

# 自動運転の安全性評価フレームワーク

## Ver1.0

一般社団法人 日本自動車工業会

AD 安全性評価分科会

2020年10月

(旧)安全性評価 WG 委員・アドバイザー一覧

※本文書は、AD 安全性評価分科会の前身である(旧)安全性評価 WG において作成された。

WG 主査 谷口悟史 トヨタ自動車(株)

WG 副主査 小澤浩一郎 本田技研工業(株)

WG 副主査 北原栄一 日産自動車(株)

委員 認識サブ WG リーダー 久保田 悠美 日産自動車(株)

委員 車両運動外乱 WG リーダー 新井信太 (株)本田技術研究所

委員 論証データサブ WG リーダー 佐藤 秀亮 トヨタ自動車(株)

委員 石渡 幸治 日産自動車(株)

委員 原武 大樹 (株)本田技術研究所

委員 久保 敬也 マツダ(株)

委員 山田 雄介 マツダ(株)

委員 平田 直 マツダ(株)

委員 笹田 晃広 スズキ(株)

委員 角田 信次 (株)SUBARU

委員 井戸口 勝 日野自動車(株)

委員 三井 利宣 日野自動車(株)

委員 河野 真一郎 いすゞ自動車(株)

委員 千賀 雅明 トヨタ自動車(株)

委員 原 弘一 トヨタ自動車(株)

アドバイザー 中田 啓明 日立オートモティブシステムズ(株)

アドバイザー 照井 孝一 日立オートモティブシステムズ(株)

アドバイザー 菅沼 賢治 (株)デンソー

アドバイザー 神野 真吾 (株)デンソー

アドバイザー 竹村 到 パイオニアスマートセンシングイノベーション(株)

1	本稿の位置づけ	1
2	自動運転システム安全論証構造(Safty argumentation structure)	2
2.1	既存のアプローチの課題整理	2
2.1.1	長距離・長時間試験評価による安全性保障	2
2.1.2	データ蓄積・分類型シナリオベースアプローチ	2
2.2	『Physical Principal Aproach Process(原理原則に基づくシナリオベース・アプローチ)』の概要	3
2.3	安全性保障(Safety Argumentation Structure)フレームワーク	5
2.3.1	自動運転の安全原則	5
2.3.2	安全性評価のスコープ	6
2.3.3	安全性の判定手法	7
2.3.4	認識外乱の安全性判定手法	20
2.3.5	車両運動外乱の安全性判定手法	22
3	シナリオベースの安全保証プロセス	25
3.1	安全保証のスキーム(V字モデルのステップ)	25
3.1.1	アイテム定義	25
3.1.2	安全分性	26
3.1.3	安全設計と安全コンセプト	26
3.1.4	システム開発	26
3.1.5	サブシステムと車両の検証と妥当性確認	27
3.1.6	安全アセスメント	27
3.1.7	リリース前の最終確認プロセス	27
3.1.8	インシデント管理	27
4	Scenario Structure(シナリオ体系)	28
4.1	交通外乱シナリオ	28
4.1.1	一般車両シナリオ	28
4.1.2	二輪車特有のシナリオ	32
4.1.3	複数の車両の動作の繋がりの結果として生ずるシナリオ	32
4.2	認識外乱のシナリオ	33
4.2.1	認識外乱シナリオ	33
4.2.2	ブラインド・スポット・シナリオ(死角シナリオ)	63
4.2.3	通信外乱シナリオ	72
4.3	車両運動外乱シナリオ	74
4.3.1	車体入力の分類	75
4.3.2	タイヤ入力の分類	76
4.3.3	予測可能な車両運動外乱の安全アプローチ	78
5	シナリオデータベース	87
5.1	3つの抽象化レイヤー	87
5.2	データパラメータ、フォーマット、アーキテクチャ	87
5.3	テストシナリオデータベースのインタフェース仕様	88
	Annex A 道路形状	90
A.1	道路形状構成要素	92
A.2	道路形状基本パラメータ	93
A.3	実環境データによる更新	94
A.4	実世界地図データによる道路形状パラメータ更新	95
	Annex B 二輪車特有のシナリオ	96

B.1 周囲の二輪車固有の位置と動作の分類.....	96
B.2 二輪車特有の交通外乱シナリオ .....	96
Annex C 交通外乱の複雑なシナリオへのアプローチ .....	98
C.1 回避動作シナリオの概念 .....	98
C.2 交通流シナリオ.....	98
C.2.1 回避トリガ .....	99
C.2.2 回避エリア .....	99
C.2.3 回避エリアへのカットイン車両.....	101
C.2.4 道路環境.....	101
Annex D 事故データに基づくシナリオデータベース完全性検証.....	103
D.1 ドイツ事故調査(GIDAS)データ.....	103
D.2 衝突回避研究(NHTSA)のための衝突前シナリオタイプ .....	104

# 1 本稿の位置づけ

## 【背景】

より安全、効率的で自由なモビリティ社会の実現のために、自動運転車両の実用化と展開が期待される中、自動運転が十分な安全性能を担保していることの確認は制度・技術の両側面で世界的に大きなチャレンジである。

そこで日本自動車工業会として、安全の論理的な網羅性・実行性・透明性を具備した安全論証体系・安全性評価手法・安全性判断手法の自動車専用道におけるベストプラクティスを本稿にまとめた。

なお自動運転の実用化や成熟に応じて、安全性評価・判断技術も改定される可能性があり、随時必要に応じて内容の変更を行う。

## 【狙い】

- ①自動運転を開発する自工会各社が、開発プロセスの企画・設計・評価の各段階で安全性を評価・検証する際の、共通基盤としてこのガイドラインを活用することにより、安全性・開発効率の向上を可能とする。
- ②国際基準・標準の策定に向けた技術的な共通理解を得る
- ③海外のプロジェクトと連携推進する際の自工会の考え方を明確にする

## 2 自動運転システム安全論証構造 (Safty argumentation structure)

SAE 自動化レベル3以上の自動運転車両の動的運転タスク(Dynamic Driving Task)についての安全性評価体系の概要について整理する。

### 2.1 既存のアプローチの課題整理

#### 2.1.1 長距離・長時間試験評価による安全性保障

ブラックボックス的に誤作動や意図しない Disengagement に至る状況をランダムサンプリングしていき、改善を繰り返していくことで一定以上の確率的な信頼性を保証する長距離、長時間の実車公道試験評価による安全性保障は、評価プロセスとして『評価範囲の十分性』と、クライテリアとして『有事の説明性』に課題がある。

『評価範囲の十分性』の課題とは、走行距離や時間を長くすることで結果として危険事象を発生する要因の項目や範囲をカバーする範囲は確率的に高まるものの、この距離や時間の中に含まれていない要因による危険事象がリリース後に発生しないことは保障されないことである。

また『有事の説明性』とは、クライテリアとして距離や時間の目標設定が法規または社会通念上のコンセンサスでないことから、実際に生じた危険事象に対する社会的責任を免れるという形にならない(またはなっていない)ということである。なお、距離や時間による確率的なクライテリアについて、技術的な観点での妥当性についても、どのような環境条件を走行したのか、その走行内容に依存して要因の潰しこみ効率が異なるため課題がある。時間による確率的なクライテリアについて、どのような環境条件を走行したのか、その走行内容に依存して要因の潰しこみ効率が異なるため技術的にも妥当性に課題がある。

#### 2.1.2 データ蓄積・分類型シナリオベースアプローチ

このような従前のADAS開発プロセスを SAE 自動化レベル3以上の安全性保障に適用する場合の限界に課題に対応するために、蓄積した交通流観測データや事故データを『シナリオ』という形で体系的なカテゴリに分類して蓄積することでシナリオDBを形成するデータ分類型シナリオベースアプローチが提案され、各国のプロジェクトで検討が進んでいる。

個社の知財として秘匿化されている走行データとは別に、パブリックドメインで走行データを蓄積し形式知化して積み上げることで、検証基盤のエコシステムの構築を狙える点で認証機関と製造者双方にとって、合理性があるように見える。

しかし、実際にはこのアプローチは依然としてリリース前の検証範囲の十分性の課題について答えていない。得られたデータにタグ付けを行い『カテゴリ分け』を行う場合に、将来発生しうる現象に対する補償は依然として距離と時間もしくはデータ量に依存したものであるため、前章で述べたような構造上の問題を解決できていないためである。また、パブリックドメインで共有される走行データは『画像』や『走行軌跡』のデータであり、自動運転車が周辺の状況や自分の位置を誤る原因や車両安定性を損なう原因をカバーしたデータを得られないという点も、決定的な検証範囲の不足の原因になる。

## 2.2 『Physical Principal Approach Process(原理原則に基づくシナリオベース・アプローチ)』の概要

既存のアプローチの課題である評価範囲とクライテリアの課題に対して、原理原則に基づくシナリオベースアプローチによるエンジニアリングフレームワーク『Physical Principal Approach Process』を提唱する。

まず検証範囲の十分性について、自然現象や交通流の組み合わせは無限に存在し、交通環境を分類して組み合わせるだけでは現実的に検証をやりきれず、十分な検証範囲を確保できない。そこで環境を俯瞰的に見て分類するというアプローチでなく、自動運転の動的運転タスクを実行するために必要なプロセスを物理原則の異なる認知、判断、操作の3要素「認知:認識外乱、判断:交通外乱、操作:車両運動外乱」に分解し、プロセス毎に処理結果に影響を及ぼす要因(root cause)をシナリオ体系として構造化することで、有限かつ安全の観点で網羅的な範囲の特定を可能にする。(図 1,図 2)

プロセス	処理結果	外乱	物理原則
認知	周辺交通環境の位置情報、自己位置。交通情報	認識外乱	センサメカニズムに応じた原理的な外乱(例)カメラ:可視光、ミリ波:電波、LiDAR:赤外光
判断	軌跡、車速目標指示	交通外乱	道路構造+交通参加者との位置関係といった幾何学的観点と、交通参加者の動作
操作	軌跡、車速目標指示を達成するための各ACTへの運動指示分配	車両運動外乱	路面、外界からタイヤおよびボディに入力される力学的な外乱

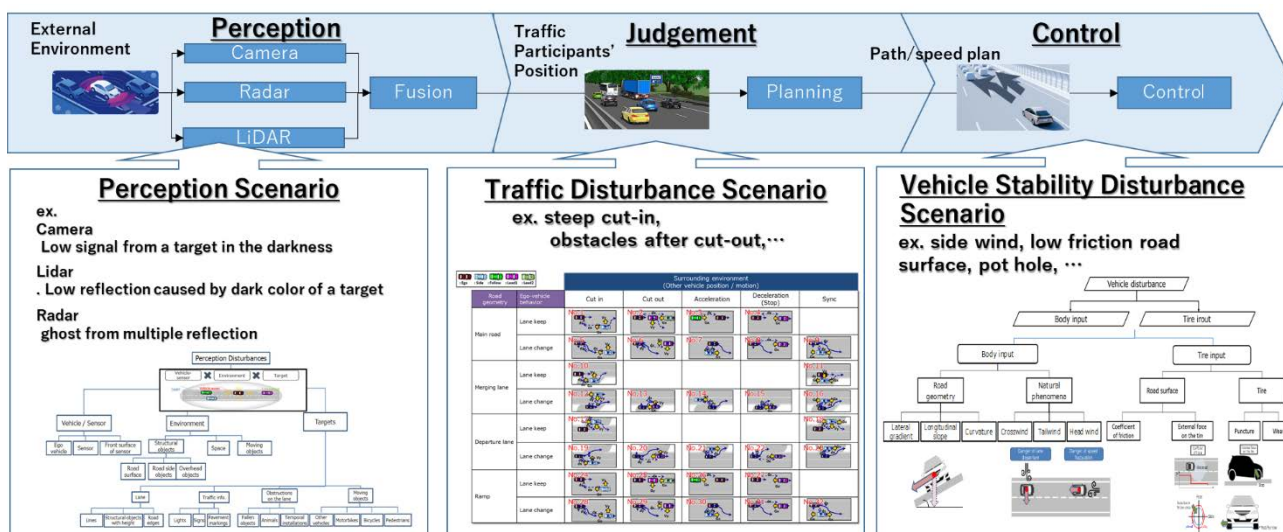


図 1.シナリオ構造

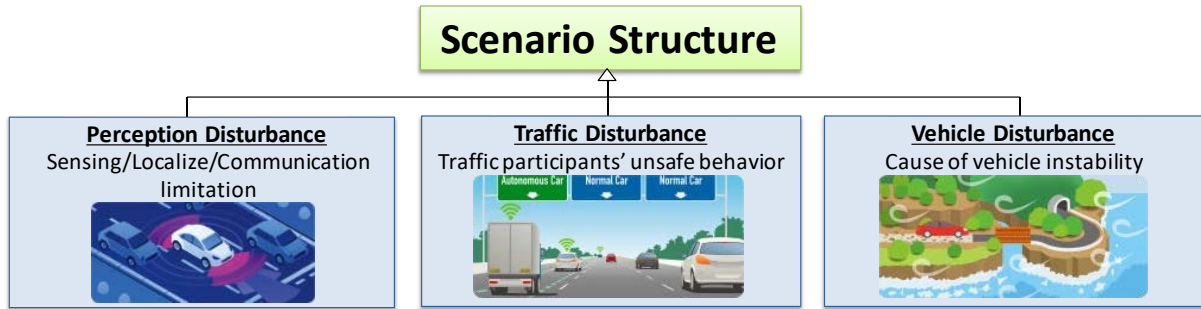


図 2. 物理原則毎の 3 つのシナリオ体系

認識外乱とは、センサシステムが、センサや車両の内因的理由または外因的理由のために、危険を正しく認識できない状態を指す。内因的理由の例には、部品の取付け(例えば、センサの取付けまたは製造上のばらつきに関連する不安定性)、または車両の状態(例えば、センサの方向を変更する不均一な荷重による車両の傾斜、または自転車ラックのような外部取付けによるセンサの遮蔽)が含まれる。外因的な理由には、周囲の車両によって誘発される環境条件(例えば、センサの曇り、汚れ、光など)、または死角が含まれる。

交通外乱とは、道路の幾何学的形状(例えば、高速道路における分岐又は傾斜路)、自車両の挙動(例えば、車線変更)、及び周辺車両の位置及び動き(例えば、自車近くでの周辺車両のカットイン)の組合せの結果として生じる危険性がある交通状況を指す。

車両運動外乱とは、認識と判断が正常に機能するが、車両が自らのダイナミクスを制御できない可能性がある状況を指す。これは、車両内部の要因(例えば、総重量、重量バランスなど)または車両外部の要因(例えば、路面の不規則性および傾斜、風など)による可能性がある。

なお、蓄積した交通流観測データや事故データは実際に生じている状況から理論的に構築したシナリオ体系にヌケモレがないか十分性を確認することや、定性的なシナリオ体系に対して定量的な物理パラメータを付与する上で確率的な範囲として実際にどの程度生じているのか交通流の縮図を示すことに活用できる。



## 2.3 安全性保障 (Safety Argumentation Structure) フレームワーク

### 2.3.1 自動運転の安全原則

自動運転の国際基準調和を行う WP29 では、「Automated vehicles shall not cause any non-tolerable risk, meaning that, under their operational domain, shall not cause any traffic accidents resulting in injury or death that are reasonably foreseeable and preventable (自動運転車両は、その運転領域において、合理的に予見可能かつ防止可能な交通事故を発生させてはならないという、受容不可能な危険を生じさせてはならない)」と safety vision を定義し安全原則を示している。(UN/WP29, 2019, WP29-177-19, Framework document on automated/autonomous vehicles)

この考え方に基づく安全性担保の考え方を図 3 に示す通り 4 象限マトリクスで整理した。マトリクスの左上象限は「事故が許容できない領域」を示している。この象限は、予見可能かつ防止可能であるため、すべての事故を防止することが求められる。マトリクスの左下の象限は、予見できないが防止できる交通状況を示している。このカテゴリに該当する事例を AD システムが学習することにより、将来の AD システム開発に役立てる必要がある。マトリクスの右上の象限は、予見可能だが防止不可能なケースを示す。このカテゴリに該当する状況では、緩和(結果として生じる損傷を低減すること)が唯一の選択肢となる。最後の象限(右下)は、予見も防止もできない事故である。このようなケースでは、保険などの社会保障が焦点となる。

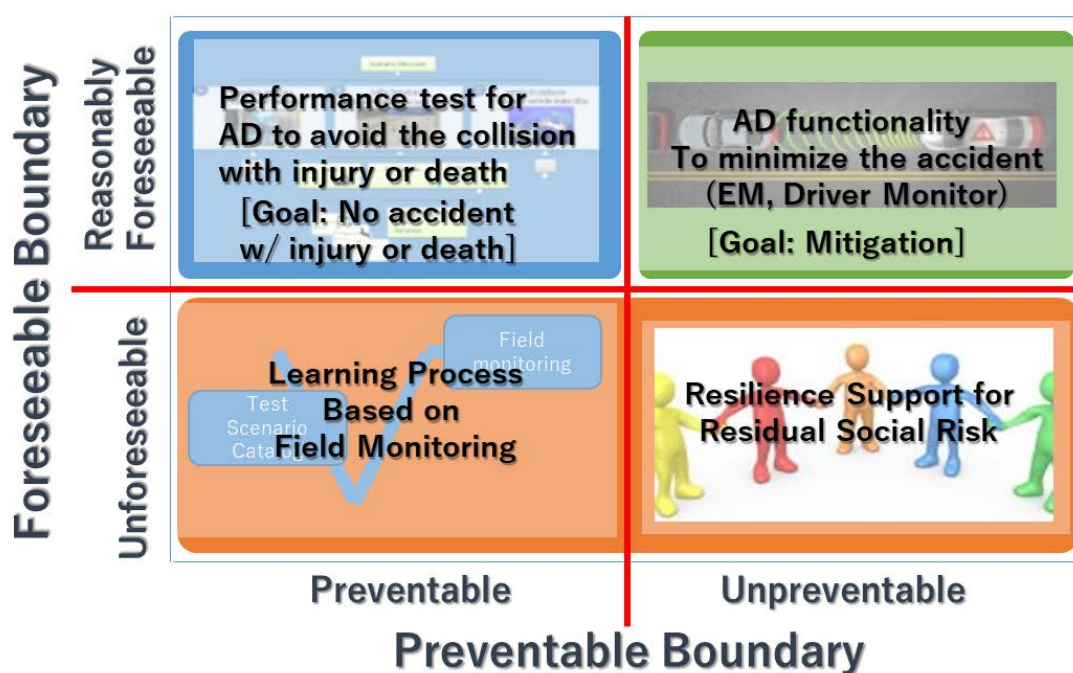


図 3. 予見可能性と防止可能性の相互関係

### 2.3.2 安全性評価のスコープ

WP29 のフレームワークドキュメントに記載された Safety Aspects を階層的に整理すると以下のような構造に整理することができ、本稿で対象とするのはこの内 validation for system safety に当たる部分である。

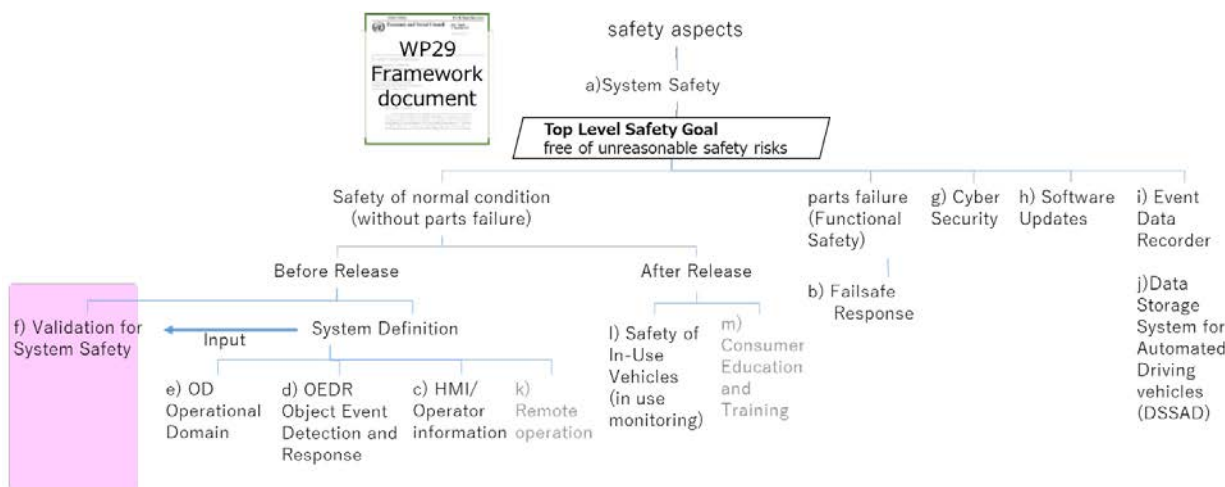


図 4. Safety Aspects の階層図

また、この validation for system safety をさらに safety vision のフレームワークに沿って分解すると図 5 の通り分解できる。この内、要因が直ぐに動的な運転タスクに影響を与えないような潜在的なリスク(例:落下しそうな貨物を積んだ前走車)が存在している『Pre critical condition』についての安全性評価は対象でない。これは、衝突につながるような状況に至るかどうかがその時点では未来が確定しないことから、シナリオとして一律の結果を前提に基準を定めると、定めた結果以外の状況に至った場合に誤った行動をとり、逆に交通流を乱す結果になる可能性があるため、一律の対処能力について良し悪しの評価は適さず、『Pre critical condition』の要件の一例としては、衝突の可能性のある周辺物体との十分な距離を取るなど交通ルールに従っていることなどが候補として考えられる。

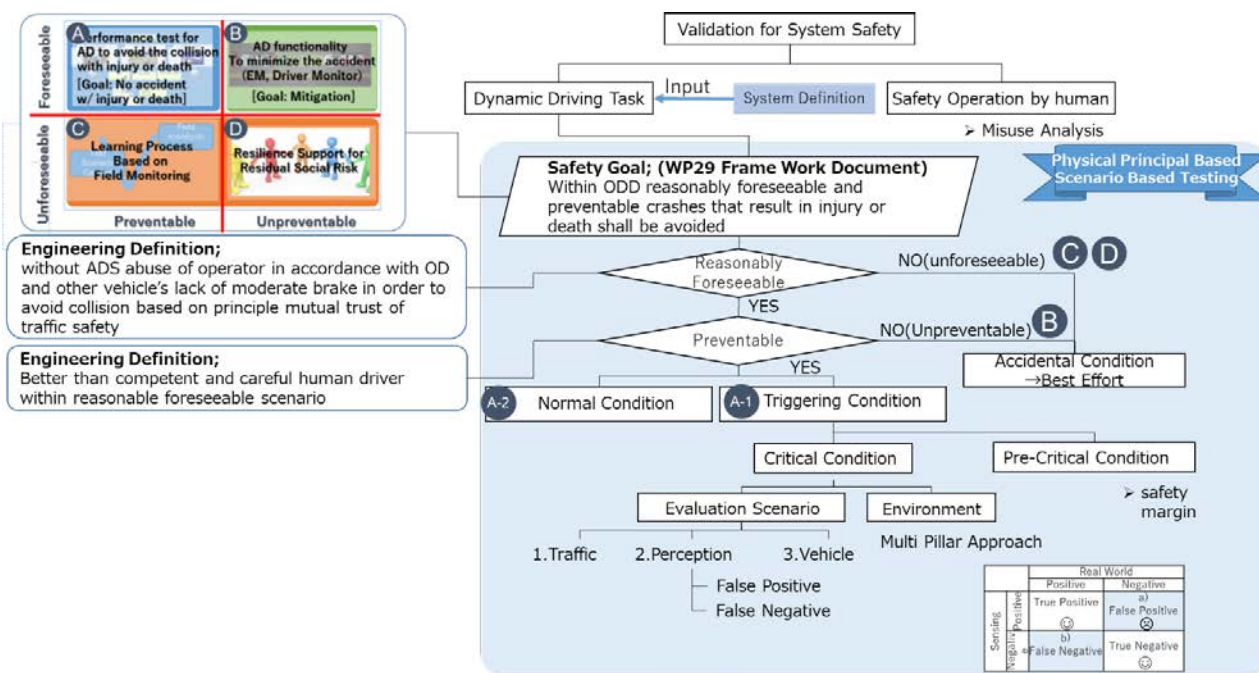


図 5. 安全論証構造図

### 2.3.3 安全性の判定手法

安全原則を具体的な評価手法に適用するフレームワークとして、まず自動運転の動的運転タスク(Dynamic Driving Task)の安全リスク(safety risk)は周辺の交通参加者もしくは構造物と衝突することであることから、これをまず交通外乱シナリオとして体系化し、この交通外乱シナリオ体系に対して、Reasonably Foreseeable の範囲と Preventable な範囲を定義することで、エンジニアリングに計量可能な形に落とし込む。この Traffic Disturbance Senario をベースとして認識外乱、車両外乱が加わっても衝突が起きないことを検証することで全体の検証が可能になる。(図 6.)

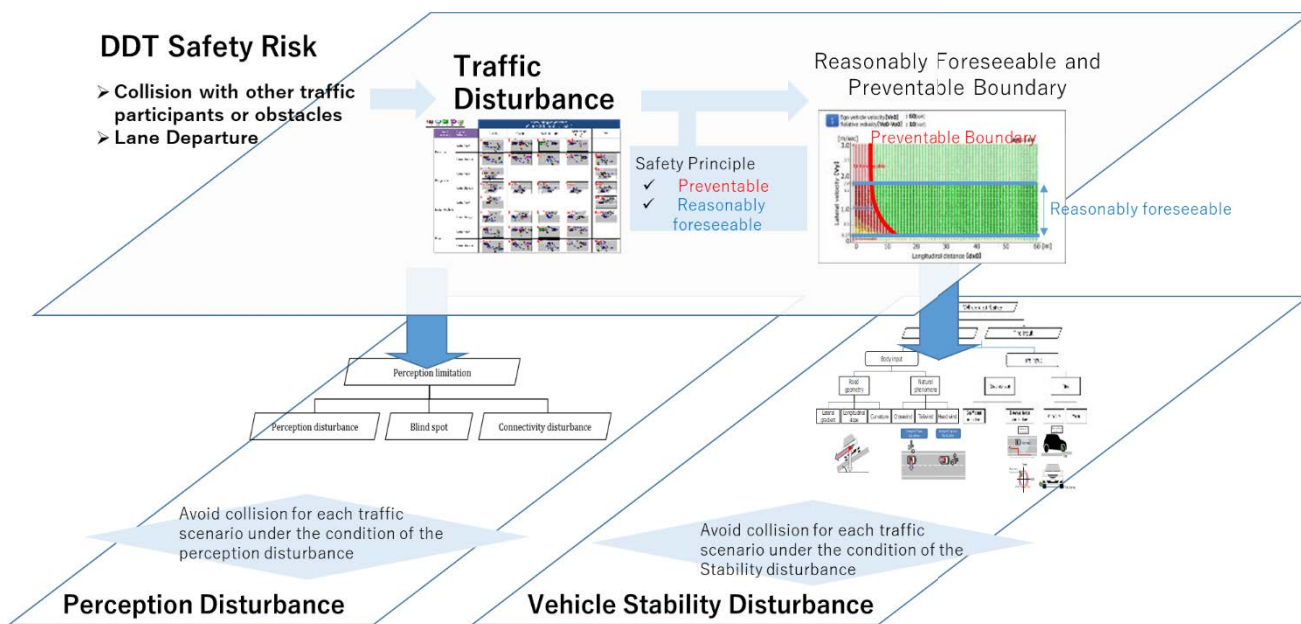


図 6. 安全性の判定手法の概要

### 2.3.3.1 交通外乱の安全性判定手法

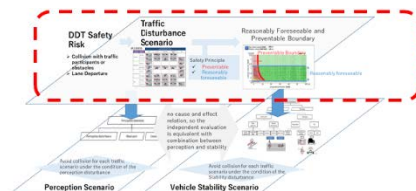
交通外乱とは、自車の安全走行が妨げられるような自車周辺に存在する交通参加者の位置と動作である。前述の通り、安全基準の基本的な考え方は、『予見可能性の範囲において、Competent and careful human driver が回避可能なレベルよりも自動運転システムが高いレベルの回避性能を具備していること』であり、この考え方を交通外乱に適用するには、Competent and careful human driver のパフォーマンスを定義し、モデル化することが必要となる。この定義したモデルをシミュレーションプログラムに実装し、Competent and careful human driver が回避可能な範囲を具体的に導出することで、交通外乱に対する安全基準を定義する事が可能である。

#### Preventable

ADS collision avoidance performance is equal or better than the performance which a competent and careful human driver can achieve

#### Reasonably foreseeable

forecastable based on physics principles with a relevant exposure and ego-vehicle driver's / other driver's extreme violation of traffic rules.



Ego Vehicle Behavior		L/C	L/K				
Category	Behavior	All	Constant	Deceleration/Stopped	Cut-In	Cut-Out	
Surrounding Traffic Participants	Vehicle	No collision as a precondition to legal behavior of surrounding traffic participants e.g) 0.3G deceleration at less than 2.0 THW with 1.4 delay		ALKS Annex4 Appendix3	ALKS Annex4 Appendix3	ALKS Annex4 Appendix3	no lane departure for each road category
	Vulnerable Road Users		Can be covered by cut-out scenario	ALKS 5.2.5.3 The activated system shall avoid a collision with an unobstructed crossing pedestrian in front of the vehicle. In a scenario with an unobstructed pedestrian crossing with a lateral speed component of not more than 5 km/h where the anticipated impact point is displaced by not more than 0.2 m compared to the vehicle longitudinal center plane, the activated ALKS shall avoid a collision up to the maximum pedestrian speed of 5 km/h.	ALKS Annex4 Appendix3		
	Animal/Fallen Object			Equivalent with ALKS 5.2.5.3	ALKS Annex3 Appendix3		

図 7.交通外乱の安全性判定手法の概要

Competent and careful human driver のパフォーマンスモデル定義(図 8)は、運転行動要素の「認知」「判断」「操作」の3要素で定義可能である。それぞれのセグメントで示すパフォーマンスに関するパラメータ係数を客観的な根拠を持って定義することが重要である。

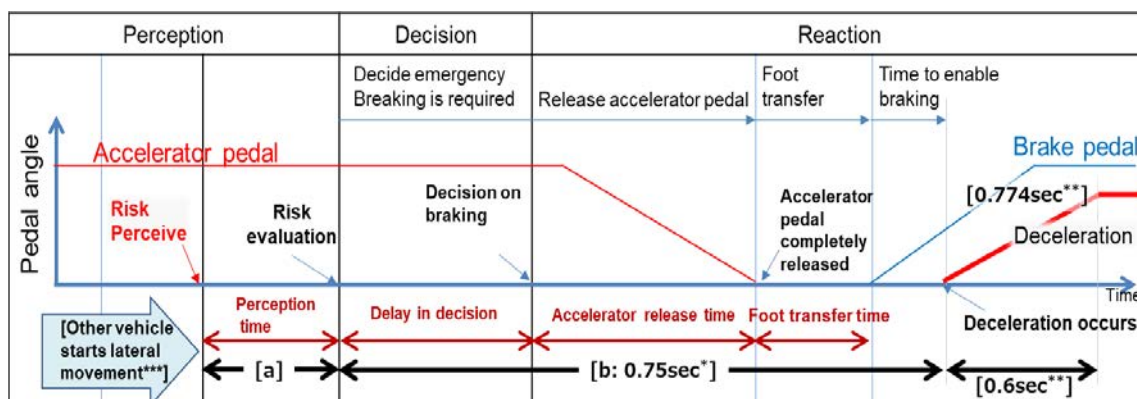


図 8. Competent and careful human driver model

運転行動要素の「判断」「操作」について説明する。交通外乱に対する自動運転の主たる回避行動がブレーキ操作(減速動作)であると考え、交通外乱の種類(自車周辺の交通参加者の位置や動作)に関わらず、

Competent and careful human driver のブレーキ操作のパフォーマンスを定義することで充足する。Competent and careful human driver のブレーキ操作ダイアグラムを図 9 に示す。左側のモデルは Competent and careful human driver によるブレーキ操作を示したモデルである。右側のモデルは衝突被害軽減ブレーキ装置(AEB: Advanced Emergency Braking)の機能モデルであり、AEB 搭載による回避性能向上分を考慮している。

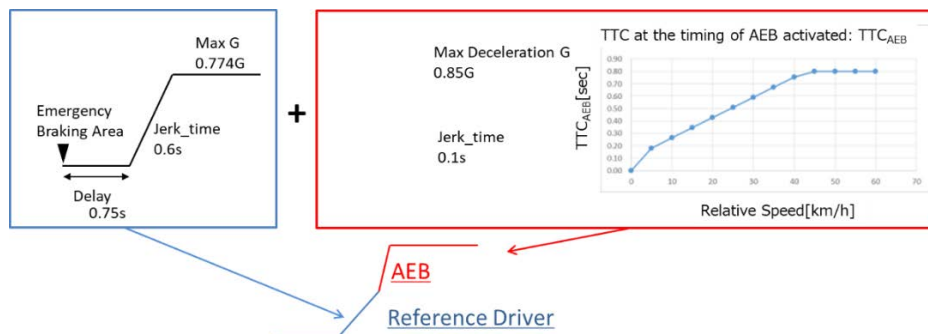


図 9. Competent and careful human driver のブレーキモデル

Competent and careful human driver が危険を認知してから物理的な減速制動力が発生するまでの遅れ時間を 0.75sec とした。これは日本国内において警察庁や裁判で扱われている「危険を判断してからブレーキを踏み始めるまでの遅れ時間」を適用した。

最大減速度については、図 10 に示す日本国内の実験データを引用し、0.774G とした。一般的なドライバーが緊急時に発生させる制動力が 0.689G であったのに対し、一般ドライバーの中でも運転技能のトレーニングを受けたドライバーは 0.774G の制動力であり、一般ドライバーよりも高技能の値で定義した。

また、NHTSA による事故統計データ(図 11)からも 0.74G がピーク値となっており、Competent and careful human driver モデルに適用した最大減速度 0.774G は妥当な値であると言える。

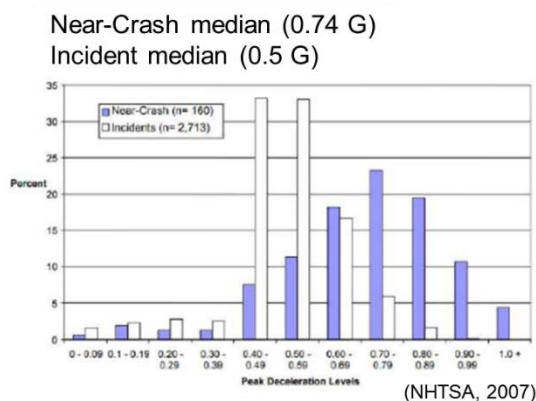
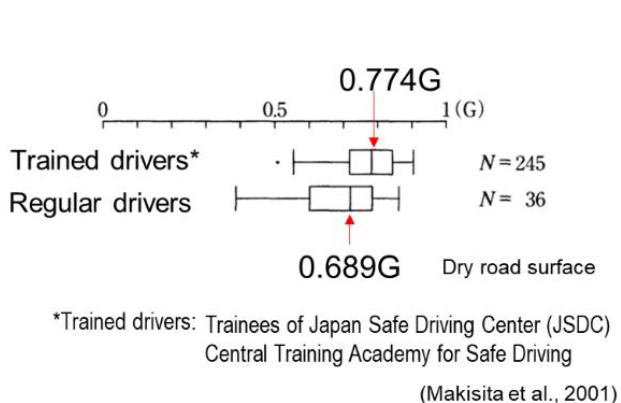


図 10. 緊急ブレーキ特性の研究例(最大減速度)

図 11. 先行車の減速による最大減速度

図 12 は運転技能のトレーニングを受けたドライバーによる減速制動の波形図である。前述と同様に日本国内での実験データを引用している。この波形図では、最大減速度に到達するまでの時間を示しており、Competent and careful human driver の最大減速度到達までの時間を 0.6sec と定義した。

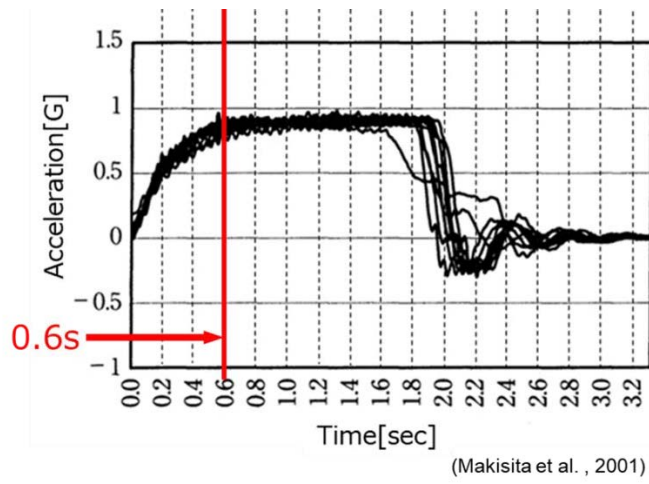


図 12. 緊急ブレーキ特性の研究例(最大減速度までの到達時間)

### 2.3.3.1.1 カットイン シナリオ

カットインシナリオは、自車の隣接車線を走行している車両が自車前方に合流(カットイン)するシナリオである。図 13 は自車前方にカットインする際に Competent and careful human driver が危険と判断するまでの境界条件を表した模式図である。

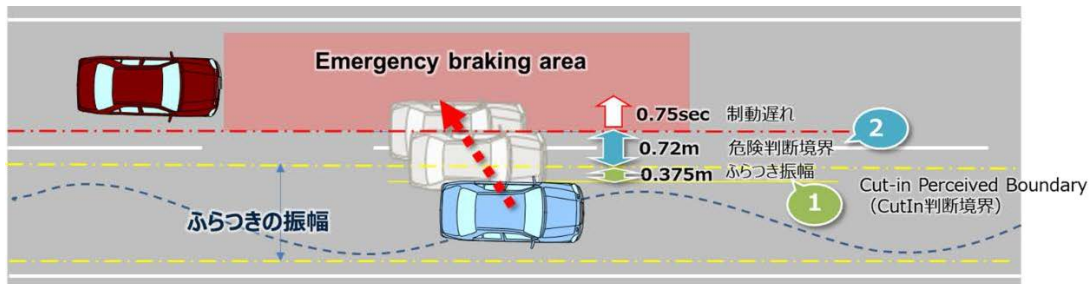
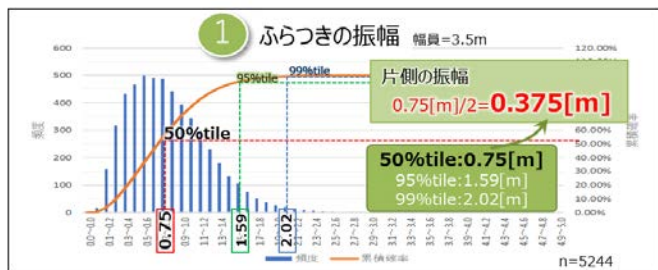


図 13. カットイン判断条件と危険判断境界

自車が隣接車線走行中の車両にカットインされると判断する境界条件を、カットイン車両の横移動距離(ふらつき振幅)で定義する。実交通環境において、車線維持して走行している車両は少なからず左右にふらつきながら走行している。このふらつきの横移動距離の範囲においては、自車の隣接車線を走行している車両がカットインすると認知しながら走行しているとは考えにくい。そこで実交通環境を観測したデータからレーンチェンジしない車両の横移動距離(ふらつき振幅)の分布(図 14)から、カットイン判断の境界条件を定義した。

