資料4

令和7年度実証実験の結果について

令和7年度実証実験の主な成果と課題

国土交通省

◆実証総括

○　令和7年度実証実験においては、トラックからのパレットの自動積卸し、拠点間の自動走行等について、ユースケースごとに検証した結果、自動、無人で荷物を運ぶという自動物流道路のコンセプトは、一定条件下ではあるものの、確認できた。

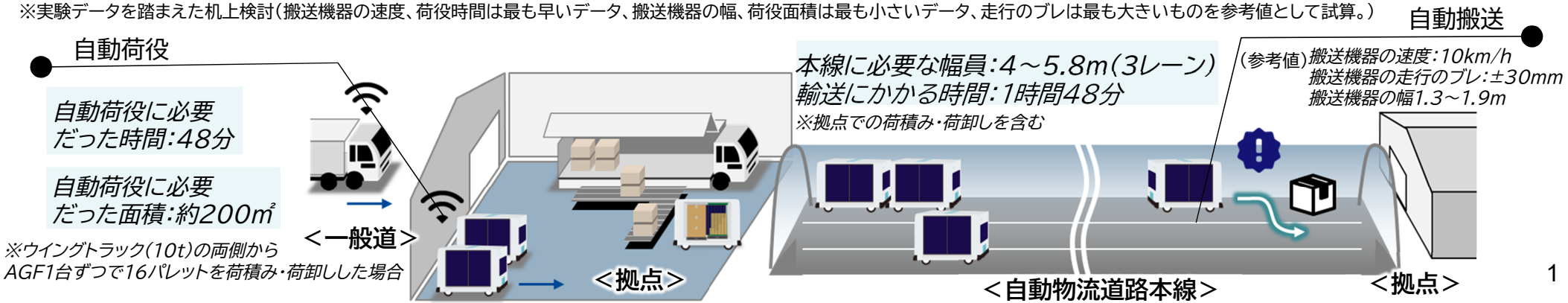
○一方で、「自動物流道路のあり方」最終とりまとめで示された「提供すべきサービス」の水準を達成するためには、搬送機器・荷役機器の速度などにはなお課題があるほか、ユースケース一連での実証、過酷な電波環境や勾配のある実際の高速道路の構造にあわせた環境下での検証を行っていく必要がある。

◆成果と課題

検証項目	R7年度の実証実験における主な成果	今後検証が必要となる内容
自動荷役 （ユースケース1）	・トラック・搬送機器間の自動・無人での荷役は可能 ・一定条件下における必要な時間、面積等を確認	・自動物流道路による一般道等への交通影響等の検討のため、複数機器の荷役による処理能力、必要面積等の検証が必要。
自動搬送 （ユースケース2～5）	・通信や異常時対応含め、荷物の自動搬送及び機器の運行管理をすることは可能 ・一定条件下（単体、直進、分合流なし等）における必要な道路幅などの走行環境等を確認	・本線の構造等の検討のため、複数機器の走行、分合流など、構造に関わる搬送機器の性能に関する検証が必要。 ・無人空間を前提とした、自動走行、インフラの維持管理、修繕に関する検討が必要。
その他 （ユースケース6）	・ETC2.0を活用したトラック・拠点（荷役機器）間で到着車両情報取得による物流効率化は可能	・自動物流道路のシステム全体（路側インフラ、搬送機器、拠点、トラック等）での連携などの検証が必要。

【参考】現状技術での自動物流道路での輸送の机上検討：CASE：拠点での16パレット（トラック1台分）の積卸し、拠点間10km自動搬送

※実験データを踏まえた机上検討（搬送機器の速度、荷役時間は最も早いデータ、搬送機器の幅、荷役面積は最も小さいデータ、走行のブレは最も大きいものを参考値として試算。）



ユースケース・検証項目ごとの実験実施状況①

国土交通省

○ 各ユースケースの実験公募時に設定した検証項目について、今年度の成果と残された課題を俯瞰し、実施状況を一覧で整理した。

ユースケース	検証項目	実施状況	
① 拠点：無人荷役機器による荷役作業の効率化	1）搬送機器への荷積み・荷卸しに必要な面積、時間	○	・一定条件下における荷積み・荷卸しの自動化及び必要な時間、面積等を確認
	2）トラックから荷卸し・搬送機器への荷積み～運搬、搬送機器からの荷卸し・トラックへの積み込みまでの自動化	○	・一定条件下における荷積み・荷卸しの自動化及び必要な時間、面積等を確認 ・有人作業との時間差を確認
② 本線単路部：搬送機器の自動走行	1）自動走行時に主に速度に応じた左右の揺らぎ・ブレ（自動走行に必要な幅員等の確認）	○	・一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における左右の揺らぎを確認
	2）速度・重量に応じた指定速度までの加速及び停止までに必要な時間や延長	○	・一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における速度・重量別の加速・停止性能を確認
	3）走行時の路面凹凸（軌道・ガイドウェイ・コンクリート舗装・アスファルト舗装等）による振動や道路の横断勾配、縦断勾配による荷物への影響	△	・一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における路面条件（軌道・コンクリート舗装・アスファルト舗装）や横断勾配による荷物への影響を確認 **・縦断勾配による荷物への影響等は未確認**
	4）速度・重量に応じた走行技術・制御（進行/停止/後退、**複数の搬送機器による同一レーン走行や対面走行、車線変更、**将来的な速度引上げの可能性、**拠点への分流・拠点からの合流**等）	△	・一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における走行技術・制御（進行/停止/後退）を確認。将来的な速度引上げの可能性について机上検討。 **・複数機器による走行や車線変更、拠点への分流・拠点からの合流については未確認**
	5）搬送機器の電力消費量	○	・一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における実験中の消費電力を確認
	6）カーブに必要な最小回転半径	○	・一定条件下（低速度等）における旋回性能を確認
	7）走行中の搬送機器への給電方法	○	・一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における走行中給電が可能であることを確認
	8）搬送する荷物のモニタリング方法（積載重量、**偏荷重、**荷積み状況、荷崩れ等荷物異常の把握、**搬送機器内温度等の確認**）	△	・一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における荷物のモニタリング（積載重量、荷積み状況、荷崩れ等荷物異常の把握）が可能であることを確認 **・偏荷重、搬送機器内温度のモニタリングは未確認**

※青字は未検証項目

ユースケース・検証項目ごとの実験実施状況②

国土交通省

○ 各ユースケースの実験公募時に設定した検証項目について、今年度の成果と残された課題を俯瞰し、実施状況を一覧で整理した。

ユースケース	検証項目	実施状況	
③ 本線単路部：異常検知及び搬送機器の回避行動	1）発生事象の検知・情報提供の確実性（トンネル内火災等による立ち往生、落下物検知等）	○	・一定条件下（複数、直進、分合流なし、低速度等）における異常検知が可能であることを確認
	2）災害時・緊急時のシステムオペレーション（車両避難・人員介入）	–	・R7年度は未実施
	3）回避行動時の搬送機器の走行技術・制御	○	・一定条件下（複数、直進、分合流なし、低速度等）における自動停止が可能であることを確認
④ 本線単路部：搬送機器の通信安定性	1）搬送機器の通信安定化技術の確実性	○	・一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における必要な通信環境を確認
	2）走行影響（自律走行のみの場合）の有無、自車位置把握の正確性	○	・遮蔽物（10tトラック）、監視カメラ（9台）による通信への大きな影響がないことを確認 ・位置補正用反射体により、自己位置推定の補正が可能であることを確認
⑤ その他：搬送機器の運行管理	1）荷物（または搬送機器）管理用ICタグ（DSRC、RFID、QRコード等）、GPSによる荷物管理	○	・高速走行中の二次元コードの読み取りが可能であることを確認 ・二次元コードを活用した運行管理について机上検討
	2）システムの電力消費量	○	・実験中の消費電力を確認
	3）輸送機器のメンテナンス（頻度、コスト、メンテナンス場所）	—	・R7年度は未実施
⑥ 拠点：搬入車両の到着予定情報の情報提供	1）到着車両情報の収集・提供	○	・ETC2.0を活用したトラック・拠点（荷役機器）間で到着車両情報取得による物流効率化が可能であることを確認
	2）搬送機器への配車指示	—	・R7年度は未実施
	3）搬送機器のスタンバイ	—	・R7年度は未実施

※青字は未検証項目

ユースケース1 拠点：無人荷役機器による荷役作業の効率化

国土交通省

○ ユースケース1では、自動荷役機器によるトラックや模擬的な搬送機器への荷積み・荷卸しなどを行い、一定条件下における必要となる時間、面積、荷役機器の作業継続率、精度等が確認できた。

検証項目	参加社（代表企業）	条件、数値等	R7年度の実証実験における主な成果
1）搬送機器への荷積み・荷卸しに必要な面積・時間	豊田自動織機	・4tトラック1台、側面での自動荷役 ・自動運転フォークリフト1台での荷積み／荷卸し ・積荷重量：約20kg、約720kg ※2）も同様	・必要面積 64㎡（パレット2枚横並び） ・必要時間 約9-10分／2パレット（荷積み・荷卸し）
	野村不動産	・10tトラック1台、背面での自動荷役 ・AGF1台ずつでの荷積み／荷卸し ・積荷重量：330kg ※2）も同様	（荷積み） ・必要面積 52㎡ ・必要時間 2分57秒／1パレット （荷卸し） ・必要面積 33㎡ ・必要時間 2分19秒／1パレット
2）トラックから荷卸し・搬送機器への荷積み～運搬、搬送機器からの荷卸し・トラックへの積み込みまでの自動化	豊田自動織機	・荷積み／荷卸し時の目標位置に対する精度を計測	・パレット位置精度は許容範囲 ・異常停止発生率 1.8%（N＝112）
	野村不動産	・荷積み／荷卸し時の目標位置に対する精度を計測	・パレット位置精度は±10mm以内

【実験の様子】





自動運転フォークリフトで4tトラックの側面から自動で荷積み・荷卸し





AGFで10tトラックの背面から自動で荷積み・荷卸し

◆<u>今後、検証が必要となる内容</u>

自動物流道路による一般道等への交通影響等の検討のため、以下の検証が必要。

・**荷役機器による自動荷役**：複数機器の荷役による処理能力、必要面積、拠点内のレイアウト等の検証

ユースケース2　本線単路部：搬送機器の自動走行①

国土交通省

○　ユースケース2では、搬送機器による自動走行を行い、一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における必要な道路幅などの走行環境等が確認できた。

検証項目	参加社（代表企業）	条件、数値等			R7年度の実証実験における主な成果
		搬送機器種別（）内は幅	速度	積載重量	
1）自動走行時に主に速度に応じた左右の揺らぎ・ブレ（自動走行に必要な幅員等の確認）	大林組	AMR（1.6m）	7.2km/h	450kg	・左右の揺らぎは偏差20mm～32mm程度
	大成建設	自動運転車（1.9m）	10、20km/h※	100、450kg	
	NAA/千葉県	AMR（1.3m）	3.6、7.2km/h	300、528kg	
	Cuebus	リニアモーター式搬送台車（1.3m）	約9～11 km/h	125、500、900kg	・軌道のため、左右の揺らぎ・ブレは無し
2）速度・重量に応じた指定速度までの加速及び停止までに必要な時間や延長	大林組	AMR（1.6m）	7.2km/h	450kg	・加速に必要な時間は11秒、延長は9m ・停止に必要な時間は17秒、延長は18m
	大成建設	自動運転車（1.9m）	10、20km/h※	100、450kg	・加速に必要な時間は13秒、延長は49m ・停止に必要な時間は7秒、延長は20m
	NAA/千葉県	AMR（1.3m）	3.6、7.2km/h	300、528kg	・加速に必要な時間は12秒、延長は10m ・停止に必要な時間は3秒、延長は5m
	Cuebus	リニアモーター式搬送台車（1.3m）	約9～11 km/h	125、500、900kg	・加速に必要な時間は36秒、延長は69m ・停止に必要な時間は4秒、延長は8m

※30km/h、60km/hによるシミュレーションも実施

【実験の様子】





AMRがT11パレットに荷物を載せて自動走行（7.2km/h）





自動運転車が荷物を載せて自動走行（10、20km/h）

ユースケース2　本線単路部：搬送機器の自動走行②

国土交通省

○　ユースケース2では、搬送機器による自動走行を行い、一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における必要な道路幅などの走行環境等が確認できた。

検証項目	参加社（代表企業）	条件、数値等	R7年度の実証実験における主な成果
3）走行時の路面凹凸（軌道・ガイドウェイ・コンクリート舗装・アスファルト舗装等）による振動や道路の横断勾配、縦断勾配による荷物への影響	大林組	・コンクリート舗装	・振動による荷物の位置ズレは無し
	NAA/千葉県	・コンクリート舗装	・路面凹凸や横断勾配による荷物への影響は許容範囲
	Cuebus	・アスファルト舗装＋ 固定されたレールに沿った走行	・振動による荷物の位置ズレは無し
4）速度・重量に応じた走行技術・制御 （進行/停止/後退、複数の搬送機器による同一レーン走行や対面走行、車線変更、将来的な速度引上げの可能性、拠点への分流・拠点からの合流等）	大成建設	・30、60km/h （シミュレーションにより実施）	・速度向上による左右の揺らぎ・ブレへの影響はほぼ無し
	Cuebus	・前ページと同様 （システムによる位置把握精度から試算）	・必要な車間距離：10m （シミュレーションによる試算値）
5）搬送機器の電力消費量 （トンキロ当たりの電力消費量）	大林組	・前ページと同様	1.63kWh/t・km
	大成建設		2.00kWh/t・km
	NAA/千葉県		2.26kWh/t・km

【実験の様子】



NAA/千葉県



AMRがT11パレットに荷物を載せて自動走行（3.6、7.2km/h）



Cuebus



リニアモーター式搬送台車がT11パレット/カゴ車を載せ自動走行（約10km/h）

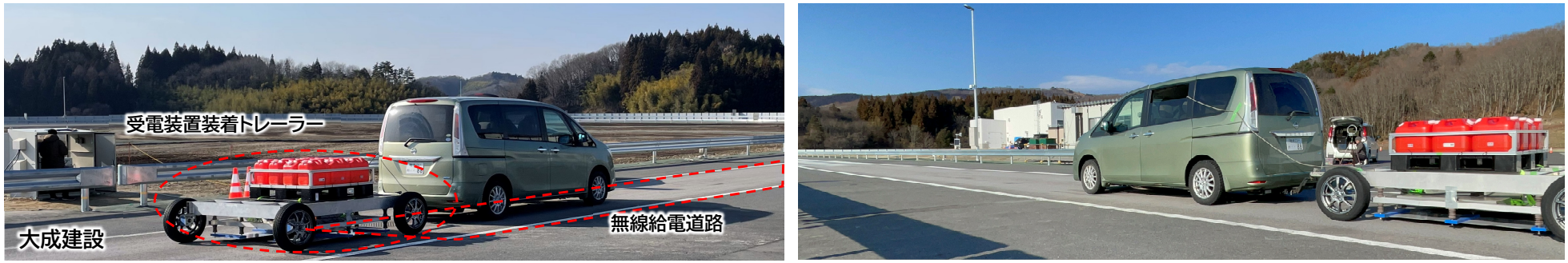
ユースケース2　本線単路部：搬送機器の自動走行③

国土交通省

○　ユースケース2では、搬送機器による自動走行を行い、一定条件下（単体、直進、分合流なし、低速度等）における必要な道路幅などの走行環境等が確認できた。

検証項目	参加社（代表企業）	条件、数値等	R7年度の実証実験における主な成果
6）カーブに必要な最小半径	大林組	速度：1km/h 重量：450kg	・最小回転半径：5.375m
7）走行中の搬送機器への給電方法	大成建設	速度：10、20、30、40、60km/h 出力電力：5kW	・給電効率：54.0%～59.7%
8）搬送する荷物のモニタリング方法（積載重量、偏荷重、荷積み状況、荷崩れ等荷物異常の把握、搬送機器内温度等の確認）	NAA/千葉県	速度：3.6、7.2km/h 重量：300、528kg ・3次元加速度センサーによる計測、カメラでの映像録画	・加速度センサーおよびカメラ映像により荷物の状況を確認

【実験の状況】



受電装置を装着したトレーラーが無線給電道路から走行中給電

◆<u>今後、検証が必要となる内容</u>

自動物流道路本線の構造等の検討のため、以下の検証が必要。

- **搬送機器の自動走行：**複数機器の走行、曲進、分合流、高速走行時の左右のブレ、本線構造による荷物への影響等の検証

ユースケース3　本線単路部：異常検知及び搬送機器の回避行動

国土交通省

○　ユースケース3では、搬送機器の走行中に落下物や火災の発生を想定した模擬実験を実施し、一定条件下（直進、分合流なし、低速度等）において、インフラ協調によって正しく異常を検知し、回避行動（停止）ができることが確認できた。

検証項目	参加社（代表企業）	条件、数値等	R7年度の実証実験における主な成果
1）発生事象の検知・情報提供の確実性（トンネル内火災等による立ち往生、落下物検知等）	鹿島建設	発生事象：火災（模擬）、落下物 速度：3.6km/h 重量：120kg 落下物：大12kg・中8kg・小4kg 加熱温度：30℃程度・40℃程度	（検知確率） ・落下物　大：67%、中：33%、小：0%※ ・火災（模擬）　100%
2）回避行動時の搬送機器の走行技術・制御			・異常時停止率：100% ・異常検知から停止時間：1秒程度 ・車間距離のズレ：最大0.2m

※実験デモ時には100%検知（N=2）

【実験の状況】



光ケーブルにより事象の発生（火災（模擬）、落下物）を検知し、3台のAMRが停止

◆<u>今後、検証が必要となる内容</u>

自動物流道路本線の構造等の検討のため、以下の検証が必要。

- **異常検知及び回避行動**：インフラ協調による複数機器の高速走行時の異常検知や回避行動等の検証
  また、同一システムによる自動物流道路本線の維持管理、修繕等の検証

ユースケース4　本線単路部：搬送機器の通信安定性

国土交通省

○　ユースケース4では、電波測定遮蔽物（10tトラック、監視カメラ（9台））による通信への大きな影響がないことが確認できた。また、一定条件下（単体、直進、低速度等）において、位置補正用反射体により、自己位置推定の補正が可能であることが確認できた。

検証項目	参加社（代表企業）	条件、数値等	R7年度の実証実験における主な成果
1）搬送機器の通信安定化技術の確実性	NTT ドコモビジネス	・計測内容：電波測定機器、カメラ ・取得内容：スループット、応答速度	・通信速度　上り：平均3.2Mbps 下り：平均67.0Mbps以上 ・応答速度：72ms以下 ※全長700mトンネル内（単体走行時）で常時通信可
	NAA/千葉県	・計測内容：Wi-Fi通信強度 ・周波数帯：2.4GHz,5GHz ・アクセスポイント間隔：40m	・通信速度　2.4GHz：-64dBm以上 5GHz：-56dBm以上 ※通信強度測定の結果、150m間隔のアクセスポイントで自動走行可
2）走行影響（自律走行の場合）の有無、自車位置把握の正確性	NTT ドコモビジネス	・計測内容：電波測定機器、カメラ ・取得内容：スループット、応答速度 ・遮蔽物：10tトラック、混在電波	・遮蔽物による通信速度への大きな影響なし ・監視カメラ同時動作時は帯域約30%低下（1.7Mbps→1.2Mbps）
	大成建設	・反射体補正：あり、なし ※全点群のうち、天井照明等の影響のない高さ0～2mの点群を用いて、反射体あり/なしの位置精度を比較	・反射体補正により、ブレを抑制 ・前後　あり：1.7m、　なし：23.2m ・左右　あり：44mm、なし：550mm

【実験の状況】





遮蔽物による通信への影響、搬送機器内のカメラによる荷物の監視



アクセスポイント設置による通信



反射体検知による位置補正

◆<u>今後、検証が必要となる内容</u>

自動物流道路本線の構造等の検討のため、以下の検証が必要。

・**通信安定性**：複数機器の走行による通信への影響、高速走行時の自己位置推定の補正の検証

ユースケース5　その他：搬送機器の運行管理

国土交通省

○　ユースケース5では、高速走行中でも搬送車両に貼り付けた二次元コードの読み取りが可能であることが確認できた。また、机上検討を行い、二次元コードによる荷物や搬送機器の位置の把握など、運行管理への活用可能性が確認できた。

検証項目	参加社（代表企業）	条件、数値等	R7年度の実証実験における主な成果
1）荷物（または搬送機器）管理用ICタグ（DSRC、RFID、QRコード等）、GPSによる荷物管理	前田建設工業	速度：20、40、50、60km/h 路面輝度：4.5、2.3、1.5cd/m² カメラ設置位置：鳥瞰/真横 マーカ設置位置：鉛直/斜め/側面	（認識率） ・鳥瞰カメラ：マーカー鉛直・斜め：100% ・真横カメラ：（マーカー遠い）2号車：100% ・真横カメラ：（マーカー近い）1号車：20%
2）システムの電力消費量			・50wh/h程度

【実験の状況】



車両に貼り付けた二次コードを鳥瞰/真横のカメラで読み取り

◆<u>今後、検証が必要となる内容</u>

自動物流道路本線の構造等の検討のため、以下の検証が必要。

・**運行管理**：暗所等の本線の環境や停電等の非常事態も踏まえた運行管理等の検証

ユースケース6　拠点：搬入車両の到着予定情報の情報提供

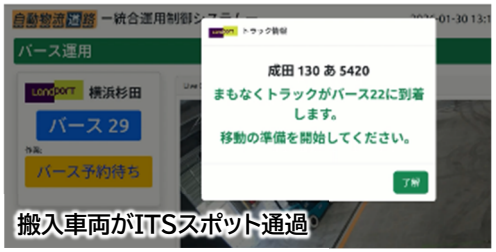
国土交通省

○　ユースケース6では、ETC2.0を活用し、トラック・拠点（荷役機器）間で到着車両情報を取得することで、物流効率化が可能であることが確認できた。

検証項目	参加社（代表企業）	条件、数値等	R7年度の実証実験における主な成果
1）到着車両情報の収集・提供	野村不動産	・ETC2.0を利用して搬入車両の位置情報を確認	・位置情報の遅延は5秒以内であり、運用上許容可能な範囲であることを確認

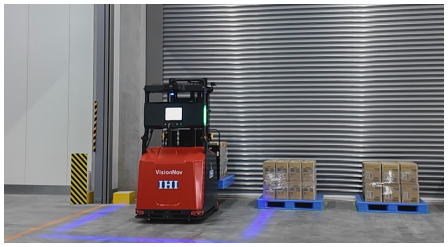
【実験の状況】

搬入車両がITSスポットを通過すると、トラック受入れの指示を発信



搬入車両がITSスポット通過

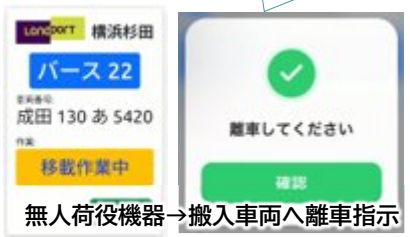
到着情報を受け取ると、荷物を保管倉庫からバッファスペースへ移動



トラック到着後、無人荷役機器がスムーズに荷積みを実施


搬入車両到着、無人荷役機器の荷積み

無人荷役機器が荷積みを終えると、搬入車両に向けて離車指示を発信



無人荷役機器→搬入車両へ離車指示

ETC2.0を活用し、トラックの到着情報をもとにあらかじめ荷役の準備をして荷待ち時間を低減

◆今後、検証が必要となる内容

・**ETC2.0活用による物流効率化：**自動物流道路のシステム全体（路側インフラ、搬送機器、拠点、トラック等）での連携などの検証

実証実験採択事業者等一覧

国土交通省

参加グループ	ユースケース	実験場所	開始	終了	日数	頁数
野村不動産株式会社、 株式会社IHI、 株式会社IHI物流産業システム、ナカオ工業株式会社、 フジトランスポート株式会社、 株式会社 NX総合研究所	1、6	Landport 横浜杉田	2026/1/5	2026/2/1	17日間	p.13
株式会社豊田自動織機	1	トヨタL＆Fカスタマーズセンター愛知	2025/12/10	2025/12/11	2日間	p.21
株式会社大林組、 PLiBOT 株式会社、 日本マイブルロボットテクノロジー株式会社、 NTT ドコモビジネス株式会社	2	国総研	2026/2/2	2026/2/6	5日間	p.28
大成建設株式会社、 株式会社ティアフォー、 大成ロテック株式会社	2	次世代技術 実証センター	2026/1/5 2026/2/20	2026/1/17 2026/2/22	14日間	p.35
	2、4	国総研	2025/12/17	2025/12/18	2日間	
成田国際空港株式会社、千葉県、 大林組、PLiBOT株式会社	2、4	天神峰トンネル	2026/2/16	2026/2/18	3日間	p.46
Cuebus株式会社	2	成田空港内道路	2026/2/9	2026/2/20	9日間	p.54
鹿島建設株式会社	3	国総研	2026/2/24	2026/2/27	4日間	p.60
NTTドコモビジネス株式会社、 株式会社大林組、 PLiBOT株式会社、 日本マイブルロボットテクノロジー株式会社、 セーフィー株式会社	4	国総研	2026/2/2	2026/2/6	5日間	p.64
前田建設工業株式会社、 株式会社TBMシステムズ、 ワム・システム・デザイン株式会社	5	国総研	2025/12/1	2025/12/5	5日間	p.78

