
自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題

一般財団法人 日本自動車研究所

ITS研究部

青木 啓二

1. 自動運転とは？

2. 自動運転車開発の実例

(1) E-ITSにおける自動運転・隊列走行技術

(2) 海外の隊列走行技術(KONVOI, SARTRE)

(3) 自律型自動運転車技術

(Have-it、アーバンチャレンジ、グーグル車)

3. 実用化に向けた課題

自動運転車・隊列走行車開発の歴史

1975年以来の日本、米国、欧州における自動運転車・隊列走行車の開発状況。



1ST Stage(1975~1990)
Vision based automation

2ND Stage(1990~2000)
Infrastructure based automation

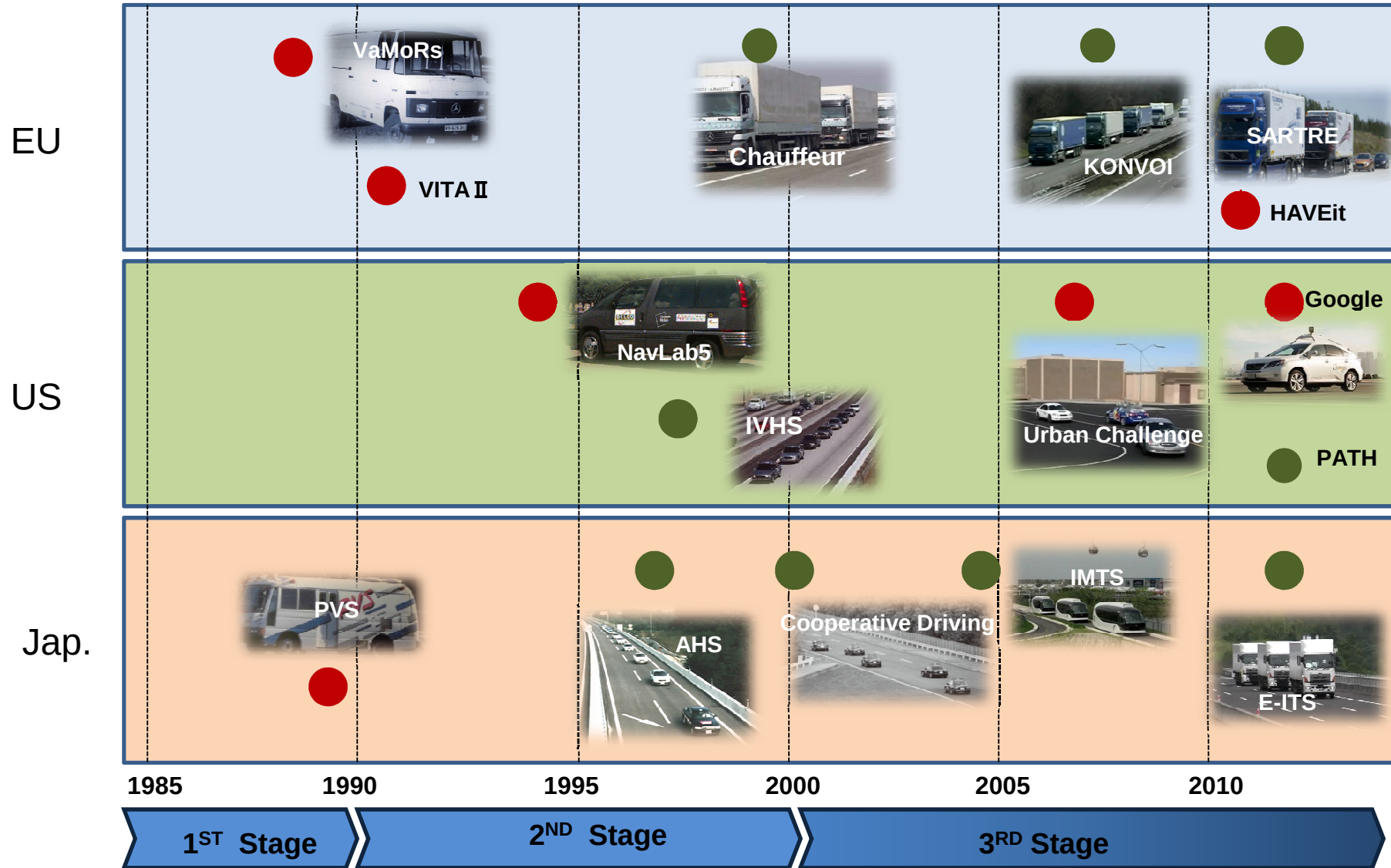
3RD Stage(2000~2012)
Fusion based automation



自動運転・隊列走行車まとめ

● 自律自動運転車

● 隊列走行

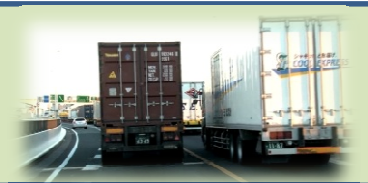


自動運転の目的

隊列自動走行



1. CO2の低減・燃費の向上



2. 交通流の改善・渋滞の低減



自律型自動運転



1. ヒューマンエラーによる事故の低減
(不注意・漫然・居眠り運転)



2. 健康障害・意識喪失による事故の低減

3. 視界不良時の安全運転
(夜間時雨天、降雪時等)



4. 運転負荷低減による快適性の向上



運転支援と自動運転の相違

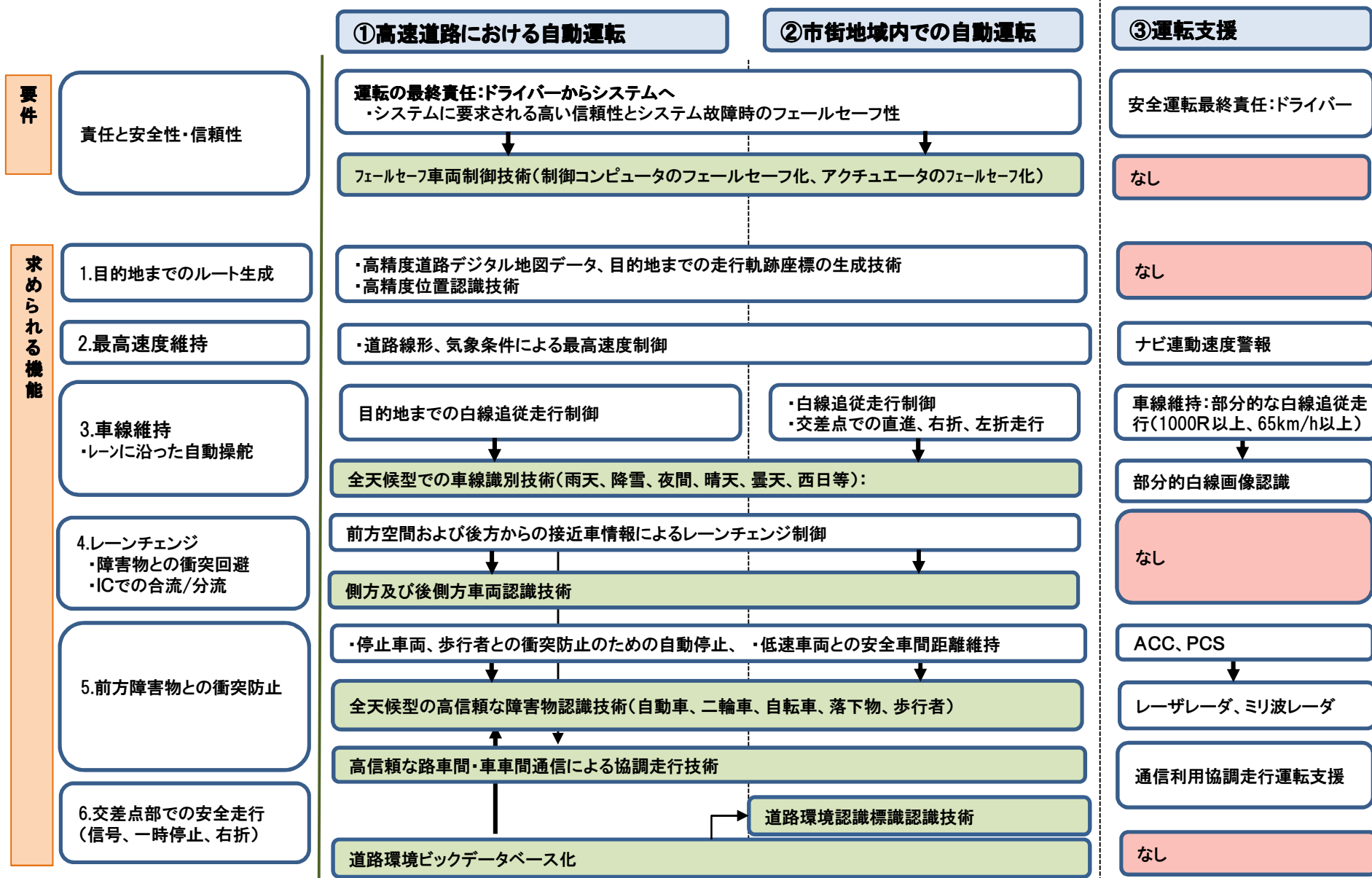


Automation Levelに基いた運転支援と自動運転の整理

SAE 自動運転標準化委員会による自動運転の定義

NHTSA level	SAE level	SAE name	Execution of steering and acceleration/ deceleration	Monitoring of driving environment	Backup performance of dynamic driving task	System capability (driving modes)	最終責任者	自動運転中のドライバー状態		安全運転の主役
		Human driver monit						目	脳	人間 システム
0	0	Non-Automated	Human driver	Human driver	Human driver	n/a				
1	1	Assisted	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes	ドライバー	ON	ON	人間のミスをシステムがカバー 人間 システム
2	2	Partial Automation	System	Human driver	Human driver	Some driving modes	ドライバー	ON	ON	システムのミスを人間がカバー 人間 システム
Automated driving :										
3	3	Conditional Automation	System	System	Human driver	Some driving modes	ドライバー	OFF	ON	システムのミスを人間がカバー 人間 システム
4	4	High Automation	System	System	System	Some driving modes	システム	OFF	OFF	全てシステム 人間 システム
	5	Full Automation	System	System	System	All driving modes				

