

# 非線形制御と適応制御 より困難な問題へのチャレンジ

神戸大学大学院  
工学研究科 機械工学専攻  
准教授 深尾 隆則

## 研究分野

- 非線形制御、適応制御の理論と応用
- 非ホロノミック移動ロボット、劣駆動移動ロボット
- 飛行船ロボット(屋内型、屋外型)
- 車両運動制御(サスペンション、ステアリング)
- 自動車の自動化(コンピュータビジョン、制御)
- 学習システム(実システムの知能化)



ビークルの自動化・高度化に関する研究

Autonomous Vehicle, Advanced Vehicle



## 目指すところ

知能・学習  
(判断・認知)

- 対象を絞ることによる  
限界打破
- 下位層で補完

センシング  
(カメラ・レーザ)

- 制御手法との融合
- 限界を制御で補完
- 新アルゴリズムの開発

制御  
(実システム)

- 困難な問題に挑戦
- 対象システムの理解
- システムに合った制御法
- 制御理論の一般化



## 適応制御理論

- 1950年代～  
制御されるプロセスを自動的・連続的に測定し、それに基づき制御系を自動的・連続的に“自己設計”してゆく制御方式
- 1980年前後  
Parametric Adaptive Control の安定性証明  
Certainty Equivalence (等価原理)
- 1980年代  
ロバスト化(モデル化誤差, 外乱)
- 1990年代以降  
バックステッピング, 非線形適応制御  
Dynamic Certainty Equivalence



## 非線形制御理論

- ～1980年  
非線形システムの安定論、個別の制御理論
- 1980年代  
微分幾何学的アプローチ、線形系理論の拡大  
スライディングモード制御、ロボット制御
- 1990年代以降  
バックステッピング法(システムティックな制御法)  
非線形 $H^\infty$ 制御  
非ホロノミック系の制御



## 非線形制御・適応制御の基礎

- リアプノフの安定定理に基づいた手法を中心として

誤差方程式

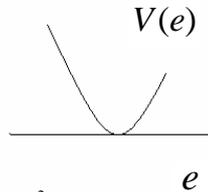
$$\dot{e} = f(e)$$

正定関数(リアプノフ関数候補)

$$V = \frac{1}{2}e^2$$

時間微分が負定関数

$$\frac{dV}{dt} = e\dot{e} = ef(e) \leq -ke^2 \leq 0$$



## 非線形制御の可能性

1次のシステム

$$\dot{x} = \theta x + u \quad \longrightarrow \quad x \rightarrow 0$$

未知パラメータ

未知パラメータの上界が不明なら、線形制御では安定化も出来ない  
静的非線形コントローラでは漸近安定までは達成出来ない

$$u = -x + px$$

$$\dot{x} = -kx + (\theta - p)x$$

$$\dot{p} = x^2$$

$$\dot{p} = x^2$$



## 非線形制御の可能性

リアプノフ関数候補

$$V = \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2}(\theta - p)^2$$

時間微分

$$\dot{V} = x\dot{x} - (\theta - p)\dot{p} = -kx^2 \leq 0$$

$$\longrightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = 0$$



## 適応制御としての解釈

$$\dot{x} = -cx + (\theta - p)x$$

$$\dot{p} = x^2$$

$$V(x, p) = \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2}(\theta - p)^2$$

$$\dot{V} = -cx^2$$

→ パラメータ適応制御手法として達成



## 適応制御に対する誤解(?)

- 推定パラメータが真値に収束する
  - > 推定パラメータが真値に収束しなくとも、目的は達成可能 (PE特性があるなら、真値に収束)
- 不安定になりやすい
  - > ロバスト化することで、外乱やノイズが存在しても不安定にはならない
- 過渡応答特性が悪い
  - > 特にバックステッピング法は過渡応答特性の改善に優れた性能を持つ(相対次数が2以上の場合)



## 動的フィードバック制御

- 適応制御は、動的非線形フィードバック制御

$$u = u(\xi, x)$$

$$\dot{\xi} = f(\xi, x)$$

サーボ系  
(トラッキング)

- $H_\infty$ 制御は、動的線形フィードバック制御

$$u = C_c \xi$$

$$\dot{\xi} = A_c \xi + B_c y$$

周波数領域  
(整形, ロバスト)



