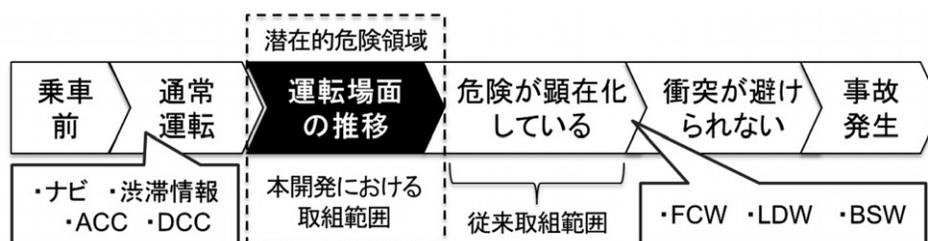


安全運転行動への誘導技術開発

Development of Guidance Technology to Safe Driving Behavior

山本智春	Chiharu YAMAMOTO
久木元修	Osamu KUKIMOTO
大貝晴俊	Harutoshi OGAI
呉楠	Wu NAN
モタニーヤシャート タシャポール	Thatchaphol MOTANEYACHART
今宮隆英	Takahide IMAMIYA



要旨

近年、先進運転支援システム (ADAS) を搭載したクルマの普及率が増加しているが、ドライバーの能力によっては支援に対する反応が遅れ、事故を回避できない可能性がある。そこで本稿では、危険が潜在している状況においてドライバーを安全運転行動へ誘導するための通知手法を提案する。

提案手法では、外界・自車の状況から今後起こりうる状況を予測した危険度予測結果と、車速・舵角といった自車の走行情報から潜在的危険を回避するための経路探索を行い、「ドライバーが実行すべき運転行動 (車速、舵角) を決定」する。さらに決定した運転行動と実際の運転行動の差が閾値を超えた場合のみ通知を行い、「実行すべき運転行動に近づける」ことで安全運転へ誘導する手法である。

本稿では、提案手法に対しシミュレータと実車を用いた検証から実行すべき運転行動の決定の有効性を確認し、実行すべき運転行動に近づける通知に対して課題が抽出できたことについて述べる。

Abstract

Recently, the diffusion rate of vehicles equipped with Advanced Driver Assistance System (ADAS) has been increasing, but depending on a driver's ability, responses to the assistance system may be delayed so that a driver may not be able to avoid accidents. Therefore, this paper proposes a method of notification to guide the driver to safe driving behavior in potentially hazardous situations.

In the proposed method, "driving behavior to be executed by the driver (speed, wheel angle) are determined" by performing a route search to avoid potential hazards from prediction results of hazards that might occur in the future based on the external environment and state of host vehicles and from driving information of the host vehicles such as speed and wheel angle. Furthermore, only if the difference between the determined driving behavior and the actual driving behavior exceeds a certain threshold, the notification is made to guide to the "driving behavior to be executed" so as to guide to safe driving.

This paper introduces the proposed method where the effectiveness of the determination of the driving behavior to be executed was confirmed by verification using simulator and an actual vehicle and issues of the notification to guide to the driving behavior to be executed could be identified.

1 はじめに

近年、ドライバが安全に運転できるように車両側が支援する先進運転支援システム(Advanced Driver Assistance System)を搭載したクルマの普及率が増加している¹⁾。そのような中、交通事故低減に向け、危険が顕在化している状況での警報による運転支援システムは開発されているが、ドライバの能力によっては反応が遅れると事故回避できない可能性²⁾もある。そこで、我々はさらなる交通事故低減のため、危険が潜在している状況における安全運転支援システムの開発に取り組んでいる(図1)。これらは「外界」「自車」の状況から今後起こりうる状況を予測し、ドライバを安全に導くために、「ドライバが取るべき安全運転行動を導き」、「導出された取るべき安全運転行動に近づけるための支援」が求められる。