自動運転(レベル3以上)に求められる機能



自動運転車の開発事例と主な技術

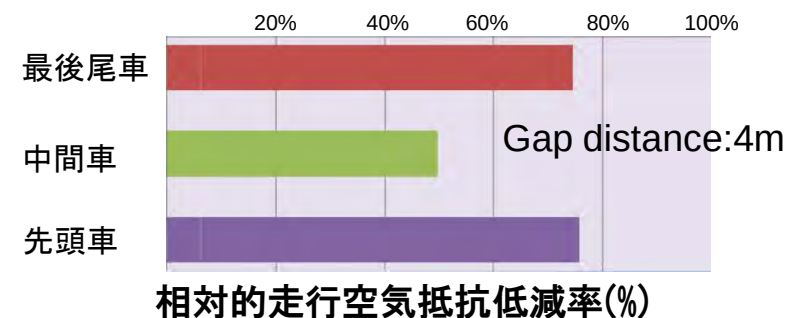
① エネルギーITSにおける自動運転・隊列走行技術

E-ITSの目的

近接車間距離での隊列走行によるCO2の排出削減と交通流の改善



車間距離4mを実現するための
制御技術と安全性の技術開発



開発した主な技術・仕様

■ 制御のロバスト性と安全性の向上

2. 車間距離制御技術

① 車車間通信技術

- ・DSRC5.8G 連送方式
- ・近赤外光通信

② 加速度FB方式車間距離制御アルゴリズム

3. 共通基盤技術

① 安全化

- ・フェールセーフECU
- ・システムの並列2重化

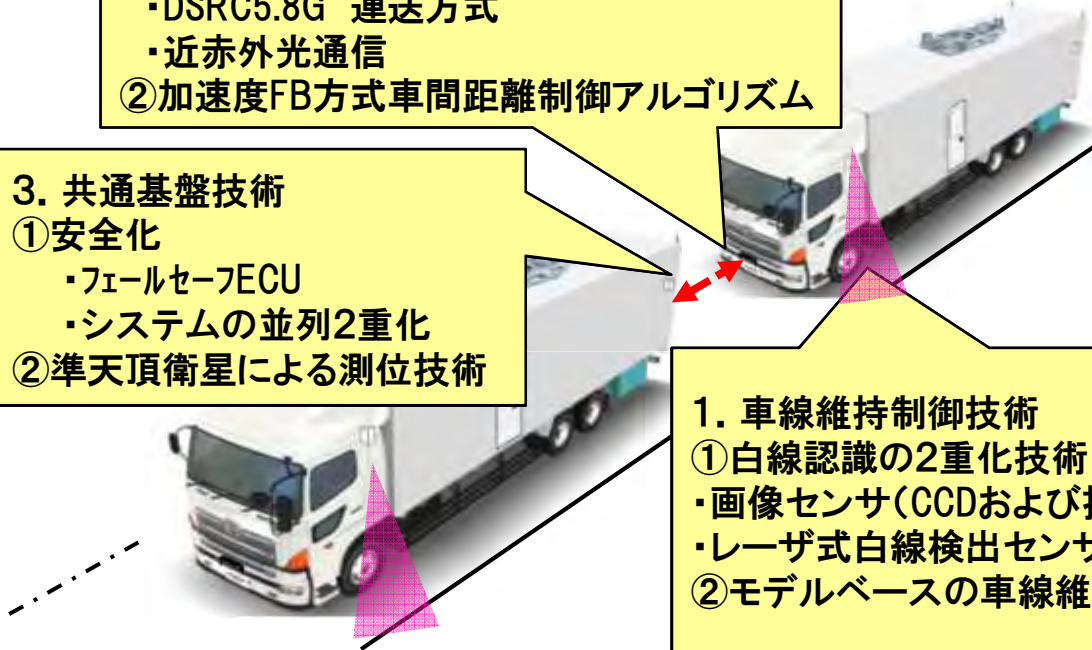
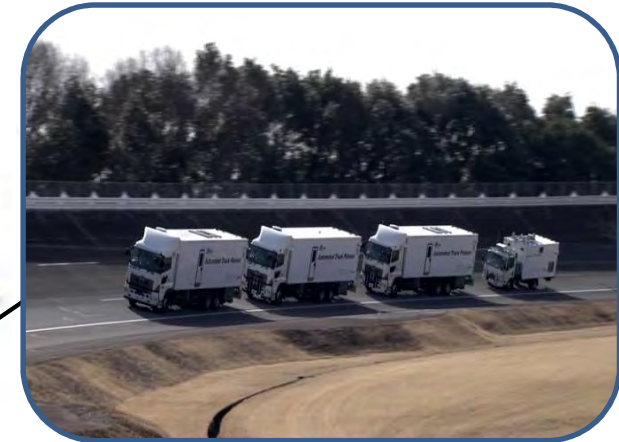
② 準天頂衛星による測位技術

1. 車線維持制御技術

① 白線認識の2重化技術

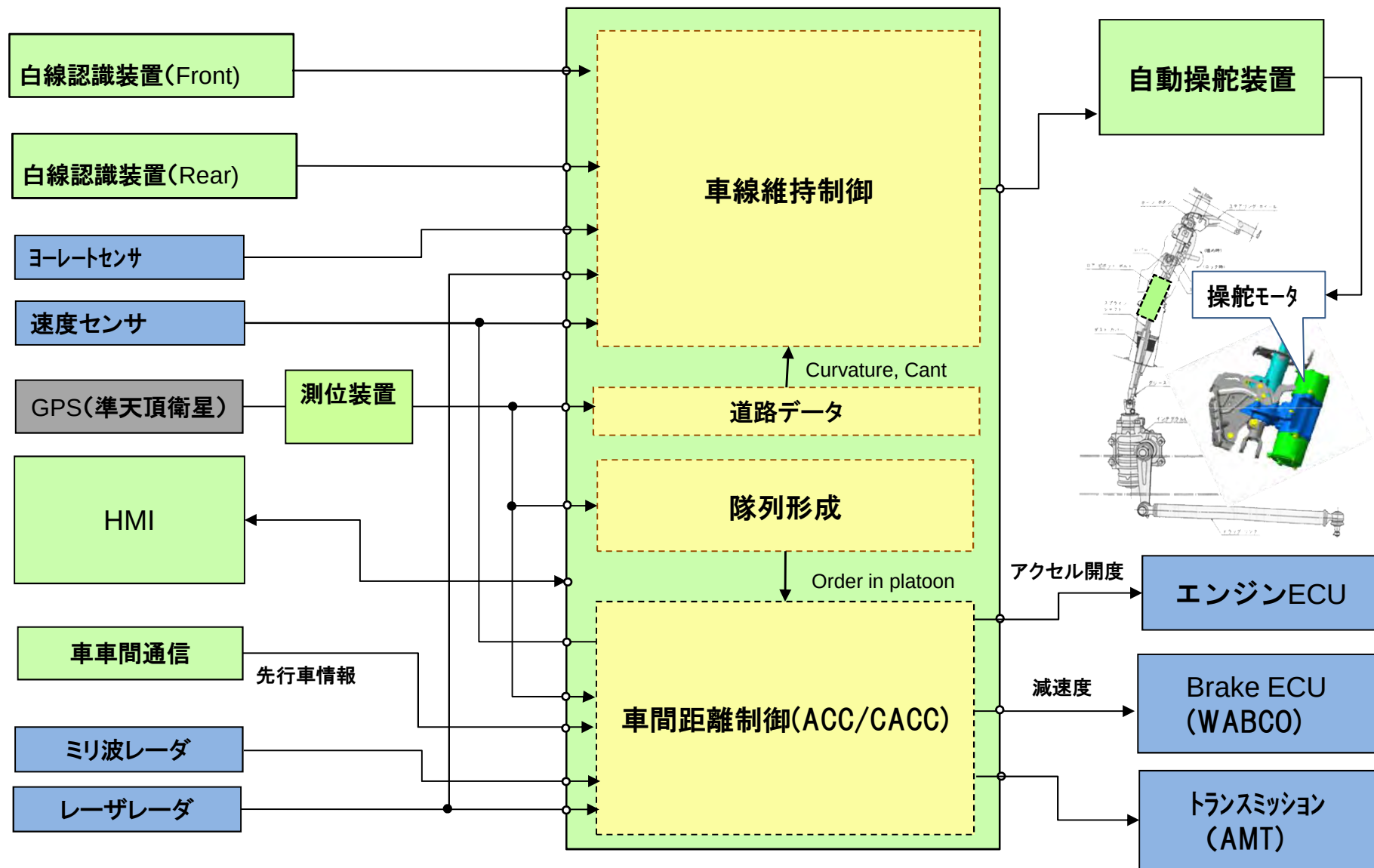
- ・画像センサ(CCDおよび投光型高速カメラ)
- ・レーザ式白線検出センサ

② モデルベースの車線維持制御アルゴリズム



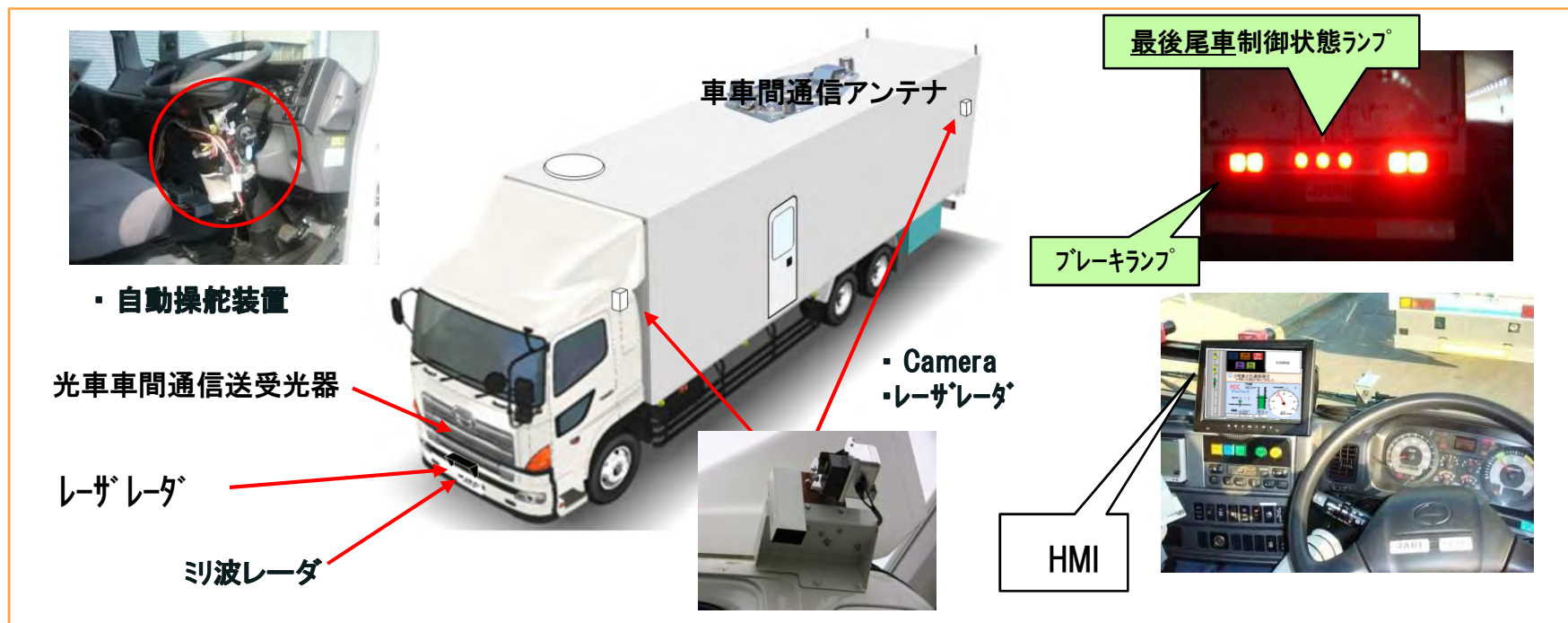
各機能	主な技術開発目標
1. 車線維持制御技術	① 白線誤認識率: 10^{-6} 以下、 ② 車線維持制御精度: $\pm 15\text{cm}$ 以下(直線区間)
2. 車間距離制御技術	① 車車間通信無通信確立: 10^{-8} 以下、 ② 車間距離制御精度: $-2.0\text{m}@0.5\text{G}$ 減速
3. 共通基盤技術	① 測位精度: $\pm 30\text{cm}$ 以内@80km/h

