

「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」

2019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

2020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

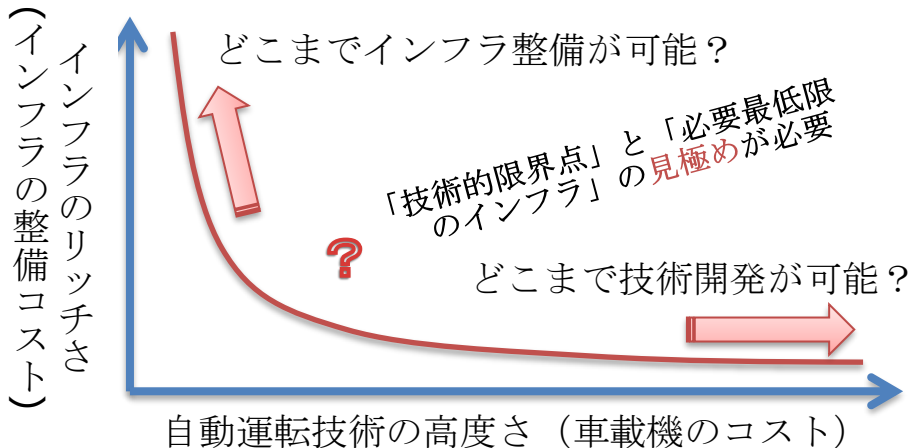
金沢大(自動運転), 中部大(AI), 名城大(GNSS)

