

論文 世界初インテリジェントAFSの制御仕様開発*

Development of Control Strategy for World-first Intelligent AFS

石黒 浩二
Koji ISHIGURO

山田 有 二
Yuji YAMADA

The function of an Adaptive Front-lighting System (AFS) is to dynamically optimize the headlamp beam pattern based on the driving conditions by horizontally swiveling the low-beam lamps. The development of the control logic for AFS has been completed and AFS became available in February, 2003 on Toyota produced vehicles. AFS determines the appropriate amount of swivel control by calculating the immediate turning radius of the vehicle using vehicle speed and steering angle data. The calibrations for this method were determined using a vehicle stability factor and through on-vehicle testing. Additionally, the suitable amount of swivel control was determined based on distribution data of driver gaze points.

Key words : Headlamp, Lighting, Bending light, AFS

1. 序論

1.1 AFS制御概要

AFSとは、車両に搭載したセンサで走行環境（カーブ走行，市街地走行，高速走行，雨天時走行）を識別し，状況に応じて自動的に配光を変化させる次世代ヘッドランプシステムである。夜間・悪天候時の移動や遠距離移動等において，環境照明設備が少ない地域での走行を安全に支援するシステムとして期待されている。

AFSのうち，カーブ走行時に，ステアリングの動きに応じてヘッドランプを左右に動かし，進行方向を照射するライト（ベンディングライト，Fig. 1参照）については，2002年10月に保安基準の改正¹⁾があり車両への装備が認められ，2003年2月時点で，すでに量産化している自動車メーカーもある。

今回の改正により装備可能となったベンディングライトには下記の四つのタイプがある。

- ・ロービーム全体が可動するタイプ
- ・ロービームの一部が可動するタイプ
- ・固定式の専用光源（電球）を追加するタイプ
- ・可動式の専用光源（電球）を追加するタイプ

一般に全体スイブルタイプと呼ばれる“ロービーム全体が可動するタイプ”のシステム構成例をFig. 2に示す。車両に搭載された各種センサから車両の走行情報を得，コントロールユニットによりヘッドランプを回転させる角度（スイブル角度）を算出し，灯具に搭載されたモータを駆動してロービームを回転（スイブル）させる構成となっている。

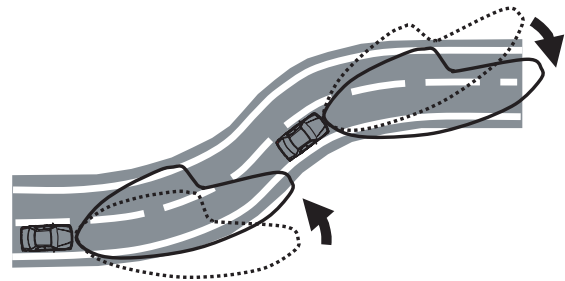


Fig. 1 Bending light

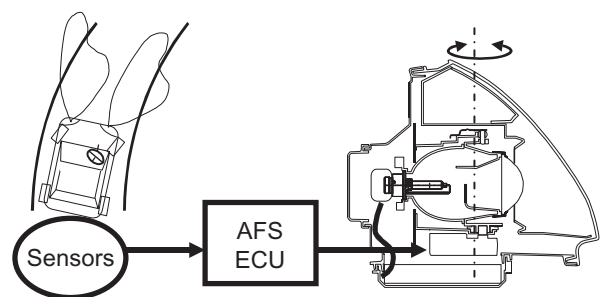


Fig. 2 System conguration of AFS

1.2 スイブル角度の法規要件

ベンディングヘッドライトの車両への装備による対向車への眩惑防止のため，以下のように法規要件が改正されている。

車両前方から「ロービーム下縁の高さの100倍以上」の位置でエルボ点が，車両重心の走行軌跡と交差しないこと。

* (社)自動車技術会の了解を得て，「2003年秋季大会学術講演会前刷集」No.69-03,39より一部加筆して転載

エルボ点とは左半分および右半分のカットオフ交点のことであり、ランプ光軸の中心にある。したがって、上記法規要件で規定されるスイブル角度の上限値は幾何学的に旋回半径を変数とした以下の関数で求められる (Fig. 3参照)。

