

右直事故を回避するシステム

栗橋翠[†] 飯田周作[†]

現在までに研究・実用化されたシステムの多くはドライバーや同乗者など車体内部の安全を確保するためのものである。対して本研究では、他車両など車体外部の安全を実現するという考えに基づき研究を行うことで、現存するシステムでは排除することが出来なかった危険からドライバーを守ることを目指した。

考案したシステムは、CCDカメラを利用することで死角となっていた場所の情報を可視化し、右直事故を回避するシステムである。

A road safety system for avoiding traffic accidents at intersection

Sui Kurihashi[†] and Shusaku Iida[†]

Until now, a lot of systems have been studied and adopted for securing driver's and passenger's safety (inner space of vehicle). This research, on the other hand, is based on the belief that to achieve total safety of the road system we also need to pay attention to outer space of vehicle. This new viewpoint will open up the new level of safety that is difficult to achieve by the current systems.

A driver can obtain information of blind spots by using CCD (charge-coupled device) camera. By this assistant, we can avoid traffic accidents at intersections caused by motorcycles and cars.

1. はじめに

「安全運転は気配りから」と誰もが自動車教習所で習うように、安全運転をする上で相手のことを考えて運転するという事は非常に重要である。しかしながら、現在までに研究及び実用化されている自動車の安全を実現するシステムのほぼ全てが、自身の安全を実現するために作られたシステムと言っても過言ではない。

今後、今より安全な自動車社会を実現するためには、ドライバーや同乗者などの自分自身だけでなく、他車両のドライバーや同乗者、歩行者などと言った相手に安全を提供することを中心とした新たな設計思想によって作られるシステムが不可欠なのではないのだろうか我々は考えた。

本論文では、事故を回避するシステムにおける設計思想の再定義を行い、その設計思想に基づき右直事故を回避するシステムの提案を行う。

1.1 研究背景及び目的

現在、自動車の安全を実現するシステムの設計思想には2つの観点があると考えられる。1つはNECA (Nippon Electric Control Equipment Industries Association, 社団法人日本電気制御機器工業会) が定めた観点で、本質安全 (Intrinsically Safety) と機能安全 (Functional Safety) の2つに大別される。本質安全とは、機械が人間や環境に危害を及ぼす原因を除去もしくは軽減するというアプローチであり、NECAの技術委員会がまとめた報告書に機能安全と対比する言葉として説明されている。(Ex. 立体交差点) 機能安全とは、電子制御などの機能的な工夫をすることで、許容できるレベルの安全を確保するというアプローチであり、1990年代末に欧州を中心に策定された国際規格であるIEC 61508をベースとした機能安全規格に準じたアプローチである。(Ex. 踏切の警報機や遮断機) もう1つは自動車メーカーがよく使う観点でパッシブセーフティ (Passive Safety) とアクティブセーフティ (Active Safety) の2つに大別される。パッシブセーフティとは、事故が起こった際の被害を軽減するというアプローチである。(Ex. シートベルト, エアバッグ) アクティブセーフティとは、運転時に危険な状況を回避し、事故が起こらないようにするというアプローチである。(Ex. ABS, ESC) この2つの観点と設計思想、既存のシステムとの関係性を整理したものが図1である。

図2を見て分かるように、日本における自動車の保有台数は順調に増加してきた。道路を走っている自動車の台数が増えれば、それに比例して事故発生件数や死者数も増加するように思える。しかし、年間交通事故死者数は1990年から約20年間で半数以下となり、2009年にはついに5000人を下回った。これは、パッシブセーフティの

[†] 専修大学 ネットワーク情報学部
School of Network and Information, Senshu University





NECAの観点		
	本質	機能
自動車メーカーの観点	パッシブ  PUYO	 エアークラッシュ
	アクティブ  アクセル・ブレーキ 一体型ペダル	 ESC

図 1 2つの観点・設計思想と既存のシステムの関係性 [1][2][3]

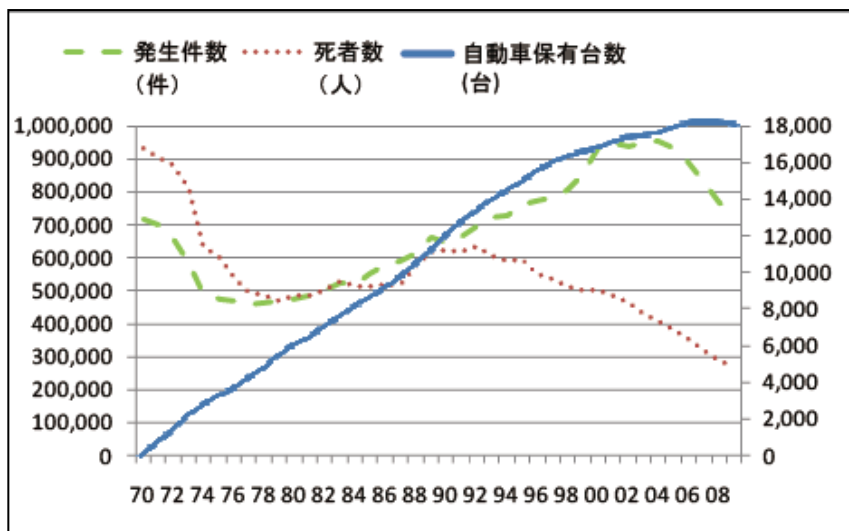


図 2 交通事故発生件数等の推移 [4][5]

