

「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に関する研究」

2021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

2022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

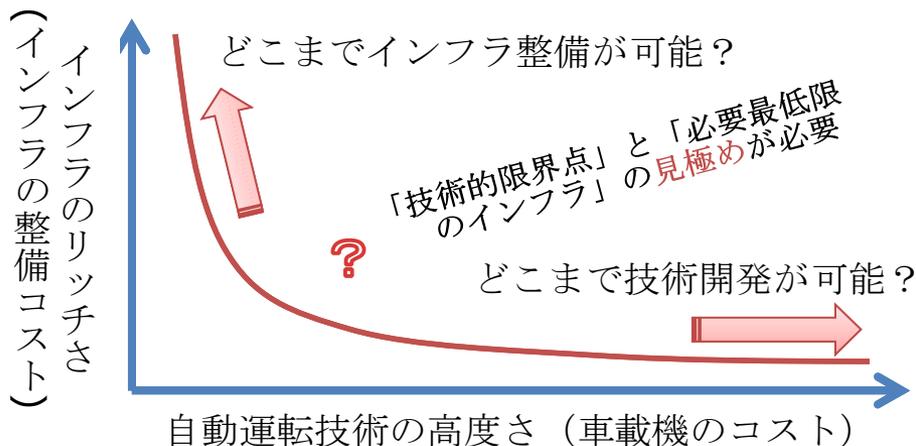
金沢大(自動運転), 中部大(AI), 名城大(GNSS)

大学のオープンな研究体制



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」
 - シミュレータと実証実験結果の比較評価
 - シミュレーション技術を活用した認識技術の改善
- 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
- d.「SAKURA-DIVPと連携したシミュレータおよびシナリオの検証」
 - FOT実証アルゴリズムの仮想空間上でのテスト
- e.「自律型自動車が走行する状態での問題点の検討」
 - 緊急車両認識および緊急車両への対応
- 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

実施項目		FY2021	FY2022
a) 信号機認識技術の開発及び認識が困難な条件の検討	信号機認識技術の開発	点滅信号機を含む信号認識課題の整理	
	V2Iを用いた実証	自律型/V2I/V2Nの実証および比較評価	
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	DIVP Prj.連携	シミュレーションを活用した認識技術の高度化	
		シミュレーションを活用した認識技術の安全性評価	
c) 高精度自己位置技術の開発	みちびきの利用可能性向上	INS誤差モデル化(シミュレーション用)	
		シミュレーションを活用したマップマッチング/みちびき有効性評価	
d) SAKURA-DIVPと連携したシミュレータおよびシナリオの検証	市街地における行動予測とパースプランニング技術の開発	シミュレーションを活用した高度化	
	SAKURA/DIVP Prj.連携	シミュレーションを用いたテスト環境構築	シナリオカバレッジ検証・改善
e) 自律型自動運転車の走行時における問題点の検討	デッドロック検討	緊急車両情報等 (V2N)の有効性検討	
		緊急車両の自律型認識技術の構築	シミュレーションを活用した高度化
f) 実証実験	V2Iを用いた実証	V2Nを用いた実証	シミュレータへの交通環境再現
	一般道走行実証データ収集とデータセット提供		

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」
 - フリック抑制+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, 点滅信号など)
 - 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)

2021年度: 点滅信号の認識アルゴリズムの検討・性能評価, 及びV2N通信による先読み情報の取得環境の構築

- 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, 点滅信号など

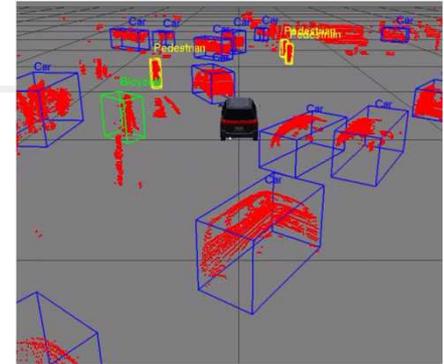
2021年度: 点滅信号データセットの構築と点滅信号の距離別検出・状態識別性能を評価

- 2021年度目標: 点滅信号のデータセットの構築及び認識アルゴリズムの開発



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」



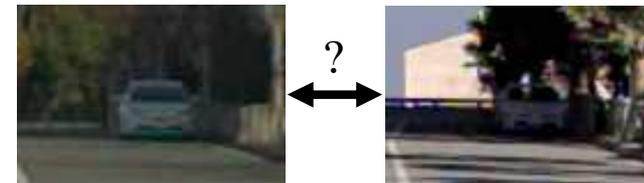
■ 研究開発の必要性

- 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
- 再現性のある評価を行うためにはシミュレーション環境の活用が重要
 - 実環境とシミュレーション環境では検知精度に差が生じる

