



# SAFETY REPORT

---

2020



# TIER IV'S VISION

## — 自動運転の民主化

自動運転に資するテクノロジーをオープンソース化することで、様々な組織・個人がその発展に貢献でき、世界中の人々がその恩恵を享受できる持続的なエコシステムを構築する。

このエコシステムを最大活用した「**水平分業型**」の開発を展開し、透明性、安全性、そして費用対効果の高い自動運転技術の確立を目指す。

# EXECUTIVE SUMMARY

## はじめに

自動運転技術は、交通事故の低減や交通の利便性向上等、様々な課題解決に向けて開発が進められてきた。自動運転と一言で言っても、車載システムやソフトウェア、クラウド、そしてサービス全てを包括する複合的なプラットフォーム等、その技術は多種多様な要素で成り立っている。さらに、実際にその技術を実用化・普及させるためには、コストや安全面でも社会的に受容されることが必要不可欠である。これら全ての要素を確立するための鍵となるのが、[オープンソースのプラットフォームを用いた様々なプレイヤーによる水平分業型の共同開発](#)である。

ティアフォーでは[自動運転の民主化](#)をビジョンに掲げ、自動運転に資するテクノロジーをオープンソース化することで、様々な組織・個人がその発展に貢献でき、また社会がその恩恵を享受できる持続的なエコシステムの構築を目指している。具体的には、a) オープンソースの自動運転ソフトウェア「Autoware」の開発・普及、b) [ODD](#)の類型化及び[Reference Design](#)の提示、c) [ディープテック](#)研究開発の推進、に注力している。

## これまでの実証実験と 自動運転の普及に向けたアプローチ

これまで、国内18都道府県の約50市区町村において、Autoware搭載車両による公開型の実証実験を約70回実施している。また、アメリカを中心に海外での実証実験も進めている。

これらの実証実験は、多様な走行環境/車両/センサーの組合せで行われている。それを基にODDを類型化し、各ODDにおける車両・センサーの組合せ事例を、自動運転サービス形態に応じたReference Designとして提示している。また、実証実験プロセス及びそのプロセスの中で得たリスクアセスメントやインシデント対応の知見もあわせて提示している。

## 今後の技術開発

自動運転の民主化によって様々なプレーヤーの市場参入が可能となり、安全性に関する知見を広く集約することができる。この「安全性の向上」を日本発のオープンスタンダード、すなわちAutowareを中心としたエコシステムによって実現することは、ティアフォーの挑戦であると同時に、メーカー等の安全性に関する課題解決にも貢献するものである。

Autowareが様々なプレーヤーにより広く用いられることで、世界各地のODD事例の集約やReference Designの合意形成、[エッジケース](#)対策の共有が可能となり、安全性に対するオープンスタンダードの透明性は高まっていく。

これまでの実証実験結果を基に、今後は a) 認識範囲の拡張及び移動物体の動作・意図予測、b) センサーでは捉えられないリスクの推定、c) 対処可能なリスク値の定量化、d) それを超えた場合の安全を担保する[フェールセーフ](#)機能、の4つに方向性を分けて技術開発・研究を進めていく。

## 今後の事業と社会環境整備

自動運転の実現に向けて政府が策定したロードマップからもわかるように、事業性を持った形で自動運転を社会実装していくためには、ティアフォー単独の技術開発だけでは困難な点も多い。具体的には、今後国との合意形成が必要となる課題・改善策として、以下のようなものが挙げられる。

### シミュレーションを含む自動運転の安全判断基準の不足

シミュレーションによる走行能力の評価方法や安全判断基準を策定する必要がある。

### 運用体制基準の不在

同乗ドライバーや遠隔監視者の人員体制/運用方法の基準を合理的に策定する必要がある。

### 事故発生時の社会的補償手段の不在

自動運転社会における補償制度を策定する必要がある。

# CONTENTS

## 1. はじめに

|            |    |
|------------|----|
| 自動運転の民主化   | 7  |
| Autowareとは | 10 |

## 2. 実証実験の実績と自動運転の普及に向けたアプローチ

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 実証実験の実績                  | 14 |
| ODDの類型化とReference Design | 16 |
| 実証実験に至るまでのプロセスとインシデント対応  | 20 |
| 走行コースのリスクアセスメント          | 23 |
| リスク管理委員会での提言事例           | 25 |
| インシデント事例とその対応            | 26 |

## 3. 今後の技術開発

|                        |    |
|------------------------|----|
| オープンスタンダードによるシステム安全の構築 | 29 |
| 実証実験で見えてきた技術的な課題       | 31 |

## 4. 今後の事業と社会環境整備

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 自動運転実現に向けた政策動向        | 37 |
| 実証実験で見えてきた事業及び社会環境の課題 | 38 |

## 5. まとめ

## 6. Appendix

|          |    |
|----------|----|
| 各種データ    | 42 |
| 参考文献     | 47 |
| Glossary | 49 |

SECTION 1

# はじめに





# 自動運転の民主化



## 自動運転が実現したら どれほど素晴らしい社会になるだろう？

- 関わった人全てを不幸にする交通事故が存在しない、安全な社会
- 最先端技術を活用したスマートモビリティによる、近未来社会
- 自動運転が生活に不可欠なものとなり、人々と共存する社会

これらは自動運転の普及によってもたらされ、そのメリットは世界中の誰もが享受できるようになる。ティアフォーは、そのような素晴らしい社会を、同じ志を持つ仲間たちと共に実現させたい。

## 自動運転はどうしたら実現できるだろう？

これまでの自動車産業はOEMを頂点とし、Tier 1, 2 ...と呼ばれる部品メーカーが製造を支える「ピラミッド型」の構造で発展してきた。しかし、ハード・ソフト・周辺機器等、車両製造に留まらない様々な要素を統合したプラットフォーム上に成り立つ自動運転においては、あらゆるプレイヤーが助け合いながら発展に寄与する「水平分業型」の構造が重要となる。ティアフォーの"IV (Intelligent Vehicle)"には、「自動運転の民主化」によって実現される、新たな産業構造への想いが込められている。

自動運転社会の実現には、現実的なコストで、社会に受容される安全性を確立することが最も重要である。この最重要課題の解決は、オープンソースソフトウェア（OSS）であるAutowareを用いた「自動運転の民主化」によって達成できると考えており、ティアフォーは最先端の技術開発と安全性の担保に引き続き全力を注いでいく。

## 自動運転の普及を目指す背景

自動運転の普及により、現代の自動車社会における以下のような課題の解決が期待できる。そのためには、コスト面と安全性の双方で社会的に受容される必要がある。

## 自動運転が求められる社会的な課題背景\*

### 世界の課題

- 交通事故による多くの死傷者
- 交通渋滞による時間損失
- 移動が不自由な多くの人々

### 特に日本で顕在化している課題

- 公共交通機関の限界
  - 担い手の不足/高齢化
  - 経営環境の悪化
- 高齢者の移動手段の不足
  - 高齢者の外出率の上昇
  - 高齢者の主な交通手段は自動車
  - 高齢者による死亡事故の増加

\*Appendix参照



# 自動運転の民主化に向けて

ティアフォーでは、以下3つの要素をコアとして自動運転の民主化を目指している。

## 1. 自動運転ソフトウェア「Autoware」及びその開発体制

Autowareはソースコードが無償で公開されているOSSであり、世界中の誰でも開発することができる。さらに、Global Open Allianceを組むことで、世界中の組織・個人を巻き込んだ開発体制を構築している。

## 2. ODDの類型化とReference Designの提示

現実の交通環境は非常に複雑だが、ODDを類型化することにより、自動運転走行が可能な環境が誰でも簡単に分かるようになる。さらに、各ODDに適したReference Designを提示することで、各環境下において必要となる自動運転の装備が誰でも簡単に行えるようになるため、実証・実装のハードルを下げることができる。

## 3. ディープテック研究開発

ディープテックとは、社会的に大きなインパクトを与える最先端の技術である。ティアフォーは、大学発ベンチャーとして、またAutoware生みの親として、自動運転の民主化に向けた最先端の研究開発に注力する。



# Autowareとは

一般的に、自動運転システムは、[LiDAR](#)やカメラ、[GNSS](#)、[IMU](#)等のセンサー情報を元に

- 認知（自己位置推定・環境認識）・予測
- 判断（経路計画・経路追従）
- 操作（ステアリング・アクセル・ブレーキ）

を人間のドライバーに代わって行う。ティアフォーが開発をリードするAutowareもドライバーを代替することを目指しており、その機能には大きく分けて右の7つがある（詳細は開発プラットフォームであるGitHub参照\*）。

