

令和元年度  
トーイングトラクター自動走行実証実験  
結果・進捗報告

---

国土交通省航空局

令和2年3月

- ・ Aグループ ..... P. 2
  - 全日本空輸株式会社、株式会社豊田自動織機
  
- ・ Bグループ ..... P. 15
  - 日本航空株式会社
  
- ・ C・Dグループ ..... P. 29
  - AiRO株式会社

Aグループ

**全日本空輸株式会社**  
**株式会社豊田自動織機**

# 空港制限区域内の自動走行に係る実証実験 実証実験結果報告

全日本空輸株式会社  
株式会社豊田自動織機

# 1. 実験車両概要

## 主な仕様

使用車両	SIMAI社製トーイングトラクター TE152
乗車定員	2名
全長/全幅/全高 [mm]	2853 / 1346 / 2300
車両重量	2280kg
ハンドルの有無	有

## 走行制御技術の概要

- 車両自律型
- 路面パターンマッチング、GPS、IMU等から得られるセンサ情報を統合し自己位置を推定
- LiDARにより車両周辺の障害物・車両・人を検知
- 緊急時対応のため、車載非常停止及び遠隔非常停止を具備

## センサ等の概要

- 路面パターンマッチング用カメラ 1基
- 遠隔監視用カメラ 計4基
- LiDAR※1 計3基
- IMU※2 1基
- GPS※3 1基

※1 LiDAR : Light Detection and Ranging  
※2 IMU : Inertial Measurement Unit (慣性計測ユニット)  
※3 GPS : Global Positioning System (全地球測位システム)




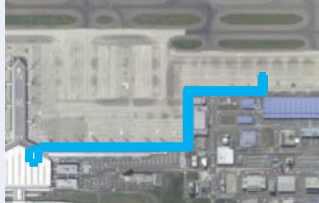

車両外観写真



## 2. 実証実験結果

## 2. 実証実験結果

### 1) 本実証実験の位置付け

		九州佐賀国際空港	中部国際空港	
走行ルート	距離	往復 約400m (最長) 	往復 約2.4km 	
	複雑度	車線数	片側1車線	片側2車線 (ターミナル付近) 片側1車線 (貨物エリア) ※常に左車線を走行し、車線変更なし
		他車両台数	少ない	多い
	屋外走行	あり	あり	
	屋内走行	なし	あり	
	牽引台数		2台：手荷物想定 4台：貨物想定	4台：手荷物想定
運行管理システム	有無	なし	あり	
	通信方式	-	4G/LTE	
	主な機能	-	(1) 車両への目的地指示 (2) 車両状態監視 (3) 自動走行状態監視 (4) 周囲環境監視 (車載カメラ) 	

中部国際空港では、九州佐賀国際空港で実施できなかった「長距離」「混雑環境下」「屋内走行」を実施。また、運行管理システムを利用し、遠隔での指示・監視の機能確認を実施



