

可変配光前照灯(AFS)が対向車ドライバに与える眩惑状況の解析

自動車安全部 ※益子 仁一 森田 和元 岡田 竹雄 関根 道昭

1. はじめに

前照灯の配光を道路状況や走行速度等の条件によって変化させる可変配光前照灯(Adaptive Front-lighting System: AFS)を搭載した自動車がまもなく実用に供されようとしている。この技術により夜間の走行方向の視認性向上が期待できる。しかし、照射方向や配光の変化方法が適切でない場合には、対向車ドライバに眩惑（以下、「グレア」という）を与え、逆に安全性を損なうことにもなりかねない。したがって、走行のし易さとともに、対向車ドライバに対する十分な配慮が必要であり、AFSの技術に関して、主に対向車に対するグレアの観点から検討を行うこととした。

2. 解析検討を行ったAFSの方式

AFSの機能、配光については様々な提案があり、それぞれが関連した複雑なものとなるため、実用化については、容易な方式から順次搭載される見込みである。初期の段階においては、道路のカーブや交差点において配光をハンドル操舵角に応じて左右に変化させるという方式が採用される予定である。配光変化を実現する手段としては、

(1) 前照灯の照射方向を左右に変化させる、または、カットオフラインの屈曲点を左右に変化させる方法

(2) カットオフラインの屈曲点を左右に変化させないで、前照灯の一部を部分的に動かすことによって実現する方法

(3) 追加光源を補助的に点灯または消灯させて行う方法

等種々あるが、本報告では、主として(1)の照射方向を変化させた場合の検討結果について報告する。

AFSが実用に供された際には、多様な配光のAFSの出現が予想される。しかし、どのような配光

となった場合においても現在の前照灯配光を発展させたものであるため、基本的なものとして、本報告においては現行の前照灯のすれ違いビーム(左側通行用)の照射方向を変化させた場合について解析検討を行うこととした。

3. 解析方法の概要

3. 1. 解析項目等

解析は、筆者らが開発した、前方照明状態やグレア状況等を数値シミュレーションにより解析するソフトウェア⁽¹⁾を使用して行った。

解析に使用した前照灯の配光データは、近年急速に普及が進んでいる高輝度放電灯(HID)タイプのものであり、その配光の実測データを使用した。模擬的に走行させた道路形状については、直線路、左カーブおよび右カーブの道路とした。カーブ路を通過する際には、進行方向に配光全体を向けて走行する状態を模擬し、その際に対向車のドライバが受けるグレアの程度を予測した。

ここで、自動車の乗員数や積載状況によって、前照灯の上下方向の照射角度等が変化する状況を測定した報告⁽²⁾がある。照射方向が上下に変化すると前方の照射状況が変化して対向車ドライバのグレア状況が変化する。このため、前照灯の照射角度が上側に変化した際の影響についても検討を行った。

表1 不快グレアの評価値(文献(3)による)

	評 価 値	W
1	Unbearable	(耐えられない)
2		
3	Disturbing	(邪魔になる)
4		
5	Just admissible	(許容できる)
6		
7	Acceptable	(満足できる)
8		
9	Noticeable	(気にならない)

3. 2. グレアのシミュレーション解析手法の概要

筆者らが開発したソフトウェアのグレア解析手法は、H.-J. Schmidt-ClausenとJ. Th. H. Bindelsによるモデル⁽³⁾によって、表1に示す不快グレアの評価値Wを数値シミュレーションにより予測するものである。モデルは、式(1)のとおりである。

$$W = 5.0 - 2 \log \sum_{i=1}^n \frac{E_{Bi}}{C_{poo} \left[1 + \sqrt{\frac{L_u}{C_{pL}}} \right] \theta_i^{0.46}} \quad \dots (1)$$

ここで、

n : ランプの数

E_B : ドライバの眼前照度 (lx)

L_u : ドライバの順応輝度 (cd/m²)