隊列走行制御システムの全体構成



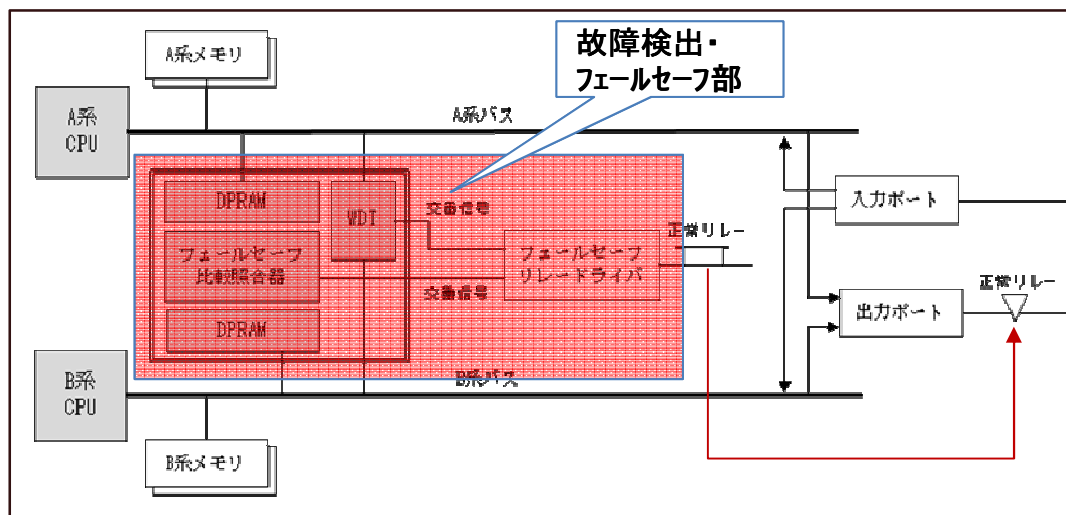
隊 列 走 行 車 構 成

制御装置名		冗長度	方式
センサ系	白線認識装置	2	・カメラ/レーザレーダの2重系
	車間距離・障害物検出装置	2	・76Gミリ波レーダ/レーザレーダの2重系
アクチュエータ系	操舵制御装置	2	・PMモータ
	ブレーキ制御装置	2	・EBS(Wabco社)2重系
車車間通信		2	・5.8GHz無線/光通信の2重系
HMI(自車及び一般車ドライバ用)		1	運転席:ディスプレイおよび警報音、最後尾車後部:ランプ



フェイルセーフ化ECU

- センサや走行制御ECU内のマイクロコンピュータが故障や暴走した場合、異常を検出し自動的に故障系を切り離し、異常動作を防止できるECUを開発する。



画像による白線認識の信頼性向上

環境条件	認識結果
自車の影	○
路側物の影	○
橋梁下(全体影)	×
雨天時	○
トンネル内(照明率50%)	○
橋梁継ぎ手部	×
西日時(逆光)	○

太陽光、降雨時の影響排除および位置検出精度の向上

■前方白線画像



直下側方白線画像



橋梁下



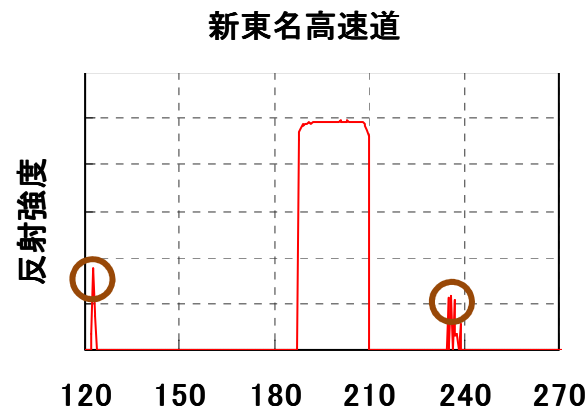
橋梁継ぎ手



レーザレーダ式白線認識技術

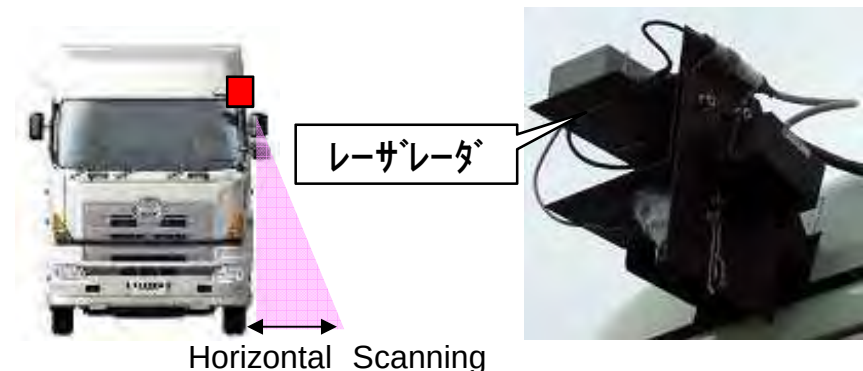
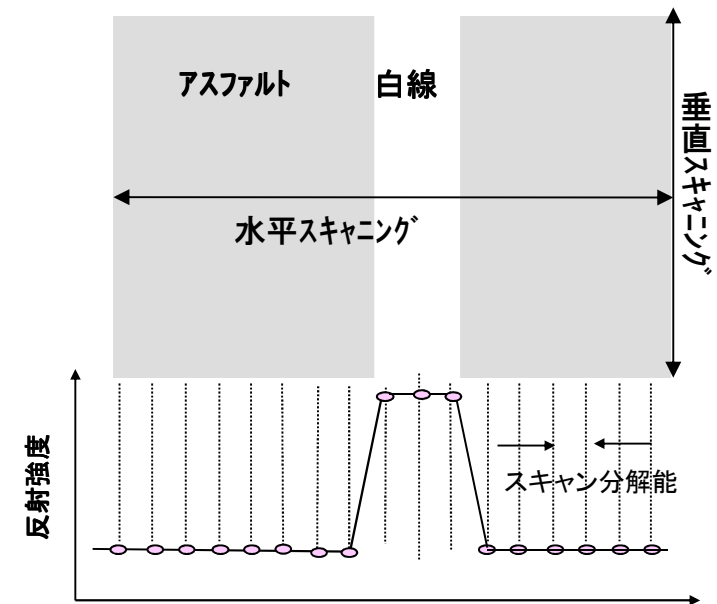
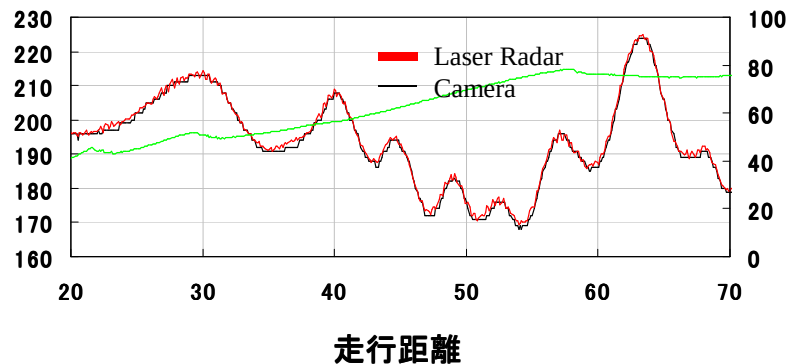
■ 検出原理

レーザレーダを用いて白線とアスファルトの反射率の違いを検出し、白線を認識



■ 走行時の認識結果

画像認識と同等の約2.0cmの検出精度を確認



車車間通信の2重化

◆ 5.8GHz DSRCと光通信の2重化による車車間通信の信頼性向上

通信機仕様

- ・ITS FORUM RC-005
- ・CSMA/CA
- ・QPSK

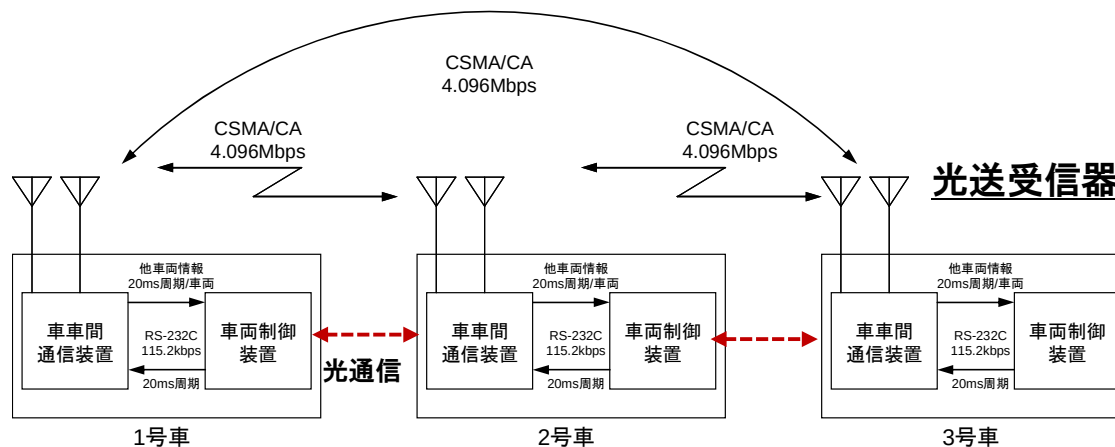
DSRCの通信品質向上技術

- ・連送機能:4~5連送化
- ・ダイバーシティー受信

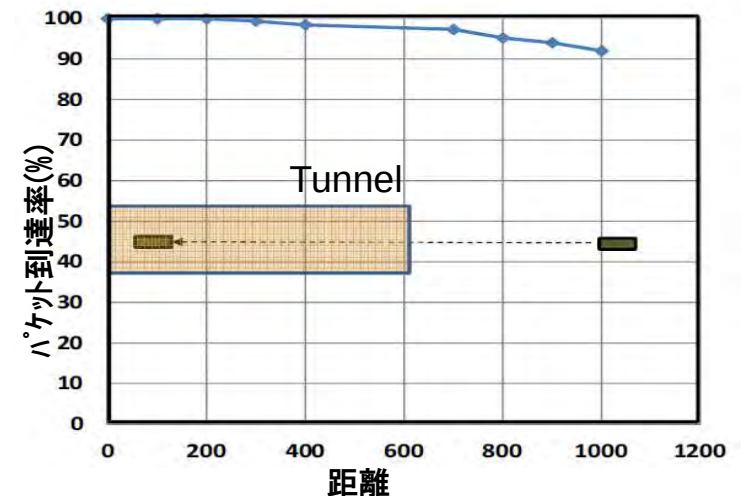
車車間通信技術開発目標値

項目	最終目標
最大伝送範囲	DSRC:60m 光:20m
車両間伝送周期 (伝送データ量:50バイト)	20msec
無通信発生確率(1時間あたり 100msec連続無通信)	10^{-10}
パケット到達率 (伝送周期20msecの場合)	99.92%

