運転支援・自動運転の技術動向

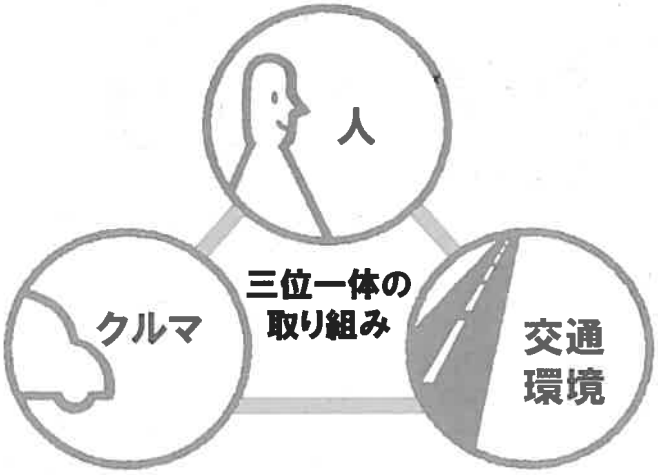
トヨタ自動車(株)
奥地 弘章
2016. 9. 8.

目次

1. 交通事故死者"0"への取組み
先進安全支援システム
2. 自動運転技術開発の方向
3. 自専道自動運転システム
4. 一般道自動運転を目指した技術開発
5. オープンイノベーション

