

「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)」のうち「自動運転技術(レベル3、4)に必要な認識技術等の研究」



＜金沢大学, 中部大学, 名城大学＞

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

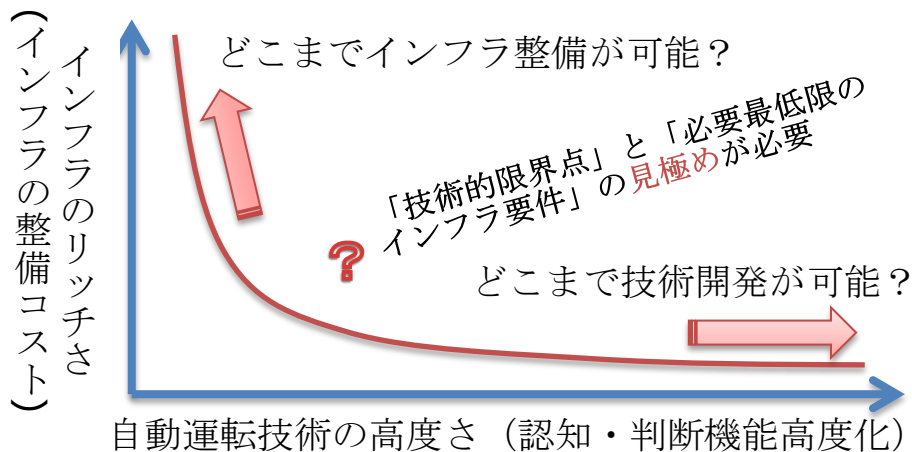
金沢大(自動運転), 中部大(AI), 名城大(GNSS)