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

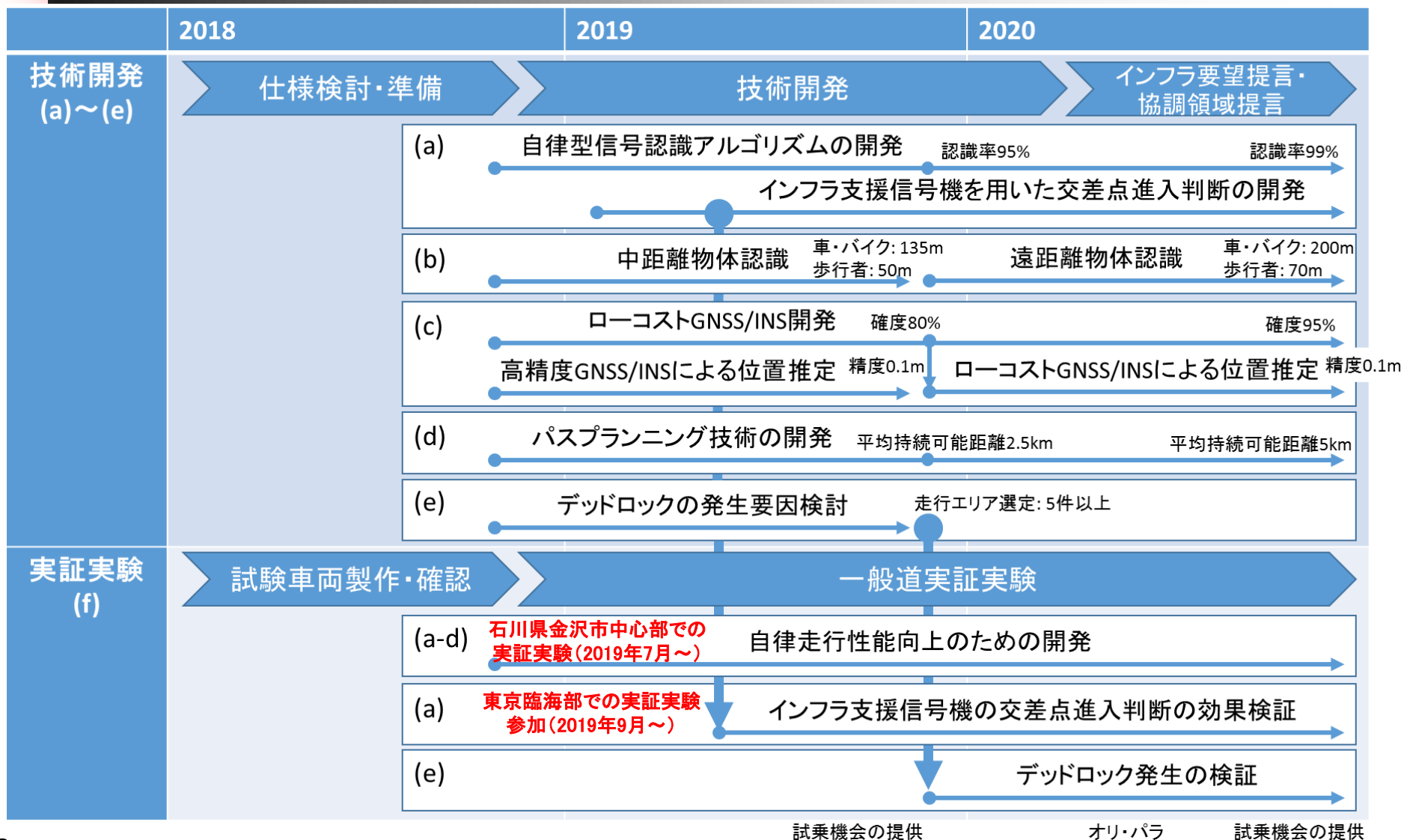


1.1. 研究開発項目



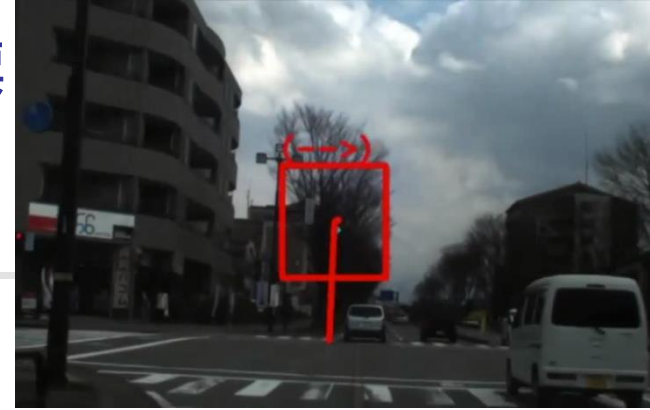
- a. 「**信号機認識技術の開発**及び認識が困難な条件の検討」
 - **通信設備を有した信号機(東京臨海地部)の活用**
- b. 「**遠距離の物体を検知するために必要となるAI技術の開発**」
 - 市街地走行に必要な**遠距離物体の認識技術**
- c. 「**高精度自己位置技術の開発**」
 - 準天頂衛星「**みちびき**」と**マップマッチング**技術の活用
 - **白線の状態**が自動運転システムに与える影響の調査
- d. 「**交通参加者の行動予測推定とそれに基づくパスプランニング技術の開発**」
 - 交通量の多い**都心部の走行を可能とする自動運転技術**
- e. 「**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」

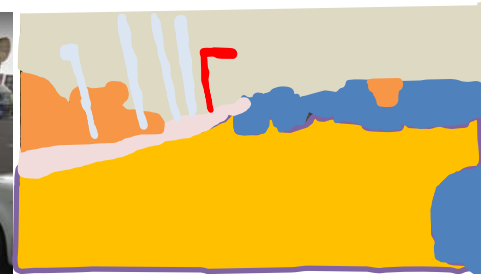


■ 研究開発の必要性

- 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

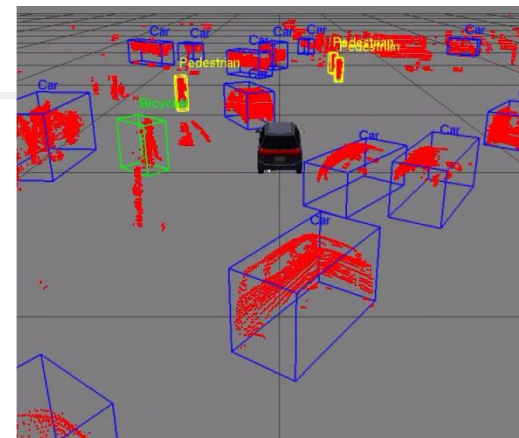
■ 研究開発の具体的な内容

- 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)
2019年度: 遠方信号/矢印灯検出方法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開発
- 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
2019年度: セマンティックセグメンテーションベースの信号機認識アルゴリズムの評価検証
- 2019年度目標: 120m以内の信号機(赤・青)・矢印灯の認識率95%



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」

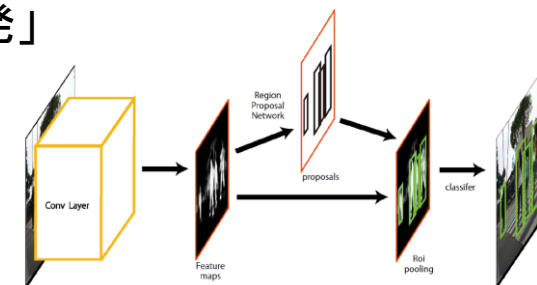


■ 研究開発の必要性

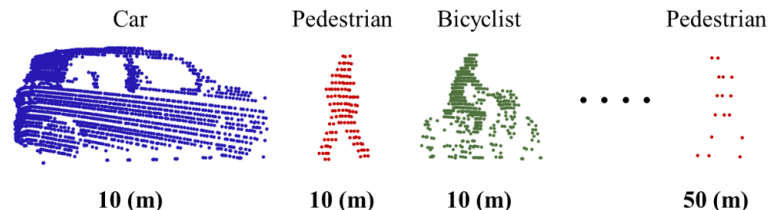
- 市街地での安全かつスムーズな自動運転
 - 車両周辺の自動車, 二輪車, 歩行者等の確実な検知
- 市街地では遠方に存在する移動物体の早期検知が必要
 - 交差点における対向車両検知や, 横断歩行者の検出等

■ 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
 - 2019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
 - 2019年度:LiDAR-カメラフュージョンによる物体識別手法の開発



