

駆動用モータの制御による電気自動車の新しい運動制御

Novel vehicle motion control with electric motor controlled wheels

坂井 真一郎 (宇宙科学研究所)

Shin-ichiro Sakai, The Institute of Space and Astronautical Science,
3-3-1 Yoshinodai, Sagamihara, Kanagawa

Electric Vehicles (EVs) have attractive advantages in motion control performance, such as 1) fast torque response, 2) accurate torque output, and 3) the possibility of distributed motor configuration. These advantages could be utilized for active safety issues. For example, fast feedback control techniques could be fully applied in EVs. If appropriate controller is applied, it can change the dynamics of each wheel and the wheel comes to be stable for slip phenomena. We assume that (1) such minor wheel controller can stabilize the unstable lateral motion, (2) thus it can be an effective minor loop in the vehicle stability control system or DYC(Direct Yaw Moment Control) system. Experimental results with "UOT March II", which is newly constructed, are also discussed.

Key Words: Electric Vehicle, Motor Control, Vehicle Dynamics, ABS, TCS, DYC, VSC

1 はじめに

周知の通り、自動車を巡る近年の大きな話題は、新しい駆動源の登場にある。環境・エネルギー問題への高い関心は、既にハイブリッド車 (HEV) を実用化させ、また燃料電池車 (FCEV) を巡る激しい開発競争を引き起こしている。これら電気自動車 (EV) の意義は従って、少なくとも現在までのところ、いかに燃費が良くいかに排出物が少ないか、という一点に集約されているといつてよい。

これに対して筆者らは、EV にはもうひとつ別の、大きな魅力があると信じている。それは電気モータの圧倒的に高い制御性能である。具体的には、一桁ないしそれ以上に高速なトルク応答であり、その出力トルクの正確性である。さらに電気モータならば、各輪に分散配置することも可能である。これらは全て、EV の持つ制御面での新しい可能性を示唆している。

このような考察から筆者らは、1996 年頃から EV の運動制御の研究を行ってきた。それは、例えばモータ制御によるタイヤ空転防止であり [1]、出力トルクの値を積極的に用いた路面状態推定法であり [2]、あるいは分散されたモータによる車両運動制御である [3]。本稿ではそれらの結果の幾つかと、"東大 3 月号 II" と呼ばれる各 4 輪にモータがつけられた実験車両について述べ、我々の活動について紹介するものである。

2 駆動用モータ制御によるタイヤ安定化

初めに、モータによる車輪制御の実例を 2 例紹介する。一方は車輪速度のフィードバック制御系の設計により、あたかも車輪慣性が車両重量程度に大きいかのように見せかけ、これにより空転防止を図る制御である。他方はより積極的に、車体速度からスリップ率を求め、これを直接制御した例である。

2.1 みかけの車輪慣性の増加させる制御

タイヤの空転現象は、最も簡単にはタイヤ慣性の急減として記述できるので [1]、これを防止するようなフィードバック制御を施せばよい (図 1)。図中、 $P_n(s)$ は

$$P_n(s) = \frac{1}{(M + M_w)s} \quad (1)$$

であり、粘着走行時のホイール慣性、言い換えれば車両重量程度に "重い" 慣性をもつホイールモデルである。 M は車両

重量、 M_w はタイヤ回転部慣性の質量換算値である。詳細な設計は [3] 等に譲るが、図 1 は、空転時にもホイールが式 (1) の特性を持つようにする制御である。

実験結果を図 2 に示す。滑りやすい ($\mu = 0.5$ 程度) 路面上で急発進した時の、タイヤ空転の様子を示している。設計した制御系により、スリップ率の急減が防止できている様子が理解される ($K_p > 0$)。モータの連続的な制御によるマイナーループの構築という筆者らのアイデアを、端的に示す制御となっている。

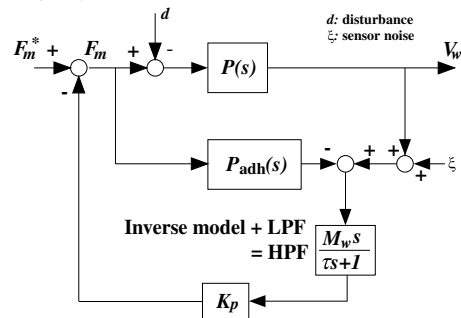


Fig. 1: Block Diagram of wheel velocity controller.

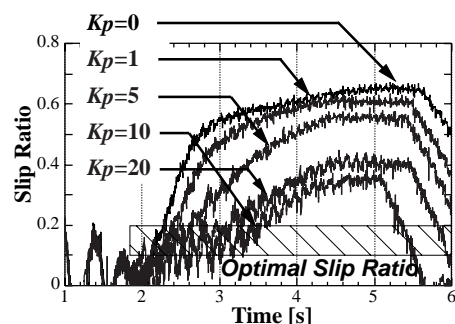


Fig. 2: Exp. results of wheel stabilization.

2.2 スリップ率の直接制御

次により直接的に、スリップ率そのものを PI 制御した結果を図 3 に示す。ここでは従動輪速度を車体速度とみなしてスリップ率を求めている。制御系の設計は [5] などを参照されたいが、図から、ステップ状の指令値に対して、実際のスリップ率が良く追従している様子がわかる。これは、電気モータの持つ制御性能を端的に示している。この研究は、制

御の目標スリップ率となる”最適スリップ率”を得たいという動機から、路面状態推定法の研究へと繋がったのだが [2], その話題はここでは割愛する.