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の要件と
認知判断技術の要件の見極め

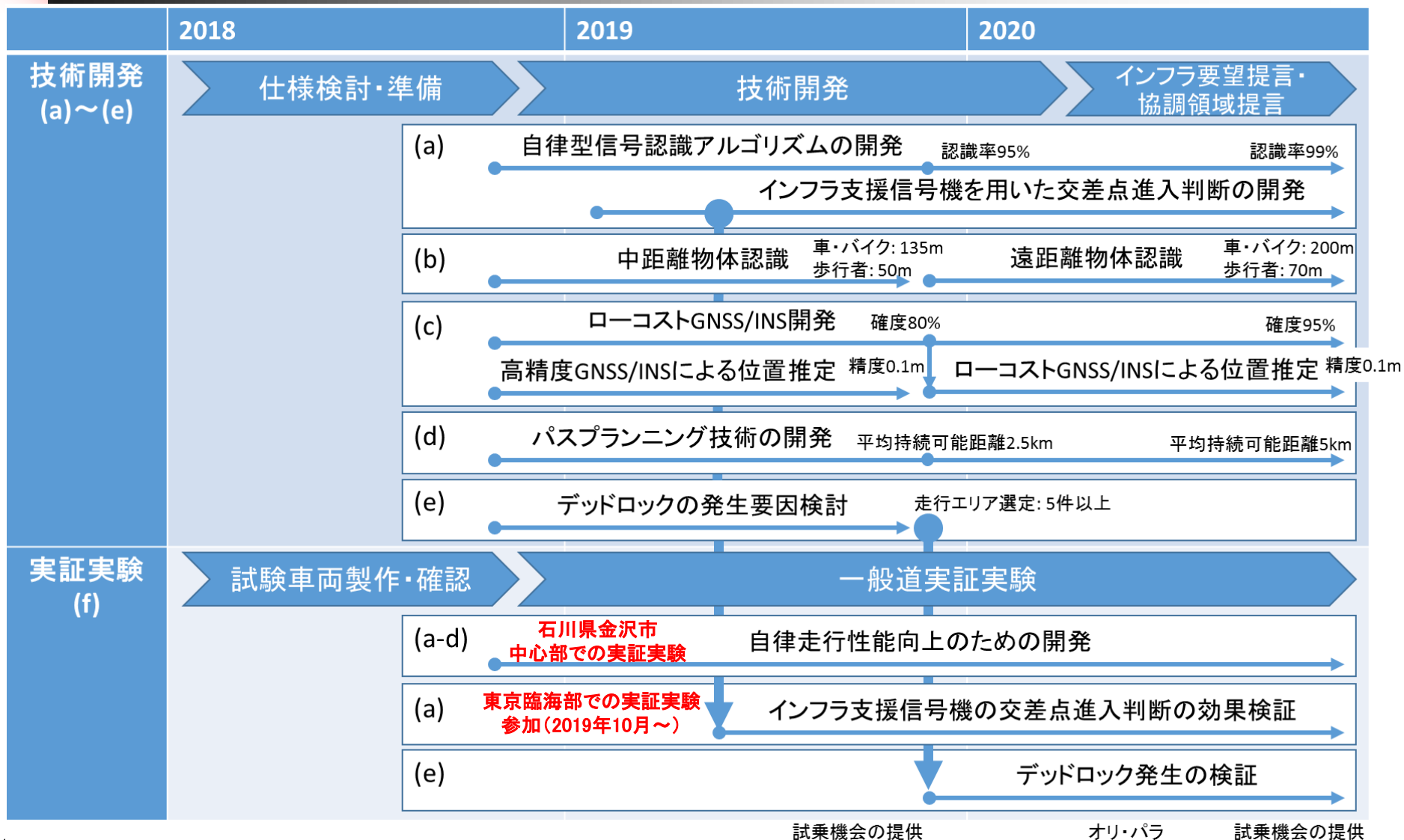


1.1. 研究開発項目



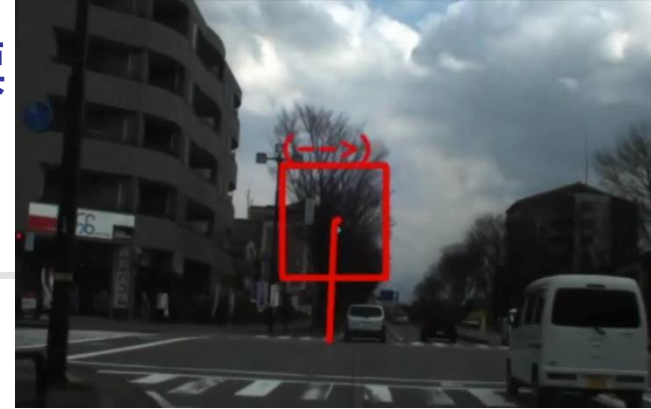
- a. 「信号機認識技術の開発及び認識が困難な条件の検討」
 - 通信設備を有した信号機(東京臨海地部)の活用
- b. 「遠距離の物体を検知するために必要となるAI技術の開発」
 - 市街地走行に必要な遠距離物体の認識技術
- c. 「高精度自己位置技術の開発」
 - 準天頂衛星「みちびき」とマップマッチング技術の活用
- d. 「交通参加者の行動予測推定とそれに基づくパスプランニング技術の開発」
 - 交通量の多い都心部の走行を可能とする自動運転技術
- e. 「複数自律型自動車が走行する状態での問題点の検討」
 - 自動運転自動車の身動きが取れなくなる「デッドロック」問題の検討
- f.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

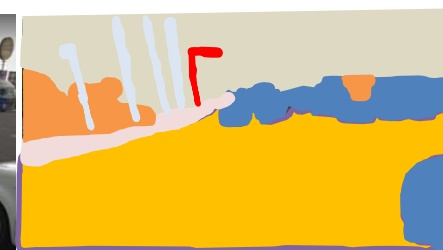
■ 研究開発の具体的な内容

- 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侵入判断アルゴリズム(東京臨海部での実証)

2018年度: カメラの仕様検討

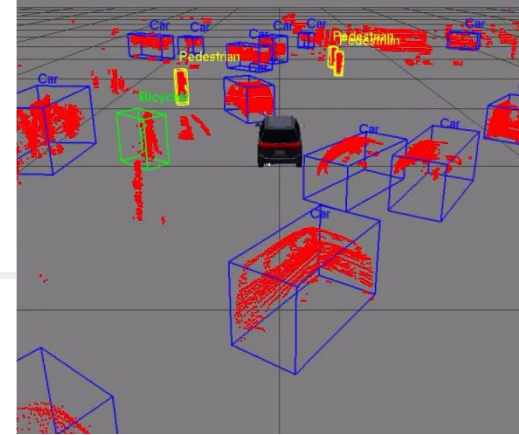
- ②「セマンティックセグメンテーションによる信号認識アルゴリズムの開発」
 - パターン認識で困難な条件のAI(DNN)による解決
 - 劣化したランプ式信号, 信号機の部分的隠蔽など

2018年度: 複数のセマンティックセグメンテーション手法の評価



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」

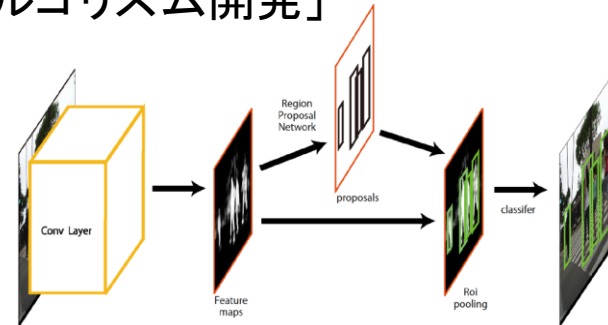


- 研究開発の必要性
 - 市街地での安全かつスムーズな自動運転
 - 車両周辺の自動車, 二輪車, 歩行者等の確実な検知
 - 市街地では遠方に存在する移動物体の早期検知が必要
 - 交差点における対向車両検知や, 横断歩行者の検出等

■ 研究開発の具体的な内容

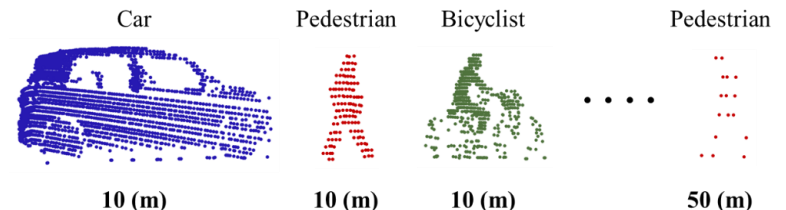
- ①「遠距離向け車載カメラの選定・検知アルゴリズム開発」
 - 遠距離物体検知に適切なカメラの選定
 - AI(DNN)に基づく遠距離物体検知
 - 小物体の誤検出抑制, ぼけ対策

