

氏名	MUHAMMAD JUHAIRI AZIZ BIN SAFAR
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博甲第4957号
学位授与の日付	平成26年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第5条第1項該当)
学位論文の題目	Tip-over Stability Analysis and Enhancement for Omnidirectional Personal Mobility Robots with Active Dual-wheel Caster Assemblies (アクティブ双輪キャスター機構を用いた全方向移動パーソナルモビリティロボットのための転倒安定性の解析と向上)
論文審査委員	教授 渡辺 桂吾 教授 見浪 護 教授 鈴森 康一

### 学位論文内容の要旨

Chapter 1 overviews the necessity of the personal mobility robots and the challenges in their development in general. It also introduces the statement of contribution for this thesis.

Chapter 2 introduces the background study of the personal mobility robots. The previous and the existing works of various personal mobility robots were presented and discussed regarding their design, problems and also the concern of safety in term of tip-over stability. Several types of omnidirectional mechanism in mobile robotics including the specialized wheel and the standard wheel with rubber tire were also presented. The idea of implementing the holonomic omnidirectional mechanism with standard wheel in personal mobile robot is discussed in detail. Other concerns in the personal mobility robot including the safety aspect regarding the tip-over stability are also explained.

Chapter 3 introduces the model of the personal mobility robot. The kinematical model of active dual-wheel caster and the omnidirectional mobile robot with active dual-wheel caster assemblies are explained. The motion control based on the kinematic model under the resolved velocity control is also presented. These kinematic equations and the resolved velocity control are the preliminary basis for our study. In this chapter, the personal mobility robot is modeled in two designs: (1) four-wheeled architecture and (2) six-wheeled architecture. The derivation of dynamical models for both architectures is explained to estimate the wheel reaction forces.

Chapter 4 describes the tip-over prediction method for the holonomic omnidirectional mobile robot with active dual-wheel caster assemblies. Several methods to measure the tip-over stability are provided and discussed in detail. In consideration with the existence of dynamical effects, the force-moment stability measure and the force-angle stability measure were applied to the four-wheeled architecture and the six-wheeled architecture respectively. The model to estimate the value of the net-force is also presented by using the dynamical model as explained in the previous chapter. At the end of this chapter, the concept of tip-over prediction including the prediction of the tip-over axis and the estimation of the tipping direction is explained in detail. The performance of these prediction methods is evaluated with other techniques.

Chapter 5 explains the tip-over prevention method and the tip-over stability enhancement method for the holonomic omnidirectional mobile robot with active dual-wheel caster assemblies. Two possible approaches for tip-over stability enhancement are discussed: (1) alteration of pre-planned velocity and acceleration input and (2) gyroscopic torque device using single-gimbal control moment gyros. The evaluation of both approaches is also presented at the end of this chapter.

Chapter 6 presents the conclusions and the suggestions for the future directions of this work.

## 論文審査結果の要旨

パーソナルモビリティロボットにおいて移動性と安定性は最も重要な課題である。ホロノミック全方向移動機構を実装することにより、平面上の3自由度運動が実現でき、複雑な環境においても楽に移動できる。これまでのホロノミック全方向移動機構は特殊車輪を用いており、車輪の隙間による望ましくない振動や傷などが生じやすい。そのため、普通の車輪を用いたホロノミック全方向移動機構が望ましい。さらに、ユーザおよび周囲の安全のため、パーソナルモビリティロボットは加速に関わらず安定した操縦も望まれる。

本論文はアクティブ双輪キャスター機構を用いた全方向移動パーソナルモビリティロボットに対して、転倒予測と転倒安定性の改善からなる転倒防止システムを提案したものである。まず、地面反力を表している動力学モデルを導出し、支持多角形と安定評価を基に転倒軸および転倒方向を予測した。特にここでは、安定評価をするためにはモーメント安定指標とカー角度指標を使用し、4輪と6輪のパーソナルモビリティロボットを紹介し、それぞれの転倒予測の有効性をシミュレーションで実証した。次に、転倒安定性の改善のため、単一ジンバル CMG (Control Moment Gyro) と加速度変更手法を提案し、シミュレーションでその有効性を検証した。さらに、単一ジンバル手法は加速度変更手法より走行時間の低減化ができることを確認した。

このように本研究はアクティブ双輪キャスター機構を用いたホロノミック全方向移動パーソナルモビリティロボットの転倒防止システムを提案し、特に動的な支持多角形を用いた移動ロボットの転倒予測および転倒安定性の改善を示したものである。これらの成果はロボット工学、特にロボットの安定化制御の発展に寄与するものである。

本学位審査委員会は、学位論文の内容ならびに参考論文等を総合的に判断し、博士(工学)の学位に値するものを判断する。