交通事故死者"0"への取り組み

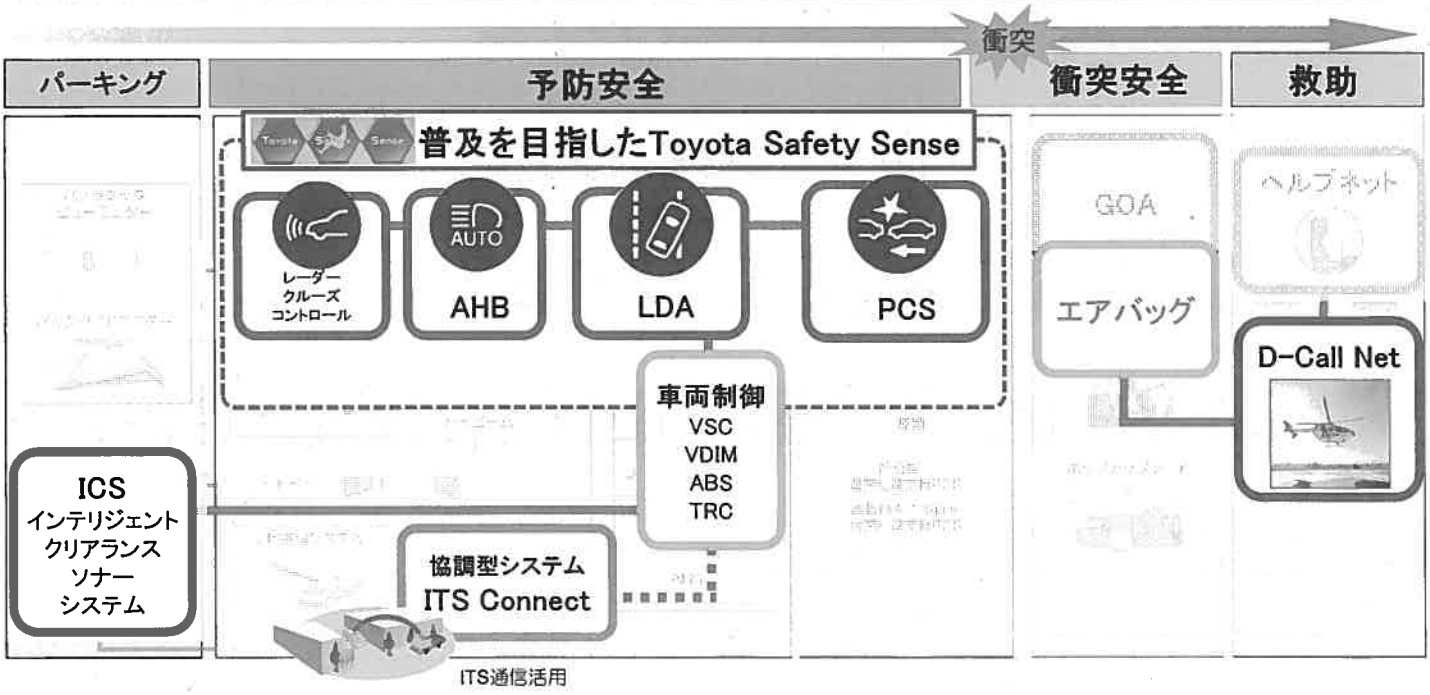
三位一体



実安全の追求

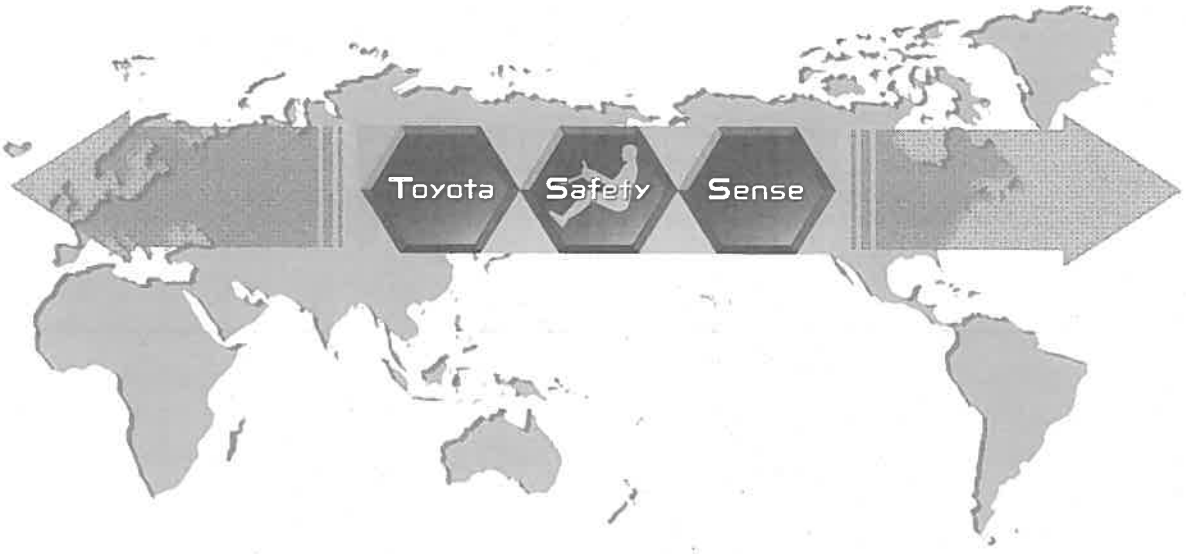
安全なクルマづくり：統合安全コンセプト

・全ての運転シーンで最適な安全支援
・個々のシステムの連携



Toyota Safety Sense展開・普及

日米欧中心に、17年末までに、ほぼ全ての乗用車に設定



交通事故死者ゼロ社会に向けたNext Step

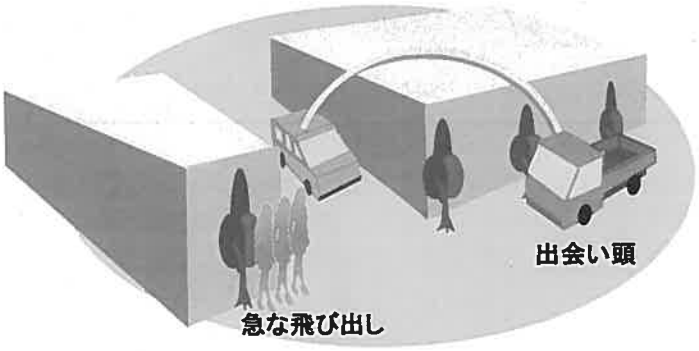
ITS-Connect：死角のケア

・見通しの悪い交差点など、自律だけで対応が困難なシーンは
通信を活用した協調型安全システムを活用

・車車間・路車間通信システムを新型クラウンに世界初導入

※ITS専用周波数760MHz帯を使用

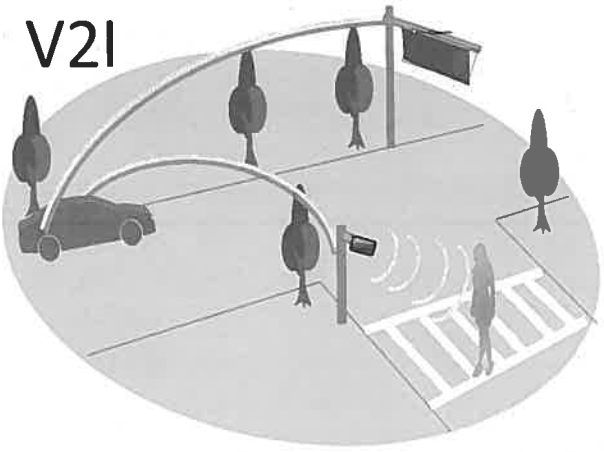
V2V



見通しの悪い交差点

V2V:Vehicle to Vehicle

V2I



横断歩行者・右折

V2I:Vehicle to Infrastructure

1. 交通事故死者"0"への取組み
先進安全支援システム

2. 自動運転技術開発の方向

3. 自専道自動運転システム

4. 一般道自動運転を目指した技術開発

5. オープンイノベーション

自動運転技術に対するトヨタの考え方

①「すべての人」に「移動の自由」を提供する

②ドライバーが運転したいときに運転を楽しめない車は作らない

③運転したくないとき、出来ないときは安心して車に任せることが出来る

④*Mobility Teammate Concept*のもと、人とクルマが協調する自動運転を作る

MOBILITY TEAMMATE CONCEPT
Automated Driving Tech.

