version 1.1

TIER IV ACADEMY
自動運転システム構築塾

Day1　自動運転システム実践解説

自動運転システムの環境認識技術

Tier IV
Intelligent Vehicle

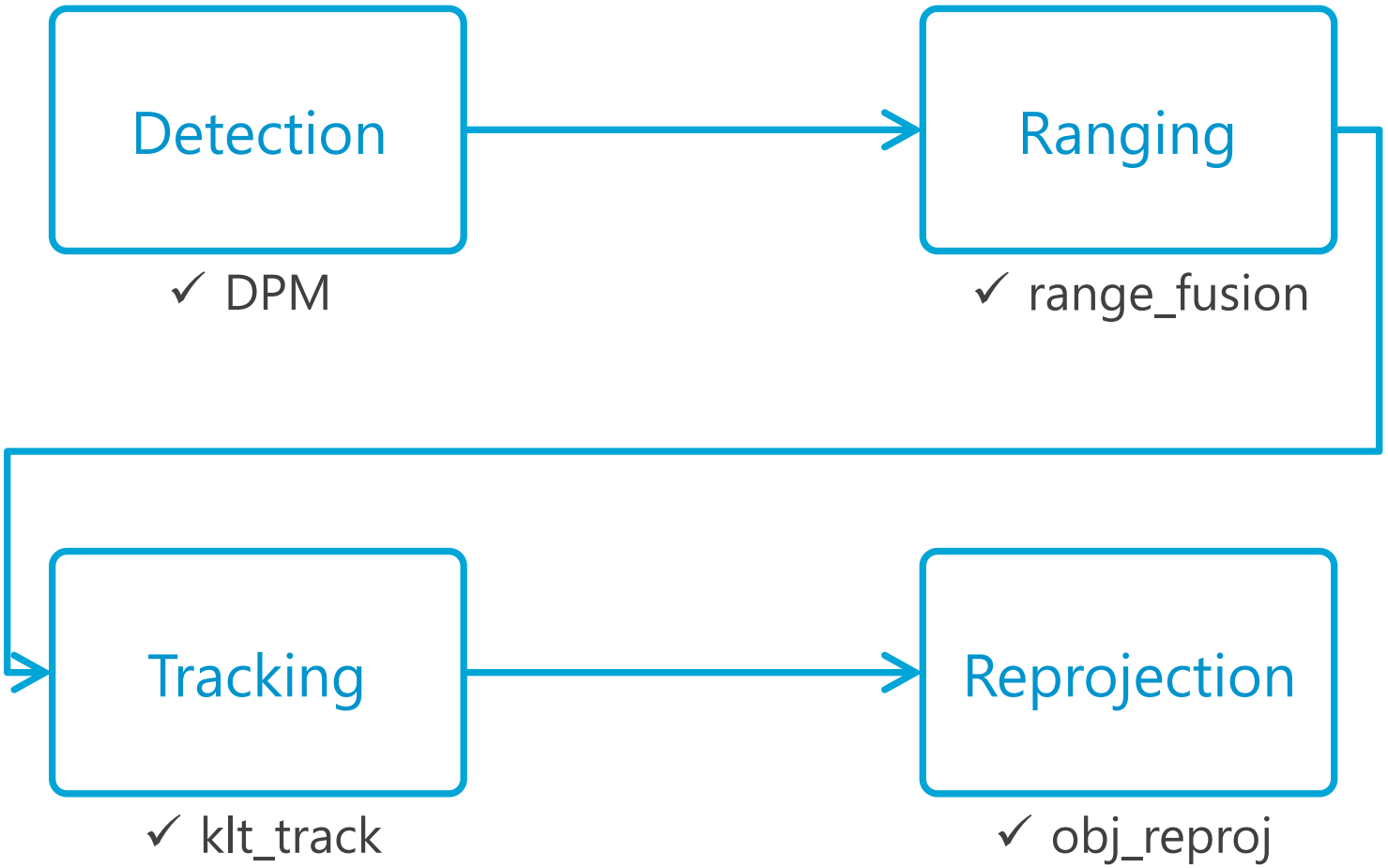
目次

自動運転システムの環境認識技術

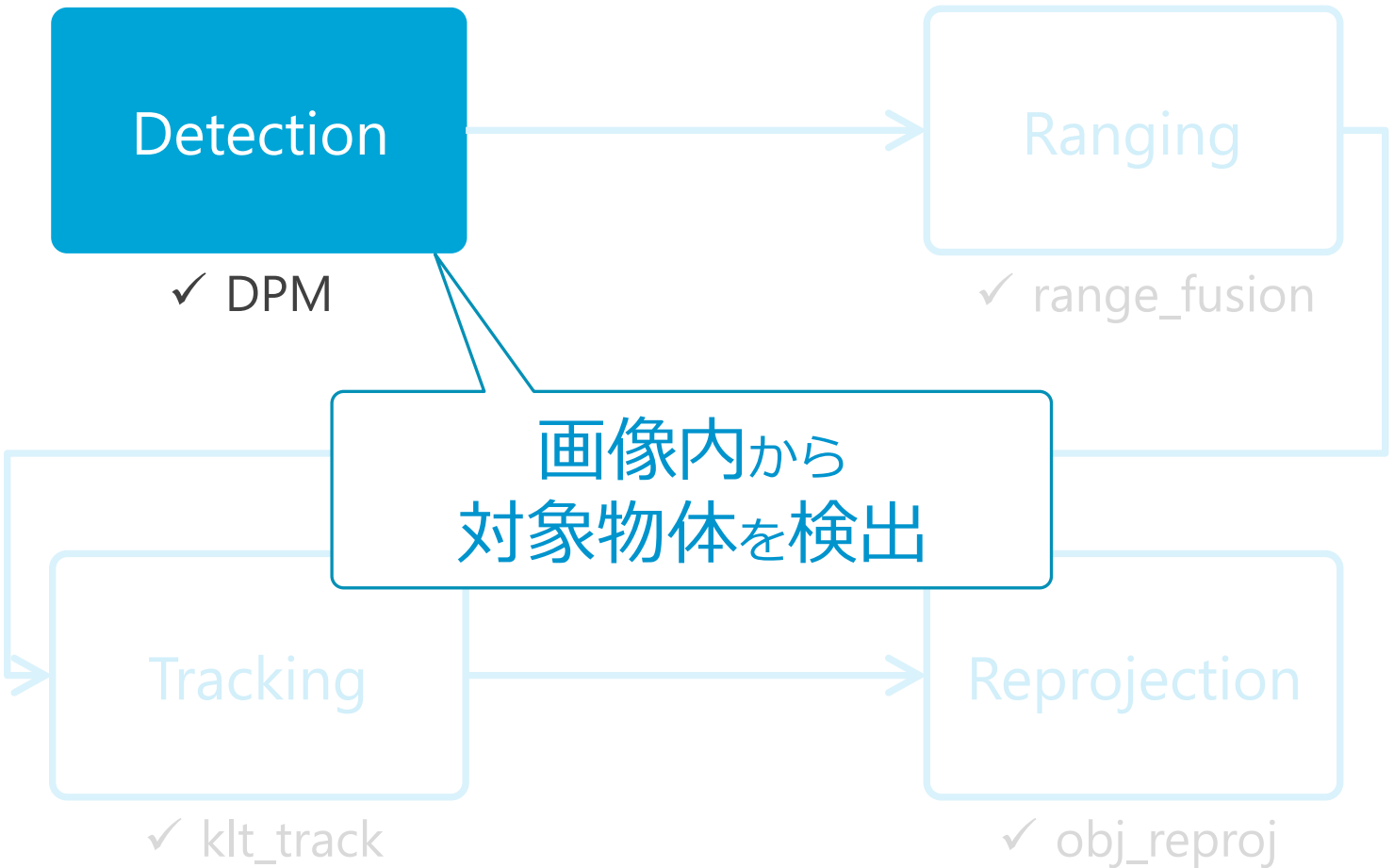
第 1 章：物体検出

1. Detection

Autowareにおける物体検出の流れ



Autowareにおける物体検出の流れ



Deformable Part Model

Deformable Part Model (DPM)
→ 画像中から対象物体を検出するアルゴリズム

P. Felzenszwalb, D. McAllester, and D. Ramanan
"A Discriminatively Trained, Multiscale, Deformable Part Model"
IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2008

DPMを用いた物体検出の流れ (1/4)

入力画像を複数のスケールでリサイズ
→ これにより 画像中に存在する **様々な大きさの物体を検出可能** に

Input image

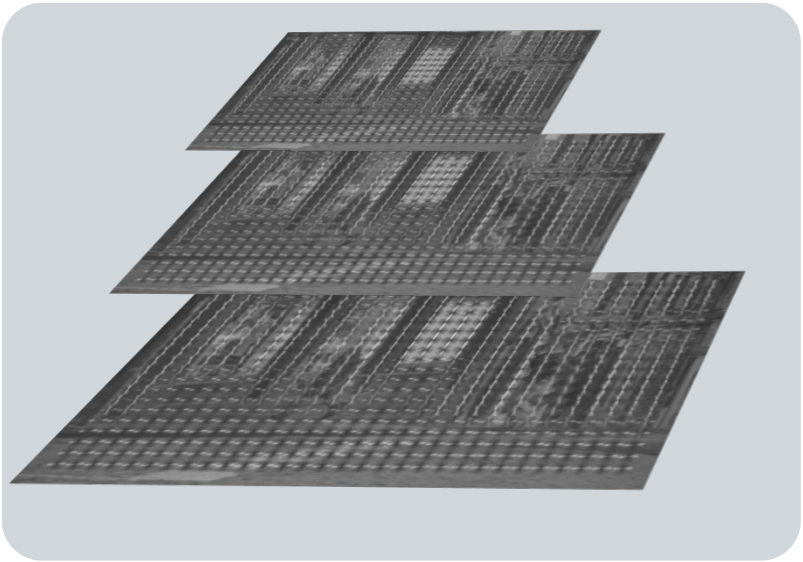
Resized image pyramid

DPMを用いた物体検出の流れ (2/4)