θ : ドライバの視線とランプ方向とのなす角度 (min)

また、定数は以下のようなものである。

$$C_{poo} = 3.0 \times 10^{-3} \quad \text{lx min}^{-0.46}$$

$$C_{pL} = 4.0 \times 10^{-2} \quad \text{cd/m}^2$$

不快グレアの評価値Wについて、自動車のドライバーを対象とした場合には、耐えられる限界の値は4であることを示す報告⁽⁴⁾があり、前照灯のすれ違いビームの国際調和に関する研究報告⁽⁵⁾においてもこの値が採用されている。したがって、本報告でもW=4を不快グレアの限度として採用した。

3. 3. 解析における設定条件

3. 3. 1. 道路の形状等 一般的なカーブ道路を解析の対象とすることとして、筆者らが実施した視線移動に関する実験時のデータ⁽⁶⁾を参考にし、道路形状等を下記のように設定した。

(1) 道路の形状については以下の3種類とした

- ・直線路

- ・左および右カーブ路、曲率半径：R = 80 m

(2) 車線数：片側1車線、中央分離帯なし

(3) 道路の車線幅員：片側3.2 m

このような道路において、道路平面図上でAFS車の車両前面中心を基準位置とし、基準位置が車線中央を走行するように設定した(図1)。なお、自動車は道路の左側車線を走行することとした。

3. 3. 2. AFS車のランプ取付位置 ランプの取付位置は以下の通りに設定した。

- ・ランプの取付数 : 左右各1個

- ・左右のランプの中心の取付間隔: 1.15m (左右対称)

- ・ランプの中心の取付地上高 : 0.65 m

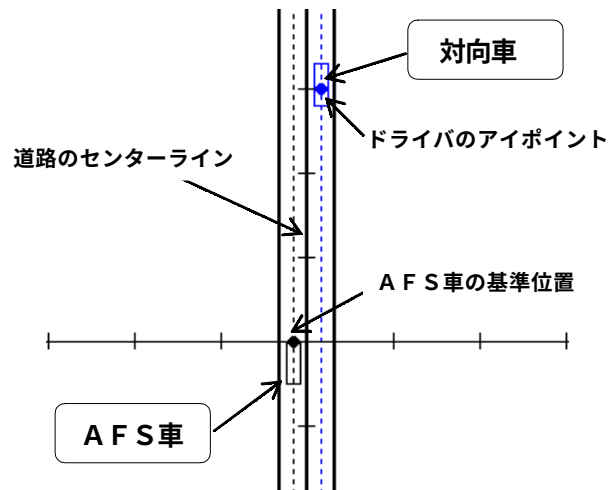


図1 道路と自動車の設定

- ・ランプの中心の前後取付位置：車両前端

3. 3. 3. 対向車について 対向車のドライバーのアイポイント(単眼)位置を車両中心面から道路のセンターライン側に0.3mの位置とし、また道路のセンターラインからアイポイントまでの距離は水平距離1.3mに設定した。車両は車線(幅員3.2m)の中心を走行することになる。アイポイント地上高については1.1m、前面ガラスの視感透過率については85%とした。

3. 3. 4. ドライバの視線方向 不快グレアの予測計算にあたっては、対向車ドライバーの視線方向を仮定する必要がある。筆者らが行った視線移動量の実験調査⁽⁶⁾で得られた結果から、曲率半径が80mのカーブ路におけるドライバーの視線方向については、左カーブ路の場合には左側へ20°、右カーブ路の場合には右側へ20°であるものとして解析を行うこととした。なお、直線路を走行する場合については、今回は、視線方向を正面前方と仮定した。