人とクルマが、同じ目的を目指し、
ある時は見守り、ある時は助け合う、
気持ちが通った仲間の関係を築く

自動運転開発の目的

安全

自由な移動

環境

全ての人が　安全、スムース、自由に移動できる社会の実現を目指す

自動運転技術を生かす２つの方向性①

リスク回避支援

ドライバーが運転を楽しみながら、システムが見守る ⇒**Fun to drive** とも共存

適用イメージ

トヨタ産学連携
Sイノベプロジェクトより

自動走行だけではなく、ドライバー運転時も含め幅広く応用可能

自動運転技術を生かす２つの方向性②

自動走行: Highway Teammate

自専道をメインターゲットとした本格的自動運転技術

1. 交通事故死者"0"への取組み
先進安全支援システム

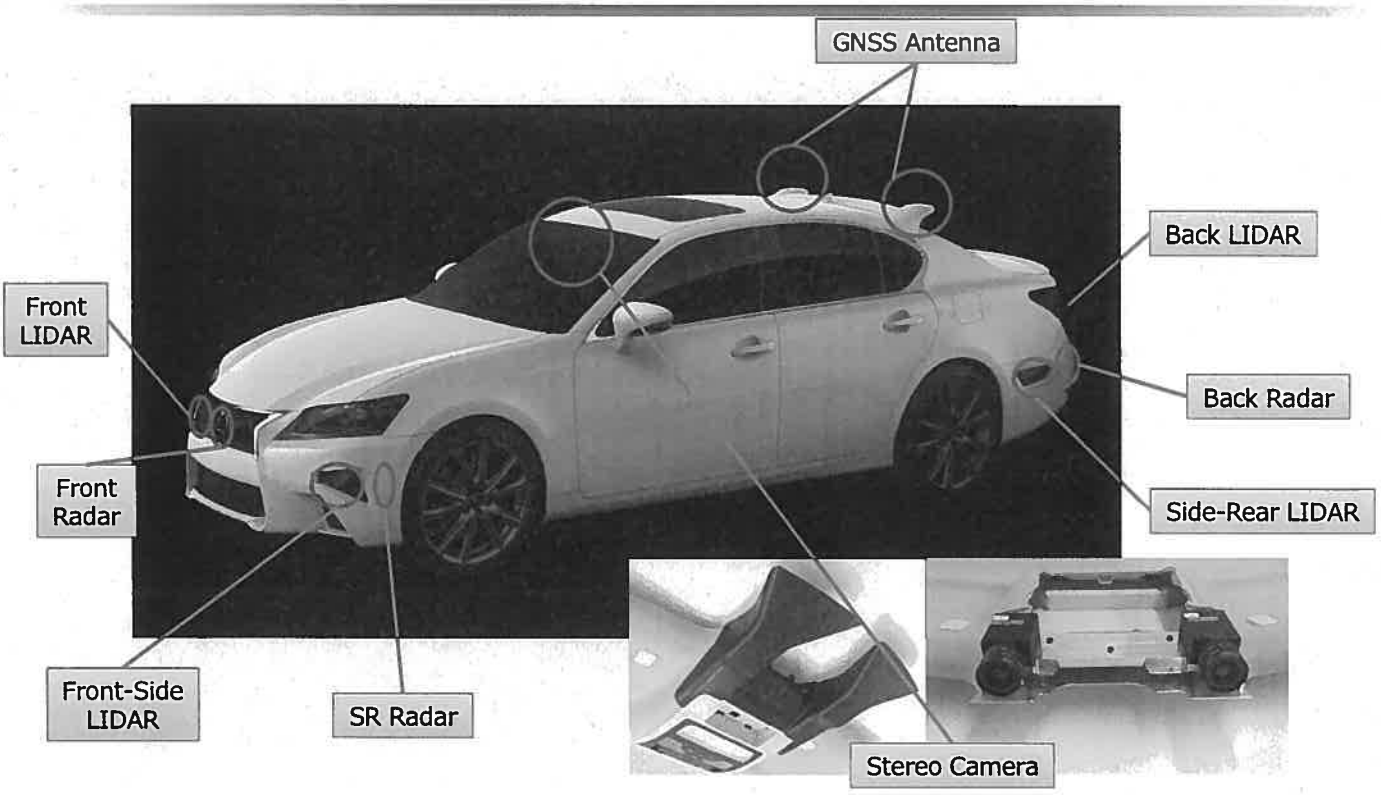
2. 自動運転技術開発の方向

3. 自専道自動運転システム

4. 一般道自動運転を目指した技術開発

5. オープンイノベーション

自動車専用道自動走行システム実験車



早期市販化を目指した量産化可能な構成

自専道の自車位置推定技術

1）従来型高度運転支援システム

白線認識のみを用いた車線維持走行

【課題】
1．白線誤認、未認
2．障害物の考慮

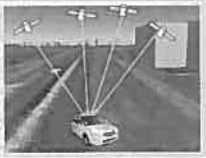
2）白線＋ランドマーク＋高精度地図を用いた自車位置推定

