生活支援モビリティロボットの走行安定性試験方法

Test Methods and Condition of Traveling Stability of Life Care Mobility Robots

○小口 誠 神保浩之 小林 隆 藤川達夫 (JARI)

Makoto OGUCHI, Japan Automobile Research Institute
 Hiroyuki JIMBO, Japan Automobile Research Institute
 Takashi KOBAYASHI, Japan Automobile Research Institute
 Tatsuo FUJIKAWA, Japan Automobile Research Institute

Abstract: To introduce life care mobility designed by robot technologies, traveling stability should be confirmed. This paper proposes stability test methods. The methods were developed referring the stability test methods for electric wheel chairs, which include braking test, stability test during traveling on a laterally inclined surface, stability test during traveling up/down a step transition. This paper additionally discusses the road conditions where life care mobility robots may travel in order to obtain test conditions. We focused on lateral inclinations and step transitions of pedestrian pavements. Distributions of the inclinations and the step heights of actual pavements were measured and analyzed in three cities.

Key Words: Life Care Mobility, Stability Test, Test Method, Test Condition

1. はじめに

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が実施する「生活支援ロボット実用化プロジェクト」(以下、本プロジェクト)では、生活支援ロボットの安全性を検証する手法を開発し、現在策定が進められている ISO/DIS 13482⁽¹⁾の要求事項に対する検証試験方法として、国際標準提案を目指している⁽²⁾。

生活支援ロボットには人間装着型、移動作業型などとともに、ロボット技術を導入した生活支援モビリティ(以下、ロボット)も含まれる。本稿では、ロボットの安全性検証項目の一つである走行安定性について、試験方法案⁽³⁾の一部を紹介する。

また、走行安定性の試験条件は、ロボットの実走行環境に基づいて設定することを検討している。本稿ではその一例として、ロボットが歩道を走行する場合を想定し、横断勾配と段差高さの実態調査結果を報告する。

2. 走行安定性試験の概要

2-1 試験の目的

ロボットには「走る・曲がる・止まる」といった一連の走行動作の過程で、転倒などによって搭乗者や周囲の人に危害を及ぼすリスクがある。特に、自律で走行する場合には、搭乗者による危険箇所の認知および回避の可能性が低くなるため、一層の安定性が求められる。

走行安定性試験では、想定される走行環境条件と走行方法を模擬して、転倒や走路逸脱、搭乗者や積載物の落下といった危険事象が発生しないことを確認する。

2-2 参照規格

試験方法は、類似する機器の既存の試験方法を参考にして開発した。具体的には、ロボットと大きさや速度域が近いと考えられる電動車いすの試験法規格 (JIS T9203) をもとに、ロボットを評価するための変更を加えた。

試験方法の開発過程では、本プロジェクトに参加するロボットメーカーから提供されたロボットと、市販の類似機器(倒立二輪型モビリティロボット、電動車いす、セニアカー)をサンプルとして試験を行い、開発した試験方法で走

行安定性を評価できることを確認した。

2-3 試験設備

本プロジェクトでは、産業技術総合研究所の生活支援ロボット安全検証センター(茨城県つくば市)を利用し、試験装置を導入して研究開発を行っている。

図1、図2は走行安定性試験を行うための試験設備であり、平坦路と傾斜路を屋内に備える。床面はプラスチックタイル、フローリング、カーペット、セイフティウォーク(アスファルト舗装を模擬した路面)に変更することが可能であり、屋外走行を想定した試験ではセイフティウォークを用いる。



Fig1. Test equipments for stability test



Fig2. Test equipments of stability test on inclined surface

3. 試験方法

ISO/DIS 13482 の要求事項を踏まえると、走行安定性試験で検証すべき要件は以下のように考えられる。

- a) 最高速度が設計速度を超えないこと。
- b) 制動距離がリスクアセスメントで想定した許容距離を越えないこと。
- c) 想定される走路幅から逸脱しないこと。
- d) 転倒しないこと。
- e) 積載物や搭乗者が転落しないこと。

このうち、a), b)の要件については、平坦路または想定される最大角度の傾斜路で、最高速度および最高速度からの制動距離を計測して確認する。

また、c), d), e)の要件については、試験対象ロボットの使用時に想定される走行環境で以下のような試験を行って確認する。

- ・最高速度確認試験
- ・制動試験
- ・傾斜路登坂/降坂走行試験
- ・傾斜路横断走行試験
- ・旋回試験
- ・S字走行試験
- ・段差登り/降り走行試験
- ・溝踏破試験

