無信号横断歩道へのバルブアウト導入が運転行動に与える影響に関する比較分析

大江　航介[1]・田中　伸治[2]

[1]学生会員　横浜国立大学大学院　都市イノベーション学府（〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5）
E-mail: oe-kosuke-ks@ynu.jp (Corresponding Author)

[2]正会員　横浜国立大学大学院教授　都市イノベーション研究院（同上）
E-mail: stanaka@ynu.ac.jp

我が国における交通死亡事故の大半は，歩行者の道路横断中に発生しており，横断時の安全確保が大きな課題となっている．これらの対策として，バルブアウトの導入が挙げられる．バルブアウトとは，横断歩道部において歩道を車道側に拡幅するもので，ドライバーの横断者に対する視認性向上等が利点として挙げられる．しかしながら，国内でのバルブアウトの導入事例は少なく，導入効果を示す研究もほとんど存在しない．そこで本研究では，3 種類の無信号横断歩道（標準型・二段階型・バルブアウト型）を対象に，ドライビングシミュレータによる被験者走行実験を行い，車両挙動データ及び運転時の心理データを取得する．そのうえで，ドライバーの利用行動と利用意識の両面から，各横断歩道の安全性や円滑性を比較分析し，バルブアウトの導入効果を示す．

Key Words: *bulb-out, unsignalized crosswalk, driving behavior, driver's awareness, driving simulator*

1.　はじめに

近年，我が国における交通事故死者数は減少傾向にあるものの，交通事故死者数の約 4 割は歩行中が占め [1]，交通死亡事故の約 7 割は歩行者の道路横断中に発生しており [2]，横断時の安全確保が大きな課題となっている．これらの一因には，無信号横断歩道における車両の一時停止率の低さが挙げられ，横断しようとする歩行者に対して道を譲るドライバーは全体の約 4 割に留まる [3]．また，横断歩道横断時における歩行中死亡事故の約 7 割は，ドライバーの「横断歩行者妨害等違反」に該当していることから [4]，歩行者側のみならず，車両側に対する更なる交通安全対策が必要となっている．中でも，横断歩道の構造面に着目し，ドライバーが横断者に対して道を譲りやすくなるような工夫を行うことが求められている．

無信号横断歩道を対象にした交通安全対策の 1 つとして，バルブアウト（Bulb-out）の導入が挙げられる．バルブアウトとは，**図-1** のように横断歩道部や交差点部において歩道を車道側に拡幅し，歩道にせり出し部を設けることで，歩行者の横断距離の短縮等を図るものである．導入メリットとしては，横断時における歩行者の身体的・心理的負担の軽減をはじめ，車両と歩行者の交錯機会の減少やドライバーの横断者に対する視認性向上，車道幅員の減少に伴う車両の速度抑制等が挙げられる．この他にも，横断歩道前後に駐車枠を設置することで，路上駐車スペースとしての活用が可能になるというメリットがあり，荷捌き等の短時間駐車スペースの確保が期待される．

Niel[5]によると欧州を中心とした諸外国では，1970 年代以降に横断歩道へのバルブアウト導入が進み，オーストリアやドイツ，スイスでは無信号横断歩道におけるバルブアウトの設置位置やせり出し部の構造条件等を示した計画及び設計に関するガイドラインが整備された．その一方で，我が国におけるバルブアウトの導入事例は一部に留まっており，導入に向けたガイドラインも存在して

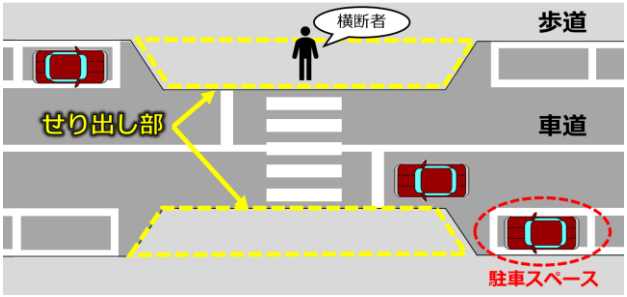


図-1　バルブアウトの説明図

いないのが現状である．特に単路部横断歩道への導入が進んでおらず，東京都渋谷区の往復 2 車線道路や東京都文京区の一方通行路等の事例に限られている．これらを踏まえると，国内におけるバルブアウトの普及及びガイドラインの整備に向けた知見の蓄積が必要であり，まずは無信号横断歩道へのバルブアウト導入に伴う車両と横断者双方に与える影響を把握することが重要であると考える．

バルブアウトに関する既往研究として，佐藤ら [6]は交差点部を対象に，ポストコーン設置による簡易的なバルブアウトの導入を伴った社会実験を実施し，バルブアウトには左折車及び地区内への流入車に対して速度抑制効果があることに加え，横断歩道上で発生する歩行者及び自転車と自動車の錯綜の減少にも寄与することを示した．Bella and Silvestri[7]は，バルブアウトを含む 3 種類の交通安全対策が無信号横断歩道接近時のドライバーの運転行動に与える影響を明らかにするために，ドライビングシミュレータを用いた走行実験を実施し，バルブアウトの導入によりドライバーの横断者に対する譲り意識や視認性が向上すると共に，非譲り挙動が減少したことを示した．Angioi and Bassani[8]は，ドライバーの道路環境への慣れに着目し，無信号横断歩道接近時の運転行動を把握するために，ドライビングシミュレータを用いた走行実験を実施した．その結果，バルブアウトには歩行者の安全性向上に加え，ドライバーの道路環境への慣れを抑制する効果があることを明らかにした．Niel[5]は，オーストリアのウィーンに現存する 100 カ所のバルブアウトを調査し，バルブアウトのせり出し幅を駐車スペースの横幅よりも広くすることで，見通し距離が確保されることを示した．また，歩行者の横断待機位置はある 1 点に集中することはなく，車道側よりも歩道側で待機する傾向にあることを明らかにした．

