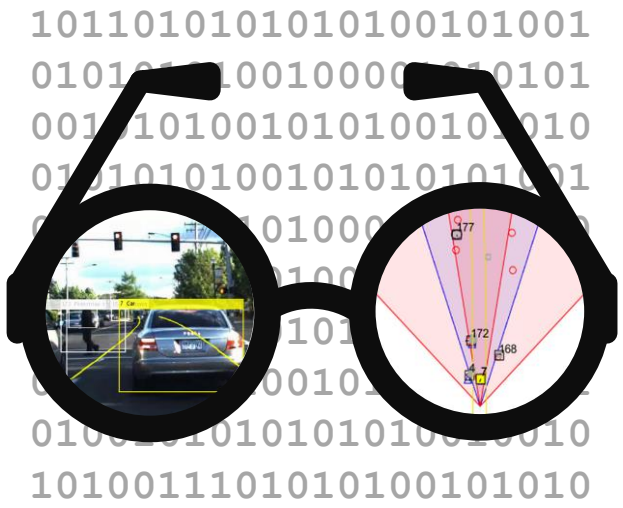
Automated Driving System Toolbox™
～ ADAS/自動運転 の開発・検証プラットフォーム ～

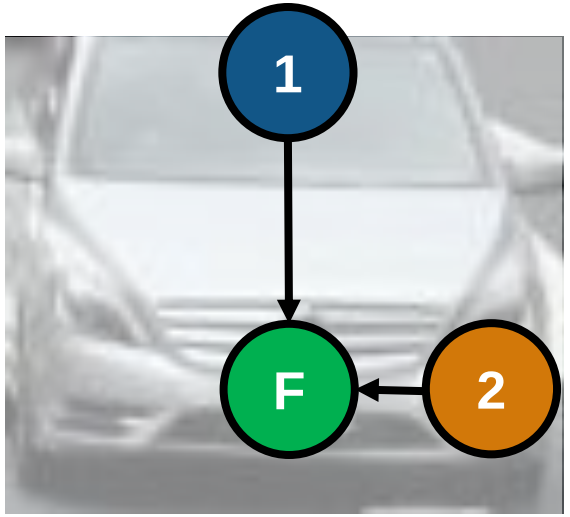
MathWorks Japan
アプリケーションエンジニアリング部
乙部　雅則

R2017a

ADAS/自動運転 開発に関して良くある悩み



センサーデータの
可視化を
どう行うか？



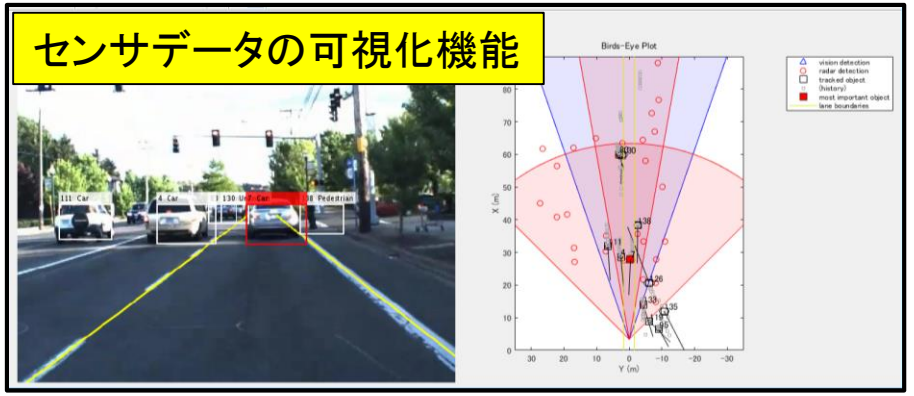
センサーフュージョン・判断ロジック
をいかに開発し
検証するか？

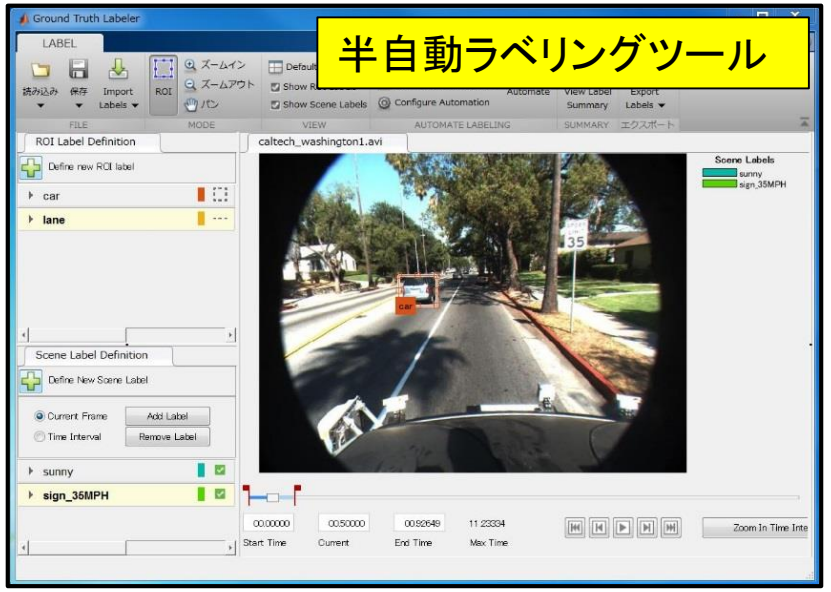
認知部分の開発・検証をいかに
効率よく行うか？

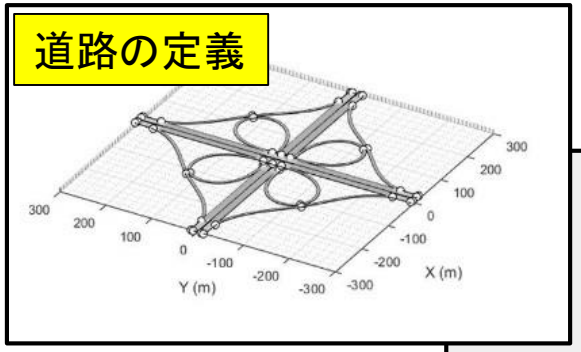
Automated Driving System Toolbox

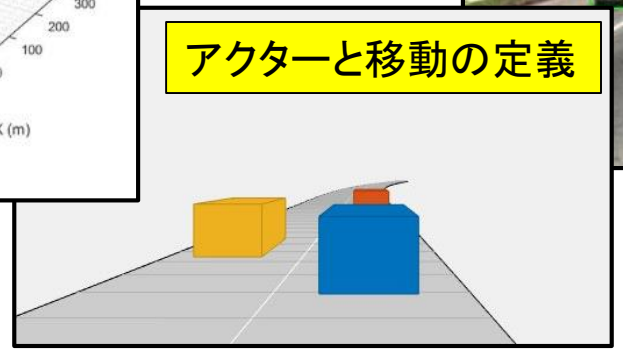
コンセプト：ADAS/自動運転 開発・検証環境の統合プラットフォーム

1. センサデータの可視化
2. テストシナリオ生成
3. 自動運転に関連する画像処理やトラッキング アルゴリズム
4. Ground Truth ラベリングツール







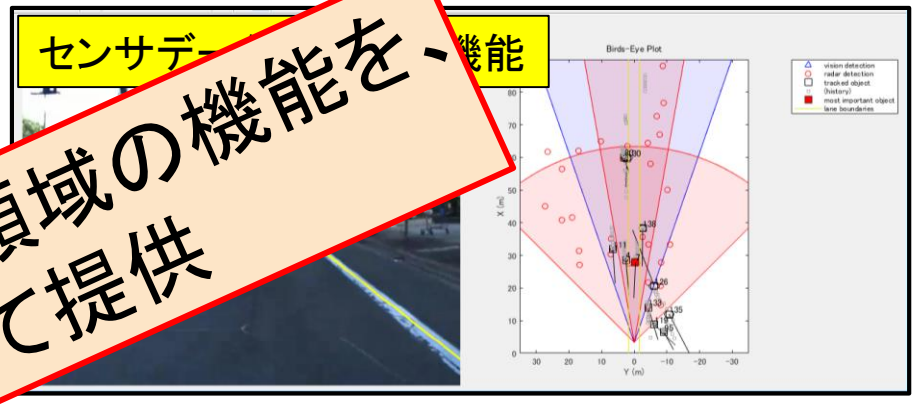


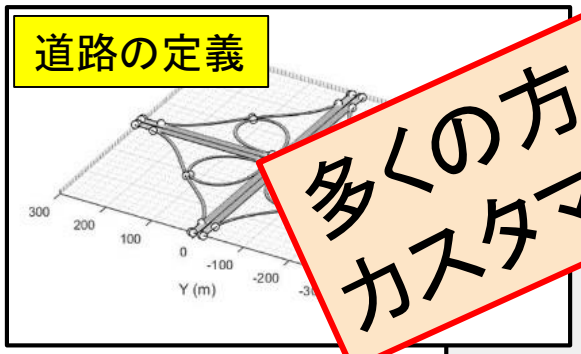
Automated Driving System Toolbox

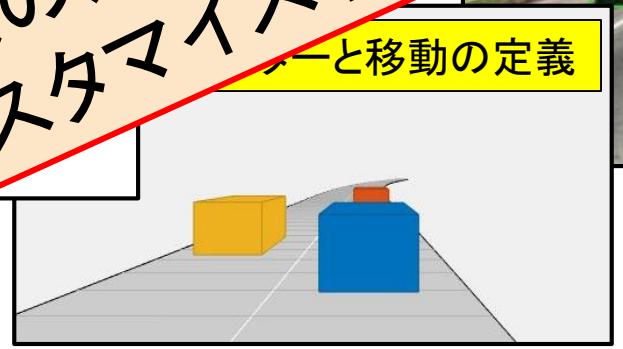
コンセプト：ADAS/自動運転 開発・検証環境の統合プラットフォーム

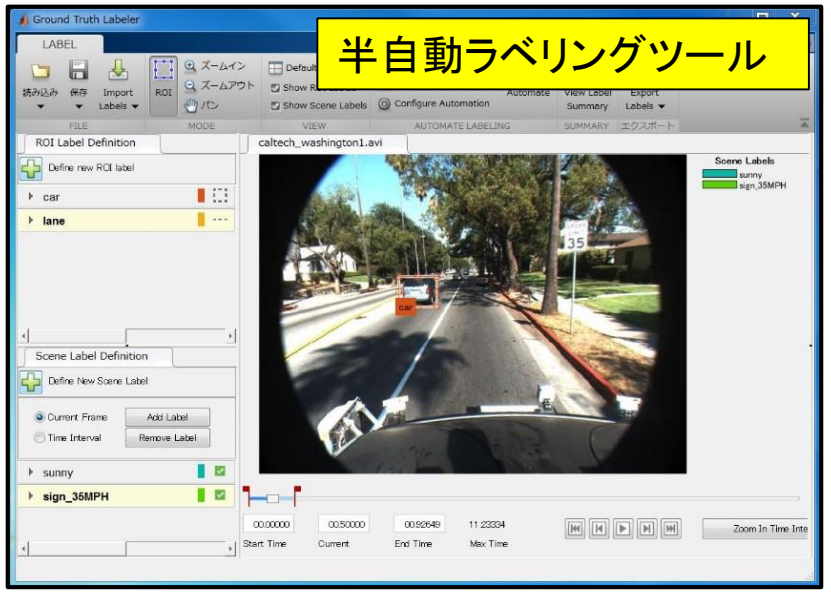
1. センサデータの可視化
2. テストシナリオ生成
3. 自動運転に関連する画像処理やトラッキング アルゴリズム
4. Ground Truth ラベリングツール

