

カメラと複数のセンサーで 列車を線路内支障物から守る



影山 涼
Ryo Kageyama
情報通信技術研究部
画像解析研究室
研究員



長峯 望
Nozomi Nagamine
情報通信技術研究部
画像解析研究室長

はじめに

鉄道のさらなる安全性向上のためには、走行中の列車と、線路内支障物との接触のリスクを低減することが重要です。線路内の支障物を自動的に検知できれば、運転士の前方確認の支援に役立てることができると考えられます。

自動車の分野では、カメラやセンサーによる運転支援システムが普及しており、鉄道でもこのような技術の活用が有効と考えられます。しかし、鉄道の場合、自動車よりも停止もしくは十分に減速するまでの距離が長いため、検知すべき範囲は長くなります。そこで私たちは、より遠方を監視可能な鉄道向けの前方支障物検知手法の開発を行っています¹⁾。ここではセンサーの特徴と、鉄道向けの前方支障物検知に適すると考える、これらのセンサーの組み合わせについて示します。また、実際にその組み合わ

せによって昼夜ともに支障物を検知できる手法を開発しましたので、性能を評価した結果をご紹介します。

前方支障物検知に適した センサーの組み合わせ

自動車向けの運転支援システムなどで実績がある代表的なセンサーについて、特徴を比較したものを表1に示します。

可視光カメラは、物体に反射した光を撮像素子に取り込んで、画像として取得するもので、物体の色や模様がわかります。したがって、物体が映っている画像を処理することによってその物体の種類まで識別することも可能です。一方、周辺に照明など光源がない場所での夜間には、物体が見えにくくなるので、性能が低下します。

表1 代表的なセンサーの特徴

センサー種類	得られる情報	物体の種類識別	物体の形状の把握	夜間の適用
可視光カメラ	色	○	×	△ (周辺に照明がある場合に限る)
ステレオカメラ	色 奥行	○	○	△ (周辺に照明がある場合に限る)
LiDAR	奥行 反射率	△ (反射率の差が大きいものに限る)	○	○
ミリ波レーダー	奥行 反射率	△ (反射率の差が大きいものに限る)	△ (遠方の小さい物体は困難)	○

