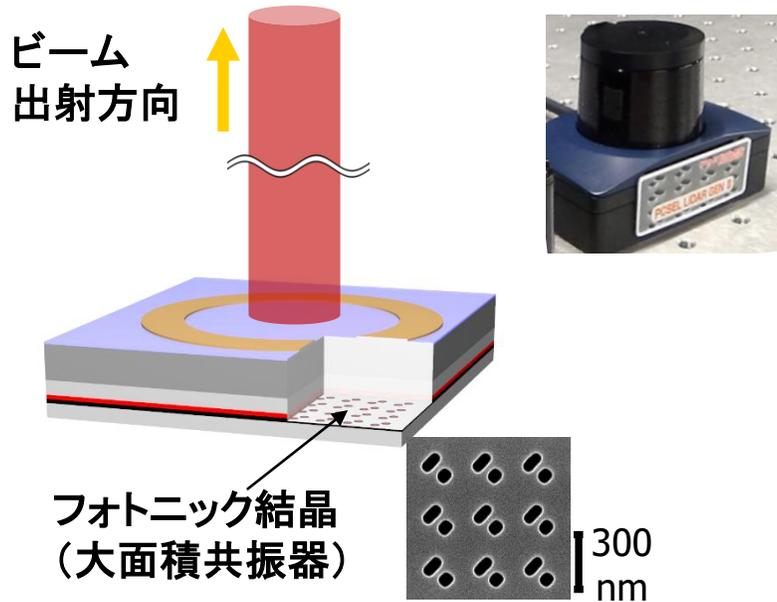
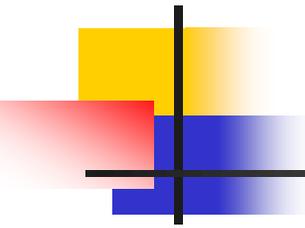


2024年3月 「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期／スマートモビリティプラットフォームの構築／小型PCSEL-LiDAR技術を活用した生活ゾーン・賑わいのある道路空間の実態を把握するインフラ・車載センサシステムの研究開発」



受託者名：金沢大学，京都大学



# 目次

---

- 研究背景(p.3~p.4)▶
- 研究開発の全体概要(p.5)▶
- 工程表(p.6)▶
- 目標(p.7~ p.8)▶
- 本年度の研究開発成果(p.9~p.21)▶
- 目標達成度(p.22)▶
- 研究開発項目とロードマップ(p.23)▶
- 実施体制(p.24)▶

# 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

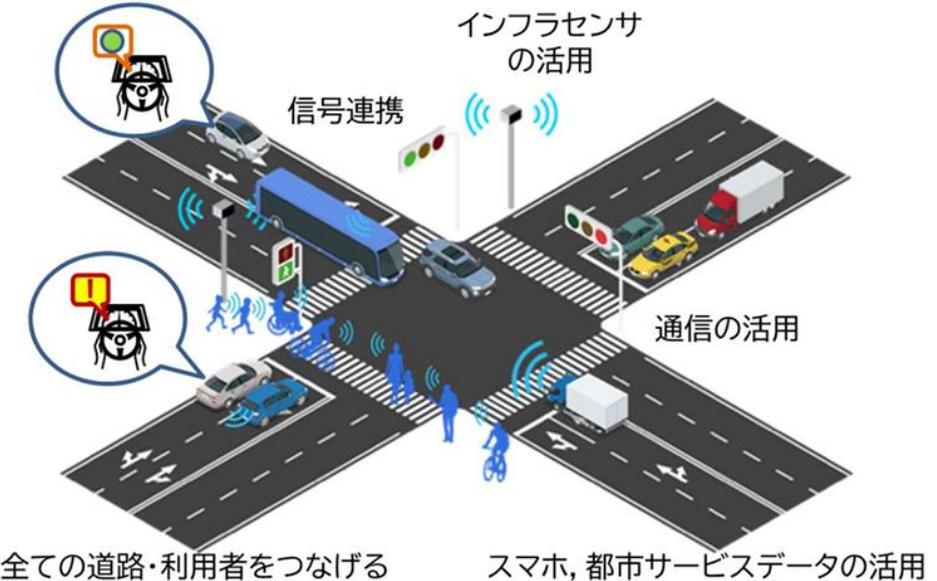
- LiDARのインフラセンサへの活用
  - プライバシーの観点, 分解能の観点から有効
- 車載センサへの活用
  - 運転支援, 自動運転システムへの活用

## ■ 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](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

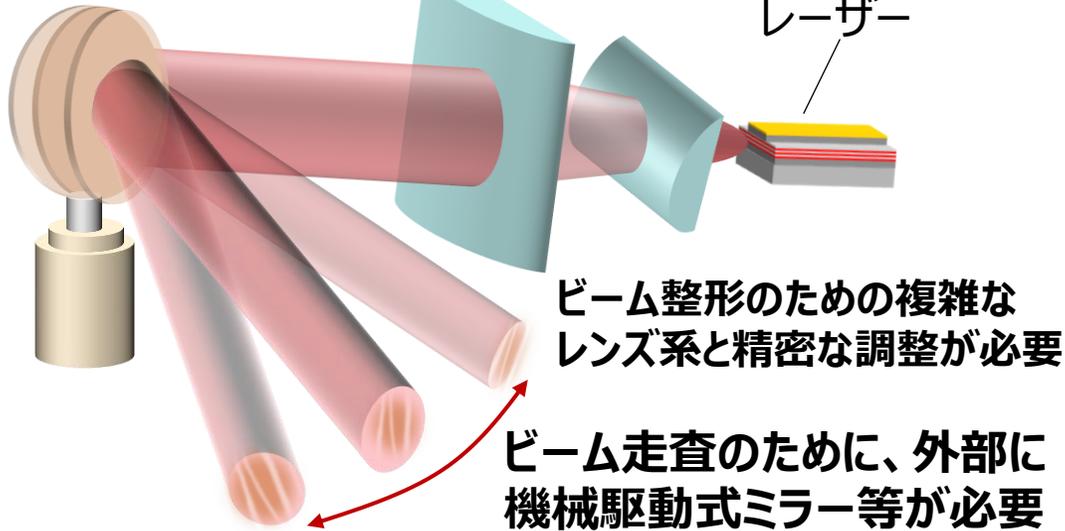
## LiDARにおける通常の半導体レーザーとフォトニック結晶レーザーとの比較

### 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

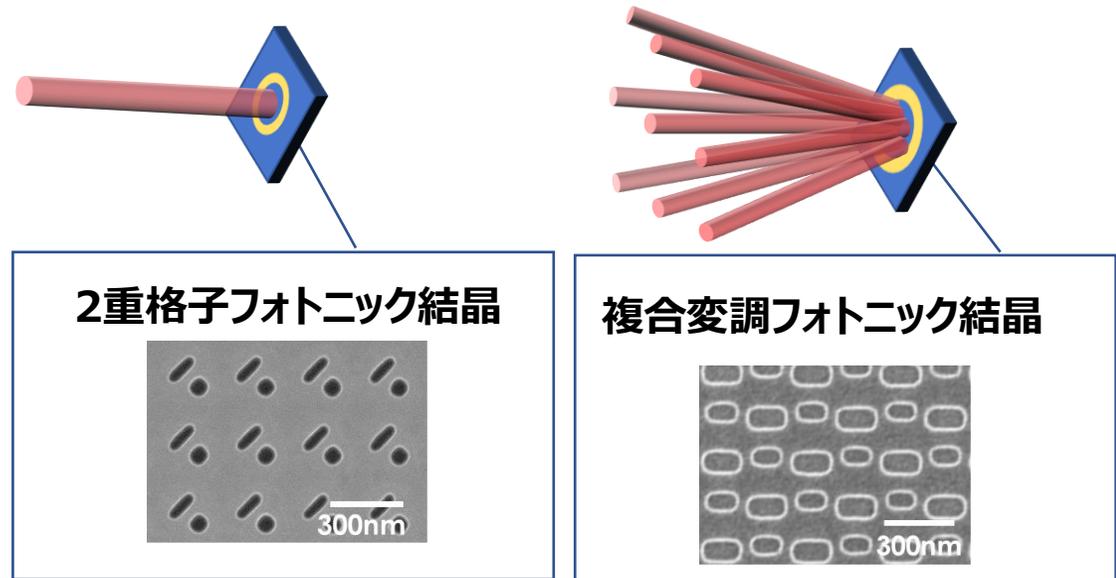
通常の半導体  
レーザー



**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

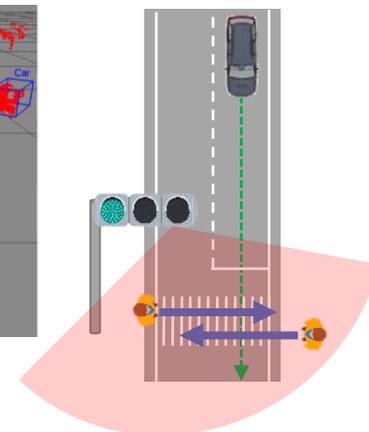
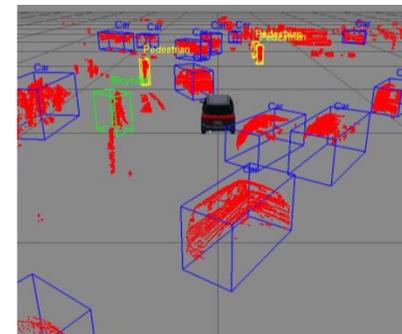
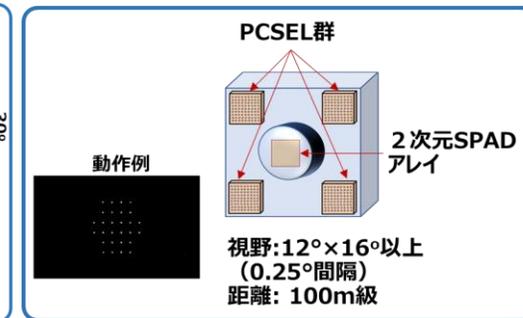
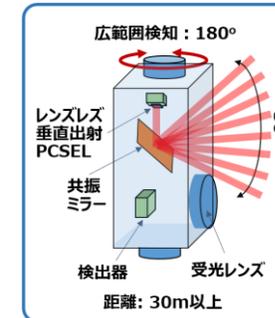


