

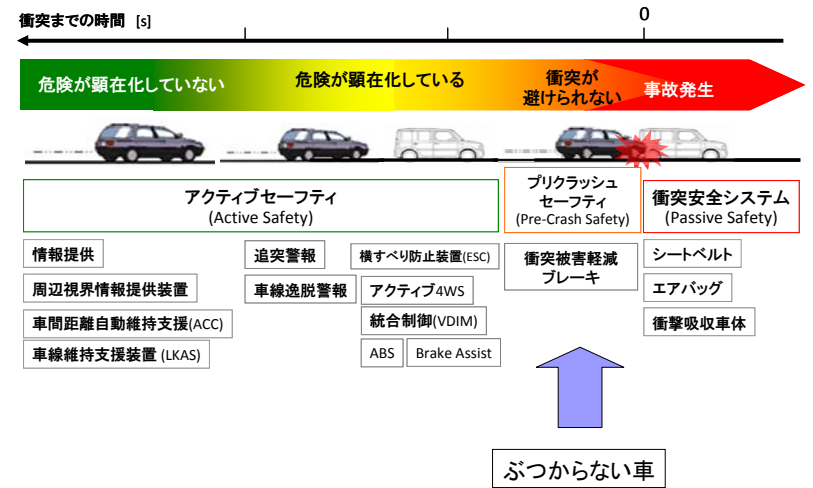
# 第3回「ZMPフォーラム」 2011年11月29日開催 13:00~18:00

## カー・ロボティクス概説

### 超小型電気自動車の運動制御と自動運転の事例紹介

永井 正夫 東京農工大学

図1 予防安全技術の現状



予防安全技術の現状

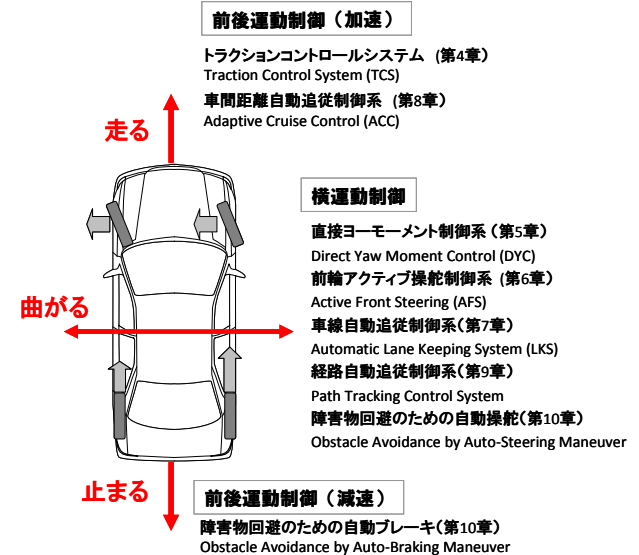
ロボットと違って自動車は衝突時のダメージは桁外れに大きい。時速6キロ以下の車椅子が壁にぶつかる時と、時速60キロで自動車がぶつかる時とでは、速度の二乗比で100倍、質量比10倍とすると合計1000倍の運動エネルギーの差。

**PCS (Pre-Crash Safety)、CMS (Collision Mitigation System)**  
 衝突が避けられないと判断した時に「予想される衝突速度」を低下させて、被害を軽減させる衝突被害軽減ブレーキである。

**ACC(Adaptive Cruise Control)**  
**LKAS(Lane Keeping Assist System)**

ドライバの運転負荷を軽減させることを目的とし、運転操作の一部を自動化していると考えられる。制御までするまでもなく、前車に接近し過ぎたり、車線から逸脱しそうな時に警報を出すシステムとセットで実現している。

図2 「カー・ロボティクス」の車両運動制御システム



## 代表的な車両運動制御システム

### ABS(Anti-lock Braking System)、(Brake Assist, BA)

ブレーキペダルの急操作において最大のブレーキ力と走行安定性を維持する技術であり、ドライバ操作による危険回避能力を高める支援システム

### ESC (Electronic Stability Control)

車体横滑り防止装置が、米国で義務付けられたことを契機として急速に普及し始めている。横滑りを抑えることにより、ドライバの危険回避を支援する技術といえる。

**4WS (Four Wheel Steering)** は、急な操舵によってもふらつくことなく衝突を回避できる装置であり、操縦安定性を向上

車両運動統合制御システム

**VDIM** (Vehicle Dynamics Integrated Management)



## 車両運動モデリングの基本

永井正夫

## Introduction and Perspectives of Vehicle Dynamics and Chassis Control



Fig.1 1886 Benz "Patent Motor Car" First high-speed single-cylinder four-stroke engine.