＋

照合

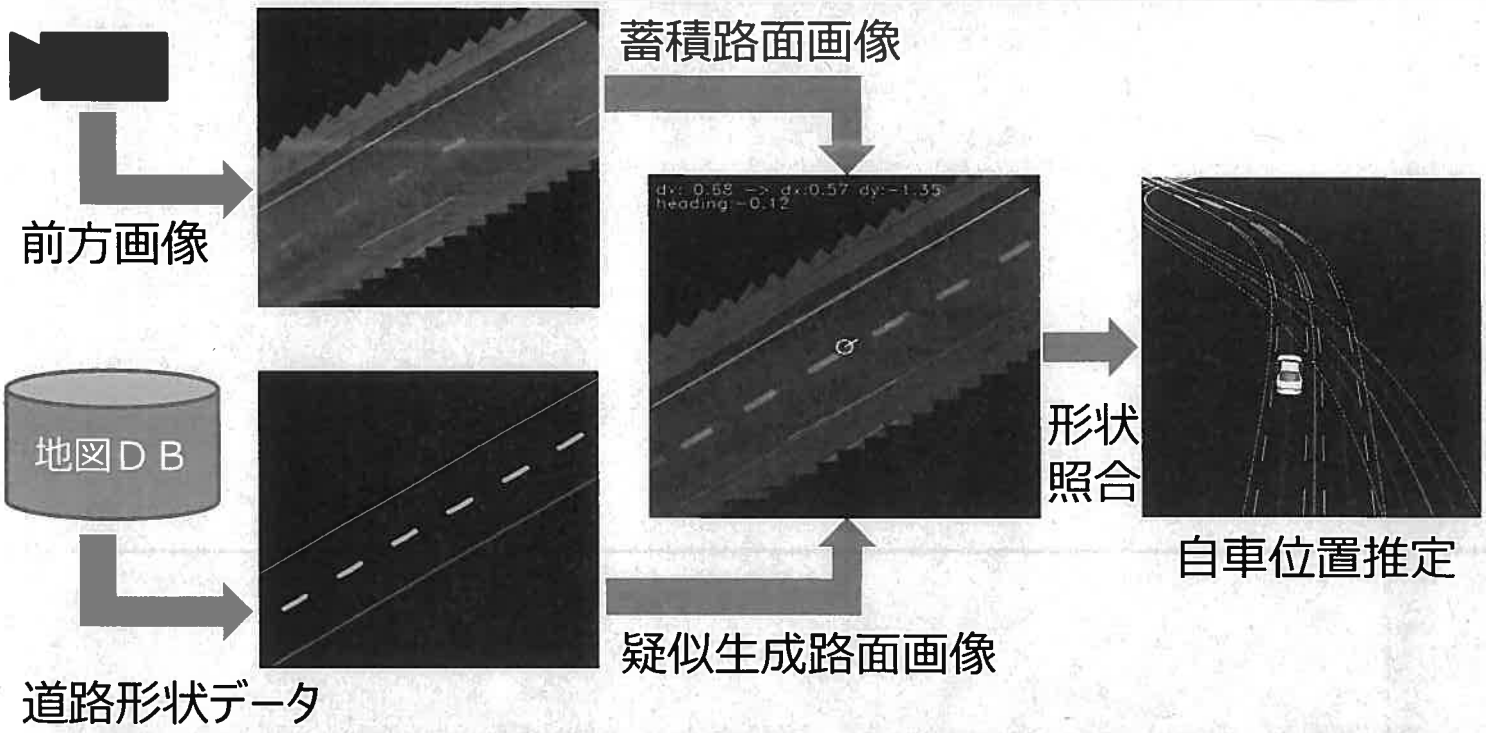
GPSの精度では自動走行出来ない

自車位置推定技術と精度

手段	精度（最悪）
GPS単独 	~50m
GPS+ジャイロ（従来技術）	~30m
GPS+ジャイロ＋最新ソフトウェア技術	~10m
GPS+ジャイロ＋認識センサ＋高精度地図	横0.1m 縦0.5m

認識センサと空間情報で自動走行に必要な精度の位置推定を実現

高精度地図を用いた自車位置推定の例



カメラ画像から写像・蓄積した路面画像と
地図から疑似生成した路面画像を照合する

首都高でのシステム開発評価

自専道として難易度の高い首都高で
実車によるシステム評価を開始

試験車両(PC/市販センサベース)

首都高評価コース
(湾岸線-9号線)

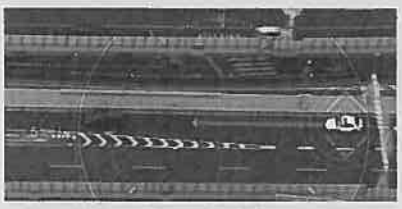
➢ 自車位置推定技術評価

ダブルデッキ下(GPS受信悪環境)

複合線区間(白線認識苦手シーン)

➢ プランナ評価

合流区間



出口分岐

実環境評価を重ねて課題を抽出し、システム完成度を高める

自動車専用道自動走行システム

1. 交通事故死者"0"への取組み
   先進安全支援システム
2. 自動運転技術開発の方向
3. 自専道自動運転システム
4. **一般道自動運転を目指した技術開発**
5. オープンイノベーション

