

安全性評価基盤検討TF

Team 0, 1, 2 活動成果報告

2024/12/17

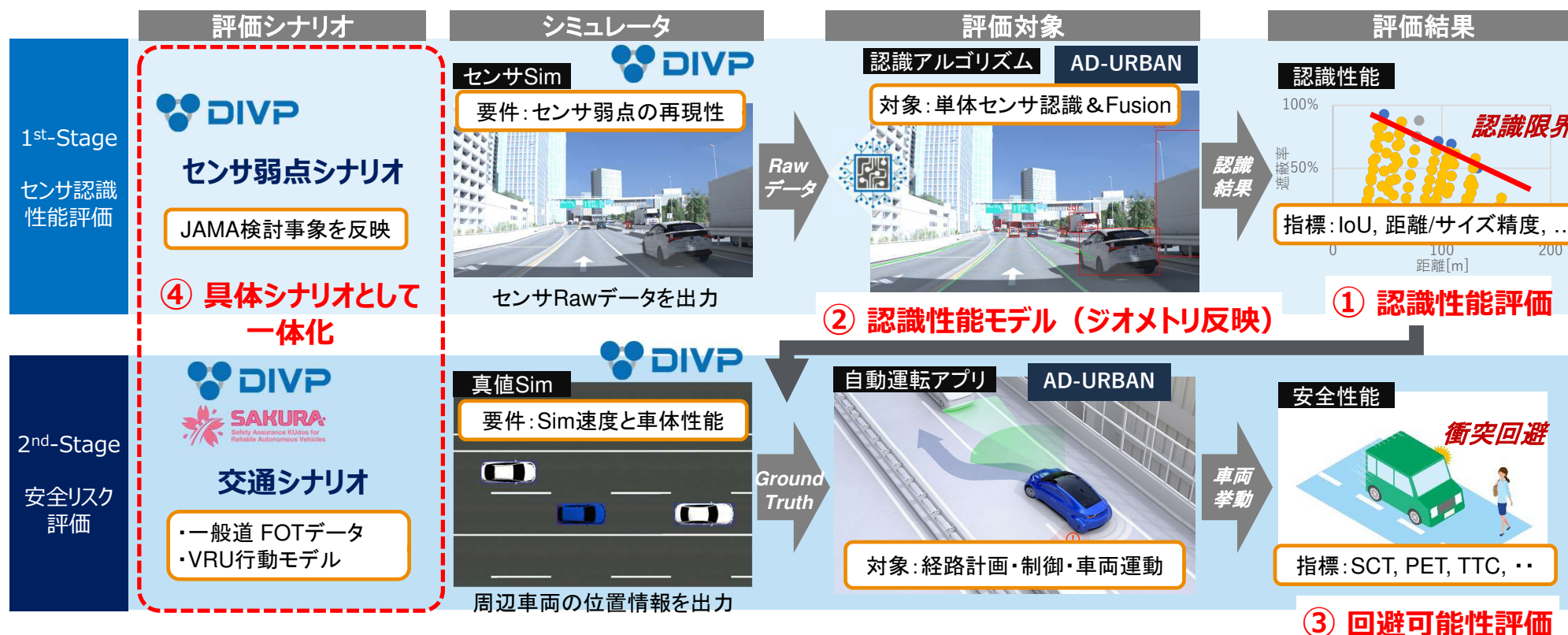


AD-URBAN



DIVP・AD-URBAN・SAKURA連携で、仮想空間上でセンサ認識性能に基づいた安全性評価が行える評価プラットフォーム（**2-Stages評価**）を構築し、地域実証プロジェクト連携に基づき実践／実証した。

2024年度 目的；安全性評価基盤の構築と実践／実証



地域実証FOTと仮想空間によるデジタルツイン検証の確立

アジェンダ

RoAD to the L4連携

評価方法とスケジュール

ユースケースの再現(3Dマップモデルと評価シナリオ)