多くの方が共通して使用する非競争領域の機能を、カスタマイズ容易な部品・ツールとして提供

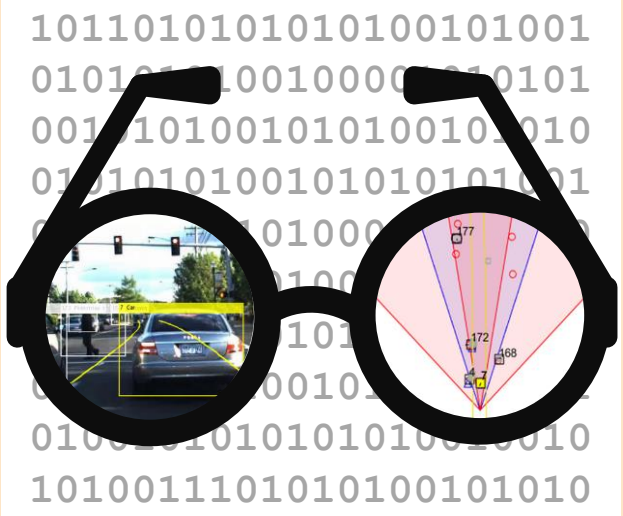




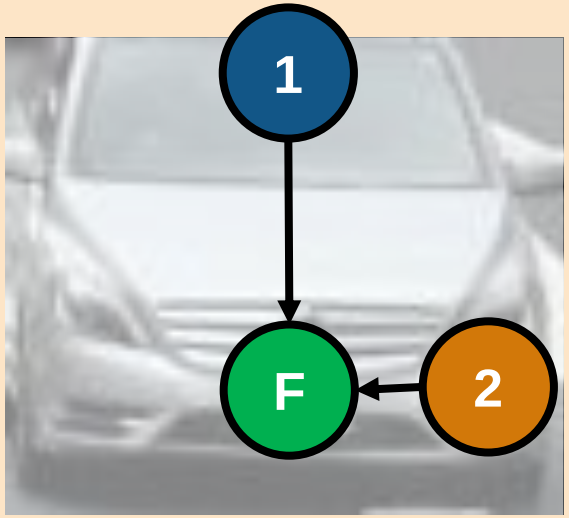




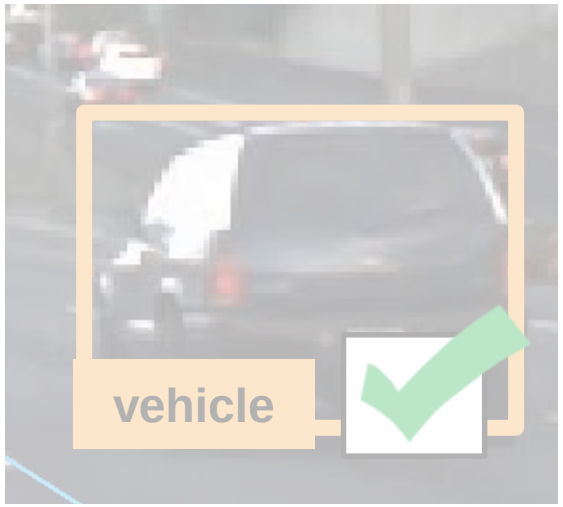
ADAS/自動運転 開発に関して良くある悩み



センサーデータの
可視化を
どう行うか？



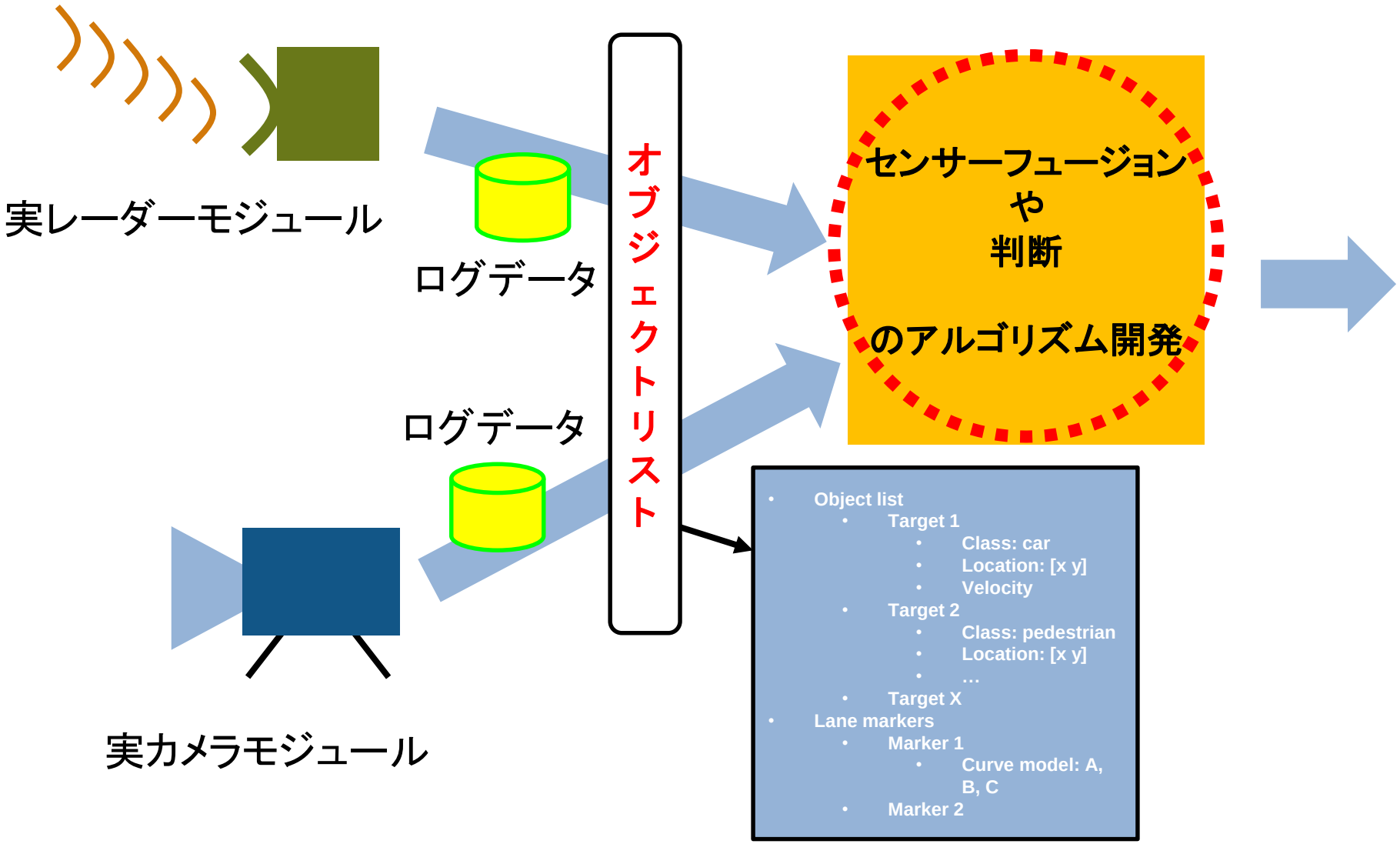
センサーフュージョン・
判断ロジック
をいかに開発し
検証するか？



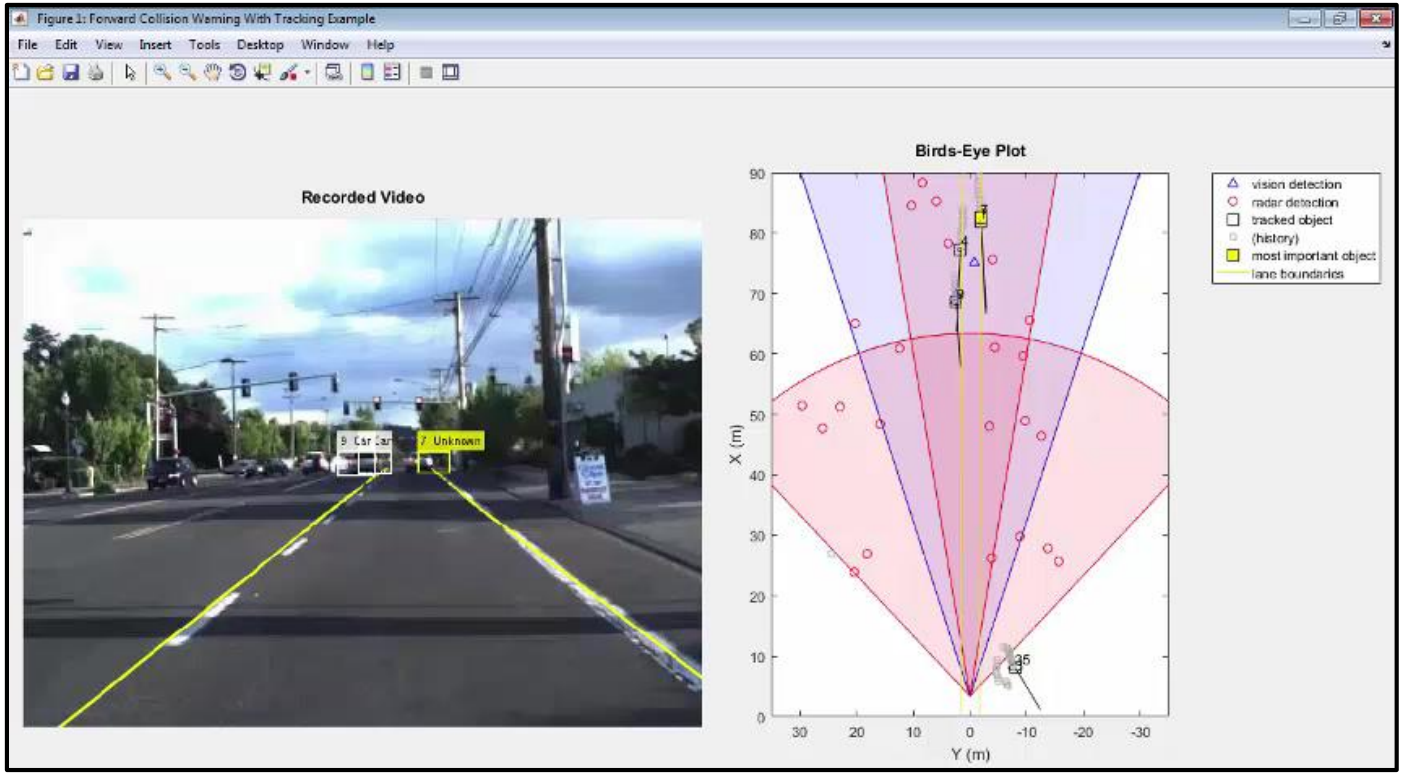
認知部分の開発・
検証をいかに
効率よく行うか？

ユースケース 1　センサーフュージョン アルゴリズム 開発

～ 多様な入力データを用いた、センサーフュージョン開発環境の提供（1）～



ユースケース 1
センサーフュージョン アルゴリズム 開発



実カメラ・レーダーモジュールの出力（オブジェクトリスト）をプロット。
ビデオへのアノテーション。センサーフュージョン。

提供機能

センサーフュージョンとトラッキングフレームワーク
- トラックの生成・消滅の管理

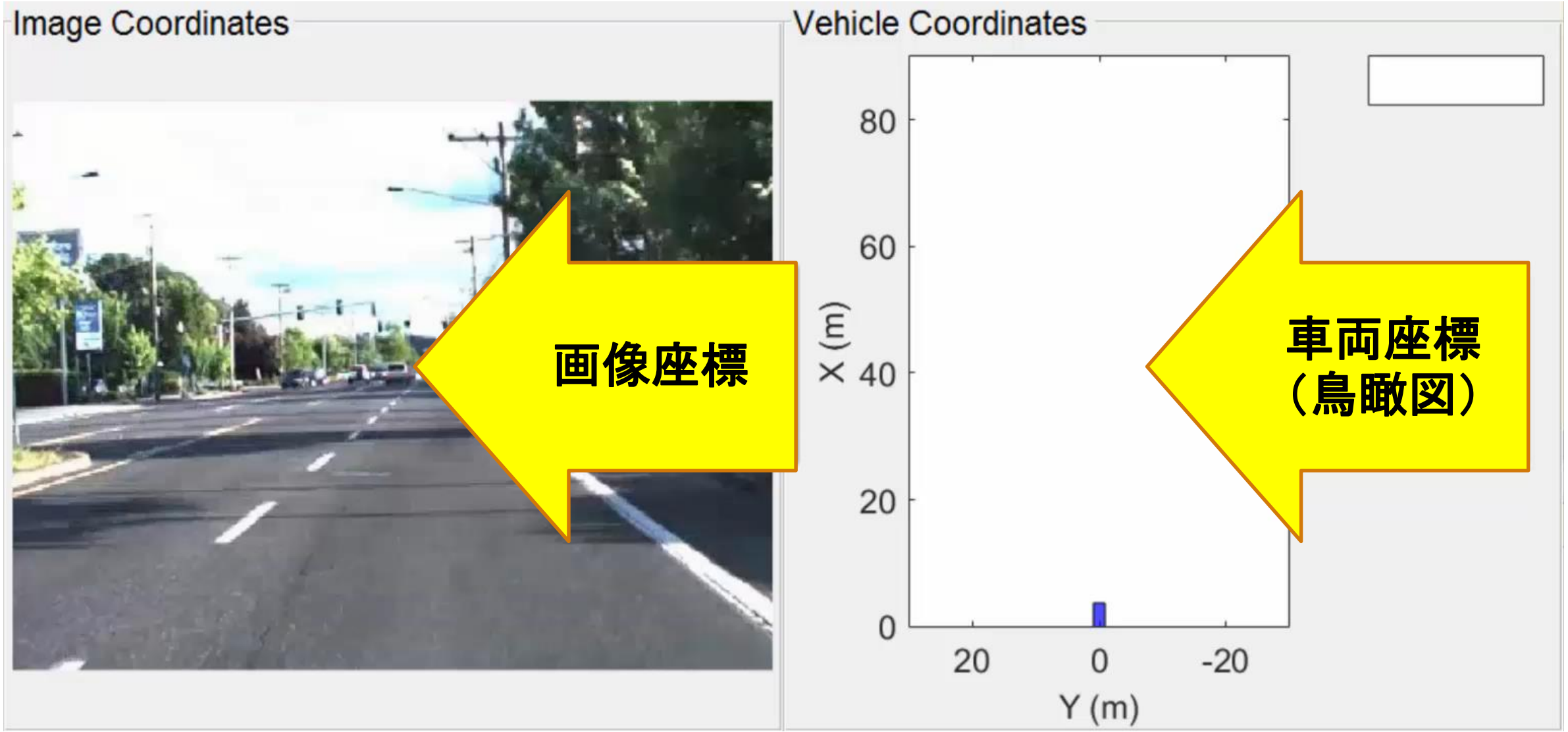
各種トラッキングのフィルタ と 運動モデル
- 線形, 拡張 & unscented カルマンフィルタ
- 速度一定, 加速度一定、回転速度一定

可視化機能
- 検出結果表示とトラッキング向け、2次元鳥瞰図表示
- 前方撮影ビデオへの、カメラ・レーダーモジュール出力の合成

サンプルプログラム
- カメラとレーダーを用いた、前方衝突警告
- 単眼カメラによる、複数の車両トラッキング

デモ

センサーデータの可視化



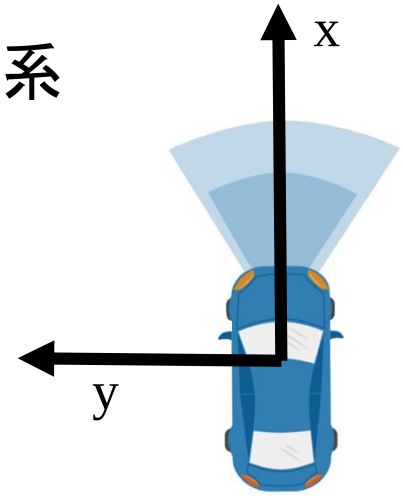
画像座標への表示

```
%% Specify time to inspect
currentTime = 6.55;
video.CurrentTime = currentTime;

%% Extract video frame
frame = video.readFrame;

%% Plot image coordinates
ax1 = axes(...
    'Position',[0.02 0 0.55 1]);
im = imshow(frame,...
    'Parent',ax1);
```

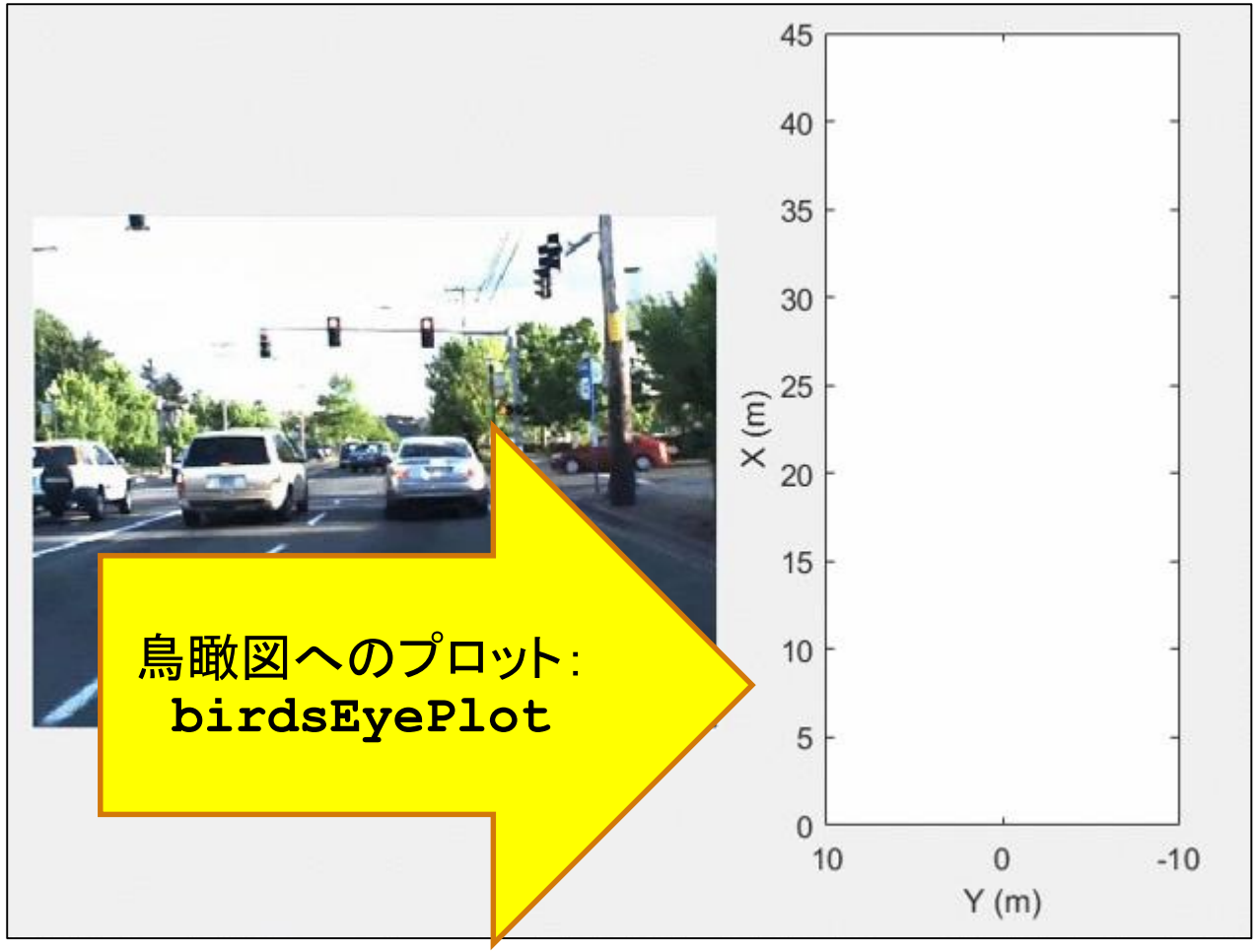
画像座標への表示
（各種画像処理用関数）:
imshow 等

鳥瞰図への表示: 車両座標

- ISO 8855 車両座標系
  - 前方: x 正方向
  - 左: y 正方向

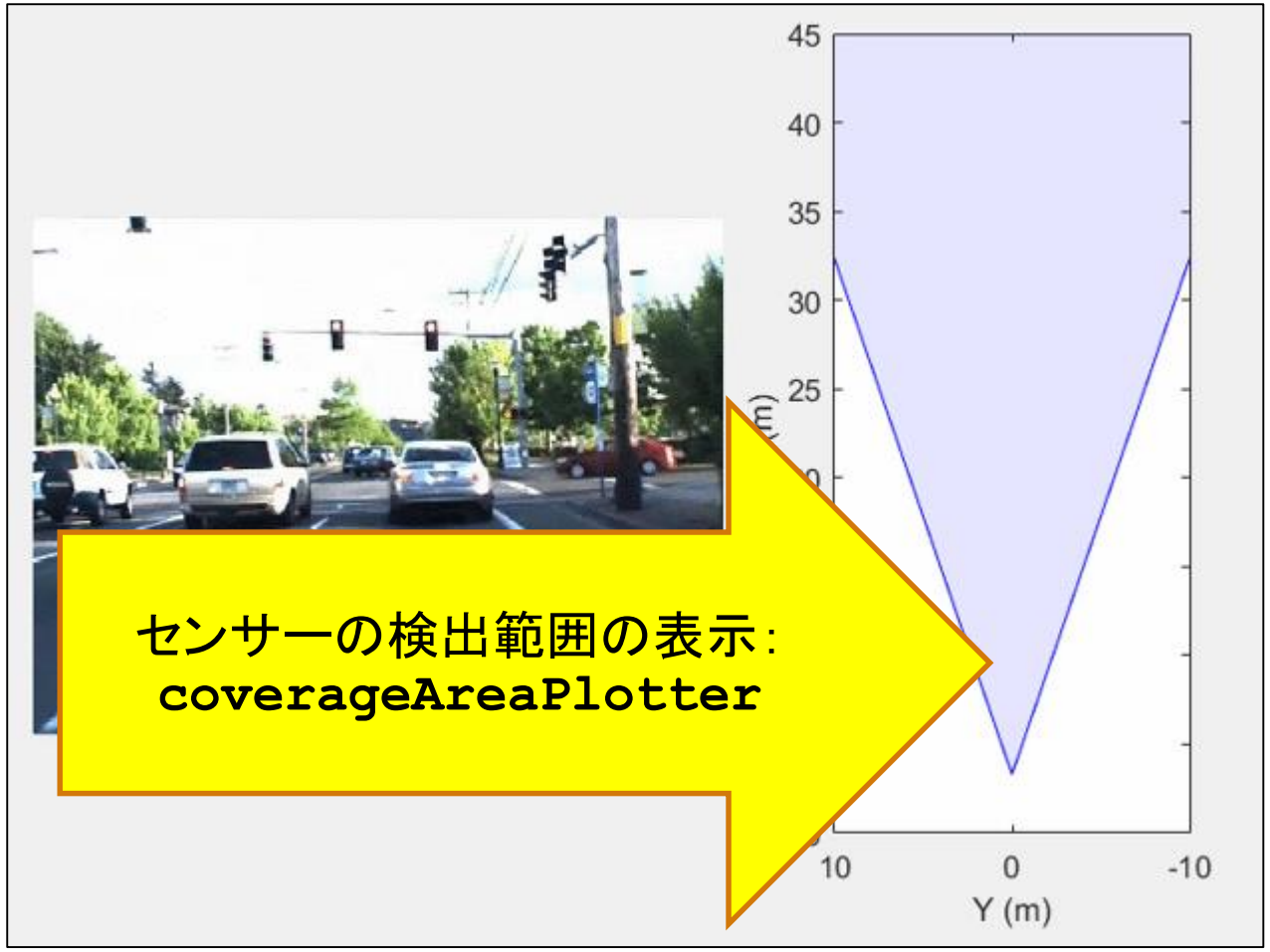



```
%% Plot in vehicle coordinates
ax2 = axes(...
    'Position',[0.6 0.12 0.4 0.85]);
bep = birdsEyePlot(...
    'Parent',ax2,...
    'Xlimits',[0 45],...
    'Ylimits',[-10 10]);
legend('off');
```