---

\*<https://github.com/tier4/AutowareArchitectureProposal>

## Autowareの機能

### Sensing

LiDAR、カメラ、GNSSといった外界センサーや、IMU等の内界センサーから情報を集め、処理が行える形に加工。

### Localization

高精度3次元地図とLiDARデータの照合結果、IMUあるいはGNSSの測位結果を統合し、自車の位置姿勢を推定。

### Perception

物体認識や時系列での追跡、行動予測、信号認識。

### Planning

障害物回避や駐車計画を含め、自車の現在地からゴールまでの経路を計画。

### Control

計画された経路に沿って走るための車両への制御信号を生成。

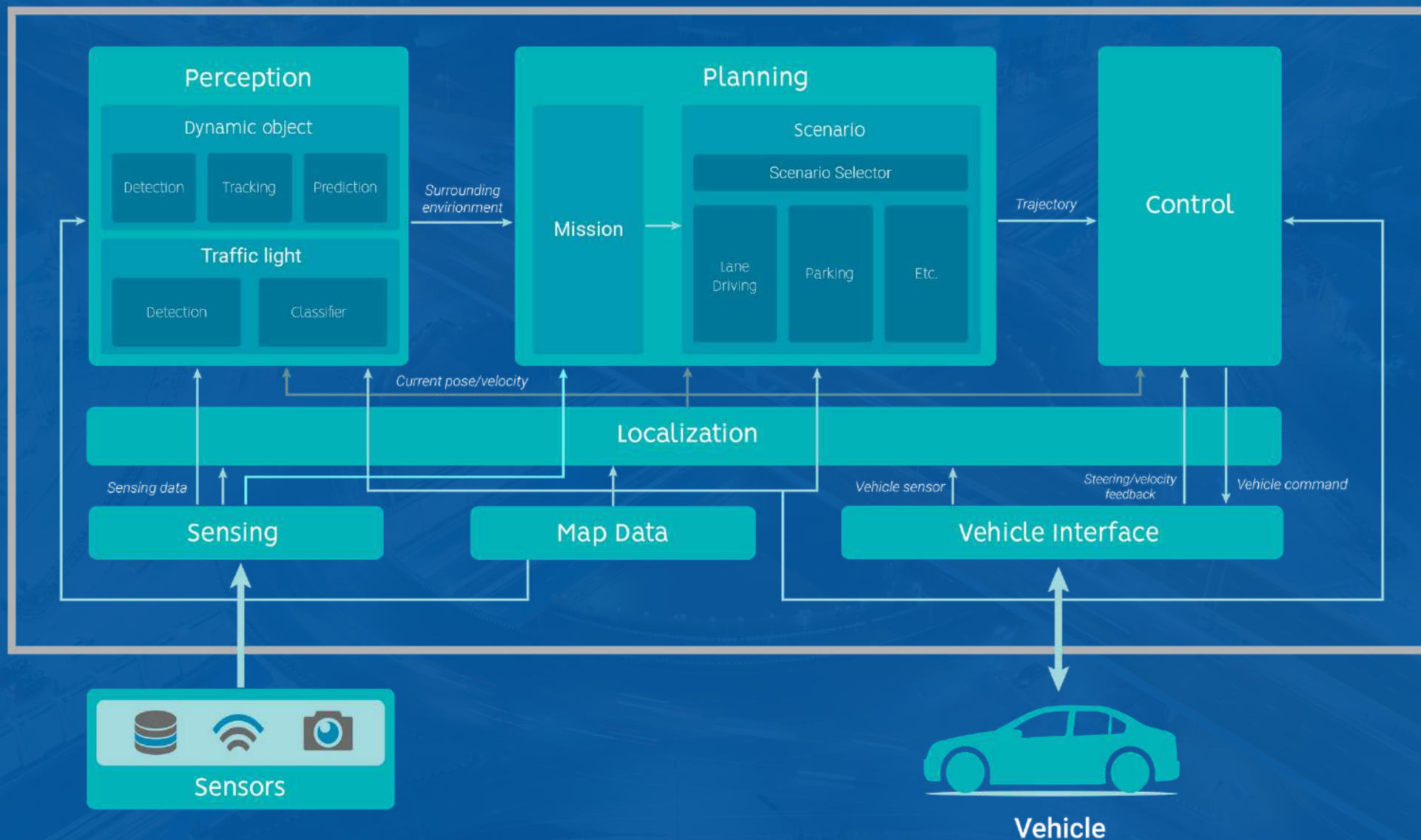
### Vehicle Interface

上記の制御信号を、様々な車両特性に応じた指令値へ変換。

### Map Data

地図情報に環境データを加えた高精度3次元地図を使用。

## Autwareのコンポーネントアーキテクチャ





## Autoware as a Platform

### – Open, Agile and Scalable

Autowareは自動運転の普及を目指して開発されたOSSであり、誰でも無償で利用でき、あらゆる車両へ適用可能という特徴がある。現在、既に世界中の数百社以上の企業での導入実績がある。

ティアフォーでは、多様な環境・用途に応じた自動運転を可能とすべく、オープンかつ拡張性のあるAutowareの開発を進め、実証実験を実施している。

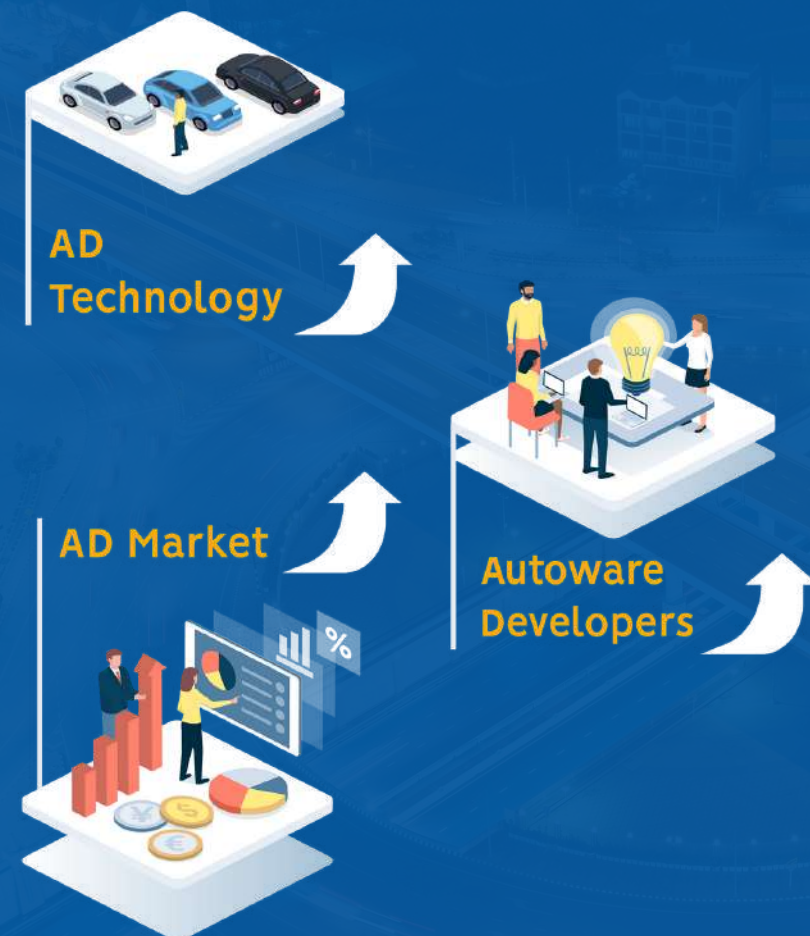
## Autoware as a Foundation

### – For Everyone

Autowareの開発は、業界をリードする45社\*が加盟する国際的な非営利団体"The Autoware Foundation (AWF)"によって推進されている。Autowareに関する議論はDiscourse\*上でオープンに進められ、新しい機能・アルゴリズムの追加や新しいデバイスへの対応が日々進められている。また、実証実験データも蓄積して、一部公開されているため、Autowareを利用した実データによるシミュレーションがPC上で可能であり、実際に自動運転車両を所有していなくても、車種や地域を問わず、世界中から自動運転技術の開発に寄与することが可能である。

\*2020年6月現在

\*<https://discourse.ros.org/c/autoware/>







## SECTION 2

# 実証実験の実績と 自動運転の普及に向けたアプローチ

## 実証実験の実績

実証実験の実績は日本トップクラス。海外でもプレゼンスを拡大し、自動運転の民主化に向けて着々と前進。

国内では、これまで18都道府県の約50市区町村において、Autoware搭載車両による公開型の実証実験を約70回実施しており、その実績は国内トップクラスである。

海外では、特にアジア・アメリカを中心にプレゼンスを拡大している。アメリカでは既にAutoware搭載車両での実証実験が始まっており、OSSによる自動運転の民主化は広く受け入れられ始めている。

ティアフォーは、今後も世界各地での実証実験を通して実績・知見を積み重ね、安心・安全な自動運転の普及を目指していく。

### 全国各地での実証実験の実績（抜粋）





## 海外活動の実績（抜粋）

### エストニア

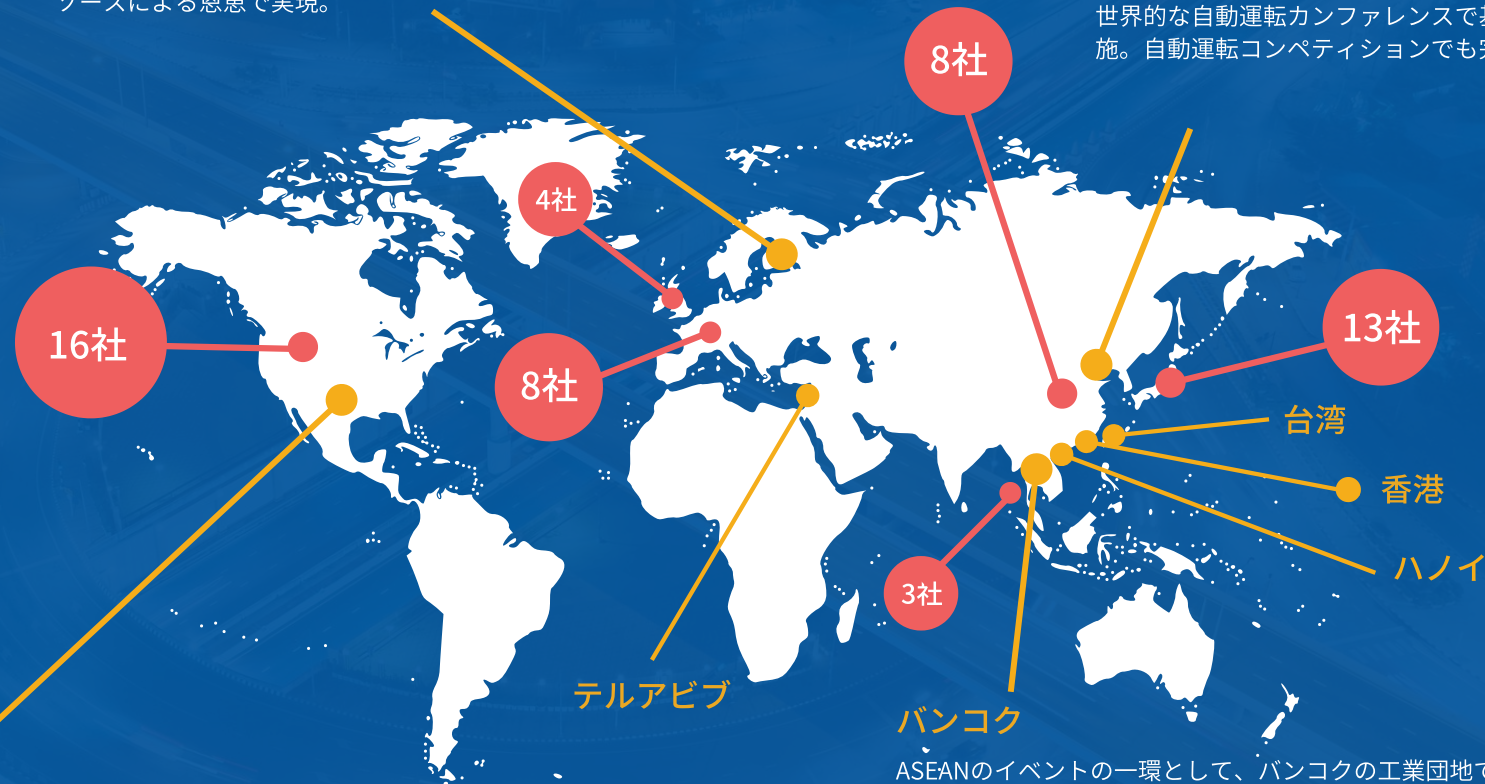
タリン工科大学が18人という少人数の教職員および学生によって短期間で自前の自動運転車両の構築を達成し、それを支援。オープンソースによる恩恵で実現。

