



# 安全性評価基盤構築タスクフォース活動



金沢大学 高度モビリティ研究所 菅沼直樹

# 自己紹介



AD-MOREメンバー

## ■ 自己紹介

- 氏名: 菅沼直樹
- 出身: 愛知県豊田市出身(1975年生まれ)
- 所属: 金沢大学 高度モビリティ研究所
  - <https://admore.w3.kanazawa-u.ac.jp/>

## ■ 自動運転技術にかかわるきっかけ

- ロボット系の研究室に所属(1997年)
  - ロボットが高速に動くと楽しそう

## ■ 高度モビリティ研究所設立

- Advanced Mobility Research Institute
  - AD-MORE: 2021年4月設立
- 高度なモビリティの未来社会への導入に向けた取り組み
  - 自動運転自動車をはじめとするモビリティ
- 金沢大学の全学的な組織として強力に推進





# 目次

- 仮想環境を用いた安全性評価の必要性
  - 金沢大学の自動運転技術への取り組み
  - 自動運転に必要な技術と課題
  - 自動運転技術の社会導入に向けて
- SIP第2期 自動運転(システムとサービスの拡張)における取り組み
  - AD-URBANプロジェクトのご紹介
  - DIVPプロジェクトとの連携による認識技術の限界性能評価
  - SAKURAプロジェクトとの合流による安全性評価にかかる連携体制の構築
- 安全性評価基盤構築タスクフォース活動の概要
  - 安全性評価基盤構築タスクフォースの体制
  - 安全性評価のポイントと2023年度の活動概要
  - 国際連携
- まとめ

# 金沢大学の自動運転技術への取り組み

- 自動運転に関する網羅的な研究を実施
  - 1998年ごろから自動運転自動車に関する研究開発を開始
  - 独自開発の自動運転システム(フルスクラッチで開発)
    - 基盤となる地図から自律化に必要な認知・判断・制御まで
- 自動運転技術の公道走行実証実績
  - 国内の大学初の一般道での実証開始(2015年2月～)
    - 石川県金沢市, 東京都臨海部, 北海道網走市等で実証
  - 9年以上の公道での自動運転走行実績



金沢市内の走行実証



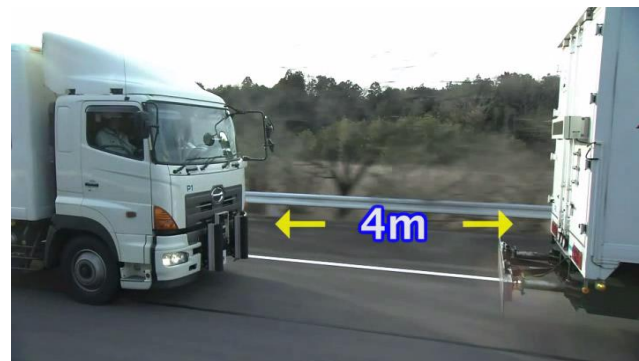
東京都臨海部の走行実証



北海道網走市での走行実証



無人デモ走行の様子  
(2008年@閉鎖環境)



エネルギーITS推進事業  
(2008～2012年@新東名等)



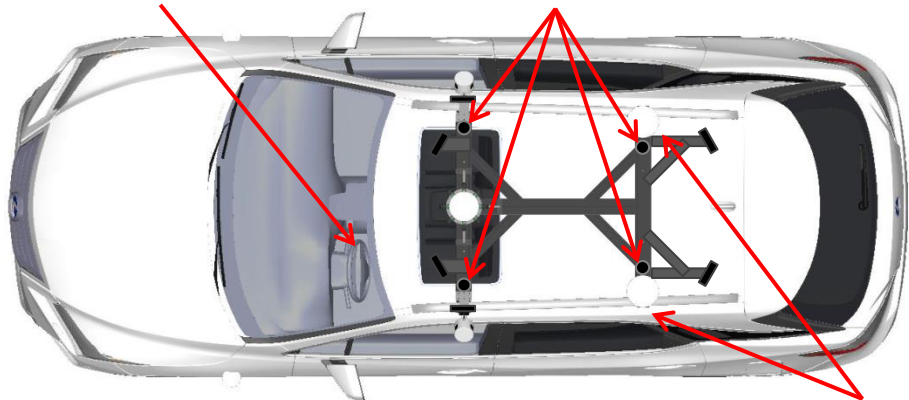
一般道公道走行開始  
(2015年～@石川県)



