

産学連携による電気三輪自動車制御用組込み技術の開発

小峰憲行^{*1}

Development of Embedded Technology for Control of Electric Trike with Collaboration between University and Industry

by

Noriyuki KOMINE

(received on June 16, 2010 & accepted on June 30, 2010)

Abstract

A trike has an advantageous vehicle to be used for running with a small turning radius compared with conventional vehicles with four wheels. Therefore the trike is available to use a vehicle for transport of goods in the city where road is narrow. An electric trike with two driving motors in rear wheels separately has been developed. The electric trike could run for 40 km/h of constant speed and its maxim speed is 60 km/h with installed lithium-ion battery with full charge. This paper reports our research of developments for stability and control of the electric trike with cooperation between Tokai University and Electric Trike Japan Co., Ltd..

Keywords: electric trike, vehicle, in-wheel motor, collaboration

キーワード: 電気三輪自動車、ビークル、インホイールモータ、共同研究

1. はじめに

近年インターネットの普及に伴い宅配業務量は急速に増大するとともに、その迅速化、高効率が要求されている。またその輸送に当っては、環境に配慮した安全な輸送車両の開発が要求されている。三輪自動車は、小回りが利くということから住宅地や狭い道路を頻繁に通る宅配業務に向く車両として見直されている。さらにその動力を内燃機関からモーターに置き換えた電気三輪自動車は、窒素酸化物や炭化水素など人体に有害なガスを排出せず、地球温暖化の原因のひとつである二酸化炭素も排出しない。さらに騒音も低く環境にやさしい車両である。またエネルギー効率も良いという特徴も有している¹⁾。当研究室では、2010年4月より産学連携によって電気三輪自動車制御用の組込みシステムの研究開発を実施している。大学における研究開発の成果を企業に技術移転し、製品開発をする産学連携は、製品開発は勿論のこと、企業の技術力の向上および学生の教育向上に対しても高い成果が期待される。

現在行っている産学連携における研究開発および教育の課題は次の通りである。

- 1) 電気三輪自動車の安全走行制御システムの研究開発
- 2) 安全走行制御組込み技術
- 3) 実践的技術開発にもとづく教育指導

本報告では、産学連携の経緯、安全走行制御システムの研究開発、産学連携における共同研究計画（実験・研究計画）および産学連携における研究開発と教育効果について以下に紹介する。

2. 産学連携の経緯

2006年、㈱日本ビューテックと工学部動力機械工学科飯島研究室との共同研究が開始され、ホンダのコンスのインホイールモータを転用した三輪自動車第一号機が開発され、三輪車の基本走行性能の検討が行われた²⁾。この共同研究は2007年には、第1号車で得た知見をもとにモーターを含めて設計された電動三輪自動車第2号機が製作された³⁾。この第2号車は「川崎市産学協同研究開発プロジェクト助成補助金」に採用された⁴⁾。川崎市産業振興財団では、ものづくり企業の発展と支援を目的とした中小企業支援活動を行っている。この活動には「大学から企業への技術移転」型の産学連携から、「企業から大学への試作支援」を促進するという目的も含まれている。2008年度は、低価格化を計るとともに操縦安定性を改善した第3号機の電気三輪自動車の製作が行われた^{5), 6)}。第1号車から第3号車までの研究開発からその実用化の目途を得ることができたので、東海大学発ベンチャー企業として2008年10月に株式会社日本エレクトライクが創立され、2009年には、同社と情報理工学部コンピュータ応用工学科穴吹研究室との共同研究で、それまでの大学での試作機からより低価格化

^{*1} 情報通信学部組込みソフトウェア工学科准教授

を目指し、インホイールモータ方式ではなく、後輪2輪を外部モーターで駆動する方式による実用機の開発が進められ、第4号機の電気三輪車が製作された。東海大学湘南校舎における第3号機と第4号機の電動三輪車の走行試験実施風景をそれぞれFig.1とFig.2に示す。第4号機の電動三輪車の下面図をFig.3に示す。また、第4号機の電気三輪自動車の主要諸元をTable 1に示す。



