

1. 電子制御システムの台上評価について

— ABSを事例としたケーススタディ —

自動車安全研究領域 ※伊藤 紳一郎 田中 信壽 松村 英樹 児島 亨 安藤 憲一
廣瀬 敏也 (現 国土交通省)

1. まえがき

最近の自動車は、エンジンやブレーキなど多くの機能がコンピュータを使った高度なシステムによって実現されており、安全運転支援、環境対策、燃費改善、快適性の向上等が図られている。他方で、システムが複雑化してブラックボックス化しているため、安全上の確認を実施する場合の対応が難しくなっている。

電子制御システムの安全確認手法として、従来は、試作車を使用してテストコース等において、様々な走行条件を設定して走行試験が実施されていたが、複雑化した電子制御システムの全ての条件について、走行試験により安全確認を実施することは不可能に近い。

近年では、モデルベース開発とHILS (Hardware in the Loop Simulation) 検証により設計段階あるいはシステムの試作段階でソフトウェアの大部分を検証できるようになってきているが、システムの入出力信号や作動状態の詳細情報が必要になり、電子制御システムの設計開発者でない限り、十分な検証効果が得られないのが実態である。

このため、我々は、第三者的立場で電子制御システムの検証効果を得ることを目標として、テストコース上の様々な走行状態を実験室で再現するための検討を実施している。

その一環として、最近開発された実車走行模擬装置を使用して、電子制御システムのプログラム変更による車両挙動の違いを検出することができたので、その概要を報告する。

2. 実車走行模擬装置の概要

使用した実車走行模擬装置は、図1及び図2に示すように、4個の独立した電動機とトルク計から成り、タイヤ型軸受を介して車軸に直結するものである。

車輪を外してタイヤ型軸受を取り付けることから、車輪部分に関する検証はできないが、車軸までは実車を使用することから、かなり実車に近い状態で電子制御システムの検証を実施することができると考えられる。また、通常のシャシダイナモメータと比較して、慣性質量の大きいローラがないことから、電動機のトルクを直接車軸に伝達することができるので、応答速度の速い制御が可能となっている。このため、各輪ごとに路面摩擦係数、スリップ率等を瞬時に、しかも、任意のタイミングで設定することが可能となっており、ABSやトラクションコントロールシステム等の検証に活用できるものと考えている。

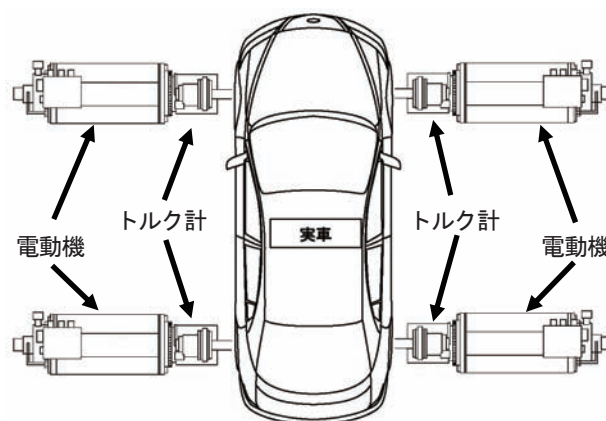


図1 実車走行模擬装置の構成



図2 実車走行模擬装置のタイヤ型軸受

3. 測定方法

3. 1. 実験車の測定条件

実験車としては、図3に示す電気式ハイブリッド自動車を使用した。

テストコースにおける測定、実車走行模擬装置による測定の共通の測定項目としては、四輪のブレーキ配管に液圧計を取り付けてブレーキ液圧を測定するとともに踏力計によりブレーキ踏力を測定した。また、駆動用蓄電池の充放電電流、2つの発電機兼用電動機の電流をクランプ式電流計で測定した。これらの他、エンジン回転数も測定した。

車両の走行条件としては、ブレーキ踏力一定で減速中にマンホール等の滑りやすい路面（以下、「低 μ 路」という。）が出現したと想定して、1mの長さの低 μ 路を設定した。

パラメータとしては、前輪が低 μ 路に突入するときの速度を20、30、40、50、60、80km/h、前輪が低 μ 路に突入するときの減速度を1、2、3、4m/s²となることを目標とし、低 μ 路突入後はブレーキ踏力を一定に保つようにした。