# 現在の試験車両

信号認識用カメラ

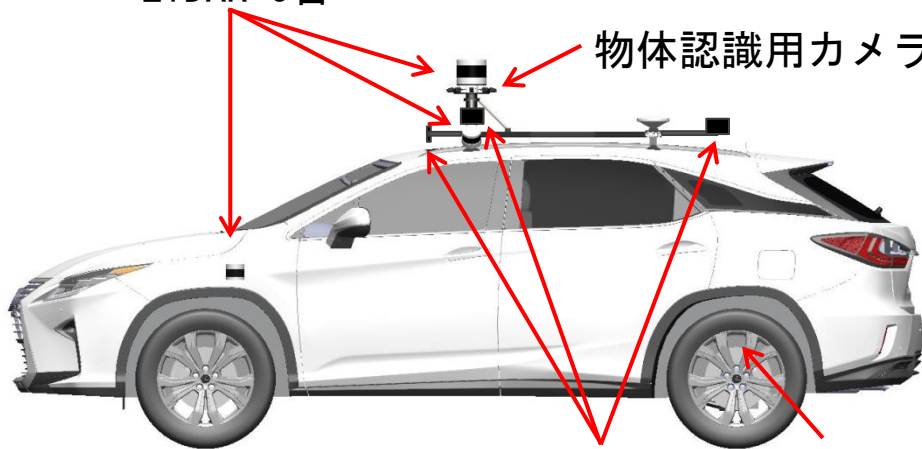
マイク4台



GNSS/INS

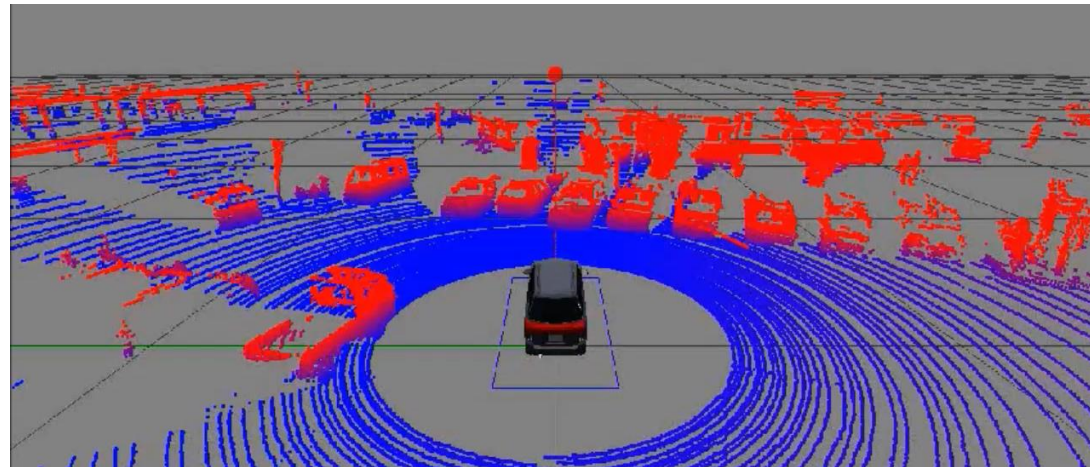
LiDAR 5台

物体認識用カメラ8台



イメージングレーダ6台

車輪速センサ



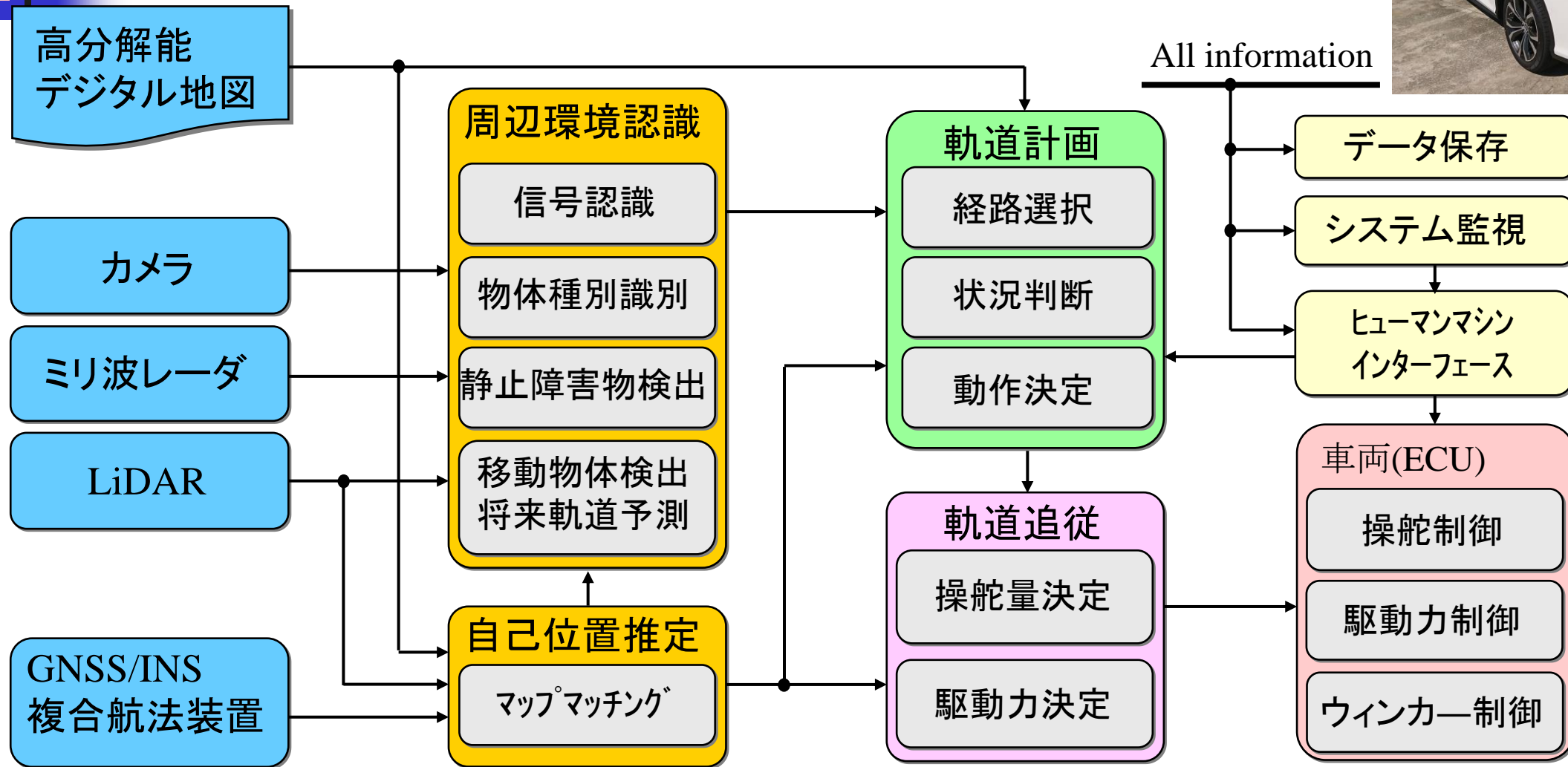
LiDARによるセンシング例

※旧式センサでの計測例



試験車両の外観

# 金沢大学の自動運転システム



センサ系

認知系

経路・軌道生成系

制御系

ユーザインターフェース系

アクチュエータ系

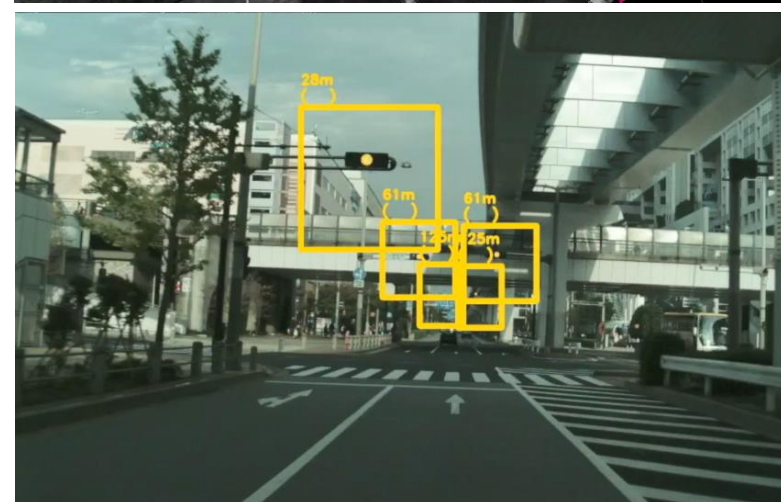
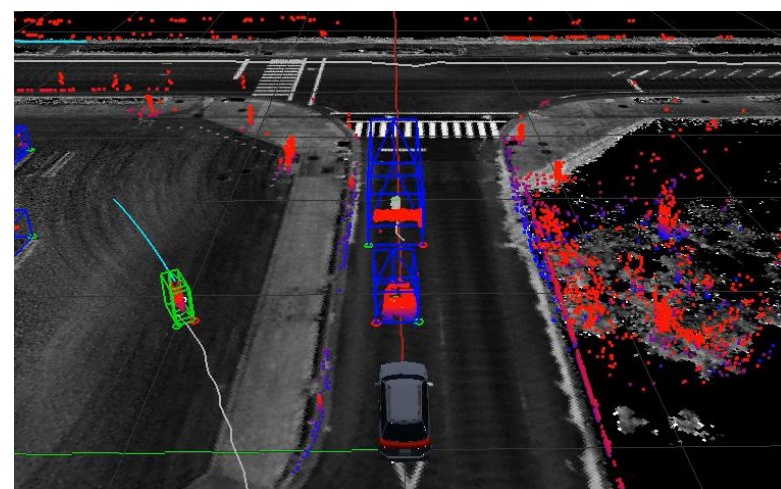
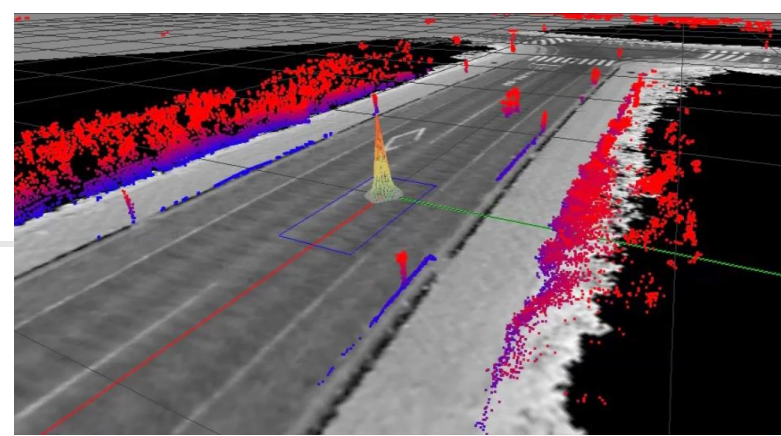
# 自動運転に必要な技術と課題

- 地図と自己位置推定技術
  - 高精度地図の生成と更新
  - 時間・場所に影響されない地図に対する相対位置の推定
- 周辺環境認識技術
  - 認識 = 検出 + 識別 + 予測
  - 予測 = 潜在 (死角検出) + 顕在 (軌道予測) リスク把握
- 走行軌道生成と車両制御技術
  - 目的に到達するにはどのような経路で進むべきか？
  - 交通ルール, マナーに従うためにはどうすればよいか？
  - 障害物に衝突ないためにはどんな行動をとるべきか？

多岐にわたる  
高度な技術の開発



総合的に洗練化していく  
必要がある



# 自動運転技術の社会への導入に向けて

- LV4車両のサービスカーへの導入
  - 自律型自動運転の技術向上
    - 車載センサによる認知・判断技術の向上
- How safe is safe enough?
  - どこまで安全なら十分に安全か？
    - 人が考える安全の定義は千差万別
- 自動運転システムの安全性の検証
  - 合理的に予見可能かつ防止可能な範囲で交通事故を発生させてはならない
    - ADSの安全性に関する国連WP29の国際合意
  - 網羅的かつ効率的な検証手段が必要
    - **実道＋仮想環境での安全性評価**



金沢市内の公道を自動運転走行中の様子(3倍速)





# 目次

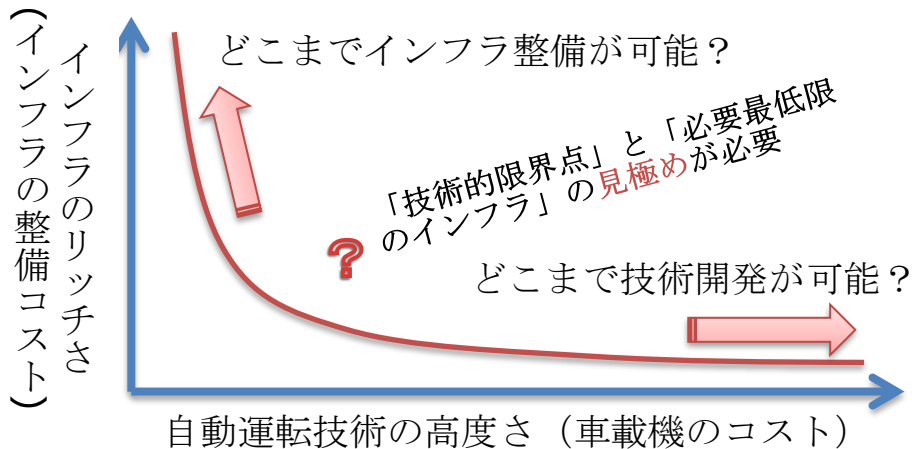
---

- 仮想環境を用いた安全性評価の必要性
  - 金沢大学の自動運転技術への取り組み
  - 自動運転に必要な技術と課題
  - 自動運転技術の社会導入に向けて
- SIP第2期 自動運転(システムとサービスの拡張)における取り組み
  - AD-URBANプロジェクトのご紹介
  - DIVPプロジェクトとの連携による認識技術の限界性能評価
  - SAKURAプロジェクトとの合流による安全性評価にかかる連携体制の構築
- 安全性評価基盤構築タスクフォース活動の概要
  - 安全性評価基盤構築タスクフォースの体制
  - 安全性評価のポイントと2023年度の活動概要
  - 国際連携
- まとめ

# SIP第2期 自動運転(システムとサービスの拡張)

## AD-URBANプロジェクトの概要

- 自動運転システムの開発
  - 自動運転に必要な認識・判断技術
  - 試験車両の構築と実証実験の実施
- 実道での認識技術の評価
  - 東京都臨海部, 金沢市中心部など
  - 自動運転実証実験による**認識の観点での限界性能の把握**
    - 2019~2021年度, 走行日数:182日, 自動運転走行距離:3,212.8km
- インフラ協調走行(V2I/V2N)の有効性評価
  - インフラ協調自動運転技術の開発とインフラの有効性確認
  - ジレンマゾーンでの減速度抑制(信号残秒数情報の活用)



