

## 自律型自動運転自動車の開発



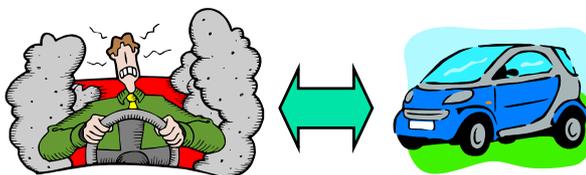
金沢大学 理工研究域  
機械工学系

菅沼 直樹



## 研究背景

- 安全安心な車社会の実現
  - 運転支援システム



単なる足からの脱却

- 地域による交通格差
  - 公共交通機関の乏しい地方
  - 高齢社会の到来

➡ 自律型自動運転自動車の構築



## 研究動向 (高速道路での自動運転)

- 交通容量の増加等
  - 日米欧で盛んに研究
  - CHAUFFEUR, PATHなど
- エネルギーITS (NEDO)
  - 高密度隊列走行
  - 空気抵抗削減 CO2削減



## 研究動向 (一般道での自動運転)

- 複雑環境の理解・適切な判断
  - より高度な知能が必要
  - 単なる制御技術 高度な知能化 (AI, ロボット)
- DARPA (米国)
  - Grand Challenge
  - Urban Challenge
- その他
  - Google Car



米Stanford大HPより

# 自動運転に必要な技術

## ■ 周辺環境認識技術

- 周辺にどこに・どんな物体があるのか？
- 移動物体はどんな運動をしているのか？

## ■ 自己位置推定技術

現在の研究内容

- 地球上のどこにいるのか？
- どの車線のどの位置にいるのか？



真にセンシングに要求される技術とは？

## ■ 走行軌道生成・誘導技術

- 目的に到達するにはどのような経路で進むべきか？
- 障害物に衝突ないためにはどんな行動をとるべきか？

## ■ ヒューマンマシンインターフェース(HMI)

# 金沢大学 自律型自動運転車両



## ■ トヨタ・VISTA 2000年から開発

- 全自動運転可能(ステアリング・スロットル・ブレーキ・シフト)
- 障害物回避
  - 静止物体のみ考慮

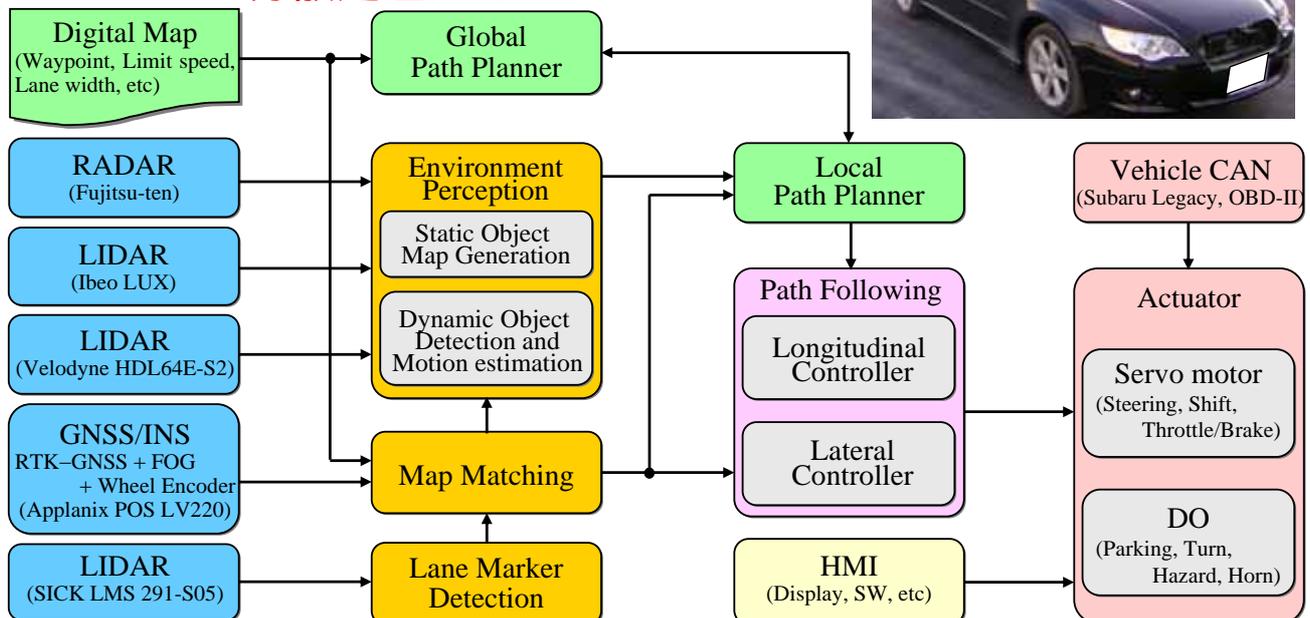
# 金沢大学 自律型自動運転車両



- スバル・LEGACY 2008年から開発
  - 全自動運転可能化改造中
    - ステアリング・スロットル・ブレーキ・シフト・パーキング・ウinker・ホーン
  - 東京モーターショー Smart Mobility City テストライド出展(12/2,3)