3. 2. テストコースにおける測定

前記の共通の測定項目に加えて、車体速度及び走行



図3 実験車の外観及び散水状況



図4 低 μ 路の設定

距離は、光学式及びGPS式の非接触車速計を使用して測定した。また、加速度計で前後方向の加速度を測定した。さらに、ABS車輪速センサから分岐してパルス信号を取り出して車輪回転数を、六分力計を右側の前後輪に取り付けて車輪にかかる力及びトルクも測定した。

測定に先立って、低 μ 路として図4に示すような1mの鉄板を敷いて散水することによりABSが作動する摩擦係数を設定するとともにそれ以外の場所では散水してもABSが作動しないことを確認した。

低 μ 路の突入時の速度及び減速度を指示された値に設定する必要があることから、専門のテストドライバーに十分な練習走行をさせてから測定を実施した。

3. 3. 実車走行模擬装置による測定

四輪トルク、四輪回転数は実車走行模擬装置のセンサ出力を記録した。また、車体加速度、車体速度、走行距離については、実車走行模擬装置内のモデルで計算する仮想の値を記録するとともに四輪摩擦係数については実車走行模擬装置で設定した値を記録した。

運転者の操作は、指示された減速度でブレーキ踏力一定で減速することのみとし、定められた速度になった時点から1mの長さの低 μ 路を通過することは実車走行模擬装置のプログラムにより自動的に設定した。低 μ 路の摩擦係数は0.1に設定した。

4. 測定結果及び考察

測定データの1例として、低 μ 路突入時の目標とした速度が30km/h、減速度が3m/s²の場合について、テストコースにおける測定結果を図6に、実車走行模擬装置による測定結果を図7に示す。これらの図では、前輪が低 μ 路に突入した時点における時刻及び走行距離を0として表示している。



図5 実車走行模擬装置による測定状況

これらの図に示すように、実車走行模擬装置による測定では、指示された速度になった時点で自動的に低 μ 路の設定をしますので、低 μ 路突入時の速度は常に指示された速度となっているが、テストコースにおける測定では、低 μ 路突入時の速度及び減速度を運転者が指示された値に合わせなければならないため、若干の誤差が発生する。このままでは、低 μ 路突入時から停止時までの停止距離を比較することができないので、低 μ 路突入速度を補正することとした。

すなわち、図6の低 μ 路突入から停止までの中間付近の減速度変化が小さい部分において、走行時間を増減させることとした。走行時間の増減量は、減速度を積分して得られる速度が低 μ 路突入時に指示された速度になるように調整した。計算誤差を抑えるため、この補正では、減速度の実測値ではなく速度を微分したものを使用した。なお、走行距離データは速度データを再積分することにより求めた。図6の測定結果から低 μ 路突入速度を30km/hに補正した結果を図8に示す。

4. 1. テストコースにおける測定結果と実車走行模擬装置による測定結果との比較

次に、テストコースにおける測定結果と実車走行模擬装置による測定結果とを比較したものを図9に示す。この図をみると、減速度については、前輪が低 μ 路に突入するまではほぼ同じ値を示している。前輪が低 μ 路に突入すると前輪がスリップするため減速度が急に0に近づき、前輪が低 μ 路から出ると減速度が急上昇する。その後、後輪が低 μ 路に突入すると前輪ほどでもないが減速度が0に近づき、後輪が低 μ 路から出ると減速度が上昇する。また、前輪が低 μ 路に突入してから後輪が低 μ 路を出てしばらくするまでABSが作動することにより減速度は複雑な振動波形を示していることがわかる。後輪が低 μ 路を出てから0.5秒程度（前輪が低 μ 路に突入して1秒程度）経過した後は、減速度が安定するものの徐々に低下して、停止時には2m/s²まで低下していることがわかる。

なお、低 μ 路を出た後はテストコースにおける測定結果の方が僅かに減速度が大きい傾向がみられ、同じ

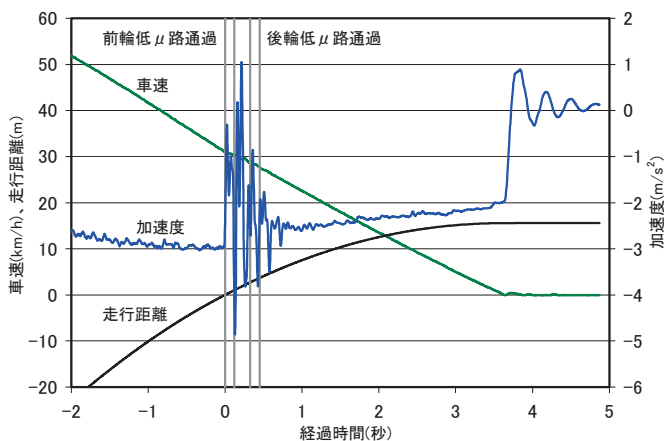


図6 測定結果 (テストコース、30km/h、3m/s²)

