

2023年6月23日 FMMC 2023年度「情報通信講演会」
パネルディスカッション「進化するモビリティサービス」

慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスの 自動運転シャトルバスの開発で感じたこと

慶應義塾大学 環境情報学部 大前 学
omae@sfc.keio.ac.jp



講演の内容

慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスでは、敷地の間を走行するシャトルバスを自動運転化し、2022年5月よりLV2自動運転による定常運行を行っています。

この開発の取り組みを通して感じたことを簡単に紹介させていただきます。

自動運転シャトルバスの概要(エリア)

看護医療学部エリア～総合政策学部・環境情報学部エリアを結ぶ循環バス(私道部1.3km、公道部0.9km)



自動運転シャトルバスの概要（機器）

搭載したセンサ・アクチュエータ

※神奈川中央交通作成の試乗会資料より抜粋



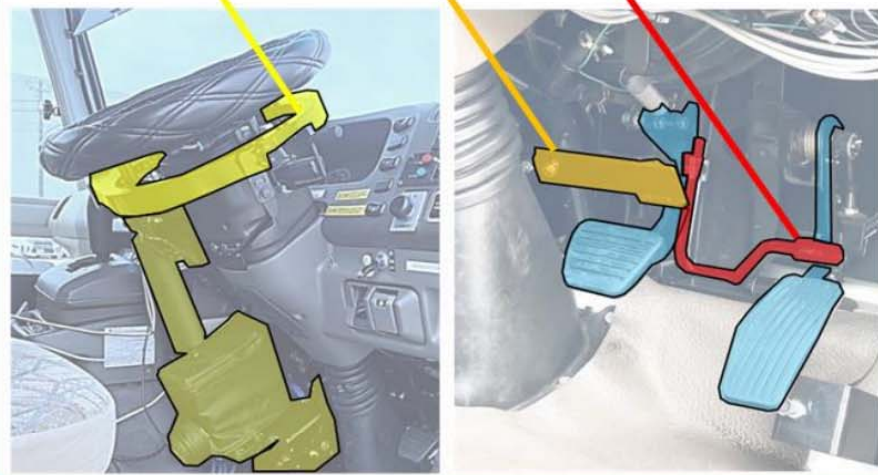
アクチュエータ

システムからの指令を機械運動に変換する装置

ハンドル連携装置

ブレーキ連携装置

アクセル連携装置



GNSS

人工衛星からの信号を基に、自己の位置を計測。

LiDAR (前方、側方用)

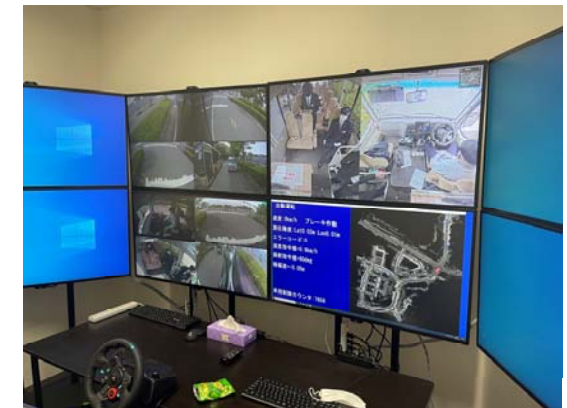
レーザー光を周囲に照射し、物体により反射した光の往復時間を計測することで、周辺物体までの距離や反射強度を計測。

カメラ

今後、AIによる障害物の認識や信号灯色認識に活用。

自動運転シャトルバスの概要（機器）

- ◆ シャトルバスとして使用されていたマイクロバスに福祉車両用のアクセラータを取り付け
- ◆ 1日あたり9便を自動運転で毎日運行
- ◆ 5個のLiDARにより周囲障害物を検知
- ◆ 画像処理研究用に2個カメラを搭載
- ◆ 遠隔監視用に5個＋5個（ドラレコ兼用）のカメラを搭載
- ◆ 新川崎タウンキャンパスから監視ができる
- ◆ 信頼性の向上のためターゲットラインペイントを私道部に塗装



