

電動パワー・ステアリングにおける故障時の操舵力変化

井藤賀久岳・藤田英樹・横井隆治・河井和彦

1. はじめに

自動車にパワー・ステアリングを装着する目的は、運転者のステアリング操作を容易にすることである。当初は大型車に装着されたため、パワー・ステアリングを作動させるには大きな力が必要であった。そのため油圧式が多く用いられてきた。しかし、軽自動車などそれほど大きな操作力を必要としないものには、電動式が採用されるようになってきた。これは、油圧式では油圧ポンプの駆動がエンジン出力に損失を与えるのに対し、電動式では駆動損失を低減させることができるためである。電動パワー・ステアリングは、軽自動車だけでなく小型車への装着も検討されている。

本稿では、電動パワー・ステアリングのセンサが故障した場合、どのような操舵力の変化があるかを確認するため、故障を模擬的に作りだし、実走行して調査を行った。また、電動パワー・ステアリングが過負荷においてどのような制御機能があるかを調査した。

2. 実験装置

実験に用いた車両及び装置を述べる。

2.1 実験車両

実験車両を図1に示す。また、車両諸元を表1に示す。



図1 実験車両の外観

表1 実験車両の諸元

型式	E- CN22S
排気量	657cm ³
変速機	A/T
駆動方式	前輪駆動
軸重 フロント	4.84kN(実測値)
リア	3.38kN(実測値)
車重	8.22kN(実測値)
タイヤ・サイズ	155/65 R13
空気圧	200kPa
ステアリング・ギア方式	ラック&ピニオン
アシスト方式	コラムアシスト

2. 2 測定装置

クランプ式電流計(HIOKI 3264)を用いて電動パワー・ステアリングのコントロール・ユニットとステアリング・モータ間の電流値を測定した。

自転車用速度計(CATEYE CC-DU100)のセンサを左右前車輪に取り付け、その左右前車輪速度の平均値を便宜的に車速とした。実験車両のスピード・メータでは、低速の測定に誤差が多すぎるので上記の速度計を用いた。

図2に示すようにバネばかりをステアリング・ホイールに取り付け、操舵力をバネばかりの指示値で測定した。

図3に示すターミナル・ボックスは、コントロール・ユニットと各センサ、各アクチュエータ間に設け、スイッチを用いてセンサからの入力信号を制御し、容易に故障状態を作り出すことができるようにした。

実験場所として、本学第2駐車場を使用した。路面はアスファルトで平坦に舗装されている。

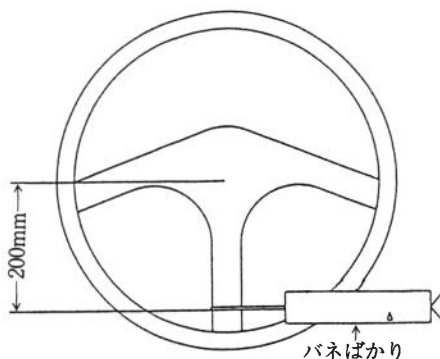


図2 操舵力測定方法

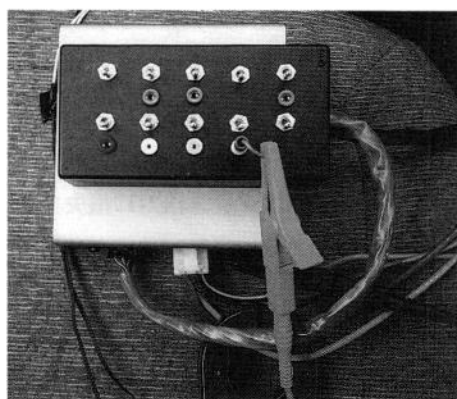


図3 ターミナル・ボックスの外観

3. 実験方法

電動パワー・ステアリングのセンサの故障時におけるアシスト力の確認、走行時における操舵力変化の確認、ロック状態での制御機能の確認を行うための実験方法を以下に示す。

3. 1 各センサの故障時におけるアシスト力の変化

停止時及び走行中、ステアリング・センサなどの入力信号をターミナル・ボックスで切り、各センサからの信号が入力しないとき、車両がどのような挙動を示すかを確認した。また、入力信号が復帰した時、車両がどのような挙動を示すかも確認した。