無信号横断歩道に関する既往研究として，藤田ら [9]は，単路部無信号横断歩道を対象に観測調査を実施し，横断待機方法から横断歩道の構造までという幅広い視点から一時停止率向上策に関する検討を行った．その結果，自動車の一時停止率向上には，歩行者の立ち位置が大きく寄与していることが明らかになった．また，一時停止率向上策として，可能な限り車道に近い位置での横断待機や自動車に回避行動をさせないような横断歩道の構造にするといった点が挙げられた．橋本ら [10]は，歩行者が無意識に車道と近い位置に立つことができ，かつ安心・安全に利用可能な無信号横断歩道の構造を明らかにするために，ヘッドマウントディスプレイを用いた歩行実験を実施した．その結果，横断歩道付近の歩道をせり出す対策が歩行者を車道側に立たせるのに最も効果的であることを示した．また，せり出す対策に加えて防護柵やボラード等の設置を行うことで，歩行者の不安感抑制に繋がることを示した．宮野ら [11]は，無信号横断歩道を対象に観測調査を実施し，歩車間のコミュニケーションや歩行者行動が車両の停止に与える影響を分析した．その結果，歩行者が車道側で待機することにより車両の停止率が向上し，特に夜間帯において効果的であることを示した．

二段階横断歩道に関する既往研究として，足立ら [12]は，食い違い二段階横断施設と 2 カ所の簡易的な二段階横断施設を対象に現地調査を実施し，通常横断歩道よりも二段階横断歩道において，横断者有無確認時に車両速度が低下する傾向にあることを示した．また，簡易二段階横断施設よりも食い違い二段階横断施設において，譲り挙動を行うための急減速割合が低下したことをはじめ，中央帯や交通島での譲り割合の上昇により，簡易二段階横断施設でも食い違い二段階横断施設と同様に横断円滑性があることを示した．足立ら [13]は，5 カ所の二段階横断施設を対象に観測調査を実施し，交通島を設置することで横断円滑性が向上し，特に車両交通量が少なく，車両速度が低いかつばらつきが小さい箇所への設置により，譲りが発生しやすくなることを示した．竹平ら [14]は，無信号横断歩道上に整備された簡易な安全島を対象に観測調査を行い，横断時の身体的・精神的負担の軽減に効果があること，安全島の整備が横断判断のし易さや横断者の待ち時間短縮に寄与することを明らかにし，横断者の安全性及び円滑性の向上に有効な対策であることを示した．林ら [15]は，無信号や定周期式信号機等の 4 制御方式を用いた交通シミュレーションによる二段階横断との比較検証を行い，歩行者の安全性や円滑性を確保するためには，二段階横断歩道の設置が有効であることを示した．大橋ら [16]は，比較的簡易な二段階横断施設について，横断面構成の異なる複数パターンで通行実験を実施し，交通島設置に伴うドライバーの横断歩行者に対する視認性向上が，横断歩道での車両の停止率向上に寄与する可能性を示した．永脇ら [17]は，横断面構成の見直しにより設置された幅狭二段階横断施設を対象に観測調査を行い，交通島幅に余裕のある他箇所の事例と比べても，車両譲り率が高く，走行速度も低下していることを明らかにし，幅狭の場合だとしても横断者の円滑性や安全性に効果があることを示した．

以上より，海外においてはバルブアウトに関する研究が多々行われており，ドライバーの安全運転及び横断者の安全確保に寄与していることが明らかになっている．その一方で，我が国の交通法規や交通状況を踏まえたバルブアウトに関する研究は極めて少なく，中でも単路部無信号横断歩道への導入を対象としたものは見当たらない．無信号横断歩道に関する国内研究においては，バルブアウトと類似した研究がいくつか存在しており，車道側で横断待機することの重要性は示されているものの，車両の譲り挙動や走行挙動，もしくは歩行者行動や歩行

者意識に着目して分析されており，ドライバーの運転行動と運転意識の両面から分析されたものはない．特に，歩道を車道側にせり出す対策については，車道幅員の減少による走行車両への影響について検討する必要があると考える．そして，二段階横断歩道に関する研究では，二段階横断歩道の導入に伴う車両及び横断者の安全性や円滑性の向上を明らかにした研究は多く存在するものの，二段階横断歩道の形式間や同一箇所における導入前後での比較，もしくは他の横断制御方式との比較が多数を占め，横断歩道の構造面に着目して比較分析された研究はほとんど存在しない．また，横断歩道の設置箇所やその周辺環境，もしくは道路の利用状況等によっては，二段階横断歩道の設置が適さない場面もあると考えられる．

そこで本研究では，複数の無信号横断歩道を対象に，ドライビングシミュレータ（以下，DS）を用いた被験者走行実験を実施し，無信号横断歩道へのバルブアウト導入がドライバーの利用行動及び利用意識に与える影響について把握すると共に，各横断歩道の安全性や円滑性等に関する比較分析を行い，バルブアウトの導入効果を示すことを目的とする．そして，国内において導入が進みつつある二段階横断歩道以外の交通安全対策として新たな選択肢を示すことが本研究の意義であると考える．

2. 被験者走行実験

(1) 実験概要

本研究では，FORUM8 社製の 3 次元リアルタイム VR ソフトウェアパッケージ UC-win/Road Ver14.2 で走行環境を作成したうえで，ハンドリングとペダリングについては，Logicool 社製の Driving Force G29 を用いて DS 走行実験を行った．そして，車両の位置や速度，加減速度をはじめとした複数項目にわたる走行データを取得した．実験には，普通自動車第 1 種免許（AT 限定を含む）を保有する横浜国立大学の学生を中心とした 20 代から 30 代までの計4名（男性：3名，女性：1名）が参加した．なお，全被験者に対しては，本実験の概要ならびに注意事項を口頭と書面を通じて説明し，実験参加に対する同意を得ている．

(2) 走行モデルと実験コース

本実験では，都心部のオフィス街や駅周辺等の荷捌きが多いエリアを想定したうえで，制限速度 40km/h，車線幅員 3.0m，路肩幅員 1.5m の第 4 種第 3 級程度の往復 2 車線都市部一般道路を再現し，走行モデルを作成した（図-2）．モデル上には，可能な限り現実との乖離を防ぐために，高層ビル等の建造物や道路標識，道路標示を適宜配置し，運転中の違和感を無くすために分析対象外

