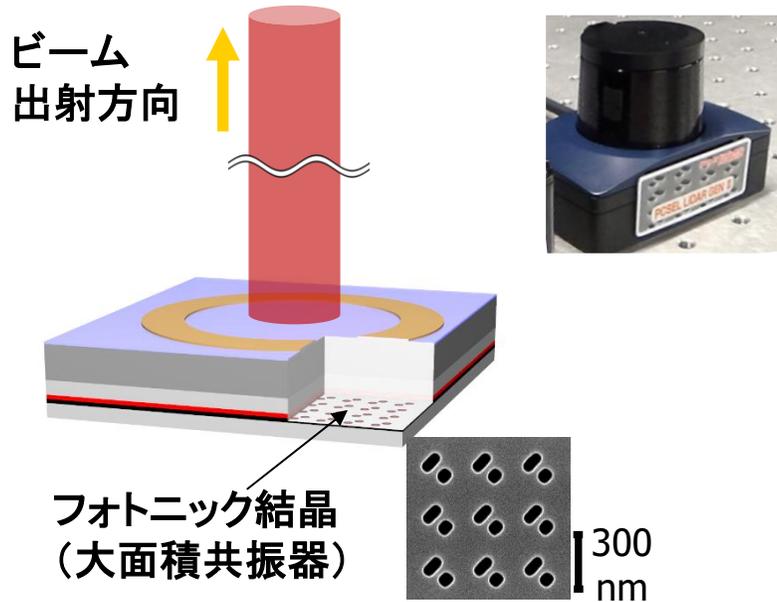
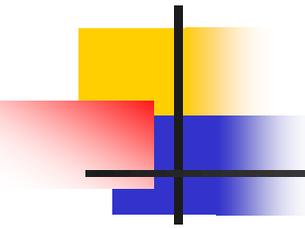


2025年3月 「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期／スマートモビリティプラットフォームの構築／小型PCSEL-LiDAR技術を活用した生活ゾーン・賑わいのある道路空間の実態を把握するインフラ・車載センサシステムの研究開発」

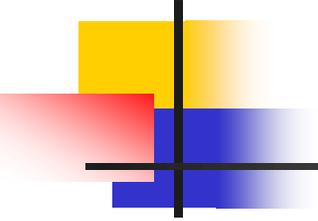


受託者名：金沢大学，京都大学

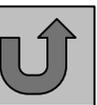


目次

- 研究背景(p.4~p.5) ▶
- 研究開発の全体概要・目標(p.7~p.9) ▶
- 研究開発成果(p.11~p.36) ▶
- 成果発信・社会実装に向けた取り組み(p.38~p.41) ▶
- 工程表・達成度(p.43~p.45) ▶
- 関連成果の発信・国際的発信と連携 (p.47~p.51) ▶
- ロードマップ・実施体制(p.53~p.54) ▶



研究背景(p.4~p.5)



研究背景

■ インフラセンシング

- 人流・交通流モニタリング, 進入車両検知など
- 自動運転システムとの連携
 - RoAD to the L4プロジェクトなど

■ LiDAR*によるセンシングの重要性

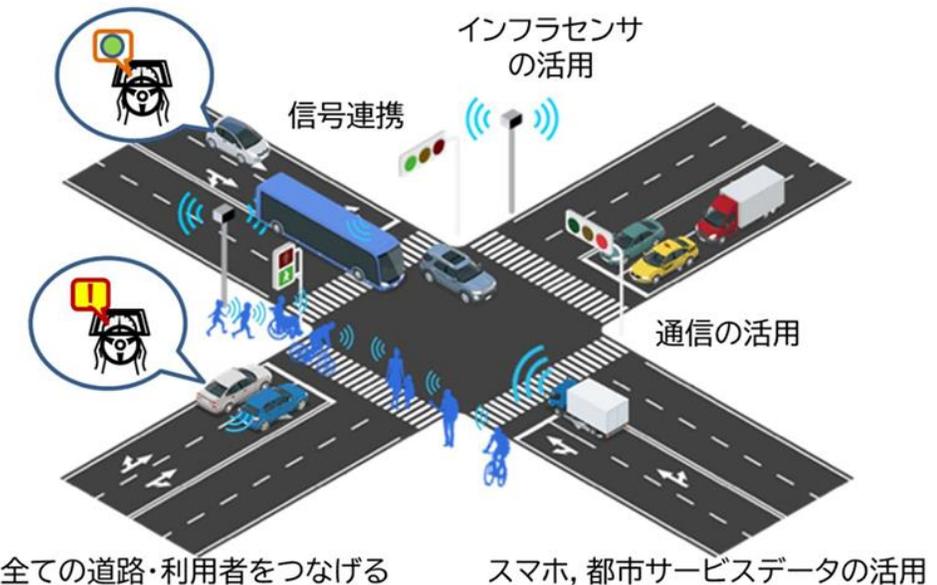
- LiDARのインフラセンサへの活用
 - プライバシーの観点, 分解能の観点から有効
- 車載センサへの活用
 - 運転支援, 自動運転システムへの活用

■ 現状のLiDARの状況

- **ほとんどが海外製かつ大型**
 - 経済安全性保障の観点から国産化が望まれる
- 小型低コスト化が実現できれば自動車産業への波及効果も期待



<https://www.road-to-the-l4.go.jp/activity/theme04/>



https://www.road-to-the-l4.go.jp/activity/theme04/pdf/theme04_01.pdf

Road to the L4プロジェクトHPより引用

*Light Detection and Ranging

研究背景

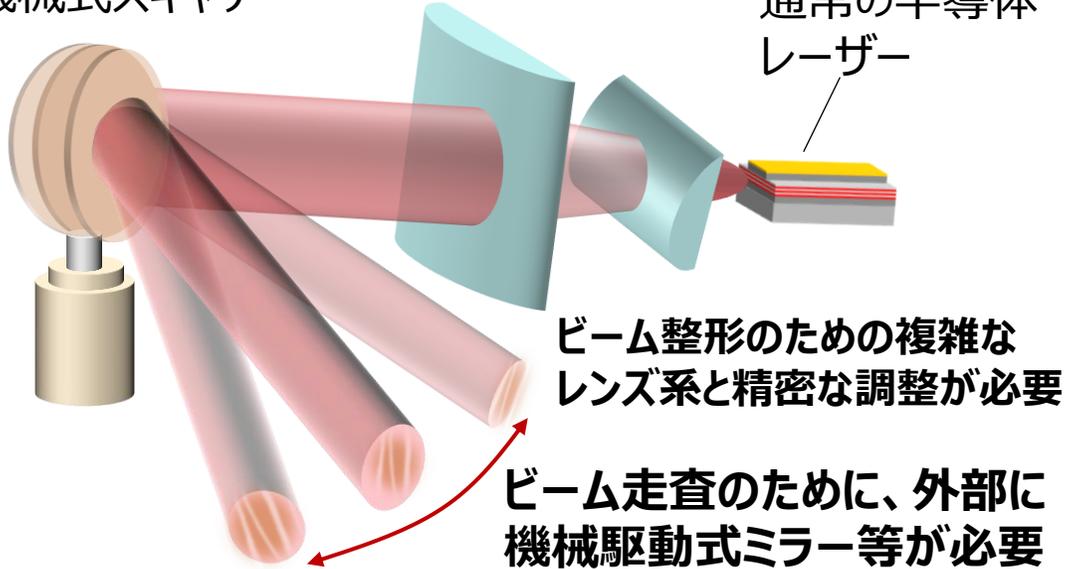
フォトニック結晶レーザーの優位性

通常の半導体レーザー

低輝度 : ビーム品質が悪く、広い発散角
低機能 : 単体でビーム走査不可

機械式スキャナ

通常の半導体
レーザー



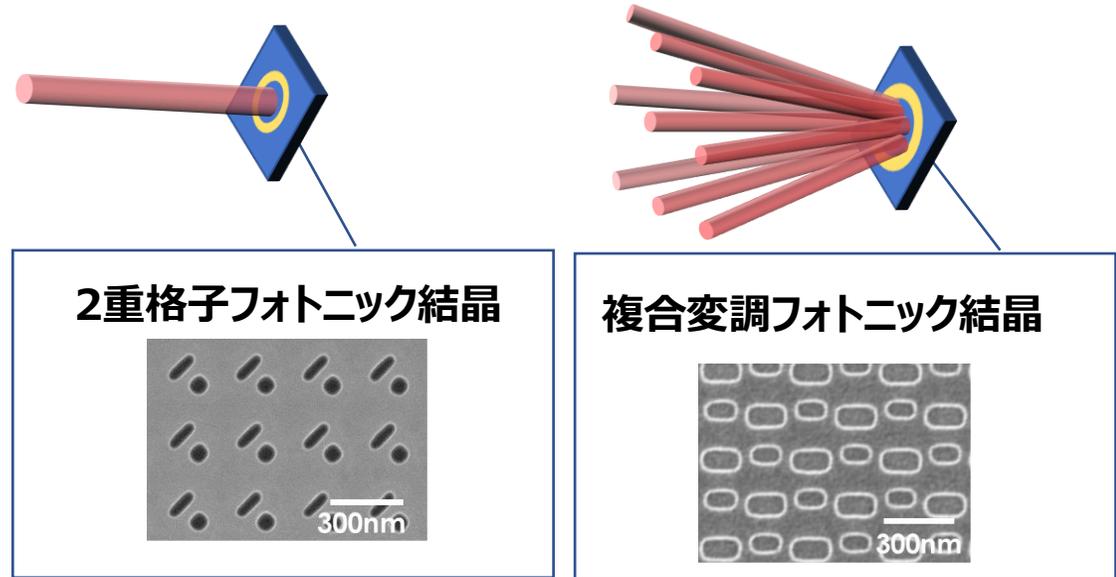
ビーム整形のための複雑な
レンズ系と精密な調整が必要

ビーム走査のために、外部に
機械駆動式ミラー等が必要

**LiDARシステムが複雑かつ大型・高価：
ボトルネック**

フォトニック結晶レーザー(PCSEL*)

高輝度 : 高ビーム品質、狭発散角 (レンズフリー特徴)
高機能 : 多点照射とその走査までも可能

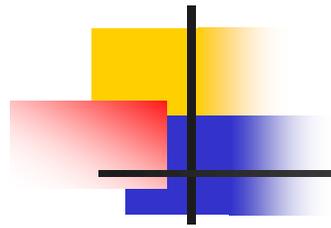


2重格子フォトニック結晶

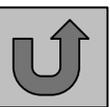
複合変調フォトニック結晶

**LiDARシステムの小型化・簡略化・低コスト化：
ボトルネックの解消**

(*PCSEL: Photonic Crystal Surface Emitting Laser)



研究開発の全体概要・目標(p.7~p.9)

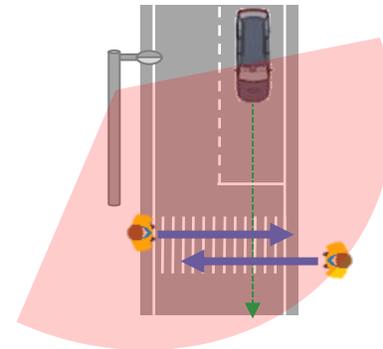
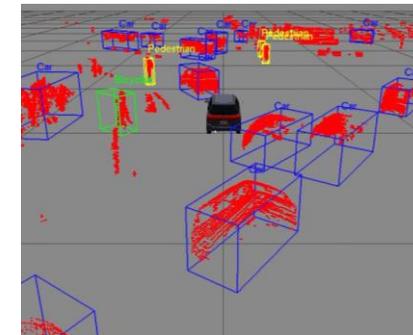
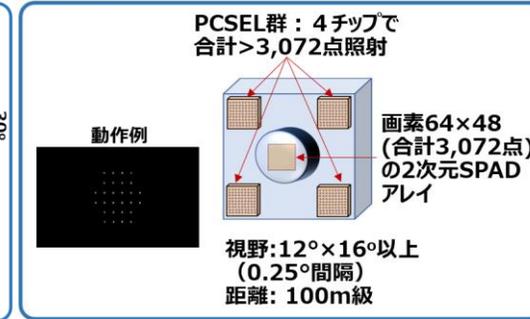
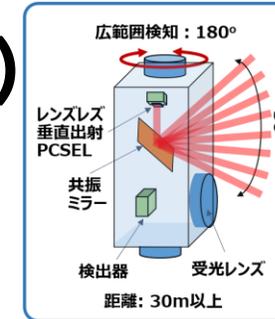


研究開発の全体概要

*フォトニック結晶レーザー (Photonic Crystal Surface Emitting Laser)

① 3次元PCSEL*-LiDARシステムの開発(京都大)

- 広FOV型3次元PCSEL-LiDAR (機械式) の開発
 - インフラセンサとしての活用
 - 車両近傍の死角領域監視センサとしての活用
- 非機械式PCSEL-LiDARシステムの試作・開発
 - 安価な電子スキャン型LiDARの開発



② 認識技術の開発と実証実験の実施(金沢大)

- LiDARを用いた認識技術の開発
 - PCSEL-LiDARから得られるポイントクラウドの解析
 - 車両, 歩行者等を高精度に検出する技術を開発
- LiDARを用いた実証実験の実施
 - インフラセンサへの活用に向けた検証と実証
 - 他プロジェクトへの展開・連携について検討
 - PCSEL-LiDARを用いた自動運転の実証
 - インフラセンサと連携したL4相当の自動運転の実証



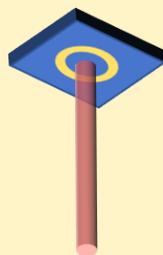
開発目標：①3次元PCSEL-LiDARシステム

*SPAD: Single Photon Avalanche Diode (単一光子アバランシェダイオード)

STEP1：広FOV型3次元PCSEL-LiDAR

STEP2：非機械式3次元PCSEL-LiDAR

面垂直型 PCSEL



広範囲検知：180°以上

レンズレス
垂直出射
PCSEL

共振
ミラー

検出器

フィルター+
受光レンズ

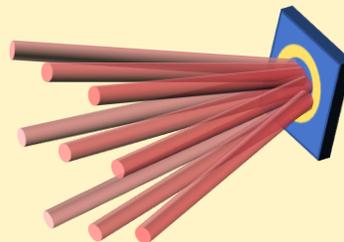
距離：30m以上

30°

(追加項目：カード型PCSEL-LiDAR)

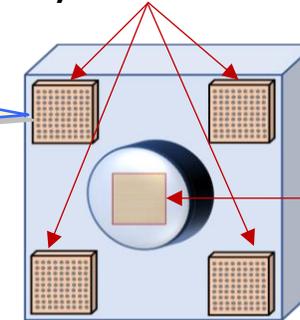
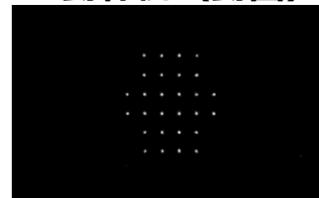
インフラセンサや車両近傍の死角となり得る視野の測距を行えるセンサとして活用

多点照射 PCSEL



アレイ化PCSELの複数チップより、
合計> 3,072点照射

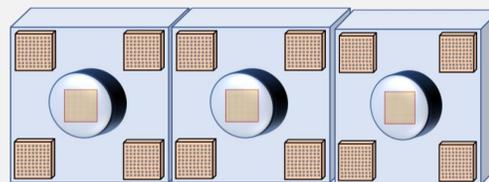
動作例 (動画)



2次元SPAD*
アレイで視野を
一気に検知
(合計3,072画
素、単一画素は
2×2 SPAD)

視野:12°×16°以上
(0.25°間隔)
距離: 100m級

(注1)複数並べて視野の拡大が可能



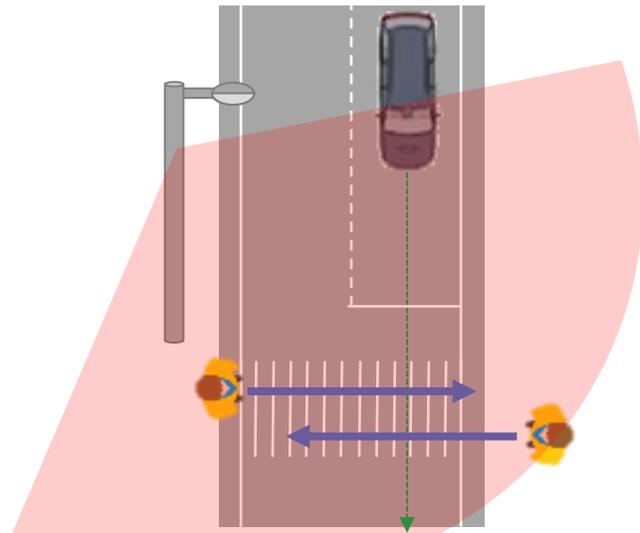
(注2) 将来、単一画素が、3×3以上の高感度SPADアレイを入手し、PCSELのピーク出力を増大することで、200~300mの測距が可能に。さらにSPAD画素数と、PCSEL照射領域(点数)拡大で広FOV化も可能に。

全半導体チップ型になるために、小型化・低コスト化が見込まれ、一般車用のセンサとしても期待

開発目標：②生活ゾーン・賑わいのある道路空間の実態把握システムの開発と実証実験の実施

中間目標：インフラセンサ実証実験の実施

広FOV型3次元PCSEL-LiDARを用いた認識技術を開発し、インフラセンサとして用いた実証実験を実施



横断歩行者検知等
(広FOV型PCSEL-LiDAR)

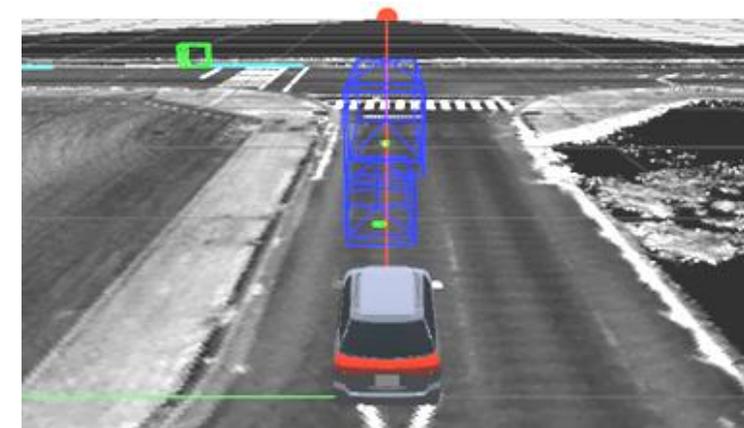
最終目標：レベル4相当の自動運転実証実験の実施

複数のPCSEL-LiDARを使用した認識技術を開発し、インフラセンサや車載センサを協調させた自動運転の実証実験を実施

インフラ・車載センサの連携

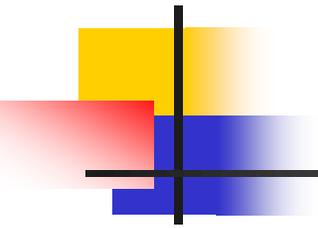


車両近傍の死角の監視
(広FOV型PCSEL-LiDAR)



車載環境下での認識

車両前方の監視
(非機械式PCSEL-LiDAR)

