



自動運転車両の安全性評価に向けたAD-URBAN*の取り組み

*FOT project of Automated Driving system under Real city environment based on Academic Researcher's Neutral knowledge.



金沢大学 高度モビリティ研究所 菅沼直樹

金沢大学の自動運転技術への取り組み

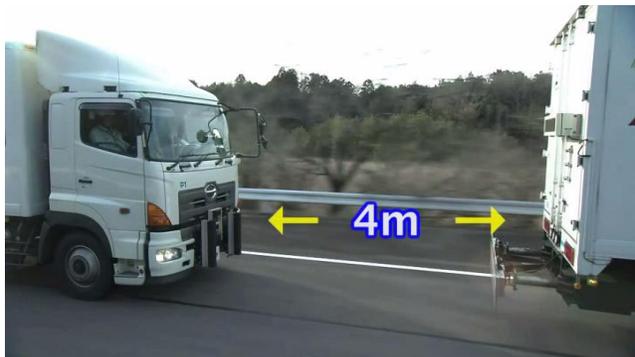
- 自動運転に関する網羅的な研究を実施
 - 1998年ごろから自動運転自動車に関する研究開発を開始
 - 独自の自動運転システムを**フルスクラッチで開発**
 - 基盤となる地図から自律化に必要な認知・判断・制御まで
- 自動運転技術の公道走行実証実績
 - **国内の大学初**の一般道での実証開始(2015年2月～)
 - 石川県金沢市, 小松市, 北海道網走市, 東京都臨海部等で実証
 - テレビ、新聞、雑誌等での多数の報道(The Wall Street Journalなど)
 - **10年以上の公道での自動運転走行実績を有する**
- 様々な国のプロジェクトにも参画
 - 内閣府SIP事業 第2期および第3期への参画など



タイヤはコンピューターの足
メディア報道



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)



過疎地域での走行開始
(2015年～@石川県珠洲市)



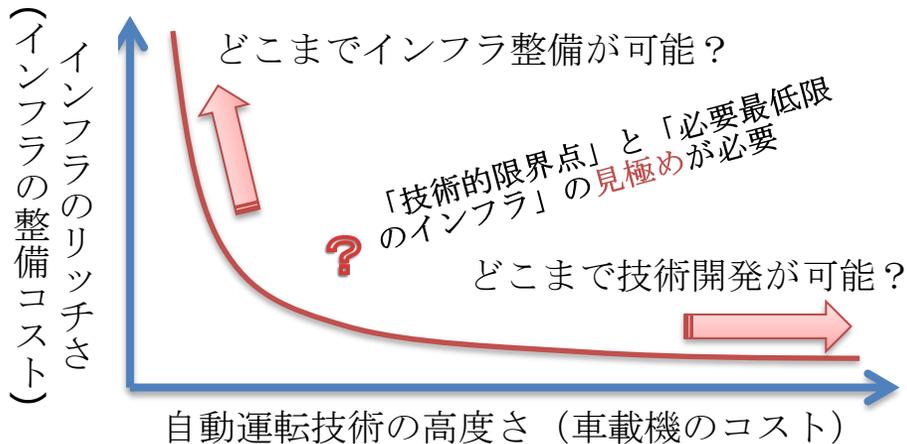
街中での走行実証
(2016年～@石川県金沢市など)

内閣府 SIP第2期 自動運転 における取り組み (2018～2022年度)

- 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)