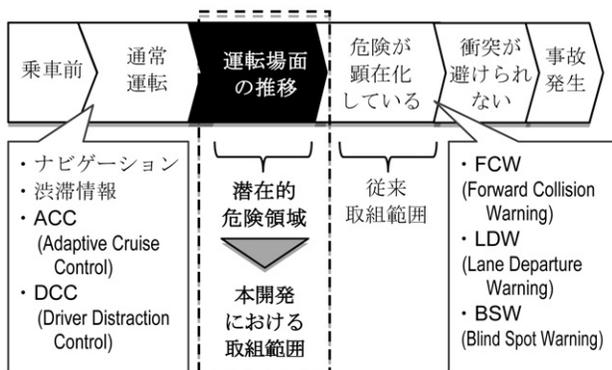


図1 事故発生までの状態遷移およびこの開発の取組範囲

2 課題および取組み

このシステムでは「危険が顕在化している」状態に陥らせないようにするために、安全な運転行動へ誘導する必要があり、潜在化している危険に対して①「ドライバが実行すべき運転行動の決定」、②「ドライバが実行すべき運転行動に近づける通知」が課題となる。次にこれらの課題に対するアプローチを示す。

<課題に対するアプローチ>

①ドライバが実行すべき運転行動の決定

「危険度予測結果」および「自車の走行情報」から実行すべき運転操作プランに基づく操作量を

算出する。

②ドライバが実行すべき運転行動に近づける通知

上記①で決定した運転行動(車速、舵角)および「実際の運転行動」の差が、ある閾値を超えた場合に通知の必要性を判断し、通知を実行する。

図2に①②の処理イメージを示す。

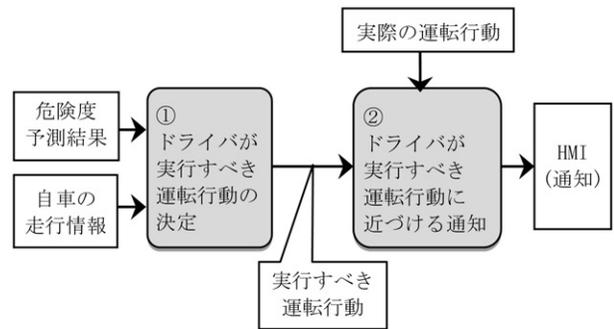


図2 処理イメージ

次章以降にて開発技術の詳細と、有効性確認結果について述べる。

3 「ドライバが実行すべき運転行動の決定」の開発

この章では、2章①「ドライバが実行すべき運転行動の決定」に対する開発内容および検証結果について述べる。

3.1 開発技術

潜在的な危険に対し、ドライバが実行すべき運転行動を決定するために必要となる障害物を回避する経路探索手法の一つとして、D.フォックスらが提唱しているDWA(Dynamic Window Approach)³⁾が知られている。これは移動ロボットの運動モデル(並進、回転角)を用い、最も近い障害物を避けながら高速で移動できる空間を探索する障害物回避手法である(図3)。

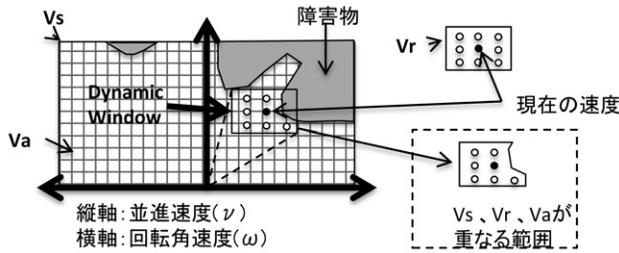


図3 DWAの空間探索イメージ

DWAは三つのWindow (図3のVs、Vr、Va)のANDから求められたDynamic Windowにより探索を行う。一つ目は「制御可能範囲(Vs)」であり、移動ロボットが取りうる制御入力(並進、回転角)の最大・最小値の範囲を指す。二つ目は「動的制御可能範囲(Vr)」であり、現在の速度および、スペック上での最大加減速度を元に計算し、移動ロボットが次の時刻までに取りうる最大・最小の制御入力範囲(図3格子部)を指す。三つ目は「障害物による許容制御入力(Va)」であり、障害物センサの検知結果およびロボットの最大減速度の値から計算され、安全に走行できる制御入力の範囲を指す。