■ 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」

- 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
- シミュレーション環境の活用に向けて, 実環境との一致性を調査



2021年度: 車両検出における実環境とシミュレーション環境の差異を調査

■ 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, カメラ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
- シミュレーション環境の活用に向けて, 実環境との一致性を調査

2021年度: 車両検出におけるLiDARデータのシミュレーション環境の構築, 及び認識結果の一致性評価

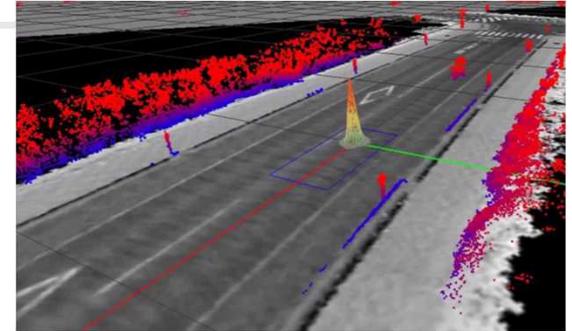
- 2021年度目標: 実環境とシミュレーション環境の相違点を明らかにする

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

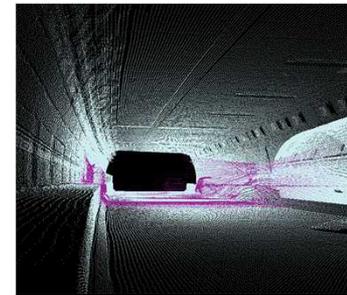
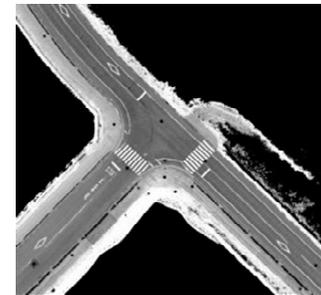
- ①「GNSS/INSの開発」
 - 車載グレードGNSS/INSによるレーンレベル位置推定(1.5m精度)のロバスト化
 - 車載グレードGNSS/INSによるRTK-GNSS(0.3m精度)の信頼度推定
 - 準天頂衛星「みちびき」の活用

2021年度: Dead reckoningの誤差要因解析および精度改善

- 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

2021年度: 高精度GNSS/INSを用いた降雨条件下における位置推定手法の開発



1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

d.「SAKURA-DIVPと連携したシミュレータおよびシナリオの検証」



■ 研究開発の必要性

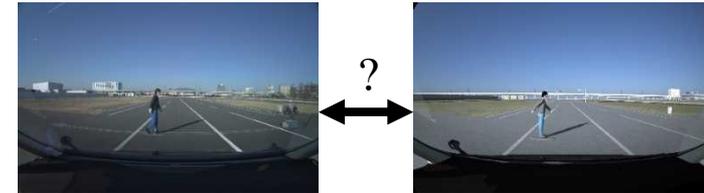
- 都市部の市街地での自動運転自動車
 - 高速移動物体(自動車, バイク等) + 低速移動物体(歩行者や自転車等)
- スムーズかつ安全な走行
 - 移動物体の将来予測軌道の考慮: 速度ベクトルのみでは不十分(低速物体)
 - 交通量が多く多数の車に囲まれる状況: 狭いスペースのスムーズな走行
- 再現性のある評価を行うためにはシミュレーション環境の活用が重要
 - 実環境とシミュレーション環境で精度が一致する必要がある

■ 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
 - シミュレーション環境の活用に向けて, 実環境との一致性を調査

2021年度: 歩行者検出について実環境とシミュレーション環境の差異を調査
- 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)

2021年度: シミュレーション環境の活用に向けた環境構築及び課題となる不調シーンの再現
- 2021年度目標: 実環境で認識不調となるシーンを対象としたシミュレーション環境の構築



1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

e.「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
 - 緊急車両接近時

■ 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

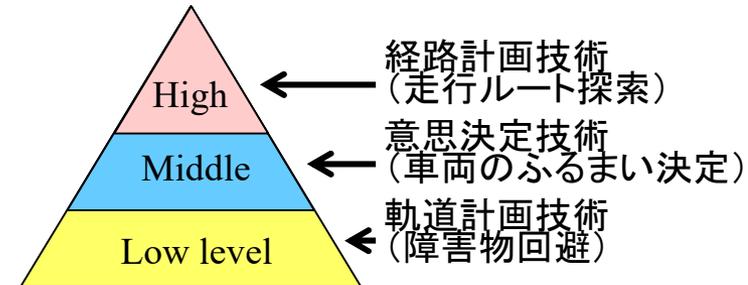
2021年度: 緊急車両の認識アルゴリズムの開発・デッドロックシーンの検討及びV2X通信装置を用いた接近情報の取得

