

自動化に向けた技術動向調査について

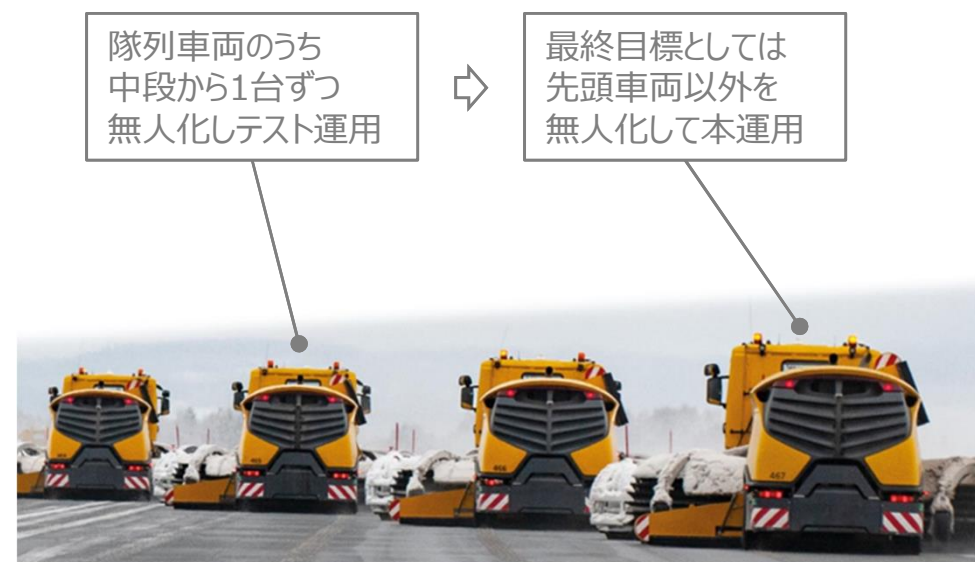
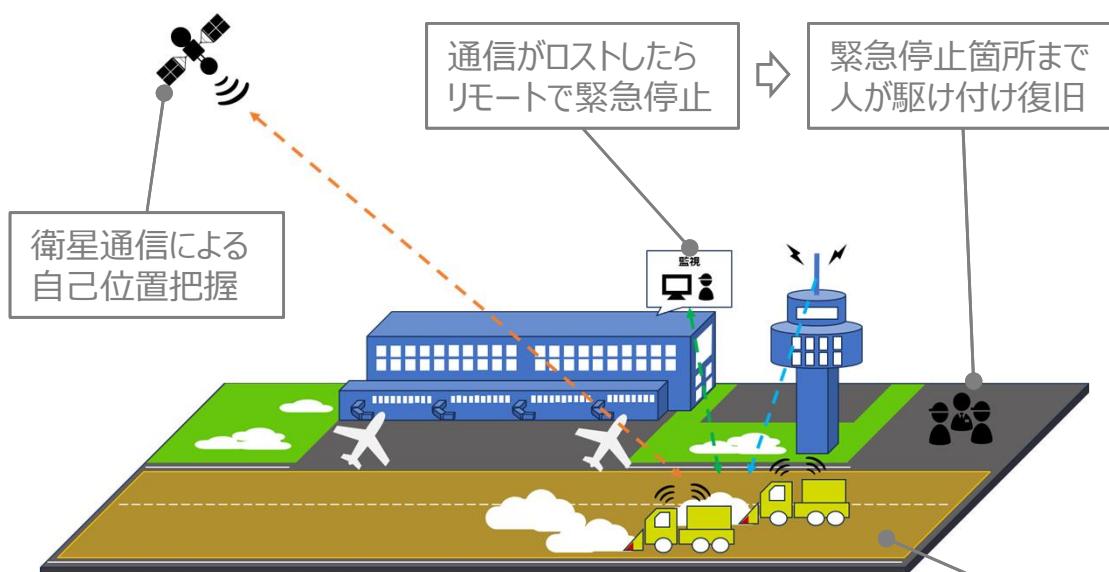
航空局 航空ネットワーク部 空港技術課
令和7年3月

海外動向調査

- 今後日本が目指す「空港除雪の自動化」を検討するにあたり、海外事例の調査・分析を行なったもの。
- 除雪自動化の取組みが進んでいる空港の1つであるオスロ空港の担当者へヒアリングを行った。
- オスロ空港においても、本邦同様に人手不足を背景に自動化の検討は開始されており、同空港における自動化及びその技術開発の方向性やロードマップを参考にしつつ、本邦における自動化のあり方を検討した。

オスロ空港における取組み

以前	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	以降
自動化車両の開発	自動化車両の製造(12台) → 全車両有人でのテスト運用					1台ずつ無人化してテスト運用		【目標】先頭車両以外を無人化