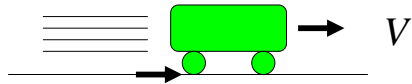
## Modeling and Simulation for Vehicle Dynamics



## Vehicle Dynamics Expressions I

Longitudinal motion

$$m\dot{V} + cV = f_x$$



State Space Equation

$$\dot{V} = -\frac{c}{m}V + \frac{1}{m}f_x$$

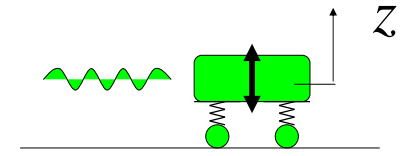
**Application**

- Traction control (TCS)
- Braking control (ABS)
- Powertrain control (EV, HEV)
- Platoon control, ACC

## Vehicle Dynamics Expressions II

Vertical motion

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = f_z$$



State Space Equation

$$\begin{pmatrix} \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix} u$$

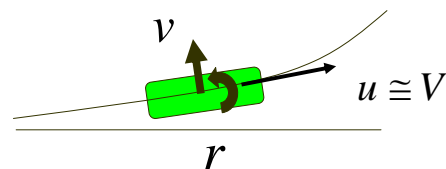
**Application**

- Active suspension control (Rail / Road vehicles, MAGLEV, etc.)

## Vehicle Dynamics Expressions III

Planar motion

**Handling and Stability**



Earth-fixed coordinate system

$$m\ddot{y} = \sum f_y$$

$$I\ddot{\psi} = \sum N_\psi$$

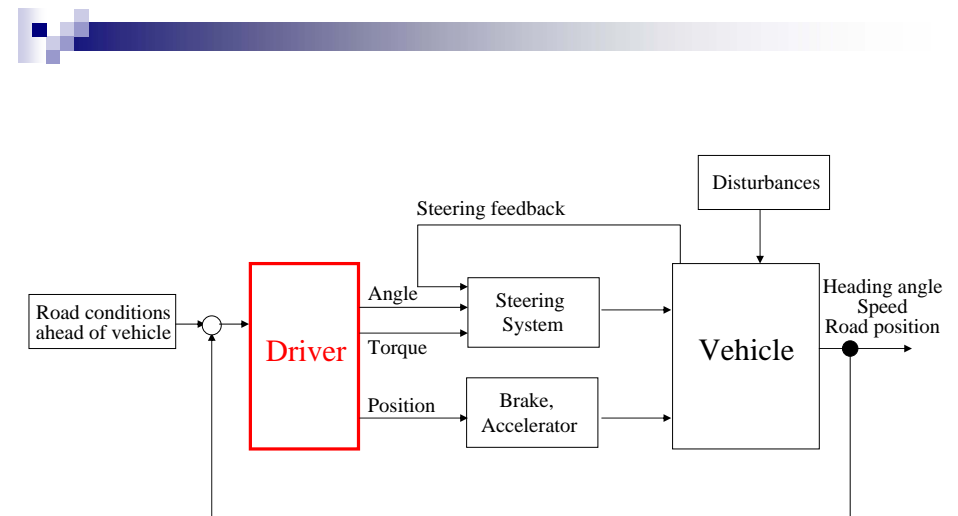
**Lane keeping system**

Vehicle-fixed coordinate system

$$m(\dot{v} + ur) = \sum f_y$$

$$I\dot{r} = \sum N_\psi$$

**Handling and stability**



**Fig.3** Hypothetical vehicle control loop including driver

## 車両工学入門

・衝突安全  
衝撃を吸収して人間のダメージを軽減



・予防安全  
事故を未然に防ぐ、事故を起こさない車

ASV : Advanced Safety Vehicle

先進安全自動車



## 先端モビリティ研究室 紹介

### 1. 自動車の運動と制御に関する研究

- タイヤHILSの開発と応用
- EPSのHILSの開発と評価
- 車両運動の統合制御(DYC,AFS,ARS)
- EPS、X-By-WIREの研究
- 電気自動車の運動制御

