

自動運転の安全性評価フレームワーク

Ver2.0

一般社団法人 日本自動車工業会
自動運転部会 AD 安全性評価分科会

2021 年 12 月

委員表

分科会長 谷口 悟史 トヨタ自動車(株)

副分科会長 小澤 浩一郎 本田技研工業(株)

副分科会長 北原 栄一 日産自動車(株)

委員 認識仮想評価 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 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 小石 知文 (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 Astemo(株)

アドバイザー 照井 孝一 日立 Astemo(株)

アドバイザー 門司 竜彦 日立 Astemo(株)

アドバイザー 村瀬 友宏 (株)デンソー

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ズ(株)

アドバイザー 小柳 一 パイオニアスマートセンシングイノベーションズ(株)

アドバイザー 鈴木 雅美 パイオニアスマートセンシングイノベーションズ(株)

目次

1	本稿の位置づけ	1
2	自動運転システム安全論証構造(Safety 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 Principle 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	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	安全性評価の範囲	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
Annex E 認識外乱の原理モデルと評価シナリオ	106
E.1 原理モデル記述と評価シナリオ導出のプロセス.....	106
E.2 ミリ波レーダーの原理モデルと評価シナリオ.....	107
E.2.1 【ミリ波レーダー】信号(S)強度差大（認識対象物）.....	108
E.2.2 【ミリ波レーダー】低 D/U（路面マルチパス）.....	113
E.2.3 【ミリ波レーダー】低 D/U（方位角変化）.....	117
E.2.4 【ミリ波レーダー】低 S/N（車両の向き）.....	121
E.3 LiDAR の原理モデルと評価シナリオ	125
E.3.1 【LiDAR】信号減衰（認識対象物）.....	126
E.3.2 【LiDAR】ノイズ	134
E.4 カメラの原理モデルと評価シナリオ	142
E.4.1 【カメラ】遮蔽(見切れ).....	143
E.4.2 【カメラ】空間周波数低下・コントラスト低下（空間障害物）.....	152
E.4.3 【カメラ】飽和(過多)、白飛び.....	165
Annex F (参考) 認識外乱評価用仮想環境の妥当性検証ガイドライン	175
F.1 本 Annex で定義する要件の全体像	175
F.2 共通要件と妥当性検証方法.....	176
F.2.1 共通要件の考え方.....	177
F.2.2 各センサにおける共通要件の考え方	178
F.2.3 共通要件の妥当性検証方法.....	185
F.3 認識外乱再現要件と妥当性検証方法	211
F.3.1 認識外乱再現要件の考え方	211
F.3.2 各センサにおける認識外乱再現要件の考え方	211
F.3.3 認識外乱再現要件の妥当性検証方法	217
Annex G 協定規則第 157 号に係るシミュレーションツールの妥当性確認およびシミュレーション試験 方法.....	233
G.1 目的、対象範囲.....	233

G.2 用語定義.....	233
G.3 シミュレーションツールの妥当性確認方法.....	234
G.3.1 本章の目的.....	234
G.3.2 妥当性確認手法と判定基準.....	234
G.3.3 シミュレーションツール要求.....	235
G.4 シミュレーションツールの妥当性確認手順.....	236
G.4.1 本章の目的.....	236
G.4.2 シミュレーションツールの妥当性確認手順.....	236
G.5 ADS 安全性能評価シミュレーション方法.....	237
G.5.1 本章の目的.....	237
G.5.2 試験方法.....	237
G.5.3 自車、他車の持つパラメータの定義.....	238
G.5.4 各シナリオの定義.....	239
G.5.5 合否基準.....	240
G.5.6 シミュレーションにおけるパラメータの範囲.....	240
G.5.7 シミュレーションの実施.....	243
G.6 提出書類.....	245

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

実交通環境で長距離・長時間の試験評価を通じて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開発プロセスは性能向上としては有効であるものの、評価結果は機密情報で開発会社・プロジェクトから公表されず、審査当局が監査を行う場合にも膨大なデータを解析し直すことは難しく、透明性に課題がある。

またこのアプローチの場合、評価の十分性については走行した距離や時間に対するセーフティドライバのオーバーライドの件数で確率的に説明することになるが、この確立の分母に当たる走行データに含まれる交通条件・環境条件が、実際に発生しうるシステムの安全性に影響を及ぼす要因と範囲を網羅している保障はなく、その十分性について実際に発生する交通条件・環境条件に対する決定論な十分性の判断ができない。言い換えると、走行距離や時間を長くと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。

2.1.2 データ蓄積・分類型シナリオベースアプローチ

このような従前の自動運転実証実験や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データベース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 Principle 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 Principle 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

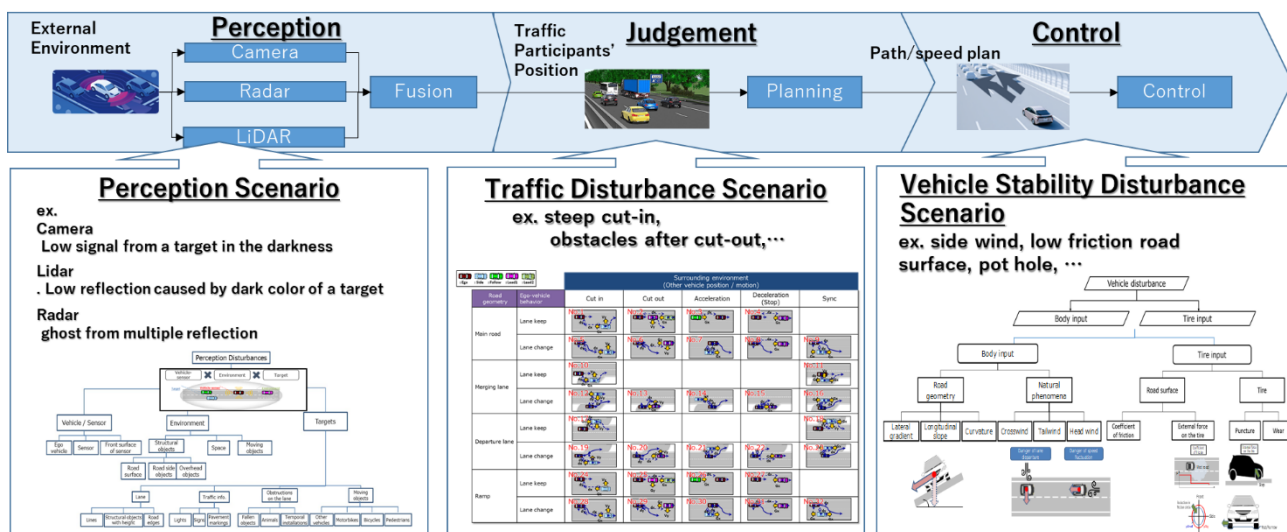


図 1.シナリオ構造

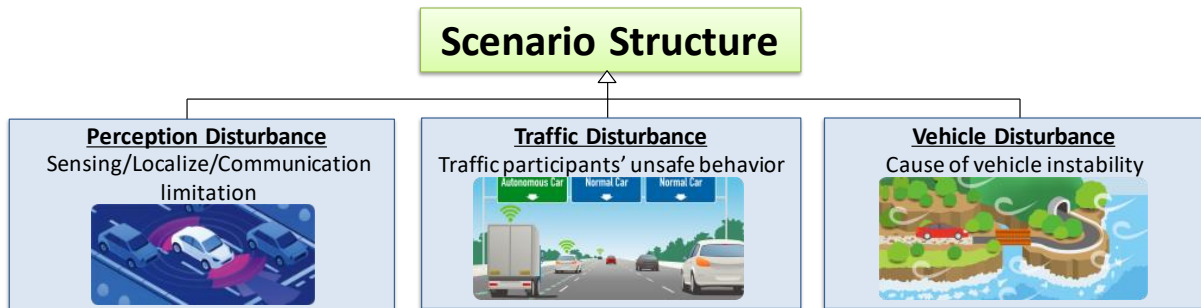


図 2. 物理原則毎の 3 つのシナリオ体系

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。

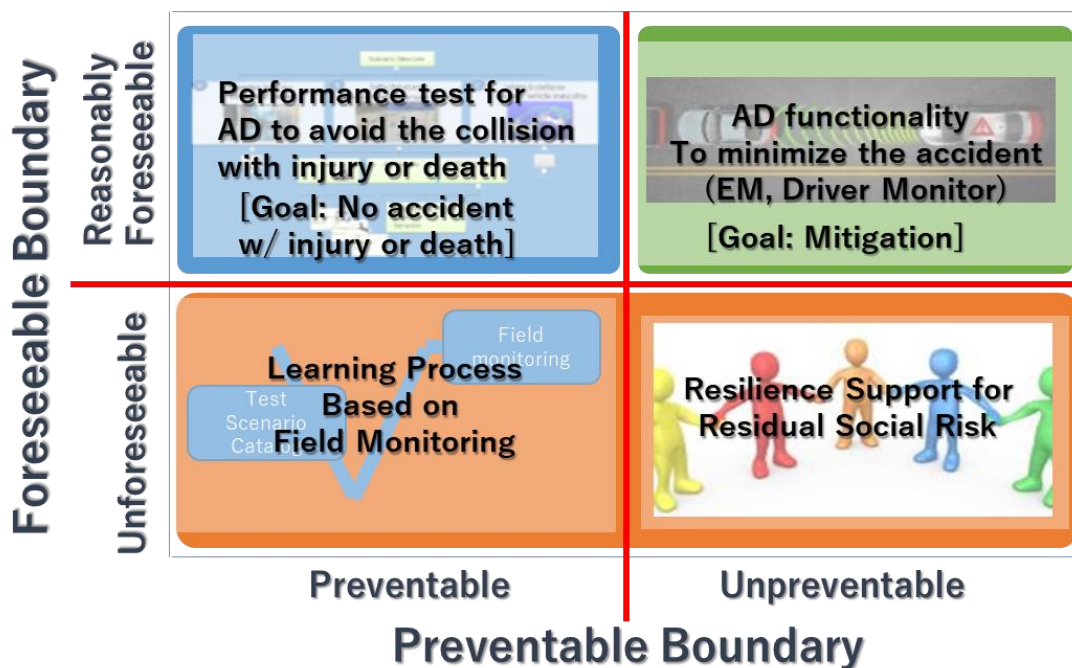


図 3. 予見可能性と防止可能性の相互関係

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。

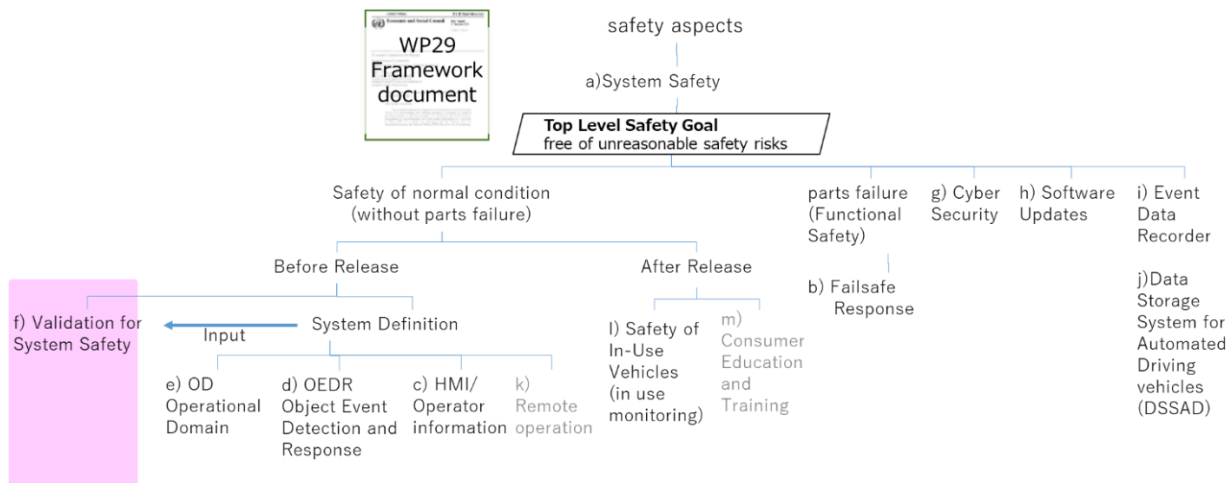


図 4. Safety Aspects の階層図

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。

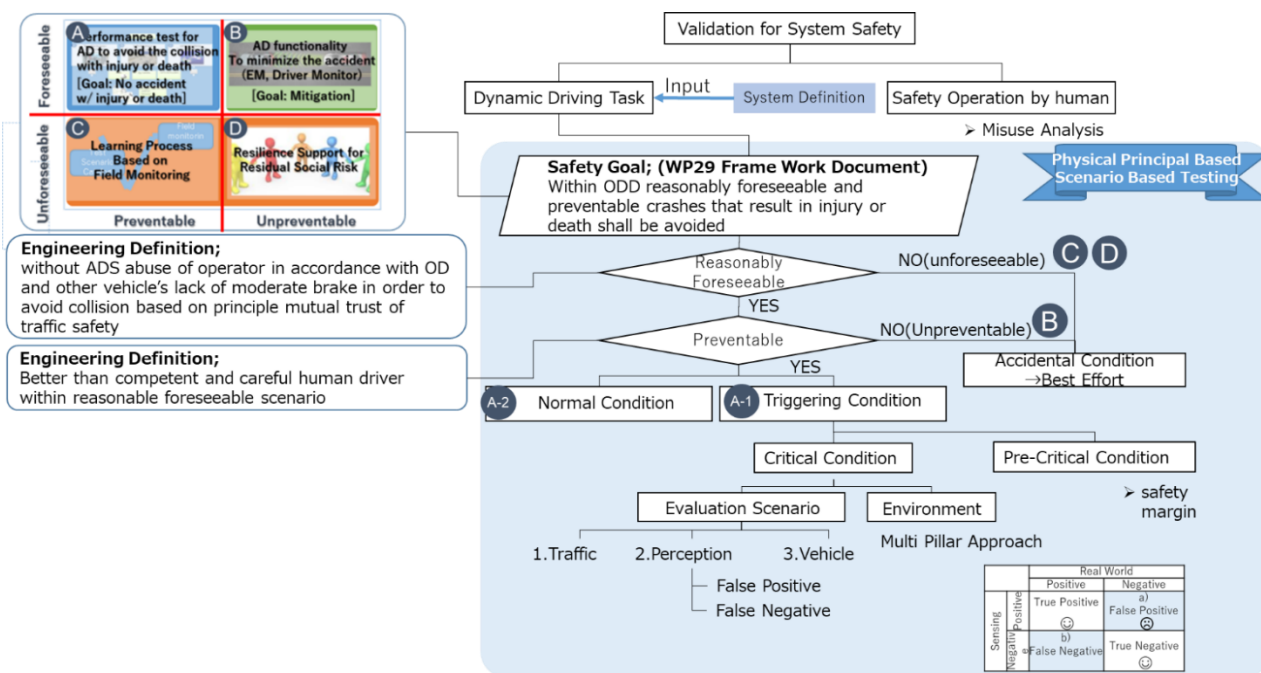


図 5. 安全論証構造図

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 Scenario 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.)

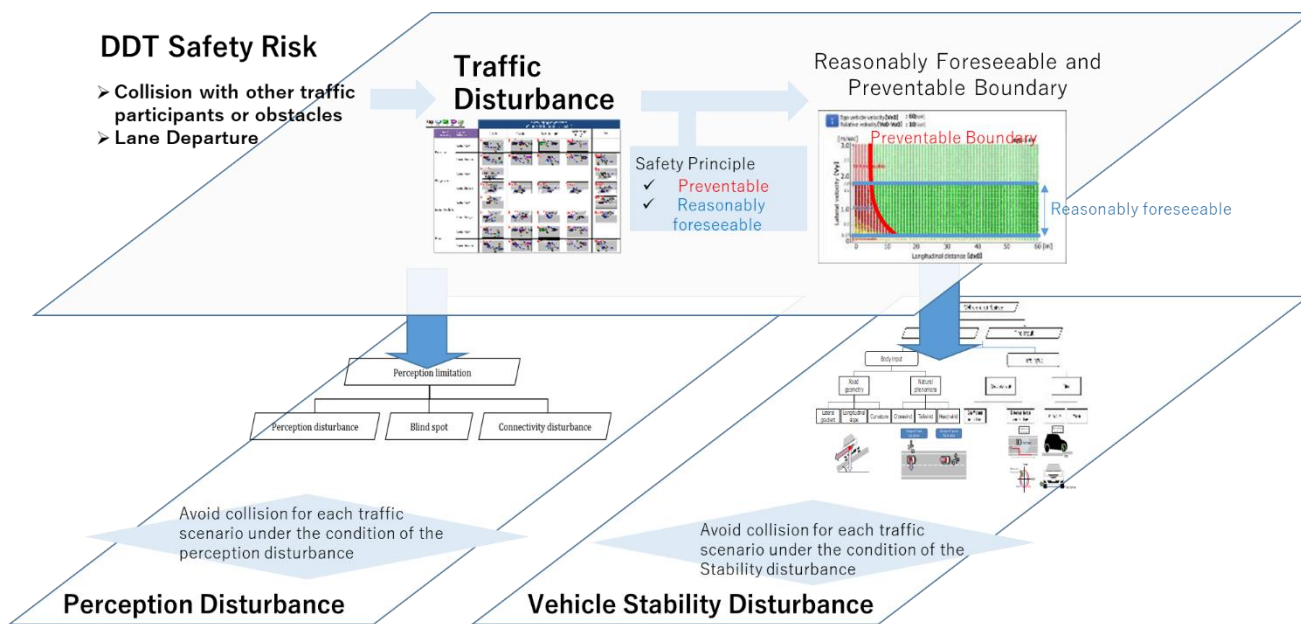


図 6. 安全性の判定手法の概要

2.3.3.1 交通外乱の安全性判定手法

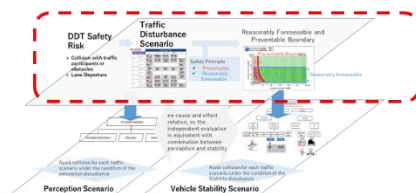
交通外乱とは、自車の安全走行が妨げられるような自車周辺に存在する交通参加者の位置と動作である。前述の通り、安全基準の基本的な考え方は、『予見可能性の範囲において、Competent and careful human driver が回避可能なレベルよりも自動運転システムが高いレベルの回避性能を具備していること』であり、この考え方を交通外乱に適用するには、Competent and careful human driver のパフォーマンスを定義し、モデル化することが必要となる。この定義したモデルをシミュレーションプログラムに実装し、Competent and careful human driver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

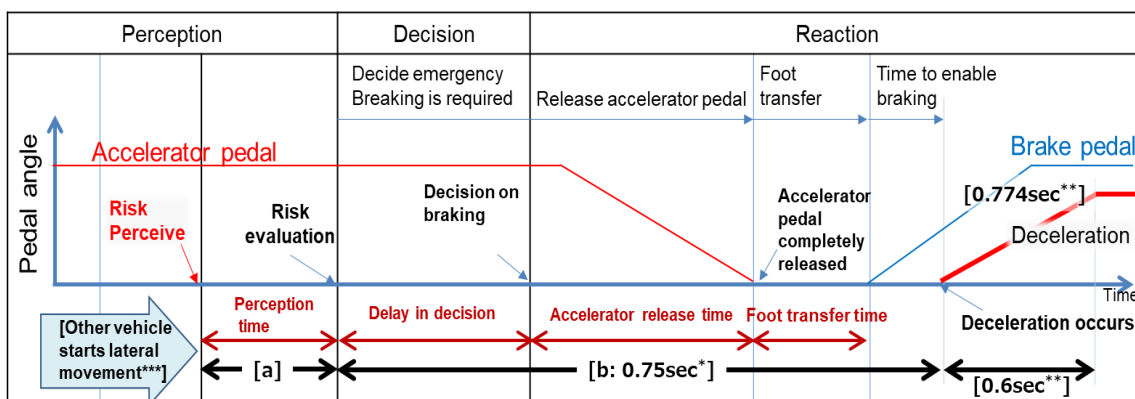


図 8. Competent and careful human driver model

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。

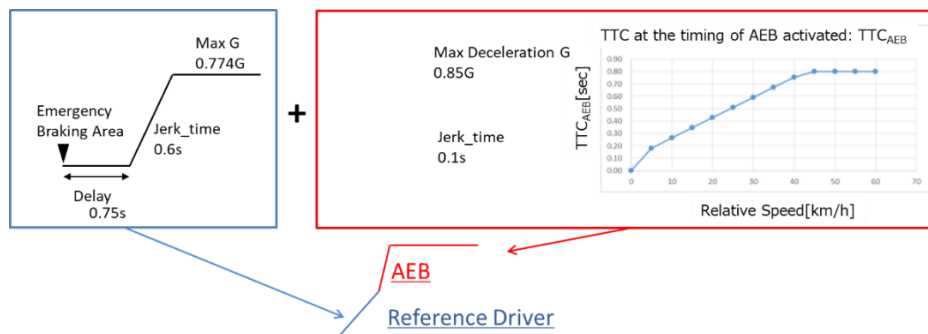


図 9. Competent and careful human driver のブレーキモデル

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。

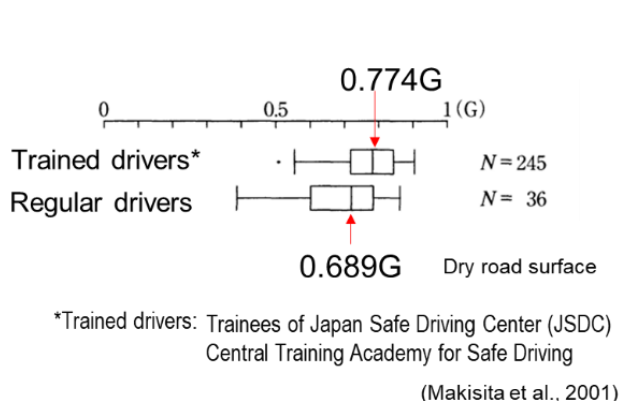


図 10. 緊急ブレーキ特性の研究例(最大減速度)

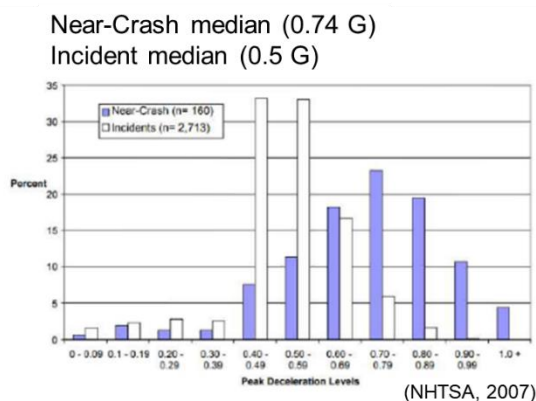


図 11. 先行車の減速による最大減速度

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。

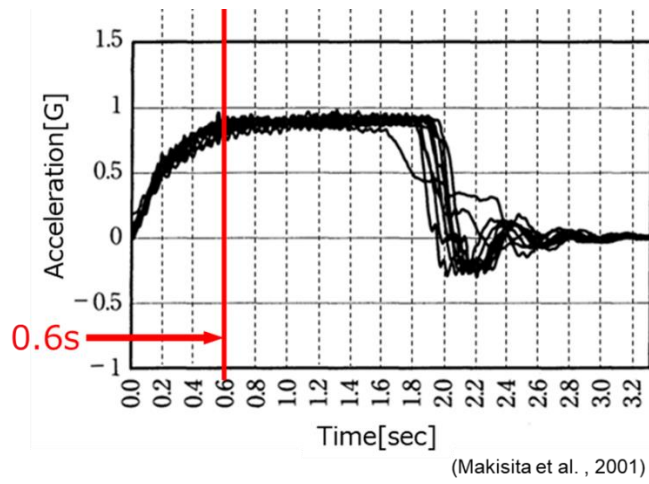


図 12. 緊急ブレーキ特性の研究例(最大減速度までの到達時間)

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。

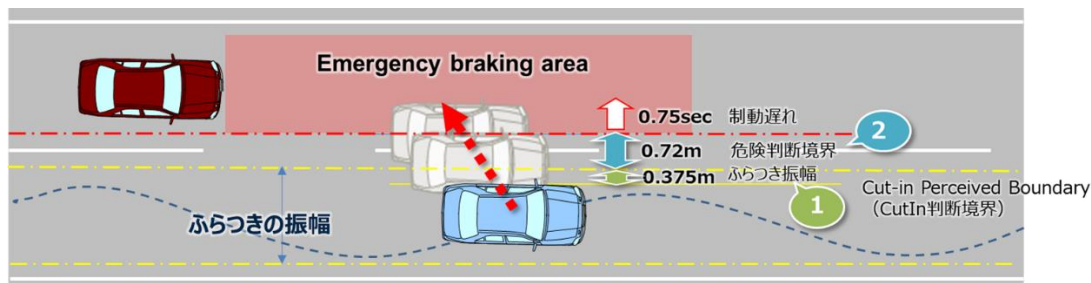


図 13. カットイン判断条件と危険判断境界

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。

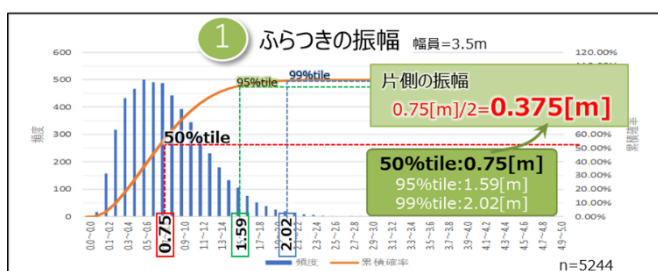


図 14. 「ふらつきの振幅」の実観測データ統計値

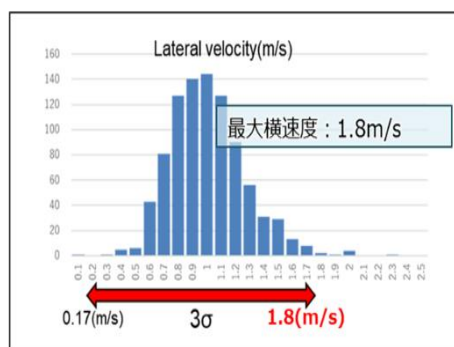


図 15. 「最大横速度」の実観測データ統計値

「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。

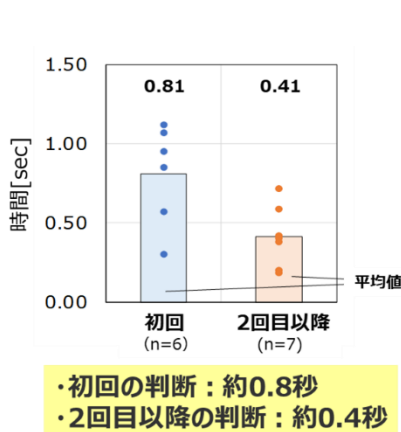


図 17. ドライビングシミュレータ実験結果

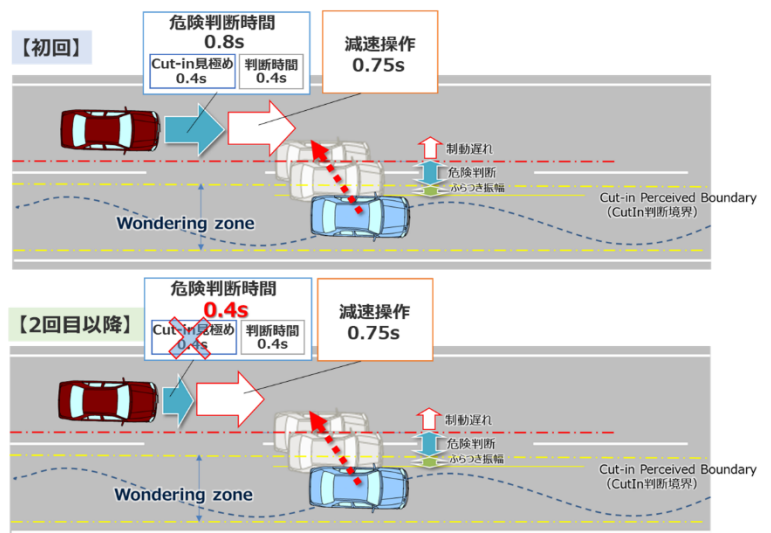


図 18. カットイン見極め時間と危険判断時間の関係

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。

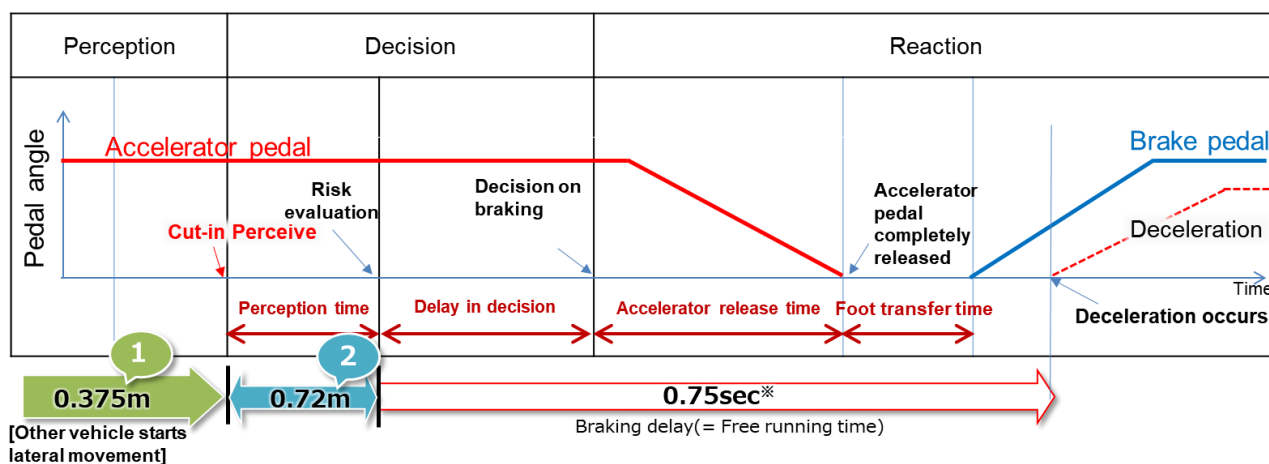


図 19. Competent and careful human driver model (Cut In)

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。

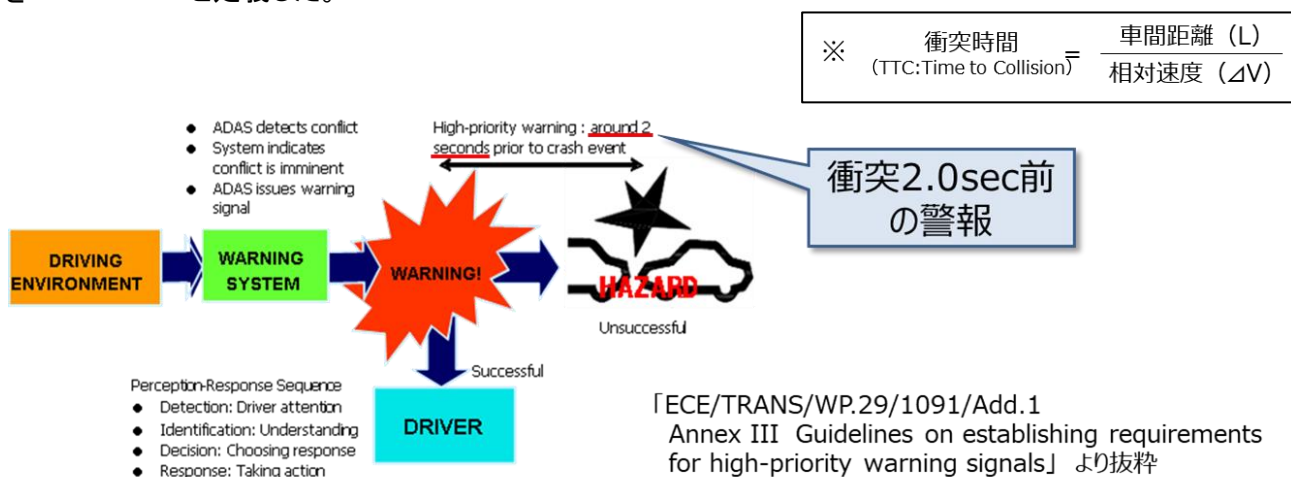


図 20. UNR 衝突警報ガイドライン(引用)

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。

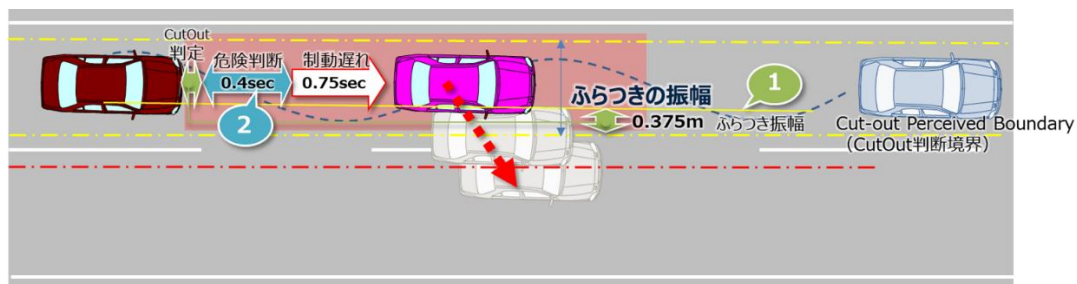


図 21. カットアウト判断条件と危険判断境界

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。

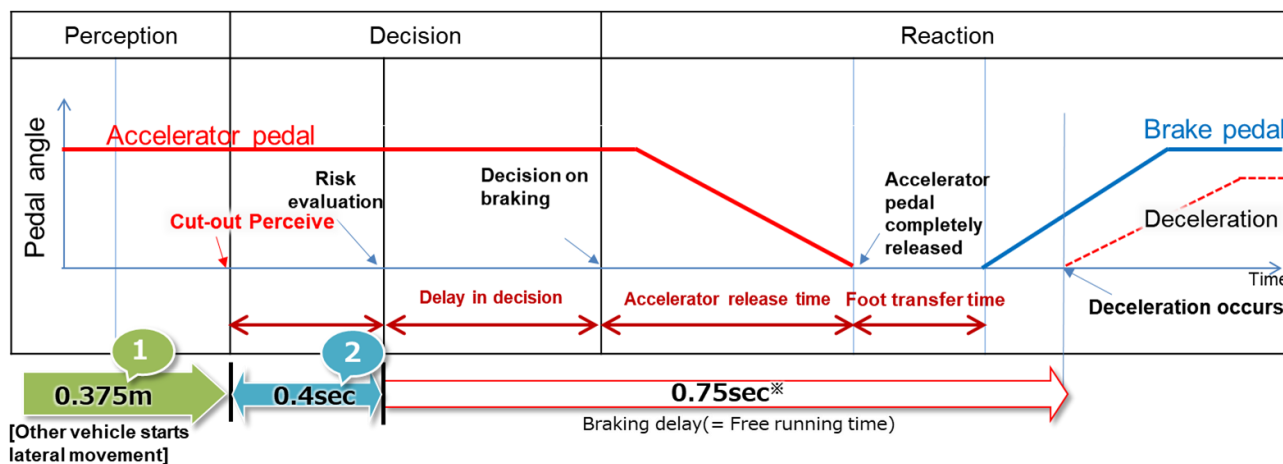


図 22. Competent and careful human driver model(Cut Out)

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。

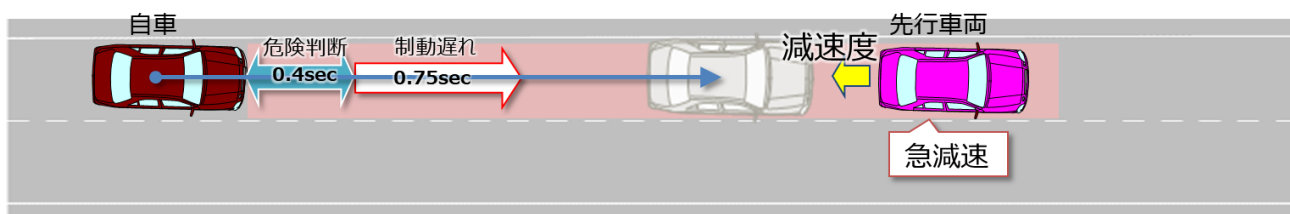


図 23. 減速シナリオにおける危険判断境界

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。

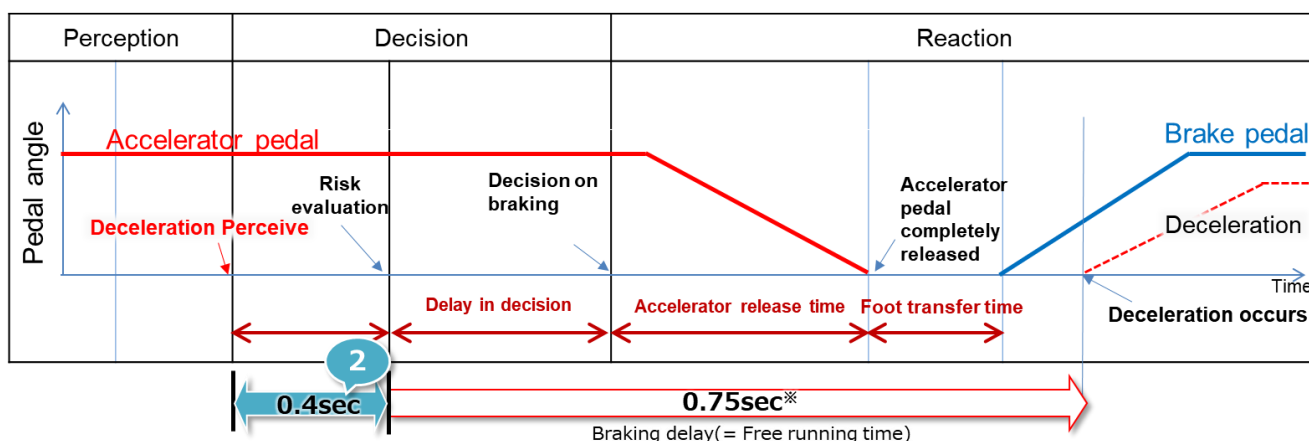


図 24. Competent and careful human driver model(Deceleration)

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	#of lanes = The number of parallel and adjacent lanes in the same direction of travel Lane Width = The width of each lane
Initial condition	Initial velocity	Ve0 = Ego vehicle
		Vo0 = Leading vehicle in lane or in adjacent lane
		Vf0 = Vehicle in front of leading vehicle in lane
	Initial distance	dx0 = 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
		dy0 = 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.
		dy0_f = 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.
		dx0_f = Distance in longitudinal direction between front end of leading vehicle and rear end of vehicle in front of leading vehicle
		dfy = Width of vehicle in front of leading vehicle
		doy = Width of leading vehicle
		dox = Length of the leading vehicle
Vehicle motion	Lateral motion	Vy =Leading vehicle lateral velocity
	Deceleration	Gx_max = Maximum deceleration of the leading vehicle in G dG/dt = 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。

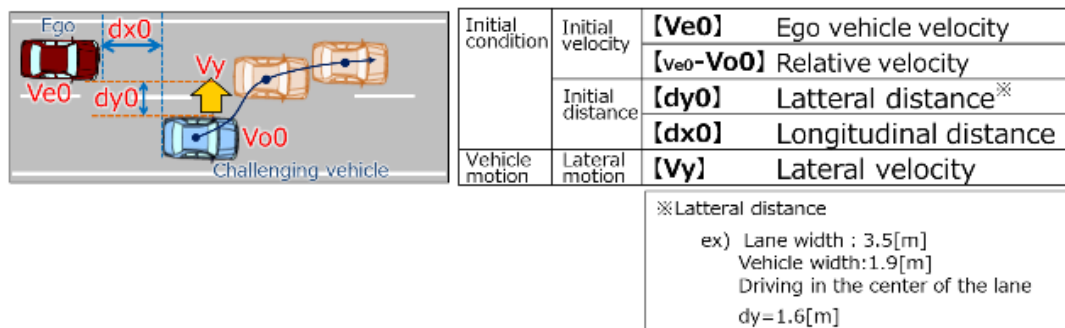


図 25. カットインシナリオのパラメータ概念図

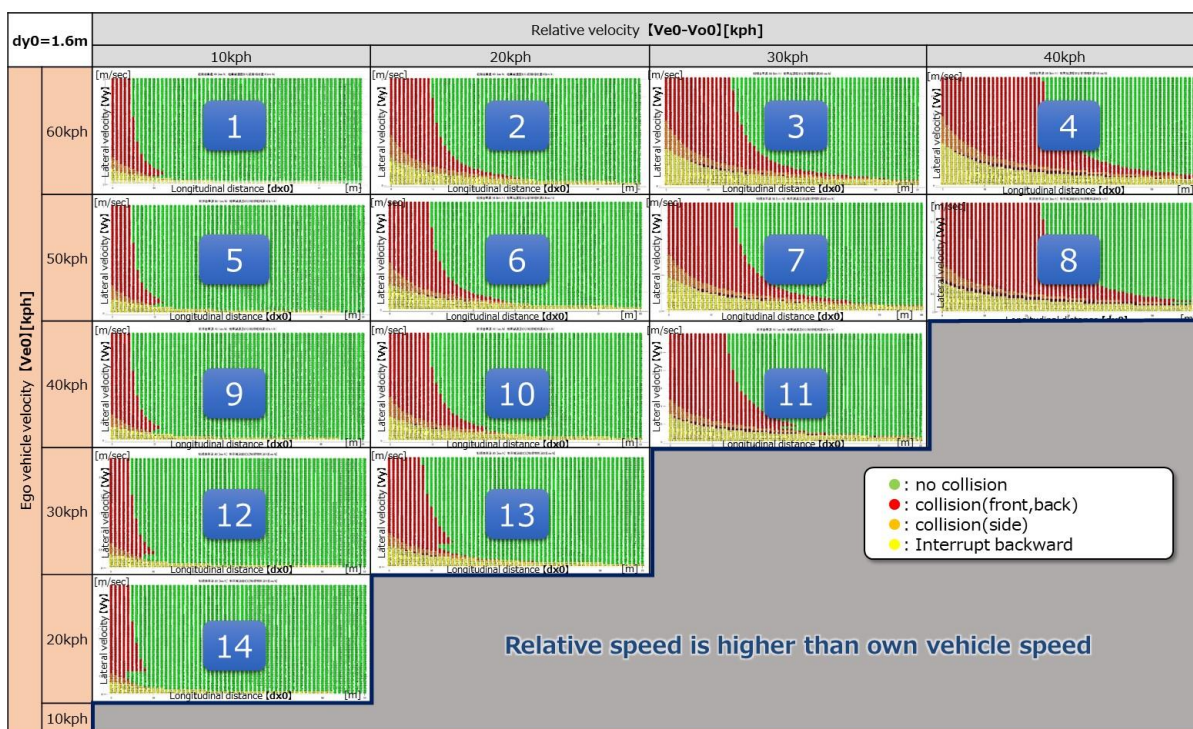


図 26. カットインシナリオの Preventable Boudnary データシート

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。

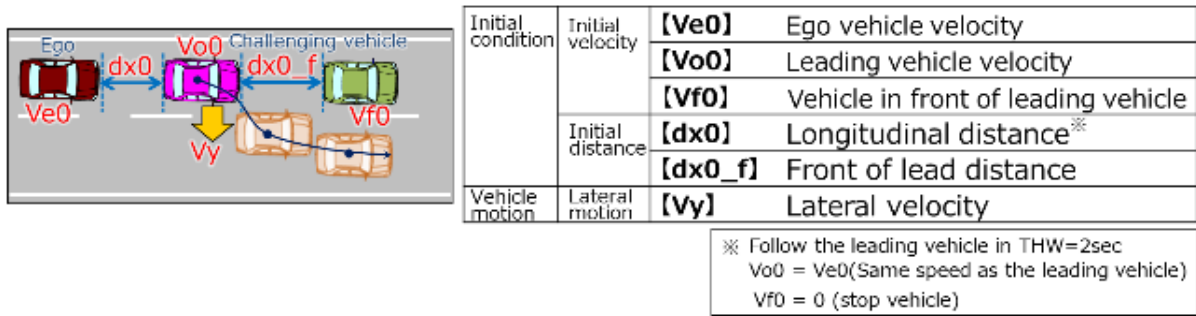


図 27. カットアウトシナリオのパラメータ概念図

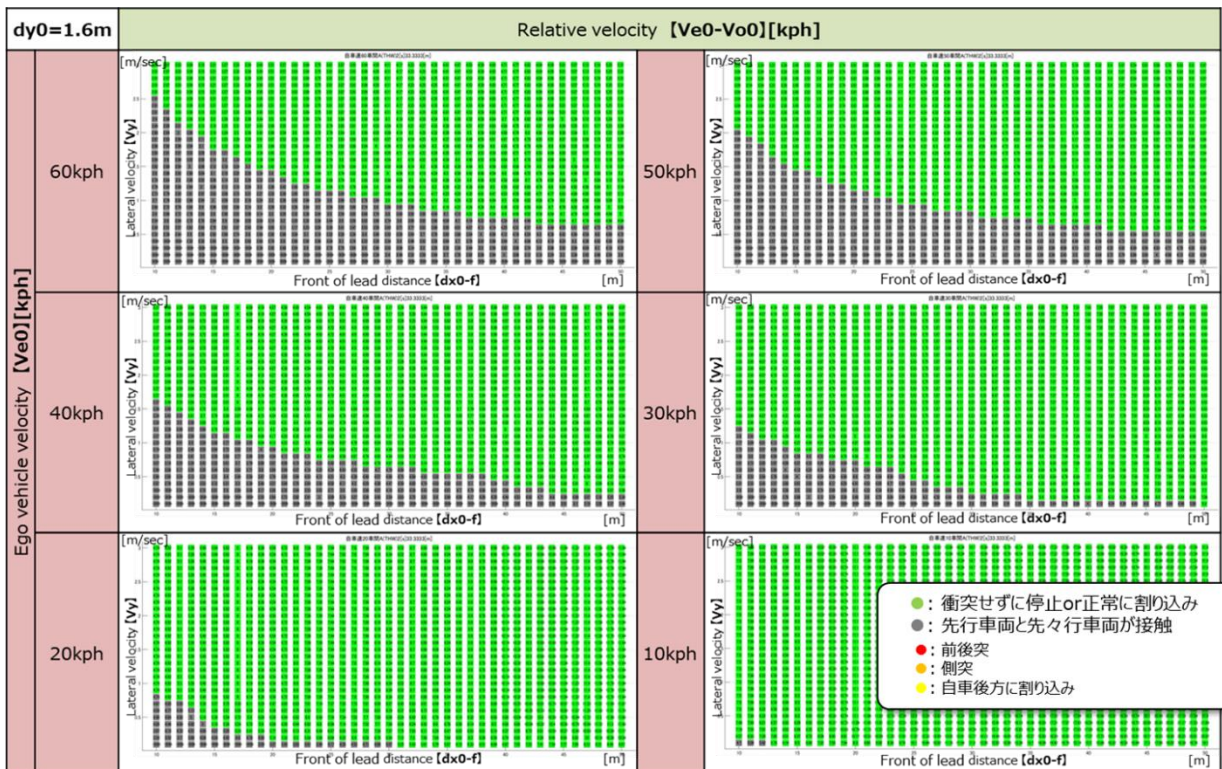


図 28. カットアウトシナリオの Preventable Boudnary データシート

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。

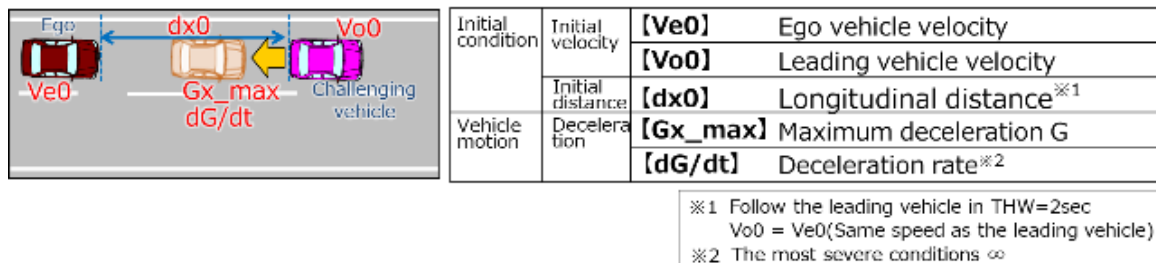


図 29. 減速シナリオのパラメータ概念図

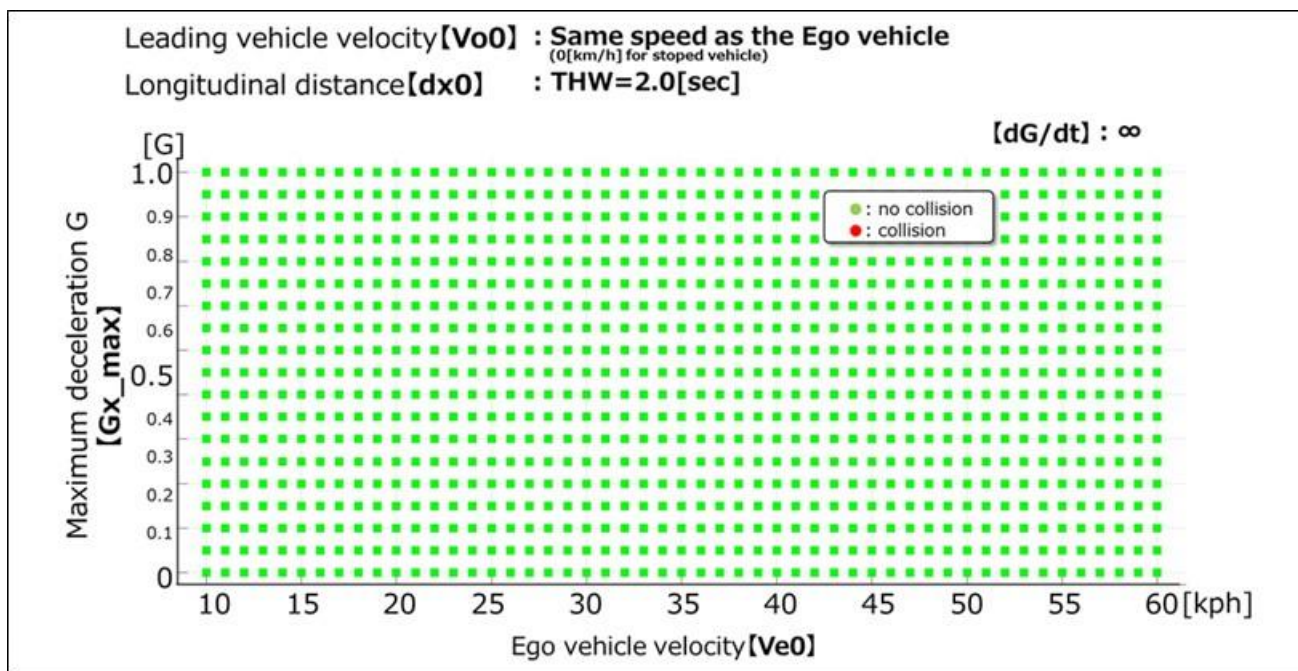


図 30. 減速シナリオの Preventable Boudnary データシート

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)。

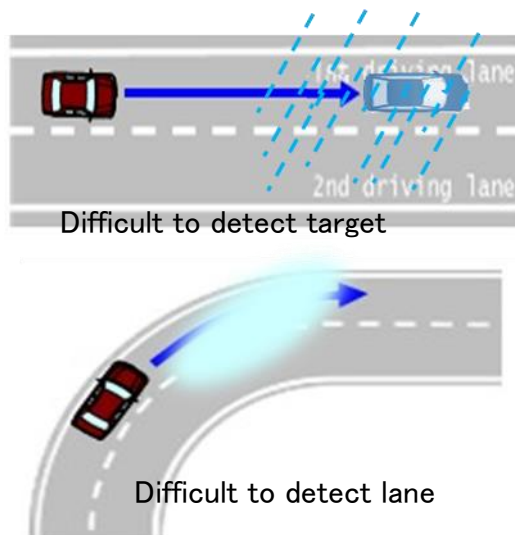


図 31. 認識対象物の種類

		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)。

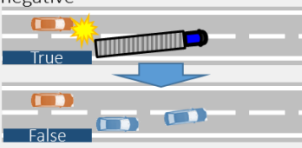
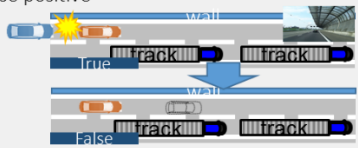


2 kinds of perception target	2 types of perception result with disturbance	
	false negative (不検知)	false positive (誤検知)
Road object	No collision on traffic disturbance because of false negative 	No collision on traffic disturbance because of false positive 
Lane	No lane departure because of false negative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

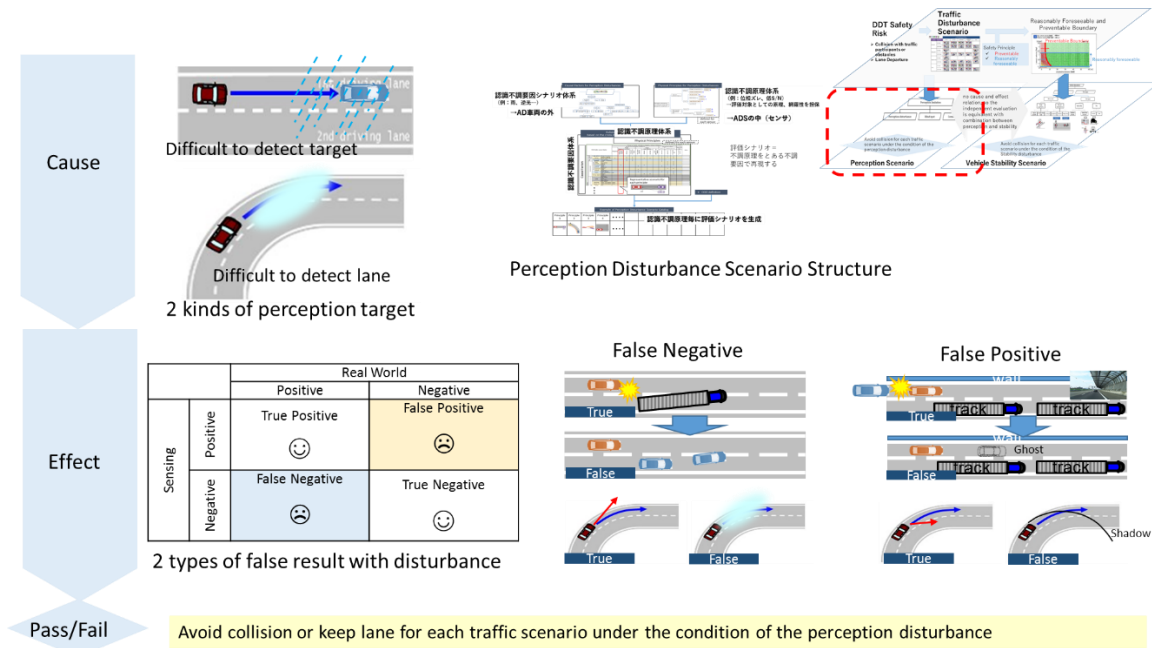


図 34. 認識外乱の安全判定フロー

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、人のドライバー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ー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ー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)。

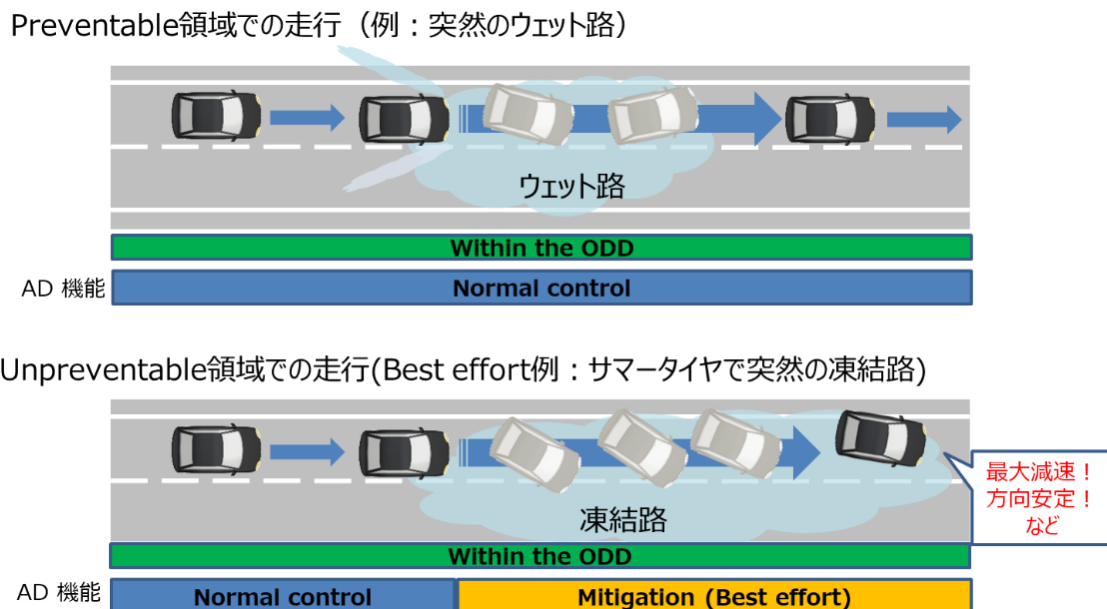


図 35. 回避可能(上段)と回避不可能(下段)な車両運動外乱に対する安全アプローチ

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 μ)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の場合の風速 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)。

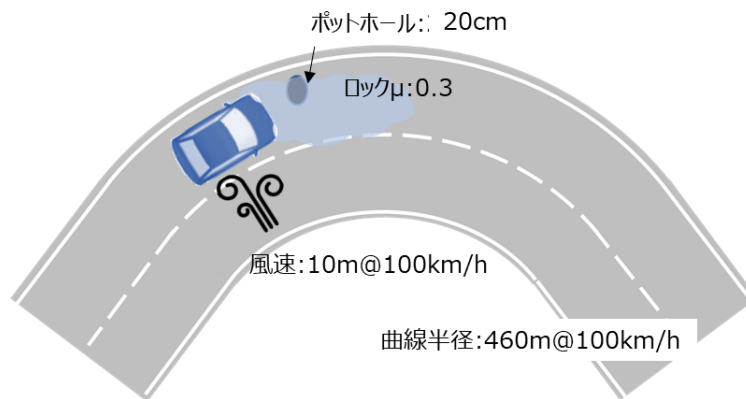


図 36. 車両運動外乱の評価条件

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。

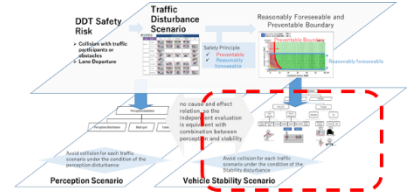
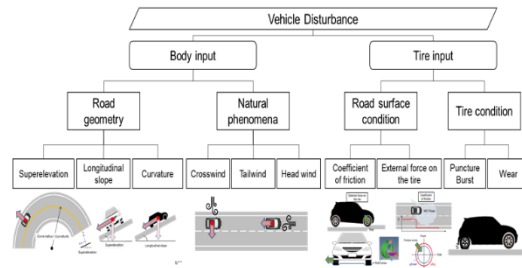
以上の安全性判定の流れを要約すると以下の通りである。

Cause

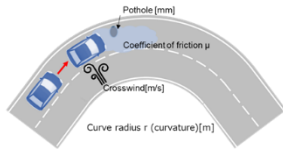
Effect

Pass/Fail

Stability Disturbance Scenario Structure



			Safety Risks	
			collision with Surrounding object	lane departure
Body input	Road Geometry	Curvature	N/A	<div style="border: 2px dashed red; padding: 5px;"> ✓ ✓ ✓ ✓ </div>
	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	
Tire input	Road surface condition	Coefficient of friction	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	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 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	



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。

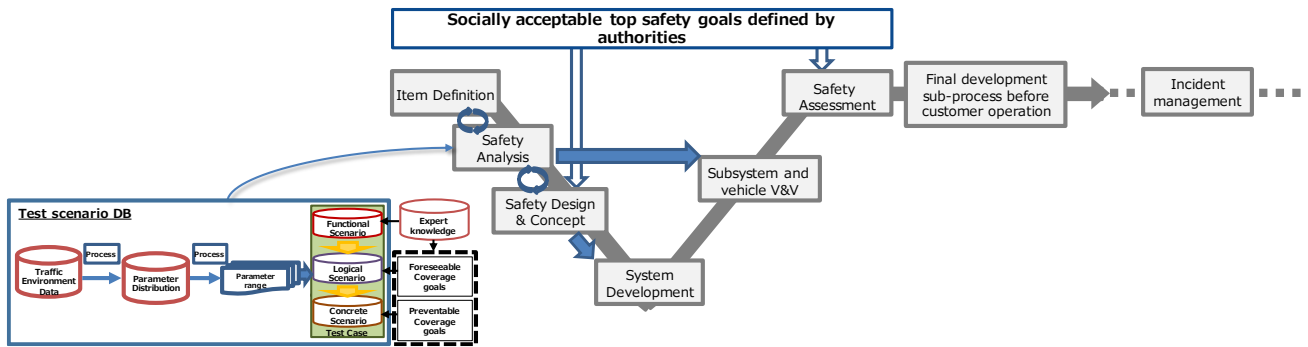


図 38. 安全保証プロセスの全体スキーム

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る。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。

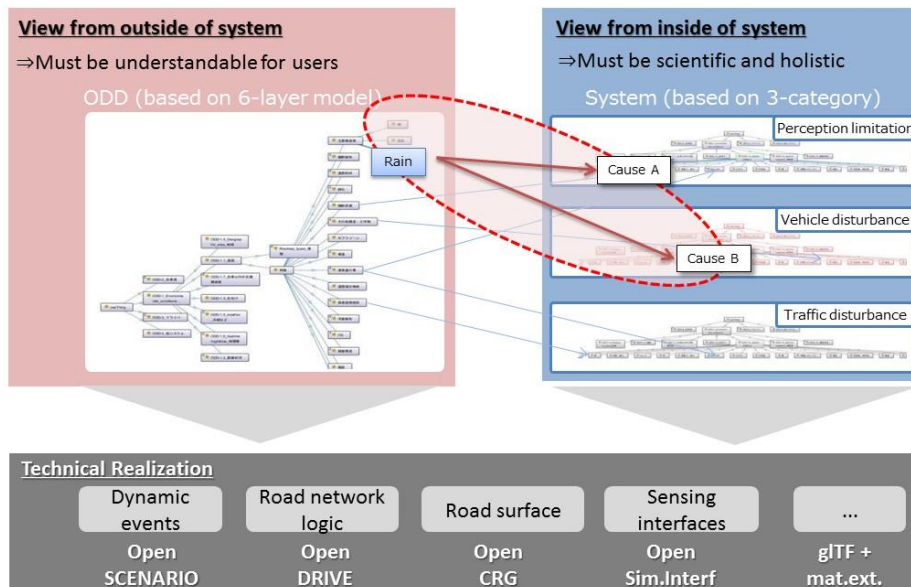


図 39. ODD シナリオ分類と 3 カテゴリシナリオモデルに基づくシステムレベル分類の関係図

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。

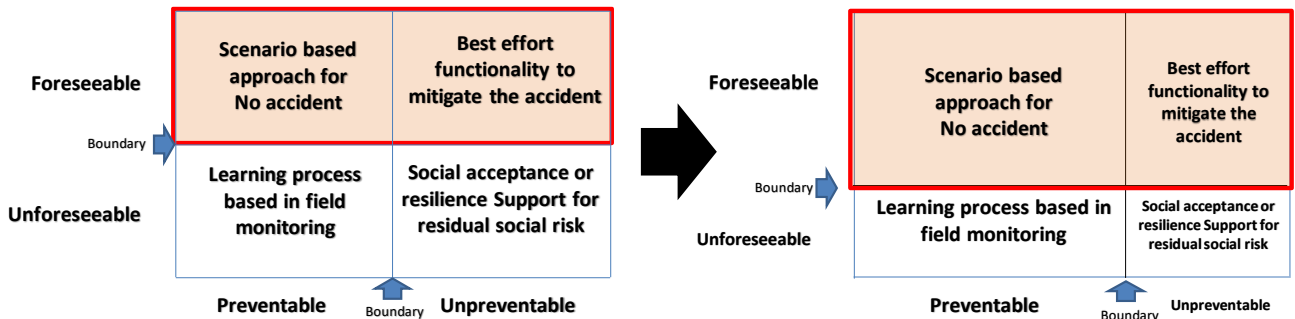


図 40. AD システムの進化による予見可能性と防止可能性領域の広がり

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示する。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)。

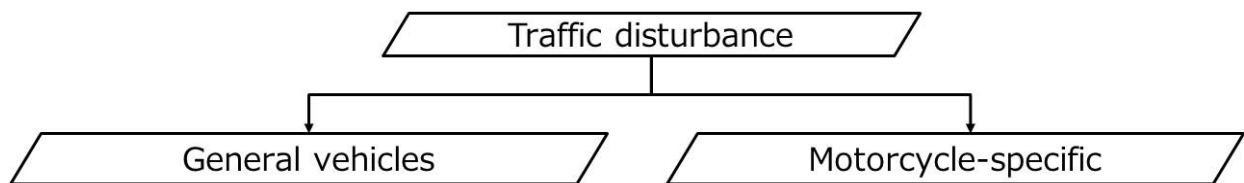


図 41. 交通外乱シナリオ分類

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)。

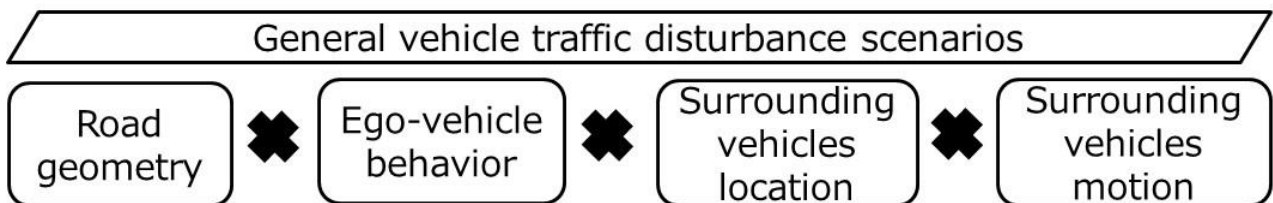


図 42. 一般車両交通外乱シナリオ構造図

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)。

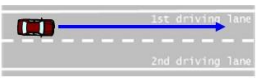
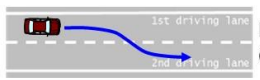
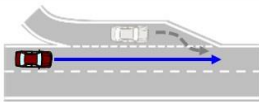
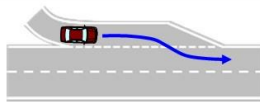
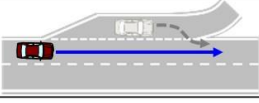
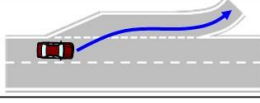


		Ego-vehicle behavior	
		Lane keep	Lane change
Road geometry	Main road		
	Merging zone		
	Departure zone		
	Ramp		

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)。

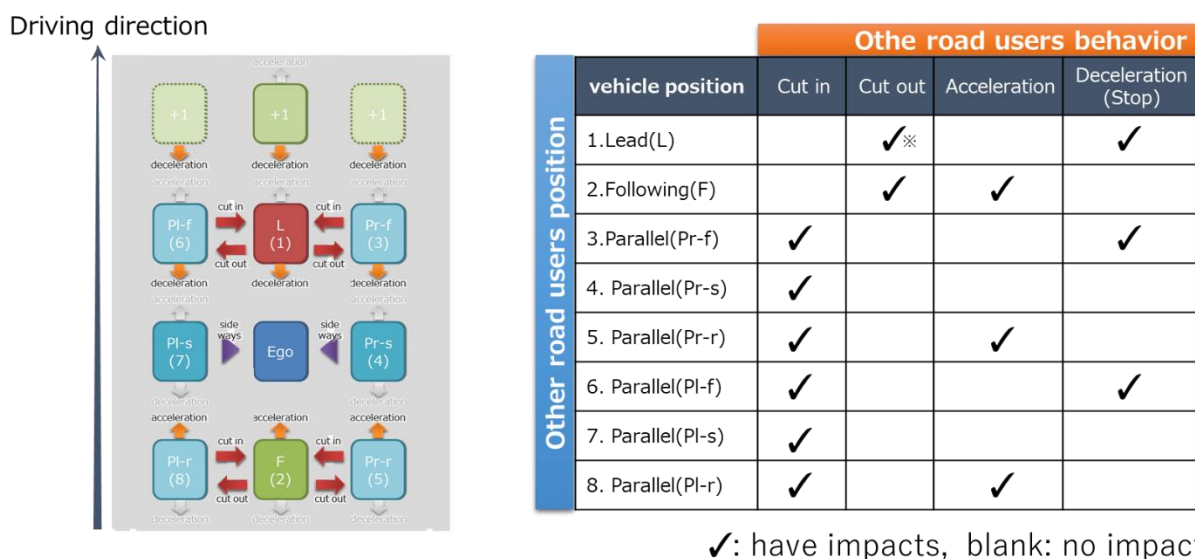


図 44. 周囲の車両位置(左)と、周囲の車両位置と自車の障害となる可能性のある運動の組み合わせ(右)

周囲車両の動作を、カットイン、カットアウト、加速、減速の 4 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 24 の可能な組み合わせのマトリックスで構成されており、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 24 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 Traffic Participants' Position and Behavior

Road Geometry and Ego-vehicle behavior		Road geometry	Ego-vehicle behavior	Cut in	Cut out	Acceleration	Deceleration (Stop)
		Main roadway	Main roadway	Lane keep	No.1		
Lane change	No.5						
Marge	Lane keep		No.9				
	Lane change		No.13				
Branch	Lane keep		No.17				
	Lane change		No.21				

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)、自車両による回避動作が発生し(第 2 の動作)、自車両が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)。

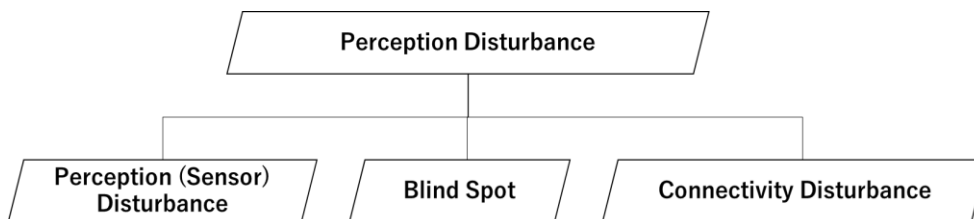
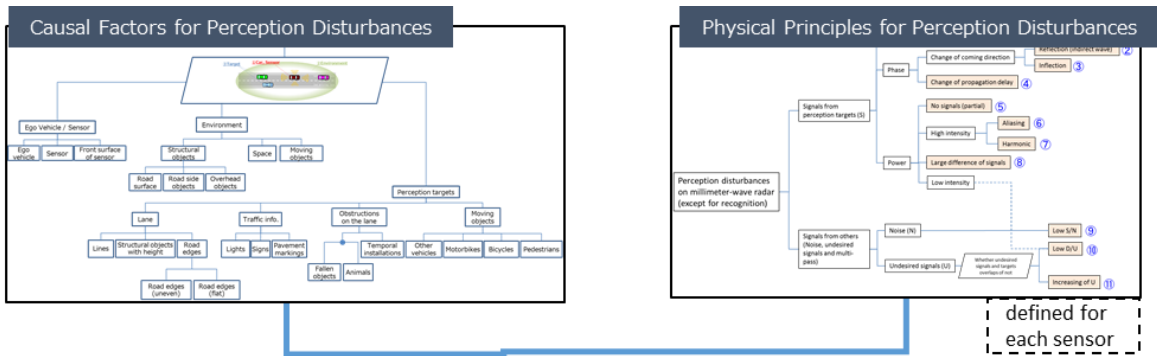


図 46. 認識外乱シナリオの分類

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	Physical Principles (perception of signals / sensor orientation)											Items					
	Signals from perception targets (S)																
	Frequency	Phase	Power	Noise (N)	Signals from others (U)	Physical principles (Recognized logs)	Recognition process										
Ego vehicle / sensor	Ego vehicle	Change of car posture	Reflection (direct waves)	Reflection (reflected waves)	Change of propagation delay	No signals (partial)	High intensity	Aliasing	Harmonic	Large difference of signals	Low S/N	Low DU	Increasing of U				
	Sensor	Failure in assembly															
	FRONT surface of sensor	Failure of sensor itself															
	Structural objects	Standing objects															
	Road surface	Change in parameters															
	Roadside objects	Shape															
	Overhead objects	Road condition															
	Space	Plane															
	Moving objects	Reflection															
	Lines	Screen															
Structural objects with height	Background																