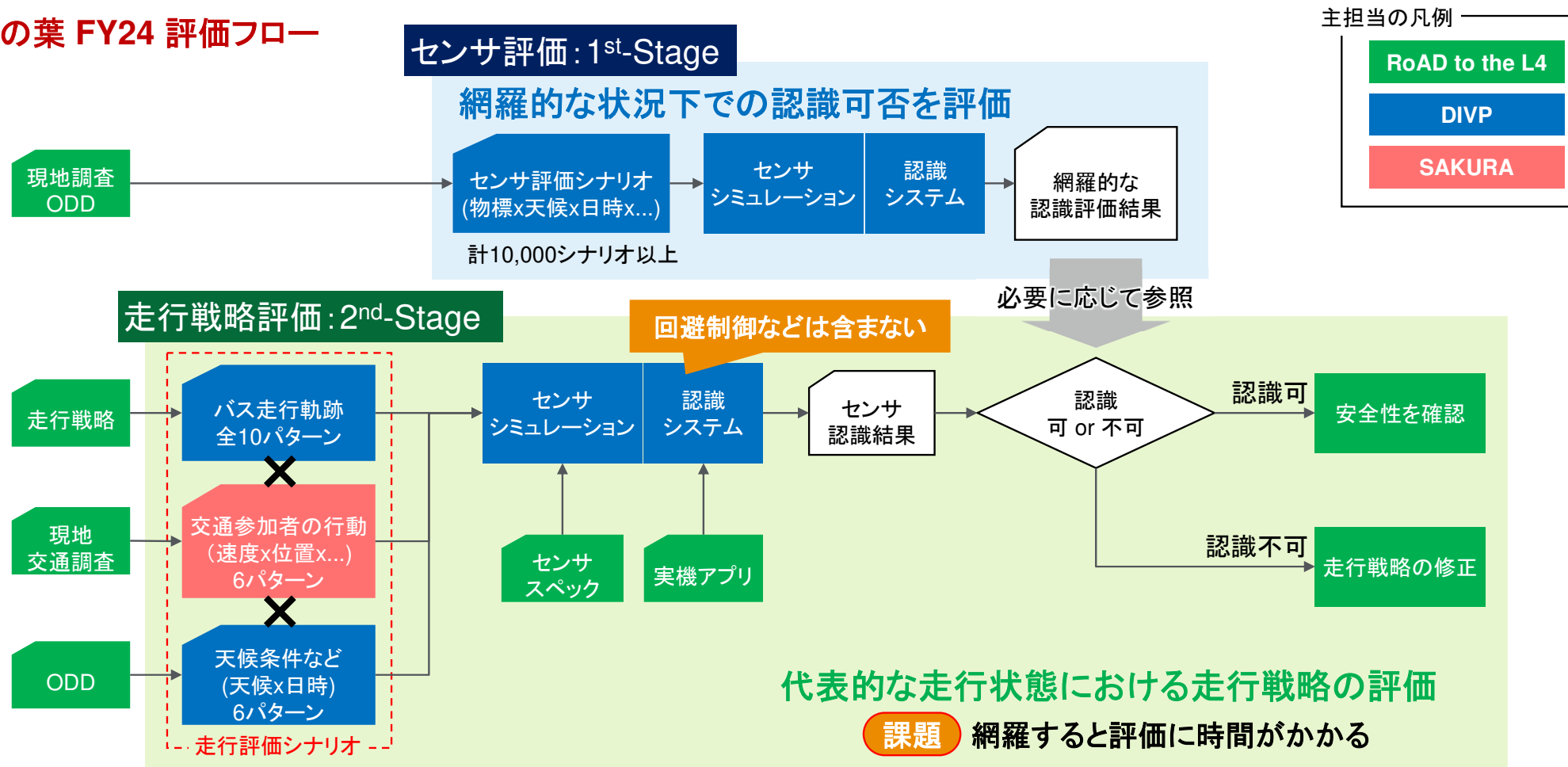
自動運転バスのシミュレーション再現

今後

RoAD to the L4連携 評価方法とスケジュール

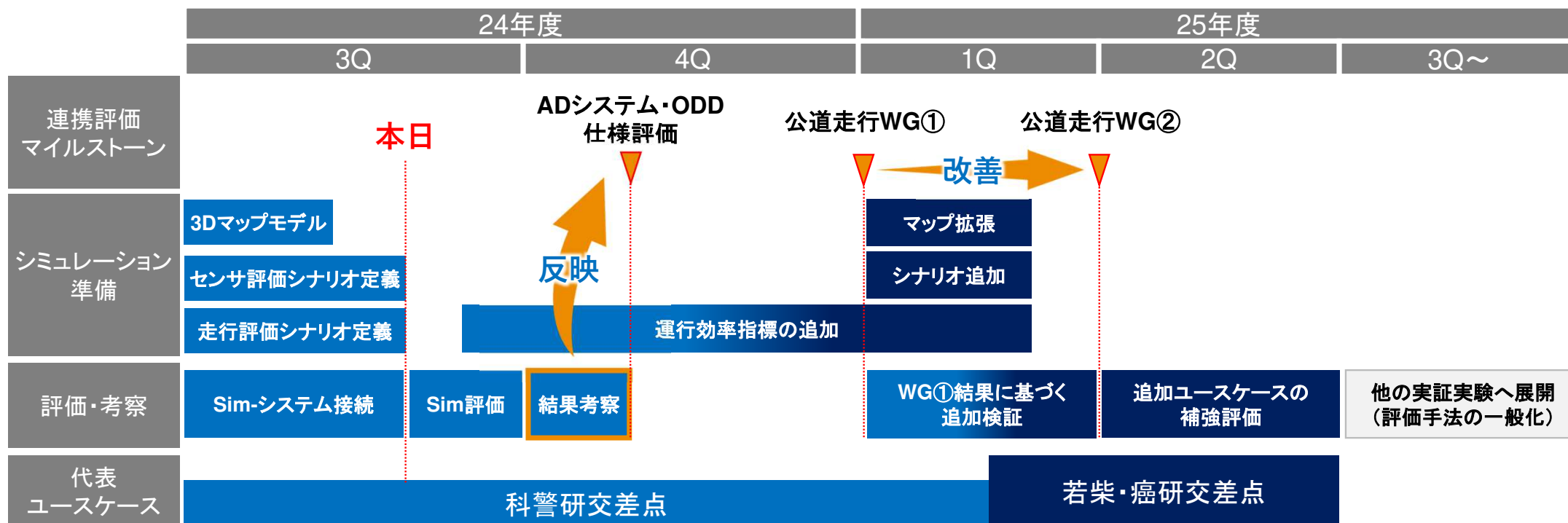
2-Stage評価の考えに基づき、センサシステムの性能評価を実施する

柏の葉 FY24 評価フロー



24年度～25年度にかけた連携スケジュールを作成 柏の葉自動運転バスにおける安全論証事例を足掛かりに国内実証検証プロジェクトへの展開を計画

スケジュール



シミュレーションと自動運転システムとの接続が完了した

RoAD to the L4と協議しシミュレーション評価の適応内容の具体化を進め、 柏の葉ユースケースに基づく「評価シナリオ、3Dマップモデル、自動運転バスモデル」の準備が完了した

シミュレーション適用内容の具体化

ユースケース： 柏の葉 走行ルートと重要シーン

重要シーン例



シナリオ定義

評価シナリオ



柏の葉 走行ルート



モデル化

3Dマップモデル



評価対象： 自動運転バス

自動運転バス



モデル化

自動運転バスモデル



評価ユースケースとシミュレーション環境の準備が完了した

※ RoAD to the L4 Websiteより引用 <https://www.road-to-the-l4.go.jp/>

第3回安全性評価戦略SWG_Team0,1,2



AD-URBAN



RoAD to the L4連携 ユースケースの再現

RoAD to the L4と協議しシミュレーション評価の適応内容の具体化を進め、 柏の葉ユースケースに基づく「評価シナリオ、3Dマップモデル、自動運転バスモデル」の準備が完了した

シミュレーション適用内容の具体化

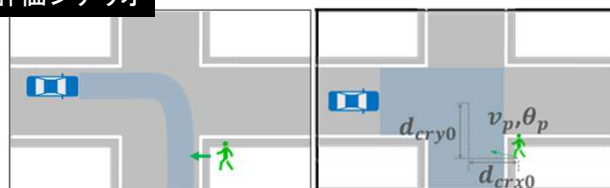
ユースケース： 柏の葉 走行ルートと重要シーン

重要シーン例



シナリオ定義

評価シナリオ



自車右折 × 他車直進

自車右折 × VRU横断

柏の葉 走行ルート



モデル化

3Dマップモデル



評価対象： 自動運転バス

自動運転バス



モデル化

自動運転バスモデル



評価ユースケースとシミュレーション環境の準備が完了した

※ RoAD to the L4 Websiteより引用 <https://www.road-to-the-l4.go.jp/>

第3回安全性評価戦略SWG_Team0,1,2



AD-URBAN



柏の葉マップの制作を開始、点群やカメラデータをもとに3Dマップモデルを作成
歩道の死角となる街路樹や電柱など、評価に重要な要素を正確に再現している

評価マップ作製

点群・カメラデータ



モデル化

3Dマップモデル



RoAD to the L4と協議しシミュレーション評価の適応内容の具体化を進め、 柏の葉ユースケースに基づく「評価シナリオ、3Dマップモデル、自動運転バスモデル」の準備が完了した