3. 2 電動パワー・ステアリングのアシスト力の有無による操舵力変化

設定した車速及び操舵角において、走行時の操舵力をアシスト力の有無において測定した。アシスト力の有無はステアリング・センサの入力信号を切ることにより制御した。設定した車速は、10km/h, 15km/h, 20km/h であり、操舵角は、270度, 360度, 450度 である。測定は、左旋回及び右旋回で行った。操舵角は、直進状態においてステアリング・ホイール上部にマーキングをし、それを基準とした。

3. 3 ロック状態での電流制御

ロック状態とは、ステアリング・ホイールを一杯に切った状態での保持であり、通称“はしあで”とも呼ばれている。

左ロック状態及び右ロック状態における時間経過に伴うステアリング・モータの電流値をターミナル・ボックスの測定端子を用いて測定した。

4. 実験結果

実験結果は以下の通りである。

4. 1 各センサの故障時におけるアシスト力の変化

センサを故障させると、次のような挙動を示すことがわかった。

故障により無くなったアシスト力は、①停止時、走行時に関わらず復帰する場合、②停止時のみ復帰し、走行時は復帰しない場合、③停止時、走行時とも復帰しない場合の3通りがあった。

4. 2 電動パワー・ステアリングのアシスト力の有無による操舵力変化

左旋回の操舵力変化を図4に示す。図中の直線は最小二乗法で求めたものである。

図より、アシスト力の有無に関わらず速度及び操舵角が増すにつれて操舵力は増加すること、アシスト力の有無による直線の傾きは異なり、アシスト力有りの方がアシスト力無しに比べ直線の傾きが小さいため、速度が増加するにつれてアシスト力が大きくなることわかる。また、図は省略するが、右旋回を行った結果も左旋回の結果(図4)と同様であった。

4. 3 ロック状態での電流制御

左ロック状態における電流値の時間経過に伴う測定結果を図5に示す。測定は3回行った。各結果を図中の○、△、□で示す。

図より、大きな電流が20秒間流れ続けると、数Aずつ電流値を減少させ階段状に低下していくことがわかる。電流値が約6Aまで低下した時点で時間経過に伴う変化はなくなる。なお、ロック状態を解除すると、電流値は少しずつ増加し通常値の約5～10A程度まで戻った。図は省略するが、右