- 2019年度目標: 135m以内の自動車, 50m以内の歩行者の認識率90%

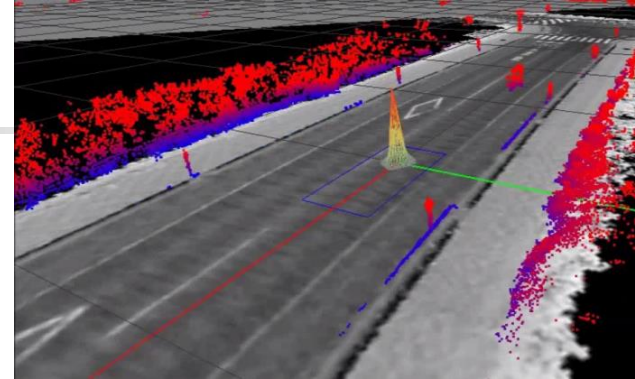


1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

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



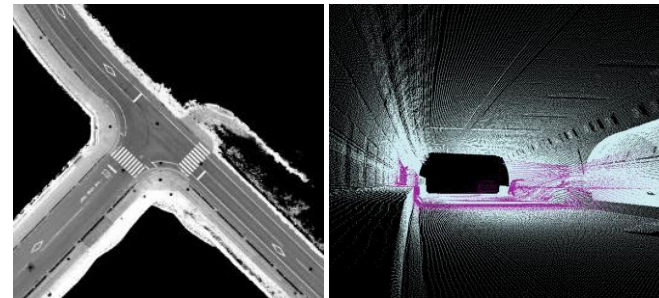
■ 研究開発の具体的な内容

- 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

2019年度:高さ方向の変動に注目した信頼度の判定手法の提案

- 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

2019年度:複数のマップマッチング手法の実装・評価



- 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

2019年度:白線抽出および白線状態目安の基礎検討

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
 - 2019年度: 行動予測に必要な歩行者の属性認識アルゴリズムの開発評価
- 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)
 - 2019年度目標: 自動運転状態での平均走行持続距離2.5kmの達成

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

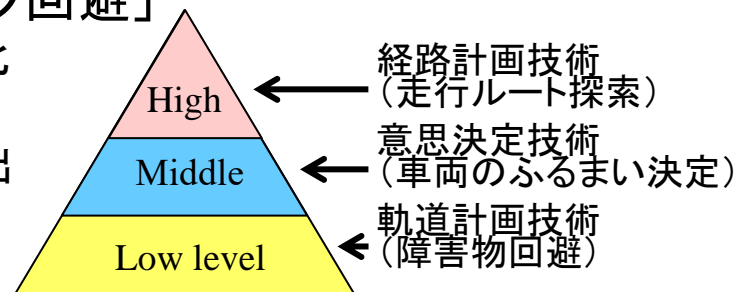
- 将来の市街地⇒複数の自動運転自動車が混在して走行
- デッドロック問題(互いに譲り合う運転行動)
 - 車々間通信装置を有しない自律型の自動運転車両同士の遭遇
 - 信号なし交差点, 商業施設の出入り口, 幹線道路への合流等の例

■ 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

2019年度:デッドロックが発生する状況の明確化



■ 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

2019年度:実証実験で確認したデッドロックシーンでの回避アルゴリズム検討

1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

f.「実証実験」



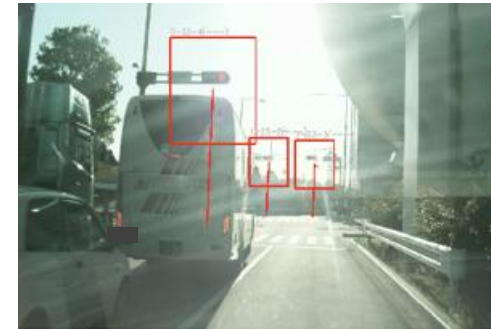
- 研究開発の必要性
 - 研究開発項目a.~e.の実証
 - 実車試験による開発加速
 - インフラ設備に関する検討
 - インフラ支援型信号機の設置が求められる箇所
 - 白線の状態が自動運転システムに与える影響の調査など
- 試験車両の構築
 - 2台の試験車両を構築
 - 金沢市中心部での公道走行実証実験
 - 東京臨海部での公道走行実証実験(年間60日以上)
 - LiDAR, ミリ波レーダ, カメラ, GNSS/INS, ITS無線受信機等

2019年度:2台の試験車両の構築および公道走行試験の開始(東京臨海部, 石川県金沢市)

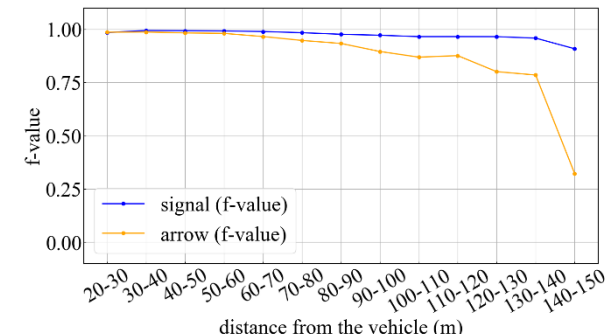
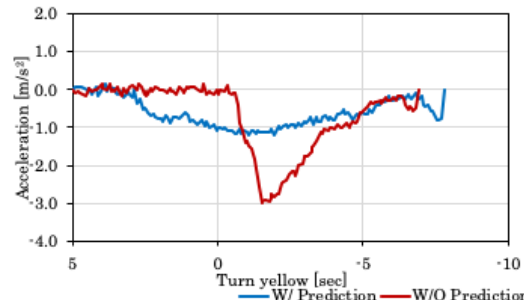
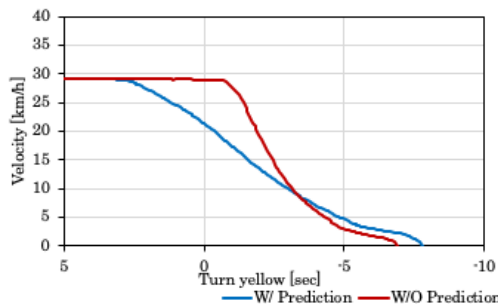
2. 研究開発成果