Representative scenario for each principle

➤ 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。

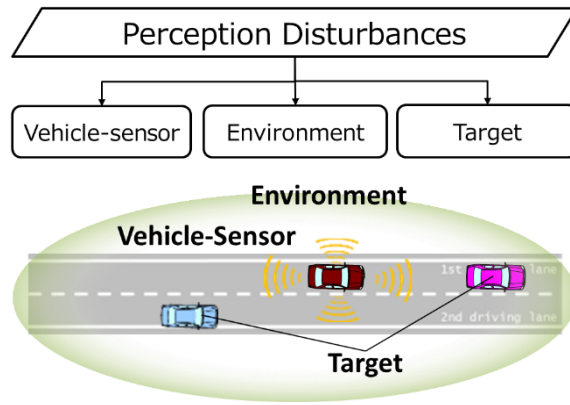


図 48. 自車両との位置関係による認識外乱要因の大分類

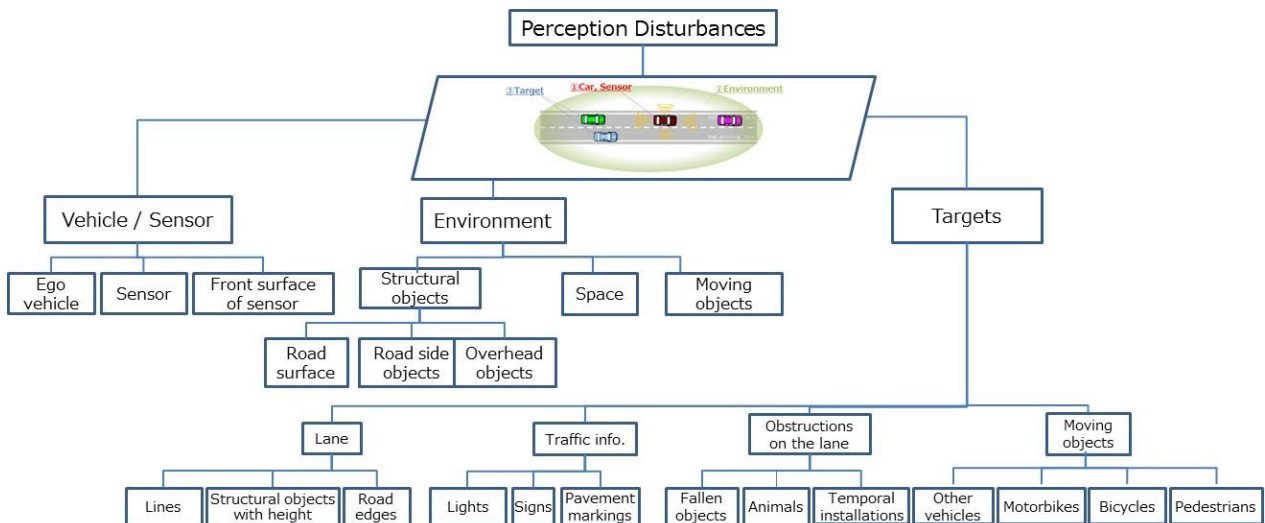


図 49. 認識外乱要因の体系図

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。

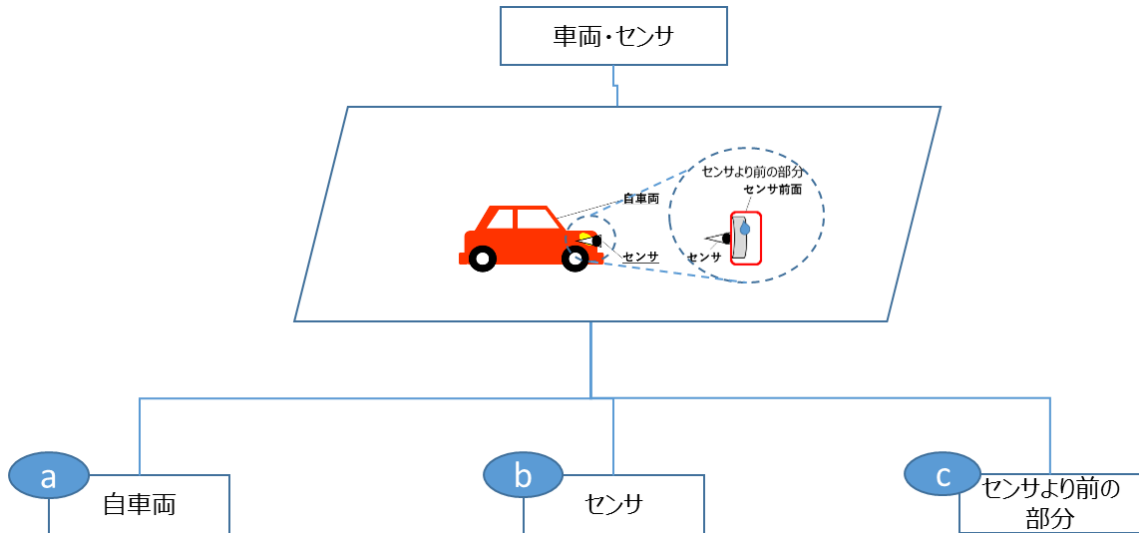


図 50. 車両・センサの分類

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"> レーダの方向が変わることによる方位精度の低下 レーダの方向が変わることによるFOV変化 路面を障害物として誤認識 	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 ・軸ス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スレ	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、出射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)による角度スレ	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スレ。	フロントガラス付着物による映像欠落で認識率低下 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、自転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」については自転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。

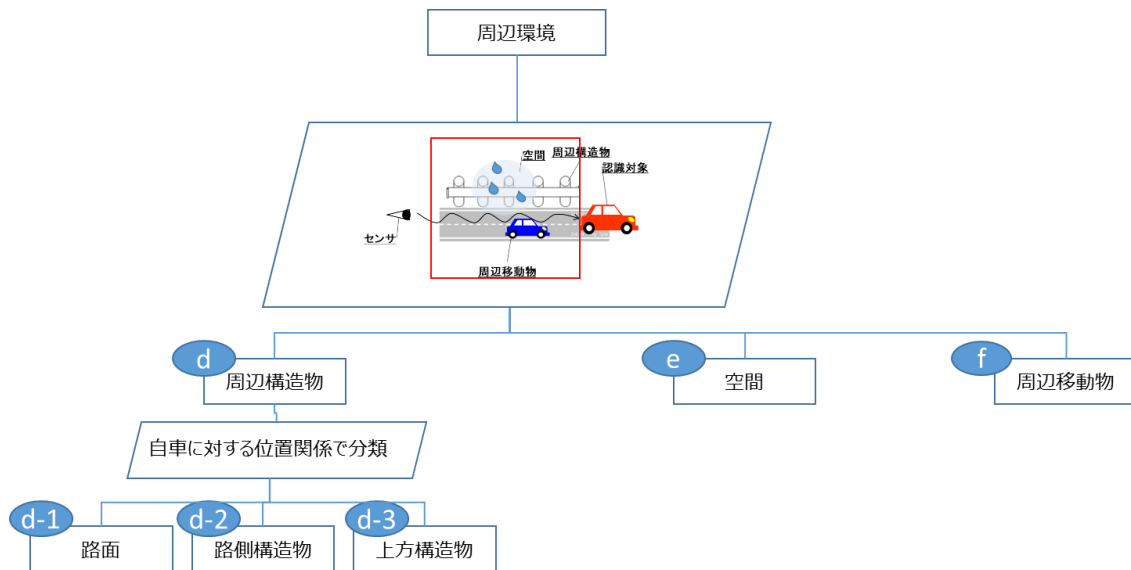


図 51. 周辺環境の分類

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

Influence on sensor principle	Class	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		<ul style="list-style-type: none"> 道路勾配により前速方車両がFOVから外れる 道路勾配により前速方車両が消失/出現する 勾配路面を前方静止物と認識する 	<ul style="list-style-type: none"> 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 路面からのクラッタが上昇する 	<ul style="list-style-type: none"> 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 路面からのクラッタが上昇する 	<ul style="list-style-type: none"> 道路勾配により前速方車両がFOVから外れる 道路勾配により前速方車両が消失/出現する 勾配路面を前方静止物と認識する 	<ul style="list-style-type: none"> 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、橋点が発生 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 下り手前で視界から外れて、未検知 上り手前での対象物の形状変化 カントによる画像上の傾きの変化 	<ul style="list-style-type: none"> 水たまり等への映り込みを誤認識。 道路修復後や織、彫刻を誤認識 	<ul style="list-style-type: none"> マンホールなどを落下物と誤認識する。 横断方向のつなぎ目を停止線と誤認識する。 路面標識を区画線と誤認識
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

Influence on sensor principle	Class	Millimeter waves			LiDAR			Camera		
		反射	遮蔽	背景	反射	遮蔽	背景	反射	遮蔽	背景
Influence		<ul style="list-style-type: none"> マルチパスによるゴースト発生 FOV外の物標の折返しゴースト発生 同一距離複数物標時に水平方位精度の悪化 	<ul style="list-style-type: none"> 側壁等によるFOVの一部欠損 		<ul style="list-style-type: none"> 反射して見える物体を誤認識 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 	<ul style="list-style-type: none"> 対象物の前に存在する物体が対象物の一部を隠す 		<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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、あるいは色の変化 	<ul style="list-style-type: none"> 対象と背景のコントラスト不足 背景を対象物と誤る
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あると考えられる。上方にある反射率の高い物体(方面看板等)を車両と誤認識	対象物の前に存在する物体が対象物の一部を隠す	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 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・スミアが発生
	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		・グレーティング/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号の精度低下			・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)。

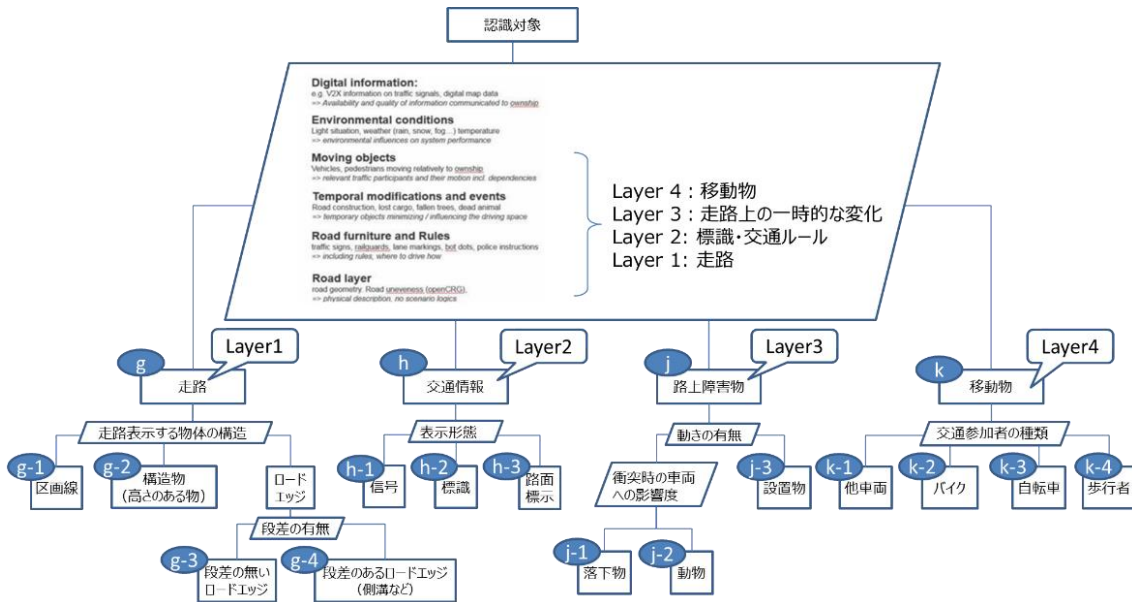


図 52. センサ認識対象の分類

「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)。

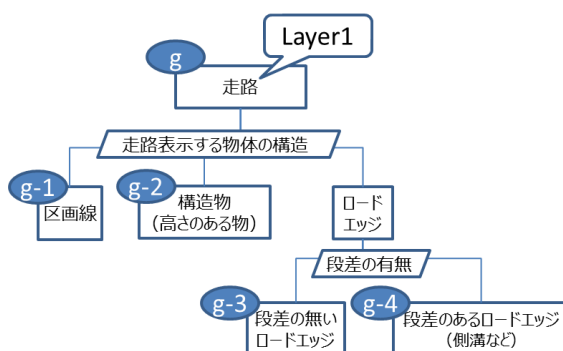


図 53. 「g. 走路」の分類

「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)。

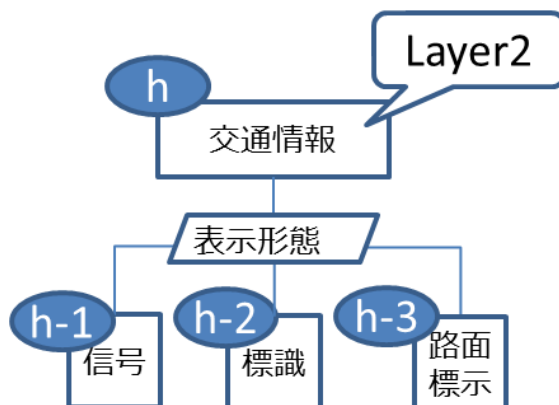


図 54. 「h. 交通情報」の分類

「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)。

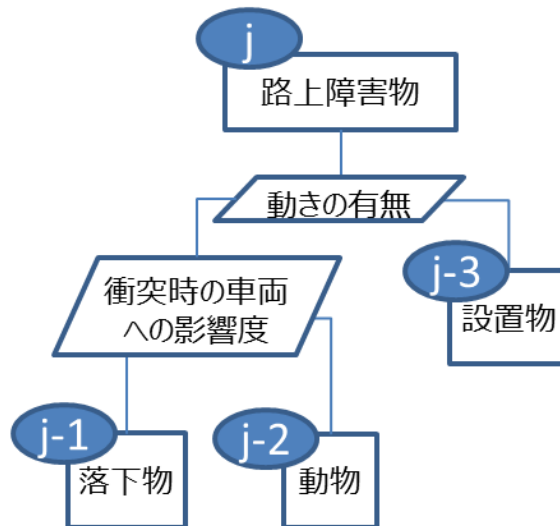


図 55. 「j. 路上障害物」の分類

「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)。

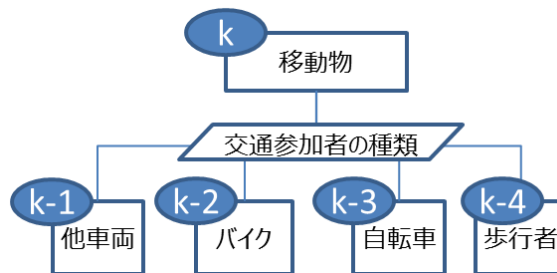


図 56. 「k 移動物」の分類

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

		Millimeter waves	LiDAR	Camera				
Influence on sensor principle	Class.			色・材質	形状	光源	汚れ	相対位置
	Influence			・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 ・ライズの違い（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	・フリ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
	Principle			(認識)	(認識)	フリッカ 低S/N	S無し（部分的）	低S/N S無し（部分的） (認識)

表 16. 「h-2. 標識」の外乱要因

		Millimeter waves	LiDAR	Camera				
Influence on sensor principle	Class.			色・材質	形状	光源	汚れ	相対位置
	Influence			・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	・電光掲示板標識の撮影に伴うフリッカにより、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
	Principle			低D/U (認識)	(認識)	フリッカ	低S/N	画像ノリ・流れ S無し（部分的） (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 ・擦れ・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		
	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 ・見かたの形状や大きさにより認識率低下	・移動により画像ブレ・添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 く認識率低下
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、 フリカ、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	・体格、体勢により、反射強度低下	・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 ・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	折返し 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	Millimeter waves					LIDAR					Camera				
	Class	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 ・受信強度のパラッキによる誤認識	・反射強度低下による最大検知距離低下 ・受信強度のパラッキによる誤認識	・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 ・増加	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 ・線から飛び出しの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/低反射認識対象物によるフェールランプ暗いなど
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	Millimeter waves					LIDAR					Camera				
	Class	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	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 ・受信強度のパラッキによる誤認識	・反射強度低下による最大検知距離低下 ・受信強度のパラッキによる誤認識	・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 ・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確が大きく認識不良	・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 ・自転車の向きで認識率に影響 ・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確が大きく認識不良	・FOV内に入る画像情報量の制限 ・対象の背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に入る部分が少ない認識率低下 ・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)。

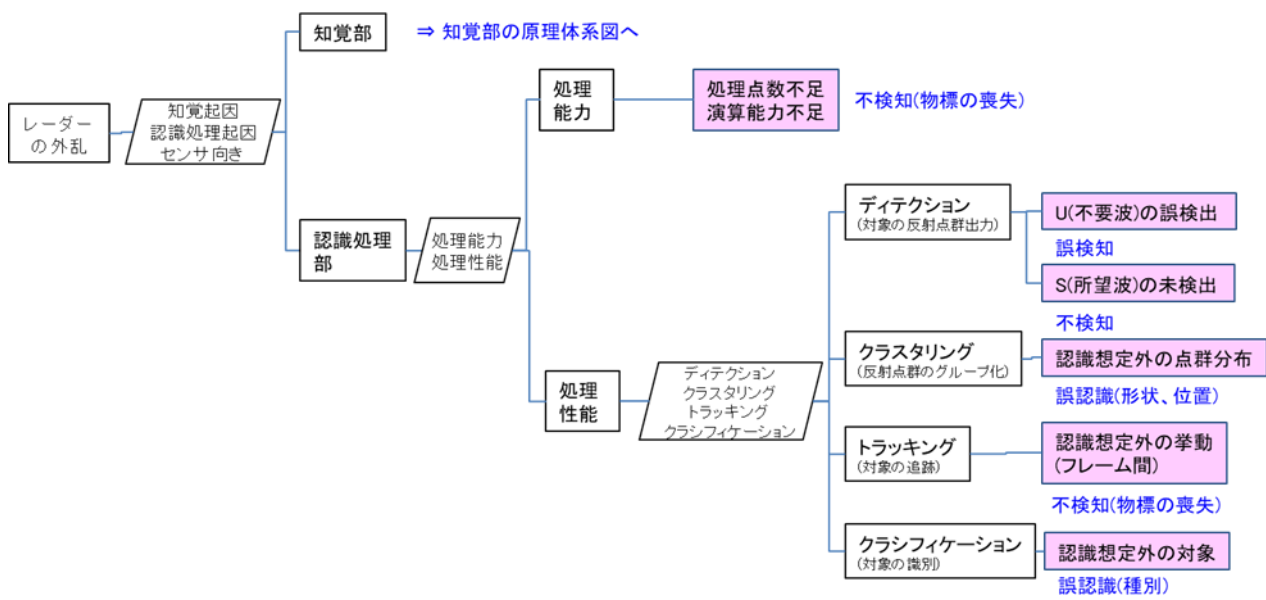


図 57. ミリ波レーダーにおける認識外乱の分類

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変化する場合とがあり、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。

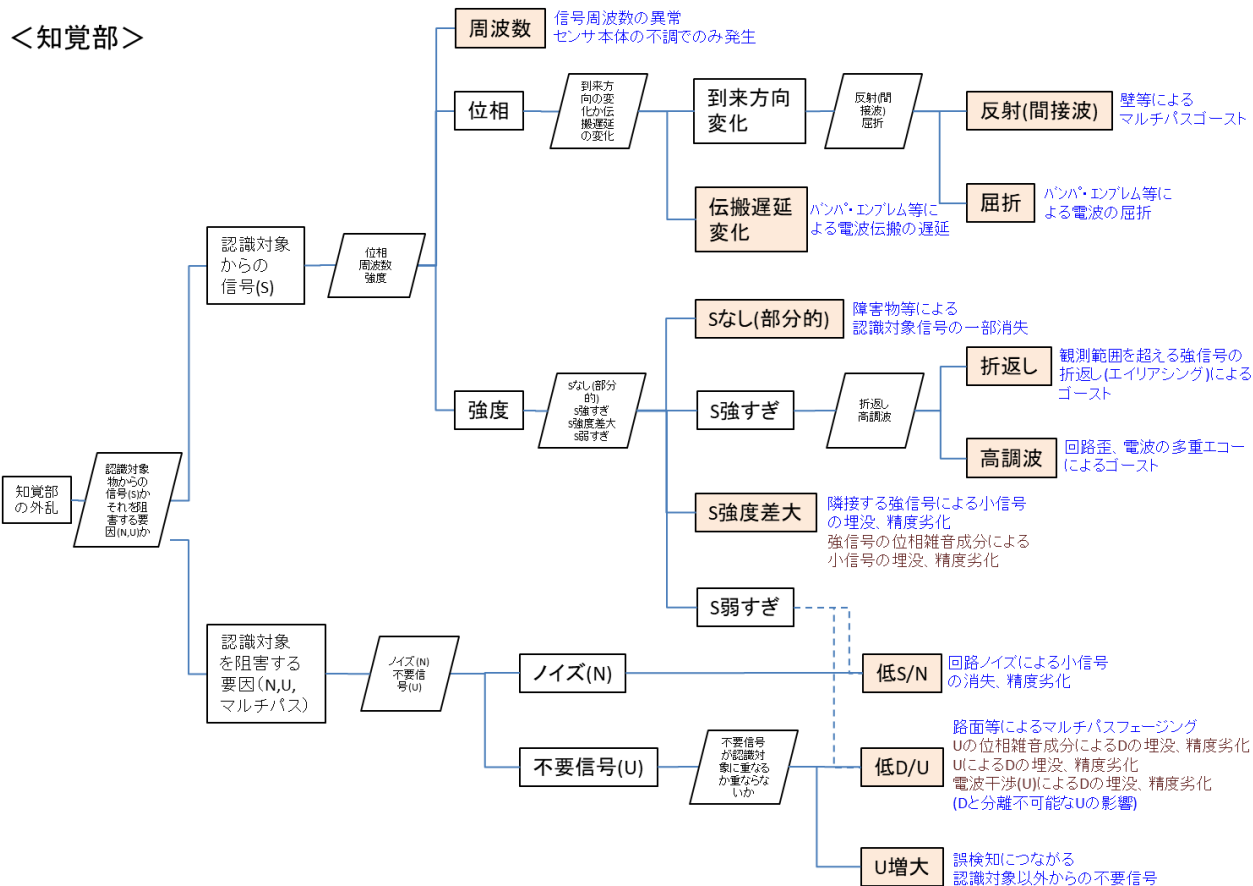


図 58. ミリ波レーダーの知覚処理における外乱発生原理

• 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)

認識要因の外乱の体系図

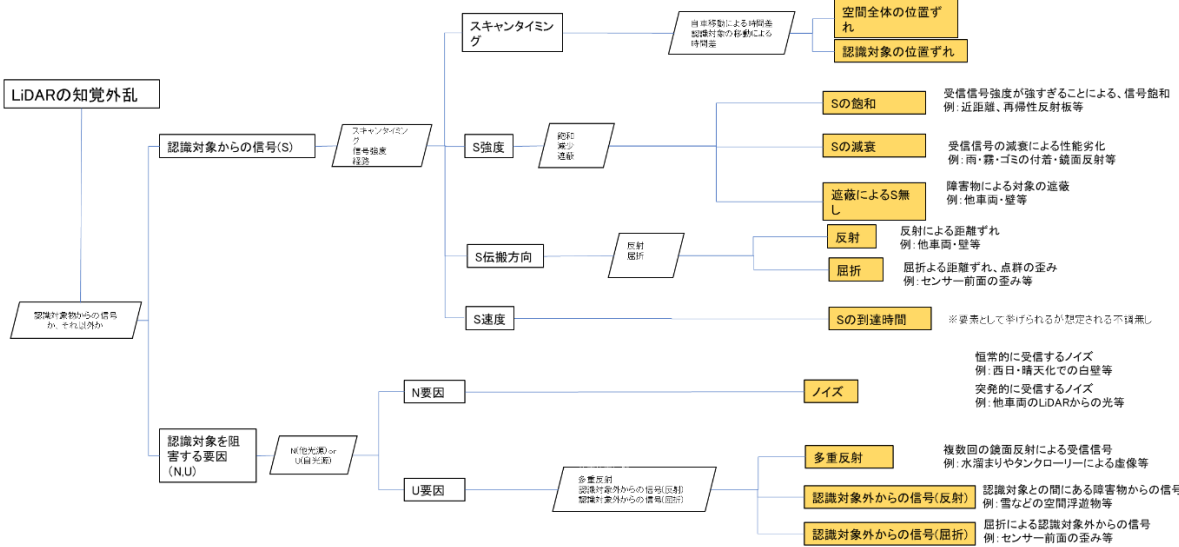
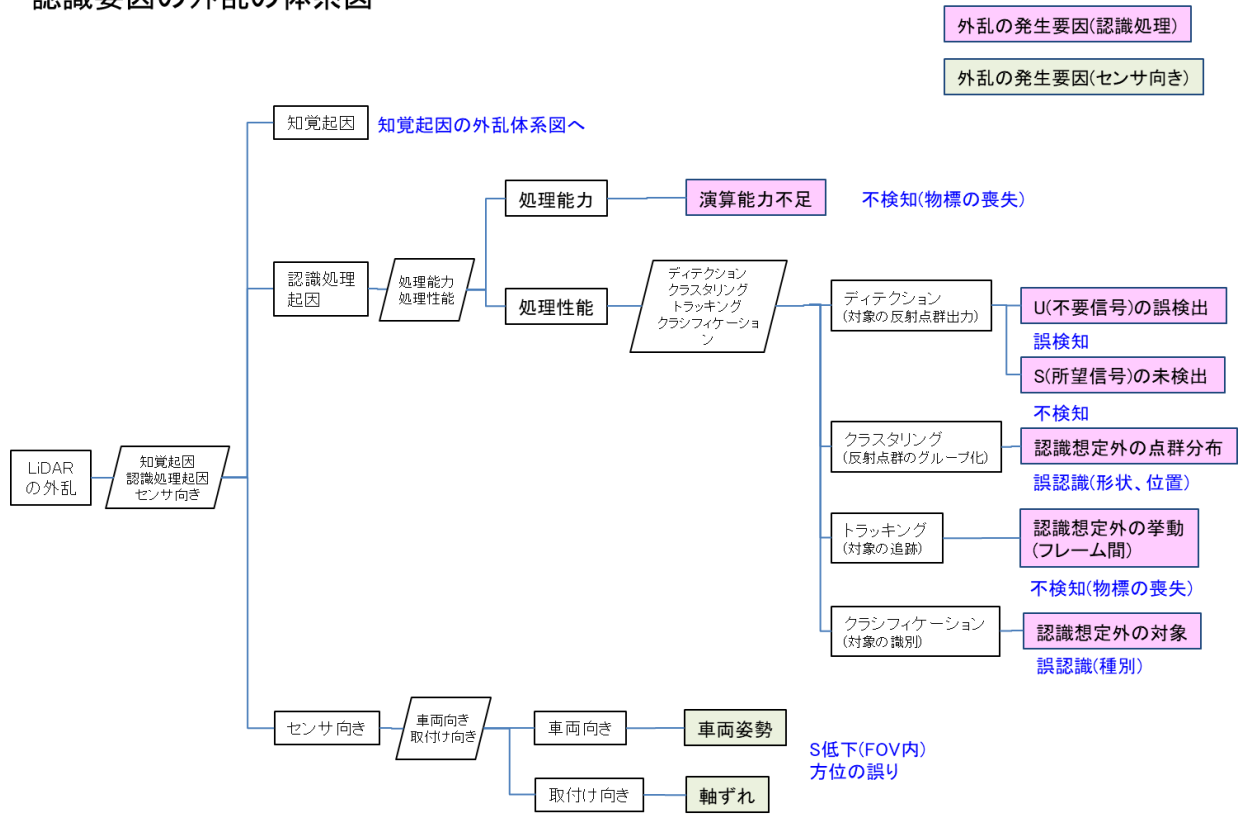


図 59. LiDAR における認識外乱の分類

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、信号の処理プロセスに着目し、光学部品で起きる光の性質として“光学系”、ノイズの定義として“イメージセンサ”、画像の色要素として“画像処理”で分類する。イメージセンサのシグナルについても処理プロセスに着目し、露光の時間制御、電化蓄積、A/D 変換に分類する(図 60)。

カメラの認識処理においても処理プロセスに着目すると、“特徴抽出”、“識別”、“位置推定”、“トラッキング”に分類する事ができる(図 60)。

知覚部の外乱、認識部の外乱 の定義

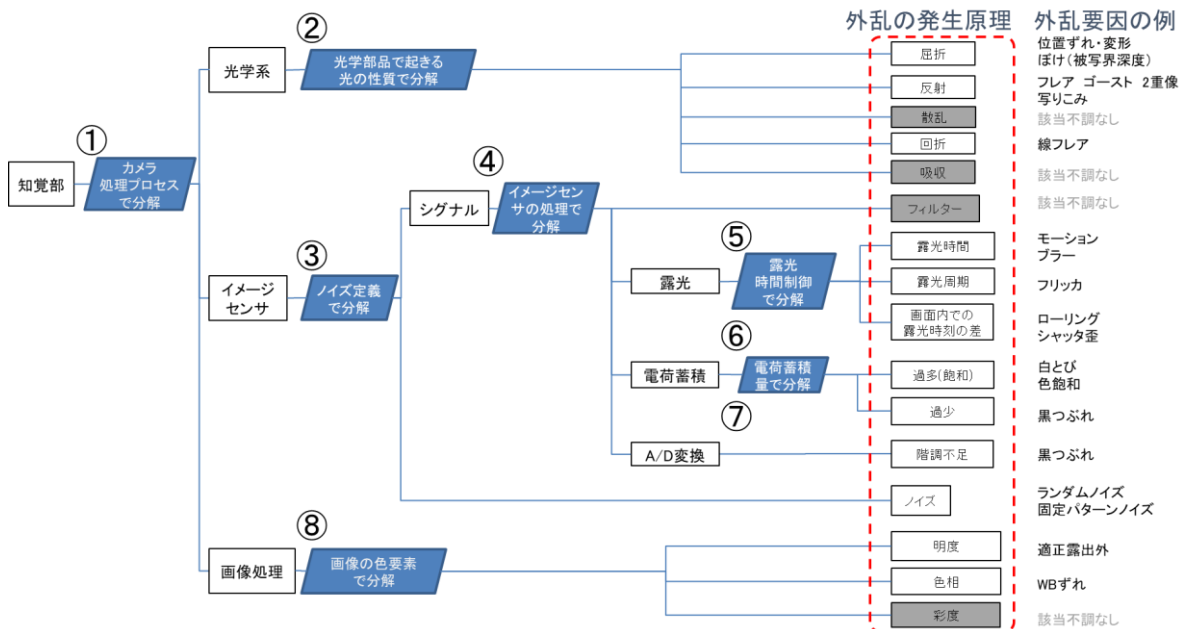
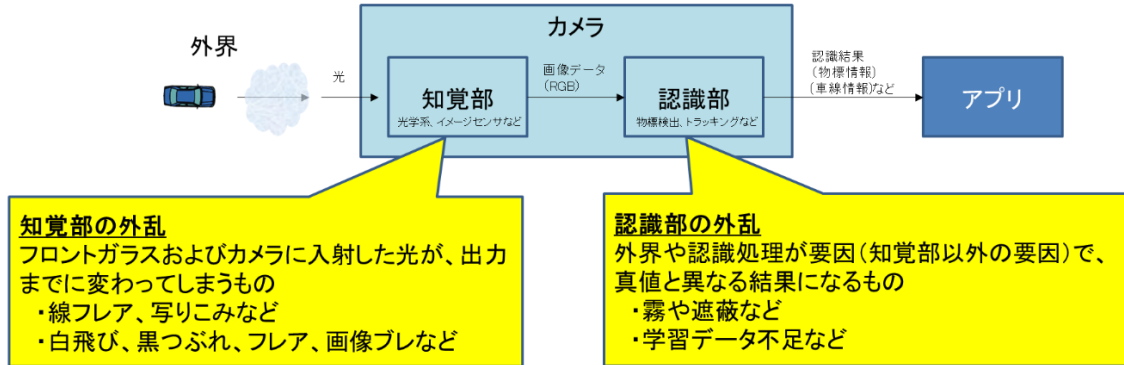


図 60. カメラの知覚における外乱発生原理

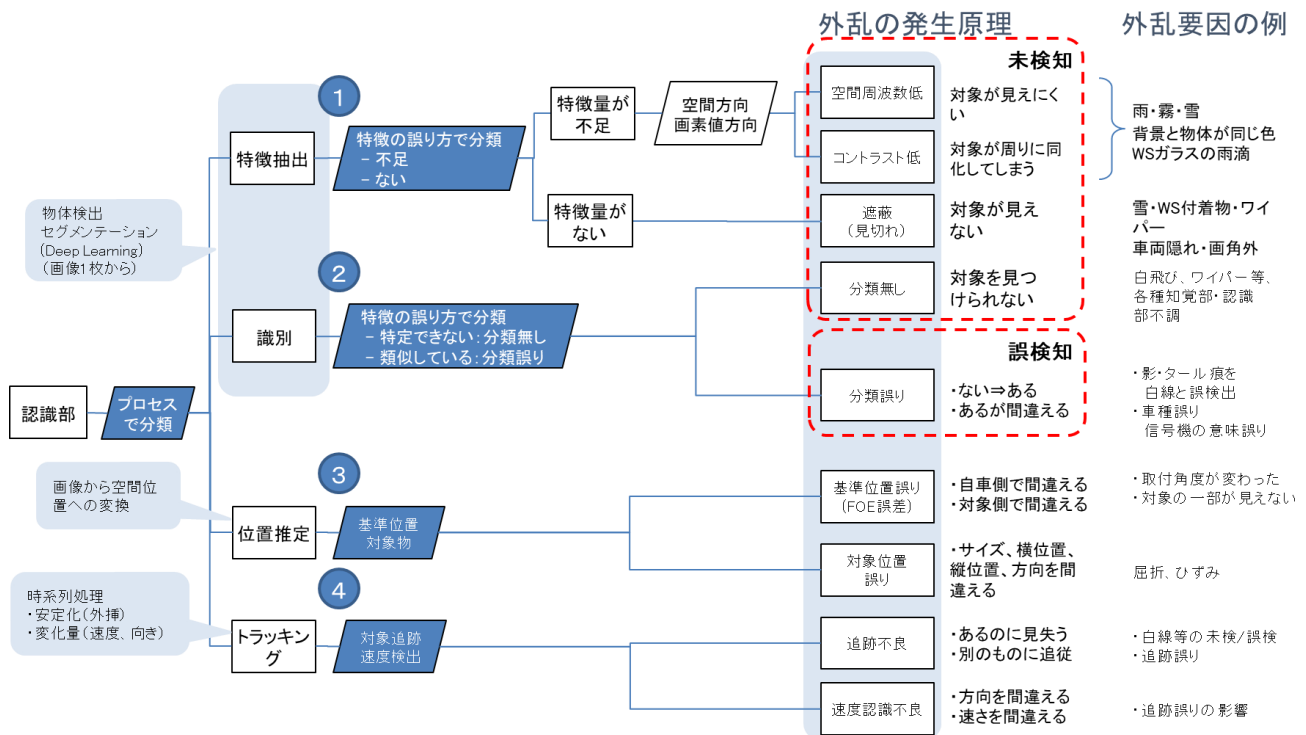


図 61. カメラの認識における外乱発生原理

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ため、いずれかの外乱要因が他の外乱要因を代用すると考えることができる。但し、要因によってパラメータの範囲が異なるため、安全性の評価を行う際は、評価対象のシステムの ODD に対して同等以上の範囲をカバーする外乱要因を選定する必要がある。

候補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 28. カメラの認識外乱発生原理と要因（要因：認識対象－走路・交通情報・路上障害物）

認識対象	認識外乱発生原理	発生要因	認識対象の属性				走路の属性				交通情報の属性				路上障害物の属性				カメラの属性				環境の属性				認識外乱の属性									
			形状	色	大きさ	位置	色	形状	傾斜	路面状況	方向	速度	種類	位置	形状	高さ	色	傾斜	材質	種類	形状	高さ	色	傾斜	材質	種類	形状	高さ	色	傾斜	材質					
			種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類	種類					
歩行者	歩行者の検出・追跡失敗	歩行者の検出失敗																																		
		歩行者の追跡失敗																																		
		歩行者の検出・追跡の両方失敗																																		
	歩行者の属性抽出失敗	歩行者の属性抽出失敗																																		
		歩行者の属性抽出失敗																																		
		歩行者の属性抽出失敗																																		
	乗用車	乗用車の検出・追跡失敗	乗用車の検出失敗																																	
			乗用車の追跡失敗																																	
			乗用車の検出・追跡の両方失敗																																	
		乗用車の属性抽出失敗	乗用車の属性抽出失敗																																	
			乗用車の属性抽出失敗																																	
			乗用車の属性抽出失敗																																	
		バス	バスの検出・追跡失敗	バスの検出失敗																																
				バスの追跡失敗																																
				バスの検出・追跡の両方失敗																																
			バスの属性抽出失敗	バスの属性抽出失敗																																
				バスの属性抽出失敗																																
				バスの属性抽出失敗																																
トラック			トラックの検出・追跡失敗	トラックの検出失敗																																
				トラックの追跡失敗																																
				トラックの検出・追跡の両方失敗																																
			トラックの属性抽出失敗	トラックの属性抽出失敗																																
				トラックの属性抽出失敗																																
				トラックの属性抽出失敗																																
	オートバイ		オートバイの検出・追跡失敗	オートバイの検出失敗																																
				オートバイの追跡失敗																																
				オートバイの検出・追跡の両方失敗																																
			オートバイの属性抽出失敗	オートバイの属性抽出失敗																																
				オートバイの属性抽出失敗																																
				オートバイの属性抽出失敗																																
		大型トラック	大型トラックの検出・追跡失敗	大型トラックの検出失敗																																
				大型トラックの追跡失敗																																
				大型トラックの検出・追跡の両方失敗																																
			大型トラックの属性抽出失敗	大型トラックの属性抽出失敗																																
				大型トラックの属性抽出失敗																																
				大型トラックの属性抽出失敗																																
バスケットボールコート			バスケットボールコートの検出・追跡失敗	バスケットボールコートの検出失敗																																
				バスケットボールコートの追跡失敗																																
				バスケットボールコートの検出・追跡の両方失敗																																
			バスケットボールコートの属性抽出失敗	バスケットボールコートの属性抽出失敗																																
				バスケットボールコートの属性抽出失敗																																
				バスケットボールコートの属性抽出失敗																																
	道路工事		道路工事の検出・追跡失敗	道路工事の検出失敗																																
				道路工事の追跡失敗																																
				道路工事の検出・追跡の両方失敗																																
			道路工事の属性抽出失敗	道路工事の属性抽出失敗																																
				道路工事の属性抽出失敗																																
				道路工事の属性抽出失敗																																

例として、上記の考え方によって選出したシナリオの1つを図 62 に示す。シナリオの説明図には、以下の要素が含まれる必要がある。詳細は ANNEX を参照のこと。

- ・シナリオの概要説明
- ・当該シナリオにおける認識対象物、周辺環境、自車・センサの状況図示
- ・パラメータ項目、範囲の一覧

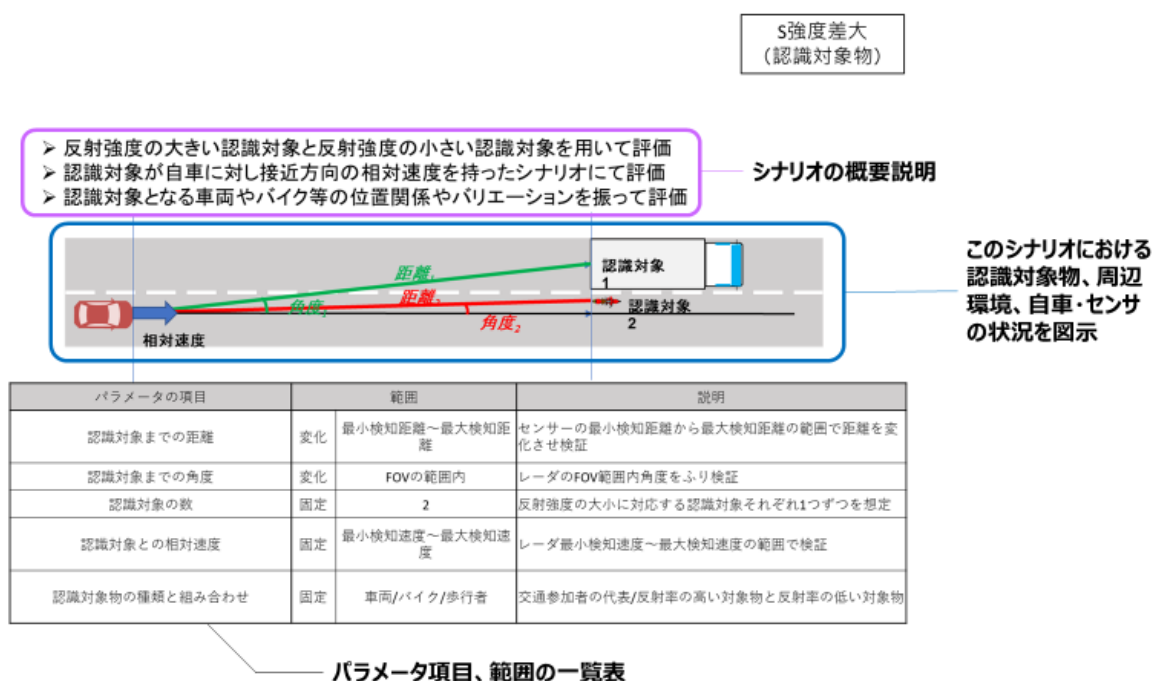


図 62. 認識外乱評価シナリオ説明図の例

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 63)。

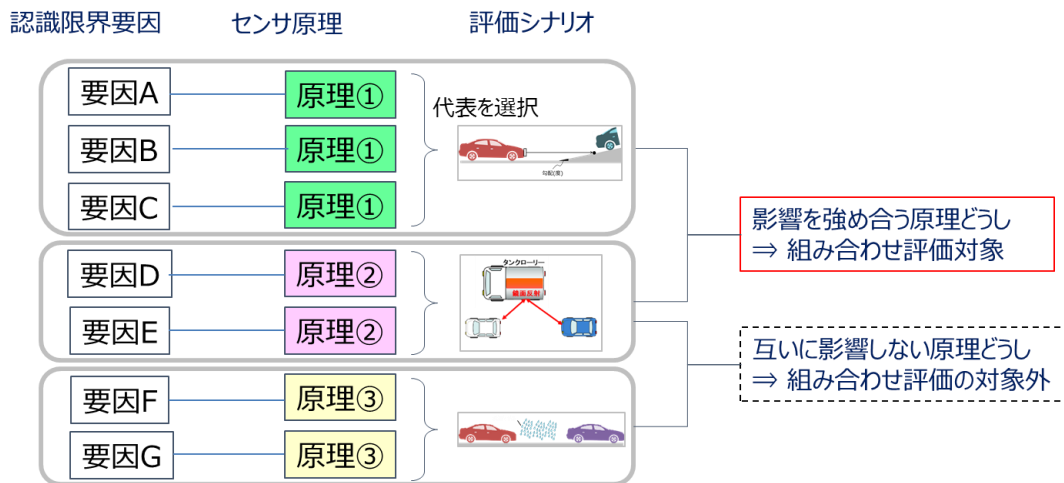


図 63. 組み合わせ評価対象となる認識外乱発生原理

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)。

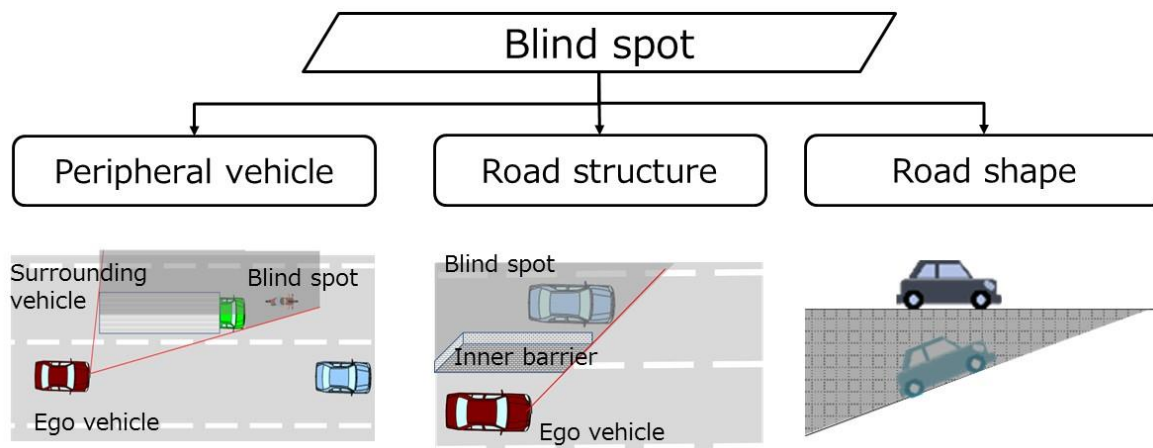


図 65. ブラインドスポット関連認識不調分類

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。

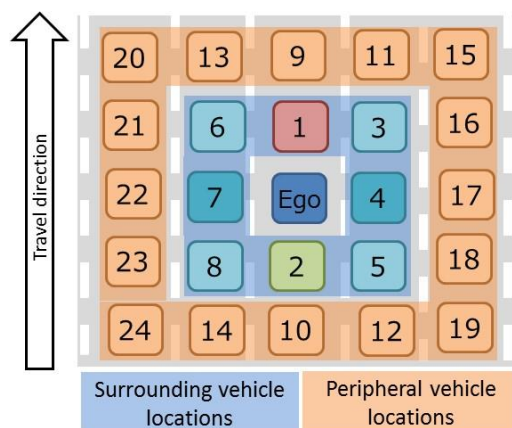


図 66. 周辺車両関連死角シナリオを定義するために適用される車両位置

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。

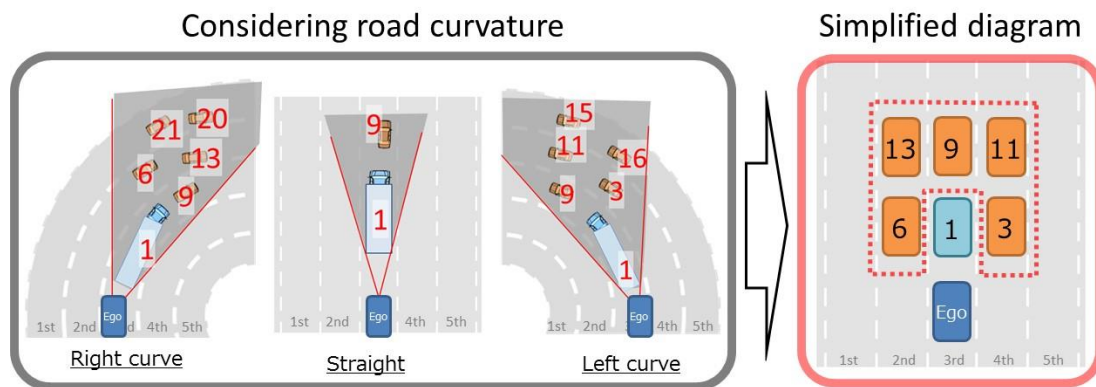


図 67. 前方方向位置 1 における周囲の車両による死角位置

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、安全解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。

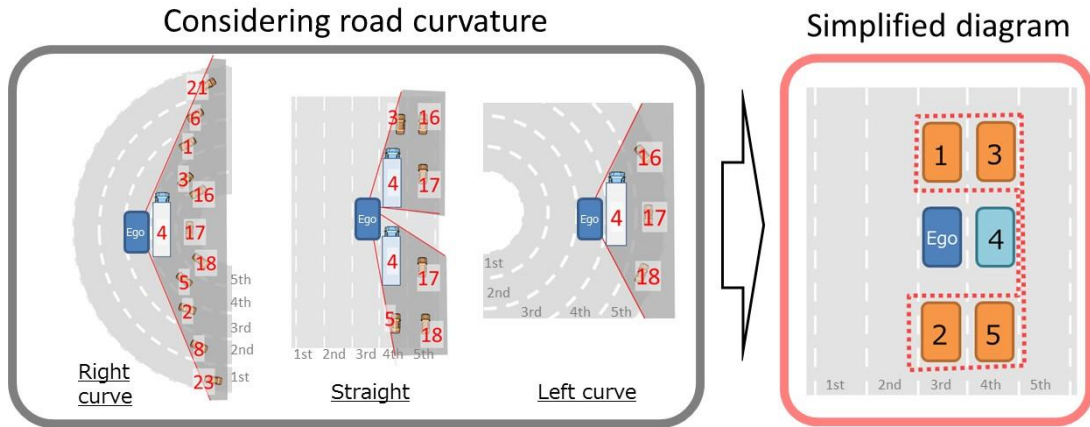


図 68. 横方向位置 4 での周囲車両による死角位置

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。

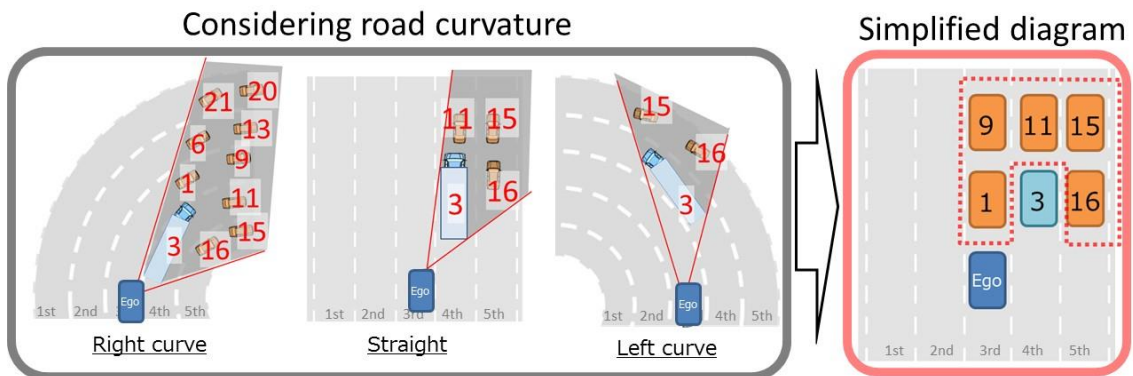


図 69. 位置 3 の周辺車両による死角の位置

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)。

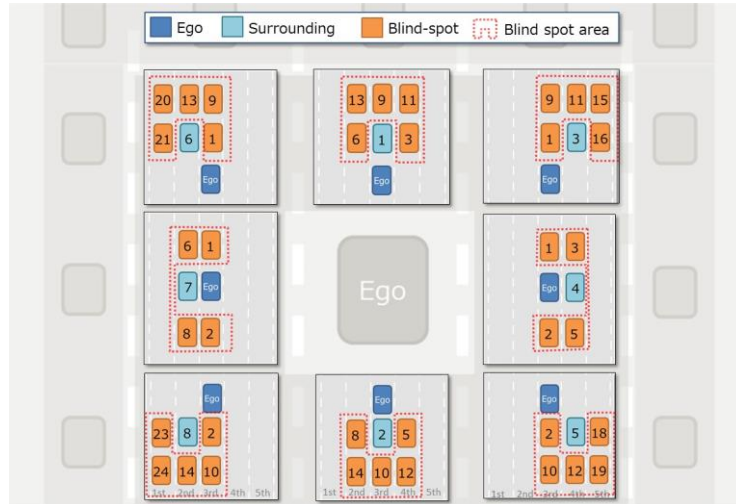


図 70. 安全解析で考慮される周辺車両誘発死角位置のすべての図

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。

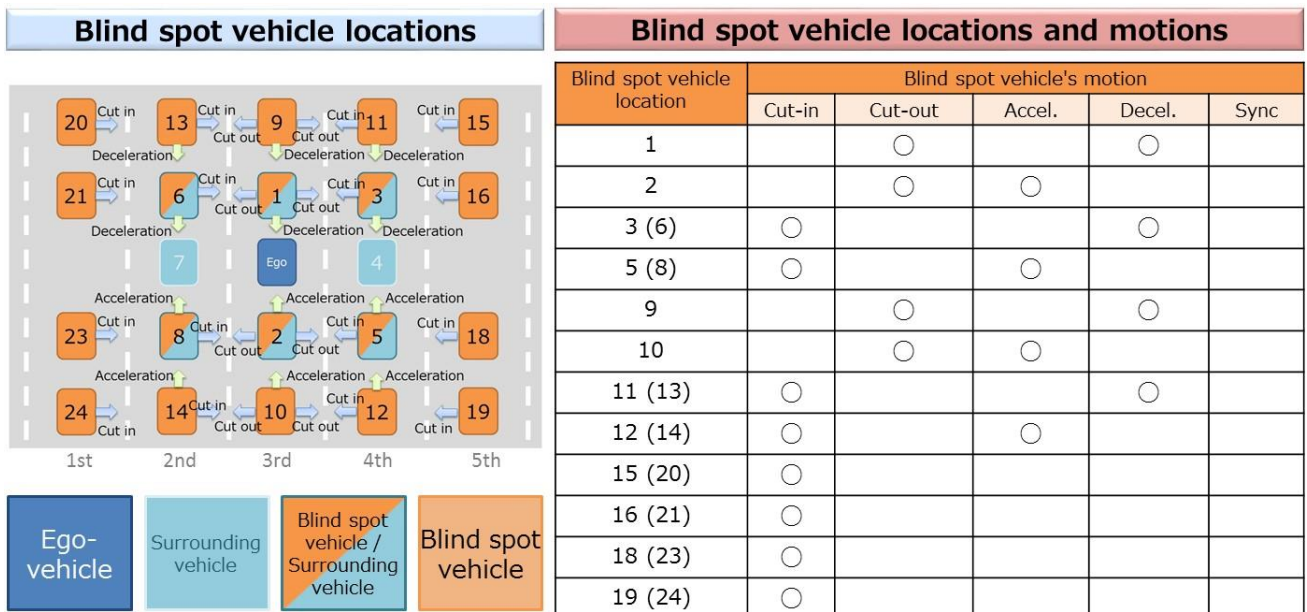


図 71. 死角車両の位置(左)、および死角車両の位置と自車両(右)の障害となる可能性のある動作の組み合わせ

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)。

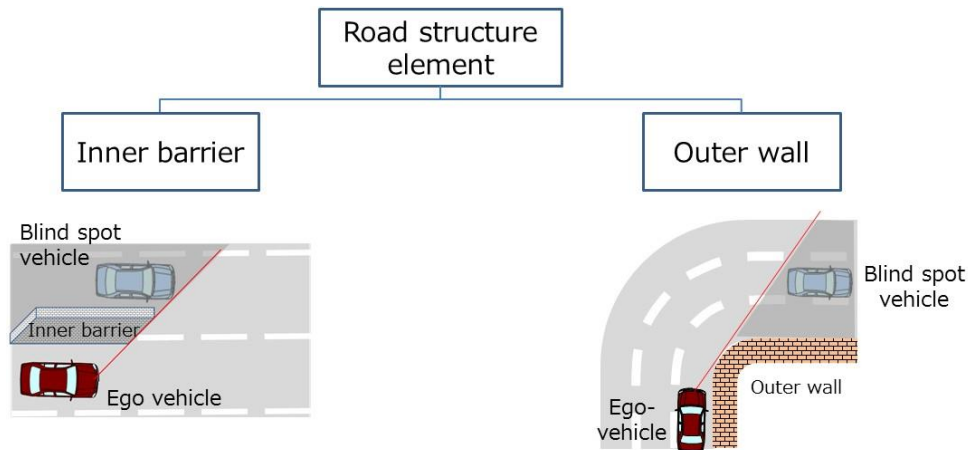


図 73. 道路構造による死角シナリオ分類

4.2.2.1 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。

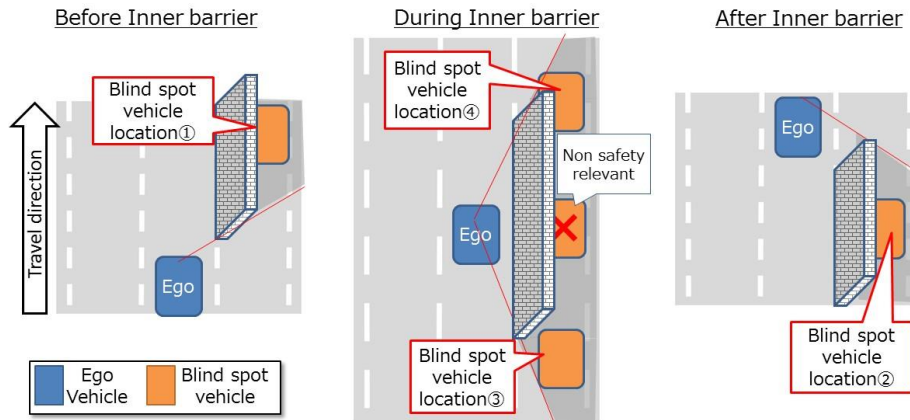


図 74. 内部障壁に関連する死角の定義

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。

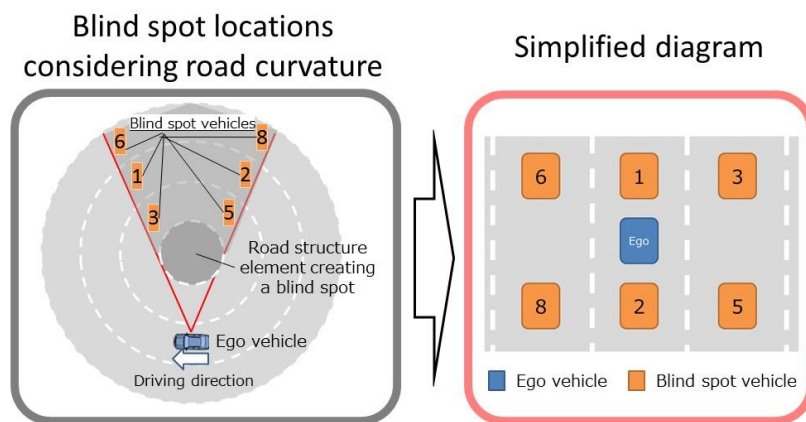


図 76. 位置および外壁に関連する死角の定義

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)。

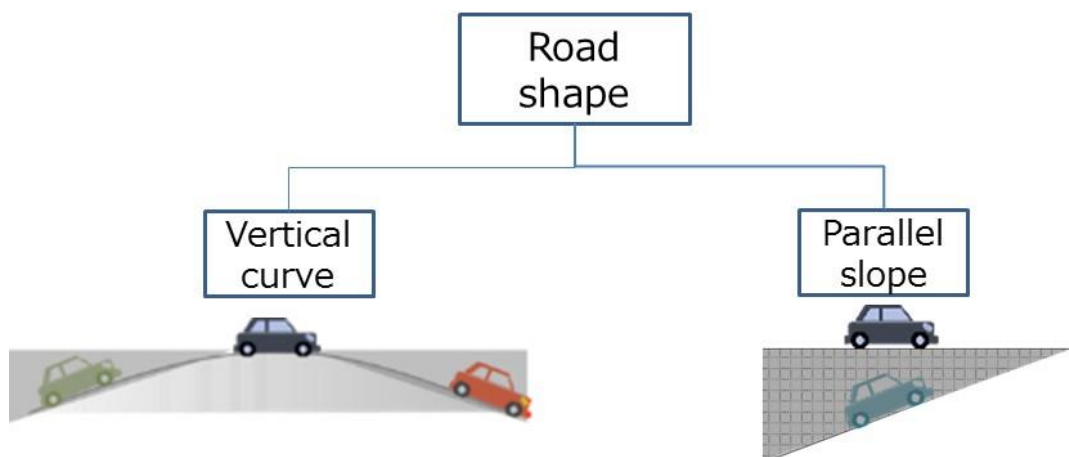


図 78. 道路形状による死角シナリオ分類

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。

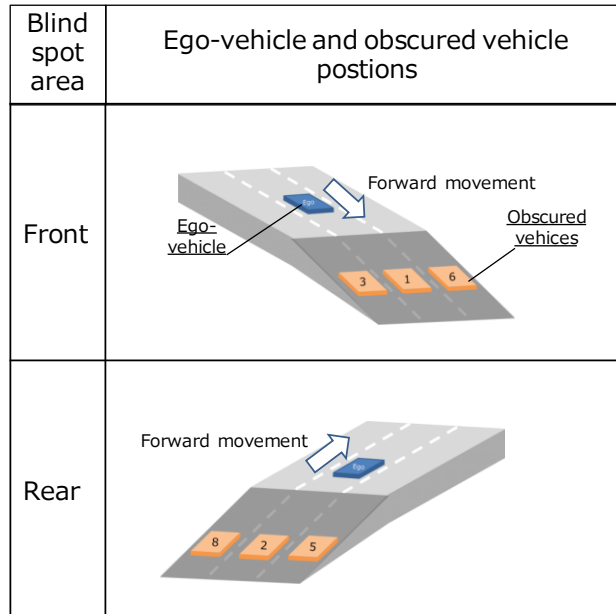


図 79. 縦断勾配による死角に関連した認識不調のシナリオ

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)。

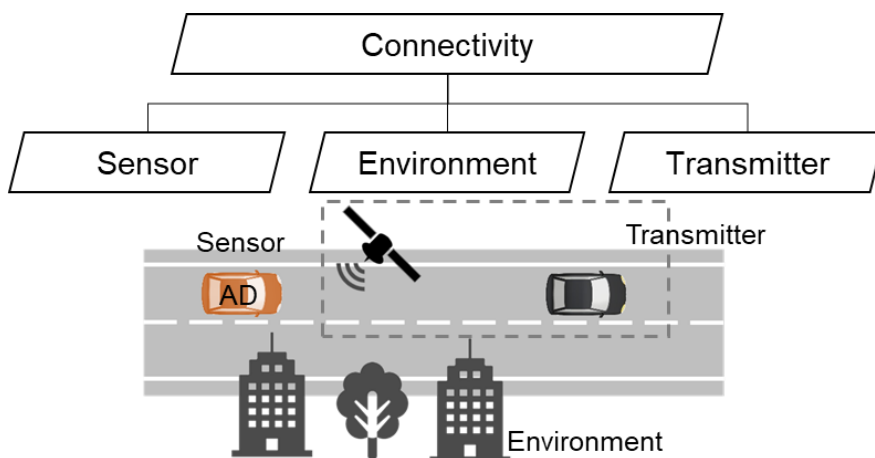


図 81. 通信外乱に関連する認識限界の分類

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。

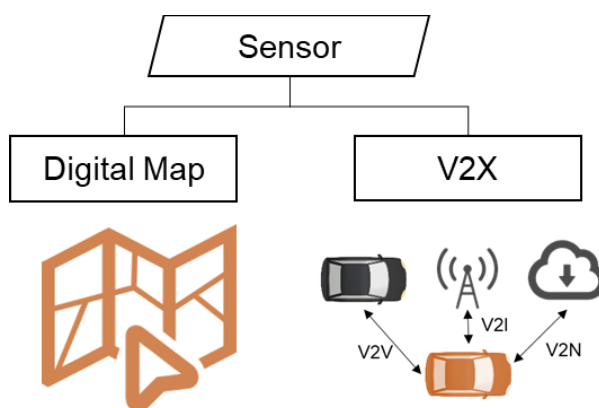


図 82. センサ通信外乱に関連した認識限界の分類

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。

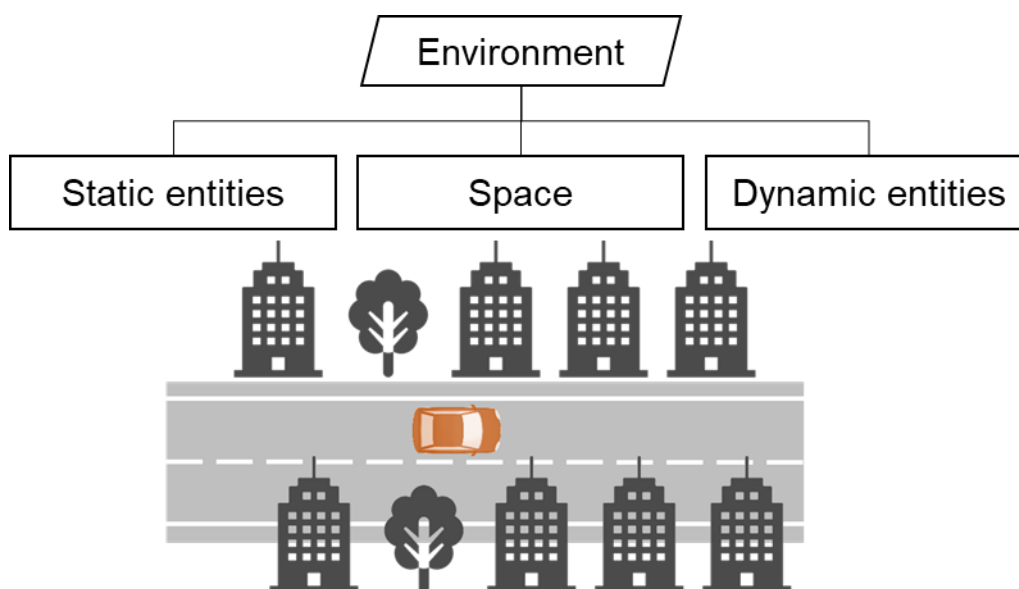


図 83. 環境の通信外乱に関連した認識限界の分類

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。

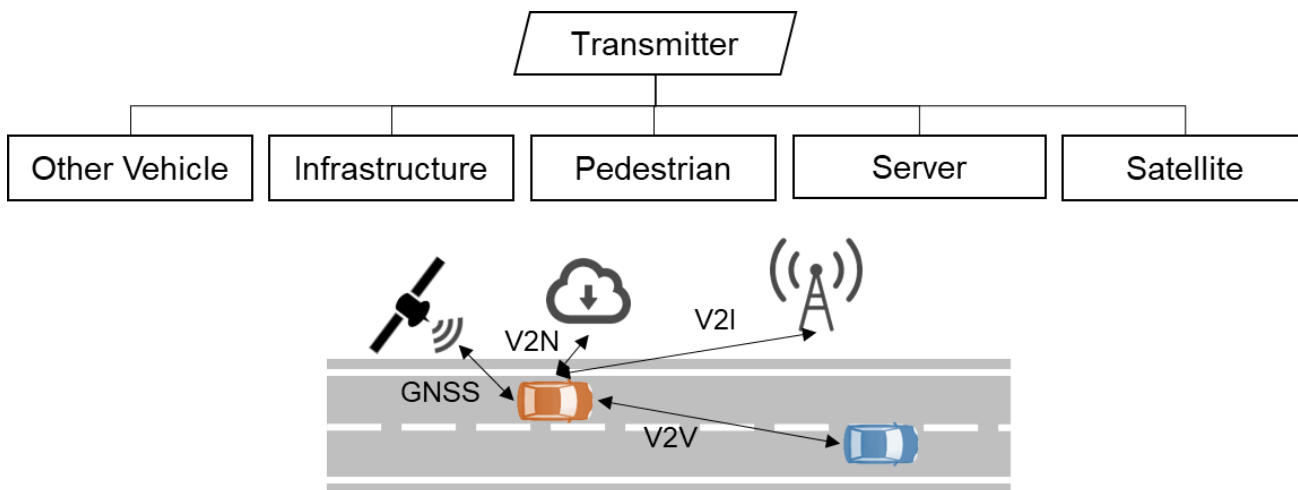


図 84. 送信機の通信外乱に関連する認識限界の分類

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)。

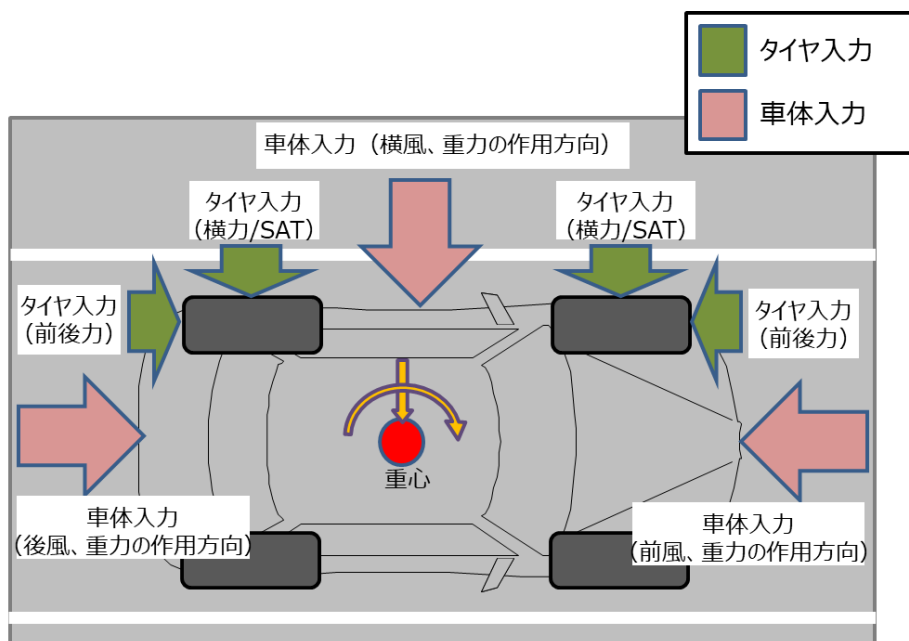


図 85. 車両運動外乱シナリオを定義するために考慮される外部からの物理的な力

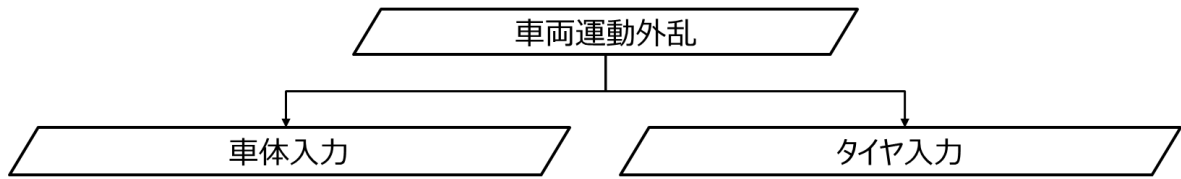


図 86. 車両運動外乱シナリオ体系

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。

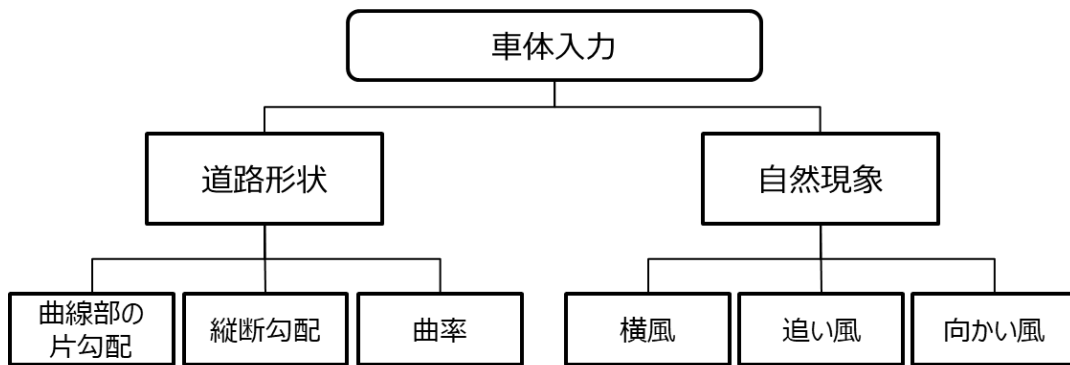


図 87. 車体入力に関するシナリオ体系

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)。

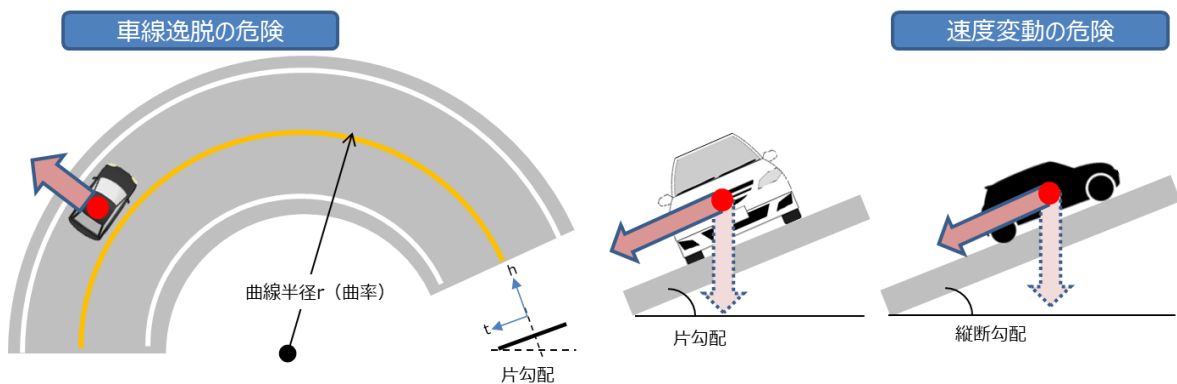


図 88. 道路形状の分類

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)。

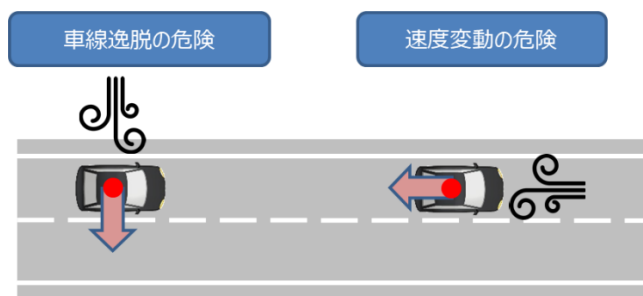


図 89. 自然現象の分類

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。

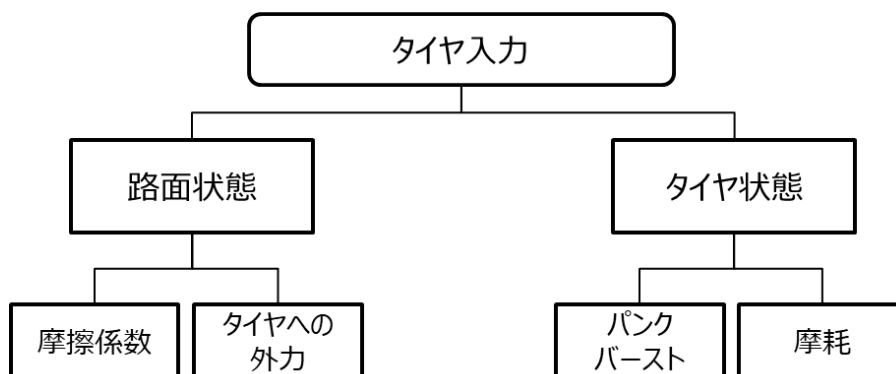


図 90. タイヤ入力に関するシナリオ体系

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 μ 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)。

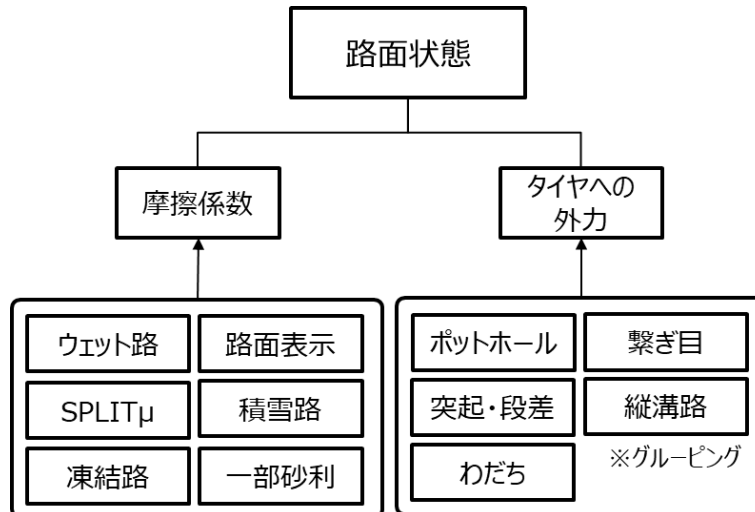


図 91. 路面状態の分類

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。

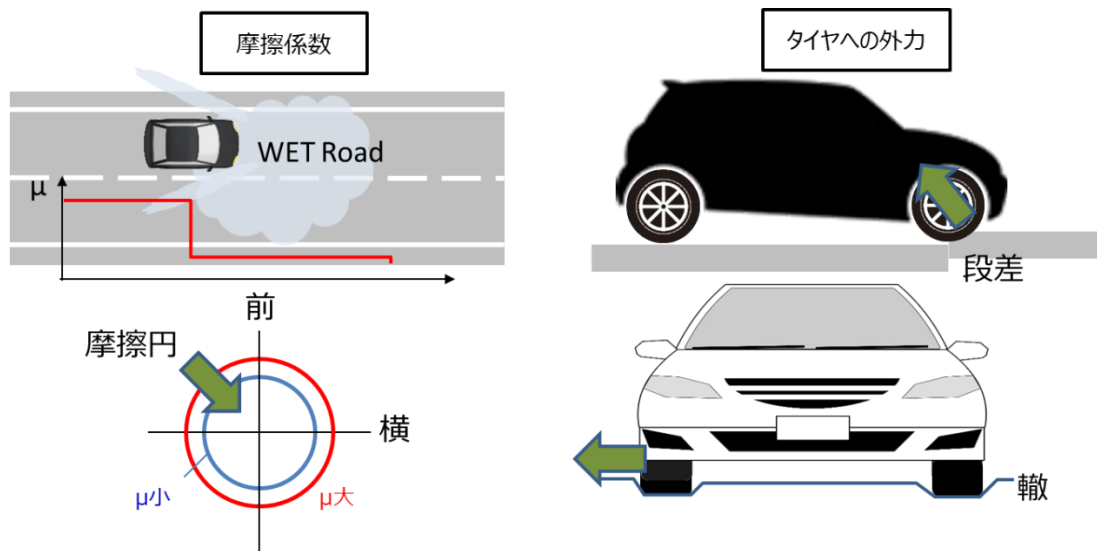


図 92. 摩擦係数の変化(左)とタイヤの外力(右)による路面状態に関する車両運動外乱

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。

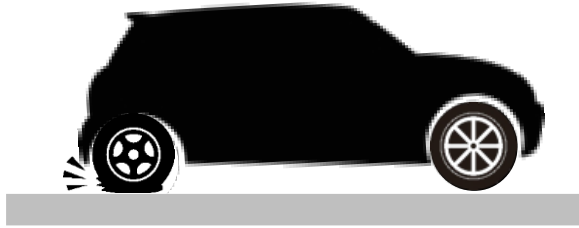


図 93. パーストによるタイヤ状態に関する車両運動外乱

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)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。これらの定義は次のとおり。