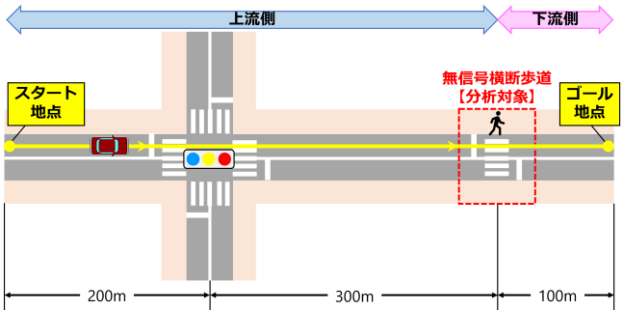
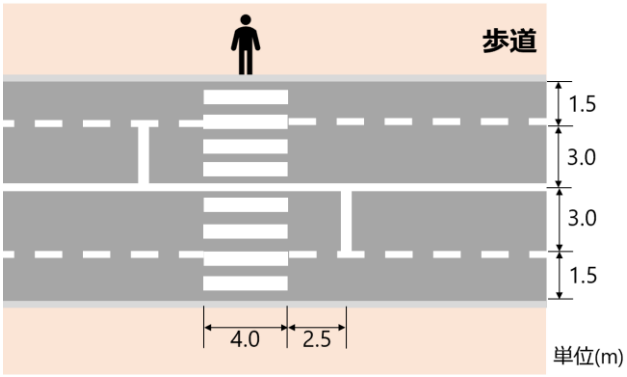
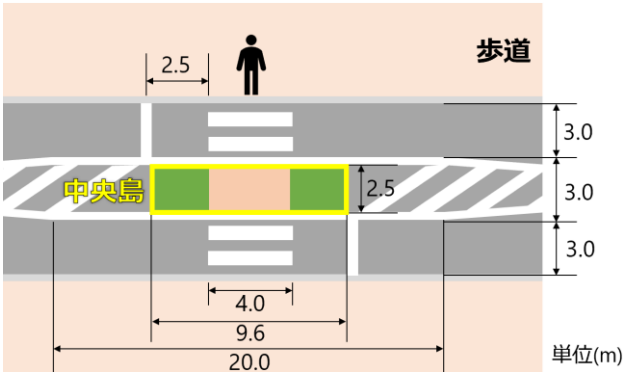


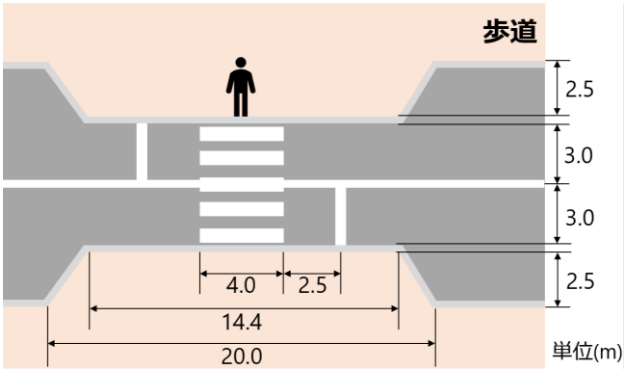
図-2 走行モデル



(a) 標準型横断歩道



(b) 二段階型横断歩道



(c) バルブアウト型横断歩道

図-3 各横断歩道の平面図

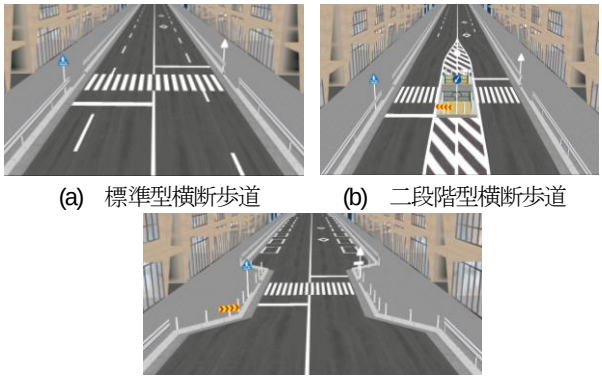
の信号交差点を 1 ヵ所設置した．実験コースについては全長 600m の直線道路となっており，スタート地点から 200m の位置に信号交差点，500m の位置に無信号横断歩道を設置した．なお，次節以降では，スタート地点から無信号横断歩道までの区間を「上流側」，無信号横断歩道からゴール地点までの区間を「下流側」と呼称する．

(3) 横断歩道の構造及び諸元

本研究では，**図-3** 及び**図-4** に示す 3 種類の無信号横断歩道を対象に実験を行った．具体的には，国内で導入されている標準的な横断歩道（以下，標準型横断歩道），近年国内での導入が進みつつある二段階横断歩道（以下，二段階型横断歩道），バルブアウトを導入した横断歩道（以下，バルブアウト型横断歩道）となっている．各横断歩道の幅員は 4.0m とし，横断歩道端部から上流側もしくは下流側 2.5m の位置に停止線を設置した．なお，二段階型横断歩道の直線部及び車線シフト長は大橋ら[18]を参考に 20m とした．

二段階型横断歩道では「無信号二段階横断施設導入の手引き（案）」[19]を参考に，車道中央部に幅 2.5m，長さ 9.6m（横断歩道幅 4.0m を含む）の中央島を設置し，併せて規制標識「指定方向外進行禁止（311-F）」やボラード，視線誘導標を付属した．そして，バルブアウト型横断歩道では，幅 2.5m，長さ 14.4m（車道側）のせり出し部を設置し，併せてボラードや視線誘導標を付属した．

