

電気自動車の操舵安定性向上を目的とした ヨーモーメントオブザーバの設計法に関する基礎検討

前田健太*, 藤本博志, 堀洋一 (東京大学)

Basic Consideration on Design Method of Yaw-Moment Observer
Aiming to Improve Steering Stability of Electric Vehicle
Kenta Maeda*, Hiroshi Fujimoto, Yoichi Hori (The University of Tokyo)

Abstract

Electric Vehicles (EVs) in sale today are mainly small and light. Such vehicles are sensitive to lateral wind especially in high speed, and this causes reducing steering stability and comfortability. In this paper, yaw-moment observer (YMO) is applied to reduce the effect of disturbance caused by lateral wind and to improve steering stability. YMO can nominalize the vehicle characteristics, which means we can design the vehicle characteristics freely. Hence, we consider the design method of YMO in order to make drivers feel easy to operate the vehicle. Effectiveness of the proposed method is verified with simulation and experiment. In addition, quantitative evaluation method of steering stability is proposed.

キーワード：電気自動車, 操舵安定性, ヨーレート制御, 制駆動力差, ドライバモデル
(electric vehicle, steering stability, yaw-rate control, driving and braking force difference, driver model)

1. はじめに

地球温暖化問題や化石燃料枯渇問題への対策として、電気自動車 (Electric Vehicle : EV) が国内外で注目されている。モータを駆動力に利用する EV の内燃機関自動車 (Internal Combustion Engine Vehicle: ICEV) に対する優位性は、環境負荷が低いこと以外に以下の点が挙げられる⁽¹⁾。

- (1) 内燃機関と比べてトルク応答が 2 桁速い
- (2) 小型高出力なインホイールモータを各輪に分散配置することで、各輪独立制御が可能
- (3) モータに流れる電流から、モータが発生しているトルクが正確に測定可能

これらの利点を生かして、アンチスリップ制御⁽²⁾や姿勢・走行安定化制御⁽³⁾などの研究が数多く行われている。

現状で EV は電池の価格や一充電走行距離などの問題から、軽自動車から普通車クラスが主に発売されている。それでも同クラスの ICEV と比較すると高価であり、高級車並の価格となっている。一般的に、軽量な車両は高速走行時に横風などでハンドルをとられ、車線から逸脱しやすい。そのためドライバーは車線内を走行できるよう常に修正操舵を強いられ、操舵安定性や乗り心地が低下する。それに対し、高級車は重心点が低く車重も大きいため、高速域でも安定した走行性能や乗り心地を実現している。今後 EV が普及するための付加価値として、軽量小型 EV でも高級車並の乗り心地を実現することが望ましい。

操舵安定性向上制御として、電動パワーステアリング (Electric Power Steering : EPS) を用いて自動的に修正操舵を行う手法が多数提案されている^{(4)~(7)}。一方著者らのグループでは、インホイールモータを搭載した EV の左右輪

に制駆動力差を生じさせることによる車両姿勢制御法を提案してきた⁽³⁾。その一つが、外乱ヨーモーメント抑圧法の一つとして提案してきたヨーモーメントオブザーバ (Yaw-Moment Observer : YMO)⁽⁸⁾である。YMO を適用すれば、横風の発生を瞬時に検知し、制駆動力差によって進行方向のずれを低減することで、ドライバーは横風中でも安定して車両を直進させることが可能である。

YMO は走行中の車両における重心軸回りの運動をノミナル化するため、これを用いたヨーレート制御法が提案されてきた⁽⁹⁾。しかしながら、これらの手法はパラメータ推定や車両の姿勢・走行安定化を目的としており、制御によるドライバーの操舵への影響は考慮に入れられてこなかった。そこで本稿では、YMO を適用した状態でドライバーが自由に操舵することを想定し、操舵安定性や乗り心地向上という観点から YMO の設計法を提案する。

さらに、ドライバーの操作が入るクローズドループテストにおいて、運転しやすさの評価はドライバーにアンケートに回答してもらう方法が一般的である⁽¹⁰⁾。本稿ではクローズドループテストにおける定量的評価法を提案し、それを用いて操舵安定性評価を行ったので報告する。

2. 実験車両

実験車両として筆者らのグループが製作し、本稿で使用した電気自動車「FPEV2-Kanon」を図 1 に示す。本車両にはアウターロータ型インホイールモータを 4 輪全てに搭載している。このモータはダイレクトドライブ方式であり、ギアを介さないためバックラッシュの影響などが無い。したがって、路面からの反力情報を直にモータに伝えることが可能である。1 輪あたりに発生可能な最大トルクは前輪



図 1 FPEV2-Kanon
Fig. 1. FPEV2-Kanon

表 1 FPEV2-Kanon の各パラメータ
Table 1. Vehicle specifications.

