

(別紙1)

事業の実施内容及び成果に関する報告書

1 事業名

平成27年度

補助事業

2 事業の実施経過

(1) 事務手続き関係

平成27年	3月23日	内定通知書受理(4/1付)
	5月18日	交付申請書提出
	5月22日	補助事業の補助金交付決定通知受理(5/20付)
	5月25日	誓約書、補助金前金払申請書、振込依頼届、 所在地交通略図提出
	6月4日	補助金受理(3,000,000円)
	10月23日	補助事業の状況報告書提出

平成28年	4月20日	補助金精算申請書提出
-------	-------	------------

(2) 事業関係

平成26年	4月15日	二自由度ステアリング機構をもつ二輪車の
	~9月中旬	モデリングとシミュレーション, 機構設計
	8月20日	制御システム(iBIS)の購入
	~12月中旬	マスタ・スレーブ型ステアリングシステム(実験 機)の構築

3 実施内容及び成果

(1) 実施内容

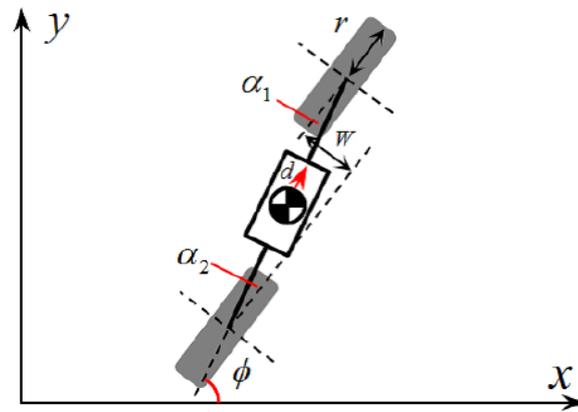
前後輪ステアリング機構のシミュレーションと設計

今回の研究課題では、二輪機構の移動機器について前後輪ステアリング機構を有するシステムの開発とその有用性検証を目的としている。その初期段階として、前後輪ステアリング機構を有する小型電動二輪車システムでの実験的検証を行った。

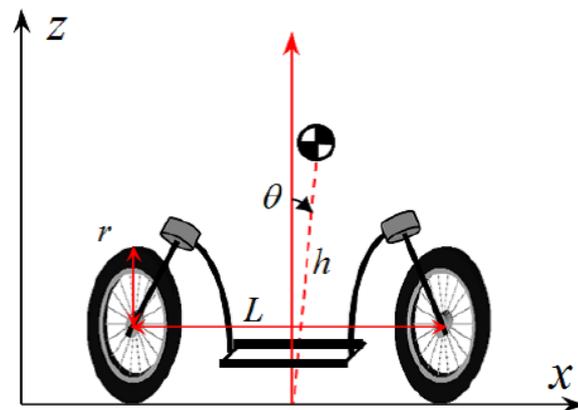
10月の事業実施状況報告において示している図ではあるが、図1に前後輪ステアリング機構のシミュレーションモデルを示す。提案するシステムでは、図2に示す3つの動作モード(SPM: Single Phase Mode, APM: Anti Phase Mode, IPM: In Phase mode)を前提と

(別紙1)

した制御アルゴリズムを検討している。



(a) Top view of the IPM



(b) Side view of the IPM

図 1 : 前後輪ステアリング機構のシミュレーションモデル

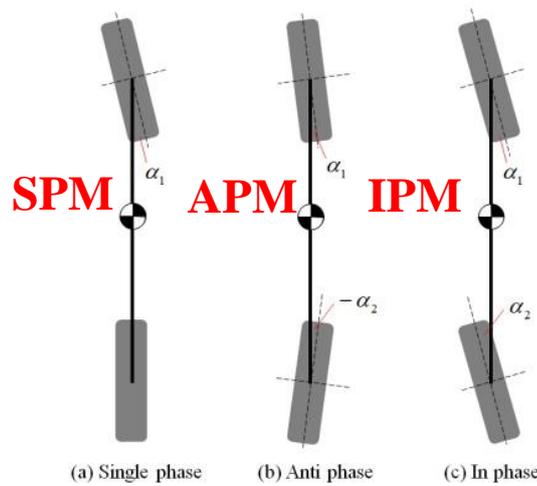


図 2 : 前後輪ステアリング動作の 3 つのモード

(別紙1)

