

急操作時のブレーキ効力の低下

自動車安全研究領域 ※波多野 忠、柳沢 治茂、成 波、山元 克毅、廣瀬 敏也

1. まえがき

自動車の安全性の中で、危険回避場面でのブレーキ性能は重要であり、特に、ハンドル操作による危険回避が困難な場面では、ブレーキ性能の違いが危険回避の可能性又は事故障害度に大きな影響を及ぼす。また、参考文献⁽¹⁾に見られるように、緊急時では、通常走行時の操作動作に比べ、一般的には急操作を行うことが知られている。一方、現在の車両では、老若男女の誰でも容易に運転することができるようにするため、かつ、操作の快適性を上げるために、ブレーキ効力(減速度/踏力)は、大きな値に設定されている。このため、通常走行時では、小さな踏力でも車両には十分な減速度が発生するシステムとなっている。

そこで、今回は緊急場面のような操作動作が速い場合と通常時とで、ブレーキ特性にどの程度違いがあるか比較検討した。特に、低速走行時からの危険回避場面で言われている「ブレーキが効かない、ブレーキペダルが硬くて踏込めない」と言った事例を考慮し、また、ブレーキシステムの作動遅れが顕著に現れると考えられる低中速域に限定して検討を行った。

2. 試験方法

乗用車の一般的な液圧ブレーキシステムは、図1に示すようにブレーキペダル、倍力装置(バキュームサーボ)、マスターシリンダ(以下M.C.という)、ABS装置、ホイールシリンダ(以下W.C.という)、ブレーキパット・ディスク等からなり、ブレーキペダルを踏むことによりホイールの回転を止める装置である。このシステムは、ホイールを止めるための摩擦材、倍力装置、ABS装置等の使用によりヒステリシスや応答遅れがある。このため、効力試験は準静的なもの、例えば踏力一定での評価が行われてい

る。今回踏込み速度の違いによるブレーキの性能評価を行うため、踏込み速度を一定にすることを目標入力として効力試験を実施した。なお、踏込み量が限定されていること、各装置のリターンスプリング、遊びの影響、倍力装置の性能等で、等速にブレーキペダルを踏込むことが不可能であることがわかった。このため、運転者にはできるだけ等速になるように踏込むことを指示し、かつ、今回の性能評価の基準条件には、倍力装置が最初に働く、いわゆるジャンピング前後での最大踏込み速度で比較検討した。

測定項目は、ブレーキペダル踏力、踏込み量、踏込み速度(エンコーダ使用)、M.C.液圧(ABS装置手前)、W.C.液圧(右前輪)、倍力装置用負圧、ブレー

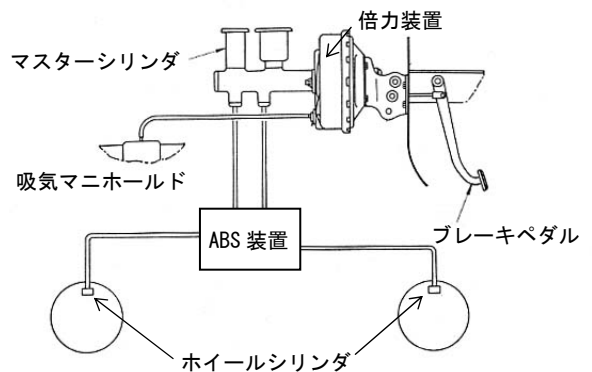


図1 液圧ブレーキシステム

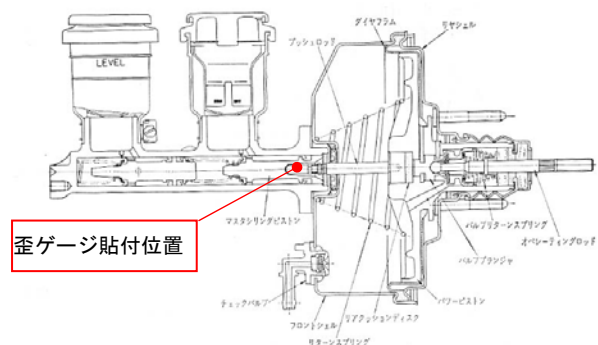


図2 倍力装置の出力計測位置

キ温度、車両速度とした。また、図2に示すとおり、作動遅れが発生する可能性のある倍力装置の出力軸に歪ケージを貼付して、マスタシリンダピストンを押すプッシュロッドのスラスト力を測定し、倍力装置の倍力比を計算した。また、ブレーキペダルが壁のように硬くなったとの証言の検証用に、踏込み量と踏力から瞬時バネ定数をもとめ、これを動的こわさとした。