上記三つの制御入力範囲(Window)が重なる範囲(図3点線部)だけを計算することにより、安全かつ、ロボットの運動モデルを考慮した制御入力(並進速度(v)および回転角速度(omega))を決定することができる。

Dynamic Windowの制御範囲をある一定値ごとにサンプリングを行う。最適な制御入力を計算するため、サンプリング時には、次の評価関数Gを用いる。Gが最大値を取るようなvおよびomegaの値を決定することで、目的地に向かいつつ、障害物を避けながら、高速に走ることが可能な制御入力が逐次的に計算されるようになる。

$$G(v, \omega) = \sigma(\alpha \cdot \text{heading}(v, \omega) + \beta \cdot \text{dist}(v, \omega) + \gamma \cdot \text{velocity}(v, \omega))$$

評価関数Gについて、まず一つ目の項heading(v,omega)は、制御入力時におけるロボットの方位および目的地方向の差の角度を180度から引いた値である。ゴールに直進する場合は、評価値が大きくなる。二つ

目の項dist(v,omega)は、制御入力時における最も近い障害物までの距離を表す。障害物から遠い制御入力ほど、評価値が大きくなる。三つ目の項velocity(v,omega)は、制御入力のvの値を使用し、速度が早いほど評価値が大きくなる。またalpha、beta、gammaは各項の重みパラメータ、sigmaは制御入力値を滑らかにさせるためのスムージング関数である。

この開発において、上記DWAをベースに、自車が潜在的危険を回避するために実行すべき行動を決定するための課題を抽出した。表1に示す。

表1 従来手法(DWA)の課題

本開発でやりたいこと	DWAでできること	課題
“自車”の実行すべき行動を決定	“移動ロボット”の実行すべき行動を決定	自動車の運転モデル ⁴⁾ を反映 1
“潜在的危険”を回避するための行動を決定	“最も近い障害物”を回避するための行動を決定	“複数かつ移動する障害物”を考慮 2

DWAの改良(Improved) → IDWA

上記課題に対し、図4に示すように、我々はDWAをベースに自動車の運転モデル⁴⁾を反映し、複数の障害物(路駐車、人)の位置情報および移動確率から危険度を予測し、複数障害物および移動物体に対応した「実行すべき運転行動」決定手法(Improved Dynamic Window Approach = IDWA)を開発した。

DWA

$$G(v, \omega) = \sigma(\alpha \cdot \text{heading}(v, \omega) + \beta \cdot \text{distance}(v, \omega) + \gamma \cdot \text{velocity}(v, \omega))$$

1 車両運転モデルの反映 並進速度、回転角速度=(v, omega) → 車速、操舵角=(v, gamma)	2 ポテンシャルフィールドマップ作成 障害物マップ(現在、将来位置 [※])から作成 ※移動確率から推定
--	--

IDWA

$$G(v, \gamma) = \sigma(a \cdot \text{angle}(v, \gamma) + b \cdot \text{potential Value}(v, \gamma) + c \cdot \text{velocity}(v, \gamma))$$