2018年度:遠距離物体検知に適したカメラの仕様検討



- 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

2018年度:最新型LiDARの性能(観測距離)評価

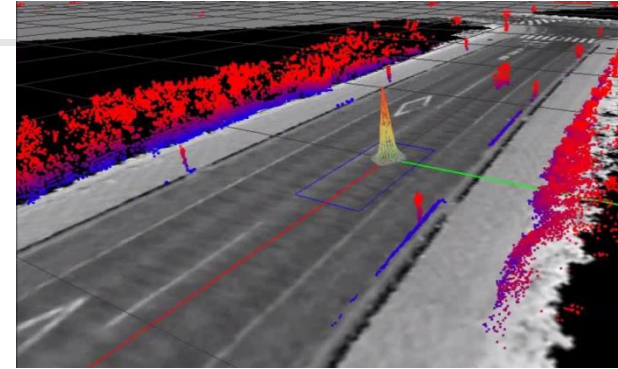


1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

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



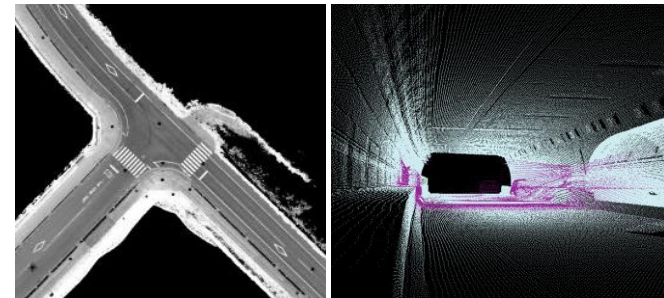
■ 研究開発の具体的な内容

- 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

2018年度:従来技術の整理,
都市部での精度評価

- 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
- 2018年度:複数のマップマッチング手法の調査



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

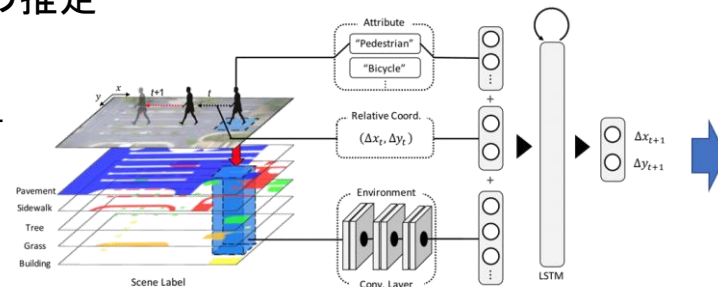
- 都市部の市街地での自動運転自動車
 - 高速移動物体(自動車, バイク等) + 低速移動物体(歩行者や自転車等)
- スムーズかつ安全な走行
 - 移動物体の将来予測軌道の考慮: 速度ベクトルのみでは不十分(低速物体)
 - 交通量が多く多数の車に囲まれる状況: 狭いスペースのスムーズな走行

■ 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

2018年度: アルゴリズム開発用データの収集



■ 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)

2018年度: 走行エリア・条件のピックアップ, アルゴリズムの基礎設計

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

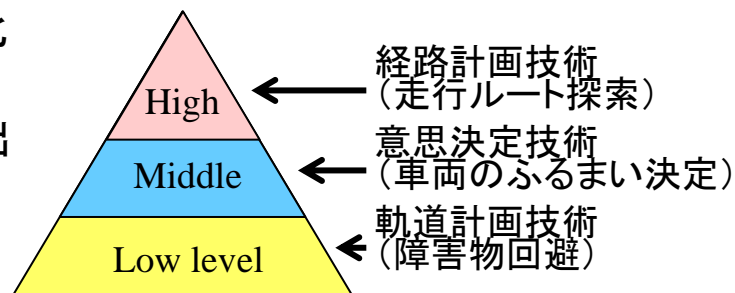
- 将来の市街地⇒複数の自動運転自動車が混在して走行
- デッドロック問題(互いに譲り合う運転行動)
 - 車々間通信装置を有しない自律型の自動運転車両同士の遭遇
 - 信号なし交差点, 商業施設の出入り口, 幹線道路への合流等の例

■ 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」

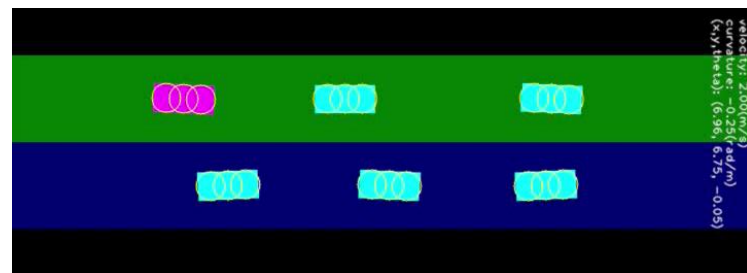
- デッドロックパターン(交通シーン)のモデル化
- デッドロック回避軌道の生成
- シミュレーションソフトに基づく課題シーン抽出

2018年度:意思決定・軌道計画
技術の方式調査



■ 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



1.2.研究テーマごとの開発内容と目標

f.「実証実験」



- 試験車両の構築について
 - 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等の搭載
- 安全対策について
 - 警察庁ガイドラインへの準拠
 - 独自の追加安全対策(金沢大学の既存知見の活用)
 - ①テストコースでの事前検証
 - ②国交省運輸支局による構造変更検査受検
 - ③テストドライバの要件,
 - ④緊急連絡体制,
 - ⑤保険
- 第三者認証について
 - 日本自動車研究所(JARI)事前テストサービスを活用