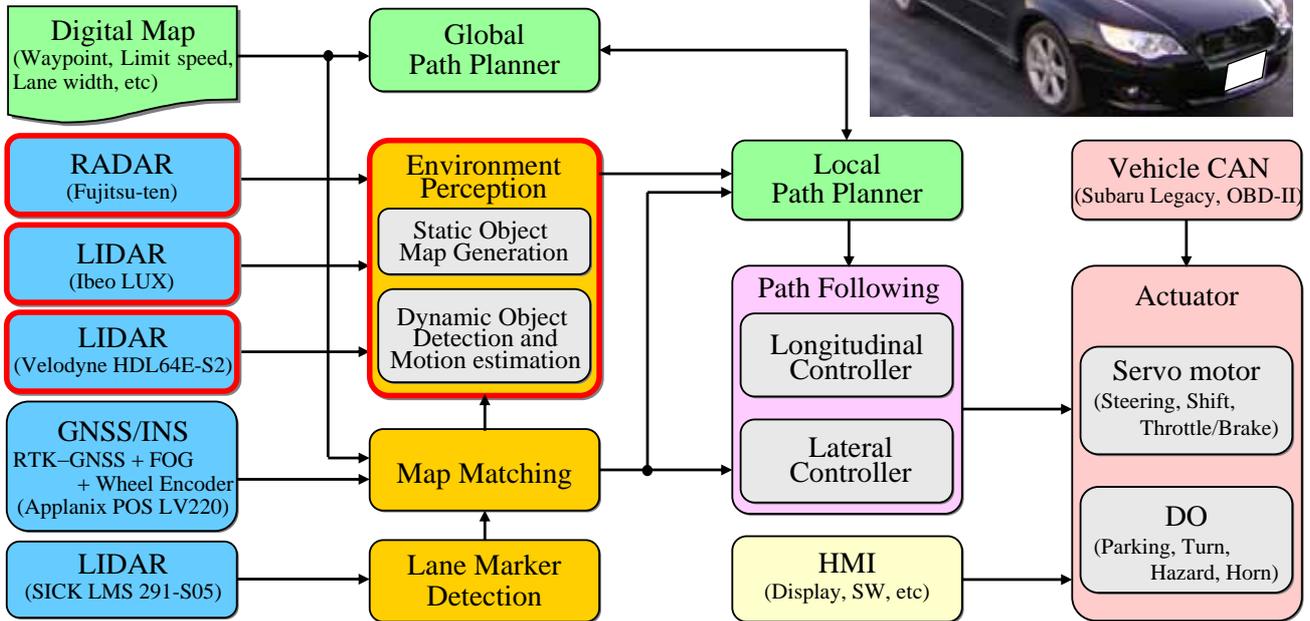
## システム構成

### 分散処理システム



センサ系   認知系   経路・軌道生成系   制御系   ユーザインターフェイス系   アクチュエータ系

# 周辺環境認識



- センサ系
- 認知系
- 経路・軌道生成系
- 制御系
- ユーザインターフェイス系
- アクチュエータ系

# 周辺環境認識センサ

全方位LIDAR  
(Velodyne社  
HDL64E-S2)

遠距離用LIDAR  
(Ibeo社 LUX)

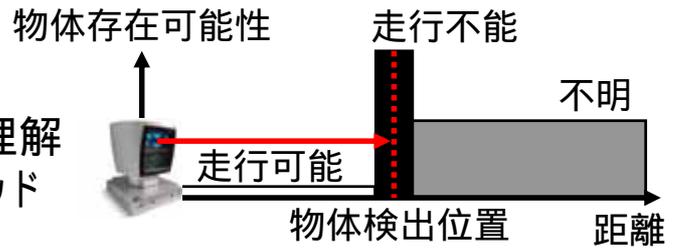
遠距離用RADAR  
(富士通テン社)