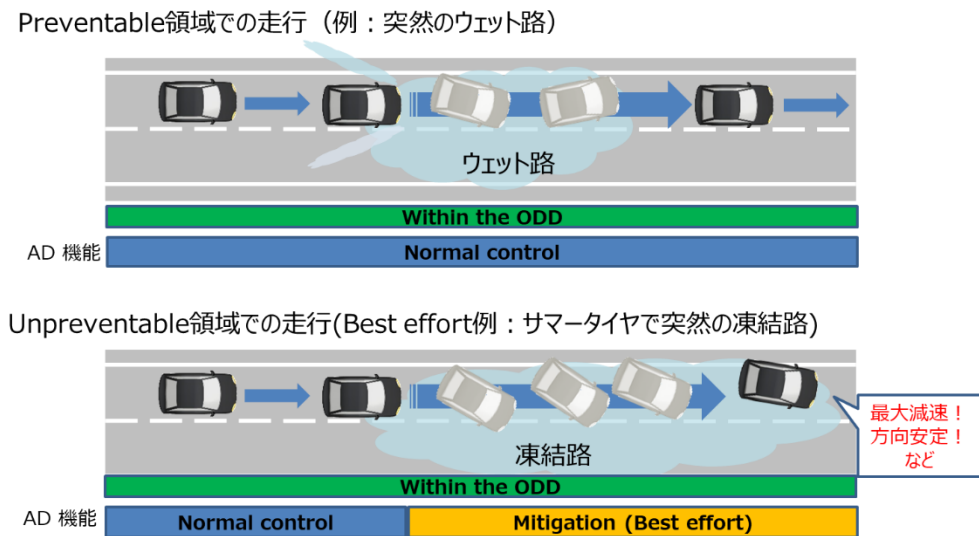


図 94. 回避可能(上段)と回避不可能(下段)な車両運動外乱に対する安全アプローチ

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 ϵ である。図 95 は、その粘着利用率 ϵ 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(ϵ 30%以下)、AD 車両が通常で緊急回避するために使う領域(ϵ 30%~75%)、ABS が作動するような限界領域(ϵ 75%~100%)およびタイヤのグリップ力が働かない超限界領域(ϵ 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。

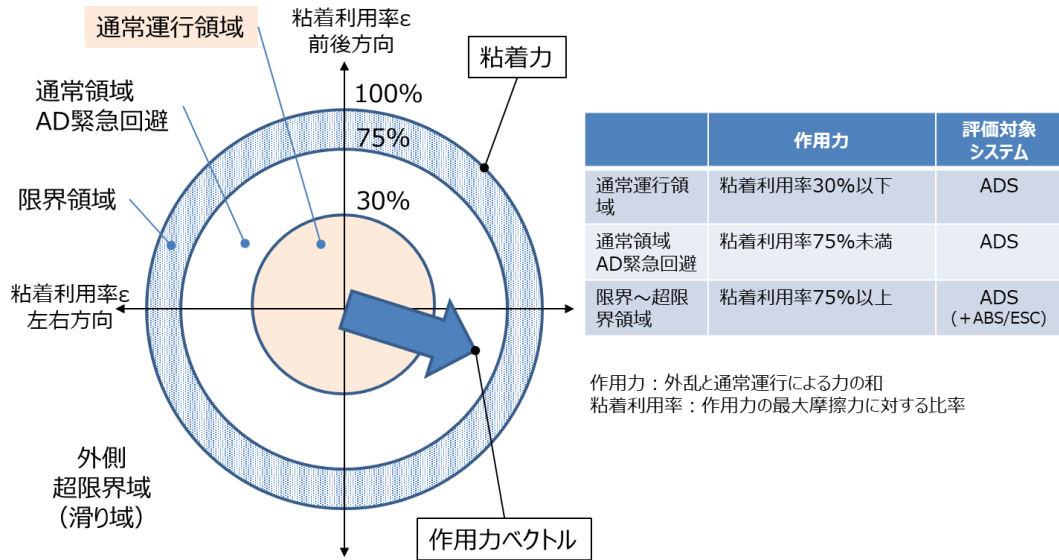


図 95. 車両運動外乱の安全アプローチを定義する車両の作用力と粘着利用率の概念図

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。

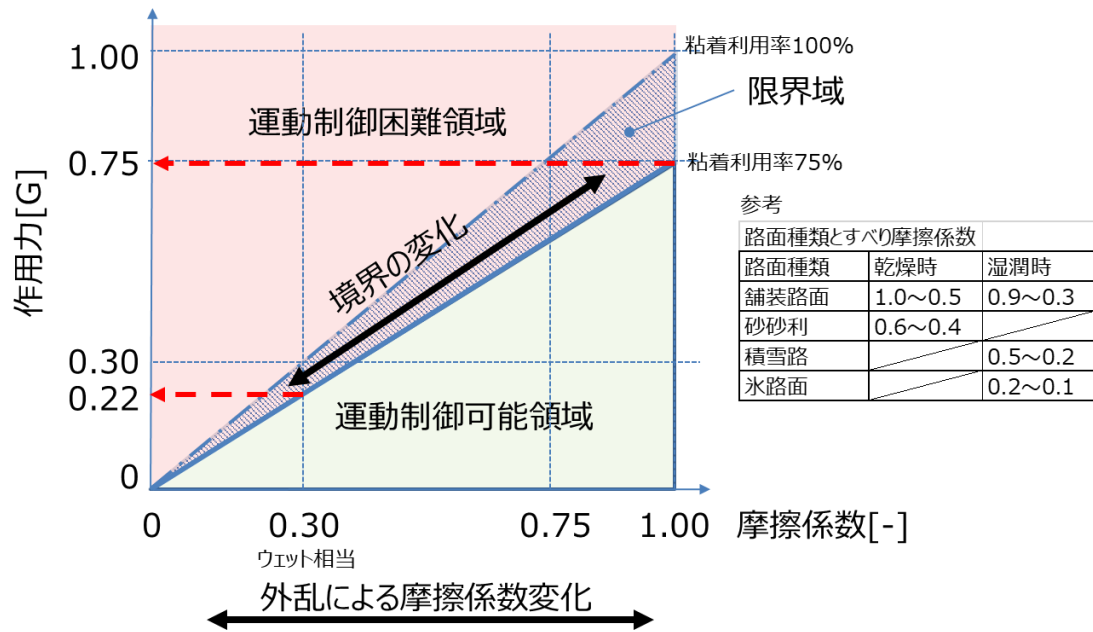


図 96. 車両運動制御の可能範囲

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/s²)

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 100km/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 100km/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設定している。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。

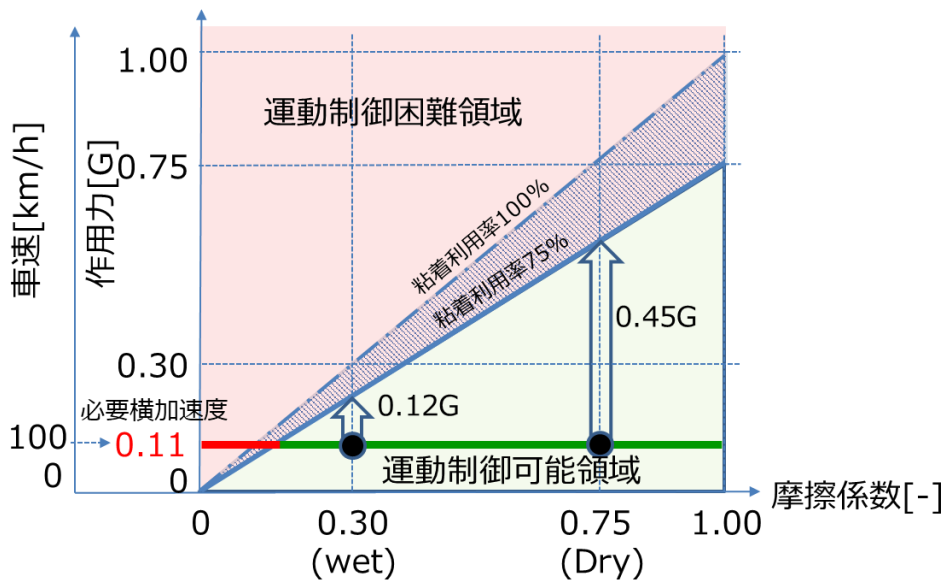


図 97. 道路形状に対する摩擦係数と作用力の関係

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。

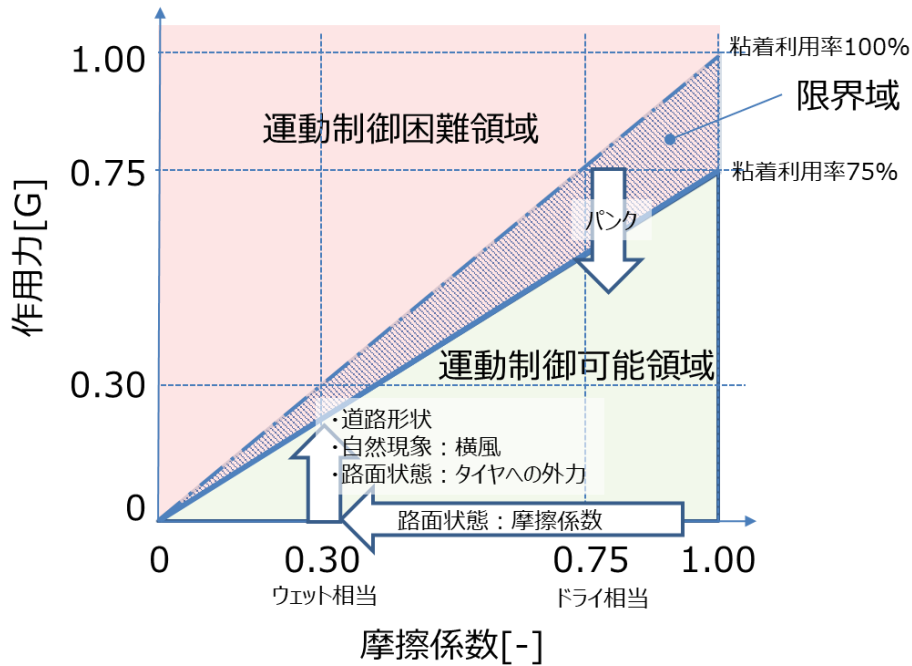


図 98. 車両運動外乱における要素の組み合わせと関係

4.3.3.5 車体入力の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)。

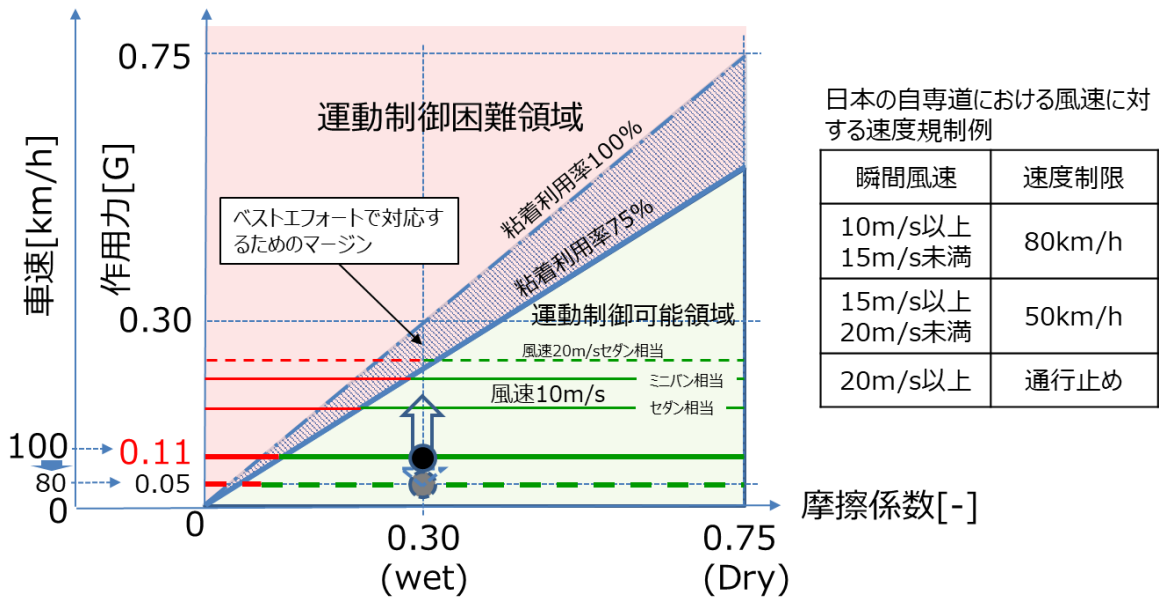


図 99. 自然現象(横風)に対する摩擦係数と作用力の関係

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で摩擦係数 0.3(ロック μ)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。

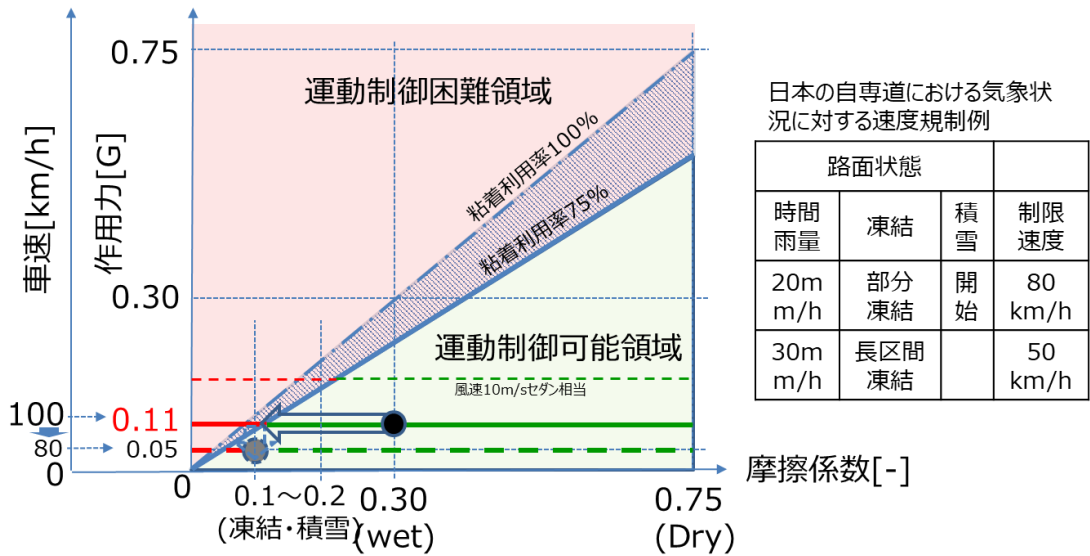


図 100. 路面状態に対する摩擦係数と作用力の関係

表 30. 維持修繕要否判断の目標値

道路の種類	項目	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	わだち掘れ及びラベリング(mm)	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	0.25	3mプロフィール	30~40	20
一般道(交通量少)		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μ)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未滿)

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。

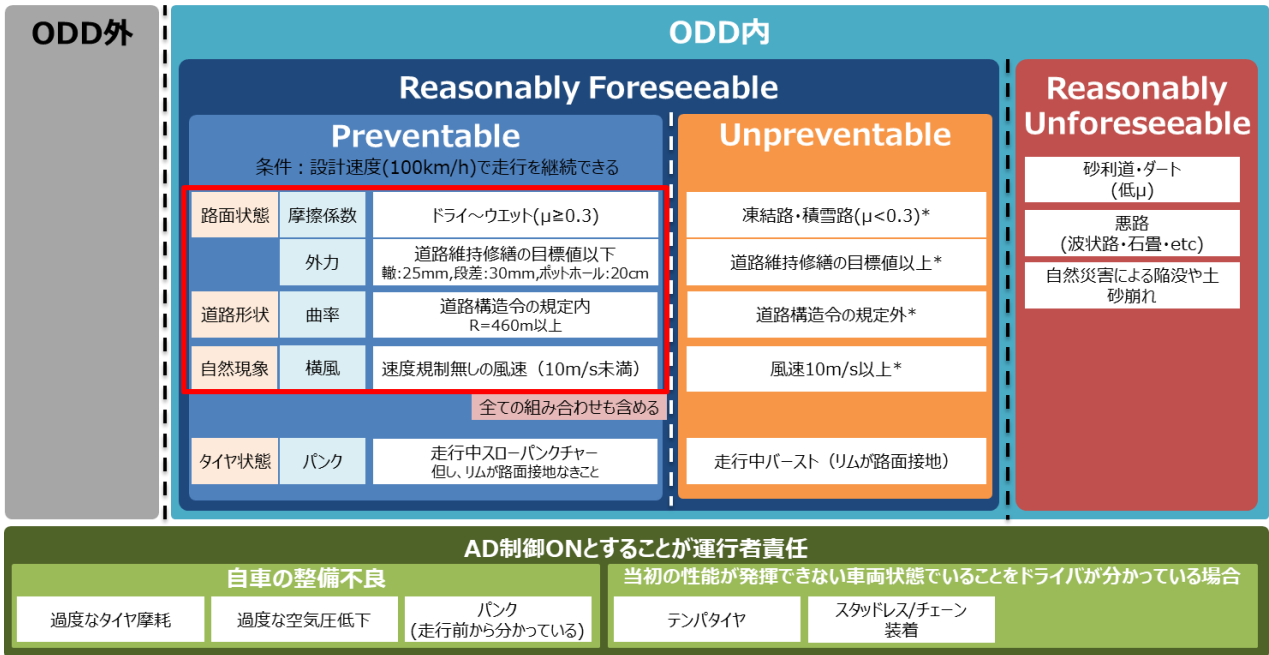


図 101. 車両運動外乱における Preventability/Unpreventability 境界条件

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)

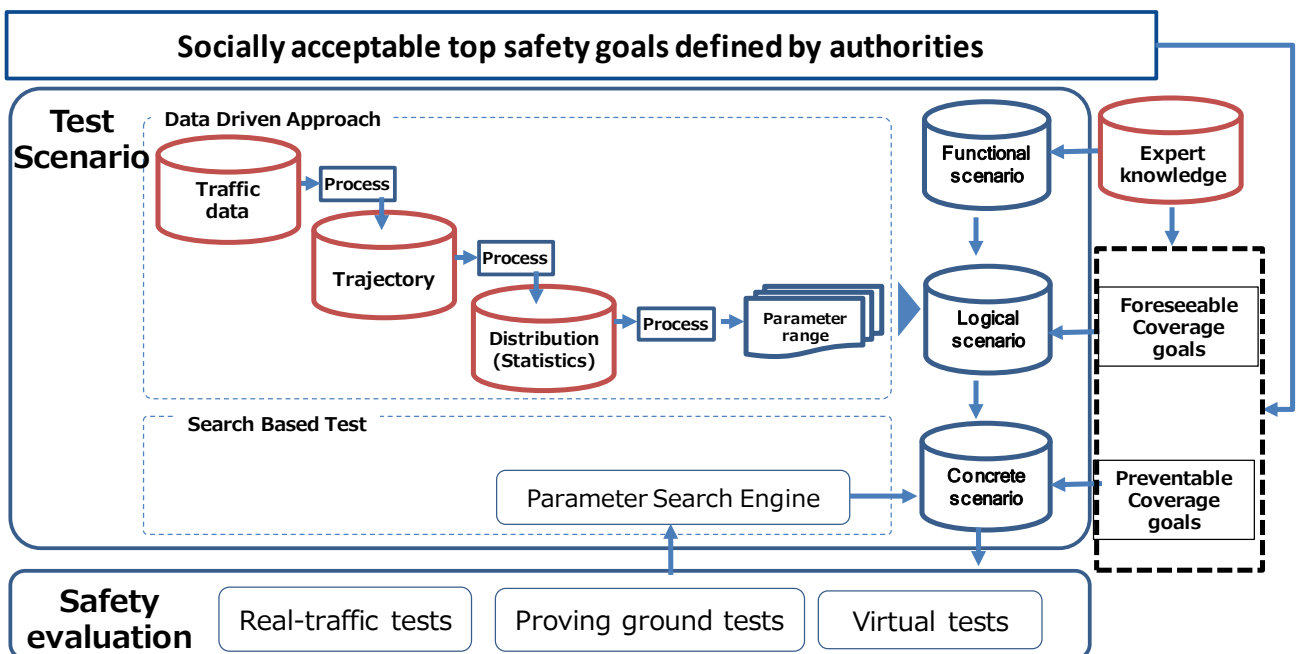


図 102. データ駆動型 AD 安全シナリオの開発と適用プロセス

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。

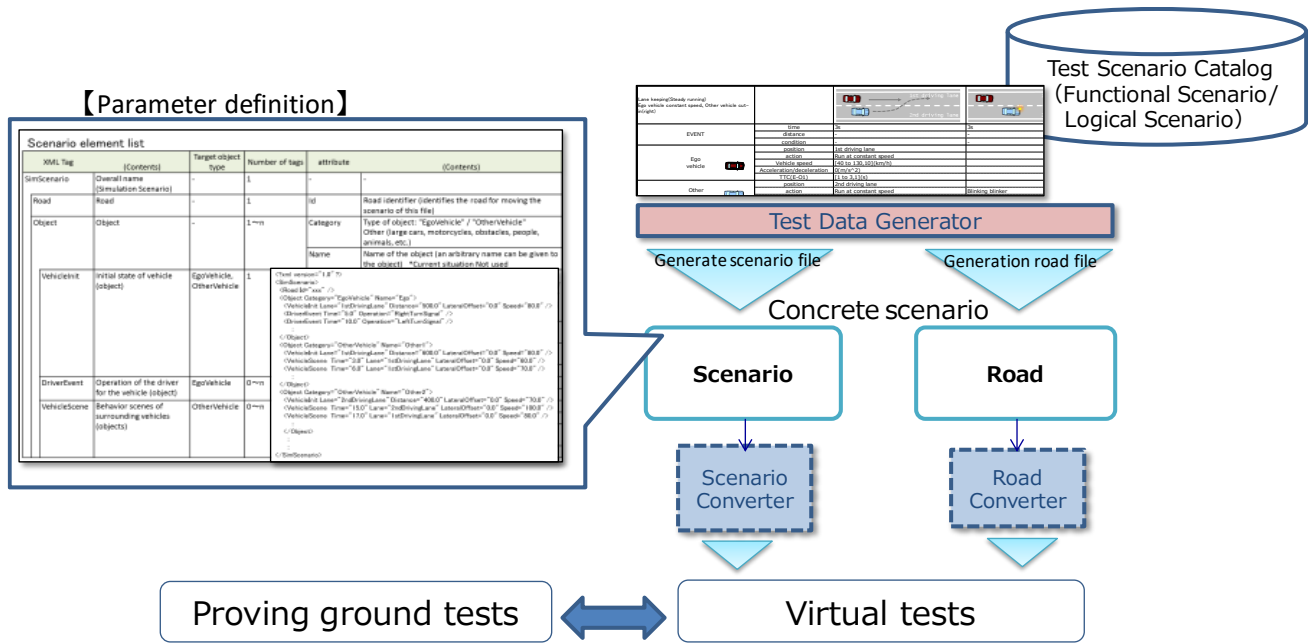


図 103. 標準化シナリオに基づくAD 安全性評価のための情報フロースキーム

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。

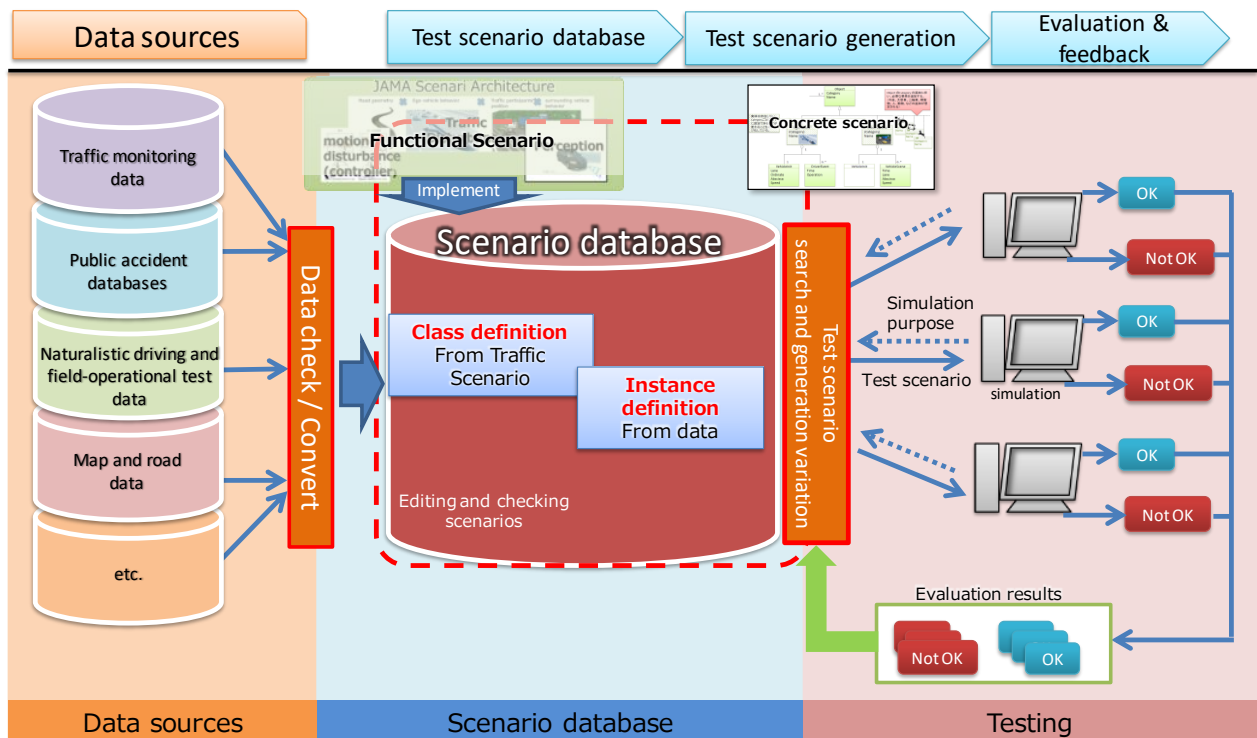


図 104. シナリオデータベースのスキームとインターフェイス

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。

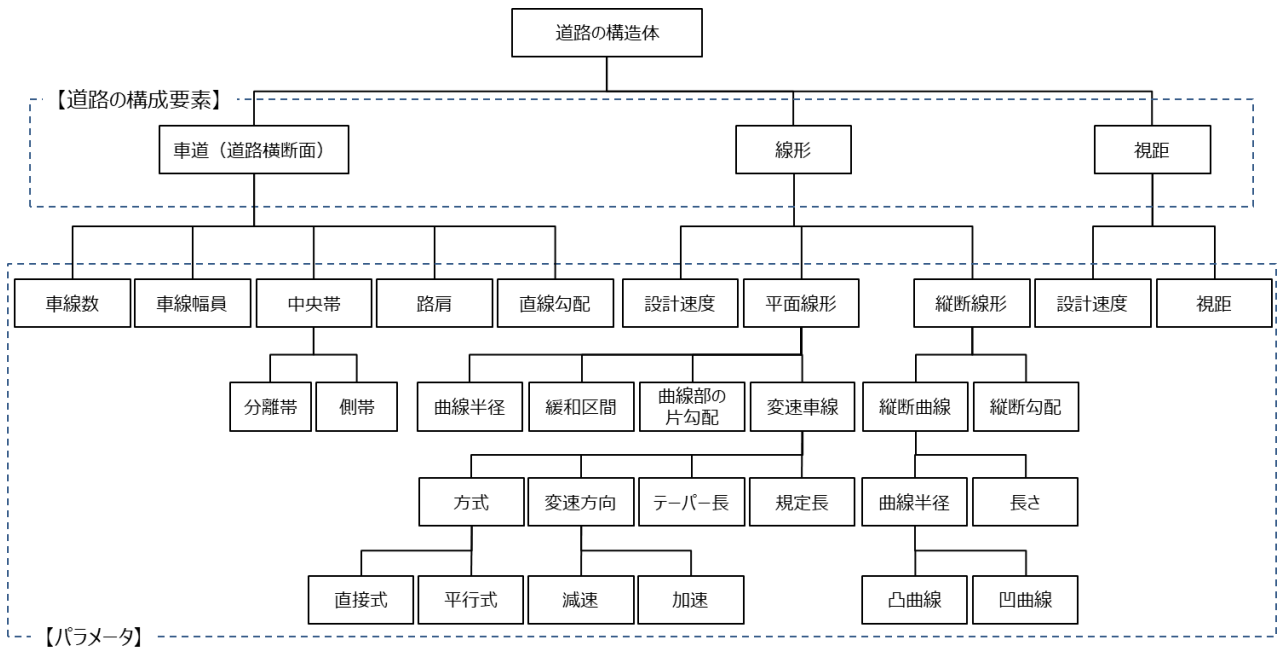


図 A-1. 道路構造令に基づく道路構成要素(断面、直線、視距離)と関連するパラメータ項目

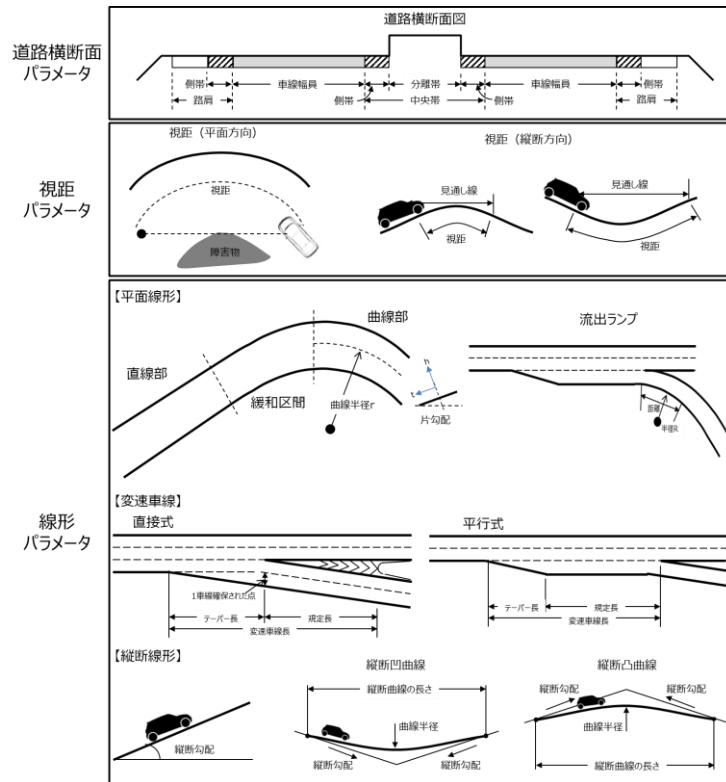


図 A-2. 日本道路構造令による断面、視距離、直線道路パラメータの例

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	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:

- 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。
- 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。
- 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。

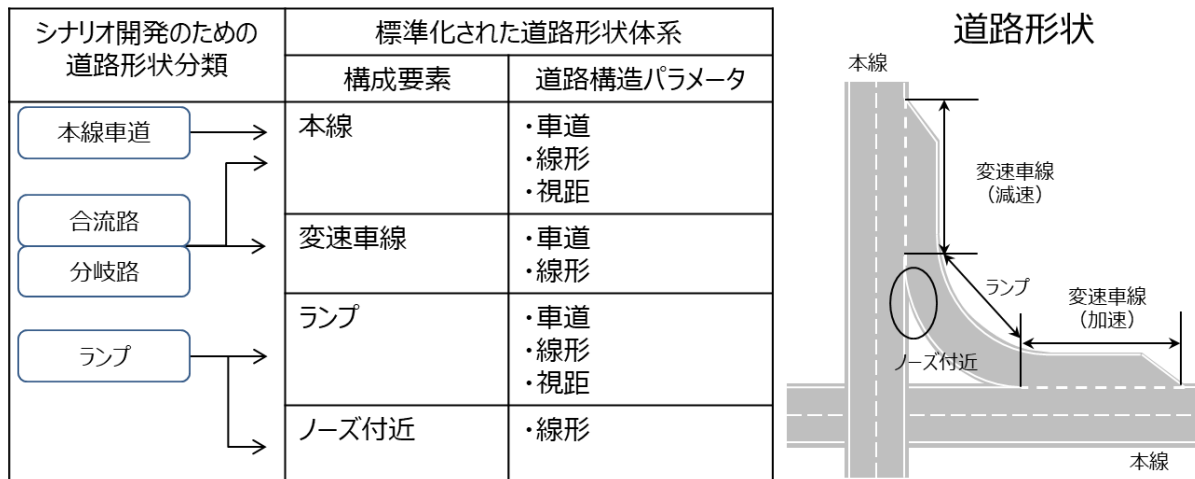


図 A- 3. シナリオ開発のための道路形状分類と標準化された道路構成要素と、対応する安全関連パラメータとの関係

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
			テーパー長(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。

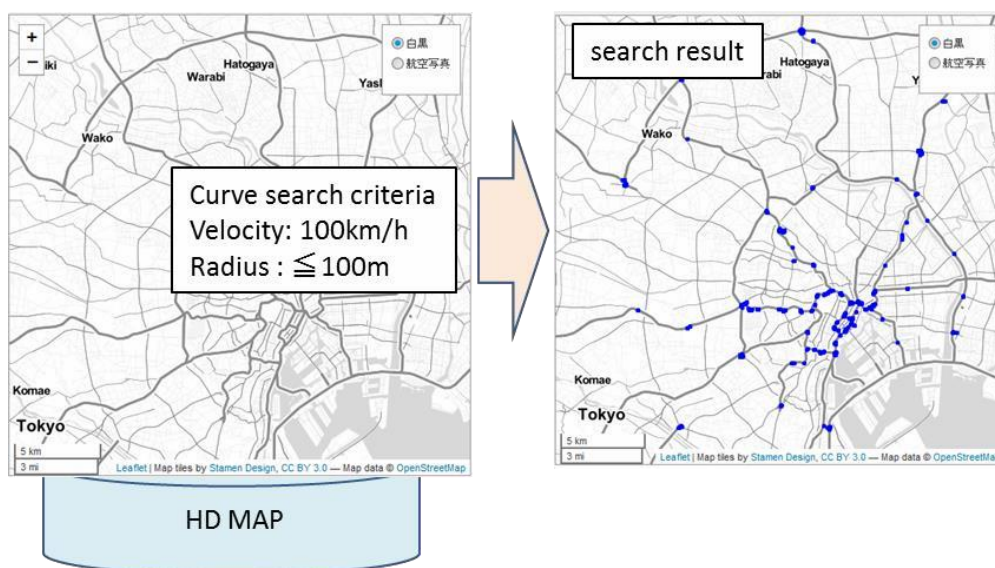


図 A-4. ダイナミックマップを利用したデータ抽出

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)。

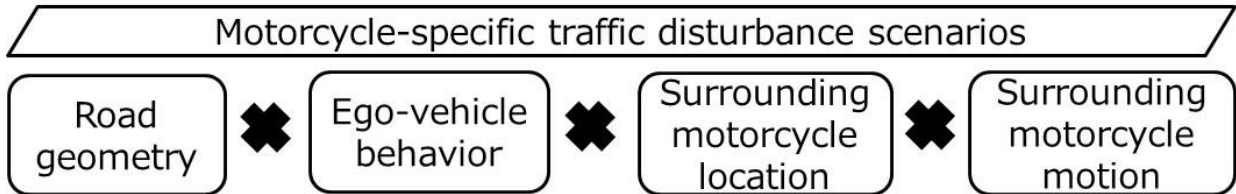


図 B- 1. 二輪車特有の交通外乱シナリオの構造概念図

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。

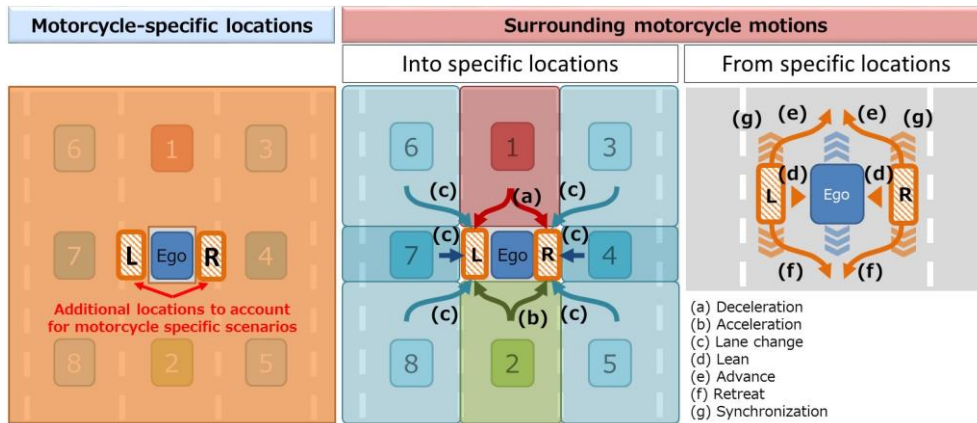




図 B- 2. 自車(左)の動作を妨げる可能性のある二輪車特有の位置と動作

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)。

 : EGO
  : Motorcycle

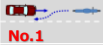



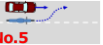

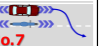

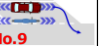







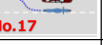

		Surrounding motorcycle position and motion						
Road geometry	Ego-vehicle behavior	Into specific locations			From specific locations			
		Deceleration to side	Acceleration to side	Lane change to side	Lateral approach	Advance	Retreat	Synchronization
Main road	Lane keep	 No.1	 No.2	 No.3	 No.4	 No.5	 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。

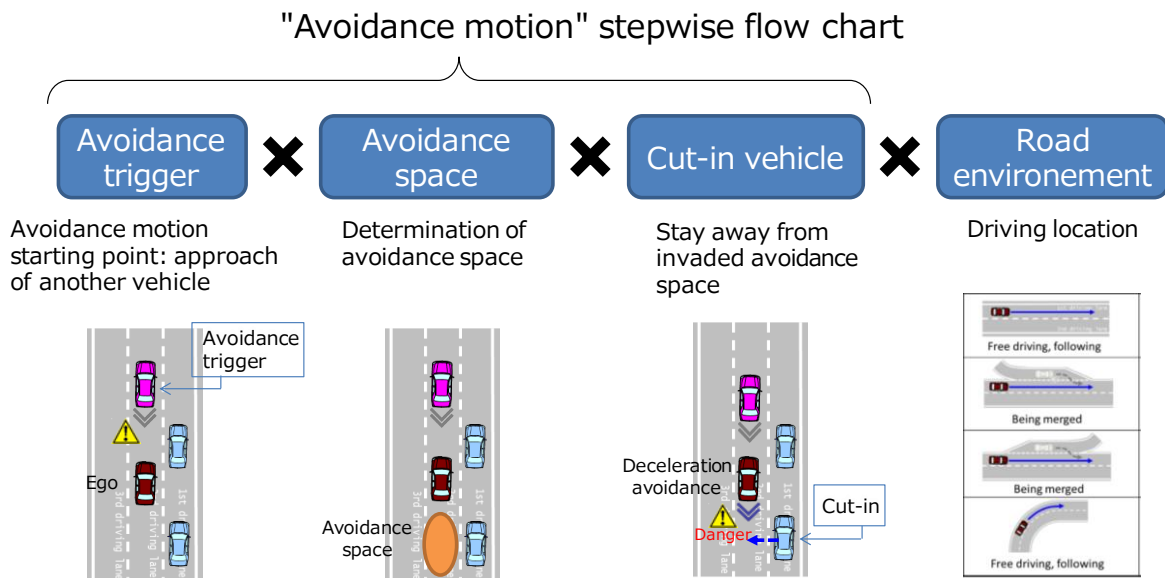


図 C- 1. 回避動作の開始から完了までのステップ

C.2.1 回避トリガ

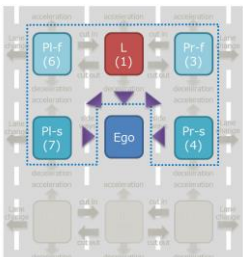
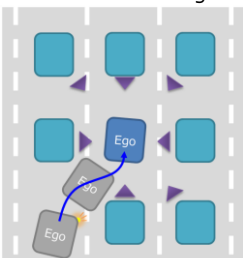
Ego-vehicle motion	Avoidance trigger types	Pattern diagram
Lane keep	<p>a) Approach from the front and sides</p> <p>Deceleration of the lead vehicle, cut-in by the lead side vehicles.</p> <p>※ Approach from the back (rear-end collision) is not considered.</p>	<p>a) Approach from the front and sides</p> 
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。

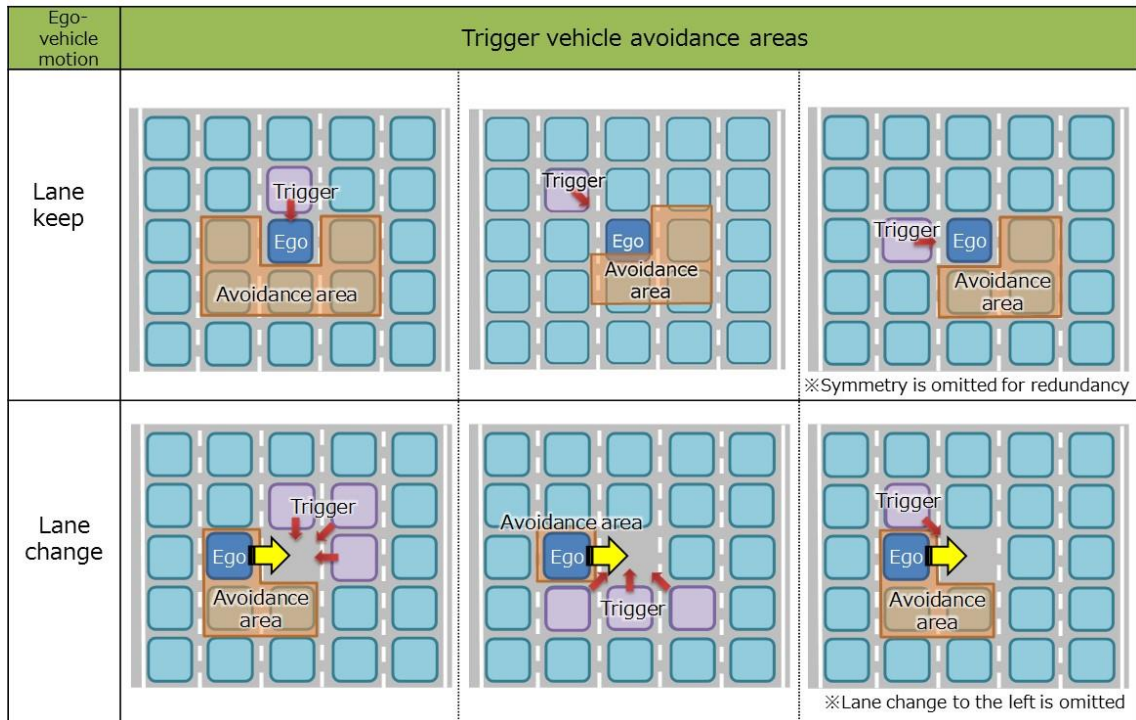


図 C- 3. レーンキープ(上)とレーンチェンジ(下)におけるトリガ車両ごとの回避エリア

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)。

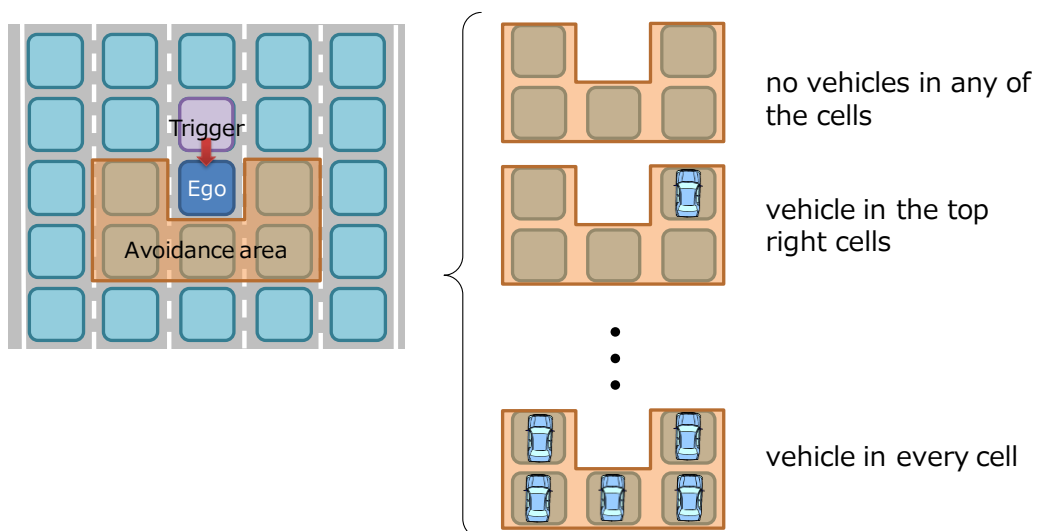


図 C- 4. 回避エリア内の各セルに車両が存在するパターン

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。

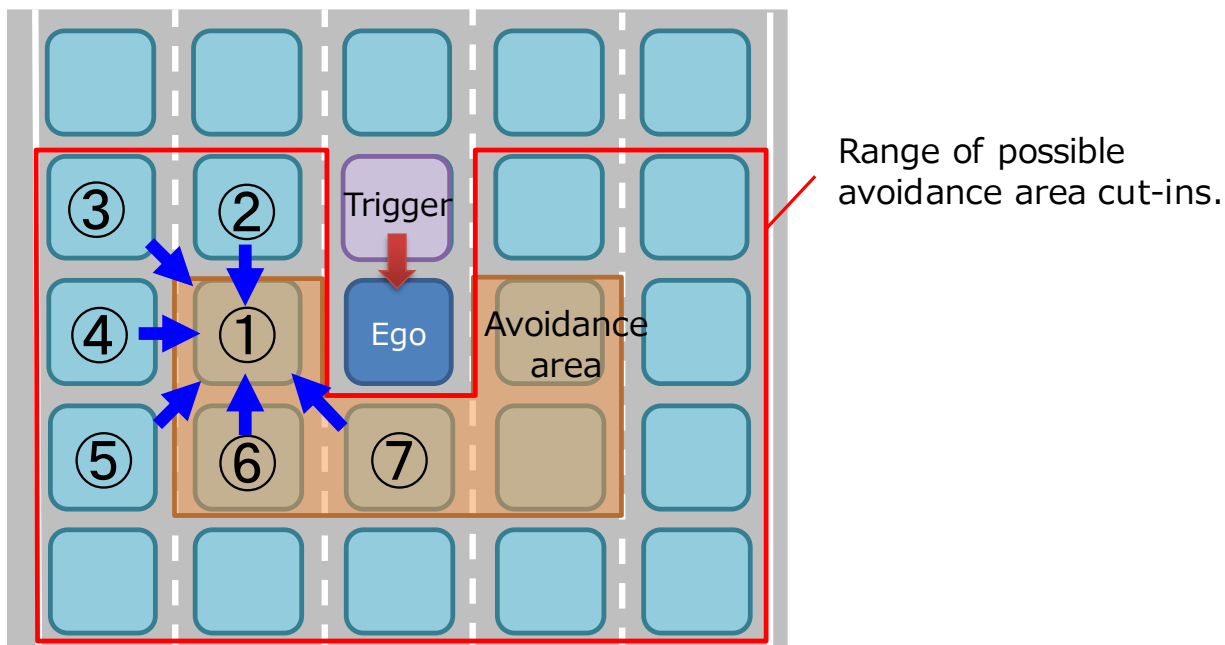


図 C-5. 回避エリアへのカットインが可能な範囲

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し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。

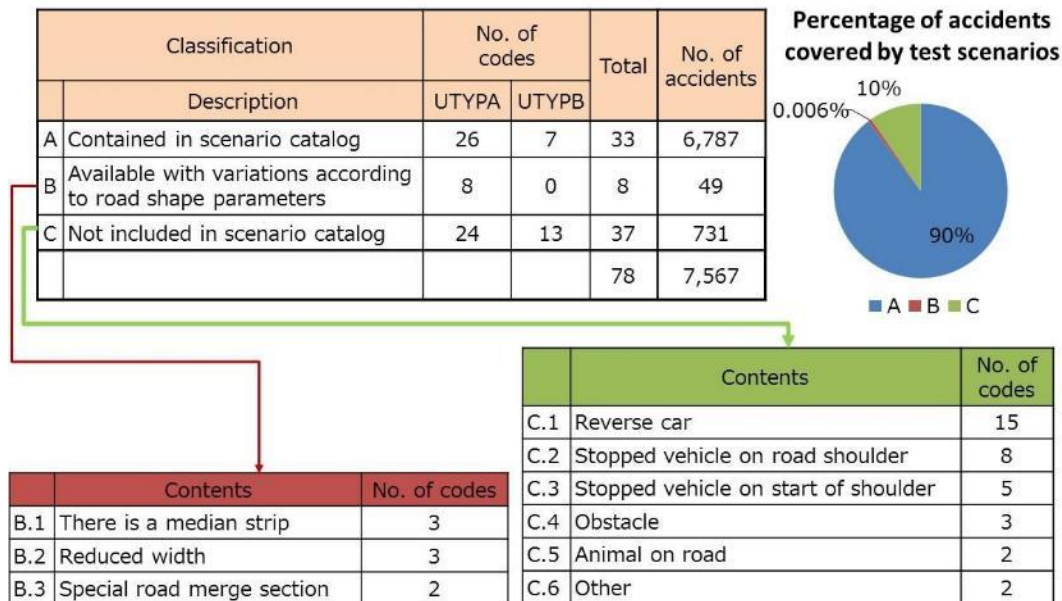


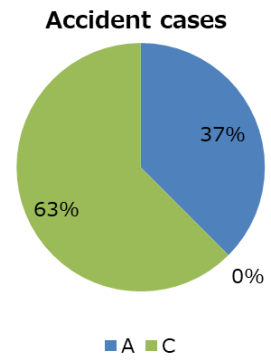
図 D-1. シナリオデータベースと事例数(道路と自走行による)

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

Annex E

認識外乱の原理モデルと評価シナリオ

4.2.1 で述べたように原理に基づいた認識外乱シナリオを導出するためには、各センサの原理モデルを理解し、モデルを構成するパラメータの種類とその範囲とを定義する必要がある。以下では、ミリ波レーダー・LiDAR・カメラの各センサにおける認識外乱について、原理モデル・パラメータの種類と範囲に加え、それらから導出される評価シナリオの代表例を記述する。

E.1 原理モデル記述と評価シナリオ導出のプロセス

認識外乱の原理モデルと評価シナリオは、以下の手順で導出する。

- ・ 認識外乱として生じる現象を記述し、現象パラメータを特定する。
- ・ 上記現象を記述できる物理モデル(=原理モデル)を作成し、原理パラメータを特定する。
- ・ 原理パラメータの変化に寄与する外乱要因 と 外乱要因パラメータをそれぞれ列挙する。
- ・ 外乱要因パラメータそれぞれについて、それらを取り得る値の範囲を特定する。
- ・ 認識外乱を外乱要因パラメータの変化として表現し、これに交通流シナリオを組み合わせたものを認識外乱の評価シナリオとする。

このとき、評価シナリオで取り扱われる外乱要因は、同じ原理モデルで記述されるものの中ではどれを選択しても良いが、外乱要因パラメータ範囲がシステム ODD 範囲をカバーできている必要がある。

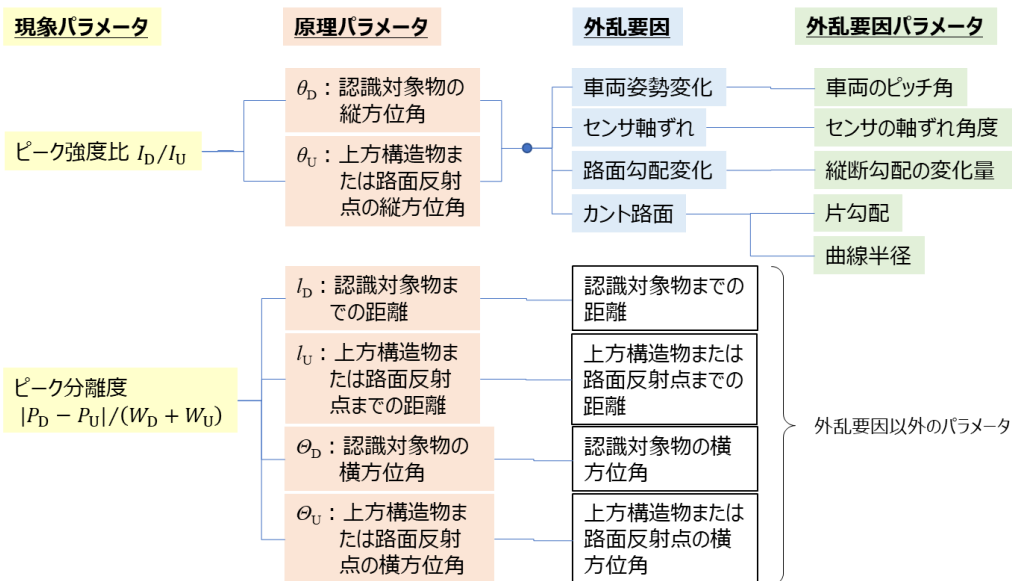


図 E-1 : 認識外乱の現象パラメータ・原理パラメータ・外乱要因・外乱要因パラメータの関係の例

E.2 ミリ波レーダーの原理モデルと評価シナリオ

ミリ波レーダーについては、例として下記4つの認識外乱の発生原理について原理モデルと評価シナリオを記述する。

- 信号(S)強度差大（認識対象物）
- 低 D/U（路面マルチパス）
- 低 D/U（方位角変化）
- 低 S/N（車両の向き）

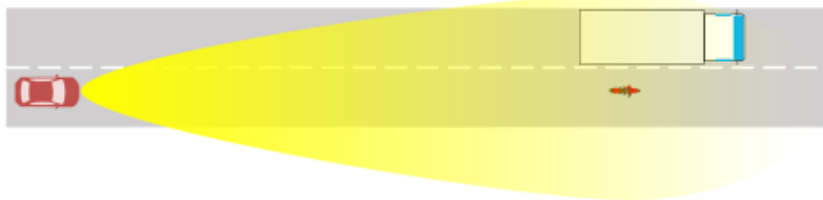
E.2.1 【ミリ波レーダー】信号(S)強度差大（認識対象物）

E.2.1.1現象と原理

S強度差大
(認識対象物)

E.2.1.1.1現象

トラックなどの強反射を起こす認識対象物の横を比較的反射強度が小さい歩行者やバイク等が移動、トラックの反射信号が大きくバイク等の反射信号がトラックの反射信号に埋もれてしまい、False negative状態になる。



現象のパラメータ

反射点群

範囲	程度・量	時間
認識対象物側面全体	完全に取得できない	取得出来ない状態が持続

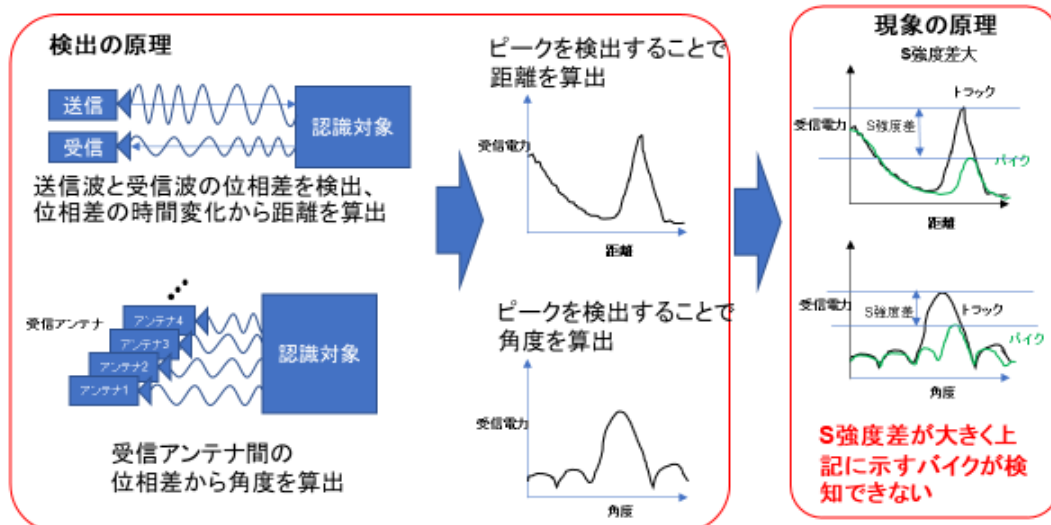
現象モード

未検知、実際には対象物があるにもかかわらず検知されない状態

S強度差大
(認識対象物)

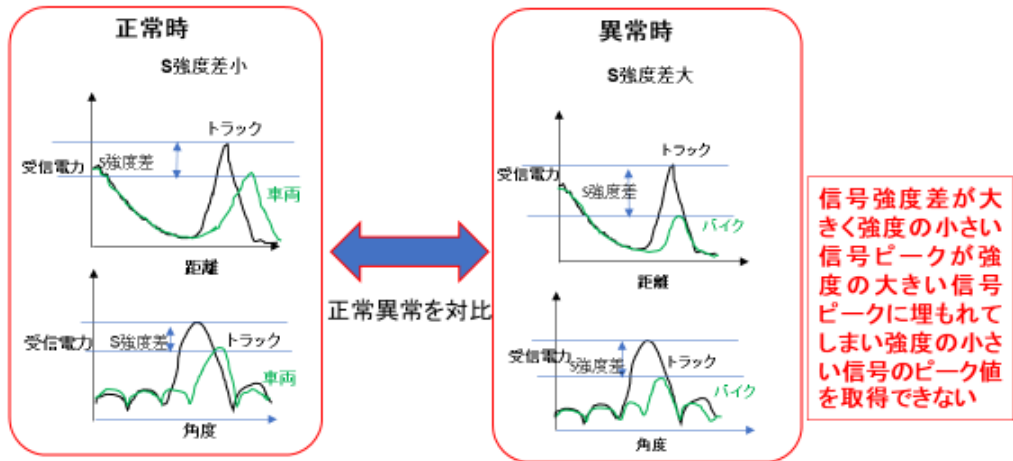
E.2.1.1.2原理の概要

対象物からの反射強度の差が大きいことで、大きい信号に小さい信号が埋もれてしまい反射強度の小さい認識対象を検知できない



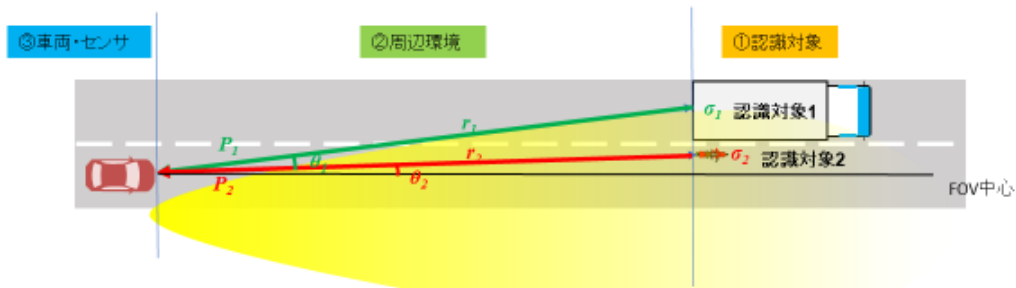
S強度差大
(認識対象物)

正常時と異常時の対比



S強度差大
(認識対象物)

E.2.1.1.3 原理モデル



モデルの記述

Sの強度は反射信号の電力値電力を記述するモデルに着目する

P_t :送信電波の電力
 P_n :認識対象nからの反射電波の電力
 λ :電波の波長
 $G(\theta)$:アンテナ利得
 σ_n :認識対象nのRCS(散乱断面積)

認識対象nからの反射による電力

$$P_n = \frac{\lambda^2 \{G(\theta_n)\}^2 P_t}{(4\pi)^3 r_n^4} \sigma_n \longrightarrow \sigma = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \left| \frac{E_s(\theta, \varphi)}{E_i} \right|^2$$

認識対象が2つある場合、反射による電力は

$$P_1 = \frac{\lambda^2 \{G(\theta_1)\}^2 P_t}{(4\pi)^3 r_1^4} \sigma_1 \quad P_2 = \frac{\lambda^2 \{G(\theta_2)\}^2 P_t}{(4\pi)^3 r_2^4} \sigma_2$$

E_s :認識対象からの散乱電場
 E_i :認識対象への入射電場

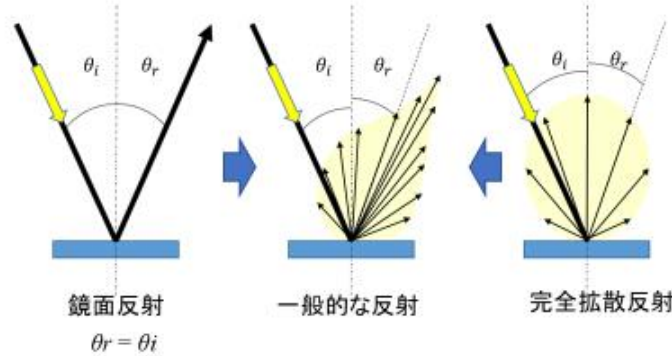
※認識対象物がn個ある場合、 r, σ の添え字に認識対象物番号を代入、例(n=1,2,3,...)

S強度差大
(認識対象物)

RCSに着目すると
$$\sigma = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \left| \frac{E_s(\theta, \varphi)}{E_i} \right|^2$$

E_s : 認識対象からの散乱電場
 E_i : 認識対象への入射電場

認識対象物のレーダ反射断面積(RCS)は投影面積、反射率、散乱波の指向性の積で表される
このうち散乱波の指向性は鏡面反射と完全拡散反射を組み合わせた反射が一般的



S強度差大
(認識対象物)

反射率は

垂直偏波の場合

$$R_p = \frac{\left| \epsilon_2 \cos \psi_0 - \sqrt{\epsilon_1 (\epsilon_2 - \epsilon_1 \sin^2 \psi_0)} \right|^2}{\left| \epsilon_2 \cos \psi_0 + \sqrt{\epsilon_1 (\epsilon_2 - \epsilon_1 \sin^2 \psi_0)} \right|^2}$$

水平偏波の場合

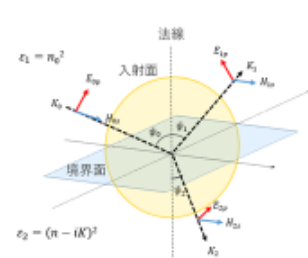
$$R_s = \frac{\left| \sqrt{\epsilon_1} \cos \psi_0 - \sqrt{\epsilon_2 - \epsilon_1 \sin^2 \psi_0} \right|^2}{\left| \sqrt{\epsilon_1} \cos \psi_0 + \sqrt{\epsilon_2 - \epsilon_1 \sin^2 \psi_0} \right|^2}$$

反射物が金属の場合、誘電率 ϵ_r は

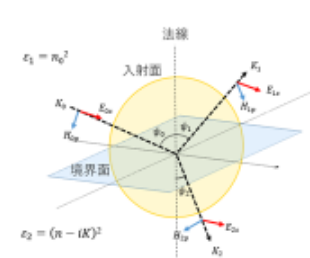
$$\epsilon_r = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$$

R_p : 水平偏波の反射率	R_s : 垂直偏波の反射率
ϵ_1 : 空気中の誘電率	ϵ_2 : 反射物の誘電率
ψ_0 : 電波の入射角	ϵ_p : 金属の誘電率
ω : 電波の周波数	ω_p : プラズマ周波数

(a) 垂直偏波の場合



(b) 水平偏波の場合



※誘電率と比誘電率の関係

⇒比誘電率=媒質の誘電率/真空中の誘電率

反射率に関しては誘電率と入射角度がパラメータ

誘電率が材質に関するパラメータとなっている

また、投影面積は認識対象物における反射面面積であり、認識対象物の形状、向き、大きさ及び相対位置に依存する

S強度差大
(認識対象物)

これまでの流れを整理すると、
認識対象からの反射信号Sの強度は電力値Pに依存、

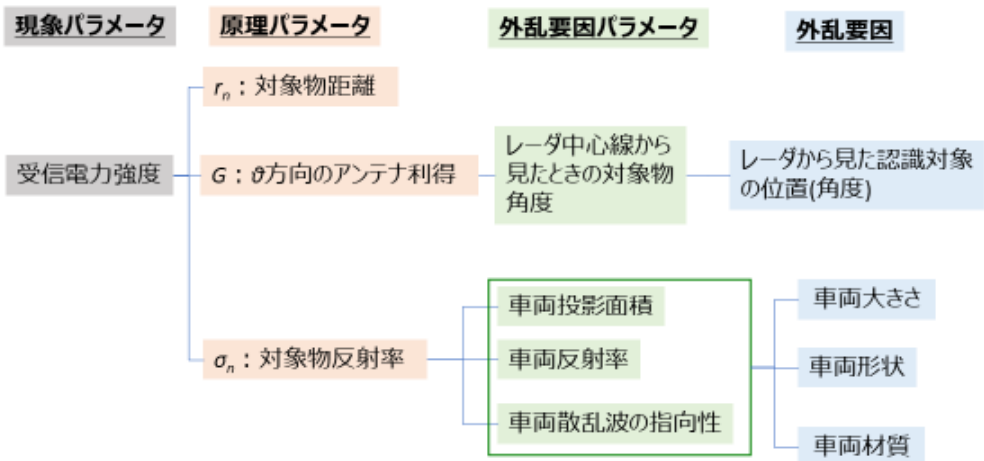
電力値はレーダと認識対象との位置関係と認識対象のRCSIに依存する。
そのためレーダと認識対象との距離と角度、及びRCSIについて考えればよい。

E.2.1.2 認識外乱の原理と外乱要因との関係

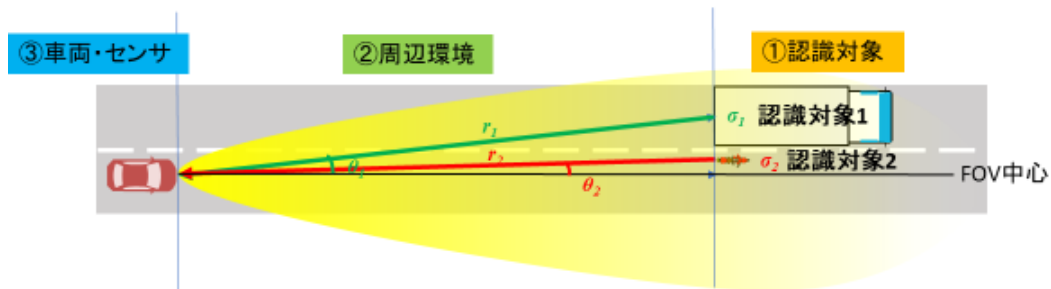
S強度差大
(認識対象物)

E.2.1.2.1 原理に基づく外乱要因

以上を整理すると、現象パラメータと原理パラメータと外乱要因パラメータと外乱要因の関係は以下のようになる



S強度差大
(認識対象物)



※認識対象物がn個ある場合P、r、σの添え字に認識対象物番号を代入、例(n=1,2,3,...)