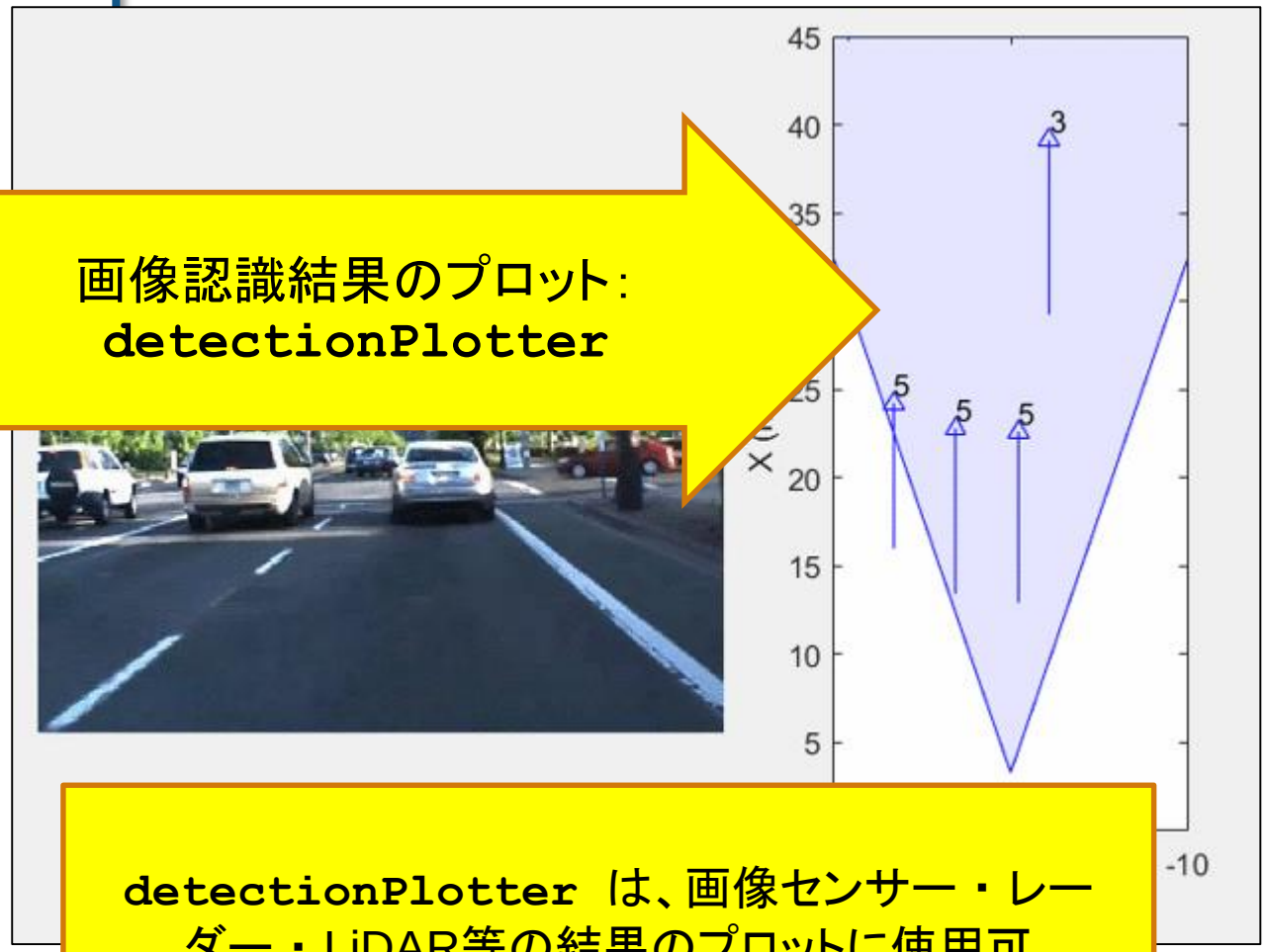
センサーの検出範囲の可視化 (鳥瞰図)

```
%% Create coverage area plotter
covPlot = coverageAreaPlotter(bep,...
    'FaceColor','blue',...
    'EdgeColor','blue');

%% Update coverage area plotter
plotCoverageArea(covPlot,...
    [sensorParams(1).X ...  % Position x
     sensorParams(1).Y],... % Position y
    sensorParams(1).Range,...
    sensorParams(1).YawAngle,...
    sensorParams(1).FoV(1)) % Field of view
```



認識結果の可視化 (車両座標)

```
%% Create detection plotter
detPlot = detectionPlotter(bep, ...
    'MarkerEdgeColor','blue',...
    'Marker','^');

%% Update detection plotter
n = round(currentTime/0.05);
numDets = vision(n).numObjects;
pos = zeros(numDets,3);
vel = zeros(numDets,3);
labels = repmat({''},numDets,1);
for k = 1:numDets
    pos(k,:) = vision(n).object(k).position;
    vel(k,:) = vision(n).object(k).velocity;
    labels{k} = num2str(...
      vision(n).object(k).classification);
end
plotDetection(detPlot,pos,vel,labels);
```

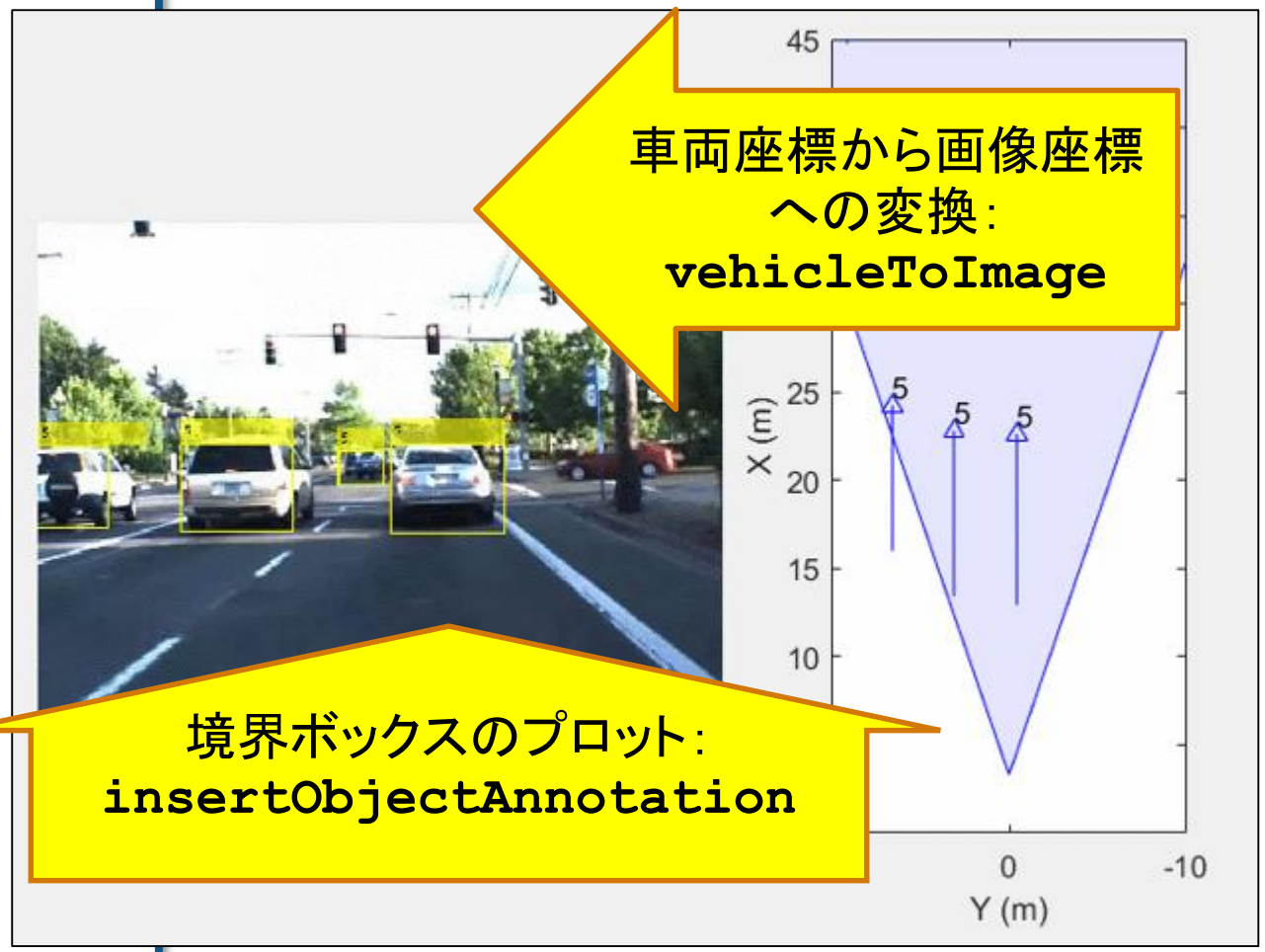


画像認識結果のプロット:
detectionPlotter

detectionPlotter は、画像センサー・レーダー・LiDAR等の結果のプロットに使用可

検出結果のプロット (画像座標)

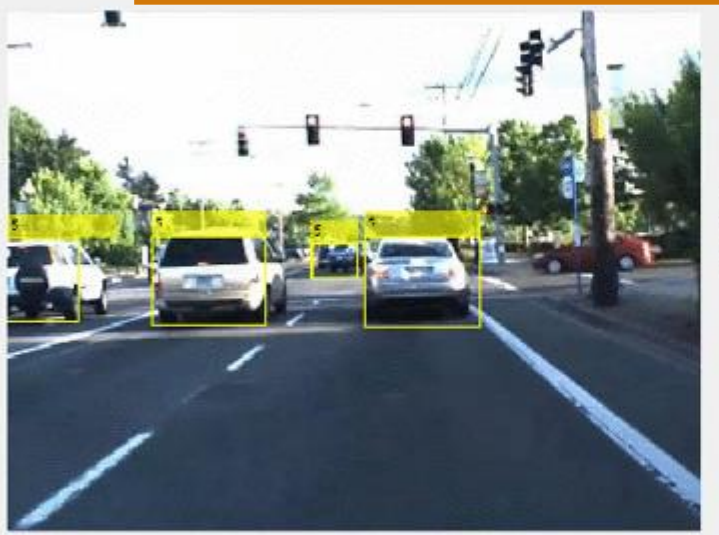
```
%% Bounding box positions in image coordinates
imBoxes = zeros(numDets,4);
for k = 1:numDets
  if vision(n).object(k).classification == 5
    vehPosLR = vision(n).object(k).position(1:2)';
    imPosLR = vehicleToImage(sensor, vehPosLR);
    boxHeight = 1.4 * 1333 / vehPosLR(1);
    boxWidth  = 1.8 * 1333 / vehPosLR(1);
    imBoxes(k,:)=[imPosLR(1) - boxWidth/2, ...
                  imPosLR(2) - boxHeight, ...
                  boxWidth, boxHeight];
  end
end

%% Draw bounding boxes on image frame
frame = insertObjectAnnotation(frame, ...
    'Rectangle', imBoxes, labels,...
    'Color','yellow','LineWidth',2);
im.CData = frame;
```

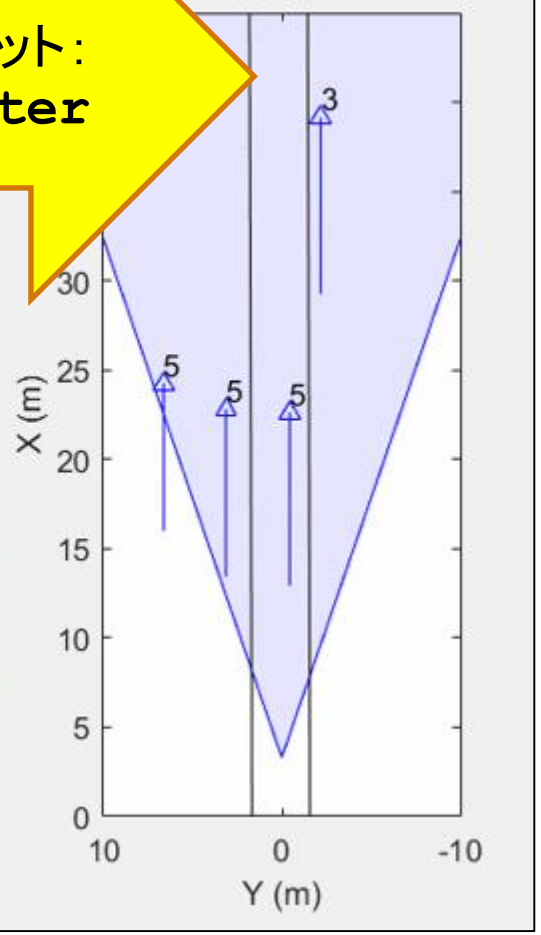


区画線の可視化 (鳥瞰図)

```
%% Create lane detection plotter
lanePlot = laneBoundaryPlotter(bep, ...
    'Color','black');

%% Update lane detection plotter
lb = parabolicLaneBoundary([...
      lane(n).left.curvature,...
      lane(n).left.headingAngle,...
      lane(n).left.offset]);
rb = parabolicLaneBoundary([...
      lane(n).right.curvature,...
      lane(n).right.headingAngle,...
      lane(n).right.offset]);
plotLaneBoundary(lanePlot, [lb rb])
```

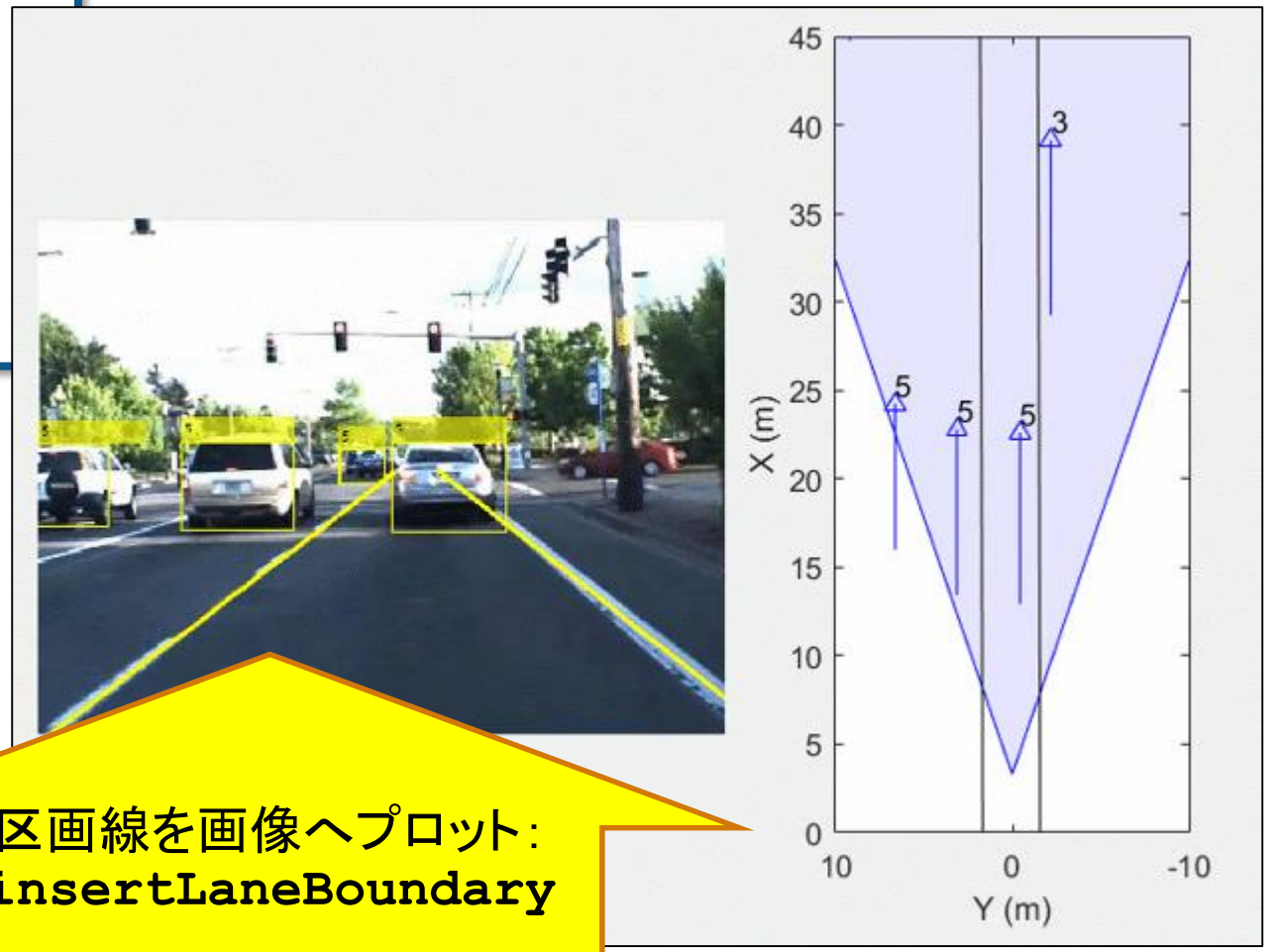
区画線を鳥瞰図へプロット:
laneBoundaryPlotter





区画線の可視化 (画像座標)

```
%% Draw in image coordinates
frame = insertLaneBoundary(frame, ...
    [lb rb], sensor, (1:100),...
    'LineWidth',5);
im.CData = frame;
```