図4 改良後(IDWA)の評価関数

次に、IDWAを用いて開発した「ドライバが実行すべき運転行動決定」のアルゴリズムを図5、IDWAの処理フローを図6に示す。

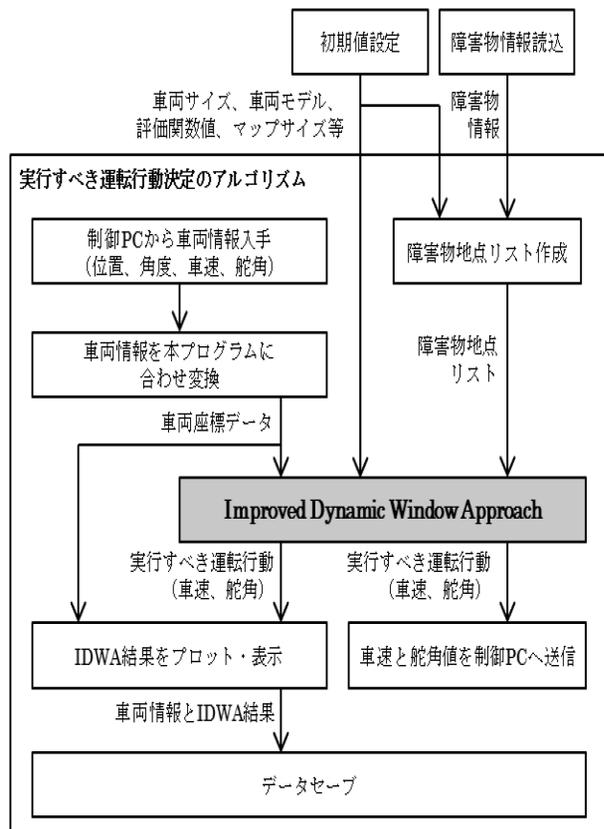


図5 「実行すべき運転行動決定」のアルゴリズム

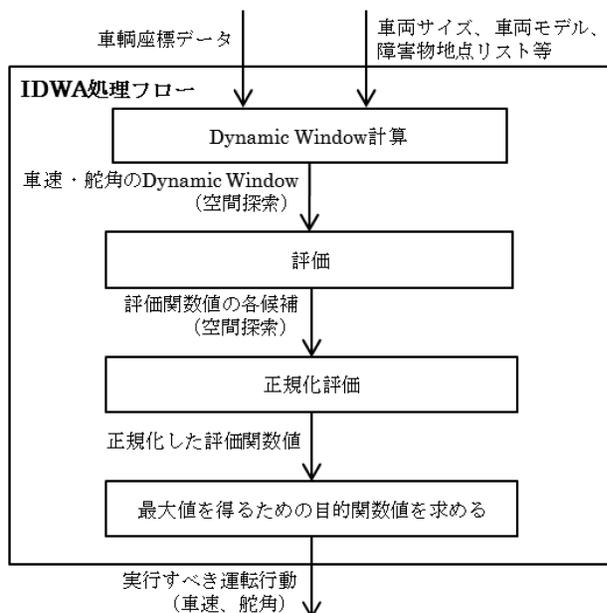


図6 IDWAの処理フロー

3.2 開発したアルゴリズムのシミュレーションおよび評価

開発したアルゴリズムによって、実行すべき運転行動が決定(車速、舵角が計算)可能かを確認するた

め、シミュレーションおよび評価を実施した。

①シミュレーション

図6の処理フローに対し、決められたドライビングパターン(車両・障害物情報)をインプットとし、実行すべき運転行動が決定できるかを検証する。

②実車評価

図5のアルゴリズムにおいて、実際のドライビングパターン(車両情報例:GPS、車速、舵角、障害物情報例:カメラ認識結果、デジタル地図データ)をインプットとし、実行すべき運転行動が決定できるかを評価する。

3.3 シミュレーション環境

3.2章①におけるシミュレーション環境を図7に示す。計算結果はアウトプットとしてPC上に表示される。

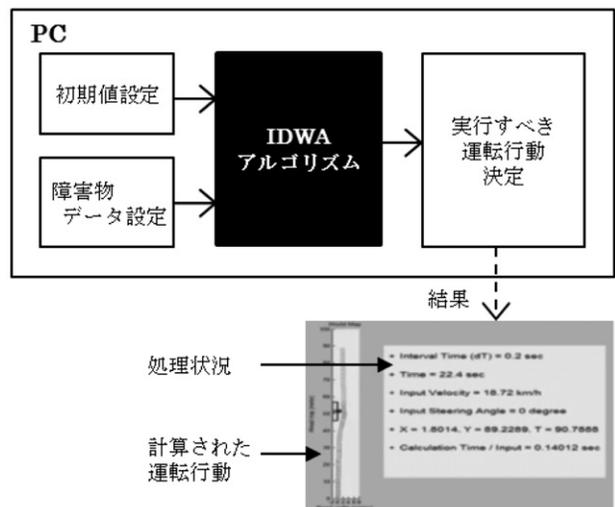


図7 シミュレーション環境

3.4 検証/判定条件およびシミュレーション結果

開発したアルゴリズムの検証および評価にあたり、3.2章①②に共通する検証条件(表2)と想定する潜在的危険なシナリオ(図8)、また判定条件(表3)を示す。この開発のシーンとして「市街地において車両が2台路上駐車しており、その間から歩行者が飛出す危険性がある地点の走行」を想定する。