### 天津

中国自動車技術研究センター（CATARC）が主催する世界的な自動運転カンファレンスで基調講演を実施。自動運転コンペティションでも完走を収める。

### アメリカ

米国運輸省に属する連邦道路庁が推進する交通システム"CARMA"において、Autowareが自動運転プラットフォームとして採用決定。現在、実際の車両を用いた走行実験を実施中。



● ..... AWF加盟企業数（2020年7月現在）

# ODD類型化と Reference Design

## 自動運転の普及に必要な ODD類型化

Operational Design Domain (ODD)とは、自動運転システムが安全に作動するための前提条件である。あらかじめ定められたODDの範囲内でのみ自動運転システムが作動するように設計することで、走行時の安全性を担保している。

ODDは、周辺の車両・歩行者の存在や走行ルートの複雑さ、交通ルール、道路環境等によって大きく変化する。ティアフォーでは、事業者・ビジネスモデルによる違いも加味しつつ、これまでの経験を基に自動運転の技術的難易度に応じてODDを類型化している。

### ODD 1

近距離かつ最小限のセンシングで対応可能な周辺車や、歩行者が存在しない低速走行でのユースケース



#### 自動運転専用空間

##### 実績例

- テストコース
- 大学・研究機関等の自動運転導入

### ODD 2

近距離のセンシングで対応可能な、自車及び周囲車両が低速走行でのユースケース



#### 工場内の物流道路等

##### 実績例

- ヤマハ発動機の工場内での部品輸送\*（カート）



#### 施設内の巡回経路等

##### 実績例

- モリコロパークでの巡回走行（小型EV）
- 清水建設の技術研究所内での施設連携走行（小型EV）
- オリンピック選手村での巡回バスの走行予定（バス）



ティアフォーは、これまで各ODD類型における実証実験を幅広く行ってきたが、自動運転の安全性担保と普及に向けて今後も類型の改善を重ねていく。

## Reference Designの提示

Autoware搭載車両が自動運転走行するためには、車載ハード機器、高精度3次元地図等の外部データや、サービスプロバイダの提供するソフトウェア等、様々な周辺機器・ネットワークとの接続が必要となるほか、道路環境に関する各種規制等への準拠も求められる。

自動運転の安全性を担保するためには、これら全ての情報を一元化したReference Designの作成/提示が必要である。

ティアフォーは、自動運転の民主化というビジョンの下、ソフトウェアのアルゴリズム等の詳細な部分まで踏み込んだReference DesignをAWFの会員企業らと共同で作成している。

## ODD 3

遠距離のセンシングが必要な中高速走行を含むユースケース



### 郊外の巡回経路等

#### 実績例

- 埼玉県坂戸市の公道でのバス運行（バス）
- 東京都の都心臨海部での一般道走行（一般乗用車）



### 中山間地域等

#### 実績例

- 山口県宇部市など中山間地域のラストマイル輸送（一般乗用車）
- 愛知県飛島村での地域内輸送（一般乗用車）
- 日間賀島での観光型MaaS運行（バス）

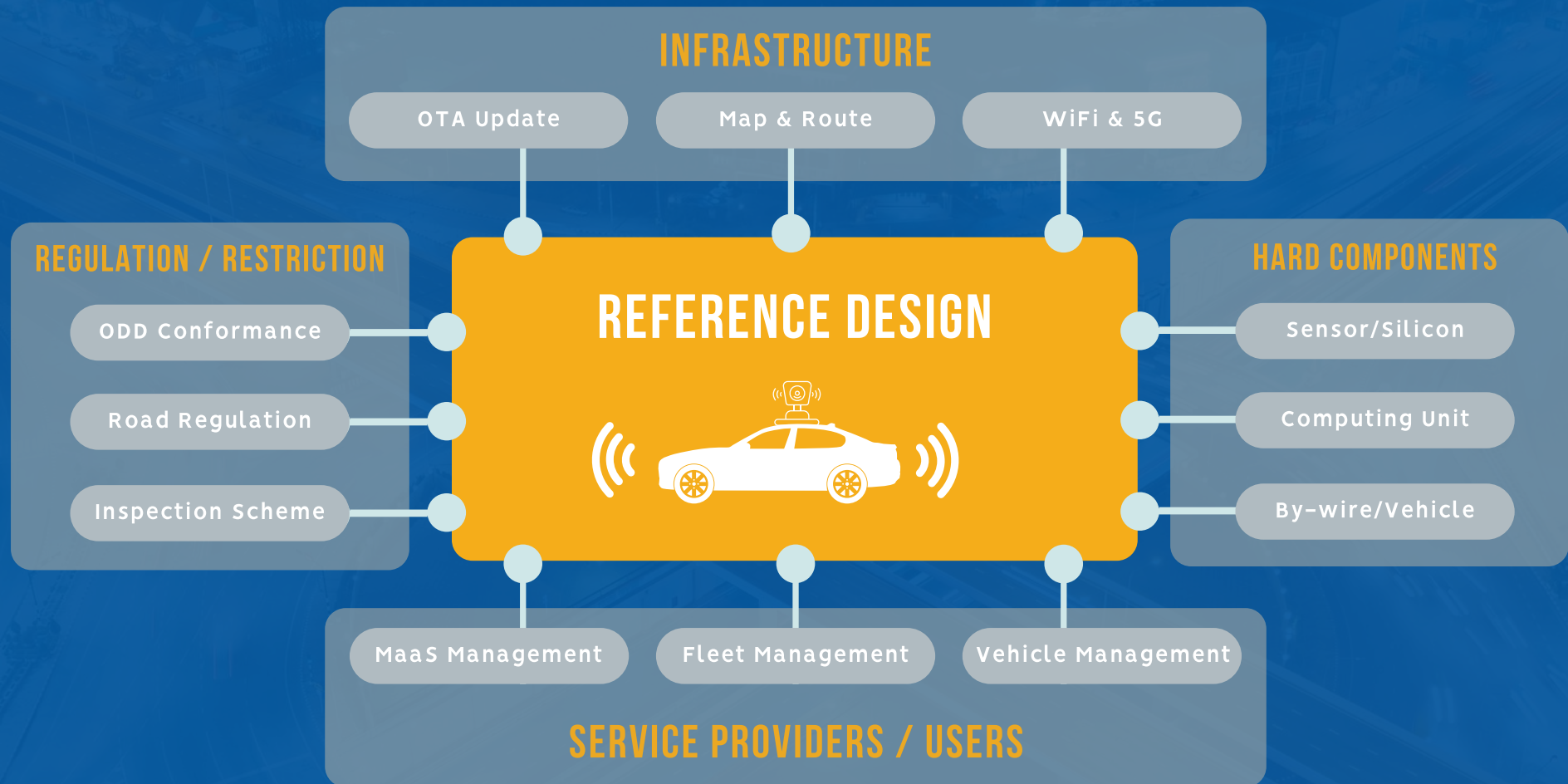


### 市街地の限定道路等

#### 実績例

- 新宿の市街地での一般道走行（一般乗用車）

## Reference Designによって自動運転の安全性担保を目指す





## 各ODD類型に応じた Reference Design

ティアフォーは、様々な走行環境において社会受容性のある安全性及びコストを確立するため、各ODD類型に対応するReference Design（センサー構成等）の最適解を導き出し、提示している。

実際の設計はODDや輸送目的等に応じてその都度詳細に検討されるが、ベースとなるReference Designを各ODD類型ごとに提示することで、実証実験を誰でも容易に行うことが可能となる。

## ODD別のReference Design

|       | センサー構成の想定                                            | LiDARの個数* | カメラの個数* |
|-------|------------------------------------------------------|-----------|---------|
| ODD 1 | 自動運転を行うのに最低限必要な構成。                                   | 1基以上      | 1基以上    |
| ODD 2 | 低速かつ不規則な物体が走行環境に存在する想定。中距離の物体検出を行う構成。                | 6基以上      | 6基以上    |
| ODD 3 | 不特定多数の人/自転車/高速移動車が走行環境に存在することを想定。近距離から遠距離の物体検出を行う構成。 | 6基以上      | 6基以上    |