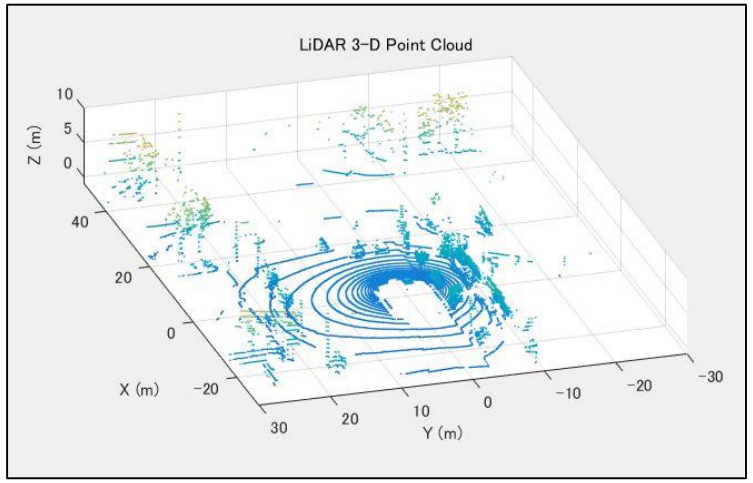
区画線を画像へプロット:
insertLaneBoundary

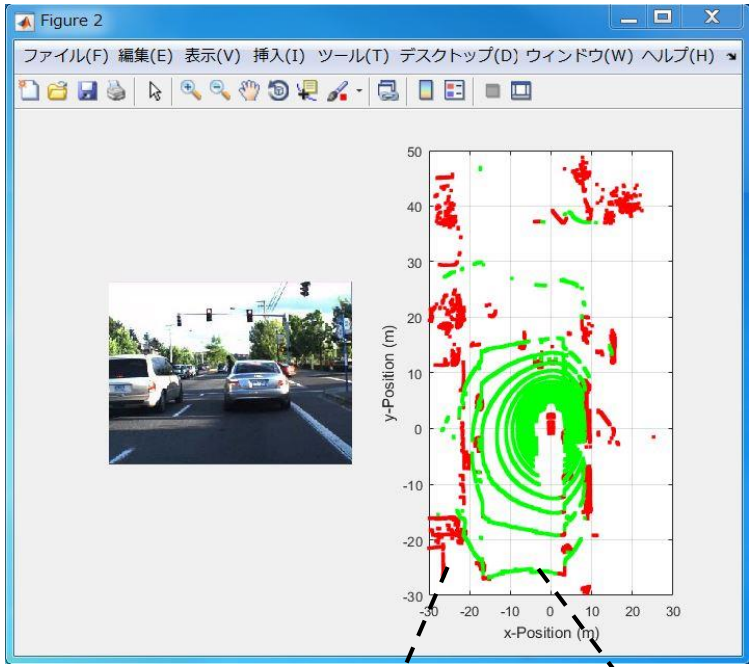
LiDAR信号処理

- LiDAR: **Li**ght **D**etection **A**nd **R**anging
- レーザーによる高精度な距離測定

[3次元点群処理用の各種関数]
- 3次元表示機能
- ノイズ除去
- 点群データの間引き
- 幾何学形状（面等）へのフィッティング
- 垂線の計算
- 複数点群の位置あわせ
- 複数点群のマージ

MATLABを用いることで
データの可視化や解析・
アルゴリズム開発の効率化

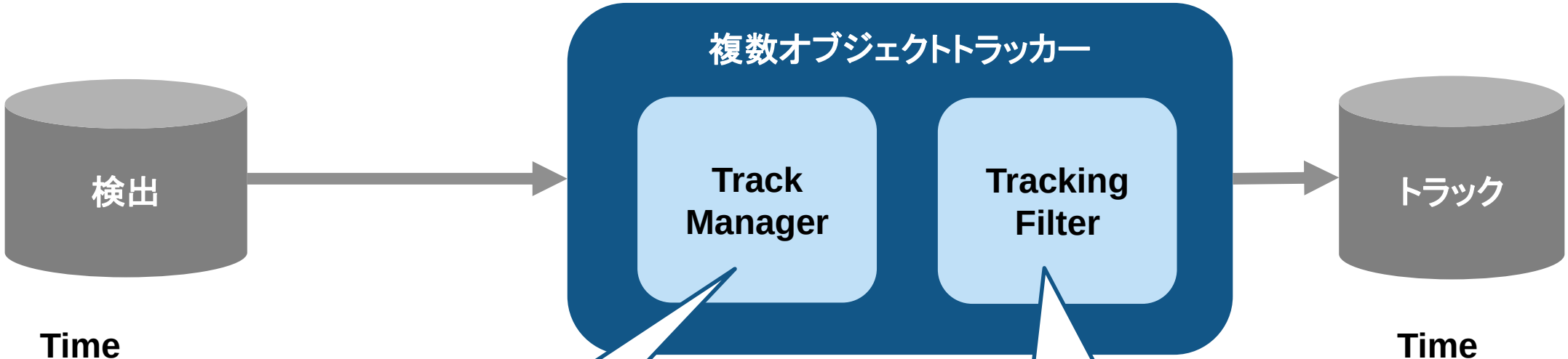




赤：障害物　　緑：路面

デモ

複数オブジェクトのトラキング



Time
Measurement
Measurement Noise

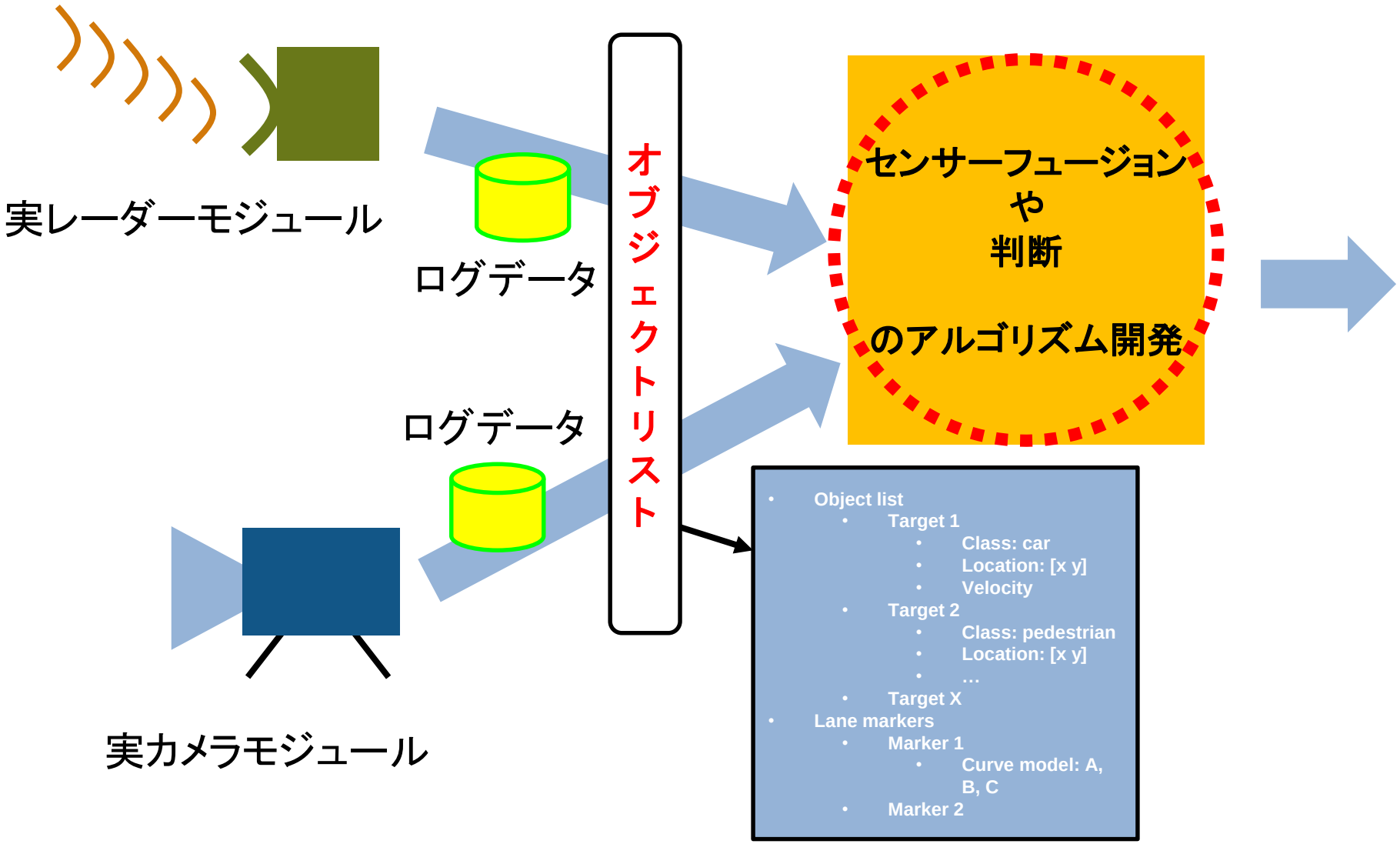
- 検出結果のトラックへの割当て
- 新しいトラックの生成
- 現有トラックの更新
- 古いトラックの削除

- トラックの状態の予測・更新
- カルマンフィルター:
  線形・拡張・unscented

Time
State
State Covariance
Track ID
Age
Is Confirmed
Is Coasted

ユースケース 1　センサーフュージョン アルゴリズム 開発

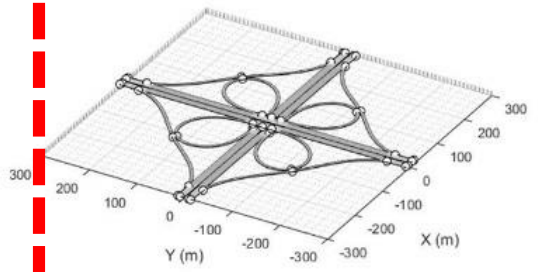
～ 多様な入力データを用いた、センサーフュージョン開発環境の提供（1）～

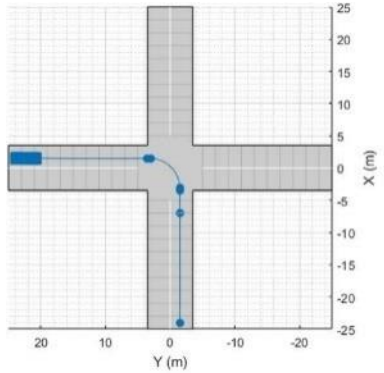


ユースケース 2　センサーフュージョン アルゴリズム 開発

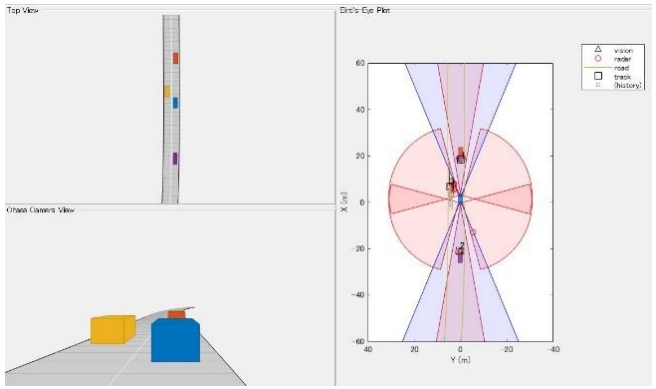
～ 多様な入力データを用いた、センサーフュージョン開発環境の提供（2）～

シナリオ生成





レーダーモデル



カメラモデル

オブジェクトリスト

- Object list
  - Target 1
    - Class: car
    - Location: [x y]
    - Velocity
  - Target 2
    - Class: pedestrian
    - Location: [x y]
    - …
  - Target X
- Lane markers
  - Marker 1
    - Curve model: A, B, C
  - Marker 2

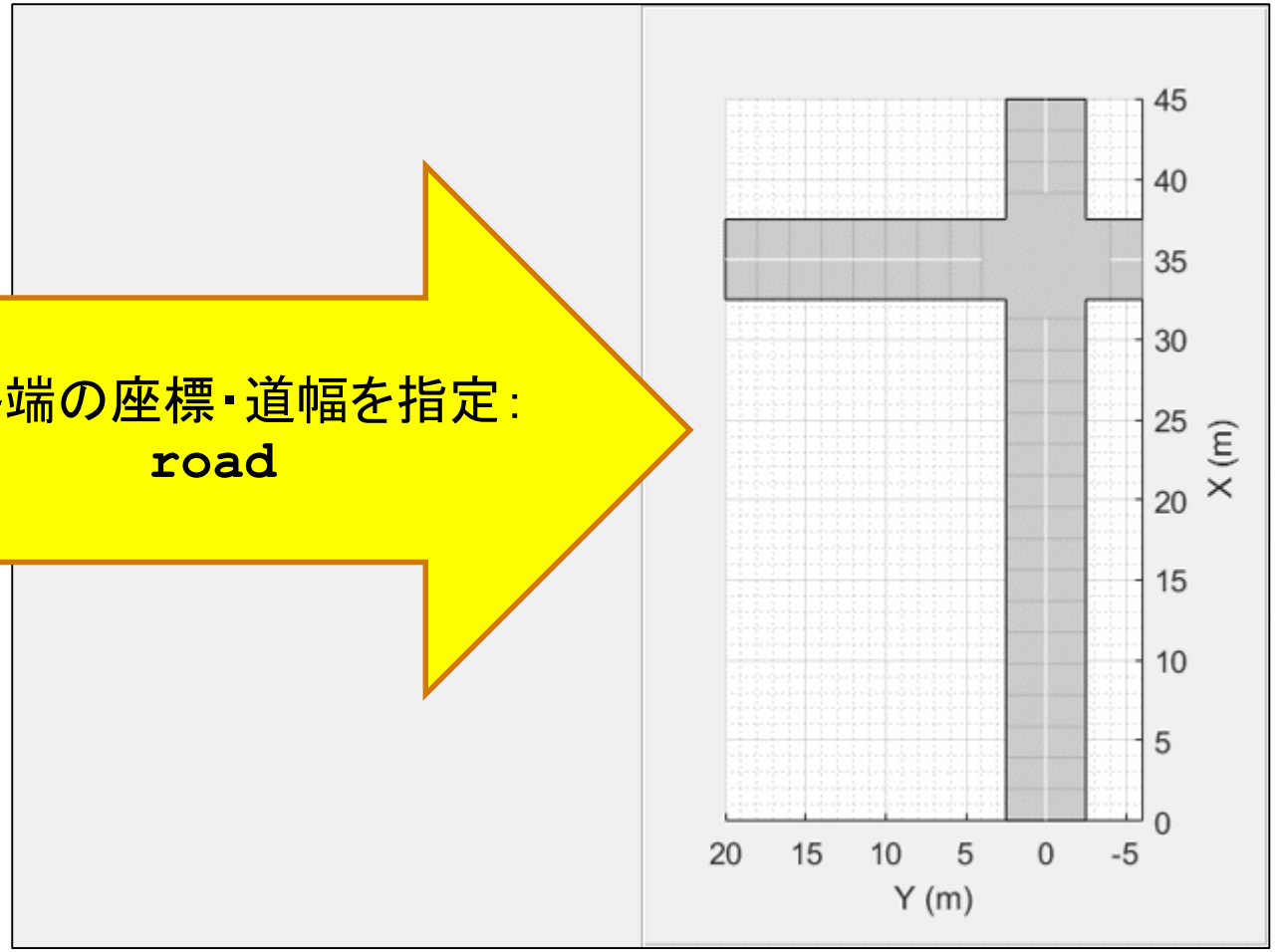
センサーフュージョン
や
判断
のアルゴリズム開発

デモ

道路の定義

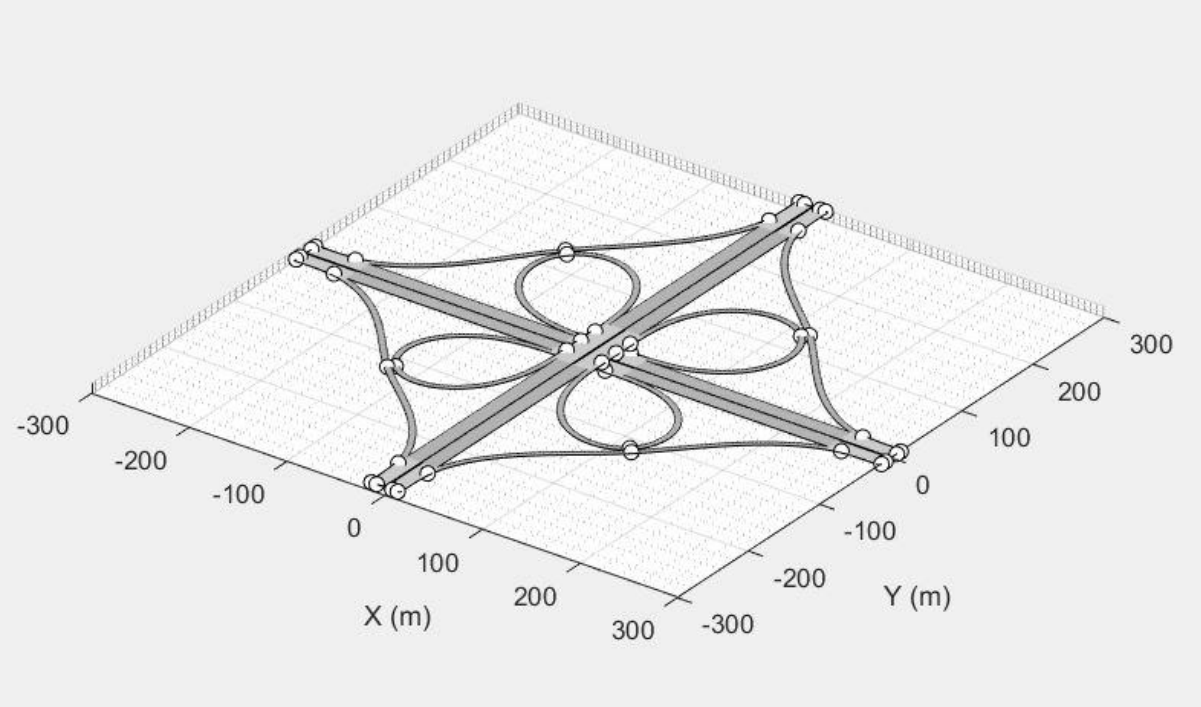
```
%% Create a new scenario
s = drivingScenario('SampleTime', 0.05);

%% Create road
road(s, [ 0   0; ...   % Centers [x,y] (m)
          45  0],...
          5);          % Width (m)
road(s, [35  20; ...
          35 -10],...
          5);

%% Plot scenario
p1 = uipanel('Position',[0.5 0 0.5 1]);
a1 = axes('Parent',p1);
plot(s,'Parent',a1,...
    'Centerline','on','Waypoints','on')
a1.XLim = [0 45];
a1.YLim = [-6 20];
```