RADAR

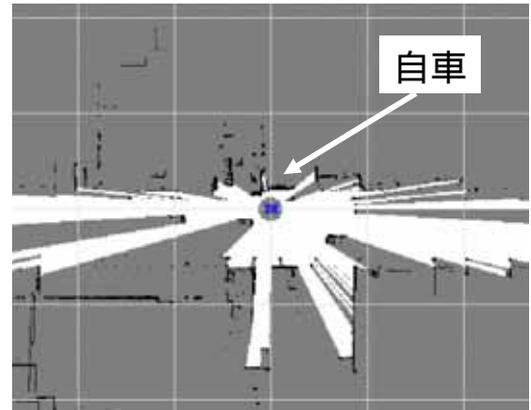
LIDAR

# 静止障害物マップの生成

- 周辺環境の認識
  - コンピュータによる容易な理解
  - 三次元点群 二次元グリッド

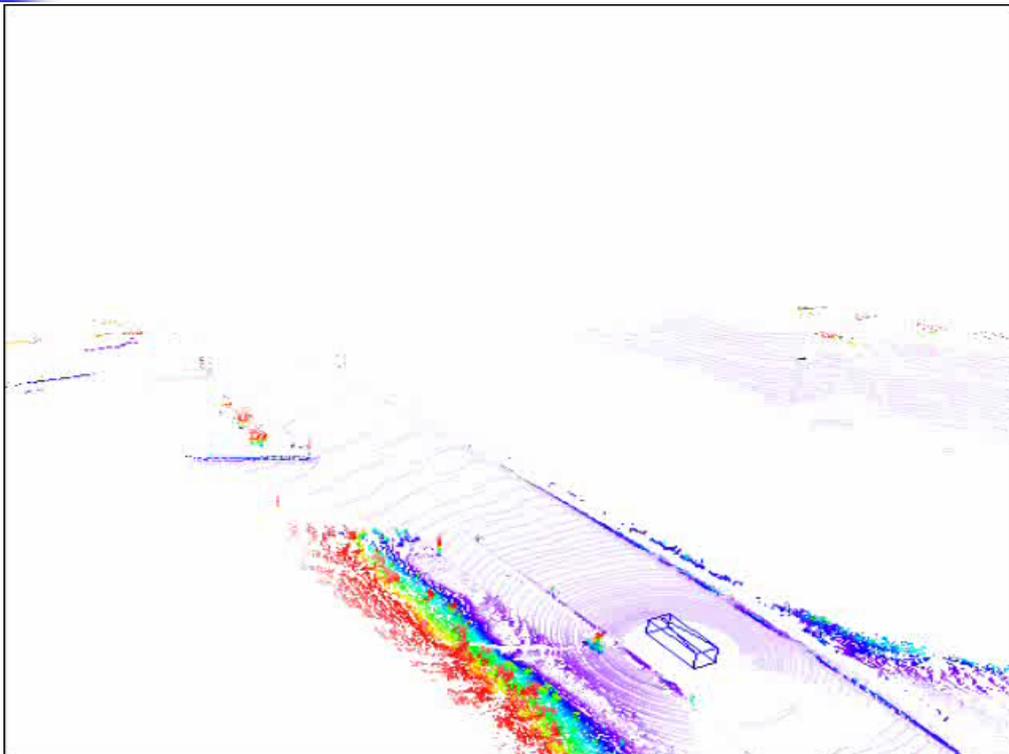


- センサ観測値の問題点
  - 一時的なオクルージョン
    - 物体(静止・移動)による死角
  - 誤検出・未検出
- Occupancy Grid Maps
  - 障害物マップの時系列累積
  - 物体の存在確率を計算
    - Binary Bayes Filter