\*Appendix参照



# 実証実験に至るまでのプロセスとインシデント対応

## 社内におけるプロセス

安全性を確保するため、ティアフォーでは実証実験を実施するまでに幾重もの安全性確認のプロセスを踏んでいる。

### 1. シミュレーション

バーチャル空間上で予定ルートを走行し、安全性を検証する。



### 2. 閉鎖空間テスト

自動運転車両の専用コースにおいて、実車を用いて車両の機能/安全性の確認やドライバーの訓練を実施する。

### 3. 走行コースのリスクアセスメント

実際のコース上で想定される危険事象をあらかじめ特定し、その評価を基に安全性確保のための対策を検討する。



### 4. 実験審査

リスク管理委員会が実験計画を審査し、安全性が確保されていると判断/承認された場合のみ、実験を実施することができる。

### 5. コースの手動及び調整走行

実際のコースを手動運転で走行し、安全対策の充足性やドライバーの適性を再確認する。加えて、自動運転システムのパラメータ調整走行も実施する。



### 6. 実証実験本番

天候やコース状態等を確認し、問題なければ実験を実施する。

# インシデントへの対応

ティアフォーの安全性評価の特徴は、インシデント時点でのリスク管理にある。一般的に「インシデント」は事故を指すが、ティアフォーでは、事故に繋がりがねない事象も含めてインシデントと定義しており、インシデントを確認した時点で、対策の妥当性及び実証実験の実施可否を判断している。

具体的には、設計者や実験実施者が客観的な基準や指針を基にインシデントと判断する事象が発生した場合、まずはインシデントレポートを発行してリスク管理委員会に報告する必要がある。そして、その危険度レベルを各専門家（ソフト・ハード・安全性・実験実施）が4段階で評価し、最も危険なレベル4と判断された場合には、その時点で社内の全実験が中止となる。



その後、当該実験においては、運用方針の変更も含め、事故に繋がりがねない当該事象を回避し得る暫定対策、及び最終的に安全設計を実現し得る恒久対策の双方が検討される。暫定対策により安全性が確保された時点で実験再開の可否を判断し、その後は恒久対策に取り組み、安全に対する体制を随時アップデートしていく。

この広義的な「インシデント」時点でのリスク管理体制を徹底することで、ティアフォーは実証実験における安全性を確保している。



# 遠隔監視操作

政府も自動運転の必要性は理解しており、早期の実用化を支援しているが、法的側面を完全に整えるためには国際的な枠組みとも歩調を合わせる必要があるため時間を要する。そのため、法的整備がなされるまでの暫定的な措置として、関係省庁は自動運転に関する各種ガイドラインを発行しており、現行法の解釈の中で自動運転の実証実験を進めている。

ティアフォーでは社内における安全性確認のプロセスと並行して、車両の安全基準については国土交通省と、道路使用許可については警察庁とそれぞれ連携し、以下のようなプロセスを踏んでいる。



## 国土交通省との連携 - 道路運送車両法に関して

1. 自動運転に必要なセンサーや制御装置の車両への装備 [16]
2. 遠隔監視操作のためのセンサー（カメラ）と通信システムの車両への装備と、遠隔監視操作装置の設置
3. 保安基準緩和に関する国土交通省との事前相談
4. 保安基準の緩和認定の取得
5. 自動運転車の走行可能コースの確認
6. 実証実験コースの選定



## 警察庁との連携 - 道路交通法に関して

1. 実験計画案の作成と警視庁との相談 [17]
2. 警視庁による都道府県警察との連絡調整
3. 所轄警察署への道路許可申請
4. 閉鎖空間における遠隔運転時の制動性の確認審査
5. 警察官による安全走行可否の公道審査 [18]
6. 近隣住民への事前説明
7. 実証実験の実施

自動運転は技術的にまだ発展途上であるため、事故の発生は社会受容性の後退へとつながる。そのような観点から、ティアフォーでは関係省庁と事前に相談を行い、安全性の確認や法的適合性を確認しながら実証実験を行っている。



# 走行コースのリスクアセスメント

## 損保ジャパンと協働し、走行コースの リスクアセスメントの具体的手法を構築

現在、世界各国の様々なプレーヤーが自動運転技術の開発を進めているが、走行コースにおける具体的なリスクアセスメントの手法はまだ確立されていない。ティアフォーは、損害保険会社として交通事故に関する知見を豊富に有する損保ジャパン\*と協働し、リスクアセスメントの具体的手法の構築に取り組んでいる。実際の実証実験では、右記のプロセスに沿って走行コースリスクアセスメントを実施し、安全性を確保している。

損保ジャパン作成のリスクアセスメントシートのイメージ

\*正式社名は損害保険ジャパン株式会社

### 1. 実験条件の洗い出し

危険事象を洗い出すため、必要な実験条件を明確化する。

例：実施期間・時間帯、目的、走行ルート、走行道路種別（一般道・高速道路等）、テストドライバー・オペレーター有無、乗客有無等

### 2. 危険事象の洗い出し

実験条件を踏まえ、走行環境や対象者・対象物、テストドライバー・オペレーター、マネジメント等のあらゆる側面から危険事象を全て洗い出す。

例：交差点左折時の自転車・バイクの巻き込み、車両正面への歩行者の突然の飛び出し、緊急車両への接触等

### 3. リスクレベルの評価

各危険事象のリスクを、危害レベル（損害度・事業計画性等）及び発生レベル（暴露頻度・発生確率・回避性）の観点から評価する。

#### 4. リスク低減策の策定

リスクの高い危険事象に関して、リスク低減策を策定する。

例：前後の伴走車設置、危険区間のマニュアル走行、対応マニュアルの整備等

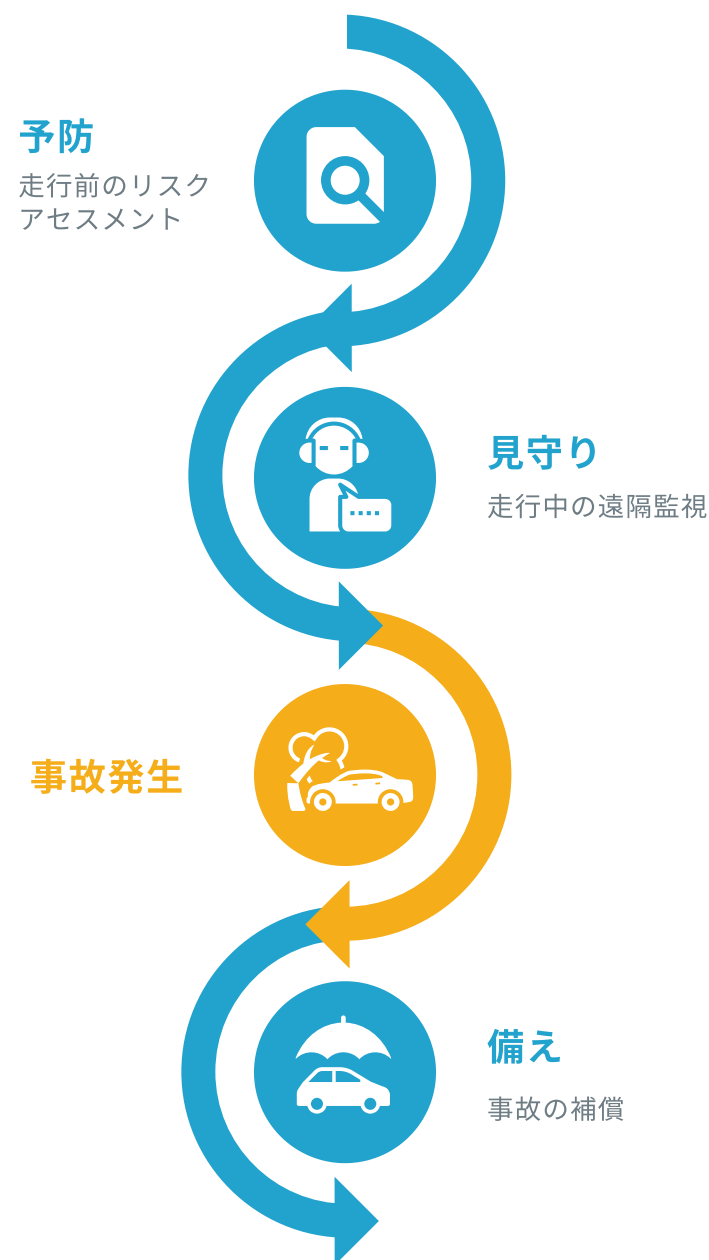
#### 5. リスクレベル再評価と残留リスク対策の策定

リスク低減策を講じた場合の危険事象のリスクレベル評価を再度実施し、リスクが高止まりする場合には残留リスク対策を策定する。

### Level IV Discovery

安心・安全な自動運転の実装のためには、万が一事故が発生した場合の「備え」だけでなく、事故を「予防」するための走行前のリスクアセスメントや、走行中の「見守り」をする遠隔監視等、事故を防ぐ取り組みも重要である。この取り組みの一つとして、ティアフォーは、自動運転に対する社会の安心・安全を総合的に支援するインシュアテックソリューションである"Level IV Discovery"\*を損保ジャパン及びアイサンテクノロジーと共同開発している。

\*Level IV Discovery公式サイト：<https://level4-discovery.org/>



# リスク管理委員会での提言事例

## 事例：走行速度設定

初期の実験計画内では、速度の安全マージンをとって20km/hとして、事前の地方自治体への説明や実験実施主体へ説明し合意されていた。しかし、実証コースの事前走行調査を行った結果、低速度走行による周囲交通の円滑阻害や無理な追い越し誘発による危険発生などを判断し、自動運転車の能力としては30km/hでの安全性は確認できていたので、速度設定を変更した計画に改めて、再度自治体に説明した。

## 判断/対応

現地での実際の交通量や道路環境に関する事前調査により、実験コースは30km/hでも安全に走行可能であり、逆に20km/hでの走行は無理な追い越し等のリスクを生む可能性が高いと確認できた。そのため、速度設定は30km/hに変更すべきと判断し、所定の手続きに従って実験計画書を変更・提出した上で実証実験を実施した。