道路端の座標・道幅を指定：
road



道路の定義

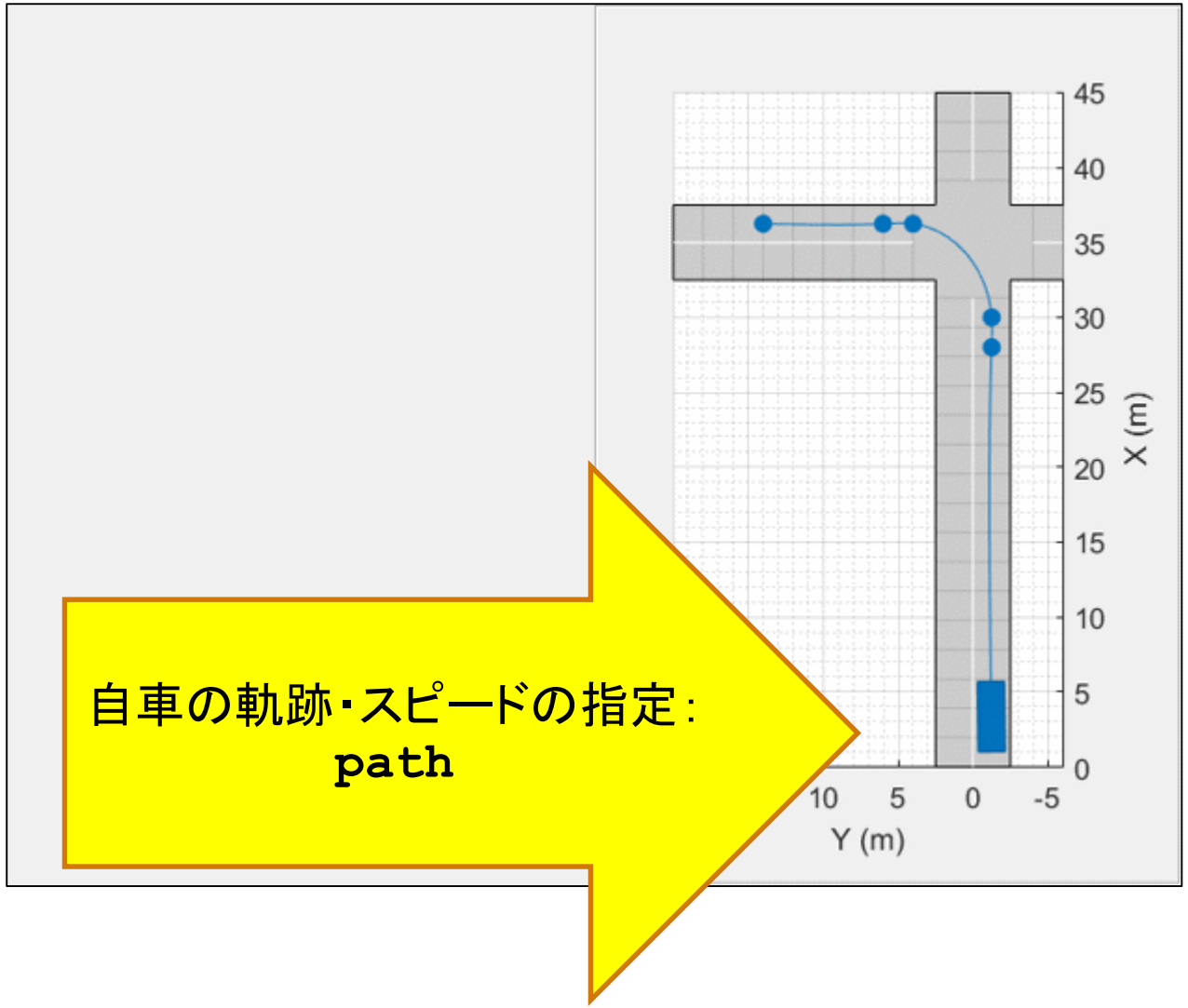
```
s = drivingScenario;

% Highways
road(s, [-300 -8 0; 300 -8 0], 15); % north
road(s, [-300  8 0; 300  8 0], 15); % south
road(s, [-8 -300 8; -8 300 8], 15); % east
road(s, [ 8 -300 8;  8 300 8], 15); % west

% Inner ramps
rampNE = [0 -18 0; 20 -18  0; 120 -120  4; 18  -20  8; 18 0
8];
rampNW = [ 1 -1 1] .* rampNE(end:-1:1,:);
rampSW = [-1 -1 1] .* rampNE;
rampSE = [ 1 -1 1] .* rampSW(end:-1:1,:);
innerRamps = [rampNE(1:end-1,:)
              rampNW(1:end-1,:)
              rampSW(1:end-1,:)
              rampSE];
road(s, innerRamps, 5.4);

% Outer ramps
roadCenters = [13.5 -300 8; 15 -260 8; 125 -125 4; 260 -15
0; 300 -13.5 0];
road(s, [ 1  1  1] .* roadCenters, 5.4);
road(s, [ 1 -1  1] .* roadCenters, 5.4);
road(s, [-1 -1  1] .* roadCenters, 5.4);
road(s, [-1  1  1] .* roadCenters, 5.4);
```



3次元構造も可能

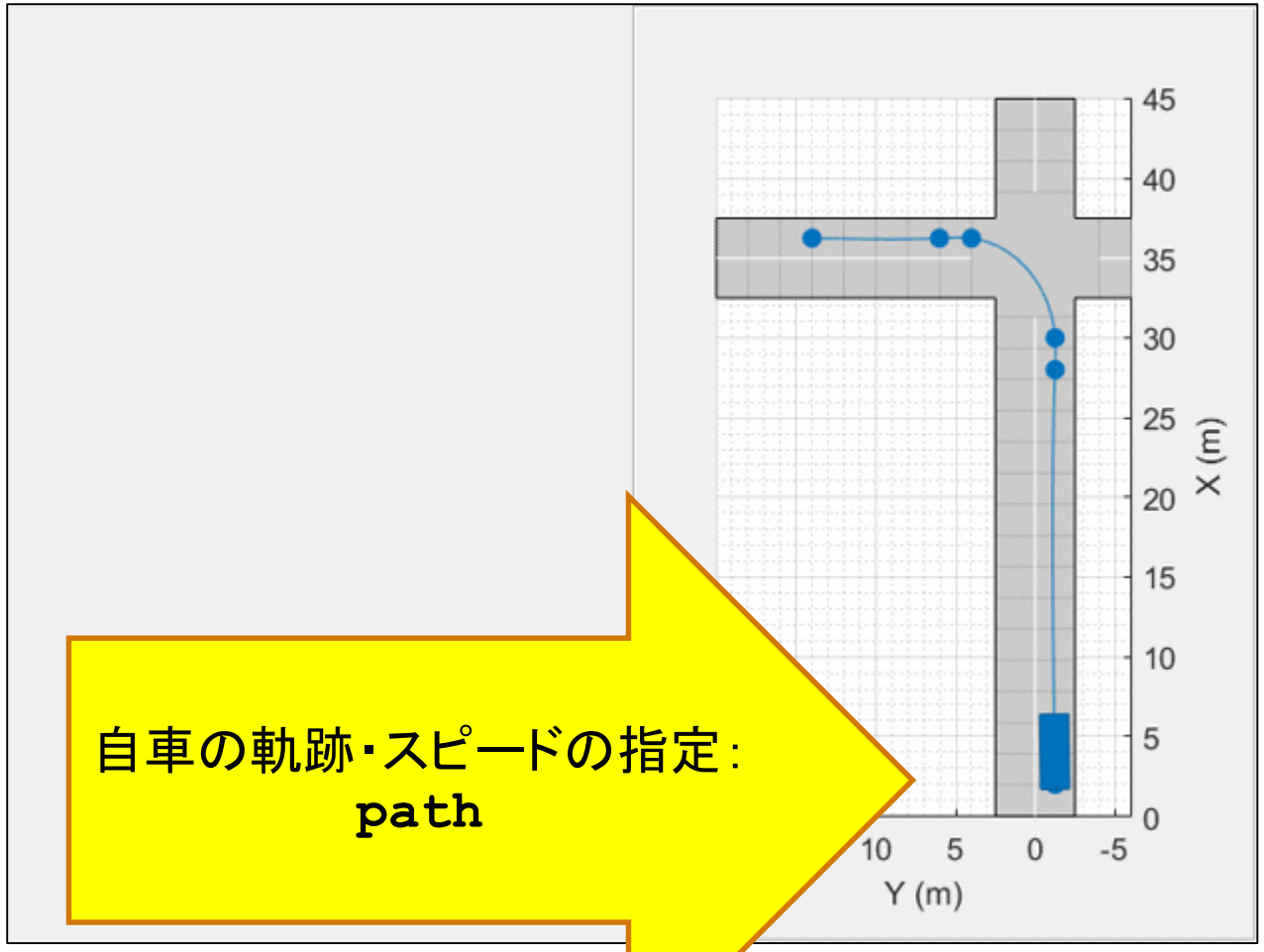
自車の定義

```
%% Add ego vehicle
egoCar = vehicle(s);
waypoints = [ 2   -1.25;... % [x y] (m)
              28  -1.25;...
              30  -1.25;...
              36.25   4;...
              36.25   6;...
              36.25  14];
speed = 13.89; % (m/s) = 50 km/hr
path(egoCar, waypoints, speed);
```



自車の定義

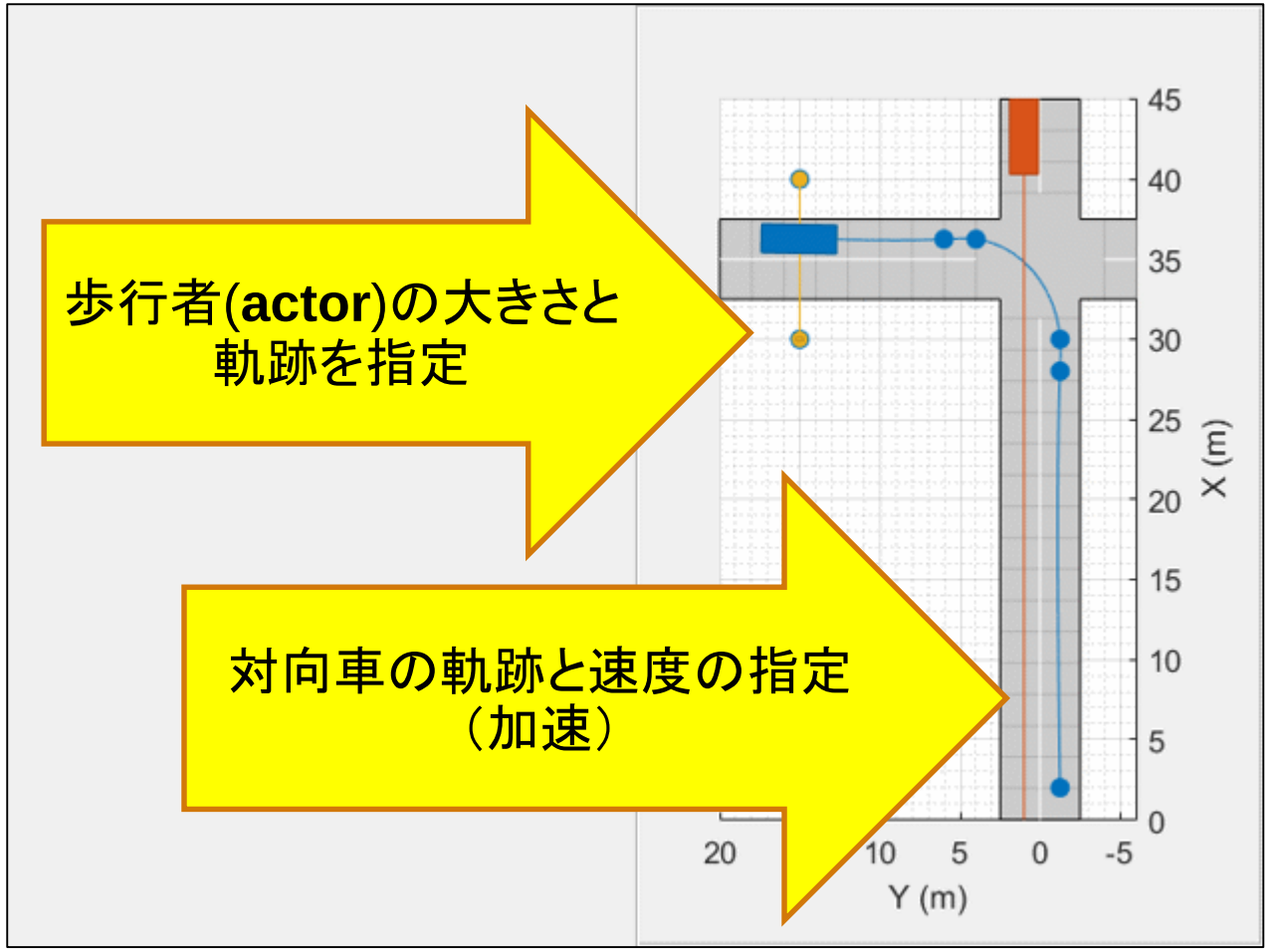
```
%% Add ego vehicle
egoCar = vehicle(s);
waypoints = [ 2   -1.25;... % [x y] (m)
             28   -1.25;...
             30   -1.25;...
             36.25   4;...
             36.25   6;...
             36.25  14];
speed = 13.89; % (m/s) = 50 km/hr
path(egoCar, waypoints, speed);

%% Play scenario
while advance(s)
    pause(s.SampleTime);
end
```



自車の軌跡・スピードの指定：
path

対向車と歩行者の指定

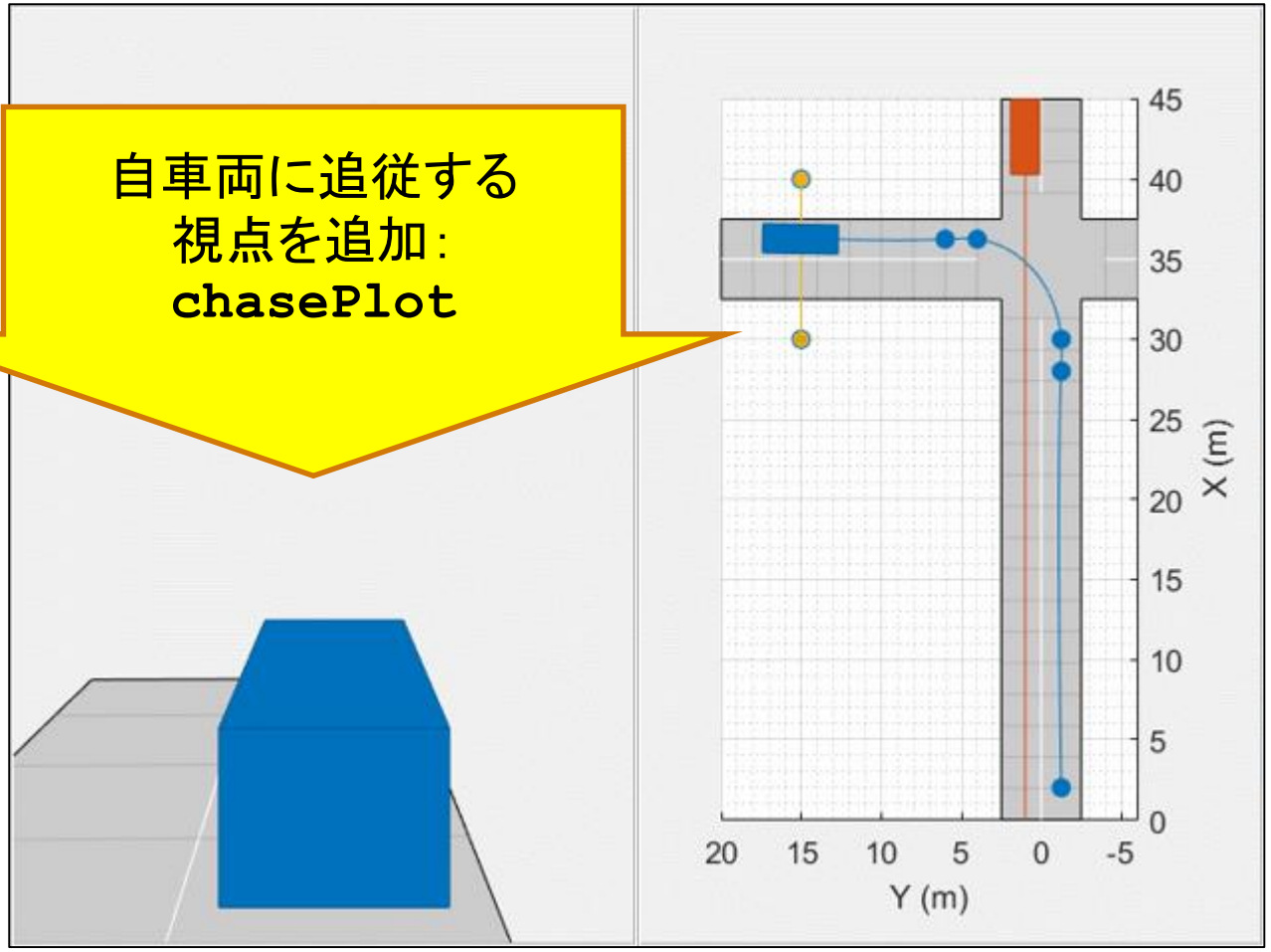
```
%% Add Target vehicle
targetVehicle = vehicle(s);
path(targetVehicle,...
      [44 1; -4 1],... % Waypoints (m)
      [5  ; 14]);      % Speeds (m/s)


%% Add child pedestrian actor
child = actor(s,'Length',0.24,...
                'Width',0.45,...
                'Height',1.7,...
                'Position',[40 -5 0],...
                'Yaw',180);
path(child,...
    [30 15; 40 15],... % Waypoints (m)
    1.39); % Speed (m/s) = 5 km/hr
```



後方から車両に追従する視点の追加

```
%% Add chase view (left)
p2 = uipanel('Position',[0 0 0.5 1]);
a2 = axes('Parent',p2);
chasePlot(egoCar,...
    'Parent',a2,...
    'Centerline','on',...
    'ViewHeight',3.5,...     % (m)
    'ViewLocation',[-8 0]); % [x y] (m)
```