図2に示すモードに対して、SPMとAPMは速度制御時に利用するモードとし、IPMについては、ゼロ速度における姿勢安定化のためのモードとして利用する。各モードにおける制御系の構成を図3および4に示す。図3において、 θ および α は二輪車の倒れ込み角度およびステアリング角を表す。また、図4においてSCOB (Synthesized Camber Angle Disturbance observer)は駆動車輪の外乱と倒れ込み角方向の外乱を統合して推定する外乱オブザーバを意味する。SCOBの推定値をフィードバックすることで、キャンバ角方向(倒れ込み方向)の外乱に対しても強い制御系となる。

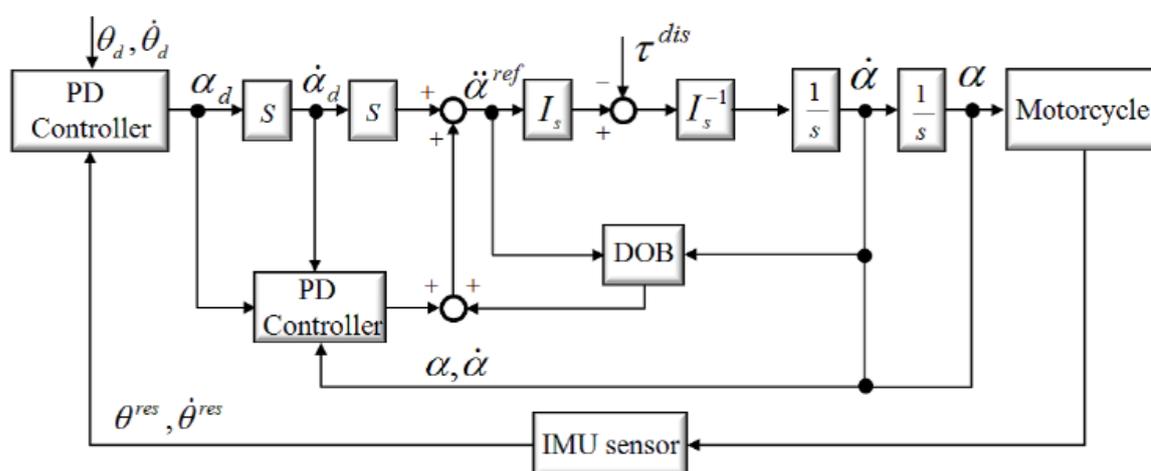


図3：速度制御時のSPMおよびAPMにおける姿勢安定化制御系

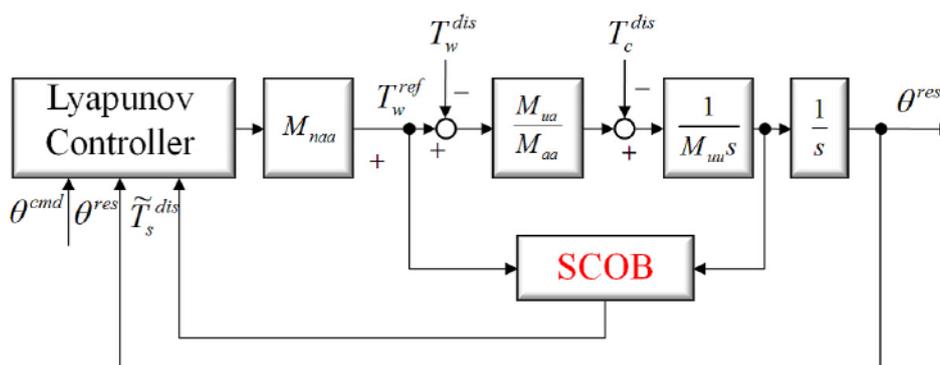


図4：低速度(ゼロ速度)時のSCOBに基づいたIPMの姿勢安定化制御系

図1のモデルと図3、4の制御系に基づいたアルゴリズム検証では、二輪車の駆動速度がある程度大きい場合にはSPMに基づいた姿勢安定化制御が最も効果的であり、また低速度およびゼロ速度状態での姿勢安定化制御ではIPMが最も有効に働くことが確認できた。本年度後半では、上記結果を踏まえて前後輪ステアリング機構と前後輪駆動システムを組み

(別紙1)

合わせた電動二輪車の制御システムの検討を行った。

前後輪ステアリング機構の構築