### 2. ITSと予防安全に関する研究

- 車線追従支援システムの開発 ...
- 高度運転支援システム(合流支援) ... (AHS)
- 地震時の運転挙動のモデル化
- HV車の燃費向上に向けた運転挙動のモデル化  
(燃費ばらつき、個人差の研究)

## 車両工学入門

### ■ドライブレコーダ

急ブレーキによる事故回避

### ■車両工学と力学①

前後運動、直進運動

### ■予防安全装置

エアバッグ、シートベルト

→ PCS (Pre-Crash Safety) 、

被害軽減ブレーキ

## 車両工学入門

### ■ドライブレコーダ

横滑りヒヤリ、皇居前道路、雪道ABS

### ■車両工学と力学②

よこすべり運動、タイヤの摩擦特性

### ■予防安全装置

安定性の向上

ブレーキ力のコントロール

ABS = Anti-Skid Brake System

DYC = Direct Yaw-moment Control

# 車両工学入門

車両運動はタイヤ摩擦力で決まる

★慣性摩擦(クーロン摩擦)

★タイヤ路面間の摩擦力

前後力・左右力はタイヤのすべりで決まる

★雨や雪で摩擦係数が低下



## 超小型電気自動車のX-by-Wire化研究

## マイクロEV

Micro-EV

NOVEL-II

NOVEL-I

### 社会的ニーズ

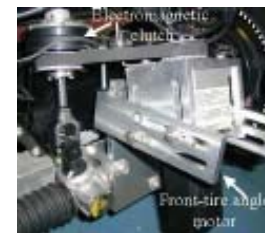
- ・環境にやさしく
- ・安全な乗り物
- ・IT化と快適性
- ・高齢者



### 特色

- ・車輪とモータが一体
- ### 効果
- ・小型化、軽量化
  - ・運動性能の安定化
  - ・安全システム

Steer-By-Wire



DYC by In-Wheel Motors



# 車両工学入門

## 駆動・制動の制御

- ・車輪の空転防止 TCS/ABS
- ・横すべりの制御 制駆動力差DYC

## ステア系の制御

- ・駐車場での小回り ギヤ比の変更
- ・不安定化の防止 ステア系の制御

## 自動運転

- ・車線維持の制御LKS、