表2 検証条件

パラメータ	検証条件
障害物の数 (車両)	2台
障害物の数 (歩行者)	1人
車速	15 km/h
計算間隔 (dT)	0.2 seconds
最大加減速度 (maxA)	5 m/s
最大舵角 (max Gamma Rate)	20 degree/s

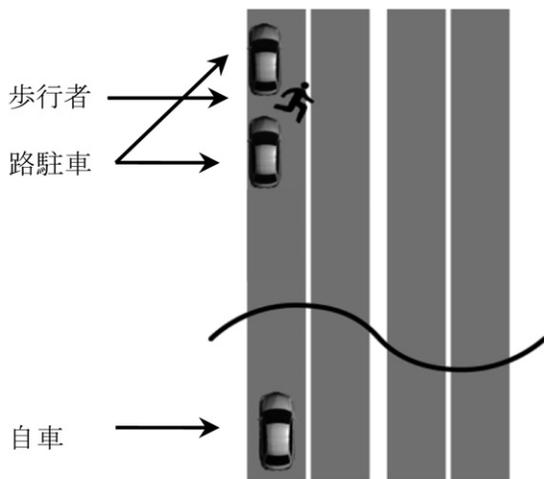


図8 潜在的危険シーン(路上駐車からの飛び出し)

表3 判定条件

障害物 (駐車車両、人) と衝突しないこと
自転車から路駐車車両まで、常に1メートル以上を保つこと
自転車から歩行者まで、常に2メートル以上を保つこと
スタートからゴールまで走行すること
対向車線に寄せない ※ただし、障害物を回避する際、上記距離を保つ上でやむを得ない場合を除く

<シミュレーション結果>

3.2章①について決められたドライビングパターン(車両・障害物情報)をインプットして計算された「実行すべき運転行動」結果を図9、判定結果を表4に示す。

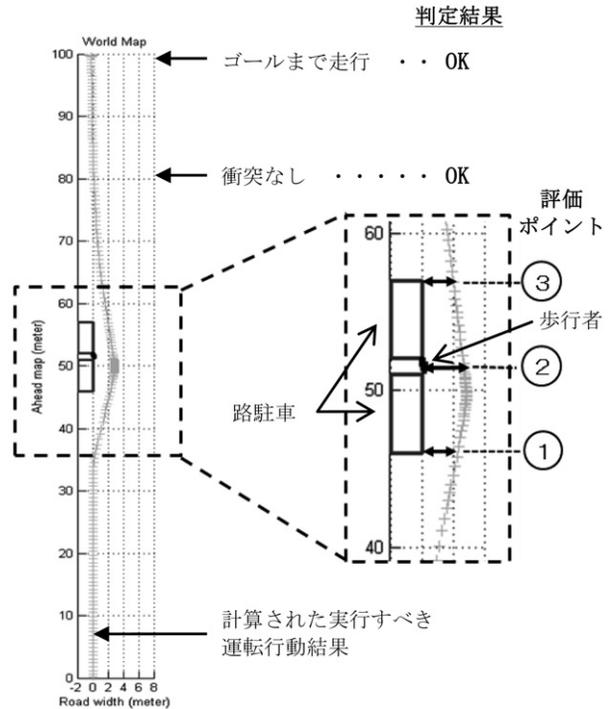


図9 シミュレーション結果

表4 シミュレーションの判定結果

判定ポイント	判定条件	障害物からの最短距離 (車両中心 - 車両半径)	判定結果
①	1.0 m	1.5 m	OK
②	2.0 m	2.0 m	OK
③	1.0 m	1.4 m	OK