今回の研究課題では、前後輪ステアリング機構を有する二輪車の安定性向上を検証するためのテスト機構を図5に示すように構築した。この機構に基づいて基本的な動作確認を行った上で、さらに規模を大きくした二輪車の設計製作を行った。

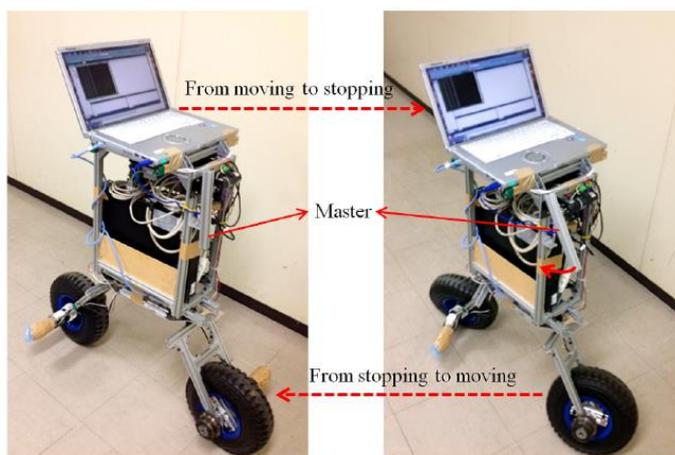


図5：前後輪ステアリング機構を有する二輪車

図5の左写真に示されるように、試作機においては二輪車の移動速度をMasterバーにより調整できる構造となっている。また、0.2km/hを閾値として速度が閾値より大きい場合にはSPMに基づいた制御系、閾値より小さい場合にはIPMに基づいた制御系を適用する。実験的検証では、閾値による制御系のスイッチングには大きな問題は無く、直進走行状態から静止状態、また静止状態から直進走行状態へのスムーズな移行が可能であることを確認した。

電動二輪車の安全性・操作性向上制御

上記に示したステアリング機構の動作モードに基づいた制御手法の検証を踏まえて、前後輪ステアリング機構と前後輪駆動システムからなる電動二輪車の制御システムを図6に示すように設計した。同図に示すように、前後輪ステアリングの制御については、前述のSPMに準じた制御系の設計を行っており、軌道追従制御と安定化制御が同時に行えるものとなっている。ここで、所望とするステアリングの操作角度については所望軌道に準じて金山手法により決定している。また、姿勢応答（キャンバ角応答）についてはキャンバ角方向のオブザーバとキャンバ角速度のフィードバックにより外乱補償と同時に安定化を行

(別紙1)