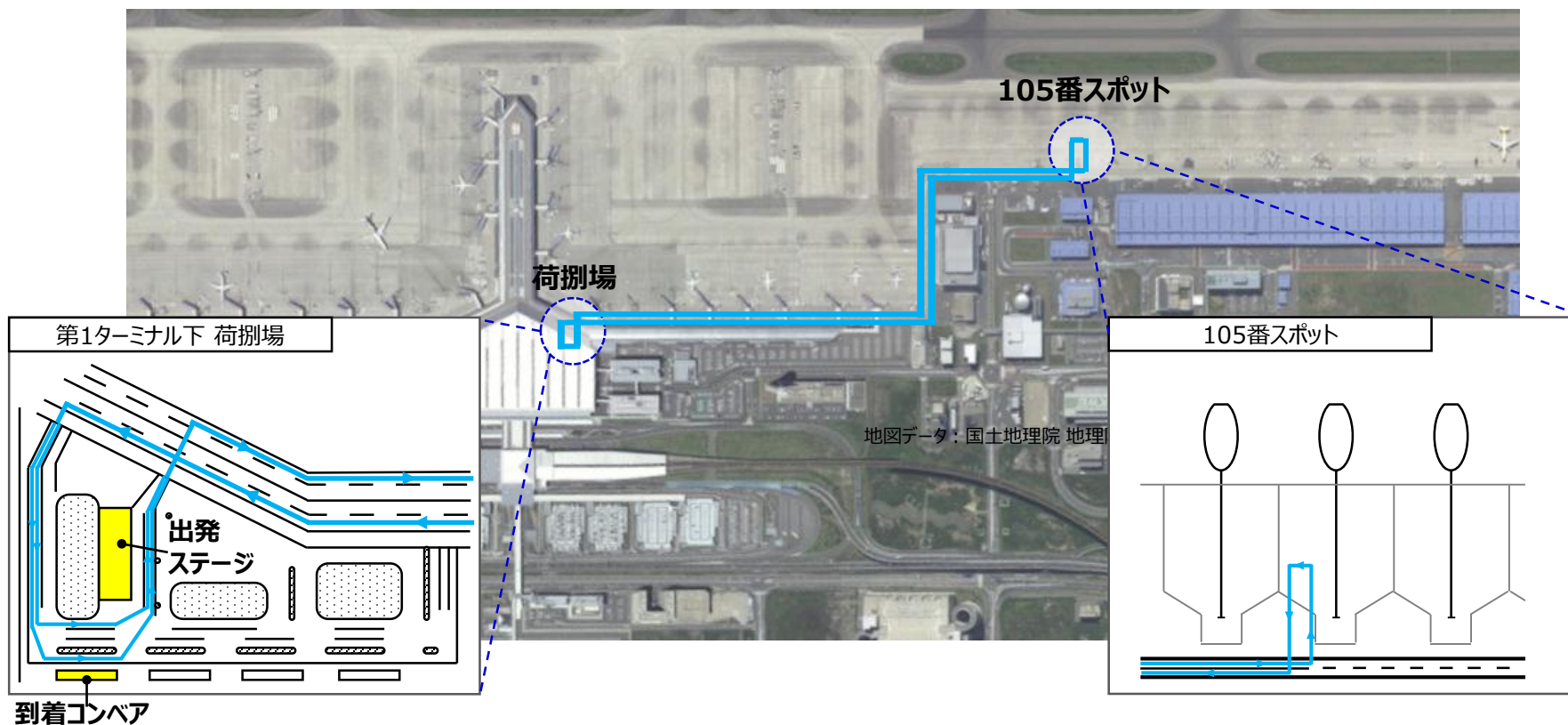
## 2. 実証実験結果

### 2) 実証実験概要

実施日時	2月10日（月）～2月14日（金） ※マスコミ公開日：2月12日（水）
実施場所	中部国際空港
走行ルート	荷捌場～105番スポット



実証実験実施状況



地図データ：国土地理院 地理院地図Globe

## 2. 実証実験結果

### 3) 実証実験結果

#### (1) 走行距離

総走行距離	71.5 [km]
うち自動走行距離	71.3 [km]

#### (2) 予定していない手動操作の回数

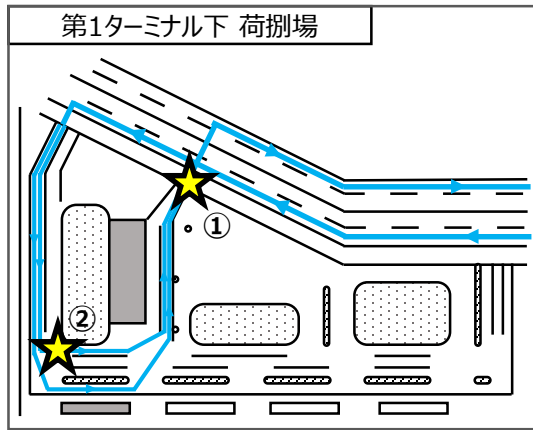
合計回数	2 [回]
自動走行距離あたり回数	0.03 [回/km]

[参考] 内訳

内容		発生個所	発生回数
①	歩行者回避	荷捌場出口	1回
②	走行経路ずれ	荷捌場内	1回
合計			2回

※上記以外に、到着コンベアでの作業開始に伴う自動走行中断が2回発生しているが上記からは除外

## 4) 予定していない手動操作 概要



①歩行者回避発生場所

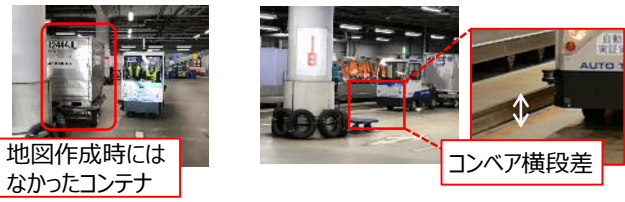


②走行経路ずれ発生場所

項目	発生箇所	状況	要因	備考
① 歩行者回避	荷捌場出口	天候：晴れ 路面：ドライ 内容：車両は停止位置①まで自動走行し、一旦停止。搭乗者2名で左右安全確認。左方から接近中の自転車を目視確認したが十分な距離があると判断し、自動発進操作を実施。ところが自転車が減速せず接近してきたためドライバーがブレーキ操作。停車。	走行経路外から近づく自転車に対して安全を重視して予防的に介入  ※手動でのブレーキ操作後、自転車通過まで7秒程度あったため十分距離は離れていたと思われる	混在環境下での優先ルールなど、作業者・有人車両との共存のためのルールが必要
② 走行経路ずれ	荷捌場内	天候：雨 路面：ウェット 内容：本来の経路より手前で操舵が開始されたためドライバーがブレーキを操作。停車。	以下2つ理由により、自己位置推定に誤差が発生。本来と異なる位置で操舵が起こった  • 雨により発生した轍が路面パターンマッチングに影響し、マッチングできない状態が発生 • 雨により滑りやすくなった路面でタイヤがスリップしオドメトリに誤差が発生	自動走行を継続した場合、以下どちらかの動作が発生したと推定  <u>マッチング不可区間が継続</u> • マッチング不可区間継続による自動停止機能が動作 • 自車前方の障害物を検知し、停止再マッチング発生 • 走行経路へ復帰

ドライバーが安全重視の判断に基づき予防的に介入。  
②については自動運転のまま、状況に応じて適切に動作できたと推定

## 5) 検証結果

検証内容	結果	課題	今後の対応	
自己位置認識技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>濡れた屋内路面の一部条件下で、自己位置認識のズレが発生</li> <li>上記以外は大きな問題なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自己位置認識の環境ロバスト性向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>路面パターンマッチング技術の改良</li> <li>磁気マーカやレーザーSLAMなど別手段との組合せによる自己位置認識技術の開発</li> </ul>	
障害物検知	<ul style="list-style-type: none"> <li>障害物未検知なし</li> <li>走行経路近傍のものを障害物として検知 ※準備期間中に発生。影響ないよう対策し実証実験実施</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>物の置き場所等、自動走行を考慮したルール整備</li> <li>経路近傍の構造物（段差、柱等）への対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>運用ルールWGでの検討・策定                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 車両・ものの置き場</li> <li>✓ 障害物検知範囲、最小サイズ など</li> </ul> </li> <li>構造物側への対策検討 ※反射防止テープの貼り付けなど</li> <li>障害物検知方法での対策検討</li> </ul>	
走行制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>大きな問題なし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特になし</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特になし</li> </ul>	
運行管理システムの課題抽出	(1) 車両への目的地指示	大きな問題なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>カメラ画像を使ったリアルタイム遠隔監視</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5Gの活用検討</li> <li>画像の送受信手法の見直し</li> </ul>
	(2) 車両状態監視	大きな問題なし ※但し、数百msecの遅延は発生		
	(3) 自動走行状態監視			
	(4) 周囲環境監視	複数台のカメラ画像表示で、約5～30秒程度の遅延が発生		