*100msec以上無通信の場合、故障と判定し、隊列走行を解除



車車間通信システム2重化構成



光車車間通信技術

■ LEDアレーによる送受一体型車車間通信の開発

- ・車間距離15mにてパケット到達率99.92%を達成
- ・試作装置開発による各種気象条件下での性能確保達成

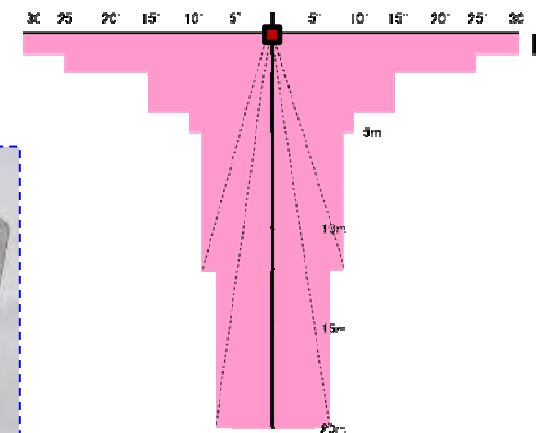
項目	仕様
光波長	850nm
変調方式	ON-OFF-keying
変調周波数	3CH必要
通信速度	100kbps
通信距離	1～15m
通信角度	7～30deg
中継通信	中間車両は必要あり
通信方式	全二重通信
通信周期	20msec
連続無通信時間	100msec未満
データ長	50byte
エラー検出	CRC-CCITT
外乱光低減対策	フィルタ等による

干渉光遮断フィルタ

受発光装置



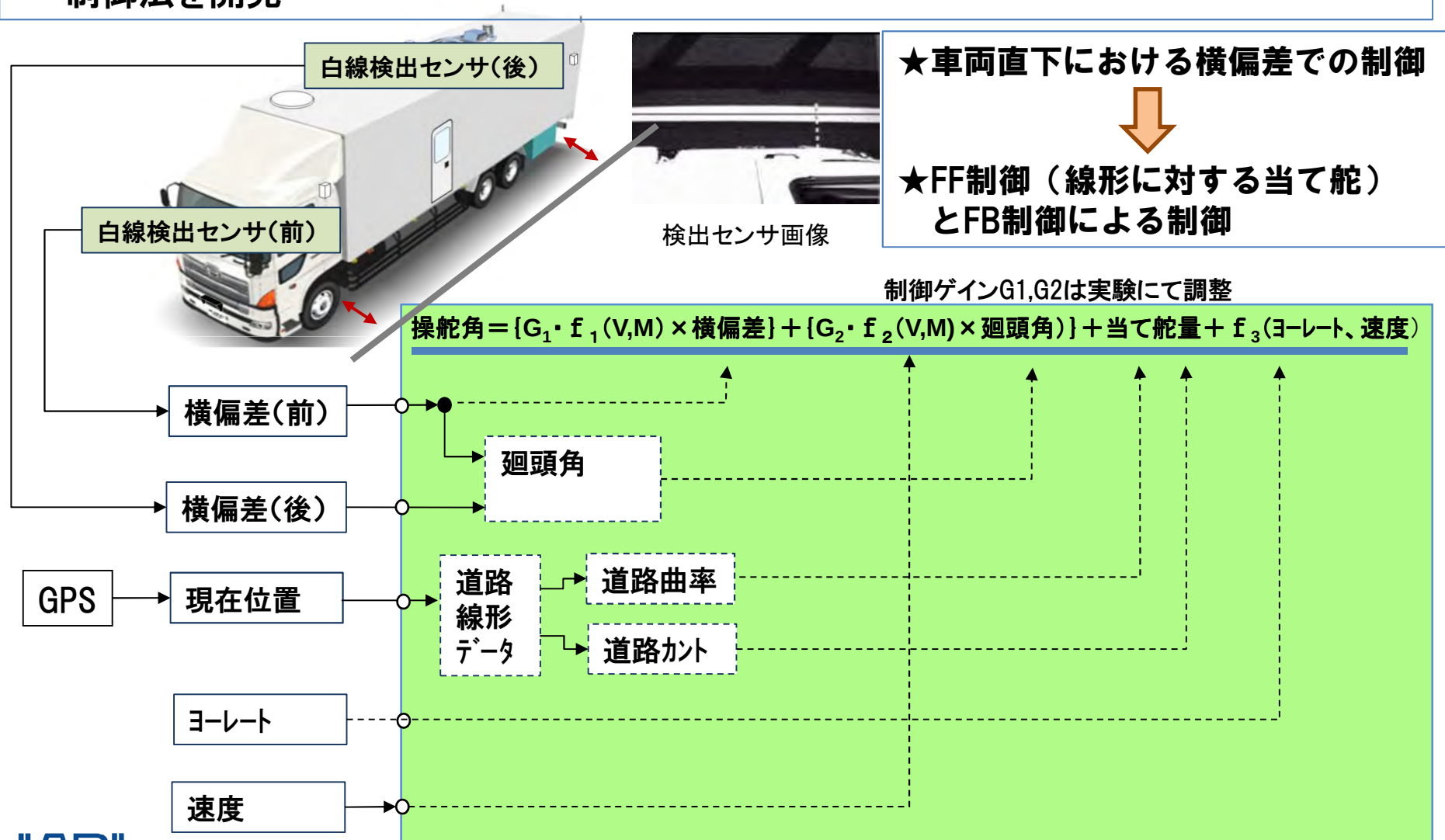
通信エリア



設置位置は、直射日光の影響を考慮して車体下部

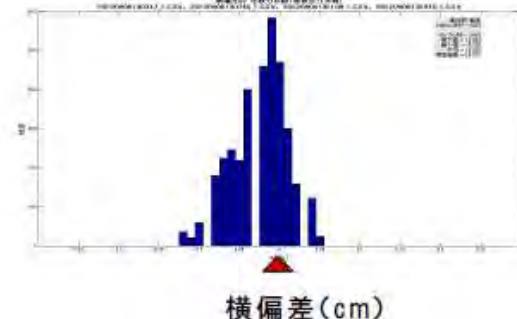
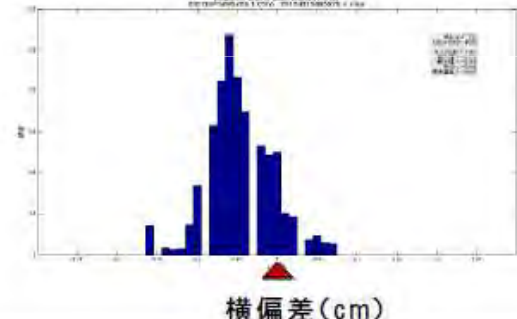
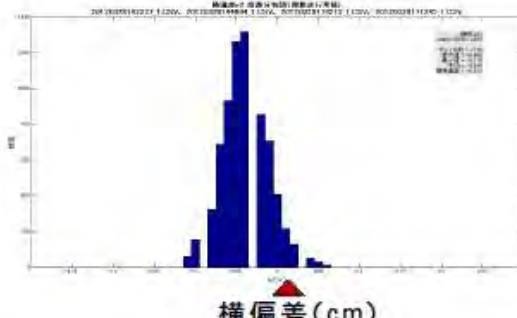
車線維持制御のシステム構成

■車両運動モデルを利用し、道路形状に対するロバスト性に優れた高精度な車線維持制御法を開発



車線維持制御における制御精度

■ 直線にて制御ゲイン K_2, K_3 を調整後、曲線部での制御性能を評価

評価路	場所	評価結果	評価法:速度 80km/h、計測長(400m×4)	目標
直線	高速周回テストコース 	制御誤差 ・左:5cm 右:12cm	 横偏差(cm)	○
1000R	新東名高速道路 	制御誤差 ・左:10cm 右:18cm	 横偏差(cm)	○
3000R	新東名高速道路(トンネル内) 	制御誤差 ・左:5cm 右:10cm	 横偏差(cm)	○

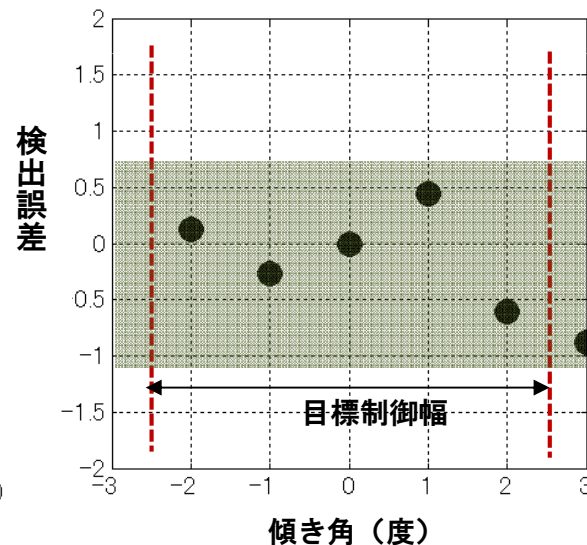
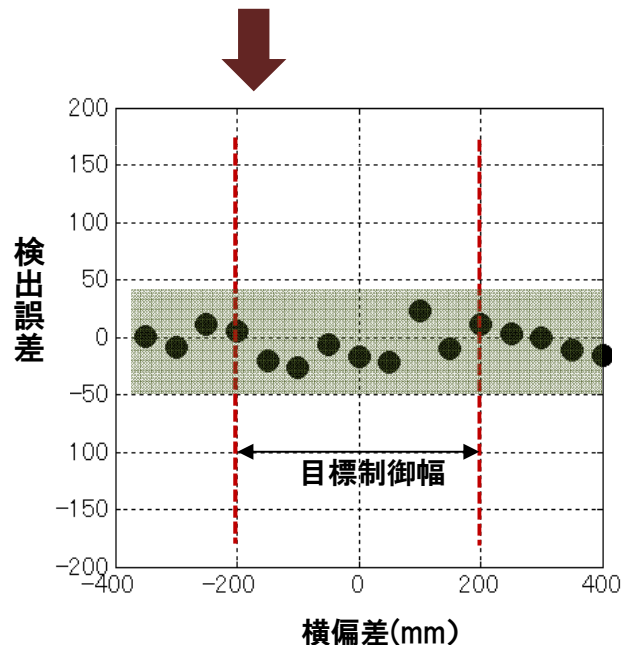
先行車トラッキング制御(横方向制御)

