

湘南藤沢キャンパスでの自動運転シャトルバスの実証

神奈川中央交通と共同で循環シャトルバス「鴨池急行 SoKanKan」を自動運転で運行させています※。

※運行区間は約2.2km（公道0.9km、大学構内1.3km）



学生研究



- ・市販自動車を用いた自動運転
- ・深層学習を用いた環境情報認識
- ・季節にロバストな自己位置推定技術
- ・デジタルツイン情報を用いた車両制御

など



SMART MOBILITY PROJECT 大前研究室

「いつでも」「だれでも」「どこへでも」
行くことができる社会の実現を目指して研究活動と勉強に取り組んでいます。

研究会活動



研究会課題、テーマ研究、ゼミ、合宿（春、夏）忘年会、カート大会、追いコン、BBQなど研究から遊びまで多くの活動を行っています。

国際交流



外国からの留学生やインターンシップ学生の受け入れ、タイのタマサート大学と交流など国際交流を行っています。今年は夏合宿でタイに行き、秋にはタマサート大学の学生が研究室を訪問しました。



SFC自動運転シャトルバス SoKanKan

運行中！



大前研究室では、SFCを走るシャトルバス“SoKanKan”の自動運転制御化改造・制御の高精度化を行っています。この自動運転シャトルバスからは、日々の運行から様々な知見やデータが得られ、大前研究室での自動運転技術の研究に活用されています。

※2023年11月時点では1日9便を自動運転（レベル2相当・最高速度25km/h）で運行

自動運転化まで

- 2021.7-2021.10 アクチュエータの取り付け改造作業
- 2021.10-2022.1 新川崎タウンキャンパス大前研究室にてセンサ、制御機器の取り付け、自動運転プログラムの調整作業
- 2022.1-2022.4 SFCにて自動運転プログラムの調整作業（主に深夜）、試験走行
- 2022.5 SFCにて定常運行開始



運行ルート



搭載センサー



GNSSアンテナ

衛星情報の受信アンテナです。自己位置計測に使います。



LiDAR

レーザーにより正確な距離が測れます。障害物検出や自己位置推定に使います。



カメラ

画像処理研究用に2個、遠隔監視用に5個搭載しています。



ミリ波レーダー

研究用に1個搭載しています。前走車までの距離・相対速度を計測できます。

ターゲットラインペイントの活用



ターゲットラインペイント（着色部）



LiDARの検出結果を可視化した様子

ターゲットラインペイントは、人間の目には見えにくく、赤外線に反射する特性を持つ道路用特殊塗料です。自動運転シャトルバスでは、LiDARでこの特殊塗料を検出し、反射強度を用いた自己位置推定の特徴量の一つとして活用しています。

遠隔監視による運行状況の確認



遠隔監視室（新川崎・大前研究室）

自動運転シャトルバスの機能の一つとして、遠隔監視があります。車載カメラ（車内・車外）情報を、大前研究室の拠点である新川崎タウンキャンパスからリアルタイムで監視でき、運行状況の確認が可能です。また、必要に応じて自動運転プログラムの改修を行うことも可能です。

デジタルツイン情報との連携



地上カメラ



信号情報の取得



地上LiDAR



右折での対向車検知

自動運転シャトルバスで用いるデジタルツイン情報とは、インフラ側に設置されているカメラ、LiDARから取得した信号現示情報、歩行者・自動車の位置情報です。自動運転シャトルバスではこれらの情報を信号の通過判断や右折での対向車検知に活用しています。自車のセンサーから検知した情報だけでなく、インフラ側から検知した情報とも連携することは、自動運転における判断の信頼性をより高めることに貢献します。

