

# 「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期 ／自動運転(システムとサービスの拡張)／自動運 転技術(レベル3、4)に必要な認識技術等の研究」

## 2020年度分 成果報告書

### 概要版

国立大学法人 金沢大学  
学校法人中部大学 中部大学  
名城大学

2021年3月

# 1.1. 研究開発全体の概要

- 市街地でのLevel4相当の自動運転自動車
  - 車載されたAIによる高度な自律的な認知・判断機能
  - それを支援する道路設備, 通信設備等のインフラ
- 最先端の自動運転技術
  - 産業界でまさに競争領域
  - アカデミア(大学)の知見が必要不可欠

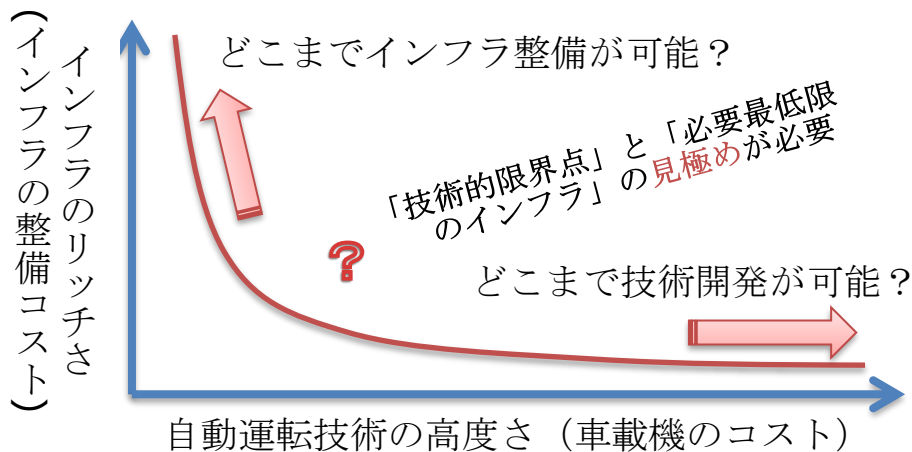
金沢大(自動運転), 中部大(AI), 名城大(GNSS)

大学のオープンな研究体制

信号インフラ活用

成果 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

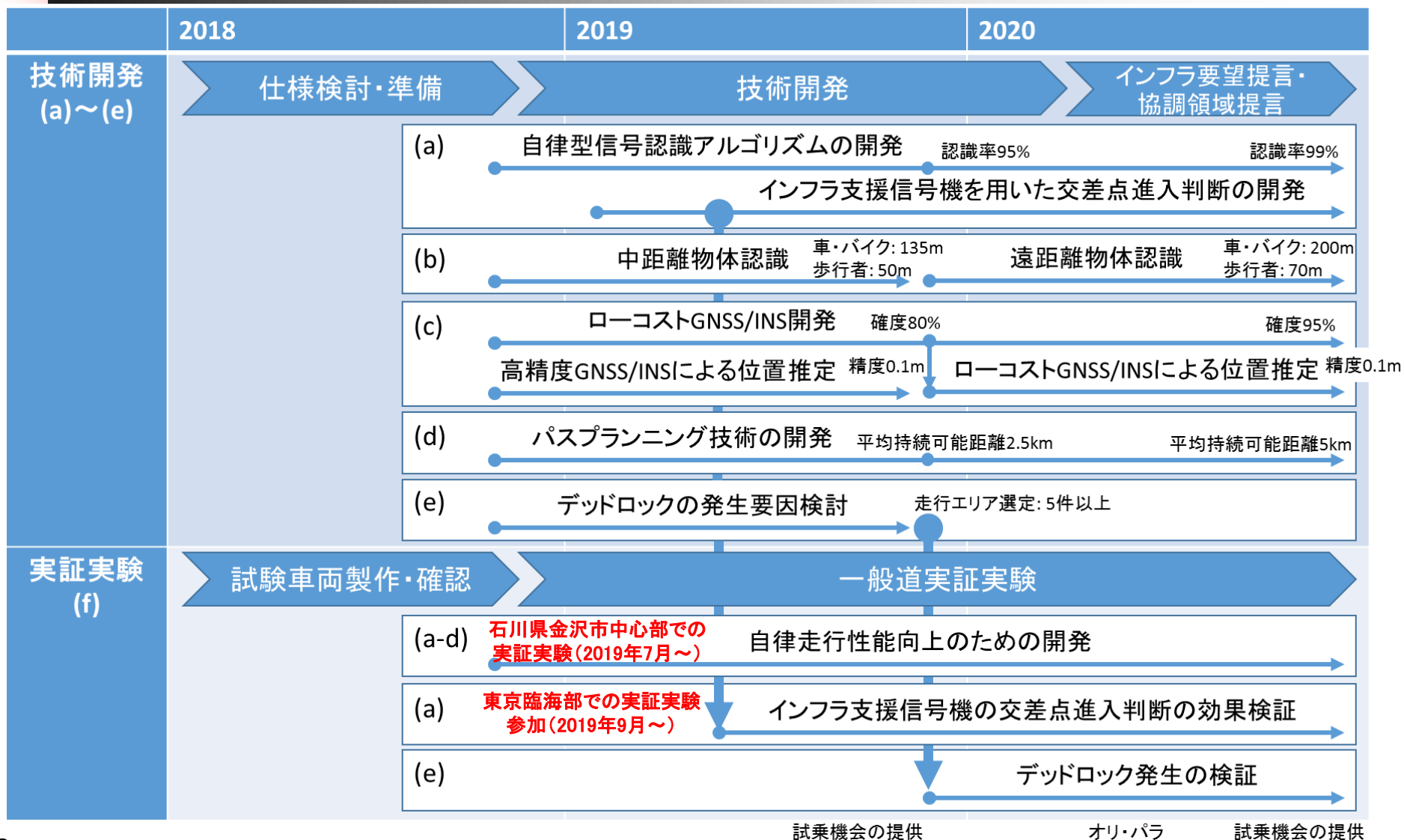


# 1.1.研究開発項目



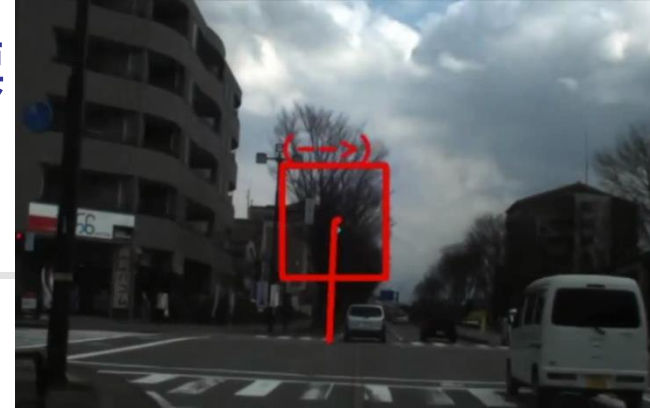
- a.「**信号機認識技術の開発**及び認識が困難な条件の検討」
  - **通信設備を有した信号機(東京臨海地部)の活用**
- b.「**遠距離の物体を検知するために必要となるAI技術の開発**」
  - 市街地走行に必要な**遠距離物体の認識技術**
- c.「**高精度自己位置技術の開発**」
  - 準天頂衛星「**みちびき**」と**マップマッチング**技術の活用
  - **白線の状態**が自動運転システムに与える影響の調査
- d.「**交通参加者の行動予測推定とそれに基づくパスプランニング技術の開発**」
  - 交通量の多い**都心部の走行を可能とする自動運転技術**
- e.「**複数自律型自動車が走行する状態での問題点の検討**」
  - 自動運転自動車の身動きが取れなくなる「**デッドロック**」問題の検討
- f.「**実証実験**」
  - 金沢市中心部, 東京臨海地部での**公道走行実証実験**など