設計思想で作られたシステムの大きな成果である。このことからパッシブセーフティの技術における発展・普及は成功していると言える。対して、年間交通事故発生件数は2004年の952,191(件)を境に減少傾向にあるが、依然として高い数値を示している。したがって、ABS (Antilock Brake System, アンチロックブレーキシステム) や ESC (Electronic Stability Control, 横滑り防止装置) などのアクティブセーフティの技術に関しては、研究・改善の余地があると思われる。ABS とは、フルブレーキ時に車輪のロックを防ぐことで、車両の安定を図るとともに操舵を可能にするシステムである。ESC とは、急なハンドル操作時や滑りやすい路面を走行中に車両の横滑りを感知すると、自動的に車両の進行方向を保つように車両を制御するシステムである。根本的に考えてみても、事故が起こらなければ死傷者は発生しないので、アクティブセーフティのアプローチでシステムの研究を行うことは非常に有意義である。しかし、既存のアクティブセーフティに則るだけでは現状のブラッシュアップに過ぎず、飛躍的に安全性高めることは難しい。

本研究の目的は大きく分けて2つある。1つは、既存の2つの観点と設計思想をもう一度見直すことで、それらの欠落している部分を洗い出し、欠落している部分を新たな観点と設計思想として定義することである。もう1つは、定義した新たな観点及び設計思想を踏まえた上で新たなシステムを考案することである。

この2つの目的を達成することで成果として、既存のシステムでは解決することが難しかった事故事例にも対応できるようなシステムが設計できる。

1.2 関連研究

他車両のドライバーや同乗者、歩行者などと言った相手の安全を実現することを中心とした設計思想によって作られたものの数少ない例として、東京モーターショー2007にコンセプトカーとして出展されているHONDAのPUYO[6]がある。PUYOとは、衝突の際、相手に与えるダメージを小さくすることを目指したHONDAのコンセプトカーであり、ボディ全体が基本的に柔らかい素材で作られている。

また、我々が提案する新たなシステムには安全を提供する相手を認知するためにCCDカメラやミリ波レーダなどを用いることを想定している。したがって、プリクラッシュセーフティ (Pre-Crash Safety) の設計思想によって実現されたシステムと関連が深い。プリクラッシュセーフティとは、レーダやカメラで前方の障害物を感知し危険と判断された時に、警告灯や警告音でドライバーに注意を喚起することや、ブレーキアシストを早めに作動させることで被害を最小限にとどめるというアプローチである。特にSUBARUのLEGACYなどに搭載されているEye Sight (ver.2) [7]は成功例として取り上げ分析モデルを作成している。Eye Sight (ver.2) とは、SUBARUが開発した先進運転支援システムであり、世界で初めて2台のCCDカメラのみで、全車速追従クルーズコントロール機能と歩行者・自転車をも対象としたプリクラッシュセーフティ機能を実現したシステムである。なお本論文では、概念の複雑化を避けるため、既存

のプリクラッシュセーフティのアプローチをアクティブセーフティの一部として扱うこととする。

2. 新たな観点と設計思想の定義

本章では、前章で記した既存の観点と設計思想を分析することで欠落している部分を見出し、それを新たな観点と設計思想として定義する。

2.1 既存の観点と設計思想の分析

現在までに機能安全の研究は盛んに行われ、ESC や Eye Sight (ver.2) などを見て分かるように非常に高いレベルで実用化されている。これに対して本質安全は実用化が始まったばかりであり、もっと盛んに本質安全の研究を進めるべきだと主張する専門家もいる。

しかし我々は、もっと本質的に(根本的な概念)で欠落している部分があるのではないだろうかと考えた。そこで、「本質と機能」・「受動的と能動的」とは違った観点から新たな設計思想を定義することで、既存の観点ではカバーしきれない範囲の危険を取り除くことを目指した。

2.2 新たな観点と設計思想の提案

交差点で右折をする際にはウィンカーを点灯させ右折する意思を示すことが義務付けられている。しかし、ウィンカーを点灯したから右折ができるかと言えば決してそうではない。右折信号があるような大きな交差点ならまだしも、多くの交差点では対向車線を走る自動車や、右折先にある横断歩道の歩行者に気を配りながら安全を確保して右折を行う必要がある。

自動車を運転するとき、周りには他人が運転する自動車、交通弱者である歩行者などの無数の人や物がそれぞれの意思で行動する。それだけでなく、多くの建造物が死角を作り、山や谷などの地形、天候などの自然現象など事故の危険因子は幾らでも存在し、ドライバーを取り巻く状況は刻々と変化する。だからこそ、安全運転とは1人では決して実現できない。

そこで我々は、今後さらに安全な自動車社会を実現するために「事故を回避するシステムには相手の安全を実現するという設計思想も必要である」という仮説を立てた。相手に安全を提供するという新たな設計思想を自分が運転する車体の外部という意味でアウトスペースセーフティ (Outer Space Safety) と名付けた。対して、既存のシステムのような自分自身の安全を確保するという設計思想を自分が運転する車体の内部という意味でインスペースセーフティ (Inner Space Safety) と名付けた。