$$\omega_{max} = \arcsin(50H/R) \quad (1)$$

ω_{max} : 法規要件で規定されるスイブル角度の上限

\arcsin : 三角関数のアークサイン

H : ロービーム下縁の高さ

R : 旋回半径

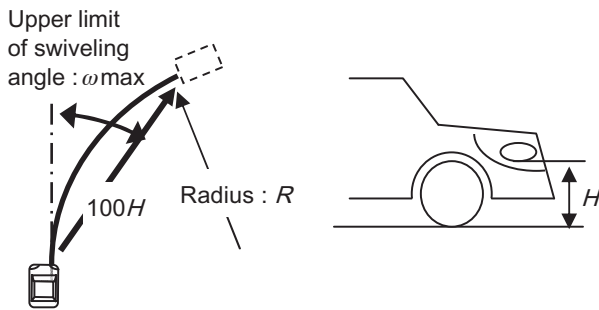


Fig. 3 Upper limit of swiveling angle

法規要件で規定されるスイブル角度上限と旋回半径の関係をグラフ化するとFig. 4のようになる。ここで、ロービーム下縁の高さ H は一般的な乗用車を想定し $H=670\text{mm}$ とした。図から旋回半径が大きくなるほどスイブル角度の上限が小さくなるよう制限されることが分かる。これを模式的に書くとFig. 5のようになる。

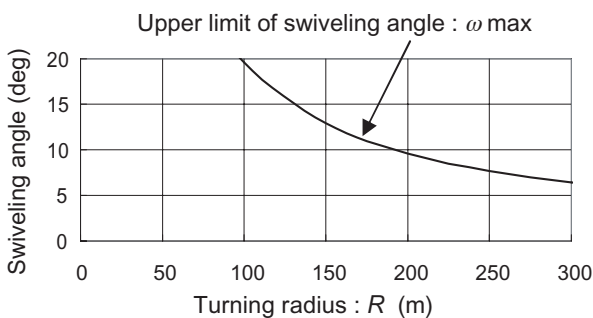


Fig. 4 Turning radius vs upper limit of swiveling angle

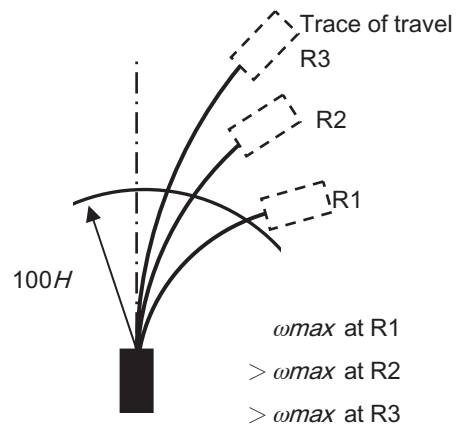


Fig. 5 Upper limit of swiveling angle at each turning radius

以上より、ベンディングライト制御において、できるだけ遠く (カーブの奥) を照らそうと考えれば、スイブル制御角度は法規要件で決まる上限に対し設計公差分を減じた角度にすればよい。すなわち、スイブル制御角度は以下のように旋回半径だけを変数として決めることができる。

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_{max} - \alpha \\ &= \arcsin(50H/R) - \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

ω : スイブル制御角度

α : スイブル角度設計公差

しかしながら、実際の運転においてスイブル角度がドライバの感性に合っていることがAFSの商品価値を高めると考え、よりドライバの感性に合った制御ロジックを設計するため、カーブにおけるドライバの注視点を測定し分析することにした。

2. 実験

カーブの複合するテストコースにてドライバの注視点分布を下記の観点で測定した。

- (1) 昼間と夜間の視認ポイントの差
- (2) 車速と遠方視認距離の関係

2.1 実験方法

計測器 : アイマークレコーダ
(ナック社製: EMR-8)
走行コース : トヨタ自動車商品性評価路
車速 : 30・45・60km/h

供試車 : トヨタ マジェスタ
 ヘッドランプ : 放電灯式ヘッドランプ
 被験者 : 昼間10名/夜間3名

2.2 結果

(1) 昼間と夜間の視認ポイントの差

横方向の頻度を視認対象毎に整理した。右カーブの昼間は比較の見通しも良く、路肩線・自車線・センターラインを均等に視認している。夜間はセンターラインを視認する頻度が増えている(Fig. 6参照)。これは、ヘッドランプで照射しているエリアが限られ、道路の線形が把握しづらいため、センターラインを注視し、線形変化の情報を早く入手しようとしていると考えられる。以上より右カーブの場合はセンターラインを中心に照射することが必要である。