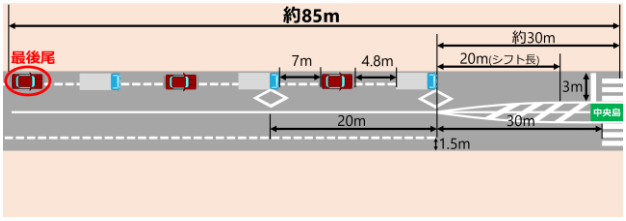
また，無信号横断歩道にバルブアウトを導入するうえで，全国的に整備が進められている自転車専用通行帯（以下，自転車レーン）を含めた検討が必要があると考え，「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」[20]を参考に，各横断歩道において走行車線の外側に幅 1.5m の自転車レーンを設置した．



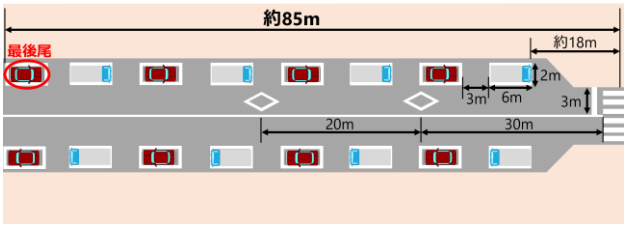
(a) 標準型横断歩道　(b) 二段階型横断歩道

(c) バルブアウト型横断歩道

図-4 各横断歩道の外観図



(a) 二段階型横断歩道



(b) バルブアウト型横断歩道

図-5 駐車車両の配置図

(4) 車両の駐車位置及び駐車枠の設置位置

本実験では，バルブアウトの導入メリットである駐車スペースの確保に伴う被験者車両への影響を明らかにするために，各横断歩道の上流部及び下流部に駐車車両の配置と駐車枠の設置を行った（**図-5**）．駐車車両は，全幅 1.91m，全長 4.0m の乗用車と全幅 2.02m，全長 5.27m の中型トラックで構成されており，車道端部から車両左端部までの距離は約 0.5m である．駐車車両の配置については，二段階型横断歩道の場合では，横断歩道中央部から上流側約 30m の位置を先頭に約 85m の位置にかけて 5～7m 間隔で駐車車両を 6 台配置した．また，バルブアウト型横断歩道の場合では，横断歩道中央部から上流側約 18m の位置を先頭に約 85m の位置にかけて 3m 間隔で駐車枠を設置し，駐車車両を 8 台配置した．駐車枠については幅 2.0m，長さ 6.0m となっている．なお，標準型横断歩道における駐車車両の配置位置は，バルブアウト型横断歩道の場合と同一としている．



(a) 駐車車両追い越し時



(b) 自転車レーン走行時

図-6 自転車の走行状況

(5) 自転車の走行挙動

本実験では，被験者車両の走行挙動や横断者に対する譲り挙動等に与える影響要因を明らかにするために，自転車を自転車レーンを含む車道上で走行させた（**図-6**）．自転車の走行速度は 15km/h とし，100m 間隔で計 4 台を配置した．自転車の走行位置については，自転車レーン上を走行する際にはレーン中央部，駐車車両を追い越す際には駐車車両右端部から約 0.5m 離れた位置とした．また，走行中の自転車は駐車車両最後尾から上流側約 40m 地点（横断歩道中央部から上流側約 125m 地点）で

追い越し挙動を開始し，駐車車両最後尾に到達した時点で完全に横並びになり，追い越し終了後に再び自転車レーンを走行するように設定されている．

(6) 対向車の走行挙動

本実験では，被験者車両の走行挙動や横断歩行者に対する譲り挙動等に与える影響要因を明らかにするために無信号横断歩道に接近すると同時に，前方から対向車を 1 台走行させた．対向車は乗用車とし，被験者車両が横断歩道中央部から上流側 160m 地点を通過した直後に，横断歩道中央部から下流側 100m 地点より 40km/h で走行を開始するように設定した．なお，対向車は走行開始後 17s で 0km/h になり，無信号横断歩道の下流側の停止線で停止するように制御されている．そのため，無信号横断歩道の上流側を走行する被験者車両と対向車が直接すれ違うことはないという点に留意する必要がある．

(7) 歩行者挙動

本実験では，より実際の運転環境に近づけるために，被験者車両が無信号横断歩道に接近すると同時に，横断歩道の右側（以下，Far-side）もしくは左側（以下，Near-side）から横断歩行者を出現させた（**図-7**）． 出現タイミングについては，横断歩行者の歩道端への到着と被験者車両の停止線への到着が概ね同時刻になるように設定した．横断歩行者は横断歩道中央部を歩行し，歩行速度については横断歩道を横断する直前までは一般的な歩行速度の半分にあたる 2km/h とし，横断歩道を横断開始後には一般的な歩行速度である 4km/h となるように設定した．なお，中央島通行時の歩行速度は，横断開始後と同様の 4km/h とした．

(8) 実験パターン

表 1 及び**表 2** には，本実験で使用した実験パターンを「横断歩行者が Far-side から横断するパターン（以下，Far-side パターン）」と「横断歩行者が Near-side から横断するパターン（以下，Near-side パターン）」に分けて示す．(3)～(6)で示した横断歩道の種類（駐車車両の配置），自転車挙動，歩行者挙動の 3 つの実験条件については，それぞれ4水準，2水準，2水準となっており，全ての条件を組み合わせると 16 種類の実験パターンが作成される．しかしながら，被験者への負担や実験時間の制約上，全てのパターンを実施することは難しいため，実験計画法に基づき L_8 直交表を用いることで，実験パターンを 8 種類にまで減らした．

(9) 実験手順

本実験は，DS の基本操作をはじめとした事前説明と VR 環境への馴化や運転操作への慣れを目的とした練習



(a) Far-side からの横断



(b) Near-side からの横断

図-7 歩行者の横断状況

表-1 実験パターン（Far-side からの横断）

No.	横断歩道の種類（駐車車両の有無）	自転車レーン及び自転車の走行有無	対向車の有無
F1	バルブアウト(駐車あり)	あり	あり
F2	バルブアウト(駐車なし)	あり	あり
F3	標準(駐車あり)	なし	あり
F4	二段階(駐車あり)	なし	あり
F5	標準(駐車あり)	あり	なし
F6	二段階(駐車あり)	あり	なし
F7	バルブアウト(駐車あり)	なし	なし
F8	バルブアウト(駐車なし)	なし	なし
駐車あり：駐車車両あり　駐車なし：駐車車両なし			