シミュレーション適用内容の具体化

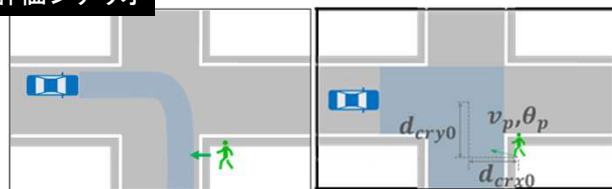
ユースケース： 柏の葉 走行ルートと重要シーン

重要シーン例



シナリオ定義

評価シナリオ



自車右折 × 他車直進

自車右折 × VRU横断

柏の葉 走行ルート



モデル化

3Dマップモデル



評価対象： 自動運転バス

自動運転バス



モデル化

自動運転バスモデル

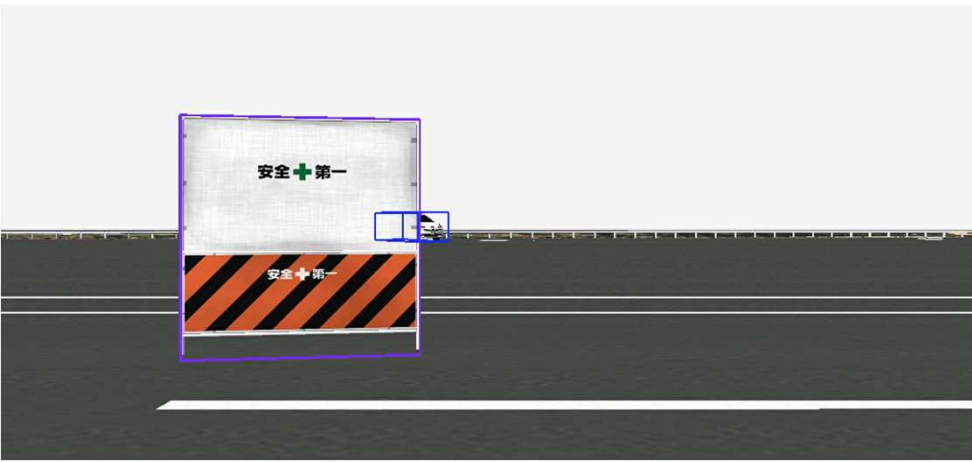


評価ユースケースとシミュレーション環境の準備が完了した

※ RoAD to the L4 Websiteより引用 <https://www.road-to-the-l4.go.jp/>

実交通環境に則した評価と網羅的な性能評価を実現するために2種類のシナリオを定義

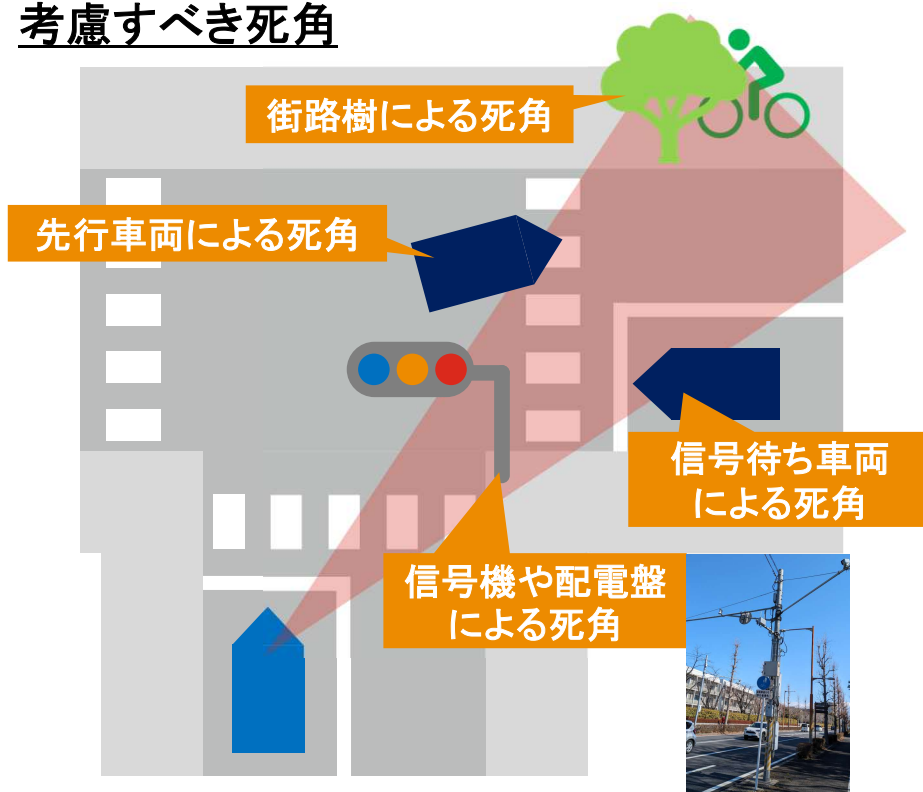
シナリオ種類と特徴

	2 nd -Stage: 走行評価シナリオ	1 st -Stage: センサ評価シナリオ
イメージ		
特徴	実際の走行状態での性能が評価できる 欠点 1つの条件の評価が長時間	補う センサに重要な条件に絞り効率的に評価できる

それぞれの評価の特徴を活かし、ODD範囲での性能評価を効率的に実施する

シナリオを2種類用意しているが評価要素は、ODDやセンサ性能の要件によって共通化されている

T字路交差点の右左折における評価要件 考慮すべき死角



認識対象



歩行者

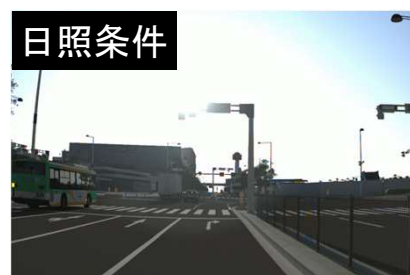


自転車



横臥者

環境条件



日照条件

16時まで



降雨条件

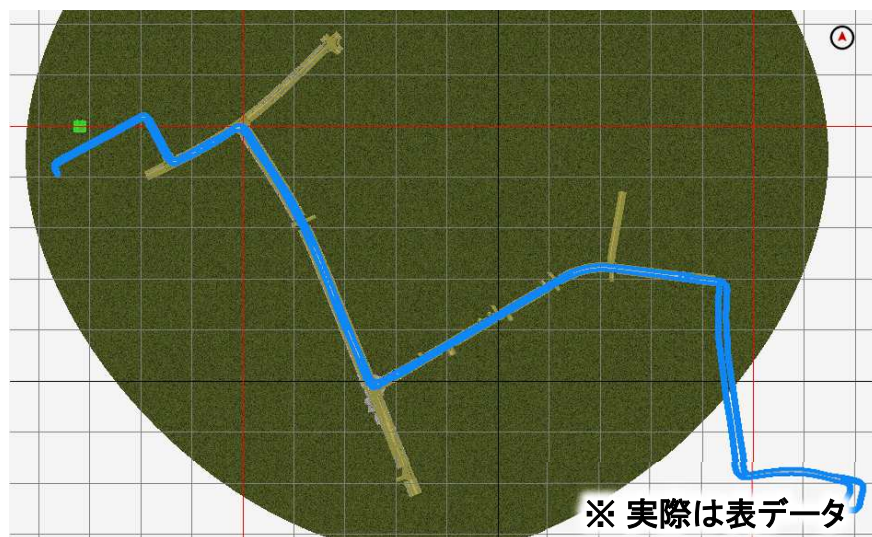
10mm/h以下

条件の組み合わせから評価シナリオを定義中

走行評価シナリオは実際の自動運転バスが走行する軌跡と速度を再現している
回避制御が必要になるまでにセンサシステムが正しく認識できるのかが評価観点となる

走行戦略のシナリオ化

走行戦略 (Waypoint + 速度プロファイル)



書式
変換

シナリオサンプル (駅→大学)