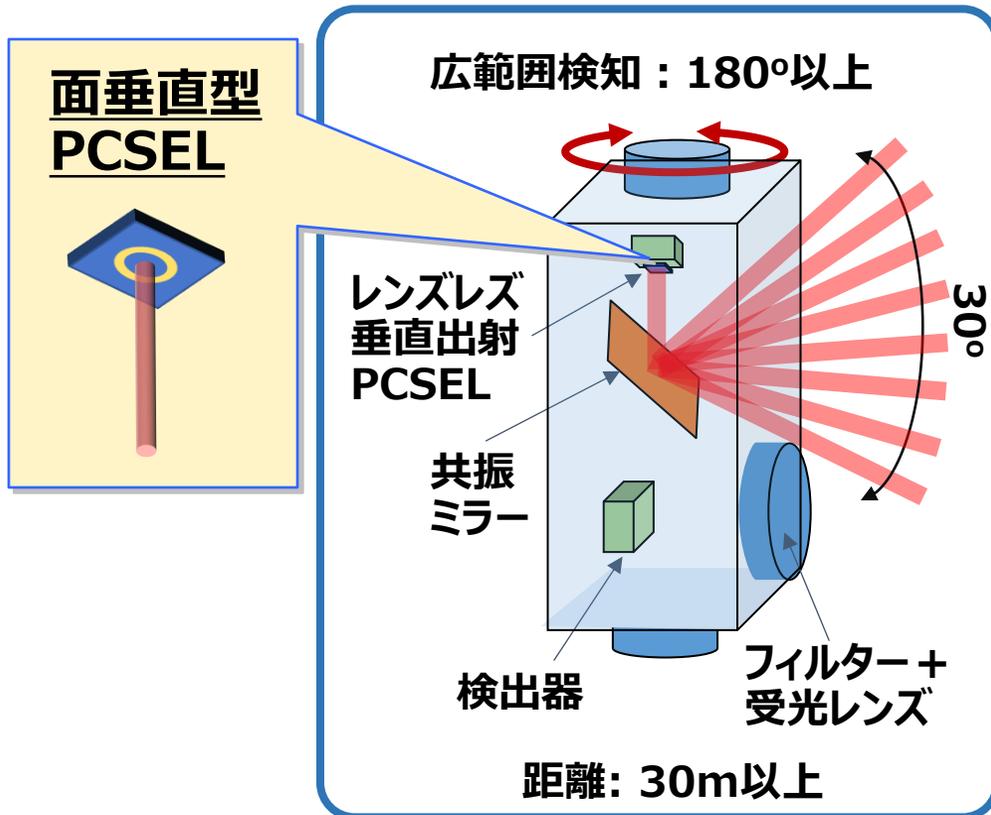


研究開発成果(p.11~p.36)



研究成果：広FOV型3次元PCSEL-LiDAR開発

STEP1：広FOV型3次元PCSEL-LiDAR



インフラセンサや車両近傍の死角となり得る視野の測距を行えるセンサとして活用

開発項目（赤文字は今年度の成果）

- 面垂直型PCSELの理想的なガウスビーム化（復習）
- 背景光の影響を低減するために、PCSELの特徴活かした狭帯域バンドパスフィルターの設計・作製
- 3次元PCSEL-LiDARの仕様・試作状況
- (追加項目) 高度化したPCSEL、狭帯域バンドパスフィルターを導入したカード型PCSEL-LiDARの試作・評価
- 3次元PCSEL-LiDARの試作（25年9月末）

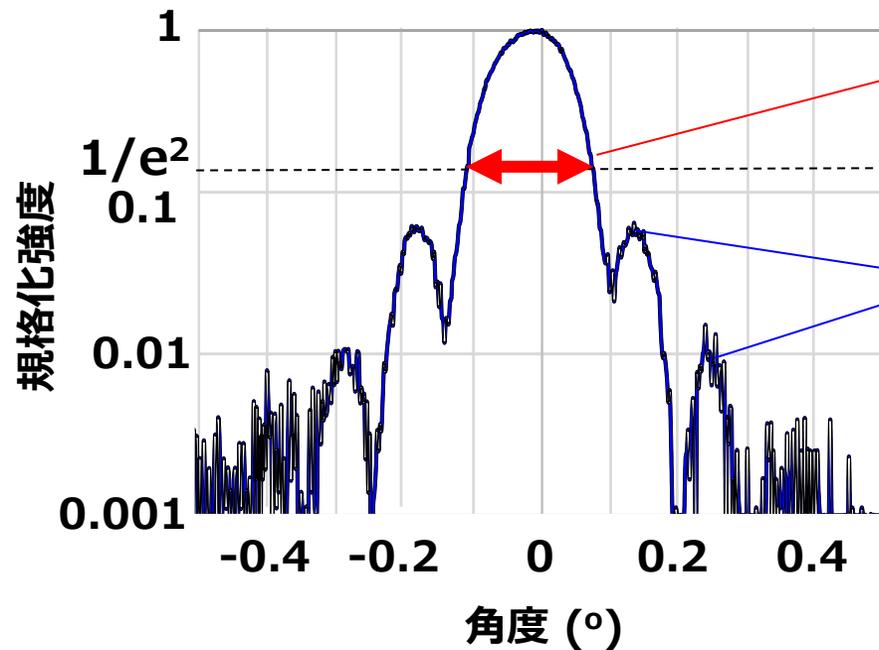
面垂直型PCSELの理想的なガウスビーム化（復習）

これまでの2次元PCSEL-LiDARに搭載していたデバイス

出射ビーム形状
(明るさ強調)



断面強度プロファイル (対数表示)

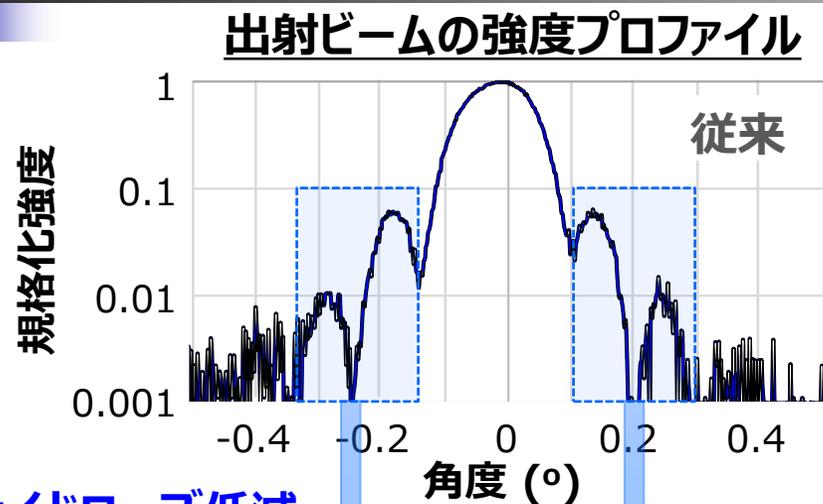


狭い拡がり角 ($< 0.2^\circ$) は既に実現

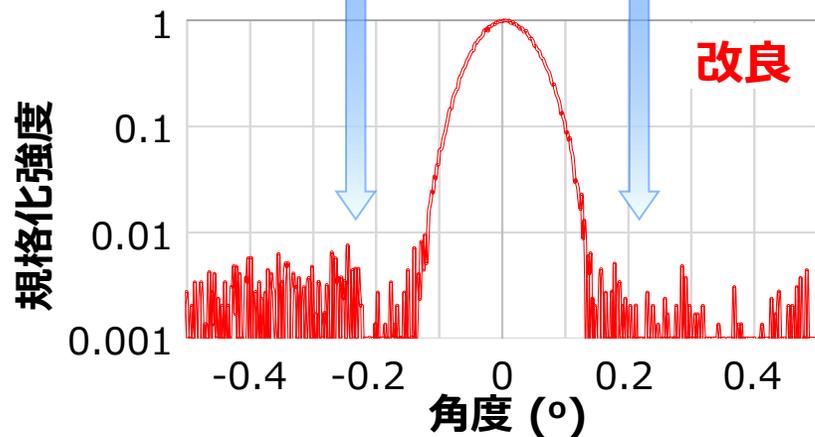
メインローブの外側に1/30程度の強度比のサイドローブが存在
サイドローブが存在すると、測距したい方向以外の障害物を誤って検出してしまう可能性があるため、抑制が必要

目標：メインローブの強度の1/1000以下

作製したPCSELのレーザー特性の測定結果 (復習)



サイドローブ低減



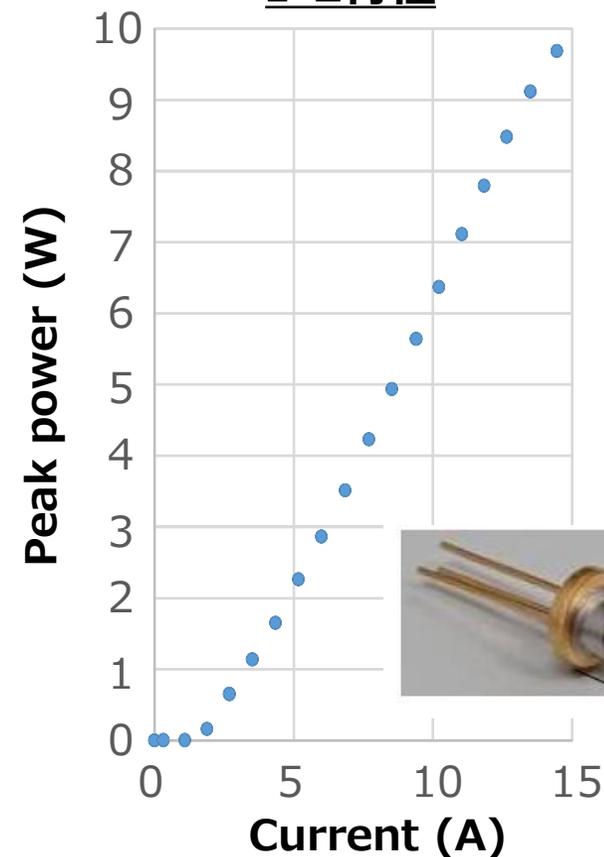
**出射ビーム形状
(明るさ強調)**



**出射ビーム形状
(明るさ強調)**



I-L特性



サイドローブ低減 + 高出力動作に成功

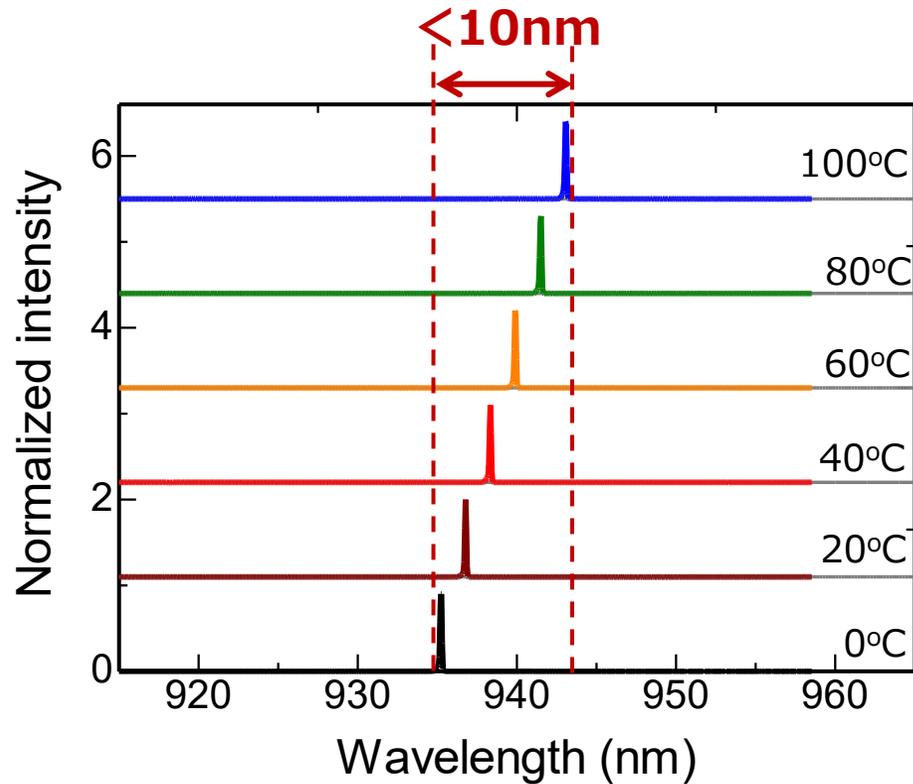
⇒ 北陽電機(再委託先)へ提供して、PCSEL-LiDARの開発に適用

PCSELの特徴活かしてバンドパスフィルター 狭帯域化

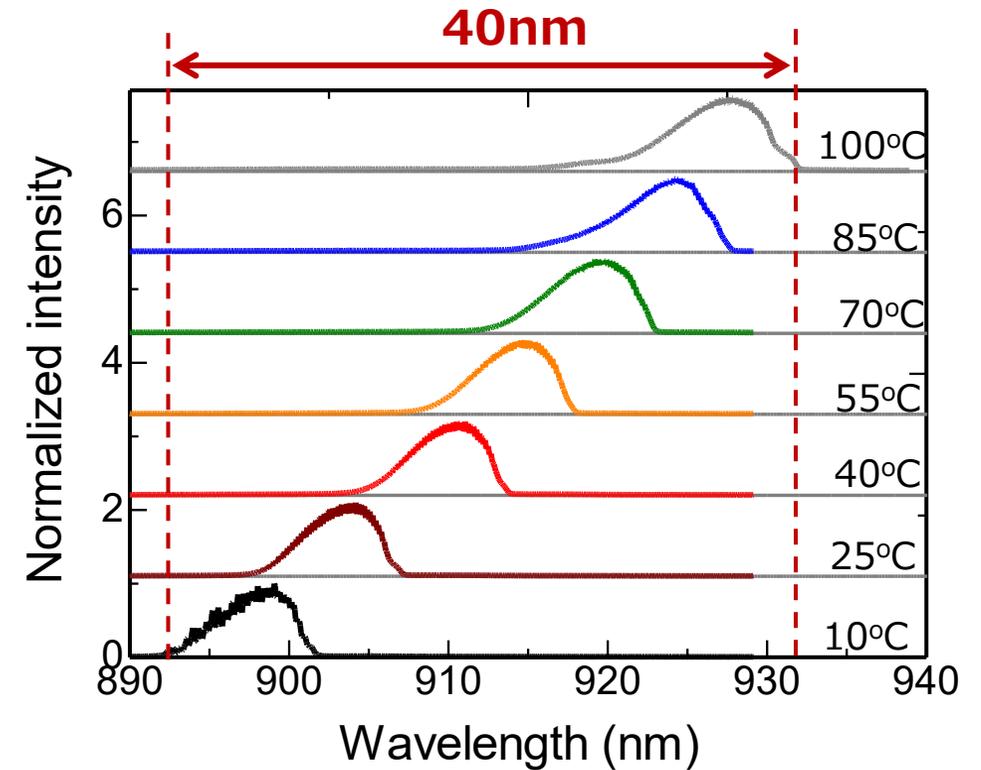
カード型およびSTEP 1のPCSEL-LiDARへ搭載用

PCSELと従来の半導体レーザーのバンド帯域の比較

PCSELスペクトルの温度依存性



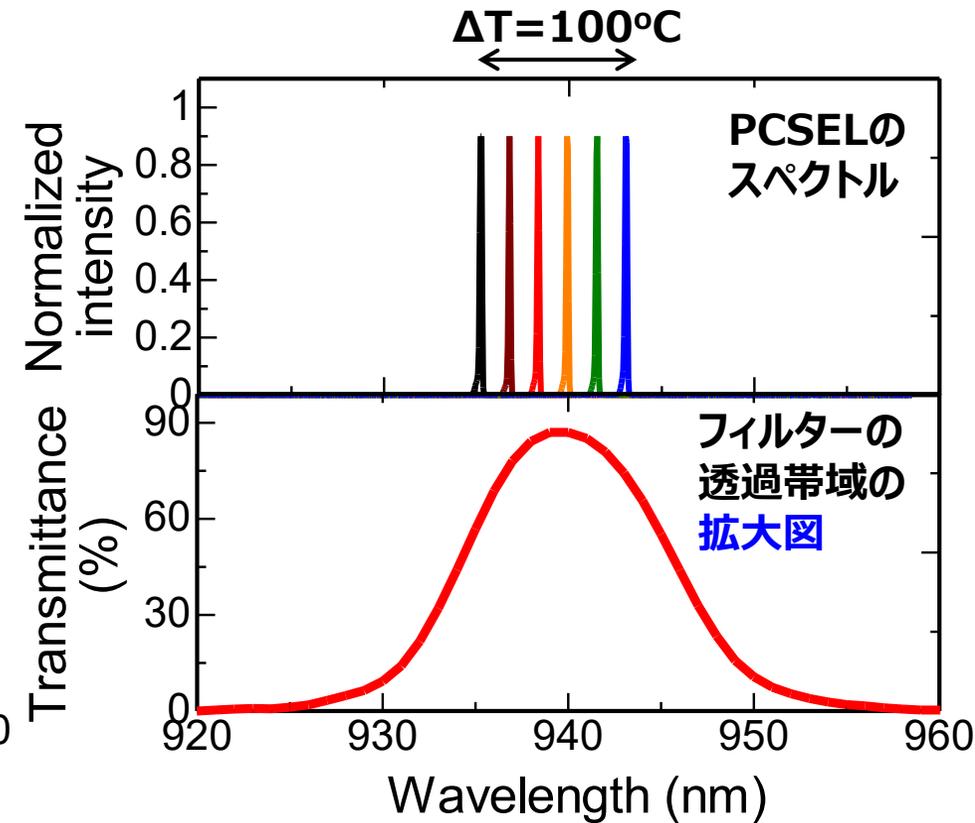
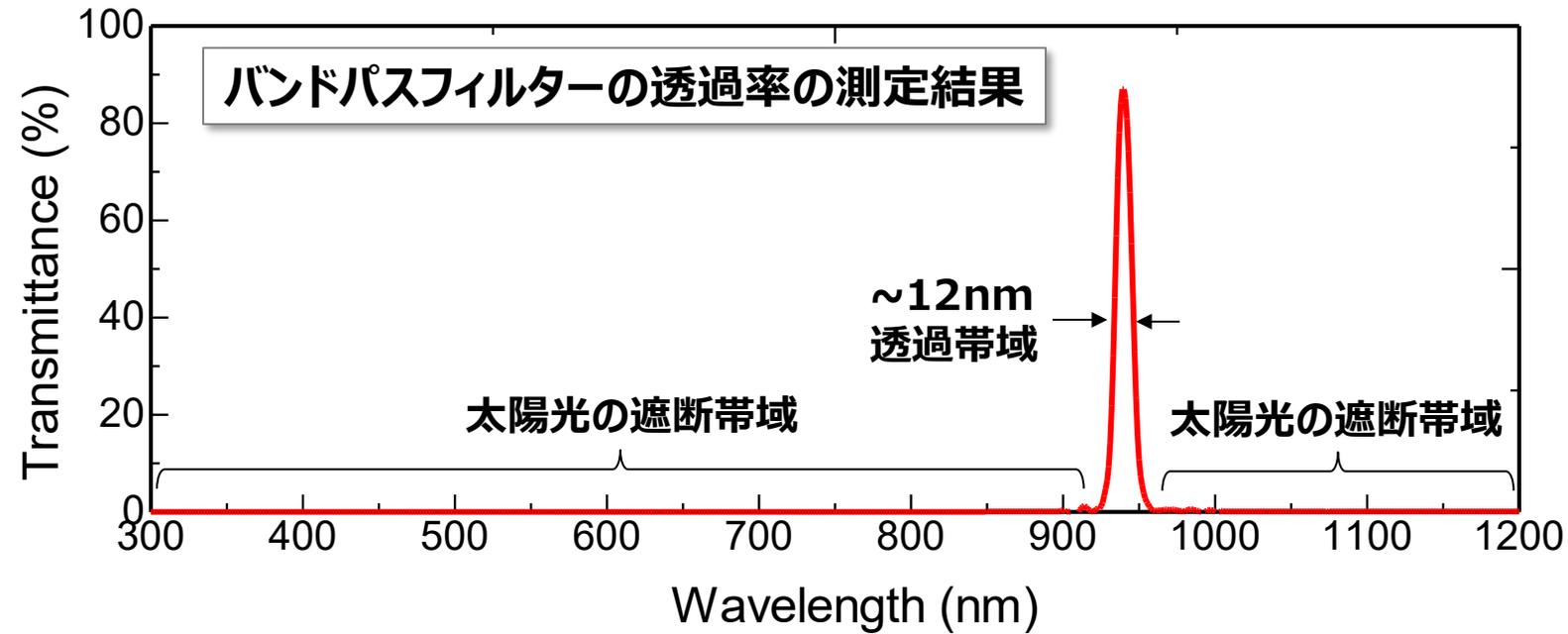
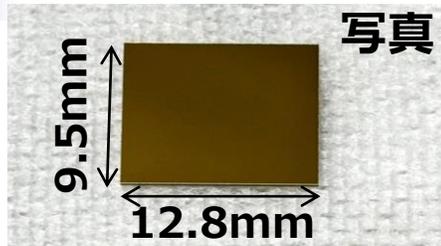
従来の半導体レーザー*スペクトルの温度依存性