- ・車間距離の制御ACC

電気自動車の研究 → ASVの研究

## ・車輪の空転防止制御 TCS/ABS



非制御



制御

イン・ウィール・モータのコントロール

# 車両工学入門

## 駆動・制動の制御

- ・車輪の空転防止 TCS/ABS
- ・横すべりの制御 制駆動力差DYC

## ステア系の制御

- ・駐車場で的小回り ギヤ比の変更
- ・不安定化の防止 ステア系の制御

## 自動運転

- ・車線維持の制御LKS、
- ・車間距離の制御ACC

電気自動車の研究 → ASVの研究



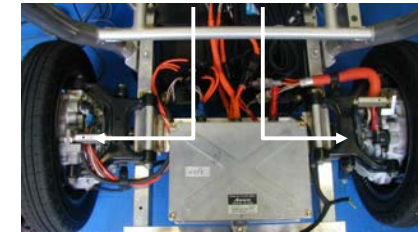
# Experiment Study on DYC by micro EV



Double Inverter for Torque Control

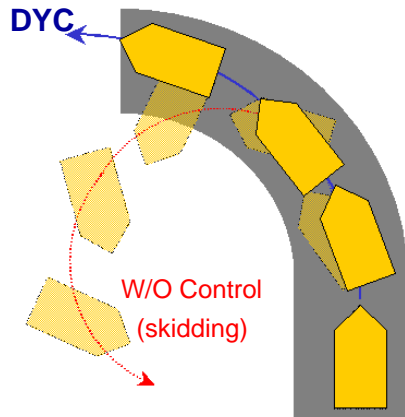


In Wheel Motor

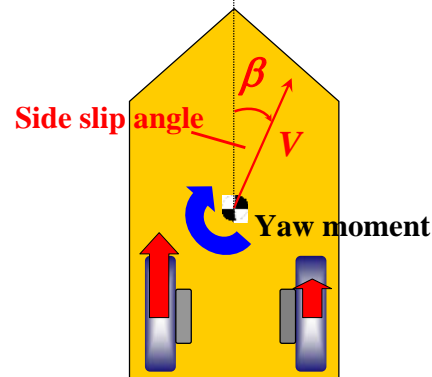


# Direct Yaw Control

NOVEL-I



In-Wheel-motor



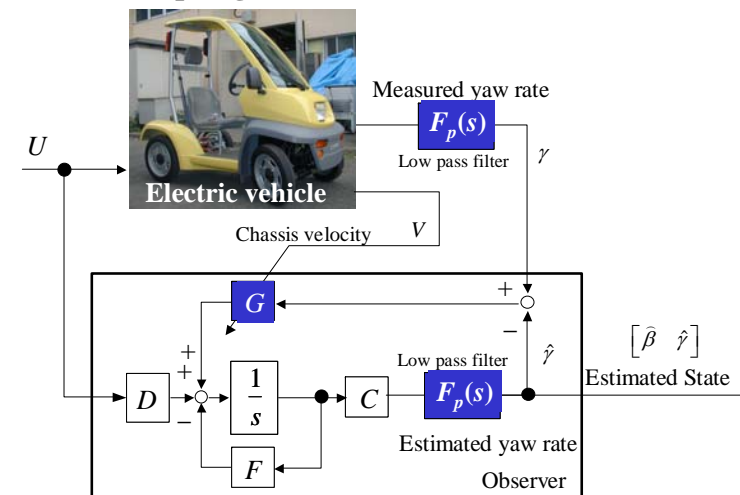
### Past Studies

M.Shino and M.Nagai : "Motion Control of Electric Vehicles Considering Vehicle Stability" AVEC2000 in Michigan

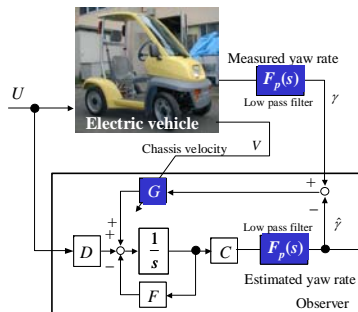
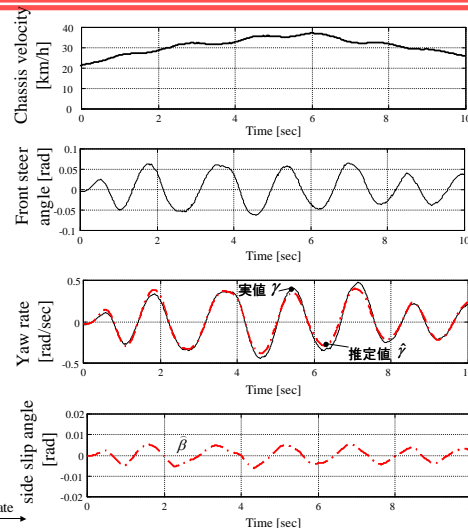


# Sideslip angle observer

To implement DYC system on EV, it is necessary to measure or estimate sideslip angle in real time.