自分ではなく相手に安全を提供するためのシステムに利益が生じづらいことは確かかもしれない。しかし、誰かがそれを真剣に考え実現しようとしなければ、今後も我々が安全な自動車社会という理想に近づくことはできない。

2.3 ガイドライン化

この章のまとめとして、新たな観点と設計思想を用いてガイドラインを作成した。今後さらに安全な自動車社会を実現するために、システムは3つの観点及び設計思想を考慮する必要がある。特に相手に安全を提供するアウトスペースセーフティの設計思想によって作られたシステムに関しては、まだ殆ど実用化に至っていないのが現状である。したがって、この設計思想に基づいた研究にもっと力を注ぐ必要がある。図3は本章の研究で作成したガイドライン上に3章で提案するシステムの設計思想を記した図である。

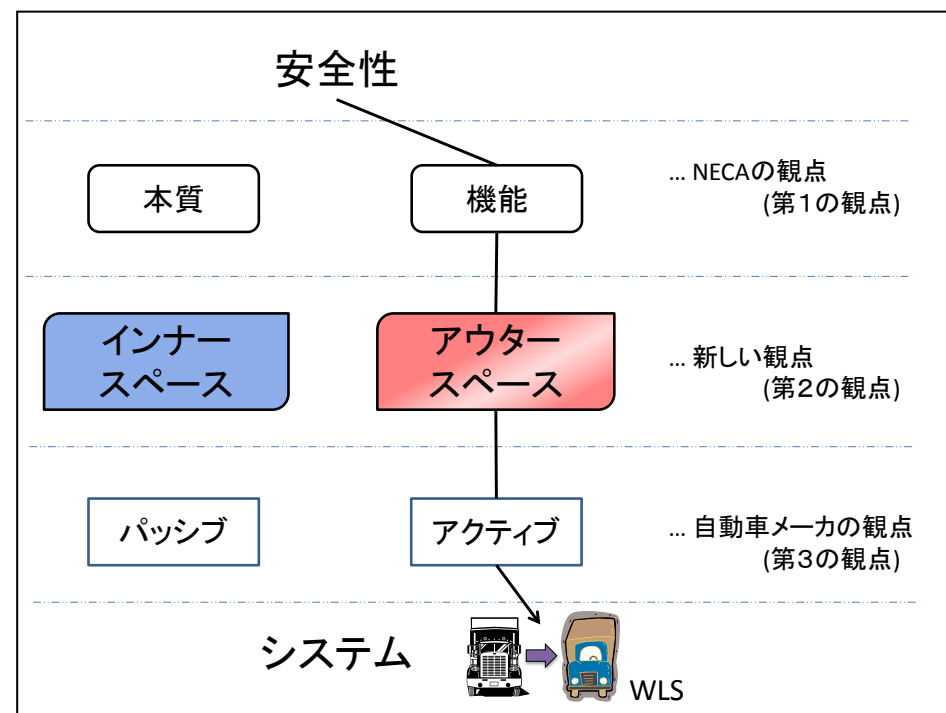


図3 ガイドラインと設計思想

3. 右直事故を回避するシステム

本章では、前章で記した新たな観点と設計思想、そして既存のシステムを分析した結果に基づき、右直事故を回避するシステムの提案を行う。

3.1 設計思想

図3は今回提案するシステムの設計思想である。このシステムは、電子制御などの機能的な工夫によって、車体外部にいる相手の安全を、能動的なタイミングで実現するシステムである。

3.2 成功例の分析

最初に既存のシステムで成功していると思われる事例を分析することで、そのシステムが成功を収めた理由、つまりそこに含まれている重要なファクタやロジックを抽出した。しかし、2章で提唱したインナースペースセーフティは新しい設計思想であり、図3で記した本章で提案するシステムと同じ設計思想で作られたシステムは現状では存在しない。そこで、比較的近い設計思想で作られた Eye Sight(ver.2)を成功事例として取り上げ分析を行うこととした。これは、Eye Sight(ver.2)の重要なファクタやロジックを自分ではなく相手のために使えればアウトスペースセーフティに基づいた良いシステムを作ることができると仮定したからである。

Eye Sigh (ver.2) の大きな特徴として、ステレオカメラから得られる情報だけでプリクラッシュセーフティ機能を実現しているという点が挙げられる。Eye Sigh (ver.2) が搭載されている自動車に試乗している動画[8]を見る限り、まるで自動運転のようでドライバーは眠っていたとしても運転ができるのではないかと錯覚してしまう程、精度が高い。これを可能にしているのは、ステレオカメラという目で状況を察知し 3D 画像処理エンジンや ECU (Engine Control Unit, エンジンコントロールユニット) といったシステムの頭脳が判断を行い、エンジンやブレーキを制御するという行動をしているからである。まさしくこれは人間が運転を行うときと同じロジックである。ECU とは、コンピュータによってエンジンを制御するための核となる部分であり、まさに現代自動車の頭脳のような部分である。

図4は Eye Sight(ver.2)の分析モデルである。Eye Sight(ver.2)の重要ファクタがそれぞれのロジックを担当しているか、そしてシステム全体にはどのような情報の流れが存在するかを示している。簡単に解説すると、Eye Sight(ver.2)とは、ステレオカメラから認知した情報を基に 3D 画像処理エンジンや ECU などが判断を行い、エンジンやブレーキなどを制御することでプリクラッシュセーフティやオートクルーズを実現しているシステムである。