○：可能 △：条件によっては困難 ×：不可能

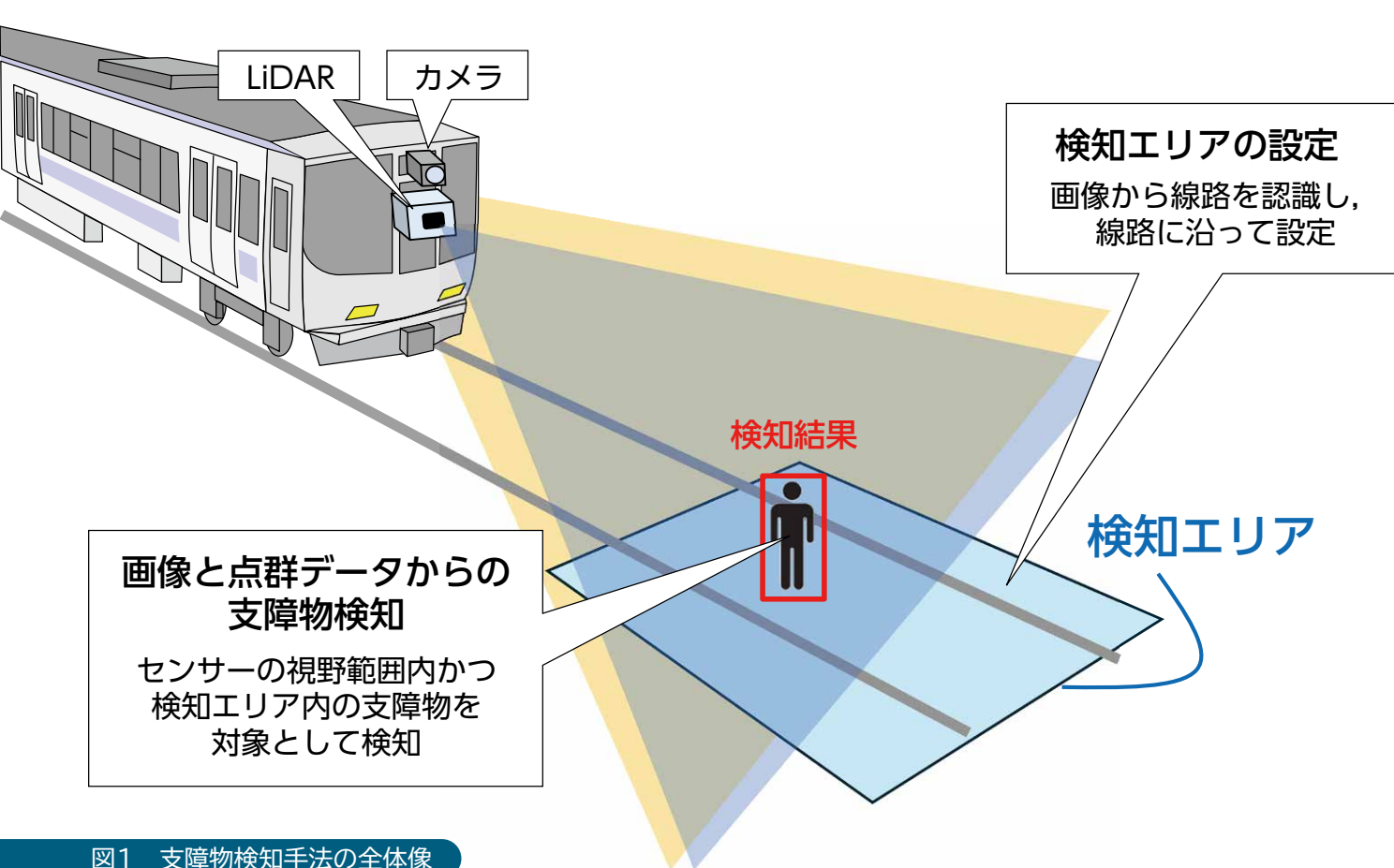


図1 支障物検知手法の全体像

ステレオカメラは複数（基本的には2台）のカメラを並べたもので、複数カメラ間での物体の見え方の差（視差）から物体までの距離がわかります。したがって対象を立体的に検知することも可能ですが、カメラを用いているため、夜間には性能が低下します。

LiDARは近赤外線レーザー（波長900～1,500nmの光）を発射して物体までの距離と方向を測定するセンサーで、物体に多数のレーザーを当てることで物体の形状を点群データとして取得できます。点群データは物体までの距離と反射率の情報のみを持つ（色の情報は持たない）ためカメラのように物体の種類まで識別することは難しいですが、遠方（数百mのオーダー）の立体物の大まかな大きさや形がわかるうえに、夜間も性能が低下しません。

ミリ波

波長（波の1周期分の長さ）が1～10mmのオーダーの電波です。物体検知のためのレーダーや、5G通信などでも活用されています。

ミリ波レーダーはミリ波^①を用いて物体までの距離と方向の測定を行います。LiDARと同様、昼夜ともに性能は変化しませんが、LiDARと比べると解像度が粗く、遠方において、小さい立体物を検知することは苦手です。

上記のように、それぞれのセンサーに長所・短所があるため、複数種類のセンサーを組み合わせることが重要です。列車前方監視では、線路内の支障物を可能な限り遠方まで高精度に認識することが望ましいため、カメラの画像によって物体の種別を認識しつつ、昼夜問わず遠方まで物体の有無を検知できるLiDARと組み合わせる構成で検討を進めることとしました。

カメラとLiDARによる物体検知手法

開発した手法の全体像を図1に示します。まずカメラの画像から線路の領域を推測することで線路周辺に「検知エリア」を設定します。この検知エリアの範囲内で、カメラの画像とLiDARの点群データから検知を行います。以下、それぞれの手法の詳細について説明します。