# 1.1.スケジュール



# 1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

## a.「信号機認識技術の開発及び認識が困難な条件の検討」



### ■ 研究開発の必要性

- 市街地での自律的自動運転
  - 遠距離からの確実な信号認識が必要
  - 人間の目でも認識が困難となる状況が存在(逆光, 物理的隠蔽)
- インフラ支援型信号機(通信による信号機情報提供)の整備が必要
  - 全ての信号機への設置には大きなコストが必要

### ■ 研究開発の具体的な内容

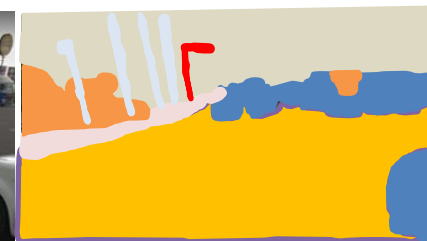
- ①「パターン認識による信号認識と交差点進入判断アルゴリズム」
  - フリッカ抑制+HDR特性を併用可能なカメラの選定
  - パターン認識によるオンボード信号認識(遠方の矢印灯の認識)
  - インフラ支援型交差点進入判断アルゴリズム(東京臨海部での実証)

2020年度: 遠方信号/矢印灯検出方法の評価及び先読み情報を用いた交差点進入判断アルゴリズムの検証

- ②「セマンティックセグメンテーションによる信号認識アルゴリズムの開発」
  - パターン認識で困難な条件のAI(DNN)による解決
  - 劣化したランプ式信号, 信号機の部分的隠蔽など

2020年度: セマンティックセグメンテーションベースの信号認識手法の開発

- 2020年度目標: 120m以内の信号灯(赤・青)・矢印灯の認識率99%



# 1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

## b.「遠距離の物体を検知するために必要となるAI技術の開発」

### ■ 研究開発の必要性

- 市街地での安全かつスムーズな自動運転
  - 車両周辺の自動車, 二輪車, 歩行者等の確実な検知
- 市街地では遠方に存在する移動物体の早期検知が必要
  - 交差点における対向車両検知や, 横断歩行者の検出等

### ■ 研究開発の具体的な内容

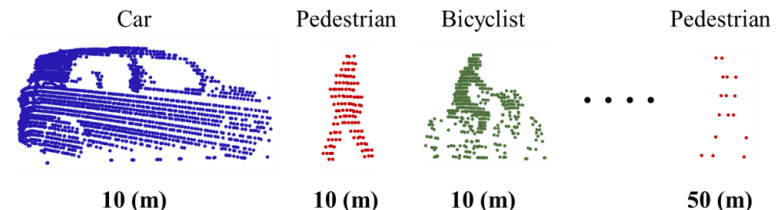
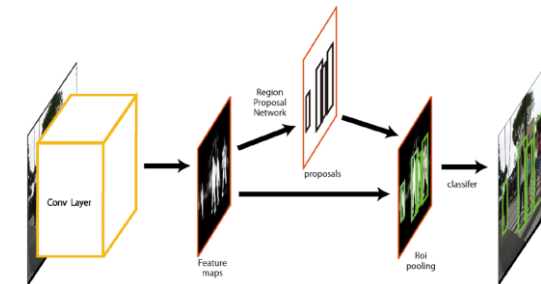
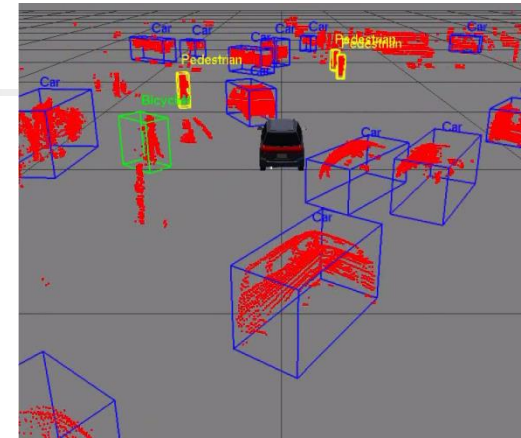
- ①「遠距離向け車載カメラの選定・検知アルゴリズム開発」
  - 遠距離物体検知に適切なカメラの選定
  - AI(DNN)に基づく遠距離物体検知
  - 小物体の誤検出抑制, ぼけ対策

2020年度: 遠距離物体認識DNNの開発と高速化

- ②「LiDARおよびミリ波レーダに基づく遠方物体認識」
  - LiDAR, ミリ波レーダ等のセンサフュージョンによる認識距離改善
  - 機械学習に基づく物体検知
  - 遠距離物体に特化した特徴量検討

2020年度: デジタル地図を用いた遠距離物体の認識及びLiDAR-カメラフュージョンによる物体識別手法の開発

- 2020年度目標: 200m以内の自動車, 70m以内の歩行者の認識率90%

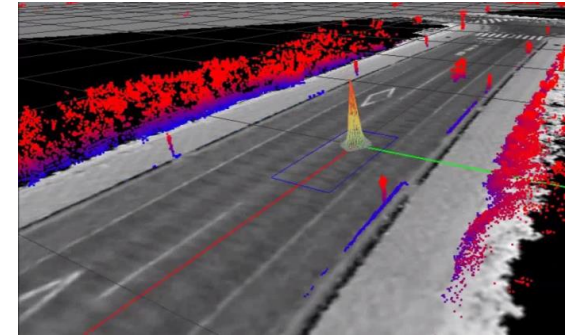


# 1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

## c.「高精度自己位置技術の開発」

### ■ 研究開発の必要性

- 高精度地図活用には高精度な自己位置が必須
  - トンネル内などGNSSのみでは自己位置推定が困難
  - マップマッチングによる高精度自己位置推定
- GNSS/INSの重要性
  - GNSS/INSおよびマップマッチング双方の高度化が重要
  - マップマッチングの初期位置推定とバリデーション, マップマッチングの補完