野村不動産株式会社
株式会社IHI
株式会社IHI物流産業システム
ナカオ工業株式会社
フジトランスポート株式会社
株式会社NX総合研究所

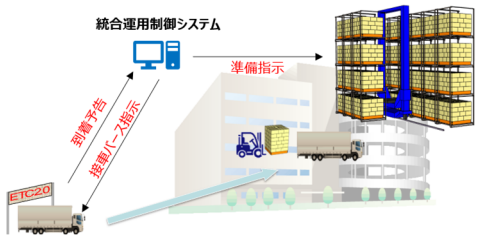
ユースケース１、６

[野村不動産株式会社(代表企業)]　ユースケース1、6

国土交通省

■実験概要

Landport横浜杉田(野村不動産株式会社・株式会社IHI)において、自動物流道路の本線と拠点間の積替え空間を模擬的に再現し、拠点に到着した10tトラックからAGF(無人フォークリフト)によるT11パレットの自動荷卸し、自動倉庫への保管、搬送機器への積替えを行う。
これにより、自動での荷卸しに必要な面積、作業時間等を計測し、自動物流道路の拠点の運用条件の整理を行う。
あわせて、ETC2.0等から得た拠点に入庫するトラックの車両到着情報を拠点側システムと連携させ、自動倉庫からの自動出庫、荷積みの作業時間等を計測し、ドライバーの荷待ち時間削減効果を検証する。

実施するユースケース	ユースケース1:無人荷役機器による荷役作業の効率化 ユースケース6:搬入車両の到着予定情報の情報提供
代表企業(役割)	**野村不動産株式会社**(全体取りまとめ・実証場所の提供)
その他参加企業(役割)	**株式会社IHI**(施設内オペレーション、運行通知) **株式会社IHI物流産業システム**(施設内オペレーション、運行通知、無人フォークリフト・自動倉庫手配) **ナカオ工業株式会社**(トラック手配/運行・荷積み/荷卸し) **フジトランスポート株式会社**(トラック手配/運行・荷積み/荷卸し) **株式会社NX総合研究所**(実証の計画、計測、報告書作成)
その他協力企業(役割)	**岡谷鋼機株式会社**(無人フォークリフト提供)
実験場所	**Landport横浜杉田**(神奈川県横浜市金沢区昭和町3174)
実験日程	2026年1月28日～1月30日
使用する主な機器	大型トラック1台、AGF(無人フォークリフト)1式、自動倉庫1式、統合運用制御システム1式
機器の図・諸元	 全体概念図  「オートフロア」搭載大型トラック  AGF(無人フォークリフト)

■実験結果(ユースケース1)

検証項目	①トラック接車⇒AGFでの荷卸し⇒搬送機器への荷積み　(エリア、時間、精度の計測)
検証結果	【取得した指標】 • 荷積み・荷卸しに必要な面積・時間 • パレット搬送自動化機器によるスループット 【結果概要】 • AGFを使用する場合、有人フォークリフと比較して、**約3倍の時間**と、**余分に約2m程度荷捌き旋回用の移動距離が必要となる**ことがわかりました。(表1-1,1-2) • 無人フォークリフトのパレット置き位置の、位置決め精度は、**±10㎜以内**でした。(表1-3)
今後検証が必要となる内容	• 有人フォークと同じ作業時間で処理するには、1人の作業者につき約3台の無人フォークリフトが必要ですが、3台同時運用ではルートが重なり効率が下がる可能性があります。 • AGVへの移載には様々な仕様に対応するため、専用移載機を用いることを推奨します。 • AGFは有人フォークリフトよりも受け渡し位置精度が高いことに加えて、柔軟な運用が可能であり、多様なトラック使用に対応できる特徴もあります。AGFでの運用を想定した拠点レイアウトの検討が必要です。

表1-1_1パレットあたりの各経路における平均運転時間※

経路	AGF	有人フォーク
①→②(トラックからの荷卸)	2分19秒	0分50秒
②→③(庫内の横持)	2分23秒	0分50秒
③→④(無人荷役機器への積込)	2分41秒	0分55秒

※AGFの検証回数:8回

表1-2 AGFの各経路における必要面積[㎡]

①→②(トラックからの荷卸)	32.7
②→③(庫内の横持)	63.2
③→④(無人荷役機器への積込)	45.8

表1-3 各搬送位置における平均精度[mm] ※

経路	AGF		有人フォークリフト	
①→②(トラックからの荷卸)	X:15	Y:12.6	X:15.9	Y:31.3
②→③(庫内の横持)	X:19.9	Y:14.3	X:24.3	Y:14.5
③→④(無人荷役機器への積込)	X:5	Y:5.7	X:8.6	Y:20.4

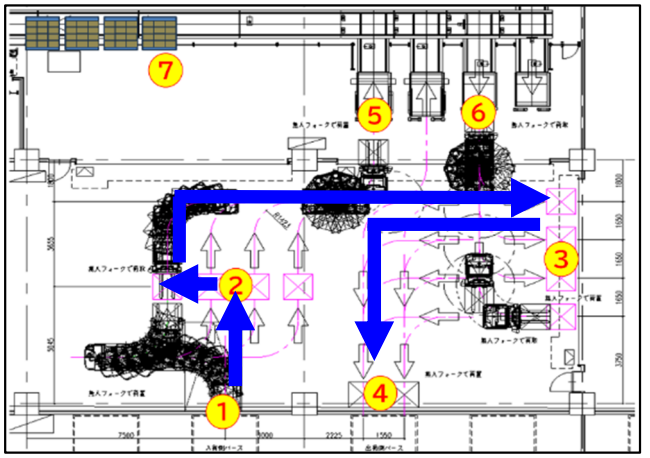
※AGFの検証回数①→②・②→③:5回/③→④:8回



実証時の様子



実証時の様子



実証場所レイアウト

■実験結果(ユースケース1)

検証項目	②車両到着情報との自動倉庫連携、自動倉庫によるパレット保管作業の自動化(※事業者追加の検証項目)
検証結果	【取得した指標】 • 車両到着情報(ユースケース6)と連携したパレット荷出し、荷積みまでの自動化に必要な作業時間、エリア 【結果概要】 • 車両到着情報により自動倉庫からのパレット出庫を行い、実証時は、**毎回3分で荷物が搬出**されました。 ※本実証場所の設備においては、平均して3分50秒必要です。 • 搬出コンベアから搬出バッファ位置まで、AGFで搬出を行う動作は、**毎回一定時間での動作**となりました。 • 10tトラックにパレット移動用のためのオートフロアが設置されていますが、AGFが次パレットを搬送するまでに、**十分な動作時間が確保されている**ことを確認しました。 ※オートフロアによる1パレット分の動作時間は約20秒となります。
今後検証が必要となる内容	• 今回の実証ではオートフロアによるパレット移動時間に対してAGFの搬送時間が長く、待ち時間はありませんでしたが、**搬送時間が短くなる場合はパレット移動完了の検知が必要**です。 • 今回の実証では、AGFによるトラックへの荷置き時に、トラック側に±50mmの停止精度が求められました。AGF側にセンシング機能を追加することによりある程度緩和できますが、**センシングにかかる時間だけ搬送時間も長くなります**。AGFのセンシングに頼らない運用の場合は、**トラックの位置合わせを行うための機構や機能の導入が必要**となります。

AGFの各経路における必要面積[㎡]	
⑥→③(自動倉庫からの荷取)	42.5
③→①(トラックへの積込)	52.1

1パレットあたりの各経路における平均運転時間※1		
経路	AGF	有人フォーク
⑥→③(自動倉庫からの荷取)	1分49秒	0分54秒
③→①(トラックへの積込)	2分57秒	0分38秒※2

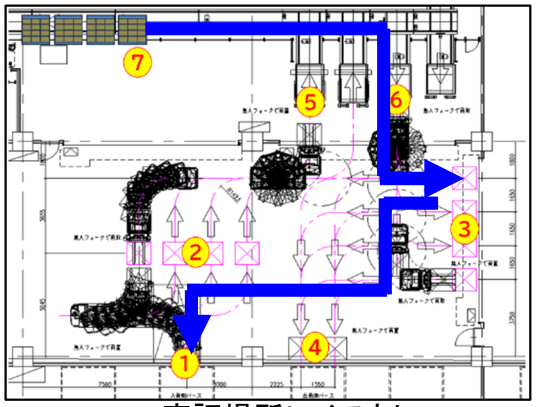
※1　AGFの検証回数：8回
※2 トラック想定位置へ搬送のため参考値



実証に使用した「オートフロア」



実証時の様子



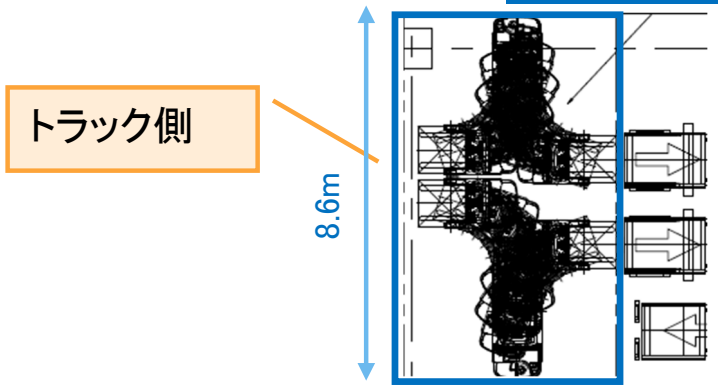
実証場所レイアウト

■実験結果(ユースケース1)

今後検証が必要となる内容

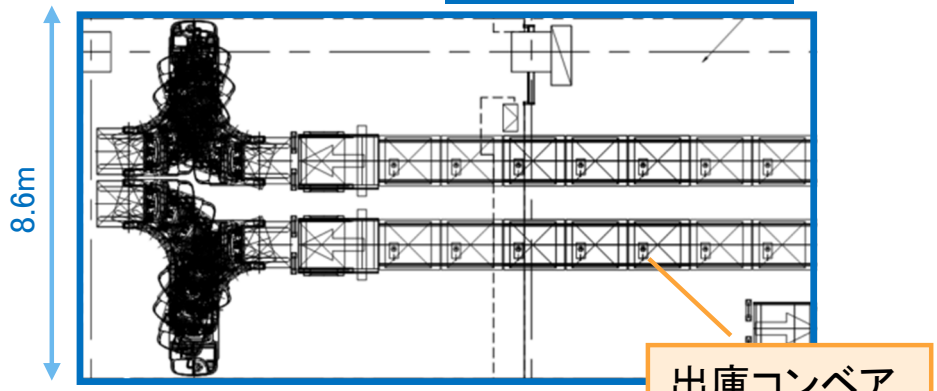
- AGFを用いた理想的なレイアウトにおいて、AGF2台による作業時間は19分/16PLが必要です。
- 入庫に必要な面積は約43m²で、出庫は出庫コンベアを含めて約150m²になります。
- AGFの稼働エリアが広く(幅8.6m)隣接バースを同時稼働できないため、バース稼働率は通常の半分から1/3程度になります。

必要面積:43m²



入庫バースレイアウト案

必要面積:150m²



出庫バースレイアウト案

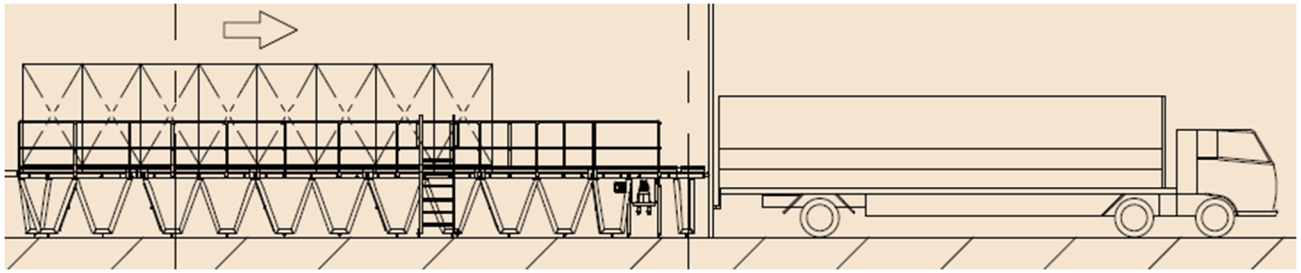
入出庫タイムチャート案

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
トラック到着																													
トラック後部ドアを開放																													
トラックを荷下ろし位置まで移動																													
トラックに電源ケーブルを接続																													
荷卸し作業																													
トラックから電源ケーブルを分離																													
トラックを後部ドア閉鎖可能位置まで移動																													
トラック後部ドアを閉鎖																													
トラック発進																													

■実験結果(ユースケース1)

今後検証が必要となる内容

- AGFによる移載では、能力が有人フォークの3分の1に留まること、また、同時に隣接したバースを稼働することができないことから、AGFに替えて、**コンベア式ローダ／アンローダを使用**し、10トントラックに搭載する16パレットを一度に積載するという手法も検討に値します。固定設備の設置面積が広くなるという欠点はありますが、16パレットを積載するのにかかる時間を19分から2分程度に短縮することができます。



ロード／アンロード設備案

入出庫タイムチャート案

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
トラック到着																													
トラック後部ドアを開放																													
トラックを荷下ろし位置まで移動																													
トラックに電源ケーブルを接続																													
荷卸し作業																													
トラックから電源ケーブルを分離																													
トラックを後部ドア閉鎖可能位置まで移動																													
トラック後部ドアを閉鎖																													
トラック発進																													

■実験結果(ユースケース6)

検証項目・検証結果	**検証項目①:<u>到着車両情報の収集・提供</u>** • 路側機周辺で搬入車両の到着時刻と車両番号を正確に確認しました。 • スマートフォン位置情報取得による遅延は1秒未満であることを確認しました。 • ETC2.0で5秒以内に車両位置データを取得できることを確認しました。 **検証項目②:<u>搬入車両への接車バース指示～完了報告 および 搬入車両へのバース離車指示～完了報告</u>** • 搬入車両に対して接車バースの指示を正確かつリアルタイムに送信できることを確認しました。 • 搬入車両に対して、離車指示を正確かつリアルタイムに発信し、搬送車両から離車完了の報告を受信することができました。 **検証項目③:<u>無人荷役機器に搬入車両受入準備指示～完了報告</u>** • AGFへ受入準備の指示を出し、「了解」をクリックすることで移載準備を開始、作業完了後には「準備完了」をクリックして準備完了報告の受信をする一連の流れが、正確かつリアルタイムに行えることを確認できました。 **検証項目④:<u>無人荷役機器によるトラックから荷卸し/積み込み指示～完了報告</u>** • トラック側から「到着」をクリックし、到着を受信後、バース画面で積み込み指示を受信しました。 • バース側で「了解」をクリックして移載作業を開始し、作業完了後は「移載完了」をクリックして、積み込み完了報告を受信する一連の流れが、正確かつリアルタイムに実施されました。
今後検証が必要となる内容	**ETC2.0未導入環境でのWeb・スマホ活用手段の検証** • 路側機が全ルートに導入されるまでの過渡期において、多様な運送業者に柔軟に対応するため、Webベースのシステムやスマートフォンを利用して車両・位置情報をリアルタイムで送受信する運用の有効性の検証が必要です。 **ETC2.0等の「プッシュ通信機能」による業務自動化の検証** • システムが自動的に情報を受け取れるようになった際(例:プッシュ型で車両の通行情報の通知をシステムが受け取れる等)業務の自動化がどこまで進展するか、その具体的な効果の確認が必要です。 **AGF以外の多様なマテハンシステムとの連携検証** • 今回想定したAGF(無人搬送フォークリフト)や自動倉庫といった機器だけでなく、現場に導入され得る他の多くのマテリアルハンドリングシステムとの連携可能性の確認が必要です。 **環境変化に応じたシステム全体のリアルタイム制御検証** • 環境影響を最も受けやすい「トラックの運行状況」の変動に合わせて、拠点側の受け入れ態勢や搬送機器の運用をリアルタイムで制御・連動させる、システム全体の総合的な検証を行う必要があります。

■実験結果(ユースケース6)

車両到着情報等の情報システム画面イメージ

①到着車両情報の収集・提供

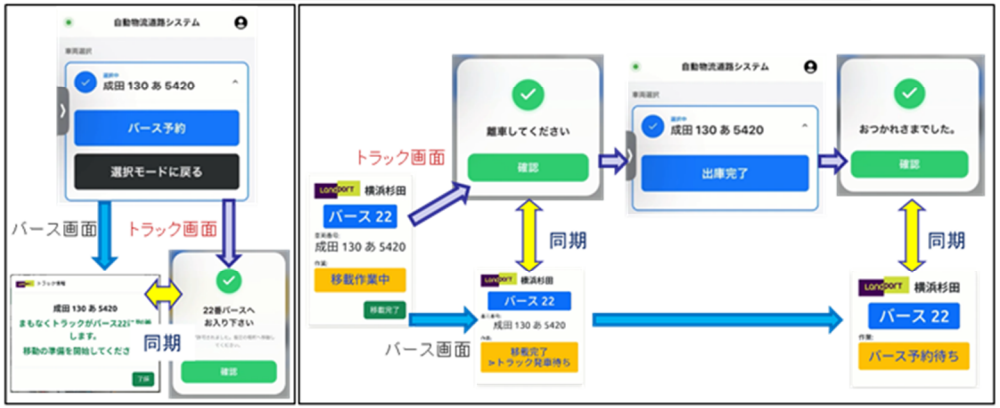
ETC2.0による位置情報

	ログ番号	ログ時刻	緯度	経度
1回目	1	2026/01/29 13:21:29	35.40187	139.62007
2回目	2	2026/01/30 13:10:46	35.40147	139.61966

トラックの状態遷移　5秒以内　一致

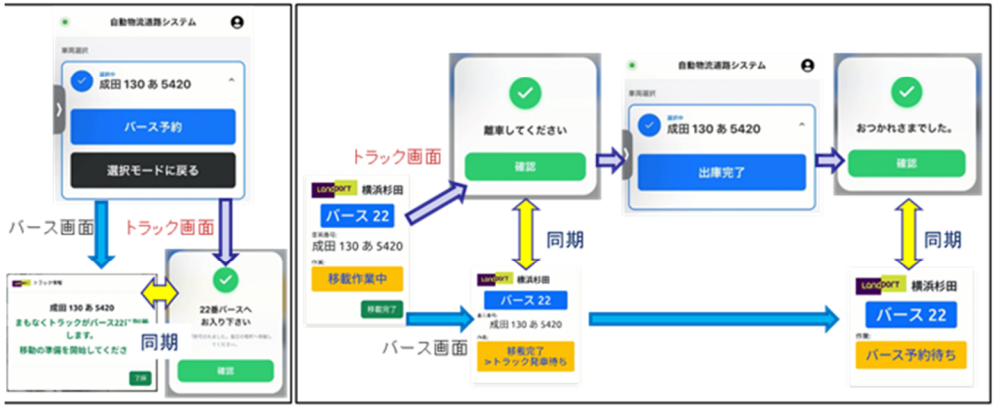
	ログ番号	ログ時刻	トラック車番	トラック状態	緯度	経度	バース番号	
1回目	1636	2026/01/29 13:21:24	成田 130 あ 5420	APPROACH	35.40140972823821	139.6194349215606	45	バース予約
	1637	2026/01/29 13:39:07	成田 130 あ 5420	ARRIVED			45	バース到着
	1638	2026/01/29 13:55:17	成田 130 あ 5420	LEAVING			45	離車要求
	1639	2026/01/29 13:58:49	成田 130 あ 5420	EN_ROUTE			45	離車完了
2回目	1646	2026/01/30 13:10:48	成田 130 あ 5420	APPROACH	35.4016973271274	139.619959222487	22	バース予約
	1647	2026/01/30 13:29:10	成田 130 あ 5420	ARRIVED			22	バース到着
	1648	2026/01/30 13:41:49	成田 130 あ 5420	LEAVING			22	離車要求
	1649	2026/01/30 13:43:33	成田 130 あ 5420	EN_ROUTE			22	離車完了

②搬入車両への接車バース指示～完了報告 および 搬入車両へのバース離車指示～完了報告



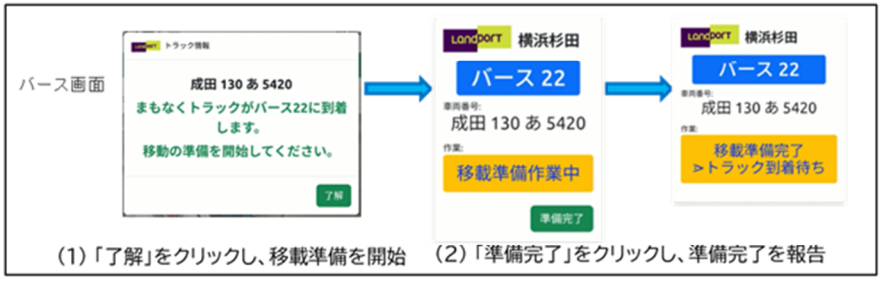
バース接車指示　離車指示・報告

③無人荷役機器に搬入車両受入準備指示～完了報告



バース接車指示　離車指示・報告

④無人荷役機器によるトラックから荷卸し/積み込み指示～完了報告



搬入車両受入指示・報告

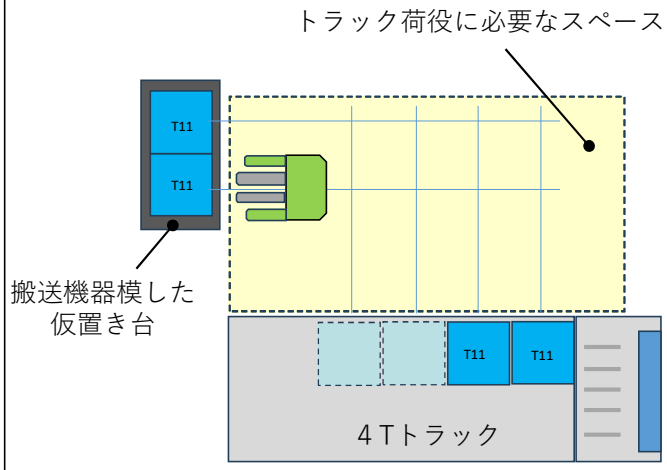
株式会社豊田自動織機

ユースケース1

■実験概要

トヨタL＆Fカスタマーズセンター愛知（株式会社豊田自動織機）において、自動物流道路の本線と拠点間の積替え空間を模擬的に再現し、4tトラックから自動運転フォークリフトによるT11パレット等の自動積み下ろし、搬送機器への積替えを行う。これにより、自動での荷下ろしに必要な面積、作業時間等を計測し、自動物流道路の拠点の運用条件の整理を行う。

実施するユースケース	ユースケース1 無人荷役機器による荷役作業の効率化
代表企業（役割）	豊田自動織機（現場統括、管理、搬送機器の提供）
その他参加企業（役割）	
実験場所	トヨタL＆Fカスタマーズセンター愛知
実験日程	2025年12月10・11日
使用する主な機器	自動運転フォークリフト、4Tトラック・ウイングタイプ
機器の図・諸元	



全体レイアウト（上面視）



自動運転フォークリフト
Rinova　Autonomous

項目	仕様
誘導方式	3D-SLAM
定格荷重(kg)	1100
揚高(mm)	2600
最小回転半径(mm)	1900
全長(mm)	2620
全幅(mm)	1380
全高(mm)	2510
リーチ量	725
最低地上高(mm)	40
車両重量(kg)	2710



