

講演5. コンピュータシミュレーションによるADB (Adaptive Driving Beam) の有用性に関する検討

— 遮光方式の違いによる夜間歩行者事故削減効果への影響について —

自動車安全研究部
榎小糸製作所

※田中 信壽
山村 聡志

安本 まこと
北澤 達磨

後閑 雅人
大野 智之

青木 義郎

1. はじめに

2017年に発生した交通事故のうち夜間歩行中事故による死者数は940名で、昼間歩行中事故による死者数(407名)の2倍以上という状況にあり⁽¹⁾、夜間歩行中事故への対応は交通事故死者数を削減する上で重要な対策の一つとなっている。また、2016年の夜間に発生した自動車直進中における自動車対歩行者の死亡事故事例を分析した結果、すれ違い用前照灯(「前照灯下向き」、以下、Low-Beam)点灯時に発生した事故のうち、走行用前照灯(「前照灯上向き」、以下、High-Beam)点灯により衝突回避できた可能性の高い事故が約56%あるという報告がなされている⁽²⁾。このため夜間の歩行者事故を防ぐ具体的な対策として High-Beam の適切な利用が有用であると考えられている。このような状況の中、普及しつつあるのが先進型可変配光走行ビーム(Adaptive Driving Beam、以下、ADB)である。ADBは、前照灯の配光パターンを前走車や対向車の動きに合わせて動的に遮光することによって、前走車及び対向車のドライバーへの眩惑を抑えつつ、High-Beam 点灯時に匹敵する照射エリアを確保しようとするシステムである。

我々は、予防安全支援システムの交通事故削減効果を定量的に推定する予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS (A Survey Simulator to Evaluate Safety Systems)⁽³⁾⁽⁴⁾の開発を進めている。ASSESSは、計算機内に創り出した仮想空間の中に実際の交通環境と同等の環境を再現し、この環境内に評価対象とする予防安全支援システムの機能を搭載した車両を自律走行させることによって衝突やニアミス等の事象を実際に発生する場合と同等に発生させ、予防安全システムの効果評価を行うシミュレータである。

本研究では、これまで ADB の事故削減効果の評価を行うために開発を進めてきた ASSESS の機能⁽³⁾に更なる改良を加えることにより、ADB の設計パラメータである遮光方式の違いが事故削減効果に及ぼす影響を推計し、ADB の有用性について検討する。

2. ASSESS の概要

ASSESS は、計算機内に構築した仮想空間内に、評価対象とする予防安全支援システムの機能を搭載した自律走行可能な車両(エージェント)を出現させるマルチエージェントシステムで構成されている(図1)⁽³⁾⁽⁴⁾。このマルチエージェントシステムは、交通環境を再現する環境モデル、ドライバの運転行動を模擬するドライバモデル及び車両の運動を模擬する車両モデルの3つのプログラムで主に構成されている。

ドライバモデルは、まず仮想空間に構築された交通環境を空間情報として認識する。次いで、その情報をもとに運転戦略を決定し、その運転戦略を実行するために必要な運転操作量を車両モデルに出力する。車両



図1 ASSESS の概要

モデルは、ドライバモデルから入力される運転操作量をもとに最終的に車両の位置座標を算出する。環境モデルは、各エージェントの発生スケジュールとエージェント個々に搭載されるドライバモデル及び車両モデルの特性を割り当てる。即ち、環境モデルによって割り当てられた特性に基づいて各エージェントの運転行動と車両性能が変化し、車両の挙動に個体差が生じる。

本研究では、ドライバモデルが夜間時に歩行者を視認する際の新機能として、歩行者の輝度とその背景輝度とのコントラスト比、ドライバのアイポイントと歩行者との距離、歩行者の身体が前照灯によって照射されている割合及び歩行者の背景輝度をもとに歩行者の見えにくさを評価する値（以下、視認評価値）を算出する機能を開発した。ドライバモデルは、この視認評価値に基づいて、歩行者を認識できない状態、物体として認識している状態及び歩行者として正しく認識している状態のいずれかの状態となる。さらに、ドライバモデルは、歩行者を正しく認識している状態のみ常時制動制御の判断対象とする改良も行った。