東京臨海部(お台場)での自動運転

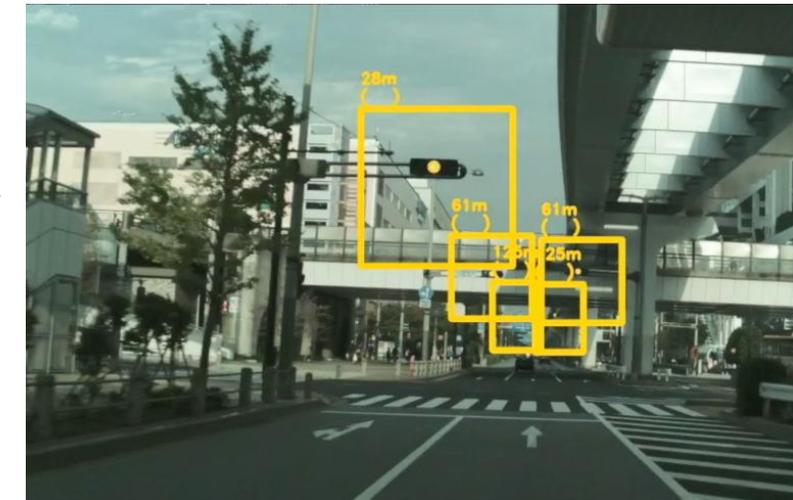


大学のオープンな研究体制

金沢大, 中部大など

東京臨海部での実証実験

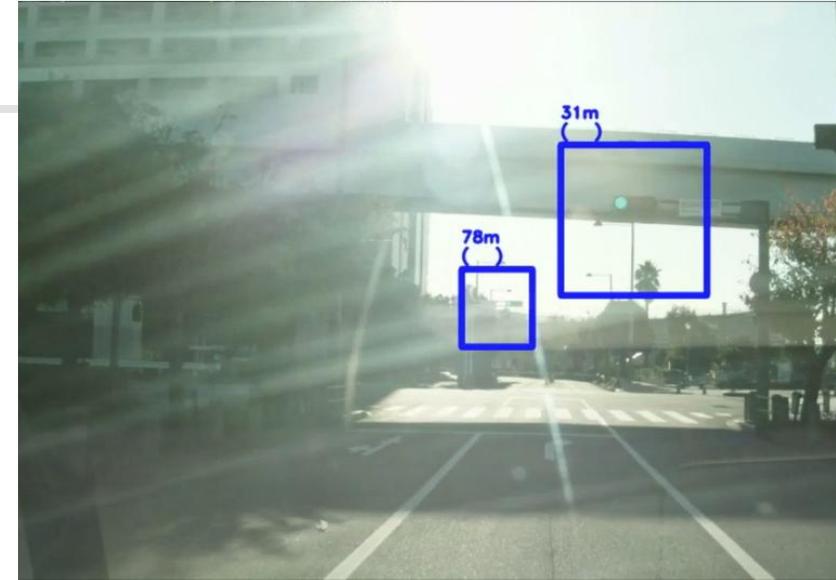
最低限必要なインフラと
認知判断技術性能の見極め



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



実環境でのテスト

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



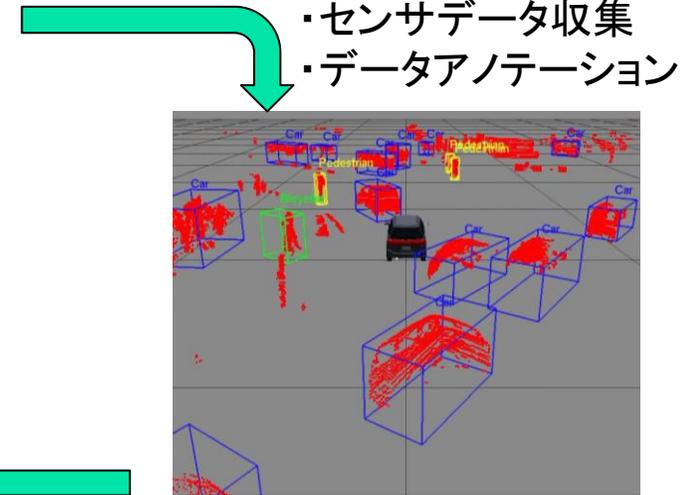
仮想環境での評価

自動運転車両のセンサーデータを活用した 仮想環境での安全性評価に向けた取り組み

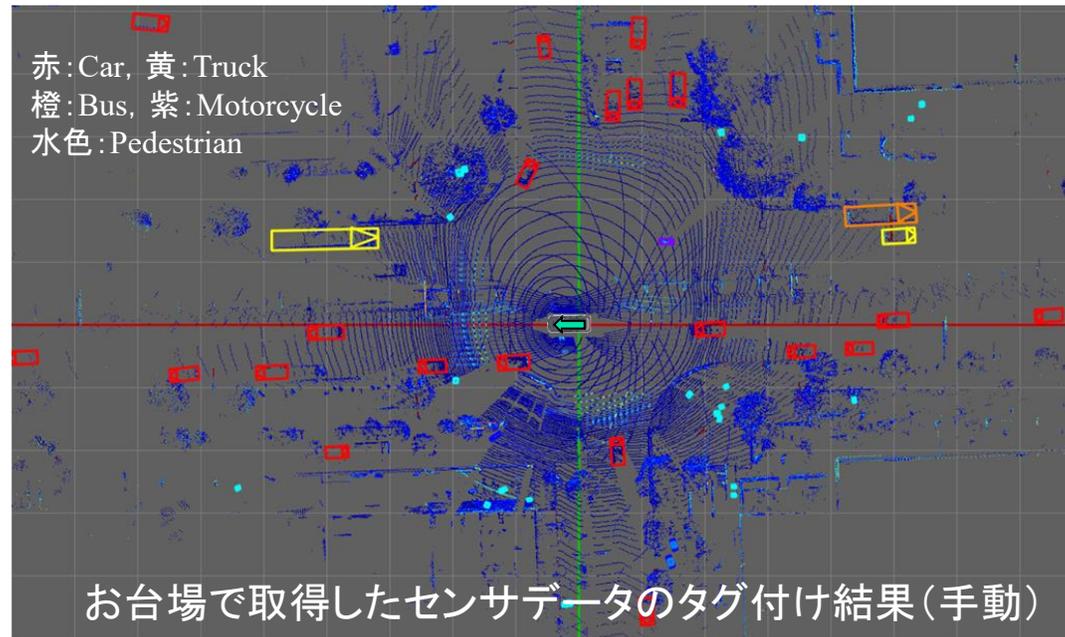
- アノテーションの重要性
 - 各種AIモデルの学習
 - 認識・予測・判断結果の評価
- 公道走行データのタグ付け
 - 物体種別・形状向き等
 - **仮想環境での安全性評価への活用**



・AIモデル学習
・システム評価



前方カメラ



お台場で取得したセンサーデータのタグ付け結果(手動)