4Tトラック・ウイングタイプ
（写真とは詳細仕様が異なります）



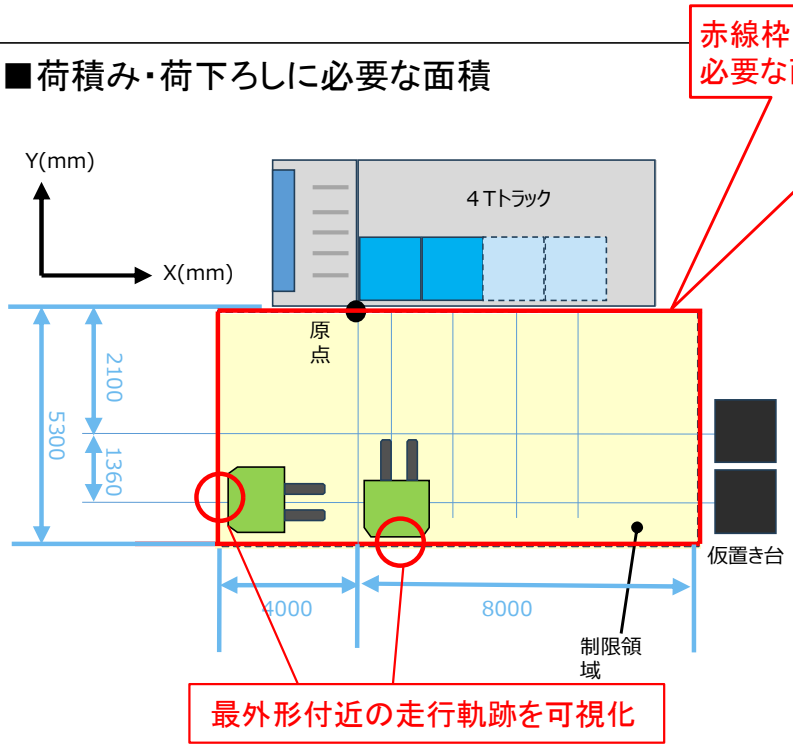
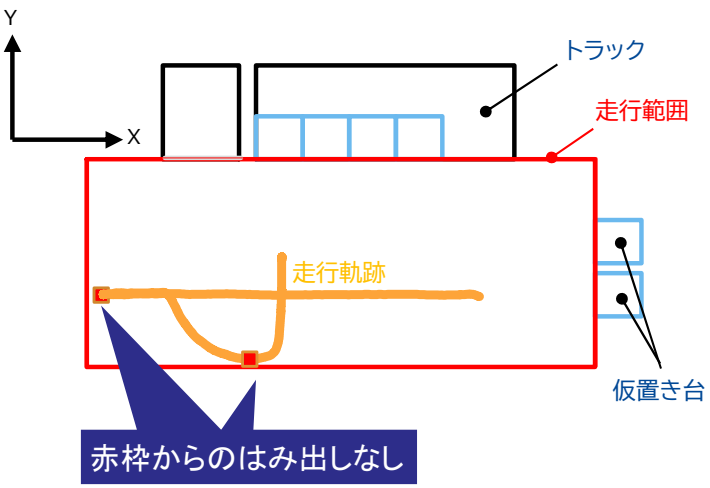
荷姿　：　段ボール、T11パレット
重量　：　20kg程度
荷寸法：　縦 0.98m×幅 0.98m×高さ 0.66m
（箱寸法 縦410mm×幅565mm×高さ330mm　8cs）
積載台：　パレット



荷姿　：　飲料、T11パレット
重量　：　720kg程度
荷寸法：　縦 1.08m×幅 1.08m×高さ 0.95m
（箱寸法 縦215mm×幅270mm×高さ315mm　60cs）
積載台：　パレット

荷物（2種類）

■実験結果

検証項目	①搬送機器への荷積み・荷下ろしに必要な面積・時間
検証結果	■荷積み・荷下ろしに必要な面積  図　実証試験レイアウト  図　最外形付近のリフト走行軌跡 （仮置き台高さ 0mm） ・4Tトラックの一方の側面において、輸送機器内のパレット2枚の自動荷役を行うためのレイアウトを作成した結果、必要最小スペースは 5.3M×12M（64㎡） ・走行軌跡図より、ずれ量もわずかで、はみ出しもなく、システム精度は十分実用可能
今後検証が必要となる内容	今回の実証実験は、搬送機器内のパレット2枚を直接自動荷役で模擬したが、実際は自動倉庫などの荷繰りを踏まえた、倉庫レイアウトでのスペース検証が必要 （今回の結果を踏まえると、パレット1枚の場合の必要最小スペースは 3.94M×12M（47.28㎡））

■実験結果

検証項目	①搬送機器への荷積み・荷下ろしに必要な面積・時間
検証結果	■荷積み・荷下ろしに必要な時間 （2パレ荷積み→2パレ荷下ろしの連続時間）

表　各条件におけるサイクルタイム[s]（各N＝7）

荷物	仮置き台高さ	平均	最大	最小
段ボール	360mm	※555.8	※560	552
	840mm	563.7	560	570
飲料	360mm	569.1	562	572
	840mm	572.1	568	578

※停止による異常値を除外

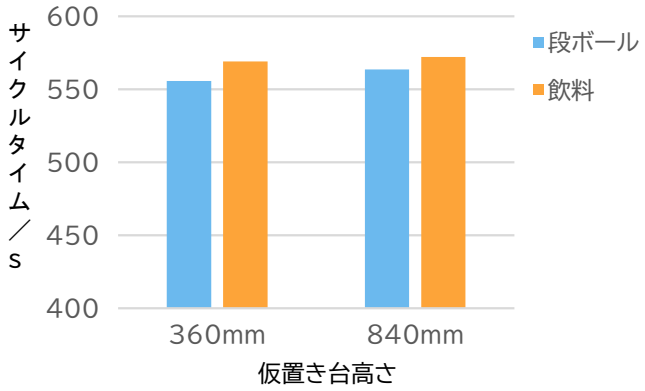


図　平均サイクルタイム比較

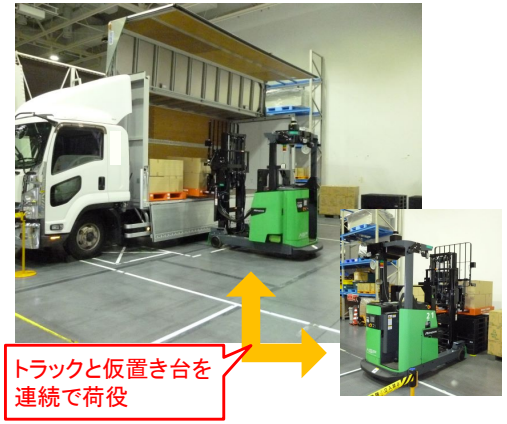
（参考）
有人（フォークリフト技能講習講師資格者）による飲料パレットでの同等作業のサイクルタイム　574s（N=1）

	・サイクルタイムのバラツキは全体サイクルに比べて小さい ・仮置き台高さが高い側がサイクルが延びる傾向にあり ・荷物違いは荷重が重い方がサイクルが若干延びる傾向にあり ・有人作業は技量によるところが大きいが、フォークリフト基本操作どおりの安全操作作業であれば同等程度
今後検証が必要となる内容	前頁（面積）同様に、実際の倉庫レイアウトでの時間検証が必要

■実験結果

<table>
<tr><td>検証項目</td><td>②トラックから荷卸し・搬送機器への荷積み～運搬、搬送機器からの荷卸し・トラックへの積み込みまでの自動化</td></tr>
<tr><td>検証結果</td><td>
■搬送機器の自動搬送継続率

表　各条件における停止回数・時間（連続28パレ自動荷役×4条件）
<table>
<tr><th>荷物</th><th>仮置き台高さ</th><th>停止回数</th><th>停止時間</th><th>停止率</th></tr>
<tr><td rowspan="2">段ボール</td><td>360mm</td><td>2／28 回</td><td>419 s</td><td rowspan="4">1.8%

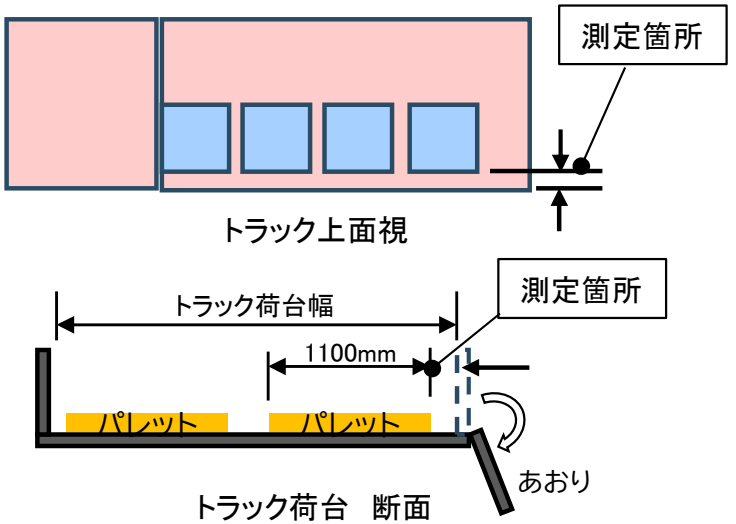
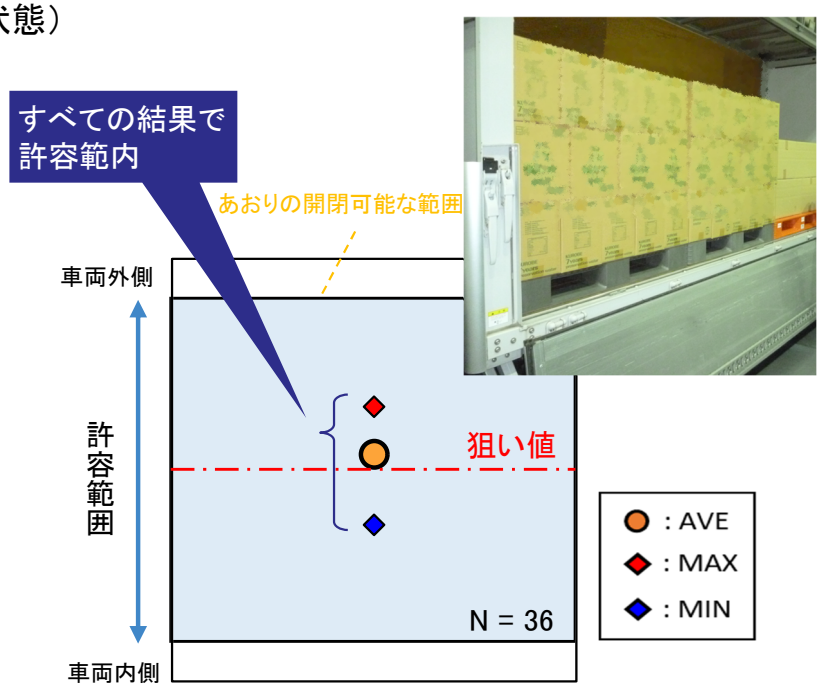
（2／112回）</td></tr>
<tr><td>840mm</td><td>0／28 回</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">飲料</td><td>360mm</td><td>0／28 回</td><td>0</td></tr>
<tr><td>840mm</td><td>0／28 回</td><td>0</td></tr>
</table>


・発生した異常について（停止2回とも同内容）
仮置台（360mm）に段ボールパレットを荷置きする際に、フォーク部の荷検知センサーに異常が発生

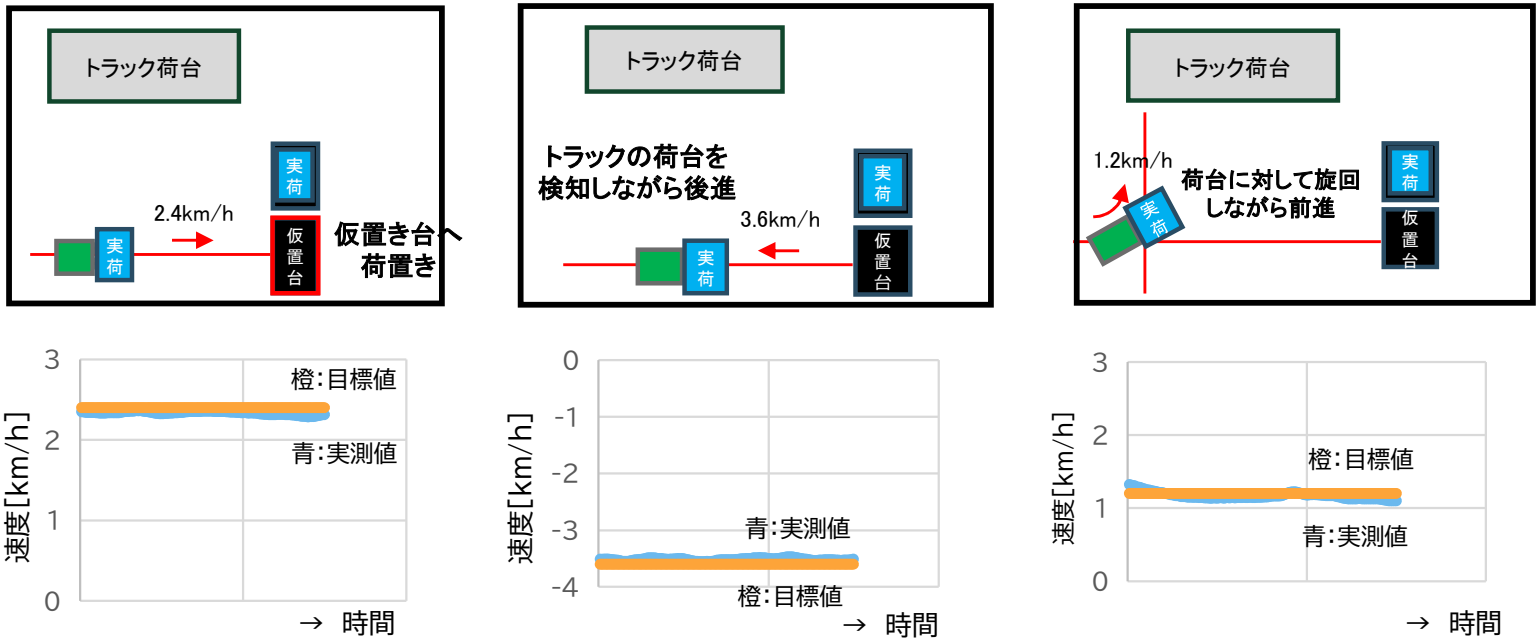
・異常対応
有人運転にて仮置台に荷置きする直前の状況に戻し、自動運転を再開

・考察
重量ワーク（飲料パレット）と軽量ワーク（段ボールパレット）扱い時のフォークの撓み差を
考慮した動作の作りこみ（フォーク角度など）により再発防止可能
</td></tr>
<tr><td>今後検証が
必要となる内容</td><td>特にコメントなし</td></tr>
</table>

■実験結果

検証項目	②トラックから荷卸し・搬送機器への荷積み～運搬、搬送機器からの荷卸し・トラックへの積み込みまでの自動化
検証結果	■無人荷役機器の停止位置精度（トラック荷積み状態）  図　パレット荷台端測定箇所  図　パレット荷台端精度 ・トラックのあおりとの隙は許容範囲に確保されており、あおり開閉に問題なし ・トラック荷台幅2400㎜の場合、左右からのT11パレットを積み付けても許容範囲内であり、パレット干渉なし
今後検証が必要となる内容	トラック架台の架装仕様が異なるため、複数車両での確認

■実験結果

検証項目	②トラックから荷卸し・搬送機器への荷積み～運搬、搬送機器からの荷卸し・トラックへの積み込みまでの自動化
検証結果	■無人荷役機器の積載物の搬送速度（各動作での最高速）  図　前進時最高速（2.4km/h）　図　後進時最高速（3.6km/h）　図　旋回時最高速(1.2km/h) いずれの動作においても最高速は概ね設計値どおりであり、問題なし
今後検証が必要となる内容	特にコメントなし

株式会社大林組
PLiBOT株式会社
日本マイブルロボットテクノロジー株式会社
NTTドコモビジネス株式会社

ユースケース2

[株式会社大林組(代表企業)]

■実験概要

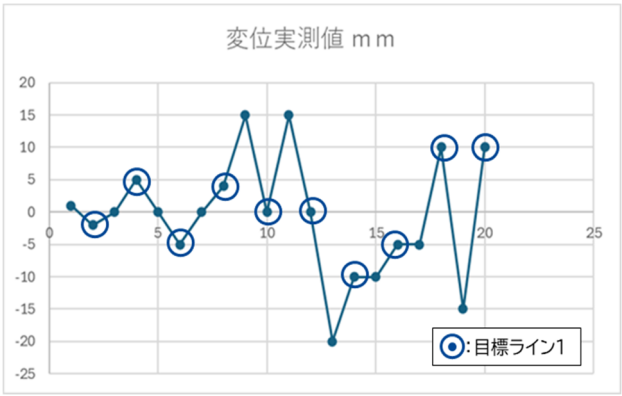
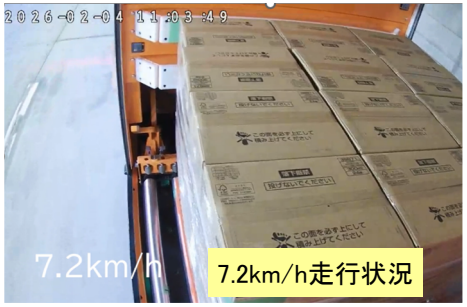
国土技術政策総合研究所(つくば市)において、自動物流道路の本線を模擬的に再現し、AMR(自律走行搬送ロボット)にT11パレット等を積載した状態での自動走行実験を行う。自動走行時の走行軌跡の誤差や速度(最大時速8km)・荷物重量を変更させた場合の加減速の所要時間等について計測し、自動物流道路本線の構造の検討に必要な情報を整理する。

実施するユースケース	ユースケース2　本線単路部:搬送機器の自動走行
代表企業(役割)	株式会社大林組(現場統括、管理)
その他参加企業(役割)	PLiBOT㈱(実験総合管理)、日本マイブルロボットテクノロジー㈱(搬送機器提供・走行支援)、NTTドコモビジネス㈱(通信機器の設置・操作)
実験場所	国土技術政策総合研究所
実験日程	2026年2月2日～6日(準備2日、実験2日、撤去1日)
使用する主な機器	搬送機器1台
機器の図・諸元	



寸法	3000mm×1600mm×2650mm
最大積載量	2000KG
繰り返し位置決め精度	≤5cm
最大走行速度（空車）	10km/h
最大走行速度（満載）	8km/h
空車時の登坂能力（勾配）	20%
満載時の登坂能力（勾配）	14%
水中走行最大水深	100mm
障害物回避の垂直高さ	≥30mm
最小回転半径	≤3500mm
持続時間	8h （50%空車，50%満載）
充電時間	≤3h
保護レベル	IP54
動作温度	-20℃~50℃

■実験結果

検証項目	目標軌道からの揺れ幅
検証結果	①停止位置変位実測値グラフ 自動走行停止時のタイヤと目標軌道ラインとの偏差(20ケース分計測) 【結果】 ・実測最大偏差量:停止位置を実測の結果、左右方向に±20 mm程度の偏差が発生した。 ・目標ラインを変えても有意な差は見られず、精度への影響は無いと考える。   積荷積載状況  変位実測状況 ②搬送機器にカメラを設置し、走行中の映像を確認 ・センターラインと搬送搬器の偏差を確認の結果、7.2km/hと3.6km/hでは大きな差異は確認されなかった。  3.6km/hでの走行状況  7.2km/h走行状況
今後検証が必要となる内容	【今後さらなる搬送機器の速度上昇の実現に向けての技術検証・開発要素】 ①高い速度域でも安全に走行・停止可能な車体　②走行速度に対応したセンサー(検知範囲・速度) ③群制御可能な制御システム　④積荷への影響を小さくする制振・固定方法の検討 ・高速度域での走行を実現するにあたり、揺れ幅(上下左右)、制動距離、積載物への影響といった課題と勾配走行や路面状況による影響については、今回の実験では検証されておらず、検証を行う必要がある。

■実験結果

検証項目

速度・重量に応じた指定速度計測

検証結果

①指定速度7.2km/hまでの加速
想定で10m程度とし実測したが目標ライン1と2で差が出た結果となった。
・目標ライン1では最大9.8m、12秒を要した。
・目標ライン2では最大20.5m、20秒を要した。
※目標ライン2（ケースNo.1.3）走行は斜め走行区間があり、搬送機器が直進に入ってから加速したため、目標ライン2の結果は本来の検証値が取得できなかった。そのため、目標ライン1（ケースNo2.4）を評価対象とする。

②停止するまでの減速
目標ライン1と2での差異はなく、最大18.1m、18秒を要した。

：目標ライン1
：目標ライン2

ケースNo.	速度(km/h)	積荷重量(kg)	指定速度まで加速するのに要した時間(s)	指定速度まで加速するのに要した距離(m)	指定速度で走行した時間(s)	指定速度で走行した距離(m)	指定速度から減速し停止するまでに要した時間(s)	指定速度から減速し停止するまでに要した距離(m)	総所要時間(s)	総走行距離(m)	荷物の振動偏差前方(mm)	荷物の振動偏差後方(mm)	パレット自体のズレ
1	7.2	450	20	20.5	17	35.4	16	17.5	53	73.8	0	0	0
2	7.2	450	12	9.8	22	46.9	16	16.9	50	73.9	0	0	0
3	7.2	450	19	20	16	35.6	17	17.5	52	73.7	0	0	0
4	7.2	450	10	8.3	21	47	18	18.1	50	73.8	0	0	0

今後検証が必要となる内容

・これらの実証から、7.2km/h走行での加速・減速を必要とする区間（発進・停止）の設計には、20m程度の距離(平均加速度0.1m/s^{2}程度)が必要となる。
・積荷の安定は加速度・遠心力が影響するため、今後高速度域での走行に向け、速度、積載量、カーブ半径・勾配状況等を組み合わせた加減速域と積載物への影響の測定が必要と考察する。併せて、合流・分岐区間も想定したモーター、ブレーキ性能および車両連携システムが求められる。

■実験結果

検証項目	走行時の路面凹凸による振動や　道路の横断勾配による荷物への影響
検証結果	すべての走行で、荷物への影響は計測されなかった。 ①搬送機器と荷物のすきま計測 走行前後に搬送機器と450kg荷物上部のすき間を計測し荷物の移動量を確認したが、すべての走行で偏差は確認されなかった。 ②パレットのずれ計測 搬送機器内部に1.1×1.1mパレットを積載し、マーキングによりパレット自体のずれを確認したが、すべての走行でずれは確認されなかった。 ③カメラ映像による確認 走行中は加減速ではなく路面凹凸による揺れを確認したが、停止位置では偏差は確認されなかった。 上記検証結果により、今回条件下での路面凹凸による積荷への影響はないものと考える。
今後検証が必要となる内容	・実際には部分的に凹凸のある路面も想定されるため、凹凸の許容範囲を確認する目的で、メーカー仕様範囲の段差を段階的に設置したり、縦断勾配が荷物に与える影響を検証することが望ましい。

荷物の移動量 計測結果

ケースNo.	速度(km/)	積荷重量(kg)	荷物の振動偏差 前方(mm)	荷物の振動偏差 後方(mm)	パレット自体のズレ
1	7.2	450	0	0	0
2	7.2	450	0	0	0
3	7.2	450	0	0	0
4	7.2	450	0	0	0


荷物の偏差計測状況(前方)


荷物の偏差計測状況(後方)

■実験結果

検証項目	搬送機器の電力消費量

検証結果

・2月4日の総走行距離数　6.996km

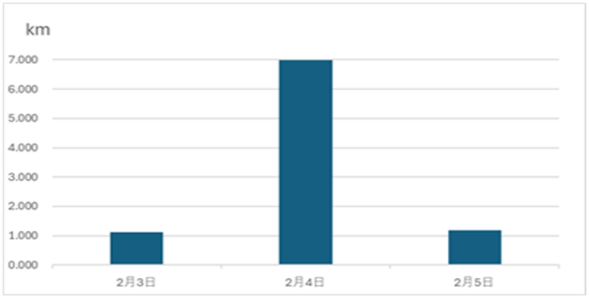
・トンキロ当たりの電力消費量　1,633Wh/t・km

※(2月3日・5日は、電源を入れたまま走行させていない時間割合が50%以上のため、参考値とする。)

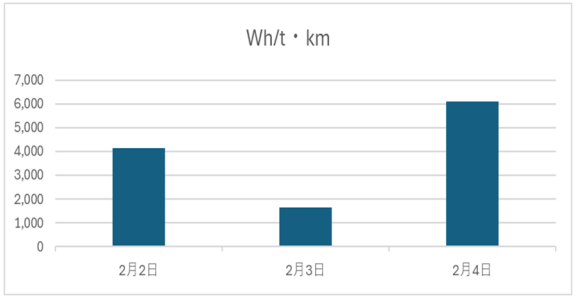
・メーカー仕様(1充電当たりの走行可能距離:20km)に対し、今回の実験でバッテリー残量から換算した走行可能距離は約15kmとなり、仕様値より小さい結果となった。今回は実証実験のため、仕様で想定されている使用状態よりも低速走行やアイドル状態が多かったためと推測される。

電力消費量 計測結果

ケースNo.	実施日	開始時刻	終了時刻	総走行距離(km)	トンキロ当たりの電力消費量(Wh/t・km)
1	2026/2/3	9:00	16:30	1.115	4,152
2	2026/2/4	9:00	16:30	6.996	1,633
3	2026/2/5	9:00	16:00	1.183	6,109



日ごとの走行距離



日ごとの電力消費量

今後検証が必要となる内容	・バッテリー容量の変更により走行可能距離の調整は可能であるが、積載可能重量にも影響するため、実際の拠点間走行距離と積載可能重量を考慮した最適なバッテリー容量を検討する必要がある。 ・効率的な搬送には充電間隔・充電器設置等の確認は必要と考える。電力消費量と密接な関係にある荷物重量、速度・勾配・路面状況を組み合わせて検証することが望ましい。

■実験結果

検証項目	搬送機器のカーブに必要な最小半径
検証結果	・手動運転による最小回転半径計測の結果、カタログ値 5.5m（2WSタイプ）以内での旋回が確認できた。 ・最小回転半径実測値：5.375m 今回の検証は低速での最小回転半径計測のため、 最低限の確保すべきスペースの検証と考えるべきである。
今後検証が必要となる内容	今後は高速度域での走行実現に向け、安全に走行が行える速度、カーブ半径の検証および、積載量・勾配による安全走行範囲と積載物への影響確認が必要である。