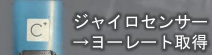
制御手法

自車位置の算出

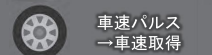


GNSS測位情報

デッドレコニング



ジャイロセンサー→ヨーレート取得



車速パルス→車速取得

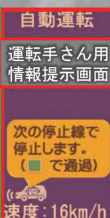
高精度地図とLiDARを用いた自己位置推定（3種類）

- ①反射強度情報（全方位）
- ②反射強度情報（前方）
- ③3次元点群情報

地図ベースの自動運転制御



- ・目標バスを基準とした制御の目標値決定
- ・エリア（走路・横断歩道など）ごとの障害物検出



自動運転

運転手さん用情報提示画面

次の停止線で停止します。（で通過）

速度：16km/h

アクチュエータ（福祉車両用後付け運転装置）



ハンドル用アクチュエータ



ブレーキ用アクチュエータ

※現在アクセルについては、アクチュエータによるペダル操作を行わず、ペダル開度の疑似信号により制御しています

研究テーマ紹介2023

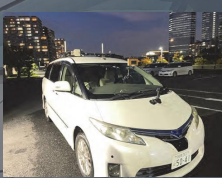


大前研究室
OMAE LABORATORY

市販乗用車をベースにした実験車を用いた研究

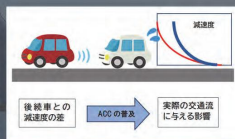
無人運転における歩車間コミュニケーションでの指向性スピーカの有効性に関する研究

歩車間コミュニケーションにおいてドライバの目線や合図は歩行者にとって車の意思を読み取る重要な行動である。しかし自動運転車（無人運転車）においては、ドライバの不在により車の意思（停止、右左折、直進等）を歩行者が読み取ることは困難である。本研究では、そのような場合における歩車間コミュニケーションの円滑化を目的として特定の人へのみ音を当てる超指向性スピーカを用いた歩車間コミュニケーション手法を提案し、有効性を評価する。



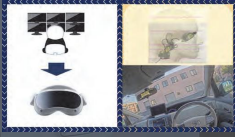
ACCによる車間制御の調査と評価に関する研究

現在発売されている自動車には、ACC (Adaptive Cruise Control) が普及しつつある。これによってドライバーは長時間の運転におけるストレスの低減が期待され、事故の減少にも寄与している。本研究では、車両に搭載したGPSによる加速度、車間距離情報の解析により、ACC搭載車両の運動アルゴリズムがどのような挙動を伴って走行するのかを明らかにし、それが実際の交通流や渋滞においていかなる影響を与えているのかを検証する。



VRゴーグルを用いた自動車の遠隔操作環境の構築及び拡張機能の評価

本研究では、自動車の遠隔操縦時にVRゴーグルを用いることによる通信量の削減、臨場感の向上による操縦者の危機的意識の向上を目的とする。操縦者の頭の向きをカメラを取り付けたサーボモーターにて再現し、カメラ映像を視覚として操縦者に与える。またVRゴーグルを用いることで期待される拡張機能の開発や評価も行う。



スマートレール型路上マーカーの認識による自動運転車の自己位置推定に関する研究

自動運転における自己位置推定技術の課題として、環境によっては安定した位置情報を取得することが難しいことが挙げられる。本研究では自己位置推定の信頼性を向上させることを目的に、近赤外線カメラで検出したターゲットラインペイントの位置情報のデータベース化及び自己位置推定アルゴリズムの構築を行う。本提案手法により、衛星の情報が失陥しても継続して自己位置の推定が行えるようになることが期待できる。



自動運転シャトルバスを対象とした研究

車両挙動の最小化による乗り心地の向上に関する研究

自動運転時における車両の挙動を最小限に制御することで乗り心地の向上を目指す研究を行っている。操舵制御だけでなく加減速制御も行い、前後横方向の二次元的な加速度とジャークを最小限にすることで、乗り心地の改善を行っている。現在、慶應義塾大学SFC内を走行している自動運転シャトルバスの車両挙動を分析し、新たな制御モデルを構築、力学シミュレーション、実車を用いた評価を行い乗り心地の向上を目指している。