一般道自動運転の難しさ

自専道

走行レーンが明確

車専用
同じ進行方向

分合流
L/C・工事等

一般道

走行環境が整備されておらず、走路と交通ルールが多様

・車線が無い

・道が対向/交差

・信号

・ルールが複雑

・手信号

様々な移動体が混在し、進行方向も様々

・歩行者

・様々な移動体

・路面状態

・動線が交錯

様々なシーンへの総合的判断が必要

自動運転技術の構成

①認識・照合

周辺認識

地図照合による自車位置推定

地図情報
走路形状

周辺車両配置
相対速度

②運転計画

状況判断

行動計画

目標走行軌跡
目標速度

③HMI・車両

HMI

車両制御

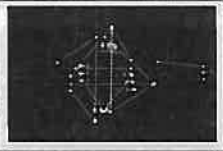
認知　　判断　　操作

大きく３つのプロセス必要

①認識・照合：空間情報（高精度地図）の活用

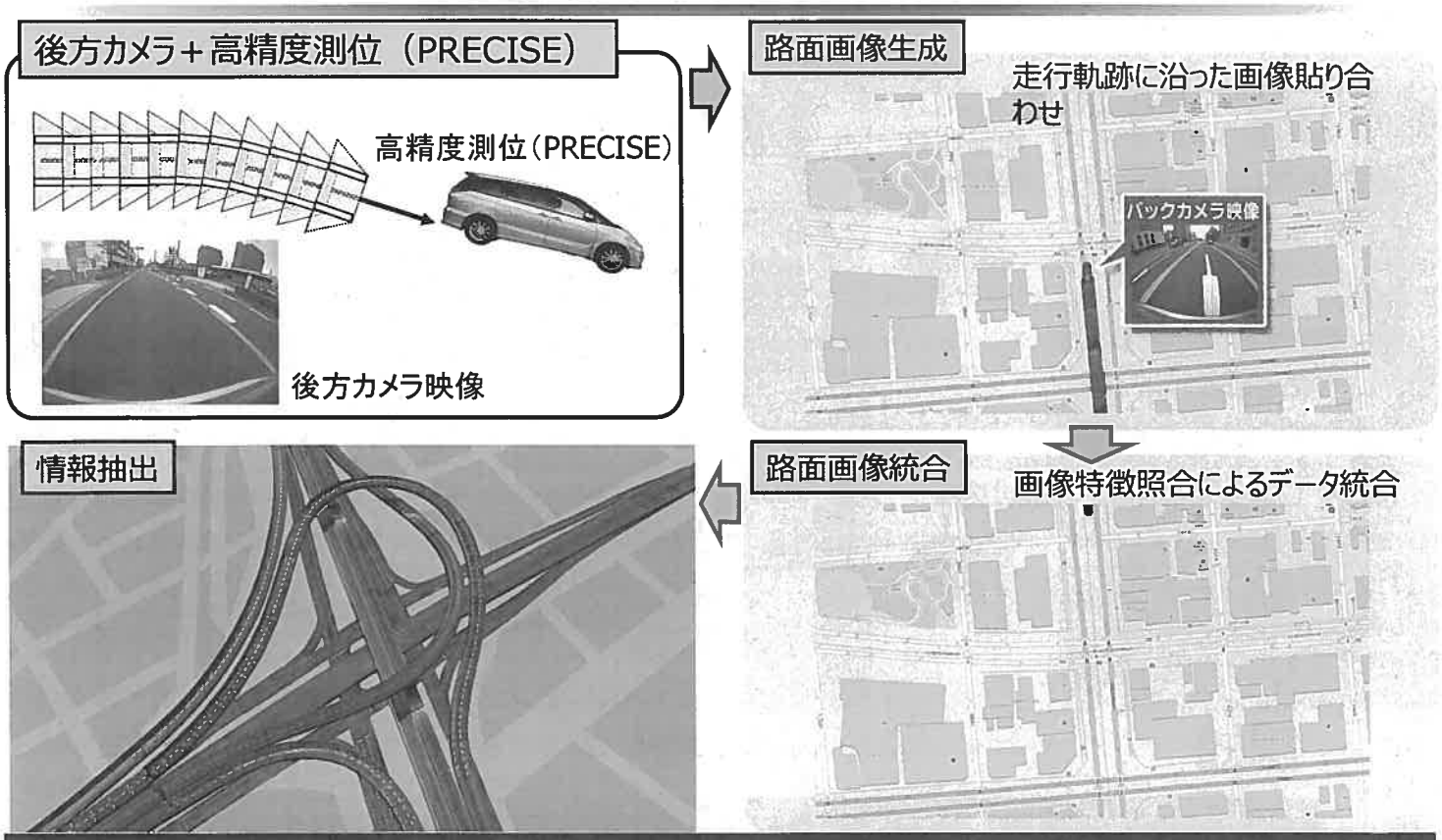
自専道対応

一般道対応

種別	必要な情報		課題 コスト	課題 容量	備考
① ルート情報	道路構造（車線数，車線リンク） 交通ルール（制限車速，一時停止） 信号機情報（位置，ルール）		自専道：小 一般道：中	○	自専道であれば、従来手法での整備可。ただし、更新の効率化必要。
② 自己位置推定	位置不変な道路特徴（白線・道路境界・標識）				
	走行経路（走行軌跡等）		一般道：大	×大	既存の手法・仕組みでは整備困難 ↓ 地図自動生成技術等必要
③ 障害物認識	地表面形状				
	常設静止物（樹木・標識・構造物）				

自専道：限られた地図情報による高精度位置推定・更新の効率化
一般道：リッチな地図を一般道レベルまで整備する新たなしくみ

空間情報の自動生成

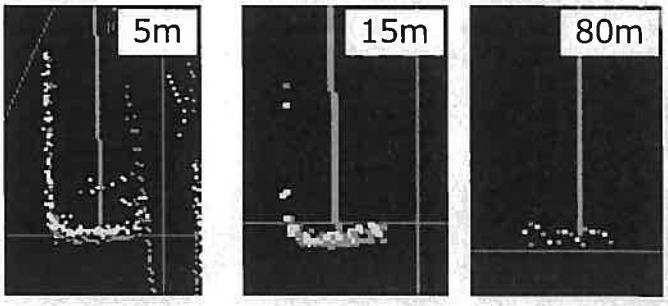


カメラ画像から空間情報を自動生成する技術開発に取り組み

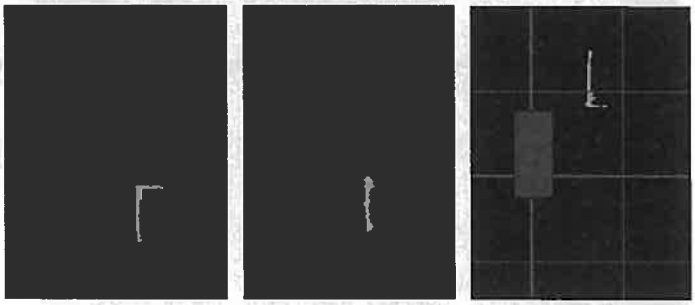
周辺車両認識の難しさ

Source: Ibeo Automotive Systems GmbH

■距離によって点の密度が異なる

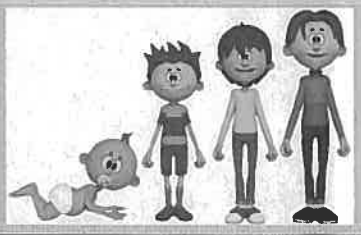
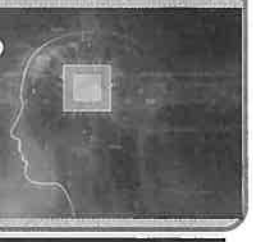