リサイズした各画像を **HOG 特徴量画像** に変換

Resized image pyramid

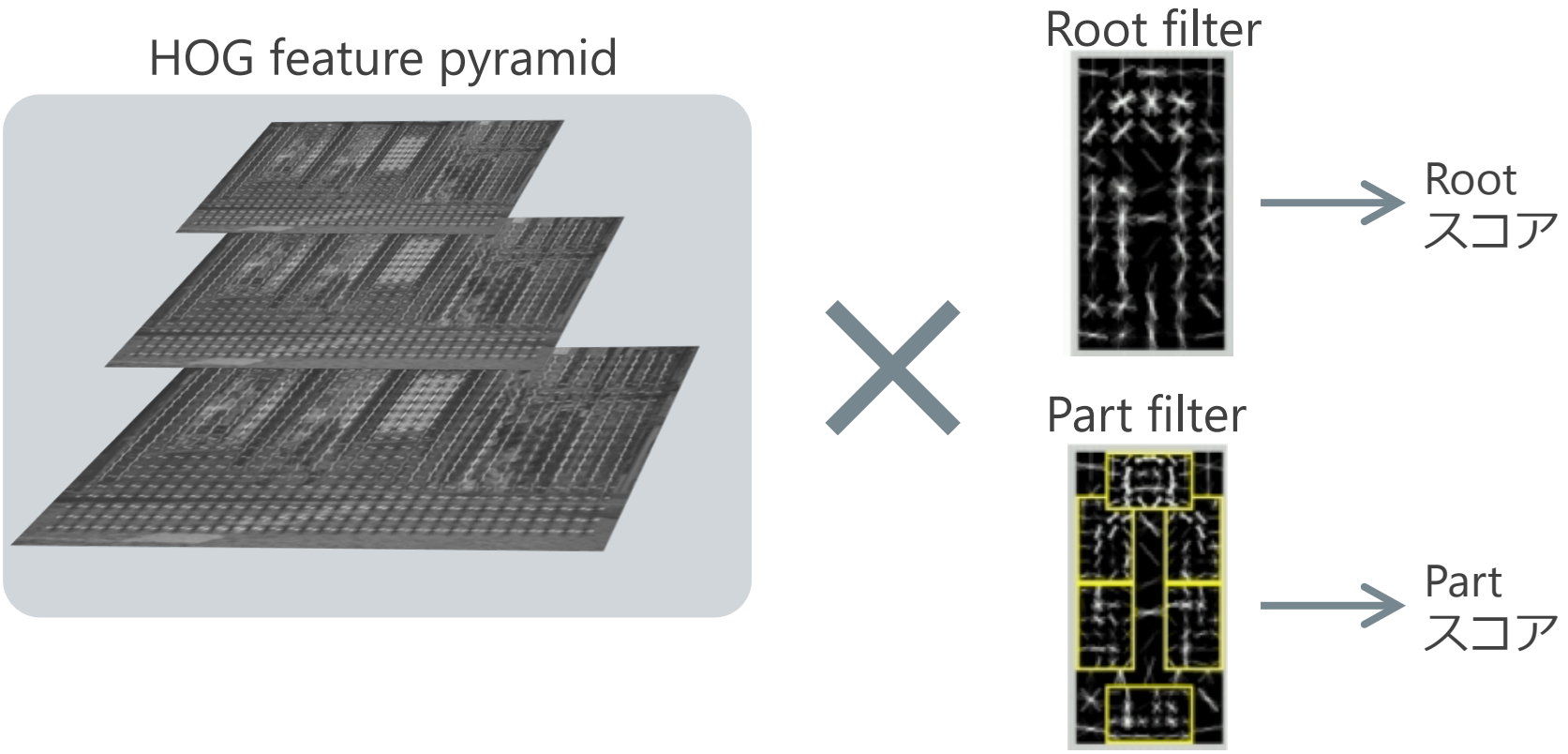
HOG feature pyramid



DPMを用いた物体検出の流れ (3/4)

各HOG特徴量画像に対して 以下2つのフィルタを適用してスコアを算出

- Root filter：検出対象が全体的にどのような形状をしているかを表現
- Part filter：検出対象のパーツ（人であれば顔、 腕、足など）形状を表現

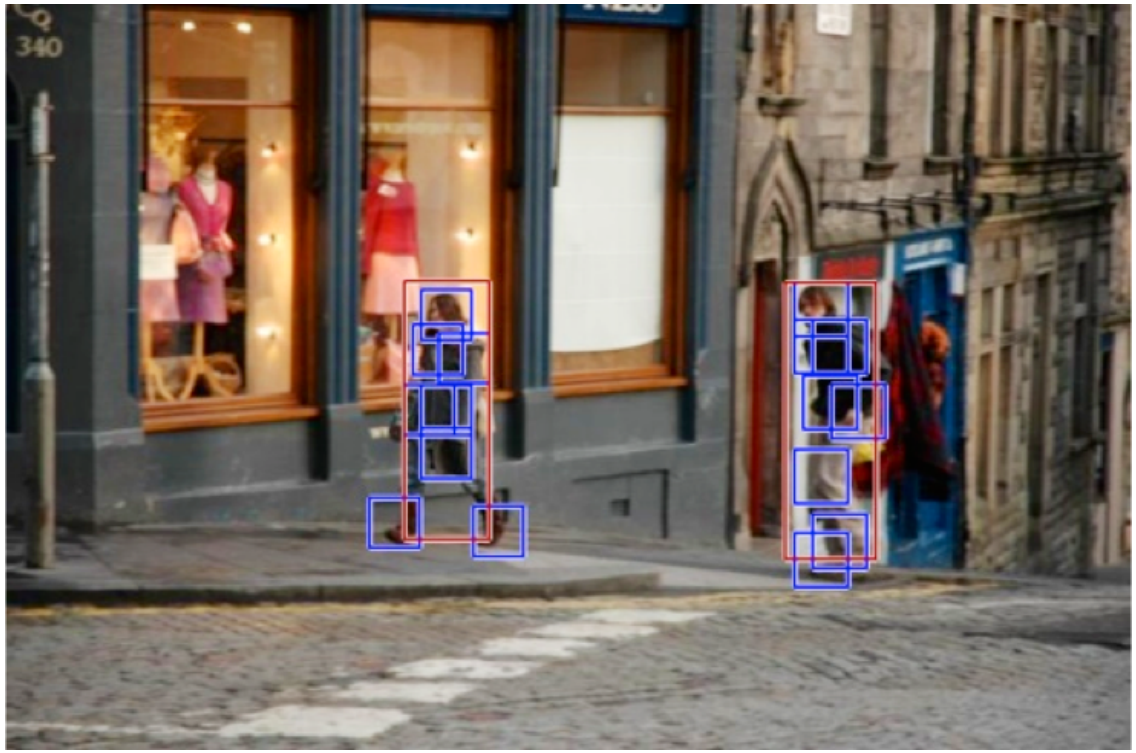


DPMを用いた物体検出の流れ (4/4)

Root 及び Part スコアを **各々の位置関係を考慮** しながら足し合わせ
最終的なコストを算出

▼

最終コストを**閾値処理**して
最終的な検出結果を得る



Detection result

DPMを用いた物体検出の特徴

DPMの長所

- ✓同じカテゴリの対象を柔軟に検出可能
- ✓側方、前背面から撮影した場合でも検出可能
- ✓各種対象に対して高い検出率

DPMの短所

- ✓計算コストが大きく、処理速度が遅い

  例：VGA（640 x 480pix）サイズを処理するのに約 1.5 [sec/枚]

▼

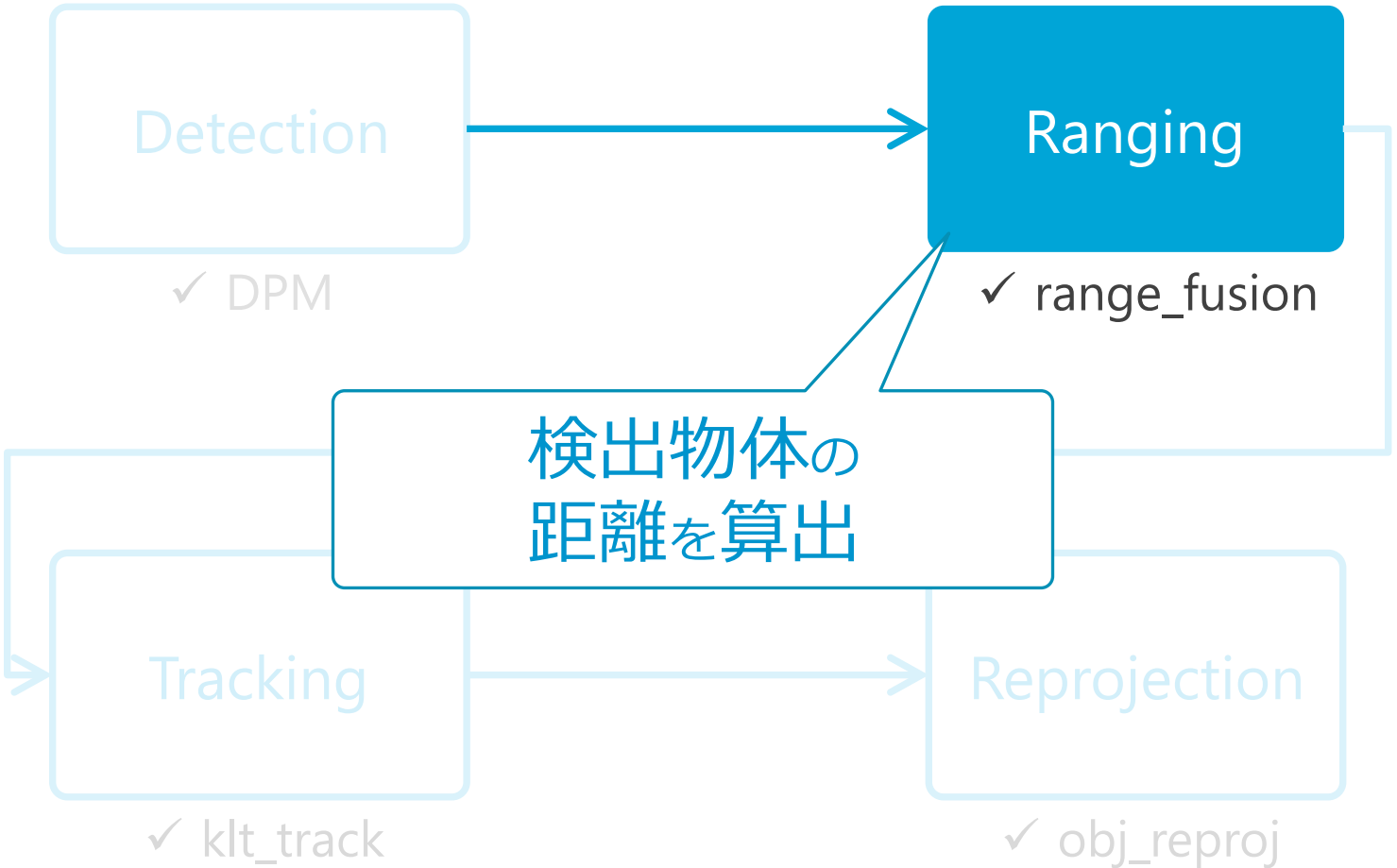
Autowareでは **Graphics Processing Unit (GPU)** を用いて
実行時間を高速化したDPMも利用可能