デジタルツイン情報を用いた自動運転バスの事前制御に関する研究

自動運転シャトルバスの課題として、車両のセンサーで取得できる情報の範囲に限界がある点が挙げられる。自動運転シャトルバスが走行するSFC内では、信号現示、移動体をリアルタイムで検出し、デジタルツイン (以下、DTGL) 情報として配信している。本研究ではDTGLから取得した自動運転シャトルバスの遠方の情報をを用いた事前制御を提案し、自動運転シャトルバスの安全性に対する影響を評価する。



局所的な学習データに基づく深層学習推論モデルの切り替えによる自動運転シャトルバスの様々な走行判断の実現手法に関する研究

近年、バス運行事業者らはドライバ不足等の課題に直面しており、この課題解決のための取り組みとして大前研究会では大学キャンパスにて自動運転シャトルバスを構築、運用している。本研究では、バスが同じ経路を走行することに着目し、交通信号機の灯火の確認等の走行判断が必要な領域付近のデータを用いて学習させた深層学習の推論モデルを場所に応じて切り替えることで、効率的かつ正確な判断を実現する手法を提案し、その有効性を明らかにする。



自動運転における人工物を対象としたスキャンマッチングのための高精度地図作成と自己位置推定に関する研究

自動運転技術の社会実装に向け、国内では自動運転車両を長期的に定常運行する取り組みが行われている。本研究では植物に起因する環境変化が生じる道路におけるLiDARを用いたスキャンマッチングによる自己位置推定精度の長期的な信頼性向上を目的に、人工物を活用した自己位置推定手法を提案する。研究手法として、人工物を対象とした高精度地図と自己位置推定アルゴリズムの構築を行い、複数時期における走行データに基づき自己位置推定精度を検証する。



小型4輪EVを対象とした研究

超小型四輪EVを用いた遠隔操作中の遠隔操作支援制御に関する研究

近年、自動配送ロボットを実用化し物流ドライバの負担を軽減しようとする動きがある。その具体例として、2023年4月には自動配送ロボットの行動走行が解禁され、遠隔操作・遠隔監視のみで走行できるようになった。これにより、今後配送ロボットの遠隔操作・遠隔監視等がさらに増えることが予想される。本研究では超小型四輪EVを対象に、遠隔操作中に障害物を検知、自動回避する制御を用いて安全で円滑な遠隔操作を実現するための支援制御手法を提案し、有用性を評価する。



シミュレータを用いた研究

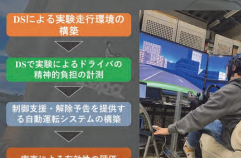
レベル2からレベル4の自動運転システムにおける複雑な交通シナリオでのドライバの安全対策のシミュレーションと評価に関する研究

現在の自動運転はレベル2が一般的であり、多くの企業がレベル3以上の実用化を目指して研究をしている。今後は更なる自動運転車の普及が見込まれているが、緊急時にドライバが安全に対処することができるかは定かではない。本研究はシミュレーションを用い、様々なシチュエーションで自動運転システムが異常を検知した場合のドライバの行動特性を評価することを目的とする。



自動運転におけるドライバの精神負担と反応時間の評価

近年、公道における自動運転車の試験走行が進む中、事故が報告されるようになり、多くは自動運転から手動運転への切り替え (以下「テイクオーバー」) 時に起きるドライバの操作遅延、誤操作が要因とされている。そのため、本研究では、ドライバの精神状態の測定結果をもとに提案する自動運転制御支援・解除予告の手法を用いた自動運転システムの構築、および実車での評価を目的とする。そのために、まずはテイクオーバーする際に複雑な交通環境でのドライバのパフォーマンスを評価する。



「いつでも」「だれでも」「どこへでも」
出かけることのできる社会の実現を目指して
私たちは研究・開発活動に取り組んでいます。



—自動運転—

SFCシャトルバスの自動運転のための車両制御
ラストワンマイル自動運転実証
自己位置推定技術、周囲環境・車内環境認識技術
ターゲットラインペイント活用技術
路車協調・車車協調技術など