■ 目的

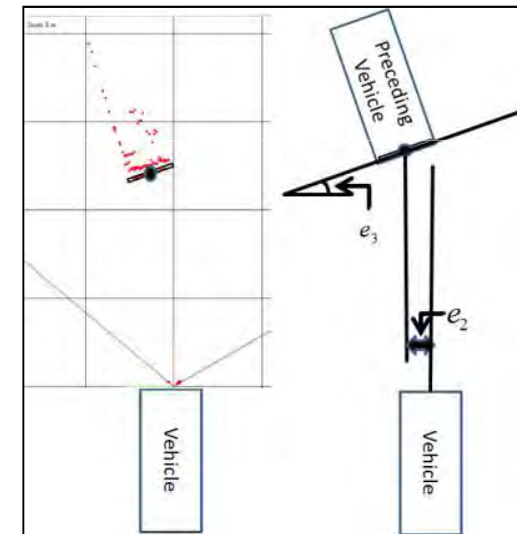
白線がない又は白線認識ができない場合（積雪等）隊列走行を継続し安全を確保

■ 方法

- ・ レーザレーダによる先行車との走行位置偏差（横偏差、傾き角）検出。
- ・ 車線維持と同一の制御アルゴリズムによる操舵制御。
但し先頭車は手動運転が前提



レーザレーダによる走行位置偏差検出性能



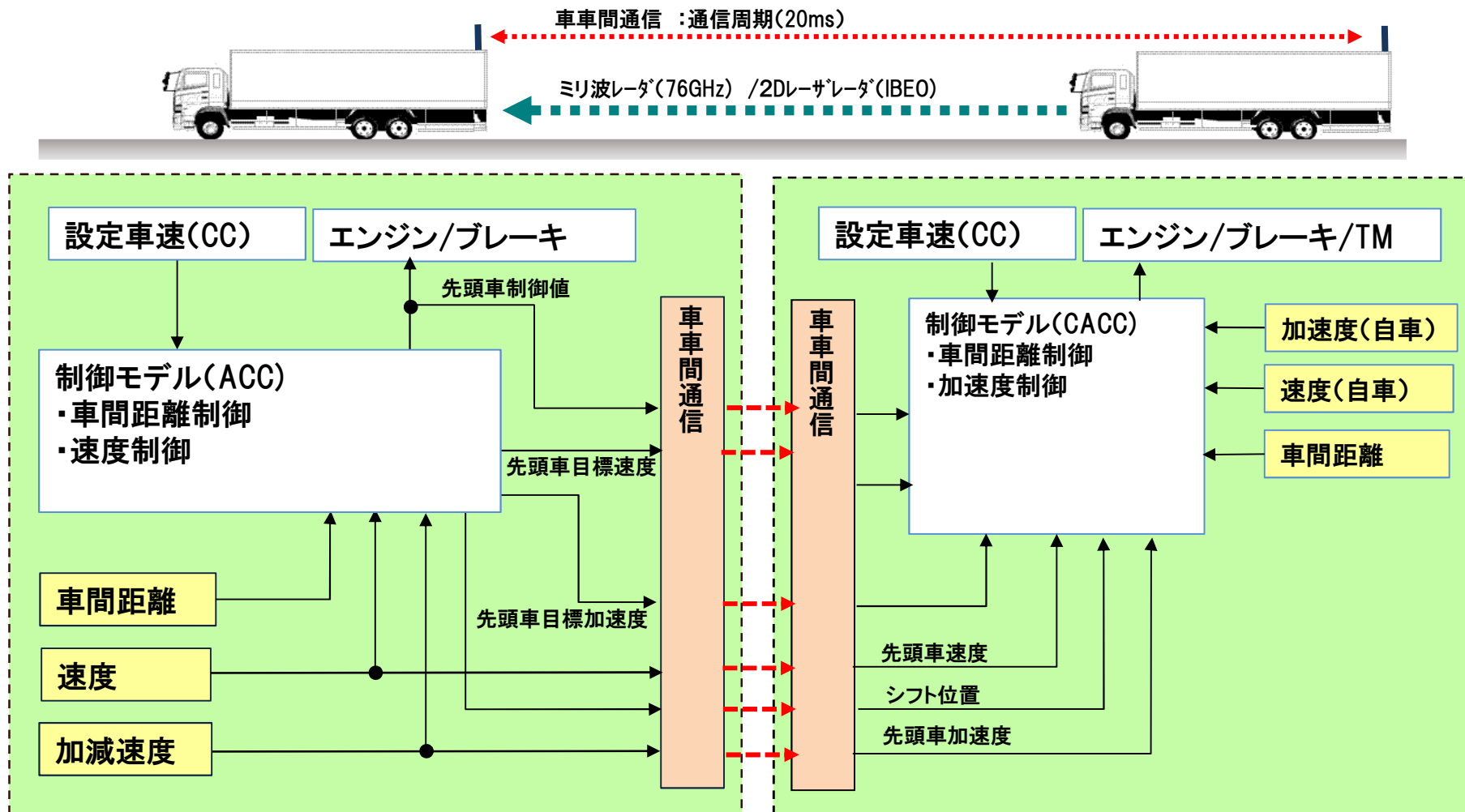
レーザ画像



ビデオ

CACC車間距離制御システム

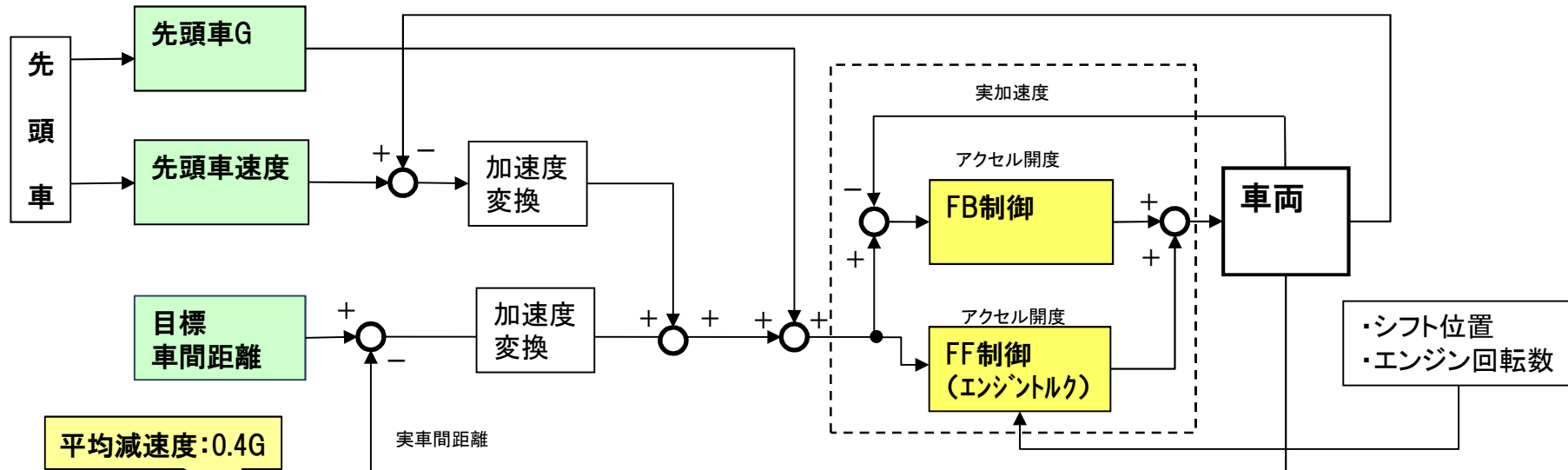
- 隊列内の車間距離の安定性と先頭車急減速時の安全性を確保するため、車車間通信を用いた高精度な車間距離制御技術を開発



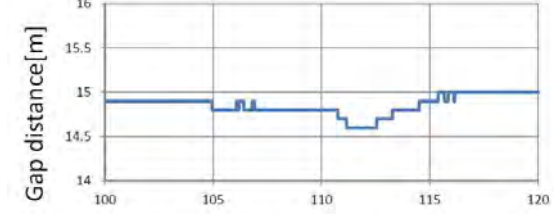
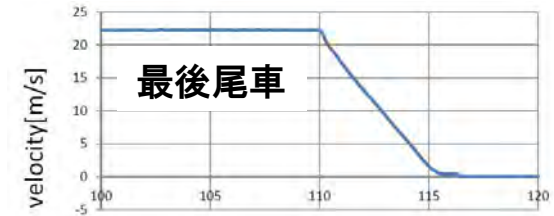
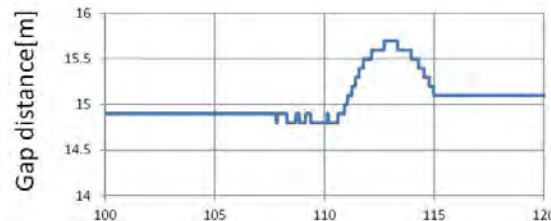
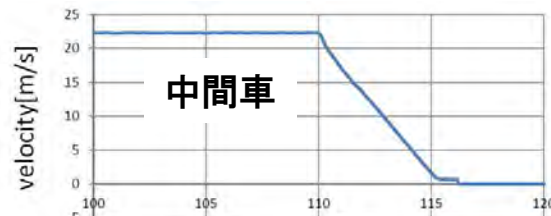
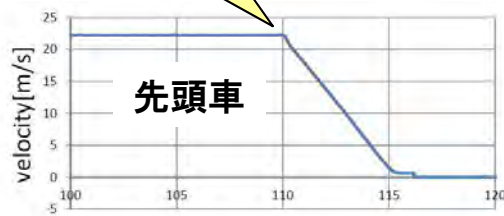
車間距離制御アルゴリズム