□ 走行可能 ■ 走行不能 □ 不明

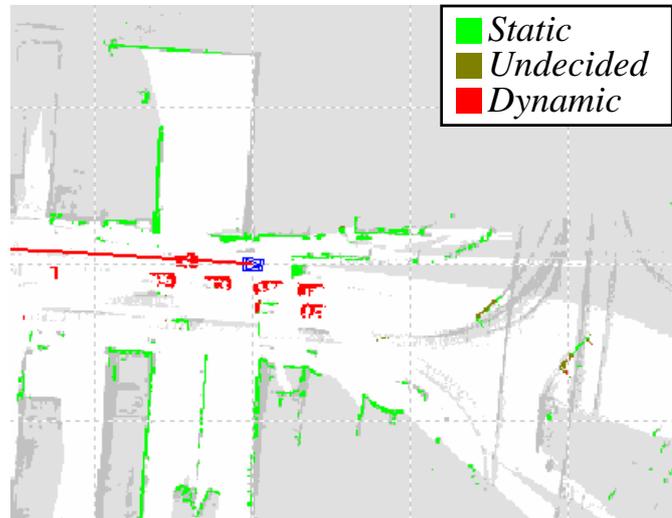
# Occupancy Grid Mapsによる周辺環境認識



# 移動物体の抽出と追跡

## ■ 各グリッドへの移動状態の設定

- 時間の経過により
  - 静止物体 同じ場所に存在
  - 移動物体 違う場所に移動
- 変化のあったグリッドを検出

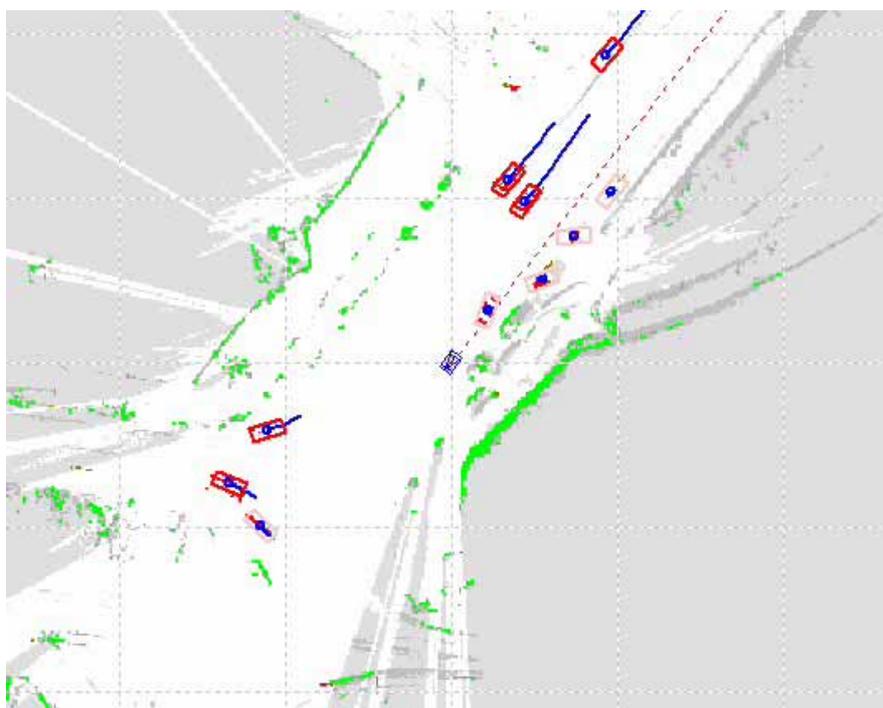


## ■ 物体の時系列的追跡

- 近い観測点をグループ化
- 運動推定
  - Extended Kalman Filter



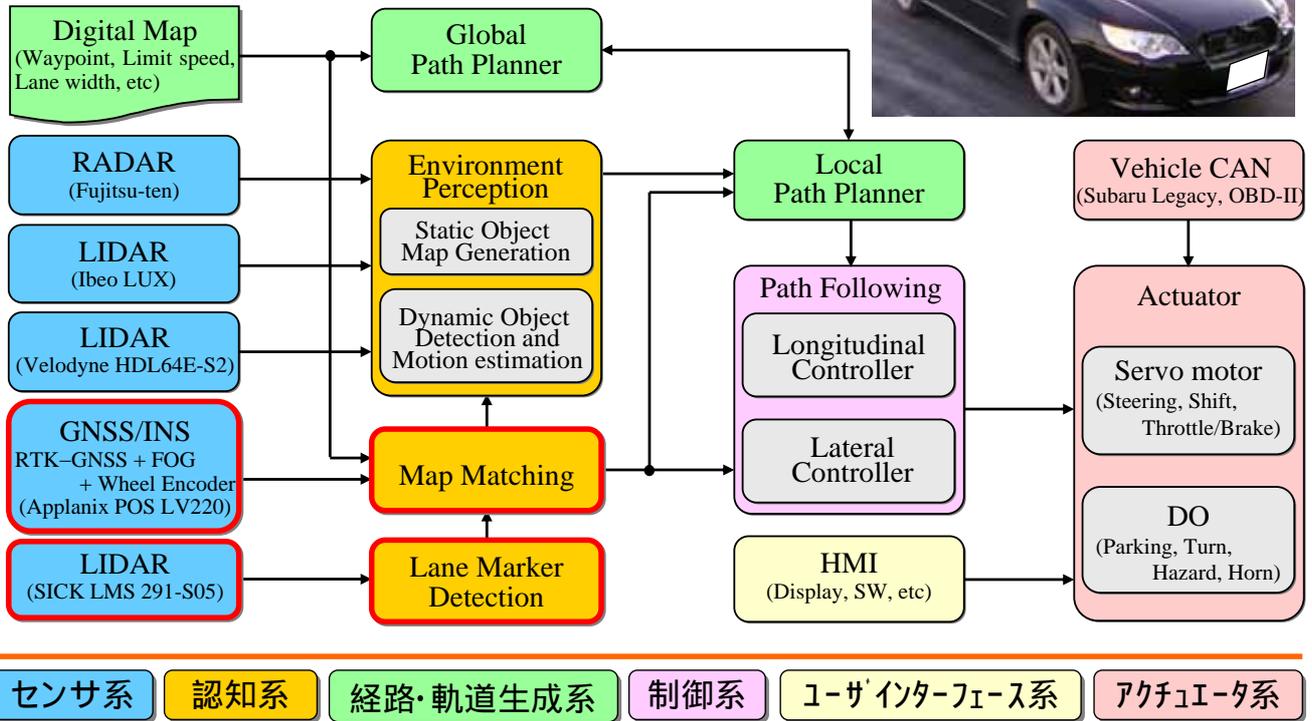
# 移動物体検出・運動推定結果



金沢市内走行時の認識結果

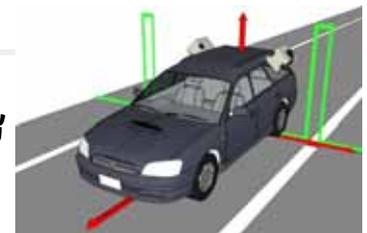


# 自己位置推定



# 自己位置推定センサ

- GNSS/INS複合航法装置 絶対位置姿勢
- LIDAR 白線相対位置計測



距離・反射率  
白線検出

LIDAR  
(SICK LMS291-S05)

GNSS antennas  
(Applanix POS LV220)



# マップマッチングの必要性

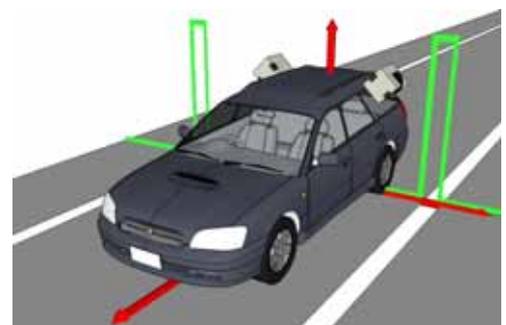
- 自動運転のための**位置姿勢推定**に必要な要件
  - **連続的かつ滑らか**(ドリフトなし)
  - GPS/INS複合航法
    - デッドレコニングをGPSで補正
  - GPSの誤差, GPS未観測時のドリフト, **地図自体の誤差**
- 白線検出
  - 単体検出としてのロバスト性の低さ
  - 白線の存在しない場所で使用不可
- マップマッチング
  - GPS/INS複合航法による推定値を地図と  
環境情報を照らし合わせて補正
    - 連続的かつ(誤差を持つ)マップに矛盾しない自動運転