現象パラメータ	原理パラメータ	外乱要因パラメータ	原理パラメータの変化に寄与する外乱要因		
			①認識対象	②周辺環境	③車両・センサ
信号強度	認識対象距離	—	—	—	—
	アンテナ利得	—	—	—	—
	再起反射率 RCS値(σ_r)	センサー角度	—	—	センサー軸ズレ
		認識対象物の形状	認識対象物の3D形状	—	—
		認識対象物の大きさ	大きさ	—	—
認識対象物の組み合わせ	—	—	—	—	

S強度差大
(認識対象物)

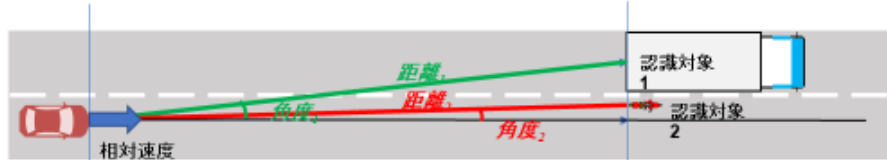
E.2.1.2.2 パラメータの範囲

現象パラメータ	原理パラメータ	外乱要因パラメータ	外乱要因	パラメータの範囲	考え方
信号強度	認識対象距離	—	—	対象物距離(r_n)最小検知距離～最大検知距離	レーダの知覚部分を評価するために距離はレーダのスペックに基づく範囲で検証
	アンテナ利得	—	—	対象物角度(θ)FOVの範囲内	レーダのスペックに基づくFOV内でパラメータを振り検証
		センサー角度	センサー軸ズレ	軸ズレ角度 0～±Xdeg	軸ズレ自動検知が作動する最小角度
	再起反射率 RCS値(σ_r)	認識対象物の形状	認識対象物の形状(3D)	人及び道路交通法に基づく自動車に分類される認識対象物 最初のSTEPとして大型自動車と普通自動車二輪車	自導走行可能な車両+緊急時の停車車両を 歩行する人を考慮
		認識対象物大きさ	認識対象物大きさ	車両原動機付き自転車相当～大型自動車相当 人:---	自導走行可能な車両+緊急時の停車車両を 歩行する人を考慮
車両の材質		色	色	ミリ波帯の反射、透過率データに基づき設定	可視光の色とミリ波帯の物性値の相関は無い ためデータベースが必要
	材質	材質	ミリ波帯の物性値データに基づき設定	ミリ波帯の物性値データベースが必要	
認識対象物の組み合わせ	—	—	人、及び道路交通法に基づく自動車に分類される認識対象物	自導走行可能な車両+緊急時の停車車両を 歩行する人を考慮	

S強度差大
(認識対象物)

E.2.1.2.3 評価シナリオ

- 反射強度の大きい認識対象と反射強度の小さい認識対象を用いて評価
- 認識対象が自車に対し接近方向の相対速度を持ったシナリオにて評価
- 認識対象となる車両やバイク等の位置関係やバリエーションを振って評価



パラメータの項目	範囲	説明
認識対象までの距離	変化 最小検知距離～最大検知距離	センサーの最小検知距離から最大検知距離の範囲で距離を変化させ検証
認識対象までの角度	変化 FOVの範囲内	レーダのFOV範囲内角度をふり検証
認識対象の数	固定 2	反射強度の大小に対応する認識対象それぞれ1つずつを想定
認識対象との相対速度	固定 最小検知速度～最大検知速度	レーダ最小検知速度～最大検知速度の範囲で検証
認識対象物の種類と組み合わせ	固定 車両/バイク/歩行者	交通参加者の代表/反射率の高い対象物と反射率の低い対象物

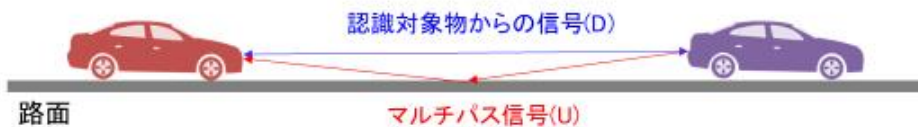
E.2.2 【ミリ波レーダー】低 D/U (路面マルチパス)

E.2.2.1 現象と原理

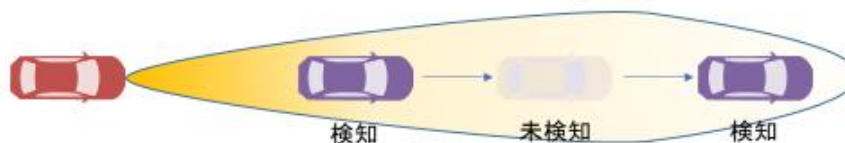
低D/U
(路面マルチパス)

E.2.2.1.1 現象

認識対象物からの信号(D:Desired-Signal)と路面を介した間接経路による信号(U:Undesired-Signal)が干渉することにより、認識対象物からの“信号強度”が小さくなり、False negative状態に陥る。



検出エリア内において、特定の距離で“信号強度”が低下し認識対象物をロストする。

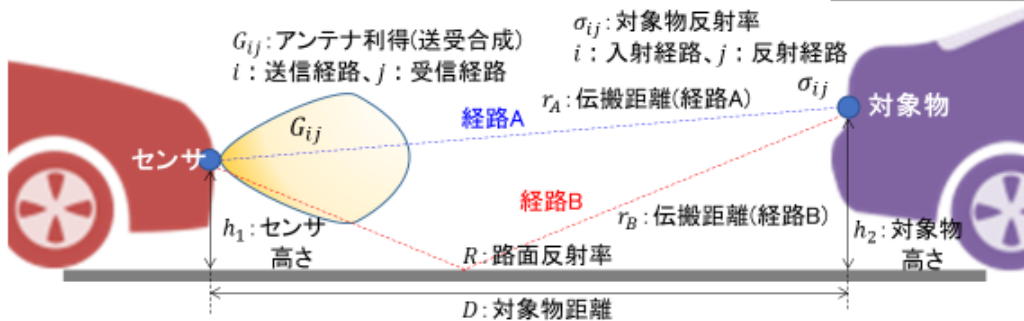
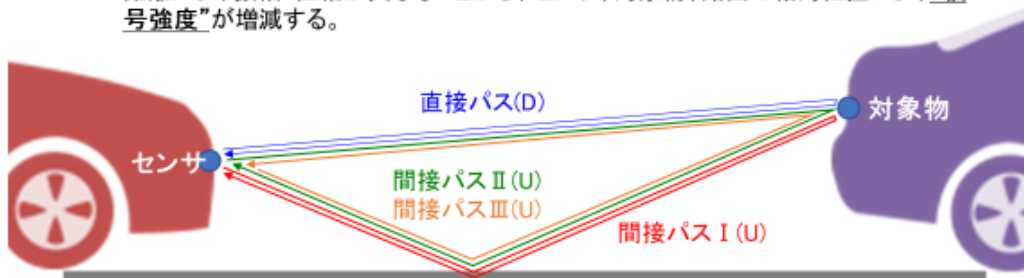


E.2.2.1.2 原理

センサから送信した電波が認識対象物に反射し再びセンサで受信する際の伝搬経路は下記の4パターンが想定される。

D/U	信号パス	伝搬経路
D: Desired-Signal	直接パス	センサ→認識対象物→センサ
U: Undesired-Signal	路面を介した間接パスⅠ	センサ→路面→認識対象物→路面→センサ
	路面を介した間接パスⅡ	センサ→認識対象物→路面→センサ
	路面を介した間接パスⅢ	センサ→路面→認識対象物→センサ

センサの受信する電波はこれらの重ね合わせであり、各経路の反射特性および伝搬距離により振幅・位相が異なることから、センサ、対象物、路面の相対位置により“信号強度”が増減する。

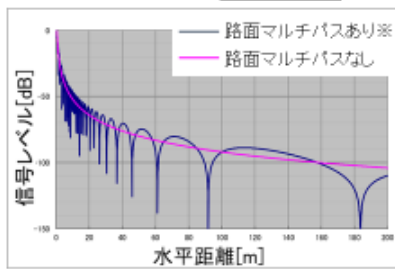


各経路による受信信号は下記より算出される

経路	信号振幅	信号位相
直接パス 経路A→経路A	$\frac{P_{tx}\lambda^2}{(4\pi)^3} \cdot \frac{G_{AA}\sigma_{AA}}{r_A^4}$	$\phi_0 + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (2r_A)$
間接パスⅠ 経路B→経路B	$\frac{P_{tx}\lambda^2}{(4\pi)^3} \cdot \frac{G_{BB}\sigma_{BB}R^2}{r_B^4}$	$\phi_0 + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (2r_B) + 2\pi$
間接パスⅡ 経路A→経路B	$\frac{P_{tx}\lambda^2}{(4\pi)^3} \cdot \frac{G_{AB}\sigma_{AB}R}{r_A^2 r_B^2}$	$\phi_0 + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (r_A + r_B) + \pi$
間接パスⅢ 経路B→経路A	$\frac{P_{tx}\lambda^2}{(4\pi)^3} \cdot \frac{G_{BA}\sigma_{BA}R}{r_B^2 r_A^2}$	$\phi_0 + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (r_A + r_B) + \pi$

伝搬距離 r_A, r_B および送信経路 i ,受信経路 j は (λ :波長)
センサ高さ h_1 、対象物高さ h_2 、対象物距離 D により決まる

各経路の信号の重ね合わせ(干渉)により、
条件に応じた距離で“信号強度”が低下する

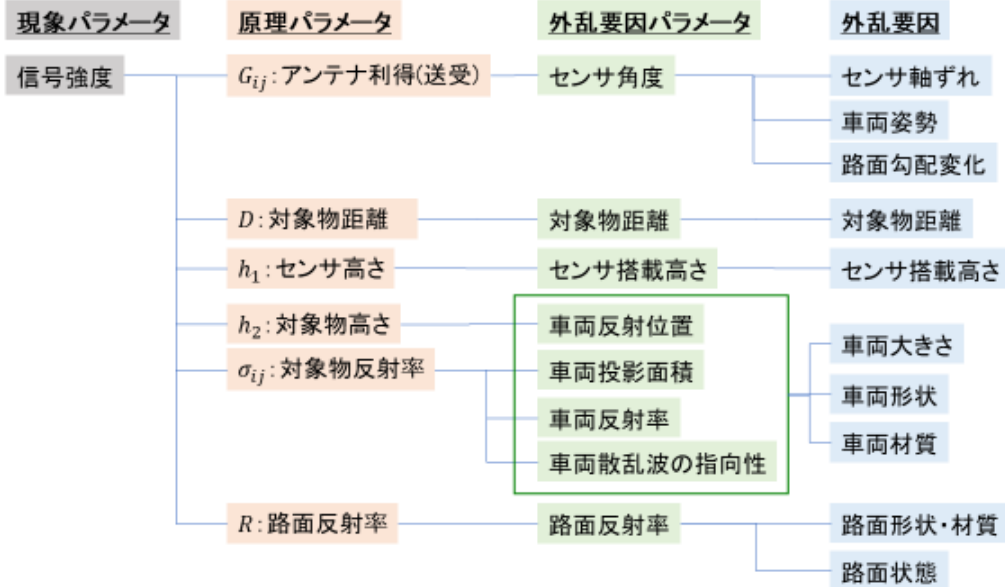


E.2.2.2 認識外乱の原理と外乱要因との関係

低D/U
(路面マルチパス)

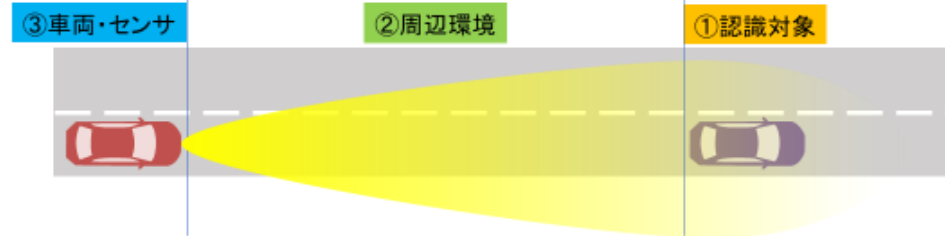
E.2.2.2.1 原理に基づく外乱要因

“信号強度”を現象パラメータと位置づけ、これに寄与する原理パラメータ、外乱要因パラメータ、外乱要因の関係を整理する



低D/U
(路面マルチパス)

現象パラメータ、原理パラメータ、外乱要因パラメータ、外乱要因の関係を表に示す



現象パラメータ	原理パラメータ	外乱要因パラメータ	外乱要因			
			①認識対象	②周辺環境	③車両・センサ	
信号強度	アンテナ利得	センサ角度	—	路面の勾配変化	センサ軸ずれ 車両姿勢変化	
	対象物距離	←	対象物距離	—	—	
	センサ高さ	センサ搭載高さ	—	—	センサ搭載高さ	
	対象物高さ	車両反射位置	車両大きさ 車両形状 車両材質	—	—	—
		車両投影面積		—	—	—
	対象物反射率	車両反射率	車両散乱波の指向性	—	—	—
		車両散乱波の指向性		—	—	—
路面反射率	←	—	路面形状・材質 路面状態	—		

低D/U
(路面マルチパス)

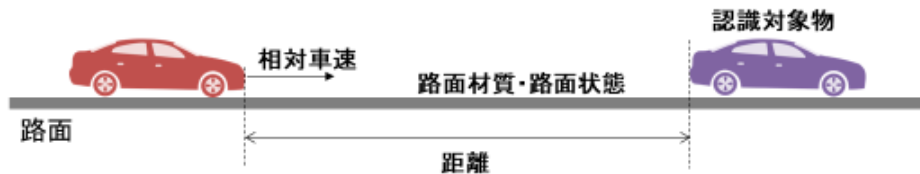
E.2.2.2.2 パラメータの範囲
想定すべき外乱要因の範囲を示す。

現象 パラメータ	原理 パラメータ	外乱 パラメータ	外乱要因	パラメータ範囲	考え方	
信号強度	アンテナ 利得	センサ角度	センサ軸ずれ	軸ずれ角度: 0~軸ずれ自己検知最小角度	軸ずれ自己検知が作動する最小角度	
			車両姿勢変化	ピッチ角: 0~ピッチ最大角	その車両の取り得る最大角度	
			路面の勾配変化	縦断勾配: -9~9%	道路構造令第20条より	
	対象物距離	←	←	対象物距離: 最小検知距離~最大検知距離	センサの最小検知距離から最大検知距離まで	
	センサ高さ	センサ搭載高さ	←	←	搭載高さ: 搭載位置範囲	搭載想定位置の範囲
	対象物高さ 対象物 反射率	車両反射位置 車両投影面積 車両反射率 車両散乱波の 指向性	←	車両大きさ 車両形状 車両材質	道路交通法に基づく自動車に分類される認識対象物最初のステップとして特徴的な3種 大型車(車高: 高) 普通車(車高: 中) 小型車(車高: 低)	車両の大きさ、形状、材質が各原理パラメータに複雑に影響する。大型車、普通車、小型車などの代表例を計測し、各原理パラメータへの影響の検証が必要
路面反射率	←	路面形状・材質 路面状態			想定される全ての走路 アスファルト、コンクリート、砂利、砂、石畳・・・ 想定される全ての路面状態 ウェット、アイスバーン、道路修復跡、積雪、轍・・・	材質と路面状態による反射特性に与える影響を計測し検証が必要

低D/U
(路面マルチパス)

E.2.2.2.3 評価シナリオ

- ・ 自車線前方の認識対象物(静止車両)に一定速で接近する。



パラメータ項目	変化/固定	範囲	説明
対象物までの距離	変化	最小検知距離~最大検知距離	センサスペックに基づく範囲で検証
相対車速	固定	ODD内の最高速度	
対象物の種類	固定	大型車(車高: 高) 普通車(車高: 中) 小型車(車高: 低)	大型車、普通車、小型車などの代表例を3水準
路面材質	固定	アスファルト / 鉄板(TBD)	代表的な路面材質/鏡面反射率の高い路面材質
路面状態	固定	通常 / ウェット	通常の路面状態/鏡面反射率の高い路面状態

E.2.3 【ミリ波レーダー】低 D/U (方位角変化)

E.2.3.1. 認識外乱の現象と原理

低D/U
(方位角変化)

E.2.3.1.1. 現象

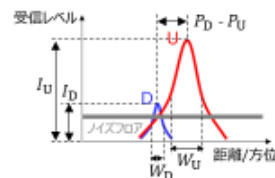
道路勾配・カント、車両姿勢、センサ軸ずれなどの影響により、レーダーFOV中心軸と路面・進行方向との間に角度が生じる際、認識対象からの反射信号が周辺構造物からの不要信号よりも相対的に小さく埋もれてしまい、False negative状態に陥る。



現象パラメータ:

ピーク強度比 $\frac{I_D}{I_U}$

ピーク分離度 $\frac{|P_D - P_U|}{W_D + W_U}$



I_D, I_U : ピーク強度
 P_D, P_U : ピーク位置
 W_D, W_U : ピーク半値幅

現象モード:

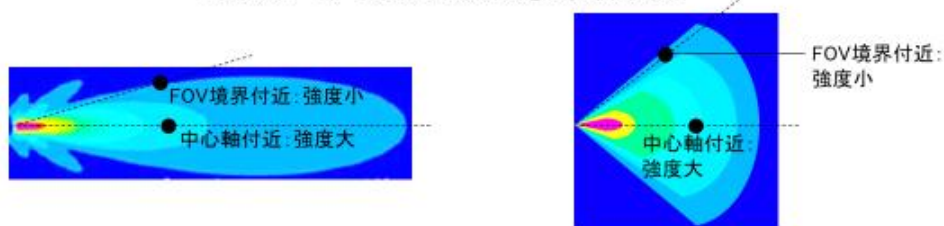
未検知(実際には対象物があるにも関わらず、検知されない状態)

低D/U
(方位角変化)

E.2.3.1.2. 認識外乱の原理

- レーダー送信波の強度分布を鉛直・水平の各断面で見ると、FOV中心軸から離れた方位では相対的に強度が小さくなる。
- 同じ反射対象物が中心軸付近とFOV境界付近にある場合を比較すると、受信波強度にも差が生じる。

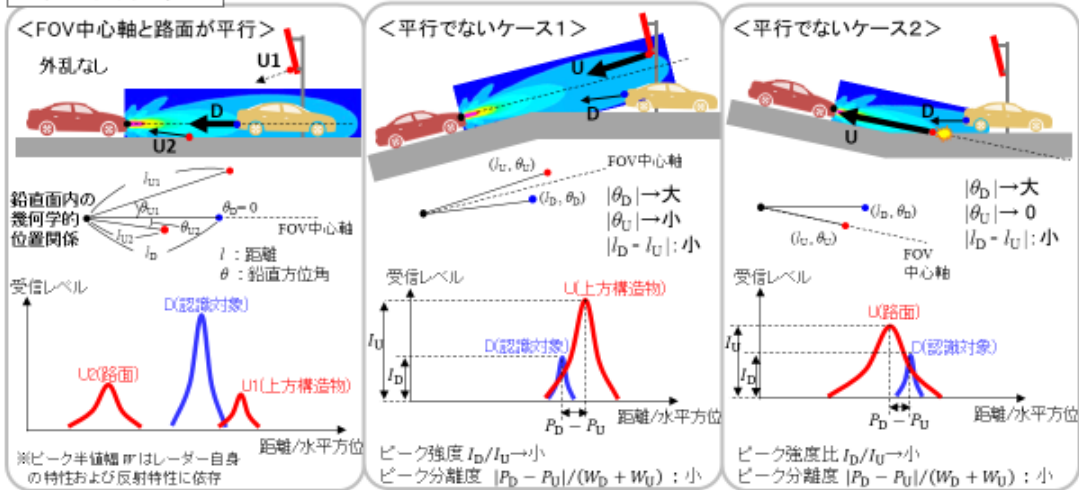
<ミリ波レーダーから放射される電波強度分布>



低D/U
(方位角変化)

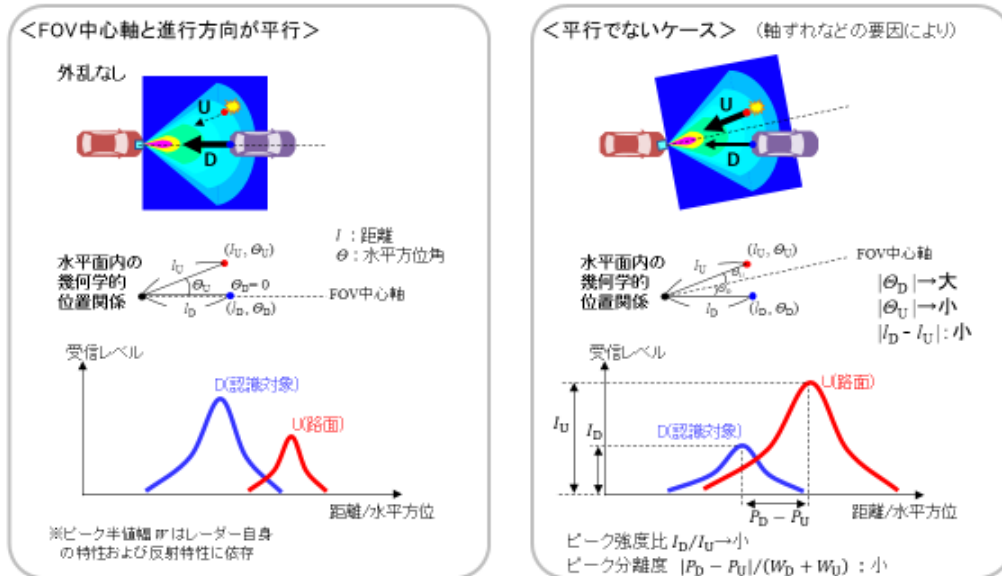
- レーダーのFOV中心軸が路面・進行方向に対して非平行になると、周辺構造物が中心軸側に近づき、一方で認識対象物はFOV境界側に近づく。($|\theta_U| \rightarrow \text{小}$ 、 $|\theta_D| \rightarrow \text{大}$)
- その結果、周辺構造物からの不要信号Uの強度 I_U が認識対象からの信号Dの強度 I_D よりも相対的に大きくなる。
- ピーク分離度が低い条件 ($|P_D - P_U| : \text{小}$ or $|W_D + W_U| : \text{大}$) が重なるとDはUに埋もれる。

垂直方位角の変化



低D/U
(方位角変化)

水平方位角の変化

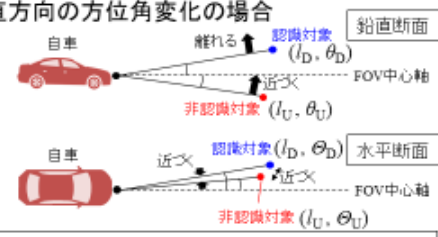


低D/U
(方位角変化)

方位角の変化が垂直方向の場合と水平方向の場合とで起こる現象は同一であるため、以下は垂直方位角変化による低D/Uについて記述する。

<DがUに埋もれる際のパラメータ条件> ※垂直方向の方位角変化の場合

- 方位角 $|\theta_D| \rightarrow$ 大 (認識対象がFOV中心軸から離れる)
- 方位角 $|\theta_U| \rightarrow$ 小 (非認識対象がFOV中心軸に近づく)
- 対象までの距離 $l_D \approx l_U$
- 対象の横方位角 $\theta_D \approx \theta_U$
- 反射波のピーク半値幅の和 $W_D + W_U \rightarrow$ 大 (※レーダー自身の特性および反射特性に依存)

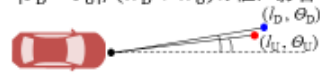


<原理パラメータ>

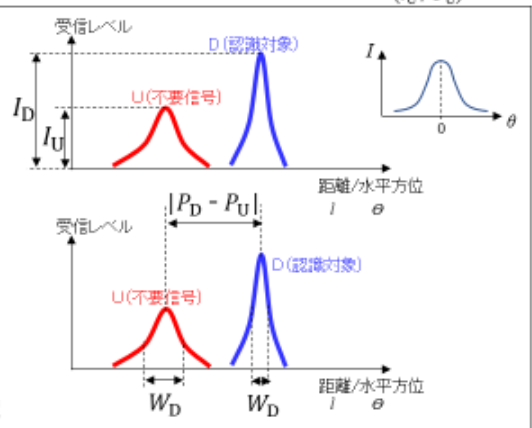
垂直方位角 θ_D, θ_U (変化する原理パラメータ)
 $\Rightarrow l_D/l_U$ の値に影響



距離 l_D, l_U
 水平方位角 θ_D, θ_U
 $\Rightarrow |P_D - P_U| / (W_D + W_U)$ の値に影響



※ $\theta_D, \theta_U, \theta_D, \theta_U$ はFOV中心軸との間の角度

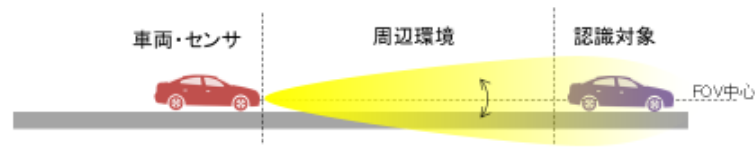


E.2.3.2. 認識外乱の原理と外乱要因との関係

低D/U
(方位角変化)

E.2.3.2.1. 原理に基づいた外乱要因

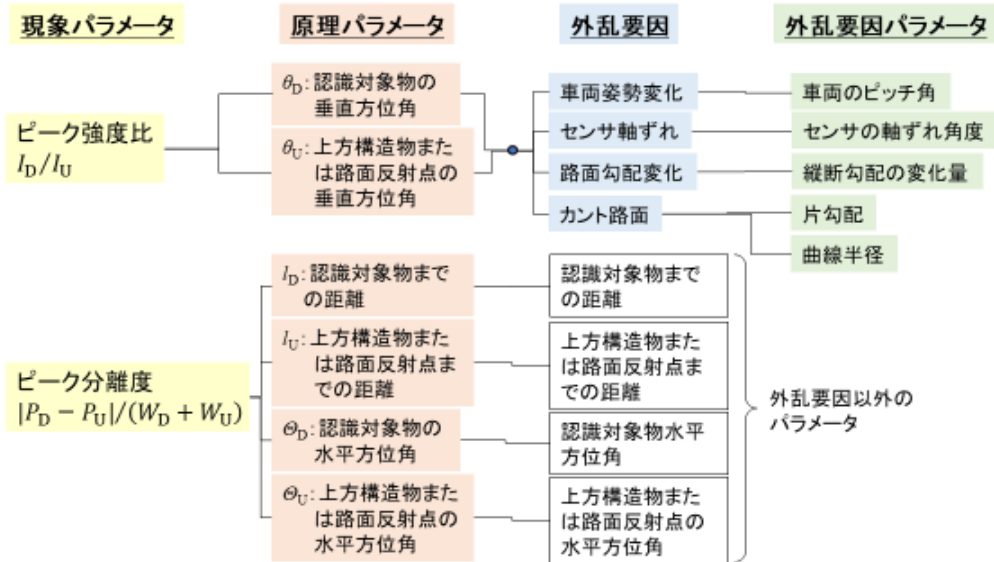
原理パラメータのうち、本現象の要因となる垂直方位角 $|\theta_D| \rightarrow$ 大、 $|\theta_U| \rightarrow$ 小 の変化を引き起こす外乱要因には、以下のものがある。



変化する 原理パラメータ	外乱要因		
	車両・センサ	周辺環境	認識対象
垂直方位角 θ_D, θ_U	• 車両姿勢変化 	• 路面の勾配変化 	該当なし
	• センサ軸ずれ 	• カント路面 	

低D/U
(方位角変化)

現象パラメータ、原理パラメータ、外乱要因パラメータの関係は、以下のようになる。



低D/U
(方位角変化)

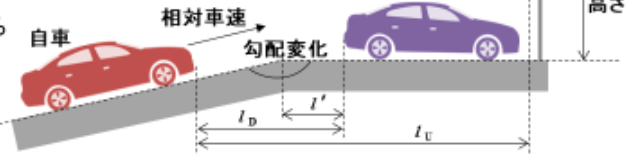
E.2.3.2.2. パラメータ範囲

現象パラメータ	原理パラメータ	寄与する外乱要因	外乱要因パラメータ	外乱要因パラメータ範囲	考え方
ピーク強度比 I_D/I_U	垂直方位角 θ_D, θ_U (変化するパラメータ)	路面の勾配変化	縦断勾配の変化量	0 ~ 18 % (道路構造令第20条より、縦断勾配は -9 ~ +9 %)	いずれか1つまたは複数の要因組み合わせにより、そのセンサが取り得る最大角度までを評価範囲とする。
		カント路面	片勾配	0 ~ 10 % (道路構造令第16条より)	
			曲線半径	∞ ~ 82 m (道路構造令第15条より)	
		センサ軸ずれ	軸ずれ角度	0 ~ 軸ずれ自己検知作動の最小角度	
		車両姿勢変化	ピッチ角	0 ~ \pm (その車両が取り得る最大角度)	
ピーク分離度 $ P_D - P_U / (W_D + W_U)$	物体までの距離 I_D, I_U	(外乱要因ではない)	認識対象までの距離	0 ~ 衝突回避に必要な最小距離	
			非認識対象までの距離	0 ~ 衝突回避に必要な最小距離	
	水平方位角 θ_D, θ_U	(外乱要因ではない)	認識対象の方位角	0 ~ \pm (そのセンサのFOV最大角)	
			非認識対象の方位角	0 ~ \pm (そのセンサのFOV最大角)	

E.2.3.2.3. 評価シナリオ

- 上に凸の勾配変化のある道路を走行している。
- 前方の勾配変化した先に、金属製の標識看板がある。
- 自車線前方、標識の近くにある認識対象物に接近する。

※路面よりも金属製の上方構造物からの反射強度のほうが大きくなる可能性が高いため、上に凸の勾配変化がある場合を代表シナリオに選定



低D/U
(方位角変化)

パラメータ		パラメータ範囲	考え方
外乱要因	縦断勾配の変化	変化 0 ~ 18 %相当	上に凸な路面で代表させる
外乱要因 以外	認識対象までの距離 初期値 l_D	固定	衝突回避に必要な距離
	変曲点から認識対象までの距離 l'	変化 0 ~ l_D	
	認識対象の横位置	固定 0°	同一車線上に固定
	標識までの距離 初期値 l_U	変化 $l_D - 5 \sim l_D + 5$ (m)	
	標識の横位置	変化 -3.5 ~ +3.5 (m)	隣接車線上の設置物まで想定
	標識の高さ(下端まで)	固定 4.5m(車道上方)/1.5m(路側式)	「道路標識設置基準」より
	標識看板の寸法	固定 2.7 × 3.5 (m)	高速道路の案内標識
	標識看板の反射率	固定 (実際の標識看板の測定値)	
	相対車速	固定 ODD内の最高車速	
認識対象の種類	固定 乗用車 / 歩行者	交通参加者の代表/低反射率	

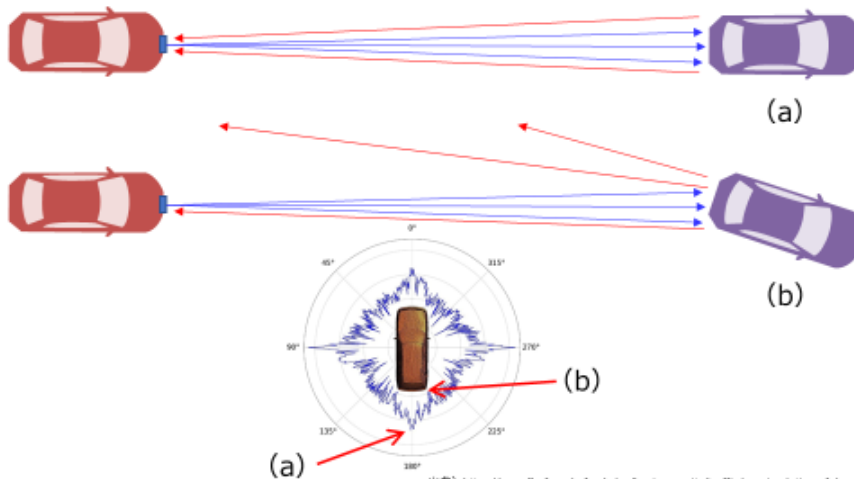
E.2.4 【ミリ波レーダー】低 S/N (車両の向き)

E.2.4.1 現象と原理

低S/N
(車両の向き)

E.2.4.1.1 現象

レーダーから照射された電磁波は、対象物の投影面積、反射率、面の向きの3要素に依存した反射強度の電磁波がレーダーの方向に戻ってくる。同一の車両でも、向きが変わることによって反射強度が極めて小さくなり、FOV内であっても車両が検出できなくなる場合がある。



出典) <https://www.fhnw.frunhofer.de/en/businessunits/traffic/tes-simulation-of-dynamic-traffic-scenarios.html>

E.2.4.1.2 原理

レーダで対象物からの反射波を受信する場合、レーダで受信される信号(S)の強度は以下のレーダ方程式で求められる受信電力(P_r)に依存する。

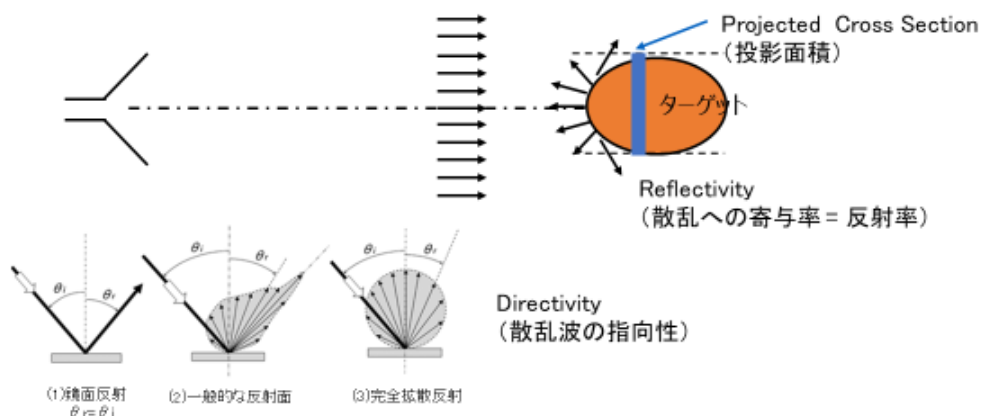
$$P_r = \frac{\lambda^2 \cdot P_t \cdot G_t(\theta) \cdot G_r(\theta) \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot R^4}$$

ここで、 P_t は送信電力、 $G_t(\theta)$ は送信アンテナの利得、 $G_r(\theta)$ は受信アンテナの利得、 σ は対象物のレーダ反射断面積、 λ は波長、 R はレーダと対象物との距離を表す。

車両の向きが低S/Nに寄与する原理として、レーダ方程式から明らかなように、対象物すなわち車両のレーダ反射断面積 σ が向きに依存して変化することによるものである。

レーダ反射断面積 σ は、(a)対象物の投影面積、(b)散乱への寄与率、(c)散乱波の指向性の積で表すことができ、同じ材質の物体であれば指向性すなわちレーダと対向している箇所ほど反射強度が大きくなる。
なお、散乱への寄与率(=反射率)は、金属 ≈ 1 、 $0 \leq$ 非金属 < 1 となる。

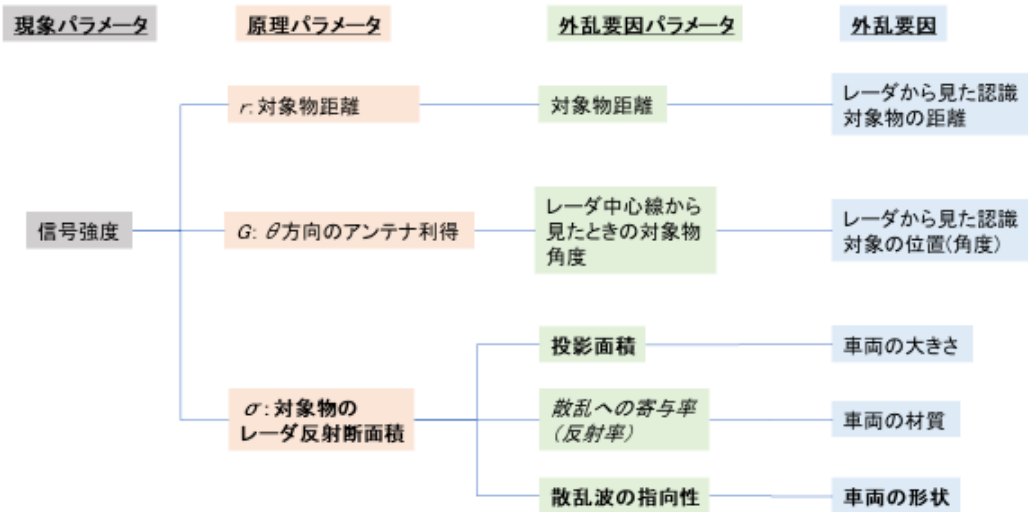
レーダ反射断面積 $\sigma =$ Projected Cross Section \times Reflectivity \times Directivity (m^2)



E.2.4.2 認識外乱の原理と外乱要因との関係

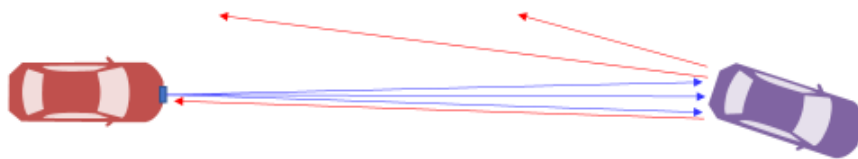
低S/N
(車両の向き)

E.2.4.2.1 原理に基づく外乱要因



低S/N
(車両の向き)

車両の向きによって、そのレーダ反射断面積が異なることは1章で示したとおりである。車両自体の大きさ、材質、形状は同じであっても、見る角度によって、投影面積、散乱への寄与率、散乱波の指向性が異なるため、これらが外乱要因のパラメータとなる。

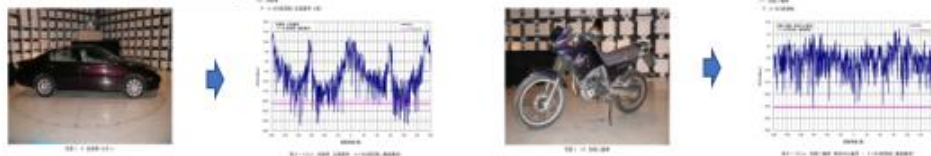


現象パラメータ	原理パラメータ	外乱要因パラメータ	原理パラメータの変化に寄与する外乱要因		
			①認識対象	②周辺環境	③車両・センサ
信号強度	レーダ反射断面積	投影面積	車両の大きさ	-	-
		散乱への寄与率(反射率)	車両の材質	-	-
		散乱波の指向性	車両の形状	-	-

E.2.4.2.2 パラメータの範囲

車両など複雑形状の対象物の場合、投影面積、反射率、指向性が複雑に関係するため、先行研究などから、レーダ反射断面積(σ)の大、中、小の各条件を選定

先行研究事例(実測結果)



出典) 車両周辺障害物の電波反射特性に関する調査研究報告書 (H16 JARI)

現象パラメータ	原理パラメータ	外乱要因パラメータ	外乱要因	パラメータの範囲	考え方
信号強度	レーダ反射断面積	投影面積	車両の大きさ	代表3車種	世の中に存在する車両の大きさを代表3車種で規定
		散乱への寄与率(反射率)	車両の材質	↑	世の中に存在する車両の材質を代表3車種で規定
		散乱波の指向性	車両の形状	↑	世の中に存在する車両の形状を代表3車種で規定

E.2.4.2.3 評価シナリオ

直線路において、自車線前方の認識対象物(静止車両)に一定速で接近する。



パラメータ項目	変化/固定	範囲	説明
対象物の種類	変化	・投影面積(大、中、小) ・散乱への寄与率=反射率(金属多用、非金属多用、中間) ・散乱波の指向性(一様、偏りあり)	・面積は大まかに3水準とする ・内部まで全て非金属の車両は無く、3水準 ・車両の微小部位における法線ベクトルの密度に依存し3水準
対象物の向き	変化	0°~30°	道路線形(カーブR)に準ずる
対象物までの距離	変化	150~5m	
相対車速	固定	20kph以下(定速)	

E.3 LiDAR の原理モデルと評価シナリオ

LiDAR については、例として下記2つの認識外乱の発生原理について原理モデルと評価シナリオを記述する。

- 信号減衰（認識対象物）
- ノイズ

E.3.1 【LiDAR】信号減衰（認識対象物）

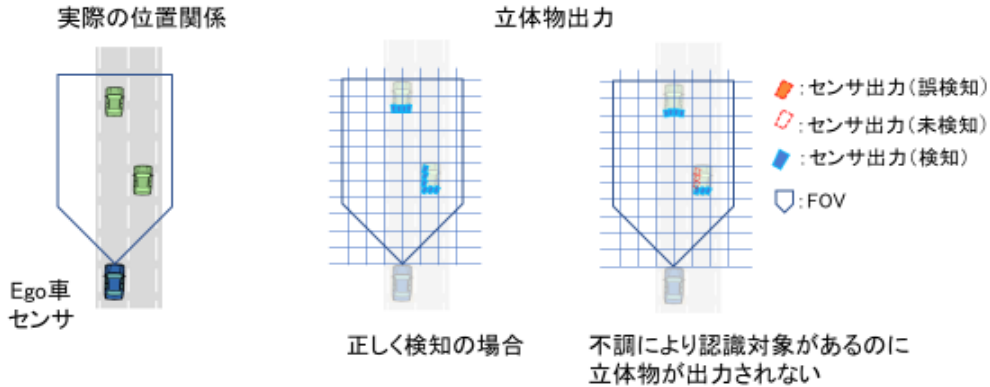
E.3.1.1 現象と原理

S減衰
(認識対象物)

E.3.1.1.1 現象

現象の説明(1/2)

ある対象物について、想定される検知距離よりも近くにならないと立体物として検知できない状態。(未検知)



S減衰
(認識対象物)

現象の説明(2/2)

認識対象に付帯した反射点が、持続的にポイントクラウドとして出力されないことで現象が発生する。

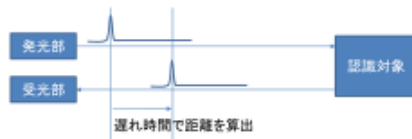
		A		B		C	
		1	2	1	2	1	2
現象パラメータ	程度	あるべき反射点がポイントクラウドとして出力されない					
	減衰の範囲	画角内の全範囲 	認識対象に付帯 		画角に付帯 		
時間	減衰の継続時間	持続的 	一時的 	持続的 	一時的 	持続的 	一時的
	現象モード	認識対象に限ったS減衰のため、FOV全体ではない。		認識対象に付帯した反射点が、持続的にポイントクラウドとして出力されない状態が続く⇒立体物として出力されない。 		一時的な不調より持続した(まが、より厳しいため、そちらで代表する。	

S減衰
(認識対象物)

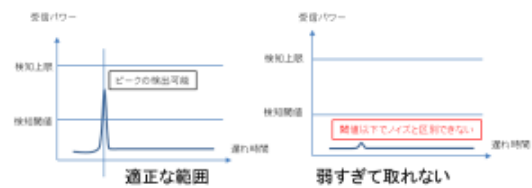
E.3.1.1.2 原理概要

対象物からの反射が弱すぎることで、想定される検知距離においてピークが検出できず、対象物を検知できない

受信信号のピーク検出し、遅れ時間から距離を算出



反射が弱すぎて検知の閾値に達しない場合 S小さすぎとなって検知できない

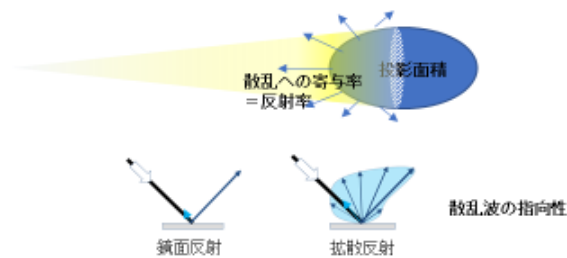


S減衰
(認識対象物)

E.3.1.1.3 原理モデル

対象物での反射の強さは、ミリ波と同様、対象物の投影面積、散乱への寄与率、散乱波の指向性の積で表すことができると考えられ、同じ表面材質の物体であれば指向性すなわちLiDARと対向している箇所ほど反射強度が大きくなる。

$$\text{反射の強さ} = \text{対象物の投影面積} * \text{散乱への寄与率} * \text{散乱波の指向性}$$



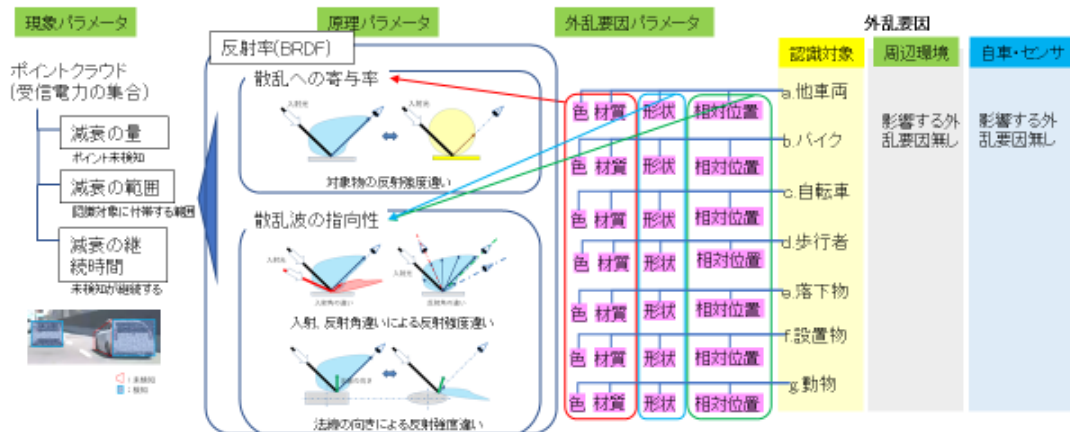
対象の反射の原理から、それぞれに影響する外乱要因を導出。

	原理	外乱要因
散乱への寄与率 対象物の反射強度の違い	<p>反射物の材質を変えると、入射角、観測点が同じでも反射強度が変化する</p>	反射強度の変化を生じさせる要因としては、塗装や塗装などの表面の色、材質の違いによる。 色 材質 塗装の違いによる反射変化イメージ
散乱波の指向性 対象物の投影面積 入射角、反射角の違いによる反射強度の違い	<p>入射角を変えると反射強度が変化する 観測点を変えると反射強度が変化する</p>	入射角、反射角の違いで、反射強度の変化を生じさせる要因は、塗装や形状などの表面の色、材質の違いによる。 色 材質 角度の違いによる反射率変化イメージ 入射角、観測点の変化を生じさせる要因としては、自車と対象の位置関係による。 相対位置
法線方向の違いによる反射強度の違い	<p>対象物表面の法線の向きが変わると反射強度が変化する</p>	入射角、反射角の違いで、反射強度の変化を生じさせる要因は、塗装や形状などの表面の色、材質の違いによる。 色 材質 形状の違いによる反射率変化イメージ 対象物表面の法線の向きを変化させる要因としては、対象物の形状による。 形状 車種による形状違い

E.3.1.2 認識外乱の原理と外乱要因との関係

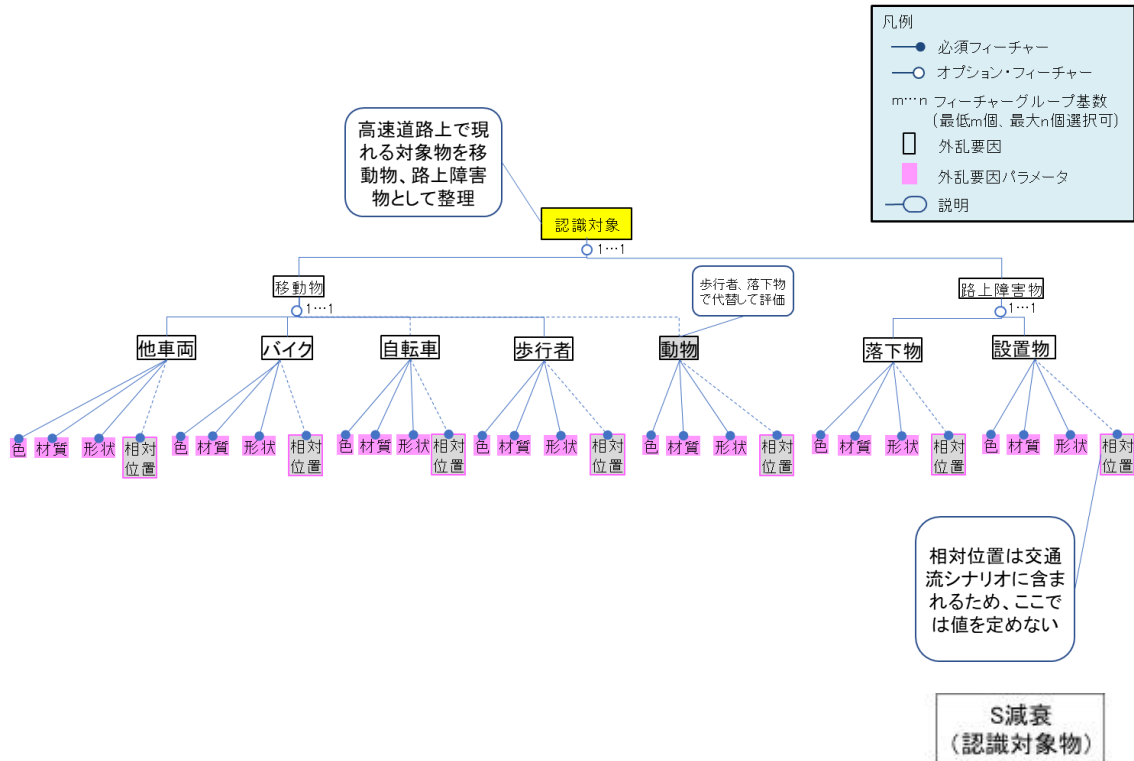
E.3.1.2.1 原理に基づく外乱要因

原理パラメータから、認識対象※の反射に関連する要因を外乱要因パラメータとして導出。



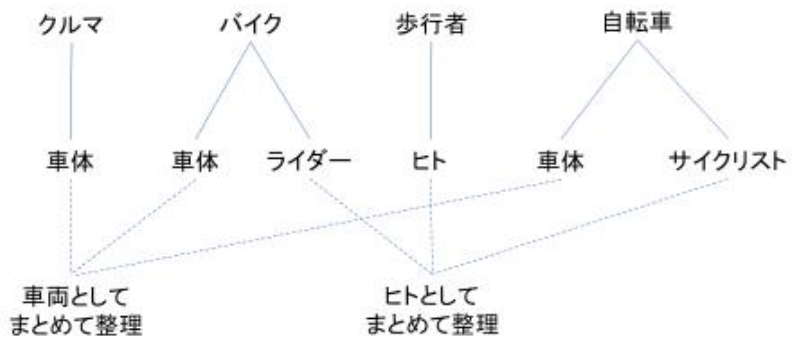
S減衰
(認識対象物)

外乱要因の組み合わせとして、認識対象は組み合わせをせず、一つずつ個別に評価を行う。



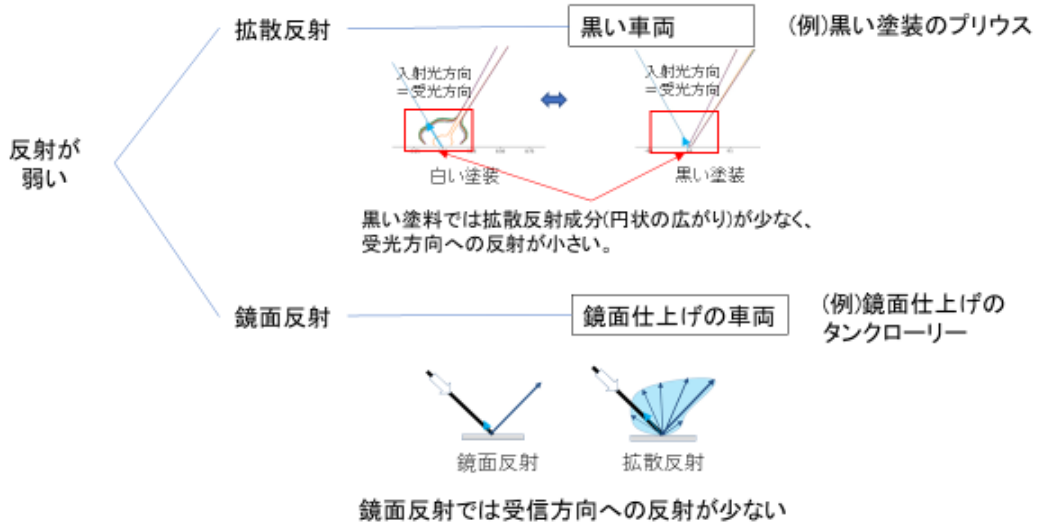
E.3.1.2.2 パラメータ範囲

移動物の考え方として、車両とヒトに分けて考える。



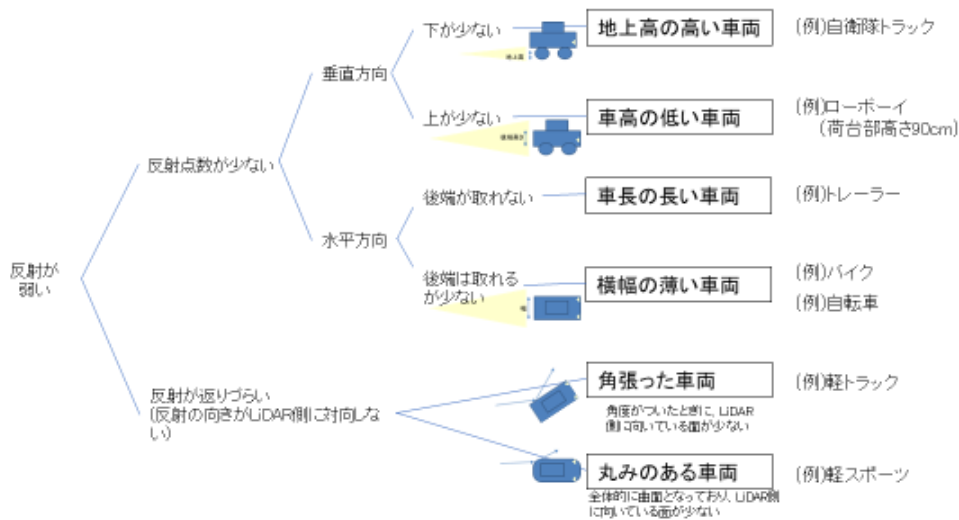
S減衰
(認識対象物)

車両における色、材質の考え方として、表面塗装の反射の特性で考える。
拡散反射が小さい黒い車両と、鏡面反射する車両を選択。



S減衰
(認識対象物)

車両における形状の考え方として、LiDARの当たり方で考える。
LiDARがあたる反射点数が少ない形状と、反射が返りづらい形状を選択。



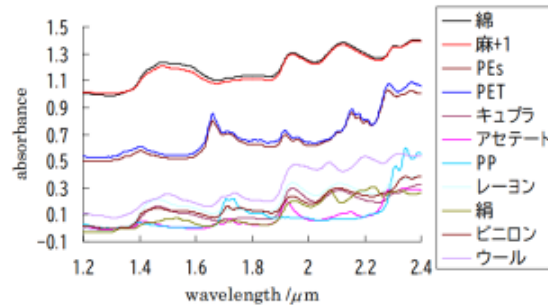
S減衰
(認識対象物)

歩行者、ライダー(バイク)、サイクリスト(自転車)の反射強度の違い

服装、荷物、肌や髪の色、ヘルメットなどの違いによって反射強度は異なる。
今回は占める面積の多い、服装による反射のみパラメータ範囲を考慮。

植物由来(綿)、動物由来(革)、人工物(化繊、反射材)から選出。

近赤外線の反射が素材により異なる例



http://molsci.center.ims.ac.jp/discussion_past/2003/BIK2003/Abs/4pp/4Pp063.pdf

S減衰
(認識対象物)

歩行者の形状の違いとして、大きさと姿勢の違いを考慮する。
小柄な体系のほうが検知しづらいため、比較的小柄な日本人の体格を最悪値として考える。

①大きさ(立位)の違い

歩行者の大きさの示し方として、人体を囲む枠で表現する。
身長、幅、厚みはそれぞれ身長(B1)、肩幅(D2)、胸部厚径(E2)に対応。



立位	日本人成人男性平均 身長(B1)：171.4cm 肩幅(D2)：45.6cm 胸部厚径(E2)：21.1cm ※産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター AIST人体寸法データベース1991-1992
	日本人成人女性平均 身長(B1)：159.1cm 肩幅(D2)：40.7cm 胸部厚径(E2)：21.1cm ※産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター AIST人体寸法データベース1991-1992
	日本人3歳男児平均 身長(B1)：95.1cm 肩幅(D2)： 胸部厚径(E2)： ※厚生労働省 平成22年調査

②姿勢の違い

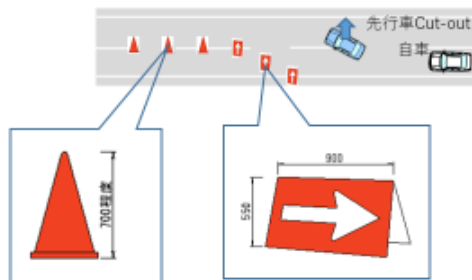
姿勢の変化により、路面からの高さが変化。
姿勢についてパラメータとして考慮する。

座位	座高(I1) 日本人成人男性平均：92.6cm 日本人成人女性平均：86.7cm ※産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター AIST人体寸法データベース1991-1992
臥位	頭長(A1) 日本人成人男性平均：18.9cm 日本人成人女性平均：18.0cm、 胸部厚径(E2) 日本人成人男性平均：21.1cm 日本人成人女性平均：21.1cm ※産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター AIST人体寸法データベース1991-1992
乗車姿勢	バイクや自転車の乗車姿勢は、停止した時に足をつけて立つ形になるため、立位と同等の高さと考えられる。

S減衰
(認識対象物)

設置物

車線の区切りに現れる矢印板とセーフティーコーンをまずは対象とする。



落下物

落下物件数で上位となる自動車部品のタイヤをまずは対象とする。

- | | |
|---------------------------------|----|
| 2位 | 3位 |
| タイヤ | 木材 |
| (外径503mm
165/60R12
軽自動車用) | |

種類の抽出について、NEXCO中日本調べのランキングを参考
 1位 プラスチック・ビニール・布類(毛布、シートなど):2万5400件
 ⇒×高さがない、踏んでも影響小
 2位 自動車部品類(タイヤ、自動車付属品など):8900件
 ⇒○15cm以上のものあり、金属などの固いものあり
 3位 木材類(角材、ベニヤなど):6900件
 ⇒△角材は15cm以上のものあり、固い。次ステップで検討。
 4位 ロードキル(動物の死骸):6900件
 ⇒×日本ではたぬきなどの小動物が多いと思われる。
 その他:1万7400件

S減衰
(認識対象物)

パラメータ範囲を一覧として整理。

原理パラメータ	外乱要因	外乱要因パラメータ	パラメータ範囲	考え方
反射率(BRDF)	車両	形状	地上高の高い車両 車高の低い車両 バイク、自転車 角張った車両 丸みのある車両	ボデー下をすり抜け、タイヤからのみ反射 荷台部分は上レイヤーのビームが当たりづらい 水平方向の反射点数が少ない 向きによって法線の向きがLIDARと正対しづらい 法線の向きがLIDARと正対しづらい
		色、材質	黒い塗装 鏡面反射	拡散反射成分が少ない 向きによって鏡面反射して返ってこない
	歩行者	形状	大、小 立位、座位、臥位	体格、体位のバリエーションで評価
		色、材質	黒い革製の衣服	衣服の中でも、特に反射が弱いものと推測
	設置物	形状	三角コーン、矢印板	車線の区切りとして道路上に現れる
		色、材質	上記設置物に付随した色、材質	バリエーション違いの差は小さいと推測。優先度低
	落下物	形状	タイヤ 木材	低背、法線の向きがLIDARと正対しづらい 低背、向きによって法線の向きがLIDARと正対しづらい
		色、材質	上記落下物に付随した色、材質	バリエーション違いの差は小さいと推測。優先度低

S減衰
(認識対象物)

E.3.1.2.3 評価シナリオ

シナリオ F-1

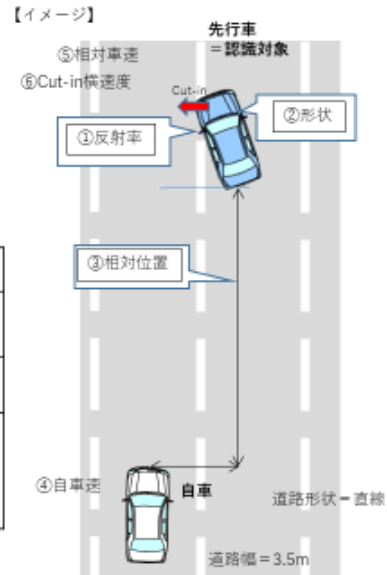
直線路でのCut-inシナリオにて評価。

【概要】

・Cut-in車両が認識対象物となり、その認識対象物の形状、反射率を変化させて評価を行う。

【パラメータ】

評価に必要な 外乱要因パラメータ	①反射率(指向性)	塗装材=黒、鏡面
	②形状	車両=例)自衛隊トラック、ローボイ、トレーラー、バイク、軽トラック、軽スポーツ
	③相対位置	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
評価に必要な パラメータ	④自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
	⑤相対車速	
	⑥Cut-in横速度	



S減衰
(認識対象物)

シナリオ F-2

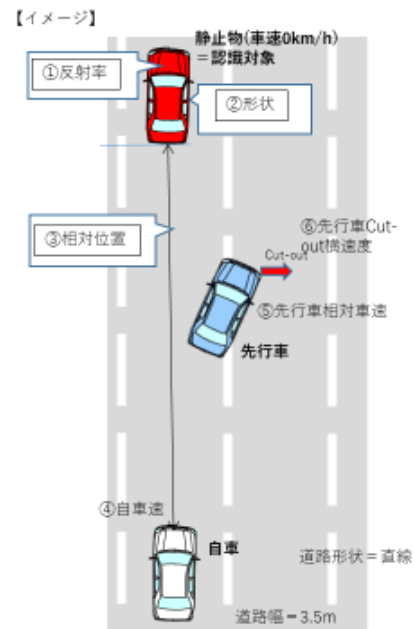
直線路でのCut-outシナリオにて評価。

【概要】

・先行車がCut-outした先に静止した認識対象物があり、その認識対象物の形状、反射率を変化させて評価を行う。

【パラメータ】

評価に必要な 外乱要因パラメータ	①反射率(指向性)	車両: 塗装材=黒、鏡面 ヒト: 服装=革、化繊、綿、反射材 設置物、落下物: 対象物各々の反射率
	②形状	車両=Decelerationのシナリオで評価 ヒト=立位、座位、臥位、交通誘導員、自転車 設置物=セーフティコーン、矢印板 落下物=タイヤ、木材
	③相対位置	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
評価に必要な パラメータ	④自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
	⑤先行車相対車速	
	⑥先行車Cut-out横速度	



シナリオF-3

直線路でのDecelerationシナリオにて評価。

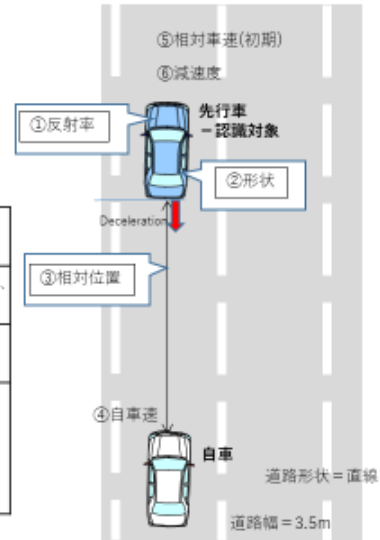
【概要】

・Deceleration車両が認識対象物となり、その認識対象物の形状、反射率を変化させて評価を行う。

【パラメータ】

評価に必要なパラメータ	①反射率(指向性)	塗装材=黒、鏡面
	②形状	車両=例)自衛隊トラック、ローボイ、トレーラー、バイク、軽トラック、軽スポーツ
	③相対位置	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
評価に必要なパラメータ	④自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
	⑤相対車速(初期)	
	⑥減速度	

【イメージ】



E.3.2 【LiDAR】ノイズ

E.3.2.1 現象と原理

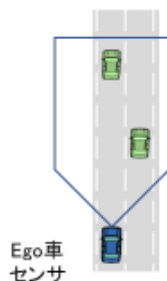
ノイズ

E.3.2.1.1 現象

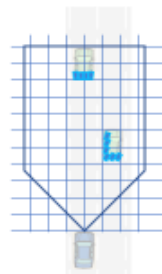
現象の説明(1/2)

対象物を立体物として検知できない状態。(未検知)

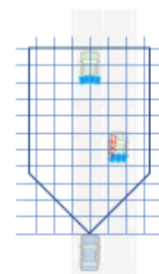
実際の位置関係



立体物出力



正しく検知の場合

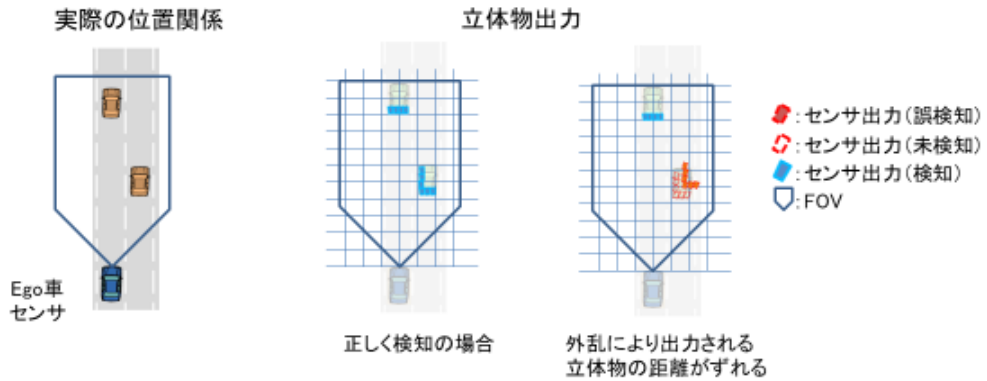


外乱により認識対象があるのに立体物が出力されない

- ◆ : センサ出力(誤検知)
- ◇ : センサ出力(未検知)
- : センサ出力(検知)
- : FOV

現象の説明

実際の対象物の位置から、ずれたところから出力されてしまう状態。(誤検知)

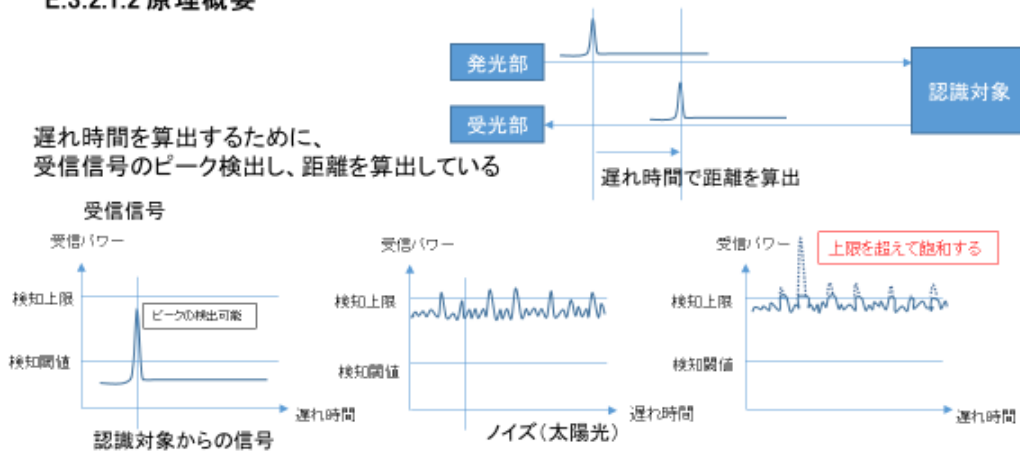


現象の説明(2/2)

認識対象に付帯した反射点が、持続的にポイントクラウドとして出力されないことで現象が発生する。

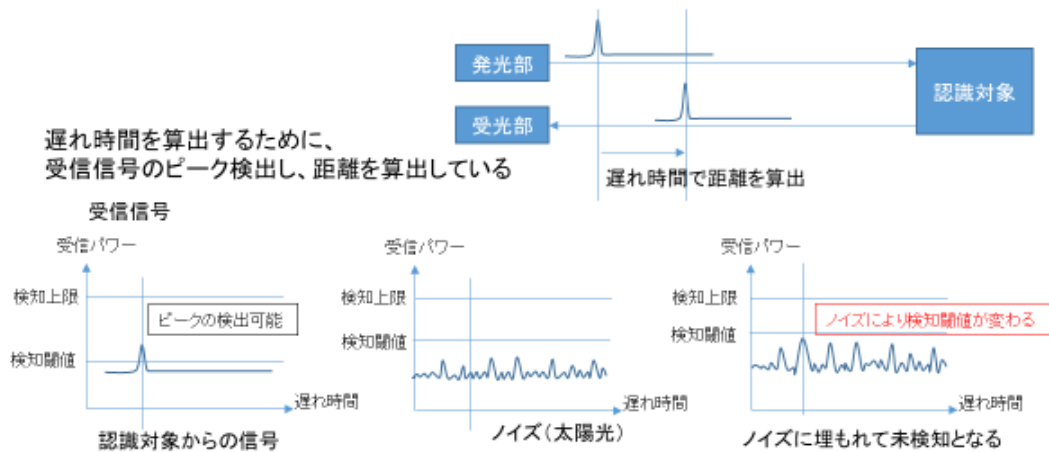
		A		B		C	
		1	2	1	2	1	2
現象モード	程度	ノイズの量 ノイズによりあるべき反射点がポイントクラウドとして出力されない					
	ノイズの範囲	画角内の全範囲		認識対象に付帯		画角に付帯	
	時間	持続的	一時的	持続的	一時的	持続的	一時的
	減衰の継続時間						
	現象モード			太陽光が前方車両認識対象Xに反射し、持続的にノイズが入ってくる状態	← 一時的な不調より持続したほうが、より厳しいため、そちらで代表する。	太陽光の直接光が入射し、持続的にノイズが入ってくる状態	← 対向車のライトやLiDARが入ってノイズとなる可能性があるが、一時的なため、より厳しい持続する状態を代表する。

E.3.2.1.2 原理概要



太陽光のような定常的に発生している赤外光が受光部にノイズとしてはいると、
ノイズと認識対象からの反射の合計が飽和して正しく検知できない

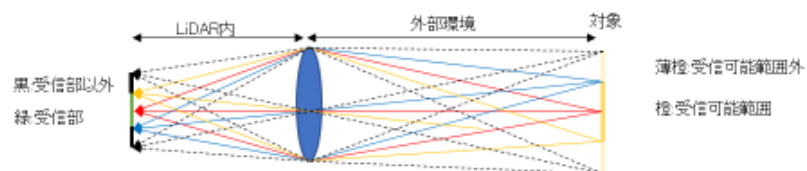
受信部に太陽光のようなパワーの大きい定常光が入ると飽和して不調となる



太陽光のような定常的に発生している赤外光が受光部にノイズとしてはいると、
反射の弱い認識対象からの反射はノイズの中に混じって検知できなくなる

受信部に太陽光のようなパワーの大きい定常光が入ると不調となる

背景光によるノイズ

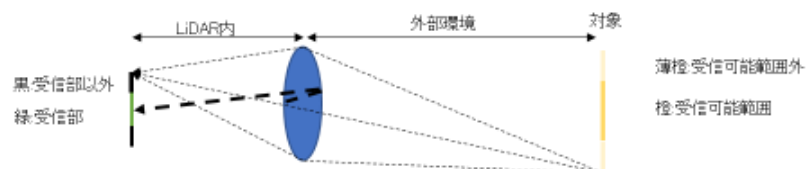


受信可能範囲内からレンズを通った光は、①LiDARが送信した光の散乱光 ②照明による散乱光 ③範囲内の自発光の区別できず、同じ光路を通過するため全て受信されてしまう。※

①以外の光は全てノイズとなって成分となる

※LiDARでは自身が送信する波長が既知のため、その波長範囲以外の光はカットするフィルターが通常用いられる。ノイズ成分となる光は、LiDARの送信に使われる波長範囲内の成分である

ゴーストによるノイズ



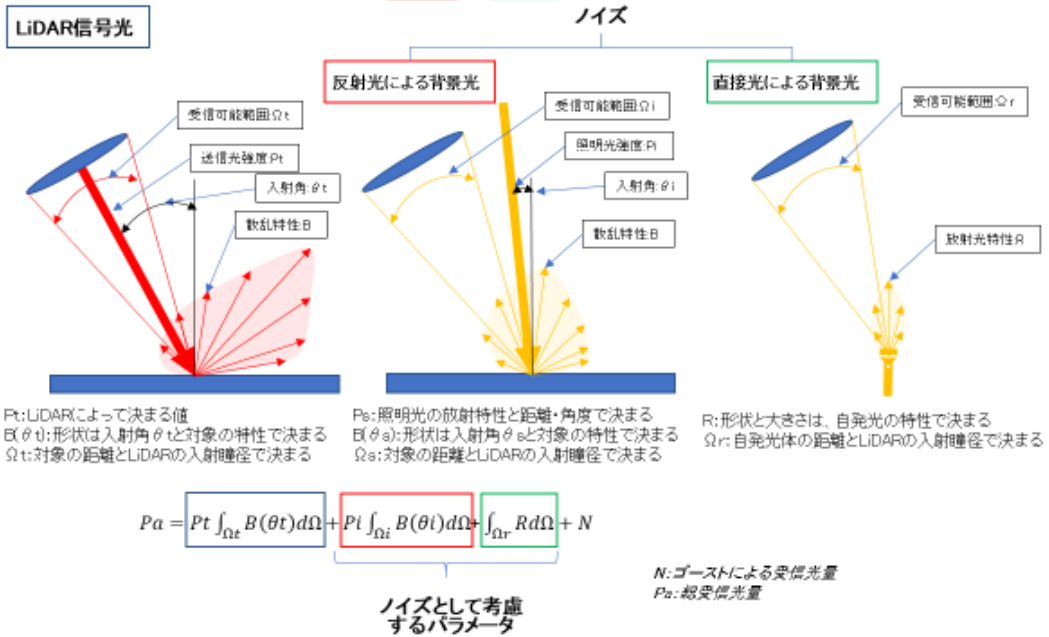
受信可能範囲外からの光は、通常の光路では受信部以外に行くため受信される事はないが、内部反射等(太線)があると、受信範囲外からの光を受信してしまう場合がある。

通常反射防止膜などで内部反射を抑えているため、太陽光・ヘッドライト・他社LiDARの送信光などの強い入射光があった場合に起こる可能性あり。

➡ 内部反射によるノイズは優先度を下げ、今回取り扱わない。

E.3.2.1.3 原理モデル

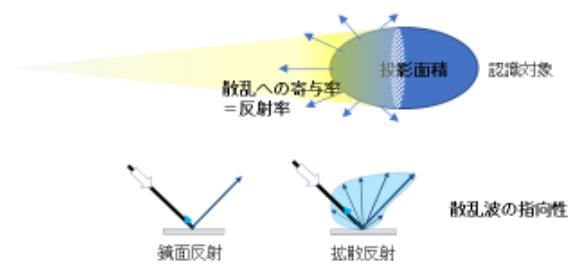
ノイズとして考慮する範囲は、**反射光**と、**直接光**による背景光。



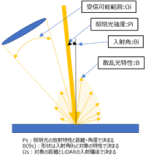
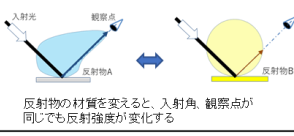

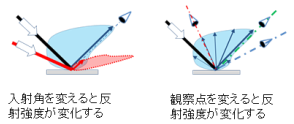
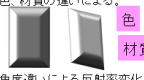

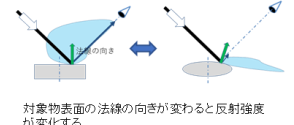



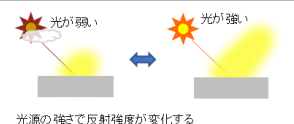
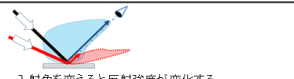
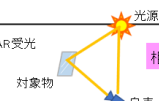
散乱特性

対象物での反射の強さは、ミリ波と同様、対象物の投影面積、散乱への寄与率、散乱波の指向性の積で表すことができると考えられ、同じ表面材質の物体であれば指向性すなわちLiDARと対向している箇所ほど反射強度が大きくなる。

$$\text{反射の強さ} = \text{対象物の投影面積} * \text{散乱への寄与率} * \text{散乱波の指向性}$$



対象の反射の原理から、それぞれに影響する外乱要因を導出。

		原理	外乱要因	
反射光による背景光 	散乱特性 散乱への寄与率 対象物の反射強度の違い	 <p>反射物の材質を変えると、入射角、観測点があっても反射強度が変化する</p>	反射強度の変化を発生させる要因としては、塗装や服装などの表面の色、材質の違いによる。  色 材質 塗装の違いによる反射変化イメージ	
	散乱波の指向性 対象物の投影面積 入射角、反射角の違いによる反射強度の違い	 <p>入射角を変えると反射強度が変化する</p> <p>観測点を変えると反射強度が変化する</p>	入射角、反射角違いで、反射強度の変化を発生させる要因は、塗装や服装などの表面の色、材質の違いによる。  色 材質 角度違いによる反射率変化イメージ	入射角、観測点の変化を発生させる要因としては、自車と対象の位置関係による。  相対位置
	法線方向の違いによる反射強度の違い 対象物表面の法線の向きが変わると反射強度が変化する	 <p>対象物表面の法線の向きが変わると反射強度が変化する</p>	入射角、反射角違いで、反射強度の変化を発生させる要因は、塗装や服装などの表面の色、材質の違いによる。  色 材質 形状違いによる反射率変化イメージ	対象物表面の法線の向きを変化させる要因としては、対象物の形状による。  形状 車種による形状違い
直接光による背景光 	照明光強度 放射光特性	 <p>光源の強さで反射強度が変化する</p>	光源の輝度 (cd/m ²)	
照明光入射角 放射光距離	 <p>入射角を変えると反射強度が変化する</p>	光源と認識対象物とLiDAR受光部の位置関係による。  光源 対象物 自車 相対位置	相対位置	

E.3.2.2 認識外乱の原理と外乱要因との関係

E.3.2.2.1 原理に基づく外乱要因

外乱要因パラメータから外乱要因を導出。

現象パラメータ	原理パラメータ	外乱要因パラメータ		
		車両・センサ	周辺環境	認識対象
ノイズの量 ノイズの範囲	散乱特性 $E(\theta)$			色・材質、形状
	照明光入射角 θ_i		位置(光源)	位置、形状
	照明光強度 F		光源の輝度	
	放射光特性 R		光源の輝度	
	放射光距離		位置(光源)	

外乱要因	
太陽光 定常的に存在し、強度が最も強い ⇒強いノイズが定常的に発生	他車両 バイク 自転車 歩行者 落下物 設置物 動物

E.3.2.2.2 パラメータ範囲

パラメータ範囲を一覧として整理

外乱要因			外乱要因パラメータ	範囲	根拠(又は理由)
空間	光源	太陽光	高度	0~90度	地平線上を0degとして、天頂90deg
			方位	0~359度	真北を0degとして時計回り、真東90deg、真南180deg、真西270deg
			明るさ	0lx~100000lx	暦ハンドブック(http://photonsci-museum.kita-osaka.jp/publish/text/koyomi/66.html) 真夏の太陽の明るさ

E.3.2.2.3 評価シナリオ

シナリオF-1

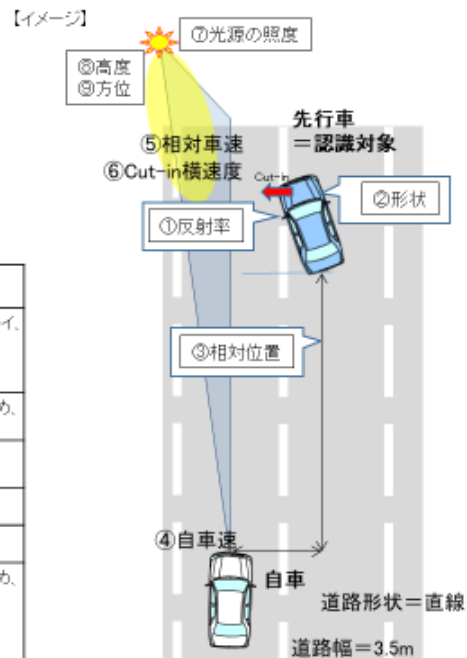
直線路でのCut-inシナリオにて評価

【概要】

- ・Cut-in車両が認識対象物となり、その認識対象物の形状、反射率を変化させて評価を行う。
- ・光源(太陽)が認識対象と直線状に位置するように位置を調整する。

【パラメータ】

外乱要因パラメータ	認識対象物	①反射率	塗装材=黒、鏡面
		②形状	車両(例)自衛隊トラック、ローボイ、トレーラー、バイク、軽トラック、軽スポーツ
		③相対位置	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
	太陽	⑦光源の照度 (lux)	0~100,000lux
		⑧高度	0~90deg
		⑨方位	0~359deg
評価に必要なパラメータ	④自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。	
	⑤相対車速		
	⑥Cut-in横速度		



シナリオ F-2

直線路でのCut-outシナリオにて評価

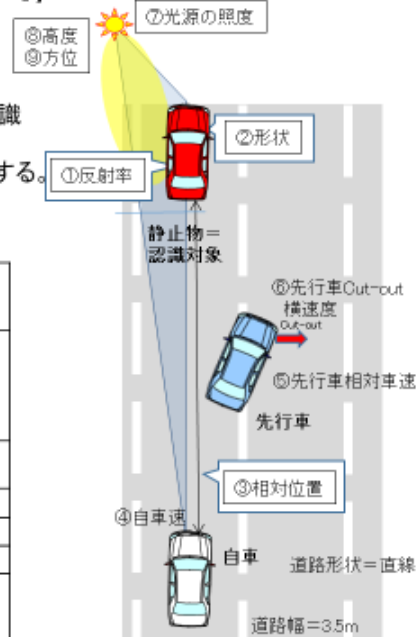
【概要】

- ・先行車がCut-outした先に静止した認識対象物があり、その認識対象物の形状、反射率を変化させて評価を行う。
- ・光源(太陽)が認識対象と直線状に位置するように位置を調整する。

