

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



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

1

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

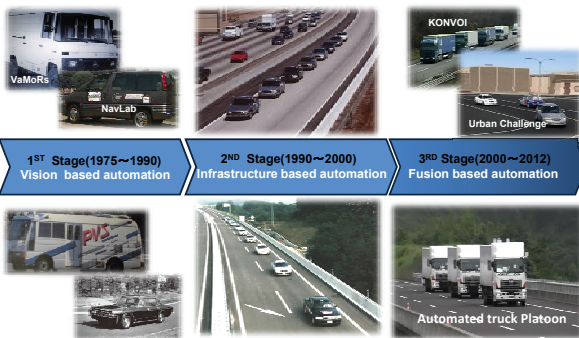


情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

2

自動運転車・隊列走行車開発の歴史

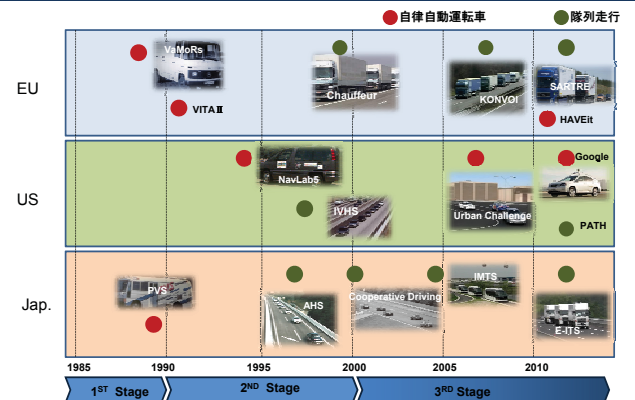
1975年以降の日本、米国、欧州における自動運転車・隊列走行車の開発状況。



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

3

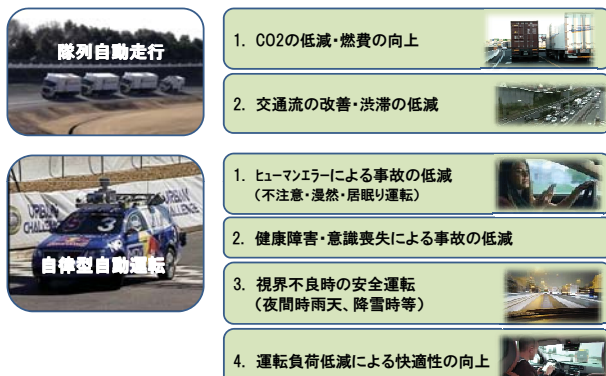
自動運転・隊列走行車まとめ



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

4

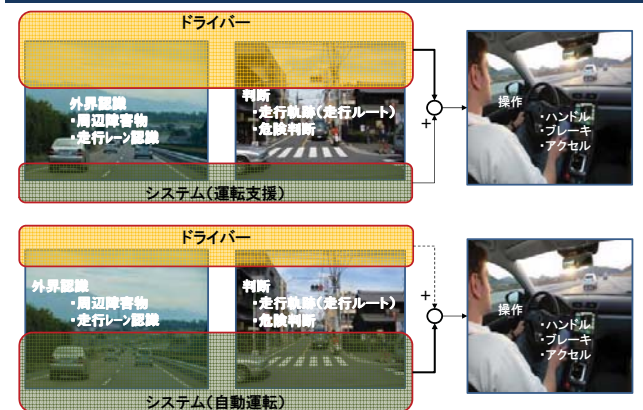
自動運転の目的



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

5

運転支援と自動運転の相違



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

6

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 mode)	最終責任者		自動運転中のドライバー状態		安全運転の主体	
							目	脳	目	脳	人間	システム
		Human driver mode				n/a						
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	システム	人間のミスがカバー
2	2	Partial Automation	System	Human driver	Human driver	Some driving modes	ドライバー	ON	ON	人間	システム	システムのミスがカバー
3	3	Conditional Automation	System	System	Human driver	Some driving modes	ドライバー	OFF	ON	人間	システム	システムのミスがカバー
4	4	High Automation	System	System	System	Some driving modes				人間	システム	全てシステム
5	5	Full Automation	System	System	System	All driving modes					人間	システム