大学のオープンな研究体制

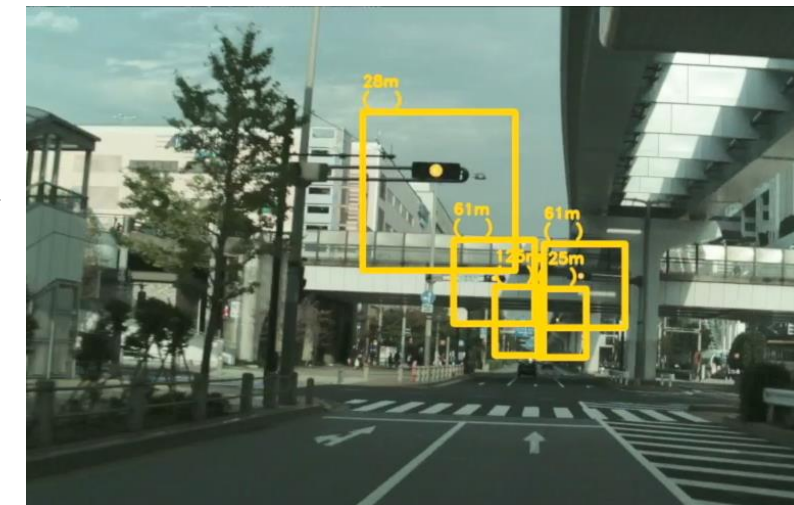
↓  
金沢大, 中部大など

東京臨海部での実証実験

最低限必要なインフラと  
認知判断技術性能の見極め



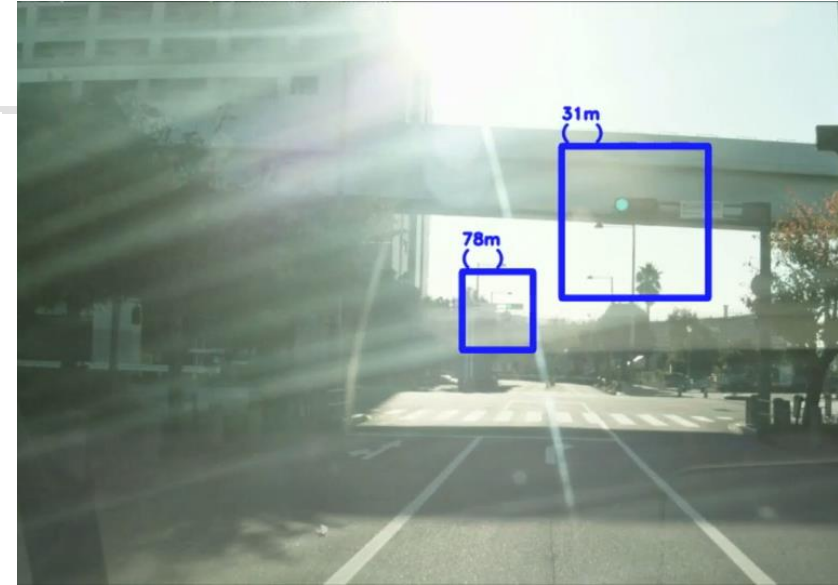
東京臨海部(お台場)での自動運転



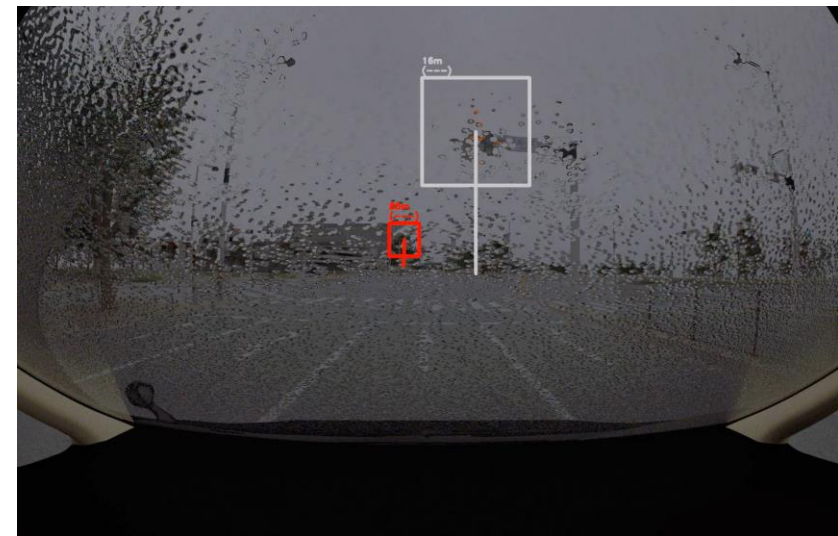
信号認識の様子

# 認識の観点での限界性能評価

- 車載センサを用いた認識技術の開発
  - 信号認識, 自己位置推定,
  - 物体認識, 緊急車両認識技術等
- 実道での認識技術の評価
  - 東京都臨海部, 金沢市中心部など
    - 認識不調シーンの把握
- 仮想環境での限界性能の定量的評価
  - 逆光, 雨天などの天候による不調
  - 死角など物理的な遮蔽による影響
    - **DIVPプロジェクトとの連携**



実証実験による認識不調シナリオの検証



仮想環境による認識不調シナリオの検証



認識不調シーンの共有  
安全性評価の有効性提示

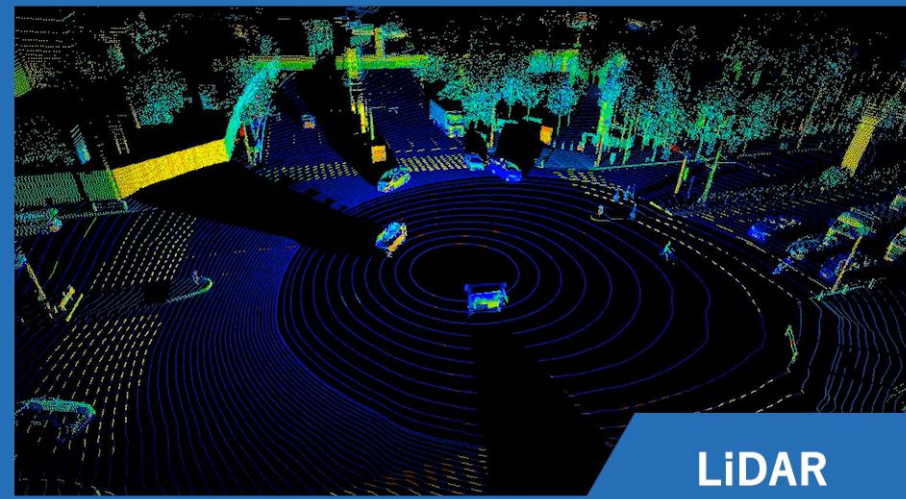
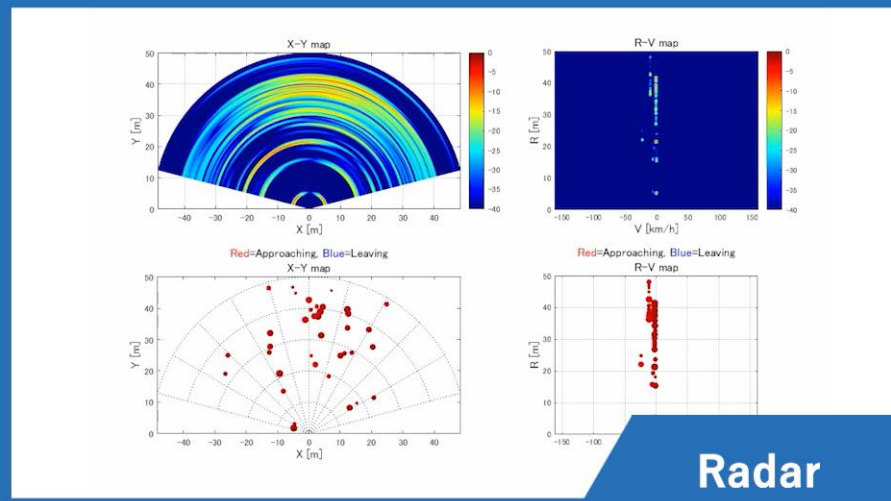
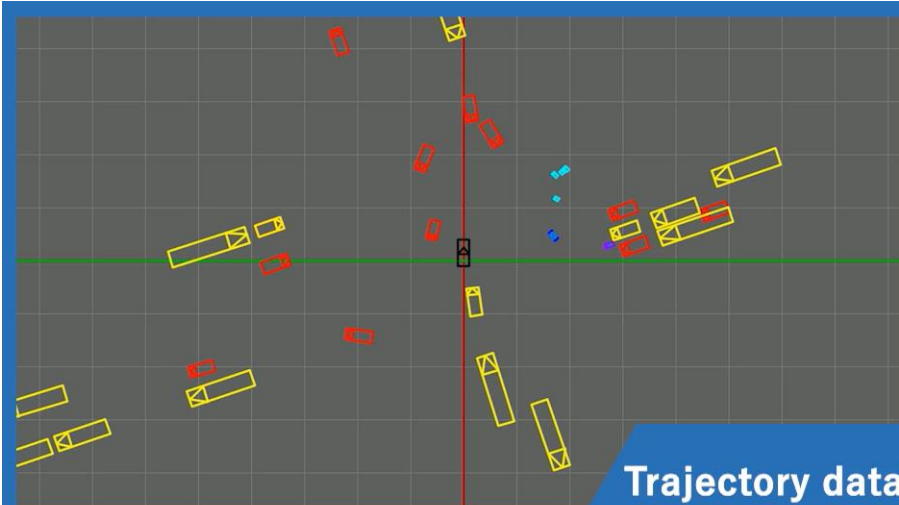
自動運転技術の改善