自動運転の設計値に基づくシナリオを作成

柏の葉ルートにおける丁字路交差点の右折・左折時の走行評価シナリオの考え方

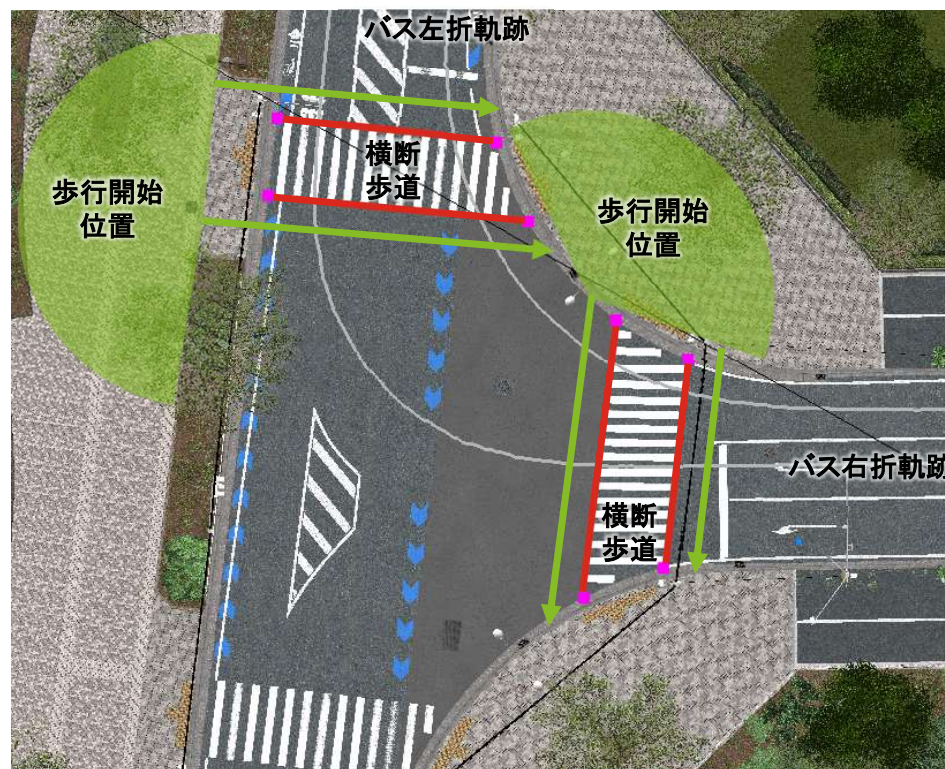
丁字路を横断する歩行者ふるまいの定義

右折時の歩行者ふるまい

- ・横断位置
 - 1)横断歩道内を渡る
 - 2)横断歩道付近を渡る
- ・歩行速度
 - 1)平均的な値
 - 2)速めの値(90%ileなど)

ドイツドローンデータのパラメータ分布に基づいて設定

柏の葉の交通流計測結果
に置き換え予定



左折時の歩行者ふるまい

- ・横断位置
 - 1)横断歩道内を渡る
 - 2)横断歩道付近を渡る
- ・歩行速度
 - 1)平均的な値
 - 2)速めの値(90%ileなど)

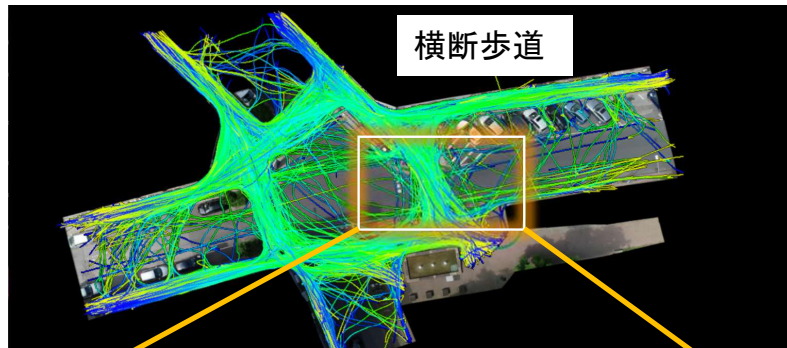
ドイツドローンデータのパラメータ分布に基づいて設定

柏の葉の交通流計測結果
に置き換え予定

歩行者のふるまいを定義するための交通流分析結果の活用

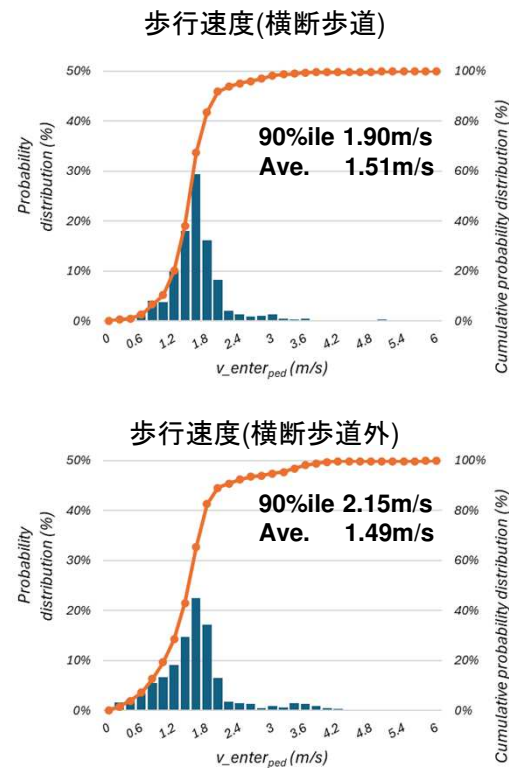
歩行者の横断行動に関する特徴(ドイツ・ドローンデータ)