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

7

自動運転(レベル3以上)に求められる機能

要件	①高速道路における自動運転			②市街地内での自動運転			③運転支援						
	責任と安全性・信頼性	1.目的地までのルート生成	2.最高速度維持	3.車線維持	4.レーンチェンジ	5.前方障害物との衝突防止	6.交差点部での安全走行	1.目的地までのルート生成	2.最高速度維持	3.車線維持	4.レーンチェンジ	5.前方障害物との衝突防止	6.交差点部での安全走行
責任と安全性・信頼性	運転の最終責任:ドライバーからシステムへ ・システムに要求される高い信頼性とシステム故障時のフェールセーフ性 ・フェールセーフ高周波制御技術(制御コンピュータのフェールセーフ化、アクチュエータのフェールセーフ化)	・高精度道路デジタル地図データ、目的地までの走行軌跡生成の生成技術 ・高精度位置認識技術	・道路形状、気象条件による最高速度制御	・全車線維持 ・レーンに沿った自動運転	・前方空間および後方からの後進車情報によるレーンチェンジ制御 ・軌道及び後方車両認識技術	・停止車両、歩行者との衝突防止のための自動停止、・低速車線との安全車間距離維持	・高精度の高精度な障害物認識技術(自動車、二輪車、自転車、落下物、歩行者) ・高精度な路車間・車車間通信による協調走行技術	・高精度道路デジタル地図データ、目的地までの走行軌跡生成の生成技術 ・高精度位置認識技術	・道路形状、気象条件による最高速度制御	・全車線維持・部分的な白線追従走行(100km/h以上、60km/h以下)	・レーンチェンジ	・前方空間および後方からの後進車情報によるレーンチェンジ制御 ・軌道及び後方車両認識技術	・停止車両、歩行者との衝突防止のための自動停止、・低速車線との安全車間距離維持
安全運転最終責任:ドライバー	なし	なし	ナビ連動速度管理	なし	ACC、PCS	レーズレグ、ミズレグ	連発利用協調走行運転支援	なし	なし	なし	なし	なし	なし



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

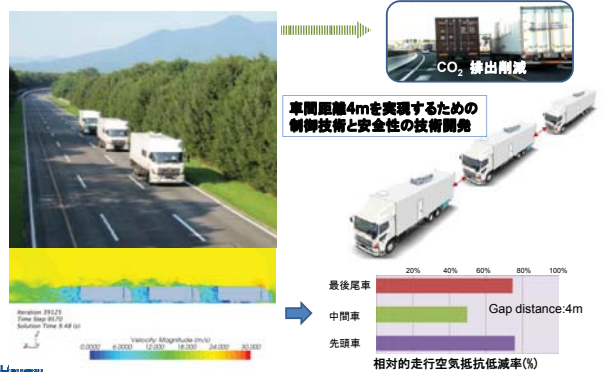
8

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



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

10

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 遠送方式
 - ・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 安全性
 - ・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

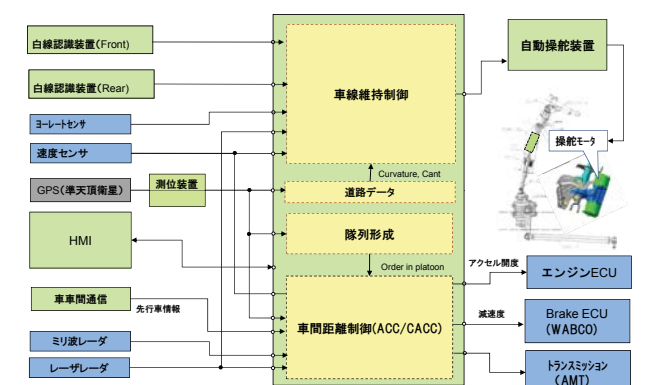
各機能	主な技術開発目標
1. 車線維持制御技術	①白線認識率:10%以下、②車線維持制御精度:±15cm以下(直線区間)
2. 車間距離制御技術	①車車間通信無通信確立:10 ⁻⁸ 以下、②車間距離制御精度:-2.0m@0.5G減速
3. 共通基盤技術	①測位精度:±30cm以内@80km/h



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

11

隊列走行制御システムの全体構成

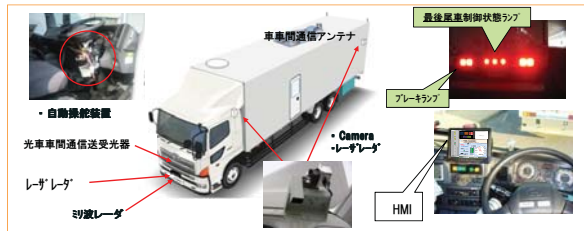


情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

12

隊列走行車構成

制御装置名	実装度	方式
センサ系	白線認識装置	・カメラ/レーザレーダの2重系
	車間距離・障害物検出装置	・76Gミリ波レーダ/レーザレーダの2重系
アクチエータ系	操舵制御装置	・PMモータ
	ブレーキ制御装置	・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