自動運転シャトルバスの概要（機器）

- ◆ シャトルバスとして使用されていたマイクロバスに福祉車両用のアクセサリを取り付け
- ◆ 1日あたり9便を自動運転で毎日運行
- ◆ 5個のLiDARにより周囲障害物を検知
- ◆ 画像処理研究用に2個カメラを搭載
- ◆ 遠隔監視用に5個＋5個（ドラレコ兼用）のカメラを搭載
- ◆ 新川崎タウンキャンパスから監視ができる
- ◆ 信頼性の向上のためターゲットラインペイントを私道部に塗装



日本ペイント赤外反射塗料検証

ビデオ

自動運転シャトルバスの概要（機器）

ビデオ

SFCシャトルバス自動運転

Time=28.43 制御:1[ms] LiDAR:26[ms] 描画=17[ms]

自動運転制御作動中 シャトルバス経路走行モード
コース:ID:11-No:37 (点列No:18712) 勾配=-5.8%
目標速度=15.0[km/h] 目標ハンドル角=21.4[deg]
制動 停止線:1 ミリ波:0 ライダー:1 近接:0 回避:0
TA=0.00 TB=0.00 TC=0.00
経路走行
停止線接近 (ID=102) 距離=66.1m 【停止予定】
まもなく『看護医療学部』停留所 距離=0.0m 【停止予定】

13:16:30 操舵制御ゲイン=5000
13:16:30 設定速度=20km/h
13:16:30 自動運転制御開始
13:16:30 横オフセット変更 L=0.20m
13:16:30 最大速度変更 V=15.0km/h

目標車速 15.0km/h 車速 16.3km/h

横偏差 0.07m 角度偏差 0.3deg


縦方向
横方向
ヨー角


13時16分

SFC KEIO UNIVERSITY OMAE LABORATORY Kanachu

速度:16km/h

自動運転

次の停止線で停止します。
( で通過)