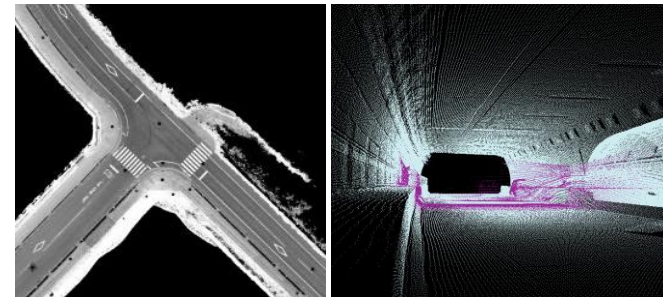
### ■ 研究開発の具体的な内容

- ①「GNSS/INSの開発」
  - 車載グレードGNSS/INSによるレーンレベル位置推定(1.5m精度)のロバスト化
  - 車載グレードGNSS/INSによるRTK-GNSS(0.3m精度)の信頼度推定
  - 準天頂衛星「みちびき」の活用

2020年度:みちびきを活用したGNSS/INSによる高精度測位の信頼性判定

- ②「マップマッチング技術の開発」
  - 複数方式のマップマッチングアルゴリズムの評価
  - マップマッチングにおける信頼度のモデル化
  - 車載グレードGNSS/INSを併用した高精度自己位置・姿勢推定

2020年度:車載グレードGNSS/INSのための位置・方位角推定手法の開発



- ③「白線の状態が自動運転システムに与える影響の調査」
  - 車載センサ情報をもとに道路上の白線領域を抽出するアルゴリズムの検討
  - 白線状態を把握する目安の検討

2020年度:白線の剥離率・反射率が白線認識やマップマッチングに及ぼす影響の調査

# 1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

## d.「交通参加者の行動予測推定とそれに基づくパスプランニング技術の開発」



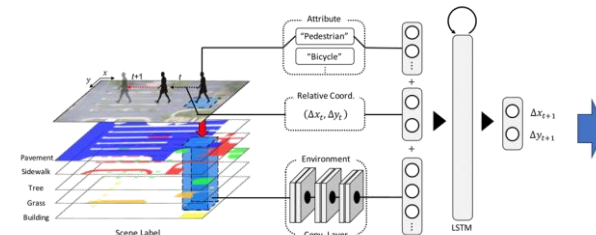
### ■ 研究開発の必要性

- 都市部の市街地での自動運転自動車
  - 高速移動物体(自動車, バイク等) + 低速移動物体(歩行者や自転車等)
- スムーズかつ安全な走行
  - 移動物体の将来予測軌道の考慮: 速度ベクトルのみでは不十分(低速物体)
  - 交通量が多く多数の車に囲まれる状況: 狭いスペースのスムーズな走行

### ■ 研究開発の具体的な内容

- ①「人工知能(AI)に基づく歩行者の行動予測」
  - RNNによる歩行者の向き, 属性情報の推定
  - 属性情報を考慮した行動予測

2020年度: 経路予測DNNによる歩行者の行動予測評価



- ②「時系列追跡による車両の行動予測とパスプランニング」
    - 移動物体の運動状態と形状の同時推定, 地図を併用した行動予測
    - 予測軌道を考慮した高度な軌道計画(狭いスペースのスムーズかつ安全な走行)
- 2020年度: 周辺物体の追跡アルゴリズムの開発及び実験車両への導入
- 2020年度目標: 平均走行持続可能距離5km



# 1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

## e.「複数自律型自動車が走行する状態での問題点の検討」



### ■ 研究開発の必要性

- 将来の市街地⇒複数の自動運転自動車が混在して走行
- デッドロック問題(互いに譲り合う運転行動)
  - 車々間通信装置を有しない自律型の自動運転車両同士の遭遇
  - 信号なし交差点, 商業施設の出入り口, 幹線道路への合流等の例

### ■ 研究開発の具体的な内容

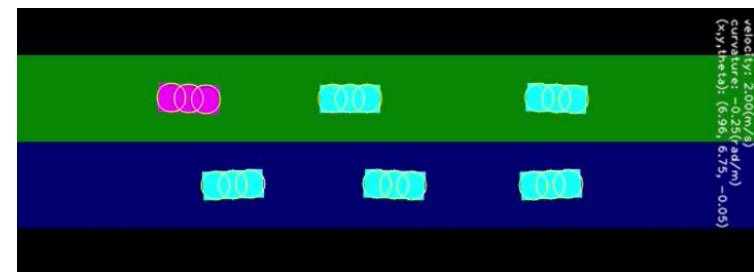
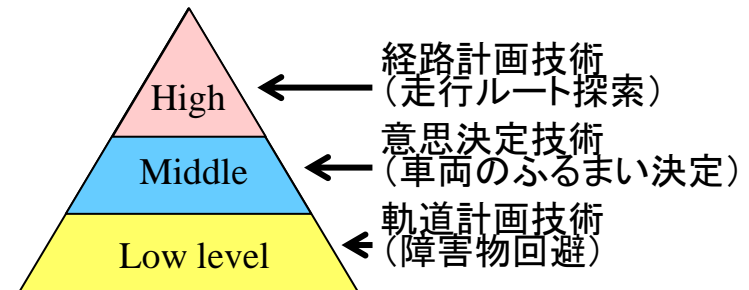
#### ■ ①「ロボティクス技術を活用したデッドロック回避」

- デッドロックパターン(交通シーン)のモデル化
  - デッドロック回避軌道の生成
  - シミュレーションソフトに基づく課題シーン抽出
- 2020年度:デッドロック回避アルゴリズムの開発及び実車試験による評価

#### ■ ②「人工知能(AI)を活用したデッドロック回避」

- 深層強化学習に基づくデッドロック回避
  - 深層学習への最適な入出力情報の検討
- 2020年度:深層強化学習によるデッドロック回避アルゴリズムの開発

- 2020年度目標:デッドロック回避アルゴリズムの有効性の評価



## 1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

### f.「実証実験」



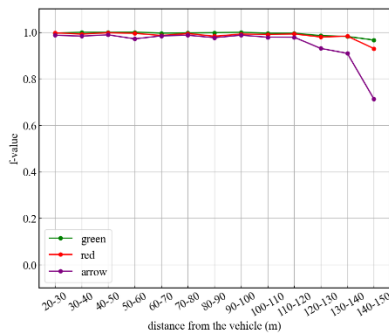
- 研究開発の必要性
  - 研究開発項目a.~e.の実証
    - 実車試験による開発加速
  - インフラ設備に関する検討
    - インフラ支援型信号機の設置が求められる箇所
    - 白線の状態が自動運転システムに与える影響の調査など
- 試験車両の構築
  - 2台の試験車両を構築
    - 金沢市中心部での公道走行実証実験
    - 東京臨海部での公道走行実証実験
  - LiDAR, ミリ波レーダ, カメラ, GNSS/INS, ITS無線受信機等