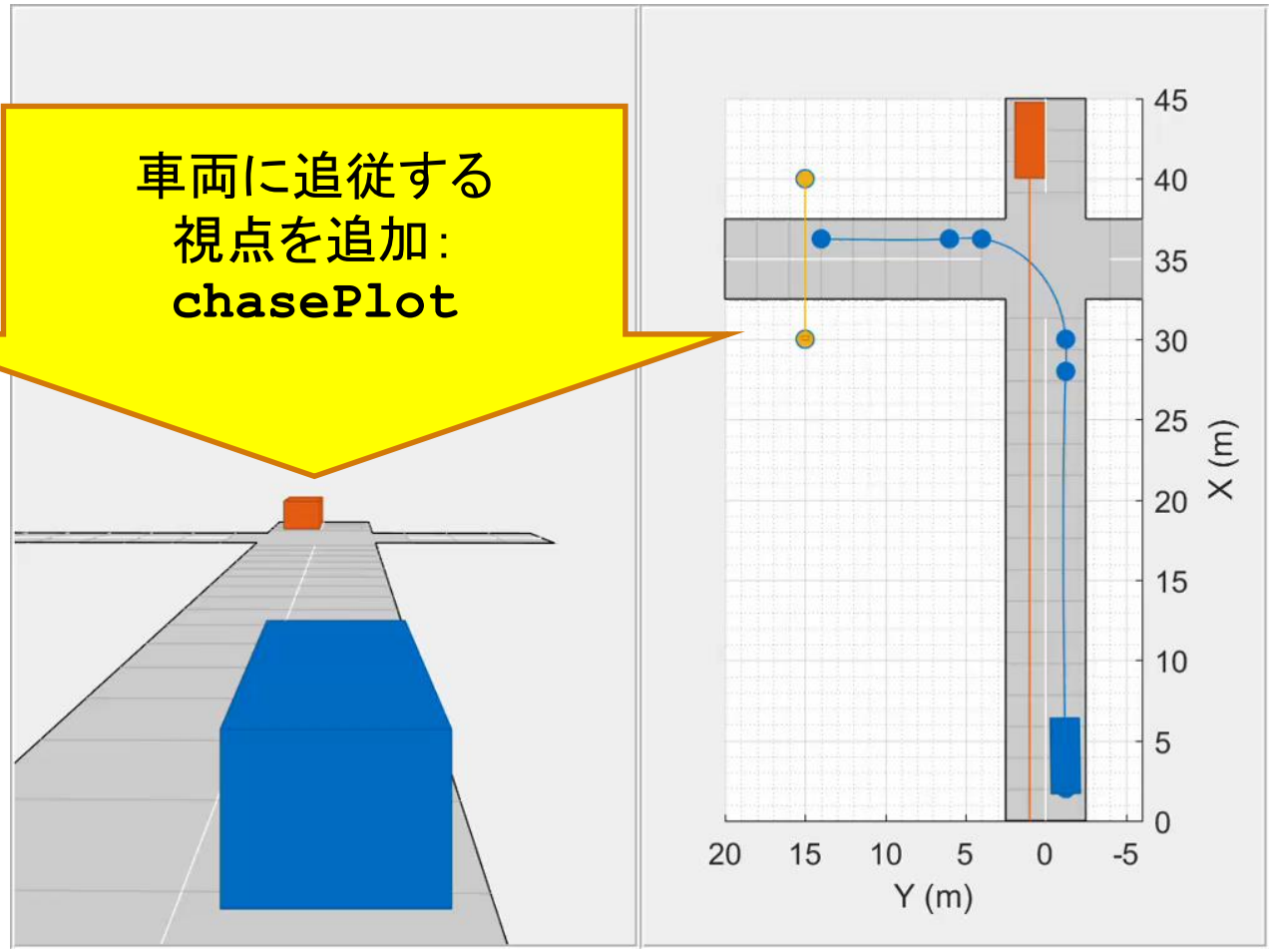
自車両に追従する
視点を追加:
chasePlot



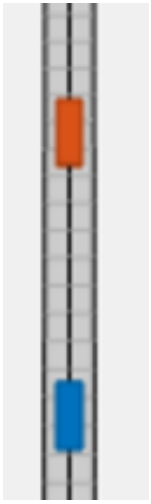
後方から車両に追従する視点の追加

```
%% Add chase view (left)
p2 = uipanel('Position',[0 0 0.5 1]);
a2 = axes('Parent',p2);
chasePlot(egoCar,...
    'Parent',a2,...
    'Centerline','on',...
    'ViewHeight',3.5,...     % (m)
    'ViewLocation',[-8 0]); % [x y] (m)

%% Play scenario
restart(s)
while advance(s)
    pause(s.SampleTime);
end
```

車両に追従する
視点を追加:
chasePlot

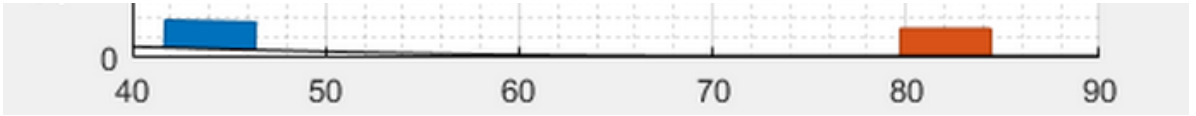


センサーの特性：カメラモジュール（画像センサー）の場合



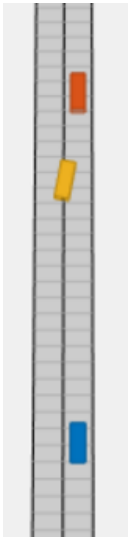
距離の効果

- 距離推定の精度は、物体までの距離が離れるに従い劣化
- 横方向の角度の精度は、検出範囲内で一定



道路勾配効果

- 水平線より高く見える場合、検出精度の劣化
- 勾配が異なることで、距離推定精度の劣化



隠れの効果

- 部分的を含む隠れに認識が弱い

センサーモデルには、パラメータで、認識可能距離・精度やノイズ含め様々な特性を持たせることが出来ます

画像センサーの定義

```
%% Create vision detection generator
sensor = visionDetectionGenerator(...
    'SensorLocation', [0.75*egoCar.Wheelbase 0], ...
    'Height', 1.1, ...
    'Pitch', 1, ...
    'Intrinsics', cameraIntrinsics(...
        800,...          % Focal length
        [320 240],...    % Principal point
        [480 640], ... % Image size
        'RadialDistortion',[0 0], ...
        'TangentialDistortion',[0 0]), ...
    'UpdateInterval', s.SampleTime, ...
    'BoundingBoxAccuracy', 5, ...
    'MaxRange', 150, ...
    'ActorProfiles', actorProfiles(s));
```

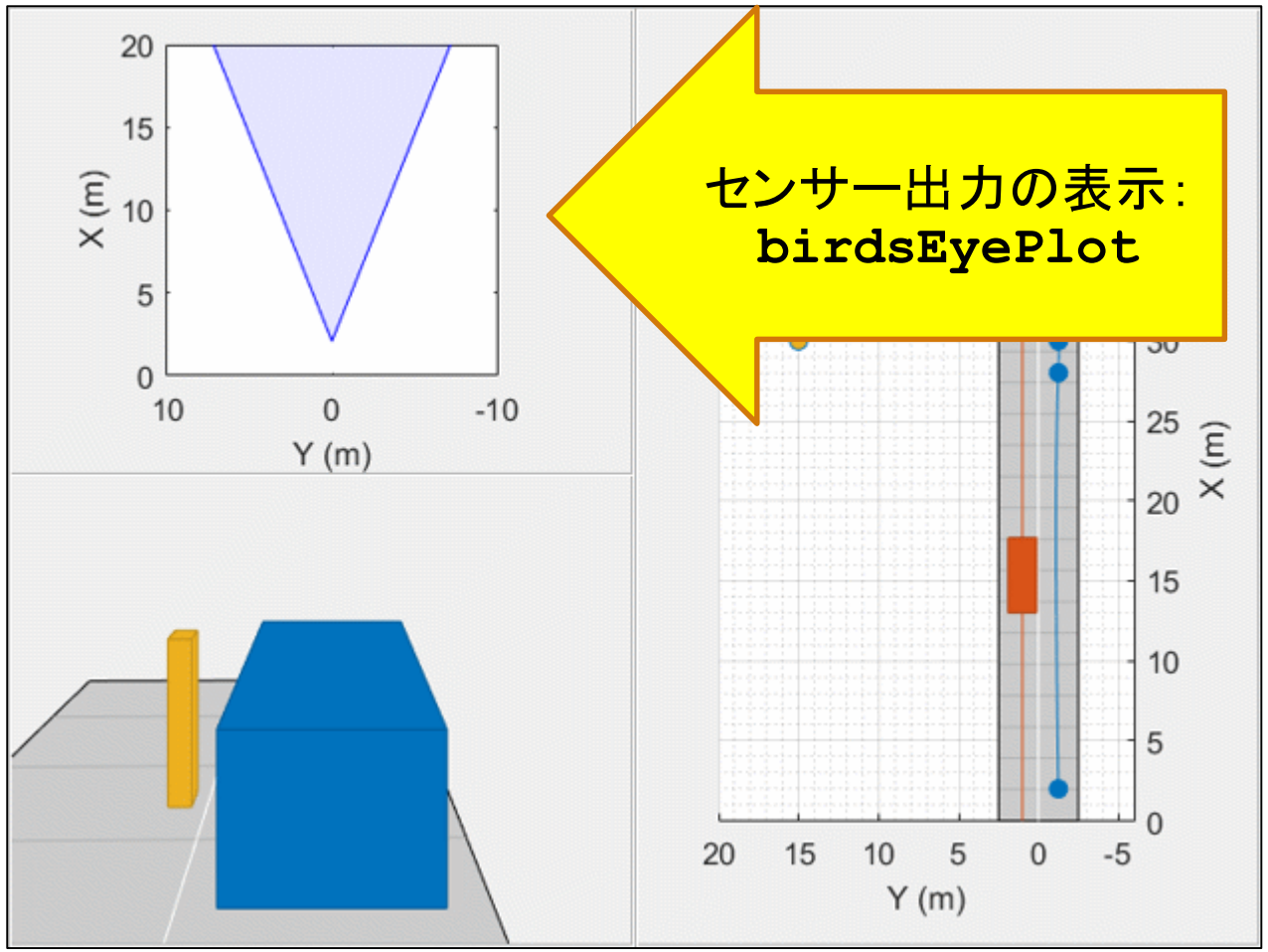
カメラの設置パラメータ

cameraIntrinsics
により検出範囲を規定

レーダーのモデルの定義の場合:
radarDetectionGenerator

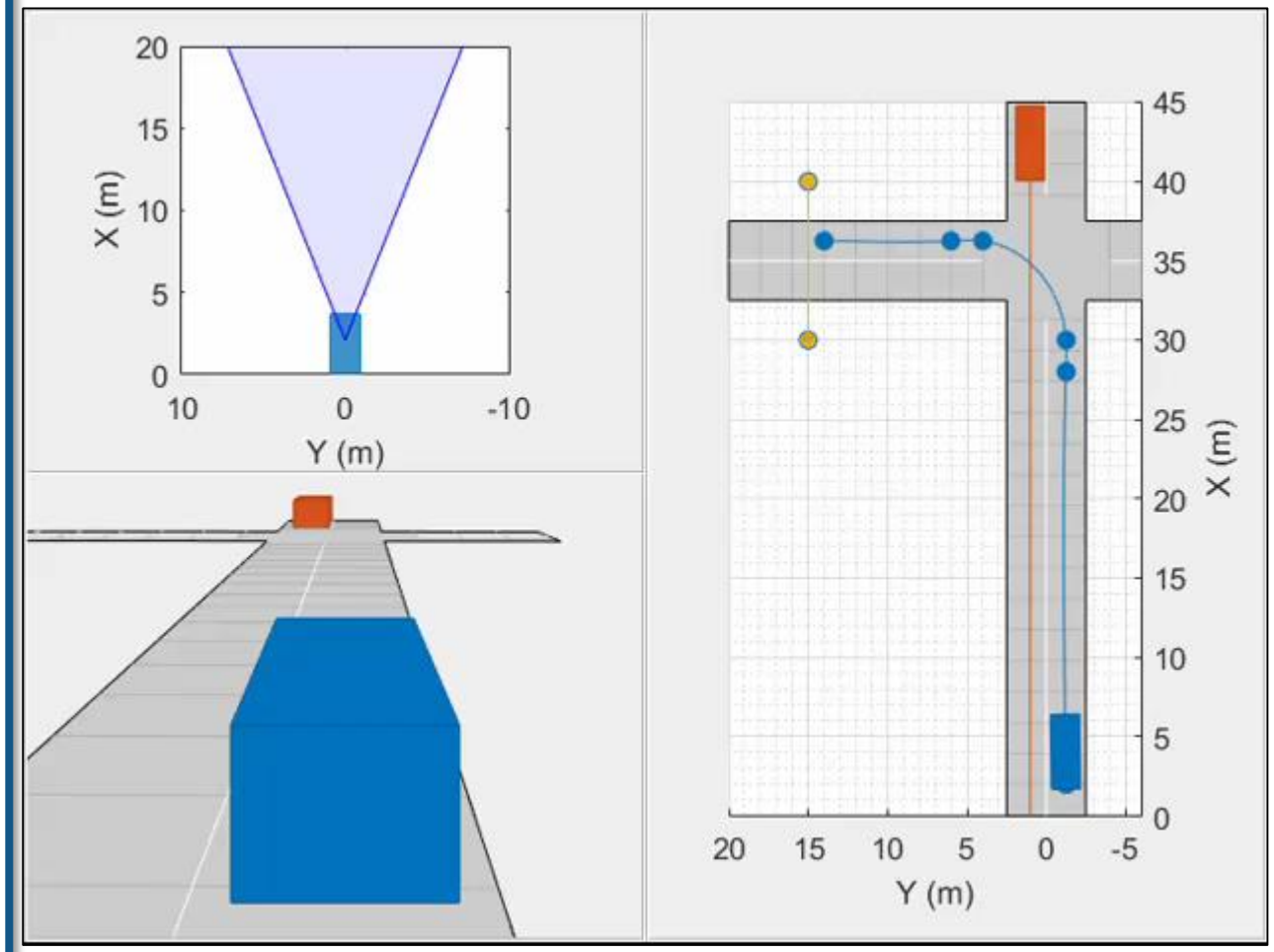
センサー出力の表示用に、鳥瞰図を生成

```
%% Add sensor birds eye plot (top left)
p3 = uipanel('Position',[0 0.5 0.5 0.5]);
a3 = axes('Parent',p3);
bep = birdsEyePlot('Parent',a3,...
    'Xlimits', [0 20],...
    'Ylimits', [-10 10]);
legend(a3,'off');

% Create plotters
covPlot = coverageAreaPlotter(bep,...
    'FaceColor','blue',...
    'EdgeColor','blue');
plotCoverageArea(covPlot,...
    sensor.SensorLocation,sensor.MaxRange,...
    sensor.Yaw,sensor.FieldOfView(1))

detPlot = detectionPlotter(bep,...
    'MarkerEdgeColor','blue',...
    'Marker','^');

truthPlot = outlinePlotter(bep);
```



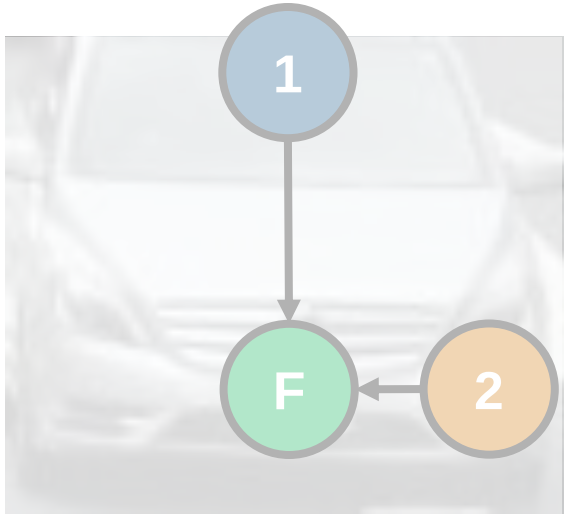
センサーモデルと共にシミュレーション

```
restart(s)
while advance(s)
    % Get detections in ego vehicle coordinates
    det = sensor(targetPoses(egoCar),...
                 s.SimulationTime);
    % Update plotters
    if isempty(det)
        clearData(detPlot)
    else % Unpack measurements to position/velocity
        pos = cellfun(@(d)d.Measurement(1:2),...
                      det,'UniformOutput',false);
        vel = cellfun(@(d)d.Measurement(4:5),...
                      det,'UniformOutput',false);
        plotDetection(detPlot,...
            cell2mat(pos')', cell2mat(vel')');
    end
    [p, y, l, w, oo, c] = targetOutlines(egoCar);
    plotOutline(truthPlot,p,y,l,w,...
        'OriginOffset', oo, 'Color', c);
end
```