結果、計算結果は判定条件を全て満たし、実行すべき運転行動を決定できた。図10は図9の時系列ログデータを参考として示す(実線は車速、点線は舵角)。

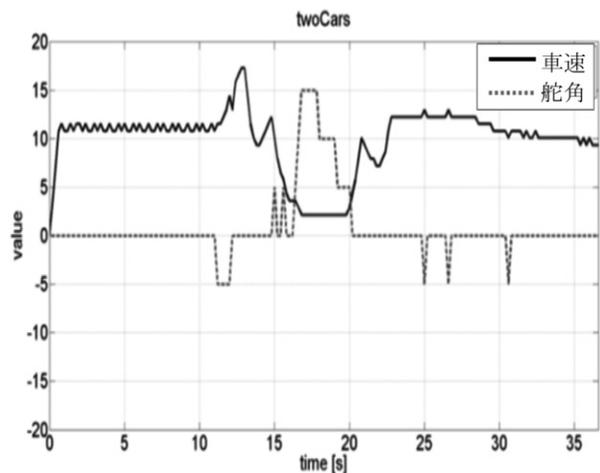


図10 シミュレーション結果(実行すべきタイミング)

3.5 実車による検証環境

実車検証のシステム構成を図11に示す。

シミュレーションと同様に実車環境下での実行すべき運転行動の決定が可能であることを確認することを目的とした検証環境である。算出結果(車速、舵角)はアウトプットとしてPC上に表示される。シミュレーションとの違いとしては、3.2章で述べたとおり、実際の操作量(車速、舵角)をインプットとした実行すべき運転行動の決定を行う点である。

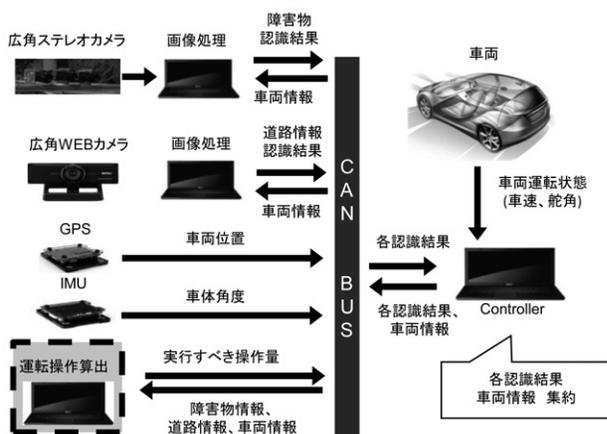


図11 実車による検証環境

<実車評価結果>

3.2章②について実際のドライビングパターンをインプットして計算された「実行すべき運転行動結果」を図12、判定結果を表5に示す。

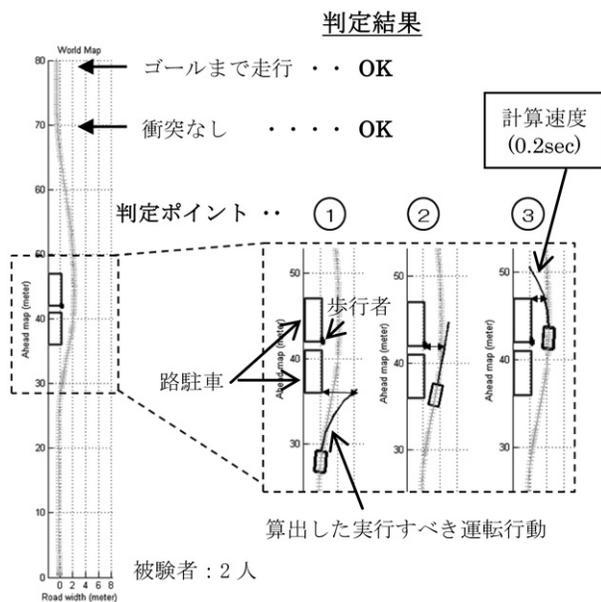


図12 実車評価

表5 実車評価の判定結果

判定ポイント	判定条件	障害物からの最短距離 (車両中心 - 車両半径)	判定結果
①	1.0 m	2.5 m	OK
②	2.0 m	2.0 m	OK
③	1.0 m	1.0 m	OK