【パラメータ】

外乱要因/パラメータ	認識対象物	①反射率	ヒト:服装=革、化繊、綿、反射材 設置物、落下物:対象物各々の反射率
		②形状	車両=Decelerationのシナリオで評価 ヒト=立位、座位、臥位、交通誘導員、自転車 設置物=セーフティコーン、矢印板 落下物=タイヤ、木材
		③相対位置	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
	太陽	⑦光源の照度	0~100,000lux
		⑧高度	0~90deg
		⑨方位	0~359deg
評価に必要なパラメータ	④自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。	
	⑤先行車相対車速		
	⑥先行車Cut-out横速度		

【イメージ】



シナリオ F-3

直線路でのDecelerationシナリオにて評価。

【概要】

- ・Deceleration車両が認識対象物となり、その認識対象物の形状、反射率を変化させて評価を行う。
- ・光源(太陽)が認識対象と直線状に位置するように位置を調整する。

【パラメータ】

外乱要因/パラメータ	認識対象物	①反射率	塗装材=黒、鏡面
		②形状	車両=例)自衛隊トラック、ローボイ、トレーラー、バイク、軽トラック、軽スポーツ
		③相対位置	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
	太陽	⑦光源の照度	0~100,000lux
		⑧高度	0~90deg
		⑨方位	0~359deg
評価に必要なパラメータ	④自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。	
	⑤相対車速(初期)		
	⑥減速度		

【イメージ】



E.4 カメラの原理モデルと評価シナリオ

カメラについては、例として下記3つの認識外乱の原理について原理モデルと評価シナリオを記述する。

- 遮蔽（見切れ）
- 空間周波数低下・コントラスト低下（空間障害物）
- 飽和（過多）、白飛び

E.4.1 【カメラ】遮蔽(見切れ)

E.4.1.1 現象と原理

遮蔽(見切れ)

E.4.1.1.1 現象

遮蔽物による遮蔽、またはFOV外に行くことで、認識対象の一部または全部が見えなくなり、特徴抽出に必要な情報が欠損し、False Negative または位置情報に誤差が発生する

事例

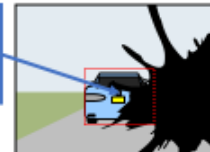
路上の障害物(他交通参加者含む)による遮蔽

認識対象との間に他交通参加者や路上の構造物が存在し、認識対象の特徴が阻害される



汚れによる遮蔽

WSやカメラレンズの汚れにより、画面が遮蔽される



FoV外による遮蔽

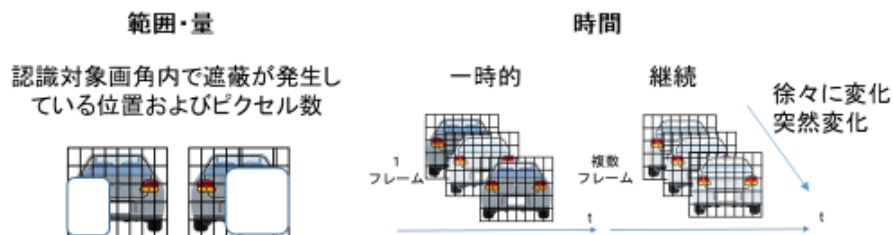


カメラの画角の外にターゲットの一部が出ることによって、遮蔽と同じ状況が発生する




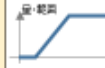
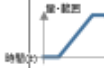
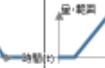
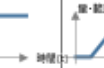
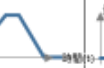

E.4.1.1.2 原理概要

遮蔽(見切れ)

認識対象の一部が遮蔽されている場合、カメラの認識機能は正しい特徴抽出ができない場合がある。または特徴抽出ができて識別機能で学習データとのマッチングができない場合が発生し、結果認識不調(未検出や分類誤り)に至る。



原理に基づく外乱要因

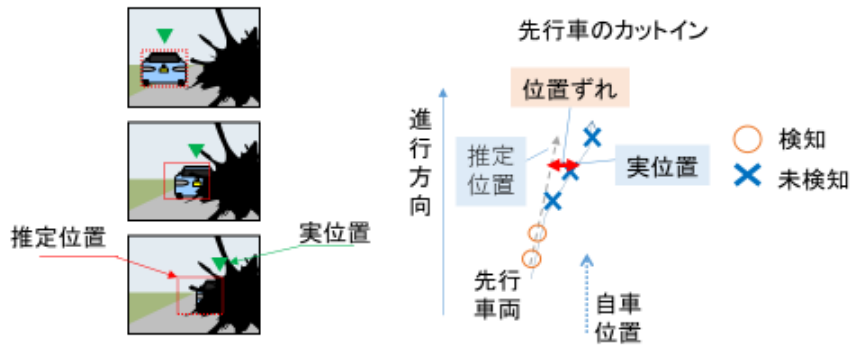
現象モード		A		B		C	
		1	2	1	2	1	2
程度	量	各センサー 不調原理毎に定義					
	範囲	西角内の全範囲 	認識対象に付帯 認識対象の一部が遮蔽 	認識対象に付帯 遮蔽された面角に認識対象が侵入 			
時間	単位時間当たりの変化量	不調原理・外乱要因により変化量の範囲を定義					
	継続時間	持続的 	一次的 	持続的 	一次的 	持続的 	一次的 

外乱要因と評価ケース

- 持続的に面角内全域が遮蔽され、それが除去されない場合
- 持続的に面角内全域が遮蔽され、それがワイパーなどによって除去される場合
- 認識対象物の表面に付着物がある場合
- 遮蔽されている状態とされていない状態の変化点
- 面角の一部が汚れていて、それが除去されない場合
- 面角の一部が汚れていて、それがワイパーなどによって除去される場合

正しい特徴抽出ができない場合、対象物の大きさや向き、位置を正しく検知出来ない。また向きや位置の検知が正しくない場合、トラッキングにも誤差を生じ、推定位置や速度などの認識誤差を発生させる。

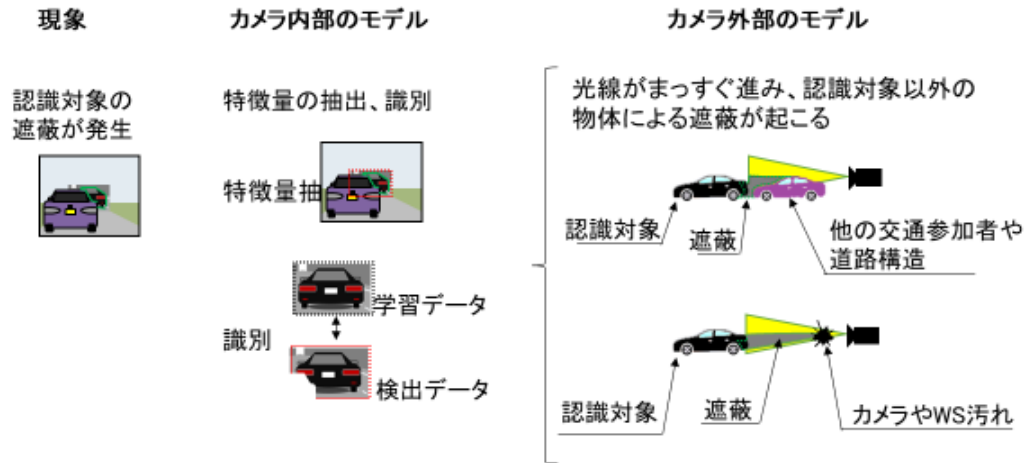
事例



E.4.1.1.3 原理モデル

遮蔽(見切れ)

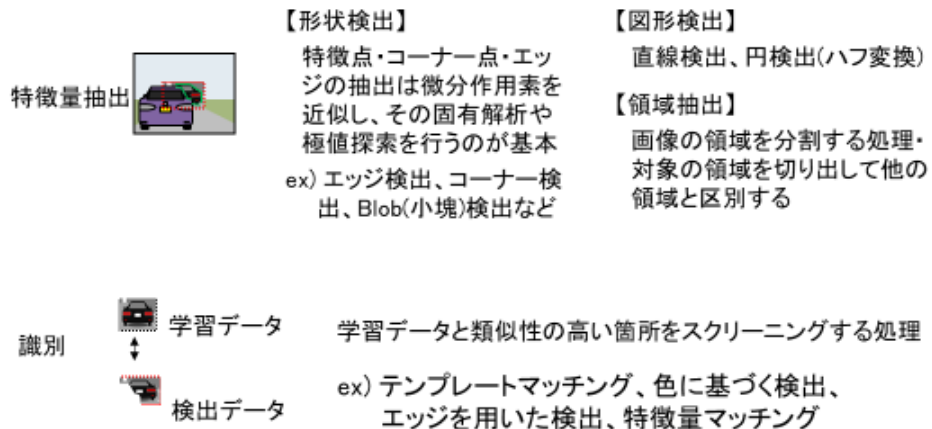
内部モデルと外部モデルの繋がり



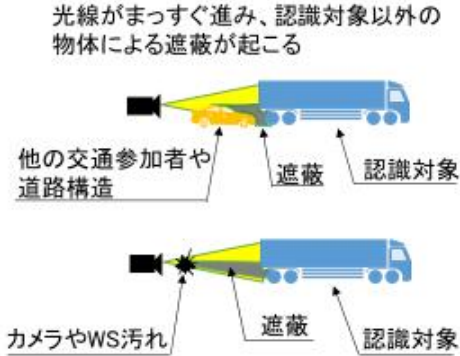
遮蔽(見切れ)

カメラ内部のモデル

特徴量抽出、識別には様々な手法が存在し、特定をすることはできないため、ここでは古典的手法の例を挙げる。



カメラ外部のモデル



<認識不調と直接影響のあるモデル>
 ・物体から発せられた光(反射光含む)が同一媒質中を直進するモデルを用いる

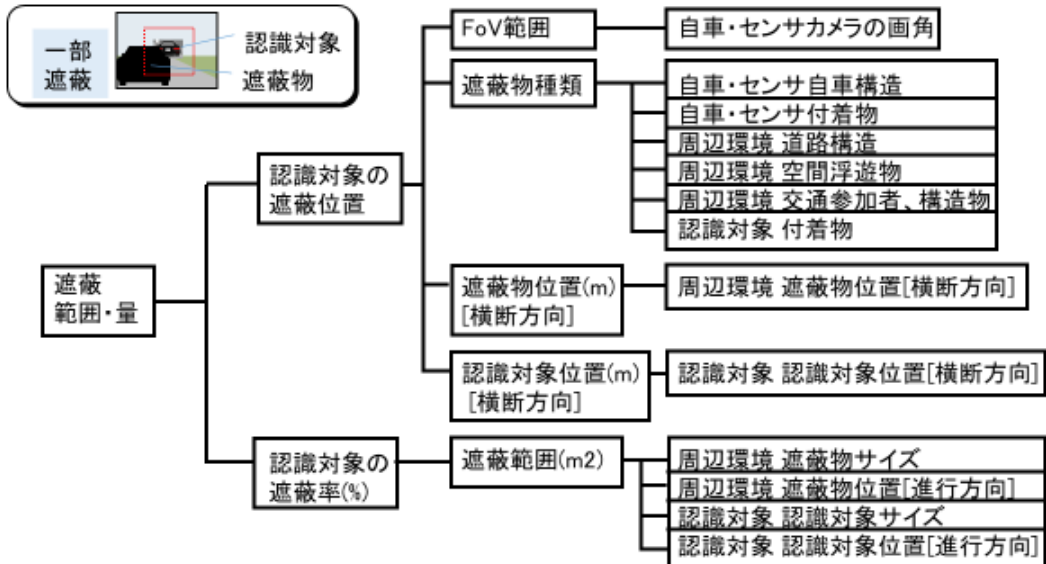
<認識不調と関係があるが、影響度合いの小さいモデル(参考)>
 ・ガラス面や雨水などの媒質の境界面では屈折が発生する

・電磁波(可視光含む)で知られた現象として、厳密には回折があるが、影響の程度から遮蔽の不調要因では問題とはしない

E.4.1.2 原理に基づく外乱要因

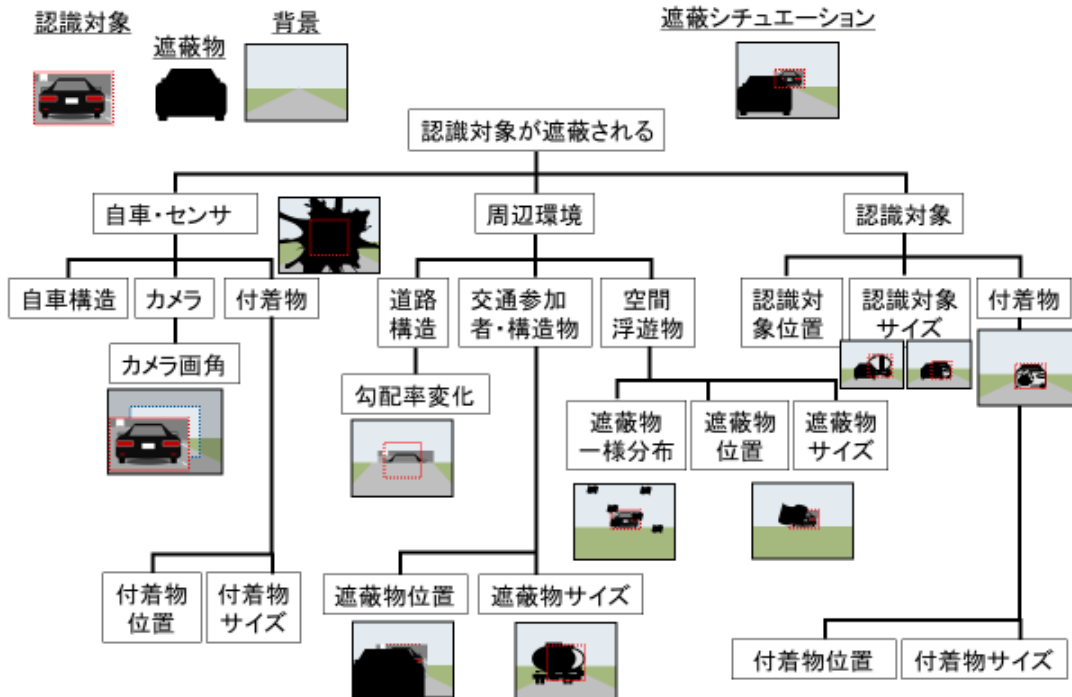
E.4.1.2.1 原理と外乱要因の関係

現象パラメータ 原理パラメータ 外乱要因パラメータ 外乱要因

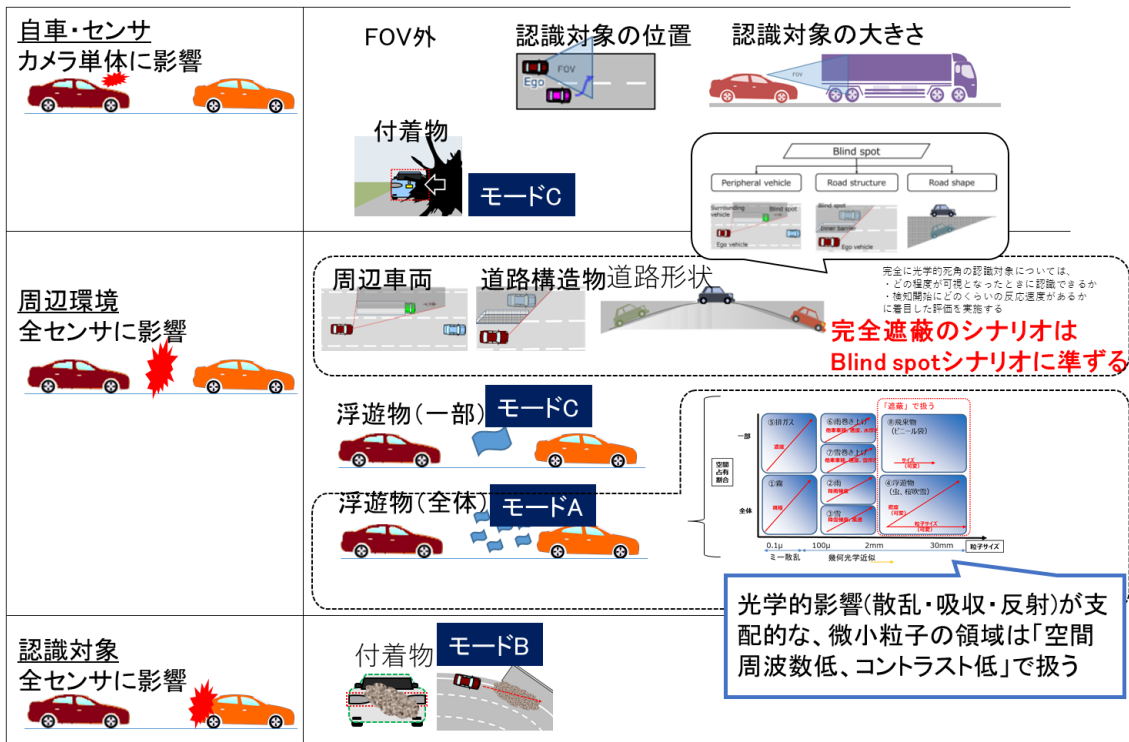


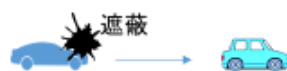
E.4.1.2.2 外乱要因

遮蔽(見切れ)



遮蔽(見切れ)





遮蔽(見切れ)

Functional Scenario	ALKSシナリオ	走路			交通情報		移動物			路上障害物			空間		考え方		
		区画線	構造物	ロードエッジ	信号	標識	路面標示	他車	バイク	自転車	歩行者	落下物	設置物	動物		太陽光	路面
F-1	Cut-in		○					○	○	○		○					
F-2	Cut-out		○					○	○	○	○	○					
F-3	Deceleration		○					○	○	○		○					
F-B1-14	Lane-keep		○	○	○	○						○	○				
F-4	Blind-spot (Vertical)		○					○	○			○	○				

E.4.1.2.3 パラメータ範囲

遮蔽(見切れ)

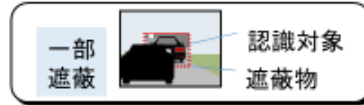
現象 パラメータ	原理 パラメータ	外乱要因 パラメータ	外乱要因	パラメータ範囲	条件	
					STEP1	STEP2
量・ 範囲	認識対象の 遮蔽位置	FoV範囲	自車・センサ カメラの画角	0 ~ ±(検査対象のカメラの FOV最大角) [deg.]		
		遮蔽物種類	自車・センサ 自車構造	ワイパー、ボンネット (FOV内に入る自動車部品)		
			自車・センサ 付着物	Windshield FOV内 遮蔽率0~ 100[%]	汚れが付着し、ワ イパーによって拭 き取られる	画面限が汚れて いる
			周辺環境 空間浮遊物	一様分布: 割合0~100 [%] 単一: 大きさ0~x [m]		
			周辺環境 道路構造	道路形状の縦断勾配0~6 [%] (凸形状)		
			周辺環境 交通参加者、構造物	交通参加者: 車両 構造物: 側壁		
		遮蔽物位置(m) [横断方向]	周辺環境 遮蔽物位置[横断方向]	ラップ率 0~100%	認識対象の遮蔽 率25%程度、横断 方向の位置	認識対象の遮蔽 率50%程度、横断 方向の位置
	認識対象位置 (m) [横断方向]	認識対象 認識対象付着物	泥			
	認識対象 の遮蔽率 (%)	遮蔽範囲(m2)	周辺環境 遮蔽物サイズ	自動二輪車~大型トラックのサ イズ	軽自動車による遮 蔽	大型トラックによ る遮蔽
			周辺環境 遮蔽物位置[進行方向]	速度に応じた適切な車間距離		
認識対象 認識対象サイズ		乗用車相当				
認識対象 認識対象位置[進行方向]		速度に応じた適切な車間距離				

遮蔽(見切れ)

遮蔽位置について
認識阻害

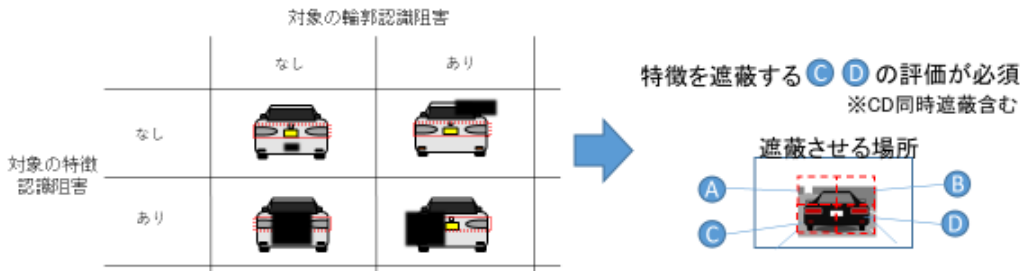


- ①対象の輪郭認識阻害
背景とのコントラストの差がなくなる。
輪郭が遮蔽される。
- ②対象の特徴認識阻害
認識対象としての特徴
(左記例ではバックライトやナンバープレート)
が遮蔽される。



遮蔽物の影響パターン

必須となる評価ケース

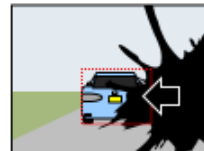
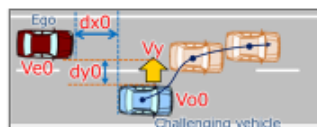


E.4.1.2.4 評価シナリオ

遮蔽(見切れ)

E.4.1.2.4.1 Cut-in

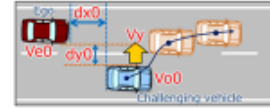
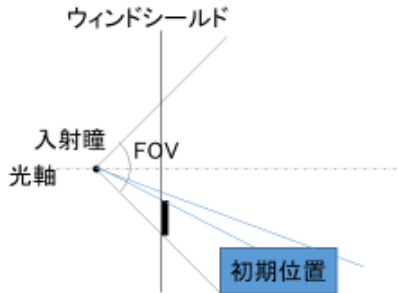
付着物により視野が制限されている位置から認識対象物が自車線前方に一定横速度で進入する



パラメータ項目	変化/固定	範囲	説明
対象物までの距離	変化	縦位置dx0 [m]	最も遅い速度でのCut-in 距離からセンサの最大検知距離まで
		横位置dy0: 3.5m	
対象物との相対車速	変化	縦速度Vo0-Ve0 [kph] 横速度Vy [kph]	ALKSでのpreventable基準に照らし最も早い速度と遅い速度
対象物の種類	固定	形状:セダン 色 :白	シナリオを遮蔽率で規定するため、対象部の大きさ形状に依らない。標準的な対象物を選択
付着物(外乱要因)による認識対象の遮蔽率	変化	認識対象のバウンディングボックスに対して ① 初期50% → 最終0% ② 初期100% → 最終50%*	*初期100%の場合、最終の値はシナリオに依存する(目安として50%に近くなるよう遮蔽物の大きさを決める)

Cut-in シナリオ補足

カットインシナリオでは、一部または全部が遮蔽状態にある対象が自車線に進入することでACCターゲットになる状況を考える



カットイン後の位置、距離が正しく出力されるか否かで安全に制御されるかどうかが決まる

最終位置
最終位置の遮蔽率はシナリオで決定されるものの、遮蔽物の配置によってある程度の範囲を持つ

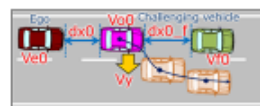
入射瞳とウィンドシールドの距離は一定のため、ターゲット初期位置と遮蔽率が決まれば、遮蔽物の大きさに対する制限が決まる。遮蔽物の位置が任意のため、大きさは一意には決まらない(ターゲットに対する視野角よりも大きくてもよい)



初期状態の遮蔽率を順守しつつ、最終状態の遮蔽率になるべく近い、大きさ、位置が設定されることが望まれる

E.4.1.2.4.2 Cut-out

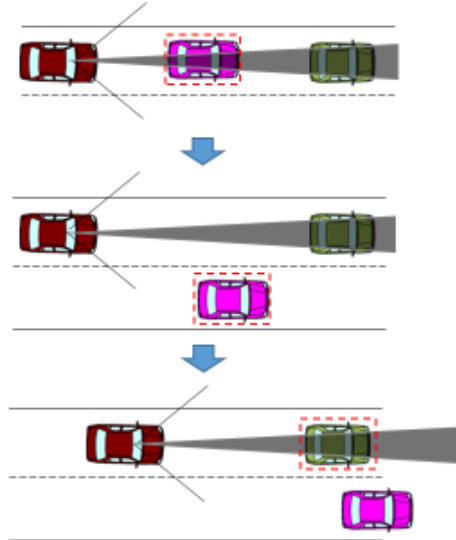
遮蔽されている位置から認識対象がカットアウトする。手前の認識対象では一部が見えている状態だったが、より遠くに存在する奥の認識対象では遮蔽率が高くなる



パラメータ項目	変化/固定	範囲	説明
対象物までの距離	変化	縦位置 dx0 [m]	最も遅い速度でのCut-out距離からセンサの最大検知距離まで
		縦位置 dx0_f [m]	
対象物との相対車速	変化	縦速度 Vo0-Ve0 [kph]	カットアウトシナリオでのpreventable基準に照らし最も早い速度と遅い速度
		縦速度 Vo0-Vf0 [kph]	
		横速度 Vy [kph]	
対象物の種類	固定	形状:セダン 色 :白	シナリオを遮蔽率で規定するため、対象物の大きさ形状に依らない。標準的な対象物を選択
付着物(外乱要因)による認識対象の遮蔽率	変化	認識対象のバウンディングボックスに対して ① 初期50% → 最終0%	遮蔽率は先行車に対して設定する

Cut-out シナリオ補足

カットアウトシナリオでは、一部遮蔽状態にある手前の車輛が隣接車線に移動し、奥の車輛がACCターゲットとなる場合、一部遮蔽状態であっても危険事象に至らないことを評価する



先行車が完全遮蔽状態では、カメラ認識は不可能であるため、遮蔽検知機能など別のケースとなる。ここでは遮蔽による認識対象への位置や距離の出力結果の誤差を問題としているため、先行車の完全遮蔽は含めない。

E.4.1.2.4.3 Lane-Keep

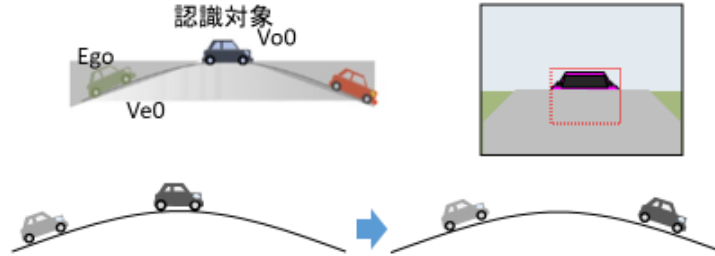
遮蔽されている状況で自車線に沿って一定速度で走行



パラメータ項目	変化/固定	範囲	説明
自車速度	固定	Ve0: 120 kph	日本での高速道路最高速度
車線幅	固定	3.5m	日本での高速道路の通常車線幅
車線曲率	固定	R380	
対象物の種類	変化	形状: 実線、破線 色 : 白、黄	
付着物(外乱要因)による自車線区画線の遮蔽率	固定	遮蔽率: 50%	
付着物の中心に相当する区画線位置	固定	d: 20m/ 60m/ 100m	

E.4.1.2.4.4 Blind-spot (vertical)

縦勾配のある路面(凸形状)を走行、自車線前方の認識対象物に一定速で接近する



パラメータ項目	変化/固定	範囲	説明
対象物までの距離	変化	縦位置 $dx0$ [m]	認識対象の接地面が見える限界から認識対象の上部が見える限界まで。
対象物との相対車速	固定	縦速度 $Vo0 - Ve0$ [kph]	組み合わせる交通流シナリオに従う
対象物の種類	固定	形状: セダン 色: 白	シナリオを遮蔽率で規定するため、対象部の大きさ形状に依らない。標準的な対象物を選択
道路構造縦勾配	固定	縦断勾配: 6%	道路構造令を参考に最も厳しい値

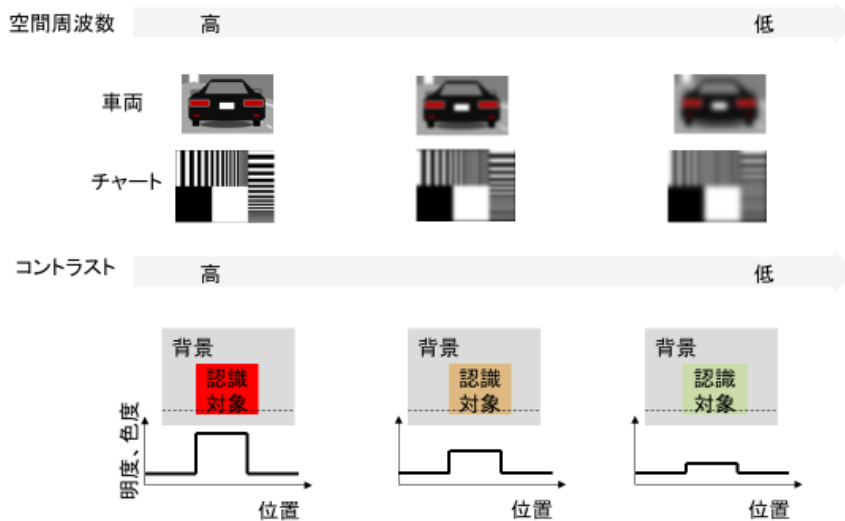
E.4.2 【カメラ】空間周波数低下・コントラスト低下（空間障害物）

E.4.2.1. 現象と原理

E.4.2.1.1 現象

雨、雪、霧の空間浮遊物によって物標の輪郭ぼけ(空間周波数の低下)が発生するこの時、同時に画像のコントラスト低下も発生する

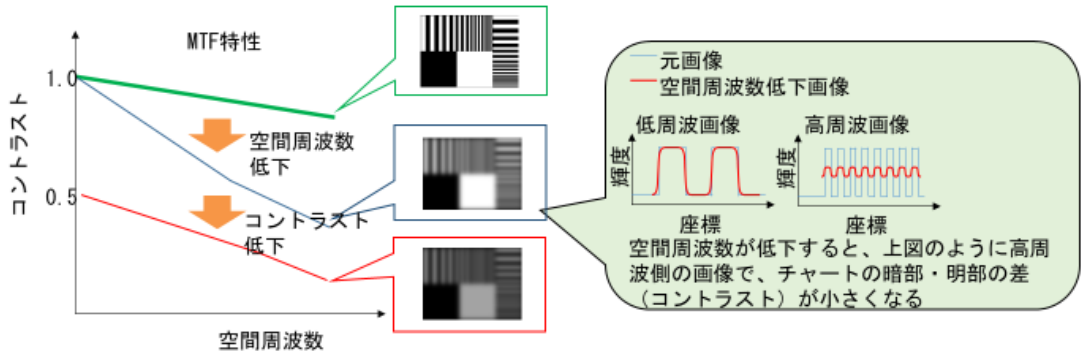
空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)



画像の空間周波数の低下具合、コントラスト低下具合はMTFで表すことができる

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

空間周波数の低下は、高周波側のMTF低下で表現される(ぼけに相当)
コントラストは、物標と背景との明度差(比)や色度差(比)であり、
画像全体のコントラスト低下は、全周波数帯のMTF低下で表現される

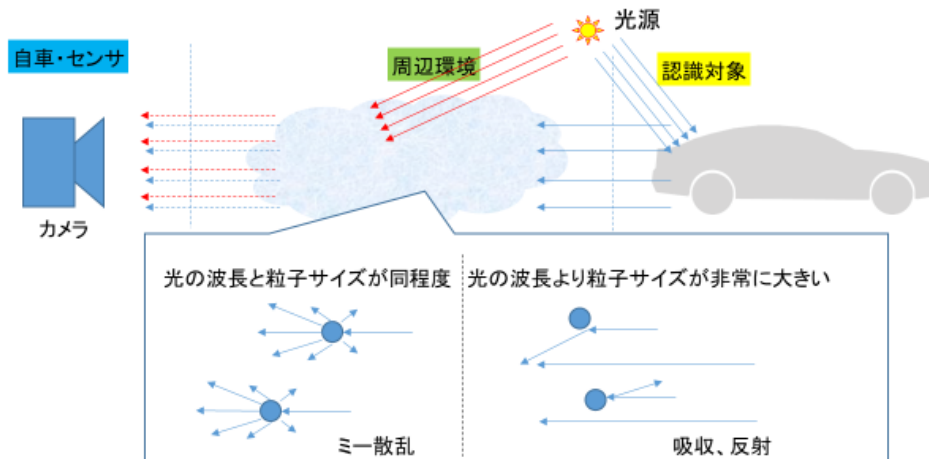


MTF(Modulation Transfer Function): 変調伝達関数
システムに正弦波を入力したときの、周波数と入出力波形の振幅比率の特性
被写体のある部分の光を、画像の対応する位置にどれだけ集められるかを表す値である
レンズ性能を数値によって検査するもので、結像の良否とコントラストを同時に検査する

E.4.2.1.2 原理概要

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

空間中に障害物があることにより、認識対象物から反射した光は、空間中の障害物(粒子)に当たることで、散乱・吸収・反射し、カメラに届くまでに減衰する。(散乱・吸収・反射の程度は、粒子のサイズや密度により異なる)
減衰輝度に光源からの直接輝度により空間中の障害物により散乱する輝度が合算されてカメラ入射輝度となる



空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

現象パラメータ

量

空間周波数 

コントラスト
物標と背景との
明度差、色差 



出展: Pxhere.com: CC0 License




範囲 画角全体に発生するか、
認識対象に付随して局所的に発生するか

時間当たり変化量 時間に応じて、空間周波数と
コントラストが低下(徐々に、急激に)

継続時間
一時的か継続的か

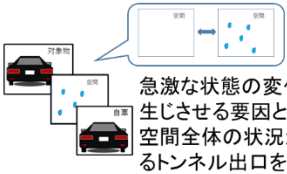
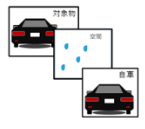
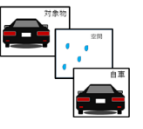
認識・制御への影響

画像座標から3次元空間の位置情報に置き換える際の誤差要因となったり、
認識対象が検出できなくなる可能性がある

現象パラメータ	程度	A				B				C			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
量	量	各センサー 不調原理毎に定義											
	範囲	画角内の全範囲 				認識対象に付帯 				画角に付帯 			
時間	単位時間 変化量	徐々に変化	急激に変化	徐々に変化	急激に変化	徐々に変化	急激に変化	徐々に変化	急激に変化	徐々に変化	急激に変化	徐々に変化	急激に変化
	継続時間	持続的	一時的	持続的	一時的	持続的	一時的	持続的	一時的	持続的	一時的	持続的	一時的

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

画角内の発生範囲に応じて3モードに分類

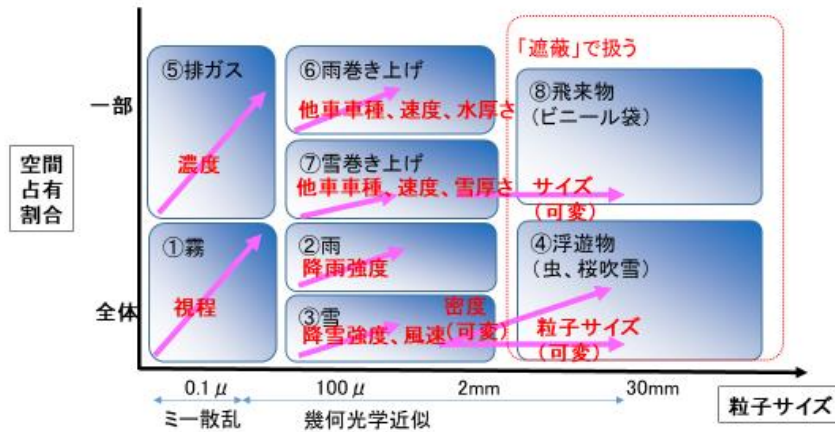
現象モード	モードA	モードB	モードC
	<p>FOV全体に影響する要因の位置としては、空間全体が考えられる。 例) 霧、雨</p>  <p>急激な状態の変化を生じさせる要因として、 空間全体の状況が変化するトンネル出口を考慮する。</p>	<p>認識対象に付帯する要因の位置としては、対象後方の空間の一部が考えられる。 例) 認識対象からの巻き上げ</p> 	<p>画角に付帯する要因の位置としては、対象後方の空間の一部が考えられる。 例) 隣接レーンからの巻き上げ</p> 

空間障害物による前述の原理により視認性が低下する

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

空間障害物は種々あるが、前述の原理により粒子サイズで分類する
また、現象モードで扱う「範囲」に関連し、「全体」「一部」で分類する

(これらの分類のうち、④浮遊物、⑧飛来物は「遮蔽」不調で扱う)

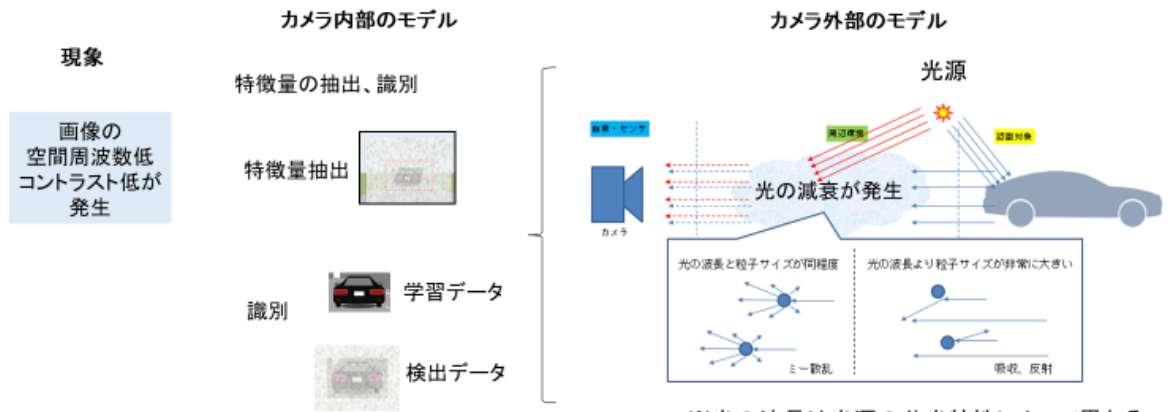


※赤字は外乱要因パラメータ

E.4.2.1.3 原理モデル

内部モデルと外部モデルの繋がり

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)



※光の波長は光源の分光特性によって異なる

カメラ内部のモデル

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

特徴量抽出、識別には様々な手法が存在し、特定をすることはできない。
ここでは古典的手法の例を挙げる。

特徴量抽出



【形状検出】

特徴点・コーナー点・エッジの抽出は微分作用素を近似し、その固有解析や極値探索を行うのが基本
ex) エッジ検出、コーナー検出、Blob(小塊)検出など

【図形検出】

直線検出、円検出(ハフ変換)

【領域抽出】

画像の領域を分割する処理・対象の領域を切り出して他の領域と区別する

識別



学習データ



検出データ

学習データと類似性の高い箇所をスクリーニングする処理
ex) テンプレートマッチング、色に基づく検出、エッジを用いた検出、特徴量マッチング

カメラ外部のモデル

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

Koschmiederの輝度減衰モデル(下式)では、減衰係数 σ (\equiv 視程)と距離 d が増加するに従い、対象物の見かけの輝度が環境光の輝度(背景(空)の輝度)に近づく(コントラストの低下)ことが示されている。

$$L = L_0 e^{-\sigma d} + L_f (1 - e^{-\sigma d})$$

L : 対象物の見かけの輝度
 L_0 : 散乱がない場合の対象物の輝度
 L_f : 環境光の明るさ(空の輝度)

出典: Mori, "Fog Density Recognition by In-vehicle Camera and Millimeter Wave Radar", IJICIC vol.3, Num.5 Oct.2007

また、大気中における光の減衰により、ある対象物を距離 d から見たときのコントラスト C は下記となる。

$$C = e^{-\sigma d}$$

σ : 光の減衰係数(消散係数)=光の強度が距離と共に減衰する割合

コントラストの識別限界値を ε_0 とすると下記で表され(Koschmiederの式)、 ε_0 は経験的に0.02や0.05をとる。

$$V = \frac{1}{\sigma} \ln \left(\frac{1}{\varepsilon_0} \right)$$

V : 視程

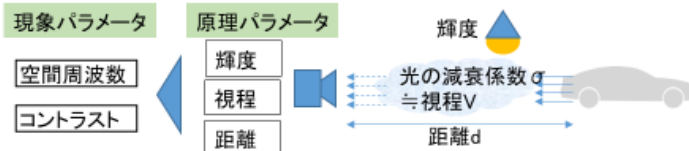
出典: 日本気象学会誌 20巻(2004) 3号 "視程の測定" 高田
地学雑誌 Journal of Geography 100(2) 264-272 1991 "大気中の雪粒子と視程". 竹内

$$V = \begin{cases} 3.912/\sigma & (\varepsilon_0 = 0.02) \\ 2.996/\sigma & (\varepsilon_0 = 0.05) \end{cases}$$

一般的な視程計は、世界気象機関(WMO)が定義する気象光学距離MORを計測する
MOR: 2700Kの白熱灯の平行ビームによる照度が元の値の5%まで減少する距離

よって、コントラストに影響を与えるのは、光源の明るさ(輝度)、光の減衰係数 σ 、距離 d によると考えられる。

また、 σ と視程 V は一義的に対応する値であり、一般的に視認距離の計測には視程を用いるため、原理パラメータは下記とする。

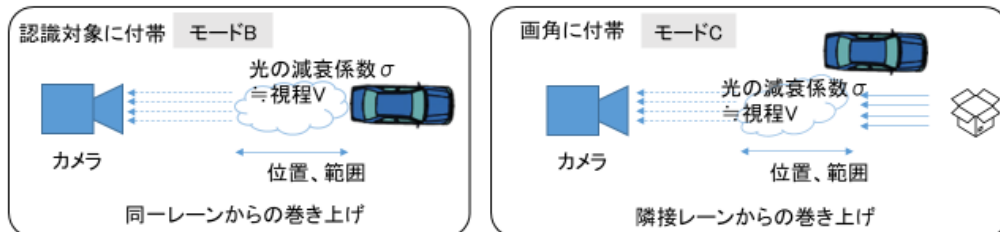


空間障害物と空間周波数の関係については、各文献に定性的な記載はあるが、原理式等は見当たらなかったため、コントラストと同じ原理パラメータとおくことにする

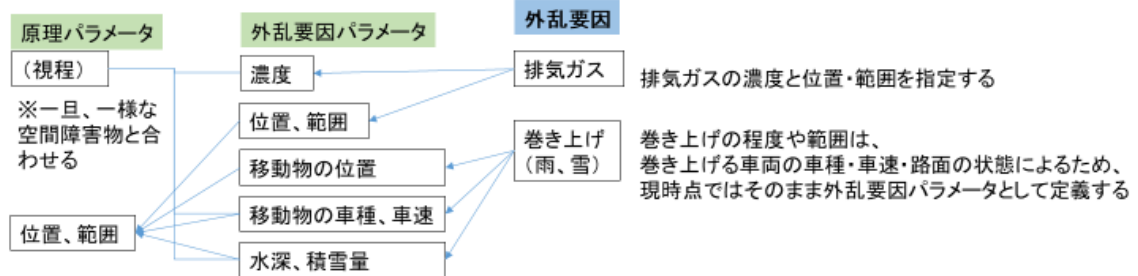
外乱要因パラメータ(下線部)

①霧	霧の濃度(減衰係数)を一般的に視程で示すため、外乱要因パラメータも同様に視程とする。
②雨	いくつかの文献があるが、 <u>降雨強度</u> に伴って、視程が変化する。 例) $V = 8807.1e^{-0.1R}$ R:降雨強度[mm/10min] 出典:西村, 避難行動に係わる濁水と見通し距離との関係, 2015, 砂防学会研究発表会, 筑波大学
③雪	いくつかの文献があるが、 <u>降雪強度</u> や <u>風速</u> に伴って、視程が変化する。 例) $V = 1150 \cdot \left(\frac{5}{3}R\right)^{-0.76}$ R:降雪強度[mm/h] M_f : 飛雪流量 (降雪強度と風速による) $V = 10^{-0.77\log(M_f)+2.85}$ 出典:斎藤,1971, 降雪の強さと視程, 国立防災科学技術センター研究報告 出典:松澤,2007, 吹雪時の視程推定手法の改良に関する研究, 日本氷雪学会誌

原理は「一様な空間障害物」と同じで、範囲が限定的であることのみ異なる

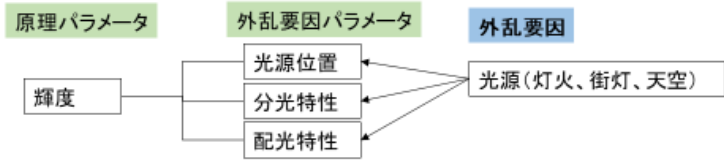
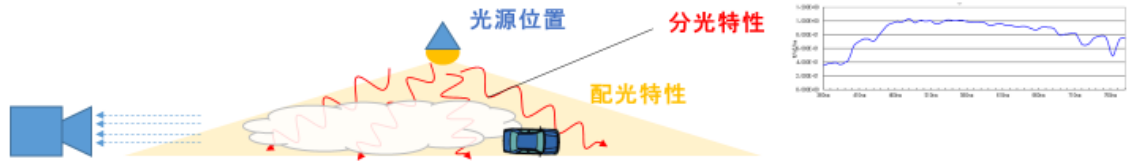


外乱要因として排気ガス、巻き上げ(雨、雪)を挙げているが、原理パラメータ、外乱要因パラメータを暫定的に下記とする。



空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

光源の明るさ(輝度)は光源の分光特性、光源位置、配光特性によって決まる



光源の視認性に対する影響

特に夜間において、物標の光源(テールランプ等)が物標検出の特徴量になりうるが、霧などの空間障害物下では光幕現象が生じ、光源自体の輝度分布に光幕の輝度分布が重畳される。(光源から外部に向かって輝度が次第に減少する)
光幕の輝度と光源との輝度比は、霧の濃度と一定の関係で変化する。
また、光源と背景との輝度比が大きいと、光幕は大きく顕著に見える。

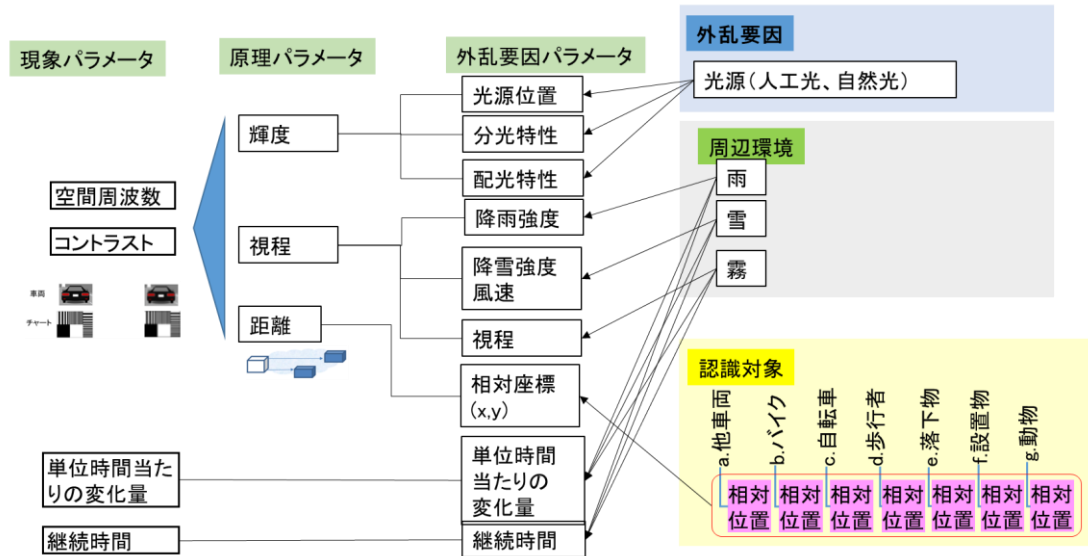
空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

E.4.2.2. 外乱要因の階層化
E.4.2.2.1 原理に基づく外乱要因

モードA 画角内全範囲

関係する外乱要因(空間障害物)と外乱要因パラメータを示す。

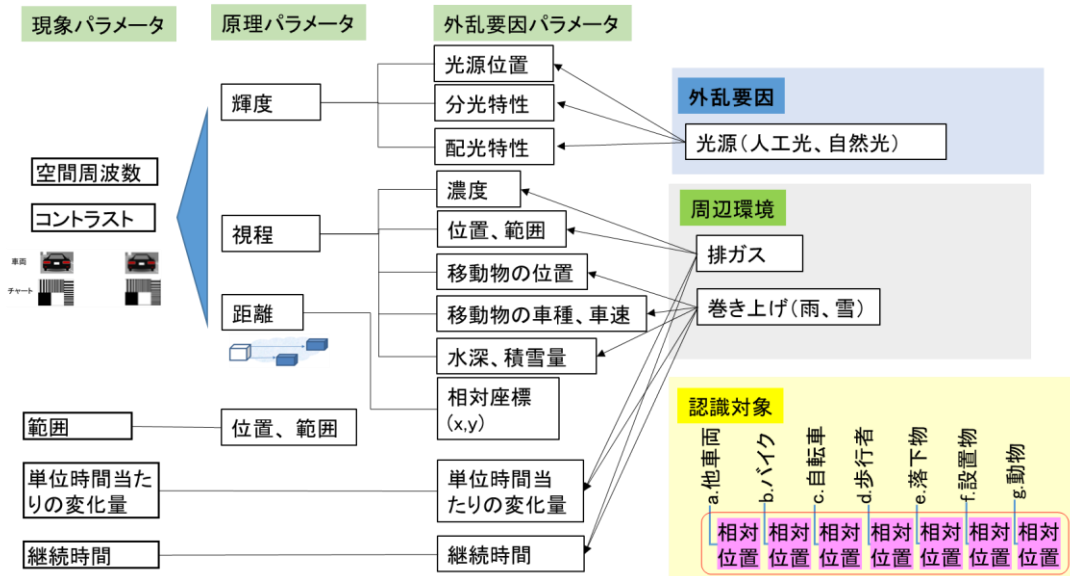
空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)



モードB モードC 局所的な空間障害物

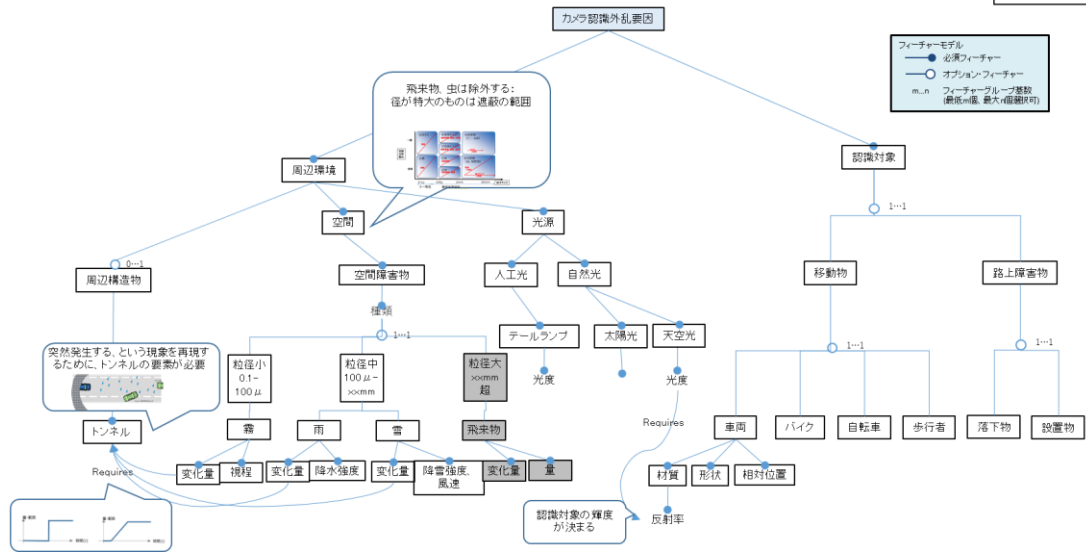
・霧自体のモデルのパラメータは視程。ただし、低コントラストや空間周波数は光源に依存

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)



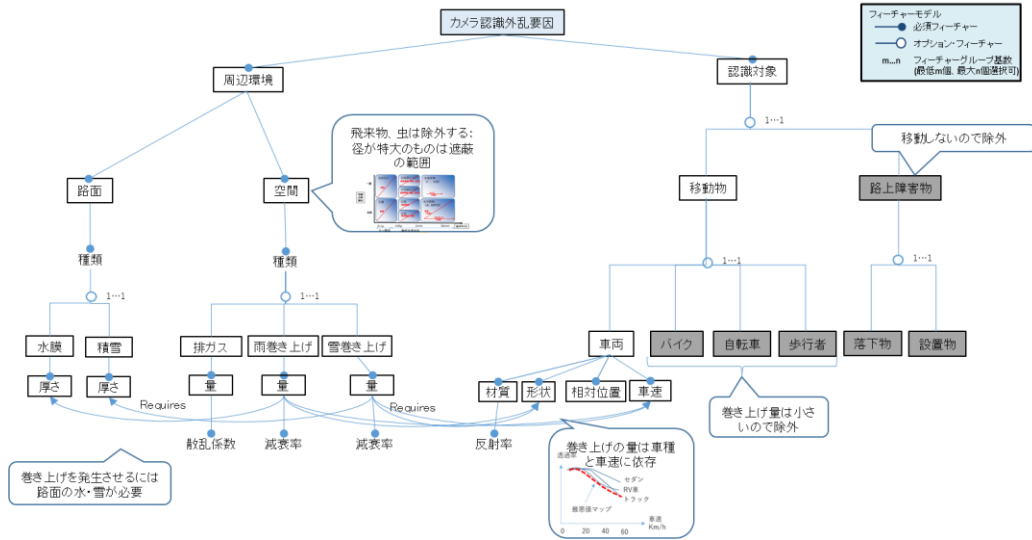
外乱要因の階層化 モードA 画角内全範囲

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)



外乱要因の階層化 モードB 局所的な空間障害物(認識対象に付帯)

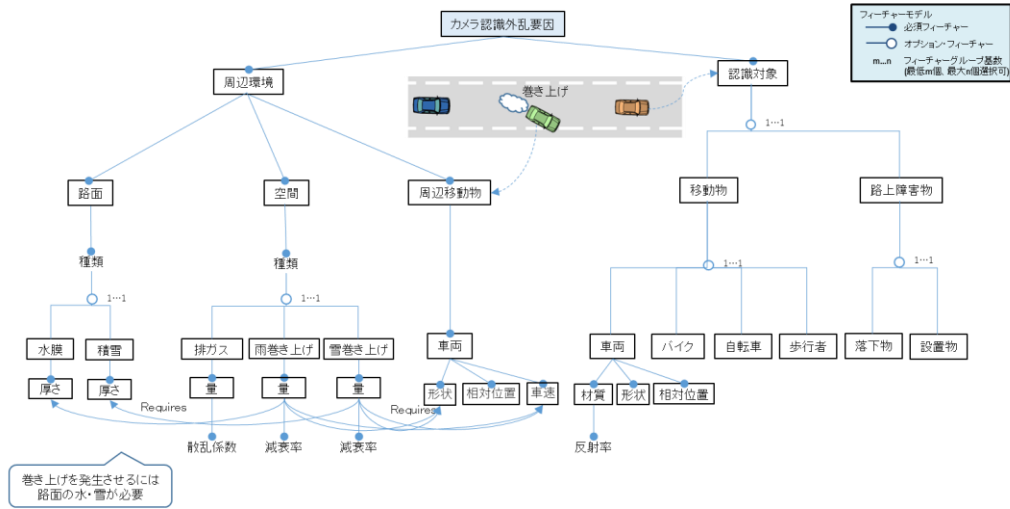
空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)



外乱要因の階層化

モードC 局所的な空間障害物(レーンに付帯)

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)



E.4.2.2.2. パラメータ範囲

空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

現象パラメータ	原理パラメータ	外乱要因パラメータ	外乱要因	パラメータ範囲 ODD境界まで	条件		根拠
					STEP1	STEP2	
空間周波数 コントラスト	視程	視程	霧	ODD境界[m]～無限[m]			
		降雨強度	雨	0～ODD境界 [mm/h] (50[mm/10min])	30, 50, 80mm/h		
		降雪強度 風速	雪	0～ODD境界 [mm/h] 0～ODD境界[m/s]			交通規制がかかる基準まで
	距離	相対座標	認識対象: 相対位置	交通流シナリオ参照			
単位時間当たりの変化量				∞ ※トンネル出口や急な天候変化を想定			現実的な最悪値(最大変化量)の定義が困難なため、まずは∞とする
継続時間				持続的			継続するほうが厳しい

<認識対象物の考え方>


背景と類似した色の物標が、低コントラストになるためより厳しい。
 アスファルト、コンクリート(黒、グレー)、雪(白)を背景とし、認識対象物の色も同色を設定する。

空間周波数低下
 コントラスト低下
 (空間障害物)

種類	パラメータ
車両	【色(ボデーカラー)】 黒、グレー、白
バイク	【色(ボデーカラー、ライダー服)】 黒、グレー、白
自転車	【色(ライダー服)】 黒、グレー、白
歩行者	【色(服)】 黒、グレー、白
設置物	一般的に目立つ色のため低コントラストにはなりにくい。 車線の区切りに現れる矢印板とセーフティーコーンを対象とする
落下物	【色】 高さ15cm超で、落下物件数で上位となる自動車部品のタイヤを対象 黒(タイヤ)
動物	ロードキルは落下物に包含

ALKSシナリオと外乱要因を紐づけて、Functional Scenarioを導出。

空間周波数低下
 コントラスト低下
 (空間障害物)

Functional Scenario	ALKSシナリオ	走路			交通情報			移動物			路上障害物			考え方
		区画線	構造物	ロードエッジ	信号	標識	路面標示	他車	バイク	自転車	歩行者	落下物	設置物	
F-1	Cut-in 								○	○				空間障害物により、カットインする移動物が見づらくなるケースを評価
F-2	Cut-out 								○	○	○	○	○	空間障害物により、急に現れる静止物もしくは移動速度の小さいものが見づらくなるケースを評価
F-3	Deceleration 								○	○				空間障害物により、急減速する先行車が見づらくなるケースを評価
F-B1-14	Lane Keep	○												空間障害物により、区画線が見づらくなるケースを評価

E.4.2.2.3. 評価シナリオ

実環境においては外乱要因の組み合わせが発生する。以下に、フィーチャーモデルから抜粋した組み合わせを示す。
 雨に伴うセンサ前雨滴付着は「屈折」の原理として扱われるべきであるが、共連れで発生するため記載する。
 ※空間障害物は同時発生もありうるが、一旦は排他としておく

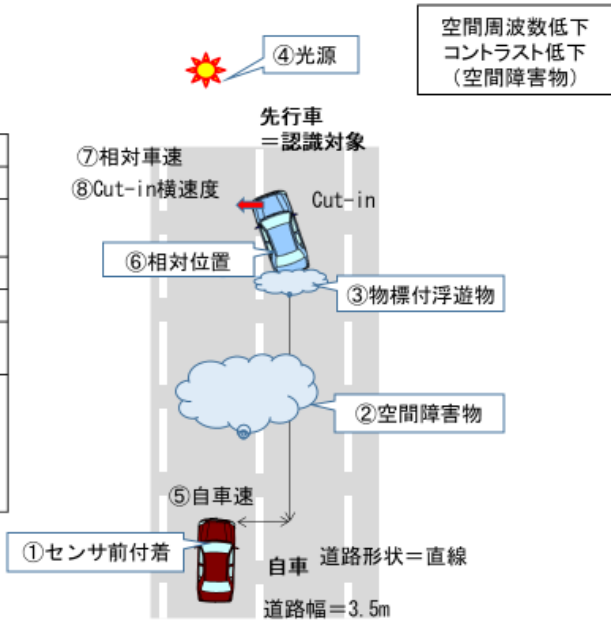
空間周波数低下
 コントラスト低下
 (空間障害物)

シナリオNo.	車両・センサ		周辺環境						補足	モード
	センサ前		空間障害物			物標に不随		光源		
	雨滴(屈折)	雪(遮蔽)	霧	雨	雪	巻き上げ	排ガス			
01	×	×	○	×	×	×	×	昼		A
02	×	×	○	×	×	×	×	夜		A
03	×	×	○	×	×	○	×	昼		A,B
04	×	×	○	×	×	○	×	夜		A,B
05	○	×	×	○	×	○	×	昼		A,B(C)
06	○	×	×	○	×	○	×	夜		A,B(C)
07	○	×	×	○	×	×	×	昼	05がより厳しい	A(C)
08	○	×	×	○	×	×	×	夜	06がより厳しい	A(C)
09	×	○	×	×	○	○	×	昼		A,B(C)
10	×	○	×	×	○	○	×	夜		A,B(C)
11	×	○	×	×	○	×	×	昼	09がより厳しい	A,B
12	×	○	×	×	○	×	×	夜	10がより厳しい	A,B
13	×	×	×	×	×	○雨	×	昼		B
14	×	×	×	×	×	○雨	×	夜		B
15	×	×	×	×	×	○雪	×	昼		B
16	×	×	×	×	×	○雪	×	夜		B
17	×	×	×	×	×	×	○	昼		B
18	×	×	×	×	×	×	○	夜		B

シナリオ F-1

直線路でのCut-inシナリオにて評価。

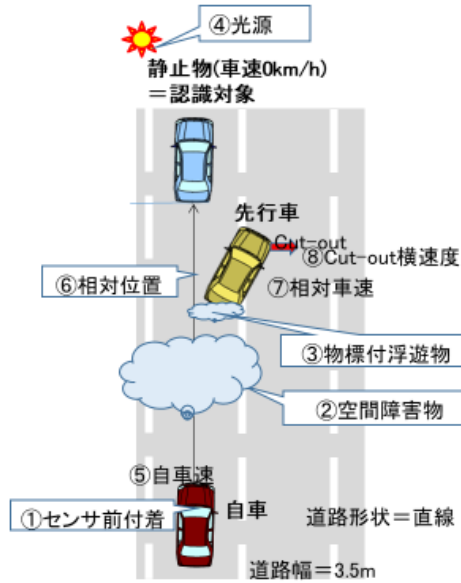
外乱要因パラメータ	①空間障害物	霧	視程 10m~1km
		雨	降雨強度 0~ODD境界
		雪	降雪強度 0~ODD境界 風速 0~ODD境界
	③物標付随浮遊物	巻き上げ 排ガス	
④光源	昼/夜		
評価に必要なパラメータ	⑤自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。	
	⑥相対位置		
	⑦相対速度		
	⑧Cut-in横速度		



シナリオ F-2

直線路でのCut-outシナリオにて評価

外乱要因パラメータ	①センサ前付着	雨滴 雪
	②空間障害物	霧 雨 雪
	③物標付随浮遊物	卷上げ 排ガス
	④光源	昼/夜
評価に必要なパラメータ	⑤自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
	⑥相対位置	
	⑦相対速度	
	⑧Cut-in横速度	

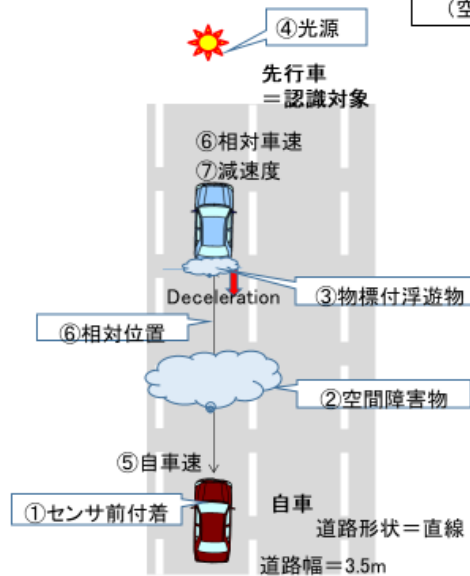


空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

シナリオ F-3

直線路でのDecelerationシナリオにて評価。

外乱要因パラメータ	①センサ前付着	雨滴 雪
	②空間障害物	霧 雨 雪
	③物標付随浮遊物	卷上げ 排ガス
	④光源	昼/夜
評価に必要なパラメータ	⑤自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
	⑥相対車速	
	⑦減速度	

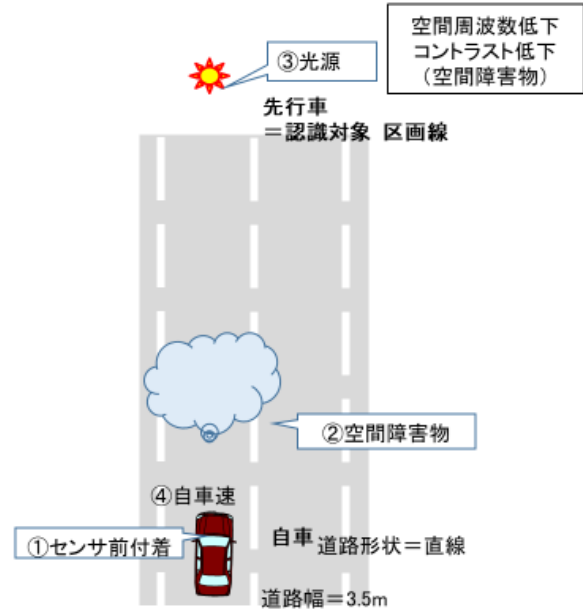


空間周波数低下
コントラスト低下
(空間障害物)

シナリオ F-4

直線路でのLaneKeepシナリオにて評価。

外乱要因/パラメータ	①センサ前付着	雨滴 雪
	②空間障害物	霧 雨 雪
	③光源	昼/夜
評価に必要なパラメータ	④自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。



E.4.3 【カメラ】飽和(過多)、白飛び

E.4.3.1 現象と原理

過多(飽和)

E.4.3.1.1 現象

画角の中の明るい部分がカメラの表現できる輝度の上限(ダイナミックレンジの上限)を越えることで輝度の差(階調)を表現出来なくなり情報が欠落し未検知になること。

事例

実車ヘッドライトの反射光による
前方車両の白とび

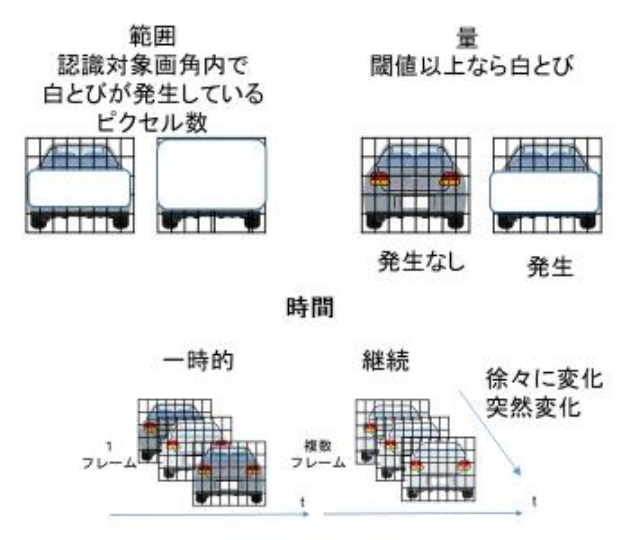
背面が白く光り
ナンバープレートなどの
輪郭がわかりずらくなる



トンネル出口での太陽光による白とび

先行車両の全体が
白くなることで輪郭が
なくなり見えなくなる





E.4.3.1.2 原理概要

原理に基づく外乱要因

現象モード	A		B		C		
	1	2	1	2	1	2	
程度	量	各センサー 不調原理毎に定義					
	範囲	画角内の全範囲 	認識対象に付帯 認識対象画角の 一部が白とび 	画角に付帯 白とびしている画 角に認識対象 が入る 			
時間	単位時間当たりの 変化量	不調原理・外乱要因により変化量の範囲を定義					
	継続時間	持続的 	一次的 	持続的 	一次的 	持続的 	一次的



E.4.3.1.3 原理モデル

過多(飽和)

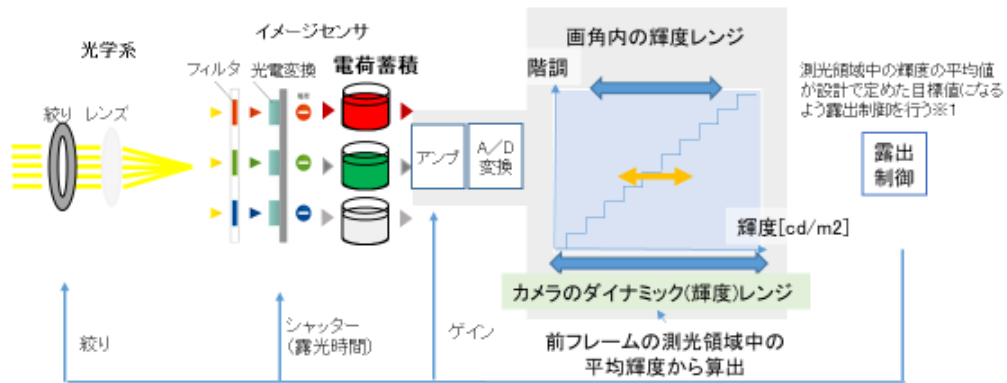
原理概要

白とびは、「風景の輝度のレンジ」が、露出制御によって調整された「カメラのダイナミック(輝度)レンジ」より大きくなることによって起きる現象

基本原理

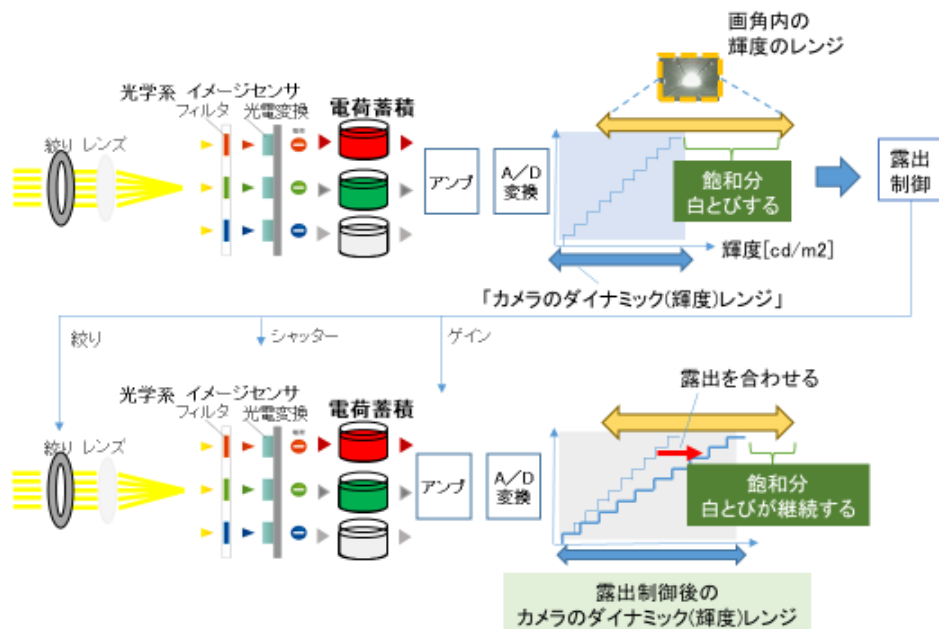
露出制御は前フレームの測光領域中の平均輝度から目標輝度との差を求め輝度のレンジを決める。

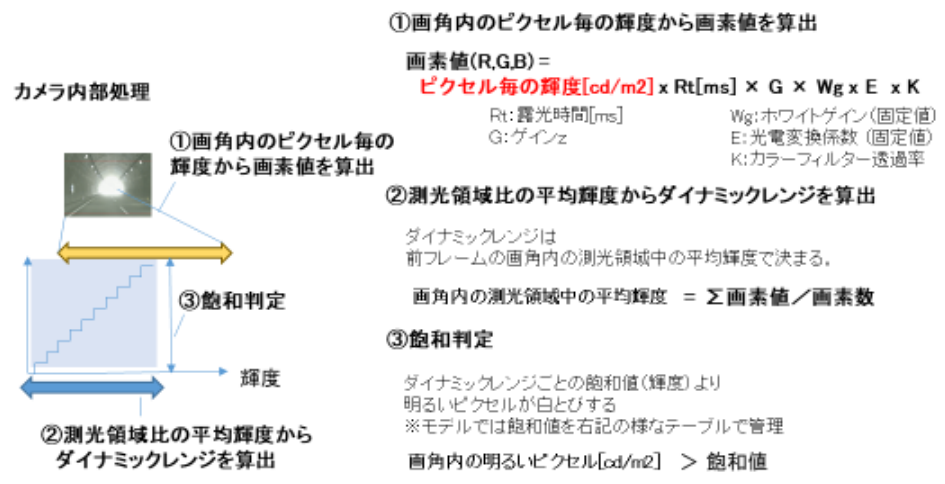
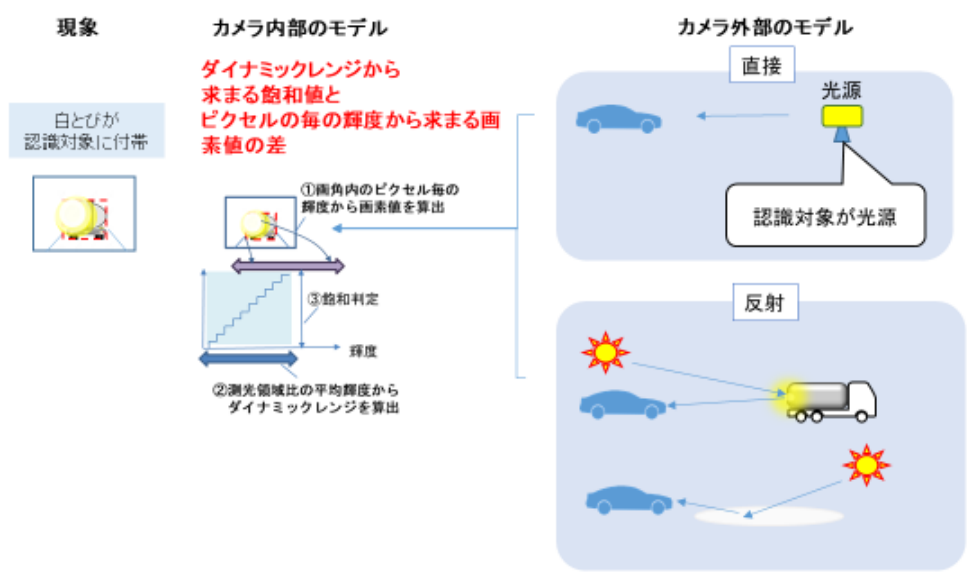
その輝度のレンジに対し、画角内の輝度のレンジを割り当て色を表現する。



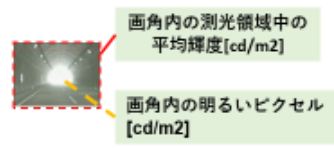
※1制御内容は各社異なる

過多(飽和)