# 車両直下白線検出

- 自動運転のための白線検出
  - 可能な限り常時白線検出
- 前方注視システム
  - ビジョン, レーザ
  - 渋滞時計測不可



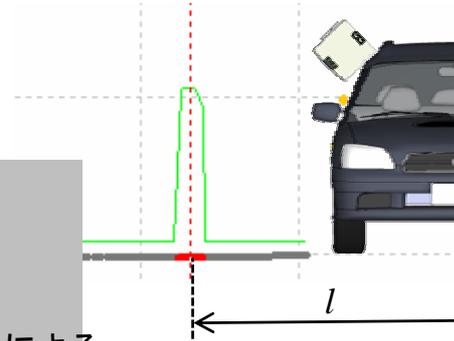
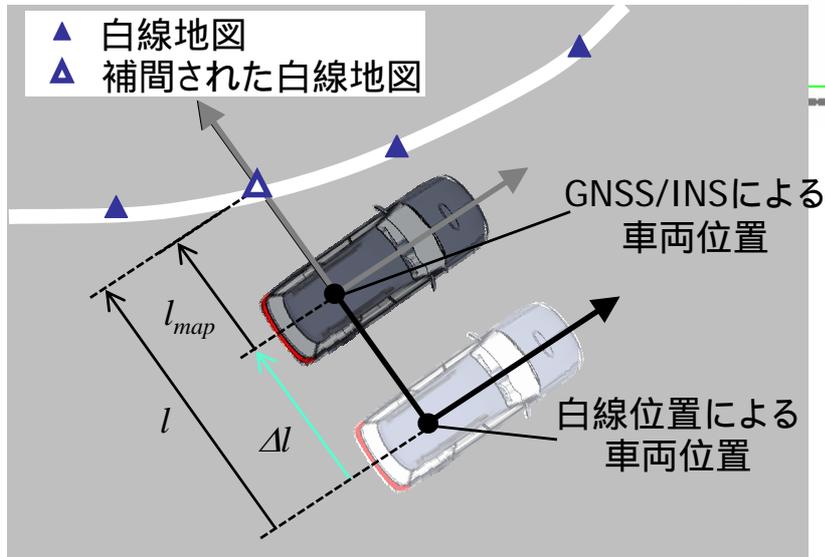
レーザレンジファインダを用いた  
車両直下白線検出