結果、実際のドライビングパターンをインプットとした場合においても、計算結果は判定条件を全て満たし、実行すべき運転行動を決定できた。図13は図12の時系列ログデータを参考として示す(実線は車速、点線は舵角)。

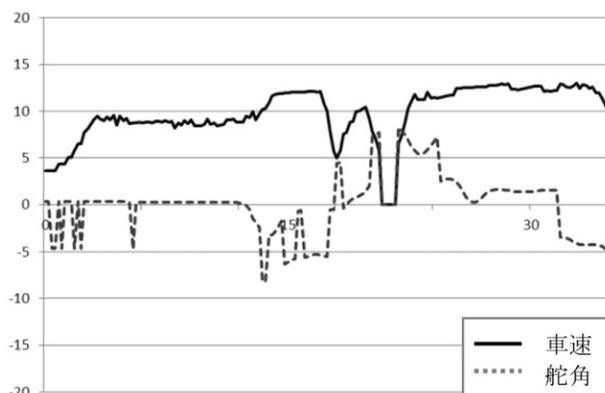


図13 実車評価結果(実行すべきタイミング)

4 「実行すべき運転行動に近づける通知」の取組み

この章では、2章②の「ドライバーが実行すべき運転行動に近づける通知」の取組内容および評価結果について述べる。

4.1 実行すべき運転行動に近づける通知のための処理

図14で示すように、「実行すべき運転行動」および「実際の運転行動」を比較し、車速若しくは舵角がある閾値を超えた場合に「ドライバーが実行すべき運転行動に近づける通知」(通知判断/通知内容決定)を行う。

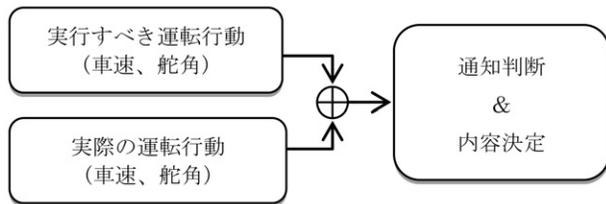


図14 実行すべき運転行動に近づける通知処理

4.2 実車による検証環境・条件および結果

「ドライバーが実行すべき運転行動に近づける通知」の有効性を確認するため、実車による評価を実施した。表6に「通知判断」を行うための各閾値(車速、舵角)および通知内容を示す。検証環境については3.5章の実車評価、検証条件については表2と同様である。