カットイン判断の後、自車にとって危険と認知し緊急制動の発動を判断する境界条件(危険判断境界)については、実交通観測データから導出した最大横速度と危険と判断するまでの時間を乗算することで定義可能である。

図 15 に示す実交通観測データから、最大の横速



度を 1.8m/s と定義した。

図 14. 「ふらつきの振幅」の実観測データ統計値

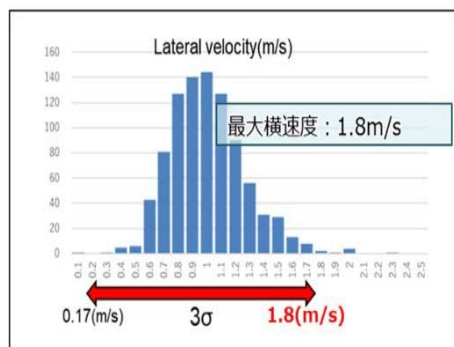


図 15. 「最大横速度」の実観測データ統計値

「危険と判断するまでの時間」の導出にあたり、日本国内で実施された、ドライビングシミュレータを用いた実験データを活用し分析を行った。実験の前提条件を図 16 に示す。



設定項目	数値
車線の幅員	3.5 m
自車目標速度 $V_e$	100 km/h
前方並走車群走行速度 $V_o$	70 km/h
カットイン車両最大横速度 $V_{oL}$	1.8 m/s
カットイン開始時TTC値	3.0s

図 16. ドライビングシミュレータ実験の前提条件

実験は一般ドライバ 20 名(表 1)に対し、他車カットインによるドライバ対応(反応時間、回避操作)を計測。1 人あたり 2 回計測を行い、1 回目と 2 回目のそれぞれの平均値を比較することで危険と判断するまでの時間を導出する。

表 1. 実験参加者の属性

属性	人数	特性	構成
熟練ドライバ (Expert)	11名	免許取得後5年以上で日常的に運転しており月に1度以上の頻度で高速道路を走行する	・男性6名 女性5名 ・平均年齢 38.7歳
非熟練ドライバ (Beginner)	9名	免許取得後5年未満で日常的に運転しており年に1度以下の頻度で高速道路を走行する	・男性6名 女性3名 ・平均年齢 23.1歳

実験結果を(図 17)に示す。他車カットイン開始から危険と判断するまでの時間は、初回の判断では約 0.8sec、2 回目以降は約 0.4sec との結果が得られた。これら実験結果から、初回の判断では他車のカットインを見極める時間と危険と判断する時間を要していると考えられ、2 回目はカットインに対して注意して走行しているため、他車カットインを見極める時間が不要となる。一方で、ドライバが注意していても危険判断に要する時間は必要であり(図 18)、「危険と判断するまでの時間」を 0.4sec と定義した。

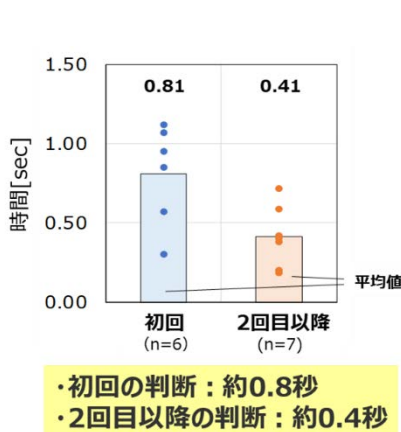


図 17. ドライビングシミュレータ実験結果

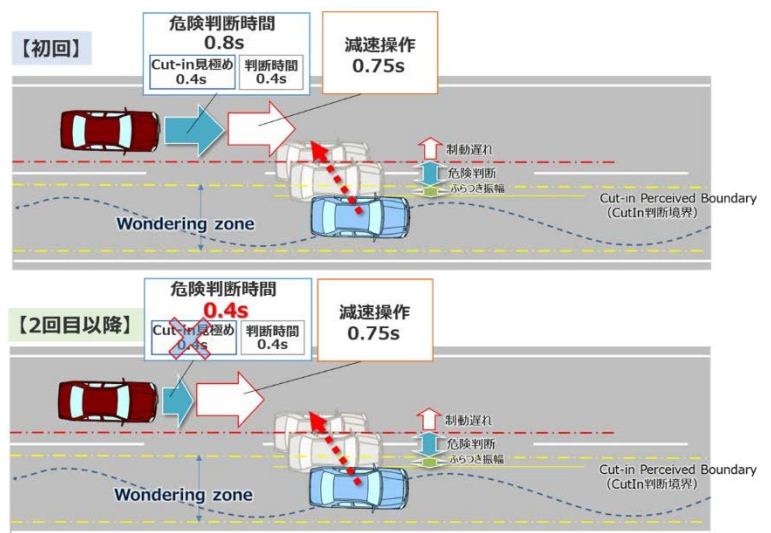


図 18. カットイン見極め時間と危険判断時間の関係



前述の通り、危険判断境界は最大横速度と危険と判断するまでの時間の乗算で定義される。実交通観測データから導出した最大横速度 1.8m/s と、ドライビングシミュレータ実験結果から導出した危険と判断するまでの時間 0.4sec を乗算し、 $1.8 \times 0.4 = 0.72\text{m}$  を危険判断境界と定義した。

カットインの判断条件と危険判断境界を図 8 のダイアグラムにあてはめると図 19 となる。

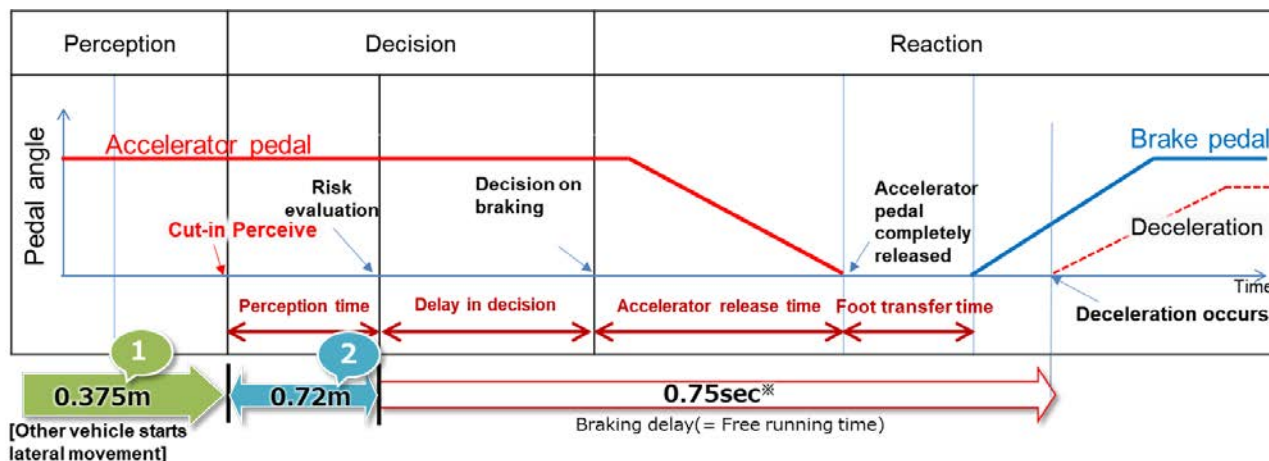


図 19. Competent and careful human driver model (Cut In)

縦方向（相手車両との車間距離）の危険判断境界については、UNR 衝突警報ガイドラインによると、緊急動作の求められる境界は  $TTC^* = 2.0\text{sec}$  と定義されている（図 20）。これを引用し、縦方向の危険判断境界を  $TTC = 2.0\text{sec}$  と定義した。

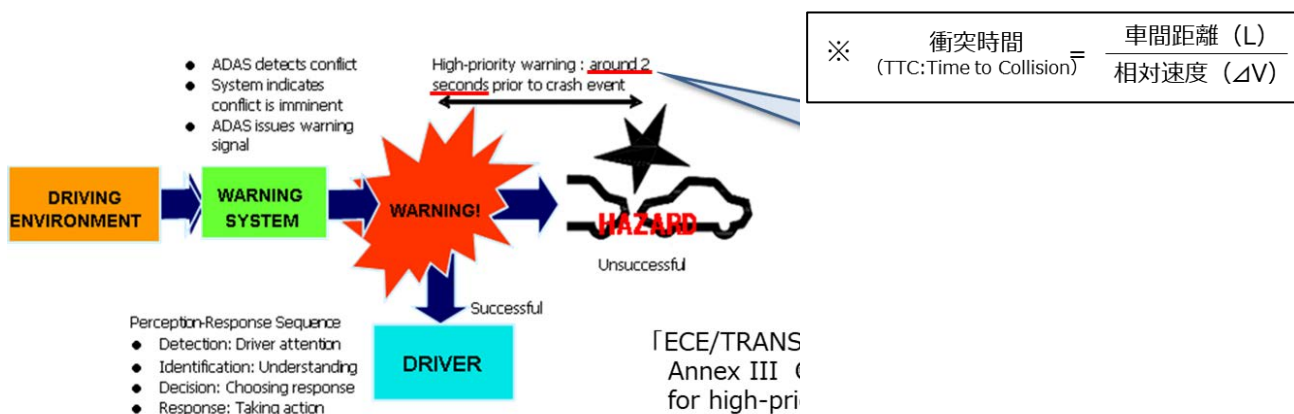


図 20. UNR 衝突警報ガイドライン(引用)

### 2.3.3.1.2 カットアウト シナリオ

カットアウトシナリオは、自車が追従する先行車両が突然隣接車線へレーンチェンジ(カットアウト)するシナリオである。これは先行車両のカットアウトで自車前方に突如出現する低速走行車や停止車両(故障、渋滞末尾など)に対して安全性を確認するためのシナリオである。図 21 は先行車両がカットアウトする際に Competent and careful human driver が危険と判断するまでの境界条件を表した模式図である。

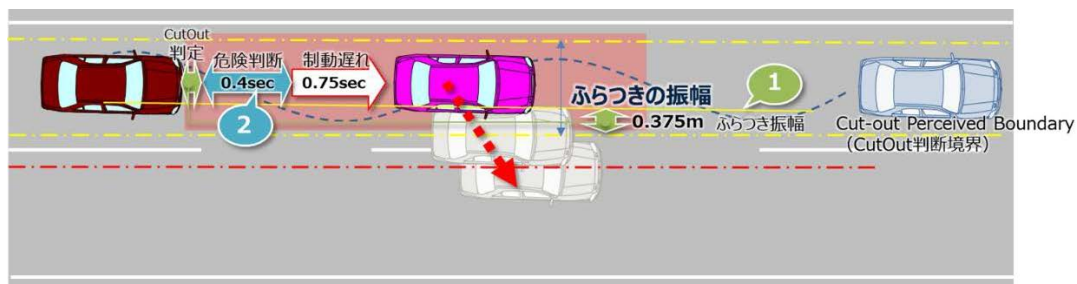


図 21. カットアウト判断条件と危険判断境界

先行車両がカットアウトすると判断する境界条件は、前述したカットイン判断条件と同様に、先行車両の横移動距離(ふらつき振幅)で定義する。カットインもカットアウトも車線変更動作であり、カットアウトの判断条件も、カットインと同様に実交通観測データのふらつき振幅の分布を用いた境界条件を適用する(図 14)。

また、カットアウト判定の後、その先に出現する先々行車を認識し危険と判断するまでの時間は、実験データに基づき 0.4sec と定義した(図 17, 図 18)。

カットアウトの判断条件と危険判断の条件を図 8 のダイアグラムにあてはめると図 22 となる。

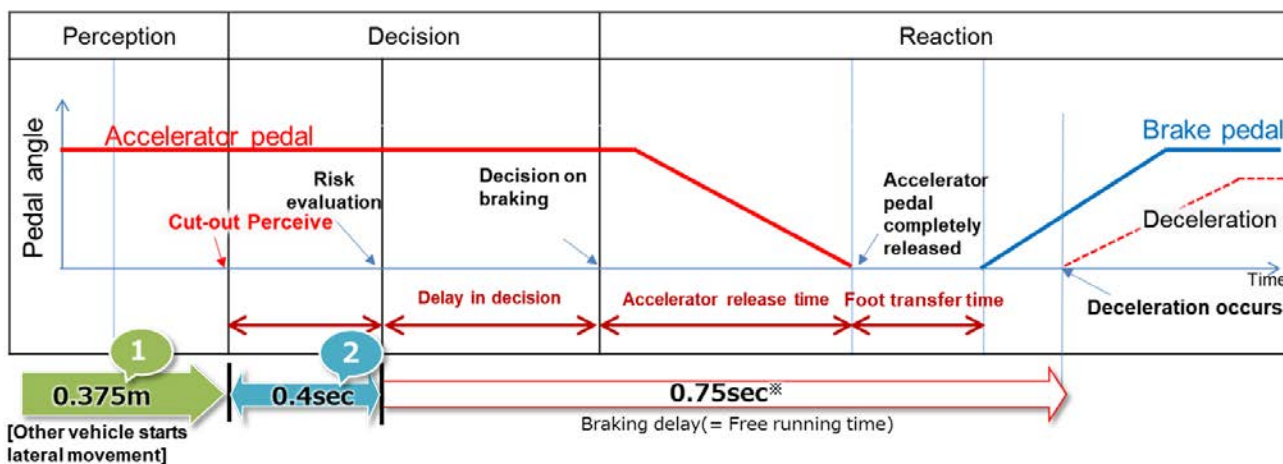


図 22. Competent and careful human driver model(Cut Out)

### 2.3.3.1.3 減速 シナリオ

減速シナリオは、自車が追従する先行車両が突然急減速することを想定したシナリオである。前述したカットイン、カットアウトシナリオでは、先行車または隣接車両のレーンチェンジ判断に要する条件が必要であったが、減速シナリオにおいては縦方向の挙動のみであるため、先行車減速を危険と判断するまでの時間のみを定義すれば良い。危険判断に要する時間は前述と同様に 0.4sec が適用可能である。

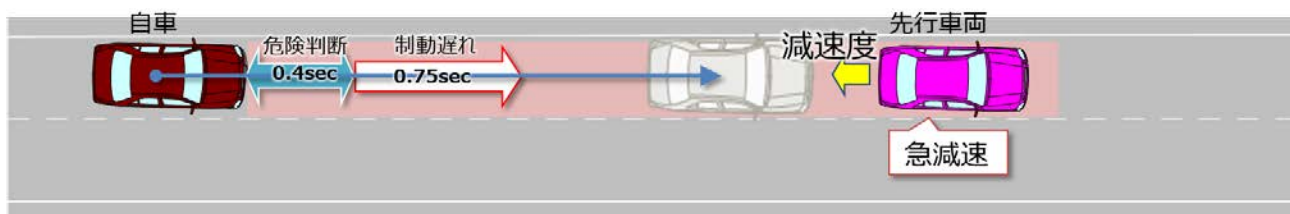


図 23. 減速シナリオにおける危険判断境界

減速シナリオにおける危険判断の条件を図 8 のダイアグラムにあてはめると図 24 となる。

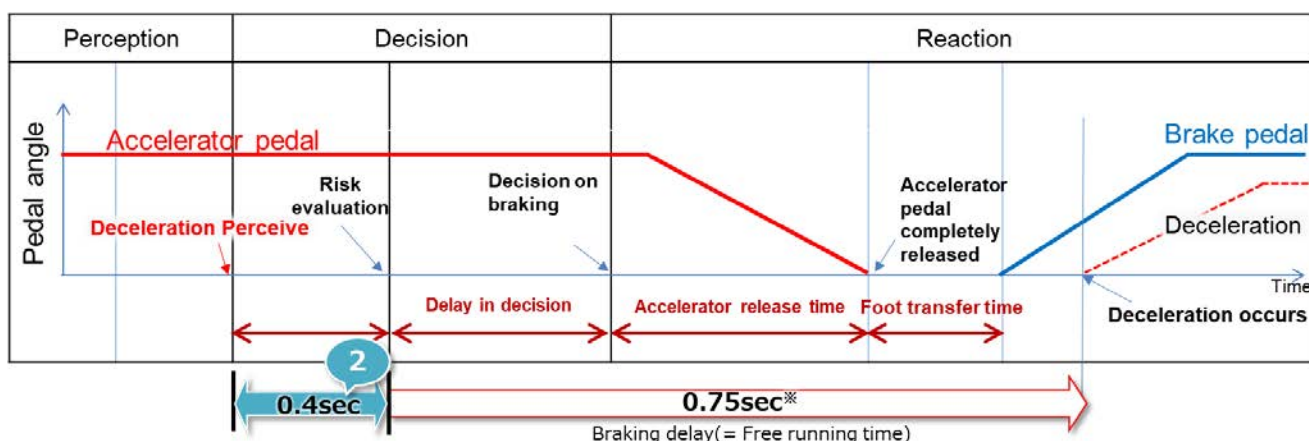


図 24. Competent and careful human driver model (Deceleration)

### 2.3.3.1.4 基準導出のためのパラメータ定義

交通外乱に関する安全基準の導出において必要となるパラメータを下表に示す。交通外乱に関する評価シナリオは、道路形状、自車動作、周辺交通参加者の位置と動作の定義(パラメータ項目)によって生成される。評価シナリオに必要なパラメータ項目を具体的な数値範囲で定義し、その範囲において Pass/Fail 境界を導出する。

表 2. 交通外乱パラメータ項目一覧

Operating conditions	Roadway	<b>#of lanes</b> = The number of parallel and adjacent lanes in the same direction of travel <b>Lane Width</b> = The width of each lane
Initial condition	Initial velocity	<b>Ve0</b> = Ego vehicle
		<b>Vo0</b> = Leading vehicle in lane or in adjacent lane
		<b>Vf0</b> = Vehicle in front of leading vehicle in lane
	Initial distance	<b>dx0</b> = Distance in Longitudinal direction between the front end of the ego vehicle and the rear end of the leading vehicle in ego vehicle's lane or in adjacent lane
		<b>dy0</b> = Inside Lateral distance between outside edge line of ego vehicle in parallel to the vehicle's median longitudinal plane within lanes and outside edge line of leading vehicle in parallel to the vehicle's median longitudinal plane in adjacent lines.
		<b>dy0_f</b> = Inside Lateral distance between outside edge line of leading vehicle in parallel to the vehicle's median longitudinal plane within lanes and outside edge line of vehicle in front of the leading vehicle in parallel to the vehicle's median longitudinal plane in adjacent lines.
		<b>dx0_f</b> = Distance in longitudinal direction between front end of leading vehicle and rear end of vehicle in front of leading vehicle
		<b>dfy</b> = Width of vehicle in front of leading vehicle
		<b>doy</b> = Width of leading vehicle
<b>dox</b> = Length of the leading vehicle		
Vehicle motion	Lateral motion	<b>Vy</b> = Leading vehicle lateral velocity
	Deceleration	<b>Gx_max</b> = Maximum deceleration of the leading vehicle in G
		<b>dG/dt</b> = Deceleration rate (Jerk) of the leading vehicle

### 2.3.3.1.5 Boundary の算出

前述の通り、具体的な基準値は、Competent and careful human driver モデルを数値計算で導出が可能である。基準値導出のためのパラメータ範囲は、自動運転システムの許容される最大車速範囲内で、すべてのパラメータの組合せが対象となるよう設定する。

### 2.3.3.1.5.1 カットイン シナリオの Preventable Boudnary 導出結果

カットインの安全基準は、自車速と相手車両との相対速度毎に安全基準が導出される。図 26 の緑のエリアで示されるパラメータ範囲においてはカットイン車両との衝突は許容されない。

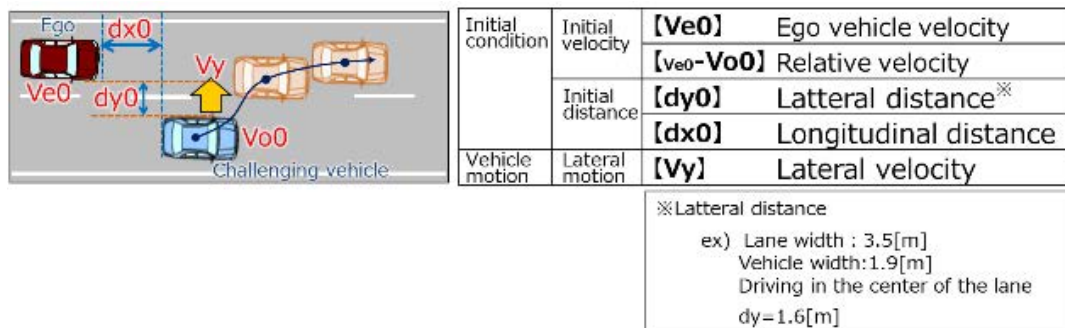


図 25. カットインシナリオのパラメータ概念図

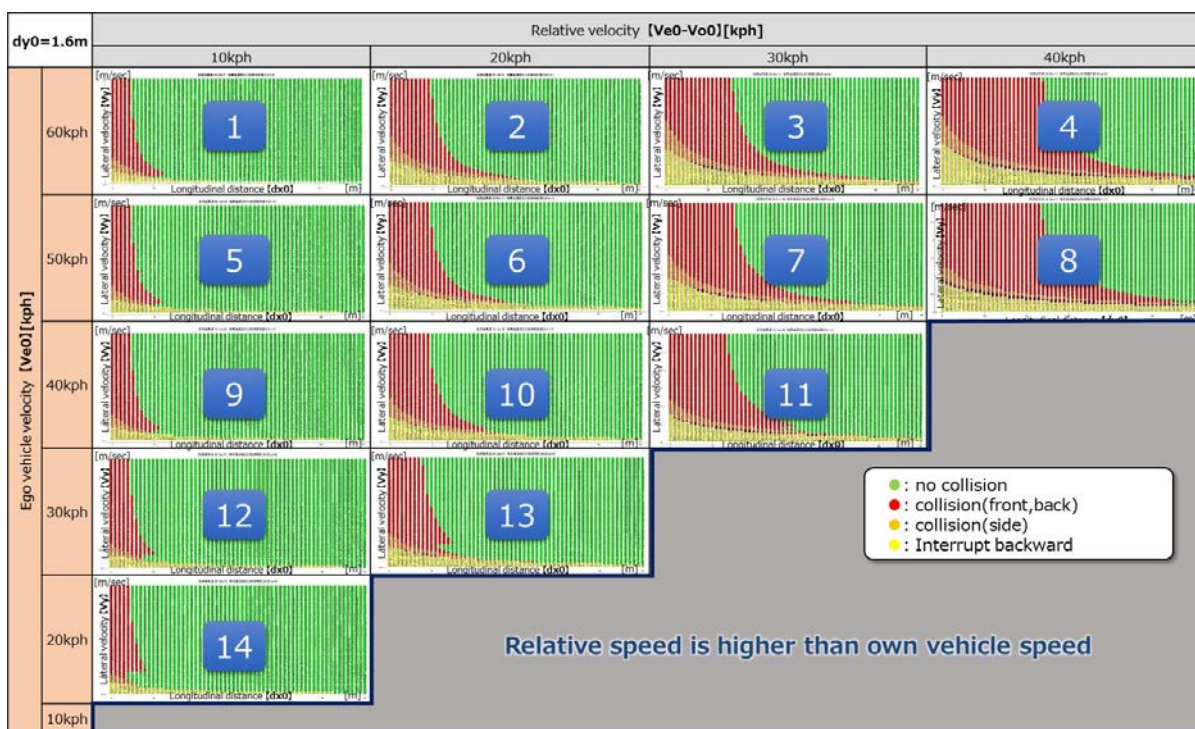


図 26. カットインシナリオの Preventable Boudnary データシート

### 2.3.3.1.5.2 カットアウト シナリオの基準導出結果

カットアウトの安全基準は、先行車がカットアウトした先に存在する全ての減速(停止)車に対して、衝突回避可能であることが要求される。この基準導出にあたっては、前述した Competent and careful human driver モデルで先行車を THW=2.0sec で追従走行させて基準導出している。THW=2.0sec は各国の法令および指導内容を参照して適用した値である。

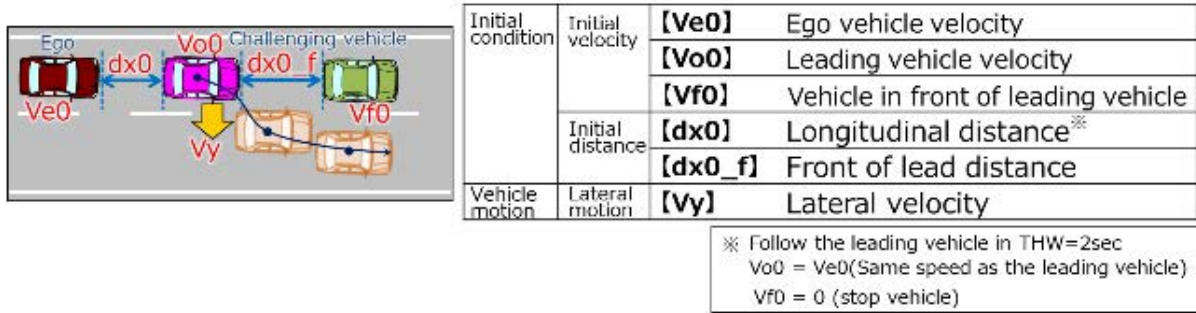


図 27. カットアウトシナリオのパラメータ概念図

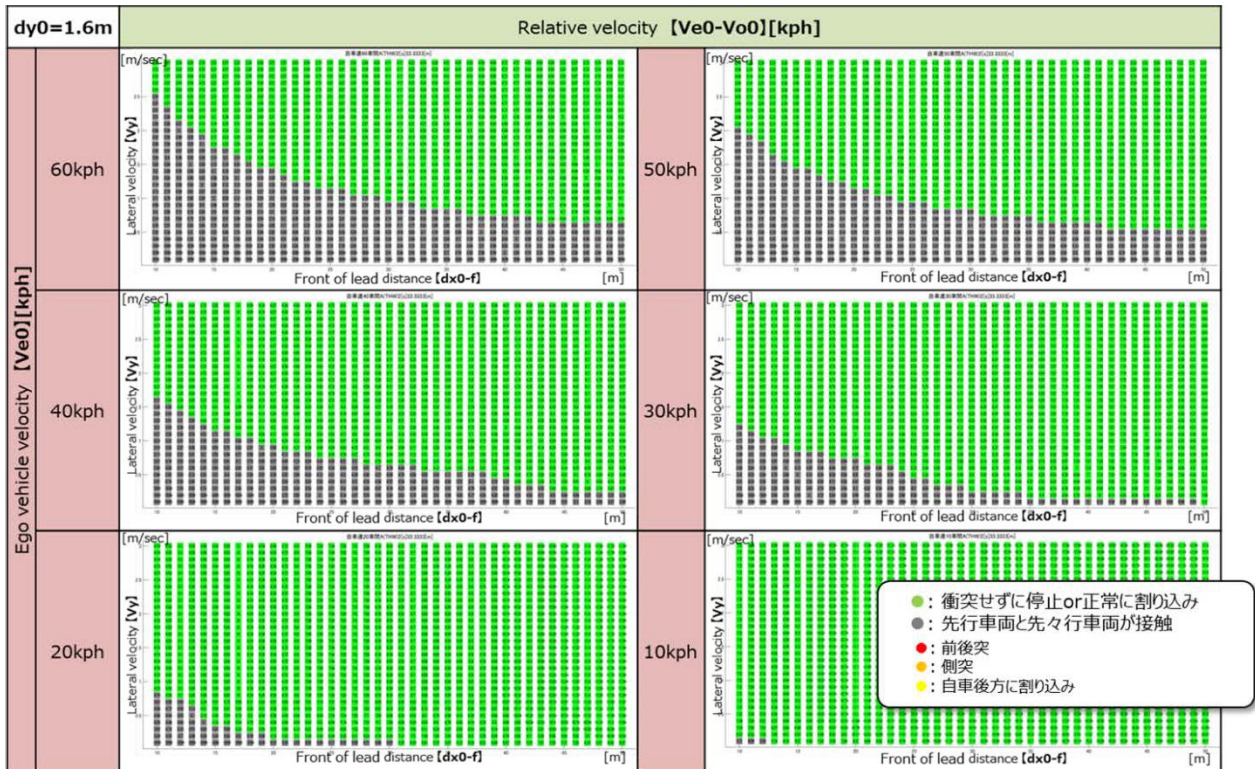


図 28. カットアウトシナリオの Preventable Boudnary データシート

### 2.3.3.1.5.3 減速 シナリオの Preventable Boudnary 導出結果

減速シナリオの安全基準は、前方車両の-1.0G 以下の急減速、もしくは停止車両に対して衝突回避可能であることが要求される。この基準導出にあたっては、前述した Competent and careful human driver モデルで先行車を THW=2.0sec で追従走行させて基準導出している。THW=2.0sec は各国の法令および指導内容を参照して適用した値である。

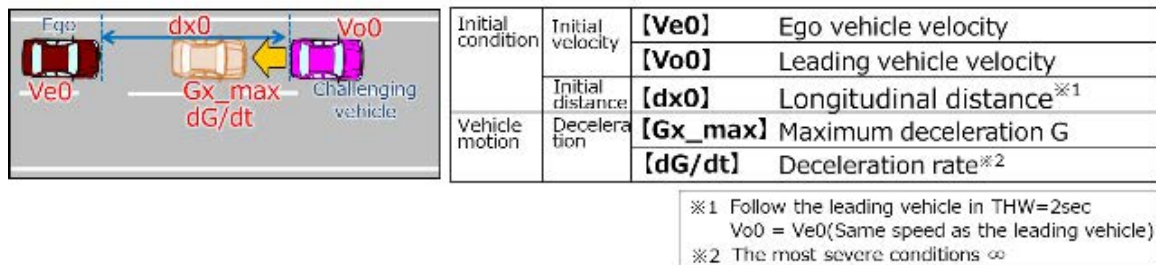


図 29. 減速シナリオのパラメータ概念図

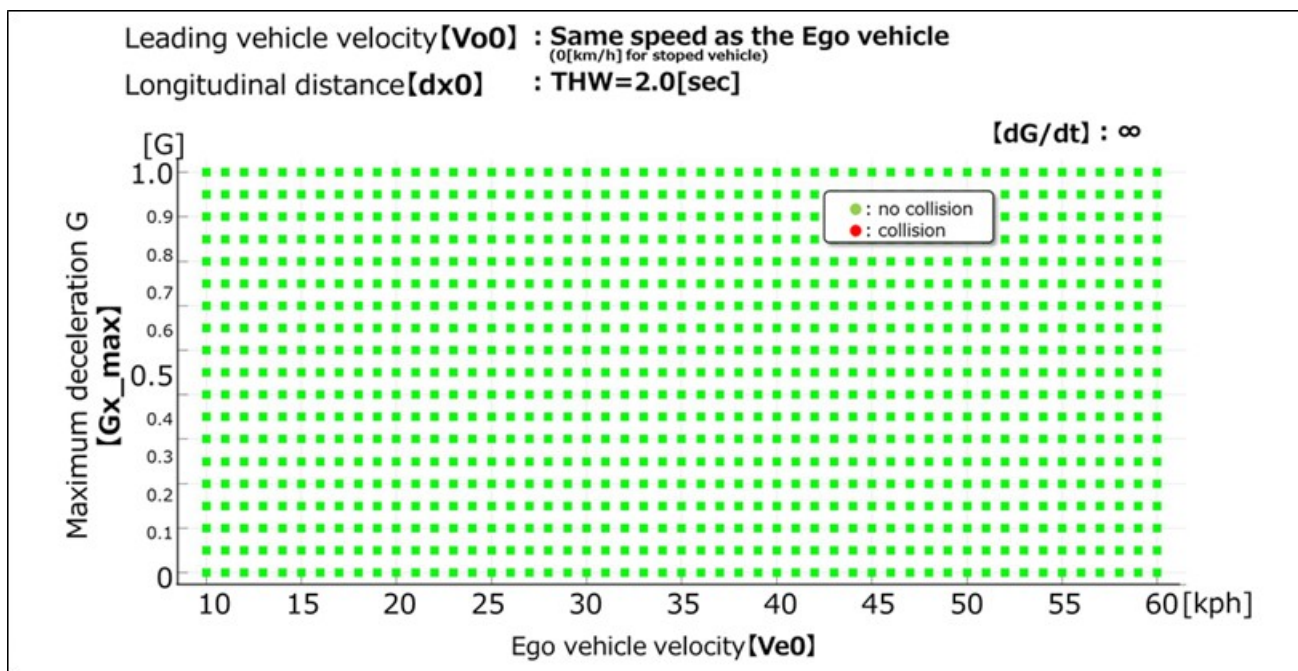


図 30. 減速シナリオの Preventable Boudnary データシート

### 2.3.4 認識外乱の安全性判定手法

安全基準の基本的な考え方は、「交通外乱における各シナリオで、認識外乱下においても衝突を回避すること」である。

車線逸脱も衝突の一因になり得ることを考慮すると、回避のために必要な認識対象物は衝突対象物ならびに走路となる(図 31)。また、外乱により認識結果として生じる現象は、実際に存在するものを正しく認識できなくなる False negative(不検知)および実際には存在しないものを存在すると誤って判断する False positive(誤検知)の 2 種類がある(図 32)。

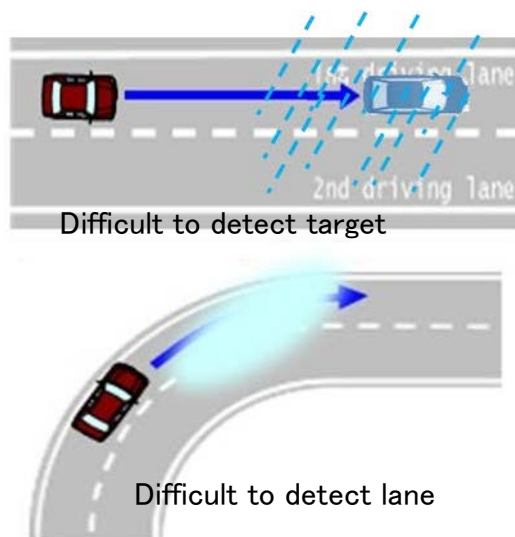


図 31. 認識対象物の種類

		Real World	
		Positive = 存在する	Negative = 存在しない
Sensing	Positive = いると判断する	True Positive = 検知成功 ☺	False Positive = ゴースト (いないものをいると判断してしまう) → 誤検知 ☹
	Negative = いないと判断する	b) False Negative = 検知失敗 → 見逃し、不検知 ☹	True Negative = 何もいないことを正確に検知 ☺

図 32. 外乱により生じる認識結果



これらを組み合わせると、合計 4 種類の状況について、安全基準の考え方に基づいた評価が必要である(図 33)。

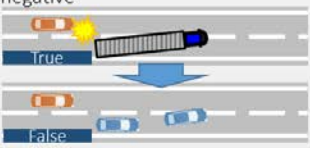
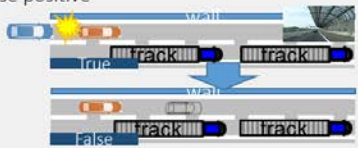


2 kinds of perception target	2 types of perception result with disturbance	
	false negative (不検知)	false positive (誤検知)
Road object	No collision on traffic disturbance because of false negative 	No collision on traffic disturbance because of false positive 
Lane	No lane departure because of false negative 	No lane departure because of false positive 

図 33. 認識外乱状況の 4 分類

認識外乱のパラメータ範囲は ODD 範囲内において以下を考慮し、外乱要因ごとに適切な範囲を定める。

- 1: 道路構造、道路交通法、その他の法律・規制などで定義される範囲  
 (例: 視程 50m 以下では通行止め、段差 15cm 以上は路面補修対象、など)
- 2: 統計データから、ある一定の確率であり得ると判断される範囲  
 (例: 雨量、明るさ、太陽高度、など)

また、この安全基準は個々のセンサに割り当てられる性能基準ではなく、搭載される認識システム全体で満足すべきものである。以上の安全性判定の流れを要約すると以下の通りである。

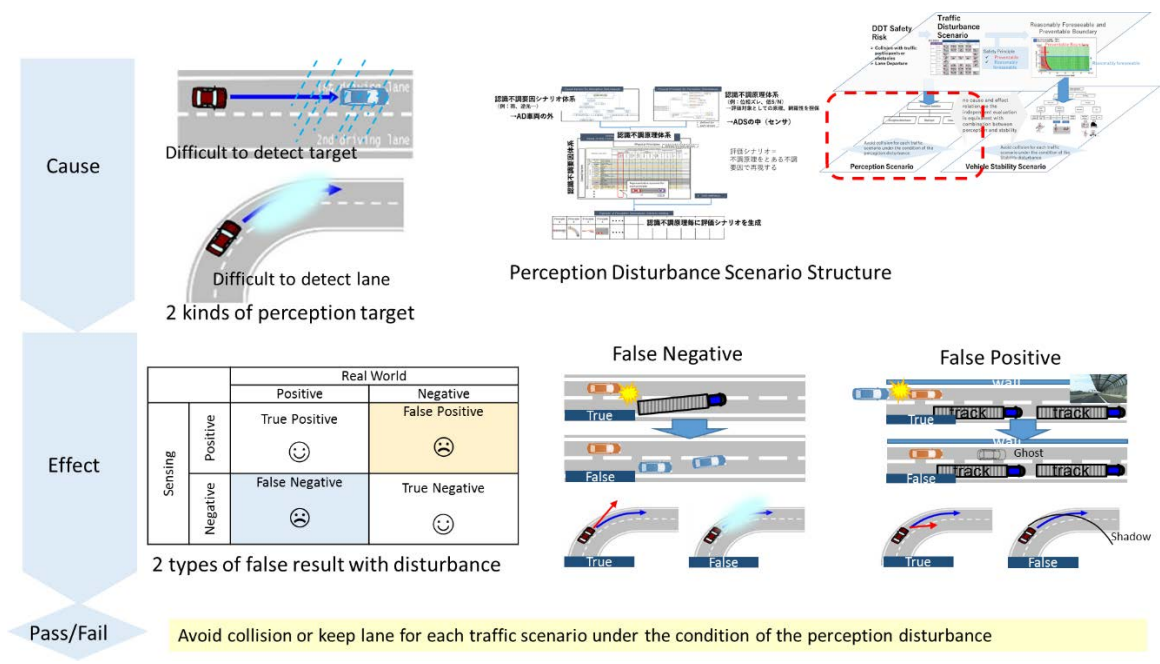


図 34. 認識外乱の安全判定フロー

### 2.3.5 車両運動外乱の安全性判定手法

車両運動外乱とは突発的な外乱(例えば、水たまりや突風など)である。これらは、人のドライバでも予見できない事象である。しかしながら、道路設計、道路維持・管理および道路環境条件に関する常識の上でドライバは安心して走行することが出来る。つまり、一般に道路を走行する前提として、合法性、倫理およびエンジニアリングなどの基本原則に従って、責任ある公共または民間機関によって道路が建設され、常に維持され管理されることを意味する。ほとんどの国では、すべての免許を取得した人(運転技能や反射能力など年齢に関係なく)が安全に走行できるような道路形状を設計するための道路構造令や道路維持修繕要綱がある。また、凍結や陥没など走行を妨げるような危険な状況がある場合においては、道路管理者が標識等で事前にドライバへ警告することが義務付けられている。以上の前提条件に基づいて、予測可能な車両運動外乱に対する技術的な安全アプローチが導入される。