**LiDARシステムの小型化・簡略化・低コスト化：  
ボトルネックの解消**

(\*PCSEL: Photonic Crystal Surface Emitting Laser)

# 研究開発の全体概要

- 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



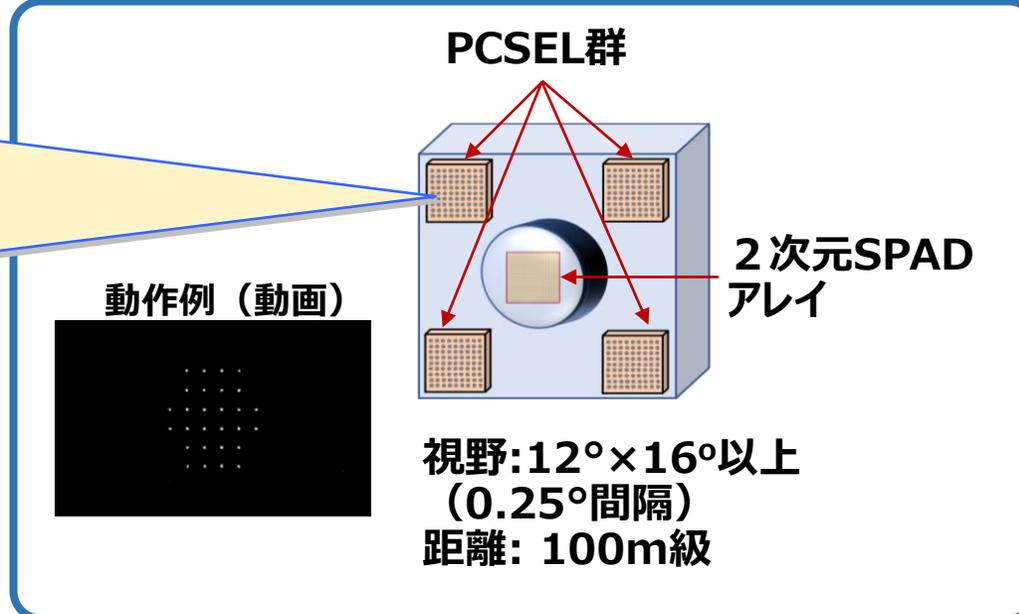
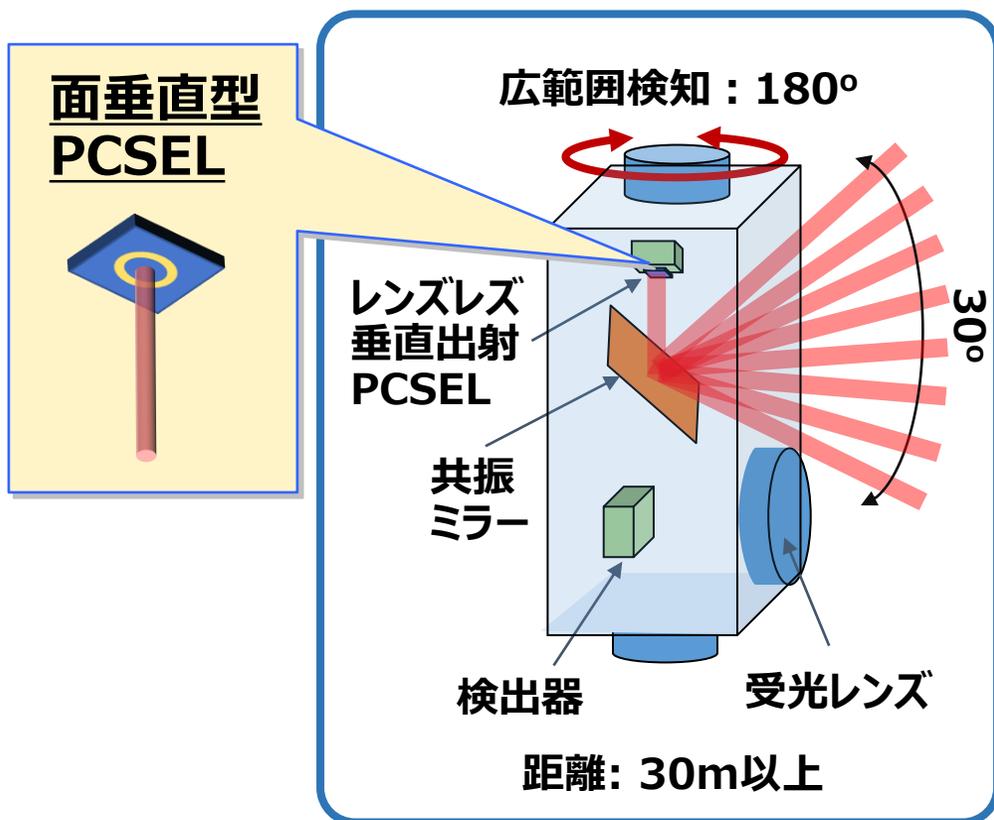
# 工程表

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	カード型広いFOV 2次元PCSEL-LiDARの試作																					
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																					

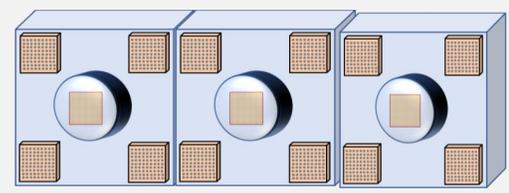
# 開発目標：①3次元PCSEL-LiDARシステム

## STEP1：広FOV型3次元PCSEL-LiDAR

## STEP2：非機械式3次元PCSEL-LiDAR



(注1)複数並べて視野の拡大が可能



(注2) 将来、SPADの高性能化、および、PCSELのピーク出力の向上により、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。

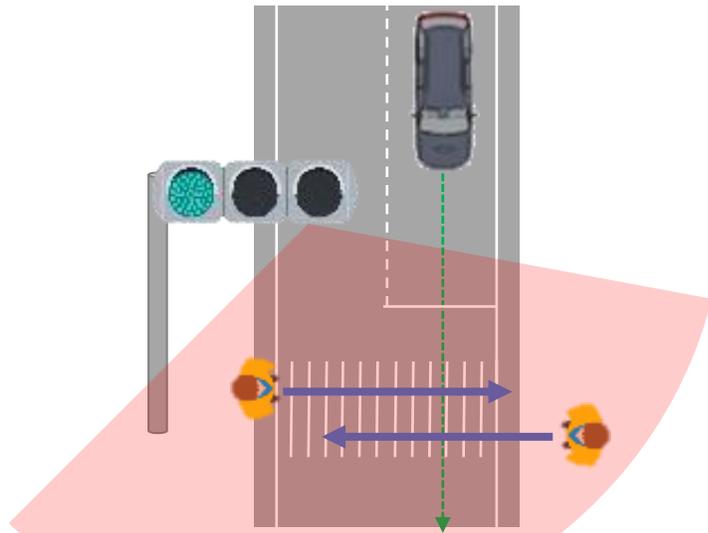
インフラセンサや車両近傍の死角となり得る視野の測距を行えるセンサとして活用

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)

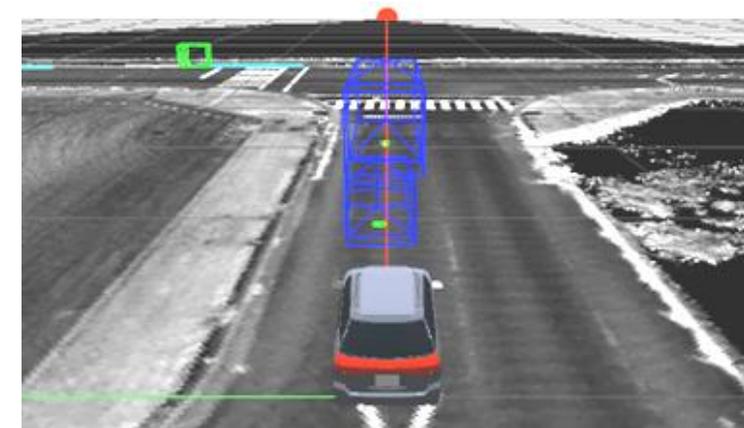
## 最終目標：レベル4相当の自動運転実証実験の実施

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)