っている。

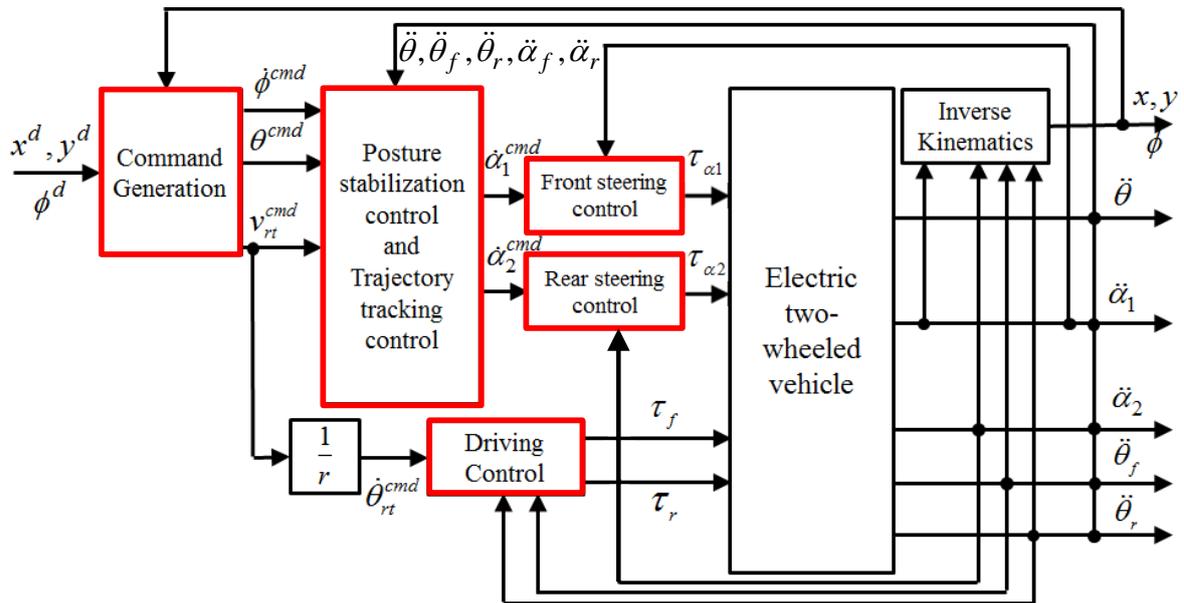


図6：前後輪ステアリング機構と前後輪駆動システムからなる電動二輪車の制御系

一方で前後輪の駆動については、その駆動トルクの配分を行うためのゲインを導入し、軌道追従特性と安定性のバランスが最適となるゲインの値をシミュレーションにより決定した。解析的なゲイン決定方については今後の課題である。

実験的検証

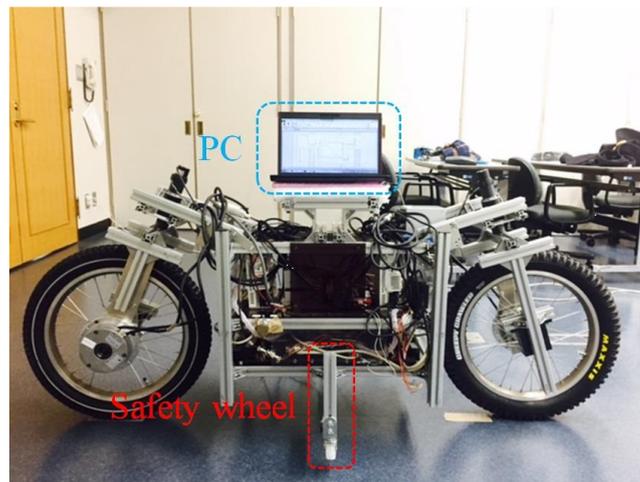


図7：製作した前後輪ステアリングおよび前後輪駆動システムを有する電動二輪車

図6に示した提案手法の有効性を検証するため、図7に示されている実機（本研究課題で製作した前後輪ステアリングおよび前後輪駆動システムを有する電動二輪車）により

(別紙1)