表-2 実験パターン（Near-side からの横断）

No.	横断歩道の種類（駐車車両の有無）	自転車レーン及び自転車の走行有無	対向車の有無
N1	バルブアウト(駐車あり)	あり	あり
N2	バルブアウト(駐車なし)	あり	あり
N3	標準(駐車あり)	なし	あり
N4	二段階(駐車あり)	なし	あり
N5	標準(駐車あり)	あり	なし
N6	二段階(駐車あり)	あり	なし
N7	バルブアウト(駐車あり)	なし	なし
N8	バルブアウト(駐車なし)	なし	なし
駐車あり：駐車車両あり　駐車なし：駐車車両なし			

表-3 アンケート調査の項目

設問	質問内容
①安全に通行できると思ったか【5件法】 (安全に通行できない理由)	安全性評価
②走りやすいと思ったか【5件法】 (走りにくい理由)	走行性評価
③速度を抑制しようと思ったか【5件法】 (速度を抑制した理由)	速度抑制への意識
④横断歩行者を見つけやすいと思ったか【5件法】 (横断歩行者を見つけにくい理由)	視認性評価
⑤横断歩行者が存在するかもしれないと思ったか【5件法】	横断歩行者への意識
⑥路上駐車が邪魔だと思ったか【5件法】	路上駐車への印象
⑦二段階横断歩道やバルブアウトを通行したことがあるか【2件法】	横断歩道の通行経験
⑧二段階横断歩道やバルブアウトが日本に導入されても良いと思ったか【2件法】 (導入されても良いもしくは導入されない方が良い理由)	横断歩道への印象
⑨性別，年齢，職業，運転免許の種類	個人属性
⑩運転経歴，運転頻度，交通事故及び交通違反の有無	運転経験

走行を実施後，Far-side パターン（計 8 回），Near-side パターン（計 8 回）の順で被験者に計 16 回運転していただいた．走行順は，順序効果による影響を排除するために各パターンにおいてランダムとした．また，各回終了後に被験者の休憩時間も兼ねて，**表-3** に示す計 9～10 項

目のアンケート調査を実施した．なお，被験者に対する事前説明では，普段通りの運転を心がけること，制限速度や画面に表示される指示に従って走行することのみを伝えた．

3. ドライバーの運転行動に関する分析

第3章では，DS 実験を通じて得られた4名の走行ログデータのうち，横断歩行者に対して道を譲らなかった被験者のデータを除外して分析を行うことにする．また，被験者によって，横断歩道直前部における停止位置に差異が生じた．そのため，分析対象については一部の分析を除き，横断歩道中央部から上流側 100m の位置を起点に上流側 10m の位置までの区間とし，10m 毎のデータを用いることにする．また，横断歩道中央部から上流側 30～40m は，駐車車両が配置されているパターンにおいて，横断歩道中央部から上流側 60～70m の位置は，駐車車両が配置されていないパターン（F2・N2・F8・N8）において，ドライバーが横断歩行者を認知可能になる区間である．

(1) 実験パターン別の車両の譲り割合

本節では，ドライバーの横断者に対する譲り行動に着目し，実験パターン別の車両の譲り割合を算出した．本分析での譲り割合とは，各パターンのサンプル数のうち，ドライバーが横断歩行者に対して道を譲った回数の割合のことを指す．**表-4** より，Near-side パターンの方が Far-side パターンよりも譲り割合が高く，ドライバーは Near-side からの横断歩行者を認知しやすいことがわかる．Far-side パターンに着目すると，バルブアウト型横断歩道での譲り割合が高いことがうかがえるものの，駐車車両が存在する場合では他の 2 横断歩道と同様に非譲り行動が発生していることから，バルブアウト型横断歩道がドライバーの譲り行動を大きく促進しているとは言えないと推察される．また，Far-side パターン，Near-side パターンのいずれにおいても，対向車が存在する場合での譲り割合が低く，ドライバーの譲り行動に与える影響は小さい可能性が示唆された．

(2) 平均走行速度の変化

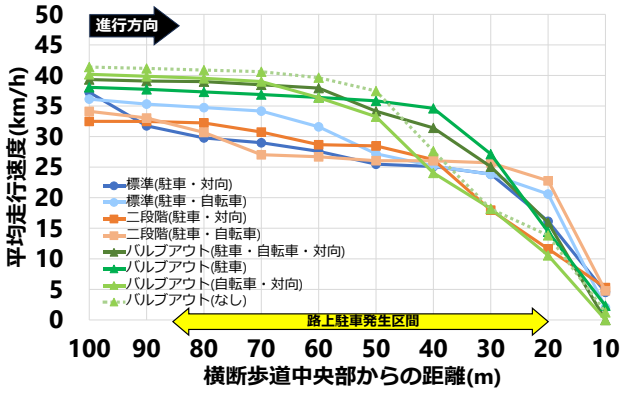
Far-side パターン及び Near-side パターンにおける平均走行速度の変化を**図-8** に示す．同図より，標準型横断歩道や二段階型横断歩道の方がバルブアウト型横断歩道と比べて，走行速度が低いことがわかり，特に二段階型横断歩道において顕著な速度抑制が見られる．これらの要因として，駐車車両や自転車を追い越す際にハンドル操作が増大することに加え，対向車線にはみ出して走行する必要があり，対向車の動向や側方車両との接触，中央島の存在等に注意しつつ慎重に運転するドライバーが多いからではないかと推察される．一方で，各横断歩道の速度変化に着目すると，バルブアウト型横断歩道の方が標準型横断歩道や二段階型横断歩道と比べて，速度の上下変化が少なく，横断歩行者を認知するまでは一定の速度で走行するドライバーが多い傾向にあることがうかがえる．以上より，バルブアウト型横断歩道には速度抑制効果があるとは言えないものの，駐車車両や自転車による走行阻害の減少に伴う車両の円滑性及び安全性向上に寄与すると共に，ドライバーの運転操作の負担軽減に繋がる可能性が示唆された．