右側方カメラ



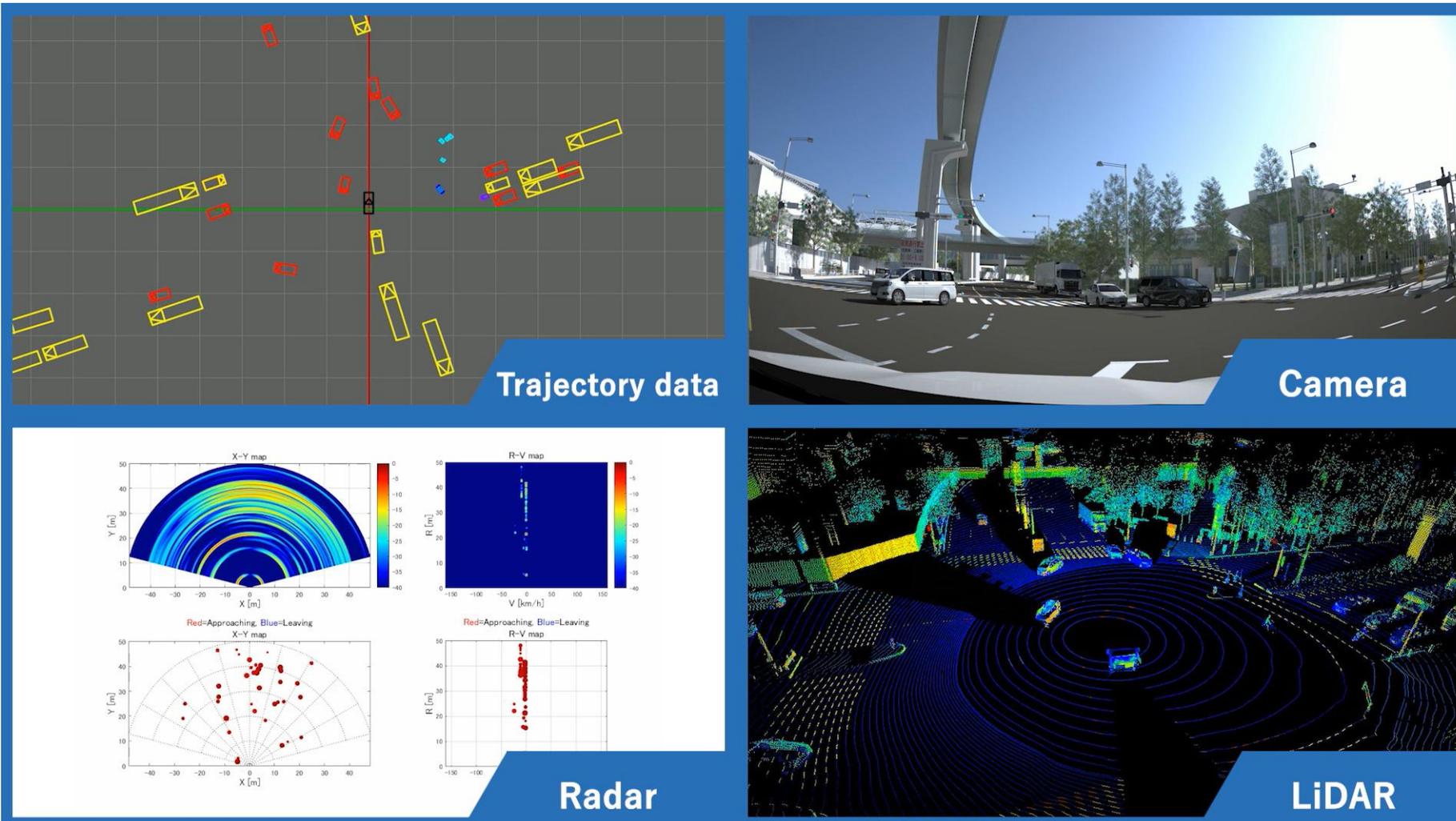
左側方カメラ



後方カメラ

仮想空間を用いた自動運転システムの安全性評価

- 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
 - 仮想環境を用いた効率的な安全性評価を実施



AD-URBANの概要(2023年度～2025年度)

■ 事業の実施目的

- 一般道における安全性評価環境の構築に向けて
 - さらなる効率的かつ効果的な安全性評価手法が必要
- **DIVP, SAKURAプロジェクトとの連携**
 - センサ弱点シナリオ+交通流シナリオの評価
 - **リアルとバーチャルを融合したADシステムの安全性の網羅的かつ効率的な評価手法の確立**



仮想環境での
安全性評価環境構築

■ AD-URBANプロジェクトの役割

- 安全性評価環境の効果的な展開
 - ReferenceシステムとしてAD-URBANを接続
 - 仮想環境での安全性評価環境構築の加速
- ADシステムの高度化
 - 安全性評価結果の妥当性を追求
- ADシステムの課題提示
 - 安全性評価シナリオ・指標等への反映



*Continuous Integration

実施概要

■ 実施体制

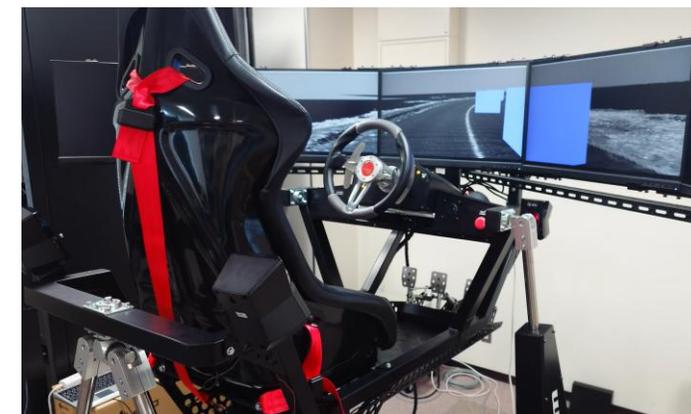
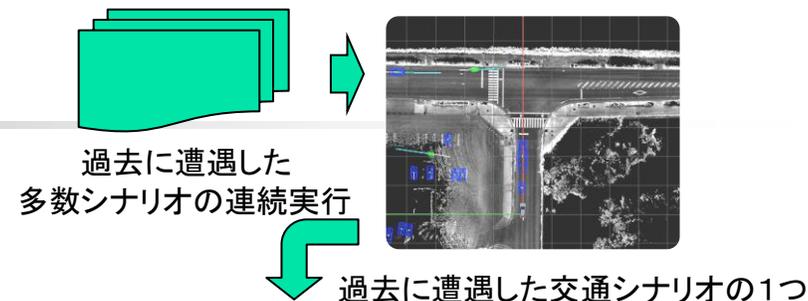
- 金沢大学: 自動運転技術と実証実験の実施実績
- 中部大学: 深層学習技術に対する深い知見
 - 自動運転技術開発と安全性評価への取り組みを実施

■ 自動運転技術開発と安全性評価の取り組みを実施

- 認識・判断技術の開発
 - 自動運転分野で著名な国際学会でBest paper award*受賞
 - イメージングレーダを用いた認識技術開発
 - 認識の観点での安全性評価指標の提言
- シミュレータを用いた自動運転車両の挙動の検証環境構築
 - 過去に遭遇した多数のシナリオの連続的評価の実施
- 実証実験の実施
 - 金沢市内, 東京都臨海部など

