102 ドライバ上肢の運動を考慮した新しい運転操作系の開発

Development of New Steering System Considering the Direction of Upper Limb Motion

○学 北原 圭 (山梨大)

正 孕石 泰丈 (山梨大)

正 毛利 宏 (山梨大)

Kei KITAHARA, University of Yamanashi, 4-3-11, Takeda, Kofu-shi, Yamanashi

Yasutake HARAMIISHI, University of Yamanashi, 4-3-11, Takeda, Kofu-shi, Yamanashi

Hiroshi MOURI, University of Yamanashi, 4-3-11, Takeda, Kofu-shi, Yamanashi

Key Words: Steering Bar, Steering system, Steer-by-wire, Human-machine-interface, Upper limb motion

1. 緒言

パイワイヤ技術の登場により自動車の運転操作系の設計自由度は今後飛躍的に高まるが見込まれる。現在までもその自由度を活かした操作系の研究は数多く行われている。田島らは二本のレバーを用いた操舵系を提案し、ドライバーダイナミックスとビークルダイナミックスの両特性において優位であることを示した⁽¹⁾。これらの研究は主に高速走行時の操縦安定性や車両限界走行域における安全性を目指したものが多く、一方低速域では従来の操作系に操縦安定性の問題はないが、ユーザインターフェースとしての扱いやすさという視点から捉えると未だ多くの課題が残されている。一般に低速域では操舵量が大きく、ドライバーはより多くの労力を操舵に注ぐことになる。例えば交差点では操舵タイミングや操舵量などを調整しながら、切り込み、ハンドルの持ち替え、切り戻しなど複合した操作を行う必要がある。さらに、この一連の操舵行動は人間が後天的に習得したものであり、訓練や経験の上に成り立っている。このようなことから、低速域では自動車を直感的に運転することが難しいと感じるドライバーも多い。しかし低速域での操作の簡略化については未だに明快な方策は見出されていない。そこで本研究では特に低速域での操作しやすさという観点から、ステアパイワイヤの設計自由度を活かした新しい操作系開発に取り組む。本報では操舵系の形状やその動作方向に着目し、運転しやすさに及ぼす影響に言及する。

2. 操舵負担の要因

低速走行時の操舵は複合した要素が絡み合っていることは先に述べたが、我々はその中でもハンドルの持ち替え操作が操舵負担の大きな要因になっていると考えた。走行中にハンドルを持ち替えることは、制御対象から一度手を放すことになり、その時点までの位置情報を喪失し、ドライバー上肢と操舵系との位相にも変更が生じる。このため、操舵系に伝わる反力、振動等からの走行状況の把握や過去の運転経験からの操舵角入力に対する予測が必要となる。またこの場合、切り込みに関しては単純に必要な舵角までハンドルを回していけば良いが、方向転換後直線走行に戻る際の切り戻しに関してはさらに複雑である。切り込み時と同じ位置を把持しながらハンドルを戻していくことは困難であり、ステアリングホイールという円形で連続的な操作系形状の性質も相まって中立位置が非常にわかりにくい。また、中立に戻した際のドライバー上肢も不安定である。このようにハンドルの持ち替えを伴う操舵はドライバーにとって大きな負担になっていると考えられる。そこで本研究では持ち替えをなくして、低速での取り回し性能向上、負担軽減が可能となる操作系の開発を目指す。持ち替えのない操舵系を実現するには、ステアリングギヤ比を従来の値から大幅に小さくする必要がある。しかし、従来の操作系のままギヤ比を小さくした場合、分解能が大幅に低下し、操舵が不安定になることが確認されている⁽²⁾。そこで我々はまず、ギヤ比を下げて操作性を損なわず、むしろ制御成績の向上が可能な操舵系を提案するために、ドライビングシミュレータを用いて実験を行った。

3. ドライビングシミュレータを用いた実験

3-1 実験仕様

従来の操作系からドライバー上肢の運動方向、把持部形状を変更した表1に示す四仕様を用意し、ドライビングシミュレータを用いて比較実験を行った。各操舵系のイメージを図1に示す。仕様①は従来の操舵系であり、ギヤ比は 20:1 である。仕様②は従来の操舵系のまま、ギヤ比を 1:1 にし、ハンドルの持ち替えを不要にした。仕様③は従来の操舵系の軸傾斜角はそのままにして把持部形状をバー状に変更した。ギヤ比は 1:1 とした。仕様④は仕様③の軸傾斜角を 90°に変更して、ドライバー上肢の動きを前後方向にしたものである。つまり仕様①、②、③ではドライバー上肢の運動方向は上下方向となり、仕様④では前後方向となる。

Table1 Specification of steering system

Spec. No.	Steering shape	Axial angle [deg]	Gear ratio
①	Wheel	30	20:1
②	↓	↓	1:1
③	Bar	↓	↓
④	↓	90	↓

Fig.1 Specification of steering system

3-2 実験概要

被験者は運転免許を保持している 20 歳代の男子学生 10 名とし、一定車速 20km/h でレーンチェンジを 5 回行った。速度調整はシミュレータが自動的に行い、ドライバーはステアリング操作のみを行った。また、コースには走行目標ラインを設け、ラインに追従して走るよう指示をした。