- ・あらかじめ設定した速度・ルートに沿った走行
- ・センサー等は搭載していない

オスロ空港事例を踏まえた本邦における空港除雪自動化のあり方について

オスロ空港における取組	本邦における空港除雪の自動化のあり方について
● 自動化範囲を障害の少ないエリアに限定し、各車両の位置が正確に把握できていて、且つ、各車両が事前設定した速度・ルート等で走行すれば、障害物や前後車両との衝突は起こらないという発想のもと、自動化への開発も必要な要素のみに限定することで、現場への実装を進める ● 計画当初はオペレータの乗車を前提とした自動化となるが、走行の自動化を達成することで、オペレータに求めるスキルの低減や、負担の軽減を図る	● 将来的な完全自動化(無人化)を見据えながら各種開発を継続するものの、それらが達成されるまで実運用への自動化車両投入を待つのではなく、現時点で有している技術・開発等を活用しながら、限定的なエリアにおいて段階的な自動化について検討を進める ● 当面はオペレータの乗車を前提とした自動化を進めるものの、上述の取組みを進めることで、オスロ空港と同様に、オペレータに求めるスキルの低減や、負担の軽減を図ることも検討する
● 除雪作業や、障害物等との衝突防止のためのセンサー・レーダー等は搭載していない ● 各車両との通信が重要であり、万が一、通信がロストした場合にはリモート操作によって全車両を緊急停止し、停止後は当該箇所まで人間が駆け付け、復旧作業を実施する	● 安全確保を含め自動除雪の高度化は重要であることから、除雪対象である雪そのものや、投雪方向の環境等を検知する技術について開発・検証を進める ● 空港除雪においては、空港運用への影響(特に滑走路等のクローズ時間)を最小限に留める必要があり、将来的には、自立的な危険回避や、エラーからの迅速なリカバリーを容易にする機能が必要になることから、引き続き動向の検討を進める

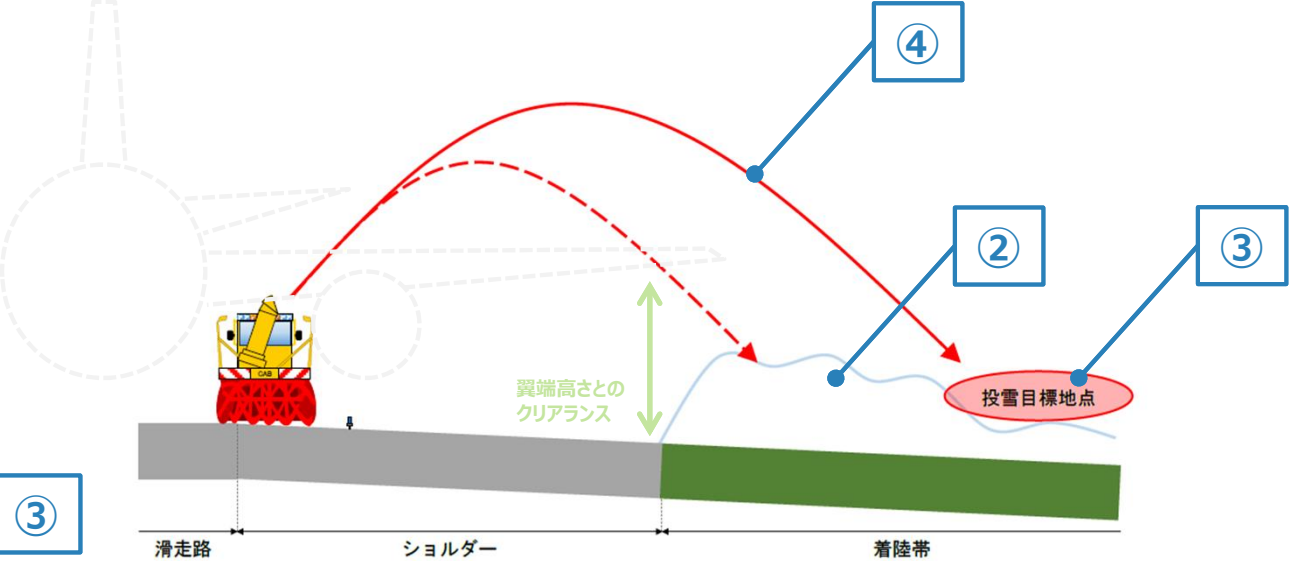
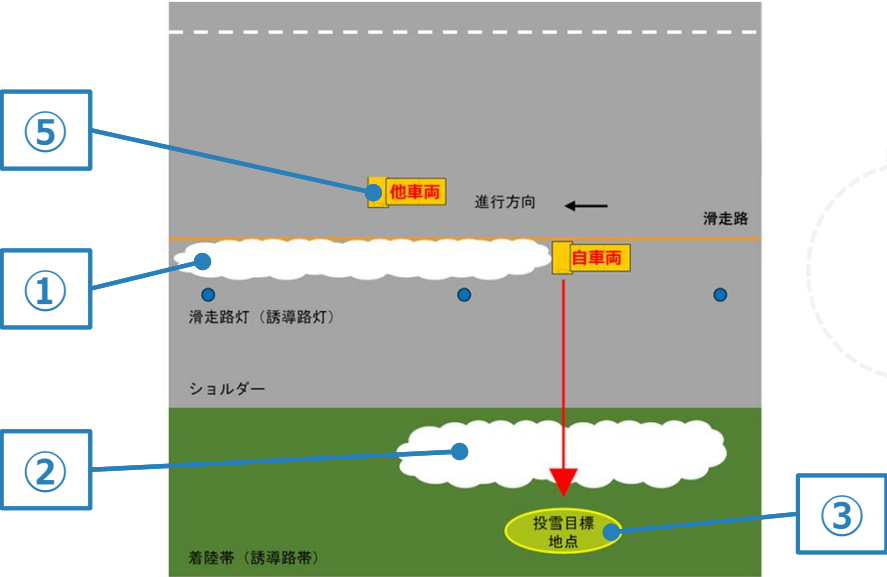
要素技術調査について