■方位による見え方の違い



疎な点群から安定して周辺を認識する技術が必要

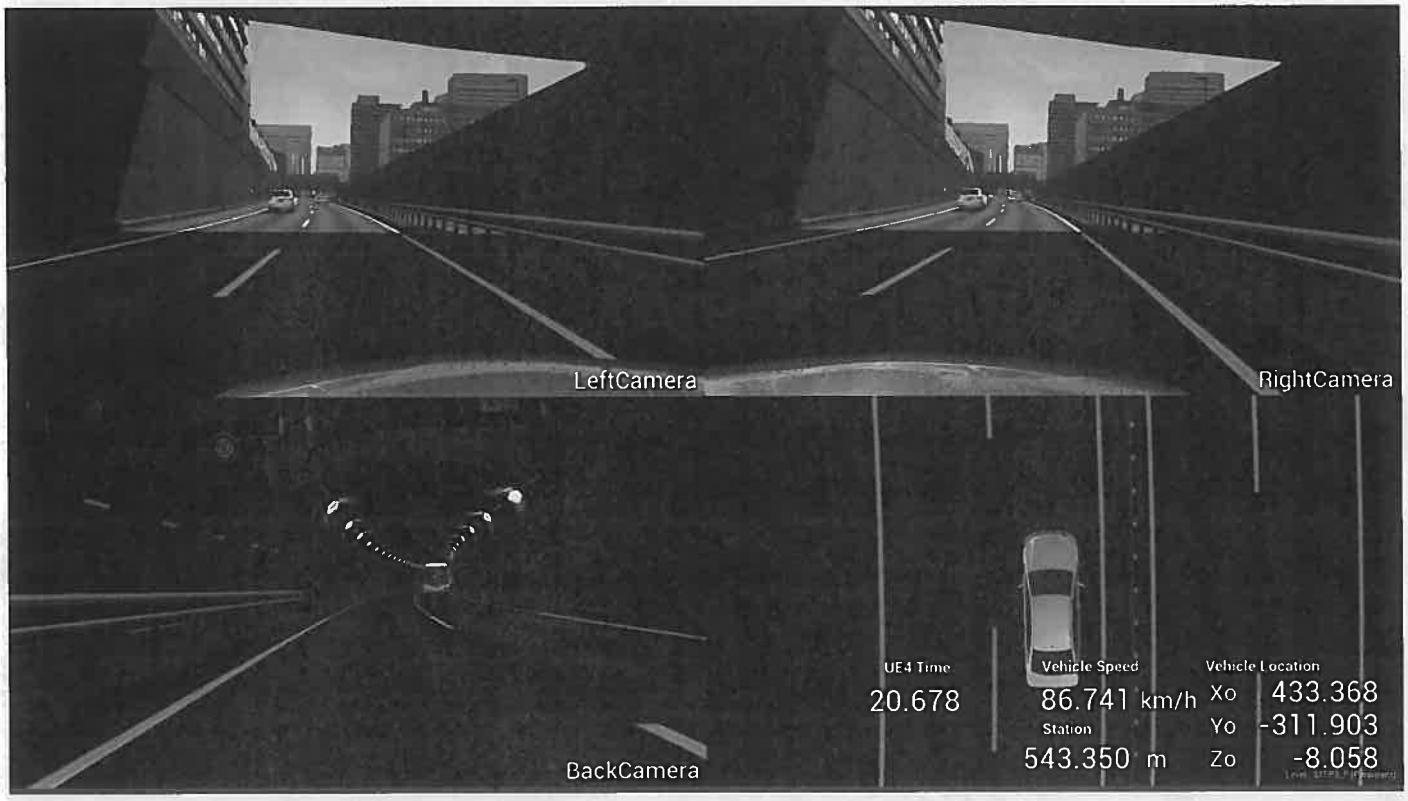
②運転計画：一般道自動走行に必要な知能化

	Rich 網羅的認識	Smart 賢い判断	Emergence 自己学習
走行環境が整備されておらず、走路と交通ルールが多様	**網羅的認識・判断により安全に走行するが、判断がもたつく** **主要国道レベル走行可**	**様々な移動物体の舞いを認識・予測しスムーズに走れるが、知らないことに対処できない** **主要一般道走行可** **(人の指示にも連携)**	**初めて遭遇する事象に経験を踏まえて適切に対処し知識を積上げる** **全ての道路走行**
様々な移動体が混在し、進行方向も様々			
様々なシーンへの総合的判断が必要	✓障害物を全て検出し走行ルートを決定 ✓不足する情報に対して最悪ケースを想定、安全・確実に走行	✓障害物の動きを予測し走行ルートを決定 ✓不足する情報を推測し必要な情報を収集 ✓潜在リスクを判断	HOW ? 

各レベルで知能化に大きなギャップが存在
⇒ より高度な判断、シミュレーションによる網羅的検証が必要

逆光での走行シーン

左右・後方カメラの連携シミュレーション



Deep Learning

CES2016 “ぶつからない”を学習する人工知能搭載自動運転車

自律自動運転の自動学習（Deep Learning）には、トヨタが出資したPreferred Networksのディープラーニング開発フレームワーク「Chainer」が用いられており、NVIDIA製のGPUで動作する開発言語CUDAによって記述されている。

自律自動運転するクルマ個々が学習を行ない、最初はぶつかっていたのが、学習が進むたびにぶつからなくなっていき、ついにはお互いに譲り合って、車線らしきものが現われてくる。