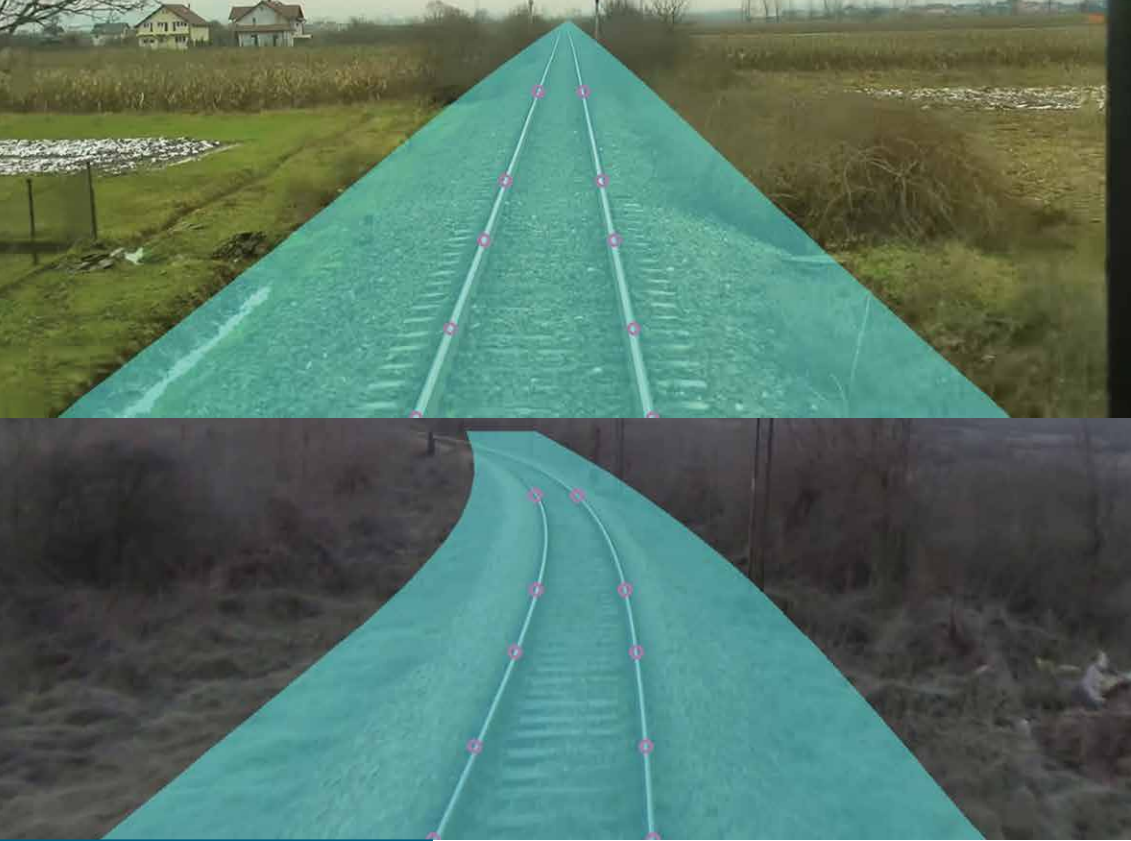


図2 検知エリア設定の例

セマンティックセグメンテーション

画像中のどの領域に何があるかを、画素単位で塗り分けて推測するAIです。自動車の運転支援システムにおける道路の白線の認識や、医療画像からの患部の予測など幅広い分野で用いられています。

建築限界

鉄道車両を安全に運行するため、車両にいかなるものも触れないよう、レールに沿って確保された空間上の境界を指します。例えば在来線では、線路の幅が1,067mmであるのに対し、建築限界の幅は車体付近で3,800mmとなります。