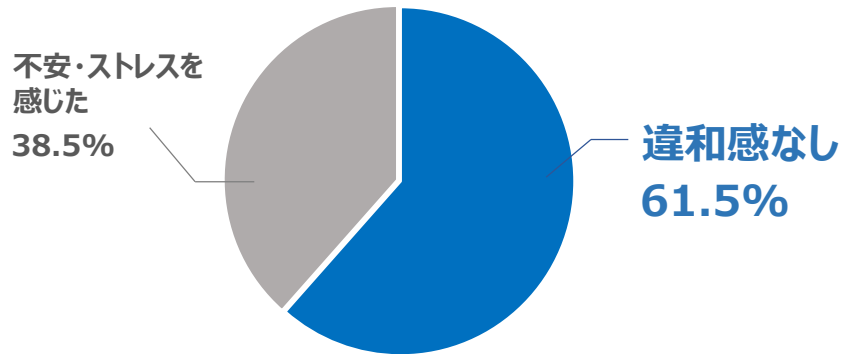
・大きな問題を発生させることなく、実証実験を実施完了  
 ・自動走行の実オペレーション導入に向けて、技術課題と運用上の課題を把握

### 6) アンケート結果

(1) 目的：自動走行に対する受容性調査

(2) 結果：(有効回答数：13事業者)

#### 自動走行に対する印象

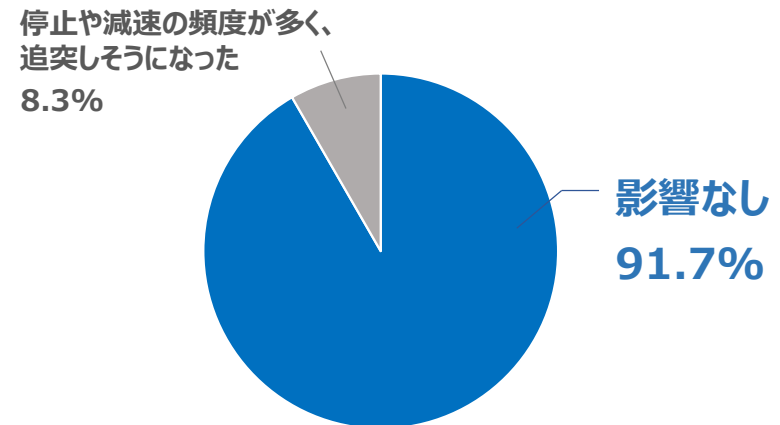


- 違和感なくスムーズに走行していたと約6割が回答
- 不安・ストレスを感じた理由は走行速度の遅さ

※実証実験時の設定速度

車両通行帯：直線 15km/h, カーブ 10km/h  
荷捌場内：直線 5km/h, カーブ 3km/h

#### 周辺有人車への影響



- 自動走行車両はルールを順守して走行できており有人車への影響なしと約9割が回答
- 追突しそうになったとの意見も1件あり

### (3) 今後の対応

- 周囲交通の車速計測（参考データとしてデータ収集）
- 安全に十分配慮した上での、周囲交通の協調を考慮した速度設定

## 空港制限区域内で自動走行するために必要となる実証実験

現時点での追加の実証実験に関する要望なし

- (理由)
- 2019年度の実証実験において自動走行における技術課題の把握は完了
  - 技術課題に対する解決方策の効果検証については、実証実験によらず実施可能と認識

## その他

WGにおいて、インフラや運用ルール等の整備方針の早期策定をお願いしたい

以上

# Bグループ

# 日本航空株式会社





# 空港制限区域内の自動走行に係る実証実験 実証実験結果報告

日本航空株式会社  
2020年3月26日

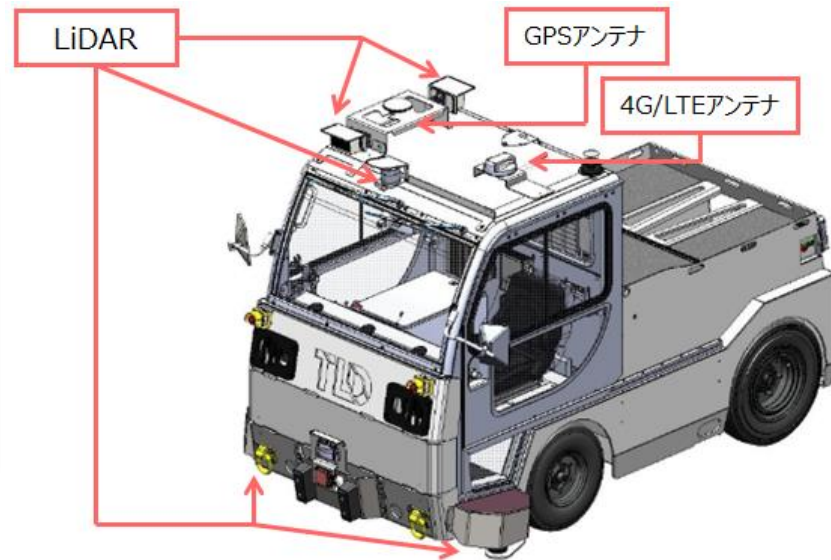
# 1. 実験車両概要（再掲）

---

# 実験車両概要(再掲)

## 基本情報

使用車両	TLD社製・TractEasy
乗車定員	2名
全長/全幅/全高 (m)	3.2/1.84/2.05
車両重量 (kg)	4,070
ハンドル有無	有



## 走行制御技術の概要

- 車両自律型
- Odometry (走行距離計)、IMU (慣性計測ユニット)、LiDAR、GPSを使用して自己位置推定を行い、設定経路上を走行する

## センサー等の概要

- LiDAR (計5基)
- GPSアンテナ
- 4G/LTEアンテナ

## 2. 実証実験結果

---

# 実証実験概要 (STEP 1) ※再掲

実施日時	2019年10月～11月 2020年1月～3月 (計22日間)
実施時間	各日 10:30～14:30
実施場所	成田国際空港
走行ルート	第2旅客ターミナル本館南ソーティング ～ サテライトターミナルソーティング