表-4 実験パターン別の譲り割合

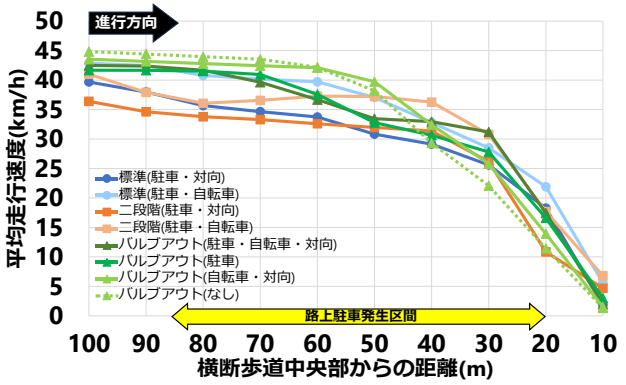
実験パターン	譲り割合	
	Far-side	Near-side
標準（駐車・対向）	100% (n=4)	75% (n=3)
標準（駐車・自転車）	75% (n=3)	100% (n=4)
二段階（駐車・対向）	75% (n=3)	100% (n=4)
二段階（駐車・自転車）	100% (n=4)	100% (n=4)
バルブアウト（駐車・自転車・対向）	75% (n=3)	100% (n=4)
バルブアウト（駐車）	100% (n=4)	100% (n=4)
バルブアウト（自転車・対向）	100% (n=4)	100% (n=4)
バルブアウト（なし）	100% (n=4)	100% (n=4)

駐車：駐車車両あり　自転車：自転車レーンあり(自転車あり)　対向：対向車あり

※nは横断者に対して道を譲った車両数



(a) Far-side パターン



(b) Near-side パターン

図-8 平均走行速度の変化

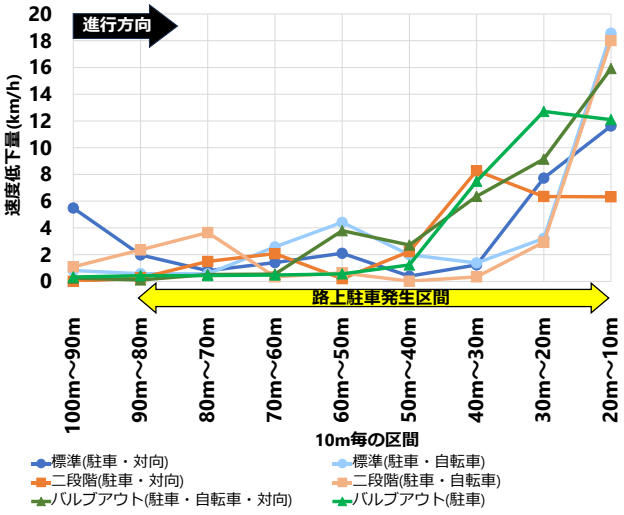
(3) 速度低下量の変化

本節では，駐車車両が存在する状況でかつドライバーの横断歩行者認知前に着目し，Far-side パターン及び

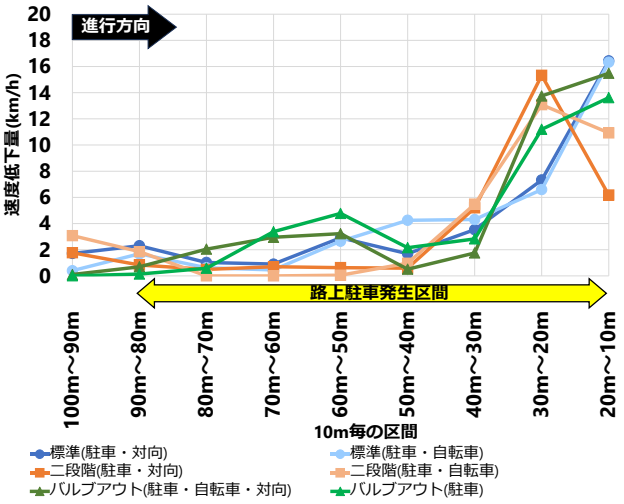
Near-side パターンにおける速度低下量の平均値を図-9 に示す．本分析での速度低下量とは，2 地点間の速度差分のことを指し，その差分が大きいほど，大きな減速行動が行われていると判断する．なお，速度差分の値が負になった場合は，0km/h として扱うことにする．同図より，バルブアウト型横断歩道の方が標準型横断歩道や二段階型横断歩道と比べて，横断歩道直前部における速度低下量が大きい傾向にあることがわかる．この要因として，バルブアウト型横断歩道では，横断歩行者を認知するまでの区間において速度を落とさずに走行するドライバーが多いことが挙げられる．つまり，走行速度が高い状態での横断歩道直前部への進入が，横断歩行者認知後の大きな減速行動に繋がっていると言える．ただし，Far-side パターンの 60m～40m 区間や Near-side パターンの 70m～40m 区間においては，2km/h～4km/h 程度の速度低下が見られていることから，バルブアウト型横断歩道には一定の減速効果があるとも推察できる．一方で，標準型横断歩道では 100m～40m 区間において 2km/h～6km/h 程度，二段階型横断歩道では 100m～60m 区間において 2km/h～4km/h 程度の速度低下が見られており，駐車車両や自転車を追い越す際の減速及び車線シフトに伴うカーブへの進入直前の減速によるものであると考えられる．