3. 評価対象とした ADB の概要

本研究で検討した ADB は、車両前方の左右に設置された 2 つの前照灯（前照灯は、Low-Beam 及び High-Beam の 1 対で構成）を常に点灯した状態から前方車及び対向車の方向の High-Beam の光のみを遮光するシステムである。ADB を構成する前照灯は、試験車両（全長：4.4 m、全幅：1.7 m、全高 1.4 m の直方体として模擬）の前部に、車両中心から左右に 0.7 m、高さ 0.7 m の位置に設置した。本研究では、ADB の設計パラメータとして遮光方式に着目し、個別遮光方式と車群遮光方式の 2 つの異なる遮光方式を搭載した ADB の事故削減効果について評価することとした。

個別遮光方式（図 2(a)）とは、前走車及び対向車に照射される High-Beam の光を個別に遮光する方式である。一方、車群遮光方式（図 2(b)）とは、前走車と対向車を車群として捉え、前走車と対向車の間の空間を含む車群全体に照射される High-Beam の光を遮光する方式である。ADB が遮光すべき範囲は前走車及び対向車の車幅の範囲で十分であるが、ADB はこの遮光すべき範囲を前走車及び対向車の動きに合わせて追従制御する必要がある。そこで、ADB では、この追従制御の性能を考慮し、遮光すべき範囲の左右に余

裕幅が設定される。本研究では、この余裕幅が占める前照灯位置から見た水平角の大きさを遮光余裕角度と定義した。即ち、個別遮光方式の ADB が遮光する範囲は、前走車及び対向車の車幅の範囲に加え、各車両の左右側面からさらに遮光余裕角度分だけ水平方向に拡張した範囲となる（図 3(a)）。一方、車群遮光方式の ADB が遮光する範囲は、前走車の車体左側面から対向車の車体右側面の範囲に加え、この範囲からさらに遮光余裕角度分だけ水平方向に拡張した範囲となる（図 3(b)）。個別遮光方式の ADB と車群遮光方式の ADB の違いは、前走車と対向車との間の空間を High-Beam の光が照射されるか否かという点である。



図 2 Adaptive Driving Beam のイメージ

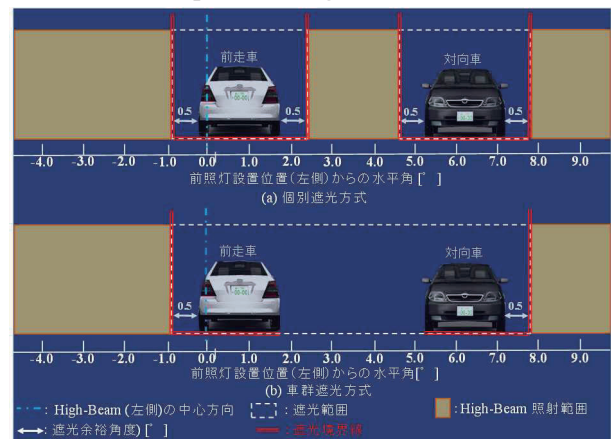


図 3 個別遮光方式と車群遮光方式の違い（左側前照灯：遮光余裕角度 0.5° の場合）

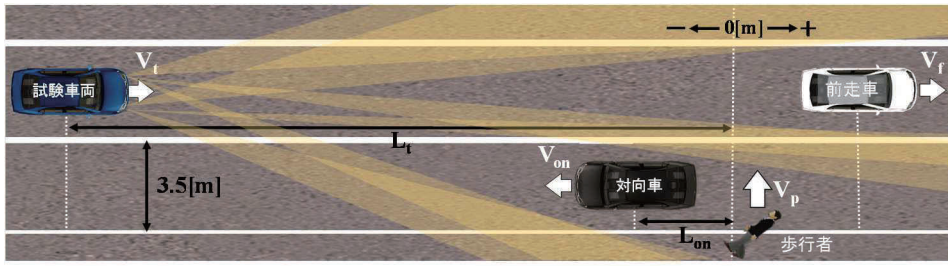


図4 評価シナリオ

表1 評価シナリオの交通流条件

試験車両		対向車		歩行者	条件数
速度 V_t	初期歩車間距離 L_t	速度 V_{on}	初期歩車間距離 L_{on}	速度 V_p	
20~80 [km/h] (10 [km/h] each)	-40~220 [m] (20 [m] each)	20~80 [km/h] (20 [km/h] each)	20~200 [m] (20 [m] each)	2.5 [km/h]	198
				3.6 [km/h]	121
				5.4 [km/h]	69