■ 安全性評価環境の構築

- DIVP・SAKURAとの連携による安全性評価環境構築
- 生成AIを用いたシナリオ生成

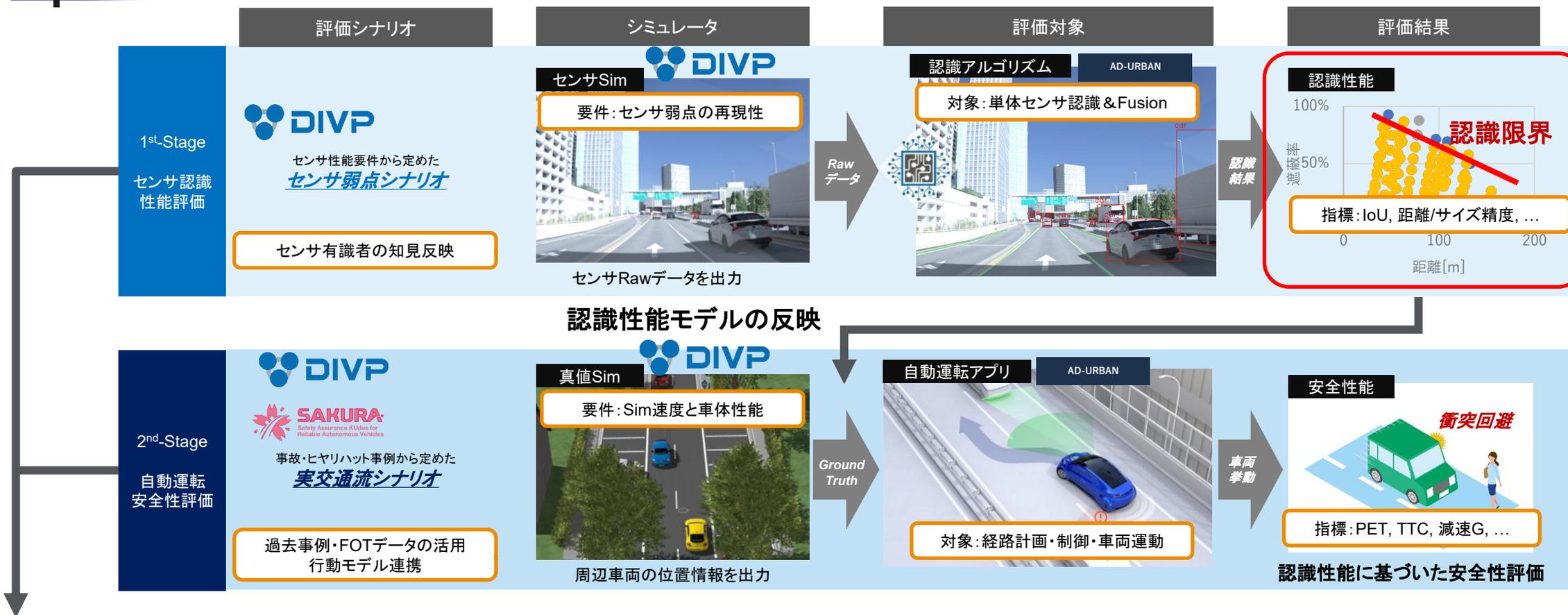


モーションシミュレータによる挙動検証



金沢市内での実証実験の例

DIVP・SAKURAとの連携による安全性評価環境構築



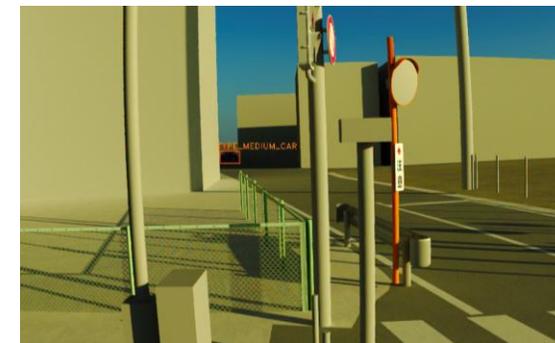
■ 2-stage評価による効率的な評価

- 認識性能評価結果をモデル化し(1st-stage),
- プランナ機能の実時間評価を可能とする(2nd-stage)