検知エリアの設定

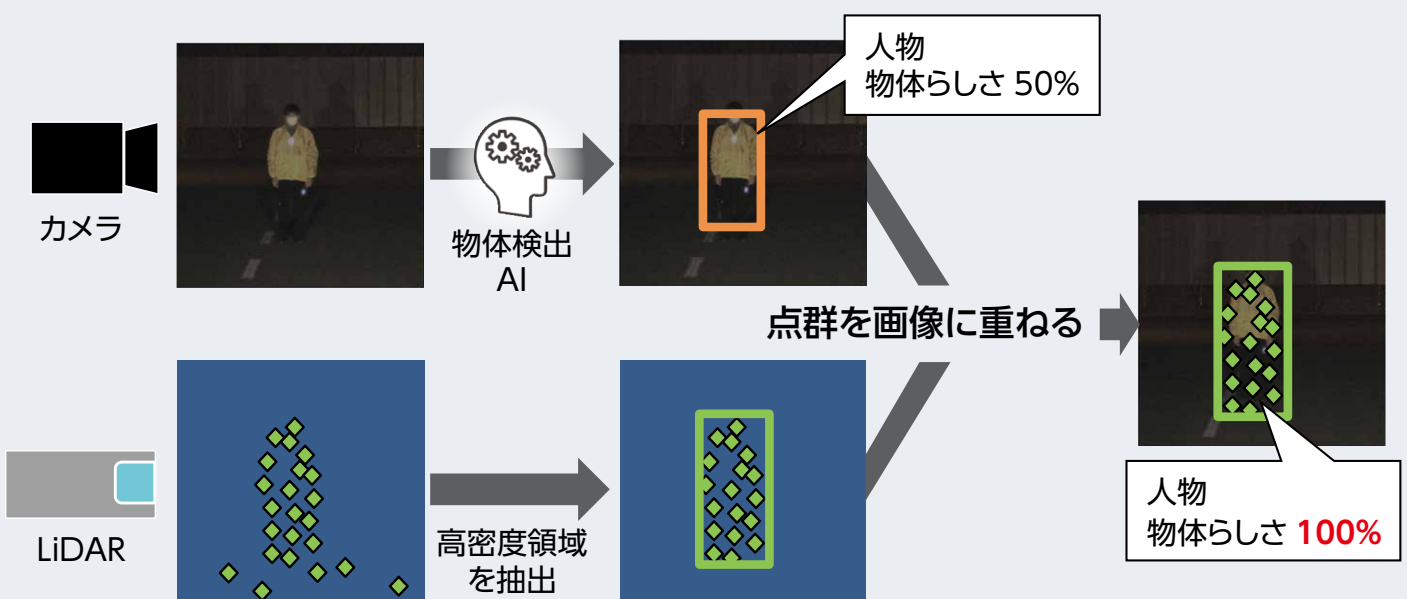
線路内の支障物を正しく検知するためには、列車が走行する線路の周辺に検知エリアを設定することが重要になります。私たちの提案手法では、画像からセマンティックセグメンテーション[®]というAIを用いて線路領域を推測し、建築限界[®]範囲まで広げることで検知エリアを