Deep Learning

CES2016 “ぶつからない”を学習する人工知能搭載自動運転車

【学習の行動】（９種類）
- 前,後,右,左,右前,左前,右後,左後,ブレーキ

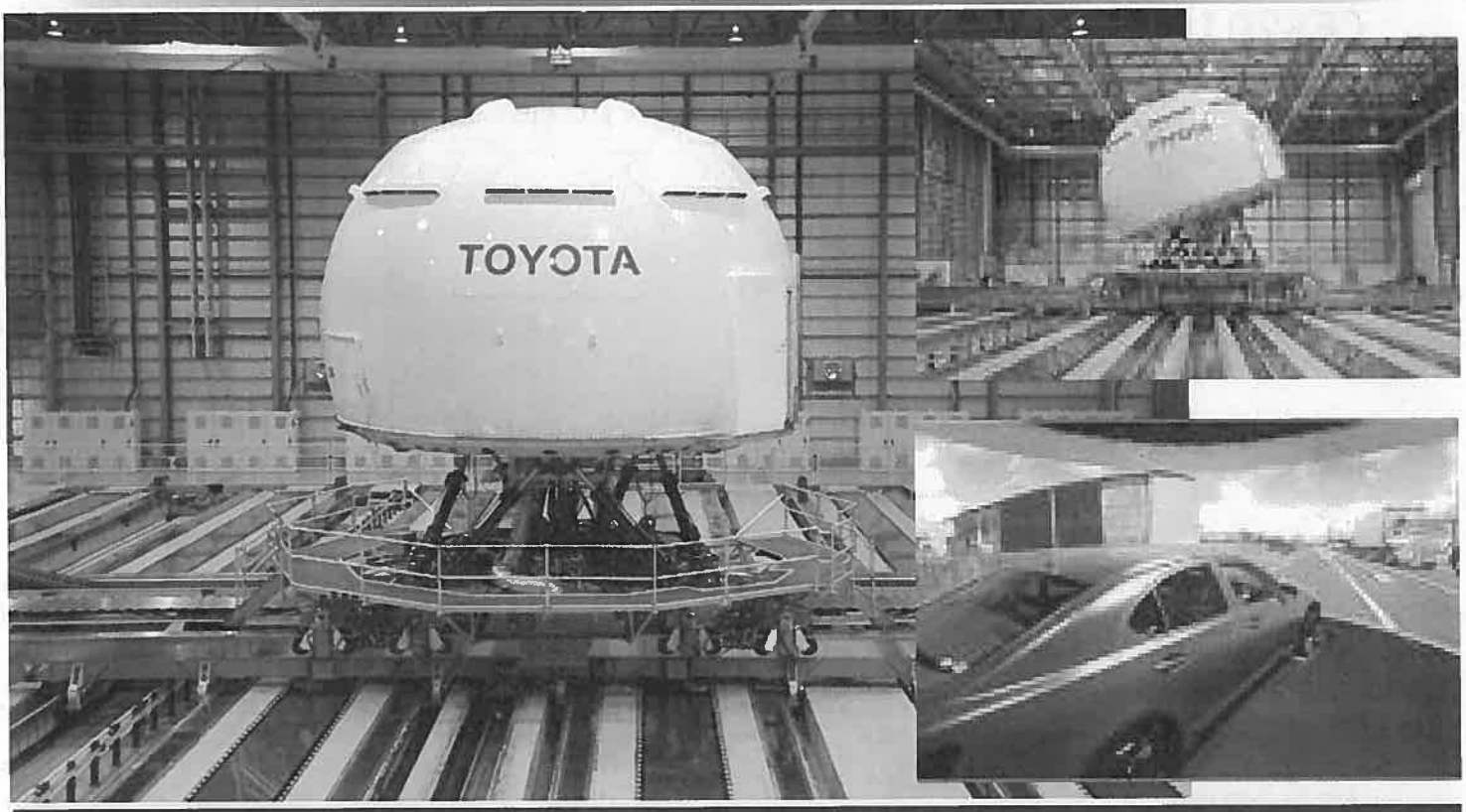
【学習の指標】
- コースにそってなるべく速く移動する
- 他の車両や壁、障害物にぶつからない

各車３２方向のライダーから得られる情報を計算
（壁・障害物や車などとの距離と方向）

車の数が多ければ多いほど多種多様な情報がインプットされ学習が効率よく行われる傾向

Deep Learning により賢くなる車

③ HMI：ドライビングシミュレーターによる評価

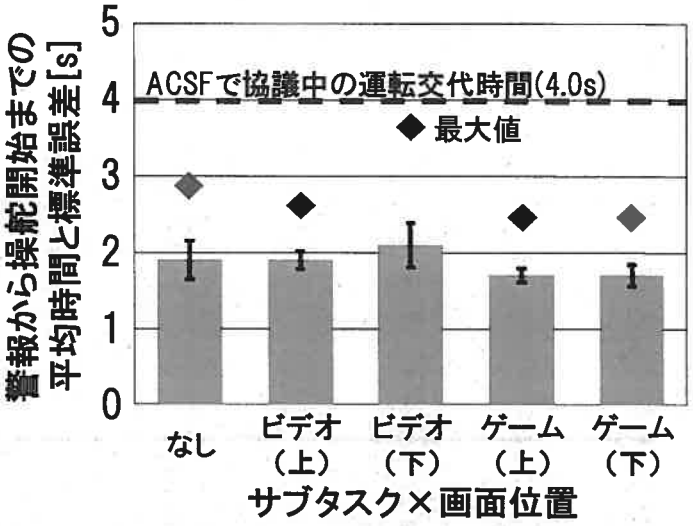


さまざまな人間の振る舞いを安全に調べることが出来る

自動運転中のサブタスクと反応時間

実験
- 簡易型ドライビングシミュレーター（定置型、前方映像のみ）を使用
- サブタスクとしてタブレットを用いてビデオ鑑賞およびゲームをさせる
- 自動運転中に警報音で運転受渡しを伝えると同時に車線逸脱を開始
- 警報音から操舵開始までの時間を計測