(4) 最大減速度

本節では，Far-side パターンに着目し，各横断歩道における最大減速度の平均値を図-10 に示す．本分析では，横断歩道中央部から上流側 75m の位置から上流側 10m の位置までの区間において観測された減速度のうち，最も大きな値を最大減速度と定義する．横断歩道中央部から上流側 75m の位置は，バルブアウト型横断歩道（自転車あり，対向車あり）のパターン及びバルブアウト型横断歩道（駐車車両なし，自転車なし，対向車なし）のパターンにおける横断歩行者の認知開始位置となっている．また，DS 上で観測される減速度は，実地調査で観測される値よりも大きい傾向にある点に留意する必要がある．同図より，駐車車両が配置されていないバルブアウト型横断歩道では，他の横断歩道と比べて，最大減速度が小さい傾向にあることがわかる．これは，駐車車両が存在していないことにより，ドライバーが横断歩行者を早期に発見しやすく，余裕を持ったブレーキ操作が可能になるからであると推察される．一方で，駐車車両が存在する横断歩道間で比較すると，バルブアウト型横断歩道の方が標準型横断歩道や二段階型横断歩道よりも最大減速度が大きいことがうかがえる．この要因として，バルブアウト型横断歩道の方が横断歩行者認知前における走行速度が高く，他の横断歩道と比べて，横断歩道直前部での大きな減速行動が求められやすいことが考えられ，(2)及び(3)の結果とも一致していると言える．なお，Near-side パターンの場合については，Far-side パターンと同様の傾向が見られた．



(a) Far-side パターン



(b) Near-side パターン

図-9 速度低下量の平均値

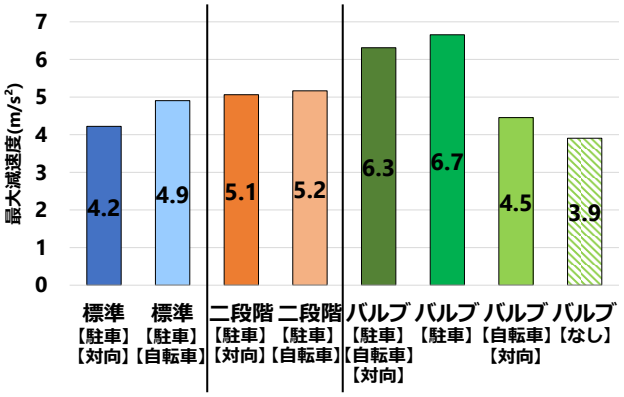


図-10 最大減速度の平均値（Far-side パターン）

(5) 車両の旅行時間

(1)～(4)の結果を踏まえ，バルブアウト型横断歩道が車両の円滑性向上に与える影響について分析する．図-11 には，Far-side パターンに着目し，横断歩道中央部か

ら上流側 100m～10m 区間，ならびに上流側 100m～30m 区間と上流側 30m～10m 区間における被験者車両の旅行時間の平均値を示す．横断歩道中央部から上流側 30m の位置は，ドライバーが横断歩行者を認知可能な位置でかつ，路上駐車区間の終端部付近となっている．同図より，バルブアウト型横断歩道の方が横断歩道中央部から上流側 100m～30m 区間において，標準型横断歩道及び二段階型横断歩道の方が 30m～10m 区間において，旅行時間が短いことがわかる．これにより，駐車車両の存在やそれに伴う自転車の追い越し挙動が発生したとしても，バルブアウト型横断歩道では車両がスムーズに走行できていることが明らかになった．この要因として，駐車車両や自転車を追い越す際の減速及びハンドル操作，そして対向車の様子をうかがうための減速を行う必要がなくなったからではないかと推察される．また，バルブアウト型横断歩道には二段階型横断歩道のようなカーブによる減速がないことも要因の 1 つとして挙げられると考える．一方で，横断歩道中央部から上流側 100m～10m 区間においては，標準型横断歩道や二段階型横断歩道の方が旅行時間が短い傾向が見られたことから，この点については今後の更なる分析及び検討が必要であると考える．なお，Near-side パターンの場合については，Far-side パターンと同様の傾向が見られた．

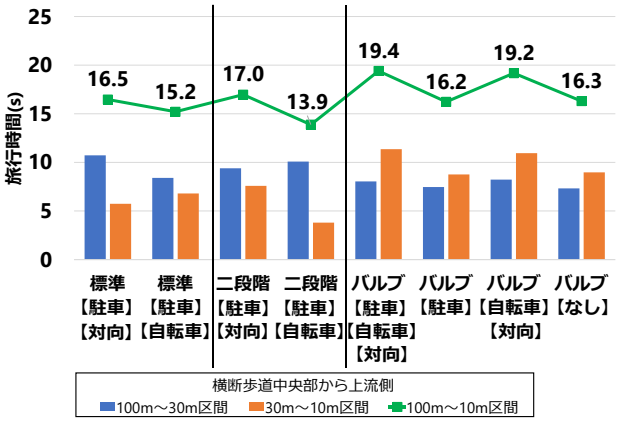


図-11　旅行時間の平均値（Far-side パターン）

4.　おわりに

本研究では，DS を用いた被験者走行実験を通じて，3 種類の無信号横断歩道（標準型・二段階型・バルブアウト型）を対象に，ドライバーの運転行動に与える影響について比較分析を行い，その結果の一部を本稿で報告した．その結果，バルブアウト型横断歩道には車両の速度抑制や急減速の抑制までの効果はないものの，駐車車両や自転車が存在する場合では，他の横断歩道よりもスムーズに通行することができ，車両の円滑性向上に寄与する可能性が示唆された．加えて，一定の減速効果がある可能性も示唆された．

今後はサンプルサイズを確保したうえで，ドライバーの運転行動に関するより詳細な分析を進めると共に，実験時に得られたアンケートデータとの関係性等についても明らかにする．また，ドライバーのみならず歩行者視点にも着目し，ヘッドマウントディスプレイを用いた被験者実験を行い，各横断歩道における利用行動及び利用意識を明らかにする．これらの結果については，講演時に報告する予定である．