設定します。検知エリア設定の例は図2に示すとおりです。線形が変わっても提案する手法によって線路の位置を正しく推測し、周囲に検知エリアを設定できます。

画像と点群データからの支障物検知

カメラの画像とLiDARの点群データによる支障物検知のイメージを図3に示します。画像

図3 カメラとLiDARによる支障物検知のイメージ



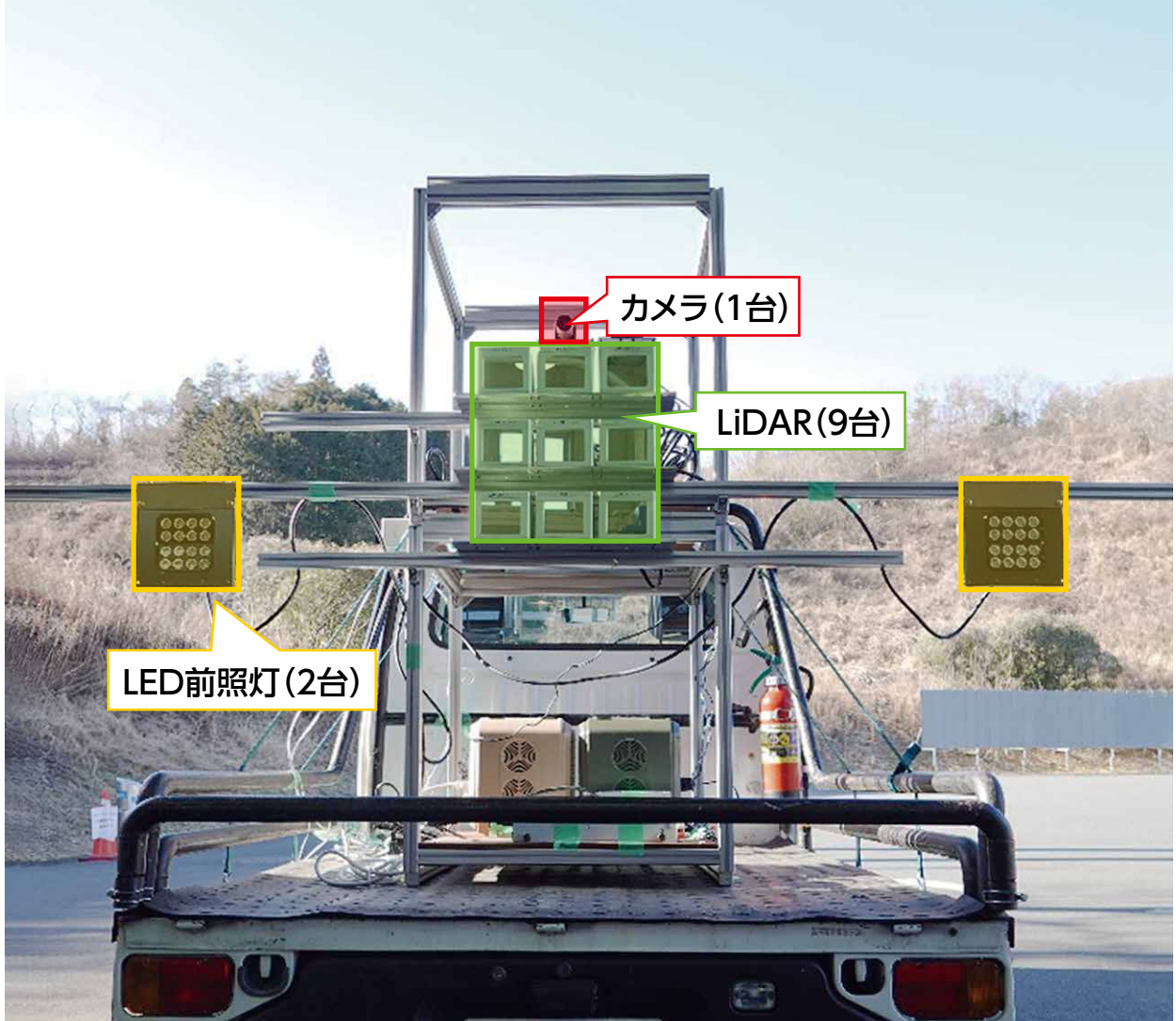


図4 実験時の装置構成

からは、物体検出用のAIを用いて、物体の位置、大きさ、物体らしさ、物体の種別を予測します。「物体らしさ」は画像中のある位置を中心に物体があるかどうかを0%～100%までの確率で示したもので、物体がよく見える日中の場合は90%～100%程度ですが、物体が見えにくい夜間などの状況では値が小さくなります。「物体らしさ」が低い箇所は基本的には物体がないものと扱うため、画像のみで認識する場合、夜間は物体を見逃すことが多くなります。

そこで、点群データの情報を活用します。点群データでは、立体物が存在する箇所でレーザーの反射が多くなります。そこで、レーザーの密度が一定以上に高い部分だけを立体物の点群データのかたまりとして抽出します。点群データのかたまりがある場所は「確実に物体が存在する箇所」と判定できることから、点群デー

タのかたまりを画像に重ねて、かたまりの位置での「物体らしさ」の値を100%とします。これにより、画像上で物体が見えにくくとも検知性能を保つことができるようになります。