仮想環境の再現性評価  
認識技術の限界性能評価



# 仮想空間を用いた自動運転システムの安全性評価

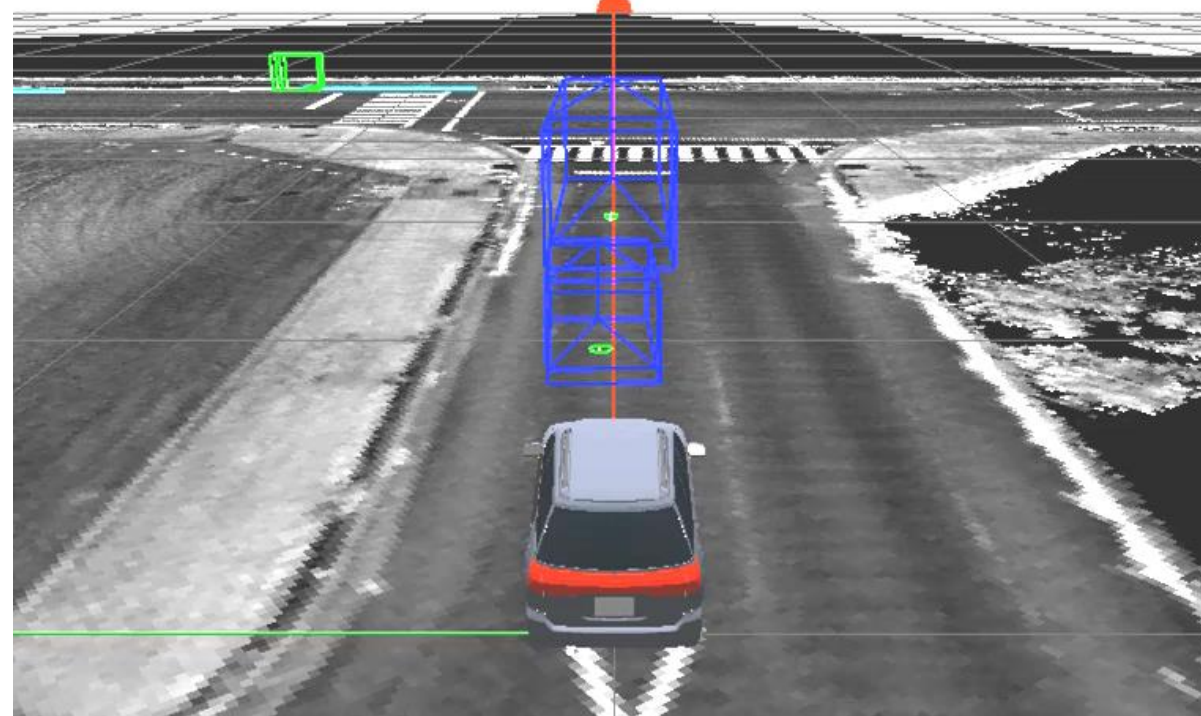
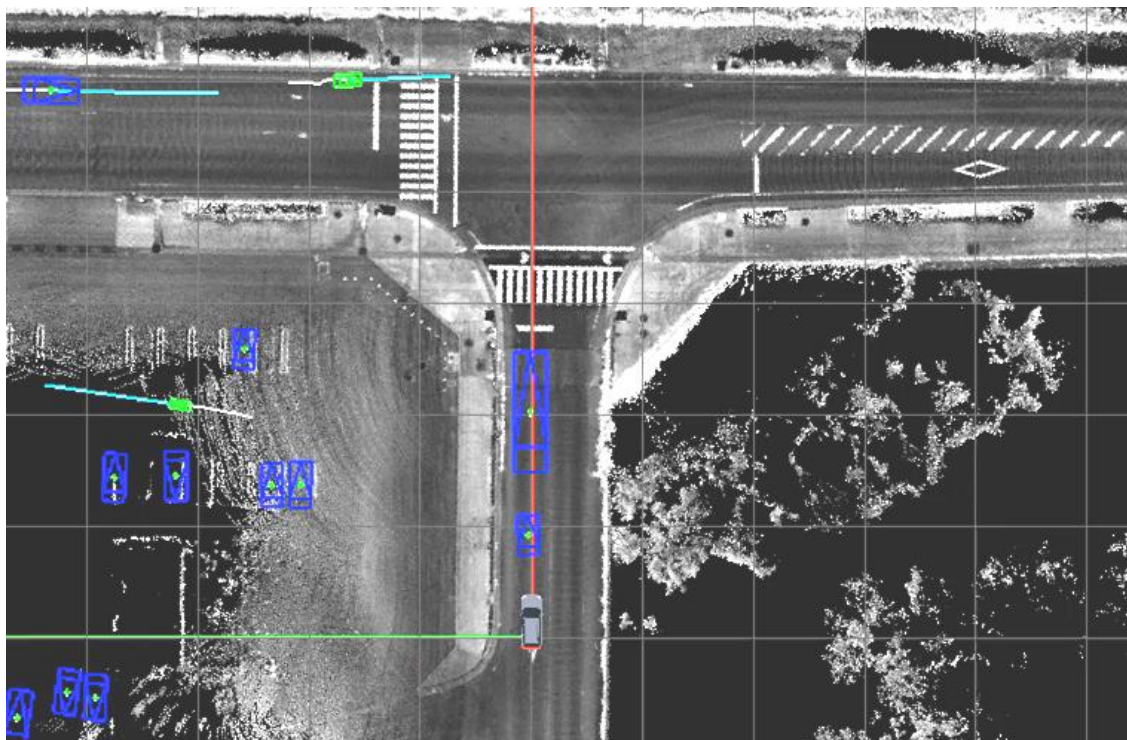
- 実証実験で得られたセンサデータのタグ付けにより, 仮想環境でセンサデータを再現
- 実環境では検証が難しい様々なシーン(車両位置・遭遇タイミング・天候環境等)を検証



# シナリオの自動抽出

- 実証データを活用したADシステムの安全かつ効率的な評価
  - 走行データからシナリオを自動抽出(SIP成果の高度化)
    - 自己位置推定結果, 移動物認識結果, 信号認識結果など
  - 仮想空間を活用した現実世界と類似した試験の効率的実施

— 予測軌道  
— 移動軌跡

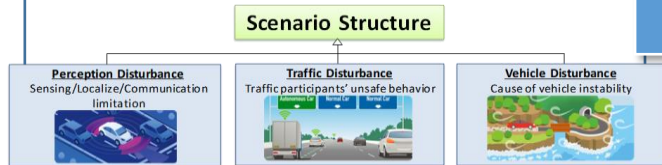


※本成果はFY23安全性評価基盤構築タスクフォース活動の成果の一部です

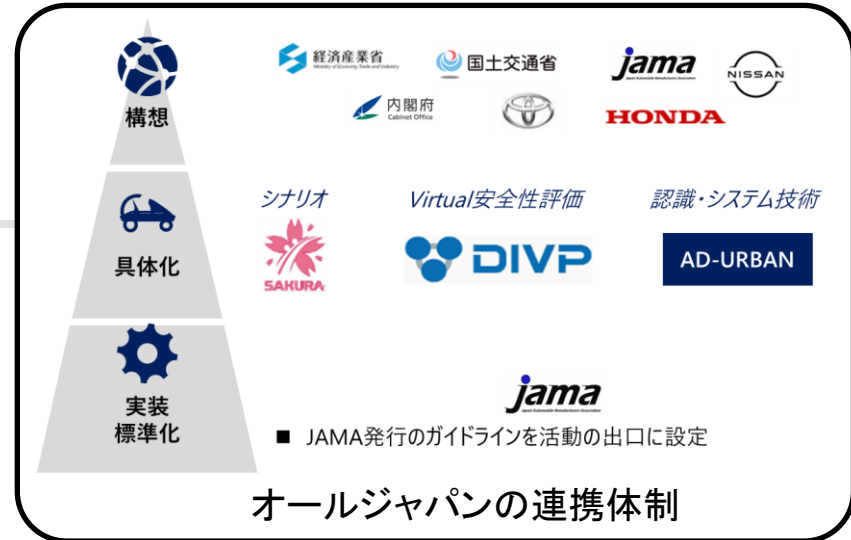
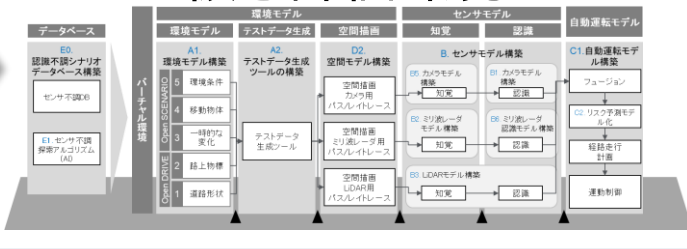
# 安全性評価にかかる オールジャパンの連携体制の構築



## 安全性評価シナリオDB

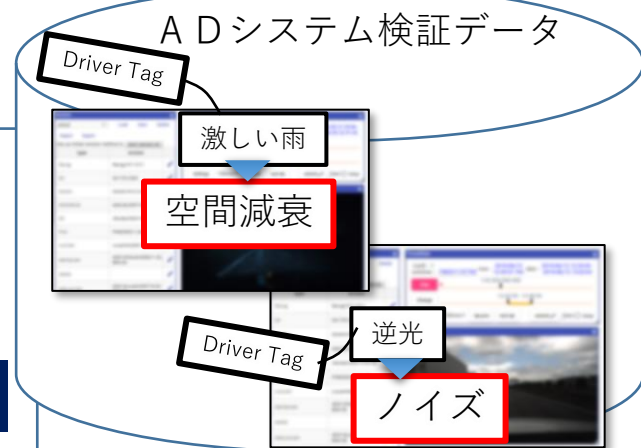
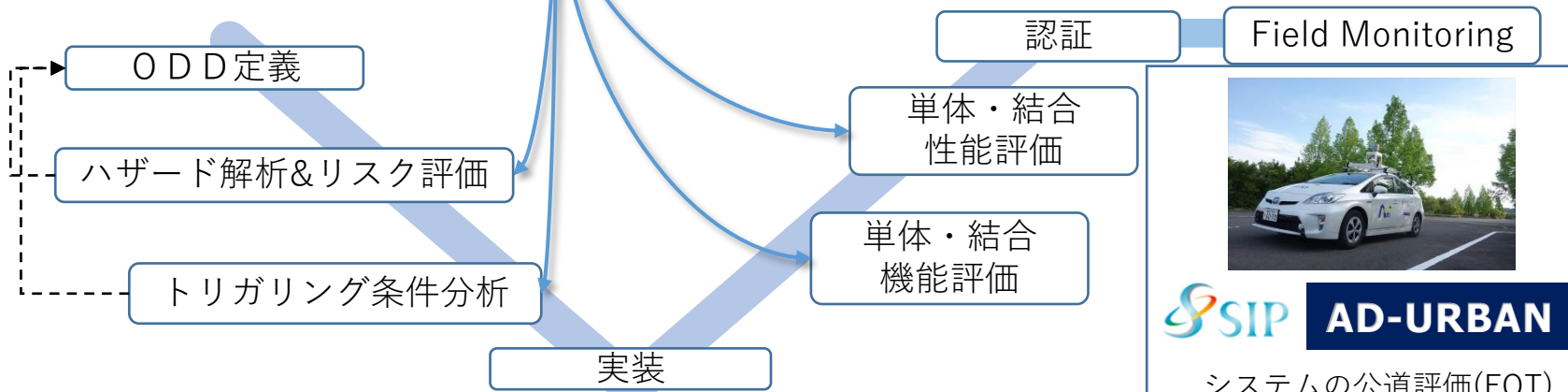