*コヒーレント社の半導体レーザー

PCSELの活用により、バンドパスフィルターの帯域は1/4以下に狭帯域化が可能

バンドパスフィルターの作製

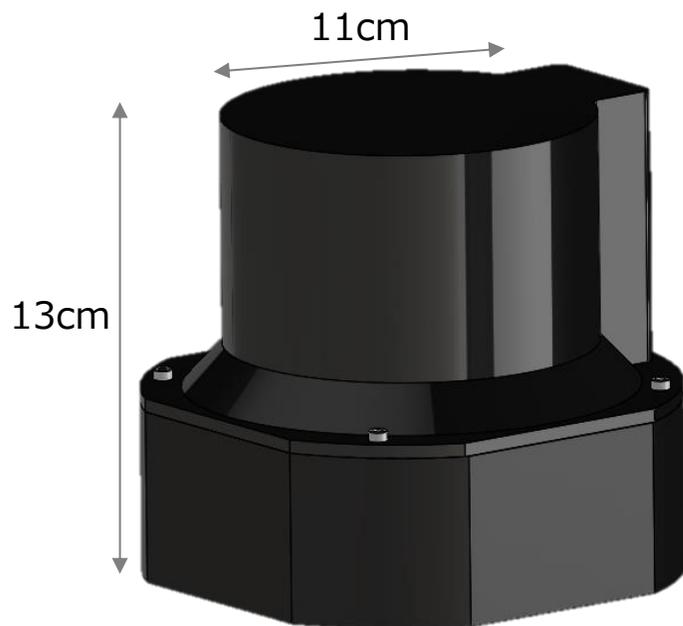


PCSELに適した狭帯域バンドパスフィルターの第一試作完了

⇒バンドパスフィルタをカード型LiDARへ搭載

3次元PCSEL-LiDARの仕様・試作状況

STEP1の広FOV型 3次元PCSEL-LiDARの外形



注(簡単な説明) :

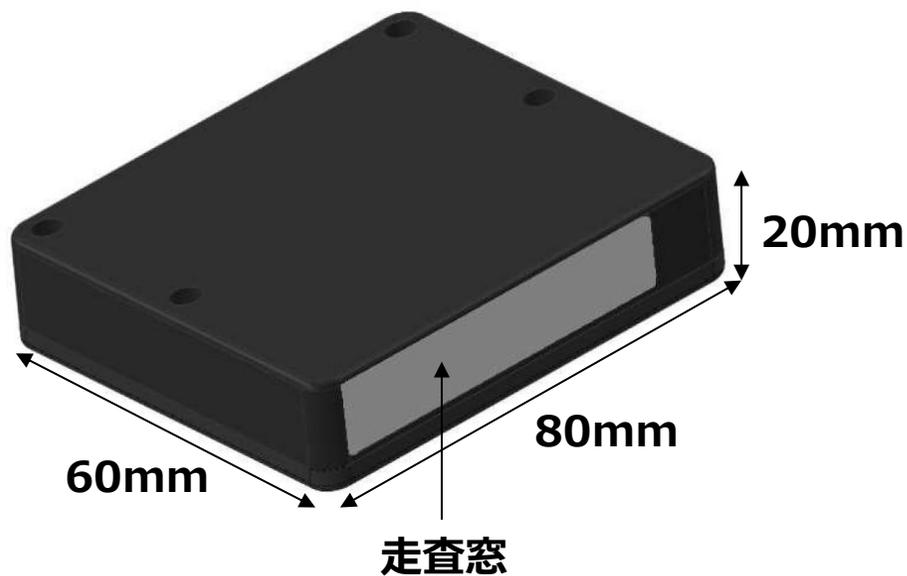
- レーザーは中心部分にある共振ミラー（見えていない）で上下 $\pm 15^\circ$ （計 30° ）に走査
- 受光系は、受光レンズとAPDアレイにより構成
- 全体回転して、 180° 以上の広FOV測距（水平走査）

項目	値
光源波長	940nm
外乱光カットフィルター	10nm（通常の1/4）
水平FOV	$>180^\circ$
垂直FOV	30°
距離（反射率90%）	35m
分解（水平・垂直）	0.6°
距離精度	$\pm 5\text{cm}$
フレームレート(最大)	20fps
電源電圧	24V
インターフェース	Ethernet

広FOV型 3次元PCSEL-LiDARの試作: **25年9月末予定**

(追加項目)カード型PCSEL-LiDARの仕様

カード型PCSEL-LiDARの外形



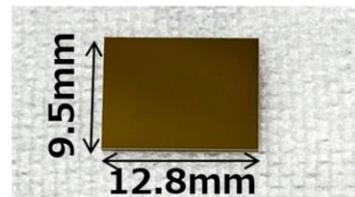
仕様パラメータ	値
光源波長	940nm
外乱光カットフィルター	通常の1/4
水平FOV	90°
垂直FOV	3レーヤ- (-2°、0°、+1°)
角度分解	0.125°
距離 (反射率90%)	10m
距離精度	±4cm
走査速度	60fps
データ量	172.8k pps
インターフェース	Ethernet 100BASE-TX
外形寸法	20x60x80mm(80mm走査窓)
電源電圧	10-30V
消費電力	2.7W以下
使用温度範囲	-10~+50℃
耐衝撃	20G X,Y,Z方向 各10回
質量	100g以下 (ケーブル除く)

カード型PCSEL-LiDARの試作

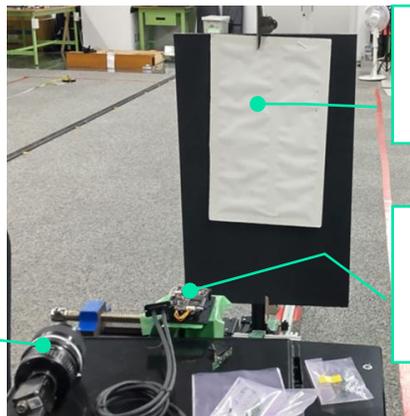
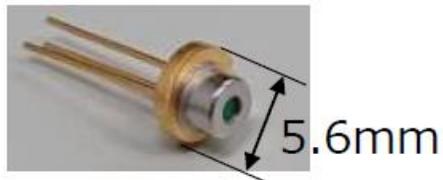
ビーム形状評価



狭帯域バンドパスフィルター



高度化したPCSEL



ターゲット
白ケント紙

カード型
PCSEL-
LiDAR

カメラ

フットプリント名刺サイズ以下



	ターゲットまでの距離2m	
従来型3スタック パルスレーザー (レンズ+複雑調整)		X : 52.0mm Y : 11.6mm
旧PCSEL (レンズフリー)		X : 23.9mm Y : 30.5mm
新PCSEL ⇒ガウス型ビーム (レンズフリー)		X : 23.2mm Y : 23.2mm

レンズを用いても、
横長いビーム

フレア形状が改善

ビーム径が真円で
Lidarに使いやすい
(北陽電機からの
コメント)

カード型PCSEL-LiDARを用いた測距評価

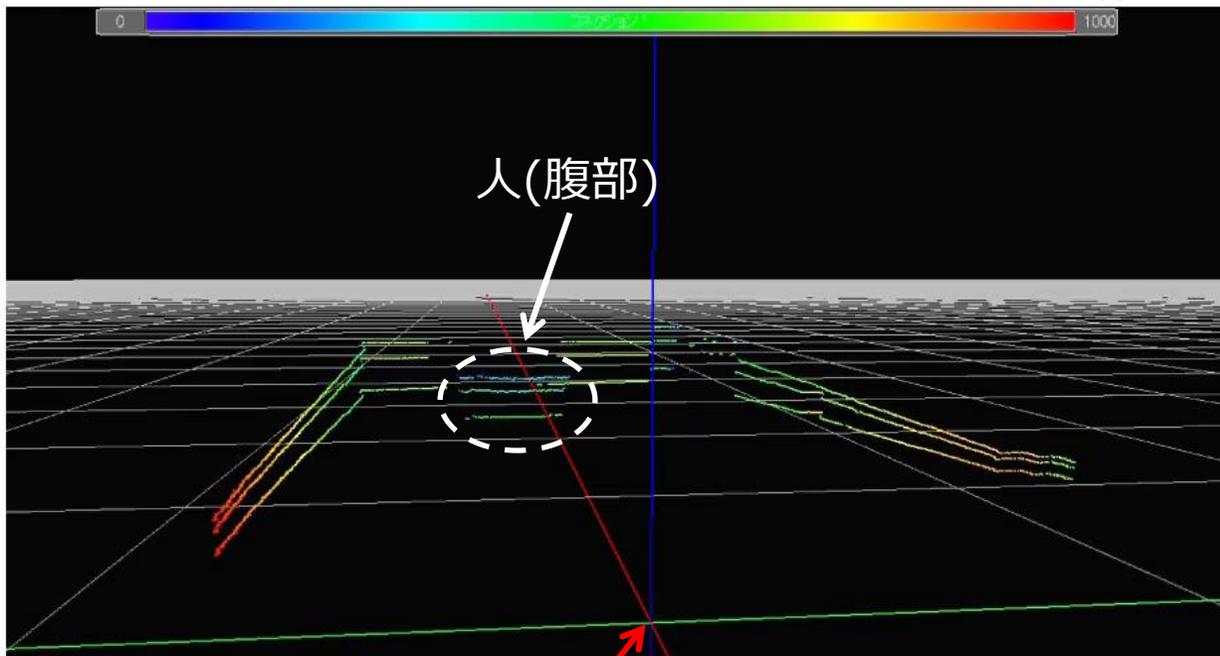
動画



カード型PCSEL-LiDAR

距離像動画(3レイヤー)

(カラー：強度情報)



カード型PCSEL-LiDAR (原点)

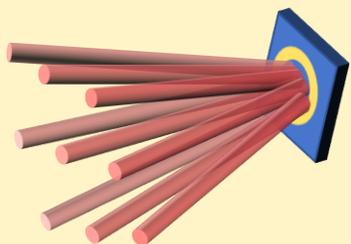
超小型のカード型PCSEL-LiDARを用いた測距に成功

自動車椅子の搭載のために、カード型PCSEL-LiDARを他プロジェクトへ提供

非機械式3次元PCSEL-LiDARの開発

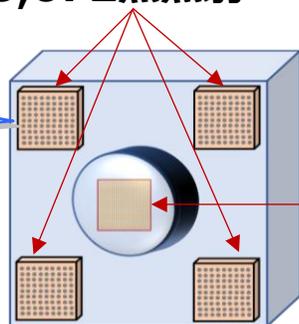
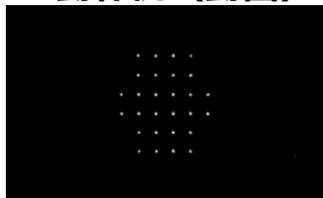
STEP2：非機械式3次元PCSEL-LiDAR

多点照射 PCSEL



アレイ化PCSELの複数チップより、
合計> 3,072点照射

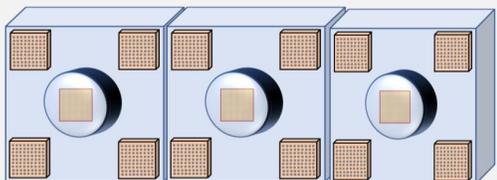
動作例 (動画)



2次元SPAD
アレイで視野を
一気に検知
(合計3,072画
素、単一画素は
2×2 SPAD)

視野: 12°×16°以上
(0.25°間隔)
距離: 100m級

(注1) 複数並べて視野の拡大が可能



(注2) 将来、単一画素が、3×3以上の
高感度SPADアレイを入手し、PCSELの
ピーク出力を増大することで、200~
300mの測距が可能に。さらにSPAD画
素数と、PCSEL照射領域(点数)拡大
で広FOV化も可能に。

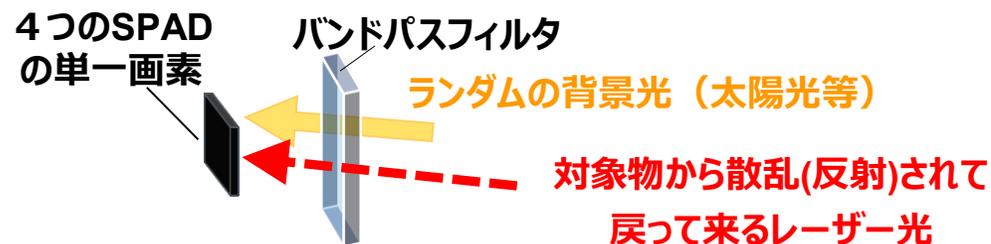
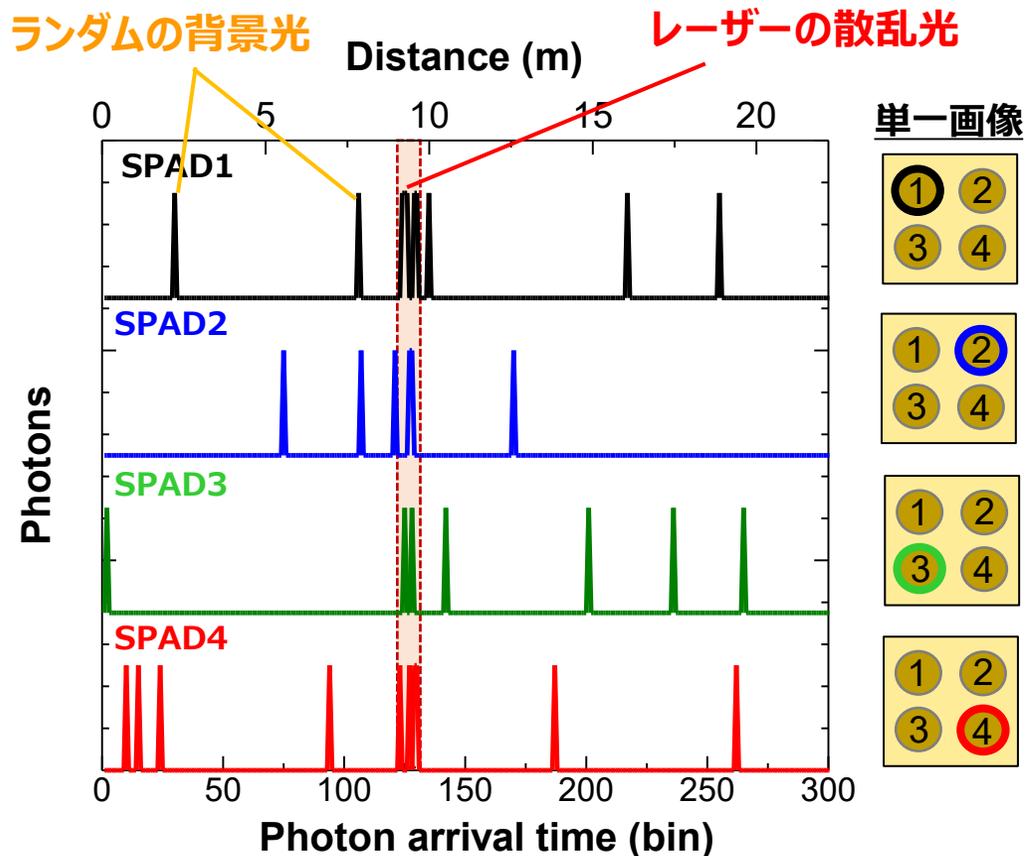
開発項目 (赤文字は今年度の成果)

- **2次元SPADアレイとPCSELを用いた基礎評価 (小型ミラー活用)**
- **PCSELアレイの作製・基礎評価およびPCSELアレイとSPADを用いた非機械式測距の初期実証**
- 非機械式3次元PCSEL-LiDARの設計・試作
- 200-300mの理論実証

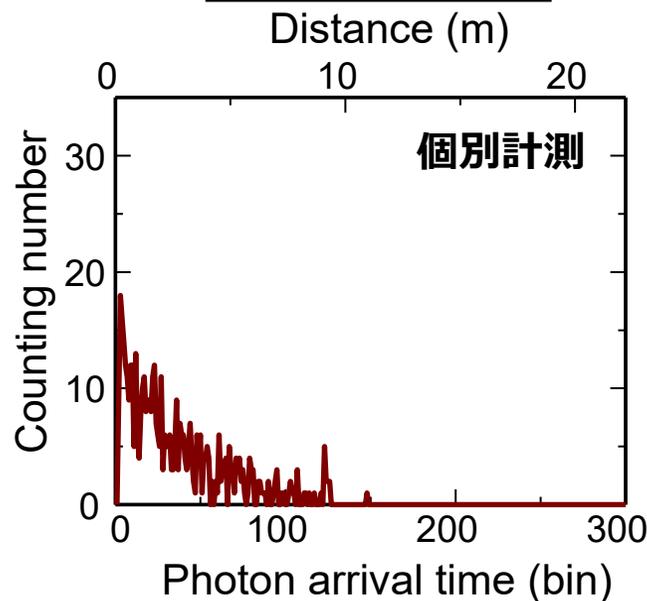
全半導体チップ型になるために、小型化・低コスト化
が見込まれ、一般車用のセンサとしても期待