自動運転シャトルバス開発で感じたこと

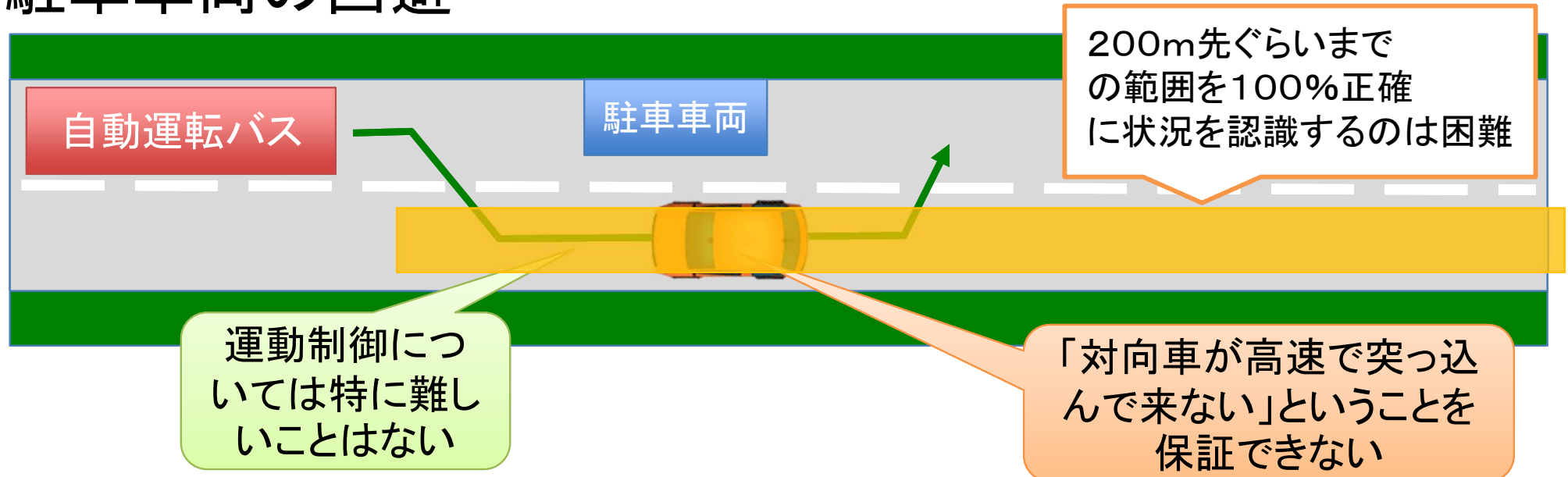
LV4は合理的運用なのか？

このバスで運転士さんをお願いしている部分

- ・ 駐車車両の回避
- ・ 右折可の確認
- ・ 信号の青信号確認

実証実験なら、車両にやらせることもできます。
定常運行となると・・・

駐車車両の回避



自動運転シャトルバス開発で感じたこと

LV4は合理的運用なのか？

このバスで運転士さんをお願いしている部分

- ・ 駐車車両の回避
- ・ 右折可の確認
- ・ 信号の青信号確認

実証実験なら、車両にやらせることもできます。
定常運行となると…

大通り横断時の信号判断

乱暴な計算ですが、
1日20回信号を通過するので、
カメラ認識成功率99%→5日に1回信号誤認識

99.9%正確な通信を導入

→5日に1回:カメラ(誤)、通信結果(正)が合わずスタック

→50日に1回:カメラ(正)、通信結果(誤)が合わずスタック

→250日に1回:カメラ(誤)、通信結果(誤)で信号誤認識



自動運転シャトルバス開発で感じたこと

LV4は合理的運用なのか？

困っていること(LV4にすることを考えた場合…)

検知された状況が「危険であることを保証」
できても、「安全であることを保証」できない！

自動運転シャトルバス開発で感じたこと

LV4は合理的運用なのか？

困っていること(LV4にすることを考えた場合・・・)

検知された状況が「危険であることを保証」
できても、「安全であることを保証」できない！

- どこまでやれば「安全を保証」と言ってよいのか？
- 「OK」と言われる状態で運用して事故を起こした時、許してくれるのか？
- 「安全を保証」するためのコスト(冗長化、インフラ連携・・・)は合理的か？

適宜、人間が判断・操作したほうが合理的では・・・？

自動運転シャトルバス開発で感じたこと

インフラ連携

慶應SFC×ソフトバンク 「デジタルツイン・キャンパス ラボ」プロジェクト



今春に実施した自動運転バス関連のデジタルツインアプリケーション

カメラで信号状態を計測し、デジタルキャンパスに反映
→バスの交差点通過、信号付近速度制御で活用

LiDARで本館前の交通状況を計測し、デジタルキャンパスに反映
→バスの右折時の判断(直進対向車の存在確認)に活用

自動運転シャトルバス開発で感じたこと

LV4は合理的運用なのか？

思っていること(LV4にすることを考えた場合・・・)

地域のバス事業者は幸福になるのか？

➤ 削減した人件費以上に、地域とは無関係(東京、海外・・・)のシステムベンダーにお金を吸い取られ続ける結果に終わるのでは？

事業者が自動運転システムを熟知し、自分で保守・カスタマイズ・運用できるようになる必要がある

ドライバー不足が問題なら、自動運転技術で運行操作を安全かつ容易にして、現在の運転士さんが100歳でも現役で働け、その地域の多くの人が運行業務に従事できるようにしたほうが良いのでは？お金もその地域で循環するし。

自動運転シャトルバス開発で感じたこと

LV4は合理的運用なのか？

思っていること(LV4にすることを考えた場合・・・)

経済的持続性はあるのか？

➤ 現在の実証実験を見る限り、採算が取れない

移動したいけど、移動できない人……このような人が膨大に居る、ということが移動サービスが経済的に成立する前提
私は、ほとんど会ったことがない

移動する必要があるけど、移動できない人……移動の必要性を無くす解決策もある

自動運転シャトルバス開発で感じたこと

現在の自動運転の技術開発や実証を見ると、LV4が好きな人が多く、実際に社会に導入された場合、コスト以上のニーズが無く持続性がないものになってしまう可能性を感じます。

技術を高めることは良いことですので、高い水準(LV4、LV5)を対象とする大いに結構ですが、社会に導入する際は、技術を高めることとは別の視点が必要だと思います。

人と知的機械の協働，共存の方法論の確立
『人ができること、機械ができること』の観点
ではなく、『人がすべきこと、機械がすべきこと』
の観点が必要