

これまで、ウェッジクラッチをオートマチックトランスミッションに搭載しようとする試みの多くは、乗り心地を大きく損なう変速ショックの発生により失敗に終わっていました。上海交通大学の研究者は、高い精度で制御可能なモーターを使用することによりこの問題を解決する研究を行っています。この研究では、妥当性確認用として dSPACE のハードウェアとソフトウェアが使用されています。

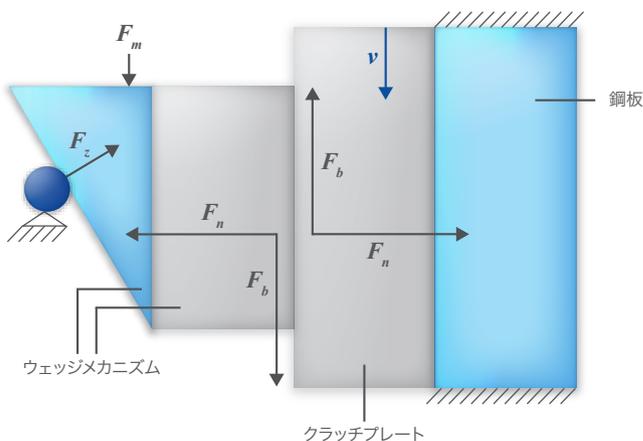
白 動車業界の最新のトレンドであるドライブトレインの電動化の波は、トランスミッションシステムにも及んでいます。たとえば、オートマチックトランスミッションの分野では、従来の油圧クラッチに代わって、電動アクチュエータが将来使用される可能性があります。電動アクチュエータは通常、油圧アクチュエータに比べてよりコンパクトで軽量であることや、駆動力を維持するために内燃エンジンを常時作動させておく必要がないことがその理由です。また、燃料の大幅な節約も可能になります。そのため、上海交通大学 (SJTU) の研究者は現在、電動ウェッジクラッチの評価を行っています。

遷移が課題に

ウェッジ機構は、回転するクラッチプレー

トと固定されたカウンタベアリングの間に組み込まれます (図1)。モーターがウェッジを深く押し込むほど、クラッチプレートは向こう側の鋼板に強く押し付けられます。ただし、ウェッジの角度が一定であれば、最終的に電動サーボモーターの駆動力とクラッチプレートの摩擦力との間の比率が非常に大きくなる臨界点に到達します。これは、たとえ小さな作動力であっても、非常に大きな法線力を急激にクラッチプレートに発生させることが可能だということです。トランスミッション出力トルクでは、「滑っている状態」から「完全に噛み合っている状態」への突然の遷移が発生すると、明らかな加速度の変化を引き起こし、車の乗り心地を大きく損なうことになるため、ウェッジクラッチの量産化はこれまで実現されてきませんでした。 >>

図1：ウェッジクラッチメカニズムの力解析を示す簡略図。小さな作動力 F_m でもクラッチプレートに非常に大きな法線力 F_n が発生し、明らかな加速度の変化となるため、車の乗り心地が大きく損なわれます。



