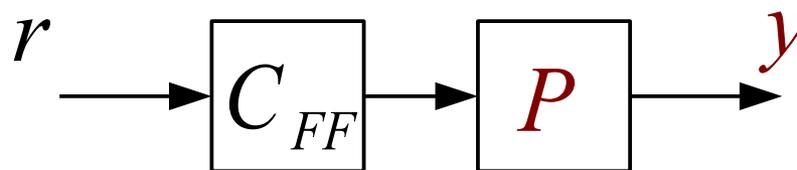
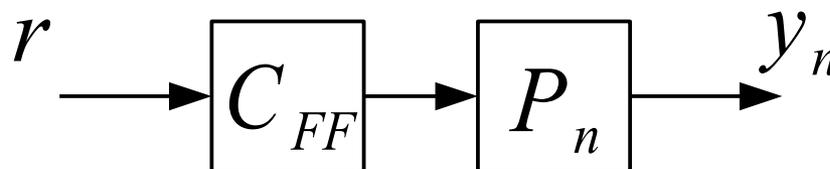


モデル誤差抑制補償器による 非線形システム制御

- 梅井啓紀 (熊本大学)
 - 岡島寛 (熊本大学)
 - 松永信智 (熊本大学)
 - 浅井徹 (大阪大学)
- 講演番号 : 101B3

モデルベースド制御

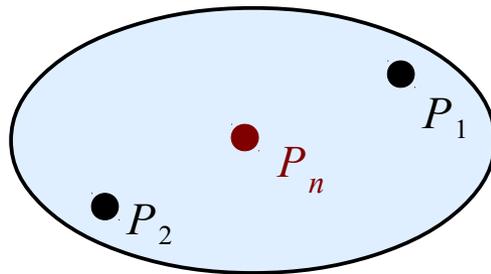
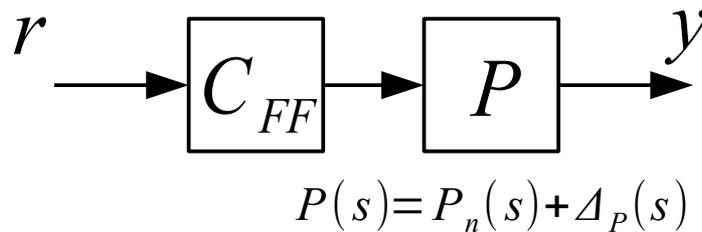
1. 実プラント $P(s)$ の動特性を数式的に表現したモデル $P_n(s)$ を設定
2. モデル $P_n(s)$ に対して
有効な制御器を設計
速応性, 安定性, etc...
3. 2で設計した制御器を
実プラント $P(s)$ に適用



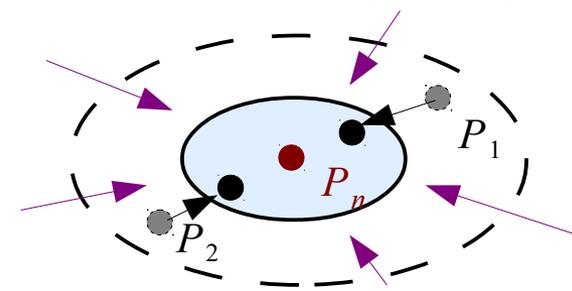
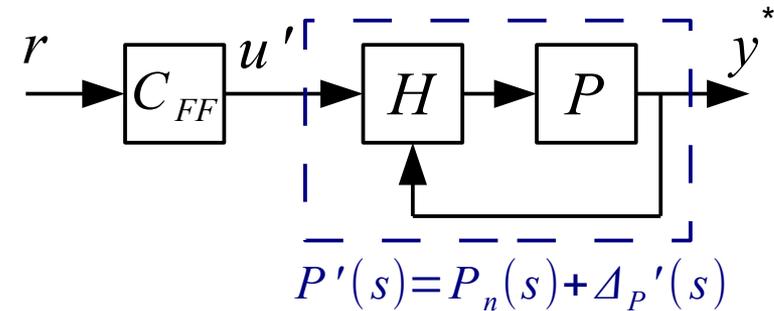
- ◆ $\Delta_p(s) = P(s) - P_n(s)$ が十分小さいとき
設計した制御器により理想応答 $y_n(t)$ に近い出力が期待できる
- ◆ $\Delta_p(s)$ が大きいとき = 実プラントとモデルにギャップが存在する
制御器を適用しても所望の応答が得られないことがある