## バックステッピング法 (相対次数2)

$$\dot{x} = \cos x - x^3 + u$$

$$u = -c_1 x - \cos x + x^3 \Rightarrow \dot{x} = -c_1 x$$

$$u = -c_1 x - \cos x \Rightarrow \dot{x} = -c_1 x - x^3$$

$$\dot{x} = \cos x - x^3 + \xi$$

$$\xi = u$$

$$\xi_{des} = -c_1 x - \cos x \equiv \alpha(x) \Rightarrow 0$$



## バックステッピング法

$$z = \xi - \xi_{des}$$

$$\dot{x} = -c_1 x - x^3 + z$$

$$\dot{z} = u + (c_1 - \sin x)(-c_1 x - x^3 + z)$$

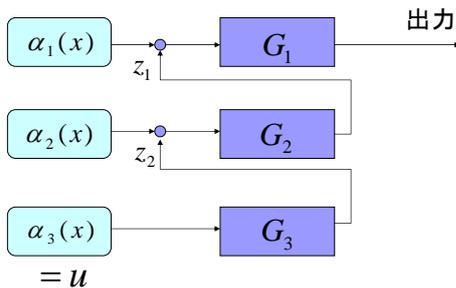
$$u = -c_2 z - x - (c_1 - \sin x)(-c_1 x - x^3 + z)$$

$$\dot{z} = -c_2 z - x$$

$$V = \frac{1}{2} x^2 + \frac{1}{2} z^2 \Rightarrow \dot{V} = -c_1 x^2 - x^4 - c_2 z^2$$



## 概念図 (3次元)

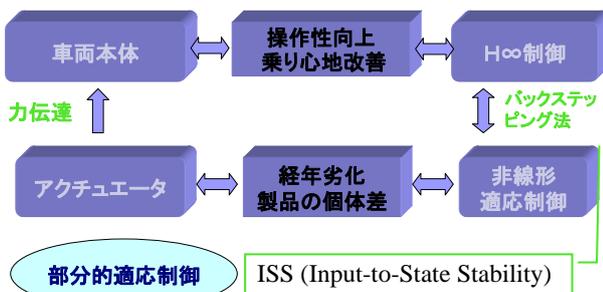


## 非線形制御を使うか？

- すべての物理システムは何らかの非線形性を持つ
  - ロバスト性を持つ線形制御か、非線形制御か
- 理論は発展中であるが、適用可能範囲はまだ狭い
  - 高次, 時変, 不連続など必要とされているが適用が難しいシステムは多い (低次元化, 仮定, 近似)
- 想定外のモデル化誤差や外乱の影響を受けやすい
  - 非線形制御は Order-made, Tailor-made!
  - 実システムへの適用には観察力が必要
  - 対象システムと理論の理解が重要



## 非線形適応制御とH $\infty$ 制御の融合



## アクティブサスペンションへの応用

車両・タイヤ系...剛体・線形系とみなす

$$M_b \ddot{x}_s + K_a(x_s - x_w) + C_a(\dot{x}_s - \dot{x}_w) - u_a = 0$$

$$M_w \ddot{x}_w - K_a(x_s - x_w) - C_a(\dot{x}_s - \dot{x}_w) + K_t(x_w - r) + u_a = 0$$

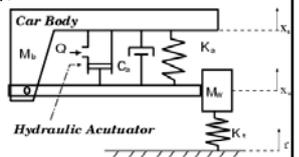
油圧アクチュエータ系...非線形系

$$u_a = A P_L$$

$$\frac{V_t}{4\beta_e} \dot{P}_L = Q - C_p P_L - A(\dot{x}_s - \dot{x}_w)$$

$$Q = C_d w x_v \sqrt{\frac{1}{\rho} (P_s - \text{sgn}(x_v) P_L)}$$

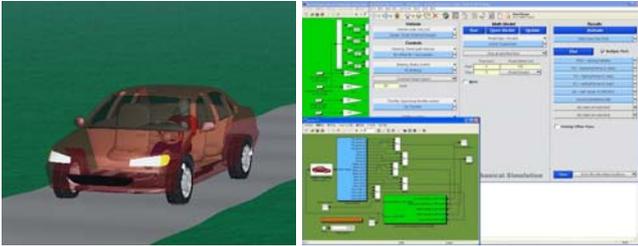
$$\dot{x}_v = \frac{1}{\tau} (-x_v + u)$$



# シミュレータによるシミュレーション

CarSim®

MATLAB®/Simulink®との連携



# モデル規範型適応制御の基礎

制御対象

$$\dot{x} = ax + bu$$

$$y = x$$

規範モデル

$$\dot{x}_r = a_r x_r + b_r u_r$$

$$y_r = x_r$$

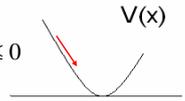
制御誤差

$$e = y - y_r$$

リアプノフ関数候補 (正定関数)

$$V = \frac{1}{2} e^2 + \frac{1}{2g} \tilde{a}^2 \xrightarrow{\text{時間微分}} \dot{V} \leq -ke^2 \leq 0$$

制御誤差 推定誤差



これを達成するコントローラとパラメータ調整則を設計



# システムの安定性・制御誤差の収束性

リアプノフ関数候補

$$V = \frac{1}{2} e^2 + \frac{1}{2g} \tilde{a}^2 \xrightarrow{\text{時間微分}} \dot{V} = e\dot{e} - g^{-1} \tilde{a} \dot{\tilde{a}} = e(\dot{x} - \dot{x}_r) - g^{-1} \tilde{a} \dot{\tilde{a}}$$