車両重量 (m)	870 [kg]
重心軸の慣性モーメント (I)	617.0 [kg · m ²]
ホイールベース (l)	1.7 [m]
重心と前輪軸間の距離 (l_f)	0.999 [m]
重心と後輪軸間の距離 (l_r)	0.701 [m]
前輪のコーナリングスティフネス (C_f)	12500 [N/rad]
後輪のコーナリングスティフネス (C_r)	29200 [N/rad]
前輪トレッド幅 (d_f)	1.3 [m]
後輪トレッド幅 (d_r)	1.3 [m]
タイヤ半径 (r)	0.302 [m]

が 500 [Nm], 後輪が 340 [Nm] である。

また、電動アクティブ操舵を前後輪に導入した。maxon 社製 250W モータを使用し、角度指令による自動操舵を可能としている。

FPEV2-Kanon の各パラメータの値を表 1 に示す。

3. 車両の運動方程式⁽¹¹⁾

本節では、車両において成立する運動方程式について述べる。ここでは左右のタイヤ特性が同じであるとして、二輪車両モデルで考える。

前輪舵角と横すべり角が微小であるとき、横方向の運動方程式は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 mV \left(\frac{d\beta}{dt} + \gamma \right) &= -2C_f \left(\beta + \frac{l_f}{V} \gamma - \delta_f \right) - 2C_r \left(\beta - \frac{l_r}{V} \gamma \right) + Y_d \\
 &\dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

ここで m は車両重量, V は車両の走行速度, β は車両重心点の横すべり角, γ は重心軸まわりの角速度 (ヨーレート) である。また C_f , C_r は前後輪のコーナリングスティフネス, δ_f は前輪の車両前後方向に対してなす角 (実舵角), l_f , l_r は車両重心から前輪軸, 後輪軸までの距離, Y_d は横風などによって重心点に加わる横力である。

また、重心軸まわりの回転運動方程式は以下のように表される。

$$\begin{aligned}
 I \frac{d\gamma}{dt} &= -2C_f \left(\beta + \frac{l_f}{V} \gamma - \delta_f \right) l_f + 2C_r \left(\beta - \frac{l_r}{V} \gamma \right) l_r \\
 &+ N_z + N_d \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

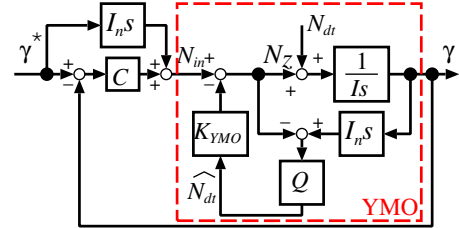


図 2 YMO を用いたヨーレート制御のブロック図
Fig. 2. Block diagram of yaw-rate control using YMO.

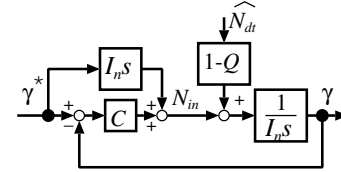


図 3 ノミナル化後のブロック図
Fig. 3. Block diagram after nominalization.