○ 空港除雪の自動化については、当面の目標として、作業の確実性や安全性の確保に必要な車両装備の開発・評価を進めることとし、今年度は降雪環境を含めた除雪作業環境下において周辺環境(例:障害物)や除雪対象物(例:雪堤高さ)が把握できる技術等について調査した。

作業の確実性や安全性の確保に必要な機能の一例(ロータリ車)

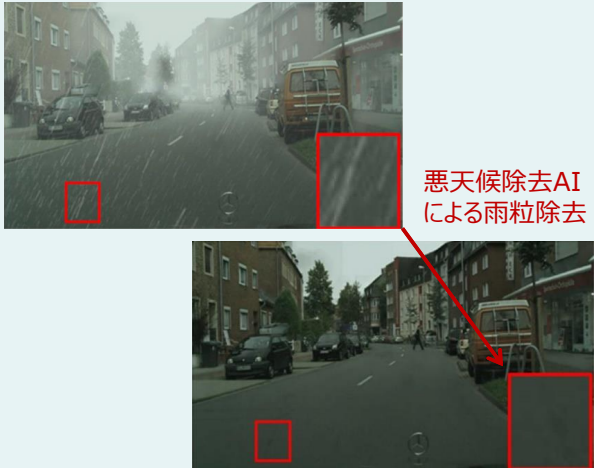
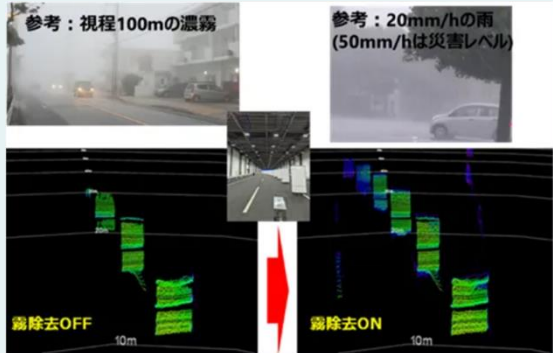
除雪作業における操作(一部)	自動化にあたり必要となる機能
①雪堤の位置に合わせて走行位置を調整 雪堤の大きさに合わせてオーガ回転数等を調整 ②投雪先の雪堤状況に合わせてシュートを調整 ③投雪先の障害物等に応じてシュートを調整 ④投雪軌道をフィードバックしシュートを調整 ⑤他車両位置等に合わせて走行速度等を調整	①除雪対象である雪堤位置・大きさの把握 ②投雪先の雪堤状況・大きさの把握 ③投雪先の障害物等の把握 ④投雪軌道の把握 ⑤隊列除雪における前後車両の把握

降雪環境を含めた
除雪作業環境下において
周辺環境や除雪対象物
が把握できる技術の開発



○ 自動運転分野において周辺環境を検知する技術として広く採用されているカメラ・ミリ波レーダー・LiDARを対象に、それぞれの特徴や、空港除雪（降雪環境下）への適用を検討するうえでの従来の課題、最新技術の動向、適用可能性と課題について調査を行った。