SPADにおける背景光*の除外

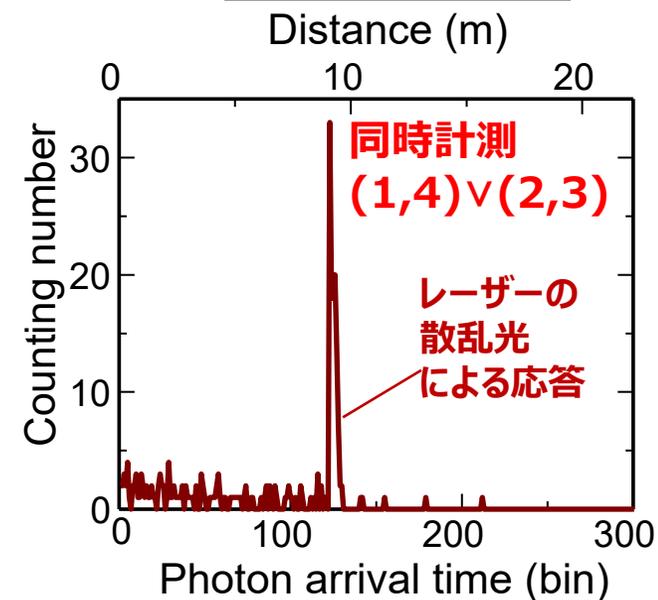
SPAD入射される光子の計算例



ヒストグラムの計算



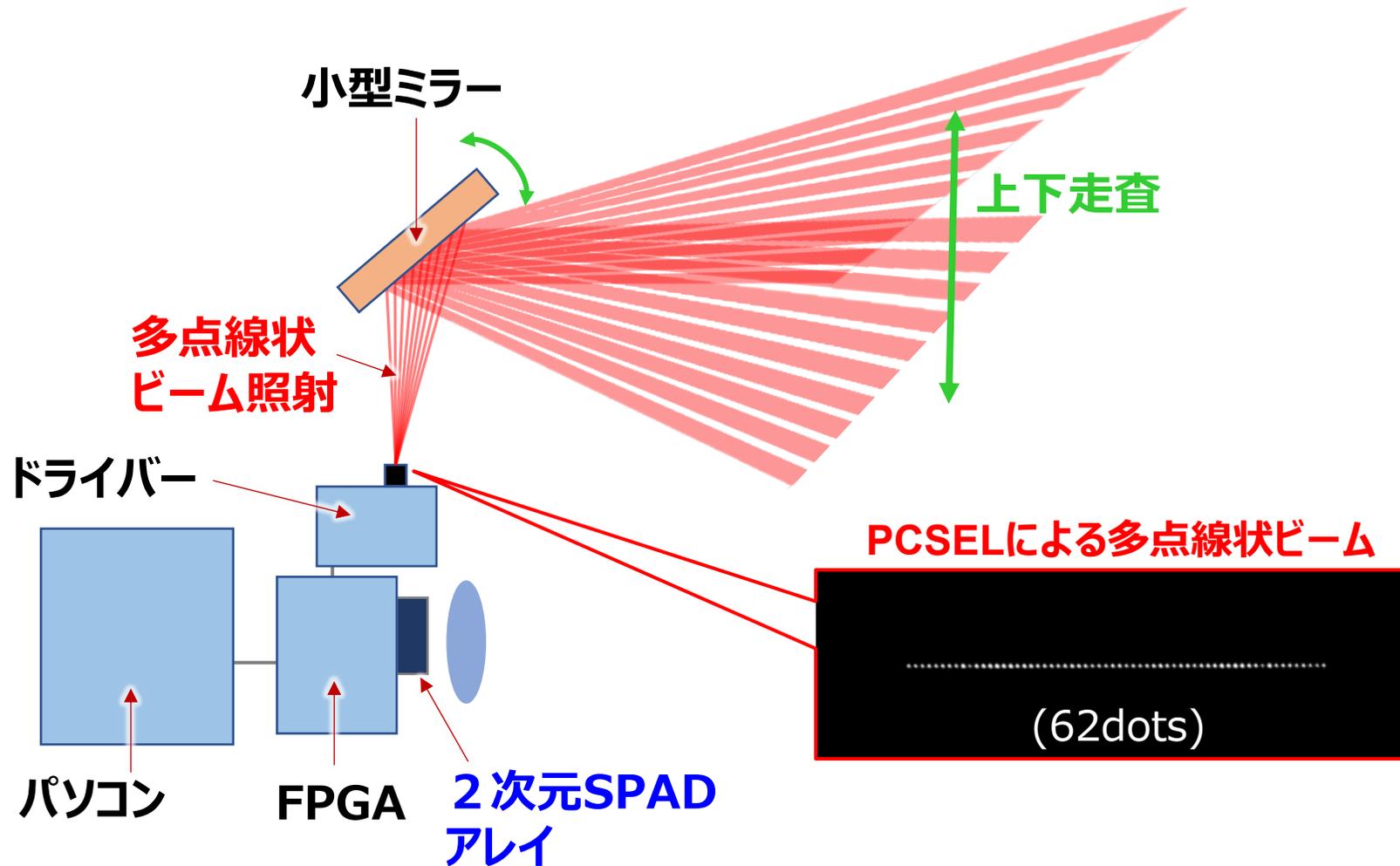
ヒストグラムの計算



*SPADが高感度であるがゆえに、バンドパスフィルターを透過して来る弱い背景光 (一つ的光子) にも反応するので、そのような背景光の影響を抑制する手法として、背景光の時間的なランダム性に着目した同時計測手法を採用。(PCSELの特徴を活かした狭帯域バンドパスフィルターを用いることで、従来のレーザーと比べて、さらに効果的に抑制可能)

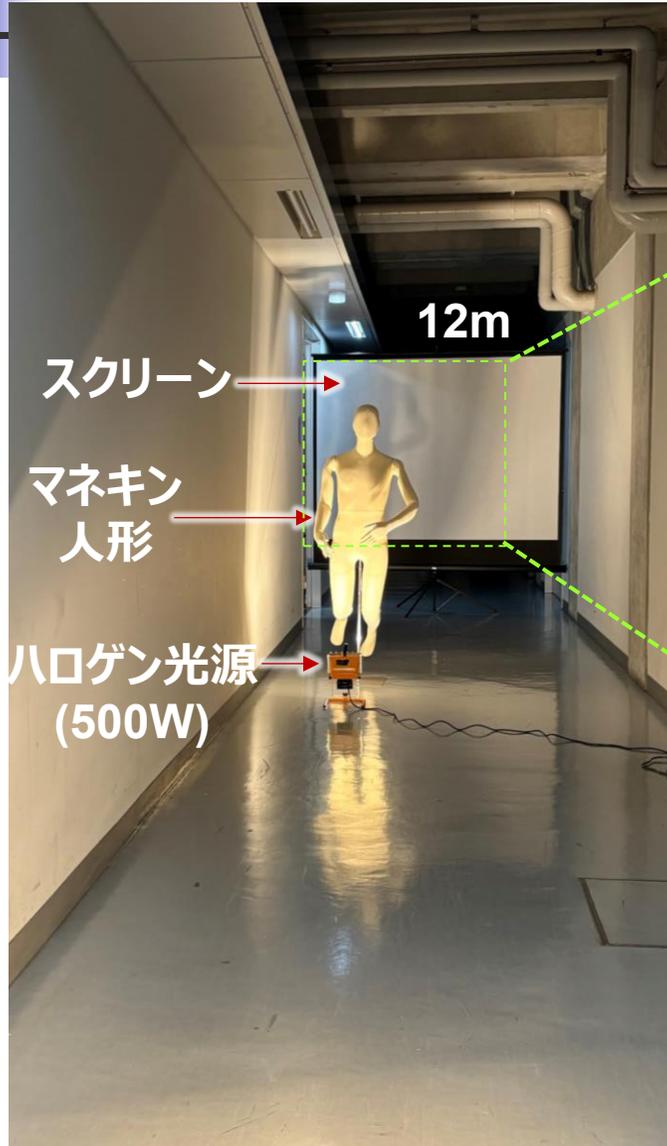
SPADとPCSEL*による3次元測距の初期実証

* 第一ステップとして、PCSELによる線状ビーム出射と小型ミラーによるビーム走査



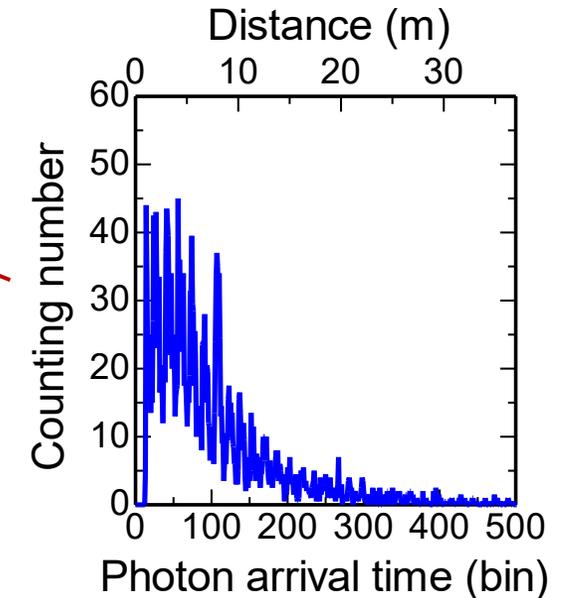
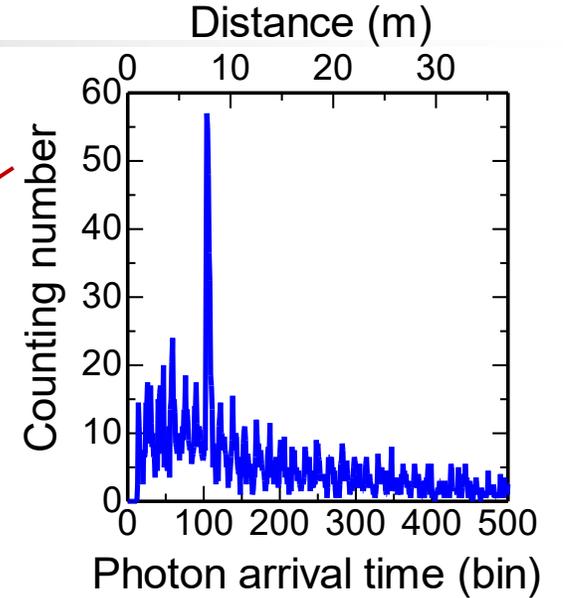
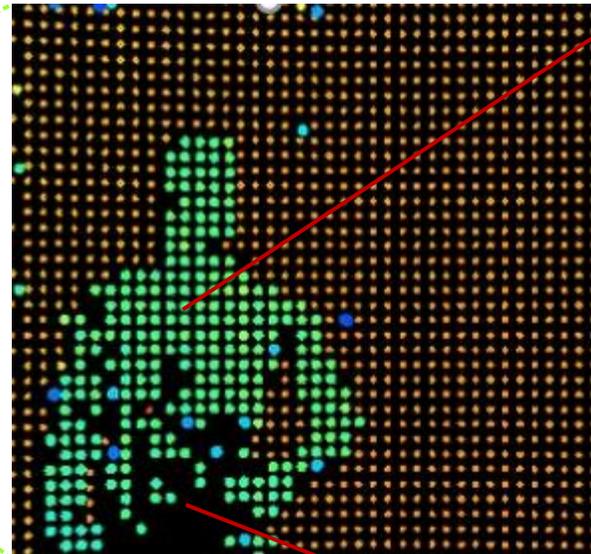
SPADとPCSEL*による3次元測距の初期実証

* 第一ステップとして、PCSELによる線状光束出射と小型ミラーによる光束走査



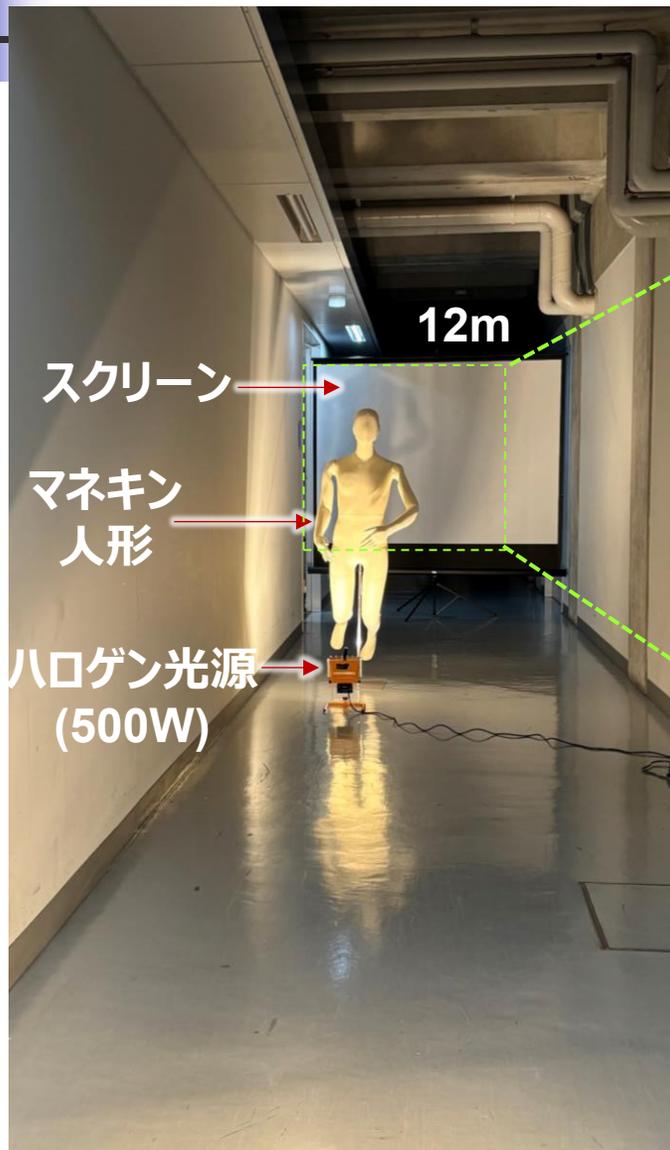
LiDAR(正面に設置)

SPADの個別計測



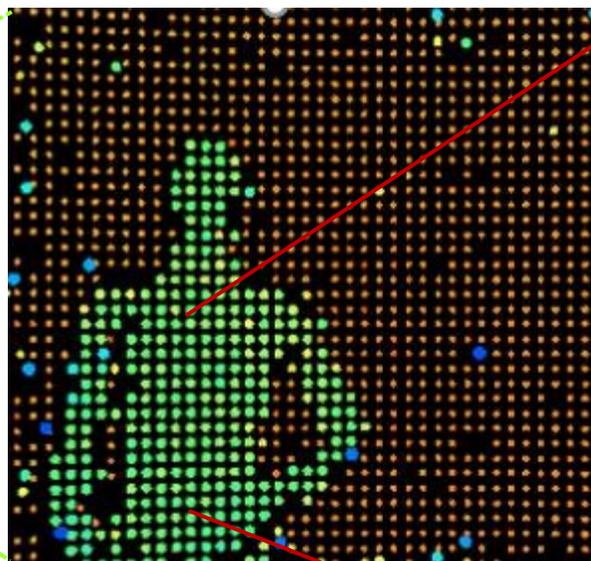
SPADとPCSEL*による3次元測距の初期実証

* 第一ステップとして、PCSELによる線状光束出射と小型ミラーによる光束走査

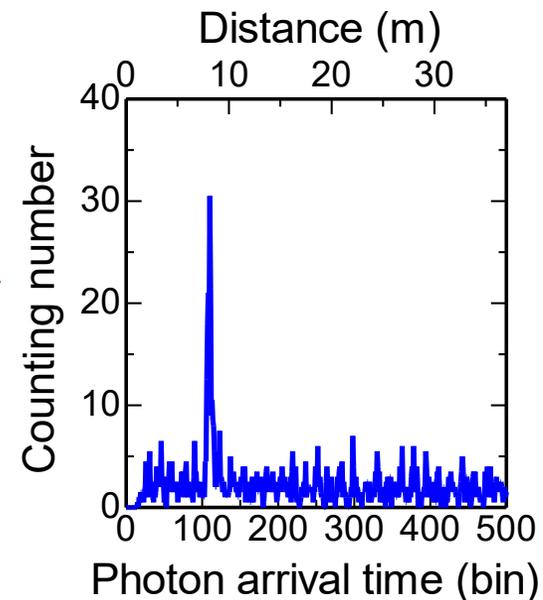
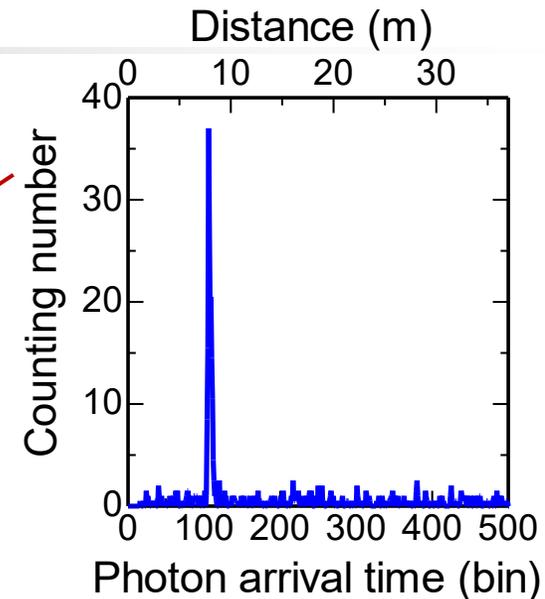


LiDAR(正面に設置)