結果（被験者：10名）



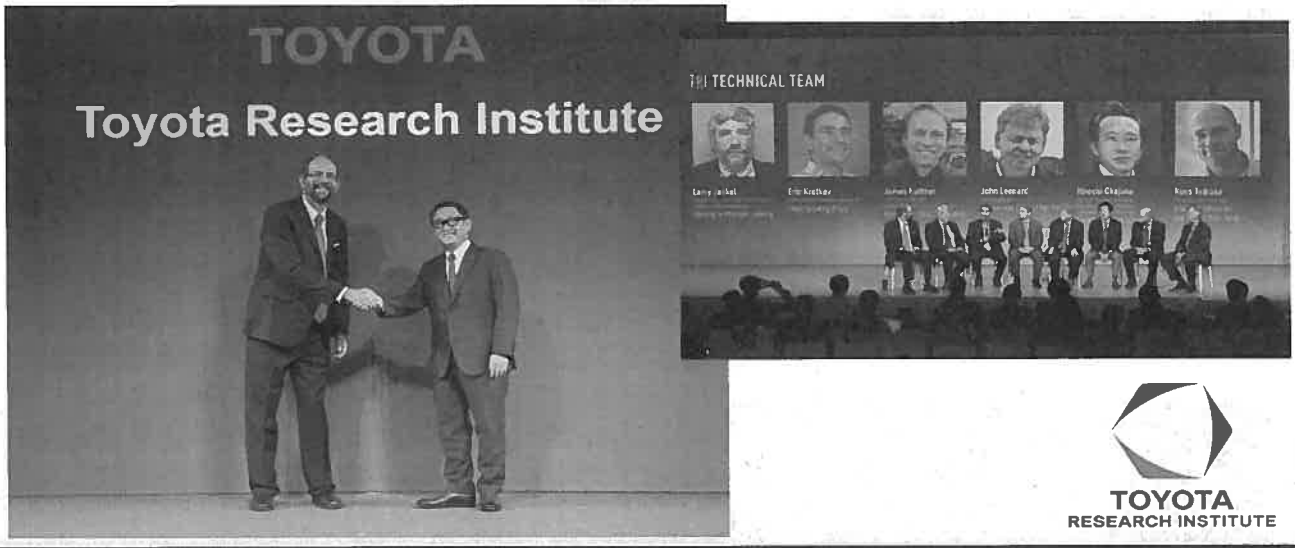
受渡し開始時に警報音発生すると
サブタスクの有無・種類にかかわらず
反応は比較的速い

1. 交通事故死者"0"への取組み
   先進安全支援システム
2. 自動運転技術開発の方向
3. 自専道自動運転システム
4. 一般道自動運転を目指した技術開発
5. **オープンイノベーション**

新たな取り組み

2016年1月、「TOYOTA Research Institute, Inc.」を設立

- シリコンバレー・ボストンに拠点設置
- 5年で10億ドルを投資
- CEOにGill Prattが就任（元DARPAプログラムマネジャー）



TOYOTA
RESEARCH INSTITUTE

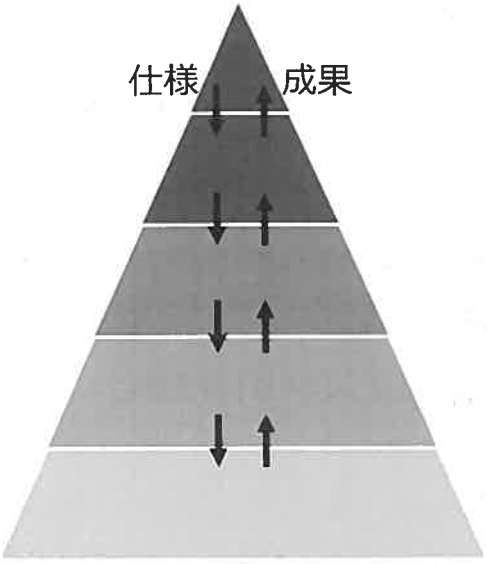
北米に開発拠点を設立、知能化に対する新たな取り組みを着手

ビジョン実現のための戦略

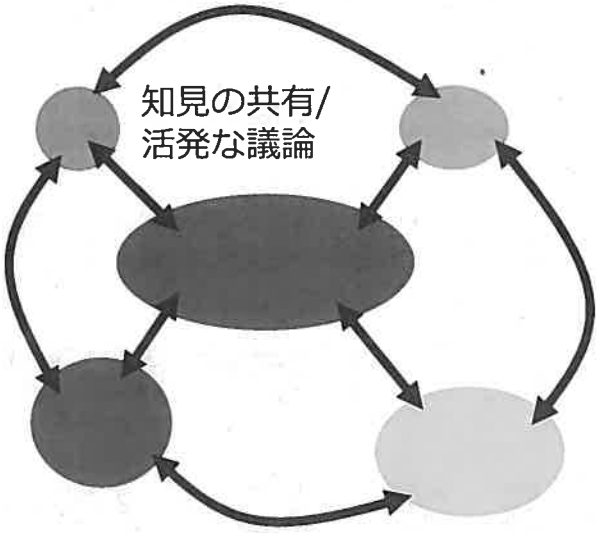
外部連携によるオープンイノベーションを重視 ⇒ 脱自前主義

- 自分たちの不得意な領域をカバー
- 知見を結集して、新しいアーキテクチャを設計

垂直統合/自前主義



有機結合/共創



技術開発のあり方を変革＝オープンイノベーションで共創へ

MOBILITY TEAMMATE CONCEPT

Automated Driving Tech.

TOYOTA

MOBILITY TEAMMATE CONCEPT
Automated Driving Tech