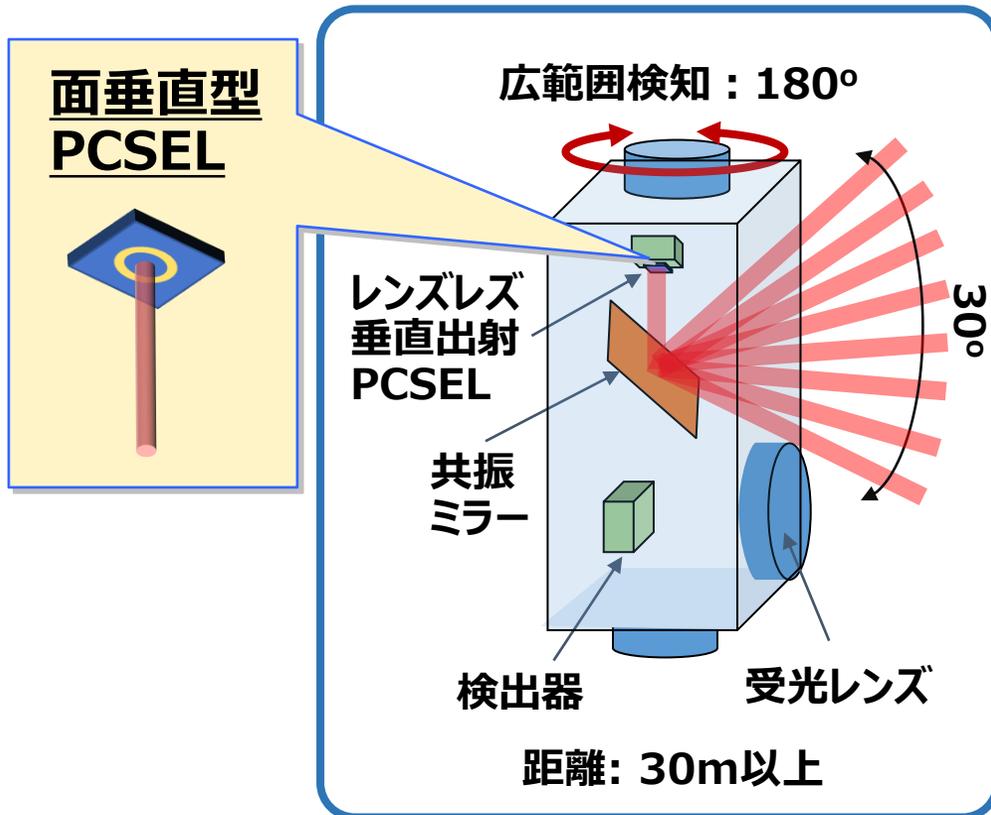


車載環境下での認識

車両前方の監視  
(非機械式PCSEL-LiDAR)

# 本年度の成果：広FOV型3次元PCSEL-LiDAR開発

## STEP1：広FOV型3次元PCSEL-LiDAR



### 開発項目（赤文字は本年度の進捗）

- 垂直型PCSELの高度化（理想的なガウスビーム化）・作製
- 3次元PCSEL-LiDARの試作

（課題間連携の追加項目：  
カード型2次元の広FOV-PCSEL版の試作）

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

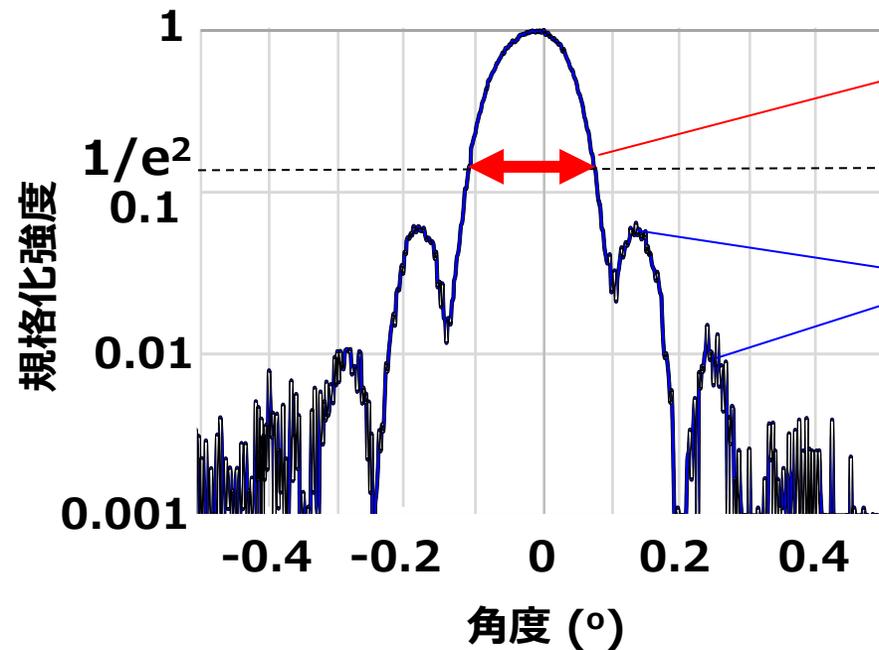
# 面垂直型PCSELの理想的なガウスビーム化

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)