最小回転半径での走行

最小回転半径 計測結果

ケースNo.	実施日	開始時刻	速度(km/h)	開始状態	積荷重量(kg)	目標半径(m)	実際の回転半径(m)	回転に要した時間(s)	荷物の振動状況
1	2026/2/3	16:15	1	停止	450	5.5	5.375	14	異常なし
2	2026/2/4	15:20	1	停止	450	5.5	5.375	15	異常なし


回転半径の計測

大成建設株式会社
株式会社ティアフォー
大成ロテック株式会社

ユースケース２、４

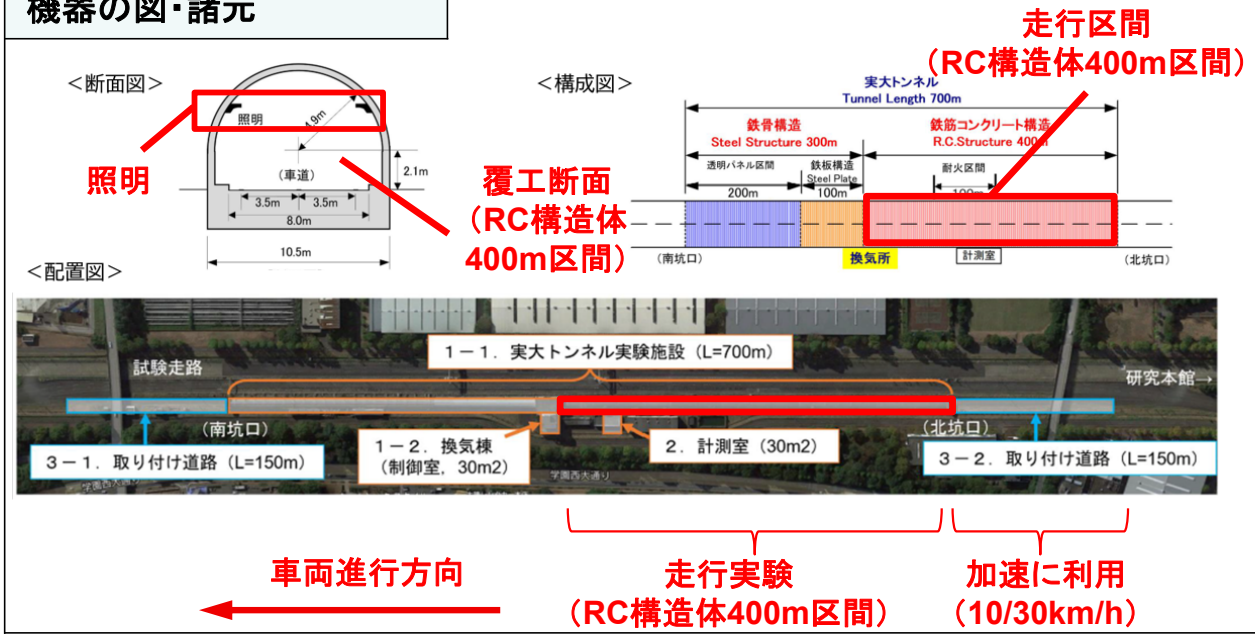
［大成建設株式会社（代表企業）］　ユースケース2、4

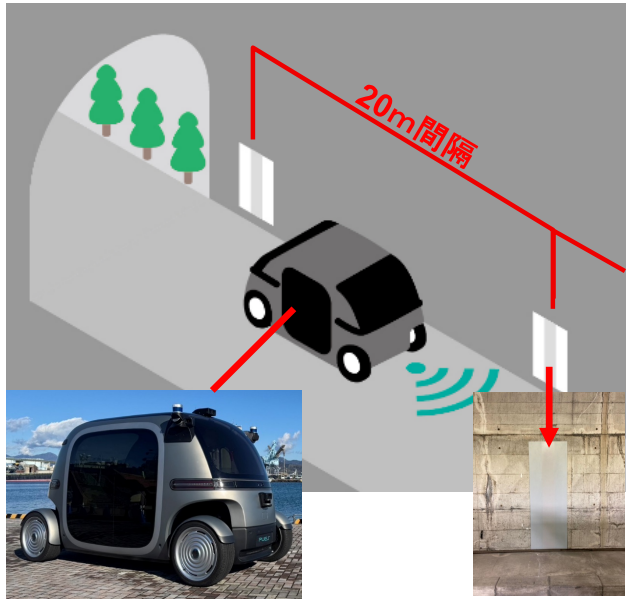
国土交通省

■実験概要

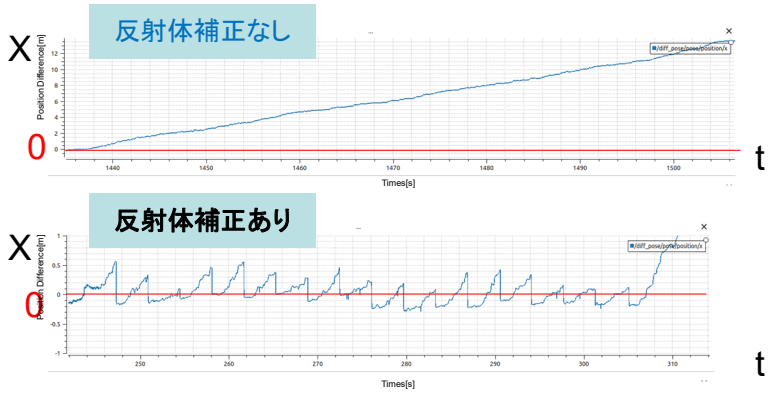
国土技術政策総合研究所（つくば市）において、自動物流道路の本線を模擬的に再現し、搬送機器を模擬した車両（車幅1.9m）にT11パレットを積載した状態でのトンネル内自動走行可否実験を行う。走行時の走行軌跡の誤差や速度（最大時速30km/h）、荷物重量を変更させた場合の加減速の所要時間等について計測し、自動物流道路の本線の構造の検討に必要な情報を整理する。また、自己位置推定が不安定となるトンネル内の自動運転車両の自己位置補正のため、トンネル壁面に位置補正用反射体を設置し、自己位置推定支援の有効性を検証する。

実施するユースケース	ユースケース2･4 搬送機器の自動走行･搬送機器の自車位置把握の正確性
代表企業（役割）	大成建設（株）（現場統括、反射体補正技術の提供、管理）
その他参加企業（役割）	（株）ティアフォー（自動運転技術の提供、オペレーション）、大成ロテック（株）（反射体整備）
実験場所	国土技術政策総合研究所
実験日程	2025年12月17日～18日（準備0.5日、走行実験1.0日、撤去0.5日）
使用する主な機器	自動運転対応搬送機器1台
機器の図･諸元	





■実験結果

検証項目	①目標軌道上の進行方向の位置情報　※実走行データ（10km/h，20km/h）
検証結果	  • 反射体補正なしでは誤差が蓄積し400m区間終点で最大値を記録するのに対し、反射体補正を行うことで、誤差を縮小することを確認した。  図　20km/h X軸誤差（450kg）
今後検証が必要となる内容	・速度別の検証では低速域での位置誤差が大きいことを確認した。 ・走行中だけでなく、物流施設に入構する際の低速域での走行に対する補正、目標とする停車位置がある場合の補正も必要と考える。

進行方向（X）誤差		10km/h	20km/h
100kg（補正なし）	平均	10,540mm	6,525mm
	最大	23,220mm	12,877mm
100kg（反射体補正）	**平均**	**10mm**	**-344mm**
	最大	**1,098mm**	**853mm**
450kg（補正なし）	平均	10,150mm	6,437mm
	最大	21,876mm	13,585mm
450kg（反射体補正）	**平均**	**235mm**	**109mm**
	最大	**1,653mm**	**1430mm**

■実験結果

検証項目	①目標軌道上の進行方向の位置情報　※実走行データを使用したシミュレーション（30km/h，60km/h）
検証結果	実走行データを使用して、仮想的に速度を30km/h、60km/hとしたデータを使用して位置推定を実行 （実施方法：10km/h走行時に取得したLiDAR点群を1/3に低減させたデータを30km/h走行とみなして位置推定を実行） • 実走の10km/h、20km/hと同様に、反射体補正なしでは誤差が蓄積し400m区間終点で最大値を記録するのに対し、反射体補正を行うことで、誤差を縮小することを確認した。 • 積載荷重（100kg,450kg）による差は確認されなかった。 • 30km/h、60km/hの場合でも反射体の非検出は確認されなかった。 • LiDARで取得される点群（10Hz周期）に反射体が含まれれば、理論上補正が可能であることを確認した。
今後検証が必要となる内容	・目標速度（70~80km/h）に対する実走行での検証が必要と考える。

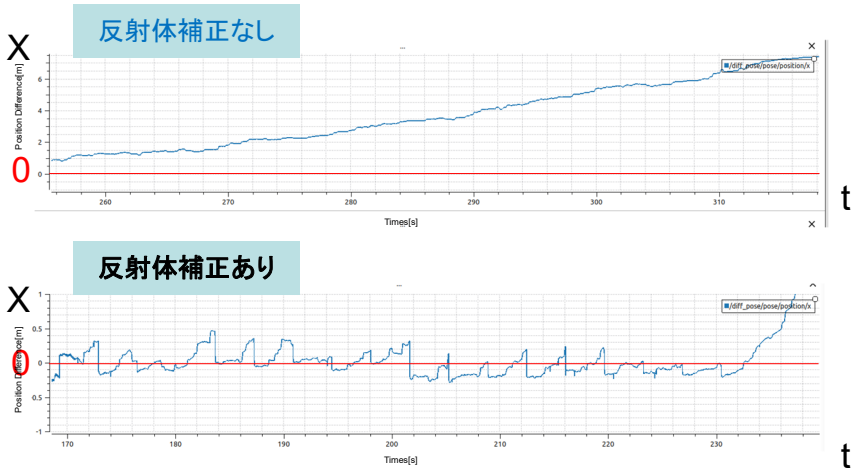


図　60km/h X軸誤差（450kg）

進行方向（X）誤差		30km/h	60km/h
100kg（補正なし）	平均	5,810mm	4,060mm
	最大	13,239mm	7,293mm
100kg（反射体補正）	**平均**	**-141mm**	**-483mm**
	最大	**816mm**	**-836mm**
450kg（補正なし）	平均	5,398mm	3,373mm
	最大	11,952mm	7,399mm
450kg（反射体補正）	**平均**	**6mm**	**45mm**
	最大	**779mm**	**1,351mm**

■実験結果

検証項目	②目標軌道上の進行と直行方向（横方向）の位置情報
検証結果	• Y軸誤差（左右方向に対する）は、反射体補正なし/ありとも32mm以下だった。 • 最大誤差はいずれの場合も走行区間末端で発生した。 • 走行区間末端で発生Y軸（横方向）はトンネル内構造が障害物（今回は実験見学者）によって隠れることにより増大することを確認した。
今後検証が必要となる内容	・今後複数車両・複数車線による走行検証等、より自動物流道路を想定した実証が必要と考える。

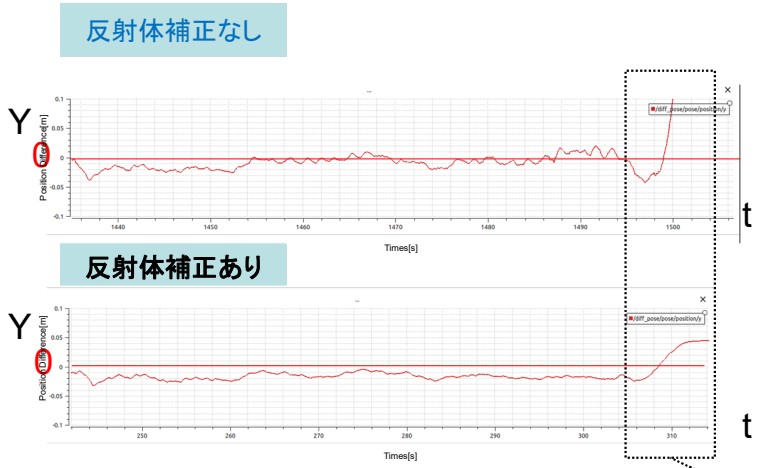


図　20km/h Y軸誤差（450kg）

横方向（Y）誤差		10km/h	20km/h
100kg（補正なし）	平均	30mm	12mm
	最大	464mm	258mm
100kg（反射体補正）	**平均**	**-9mm**	**-10mm**
	最大	**-10mm**	**-16mm**
450kg（補正なし）	平均	0.6mm	32mm
	最大	-244mm	550mm
450kg（反射体補正）	**平均**	**-14mm**	**-13mm**
	最大	**-32mm**	**44mm**



走行区間端部の実験時状況

■実験結果

検証項目	③加速・減速・停止するのに必要な時間
検証結果	③加速・減速への荷重の影響は100kg/450kgの差では大きな差はなかった。
今後検証が必要となる内容	・加速・減速への荷重の影響は100kg/450kgの差では限定的だが、今後より重量を増した検証が必要。

検証項目	④消費電力量
検証結果	④総走行距離約10km＝SOC※14[%] ≒4.34[kWh]使用した。 ※SOC（State of Charge）：満充電を100%、完全放電を0%としてバッテリー残量を表した指標 t・kmあたり電力消費量は4.34/2.166＝2.00[kWh/t・km]となった。 （積載荷重0.1[t]が走行数N=8のためt・km換算で0.667t・km） （積載荷重0.45[t]が走行数N=4のためt・km換算で1.499t・km）
今後検証が必要となる内容	・車両の自動運転機能が安全に作動するSOCから逆算し、適切な充電を行う必要がある。

検証項目	⑤自車位置の誤差の影響による自律走行停止回数
検証結果	⑤0回（N=12） 実証区間（L=400m同一構造体トンネル区間）では周辺環境が変化しないため、トンネル内では誤差があった場合でも自律走行停止が発生しなかった。
今後検証が必要となる内容	・走行回数の増加。 ・より自動物流道路での実運用に即した実証（例：複数台走行）。

[大成建設株式会社(代表企業)]

■実験概要

次世代技術実証センター(大成建設・福島県田村市)において、受電装置を搭載したトレーラーにT11型パレットおよび240kgの荷物を積載した状態で、無線給電道路上を走行し、受電電力および給電効率についての検証を行い、自動物流道路における電力設備の仕様や搬送機器への給電能力に関する運用条件の整理を行う。

実施するユースケース	ユースケース2 本線単路部:搬送機器の自動走行
代表企業(役割)	大成建設(無線給電実験の統括・計画・実験)
その他参加企業(役割)	大成ロテック(実験場所の管理)
実験場所	次世代技術実証センター(福島県田村市常葉町山根字宇藤1-55)
実験日程(予定)	2026年1月5日～17日(準備1日、実験9日、撤去1日) 2026年2月20日～22日(準備1日、実験1.5日、撤去0.5日)
使用する主な機器	ワイヤレス受電装置を搭載したトレーラー(1台)
機器の図・諸元	

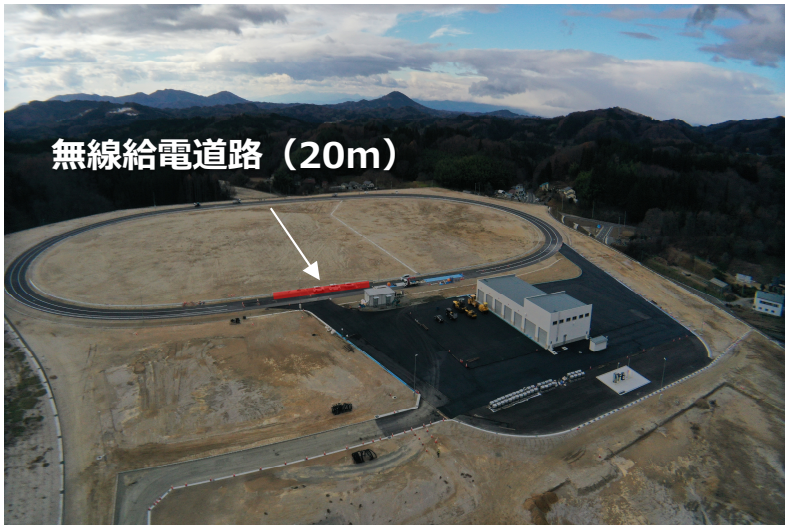


図1　無線給電道路の実験施設（田村市）



図2　給電実験

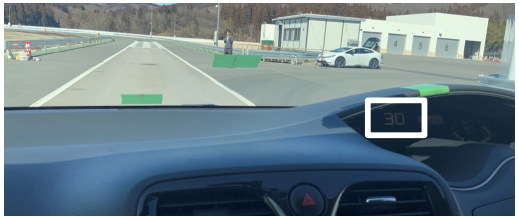


図3　走行中給電時の車内



図4　無線給電設備



図5　放射妨害波測定

■実験結果

検証項目	給電効率(停車中給電)

検証結果

- 図6の測定系において、延長20mの無線給電道路上で受電装置搭載トレーラを0.5m間隔で進行方向へ移動し、停車中の給電効率を測定した。※1
- 0.5kW出力時の給電効率は、最大52.5%、平均43.1%、5kW出力時の給電効率は、最大58.6%、平均49.2%であった。
- 給電効率が最大となる点(1.5m位置)にトレーラーを配置し、横ずれ時の給電効率を測定した(図8)。結果200mmずれにおいても4pt.程度の効率低下となることが明らかとなった。

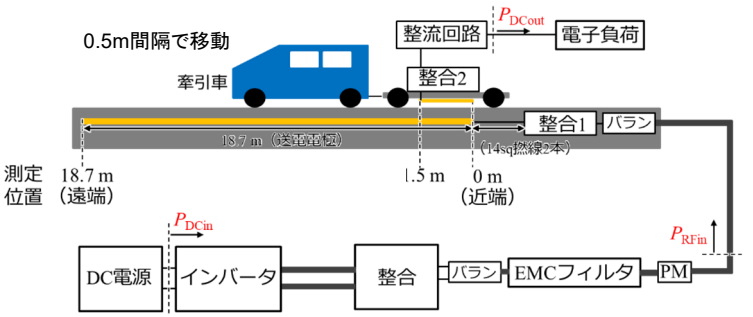


図6 停車中給電における測定系
※本実験における「給電効率」とは、DC電源出力P_{DCin}と整流回路出力P_{DCout}の比である

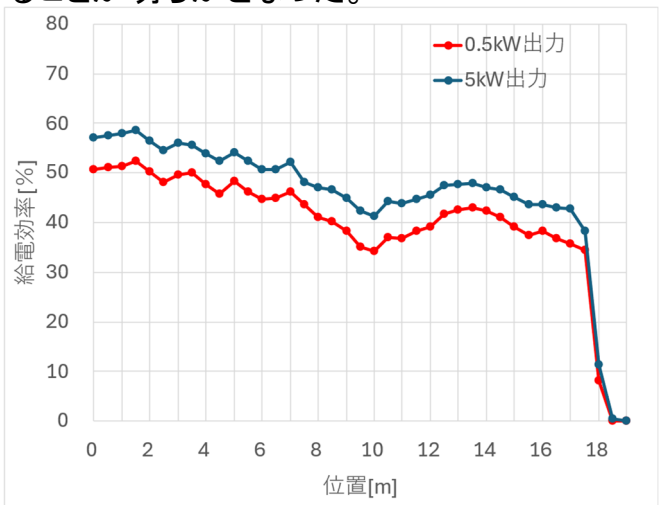


図7 無線給電道路進行方向における給電効率 ※2

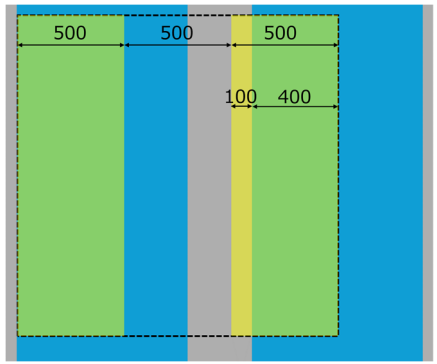


図8 横ずれのイメージ
(青:送電電極、黄:受電電極)

表1 横ずれ時の給電効率
(トレーラ位置1.5m、送電電力5kW)

横ずれ[mm]	給電効率[%]
0	58.6
100	57.3
200	54.9

※1 (参考文献)平板進相キャパシタ構造をアスファルト舗装に埋設した電界結合式連続ワイヤレス給電走行道路 水谷他、信学論C Vol.J108-C No.10 pp.177-189
※2 送電電極長は18.7m、受電電極長は1.5mのため、位置が17.2mを超えると送受電電極の対向面積が減少するため効率が低下する

今後検証が必要となる内容

- 5kW出力時の給電効率は区間平均49.2%であり、実用化に向けては効率向上が課題である。送電電極の埋設深さ(本実験は100㎜)を自動物流道路に最適化することで効率向上の可能性があるため今後検証が必要である。
- 自動物流道路で用いる搬送車両の寸法により受電電極寸法が変化し給電効率が変動する可能性があることから今後検証が必要である。

■実験結果

検証項目	給電効率(走行中給電)

検証結果

- 図9の測定系において、延長20mの無線給電道路上を走行するトレーラの給電効率を測定した。走行回数は各速度条件ごとに6回とし、5kW出力とした。
  - 10km/h:57.3～59.1%
  - 20km/h:55.5～59.7%
  - 30km/h:54.7～57.9%
  - 40km/h:55.6～59.0%
  - 60km/h:54.0～57.9%
- 走行中給電時の給電効率は、理論上は走行速度に依存しないため、図7で示した58.6%となるところ、各速度条件ごとに6回の給電効率の区間最大値を評価した結果、60km/hの条件で54.0%の効率となるケースが確認された。

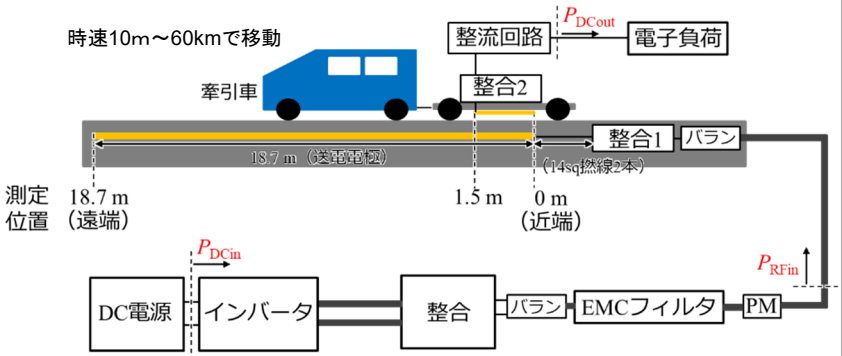


図9 走行中給電における測定系
※本実験における「給電効率」とは、DC電源出力P_{DCin}と整流回路出力P_{DCout}の比である



図10 走行中給電の実験風景
(時速10km～60km)



図11 走行中給電時の車内
(時速30km)

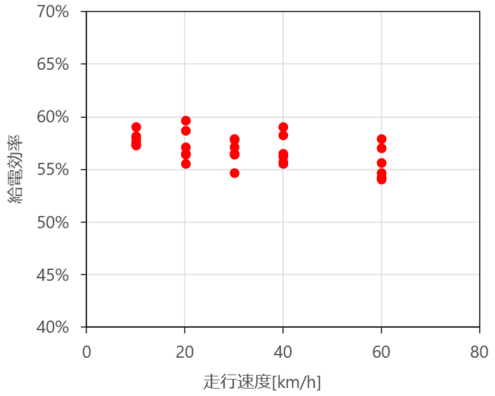


図12 走行中給電時の給電効率の区間最大値(速度条件ごとに6回測定)

今後検証が必要となる内容

- 停車中給電(前ページ)に記載した効率向上検証について、走行中給電においても同様に効率向上が見込めるか検証が必要である。
- 受電電力の測定はパワーメータのデータを20ミリ秒間隔でロギングした。一方、無線給電道路上の伝送効率は位置によって変化するため、十分な測定分解能が得られなかった可能性がある。今後、ロギング速度が1ミリ秒間隔で測定可能な測定器による再検証が必要と考える。

■実験結果

検証項目

放射妨害波(停車中給電時)

検証結果

表2 磁界強度(基本波、3次高調波)

次数	周波数[MHz]	偏波	磁界強度[dBμA/m] ※1	限度値[dBμA/m] ※2	超過量[dB]
1	6.78	V1	66.0	64.0	2.0
		V2	60.3	64.0	-3.7
3	20.34	V1	10.7	8.5	2.2
		V2	13.8	8.5	5.3

表3 電界強度(5次、7次高調波)

次数	周波数[MHz]	偏波	電界強度[dBμ V/m]	限度値[dBμ V/m]	超過量[dB]
5	33.9	V	73.7	68.0	5.7
		H	59.0	68.0	-9.0
7	47.46	V	45.8	50.0	-4.2
		H	40.1	50.0	-9.9

- 5kW出力時の磁界強度は、無線給電の基本波:6.78MHz、66dBμA/mであった。
- 高調波は、5次高調波:33.9MHz、73.7 dBμV/mなどが確認された。
- 高調波以外では、264MHz、67.6 dBμV/mなどが確認された。
- 受電装置が道路横断方向に横ずれした場合、磁界強度に変化は確認されなかった。