■ 後続車は先頭車の速度・加速度を目標値としてアクセル開度、ブレーキ力の制御を実施。

■ 中間車、最後尾車とも車間距離制御誤差は1m以内

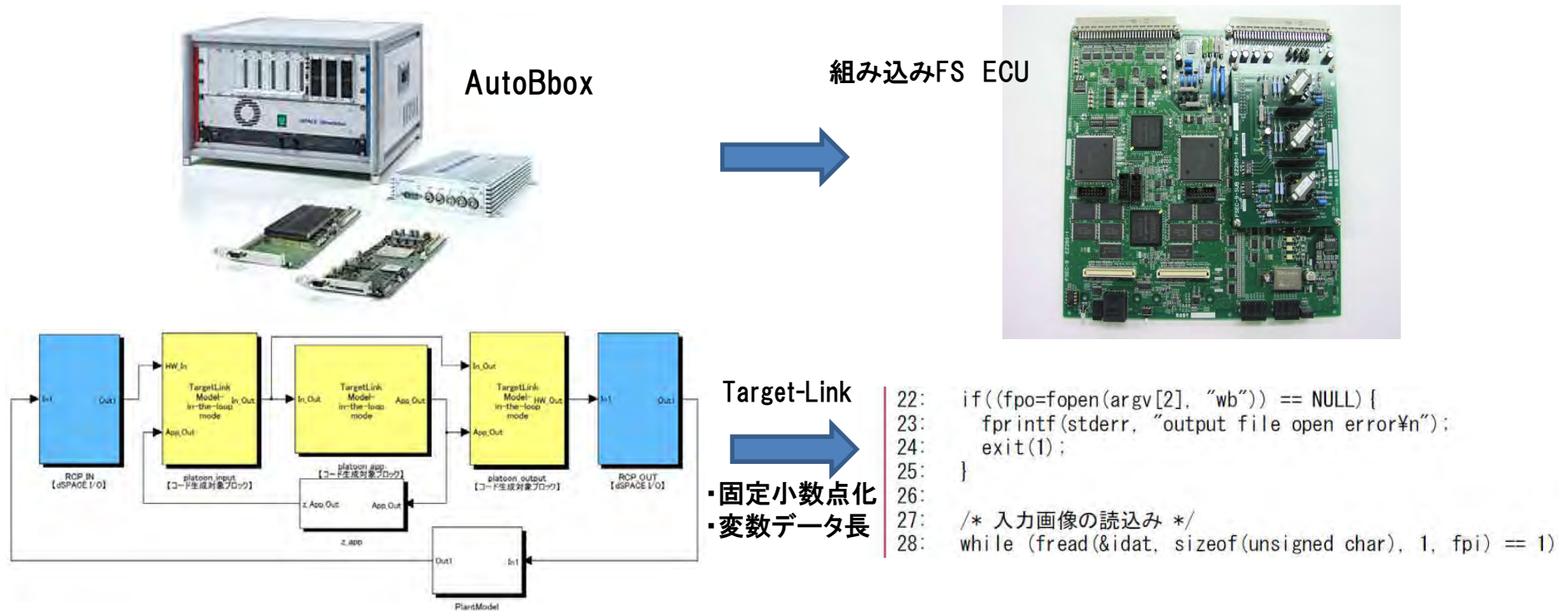


平均減速度: 0.4G



制御ソフトウェア

- ソフトウェアの開発効率化のため、開発段階はオートボックスを用いてソフト開発。
 - ・車間距離10mにてAutoBboxおよびMATLAB-SimuLinkを用いてにてソフト開発および機能評価実験を実施。
- 開発終了後の性能評価実験では組み込みFS ECUにて走行実験を実施。
 - ・Target-Linkを用いてFS-ECU用Cソースコードを生成。



車間距離 4 mの隊列走行デモ

- 世界で初めて 車間距離4mによる4台隊列走行を実施
- トラックによる自動運転・隊列走行が技術的に実用化レベルにあることを実証

VIDEO

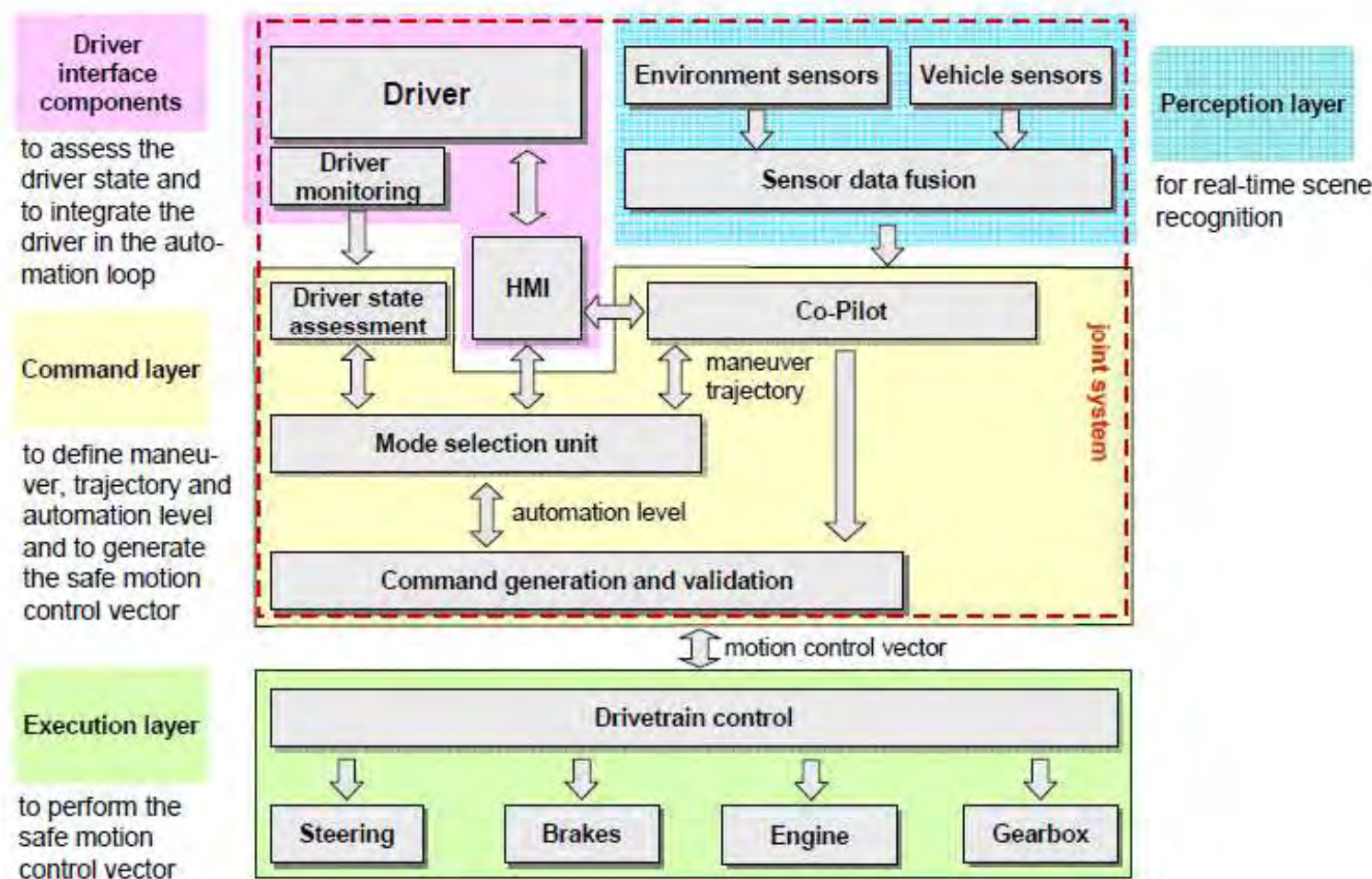


海外における 自動運転・隊列走行技術について

Have it 基本アーキテクチャ

Have it: Highly automated vehicles for intelligent transport

◆ ドライバ状態と外部走行環境認識に基づいた制御とHMIより構成



ドライバおよびHMIのアーキテクチャ

1. 基本アーキテクチャ

- ◆ドライバと走行環境に応じた手動運転と自動運転モードの切り替え
- ◆HMIによるドライバへの情報提供

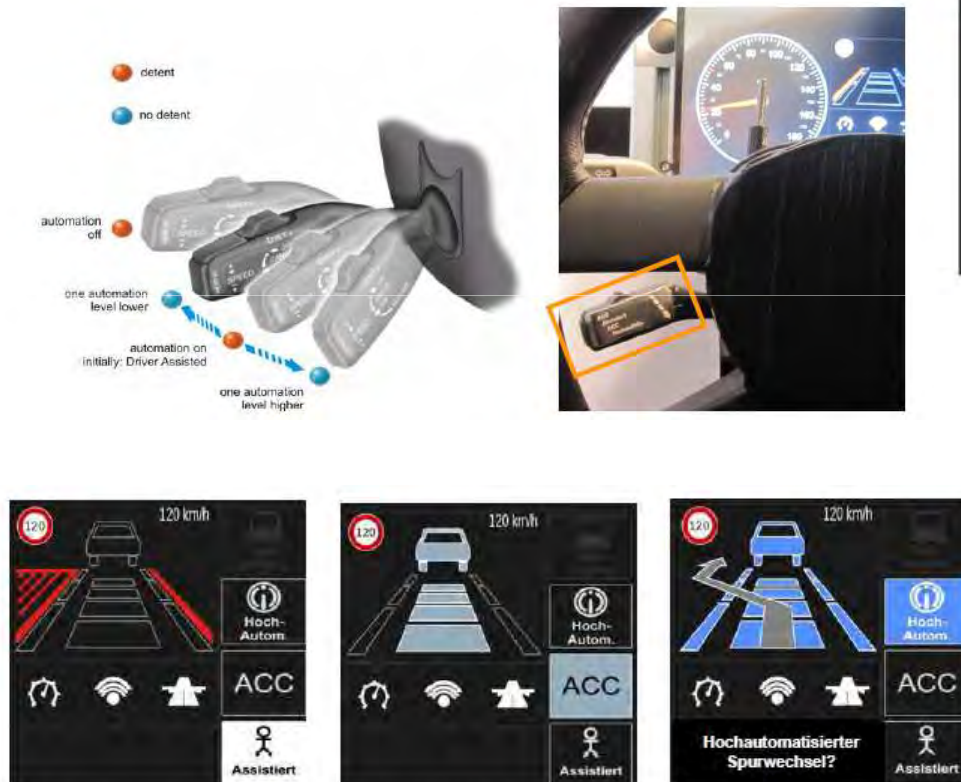
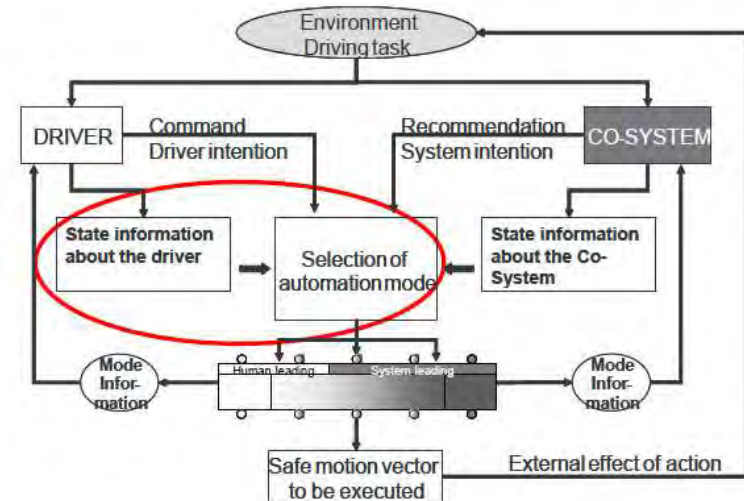
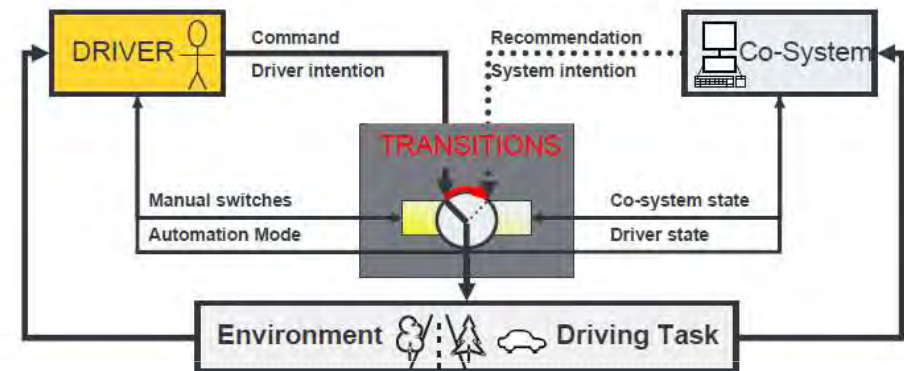