自動運転システムの環境認識技術

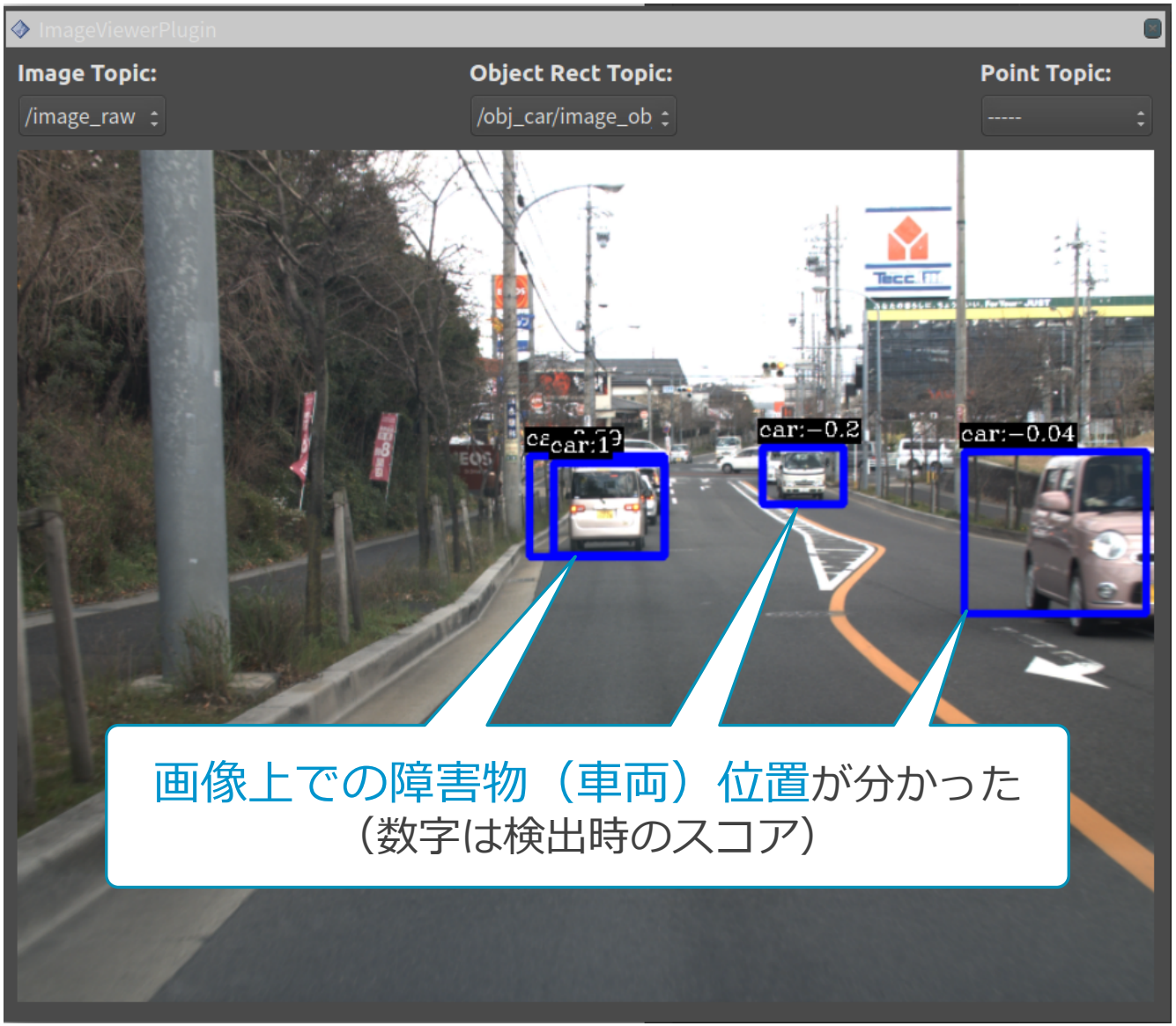
第 1 章：物体検出

2. Ranging

Autowareにおける物体検出の流れ

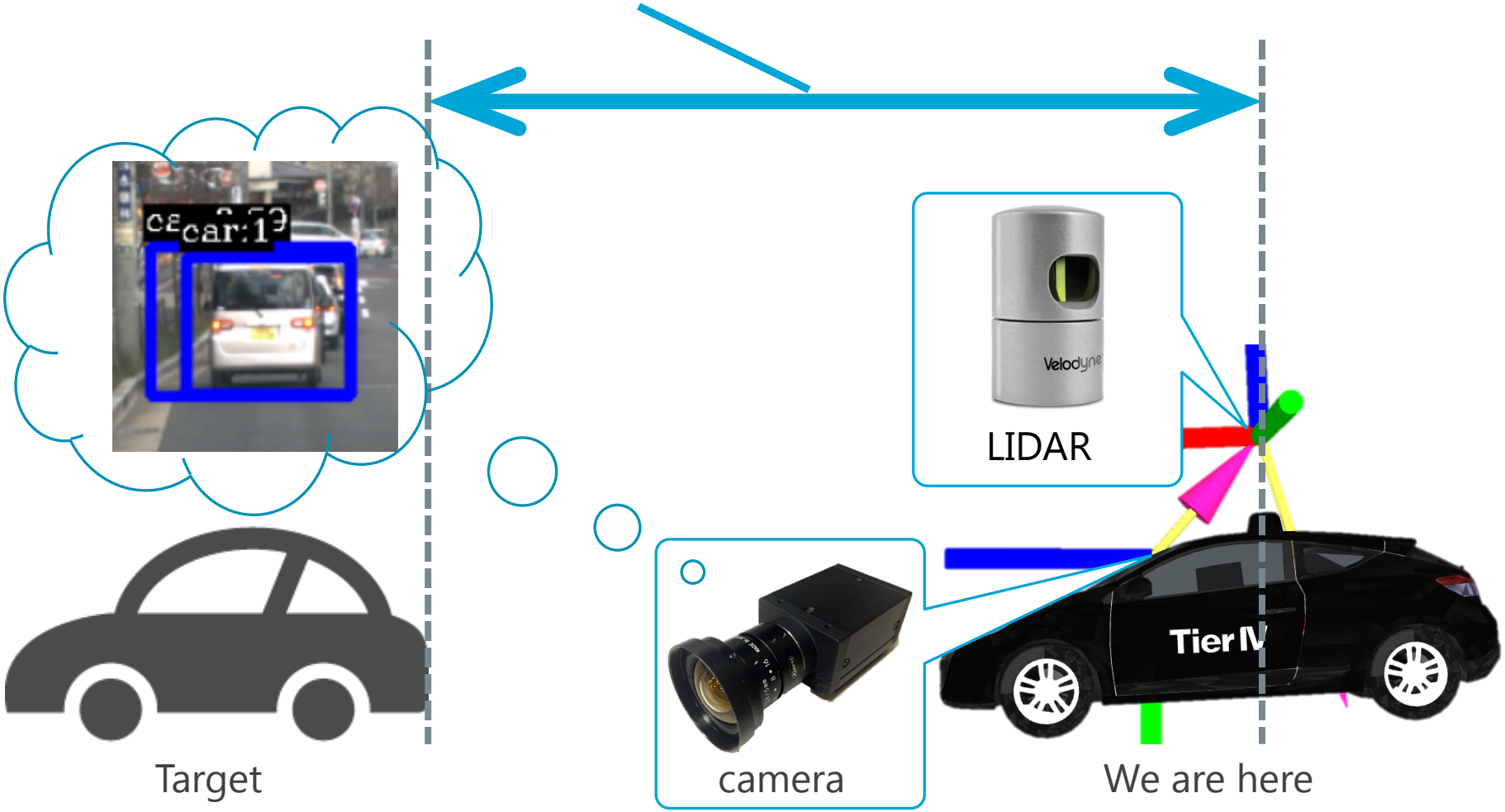


Current Status



Ranging ?

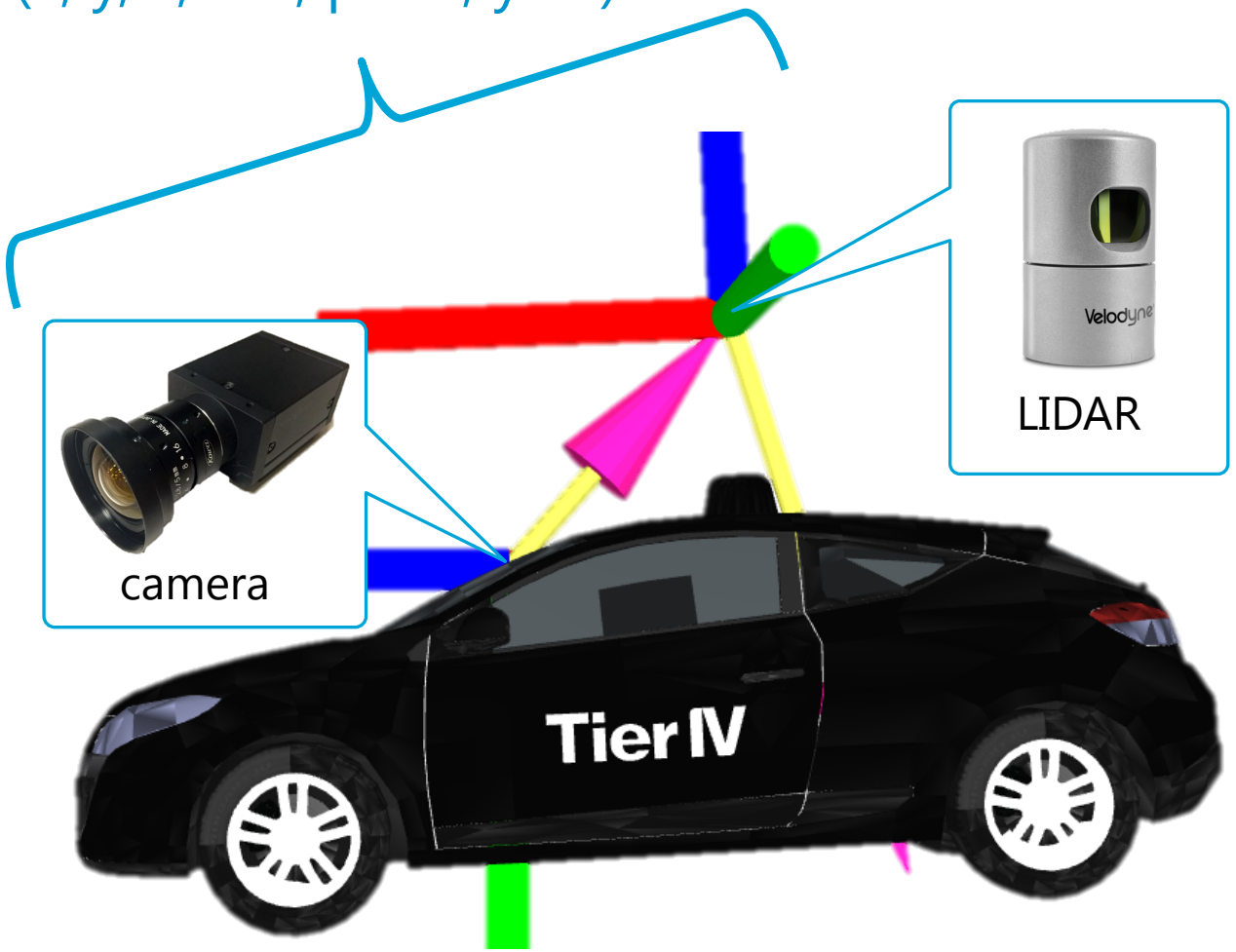
→ カメラで検出した**物体までの距離**を求める



カメラと LIDAR の位置関係

車両に固定されている限り、カメラと LIDAR の並進・回転位置関係は不変

static
(x, y, z, roll, pitch, yaw)