■ 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
- 緊急車両を検知し, デッドロック回避に反映

2021年度: 緊急車両の認識アルゴリズムを開発

■ 2021年度目標: 緊急車両の認識アルゴリズムの検討



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
 - LiDAR, ミリ波レーダ, カメラ, GNSS/INS, V2X受信機等

2021年度：V2Nインフラを用いた公道走行実証の開始
および試乗機会の提供等による成果発信

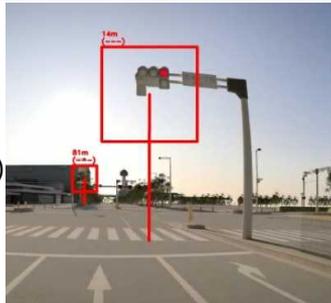
2.研究開発成果

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」

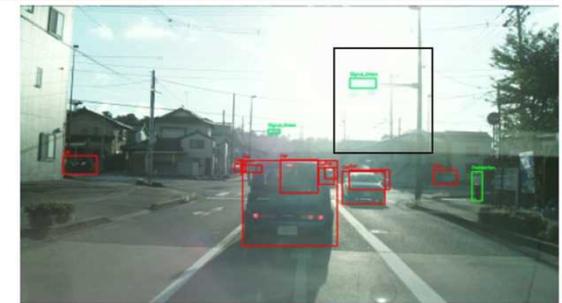
- 点滅信号の認識アルゴリズムの検討・性能評価
 - 昨年度までに開発済みの点灯状態の認識結果を活用して点滅周期を算出
 - 通常的环境下において97%程度で点滅状態を判別可能
 - 逆光やランプ式信号の順光時では視認性が悪化して認識性能が低下
- 仮想環境を活用した信号機認識の一致性検証
 - 基本的な天候シーンにおける一致性のほか大雨等のレアシーン時の影響を検証
- 交差点進入時の悪条件シーンの走行画像データセット提供

	通常点滅信号			逆光点滅信号			順光点滅信号		
	Prec.	Recall	F-value	Prec.	Recall	F-value	Prec.	Recall	F-value
点灯状態(個別単位)	0.946	0.933	0.936	0.874	0.791	0.800	0.777	0.598	0.520
点灯状態(交差点単位)	0.958	0.939	0.946	0.915	0.859	0.874	0.777	0.581	0.495
点滅状態(個別単位)	0.965	0.987	0.976	0.976	0.551	0.705	1.000	0.276	0.432
点滅状態(交差点単位)	0.962	0.992	0.977	0.975	0.686	0.805	1.000	0.308	0.471

仮想環境で生成した
画像による信号認識の
一致性検証
左:通常天候(生成画像)
右:大雨時(生成画像)



走行画像
データセット
の様子:
AD-URBAN
Open Image
Dataset v1.0



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」

- 点滅信号のデータセットを構築
 - 金沢市街を走行してデータを収集し、アノテーションを実施
 - 55シーン,108基の信号機で構成(うち63基が点滅信号, 画像枚数13420枚)
- 点滅信号の距離別検出・状態識別性能を評価
 - 背景が信号機と見分けが付きにくい(背景変化(森→空))の場合, 無灯火時の検出可能距離が67mと短い
 - 地図情報を用いた方が地図情報なし(信号機の追跡を利用)の場合よりも点滅信号の識別精度が高い

検出可能距離[m]

信号機の状態識別精度[%]

シーン	検出可能距離[m]			信号機の状態識別精度[%]		
	最遠距離	検出可能距離 (灯火)	検出可能距離 (無灯火)	状態	地図情報なし	地図情報あり
背景均一(建物または空)	142	137	117	青信号	100	100
背景変化(森→空)	123	107	67	赤信号	100	100
背景変化(建物→空)	138	133	102	点滅信号	57.1	60.3
背景変化(標識→空)	136	129	112			

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」

- 実環境とシミュレーション環境の車両検出に対する一致性検証
 - 公開データセット:遠方の物体を過剰に検出=> 物体の輪郭がはっきりしている
 - DIVPシミュレータ:実環境と同様の検出傾向 => 輪郭に偽色が発生
- 実環境とシミュレーション環境の相違点
 - 影の表現方法に差異が発生