# 実証実験概要 (STEP 2)

実施日時	2019年12月 (10日間)
実施時間	各日 10:30~14:30
実施場所	成田国際空港
走行ルート	サテライトターミナルソーティング (周回)



# 実証実験概要 (STEP 3)

実施日時	2019年12月 (10日間)
実施時間	各日 10:30~14:30
実施場所	成田国際空港
走行ルート	サテライトターミナルソーティング ~ SPOT #91 ~ サテライトターミナルソーティング



# 実証実験結果 (STEP 1)



## 推定要因

### 【車両起因】

- 自己位置推定 × 3
- 牽引制御機能エラー
- 慣性計測ユニットエラー

### 【運用起因】

- 他車両による車線閉塞
- 他車両飛び出し
- 車両鉢合わせ

## 走行実績データ (中間報告分含む)

走行距離	総走行距離	376.7(km)
	うち、自動走行距離	258.1(km)
予定していない 手動操作回数	合計回数	15(回)
	自動走行距離あたり回数	0.06(回/km)



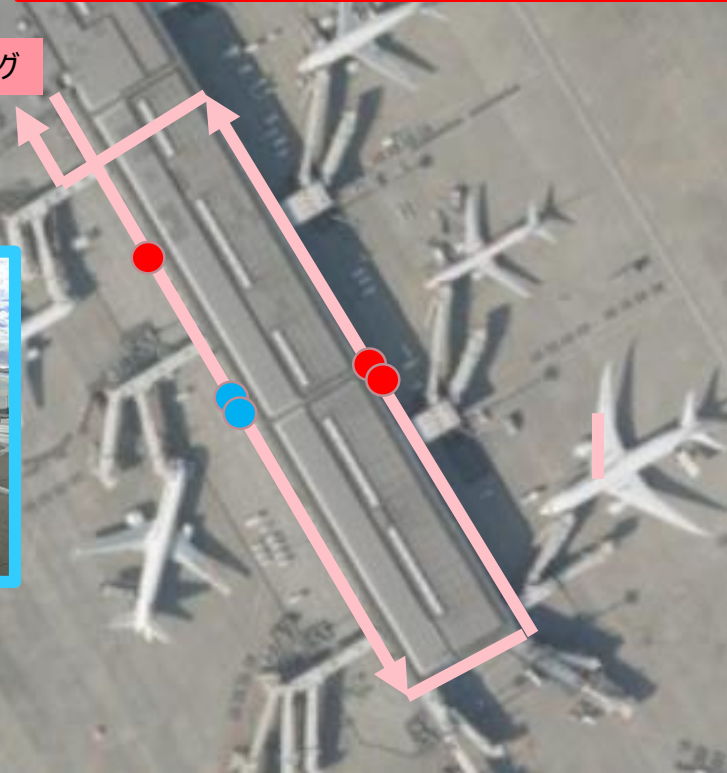
# 実証実験結果 (STEP 2)

## 走行実績データ

走行距離	総走行距離	128.0(km)
	うち、自動走行距離	83.0(km)
予定していない 手動操作回数	合計回数	5(回)
	自動走行距離あたり回数	0.06(回/km)