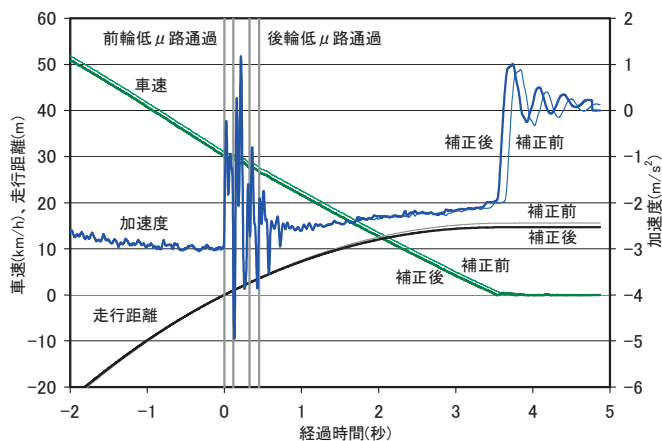


図8 補正結果 (テストコース、30km/h、3m/s²)

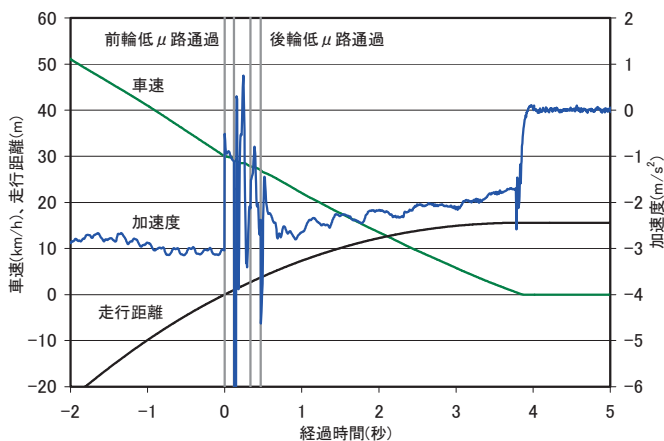


図7 測定結果 (実車走行模擬装置、30km/h、3m/s²)

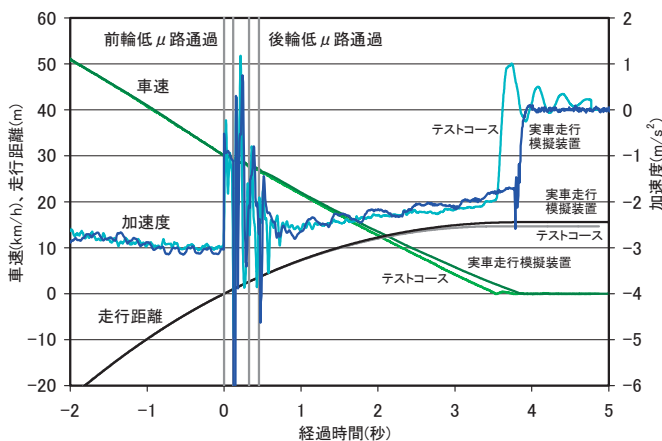


図9 テストコースと実車走行模擬装置との比較

経過時間での速度は実車走行模擬装置による測定結果の方が大きく、実車走行模擬装置による測定の方が遅く停止し、停止距離も0.9m程度長くなった。しかしながら、運転者がブレーキ踏力計を見ながらブレーキ踏力が一定になるようにブレーキ操作を行ったことから、この程度の誤差はやむを得ないと考えられ、実車走行模擬装置での走行状態とテストコースでの走行状態には再現性があるといえる。

次に、今回測定した低 μ 路突入時の速度及び減速度のすべての条件について、停止距離を求めたものを図10に示す。これらの測定結果の中で、テストコースでの停止距離と実車走行模擬装置での停止距離との違いが大きいものは、低 μ 路通過後の減速度においても相違がみられ、運転者の僅かなブレーキ操作の違いによる影響と考えられる。これらのことを考慮したうえで図10をみれば、実車走行模擬装置での走行状態とテストコースでの走行状態には停止距離に関して再現性があるといえる。