※1 今回の実験系から放射されている磁界強度
※2 CISPR(国際無線障害特別委員会)により、ある機器から放射された電磁界が他機器へ影響を与えないことを考慮し定められた限度値

表4 横ずれ時の磁界強度(6.78MHz)

横ずれ[mm]	偏波	磁界強度[dBμA /m]	限度値[dBμA /m]	超過量[dB]
0	V1	66.5	64.0	2.5
	V2	58.2	64.0	-5.8
100	V1	65.9	64.0	1.9
	V2	59.0	64.0	-5.0
200	V1	66.2	64.0	2.2
	V2	59.6	64.0	-4.4

今後検証が必要となる内容

・基本波:6.78MHz、3次高調波および5次高調波が10m位置での限度値を超過したため、ワイヤレス給電システムからの放射妨害波を抑制するシールドが必要と考えられる。
・自動物流道路への適用を考えた場合、本実験施設のように敷地境界までの距離を確保するか、無線給電道路をシールドし放射妨害波を抑制する必要がある。一般に鉄筋コンクリートは、20dB以上のシールド性能を有していることから、例えばトンネルなどのコンクリート構造物内に無線給電道路を設置すれば、本実験で確認された放射妨害波は、限度値を十分に満足するレベルになるものと考えられる。
・放射妨害波の抑制に向け上記敷地境界までの距離やコンクリート構造物の厚みなどの具体的な数値検討が必要である。

■実験結果

検証項目: 放射妨害波(走行中給電時)

検証結果

表4 走行中給電時の通過時の最大磁界強度(6.78MHz)

走行速度 km/h	0		10		20		30		40		60	
偏波	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
磁界強度最大値 dBμA /m	66.0	60.3	70.1	63.4	70.4	62.6	70.5	64.0	70.7	63.6	70.6	62.7
限度値 dBμA /m	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0	64.0
超過量 dB	2.0	-3.7	6.1	-0.6	6.4	-1.4	6.5	0.0	6.7	-0.4	6.6	-1.3

- 停車中給電時の磁界強度は、偏波V1が66.0dBμA/m、偏波V2が60.3 dBμA/mであった。
- 走行中給電時の磁界強度は、偏波V1が最大70.7dBμA/m、偏波V2が最大64.0dBμA/mであり、停車中給電時よりも偏波V1、偏波V2共に増加した。なお、走行速度との関連は確認されなかった。

今後検証が必要となる内容

・停車中給電時の磁界強度は、CISPR11の限度値:64.0dBμA/mに対して2dB超過した。一方、走行中給電時の磁界強度は、限度値に対して最大6.7dB超過した。なお、トンネルなどのコンクリート構造物内に無線給電道路を設置すれば、本実験で確認された放射妨害波は、限度値を十分に満足するレベルになるものと考えられる。
・放射妨害波の抑制に向け上記敷地境界までの距離やコンクリート構造物の厚みなどの具体的な数値検討が必要である。

成田国際空港株式会社
千葉県
大林組
PLiBOT株式会社

ユースケース２、４

［成田国際空港株式会社、千葉県（代表企業）］　ユースケース2、4

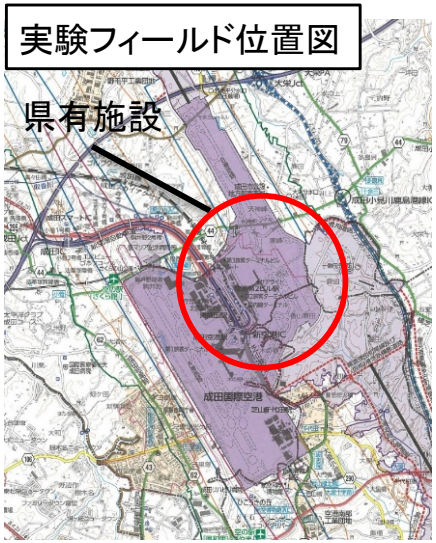
国土交通省

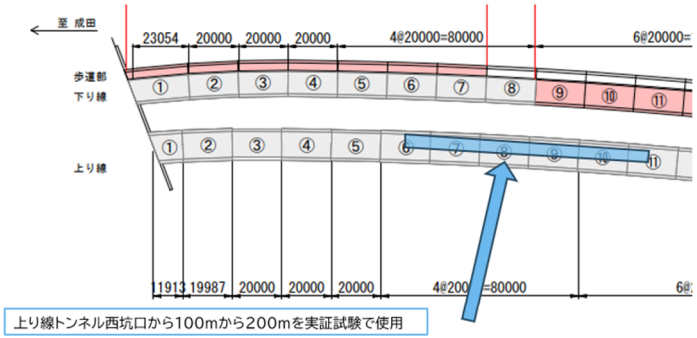
■実験概要

千葉県内の県有施設のトンネル部において、自動物流道路の本線を模擬的に再現し、AMRにT11パレット等を積載した状態での自動走行実験を行う。自動走行時の走行軌跡の逸脱や速度（最大時速7km）・荷物重量を変更させた場合の加減速の所要時間等について計測し、自動物流道路本線の構造の検討に必要な情報を整理する。あわせて、wifi通信強度測定ソフトを用いて、電波強度を計測し、トンネル内での当該搬送機器の自動走行の正確性について検証する。

実施するユースケース	ユースケース2　搬送機器の自動走行 ユースケース4　搬送機器の通信安定性
代表企業（役割）	成田国際空港株式会社・千葉県（企画・調整）、PLiBOT（搬送機器の手配・走行・管理・分析・集計等）
その他参加企業（役割）	(株)大林組（実験統括管理）
実験場所	千葉県成田市天神峰地先（主）成田小見川鹿島港線 天神峰トンネル［縦断勾配：約1％］
実験日程	2026年2月16日～18日（準備1日、実験 1.5日、撤収0.5日）
使用する主な機器	自動搬送機器1台
機器の図・諸元	

実験フィールド位置図





実証試験箇所



自動搬送車両



諸元

車体寸法：2000×1300×590mm

最大積載量：500kg

最大速度：3.6～7.2km/h（開発中）

走行時間：7-8h

■実験結果

検証項目	搬送機器の目標軌道からの揺れ幅

検証結果

15回計測実施

①実測最大偏差量：
停止位置実測結果により、左右方向に±30 mm程度の偏差が発生した。

②搬送機器にカメラを設置した荷物確認用の映像からセンターラインと搬送搬器の偏差を確認したが、大きなズレはなかった。

ケースNo.	実施日	開始時刻	終了時刻	回数	荷重（kg）	速度（km/h）	定速走行距離（m）	Y軸スケール実測値（mm）
1	2/17	10:30	10:31	1	528	3.6	50	−25
2	2/17	10:43	10:44	2	528	3.6	50	21
3	2/17	10:51	10:52	3	528	3.6	50	10
4	2/17	11:00	11:01	1	528	7.2	40	30
5	2/17	15:55	15:56	2	528	7.2	40	30
6	2/17	16:01	16:02	3	528	7.2	40	20
7	2/17	10:26	10:27	1	528	3.6	40	−20
8	2/17	10:48	10:49	2	528	3.6	40	0
9	2/17	10:35	10:36	3	528	3.6	40	10
10	2/17	10:40	10:41	1	528	3.6	45	10
11	2/17	10:48	10:49	2	528	3.6	45	0
12	2/17	10:54	10:55	3	528	3.6	45	25
13	2/17	16:12	16:13	1	300	3.6	45	30
14	2/17	16:19	16:20	2	300	3.6	45	10
15	2/17	16:26	16:27	3	300	3.6	45	20

今後検証が必要となる内容

・検証結果から、停止位置精度は搬送機器仕様の±50mmに対して実測値は±30mmであったため、精度よく停止していたと評価できる。

・高い速度域の実現に向け、以下の技術要素がある
　・高い速度域でも安全に走行・停止可能な車体
　・走行速度に対応したセンサー（検知範囲・速度）および個別車体からの情報を共有し群制御可能な制御システム
　・積荷への影響を小さくする制振、固定方法

・高速度域での走行を実現するにあたり、揺れ幅（上下左右）、制動距離、積載物への影響といった課題があげられる。

■実験結果

検証項目	速度・重量に応じた指定速度計測

検証結果

ケースNo.	回数	荷重（kg）	速度（km/h）	定速走行目標距離（m）	定速になるまでのラップ計測（s）	定速になるまでの距離（m）	定速ラップ計測（s）	定速走行計測距離（m）	減速し始めから停止までのラップ計測（s）	減速し始めから停止までの距離（m）	実走行距離（m）
1	1	528	3.6	50	0:00:08	6	0:00:56	56	0:00:03	3	65
2	2	528	3.6	50	0:00:07	5	0:00:57	57	0:00:03	3	65
3	3	528	3.6	50	0:00:08	6	0:00:55	55	0:00:03	3	64
4	1	528	7.2	40	0:00:13	10	0:00:39	39	0:00:03	5	54
5	2	528	7.2	40	0:00:13	10	0:00:40	40	0:00:03	5	55
6	3	528	7.2	40	0:00:12	10	0:00:39	39	0:00:03	5	54
7	1	528	3.6	40	0:00:07	5	0:00:40	40	0:00:03	3	48
8	2	528	3.6	40	0:00:08	6	0:00:40	40	0:00:03	3	49
9	3	528	3.6	40	0:00:08	6	0:00:40	40	0:00:03	3	49
10	1	528	3.6	45	0:00:07	5	0:00:46	46	0:00:03	3	54
11	2	528	3.6	45	0:00:08	6	0:00:47	47	0:00:03	3	56
12	3	528	3.6	45	0:00:08	6	0:00:47	47	0:00:03	3	56
13	1	300	3.6	45	0:00:06	4	0:00:46	46	0:00:02	2	52
14	2	300	3.6	45	0:00:06	4	0:00:47	47	0:00:03	3	54
15	3	300	3.6	45	0:00:06	4	0:00:47	47	0:00:03	3	54

■実験結果

検証項目	速度・重量に応じた指定速度計測
検証結果	15回計測実施 ①定速になるまでの距離は積載重量・定格速度によって差異がみられた。 【3.6km/h 走行時】 ・528kg積載時 定速になるまでの時間と距離　7～8秒　5～6m ・300kg積載時 定速になるまでの時間と距離　6秒　4m 【7.2km/h 走行時】 ・528kg積載時 定速になるまでの時間と距離　12～13秒　10m ②定速走行中は積載重量による差異はみられなかった。 ③停止までの距離は速度によって差異がみられた。 【3.6km/h 走行時】 ・528kg・300kg積載時とも 定速になるまでの時間と距離　2～3秒　2～3m 【7.2km/h 走行時】 ・528kg積載時 定速になるまでの時間と距離　3秒　5m
今後検証が必要となる内容	・定速および減速については、積載重量による影響はみられなかった。 ・検証結果から、搬送機器の減速機やモーター装備が加速に影響があると思われる。 ・荷物重量を変化しトンネル坑内と屋外での検証と、速度・勾配・路面状況を変更し、さらに複数台同時走行時の相互干渉による検証も、今後実施することが望ましい。

■実験結果

検証項目	搬送機の電力消費量

検証結果

2月17日の総走行距離　2.31km
トンキロ当たりの電力消費量は
2,255Wh/t・kmだった

No.	実施日	開始時刻	終了時刻	総走行距離（km）	トンキロ当たりの電力消費量（Wh/t・km）
1	2/17	9:00	16:40	2.31	2,255
2	2/18	9:00	14:00	1.37	1,774

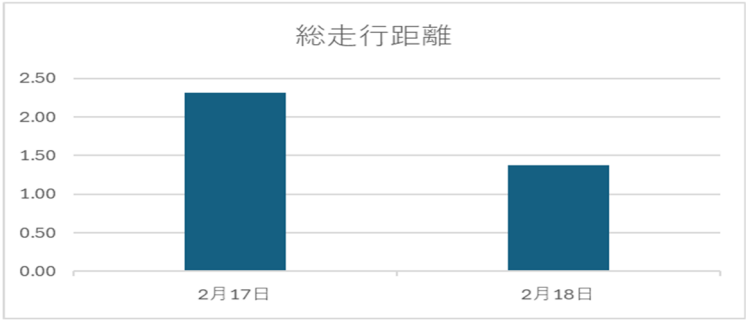


表1　日ごとの総走行距離

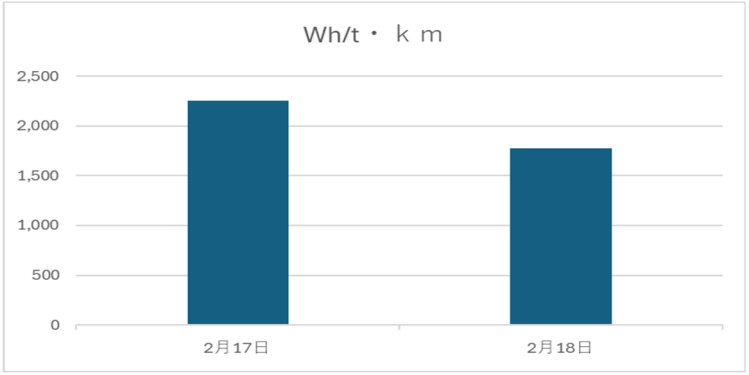
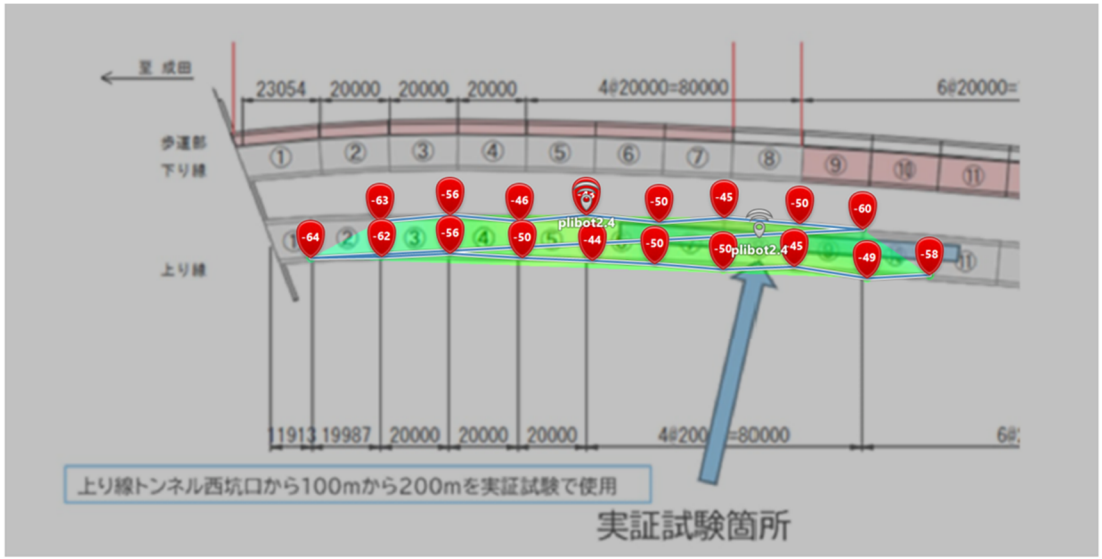


表2　日ごとの電力消費量

今後検証が必要となる内容	・荷物重量、速度・勾配・路面状況を変更し検証することが望ましい。

■実験結果

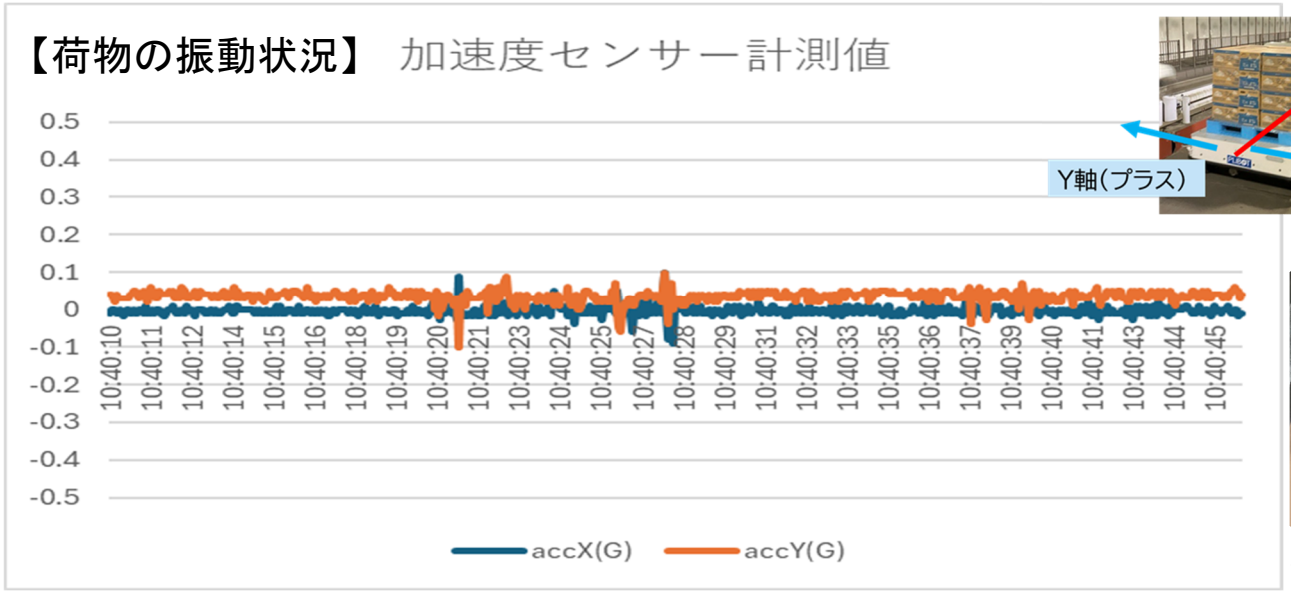
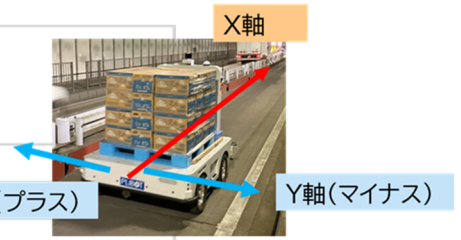
検証項目	通信強度
検証結果	①通信強度ヒートマップ 【2.4GHz計測結果】 ・最大電波レベル：−43dBm ・80m離れた地点での 電波レベル：−64dBm 【5GHz計測結果】 ・最大電波レベル　：−47dBm ・80m離れた地点での 電波レベル　　：−56dBm
今後検証が必要となる内容	・トンネル坑内は障害となる電波がなく、全体的に均等に電波が届いて良好な結果であった。 ・アクセスポイントから80m離れても、5GHz・2.4GHz両方の電波レベルとも通信状況は良好であったため、150mピッチのアクセスポイント設置でも問題なく搬送機器との通信は可能であることがわかった。 ・屋外では5GHzの一部チャンネルに制限や影響があるため、2.4GHzを使用すべきである。 ・トンネルの線形や断面による影響を検証することが望ましい。



必要条件:　-96 dBm　-10 dBm

通信強度(2.4GHz)計測結果

■実験結果

検証項目	搬送する荷物のモニタリング
検証結果	   写真 加速度センサー設置状況 ①加速度センサーの計測値は、すべての走行で0.1m/s²を超える値は計測されなかった ②カメラ映像による確認の結果、走行中は加減速ではなく路面の凹凸による揺れが確認されたが、停止位置では偏差は確認されなかった。
今後検証が必要となる内容	・検証結果から、路面の凹凸や道路の横断勾配による荷物への影響は、今回の実験環境では-0.1～0.1m/s²で収まっているため許容範囲内と評価できる。 ・加減速がスムーズに行えたため、荷物への影響に差異はみられなかった。

Cuebus株式会社

ユースケース2

■実験概要

成田空港内道路（千葉県成田市）において、自動物流道路の本線を模擬的に再現し、リニアモーター式の搬送機器にT11パレット等を搭載した状態での自動走行実験を行う。自動走行時の走行軌跡の逸脱や速度・荷物重量を変更させた場合の加減速の所要時間等について計測し、自動物流道路本線の構造の検討に必要な情報を整理する。

実施するユースケース	ユースケース2 本線単路部：搬送機器の自動走行
代表企業（役割）	Cuebus株式会社
その他参加企業（役割）	なし
実験場所	成田空港内道路
実験日程	2026年2月9日～20日（準備2日、実験6日、撤去1日）
使用する主な機器	搬送レーン、搬送機器1台
機器の図・諸元	





仕様

- 車体寸法：2568mm × 1323mm × 668mm
- 最高速度：11km/h
- 積載重量：900kg（パレット込み）
- 航続距離：無限（バッテリーレス）

■実験結果

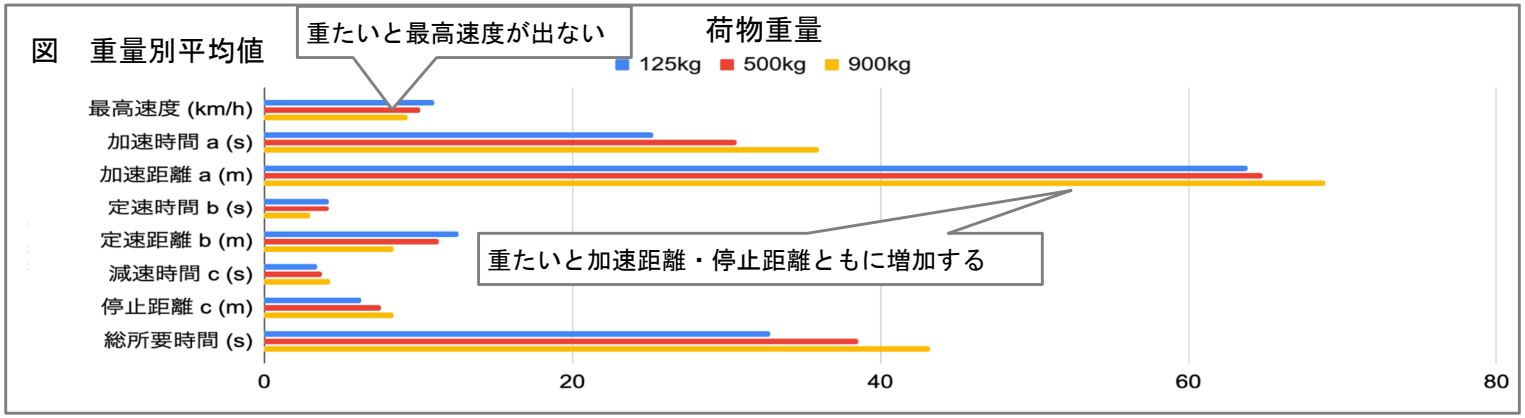
検証項目	①速度・重量に応じた指定速度までの加速および停止までに必要な時間・距離 ②速度・重量に応じた複数車両走行技術・制御 ③搬送機器のアスファルト舗装走行時における路面凹凸による振動や荷物への影響 ④自動走行時の速度に応じた左右の揺らぎ・ブレ（自動走行に必要な幅員等の確認）
検証結果	①速度・重量に応じた指定速度までの加速および停止までに必要な時間・距離 軽：125kg条件では、最高速度は 11.00～11.12 km/hで安定していた。 中：500kg条件では、最高速度は10.74 km/hで、軽条件より到達速度のばらつきが増加した。 重：900kg条件では10 km/h超への到達が困難な傾向が見られた。

重量(kg)	加速時間(s)	加速距離(m)	定速走行時間(s)	定速走行距離(m)	減速時間(s)	減速距離(m)	総所要時間(s)	総走行距離(m)
125	25.25	63.8	4.19	12.6	3.43	6.3	32.87	82.7
500	30.65	64.8	4.19	11.3	3.75	8	38.6	84.1
900	36	68.9	3	8.4	4.2	8.4	43.2	85.7

表　重量別データ平均値



図 500kg積載で走行中の写真



今後検証が必要となる内容	・制御パラメータ（加速制限、速度制御ゲイン等）の見直しを実施し、積載重量に影響されない速度制御を行えるようにする。 ・効率良く最高速を上げるための方法の検討。

■実験結果

検証項目	①速度・重量に応じた指定速度までの加速および停止までに必要な時間・距離 ②速度・重量に応じた複数車両走行技術・制御 ③搬送機器のアスファルト舗装走行時における路面凹凸による振動や荷物への影響 ④自動走行時の速度に応じた左右の揺らぎ・ブレ（自動走行に必要な幅員等の確認）
検証結果	②速度・重量に応じた複数車両走行技術・制御 ・走行中の車両の速度、距離、走行位置はリアルタイムにタイルとのCAN通信による取得が可能であることを確認。 ・走行中の同時コイル反応数が3以下(※)に納まっており、正常に位置取得ができていることを確認。 (※マグネットの長さとコイル配置の組み合わせで必ず3以下となるはずであり、4以上となった場合は処理速度や通信に問題がある可能性がある。) ・検証項目①の結果より停止まで最大8.4m必要となっている為、複数車両の場合の車間距離は10m以上は必要と推測される。
今後検証が必要となる内容	・距離、速度を監視しながら実際に実機で複数車両を衝突させずにコントロールする検証が必要。 ・分岐、合流も考慮した統括サーバとの連携機能が必要。