## サテライトソーティング



## 推定要因

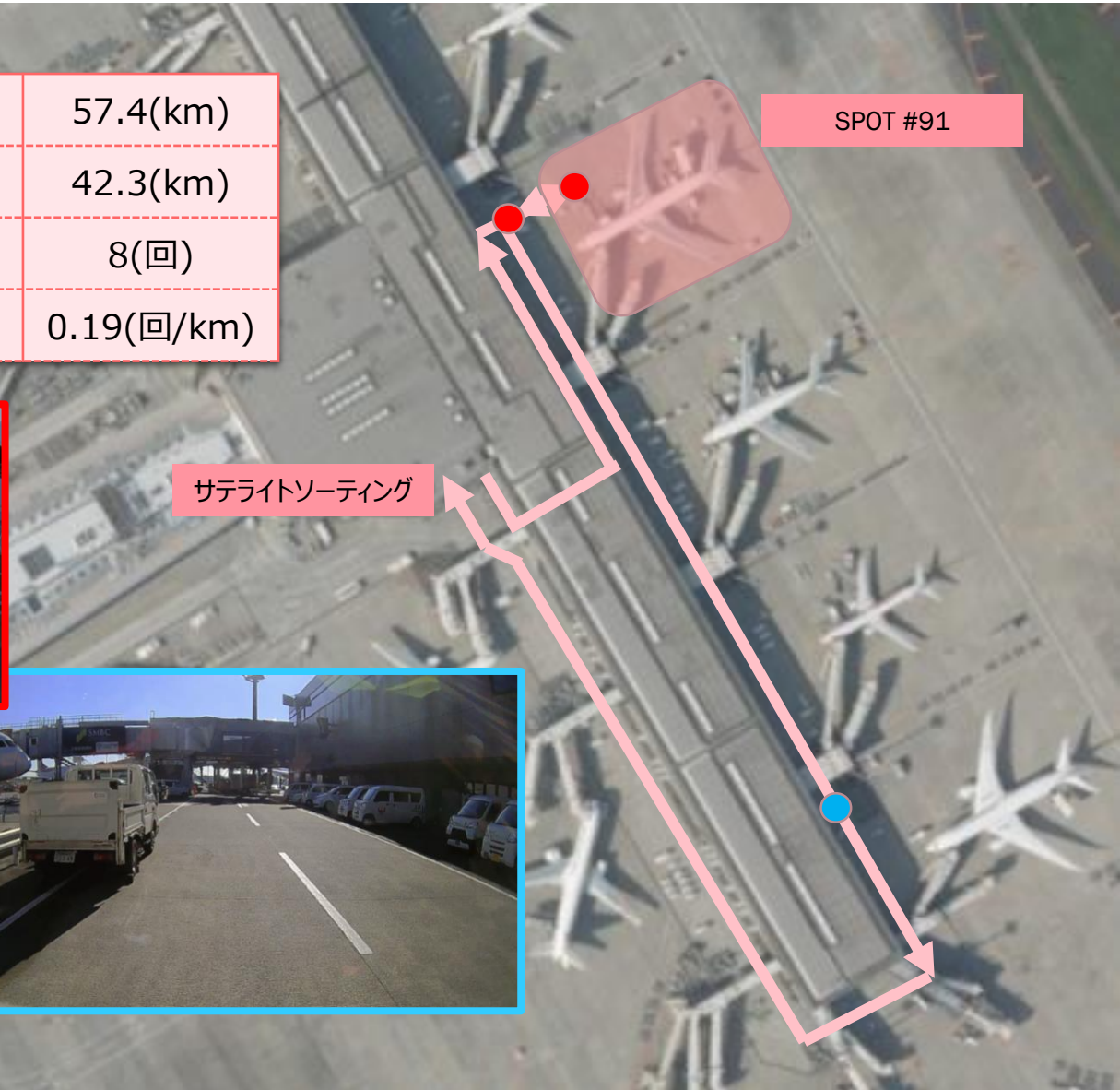
### 【運用起因】

- 路上駐車 × 2
- 駐車位置 (駐車場からのみだし) × 3

# 実証実験結果 (STEP 3)

## 走行実績データ

走行距離	総走行距離	57.4(km)
	うち、自動走行距離	42.3(km)
予定していない 手動操作回数	合計回数	8(回)
	自動走行距離あたり回数	0.19(回/km)



SPOT #91

サテライトソーティング

## 推定要因

【運用起因】

- 路上駐車
- SPOT内にハンドリング機材×7

# 実証実験結果

検証内容	技術的課題	今後の対応	重要度	対応状況
基本走行機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>牽引制御機能エラー</li> <li>慣性計測ユニットエラー</li> </ul>	ソフトウェア改修	中	ソフトウェア改修済 データ継続収集
障害物検知	意図せぬ停止	ソフトウェア改修	低	データ継続収集
障害物検知	対向車接近による停止	<ul style="list-style-type: none"> <li>走行状況の現状調査</li> <li>車線内走行位置の調整</li> </ul>	中	データ継続収集
障害物検知	路面段差による停止	<ul style="list-style-type: none"> <li>スピード調整 (・補修要望の検討)</li> </ul>	中	技術的対応実施済
障害物検知 (先行車両)	先行車両を認識せず	ソフトウェア修正により 対応済	高	ソフトウェア修正済
自己位置推定	信頼性低下による停止	<ul style="list-style-type: none"> <li>KPIに基づくデータ収集 (・ランドマーク設置の検討)</li> </ul>	高	データ継続収集
気象条件による影響	雨検出による停止	<ul style="list-style-type: none"> <li>ソフトウェア改修</li> <li>センサー部の物理的改修</li> </ul>	中	ソフトウェア改修済 データ継続収集
走行スピード	走行スピード向上 (現時点10km/h)	KPIに基づくデータ収集	高	データ継続収集 (達成目標：来年度6月)
交差点、車線 進入での判断	判断の自動化 (現時点マニュアル対応)	<ul style="list-style-type: none"> <li>KPIに基づくデータ収集 (・インフラ対応/運用ルール変更の検討)</li> </ul>	高	データ継続収集 (達成目標：来年度6月)

# 導入に向けて必要となる対応等

## 走行検証によるデータ集積および運行精緻化

- ✓ 走行スピード向上を目的としたデータ継続取得
- ✓ 交差点、および、車線進入判断の自動化に向けたデータ継続取得
- ✓ 運用に合わせたスタート・ゴール位置の調整と走行検証

## インフラ整備に関する協議、調整

- ✓ 走行路の段差補修
- ✓ 走行路の拡張
- ✓ 交差点の形状変更
- ✓ 停止線位置変更・追加
- ✓ 信号協調
- ✓ (工事エリアの微修正)

# 導入に向けて必要となる対応等

## 運用ルール等に関する協議、調整

- ✓ 既存運用ルールの周知徹底
  - 制限速度
  - 駐停車位置
  - 余裕を持った右左折判断
  - 車線内走行
- ✓ 自動走行車両の挙動に関する理解醸成
  - 停車発車挙動
  - 停止判断
- ✓ 技術レベルに応じた運用ルールの改定
  - 走行路の優先/非優先変更
  - 交差点での運用ルール
- ✓ 自動運転に支障を与える事象の情報共有
  - 工事情報

**C・Dグループ**  
**AiRO株式会社**

空港制限区域内の自動走行に係る実証実験  
トローイングトラクター自動走行実証実験  
状況報告



2020年3月26日

グループC・D

AiRO株式会社



## 実証実験概要

- ・ 実施者： グループC AiRO株式会社
- ・ 協力会社： 日本航空株式会社（以下JAL）
- ・ 実施空港： 成田国際空港
- ・ 実験対象： 本館・サテライトソーティングおよびスポット間の旅客貨物運搬
  
- ・ スケジュール
  - 1.本番 2020年6月～7月のうち3日間  
10:00-18:00（予定）
  - 2.現地テスト 2020年5月～6月のうち1か月程度  
10:00-18:00（予定）
  - 3.事前テスト 2020年5月に実施予定  
実施場所はZMPテストコース
- ・ 状況： シミュレーションツールで自動運転システムを開発・テスト中