ここで I は重心を通る鉛直軸回りのイナーシャ, N_z は左右のインホイールモータの制駆動力差により生成される制駆動力差モーメント, N_d は横風などの外乱によるヨーモーメントである。

4. 操舵安定性向上制御についての検討

〈4・1〉 ヨーモーメントオブザーバ (YMO) の構成
本節では YMO について説明する⁽⁸⁾。式 (2) の右辺において、タイヤに発生するコーナリングフォースによるヨーモーメントを $N_t \equiv 2l_f Y_f - 2l_r Y_r$ とおき, $N_{dt} \equiv N_t + N_d$ とまとめると、式 (2) は以下のように簡単に表せる。

$$I \frac{d\gamma}{dt} = N_z + N_{dt} \dots\dots\dots (3)$$

N_{dt} を外乱オブザーバで推定し、推定値 \hat{N}_{dt} を一括補償するのが YMO である。ローパスフィルタ Q のカットオフ周波数以下の領域では

$$\gamma = \frac{1}{I_n s} N_{im} \dots\dots\dots (4)$$

とノミナル化される。ここで I_n は車両のノミナルイナーシャ, N_{im} はノミナル化されたプラントの制御入力である。

〈4・2〉 YMO の設計法 (提案法) 本節では操舵安定性向上を目的とした YMO の設計法を提案する。図 2 のようにヨーレート制御系を構成する。ここで K_{YMO} はフィードバックゲインである。 $K_{YMO} = 1$ の時の等価なヨーレート制御のブロック図を図 3 に示す。

ローパスフィルタ Q , ヨーレート制御のコントローラ C をそれぞれ以下のように定める。

$$Q = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} \dots\dots\dots (5)$$

$$C = I_n \omega_c \dots\dots\dots (6)$$

すると、 \hat{N}_{dt} から γ への伝達関数は次式のようになる。

$$\frac{\gamma}{\hat{N}_{dt}} = \frac{1}{I_n} \frac{s}{(s + \omega_c)^2} \dots\dots\dots (7)$$

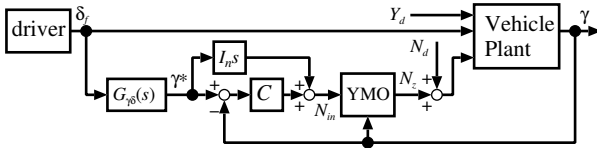


図 4 操舵安定性向上制御のブロック図

Fig. 4. Block diagram of improving steering stability control.

I_n は設計者が自由に調整できるパラメータとする。式 (7) はバンドパスフィルタ $s/(s + \omega_c)^2$ に係数として $1/I_n$ が掛かる形となっている。 I_n を大きくすることで \hat{N}_{dt} から γ へのゲインが減少することから、 I_n が大きいほど外乱抑圧特性が高まる。つまり、 I の小さい軽量車両でも I_n を実際の値より大きく設定することで横風外乱に強い重量車両を実現できる。

ドライバの舵角 δ_f も含めた操舵安定性向上制御全体のブロック図を図 4 示す。 $G_{\gamma\delta}(s)$ は、前輪舵角 δ_f からヨーレート目標値 γ^* を算出する伝達関数である。 $G_{\gamma\delta}(s)$ は一次遅れとして次式のように決定される⁽⁸⁾。

$$G_{\gamma\delta}(s) = \frac{1}{1 + K_s V^2} \frac{V}{l} \frac{1}{\tau_\gamma s + 1} \dots \dots \dots (8)$$

ここで K_s はステア特性を定めるスタビリティファクタで、値が大きいほどアンダーステア特性となる。また τ_γ は前輪舵角 δ_f からヨーレート γ への応答の時定数である。

車両の特性は YMO によってノミナル化されるため、設計者は K_s , τ_γ によって車両特性を自由に設計することができる。つまり、町中の走行時は τ_γ を小さくして操舵に素早く応答する車両を実現し、高速走行時には τ_γ を大きくして安定した車両を実現する、という設計が可能である。

〈4・3〉 ドライバモデル 操舵安定性を定量的に評価するために、シミュレーションにおいてドライバの操舵を再現するドライバモデルが必要がある。そこで本節でドライバモデルを導入する。