3. 3. 5. ドライバの順応輝度 不快グレアの評価値Wの値はドライバーの目が順応している輝度によって変化する。そのため、順応輝度をどのように設定するかは、グレアを論じる際の要件の一つである。ドライバーの順応輝度は、前照灯の照射光のほか、道路照明の有無、道路周囲の明るさ等の状況によって大きく変化する。過去に実施されているグレア評価に関する研究においても、研究者により、また実験時の状況等によって0.03～1.0cd/m²程度までの様々な値が示されており、一般的に合意された値がないため、本解析においては、前照灯のすれ違いビームの国際調和に関する研究報告⁽⁵⁾において採用された値0.1cd/m²を用いることとした。

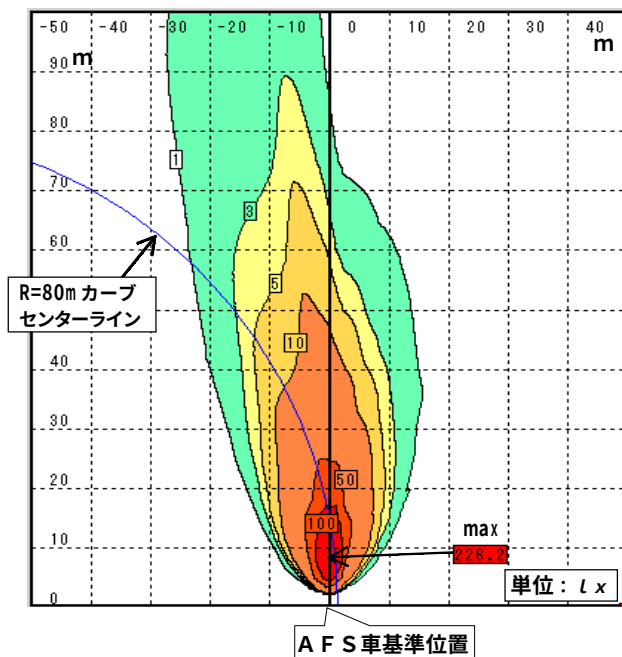


図2 前方路面の照度分布 (平面図)

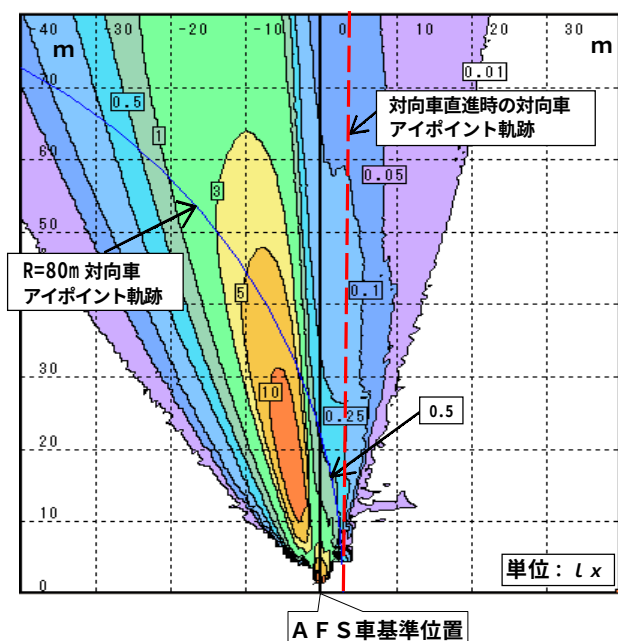


図3 アイポイント地上高の照度分布(平面図)