# インシデント事例とその対応

## 事例1：高精度3次元地図の指示エラー

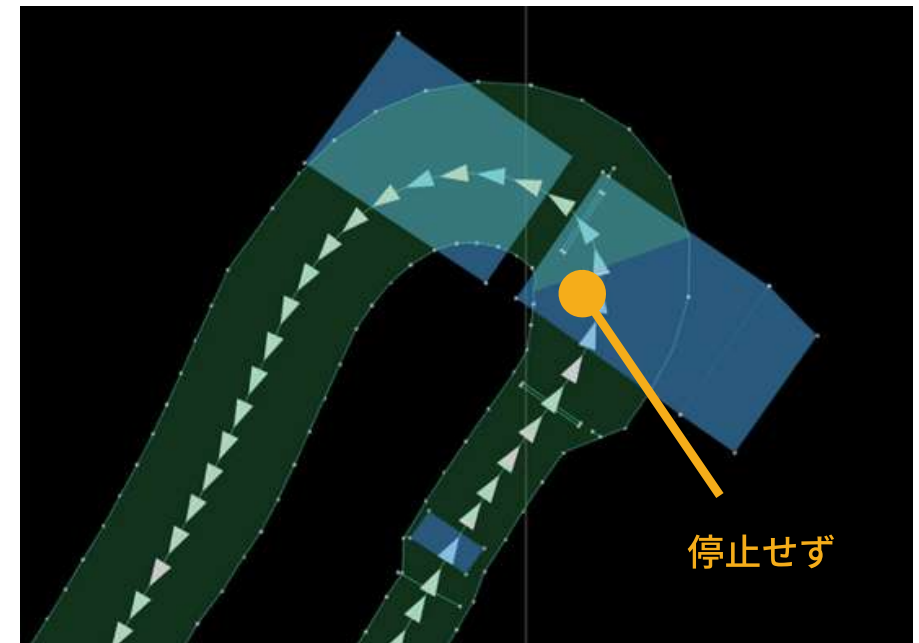
高精度3次元地図上に、危険箇所での停車指示を埋め込んでいた。しかし、実験コースでの手動・調整走行において、この停止指示を守らないことがわかった。

### 判断/対応

この事象は重大なインシデントと判断し、原因特定と対策がなされるまで実証実験を中止した。

### 問題/対策

停止指示は高精度3次元地図上では確認されたが、作成ツールのユーザーインターフェース上で他の情報と重なり、別の指示として紐付いてしまっていたため、停止指示が出ない状態であった。恒久対策として、停止指示に何らかのエラーが発生した場合には警告を出すよう、ツールのユーザーインターフェースの改善を行った。



## 事例2：実証実験中の道路付属物

一般道の実験コースにおいて、自動運転走行時のルートに沿って手動で調整走行をしていた際、左折時に車両が道路付属物に接触した。

### 判断/対応

実証実験を即時中止し、地元警察や実施機関、関係各所への報告を即日実施。インシデント原因の分析と暫定対策、また再発防止のための恒久対策を検討し、対策方針を固めた。翌日、原因の分析結果と再発防止策を記載した報告書を関係各所に提出・説明し、再開許可を得た上で実証実験を再開した。但し、インシデント発生直後の関係各所とのコミュニケーションには一部遅れが生じた。

### 問題/対策

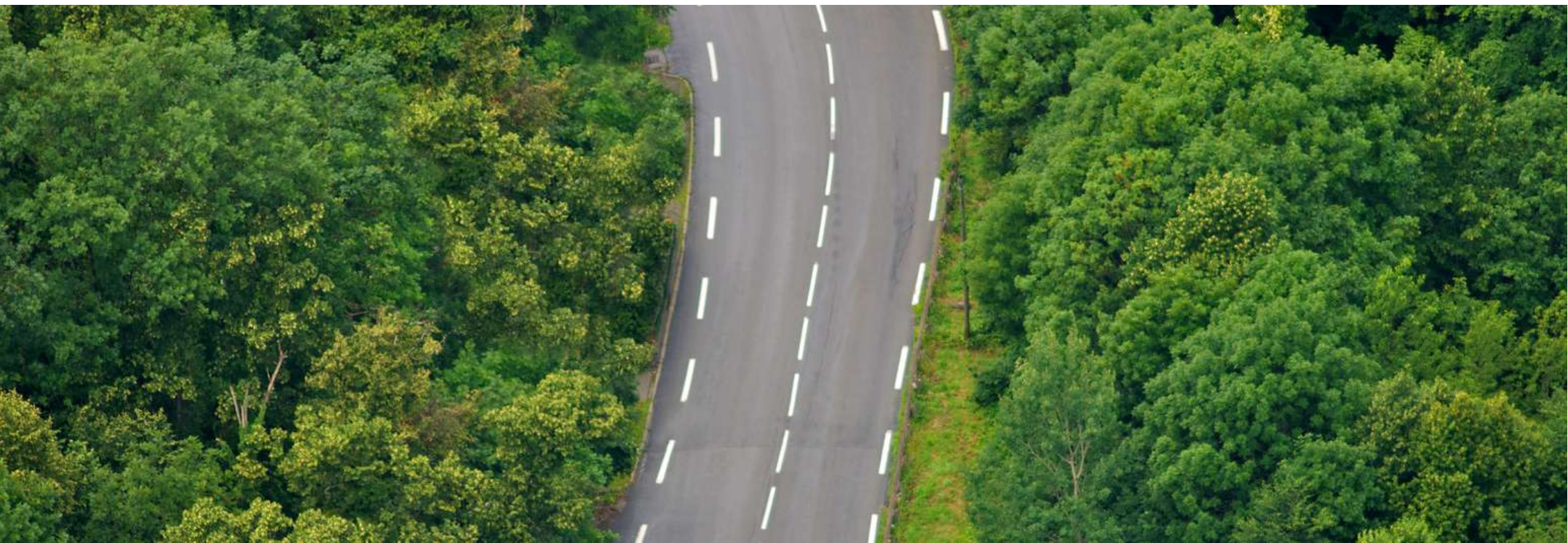
自動運転走行時の事故については、対応方法をマニュアル化して関係者へ事前共有していた。しかし、当該事象は事前の手動走行時に起きたものであったため、ドライバーに迷いが生じ、関係各所への連絡等に予想以上の時間を要した。

暫定/恒久対策として、手動走行時の対応も含めたマニュアルを再度作成した。また、連絡ルートを見直した上で、緊急時に即座に連絡先を確認できるよう車内にも連絡体制図を設置した。



SECTION 3

# 今後の技術開発





# オープンスタンダードによるシステム安全の構築

## 日本発のオープンスタンダードによるシステム安全の構築を目指す

自動運転システムには様々な機能やサービス、膨大なコード量のソフトウェア等が必要となるため、通常の自動車と比べてその構造は非常に複雑なものとなる。システムの安全確保には今まで以上に時間もコストも掛かるため、コストの限界＝安全性の限界となってしまう恐れがある。

そのため、各企業が個別に自動運転システムの安全を確保するような対応は非効率であり、様々なプレーヤーの安全に関する知見を集約することが鍵となる。これを実現するためには、特定企業の縛りを受けないオープンスタンダードによる水平分業化が必要となるため、[日本発のオープンソースの自動運転ソフトウェア「Autoware」](#)を中心としたエコシステムを構築することで、国際標準\*に準拠したシステム安全の実現を目指している。