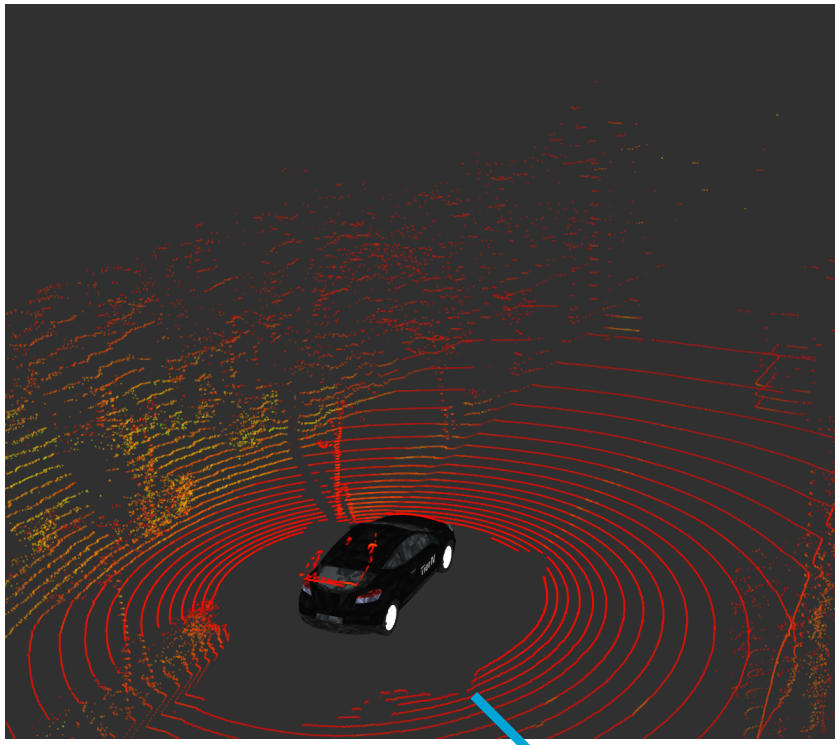


参考：カメラと LIDAR のキャリブレーション

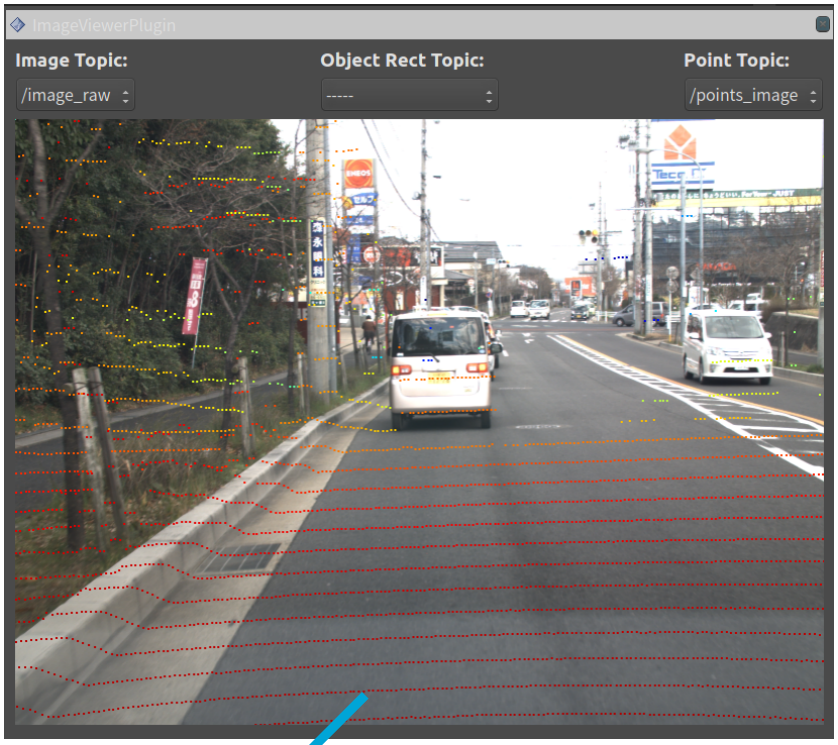
3次元点群を画像上へ投影

LIDAR から得られる3次元の点群を
カメラ – LIDAR間の位置関係を用いて画像上に投影（プロット）する

3次元点群



画像上への投影結果



各点は LIDAR からの距離情報を含んでいる

検出した物体までの距離

検出矩形内に含まれる点群から 検出物体までの距離を算出する

※この時点で 点群を含まない矩形は誤検出として消去される

現在はこの矩形内に
含まれる点群から**最頻値**を
計算し、距離としている

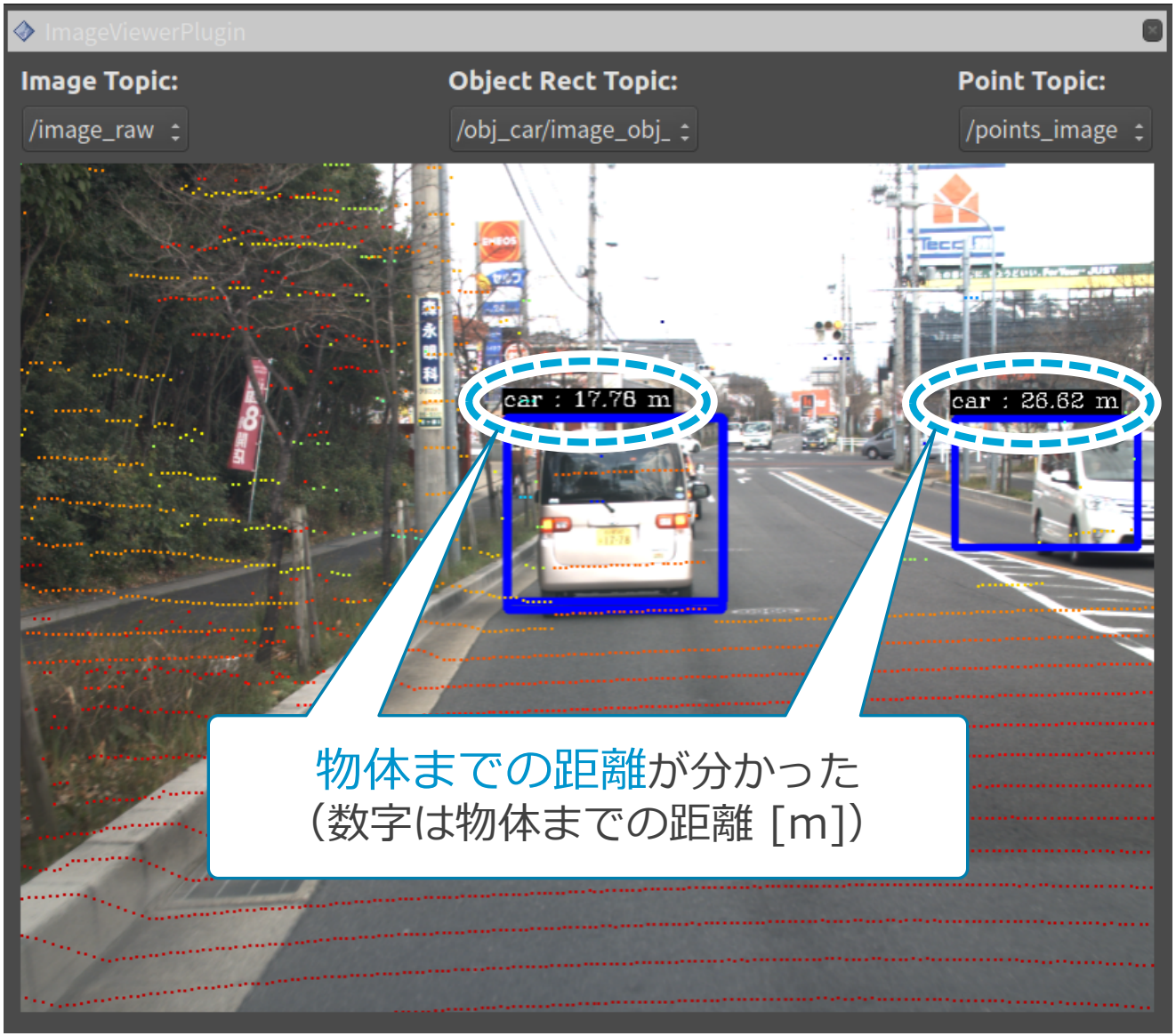
自動運転システムの環境認識技術

第 1 章：物体検出

3. Tracking

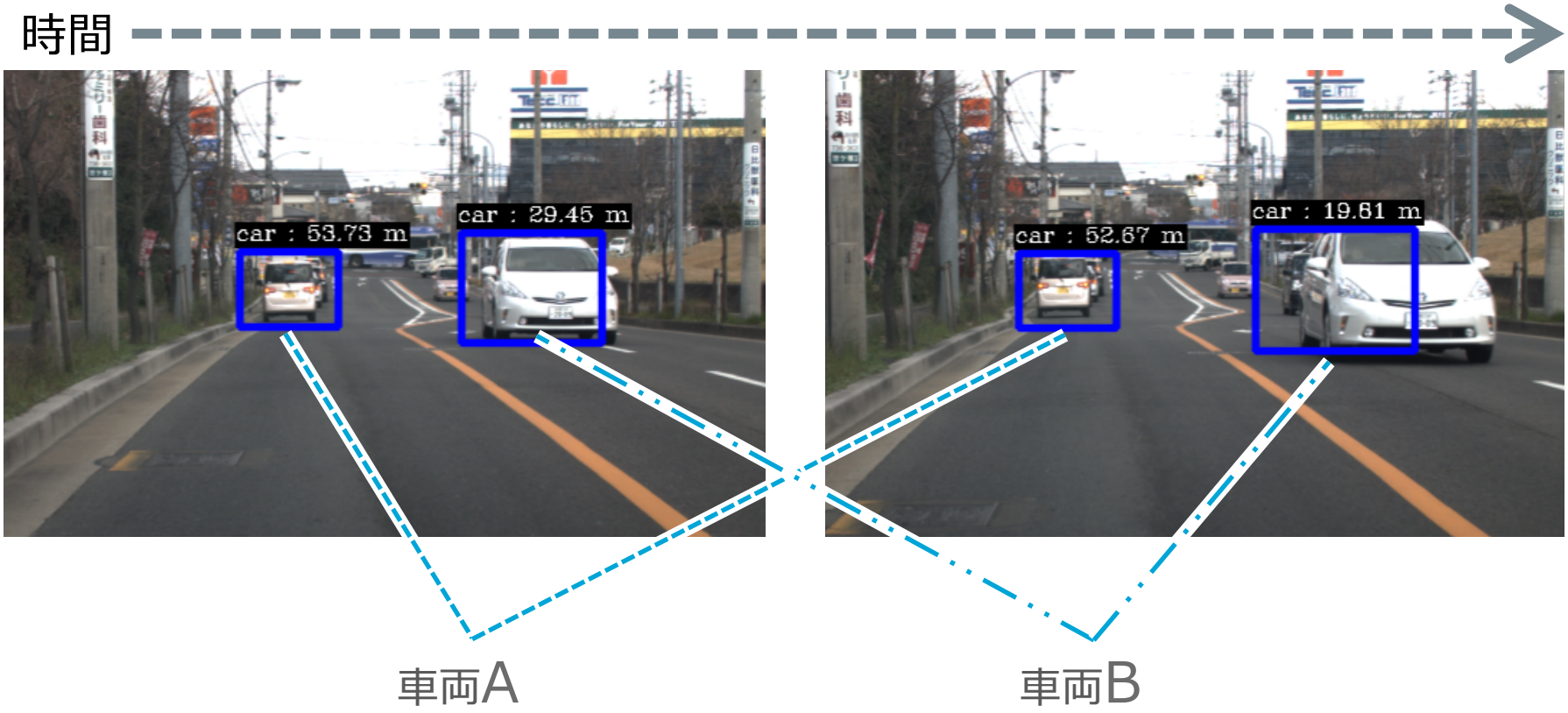
Autowareにおける物体検出の流れ

Current Status



Tracking ? (1/2)