実験を行った。図8のその結果を示す。比較対象の従来手法としては、後輪駆動、前後輪ステアリング手法としている。実験結果より、前後輪駆動と同時に前後輪ステアリングによる旋回動作を行っている提案手法の方が、旋回応答速度がより速くかつキャンバ角応答の変動が小さい（応答が速くかつ安定性が良い）結果となっており、その有効性が確認できている。表9に即応性、安定性に関する定量的な評価数値を纏める。

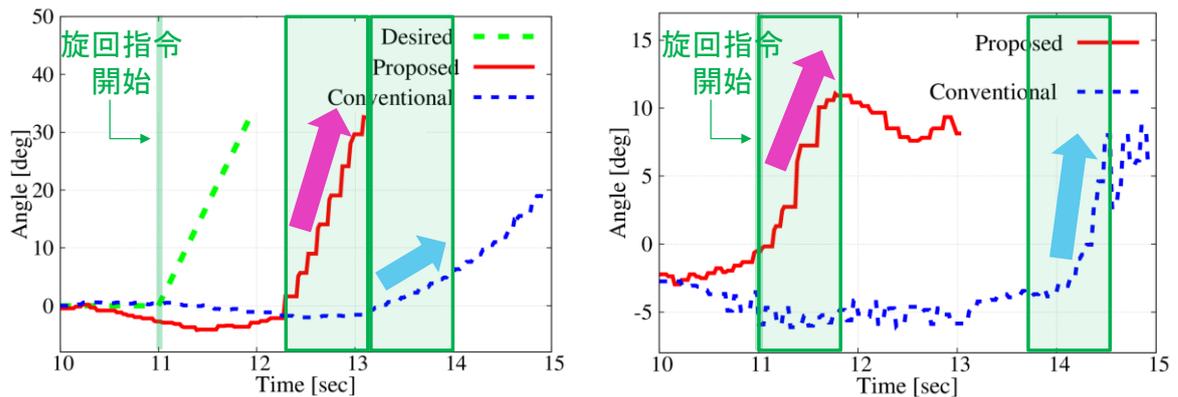


図8：旋回動作時の応用（右図：旋回角応答，左図：キャンバ角応答）

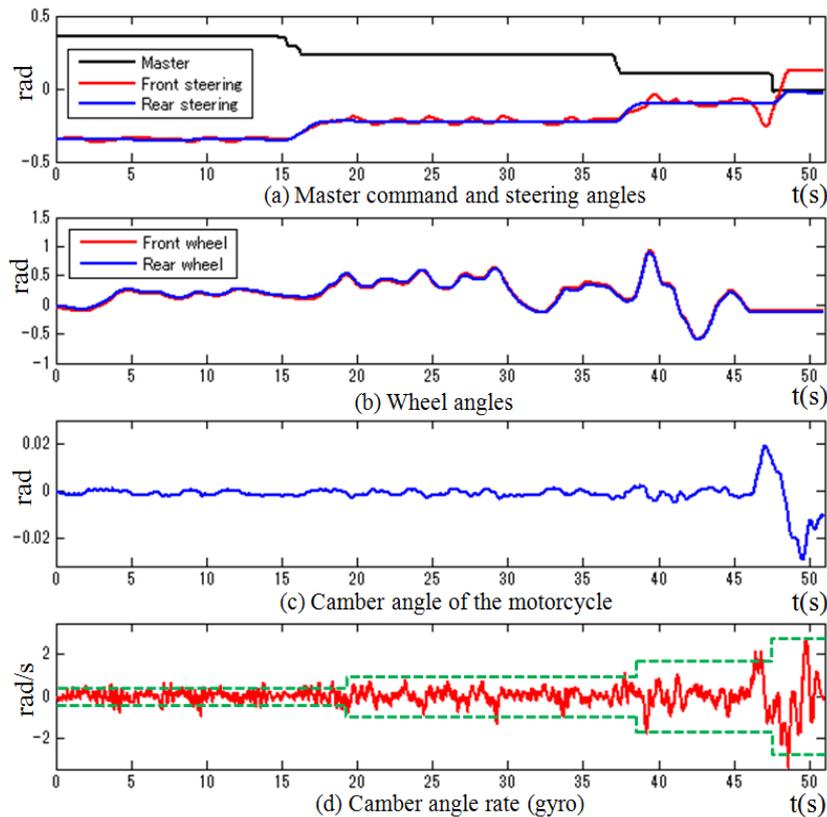


図9：IPM制御時のステアリング角，キャンバ角応答

(別紙1)

