

二輪車用通信利用型運転支援システムの機能評価

Evaluation of Cooperative - Intelligent Transport System for Powered Two Wheelers

尾上 太郎 内田 吉陽 瀬戸 賢治

要旨

近年欧州では車車、路車間通信に関するシステム検証および標準化が進められ、実用化に向けた動きが活発化している。我々は欧州での二輪車用通信利用運転支援システムの開発を進めるため、欧州で実施されたDRIVE C2Xプロジェクトに参加し、机上検証では得られない課題の明確化を目指した。本プロジェクトでは、欧州実路での情報提供に関するシステム動作や通信機能の確認、および情報提示に対する運転行動への影響を調査した。その結果、サービスの提供に必要な通信距離を保つことができたが、後方との通信では要求を満足できない状況が確認された。また、ライダーへの影響では工事情報や故障車など対象物の存在する情報に対しては走行速度の抑制が得られたが、速度規制などの情報に対しては運転行動に変化がないことがわかった。

Abstract

In Europe, validation and standardization of systems related to Vehicle to Vehicle and Vehicle to Infrastructure communication have advanced in recent years, and initiatives towards practical implementation are intensifying. In order to further the development of Cooperative - Intelligent Transport System for Powered Two Wheelers, we took part in the DRIVE C2X Project carried out in Europe with the aim of clarifying issues that could not be identified through design-stage verification. In this project, we checked system operations and communication features related to information provision on actual European roads and investigated the effects that presenting information had on riding behavior. As a result, although it was possible to maintain the communication distances required to provide service, we confirmed that communication with following vehicles did not satisfy requirements. In terms of the effects on rider behavior, we discovered that although information regarding actual obstacles such as road works and car breakdowns restricted riding speed, information such as speed limits resulted in no changes to rider behavior.

1 背景

近年、日欧米において通信利用運転支援システム（C-ITS）の法制化・標準化への動きや実証実験の実施など、実用化に向けた動きが活発化している。ヤマハはこれまで日本（ASVプロジェクト）でのみ、その開発に取り組んできた。今回新たに欧米システム検討のため、また国内での実路検証に加えさらなる実路データ取得のため、欧州で実施されたDRIVE C2Xプロジェクト^[1]に参加した。

2 目的

本プロジェクトでは、欧米向けC-ITS開発のための技術獲得と共に、机上環境では得られない実際の交通環境下での課題の明確化を目指した。具体的には、実験用車両とシステムの構築およびそのシステム機能評価、ユーザのシステム受容性や様々な情報提供アプリケーションに対する運転への影響評価を行った。また、四輪用として主に検討されてきたDRIVE

C2Xの標準機能を二輪車へ適用したときの課題にも着目した。というのは、四輪車で定義されている部分が二輪車へ適用できるのか、二輪車独自の検討が必要であるのかを切り分ける必要があるからである。

本稿では通信、位置推定精度、システムの情報提供動作、情報提供に対する運転行動への影響など、C-ITS開発における欧州公道走行実験の取り組みおよび一部結果について紹介する。

3 実験概要

3-1. C-ITS概要

我々が検討を進めているC-ITSでは、他の車両または路側機と無線にて通信し、お互いの位置、速度、方位などの車両情報や周囲で発生しているイベント（事故や道路工事）、気象情報など様々な情報を交換する。また、得られた情報を基に自車との位置関係や接近を計算し、運転者の安全運転を支援する情報を伝える。

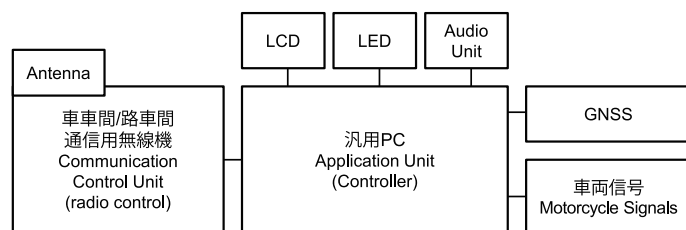


図1 システム構成概略

3-2. システム構成

図1にC-ITSの主な構成を示す。車載汎用PCをコントローラとし、車車間/路車間通信用無線機、車両信号、GNSS（Global Navigation Satellite System）等が接続される。無線機は欧州でITS専用割り当てられた5.9GHz帯を用いたアドホック通信の規格ITS-G5^[2]を使用する。また、ライダーへの情報提示インターフェース（HMI）として、LED、3.5inchモノカラーLCD、Bluetoothヘッドセットを車載した。ソフトウェアはDRIVE C2Xで配布されている共通のソフトウェアバンドルを基本構成とし、車両に関連する部分（CAN通信やHMI制御）のソフトウェアを専用開発した。