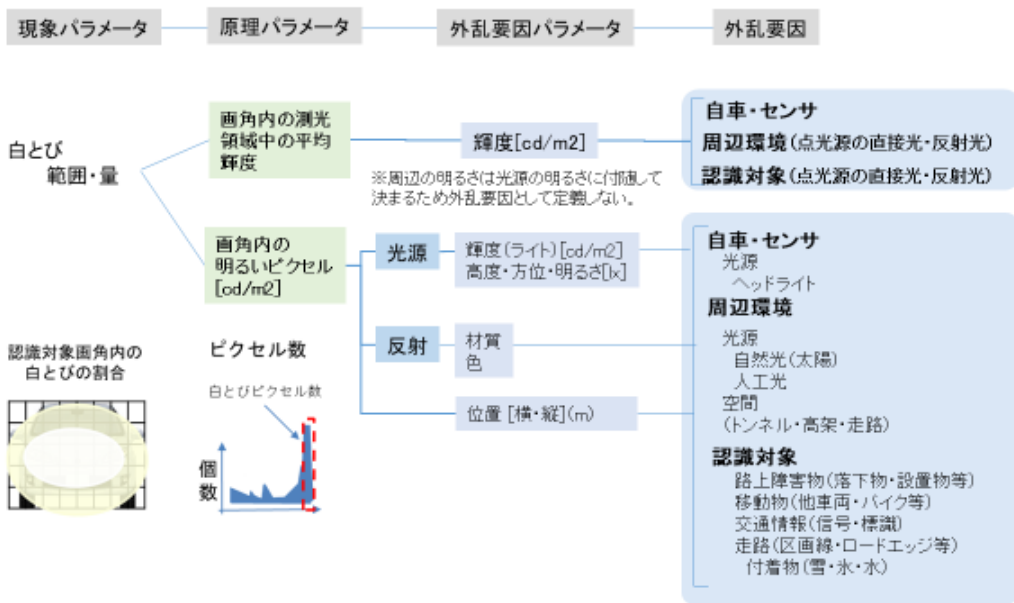
原理パラメータ



E.4.3.2. 原理に基づく外乱要因

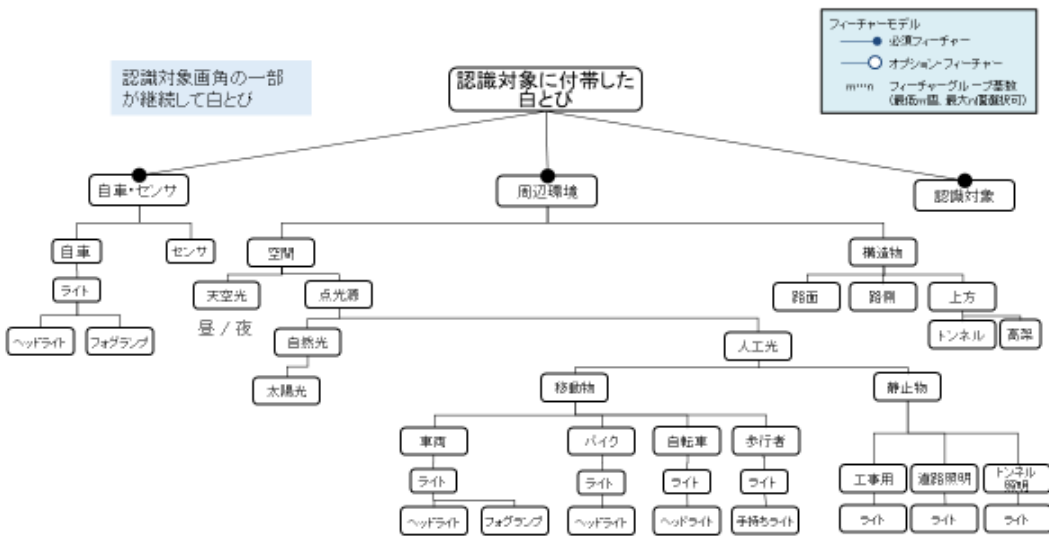
過多(飽和)

E.4.3.2.1 原理と外乱要因の関係

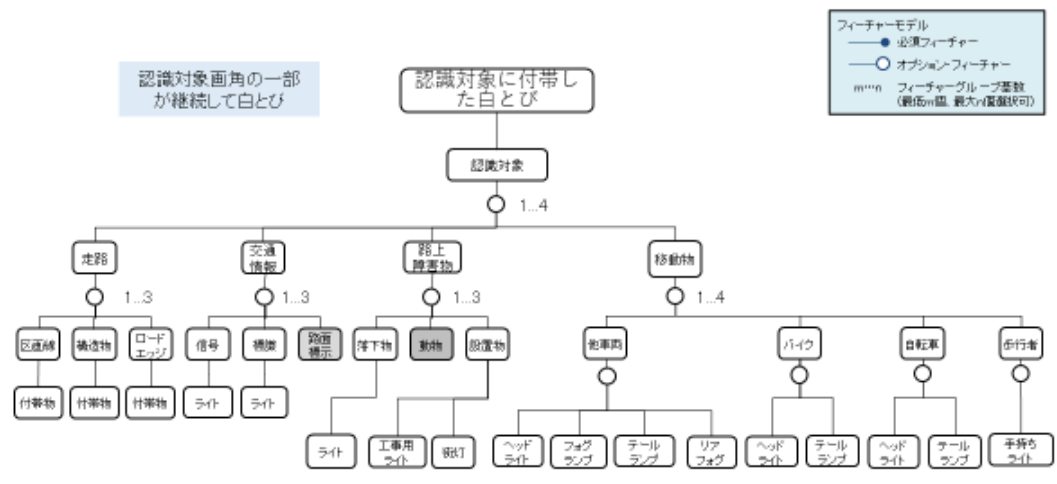


E.4.3.2.2 外乱要因

過多(飽和)



過多(飽和)



過多(飽和)

ALKSシナリオと外乱要因を紐づけて、Functional Scenarioを導出。

Functional Scenario	ALKSシナリオ	外乱要因											考え方		
		走路			交通情報			移動物			路上障害物			空間	
		区画線	横道物	ロードエッジ	信号	標識	路面標示	他車	バイク	自転車	歩行者	落下物	設置物	動物	上方・トンネル
F-1	Cut-in	-	-	-					○	○	-	-	-	-	○
F-2	Cut-out	-	-	-					○	○	○	○	○	-	○
F-3	Deceleration	-	-	-					○	○	-	-	-	-	○
F-B1-14	Lane Keep	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	○

E.4.3.2.3 パラメータ範囲

過多(飽和)

自転車・センサ

外乱要因				外乱要因パラメータ	範囲	根拠(又は理由)
自転車	部品	光源	ヘッドライト	明るさ	2灯式 最小 Low 6400cd ~ High 15000cd ~ 最大 合計 ~43万cd 4灯式 最小 Low 6400cd ~ High 12000cd ~ 最大 合計 ~43万cd	車検定められる上下限 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示(第三節)第198条(前照灯等) https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr7_000007.html https://www.wtb.mlit.go.jp/kinki/shaken/seibika/seishunin03-2.pdf
			フォグランプ	明るさ	10000cd~	道路運送車両の保安基準第2章及び第3章の規定 2005年12月31日までは1万cdまで 上記以降は規定なし

過多(飽和)

周辺環境

外乱要因				外乱要因パラメータ	範囲	根拠(又は理由)	
空間	光源	天空光			明るさ	太陽光の明るさ・ライトの明るさに共連れて決まる	
		点光源	自然光	太陽光	高度	0~90度	赤道直下最大高度まで ※シンガポールで89.9度
					方位	0~359度 ※北0度, 東:90度	方位角の最大まで
					明るさ	0lx~100000lx	層ハンドブック 真夏の太陽の明るさ
		人工光	移動物	明るさ	自転車ヘッドライトと同じ		
			静止物	明るさ	~110k[lm]	工事用ライト 1000W(販売されている最大)	
構造物	上方	トンネル・高架			-	MAPで選択	

過多(飽和)

周辺環境

外乱要因	外乱要因 パラメータ	範囲	範囲の根拠
車両	色・材質	Camera 可視光(白)	白とび・フレアが発生しやすい色の端点(白)
	光源	テールランプ(300cd)、ブレーキランプ(600cd)、ハザードランプ(600cd)、リアフォグ(345cd)	車検保安基準 128条 テールランプH18年1月1日以前300cd以下、以降5W~30W 134条 ブレーキランプH18年1月1日以降、15W~60W 41条の3 ハザードランプ H18年1月1日以降、15W~60W 37条の2 リアフォグ H18年1月1日以降、~35W ※cd値はテールランプH18以前とH18以降の30W=300cdと仮定し換算
鏡面反射する車両 (例:タンクローリー)	色・材質	Camera 可視光 (材質:アルミ)	正反射による白とび・フレアが発生しやすい材質の端点(アルミ)
後端の車幅が狭い車両 (例:バイク、自転車)	色・材質	Camera 可視光 (白)	白とび・フレアが発生しやすい色の端点(白)
	光源	テールランプ(300cd)、ブレーキランプ(600cd)、ハザードランプ(600cd)	同車両光源
歩行者	色・材質	Camera 可視光 (白、黒、グレー)	白とび・フレアが発生しやすい端点又は背景の雪に溶け込む色:白
	光源	手持ちライト(20~600lm)	販売されている手持ちライト
動物	色・材質		

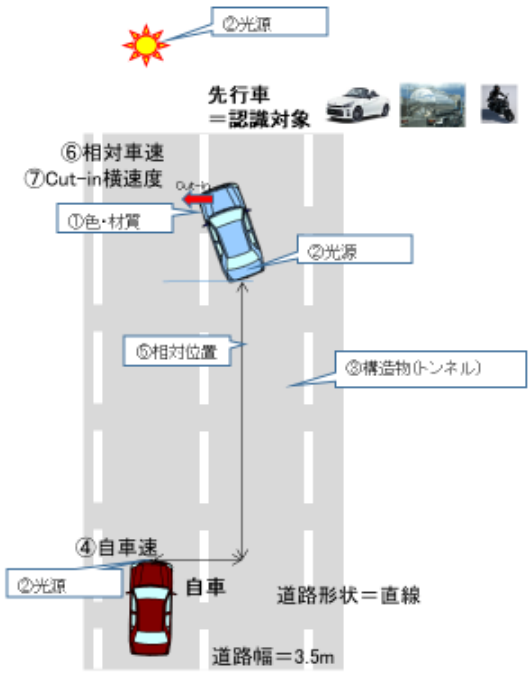
E.4.3.2.4 評価シナリオ

過多(飽和)

E.4.3.2.4.1 Cut-in

直線路でのCut-inシナリオにて評価。

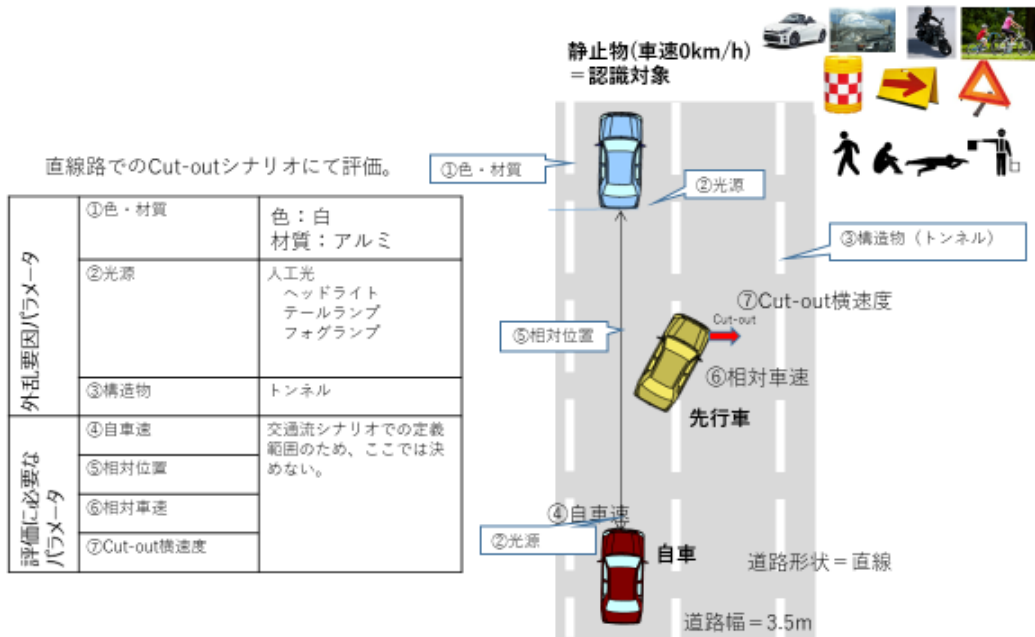
外乱要因パラメータ	①色・材質	色:白 材質:アルミ
	②光源	自然光 太陽光 人工光 ヘッドライト テールランプ フォグランプ
	③構造物	トンネル
評価に必要なパラメータ	④自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。
	⑤相対位置	
	⑥相対車速	
	⑦Cut-in横速度	



E.4.3.2.4 評価シナリオ

過多(飽和)

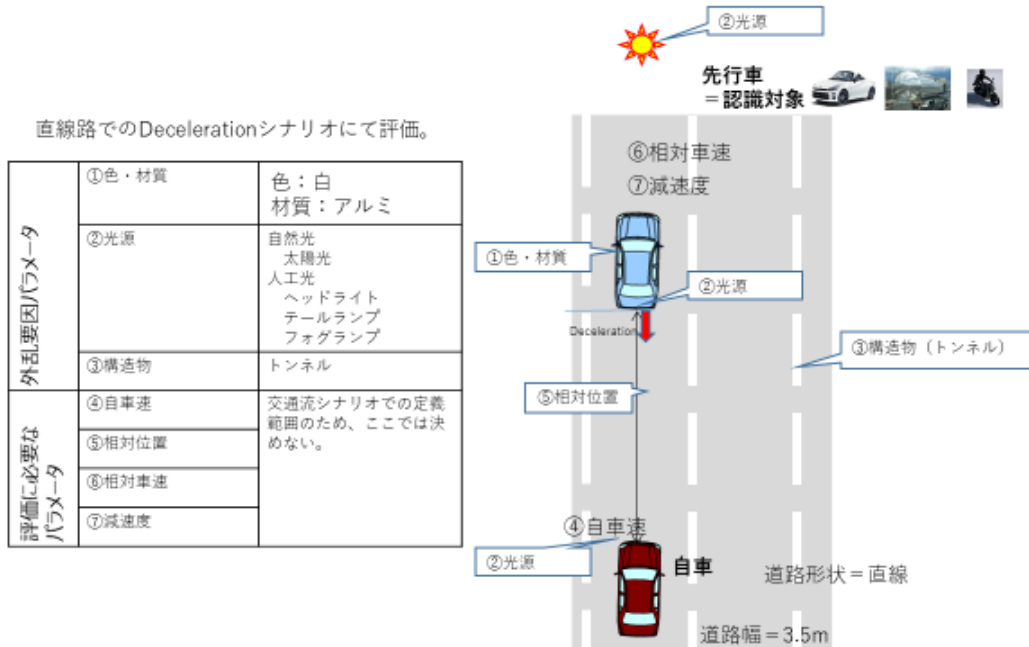
E.4.3.2.4.2 Cut-out



E.4.3.2.4 評価シナリオ

過多(飽和)

E.4.3.2.4.3 Deceleration



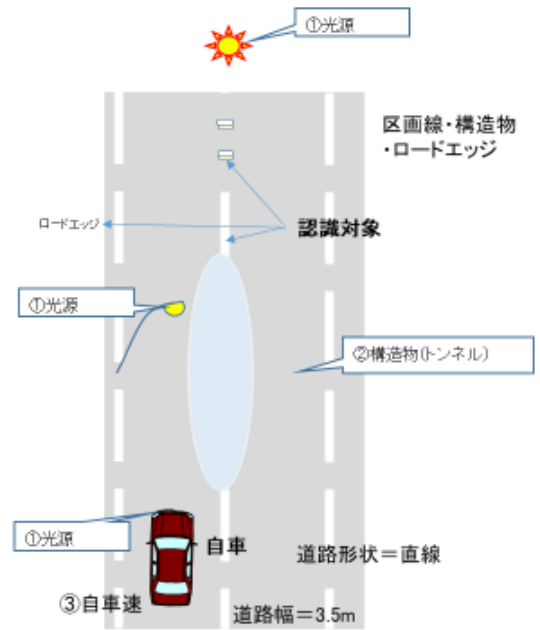
E.4.3.2.4 評価シナリオ

過多(飽和)

E.4.3.2.4.4 Lane Keep

直線路でのLaneKeepシナリオにて評価。

外乱要因パラメータ	①光源	自然光 太陽光 人工光 ヘッドライト
	②構造物	トンネル
評価に必要なパラメータ	③自車速	交通流シナリオでの定義範囲のため、ここでは決めない。



Annex F (参考)

認識外乱評価用仮想環境の妥当性検証ガイドライン

自動運転車両のみならず、一般に、自動車が走行する環境は良く晴れた視界の良い日に限定されず、例えば、雨や霧などの環境も考えられる。このような環境下ではセンサによる認識は外乱を受け、不調を引き起こすことがある。自動運転の安全性評価においてはこのような外乱要因を考慮した評価が必要である。

外乱要因を考慮した認識性能評価を行う手段の一つとして、近年発達著しい物理モデリングによるシミュレーション技術の活用が挙げられる。シミュレーション技術(=仮想環境)を用いた評価は利便性が高い一方、仮想環境そのものの妥当性が課題となる。

本 Annex では、Annex.E で整理した、各センサ(カメラ、ミリ波レーダー、LiDAR)について認識外乱の原理モデルを仮想環境で再現した際に確認すべき要件を整理する。併せて、構築された仮想環境が各要件に対して妥当であるかを検証する方法を提案する。本 Annex で評価の対象とする部位を図 F-1 に示す。

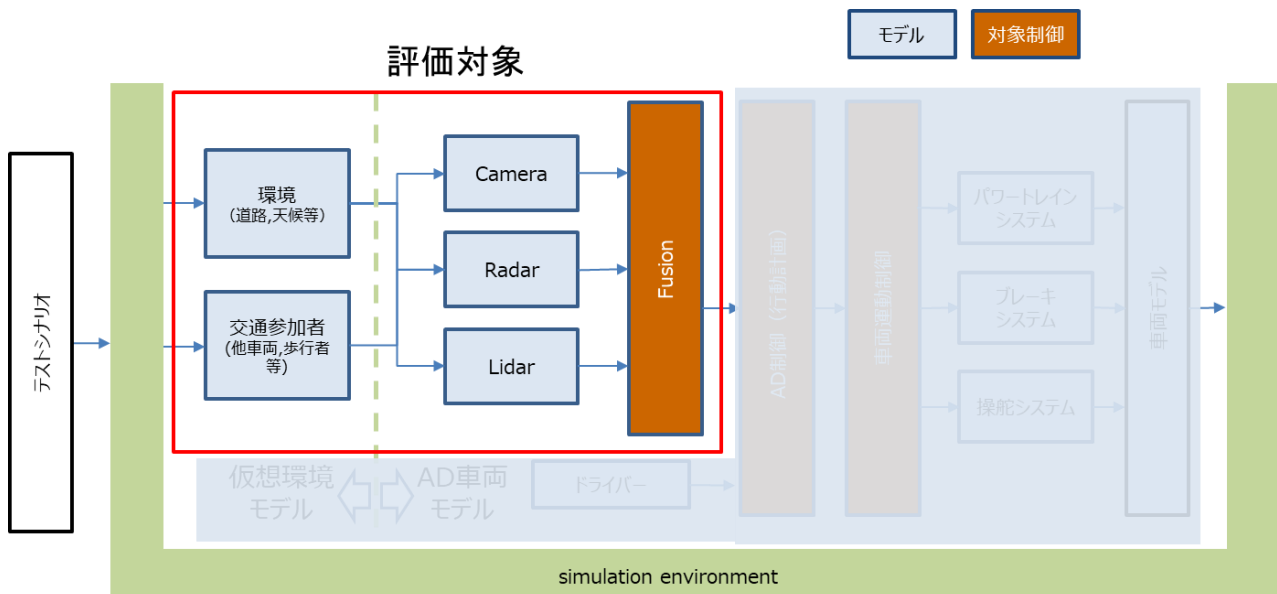


図 F-1) 本 Annex の評価対象

F.1 本 Annex で定義する要件の全体像

仮想環境による認識性能評価が実用に耐えるかどうかを評価するためには、その仮想環境に具備されたモデルや環境の妥当性をどう検証するのかについて関係各所が共通の認識を持つことが必要である。最終的な目的としては認識性能に影響を与える外乱を付加した際に仮想環境における結果が実機におけるそれと一致している事であるが、これを定義する前の前提条件として、外乱の無い理想的な環境における一致性の検証手法の定義を提案する。理想的な環境における検証手法があることにより、最終目的である外乱のある条件下において不一致が発生した際の要因分析を容易にすることが出来る。

ここでは理想的な環境における一致性検証についての要件を「A.共通要件」、最終目的である外乱のある環境における一致性検証についての要件を「B.認識外乱再現要件」とそれぞれ定義する。(図 F-2)

また、「A.共通要件」と「B.認識外乱再現要件」とに定義された各項目について、それぞれの妥当性検証方法を提案する。

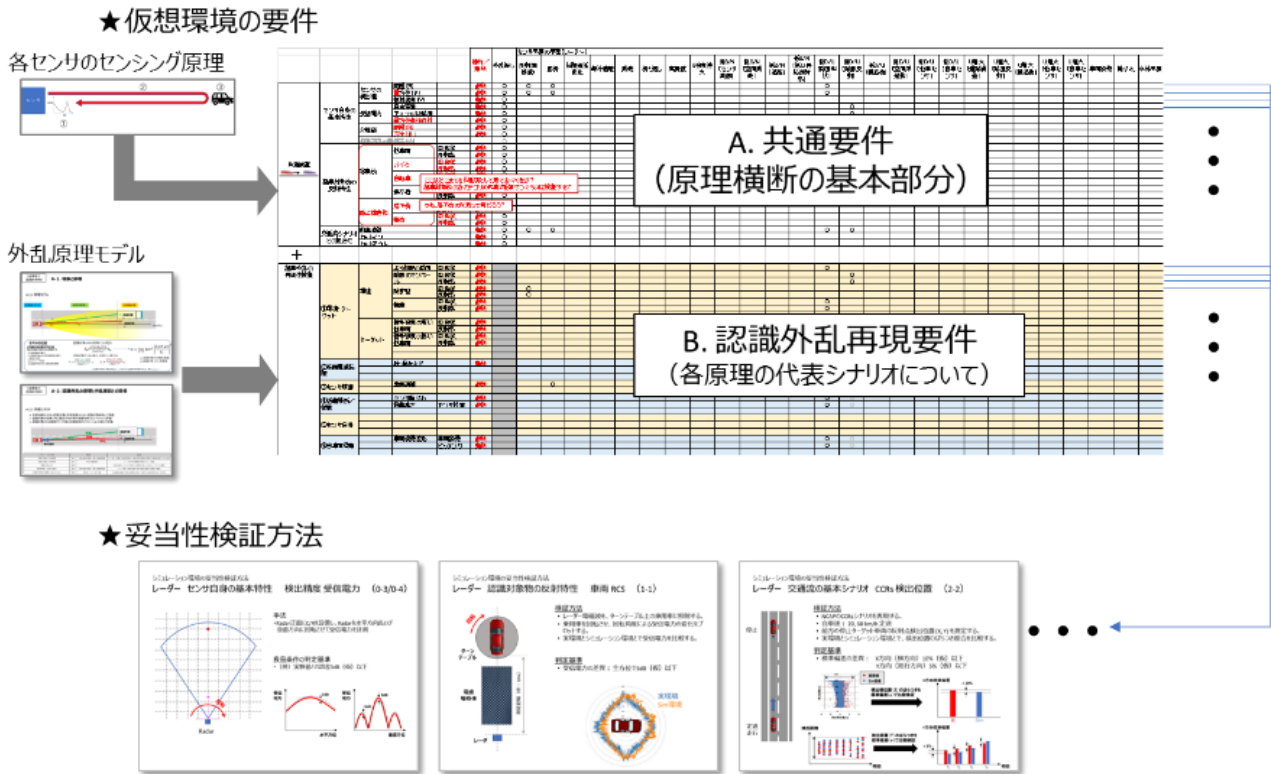


図 F-2)本 Annex の全体像

A.共通要件

- 各センサのセンシング原理から、認識外乱の無い状態にて確認すべき要件を定義する。

B.認識外乱再現要件

- 認識外乱を再現した仮想環境で確認すべき要件を定義する。
- 多岐にわたる認識外乱をその原理に基づいて分類し、各外乱原理についてモデルとして記述することで、認識外乱を再現する際に必要な原理パラメータと外乱要因パラメータを整理する。

F.2 共通要件と妥当性検証方法

この章では、共通要件として確認が必要な項目およびそれらの検証方法について解説する。まず共通要件として設定する項目について、どのような項目を設定するかについての考え方を整理する。その後この考え方によって各センサごとの検証方法について整理する。この検証方法はセンサ原理に基づいて設定さ

れるため、センサ原理の違う物を取り扱う場合は同様の考え方で確認項目を整理し、確認することが必要となる。また、ここで整理した以下検証方法は、同等の内容が検証できる他の方法で代替することも可能である。

F.2.1 共通要件の考え方

ここでは共通要件として設定する項目について考え方を整理する。認識外乱の要因分類と同様に、①センサ・車両自身、②信号の伝播する空間、③認識対象物 とに分け(図 F-3)、各々について外乱の無い理想的な環境において検証すべき項目とその基準値について整理する。また、これらを総合して確認するため、基本的な交通流シナリオにおいて認識対象物が認識できるかを確認する方法を定義する。

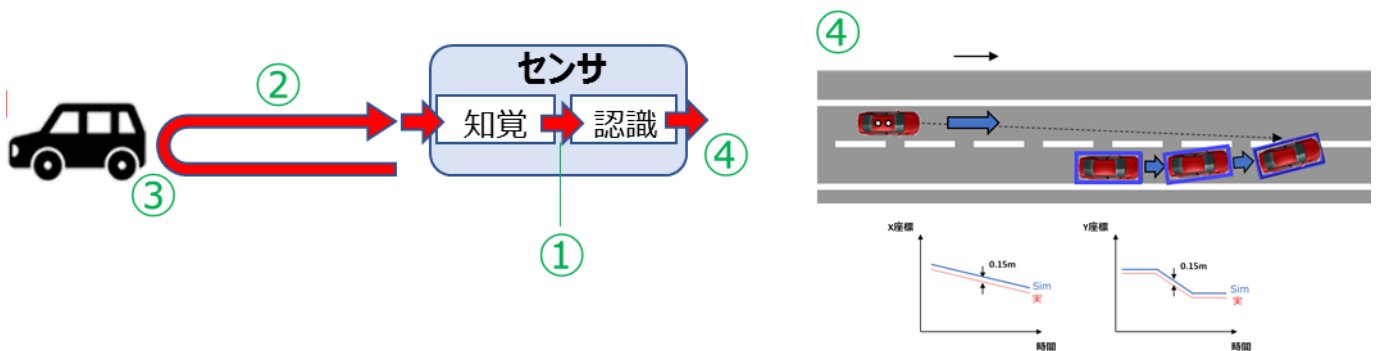


図 F-3)共通要件の設定部分

① センサ自身の基本特性:

センサ自身の基本特性として、外乱の無い理想的な環境において、距離、方位、相対速度、受信強度などの基本的な知覚結果(項目及び条件はセンサ原理によって異なる)が再現されているかどうかを確認する。

② 伝搬特性・光学特性など:

空間の持つ特性として、外乱の無い理想的な環境において、認識対象物からセンサまでの信号伝搬が再現されているかどうかを確認する。

③ 認識対象物の反射特性など:

認識対象物の見え方(=知覚のされ方)が再現されているかどうかを確認する。ここでは知覚結果だけでなく、物体認識の結果についても検証する。

④ 交通流シナリオ下でのターゲット認識:

基本となる交通流(ここでは本文に述べられている交通流シナリオの中にある following、Cut-in、Cut-out を指す)の下で、ターゲットの認識結果が再現されているかどうかを確認する。

F.2.2 各センサにおける共通要件の考え方

F.2.2.1 ミリ波レーダーについての共通要件の考え方

ミリ波レーダーでは、その知覚の原理から、距離・方位・相対速度と、受信電波強度などの物理量が再現されているかどうかを検証する(図 F-4)。

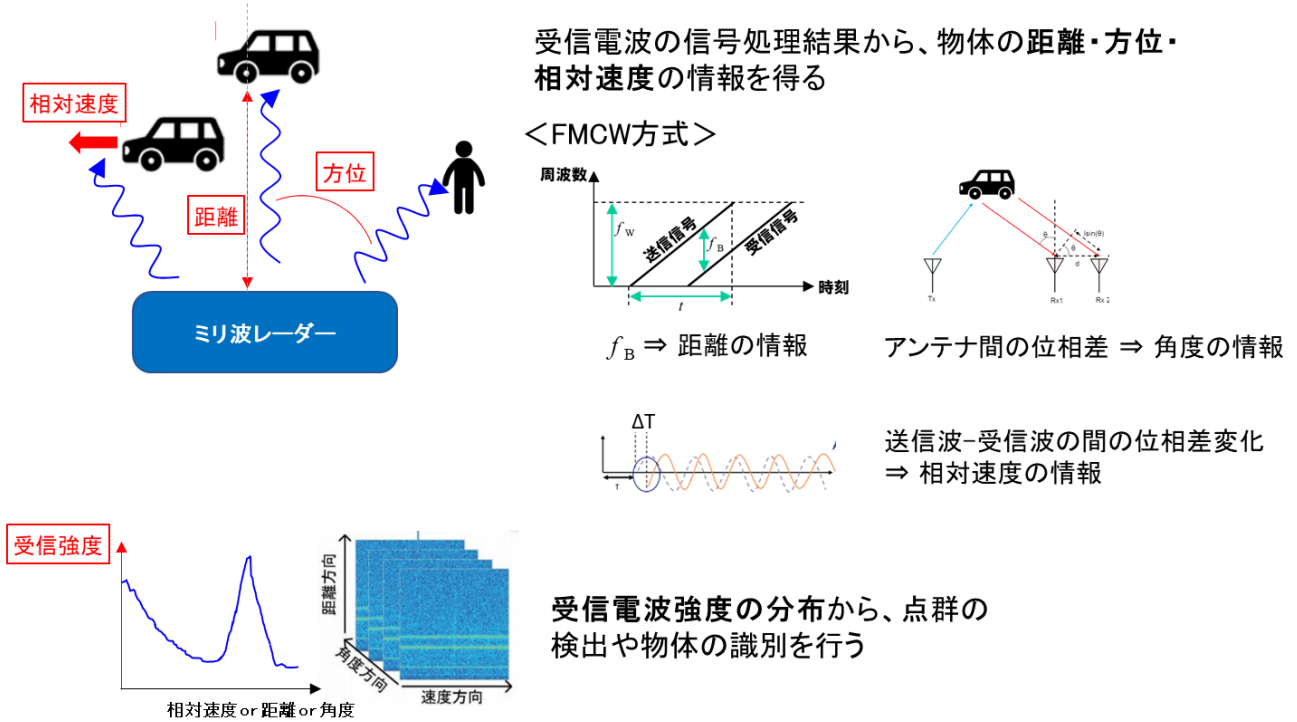


図 F-4. ミリ波レーダーにおける共通要件の考え方

この考え方から具体的な要件を整理したものを表 F-1 に示す。

										知覚起因																	
										認識対象からの信号S							認識対象を阻害する信号										
										位相			強度				ノイズ(N)				不要信号(U)						
										到来方向変化		伝搬遅延変化	Sなし(部分的)	S強すぎ		S強度差大	低S/N				低D/U			U増大			
										反射(間接波)	屈折			部分遮蔽	折返し		高調波	方位角変化による低S/N(縦/横方位角変化)	センサ表面での減衰による低S/N	空間減衰による低S/N	低い再帰反射率による低S/N	方位角変化による低D/U(垂直/水平方位角変化)	路面反射による低D/U		構造物による低D/U	空間浮遊物による低D/U	他車センサによる低D/U
項目	パラメータ	要求内容	妥当性検証方法No.	外乱無し	周波数																						
共通の基本検証	センサ自身の基本特性	検出精度	距離(R)	距離	C/Rの設置位置を、実環境と同等に検出できること	0-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			水平方位(θ)	水平方位			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
			垂直方位(φ)	垂直方位			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			相対速度(V)	距離	C/Rの相対速度を、実環境と同等に検出できること	0-2	○	○																			
		受信電力(P)	垂直方位	C/R反射波の電力を、実環境と同等に受信できること、またサイドロブが実環境と同等に再現できること	0-3	○	○																				
			水平方位			○	○																				
		分解能	距離(R)	距離	2つのC/Rを近接設置した際の最小分解能が、実環境と同等であること	0-4	○	○																			
			水平方位(θ)	水平方位			○	○																			
			垂直方位(φ)	垂直方位			○	○																			
			相対速度(V)	相対速度	2つのC/Rを異なる速度で移動させた際の最小		0-5	○	○																		
	分離能	距離(R)	距離	2つのC/Rを近接設置した際の最小分離能が、実環境と同等であること	0-6	○	○																				
		方位(θ)	水平方位			○	○																				
		縦方位(φ)	垂直方位			○	○																				
	電波伝搬特性	自由空間	受信電力(P)	距離	C/Rの設置距離を変化させた際の受信電力の距離変化が、実環境と同等であること、またノイズフロアが実環境と同等に再現できること	0-7	○																				
		路面上	受信電力(P)	距離		0-8	○																		○		
認識対象物の反射特性	車両(乗用車)	RCS	角度	乗用車のRCSが、全周周において実環境と同等であること	1-1	○																					
		反射点	角度	乗用車からの反射強度ピーク値が、実環境と同等であること	1-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	距離		乗用車からの反射強度ピーク値が、実環境と同等であること	1-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	車両(大型車)	RCS	角度	大型車のRCSが、全周周において実環境と同等であること	1-1	○																					
		反射点	角度	大型車からの反射強度ピーク値が、実環境と同等であること	1-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	距離		大型車からの反射強度ピーク値が、実環境と同等であること	1-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
歩行者	RCS	角度	歩行者のRCSが、全周周において実環境と同等であること	1-3	○																						
交通流の基本シナリオ	CCRs	受信電力	距離	乗用車からの受信電力が、実環境と同等であること	2-1	○																					
		受信信号の検出位置(距離/方位)	時間	乗用車からの受信信号の検出位置が、実環境と同等であること	2-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		受信信号の検出速度	時間	乗用車からの受信信号の検出速度が、実環境と同等であること	2-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		オブジェクト検出位置(距離/方位)	時間	乗用車のオブジェクトとしての検出位置が、実環境と同等であること	2-4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		オブジェクト検出速度	時間	乗用車のオブジェクトとしての検出速度が、実環境と同等であること	2-5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	カットイン(乗用車)	オブジェクト検出位置(距離/方位)	時間	乗用車のオブジェクトとしての検出位置が、実環境と同等であること	2-6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		オブジェクト検出速度	時間	乗用車のオブジェクトとしての検出速度が、実環境と同等であること	2-7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	カットイン(大型車)	オブジェクト検出位置(距離/方位)	時間	大型車のオブジェクトとしての検出位置が、実環境と同等であること	2-6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		オブジェクト検出速度	時間	大型車のオブジェクトとしての検出速度が、実環境と同等であること	2-7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	カットアウト	オブジェクト検出位置(距離/方位)	時間	乗用車のオブジェクトとしての検出位置が、実環境と同等であること	2-8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
オブジェクト検出速度		時間	乗用車のオブジェクトとしての検出速度が、実環境と同等であること	2-9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			

全て対象

表 F-1. ミリ波レーダーにおける共通要件一覧

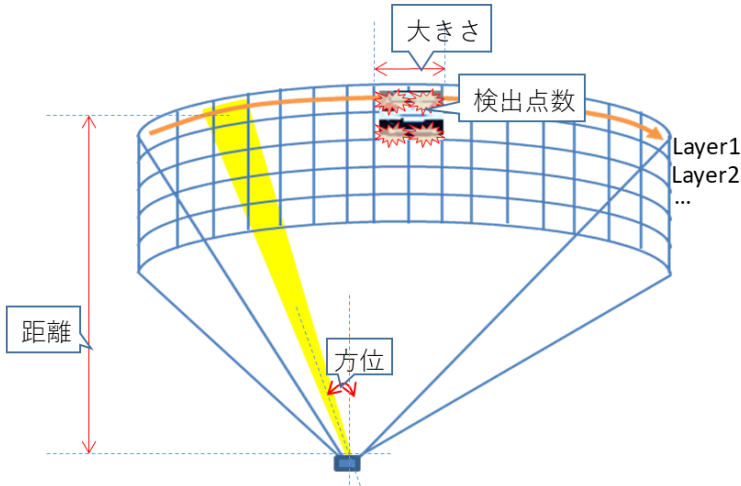
本図は縦軸に確認項目、横軸に関連する認識外乱要因を並べ、関連する項目に○を付けている。これにより外乱再現性検証において不一致が発生した際に、外乱再現の問題かセンサ共通要件の問題かを切り分けられると考える。

F.2.2.2 LiDAR についての共通要件の考え方

LiDAR では、その知覚の原理から、距離・方位・強度・検出点数・大きさなどの物理量が再現されているかどうかを検証する。(図 F-5)。

角度の検出(スキャン型)

各方位ごとに順番にスキャンしながら距離を計測。
スキャンする角度は決まっているため、方位が算出できる。
距離と点数がわかれば物標の大きさが分かる。



距離の検出

パルス状の赤外光を送信し、認識対象にあたって戻ってくる時間を計測することで距離を測定。
ピークは反射の強度が強いところに現れる。

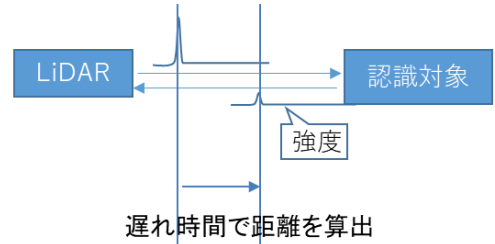


図 F-5. LiDAR の検出原理

この考え方から具体的な要件を整理したものを表 F-2 に示す。

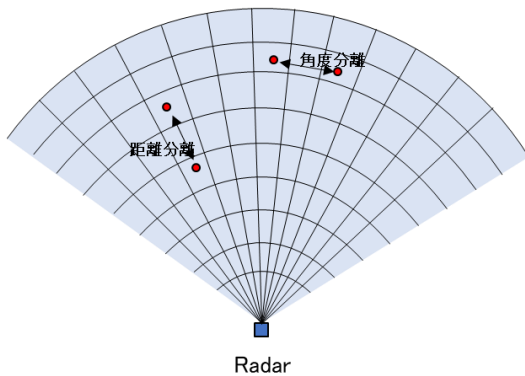
F.2.2.3 カメラセンサについての共通要件の考え方

カメラセンサはこれまで説明してきたミリ波レーダー、LiDAR などのようなアクティブ型センサと異なり、自分から信号を発信することなく周辺の光を使って外界を認識するパッシブ型のセンサであり、そのため取得できる情報に違いがある(図 F-6)。アクティブ型のセンサーは知覚部において距離情報が含まれているが、カメラセンサでは距離情報を知覚部で取得することは不可能である一方、レーダーや LiDAR にはない色情報をカメラセンサは取得することが出来る。これは知覚の原理上、カメラセンサが平面上に並べられた光学センサを使用することによるものであり、この特性がカメラにおける一貫性検証で重要である。

知覚部考え方の違い

センサユニットの一貫性検証で確認すべきパラメータ

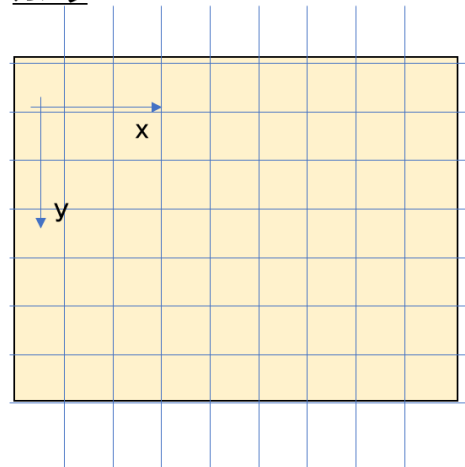
レーダー



レーダー、ライダーセンサは知覚データに深度(奥行き)情報が含まれる

	カメラ	ライダー	レーダー
r(距離)	-	v	v
theta(方位角)	v	v	v
phi(仰角)	v	-	-
v_r(放射方向速度)	-	-	v
信号強さ(輝度(明度))	v	v	v
色味(色相、彩度)	v	-	-

カメラ



カメラセンサの知覚データは画像データとなり、画像上での対象物の形状や距離によるサイズの違いで表される

× 範囲(FOV)
精度(配置)
解像度(ボケ)



カメラにおける奥行き距離、大きさ、速度などのパラメータは、認識段で検証される

カメラは信号に色情報が含まれている カメラは対象物の形状の再現性が重要

図 F-6 アクティブ型センサとパッシブ型であるカメラセンサの特徴比較

このような特性を考慮すると、カメラセンサの知覚部について共通要件を以下のように整理できる。

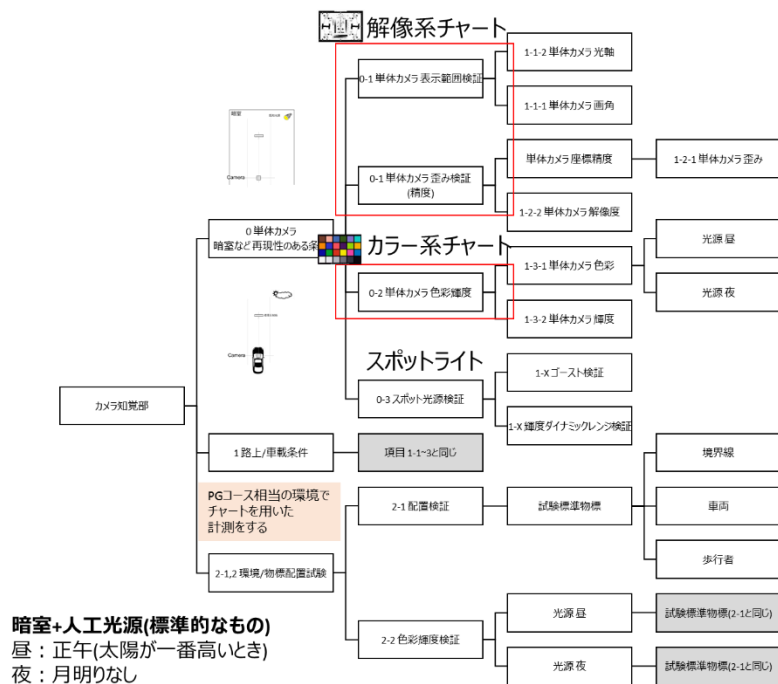


図 F-7 カメラセンサ(知覚部)の共通要件

カメラの知覚部については、センサ単体および路上／車載条件下での解像系チャート・カラー系チャート・スポットライトを用いた検証のほか、環境／ターゲット配置の再現性に関する検証を行う。

同様にカメラセンサの認識部については以下となる。

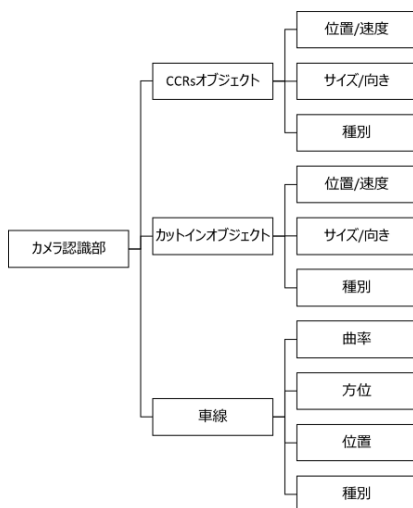


図 F-8. カメラセンサ(認識部)の基本要件

この考え方から具体的な要件を整理したものを表 F-3 に示す。

妥当性検証					知覚処理											認識処理						
					光学系				イメージセンサ				画像処理			特徴抽出		識別	位置推定	トラッキング		
項目/対象部位	計測項目	パラメータ	要求内容	妥当性検証方法No.	外部なし(専用)	外部なし(共用)	(ぼけ、位置ずれ、変形)	(ノイズ)	(ぼけ)	(ぼけ)	(ぼけ)	(ぼけ)	(ぼけ)	(ぼけ)	(ぼけ)	(ぼけ)	(ぼけ)	(ぼけ)	(ぼけ)	(ぼけ)		
単体カメラ	カメラモジュールの調整 (レンズ(CMOS))	撮像範囲	テストチャートを使用して、歪と解像度をRAWデータに基づき実機とCGの映像のズレを最小に調整する	0-1			○															
		画像中心位置	歪量、ピント	テストチャートを用いて、歪と解像度をRAWデータに基づき実機とCGの映像のズレを最小に調整する	0-2																	
		色彩輝度	明度、色相、彩度	テストチャートを用いて、輝度表現+色味をRAWデータに基づき実機とCGの映像のズレを最小に調整する	0-3																	
車載カメラ	(取得)カメラ調整 (取得)カメラ調整	ダイナミックレンジ	光電変換特性	光量の変化に対する光電変換特性を計測し、特性グラフの誤差を最小に調整する	1-0			○														
		光軸(取付位置/向き)	画像中心位置	リファレンスとなる光軸上の異なる距離にある2点を使用して、実機でのズレを最小となるように取付けを調整する	1-1			○														
		歪み	形状、サイズ	WSIによる変形特性の一致性を確認する	1-2																	
認識対象と環境(Aセット)	(乗用車:プリウス) (乗用車:NCAPダミー車) (乗用車:大型車)	配置検査(境界線)	形状、サイズ	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-1で代用できるので省略は可能	2-1			○														
			色彩輝度検査(境界線)	明度、色相、彩度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-2で代用できるので省略は可能	2-2			○													
			認識結果(境界線)	相対距離	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-1で代用できるので省略は可能	2-3-1																
共通の基本検証	(乗用車:プリウス)	認識結果(境界線)	サイズ、向き	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-2で代用できるので省略は可能	2-3-2																	
			相対速度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-3で代用できるので省略は可能	2-3-3																	
			種別	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-4で代用できるので省略は可能	2-3-4																	
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	配置検査(境界線)	形状、サイズ	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-4で代用できるので省略は可能	2-4			○														
			色彩輝度検査(境界線)	明度、色相、彩度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-5で代用できるので省略は可能	2-5			○													
			認識結果(境界線)	曲率	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-1で代用できるので省略は可能	2-6-1																
共通の基本検証	(乗用車:プリウス)	認識結果(境界線)	方位	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-2で代用できるので省略は可能	2-6-2																	
			横位置	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-3で代用できるので省略は可能	2-6-3																	
			種別	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-4で代用できるので省略は可能	2-6-4																	
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	配置検査(境界線)	形状、サイズ	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-4で代用できるので省略は可能	3-1			○														
			色彩輝度検査(境界線)	明度、色相、彩度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-5で代用できるので省略は可能	3-2																
			認識結果(境界線)	相対距離	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-1で代用できるので省略は可能	3-3-1																
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	認識結果(境界線)	サイズ、向き	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-2で代用できるので省略は可能	3-3-2																	
			相対速度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-3で代用できるので省略は可能	3-3-3																	
			種別	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-4で代用できるので省略は可能	3-3-4																	
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	配置検査(境界線)	形状、サイズ	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-4で代用できるので省略は可能	3-4			○														
			色彩輝度検査(境界線)	明度、色相、彩度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-5で代用できるので省略は可能	3-5			○													
			認識結果(境界線)	曲率	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-1で代用できるので省略は可能	3-6-1																
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	認識結果(境界線)	方位	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-2で代用できるので省略は可能	3-6-2																	
			横位置	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-3で代用できるので省略は可能	3-6-3																	
			種別	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-4で代用できるので省略は可能	3-6-4																	
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	配置検査(境界線)	形状、サイズ	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-4で代用できるので省略は可能	4-1			○														
			色彩輝度検査(境界線)	明度、色相、彩度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-5で代用できるので省略は可能	4-2																
			認識結果(境界線)	相対距離	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-1で代用できるので省略は可能	4-3-1																
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	認識結果(境界線)	サイズ、向き	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-2で代用できるので省略は可能	4-3-2																	
			相対速度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-3で代用できるので省略は可能	4-3-3																	
			種別	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-4で代用できるので省略は可能	4-3-4																	
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	配置検査(境界線)	形状、サイズ	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-4で代用できるので省略は可能	5-1			○														
			色彩輝度検査(境界線)	明度、色相、彩度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-5で代用できるので省略は可能	5-2																
			認識結果(境界線)	相対距離	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-1で代用できるので省略は可能	5-3-1																
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	認識結果(境界線)	サイズ、向き	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-2で代用できるので省略は可能	5-3-2																	
			相対速度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-3で代用できるので省略は可能	5-3-3																	
			種別	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-3-4で代用できるので省略は可能	5-3-4																	
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	配置検査(境界線)	形状、サイズ	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-4で代用できるので省略は可能	5-4			○														
			色彩輝度検査(境界線)	明度、色相、彩度	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-5で代用できるので省略は可能	5-5																
			認識結果(境界線)	曲率	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-1で代用できるので省略は可能	5-6-1																
交通流の基本シナリオ	(乗用車:プリウス)	認識結果(境界線)	方位	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-2で代用できるので省略は可能	5-6-2																	
			横位置	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-3で代用できるので省略は可能	5-6-3																	
			種別	認識対象について、実環境と同等であること 本作業は、3-6-4で代用できるので省略は可能	5-6-4																	

表 F-3. カメラセンサにおける共通要件一覧

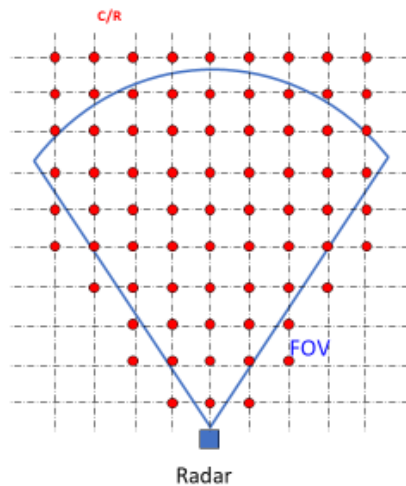
F.2.3 共通要件の妥当性検証方法

各センサについて、F.2.2 で定義した各要件項目の検証方法を記述する。

F.2.3.1 ミリ波レーダーの共通要件の妥当性検証手法

■ センサ自身の基本特性： 検出精度 距離・方位

ミリ波レーダー
(0-1)



検証方法

- FOV内の各点における基準反射体(C/R)の検出位置をレーダーで取得 (C/Rは1箇所ずつ移動)
- 実環境とシミュレーション環境とで検出位置(距離・方位)を比較する。

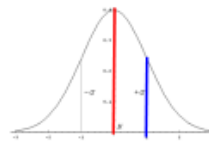


Trihedral Corner Reflector (C/R)
 ・RCSが既知
 ・再帰反射特性

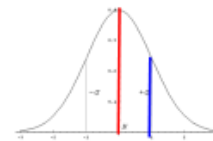
出典) <https://www.everythingrf.com/community/what-is-a-corner-reflector>

判定基準

実環境での検出結果(距離・方位)の統計値に対して、
 中央値: 5%以内
 分散(σ): 10%以内



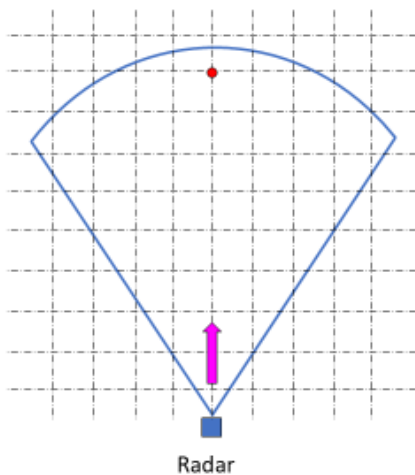
実測の統計値



Sim.の統計値

■ センサ自身の基本特性： 検出精度 相対速度

ミリ波レーダー
(0-2)

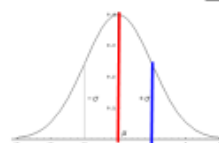
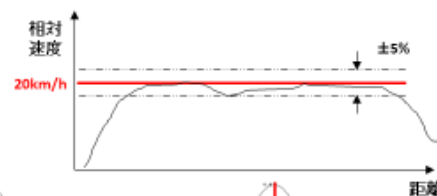


検証方法

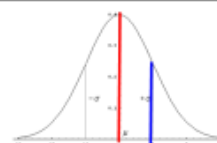
- Radar正面にC/Rを設置し、C/Rに向かってRadarを一定速度で移動
- 実環境とシミュレーション環境とで検出速度を比較する。

判定基準

実環境での検出結果の統計値に対して、
 中央値: 5%以内
 分散(σ): 10%以内



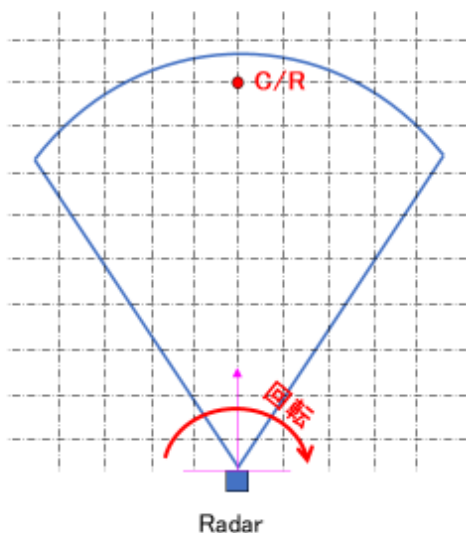
実測の統計値



Sim.の統計値

■ センサ自身の基本特性: 検出精度 受信電力

ミリ波レーダー
(0-3)

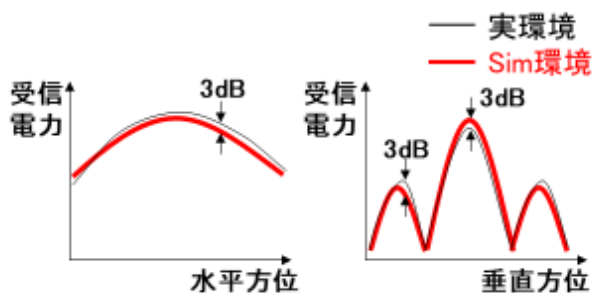


検証方法

- Radar正面にC/Rを設置し、Radarを水平方向および垂直方向に回転させて受信電力を計測

判定基準

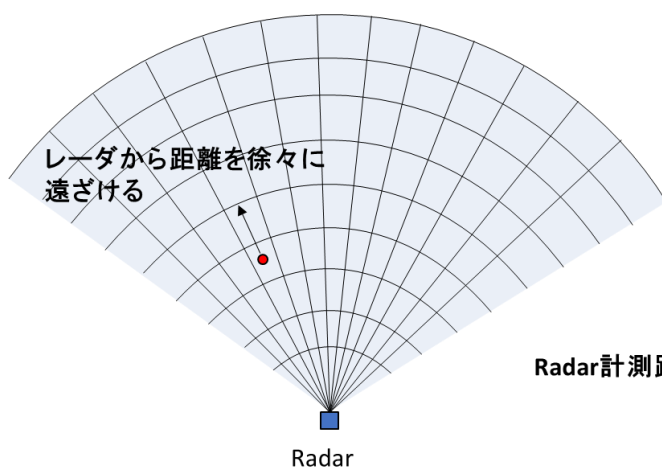
- 受信電力の差異: 3dB 以下



■ センサ自身の基本特性: 検出精度 分解能 距離・方位

ミリ波レーダー
(0-4)

< 距離分解能 >



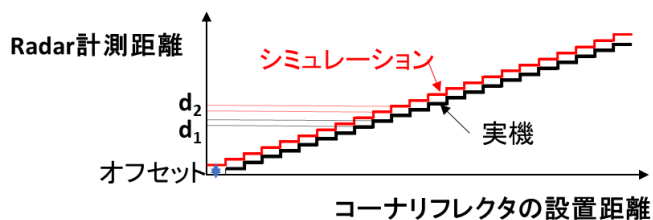
検証方法

➢ 距離分解能

RadarのFOV内にコーナーリフレクタ設置、レーダから法線上に離反する方向に徐々に距離を変化させ距離分解能を検証

判定基準

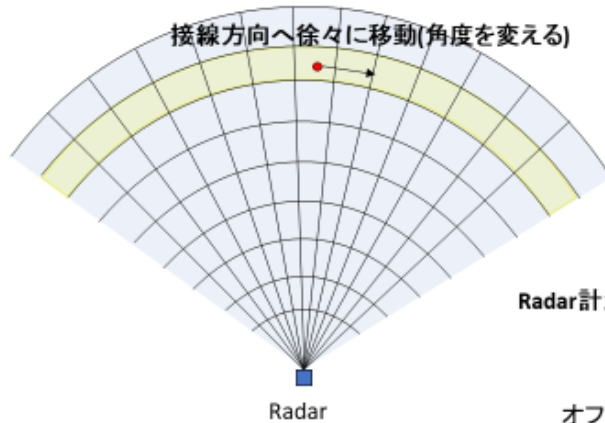
- ◆ コーナリフレクタ設置距離とRadar計測距離の関係より導出される階段のステップ数が実機とシミュレーションで一致すること
- ◆ ステップの大きさ d_1, d_2 の大きさに15%以上の開きがないこと



■センサ自身の基本特性: 検出精度 分解能 距離・方位

ミリ波レーダー
(0-4)

<水平方位分解能>



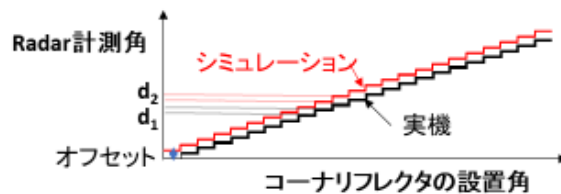
検証方法

> 水平方位角度分解能

RadarのFOV内にコーナーリフレクタ設置、接線方向へ徐々に移動させレーダが計測する角度とコーナーリフレクタ設置各を比較することで水平方位角度分解能を検証

判定基準

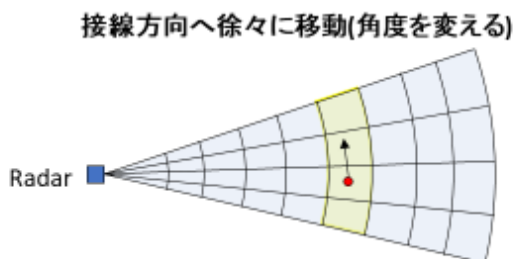
- ◆ Radarの計測角とコーナーリフレクタ設置角の関係より導出される階段のステップ数が実機とシミュレーションで一致すること
- ◆ ステップの大きさ d_1, d_2 の大きさに15%以上の開きがないこと



■センサ自身の基本特性: 検出精度 分解能 距離・方位

ミリ波レーダー
(0-4)

<垂直方位分解能>



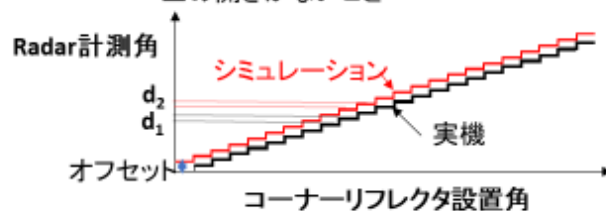
検証方法

> 垂直方位角分解能

RadarのFOV内にコーナーリフレクタ設置、接線方向へ徐々に移動させレーダが計測する角度とコーナーリフレクタ設置各を比較することで垂直方位角度分解能を検証

判定基準

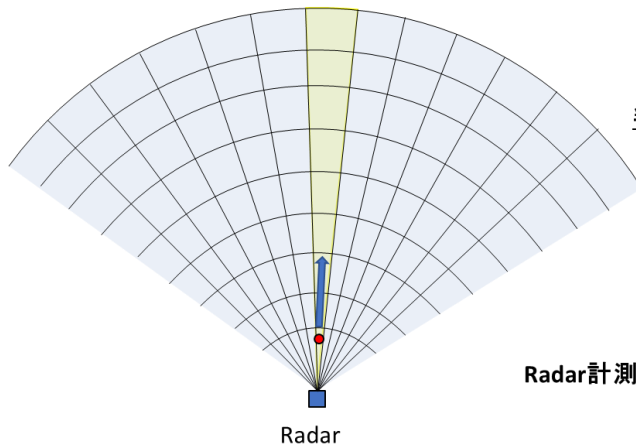
- ◆ Radarの計測角とコーナーリフレクタ設置角の関係より導出される階段のステップ数が実機とシミュレーションで一致すること
- ◆ ステップの大きさ d_1, d_2 の大きさに15%以上の開きがないこと



■ センサ自身の基本特性: 検出精度 分解能 相対速度

ミリ波レーダー
(0-5)

<速度分解能>



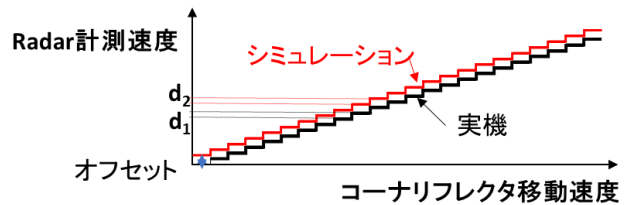
検証方法

➢ 速度分解能

RadarのFOV内にコーナーリフレクタを設置、リフレクターの速度を一定に保ち、速度を変化させた複数回の結果を用い評価

判定基準

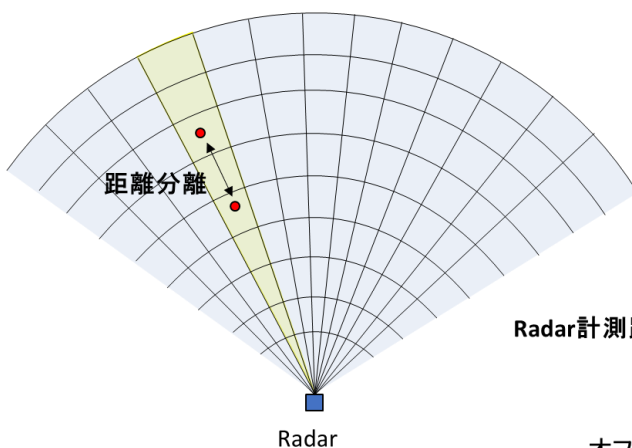
- ◆ Radarの計測速度とコーナーリフレクタの移動速度の関係より導出される階段のステップ数が実機とシミュレーションで一致すること
- ◆ ステップの大きさ d_1, d_2 の大きさに15%以上の開きがないこと



■ センサ自身の基本特性: 検出精度 分離能 距離・方位

ミリ波レーダー
(0-6)

<距離分離能>



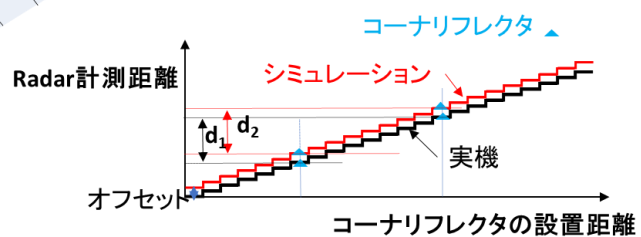
検証方法

➢ 距離分解能

RadarのFOV内に2つのコーナーリフレクタ(同一仕様)を距離を近接して設置し各々の物標の分離能力を検証、2つのコーナーリフレクタの設置距離を変え複数回測定を実施

判定基準

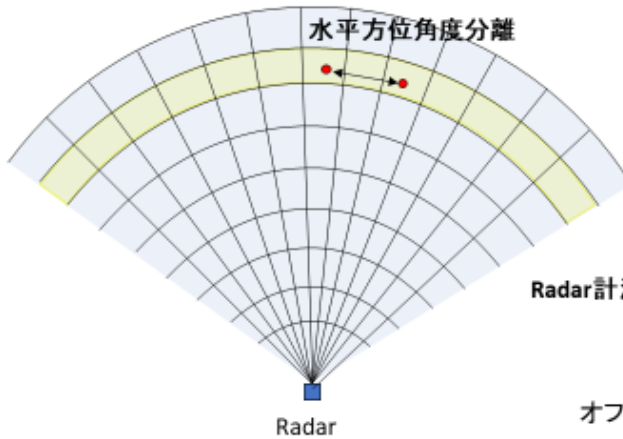
複数回の測定より算出された平均分離距離の実機 d_1 とシミュレーション d_2 の大きさに15%以上の開きが無いこと



■センサ自身の基本特性: 検出精度 分離能 距離・方位

ミリ波レーダー
(0-6)

<水平方位分離能>



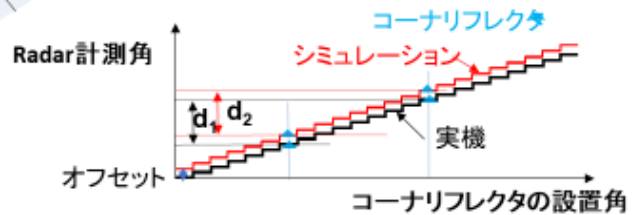
検証方法

➢ 水平方位角度分解能

RadarのFOV内に2つのコーナーリフレクタ(同一仕様)を同距離に水平方位を近接して設置し、各々の物標の分離能力を検証。2つのコーナーリフレクタの設置角度を変え複数回測定を実施

判定基準

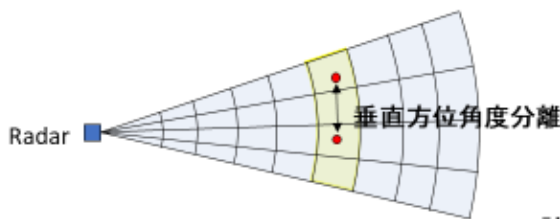
複数回の測定より算出された平均分離角度の実機 d_1 とシミュレーション d_2 の大きさに15%以上の開きが無いこと



■センサ自身の基本特性: 検出精度 分離能 距離・方位

ミリ波レーダー
(0-6)

<垂直方位分離能>



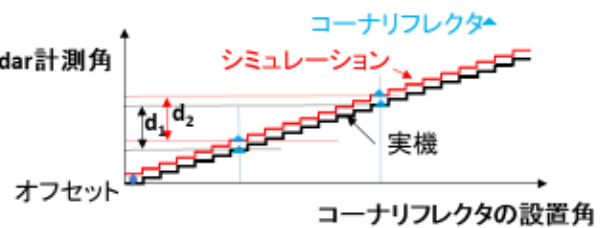
検証方法

➢ 垂直方位角度分解能

RadarのFOV内に2つのコーナーリフレクタ(同一仕様)を同距離に垂直方位を近接して設置し、各々の物標の分離能力を検証。2つのコーナーリフレクタの設置角度を変え複数回測定を実施

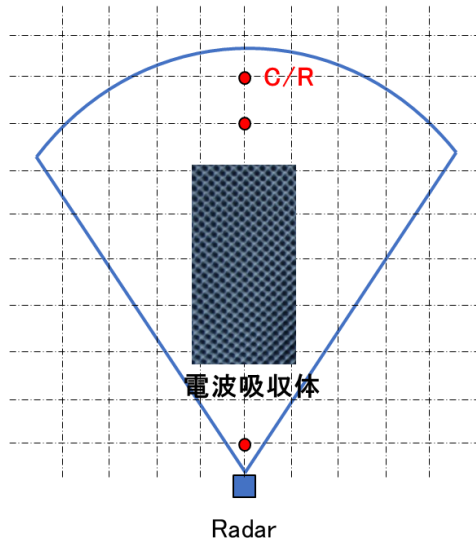
判定基準

複数回の測定より算出された平均分離角度の実機 d_1 とシミュレーション d_2 の大きさに15%以上の開きが無いこと



■ センサ自身の基本特性：自由空間 受信電力

ミリ波レーダー
(0-7)

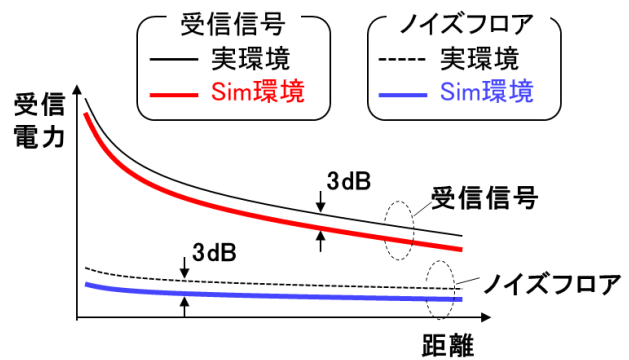


検証手法

- Radar正面にC/Rを設置し、C/Rの設置距離を変化させた場合の各距離における受信電力を計測（路面反射波の影響を除去するため、電波吸収体を路面反射点付近に設置）

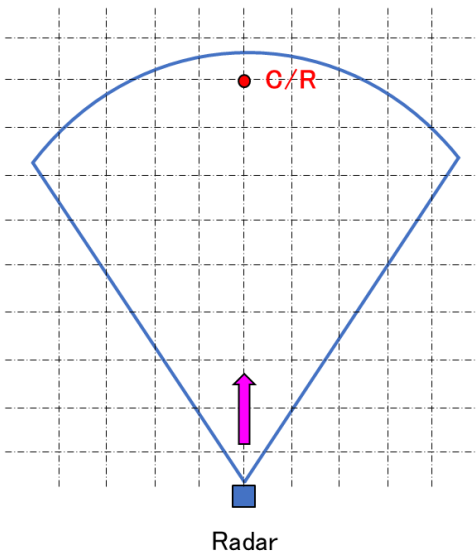
判定基準

- 受信電力の差異: 3dB 以下
- ノイズフロア電力の差異: 3dB 以下
- SNRの差異: 3dB 以下



■ センサ自身の基本特性：路面上 受信電力

ミリ波レーダー
(0-8)

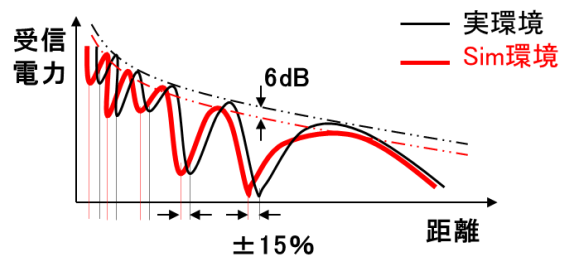


検証方法

- Radar正面にC/Rを設置し、C/Rに向かってRadarを一定速度で移動

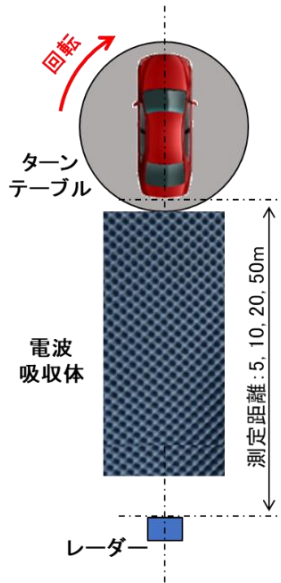
判定基準

- エンベロープの差異: 6dB 以下
- ヌル点距離の差異: $\pm 15\%$ 以下



■ 認識対象物の反射特性：車両（乗用車・大型車） RCS

ミリ波レーダー
(1-1)

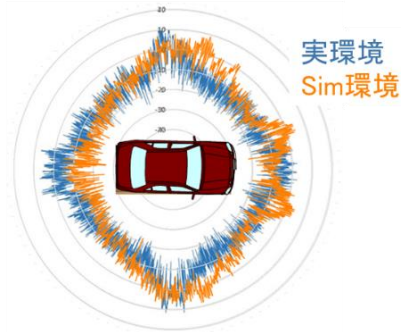


検証方法

- レーダー電磁波を、ターンテーブル上の車両に照射する。
- 乗用車を回転させ、回転角度による受信電力の変化をプロットする。
- 測定距離：5, 10, 20, 50 (m)
- 車両の種類：乗用車、大型トレーラー
- 実環境とシミュレーション環境とで受信電力を比較する。

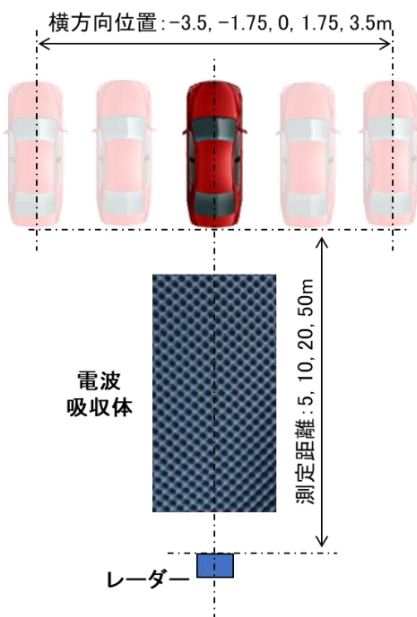
判定基準

- 受信電力の差異：全方位で3dB以下



■ 認識対象物の反射特性：車両（乗用車・大型車） 反射点

ミリ波レーダー
(1-2)

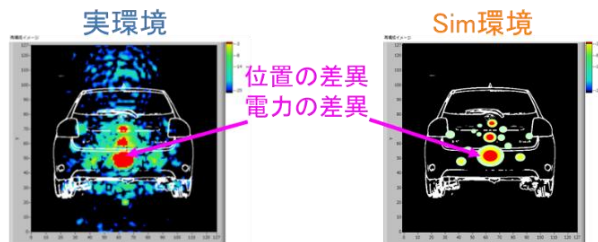


検証方法

- 車両の後方からレーダー電磁波を照射し、レーダーイメージを生成する。
- 測定距離：5, 10, 20, 50 (m)
- 車両の種類：乗用車、大型トレーラー
- 車両の横方向位置：0, ±1.75, ±3.5 (m)
 自車線上・区画線上・隣接車線上を想定
- 実環境とシミュレーション環境とで、反射強度分布を比較する。

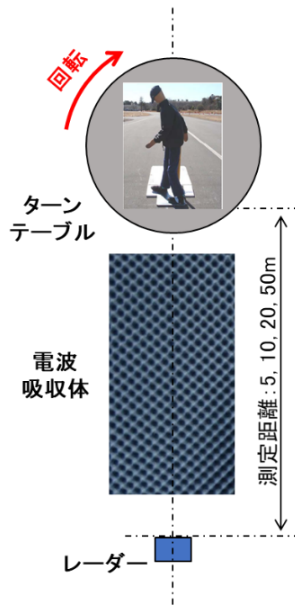
判定基準

- 反射強度ピーク位置の差異：視野角 3° 以下
- ピーク位置での受信電力の差異：3dB以下



■ 認識対象物の反射特性：歩行者 RCS

ミリ波レーダー
(1-3)