図 6 で前述したように、「交通外乱における各シナリオに置いて、車両運動外乱下においても衝突を回避すること」である。現在の標準では予見可能で回避可能なシナリオにおける衝突回避戦略および予見可能で回避不可能なシナリオの衝突緩和戦略を特に考慮している。したがって、回避可能な条件の範囲内で車両運動外乱により車両の挙動が変化した場合、AD 車両は、走行を中断することなく車両を安定させるコントロール性が求められる。しかし、これらの外乱が回避不可能な不安定性を引き起こす場合、AD 車両は起こり得る衝突を緩和するために「ベストエフォート」戦略を適用する。

図 35 は、予測可能な車両運動外乱に対するこの安全アプローチの具体例を示している。図の上段では、AD 車両が、濡れた路面で回避可能な条件に収まるためにすべり摩擦の急激な低下に直面した例を示している。この状態では、車両は走行を中断することなく安全に制御することができなければならない。対照的に図の下段は、サマータイヤを装着した AD 車両が凍結路に遭遇し、すべり摩擦の極端な低下を引き起こし、回避不可能と事前に定義された車両状態(例えば最大減速など)を発生した例を示している。したがって、車両運動外乱に対する安全アプローチは、車両制御可能な状態と車両制御不可能な状態の定義に関連する車両運動工学の原則で明確な定義に基づいている(詳細は 3.3.3 節参照)。

Preventable領域での走行(例:突然のウェット路)



Unpreventable領域での走行(Best effort例:サマータイヤで突然の凍結路)



図 35. 回避可能(上段)と回避不可能(下段)な車両運動外乱に対する安全アプローチ

以上を踏まえ、交通外乱と組み合わせた場合、AD 車としての安全性は車両の安定性を維持できれば、テスト結果に影響を与えない。また、風に関しては他車にも影響を及ぼすが、例えば Cut-in では横速度が変

化するだけであり、オリジナルの交通流パラメータに含まれている。従って交通流シナリオに車両外乱を組み合わせなくても相対的に評価されているため、車両運動外乱における安全基準は、道交法の遵守と車両整備に関するドライバーの運行責任と道路法によって道路管理者が設置され道路構造令や道路修繕要綱によって管理運営されていることが前提にある上で、最も厳しい条件を設定すればよく、判定基準は「路面逸脱しないこと」である。以下に各外乱要因と条件を示す。

- 路面状態: 摩擦係数が 0.3(ロック $\mu$ ) 以上、タイヤへの外力は道路維持修繕の目標値以下(例: 轍:25mm, 段差:30mm, ポットホール:20cm)
- 道路形状: 道路構造令の規定内のカーブ R=460m、車速 100km/h
- 自然現象: 横風が速度規制無し風の風速 10m/s 未満、車速 100km/h

ここで上記外乱が同時に発生することが最も厳しい条件であることから 3 つの要因に関しては全て加算し評価する(図 36)。

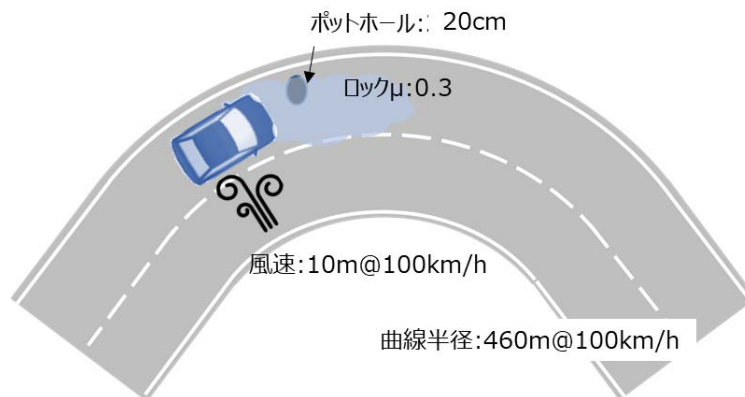


図 36. 車両運動外乱の評価条件

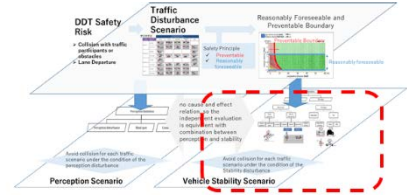
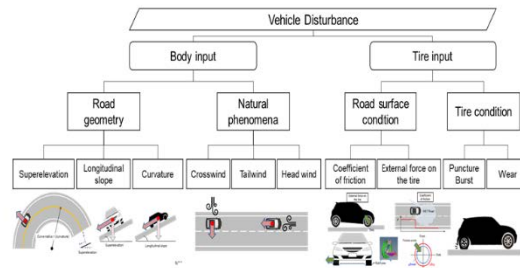
この時の判定条件は、車線を逸脱しないことである。ここで、この条件で走行出来ない場合(例えば、横風5 m/s 以上は不可)は、製造者は予め ODD として定義する必要がある。

更に機能要件として、走行中に起こったスローパンクチャーについては、リムが路面接地する前に検知することが求められる。

以上の安全性判定の流れを要約すると以下の通りである。

Cause

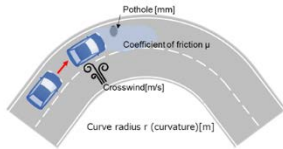
Stability  
Disturbance  
Scenario  
Structure



Effect

			Safety Risks	
			collision with Surrounding object	lane departure
Body input	Road Geometry	Curvature	N/A	✓
	Natural phenomena	Crosswind	Reason Curvature: 他車との位置関係は変わらないため Crosswind: 自車は誘導経路を維持、他車は横速度が変化するため Coefficient of friction: 自車は誘導経路、制動時はブレーキ性能 (ABS,EAB) に関わるため除外 External force: 自車は誘導経路を維持する 従って、交通流と組み合わせる必要がない	✓
Tire input	Road surface condition	Coefficient of friction		✓
		External force		✓
	Tire condition	Puncture	N/A (機能要件) 制御不能 (リム接地) になるまでの時間内でパンクを検知する	

Pass/Fail



No lane departure because of combination of reasonably foreseeable stability disturbance worst case.

図 37. 車両運動外乱の安全判定フロー

### 3 シナリオベースの安全保証プロセス

図 38 は、先進運転支援システム(ADAS)および AD システムの開発に一般的に適用されるプロジェクトマネジメントである V 字モデルに基づく、開発および生産サイクルにおける全体的な安全保証プロセスの概略図である。検証をV字右側の開発後半のみに行うのではなく開発前半の企画フェイズからODDに即したセンサセットアップの検討やソフトのアジャイル検証プロセスに組み込むことによって、開発の効率化にも寄与可能である。

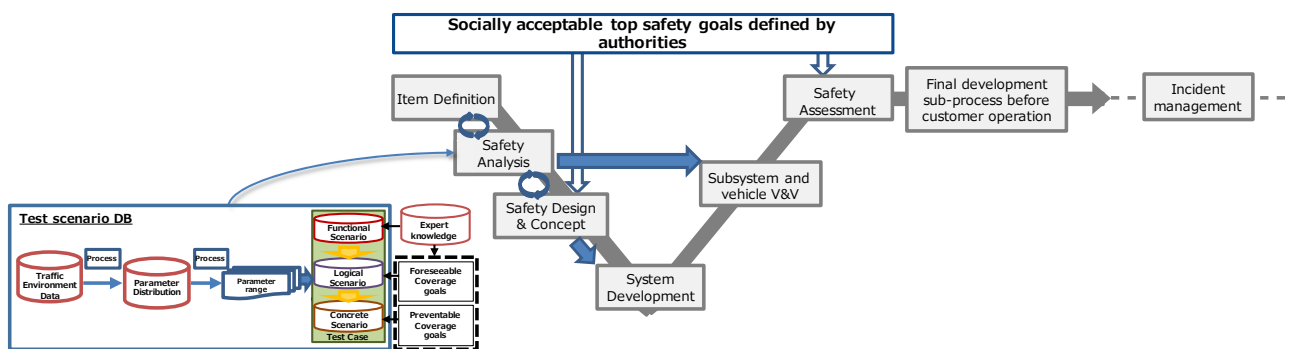


図 38. 安全保証プロセスの全体スキーム

#### 3.1 安全保証のスキーム(V 字モデルのステップ)

##### 3.1.1 アイテム定義

安全保証プロセスは、事前に決定された自動運転車両の運行範囲内において安全目標に適合させるものである。自動運転車両の運行範囲は運行設計領域(ODD)として初期段階で定義される。ODD の内容には、少なくとも、道路の種類、道路内の位置、車速範囲、および環境条件などの情報が含まなければならない。また、ODD 境界の外側へ遷移するためのフォールバック戦略も設計される必要があり、AD システムは、定義された ODD 内で動作しているかどうかを検出する必要がある。ODD の定義は、ユーザに通知され、AD システムを理解し信頼し、操作できるように構成されなければならない(Khastgir, Birrell, Dhadyalla, & Jennings, 2018)。

なお、図 39 に示すようにODD体系とシナリオ体系をマッピングしておくことで、ODD範囲に即して評価シナリオを選択することができる。

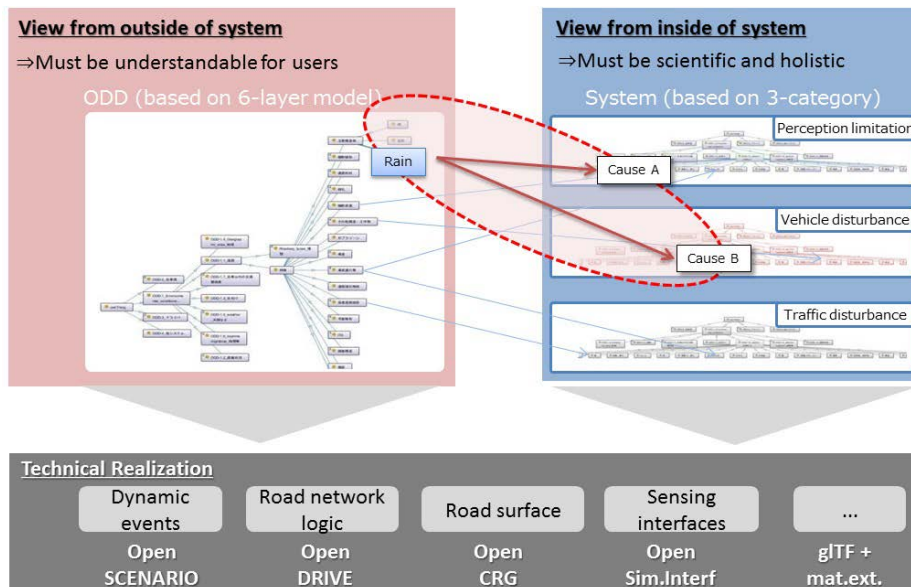


図 39. ODD シナリオ分類と 3 カテゴリシナリオモデルに基づくシステムレベル分類の関係図

### 3.1.2 安全分性

可能な限り多くの予見可能なシナリオを決定し、運行設計領域(ODD)と車両とその周辺に関する詳細なシナリオ関連情報を体系化するために、系統的組合せアプローチを適用した ODD の全体的な定義に加えて、システムの物理学に基づく ODD の技術的に包括的な定義が重要である。例えば、「降雨」という用語は、降雨条件が ODD に含まれている場合にユーザと意思疎通するには十分であるが、AD システム自体は、同様に概念を解釈することができない。このシナリオは、代わりに、雨滴がセンサ性能に及ぼす可能性のある影響、または降雨が車両ダイナミクスに及ぼす影響(タイヤと湿った路面との間の摩擦係数の低下)など、システムの物理学の観点から雨の影響を考慮することができる。ODD を技術的およびシステム指向の方法で記述するために、システムの物理学に関連する 3 つのカテゴリで分類する。これらのカテゴリは、AD システムの安全分析内で起こり得る認識系、交通流、および車両自体に関連するそれぞれの外乱をカバーする(図 2)。

### 3.1.3 安全設計と安全コンセプト

システム要件は、安全解析ステップに基づいて作成すべきである。この工程で、当局によって定義された安全目標も、開発サイクルに組み込まれ、システム設計において検討される。複雑さの異なる層が安全設計に加えらるので、安全分析サイクルは、それらのアウトプットが安全分析ステップに従う限り、この工程と先行工程との間で必要に応じて統合され得る。システム開発プロセスにおける不必要な仕様変更を回避するために、ODD とシステム要件との間の適合性の確保が重要である。これは、安全分析ステップの役割と重要性を示す。

### 3.1.4 システム開発

システム設計が完了し、その安全性が分析されると、ソフトウェアとハードウェアの両方の構成要素を含む実際のシステムが開発される。

### 3.1.5 サブシステムと車両の検証と妥当性確認

この時点で、ドライバとの相互作用なしに、システムと車両の安全性を検証および妥当性確認する戦略を定義する。これらの検証と妥当性確認は、集中的な仮想評価と、実交通環境やテストコースにおける比較的限られた量の物理テストを組み合わせることになる。

検証のサブプロセスでは、システム、開発機能及び適用された安全対策の数学的および物理的な正確さをチェックする。また、安全分析工程(センサ、アルゴリズム、アクチュエータ関連対策の充足度)で策定された安全仕様と要求事項が全て満たされていることを確認する。

妥当性確認のサブプロセスは、適用された安全対策を含むシステムとコンポーネントが、交通参加者に不合理なリスクをもたらさないことを確認する。また、定義した妥当性確認の目標が達成されたことを確認することによって、AD システムの安全性を実証する。

### 3.1.6 安全アセスメント

最終製品の合否を判定するためのテストは、この工程で行うものとする。これらには、関連する審査、文書化チェックおよび認証が含まれる。

### 3.1.7 リリース前の最終確認プロセス

リリース前の最終確認プロセスは、AD システムの安全性が説明できること、および残存リスクが許容範囲内にあることを確認する。これは、例えば、行動安全アセスメント(BSA)のような技術を使用して行うことができる。BSA は、異なる測定基準を適用することにより、個々のテストケースにおける AD システムの評価に焦点を当て、事前定義された行動基準との AD 適合性を確認する。最後に、結果をレビューする際に、システムをリリースできるか否かについての決定がなされ、リリース後のインシデント管理戦略が設計される。

### 3.1.8 インシデント管理

インシデント管理の工程では、パフォーマンスデータが安全保証プロセスにフィードバックされる。これは、AD 技術の改善を可能にし、時間の経過とともに「予測不可能な」状況の数を減少させる。この減少の結果、2 つの左象限間の閾値はシフトし、予測可能なシナリオに有利になるように、それらの間の境界線を下げることが期待される(図 40 参照)。同じ論理に従い、防止可能なシナリオと防止不可能なシナリオとの境界線も右にシフトし、左上の象限を拡大することが期待される。これは、より多くのシナリオが防止可能になるにつれて起こる可能性が高い。

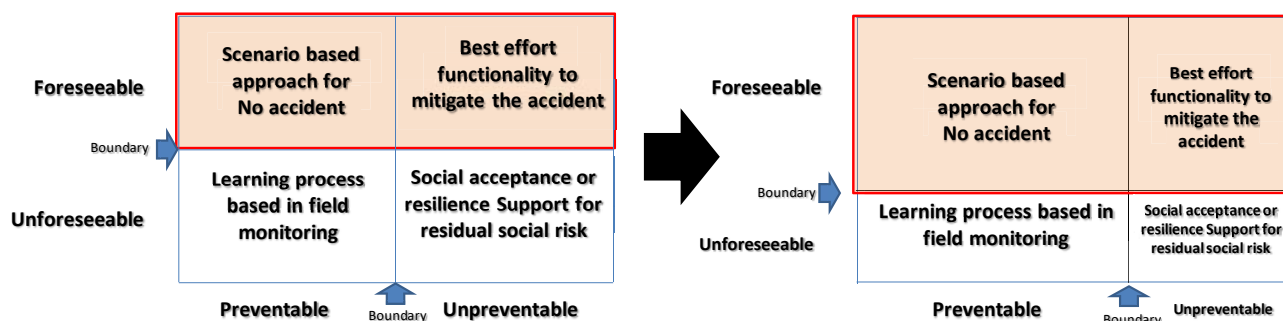


図 40. AD システムの進化による予見可能性と防止可能性領域の広がり

## 4 Scenario Structure(シナリオ体系)

全てのシナリオは、すべての可能な要素とそこから導出される組合せを定義するための体系的組合せアプローチを適用することにより構築される。このアプローチには、安全カバレッジ目標の検討と同様に、すべての要素とその間の依存関係を定義するために、多大な専門的な尽力が必要である。従って、情報と関連する要素を構造化するための系統的な標準化方法論が必要である。前述の通り、シナリオの構造はシステムの物理に関連した 3 つの異なるカテゴリに対する起こりうる外乱である認識不調、交通外乱、車両運動外乱を考慮して作成される。

### 4.1 交通外乱シナリオ

交通外乱シナリオは、道路形状、自車の動作、および周囲車両の位置と動作の組み合わせにより危険につながる可能性のある交通状況を表現する。交通シナリオは、一般的な車両シナリオ(四輪車と二輪車を含む)と二輪車固有シナリオに分類される(図 41)。

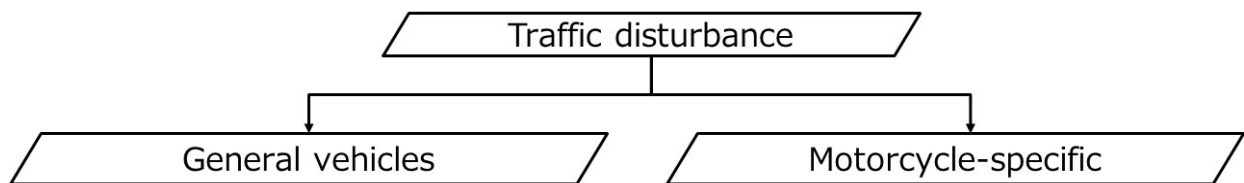


図 41. 交通外乱シナリオ分類

#### 4.1.1 一般車両シナリオ

一般車両の交通外乱シナリオは、道路の幾何学的形状、自車両の動作、ならびに周囲の車両の位置および動作の、要素の異なる組合せを体系的に分析および分類することによって生成される(図 42)。

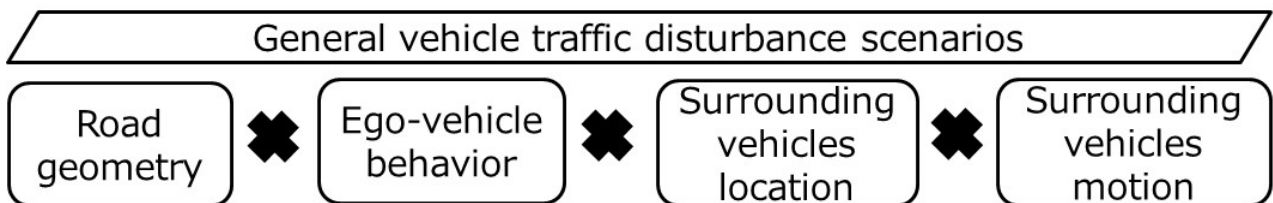


図 42. 一般車両交通外乱シナリオ構造図

##### 4.1.1.1 道路形状分類

シナリオを作成するために、道路形状を本線、合流、分岐、およびランプの 4 つのカテゴリに分類する。シナリオ作成のための道路シナリオ分類は、国際的に高速道路(Association, 2004) (Transportation, 2008; UK, 2006)に適用できるように議論が必要である。

##### 4.1.1.2 自車動作分類

隣接レーンまたは合流レーンからのレーンチェンジは、道路形状カテゴリは異なるものの、自車の挙動としては同じレーンチェンジである。レーンキープについても同様である。したがって、発生する可能性のある自車動作は、レーンキープとレーンチェンジの2つのカテゴリに分類される。この車両動作の分類は、前述の道路形状の情報の組み合わせで表現される(図 43)。






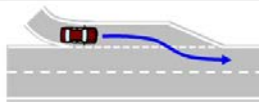

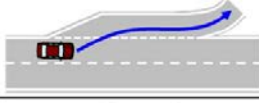


		Ego-vehicle behavior	
		Lane keep	Lane change
Road geometry	Main road	 Free driving Following	 Lane change Overtaking
	Merging zone	 Being merged	 Merging
	Departure zone	 Being merged	 Departure
	Ramp	 Free driving Following	 Lane change Overtaking

図 43. 道路形状と自車の挙動パラメータ

#### 4.1.1.3 周辺車両の位置及び動作の分類

シナリオ構造において考慮されるべき自車周囲の車両の位置は、自車の走行軌跡に侵入する可能性がある自車周囲の 8 方向の隣接位置で定義する。また、先行車と先々行車の速度差が大きい場合には、衝突を避けるために先行車はカットアウトをする場合がある。カットアウトが突然発生した場合、自車は衝突回避のための行動をとる必要があるかもしれない。このシナリオを考慮するために、先行車両の前方の車両の位置を考慮し、「+1」として示す(図 44、左)。

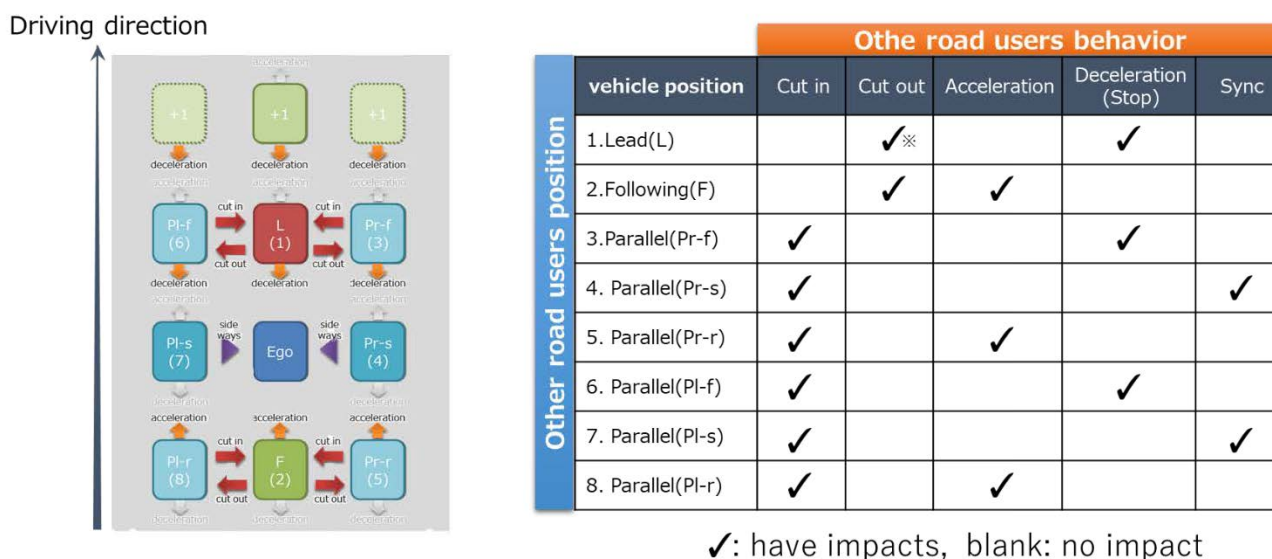


図 44. 周囲の車両位置(左)と、周囲の車両位置と自車の障害となる可能性のある運動の組み合わせ(右)

周囲車両の動作を、カットイン、カットアウト、加速、減速、同期の 5 つのグループに分類する。安全性評価の観点からは、自車の動きを妨げる可能性のある交通参加者の動きに焦点を当てることにより、評価の回数を最小限に抑えることが可能である(図 44、右図)。例えば、位置 5、2、および 8 の車両の減速は、自車を妨害することではなく、安全分析の対象から除外することができる。図中のチェックマークは、対応する周囲

車両の位置と動作の組み合わせが自車の走行に影響を及ぼす可能性があるケースを示しており、安全分析で考慮する必要がある。

#### 4.1.1.4 結果として生じる交通外乱シナリオ

これまでに述べたシステム化プロセスの結果として、道路形状、自車動作、周囲の車両位置と動作の組合せとしてシナリオを構造化する方法論を提案した。この構造は、合計 40 の可能な組み合わせを含むマトリックスで構成されており、32 の組み合わせは、実際の交通流で実現可能なテストシナリオに対応している(図 45)。高速道路における事故につながる可能性のあるすべての危険な事例をカバーするこれら 32 件の事例の充分性は、比較事故分類(Annex D)に基づいて評価することができる。このマトリックスは、2 つの車両間の相互作用のための交通外乱の包括的なカバー範囲を扱う。二輪車(Annex B)、または複数の車両を同時に巻き込むより複雑なシナリオについては、追加シナリオを考慮する必要があるかもしれない(Annex C)。



## Surrounding vehicles position & motion

Road geometry	Ego-vehicle behavior					
		Cut in	Cut out	Acceleration	Deceleration (Stop)	Sync
Main roadway	Lane keep	No.1	No.2	No.3	No.4	
	Lane change	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
Merging zone	Lane keep	No.10				No.11
	Lane change	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16
Departure zone	Lane keep	No.17				No.18
	Lane change	No.19	No.20	No.21	No.22	No.23
Ramp	Lane keep	No.24	No.25	No.26	No.27	
	Lane change	No.28	No.29	No.30	No.31	No.32

図 45. 一般車両の交通外乱シナリオ

#### 4.1.2 二輪車特有のシナリオ

一般に、先に説明した周囲の車両位置および動作の分類(図 44)は、四輪車および二輪車に適用される。しかしながら、場合によって二輪車は、自転車と同じ車線内の狭いスペースを走行する可能性があり、追加の安全評価シナリオが必要となる。これらのシナリオは、このような走行が法律で許可されている国でのみ発生する可能性があるため、詳細な例を含むアプローチは Annex B に記載されている。

#### 4.1.3 複数の車両の動作の繋がりの結果として生ずるシナリオ

提案した交通外乱シナリオ構造では、自転車と 1 つまたは 2 つの周囲車両との間の関係をカバーした。しかし、実際の交通では、多数の交通参加者が様々な時に様々な行動を行う。現在の方法論は、周辺車両の急制動が自転車からの一連の回避制動を引き起こすシナリオを抽出することによって、これらの複雑なケースを網羅する。これらのタイプのシナリオを一連の動作に分割することにより、自分と周囲の車両の位置と動作の複数の組み合わせを安全解析でカバーすることができる。これはまた、このシーケンス中に現れる可能性のある他の車両によるカットインシナリオに対する道路環境の影響を考慮に入れることで実現できる。例えば、先行車両が突然の減速運動を行う場合(シーケンスの第 1 の動作)、自転車による回避動作が発生し(第 2 の動作)、自転車周囲の回避エリアに後退する。詳細な例を含む複雑なシナリオへのアプローチに関する詳細は、Annex C に示されている。

## 4.2 認識外乱のシナリオ

認識外乱シナリオには、認識外乱の他に、死角シナリオ及び通信外乱シナリオも含まれる(図 46)。

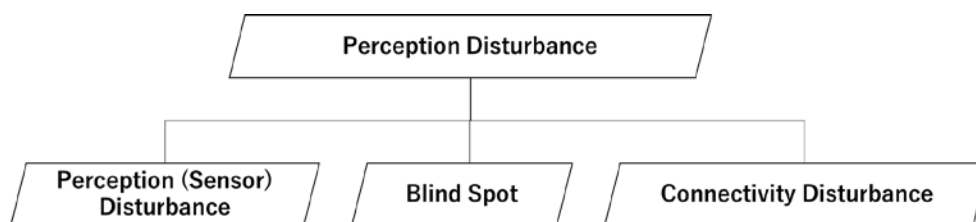
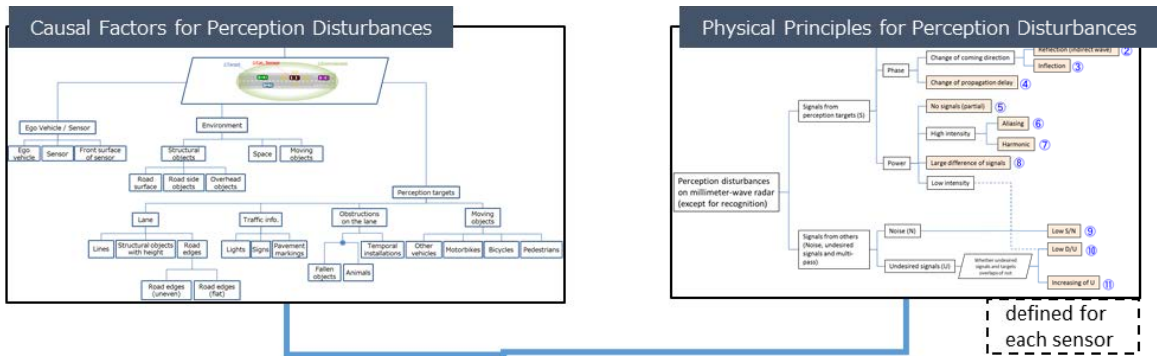


図 46. 認識外乱シナリオの分類

### 4.2.1 認識外乱シナリオ

認識外乱とは、自動運転システムが対象物を認識する状況において認識性能に悪影響を与えるものを言う。認識外乱シナリオは、外乱を引き起こす要因と、外乱を生じるセンサの原理とに基づいて生成される。外乱の要因は多岐にわたるが、発生原理に基づいて要因を分類し、同一の分類となるものの中からその代表要因を選ぶことで、認識外乱全体を包含するシナリオ群を選出することができる。さらに、選出された各外乱要因について発生原理に基づき必要な組み合わせを考慮すれば、認識外乱の組み合わせ評価シナリオも生成することができる。本稿では、ミリ波レーダー・LiDAR・カメラの3種類のセンサについて認識外乱シナリオを記述する。(図 47)



**Holistic and Finite Scenario extraction based on the cross check of Causal Factors and Physical Principles**

Causal Factors	Ego vehicle / sensor	Environment	Physical Principles (perception of signals / sensor orientation)										Physical principles (Recognized) items				
			Signals from perception targets (S)														
			Frequency	Phase	Power	Signals from others (U)	Physical principles (Recognized) items										
Millimetre-wave Radar			Change of coming direction	Reflection (corner reflector)	Change of propagation delay	Infection	No signals (partial)	High intensity	Aliasing	Harmonic	Large difference of signals	Noise (N)	Undesired signals (U)	Low S/N	Low DU	Increasing of DU	Items
Ego vehicle	Change of car posture																
Sensor	Fluctuation in assembly																
FRONT surface of sensor	Fluctuation of sensor itself																
Structural objects	Existing objects																
Road surface	Change in characteristics																
Roadside objects	Shape																
Overhead objects	Road condition																
Space	Height																
Moving objects	Reflection																
Lines	Screen																
Structural objects with height	Background																

➤ ODD definition

**Example of Perception Disturbance Scenario Catalog**

Principle 1	Principle 2	Principle 3	Principle 4	...													

図 47. 認識外乱要因とセンサ原理とに基づいたシナリオ導出プロセス

#### 4.2.1.1 認識外乱要因

認識外乱の要因は、まず自車両との位置関係から「車両・センサ」、「周辺環境」および「認識対象物」の 3 つに大別でき、それぞれがさらに詳細に且つ、各階層において網羅的に分解・分類されて認識外乱要因体系を構成する。ここでは例えば、構造、相対位置、種別などの視点で要因をブレイクダウンしていき、最終的には色、形状、材質、挙動などの階層まで分類を続けていく。

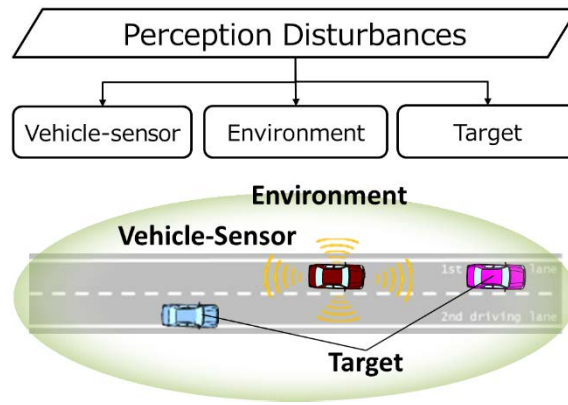


図 48. 自車両との位置関係による認識外乱要因の大分類

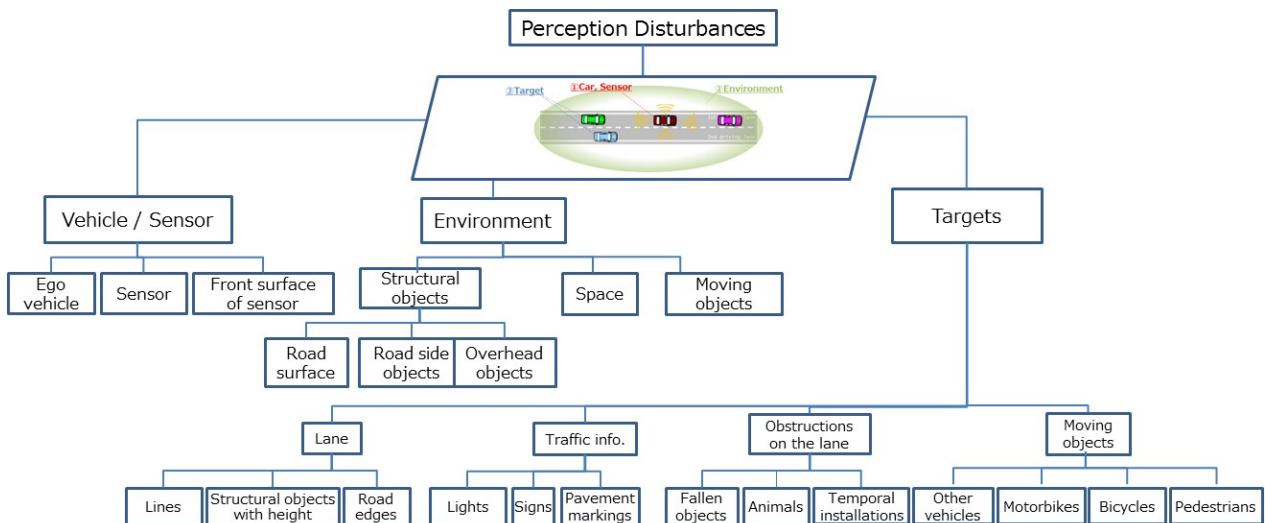


図 49. 認識外乱要因の体系図

#### 4.2.1.1.1 認識外乱要因:車両・センサ

「車両・センサ」に分類される認識外乱要因は、その要因が存在する位置により「a.自車両」、「b.センサ」および「c.センサ前面」の3つに分解される。

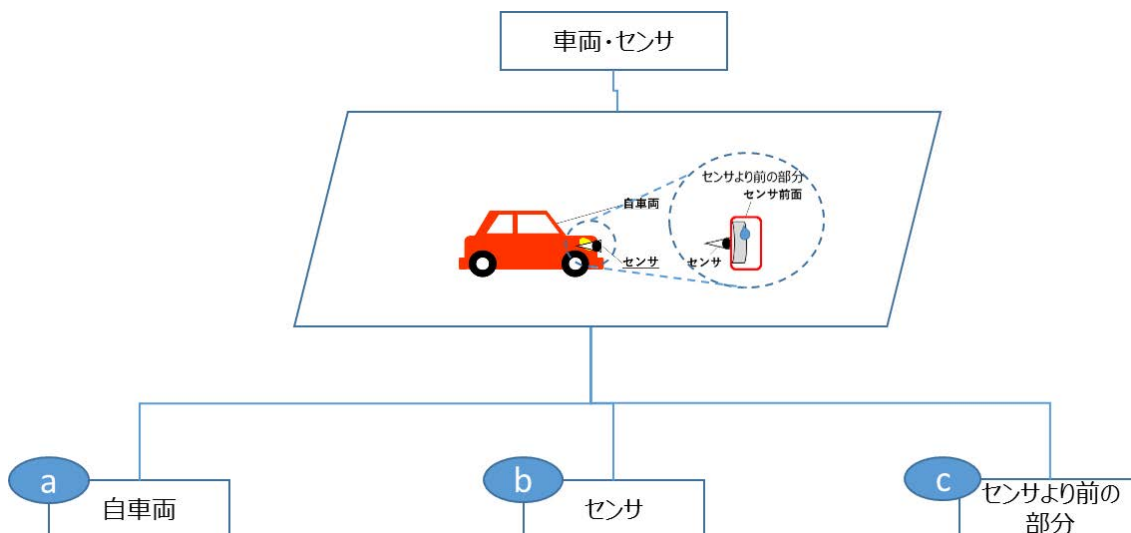


図 50. 車両・センサの分類

a, b, c それぞれに分類される認識外乱要因の詳細を、表 3～表 5 に示す。これらの表では、各センサにおける認識外乱要因の詳細分類・認識性能への影響・認識外乱の発生原理がそれぞれ記述されている。

表 3. 「a.自車両」の外乱要因

a 自車両		Millimeter waves	LIDAR	Camera
Influence on sensor principle	Class:	車両姿勢変化		
	Influence:	<ul style="list-style-type: none"> <li>レーダの方向が変わることによる方位精度の低下</li> <li>レーダの方向が変わることによるFOV変化</li> <li>路面を障害物として誤認識</li> </ul>	路面を障害物として誤認識 LIDARは車体に固定して取付けられることが想定されている。そのため、車両姿勢の変化により視野が影響を受ける。	搭載位置・向きの変化により測位精度低下 映像の上下動による認識率低下 旋回等で画像が大きく流れ認識率低下
	Principle:	低S/N 低D/U U増大	車両姿勢	(車両システム) 画像ブレ・流れ



表 4. 「b.センサ」の外乱要因

b センサ

Influence on sensor principle	Millimeter waves		LIDAR		Camera	
	搭載ばらつき	センサ本体の不調	搭載ばらつき	センサ本体の不調	搭載ばらつき	センサ本体の不調
Influence	・死角の発生 ・直接波と内部反射波の干渉による方位精度の低下 ・軸ズレによる方位精度の低下	・受信強度低下による最大検知距離低下 ・センサの特性変化に伴う位相、周波数変化	・死角の発生 ・光軸、搭載位置による角度ズレ	光路に使用される部品の経年劣化ともなう著しい透過効率低下が生じた場合、射出光量や受信できる反射光量が低下し性能が低下する。	センサ検知範囲異なり死角が発生 光軸、搭載位置による測位精度低下	設計誤差以上に画像上の位置や色味がずれる レンズ歪みによる認識率・測位精度低下 レンズ鏡筒内反射の影響で認識率低下 レンズ周辺減光により認識率低下 画素欠陥で画像上の一部情報欠損 イメージセンサ性能劣化(熱雑音、感度特性) 演算性能限界で認識率低下
Principle	伝搬遅延変化 屈折 低S/N 低D/U U増大	周波数変化、屈折 伝搬遅延変化 折り返し 高調波 低S/N、U増大	遮蔽によるS無し Sの飽和・Sの減衰 多重反射・屈折 認識対象外からの信号(反射) 認識対象外からの信号(屈折)	Sの減衰	S無し(部分的) (認識)	S変化 屈折、反射、S弱すぎ S無し(部分的) S/N低下 (認識)