コントローラ

$$u = \frac{1}{b} (-ke - \hat{a}x + a_r x_r + b_r u_r) \xrightarrow{\quad} = e(ax + bu - a_r x_r - b_r u_r) - g^{-1} \tilde{a} \dot{\tilde{a}}$$

パラメータ調整則

$$\dot{\tilde{a}} = gex, \quad g > 0 \xrightarrow{\quad} = -ke^2 - g^{-1} \tilde{a} (\dot{\tilde{a}} - gex) = -ke^2 \leq 0$$

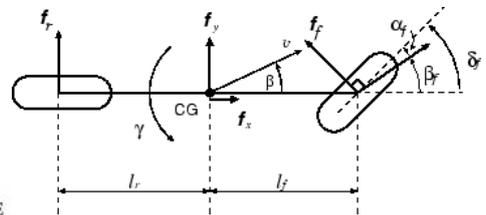
一般的には、 $\dot{V}$  の有界性から Barbalat の補題を用いて、システムの安定性と制御誤差の0への収束を証明する



# アクティブステアリングへの応用

Single-track Model (二輪モデル)

仮定: 高速かつ速度一定 中心軸上に左右輪を配置  
重心点の並進運動(横滑り)と回転運動(ヨーイング)



# ステアリングシステムのモデル化

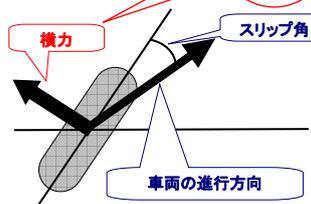
重心点の並進運動(横滑り)と回転運動(ヨーイング)

$$\begin{bmatrix} mv(\dot{\beta} + \gamma) \\ I\dot{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \beta \sin \delta_f + \cos \beta \cos \delta_f & \cos \beta \\ l_f \cos \delta_f & -l_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_f(\alpha_f) \\ f_r(\alpha_r) \end{bmatrix}$$