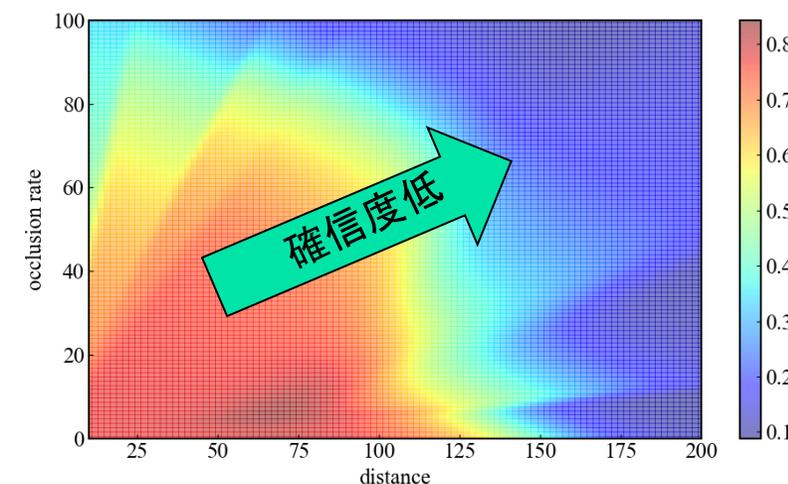
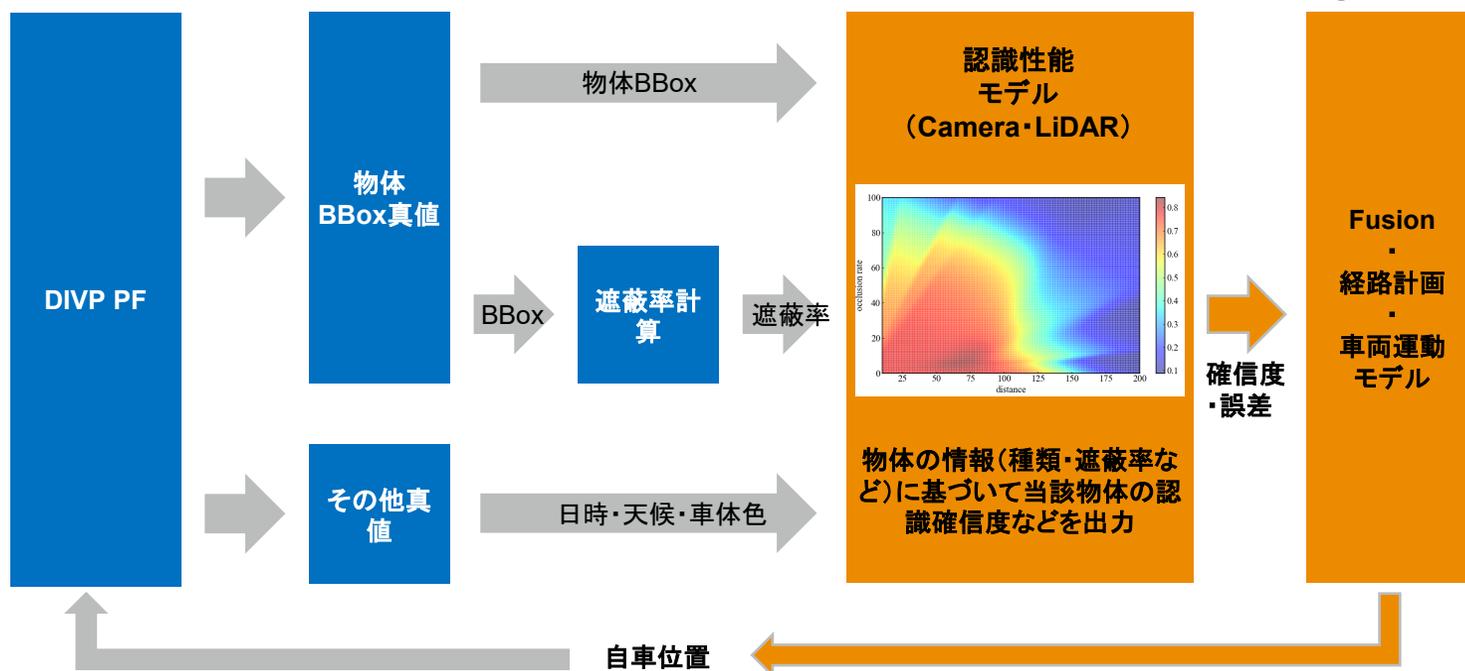
▶ センサ認識性能評価からプランナ評価まで一貫した自動評価が可能な環境の構築

1st-stage評価における認識性能モデルの構築

- 1st-stage評価
 - DIVP仮想環境において大量のセンサ評価シナリオを生成
 - 真値と認識結果から認識性能を自動評価
- 認識アルゴリズムの性能をモデル化する手法を開発
 - 遮蔽率と距離(又は画像サイズ)から確信度を出力するNN*モデル
 - Closed loopでのプランナ評価を実現
 - 時間のかかるセンサシミュレーションを行わずに2nd-stage評価を実施