表 5. 「c.センサ前面」の外乱要因

c センサ前面

Influence on sensor principle	Millimeter waves		LIDAR		Camera		
	付着物	特性の変化	付着物	特性の変化	付着物・障害物	特性の変化	映り込み
Influence	・受信強度低下による最大検知距離低下 ・付着物での反射波と直接波の干渉による方位精度の低下	・受信強度低下による最大検知距離低下 ・センサ前面の特性変化での反射波と直接波の干渉による方位精度の低下	受信信号強度低下により、最大検知距離の低下 付着物を検出することによる信号飽和 センサ付着物(油膜等)による角度ズレ	透過率の低下による受信信号強度の低下。 白濁等によってセンサ前面を検出する事による信号飽和。 センサ前面の歪みによる角度ズレ。	フロントガラス付着物による映り込みで認識率低下 ワイパによる遮蔽で認識率低下 雨滴、ワイパ等のノイズで、認識率低下。 遠方車両が雨滴と重なって、最大検知距離が低下。	設計誤差以上に画像上の位置や色味がずれる フロントガラスによる歪みによる認識率、測位精度低下 フロントガラスの破損による認識率低下	映り込みを誤認識
Principle	伝搬遅延変化 屈折 低S/N	伝搬遅延変化 屈折 低S/N	Sの減衰・屈折・遮蔽によるS無し 認識対象外からの信号(反射) 認識対象外からの信号(屈折)	Sの減衰・屈折・遮蔽によるS無し 認識対象外からの信号(反射) 認識対象外からの信号(屈折)	S無し(部分的) 低S/N 屈折	S変化 屈折 S無し(部分的) 低S/N	低S/N

#### 4.2.1.1.2 認識外乱要因：周辺環境

「周辺環境」に分類される認識外乱要因は、自車周辺に存在するものの性状から「d.周辺構造物」、「e.空間」および「f.周辺移動物」の3つに分解され、「d.周辺構造物」については自車との位置関係に基づき、さらに「d-1.路面」、「d-2.路側構造物」および「d-3.上方構造物」の3つに分解される。

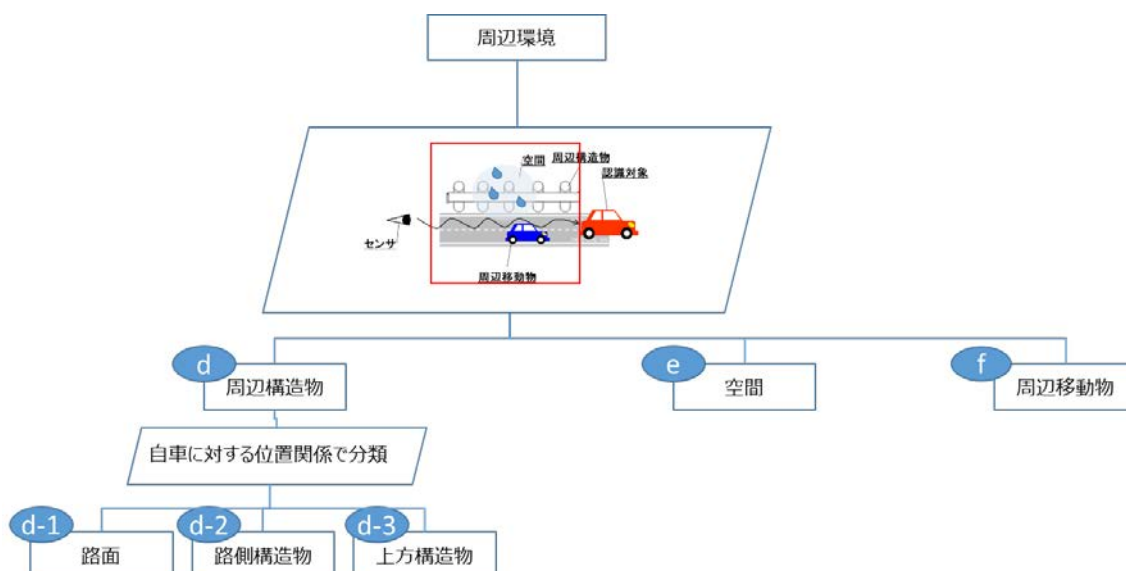


図 51. 周辺環境の分類

d-1, d-2, d-3, e, f それぞれに分類される認識外乱要因の詳細分類・認識性能への影響・認識外乱の発生原理を、表 6～表 8 に示す。

表 6. 「d-1. 路面」の外乱要因

d-1 路面

	Millimeter waves			LiDAR			Camera		
	形状	路面状態	材質	形状	路面状態	材質	形状	路面状態	材質
Influence on sensor principle	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路勾配により前送方車両がFOVから外れる</li> <li>道路勾配により前送方車両が消失/出現する</li> <li>勾配路面を前方静止物と認識する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>路面の反射特性の変化により路面マルチパスが変化し信号強度が低下する</li> <li>路面からのクラッタが上昇する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>路面の反射特性の変化により路面マルチパスが変化し信号強度が低下する</li> <li>路面からのクラッタが上昇する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>道路勾配により前送方車両がFOVから外れる</li> <li>道路勾配により前送方車両が消失/出現する</li> <li>勾配路面を前方静止物と認識する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>路面にアイスバーンや水たまりなど反射特性の高い状態の時、確点が発生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>反射特性の違いにより、路面の一部を検出し、障害物と誤認。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>下り手前で視界から外れて、未検知</li> <li>上り手前での対象物の形状変化</li> <li>カントによる画像上の傾きの変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水たまり等への映り込みを誤認識。</li> <li>道路修復後や轍、影を誤認識</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>マンホールなどを落下物と誤認識する。</li> <li>横断方向のつなぎ目を停止線と誤認識する。</li> <li>路面標識を区画線と誤認識</li> </ul>
Principle	低D/U U増大 低S/N	低D/U U増大	低D/U U増大	認識要因	反射 多重反射	認識要因	S無し(部分的) (認識)	S変化 反射 低D/U、低S/N (認識)	低D/U 低S/N (認識)

表 7. 「d-2. 路側構造物」の外乱要因

d-2 路側構造物

	Millimeter waves			LiDAR			Camera		
	反射	遮蔽	背景	反射	遮蔽	背景	反射	遮蔽	背景
Influence on sensor principle	<ul style="list-style-type: none"> <li>マルチパスによるゴースト発生</li> <li>FOV外の物標の折返しゴースト発生</li> <li>同一距離複数物標時に水平方位精度の悪化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>側壁等によるFOVの一部欠損</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>反射して見える物体を誤認識</li> <li>路側にある反射率の高い物体(アリエータ等)を車両と誤認識</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象物の前に存在する物体が対象物の一部を隠す</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>反射して見える物体を誤認識</li> <li>反射性の高い物体の見かけの変化で誤認識</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象物の前に存在する物体が対象物の一部を隠す</li> <li>透明物の影響で対象物が見えづらい、あるいは色の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象と背景のコントラスト不足</li> <li>背景を対象物と誤る</li> </ul>
Principle	反射(間接波) 折返し 低D/U U増大	Sなし(部分的) 低S/N		反射 多重反射 認識要因	遮蔽によるS無し		反射 S変化	S無し(部分的) S変化	低D/U (認識)

表 8. 「d-3. 上方構造物」の外乱要因

d-3 上方構造物

	Class.	Millimeter waves			LIDAR			Camera		
		反射	遮蔽	背景	反射	遮蔽	背景	反射	遮蔽	背景
Influence on sensor principle	Influence	・垂直方位分解能不足 対象物の前に存在する物体が対象物の一部を隠す	対象物の前に存在する物体が対象物の一部を隠す	カーブなどに設置されたミラーは非常に高い指向性を持つ反射特性のため、ミラー自体の検出ではなく反射光が照射された物質を誤検出する可能性が考えられる。上方にある反射率の高い物体(方面看板等)を車向と誤認識	対象物の前に存在する物体が対象物の一部を隠す			反射して見える物体を誤認識 反射性の高い物体の見かけの変化で誤認識	対象物の前に存在する物体が対象物の一部を隠す 透明物の影響で対象物が見えづらい、あるいは色が変化	対象と背景のコントラスト不足 背景を対象物と誤る
	Principle	U増大	S無し(部分的)		反射 多重反射 認識要因	遮蔽によるS無し		反射 S変化	S無し(部分的) S変化	低D/U (認識)

表 9. 「e. 空間」の外乱要因

e 空間

	Class.	Millimeter waves		LIDAR		Camera	
		空間障害物	空間中の電波・光	空間障害物	空間中の電波・光	空間障害物	空間中の電波・光
Influence on sensor principle	Influence	・受信強度低下による最大検知距離低下 ・飛来物によるFOVの一部または全部欠損 ・飛来物を認識対象物と誤認識	・干渉によるノイズフロアの上昇 ・干渉信号を認識対象物からの反射と誤認識	天候による空間障害物の影響確認 雨などは光路上の障害物となるため、反射光の低下による測距性能劣化が想定される	・西日、逆光等で黒つぶれが発生 ・背景光増加によるノイズ増加 ・他社LIDARによるパルス状ノイズ	空間障害物による対象物の隠れ 半透明空間障害物の向こう側の色等の変化 反射性空間障害物の色等の変化 雨、雪による画像ノイズ、コントラスト低下で認識不良 飛来物を別の障害物と誤認識	薄暮、夜間で光量不足により認識率低下 局所的に光源が強く白飛びが発生 西日、逆光等で黒つぶれが発生 光源の色で対象・背景の色が変化 光源の影響で対象物のコントラスト低下 強い光源(逆光)でフレア・スマアが発生
	Principle	Sなし(部分的) 低S/N U増大	低D/U U増大	Sの減衰 遮蔽によるS無し 認識対象外からの信号(反射) 認識対象外からの信号(屈折) 認識要因	DC的なノイズ パルス状のノイズ 認識要因	S無し(部分的) S変化 低D/U 低S/N (認識)	S弱すぎ S強すぎ S強度差大 S変化 低D/U 低S/N

表 10. 「f. 周辺移動物」の外乱要因

f 周辺移動物

		Millimeter waves			LIDAR			Camera		
Influence on sensor principle	Class	反射	遮蔽	背景	反射	遮蔽	背景	反射	遮蔽	背景
	Influence		・レーティング/高調波/位相雑音/サイドロープによるゴースト発生 ・強反射の周辺にある反射信写の精度低下			・表面の反射による偽点の発生			鏡面仕上げの塗装への映り込みを誤認識 光沢性のある塗装への映り込みを誤認識	
Principle		折返し 高調波 低D/U U増大			反射 多重反射 認識要因			反射 S変化		低D/U (認識)

4.2.1.1.3 認識外乱要因: センサの認識対象

「センサの認識対象」に分類される認識外乱要因は、認識すべき情報の種別から、「g. 走路」、「h. 交通情報」、「j. 路上障害物」および「k. 移動物」に大別される。(図 52)。

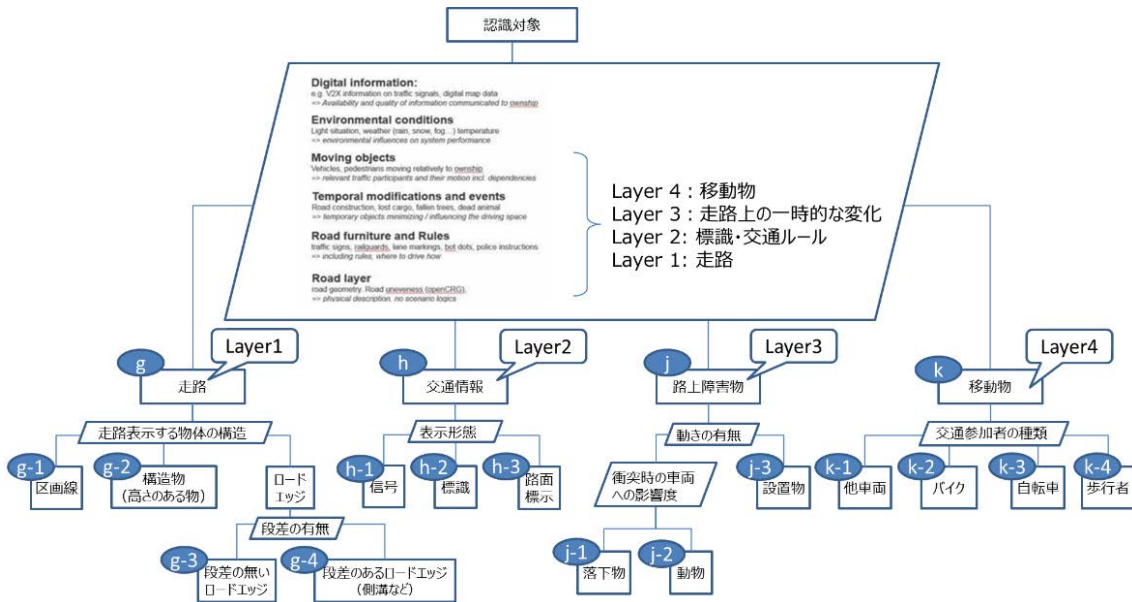


図 52. センサ認識対象の分類

「g. 走路」は、その場所が走路であることを示す物体の構造から、「g-1. 区画線」、「g-2. 高さのある構造物」とロードエッジとに分類され、ロードエッジはさらに段差の有無で g-3 と g-4 とに分類される(図 53)。

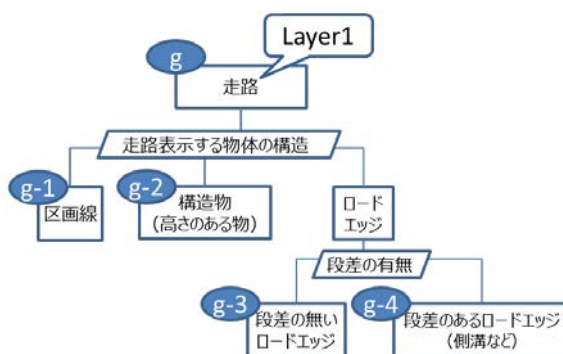


図 53. 「g. 走路」の分類

「h. 交通情報」は、その表示形態の違いから、「h-1. 信号」、「h-2. 標識」および「h-3. 路面標示」に分類される(図 54)。

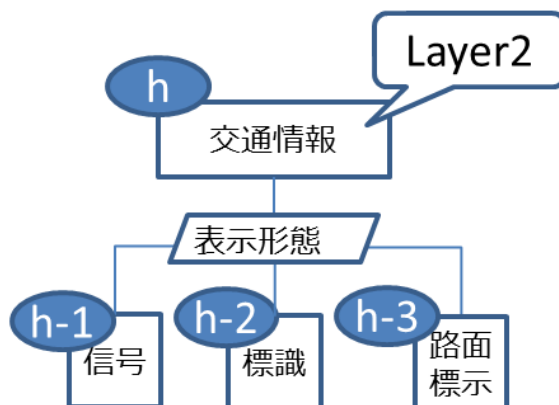


図 54. 「h. 交通情報」の分類

「j. 路上障害物」は、動きの有無および車両と衝突した場合の影響度の大きさから、「j-1. 落下物」、「j-2. 動物」および「j-3. 設置物」に分類される(図 55)。

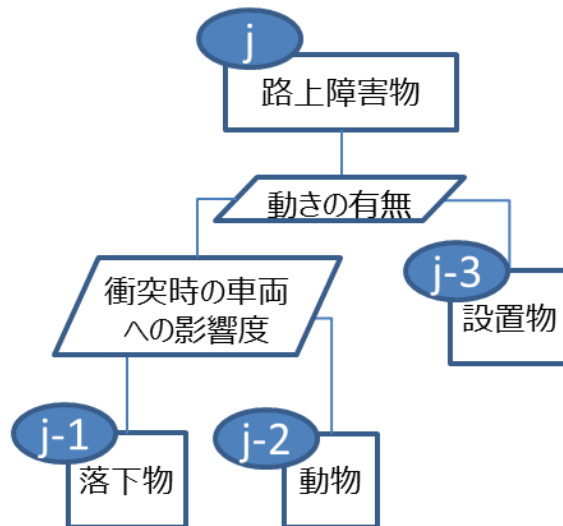


図 55. 「j. 路上障害物」の分類

「k. 移動物」は、交通参加者の種類として「k-1.他車両」、「k-2.バイク」、「k-3.自転車」および「k-4.歩行者」に分類される(図 56)。

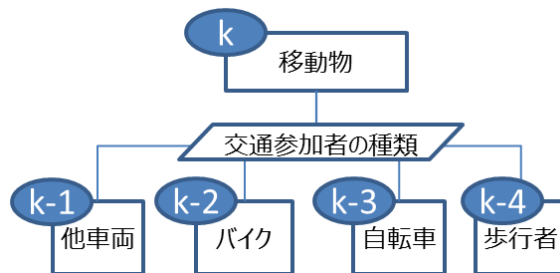


図 56. 「k 移動物」の分類

g-1 ~ k-4 それぞれに分類される認識外乱要因の詳細分類・認識性能への影響・認識外乱の発生原理を、表 11~表 14 に示す。

表 11. 「g-1. 区画線」の外乱要因

		Millimeter waves				LIDAR				Camera			
Class.	Influence on sensor principle	色・材質	形状	汚れ・損れ	相対位置	色・材質	形状	汚れ・損れ	相対位置	色・材質	形状	汚れ・損れ	相対位置(*)
		Principle	認識要因	認識要因	Sの減衰 遮蔽によるS無し	空間全体の位置ずれ 認識要因	低D/U (認識)	(認識)	S無し(部分的) 低S/N	画像ブレ・流れ (認識)			

表 12. 「g-2. 構造物(高さのある物)」の外乱要因

		Millimeter waves				LIDAR				Camera			
Class.	Influence on sensor principle	色・材質	形状	汚れ	相対位置	色・材質	形状	汚れ	相対位置	色・材質	形状	汚れ	相対位置
		Principle	材質により反射強度が低下	形状/大きさ/向きにより、反射強度が低下あるいは増加	汚れにより、反射強度低下	FOVの端で信号強度が低下	材質により反射強度が低下あるいは増加	形状/大きさ/向きにより、反射強度が低下あるいは増加	汚れにより、反射強度低下	自車移動による認識対象の位置ずれ	背景とのコントラスト不足で認識不良発生 壁の絵や模様で検知・認識不良発生	認識想定外の形状で検知・認識不良発生	汚れや模様等を物体と誤認識



表 13. 「g-3. 段差の無いロードエッジ」の外乱要因

g-3 段差の無いロードエッジ

	Millimeter waves				LIDAR				Camera			
	色・材質	形状	汚れ	相対位置	色・材質	形状	汚れ	相対位置	色・材質	形状	汚れ	相対位置
Influence on sensor principle	・材質により反射強度が低下	・形状／大きさ／向きにより、反射強度が低下	・汚れにより、反射強度低下	・FOVの端で信号強度が低下	・反射強度の異なる路面をロードエッジと誤認識	・形状／大きさ／向きにより、反射強度が低下	・積雪・落ち葉などで隠れにより認識不良	・白車移動による認識対象の位置ずれ	・色の異なる路面をロードエッジと誤認識	・走行すべき範囲外の路面形状が認識想定外	・積雪・落ち葉などで隠れにより認識不良	・（走行中において）画像流れが大きく認識不良 ・画像周辺部の歪みの影響で認識不良
Principle	低S/N	低S/N	低S/N	低S/N	認識要因	Sの減衰	Sの減衰 遮蔽によるS無し	空間全体の位置ずれ 認識要因	低D/U（認識）	低D/U（認識）	S無し（部分的）	画像ブレ・流れ（認識）

表 14. 「g-4. 段差のあるロードエッジ」の外乱要因

g-4 段差のあるロードエッジ

	Millimeter waves				LIDAR				Camera			
	色・材質	形状	汚れ	相対位置	色・材質	形状	汚れ	相対位置	色・材質	形状	汚れ	相対位置
Influence on sensor principle	・材質により反射強度が低下	・形状／大きさ／向きにより、反射強度が低下	・汚れにより、反射強度低下	・FOVの端で信号強度が低下	・材質により反射強度が低下	・形状／大きさ／向きにより、反射強度が低下あるいは増加	・汚れにより、反射強度低下	・白車移動による認識対象の位置ずれ	・ロードエッジ部分のコントラスト不足で認識不良発生	・凹みの幅や段差が小さく見えにくい ・走行すべき範囲外の路面形状が認識想定外	・積雪・落ち葉などで隠れにより認識不良	・（走行中において）画像流れが大きく認識不良 ・画像周辺部の歪みの影響で認識不良
Principle	低S/N	低S/N	低S/N	低S/N	Sの減衰	Sの減衰 Sの飽和	Sの減衰	空間全体の位置ずれ 認識要因	低D/U（認識）	低D/U（認識）	S無し（部分的）	画像ブレ・流れ（認識）

表 15. 「h-1. 信号」の外乱要因

		h-1	信号					
Influence on sensor principle	Class.	Millimeter waves	LIDAR	Camera				
	Influence			色・材質	形状	光源	汚れ	相対位置
	Principle			(認識)	(認識)	フラッカ 低S/N	S無し (部分的)	低S/N S無し (部分的) (認識)
				・認識想定外の明度・彩度・色相の影響で検知・認識不良発生	・信号の縦型・横型による認識率低下 ・ライズの低い (LED型は小さい) による認識率低下 ・フードの影響を適切に取り扱えず誤認識	・フラッカの影響で認識率低下 ・光源の指向性により (信号の相対的な向きとの関係で) 認識率低下	・雪などで隠れているものは撮像できず検出不良発生	・信号の指向性で点灯の判別を誤る ・一部FOV外となり不検知 ・方位による見かけやレンズ歪に伴う形状の変化による不検知 ・方位により認識すべき信号を誤る

表 16. 「h-2. 標識」の外乱要因

		h-2	標識					
Influence on sensor principle	Class.	Millimeter waves	LIDAR	Camera				
	Influence			色・材質	形状	光源	汚れ	相対位置
	Principle			低D/U (認識)	(認識)	フラッカ	低S/N	画像ブレ・流れ S無し (部分的) (認識)
				・周辺路面とのコントラスト不足で認識不良発生 ・認識想定外の明度・彩度・色相の影響で検知・認識不良発生	・類似形状の文字・数字を誤認識 ・仕向地によって、標識の形状が異なり認識率低下	・電光掲示型標識の撮影に伴うフラッカにより、画像の一部情報が欠落し検知・認識不良発生	・汚れ・汚れによる画像欠落、画像の干渉によって認識率低下	・画像流れが大きく認識不良 ・向きによる形状変化で認識不良 ・位置関係で自車に適用しない標識を自車向けと誤認識

表 17. 「h-3. 路面標示」の外乱要因

h-3 路面標示

	Millimeter waves		LIDAR	Camera			
	Class.			色・材質	形状	汚れ	相対位置
Influence on sensor principle				・周辺路面とのコントラスト不足で認識不良発生 ・認識想定外の明度・彩度・色相の影響で検知・認識不良発生	・認識想定外の形状（未知の表示、太さ、間隔など）で検知・認識不良発生 ・画像の形状により空間形状の誤認識	・隠れているものは撮像できず未認識 ・汚れ・汚れによって認識率低下 ・消した後に誤認識	・（走行中において）画像流れが大き く認識不良
Principle				低D/U (認識)	(認識)	S無し(部分的) 低S/N	画像ブレ・流れ S無し(部分的) (認識)

表 18. 「j-1. 落下物」の外乱要因

j-1 落下物

	Millimeter waves			LIDAR			Camera			
	Class.	色・材質	形状・大きさ	相対位置・挙動	色・材質	形状・大きさ	相対位置・挙動	色・材質	形状・大きさ	相対位置・挙動
Influence on sensor principle		・受信強度低下による最大検知距離低下 ・受信強度のバラつきによる誤認識	・形状／大きさ／向きにより、反射強度低下	・FOVの端で信号強度が低下 ・風等による移動、転がる落下物を誤認識	・材質により反射強度が低下あるいは増加	・形状／大きさ／向きにより、反射強度低下	・自車移動による認識対象の位置ずれ	背景に類似しコントラスト低下で未認識 ・鏡面による反射画像で認識不良 ・発光体による点滅で認識不良 ・発光体・反射材とそれ以外の部分で明暗が大き く認識不良	・FOV内に入る画像情報量の制限 ・見かけの形状や大き さにより認識率低下	・移動により画像ブレ・流れが発生し認識率低下 ・近距離周辺部では画像流れが大き く認識率低下 ・FOVに入る部分が少ない 認識率低下
Principle		低S/N	低S/N	低S/N (認識)	Sの減衰 Sの飽和 反射 多重反射	Sの減衰	空間全体の位置ずれ 認識対象の位置ずれ 認識要因	低D/U、反射、 リフレカ、S強度差大 (認識)	S無し(部分的) (認識)	画像ブレ・流れ S無し(部分的) (認識)

表 19. 「j-2. 動物」の外乱要因

		Millimeter waves		LIDAR			Camera			
Influence on sensor principle	Class.	色・材質	形状・大きさ	色・材質	形状・大きさ	色・材質	形状・大きさ	色・材質	形状・大きさ	相対位置・挙動
	Influence	・体積、体勢により、反射強度低下	・FOVの端で信号強度が低下 ・動物の挙動により認識不調発生	低反射率による受信信号の低下	動物の種類、向きや大きさ姿勢により反射面積に変化による影響	・自車または認識対象の移動による位置ずれ	背景に類似コントラスト低下で未認識 発光体による点滅で認識不良 発光体・反射材とそれ以外の部分で明暗が大きく認識不良	・FOV内に入る画像情報の制限 ・見かけの形状や大きさにより認識率低下	・高速の横断で画像ブレ発生 ・動物の集団行動で、認識率低下	
Principle	—	低S/N	低S/N (認識)	Sの減衰 反射 多重反射	Sの減衰	空間全体の位置ずれ 認識対象の位置ずれ 認識要因	低D/U, フリッカ、S強度差大 (認識)	S無し(部分的) (認識)	画像ブレ・流れ S無し(部分的) (認識)	

表 20. 「j-3. 設置物」の外乱要因

		Millimeter waves				LIDAR				Camera			
Influence on sensor principle	Class.	色・材質	形状・大きさ	汚れ	相対位置	色・材質	形状・大きさ	汚れ	相対位置	色・材質	形状・大きさ	汚れ	相対位置
	Influence	・材質により反射強度が低下	・形状／大きさ／向きにより、反射強度が低下あるいは増加	・汚れにより、反射強度低下	・FOVの端で信号強度が低下	・材質により反射強度が低下あるいは増加	・形状／大きさ／向きにより、反射強度が低下あるいは増加	・汚れにより、反射強度低下	・自車移動による認識対象の位置ずれ	・周辺とのコントラスト不足で認識不良発生 ・鏡面等への映り込み画像で認識不良 ・発光体による点滅で認識不良 ・発光体・反射材とそれ以外の部分で明暗が大きく認識不良 ・認識想定外の明度・彩度・色相の影響で検知・認識不良発生	・FOV内に入る画像情報の制限 ・見かけの形状や大きさにより認識率低下	・汚れによる画像欠落、画像の干渉によって認識率低下	・画像流れが大きく認識不良 ・向きによる形状変化で認識不良
Principle	—	低S/N	新鋭し高調波S強度差大 低D/U 低S/N	低S/N	低S/N	Sの減衰 Sの飽和 反射 多重反射	Sの減衰 Sの飽和	Sの減衰	空間全体の位置ずれ 認識要因	低D/U 反射、フリッカ、S強度差大 (認識)	S無し(部分的) (認識)	低S/N	画像ブレ・流れ S無し(部分的) (認識)

表 21. 「k-1. 他車両」の外乱要因

k-1 他車両

Influence on sensor principle	Class	Millimeter waves				LIDAR				Camera					
		色・材質	部品毎の材質 (塗装・表面性状)	付着物	形状・大きさ	相対位置・挙動	色・材質	部品毎の材質 (塗装・表面性状)	形状・大きさ	付着物	相対位置・挙動	色・材質	形状・大きさ	部品毎の材質 (塗装・表面性状)	相対位置・挙動
Influence	—	・反射強度低下による最大検知距離低下 ・受信強度のバラつきによる誤認識	・反射強度低下による最大検知距離低下 ・受信強度のバラつきによる誤認識	・車両の低反射部位の未検知 ・巨大物標からの強反射	・FOVの端で信号強度が低下 ・車両の挙動により認識不調発生	・材質により反射強度が低下 ・材質により受信信号の低下	低反射率による受信信号の低下	ビームに対する反射面積と入射角の影響	物標表面に付着した汚れなどが反射光量に与える影響	・自車または認識対象の移動による位置ずれ	背景に類似しコントラスト低下で未認識	・FOV内に入る画像情報量の制限 ・見かけの形状や大きさにより認識率低下	塗装の反射に依存する認識率低下 ・鏡面仕上げの塗装などで、誤認識 ・発光体の点滅で認識不良 ・発光体・反射材とそれ以外の部分で明暗が大きく認識不良	・渋滞車両群への高速のアプローチで認識不調発生 ・線から飛び出した車両で認識不調発生	光の強度低下により、最大検知距離の低下/低反射認識対象物（例えば、フェールランプ）へいなど
Principle	—	低S/N	低S/N	折返し高調波低S/N	低S/N (認識)	Sの減衰 Sの飽和 反射多重反射	Sの減衰	Sの減衰 Sの飽和	Sの減衰	空間全体の位置ずれ 認識対象の位置ずれ 認識要因	低D/U (認識)	S無し(部分的) (認識)	反射フリッカ、S強度差大、S変化	画像ブレ・流れ S無し (部分的)	S無し(部分的) 低S/N

表 22. 「k-2. バイク」の外乱要因

k-2 バイク

Influence on sensor principle	Class	Millimeter waves				LIDAR				Camera			
		色・材質	付着物	形状・大きさ	相対位置・挙動	色・材質	形状・大きさ	付着物	相対位置・挙動	色・材質	形状・大きさ	相対位置・挙動	
Influence	—	・反射強度低下による最大検知距離低下 ・受信強度のバラつきによる誤認識	・反射強度低下による最大検知距離低下 ・受信強度のバラつきによる誤認識	・車両の低反射部位の未検知	・FOVの端で信号強度が低下 ・車両の挙動により認識不調発生	・材質により反射強度が低下 ・材質により受信信号の低下	低反射率による受信信号の低下	ビームに対する反射面積と入射角の影響	物標表面に付着した汚れなどが反射光量に与える影響	・自車または認識対象の移動による位置ずれ	背景に類似しコントラスト低下で未認識 鏡面等による反射画像で認識不良 発光体による点滅で認識不良 発光体・反射材とそれ以外の部分で明暗が大きく認識不良	・FOV内に入る画像情報量の制限 ・対象車両の形状による認識率低下	・移動により画像ブレ・流れが発生し認識率低下 ・近距離周辺部では画像流れが大きく認識率低下 ・FOVに入る部分が少ない認識率低下 ・バイクの傾きにより認識に影響
Principle	—	低S/N	低S/N	低S/N	低S/N (認識)	Sの減衰 Sの飽和 反射多重反射	Sの減衰	Sの減衰 Sの飽和	Sの減衰	空間全体の位置ずれ 認識対象の位置ずれ 認識要因	低D/U、反射、フリッカ、S強度差大 (認識)	S無し(部分的) (認識)	画像ブレ・流れ S無し (部分的) (認識)

表 23. 「k-3. 自転車」の外乱要因

k-3 自転車

Class.	Millimeter waves				LIDAR				Camera		
	色・材質	付着物	形状・大きさ	相対位置・挙動	色・材質	形状・大きさ	付着物	相対位置・挙動	色・材質	形状・大きさ	相対位置・挙動
Influence on sensor principle	・反射強度低下による最大検知距離低下 ・受信強度のバラつきによる誤認識	・反射強度低下による最大検知距離低下 ・受信強度のバラつきによる誤認識	・車両の低反射部位の未検知	・FOVの端で信号強度が低下 ・車両の挙動により認識不調発生	・材質により反射強度が低下あるいは増加	・ビームに対する反射面積と入射角の影響	・物標表面に付着した汚れなどが反射光量に与える影響	・自車または認識対象の移動による位置ずれ	・背景に類似したコントラスト低下で未認識 ・発光体による点滅で認識不良 ・発光体・反射材とそれ以外の部分で明暗が大きく認識不良	・FOV内に入る画像情報の制限 ・対象車両の形状による認識率低下	・移動により画像ブレ・流れが発生し認識率低下 ・近距離周辺部では画像流れが大きく認識率低下 ・FOVに入る部分が少なく認識率低下 ・自転車の速さで認識率に影響 ・進行方向で認識率に影響
Principle	低S/N	低S/N	低S/N	低S/N (認識)	Sの減衰 Sの飽和 反射多重反射	Sの減衰 Sの飽和	Sの減衰	空間全体の位置ずれ 認識対象の位置ずれ 認識要因	低D/U フリッカ、S強度差大、(認識)	S無し(部分的) (認識)	画像ブレ・流れ S無し(部分的) (認識)

表 24. 「k-4. 歩行者」の外乱要因

k-4 歩行者

Class.	Millimeter waves			LIDAR			Camera		
	色・材質 (身に着けたもの)	姿勢・形状・大きさ	相対位置・挙動	色・材質	形状・大きさ	相対位置・挙動	色・材質	形状・大きさ	相対位置・挙動
Influence on sensor principle	・受信強度低下による最大検知距離低下 ・受信強度のバラつきによる誤認識	・体格・体勢により、反射強度低下	・FOVの端で信号強度が低下 ・人の挙動により認識不調発生	・材質により反射強度が低下あるいは増加	・ビームに対する反射面積と入射角の影響	・自車または認識対象の移動による位置ずれ	・背景に類似したコントラスト低下で未認識 ・発光体による点滅で認識不良 ・発光体・反射材とそれ以外の部分で明暗が大きく認識不良	・FOV内に入る画像情報の制限 ・対象の首の高さによる認識率低下	・移動により画像ブレ・流れが発生し認識率低下 ・近距離周辺部では画像流れが大きく認識率低下 ・FOVに入る部分が少なく認識率低下 ・歩行者の進行方向や歩行速度で認識に影響
Principle	低S/N	低S/N	低S/N (認識)	Sの減衰 Sの飽和 多重反射	Sの減衰 Sの飽和	空間全体の位置ずれ 認識対象の位置ずれ 認識要因	低D/U フリッカ、S強度差大、(認識)	S無し(部分的) (認識)	画像ブレ・流れ S無し(部分的) (認識)

4.2.1.2 センサ認識外乱の発生原理

センサは対象物を認識する際、前項で記述した要因によって認識外乱に達する可能性がある。認識外乱が生じる原理はセンサごとに異なるが、以下を共通の考え方として原理を分類することができる。

- ・センサの外乱原理を、「知覚処理で生じるもの」、「認識処理で生じるもの」、「その他」に分類する。

- ・ 知覚処理で生じる外乱はさらに、認識対象物からの信号(S)に関するものと、認識対象物からの信号を阻害するもの(ノイズ N, 不要信号 U)とに分類する。
- ・ S と、N または U それぞれについて、信号に起こり得る外乱を列挙する。

これらの考え方にに基づき、各センサに起こり得る認識外乱の発生原理を分類した例を、以下に示す。

・ ミリ波レーダーの認識外乱発生原理

ミリ波レーダーにおける外乱は、知覚処理で生じるもの、認識処理で生じるものの他に、センサの向きに起因するものがある(図 57)。

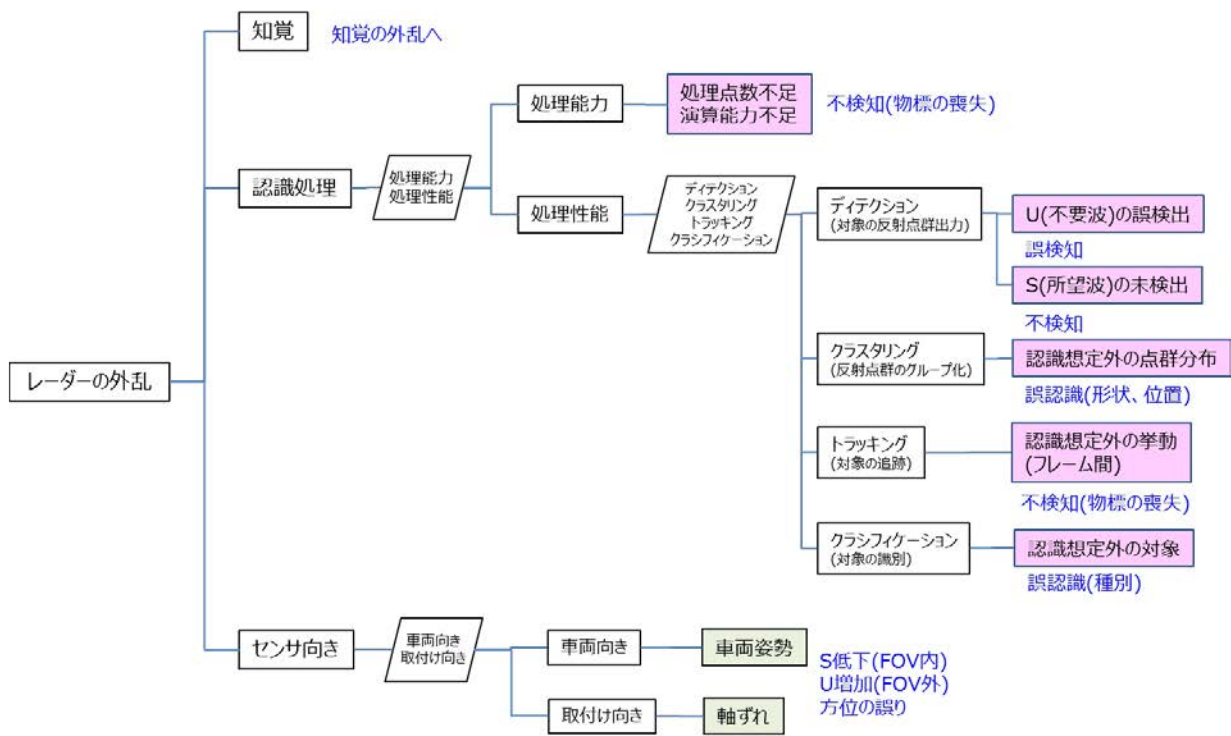


図 57. ミリ波レーダーにおける認識外乱の分類

特に、ミリ波レーダーの知覚処理において信号 S を特徴づける物理量は、周波数、位相および強度の 3 つである。(図 58)

- 周波数: センサ本体に起因する外乱として信号周波数の異常が挙げられる。
- 位相: 信号到来方向が変化する場合と伝搬遅延時間が増加する場合とがあり、到来方向変化は反射および屈折に起因する。
- 信号強度: 部分的な信号欠如、信号が強すぎる、信号強度差が大きい、信号が弱すぎるというバリエーションが考えられる。

一方、知覚処理におけるノイズ N と不要信号 U については、低 S/N、低 D/U(必要な信号 D と不要信号 U との強度比)、U の増大といった外乱が考えられる。