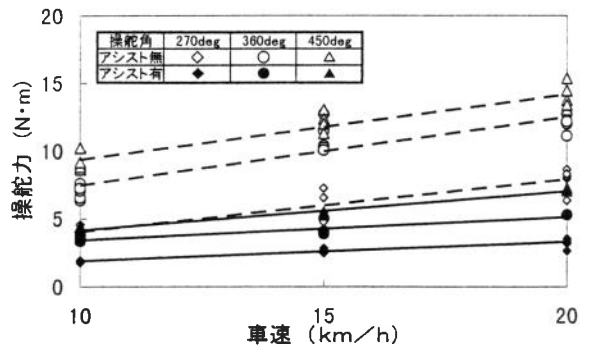


図4 アシスト力の有無による操舵力変化

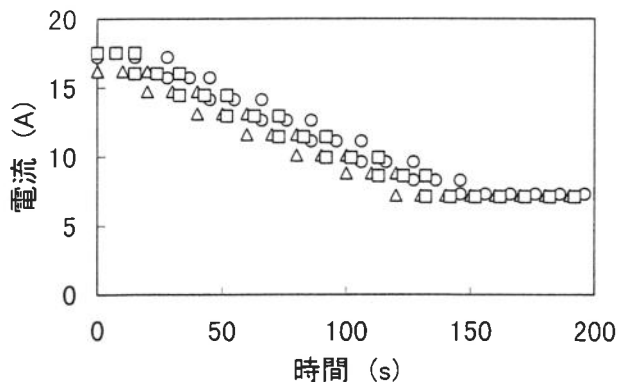


図5 ロック状態での電流値変化

ロック状態における電流値の時間経過に伴う測定結果も左ロック状態の結果(図5)と同様であった。

5. 考 察

上述した実験結果について若干の考察を加える。

5. 1 各センサの故障時におけるアシスト力の変化

停止時, 走行時に関わらずアシスト力が復帰するセンサは, 常に入力信号が変動するものである。これらは電動パワー・ステアリングの電源供給に関わるので, バッテリ電圧及びエンジン回転数を測定するものであると思われる。

停止時のみアシスト力が復帰し, 走行時は復帰しないセンサは, 速度に関わるものである。これは車速を測定しているセンサであると思われる。停止時には入力信号がないので, 異常の判断ができないことから復帰すると思われる。

停止時, 走行時に関わらずアシスト力が復帰しないセンサは, ステアリングの操舵角を測定しているセンサであると思われる。ステアリング・センサは, 複数個のセンサで成り立っているため, センサによって入力が異なるとセンサの異常となってしまう。この危険性を回避するために復帰しないと思われる。

5. 2 電動パワー・ステアリングのアシスト力の有無による操舵力変化

同一走行条件におけるアシスト力の有無による操舵力の差が, 電動パワー・ステアリングによるアシスト力となり, 速度及び操舵角が増すにつれて増加する。電動パワー・ステアリングのモータ電流も車速及び操舵角の増加につれて大きくなるのは, アシスト力に対応すると考えられる。もし, アシスト力を一定に設定すると, 高速度時及び高操舵角時, 運転者への負担が大きくなる。また, 逆にアシスト力を大きく設定しすぎると, 高速度時, 運転者による操舵力が小さくなりすぎるので危険である。そのため約 $5 \sim 10\text{N}\cdot\text{m}$ のアシスト力に設定してあると思われる。

5. 3 ロック状態での電流制御

ロック状態では, ステアリング・モータは回転できないため, 出力はすべて熱に変換されると思われる。また, コントロール・ユニットは電源供給もかねているので, 電流を供給し続ければ, これも発熱の原因となる。このためロック状態は, システムの破壊につながる危険性があるので, 保護機能として電流値を階段状に低下させる制御を行っていると思われる。

6. お わ り に

本稿では, 電動パワー・ステアリングのセンサが故障した場合, どのような操舵力の変化があるか, また過負荷においてどのような制御機能があるかを検討した。

センサの故障が走行中に起こると, アシスト力が瞬時に喪失する。そのため, ステアリング・ホイールを戻そうとする力がかかるので, 大変危険である。したがって, センサの故障時におい

ですべてのアシスト力が瞬時になくなるのではなく、過負荷における制御機能のように、ステアリング・モータの電流値を階段状に低下させる機能があれば、徐々にアシスト力がなくなり危険が少なくなると思われる。

センサが故障すると、フェイルセーフ機能が働く仕組みになっている。しかし、運転者によって故障しているかどうかの認識が異なるため、故障と判断されていない場合もある。また、エンジンを再始動すると、フェイルセーフ機能が解除される。そのため、センサが異常になるまではアシスト力があるが、センサが異常になるとアシスト力が瞬時になくなるので危険である。この現象は、センサを修理するまでエンジンを再始動するたびに起こる。したがって、エンジンを再始動してもフェイルセーフ機能が解除されないような安全機能や、故障状況を表示できる警告灯が必要であると思われる。

最後に、本実験に対しご助言、ご協力いただきました高行男教授、ならびに実習室の諸先生に厚くお礼申し上げます。