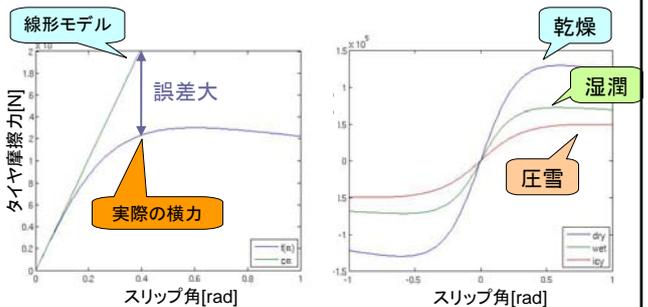
ここで、以下の関係がある

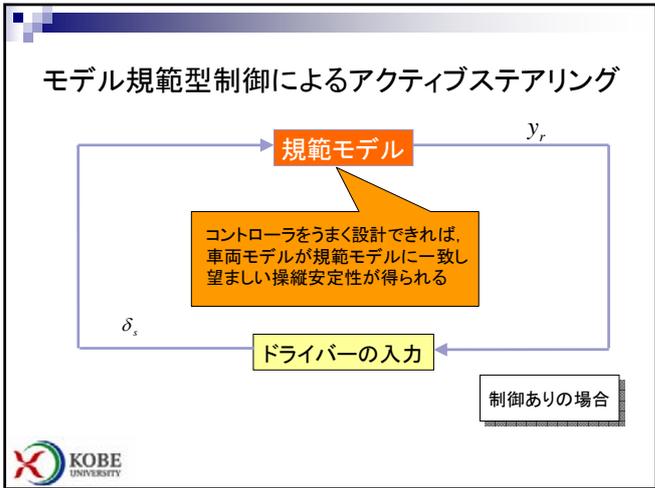
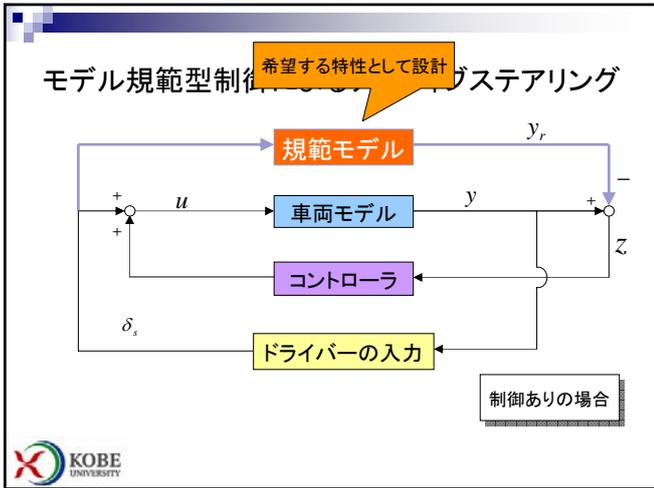
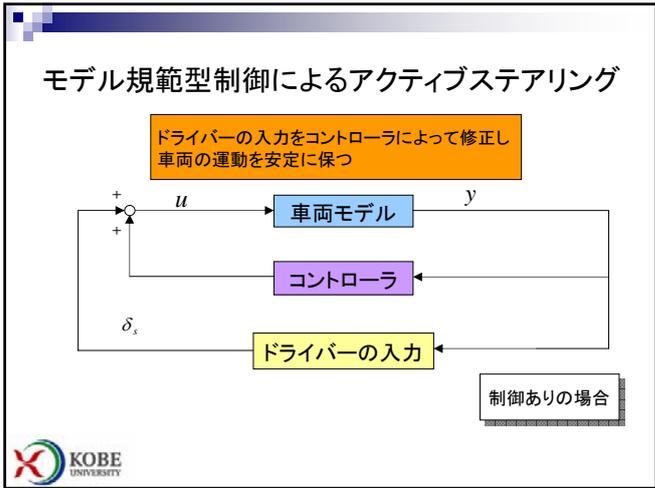
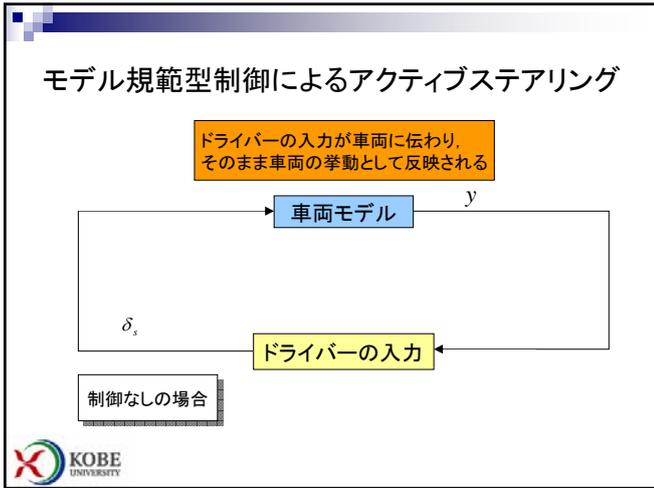
$$\alpha_f = \delta_f - (\beta + \frac{l_f}{v})\gamma$$

$$\alpha_r = -(\beta - \frac{l_r}{v})\gamma$$



# 横力に関する非線形性と不確定性





### 非線形性の考慮

強い非線形性

路面状況に依存する不確定性

ステアリング系の運動方程式

$$\begin{bmatrix} m\dot{v}(\beta + \gamma) \\ J\dot{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\beta \sin\delta_f + \cos\beta \cos\delta_f & \cos\beta \\ l_f \cos\delta_f & -l_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_f(\alpha_f) \\ f_r(\alpha_r) \end{bmatrix}$$

$\beta, \delta_f$  は十分小さく、これらの非線形性は無視できる

ただし、横力の非線形性は大きく近似線形化をせず、かつ、 $a_f, \alpha_r$  を状態変数にして変換する

### 横力の近似

$$f_f(\alpha_f) = \frac{a_{f1}}{b_{f1}} \tan^{-1}(b_{f1}\alpha_f) + \frac{a_{f2}}{b_{f2}} \tan^{-1}(b_{f2}\alpha_f)$$

ここで  $a_{f1} > 0, a_{f2} > 0, b_{f1} > 0, b_{f2} > 0$

$a_{f1}, a_{f2}$  は未知パラメータ

線形領域の傾きと、飽和領域の大きさを表現可能な自由度を持つ

## D\* 制御

定常状態では、 $v\gamma$  となる

$$y = jv(\beta + \gamma) + (1 - j)v\gamma \quad (0 < j \leq 1)$$

横加速度                      ヨーレート

### なぜ D\* を使うのか？

- > 通常時：ヨーレートを意識した運転
- 緊急時：横方向の移動(横加速度)を意識した運転
- > ヨーレートだけを使うものも多いが、非線形モデルの場合、ヨーレートでは(仮想)入力に関してアフィンにならず、コントローラの導出が困難



## 非線形制御・適応制御系設計での注意

- どこまで非線形性を扱うか — 近似、低次元化
- どのように不確定性を扱うか — 近似
- 状態変数を何に取るか — 制御可能な形式へ
- 何を出力に取るか — 制御可能な形式へ
- > 非線形制御は **Order-made, Tailor-made!**
- > 実システムへの適用には **観察力** が必要
- > 対象システムと理論の **理解** が重要



## 非線形適応コントローラ的设计

- ① 制御誤差を  $z = y - y_r$  とおく
- ② 時間微分する  $\dot{z} = \dot{y} - \dot{y}_r$
- ③ リアプノフ関数候補を以下のように選択する

$$V = \frac{1}{2} z^2 + \sum \frac{1}{2} g_i^{-1} \tilde{\theta}_i^2 + \frac{1}{2} g_p^{-1} \tilde{p}^2$$