2020年度：公道走行試験の継続的な実施および  
試乗機会の提供等による成果発信

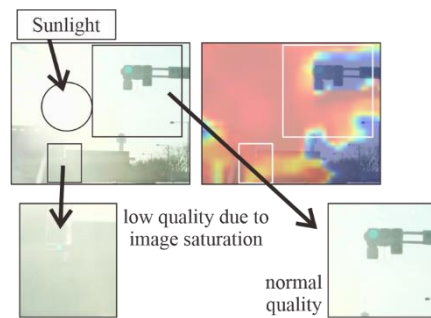
## 2. 研究開発成果

### 2.1. a. ①「パターン認識による信号認識と交差点進入判断アルゴリズム」

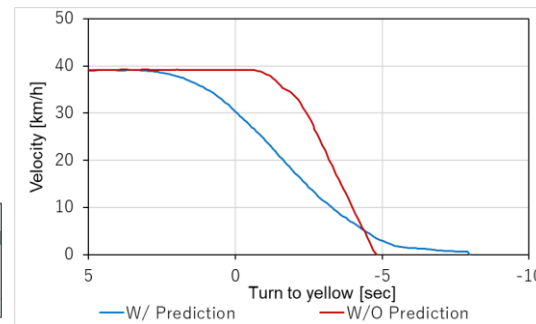
- デジタル地図を活用した信号/矢印灯の認識アルゴリズムの評価
  - 東京臨海部で走行データ(昼, 夜, 雨天, 逆光・順光)で評価
    - F値: 99.0% (120m以内の信号/矢印灯)
      - 環境要因の不調シーン: 隠蔽, 背景同化, 夜間, 逆光を確認
    - 交差点進入に影響のある状況
      - 進入判断不可: 交差点接近時に認識不能状況が継続(評価データでは問題なし)
      - 発進不可: 停止線停車時に前方信号機が認識不可(逆光・順光時)
  - 逆光・順光領域の影響範囲の評価
    - 逆光: 影響範囲は限定的. 画像の影響領域をDNNで認識するアルゴリズムを開発
    - 順光: ランプ式信号のときに点灯色の判別が困難
  - 先読み情報による交差点進入判断の評価
    - ジレンマゾーンでの急減速削減のモデルの検証
      - 安全に配慮して一般道での自動運転走行で実験実施



信号認識の認識性能の評価結果



逆光影響領域の認識



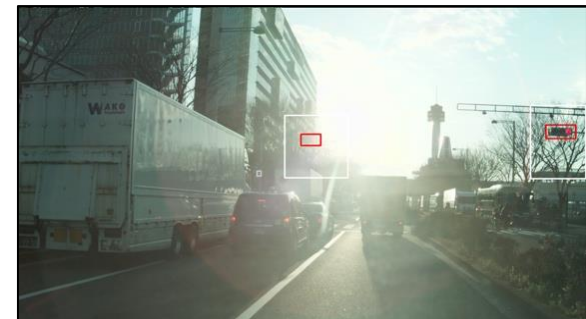
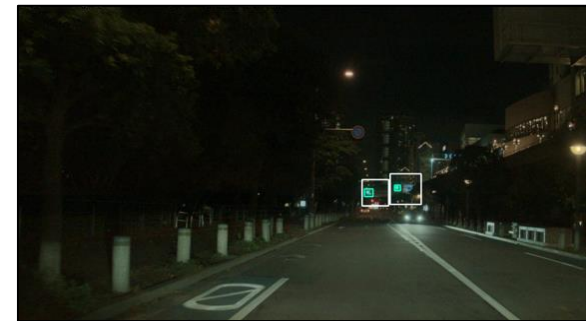
V2Iによる急減速削減  
(左図: 速度, 右図: 実験エリア)



## 2.研究開発成果

### 2.1. a.②「セマンティックセグメンテーションによる信号認識アルゴリズムの開発」

- 2段階による信号機認識アルゴリズムを開発
  - 前段: HRNetにより信号機の検出
  - 後段: mobilenet v2による信号機の状態識別
- 東京臨海部で撮影したデータセットを利用
  - 時系列処理なし: 97.28%
  - 時系列処理あり: 98.96%



信号機の検知率[%](時系列処理なし)

	全体	20ピクセル以上
昼間	89.63	99.28
夜間	96.15	97.14
全体	95.65	97.28

信号機の検知率[%](時系列処理あり)

	全体	20ピクセル以上
昼間	98.35	99.49
夜間	98.55	98.84
全体	98.51	98.96

## 2.研究開発成果

### 2.1. b.①「遠距離向け車載カメラの選定・検知アルゴリズム開発」

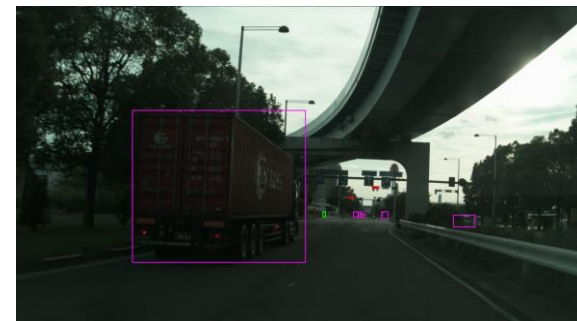
- YOLO v4による遠距離物体検知手法を開発
  - 入力画像サイズおよびネットワーク内部を改良
- 東京臨海部データセットを利用して評価

歩行者70m程度： 検知可能

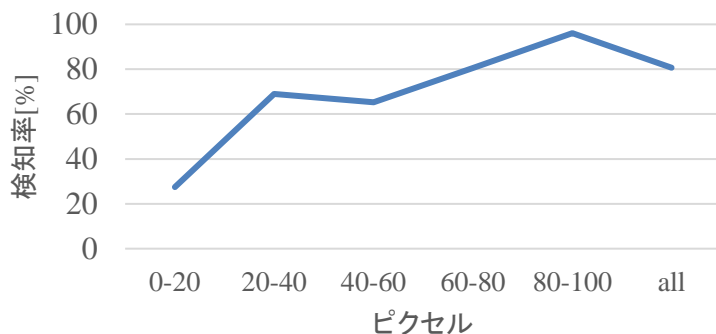
自動車200m程度： 検知可能

サイズごとの精度(mAP)

サイズ	0-25	25-35	35-50	50-70	all
自動車	0.231	0.375	0.498	0.548	0.768
歩行者	0.008	0.084	0.134	0.238	0.590
バイク	0.010	0.033	0.138	0.371	0.456



見通しの良い環境での歩行者のサイズ別検知精度



歩行者70mは48ピクセル，自動車200mは，25ピクセルに相当

## 2. 研究開発成果

### 2.1. b. ② 「LiDARおよびミリ波レーダに基づく遠方物体認識」

#### ■ LiDAR-カメラフュージョンによる物体認識

- 観測対象物: 自動車・二輪車・歩行者
  - LiDARによる認識: 物体点群の識別
  - カメラによる認識: 物体矩形枠の検出
  - 時系列追跡でLiDAR/カメラの認識結果を対応付け