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遠方信号/矢印灯の認識アルゴリズム開発
 - 信号灯/矢印灯の相対位置関係を活用
 - 10px以下の矢印灯を認識可能
- 信号認識の性能評価
 - 東京臨海部で走行データを計測
 - 昼・夜・雨天での走行データで評価
 - F値: 95.5% (120m以内の信号/矢印灯)
- 先読み情報による交差点進入判断の開発
 - ジレンマゾーンでの急減速削減のモデル検討
 - 金沢大学構内での自動運転走行で効果検証
- 今後の予定
 - 信号/矢印灯の認識率99%(120m以内)
 - ハードウェア・ソフトウェア両面から認識困難な条件をリストアップ
 - ジレンマゾーン改善の効果検証(関連省庁等と調整の上)



逆光時の認識の様子(東京臨海部)



信号認識の性能評価結果

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:DeepLab V3+により信号機の検出
 - 後段:ResNet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
- 信号機検出精度:96.4%, 識別精度:91.7%

信号機の検出率

信号機の幅(ピクセル)	検出率
全体	74.58%
20ピクセル以上	96.42%
10ピクセル以上	90.09%

信号機の識別率

信号機の幅[pixel]	recall	precision	F-score
全体	67.33%	88.09%	0.763
20ピクセル以上	91.78%	92.16%	0.920
10ピクセル以上	83.84%	89.53%	0.866



2.研究開発成果

2.2. 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」

- Feature Pyramid Network (FPN)による遠距離物体検知手法を開発
- 高速化に向けたネットワーク探索手法を開発
- 東京臨海部データセットを利用して評価

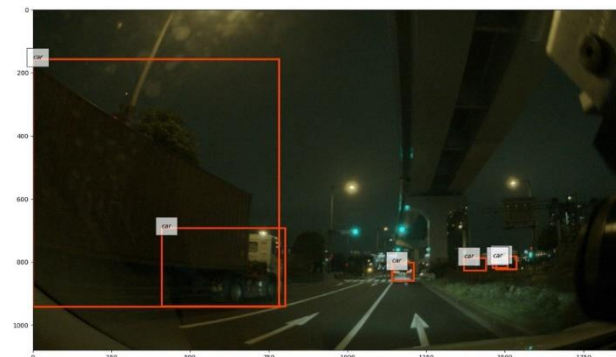
歩行者50m程度： 検知可能

自動車135m程度： 検知可能

各データセットによるサイズごとの精度(AP)

サイズ	0-25	25-35	35-
Cityscapes	0.140	0.228	0.708
BDD100k	0.382	0.355	0.738
SIP(特異環境)	0.550	0.368	0.765
東京臨海部	0.206	0.294	0.627

歩行者50m, 自動車135mは, 35ピクセルに相当



2.研究開発成果

2.2. 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

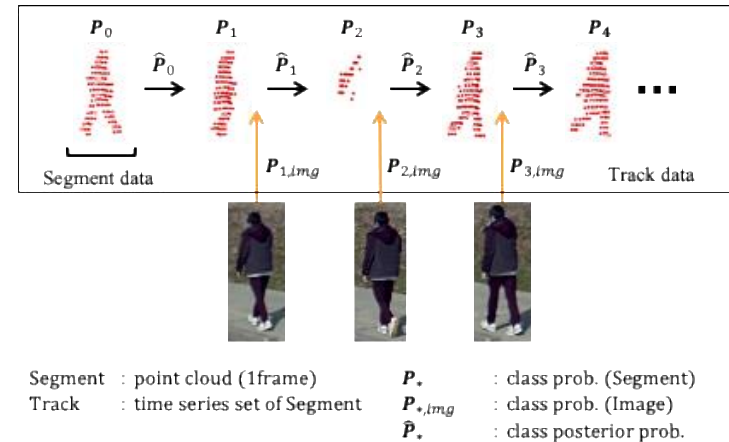
- 観測対象物: 自動車・二輪車・歩行者
 - LiDARによる認識: 物体点群の識別
 - カメラによる認識: 物体矩形枠の検出
 - 時系列追跡でLiDAR/カメラの認識結果を対応付け

■ 遠距離物体の認識性能評価

- 評価データ: 金沢大学構内の直線路で計測
- F値: 96.2%(自動車), 91.8%(二輪車), 90%(歩行者)
 - 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

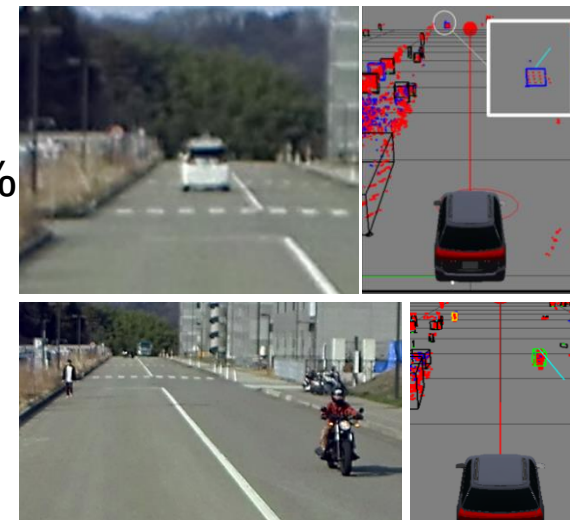
■ 今後の予定

- 200m以内の自動車, 70m以内の歩行者の認識率90%
 - 一般道の走行データに対する性能評価
 - 認識が困難となる対象物の条件のリストアップ



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-140m	20m-100m	20m-110m
Segment	0.810	0.573	0.699
Tracking (LiDAR)	0.962	0.904	0.854
Tracking (LiDAR w/ Image)	0.962	0.918	0.900