3.3 システムに必要なファクタとロジックの定義(仮説の提唱)

3.2.の成果を基に、何故 Eye Sight (ver.2) が、成功を収めたのかをまとめることで、本研究においてシステムを提案する上で重要なファクタを洗い出し、ロジックを構成

することとした。

重要なファクタとしては、ステレオカメラのようなドライバーの目とは全く別の「第2の目」を採択していることが挙げられる。2.2.でも触れたが、刻々と変化する交通状況では様々な物が死角を作り出し、ドライバーの安全を脅かす。したがって、安全運転をドライバー1人で実現することは実は非常に困難である。しかし、「第2の目」を用いることによって、今まで死角となっていた部分の危険を認知できるだけでなく、ドライバーの注意が散漫になっていた部分のカバーもできる。

重要なロジックとしては、図4から読み取れるように「認知」→「判断」→「行動」→「結果」の4サイクルにシステムのファクタが上手く当てはまること、つまり「ドライバーと同じロジックを辿る」必要があるという考えを採択した。

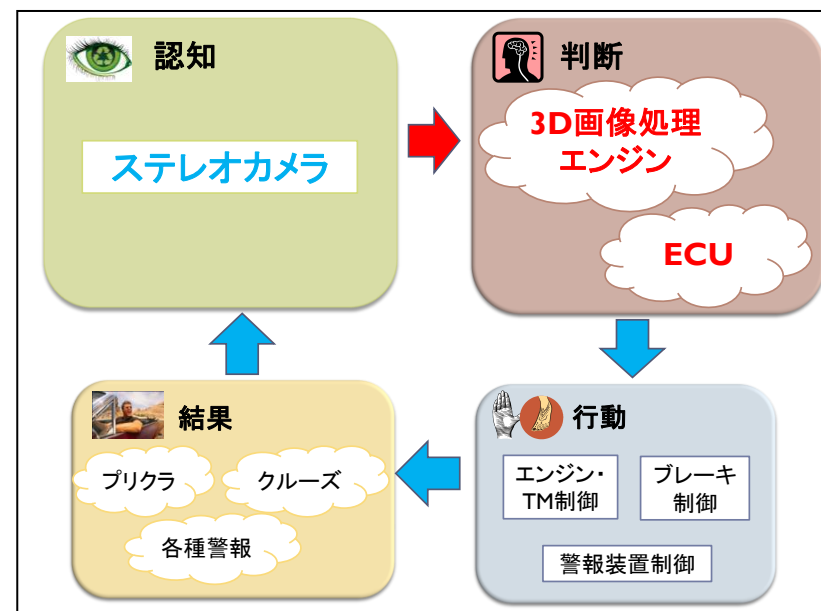
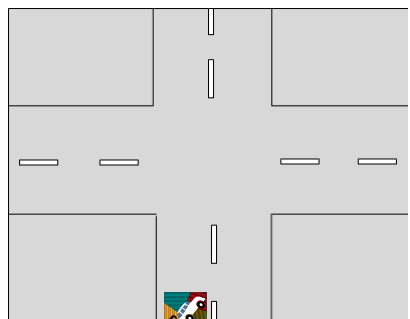
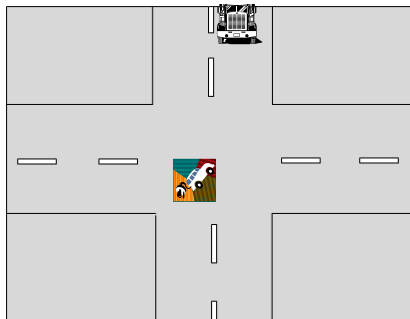
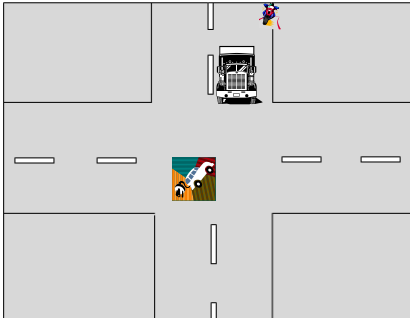
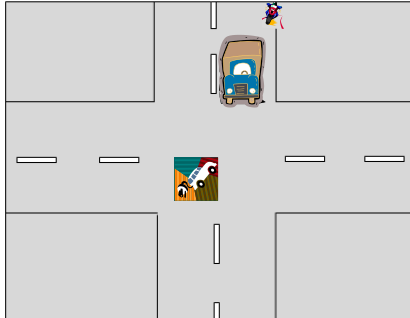
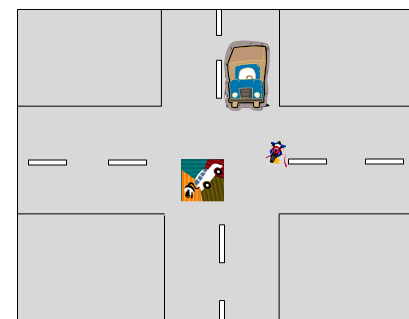
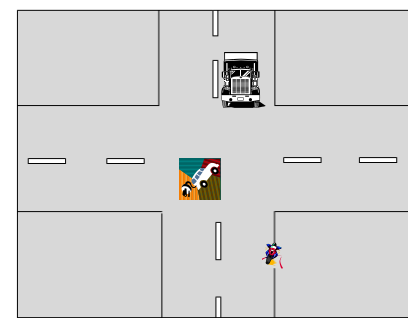
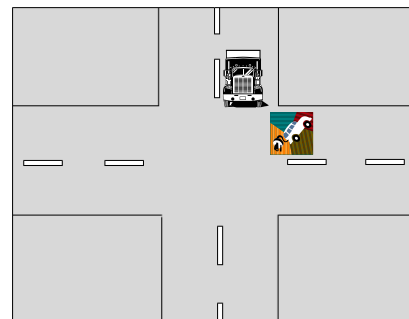
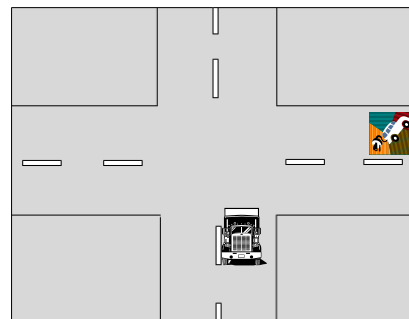