- ④ 時間微分が負定になるように ( $\dot{V} \leq -kz^2$ ) パラメータ調整則とコントローラを選択する

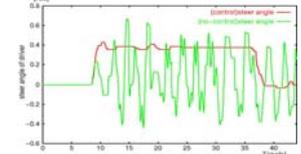
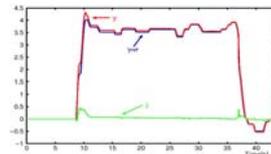
$$u = \frac{1}{\hat{\theta}_{11} h_{11} + \hat{\theta}_{12} h_{12}} (-kz - \sum_{i=1}^n \hat{\theta}_i h_i + \dot{y}_r)$$

$$\begin{cases} \dot{\hat{\theta}}_i = \xi_i h_i z, & 1 \leq i \leq 10 \\ \dot{\hat{\theta}}_i = p_i + q_i(\hat{\theta}_i), & 11 \leq i \leq 12 \end{cases}$$

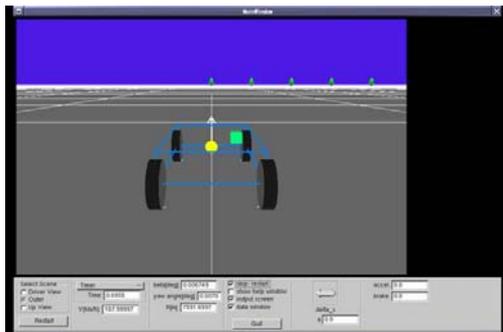


## リアルタイムシミュレーション

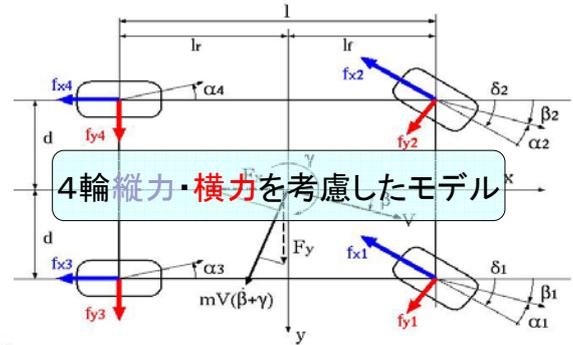
速度: 120km  
路面: 圧雪  
制御: 非線形適応制御  
規範: 線形モデル(乾燥路面)  
コース: 直線→カーブ→直線



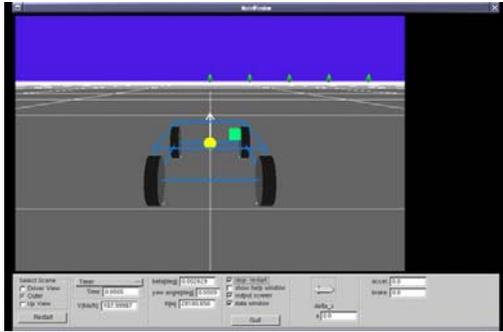
## シミュレーション ステアリングのみによる制御



## 4輪縦力・横力を考慮

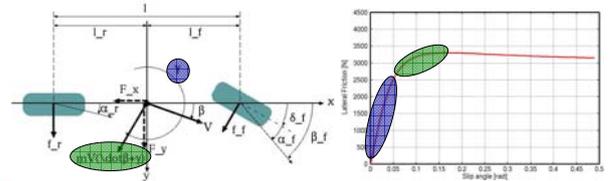


## シミュレーション 複合入力による制御(制動力導入)



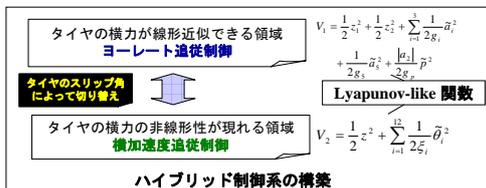
## ハイブリッド制御

- **タイヤ摩擦力: スリップ角の関数** **非線形性・不確定性**
  - 通常時は**線形領域** ⇒ **ヨーレートを重視**
  - 緊急時は**非線形領域** ⇒ **横加速度を重視**



## ハイブリッド制御系設計

- それぞれの状況に適するように制御系を切り替える  
⇒ **操縦安定性の向上**
- 単なる切り替えでは達成できない ⇒ **critical な状況での切り替え**
- Multiple Lyapunov 関数の概念を参考にシステムを安定化
- 規範モデルの設定とコントローラの切り替え条件に対する指標