SPADの同時計測

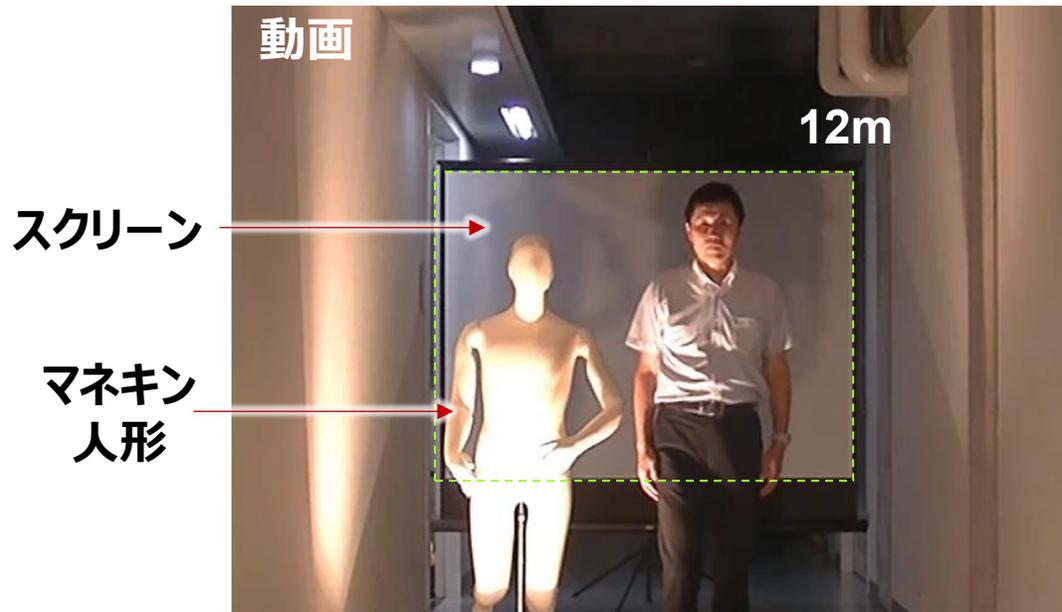


同時計測活用にて、背景光を除去⇒
正確な測距が可能に



SPADとPCSEL*による3次元測距の初期実証

* 第一ステップとして、PCSELによる線状ビーム出射と小型ミラーによるビーム走査



**2次元SPADとPCSELを用いた3次元測距の初期評価に成功
(反射率の低い黒い物体も検知可能)**

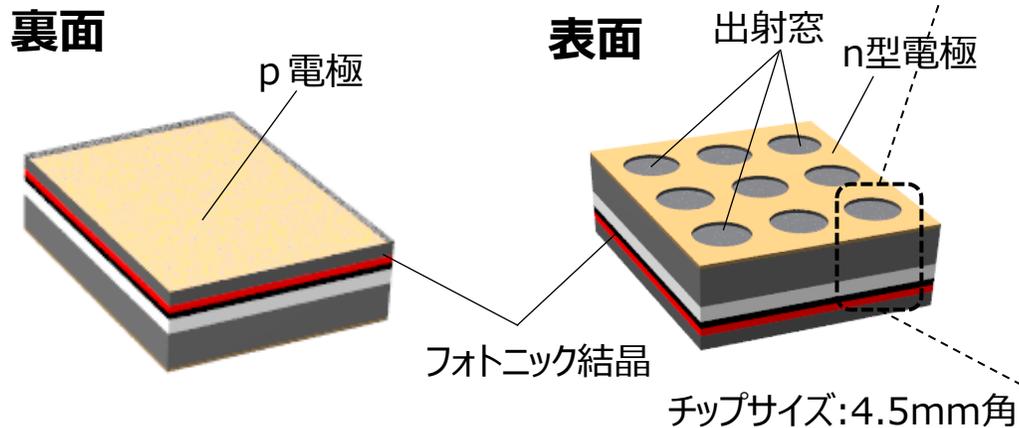
次のステップ：オールチップ型3次元PCSEL-SPAD LiDARへの展開へ

非機械・オールチップ型LiDAR用のPCSELアレイの設計

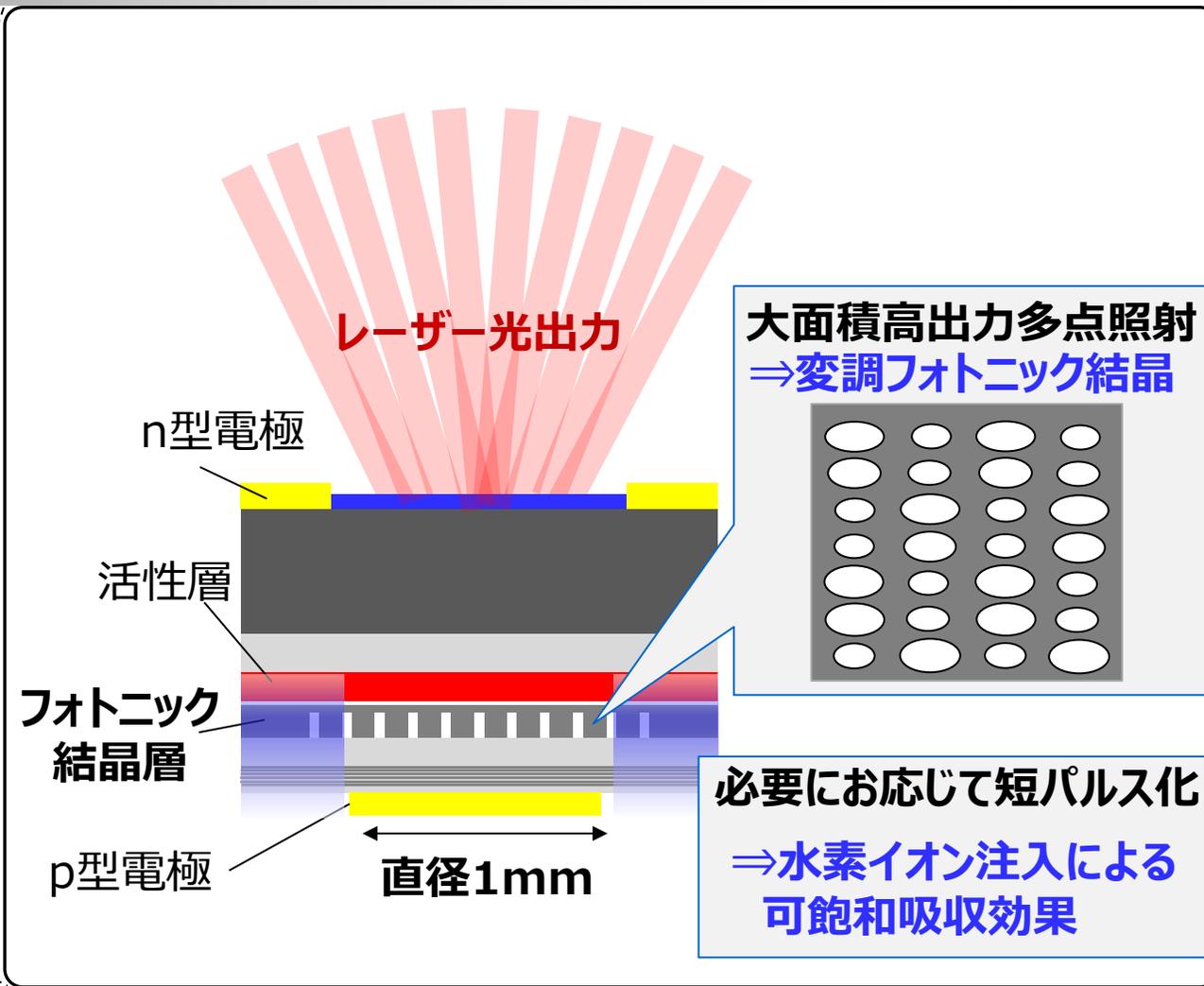
目標

- PCSELの複数チップより、合計> 3,072点照射
- 高速対応可能なSPADへの適用に向けて超短パルス化

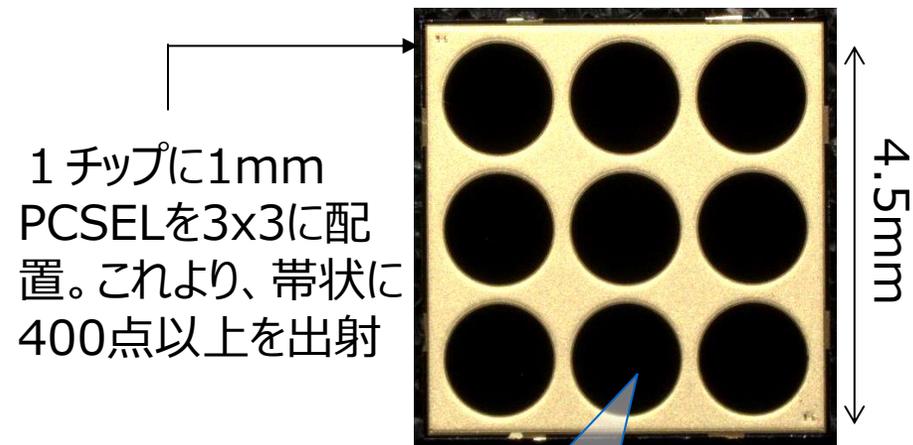
一チップ：3×3領域から成るPCSELアレイ



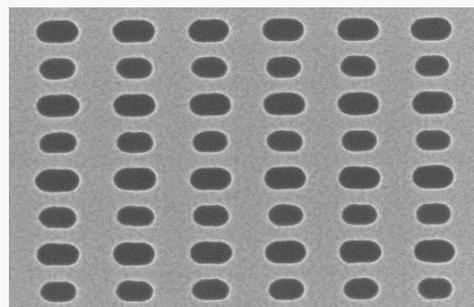
- 電極のインダクタンスが小さくなるように、3×3のアレイチップ
- 駆動回路用いてチップ間のスイッチングによる電子的なビーム走査



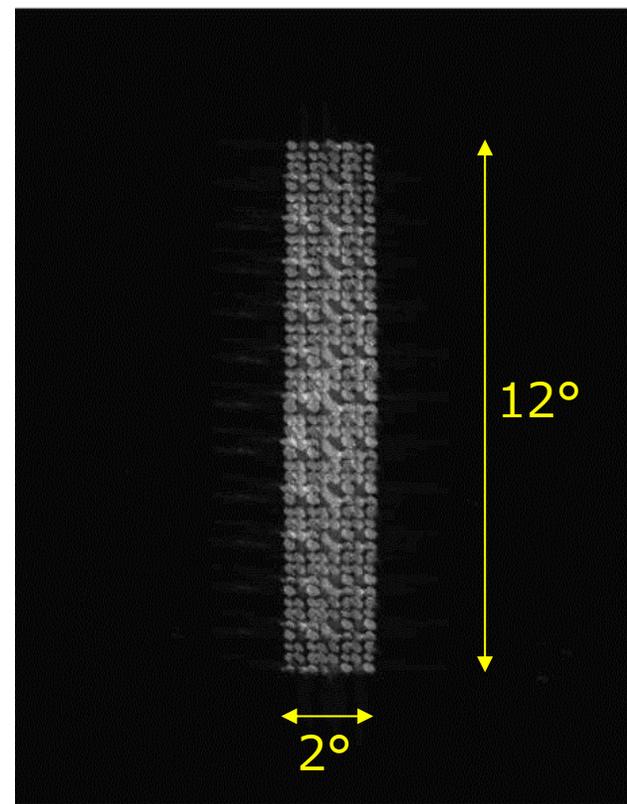
PCSELアレイの作製・初期評価



変調フォトニック結晶内蔵



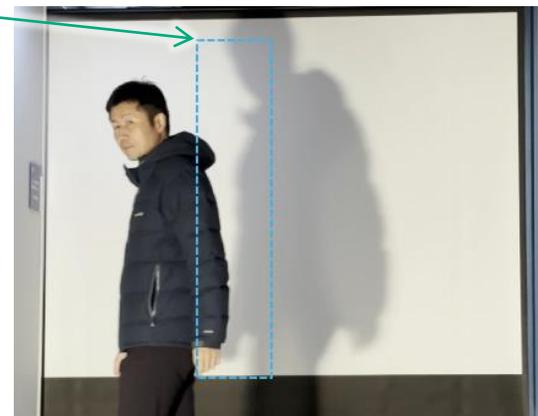
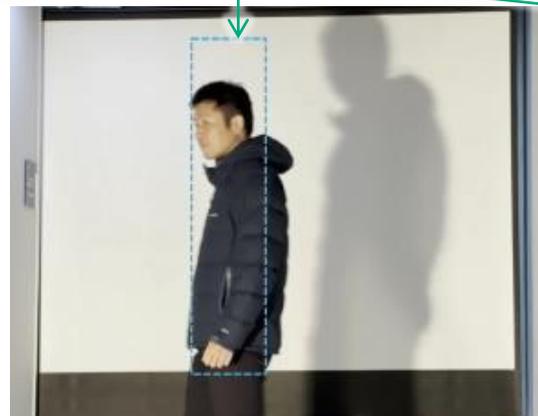
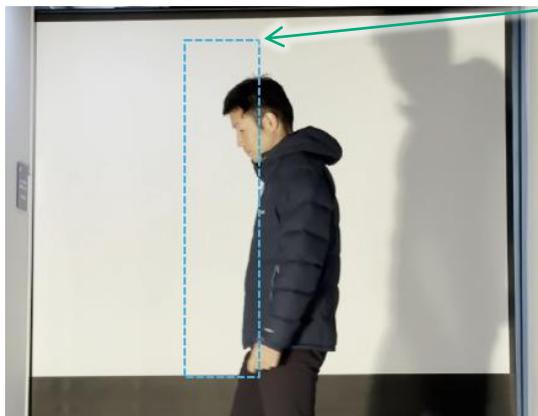
ビームパターン
(アレイ素子からの遠方での出射ビームの様子)



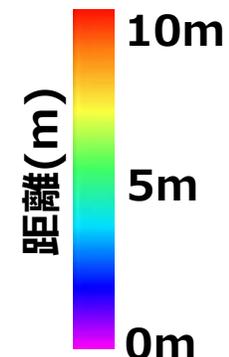
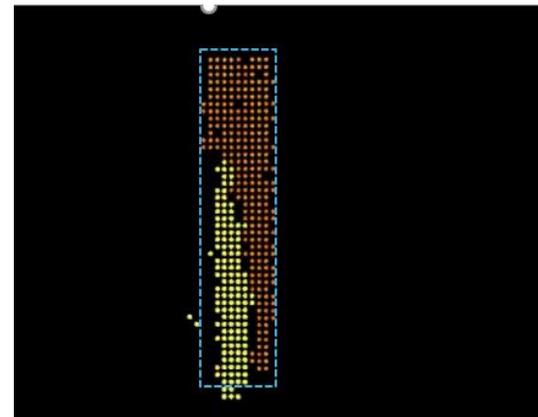
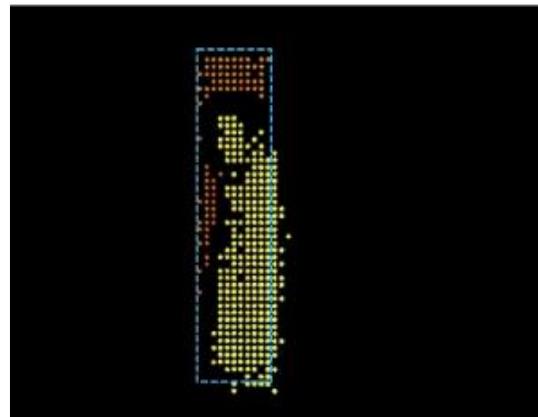
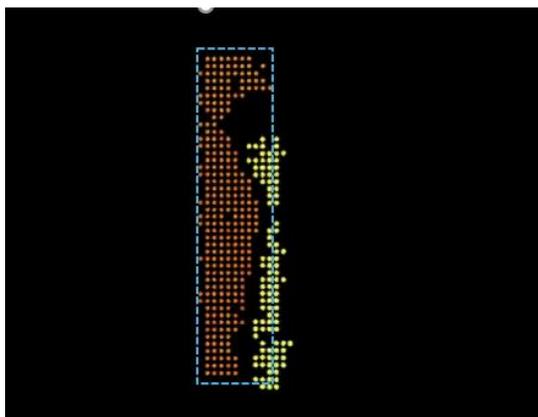
PCSELアレイとSPADを用いた測距の初期評価

PCSELアレイによる照射範囲 (2x12°)

カメラ画像
(動画から抜粋)



距離画像
(動画から抜粋)



オールチップ型PCSEL-LiDARで、FOV 2x12°の測距に初めて成功

今後：複数のPCSELチップアレイによるビーム走査によるFOV拡大および測距

認識技術の開発と 実証実験の実施

■ SIP第2期 自動運転*における成果

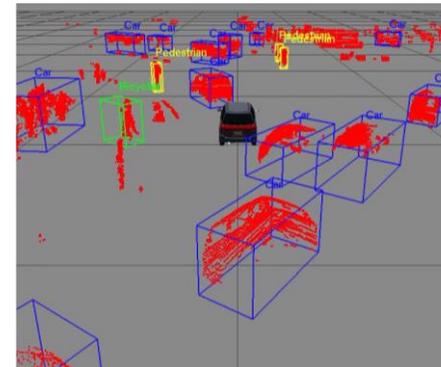
- 市街地を走行可能な自動運転システム
 - 車載センサを用いた認識技術の開発・評価
- インフラ協調型自動運転の実証
 - 東京臨海部における信号協調走行など

■ 本プロジェクトでの取り組み

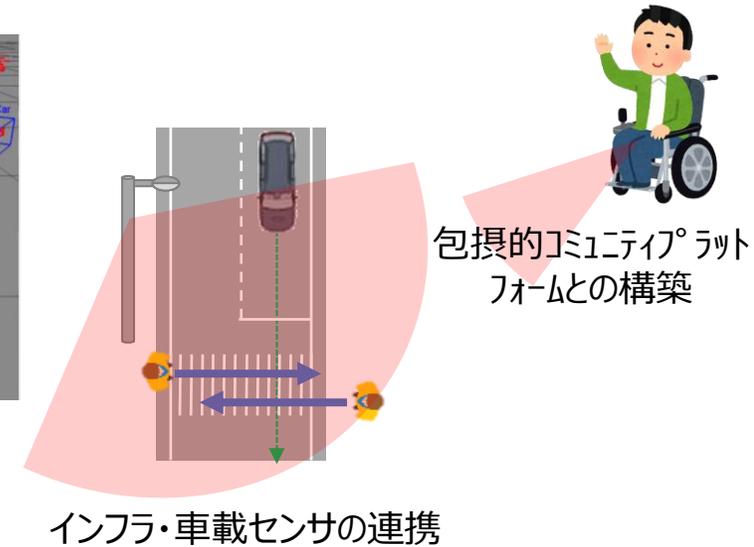
- LiDARを用いた認識技術の開発
 - インフラセンサへの適用検討
 - PCSEL-LiDARを用いた横断歩行者検知など
 - 車載センサへの活用に向けた検討
 - 車載環境下におけるセンサ評価と認識技術構築
- LiDARを用いた自動運転の実証
 - PCSEL-LiDARを用いたインフラセンサの他プロジェクトへの展開・連携について検討
 - 現在、「**包摂的コミュニティプラットフォームの構築**」への開発LiDARの提供に向けた連携活動を実施中
 - 「移動の課題を克服し高齢者や障がい者の自律を促進する外出支援サービスの開発」久留米工大 東教授など
 - インフラセンサと連携し、L4相当の自動運転が可能であることを実証