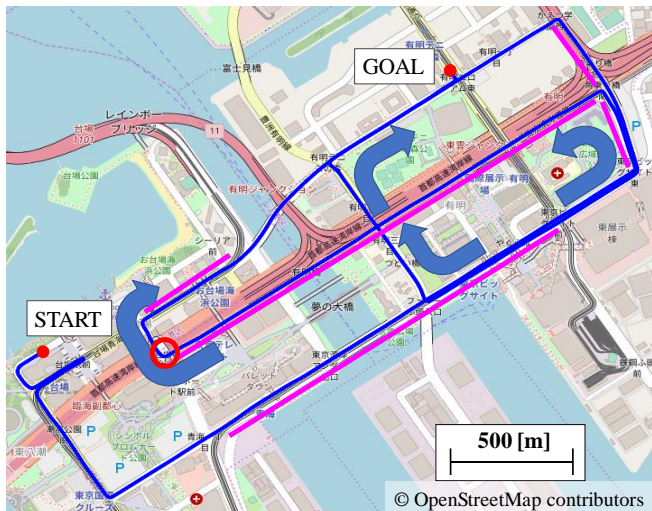
認識結果の様子
(上:自動車, 下: 歩行者, 二輪車)

2.研究開発成果

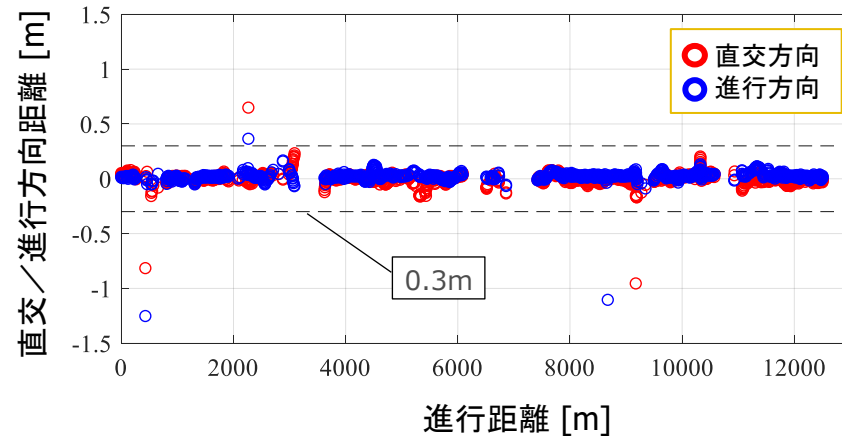
2.3. c.①「GNSS/INSの開発」

目的:高精度(0.3m)なRTK-GNSSの位置／信頼度推定の実現

実施事項:高さ精度の注目による絶対位置の信頼度推定



評価コース:お台場



信頼度が高い(平面0.3m以下)の測位解を
99%の割合で判定

今後の予定:

GNSS生データの選別によるRTKのFIX率の改善

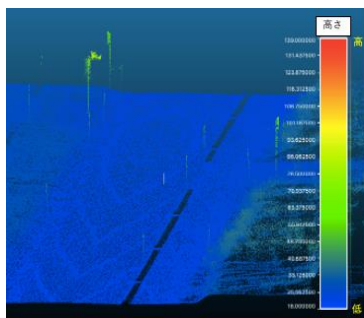
INSの誤差モデル構築による GNSS/INS複合時の信頼度判定の実現

2.研究開発成果

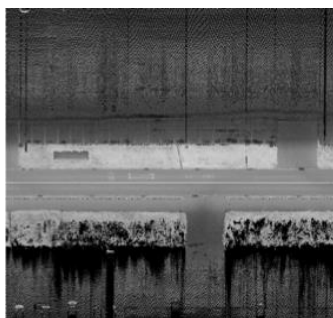
2.3. c.②「マップマッチング技術の開発」

- 複数マップマッチング方式の実装・評価
 - 目標の推定位置精度0.1mの達成
 - 植物の変化による位置推定精度への影響の調査

NDTスキャンマッチング
3次元点群 (立体構造物)



テンプレートマッチング
2次元画像 (路面パターン)



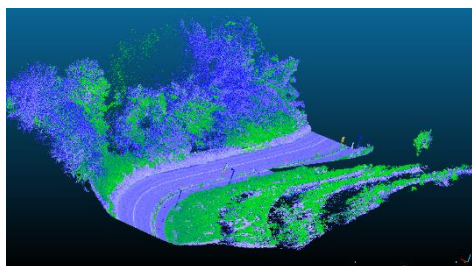
	NDTスキャンマッチング (LiDAR使用点数:3000)	テンプレートマッチング (LiDAR画像 サイズ:48m×48m)
車両縦方向 RMSE [m]	0.082	0.085
車両横方向 RMSE [m]	0.066	0.056
平均マッチング 時間 [ms]	74	36

目標精度0.1mを達成。
リアルタイム処理が可能な計算コスト

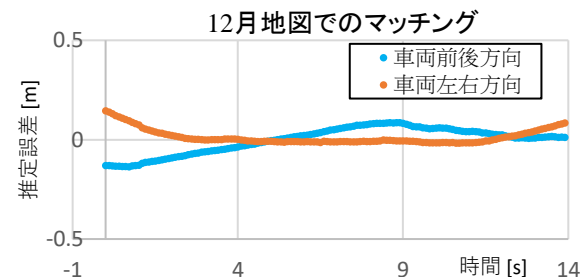
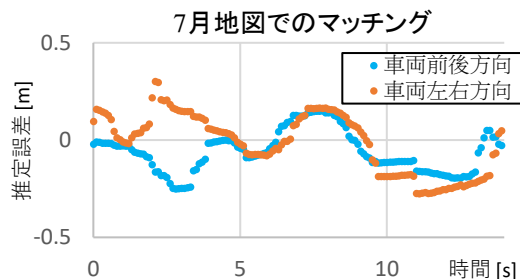
植物の変化によりNDTスキャンマッチングの推定精度へ影響があることを確認。