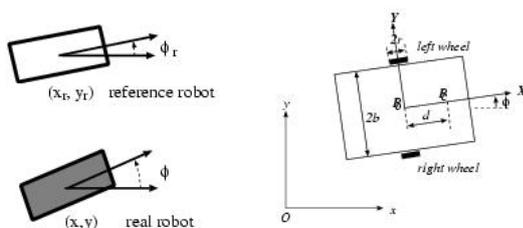
## 移動ロボットの制御理論

- 制御したい状態量に対して、制御入力が少ない  
⇒ **非ホロノミック性、劣駆動性**
  - **トラッキング制御**： 安定化制御より実用性大
  - 実問題に存在する不確かさへの対処
    - **パラメトリックな不確定性**(質量、粘性摩擦など)  
⇒ **非線形適応制御**
    - **ノンパラメトリックな不確定性**  
⇒ **非線形ロバスト制御**
- ⇒ 制御理論による限界の向上(新制御手法の開発)



## 移動ロボットのトラッキング制御

- 非ホロノミック拘束、劣駆動性



## 運動学と動力学

運動方程式(拘束あり)

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = B(q)\tau + A^T(q)\lambda$$

$$\dot{q} = S(q)v$$

キネマティクスに望ましい入力

$$\bar{M}(q)\dot{v} + \bar{V}(q, \dot{q})v + \bar{G}(q) = \bar{B}(q)\tau$$

望ましい  $v$  を出すために実入力の決定



## 実用的なアプリケーション例



農業作業車、自律走行車

情報収集飛行船



## 移動ロボットにおける不確定性

$$\dot{q} = S(q)v \quad \text{運動学部分: 劣駆動性}$$

$$M(q)\dot{v} + V(q, \dot{q})v + G(q) = B(q)\tau$$

### 不確定性

- 質量変化、環境変化によるパラメータ変動
- アクチュエータからの入力ゲイン



## 不確定性への2つのアプローチ

- モデルに基づく非線形適応制御 (運動学・動力学)

$$u = \hat{b}(-kz - \sum_i \hat{\theta}_i h_i + \dots)$$

$$\dot{\hat{\theta}}_i = \xi_i h_i z,$$

$$\dot{\hat{b}} = \dots$$

- モデル化誤差とした非線形ロバスト制御 (動力学)

➡ 一例として: **最適制御**



## なぜ最適制御を用いるのか?

最適制御により設計されたシステムは、入力に関するあるクラスの不確定性に対して **ロバスト性**を有する

- 風、凹凸などによる外乱に影響を受けやすい
- 高度や温度、土壌状態によって変化しやすい
- エンジン、モータに与える入力  $\tau$  と速度  $v$  間のゲインは変動、あるいは求めにくい
- ロボットの **運動学部分の入力に関する不確定性** と捉える



## 最適制御による安定化問題

非線形システムの安定化最適制御問題:

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u$$

次の特性を持つフィードバック制御則  $u(x)$  を見つけることである

★ 平衡点  $x = 0$  において漸近安定化を達成する

★ 次の評価関数を最小化する

$$\int_0^{\infty} (l(x) + u^T R(x)u) dt$$

ただし、すべての  $x$  に対して、 $l(x) \geq 0$   $R(x) > 0$



## しかし、

次の **Hamilton-Jacobi-Bellman 方程式** の解を求める必要あり

$$l(x) + L_f V(x) - \frac{1}{4} L_g V(x) R^{-1}(x) (L_g V(x))^T = 0, \quad V(0) = 0$$

ここで、 $V(x)$  は半正定関数である。

また、Lie 微分として以下の表現を用いている。

$$L_f V(x) = \frac{\partial V}{\partial x} f(x)$$

➡ 一般的に、これは **容易ではない**



## 逆最適化アプローチ

1. 安定化フィードバック則を先に設計する
2. その後、ある評価関数に対して最適であると示される

**Control Lyapunov Function (CLF)** (Artstein and Sontag) の概念が重要な役割を果たす

### 定義1 (Control Lyapunov Function)

すべての  $x \neq 0$  に対して、次の関係を満足する滑らかで正定かつ放射状に非有界な関数  $V(x)$  は、Control Lyapunov Function (CLF) と呼ばれる。

$$L_g V(x) = 0 \Rightarrow L_f V(x) < 0$$



### 命題1 (CLFからの最適制御)

Sontag の形式による制御則

$$u(x) = \begin{cases} - \left( c_0 + \frac{a(x) + \sqrt{a^2(x) + (b^T(x)b(x))^2}}{b^T(x)b(x)} \right) b(x), & b(x) \neq 0 \\ 0, & b(x) = 0 \end{cases}$$

は次の評価関数に対して最適な安定化フィードバック則である

$$J = \int_0^{\infty} \left( \frac{1}{2} p(x) b^T(x) b(x) + \frac{1}{2 p(x)} u^T u \right) dt$$