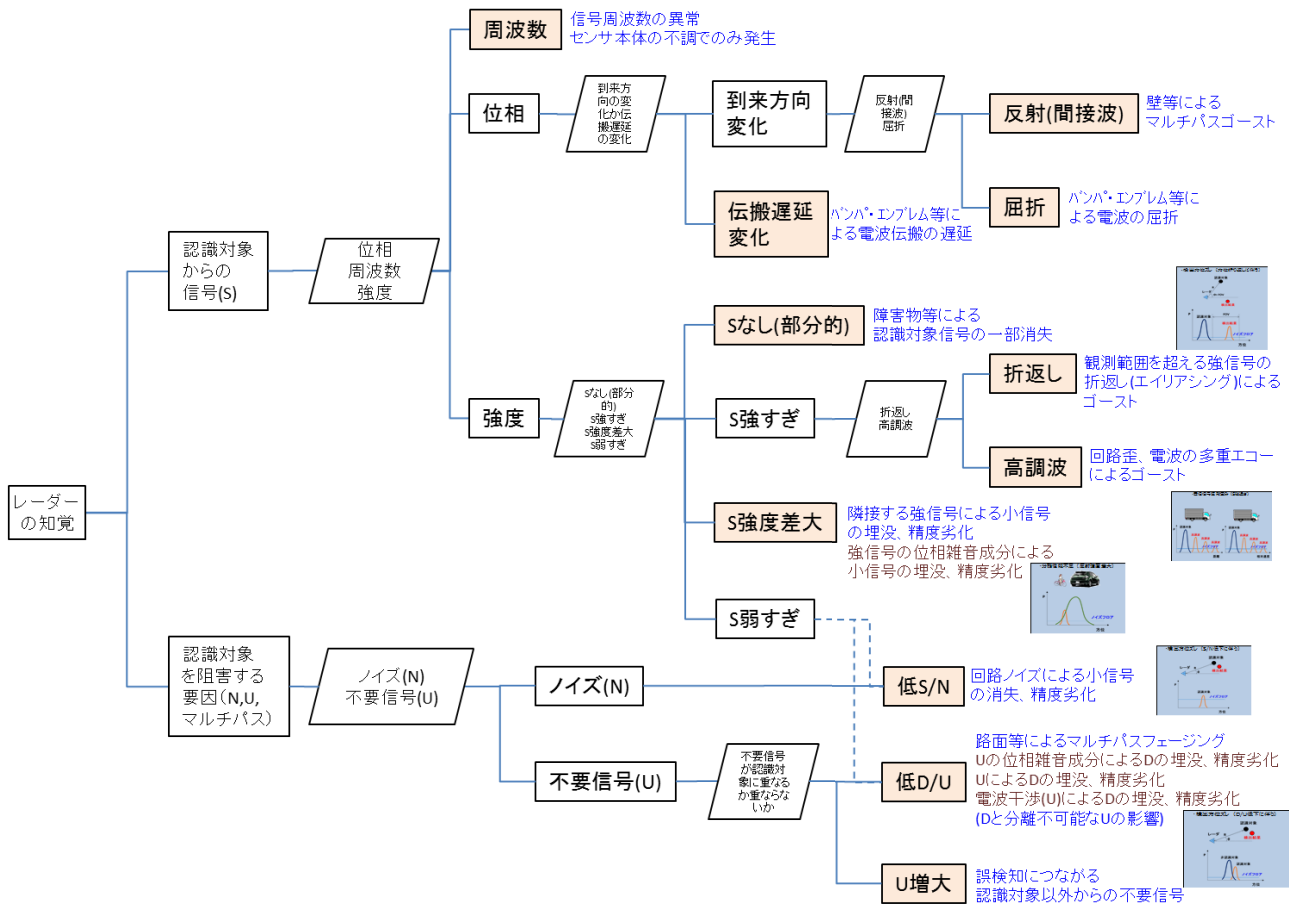


図 58. ミリ波レーダーの知覚処理における外乱発生原理

• LiDAR の認識外乱発生原理

LiDAR の知覚処理においては、認識対象物からの信号 S を特徴づける物理量は、スキャンタイミング、強度、伝播方向および速度がある。

- スキャンタイミング：自車両が移動することによる時間差は空間全体の位置ずれにつながり、認識対象物が移動することによる時間差は認識対象物の位置ずれにつながる。
- 強度：信号の飽和、減衰および遮蔽が現象として挙げられる。
- 伝播方向の変化：反射によるものと屈折によるものがある。
- 速度：信号の到達時間に影響するが、LiDAR の認識外乱では該当項目なし。

一方、ノイズ N と不要信号 U については、DC 的なノイズ、パルス状のノイズ、多重反射のほか、認識対象以外の物体からの反射と屈折とが挙げられる(図 59)



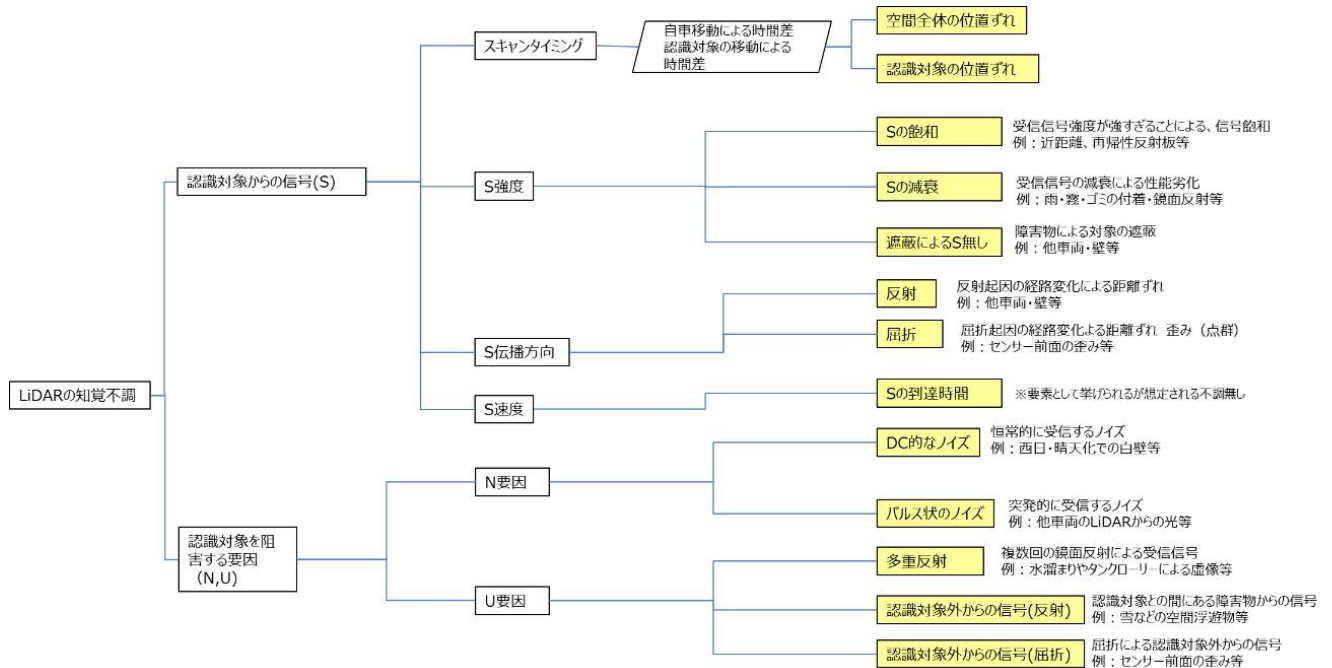


図 59. LiDAR の知覚における外乱発生原理

● カメラの認識外乱発生原理

カメラの知覚処理においては、認識対象物からの信号 S を特徴づける物理量として、強度、方位・範囲、信号の変化および取得時刻がある。

- 強度：信号が弱すぎる場合、強すぎる場合、強度差が大きい場合と、部分的に信号が無くなる場合とがある。
- 方位・範囲：屈折による変化と反射による変化とがある。
- 信号 S の変化
- 取得時刻：認識対象が点滅している場合や相対位置が動いている場合の外乱として、フリッカと画像ブレ・流れが挙げられる。

一方、ノイズ N と不要信号 U については、低 D/U の場合と低 S/N の場合とがある(図 60)。

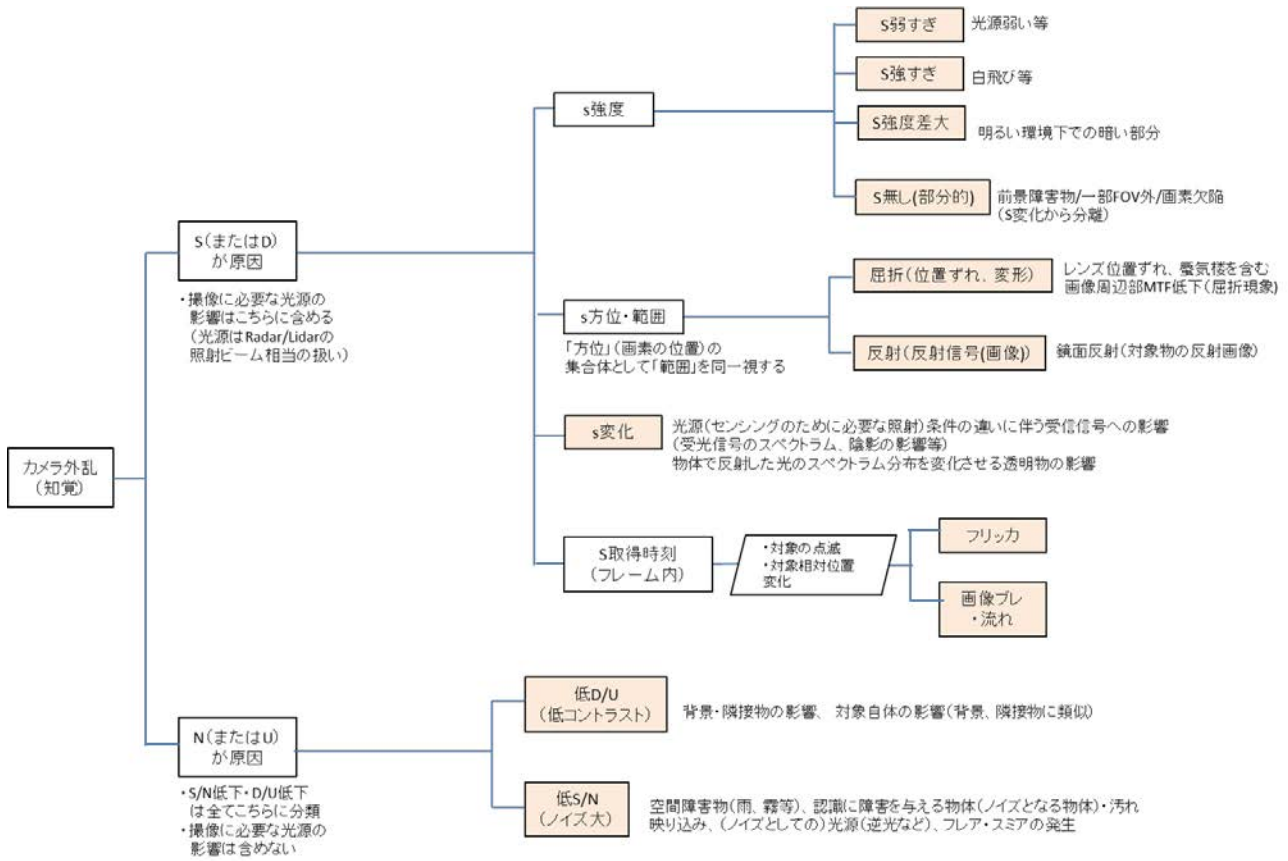


図 60. カメラの知覚における外乱発生原理

#### 4.2.1.3 認識外乱要因と発生原理のクロスチェックによるシナリオ選出

ここまで述べてきた各センサの認識外乱の要因と発生原理との関係は、表 25～表 27 のようなマトリックスで表すことができる。このマトリックスでは、縦方向に認識外乱要因を、横方向に発生原理を並べており、各原理(=列)についてそれを生じ得る要因(=行)として該当するものが分かる形としている。同じ列内で該当する複数の外乱要因はどれも同じ原理によって生じるが、システムの安全性を評価するという観点から、各センサの認識性能への影響度および市場での遭遇確率が高い要因を選出し、評価シナリオとして優先順位付けをすることが可能である。

例として、認識性能への影響度と遭遇確率は、以下のような考え方で点数化して同じ列内で比較することが可能である。

- ・ 認識性能への影響の大きさ(X): 各原理について、それぞれの要因が起こし得る認識外乱の厳しさを 1～3 点で表現 (影響小:1 点、中:2 点、大:3 点)
- ・ 遭遇確率(P): 以下で説明する(頻度総合点)×(発生時の継続時間)の数値を遭遇確率と見なし、その大きさによって 1～3 点に振り分け (確率小:1 点、中:2 点、大:3 点)
  - 遭遇頻度: 各外乱要因の地域性、気候・気象の影響度、空間密度、使用方法による発生頻度をそれぞれ 1～4 点で表現し、4つの点数を掛け合わせて「頻度総合点」を算出
  - 発生時の継続時間: その要因が発生したときの1回の継続時間を 1～3 点で表現 (時間短:1 点、中:2 点、長:3 点)
- ・ 認識性能への影響の大きさ(X)と遭遇確率(P)とは、それぞれウェイト(W)を 10 および 8 に設定して合計点数( $W_x X + W_p P$ )を算出し、総合点とする

以上のような考え方で各要因の総合点を算出した結果を同じ原理(同じ列)の中で比較し、最も点数の高いものを選出すれば、それをその原理を代表する評価シナリオとすることができる。ミリ波レーダー・LiDAR・カメラの3つのセンサで、上記の方法で点数計算した例を、表 25～表 27 に示す。ここで、各列の赤色に塗られた欄が、その原理において総合点が最高となる要因、すなわち代表シナリオの候補となる要因である。

最高得点となる要因が複数ある場合には、そのシナリオの評価環境の再現しやすさも考慮した上で1つまたは複数の要因を選択し、評価対象とする。また、対象とする自動運転システムの仕様(ODD、認識対象物など)によって、縦軸に表した項目の中にそのセンサでは該当しない外乱要因がある場合には、それらを除外して残された要因の中から代表シナリオを選出する。

表 25. ミリ波レーダーの認識外乱要因と発生原理のマトリックス

認識外乱要因		認識外乱要因				発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	認識外乱要因の発生														認識外乱要因の発生						発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)											
		発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)			認識外乱要因の発生						認識外乱要因の発生						P/N (%)		N/N (%)		発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)															
								認識外乱要因の発生		認識外乱要因の発生		認識外乱要因の発生		認識外乱要因の発生		発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)			発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)													
								発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)															発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)					
								発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)	発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)			発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)			発生機序 (識別時間)	発生機序 (検出時間)									
誤認識	非対象物(車線外)	自動運転車(車線内)	自動運転車(車線外)	自動運転車(車線内)	35	4	1	4	1	1								2	28	2	28	2	28	2	28															
センサ	レーザ	レーザ	レーザ	レーザ	18	4	1	2	3	1																														
		レーザ	レーザ	レーザ	18	4	1	2	3	1																														
		レーザ	レーザ	レーザ	18	4	1	2	3	1																														
		レーザ	レーザ	レーザ	18	4	1	2	3	1																														
	カメラ	カメラ	カメラ	カメラ	27	3	1	3	2	1																														
		カメラ	カメラ	カメラ	27	3	1	3	2	1																														
		カメラ	カメラ	カメラ	27	3	1	3	2	1																														
		カメラ	カメラ	カメラ	27	3	1	3	2	1																														
		カメラ	カメラ	カメラ	27	3	1	3	2	1																														
		カメラ	カメラ	カメラ	27	3	1	3	2	1																														
		カメラ	カメラ	カメラ	27	3	1	3	2	1																														
		カメラ	カメラ	カメラ	27	3	1	3	2	1																														
映像	映像	映像	映像	映像	40	4	1	3	2	1																														
		映像	映像	映像	40	4	1	3	2	1																														
		映像	映像	映像	40	4	1	3	2	1																														
		映像	映像	映像	40	4	1	3	2	1																														
		映像	映像	映像	40	4	1	3	2	1																														
		映像	映像	映像	40	4	1	3	2	1																														
	映像	映像	映像	映像	映像	124	3	1	4	2	3																													
			映像	映像	映像	124	3	1	4	2	3																													
			映像	映像	映像	124	3	1	4	2	3																													
			映像	映像	映像	124	3	1	4	2	3																													
			映像	映像	映像	124	3	1	4	2	3																													
			映像	映像	映像	124	3	1	4	2	3																													





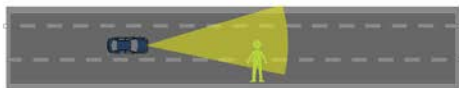






Sensor : Camera  
Physical principle : Low S

【“S弱すぎ”の代表シナリオ】



【シナリオの説明】

- 空間が暗いために、前方に接近する認識対象からの信号強度が不足する
- 認識対象がヘッドライト照射エリアの際に立っている

【評価パラメータ】	変化	固定	値
空間全体の明るさ		○	周囲は完全な暗闇であり、前方をヘッドライトで照らしている状態
認識対象の種類		○	歩行者
認識対象物の色・形状		○	身長：120cm 服装：黒色
相対位置	○		衝突を回避するために必要な範囲
自車速		○	ODD上限 (kph)

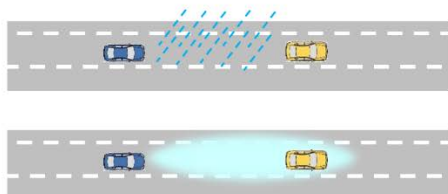
【パラメータ解説】

- ヘッドライトは点灯された状態を前提とする。(点灯が手動の場合は運転者責任、自動の場合はメーカー責任)
- 検出が最も難しい、身長の高い歩行者を認識対象とする。

図 62. カメラにおける外乱原理:「S 弱すぎ」の評価シナリオ例

Sensor : Camera  
Physical principle : No signal (partial)

【“Sなし (部分的)”の代表シナリオ】



【シナリオの説明】

- 雨や雪、霧などの気象により視程が低下し、自車の進路上にある認識対象物が検出されない

【評価パラメータ】	変化	固定	値
雨の強さ／霧の濃さ		○	雨の場合：50 mm/10min 霧の場合：視程 50m
認識対象物の種類		○	歩行者      区画線      ロードエッジ
認識対象物の色・形状		○	身長：      色：白      形状：段差無し 服装：白      状態：掠れている      状態：汚れている
相対位置	○		衝突を回避するために必要な範囲
自車速		○	ODD上限 (kph)

【パラメータ解説】

- 雨の強さは統計データから最も厳しい条件を選択
- 霧の強さは、視程50m未満になると高速道路が通行止めとなることから値を選択

図 63. カメラにおける外乱原理:「Sなし(部分的)」の評価シナリオ例

#### 4.2.1.4 認識外乱の組み合わせ評価

認識外乱は、1つのセンサに対して複数の要因が同時に発生することがあり得るが、このとき複数の要因間で認識性能への影響が互いに強め合う場合には、要因どうしを組み合わせた認識性能評価が必要となる。影響が強め合うか否かは認識外乱の発生原理に基づき考える必要があり、前項のマトリクスにおいて異なる列どうしで原理的に影響を判断する。判断の結果、互いに影響が弱め合うもしくは影響しない原理どうしでは、組み合わせ評価の対象外とする(図 64)。

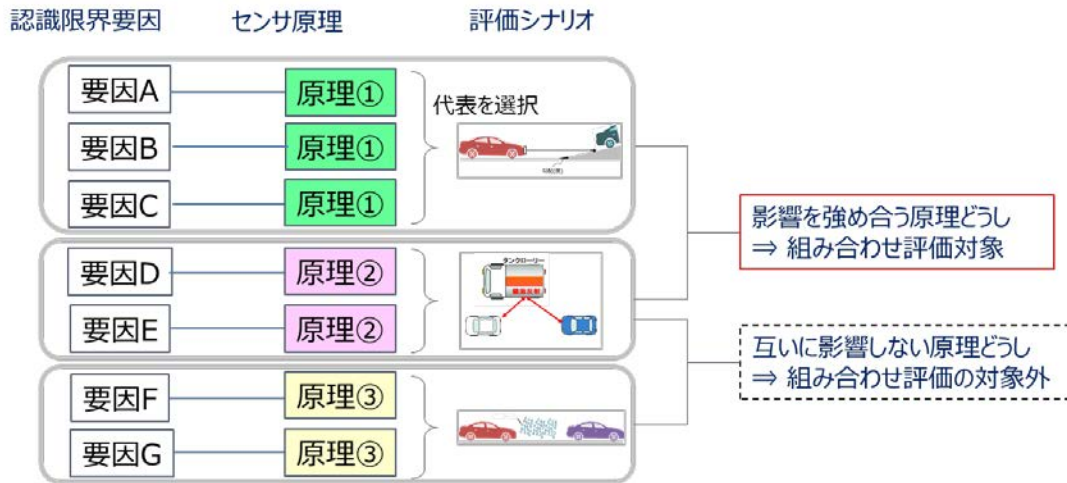


図 64. 組み合わせ評価対象となる認識外乱発生原理

#### 4.2.1.5 複数センサを搭載した自動運転システムの認識外乱評価

自動運転システムは一般に、複数のセンサを組み合わせたセンサフュージョン系を構築している。システムとしての認識性能を評価する場合には、そのセンサ構成に基づき上記の過程で選出した各センサ単体の評価シナリオを集めた合体版のシナリオリストを作成し、システム全体として各外乱条件下での評価を行うものとする。

#### 4.2.2 ブラインド・スポット・シナリオ(死角シナリオ)

前述の(3.1 章)の交通外乱シナリオ構造は、周囲の車両が検出可能であることを前提としている。しかし、実際の交通環境では、周囲の車両または道路構造要素は、周辺の他の車両(以下、周辺車両)を覆い隠すことがある。したがって、死角における周辺車両を含む安全関連シナリオが考えられ、安全分析に組み込む必要がある。

死角シナリオは、周辺車両、道路構造、道路形状の 3 つのサブカテゴリに分類される(図 65)。

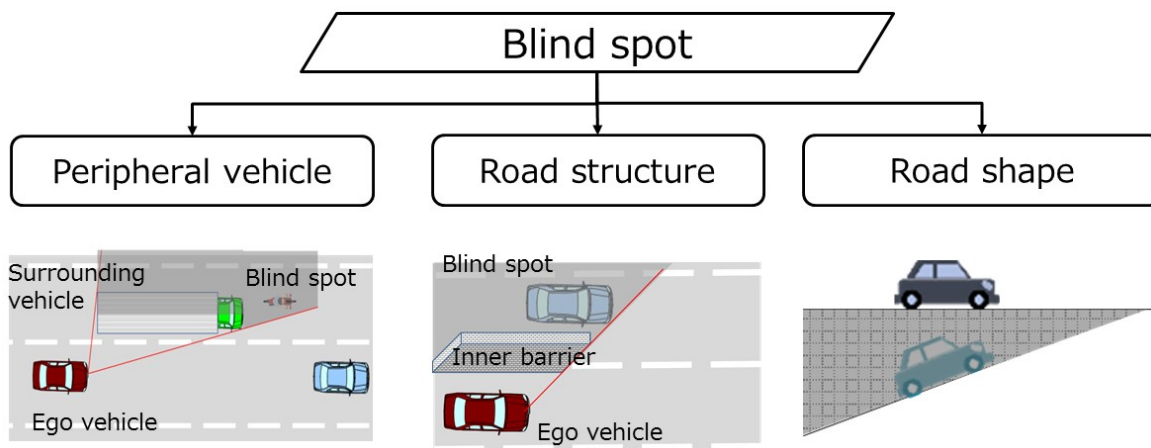


図 65. ブラインドスポット関連認識不調分類

##### 4.2.2.1 周辺車両による死角シナリオ

周辺車両による死角シナリオを構造化するために、これまでに定義した 8 つの周辺車両位置に 16 の新しい位置定義を追加した(図 66)。各周辺車両は、周辺車両の直後の車両だけでなく、他の周辺車両にも影響を及ぼす死角を誘発する可能性があることに留意されたい。これは、自車と周辺の車両がカーブ路を走行する場合など、死角領域と、その領域内にある車両位置とが変化する場合に特に当てはまる。

この動的現象を明らかにするために、追加の図と説明を以降に示す。自車と同じレーン内の道路の曲率と周辺車両の組み合わせとして導出される周辺車両の死角を説明するプロセスを図 67 に示す。同様に、自車に対して横方向または斜めの位置にある周辺車両に関連する死角を、それぞれ図 68 と図 69 に示す。

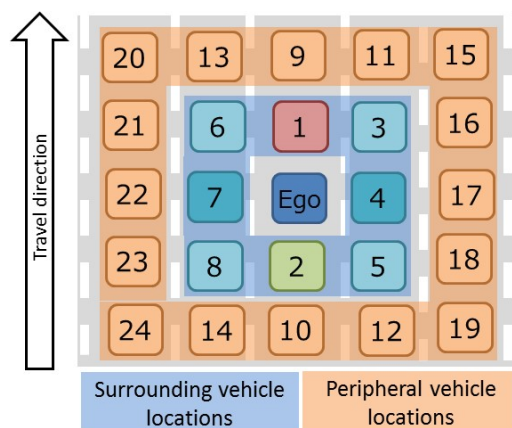


図 66. 周辺車両関連死角シナリオを定義するために適用される車両位置

図 67 では、周辺車両が位置 1 によって発生する死角の位置を示す。図中では、解りやすさのために、周辺車両としてトラックを使用している。直線道路におけるトラックによって発生する死角位置は、位置 9 のみである。しかし、自車とトラックの両方が右カーブを通過すると、自車に対するトラックの方向が変化し、車両位置 6、9、13、20、21 に死角が発生する。同様に、左カーブでは、位置 3、9、11、15、16 の車両は、トラックによって隠されることがある。これにより、合計 9 つの死角位置(3、6、9、11、13、15、16、20、21)が追加され、危険な操作が発生する可能性がある。9 つの死角位置の中で包含関係にある位置が存在する。例えば、右カーブにおいて、死角位置 20 の車線変更は死角位置 13 への移動である。死角位置 13 は、死角位置 20 よりも自車と近距離であり、反応に必要な時間がより短い厳しい条件である。したがって、死角位置 13 に対して安全性評価をすることで、死角位置 20 の危険動作を包含することができる。同様の理論に従って、死角位置 15、16、および 21 も、死角位置の最終リストから除外することができる。したがって、安全解析で最終的に考慮される位置 1 の車両によって誘発される死角位置は、5 つの位置(3、6、9、11、および 13)に低減される。これらの 5 つの位置は、図 67 の右側の単純化された長方形の図にまとめられる。

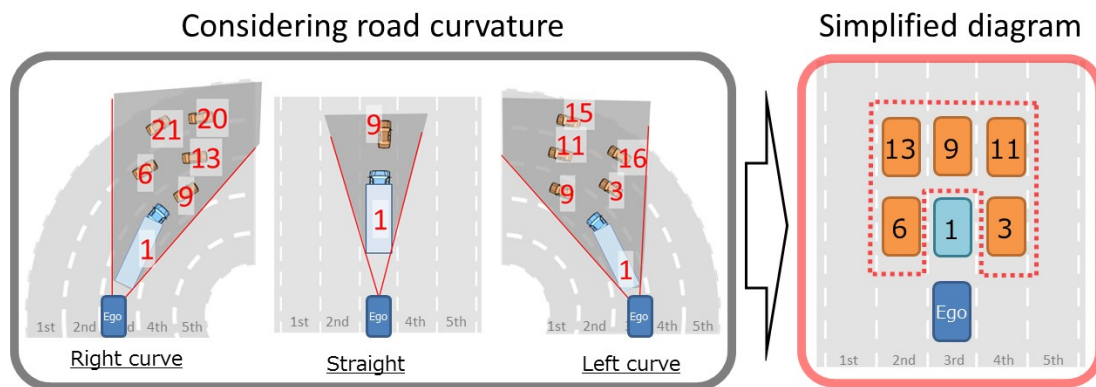


図 67. 前方方向位置 1 における周囲の車両による死角位置

図 68 は、周辺車両の位置 4 にあるトラックによって発生する全ての死角位置を示す。直線道路上では、トラックは、5 つの死角位置(3、5、16、17、および 18)を抽出することができる。自車とトラックの両方が右カーブを通過すると、死角の数が周辺車両の位置(1、2、3、5、6、8、16、17、18、21、23)が 11 箇所に増加する。左側のカーブでは、これらの位置(16、17、18)の 3 箇所に車両が隠れる可能性がある。この場合、安全分析において考慮される死角位置の数の減少も実施される。例えば、位置 6 の車両による車線変更が、その右側の隣接車線に行われると、位置 1 と同様の位置に移動する。したがって、安全解析が行われる場合、

最も厳しいシナリオの原則に基づいて、位置 1 の車両について、位置 6 からの車両による操縦もカバーされる。同様の理論は、車線を 21、8、または 23 の位置から、それらの右側の隣接車線に変更する車両にも適用される。位置 6 における車両の減速は、自車両および位置 1 における車両による隣接する左車線への同時車線変更よりも要求が少ない。したがって、位置 6 の車両を位置 1 の車両に置き換えることができる。同様に、ロケーション 8 における車両による加速動作は、同時の自車および車両 2 の車線変更よりも重要ではない。さらに、車両 16、17、および 18 のカットインシナリオは、車両 4 が自車の隣にあり、自車が車線変更を実行できないため、解析から除外される。したがって、最終的な安全解析で考慮される位置 4 の車両によって誘発される死角は、4 つの位置(1、2、3、および 5)に低減され、これらは、図 68 の右の長方形の簡略図に要約される。

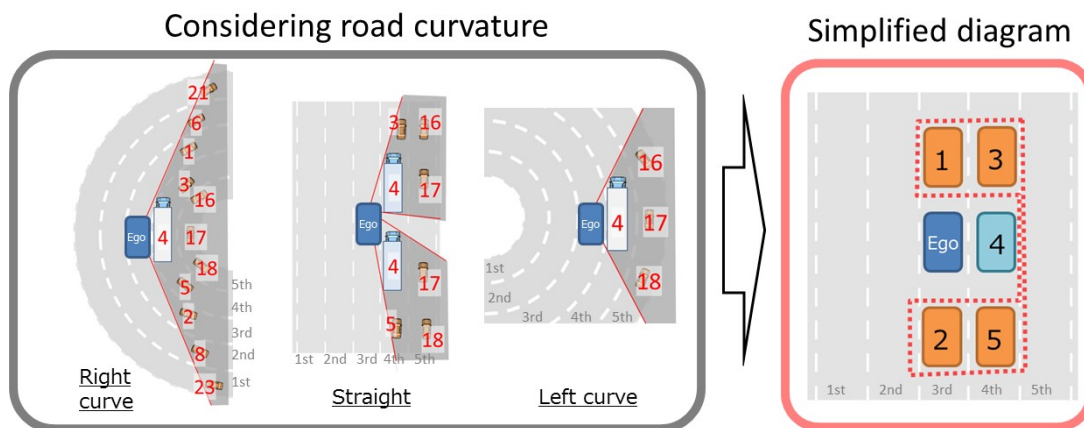


図 68. 横方向位置 4 での周囲車両による死角位置

図 69 は、周辺車両の位置 3 にあるトラックによって発生する、自車両に対して対角線上にあるすべての死角位置を示す。直線道路では、トラックが 3 つの死角位置(11、15、16)を発生させることがある。自車とトラックの両方が右カーブを通過すると、死角が周辺車両の 9 つの車両位置(1、6、9、11、13、15、16、20、21)に増加する。左側のカーブでは、15 と 16 の 2 箇所が死角となる。図 68 に示された前の場合と同様に、位置 6、13、20、および 21 の車両によるカットインシナリオは、位置 9 および位置 11 の車両より厳しいシナリオに置き換えられる。さらに、車両 6 および 13 の減速シナリオは、自車両および車両 9 が同時に左へ車線変更する動作で置き換えられる。最後に、安全解析で考慮される斜め位置 3 の車両によって誘発される死角位置は、5 つの位置(1、9、11、15、および 16)に低減される。これらは、図 70 の右側の簡略化された長方形図に要約されている。

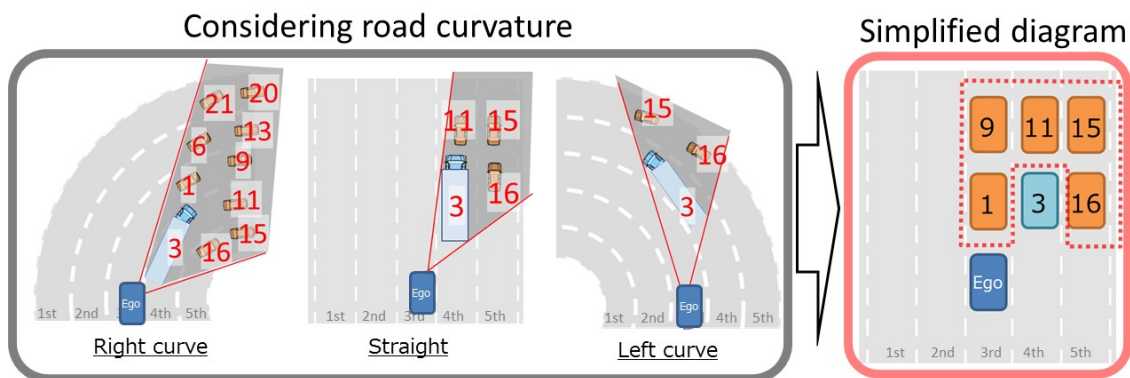


図 69. 位置 3 の周辺車両による死角の位置

図 67 から図 69 に示された 3 つのケースにアナロジーと対称性の原理を適用することにより、安全解析で考慮される死角の位置はすべて、単一のダイアグラムにまとめられる(図 70)。



図 70. 安全解析で考慮される周辺車両誘発死角位置のすべての図

発生しうる死角車両運動は、カットイン、カットアウト、加速、減速、および同期に分類される。安全解析において考慮される組合せの数の減少は、自車の挙動を妨げる可能性のある死角車両の動きに焦点を当てることによって行われる(図 71)。例えば、自車両の後方の死角位置(2、5、8、10、12、14、18、19、23、24)における車両の全ての減速操作は、自車両に危険を及ぼさないため除外する。また、自車両と死角車両との間の同期は、自車両に危険を及ぼさないことにも留意されたい。図中の丸印は、死角車両の位置と自車の障害となる可能性のある運動との対応する組み合わせを示している。したがって、安全解析ではこれらを考慮する必要がある。

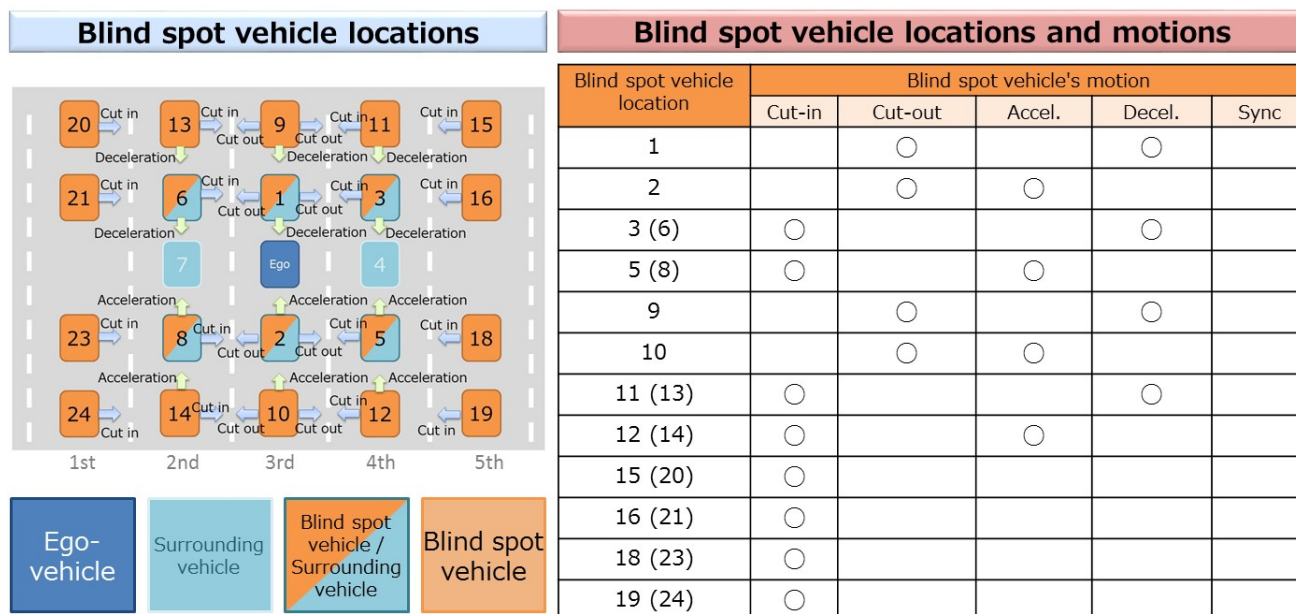


図 71. 死角車両の位置(左)、および死角車両の位置と自車両(右)の障害となる可能性のある動作の組み合わせ

これまで述べたシステム化プロセスの結果として、周囲の車両関連死角シナリオ(道路形状、自車挙動、死角車両運動および周囲の車両運動の組み合わせとして)をすべて含む構造を定義した。この構造は、合計 64 の発生しうる組み合わせを含むマトリクスで構成されており、42 は実際の交通流で実現可能なシナリオに対応している(図 72)。

		Blind spot vehicle motion									
		Cut-in		Cut-out		Acceleration		Deceleration		Sync	
Road geometry	Ego-vehicle behaviour	Surrounding vehicle motion									
		Lane Keep	Lane Change	Lane Keep	Lane Change	Lane Keep	Lane Change	Lane Keep	Lane Change	L/K	L/C
Main road	Lane Keep	No. 1	No. 2	—	—	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	—	—
	Lane Change	—	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13	—	—
Merge zone	Lane Keep	No. 14	No. 15	—	—	—	—	—	—	—	—
	Lane Change	—	No. 16	No. 17	No. 18	No. 19	No. 20	No. 21	No. 22	—	—
Departure zone	Lane Keep	No. 23	No. 24	—	—	—	—	—	—	—	—
	Lane Change	—	No. 25	No. 26	No. 27	No. 28	No. 29	No. 30	No. 31	—	—
Ramp	Lane Keep	No. 32	No. 33	—	—	—	No. 34	—	No. 35	—	—
	Lane Change	—	No. 36	No. 37	No. 38	No. 39	No. 40	No. 41	No. 42	—	—

図 72. 周辺車両の死角に関連した認識不調のシナリオ

#### 4.2.2.2 道路構造による死角シナリオ

道路構造に関連する死角シナリオは、道路構造物の位置と、自車両と死角に存在する車両との間の相対動作パターンを考慮して定義される。一般に、これらの遮断要素は、道路構造内にあり、道路構造物の種類と位置に応じて、内部障壁と外部障壁に分類される(図 73)。

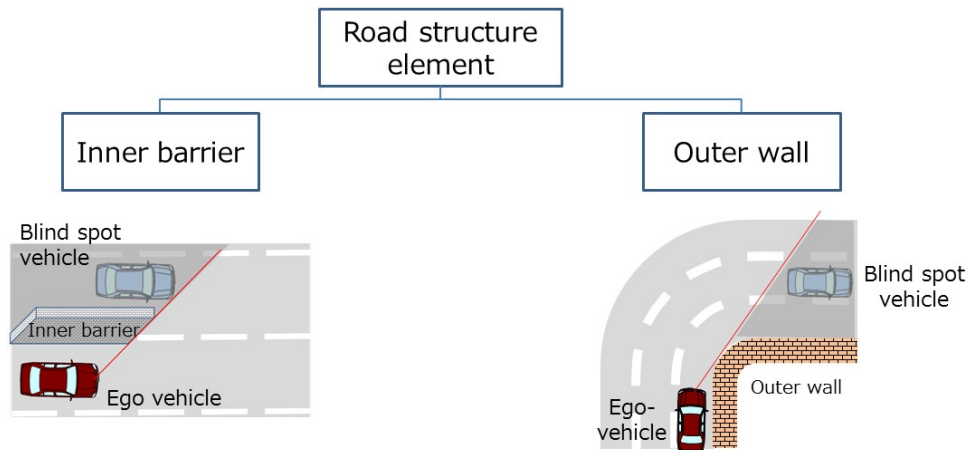


図 73. 道路構造による死角シナリオ分類

#### 4.2.2.2.1 内部障壁による死角シナリオ

図 74 では、自車が構造物の手前にいる場合、構造物の後ろにいる車両(車両 1)は認識できず、死角車両と言える。自車が構造物の中間にある場合も同様で、死角車両は、後方(車両 3)、前方(車両 4)である。構造物の横中央の車両は、安全に影響を与えないと考えられる。これは、死角に隣接する車両が、構造物により、自車の車線に近づくことができないからである。しかし、死角車両は斜め後方に位置している場合(車両 2)、構造物の途切れた直後に車両が現れると安全上の懸念がある。