## 仮想評価環境



一般道交通流シナリオ、  
センサ不調シナリオのフィードバック

## 評価目的に応じた スケーラブルなsimulationアーキテクチャの検討





# 目次

---

- 仮想環境を用いた安全性評価の必要性
  - 金沢大学の自動運転技術への取り組み
  - 自動運転に必要な技術と課題
  - 自動運転技術の社会導入に向けて
- SIP第2期 自動運転(システムとサービスの拡張)における取り組み
  - AD-URBANプロジェクトのご紹介
  - DIVPプロジェクトとの連携による認識技術の限界性能評価
  - SAKURAプロジェクトとの合流による安全性評価にかかる連携体制の構築
- 安全性評価基盤構築タスクフォース活動の概要
  - 安全性評価基盤構築タスクフォースの体制
  - 安全性評価のポイントと2023年度の活動概要
  - 国際連携
- まとめ

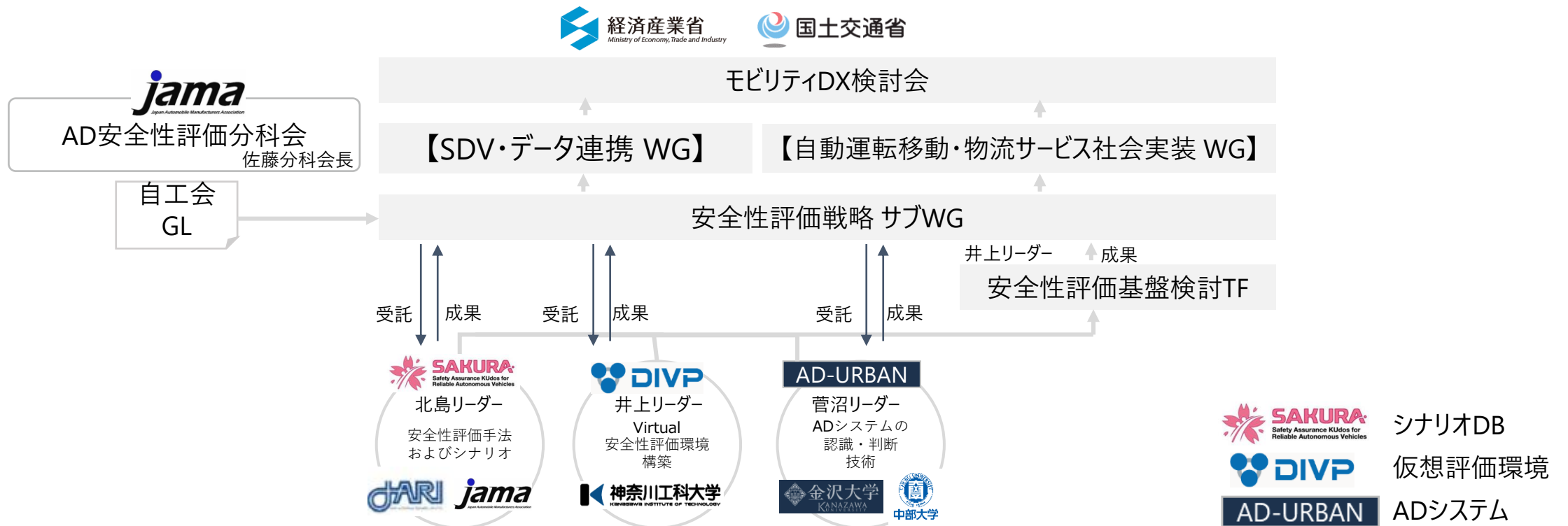
# 安全性評価基盤構築タスクフォースの推進体制

【狙い】

自動運転システムが有すべき安全性能に関する、論理的な網羅性・実行性・透明性を具備した安全性評価共通基盤構築による、日本の自動運転技術の安全性・開発効率の向上と国際競争力の確保

【アウトプット】

- ・Lv3以上の自動運転安全性を対象とした評価手法と判断手法のベストプラクティス構築
- ・各国の安全性評価PRJとの国際協調の形成による法規・標準への提案
- ・シナリオDB、仮想評価環境の政府支援プロジェクトとの協調(※) ※期待の提示と技術課題の共同検討





# 安全性評価基盤構築タスクフォース内の開発体制

- 地域実装等の各種ニーズに基づく安全性評価基盤の構築と、それらを支える研究体制にて成果を目指す

目指す姿

- 自動運転技術導入に対する地域ニーズ
- サービス向上にむけた一般道対応等のODD拡張
- オーナーカーの自動運転技術のレベルアップ



成果の発信

## Team0

- 3PRJリーダー間での研究企画や成果の検証
- 各地域実証やOEMとの連携によるニーズ・UCの収集
- 研究成果に基づく地域実装者や技術開発者への発信

各PRJリーダー：井上教授、北島様、菅沼教授  
(DIVP-PMが事務局運営)