これらの試験方法から、一部を以下に紹介する。

3-1 制動試験

制動時に転倒等のリスクが想定される場合は、図3に示す方法で試験を行う。モビリティロボットによる試験実施状況の例を図4に示す。

最高速度で速度測定区間を通過し、制動開始ランプの点灯と同時に最大制動を行う。このとき、制動距離が許容距離を越えないこと、および、ロボットの転倒、積載物や搭乗者の落下、許容走路幅からの逸脱がないことを確認する。

傾斜路での使用を想定するロボットについては、最大傾斜角度の下り勾配で試験を行う。

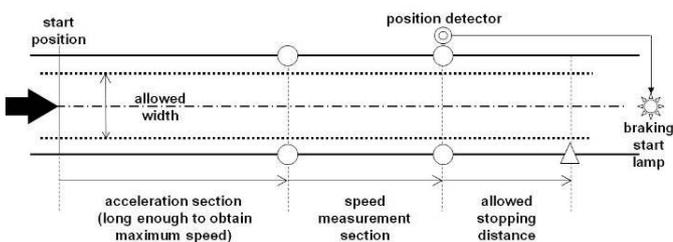


Fig3. Test method of braking test (upper view)



Fig4. An example of braking test situation

3-2 傾斜路横断走行試験

試験対象となるロボットの走行環境に傾斜路が含まれる場合には、傾斜路を横断走行するときに転倒等のリスクが考えられる。そこで、図5および図6に示すように、傾斜路面を横断する方向に発進、走行、停止し、その過程でロボットの転倒や許容走路幅からの逸脱、搭乗者や積載物の落下がないことを確認する。

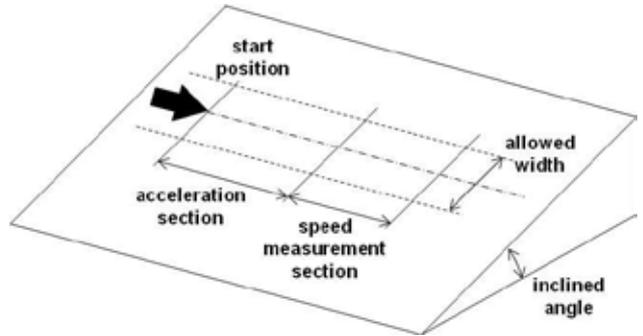


Fig5. Test method of stability test during traveling on a laterally inclined surface



Fig6. An example of stability test during traveling on a laterally inclined surface

3-3 段差登り/降り走行試験

試験対象のロボットの想定使用環境に段差がある場合には、段差を昇降するときに転倒等のリスクが考えられるため、検証試験が必要である。図7は、段差を降りるときの安定性を試験する方法を示す。図8は試験状況の例である。

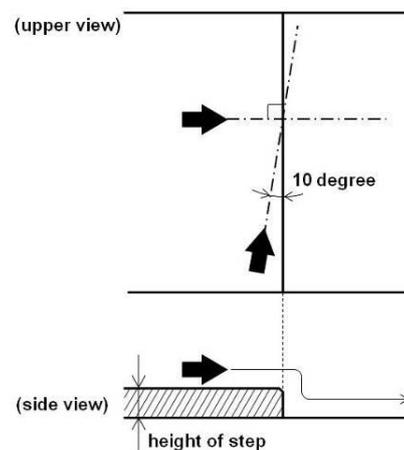


Fig7. Test method of stability test during traveling down a step transition



Fig8. An example of stability test during traveling down a step transition

図7のように、段差の上面から発進し、段差に対して直角方向に進んで片輪ずつ降りる場合、および10度の方向から進入して片輪ずつ降りる場合の試験を行う。このとき、ロボットの転倒や、搭乗者および積載物の落下がないことを確認する。

4. モビリティロボットの実走行環境調査

ロボットの走行安定性を試験で検証するにあたって、傾斜角度、段差高さ、溝幅などといった、走行環境に関する試験条件の設定方法を検討する必要がある。

個々のロボットの開発者がリスクアセスメントで想定した範囲内で、最も厳しい条件を用いるという考え方もあるが、今後、モビリティロボットが幅広いユーザに様々な用途や場所で利用されていくことを想定すると、ロボットが具備すべき走行安定性の環境条件として、何らかの共通基準があることが望ましい。

本研究では、ロボットが実際に走行する環境を調査し、その結果と、類似機器の試験法や道路および建築物の施工基準を比較検討しながら、試験条件を導出することを検討している。以降に、ロボット実走行環境を調査した事例を示す。

4-1 調査内容

(1) 対象とする走行場面

ロボットが走行すると考えられる様々な環境の中でも、傾斜や段差といった路面形状の変化が比較的大きく、転倒した際に人へのリスクが大きい場面として、車いす型や倒立二輪型のようなモビリティロボットが道路脇の歩道を走行する状況を選択した。