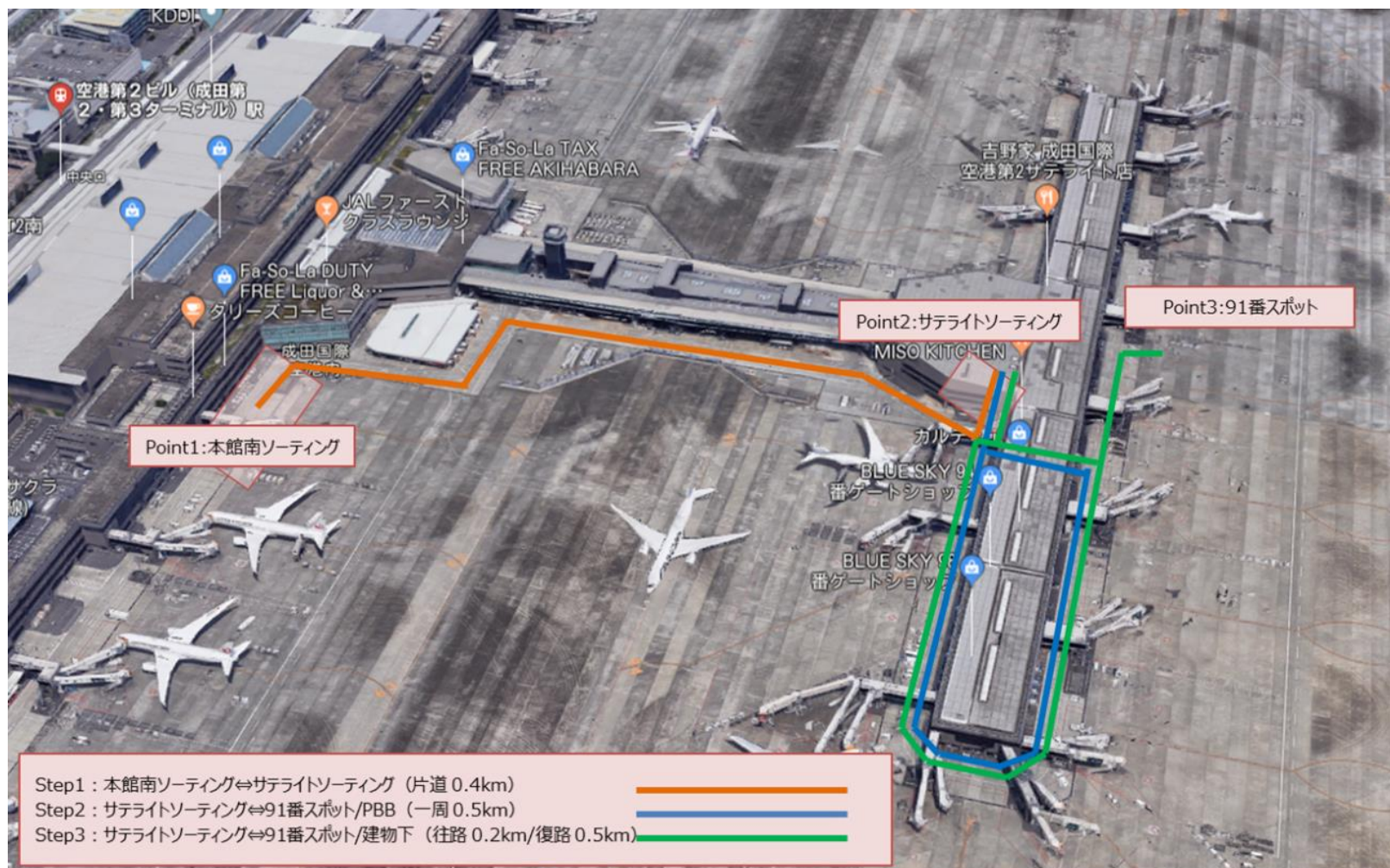
\* 実施時期および時間帯については協力会社および空港会社との協議の上、変更となる場合があります。