## Sideslip angle observer



## Control effect of DYC on Lane-Change maneuver

### Double Lane-change Test at V=35 km/h



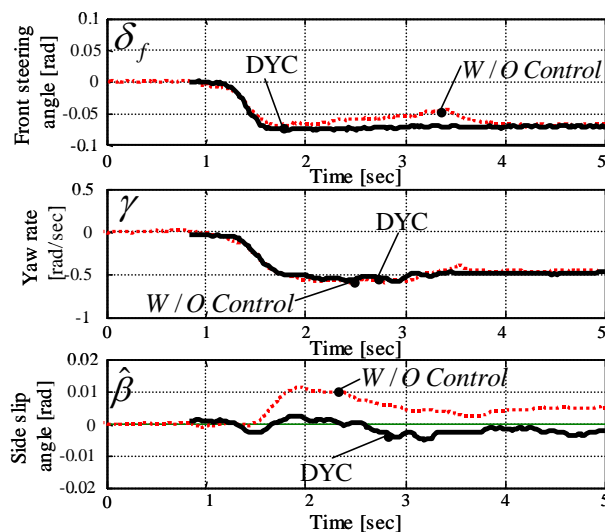
W/O DYC



With DYC

## Experiment Results

### Single Lane change maneuver at V=35 km/h



## 車両工学入門

### 駆動・制動の制御

- ・車輪の空転防止 TCS/ABS
- ・横すべりの制御 制駆動力差DYC

### ステア系の制御

- ・駐車場での小回り ギヤ比の変更
- ・不安定化の防止 ステア系の制御

### 自動運転

- ・車線維持の制御LKS、
- ・車間距離の制御ACC

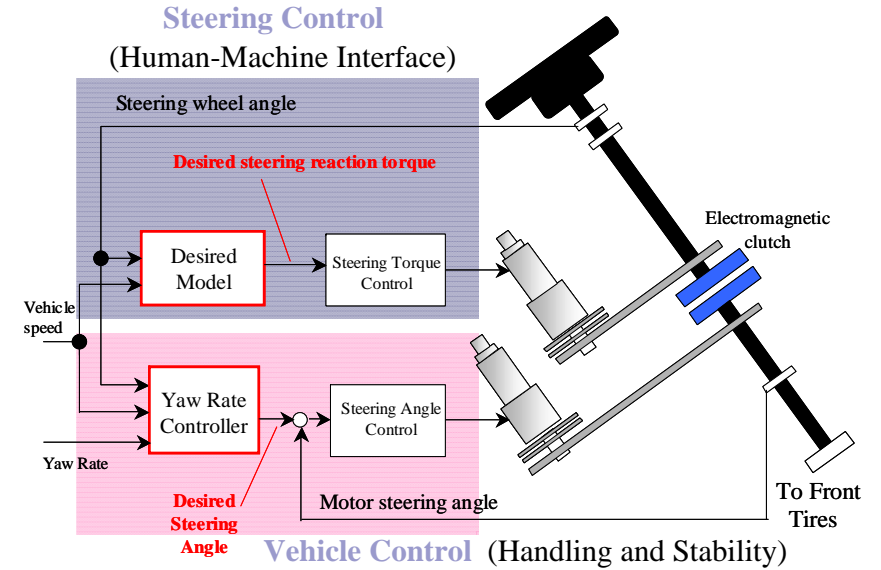
電気自動車の研究 → ASVの研究

# 可変ギアによる駐車場の操作性向上

固定ゲイン

可変ゲイン

# Steer-by-Wire System (SBW)

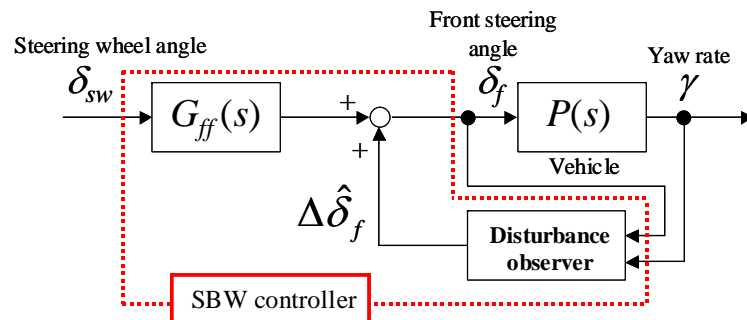


# Steer-by-Wire for handling and stability control

1 input – 1 output control problem

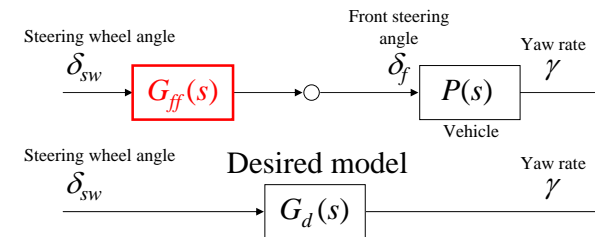
Yaw rate control      2 controllers

- Feedforward compensator : variable steering gear, yaw response control
- Feedback compensator : disturbance rejection