ここで、

$$a(x) = L_f V(x)$$

$$b(x) = L_g V(x)$$

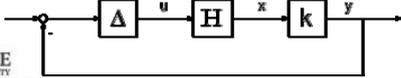
$$p(x) = \begin{cases} c_0 + \frac{a(x) + \sqrt{a^2(x) + (b^T(x)b(x))^2}}{b^T(x)b(x)}, & b(x) \neq 0 \\ c_0, & b(x) = 0 \end{cases}$$

## 最適制御系の有するロバスト性

最適制御則により設計されたシステムは、**sector margin** と呼ばれる安定余裕を  $(1/2, \infty)$  持つ！

### 定義2 (Sector margin)

非線形フィードバックシステム  $(H, k)$  は、不確定性を含む閉ループシステム  $(H, k, \Delta)$  が対角要素のみからなるすべての  $\Delta$  に対して大域的に漸近安定であるならば、Sector margin  $(\alpha, \beta)$  を持つと言われる。ここで、 $\Delta$  は  $\text{diag}\{\psi_1(\cdot), \dots, \psi_m(\cdot)\}$  の形で表されるとし、 $\psi_i(\cdot)$  は sector  $(\alpha, \beta)$  に属する局所的にリプシッツで静的な非線形関数である。



## 移動ロボットの運動学に適用

移動ロボット

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

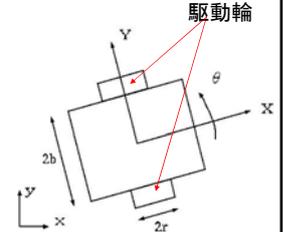
参照ロボット

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ \theta_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_r & 0 \\ \sin \theta_r & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_r \\ \omega_r \end{bmatrix}$$

座標変換

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x \\ y_r - y \\ \theta_r - \theta \end{bmatrix}$$

$$\tilde{e}_3 = e_3 + \frac{e_2 v_r}{1 + (e_2 v_r)^2}$$



## 二輪移動ロボット

- 絶対位置をカメラから獲得
- 方向を角度センサにより獲得



車輪半径の設計モデルの値を  $r$ 、真値を  $r^*$  とすると  $0 < r < 2r^*$  を満足する範囲でロバスト性保証



## 無人走行車両 (UGV)

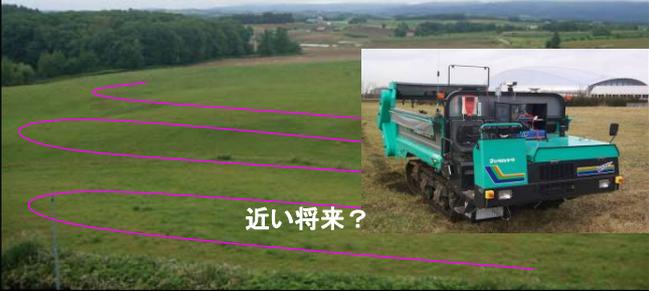


研究協力:  
ヤマハ発動機



## 農作業車両ロボット

農業従事者の減少・高齢化が進行  
 農業用機器の自動化・高性能化の必要  
 中でも、農作業車両の自律化が急務（高精度、低コスト）



近い将来？

## 屋内型飛行船ロボット

NPO国際レスキューシステム研究機構による地域新生コンソーシアムプロジェクトによる成果




全長5m、PC搭載：  
遠隔操作、完全自律飛行

上下運動が異なる

Pan/tilt カメラ

## 屋外型飛行船ロボット

安全性  
 低空飛行可能  
 運用容易性  
 長時間飛行

Laser Scanner  
 Cameras  
 RTK-GPS  
 IMU  
 Wind Sensor



レスキュー活動支援  
 飛行船ロボットの開発

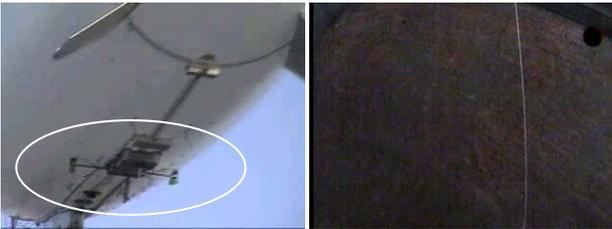
## 飛行実験

共同研究：JAXA  
 宇宙航空研究開発機構  
 無人機・未来型航空機チーム

- 飛行船に適した制御系の提案
- 風外乱にロバストな制御系構築




## 回転型ステレオカメラ



情報収集と情報提示手法の開発

## 画像情報の利用

- 二輪移動ロボットにカメラを搭載
  - エンコーダから計算される自己位置の誤差による軌道追従誤差の回避（デッドレコニング）
- ビジュアルサーボシステム
  - カメラに投影される画像平面上の点を直接制御することにより、目標を達成
  - ただし、状態数と入力数が原則的に同じである必要