試験は、小型乗用車1台を使用した。車両停止状態でエンジン暖気時のアイドル回転中に行った①定置試験と、初速度5, 10, 20, 40, 60km/hからペダル踏込み速度一定での②制動効力試験を実施した。

①定置試験は、運転者の踏込み速度の能力とペダルが壁になる状態量を測定することを目的に、当所職員7名(20代から60代、男子5名、女子2名)を被験者として、緊急・非安全状態でない通常走行時の状態を想定してもらい、そのときの踏込み速度を3段階(遅い、普通、速い)に分けてペダルを踏込ませた。足はブレーキペダル付近に置いてもらい、アクセルペダルは触れないようにさせた。次に、最大の踏込み速度でペダルを踏込ませるために、試験前の足の位置は特定せず、体全体を使って予備動作しても構わないとし、能力最大になるように踏込ませた。全条件において、ペダルが壁のように動かなくなったと感じたときから数秒たって中止するように指示した。

②制動効力試験は、規定の初速度からペダル踏込み速度を一定にして減速し停止させた。ブレーキ効力は、ペダル踏込み直後から車両停止までの間の平均踏力と、平均減速度で計算した。なお、車両の平均減速度は、車両速度から求めた制動距離を使用した。試験条件としては、制動効力試験前のブレーキ温度を80~100度前後とし、試験前の倍力装置負圧を-70kPa(ゲージ圧)前後とした。試験は、テストコース内の乾燥路において、運転者をテストドライバー1名で実施した。

3. 試験結果

3. 1 定置試験結果

図3に踏込み速度の遅い例(140mm/s)と図4に速い例(1400mm/s)を示す。それぞれ上段が時系列データ、中段が踏力-ブレーキ液圧・倍力比の関係、下段が踏込み量-ブレーキ液圧・動的こわさ・倍力比の

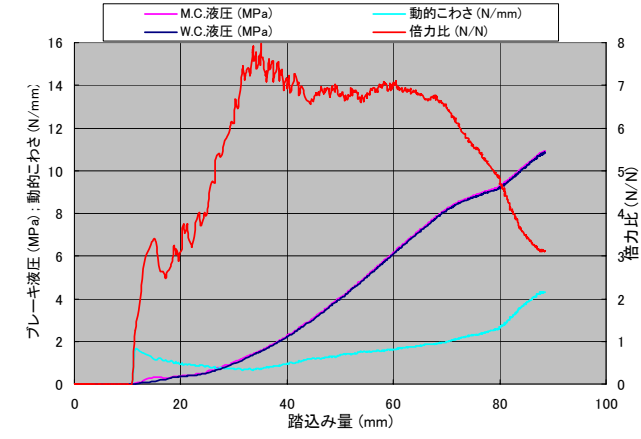
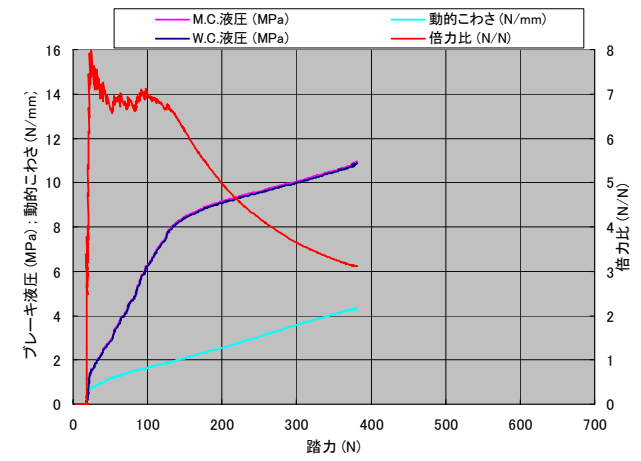
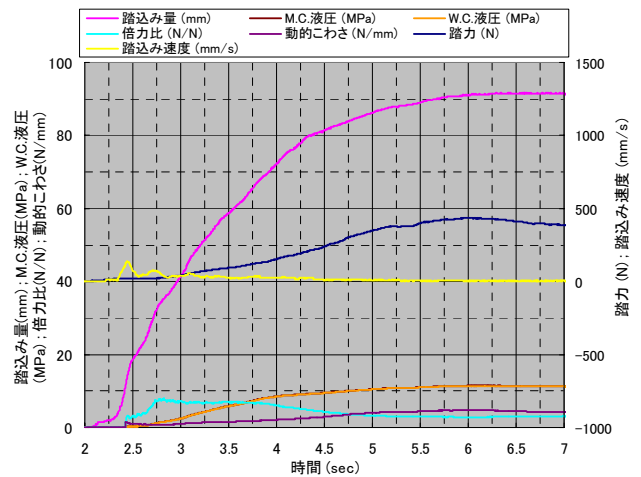