3月の走行データで検証。

植物の状況が大きく異なる7月の地図を使用した場合、推定精度が不安定。



緑: 7月地図, 青: 12月地図



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」

- 道路上の白線領域を抽出するアルゴリズム
 - a.「信号機認識技術の開発及び認識が困難な条件の検討」で用いるセマンティックセグメンテーションを利用.
- 白線の状態を把握する目安
 - 白線の反射率, コントラスト, かすれ具合の3つの目安を把握する手法の基礎検討を行った.
 - かすれ具合についてはリファレンスとなる手動計測器を作製し, 全国道路標識・標示業協会が定める5段階の目視評価ランクと比較し妥当性を検証.



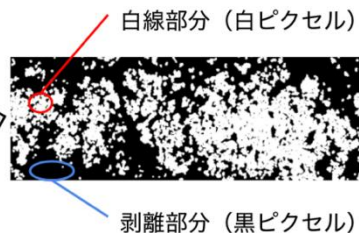
※赤色部分が白線領域



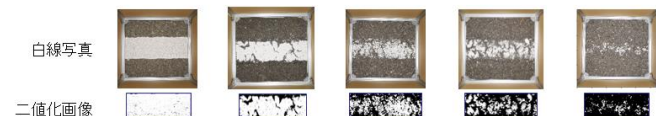
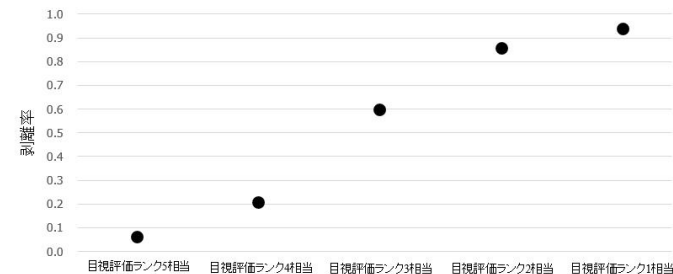
白線撮影



撮影された白線写真



$$\text{剥離率} = \frac{\text{剥離部分ピクセル数}}{\text{全ピクセル数}}$$



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」

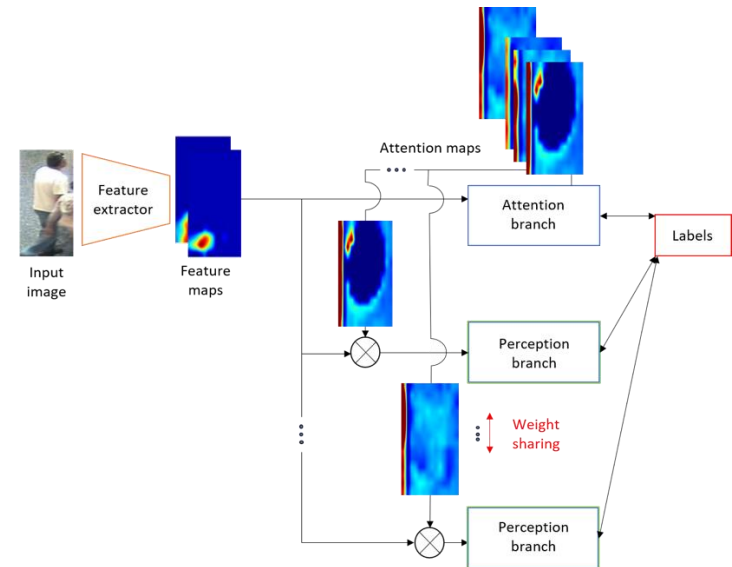
■ 歩行者属性認識アルゴリズムの開発

- 歩行者の行動予測に向けて,
必要な歩行者の性別や年代, カバンの保持などの詳細情報を認識

■ 一般的な歩行者属性認識データベースにおいて, 既存手法を上回る精度を達成

主な属性の認識精度(AP)

Attribute	DeepSAR	DeepMAR	提案手法
Age16-30	82.9	85.8	80.6
Age31-45	79.4	81.8	77.6
Age46-60	83.3	86.3	94.1
AgeAbove61	92.0	94.8	97.3
Backpack	78.8	82.6	76.3
CarryingOther	73.0	77.3	84.1
Male	85.1	89.9	79.2
MessengerBag	77.4	82.0	79.7
average	81.3	82.6	84.6