図4 Eye Sight(ver.2)の分析モデル

3.4 シチュエーションモデル

本研究で提案するシステムは、右直事故を未然に防ぐためにライトの制御を行い警告サイン発信するシステムである。このシステムを Warning Light System (以下 WLS) と名付けた。次項に WLS がどのようなシステムか把握するためのモデルを記載する。

<p>Step1</p>  <p>白い4輪車は、この交差点で右折をする。なお、進行中の車線及び対向車線の信号は青である。</p>	<p>Step2</p>  <p>白い4輪車が右折をしようと交差点中央に差し掛かると、対向車線の黒いトラックが交差点を直進するために接近してくる。</p>
<p>Step3</p>  <p>黒いトラックは対向車線の交通状況を察して交差点手前で停止する。白い4輪車が右折できるように道を譲る。しかしこのとき、黒いトラックの左後方から2輪車が接近する。2輪車は黒いトラックの側方をすり抜けようとする。白い4輪車のドライバー、2輪車のライダー共に、黒いトラックが死角となり、お互いの状況を把握できない。</p>	<p>Step4</p>  <p>このまま白い4輪車は右折、2輪車は直進を続けると、いわゆるサンキュー事故となってしまう。そこで、WLSを搭載した黒いトラックが第2の目で2輪車の行動を捕捉し、白い4輪車のドライバーに向かって警告サインを出す。(図中ではボディの色を変えている)</p>

<p>Step5</p>  <p>警告サインを読み取った白い4輪車のドライバーは右折を中止して交差点中央で待機する。白い4輪車が右折を中止したことによって、2輪車は安全に直進を完了することができる。</p>	<p>Step6</p>  <p>WLSは2輪車の側方通過後、同様に側方をする抜けしようとしている別の2輪車が存在しないことを確認し、安全が確保できた時点で白い4輪車のドライバーに向けて再びサインを送る。(図中ではボディの色が戻っている)</p>
<p>Step7</p>  <p>安全を確認した白い4輪車は右折を再開する。安全に右折をすることができる。</p>	<p>Step8</p>  <p>白い4輪車の右折を確認すると、黒いトラックも直進を再開する。</p> <p>このようにしてWLSは、このシステムが存在しない場合には死角となっていた場所に存在する危険を知らせる事によって右直事故を未然に防ぐことができる。</p> <p>警告のサインを伝える方法には様々な可能性がある。本質的に考えれば、白い4輪車のドライバーはトラックの側方をすり抜けてくる2輪車の色が赤であろうが青であろうが大した問題ではない。大切なのは危険が迫っているか否かの1点のみである。</p>