図3 ペダル踏込み速度の遅い例

関係を示す。図3と図4の時系列データを見ると、踏込み速度は一定ではなく、変化しながら運転者の踏込み量限界値まで達している。踏込み速度が遅い場合には、始めの約0.5秒はブレーキ液圧が発生しない不感帯がある。倍力装置が働き始めたいわゆるジャンピング前後での踏込み速度が最大となっている。踏込み速度が速い場合には、踏込まれると同時にM.C.液圧が発生し、踏込み速度が直ちに最大になる。踏力は、踏込み速度が遅い場合にはゆっくり立ち上がるが、早い場合には初期の踏力は大き

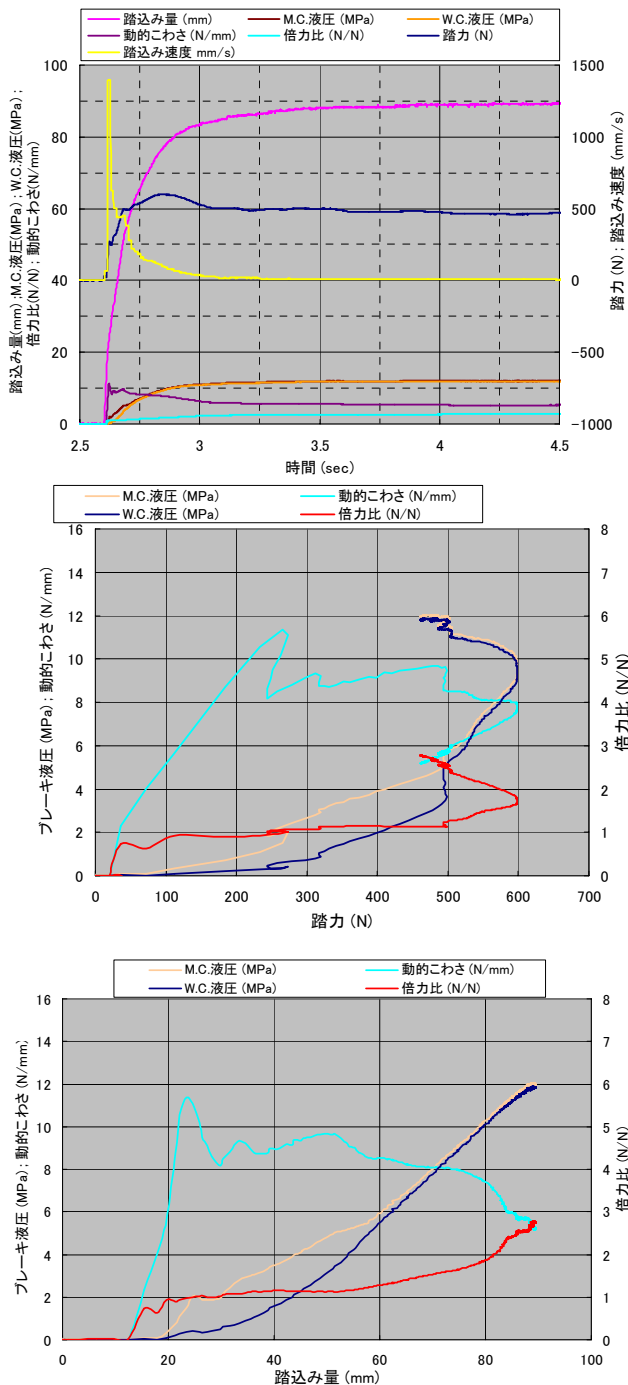


図4 ペダル踏み込み速度の速い例

い。倍力装置の倍力比は、踏み込み速度が遅い場合には踏み込み初期に大きくなるが、踏み込み速度が速い場合には倍力比は小さく、この間に運転者の踏み込み量限界値まで達してしまう。それゆえ、倍力装置の応答遅れが発生していると考えられる。倍力比と正反対に動的こわさは、踏み込み速度が速い場合には踏み込み初期に大きくなっている。このことで、ブレーキペダルの動きが硬くなったと感じる可能性はある。中段の踏力-ブレーキ液圧線の踏み込み速度が遅い場合をみると、踏力ゼロ付近の不感帯から倍力装置の