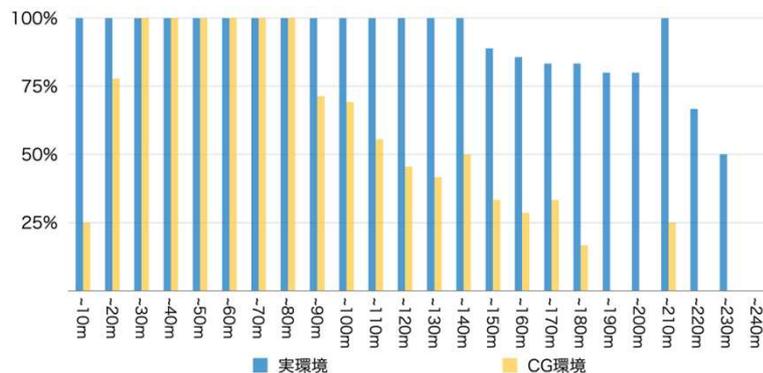


実環境データ

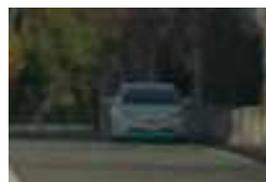


シミュレーションデータ

公開データセット(KITTI)での検出例



実環境とDIVPシミュレータの距離別検出率



実環境



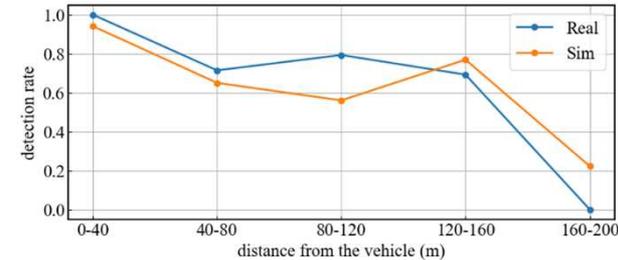
シミュレーション環境

影の表現に差異があるシーン

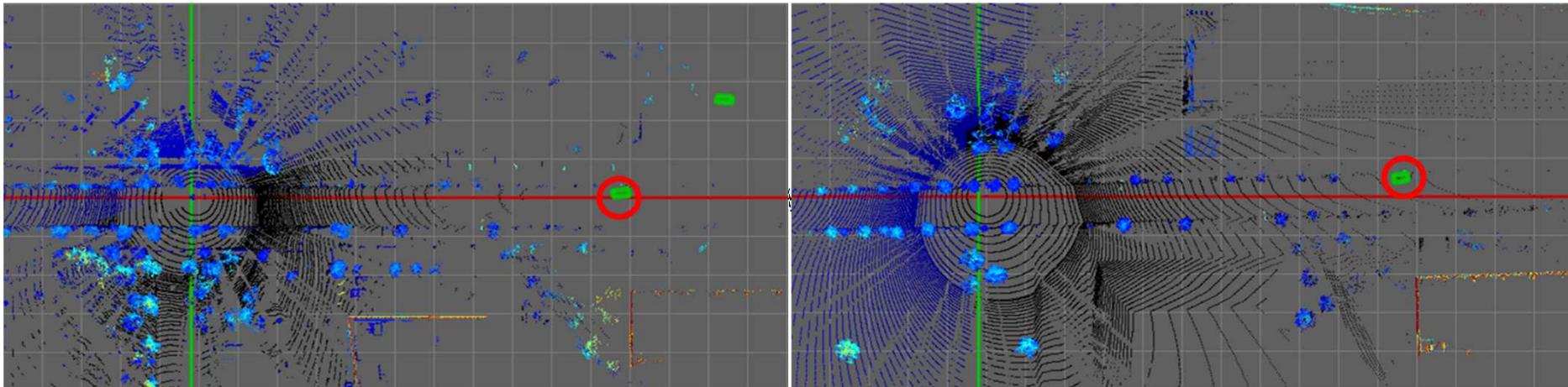
2.研究開発成果

2.2. b.②「LiDARおよびミリ波レーダに基づく遠方物体認識」

- センサフュージョンによる交通参加者の認識
 - LiDARやカメラの認識結果を統合した方法をこれまでに検討
 - 道路構造物や周辺物体による隠れ、天候などの条件によって認識が困難となる
 - シミュレーションを活用した認識技術の高度化を目指す
- 仮想環境と連携した環境構築・物体認識の一致性評価
 - 評価対象車両を配置した実走行データを計測
 - 実走行と対応したシミュレーションシナリオを構築してLiDARの仮想データを生成
 - 対象物の距離に対して概ね同程度の検出率を確認