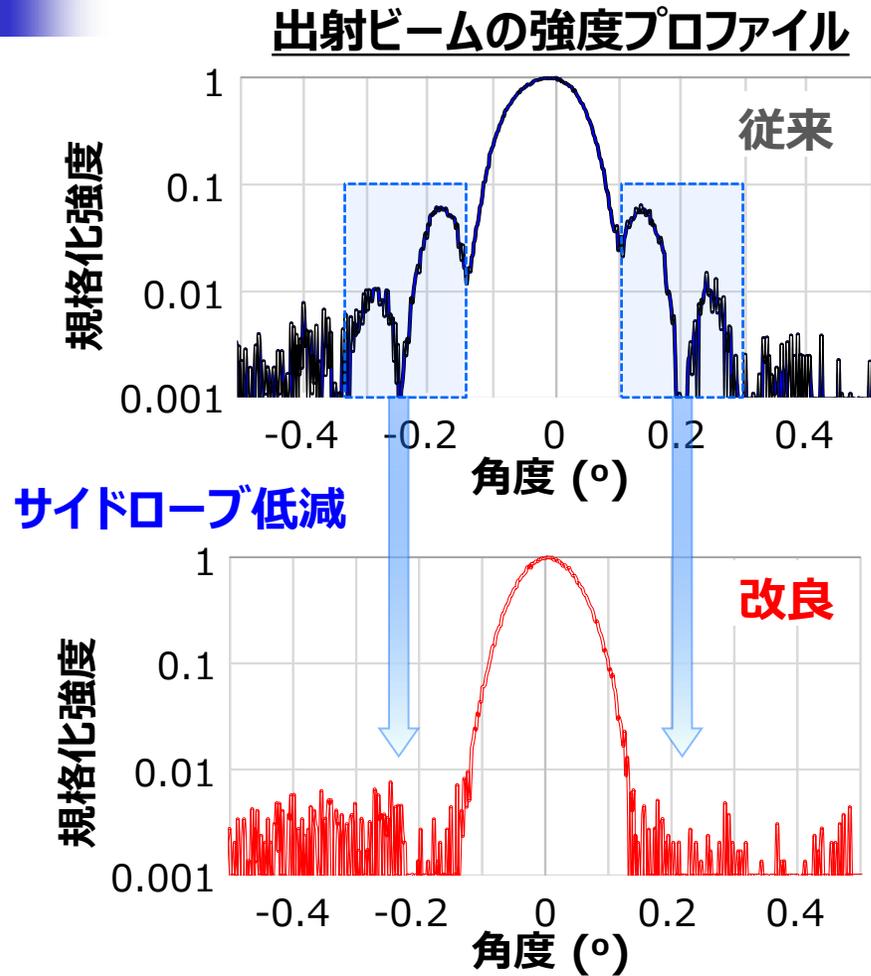


狭い拡がり角 ( $<0.2^\circ$ ) は既に実現

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

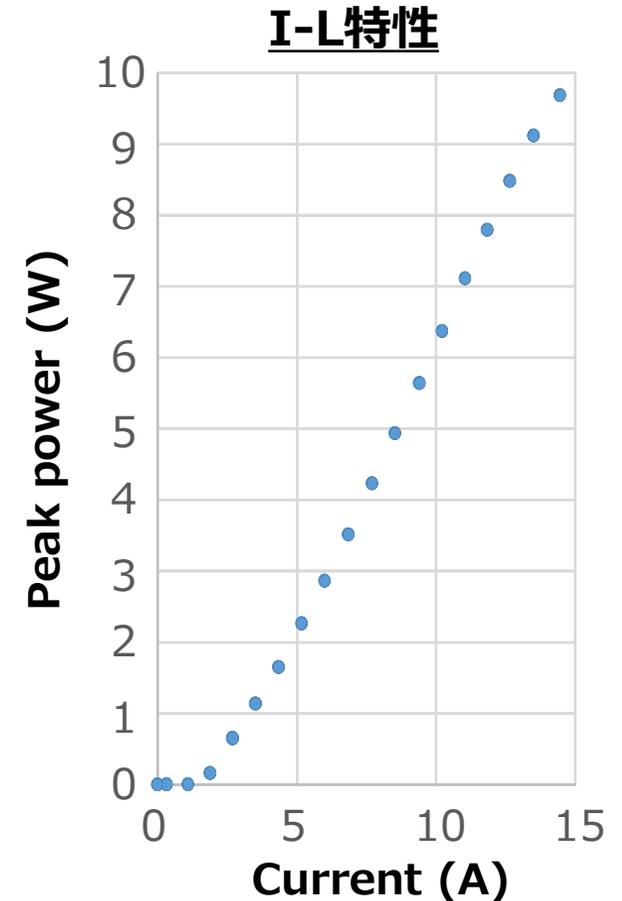
# 作製したPCSELのレーザー特性の測定結果



**出射ビーム形状  
(明るさ強調)**



**出射ビーム形状  
(明るさ強調)**



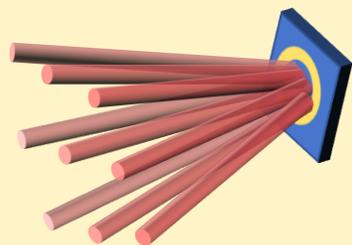
**サイドローブ低減 + 高出力動作に成功**

今後：北陽電機(再委託先)へ提供して、広範囲3次元PCSEL-LiDARの開発に適用

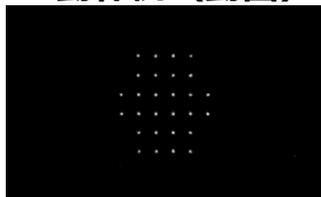
# 非機械式3次元PCSEL-LiDARの開発

## STEP2：非機械式3次元PCSEL-LiDAR

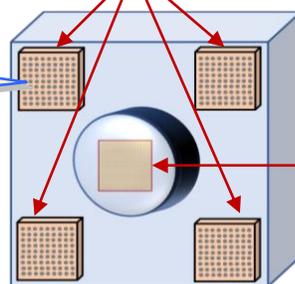
### 多点照射 PCSEL



### 動作例 (動画)



### PCSEL群



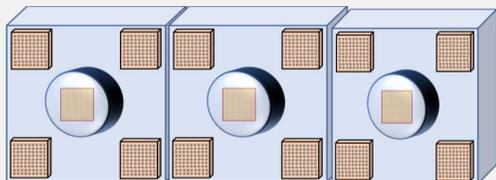
2次元SPAD  
アレイ

視野:  $12^\circ \times 16^\circ$ 以上  
( $0.25^\circ$ 間隔)  
距離: 100m級

### 開発項目 (赤文字は本年度の進捗)

- **多点照射・超短パルスPCSEL  
の設計・作製**
- **2次元SPADアレイの入手と評価**
- PCSEL群の駆動回路の作製、非機械式3次元PCSEL-LiDARの設計・試作
- **200-300mの理論実証**

(注1)複数並べて視野の拡大が可能

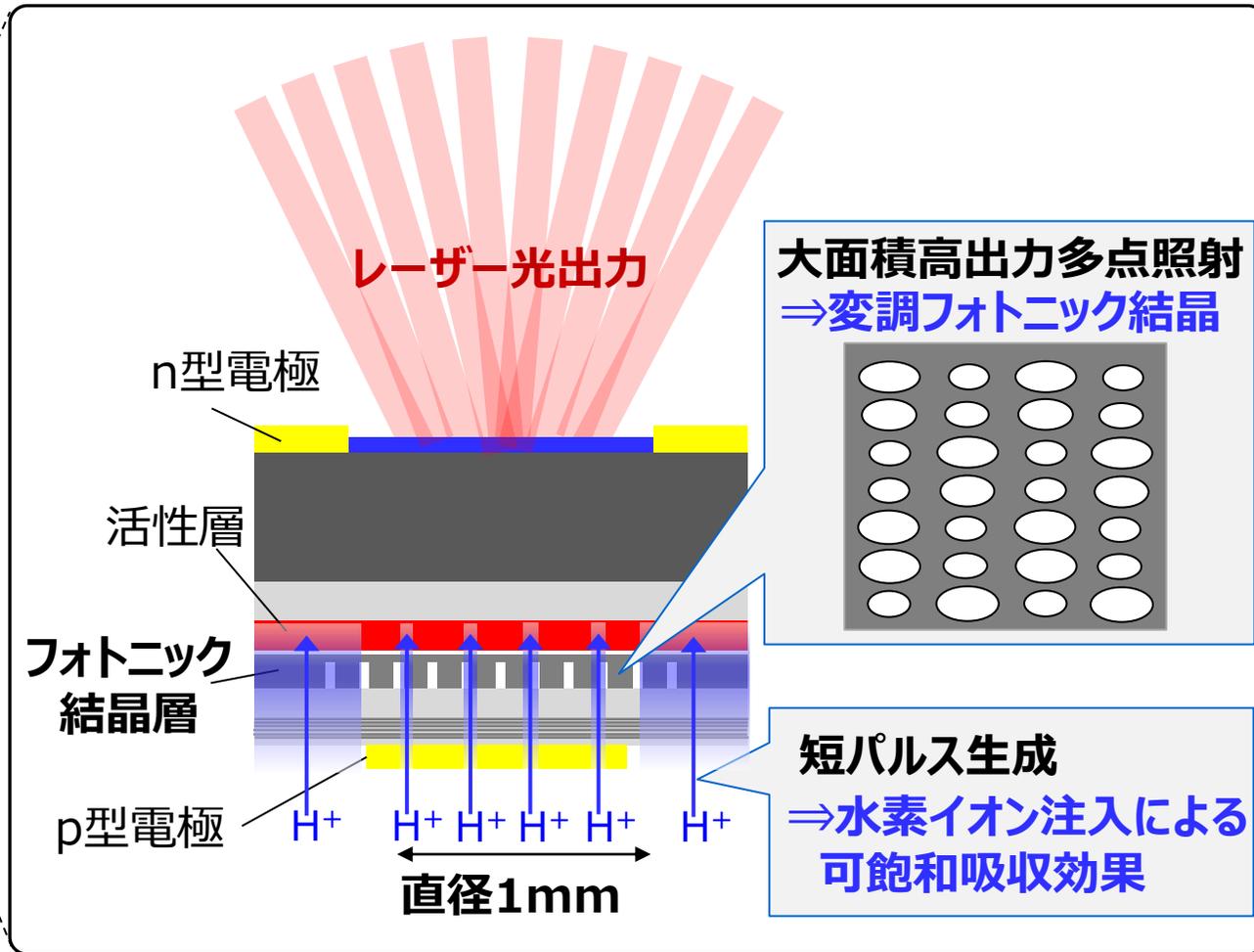
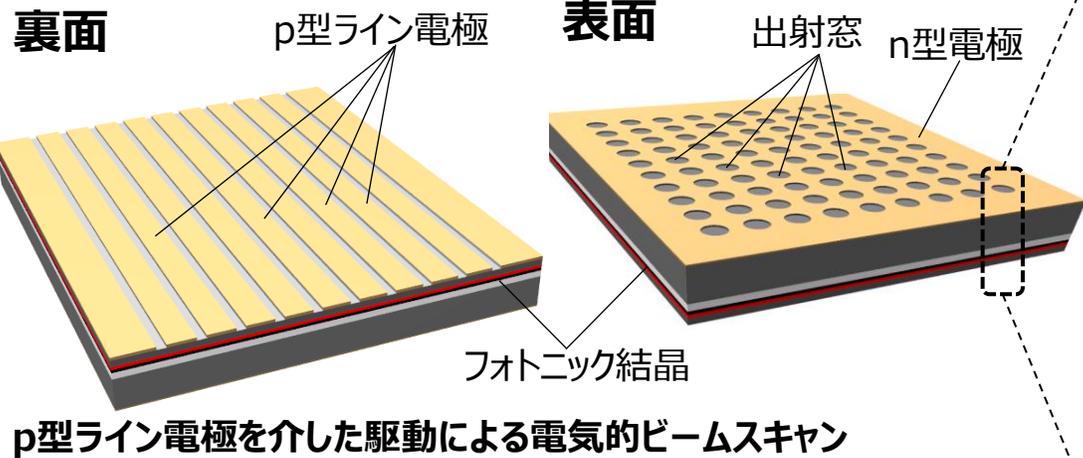


(注2) 将来、SPADの高性能化、および、PCSELのピーク出力の向上により、200~300mの測距が可能に。さらにSPAD画素数と、PCSEL照射領域(点数)拡大で広FOV化も可能に。