#### ■ カメラによる遠距離物体の検出手法の開発

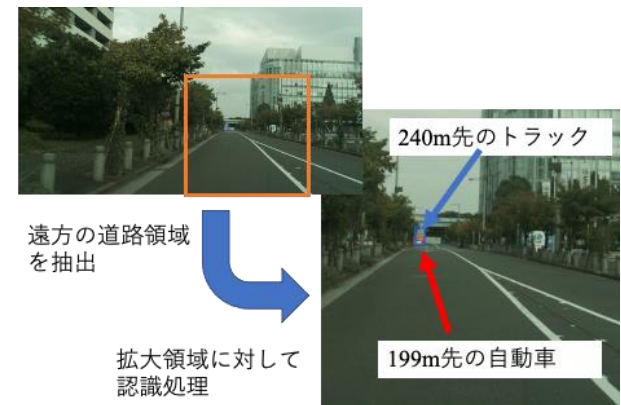
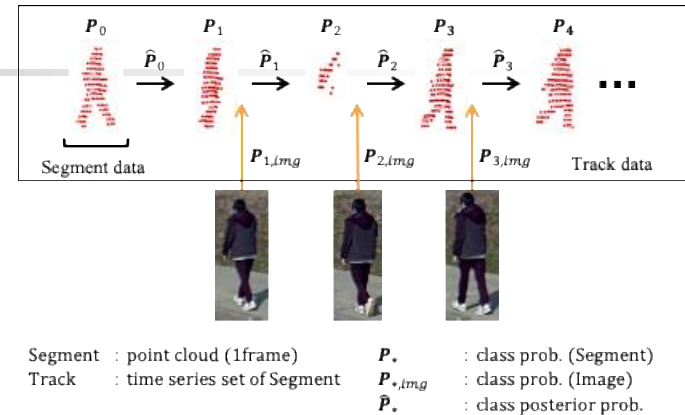
- デジタル地図から遠方の道路領域を抽出して注目領域(ROI)を設定
  - 拡大領域に対して認識することで遠方に特化した物体認識を実現

#### ■ 遠距離物体の認識性能評価

- 評価データ: 金沢大学構内の見通しの良い直線路で計測
- F値: 97.7%(自動車, 200m以内), 92.2%(二輪車, 100m以内), 93.3%(歩行者, 100m以内)
  - 時系列追跡・カメラとのフュージョンにより認識率が改善

LiDAR-カメラによる交通参加者の認識結果(直線路)

	Vehicle	Bicyclist	Pedestrian
Evaluation Range	20m-200m	20m-100m	20m-100m
Segment	0.853	0.573	0.710
Tracking (LiDAR)	0.973	0.904	0.868
Tracking (LiDAR w/ Image)	0.973	0.918	0.920
Tracking (LiDAR w/ Image + ROI)	0.977	0.922	0.933



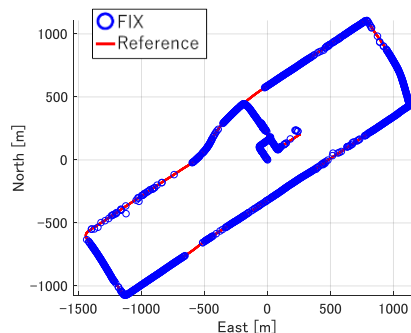
## 2.研究開発成果

### 2.3. c.①「① GNSS/INSの開発」

- みちびきを活用したGNSS/INSによる高精度測位の信頼性判定
  - CLAS LIBを改良した測位アルゴリズム構築
  - 高さ変動を活用した信頼性判定によるGNSS/INSの高精度化
  - CLAS対応の衛星が17機に増加した際の効果を確認



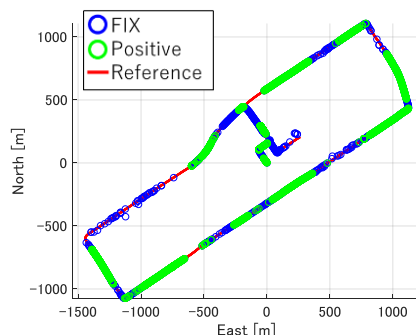
お台場の評価コース



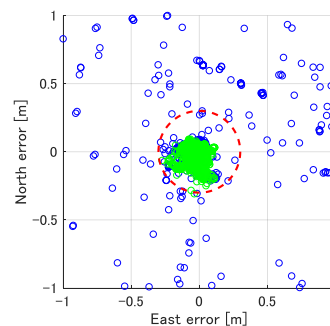
CLAS測位結果

お台場の評価コースで

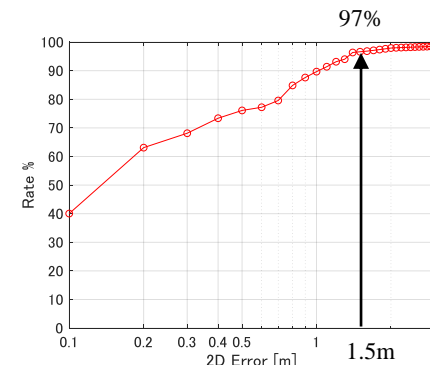
- 1.5m位置精度97%
  - 0.3m信頼性99%
- を達成



信頼性判定の結果



信頼性判定後の位置精度



CLAS活用GNSS/INSの位置精度割合

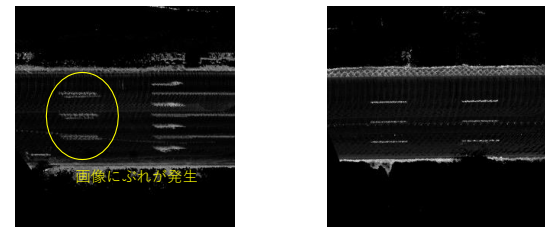
# 2. 研究開発成果

## 2.3. c. ② 「マップマッチング技術の開発」

### ■ 車載グレードGNSS/INSのための位置・方位角推定手法の開発

- 車載グレードGNSS/INS:
  - 安価なジャイロセンサを搭載. 高精度GNSS/INSと比較して方位角が低精度.
  - GNSS/INSの方位角を用いてセンサデータをマッピング → 画像にぶれが発生.
- 方位角推定手法の開発
  - Hough変換をベースとした方位角推定
  - 路面パターンの画像内での傾きに着目. 地図画像とLiDAR画像の間の角度差から方位角誤差を推定.