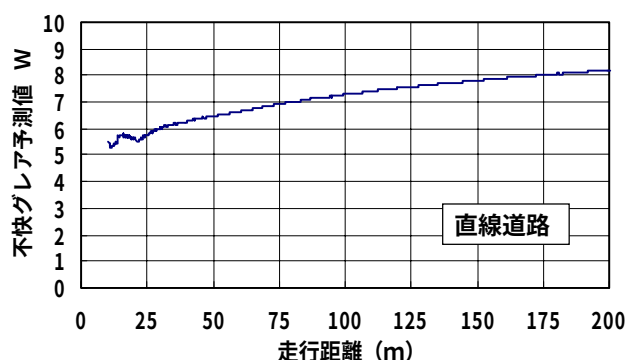


図4 対向車ドライバーの受ける不快グレア予測

4. グレアに関する解析結果

4. 1. 照射方向を変化させない場合の解析結果

4. 1. 1. 照射状況に関する基本的特性

左右にランプを取り付けた場合の前方路面の照度分布を計算により求めると図2となる。夜間走行に必要な路面照度は $5lx$ 程度といわれているので、その範囲を調べると、車両中心線前方については約55m、また40m前方における左右幅をみると左側については約13m、右側については約7mとなる。図中の左側に描かれている曲線は、曲率半径80mのカーブ路のセンターラインを示している。次に、対向車ドライバーのアイポイントの地上高における水平面上の照度分布を計算により求めると図3となる。路面上の場合と比較して、照度の値が全体に小さくなっている。図中のA F S車基準位置の右側前方に描かれている破線は、直線路の場合に対向車が前方から接近してA F S車とすれ違うときに対向車ドライバーのアイポイントが通過する軌跡を、また、左側に描かれている曲線は、対向車が左側から接近して曲率半径80mのカーブ路においてA F S車とすれ違うときの、ドライバーのアイポイント通過軌跡を示している。

4. 1. 2. 直線路走行時におけるグレア解析

対向車が直線路前方からA F S車に接近する場合のドライバーのアイポイント軌跡における眼前照度は、 $0.5lx$ 未満であった(図3)。

次に、対向車ドライバーが受ける不快グレアの予測を行う。視線方向については、前述のように正面前方とした。不快グレアの予測結果を図4に示す。図の横軸の右から左に向かって、対向車が遠方(200m)から接近している状況を示す。不快グレアの予測値はまったく問題ないレベルであった。

4. 1. 3. 左カーブ路走行時におけるグレア解析

A F S車からみて左カーブ路を対向車が走行する場合(図5)のグレア状況を解析した。図3に示したように、対向車は接近する途中で照度の大きい部分を通過することになる。対向車ドライバーのアイポイント軌跡における眼前照度の変化を解析したものを図6に示す。横軸は、曲率に沿って測定したA F S車からの距離を示す(以下、同種の解析図において同じ)。眼前照度は、A F S車から約35mの位置で最大値約 $6.6lx$ を示した。

曲率半径80mのカーブ路で対向車がA F S車に接近する場合(対向車からみて右カーブとなるので、視線方向は 20° 右側(A F S車の車線側))の不快グレアの予測を行った結果を図7に示す。図か