横断歩道と横断経路の関係



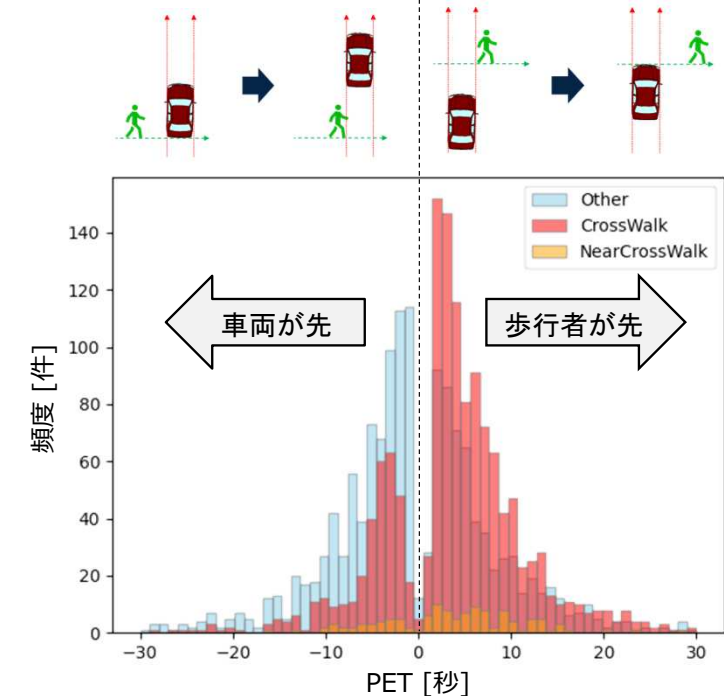
横断歩道を渡る・横断歩道付近を渡るパターンが

歩行速度



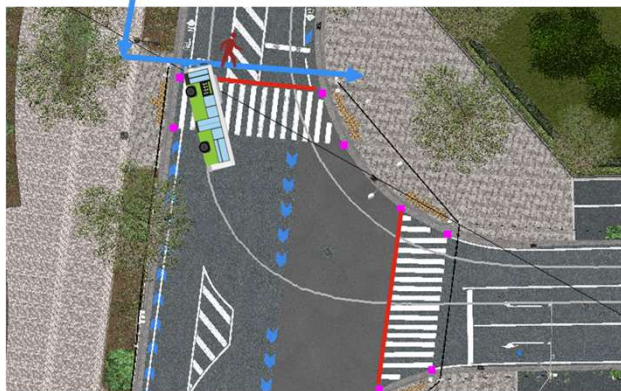
車両と歩行者の通過時間差

車両が先のパターン 歩行者が先のパターン

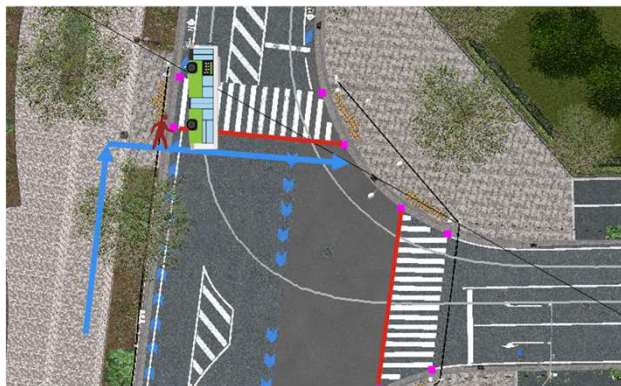


柏の葉丁字路交差点の右折時の走行評価シナリオとして6パターンを準備

右折時の走行評価シナリオの作成結果



横断位置奥, 歩行者先通過のイメージ



横断位置手前, バス先通過のイメージ

・走行評価シナリオ: 6パターン

- 1) 横断位置(横断歩道付近: 手前, 奥)
- 2) 交差タイミング(-1[秒], 衝突, +1[秒])
- 3) 横断速度(2.15[m/s], 90%ile値)



【今後の実施項目】

- ・右折時の走行評価シナリオパターンの充実
- ・左折時の走行評価シナリオの作成
- ・柏の葉の交通流分析結果を参照して更新

走行評価シナリオは実際の自動運転バスが走行する軌跡と速度を再現している
回避制御が必要になるまでにセンサシステムが正しく認識できるのかが評価観点となる

走行戦略のシナリオ化(交差点右折)

バス 正面視



交差点 上面視

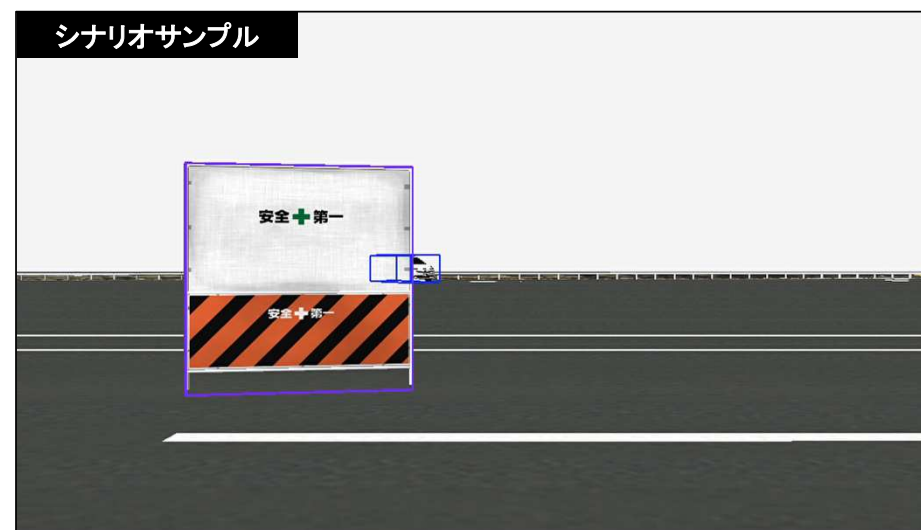


自動運転の設計値に基づくシナリオを作成

センサ評価シナリオはセンサ要件やODD内で想定されるターゲット・遮蔽物・環境条件を基に網羅的かつ効率的な評価シナリオを作成

効率的なシナリオ作成

項目	条件
日時	2024/8/15 09:00 12:00 15:00 18:30 2025/1/25 09:00 12:00 15:00 17:00
天候	晴れ、曇り、雨(雨量:10mm/h)
距離	10 - 200[m]
方位角	0 - 360[deg]
ターゲット種類	人、自転車
ターゲットYaw角	0 - 360[deg]
遮蔽物	静的物体：街路樹、植込み、信号機、道路標識 動的物体：信号待ち車両、先行車両
遮蔽率	0 - 100[%]
遮蔽部位	左 or 右 or 中(中心をポールなどで遮蔽)



多くの評価条件を効率的に評価できる

RoAD to the L4連携

自動運転バスのシミュレーション再現

RoAD to the L4と協議しシミュレーション評価の適応内容の具体化を進め、 柏の葉ユースケースに基づく「評価シナリオ、3Dマップモデル、自動運転バスモデル」の準備が完了した