方位角精度低下した場合のLiDAR画像      方位角が高精度に得られる場合のLiDAR画像



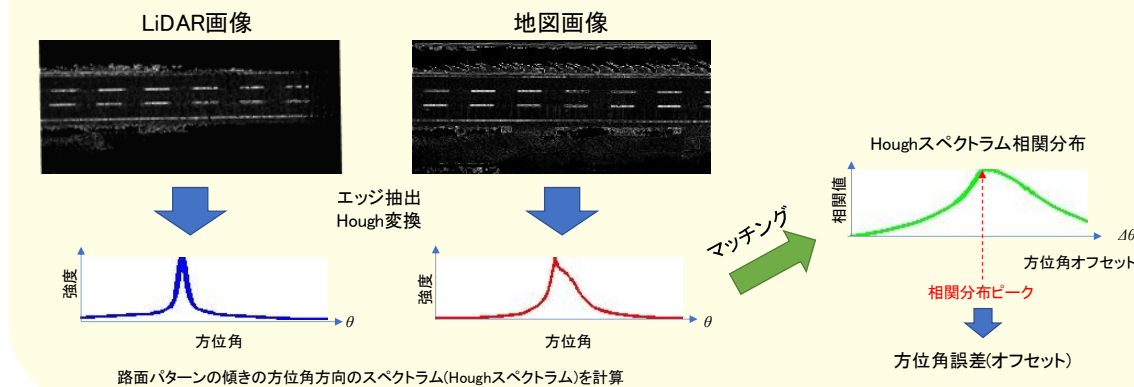
GNSS/INSの方位角精度の低下によりマッピングした画像にぶれが発生 → 位置推定への影響

- 精度検証
  - 金沢市内走行データによる検証: 目標位置推定精度**0.1mの達成**



金沢市内評価ルート

### 方位角推定手法



### 推定RMS誤差

車両縦方向 RMSE [m]	車両横方向 RMSE [m]	2次元位置 RMSE [m]	方位角RMSE [deg]
0.12	0.06	0.08	0.12



## 2. 研究開発成果

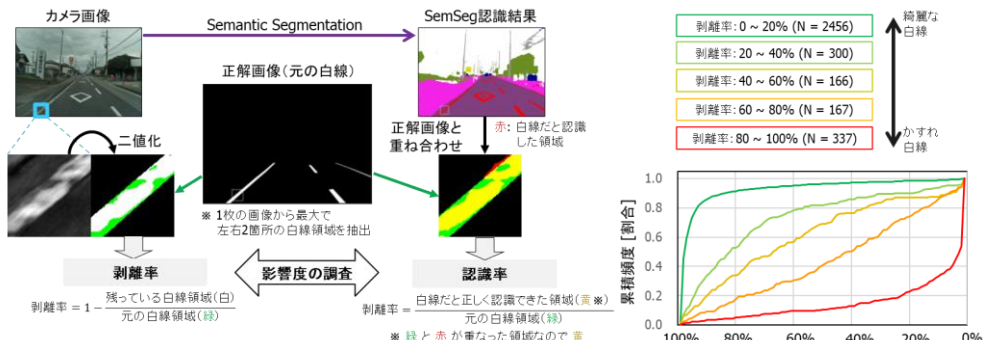
### 2.3. c. ③ 「白線の状態が自動運転システムに与える影響の調査」

#### ■ 白線の剥離率が認識率に及ぼす影響

剥離率: カメラ画像の二値化処理で算出

※ 手動計測機(ミロラックス7)と同等の性能であることを確認済

認識率: カメラ画像にセマンティックセグメンテーションを適用して算出

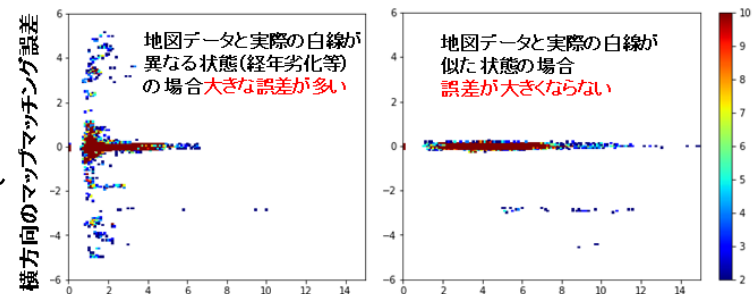


⇒ 剥離率が**高い**ほど、認識率の**低い**頻度が多くなる

#### ■ 白線の反射率がマップマッチングの誤差や確信度に及ぼす影響

誤差: 後処理補正位置(真値)と、マップマッチングの相関ピーク(推定値)のずれ

確信度: 推定位置周辺での、マップマッチングの相関分布の鋭さ = 標準偏差の小ささ ※ 車両横方向のみに着目



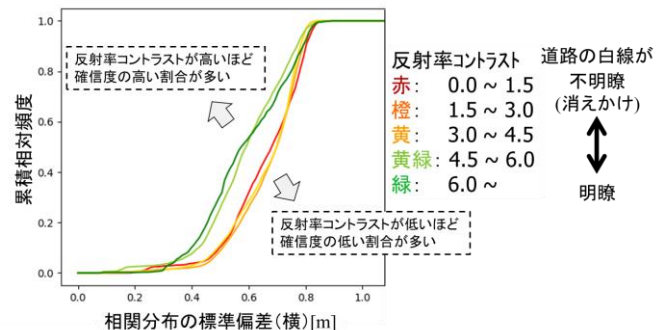
• 地図データに保存された白線の反射率データが**実際のもの**と**異なる**と、誤差は**大きくなりやすい**

• マッチング誤差が小さい場合でも白線と舗装の反射率コントラストが**高い**ほどマップマッチングの**確信度が高い傾向**にある

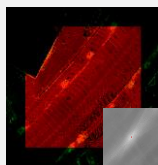
反射率コントラスト

※ 反射率コントラスト: 白線領域と舗装領域の反射率の比 (この値が高いほど白線が明瞭)

反射率コントラスト



マッチング位置は正しいが相関分布(右下図)は鋭くない(△) = 確信度は低い  
このとき**白線は明瞭でない**傾向



マッチング位置が正しくかつ相関分布も鋭い(○) = 確信度は高い  
このとき**白線は明瞭な**傾向



まとめると...