# 横方向ドリフト量の算出

## ■ 横方向ドリフト量 $\Delta l$

$$\Delta l = l - l_{map}$$

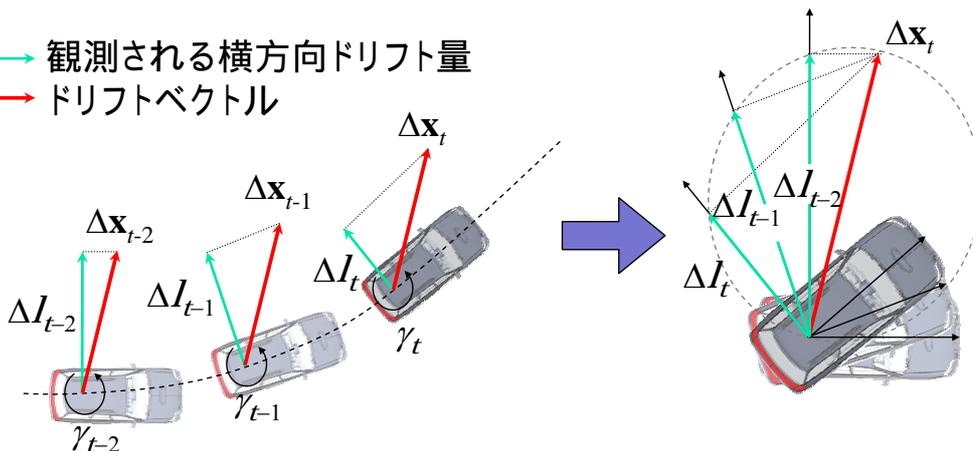


# 時系列的処理

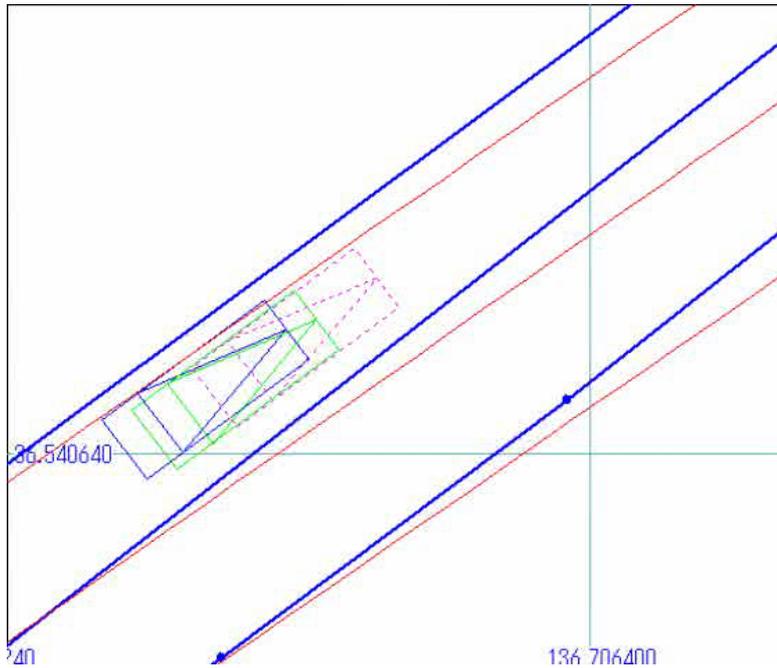
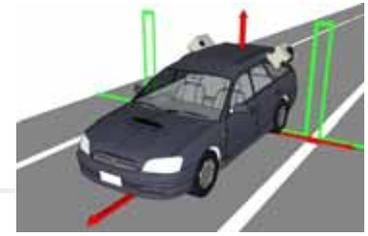
- ドリフトは緩やかな変化
  - ドリフトベクトル  $\Delta \mathbf{x} = (\Delta x, \Delta y)$
  - 微小時間内では, ドリフトベクトルは変化しないと仮定
- 旋回時に横方向ドリフト量  $\Delta l$  は様々な方向より得られる
  - 前後方向のずれを推定可能

カルマンフィルタによる  
ドリフトベクトル推定

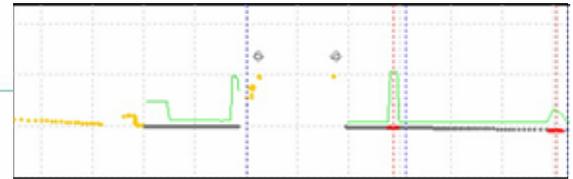
→ 観測される横方向ドリフト量  
→ ドリフトベクトル



# マップマッチングによる 自己位置推定

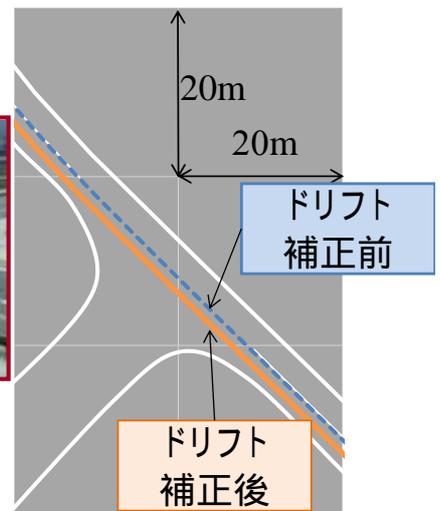
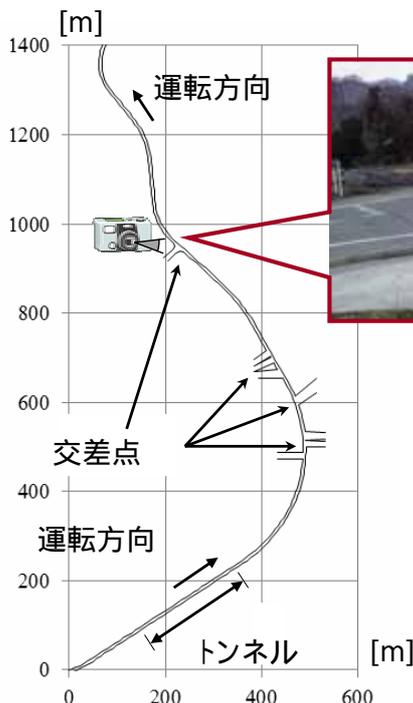