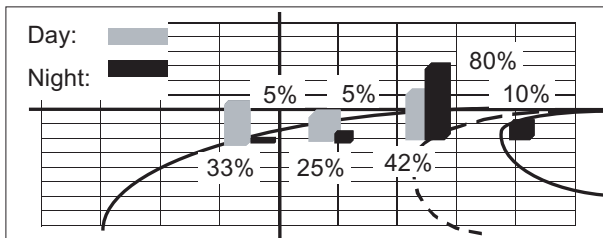


Fig. 6 Driver gaze points at right turn

左カーブの昼間は右カーブに比べ路肩線を視認している頻度が高く、右カーブに比べ見通しが悪いことが影響していると考えられる。夜間は路肩線を注視する頻度が更に高くなり、右カーブの夜間と同様の結果となった(Fig. 7参照)。以上より左カーブの場合は路肩線を中心に照射することが必要である。

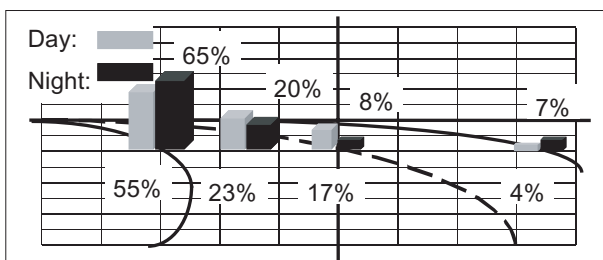


Fig. 7 Driver gaze points at left turn

(2) 車速と遠方視認距離の関係

車速による視認距離の差について、昼間のカーブ走行にて路面を視認している視認ポイントデータを頻度として抽出した。車速が高くなると視認距離はより遠

方(カーブの奥)に推移する結果となった(Fig. 8参照)。

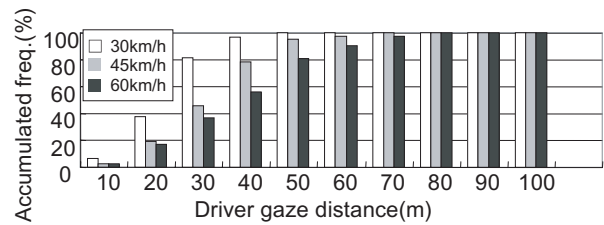


Fig. 8 Driver gaze distance in daytime curve

3. 制御ロジック設計

3.1 スイブル角度設計

実験結果より、車速が上がればスイブル角度を増加させ照射位置をより遠方(カーブの奥)にすることでドライバの感性に合う制御になると考えられる。そのため、スイブル角度を t 秒後の自車到達位置を照射する角度とするスイブル角度設計モデルを考えた。 t 秒後の自車到達位置を照射する角度は幾何学的に旋回半径を変数とした以下の関数で求められる(Fig. 9参照)。

$$\omega = (180^\circ / \pi) (Vt/2R) \tag{3}$$

ω : スイブル角

V : 車速

R : 旋回半径

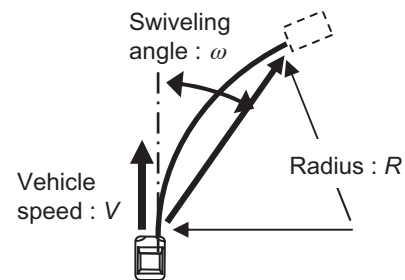


Fig. 9 Swiveling angle at V and R

3.2 旋回半径の推定方法

式(3)から分かるように、スイブル角度を t 秒後の自車到達位置を照射する角度とするためには、車両の走行情報から旋回半径を推定する必要がある。一般に車速とハンドル舵角から定常旋回の理論式を用いて旋回半径を求める方法がある。²⁾

定常旋回の理論式を以下に示す。

$$\rho = (1 + AV^2) (L / \delta) \tag{4}$$

- ρ : 旋回半径
- A : スタビリティファクタ
- V : 車速
- L : ホイールベース
- δ : 前輪の舵角
($\delta = \phi / \text{ステアリングギア比}$,
- ϕ : ハンドル舵角)

ここで、スタビリティファクタ、ホイールベース、ステアリングギア比は車種ごとに定められた一定値である。車速とハンドル舵角は走行状態によって変わる変数であるが、それぞれABS用車輪速センサ、ハンドル角度センサなどから得ることができる。

3.3 t 値の検討

先行車の急減速や脇道からの不意の飛び出しなど、衝突を招く危険な状態から回避するためのドライバの危険回避行動や³⁾危険回避に要する時間についての実験結果⁴⁾が過去報告されている。

これらを検討の結果、危険回避の観点から $t=3$ 秒が適していると考え、上記の制御ロジックで $t=3$ 秒とし先ほどの注視点測定と同条件で実車走行による官能評価を行った結果、違和感はなく、また各車速でのスイブル角度は充分であり（右カーブでのセンターライン、左カーブの路肩線への照射は充分であった）AFSの有効性が確認された。