シミュレーション適用内容の具体化

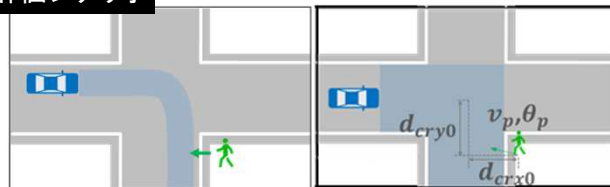
ユースケース： 柏の葉 走行ルートと重要シーン

重要シーン例



シナリオ定義

評価シナリオ



自車右折×他車直進

自車右折×VRU横断

柏の葉 走行ルート



モデル化

3Dマップモデル



評価対象： 自動運転バス

自動運転バス



モデル化

自動運転バスモデル



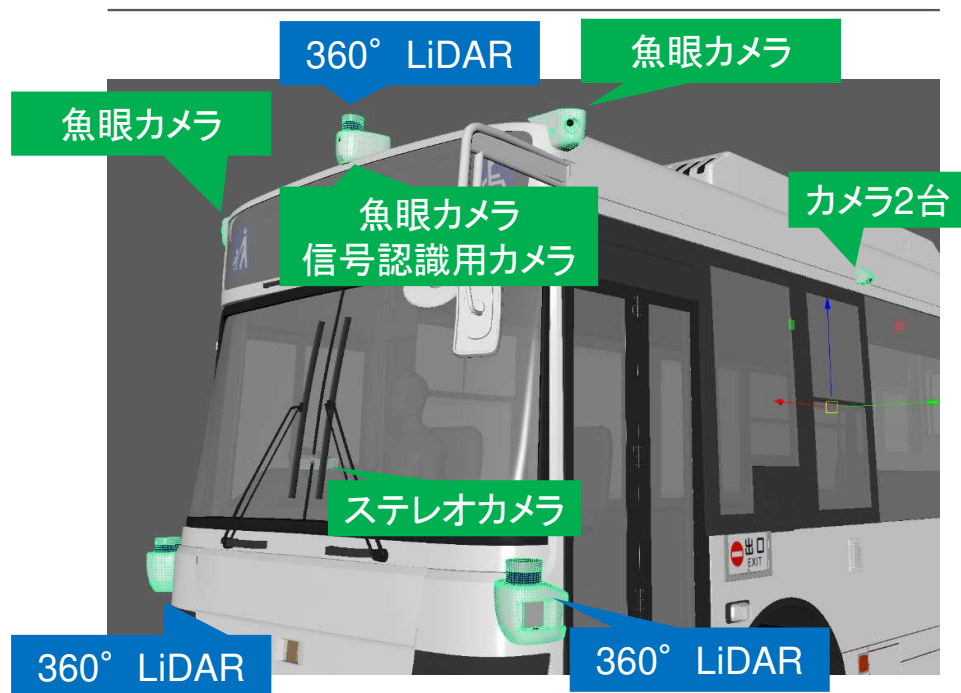
評価ユースケースとシミュレーション環境の準備が完了した

※ RoAD to the L4 Websiteより引用 <https://www.road-to-the-l4.go.jp/>

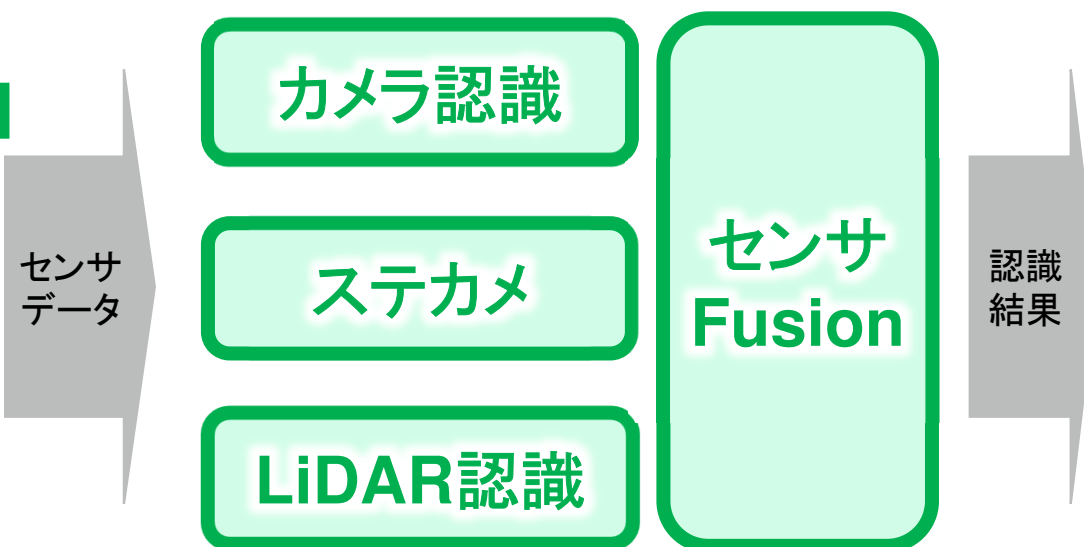
カメラ+LiDARから構成される運転バスのセンサシステムをシミュレーション上に再現する
センサ部分はモデルを用意し、アプリケーション部分は実際のバスで動作するソフトを接続する

自動運転バスのセンサシステム

センサ



自動運転アプリケーション



カメラ10台、LiDAR5台のモデル再現と認識+Fusionアプリケーションの接続を実施

カメラのモデル再現としてレンズの再現を実施 センサ仕様や実測されたレンズ特性 (キャリブレーションデータ)を用いて魚眼レンズと一般レンズを再現した

カメラの再現

Input



センサ型番

SPECIFICATIONS	APPLICATIONS
- Sensor: ON Semiconductor CMOS image sensor 808023 - Optical Format: 1/3" 17" - Resolution: 1920 (H) × 1080 (V) - Pixel Size: 3.75 μm (H) - Output Format: Raw data (RAW16) or 8-bit data - Color: Mono - Frame Rate: 30 FPS @ 1080p - Shutter: Electronic rolling shutter - Exposure: 1/1000 to 1/5000 - ISO: 100 to 1600 - Power Supply: 5V, 1A - Size: 40mm (W) × 40mm (H) × 25mm (D) - Weight: 10g - Operating Temp: -40 to 85°C - Storage Temp: -40 to 125°C - Humidity: 5% to 95% RH - Shock: 1000g, 10ms - Vibration: 10g, 10Hz to 2000Hz - Life: 100,000 hours	- Car Digital Video Recorder - Automotive In-Cabin Applications - Object Detection - Driver or Occupant Monitoring
LENS SPECIFICATIONS	
- Focal Length: 3.6mm - Aperture: F2.4 - Field of View (FOV): 108.14° diagonal, 131.54° horizontal, 71.3° vertical - Optical Distortion: 43.9% - Resolution: 43.9% - Image Size: 1920 × 1080 - Color: 16-bit - Mount: M12 x 1.0	
IR LED SPECIFICATIONS	
- Wavelength: 850nm - Power: 1W - Current: 1A - Voltage: 1.2V - Life: 100,000 hours	

センサ仕様

$$\begin{bmatrix} fx & 0.0 & cx \\ 0.0 & fy & cy \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

レンズ共通

$$[k1, k2, k3, k4]$$

魚眼レンズ

$$[k1, k2, p1, p2, k3]$$

一般レンズ

キャリブレーションデータ

モデル

$$\begin{aligned} a &= x/z \text{ and } b = y/z \\ r^2 &= a^2 + b^2 \\ \theta &= \text{atan}(r) \\ \theta_d &= \theta(1 + k_1\theta^2 + k_2\theta^4 + k_3\theta^6 + k_4\theta^8) \\ x' &= (\theta_d/r)a \\ y' &= (\theta_d/r)b \\ u &= f_x(x' + \alpha y') + c_x \\ v &= f_y y' + c_y \end{aligned}$$

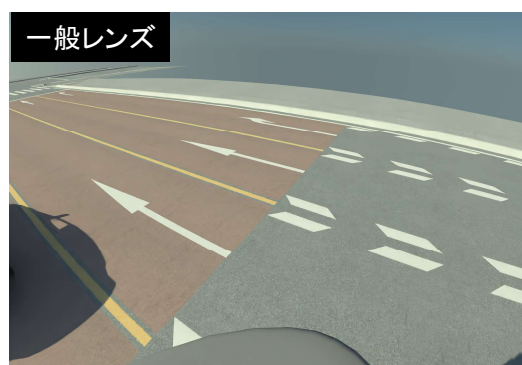
OpenCV魚眼レンズモデルに対応した
2次元歪みファイル生成Python

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + t$$

$$\begin{aligned} x' &= x/z \\ y' &= y/z \\ x'' &= x'(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) + 2p_1x'y' + p_2(r^2 + 2x'^2) \\ y'' &= y'(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) + p_1(r^2 + 2y'^2) + 2p_2x'y' \\ \text{where } r^2 &= x'^2 + y'^2 \\ u &= f_x * x'' + c_x \\ v &= f_y * y'' + c_y \end{aligned}$$