LiDARの遠距離物体認識における一致性評価結果

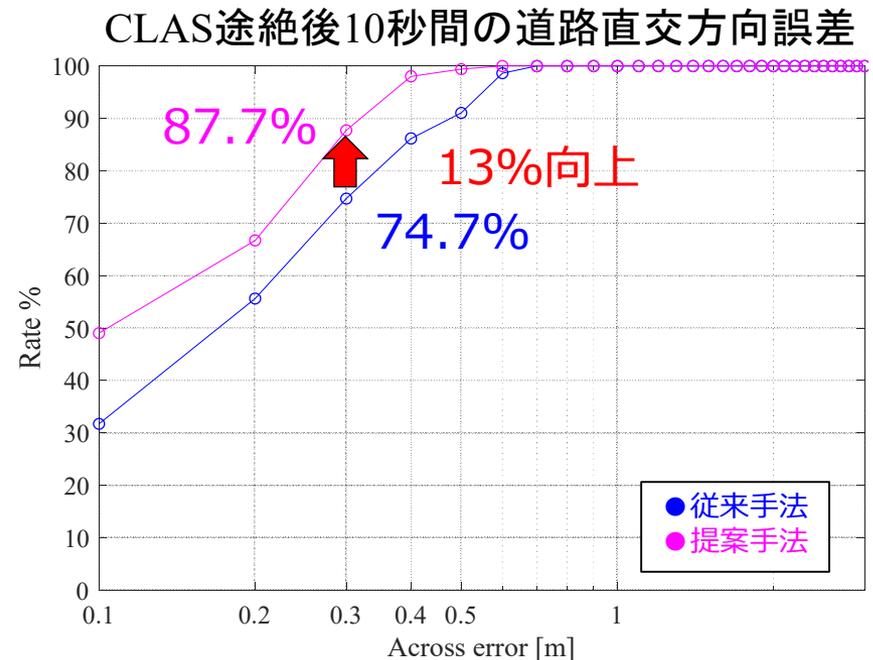
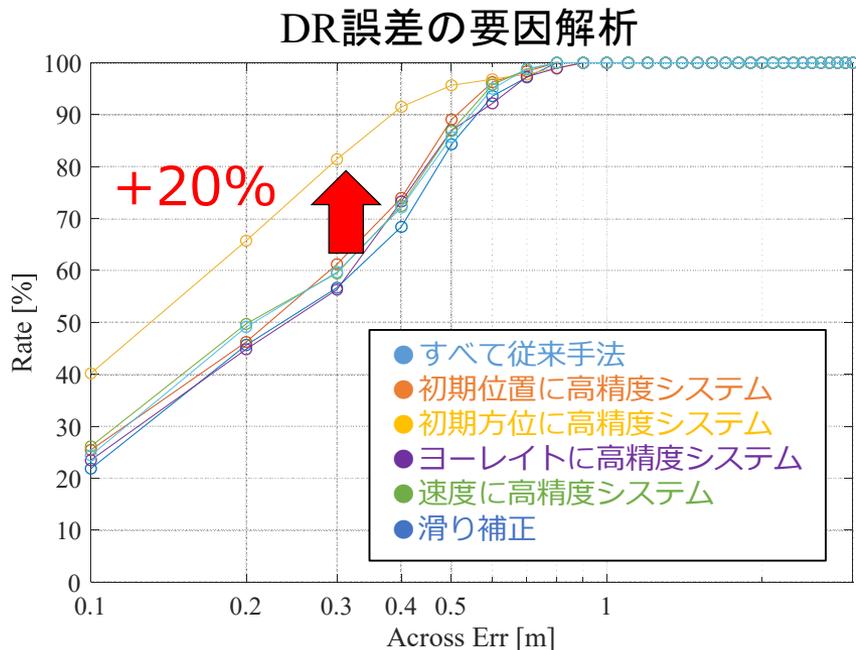


13 物体検出例(対象までの距離:約110m, 赤丸:認識対象, 緑矩形:検出結果, 左図:実データ, 右図:仮想データ)