## 2.研究開発成果

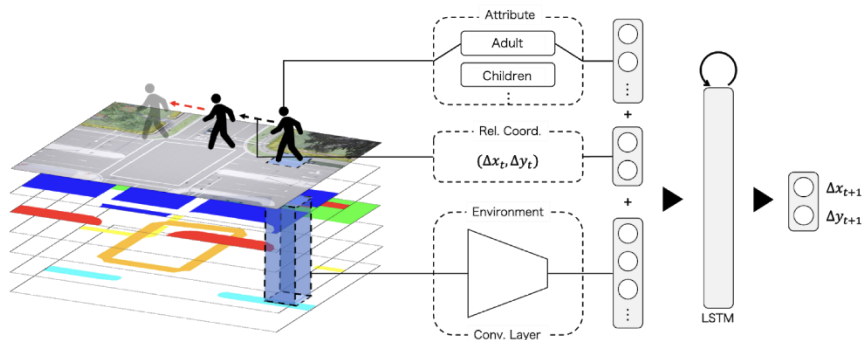
### 2.4. d.①「人工知能(AI)に基づく歩行者の行動予測」

#### ■ 経路予測アルゴリズムの開発と分析

- 自動車視点の経路予測: 自車の移動量の影響で予測困難
- 俯瞰視点の経路予測: 自車の移動量に関係なく予測可能

#### ■ 歩行者属性による飛び出し予測分析

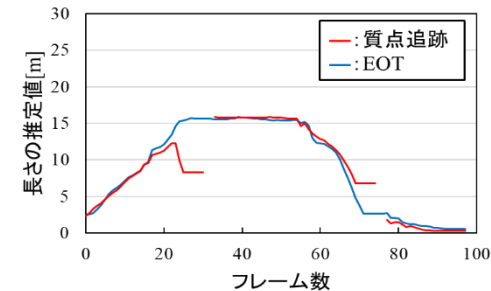
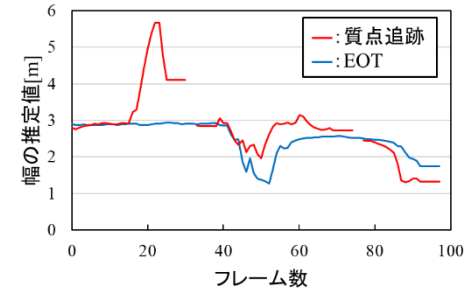
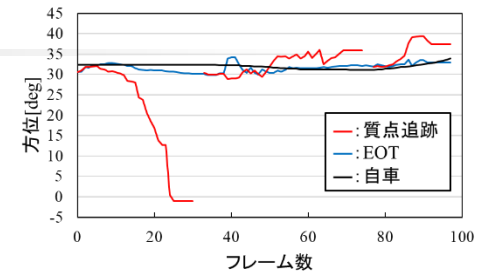
- 高齢者・大人: 3mから5m道路から離れていると予測可
- 子供: 9m以上道路から離れている必要あり



## 2.研究開発成果

### 2.4. d.②「時系列追跡による車両の行動予測とパスプランニング」

- 移動物体の運転状態と形状の同時推定の開発
  - 物体の輪郭のモデル化
  - 輪郭としてBスプライン曲線を使用
  - 走行データに対する評価から追跡の安定性を評価
  - 開発アルゴリズムをリアルタイム実装して自動運転システムに導入
- 公道走行による総合評価
  - 石川県金沢市の実証実験で平均持続走行可能距離を評価
    - 平均走行持続可能距離: 5.860km
  - 東京臨海部の実証実験から自動運転のオーバーライドへの不調要因の事例を調査
    - 道路構造物・他車の存在による死角発生時の交差点での右折走行
    - 矢印信号機の点灯時間の短い交差点での右折走行
    - 交差点接近中に信号機が黄色に変わる時の急減速(ジレンマゾーン)

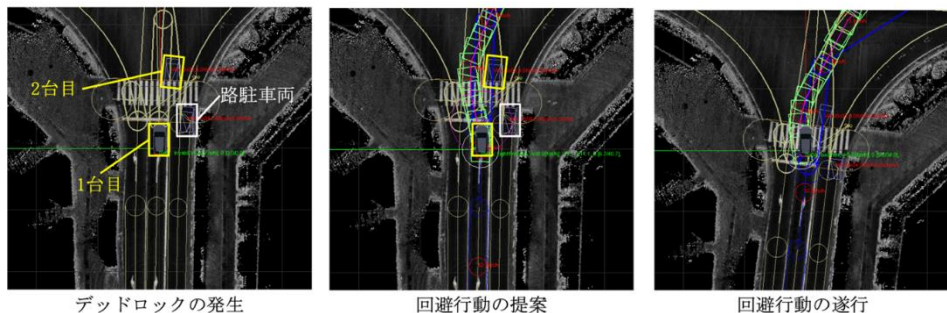
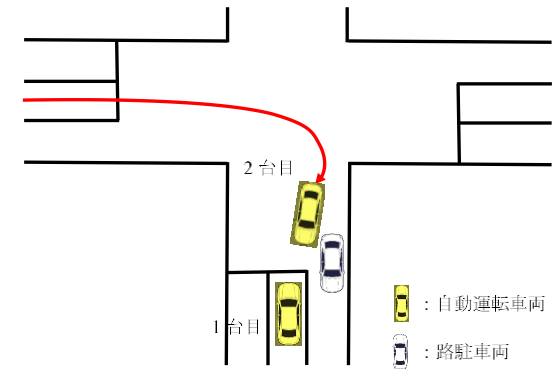


物体追跡の評価結果  
開発アルゴリズム: EOT

## 2.研究開発成果

### 2.1. e.①「ロボティクス技術を活用したデッドロック回避」

- デッドロックが発生する状況の明確化
  - 事後処理タイプ:ロボティクス技術で対応
  - 事前予防タイプ:AI技術を活用して対応
- ロボティクス技術によるデッドロック回避アルゴリズムの開発
  - 車線を逸脱して走行可能なスペースを迂回する経路計画アルゴリズムを開発
- 実車試験によるデッドロック回避の有効性検証
  - 安全面に配慮して大学構内で実験を実施
  - 回避可能なスペースが存在する場合は適切に通過可能

