



電気自動車の開発研究が、過去数年間にわたって進歩を遂げてきています。電気自動車は、まったく新しいデザインを可能にし、乗り心地や操縦性を大きく進歩させる可能性を秘めています。

インホイールテクノロジーの利点を最大限に活かすためには、便利で効率の良い、専用の制御アルゴリズムが必要になります。

EVの優位性

近年のエネルギーおよび環境問題に対する関心の高まりにより、電気自動車(EV)が注目され、さまざまな研究プロジェクトが進められています。また、EVの優位性は、CO₂の排出などの問題の解決だけに留まるものではありません。

車両の運動制御の観点において、モーターを駆動力源とするEVには、次のような3つの大きな利点があります。

- 非常に高速なトルク応答
- 発生するトルクの正確な把握
- 軽量コンパクトなモーターを各ホイール内部に組み込むことにより独立駆動が可能





電気自動車の運動制御アルゴリズムの研究(横浜国立大学、藤本博志研究室)

E-motion

藤本博志研究室での研究概要

横浜国立大学の藤本博志研究室では、電気自動車の、特に電気駆動技術に関するさまざまな方法が研究されています。この研究室では、インホイールモーターと呼ばれる駆動方式の研究と、滑りやすい路面での電気自動車の安全性の研究が行われています。ヨーレート制御による運動制御、つまり、ヨーモーメントを使用して、旋回時のスピンやドリフトを防ぐ方法の研究が行われています。

開発目標 ヨー安定車両

モーターに過大なトルク指令を与えると、静的な摩擦が一気に失われ、急旋回時にオーバーステアが発生する原因になります。また、自動車が雪面などのすべりやすい路面で旋回する時、スピンやドリフトなどの現象が起きてしまい、自動車が不安定な動作をしてしまうことが想定されます。したがってトルクの緻密な制御が重要になります。そこで車両のヨー軸周りの角速度であるヨーレートを検知し、モーターの高速なトルク応答性を活かしたフィードバック制御を行います。これにより横滑りなどの現象が生じた場合にも、ドライバーの操

舵を必要とせずに安定に旋回することが可能となります。

インホイールモーターテクノロジー

研究で用いられている車両には、インホイールモーターという技術が用いられています。ホイール内部にモーターを内蔵することにより、各タイヤを独立に駆動することができます。このため、各タイヤの駆動力差によるヨーモーメントを制御入力とする制御系(Direct Yaw Control : DYC)を構成することができます。この利点を活かした制御アルゴリズムがヨーモーメントオブザーバです。ヨーモーメントを制御入力とする

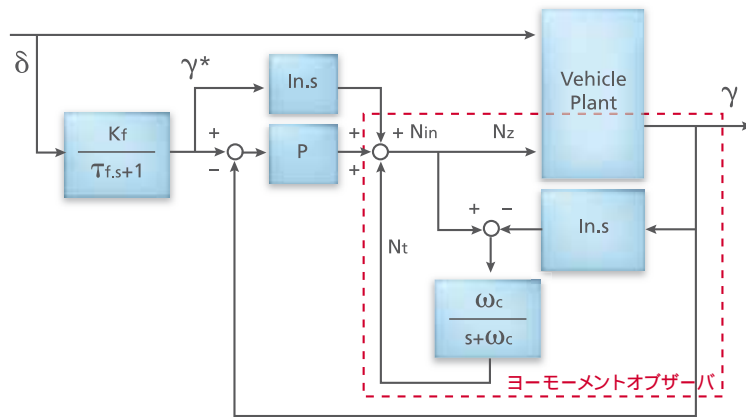


図1：ヨーモーメントオブザーバに基づく車両安定化制御ブロック図

「dSPACE AutoBox は、対振動性に優れ、8 ~ 60 V の広い電圧範囲で使用することができるなど、非常に扱いやすい制御システムです」

横浜国立大学大学院生、佐藤氏

方法としてブレーキ制御もありますが、この場合には制動力しか得られません。それに対して、モーターを用いることにより駆動力も得ることができます。モーターの実用的で効率の良い制御を行うには、専用の制御アルゴリズムが必要になります。