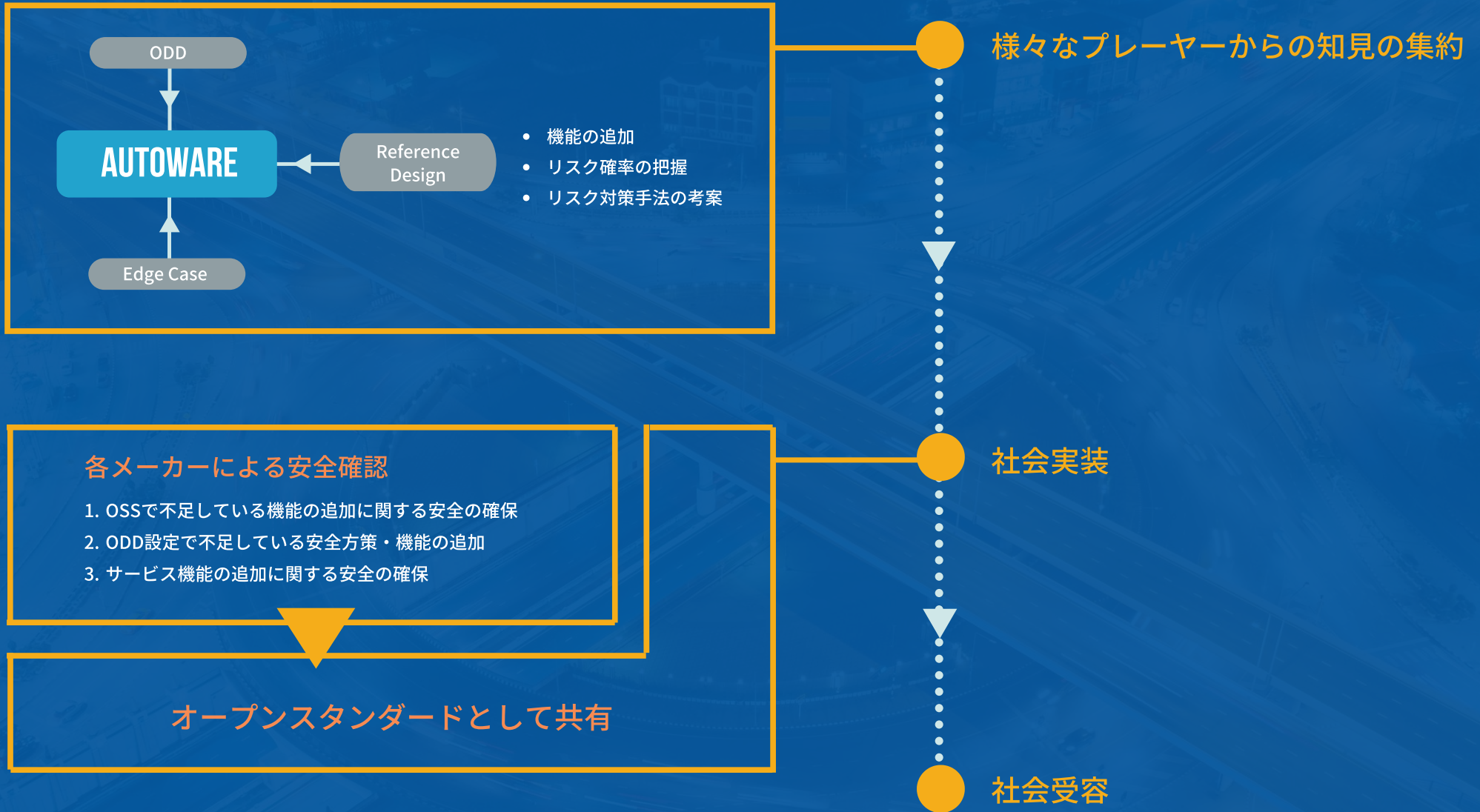
\*ISO 21448、ISO26262、ISO21434、UL4600等

## システム安全の実現手法構想

+ ..... カバーできる領域  
++ ..... 主たるスコープ

| 設計レベル      | 対象詳細                          | 走行コース<br>リスクアセスメント | ユースケース分析 | 安全分析 | シミュレーション解析 | 実機検証/評価 |
|------------|-------------------------------|--------------------|----------|------|------------|---------|
| サービスレベル    | 遠隔/配車/インフラ協調システム/<br>人/自動運転車両 | ++                 | ++       | ++   | +          | ++      |
| 車両レベル      | 自動運転車両/外部環境                   | +                  | +        | ++   | ++         | ++      |
| システムレベル    | Software/Hardware             |                    |          | ++   | ++         | +       |
| コンポーネントレベル | Software/Hardware             |                    |          | ++   | ++         | +       |

## Autowareを中心としたエコシステムにより、 安全性の底上げとコストの分散を図る



# 実証実験で見えてきた技術的な課題

## 課題例1：ODD設定要素の改善不足

これまで全国各地の様々な環境下で実証実験を実施してきたが、コース一つを取っても走行環境は極めて複雑であり、実施場所によって多種多様な対応が必要となる。そのため、シミュレーション、走行コースのリスクアセスメント、実証実験本番の各過程においてODD設定を詳細化/改良していくサイクルが重要である。



p32 技術開発1：ODD類型化と詳細化

## 課題例2：実証実験の類型化不足による開発の非効率性

これまでの実証実験では、使用する車両やセンサー構成をその都度検討する必要があり非効率であった。様々な事業者による自動運転開発を加速させるためには、これまで蓄積してきたシステム設計の知見をReference Designとして形式知化し、拡充していく必要がある。



p34 技術開発 2：Reference Designの拡充

## 課題例3：Autowareの機能強化の必要性

これまでの経験を通して、今後Autowareのどの機能を強化すべきかが見えてきた。具体的には、「物体認識」「動作予測」「行動生成」等のAI機能の実現や高精度化、またODDを外れた場合や予期しないエラーが発生した場合の事故回避に繋がるフェールセーフ機能について対応していく予定である。



p34 技術開発 3：Autowareの機能追加と改善



## 技術開発1：ODD類型化と詳細化

ティアフォーでは、事業者のビジネスモデル及び走行環境の技術的難易度に従ってODDを類型化しており、これは国の自動走行ビジネス検討会\*によるODD分類[13]にも対応している。Reference Designの提示によって実証実験の知見を形式知化するためにも、ODDのハイレベルな類型化は重要である。

一方、実際の自動運転走行時のODD設定においては、交通・道路状況、車両、天候、地形、時間帯等、極めて多くの要素が含まれる。そのため、ODDは類型化するだけでは不十分であり、必要な要素を詳細化し、対応範囲を広げるためにハード/ソフトの機能改善も必要となる。



\*自動走行ビジネス検討会：経産省製造産業局長と国交省自動車局長の検討会として2015年2月に設置。成長が見込まれる自動走行分野において日本の自動車産業が世界をリードし、交通事故等の社会課題の解決に貢献するために必要な取り組みを産学官オールジャパンで検討している。

## 国によるODD類型との対応

| ティアフォーによる類型（技術的特徴・機能別） |                                                 |  | 国によるの類型（規制・環境別） |
|------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ODD 1                  | 短距離かつ最小限のセンシングで対応可能な周辺車両や、歩行者が存在しない低速走行でのユースケース |                                                                                     | 閉鎖空間            |
| ODD 2                  | 短距離のセンシングで対応可能な、自車及び周囲車両が低速走行でのユースケース           |                                                                                     | 限定空間            |
| ODD 3                  | 長距離のセンシングが必要な中高速走行を含むユースケース                     |                                                                                     | 自動車専用空間         |
|                        |                                                 |                                                                                     | 交通環境整備空間        |
|                        |                                                 |                                                                                     | 混在空間            |

## 国による類型のイメージ

### 閉鎖空間

- 工場
- 空港の敷地内等



### 限定空間

- 廃線跡
- Bus Rapid Transit等



### 自動車専用空間

- 幹線道路等



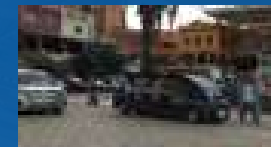
### 交通環境整備空間

- 幹線道路等



### 混在空間

- 生活道路等



## 技術開発 2：Reference Designの拡充

様々な環境・車両に対応したReference Designの提示はAutowareの普及を加速させる。そのためにまず必要となるのが、実証実験の幅を広げ、多様な経験や知見をさらに蓄積していくことである。そして、その蓄積された知見を基にODD類型及びReference Designの拡充を進めていく。また、業界各社の知見をオープンに集約・共有できるような仕組み作りについても検討していきたい。

## 技術開発 3：Autowareの機能追加と改善

### AIによる「認知・予測」「判断」の精度向上

自動運転システムの機能である「認知・予測」「判断」「操作」のうち、「認知・予測」及び「判断」の精度は機能全体の良し悪しに直結する。精度向上のためにはAIに関する更なる研究が必要だが、AI分野の研究者は日本では不足しているため、大学との連携が不可欠である。自動運転システムの開発には、AI/ソフトウェアエンジニアリング/自動車工学等の様々な専門家が集結する必要があるため、ティアフォーは産学連携体制で「認知・予測」「判断」の精度向上を図っていく。

## フェールセーフ機能の強化

システムエラーが発生した際の危険通知や既知の危険事象に対するFail Safe機能のAutowareへの拡充は今後も当然必要となる。様々なODD下での走行について、一部はシミュレータでの確認が可能である。一般的なユースケースに関しては、2016-2019年にドイツで行われたPEGASUSプロジェクト\*の手法の活用が期待できる。また、日本でも同様の取り組みとして2018年からSAKURAプロジェクト\*が始まっており、日本の道路環境に適したローカルな手法やユースケースの活用が期待できる。

一方で、ODDを外れた場合の検知/判断、また予期しない危険事象が発生した場合の対応についても、発生頻度が低い未知の危険事象のユースケース化や、シミュレータでは再現できない危険事象についての対処等を検討していく必要がある。

\*PEGASUSプロジェクト：自動運転の安全性評価手法をドイツのOEMに適した形で定義することを目的に、BMW/ダイムラー/アウディ/ポルシェ等を含む17団体で発足した、オールドイツの官民共同プロジェクト。

<https://www.pegasusprojekt.de/en/about-PEGASUS>

\*SAKURAプロジェクト：日本に適した自動運転の安全性評価手法の開発を行う日本の官民共同プロジェクト。PEGASUSプロジェクト含む諸外国取組と連携して推進。[https://www.sakura-prj.jp/project\\_info/](https://www.sakura-prj.jp/project_info/)