\* 事前テストはグループCとグループD共同になります。



# <グループC> 実証実験の走行ルート

本館ターミナルソーティング～サテライトターミナルソーティング～サテライトターミナル～本館ターミナルソーティング（往復）のルートを予定しています。



地図データ @2019 Google

\* 走行ルートについては協力会社および空港会社との協議の上、変更となる場合があります。

# <グループC> 実証実験の走行ルート

## Step1のルート

本館南ソーティング⇔サテライトソーティング間の手荷物搬送を検証します。

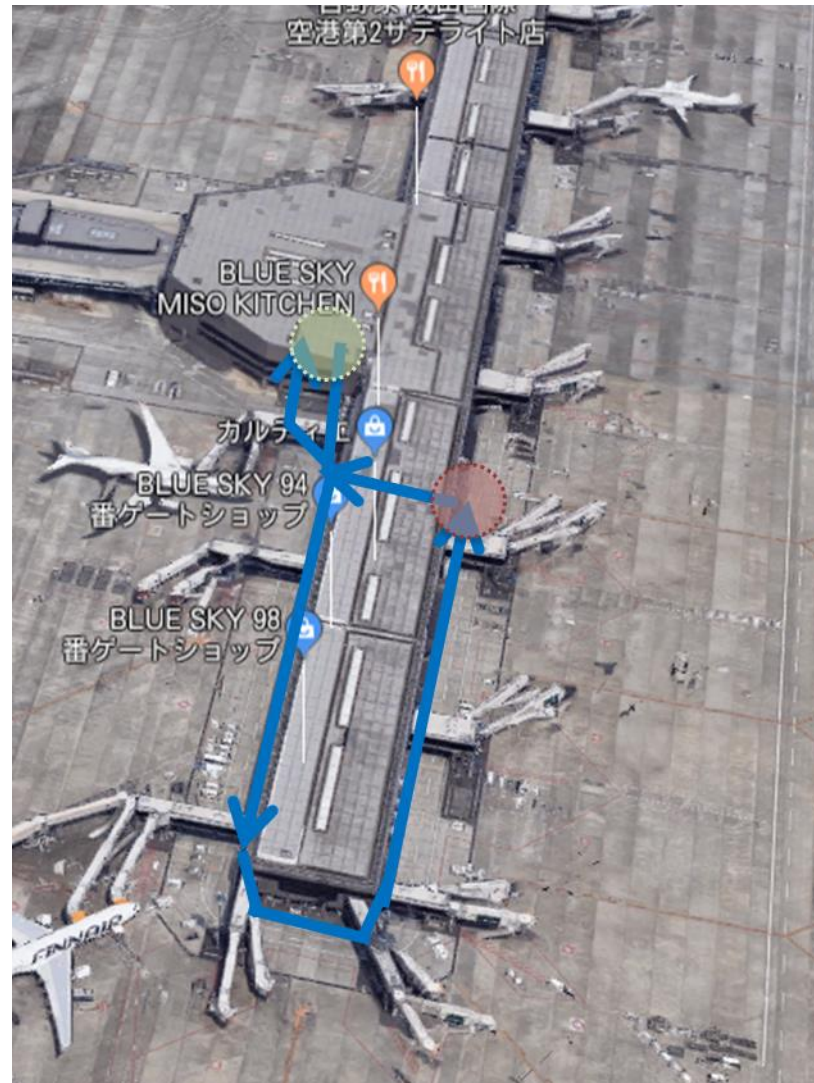


\* 走行ルートについては協力会社および空港会社との協議の上、変更となる場合があります。

# <グループC> 実証実験の走行ルート

## Step2のルート

ターミナル下、および、ターミナル沿い部分の手荷物搬送を検証します。

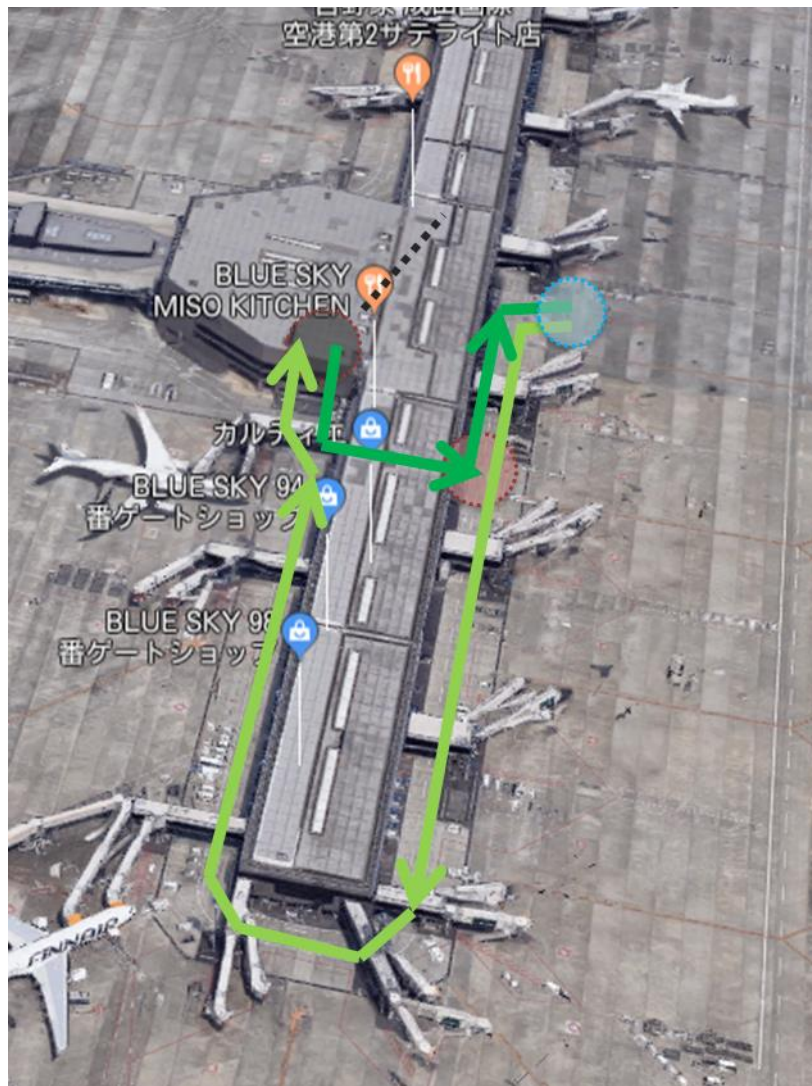


\* 走行ルートについては協力会社および空港会社との協議の上、変更となる場合があります。

# <グループC> 実証実験の走行ルート

## Step3のルート

サテライトソーティング⇔91番スポット間の手荷物搬送を検証します。



\* 走行ルートについては協力会社および空港会社との協議の上、変更となる場合があります。

## 実証実験概要

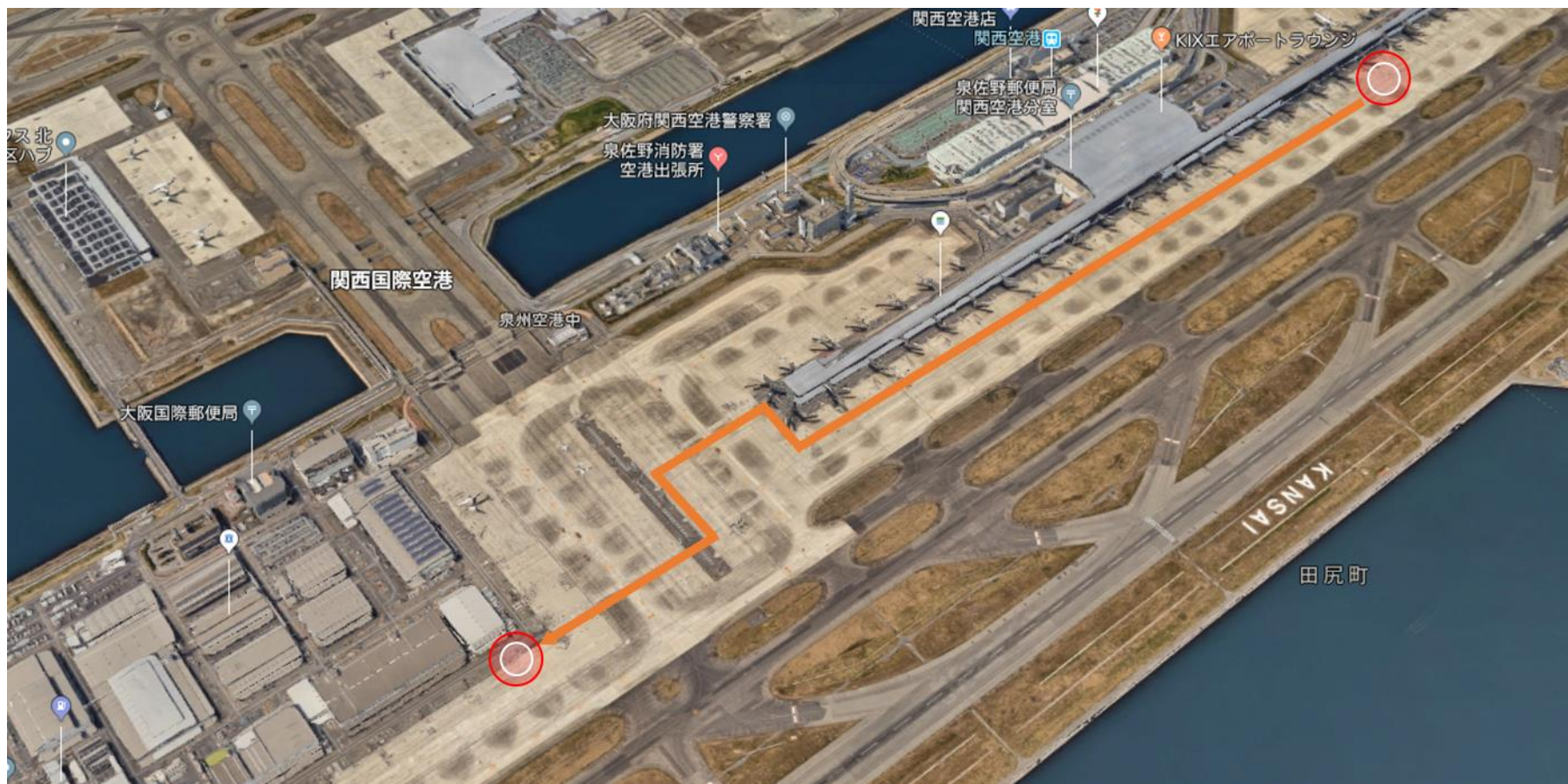
- ・ 実施者： グループD AiRO株式会社
- ・ 協力会社： スイサポートジャパン株式会社（以下SPJ）
- ・ 実施空港： 関西国際空港
- ・ 実験対象： スポットから貨物管理上屋までの約 2 kmを走行
  
- ・ スケジュール
  - 1.本番 2020年9月以降の3日間で調整中  
10:00-18:00（予定）
  - 2.現地テスト 2020年8月以降のうち1か月程度  