重量 (備考)	平均 最高速度 (km/h)	同時マグネット判定ユニット数(最大)	判定結果
125kg (軽)	11.052	3	全回OK
500kg (中)	10.146	3	全回OK
900kg (重)	9.458	3	全回OK

表　平均最高速と最大同時コイルユニット反応数



図　リアルタイムログ監視を行っている写真

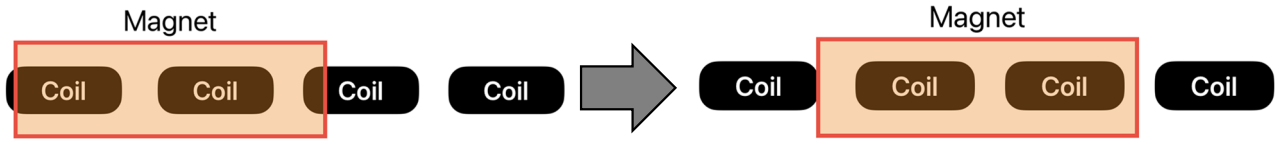
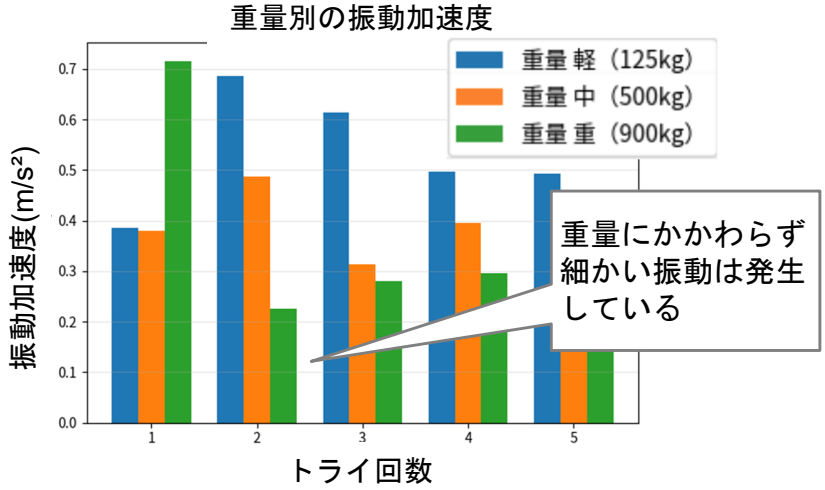


図　マグネットとコイルユニットの重なり(※)

■実験結果

検証項目	①速度・重量に応じた指定速度までの加速および停止までに必要な時間・距離 ②速度・重量に応じた複数車両走行技術・制御 ③搬送機器のアスファルト舗装走行時における路面凹凸による振動や荷物への影響 ④自動走行時の速度に応じた左右の揺らぎ・ブレ（自動走行に必要な幅員等の確認）
検証結果	③搬送機器のアスファルト舗装走行時における路面凹凸による振動や荷物への影響 ・全ての重量で積載物の実測による位置ズレは発生しなかった。 ・路面の凹凸やマンホール上を通過する際に多少の振動(平均0.432 m/s²)は確認された。 ・検証項目①の結果より、重量増加に伴い加速は緩やかになり、最高速が低くなった為に減速に関しても急停止とならずに停止することができた事が要因と推測される。 ・路面状態による細かい振動はあるため固定されていない軽い荷物に関してはズレが発生する可能性はある。サスペンション等により振動を吸収する機構が必要である。  図　重量別の振動加速度  図　実測の様子
今後検証が必要となる内容	・空の段ボールやオリコンなどの軽量物含め、あらゆる重さや形状の荷物を積載し振動によるずれ具合を検証。 ・路面状態による振動を抑えるためのサスペンション機構の検討。

■実験結果

検証項目

①速度・重量に応じた指定速度までの加速および停止までに必要な時間・距離
②速度・重量に応じた複数車両走行技術・制御
③搬送機器のアスファルト舗装走行時における路面凹凸による振動や荷物への影響
④自動走行時の速度に応じた左右の揺らぎ・ブレ（自動走行に必要な幅員等の確認）

検証結果

④自動走行時の速度に応じた左右の揺らぎ・ブレ（自動走行に必要な幅員等の確認）

・全ての重量で左右の揺らぎ・ブレは発生しなかった。
・加速度データをもとに加速度（各軸）から平均値（重力・オフセット）を引いて計算しても1mm程度の振幅量となる(下表参照)。
・レールへの推力台車の取り付け及び推力台車への搬送台車の取り付けが問題なく行われており、左右にブレることはなかったと考えられる。
・走行を繰り返していると振動や傾斜の影響によりレールやローラーに負荷がかかった点は認められた。

		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
重量 軽 125kg	移動加速度(m/s²)	0.386	0.687	0.614	0.497	0.493
	振幅量(mm)	0.57	1.02	0.91	0.74	0.73
重量 中 500kg	移動加速度(m/s²)	0.380	0.487	0.314	0.395	0.421
	振幅量(mm)	0.56	0.72	0.47	0.59	0.63
重量 重 900kg	移動加速度(m/s²)	0.716	0.226	0.280	0.295	0.295
	振幅量(mm)	1.06	0.33	0.41	0.44	0.44

表　移動加速度の値の平均値(周波数 約4.13Hz)

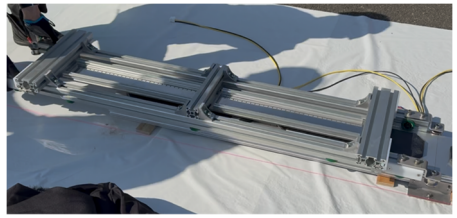


図　推力台車とレールの写真

振幅量計算　**振幅量(mm)** = (移動加速度 / (2 * PI() * 周波数(4.13))^2) * 1000

今後検証が必要となる内容

・ローラーとレールの強度の検証が必要。
・車輪の軸がぶれても補正できるような機構の検討が必要。

鹿島建設株式会社

ユースケース３

[鹿島建設株式会社]

■実験概要

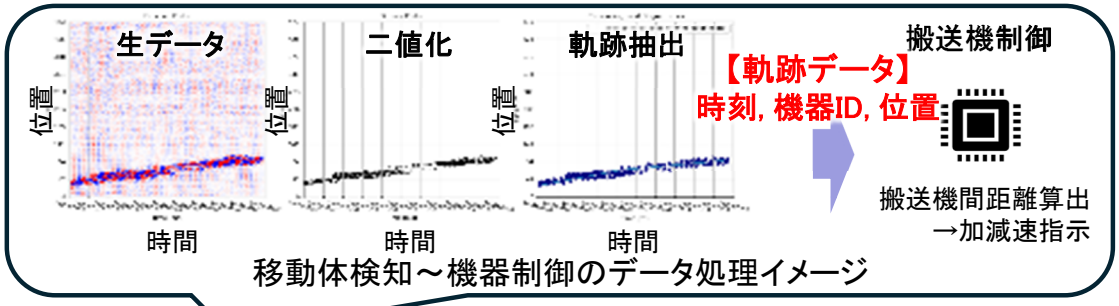
国土技術政策総合研究所（つくば市）において、自動物流道路の本線上に光ケーブルを敷設しAGVにT11パレットを搭載した状態で自動走行させ、自動搬送機の走行に伴い生じる振動を光ケーブルを通じ振動分布計測器で計測、AGVの軌跡データを取得する。得られたデータをAGV間で共有し、落下物、火災の発生の検知・情報提供の確実性、回避行動時の搬送機器の走行技術・制御について評価する。これにより、自動物流道路で想定される無人空間での効果的な異常検知、情報共有、制御方法について検討する。

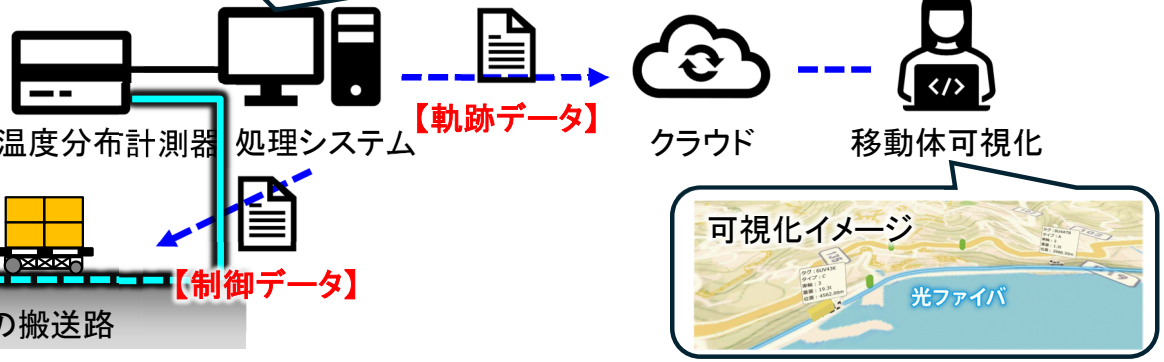
実施するユースケース	ユースケース3　異常検知及び搬送機器の回避行動
代表企業（役割）	鹿島建設株式会社
その他参加企業（役割）	一部外注（日本コントロールシステム社、近畿大学原口研）
実験場所	国土技術政策総合研究所
実験日程	2026年2月24日～27日（準備1日、実験2.5日、撤去0.5日）
使用する主な機器	振動分布計測器1台、搬送機器3台（最大積載量120kg（パレット含む））
機器の図・諸元	

自動搬送機仕様

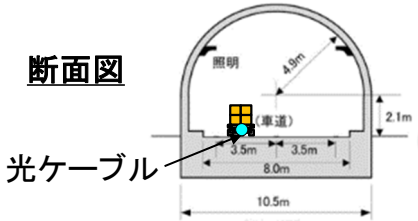
製品名(型番)	メガローバーF120A
サイズ	W481.8×D468×H190.5（mm）
本体重量	約33kg
最高速度	1.6m/s （分速100m程度想定）
積載重量	約120kg
本体材質	アルミニウム
バッテリー	24Vシール鉛バッテリー 624Wh
駆動方式	二輪駆動、後部キャスター×1
タイヤ直径	170mm
モーター	BLDCモーター 150W×2

全体構成



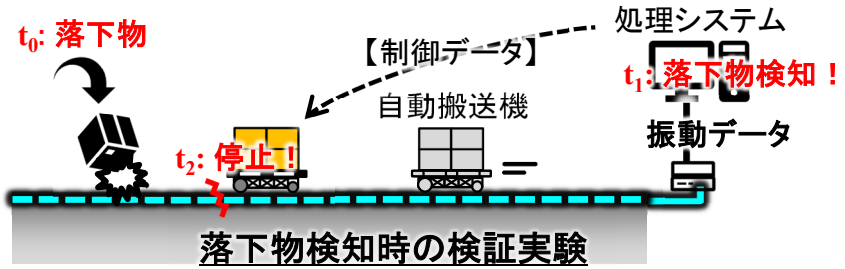


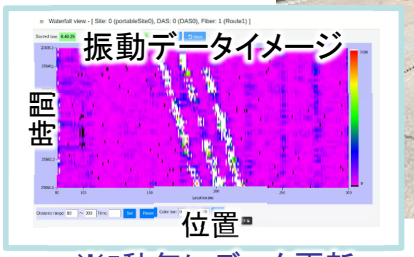
断面図



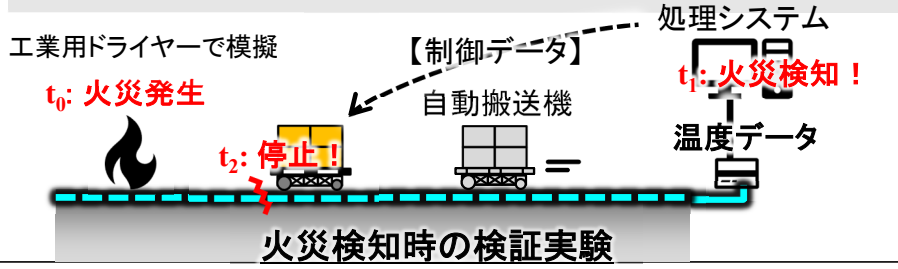
■実験結果

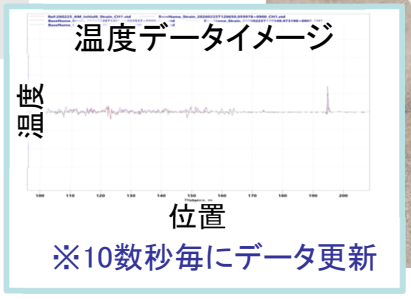
検証項目	事象発生を検知できたか・どのような事象が発生したか正しく把握できたか
検証結果	①段ボール（重さ：大12kg・中8kg・小4kg）を落下させたときの振動データから、落下物を検知できるかを検証した。 ・落下物の検知確率は、大：67%、中：33%、小：0%であった（試行回数は各6回）。 ・検知できた場合、落下物を検知してから搬送機が停止するまでは、平均1.6秒であった。 （【落下物検知t1 】⇒【停止t2 】 1.6秒後）
検証結果	②路面を加温（約5℃程度上昇、近接・遠方加熱）させたときの温度データから、模擬的な火災を検知できるかを検証した。 ・模擬火災の検知確率は、100%であった（試行回数は計6回）。 ・火災を検知してから搬送機が停止するまでは、平均1.1秒後であった。 （近接：【火災検知】⇒【停止】1.1秒後） （遠方：【火災検知】⇒【停止】1.1秒後）
今後検証が必要となる内容	**・落下物検知精度の向上**：搬送機走行の障害となる落下物は、事前に検知する必要がある。搬送機の走行振動のなかから瞬間的に生じる落下物の振動を精度よく検出するために、振動データ処理技術を開発し、検証を進める。 **・火災規模の推定**：自動物流の冗長性を確保するうえでは、詳細に火災の状況を捉え、異常時の回避行動をより高度化する必要がある。火災の範囲などを推定するために、温度データ処理技術を開発し、検証を進める。







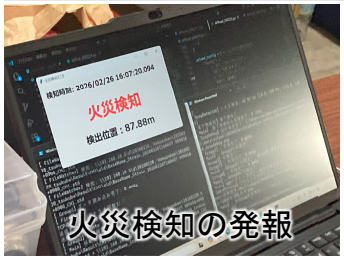






■実験結果

検証項目	事象に対し、適切に回避できたかどうか・（回避できた場合の）前後の搬送機器との距離
検証結果	隊列走行している3台の自動搬送機の前に異常が発生した場合に、光ケーブルのデータからそれを検知し、すべての搬送機が停止信号を受信して適切に停止できるかを検証した。 ・模擬火災後、搬送機はすべて同時に停止することができた。 ・異常を検知してからすべての搬送機が停止するまでは、平均1.1秒後であった（【検知】⇒【①～③すべてほぼ同時停止】平均約1.1秒後）。 ・搬送機停止時の車間距離の変化は、走行開始時と比べて0.2mの範囲に収まっていた。
今後検証が必要となる内容	**・異常検知に要する時間の短縮化**：安全な自動物流インフラを維持するためには、早期の異常検知が必要である。異常検知に要する時間は処理システムの計測頻度や検知アルゴリズムなどに依存するため、その改善と検証を進める。 **・搬送機器側センサとの連携**：自動物流の冗長性を確保するためには、異常時の回避行動の高度化が必要である。光ケーブルのデータと車載センサ（車間距離用レーザー、エンコーダなど）との連携機能を処理システムに実装し、検証を進める。







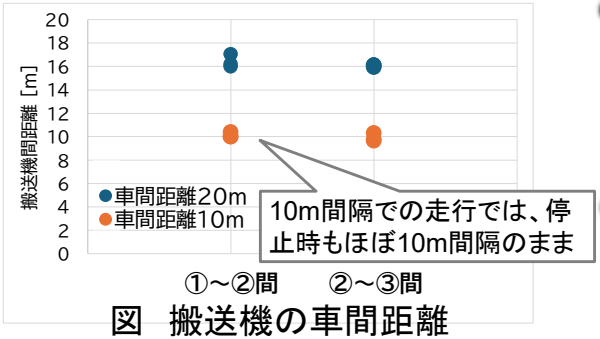
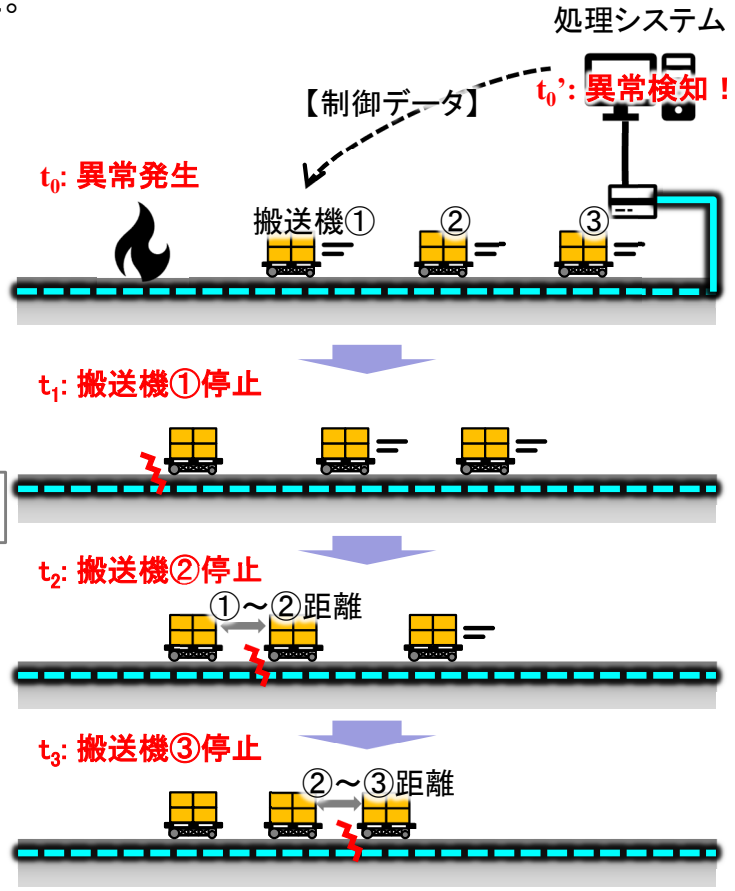


図　搬送機の車間距離



搬送機器の停止制御時の検証実験

NTTドコモビジネス株式会社
株式会社大林組
PLiBOT株式会社
日本マイブルロボットテクノロジー株式会社
セーフィー株式会社

ユースケース４

[NTTドコモビジネス株式会社(代表企業)] ユースケース4

国土交通省

■実験概要

国土技術政策総合研究所(つくば市)において、自動物流道路の本線を模擬的に再現し、搬送機器(別実験)に搭載した通信端末、クラウドカメラを用いて電波強度、映像伝送の品質を計測するとともに、電波遮蔽物を設置した場合の走行影響を計測することで、トンネル内での当該搬送機器の自動走行、自車位置把握の正確性について検証する。

実施するユースケース	ユースケース4 本線単路部:搬送機器の通信安定性
代表企業(役割)	NTTドコモビジネス株式会社(現場統括、管理)
その他参加企業(役割)	株式会社大林組(搬送機器の統括・管理)、PLiBOT株式会社(搬送機器の管理)、日本マイブルロボットテクノロジー株式会社(搬送機器の走行)、セーフィー株式会社(カメラの設置・運用)
実験場所	国土技術政策総合研究所
実験日程	2026年2月2日～6日(準備1日、実験3日、撤去1日)
使用する主な機器	搬送機器1台、カメラ11台

機器の図・諸元

搬送機器(AMR)_TMN-TC2000A

サイズ:3000mm×1600mm×2650mm
最大積載量:2000kg
最大走行速度(空車):10km/h
最大走行速度(満載): 8km/h
最小回転半径:≦3500mm

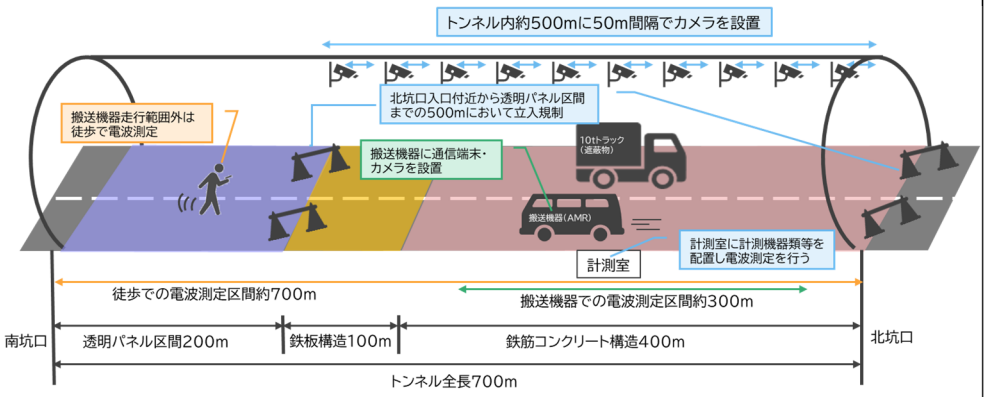


カメラ(Safie One)

サイズ:φ76.5×92.5mm
重量:360g
画像伝送帯域・速度:約1Mbps 30fps(MAX)
解像度 (ストリーミング):1280×720ピクセル
解像度 (スナップショット):1920×1080ピクセル



実証全体のイメージ



[NTTドコモビジネス株式会社(代表企業)] ユースケース4

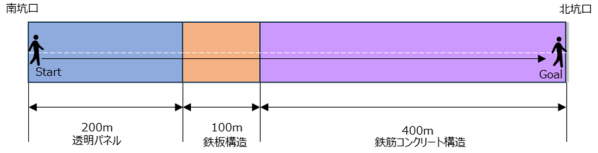
■ 国総研トンネルにおける測定構成と各条件の仕様

No.	測定項目	条件・仕様	測定区間	取得データ
(1)	徒歩測定	時速4.9km/h 端末高さ3m	南坑口→北坑口 (全長700m)	①スループット(UL/DL) ②Ping
(2)	搬送機器 (条件無)	8km/h→停止→3.6km/h 右側車線走行	160m～340m (コンクリート部)	同上
(3)	搬送機器 (障害物有)	(2)と同走行条件 10tトラック左車線停車	同上 トラック200m地点	同上
(4)	搬送機器 (天井カメラ)	(2)と同走行条件 天井カメラ9台動作	同上 カメラ等間隔設置	①スループット(UL) ②スループット(DL) ③Ping
(5)	荷物監視 カメラ	車内カメラ テザリング経由通信	(2)(3)(4)と同区間	④スループットUL (最大2Mbps)※1

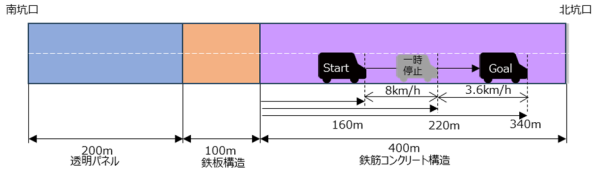
※1 荷物監視カメラは映像伝送が目的のため、ULのみを測定

各測定方法のイメージは以下のとおり

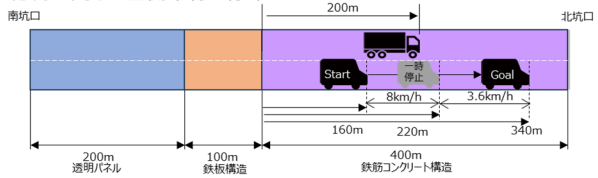
(1) 徒歩測定
・南坑口から北坑口へ等速度で歩行(4.9km/h)



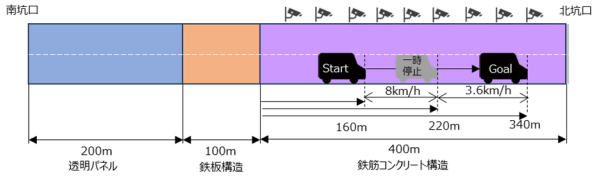
(2) 自動搬送機器 (条件：無)
・コンクリート構造(南坑口方向から)160m地点より走行開始(8km/h)
・(南坑口方向から)220m地点で10秒停止
・再度走行し (南坑口方向から)340m地点で走行停止(3.6km/h)
・2車線のうち、進行方向の右側車線を走行



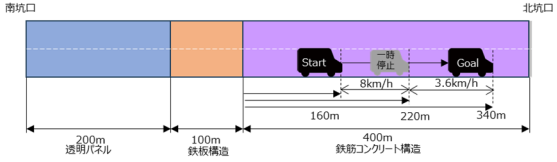
(3) 自動搬送機器 (条件：障害物)
・自動搬送車の走行条件は、②と同じ。
・10トントラックは、(南坑口方向から)200m地点に北坑口向きに停車
・北坑口向きに左側車線に停車



(4) 自動搬送機器 (条件：天井カメラ)
・自動搬送車の走行条件は、②と同じ。
・天井カメラは、おおよそ等間隔で天井に設置 (設置間隔確認中)



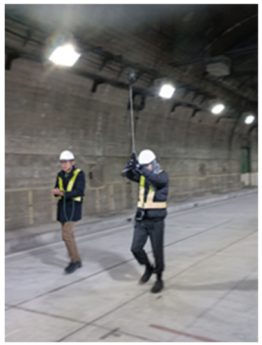
(5) 自動搬送機器 (条件：荷物監視カメラ)
・コンクリート構造(南坑口方向から)160m地点より走行開始(8km/h)
・(南坑口方向から)220m地点で10秒停止
・再度走行し (南坑口方向から)340m地点で走行停止(3.6km/h)
・2車線のうち、進行方向の右側車線を走行