3.5 分析モデル

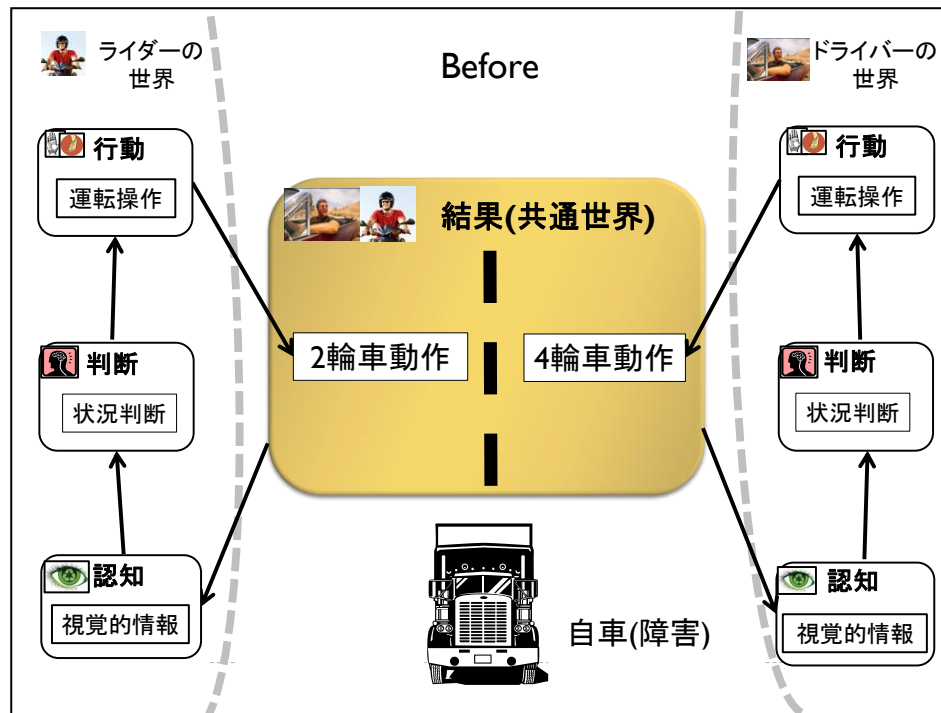


図 5 WLS 搭載前の分析モデル

図 5 及び図 6 は WLS の分析モデルである。右折する 4 輪車のドライバー，すり抜けをする 2 輪車のライダー，WLS がどのような繋がりを持ち，どのように情報をやりとりするかを表している 3.5 のシチュエーションモデルにおいて，WLS が搭載されている場合とされていない場合ではどのような変化が起こるのかを表すために Before・After の形で分析モデルを作成した。

3.4 で記したシチュエーションモデルを用いて説明する。図 5 では，黒いトラック(自車)が白い 4 輪車のドライバーと 2 輪車のライダーの間に死角を作ってしまう，白い 4 輪車のドライバーが「危険」という重要な情報を認識できない状況にある。

対して図 6 では，WLS が白い 4 輪車と 2 輪車の間に入ることによって「危険」という重要な情報がスムーズに白い 4 輪車のドライバーに伝わっている。順を追って説明すると，WLS を搭載した黒いトラックの後方から接近してくる 2 輪車の動作を第 2 の目(図中

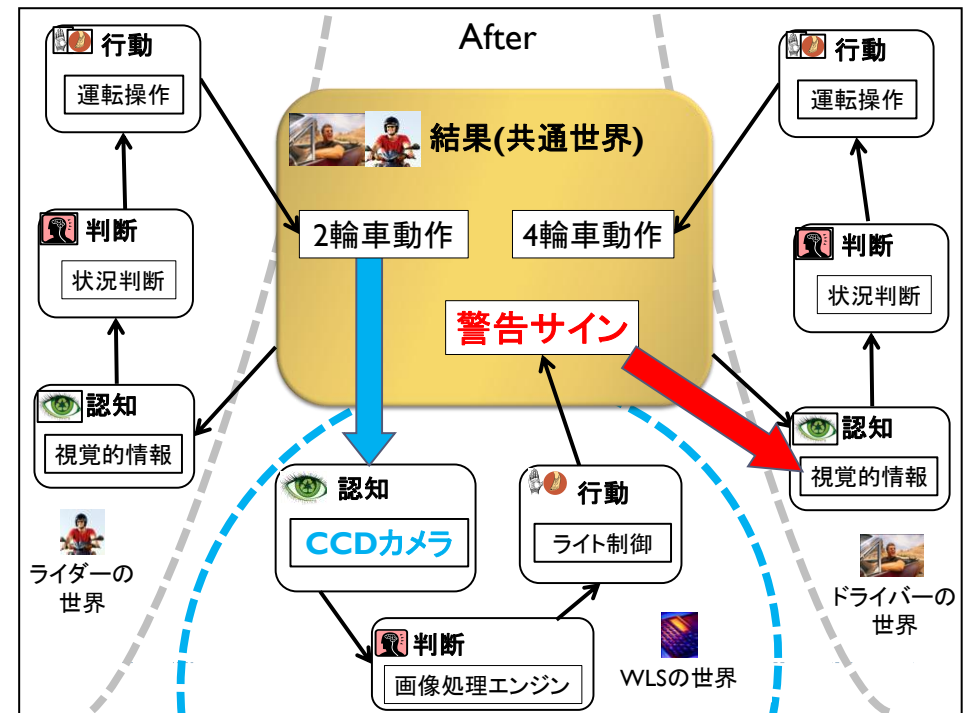


図 6 WLS 搭載後の分析モデル

では CCD カメラ)を用いて認知し，画像処理エンジンで判断を行う。それに従い危険を知らせるサイン(図中ではライト制御)を行うことで結果として相手に危険を知らせる(図中では警告サイン)ことができる。白い 4 輪車のドライバーは，死角を作っていた黒いトラック自体は見えているので，黒いトラックが発信する危険信号を視覚的情報として認知することができる。したがって，白い 4 輪車のドライバーは危険を回避することができる。結果として共通世界に起こる可能性があった事故を未然に防ぐことができる。

3.6 認知科学からの検証

WLS とは，システムを搭載することによって衝突の危険を早期に認知させ，事故を未然に防ぐというシステムである。本節では，認知科学的視点から WLS の有効性について検証を行う。

我々たちは「右手を上げよう」と頭の中で考えた(=「意思」)とき、それを直ぐに「右手を上げる」という「行動」に移すことができると思っている。しかし実際の「意思」と「行動」には、ある程度の差異(=タイムラグ)がある。人間は運動野で生成された運動指令に従い行動を起こし、運動の結果を視覚や体性感覚のフィードバックとして得る。このフィードバックの経路には数百ミリ秒の遅延がある。(図7参照)