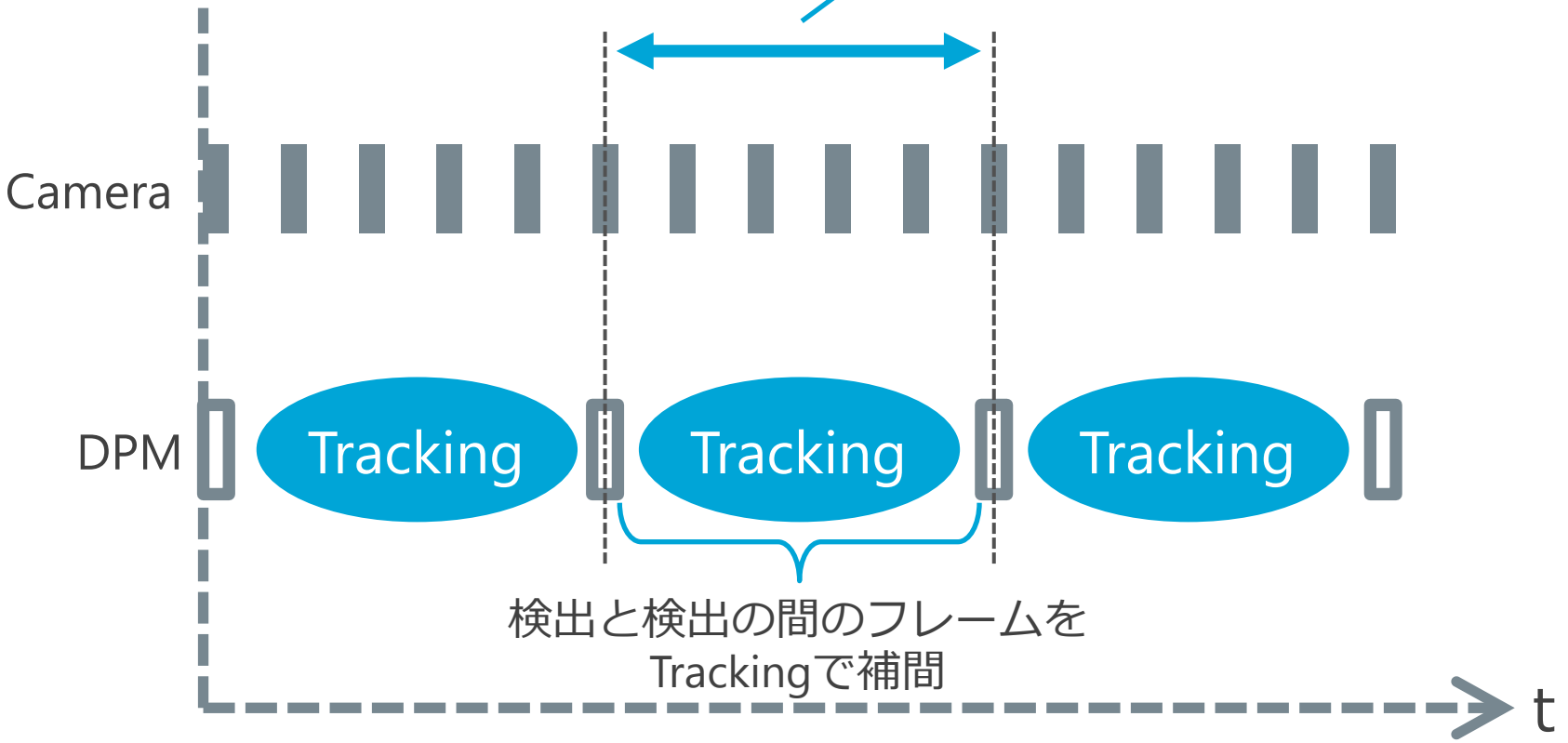
→ **フレーム間で検出した物体の対応**を求める



Tracking ? (2/2)

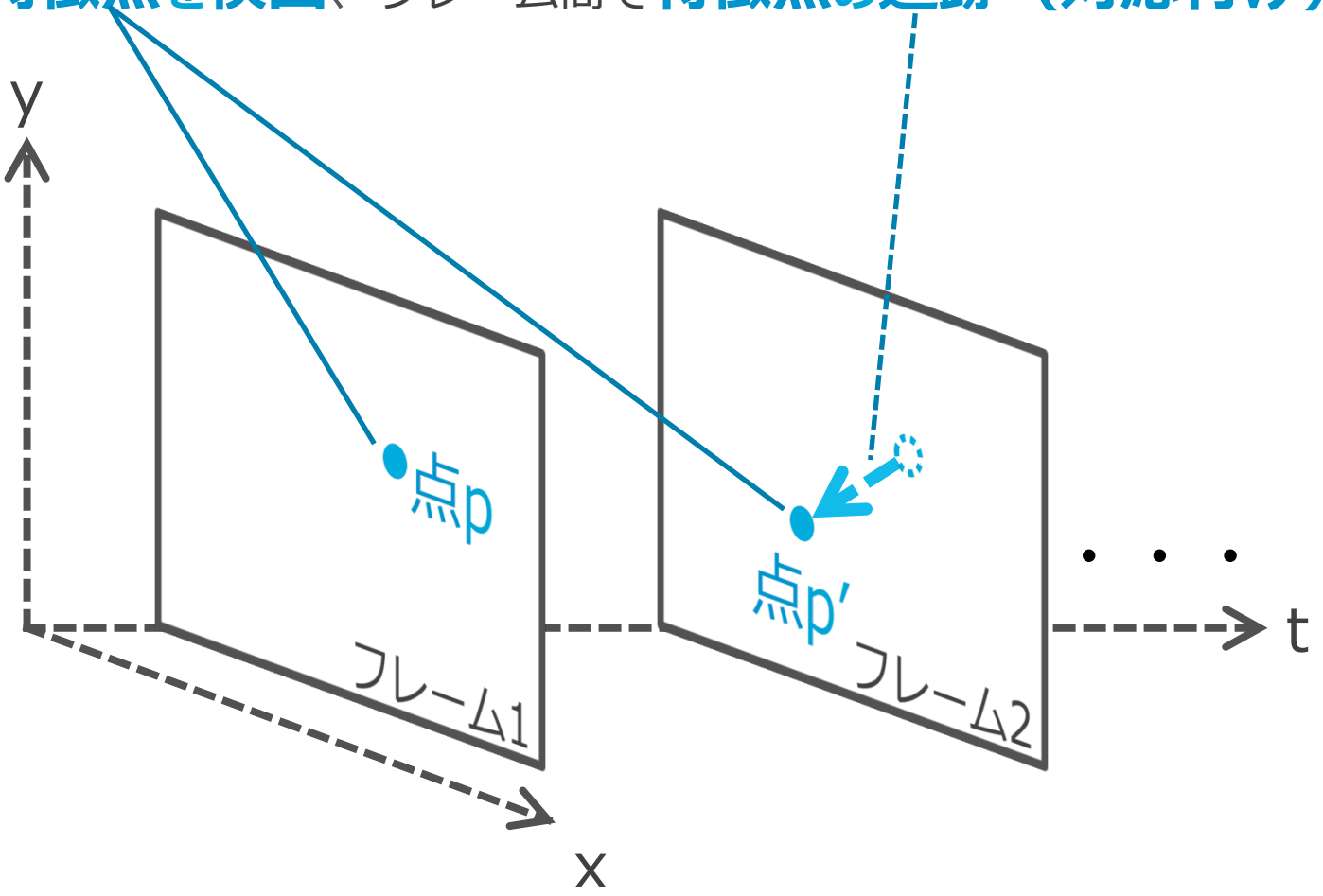
DPM などの検出器による検出から **次の検出まで物体を追跡**する

※一般に検出器よりもカメラの FPS の方が高い



Kanade – Lucas – Tomasi (KLT) Tracker

画像上で**特徴点を検出**、フレーム間で**特徴点の追跡（対応付け）**を行う

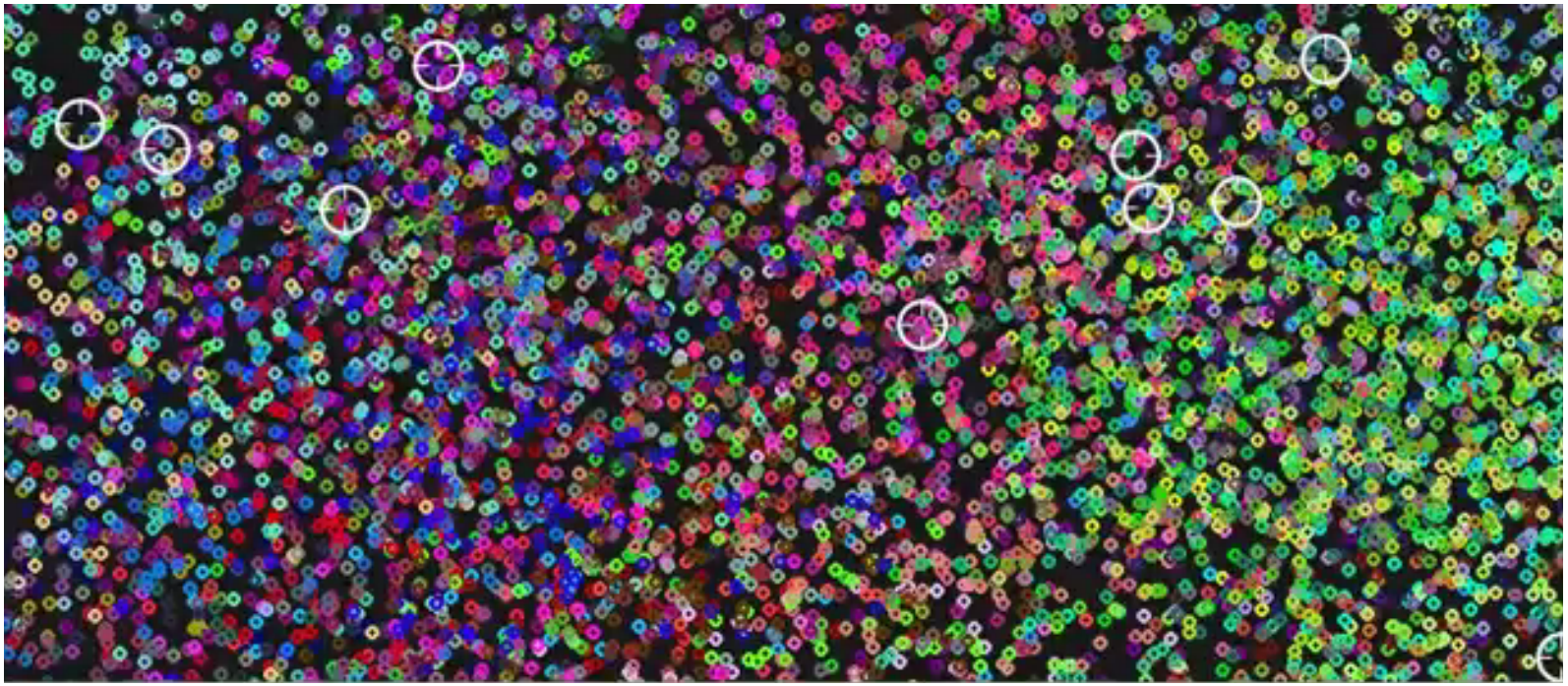


S. Jianbo, and C. Tomasi
"Good features to track"
IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1994

K-means

クラスタリングアルゴリズムのひとつで

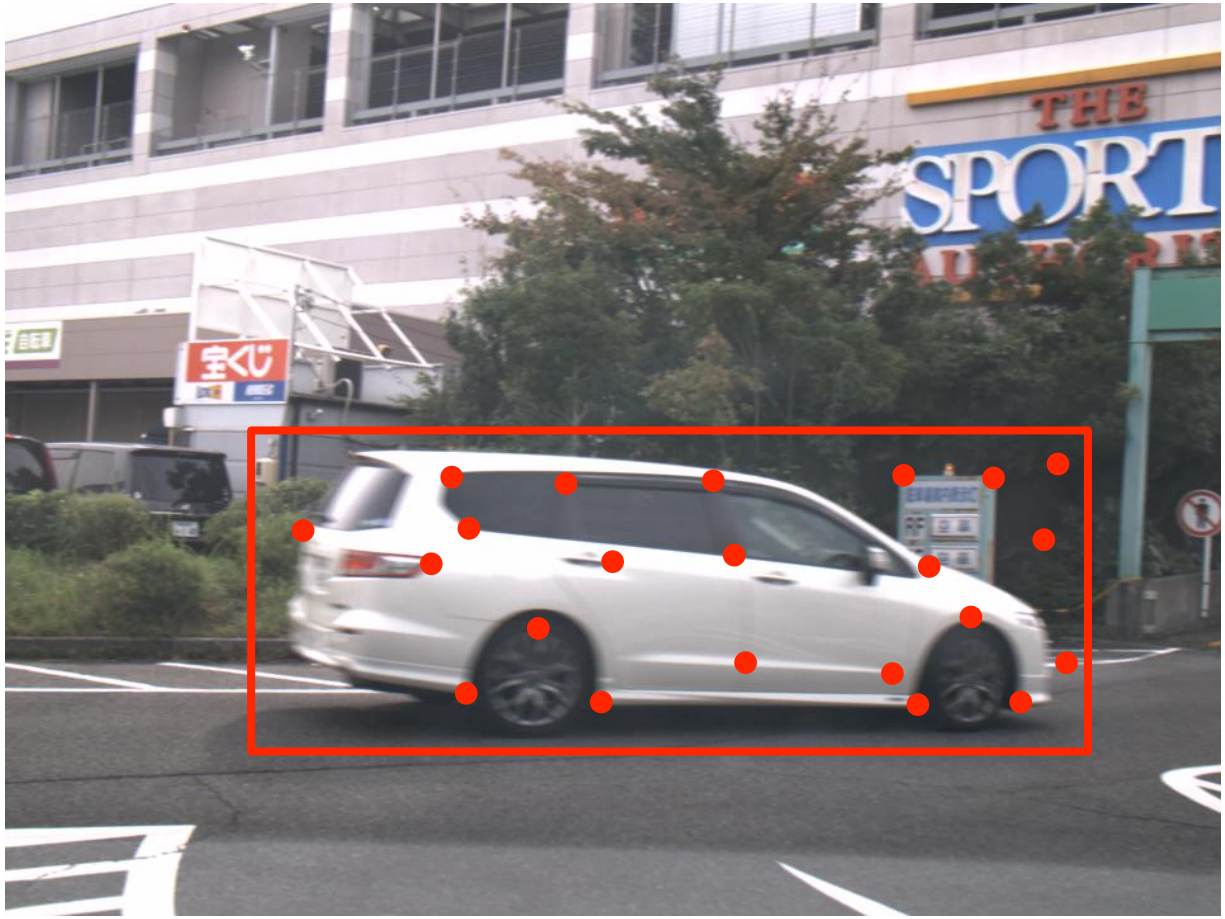
データ群を 任意の **K個のクラスタに分類** する



KLTとK-meansを用いた物体追跡の流れ（1/3）

[KLT step1]