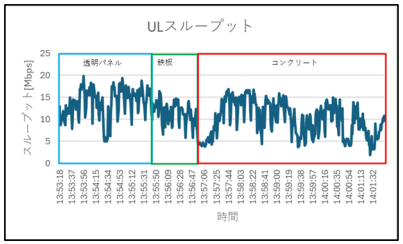


■実験結果

検証項目	搬送機器の通信安定化技術の確実性
検証結果	**(1)徒歩測定 ①スループット試験(UL/DL)** 比較基準とするために、国総研トンネル内(全長)の電波状況を徒歩で測定。トンネル内におけるUL/DLスループットの測定平均値については、『透明パネル＞鉄板＞コンクリート』の順である事を確認。(図1参照)



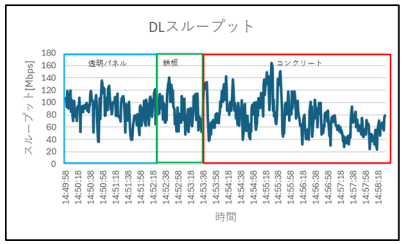
徒歩による測定の様子



トンネル全長

最大値	20
最小値	2
中央値	12
平均値	11
偏差	4

(Mbps)



トンネル全長

最大値	164.1
最小値	23.7
中央値	81.1
平均値	82.9
標準偏差	26.0

(Mbps)

図1. 徒歩によるスループット測定結果(左がUL、右がDL)

(1)徒歩測定 ②Ping試験

無線通信におけるPing試験は、端末から通信相手(インターネット上のサーバー)へデータを送信し、その応答時間(遅延)やパケットロス(データ紛失)を測定することで、ネットワーク接続の安定性と応答速度を確認する試験を実施。
国総研トンネルにおけるPing応答時間の測定平均値については、構造部によらず各区間で概ね同等である事を確認。(表1、図2参照)

表1 トンネル全区間Ping測定結果

最大値	90.4
最小値	35.2
中央値	53.9
平均値	54.5
標準偏差	9.8

(ms)

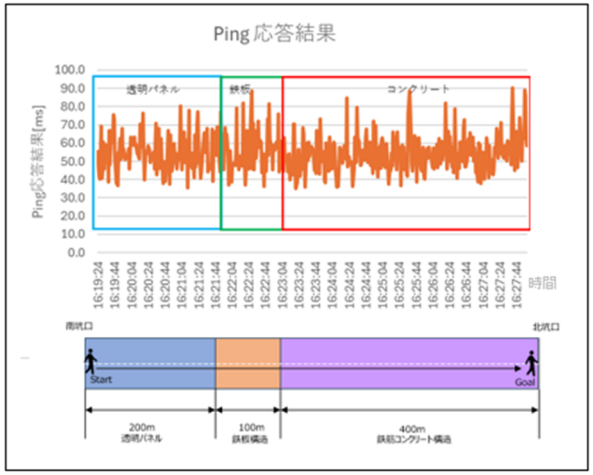


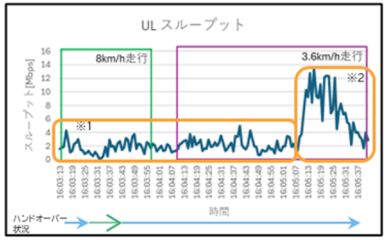
図2. 徒歩によるPing応答時間測定結果

■実験結果

検証項目	搬送機器の通信安定化技術の確実性
検証結果	**(2)搬送機器 ①スループット試験(UL/DL)** 国総研トンネルにおける搬送機器に設置したULスループットの測定平均値は、徒歩測定と比較し低下した区間はあるものの、常時通信出来ている事を確認。 DLスループットの測定平均値は、徒歩測定と同等であり、常時通信出来ている事を確認。(図3参照)

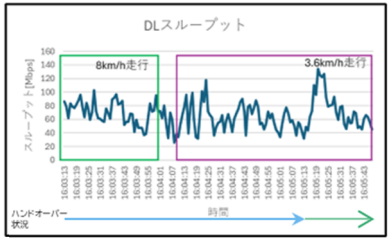


搬送機器による測定の様子



最大値	13.4
最小値	0.1
中央値	2.2
平均値	3.2
偏差	2.8

(Mbps)



最大値	134.4
最小値	25.4
中央値	67.0
平均値	67.0
偏差	20.7

(Mbps)

図3. 搬送機器によるスループット測定結果(左がUL、右がDL)

(2)搬送機器 ②Ping試験

国総研トンネルにおける搬送機器に設置したPing応答時間の測定平均値は、徒歩測定と同等であり、常時通信出来ている事を確認。
(表2、図4参照)

表2 搬送機器Ping測定結果

最大値	71.7
最小値	28.7
中央値	44.0
平均値	44.6
標準偏差	8.1

(ms)

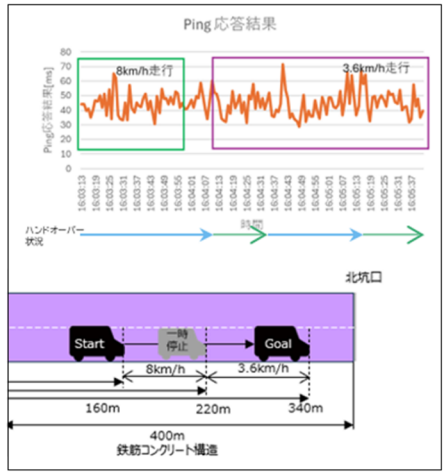


図4. 搬送機器によるPing応答時間測定結果

■実験結果

検証項目	搬送機器の通信安定化技術の確実性
検証結果	**(2)搬送機器 (5)荷物監視カメラ ④スループット(UL)** 国総研トンネルにおける荷物監視カメラのスループットは、平均1.7Mbpsを確認。 (表3、図5参照)

表3 搬送機器UL測定結果

最大値	2.2
最小値	1.3
中央値	1.7
平均値	1.7
偏差	0.1

(Mbps)

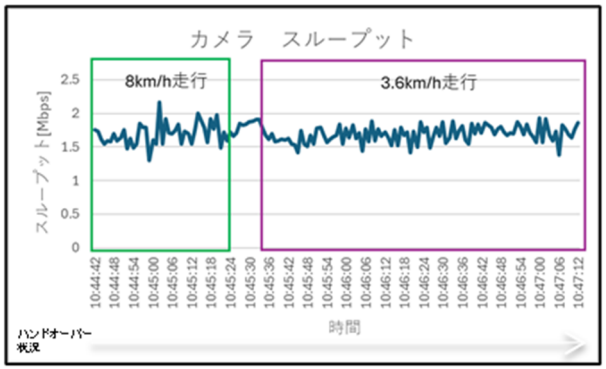


図5. 搬送機器に設置した荷物監視カメラ ULスループット測定結果



搬送機器の荷物監視カメラ

※荷物監視カメラの主たる通信は、搬送機器側からクラウドサーバへの映像データのアップロード(UL)であるため、荷物監視カメラの通信測定はUL(上り)スループットのみを計測対象とした。

■実験結果

検証項目	走行影響(自律走行のみの場合)の有無、自車位置把握の正確性
検証結果	**(3)搬送機器 障害物有 ①スループット試験(UL/DL)**

国総研トンネルにおける障害物(10tトラック1台)を設置した状態で搬送機器に設置したULスループットの測定平均値は、障害物を設置しない状態とほぼ同等であることを確認。
DLスループットの測定平均値は、障害物を設置しない状態と比較し若干低下している傾向を確認。
(表4、図6参照)

表4. 搬送機器障害物有UL/DL測定結果
(左がUL、右がDL)

最大値	12.2
最小値	0.7
中央値	2.7
平均値	3.6
偏差	2.5

(Mbps)

最大値	92.4
最小値	5.2
中央値	44.3
平均値	44.0
偏差	21.7

(Mbps)

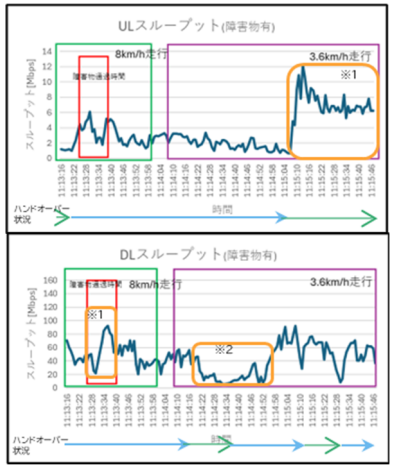


図6. 障害物ありの場合の
スループット測定結果(上がUL、下がDL)

(3)搬送機器 障害物有 ②Ping試験

国総研トンネルにおける障害物(10tトラック1台)を設置した状態で搬送機器に設置したPing応答時間の測定平均値は、障害物を設置しない状態とほぼ同等であることを確認。(表5、図7参照)

表5. 搬送機器障害物あり
Ping測定結果

最大値	75.9
最小値	34.9
中央値	47.2
平均値	47.6
標準偏差	7.9

(ms)

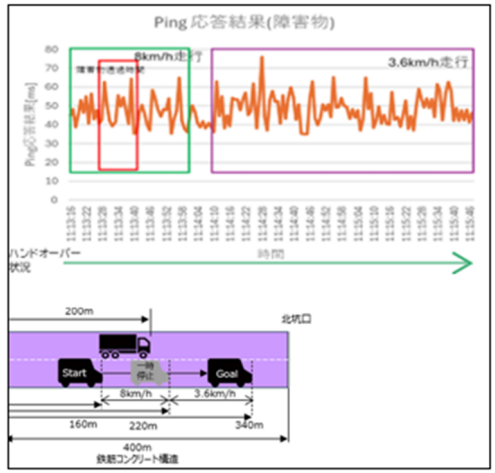


図7. 障害物ありの場合のPing応答時間測定結果

■実験結果

検証項目	走行影響(自律走行のみの場合)の有無、自車位置把握の正確性
検証結果	**(3)搬送機器 障害物有　(5)荷物監視カメラ ④スループット(UL)** 国総研トンネルにおける障害物(10tトラック1台)を設置した状態で搬送機器に設置した荷物監視カメラ通信スループットの測定平均値は、障害物を設置しない状態とほぼ同等であることを確認。(表6、図8参照)

表6. 搬送機器UL測定結果(障害物あり)

最大値	2.0
最小値	1.4
中央値	1.7
平均値	1.7
偏差	0.1

(Mbps)

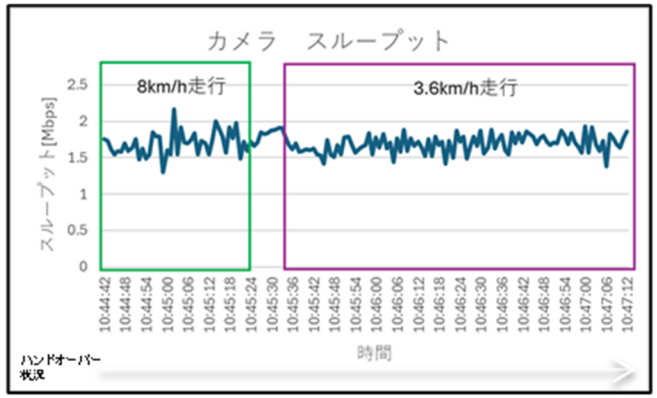


図8. 搬送機器設置荷物監視カメラ ULスループット測定結果(障害物あり)



搬送機器設置の荷物監視カメラ

※荷物監視カメラの主たる通信は、搬送機器側からクラウドサーバへの映像データのアップロード(UL)であるため、荷物監視カメラの通信測定はUL(上り)スループットのみを計測対象とした。

■実験結果

検証項目	走行影響(自律走行のみの場合)の有無、自車位置把握の正確性
検証結果	**(4)搬送機器 天井カメラ ①スループット試験(UL)** 国総研トンネルにおける車道監視カメラを動作した状態で搬送機器に設置したULスループットの測定平均値は、車道監視カメラを動作しない状態とほぼ同等であることを確認。 (表6、図9参照)



表6. 搬送機器監視カメラ有無のUL測定結果
(左がカメラ有、右がカメラ無)

最大値	14.9
最小値	0.5
中央値	2.1
平均値	3.4
偏差	3.2

(Mbps)

最大値	13.4
最小値	0.1
中央値	2.2
平均値	3.2
偏差	2.8

(Mbps)

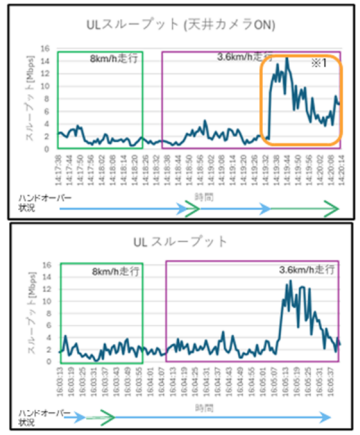


図9. 搬送機器監視カメラ有無のUL測定結果
(上がカメラ有、下がカメラ無)

(4)搬送機器 天井カメラ ②スループット試験(DL)

国総研トンネルにおける車道監視カメラを動作した状態で搬送機器に設置したDLスループットの測定平均値は、車道監視カメラを動作しない状態と比較し若干低下している傾向を確認。
(表7、図10参照)



表7. 搬送機器監視カメラ有無のDL測定結果
(左がカメラ有、右がカメラ無)

最大値	140.6
最小値	1.2
中央値	35.6
平均値	40.6
偏差	32.0

(Mbps)

最大値	134.4
最小値	25.4
中央値	67.0
平均値	67.0
偏差	20.7

(Mbps)

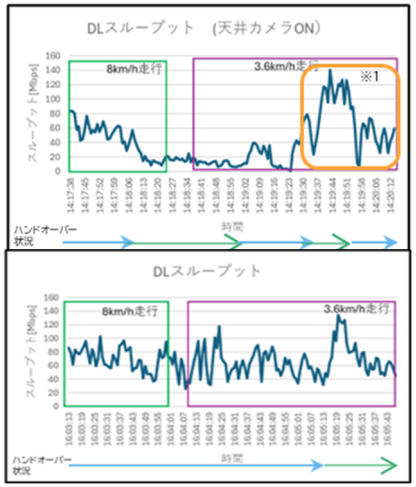


図10. 搬送機器監視カメラ有無のDL測定結果
(上がカメラ有、下がカメラ無)

■実験結果

検証項目	走行影響(自律走行のみの場合)の有無、自車位置把握の正確性
検証結果	

(4)搬送機器 天井カメラ ③Ping試験

国総研トンネルにおける車道監視カメラを動作した状態で搬送機器に設置したPing応答時間の測定平均値は、車道監視カメラを動作しない状態とほぼ同等であることを確認。
(表8、図11参照)



表8. 搬送機器監視カメラ有無のPing測定結果
(左がカメラ有、右がカメラ無)

最大値	80.4
最小値	33.2
中央値	45.9
平均値	46.2
標準偏差	8.1

(ms)

最大値	71.7
最小値	28.7
中央値	44.0
平均値	44.6
標準偏差	8.1

(ms)

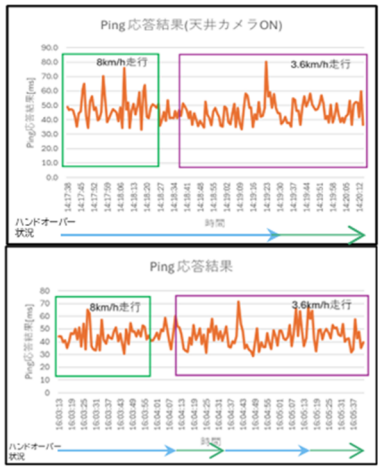


図11. 搬送機器監視カメラ有無のPing測定結果
(上がカメラ有、下がカメラ無)

(4)搬送機器 天井カメラ (5)荷物監視カメラ ④スループット(UL)

国総研トンネルにおける車道監視カメラを動作した状態で搬送機器に設置した荷物監視カメラ通信スループットの測定平均値は、車道監視カメラを動作しない状態とほぼ同等であることを確認。
(表9、図12参照)

表9. 搬送機器監視カメラ有
UL測定結果

最大値	1.8
最小値	0.7
中央値	1.2
平均値	1.3
偏差	0.2

(Mbps)

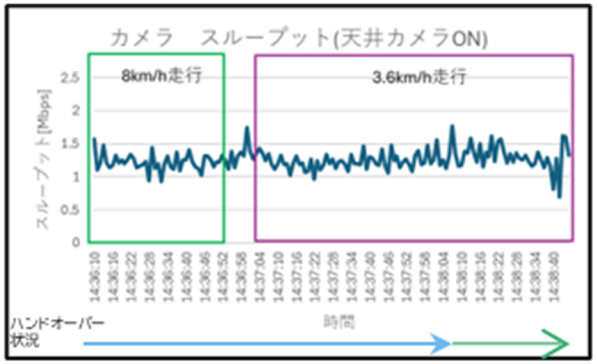


図12. 搬送機器設置荷物監視カメラ
ULスループット測定結果(監視カメラ有)

■実験結果の比較

1. ULスループットは、徒歩(コンクリ平均10Mbps)に対して搬送機器(平均3.2Mbps)と半分以下となっているが、障害物、天井カメラによる影響は見られなかった。
2. DLスループットは、搬送機器の方が測定結果が下がるが概ね同等の結果であった。障害物、天井カメラで数値の低下が見られるが、ハンドオーバー※1が発生した事でスループット低下が発生したと推定される。
3. Ping値は、搬送機器の方が測定結果が下がるが概ね同等の結果であった。障害物、天井カメラによる影響は見られなかった。
4. 荷物監視カメラは、カメラの映像転送レート(最大2Mbps)に対して概ね1.7Mbpsを確認。障害物がある環境でも、同等の結果であることから、障害物の影響はないと推定される。天井カメラ動作時は平均1.2Mbpsを確認、天井カメラ非動作時は平均1.7Mbpsに対して約30%の低下が見られた。帯域競合の影響と推定される。

(Mbps)

	徒歩※2	条件無	障害物有	天井カメラ	徒歩	条件無	障害物有	天井カメラ
	UL(上り)				DL(下り)			
最大値	16.9	13.4	12.2	14.9	164.1	134.4	92.4	140.6
最小値	1.8	0.1	0.7	0.5	23.7	25.4	5.2	1.2
中央値	9.9	2.2	2.7	2.1	74.3	67.0	44.3	35.6
平均値	9.9	3.2	3.6	3.4	78.0	67.0	44.0	40.6
偏差	3.8	2.8	2.5	3.2	28.2	20.7	21.7	32.0

(ms) (Mbps)

	徒歩	条件無	障害物有	天井カメラ	徒歩	条件無	障害物有	天井カメラ
	Ping				荷物監視カメラ(UL)			
最大値	90.4	72	76	80		2.2	2.0	1.8
最小値	35.2	29	35	33		1.3	1.4	0.7
中央値	53.3	44	47	46	※測定無	1.7	1.7	1.2
平均値	54.1	45	48	46		1.7	1.7	1.3
偏差	9.6	8	8	8		0.1	0.1	0.2

※1 通信する基地局を自動的に切り替え、通話やデータ通信を途切れさせずに継続する技術
※2 徒歩の数値は、搬送機器と同じコンクリート区間の測定値

■実験結果

検証項目	走行影響(自律走行のみの場合)の有無、自車位置把握の正確性
検証結果	**①録画率** 2/3～2/5の3日間、トンネル内部に設置した計9台のクラウドカメラの通信及び録画状況を測定。2/3深夜にカメラ#1のファームウェアのアップデートに伴う1分17秒間の録画欠損、及び2/4のNTTドコモビジネスの検証に伴う一時的なカメラ電源オフによる録画欠損を除き、録画及びリアルタイム映像に問題はなかった。

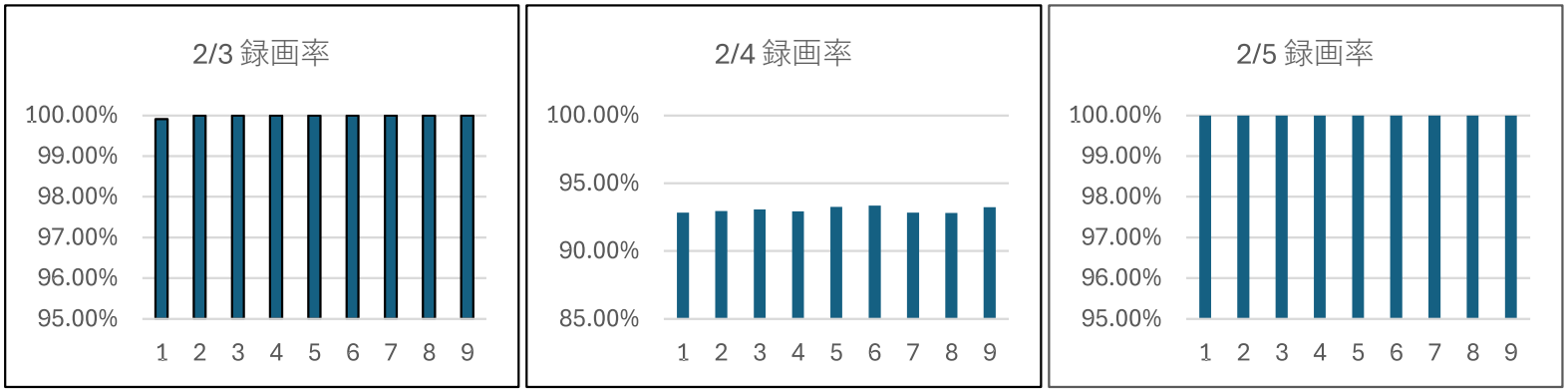
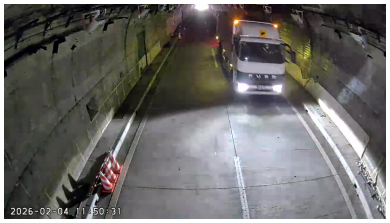


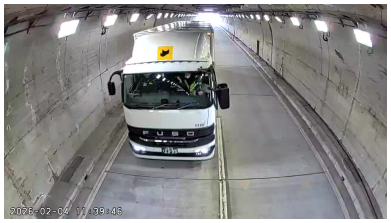
図1. 2/3～2/5のクラウドカメラ(#1～9)の日別の録画率

②映像の映り方(定性)

トンネル内照度や移動体速度、カメラ設置位置による見え方の違いを検証。照明を落とした場合であっても、時速30km/hまでなら30fpsのクラウドカメラで問題なく撮影できることを確認。また、天井中央、地上からの高さ5.5m*程度にカメラを設置するのが適切と思われる。*トラック走行時の接触懸念がないよう、高さ5.5m以上となるようカメラ設置。高さや画角を変えて設置した中で中央5.5mに設置したカメラが最も全景が撮影できていた(右上)。



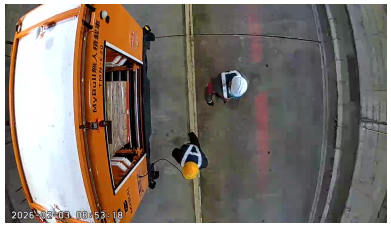
← 天井端 消灯 30km/h 走行中



← 天井中央 全灯 30km/h走行中



← 天井端 全灯 8km/h 走行中



← 天井中央(真下) 全灯

[NTTドコモビジネス株式会社(代表企業)] ユースケース4

国土交通省

■実験結果

今後検証が必要となる内容	トンネルなど通信環境が不安定な状況下では、電波の減衰や反射、遮蔽の影響を強く受けるため、通信にとって極めて過酷な環境である。加えて、複数の搬送機器が同時に走行し、遠隔制御や状態監視、24時間の映像モニタリングを行うことから、通信には高い安定性と継続性が求められる。 今後は、車両台数の増加や通信トラフィックの集中が通信品質に与える影響を検証するとともに、通信品質の低下が自律走行や自車位置把握にどの段階で影響を及ぼすのかを、より実運用に近い条件で確認する必要がある。また、通信劣化時における冗長化手段や運用面での補完策を含め、通信と走行・監視を一体として成立させる検証が求められる。 今回はトンネル南北に開口部が存在し、電波がトンネル内に入り込んでいたと推察される。phase2以降でもトンネル内部環境が今回と同条件と言い切れないため、より実際の環境に近いトンネル内でのクラウドカメラの録画率や通信環境については追加での検証が必要である。 またカメラと移動体の距離、及び移動体の速度によっては、fpsを上げる(高ビットレート)必要が出てくると思われる。今回の実験では30km/hまでであれば30fpsの通常のクラウドカメラでの移動体の撮影が可能であったが、今後の分科会での議論によっては、移動体の速度や遠隔運行管理についても変更や追加要件が出てくるものと推察されるため、それらに伴い追加検証は必要である。