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

# 多点照射・超短パルスPCSEL

PCSELアレイチップのイメージ図



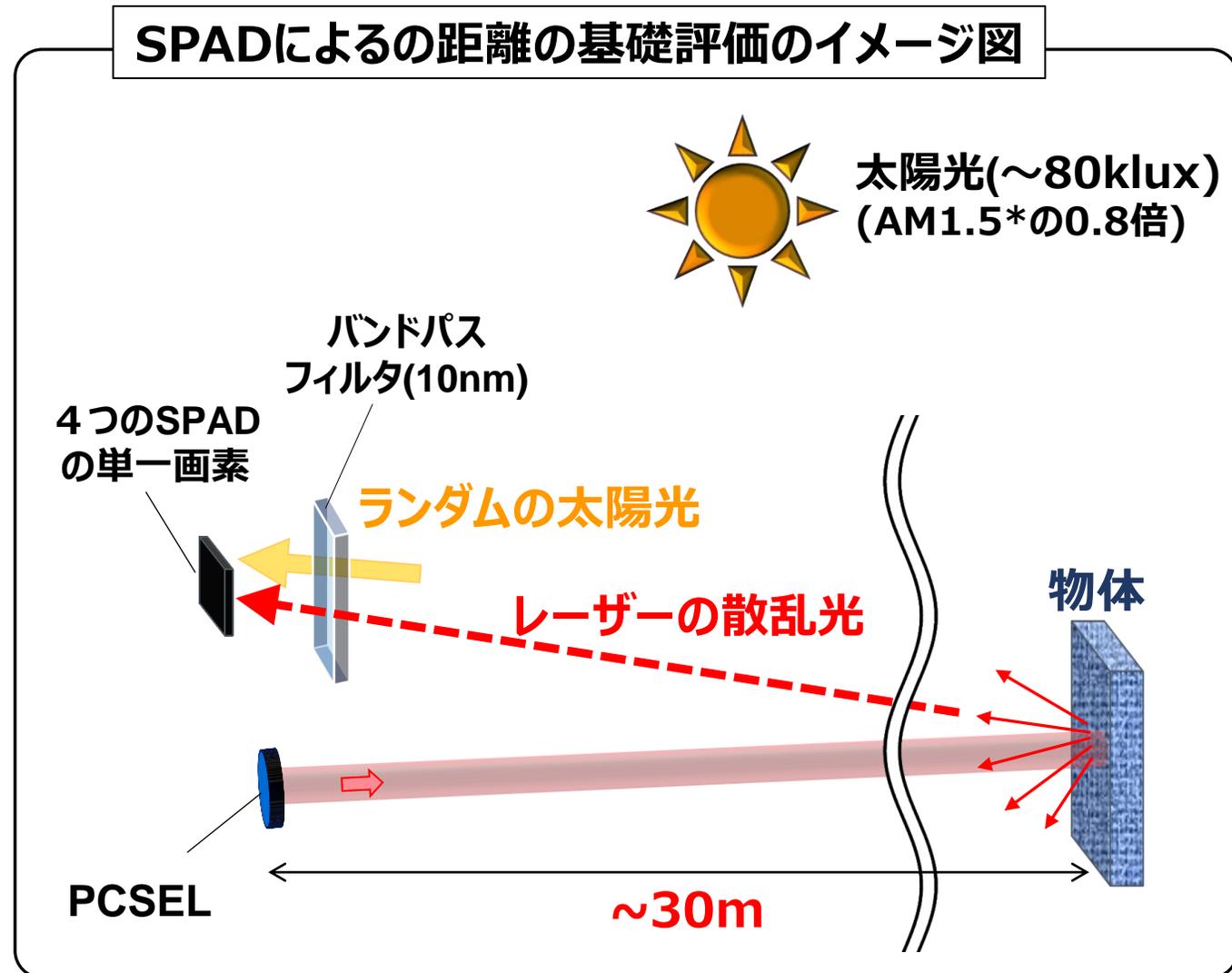
可飽和吸収の導入した変調PCSELの基本設計完了

# 2次元SPADアレイの入手および基礎評価

## 具体的な仕様

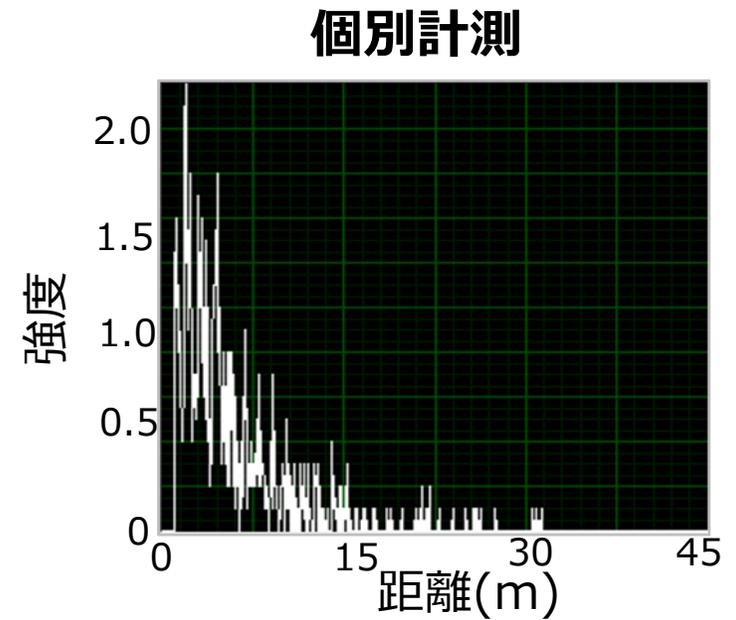
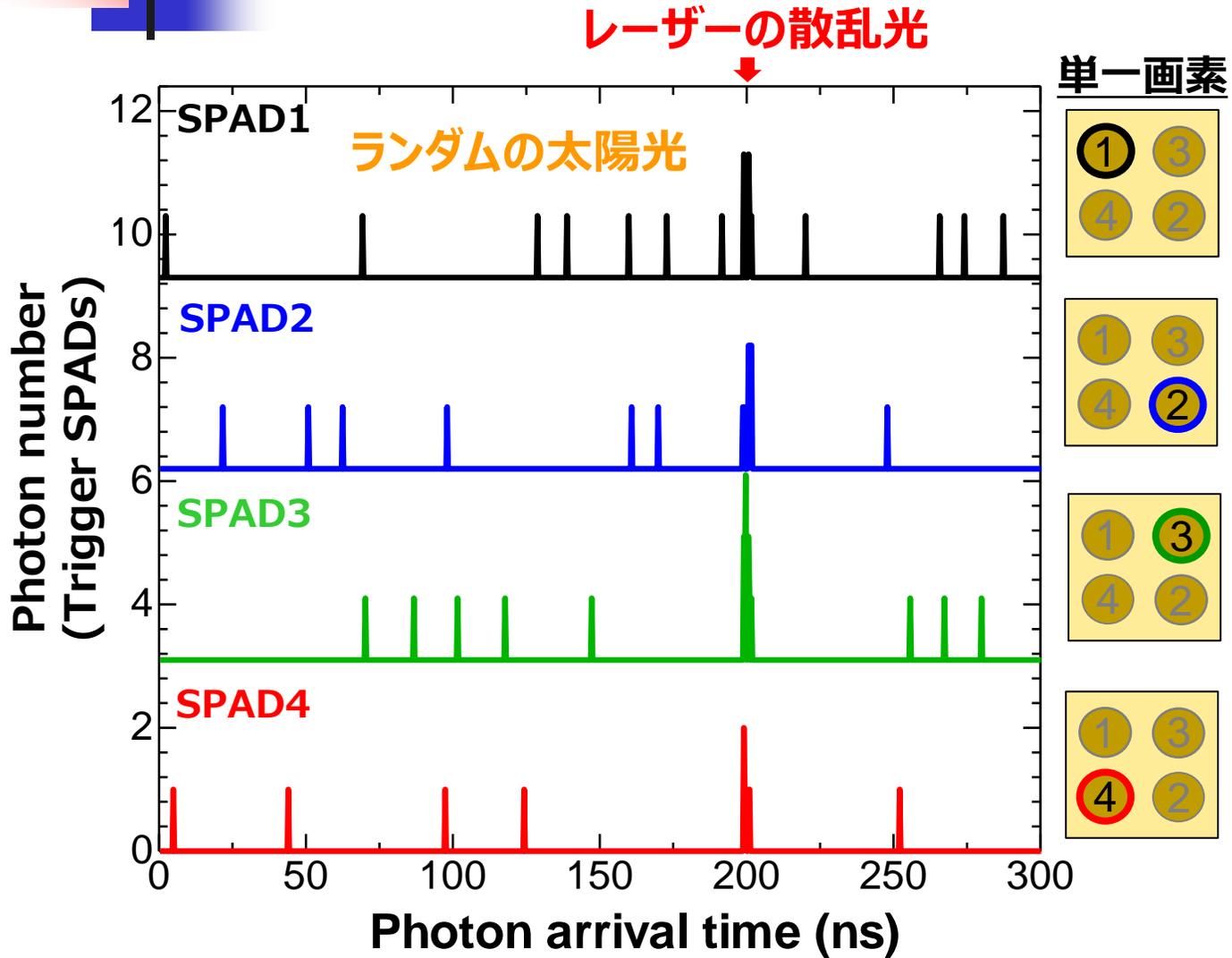
項目	値
画素数	64×48(合計3,072)
単一画素内のSPAD数	4 (2×2)
単一画素サイズ	130μm×130μm
アレイサイズ	8.4mm×6.5mm