2018年度:2台の試験車両の構築の準備

2. 研究開発成果

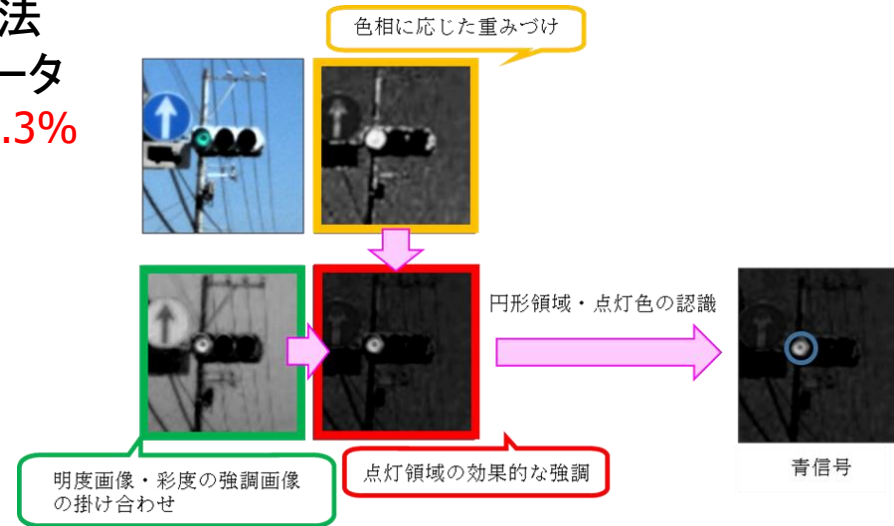
2.1. a. ①「パターン認識による信号認識と交差点進入判断アルゴリズム」

■ デジタル地図を活用した信号機認識アルゴリズムの基礎検討

- パターン認識による信号灯火の認識手法
- 事前評価: 石川県金沢市・珠洲市のデータ
 - 認識率(F値): 信号灯94.6%, 矢印灯57.3%

■ 悪天候下での信号機画像評価

- 視認性が低下する条件: 逆光・雨・霧
 - 非HDR・HDRカメラによる認識率を評価
- HDRカメラによって逆光時に加えて雨・霧天候時の性能改善に貢献可能

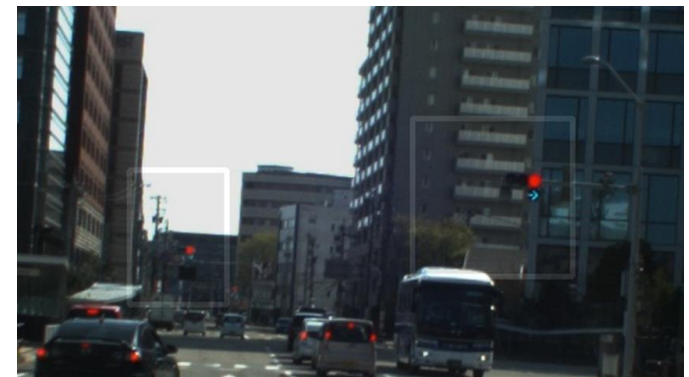


■ 今後の予定

- 遠方矢印灯の性能改善(70m~120mの範囲)
- インフラ支援型信号機との連携

車載用HDRカメラの活用による認識率(F値)の評価

	非HDRカメラ	HDRカメラ
全データ	0.882	0.928
通常天候	0.982	0.999
逆光	0.796	0.936
雨(降雨量30mm/h)	0.927	0.950
霧(視程80m)	0.789	0.790



石川県金沢市の画像例(白枠が認識信号機)

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」

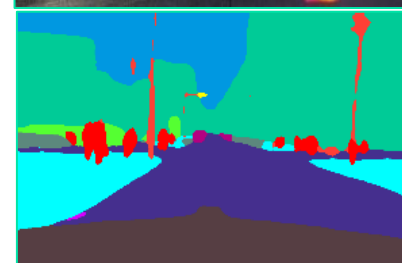
- 従来のセマンティックセグメンテーション手法を評価
 - PSPNet (2017年ISLVRRCのセグメンテーションで優勝した手法)
 - DeepLabV3+(2018年時点でトップレベルの性能を達成している手法)
 - MNet(2016年Cityscapesデータセットで3位を達成した手法, 中部大)
- AIエッジコンテスト データセットを利用
- PSPNetがもっとも精度が高い

各手法の精度(IoU)

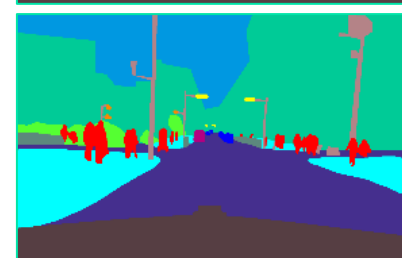
	PSPNet (Dilated ResNet50)		DeepLabV3+ (ResNet101)		MNet	
	検証データ	学習データ	検証データ	学習データ	検証データ	学習データ
平均精度	0.638	0.744	0.573	0.587	0.394	0.459
Car	0.675	0.807	0.611	0.638	0.452	0.553
Lane	0.918	0.967	0.842	0.85	0.552	0.565
Pedestrian	0.328	0.445	0.3	0.301	0.27	0.347
Signal	0.212	0.257	0.166	0.164	0.176	0.23



入力画像



予測画像



正解画像

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」

- 遠距離の物体(歩行者70m, 自動車200m)に向けて, カメラを評価

1) FLIR GS3-U3-123S6C-C+興和光学 LM16FC

解像度:4096x3000, 画角:H-47.6[deg], V-36.7[deg]