自動運転分野において広く採用されている周辺環境検知技術の比較

技術		カメラ	ミリ波レーダ	LiDAR
原理・特徴		- 入射光を画像化(受動測定) - 遠距離の測定が可能	- ミリ波を照射し反射波を測定(能動測定) - 悪天候(雨・雪・霧等)に強い	- レーザ光を照射し反射波を測定(能動測定) - 空間分解能が高い
空港除雪への適用	従来の課題	- 悪天候(雨・雪・霧等)に弱い - 物体までの距離の定量評価が困難	検出した点の高さがわからないため、形状認識が困難	- 悪天候(雨・雪・霧等)に弱い - 高コスト
	最新技術の動向	悪天候除去AIにより、悪天候時の画像から晴天時と同等の画像生成が可能に	高さ方向の分解能を得るイメージング技術により、形状検知が可能に	反射波から雨・霧等を除去するアルゴリズムを搭載することで、悪天候で物体検出が可能に
	適用可能性と課題	- 除雪条件下での除去性能検証が必要 - 適用にあたっては物体検知AI(形状・距離)との併用が必要	除雪条件下での物体検知精度の検証が必要	降雪条件への適応可否について確認が必要
参考イメージ		 悪天候除去AIによる雨粒除去 出典：パナソニックホールディングス株式会社提供	 イメージング技術による高さ情報の取得(=物体の形状検知) 出典：パナソニック技報 MAY 2021 Vol.67 No.1	雨・霧除去アルゴリズムを用いた物体検知  参考：視程100mの濃霧 参考：20mm/hの雨(50mm/hは災害レベル) 雨除去OFF 雨除去ON 出典：https://www.global.toshiba/jp/technology/corporate/rdc/rd/topics/23/2309-02.html

4Dイメージングレーダのご紹介

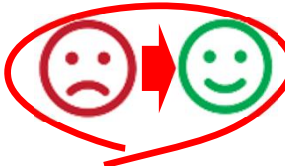
2025/3/19

パナソニック オートモーティブシステムズ株式会社
開発本部

ミリ波の特徴：視界不良(霧,雪,雨,逆光等)でも良好な検知性能

	方式	波長	回折
カメラ 	光	短い	弱い
ミリ波 レーダ 	電波	長い	強い



濃霧 吹雪	逆光	形状識別 (イメージング)
		
		

- ・ 濃霧や吹雪でも障害物を検出
- ・ 電波のため強逆光の影響無し
- ・ イメージング性能は4D化で改善

4Dイメージングレーダの特徴

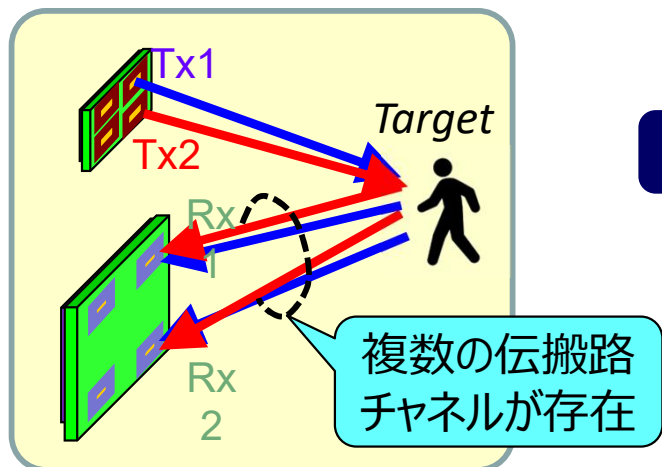
- ・ 従来の距離、水平方向、速度に加え、**高さ情報**が得られる
- ・ **ターゲットの形状が分かる**（移動時）



弊社イメージングレーダで
取得した点群データ

独自アンテナ配置を用いた不等間隔MIMO(※)アレイ技術

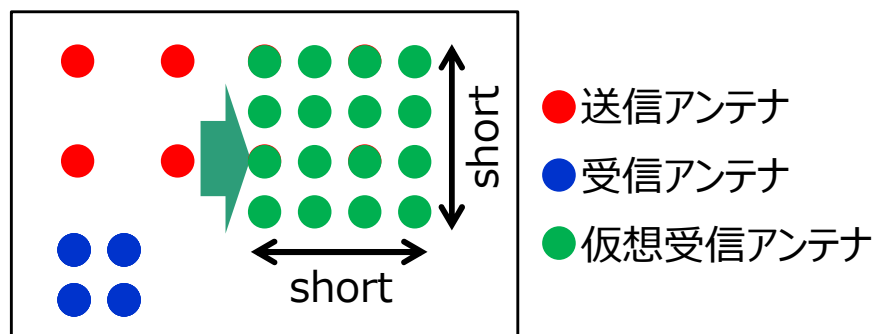
(※)[MIMO : Multiple Input Multiple Output]



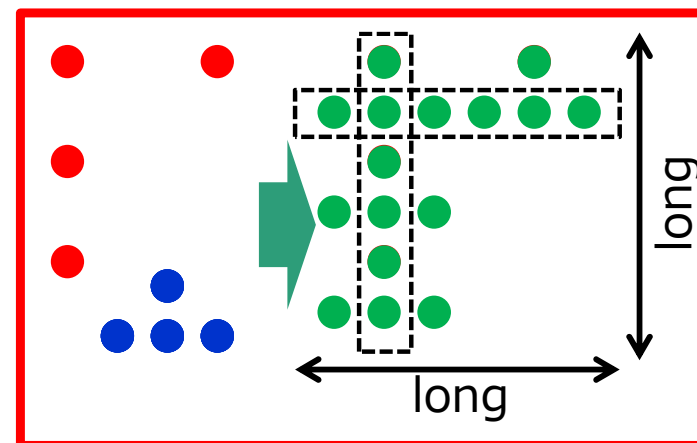
MIMO radar

- 複数の異なる送信アンテナからの反射波を利用し、仮想的に受信アンテナ数及び実効アレイ長を増加させるレーダ技術
(実効アレイ長が長いほど高分解能)