## 多様な実証実験の知見を基に、ODD類型及びReference Designの拡充を進める



..... ティアフォーの取組領域
  ..... ティアフォーの未取組領域



SECTION 3

# 今後の事業と社会環境整備





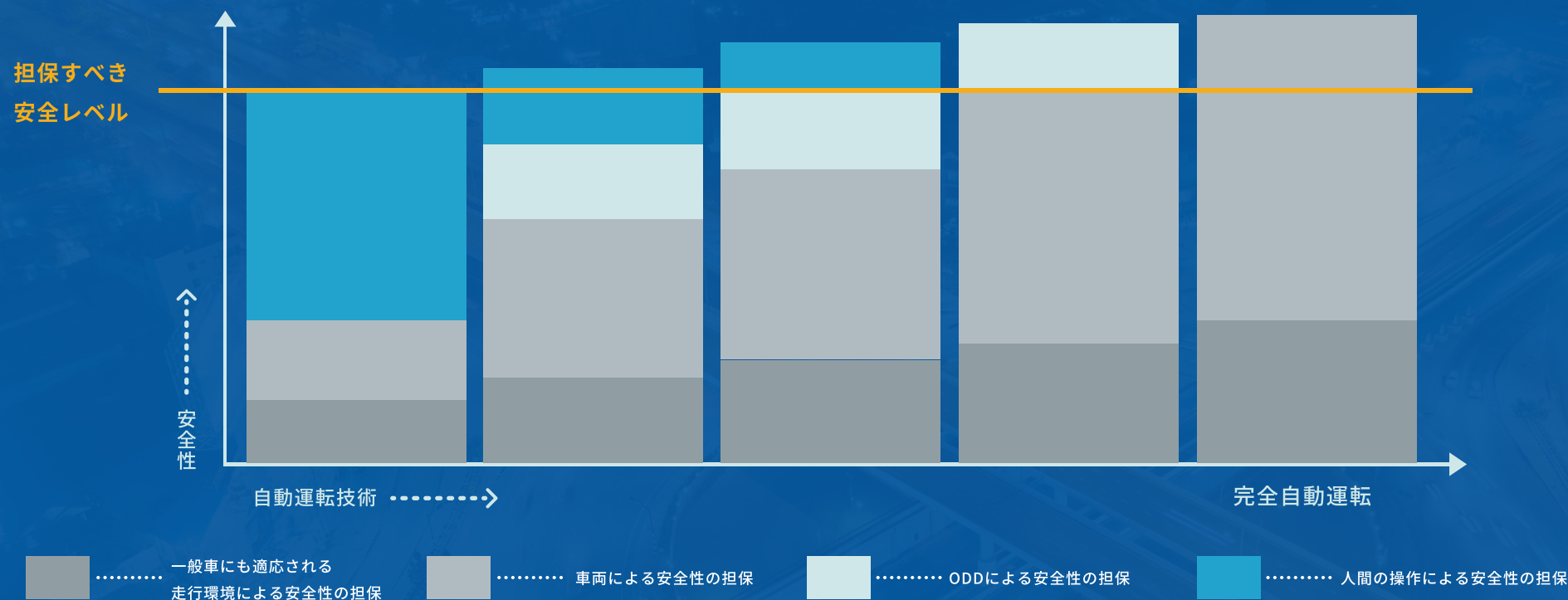
# 自動運転実現に向けた政策動向

2020年5月、自動走行ビジネス検討会において、走行環境の類型やサービス形態に応じた自動運転実現に向けたロードマップが示された[13]。

これまでは走行環境の類型整理が進められてきたが、今後はロードマップの実現に向け、自動運転システムにおける走行環境条件の客観的指標の作成、保安基準の更なる改定等、安全性担保のための検討や制度の確立が期待されている。

ティアフォーでは、前章で挙げた技術的課題に加え、社会環境整備上の課題に対しても国の方針に沿った検討を進めていく。

今後はロードマップの実現に向け、安全性担保に向けた検討が期待される





# 実証実験で見えてきた 事業及び社会環境の課題

日本では、海外のような多数車両での  
実証実験は行われない。

日本各地で実証実験が行われているが、これまでは地方自治体を中心にした  
小規模・短期間の実証が多かった。

対して米国では、一社ごとの実験エリア・車両種別は限定的なものの、80社  
以上の企業が37州の公道で長期間にわたって実施した実証実験の車両台数  
は、2019年6月時点で計1,400台を超えており[15]、走行データの蓄積が進ん  
でいる。



## 多様な社会課題に向けた自動運転技術の実用化を加速するためには 各社個別の取り組みを超えた共通の環境整備が必要となる。

### 課題 1：シミュレーションを含む自動運転の安全判断基準の不足

私たち人間については、長い時間をかけて定められた明確な基準によって走行能力がテストされ、運転免許が交付される。一方、自動運転システムについてはユースケース策定の取り組みはあるものの、どのような仕様の車両で、どのようなシナリオに基づくシミュレーションテストを、どれくらいの水準でクリアすれば実走行可能かを判断する基準はまだなく、各社個別での判断となっている。

### 課題 2：運用体制基準の不在

運用体制についても、発生の確率が異なる様々な危険事象に対し、それぞれどのような人員体制・運用方法で遠隔監視を実施・対処すべきかの基準はまだなく、各社が独自でその都度検討している。

### 課題 3：事故発生時の補償手段の不在

人間のドライバーか自動運転システムかを問わず、あらゆる許認可基準及び運用体制において、排除しきれない想定外のリスクは存在する。人間のドライバーの場合は補償手段として自動車損害賠償責任保険が存在するが、自動運転システムについては補償手段が確立していない。

### シミュレーションの標準化とその確からしさの検証を進めて、 オープンな安全判断基準を確立

自動運転システムでは、シナリオに応じたシミュレーションテストによって、再現性のある走行能力を定量的に示すことが可能である。そのため、シミュレーションテストによる走行能力の評価方法及びその安全判断基準を策定することで、自動運転システムの安全性検証が効率化され、許認可短縮、大規模検証の推進、早期実用化が促される。

### 合理的な運用基準の策定

ODDを外れた場合やエラーが発生した場合には、Fail Safe機能によるシステムでの対応、及び同乗ドライバー・遠隔監視者による手動での対応が行われるが、この人員体制・運用方法の基準を合理的に定めることで必要人員の削減を図ることができ、ドライバー不足等の社会課題の解決も期待できる。

### 社会的補償手段としての保険制度策定

許認可時における走行能力基準を満たし、かつ走行中のフェールセーフ機能及び遠隔監視体制を十分に構築したとしても排除しきれないリスクに対しては、社会的補償手段としての新たな保険制度を策定する必要がある。

# まとめ

## 自動運転の民主化を目指して——

創業から5年。ティアフォーは「自動運転の民主化」のビジョンの下、オープンソースの自動運転ソフトウェア「Autoware」の開発をリードし、国内外で様々な実証実験を重ねてきた。

このSafety Reportでは、これまでの経験から得た知見を基にODD類型やReference Designの一部を提示し、また安全性担保に向けた実証実験プロセスやその過程で見えてきた様々な課題についても形式知として共有している。

自動運転技術は多種多様な要素を統合したプラットフォームの上に成り立つため、あらゆるプレイヤーが助け合いながら水平分業型でその発展に寄与していくことが重要である。Autowareを中心とした持続的なエコシステムの構築によってそれが可能となり、コストや安全面でも社会的に受容される自動運転の早期の社会実装が期待できる。

自動運転には、交通事故の低減や高齢者等の交通弱者の方々への移動手段提供等、大きな社会的価値があると信じている。

ティアフォーは、これからも自動運転の民主化を目指して邁進していく。





# APPENDIX



# 各種データ

## 自動運転が求められる社会的な課題背景

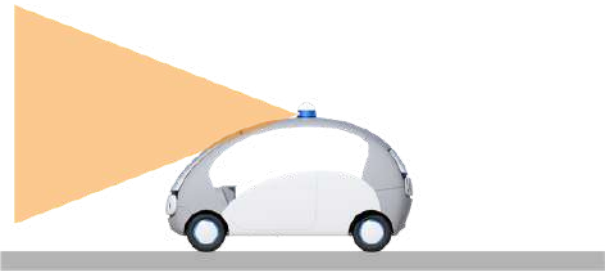
|                  | 世界                | 日本       |                          |
|------------------|-------------------|----------|--------------------------|
| 交通事故による死者 (人/年)  | 1.4百万             | 4千       | *死亡事故の97%が人為的ミス          |
| 交通事故による負傷者 (人/年) | 20-50百万           | 529千     |                          |
| 交通渋滞による損失時間      | 走行時間の約2割          | 走行時間の約4割 |                          |
| 失明者 (人)          | 36百万              | 14万      |                          |
| 大型二種免許保有者数       | -20% ('09-'19)    |          | *自動車運転業の有効求人倍率は全職種平均の約2倍 |
| タクシー運転手数         | -27% ('08-'18)    |          |                          |
| バス運転手の平均年齢 (歳)   | 51.2 (全職種比 +8.7)  |          | *バスの平均年齢は10年で +4.4歳      |
| タクシー運転手の平均年齢 (歳) | 59.9 (全職種比 +17.4) |          |                          |

|            | 一般路線バス           | 地域鉄道          |
|------------|------------------|---------------|
| 赤字の事業者     | 69%              | 76%           |
| 廃路総延長 (km) | 13,391 ('07-'16) | 895 ('00-'19) |

|                     | 地方都市圏          | 三大都市圏 |
|---------------------|----------------|-------|
| 自動車を主な交通手段とする高齢者の割合 | 55%            | 36%   |
| 高齢者の外出率             | +21% ('87-'15) |       |
| 死亡事故のうち高齢者による割合     | +16% ('08-'18) |       |



## ODD別のReference Design

|       | LiDAR構成例                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | カメラ構成例                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ODD 1 | <br><br><div> <div></div> ..... LiDAR (自己位置推定) </div><br><div> 合計1個 <ul style="list-style-type: none"> <li>自己位置推定/360度の物体検出</li> </ul> </div> | <br><br><div> <div></div> ..... カメラ (遠隔監視) </div><br><div> 合計1個 <ul style="list-style-type: none"> <li>前方の遠隔監視</li> </ul> </div> |

LiDAR構成例

カメラ構成例

ODD 2



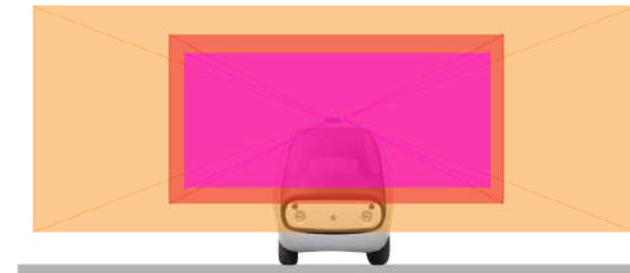
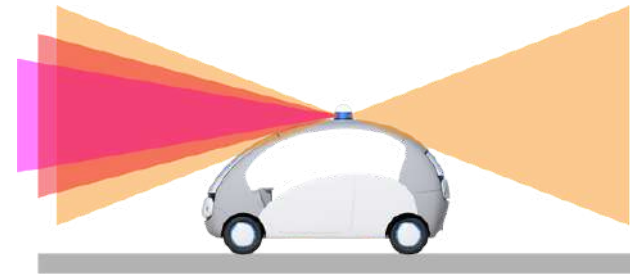
..... LiDAR (自己位置推定)

..... LiDAR (近距離)

..... LiDAR (中距離)