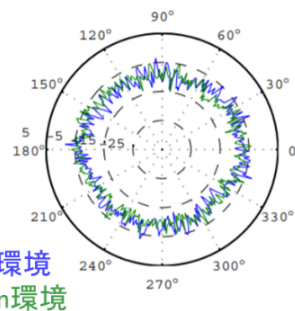


検証方法

- レーダー電磁波を、ターンテーブル上の歩行者ダミーに照射する。
- ダミーを回転させ、回転角度による受信電力の変化をプロットする。
- 測定距離：5, 10, 20, 50 (m)
- 実環境とシミュレーション環境とで受信電力を比較する。

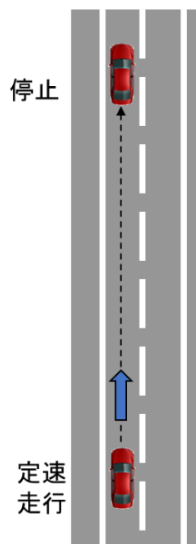
判定基準

- 受信電力の差異：全方位で3dB以下



■ 交通流の基本シナリオ：CCRs 受信電力

ミリ波レーダー
(2-1)

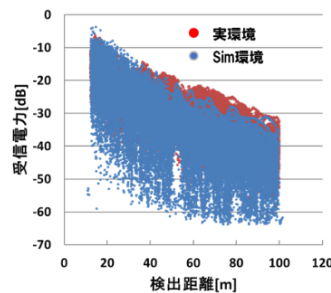


検証方法

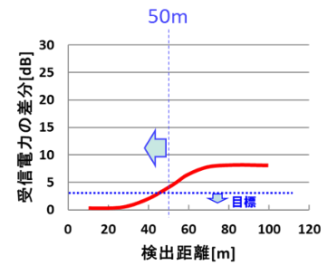
- NCAPのCCRsシナリオを再現する。
- 車速：5 ~ 60 km/hの範囲で、低速・高速の2点
- 前方の停止ターゲット車両からの受信電力を測定し、曲線上端の包絡線をプロットする。
- 実環境とシミュレーション環境とで、包絡線変化を比較する。

判定基準

- 相対距離50m以下での、受信電力包絡線の差異：3dB以下

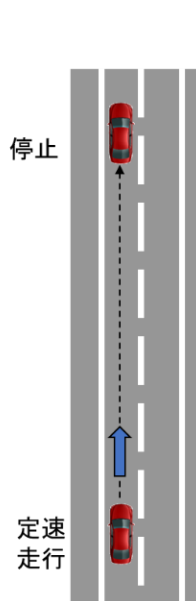


受信電力を上端の包絡線で比較検証



■ 交通流の基本シナリオ：CCRs 検出位置

ミリ波レーダー
(2-2)

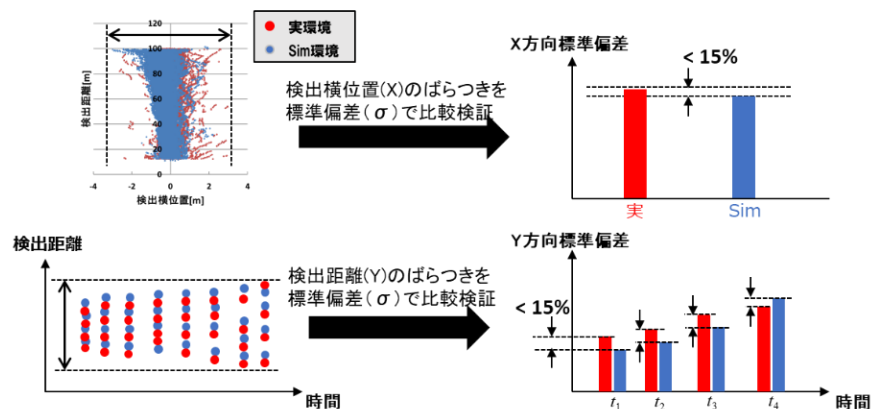


検証方法

- NCAPのCCRsシナリオを再現する。
- 車速：5 ~ 60 km/hの範囲で、低速・高速の2点
- 前方の停止ターゲット車両の反射点検出位置 (X, Y) を測定する。
- 実環境とシミュレーション環境とで、検出位置ばらつき度合を比較する。

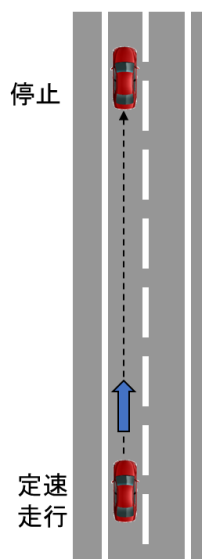
判定基準

- 相対距離50m以下での標準偏差の差異： X方向(横方向)15%以下
Y方向(進行方向)15%以下



■ 交通流の基本シナリオ：CCRs 検出速度

ミリ波レーダー
(2-3)

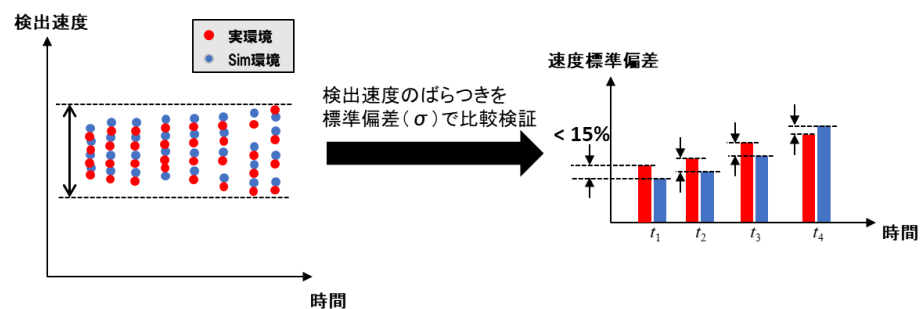


検証方法

- NCAPのCCRsシナリオを再現する。
- 車速：5 ~ 60 km/hの範囲で、低速・高速の2点
- 前方の停止ターゲット車両の反射点検出速度(Y方向)を測定する。
- 実環境とシミュレーション環境とで、検出速度のばらつき度合を比較する。

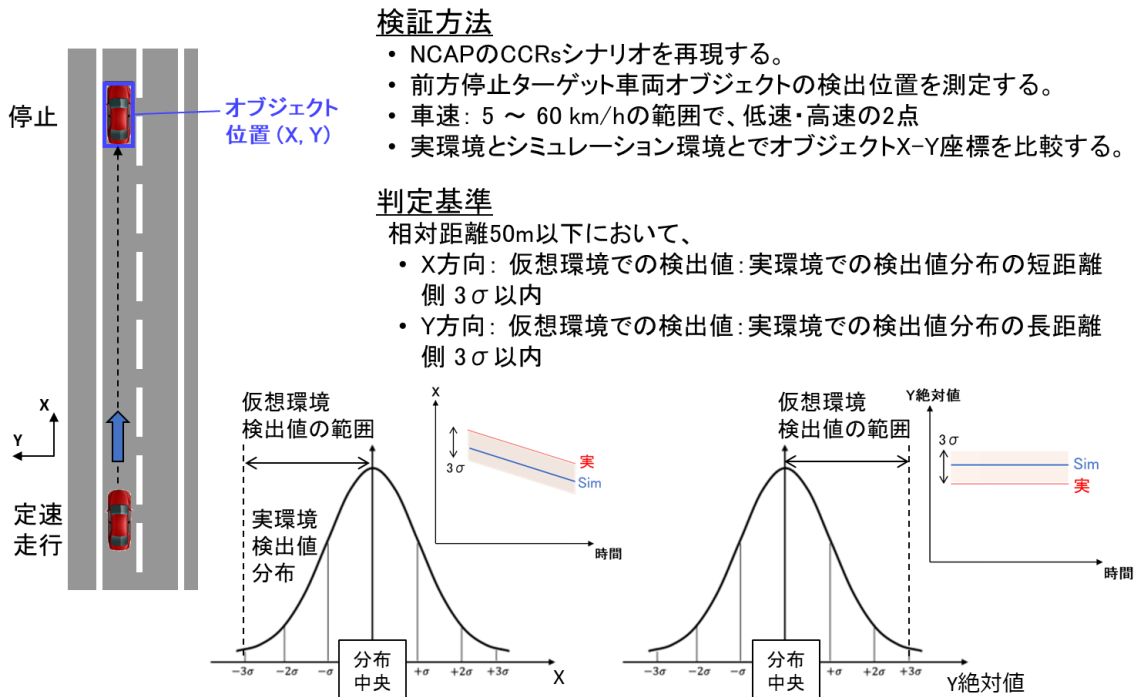
判定基準

- 相対距離50m以下での、標準偏差の差異： 15%以下



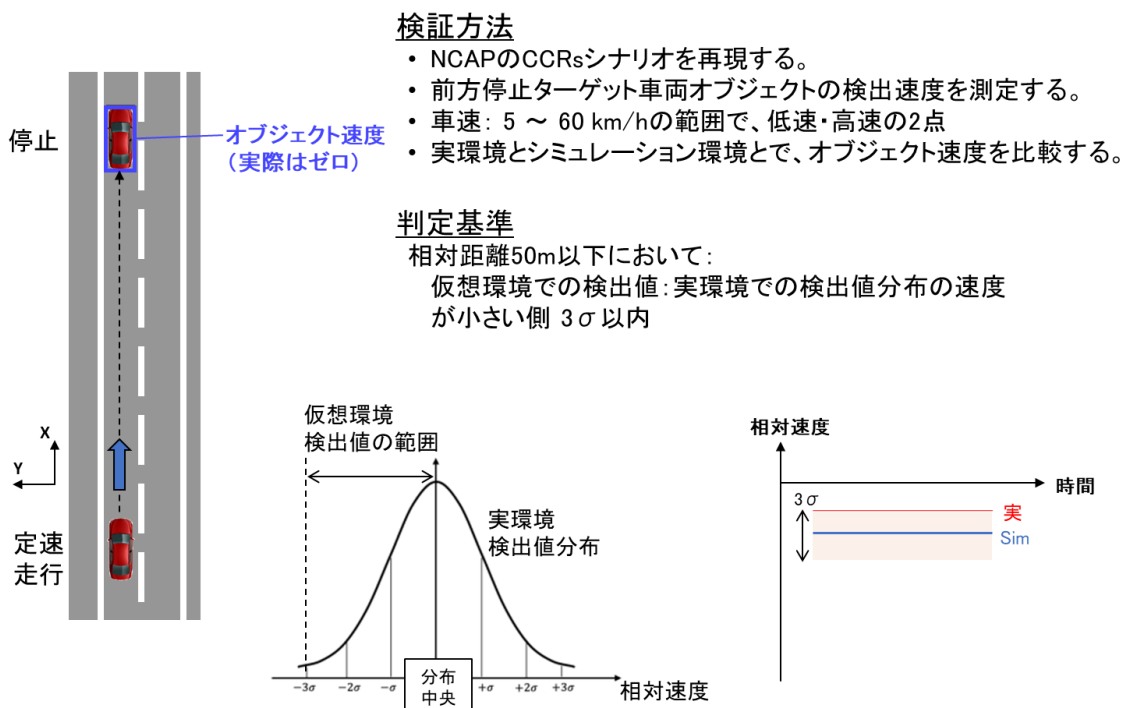
■ 交通流の基本シナリオ：CCRs オブジェクト検出位置 (距離／方位)

ミリ波レーダー
(2-4)



■ 交通流の基本シナリオ：CCRs オブジェクト検出速度

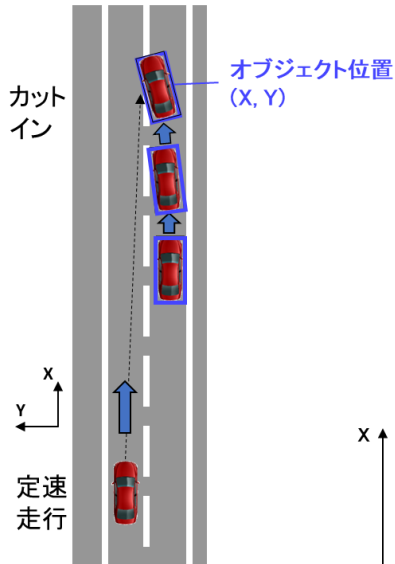
ミリ波レーダー
(2-5)



■ 交通流の基本シナリオ：

ミリ波レーダー
(2-6)

カットイン オブジェクト検出位置(距離/方位)



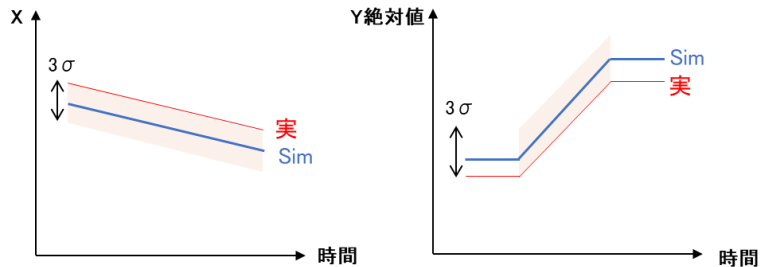
検証方法

- 他車両が自車前方にカットインするシナリオにて、車両オブジェクト検出位置をプロットする。
- 自車速：定速(60km/h程度)
- オブジェクト車速：縦方向 定速(40km/h程度)
横方向 0.2 ~ 2.0 m/sの範囲で3点
- オブジェクト種類：乗用車、大型トレーラー
- 実環境とシミュレーション環境とで、検出位置を比較する。

判定基準

相対距離50m以下において：

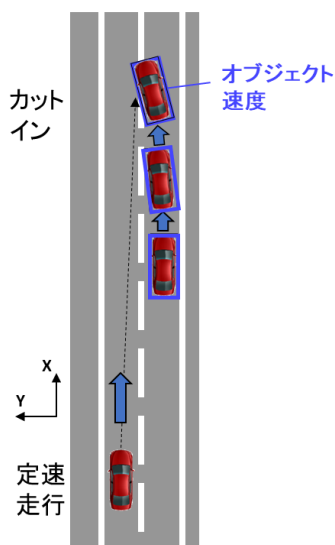
- X方向：仮想環境での検出値：実環境での検出値分布の短距離側 3σ以内
- Y方向：仮想環境での検出値：実環境での検出値分布の長距離側 3σ以内



■ 交通流の基本シナリオ：

ミリ波レーダー
(2-7)

カットイン オブジェクト検出速度



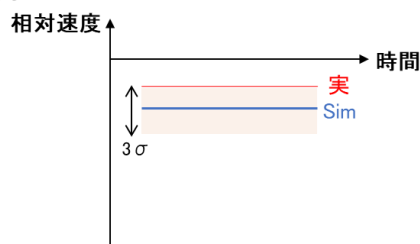
検証方法

- 他車両が自車前方にカットインするシナリオにて、車両オブジェクトの検出速度をプロットする。
- 自車速：定速(60km/h程度)
- オブジェクト車速：縦方向 定速(40km/h程度)
横方向 0.2 ~ 2.0 m/sの範囲で3点
- オブジェクト種類：乗用車、大型トレーラー
- 実環境とシミュレーション環境とで、検出速度値を比較する。

判定基準

相対距離50m以下において：

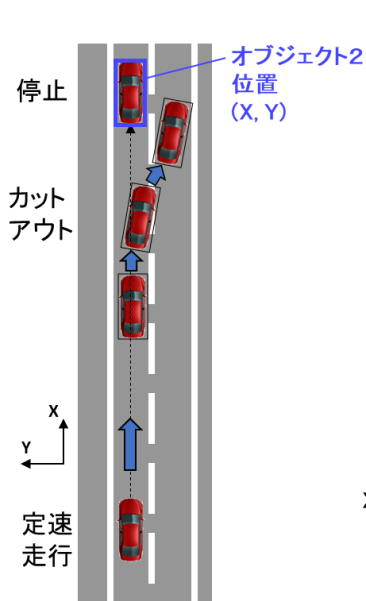
- 仮想環境での検出値：実環境での検出値分布の速度が小さい側 3σ以内



■ 交通流の基本シナリオ：

ミリ波レーダー
(2-8)

カットアウト オブジェクト検出位置(距離/方位)



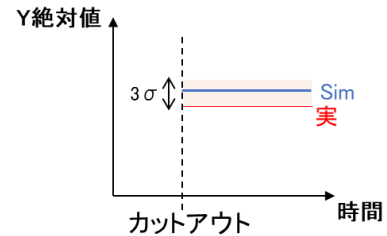
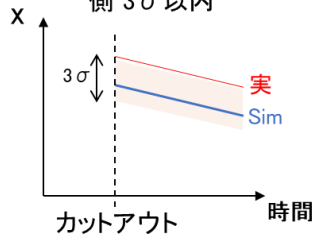
検証方法

- 先行車両がカットアウトした前方に停止車両がいるシナリオにて、停止車両(オブジェクト2)の検出位置をプロットする。
- 自車速: 定速(60km/h程度)
- オブジェクト1の車速: 縦方向 定速(40km/h程度)
横方向 1.0 m/s程度
- オブジェクト1の種類: 乗用車(カットアウト車両)
- オブジェクト2の種類: 乗用車(停止状態)
- 実環境とシミュレーション環境とで、オブジェクト2検出位置を比較

判定基準

カットアウト後の検出位置:

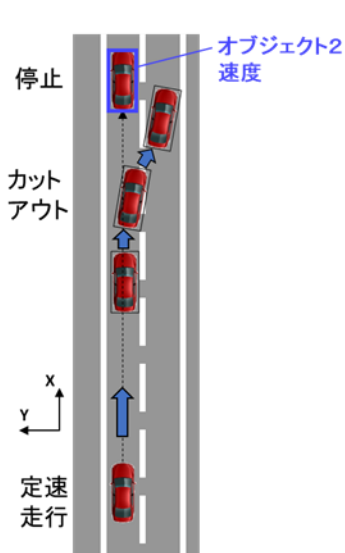
- X方向: 仮想環境での検出値: 実環境での検出値分布の短距離側 3σ 以内
- Y方向: 仮想環境での検出値: 実環境での検出値分布の長距離側 3σ 以内



■ 交通流の基本シナリオ：

ミリ波レーダー
(2-9)

カットアウト オブジェクト検出速度



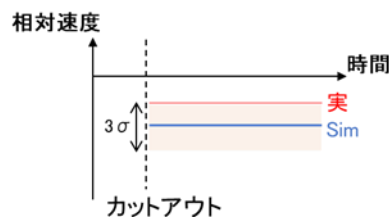
検証方法

- 先行車両がカットアウトした前方に停止車両がいるシナリオにて、停止車両(オブジェクト2)の検出速度をプロットする。
- 自車速: 定速(60km/h程度)
- オブジェクト1の車速: 縦方向 定速(40km/h程度)
横方向 1.0 m/s程度
- オブジェクト1の種類: 乗用車(カットアウト車両)
- オブジェクト2の種類: 乗用車(停止状態)
- 実環境とシミュレーション環境とで、オブジェクト2検出速度を比較

判定基準

カットアウト後:

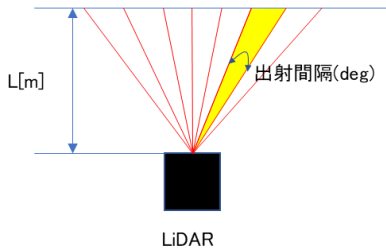
- 仮想環境での検出値: 実環境での検出値分布の速度が小さい側 3σ 以内



F.2.3.2 LiDAR の共通要件の妥当性検証手法

■ センサ自身の基本特性： 方位

LiDAR
(F.2.3.2.1)

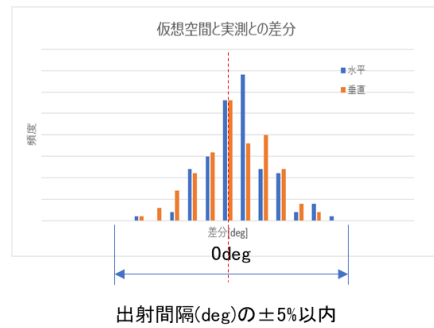
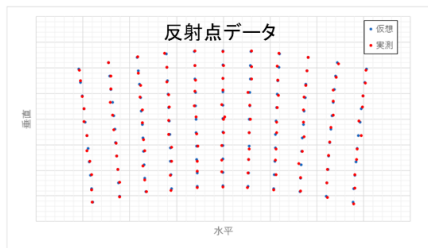


検証方法

LiDARから既知の距離L離れた壁に送信光を照射し、光線の座標位置を測定。仮想と実測との差分が許容範囲内であることを確認。

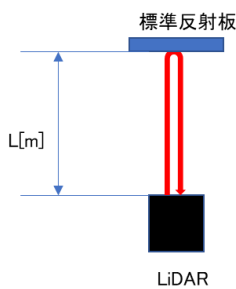
判定基準

例) 出射間隔(deg)の±5%以内



■ センサ自身の基本特性： 距離

LiDAR
(F.2.3.2.1.1)

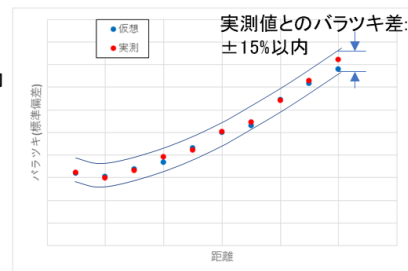
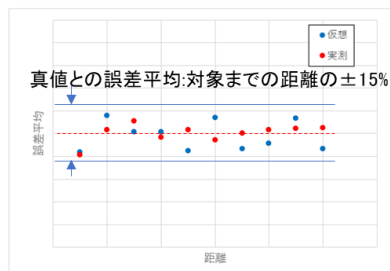


検証方法

LiDARと標準反射板の距離をかえて、距離の誤差とバラツキを測定。許容範囲内であることを確認。

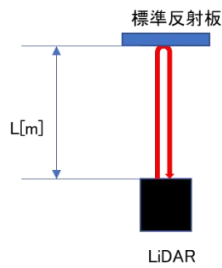
判定基準

例) 真値との誤差平均:対象までの距離の±15%以内(実測値とのバラツキ差:±15%以内)



■ センサ自身の基本特性：強度・検出確率

LiDAR
(F.2.3.2.1.2
F.2.3.2.1.3)

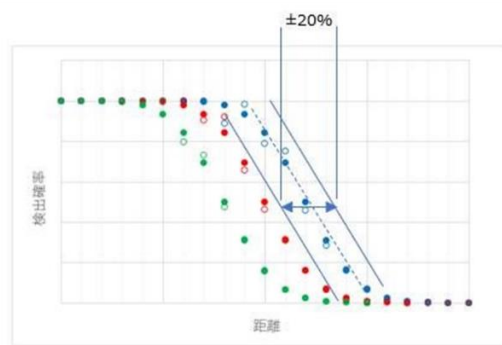


検証方法

LiDARと標準反射板の距離をかえて、受信強度と検出確率を測定。
許容範囲内である事を確認。

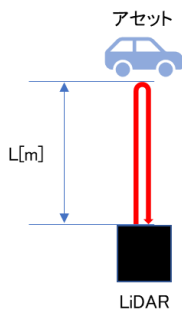
判定基準

例) 実測との検出確率差@検出確率:±20%以内



■ 認識対象物の反射特性：大きさ

LiDAR
(F.2.3.2.2.2)

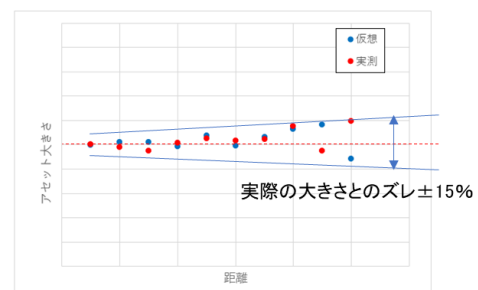
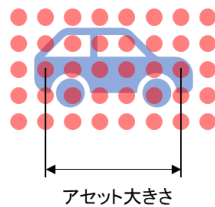


検証方法

LiDARとアセット距離を変え大きさを測定。
大きさの差異が許容範囲内である事を確認。

判定基準

例) 実際の大きさとのズレが±15%以内



■ 認識対象物の反射特性：動的検証 点群データ

LiDAR
(F.2.3.2.2.3)

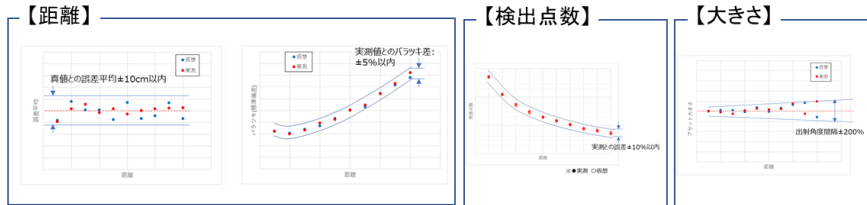
検証方法

静止した車両に近づき、時間的な方位、距離、検出点数、大きさの変化を、実測とシミュレーションで比較。(例: 40km/hで認識対象に接近、20m手前の位置でブレーキをかけ停止)



判定基準

例)各時刻での距離、検出点数、大きさ、が前出の基準(F.2.3.2.1.1、F.2.3.2.2.1、F.2.3.2.2.2)を満たしていること



■ 認識対象物の反射特性：動的検証 オブジェクト

LiDAR
(F.2.3.2.2.4)

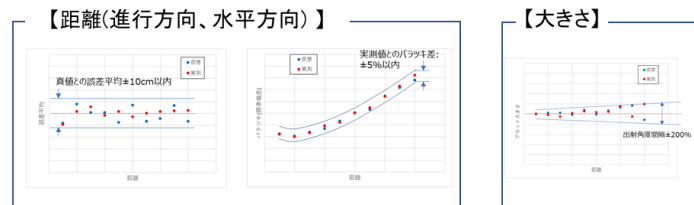
検証方法

静止した車両に近づき、オブジェクトとしての時間的な距離、大きさの変化を、実測とシミュレーションで比較。(例: 40km/hで認識対象に接近、20m手前の位置でブレーキをかけ停止)



判定基準

例)各時刻での距離(進行方向、水平方向)、大きさ、が前出の基準(F.2.3.2.1.1、F.2.3.2.2.2)を満たしていること

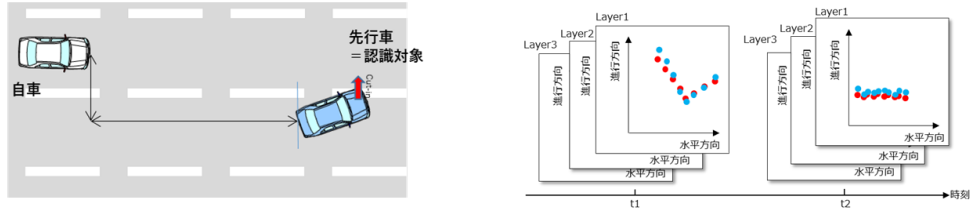


■ 交通流の基本シナリオ: Cut-inシナリオ(普通車) 点群データ

LiDAR
(F.2.3.2.3.1)

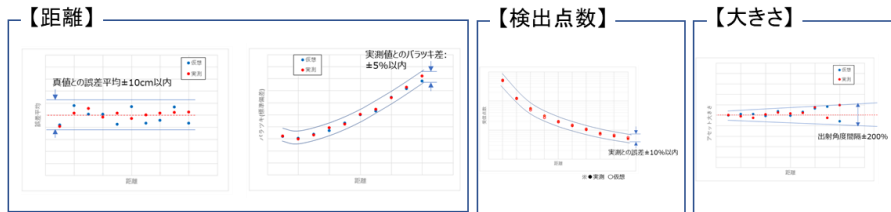
検証方法

普通車のCut-inにおいて、時間的な方位、距離、検出点数、大きさの変化を、実測とシミュレーションで比較。(例: 自車速60km/h、先行車進行方向40km/h、横速度1.0m/sでCut-in)



判定基準

例)各時刻での距離、検出点数、大きさ、が前出の基準(F.2.3.2.1.1、F.2.3.2.2.1、F.2.3.2.2.2)を満たしていること

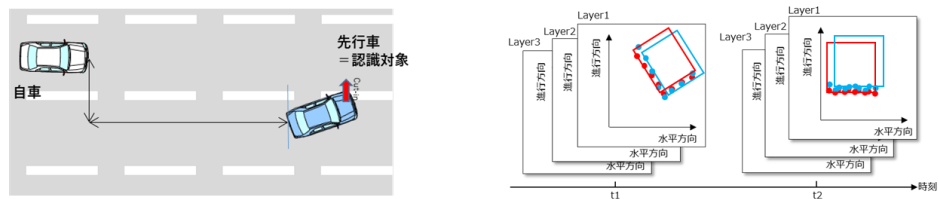


■ 交通流の基本シナリオ: Cut-inシナリオ(普通車) オブジェクト

LiDAR
(F.2.3.2.3.2)

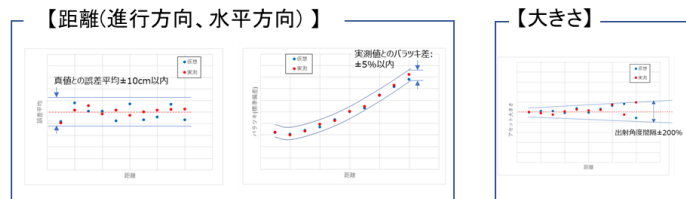
検証方法

普通車のCut-inにおいて、オブジェクトとしての時間的な距離、大きさの変化を、実測とシミュレーションで比較。(例: 自車速60km/h、先行車進行方向40km/h、横速度1.0m/sでCut-in)



判定基準

例)各時刻での距離(進行方向、水平方向)、大きさ、が前出の基準(F.2.3.2.1.1、F.2.3.2.2.2)を満たしていること

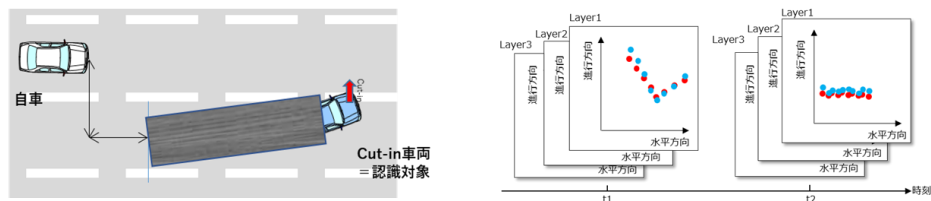


■ 交通流の基本シナリオ：Cut-inシナリオ(大型車) 点群データ

LiDAR
(F.2.3.2.3.3)

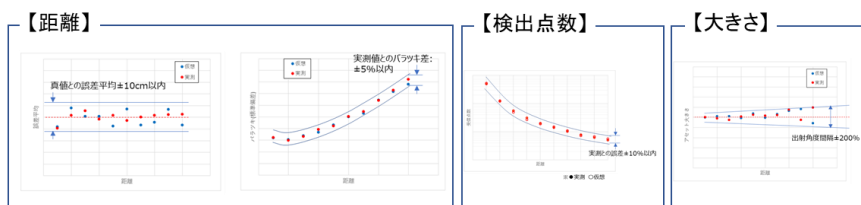
検証方法

大型車のCut-inにおいて、時間的な方位、距離、検出点数、大きさの変化を、実測とシミュレーションで比較。(例：自車速60km/h、先行車進行方向40km/h、横速度1.0m/sでCut-in)



判定基準

例)各時刻での距離、検出点数、大きさ、が前出の基準(F.2.3.2.1.1、F.2.3.2.2.1、F.2.3.2.2.2)を満たしていること

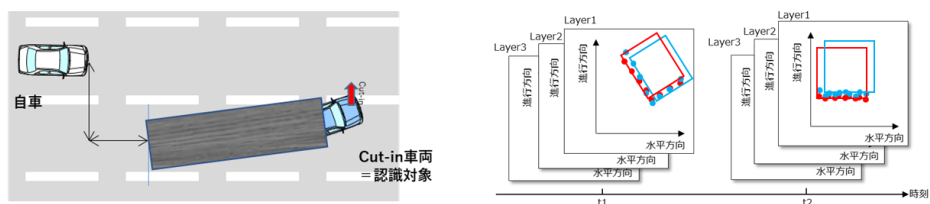


■ 交通流の基本シナリオ：Cut-inシナリオ(大型車) オブジェクト

LiDAR
(F.2.3.2.3.4)

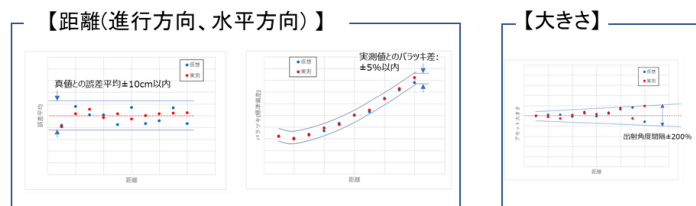
検証方法

大型車のCut-inにおいて、オブジェクトとしての時間的な距離、大きさの変化を、実測とシミュレーションで比較。(例：自車速60km/h、先行車進行方向40km/h、横速度1.0m/sでCut-in)



判定基準

例)各時刻での距離(進行方向、水平方向)、大きさ、が前出の基準(F.2.3.2.1.1、F.2.3.2.2.2)を満たしていること

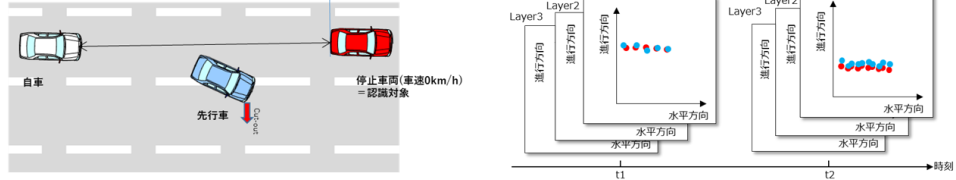


■ 交通流の基本シナリオ：Cut-outシナリオ 点群データ

LiDAR
(F.2.3.2.3.5)

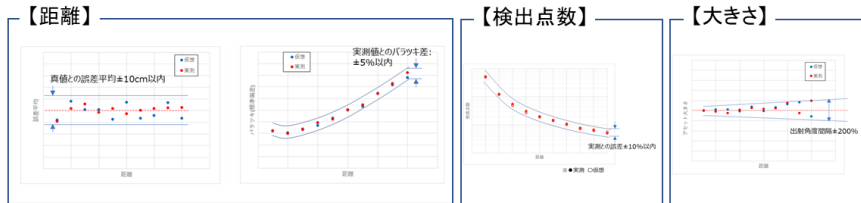
検証方法

先行車がCut-outした後、静止した車両に近づき、時間的な方位、距離、検出点数、大きさの変化を、実測とシミュレーションで比較。（例：自車速40km/hで追従中に先行車Cut-out、認識対象に接近）



判定基準

例)各時刻での距離、検出点数、大きさ、が前出の基準(F.2.3.2.1.1、F.2.3.2.2.1、F.2.3.2.2.2)を満たしていること



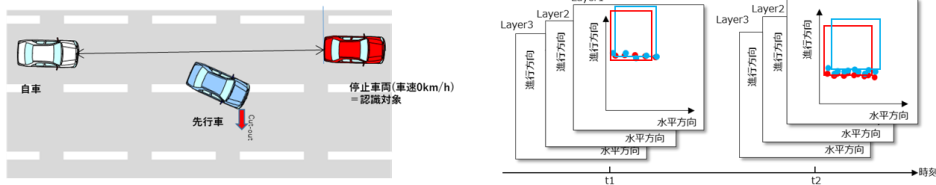
■ 交通流の基本シナリオ：Cut-outシナリオ オブジェクト

LiDAR
(F.2.3.2.3.6)

検証方法

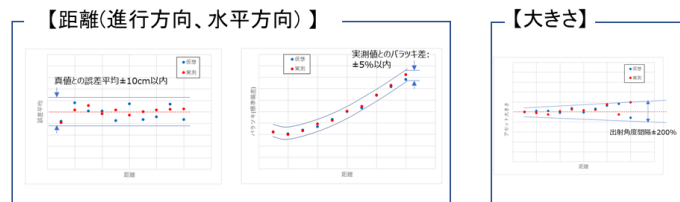
先行車がCut-outした後、静止した車両に近づき、オブジェクトとしての時間的な距離、大きさの変化を、実測とシミュレーションで比較。

(例：自車速40km/hで追従中に先行車Cut-out、認識対象に接近)



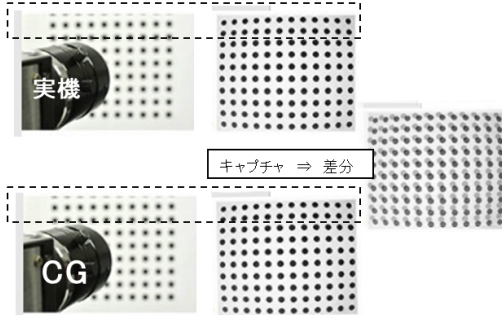
判定基準

例)各時刻での距離(進行方向、水平方向)、大きさ、が前出の基準(F.2.3.2.1.1、F.2.3.2.2.2)を満たしていること

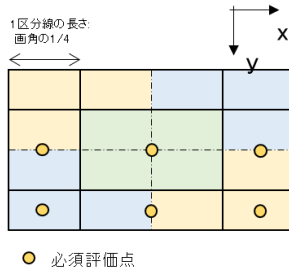


■単体カメラ モジュールの調整 画角/光軸/歪み

カメラ
(0-1)



- ・暗室
- ・既知光源を用いる
(全グリッドが適度なコントラストを維持できていること)



検証方法

テストチャート (グリッド線 orグリッド点)を使用して、歪と解像度をRAWデータを基に実機とCGの映像のズレを最小に調整する

- ・実機カメラにおいて、グリッドチャートの水平を保ちつつ、チャートの中心点を撮像デバイスの中心点に合わせて、映像を取得する
- ・CGカメラにおいても同様に中心点をそろえて、周辺のグリッドが実機映像と(位置的に)同等になるようにカメラ関係のパラメータを調整する
- ・調整パラメータ(下記の2つの方式のどちらかを実施)
 - ・画面全体の歪特性、解像度特性
 - ・レンズの焦点距離、歪特性、各種収差、組立て(レンズと撮像デバイス間)の中心偏差、角度偏差

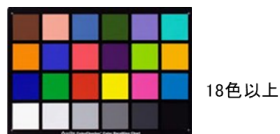
判定基準

- ・目視において、画像全体でほぼ重なっている (視覚解像度、SFR空間周波数応答、限界解像度、との観点からグリッドの広がり具合を評価)
- ・評価点付近のグリッド座標で実機との差が ± 2 ピクセルの範囲

■単体カメラ モジュールの調整 色彩輝度

カメラ
(0-2)

マクベスチャート



輝度表現範囲
+色味

- ・暗室
- ・既知光源を用いる

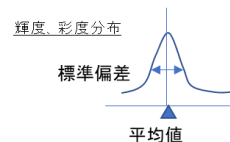
検証方法

テストチャートを用いて、輝度表現+色味をRAWデータを基に実機とCGの映像のズレを最小に調整する

- ・チャート内の各色ブロックで計測する
- ・対象画像位置において、9ピクセル以上の統計量(輝度、彩度の平均値、標準偏差)を計測する
- ・カメラ一般の性能の輝度表現および色の再現性で評価する

判定基準

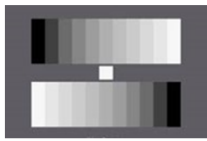
- ・各項目について、実機との差が $\pm 5\%$ の範囲



■単体カメラ モジュールの調整 ダイナミックレンジ

カメラ
(0-3)

グレイチャート



13ステップ以上



ダイナミックレンジ検証

- ・暗室
- ・既知照明を用いる

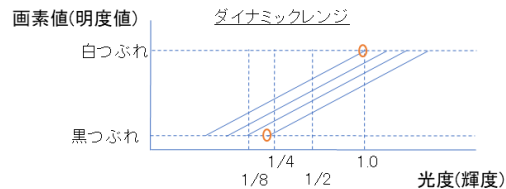
検証方法

既知照明の光度(輝度)を段階的に変化させて、光度に対するカメラのダイナミックレンジを計測し、RAWデータを基に実機とCGの映像のズレを最小に調整する

- ・白飛びするまでの光度vs画素値(明度値)
- ・白飛びした時の光度を1とし、黒つぶれする時の光度までを、6段階以上で比較する
- ・計測点の水準は等比(1/2, 1/4, 1/8, など)が望ましい

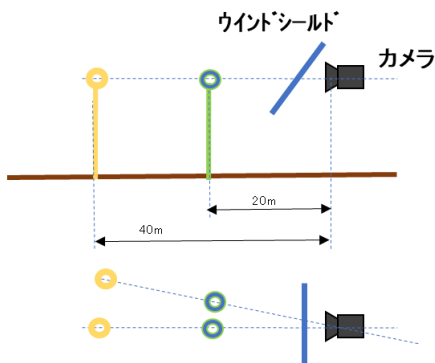
判定基準

- ・白つぶれ時の光度は、実機との差が $\pm 5\%$ の範囲
- ・黒つぶれ時の光度は、実機との差が $\pm 5\%$ の範囲



■車載カメラ カメラ前面の調整 光軸

カメラ
(1-0)



リファレンスとなる光軸上の異なる距離にある2点の目標点を使用して、実機とのズレを最小となるように取付けを調整する

- ・車載
- ・天空光(太陽光源)
- ・PG相当 アスファルト路面、水平面

検証方法

・実機カメラにおいて、光軸上の距離の異なる目標点が撮像デバイスの中心点になるようにカメラを取り付け、調整する

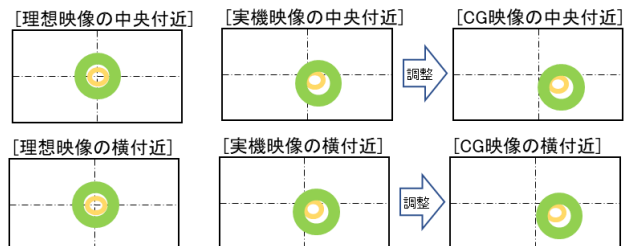
・CGカメラにおいても(位置的に)同等になるように関係するパラメータを調整する

・調整パラメータ

- 1)カメラの取付けの高さと向き
- 2)ウィンドシールドの曲率、傾斜、屈折率

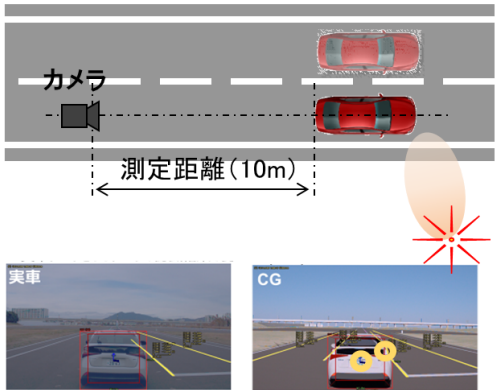
判定基準

目標点の画像上での位置において、実機との差が ± 2 ピクセルの範囲



■車載カメラ カメラ前面の調整(車両) 歪み
■アセット(自車停止) 認識対象(車両) 配置
■シナリオ 認識対象(車両) 配置

カメラ
 (1-1)
 (2-1/3-1)
 (4-1/5-1)



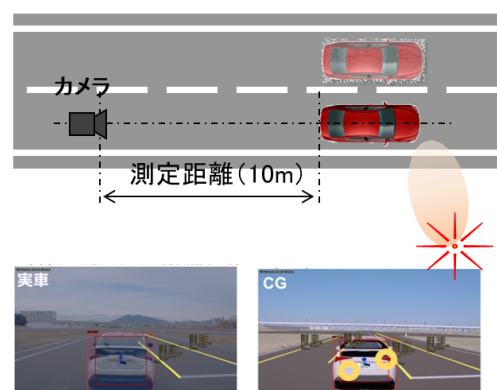
検証方法
 ・高精度GPSを使用し、10m程度の車間距離を維持し、同車線、隣車線における実機映像を取得する
 ・同シナリオにおいてCGで映像を作成する
 ・車両上の数点の特異点(ボディの隙間、など)の画像上の位置を測定する
 実環境とシミュレーション環境とで比較する

判定基準
 各項目について、実機との差が画像上の位置により
 ・中央付近: ± 5 ピクセルの範囲
 ・周辺付近: ± 10 ピクセルの範囲
 ※車間距離の計測誤差を1%とする

- ・車載
- ・天空光(太陽光源)
- ・PG相当 アスファルト路面

■車載カメラ カメラ前面の調整(車両) 色彩輝度
■アセット(自車停止/低速) 認識対象(車両) 色彩輝度
■シナリオ 認識対象(車両) 色彩輝度

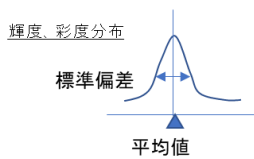
カメラ
 (1-2)
 (2-2/3-2)
 (4-2/5-2)



検証方法
 ・高精度GPSを使用し、10m程度の車間距離を維持し、同車線、隣車線における実機映像を取得
 ・同シナリオにおいてCGで映像を作成し、ボディ、バンパ、出来れば、テールランプに対して、日が当たっている時と影の時の輝度表現および色表現を測定する
 ・対象画像位置において、9ピクセル以上の統計量(輝度、彩度の平均値、標準偏差)を計測する
 ・実環境とシミュレーション環境とで比較する

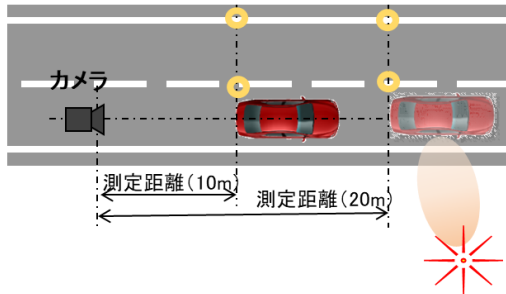
判定基準
 各項目について、実機との差が $\pm 10\%$ の範囲

- ・車載
- ・天空光(太陽光源)
- ・PG相当 アスファルト路面



■車載カメラ カメラ前面の調整(境界線) 歪み
■アセット(自車停止/低速) 認識対象(境界線) 配置
■シナリオ 認識対象(境界線) 配置

カメラ
 (1-1)
 (2-4/3-4)
 (5-4)



- ・車載
- ・天空光(太陽光源)
- ・PG相当 アスファルト路面

検証方法

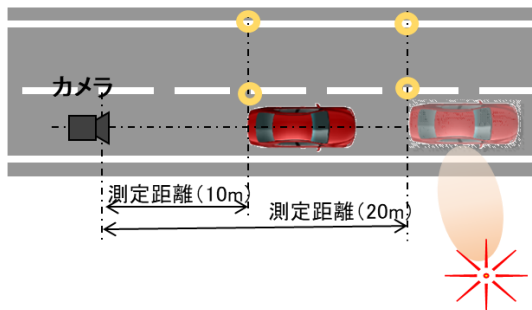
- ・高精度GPSを使用し、比較位置(10m、20m先の白線と道路)を特定し、実機映像を取得する
- ・同シナリオにおいてCGで映像を作成する
- ・境界線上の比較位置の画像上の位置を測定する
- ・画像上の白線の形状を実機とCGで比較する

判定基準

- 各項目について、実機との差が画像上の位置により
- ・中央付近: ± 5 ピクセルの範囲
 - ・周辺付近: ± 10 ピクセルの範囲

■車載カメラ カメラ前面の調整(境界線) 色彩輝度
■アセット(自車停止/低速) 認識対象(境界線) 色彩輝度
■シナリオ 認識対象(境界線) 色彩輝度

カメラ
 (1-2)
 (2-5/3-5)
 (5-5)



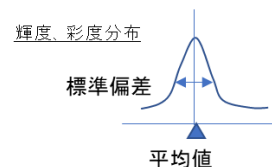
- ・車載
- ・天空光(太陽光源)
- ・PG相当 アスファルト路面

検証方法

- ・高精度GPSを使用し、比較位置(10m、20m先の白線と道路)を特定し、実機映像を取得する
- ・同シナリオにおいてCGで映像を作成する
- ・白線上と路面に対して、日が当たっている時と影の時の輝度表現および色表現を測定する
- ・対象画像位置において、9ピクセル以上の統計量(輝度、彩度の平均値、標準偏差)を計測する
- ・実環境とシミュレーション環境とで比較する

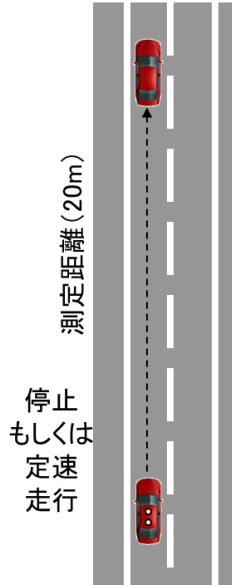
判定基準

- 各項目について、実機との差が $\pm 10\%$ の範囲



■アセット(自車停止) 認識対象(車両) 距離/速度
 ■シナリオ 認識対象(車両) 距離/速度

カメラ
 (2-3-1/2-3-3/3-3-1/3-3-3)
 (4-3-1/4-3-3/5-3-1/5-3-3)



検証方法

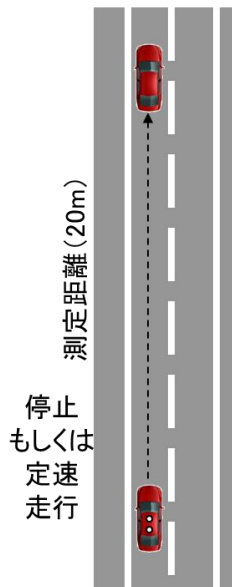
- 自車速: 停車 もしくは 5km/h程度
- 既知道路(直線、定常円(例:R100程度))を走行する
- ターゲット車両との距離20m付近を維持
- 自車線前方のターゲット車両との距離(位置)、相対速度の時系列データを測定する
- ターゲット車両は乗用車、大型車とする
- 実環境とシミュレーション環境とで比較する

判定基準

- 距離は、実機との差が $\pm 5\%$ の範囲
- 速度は、実機との差が $\pm 10\%$ の範囲

■アセット(自車停止) 認識対象(車両) サイズ/向き
 ■シナリオ 認識対象(車両) サイズ/向き

カメラ
 (2-3-2/3-3-2)
 (4-3-2/5-3-2)

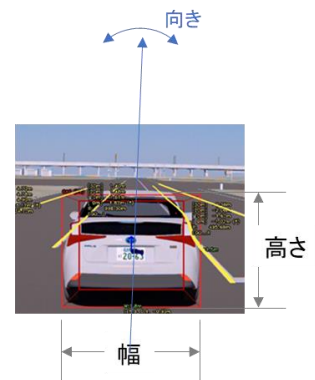


検証方法

- 自車速: 停車 もしくは 5km/h程度
- 既知道路(直線、定常円(例:R100程度))を走行する
- ターゲット車両との距離20m付近を維持
- 自車線前方のターゲット車両の高さ、幅、向きの時系列データを測定する
- ターゲット車両は乗用車、大型車とする
- 実環境とシミュレーション環境とで比較する

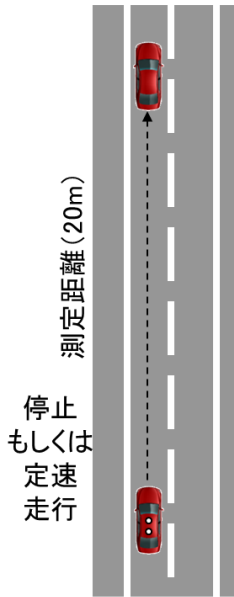
判定基準

- サイズは、実機との差が $\pm 5\%$ の範囲
- 向きは、実機との差が $\pm 5\%$ の範囲



■アセット(自車停止) 認識対象(車両) 種別
 ■シナリオ 認識対象(車両) 種別

カメラ
 (2-3-4/3-3-4)
 (4-3-4/5-3-4)



検証方法

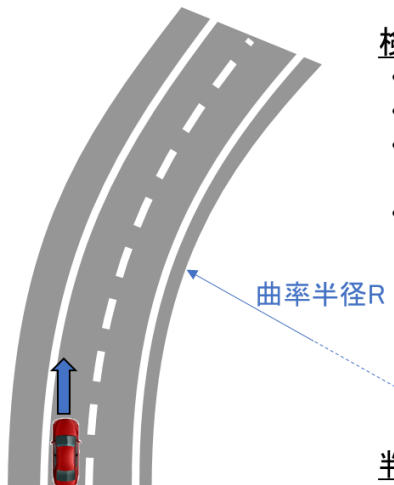
- 自車速: 停車 もしくは 5km/h程度
- 既知道路(直線、定常円(例:R100程度))を走行する
- ターゲット車両との距離20m付近を維持
- 自車線前方のターゲット車両の種別データの時系列データを測定する
- 種別は、四輪車、歩行者、その他各認識処理で定義される出力種別
- ターゲット車両は乗用車、大型車とする
- 実環境とシミュレーション環境とで比較する

判定基準

- ターゲット種別が一致していること

■アセット(自車停止/低速) 認識対象(境界線) 曲率
 ■シナリオ 認識対象(境界線) 曲率

カメラ
 (2-6-1/3-6-1)
 (5-6-1)



検証方法

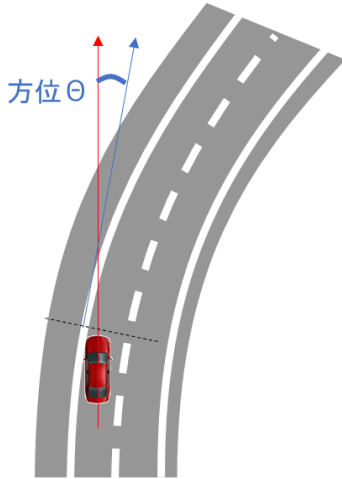
- 自車速: 停車 もしくは 5km/h程度
- 既知道路(直線、定常円(例:R100程度))を走行する
- 走行する定常円区画線の曲率半径の時系列データを測定する
- 実環境とシミュレーション環境とで比較する

判定基準

- 曲率は、実機との差が $\pm 5\%$ の範囲

■アセット(自車停止/低速) 認識対象(境界線) 方位
 ■シナリオ 認識対象(境界線) 方位

カメラ
 (2-6-2/3-6-2)
 (5-6-2)



検証方法

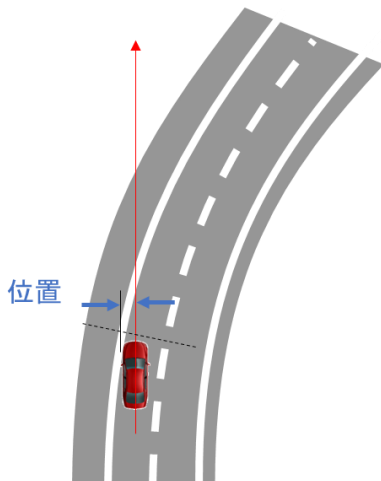
- 自車速: 停車 もしくは 5km/h程度
- 既知道路(直線、定常円(例:R100程度))を走行する
- 自車を基準に走行する区画線の方位の時系列データを測定する
- 実環境とシミュレーション環境とで比較する

判定基準

- 方位は、実機との差が $\pm 5\%$ の範囲

■アセット(自車停止/低速) 認識対象(境界線) 横位置
 ■シナリオ 認識対象(境界線) 横位置

カメラ
 (2-6-3/3-6-3)
 (5-6-3)



検証方法

- 自車速: 停車 もしくは 5km/h程度
- 既知道路(直線、定常円(例:R100程度))を走行する
- 自車を基準に走行する区画線の位置の時系列データを測定する
- 自車線の左右区画線を対象とする
- 実環境とシミュレーション環境とで比較する

判定基準

- 横位置は、実機との差が $\pm 5\%$ の範囲

■アセット(自車停止/低速) 認識対象(境界線) 種別
■シナリオ 認識対象(境界線) 種別



検証方法

- 自車速: 停車 もしくは 5km/h程度
- 既知道路(直線、定常円(例:R100程度))を走行する
- 各区画線の種別データの時系列データを測定する
- 種別は破線、実線、色、その他各認識処理で定義される出力種別
- 実環境とシミュレーション環境とで比較する

判定基準

- ターゲット種別が一致していること

F.3 認識外乱再現要件と妥当性検証方法

この章では、認識外乱再現要件として確認が必要な項目およびそれらの検証方法について解説する。検討の進め方は共通要件と同様である。

まず認識外乱再現要件として設定する項目について、どのような項目を設定するかについての考え方を整理する。その後この考え方に従って各センサごとの検証方法について整理する。この検証方法はセンサ原理に基づいて設定されるため、センサ原理の違う物を取り扱う場合は同様の考え方で確認項目を整理し、確認することが必要となる。また、ここで整理した以下検証方法は、同等の内容が検証できる他の方法で代替することも可能である。

F.3.1 認識外乱再現要件の考え方

ここでは認識外乱再現要件として設定する項目について考え方を整理する。共通要件で実施したのと同じように、認識外乱の要因を①センサー・車両自身、②信号の伝播する空間、③認識対象物 とに分け(図3)、各々について外乱を付与した環境において検証すべき項目とその基準値について整理する。また、これらを総合して確認するため、基本的な交通流シナリオにおいて外乱を与えた条件下で認識対象物が認識できるかを確認する方法を定義する。

F.3.2 各センサにおける認識外乱再現要件の考え方

F.3.2.1 ミリ波レーダーについての認識外乱再現要件の考え方

ミリ波レーダーでは、その知覚の原理から、距離・方位・相対速度と、受信電波強度などの物理量が再現されているかどうかを外乱を与えた環境下で検証する(図 F-4)

具体的な要件を整理したものを表 F-4 に示す。

項目		パラメータ	要求内容	妥当性 検証方法 No.	外乱無し	知覚起因													認識処理起因											
						認識対象からの信号S						認識対象を阻害する信号							処理能力 処理点数不足 演算能力不足	処理性能										
						位相			強度			ノイズ(N)			不要信号(U)					ディテクション (対象の反射点群出力)		クラスタリング (反射点群のグループ化)	トラッキング (対象の追跡)	クラシフィケーション (対象の識別)						
						到来方向変化	反射(間 接波)	屈折	Sなし(部 分的)	S強すぎ	S強度差 大	低S/N			低D/U					U増大	Uの誤検出	Sの未検出	認識想定外の点 群分布	認識想定外の 挙動(フレーム 間)	認識想定外の対 象					
外乱の 再現性検証	S強度差大の再現	外乱現象の再現	信号強度比	距離・角度	認識対象物1と2の信号の強度比が、実環境と同等であること																									
			半値幅比	距離・角度	認識対象物1と2の信号の半値幅比が、実環境と同等であること																									
			信号の埋もれ	距離・角度	認識対象物2の信号が、実環境と同様に見えなくなる																									
	路面マルチパスによる低D/Uの再現	外乱現象の再現	路面材質・路面状態	受信電力	距離	認識対象物からの受信電力包絡線が実環境と同等であること																								
				受信電力	距離	C/Rからの反射波の受信電力について、エンベロープが実環境と同等であること																								
				ヌル点	距離	C/Rからの反射波の受信電力について、ヌル点距離が実環境と同等であること																								
	方位角変化による低D/Uの再現	外乱現象の再現	上方構造物の反射特性	信号の埋もれ	距離・角度	認識対象物の信号が、実環境と同様に標識看板の信号に埋もれて見えなくなる																								
				信号強度比	距離・角度	認識対象物と標識看板の信号の強度比が、実環境と同等であること																								
				半値幅比	距離・角度	認識対象物と標識看板の信号の半値幅比が、実環境と同等であること																								
	車両の向きによる低S/N	外乱現象の再現	受信電力の累積分布	車両角度	ある車間距離区間における受信電力累積分布が、実環境と同等であること																									

表 F-4: ミリ波レーダーの認識外乱 再現性検証と外乱の発生原理

F.3.2.2 LiDAR についての認識外乱再現要件の考え方

LiDAR では、その知覚の原理から、距離・方位・強度・検出点数・大きさなどの物理量が再現されているかどうかを検証する(図 F-5)。

具体的な要件を整理したものを表 F-5 に示す。

検証観点	説明	ターゲット	項目	パラメータ	要求	妥当性検証 手法No.	知覚部																						
							認識対象からの信号						認識対象外からの信号																
							S強度		S伝搬方向		S速度		N要因			U要因													
							空間全体の 位置ずれ	認識対象の 位置ずれ	S飽和	S減衰	遮蔽によ るS無し	反射	屈折	Sの到達 時間	パルス状 のノイズ	DC的なノイズ	多重反射	認識対象外 からの信号 (反射)	認識対象外 からの信号 (屈折)										
外乱の 再現性検証	ノイズ	誤差平均と バラツキ	標準反射板	光源	高度	0~90度で位置を変化させた上で検出できること	F.2.4.2.1																						
					方位	0~360度で位置を変化させた上で検出できること																							
					明るさ	明るさを0~XX mW/mm ² (LiDARによって波長域が異なるため、Lidarが発光する波長に合わせて取り得る範囲で設定)を変化させた上で検出できること																							
		受信強度と 検出確率	標準反射板	光源	高度	0~90度で位置を変化させた上で検出できること		F.2.4.2.2																					
					方位	0~360度で位置を変化させた上で検出できること																							
					明るさ	明るさを0~XX mW/mm ² (LiDARによって波長域が異なるため、Lidarが発光する波長に合わせて取り得る範囲で設定)を変化させた上で検出できること																							
	S減衰	認識外乱の 再現性	車両	リフレクタ	形状	地上高の高い車両・車高の低い車両・バイク・自転車・角張った車両・丸みのある車両で検出できること	F.2.4.2.4																						
					鏡面反射板	色、材質			黒い塗装・鏡面反射で検出できること																				

表 F-5: LiDAR の認識外乱 再現性検証と外乱の発生原理

F.3.2.3 カメラセンサについての認識外乱再現要件の考え方

共通要件の項で示した通り、カメラセンサは距離情報を知覚部で取得することは不可能である一方、色情報を取得することが出来るため、この特性が外乱下でのカメラにおける一致性検証で重要である。

具体的な要件を整理したものを表 F-6 に示す。

F.3.3 認識外乱再現要件の妥当性検証方法

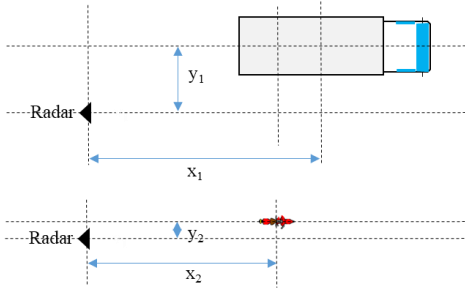
各センサについて、F.3.2 で定義した各要件項目の検証方法を記述する。

F.3.3.1 ミリ波レーダーの認識外乱再現要件と妥当性検証方法

■S強度差大の再現

外乱現象の再現 信号強度比/半値幅比

認識対象の位置



検証方法

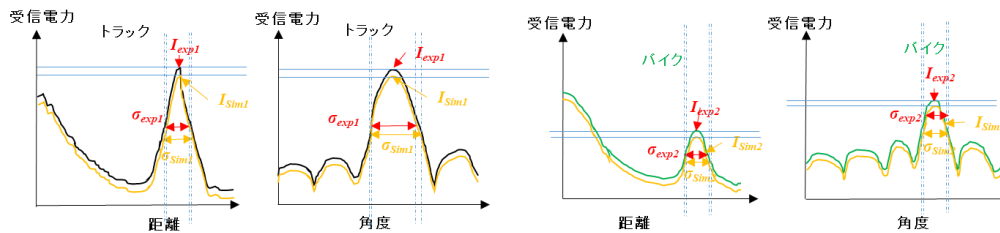
- 反射強度が異なるトラック等の大型車両(認識対象1)とバイク(認識対象2)を用い評価
 - 水平直線路上に認識対象を置き速度(0km/h)の静止状態で評価
 - 認識対象1と認識対象2を個別に評価する
 - 評価における位置関係
- $x_1:150(m)$ $x_2:140(m)$ $y_1:3.5(m)$ $y_2:1.0(m)$
- 実環境と仮想環境で信号強度比 I_{exp1}/I_{exp2} I_{Sim1}/I_{Sim2} と半値幅 $\sigma_{exp1}/\sigma_{exp2}$ $\sigma_{Sim1}/\sigma_{Sim2}$ を比較する

ミリ波レーダー
(3-1/3-2)

判定基準

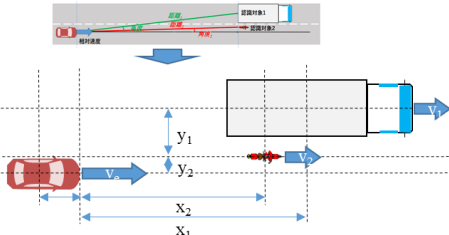
実環境と仮想環境で信号強度比 I_{exp1}/I_{exp2} I_{Sim1}/I_{Sim2} と半値幅 $\sigma_{exp1}/\sigma_{exp2}$ $\sigma_{Sim1}/\sigma_{Sim2}$ の差異が±5%以内

exp : 実機実験
sim : 仮想環境



■S強度差大の再現

外乱現象の再現 信号の埋もれ



検証方法

- 反射強度が異なるトラック等の大型車両(認識対象1)とバイク(認識対象2)を用い評価
- 水平直線路を走行し評価
- 認識対象1と認識対象2は隣接する車線を並走、自車に対し接近する方向に移動させ評価
- 認識対象1と認識対象2は自車に対する相対速度が同じ場合と異なる場合2パターンで評価
- 初期位置及び初期速度

ミリ波レーダー
(3-3)

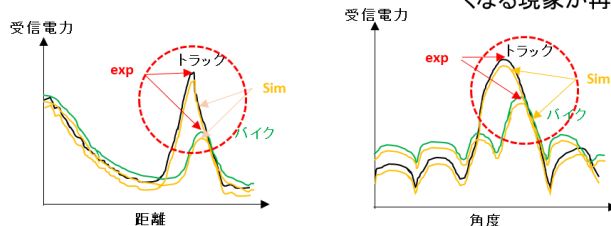
$x_1:150(m)$ $x_2:140(m)$ $y_1:2.5(m)$ $y_2:1.0(m)$
 $v_1:90(km/h)$ 程度 $v_2:90(km/h)$ 程度
 $v_e:100(km/h)$ 程度

- 実環境と仮想環境で信号強度が低いバイクが大型車両の信号に埋もれるか確認する

判定基準

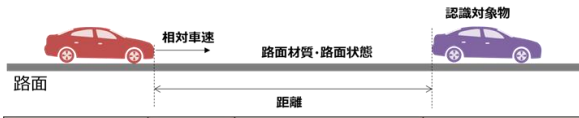
実環境と仮想環境で信号強度の低いバイクが信号強度の高い大型車両の信号に埋もれ、見えなくなる現象が再現されること

現象パラメータ	再現パラメータ	再現パラメータ	パラメータの範囲	考え方	再現方法
距離	---	---	検出距離(0)以内検出距離-最大検出距離	レーダの検出範囲を再現する為に距離はレーダのスペックに基づき範囲を制限	外乱再現のみ
アンテナ方位	---	---	対象物角度(0)F0Vに範囲内	レーダのスペックに基づきFOV内パラメータを範囲を制限	
センサ角度	センサ角度	センサ角度	検出角度 0°~180°	検出角度範囲を再現する為に角度	
認識対象物の形状	認識対象物の形状(形状ID)	認識対象物の形状(形状ID)	認識対象物の形状に適合する自動車に分類される認識対象物(形状IDなし)大型自動車と小型自動車	自動車走行可能な車両・緊急時の歩行者用車両を再現する人を考慮	
認識対象物大きさ	認識対象物大きさ	認識対象物大きさ	---	自動車走行可能な車両・緊急時の歩行者用車両を再現する人を考慮	外乱再現
車両の材質	材質	材質	色	レーダの色により波長の特性値の相違は無いがパラメータが必要	
認識対象物の埋もれ	---	---	---	レーダの検出範囲に適合する自動車に分類される認識対象物	



赤枠内、バイクの信号が大型車両の信号に埋もれる

■ 路面マルチパスによる低DUの再現：外乱現象の再現 受信電力



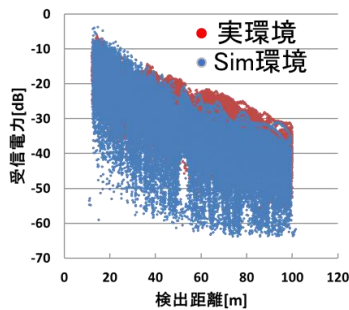
パラメータ項目	変化/固定	範囲	説明
対象物までの距離	変化	最小検知距離～最大検知距離m	センサスペックに基づく範囲で検証
相対車速	固定	ODD内の最高速度	
対象物の種類	固定	大型車(車高:高) 普通車(車高:中) 小型車(車高:低)	大型車、普通車、小型車などの代表例を3水準
路面材質	固定	アスファルト / 鉄板(TBD)	代表的な路面材質/鏡面反射率の高い路面材質
路面状態	固定	通常 / ウェット	通常の路面状態/鏡面反射率の高い路面状態

検証方法

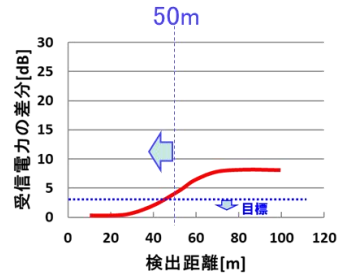
- 「低D/U(路面マルチパス)」評価シナリオを再現する：
 - 自車線前方の認識対象物(静止車両)に接近する
- 対象物までの距離：センサ最小検知距離～最大検知距離
- 相対速度：定速(例:20km/h程度)
- 対象物種類：乗用車、大型トレーラー
- 路面材質：アスファルト、鉄板(TBD)
- 路面状態：通常、ウェット

判定基準

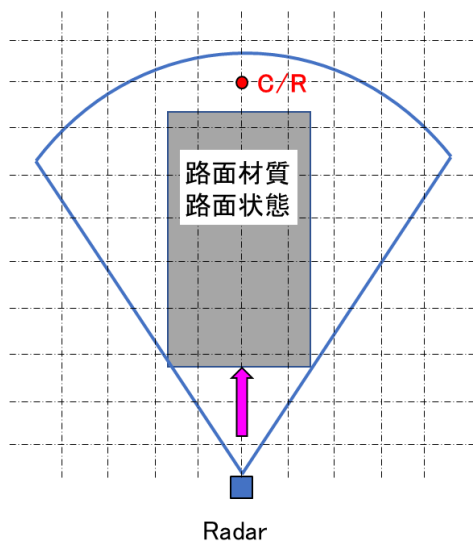
- 相対距離50m以下での、受信電力包絡線の差異：3dB以下



受信電力を上端の包絡線で比較検証



■ 路面マルチパスによる低DUの再現：
路面材質・路面状態 受信電力/ヌル点

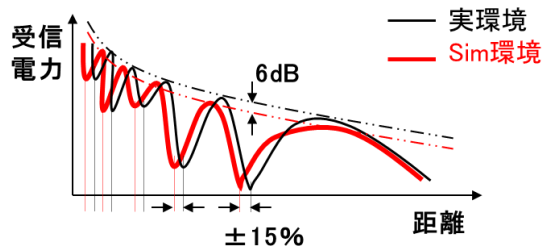


検証方法

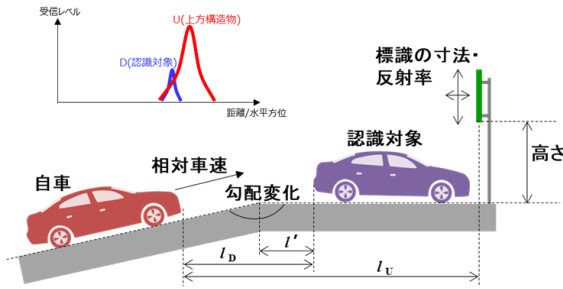
- Radar正面にG/Rを設置し、G/Rに向かってRadarを移動
- 路面材質：アスファルト、鉄板(TBD)
- 路面状態：通常、ウェット

判定基準

- エンベロープの差異：6dB 以下
- ヌル点距離の差異：±15% 以下



■ 方位角変化による低D/Uの再現：
外乱現象の再現 信号の埋もれ



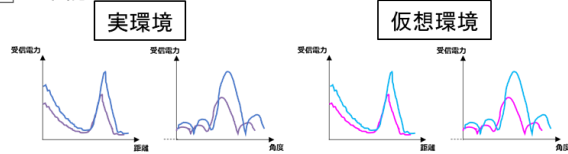
パラメータ	パラメータ範囲	考え方	
外乱要因	縦断勾配の変化 変化 0 ~ 18%相当	上に凸な路面で代表させる	
外乱要因以外	認識対象までの距離 初期値 l_D 固定	衝突回避に必要な距離	
	変曲点から認識対象までの距離 l' 変化	0 ~ l_D	
	認識対象の横位置 固定	同一車線上に固定	
	標識までの距離 初期値 l_U 変化	$l_D - 5 \sim l_D + 5$ (m)	
	標識の横位置 変化	-3.5 ~ +3.5 (m)	隣接車線上の設置物まで想定
	標識の高さ(下端まで) 固定	4.5m(車道上方) / 1.5m(路側式)	「道路標識設置基準」より
	標識看板の寸法 固定	2.7 x 3.5 (m)	高速道路の案内標識
	標識看板の反射率 固定	(実際の標識看板の測定値)	
	相対車速 固定	ODD内の最高車速	
	認識対象の種類 固定	乗用車 / 歩行者	交通参加者の代表/低反射率

検証方法

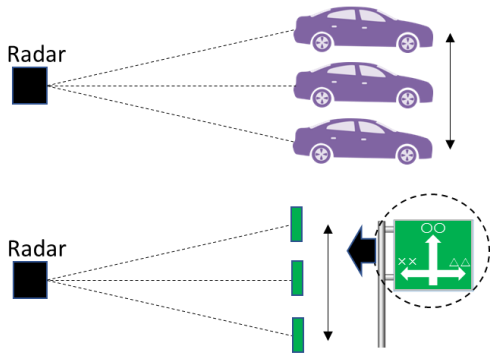
- 「方位角変化による低D/U」評価シナリオを再現：
 - 上に凸の勾配変化のある道路を走行する。
 - 前方、勾配変化した先に金属製の標識看板がある。
 - 自車線前方、標識の近くにある停止車両に接近する。
- 勾配変化：3 ~ 10° の範囲で2点
- l' ：5 (m) 固定
- l_D 初期値：15 (m)
- l_U 初期値：20 (m)
- 認識対象物の種類：乗用車
- 実環境とシミュレーション環境とで、反射波のピーク強度比 I_D/I_U を比較する。

判定基準

標識看板の信号に認識対象物の信号が埋もれる現象が、実環境と仮想環境とで同様に起こることを確認



■ 方位角変化による低D/Uの再現：
上方構造物の反射特性 信号強度比/半値幅比

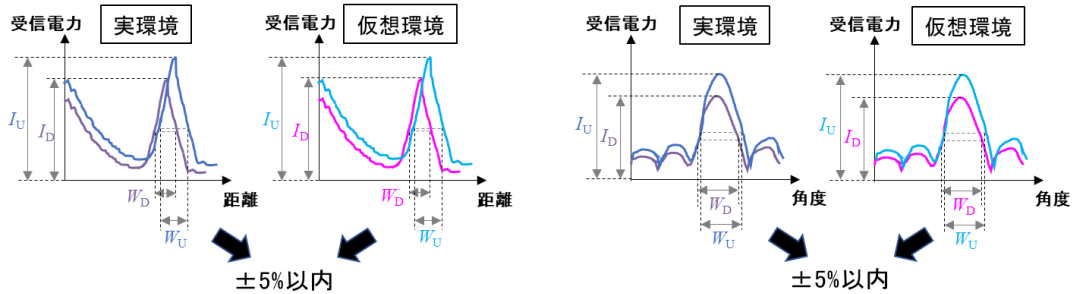


検証方法

- 認識対象の乗用車/道路標識平板部にレーダー電磁波を照射する。
- 乗用車/標識とレーダーとの角度を鉛直面内で変化させる角度：0°, ±5°, ±10°
- 測定距離：15, 20 (m)
- 実環境とシミュレーション環境とで、ピーク強度比 I_D/I_U および ピーク半値幅比 W_D/W_U を比較する

判定基準

実環境と仮想環境における I_D/I_U , W_D/W_U の差異：±5%以内



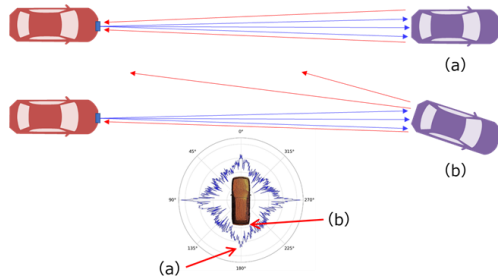
■車両の向きによる低S/N

ミリ波レーダー
(6-1)

検証方法

・「車両の向きによる低D/U」評価シナリオを再現する:

- 直線路上の前方に車両を静止させ、低速で接近走行する。
- 前方の車両の設置角度を変えて走行する。

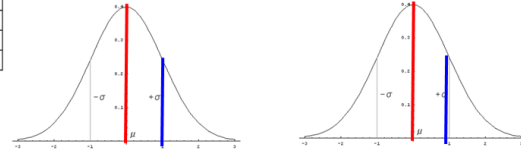


- ・ 車両設置角度: 0, 10, 30 (°)
- ・ 初期車間距離: 150 (m)
- ・ 車両速度: 20 (km/h) 以下
- ・ 認識対象物の種類: 乗用車(一般的な車両)
- ・ 実環境とシミュレーション環境とでそれぞれ、受信電力を記録して比較する。

判定基準

ある車間距離区間(例: 10~20m)における受信電力 (dBm) の累積分布を示し、平均、分散の各々で比較: $\pm 10\%$ 以内

パラメータ項目	変化/固定	範囲	説明
対象物の種類	変化	・投影面積 (大、中、小) ・散乱への寄与率= 反射率 (金属多用、非金属多用、中間) ・散乱波の指向性 (一様、偏りあり)	・面積は大きめに3水準とする ・内部まで全て非金属の車両は無く、3水準 ・車両の微小部位における法線ベクトルの密度に依存し3水準
対象物の向き	変化	0°~30°	道路線形 (カーブR) に準ずる
対象物までの距離	変化	150~5m	
相対車速	固定	20kph 以下 (定速)	

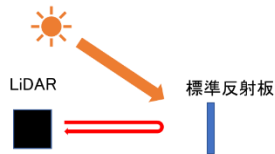


受信電力の累積分布(実測) 受信電力の累積分布(Sim.)