交差点接近車両の生成データ例

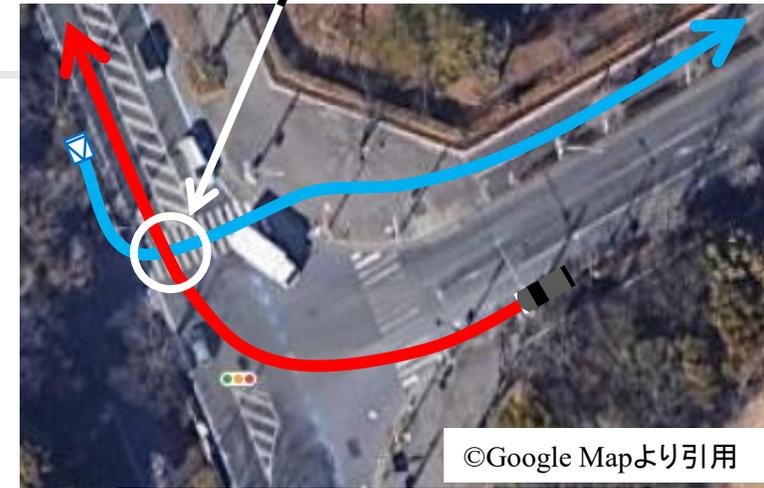


LiDARの認識性能モデルの例

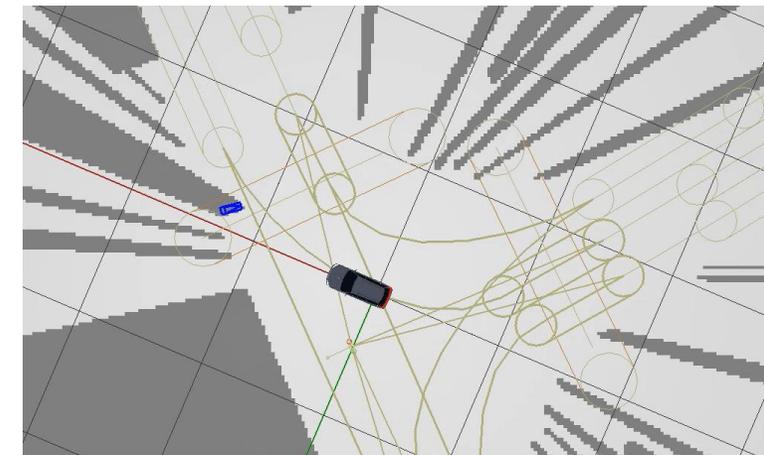
*Neural Network

2nd-stage評価例と期待

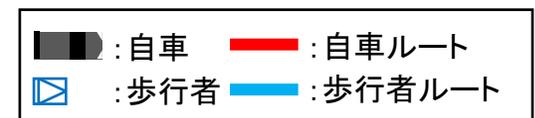
- 2nd-stage評価環境の構築
 - クラウド上に評価環境を構築
 - 認識性能モデルを活用したClosed loop評価を実施
 - SAKURA成果を活用した安全性評価
 - 歩行者の統計的な横断歩道通過パターン
 - Road to the L4プロジェクトで検討していた実交差点で実施
 - 2-stage評価の有効性を確認
 - 自動運転システム開発者目線でのさらなる活用の期待
- 必要となる安全性評価シナリオ
 - 演繹的なアプローチによる網羅的な安全性評価
 - SAKURAプロジェクトとの連携によるシナリオ評価
 - 帰納的なアプローチによる効率的なADシステム開発
 - 個別ADシステムの苦手シーン, 危険シナリオ等のエッジケース
- 効率的なコンクリートシナリオ生成に向けた取り組み
 - ① 実走行データを用いた交通シナリオの抽出
 - ② 生成AIを活用した地図に基づく交通シナリオの生成
 - ③ LLMを用いた自然言語に基づく交通シナリオの生成



交差点走行シナリオ例

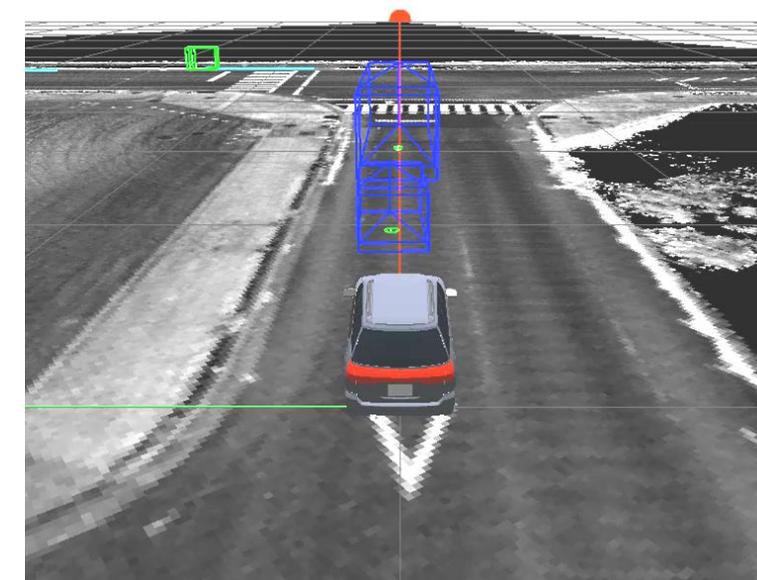
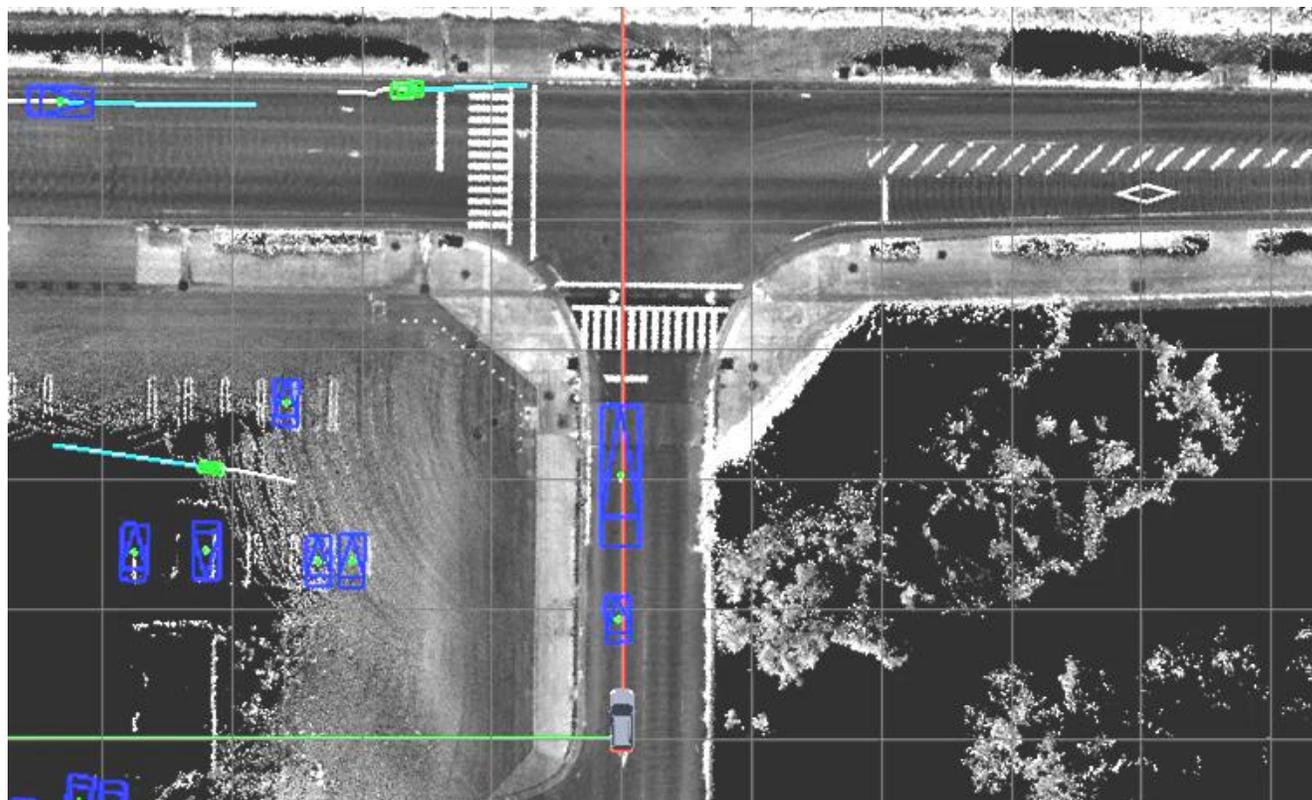