2) FLIR GS3-U3-123S6C-C+興和光学 LM25FC

解像度:4096x3000, 画角:H-31.5[deg], V-23.9[deg]

3) HDR+LFMカメラ(試作品)

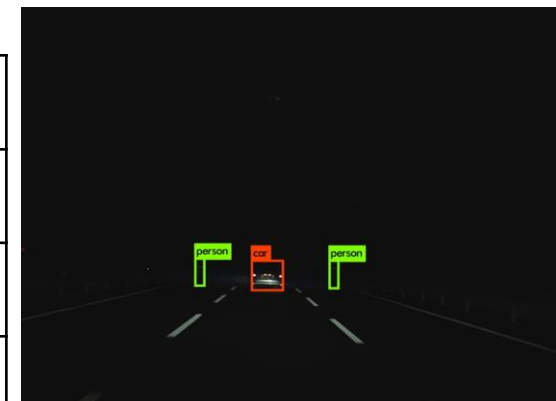
解像度:1920x1080, 画角:H-51[deg], V-30[deg]

- 4Kカメラが, 最も検出精度が高く, 遠方の物体を検知可能



各入力データによるの精度(AP)

アルゴリズム	カメラ設定	bike	car	person	traffic light
YOLOv3	4Kカメラ1	0.67	0.89	0.84	0.73
	4Kカメラ2	0.61	0.88	0.93	0.64
	HDR付きHDカメラ	0.38	0.86	0.80	0.79

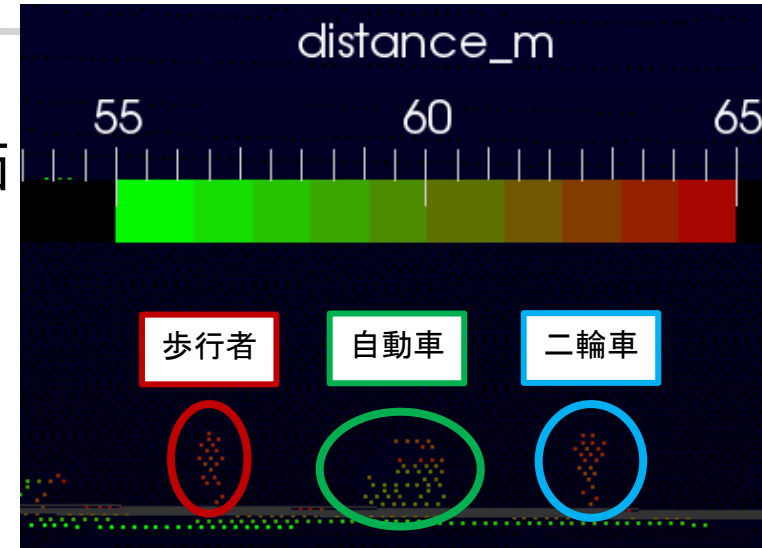


2. 研究開発成果

2.1. b. ② 「LiDARおよびミリ波レーダに基づく遠方物体認識」

■ 最新型LiDARを利用した観測距離の評価

- 評価対象センサ: Velodyne VLS-128
- 観測対象物: 自動車・歩行者・二輪車
- 評価: 目視で検知距離を評価
 - 検出可能距離: 観測点数10点以上
 - 識別可能距離: 観測点数20点以上
- **LiDAR単独で90m先の自動車, 70m先の歩行者・二輪車を検知可能な見積もり**



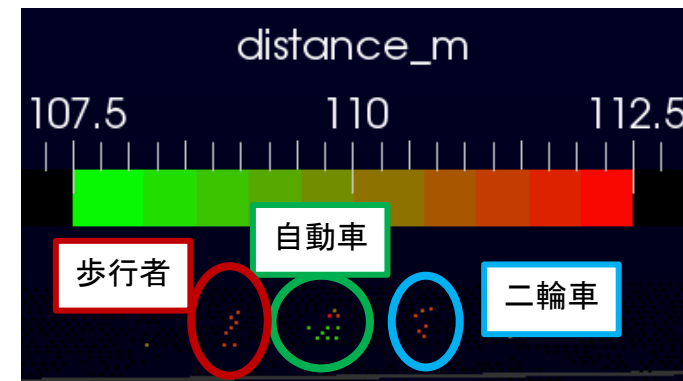
センサから60m(通常時)

■ 今後の予定

- 他のセンサとのフュージョンによる認識距離改善

天候条件の違いによる対象物の検知距離

	通常		雨(降雨量30mm/h)		霧(視程80m)	
	検出可能	識別可能	検出可能	識別可能	検出可能	識別可能
自動車	約107m	約90m	約110m	約92m	約55m	約45m
歩行者	約100m	約65m	約105m	約75m	約65m	約55m
二輪車	約100m	約65m	約105m	約75m	約65m	約55m



センサから110m先(通常時)