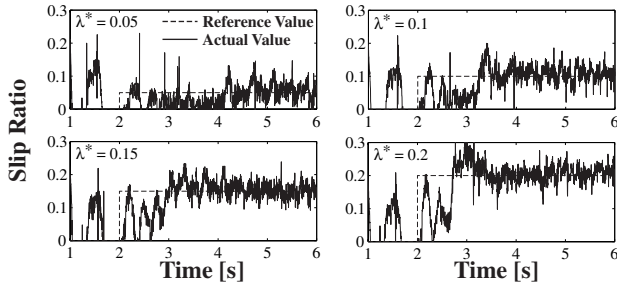


Fig. 3: Exp. results of slip ratio control.

3 各輪マイナー制御による2次元運動安定化の提案

筆者らが近年関心を寄せている一つのアイデアは、第2.1節で紹介したような制御系を、上位制御系のマイナーループとして用いることができないか、というものである。これをブロック図として、図5に示しておく。関心は、モータを用いたマイナー制御系によって車両制御系の全体の安定性は向上するのかどうか、という点にある。

“東大3月号II”は、このような研究用に製作された実験用EVである(図4)。1997年頃から計画され、2001年1月に初走行を迎えた。各4輪それぞれが駆動用モータを有する点が最大の特徴であるが、その詳しい仕様はホームページ等に譲る[6]。現在この車両を用いた様々な制御実験が行われており、既に図6のような結果も得られ始めている。これは、上位にVSCやDYCなどは特に用いず、単に各輪に図1の制御系を構築し、滑りやすい路面上を旋回中に急加速するという実験を行った結果である。各輪の制御系がそれぞれ独立に働いた結果、内輪で生じる大きな空転が自動的に防止され、結果として旋回安定性が向上していることを示している。これは、図5のような統合制御系の可能性を示唆している。我々は考えている。



Fig. 4: UOT Electric March II on the experiments.

4 おわりに

以上、モータ制御をベースとした新しい車両運動制御に関する我々の活動を報告した。紙面の都合で議論を大幅に省いているが、興味があればホームページや既発表論文等をご覧頂きたい[6]。

我々の研究はもちろん学術的な色彩が強く、これがそのまま実用化されるわけでは必ずしもないが、これらの議論が刺激となり、そのエッセンスが取り込まれた実用的な制御が、特にメーカを中心に今後提案されてくれば幸いである。このようにして電気自動車ならではの運動制御が実用となり、EVが環境面だけでなく安全性でもその優位性を誇れるようになれば、これは必ずやEV普及の追い風ともなるだろう。そうして結果的に、環境問題にも大きく貢献できることを願っている。

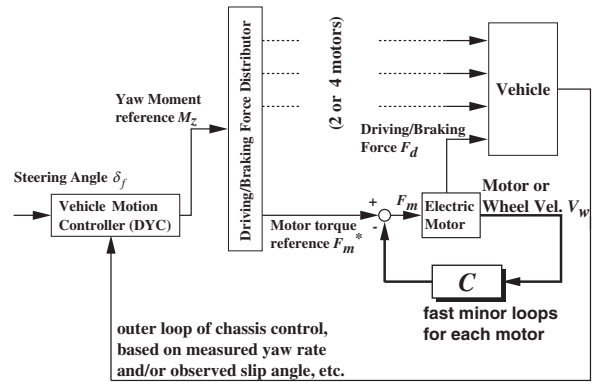


Fig. 5: Our idea for total system: chassis controller with fast minor loops.

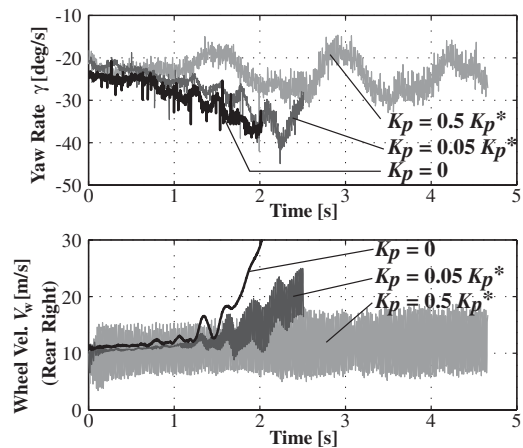


Fig. 6: Comparison of experimental results. Vehicle dynamics is stabilized with wheel minor controller.

参考文献

- [1] 坂井真一郎, 佐渡秀夫, 堀洋一. 電気自動車における車体速度情報不要の新しいタイヤ空転検出法. 電気学会論文誌 D, Vol. 120-D, No. 2, pp. 281–287, 2000.
- [2] 片岡寛暁, 佐渡秀夫, 坂井真一郎, 堀洋一. ファジィ推論を用いた電気自動車用トラクションコントロールシステムのための最適スリップ率推定器. 電気学会産業応用部門誌, Vol. 120-D, No. 4, pp. 581–586, 2000.
- [3] Shin-ichiro Sakai and Yoichi Hori. Lateral motion stabilization with feedback controlled wheels - experimental studies with 4-wheel motored ev-. In *Proc. The 6th AVEC*, pp. 815–820, Hiroshima, Japan, 2002.
- [4] Shin-ichiro Sakai and Yoichi Hori. Advanced vehicle motion control of electric vehicle based on the fast motor torque response. In *Proc. The 5th AVEC*, pp. 729–736, Michigan, USA, 2000.
- [5] 鶴岡慶雅, 豊田靖, 堀洋一. 電気自動車のトラクションコントロールに関する基礎研究. 電気学会論文誌 D, Vol. 118-D, No. 1, pp. 45–50, 1998.
- [6] 坂井真一郎. 4輪独立駆動EVの製作プロジェクト [online]. URL: <http://sakai.nnl.isas.ac.jp/Research/EV/index-j.html>, 1999.