(2) 調査地域

調査地域は茨城県つくば市、土浦市および我孫子市の市街地であり、いずれも交通バリアフリー法が施行される以前に道路や歩道が整備された地域である。

調査地点は、ユーザがロボットを利用して移動する機会が多くなると考えられる、公共施設や店舗の周辺、および集落間の移動経路の中から、以下に述べる横断勾配および段差が発生するマウンドアップ方式の歩道を抽出した。

(3) 調査した路面形状

ロボットが歩道を走行する際に転倒の要因となりやすい路面形状として、以下の2点に着目した。

- a) 車両が車道から駐車場へ乗り入れるために設けられた歩道の切り下げ部を、ロボットが通過する際の横断勾配(調査点数127点、ただし切り下げ部の両端をそれ

ぞれ1点とする)

- b) ロボットが車道を横断するときを通過する、歩道と車道との間の段差の高さ(調査点数73点)

(4) 調査方法

歩道切り下げ部の横断勾配については、図9の模式図に示すように、歩道上にロボットが通過する軌道を仮定し、軌道上の切り下げ部の最大横断勾配を計測した。

また、段差高さについては、図10に示すように段差の上面と段差直下部の高さの差を計測した。

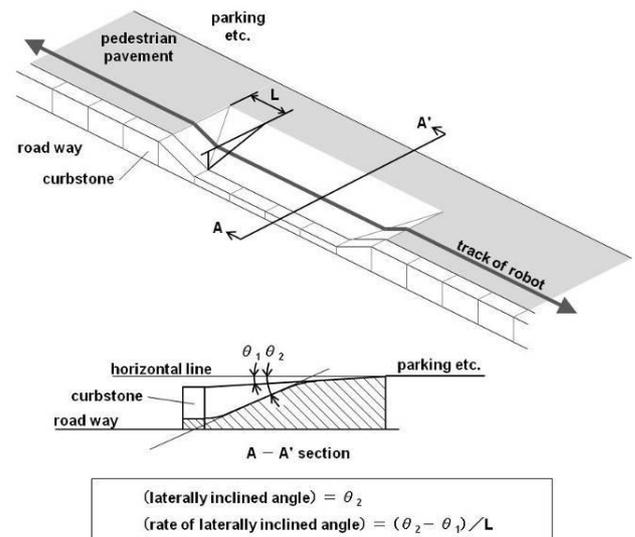


Fig9. Schematic diagram of measurement method of laterally inclined angle

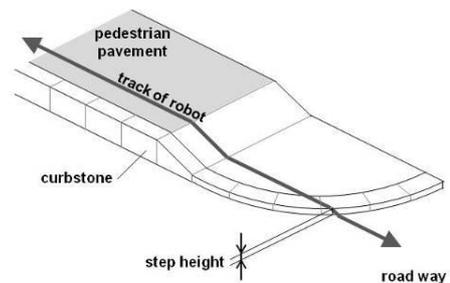


Fig10. Schematic diagram of measurement method of step height

4-2 調査結果

(1) 歩道切り下げ部の横断勾配

今回調査した地点の歩道切り下げ部の最大横断勾配の分布を図11に示す。ここで最大横断勾配とは、図9に示す θ_2 に相当する。

交通バリアフリー法では、切り下げ部の擦り付け角度を原則として15% (約8.5度) 以下と定めているが、今回の調査地点は同法施行以前に施工されているため、10度を上回る角度まで分布が見られる。

一方、本研究で走行安定性試験方法を開発する際に参考とした電動車いすの試験法では、試験項目によって異なる傾斜角度条件が定められており、最も角度が大きい条件で

は、10度の斜面で安定性を確認する。今回の調査結果では、10度以下の勾配が全体の約85%を占めている。

したがって、今回の調査結果からは、屋外型モビリティロボットの横断勾配上での安定性について、10度程度の角度を要件とすることが妥当と考えられる。

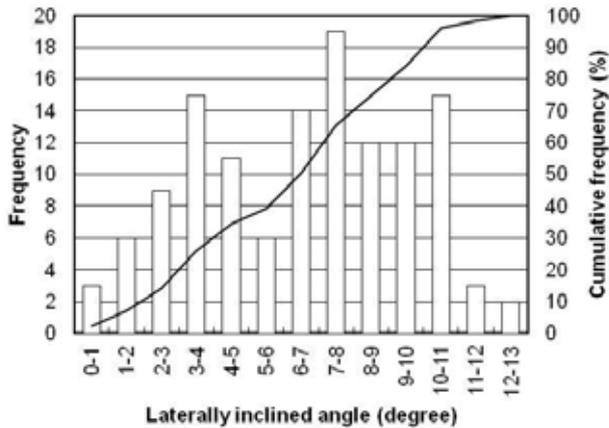


Fig11. Frequency distribution of laterally inclined angle

(2) 歩道切り下げ部の横断勾配変化率

今回調査した地点の横断勾配の変化率の分布を図12に示す。ここで横断勾配の変化率とは、ロボットの進行方向に向かって、単位距離あたりの横断勾配の変化角度を示し、図9の模式図では $(\theta_2 - \theta_1) / L$ に相当する。横断勾配の変化率が大きくなると、ロボットの走行中にロール方向の姿勢が急激に変化し、転倒リスクの増加が懸念される。