# Steer-by-Wire for handling and stability control

(1) Feedforward compensator design



$$G_d(s) = P(s)G_{ff}(s) \Leftrightarrow G_{ff}(s) = P^{-1}(s)G_d(s)$$

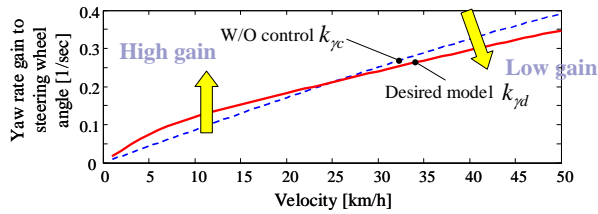
$$G_{ff}(s) = \underbrace{K_1}_{\text{Steering gear ratio}} + \frac{K_2 s}{1 + \tau s}$$

Derivative steer (lead steer)

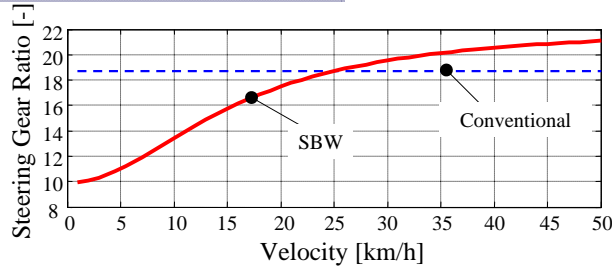


# Steer-by-Wire for handling and stability control

**Desired model : Zero-sideslip 4WS response**

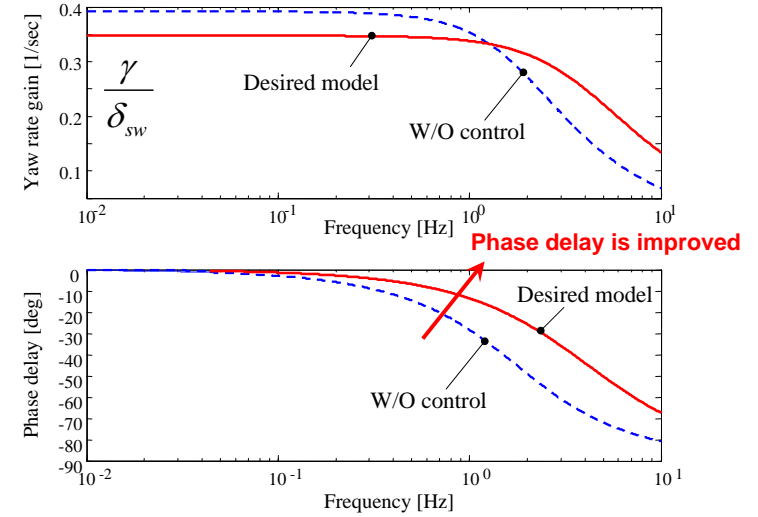


**Speed-dependent Steering Gear Ratio**

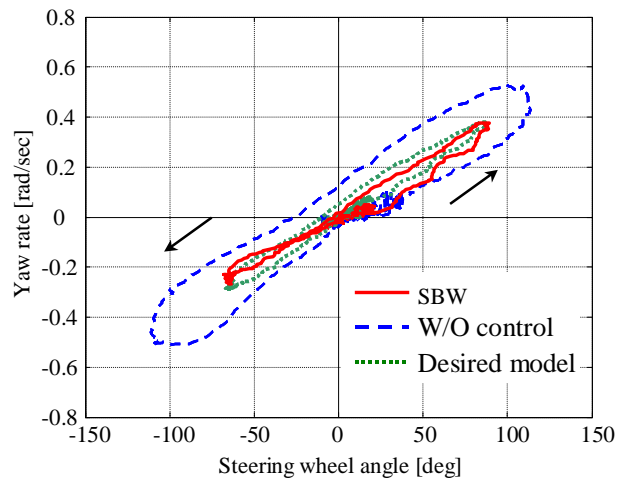