提案手法の構造

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

■ Extended Object Tracking(EOT)の実装

- 輪郭にBスプライン曲線を使用
- シミュレーションと実データで評価

■ 今後の予定

- 実際の自動運転システムに導入し評価を実施する予定

■ 地図に基づいた移動物体の将来軌道の予測

- 周辺移動車両の走行する経路を全て作成し、確率で表現
 - シミュレーションと実データで評価

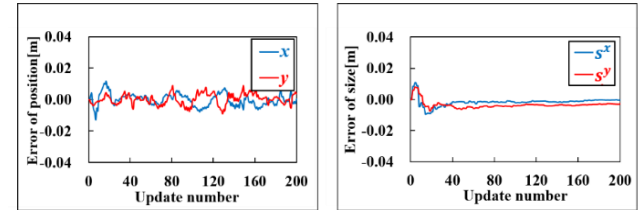
■ 今後の予定

- 提案した手法をより多くの状況下で検証を行う予定

■ 公道走行による総合評価

- 東京臨海部で実証実験
 - 評価期間:3月中旬-3月末
- 7日間平均走行持続距離:2.82km

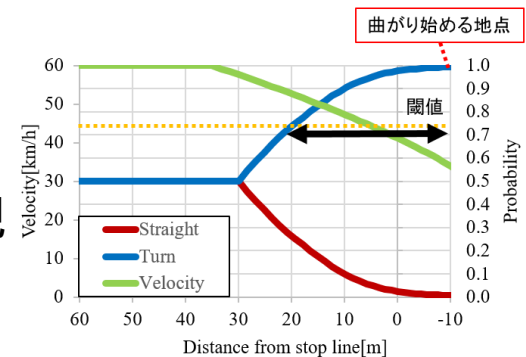
2019年度の目標値である2.5kmを達成



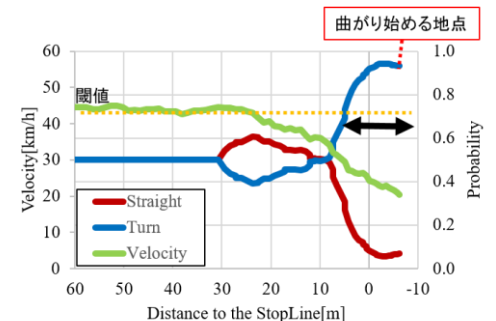
(a) 位置

(b) サイズ

EOTのシミュレーションの結果



シミュレーションの確率の結果



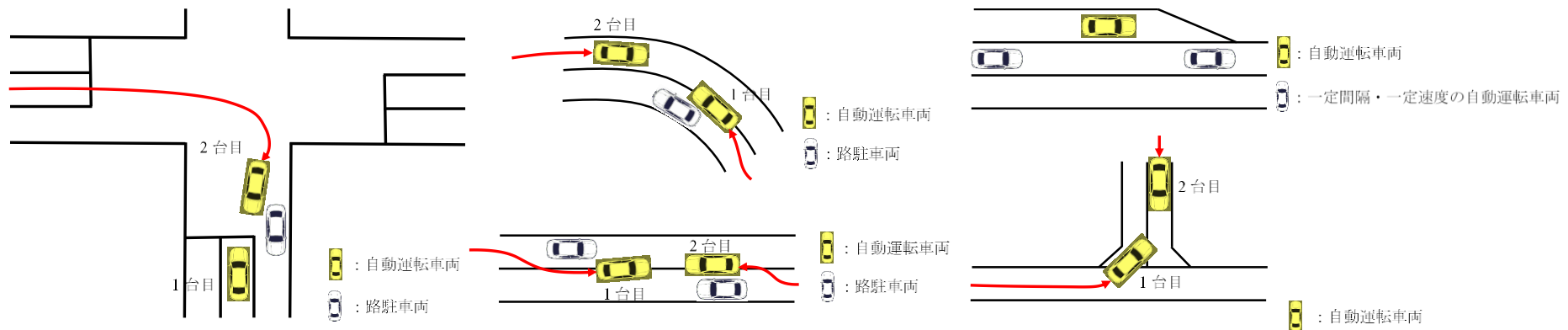
実際の走行データの確率の結果

2.研究開発成果

2.5. 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
 - シミュレーションソフトの開発
 - 複数の自動運転自動車の挙動を再現可能なシミュレーションソフトの開発を行った。
 - デッドロックが発生しやすいシーンの再現
 - 実証実験で遭遇したシーンおよび地形を基に、机上検討を行った。
 - 複数の自動運転自動車をシミュレーションソフト上で走行させ、デッドロックが発生するシーンを確認した。