本稿では、目標コースに安定して追従する簡単なドライバモデルとして前方注視モデル⁽¹¹⁾を用いる。その概要を図 5 に示す。

ドライバは進路方向に前方注視距離 L だけ離れた前方注視点を見ている。この点における目標コースとの誤差を小さくする方向に操舵を行う。前方注視点の y 座標を y_{0L} とおけば、ヨー角 θ を微小として、車両の進路と目標コースとの誤差 ϵ は式 (9) のようになる。

$$\epsilon = y_{0L} - (y + L\theta) \dots \dots \dots (9)$$

ドライバが行うフィードバック制御のコントローラにあたる部分を $H(s)$ とすると、ドライバモデルのブロック図は図 6 のようになる。解析を簡単にするため、 $H(s)$ は操舵ゲイン h と一次遅れを用いて以下のように表す。

$$H(s) = h \frac{1}{\tau_L s + 1} \dots \dots \dots (10)$$

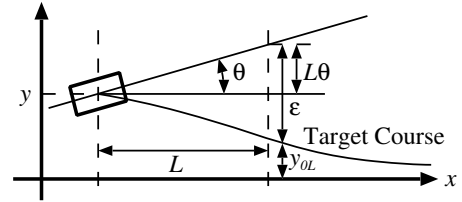


図 5 前方注視モデルの概念図

Fig. 5. Concept of linear preview model.

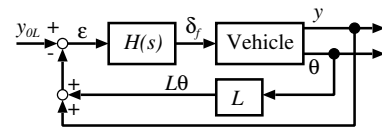


図 6 前方注視モデルのブロック図

Fig. 6. Block diagram of linear preview model.

ドライバの反応遅れは $\tau_L = 0.3$ [s] 程度であることが知られている⁽¹²⁾。

前方注視距離 L は速度の単調増加関数と考えられる。ここで、ドライバは T_d [s] 後に通過する地点を見ていると考え、 $L = T_d V$ とする。 T_d を予見時間と呼ぶ。目標とするコースに安定に追従するために、操舵ゲイン h に上限、 T_d に下限があることが文献 (13) で示されている。

〈4・4〉 操舵安定性の定量的評価法 本稿で提案する手法は、操舵安定性向上のための YMO の最適なパラメータ決定が目的となる。そのために、シミュレーションにおいて操舵安定性の定量的評価法が必要となる。そこで本節では操舵安定性の定量的評価法を提案する。

操舵安定性の評価においては、以下の 3 点を考慮に入れる必要がある。

- 目標コースへの追従性が高いこと。
- δ_f ができるだけ小さくなること。
- 急激な操舵はドライバの負担となり乗り心地も低減させるため、 δ_f を抑えること。

上記の 3 点を評価するため、以下の 2 つの評価指標を用いる。

- (1) 平均偏差：目標コースと走行軌跡との偏差の面積をとり、全長で除して算出する
- (2) 総合操舵量：横軸 δ_f , 縦軸 δ_f をとってリサージュ波形を描き、その面積を算出する

上記 2 つの指標はどちらも値が小さいほど安定であるとみなす。

ドライバの操舵ゲイン h , 予見時間 T_d は各人で値が異なると考えられる。よって様々な h, T_d で平均偏差, 総合操舵量を計算する。平均偏差, 総合操舵量がそれぞれある値以下となる領域を、縦軸 h , 横軸 T_d をとって描く。本稿ではこの領域を安定領域と呼ぶ。この安定領域が大きいほど、より多くのドライバが安定して運転できる車両特性であるとみなす。

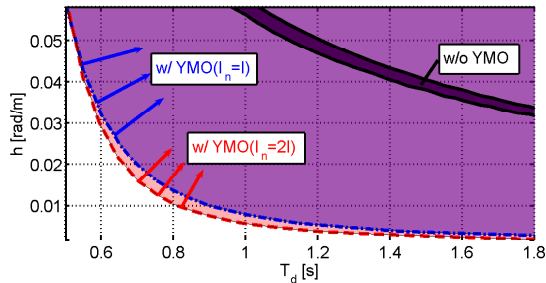


図7 外乱応答のシミュレーション結果 (安定領域)
Fig.7. Simulation results of response to disturbance (stable area).