Smooth_{and} e-efficient

スムーズなシフト操作を実現する電子クラッチ

D
-
M
-
N
-
Z
-
R
-
P

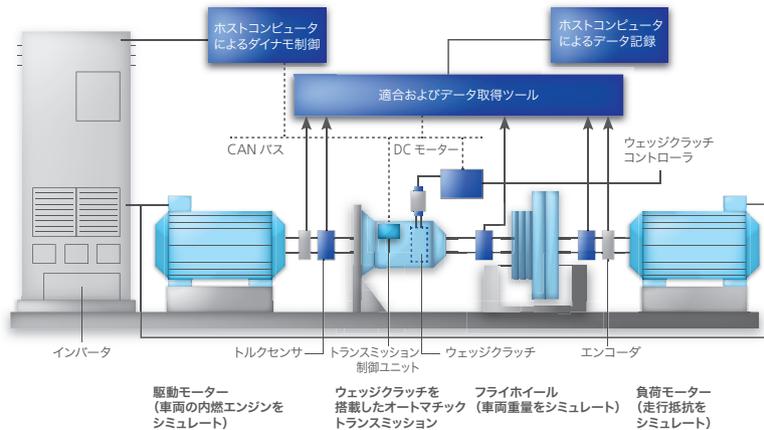
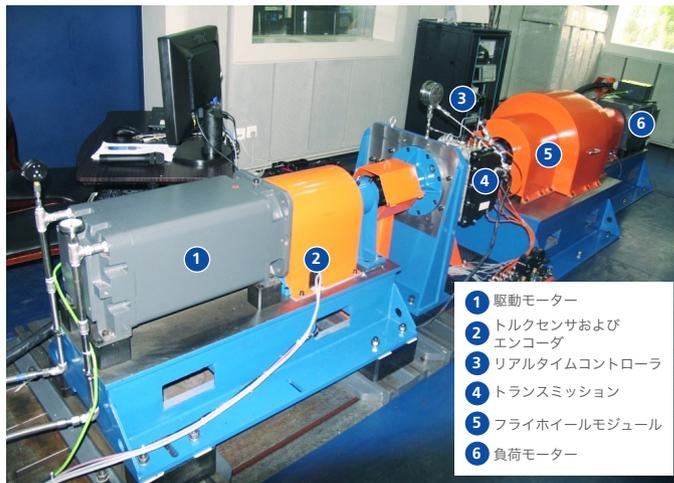


図2：ダイナモメータテスト装置でミドルクラス乗用車のエミュレーションを行うことにより、効果的にウェッジクラッチシステムの妥当性を確認します。

テストベンチでの妥当性確認

SJTUの研究者は、電動アクチュエータを最適に制御することにより、この問題を確実に回避し、より低トルクかつ少ないパワーロスでウェッジクラッチの締結と解除をスムーズに行うための研究を行っています。このような制御の実用可能性を迅速かつ正確に検証するため、SJTUでは、PID（比例/積分/微分）コントローラを搭載

した dSPACE MicroAutoBox II を使用して、ウェッジクラッチをダイナモメータテストベンチでテストしました。PID コントローラの役割は、クラッチプレートに作用する法線力の変動を数ミリ秒単位で制御し、切り替え動作を最適化することです。

ミドルクラスカーのシミュレーション

PID コントローラでは、あらかじめ決定さ

れた目標値とクラッチプレートに作用する実際の法線力との間の偏差を入力値として使用します。この偏差に基づき、DC 電源で作動するサーボモーターの電圧を出力変数として制御します。電圧と回転角度は、ウェッジクラッチの対応する負荷トルクとして実装されます。ウェッジクラッチは、SJTU のダイナモメータテストベンチの中央に設置されたトランスミッションベルハウジングに組み込まれます（図 2）。ドライブ側では、車両の内燃エンジン（最大排気量は 1.6 リッター、約 6500 rpm 時の最大トルクは 297 Nm）を高速応答モーターでエミュレートします。出力側のフライホイールでは、ミドルクラスカーの慣性質量がシミュレートされ、負荷モーターによってさまざまな走行抵抗が再現されます。