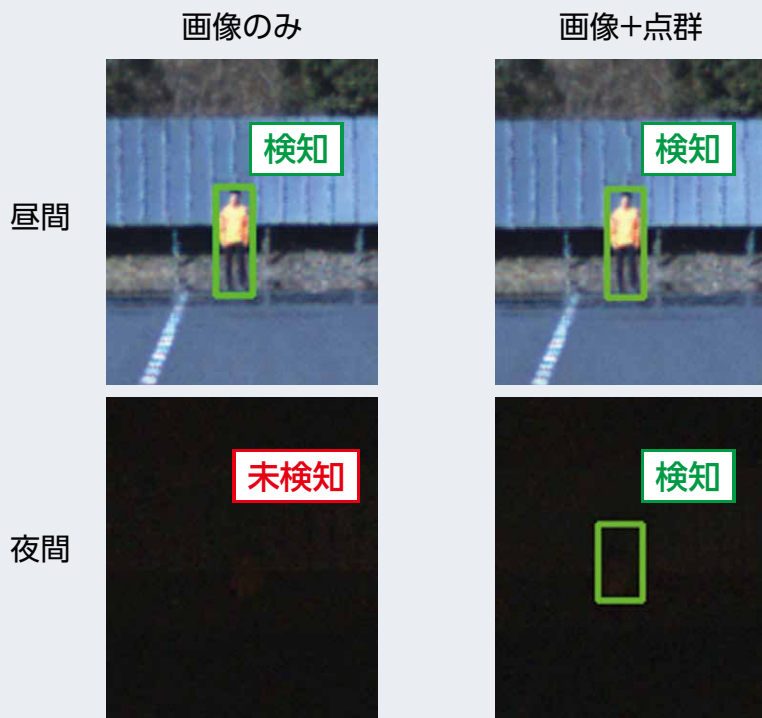
検知性能の評価

開発した検知手法によって、どこまで遠くの物体を検知できるかを検証するため、長い直線が確保できる試験道路で、カメラとLiDAR（計9台）を用いた実験を行いました。試験時は実際の鉄道車両の前面にカメラとLiDARを取り付けた状態を模擬するため、図4のように、トラックの荷台上にカメラとLiDARおよび前照灯2台を設置しました。検知対象に対して50m離れた位置から600m先まで、50mおきに10秒間静止状態で撮影を行い、これを1試番として複数回繰り返しました。各試番では、図5に



図5 実験時の試番の例

図6 400m先の人物の検知結果の例



示すような服装の異なる人物を撮影しました。400m 遠方の人物を、画像のみから検知した結果と、画像と点群データの情報を組み合わせて検知した結果を比較した例を図6に示します。図中での緑色の枠は、対象を検知したことを示しています。日中は、いずれの方法でも、人物を検知できています。一方、夜間では画像のみでは検知ができませんが、画像と点群データを組み合わせた場合は検知ができていたことがわかります。また、検知処理の際に何台のLiDARの点群データを使うかによって、物体に当たるレーザーの密度をすることができます。そこで、人物に当たるレーザーの密度と距離ごとの検知性能の関係を調査し、グラフにまとめたものを図7に示します。グラフの縦軸は、検知対象から50m離れた位置～500m離れた位置での10秒間の撮影で取得した画像のうち、それぞれ何%の画像で検知できたかを示す検知率を算出したものです。この実験によって、レーザーの密度^⑤が増