プロジェクト間の連携を通じた  
安全性評価基盤の構築

## Team1

- UCに基づくシナリオと評価指標の検討



## Team2

- Virtual評価結果とシステムの結合による、2-stage評価の確立



基盤開発を支える  
要素技術の開発

SAKURA

- AD開発動向に応じたシナリオDB更新や安全性評価体制構築

DIVP

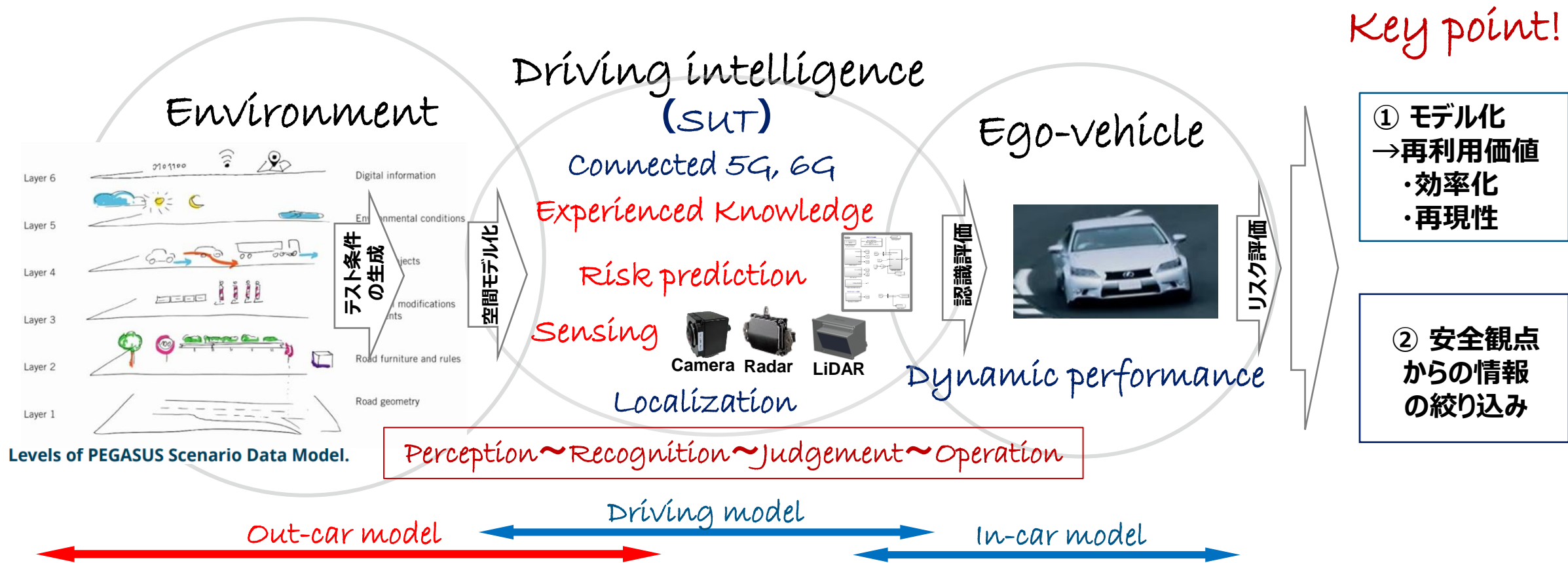
- 安全性評価Sim構築及び2ステージの安全性評価指標の構築

AD-URBAN

- 認識技術、システム制御の研究開発

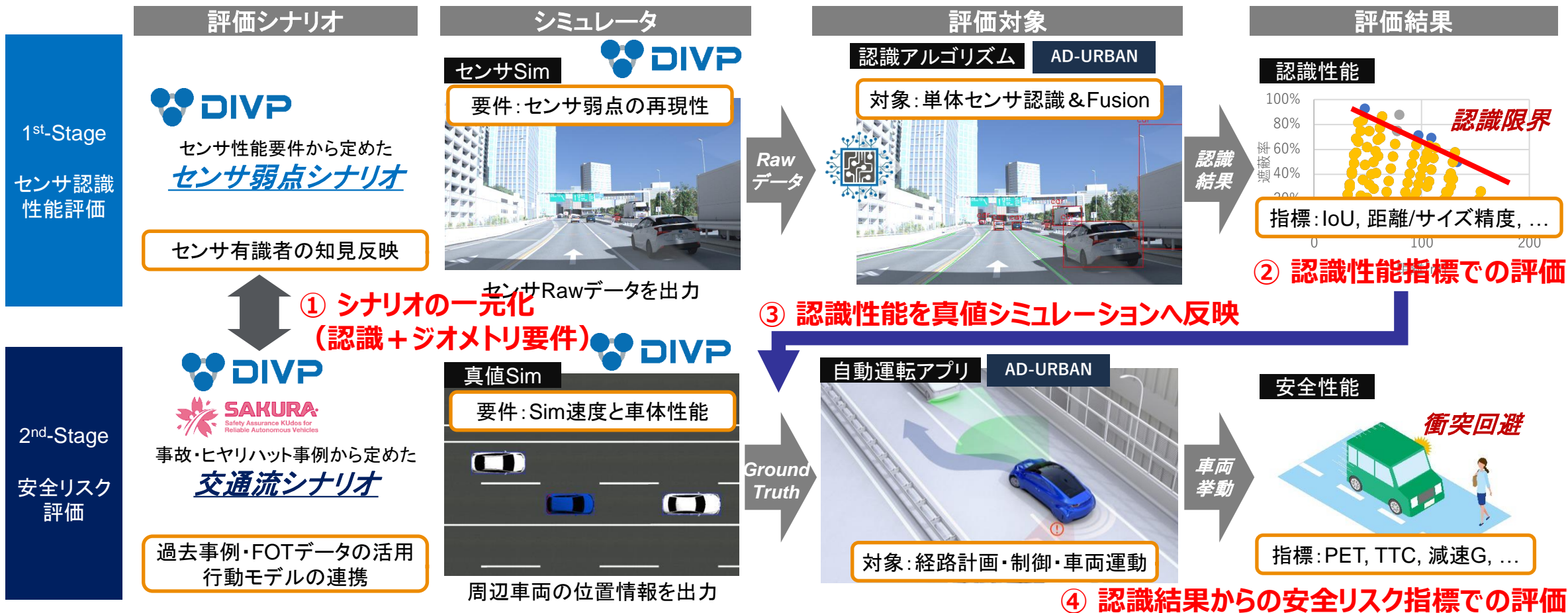
# 自動運転 安全性評価における 「網羅性」という「次元の呪い」を解くには？

- 「走行空間のModel Based化(仮想空間)→モデルの再利用価値(効率化, 再現性)を活かす」, 「安全観点からの情報の絞り込み」の2点が, キーポイント.



# 本プロジェクトの目指す安全性評価プラットフォームの構成と課題

- 仮想空間上で、認識性能と安全リスクの2Stage評価を行える評価プラットフォームをDIVP・AD-URBAN・SAKURA連携で構築した。



地域実証実験と仮想空間によるデジタルツイン検証を世界に先駆け確立

# ① シナリオの一元化;モデル化の要件

- 仮想環境で安全性評価を行うためには、環境要素や自車vs他車の動き等、走行環境の統合要件をコンピュータが読み込めるデータを生成していく必要がある。

データソース

事故データ

FOT

ニアミス

センサ弱点DB

SAKURA DB

...

シナリオ要素

Digital information	V2X	...								
環境条件	晴	雨	雪	霧	...	昼	夕方	夜	...	
移動物体	乗用車	小型車	トラック	二輪車	...	歩行者	自転車	子供	...	
一時的な変化	事故	工事	救急車	駐車	逆走車	...	落下物	ポットホール	動物の飛出し	...
交通ルール	速度	侵入禁止	...							
道路形状	高速道	一般道	交差点	T字	ランナバウト	...	平坦	傾斜	登坂	...

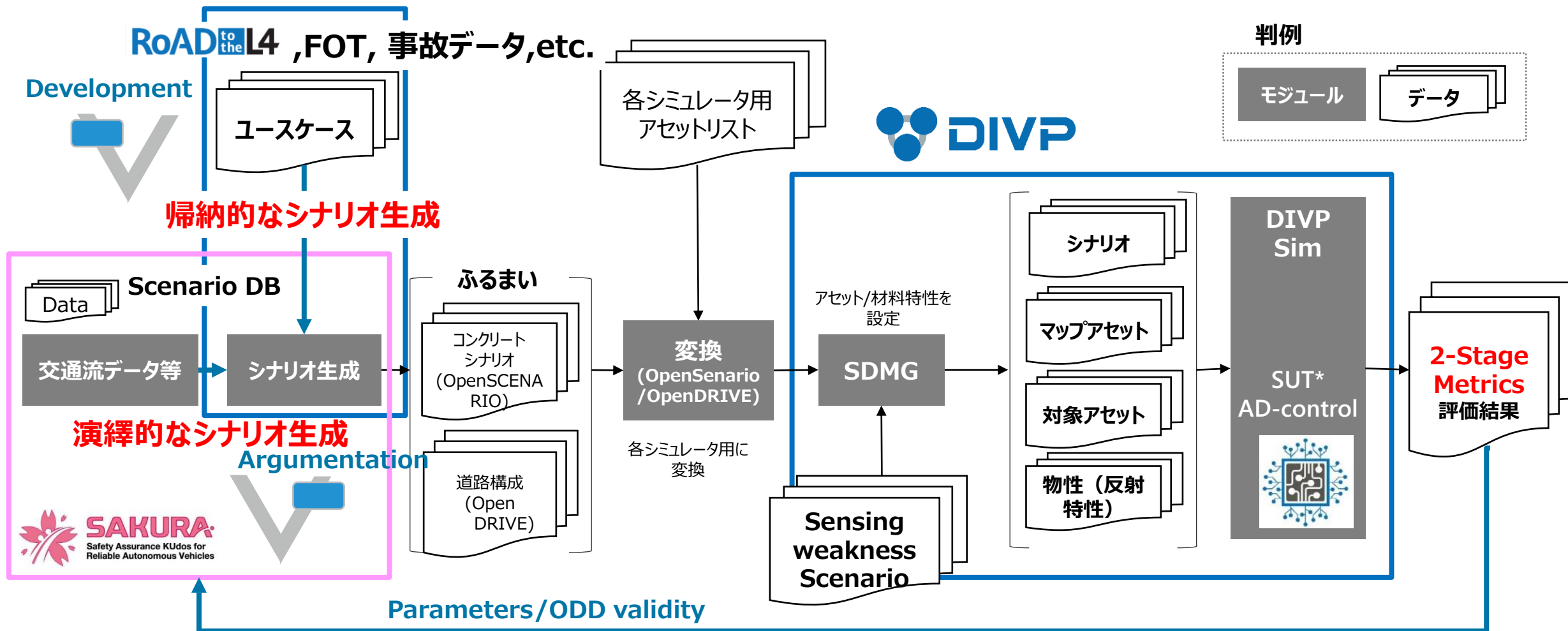
Sakuraで定義されるシナリオ  
(自車vs他車の位置関係)

走行環境を定義するシナリオモデル

# ①シナリオの一元化;

## 情報ソース～テスト条件(コンクリートシナリオ相当)の生成

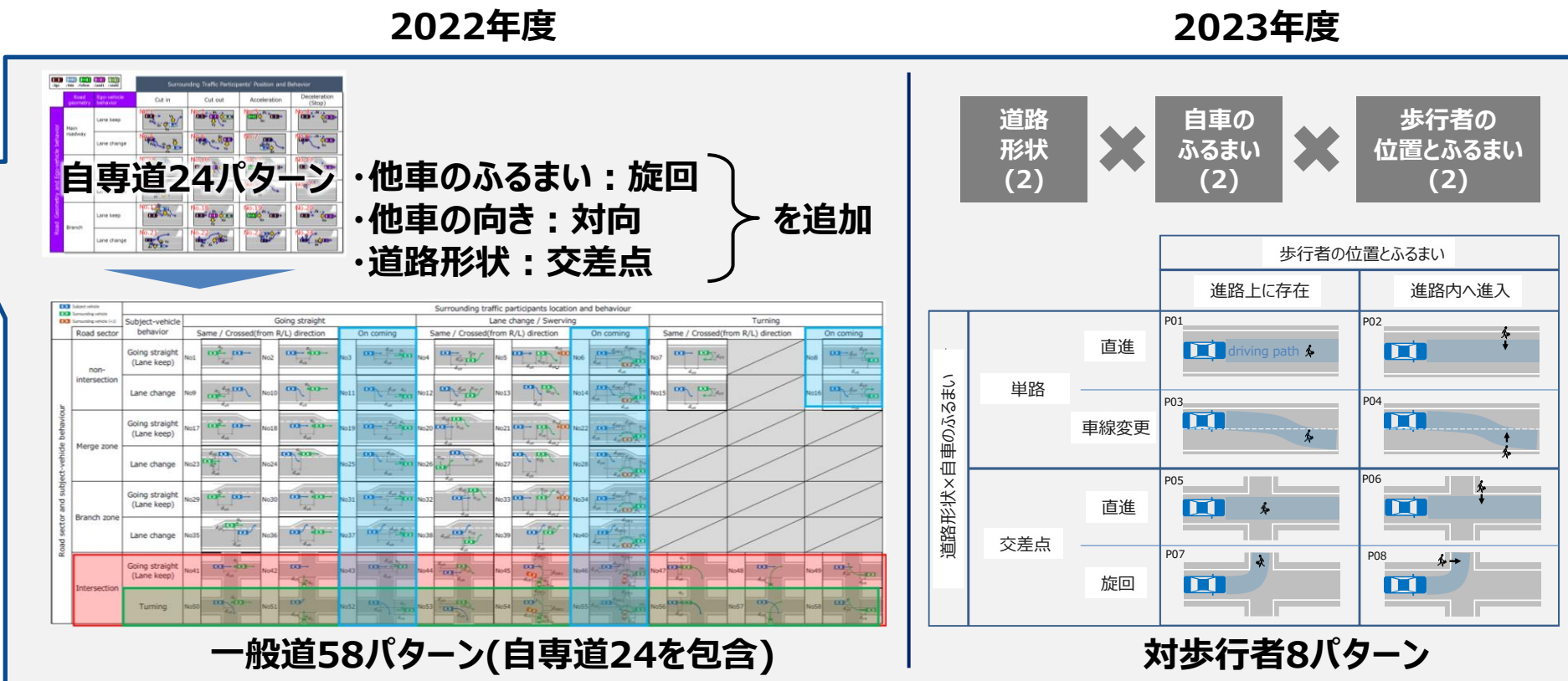
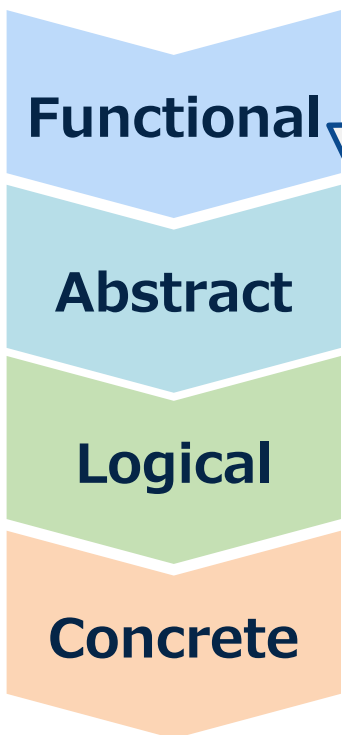
■ 一般道のシナリオ要因は多岐に亘るため、演繹的なアプローチに加え、安全観点からの帰納的なアプローチ(RttL4ユースケース, FOT, 死亡事故データ等)で、テスト条件生成(C-scenario)を実施した。