<一般的なMIMOアレイ配置>



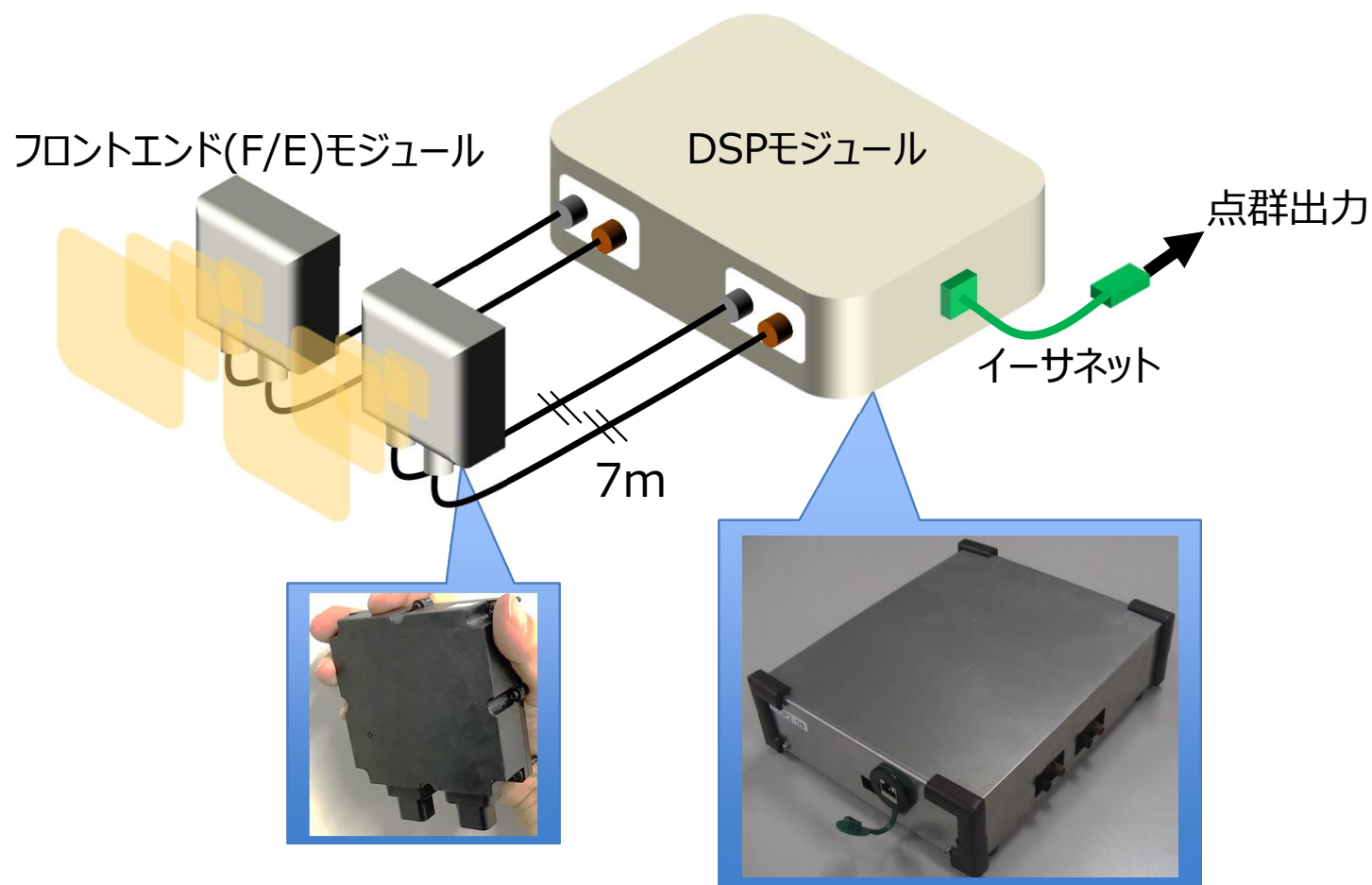
<提案技術>



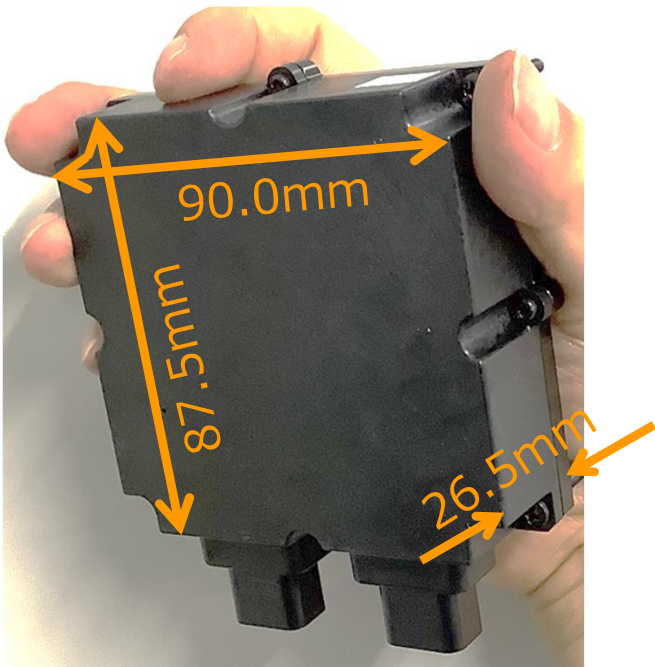
同じアンテナ数でもアンテナ開口長を拡大し、
高い角度分解能を実現

フロントエンド部／信号処理(DSP)部を分離した2in1構成

- 複数のフロントエンドモジュール (F/E)モジュールを1つのDSPモジュールで処理
- F/Eモジュールの極小化を実現し、**車両への搭載性を向上**



フロントエンドモジュール部（機能試作品）の仕様

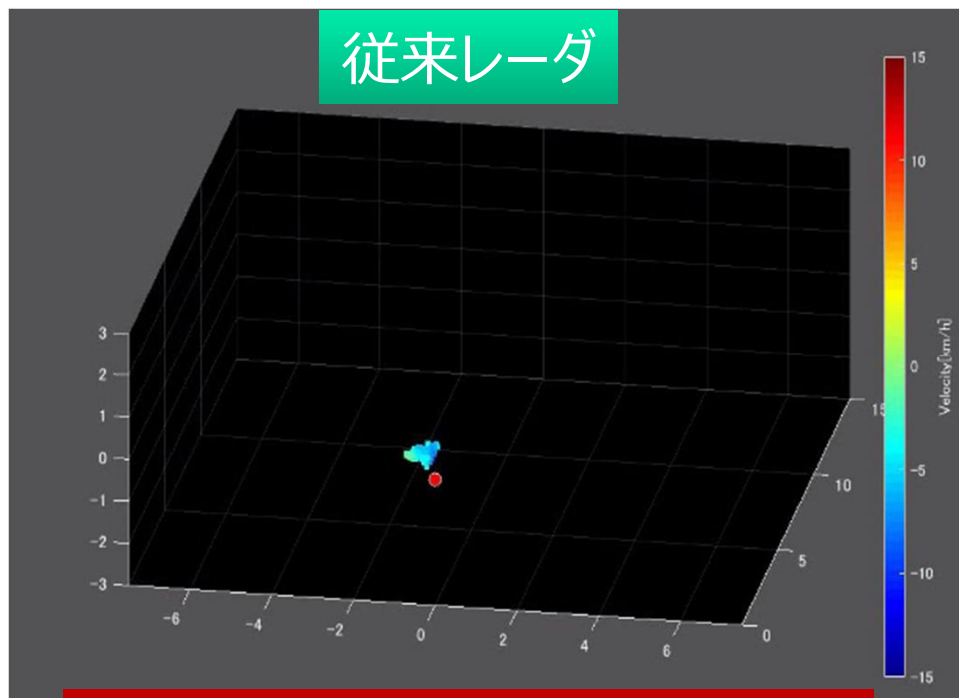


			Specifications(T.B.D)
Signal	Carrier Freq.		78 [GHz], 80 [GHz]
	Band Width		1.9 [GHz] (effective)
Antenna	Number		6 / 8 [Tx / Rx]
Range	Max. Detect	Car	42 [m]
		Human	30 [m]
	Resolution		0.17 [m]
	Accuracy		0.01 [m]
Angle	F.O.V	Horizontal	100 [deg.]
		Vertical	40 [deg.]
	Resolution		7 [deg.] (both H/V)
	Accuracy		1 [deg.]
Velocity	Min/Max		±96 [km/h]
	Resolution		0.38 [km/h]
	Accuracy		0.19 [km/h]
Frame Rate			6.25 [fps]
Water Proof			IPX5