2. 研究開発成果

2.3. c.①「GNSS/INSの開発」

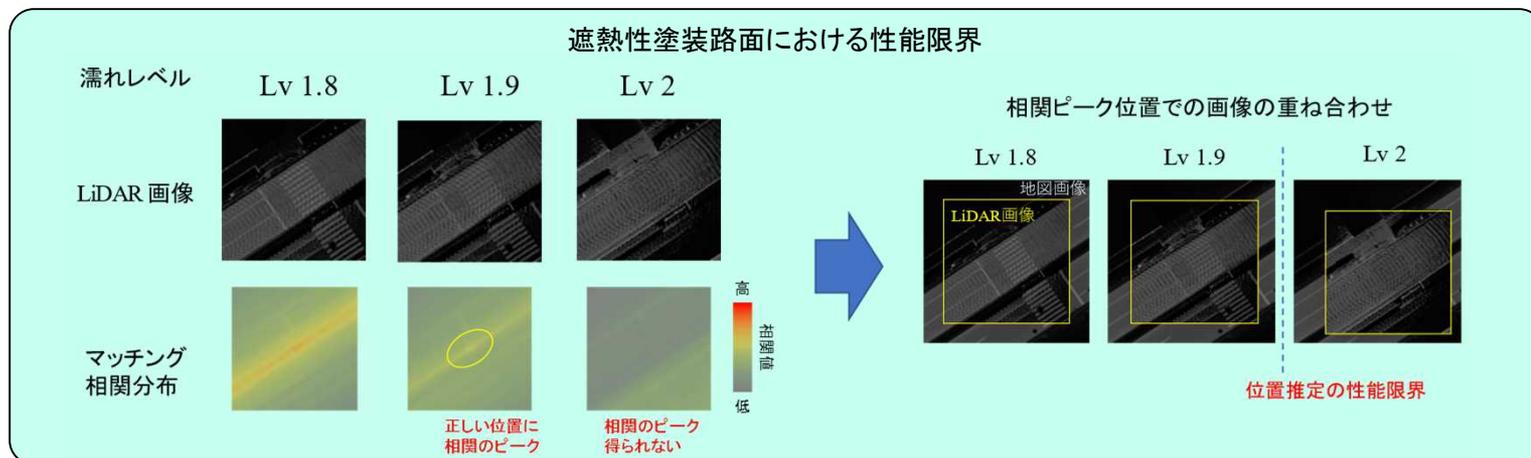
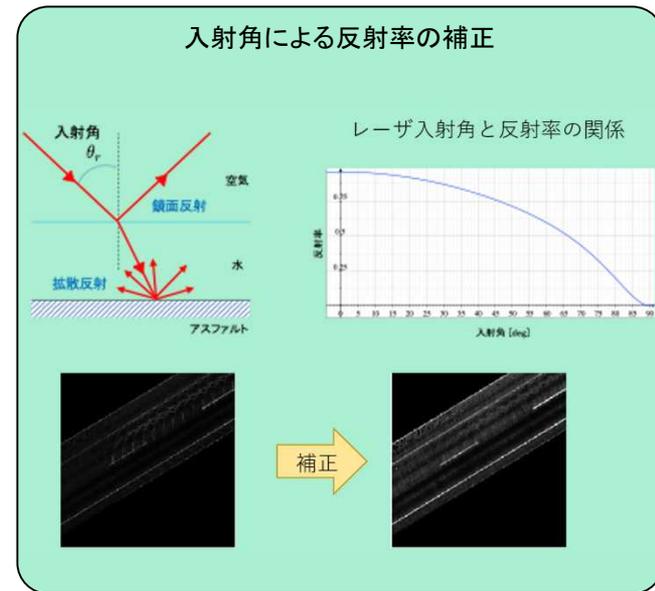
- CLAS受信途絶後10秒間の位置精度0.3mの達成, 及びその条件を検討
- デッドレコニングの誤差要因解析／高精度化
 - 従来技術を活用したデッドレコニング誤差とその要因解析を実施
- 方位角誤差に注目し, FIX解を活用した方位角とデッドレコニング誤差を改善する手法を提案
 - 方位角精度の改善により, 2021年度の目標値(30cm/70%)の達成を確認



2. 研究開発成果

2.3. c.② 「マップマッチング技術の開発」

- 降雨時における自己位置推定精度の向上
 - 対策: 入射角による赤外線反射率の補正や画像のコントラスト補正
→ 自己位置推定の**目標精度 0.1m**を達成
- DIVP連携による自己位置推定の性能限界調査
 - シミュレーションによるセンサ不調シーンの再現.
 - 路面材質(アスファルト/遮熱性塗装), 路面の濡れレベル
 - マッチング結果(相関分布), 位置推定結果の比較により性能限界の評価が可能であることを確認.
 - 実走行データとの相違点: 実データでは反射率の低下にばらつきあり.
 - より詳細な検証にはシミュレーションでの再現が必要.



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」

- 実環境とシミュレーション環境における歩行者検出精度の一致性検証
 - シミュレータで再現する諸条件を変更して差異の原因を調査
 - 諸条件: 天空光(太陽光の影響), 鏡面反射成分(物体の反射率), アセット(物体の分解能およびテクスチャ付与), 背景の複雑さ, 自車両の内装のトリミング
 - アセットの分解能およびテクスチャの付与が一致性に大きく影響

諸条件	影響	
鏡面反射成分	小	
アセット	大	分解能が高い方が高精度
テクスチャ	大	テクスチャを付与することで実環境と同程度の精度
背景の複雑さ	中	建物を配置することで実環境と同程度の精度
内装のトリミング	中	検出率が大きく向上(歩行者サイズが大きくなるため)



実環境



シミュレーション環境(高分解能のアセット)



シミュレーション環境(テクスチャ付与)

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」

- DIVP (Driving Intelligence Validation Platform) との連携
 - SIP「仮想空間での安全性評価環境の構築」事業
 - 様々な交通環境下での自動運転の安全性評価を可能とするシミュレーションツールを開発
- これまでの連携活動
 - 実環境とシミュレーションによる認識の差異を評価
 - LiDAR/Camera等の実証実験での認識不調シーンの共有(継続)
 - 仮想環境の再現性についての評価
- 認識技術の評価・改善に関する取り組み
 - 実証実験を通して得られた認識不調シーンを再現し課題改善を図る
 - カメラによる認識
 - 信号認識
 - 物体認識
 - LiDARによる認識
 - 物体認識
 - 自己位置推定