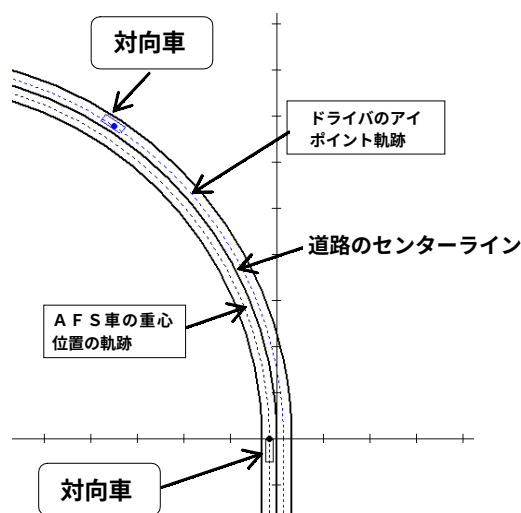


図5 AFS車から見て左カーブの場合

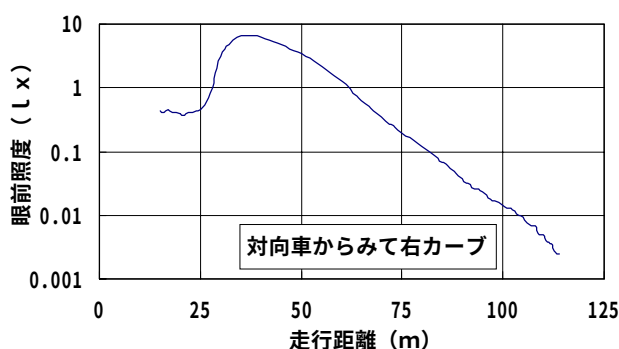


図6 対向車ドライバーの眼前照度の変化

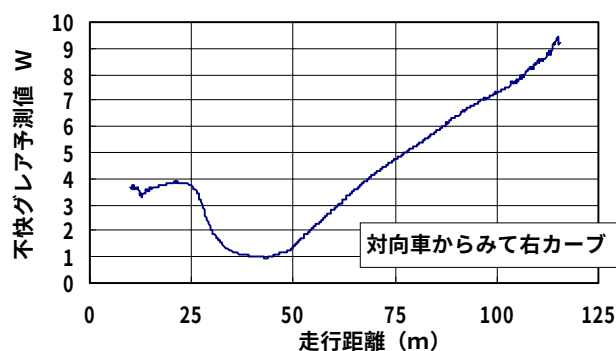


図7 対向車ドライバーの受ける不快グレア予測

ら、AFS車の前方約70mの地点から前方約10mに至るまで不快グレアの予測値が4を下回り、グレアが強いことがわかる。その区間は約60mであるので、AFS車と対向車の両車両が各40km/hで接近したとすると、対向車のドライバーは約2.7秒間、強い不快グレアを受けることとなる。

4. 1. 4. 右カーブ路走行時におけるグレア解析 AFS車からみて右カーブ路を対向車が走行する場合のグレア状況を解析した。曲率半径80mのカーブ路で対向車がAFS車に接近する場合(対

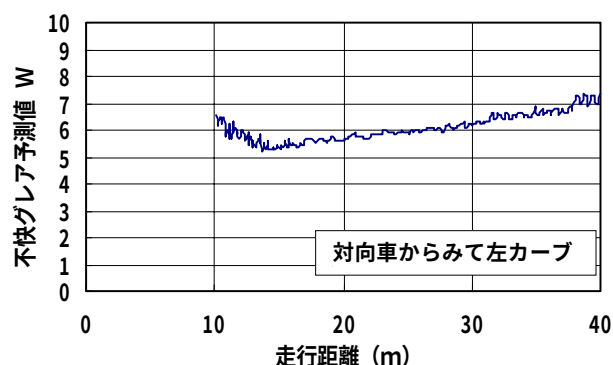


図8 対向車ドライバーの受ける不快グレア予測

向車からみて左カーブとなるので、視線方向は20°左側(路肩側)の不快グレアの予測結果を図8に示す。図から、対向車のドライバーは、問題となるような不快グレアは受けないと予測される。ランプの照射方向を変化させない場合には、AFS車にとって左カーブ路の方が右カーブ路の場合よりも、対向車ドライバーに与える不快グレアは大きい。

4. 2. 左カーブ路において照射方向を左側に10°振った場合の解析結果

4. 2. 1. 照射状況に関する基本的特性 左右のランプの照射方向を左側に10°振った場合の前方路面の照度分布を図9に示す。この図から、左カーブ路の進行方向が照射され走行し易くなったと考えられる。したがって、照射方向を左側に10°振った場合について解析を行うこととした。

4. 2. 2. 左カーブ路走行時におけるグレア解析 対向車ドライバーのアイポイント軌跡における眼前照度の変化を解析したものを図10に示す。眼前照度は、AFS車から約55mの位置に対向車ドライバーがいる場合に、最大値約3.2lxであった。照射方向を変化させない場合(図6)と比較して走行距離で約20m遠方で眼前照度が最大となるとともにその値も小さい。曲率半径80mの左カーブ路で対向車がAFS車に接近する場合(対向車からみて右カーブ。視線方向は20°右側(AFS車の車線側))の不快グレアの予測結果を図11に示す。約87mの地点から約42mの地点までの範囲で不快グレアの予測値が4を下回る結果となった。その区間は約46mであったので、AFS車と対向車の両車両が各40km/hで接近したとすると、対向車のドライバーは約2.1秒間、強い不快グレアを受けることとなる。これらの結果は、4. 1. 3. で述べたランプの照射方向を変化させない場合よりも軽減されている。AFSの技術により、対向車ドライバーに対するグレアを悪化させないで、前方の視認性を向上させることが可能であると考えられる。