-  GNSS/INS
-  Dead Reckoning
-  補正後
-  白線検出結果
-  白線地図



## 実験

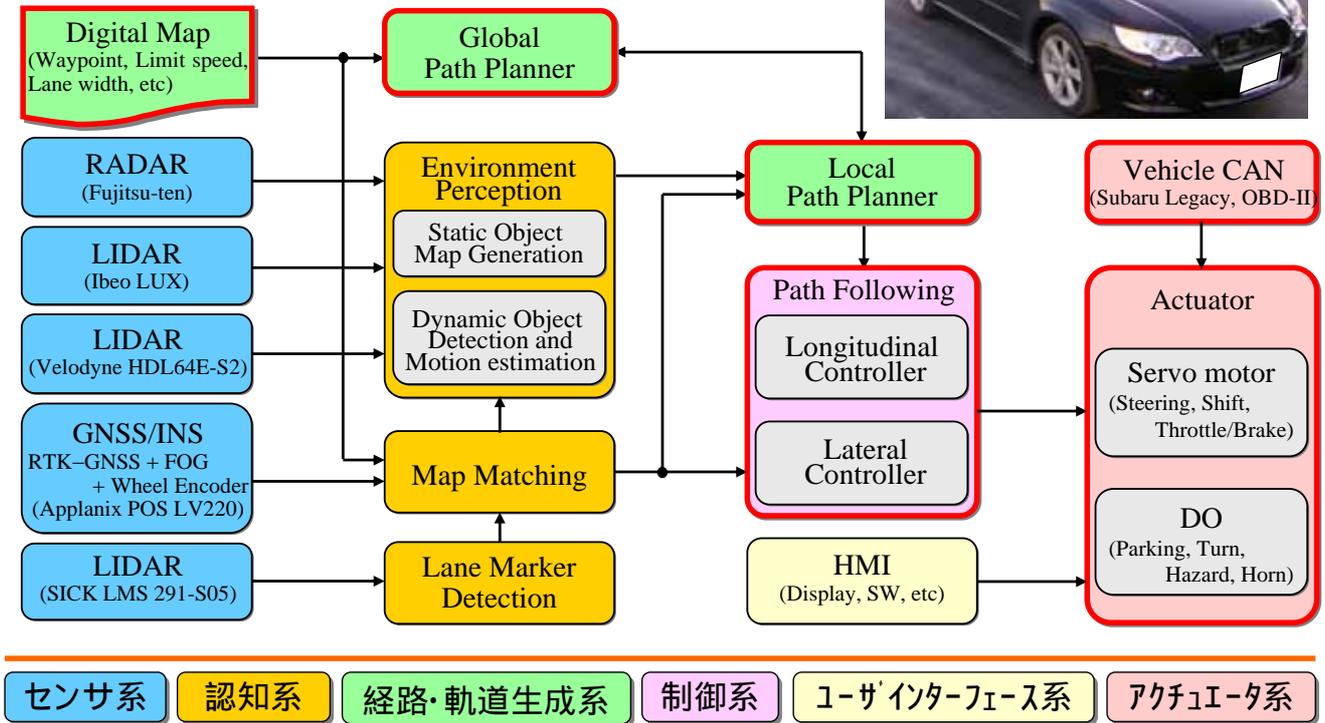
- 交差点・トンネル含む一般道1.8km



- 交差点で白線がなくても滑らかに推定可能
- 全区間において道路のほぼ中心付近を走行した軌跡

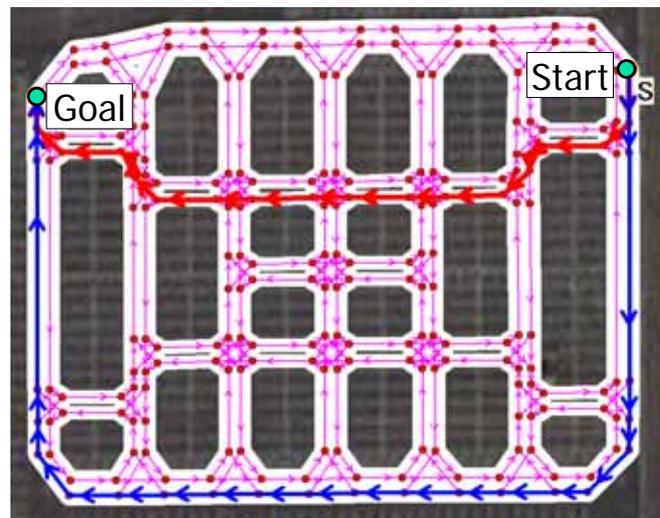


# 走行軌道生成・誘導



# デジタル地図からの広域的走行経路選択

- デジタル地図
  - ノード, リンク
  - 様々な経路が設定可能
    - 現在地点 目的地
- 最適経路の選択が必要
  - Dijkstra法
  - 累積コストを評価
    - リンク通過時間
    - 交差点通過コスト
      - 右折 > 左折 > 直進
  - 最小コスト経路の選択



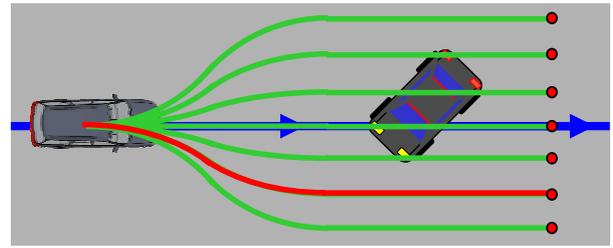
→ 最短経路  
→ 最適経路



# 局所的走行軌道リスト生成と衝突判定

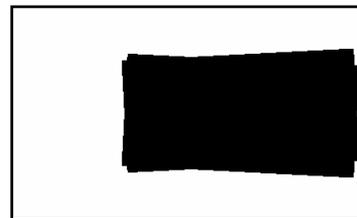
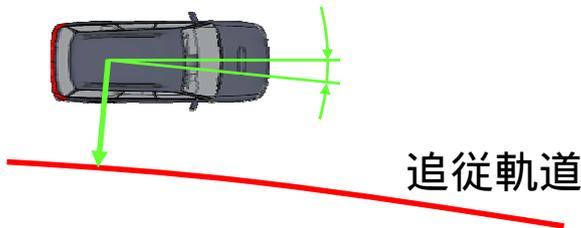
## ■ 走行軌道リスト生成