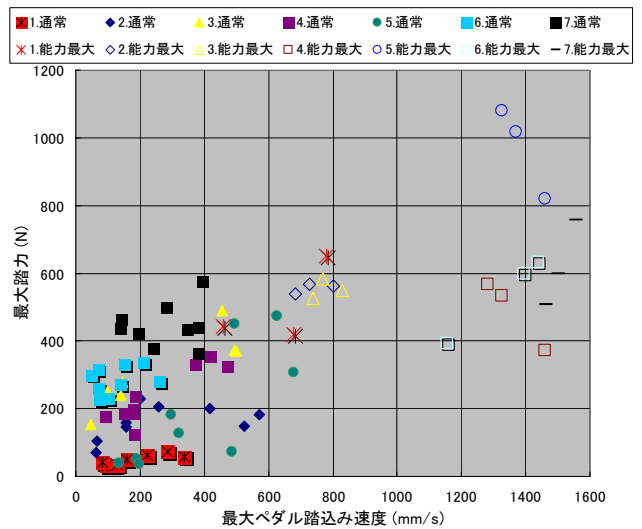


図5 最大踏み込み速度と最大踏力の関係

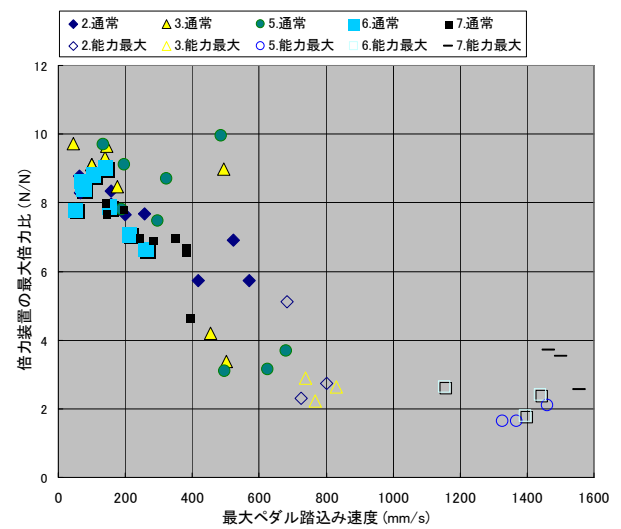


図6 最大踏み込み速度と最大倍力比の関係

ジャンピング特性で液圧が急激に立ち上がる。踏力150N前にもう一度変化がある。倍力比を見ると倍力装置が立ち上がると直ぐに8前後まで達して、その後、踏力150N前の変化点を過ぎると徐々に減少している。また、動的こわさも徐々に大きくなっている。これに比較して、踏み込み速度が速い場合には全体的にかなり歪んだ状態になっている。M.C.液圧に比べW.C.液圧は、踏力500Nまで低下している。倍力比も2前後であり、動的こわさもかなり大きい。下段のペダル踏み込み量での関係を見ると、中段の踏力の線図と同じ様子を示している。

図5に全被験者の最大踏み込み速度と最大踏力の関係を示す。通常状態の踏み込み速度は約600mm/s前後以下であり、運転者の能力最大では1500mm/sにも達するが、最低では400mm/sを超える程度のももある。このため、通常状態と能力最大時の踏み込み速度が重なっている。また、ブレーキペダルが壁の