【デモ動画】歩行者の検出

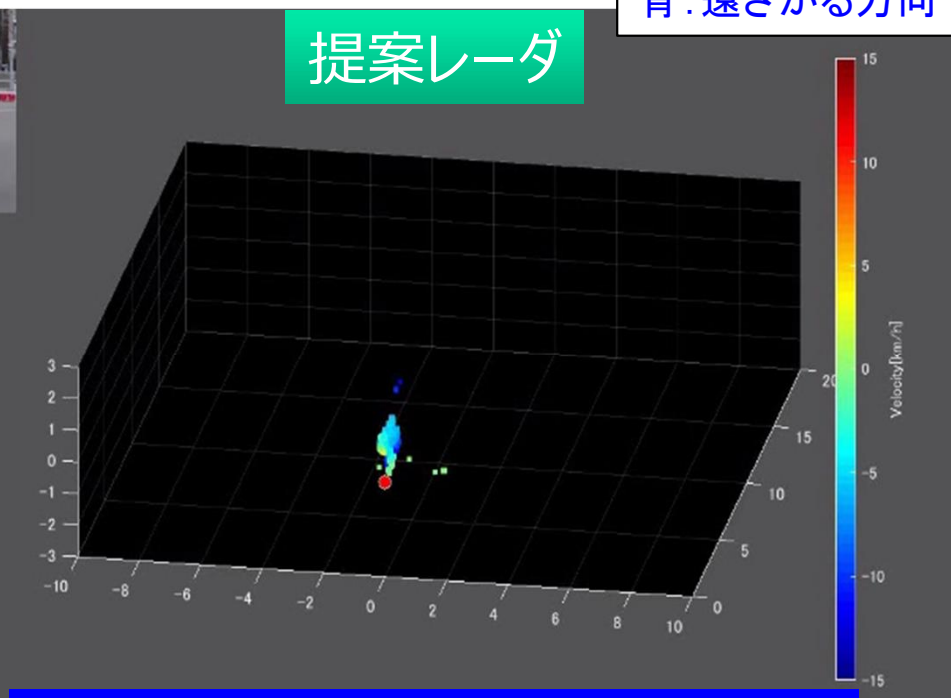
色は速度を表示
赤: 近づく方向
青: 遠ざかる方向

従来レーダ



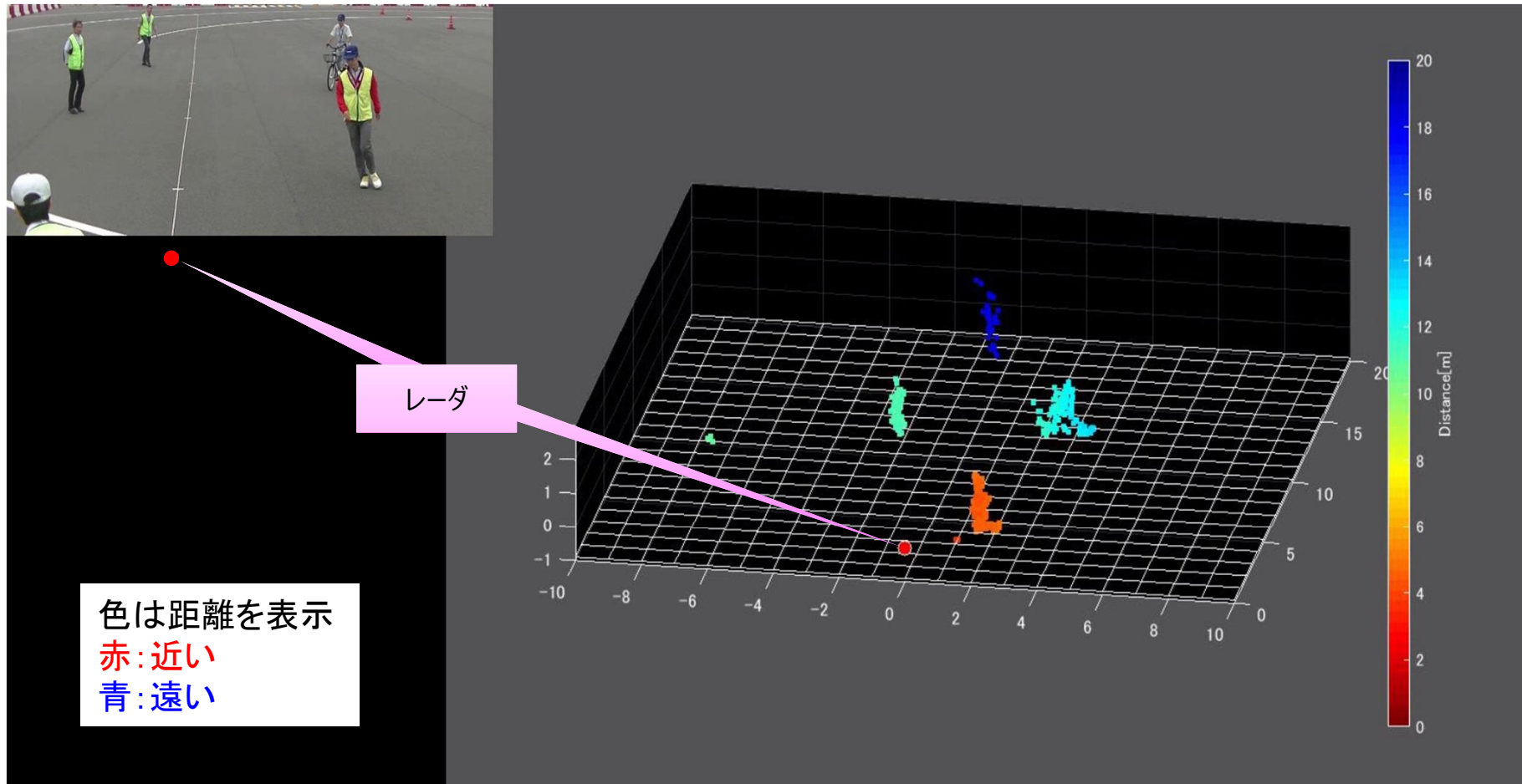
縦方向に分布なし⇒形状判断は不可能

提案レーダ



様々な速度成分が縦方向に分布⇒人の形

【デモ動画】複数の人 + 自転車の同時追跡



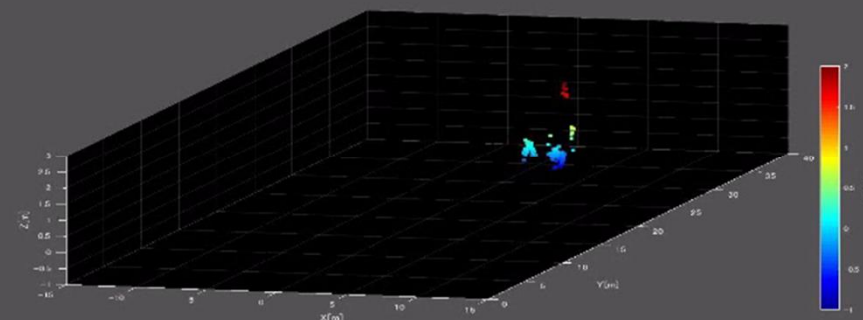
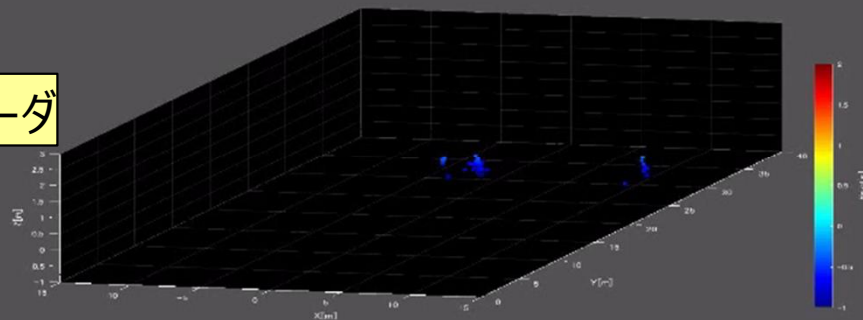
【デモ動画】吹雪の中での車両検出

降雪なし

吹雪条件

カメラ

ミリ波レーダ



色表示
赤：高い
青：低い

カメラでの認識困難な状況でも安定して検出

※レーダ、ターゲット共に静止状態のため形状把握できないが、どちらかが動いていれば形状把握可能

✓ 空港での除雪自動化の想定課題

- 除雪対象である雪堤位置や形状を把握すると共に、投雪先の雪堤高さの判別が必要
⇒ 形状識別が可能な検知技術が必要
- 降雪・吹雪の中での作業となるため、視界不良で周囲の状況が判別できない（しづらい）
⇒ カメラやLiDARなどの光学式センサは使用困難
- 視界不良の中で、梯団走行中の前後車両との位置関係の把握が必要
⇒ 距離、角度だけでなく相対速度も重要