⑤ レーザーの密度

検知対象に対してレーザーの点がどれだけ細かく当たるかを示す値で、1m²あたりの点数で表現します。

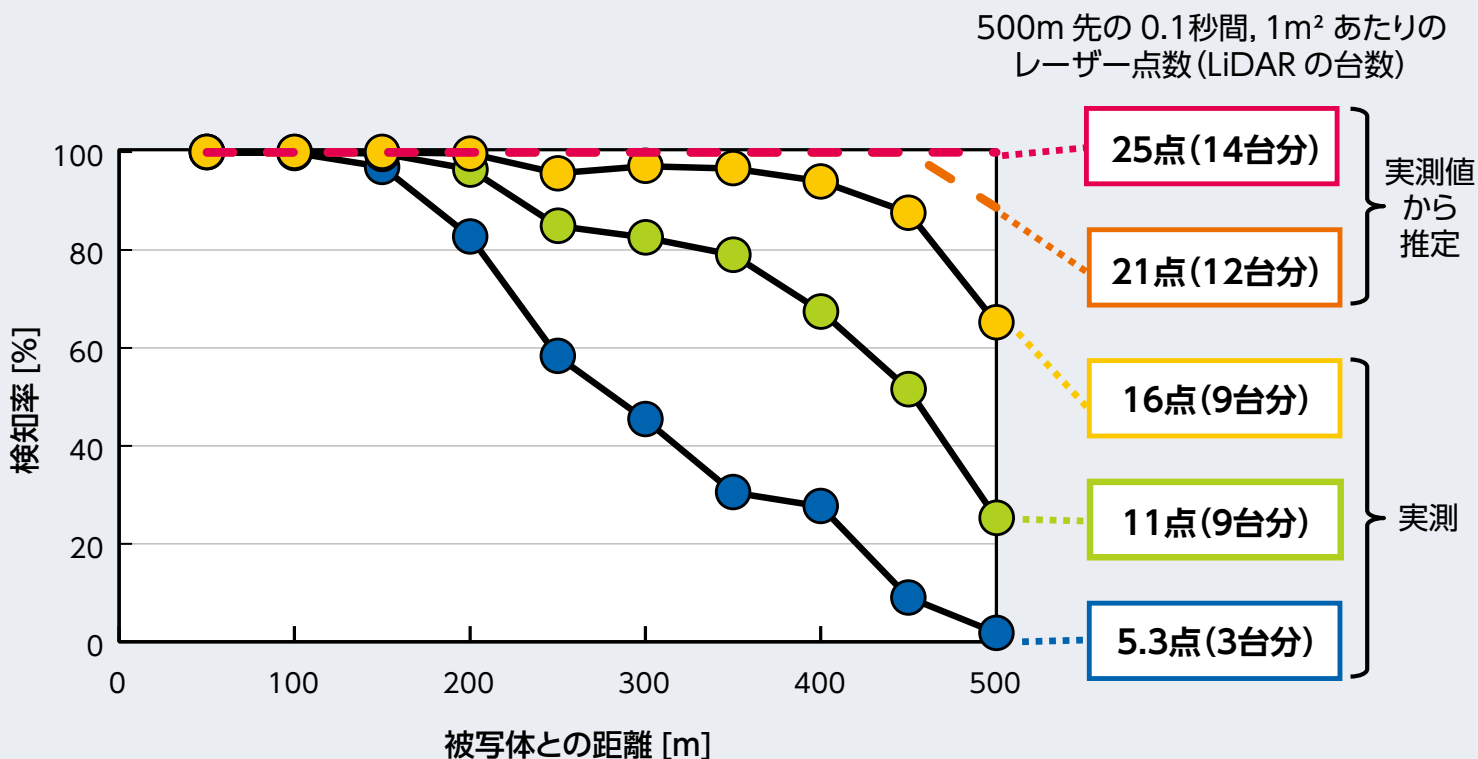


図7 LiDARレーザー密度と、距離ごとの人物検知性能の関係

えると検知性能がどの程度向上するのか、その傾向を定量的に把握することができました。今回の実験ではLiDARを最大9台用いましたが、9台分以上のLiDARがあった場合にどれくらい検知性能が向上するのかを推測した結果についても図中に点線で示しています。実験に用いたLiDARが14台分のレーザーの密度 (1m²あたり25点) があれば、500m先の人物を90%以上の検知率で検知できる可能性があることがわかりました。

おわりに

鉄道向けの前方支障物検知について、必要なセンサー構成の検討と、開発した検知手法および性能評価の結果を紹介しました。現状では、カメラとLiDARがどれほど遠くのものを捉えられるか、という基本性能の検証に焦点を当てていたため、定置での実験を主に行っていました。

たが、今後は実車環境での性能検証を行います。将来的には、運転支援や、自動運転を行う際の安全確保のための対策の1つとしても活用できるようなシステムとしての構築を目指していきます。 **RRR**

文献

- 1) 影山 椋, 長峯 望: 列車前方監視のためのセンサフュージョンによる支障物検知手法, 電気学会論文誌D (産業応用部門誌), Vol.144, No.3, pp.70-78, 2024