また、ADB の水平方向における遮光制御の分解能は 0.1° とし、本評価で想定する ADB は、遮光方式の違いによらず High-Beam の遮光範囲を水平方向に 0.1° 刻みで制御することとした。なお、対向車と前方車形状は、試験車両と同形状とした。

4. ADB 設計パラメータの事故削減効果への影響

図4に本研究で使用した評価シナリオを示す。本評価では、試験車両 (ADB 搭載)、前走車 (Low-Beam のみ常時点灯) 及び対向車 (Low-Beam のみ常時点灯) が走行する状況を設定し、歩行者は、対向車の後方、かつ、試験車両と前走車の間を横断するシナリオとした。表1に本評価でシミュレーションを行った試験車両と対向車の交通流条件を示す。なお、前走車の初期速度は試験車両と同速度とし、試験車両と前走車の車間距離の初期値は常に 100 m とした。また、歩行者が、試験車両と衝突する可能性があるエリアを試験車両が到達する前に通過する条件は除外した。

本シナリオにおける衝突の可能性は、歩行者速度によって異なるため歩行者速度毎のシミュレーション条件数も異なっている。また、評価シナリオの交通流条件は、ADB の夜間歩行中の事故削減効果が衝突件数の差によって明確となるように、事前検討により特定した衝突が発生しやすい条件を中心に細かく条件設定した。

歩行者は、直径 0.4 m、高さ 1.6 m の円筒形とし、その反射率を 10% とした。また、歩行者は、車線端から 0.5 m 離れた歩道上に出現後、直ちに設定された速度で道路に進入する (横断を開始するタイミングの判断は行わない)。試験車両のドライバーは 50 歳と仮定し、眼球内に発生する等価光膜輝度を計算した。路面の反

射率は 15% とし、街路灯照度は交通量の少ない住宅街を想定し、路面で 3.0 lx とした。

本研究では、これらの条件における個別遮光方式及び車群遮光方式を採用した ADB を搭載した試験車両の衝突件数を遮光余裕角度 0.0° 、 0.2° 、 0.5° 、 1.0° 及び 2.0° に変化させて算出し、これら遮光方式の違いが夜間歩行中の事故削減効果に及ぼす影響について評価することとした。

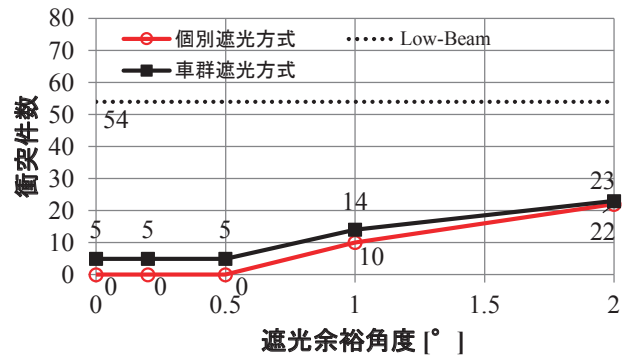


図5 遮光余裕角度の違いによる ADB の衝突件数の変化 (歩行者速度 V_p : 2.5 [km/h])

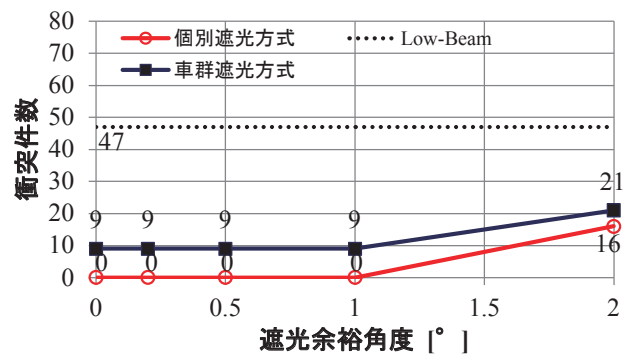


図6 遮光余裕角度の違いによる ADB の衝突件数の変化 (歩行者速度 V_p : 3.6 [km/h])