5. シミュレーション

〈5・1〉 高速直進時の外乱抑圧特性 高速道路を直進時に横風が発生した時、YMOの有無による車両応答の違いをシミュレーションにより比較する。走行中の車両に横風が発生すると、重心点に対して横力とヨーモーメントが発生する⁽¹¹⁾。そこで、 $V = 100$ [km/h]で走行中に外乱として400 [Nm]のヨーモーメント、800 [N]の横力が1秒間発生したとする。このとき、YMO無し、YMO有り ($I_n = I, 2I$)の3つの場合について10秒間の車両応答を比較した。なお、 $\omega_c = 10$ [rad/s]、 $\tau_\gamma = 0.15$ 、 $K_{YMO} = 0.9$ とした。

図7は3つの場合について、総合操舵量が0.01 [rad²/s]以下、平均偏差が0.1 [m]以下となる安定領域を描いたものである。YMO無しでは安定領域が非常に小さいのに対し、YMO有りでは安定領域が大きく広がり、大半が安定領域となっている。YMO有りの場合も、 $I_n = I$ の時に比べ $I_n = 2I$ では安定領域がより広がっている。このことから、高速直進時はYMOによって安定領域が広がり、ノミナルイナーシャ I_n を大きくすることでさらに安定領域が広がる事が分かる。

時間波形の一例として $h = 0.02$ [rad/m]、 $T_d = 1.3$ [s]とした場合のシミュレーション結果を図8に示す。図8(c)を参照すると、YMO無しに比べYMO有りでは、車体に発生した外乱を制駆動力差 N_z が打ち消すことで車両の直進性が向上している事が分かる。 $I_n = I$ の時と $I_n = 2I$ の時の違いは些少であるが、図8(a)において舵角 δ_f が若干減少している。

〈5・2〉 操舵特性の変化 ドライバが特定のタスクに従って操舵する際、式(8)におけるパラメータ τ_γ の変化が操舵安定性に与える影響をシミュレーションにより確認する。ドライバに課すタスクとして、本稿ではダブルレーンチェンジ試験を用いる。試験方法はISOに規定があり、通常は $V = 100$ [km/h]を標準速度として実施する⁽¹⁰⁾。だが本稿では大学構内で試験を行うことを想定し、図9に示すコースを $V = 15$ [km/h]で走行することを考える。

ドライバモデルには図9の破線で示した基準線为目标コースとして与える。この基準線と実際の走行軌跡との偏差から

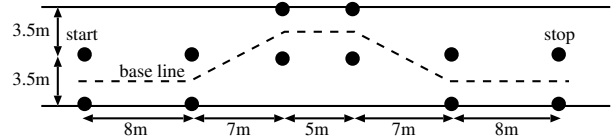


図9 試験コース
Fig.9. Test course.

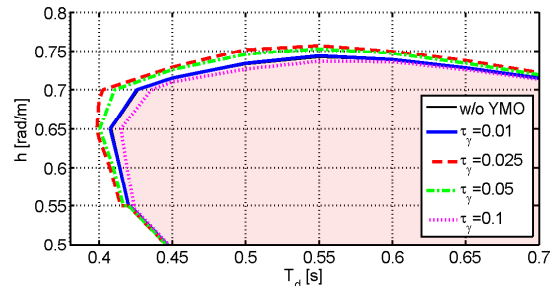


図10 ダブルレーンチェンジのシミュレーション結果 (安定領域)
Fig.10. Simulation result of double lane change (stable area).

平均偏差を算出する。なお、 $\omega_c = 10$ [rad/s]、 $K_{YMO} = 0.9$ とした。また前輪舵角 δ_f は $-0.5 \sim 0.5$ [rad]に制限した。

$V = 15$ [km/h]における車両の応答遅れの時定数は0.05 [s]程度である。そこでYMO無し、YMO有り ($\tau_\gamma = 0.01, 0.025, 0.05, 0.1$ [s])の5通りについて、平均偏差0.1 [m]、総合操舵量1.5 [rad²/s]以下の安定領域を描いた結果を図10に示す。一般的に、 τ_γ を小さくすることで車両の応答遅れが少なくなり、ドライバにとって運転しやすい車両になると考えられている。ところが図10を参照すると、 $\tau_\gamma = 0.025$ [s]で最も安定領域が広がっており、 $\tau_\gamma = 0.01$ [s]ではYMO無しと同程度の安定領域となっている。このことから、前方注視距離 T_d が短く操舵ゲイン h が大きいドライバにとっては、 τ_γ の減少が必ずしも操舵安定性向上にはつながらない傾向が読み取れる。