SPADによる距離の基礎評価のイメージ図



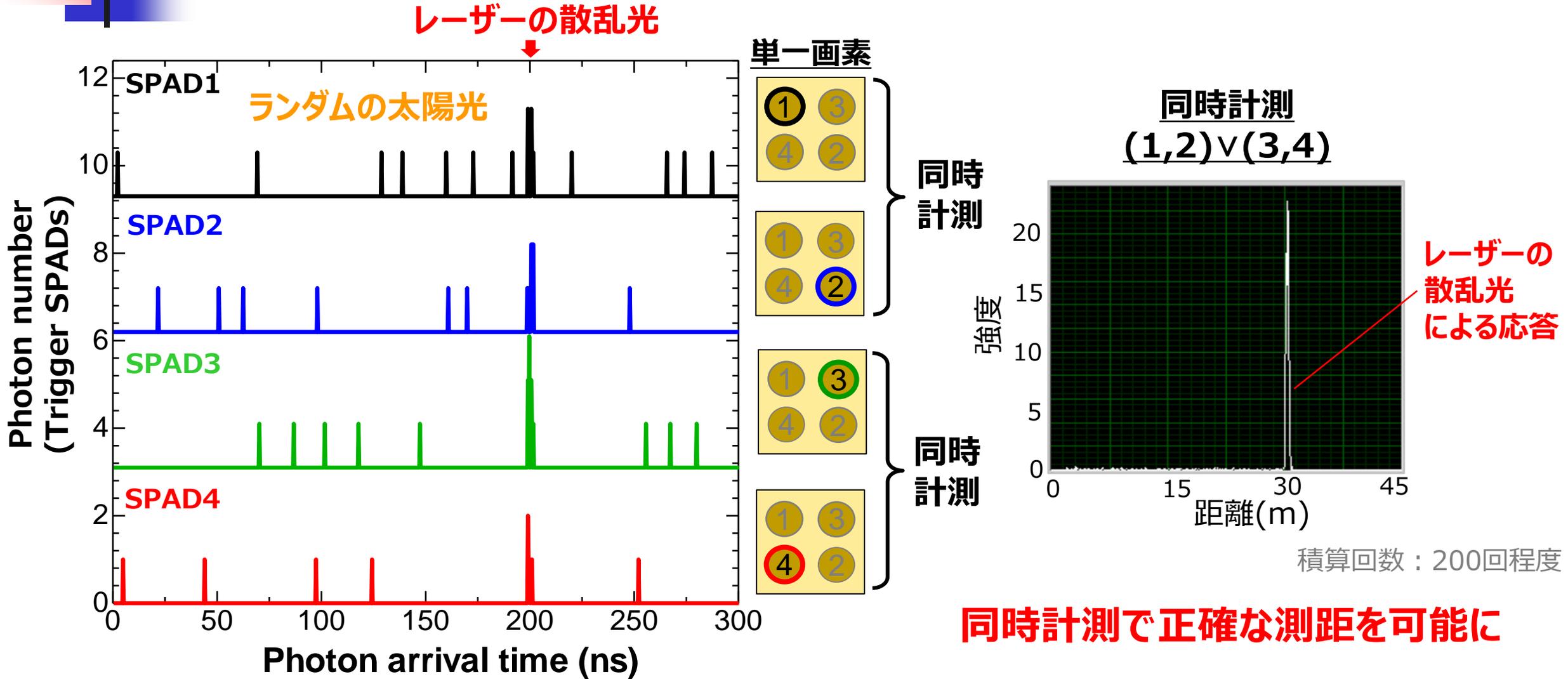
\*AM1.5 : 世界基準のAir Mass 1.5の太陽強度(1kW/m<sup>2</sup>), 照度~100klux

# SPADの基礎評価



積算回数：200回程度

# SPADの基礎評価



同時計測で正確な測距を可能に

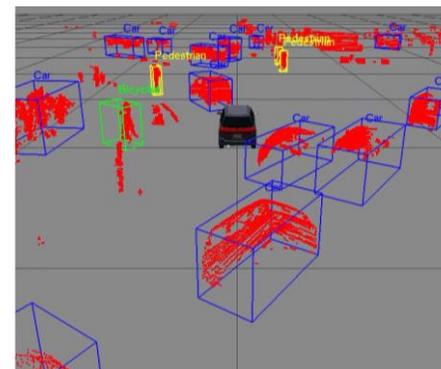
今後：詳細な評価およびLiDARシステム的设计・作製

# 認識技術の開発と 実証実験の実施

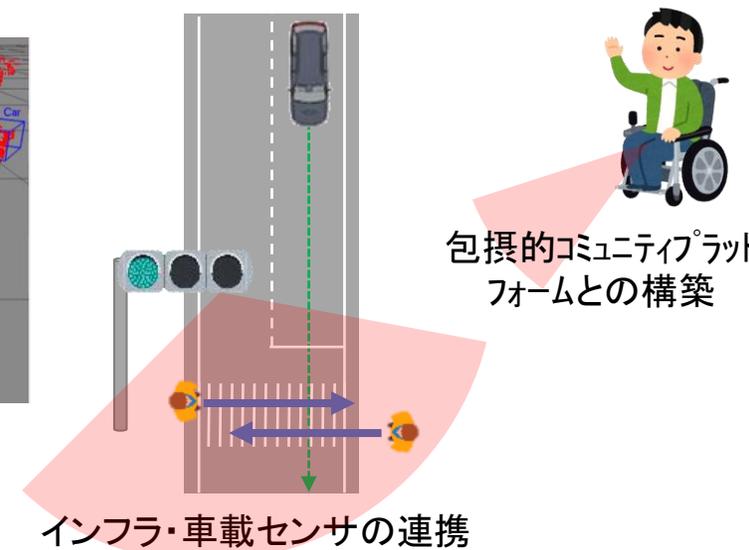
- SIP第2期 自動運転\*における成果
  - 市街地を走行可能な自動運転システム
    - 車載センサを用いた認識技術の開発・評価
  - インフラ協調型自動運転の実証
    - 東京臨海部における信号協調走行など
- 本プロジェクトでの取り組み
  - LIDARを用いた認識技術の開発
    - インフラセンサへの適用検討
      - PCSEL-LiDARを用いた横断歩行者検知など
    - 車載センサへの活用に向けた検討
      - 車載環境下におけるセンサ評価と認識技術構築
  - LiDARを用いた自動運転の実証
    - PCSEL-LiDARを用いたインフ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



包摂的コミュニティプラットフォームとの構築

インフラ・車載センサの連携

# 今年度の実施概要

## ■ LiDARを用いた認識アルゴリズム調査の実施

- 次年度以降に開発する認識技術の基礎検討
  - 基礎的な物体認識DNN\*モデルの実装

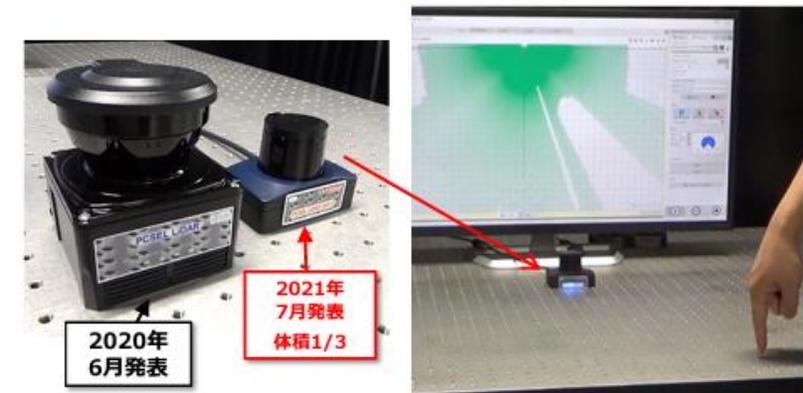
## ■ 既存LiDARのセンサ評価試験

- 多様な天候外乱環境下での評価
  - 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
- 既存3次元LiDARの認識距離評価
  - 既存LiDARの特性を把握し, 開発するLiDARへ反映
    - Velodyne(Ouster)社VLS-128APを対象に評価
    - 現在その他の最新型のLiDARについても入手中
      - 今後, 最新型のLiDARについても評価
- 2次元(平面走査型)PCSEL-LiDARの特性試験
  - PCSEL-LiDAR(SIP第2期で開発)の屋外環境下での試験



Velodyne (Ouster) 社 VLS-128AP

項目	センサ仕様
検知距離	300m@反射率10%
解像度	水平0.2° @10Hz 垂直約0.11~5°
視野角(FOV)	水平360°, 垂直40°

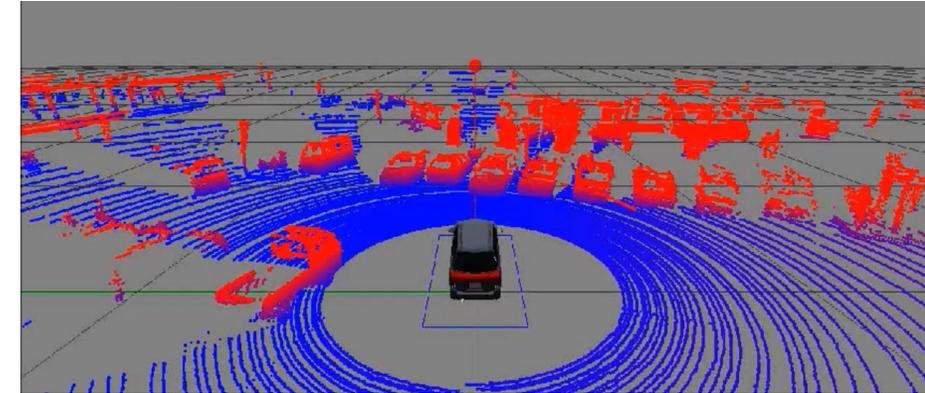


2次元PCSEL-LiDAR(平面走査型)