F.3.3.2 LiDAR の認識外乱再現要件と妥当性検証方法

■ ノイズ： 誤差平均とバラツキ

LiDAR
(F.2.4.2.1)



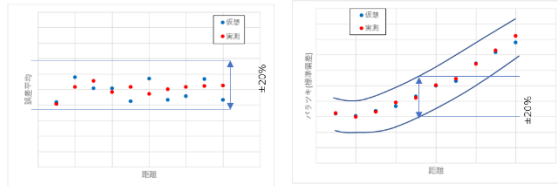
検証方法

LiDAR正面に標準反射板を設置し、距離を変化させて誤差平均と分散を測定し、実測との差分が判定基準内である事。

判定基準

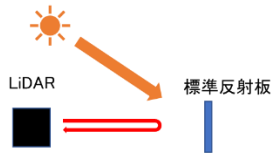
誤差平均:対象までの距離の±20%以内
σ:±20%以内

外乱要因	外乱要因パラメータ	範囲	根拠(又は理由)
空間 光源 ハロゲンランプ等	高度	0~90度	取り得る範囲
	方位	0~360度	取り得る範囲
	明るさ	0~XX mW/mm ²	LiDARによって波長域が異なるため、各機種によって取り得る範囲で設定



■ ノイズ： 受信強度と検出確率

LiDAR
(F.2.4.2.2)



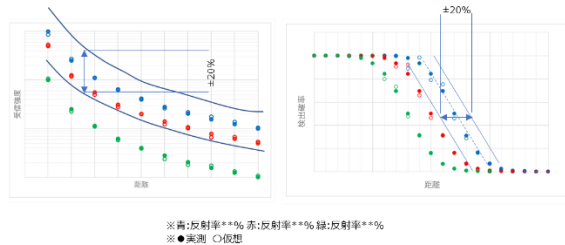
検証方法

LiDAR正面に標準反射板を設置し、距離を変化させて受信強度と検出確率を測定し、判定基準内である事。

判定基準

実測値との強度誤差:±20%以内
実測との検出確率差@検出確率90%:±20%以内
実測との検出確率差@検出確率50%:±20%以内
実測との検出確率差@検出確率10%:±20%以内

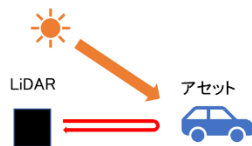
外乱要因	外乱要因パラメータ	範囲	根拠(又は理由)
空間 光源 ハロゲンランプ等	高度	0~90度	取り得る範囲
	方位	0~360度	取り得る範囲
	明るさ	0~XX mW/mm ²	LiDARによって波長域が異なるため、各機種によって取り得る範囲で設定



※青:反射率**% 赤:反射率**% 緑:反射率**%
※●:実測 ○:仮想

■ ノイズ： 受信強度と検出確率 受信点数

LiDAR
(F.2.4.2.3)



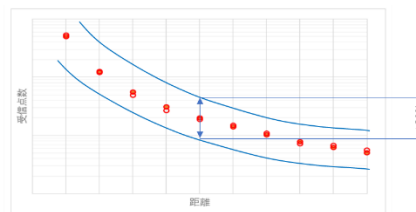
検証方法

LiDAR正面にアセットを設置し、距離を変化させて受信点数の差異を検証

判定基準

実測点数との誤差±20%以内
(受信点数が少なくなる遠方は除外)

外乱要因	外乱要因パラメータ	範囲	根拠(又は理由)
空間 光源 ハロゲンランプ等	高度	0~90度	取り得る範囲
	方位	0~360度	取り得る範囲
	明るさ	0~XX mW/mm ²	LiDARによって波長域が異なるため、各機種によって取り得る範囲で設定



■ S減衰：認識外乱の再現性 減衰認識対象の再現

LiDAR
(F.2.4.2.4.)



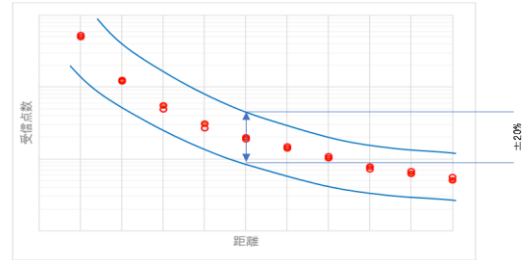
外乱要因	外乱要因パラメータ	範囲	根拠（又は理由）
車両	形状	地上高の高い車両 車高の低い車両 バイク、自転車 角張った車両 丸みのある車両	ボデー下をすり抜け、タイヤからのみ反射 荷台部分は上レイヤーのビームが当たりづらい 水平方向の反射点数が少ない 向きによって法線の向きがLiDARと正対しづらい 法線の向きがLiDARと正対しづらい
	色、材質	黒い塗装 鏡面反射	拡散反射成分が少ない 向きによって鏡面反射して返ってこない

手法

LiDAR正面にアセットを設置し、距離を変化させて受信点数の差異を検証

判定基準

例) 実測点数との誤差±20%以内
(受信点数が少なくなる遠方は除外)

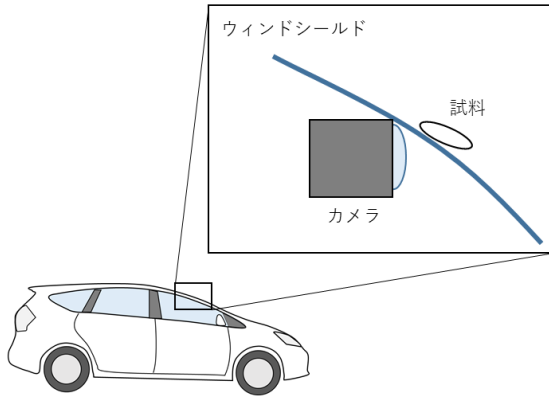


F.3.3.3 カメラセンサの認識外乱再現要件と妥当性検証方法

■遮蔽 配置検証(遮蔽物)・色彩輝度検証(遮蔽物)

カメラ
(B-1-1-1
B-1-1-2)

1. センサ前面付着物 知覚部一致性



検証方法

車輛静止状態でウィンドシールド上に試料を塗布し、検証を行う。評価方法は共通要件と同様。

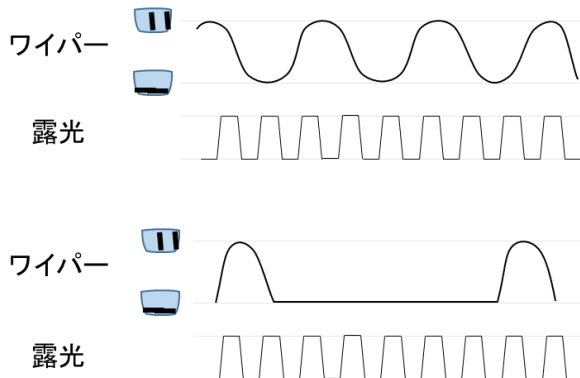
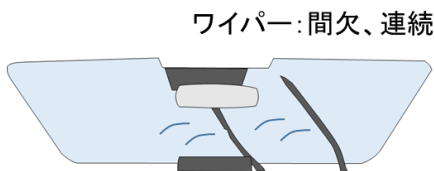
判定基準

- ・理論値と画素値の差異が $\pm 5\%$ もしくは ± 5 ピクセルの範囲
- ・実機と画素値の差異が $\pm 2\%$ もしくは ± 2 ピクセルの範囲

■遮蔽 配置検証(遮蔽物)・色彩輝度検証(遮蔽物)

カメラ
(B-1-1-1
B-1-1-2)

2. センサ前面障害物 知覚部一致性



検証方法

1の付着物と異なり、時間変化する要素としてワイパー映り込みの再現を検証する。ワイパー動作、シャッタースピードなど時間変化に関する項目を評価する

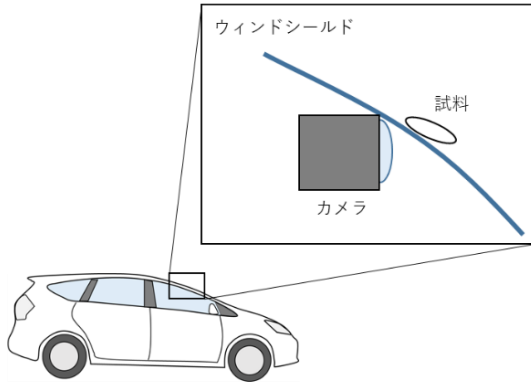
判定基準

- ・露光タイミングとワイパー動作の時間変化が一致すること
- ・同状態の画像に対する画素値の差異 5% 以下

■ 遮蔽 配置検証(物標)・色彩輝度検証(物標)

カメラ
(B-1-2-1
B-1-2-2)

1. センサ前面付着物 知覚部一致性



検証方法

車輛静止状態でウィンドシールド上に試料を塗布し、検証を行う。評価方法は共通要件と同様。

判定基準

- ・理論値と画素値の差異が $\pm 5\%$ もしくは ± 5 ピクセルの範囲
- ・実機と画素値の差異が $\pm 2\%$ もしくは ± 2 ピクセルの範囲

■ 遮蔽 認識結果(物標)

カメラ
(B-1-3)

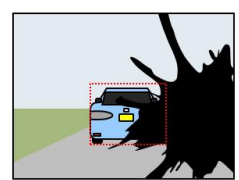
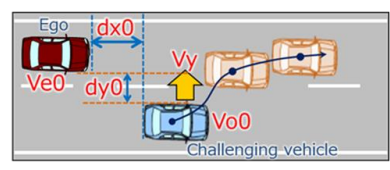
認識外乱要因				特徴抽出			
				遮蔽			
				不調概要 (対象が見えない)			
モデル化分類	要因分類		不調内容	車両側で見れない	対象側で見れない	死角	
				要因項目(具体例)			
車面・センサ	センサ前面	付着物・障害物	① 遮蔽 - 泥・埃 等	泥・塵などの付着 (画像欠損)	3	-	-
			遮蔽 - 雪・氷 等	雪・氷などの付着 (画像欠損)	3	-	-
			遮蔽 - 水 等	水などの付着 (画像欠損)	2	-	-
			遮蔽 - 虫・鳥糞 等	虫・鳥糞などの付着 (画像欠損)	2	-	-
			② 遮蔽 - ワイパー	ワイパー動作 (画像欠損)	1	-	-
周辺環境	周辺構造物	路面	③ 形状	勾配			3
	周辺移動物		④ 遮蔽 非透過物	駐車車両、街路樹、飛来物			3
認識対象	走路	区画線	汚れ・掠れ	落ち葉、積雪などによる部分的な隠れ		3	-
				汚れ、かすれ、引き直し			
	移動物	他車両	付着物	色	付着物基準色 (車両の色と類似~相違)		1
形状	付着物様々な形 (泥やシールなどの形状、模様)				1	-	
範囲	付着範囲 (一部分~車体全体)				3	-	

(原理×要因マトリックスより)

上記 5分類について、各々妥当性検証方法を示す。

■ 遮蔽 認識結果(物標)

1. センサ前面付着物 Cut-inシナリオ



参考: 評価シナリオパラメータ

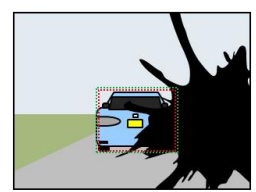
パラメータ項目	変化/固定	範囲
対象物までの距離	変化	最も遅い速度でのCut-in距離からセンサの最大検知距離まで 横位置dy0: 3.5m
対象物との相対車速	変化	ALKSでのpreventable基準に照らし最も早い速度と遅い速度
対象物の種類	固定	形状: セダン 色: 白
付着物(外乱要因)による認識対象の遮蔽率	変化	認識対象のバンディングボックスに対して ① 初期50% → 最終0% ② 初期100% → 最終50%

検証方法

付着物により視野が制限されている状態で、認識対象物が自車線前方に一定横速度で進入する

判定基準

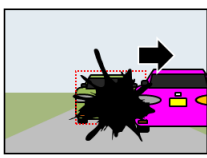
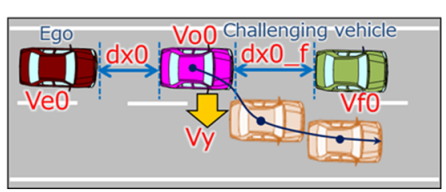
- 縦距離の差異: 5% 以下
- 横距離の差異: 5% 以下
- 縦相対速度の差異: 10% 以下
- 横相対速度の差異: 10% 以下
- 幅、高さの差異: 5% 以下



実測 — 緑
仮想 — 赤

■ 遮蔽 認識結果(物標)

1. センサ前面付着物 Cut-outシナリオ



参考: 評価シナリオパラメータ

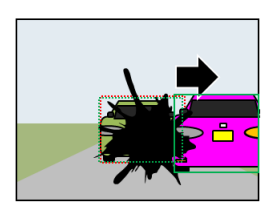
パラメータ項目	変化/固定	範囲
対象物までの距離	変化	最も遅い速度でのCut-out距離からセンサの最大検知距離まで
対象物との相対車速	変化	カットアウトシナリオでのpreventable基準に照らし最も早い速度と遅い速度
対象物の種類	固定	形状: セダン 色: 白
付着物(外乱要因)による認識対象の遮蔽率	変化	認識対象(前走車)のバンディングボックスに対して ① 初期50% → 最終0% ② 初期100% → 最終50%

検証方法

遮蔽されている位置から前走車がカットアウトする
認識対象は前走車、前前走車の両方とする

判定基準

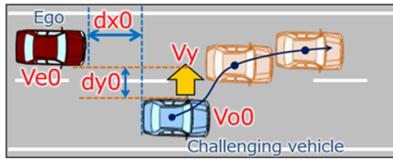
- 縦距離の差異: 5% 以下
- 横距離の差異: 5% 以下
- 縦相対速度の差異: 10% 以下
- 横相対速度の差異: 10% 以下
- 幅、高さの差異: 5% 以下



実測 — 緑
仮想 — 赤

■ 遮蔽 認識結果(物標)

2. センサ前面障害物 Cut-inシナリオ



参考: 評価シナリオパラメータ

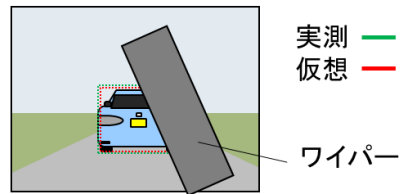
パラメータ項目	変化/固定	範囲
対象物までの距離	変化	最も遅い速度でのCut-in距離からセンサの最大検知距離まで 横位置dy0 : 3.5m
対象物との相対車速	変化	ALKSでのpreventable基準に照らし最も早い速度と遅い速度
対象物の種類	固定	形状: セダン 色: 白
ワイパー動作	固定	① 間欠 ② 連続

検証方法

ワイパー動作させた状態で、認識対象物が自車線前方に一定横速度で進入する

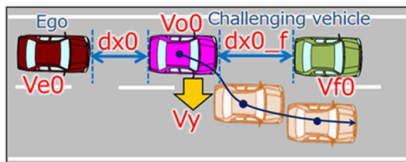
判定基準

- 縦距離の差異: 5% 以下
- 横距離の差異: 5% 以下
- 縦相対速度の差異: 10% 以下
- 横相対速度の差異: 10% 以下
- 幅、高さの差異: 5% 以下



■ 遮蔽 認識結果(物標)

2. センサ前面障害物 Cut-outシナリオ



参考: 評価シナリオパラメータ

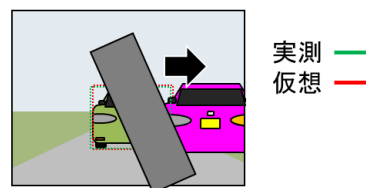
パラメータ項目	変化/固定	範囲
対象物までの距離	変化	最も遅い速度でのCut-out距離からセンサの最大検知距離まで
対象物との相対車速	変化	カットアウトシナリオでのpreventable基準に照らし最も早い速度と遅い速度
対象物の種類	固定	形状: セダン 色: 白
ワイパー動作	固定	① 間欠 ② 連続

検証方法

ワイパー動作しながら認識対象物がカットアウトする

判定基準

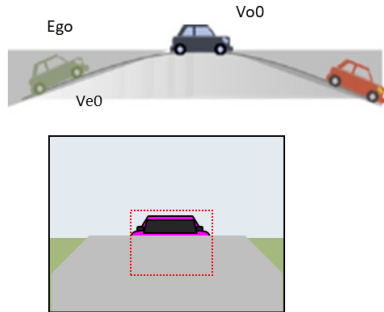
- 縦距離の差異: 5% 以下
- 横距離の差異: 5% 以下
- 縦相対速度の差異: 10% 以下
- 横相対速度の差異: 10% 以下
- 幅、高さの差異: 5% 以下



■ 遮蔽 認識結果(物標)

カメラ
(B-1-3)

3. 路面形状勾配 Blind-spot (vertical)シナリオ



検証方法

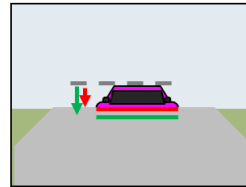
縦勾配のある路面(凸形状)を走行、自車線前方の認識対象物に一定速で接近する

判定基準

- ・ 画像上、車両トップから遮蔽路面までの高さの差異: 画素数10pix 以下
- ・ 縦距離の差異: 5% 以下
- ・ 横距離の差異: 5% 以下
- ・ 縦相対速度の差異: 10% 以下
- ・ 横相対速度の差異: 10% 以下
- ・ 幅、高さの差異: 5% 以下

参考: 評価シナリオパラメータ

パラメータ項目	変化/固定	範囲
対象物までの距離	変化	認識対象の接地面が見える限界から認識対象の上部が見える限界まで
対象物との相対車速	固定	組み合わせる交通流シナリオに従う
対象物の種類	固定	形状: セダン 色: 白
道路構造縦勾配	固定	縦断勾配: 6%

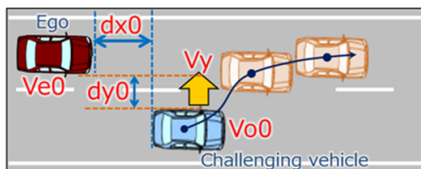


実測 — 緑
仮想 — 赤

■ 遮蔽 認識結果(物標)

カメラ
(B-1-3)

4. 周辺移動物(飛来物)による遮蔽 Cut-inシナリオ



検証方法

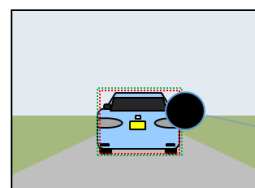
認識対象物が自車線前方に一定横速度で進入する間に飛来物が自車前方を横切る

判定基準

- ・ 縦距離の差異: 5% 以下
- ・ 横距離の差異: 5% 以下
- ・ 縦相対速度の差異: 10% 以下
- ・ 横相対速度の差異: 10% 以下
- ・ 幅、高さの差異: 5% 以下

参考: 評価シナリオパラメータ

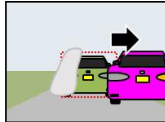
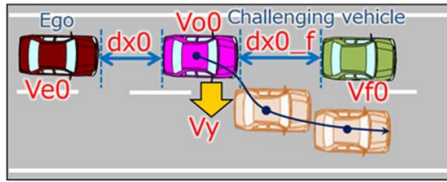
パラメータ項目	変化/固定	範囲
対象物までの距離	変化	最も遅い速度でのCut-in距離からセンサの最大検知距離まで 横位置dy0: 3.5m
対象物との相対車速	変化	ALKSでのpreventable基準に照らし最も早い速度と遅い速度
対象物の種類	固定	形状: セダン 色: 白
飛来物	変化	大きさ(直径): 300mm (レジ袋大を想定) 横速度: 視界を横切り得る最小速度を設定



実測 — 緑
仮想 — 赤
飛来物

■ 遮蔽 認識結果(物標)

5. 他車両付着物 Cut-outシナリオ



参考: 評価シナリオパラメータ

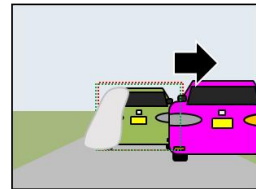
パラメータ項目	変化/固定	範囲
対象物までの距離	変化	最も遅い速度でのCut-out距離からセンサの最大検知距離まで
対象物との相対車速	変化	カットアウトシナリオでのpreventable基準に照らし最も早い速度と遅い速度
対象物の種類	固定	形状:セダン 色:白
カバーで一部遮蔽した認識対象の遮蔽率	変化	認識対象の車両幅に対して遮蔽率 30% ~ 70%

検証方法

カバーで覆われた認識対象の後ろを走行する車両がカットアウトする。

判定基準

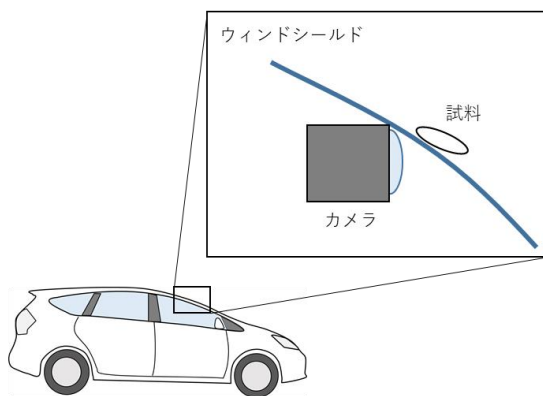
- 縦距離の差異: 5% 以下
- 横距離の差異: 5% 以下
- 縦相対速度の差異: 10% 以下
- 横相対速度の差異: 10% 以下
- 幅、高さの差異: 5% 以下



実測 — 緑
仮想 — 赤

■ 遮蔽 配置検証(境界線)・色彩輝度検証(境界線)

1. センサ前面付着物 知覚部一貫性



検証方法

車両静止状態でウィンドシールド上に試料を塗布し、信号強さ・色味の評価方法で検証を行う。

■ 車載カメラ カメラ前面の障蔽(境界線) 歪み	0-10 0-10 0-10	■ 車載カメラ カメラ前面の障蔽(境界線) 色彩輝度	0-10 0-10 0-10
■ アセット(自車停止/低速) 認識対象(境界線) 配置	0-10 0-10 0-10	■ アセット(自車停止/低速) 認識対象(境界線) 色彩輝度	0-10 0-10 0-10
■ シナリオ 認識対象(境界線) 配置	0-10 0-10 0-10	■ シナリオ 認識対象(境界線) 色彩輝度	0-10 0-10 0-10

検証方法

車両静止状態で、試験の基がウィンドシールド上に設置し、試験対象の境界線に試料を塗布し、信号強さ・色味の評価方法で検証を行う。

検証基準

理論値と画素値の差異が +/-5% もしくは +/-5ピクセルの範囲

実機と画素値の差異が +/-2% もしくは +/-2ピクセルの範囲

検証方法

車両静止状態で、試験の基がウィンドシールド上に設置し、試験対象の境界線に試料を塗布し、信号強さ・色味の評価方法で検証を行う。

検証基準

理論値と画素値の差異が +/-5% もしくは +/-5ピクセルの範囲

実機と画素値の差異が +/-2% もしくは +/-2ピクセルの範囲

判定基準

- 理論値と画素値の差異が +/-5% もしくは +/-5ピクセルの範囲
- 実機と画素値の差異が +/-2% もしくは +/-2ピクセルの範囲

■ 遮蔽 認識結果(境界線)

カメラ
(B-1-6)

認識外乱要因				特徴抽出			
				遮蔽			
				(対象が見えない)			
モデル化分類	要因分類			不調内容	車両側で見れない	対象側で見れない	死角
				要因項目(具体例)			
車両・センサ	センサ前面	① 付着物・障害物	遮蔽 - 泥・埃 等	泥・塵などの付着 (画像欠損)	3	-	-
			遮蔽 - 雪・氷 等	雪・氷などの付着 (画像欠損)	3	-	-
			遮蔽 - 水 等	水などの付着 (画像欠損)	2	-	-
			遮蔽 - 虫・鳥糞 等	虫・鳥糞などの付着 (画像欠損)	2	-	-
		② 遮蔽 - ワイパー	ワイパ動作 (画像欠損)	1	-	-	
周辺環境	周辺構造物	路面	形状	勾配	路面の画像上の位置、傾きの違い		3
	周辺移動物	遮蔽	非透過物	駐車車両、街路樹、飛来物			3
認識対象	走路	③ 区画線	汚れ・剥れ	落ち葉、積雪などによる部分的な隠れ 汚れ、かすれ、引き直し		3	-
				他車両	付着物	色	付着物基準色 (車両の色と類似~相違)
	形状	付着物様々な形 (泥やシールなどの形状、模様)	1	-			
	範囲	付着範囲 (一部分~車体全体)	3	-			

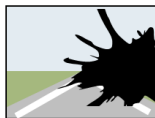
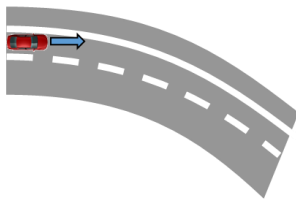
(原理×要因マトリックスより)

上記 3分類について、各々妥当性検証方法を示す。

■ 遮蔽 認識結果(境界線)

カメラ
(B-1-6)

1. センサ前面付着物 Lane-keepシナリオ



検証方法

付着物により視野が制限されている状況で
自車線に沿って一定速度で走行

判定基準

- 曲率半径の差異: 5% 以下
- 方位の差異: 5% 以下
- 位置の差異: 5% 以下
- ターゲット種別が一致していること

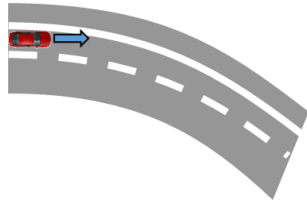
参考: 評価シナリオパラメータ

パラメータ項目	変化/固定	範囲
自車速度	固定	Ve0: 120 kph
車線幅	固定	3.5m
車線曲率	固定	R380
対象物の種類	変化	形状: 実線、破線 色: 白、黄
付着物(外乱要因)による 自車線区画線の遮蔽率	固定	遮蔽率: 50%

■ 遮蔽 認識結果(境界線)

カメラ
(B-1-6)

2. センサ前面阻害物 Lane-keepシナリオ



検証方法

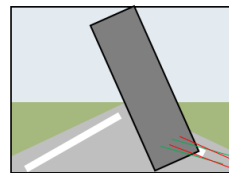
ワイパー動作させながら自車線に沿って一定速度で走行

判定基準

- 曲率半径の差異: 5% 以下
- 方位の差異: 5% 以下
- 位置の差異: 5% 以下
- ターゲット種別が一致していること

参考: 評価シナリオパラメータ

パラメータ項目	変化/固定	範囲
自車速度	固定	Ve0: 120 kph
車線幅	固定	3.5m
車線曲率	固定	R380
対象物の種類	変化	形状: 実線、破線 色: 白、黄
ワイパー動作	固定	①間欠 ②連続

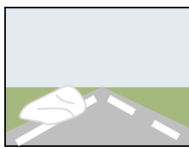
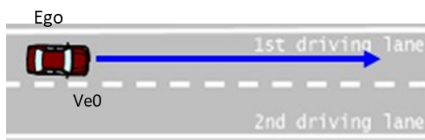


実測 — 緑
仮想 — 赤

■ 遮蔽 認識結果(境界線)

カメラ
(B-1-6)

3. 区画線汚れ Lane-keepシナリオ



検証方法

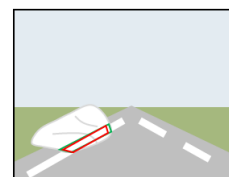
路上の落ち葉、積雪などにより、区画線が一部遮蔽されている状況で自車線に沿って一定速度で走行

判定基準

- 区画線の遮蔽量の差異: 画素数5% 以下
- 曲率半径の差異: 5% 以下
- 方位の差異: 5% 以下
- 位置の差異: 5% 以下
- ターゲット種別が一致していること

参考: 評価シナリオパラメータ

パラメータ項目	変化/固定	範囲
自車速度	固定	Ve0: 120 kph
車線幅	固定	3.5m
車線曲率	固定	R380
対象物の種類	変化	形状: 実線、破線 色: 白、黄
付着物(外乱要因)による自車線区画線の遮蔽率	固定	遮蔽率: 50%



実測 — 緑
仮想 — 赤

空間障害物による空間周波数低、コントラスト低

カメラ
(B-2)

検証方法

- ・評価シナリオでは、外乱パラメータを振って性能限界等の状態を作り、検証を行う事を想定
- ・ツールとしてサポート可能(=実機計測可能)な外乱要因パラメータの組み合わせで外乱再現を確認
※シナリオ検討書を参照

(検証1) 知覚部観点

専用の計測ボードを配置し、外乱要因パラメータを振って、空間周波数とコントラストを検証する
※確認は輝度に対して線形なRAWデータを確認

(検証2) 認識部観点

外乱要因パラメータを振って、停止している認識対象に対して自車を接近させていき認識結果を検証する



判定基準

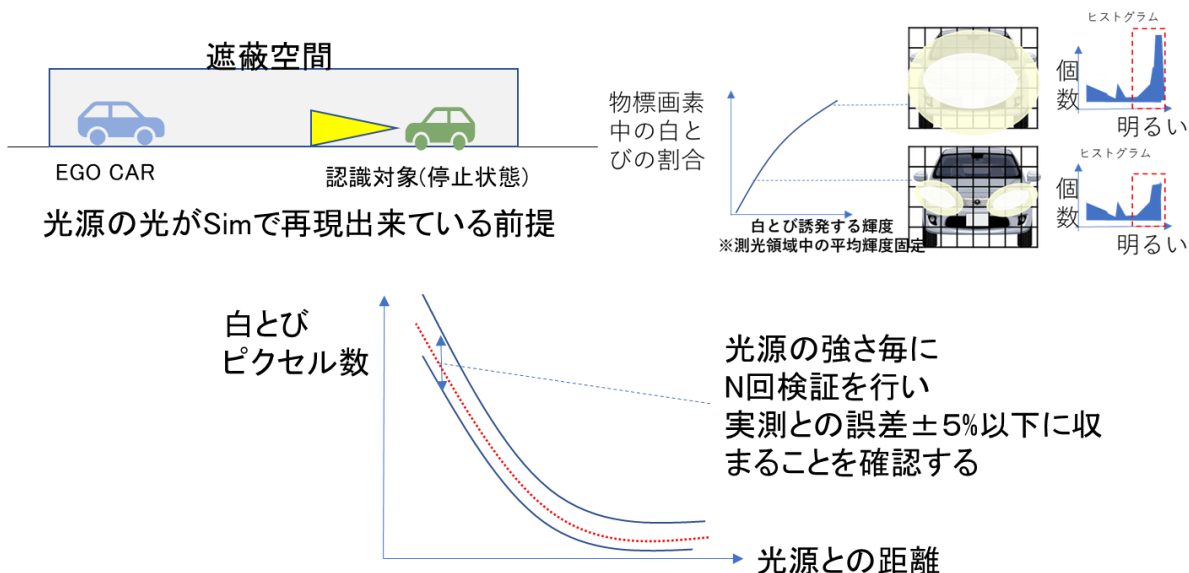
- (検証1) シミュレーションと実機で空間周波数とコントラストが±5%乖離で収まる事
計測条件: 計測値の平均値と理論値の±5%乖離で収まる事
- (検証2) シミュレーションと実機の車両認識可能距離が±5%乖離で収まる事

カメラ認識外乱再現要件の妥当性検証方法
飽和(過多)、白飛び認識対象の再現方法

カメラ
B-3

検証方法 ① ダイナミックレンジの確認

遮蔽空間にて静止した光源の輝度の大きさ、輝度の変化に対する白とび(輝度)の変化を、ヒストグラムにて確認

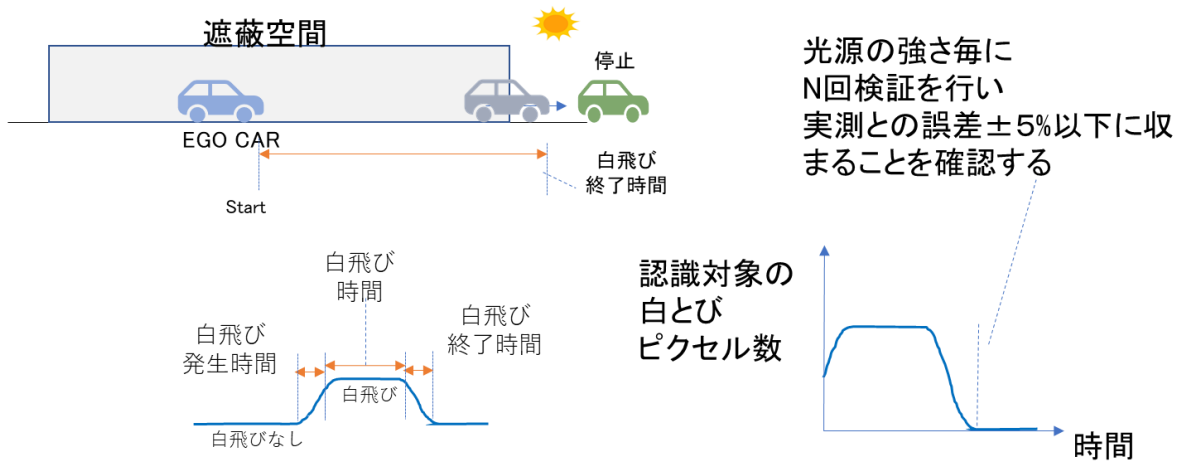


カメラ認識外乱再現要件の妥当性検証方法 飽和(過多)、白飛び認識対象の再現方法

カメラ
B-3

検証方法 ② 露光制御 F/B速度の確認

遮蔽空間にて白とび終了までの時間を確認
遮蔽空間の外に停車車両を置き、一定速度で停車車両にEGO車が近づく
出口から手前の地点から白とびが終了するまでの時間を計測



Annex G 協定規則第 157 号に係るシミュレーションツールの妥当性確認およびシミュレーション試験方法

G.1 目的、対象範囲

協定規則第 157 号に定められた交通外乱シナリオ(低速 ALKS レーンキープ)の認証試験時のシミュレーションツールの妥当性確認方法とシミュレーション試験方法に関する考え方をまとめる。また、認識部は不調は考慮せず100%認識しているものとし、評価対象はメインの AD 制御部(行動計画)及び車両運動制御部(図 G-1)である。

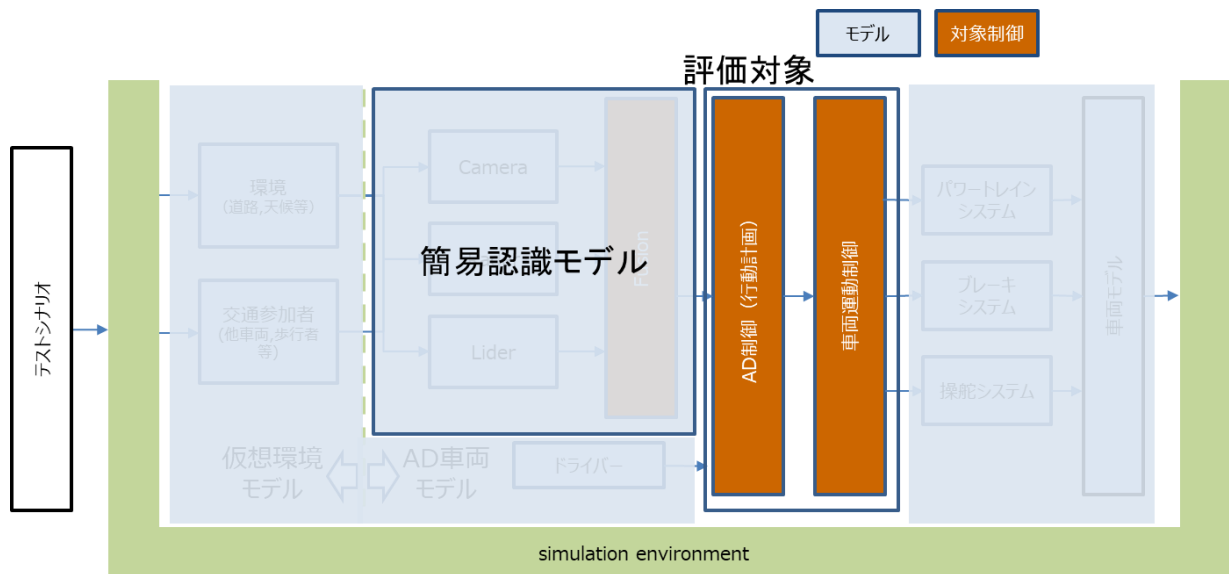


図 G-1 交通外乱シナリオにおける評価対象の制御部

G.2 用語定義

本章に用いられる用語を定義する。

- (ア) ADS (Automated Driving System の略)
運転状況の自動認識、意思決定、操縦制御により、ダイナミック・ドライビング・タスク (DDT) の一部または全部を実行し、人間が必要とする運転の一部または全部を代行する機能を持つシステム
- (イ) パラメータ
データ計測やシミュレーションの実行に使用する物理量 (例: 車速、距離など)
- (ウ) 算出値
シミュレーションツールの計算結果により求められる値
- (エ) 提供値
シナリオから与えられる値
- (オ) シナリオ
特定のダイナミック・ドライビング・タスクを実行する過程で、ADS (複数可) / 対象車両 (複数可) と統合されたシーン、およびその相互作用の逐次的な記述

本章では、実車試験およびシミュレーションを実行する際の評価条件となる、自車と他車の初期条件（車速、車間距離など）および他車の挙動（Cut-in など）、道路条件（車線数、幅員など）で構成された記述である

(カ) Preventable 境界

UNR-157 Appendix 3 Guidance on Traffic disturbance critical scenarios for ALKS 5. Reference にあるグラフで示される、no collision と no collision 以外 (collision など) との境界

G.3 シミュレーションツールの妥当性確認方法

G.3.1 本章の目的

シミュレーション試験を行う前に、シミュレーションに用いるツールが実車試験を適切に代替できることを確認する必要がある。本章ではこの方法およびその基準について述べる。

G.3.2 妥当性確認手法と判定基準

シミュレーションツールの妥当性確認手法と判定基準およびその根拠となる考え方を示す。

妥当性確認手法

選定したシナリオにおいてシミュレーションツールに実車試験と同等の環境情報を与え、他車との相対距離（以降車間距離と呼ぶ）を比較する。

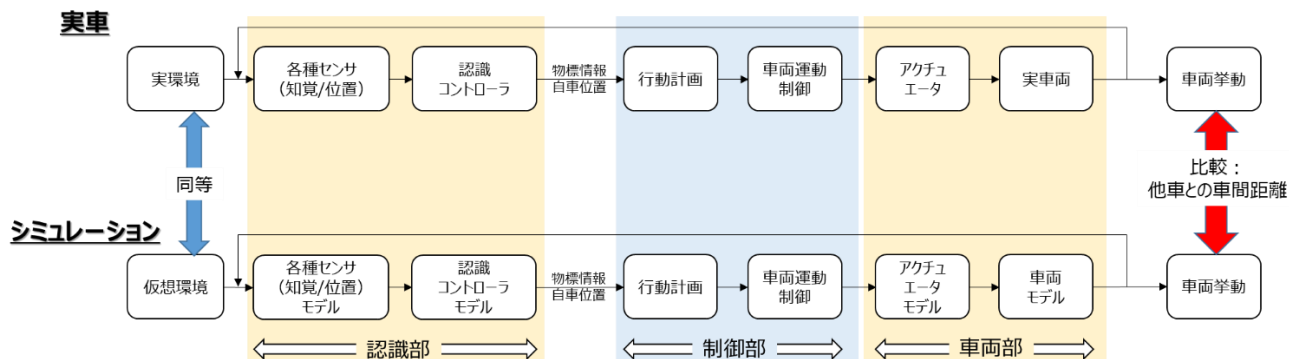


図 G-2 ADS 構成図

根拠となる考え方:

本認証試験では自車と他車の衝突・非衝突の判定を行う。このためシミュレーションツールには衝突・非衝突の判定を行う物理量である車間距離が適切に模擬できていることが求められる。また実車とシミュレーションの結果を適切に比較するためには両者の入力となる先行車位置などの環境情報が同等である必要がある。これらのことから上記妥当性確認手法を用いることにより本用途におけるシミュレーションツールの妥当性を示すことが可能であると言える。

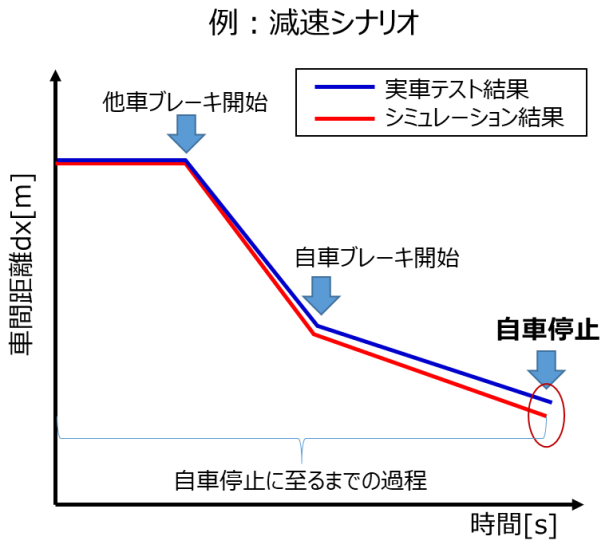
判定基準

自車停止もしくは定常状態^{※1}に至った時点においてシミュレーションツール結果に対して実車試験結果の方が衝突回避対象となる車両との車間距離^{※2}が長いこと。ここで、比較するのは非衝突(Preventable)領域で示し、また自車停止もしくは定常状態に至るまでの過程は参考とする。

なお、上記判定基準を満足していることを示すためには前提としてシミュレーションツールが「3.3 シミュレーションツール要求」を満たしていることが求められる。

※1 “定常状態”とは、自車の回避行動結果により対象車との速度差がなくなった状態を指す

※2 車間距離は自車の先端と対象車の後端が作る距離垂線のなす長さを指す



根拠となる考え方：

認証試験の目的である、「ADS による衝突・非衝突のテスト結果がクライテリアの衝突・非衝突の結果に対し、ADSによるテスト結果の方が全て良い結果であることを確認する」ために、その差のあり方として実車試験結果の方が常に高性能と判断できるシミュレーション試験結果であれば、シミュレーションツールで算出した結果においてクライテリアより全て良い結果であることを示すことで、当該テストシナリオにおける実車の回避性能の可否を示すことができる。

G.3.3 シミュレーションツール要求

妥当性確認を行う上でシミュレーションツールに求められる要求は以下の2つである。

要求1：衝突・非衝突の判定結果に寄与するパラメータを計算し出力できること

(シナリオにおける寄与するパラメータは、別添1：各シナリオにおける寄与するパラメータ参照)

要求2: 計算結果の比較が可能となるために、計算により出力されたパラメータと実車試験で計測されたパラメータとの間に相関^{※1}があること

※1 "相関がある"とは、計算結果のパラメータの値が完全に一致することではなく、パラメータ値の変化が同様に振る舞うことを指す。

G.4 シミュレーションツールの妥当性確認手順

G.4.1 本章の目的

本章では、前章にて示した手法を用いてシミュレーションツールの妥当性を確認するまでの手順を示す。

G.4.2 シミュレーションツールの妥当性確認手順

- ① 妥当性確認用シナリオとパラメータ選定
認証で求められるシナリオ(G.5ADS 安全性能評価シミュレーション方法を参照)の中から、妥当性確認を行うシナリオとパラメータを選定する。

INPUT : 「G.5ADS 安全性能評価シミュレーション方法」に記載のシナリオとパラメータ範囲

OUTPUT: 妥当性確認を行うシナリオとパラメータ選定結果

NOTE: 低速 ALKS レーンキープにおいては、ADS による回避行動は減速のみ(操舵回避は行わない)のため、実車試験とシミュレーション試験において ADS の減速性能の相関を示すことができるシナリオのパラメータを選定すればよい。比較する減速性能は、ADS の最大減速 G を含む範囲で実施することが望ましい。

- ② 事前実車試験
妥当性確認を行う前に実車による試験を行い、シミュレーションツールで設定・調整される各種パラメータの計測を行う。

INPUT : シミュレーションツールの結果に影響を与える性能特性の選定結果

OUTPUT: 車両モデル特性調整用の実車テストデータ

- ③ シミュレーションツールと環境の設定・調整の実施
シミュレーション対象となる車両諸元(ex.車両重量など)と②の事前実車テストで得られたデータにより設定・調整する(ex.ブレーキ性能など)

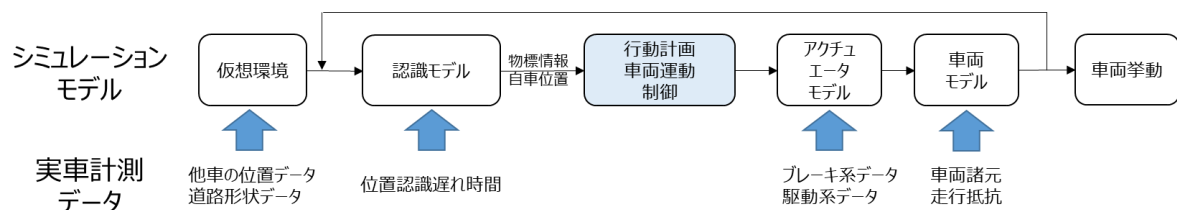
INPUT : 車両モデル特性調整用の実車試験データ

OUTPUT: 設定・調整されたシミュレーションツールと環境

NOTE: シミュレーションツールの調整とは、3章における妥当性確認の判定基準とシミュレーションツール要求を満足させるために、シミュレーションツールの設定・調整前の状態に対して、認識部と車両部のモデルを実車に合わせて調整することである。

設定・調整の実施例

- ②事前実車試験の計測データから、認識部と車両部のモデルの設定や調整を行う



NOTE: 認識部の応答性を“遅れ時間”で設定する場合、実車の認識部によるターゲット車両の縦/横の位置と速度に対し、実ターゲット車両で計測された位置と速度の増減の時間的なタイミングを一致させて相関(妥当性)を確認する必要がある。

④ 妥当性確認の為の実車試験

上記「①妥当性確認用シナリオの選定」で選定したシナリオにて実車試験を行う。

INPUT : 実車試験を行うテストシナリオとテスト条件となるパラメータ

OUTPUT: テストシナリオ毎の妥当性確認用実車計測データ

⑤ 妥当性確認の為のシミュレーション

上記「①妥当性確認用シナリオの選定」で選定したシナリオにてシミュレーションを行う。

INPUT : テストシナリオ毎の実車試験計測パラメータ、設定・調整されたシミュレーションツールと環境

OUTPUT: テストシナリオ毎の妥当性確認用シミュレーションデータ

NOTE: シミュレーションに入力する他車情報は、④で実施する実車試験において例えば GNSS を利用して測位した各試験車両の位置情報データを基に作成できる。

⑥ シミュレーション環境の妥当性確認

④と⑤の結果を比較してシミュレーション環境の妥当性確認を行う。

INPUT : テストシナリオ毎の妥当性確認用実車計測データ・シミュレーションデータ

OUTPUT: シミュレーション環境の妥当性確認結果

NOTE: ①から⑤まで順番に実施するものではなく、判定基準に合致する様に②から⑤まで繰り返し実施することがある。

G.5 ADS 安全性能評価シミュレーション方法

G.5.1 本章の目的

妥当性が確認されたシミュレーションツールを用いて、認証の合否基準である、「ADS による衝突・非衝突のテスト結果がクライテリアの結果に対し、ADS によるテスト結果の方が全て良い結果であること」を満たしていることを確認するためのシミュレーション試験方法を示す。

G.5.2 試験方法

シミュレーションツールと実施環境(G.6 提出書類-3)で示される環境を用い、以下の2つを組み合わせでシミュレーションに対する入力とする。

1. シナリオと呼ばれる ADS を備えた自車両(以降自車と呼ぶ)と周辺車両(以降他車と呼ぶ)の配置と振舞。

以下が対象シナリオである:

- (a) Cut-in シナリオ [No.1]
- (b) Cut-out シナリオ [No.2]
- (c) 減速シナリオ [No.4]

※[]内の番号は、「別添2:Hazardous scenarios」 図中の番号を指す

2. シナリオにおける自車、他車の持つパラメータ

- ① 自車、他車の速度
- ② 自車、他車の加速度、減速度
- ③ 自車と他車の車間距離

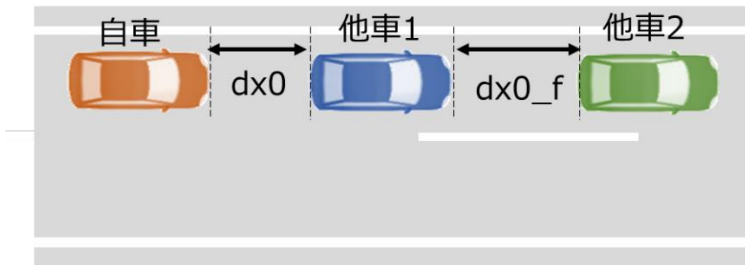
上で使用するシナリオとシナリオにおける自車、他車の持つパラメータを以下に定義する。

G.5.3 自車、他車の持つパラメータの定義

- ① 初期車間距離(dx_0)の基本定義

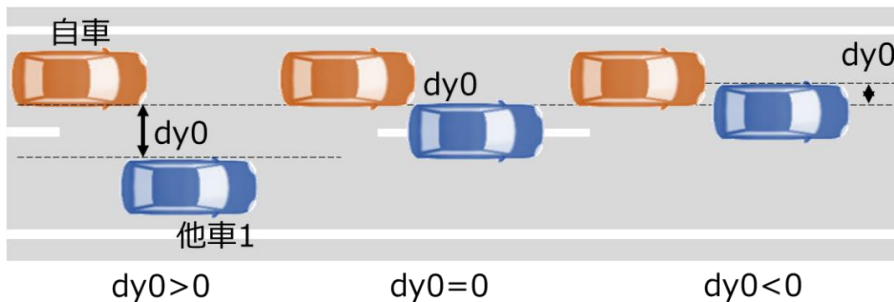
初期車間距離は2つの車両のそれぞれの前端部と後端部が作る距離垂線のなす長さのことである。

自車と自車の前にいる他車1との車間距離を $dx_0(m)$ 、他車1とその前にいる他車2との車間距離を $dx_{0_f}(m)$ とする。



- ② 初期横車間距離(dy_0)の基本定義

横車間距離は2つの車両の隣り合う側面部の側端線間の長さのことである。符号は自車から見たときに他車1との重なりが無い場合は正とし、重なりがある場合は負とする。よってこの距離が0となる場合は両距離垂線が重なる場合である。



③ 初期速度の基本定義

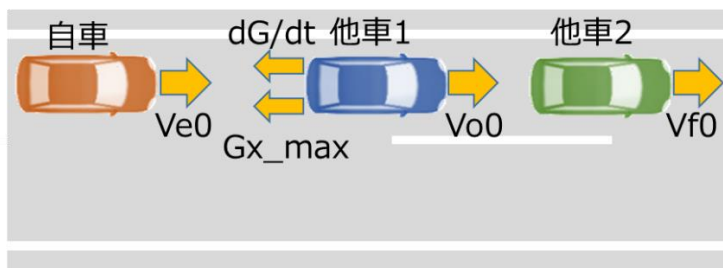
V_{e0} (km/h): 自車の初期速度

V_{o0} (km/h): 同一車線または隣接車線の先行他車1の初期速度

V_{f0} (km/h): 他車2の初期速度

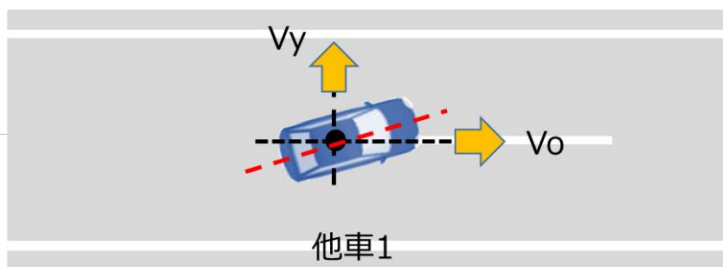
G_{x_max} (G): 他車1の減速度

dG/dt : 他車1の減速度の変化率



④ 横速度の基本定義

V_y (m/s): 他車1の横速度で車線に対し垂直方向の速度

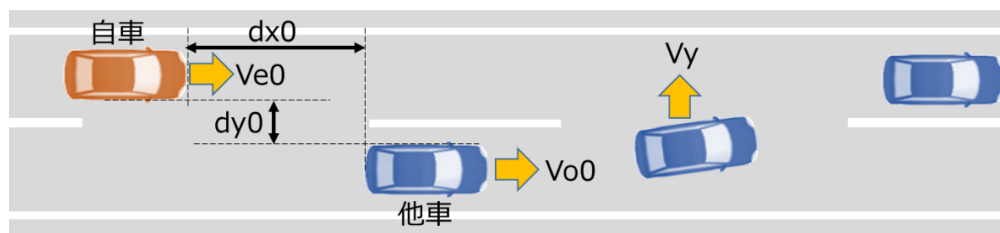


※詳細は別添3:他車挙動の定義を参照

G.5.4 各シナリオの定義

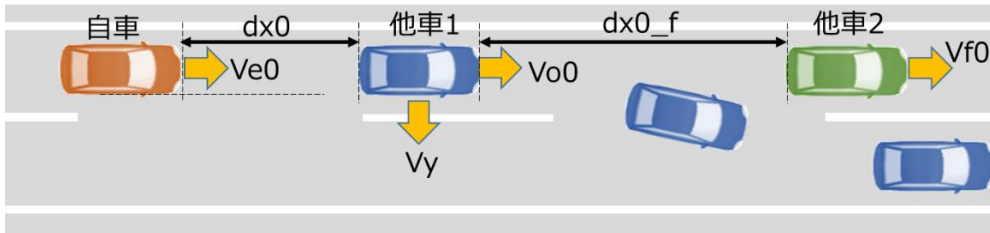
(a) Cut-in シナリオ

G.4.2 で定義した“自車、他車のパラメータ”をこのシナリオでは以下の様に使用する



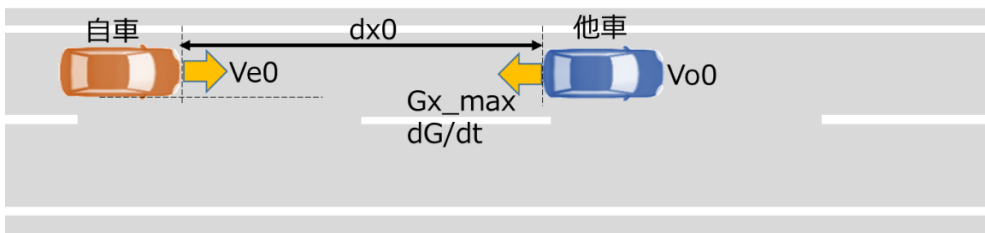
(b) Cut-out シナリオ

G.4.2 で定義した“自車、他車1他車2のパラメータ”をこのシナリオでは以下の様に使用する



(c) 減速シナリオ

G.4.2 で定義した“自車、他車のパラメータ”をこのシナリオでは以下の様に使用する



G.5.5 合否基準

UNR-157 Appendix 3 Guidance on Traffic disturbance critical scenarios for ALKS 5. Reference に定められた回避可能な範囲 (no collision の領域) において衝突が生じないこと。

G.5.6 シミュレーションにおけるパラメータの範囲

① シナリオに共通のパラメータの値と範囲

(1) 道路パラメータ値

道路パラメータ	値	単位
車線数	2	-
幅員	3.5	m
路面摩擦係数	1.0	μ
横断勾配	0	%
縦勾配	0	%
曲率半径	∞	%

(2)車両パラメータ値

車両パラメータ	自転車	他車1	他車2
車幅	(申請車両による)	1.9m	1.9m
車長	(申請車両による)	5.3m	5.3m
形状	矩形	矩形	矩形
走行位置	車線中央	車線中央	車線中央で停止

② シナリオ固有のパラメータ範囲

パラメータの範囲は、以下の(1)から(3)までに掲げるものを基本としつつ、申請者が設定しようとする走行環境条件等に応じて個別に設定するものとする。

(1) Cut-in シナリオのパラメータ範囲

パラメータ	範囲
Ve0[初期自転車速]	$20 \leq Ve0 \leq [60]km/h$
Ve0-Vo0[相対速度]	$0 \leq Ve0 - Vo0 \leq 40km/h ※1$
dx0[初期車間距離]	$0 \leq dx0 \leq 60m$
dy0[初期横車間距離]	$\{(3.5-自転車車幅)/2 + 0.8(他車側)\}m$
Vy[横速度]	$0 < Vy \leq 3.0m/s$

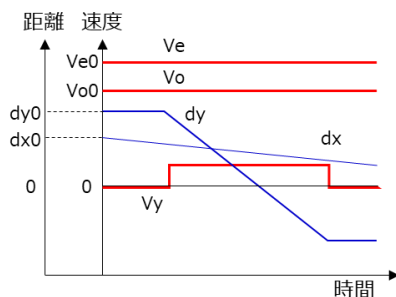
[]自転車の設計最高速度

※1 Cut-in 車両速度が自転車速度より高いシナリオを除く。

Note: Cut-in 車両の速度が遅い場合において、物理的に発生しえないような横速度の条件は除く。(例えば、車速 10km/h(2.78m/s)、横速度 3m/s のような組み合わせ等)

Note: 申請する自動運転の作動範囲が前走車追従時に限られる場合は、Cut-in 車両の横速度と車間距離の組み合わせで先行車の前に Cut-in する場合もしくは先行車に衝突する条件は除く。

例: Cut-in パラメータの時間的变化



※時系列中のパラメータは別添 1(a)参照

(2) Cut-out シナリオのパラメータ範囲

パラメータ	範囲
Ve0[初期自車速]	$10 \leq Ve0 \leq [60] \text{ km/h}$
Vo0[先行車速]	$10 \leq Vo0 \leq [60] \text{ km/h} ※2$
Vf0[初期他車速]	0km/h
dx0_f[初期車間距離]	$0 < dx0_f \leq 100\text{m}$
Vy[横速度]	$0 < Vy \leq 3.0\text{m/s}$

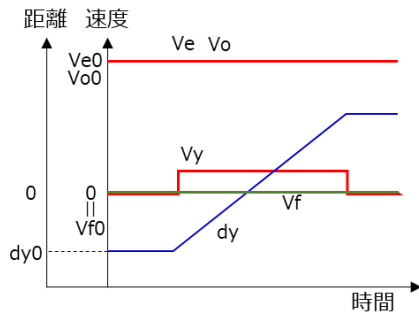
[]自車の設計最高速度

※2 先行車速度 = 自車速度

Note: Cut-out 車両の速度が遅い場合において、物理的に発生しえないような横速度の条件は除く。
(例えば、車速 10km/h(2.78m/s)、横速度 3m/s のような組み合わせ等)

Note: Cut-out 車両が停止車両に衝突する車間距離は条件から除く。

例: Cut-out パラメータの時間的変化



※時系列中のパラメータは別添 1(b)参照

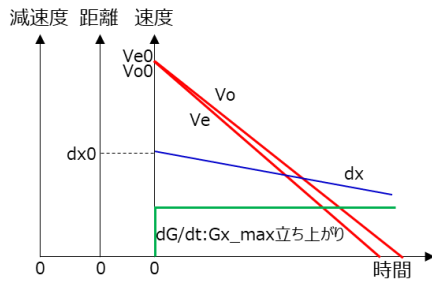
(3) 減速シナリオのパラメータ範囲

パラメータ	範囲
Ve0[初期自車速]	$10 \leq Ve0 \leq [60] \text{ km/h}$
Vo0[先行車速]	$10 \leq Vo0 \leq [60] \text{ km/h} ※3$
Gx_max[先行車減速度]	$0 < Gx_max \leq 1.0\text{G}$
dG/dt[他車減速度変化率]	無限大

[]自車の設計最高速度

※3 先行車速度 = 自車速度

例：減速パラメータの時間的変化



※時系列中のパラメータは別添 1(c)参照

G.5.7 シミュレーションの実施

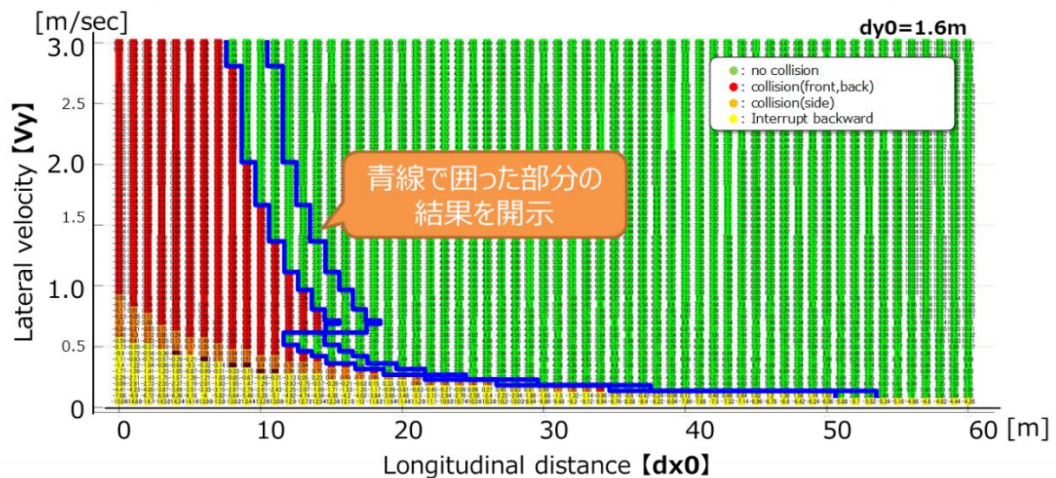
シミュレーションを下記領域に分けて実施する。

(1) Preventable/Unpreventable 境界近傍

境界線近傍の衝突／回避について、より広範囲に確認するため、Cut-in／Cut-out シナリオについて、合否基準の境界線上から車間距離が広がる側において、境界線上に加え +1m、+2m ラインで実施する。

NOTE: 横速度は最小刻み幅 0.1m/s 間隔

Cut-in の例 : 自車速【Ve0】:30km/h,他車速【Vo0】:10km/h



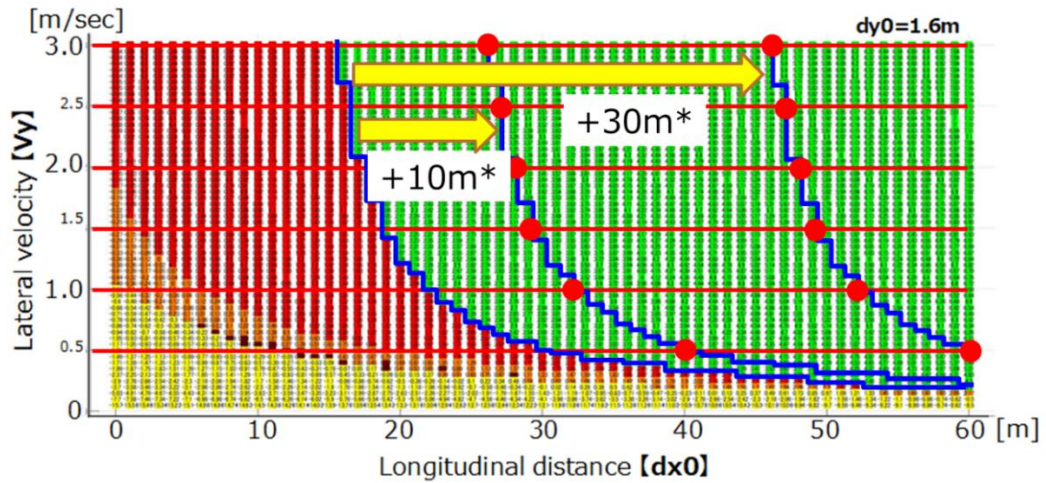
(2) 非衝突領域

網羅性のため境界付近以外の Preventable 領域でも衝突しないことを抜き取りで確認するため、Cut-in／Cut-out シナリオにおいて、合否基準の Unpreventable／Preventable 境界線上から遠くなるにつれ間隔を広げ境界線より +10m、+30m の地点で実施する。ここで、「+10m」「+30m」とした理由は、限られた点数で Preventable 領域の中央付近だけでなく車間距離が遠い地点も確認するためである。

尚、自車速と相対速の組み合わせは ODD 範囲内の全パターンで実施する。

NOTE: 横速度は 0.5m/s 間隔、間隔が取れない場合は、取れる範囲内で実施すること。

Cut-in の例 : 自車速【Ve0】:60km/h,他車速【Vo0】:30km/h



(3) 衝突領域

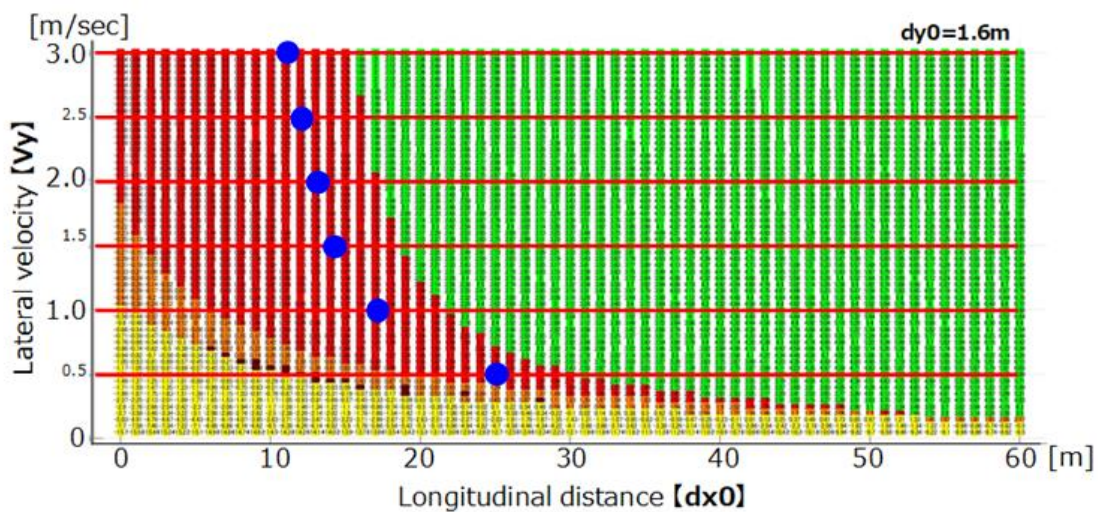
Unpreventable の領域において、Best Effort であること(=衝突回避のための制御を止めないこと)を確認(Cut-in のみ)する。車間距離は Unpreventable 領域内の任意の点を各社で選定する。

尚、自車速と相対速の組み合わせは ODD 範囲内の全パターンで実施する。

NOTE: 横速度は 0.5m/s 間隔。回避できて良い。

Cut-in の例 : 自車速【Ve0】:60km/h,他車速【Vo0】:30km/h

この例では、Preventable/Unpreventable 境界線から離れすぎると側突になる可能性と減速する前に衝突する可能性が高まるため標準的な乗用車の車両全長である 5m を参考値として境界線上から一律に 5m 短い車間距離を選定している。



G.6 提出書類

認証時において提出する書類は以下の通りである。

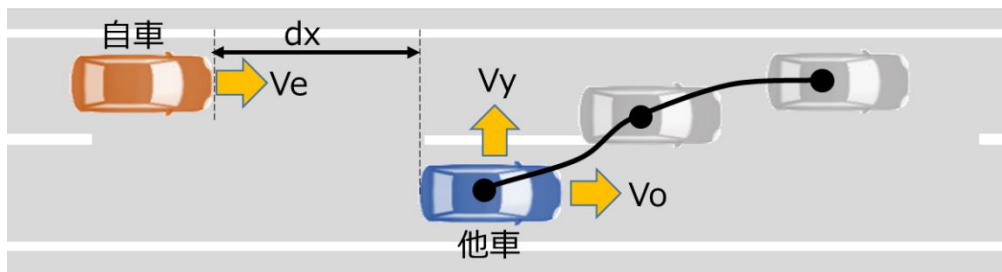
1. シミュレーションツールの妥当性確認試験結果(G.4 章)
2. ADS の安全性評価に関するシミュレーション試験結果及び判定結果(G.5.7 章)
3. シミュレーションツールと実施環境
ハードウェアとソフトウェア構成及びシミュレーション試験ツールとモデルの構成

NOTE: 試験自動車の詳細情報は、TRIAS 48-J122-01、TRIAS 48-R157-01 の付表 1 の『1.試験自動車および試験条件』に示す。

別添1:各シナリオにおける寄与するパラメータ

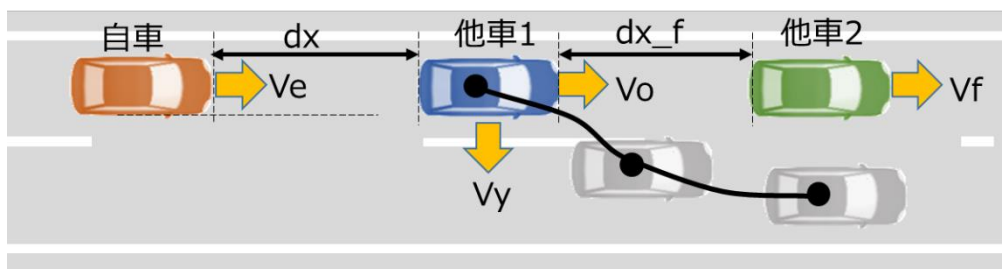
(a) Cut-in シナリオ

パラメータ	属性
自車の速度[V_e]	算出値
自車と他車の縦方向の車間距離[dx]	算出値
他車の横速度[V_y]	提供値
他車の速度[V_o]	提供値



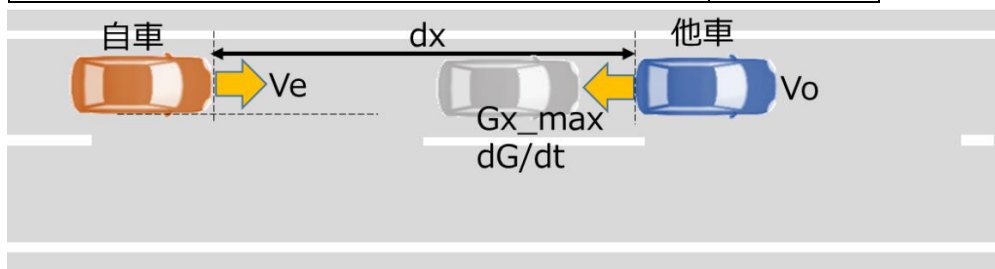
(b) Cut-out シナリオ

パラメータ	属性
自車と他車1の縦方向の車間距離[dx]	算出値
他車1と他車2の縦方向の車間距離[dx_f]	算出値
自車の速度[V_e]	算出値
他車1の横速度[V_y]	提供値
他車1の速度[V_o]	提供値



(c) 減速シナリオ

パラメータ	属性
自車と他車の縦方向の車間距離[dx]	算出値
自車の速度[Ve]	算出値
他車の減速度[Gx_max]	提供値
他車の速度[Vo]	提供値



これらを計算し、出力するために必要となるシミュレーションの構成要素を備えたツールでなければならない

別添2: Hazardous scenarios



		Surrounding Traffic Participants' Position and Behavior				
		Cut in	Cut out	Acceleration	Deceleration (Stop)	
Road Geometry and Ego-vehicle behavior	Main roadway	Lane keep	No.1	No.2	No.3	No.4
		Lane change	No.5	No.6	No.7	No.8
	Marge	Lane keep	No.9	No.10	No.11	No.12
		Lane change	No.13	No.14	No.15	No.16
	Branch	Lane keep	No.17	No.18	No.19	No.20
		Lane change	No.21	No.22	No.23	No.24

別添3: 他車挙動の定義

本評価は自車を阻害する他車の挙動に対する対処性能を ADS と衝突・非衝突のクライテリアで比較することが目的であるため、他車の挙動の与え方は同一条件にしなければならない。UN-R157 Appendix3 5.Reference に記載のグラフと合わせるために、他車モデル及び挙動を下記に定義する。

- ・ 他車は質点モデルとする
- ・ Cut-in 及び Cut-out 時の横速度はステップ関数で与える
- ・ Cut-in 及び Cut-out 中の縦速度は初期速度 (V_{o0}) を保持する
- ・ 減速シナリオにおける減速度はステップ関数で与える (ジャーク $[dG/dt]$ は ∞)
- ・ Cut-in 及び Cut-out 中の車両向きは、その進行方向 (V_o と V_y とで作る合成ベクトルの向き) を向いているものとする

	カットイン	カットアウト	減速
速度(V_o)			
横速度(V_y)			
減速度(G_x)			