Figure 20: Displays for the three automation levels (Driver Assisted (left), ACC (middle) Highly Automated with lane change request (right))



Joint system demonstrator

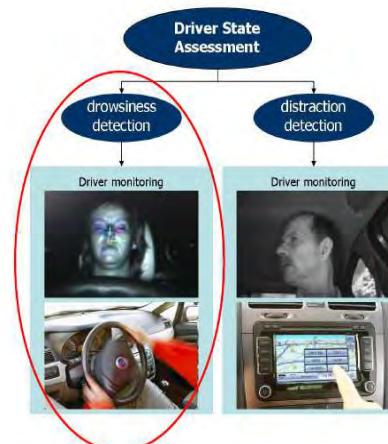


1. 目的: 制御モード変更とHMIを中心とした車両

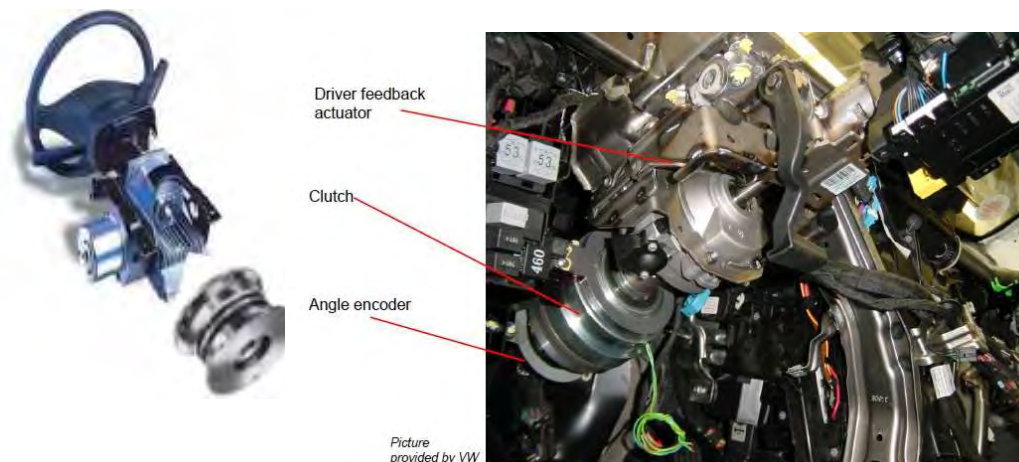
- ◆Driver assisted:
- ◆Semi-automated: ACC, Go and stop
- ◆Highly automated: Integrated longitudinal and lateral control

2. 特徴

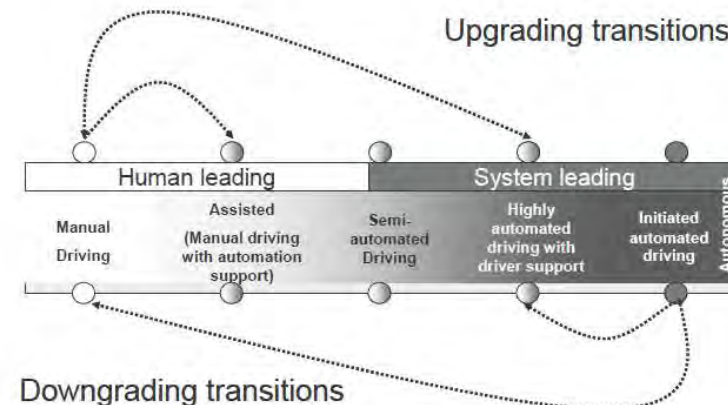
- ◆Highly automation モードではドライバの運転状態によりステア・バイ・ワイヤの制御に移行



*Have-it URLより引用

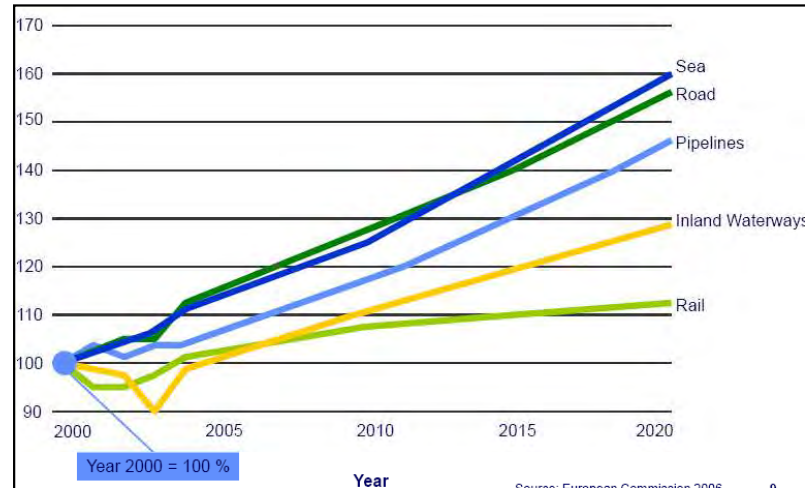


*Have-it URLより引用



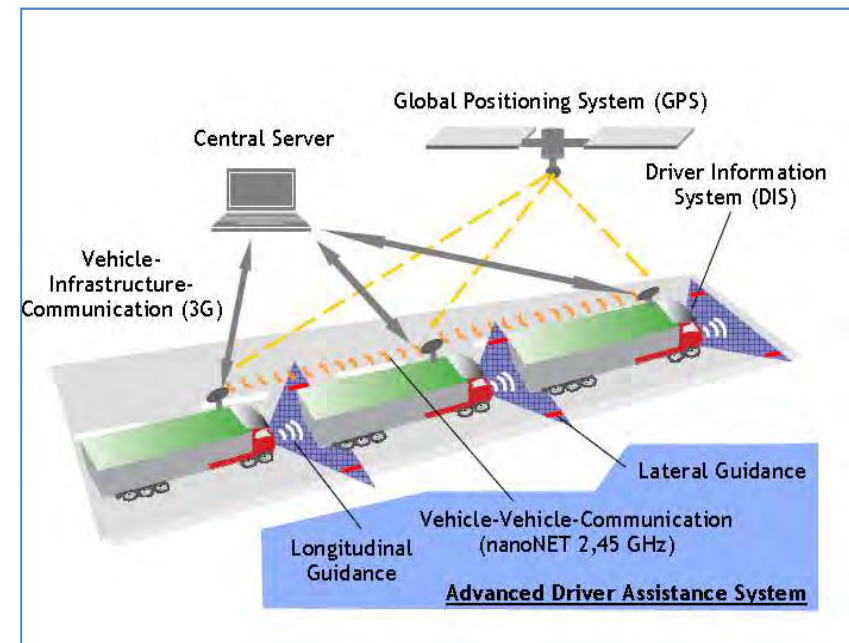
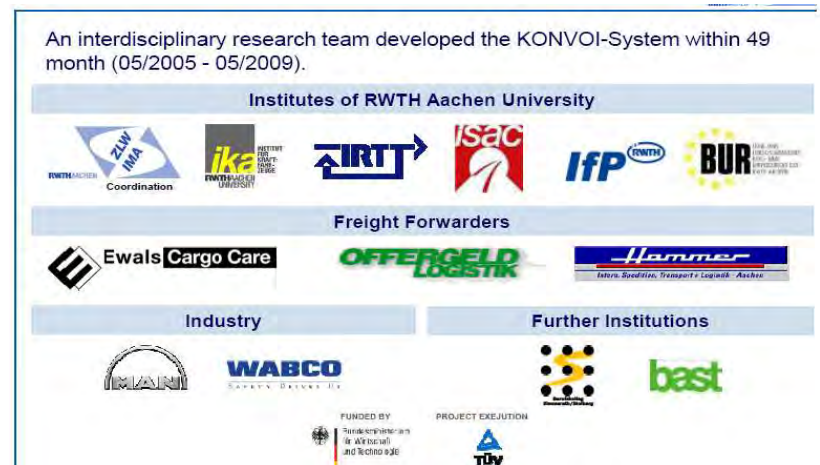
KONVOIの概要

■ トラック貨物輸送の増大対応



■ 一般車混在での自動隊列走行制御

- ・白線認識に基づいた車線保持制御
- ・車間距離10mでの4台隊列走行
- ・自動隊列形成: 60m後方より自動接近
- ・割り込み車(一般車)に対する自動隊列分離と再結合