# 演繹的なアプローチ:

## 網羅的なシナリオ体系の整備(対四輪車・対歩行者)

- 演繹的なシナリオ体系を整備するため、対四輪は自専道24パターンを包含する一般道58パターンに拡張したほか、新たに対歩行者8パターンを作成した。
  - 自専道のシナリオ体系を拡張するとともに、対四輪車以外のシナリオ体系を整備中



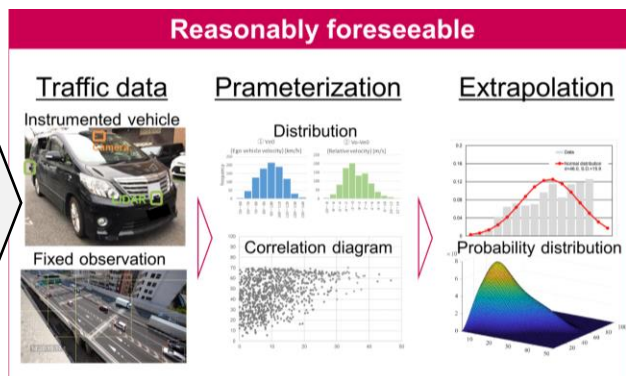
# 演繹的なアプローチ:

## 安全性評価試験に用いるシナリオを出力(シナリオDB)

- 個々のシナリオについて予見可能な範囲と防止可能な範囲を定量化し、標準形式 (OpenSCENARIO/OpenDRIVE) のシナリオを出力するシナリオDBに実装を進めた。

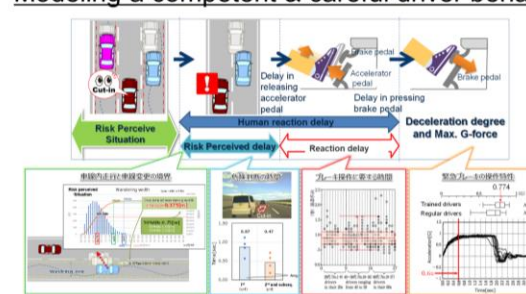
### ■ 予見可能性の定量化

- ・実交通データ計測/分析
- パラメータ分布の推定
- 合理的に予見可能な範囲の推定



### Preventable

#### Modeling a competent & careful driver behavior

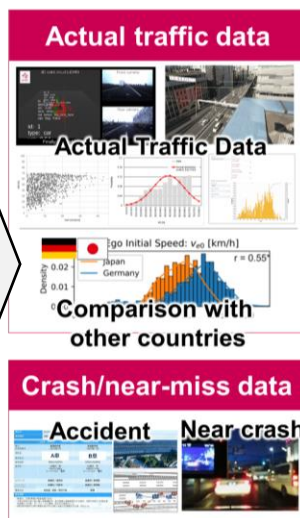


### ■ 防止可能性の定量化

- ・注意深く有能なドライバのモデル化
- 防止可能な境界

### ■ 評価シナリオの出力

- ・ユーザが範囲を指定
- ・Regulationに準拠 (UNR157等)
- ・標準形式で出力



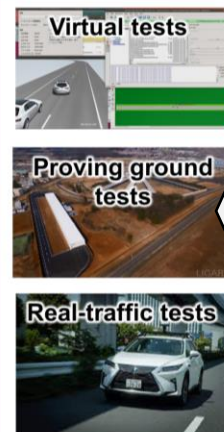
### Scenario DB

1. Comprehensive Scenarios
2. Flexible Scenario design
3. Reference of standards +

Scenarios

Results

### Test methods



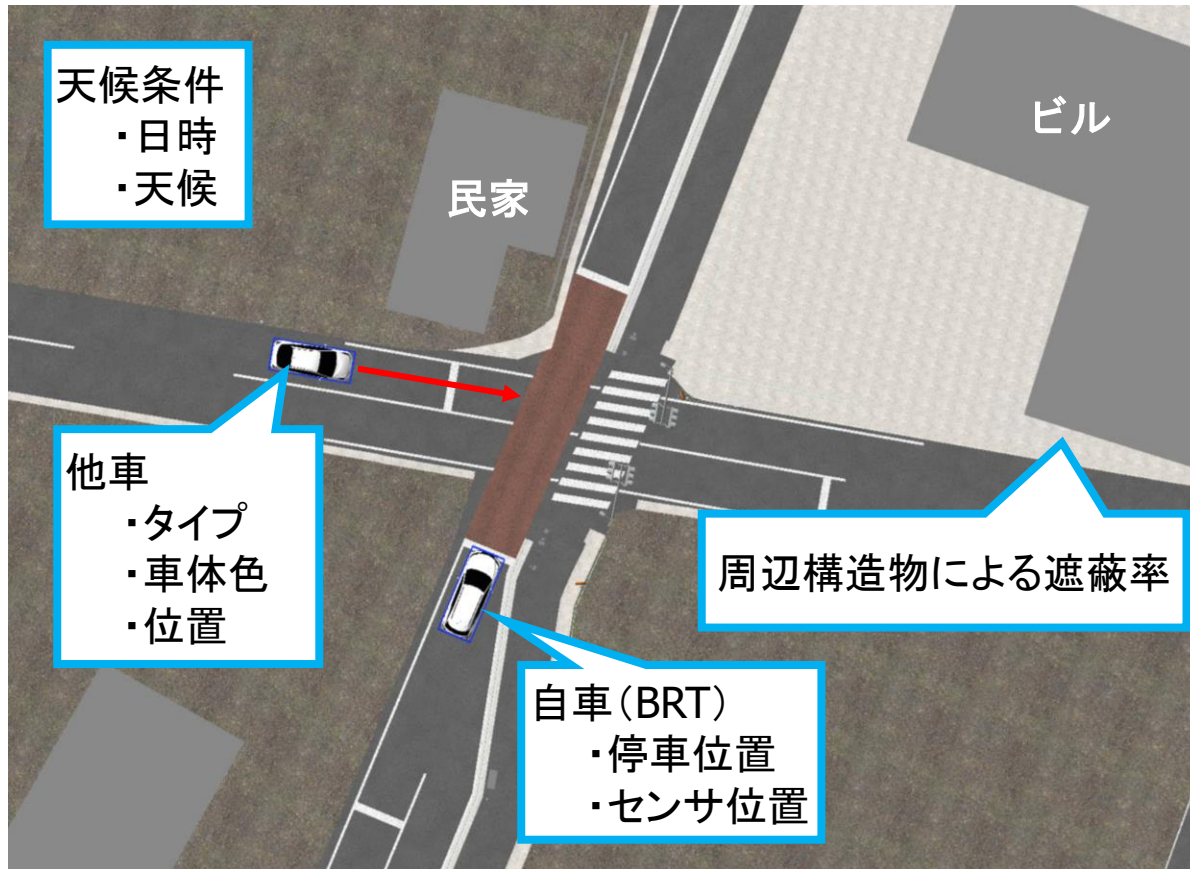
### ■ さまざまな試験手法と接続

- ・シミュレーション試験
- ・テストコース試験
- ・公道走行試験

# 帰納的なアプローチ:

## Rttl4 テーマ2, 磯坪交差点情報を例にしたエッジケースの抽出例

- ユースケース情報を元に、交差点の交通状況やひたちBRTの運行時刻により環境条件や交通参加者のジオメトリ要件 × 認識要件を併せた、具体的なテスト条件 (C-scenario相当) を生成した。