—隊列走行—

小型EVの高密度隊列走行
大型トラックの隊列走行
大型トラックの協調型ACCなど

—遠隔操作—

ラストワンマイル自動運転のための遠隔監視・遠隔操作
SFCシャトルバスの遠隔監視
遠隔操作における操作性の評価・向上
配送用小型EVの遠隔監視・遠隔操作など



慶應義塾大学SFC&K2キャンパス

大前研究室

OMAE LABORATORY

SFC自動運転シャトルバス SoKanKan

運行概要

慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの本館と看護医療学部を結ぶシャトルバス”SoKanKan”。2022年5月より、1周約2.2kmの運行区間を、自動運転※（レベル2相当）で走行しています。この自動運転シャトルバスは、運行委託をしている神奈川中央交通と、SFCの大前研究室が共同で開発をしたものです。大前研究室は、車両の自動運転制御化改造・制御の高精度化という形で技術面からこの開発に関わっています。この自動運転シャトルバスは、日々の運行から様々な知見やデータが得られ、大前研究室での自動運転技術の研究に活用されています。

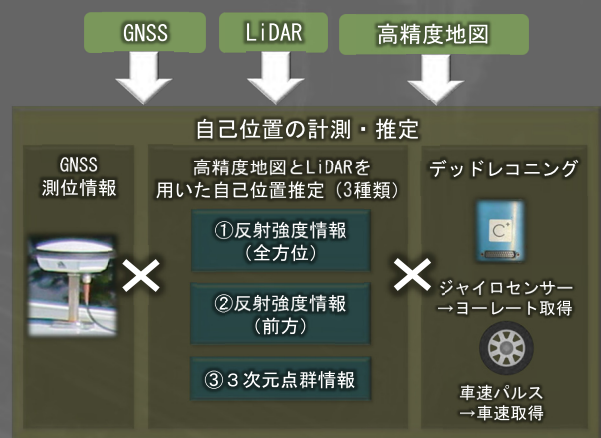
※2022年11月時点では1日9便を自動運転（最高速度20km/h）で運行



センサー構成

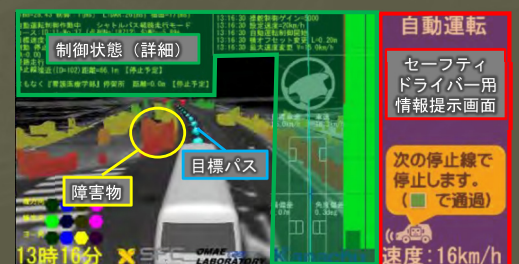


制御手法



車両の位置・向き

地図ベースの自動運転制御



- ・目標バスを基準とした制御の目標値決定
- ・エリア（走路・横断歩道など）ごとの障害物検出

- ・目標操舵角指令値
- ・アクセル指令値
- ・ブレーキ指令値

アクチュエータ（福祉車両用後付け運転装置）



ターゲットラインペイントの活用



ターゲットラインペイントとは、日本ペイントが開発した特殊塗料であり、人間の目には見えにくく、赤外線に反射する特性を持ちます。自動運転シャトルバスでは、LiDARでこの特殊塗料を検出し、反射強度を用いた自己位置推定の特徴量の一つとして活用しています。

遠隔監視による運行状況の確認



自動運転シャトルバスの機能の一つとして、遠隔監視があります。車載カメラ（車内・車外）情報を、大前研究室の拠点である新川崎タウンキャンパスからリアルタイムで監視でき、運行状況の確認が可能です。また、必要に応じて自動運転プログラムの改修を行うことも可能です。