図2に車両の外観を示す。計測機器、システム構成機器はシート下の荷室へ設置した。ITS-G5用アンテナは車両前方に無指向性アンテナを1本設置した。（図2中丸部）。



図2 試験車両外観

小さくなるよう上部へ設置した。液晶ディスプレイは3.5inchモノカラーLCDをメータ内に設置した。

本LCDは日中太陽光下においてもコントラストが確保でき視認性が高いものを選択した。表示内容は情報が一瞥で理解できるよう視認時間短縮のために情報の種類のみを表示する。また、欧州では多言語が存在するため表示形態として文字ではなくピクトグラムを使用する（図4）。表示内容は情報が一瞥で理解できるよう視認時間短縮のために情報の種類ののみを表示する。また、欧州では多言語が存在するため表示形態として文字ではなくピクトグラムを使用する音声はBluetoothによりヘルメットスピーカへ伝送し、チャイムおよび音声による案内を行う。本実験では、情報提供時にこれら3種類のインターフェースを同時に出力する仕様とした。



図3 実験用表示インターフェース

3-3. 情報提示デバイス

図3はライダーへの情報提供の一例である。本システムにおけるHMIは「気づきやすく理解しやすい」をコンセプトとした。四輪車に比べ周囲の環境に左右されやすい二輪車は直射日光や騒音、視野範囲、設置位置など多くの制約がある。そこで3つのインターフェース：LED、液晶、音声を用い、それらの組合せによって伝達を行う。LEDは3か所が点滅し、それぞれが方向を表す。また、LEDは日中の走行でも十分気づくことができる輝度のものを使用し、できるだけ俯角が



図4 ピクトグラム表示例（RWW、AEV）

表1 搭載した情報提供アプリケーション

情報提供アプリケーション	ユースケース
In-Vehicle Signage	道路標識や規制等の情報を提供する
Road Works Warning	道路工事の情報を提供する
Car Breakdown Warning	故障車の情報を提供する
Approaching Emergency Vehicle	緊急車両の接近情報を提供する
Motorcycle Approaching Indication	二輪車の接近情報を提供する
Slow Vehicle Warning	低速走行車両の情報を提供する
Green Light Optimized Signal Advisory	青信号で通過できる速度または赤信号情報を提供する
Wrong Way Driving in Gas Station	逆走車の存在を伝える

3-4. 情報提供アプリケーション

C-ITSは複数の利用場面（ユースケース）を想定している。本システムは以下の8つの情報提供アプリケーションを実装し（表1）、実験では4アプリケーション-7種情報提供による機能評価を行った。なお、DRIVE C2Xでは18種類のアプリケーションが設定されている^[3]が、事前のテストライダへのヒアリングや二輪車の特性を考慮し、二輪車に効果があると見込まれるものをその中から選択して実装した。今回実験に用いた主なアプリケーションの詳細を以下に述べる。なお、DRIVE C2Xプロジェクトでは実装するアプリケーションのHMI出力判断アルゴリズムは各社共通である。

3-4-1. IVS (In-Vehicle Signage)

IVSは路側機が送信する速度規制や一時停止、広域情報などのメッセージを受信し、必要なタイミングで情報を出力する。

3-4-2. RWW (Road Works Warning)

RWWは道路工事の位置や規制などの情報を受信し、進行方向前方であった場合、道路工事までの距離や車線規制などの情報を出力する。

3-4-3. CBW (Car Breakdown Warning)

CBWは故障などにより道路上に停止した車両が送信するメッセージを受信し、停止車両が自車両の進行方向前方であった場合、故障車情報を出力する。

3-4-4. AEV (Approaching Emergency Vehicle)