大項目	小項目	パラメータ範囲
地図	磯坪交差点	点群データを使用
車両	自転車	車種 RX450h センサ位置 カメラ x8, LiDAR x1 (実車両のセンサ搭載位置)
	他車	タイプ トヨタ プリウス(1種) 車体色 白・黒・青・黄緑・赤(5色)
日時	過去の 運行実績	12月: 10:30、13:00、15:40
天候	雲量・雨量	晴れ(雲:0%)、曇り(雲:50%)、 雨(雲:100%、雨量:20mm/h)
配置	自転車	停車位置
	他車	位置

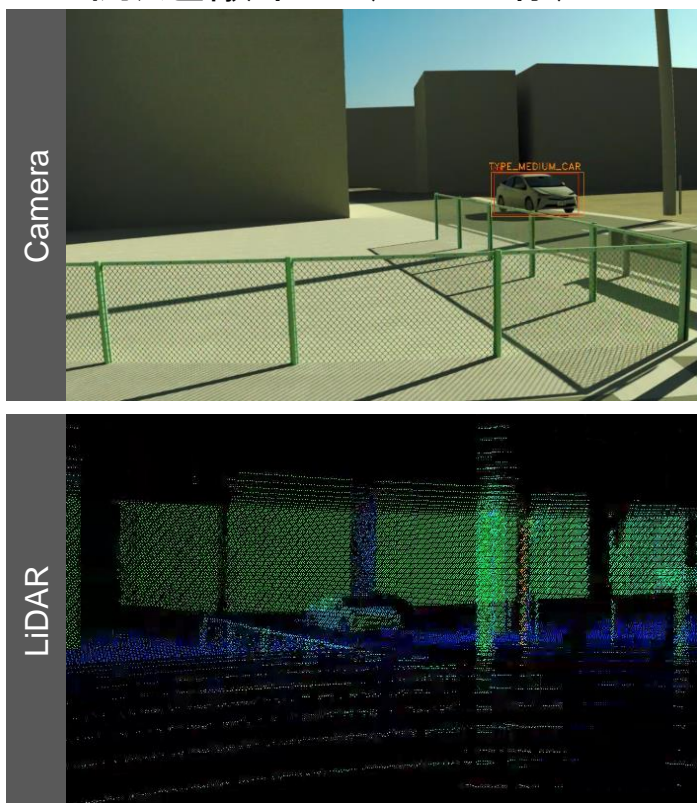
遮蔽率 11種 x 時間帯 3種 x 天候 3種 x 車体色 5色 = 495シナリオを定義



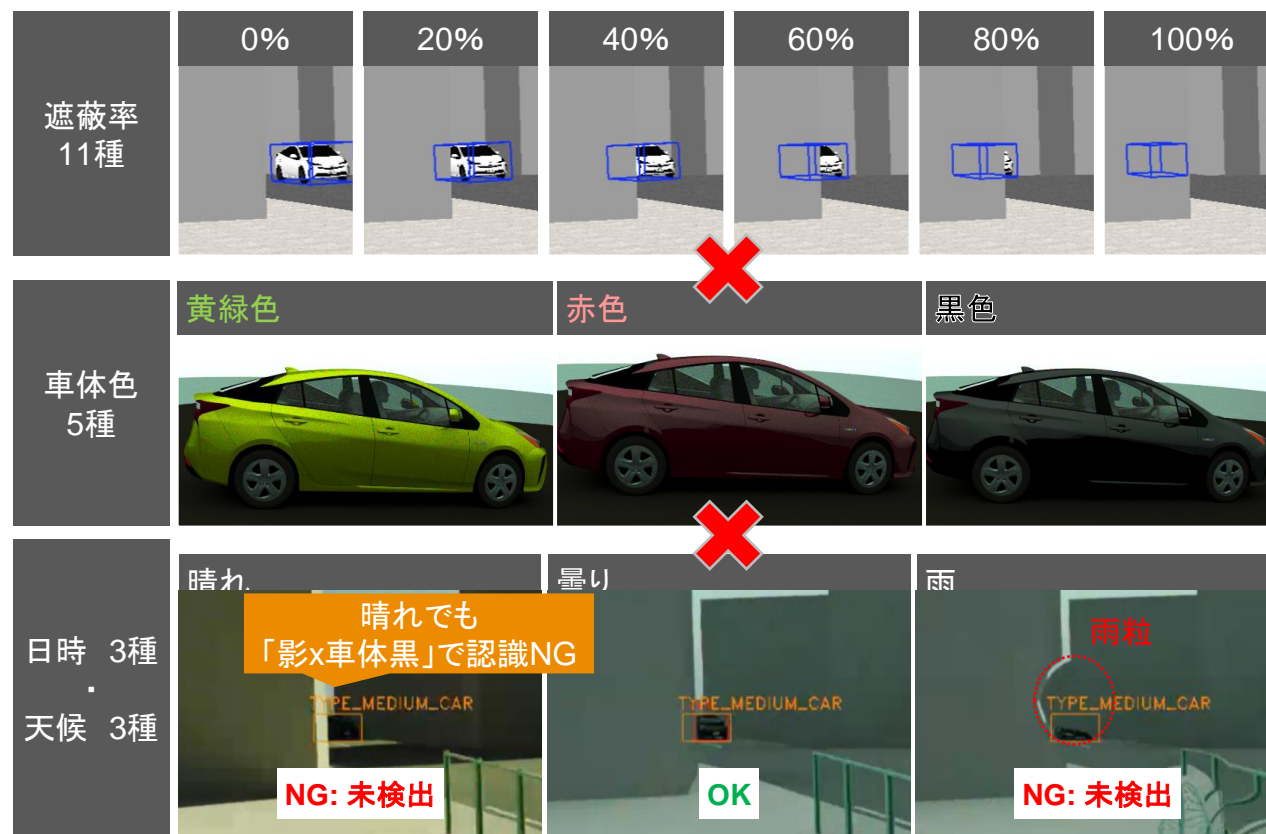
# 帰納的なアプローチ: シミュレーション結果を反映

- カメラ・LiDAR・真値のシミュレーションによって得られた認識評価から、晴天でもビル影に入った車を検出できないエッジケースが抽出された。

例) 遮蔽率:0%、10:30晴、白



495  
条件

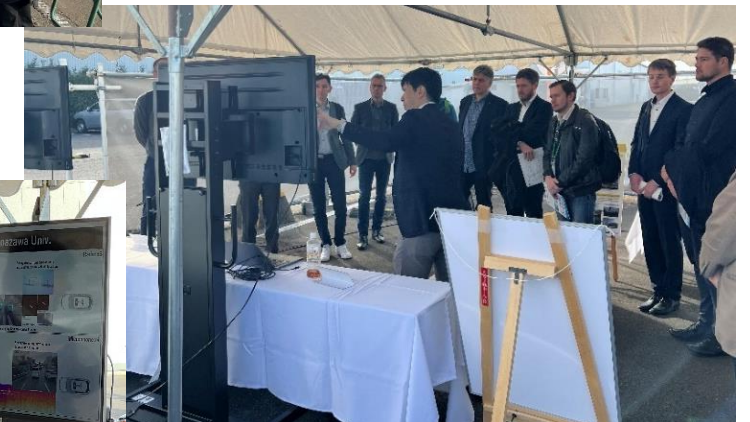
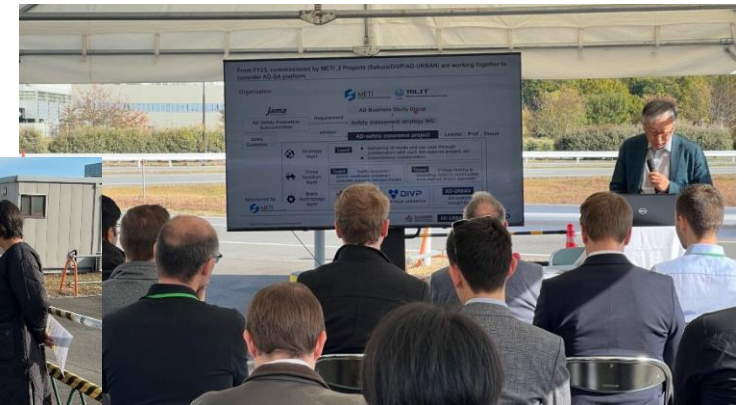


※この事例は一般的な画像認識アルゴリズムを使用

遮蔽率ごとに自車と他社の相対距離を変化させたセンサ出力を算出

# ADS safety assurance symposium 2023

- 11月にはつくばで国際シンポジウムを開催
  - 帰納的なシナリオ生成アプローチの重要性や、プロジェクト・データ連携の必要性等について、各国エキスパートからの賛同を得られた



同時開催のテクニカルツアーの様子



# 目次

- 仮想環境を用いた安全性評価の必要性
  - 金沢大学の自動運転技術への取り組み
  - 自動運転に必要な技術と課題
  - 自動運転技術の社会導入に向けて
- SIP第2期 自動運転(システムとサービスの拡張)における取り組み
  - AD-URBANプロジェクトのご紹介
  - DIVPプロジェクトとの連携による認識技術の限界性能評価
  - SAKURAプロジェクトとの合流による安全性評価にかかる連携体制の構築
- 安全性評価基盤構築タスクフォース活動の概要
  - 安全性評価基盤構築タスクフォースの体制
  - 安全性評価のポイントと2023年度の活動概要
  - 国際連携
- まとめ

# Safety assurance プロジェクト成果に基づく 知能化モビリティ実装のロードマップ

- 本Safety assurance prjを研究基盤に、周辺prjとの連携を進め、Virtual twinを使った各地域実証実験の効率化や、強者連合に基づく国際標準化を目指す



安全・安心な知能化モビリティ実装を支える  
Safety assurance国際ルール化



知能化モビリティの実装による、  
レジリエントでWell beingな社会を実現



経済産業省  
Ministry of Economy, Trade and Industry AD Safety assurance Prj

- シミュレーションを活用した自動運転のSafety assuranceのための基礎研究を実施



研究成果に基づき地域実装を支えるアプリケーション

- 各地域の実証実装の検討を支える、Virtualな検証環境を構築・提供



知能化モビリティの実装基盤