2 次元車両制御

制御入力と外乱を考慮したヨー軸周りのヨーイング運動方程式は次式で与えられます。

$$I\dot{\gamma} = (2l_f Y_f - 2l_r Y_r) + N_z$$

$\dot{\gamma}$ はヨーレート、 Y_f および Y_r は横力、 N_z はコントローラの制御入力として使用するヨーモーメントです。上式に基づいてヨーレートを制御するには、横力が必要となります。しかしながら横力は非線形変数であり、測定や推定が困難です。そこで横力の影響を外乱モーメントと捉え、外乱オブザーバにより一括補償します。これがヨーモーメントオブザーバ(YMO)です。図1に示すYMOをインナーループを含む制御系を構築することにより、所望のヨーレートに制御することができます。

シミュレーション結果から、制御なしの場合では車両が旋回する際に大きく横滑りし、不安定な挙動を示していることが分かります(図3)。それに対してヨーレート制御を行う場合には車両は横滑りすることなく安定に走行できていることが分かります。また実験結果からも、制御なしの場合はヨーレートが大きく変動しており、車両が不安定な状態であることが分かりますが、それに対して制御ありの場合はヨーレート

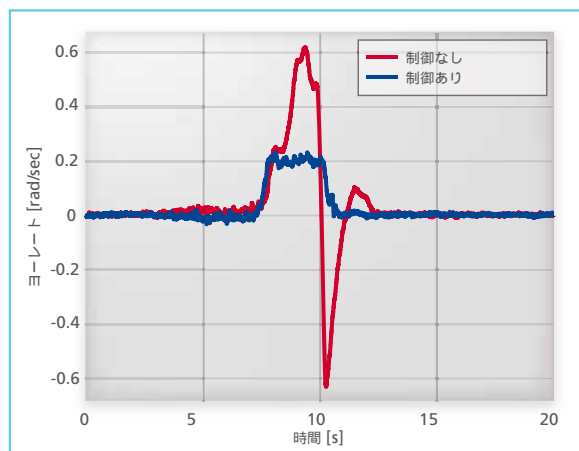


図2：ヨーレートの測定結果。制御なしの場合はヨーレートが大きく変動し(赤色)、制御ありの場合は一定の値に落ち着いています(青色)。

が一定値に落ち着いていることが分かります(図2)。

これらの結果から、滑りやすい路面では提案している制御法が非常に効果的であり、自動車の安全性の向上に役立つことを明らかに示しています。

dSPACE AutoBox を使用した

走行試験

実験車両 FPEV 2-Kanon は、アルゴリズムの計算に使用する DS1103 Controller Board を含む dSPACE AutoBox を搭載しています。

AutoBox には、MATLAB®/Simulink® を使用してモデル化した制御システムがダウンロードされました。AutoBox によるモーターの駆動には、インバータが使用されています。角速度、トルク、加速度、ヨーレートが、アナログ信号として使用されています。

dSPACE AutoBox の有効性

モーターの利点を最大限に活用するには、制御アルゴリズムの計算を非常に高速に実行する必要があります。DS1103 の短いサンプリング時間と非常に小さな I/O アクセス遅延により、アルゴリズムの計算をリアルタイムで実行できます。応答時間の非常に高速なハードウェアにより、このアルゴリズムは、予想通りの結果を示しました。