デッドロックが発生し得る状況



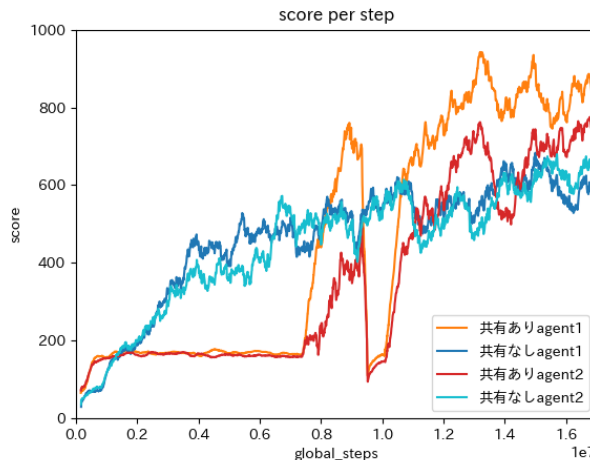
2.研究開発成果

2.5. e.②「人工知能(AI)技術を活用したデッドロック回避」

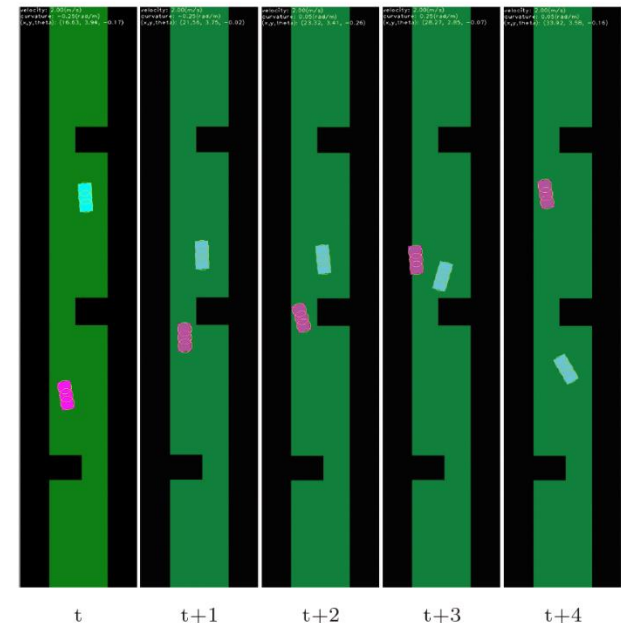
- ルールベースでは回避が困難なデッドロック状態へ対応
 - 実証実験を通じてデッドロックが生じるシーンを調査
 - 走行車線に駐車車両があり, 対向車を避けて走行するシーン
 - 信号待ち時に対向車線に駐車車両があり, 右折車が来た時に相手の走行領域を開けるようなシーン
 - 深層強化学習によるデッドロック回避行動獲得検討

デッドロック回避精度

	回避成功回数
共有なし (従来手法)	3
共有あり (検討手法)	398



学習時の報酬推移



デッドロック回避の様子

2.研究開発成果

2.6. f.「実証実験」

■ 試験車両の構築

■ 2台の試験車両の構築

- マニュアルオーバーライド機能
- センサの搭載

■ 公道実証実験に向けた準備

- 第三者機関による安全性評価など

■ 公道走行実証の開始

- 石川県金沢市(7月29日~)
- 東京都臨海部(9月2日~)

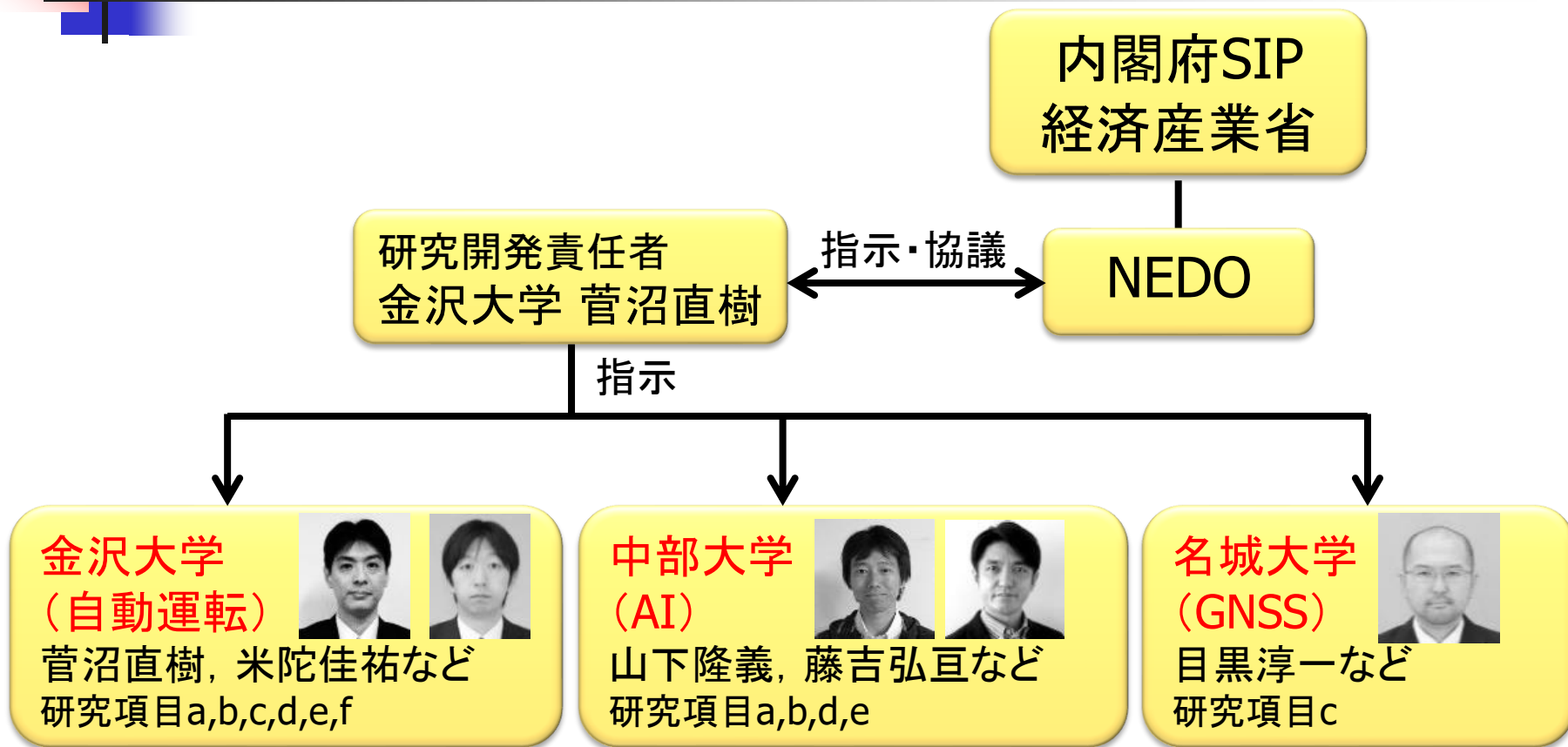
■ 走行実績

- 東京臨海部で67日間の走行実証実施
- 自動運転状態で850.6kmの走行



東京臨海部で自動運転している様子

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」