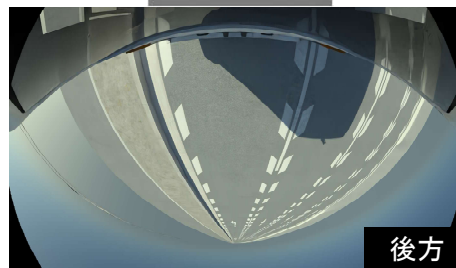
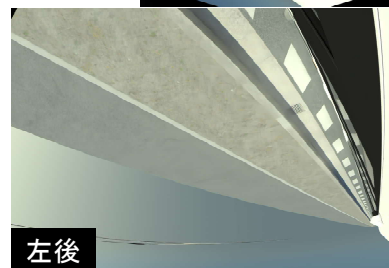
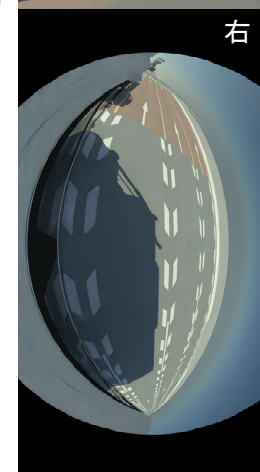
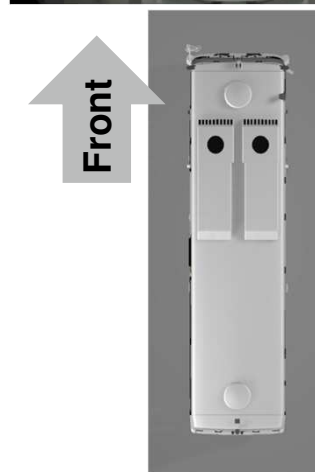
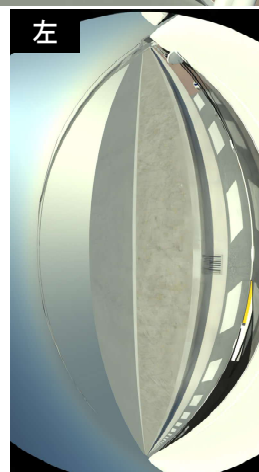
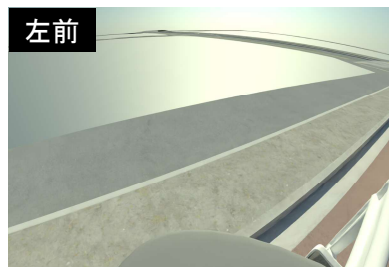
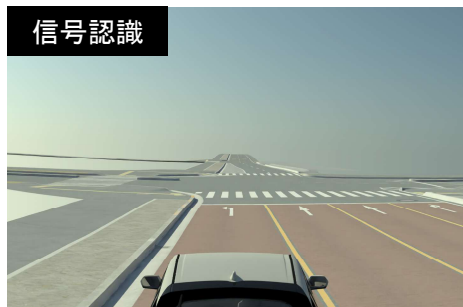
DIVPレンズモデル
(OpenCV有理モデル)

Output



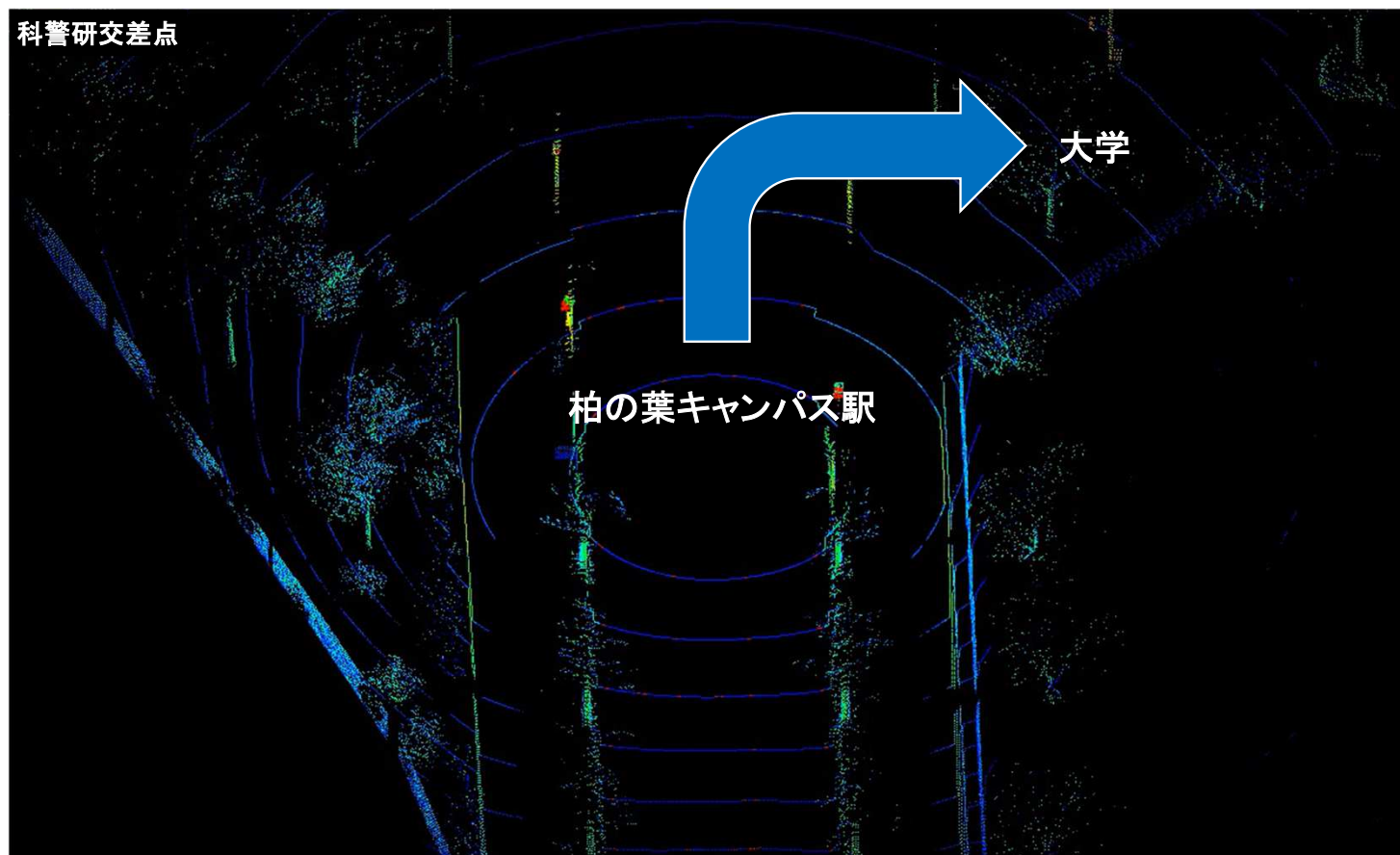
全10台の単眼カメラを実際の通りに再現した

カメラSimサンプル



LiDARもモデル再現として、汎化LiDARモデルの走査モデル(ビーム照射を制御するモデル)を
センサ仕様に合わせて改良 自動運転バスで使用されているセンサ再現を実施した