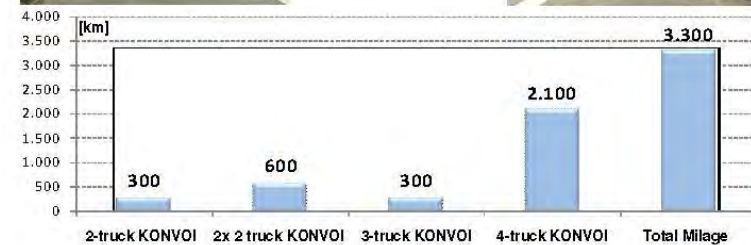
*アーヘン工科大学URLより引用

KONVOI走行実験

- ・シミュレーション、DSにて動作確認
- ・供用高速道路にて約3300kmの走行実験



March until May
2009



*アーヘン工科大学URLより引用



ビデオ1



ビデオ2

SARTRE (Safe Road Train for the environment)

- ・プロの運転する先頭車(トラックやバス)を自動運転車が追従走行するシステム。
- ・後続車はカメラとレーザレーダにて先行車をトラッキング。

隊列への結合



隊列からの離脱



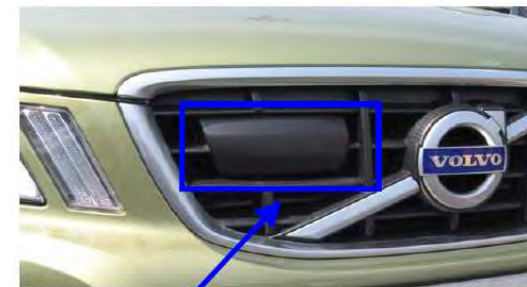
隊列走行



異常時の安全



Lidar Camera



Radar

* SARTREURLより引用

ビデオ



Urban Challenge

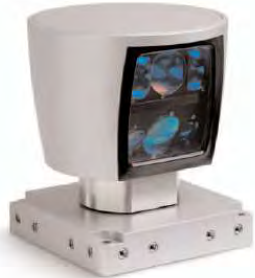
■ 無人自動運転車による市街地(含む交差点)走行レース

- ・89チームが参加
- ・決勝戦が2007年11月に開催
- ・優勝:CMU 準優勝:Stanford大

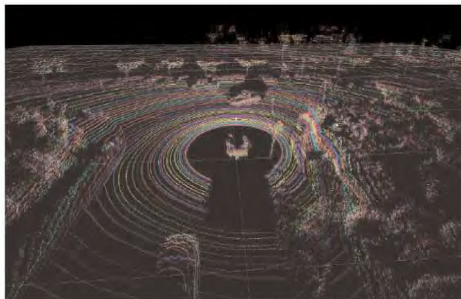


Length of course: 60 mile

- デジタル地図データを用いた目標走行軌跡の生成.
- センサーフュージョンによる走行軌跡の生成.
- センサーフュージョンによる障害物検出.



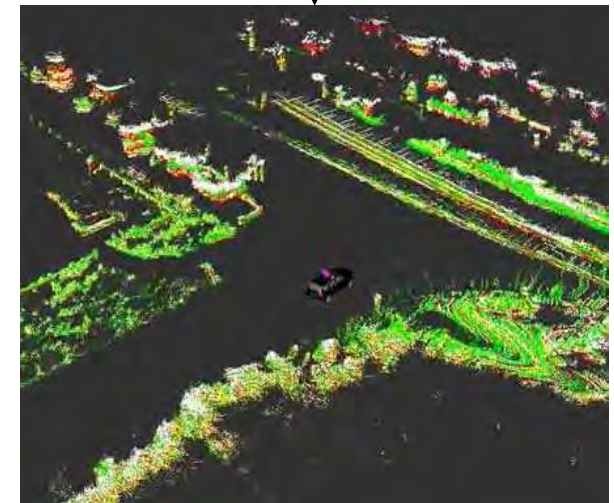
Laser range finder



Laser range finder:4
Radar:3
TV camera:1

Autonomous car by Stanford

ビデオ



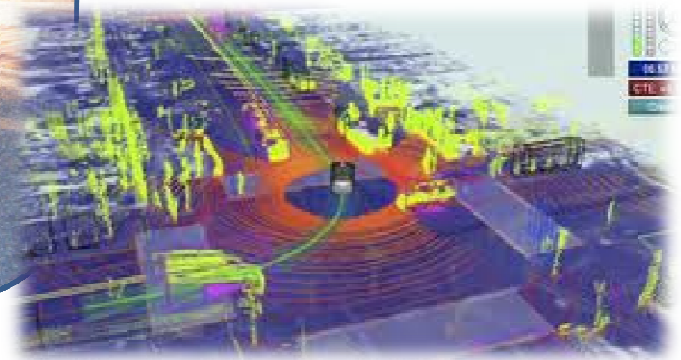
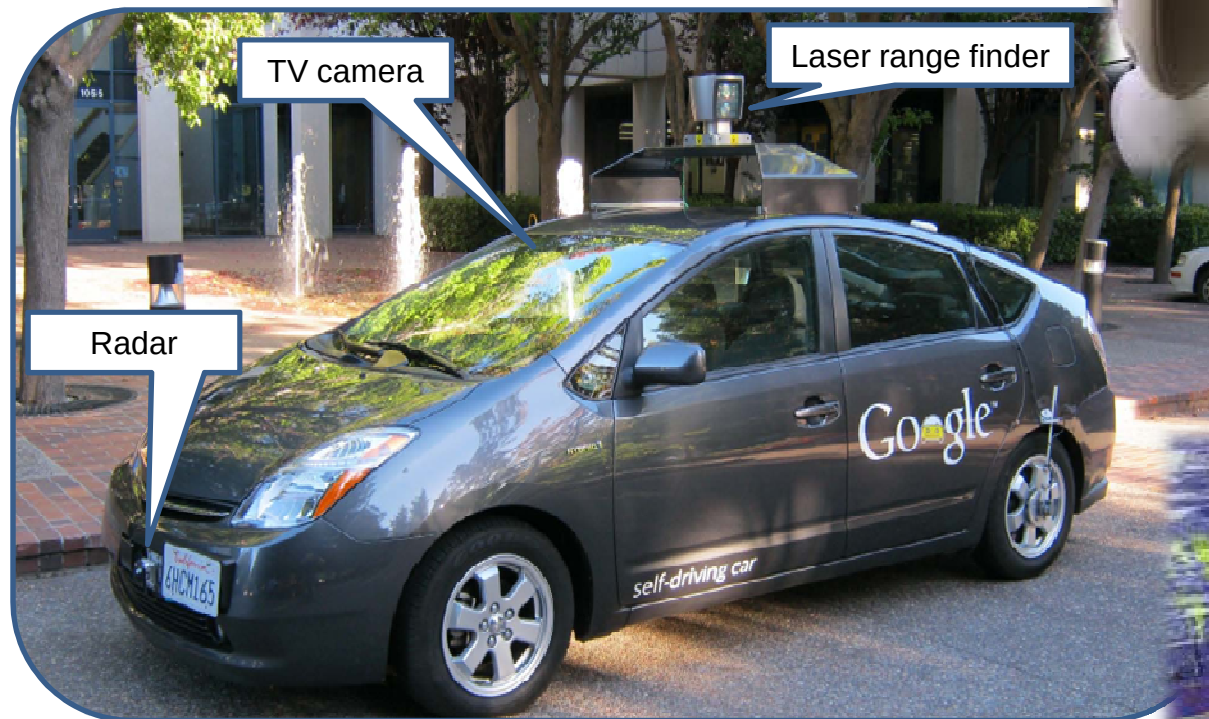
レーザマップ

Google car

市街地における自動運転走行.

- 前方周辺環境認識に基づく走行軌跡の生成
- 3次元地図に基づく障害物検出

Urban challengeの優勝、準優勝チームの責任者がグーグルに移籍



*TRB URLより引用

自動運転化に向けた課題

実用化に向けた課題



技術面

HMI

- ・システムの限界(含む故障) ↔ ドライバオーバーライド

安全・信頼性

- ・ドライバーと同等の認知能力.
- ・ドライバー以上の機械の信頼性(不注意・漫然・居眠り・病的)



公道での膨大な実証走行を通じての安全性・信頼性の証明が必要



非技術面

社会受容性の獲得

- ・ドライバーとシステムの責任範囲の明確化
- ・安全性の実証

法令面

- ・ジュネーブ条約/ウィーン条約との関係
- ・道路交通法、保安基準との関係

米国における自動運転法令化の動き

■ ジュネーブorウィーン道路交通条約にて「自動車はドライバーが制御するもの」と定められているがネバダ州議会において、自動運転受け入れ法案が可決。



★2012年ネバダ州にて

- ①州議会:自動運転受け入れ法案(AB511,SB140)可決
②州自動車局(DMV):自動運転規則(LCB R084-11)施行

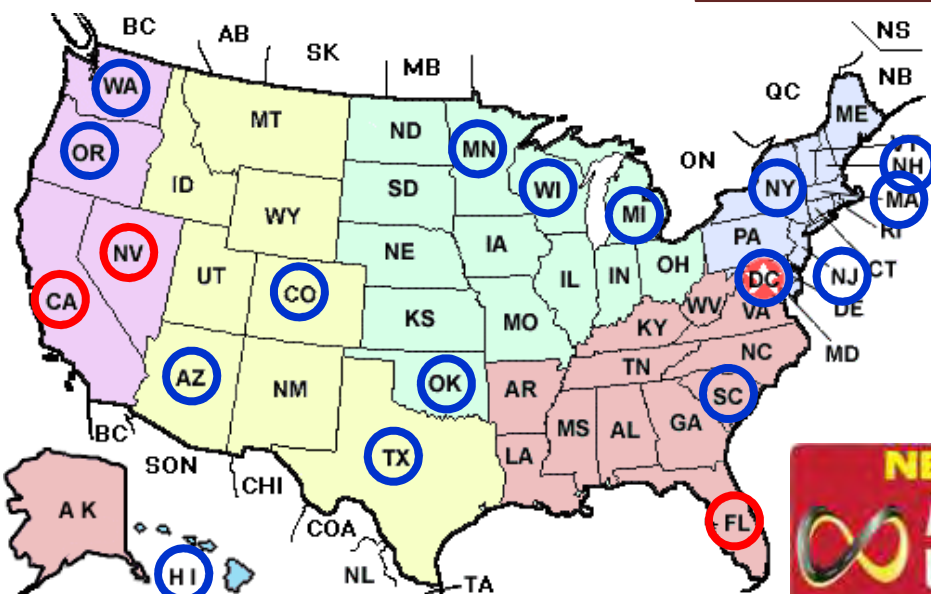
Google社に世界初自動運転ナンバーが交付



★2013年5月現在 4州が議会承認、15州が審議中

ネバダ州自動運転承認下院法案(AB511)での自動運転車の定義

- ・自動運転車とは人工知能、センサーおよびGPSを用い、人間の運転者のアクティブな介入無しに、クルマ自身が運転を調整。



○ 可決済み ○ 審議・検討中



*TRB URLより引用