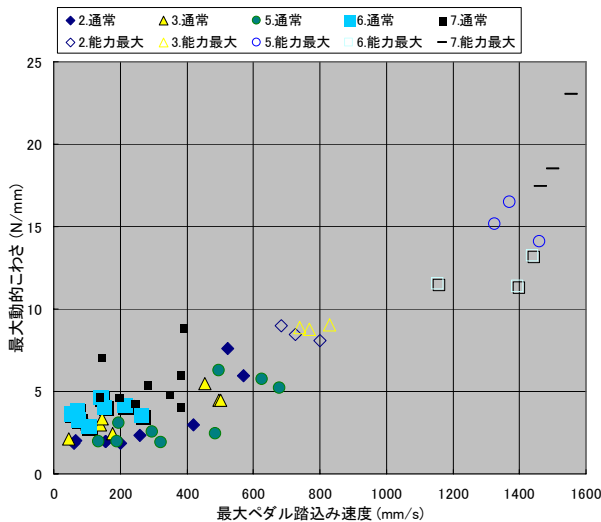


図7 最大踏み込み速度と最大動的こわさの関係

ように感じる踏力は被験者 1 名を除きばらつきが大きかった。これはペダル踏み込み量も影響していると考えられるが、運転者個人でも操作状態の違いで変化することを表している。

図 6 と図 7 に最大踏み込み速度と最大倍力比・最大動的こわさの関係を示す。ペダル踏み込み速度が速くなると、倍力比が小さくなり、動的こわさが大きくなる。通常時と比較して能力最大の場合には動的こわさが 2~5 倍程度大きくなる。

3. 2 制動効力試験結果

図 8 にペダル踏み込み速度とブレーキ効力の関係を示す。踏み込み速度が 300mm/s 超えるとブレーキ効力は低下する。但し、初速度 60km/h の場合には他と比べ低下率は小さい。なお、初速度 40km/h と 60km/h の結果の中で、踏み込み速度 700~1000mm/s、ブレーキ効力 0.02 前後以下のものは ABS 装置が作動した。(M.C. 液圧と W.C. 液圧の差と波形より判断した)この条件ではブレーキ効力は小さくなる。

図 8 全体をみると、低踏み込み速度から類推される運転者の高踏み込み速度のブレーキ性能への期待と、車両のブレーキ性能との差が踏み込み速度 300mm/s を超えると広がることがわかる。前述の定置試験結果から、運転者のペダル踏み込み能力は通常でも 600mm/s 程度まで、最大能力で 1500mm/s までであることを考慮すると、ブレーキペダルを速く踏むとブレーキの効きが悪くなると感じられる傾向があり、危険回避場面における踏み込み速度が特に速い場合では、この傾向が顕著になると考えられる。また、