2.研究開発成果

2.1. c.①「GNSS/INSの開発」

都市部でデータを収集し、従来技術/提案手法の評価を実施
センサは将来的に車載を想定して選定

○お台場での評価結果

従来手法: Conventional 1^[1] 1.5m@94%

RTK^[2] 0.3m@55%

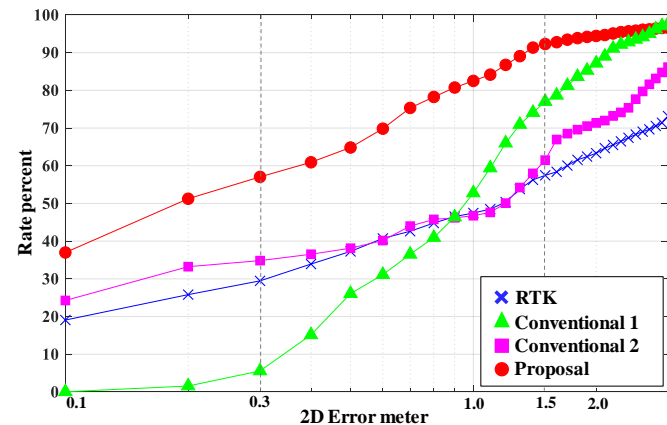
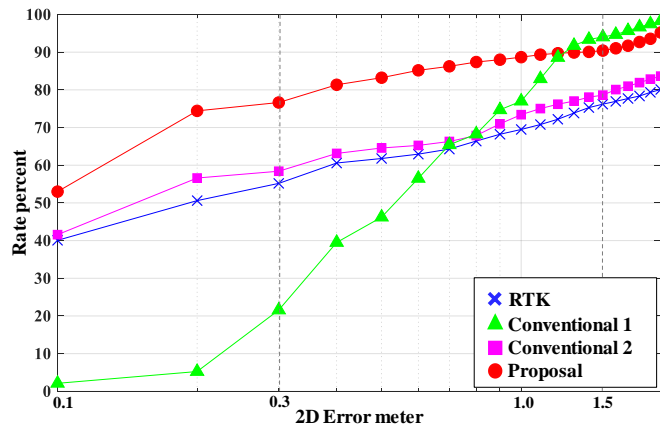
提案手法: Proposal^[3] 1.5m@90% 0.3m@77%

○新宿での評価結果

従来手法: Conventional 1^[1] 1.5m@77%

RTK^[2] 0.3m@30%

提案手法: Proposal^[3] 1.5m@92% 0.3m@57%



[1]Tomoji Takasu, et. al., "Development of the low cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB. In Proceeding of the International Symposium on GPS/GNSS", Jeju, Korea, 4-6 November 2009.
[2]Junichi Meguro, Takuya Arakawa, Syunsuke Mizutani and Aoki Takanose, "Low-cost Lane-level positioning in Urban Area Using Optimized Long Time Series GNSS and IMU Data", IEEE ITSC, 2018
[3]高野瀬, 荒川, 滝川, 目黒, 都市部における車両軌跡を活用した高精度測位 — 初期条件の最適化による精密測位の改善 —, ロボティクスメカトロニクス講演会2019, 2019.6(発表予定)

今後の予定

- ・目標性能達成に向けたアルゴリズム改善
- ・開発したアルゴリズムのリアルタイム化による自動運転での検証

2.研究開発成果

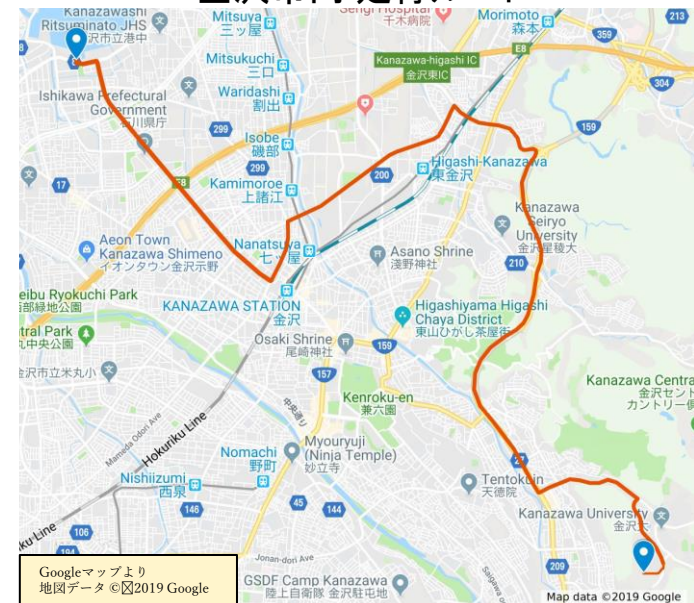
2.1. c.②「マップマッチング技術の開発」

- 今年度の実施内容
 - マップマッチング方式の調査
- 次年度のアルゴリズム開発・検討に向けた走行ルート選定
 - 金沢市内 約20km
 - 立体構造物多い/少ない道路, 路面パターンの多い/少ない道路や約1kmのトンネルなど各手法の得意・不得意となるシチュエーションなどを含む

マッチング方式の特徴比較

使用する特徴	立体構造物	路面パターン
地図形式	3次元点群	2次元画像/線分データ
マッチング手法	・ICPアルゴリズム ・NDTスキャンマッチング	・画像マッチング ・線分マッチング
利点	縁石やポールなど様々な物体をランドマークとして利用可	耐環境性が高い 地図データ容量小
欠点	耐環境性が低い 地図データ容量大	路面パターンの少ない場所では推定が難しい

金沢市内 走行ルート



2.研究開発成果

2.1. d.①「人工知能(AI)に基づく歩行者の行動予測」

- データ収集に向けて、撮影エリアをピックアップ
 - 金沢市内にて撮影を行う
 - 撮影に向けて先にアルゴリズム検討のためのデータを想定環境で撮影
 - 歩行パターンなどを変えて大規模に収集予定
- 物体の行動予測アルゴリズムの調査