AEVは緊急車が送信する位置や緊急走行メッセージを受信し、自車に接近している場合、接近方向や距離などの情報を出力する。

3-5. 評価項目

本試験では主に以下を評価した。

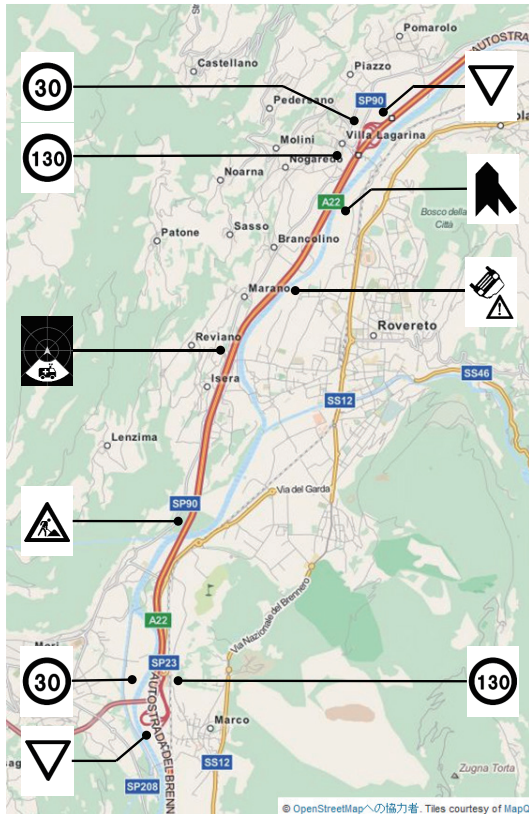
- 1) 各ユースケースにおいて情報提供判断のために必要とする通信距離範囲で十分な通信が確保できること
- 2) 各ユースケースにおいて情報提供判断のために必要とするレベルの自車位置推定精度が得られること
- 3) 誤報や欠報無く、適切なタイミングで情報提供できること
- 4) 走行中にライダが情報提示に気づき、その意味を理解できること
- 5) 情報を受け、ライダの運転行動に表れること

3-6. 実験条件

実験はイタリア北部にある高速道路の Rovereto Nord から Rovereto Sud の区間（往復約 20km 走行距離）で行われた（図5）。図中のアイコンがイベント位置を示している。実験は路側機が設置された交通統制されていない道路環境下で、実際に道路工事や故障車、緊急車両を設置して行われた。安全管理と統制の観点から、高速道路管理会社とテストサイト幹事会社の協力の下に実施した。実験の様子を図6に示す。

受容性評価の実験参加者は3名とし、普段通るかつ法規を遵守し安全に配慮して走行するよう教示した。実験は以下のように DRIVE C2X で定められた手順に沿って進められた。

- 1: C-ITS の目的やシステム概要、実験の手順やコースなどを説明
- 2: システム OFF の状態でコースを走行（Baseline 走行）
- 3: システム ON の状態でコースを走行（Treatment 走行）
- 4: 情報提供に関する主観評価アンケート



©OpenStreetMap contributors

図5 試験コース



図6 道路工事通過の様子

4 実験結果

4-1. 通信距離

通信距離は路側機や他車両の双方が持つアンテナの種類や設置位置、環境等に影響される。特に二輪車では、四輪車のように屋根上にアンテナを設置することが構造上できず、電波特性がライダーや車体の影響を受けやすいため、設置する

場所に工夫を要する。また、ユースケースや設定する表示タイミングによって必要となる距離は異なるため、一意に必要な通信距離を定義することはできない。今回のユースケースでは半径約400mの通信範囲が必要とされた。実際の道路では、電波伝搬は大型トラックや建物等にも影響されるため刻々と状況は変わる。本稿では情報提供される時点での路車間通信(V2I)/車車間通信(V2V)それぞれの通信距離を評価する。

図7に路側機から送信されたメッセージ(パケット)を試行ごとに最初に受信した地点の路側機との距離平均の結果を示す。目標である400mの通信可能距離を概ね満たしていることがわかる。路側機アンテナは地上9mに設置されているため、比較的良好な通信距離を得ることができていたと考えられる。しかしながら、路側機:RIS01では、南側から接近する場合と北側から接近する場合で通信距離が大きく異なっている。これは、建物や高架等の構造物などが影響していると考えられる。