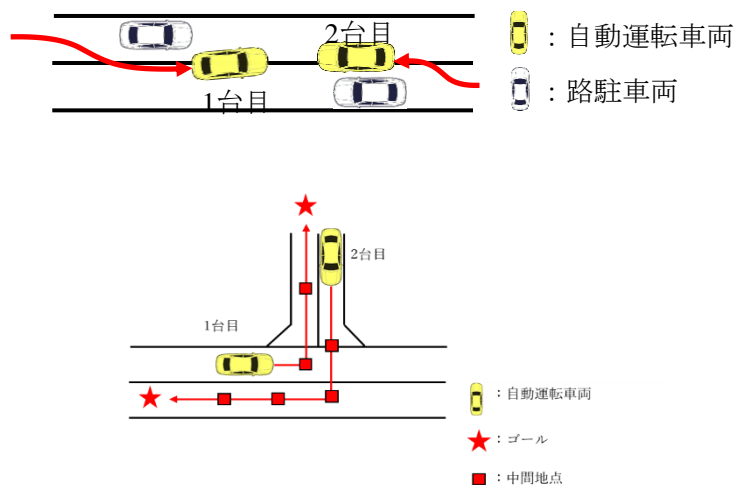


## 2.研究開発成果

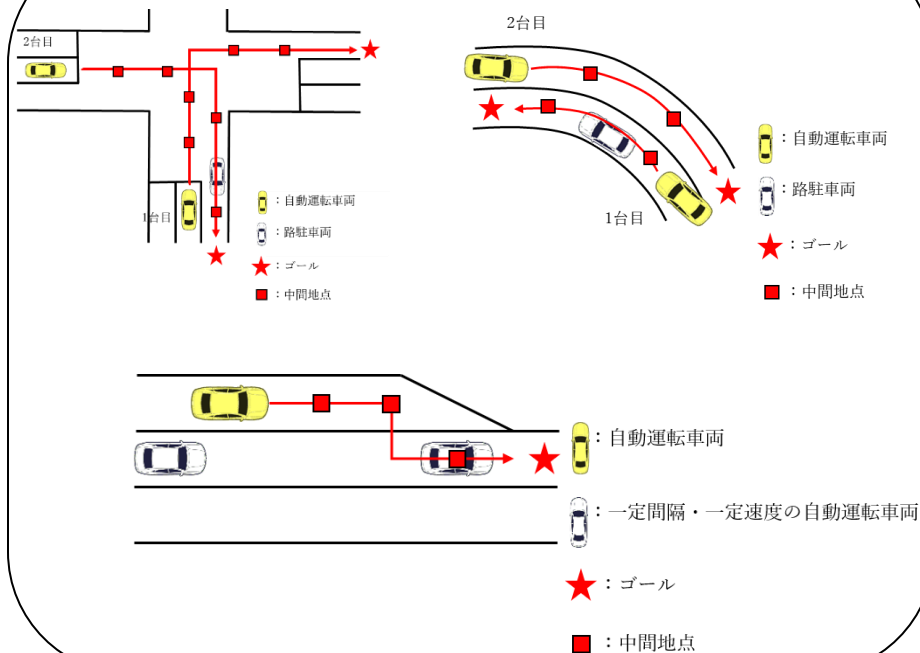
### 2.1. e.②「人工知能(AI)技術を活用したデッドロック回避」

- 深層強化学習によるデッドロック状態回避の可能性検討
  - 実証実験で抽出した5シーンのシミュレーション環境を構築
  - 各シーンでの報酬設計と学習
  - 2つのシーンでデッドロック回避が可能

デッドロック回避可能



デッドロック回避困難



## 2.研究開発成果

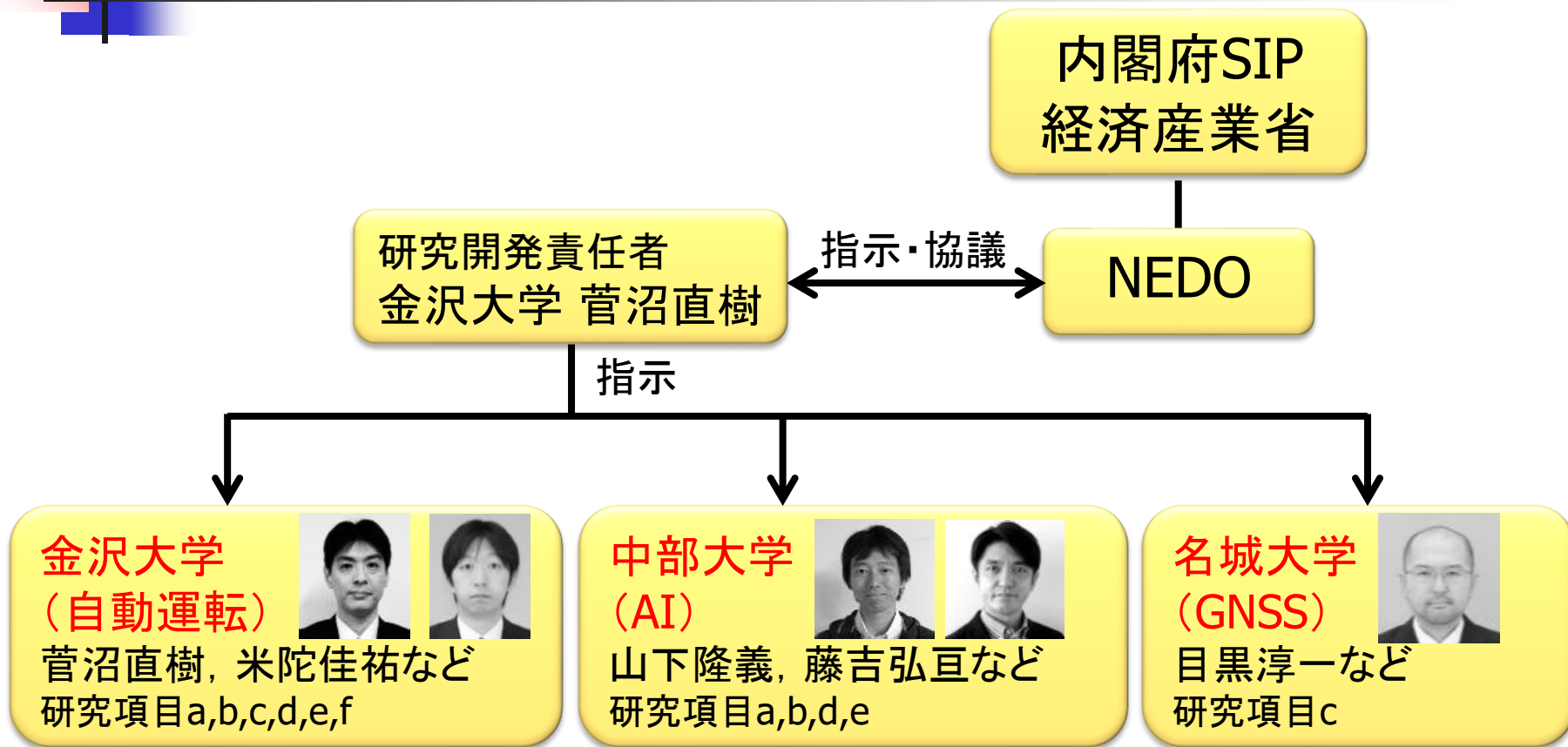
### 2.6. f.「実証実験」

- 実証実験の継続的实施
  - 石川県金沢市中心部
  - 東京都臨海部
    - お台場エリア
    - 羽田エリア
- 社会受容性の向上
  - 東京臨海部実証実験メディア向けガイドツアー（2021年9月）
  - SIP-adus中間成果発表会（2021年3月）
- 走行実績
  - 東京臨海部で54日間の走行実証実施
  - 自動運転状態で1,287.2kmの走行



SIP-adus中間成果報告会

# 3.実施体制



- 研究開発項目
- a.「信号機認識技術の開発及び認識が困難な条件の検討」
  - b.「遠距離の物体を検知するために必要となるAI技術の開発」
  - c.「高精度自己位置技術の開発」
  - d.「交通参加者の行動予測推定とそれに基づくパスプランニング技術の開発」
  - e.「複数自律型自動車が走行する状態での問題点の検討」
  - f.「実証実験」