- 走行経路に平行なオフセット
  - プレビューポイント
- 軌道(座標・時間)の計算
  - 車両モデル積分, 数値最適化



## ■ 衝突判定

- 車両シルエットの重ね合わせ
  - 大きさを持った剛体
- 最大軌道追従誤差考慮
  - 左右方向, 姿勢誤差



# 局所的走行軌道選択とリルート

## ■ 複数評価値(コスト)を計算

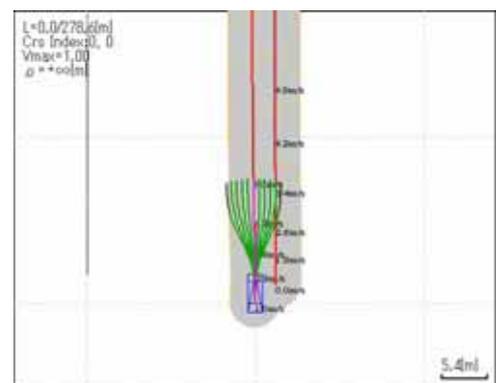
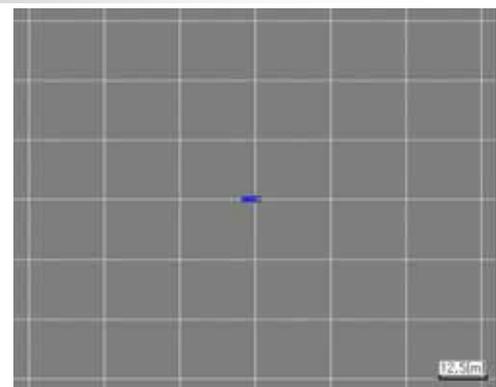
- 到達時間
  - 制限速度(前後・左右加速度制限)
  - 衝突・隠蔽
- 軌道オフセット

## ■ 最適な軌道を選択

- コスト(評価値の線形和)を計算
- コストが最小となる軌道を選択

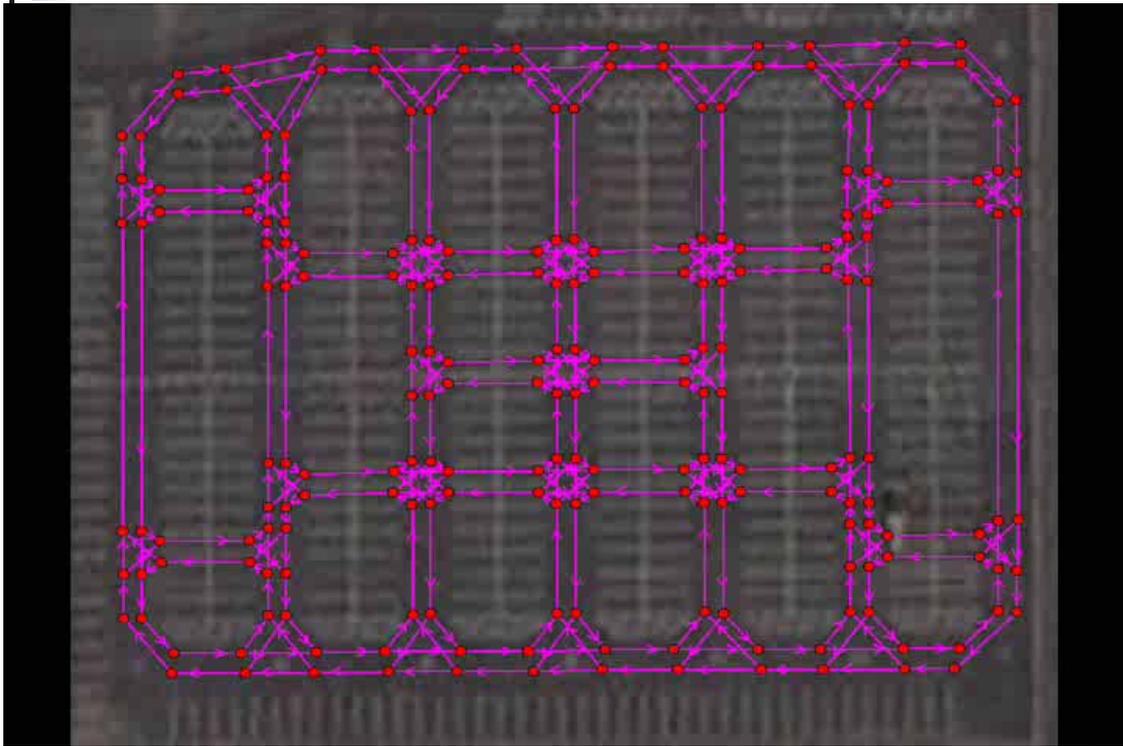
## ■ リルート

- 全ての軌道候補が通過不能
- 一定時間経過後  
再度オフライン経路選択



# 自動運転実験

注:2倍速



## まとめと今後の展望

- 自律型自動運転に関する技術の紹介
  - 周辺環境認識技術
  - 位置姿勢推定技術
  - 走行軌道生成法
- 今後の展望
  - 東京モータショー Smart Mobility City テストライド出展
    - 12月2日, 3日
  - 人間の運転に近い運転の実現
  - 安全安心社会を実現するユーザフレンドリーなインターフェース技術の開発