適応 PID コントローラの動作

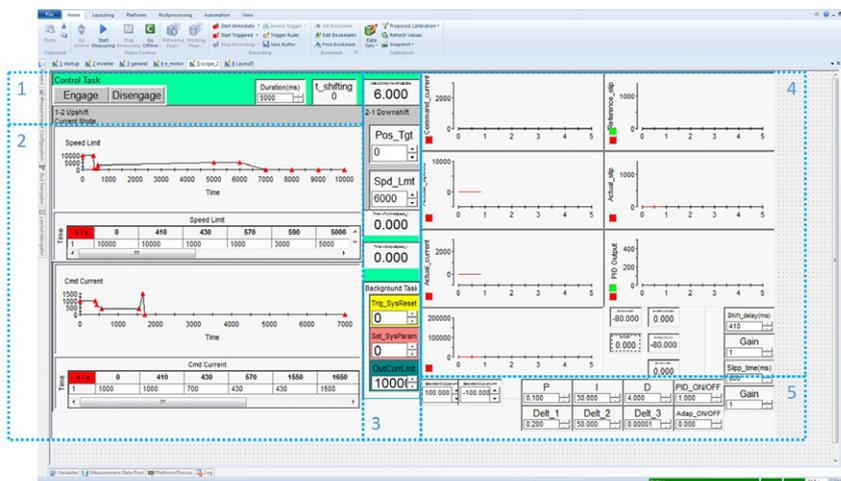
PID コントローラを閉ループで使用することにより、ドライブ側と出力側のクラッチプレート間のスリップ量の差を即座に最小化することができ、ギアのスムーズな切り替えが可能になります。従来の PID コントローラでは、複雑な走行条件下でシステムパラメータが変動すると、結果が不安定になっていました。そのため、SJTU の研究者は、テストベンチ上の実際のサーボモーターの制御に、動作点に応じてパラメータを制御する適応 PID コントローラを使用しました。

実際の走行条件を再現するテスト

研究者は、MATLAB®/Simulink® で制御コンセプトを開発し、それをテスト時に dSPACE MicroAutoBox II 上でコンパイルして実行しました。その結果、PID コントローラは安定した動作を示し、システムパラメータと走行条件を変更した場合でもすべての基準特性に適合しました。これにより、トランスミッションを実際の走行条件下にあるのと同じように制御することが可能になりました。SJTU テストベンチには、多数の I/O インターフェースを容易

「上海交通大学の研究者は、シームレスに統合された dSPACE ツールチェーンに深い感銘を受けました。dSPACE ツールを使用することで、制御アルゴリズムの開発に完全に集中することができました」

Jian Yao 氏、上海交通大学



- 1) クラッチの締結と解除のための制御信号の切り替え
- 2) DC モーターの作動信号の適合
 - クラッチ動作の駆動
 - 法線力の供給
- 3) 初期値の設定
 - DC モーター制御の限界
 - 通信パラメータ
 - サンプリング周波数
 - システム初期化
- 4) 表示
 - クラッチプレート間のスリップエラー
 - DC モーター電流
 - 回転速度および回転角度
 - 制御出力
- 5) 初期値の設定
 - PID 制御パラメータ
 - 適応ゲイン

図3：SJTUの研究者は、ControlDesk Next Generationを使用することで、テスト環境の信号を監視および管理するための強力なユーザインターフェースを作成することができました。

に統合できる MicroAutoBox に加え、dSPACE の試験およびビジュアル表示ソフトウェアである ControlDesk® Next Generation も接続されました。

総合的なテスト計器

SJTU の研究者は、ControlDesk に搭載された多数の計器を使用することで、テスト環境の信号を監視したり管理したりするための強力なユーザインターフェースを作成することができました (図3)。これにより、たとえば DC モーターの制御信号を適合させたり、PID コントローラの重要な初期値およびパラメータをコンピュータ画面上で設定したりするなど、さまざまな作業を実行することができます。さらに、クラッチプレート間のスリップエラー、DC モーターの電流、速度および角度、各種の制御出力など、すべての重要な信号を詳細に再現することができます。

将来のテストに向けて開かれた道

SJTU の研究者は、特に dSPACE ツールおよび MATLAB/Simulink 間のシームレスな連携に深く感銘を受けました。また、小型で堅牢なハードウェアシステムの信頼性も保証されていたため、研究者は制御アルゴリズムの開発に集中することができました。今回の大きな成果を受けて、SJTU では、開発した制御アルゴリズムを更なるテストにより完成させ、前途有望な

ウェッジクラッチ用の実際のコントローラの開発につなげていく予定です。同校の今後の開発プランでは、量産コード生成ツール TargetLink® や HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータなど、さらに多くの dSPACE ツールが導入される予定です。 ■

Jian Yao 氏、
上海交通大学

Jian Yao 氏

同氏は、上海交通大学 (SJTU) の博士課程でオートマチックトランスミッションの制御を専攻し、アクチュエータおよびトランスミッションシステムの電動化を専門的に研究しています。