*SIP第2期「自動運転（システムとサービスの拡張）」



LiDARを用いた
認識技術開発



インフラ・車載センサの連携

包摂的コミュニティプラットフォームとの構築

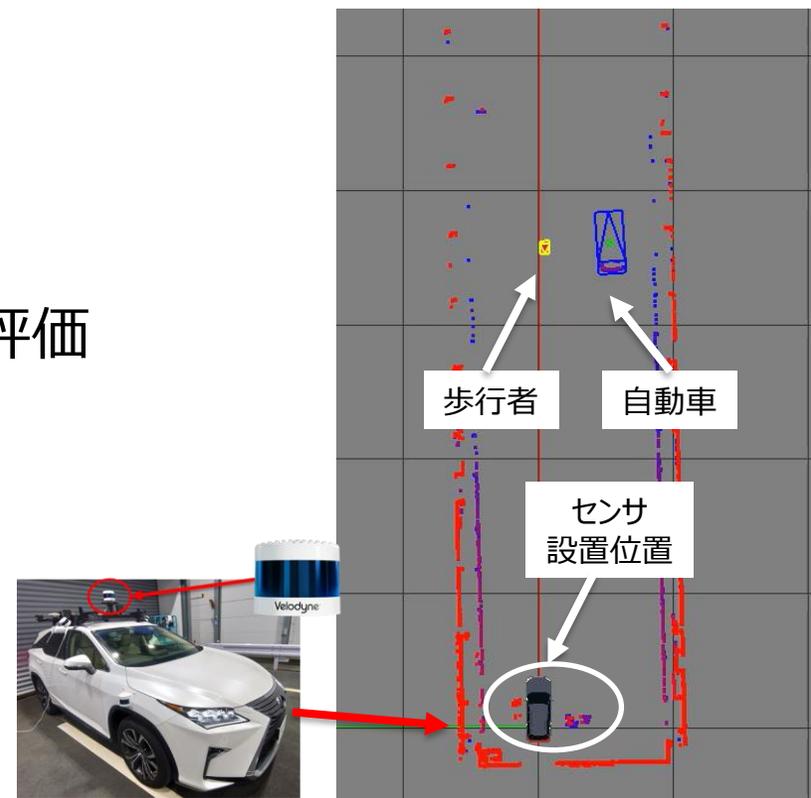
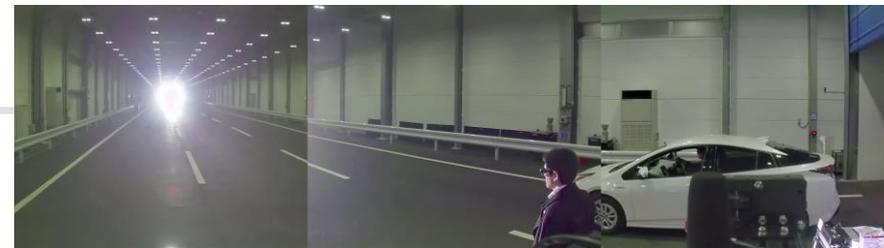
今年度の実施概要

■ LiDARを用いた実証実験の実施

- 多様な天候外乱環境下での評価（昨年度実施）
 - JARI特異環境試験場における試験実施
 - 逆光, 雨天, 霧における天候外乱環境
- 低反射率物体の限界検知距離評価
 - LiDARが苦手とする反射率が低い物体の検知特性について評価
 - 新規LiDAR開発に有益となり得る基礎データを取得
- 自動運転車両の公道走行による実証データ取得
 - 東京都, 石川県, 北海道等で継続実証中

■ LiDARを用いた認識技術の開発

- 深層学習（DNN*）を用いた認識技術の構築状況
 - LiDAR評価用仮想環境を用いた認識技術の評価
(広FOV型PCSEL-LiDAR【Step1】は2025年度に開発見込み)
- 認識モデルの小型演算装置への搭載に向けた検討



昨年度評価した多様な天候環境下での評価例
(逆光における影響評価)

*DNN: Deep Neural Network

低反射率物体の限界検知距離評価の概要

■ 試験概要

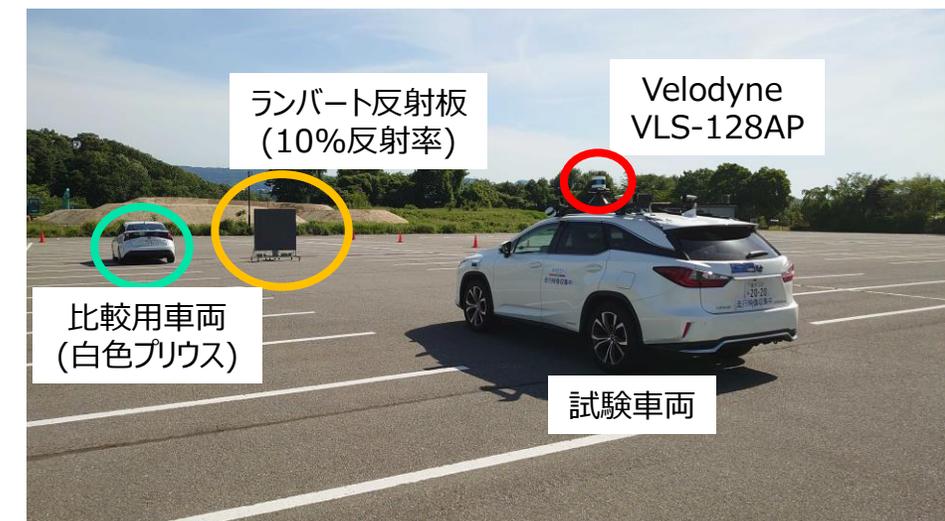
- 金沢大学構内の駐車場で評価
 - 天候：晴れ
- 計測ターゲット
 - ランバート反射板（10%反射率）
 - 反射率が低いので測距が難しい
 - 比較用車両（白色プリウス）
 - 反射率が高い（白色）なので測距がしやすい

■ 評価方法

- 計測ターゲットの位置は固定
- LiDAR搭載試験車両を後退し，限界検知距離を目視で確認

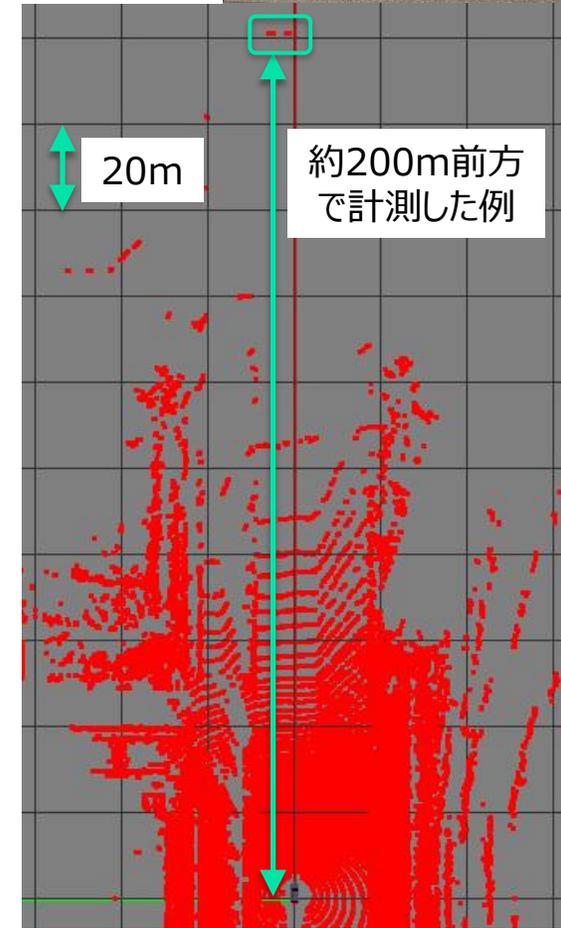
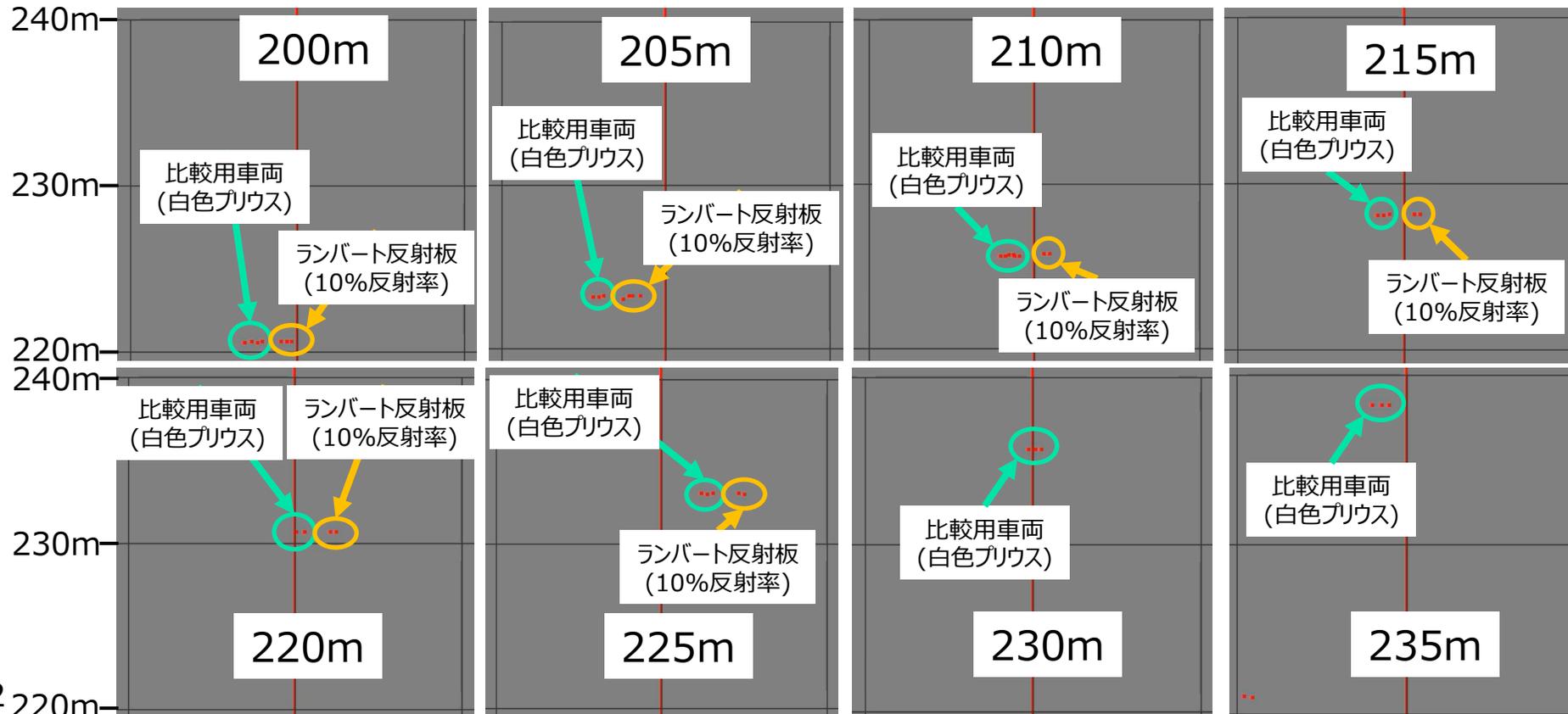


駐車場の250m直線区間を利用



低反射率物体の限界検知距離評価の結果

- 10%反射率のランバート反射板の場合
 - 概ね225m程度まで計測可能
- 比較用車両（白色プリウス）の場合
 - 概ね250m程度の計測範囲内では全距離で計測可能
 - 遠方ではLiDARの上下方向の解像度が低いとそもそもレーザが物体に照射されず計測できない場合もある（遠距離では高角度分解能化が必須）



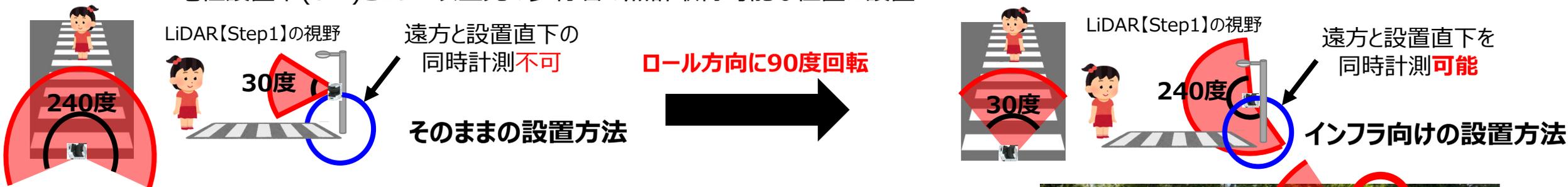
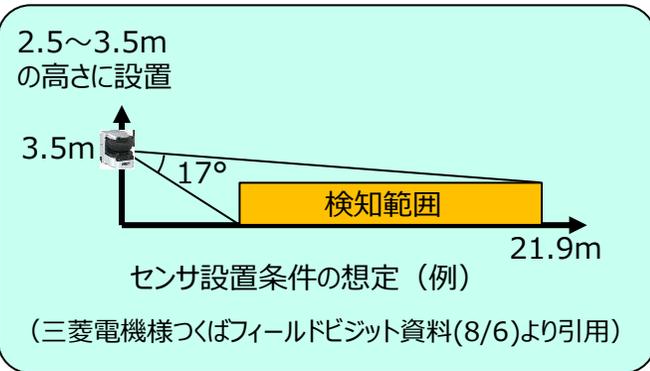
LiDAR評価用仮想環境の構築

■ オープンソースシミュレータCARLAで広FOV型LiDARのセンサモデル構築

- レーザをジグザグに走査しながら回転させ広範囲を3次元で計測

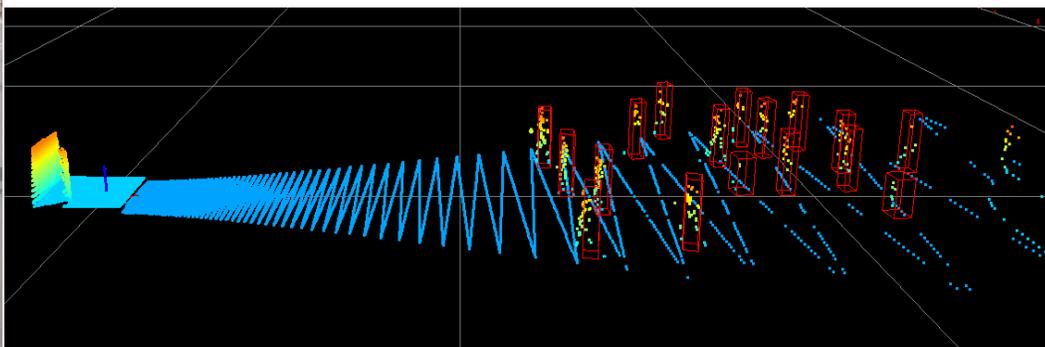
■ 8/6 筑波大コンソのフィールドビジット等を踏まえた実ユースケースを想定したシミュレーション

- 歩行者専用道路で電柱等へ広FOV型LiDARを設置し歩行者の移動シーン観測を想定
 - 電柱設置下(0m)と20m以上先の歩行者の点群取得可能な位置に設置



■ 深層学習による認識モデル構築のために大量のセンサデータを生成

- 複数の地点, 人密度, 歩行パターン(スピード等)等の多くの種類のデータを生成
- 実環境を想定した点群の計測誤差(ノイズ)を再現



つくば駅周辺のペDESTリアンデッキを想定したモデル化のイメージ※
(三菱電機様つくばフィールドビジット) ※設置に向けては今後調整要

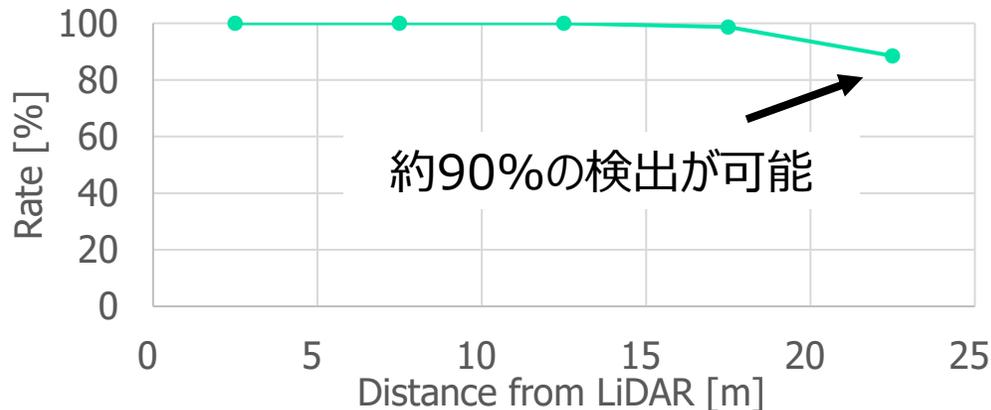
広FOV型LiDARへの適用を目指した認識モデルの開発

■ 広FOV型LiDARモデルの特徴

- 歩行者サイズの物体を概ね25m程度まで検知可能
 - 物体種別の識別をしない場合

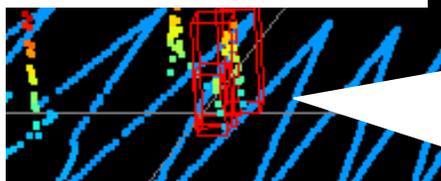
■ 物体種別の識別に向けた深層学習認識モデルの検討

- 時系列的点群特徴量蓄積による新しい認識モデルを開発
 - 歩行者の「動き」に基づく点群のソフト的な分解能向上
 - 約25mから検出可能, 0~20m付近では連続的に歩行者識別可能

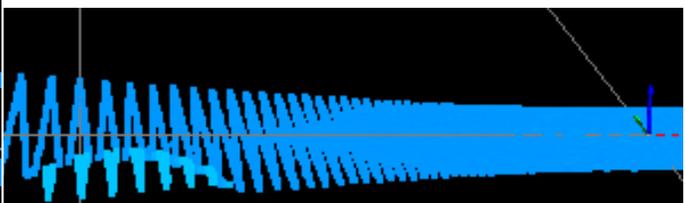


歩行者領域内に5点以上の観測点が得られた割合

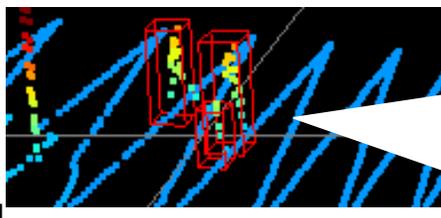
蓄積無の認識結果
(通常の認識モデル)



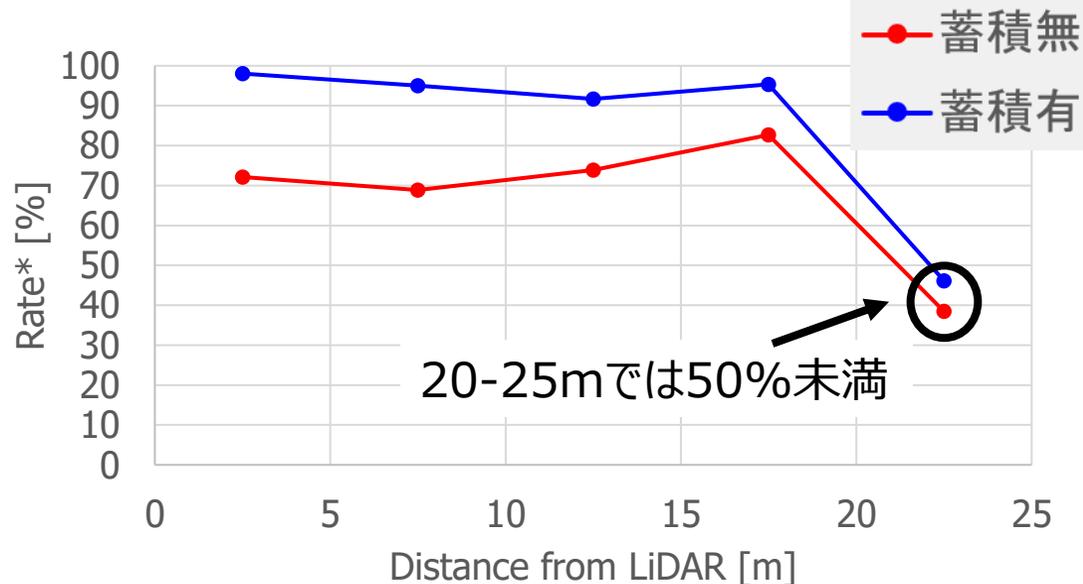
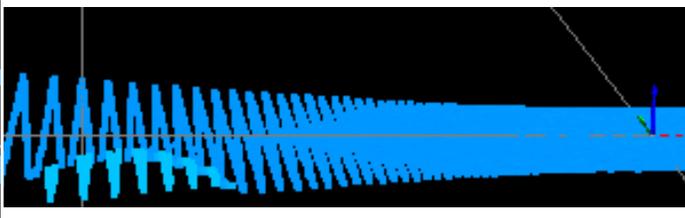
約20m先の歩行者を一部未検出