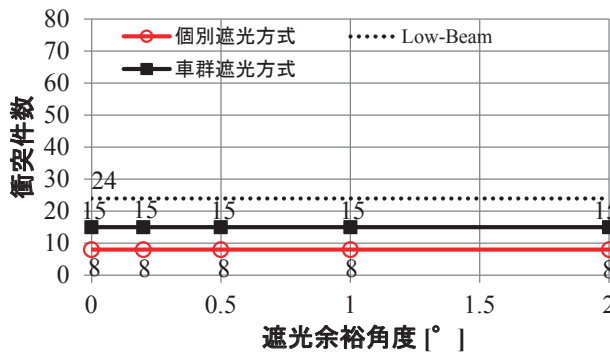


図7 遮光余裕角度の違いによるADBの衝突件数の変化（歩行者速度 V_p : 5.4 [km/h]）

図 5~7 に個別遮光方式及び車群遮光方式に対し遮光余裕角度の違いによるADBの衝突件数の変化を歩行者の速度別に示す。また、同図中には試験車両がLow-Beamのみを常時点灯した場合の衝突件数(点線)も合わせて示した。

今回のシミュレーション条件では、Low-Beamのみ常時点灯時よりも、遮光方式の違いによらずADB使用時の方が、衝突件数が減少することが確認された。さらに、遮光余裕角度 0.5° 以下の個別遮光方式のADBを使用した場合、歩行者の横断速度が 3.6 km/h 以下の条件では、Low-Beamのみ常時点灯時に発生した衝突をすべて回避できることが確認された。一方、遮光余裕角度を 0.5° 以下とする車群遮光方式のADBを使用した場合、歩行者の横断速度が 2.5 km/h の条件では、衝突件数がLow-Beamのみ常時点灯時の54件から5件に減少し、歩行者の横断速度が 3.6 km/h の条件では、衝突件数がLow-Beamのみ常時点灯時の47件から9件に減少することが確認された。但し、歩行者の歩行速度が 3.6 km/h 以下の条件では、遮光余裕角度が大きくなるにつれてLow-Beamのみ点灯時の衝突件数とADB使用時の衝突件数との差が遮光方式によらず減少し、ADBの優位性が低くなる傾向が確認された。

また、遮光方式の違いによるADB使用時の衝突件数を比較すると、すべての条件で車群遮光方式よりも個別遮光方式の方が少なく、今回の検証の範囲では個別遮光方式の方が夜間歩行者事故の削減効果が高いことが確認された。シミュレーション結果を分析したところ、これは、個別遮光方式のADBが前走車と対向車との空間をHigh-Beamで照射することが可能であるため、衝突回避可能なタイミングでこの空間を横断する歩行者を発見できたためであった。

5. まとめ

本研究では、ADBの夜間歩行中の事故削減に対する有効性について、予防安全支援システム効果評価シミュレータASSESSを用いてLow-Beamのみ点灯時に発生する衝突件数とADB使用時の衝突件数を比較することによって検証した。加えて、ADBの設計パラメータである遮光方式の違いによる事故削減効果についても検証を行った。

その結果、Low-Beamの常時点灯よりも個別遮光方式もしくは車群遮光方式を採用したADBを使用した方が、夜間歩行中の事故を削減できる可能性が確認された。また、一般成人の歩行速度として想定した 3.6 km/h もしくはそれ以下の速度で歩行者が道路を横断する場合、遮光余裕角度が 0.5° 以下のADBを使用することによって、夜間歩行中の事故削減効果が顕著に現れることが確認された。一方、遮光方式の違いによるADBの夜間歩行中の事故削減効果を比較すると、前走車と対向車との間の空間をHigh-Beamで照射が可能な個別遮光方式の方が、前走車と対向車との間の空間を横断する歩行者をドライバに衝突回避可能なタイミングで発見させることができる可能性があり、車群遮光方式よりも事故削減効果が大きくなる可能性があると考えられる。

今後は、本検証における交通流条件の分解能を高めさらに精度の高い検証を実施していくと共に、高齢ドライバを対象とした検証も行っていく予定である。

参考文献

- 1)内閣府; 平成30年版交通安全白書, pp.38-42(2018).
- 2)警察庁交通局; 平成29年上半期の交通死亡事故の特徴等について, p.30(2017).
- 3)田中信壽, 森田和元, 青木義郎; 予防安全支援システム効果評価シミュレータ(ASSESS)による夜間歩行者事故低減のためのAdaptive Driving Beamの有効性評価—ADBによる歩行者事故低減の推定—, 自動車技術会論文集, Vol.45, No.1, pp.127-134(2013).
- 4)田中信壽, 森田和元, 青木義郎, 安本まこと, 廣瀬敏也; 予防安全支援システム効果評価シミュレータ(ASSESS)を用いたブレーキアシストシステムの有効性に関する検討, 自動車技術会論文集, Vol.43, No.1, pp.15-20(2012).