\*DNN: Deep Neural Network

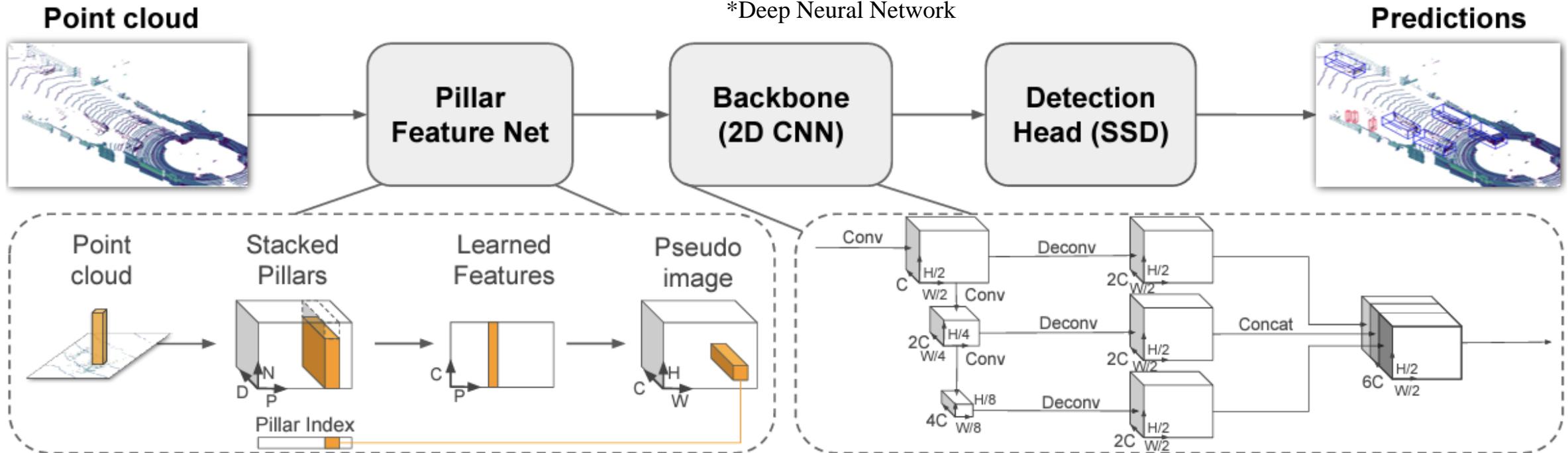
# LiDARによる物体認識モデルの実装

- 3次元LiDARを用いた物体認識
  - 点群の特徴から移動物を矩形枠として認識
    - 車両・歩行者・二輪車など
- 基礎的なDNN物体認識モデルの実装
  - 代表的な研究例: PointPillars [A. H. Lang, et al., 2018]
    - LiDARの点群から任意個数の3DBoxを検出するDNN\*



3次元LiDARから取得した点群の例

\*Deep Neural Network



# JARI特異環境試験場における評価試験

## ■ 環境条件

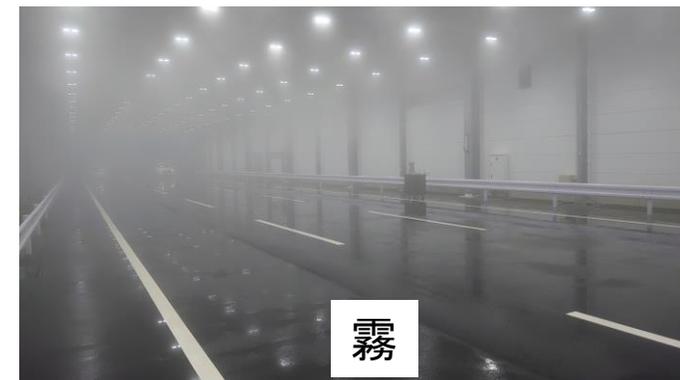
- 通常環境(蛍光灯点灯の屋内環境)
- 逆光:晴天時の15、17時に相当する太陽光を再現
  - 照度:35,000ルクス(15時), 20,000ルクス(17時)
  - 色温度:6000K(昼白色), 2000K(暖色)
- 降雨:降雨量:30, 80mm/h
- 霧:視程距離50m

## ■ 計測対象

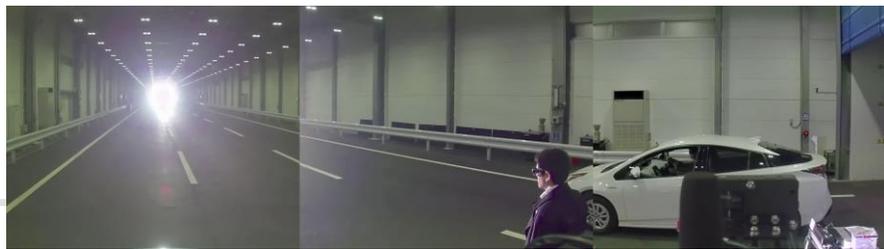
- 車両:白色プリウス
- 歩行者:黒色のコート, レインコート着用
  - 距離を変化させながらセンサデータ観測