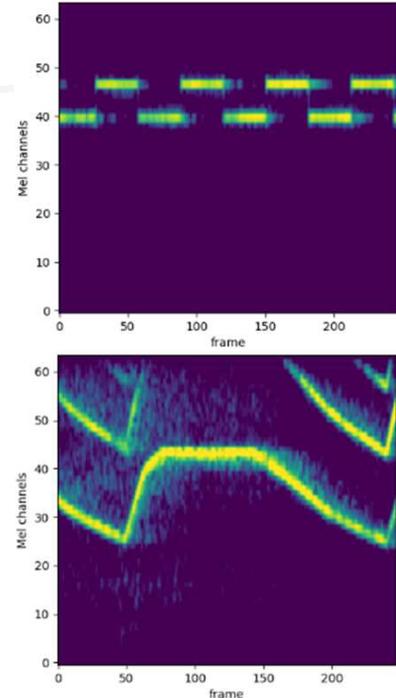


シミュレーションによる不調シーンの再現例
ビルの反射光による間接的な逆光による信号認識不調シーン
(左図:実走行画像, 右図:シミュレーション画像)

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」

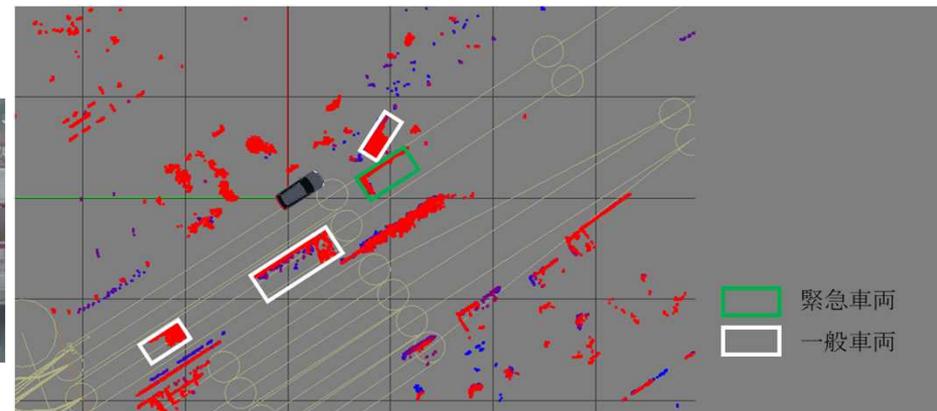
- 交通環境におけるデッドロックが発生する状況例
 - (昨年度検討)交通ルールに曖昧な一般車両の存在によるデッドロック
 - 緊急車両遭遇時の回避走行
- 緊急車両の認識アルゴリズムの検討
 - 遠距離:V2I通信による緊急車両の接近情報取得
 - 中距離:サイレン音による接近車両の認識
 - 近距離:画像・測距センサによる接近車両の認識
- 車載マイクを利用したサイレン音の認識
 - センサ設置・走行データの計測
 - 機械学習によるサイレン音の識別アルゴリズムの開発
- 実走行データに基づくデッドロックシナリオの検討



緊急車両サイレン音の特徴量例
(上図:救急車, 下図:パトカー)



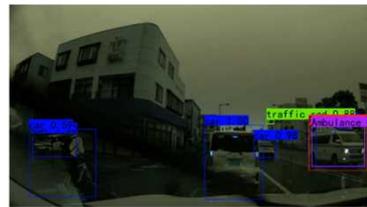
東京臨海部における
実証実験で遭遇した緊急車両の走行シーン



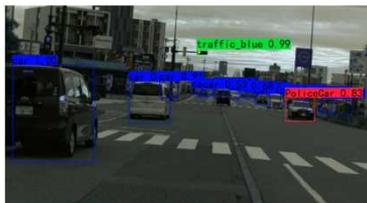
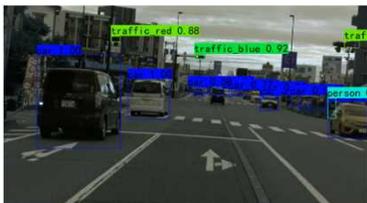
2.研究開発成果

2.5. e.②「人工知能(AI)技術を活用したデッドロック回避」

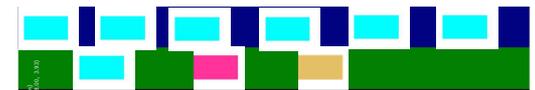
- 緊急車両のデータセット構築
 - 金沢市街にて緊急車両が写るシーンを収集, アノテーションを実施
 - 9シーン, 2958枚(うち253枚が緊急車両画像)
- 緊急車両の検出
 - ランプが点灯していることを特徴として, 緊急車両を検出
- シミュレーション環境の構築
 - 渋滞シーンにおいて, 緊急車両の走行を妨げない経路計画を行うシーンを再現