謝辞：本研究は，自動車安全運転センターの令和 5 年度「交通安全等に関する公募による委託調査研究」（代表責任者：田中伸治）により実施した成果の一部である．

REFERENCES

1) 警察庁交通局：令和 4 年における交通事故の発生状況について，https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/bunseki/nenkan/050302R04nenkan.pdf．(2023.9.23 閲覧)
2) 警察庁：横断歩道は歩行者優先です，https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/oudanhodou/info.html．(2023.9.23 閲覧)
3) 一般社団法人 日本自動車連盟：信号機のない横断歩道での歩行者横断時における車の一時停止状況全国調査(2022 年調査結果)，https://jaf.or.jp/common/safety-drive/library/survey-report/2022-crosswalk．(2023.9.23 閲覧)
4) 警察庁交通局：令和 3 年における交通事故の発生状況等について，https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/bunseki/nenkan/040303R03nenkan.pdf．(2023.9.23 閲覧)
5) Niel, F.: Curb Extensions at Unsignalised Crossings Evaluation of guidelines, Master Thesis, Technischen Universität Wien, 2016.
6) 佐藤恵，小早川悟，高田邦道：千葉県市川市南大野地区における交通安全対策としてのバルブアウトの効果分析，平成 21 年度土木学会全国大会第 64 回年次学術講演会，Ⅳ-044，pp.87-88，2009.
7) Bella, F. and Silvestri, M.: Effects of safety measures on driver's speed behavior at pedestrian crossings, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.83, pp.111-124, 2015.
8) Angioi, F. and Bassani, M.: The implications of situation and route familiarity for driver-pedestrian interaction at uncontrolled mid-block crosswalks, *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, Vol.90, pp.287-299, 2022.
9) 藤田蓮土，山田真衣，橋本成仁，海野遥香，パクミンジョン：無信号横断歩道における歩行者の立ち位置と振る舞いが自動車の一時停止挙動に及ぼす影響に関する研究，交通工学論文集，第 9 巻，第 2 号(特集号 A)，pp.A_1-A_9，2023. [Fujita, R., Yamada, M., Hashimoto, S., Uno, H. and Park, M.: Study of Effects of the Pedestrian's Standing Position and Behavior at Unsignalized Crosswalk on the Driver Yielding, *Journal of Japan Society of Traffic engineering*, Vol.9, No.2, pp.A_1-A_9, 2023]

10) 橋本成仁，増田有馬，藤田蓮土，樋口輝久，海野遥香：無信号横断歩道の構造による歩行者の立ち位置と不安感に関する考察－VR シミュレーションを用いてー，第 67 回土木計画学研究発表会・講演集，6p，2023.
11) 宮野夏碧，神田佑亮，小倉亜紗美：無信号横断歩道における安全な横断のためのコミュニケーションと昼夜間比較分析，第 67 回土木計画学研究発表会・講演集，6p，2023.
12) 足立国大，鈴木弘司：二段階横断施設に関する利用者挙動と印象の分析，土木学会論文集 D3，Vol.75，No.5，pp.I_871-I_881，2019. [Adachi, K. and Suzuki, K.: Empirical analysis on user behaviors and impression of two stage crosswalk in japan, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3*, Vol.75, No.5, pp.I_871-I_881, 2019.]
13) 足立国大，鈴木弘司：無信号二段階横断施設における車両譲り挙動と横断安全性に関する分析，土木学会論文集 D3，Vol.76，No.5，pp.I_1263-I_1272，2021. [Adachi, K. and Suzuki, K.: Empirical analysis on yielding movement of vehicle and pedestrian safety at two stage crosswalks, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3*, Vol.76, No.5, pp. I_1263-I_1272, 2021.]
14) 竹平誠治，大口敬：停車場線無信号横断歩道における安全島の整備と横断者・車両挙動分析，土木学会論文集 D3，Vol.74，No.5，pp.I_1265-I_1274，2018. [Takehira, S. and Oguchi, T.: Island construction at unsignalized crossing on station road and pedestrian and vehicle behavior analysis, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3*, Vol.74, No.5, pp. I_1265-I_1274, 2018.]
15) 林勇朔，浜岡秀勝：単路部における無信号二段階横断方式による歩行者・車両の円滑性向上効果，土木学会論文集 D3，Vol.71，No.5，pp.I_653-I_663，2015. [Hayashi, Y. and Hamaoka, H.: The effect of installing two stages crossing to improve efficiency for both pedestrian and vehicle, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3*, Vol.71, No.5, pp. I_653-I_663, 2015.]
16) 大橋幸子，杉山大祐，野田和秀，小林寛：無信号単路部における簡易な二段階横断施設の横断面構成に関する適用可能性調査，土木学会論文集 D3，Vol.75，No.6，pp.I_695-I_704，2020. [Ohashi, S., Sugiyama, D., Noda, K. and Kobayashi, H.: Study on applicability of widths of simple two-stage crossing facilities on unsignalised mid-block, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3*, Vol.75, No.6, pp.I_695-I_704, 2020.]
17) 永脇有里子，鈴木弘司：横断面構成の見直しにより設置された幅狭二段階横断施設の導入効果と利用者受容性の分析，土木学会論文集 D3，Vol.78，No.5，pp.I_887-I_898，2023. [Nagawaki, Y. and Suzuki, K.: Analysis of effect of introduction and user's acceptability for a two-stage crosswalk with narrow refuge island installed by review of roadway cross section, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3*, Vol.78, No.5, pp. I_887-I_898, 2023.]
18) 大橋幸子，杉山大祐，小林寛：速度抑制効果を有する二段階横断施設の構造に関する研究，土木学会論文集 D3，Vol.76，No.5，pp.I_1311-I_1319，2021. [Ohashi, S., Sugiyama, D. and Kobayashi, H.: Study on structure of two-stage crossing facility with speed control effect, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3*, Vol.76, No.5, pp. I_1311-I_1319, 2021.]
19) 一般社団法人 交通工学研究会：無信号二段階横断施設導入の手引き（案），2021.
20) 国土交通省道路局，警察庁交通局：安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン，2016.

(Received ?, 2023)
(Accepted ?, 2023)

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTS OF INTRODUCING BULB-OUT AT UNSIGNALIZED CROSSWALK ON DRIVING BEHAVIOR

Kosuke OE, Shinji TANAKA