蓄積有の認識結果

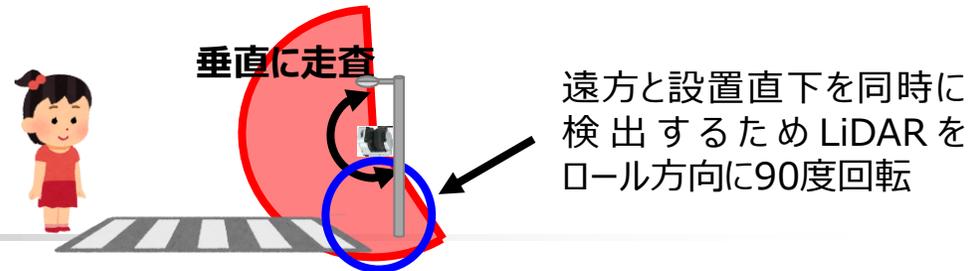


約20m先の歩行者を正しく検出



種別が歩行者として検出された割合

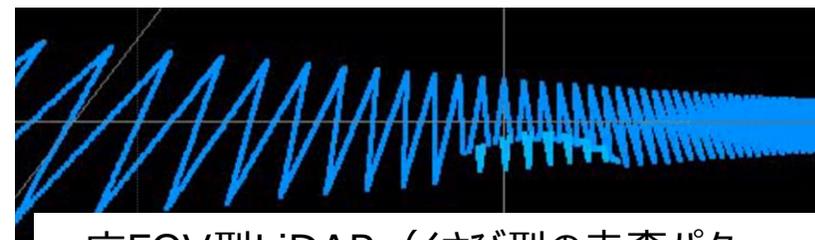
他社製LiDARとの比較



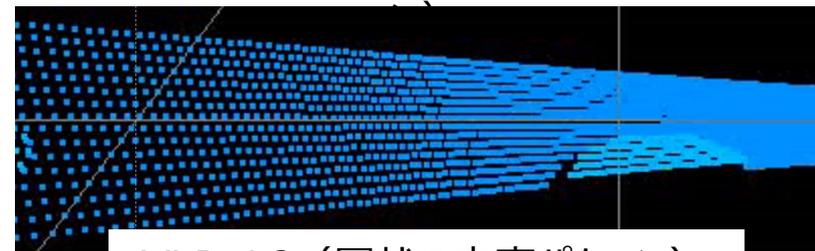
他社製LiDARとの比較

- 広FOV型LiDAR（京都大学，北陽電機）の特徴
 - ジグザグに走査しながら広範囲を走査（くさび型の走査パターン）
 - 近距離での点群取得可能数が多い
- 他社製LiDAR（Velodyne社VLP-16）の特徴
 - 層状のレーザが回転することで点群を取得（層状の走査パターン）
 - 遠距離においてレイヤー間に歩行者が収まると点群取得不可

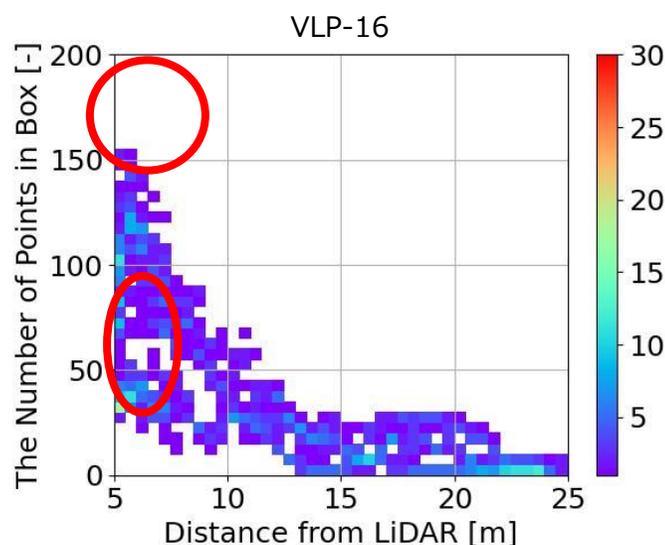
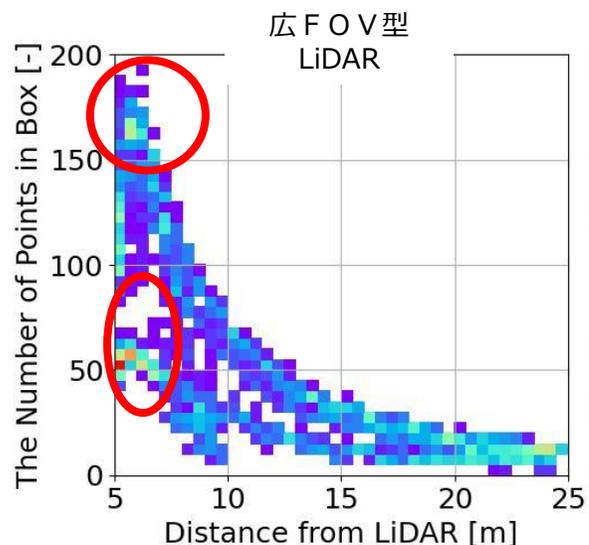
歩行者等の小物体認識には有効な走査パターン



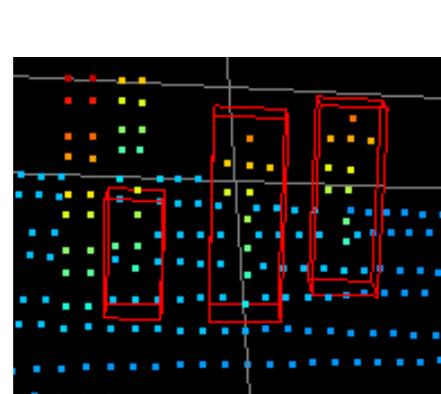
広FOV型LiDAR（くさび型の走査パターン）



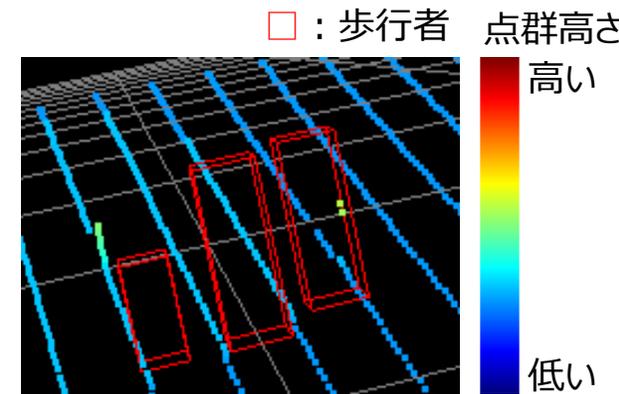
VLP-16（層状の走査パターン）



LiDAR設置位置からの距離に対する歩行者の点群数



広FOV型LiDAR
少数であるが点群取得可能



VLP-16
遠距離でレイヤー間に収まると点群取得不可

□：歩行者 点群高さ

高い

低い

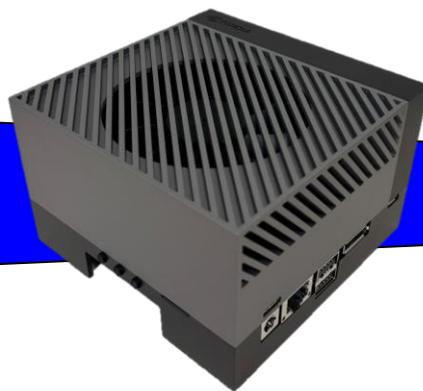
認識モデルの小型演算装置への搭載に向けた検討

■ インフラセンサ等への搭載に向けて演算装置の小型化についても検討中

- 小型装置の準備
 - Anvil, Orin, Raspberry Pi等の小型装置への実装を順次進行中
- 認識モデルの軽量化の検討
 - モデルのTensorRT*化によるリアルタイム運用の実装を順次進行中

*深層学習モデルの軽量化・GPU利用最適化による高速化可能なソフトウェア開発キット

現状



名刺

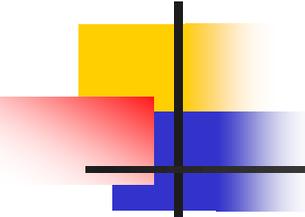
超小型



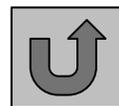
AIアドオンボード：約2万円程度
(大量生産化でコストダウン可)

今後

- Anvil @ConnectTech (NVIDIAチップ搭載)
 - 組み込み用計算機
- W x D x H = 205mm x 136mm x 98mm (計測値)
 - 名刺約5枚分の面積
- Orin @NVIDIA
 - 小型開発キット
- W x D x H = 110mm x 110mm x 71.65mm
 - 名刺約2.5枚分の面積
- Raspberry Pi (AIチップ搭載)
 - IoT用デバイス
- W x D x H = 85mm x 56mm x 17mm
 - 名刺約1枚分の面積



成果発信・社会実装に向けた取り組み (p.38~p.41)



カード型PCSEL-LiDARを用いたSIP包摂との連携の様子

多摩ニュータウンでの実証実験 (2025/2/19)

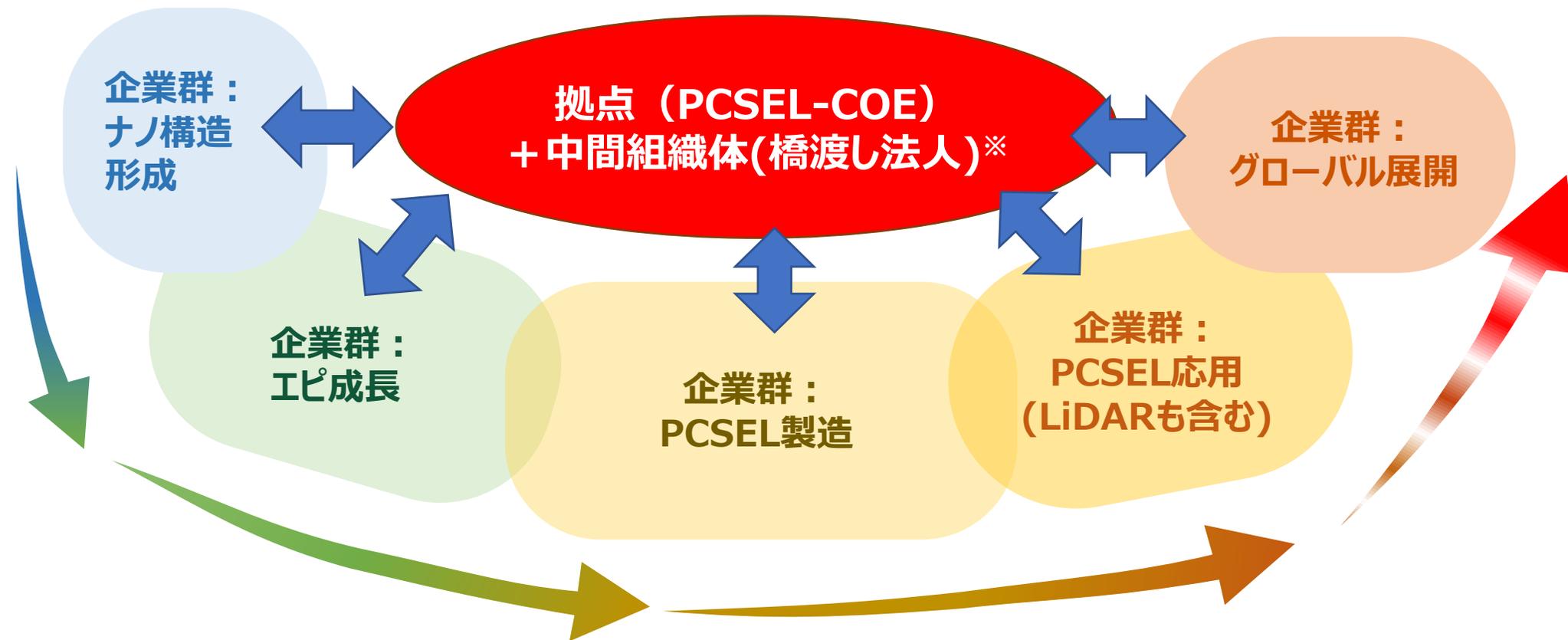


参加頂いた方からの頂いたコメント：

- ・ 実装するスペースが殆ど無い中で、この小型性は大変助かる
- ・ 太陽光（特に夕日）や明暗の影響を受けにくいLiDARは重要
- ・ 極めて小型なので、魅力的、是非、使ってみたい

STEP 1, STEP2における社会実装体制

量産対応可能なナノ構造形成企業、半導体結晶成長企業、デバイス作製企業、ユーザー企業、さらには海外機関等が様々に連携可能なエコシステムを構築しており、多くの企業からの社会実装が期待される体制がすでに出来ている



※ 大学と企業との中間に位置し、企業の社会実装活動を支援する**中間組織体(橋渡し法人)**として、**一般社団法人『京都大学フットニック結晶レーザー研究所』**を、2024年12月2日に設立

(役割：PCSELの応用・社会実装に関する研究開発、ネットワーキング・普及活動、素子提供、装置類の貸出、技術支援・指導、人材育成など)

新法人『京都大学フォトニック結晶レーザー研究所』

これまで

整備・強化を進めてきた
PCSEL京大拠点



京都大学
(既存の組織)

PCSEL研究開発拠点
(光・量子拠点)

- ・新コンセプト発案
- ・新技術のR&D
- ・試作品の貸し出し (MTA)
- ・インテリジェンス提供

- 様々な大規模な共同研究・共同開発を実施
- ただし、大学内組織のため、Businessユース (試料の提供・量産試作等) は困難
- 大学の枠を超える段階にきている

密接に連携



新法人『京都大学フォトニック
結晶レーザー研究所』

さらなるPCSEL普及、社会実装
加速のための法人

大学等とは分離された組織
ビジネスベースでもアクセス可能な組織

フラウンホーファー/IMEC型をも
参考にしつつ、独自の
橋渡し法人の構築

- ・研究開発 (応用・社会実装)
- ・ネットワーキング、普及活動
- ・素子提供
- ・装置類の貸出、技術支援・指導
- ・人材育成

企業が様々な活用できるように
することで、超スマート社会構築
に寄与していく

国の支援による成果の海外流出を
防ぎ、日本の優位性を確保し、経済
安全保障にも資する工夫

量産可能なエコシステム構築も

様々な企業との連携強化、
企業間の連携の橋渡し、
国家プロジェクトの核としての機能
等々

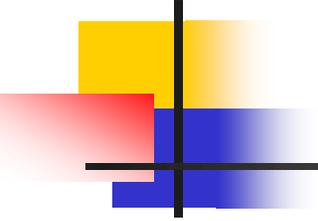
橋渡し法人（中間組織体）：一般社団法人 「京都大学フォトニック結晶レーザー研究所」設立について

2024年12月2日設立（12月6日プレス発表/ホームページ掲載）

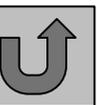
京都大学記者クラブ加盟各社 御中
在阪民放四社京都支局協議会加盟各社 御中

「一般社団法人 京都大学フォトニック結晶レーザー研究所」設立 に関する記者レクのご案内について

京都大学は、フォトニック結晶レーザー（PCSEL : Photonic-Crystal Surface-Emitting Laser）研究において世界をリードしています。PCSEL は、フォトニック結晶（屈折率が異なる物質を光の波長と同程度の間隔で並べたナノ周期構造の人工結晶）を活用した半導体レーザーで、高出力・高ビーム品質動作が可能で、かつ様々な機能性をもつことを特長としています。センシング、レーザー加工、光通信、モバイル、医療・生命科学、宇宙（衛星間通信や宇宙計測、宇宙セイル推進等）、さらには極端紫外線（EUV）発生、核融合など、様々な分野への応用が期待されます。



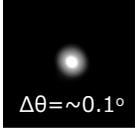
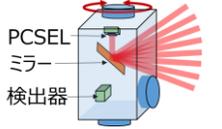
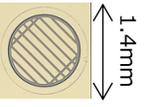
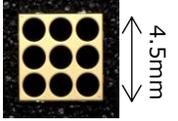
工程表・達成度(p.43~p.45)



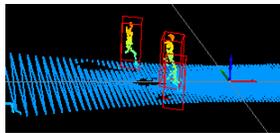
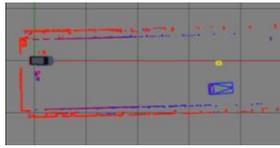
工程表

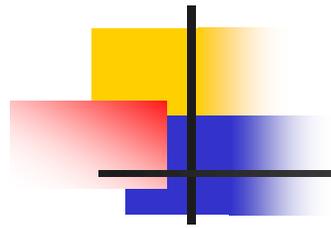
実施項目			2023				2024				2025				2026				2027				
			Q1	Q2	Q3	Q4																	
① 3次元PCSEL-LiDARシステムの開発	STEP1. 「広FOV型の3次元PCSEL-LiDARの開発」	面垂直型PCSELの高度化・作製																					
		広FOV型3次元PCSEL-LiDARの設計・試作																					
	STEP2. 「非機械式3次元PCSEL-LiDARの開発」	多点照射型PCSELの設計・作製・深化																					
		SPADの入手・制御ユニットの開発																					
		PCSEL駆動回路の設計・開発																					
		非機械式3次元PCSEL-LiDARの設計・試作																					
追加項目	カード型LiDAR開発																						
② 生活ゾーン・賑わいのある道路空間の実態把握システムの開発と実証実験の実施	A. 「LiDARを用いた認識技術の開発」 A. 「LiDARを用いた認識技術の開発」	最新の認識アルゴリズムの調査																					
		仮想環境を用いたセンシング環境の構築																					
		小型演算装置で処理可能な認識アルゴリズムの開発																					
		認識範囲の拡大を目指した認識モデルの改善																					
		インフラ・車載センサを協調させた認識モデルの構築																					
		既存LiDARセンサの評価																					
	B. 「LiDARを用いた実証実験の実施」	既存LiDARを用いた公道走行実験																					
		広FOV型LiDARをインフラセンサとして用いる実証実験																					
		広FOV型LiDARを車載センサとして用いる実証実験																					
		複数PCSEL-LiDAR等を設置した試験車両構築																					
		インフラセンサや車載センサ等を協調させた実証実験																					

2024年度研究開発達成度(京都大学)