ADAS/自動運転 開発に関して良くある悩み

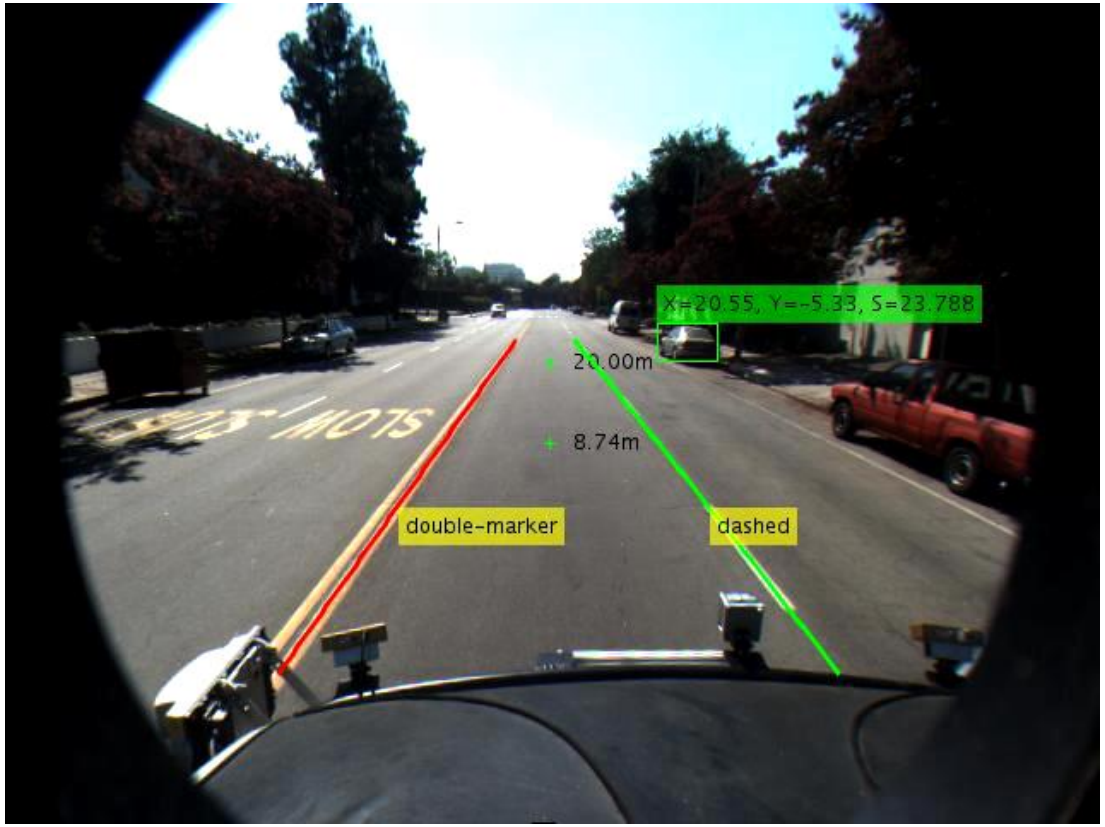
センサーデータの
可視化を
どう行うか？

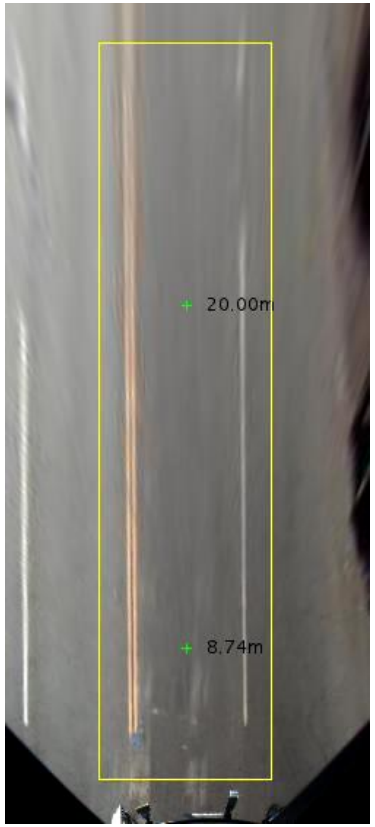


センサーフュージョン・
判断ロジック
をいかに開発し
検証するか？

認知部分の開発・
検証をいかに
効率よく行うか？

ユースケース 3
単眼カメラによる認識アルゴリズムモデル





提供機能

アルゴリズム
- RANSACによる区画線フィッティング
- 車検出器 (深層学習・ACF)

座標系の変換
- 車両座標系 <–> 画像座標系 の変換
- 単眼画像による、物体までの距離推定

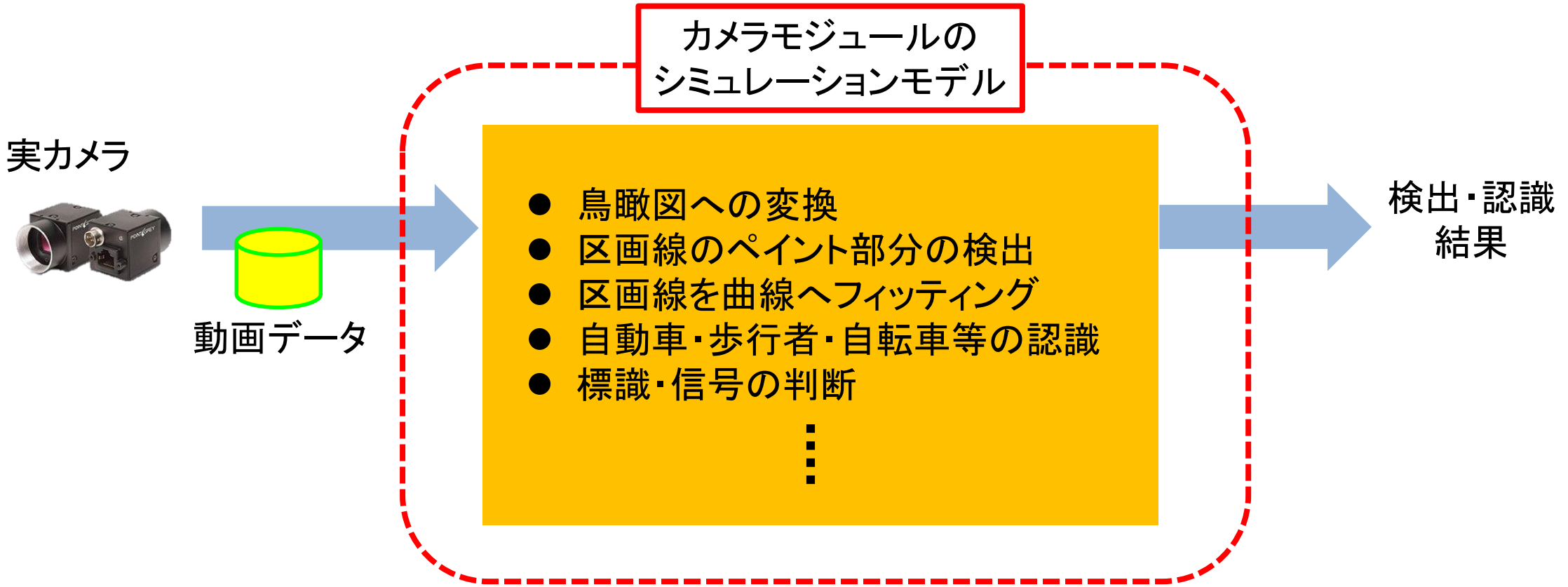
可視化機能
- 区画線
- 鳥瞰図

ビデオデータに対するカメラモジュール動作のシミュレーション
（ビデオデータから、オブジェクトリストの生成）

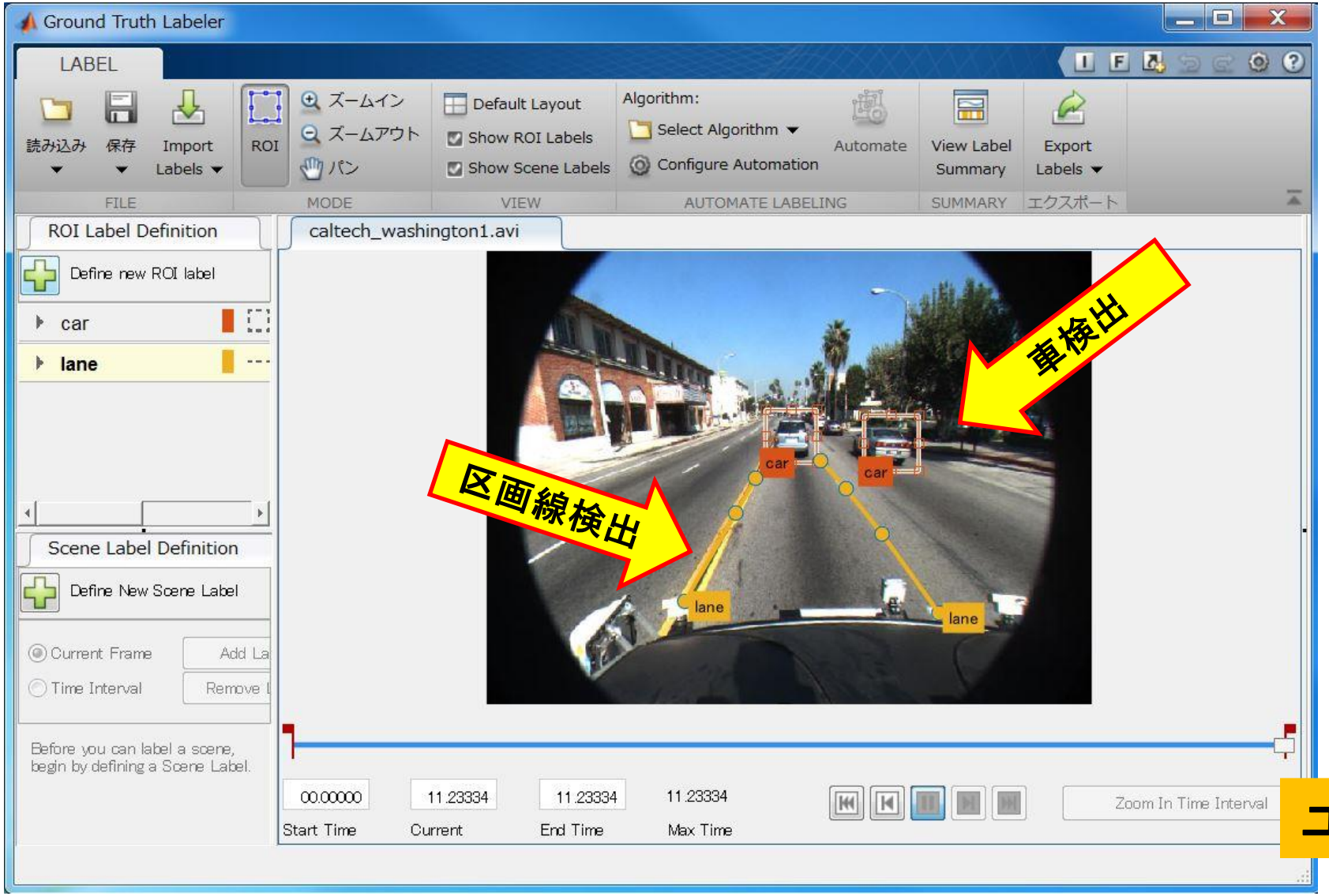
デモ

ユースケース 3a　カメラモジュールのプロトタイピング

- カメラモジュールの内部アルゴリズムの理解・プロトタイピング



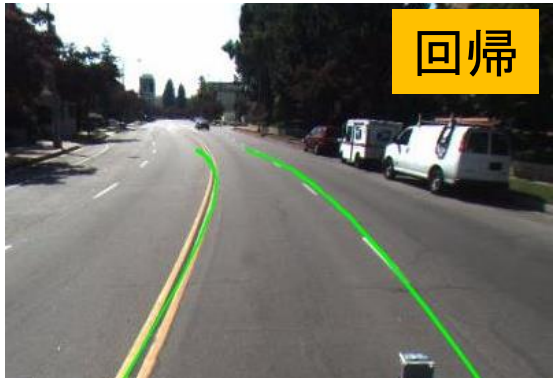
ユースケース 3b　アルゴリズムをラベリングの自動化に適用



ユースケース4

深層学習（Deep Learning for Automated Driving ）

- 深層学習フレームワーク
  - R-CNN
  - Fast R-CNN R2017a
  - Faster R-CNN R2017a
  - 回帰 R2017a
- 学習済みの深層学習ネットワーク
  - 車検出器 R2017a
- Caffe モデルの取込み R2017a
- 学習済みのネットワークの取込み
  - AlexNet
  - VGG-16 Network R2017a
  - VGG-19 Network R2017a
- 複数GPUでの学習高速化 R2017a

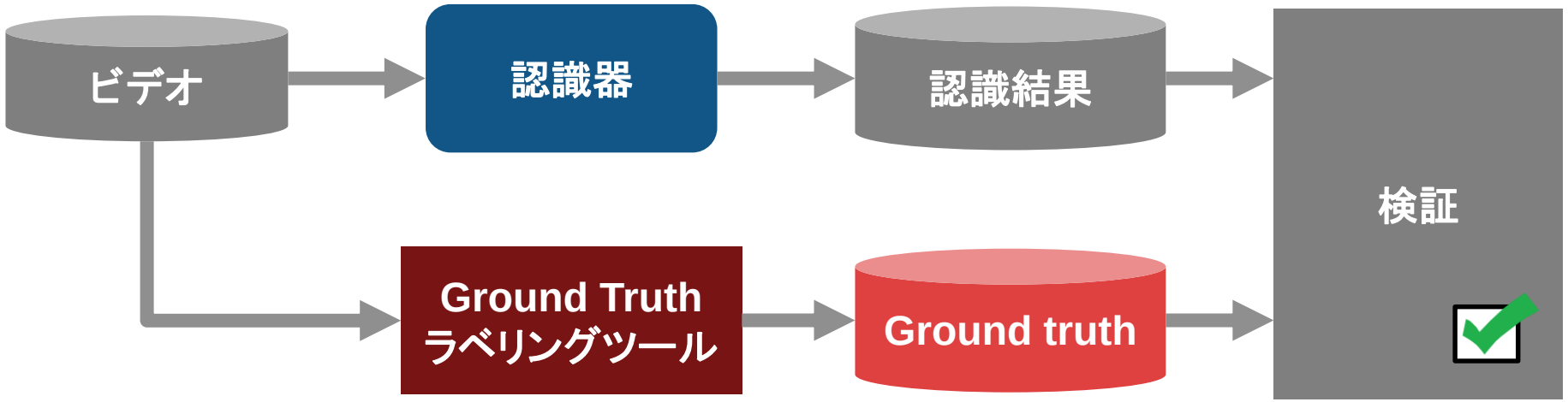


Neural Network Toolbox, Parallel Computing Toolbox™
compute capability 3.0以上のCUDA GPUが必要。

認識器

機械学習	Aggregate Channel Feature	`trainACFObjectDetector`
	Cascade	`trainCascadeObjectDetector`
深層学習	R-CNN (Regions with Convolutional Neural Networks)	`trainRCNNObjectDetector`
	Fast R-CNN	`trainFastRCNNObjectDetector`
	Faster R-CNN	`trainFasterRCNNObjectDetector`

認識器の評価



カスタマイズ可能な半自動Ground Truth ラベリング ツール

画像やデータの表示に関しても、APIによりカスタマイズ可能

半自動ラベリング機能 （3つの半自動アルゴリズム）
- 先頭フレームに手動でつけたROIを、後続フレームで自動ラベリング（画像特徴量を使ったトラッキング）
- 手動で付けたROIの間のフレームでROI位置を直線近似
- 車検出器で自動ラベリング
- カスタムアルゴリズムを使い自動ラベリングするためのAPI