LiDARの再現



シミュレーションからのセンサ出力を実際の自動運転アプリケーションへ接続を実施
接続のために、アプリケーション動作環境とインターフェース(I/F)変換を構築した

認識アプリケーションの接続



実際の自動運転バスとシミュレーション環境の差分を埋めて評価環境を構築する

シミュレーションで生成したセンサ出力を自動運転アプリケーションで処理可能なことを確認
今後、定義した評価シナリオに基づき認識アプリケーションの評価を実施する

シミュレーションと自動運転アプリケーションの接続結果

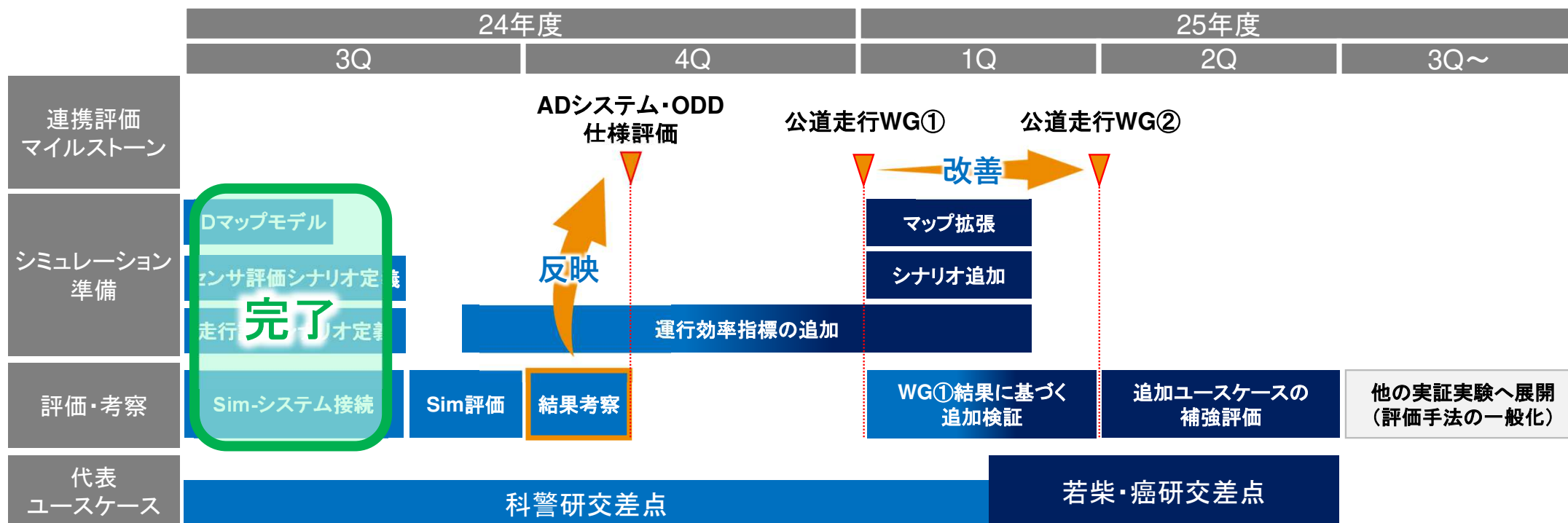


実際の自動運転アプリケーションとセンサシミュレーションの接続が完了した

RoAD to the L4連携に向けた協議状況 今後

24年度～25年度にかけた連携スケジュールを作成 柏の葉自動運転バスにおける安全論証事例を足掛かりに国内実証検証プロジェクトへの展開を計画

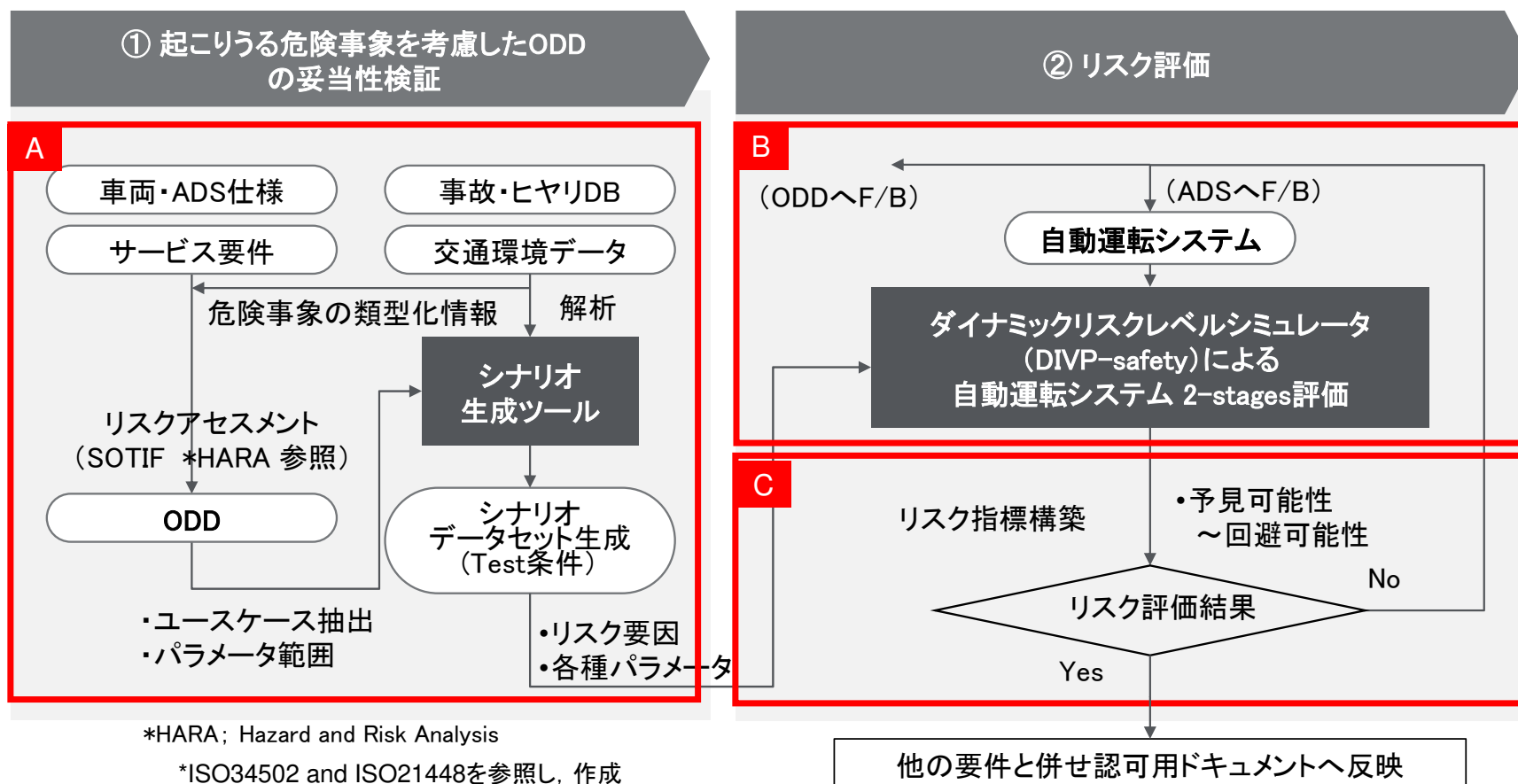
スケジュール



1月末に向けてシミュレーションを用いたアプリケーション評価を実施する

本Proj.では、シミュレーションを活用した安全性評価基盤を構築し、地域実証プロジェクト等と連携し実践／検証を実施。これを基に検証プロセスを、ODDリスクアセスによるシナリオ生成（A）を加えたフレームワーク（A～B～C）として纏めた。

まとめ：シミュレーションを活用した自動運転車 安全性評価プロセスの提案



END

Tokyo Odaiba → Virtual Community Ground