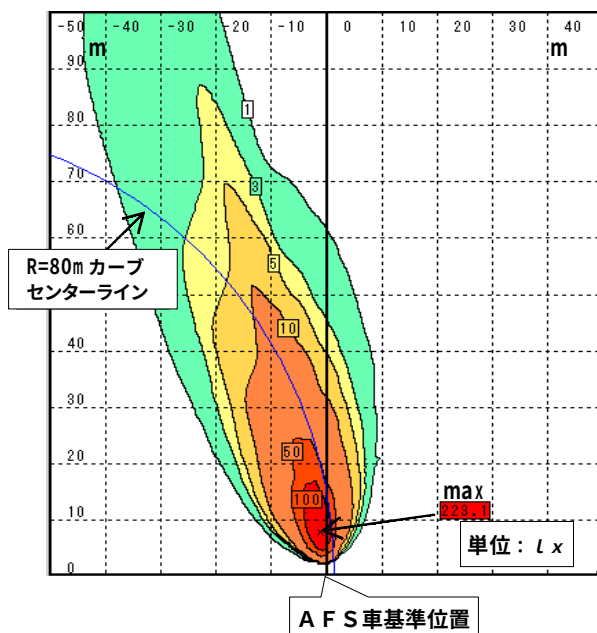


図9 照射方向を左へ10度振った場合の路面照射状況

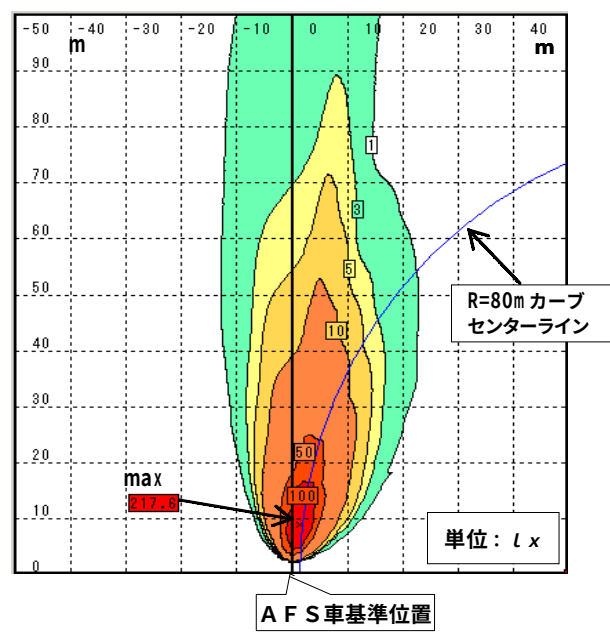


図12 照射方向を右へ10度振った場合の路面照射状況

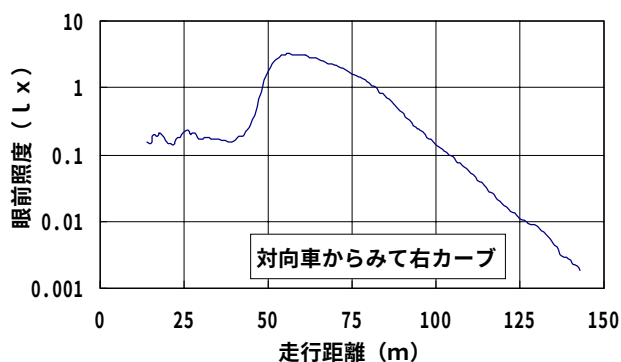


図10 照射方向を左へ10度振った場合の対向車ドライバの眼前照度の变化

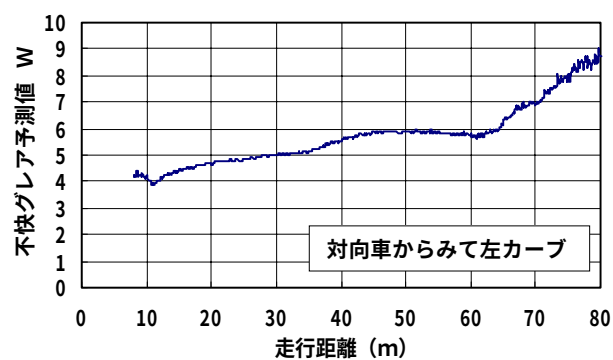


図13 照射方向を右へ10度振った場合に対向車ドライバの受ける不快グレア予測

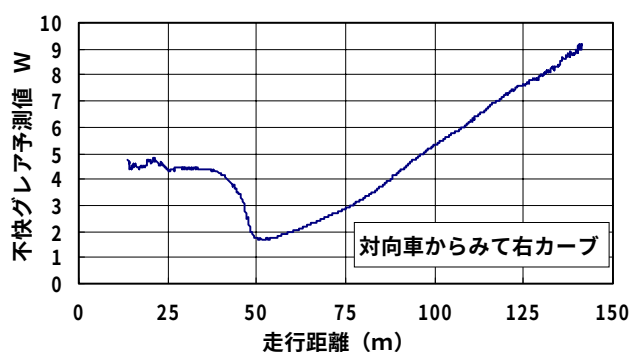


図11 照射方向を左へ10度振った場合に対向車ドライバの受ける不快グレア予測

4. 3. 右カーブ路において照射方向を右側に10°振った場合の解析結果

4. 3. 1. 照射状況に関する基本的特性 左右のランプの照射方向を右側に10°振った場合の前方路面の照度分布を図12に示す。この図から、右

カーブ路の進行方向が照射され走行しやすくなったと考えられる。したがって、照射方向を右側に10°振った場合について解析を行うこととした。

4. 3. 2. 右カーブ路走行時におけるグレア解析 曲率半径80mの右カーブ路で対向車がAFS車に接近する場合(対向車からみて左カーブ。視線方向は20°左側(路肩側))の不快グレアの予測結果を図13に示す。図から、不快グレアのレベルは4を下回ることとはほとんどなく、今回の条件のようなAFS車が右カーブ路を走行する場合に、対向車ドライバにとって不快グレアが問題となることはほとんどないものと考えられる。