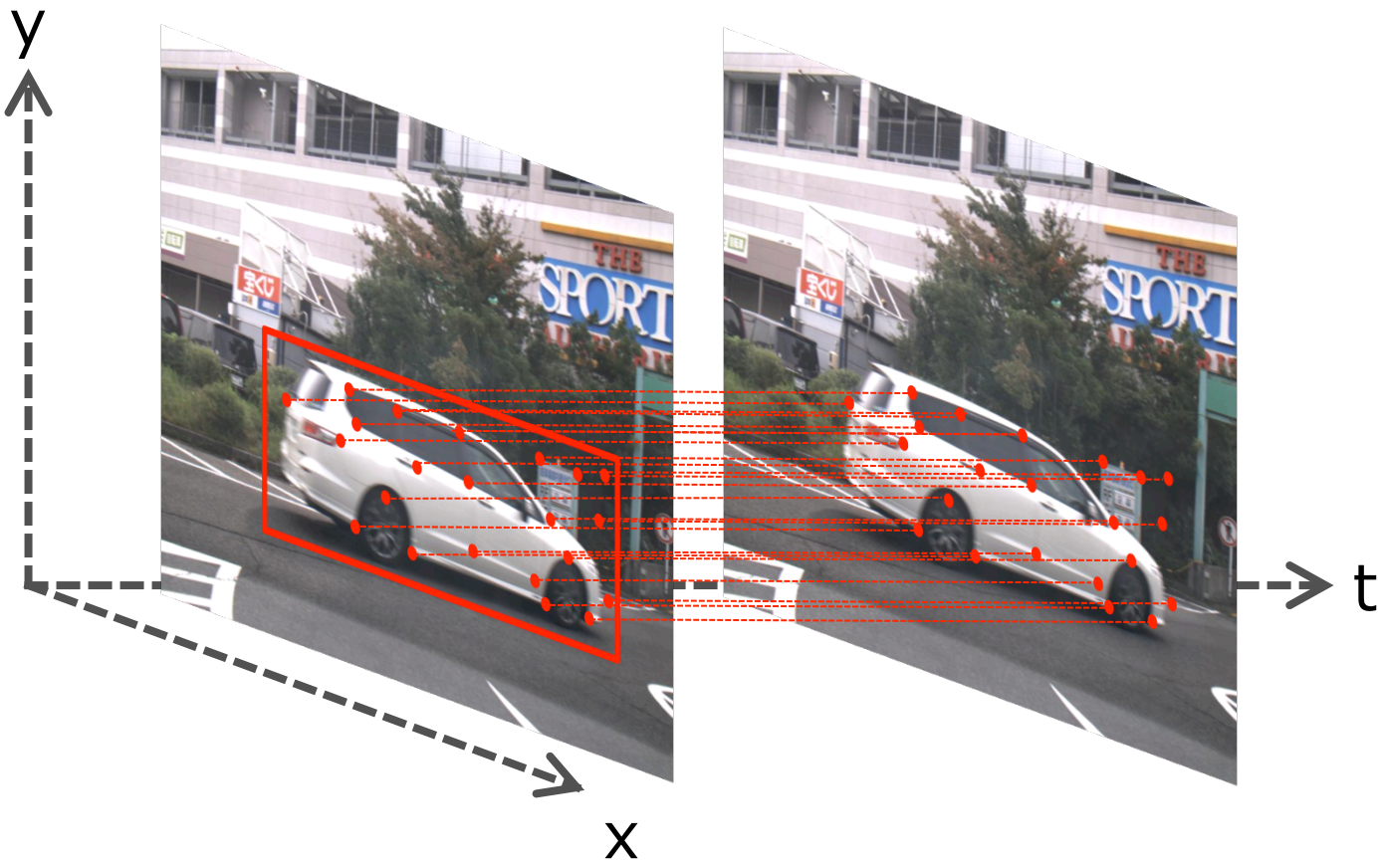
物体検出によって得られた矩形内において、追跡に適した**特徴点を探索**する



KLTとK-meansを用いた物体追跡の流れ（2/3）

[KLT step2]

次のフレームにも同様の処理を行い、対応する点は近傍に存在すると言う仮定のもと、点の対応を計算する（ = **特徴点の追跡**）

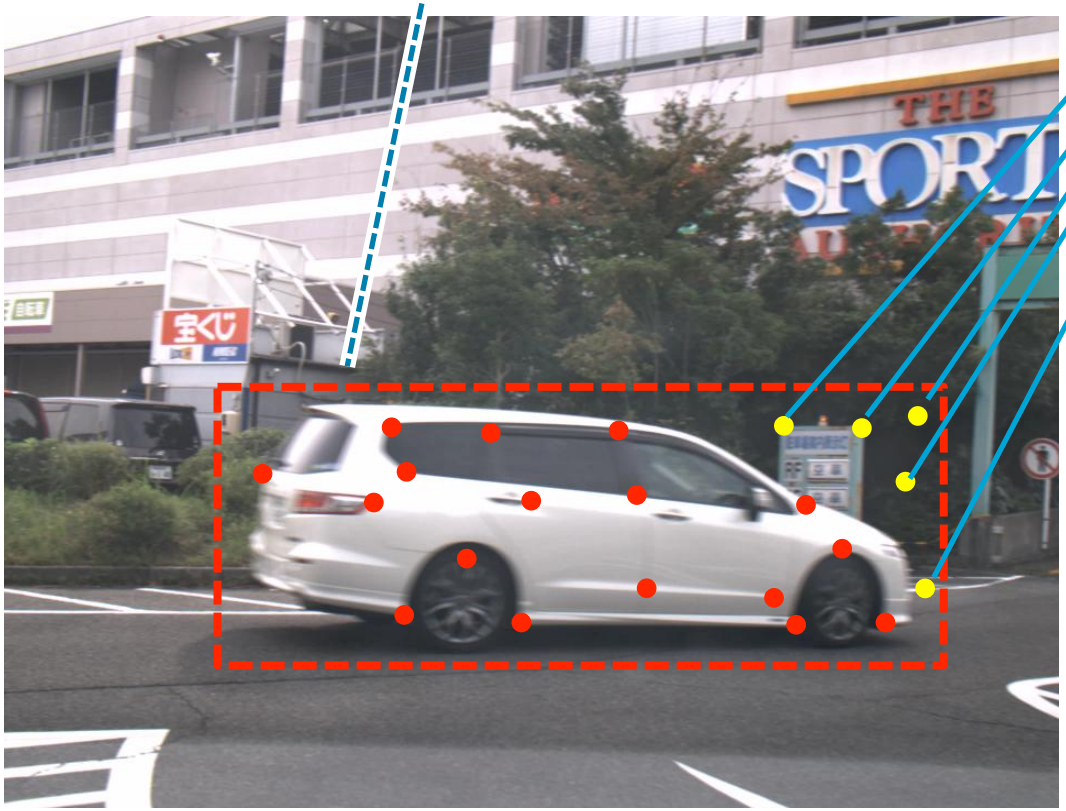


KLTとK-meansを用いた物体追跡の流れ（3/3）

[K-means]