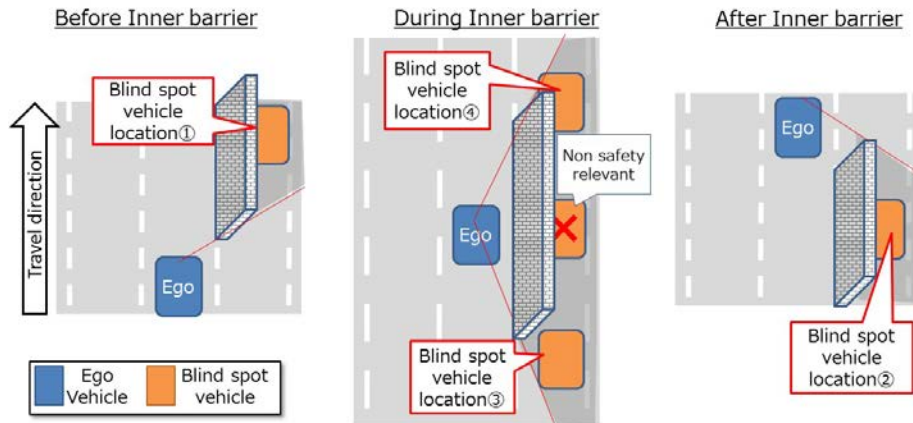


図 74. 内部障壁に関連する死角の定義

図 75 に示したマトリックスは、内部障壁に関連した死角による認識限界シナリオをまとめたものである。マトリックスでは、前述した 4 つの死角(青い四角で表された自車と、暗い灰色の領域に配置された死角車両)が、これらの死角領域内の車が実行できる 5 つの可能な操作(カットイン、カットアウト、加速、減速、および同期)と組み合わせられる。これにより、20 の可能な組み合わせを持つマトリックスが得られるが、すべての組み合わせが安全に関連するわけではない。例えば、内部障壁のシナリオでは、自車と死角車両は同じレーンを走行していないため、いかなる危険も引き起こさない。また、内部障壁を挟んで同様の速度で並行走行する場合には、自車と死角車両とが近づくことができない。したがって、すべてのカットアウトおよび同期シナリオは対象外である。これにより、合計 5 つの内部障壁による死角シナリオ(図 75)に丸で示されるが安全分析に組み込まれる。







Inner barrier related blind spot pattern	Blind spot vehicle's movement				
	Cut-in	Cut-out	Accel.	Decel.	Sync.
① 				○	
② 	○		○		
③ 	○				
④ 	○				

図 75. 内部障壁による死角関連の認識限界シナリオ

#### 4.2.2.2 外部障壁による死角シナリオ

外部障壁などの道路構造は、カーブに死角が発生する可能性がある。図 76 に示すように、外部障壁はカーブの角度によって、前後車両が死角となる。このため、自車の前方車線又は後方車線(1、2、3、5、6、8)のいずれかに位置する車両は死角車両となる場合がある。

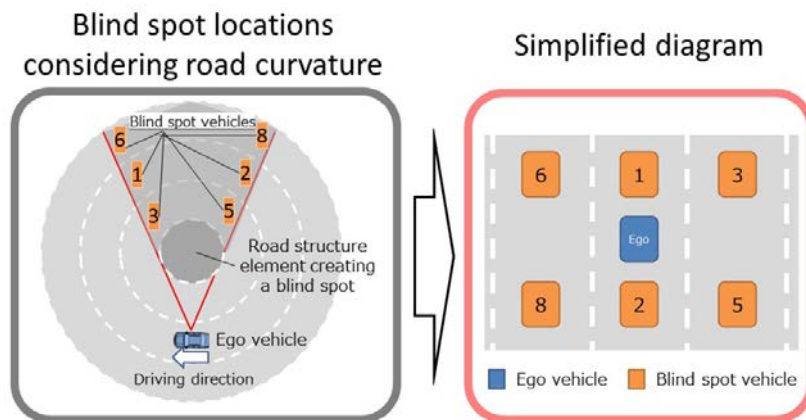


図 76. 位置および外壁に関連する死角の定義

図 77 は、自車を妨げる可能性のある死角車両の動きを示している。死角車両の動作は、カットイン、カットアウト、加速、減速、および同期としてリストアップしている。死角車両が自車線に入るパターンが対象となる。反対に、自車両と死角車両の両方が壁の両側で互いに平行(Sync)に走行している場合など、車両が互いに接近せず、安全上の懸念を引き起こすことはないシナリオは対象としない。





Outer wall related blind spot pattern	Blind-spot vehicle motion				
	Cut-in	Cut-out	Accel.	Decel.	Sync
1 		○		○	
2 		○	○		
3 (6) 	○			○	
5 (8) 	○		○		

図 77. 部障壁による死角関連の認識限界シナリオ

#### 4.2.2.3 道路形状による死角シナリオ

道路形状に関連した死角シナリオは、道路形状特性と自車と死角車両の交通パターンに従って定義される。道路形状による死角は同じ道路に沿った高低差によって死角が発生する。これらの特定の道路形状は、縦断勾配および平行勾配として特徴付けられる(図 78)。

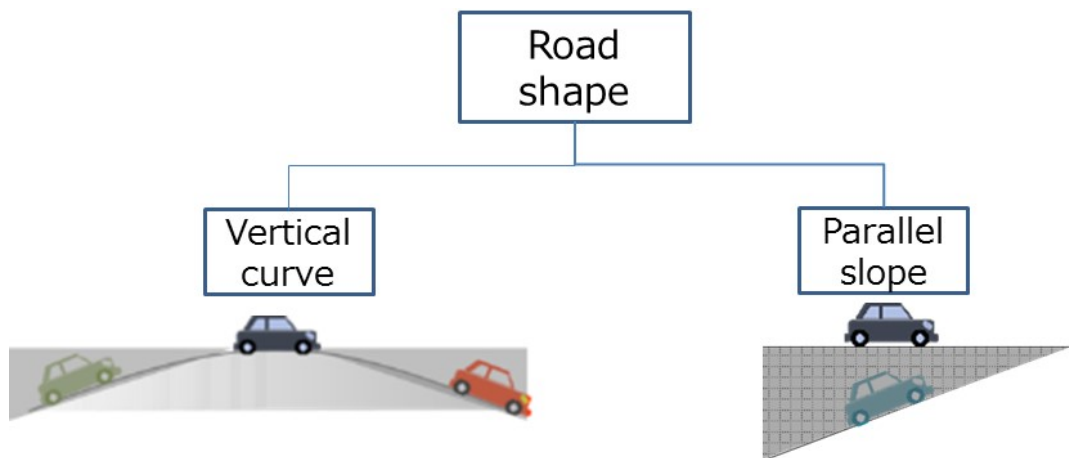


図 78. 道路形状による死角シナリオ分類

##### 4.2.2.3.1 縦断勾配シナリオ

縦断勾配(図 79)は、前方と後方に死角領域が発生する道路形状である。縦方向の道路勾配により、自車の視距が短くなるため、周辺車両(1、2、3、5、6、8)の位置と動き、および自車両自体の動きの組合せにより、潜在的に危険な交通パターンを作り出す。

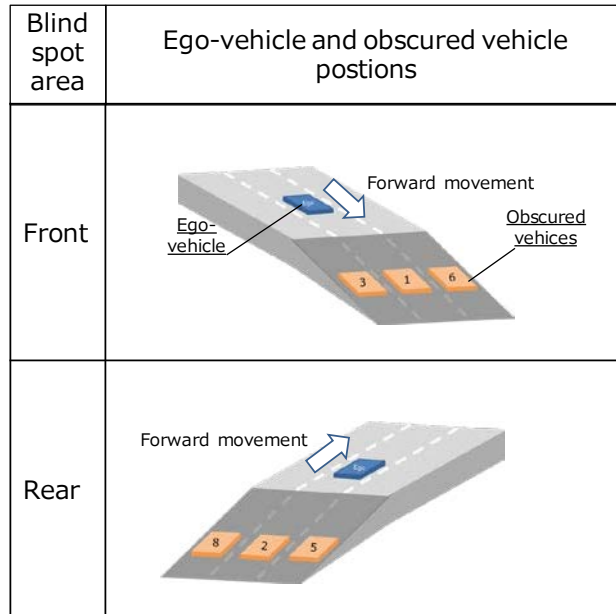


図 79. 縦断勾配による死角に関連した認識不調のシナリオ

#### 4.2.2.3.2 隣接レーンの勾配シナリオ

合流路、分岐路などに見られる、隣接レーンがスロープ状に勾配することで発生する高低差により死角が生成される。この特定の道路形状と、自車両の動きと、死角に隠れた車両の位置および動きとの組み合わせにより、潜在的に危険な交通パターンを作り出す。これらのパターンは、4つのグループに分類される：遮蔽車両カットイン(1)、カットアウト(2)、加速(3)、およびエゴ車両との同期(4)。これにより、20のシナリオのマトリックスが作成され、そのうち5つが安全解析に組み込まれる(図 80 を参照)。

Ego-vehicle and obscured vehicle postions	Obscured vehicle motions				
	Cut-in	Cut-out	Accel	Decel	Sync
①				○	
②	○		○		
③	○				
④	○				

図 80. パラレルスロープブラインドスポット関連の認識不調シナリオ

### 4.2.3 通信外乱シナリオ

通信外乱シナリオは、センサ、環境、送信機の 3 つのカテゴリに応じて、接続性に固有の特性を考慮して定義している(図 81)。

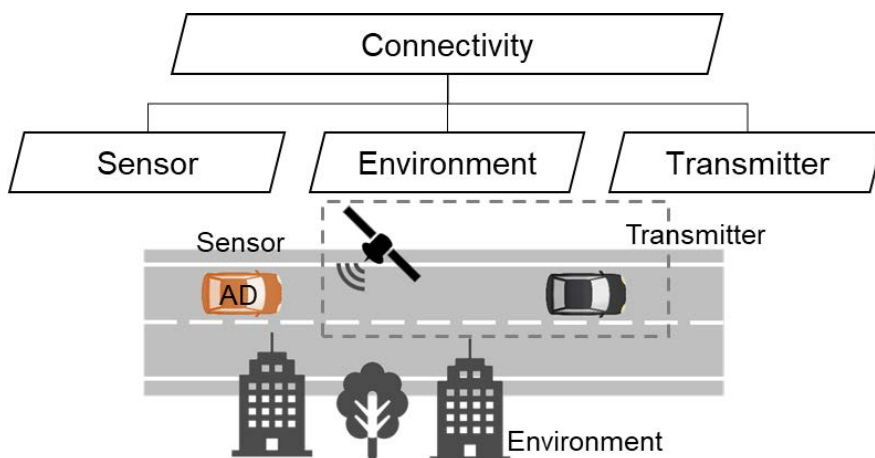


図 81. 通信外乱に関連する認識限界の分類

#### 4.2.3.1 センサ分類

センサ関連の通信外乱は、図 82 に示すように、デジタルマップ要因の影響と V2X (Vehicle-to-everything) 要因の影響に分類される。

デジタルマップは、車両の測位およびナビゲーションの補助などの ADAS/AD に必要な能力をサポート/実装するために使用される。さらに、デジタルマップは、知覚センサと融合して、認識システムの信頼性を高めることができる。

V2X は、車両が他車両、道路インフラ、歩行者やサーバーと通信することができる。V2X は、特に悪天候時や複雑な交通環境下での自車周辺の状況を事前に知らせることに利点がある。

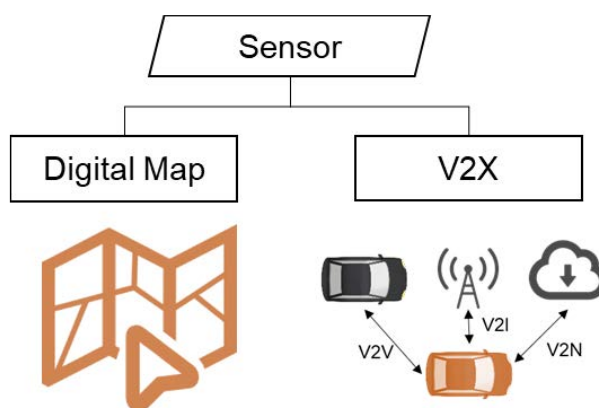


図 82. センサ通信外乱に関連した認識限界の分類

デジタルマップ関連の通信外乱とは、アルゴリズムの不備により地図データが正しく収集されていなかったり、データ収集のタイミングが悪かったり(例えば、一時的な車線閉鎖、道路の曲率変更など)して、古いデータが収集されていたりすることを意味する。一方、センサーのフュージョン動作が悪い場合は、デジタルマ

ップと V2X の両方に影響を与え、例えば、デジタルマップ、V2X と他のセンサーが異なる情報を生成する場合などが挙げられる。

#### 4.2.3.2 環境分類

図 83 に示すように、環境に関連する通信外乱は、静的エンティティ、空間エンティティ、動的エンティティに分類され、通信信号や測位信号を妨害し、それによって死角を発生させたり、デジタルマップや V2X の信号伝送を劣化させたりする可能性がある。

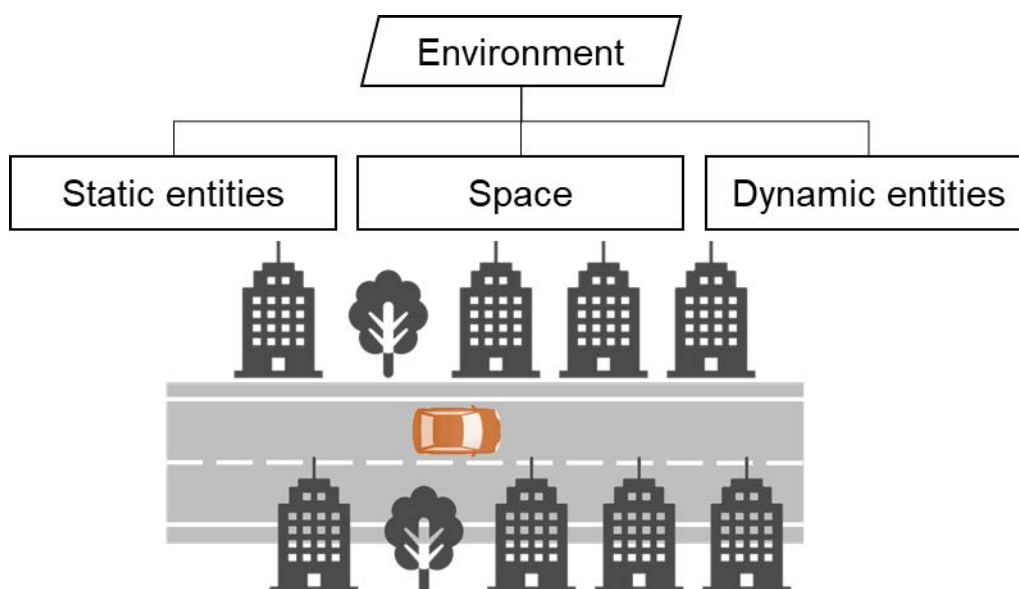


図 83. 環境の通信外乱に関連した認識限界の分類

静的なエンティティには、道路側の物体（建物、樹木、トンネルなど）、高架下の物体（陸橋など）、地下の物体（駐車場など）に関連する要因が含まれる。車両の周囲の空間に関連する要因は、接続性の障害を引き起こす可能性がある（例：信号の干渉、雨や霧の減衰）。動的エンティティには、周囲の車両、オートバイ、歩行者などの要因が含まれる。

#### 4.2.3.3 送信機分類

送信機関連の通信外乱は、図 84 に示すように、他の車両、インフラ、歩行者、サーバ、および衛星に分類される。送信機のエラーにより、V2X メッセージが利用できない、または信頼性が低い場合があり、衛星のエラーにより、GNSS 信号が失われる、または見落とされる場合がある。

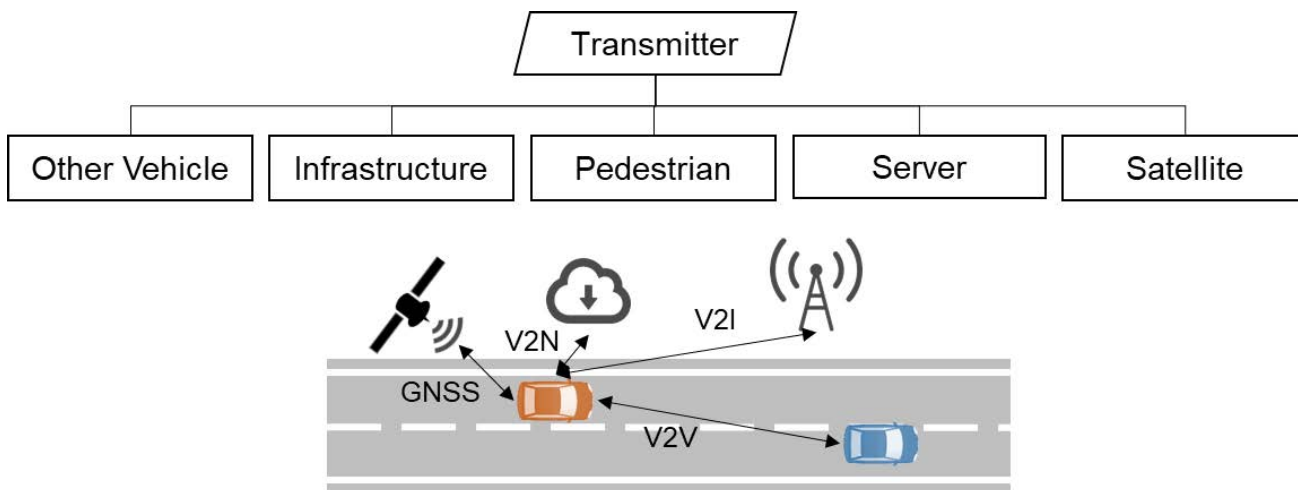


図 84. 送信機の通信外乱に関連する認識限界の分類

### 4.3 車両運動外乱シナリオ

この章では、AD の安全性保証を目的とした車両運動外乱シナリオの体系や基準を設定する上での考え方について説明する。最初に車両運動外乱における安全状態を「突発的な外乱により車両運動のが変化しても事故を起こさない」と定義する。そして車両運動への影響は、車体に外力が作用し横/前後やヨー方向の運動に影響を与える要素と、タイヤ発生力を変動させ車両の横/前後/上下やヨー方向の運動に影響を与える要素の2種類である(図 85)。これら2種類の入力、車両運動外乱シナリオを車体入力とタイヤ入力に分類するために使われる(図 86)。

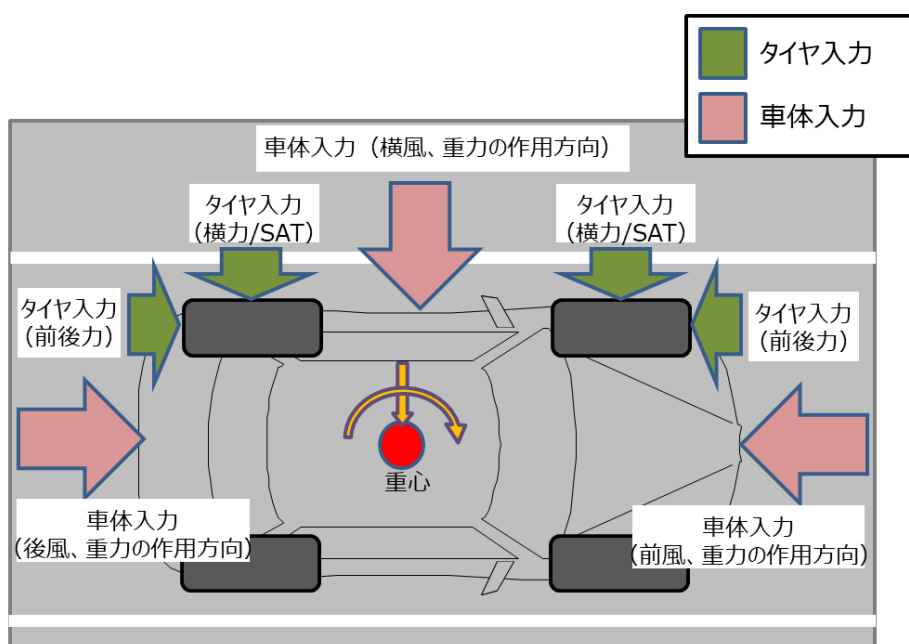


図 85. 車両運動外乱シナリオを定義するために考慮される外部からの物理的な力

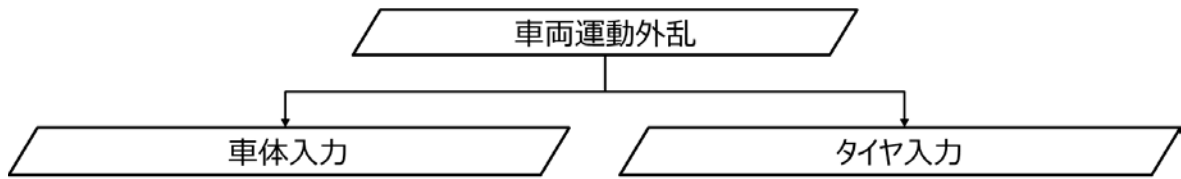


図 86. 車両運動外乱シナリオ体系

### 4.3.1 車体入力の分類

車体に影響を与える要素は、道路形状と自然現象に分類できる(図 87)。道路形状とは、曲線部の片勾配、縦断勾配、曲率であり、自然現象は、自然に発生する横風、追い風、向かい風がある。これらは車体に直接作用し横や前後またはヨー方向に影響を与える要素である。

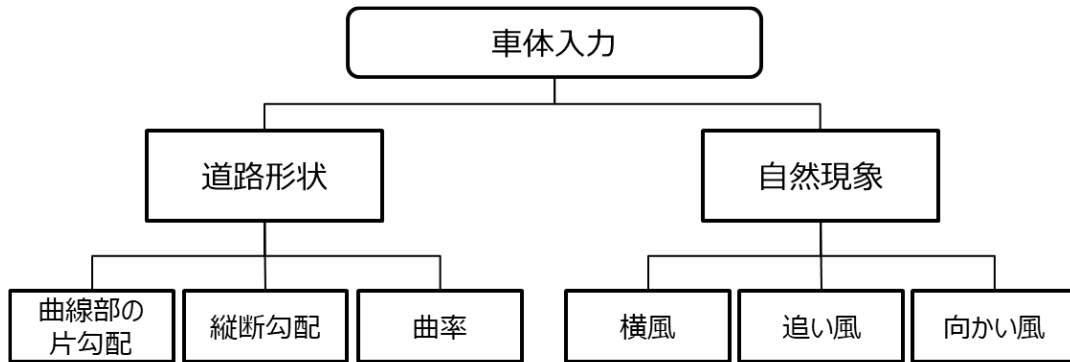


図 87. 車体入力に関するシナリオ体系

#### 4.3.1.1 道路形状

車体に作用する重力の方向は、道路形状(曲率や路面の傾斜)により変化する。たとえばカーブでは、道路の片勾配による重力の分力が作用し横方向の力が発生し、車線からの逸脱のリスクが高まる可能性がある。また、上り坂では同様に後ろ方向の力(下り坂では前方向)が発生し速度変動を誘発して他の車両に衝突するリスクが高まる可能性がある(図 88)。

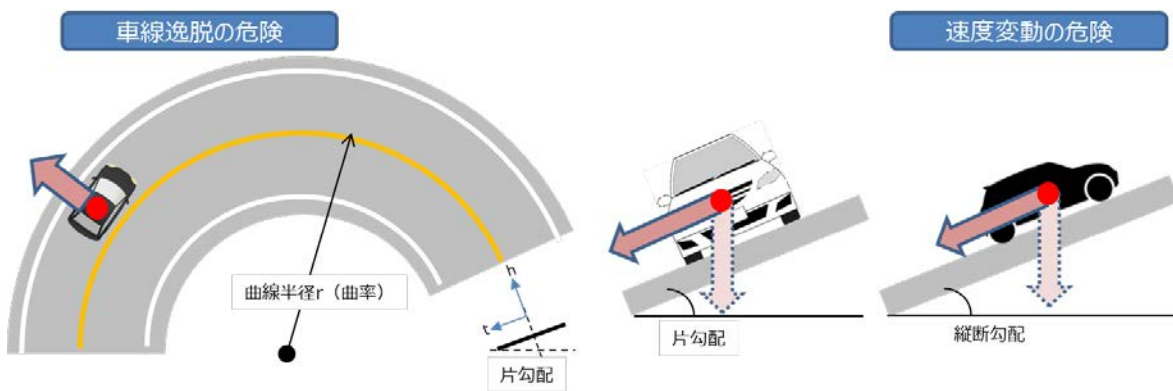


図 88. 道路形状の分類

### 4.3.1.2 自然現象

自然に発生する突風や強風によって、横や前後方向の力が発生することで車体が押され、場合によっては車線の逸脱や車速変動によって他の車両と衝突するリスクが高まる可能性がある(図 89)。

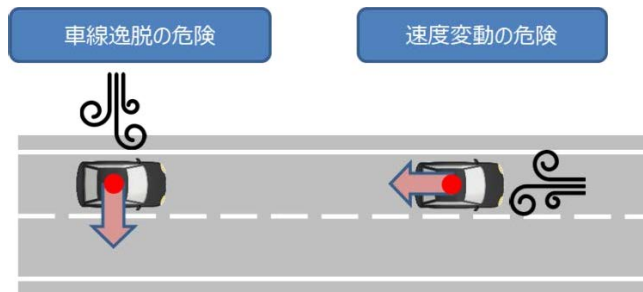


図 89. 自然現象の分類

### 4.3.2 タイヤ入力の種類

タイヤに影響を与える要素は、路面状態とタイヤ状態に分類できる。路面状態とは、タイヤへ直接影響する路面の変化を指す。例えば路面とタイヤ間の摩擦係数は、不均一な表面や濡れた路面の結果として変化する可能性があり、タイヤのグリップ力が低下し場合によっては車両安定性に影響を与える。タイヤ状態は、タイヤの特性が大きく変化するパンクやバースト、タイヤの磨耗により突然な変化を指す(図 90)。これらにより車両の不安定性によるコントロール不能を引き起こし、潜在的に危険な状態をもたらす。

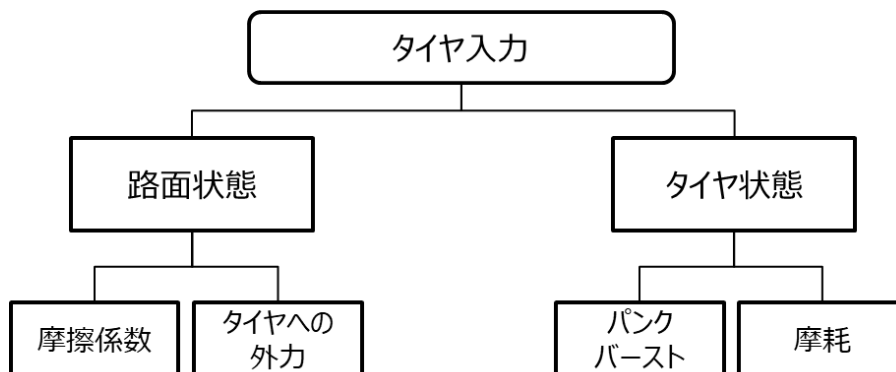


図 90. タイヤ入力に関するシナリオ体系

#### 4.3.2.1 路面状態

路面形状としては、タイヤへの路面入力や路面 $\mu$ の変化によりタイヤ力が変わり影響を与えるものである。例えば凹凸など路面形状による外力や雨などで路面摩擦が変化することによってタイヤ力が変化し車両の方向が変化し、場合によっては車線の逸脱や車速変動によって他の車両と衝突する恐れがある。したがって、路面状態は、摩擦係数と外力に分類される(図 91)。



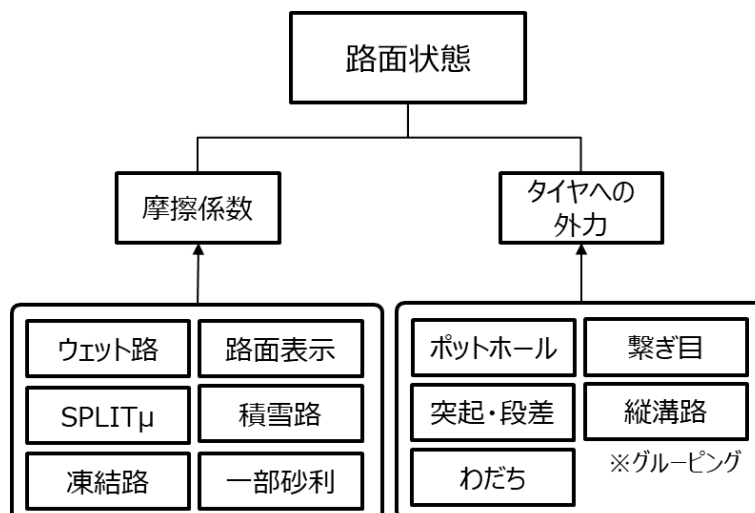


図 91. 路面状態の分類

ここで、タイヤと道路のとの摩擦係数に影響する路面要因には、濡れた道路、凍った道路、雪道、部分的な砂利などが含まれる。たとえば、乾燥した道路から濡れた道路へ突然移動すると、摩擦係数の低下が誘発される場合がある(図 92 左側)。この低下は、車両の安定性に影響を与える可能性がある。

路面に関する外力は、ポットホール、突起、溝などによって誘発される場合がある。たとえば、車両が道路の段差や突起を超えると、タイヤに斜め上方向(右上)に突然の力が加えられ(図 92 右上)、車両の方向が変化する。この動きの変化は、計画された軌道から逸脱する可能性があり、衝突を引き起こす可能性がある。

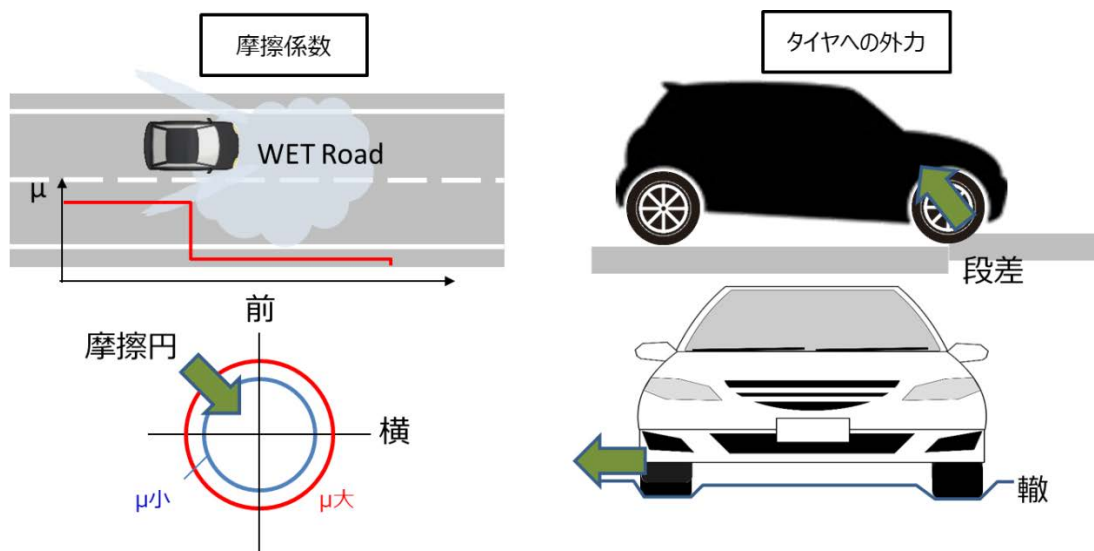


図 92. 摩擦係数の変化(左)とタイヤの外力(右)による路面状態に関する車両運動外乱

#### 4.3.2.2 タイヤ状態

タイヤ状態としては、タイヤ特性を変動させ影響を与えるものである。これは摩耗やパンク、バースト(図 93)することでタイヤ力が減少し、場合によっては車線の逸脱や車速変動によって他の車両と衝突する恐れがある。



図 93. パーストによるタイヤ状態に関する車両運動外乱

### 4.3.3 予測可能な車両運動外乱の安全アプローチ

この章では、予測可能な車両運動外乱に対する技術的安全アプローチについて詳しく説明する前に、2つの一般的な前提条件を説明する。

#### 4.3.3.1 前提条件

最初の前提は、車両が走行する道路設計、道路維持・管理および道路環境条件に関する常識である。この前提は、合法性、倫理およびエンジニアリングなどの基本原則に従って、責任ある公共または民間機関によって道路が建設され、常に維持され管理されることを意味する。ほとんどの国では、すべての免許を取得した人（運転技能や反射能力など年齢に関係なく）が安全に走行できるような道路形状を設計するための道路構造令がある。たとえば日本では、予め設計された 100 km/h の速度制限に対して、濡れた道路の場合でも車両の横加速度を 0.11G 未満に維持できる曲線半径が指定されている。このような条件で加速度を維持できない道路を建設する場合（スペースの可用性など）、設計上の道路速度制限は下げられる。同様に、凍結路などによるすべり摩擦の低下、または路面の亀裂、隆起またはポットホールが存在など、路面の劣化を迅速に検出するためのメカニズムを導入する必要がある。別の例として、雨風などの自然環境は、道路管理側が安全に走行できると定めた範囲内での走行であり、例えば災害レベルの暴風雨では、道路管理者は速度制限や通行止めなどの措置を行い、ドライバはその指示に従って走行する。これは自動運転車両でも同様と考える。

つまり道路設計、道路整備・管理または道路環境条件に関する法令に従わない場合、車両が自動化されているかどうかにかかわらず、安全性が保証されない場合がある。したがって、路面の劣化した道路や保守が不十分な場合は受け入れられない。AD 安全性保証エンジニアリングフレームワークの方法論の目的としては、そのようなシナリオは回避不可(Unpreventable)として分類される。

2つ目の前提は、AD システムオペレーターの責任に関する常識に関するものである。AD システムは運転中に責任を負うが、運転者は車両運行前に整備不良（例：法的技術検査基準を下回る過度のタイヤ摩耗、タイヤ製造業者が推奨する空気圧を下回る空気圧低下、パンク）または当初の車両性能を達成できない車両状態であることを認知している場合（例：テンパタイヤ装着、スタッドレス/チェーン装着）では運行者責任と考える。この状態でシステムを作動した場合は、衝突回避できない場合がある。

#### 4.3.3.2 車両運動外乱に対する工学的安全アプローチ

前章の前提条件に基づいて、予測可能な車両運動外乱に対する技術的な安全アプローチが導入される。図 2 で前述したように、現在の標準では予見可能で回避可能なシナリオにおける衝突回避戦略および予見可能で回避不可能なシナリオの衝突緩和戦略を特に考慮している。したがって、回避可能な条件の範囲内で車両運動外乱により車両の挙動が変化した場合、AD 車両は、走行を中断することなく車両を安定

させるコントロール性が求められる。しかし、これらの外乱が回避不可能な不安定性を引き起こす場合、AD 車両は起こり得る衝突を緩和するために「ベストエフォート」戦略を適用する。

図 94 は、予測可能な車両運動外乱に対するこの安全アプローチの具体例を示している。図の上段では、AD 車両が、濡れた路面で回避可能な条件に収まるためにすべり摩擦の急激な低下に直面した例を示している。この状態では、車両は走行を中断することなく安全に制御することができなければならない。対照的に図の下段は、サマータイヤを装着した AD 車両が凍結路に遭遇し、すべり摩擦の極端な低下を引き起こし、回避不可能と事前に定義された車両状態(例えば最大減速など)が発生した例を示している。したがって、車両運動外乱に対する安全アプローチは、車両制御可能な状態と車両制御不可能な状態の定義に関連する車両運動工学の原則で明確な定義に基づいている。これらの定義は次のとおり。

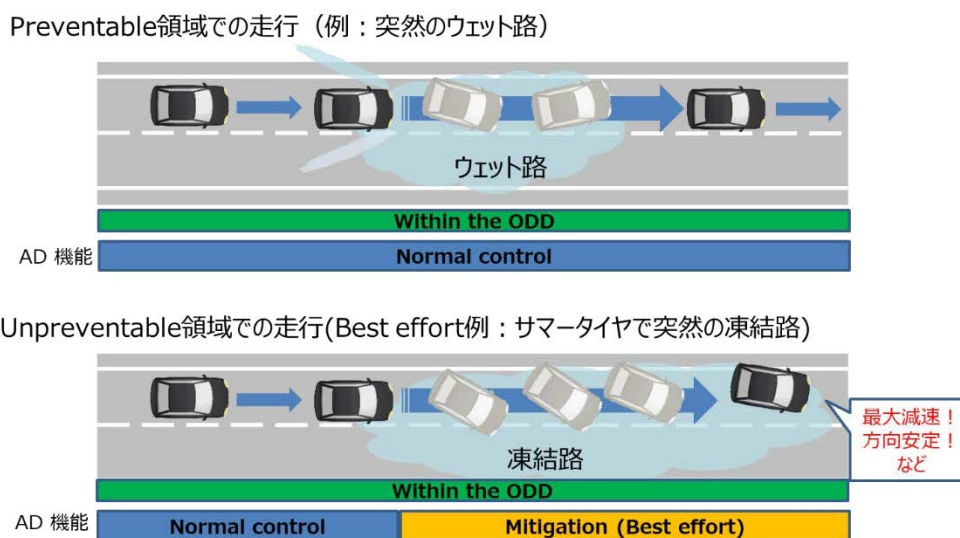


図 94. 回避可能(上段)と回避不可能(下段)な車両運動外乱に対する安全アプローチ

車両運動の原理と回避条件の関係は、2つの工学的指標によって確立される。1つ目の指標は、車両の作用力であり、これは車両が走行する際に掛かる力と1つまたは複数の車両運動外乱要因(たとえば、道路形状、風、路面、タイヤ関連の状態)によって誘発される力の合計として定義される。2つ目の指標は、路面とタイヤの粘着利用率 $\varepsilon$ である。図 95 は、その粘着利用率 $\varepsilon$ に基づいて、車両が運行する可能性のある4つのエリアを示している。これらの領域は、通常の運行時に使う領域( $\varepsilon$  30%以下)、AD 車両が通常で緊急回避するために使う領域( $\varepsilon$  30%~75%)、ABS が作動するような限界領域( $\varepsilon$  75%~100%)およびタイヤのグリップ力が働かない超限界領域( $\varepsilon$  100%以上)で分類される。様々な車両運動外乱含め走行時の結果として生じる作用力(青い矢印で示されている)が粘着利用率75%未満である場合に運動制御が物理的に可能であり、衝突回避戦略が確保されるシナリオとなる。更に作用力が粘着利用率75%を超えるシナリオでは、運動制御が実行できない状況が含まれる可能性があるため、衝突緩和戦略を採用する必要がある。