## ■ 環境条件による認識可能距離の変化を評価

- LiDARによる物体認識モデルを活用
- 連続的に検出できなくなるまでの距離



# 既存LiDAR評価結果



## ■ 3次元LiDAR (Velodyne VLS-128) の認識距離評価

### ■ 通常環境, 逆光の環境

- 自動車120m以上, 歩行者約70m程度まで計測可能
- 逆光の有無による認識距離への影響は低い

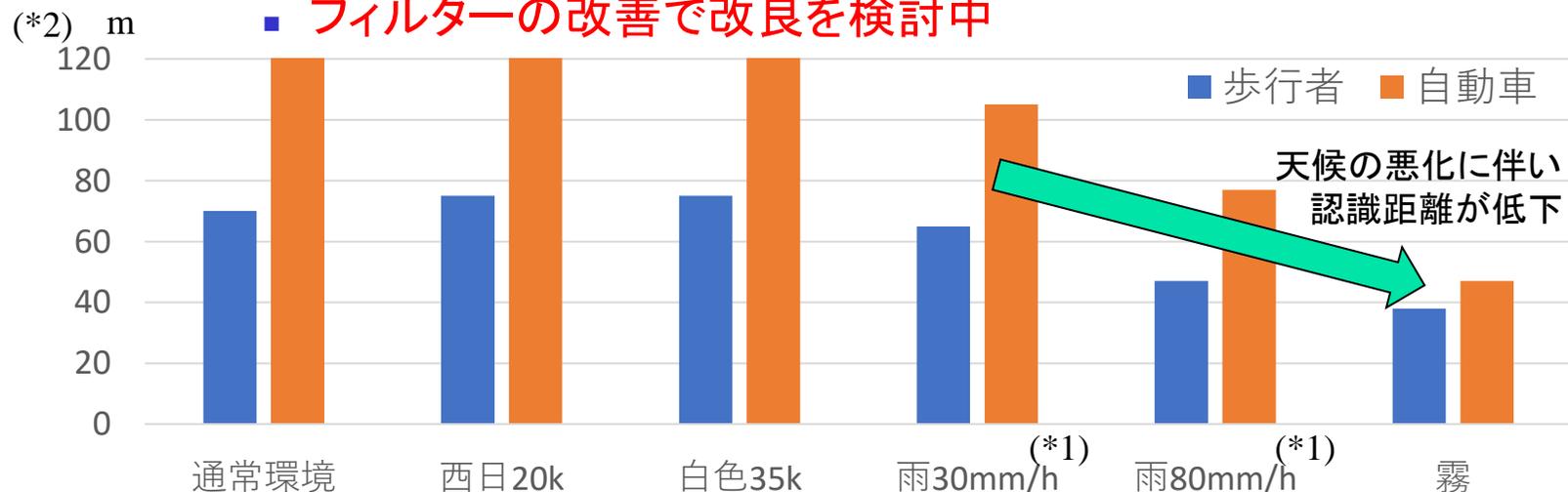
### ■ 雨, 霧などの悪天候下

- 認識距離が低下する傾向

## ■ 2次元PCSEL-LiDARの課題

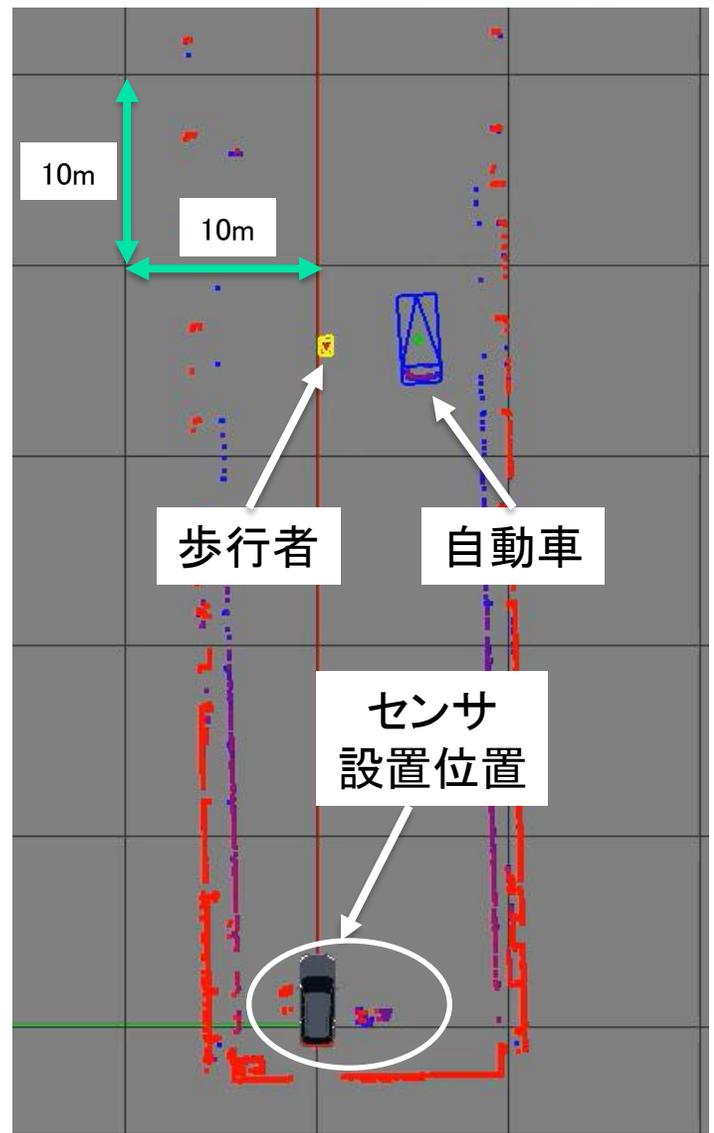
### ■ 点群観測データが西日の影響を受ける現象を確認

- **フィルターの改善で改良を検討中**



(\*1) 評価設備の設定値

(\*2) 評価設備の制限から最大120mまでしか評価できていない



# 目標達成度

実施項目			2023				2024				2025				2026				2027			
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	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			TRL5~6	TRL7																
		広FOV型3次元PCSEL-LiDARの設計・試作			TRL2~3				TRL5~6						TRL7							
	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			TRL3~4			TRL5		TRL6						TRL7						
		SPADの入手・制御ユニットの開発			TRL2~3			TRL4~5		TRL6						TRL7						
		PCSEL駆動回路の設計・開発			TRL2			TRL3~4		TRL5~6							TRL7					
		非機械式3次元PCSEL-LiDARの設計・試作			TRL2				TRL3~4				TRL5~6							TRL7		
追加項目	カード型LiDAR開発	カード型広いFOV 2次元PCSEL-LiDARの試作			TRL2		TRL5~6															
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			TRL2~3																	
		仮想環境を用いたセンシング環境の構築					TRL3~4															
		小型演算装置で処理可能な認識アルゴリズムの開発								TRL5												
		認識範囲の拡大を目指した認識モデルの改善													TRL5~6							
		インフラ・車載センサを協調させた認識モデルの構築																		TRL7		
	B. 「LiDARを用いた実証実験の実施」	既存LiDARセンサの評価			TRL1~2																	
		既存LiDARを用いた公道走行実験			TRL4~5		TRL5~6															
		広FOV型LiDARをインフラセンサとして用いる実証実験									TRL5											
		広FOV型LiDARを車載センサとして用いる実証実験													TRL5~6							
		複数PCSEL-LiDAR等を設置した試験車両構築													TRL5~6							
		インフラセンサや車載センサ等を協調させた実証実験																	TRL7			

# 研究開発項目とロードマップ

他プロジェクト連携



## 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**

①3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

②A. 認識技術  
の開発

◆金沢大学



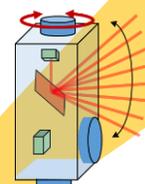
②B. インフラセン  
シング実証実験



京都大学 PCSEL-COE

広FOV型3次元  
PCSEL-LiDAR  
の動作試験

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

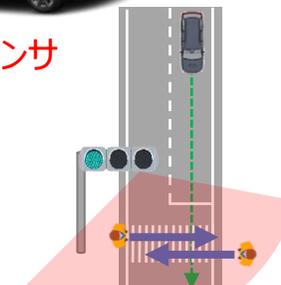
3次元PCSEL-LiDAR  
用の光源の作製

**スマートモビリティを革新する3次元PCSEL-LiDARの開発**

①STEP-1. 広FOV型  
3次元PCSEL-LiDARの開発



②B. 車載センサ  
実証実験  
◆金沢大学

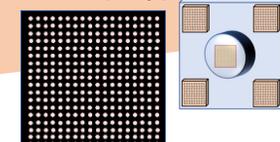


◆金沢大学

②B. 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の試作



①STEP-2. 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

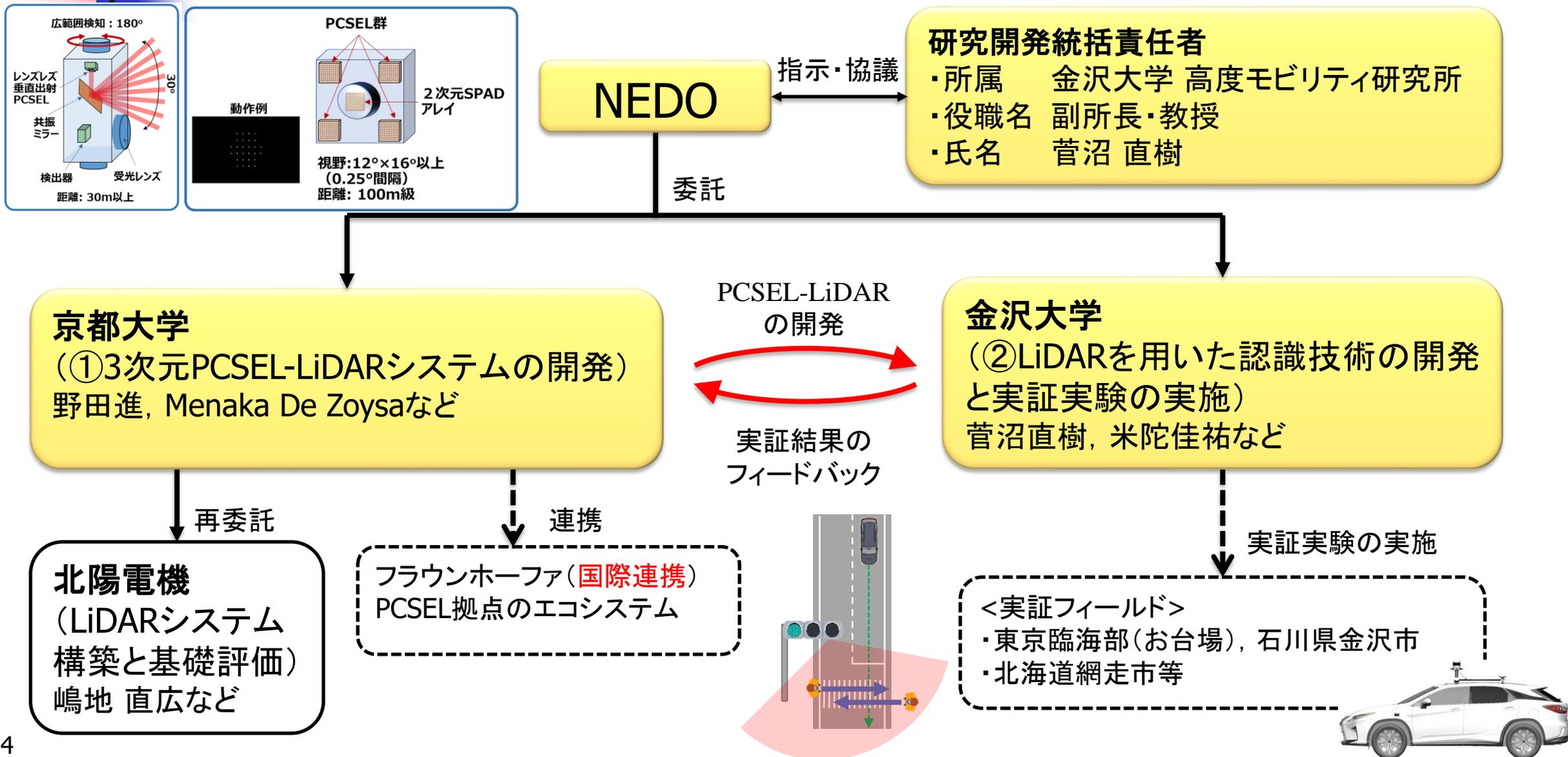
2年目

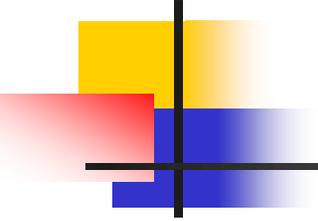
3年目

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。