## 移動ロボット(画像情報の利用)

センシングの問題を回避

段差のある  
床における実験  
ロボットの外観



画像情報に基づき、状態推定を行う場合の実験の様子

エンコーダによる誤差を画像情報を利用して解決



## 飛行船ロボット(狭いエリア)

- 特定の建物の周りの情報収集  
カメラがセンサとして適当



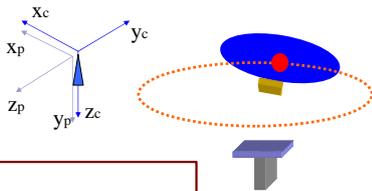
GPS:  
計測誤差の可能性

阪神・淡路大震災  
1995年1月



## 飛行船ロボットのモデル化

物体座標系  
カメラ座標系



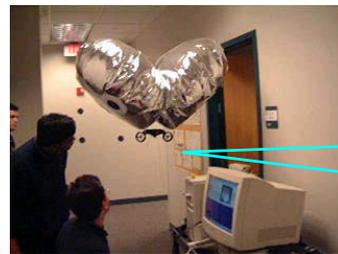
### 仮定1

ロール運動とピッチ運動が無視できるとする  
重心と浮力中心が  $z_c$  軸上にあるとする  
ヨー運動の軸が  $y_c-z_c$  平面上にあるとする



## Image-based Control

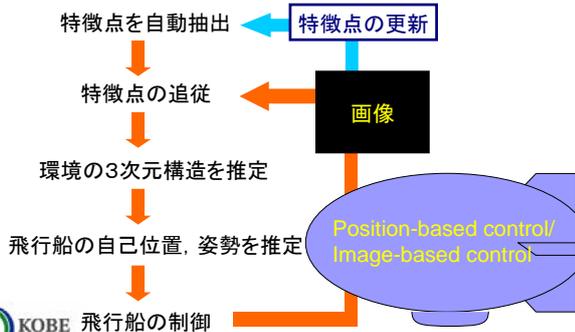
画像平面上に投影された画像と、目標画像の直接的な比較による制御手法



● desired  
● current

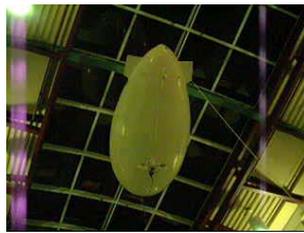


## Position-based Control と Imaged-based Control の融合



## 実験結果

画像情報に基づき、自己位置・姿勢を推定し、制御までを行う統合的な手法に関する研究



全長3.5m



全長1.5m

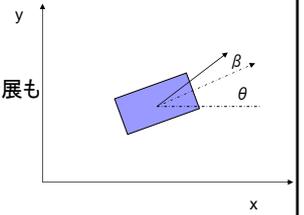


## 特徴点追従アルゴリズム



## 自動車の軌道制御への応用

- 自動化・自律化
- 正確な軌道制御
  - 中低速時における  
障害物回避、衝突回避に発展も



走行軌跡(重心)

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cos(\theta + \beta) \\ \dot{y} = v \sin(\theta + \beta) \end{cases}$$

極低速域では、後輪車軸中心の横滑り角  
重心の横滑り角は代数的に求まり

$$\begin{aligned} \beta &\approx 0 \\ \beta &= \frac{l}{l} \delta \end{aligned}$$



## 自動駐車システム

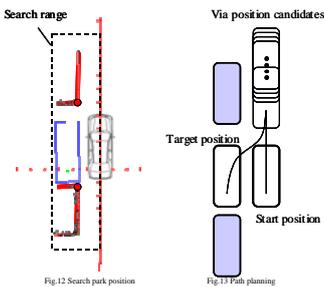
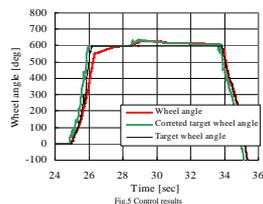


Fig. 12 Search park position

Fig. 11 Path planning

### センシング誤差・軌道誤差の修正



共同研究:  
日本自動車部品総合研究所



## 自動駐車実験



狭小エリアへの駐車

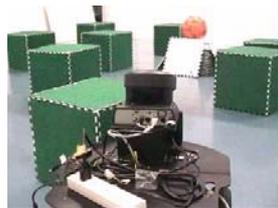


## 機械システムの知能化(強化学習)

- 初期設定、適応性の問題



制御が困難と考えられる  
小型ヘリコプタへの応用  
(人間技の習得、超越)



知識の導入・抽出を目指した  
移動ロボットへの応用  
(高次の推論)



## 最後に

- 非線形制御は **Order-made, Tailor-made!**
- 実システムへの適用には**観察力**が必要
- 対象システムと理論の**理解**が重要



企業と大学の連携



## セミナーのご案内

- 非線形制御・適応制御を自動車の運動制御に応用するためのセミナー
- MATLAB/Simulink による車両運動制御の基礎講座
- 1月23日(水) 13:00~17:00  
24日(木) 9:30~16:30
- 日本テクノセンター  
<http://www.j-techno.co.jp/>