Closed-Loopによる安全性検証の様子



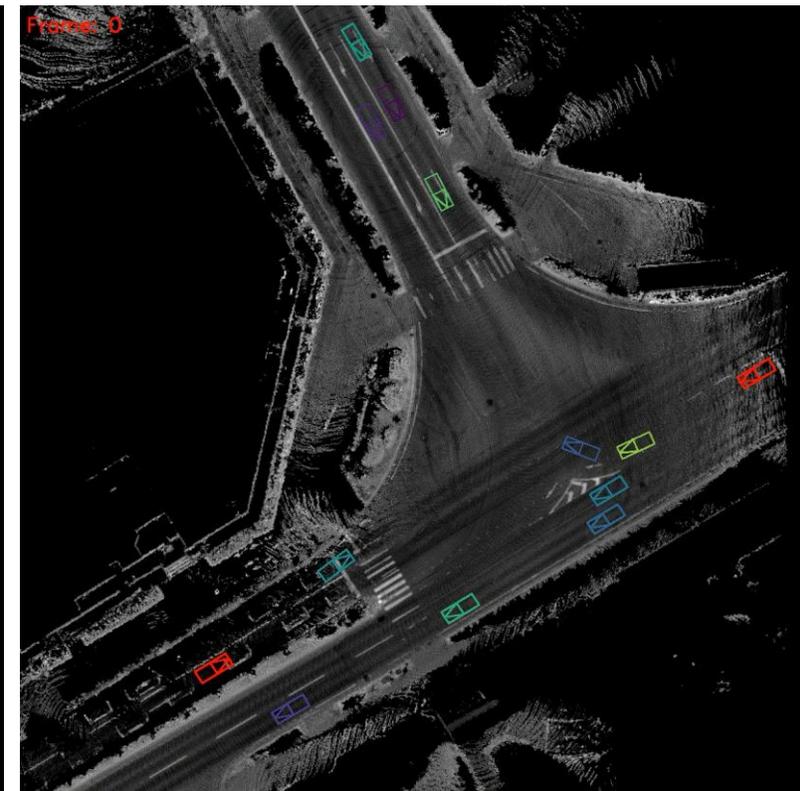
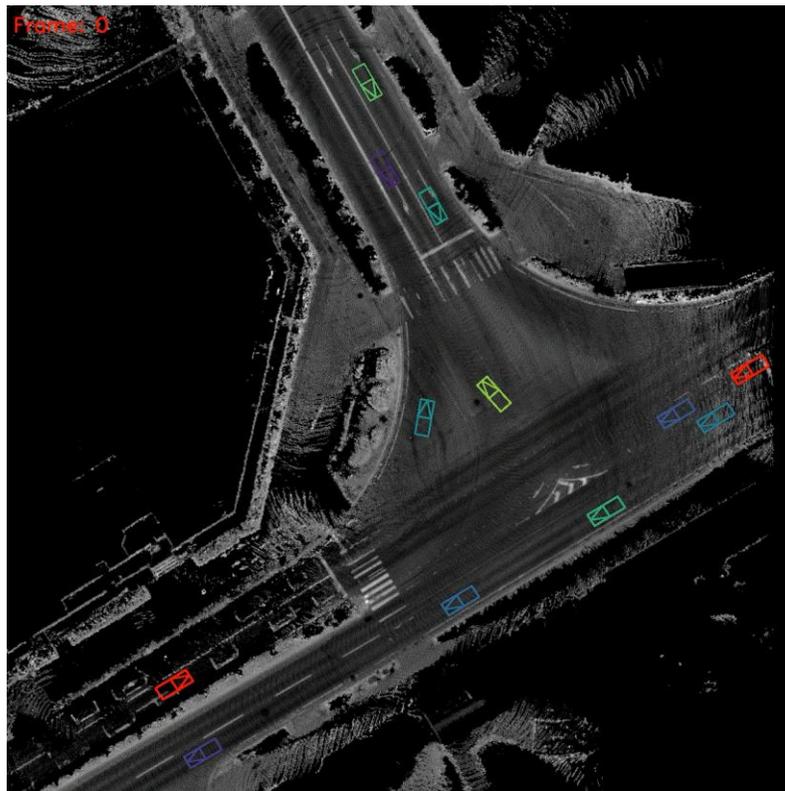
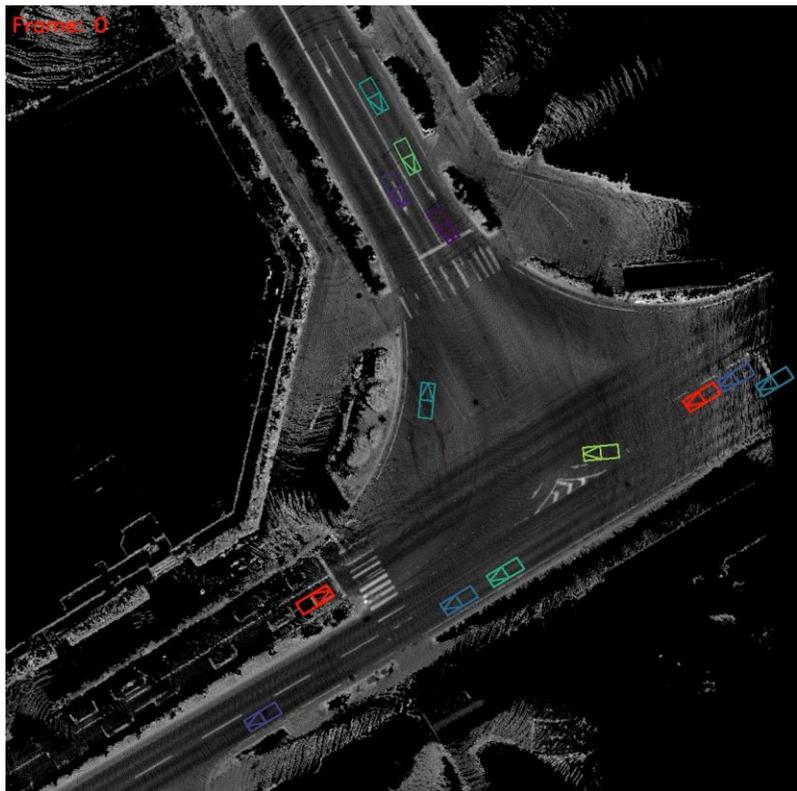
① 実走行データを用いた交通シナリオの抽出