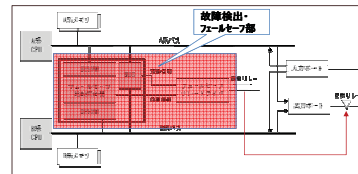


情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

13

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。

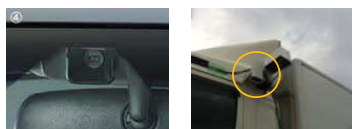


情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

14

画像による白線認識の信頼性向上

環境条件	認識結果	太陽光、降雨時の影響排除および位置検出精度の向上
自車の影	○	■前方白線画像 → 直下側方白線画像
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)	○	

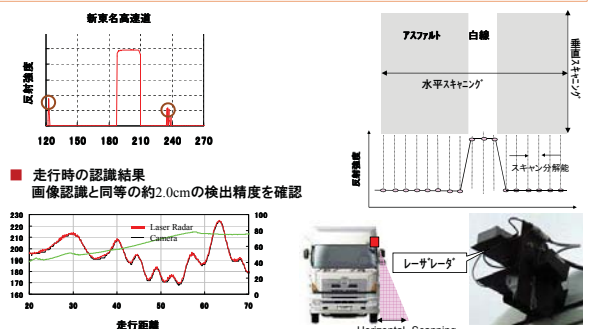


情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

15

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



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

16

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

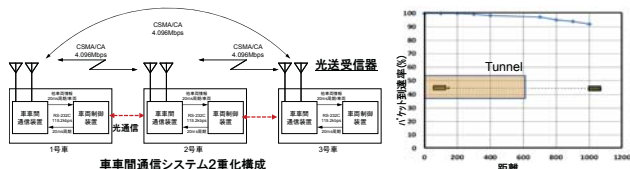
DSRCの通信品質向上技術

- ・運送機能:4~5連送化
- ・ダイバーシティ受信

車車間通信技術開発目標値

項目	目標値
最大伝送範囲	DSRC:50m 光:20m
車間伝送周期 (伝送データ量:50n/1t)	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



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

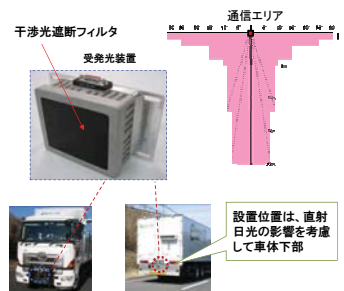
17

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

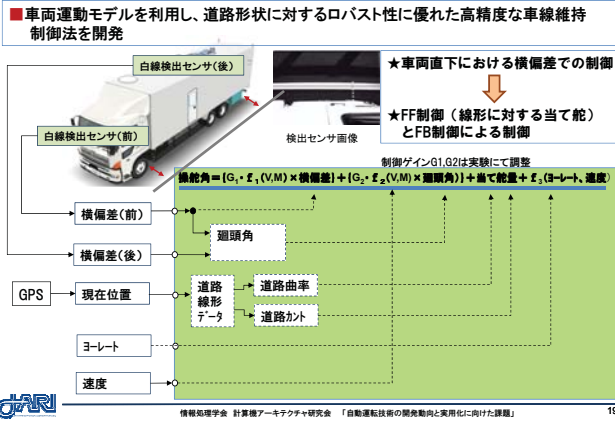
項目	仕様
光波長	850nm
変調方式	ON-OFF-keying
変調周波数	3CH必要
通信速度	100kbps
通信距離	1~15m
通信角度	7~30deg
中継通信	中間車両は必要あり
通信方式	全二重通信
通信周期	20msec
連続無通信時間	100msec未満
データ長	50byte
エラー検出	CRC-CITT
外乱光低減対策	フィルタ等による