図から、横断勾配の変化率は16度/mまでの範囲に90%以上が分布している。また、変化率が小さいほど頻度が高いことがわかる。

現在までに検討してきたロボットの走行安定性試験方法では、3-2に示した横断勾配上の走行試験はあるが、横断勾配の変化に対する安定性を評価対象としていない。しかし、特に屋外走行型ロボットの場合には、走行安定性に影響を与える重要な項目となる可能性があるため、今後の検討課題である。

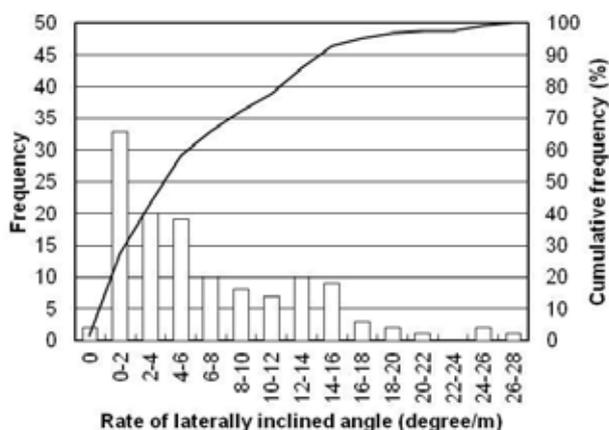


Fig12. Frequency distribution of rate of laterally inclined angle

(3) 歩道と車道の間の段差高さ

今回調査した地点における、歩道と車道の間の段差高さの分布を図13に示す。

交通バリアフリー法では段差高さを原則として50mm以下と定めているが、調査結果では50mm以下の段差が全体の約90%を占めており、屋外走行型ロボットの段差登り/降り走行時の安定性について、50mm程度の高さを要件とするのが妥当と考えられる。

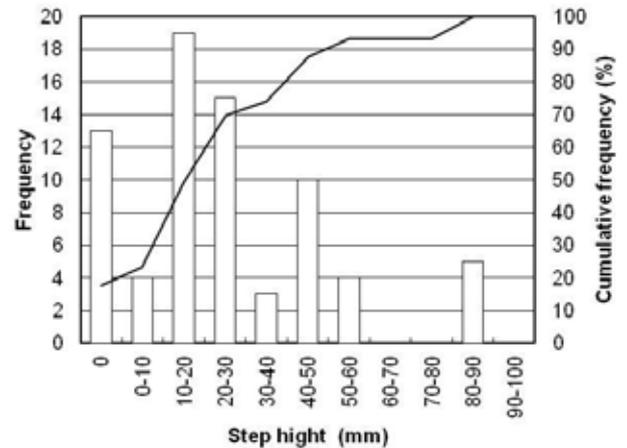


Fig13. Frequency distribution of step height

5. まとめ

生活支援モビリティロボットの走行安定性試験について、電動車いすの事例を参考とした試験方法を策定した。また、路面の傾斜角度や段差高さ等といった試験条件をロボットの使用環境の実態に基づいて定めるために、まずは屋外用搭乗型ロボットが走行する可能性のある歩道を調査し、横断勾配と段差高さについて実環境における分布データを得た。

今後は調査結果をさらに精査し、ロボットの走行安定性試験方法の国際標準提案に反映していく。また、横断勾配が急激に変化する際の走行安定性については、新たな評価項目として試験方法に加えることを検討していく。

なお、本研究開発は、NEDOの「生活支援ロボット実用化プロジェクト」の委託業務の一環として実施したものである。

参考文献

- (1) ISO/DIS 13482 : Robots and robotic devices -- Safety requirements for non-industrial robots -- Non-medical personal care robot
- (2) 藤川達夫ほか: “生活支援ロボットの安全性試験方法の開発”, 第29回日本ロボット学会学術講演会, 2B1-3
- (3) 小口誠ほか: “生活支援ロボットの走行安定性試験方法”, 第30回日本ロボット学会学術講演会, 3O2-8