- 実走行データからコンクリートシナリオを自動抽出
 - 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実施
 - 自動運転の実証中に遭遇した具体的な課題シーンの効率的な検証が可能



② 生成AIを活用した地図に基づく 交通シナリオの生成

- 道路構造の条件を与えることでコンクリートシナリオを生成するモデルを構築
 - 物体配置に加えて速度・加速度・交差点の信号状態を考慮したシナリオの生成
 - 実証実験エリアにおけるバリエーションに富むコンクリートシナリオを自動生成が可能



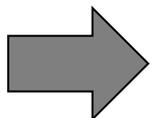
直進車両との接近タイミングに応じての右折待ち・交差点進入走行のシナリオを生成した例

③ LLMを用いた自然言語によるシナリオ生成

- 大規模言語モデル(LLM) の活用
 - 安全性評価シナリオの効率的かつ直感的な作成
- LLMに基づくシナリオ記述言語の自動生成手法の開発
 - 自然言語によるシナリオ説明文からシナリオの中間表現を作成
 - 中間表現を経由することで様々なバリエーションを付与可能とする
 - 中間表現からシナリオ記述言語を自動生成
 - 自然言語を基にしたコンクリートシナリオの自動生成が可能

The ego is driving on a straight road, and the car in front brakes suddenly when the ego approaches.

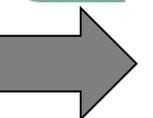
シナリオ説明文



シナリオ変換
LLM

シナリオ名: 交差点右折テスト
環境条件: 曇り, 昼12時, 雨天, 低摩擦路面
車両情報:
- 車両1: Ego車両, 初期位置 x=10, y=20, 速度 30km/h
- 車両2: 他車両, 初期位置 x=30, y=50, 速度 20km/h
信号: 交差点信号, 青→赤の変化タイミング 8秒
マヌーバ:
- Ego車両は交差点で右折
条件:
- Ego車両が交差点に進入したら車両2が急停車
視点: 車両視点

シナリオ中間表現



シナリオ記述
LLM

```
<OpenSCENARIO xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:noNamespaceSchemaLocation="OpenSCENARIO.xsd">
  <Storyboard>
    <Story name="IntersectionRightTurnTest">
      <Act name="IntersectionScenario">
        <!-- Ego車両のマヌーバ -->
        <ManeuverGroup name="EgoVehicleManeuverGroup">
          <Actors>
            <EntityRef entityRef="EgoVehicle"/>
          </Actors>
          <Maneuver name="RightTurn">
            <Event name="StartRightTurn" priority="overwrite">
              <Action>
                <LaneChangeAction>
                  <LaneChangeActionDynamics maxLateralAcc="1.0" dynamicsShape="linear"/>
                </LaneChangeAction>
              </Action>
            </Event>
          </Maneuver>
        </ManeuverGroup>
      </Act>
    </Story>
  </Storyboard>
</OpenSCENARIO>
```

シナリオ記述言語



シミュレート

株式会社ムービーズの設立 (24/5/30)

- 金沢大学の自動運転関連技術をコア技術として導入したスタートアップ
 - 内閣府SIP事業, 経済産業省AD-URBANプロジェクトの成果も踏まえ設立
 - 安全性評価環境の活用による効率的な安全性評価も実施
- ロボットタクシーの開発, 事業化を通して, 自由な移動を実現



MoveEz = Move Easy

moveez

Beyond the Human

<https://moveez-inc.com/>

幕張新都心における実証実験の様子



北海道上士幌町での冬季実証の様子



国土交通省 令和7年度 地域公共交通確保維持改善事業費補助金(自動運転社会実装推進事業)

まとめ

- 金沢大学のこれまでの取り組み
 - 1998年から自動運転技術の開発
- 内閣府SIP第2期 における取り組み
 - 認識技術の限界性能評価
 - センサデータを活用した仮想環境での安全性評価
- AD-URBANプロジェクトにおける取り組み
 - 2-stage評価環境における認識性能モデルの構築
 - 効率的なコンクリートシリオ生成に向けた取り組み
- ムービーズの設立と社会実装に向けた取り組み
 - SIP事業, AD-URBANプロジェクトの成果の社会実装
 - ロボットタクシーの実証実験
- 少子高齢化に伴うドライバ不足などの現状の課題
 - 移動は人々の生活に欠かせない基本的な欲求
 - 社会に受け入れられる自動運転システムを目指して
 - 安全かつ効率的で効果的な安全性評価手法の確立
 - 安全に関して透明性のある自動運転システムの構築



金沢大学=金沢駅間(約15km)を最高速度60km/hで自動運転している様子 (※3倍速)



moveez

Beyond the Human