表 1 : 所望旋回走行以降の旋回角変化量

制御手法	線形近似の勾配
従来手法	9.1
提案手法	20.7

旋回性向上

表 2 : 所望旋回走行以降のキャンバ角変化量

制御手法	線形近似の勾配
従来手法	17.3
提案手法	12.1

姿勢安定性向上

次に零速度時の走行安定性を確認するための実験を行った。先述したように零速度においては、前後輪ステアリングをIPMに基づいた制御により実現する。その実験結果を図9に示す。実験結果より、零速度においてもキャンバ角変動が小さく抑えられており、提案するステアリング制御手法の有効性が確認できる。

(2) 成 果

電動二輪車の新機構の開発

本研究課題では、前後輪ステアリングシステムを有する電動二輪車の新機構についての提案を行い、実際に製作を行った実機システムによりその有用性を示した。初期段階の実験では、小型の電動二輪車を構築し、前後輪ステアリングの効果を実験的に検証した。その結果、ある程度の速度がある場合にはその軌道追従特性を向上させるために、前輪ステアリング操作 (SPM) が好ましく、また低速 (静止) 時には非対称なステアリング操作 (IPM) が好ましいことが明確となった。ただし、安定性のみではなく軌道追従性を考慮する場合には前後輪対称なステアリング操作 (APM) が効果的と考えられる。

電動二輪車の安全性・操作性向上制御

小型電動二輪車による検証実験を元に、人が搭乗できるタイプの電動二輪車の製作と軌道追従特性向上のための前後輪ステアリング操作ならびに前後輪駆動のための制御系構築を行った。ここで、ステアリング操作については非対称ステアリング操作 (APM) を基本として、前輪ステアリングで安定化制御、後輪ステアリングで軌道追従制御が支配的となるように制御系設計を行っている。また、前後輪の駆動についてはトルク配分ゲインを導入することで、シミュレーションによりその値を決定している。実験結果より、前後輪ステアリング操作と同時に前後輪駆動を導入することで、旋回性能が向上しかつ安定性も向上することを確認した。

なお、成果物の一覧は別添2のとおり

(別紙1)

4 事業実施に関して特許権、実用新案権等を申請又は取得したときはその内容
特にありません

5 業界等において今後予想される効果

電動二輪車の新機構の開発

本研究項目では、前後輪ステアリング機構の有用性について、動力学的な解析と同時に実験的な検証を示したが、特に低速時での安全性向上が期待できることが分かった。これは電動に限らず、通常の二輪車でも言える事であり、今後の二輪車の機構設計に影響を与え得るものと考えている。

電動二輪車の安全性・操作性向上制御

本研究項目では、前後輪ステアリング機構と前後輪駆動を組み合わせたシステムを構築し、安全性（安定性）と操作性（軌道追従特性）の同時向上の検証を行った。その結果、提案システムにより両特性が同時に向上できることを確認した。提案手法の適用により、電動二輪車の安定性、操作性の向上と同時に低速域において不安定化しやすい二輪車の欠点のある程度改善できることが期待できる。ただし、システム構成としては複雑化してしまい、また重量も増してしまうことからシステム構成時の小型軽量化が今後の課題である。

6 本事業により作成した印刷物（研究報告書等）

平成27年度（研究補助） 前後輪ステアリング機構を有する電動二輪車の知的操作
支援制御による安全機能デザイン 補助事業 報告書 25部

なお、印刷物の配布先一覧は別添2のとおり