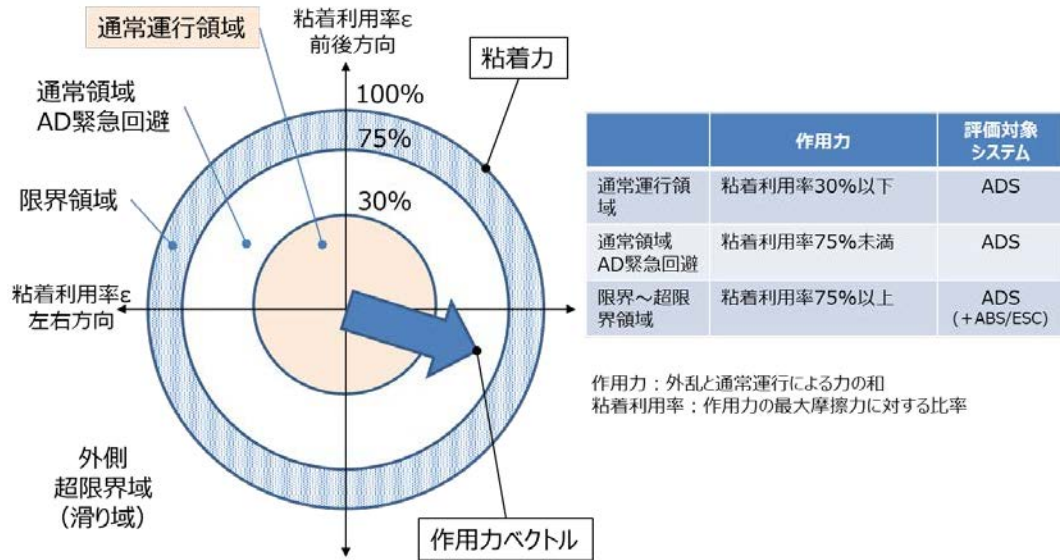


図 95. 車両運動外乱の安全アプローチを定義する車両の作用力と粘着利用率の概念図

#### 4.3.3.3 車両運動制御の可能範囲

車両運動外乱は、車両に対し作用力を動的に変化させ、車両の運動制御を確保することが困難な領域に入る可能性がある。図 96 は、作用力と摩擦係数を軸にし、すべての環境下で車両運動を制御可能な領域と車両運動の制御が困難な領域を示している。ここで舗装道路のすべり摩擦係数は、乾燥時は 0.5~1.0、湿潤時は 0.3~0.9、凍結時は 0.1~0.2 である。したがって、車両運動外乱による作用力が常に運動制御可能領域内に収まるように、AD 車両の運動制御戦略を開発およびテストする必要がある（図の右下の緑色の三角形の領域）。

NOTE: すべり摩擦係数は一般的にロック時の数値である。Development of a real time friction estimation procedure, Gerd Müller S. Müller, 2017 の論文によれば、雨天走行時におけるすべり摩擦係数は 0.6 程度であると述べている。

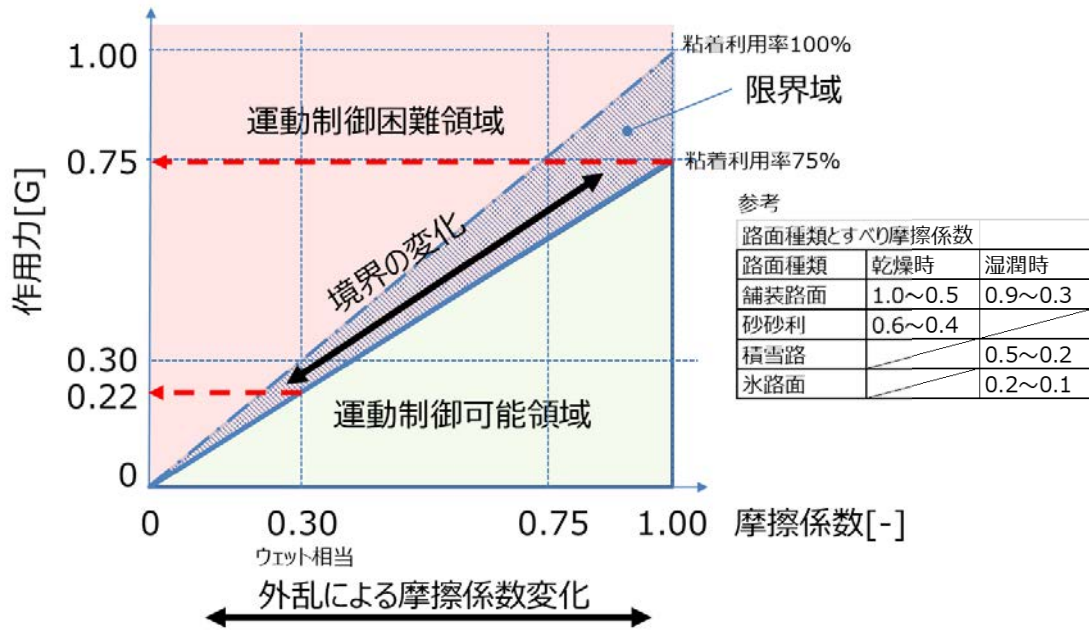


図 96. 車両運動制御の可能範囲

#### 4.3.3.4 車体入力の道路形状外乱に対する車両運動の制御可能性

道路形状で車両運動として厳しい条件は曲線半径である。日本の道路構造令では、道路の曲線部において、安定した走行ができるように曲線部の最小半径を定めている。また、最小曲線半径については、自動車に加わる遠心力等の横方向に働く力が、タイヤと路面の摩擦によって与えられる力を超えないことにより、乗員に働く遠心力と乗り心地のバランスを考慮して定めている。この道路構造令から引用すると、設計速度 100km/h における曲線半径の最小値は 460m (暫定措置の場合は 380m) で設計されている。ここで、横すべりに対して安定であるための速度、曲線半径、片勾配および横すべり摩擦係数の関係式は以下の通りであり、曲線半径は設計速度と横すべり摩擦係数及び片勾配の関係から求められる。

$$Z = \frac{G v^2}{g R} \dots (1) \text{式}$$

ここで、

- Z : 遠心力(N)
- v : 自動車の速度(m/s)
- g : 重力の加速度(=9.81m/s<sup>2</sup>)
- G : 自動車の総重量(N)
- f : 横すべりに対する路面とタイヤの摩擦係数
- i : 路面の片勾配(=tan α)
- R : 曲線半径(m)

ここで、横すべりを生じないための条件として

$$Z \cos \alpha - G \sin \alpha \leq f (Z \sin \alpha + G \cos \alpha) \dots (2) \text{式}$$

(2)式に(1)式を代入し、式展開により

$$R \geq \frac{v^2}{127(i+f)} \quad \dots (3) \text{式}$$

(3)式より横すべりに対する路面とタイヤの摩擦係数  $f$  (=横加速度) は

$$f = \frac{v^2}{R \cdot 127} - i \quad \dots (4) \text{式}$$

ここで、設計速度  $V=100$  (km/h)、路面の片勾配  $i=6$  (%)、曲線半径  $R=463$  (m) とすると  $f=0.11$  となる。つまり、日本の高速道路では横加速度  $0.11G$  (速度  $100\text{km/h}$ ) の走行ができる構造であることを意味している。また、この雨量や地形等の状況によって  $100\text{km/h}$  でこの条件が満たせない道路形状の場合は制限速度を下げている。従って、日本国内の自専道を走行する場合は通常運行で最大横加速度  $0.11G$  相当の粘着力を必要とする。図 97 は、常時運行で必要な道路形状の外乱となる最大値の  $0.11G$  のラインを引き、道路形状以外の外乱に使える作用力は、例えばドライ路面 (摩擦係数  $0.75$ ) では  $0.45G (=0.56G - 0.11G)$  であり、ウェット路面では同様に  $0.12G$  であることを示している。車両運動外乱では、通常運行である道路形状は常に考慮する必要があり、他の外乱要素と組み合わせた作用力の総和が運動制御可能領域に収まる必要がある。

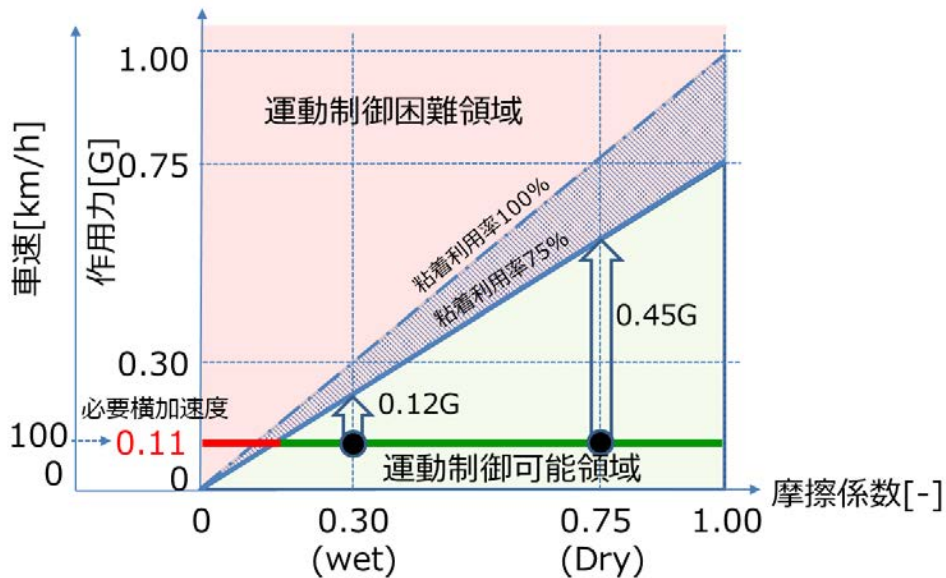


図 97. 道路形状に対する摩擦係数と作用力の関係

また、車両運動外乱の要素は必ずしも単独で発生するとは限らないため組み合わせで考える必要がある。それは実際の環境下では、例えば降雨でカーブを走行中横風が吹くといったような状況がありえる。路面がドライやウェット更に積雪路などの状態は摩擦係数として表すことができ、道路形状と自然現象 (ex 横風) さらにタイヤへの外力 (ex 凹凸) は作用力として表すことができる。またパンクにおいては、粘着利用率が  $100\%$  発揮出来ない状態として表すことができる (図 98)。つまり図のように、車両運動外乱は、要素の組み合わせで考える必要がある。

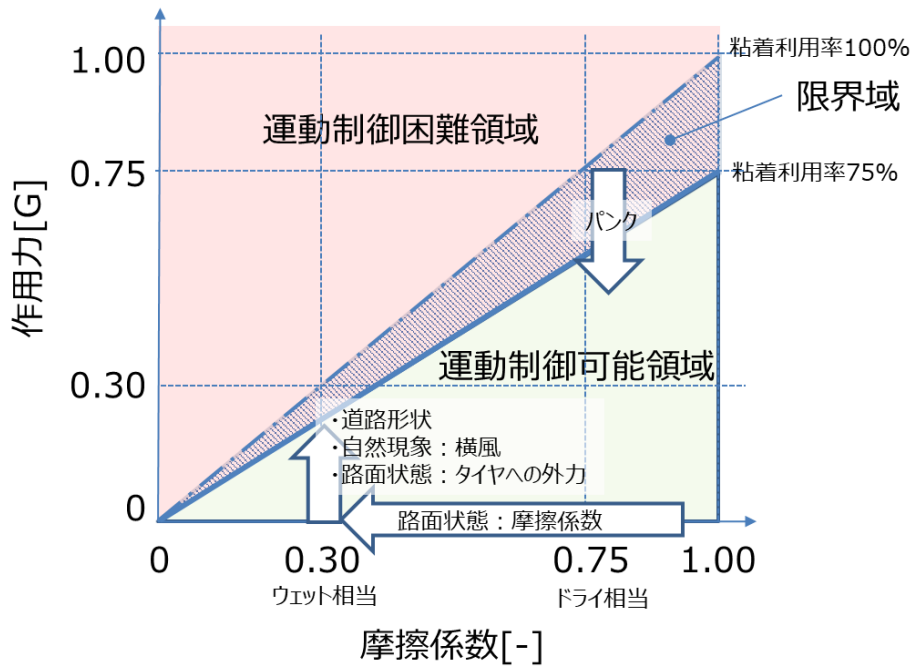


図 98. 車両運動外乱における要素の組み合わせと関係

#### 4.3.3.5 車体入力 of 自然現象外乱に対する車両運動の制御可能性

自然現象である風の外乱は、作用力として加算される。つまり道路形状における必要な作用力 0.11G に加算される。ここで、横風による作用力は、車両の形状と大きさによって変わる。例えば、図にあるように風速 10m/s においてセダン相当及びミニバン相当ではこの程度の差がある。

また風速 20m/s ではセダン相当でも粘着率 75%を超える領域、つまり運動制御困難な領域になる。この場合ベストエフォートで対応する必要がある。しかしながら、日本の高速道路では 10m/s 以上の風速があると速度規制が行われ、道路形状で必要な作用力が下がるため、10m/s 以上の風速でも安全に走行ができる。従って日本の自専道では風速に対する速度規制が設定されているため、100km/h で走行可能な風速 10m/s 未満が風速に関する境界となる(図 99)。

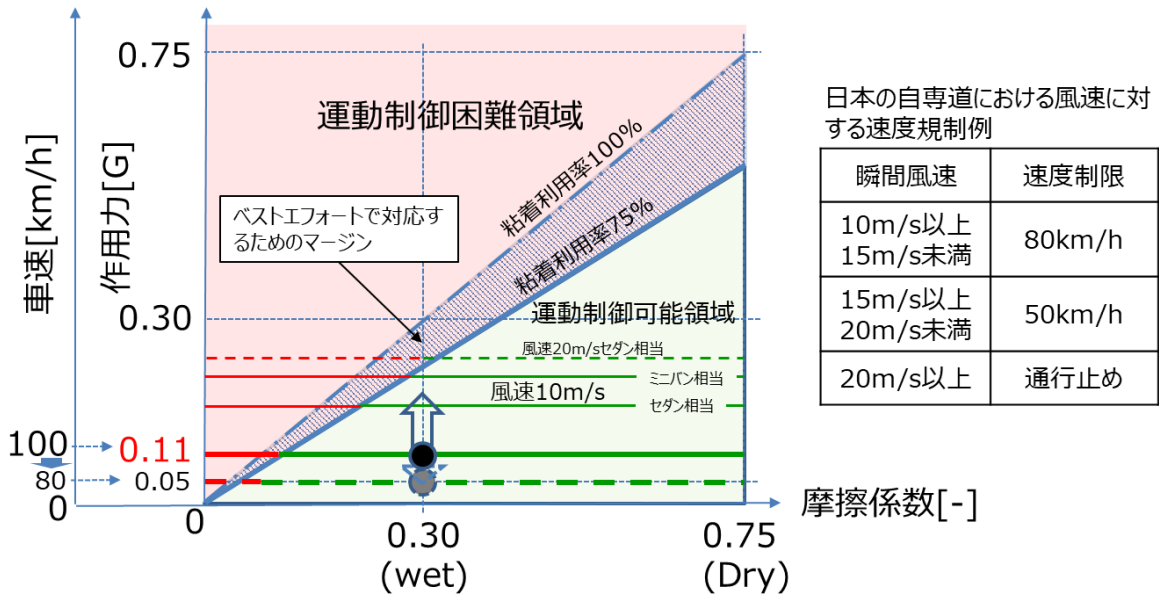


図 99. 自然現象(横風)に対する摩擦係数と作用力の関係

#### 4.3.3.6 タイヤ入力の路面状態外乱に対する車両運動の制御可能性

日本の自専道では、表(日本の自専道における気象状況に対する速度規制例)のように気象条件によって速度規制が行われる。つまり、速度規制にならない気象条件が境界値になる。ここで 100km/h 走行時における雨量 20mm/h 未満の場合はハイドロプレーニングを起こさないので摩擦係数 0.3(ロック $\mu$ )以上が境界値である。一方、20mm/h 以上の雨量はハイドロプレーニングを起こし摩擦係数は大幅に低下する。また凍結・積雪も摩擦係数が 0.2 以下に低下することで先の横風を考慮すると運動制御可能領域に収まらない。従って、ノーマルタイヤを常用している常識な環境下では摩擦係数の境界はウェット相当の 0.3 である(図 100)。また、深い段差やポットホールなどタイヤへの外力は作用力が発生し、車両の挙動を乱す恐れがある。一方道路管理者は安全に道路を維持管理する責任がある。このため修繕要否判断の目標値を設定している(表 30)。つまり、その目標値以下であれば、通常のドライバが安全に走行することが出来ることを期待されている。従ってタイヤへの外力に関する境界を、これら目標値とし、横風同様に作用力に加算される。



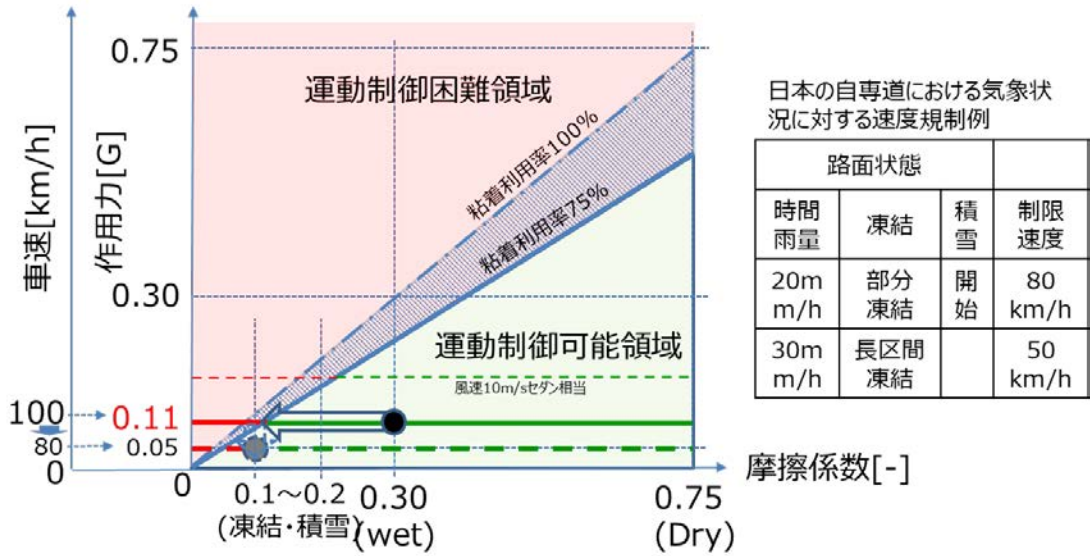


図 100. 路面状態に対する摩擦係数と作用力の関係

表 30. 維持修繕要否判断の目標値

道路の種類 \ 項目	わだち掘れ及び びらべリング (mm)	段差(mm)		すべり 摩擦係数	縦団方向の凹 凸(mm)	ひびわれ率 (%)	ポットホール径 (cm)
		橋	管渠				
自動車専用道路	25	20	30	0.25	8mプロフィール 90(Pr) 3mプロフィール 3.5(σ)	20	20
一般道 (交通量多)	30~40	30	40	0.25	3mプロフィール	30~40	20
一般道 (交通量少)	40	30	---	---	---	40~50	20

#### 4.3.3.7 タイヤ入力のタイヤ状態外乱に対する車両運動の制御可能性

走行中のパンクについては、作用力が増加するのではなく粘着利用率が 100%以下に低下する。SAE2013 によれば、1つのタイヤがパンクしてもリムが地面に接地しない限り約 0.6G まで車両をコントロールできると述べている(Tandy、Ault、Colborn、&Pascarella、2013)。これは、粘着利用率が 60%まで下がることを意味する。また、この程度ではすぐに危険な状態にならないためバーストを起こすなどリムが地面に接地する前に TD を出し安全に停止することが求められる。

#### 4.3.3.8 車両運動外乱における Preventability/Unpreventability 境界条件

車両運動外乱における Preventability/Unpreventability 境界条件は、設計速度(日本は 100km/h)で走行を継続できることを条件とし以下の通りである。

- ▶ 路面状態: 摩擦係数が 0.3(ロック  $\mu$ ) 以上、タイヤへの外力は道路維持修繕の目標値以下(例: 轍:25mm,段差:30mm,ポットホール:20cm)
- ▶ 道路形状: 道路構造令の規定内のカーブ(R=460m)
- ▶ 自然現象: 横風が速度規制無しの風速(10m/s 未満)

上記 3 要因に関しては全て加算した条件が Preventable である

この条件で走行出来ない場合(例えば、横風5m/s 以上は不可)は、製造者は予め ODD として定義する必要がある。

タイヤ状態: 走行中に起こったスローパンクチャー。但しリムが路面接地する前に検知すること。

それぞれの Unpreventable 条件及び運行者責任の条件をまとめたものを図 101 に示す。

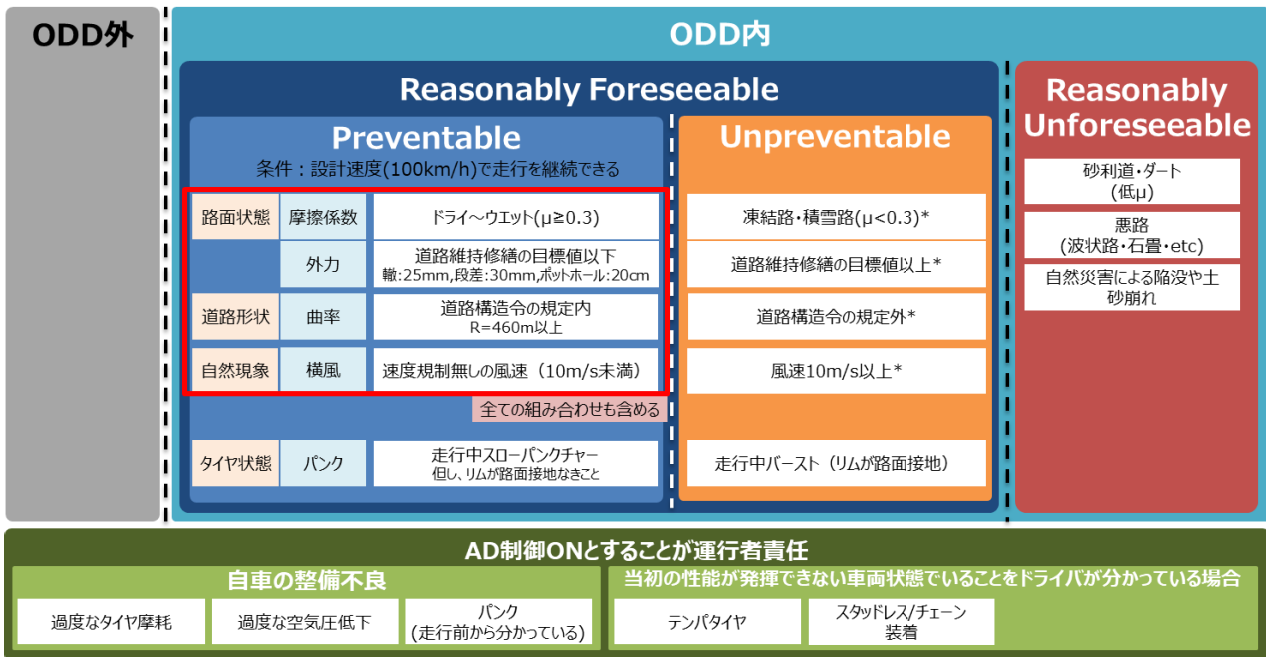


図 101. 車両運動外乱における Preventability/Unpreventability 境界条件

## 5 シナリオデータベース

### 5.1 3つの抽象化レイヤー

最上位の定性的なシナリオ構造を定義する Functional シナリオは、運転行動の3要素である「認知」「判断」「操作」に基づき、「認識不調」「交通外乱」「車両運動外乱」の3つのカテゴリで体系的に構造化することで、包括的なシナリオ評価が可能になる。(3章)

Logical シナリオは、構造化された Functional シナリオに対して、定量的なパラメータ範囲を付与したもので、例えば交通外乱においては交通流データから車両の軌跡を抽出し相対速度やカットイン速度などの交通流パラメータを統計分布から定義するデータ駆動型アプローチによって定義できる。なお、交通流データは、交通監視及び運転データ、事故データベース、保険データ、地図及び道路データ等を指す。

Concrete シナリオは、具体的に評価を行う一つ一つの評価条件であり、安全状態と不安全状態を区別できる安全性判定の境界等から抽出することが考えられる。(1.3節)

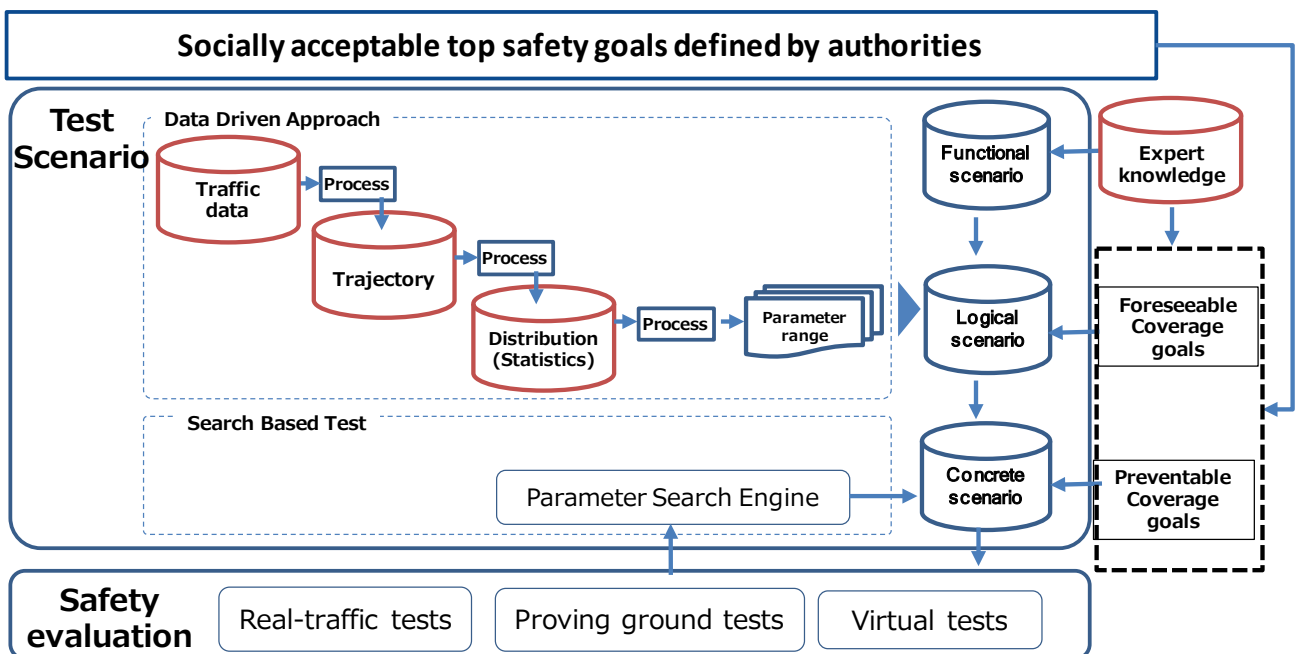


図 102. データ駆動型 AD 安全シナリオの開発と適用プロセス

### 5.2 データパラメータ、フォーマット、アーキテクチャ

図 103 は、シナリオのカタログから具体的なテストシナリオを作成し、これらのシナリオを標準化された形式で出力するために必要な情報フローのスキームを示している。さまざまなシミュレーション環境に適応できる汎用性のある標準化されたデータフォーマットは、AD 安全性評価に有益である可能性がある。車両の動作および道路形状に関する情報を含むファイルは、シナリオカタログからテストデータジェネレータによって生成される。これらのファイルは、コンバータを介してさまざまなシミュレーション環境に適用することができ、市販されている特定のソフトウェアから独立させることが可能である。

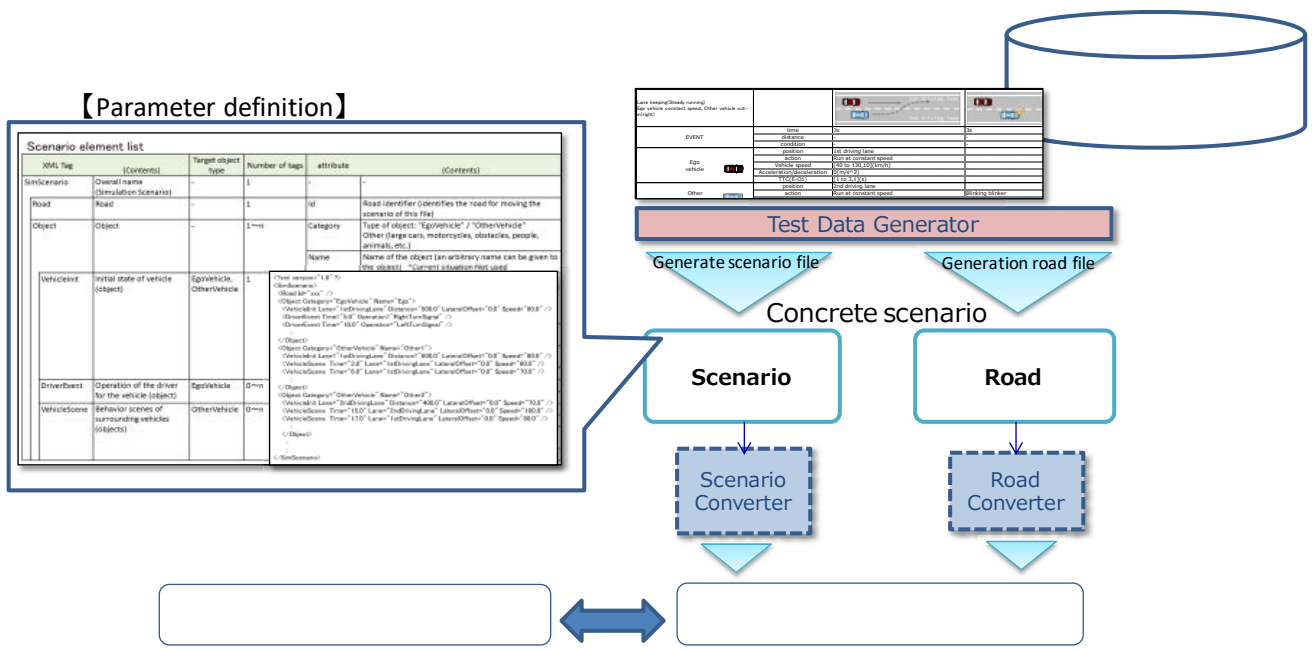


図 103. 標準化シナリオに基づくAD 安全性評価のための情報フロースキーム

### 5.3 テストシナリオデータベースのインターフェース仕様

図 104 にシナリオデータベースの体系を示す。シナリオデータベースは、実際の交通観測データを入力に、安全性評価に必要なシナリオデータを出力する。これを実現するための入出力インターフェースが必要である。また、出力されたシナリオデータで安全性評価を実施し、その結果をシナリオデータベースにフィードバックする。

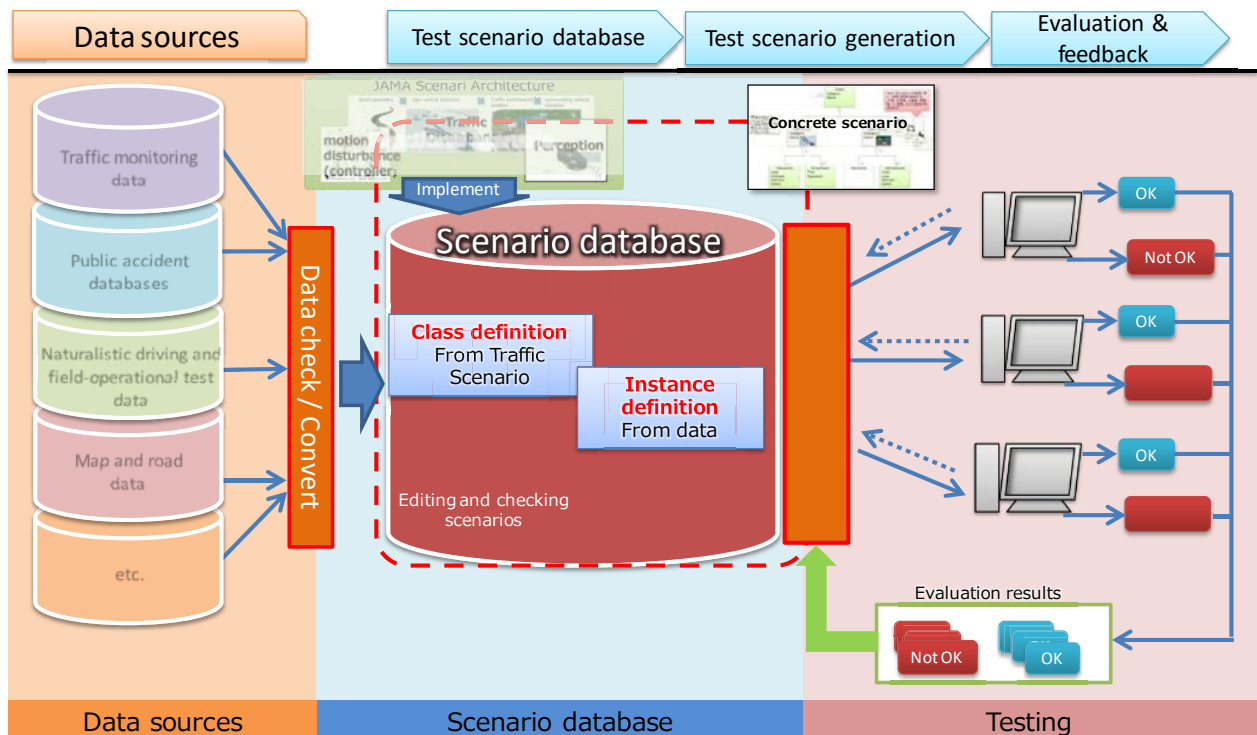


図 104. シナリオデータベースのスキームとインターフェイス

交通モニタリングデータ、事故データ、フィールドテスト収集データ、地図および道路データなど、実際の交通データは多岐に渡る。これら不特定多数の実データをシナリオデータベースに取り込むためには、必要な情報を取り出し、適切なフォーマットへの変換が必要である(図 104 の Data check/Convert)。共通のデータベースに適切に取り込まれたデータは、標準化された方法論に従いシナリオを生成することが可能である。

シナリオデータベース内に生成されたシナリオを利用するために、シナリオの検索、生成およびエクスポートを可能とするインターフェースが必要である(図 104 の Test scenario search and generation variation)。

# Annex A 道路形状

道路構造から抽出した道路構成要素のツリー図と、道路構成要素と関連するパラメータ項目の対応を示す。これらのパラメータ項目定義については表 A-1 に示す。

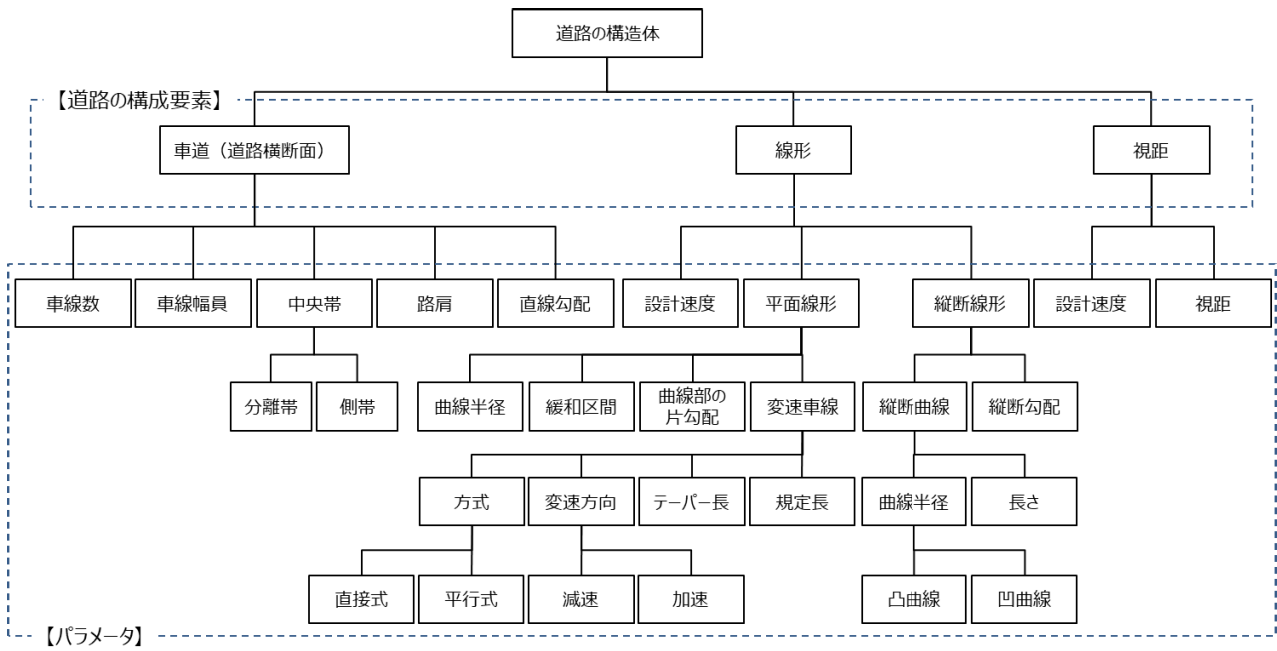


図 A-1. 道路構造令に基づく道路構成要素(断面、直線、視距離)と関連するパラメータ項目

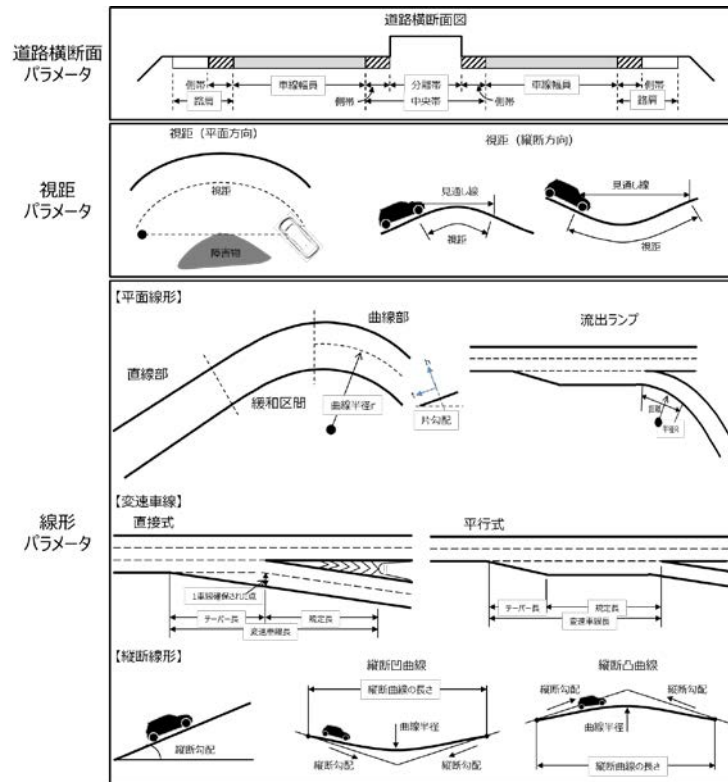


図 A- 2. 日本道路構造令による断面、視距離、直線道路パラメータの例

道路形状パラメータを各シナリオカテゴリ(認識外乱知覚制限、交通外乱、車両運動外乱)に対して検討した。例えば、交通外乱では、周囲車両数の増加に伴い、車線数を増加させるケースがあるが、これは、認識外乱や車両運動外乱に直接関係するものではない。表 A- 1 は、シナリオカテゴリ毎によるシナリオ開発のための道路形状パラメータを示す。