6. 実験

〈6・1〉 直進時の外乱抑圧特性 大学構内では高速試験が困難であり、自然風による横風外乱を発生させるのも難しい。そこで前輪の制駆動力差により外乱を擬似的に発生させ、YMOによってドライバの修正操舵量が減少することを実験により確認した。

$V = 15$ [km/h]で直進中、外乱として図11(a)に示すヨーモーメントを発生させた。YMOは γ のセンサ値から外乱 N_d を推定するため、制御系にとってこのヨーモーメントは未知の外乱とみなせる。算出された制駆動力差モーメント N_z を前輪で発生させた。 $\omega_c = 10$ [rad/s]、 $\tau_\gamma = 0.05$ [s]、 $K_{YMO} = 0.8$ とした。再現性を確保するため、ドライバモデルを用いてEPSによる自動操縦を行った。

$h = 0.1$ [rad/m]、 $T_d = 1.0$ [s]とした時の実験結果を図

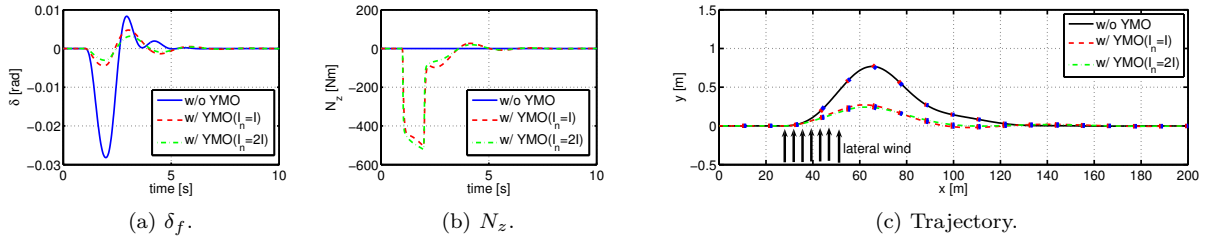


図 8 外乱応答のシミュレーション結果 ($h = 0.02, T_d = 1.3$)
 Fig. 8. Simulation results of response to disturbance ($h = 0.02, T_d = 1.3$).

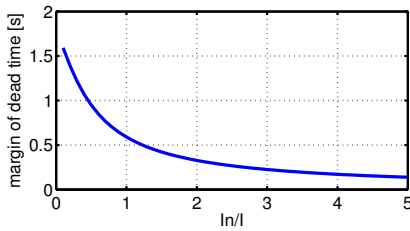


図 12 むだ時間の上限
 Fig. 12. Upper limit of dead time.

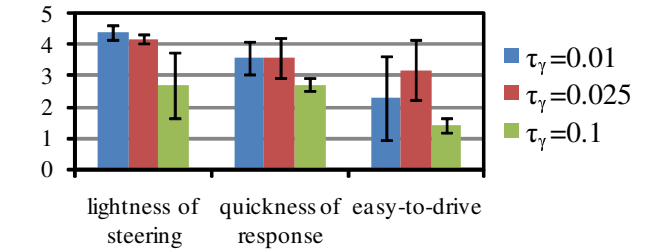


図 13 アンケート結果
 Fig. 13. Result of questionnaire.

11 に示す。図 11(b), 11(c) を参照すると、外乱によるヨーレート γ の発生が駆動力差によって打ち消されていることが分かる。その結果、図 11(d) のように修正舵角が減少し、図 11(e) に示す走行軌跡も YMO によって直進性が高まっている。また、 $I_n = I$ と比べて $I_n = 1.4I$ ではさらに修正舵角が小さく、直進性が高まっていることも見て取れる。

一方、図 11(b) では $I_n = 1.4I$ で N_z が振動的となっている。この原因を探るため、図 2 において N_z から γ までの一巡回伝達関数 $G_{\gamma N_z}(s)$ を求めると次式のようになる。

$$G_{\gamma N_z}(s) = \frac{I_n \omega_c (2s + \omega_c)}{I s^2} \dots \dots \dots (11)$$