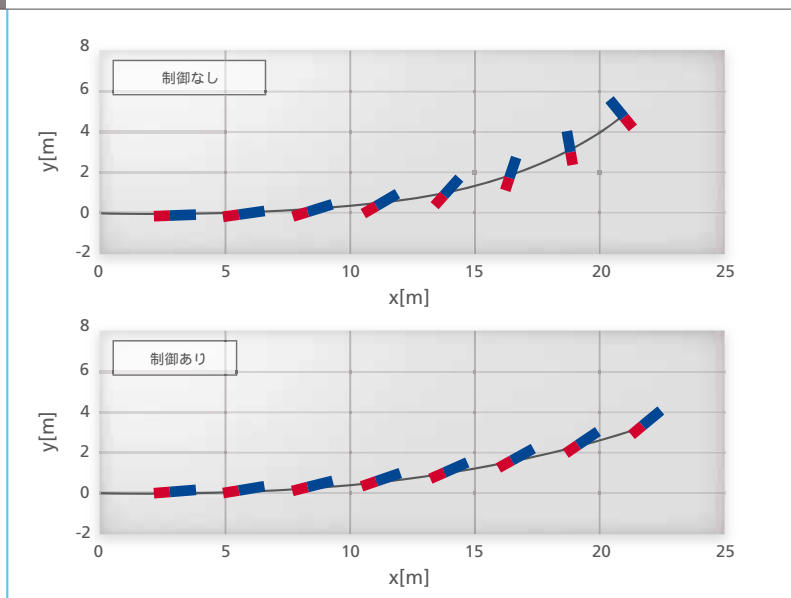


図3：シミュレーションによる、滑りやすい路面での操舵時の車両の軌跡。車両がヨー軸を中心に回転を起こしています(上)。車両は安定し、スキッドは発生していません(下)。



研究室での藤本博志 准教授

まとめと今後の展望

この研究で開発された制御法により、電気自動車の安全性は大きく高まりますが、さらには安全性を確保したまま低摩擦タイヤを使用することが可能となります。これにより電費や一充電走行距離の改善が見込まれ、さらには発電所で排出される二酸化炭素量の削減にも寄与することができます。

藤本博志研究室は、完成車メーカーや部品メーカーとの共同研究も積極的に進めており、これらの制御法の実用化を目指して、より高性能・高信頼性のある運動制御を追及していく予定です。■

横浜国立大学大学院工学研究院
藤本博志研究室
藤本博志 准教授

「dSPACE システムを採用した結果、企業と共に実施した共同実験は円滑に進みました。教育機関としては、学生達が制御システムをソースコードから構築できるように訓練する必要がありますが、dSPACE システムは便利なツールとして非常に役立ちました。」

横浜国立大学大学院、藤本博志 准教授

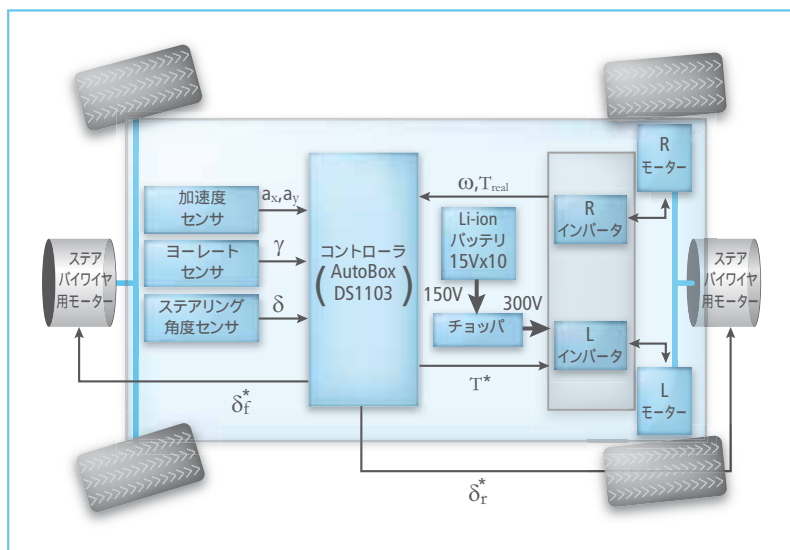


図4：車両制御システムの構成