5. 照射方向を上側に1°変化させた場合

実際の車両においては、乗員数や積載状況等により1°以上照射方向が上向きになることがある⁽²⁾ため、照射方向が1°上向きとなった場合について

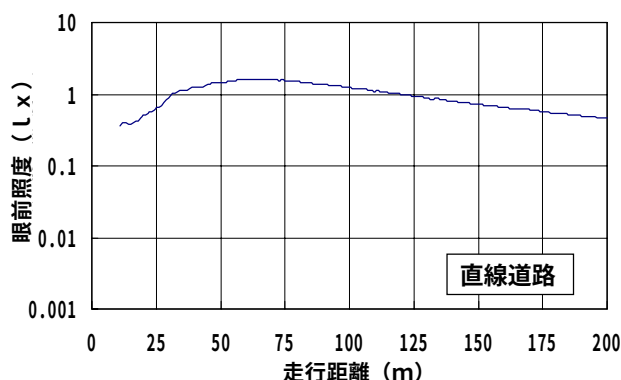


図14 照射方向が1°上向きとなった場合の
対向車ドライバの眼前照度の変化

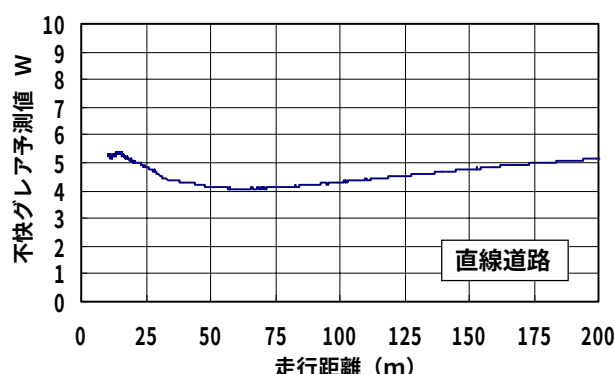


図15 照射方向が1°上向きとなった場合の
対向車ドライバの受ける不快グレア予測

解析を行う。なお、この解析結果は、AFS車のみならず、一般の自動車の前照灯照射方向が上方向に変化したときにも適用できる。

直線路における対向車ドライバのアイポイント軌跡における眼前照度の変化を図14に示す。眼前照度の最大値は前方60m付近の約1.6lxであった。対向車ドライバの視線方向が正面前方の場合の不快グレアの予測結果を図15に示す。今回の解析条件では、約80m～50mの範囲では不快グレアのレベルがほぼ4となった。正しい照射方向の場合の解析結果(図4)と比較して、不快グレアのレベルが悪化している。この結果から、上下方向の姿勢変化が大きい車両については、ランプの照射方向が姿勢変化に影響されないようにする照射方向自動調節機構(レベリング装置)を搭載することが望ましいと思われる。

6. まとめ

夜間に進行方向の視認性を向上させるAFS技術に関して、主に対向車に対するグレアという観点から各種条件で数値シミュレーションによる解析を行い、以下のことを明らかにした。

(1) 曲率半径80m程度のカーブ路であれば、現行

のHID前照灯を使用した場合、カーブの方向に照射方向を約10°振ることにより必要な前方視認性を得ることができる。

(2) 左側カーブ路において、左右のランプの照射方向を左側に10°ずつ向けた場合でも、対向車ドライバに対する不快グレアを悪化させることはない。

(3) 右側カーブ路において、左右のランプの照射方向を右側に10°ずつ向けた場合でも、対向車ドライバに対するグレアはとくに悪化しない。

(4) ランプの照射方向が上側に向いた場合には、グレアの程度が悪化することが予想された。上下方向の姿勢変化が大きい車両については、乗員数、積載状況等にかかわらず照射方向を自動的に調節する機構を装備することが望ましい。これについては、AFSを搭載していない自動車にも共通する事項である。

なお、今回の解析結果は、限られた条件の下での結果ではあるが、AFSの技術に関して基本的な特性を把握することができたものと考えられる。

参考文献

- (1) 益子, 森田, 岡田: 眩惑状況シミュレーション解析ソフトウェアの製作について, 第2回交通安全環境研究所研究発表会講演概要 (2002)
- (2) 横井, 橋本: 乗用車の積載状態に伴う前照灯照射角度変化量の測定, 自動車研究, 第19巻, 第9号, pp.42-46 (1997)
- (3) H. -J. Schmidt-Clausen, J. Th. H. Bindels: Assessment of discomfort glare in motor vehicle lighting, Lighting Research and Technology, Vol.6, No.2, pp.79-88 (1974)
- (4) 例えば, V.D.Bhise, E.I.Farber, C.S.Saunby, G.M.Troell, J.B.Walunas, A.Bernstein: Modeling Vision with Headlights in a Systems Context, SAE 770238 (1977)
- (5) M. Sivak, M. J. Flannagan: Partial Harmonization of International Standards for Low-Beam Headlighting Patterns, UMTRI-93-11 (1993)
- (6) 岡田, 森田, 益子, 関根: カーブ道路走行時における運転者の視線移動量測定結果, 第2回交通安全環境研究所研究発表会講演概要 (2002)