# Steer-by-Wire for handling and stability control

**Dynamic characteristics**



# Lissajous figure from lane-change test at V=30km/h



**Effect of SBW control on yaw rate response**

# 車両工学入門

## 駆動・制動の制御

- ・車輪の空転防止 TCS/ABS
- ・横すべりの制御 制駆動力差DYC

## ステア系の制御

- ・駐車場での小回り ギヤ比の変更
- ・不安定化の防止 ステア系の制御

## 自動運転

- ・車線維持の制御LKS、
- ・車間距離の制御ACC

電気自動車の研究 → ASVの研究



NOVEL- II



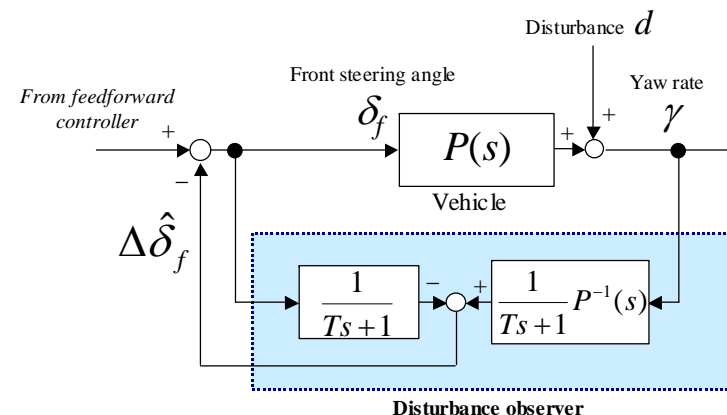
非制御 固定ゲイン



制御 外乱安定



(2) Feedback compensator design



車両工学入門

駆動・制動の制御

- ・車輪の空転防止 TCS/ABS
- ・横すべりの制御 制駆動力差DYC

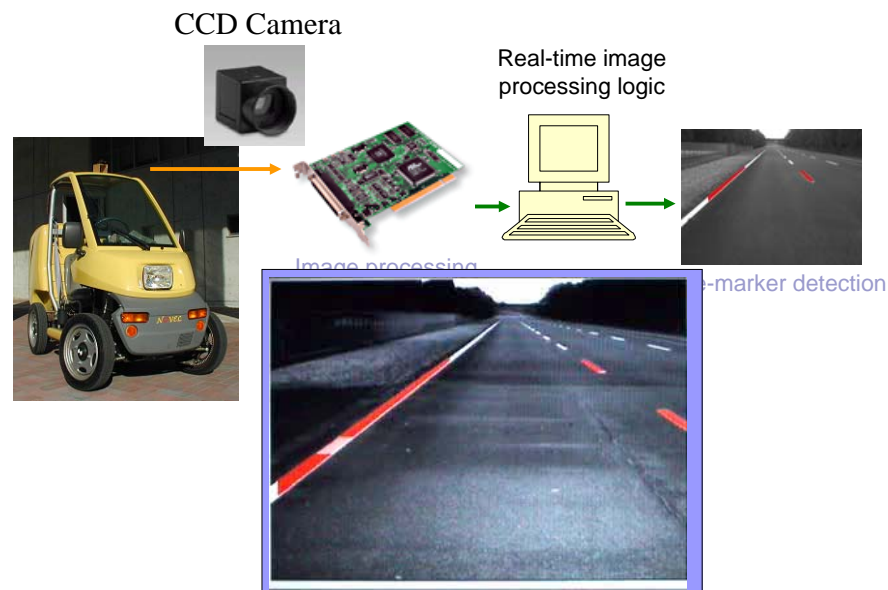
ステア系の制御

- ・駐車場での小回り ギヤ比の変更
- ・不安定化の防止 ステア系の制御

自動運転

- ・車線維持の制御LKS、
- ・車間距離の制御ACC

NOVEL - I: Image processing



## 直線における自動追従走行(DYC)

実験条件: 車体速度 35 km/h

Driver Vehicle speed