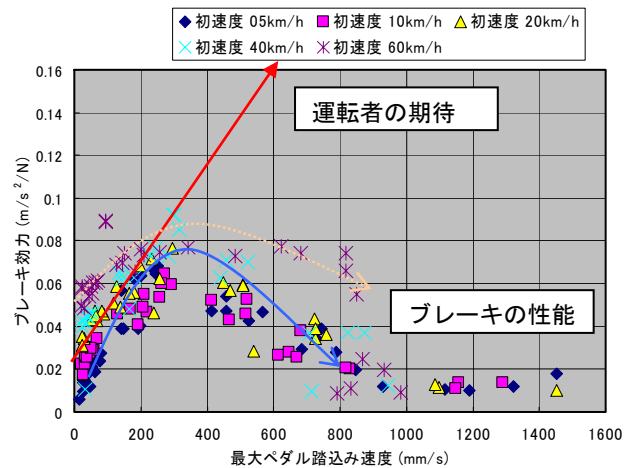


図8 最大踏み込み速度とブレーキ効力の関係

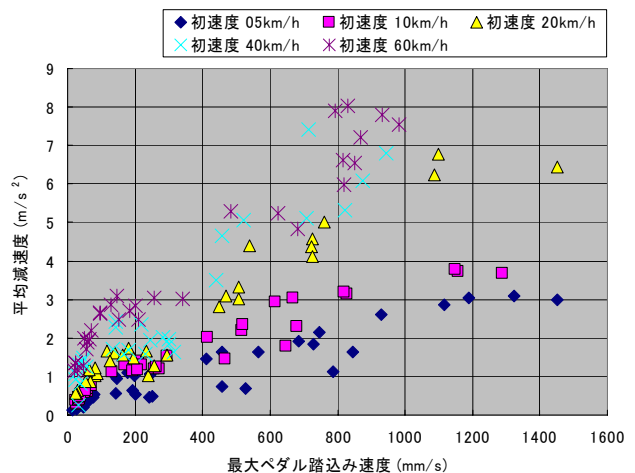


図9 最大踏み込み速度と平均減速度の関係

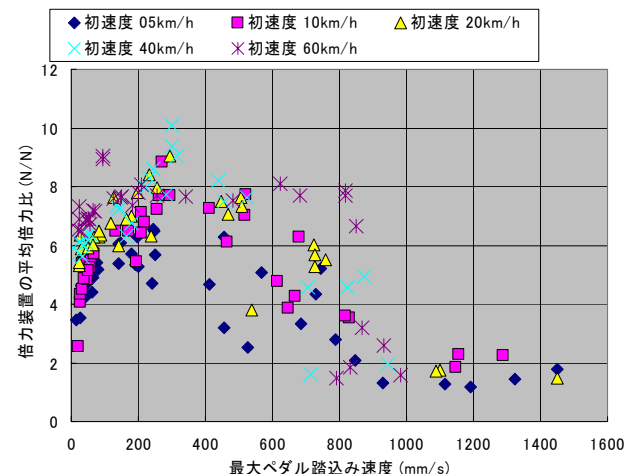


図10 最大踏み込み速度と平均倍力比の関係

ABS 装置が作動した場合も同様にブレーキ効力が低下し、ブレーキの効きが悪くなったと感じる。

図 9 にペダル踏み込み速度と平均減速度の関係を示す。どの初速度に対しても踏み込み速度と平均減速度はほぼ線形の関係にあり、踏み込み速度が速ければ、早く停止することがわかる。図 10 にペダル踏

踏み速度と平均倍力比の関係を示す。図 8 のブレーキ効力の関係と似た傾向を示す。ペダル踏み速度と平均踏力の関係を図 11 に示す。これらのことから、ブレーキシステムの出力側(平均減速度)はペダル踏み速度に比例して大きくなることから、入力側(平均踏力)の非線形性でブレーキ効力が低下するものと考えられる。また、入力側の性能は、倍力比の関係から倍力装置の性能による影響と考えられる。

また、参考に、ペダル踏み速度と M.C. 平均液圧・W.C. 平均液圧の関係をそれぞれ図 12 と図 13 に示す。初速度 40km/h と 60km/h の場合で、M.C. 平均液圧が 8MPa を超えると、ABS 装置が作動し W.C. 平均液圧が低下するのがわかる。初速度 20 km/h の場合には、この現象は見られない。

以上のことから、踏み速度 300mm/s を超えるとブレーキ効力が低下する原因は、倍力装置の倍力比の違いによるもので、定置試験結果も合わせてみると倍力装置の応答遅れが原因しているものと考えられる。

4. まとめ

被験者 7 名による停止状態での小型乗用車を使った定置試験では、以下のことがわかった。

- 踏み速度を能力最大で踏込んだ場合には、動的こわさが通常時と比較して 2~5 倍程度大きくなることがわかった。この原因は倍力装置の応答遅れからで、これはブレーキペダルの動きが硬くなったと感じる原因と 1 つと考えられる。
- ブレーキペダルが壁のようになったと感じる踏力の条件は、1 人を除き、ばらつきが大きい。
- 通常使用時の踏み速度は、600mm/s 前後以下であり、能力最大時は 400~1500mm/s 程度まであった。

小型乗用車を使った低初速度からの制動効力試験では、以下のことがわかった。

- ブレーキペダル踏み速度が 300mm/s を超えるとブレーキ効力は低下する傾向にある。このため、もし、車両速度 40km/h 以下の場合で、300mm/s を超える速度でブレーキペダルを踏