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

18

車線維持制御のシステム構成



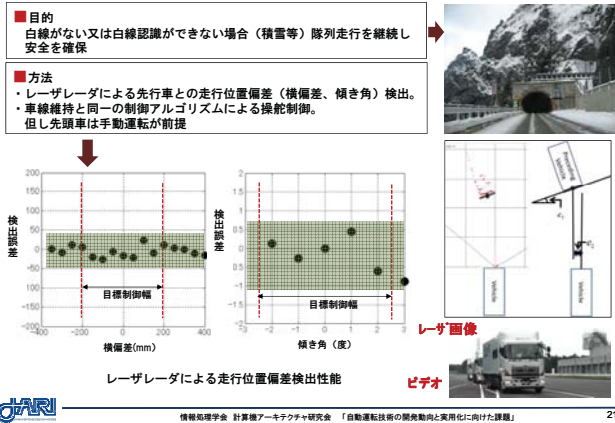
車線維持制御における制御精度

■ 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

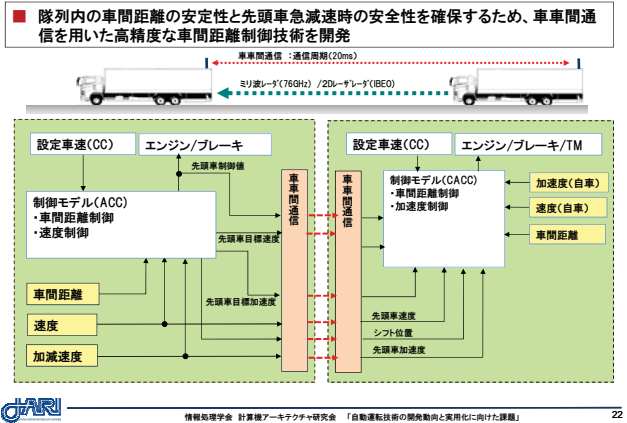
評価路	場所	制御結果	評価法: 速度 80km/h, 計測長(400m×4)	目標
直線	高速周回テストコース	制御誤差 ・左: 5cm 右: 12cm		○
1000R	新東名高速道路	制御誤差 ・左: 10cm 右: 18cm		○
3000R	新東名高速道路(トンネル内)	制御誤差 ・左: 5cm 右: 10cm		○

情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」 20

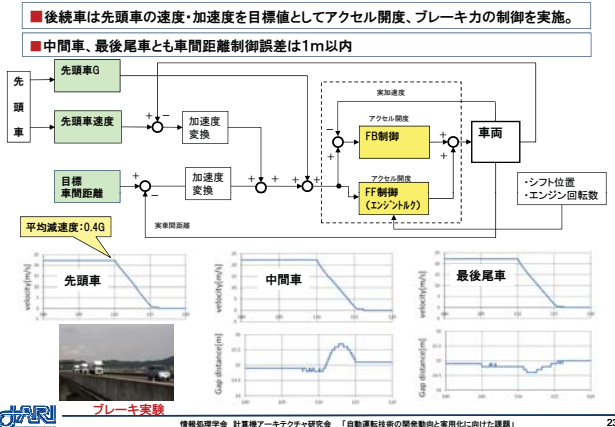
先行車トラッキング制御(横方向制御)



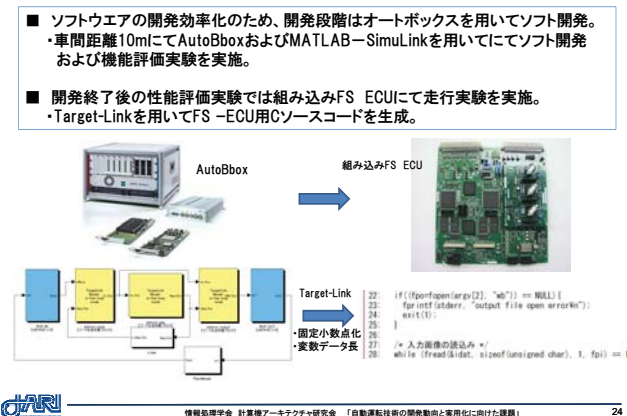
CACC車間距離制御システム



車間距離制御アルゴリズム



制御ソフトウェア



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



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

25

海外における 自動運転・隊列走行技術について



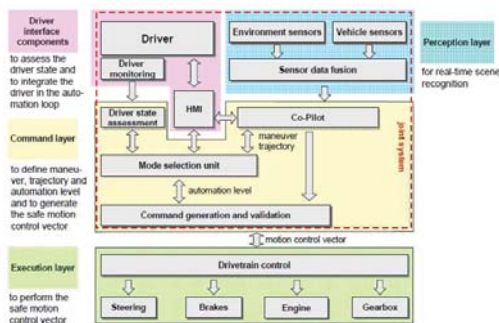
情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