Fig.1 Electric trike of No.3



Fig.2 Electric trike of No.4

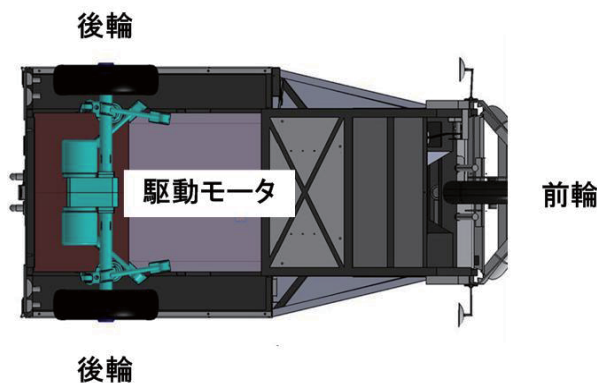


Fig.3 Under view of electric trike of No.4

Table 1 Specifications of No.4 electric trike

車体のサイズ [mm]	2400×1295×1650
小回転半径[m]	3.2
巡行速度[Km/h]	40
車両重量[Kg]	370
乗車定員[人]	1
最大積載量[Kg]	150
航続距離[Km]	40
充電時間[時間]	6 時間 (100V) 10 分 (200V 急速充電)

3. 安全走行制御システムの研究開発

車両の運動と制御の問題を理論的に扱うことは、安全走行制御システムの開発に重要となる。^{7)~9)} これまで製作された第1号車から第4号車までの車両は構造面ではほぼ実用に供するものであり、その駆動源であるリチウムイオンバッテリー、モータ、モータドライバ、モーターコントロールシステムのハード面はほぼ完成しているが、それらを総合的に制御して、車両操縦性や車両安定性を良くするソフトウェアの研究開発は未だ殆ど行われていない。そこで株式会社日本エレクトライクは共同研究契約を結びこの未解決の車両制御ソフトウェアの開発とその組込みシステムの開発を行うことになった。

3.1 操縦性と安定性^{10)~12)}

操舵の操作による三輪車の走行性能は操縦性と安定性によって表現される。操縦性とは運転者の意のままに車の進路を修正できる性能を言う。また、安定性とは、車が路面からの力や横風などの外乱を受けたとき、速やかに平衡状態に戻る性質を言う。車の運動性能は操縦性と安定性の両方の性質を満足することが要求される。車両の重心を原点とし、車両の前後方向を x 軸、左右方向を y 軸、上下方向を z 軸とする固定座標系をFig.4に示す。それぞれの x 軸、 y 軸および z 軸の回り車体の回転角をロール角、ピッチ角およびヨー角によって車体の回転運動をFig.5に示す。操作性は、操舵の操作によって y 軸方向の並進運動、ロール角およびヨー角の運動を解析することである。安定性は、走行運転状態にある車体が、継続的に横風を受けた場合に速やかにもとの走行運転状態に復帰するヨー角の運動を解析することである。また、動力性能やブレーキ性能は、 x 軸方向や y 軸方向の回転ピッチ角を調べることである。

3.2 横転防止

三輪自動車は四輪自動車に比べ、急激な操舵の操作に対して転倒する危険性が高い。三輪車の転倒防止のためには、 y 軸方向の力(Fig.4)および x 軸方向に対するロール角(Fig.5)をコントロールする安定性の開発が必要である。

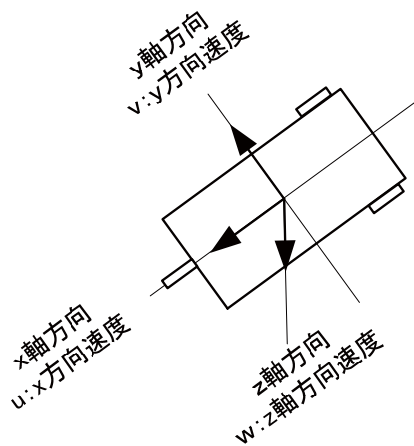
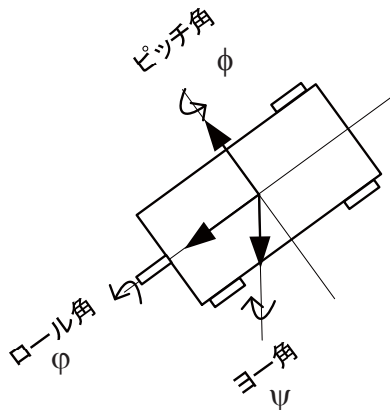
Fig. 4 Coordinate system (x, y, z) 