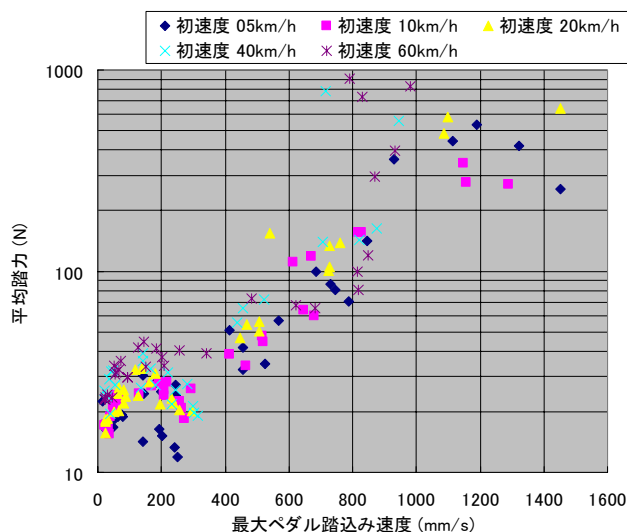


図 1 1 最大踏み速度と平均踏力の関係

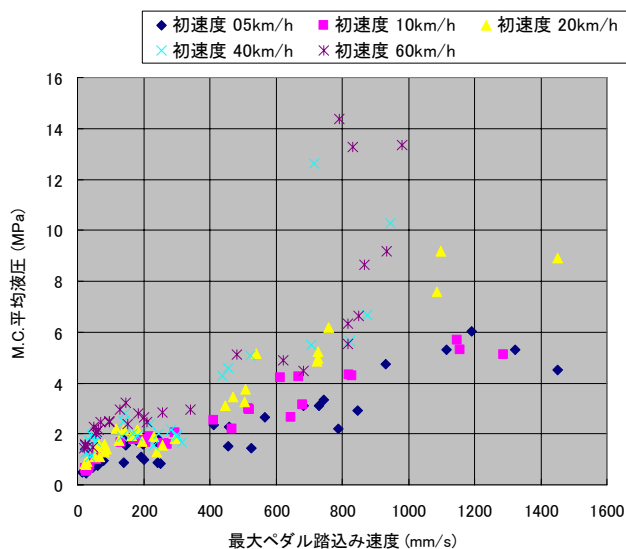


図 1 2 最大踏み速度と M.C. 平均液圧の関係

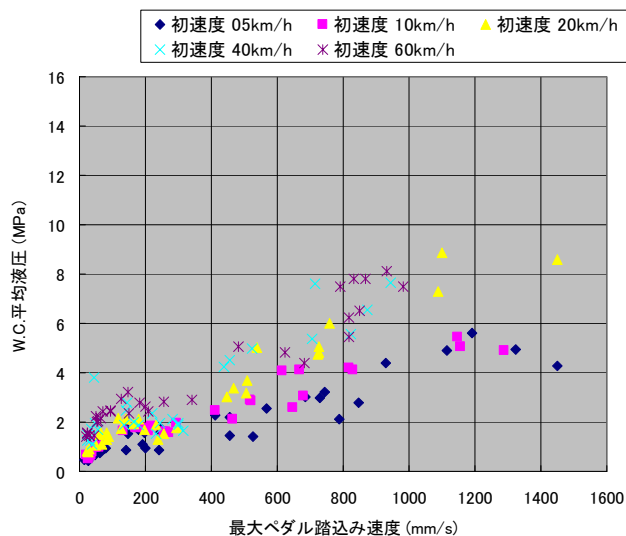


図 1 3 最大踏み速度と W.C. 平均液圧の関係

込む場合には、ブレーキの効きが悪くなったと
感じる場合がある。

以上のことから、今回のようなブレーキ性能を持つ車両の場合には、低中速走行中に危険回避時のようなブレーキペダルの踏み込み速度が速い時に、ブレーキ効力が低下し、ペダルの動きが硬くなったと感じる。ここで、さらに故障したと間違えてペダル踏み込みを停止すると危険回避の可能性が小さくなる。しかし、この原因は倍力装置の応答遅れにあり、このままブレーキペダルを強く踏み続けていれば、所望の減速度は確保される。それゆえ、運転者には、ペダル踏み込み速度が極端に速い場合のブレーキ効力の低下、ペダルの動き等を体験する必要がある。この経験を積むことにより、緊急危険回避の時に運転者がパニック状態へ陥りにくくなるものと考えられる。

また、今回試験車両に搭載されている倍力装置は、乗用車で広く一般に使用されているダイレクトアクチングバキュームサーボであり、この装置の応答特性の改善を行う必要があると考えられる。

今回は一例だが、今後、軽自動車、踏み込み速度検知型ブレーキアシスト装置搭載車両、貨物自動車について試験を行い比較検討する予定である。

(参考文献)

1. 山本他、一般ドライバの緊急ブレーキ操作に対するアシストシステムの開発、自動車技術会、学術講演会前刷集 973 1997-5
2. 自動車技術会、自動車技術ハンドブック、試験・評価編、1991年6月