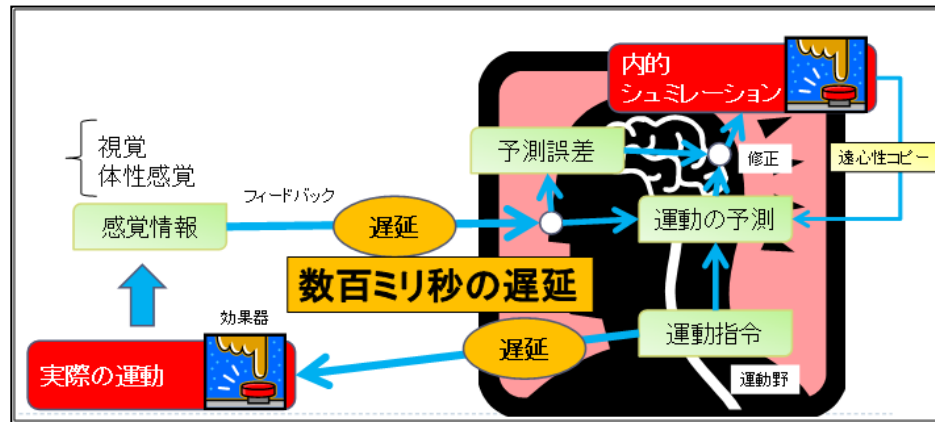


図7 意思と行動のタイムラグのメカニズム[9]

数百ミリ秒という抽象的な時間では検証ができないので、仮にそのタイムラグを500ミリ秒と仮定する。交差点を右折する白い自動車の速度を10km/h(徐行)と仮定すると500ミリ秒で1.3888m進む。この1.3888mとは、右折する白い車を自動車教習所で使用する一般的な普通自動車と仮定すると、車体の長さが約4.5mなので、車体の約30%にも及ぶ長さである。つまり、500ミリ秒早く危険を察知できた場合、最大で車体の約1/3飛び出すことなく停止できることになる。

つまりWLSは、ドライバーが衝突という危険を回避する上で、時間的にこのタイムラグよりも大きなアドバンテージを提供することができれば、右直事故の主たる原因の1つを取り除くための支援ができることになる。したがって、認知科学的な側面から観てWLSは事故の主たる要因を取り除く可能性のある有用なシステムであるということが分かった。

3.7 事故データからの検証

WLSにおいて、衝突の危険を知らせるタイミングは非常に重要である。そのタイミングが遅過ぎては事故を防ぐことはできず、早すぎては無用の心配をドライバーに与え快適な交通を実現できなくなってしまう。そこで、右直事故において右折する4輪

車のどの部分に2輪車が衝突しているかを調べることにした。なお、事故データは神奈川県警察交通部交通規制課から提供して頂いた。

データを提供してくれた交通規制課の担当者によるとWLSでは解決できないケースのデータが含まれていたため、それらのデータを全て削除し修正データとして表1を作成した。

※「衝突なし」というデータは驚愕転倒がその理由である。修正データが信頼できるか確かめるため、4輪車を前方(正面・左前部・右前部)、中央(左側面・右側面)、後方(後部・左後部・右後部)の3つに分けた場合の車体部分別衝突率を検証した。図8が元データから作成したグラフであり、図9が修正データから作成したグラフである。図8と図9のグラフを見比べると、2つのデータに大きな差異は見受けられなかった。したがって、修正データを基に結論を導いても大きな問題にはならないと判断した。

そこで、修正データを利用して衝突率の分析モデル図10を作成した。分析結果として、右直事故の際には4輪車の前方に約70%の確率で衝突していることが分った。衝突なしを含めれば約75%となり、中央を含めると約90%までパーセンテージが上昇する。したがって、WLSを使用することで0.5秒早く衝突の危険をドライバーが認識することができれば約75%、1秒早く知ることができれば90%近くの右直事故を防ぐ(もしくは軽減する)ことができる可能性があるという結論に至った。

ここで示したパーセンテージは、右折する自動車の大きさやそのドライバーの意識によって上下する。しかし、右直事故の主たる原因を理論上約90%も排除することができるWLSは、事故データの観点から見ても有効なシステムであると言える。

	H17	H18	H19	H20	H21	合計	衝突率
正面	854	813	766	611	622	3666	37.01%
左前部	759	681	699	511	491	3141	31.71%
左側面	354	320	317	234	258	1483	14.97%
左後部	199	235	215	183	180	1012	10.22%
衝突なし	127	118	136	85	119	585	5.91%
後部	5	3	4	2	4	18	0.18%
合計	2298	2170	2137	1626	1674	9905	100.00%

表1 車体部分別 衝突率(修正データ)

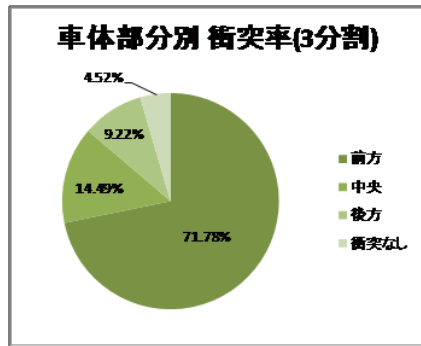


図 8 3分割での衝突率(元データ)