26

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

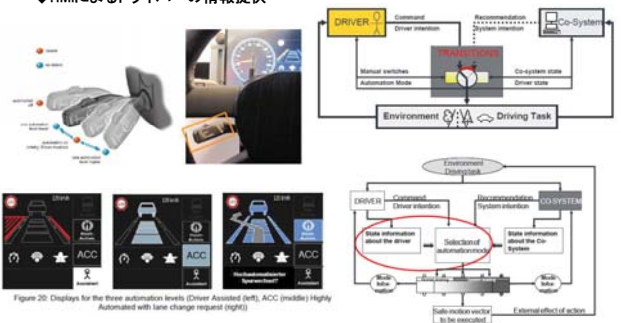


情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

27

ドライバおよびHMIのアーキテクチャ

- 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



情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

28

Joint system demonstrator



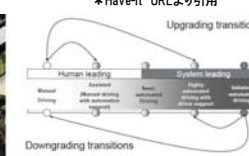
- 目的: 制御モード変更とHMIを中心とした車両
 - ◆ Driver assisted:
 - ◆ Semi-automated: ACC, Go and stop
 - ◆ Highly automated: Integrated longitudinal and lateral control
- 特徴
 - ◆ Highly automation モードではドライバの運転状態によりステア・ハイ・ワイヤの制御に移行



* Have-it URLより引用



* Have-it URLより引用

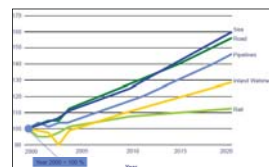


情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

29

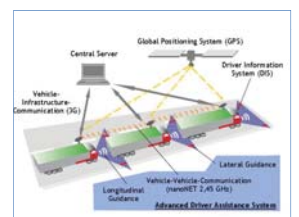
KONVOIの概要

- 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

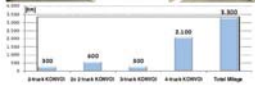


情報処理学会 計算機アーキテクチャ研究会 「自動運転技術の開発動向と実用化に向けた課題」

30

KONVOI走行実験

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



*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ー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



*SARTREURLより引用

ビデオ

*SARTREURLより引用

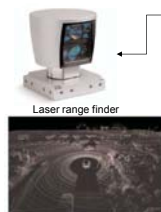
Urban Challenge

- 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

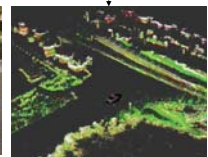


Length of course:60 mile

- 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。



Autonomous car by Stanford



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ゲームに移籍



*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) ↔ 'ドライバーオーバーライド'

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)

公道での歴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



自動運転に対する法令化動向

■ 従来からの共通認識

ジュネーブ道路・交通条約(1949年)およびウィーン道路・交通条約(1968年)により自動車における公道での自動運転は禁止されている。

■ 自動運転白書について

* Bryant Walker Smith 著・フェロー弁護士, Stanford大学 CIS: The Center for Internet Society

米国各州とGeneva条約のドライバーの概念整理

- ★ 州法では「車両がドライバーを持っていることを必要」と明示していない。
- ★ Genevaの8条で『常時コントロール可能な』ドライバーを持つことを要請。
 - i) 一単位として運行される車両又は連結車両には各ドライバーがいなければならない。
 - ii) ドライバーは、常に、車両を適正にコントロールできなければならない。
- 8条に対し、自動運転のオペレーションに介入、車両を人間の判断力の範囲でオペレートできれば Geneva条約第8条は恐らく満足可能。
- ★ 4条において、ドライバーは『道路に於て車両を運転する者又は現実的にコントロールする者』と定義されている。
- ドライバーが人間であるとの定義がなされていない。

■ 白書の結論:『自動運転車は米国では恐らく合法』



米国における自動運転法令化の動き

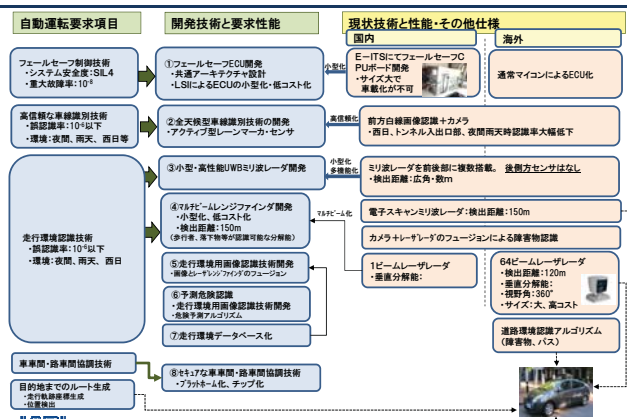
■ ジュネーブorウィーン道路交通条約にて『自動車はドライバーが制御するもの』と定められているがネバダ州議会において、自動運転受け入れ法案が可決。

- ★ 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操縦。



自動運転(レベル3以上)に求められる技術



ご静聴ありがとうございました