この式より、さまざまな I_n について位相余裕 θ_m を計算する。ゲインが 0 [dB] となる周波数 ω_p よりむだ時間の上限 $T = \theta_m / \omega_p$ を求め、横軸に I_n / I 、縦軸に T をとると、図 12 のようになる。すなわち I_n が大きいほどむだ時間に対してロバスト性がなくなることが分かる。シミュレーションでは考慮しなかったセンサの遅れ、車両の機械的特性や非線形性などに起因する応答遅れから、実際にとることのできる I_n には上限が存在すると考えられる。

〈6・2〉操舵特性の官能試験 (5・2) 節において τ_γ と操舵安定性の相関関係について論じた。この相関関係が妥当であるかを確かめるため、図 9 に示すコースを実際にドライバに運転してもらい、 τ_γ の変化によって運転感覚がどのように変化するかを確かめる官能試験を行った。被験者は計 8 人で、運転歴 4 ~ 20 年で定期的に運転をしている。図 9 における黒丸部分にコーンを置き、ドライバに対しては start 位置から $V = 15$ [km/h] まで加速し 2 つのコーンの間を通過するよう指示した。

実験車両のハンドルに EPS によるアシストは行っていな

いため、通常の自動車と比べてハンドルが非常に重く運転しづらい。よって各人にはまず実験車両の運転感覚に慣れてもらうため、YMO を使用しない状態、すなわち制駆動力差が生じない状態で 2 回走行してもらった。その後、YMO を使用し、 $\tau_\gamma = 0.01, 0.025, 0.1$ [s] の 3 通りについて走行してもらい、アンケートを取った。アンケート内容は「ハンドルの軽さ (1 重 ~ 5 軽)」「車両の応答性 (1 速 ~ 5 遅)」「運転しやすさ (1 難 ~ 5 易)」である。YMO 無しの状態で走行した時を 3 として答えてもらった。8 人の回答の平均と標準偏差を算出して図 13 のように棒グラフにまとめた。

図 13 を参照すると、 τ_γ を小さくすることで「ハンドルの軽さ」の平均値が 3 より大きくなっており、ハンドルが軽くなったと感じる傾向が出ている。これは、 δ_f から γ への応答を実際の車両応答時間より速くしようとして、ハンドルを回す向きと同じ方向に制駆動力差が生じるためと考えられる。

「運転しやすさ」について、 $\tau_\gamma = 0.025$ [s] で平均値が 3 より大きく、運転しやすい傾向が出た。ところが $\tau_\gamma = 0.01$ [s] では平均値が 3 より小さくなり、運転しにくいという傾向が出た。このことから、ドライバにとって運転しやすい最適な τ_γ が存在すると考えられる。

7. 結 論

本稿では操舵安定性向上を目的とした YMO の設計法について基礎的な検討を行った。ドライバモデルを導入してシミュレーションと実験を行い、YMO によって横風中も安定に走行できること、操舵特性を変えることで操舵安定性向上が図れることを確認した。また、一般人を対象とし