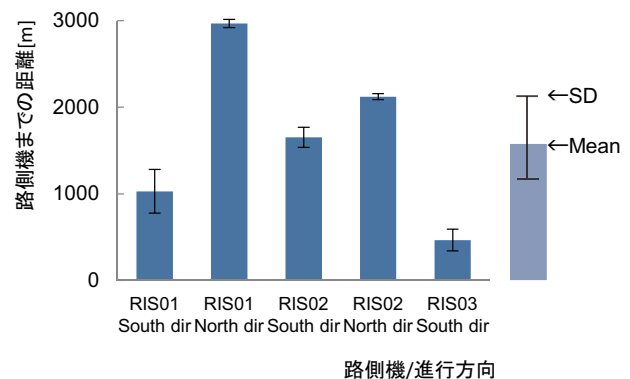


図7 路側機との最大通信距離

次に、V2V通信距離について考察する。V2VはAEVの緊急車が自車後方より接近する状況である。自車他車共に移動をして送受信するため、相対距離ごとのパケット受信レート(PRR)を示す(図8)。PRRは自車が1秒間に緊急車の車両メッセージを受信した回数を、緊急車が1秒間に車両メッセージを送信した回数で除したものと定義した。接近する緊急車からのメッセージを初めて受信した時点での相対距離は約170mとなり、情報提供を行う設定距離に満たなかったため、情報提供タイミングが遅れた。アンテナは3章で述べたように車両の前方に設置されており、ライダーおよび車両の影響で後方の受信距離が短くなることが実走行でも確認された。後方の電波特性向上には、後方用アンテナを設置するなどの対処が必要であると考えらえる。

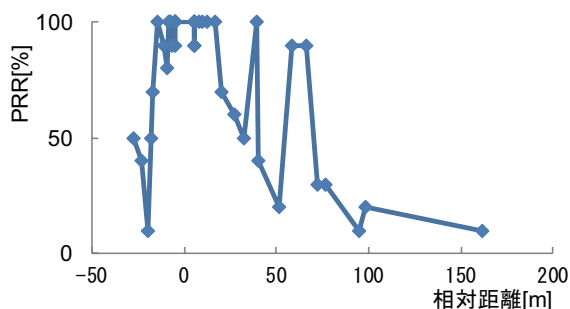


図8 緊急車両との通信における距離ごとの Packet Receive Rate

4-2. 自車位置推定精度

情報提供出力判断は車両の位置座標と方位角を用いる。そのため、正確な動作には高い自車位置推定精度が要求される。位置推定精度は様々な分野で検討、クラス定義がされているが、我々は今回の目標として誤差15m以内とした。図9に一試行における推定位置座標と地図上の道路座標との差(水平位置誤差)のRMS(Route mean square)を示す。なお遅れによる前後方向の位置誤差は考慮していない。本線上では上方視界が良くほぼ直線であったことから誤差が小さいことがわかる。一方、本線外道路では最大11mの誤差が発生していた。また、トンネル等の受信状態劣悪時やビル群でのマルチパス状況下では別途検証を行う必要がある。

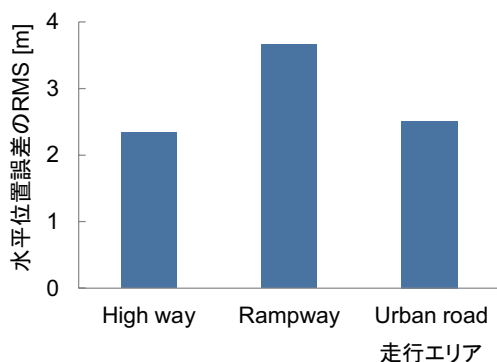


図9 水平位置誤差のRMS

4-3. ユースケース動作

各ユースケースにおいて、システムが正常に動作し、設定したタイミングで情報提供(HMI出力)されるかどうかを検証した。各ユースケース範囲内を通過した回数を「走行回数」、その範囲内で情報提供条件に合致してHMI出力されたものを「正報」、範囲外または範囲内で不必要なHMI出力されたものを「誤報」、HMI出力されるべき条件でHMI出力されなかった

ものを「欠報」として集計した。(設定エリア内であっても情報提供条件に合致せずHMI出力されないものは集計していない。)

4-3-1. IVS (In Vehicle signage)

高速道路料金所から合流までのランプウェイおよび高速道路出口付近では、30km/hの制限速度の情報提供が設定されており、4か所・全67回の試行回数中全てが正報であった。しかしながら、図10(水色)に示すように、設定エリア内でありながら、表示タイミングが一定にならない状況であった。これは、車両方位角が設定されていた方位角の条件に合致していなかったことが原因であった。

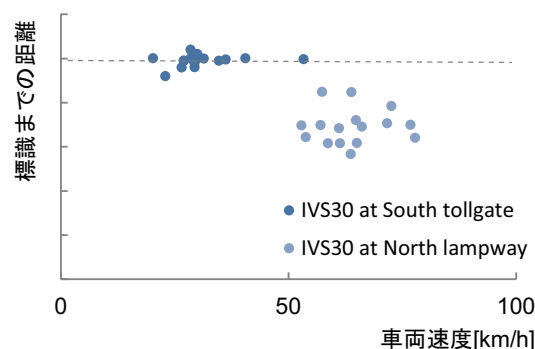


図10 IVS が出力された時の標識までの距離と速度

さらに、「前方に優先道路あり」の情報提供が設定されている高速道路料金所出入り口のラウンドアバウト進入口でも検証を行ったところ、全54回の試行中、6回誤報が高速道路料金所横に併設されているパーキングエリアなどで発生した。これは設定範囲に起因する現象であった。