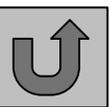
実施項目		開発項目の状態		イラスト	完了率・完了時期
3次元PCSEL-LiDARシステムの開発	STEP1 : 広FOV型3次元PCSEL-LiDARの開発	面垂直出射型PCSELの高度化	完了 : 面垂直出射型PCSELの理想的なガウスビーム化完了 残 : 無し		
		高FOV型PCSEL-LiDARの仕様策定	完了 : FOV、距離、分解能、狭帯域バンドパスフィルター等の基本仕様の確定 残 : 無し		
		高FOV型PCSEL-LiDARの設計・試作	完了 : 投光系・受光系・ミラー系・回転系・回路等の設計、第一次試作完了、各要素の評価およびフィードバック済 残 : 無し		
		背景光カット用狭帯域バンドパスフィルターの設計・作製	完了 : PCSELの特徴を活かした狭帯域(通常の1/4)のバンドパスフィルターの設計、試作の完了 残 : 無し (ただし、特性向上を引き続き行って行く)		
	【追加項目】カード型PCSEL-LiDARの開発	カード型PCSEL-LiDAR仕様策定	完了 : FOV、距離、分解能、重量、消費電力、使用温度範囲、耐衝撃等も含めた仕様の確定 残 : 無し		
		カード型PCSEL-LiDARの試作	完了 : 投光系・受光系・回転系・ミラー系・回路・パッケージング等の作製・調達・評価、狭帯域フィルター導入、組み立て 残 : 無し		
	STEP2 : 非機械式3次元PCSEL-LiDARの開発	多点照射PCSELの単一素子の作製・評価	完了 : PCSELの単一素子の設計・作製・評価 残 : 無し		
		2次元SPADアレイの入手・初期評価	完了 : 2次元SPADアレイの入手およびPCSELを用いた3次元測距の初期評価完了 残 : 無し (ただし、細かな特性評価を引き続き行っていく)		
		PCSELアレイの開発(前倒し:SPADアレイとの組み合わせ着手)	完了 : PCSELアレイの設計、第一試作完了、PCSELアレイの実装、特性評価 残 : 無し(前倒し項目としてSPADとの組み合わせに着手済)		

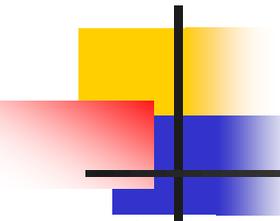
2024年度研究開発達成度(金沢大学)

実施項目		開発項目の状態		イラスト	完了率・完了時期
生活ゾーン・賑わいのある道路空間の実態把握システムの開発と実証実験の実施	LiDARを用いた認識技術の開発	仮想環境を用いたセンシング環境構築	完了：CARLAを用いたLiDAR評価用仮想環境の構築および広FOV型LiDAR【Step1】のセンサモデルの構築完了 残：無し		
		認識アルゴリズムの検討	完了：深層学習を用いた基礎的な認識モデルとしてPointPillarsを実装し、実データおよび仮想環境で動作確認試験および定量評価を実施 残：無し		
	LiDARを用いた実証の実施	LiDARセンサデータの評価試験の実施	完了：雨、霧等の特異環境や遠距離におけるLiDARの計測特性の計測完了 残：無し		
		PCSEL-LiDARを車載センサとして用いる実証実験の実施に向けた準備	完了：石川県金沢市、東京都臨海部等における既存LiDARを用いた認識評価用センサデータの取得試験の実施 残：無し（次年度も継続予定）		
		PCSEL-LiDARをインフラセンサとして用いる実証実験の実施に向けた準備	完了：筑波大コンソのフィールドビジット等を踏まえた実ユースケースを想定したシミュレーションデータの生成 残：無し		



関連成果の発信・国際的発信と連携(p.47~p.51)





関連成果の発表・国際的発信と連携

国際会議（プレナリー、キーノート、招待講演）

- S. Noda, “[Invited] A new light source: Photonic-crystal surface-emitting laser (PCSEL) - On the numerous possibilities for realizing a smart society -,” The Optics and Photonics International Congress (OPIC) 2024/ BFSS, 2024年4月24日.
- T. Inoue, S. Noda, et al., “[Invited] Short-pulse high-power photonic-crystal surface-emitting lasers,” The Optics and Photonics International Congress (OPIC) 2024/ ALPS, 2024年4月23日.
- M. Yoshida, S. Noda, et al., “[Invited] Kilowatt-class high-peak-power pulsed operation of large-area photonic-crystal surface-emitting lasers,” The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2024, 2024年5月7日.
- T. Inoue, S. Noda, et al., “[Invited] Temporal control of photonic-crystal surface-emitting lasers,” Compound Semiconductor Week (CSW) 2024, 2024年6月5日.
- S. Noda, “[Invited] Photonic-crystal surface-emitting lasers (PCSELS) for paradigm shift towards smart society (Society 5.0),” IEICE Distinguished Lecturer’s Webinar, 2024年6月25日.
- S. Noda, “[Tutorial] Photonic-crystal surface-emitting lasers - Tutorial,” The 29th Opto-Electronics and Communications Conference (OECC 2024), 2024年7月3日.
- S. Noda, “[Invited] Ultra-large area coherent lasing action through Hermitian/non-Hermitian control in photonic crystals,” The 14th Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META 2024), 2024年7月17日
- S. Noda, “[Invited] High-brightness scalable continuous-wave single-mode photonic-crystal laser (PCSEL),” The 16th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO-PR 2024), 2024年8月9日.
- K. Aoki, S. Noda, et al., “[Invited] High-power CW/pulsed operations of 1.55- μm -wavelength photonic-crystal surface-emitting lasers,” IEEE 29th International Semiconductor Laser Conference (ISLC 2024), 2024年9月29日-10月2日.
- S. Noda, “[Plenary] High-power, high-beam-quality, high-functionality photonic-crystal surface-emitting lasers – For paradigm shift towards realizing smart society,” Advanced Solid State Lasers Conference (ASSL) 2024, 2024年10月20-24日.
- S. Noda, “[Keynote] Recent Progress in High-Brightness and High-Functionality Photonic-Crystal Surface-Emitting Lasers,” International Workshop on PCSELS 2024, 2024年11月7-8日.
- S. Noda, “[Tutorial] Photonic-crystal surface-emitting lasers,” The IEEE Photonics Conference (IPC) 2024, 2024年11月10-14日.

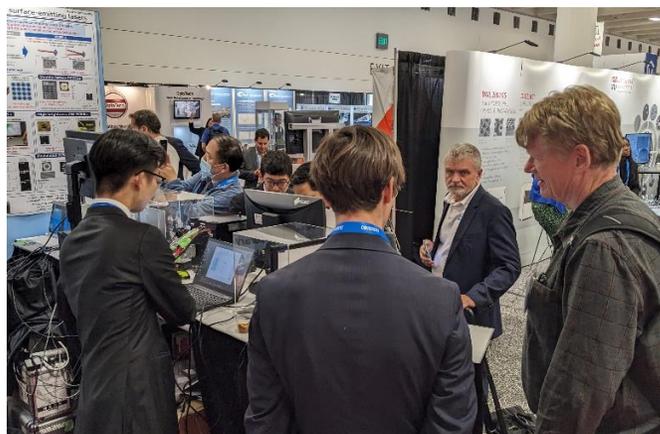
関連成果の発表・国際的発信と連携

セミナー、チュートリアル講演

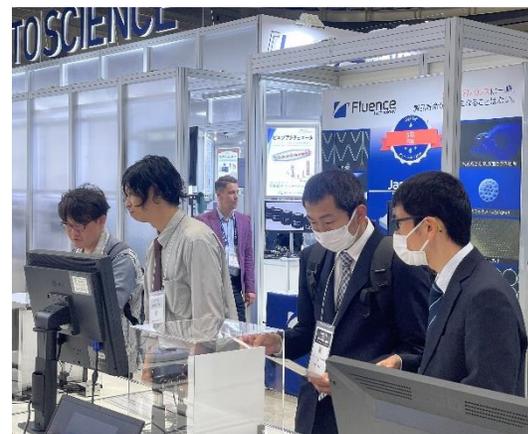
- ・ 野田進, “[招待] 超スマート社会(Society 5.0)実現に向けたフォトニック結晶レーザー技術の進展”, 第27回 KECテクノフォーラム, 2024年1月16日.
- ・ 野田進, “[チュートリアル] フォトニック結晶レーザー：その基礎から最新動向まで”, 電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会 (LQE), 2024年5月28日.
- ・ 野田進, “[招待] 新たな光源技術：フォトニック結晶レーザー (PCSEL) –スマートモビリティ・スマート製造の発展に向けて–”, テクノロクス・イノベーション・フォーラム2024, 2024年7月11日.
- ・ メーナカ デ ゾイサ, 野田進, “[招待] フォトニック結晶レーザーとLiDARセンシングへの応用”, 光・レーザー関西2024 併設オープンセミナー, 2024年7月17日.

展示会

・ SPIE Photonics WEST 2024 (2024年1月30日～2月2日)



・ OPIE 2024 (2024年4月23日～4月26日)



関連成果の発表・国際的発信と連携

国際連携

- ドイツのフラウンホーファーIMS・ISIT研究所：PCSELとSPADを用いたセンシング技術構築に関する連携

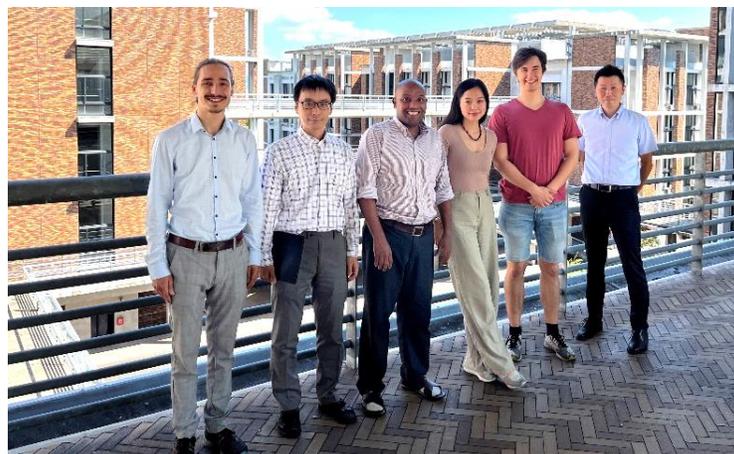
SIP開始時（2023年10月）から現在までの、フラウンホーファーとの会議等												
京都大学 拠点訪問	23年10月	23年11月	23年12月	24年1月	24年2月	24年3月	24年4月	24年5月	24年6月	24年7月	24年8月	24年9月
→	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

- オランダのナノインプリント企業：フォトニック結晶レーザーのナノ構造の量産作製技術に関する連携

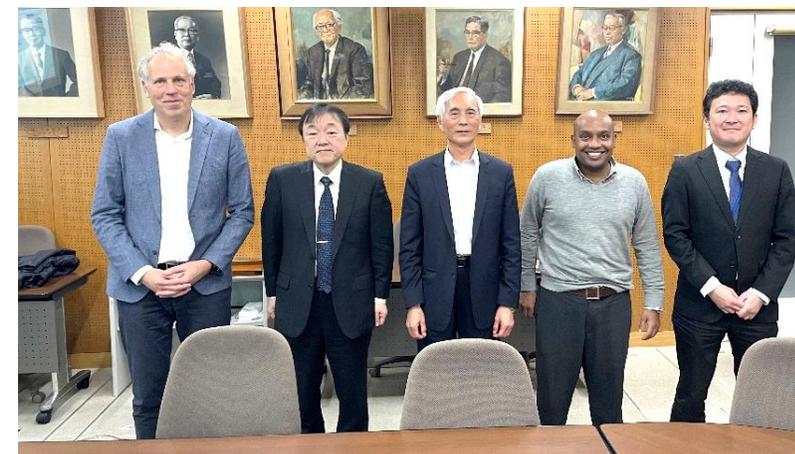
フラウンホーファー(独)との会議の様子



フラウンホーファー(独)の京都大学の訪問



ナノインプリント企業(蘭)の京都大学の訪問



関連成果の発表・国際的発信と連携

国際連携

- ・ オランダのエコシステムのフオンデルタ：MOUのもとでのイベント等を通じた交流

24年9月25-26日:オランダからの学生を交えた国際セミナー開催の様子



24年9月27日-10月11日:日蘭で一週間ずつ交代で滞在しながらのグループワークイベント(初日の京大での様子)

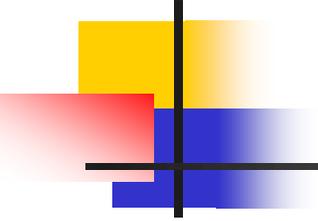


関連成果の発表・国際的発信と連携

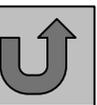
国際連携

- ・ International Workshop on PCSEL (7-8th, November, 2024)





ロードマップ^o・実施体制(p.53~p.54)



研究開発項目とロードマップ



SIP第2期成果

金沢大学を中心とする実証実績



インフラ協調実証実験

◆ 金沢大学

② 認識技術の開発と
実証実験の実施

**PCSEL搭載2次元LiDAR
(SIP第2期成果)の適用性の実機評価**

PCSELの実機での評価とフィードバック
2次元PCSEL-LiDAR
の適用性の実機評価



PCSEL搭載2次元LiDAR
**京都大学・エコシステム
+ 北陽電機**

① 3次元PCSEL-
LiDARシステムの開発

3次元PCSEL-LiDAR
に向けた光源の設計



フォトニック結晶レーザー
(PCSEL)

◆ 京都大学 PCSEL-COE

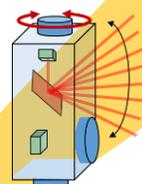
② A. 認識技術
の開発

◆ 金沢大学



② B. インフラセン
シング実証実験

プロトタイプの広FOV型3次元
PCSEL-LiDARの試験



広FOV型3次元PCSEL-LiDAR
の試作: 25年9月末予定
(注) 広FOV型LiDARの
仕様確定: 25年3月予定

非機械式3次元PCSEL-LiDAR
の初期実証(バラック構成)

**バラックでの実証
を前倒して実施**

3次元PCSEL-LiDAR
用の光源の作製

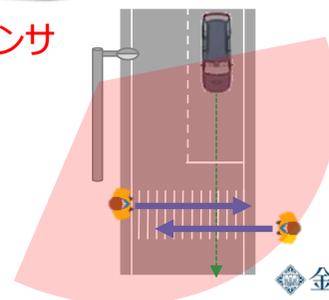
スマートモビリティを革新する3次元PCSEL-LiDARの開発

①【STEP1】広FOV型
3次元PCSEL-LiDARの開発

◆ 京都大学 PCSEL-COE

広FOV型3次元
PCSEL-LiDAR
の動作試験

② B. 車載センサ
実証実験
◆ 金沢大学

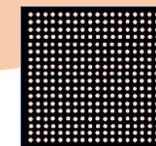


◆ 金沢大学

② B. インフラセンサや車載センサを協調
させたレベル4相当実証実験の実施

非機械式3次元PCSEL-
LiDARのプロトタイプの動作試験

非機械式3次元PCSEL-
LiDARのプロトタイプ(POC)



①【STEP2】非機械式
3次元PCSEL-LiDARの開発

(まずは、PCSEL/SPAD分離
型構成からのスタートを想定)

◆ 京都大学 PCSEL-COE

SIP第3期

1年目

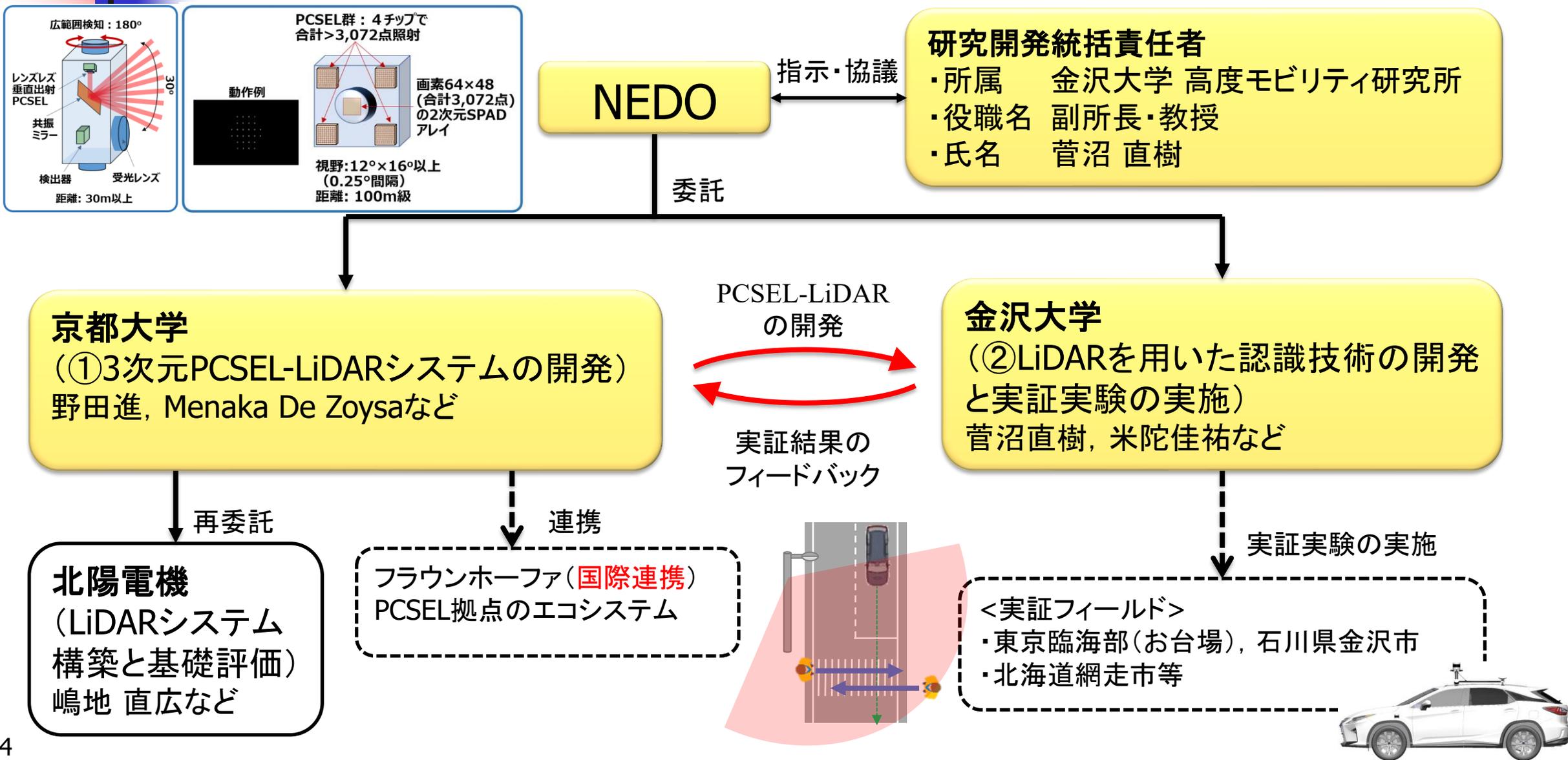
2年目

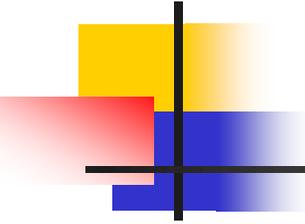
3年目

4年目

5年目

実施体制





本報告書の一部には、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の下で推進する「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第3期／スマートモビリティプラットフォームの構築」(研究推進法人：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) (NEDO管理番号：JPNP23023)の成果が含まれています。