自動運転化まで

- 2021.7～2021.10 アクチュエータの取り付け改造作業
- 2021.10～2022.1 新川崎タウンキャンパス大前研究室にてセンサー、制御機器の取り付け、自動運転プログラムの調整作業
- 2022.1～2022.4 SFCにて自動運転プログラムの調整作業（主に深夜）、試験走行
- 2022.5 SFCにて定常運行開始



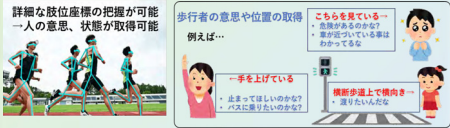
運行区間



自動運転車におけるカメラ映像を用いた歩行者の状態推定に関する研究

自動運転車の周辺環境認識における歩行者検出では、機械学習により画像内の歩行者の位置を得ることが可能になっています。また、歩行者の状態を推定する方法として、機械学習による骨格検出モデルを用いる手法があり、肢位を含めたより詳細な情報を取得可能となりました。

本研究ではカメラ画像から肢位等を検出することで、より詳細な歩行者の意思や座標情報等の取得し、より良い自動運転の制御を行う手法を検討します。



自動運転車における歩行者の領域を考慮した移動予測に関する研究

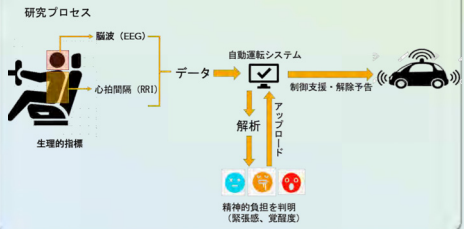
自動運転車の周辺環境認識における歩行者の検出・分類に関する従来研究では、分類精度が高い手法が提案されているが、歩行者の移動予測モデルを歩行者の領域毎に考慮すると、自動運転システムのさらなる安全性の向上が期待できます。

本研究では、自動運転車が危険事象を回避する際に、歩行者や自動車等の検出分類性能向上に加え、車道と歩道を分類し、より高精度な対象物の移動予測モデルを構築することで、危険回避性能向上ができることを明らかにします。



様々な危険度の交通環境におけるレベル3自動運転のテイクオーバー時のドライバーの精神的負担と反応時間の評価

本研究では、自動運転車がテイクオーバー（自動運転から手動運転への切り替え）する際に様々な危険度における環境がドライバーにどのような影響を与えるかを究明し、現段階でのテイクオーバーする際に、運転中に各交通環境におけるドライバーの反応時間と精神的負担を測定します。また、反応時間を減らすため、自動運転システムがドライバーに最適な解除予告方式を与える方法を検討します。



慶應義塾大学SFC & K²キャンパス

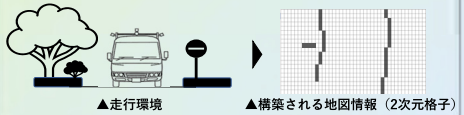
大前研究室

2022年度の学部4年、大学院生の研究を紹介します



人工構造物に限定した地図情報による自己位置推定に関する研究

車両の位置を推定する手法の一つに、LiDARと高精度地図情報との照合処理を用いる手法が存在します。地図情報のランドマークの一つとして植栽が道路沿いに多く存在する場合、季節ごとの形状変化により地図情報が変化し、定期的な地図情報の更新が必要です。本研究では、LiDAR点群の特徴量を用いて道路環境の中から効率よく人工構造物（緑石・建物・柱など）を抽出し地図情報を作成することで、道路沿いに植栽が多く存在する環境においても植栽の形状変化に影響を受けない堅実な自己位置推定手法を提案します。

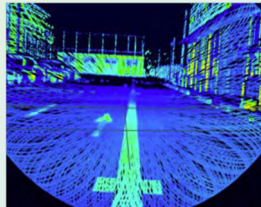


ターゲットラインペイントとは？

特定のセンサーでは検出できるが肉眼では視認が難しいという特徴を持つターゲットラインペイント塗料。この塗料は、人間の視界に影響を与えることなく機器に情報を伝えられる塗料として、今後の自動運転技術での活躍が期待されています。