評価指標として走行目標ラインからの偏差と走行中に発生したヨー角の総和 ϕ^* を用いた。ヨー角総和 ϕ^* の計算方法を式(1)に示す。修正操舵や不要な操舵、車両挙動の乱れがあると、この指標は大きな値を示し、運転しにくいことを意味する。この指標は直線区間ではゼロになるので、ドライバーの走りたい車線横方向の位置が被験者によって異なっても、偏差が累積されることなく、収束性の評価が可能である。

$$\varphi^* = \sum_{k=1}^N |\varphi(k) - \varphi(k-1)| \quad (1)$$

N: データ数 φ : ヨー角 k: データ番号

3-3 実験結果

図2に代表的な前輪実舵角の時系列データを示す。従来の操舵系仕様①では操舵の遅れが目立ち、収束も遅れている。これに対しギヤ比を下げた仕様②では立ち上がりは鋭いが、実舵角のピークが大きく、操舵中、操舵後の修正が頻繁に見られる。ギヤ比が下がり素早く反応できる反面、分解能が下がり調整が難しくなったためと考えられる。形状をバーに変更した仕様③では転舵角のピークが抑えられ、遅れもなく収束も良い。上肢運動を前後方向にした仕様④ではこの傾向がさらに強まり、より少ない転舵量で運転できている。これらの結果は他の被験者についても同じ傾向であった。

Fig.2 Time series of the steering angle

図3にヨー角総和 φ^* と走行目標に対する偏差の関係を示す。目標に対する偏差が大きい従来の操舵系仕様①(▲)に対し、ギヤ比の低い仕様②(■)では偏差は小さくなった。しかし、 φ^* が全体的に増加し修正操舵が必要になった様子がわかる。一方バー形状の仕様③(×)では目標に対する偏差が小さく、 φ^* も小さい。さらに、上肢の運動方向を変えると仕様④(○)のようにばらつきが小さくなり、偏差、ヨー角総和 φ^* 共に小さく、スムーズな操舵で目標に追従できている。

以上より、ギヤ比を 1:1 に下げても、安定して思い通りの操作ができる仕様④(○)を新操作系として採用し、“Steering bar”と名付けた。

Fig.3 Deviation and Total yaw angle

4. 小型電気自動車による走行評価

4-1 実験概要

小型電気自動車をステアバイワイヤ化した後、ステアリングホイールと Steering bar の両仕様を搭載できるようにし、両者を比較する走行実験を行った。被験者は運転未経験者 5

名と一般ドライバ(日常的に運転をしている者)5名とし、評価は運転のしやすさに関する官能評価と、ヨー角総和 φ^* で行った。なお、ステアリングギヤ比についてはステアリングホイール 12:1, Steering bar 1:1 とし、前後方向制御はドライバによるペダル操作とした。

4-2 実験結果

運転未経験者のヨー角総和 φ^* と官能評価の関係を図4(a)に示す。ステアリングホイール入力車両(◆) (以下 Steering wheel 車と表記)では φ^* は大きく、官能評価が低くなっているのに対し、Steering bar 入力車両(■) (以下 Steering bar 車と表記)では官能評価が高く φ^* が小さいためスムーズに走行できている様子がうかがえる。

一般ドライバのヨー角総和 φ^* と官能評価の関係を図4(b)に示す。運転未経験者とは異なり、一般ドライバの場合は Steering wheel 車(◆)でもヨー角総和を小さくできることがわかる。これは、すでにステアリングホイールによる操作を習得しているためと推測される。ただし図4(b)を見て分かる通り、ステアリングホイールに十分慣れた一般ドライバでも Steering bar 車(■)は Steering wheel 車(◆)よりも扱いやすかった。さらに、図4(a)の運転未経験者の Steering bar 車(■)と、図4(b)の一般ドライバの Steering wheel 車(◆)はほとんど同等の領域にある。これは運転経験未経験者でも Steering bar を用いれば、一般ドライバと同等の運転ができる可能性を示している。

(a) Inexperienced driver (b) Licenced driver
Fig.4 Sensory evaluation and Total yaw angle

5. 結言

- ・低速走行領域における運転しにくさの一つの要因はステアリングの持ち替え操作であると考えられる。
- ・一般にハンドルの持ち替えを不要にするためにギヤ比を小さくすると、分解能が低下し運転しづらくなるとされているが、把持部形状、上肢の運動方向を従来のステアリングホイールから変更することにより、ギヤ比を小さくしても容易に扱える操舵系実現の可能性が示された。この操舵系を Steering bar として提案した。
- ・把持部形状をバー状に変更すると、低いギヤ比でも目標に対して正確に追従し、かつ収束性を損なわない操作が可能になることを走行実験で確認した。
- ・さらに上肢の運動方向を前後方向にすると、より扱いやすい操舵系となることがわかった。
- ・特に運転未経験者は、従来のステアリングホイールで運転することは難しく、Steering bar との性能差は大きい。
- ・従来のステアリングホイールに慣れたドライバでも、Steering bar を違和感なく直感的に操作できることを確認した。

6. 参考文献

- (1) 田島孝光・他 5 名, 自技会講演, 75-11(2011), 7.
- (2) 辻本崇好・他 2 名, 機講演, 05-52(2005), 271.
- (3) 柿沼徹也・他 2 名, 機講演, 06-52(2006), 317.