救急車の検出例



パトカーの検出例



- 緊急車両
- 自車両
- 他車両

渋滞シーンを再現したシミュレーション環境

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
- 東京臨海部
 - お台場エリア
 - 羽田エリア

■ V2N実証実験の開始

■ 社会受容性の向上

- メディア向け試乗会(2021年4月)
 - 車両展示, 試乗機会の提供

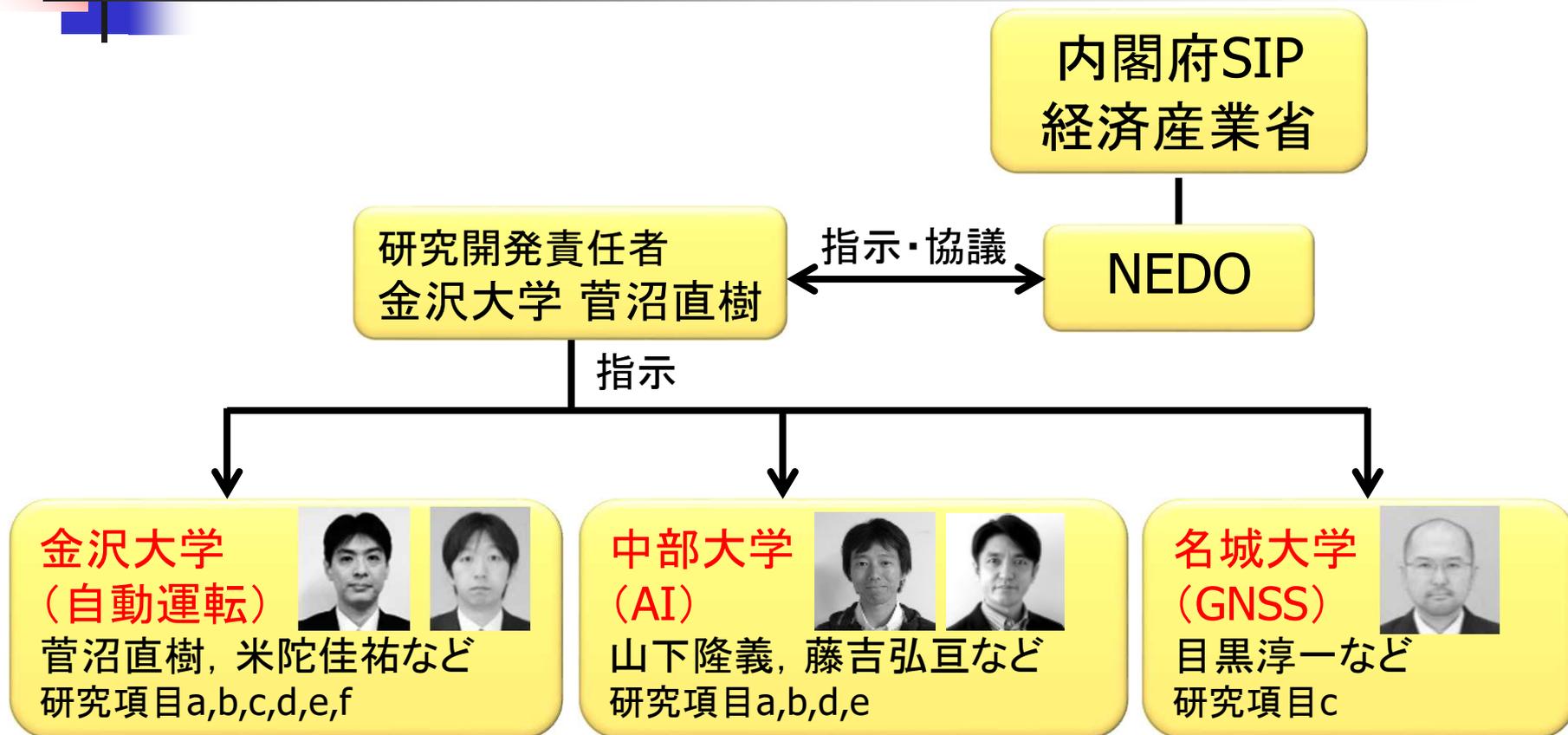
■ 走行実績

- 東京臨海部で61日間の走行実証実施
- 自動運転状態で1,075.4kmの走行



メディア向け試乗会

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.「SAKURA-DIVPと連携したシミュレータおよびシナリオの検証」
- e.「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」

本報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が管理法人を務め、内閣府が実施した「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)」(NEDO管理番号：JPNP18012)の成果をまとめたものです。