特徴点群を2つのクラスタに分類。外れ値 **（物体上に無い特徴点）を排除**

対象物体上の特徴点を決定することで
このフレームにおける物体位置を決定（＝物体の追跡）

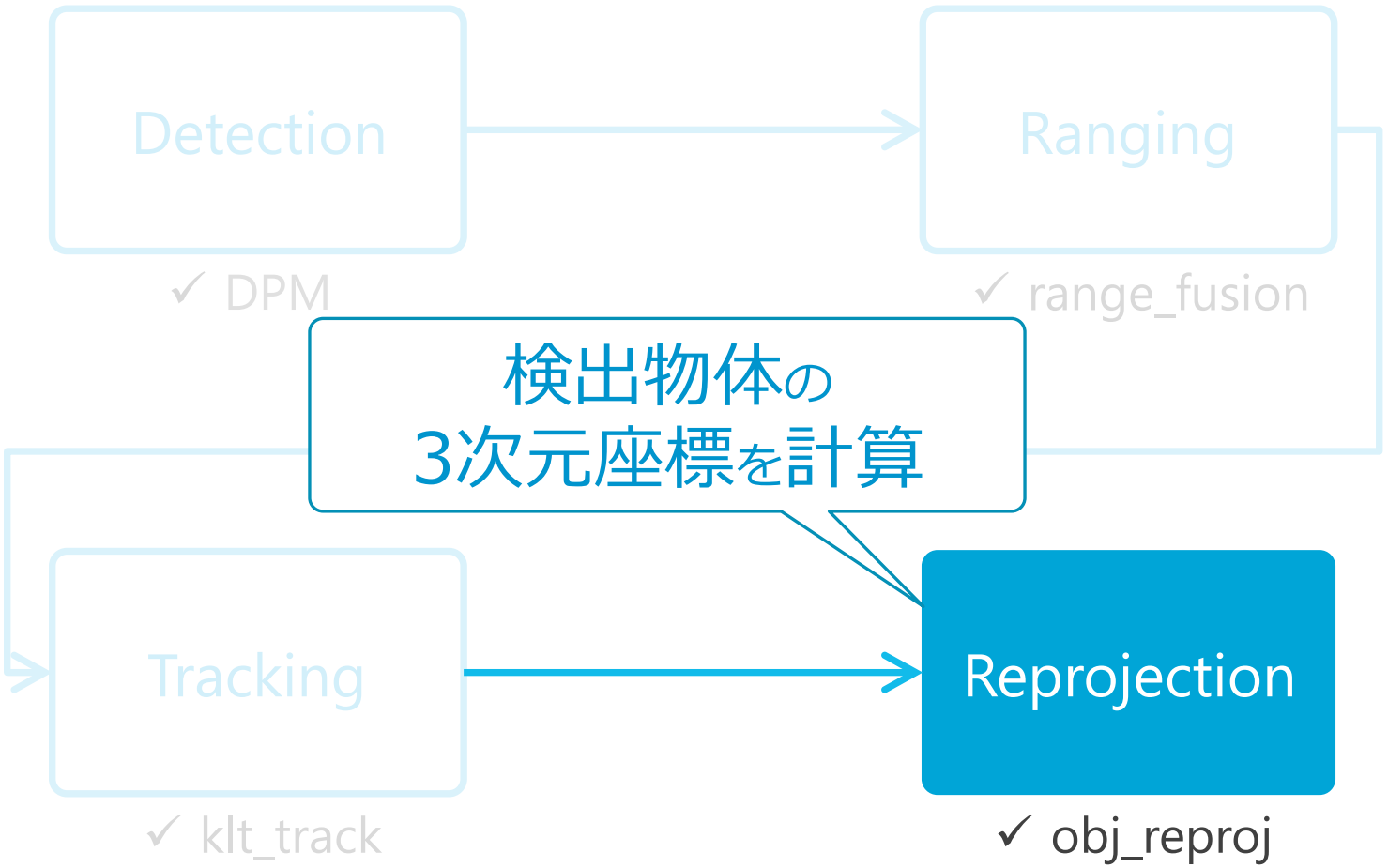


自動運転システムの環境認識技術

第 1 章：物体検出

4. Reprojection

Autowareにおける物体検出の流れ



Current Status

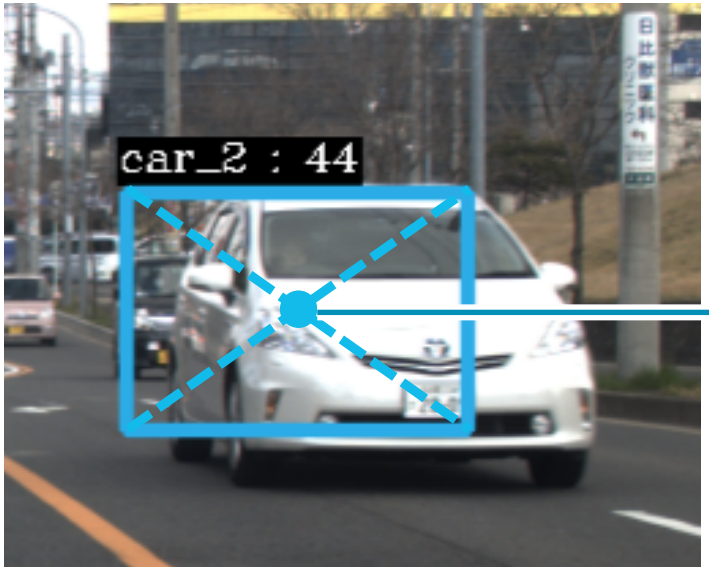
Reprojection

- ✓ ここまで得られている値は、画像上での座標値 + 距離
  → カメラを原点とした3次元座標には変換できる
- ✓ 車両の経路計画等が行われるのは、実空間上の3次元座標系

カメラ座標系上の物体座標 を
実空間の3次元座標系へ再投影（Reprojection） する

画像上の座標からカメラ座標系への変換（1/2）

以下の値は これまでで既知



画像上における物体の座標：(u, v)