4-3-2. RWW (Road Works Warning)

緩い右カーブ先で遠くからは直接見渡せない場所に道路工事が設置され、工事車両が路側帯に停止している状況で、試行回数17回のうち1回欠報が確認された。この欠報の状況は、大型トラック(トレーラー)の集団列に並走しており、車体による遮蔽が路側機からの情報を受信できなかった原因であると考えている。図11にRWWが表示された時点での速度と道路工事までの距離の分布を示す。他のユースケースに比べHMI出力時相対距離のバラツキが大きいのは、RWWの判定周期が走行速度に対して長いことが原因と考えられる。走行速度が速い状況下では、数秒の遅れがHMI出力タイミングに大きく影響する。この遅れがライダーにとってどの程度許容できるのかは別途検討している。

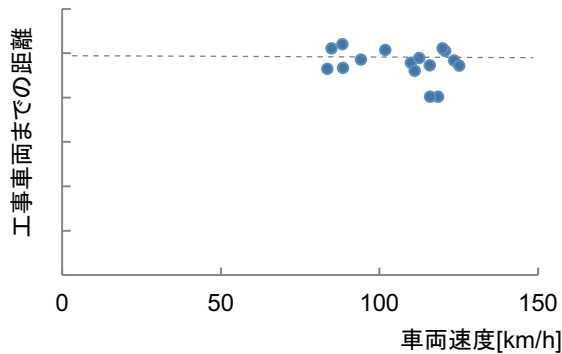


図11 RWWが出力された時の道路工事までの距離と速度

4-3-3. CBW (Car Breakdown Warning)

高速道路路肩に故障車が設定されている状態で、全20回の試行中誤報およびタイミング遅れはなかった。故障車の位置が直線路で、見通しが良く安定的な通信が可能ため問題なく動作したと考えられる。

4-4. HMI の受容性

実験設定の都合上、実験参加者が3名と少ないため統計的な検討はできないが、公道での貴重なデータとして実際の交通場面での傾向を考察する。

初めに、実験参加者は走行中に各デバイスからの情報提供に気づき理解することができたのか、走行終了後のアンケートより自由記述回答の一部を以下に示す。

- ・ 音声は高速走行中に何を言っているかわかりづらい
- ・ LED と LCD は太陽光下でもよく視認できた。ピクトグラムの意味は理解できた。
- ・ 距離や緊急度に関する情報が欲しい。

実験コースが高速道路であったため、走行風などノイズが大きく、音声聞き取れなかったようである。LCDは太陽光下でもコントラストが確保できるパネルを選択したため、視認性が高いとの結果が得られた。また、本実験の情報提供設定では事象到達まで十分な時間があつたため、距離情報が付加されるとより適切な動作タイミング判断ができ、受容性が向上すると考えられる。しかし、情報が多すぎると混乱を招きやすいため、一度に表示する情報量は検討が必要である。

次に、ある実験参加者のCBWが表示される区間の時間ごとの速度変化を図12に示す。Baseline走行(情報提供無し)では速度が120~130km/hで推移している。それに対し、Treatment走行(情報提供有り)では情報提供後間もなく速度が低下し、故障車を過ぎた時点で速度が回復している。距離表