なお、この実車走行で使用したAFSの方式は先に述べた全体スイブル方式であり、かつ下記に述べる片振り方式、両振り方式のうち、片振り方式である (Fig. 10 参照)。

- ・片振り方式：左右の前照灯のうち片方をスイブルさせる。今回の試験では、右カーブであれば右ランプを左カーブであれば左ランプをスイブルさせた。
- ・両振り方式：左右の前照灯の両方を同時にスイブルさせる。

Fig. 11 に $t=3$ 秒でのスイブル角度と旋回半径の関係を先ほどの法規要件 (Fig. 4) に重ねて示す。高速域（約80km/h以上）で法規要件の上限にかかるまでは車速があがればスイブル角度が増えていくのが分かる。

以上で車速とハンドル舵角を入力に、カーブにおいて3秒後の自転車到達位置を照射するペンディングライト制御ロジックが設計された。

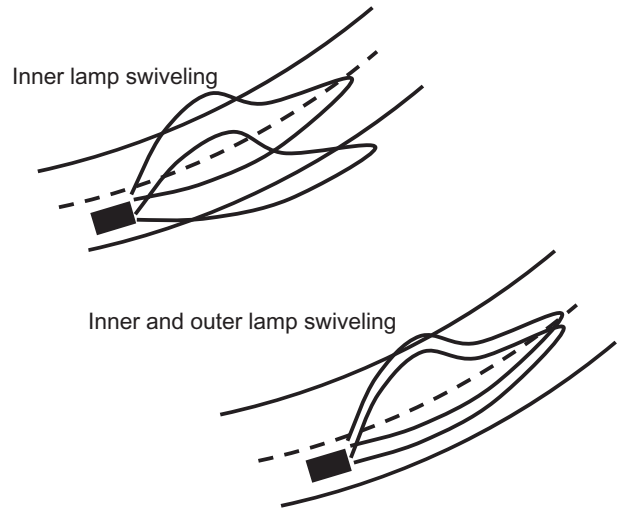


Fig. 10 Type of swiveling headlamp

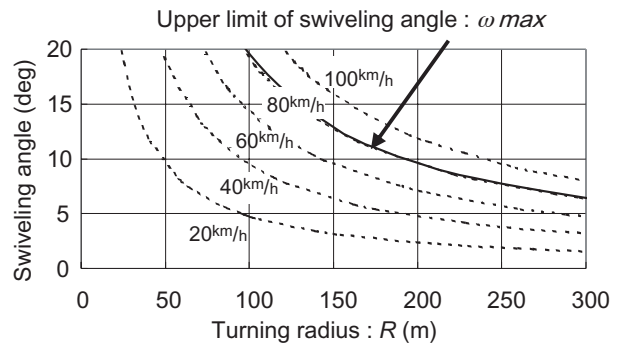


Fig. 11 Swiveling angle at each vehicle speed

4. 結論

- (1) カーブでのドライバ注視点測定結果は、車速が上がるほどドライバはより遠方（カーブの奥）を注視したがることを示す。
- (2) AFSのペンディングライト制御において、夜間カーブ走行時のヘッドライト光軸を、車速が上がればより遠方（カーブの奥）を照射するように制御することでドライバの感性に合うと考えられる。
- (3) ヘッドランプの光軸を車速が上がればより遠方（カーブの奥）を照射するように制御する方法として、スイブル角度を t 秒後の自転車到達位置を照射する角度とする制御ロジックを設計した。
- (4) 上記ロジックにおいて、ドライバが障害物から危険回避に要する時間を考慮し、 $t=3$ 秒が適していると考え、実車走行で官能評価をした結果、AFSの有効性が確認された。

<参考文献>

- 1) 日本官報 2002年10月25日 号外第231号
- 2) 安部：3.3車両の定常円旋回，自動車の運動と制御，
日本，山海堂（1992），pp.67-72.
- 3) 筒井，米川：緊急時のドライバ特性，自動車技術会
学術講演会前刷集956（1995），pp.5-8.
- 4) 宇野，平松：前方障害物の緊急操舵回避における余
時間とドライバの反応限界，自動車技術会学術講演
会前刷集982（1998），pp.167-170.



<著 者>



石黒 浩二
(いしぐろ こうじ)
点火技術部
AFS関連の開発・設計に従事



山田 有二
(やまだ ゆうじ)
トヨタ自動車(株) 第3車両実験部
ランプ関連の評価実験に従事