- 除雪車両とそれ以外の障害物の判別が必要であり、
特に除雪した雪を投げる際、周囲の雪堤や障害物(人・車両)の状況把握が必要
⇒ 障害物や周囲環境の形状把握が必要

『有用と考える点』

- 垂直方向の分解能が高く**形状識別が可能**なイメージングレーダの適用が有用
- **電波式**であり、対象物との**相対速度がわかる**ミリ波レーダの適用が有用

上記有用性や懸念点をクリアにするため、実環境・実条件での評価を通じて知見を得ることが重要

✓ 除雪車両への4Dイメージングレーダ設置位置の検討

- レーダへの着雪が発生するとレーダ検知性能が劣化する可能性があるため、レーダへの着雪を避けるための室内設置の実現性について確認する必要あり
- 車室内、外のそれぞれにおいて4Dイメージングレーダを設置し、検出結果を比較することで車室内に設置した場合のガラス影響による性能劣化を検証 ⇒ レーダ設置位置の確定

✓ 降雪前、降雪期(積雪期)のそれぞれにおいて以下の実験を実施

- 除雪対象である雪堤位置・大きさの把握
- 走行時において、自車両周囲物の相対位置、相対速度の検出精度を確認
⇒ 周辺車両の位置・相対速度、投雪先の雪堤の高さ、投雪先の障害物の位置、等
- 路面の積雪有無による検出性能の比較検証
⇒ 航空灯火などの低背物の検知（積雪下に存在する場合を含む）

Thank you.
Panasonic Automotive