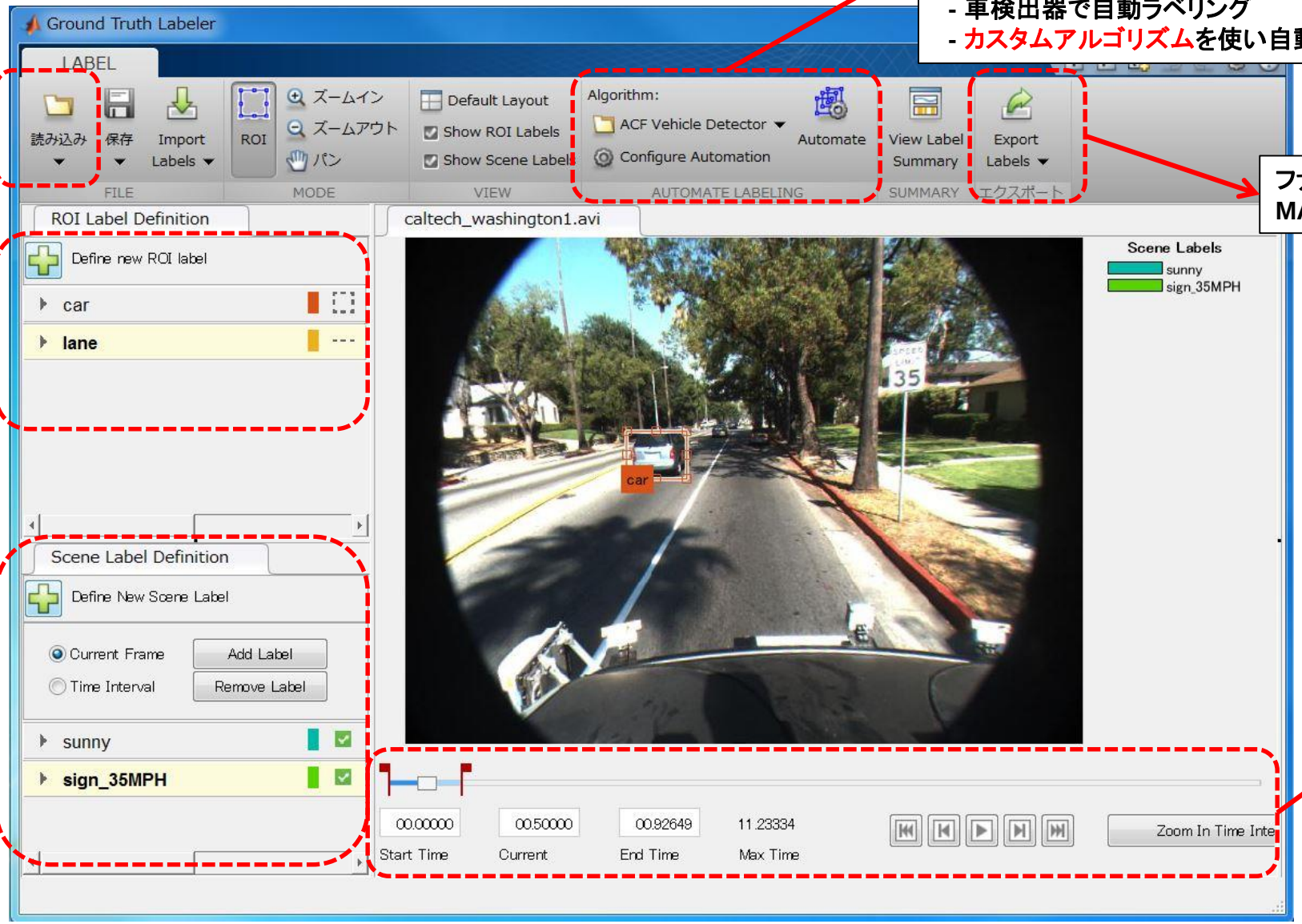
動画ファイル
連番静止画ファイル
カスタム関数による読込み

ROIラベルの定義
（矩形 もしくは ポリライン）

シーン ラベルの定義
（1フレームずつ もしくは 区間）

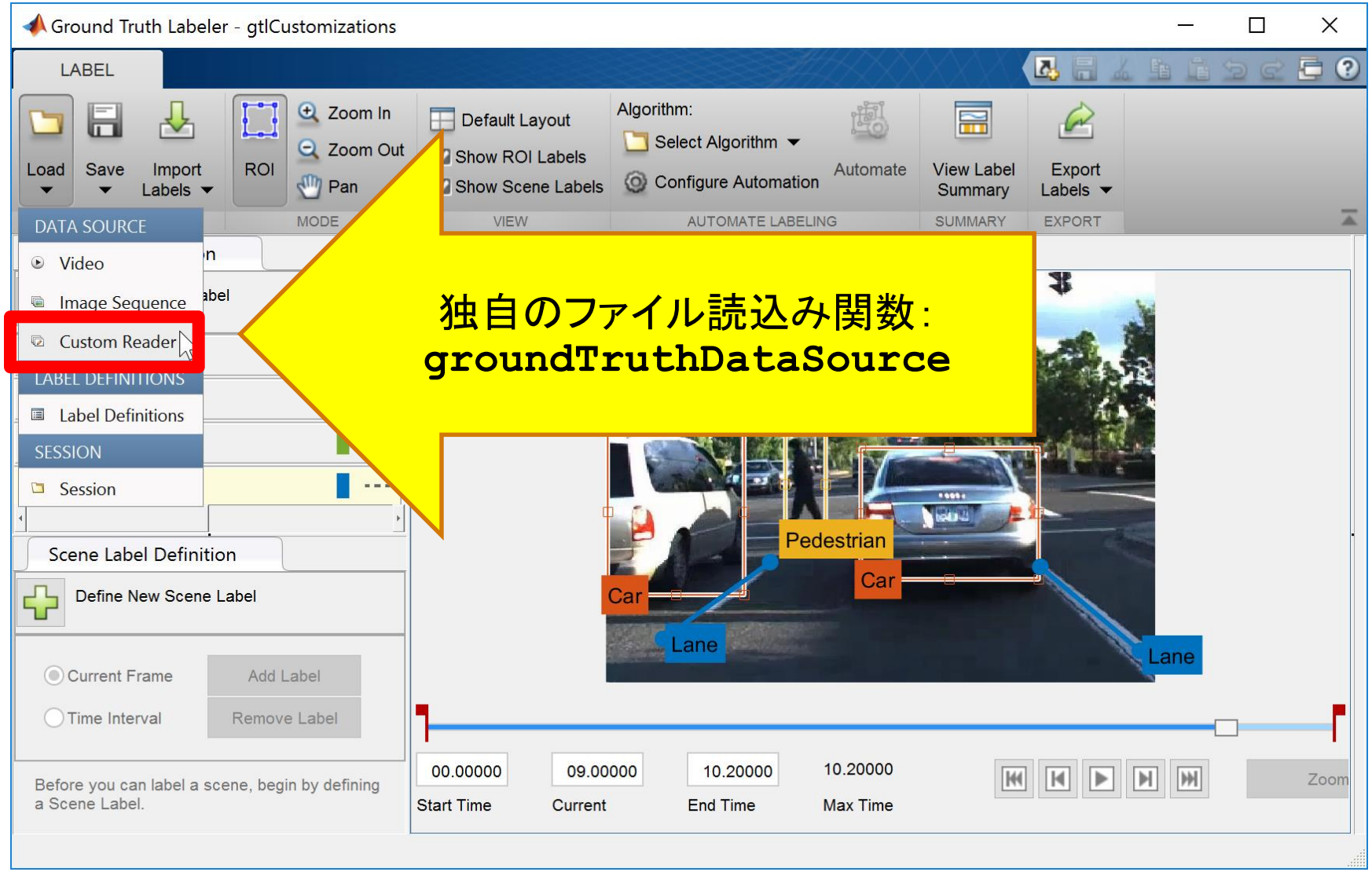
ファイル もしくは
MATLABへ 結果の出力

ビデオコントロール

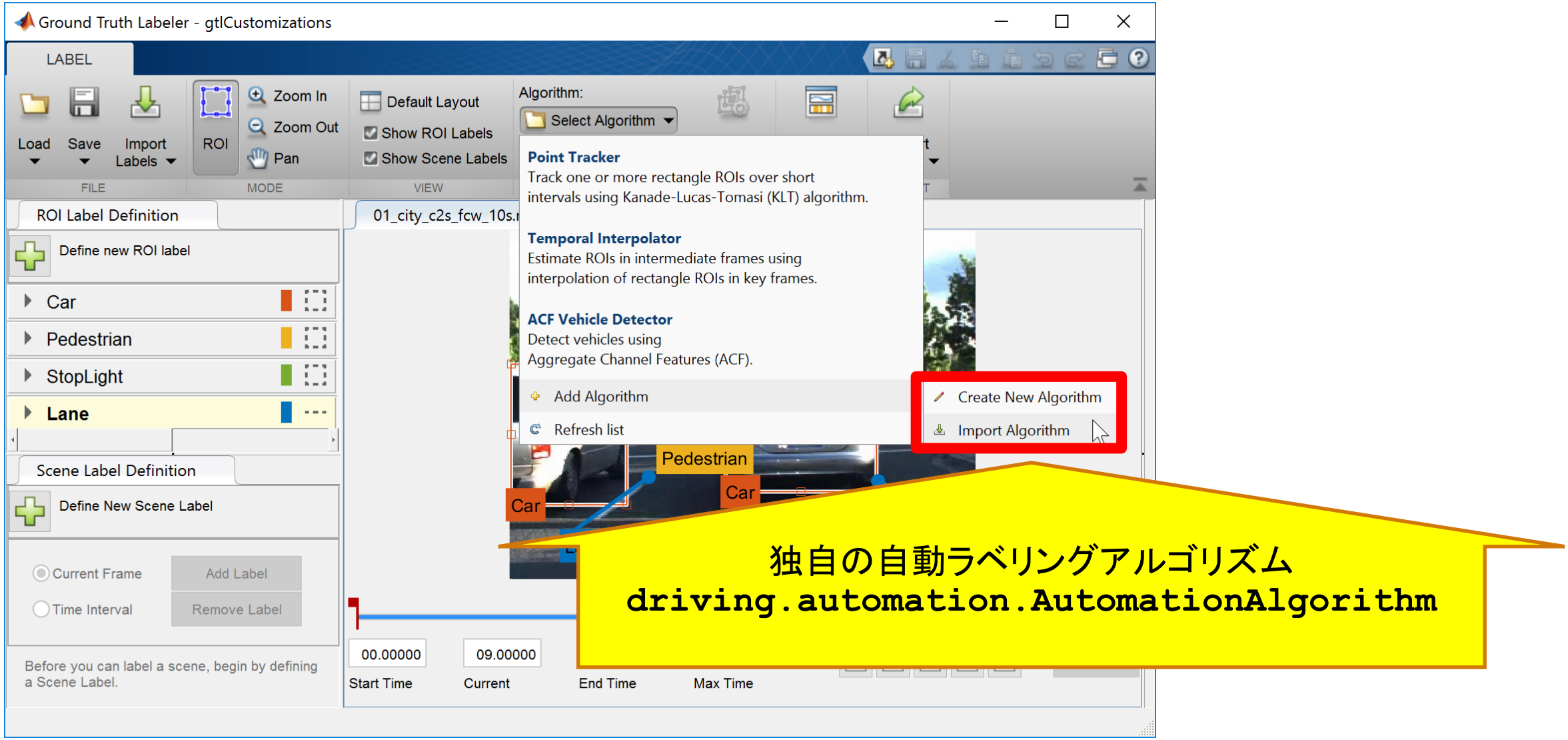


デモ

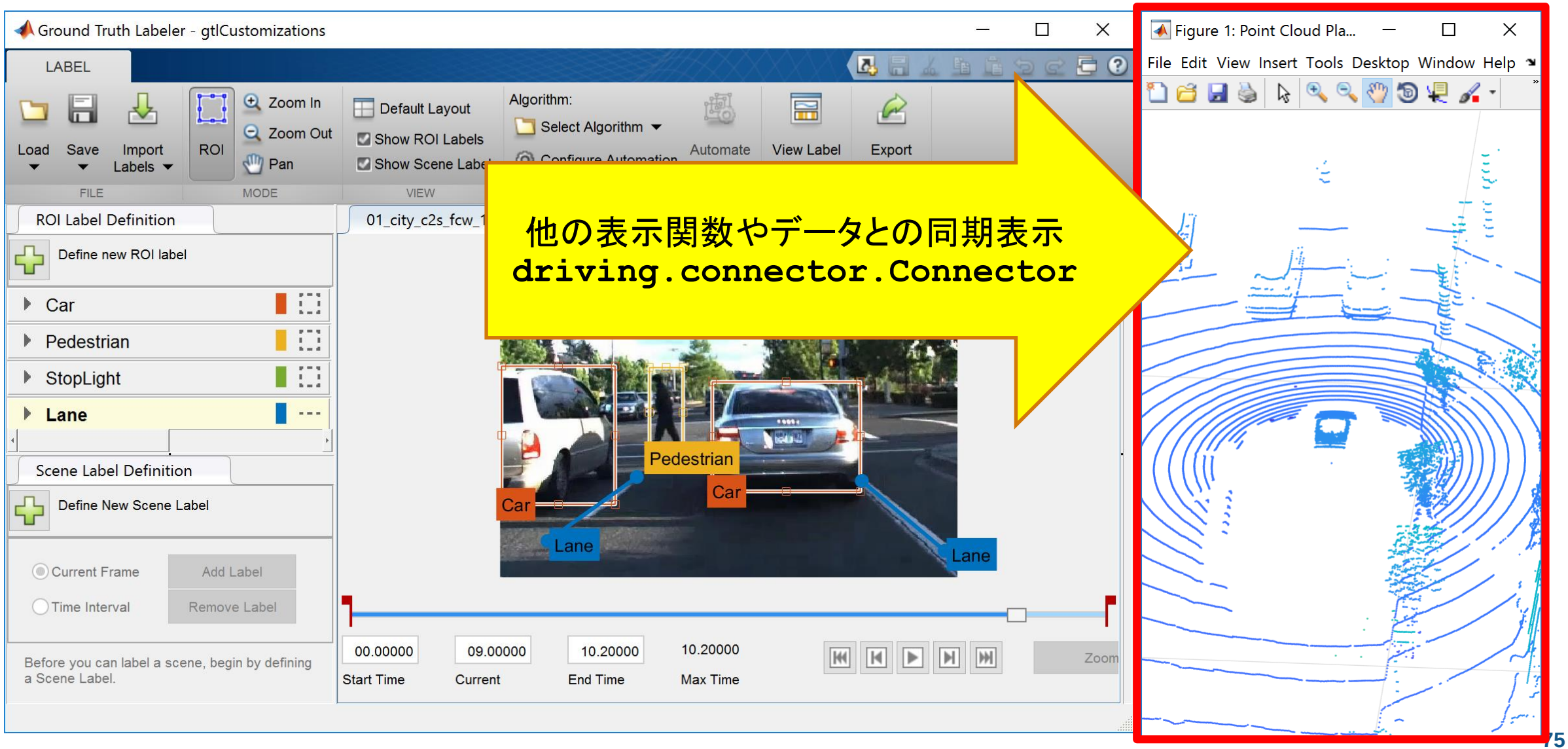
カスタマイズ: Ground Truth Labeler App



カスタマイズ：Ground Truth Labeler App

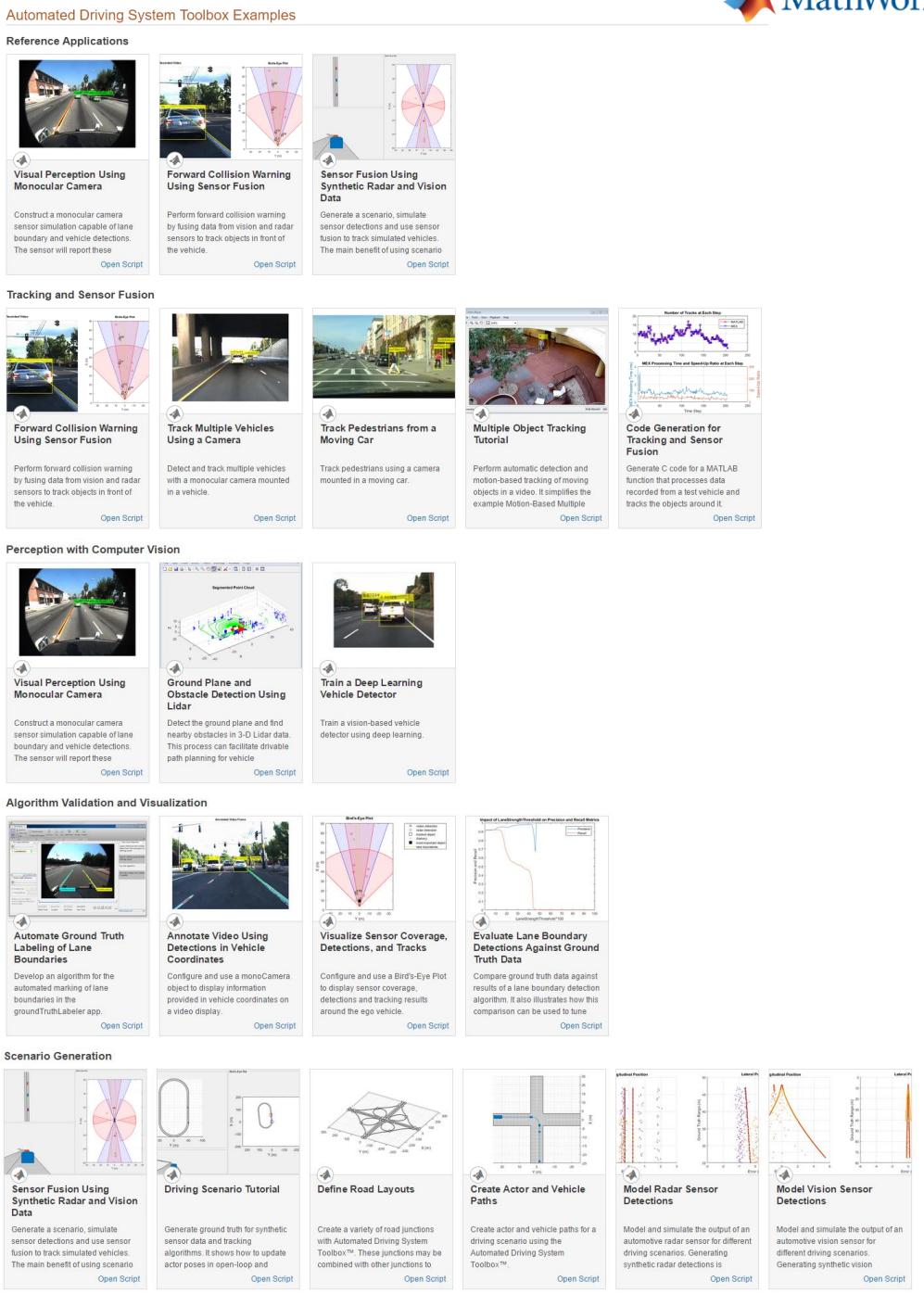


カスタマイズ：Ground Truth Labeler App

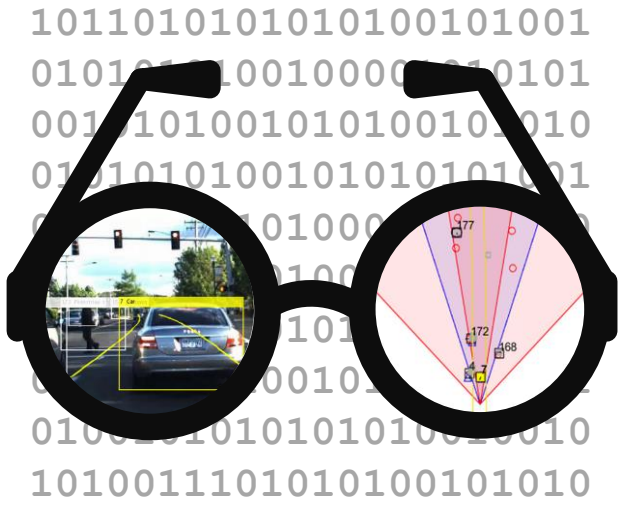


多くのサンプルプログラムを同梱

- ADAS/自動運転 開発に関連する機能をサンプルとして提供
  - スターティングポイントとして
  - 更に機能を拡張・カスタマイズして必要な機能を実装

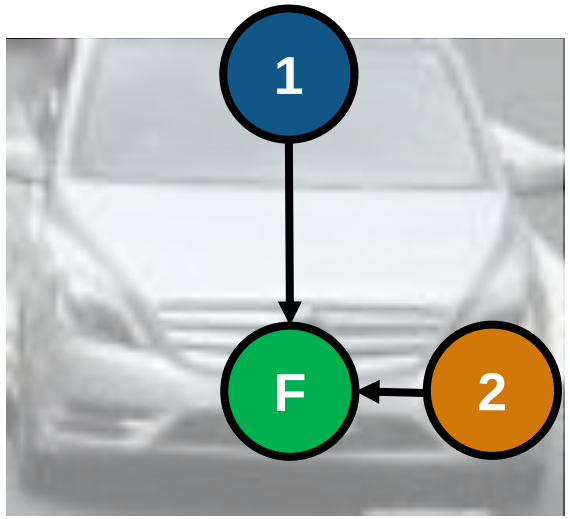


Automated Driving System Toolbox



センサーデータの可視化

- センサーデータのプロット
- 検知領域の表示
- 画像座標と、車両座標（鳥瞰図）の相互変換



センサーフュージョン・判断ロジックの開発

- トラッキングアルゴリズム
- Cコード生成
- シナリオ生成機能

認識の開発・検証

- 様々な認識用のアルゴリズム
- 深層学習
- Ground Truthラベリングツール