【参考資料】回線速度の目安を理解するための基礎知識

通信環境の快適さを判断する際には、回線速度の「数値」だけを見るのではなく、その数値が何を意味しているのかを正しく理解することが重要である。回線速度は、単に「速い・遅い」という一言で表せるものではなく、通信の反応の速さや安定性など、いくつかの要素によって決定されるため、回線速度の目安を確認する前に、まずは通信品質を評価する際によく使われる基本的な用語について理解しておく必要がある。
回線速度や通信の快適さを判断するうえで重要となる代表的な用語について、それぞれの意味を下表を用いて説明する。

用語	概要
Mbps (メガビーピーエス)	1秒間に送受信できるデータ容量をあらわす単位 回線速度が1Mbpsの場合、1秒間に1Mbit(メガビット)のデータを送受信できることをあらわす
上り(アップロード) 回線速度	クラウドカメラで取得した映像など、デバイスから外部にデータを送信する際の回線速度
下り(ダウンロード) 回線速度	ファイル・アプリのダウンロードなど、デバイス側に受信する際の回線速度
Ping値	回線の応答速度をあらわす数値 Ping値の数値が小さいほど、通信のラグ(遅延)が少ないことを意味する

■ 回線速度の目安

回線速度※2	利用可能なサービスの目安
10 Mbps以上	FHD画質で映像1本(30fps※3)の伝送のための推奨通信速度
5 Mbps以上	HD画質で映像1本(30fps)の伝送のための推奨通信速度
1 Mbps以上	VGA画質で映像1本(30fps)の伝送のための推奨通信速度

■ 通信遅延(即応性※1)の目安

令和6年度 新東名高速道路における走行車両の通信測定においては、通信遅延は100ms以内※2が望ましいとされている。

※1 RTT(Round-Trip Time):通信相手に信号やデータを発信してから、応答が帰ってくるまでにかかる時間
※2 数値は 自動運転の社会実装に向けた情報通信インフラに関する総務省の取組について P.26 から引用
※3 30fps(1秒間に30枚の静止画)は、テレビ放送や動画投稿サイトなどで標準的に使われるフレームレート

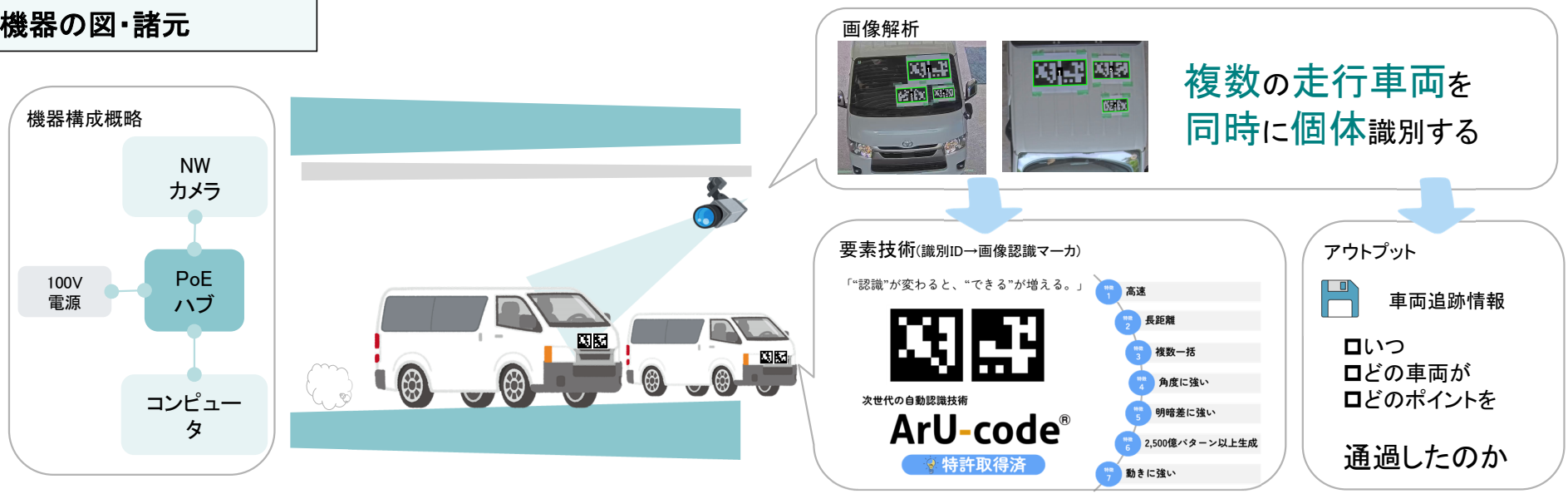
前田建設工業株式会社
株式会社TBMシステムズ
ワム・システム・デザイン株式会社

ユースケース５

■実験概要

国土技術政策総合研究所（つくば市）において、自動物流道路の本線を模擬的に再現し、搬送機器を模擬した普通車両に搬送機器の情報を管理するための二次元コード（ArU-code）を貼付し、トンネル上部に設置したカメラで走行中の車両を撮影して、二次元コード検知に関する試験を実施する。運行速度、照度、カメラの設置角度、マーカの貼付角度などの条件を変化させ、運行管理の確実性を検証する。これにより、将来の自動物流道路における搬送機器の運行管理への応用可能性を検討する。

実施するユースケース	ユースケース5　搬送機器の運行管理
代表企業（役割）	前田建設工業株式会社（現場統括、安全管理）
その他参加企業（役割）	株式会社TBMシステムズ　（実験進行管理、ハードウェア管理） ワム・システム・デザイン株式会社　（要素技術開発・提供、システム管理、データ管理）
実験場所	国土技術政策総合研究所　試験走路
実験日程	2025年12月1日～5日（準備1日、実験3日、撤去1日）
使用する主な機器	普通車両（ハイエース）2台、NWカメラ2台、コンピュータ2台、他ネットワーク関連機器
機器の図・諸元	



■実験フロー



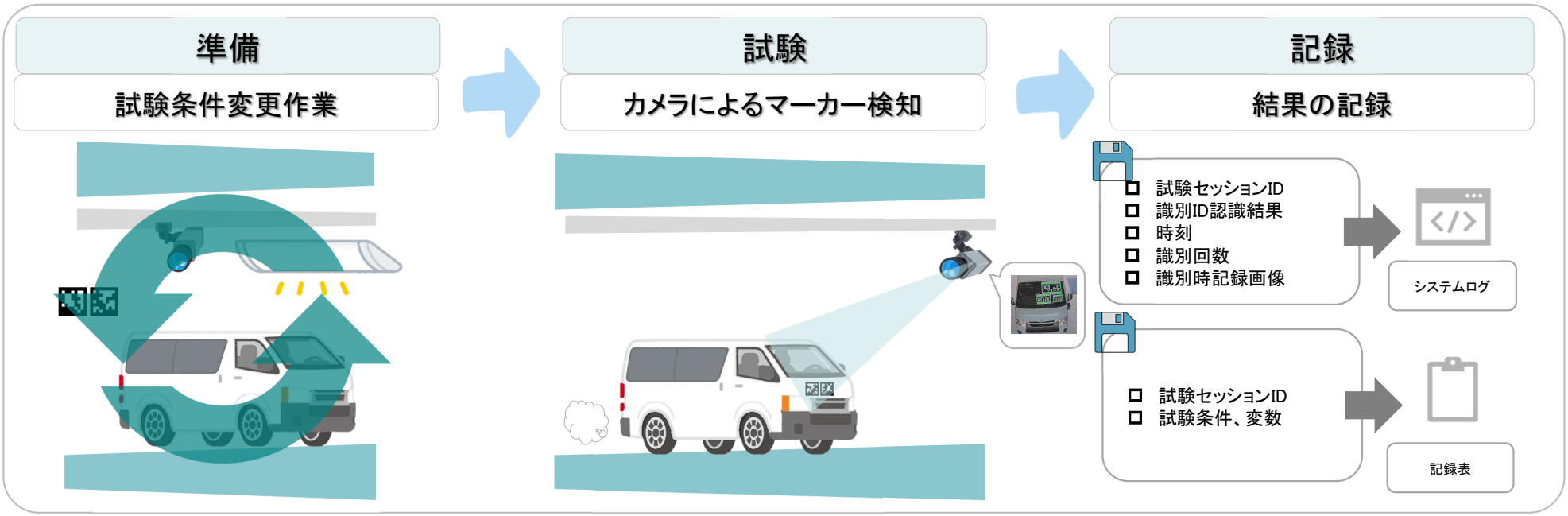
工程	概要	想定作業
準備	試験のためのセットアップ作業	車両移動、試験条件、環境係数変更など
試験	試験計画に応じたカメラによるマーカー検知	カメラによる走行車両のマーカー検知など
記録	試験結果の確認・記録	検証アプリケーションの確認、記録表への入力など

影響する試験条件、変数例

- 走行速度
- カメラ角度
- 認識距離
- ID貼付位置
- 照度
- カメラパラメタ
- IDサイズ
- 演算性能
- カメラ性能

etc...

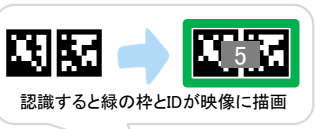
試験に影響する変数要因の分類	
搬送機器側の要因	車両やマーカに関する変数（速度、ID貼付位置、サイズなど）
インフラ側の要因	カメラや照明など設置環境に関する変数（角度、照度、演算性能など）
システム性能要因	認識距離、カメラパラメタ、処理能力など システム全体の性能に関わる変数



■検証項目

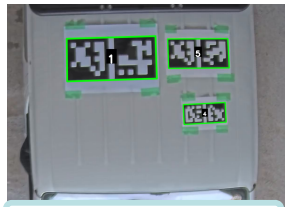
識別ID

ArU-code®



認識すると緑の枠とIDが映像に描画

貼付イメージ　※サイズは1種のみ



天面



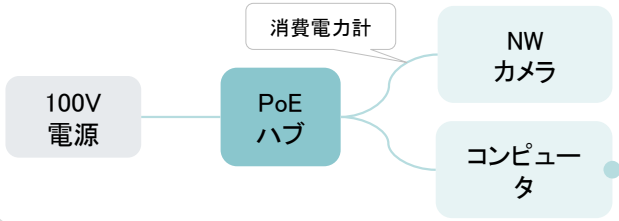
前面

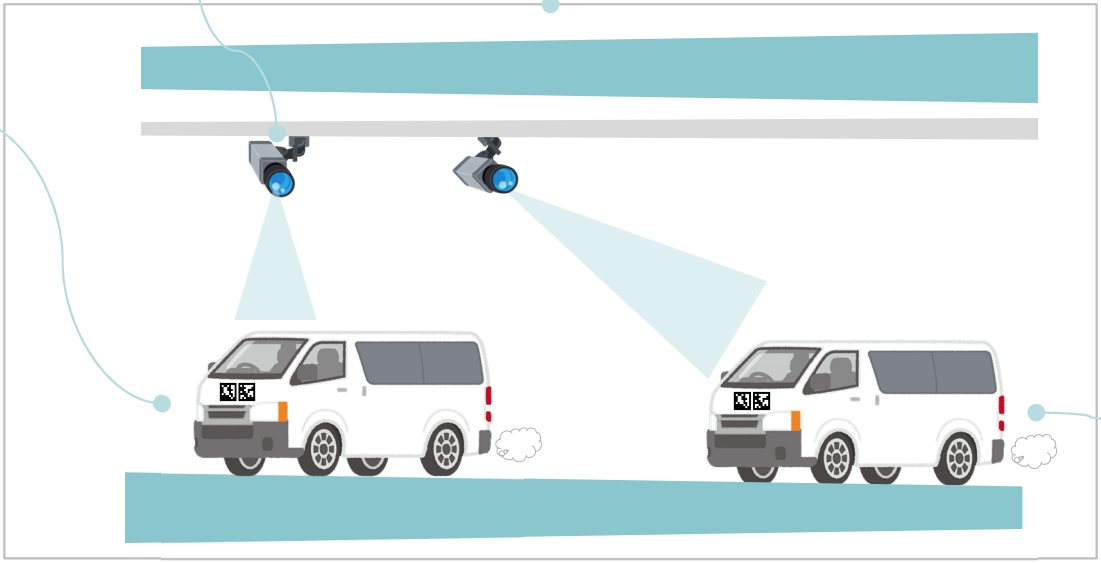
NWカメラ



型番:WV-S15500-V3LN

機器構成





検証アウトプット

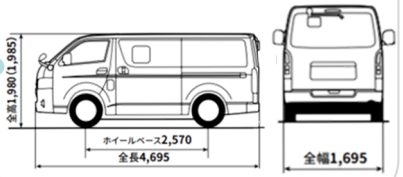
どんな検証条件で
- □ どのIDが(貼付箇所)
- □ いつ(タイムスタンプ)

認識可否のログを記録し、随時判定する。
条件セットはあらかじめ計画したものに従って準備する。
再現性担保のため、1ケース3回試行する。

記録表イメージ(仮)

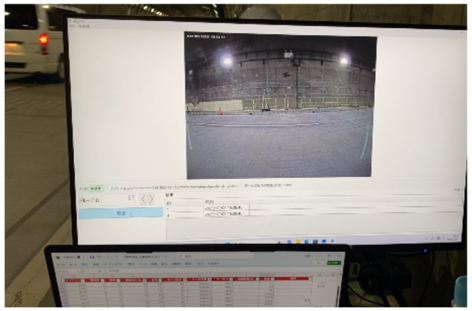
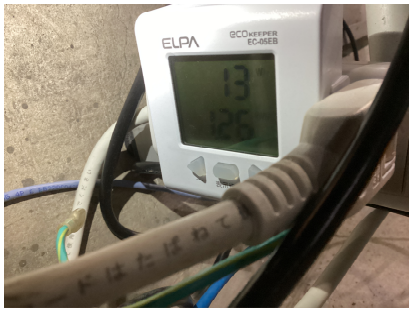
条件：	1	セッションID					
検証ID		132		133		144	
箇所	ﾏｰｶID	距離	速度	距離	速度	距離	速度
天面	1	5	54	5	56	5	53
	2	5		5		5	
	3	5		5		5	
前面	4	11		×		12	
	5	13		7		12	
	…	…	…	…	…	…	…

使用車両寸法



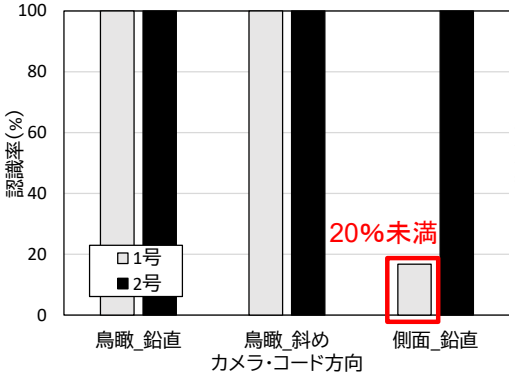
検証項目	取得する指標	取得する指標の計測手法
荷物（または搬送機器）管理用ICタグ（DSRC、RFID、QRコード等）、GPSによる荷物管理	読み取り可能な搬送機器の速度と離隔距離	識別ID（ArU-code）を貼り付けた車（ハイエース）を、試験走路（トンネル内）を走行させて、トンネル上部に設置したデジタルカメラで読み取る
	読み取りに必要な明るさ	
	読み取りに適したカメラ角度	
	読み取り可能なマーカ角度	
システムの電力消費量	電力消費量	インフラ側のカメラの実測消費電力を計測する （識別ID(ArU-code)は、二次元コードのため電力不要）

■実験結果

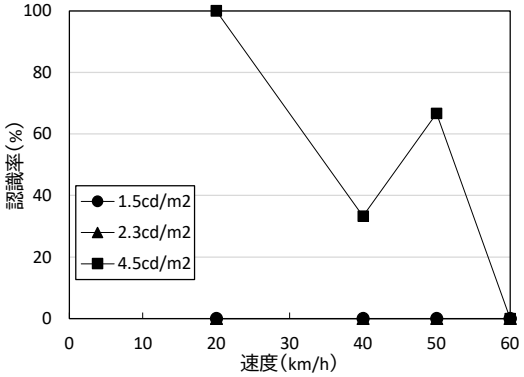
説明	写真
搬送車両の走行速度および坑内照明の照度を段階的に変化させて、車両を走行させる。	 車両走行　 車両走行
搬送車両の走行時、2方向からのカメラで撮影した映像をPCで確認する。 コードの全面が撮影できている場合にコードが認識される。 認識した場合、コードに紐づけられたIDとコードを認識した時刻が記録される。 午前・午後の作業終了時、電力計を確認し、消費電力を記録する。	 側面カメラ　 鳥瞰カメラ  計測状況　 消費電力の記録

■実験結果

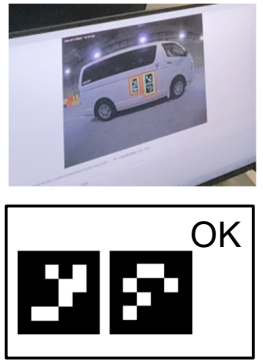
検証項目	①物（または搬送機器）管理用ICタグ（DSRC、RFID、QRコード等）、GPSによる荷物管理
検証結果	• 1号車両（側面カメラに近い側）を側面から読みとった場合の認識率は20%未満となった。これを走行条件で整理すると、速度が増加した場合と輝度が低下した場合に認識率が低下する傾向がみられた。それ以外のケースでは、走行速度（～60km/h）や輝度によらず認識率が100%となった。 • 一組のコード全面が欠損なくフレームに記録されることでコードを認識する。カメラとコードとの距離が短いこと、車両の走行速度が増加することで、画面からコードが見切れやすくなり、認識されづらくなった。 • コードを小さくすることで、画面内にコード全面が映りやすくなり、認識率が向上する可能性がある。 • 今回の実験ではカメラのフレームレートを15fpsとしたが、フレームレートを増加させることで認識率が向上する可能性がある。※ただしデータ量は増加する。
今後検証が必要となる内容	• 実際の搬送機器におけるコードの貼付位置、取付角度 • 実際の搬送機器と車間距離で走行した際、コードが手前の車両に重複しないカメラ角度 • 濃霧が発生して視認性が低下した場合の対応（今回は発生せず） • コードの交換時期（汚損や劣化に対して）



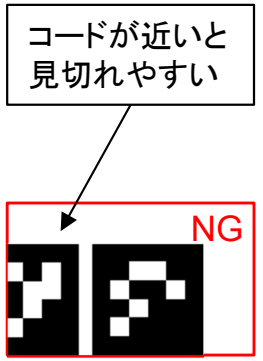
カメラ・コード方向ごとの認識率



速度と認識率の関係（1号・側面）

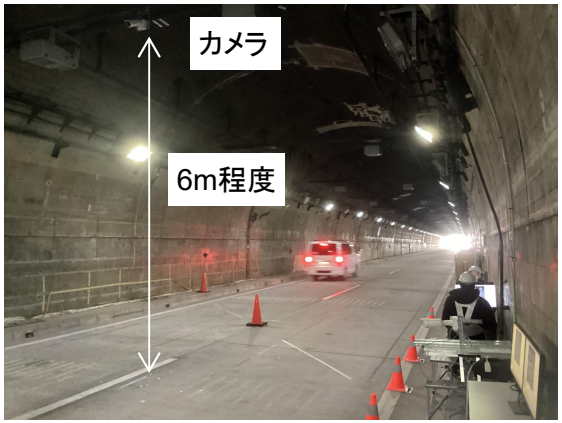


OKの例



NGの例

■実験結果

検証項目	①物（または搬送機器）管理用ICタグ（DSRC、RFID、QRコード等）、GPSによる荷物管理
検証結果	• 検証結果から、適切な離隔を確保できる天井カメラコードの認識に適するとみられる。（今回、天井カメラは道路面から6m程度の高さに設置した。） • 認識時には適切な照度が必要になる。搬送車両が暗所でも走行できると仮定した場合、照明がカメラの撮影範囲さえ照らしていれば、コードの認識を行ううえでは問題ない。照明は全線では不要で、設置数を低減できる可能性がある。 • 荷積み・荷下ろし時に車両ID×パレットID×荷物IDの紐づけがされていれば、搬送途中の車両のコードを認識することで、積載した荷物のおおよその現在地を追跡・照会できる可能性がある（次頁参照）。  天井カメラの設置状況  暗所での走行イメージ
今後検証が必要となる内容	• 認識に適したカメラの設置高さ・角度・照度 • 車両ID×パレットID×荷物IDの紐づけ

■荷物管理(机上検討)

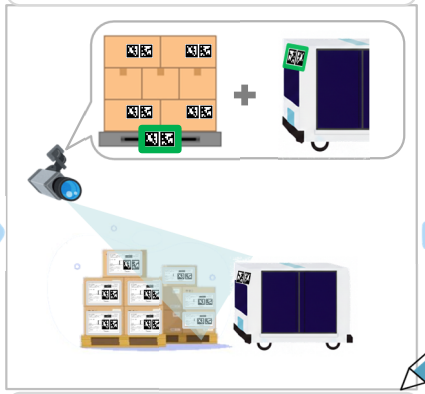
荷物を追跡する展望のイメージ図
『荷物』+『パレット』+『搬送機器』+『最終読取地点/日時』を随時登録する想定

①パレタイズ



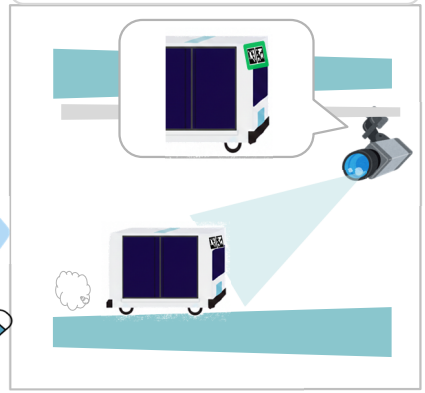
『荷物』と『パレット』を紐づける

②荷積み



『パレット』と『搬送機器』を紐づける

③輸送中



輸送中の『搬送機器』の通過を記録する

④荷下ろし



『どこ』で『なに』を下ろしたか記録する

各所の最新実績を記録

管理者は詳細に情報照会

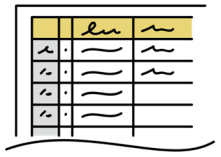
荷主や配達先は情報照会

荷物番号	荷主	現在地	受付	出荷		中継地到着		配達		…	詳細
312314	㈱〇〇	〇〇地点	2026/1/31 11:00	〇〇倉庫	2026/1/31 11:00	〇〇支店	2026/1/31 11:00	〇〇邸	2026/1/31 11:00	…	
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…









荷物追跡番号:xxxx-xxxx-xxx

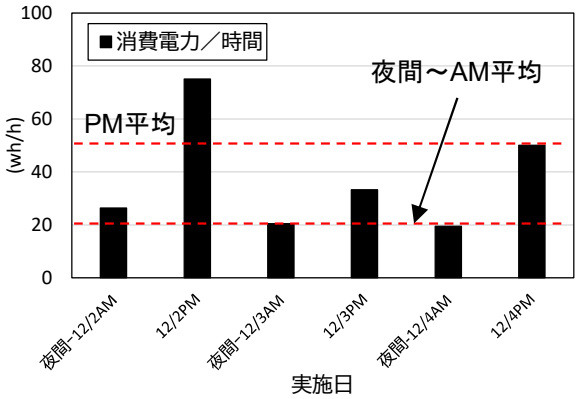
受付
01/31 11:00

出荷
02/01 12:00

輸送中（〇〇地点通過）
02/02 12:00

■実験結果

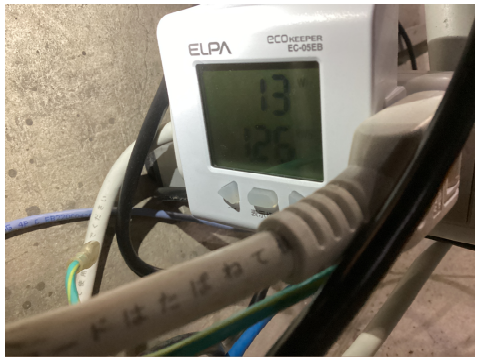
検証項目	②システムの電力消費量
検証結果	• 実施日のAM・PMそれぞれの作業終了時に消費電力量を記録した。カメラの電源は常時入っているため、AMの消費電力量の記録には前日の夜間（非計測時間）の消費電力量も含まれている。そこで、AMの記録に対しては、夜間も含めて時間あたりの消費電力量を計算した。 • 3日間の夜間～AMの消費電力量は平均20wh/h程度で、PMの平均50wh/hと比較して小さい。 • 作業終了時、坑内照明を消灯した際、カメラが照度の変化を検知したことで、撮影設定が通常モードから暗視モードに切り替わった。時間あたりの消費電力量の差から、暗視モードは通常モードと比較して消費電力量が小さいと考えられる。 • ただし、実施日のAM・PMの作業終了時点での累積消費電力の記録のため、計測（タグ読み取り作業）の有無による消費電力の差異は、今回の結果からは分からない。 • 他の計測技術の例と比較すると、RFIDの消費電力は70W（推定）であることから、本技術（50W）は消費電力の面で優れている。
今後検証が必要となる内容	• 暗視モードと通常モードの消費電力量の差異（今回のAMの記録には通常モードの消費電力も含まれる） • 暗視モードに切り替わる輝度の条件、読み取り精度 • 計測の有無での消費電力量の差異 • カメラ以外（システム・照明など）の消費電力量



実施日ごとの消費電力量／時間



計測状況



消費電力計