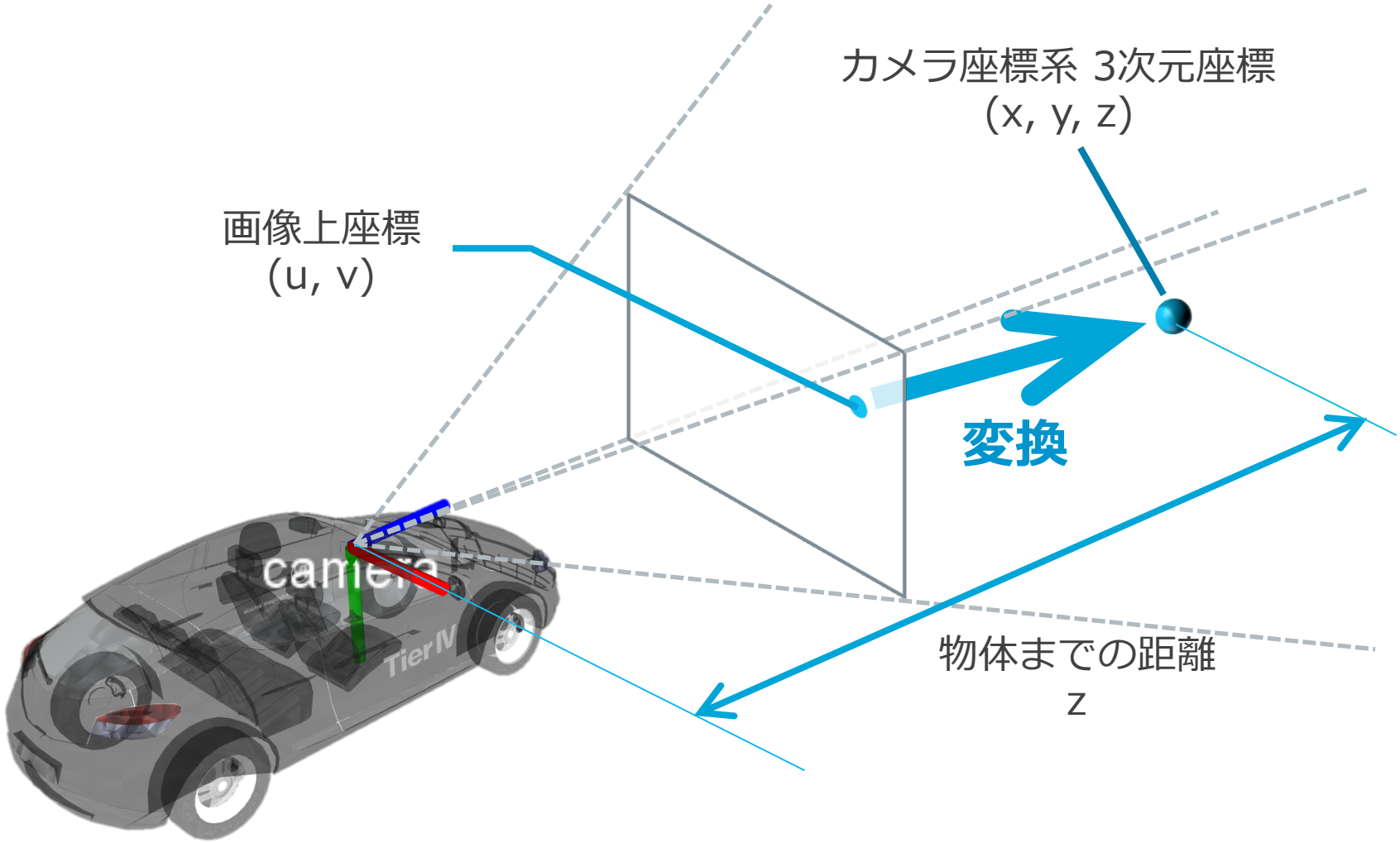
と

物体までの距離：z

カメラ – LIDAR間の位置関係を
用いてカメラから物体までの
距離に変換したもの

画像上の座標からカメラ座標系への変換（2/2）

カメラを原点とした3次元座標系（カメラ座標系）に変換

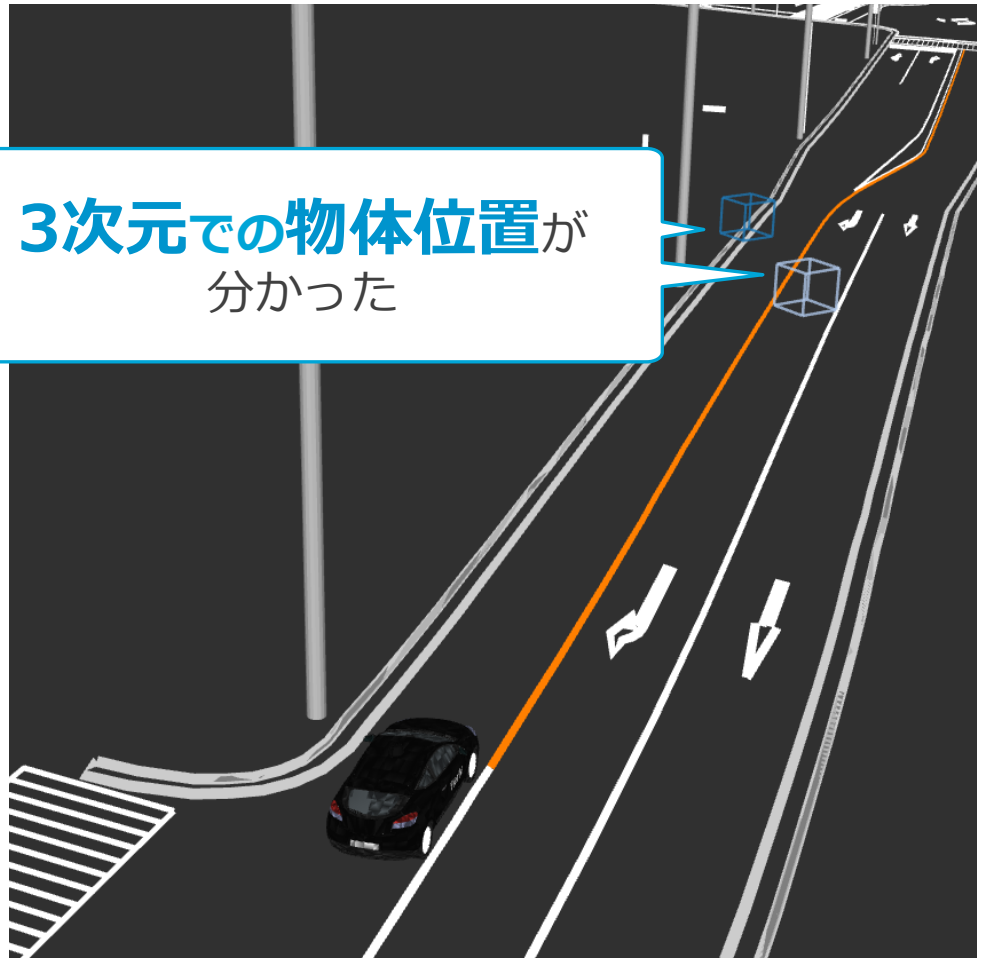


Final Status

カメラとLIDARの位置関係を用いて座標系の変換を行い、3次元物体位置を得る

画像での認識結果

3次元再投影の結果



自動運転システムの環境認識技術

第２章：信号機の色認識

3次元地図 + 画像 + 3次元自己位置推定による信号機認識

Positional Relationship

LIDAR

Localization information on 3D map

Camera

Image

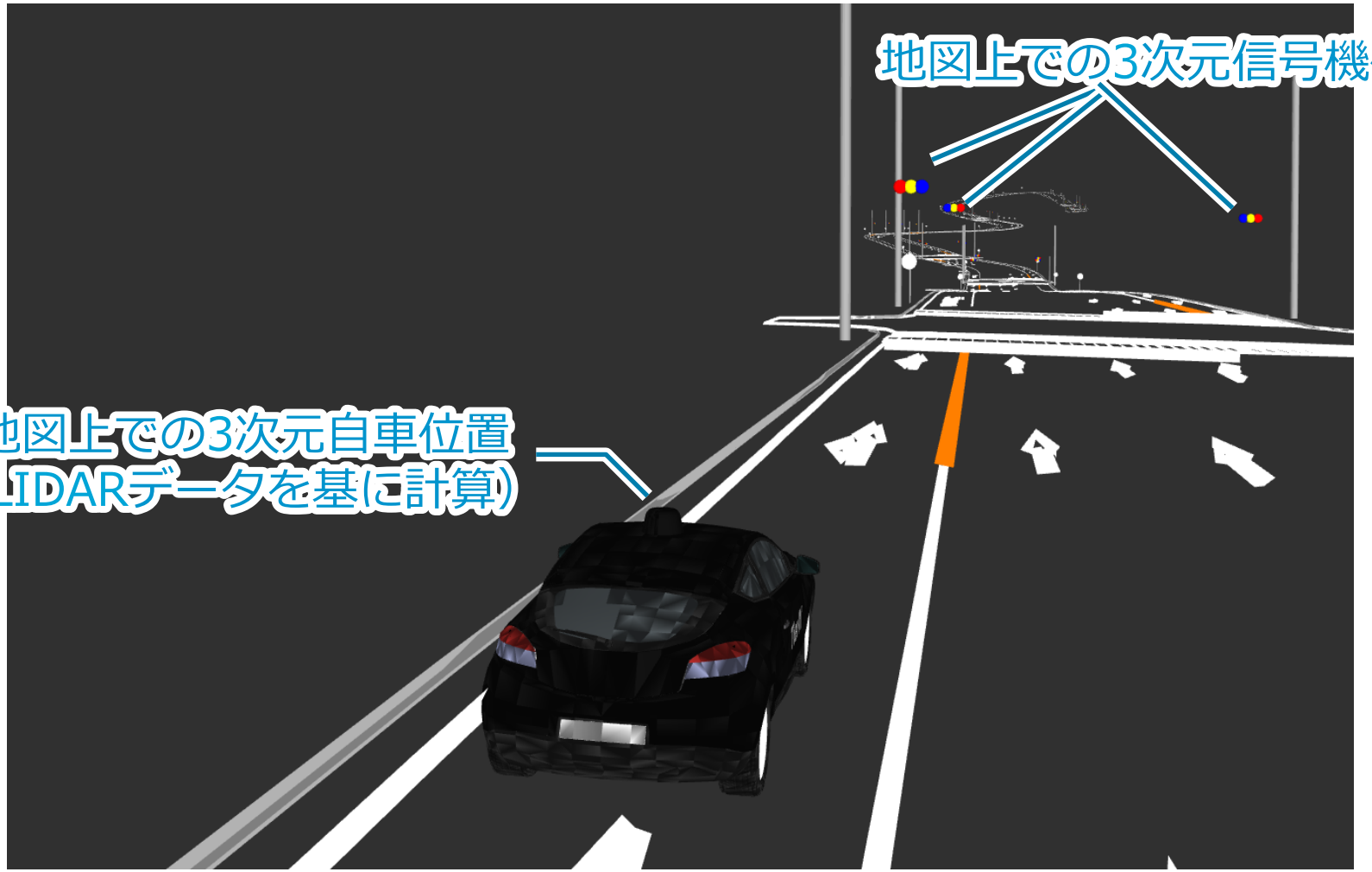
fusion

Extract ROI → Create Mask → Color State Recognition

: data : process

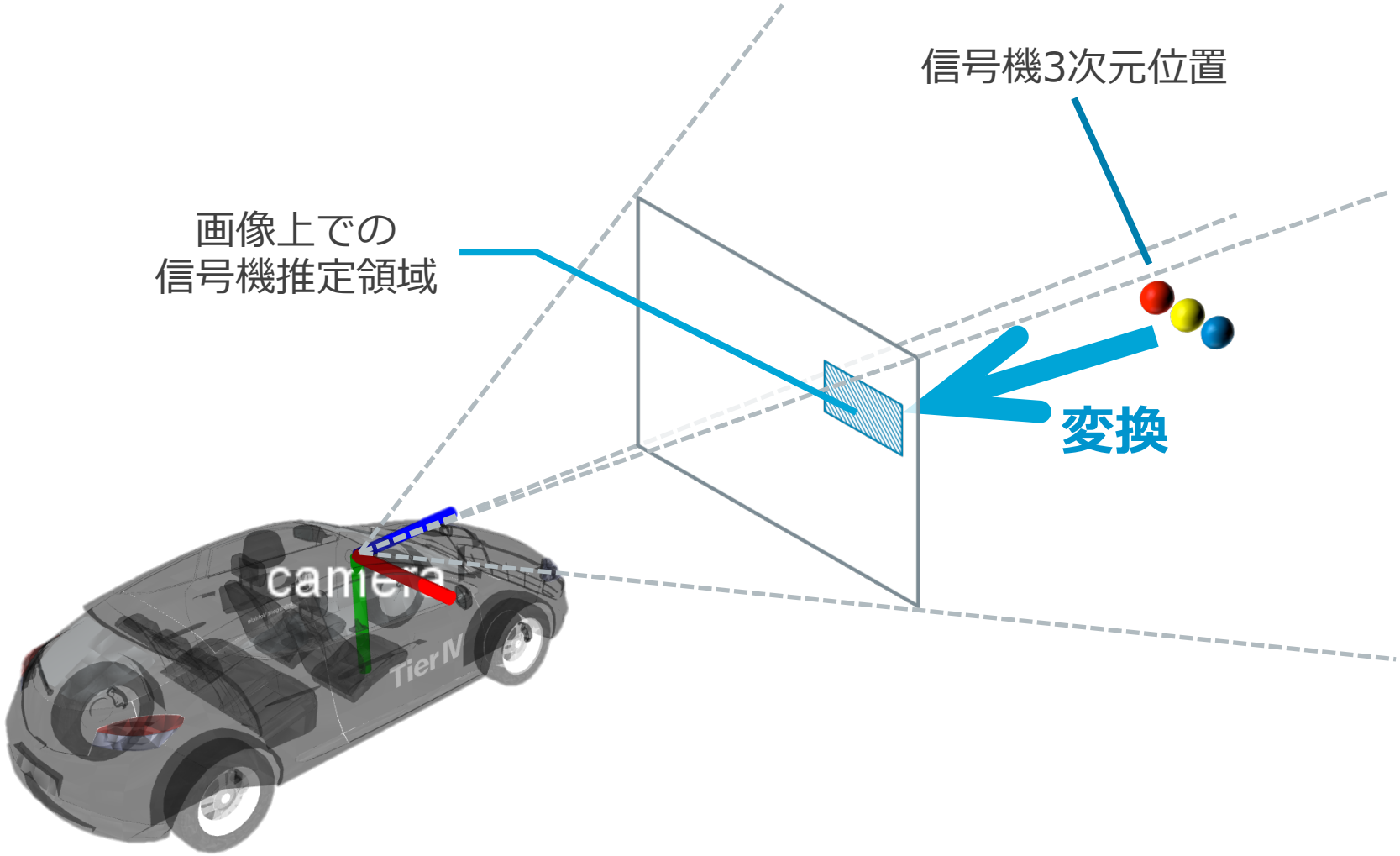
画像上での信号機位置の推定 (1/2)

自車からの相対的な3次元信号機座標を算出



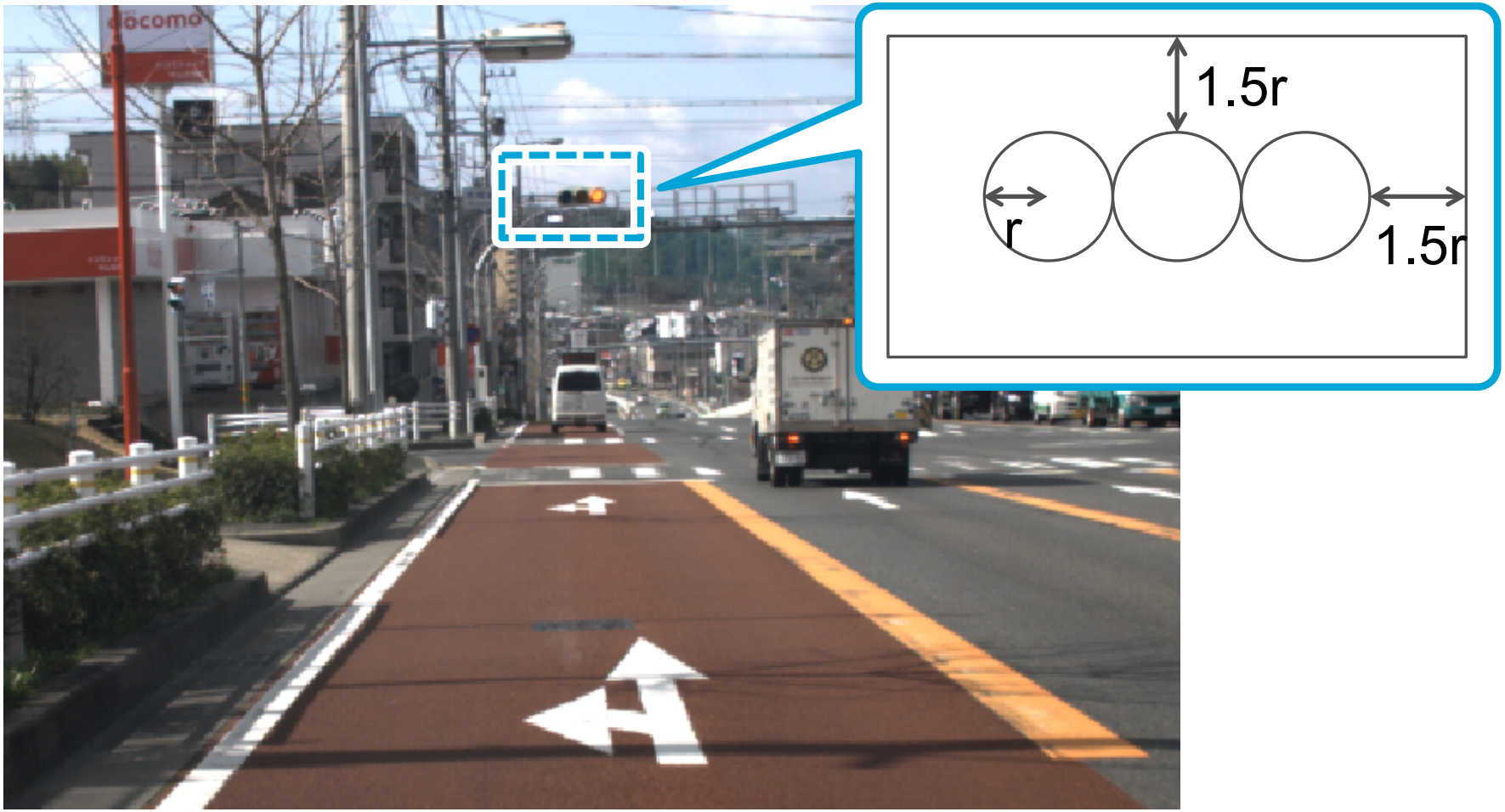
画像上での信号機位置の推定 (2/2)

カメラ – LIDAR間の位置関係を用いて、画像上での信号機位置を推定する



注目矩形の抽出

推定される領域から **余裕を持って注目矩形（ROI）を抽出**
→ キャリブレーションやカメラの振動による誤差に対応する



ROI 内の処理

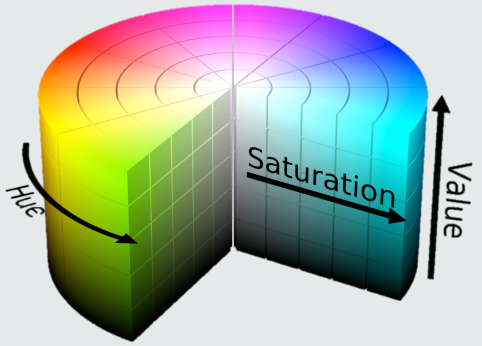
現状は、

- ✓ HSV 色空間における閾値処理や、
- ✓ 円形度による抽出領域のフィルタリング

によって点灯している信号機灯の色判断を行っている

HSV 色空間：
- Hue（色相）
- Saturation（彩度）
- Value（明度）

から成る色空間



円形度：
下式により示される、
ある領域の形がどれだけ円に近いかを示す度合い

$$R=4\pi S/L\uparrow 2$$

(S：領域面積，L：領域周長)

Final Status

自動運転システムの環境認識技術

第３章：まとめ

まとめ

第１章：物体検出

1. Detection：画像上での物体検出
2. Ranging　：検出物体までの距離計算
3. Tracking　：検出した物体を追跡
4. Reprojection：検出した物体の3次元座標を計算

第２章：信号機の色認識

- 3次元地図 + 画像 + 3次元自己位置推定の結果から、対象領域を決定
  抽出した対象領域を用いて、色状態を認識

Intelligent Vehicle

www.tier4.jp