アルゴリズム	発表年	対象	
Social LSTM	2016	歩行者	LSTMを用いて、シーン内の複数の歩行者とのインタラクションを考慮した行動予測手法
Convolutional Social Pooling	2018	自動車	S-Poolingを改良したConvolutional Social Poolingにより、高速道路における車両の行動を予測する手法
Social Attention	2018	歩行者	時空間グラフにより、歩行者周辺だけでなく遠方の歩行者とのインタラクションも考慮する手法
Social GAN	2018	歩行者	GANを用いることで幾つかの予測経路を生成し、最適な経路を予測する手法
SoPhie	2019	歩行者	Social GANに歩道や道路などの静的環境を加えた行動予測手法
SR-LSTM	2019	歩行者	各歩行者の目標地点とそこまでの経路をインタラクションに反映させる行動予測手法



撮影予定場所: 金沢市内



アルゴ検討用データ: 中部大学構内

2. 研究開発成果

2.1. 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」

■ 都市部市街地を想定した走行エリア選定

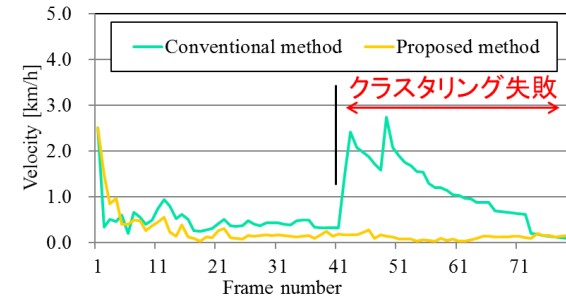
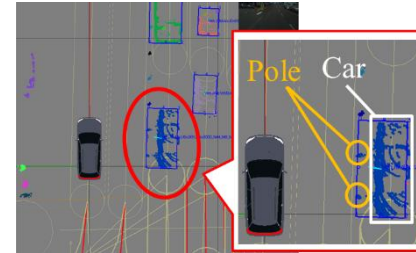
- バスの交通量・路肩停止車両の多い道路
 - 相対的に道幅が狭くなる状況
- 選定した走行エリア
 - 石川県金沢市中心部(約2.5km)
 - 東京臨海部地区(約5km程度)

■ LiDAR観測による物体形状を考慮した運動状態の追跡手法基礎検討

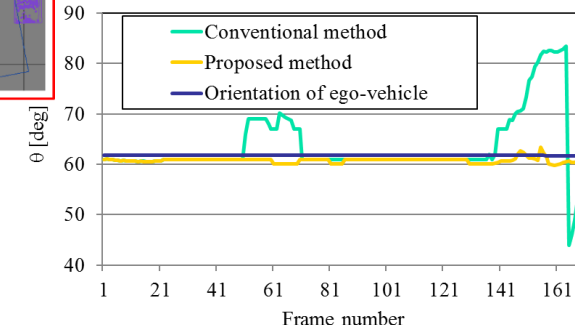
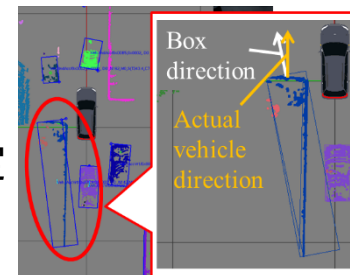
- 検討手法
 - 点群マッチングを導入による速度推定
 - 物体形状の死角を考慮した姿勢角推定
- 密な交通環境走行時の追跡安定化