Fig. 5 Rolling motion of a vehicle

3.3 研究開発の課題

本共同研究の主な研究課題は下記の通りである。

- ・定常円旋回運動データ実測とシミュレーションの比較
- ・ヨー応答安定性計算
- ・ブレーキ安定性
- ・路面外乱入力に対する車両挙動シミュレーション
- ・後輪独立アクティブトルク制御による安定性向上ポテンシャル解析

4. 産学連携における研究開発と教育効果

卒業研究の学生は三輪車の操舵の操作における操縦性を調べる走行試験を担当する。三輪車の重心における x 軸方向、 y 軸方向および z 軸方向のそれぞれの加速度を測定する加速度センサーを取り付け、A-D 変換ボードを用いてノート型パーソナルコンピュータに 3 軸の加速度データを収集する。実用三輪車を使って、学生は企業の技術担当者からデータ収集の方法について指導を受けることができる。学生は産学連携による実践的組込み技術を修得することが可能である。

5. 今後の展望

本研究で取組んでいる電気三輪自動車は、乗用車に比べ $1/3$ 程度の小重量で、最高速度も $1/3$ の 40 km/h 、また宅配用であれば 1 日の走行距離も 40 km と少ないためバッテリー容量が非常に少なくて済む。車両を使用しない夜間に充電することが可能である。産学連携のスケジュールを Table 2 に示す。今後、電気三輪車の横転防止制御法を開発し、2012 年度実用車の完成を目指している。

6. おわりに

これまで株式会社日本ビューテックおよび株式会社日本エレクトライク社と東海大学の 2 研究室との間で行なわれてきた電気三輪自動車の研究開発を紹介するとともに、今後株式会社日本エレクトライク社と当研究室と開発していく同車用の走行制御システムの研究開発について報告した。また、この産学連携は、企業の実用技術を大学の研究機関が支援することによって、新製品の研究開発を行うとともに、企業の技術力の向上および学生の教育支援に高い成果が期待されることを示した。

謝辞 この解説を書くうえで多くの貴重なコメントをいただいた東海大学名誉教授 飯島敏雄先生に感謝いたします。

Table 2 Time Schedule of collaboration

研究項目	分担体制	スケジュール			
		2010 年前期	2010 年度後期	2011 年度前期	2011 年度後期
①安全走行制御システムの研究開発	大学・企業				
②走行試験	大学				
③研究成果のまとめ	大学・企業				
④試験 3 輪車提供	企業				

参考文献

- 1) 東海大学出版会, “最新技術でオート三輪の再生を目指す” 東海大学新聞, 906 号, 2006.
- 2) 鷹野幸一他, “インホイールモータを利用した電動三輪車の研究・開発”, 東海大学工学部動力機械工学科 2006 年度卒業論文, 2007.
- 3) 滝本大輔他, “インホイールモータを利用した電気三輪自動車の研究開発 I”, 東海大学工学部動力機械工学科 2007 年度卒業論文, 2008.
- 4) (財) 川崎市産業振興財団, “連携事例集”, 川崎市産業振興財団 事業推進課, pp.13-14, 2010.
- 5) 中村達也他, “インホイールモータを利用した電気三輪自動車の研究開発 I “東海大学工学部動力機械工学科 2008 年度卒業論文, 2009.
- 6) T. Nakamura, et al., Development and Performance of an Electric Trike with In-Wheel Motors, CD-Proceedings of 24th International Electric Vehicle Symposium and Exposition, Paper No. 5190523, pp.1-6, Stavanger, Norway, 2009.
- 7) 堀洋一, “電気と制御で走る近未来車両に関する研究”, FED レビュー, Vol. 3, pp. 1-21, 2004.
- 8) 安部正人, 「自動車の運動と制御(第2版)」, 山海堂, 2008.
- 9) 廣田幸嗣他, 「電気自動車の制御システム」, 東京電機大学版会, 2009.
- 10) 電気自動車ハンドブック編集委員会, 「電気自動車ハンドブック」, 丸善, 2001.
- 11) 自動車技術ハンドブック編集委員会, 「自動車技術ハンドブック 改訂版 (第1分冊(基礎・理論編))」, 自動車技術会, 2004.
- 12) 自動車技術ハンドブック編集委員会, 「自動車技術ハンドブック 改訂版 (第2分冊(環境・安全編))」, 自動車技術会, 2004.