示が無かったため、HMI出力に気づいた時点で減速を行ったと思われる。実験参加者は情報提供内容を正確に理解していることが減速行動にも表れていた。

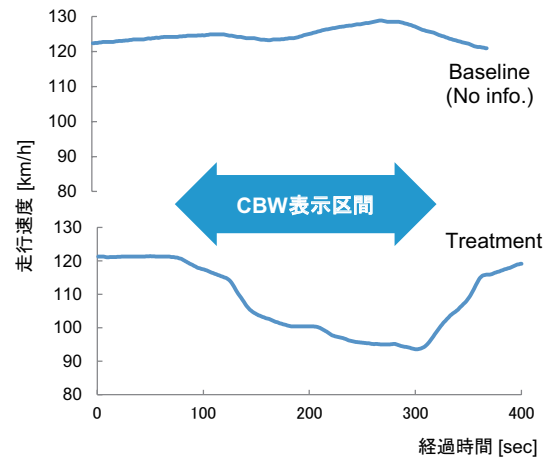


図12 CBW提供区間での速度変化

4-5. 運転行動とシステム効果

Baseline走行とTreatment走行の結果を比較することで、システムから情報提供を受けた実験参加者の運転行動の変化と情報提供の効果を検証する。

・ IVS

IVSは走行速度が制限速度を超えないことを情報提供の効果とする。30km/h制限速度の情報提供前後の速度変化を図13に示す。どの実験参加者においても制限速度以下への抑制効果は見られなかった。なお、Treatmentの走行速度が高いのは、全ての実験参加者に対し、Baseline→Treatmentの順で行ったため、道路への慣れの影響が考えられる。

・ CBW、RWW

CBW/RWWは速度の抑制および前方への注意を促進することを情報提供効果とする。CBW情報が提供される直前の5秒間と情報提供されている区間の速度をBaseline/Treatmentそれぞれプロットしたものを図14に示す。Baselineではどの被験者も情報提供が無い場合、故障車の存在には気づかず、速度の低下は無かった。しかし、Treatmentでは情報提供区間で速度の低下がみられた。また、速度が高いほど、その減速の程度は大きく、抑制効果が見られた。また、RWWにおいても同様の傾向であった。

・ AEV

AEVは緊急走行を邪魔しない行動をとることを情報提供効果とする。本実験では他車両の影響で緊急車とのタイミングが合わず、3名ともデータを取得できなかった。

本3名のテスト傾向からCBWやRWWのような、ライダーが見える位置になくとも容易にその存在が想像できる情報に対しては、効果があると考えられる。しかしながら、IVSのような道路標識情報に対しては抑制効果がみられず、提示の方法や形態の検討が必要であると感じた。

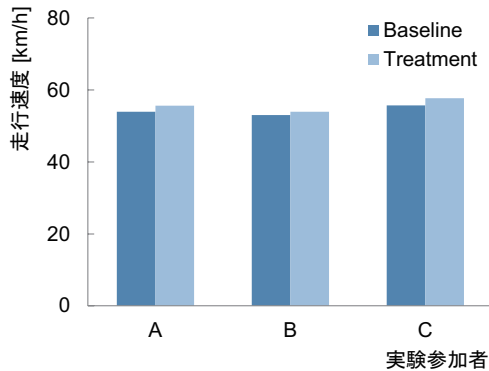


図13 IVS表示区間の走行速度

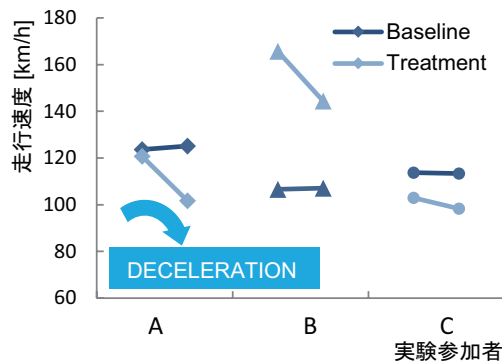


図14 CBW表示前と表示区間の速度変化

参考文献

- [1]DRIVE C2X project : <http://www.drive-c2x.eu/technology>
- [2]ETSI : Intelligent Transport Systems(ITS), EN 302 663 V1.2.1,(2013)
- [3]DRIVE C2X Functions : <http://www.drive-c2x.eu/use-cases>

著者



尾上 太郎(左端)
Taro Onoue

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部

内田 吉陽(左から二番目)
Yoshiaki Uchida

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部

瀬戸 賢治(右端)
Kenji Seto

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部

5 結論

実際の交通環境にて、システムの動作検証やライダーの受容性に関する評価を行ってきた。そこで、以下の結果が得られた。

- ・アンテナ設置条件および周囲の環境により、通信距離が不足し情報提供に影響する可能性があることが確認された。
- ・四輪ベースのHMI出力アルゴリズムや設定では、誤報を生じる可能性があり、二輪車の特性を考慮する必要がある。
- ・ライダーは試作HMIに対しその意味内容を理解することができた。しかしながら、情報提供を受けた際の運転行動への反映、受容性はユースケースに依存する。

今後は二輪車の運転特性に合わせた情報提供タイミングの検討や二輪車特有の情報に対する嬉しさやユースケースについても検討を行い、実用化を考慮したシステムの開発を進めていく。