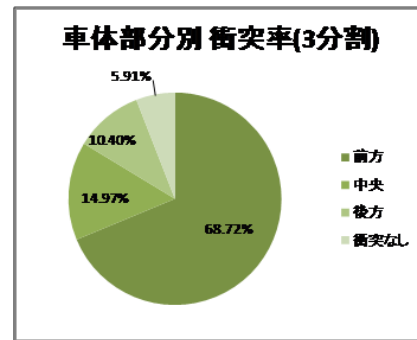


図 9 3分割での衝突率(修正データ)

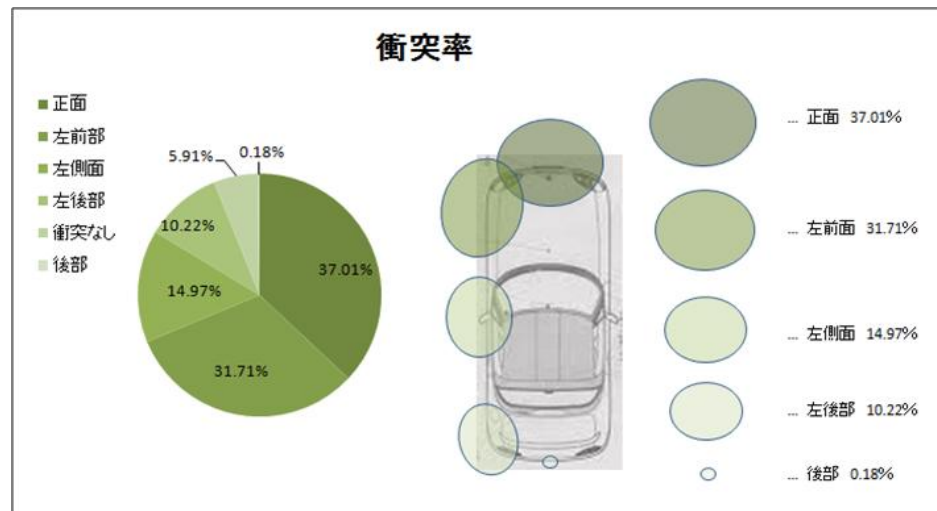


図 10 右直事事故時の衝突率 分析モデル

4. おわりに

まとめとして WLS のメリットについて記載する。WLS では、本来なら誰も見えていない場所の情報を知ることができる。3.4 のシチュエーションモデルでは、右折を

試みる白い4輪車と交差点で停止している黒いトラックのドライバー双方の死角となっていた場所をすり抜けようとする2輪車の存在と、それによって生じる衝突の危険を認知することが可能になる。既存のシステムの成功例として取り上げた Eye Sight(ver.2)は非常によくできたシステムだが、その第2の目が捕捉しているのは、本来はドライバーが捉えるべき正面の情報である。対して死角に潜む危険認知できる WLS は、第2の目を有効利用しているシステムといえる。

また、ドライバーの負担が増えないという点も大きい。3.5 のシチュエーションモデルに登場するアクターは往來の運転操作を行っていれば WLS によって衝突の危険を知ることができる。危険を察知した際に、カーナビの画面や警告音で危険を知らせるようなシステムであれば、一瞬ドライバーが本来見るべき自分の正面から視点を外す、もしくは警告音に気を取られる可能性があり、それが別の事故原因となる。

最後にドライバーの過信に繋がらざらぬという点も挙げておく。運転操作や判断はドライバーの責任となる。一見、支援レベルの低いシステムに思えるが、これが最適だと我々は考える。ESC も素晴らしいシステムであると思うが、支援レベルが高いことにより、ドライバーが運転を上手くなったような錯覚を起し、無謀運転をして事故につながるケースが少なからずある。支援レベルが高いということは技術の進歩という観点からは良いことである。しかし、それによってドライバーを危険にさらしてしまつては元も子もない。安全運転はドライバーとシステムが協力した上で成り立つ。

謝辞 「3.7. 事故データからの検証」を行うに当たって、神奈川県警察交通部交通規制課にデータを提供していただいた。その他にも多くの方々のアドバイスがあり、本研究を行うことができた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1 PUYO の画像出典：Honda ホームページ, <http://www.honda.co.jp/>
- 2 Compatibility Body・Air Bag の画像出典：トヨタ自動車グローバルサイト, <http://www.toyota.co.jp/index.html>
- 3 アクセル・ブレーキ一体型ペダルの画像出典：asahi.com, <http://www.asahi.com/>
- 4 統計データ出典：E-stat, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>
- 5 統計データ出典：自動車保有台数統計データ, <http://www.airia.or.jp/number/index.html>
- 6 HONDA PUYO：Honda Design Designer's TALK, <http://www.honda.co.jp/design/designers-talk/>
- 7 実吉敬二, 埜圭二, 十川能之, 荒井一真：ステレオ画像を用いた運転支援のための前方状況認識システム, 電子情報通信学会技術研究報告書, PRMU パターン認識・メディア理解, 97(41), pp.39-46, (1997)
- 8 Eye Sight 試乗動画(You Tube) http://www.youtube.com/watch?v=_2yKr1rkxoQ
- 9 参考資料：よくわかる認知科学：乾 敏郎・川口 潤・吉川 左紀子 ミネルヴァ書房(2010/02)