10:00-18:00（予定）
  - 3.事前テスト 2020年5月に実施予定  
実施場所はZMPテストコース
- ・ 状況： 誘導路横断システムで利用する固定カメラの設置場所について、  
関西エアポート様と協議中。

\* 実施時間帯については協力会社および空港会社との協議の上、変更となる場合があります。

\* 事前テストはグループCとグループD共同になります。

# <グループD> 実証実験の走行ルート

スポット～貨物管理上屋の片道約2 k mの走行ルートを予定しています。



\* 走行ルートについては協力会社および空港会社との協議の上、変更となる場合があります。

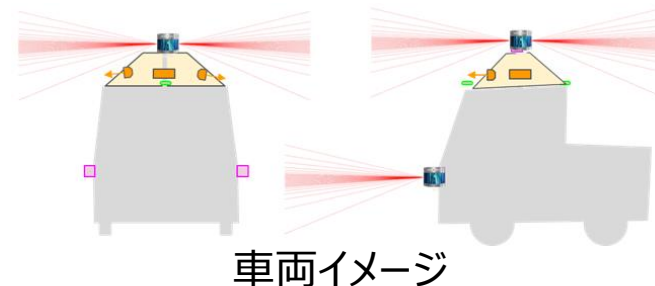
# <グループD> 実証実験の走行ルート

走行ルート上には誘導路の横断が2箇所あります。横断方法については中部国際空港でのシステムでの誘導路横断結果などを基に、関西エアポート様と協議中です。



## 実験車両

- ・ 実験車両はZMP製CarriRo®Tractorをベースとし、センサやPCを搭載した車両
- ・ 無牽引時：時速20km/h、牽引時：時速15km/hで走行
- ・ 最大4台のコンテナを牽引予定



## 自動運転システム

- ・ インフラに手を入れる必要がない、車両自律型
- ・ GPSとLiDARにて自己位置推定を実施、また、センサー等を利用しシステムで直進、加減速、停止、右左折などを行う



## 車両に設置している機能

- オーバーライド機能：運転者操作により自動運転から手動運転へ切り替え
- 緊急停止ボタン：運転席にある緊急停止ボタンを押下すると車両はフルブレーキ状態となり停止

## 運用での対応

- 運転者：運転者が運転席に座り、目視でも安全確認を行う  
運転者にて自動運転の開始・終了が可能なワンオペレーションシステム
- リモートコントロール：SPJのランプオフィスにリモートコントロールセンターを設置、遠隔で車両の状況を確認する