Steering

Front view

ハンドルを固定、左右駆動力差を利用

## 曲線路における自動追従走行(DYC)

実験条件: 旋回半径 100 m 車体速度 35 km/h

Driver Vehicle speed



Steering

Front view

ハンドルを固定、左右駆動力差を利用

## 車間距離維持制御(ACC)



## 車両工学入門

### 予防安全自動車の研究

事故を起こさない自動車

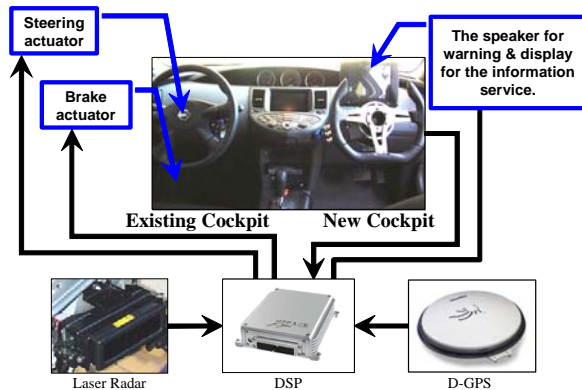
ひとに優しい自動車

ひとに合わせた運転支援

# 予防安全自動車の研究

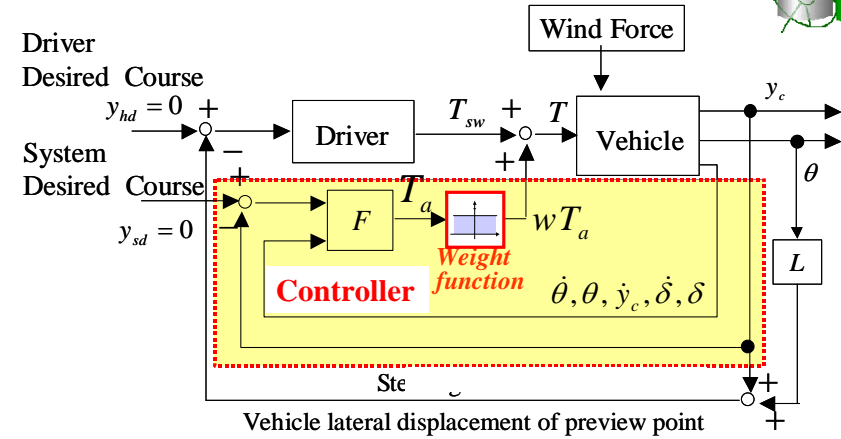
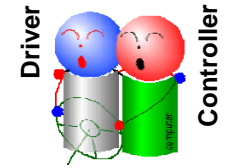


ハンドルが左右にある



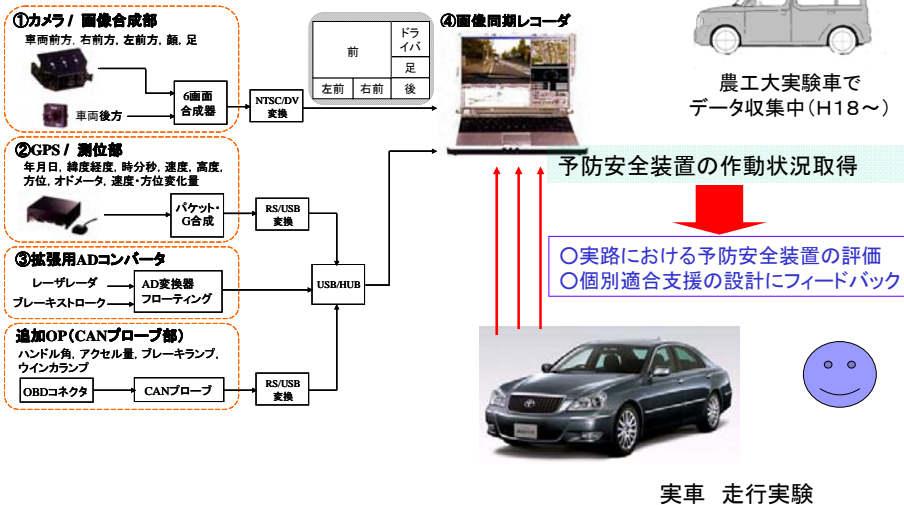
# 予防安全自動車の研究

## Cooperative steering model between controller and driver.



# 予防安全自動車の研究

## ★常時記録型ドライブレコーダの開発





実車 走行実験

# 予防安全自動車の研究

## 自動車班 ★危険場面の再現シミュレータと運転評価





## まとめ

- ◎ ドライブレコーダ 事故を見る
- ◎ 電気自動車 環境にやさしい車
- ◎ 予防安全車 事故を起こさない車