表 A- 1. 車両制御カテゴリによるシナリオ開発のための道路形状パラメータ

道路形状パラメータ		認識限界	交通外乱	車両運動外乱	
横断面	車線数	-	合流・分岐路においては周辺車両の増加によりリスクが増加	-	
	車線幅員	-	周辺車両との相対距離が短くなる	曲線半径と合わせて車線内維持がより困難	
	中央帯	分離帯が狭い対向車線で誤認識の恐れ	※分離帯を回避経路に使う可能性はあるがここでは基本扱わず道路形状作成のために表現する	-	
	路肩	-	※路肩を回避経路に使う可能性はあるがここでは基本扱わず道路形状作成のために表現する	-	
線形	平面線形	曲線半径	曲線半径と障害物によって視距が影響を受ける	-	車線維持が困難
		緩和区間	-	-	短い場合十分な減速が行えず、緩和区間で車両維持が困難
		片勾配	-	-	曲線半径と片勾配の関係によっては車線維持が困難
		変速車線	-	十分な加速/減速を達成するのが困難	-
	縦断線形	縦断曲線	凸曲線トップの障害物による認識遅延	-	アップダウン時の挙動乱れが生じる可能性があるが、縦断勾配で表表される場合がある
		縦断勾配	前方にある物標の誤認識	車両性能によっては交通外乱にも影響を及ぼす	車両性能によっては交通外乱にも影響を及ぼす
視距		視距によって認識遅延	-	-	

同様に、各パラメータを考慮した結果、各シナリオで扱われる重要なパラメータは次のようになる:

- ー 認識外乱シナリオに関連するパラメータは、例えば、中央値/曲線半径/垂直アライメント/視距である。
- ー 交通外乱シナリオに関連するパラメータは、レーン数/幅/速度変更レーン/垂直勾配などである。
- ー 車両運動外乱シナリオ:幅/曲線半径/非規制区間/片勾配/垂直アライメント

テストシナリオの道路形状パラメータについては、安全性に影響のないパラメータを固定値に設定し、安全関連パラメータの範囲のみを定義することにより、必要なテストケース数を減らすことができる。

### A.1 道路形状構成要素

走行環境定義に基づいて、道路形状を本線、合流車線、分岐車線、およびランプに分類した。また、道路ジオメトリ分類は、本線、速度変更レーン、ランプウェイ、およびノーズ・ヴィニシティ(Nose Vicinity)の 4 つの要素からなる(図 A- 3)。道路構造令の道路構造パラメータは、本書[4]の各構成要素について定義されている。[この基本分類により、シナリオを作成するために使用した 4 つのカテゴリと、日本で道路を建設するために使用した道路構造令からの対応する標準化された道路形状構成要素との間の関係を確立することができる。これらの標準化された道路形状構成要素の例は、主道路、速度車線変更、ランプおよびノーズ周辺である。]さらに、条例は、各道路形状構成要素と、異なる道路構成要素パラメータに関連する断面、線形又は視距離のような安全上重要な道路形状パラメータとの間の関係も組み込んでいる。

Note: 本書に記載されている道路形状構成要素及び関連パラメータは、日本の道路建設に関する道路技術基準に従って定義されているが、他の国における基準の大部分は類似の原則を適用しているため、異なる国又は地域に提案されている方法論の適用を容易にしている。



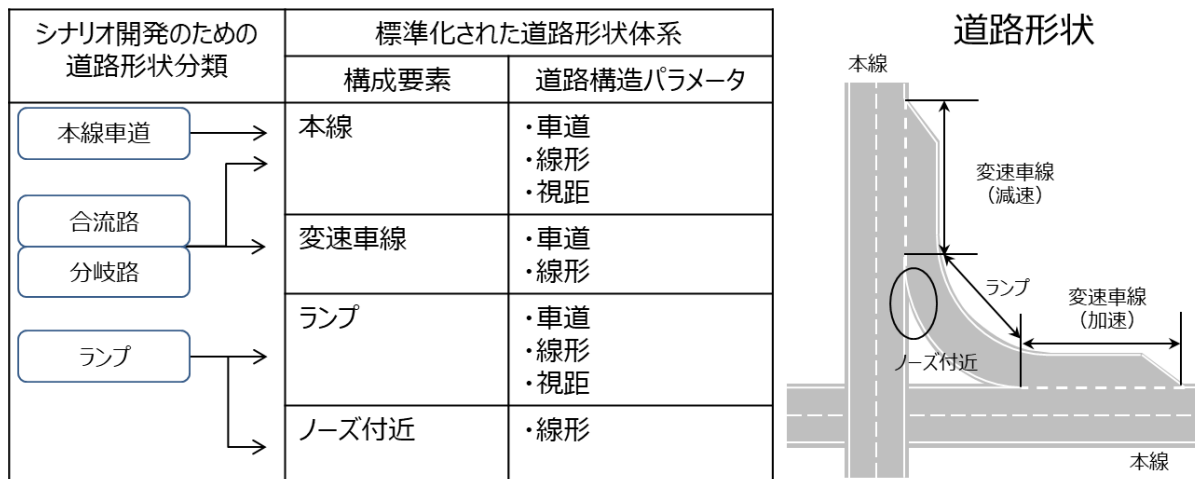


図 A- 3. シナリオ開発のための道路形状分類と標準化された道路構成要素と、対応する安全関連パラメータとの関係

## A.2 道路形状基本パラメータ

道路構造モデル(日本の場合:表 A- 2)における基本的な道路形状パラメータを決定するために、重要なパラメータは、各シナリオの厳しい値に設定される(表 A- 2、右から1列目)。これらのパラメータは上限値と下限値で示され、シナリオにも依存する。

表 A-2. 道路構造令(RSO)からの道路パラメータリストと日本の道路構造令からのベースライン道路形状パラメータ

道路形状パラメータ		基準値	最も厳しい値			
横断面	車線数	1, 2, 3, 4	3			
	車線幅員(m)	3.25, 3.5, 3.7	3.25			
	中央帯	分離帯(m)	1.25, 1.5, 2, 2.25, 3, 4.5	1.25		
		側帯 (m)	0.25, 0.5, 0.75	0.25		
	路肩 (m)	1.25, 1.75, 2.5	1.25			
	直線勾配 (%)	2, 2.5	2.5			
線形	設計速度 (km/h)	120, 100	120	100		
	平面線形	曲線部	曲線半径(m)	570, 380	570	380
			緩和区間(m)	100, 85	100	85
			片勾配(%)	6, 8, 10	10	
	変速車線	方式	直線式/並行式	直接式	並行式	
		変速方向	加速/減速	減速	加速	
		テーパ長(m)	70, 60	70	60	
		規定長 (m)	210, 110	110	220	
	縦断線形	縦断曲線	凸曲線(m)	11000, 6500	11000	6500
			凹曲線(m)	4000, 3000	4000	3000
			長さ (m)	100, 85	100	85
		縦断勾配 (%)	5, 6	5	6	
	視距	設計速度 (km/h)	120, 100	120	100	
視距 (m)		210, 160	210	160		

### A.3 実環境データによる更新

実際の道路形状は、異なる理由(例えば、地形によって制限される)により、法律に厳密に準拠しない場合がある。これは、暫定的な尺度として扱われ、長期間にわたり延長される可能性がある。このように、道路状況が変化するため、実際の厳しい状況をシナリオに反映させる必要がある。

表 A-3. 実環境での厳しい状況の例

状況	クリティカルパラメータ	外乱タイプ
複雑な立体交差	本線長が短い距離での分岐/合流 (規定長)	交通外乱
ブラインドコーナ	平面線形 (曲線半径) が小さい、視距が短い	認識限界 車両運動外乱
中央帯無し	中央帯 (分離帯) がない	認識限界
狭いトンネル 合流部の隔壁	路肩が狭い&壁がある (センサ誤認識)	認識限界
逆走防止ポール	規定長が実質短くなる、センサ誤認識	交通外乱 認識限界

#### A.4 実世界地図データによる道路形状パラメータ更新

このセクションでは、道路形状の重要なパラメータの定義について説明する。各国の道路構造令に基づき、道路形状パラメータを抽出した。ただし、パラメータは重要な要素ではありません。例えば、車線数が多い場合、周囲の車両の数が増加し、これは交通外乱として影響を及ぼす可能性があるが、認識外乱や車両運動外乱には必ずしも影響しない。したがって、道路形状パラメータの選択もシナリオカテゴリに依存する。

- 認識外乱シナリオによってカバーされる重要なパラメータは、分離ゾーン、曲線半径、曲線長さ、縦方向開回路、視距離である。
- 交通外乱シナリオによってカバーされる重要なパラメータは、車線数、車線幅、加減速車線、縦断勾配である。
- 車両運動外乱シナリオでは、対象となる重要なパラメータは、車線幅、カーブ半径、移行部、片勾配、垂直アライメントである。

注 1-参入:テストシナリオの道路形状パラメータとして、影響を受けないパラメータを固定したクリティカルパラメータを設定することにより、テストケース数を削減することができる。

道路形状パラメータを決定するために、表 B2 に従い、日本道路構造令に基づき、道路形状の重要なパラメータに、最も厳しい値を割り当てた。一方で、実際の道路の地形は、様々な理由により、道路構造令を厳格に遵守しない場合がある(例えば、混雑都市の建設空間が限定されているため、合流車線長が道路条例の規定より短くなることもある)。したがって、道路構造令によって定義した道路形状パラメータベースライン値は、実際の厳密な道路形状の条件で更新する必要がある。このために、動的マップデータをプロセスに組み込んだ。例えば、「法定速度 100km/h」および「最小曲線区間半径 100m 未満」(図 A- 4、左)の東京地域における高速道路特性の調査では、多数の場所が該当する(その結果、図 A- 4 の右に青いスポットが生じる)。このような検索は、東京の地域におけるカーブ半径の実際の道路要求パラメータをより良く反映するために、道路幾何学形状のベースラインパラメータ値(表 A- 2)を 380m から 100m 以下に更新する必要があることを示す。

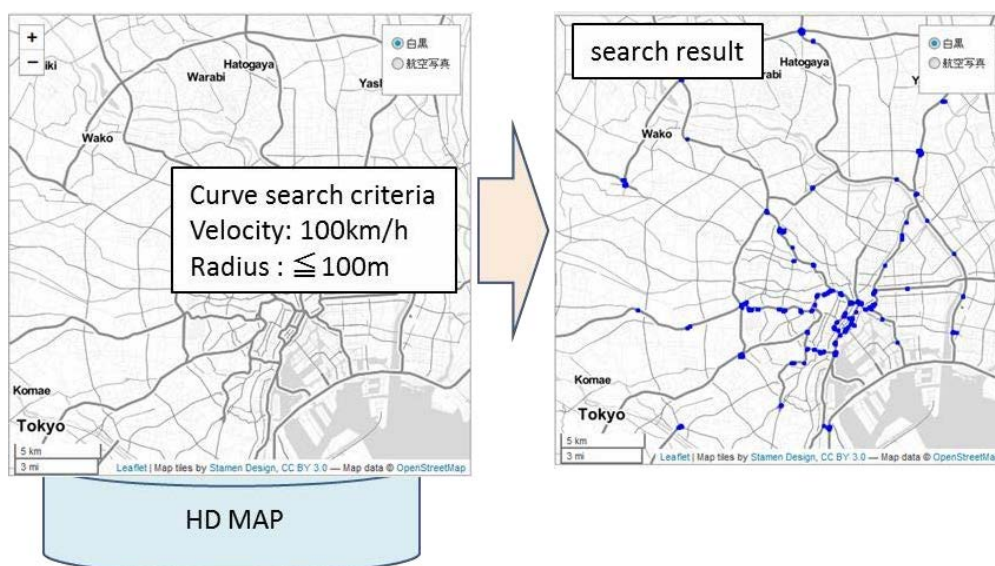


図 A- 4. ダイナミックマップを利用したデータ抽出

## Annex B

### 二輪車特有のシナリオ

交通外乱シナリオについて説明したシステム化プロセスと同様に、道路形状、自車動作、および周囲の二輪車の位置と動作の組み合わせとして、二輪車固有の交通外乱シナリオを構造化する方法論を提案する(図 B- 1)。

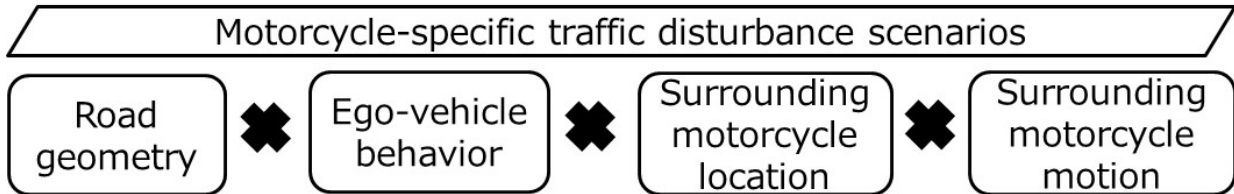


図 B- 1. 二輪車特有の交通外乱シナリオの構造概念図

#### B.1 周囲の二輪車固有の位置と動作の分類

一般車両におけるシナリオ定義では、周辺車両の位置を自車の周辺 8 方向と定義した。二輪車シナリオにおいては、これに加え自車の左右 2 箇所を二輪車特有の位置として定義し、シナリオを構造化する。

図 B- 2 の左側に示されるように、二輪車特有の位置[L]および[R]は、自車両の両側に、かつ同じレーン内に配置される。二輪車は、前方位置 1 からの減速(a)、後方位置 2 からの加速(b)、自車周囲の位置 3、4、5、6、7 または 8 からの車線変更(c)することによって、[L]または[R]の位置に移動することができる(図 B- 2 の中央部)。また、図 B- 2 の右側に示すように、二輪車が[L]と[R]の位置から移動することもでき、自車両に向かい横方向に接近(d)、前方位置への前進(e)、後方位置への後退(f)、自車両と並走(g)が考えられる。

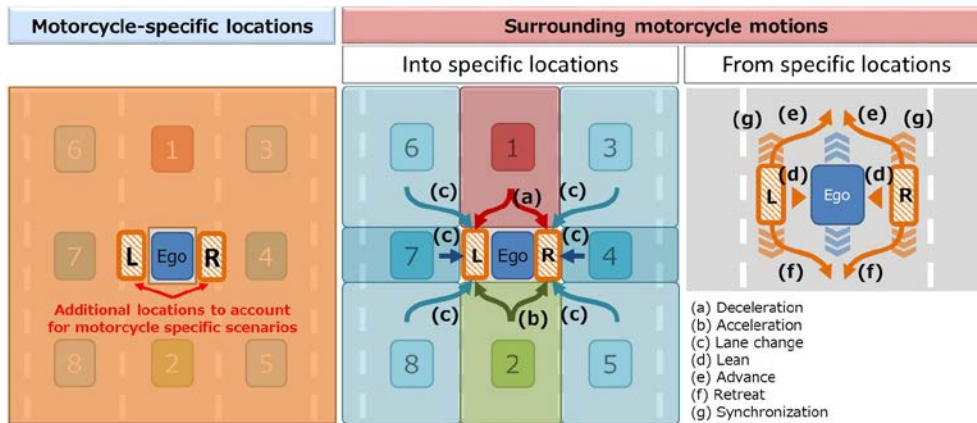



図 B- 2. 自車(左)の動作を妨げる可能性のある二輪車特有の位置と動作

#### B.2 二輪車特有の交通外乱シナリオ

二輪車シナリオの構造は、合計 56 の可能な組合せを含むマトリクスによって表される。自車の車線変更シナリオにおいては同期動作のみを対象としている。これは、二輪車特有の位置[L][R]に車両が存在する場合、自車の車線変更は物理的に不可能であるためである。これにより、実際の交通で実現可能な合計 18 のシナリオが残され、安全性評価に組み込まれる(図 B- 3)。





















		Surrounding motorcycle position and motion						
Road geometry	Ego-vehicle behavior	Into specific locations			From specific locations			
		Deceleration to side	Acceleration to side	Lane change to side	Lateral approach	Advance	Retreat	Synchronization
Main road	Lane keep	 No.1	 No.2	 No.3	 No.4	 No.5	 No.6	-
	Lane change	-	-	-	-	-	-	 No.7
Merging zone	Lane keep	-	-	 No.8	-	-	-	-
	Lane change	-	-	-	-	-	-	 No.9
Departure zone	Lane keep	-	-	 No.10	-	-	-	-
	Lane change	-	-	-	-	-	-	 No.11
Ramp	Lane keep	 No.12	 No.13	 No.14	 No.15	 No.16	 No.17	-
	Lane change	-	-	-	-	-	-	 No.18

図 B- 3. 二輪車固有の交通外乱シナリオ

## Annex C

### 交通外乱の複雑なシナリオへのアプローチ

実際の交通環境では、複数の交通参加者が様々な時に多数の行動を行うことができる。本節では、開発した交通流シナリオの概念に基づいて、複数の交通参加者を含むシナリオを検討する。

#### C.1 回避動作シナリオの概念

周辺車両が突然危険な動きをする場合には、自車両はそれを回避するために反応しなければならない。これらの危険は自車両がレーンキープ中においてもレーンチェンジ中においても発生する。後者は、レーンチェンジ先の周辺車両が、自車両と同じスペースに移動しようとする状況を示す。これらの車両を回避するための動作は、回避動作と呼ばれ、これは、自車両における二次的な動作である。このため回避動作シナリオは、自車両によって実行されるこれらの二次的な挙動の安全性を評価することを目的とするシナリオである。

#### C.2 交通流シナリオ

周辺車両の危険な移動を回避する動作によって生じるシナリオを理解するために、段階的なシーケンスを示す。このシーケンスは、レーンキープしながら走行する自車両への周辺車両の危険な接近、または自車両が車線変更しようとする際の、周辺車両の突然の接近から始まる(図 C- 1)。これが自車の回避動作の出発点となる。この回避動作を実行する前に、自車両は回避動作を実行することができる領域を決定する必要がある。この領域を「回避エリア」と呼ぶ。例えば、先行車両が突然減速し、潜在的に危険なシナリオ(回避トリガ)となる場合、自車両は、自車両のすぐ後ろの領域が空(回避エリアがあるか)であるかどうかを判定し、その後、回避動作としての減速をする必要がある。しかし、回避エリアの選択肢を決定する際、自車両は、同じエリアに侵入する可能性のあるカットイン車両を考慮しなければならない。これらの側面、ならびに走行する道路環境(例えば、主要道路、合流レーンなど)を考慮すると、異なる交通流シナリオを生成することができる。

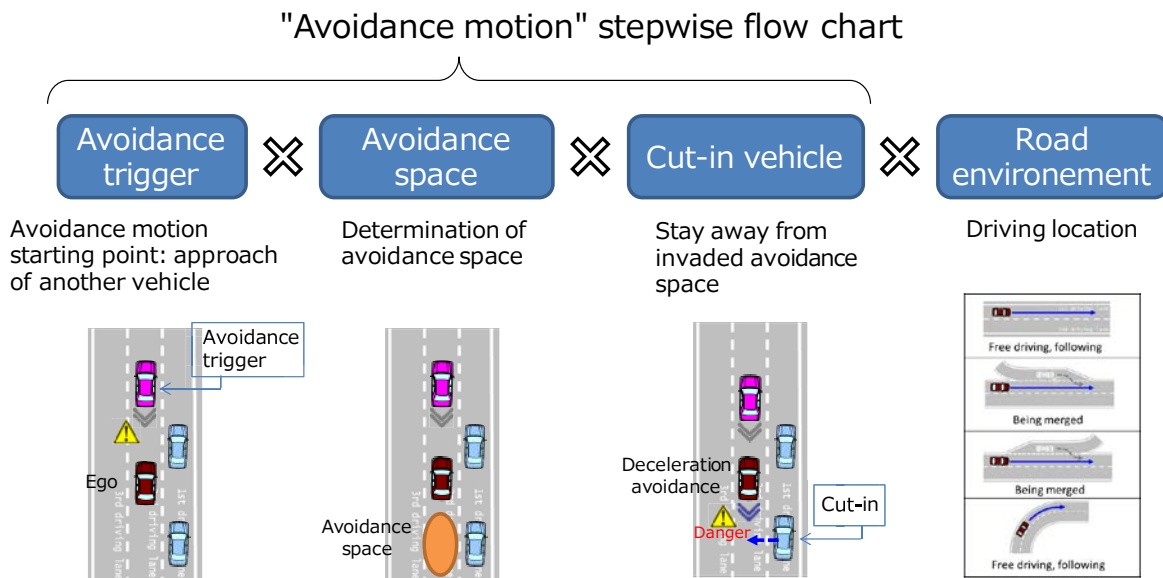


図 C- 1. 回避動作の開始から完了までのステップ

## C.2.1 回避トリガ

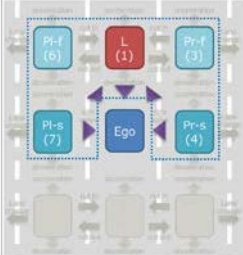
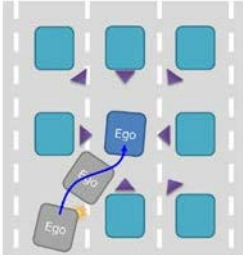
Ego-vehicle motion	Avoidance trigger types	Pattern diagram
Lane keep	<p>a) Approach from the front and sides</p> <p>Deceleration of the lead vehicle, cut-in by the lead side vehicles.</p> <p>※Approach from the back (rear-end collision) is not considered.</p>	<p>a) Approach from the front and sides</p> 
Lane change	<p>c) Approach to the lane change destination</p> <p>Cut-ins from directions other than that of the ego-vehicle</p> <p>※Consideration of lane change to the left isn't necessary because of symmetry</p>	<p>b) Approach to the lane change destination</p> 

図 C- 2. 回避動作シナリオにおける自車両の走行シチュエーション

## C.2.2 回避エリア

回避エリアは、自車両が回避動作を行うことができる領域として定義される。回避トリガとなる周辺車両の接近が開始されると、自車両は、その回避エリアがどこにあるかを判断する必要がある。安全のために、回避エリアはトリガ車両が接近してくる方向ではないものとする。図 C- 3 は、レーンキープシナリオとレーンチェンジシナリオの両方の回避エリアを強調している。

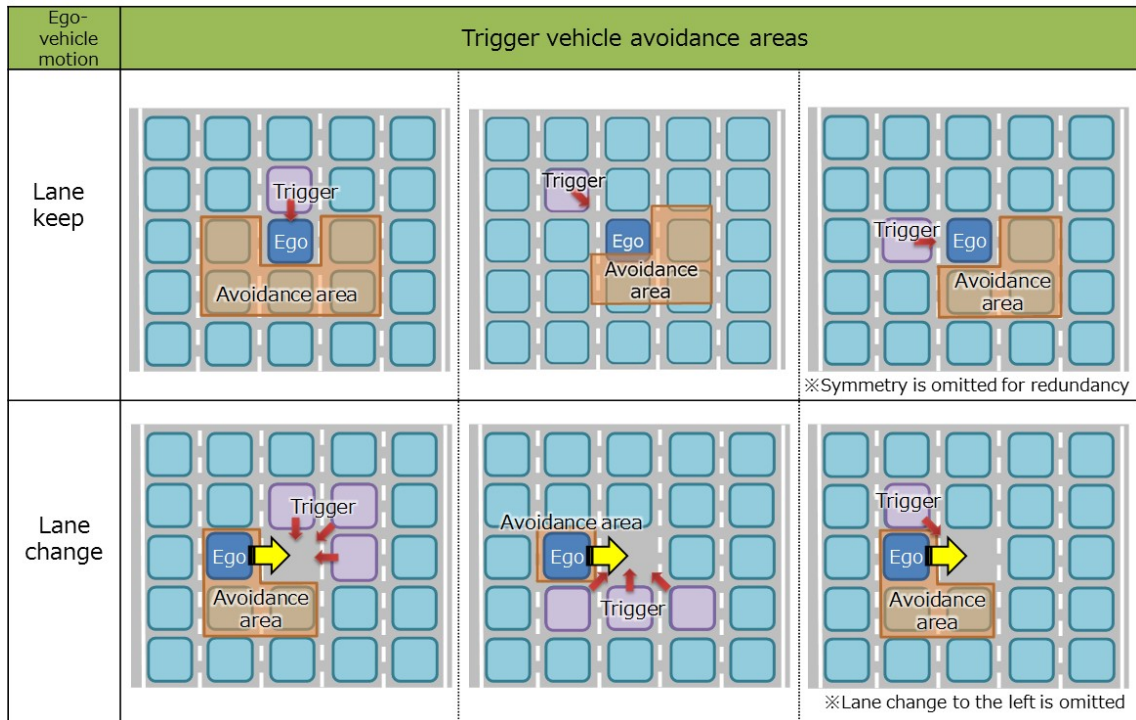


図 C- 3. レーンキープ(上)とレーンチェンジ(下)におけるトリガ車両ごとの回避エリア

レーンキープ(図 C- 3 の上半分)の場合、トリガ車両は自車前方位置[L(1)]、自車前方の横位置[PI-f (6)、PI-f (3)]、または自車横位置[PI-s (7)、PI-s (4)]から接近する。赤色で強調された部分が回避エリアである(左右対称分は省略)。図 C- 3 の下半分は自車がレーンチェンジするシナリオを示している(左右対称分は省略)。この場合、自車のレーンチェンジ先の周囲にいる車両がトリガ車両となり得る。赤で強調表示されたエリアがそれぞれの回避エリアとなる。

回避エリアを決定した後、回避エリア内にあらかじめ存在する車両のパターンを決定しなければならない。例えば、先行車の減速がトリガとなった場合、回避エリア内の各セルに車両が存在するパターンは  $2^5=32$  となる(図 C- 4 参照)。

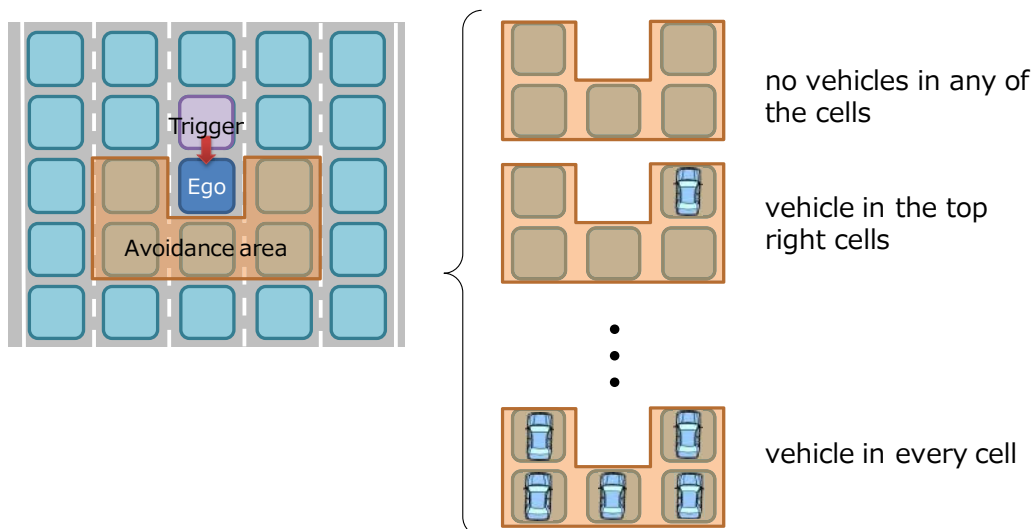


図 C- 4. 回避エリア内の各セルに車両が存在するパターン



### C.2.3 回避エリアへのカットイン車両

回避エリアに車両がすでに存在するかどうか(何台、どのセルに存在するか)を確認したら、隣接するスペースから回避エリアにカットインする可能性のある車両も特定しなければならない。回避エリアへのカットインが可能な範囲を図 C-5 に示す。

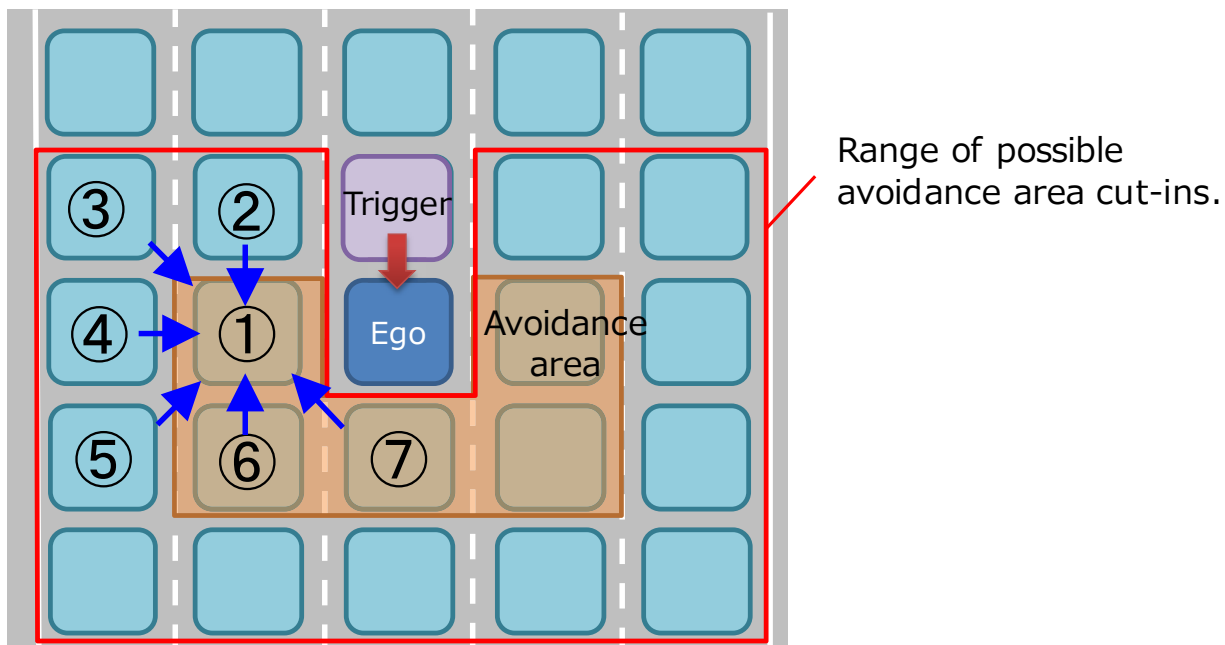


図 C-5. 回避エリアへのカットインが可能な範囲

赤色でハイライトされているのは回避エリアである。自車がセル①内に移動してトリガ車両を回避しようとする場合を考えると、回避エリア内の周囲の位置⑥⑦と、それに隣接する位置②③④⑤における車両によるカットインの可能性を考慮する必要がある。

### C.2.4 道路環境

道路環境は、道路形状と自車位置との組み合わせであり、回避動作に影響を及ぼす 2 つの要因である。「道路形状」は、主要道路、合流レーン、分岐レーン、ランプの 4 つに分類される。自車の位置は、回避エリアの形状と道路形状別の車線数で定義される。

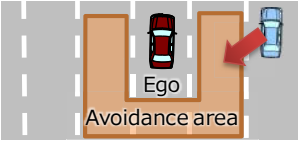


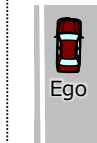

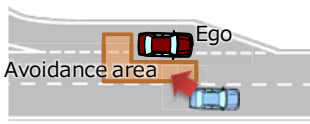
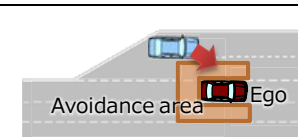
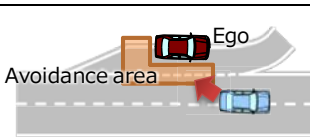
a.Road shape		b.Ego-vehicle position			
		※走行車線外の有無			
Main road	Ego-vehicle position	Adjacent lanes on both sides 	One adjacent lane Left 	One adjacent lane Right 	No adjacent lanes 
	Number of lanes required	Lane 5	Lane 3*	Lane 3*	Lane 1*
Merging lane	Ego-vehicle position				
	Number of lanes required	Lane 5	Lane 3*		
Departure lane	Ego-vehicle position				
	Number of lanes required	Lane 5	Lane 3*		
Ramp		Omitted for equivalence with main road (Lane 1, 2*)			

図 C- 6. 回避動作シナリオにおける道路環境の区分

## Annex D

### 事故データに基づくシナリオデータベース完全性検証

シナリオデータベースの完全性が事故データに基づいてどのように検証されるかを説明するために、2 つの例が提供されている。

#### D.1ドイツ事故調査(GIDAS)データ

交通流シナリオ体系の網羅性検証は、例えば、ドイツの事故研究(GIDAS)データベース(Otte, Krettek, Brunner, & Zwipp, 2003)で報告されている事故がカバーされているかを比較することにより評価が可能である。前提として、GIDAS の事故分類体系がドイツの交通環境で予見可能なすべてのシナリオを表せている事が必要である。

GIDAS は、事故特性に関連した事前定義された規則に従って交通事故を分類する。GIDAS で定義された事故分類体系(GIDAS コード)と交通流シナリオ体系を関連付けし比較検証した。

図 D- 1 の左上の表は、関連付けした結果、分類された GIDAS 事故コード数を示している。カテゴリ A、B、C は、解析したデータセットに含まれる高速道路の 78 コードと 7,567 事故を表す。これらの事故データの比較検証結果としては、33 コードと 6,787 事故が交通流シナリオ体系の下で分析できることを示し、交通流シナリオ体系では、ドイツの高速道路で報告された高速道路事故のほぼ 90%を扱う可能性があることを示唆している。

カテゴリ B は、シナリオのマトリックスでカバーされていない道路特性に関連する合計 8 つのコードと 49 の事故(全高速道路事故の 0.006%)から成る。シナリオ一覧の作成に適用された道路形状データは日本道路構造法(協会、2004)に基づいているが、これはドイツ高速道路のいくつかの特徴を網羅していない可能性がある。残りの 8 つの符号をカバーするために、ドイツの道路特性への適応が必要となる可能性がある。

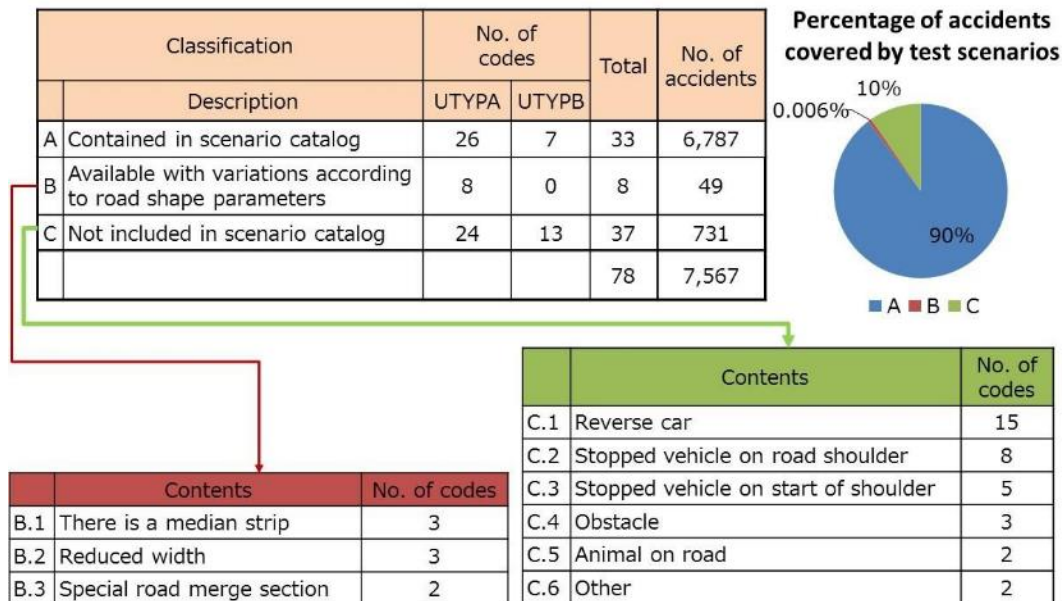


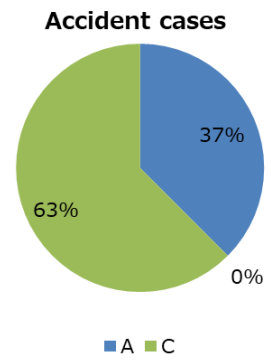
図 D- 1. シナリオデータベースと事例数(道路と自走行による)

カテゴリ C は、提案された安全方法論でカバーされていない 37 のコードと 731 の事故(全体の 10%)を含む。コードのさらなる解析は、3 つのコードサブカテゴリ(合計 28 コード)が、高速道路における逆走または高速道路肩(C1~C3)上の不法駐車のような不法操縦である。残りの 7 つのコードには、道路上の障害物や動物、その他の未知数(C4 ~C6)が含まれている。このカテゴリ(C)における衝突の防止可能性は、AD エンジニアリングにとって依然として困難であり、例えば、規則強化のような補完的なアプローチが必要である。

## D.2 衝突回避研究(NHTSA)のための衝突前シナリオタイプ

NHTSA Pre-Crash Scinenaio Typology for Crash Avoidance Research は、NHTSA 一般推定システムクラッシュデータベースに基づくクラッシュ回避研究のためのプリクラッシュシナリオタイプを定義する。この類型は、車両の動きとダイナミクス、および衝突直前の重要な事象を示す衝突前のシナリオで構成されている(Najm, Smith, & Yanagisawa, 2007)。GIDAS データに同様の方法論を適用することにより、タイプロジーと現在の報告書で開発されたシナリオのリストとの間の比較を確立することができる。この類型は、合計 37 の事前衝突シナリオカテゴリを含み、そのうちの 16 のカテゴリは、高速道路における事故に対応する。これらのカテゴリを開発したシナリオデータベースと比較することにより、シナリオデータベースの完全性を検証することができる(図 D- 2)。この比較は、16 のカテゴリのうち 6 つがトラフィックシナリオデータベースの対象であることを示している。残りの 10 コードは、違法または予防不可能なものを含むカテゴリに属し、完全にカバーするためには車両エンジニアリングへの補完的なアプローチを必要とする可能性がある。

Classification		number of codes
	Description	
A	Contained in scenario catalog	6
B	Available with variations according to road shape parameters	-
C	Not included in scenario catalog	10
D	Urban road specific (intersection, railway crossing, pedestrian ...)	15
E	Independent accident (due to recognition / vehicle disturbance)	-
-	Driver misuse, vehicle disturbance	5
-	Other	1
		37



	Contents	number
C.1	Reverse car	2
C.2	Shoulder stop vehicle available	-
C.3	Start of road shoulder stop vehicle	2
C.4	Obstacle	4
C.5	Animal on road	2
C.6	Other	-

図 D- 2. .トラフィックシナリオデータベースと NHTSA 事前クラッシュカテゴリの比較