表6 「通知決定の閾値」および「通知内容」

運転行動	閾値	通知内容
車速	±2.5 Km/h	警告文、推奨速度表示 減速してください! 10
舵角	±5°	推奨舵角方向表示

<実車評価結果>

ドライバーの「実際の運転行動」(ドライビングルート)を図15、判定結果を表6に示す。

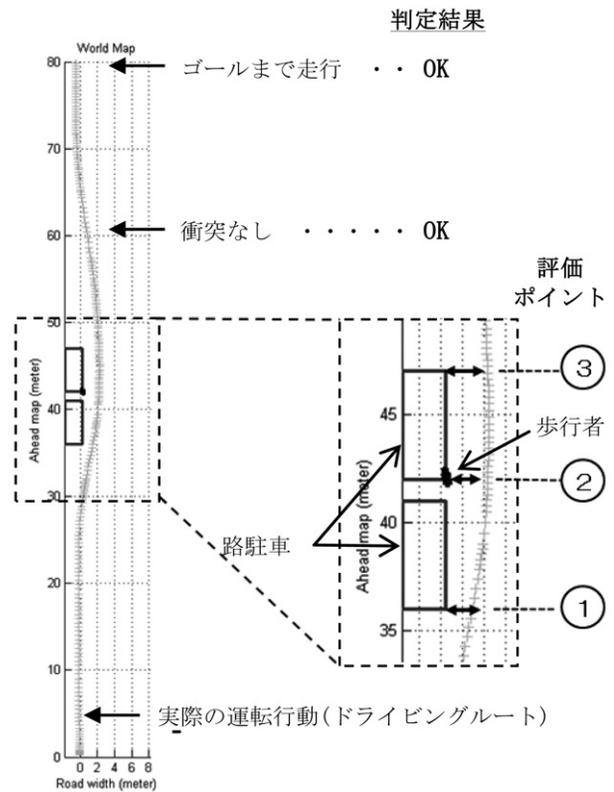


図15 ドライバ通知の実車評価結果

表7 実車評価の判定結果

判定ポイント	判定条件	障害物からの最短距離 (車両中心 - 車両半径)	判定結果
①	1.0 m	0.9 m	NG
②	2.0 m	1.5 m	NG
③	1.0 m	1.0 m	OK

結果、ドライバーは判断条件を一部満たさず(表7の判定結果①②)、リスクのあるルートを走行する結果となった。実際のドライビングパターン(車速、舵角)をインプットとし、「実行すべき運転行動」に対し「実際の運転行動」の差が閾値を超えた場合に通知を実行したが、ドライバーはそれに従わない結果となった。

4.3 考察

4.2章の実車評価結果についての考察および得られた課題について述べる。リスクのあるルートを走ったという結果に対し、我々は「実行された通知の効果が無かったのではないか」と考える。まず人間の情報処理過程における「認知」の観点では、今回通知した

手段は「視覚表示だけ」であり、かつセンターディスプレイに表示したため、ドライバは通知を見る余裕がなかったのではないかと考察する。

また「判断(意思決定)」の観点からは、通知が実行されてもドライバは「障害物から距離を開ける必要がない」と感じた。つまりドライバは「危険ではない」と判断し、通知内容に納得せず、従わなかったのではないかと考察できる。このことから、我々はドライバを安全安心な運転に導くため、①「認知性を高める通知手段および内容の組合せ」、また②「潜在的な危険に対する納得性を高める」ことを課題として得ることができた。

5

まとめ

「ドライバが実行すべき運転行動の決定」の取組みとして、有効と考えられる手法を立案し、シミュレータと実車による検証を行った。結果、実行すべき運転行動決定のために開発したIDWAの有効性を確認できた。

今後、「ドライバが実行すべき運転行動に近づけるための通知」において、我々の提案手法に対し、今回

得られた通知の課題(4.2章①②)を踏まえ引き続き検証を行う。また、ドライバの受容性についても評価を実施し、開発を進める。

ドライバが常に安全な状況で運転できることを目指した、安全運転支援システムの早期の実用化を目指して開発に取り組む。

FCWは、日産自動車株式会社の登録商標です。

参考文献

- 1) 2016先進運転支援システム(ADAS)用キーデバイス/コンポーネント, 矢野経済研究所, [2016]
- 2) 「平成26年中の交通事故発生状況」平成27年3月29日, 警察庁交通局, pp.35-36, [2016]
- 3) D. Fox, et al: 「The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance」, IEEE Robotics & Automation Magazine, Vol. 4, pp.23-33, [1997]
- 4) P.Corke: 「Robotics, Vision and Control fundamental algorithms in matlab」, Springer Tracts in Advanced Robotics, [2013]

筆者紹介



山本 智春
(やまもと ちはる)

VICT技術本部
技術開発室



久木元 修
(くきもと おさむ)

VICT技術本部
技術開発室



大貝 晴俊
(おおがい はるとし)

早稲田大学大学院
情報生産システム
研究科



呉 楠
(ご なん)

早稲田大学大学院
情報生産システム
研究科



Thatchaphol Motaneeyachart
(モタニーヤチャート タジャポール)

早稲田大学大学院
情報生産システム
研究科



今宮 隆英
(いまみや たかひで)

VICT技術本部
技術開発室