合計6個

- 自己位置推定/360度の長距離物体検出 (1個)
- 前後左右の中/近距離物体検出 (5個)



..... カメラ (遠隔監視)

..... カメラ (物体検出)

..... カメラ (信号認識)

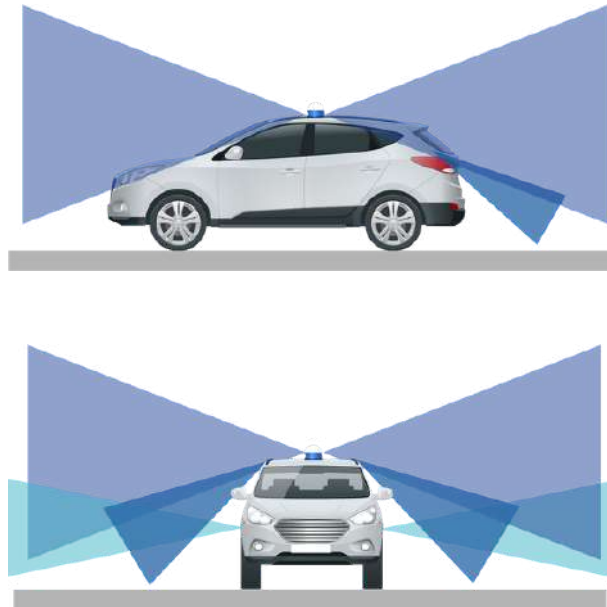
合計6個

- 全方位の遠隔監視 (4個)
- 前方の物体検出 (1個)
- 前方信号検出/認識 (1個)

## LiDAR構成例

## カメラ構成例

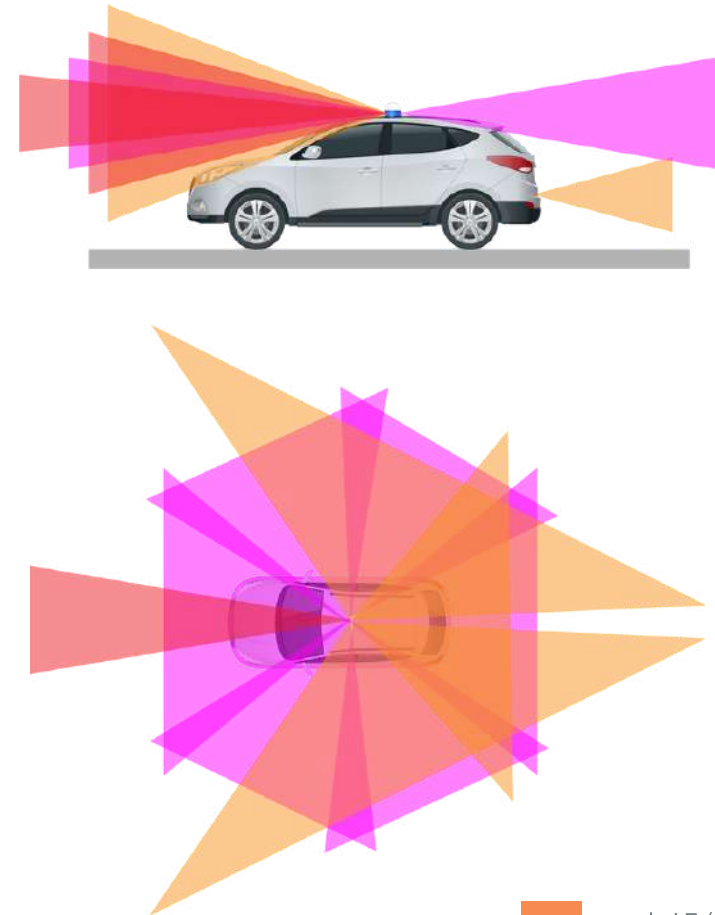
ODD 3



- ..... LiDAR (自己位置推定)
- ..... LiDAR (中距離)
- ..... LiDAR (長距離)

合計6個

- 自己位置推定/360度の超長距離物体検出 (1個)
- 後方の中距離物体検出 (1個)
- 左右の並走車両や人の中長距離物体検出 (4個)



合計6個

- 全方位の遠隔監視 (4個)
- 全方位の物体検出 (6個)
- 前方信号検出/認識 (2個)

- ..... カメラ (遠隔監視)
- ..... カメラ (物体検出)
- ..... カメラ (信号認識)



# 参考文献

- [1] "Road traffic injuries", World Health Organization, 2020.  
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> (参照 2020-5-14)
- [2] 『令和元年版交通安全白書』, 内閣府, 2019.  
[https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r01kou\\_haku/index\\_zenbun\\_pdf.html](https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r01kou_haku/index_zenbun_pdf.html) (参照 2020-5-14)
- [3] 『第1回 自動運転等先進技術に係る制度整備小委員会 配付資料3』, 国土交通省, 2018.  
[https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/jidosha07\\_sg\\_000052.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/jidosha07_sg_000052.html) (参照 2020-5-14)
- [4] 『高速道路を中心とした「道路を賢く使う取組」の基本方針』, 国土交通省, 2015.  
[https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01\\_sg\\_000218.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000218.html) (参照 2020-5-14)
- [5] 『2050年に世界で1億1,500万人が失明』, Medical Tribune, 2017.  
<https://medical-tribune.co.jp/news/2017/0818510031/> (参照 2020-5-14)
- [6] 『運転免許統計（令和元年版及び平成21年版）』, 警察庁, 2020/2010.  
<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/menkyo.html> (参照 2020-5-14)
- [7] "TAXI TODAY in Japan 2020", 一般社団法人全国ハイヤー・タクシー連合会, 2020.  
[http://www.taxi-japan.or.jp/pdf/Taxi\\_Today\\_2020.pdf](http://www.taxi-japan.or.jp/pdf/Taxi_Today_2020.pdf) (参照 2020-5-14)
- [8] 『令和元年度 第3回 過疎問題懇談会 資料6』, 総務省, 2019.  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/jichi\\_gyousei/c-gyousei/2001/kaso/02gyousei10\\_04000065.html](https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_gyousei/c-gyousei/2001/kaso/02gyousei10_04000065.html) (参照 2020-5-14)

- [9] 『若者敬遠、老いるバス運転手 人材不足で路線縮小も』, 産経新聞, 2019.  
<https://www.sankei.com/life/news/190723/lif1907230015-n1.html> (参照 2020-5-14)
- [10] 『未来投資会議（第32回）配布資料1』, 首相官邸, 2019.  
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/dai32/index.html> (参照 2020-5-14)
- [11] 『第1回 地域交通フォローアップ・イノベーション検討会 配付資料5』, 国土交通省, 2018.  
[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei\\_transport\\_tk\\_000093.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000093.html) (参照 2020-5-14)
- [12] 『自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準』, 警察庁, 2019.  
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/selfdriving/20190905jidouuntenkyokakijyunkaiteiban.pdf> (参照 2020-5-14)
- [13] 『自動走行ビジネス検討会 報告書「自動走行の実現に向けた取組報告と方針」 Version 4.0』, 経済産業省, 2020.  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/jido\\_soko/20200512\\_report.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jido_soko/20200512_report.html) (参照 2020-5-14)
- [14] 『官民ITS構想・ロードマップ 2019』, 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議, 2019.  
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20190607/siryou9.pdf> (参照 2020-5-14)
- [15] "Over 1,400 self-driving vehicles are now in testing by 80+ companies across the US", TechCrunch, 2019.  
<https://techcrunch.com/2019/06/11/over-1400-self-driving-vehicles-are-now-in-testing-by-80-companies-across-the-u-s/> (参照 2020-5-14)
- [16] 『自動運転車の安全技術ガイドライン』, 国土交通省, 2018.  
<http://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf> (参照 2020-5-14)
- [17] 『自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準』, 警察庁, 2019.  
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/selfdriving/20190905jidouuntenkyokakijyunkaiteiban.pdf> (参照 2020-5-14)
- [18] 『遠隔型自動運転システムの公道実証実験に係る道路使用許可の申請に対する取扱いの基準』, 警察庁, 2017.  
<https://www.canva.com/design/DAEDVJPifnU/wkGsKMPZGgU25VbeNkB4aw/edit> (参照 2020-5-14)

# GLOSSARY

|                  |                                                                                            |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| ODD              | Operational Design Domainの略。日本語では「運行設計領域」もしくは「限定領域」と呼ばれ、自動運転システムが安全に作動する前提となる条件（走行環境等）を指す。 |
| Reference Design | 本レポートでは、Autowareの実装をサポートするためにTier IVが他の事業者を提供する設計図を指す。                                     |
| ディープテック          | 長期間かつ多くの費用をかけて研究開発された、社会的に大きなインパクトを与える最先端の技術を指す。                                           |
| エッジケース           | 危険事象に繋がり、発生頻度が低く予見しづらいケースを指す。                                                              |
| フェールセーフ          | 機器・システム設計において考慮する概念の一つ。<br>故障・異常発生時等に、なるべく安全な状態に移行するような仕組みを構築することを指す。                      |
| LiDAR            | Light Detection and Rangingの略。レーザー光を使って物体までの距離を測る、自動運転における主要なセンサー。                         |
| GNSS             | Global Navigation Satellite Systemの略。GPSを始めとした人工衛星によって測位を行うシステムの総称。                        |
| IMU              | Inertial Measurement Unitの略。3軸ジャイロセンサと加速度センサを組み合わせ、車両の角速度と加速度を計測する装置。                      |
| AMR              | Autonomous Mobile Robotの略。人や障害物を自動的に回避しながら、施設内での運搬など行う自律走行搬送ロボットを指す。                       |
| BRT              | Bus Rapid Transitの略。バス高速輸送システムを指す。                                                         |



共同編集者



KEARNEY



編集者



株式会社ティアフォー  
〒140-0001  
東京都品川区北品川1-12-10  
ジャコムビル