■ 今後の予定

- 検討アルゴリズムのリアルタイム性検証
- 選定エリアでの実証実験



低速車両の誤クラスタリング時における安定した速度推定



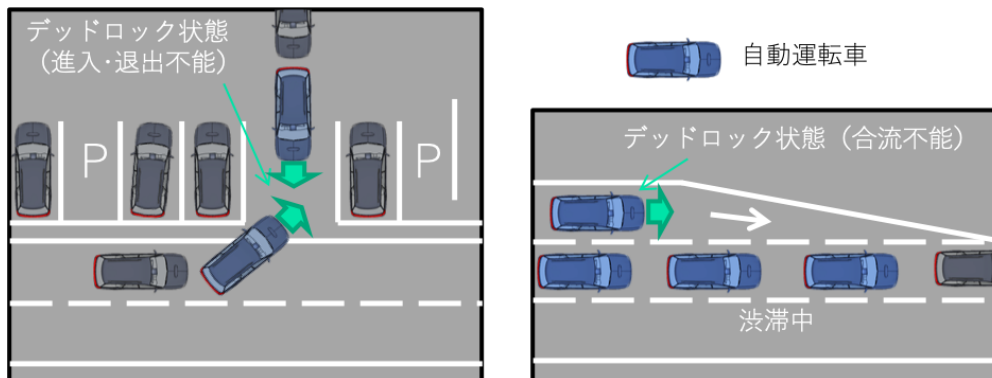
オクルージョン時における低速車両の安定した姿勢角推定

2. 研究開発成果

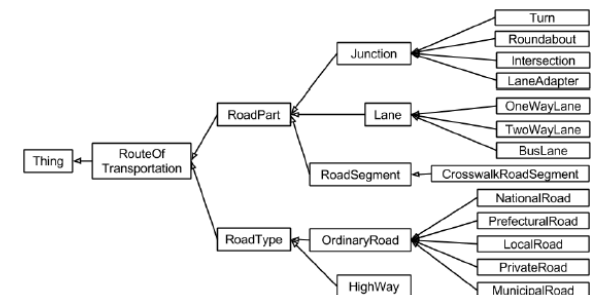
2.1. e.①「ロボティクス技術を活用したデッドロック回避」

- デッドロックの回避を考慮した意思決定・軌道計画技術の調査
 - DARPA Urban Challengeでの成果
 - デッドロックが起こり得る交差点などで軌道を調節することにより事前に回避する [Kammel, 2009]
 - デッドロックが起こった際に目標位置を変更することで回避する [Urmson, 2009]
 - オントロジー*による意思決定
 - オントロジーによって、様々な要因から自車が置かれている状況を分類し、その状況に合わせた回避行動を行う [Zhao, 2015]

デッドロックが発生し得る状況



※ 木構造のように階層化された分類体系により知識表現の構造化を行ったもの。



[Zhao, 2015]

2.研究開発成果

2.1. f.「実証実験」

■ 今年度の実施内容

- 公道実証実験に向けた試験車両構築準備

■ 試験車両

- 市販車両をベースに選定

- 安全性:自動車関連メーカーによる改造が可能な車種
- 効率性:改造実績のある車種

- LEXUS RX450hLを選定

- 定員:7人
- 最小旋回半径:5.9m



LEXUS RX450hLの内観

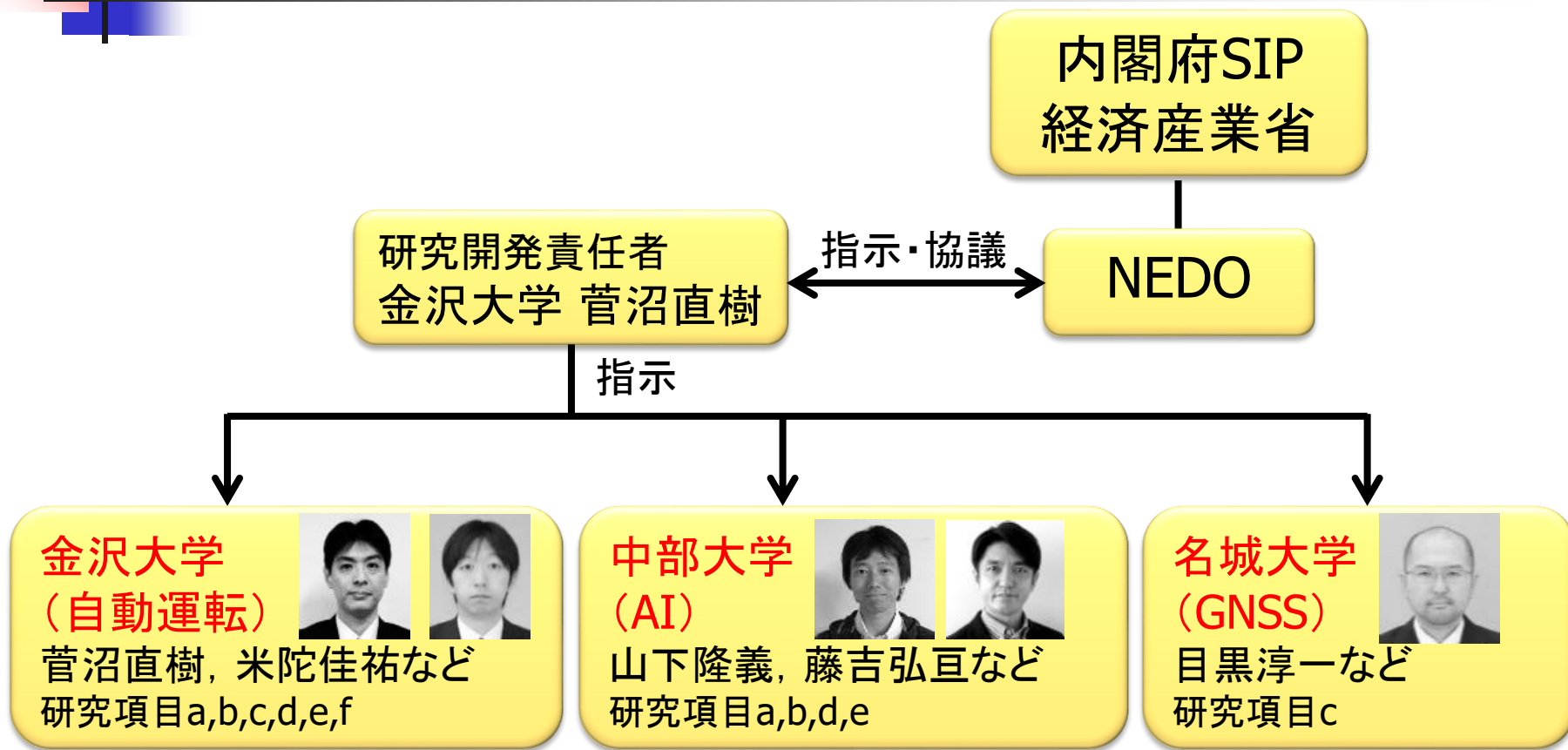
(出典:<https://lexus.jp/models/rx/gallery/>)

■ センサ

- LiDAR, ミリ波レーダ, カメラ, GNSS等を搭載

- 金沢大学の実証試験で得られた知見を活かして選定

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」