4. 2. プログラム変更前後の測定結果の比較

実車走行模擬装置を使用することによりテストコースにおける走行状態がほぼ再現できるということがわかったので、実車走行模擬装置を使用してABS制御プログラム変更前後の測定結果を比較することとした。

1例として、低 μ 路突入時の速度が30km/h、低 μ 路突入時の減速度が2m/s²の場合について、プログラム変更前の測定結果を図11に、プログラム変更後の測定結果を図12に示す。

図11では、ほぼ同じ踏力であるにもかかわらず、低 μ 路通過後には減速度が0.7m/s²程度でほぼ一定である。しかしながら、図12では、低 μ 路通過直後

は約2m/s²であるが、低 μ 路通過後約5秒間で約0.4m/s²まで減速度が徐々に低下し、その後はほぼ一定の減速度であることがわかる。

このように、制御プログラムの変更による明確な車両挙動の変化を捉えることができた。

5. あとがき

電気式ハイブリッド自動車のABSを対象として、実車走行模擬装置による走行状態とテストコースにおける走行状態との比較実験を実施したところ、今回の実験条件では、テストコースにおける走行状態を再現できることが分かった。また、ABS制御プログラム変更前後の車両挙動の違いを明確に捉えることができた。

この実車走行模擬装置を使えば、天候等にも左右されず、危険性も伴わないで、各種の走行条件を比較的容易に変えて走行実験を模擬することができることから、市場クレーム調査等に有効活用できるものと考えられる。

最後に、この実験を実施するにあたって、ご協力をいただいた関係者の皆様に感謝致します。

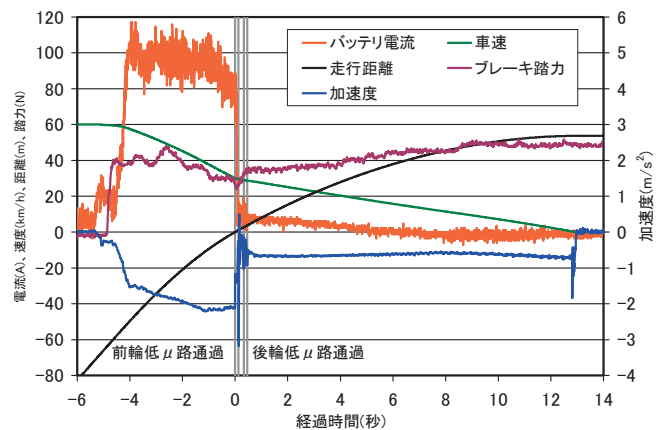


図11 プログラム変更前の測定結果例

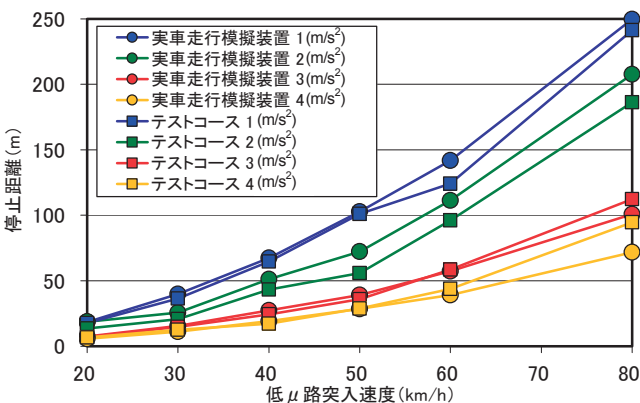


図10 停止距離の比較結果

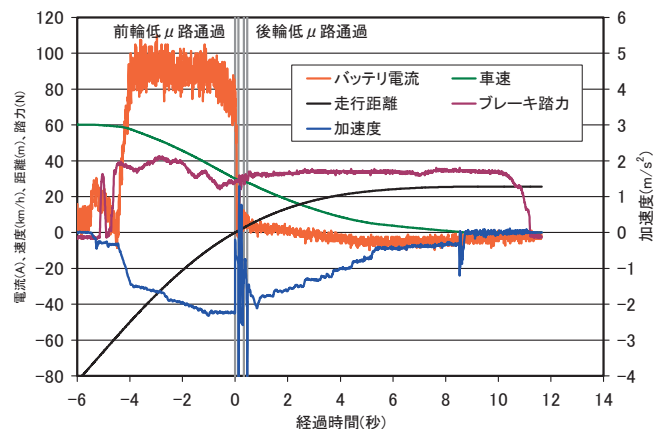


図12 プログラム変更後の測定結果例