目視で見た際のターゲットライン



センサーで見た際のターゲットライン

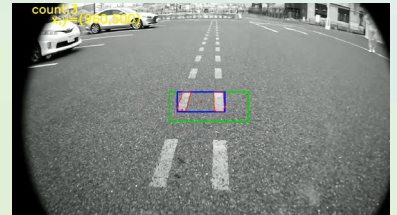
出典：日本ペイント・インダストリアルコーティングス株式会社より

ターゲットラインペイントの認識による自動運転車の自己位置推定および車両制御に関する研究

自動運転を実現する技術の一つにGNSSを利用した自己位置の計測があります。この手法は即座に悪くなる正しい自己位置が算出できない場合があります。本研究では、自己位置計測の冗長性のためにターゲットラインペイントを利用する自己位置推定手法を提案します。地図情報を用いる自動運転走行の時に、GNSSが測位失陥しても、本手法を用いることで、検出したターゲットラインペイントとデータベース照合により、自己位置推定し続けることが可能となります。



SFCのスマートレーン型路上マーカー



赤外線カメラ撮影した画像からマーカを認識と座標計算

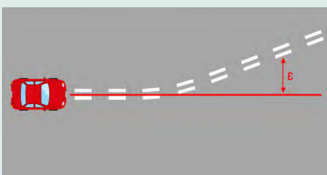
近赤外線カメラを用いたターゲットラインペイント検出及び車両制御に関する研究

本研究では、自動運転車のターゲットラインペイントを用いて目標操舵角を求める手法を提案します。具体的には、近赤外線カメラを用いて、ターゲットラインペイントを検出し、車両将来進路のターゲットラインペイントの位置との差から操舵角を算出します。算出した目標操舵角を用いて適切な制御を行います。



通常カメラ

近赤外線カメラ

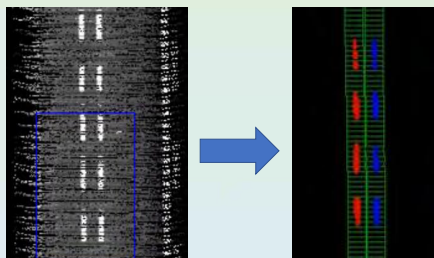


未来の進路とターゲットラインペイントの位置との差から操舵角を算出

ターゲットラインペイントを用いた自動運転バス操舵の精緻化に関する研究

ターゲットラインペイントを認識する方法として赤外線カメラだけでなくLiDARで取得した反射強度の違いから検出する方法があります。

本研究では、湘南藤沢キャンパスを巡回する自動運転バスの操舵を精緻化するため、ターゲットラインペイントを用いた自動運転システムの構築および、環境変化によるターゲットライン認識率の評価、ターゲットラインペイントが湘南藤沢キャンパス利用者に及ぼす影響を評価し、その有効性を確認します。

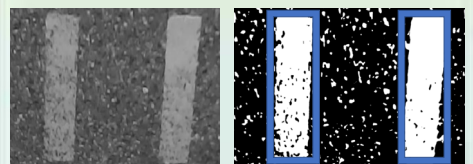


アスファルトと同化したターゲットラインペイントをLiDARで取得・認識し、自動運転バスの操舵を補正

ターゲットラインペイントの剥離率推定手法

ターゲットラインペイントは既存の道路表示等に対して行われる、肉眼や映像での劣化状況の確認では管理が難しい場合があります。

本研究では、ターゲットラインペイント画像に既存の白線検出技術を利用して剥離率を数値として算出し活用する手法を検討します。また、推定した剥離率を位置情報と併せて記録することで剥離したターゲットラインペイントの管理を効率化させます。



剥離率推定に用いる元画像

剥離率の算出



推定した剥離率を位置情報と併せて記録した利便性の高いマップ作成が目標