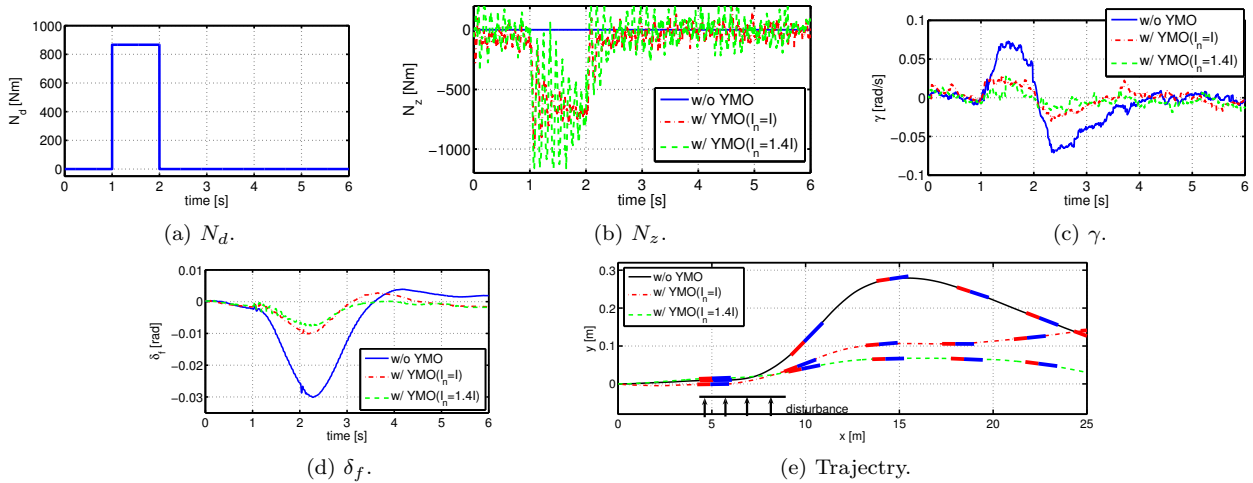


図 11 外乱応答の実験結果

Fig. 11. Experimental results of response to disturbance.

た官能試験で、操舵特性を変えることで運転感覚が変わることを確かめた。横風中の操舵安定性、レーンチェンジにおける運転しやすさについて、定量的評価法の提案も行い、シミュレーションにてその手法を利用した。

今後の課題としては、操舵安定性、乗り心地向上という観点から I_n 、 τ_γ の最適な設定法についての検討が挙げられる。また今回は I_n と τ_γ を変化させたが、 K_s や ω_c を変化させた時の操舵安定性、乗り心地に与える影響についても検討を行う。

謝 辞

最後に本研究の一部は NEDO 産業技術研究助成（プロジェクト ID:05A48701d）によって行われたことを付記する。

参考文献

- (1) Y.Hori: “Future vehicle driven by electricity and control-research on four wheel motored: UOT Electric March II”, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.51, No.5, pp.954-962 (2004)
- (2) D.Yin, Y.Hori: “A New Approach to Traction Control of EV Based on Maximum Effective Torque Estimation”, Proc. of the 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2008, pp.2764-2769 (2008)
- (3) K.Kawashima, T.Uchida, M.Tomizuka, Y.Hori: “Rolling Stability Control of In-Wheel Electric Vehicle Based on Two-Degrees-of-Freedom Control”, Annual Conference of IEEJ, Industry Applications Society, 2008-2, pp.II.353-II.356 (2008) (in Japanese)
- (4) Y.Tsukahara, A.Takeya, H.Kitano, M.Kurishige, T.Iwasaki: “Development of Straightness Control for Sideways Disturbance using Electric Power Steering”, JSAE Annual Congress, No.131-10, pp.7-10 (2010) (in Japanese)
- (5) L.Zhou, L.Ou, C.Wang: “A Simulation of the Four-Wheel Steering Vehicle Stability Based on DYC Control”, The International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation 2009, pp.189-193 (2009)
- (6) I.Yamazaki, Y.Onoda, Y.Okada: “A New Steer and Brake Control that Compensate for Transient Response of Vehicle Yaw Moment to Steer Operation”, JSAE Annual Congress, No.120-10, pp.13-18 (2010) (in Japanese)
- (7) G.Shu-fang, W.Li-fang: “Strategies to improve steering handling performance for steer-by-wire system”, International Conference on CCTAE 2010, pp.296-299 (2010)
- (8) H.Fujimoto, T.Saito, T.Noguchi: “Motion stabilization control of electric vehicle under snowy conditions based on yaw-moment observer”, The 8th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control 2004, pp.35-40 (2004)
- (9) Y.Yamauchi, H.Fujimoto: “Vehicle Motion Control Method Using Yaw-moment Observer and Lateral Force Observer for Electric Vehicle”, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.130, No.8, pp.939-944 (2010) (in Japanese)
- (10) 自動車技術ハンドブック編集委員会: 「自動車技術ハンドブック改訂版 第7分冊」, 自動車技術会 (2006)
- (11) 安部正人: 「自動車の運動と制御」, 東京電機大学出版局 (2008)
- (12) M.Iguchi: “Manual Control Systems”, Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.62, No.481, pp.215-222 (1959) (in Japanese)
- (13) T.Fujioka: “Theoretical reserach on the stability of the closed system composed of a look-ahead driver and a planer vehicle” JSAE Annual Congress, No.11-7, pp.29-34 (2007) (in Japanese)