◆ モデル誤差抑制補償器の構造及び設計法の提案

"A Design Method of Compensator to Minimize Model Error",
Umei, Okajima, Matsunaga and Asai, SICE Annual Conference 2011

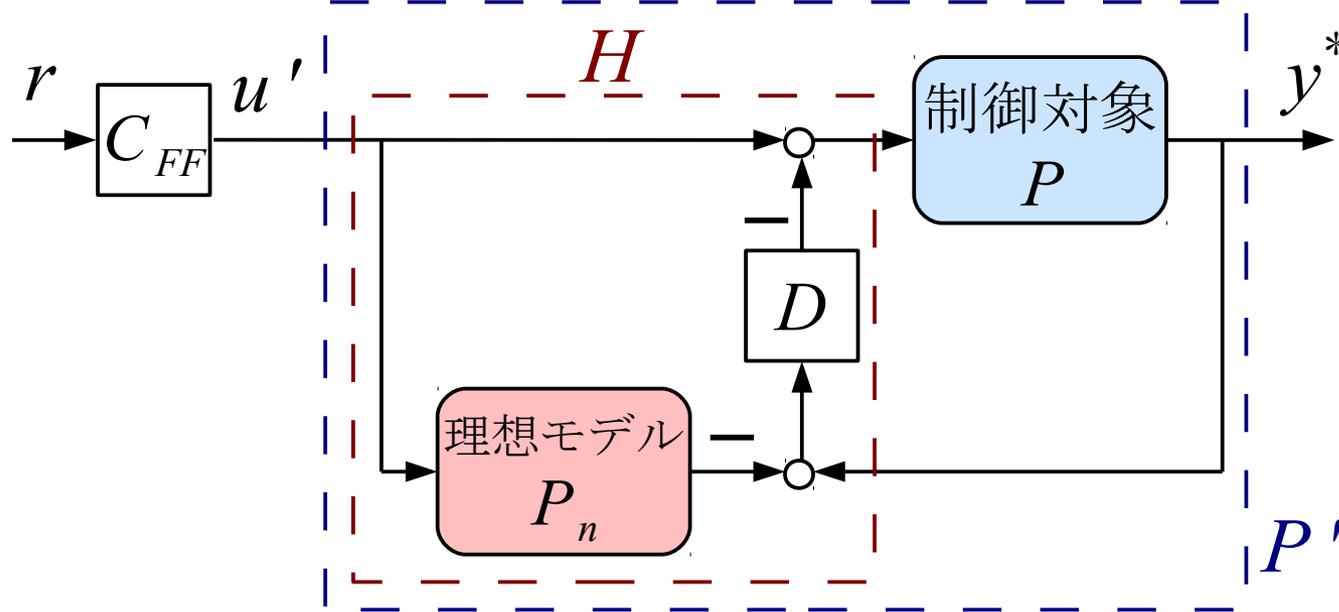


$P(s)$ のモデル集合



$P'(s)$ のモデル集合

- ◆ モデル誤差を抑制し, 補償後のシステム $P'(s)$ の入出力特性を理想モデル $P_n(s)$ に近付ける
- ◆ プラントーモデル間のギャップ抑制に特化した補償器の設計



- ◆ 実プラント $P(s)$ と理想モデル $P_n(s)$ の出力差をフィードバックすることで両者間のギャップを抑制
- ◆ $D(s)$ の設計問題は単位フィードバック系の性能問題に帰着する

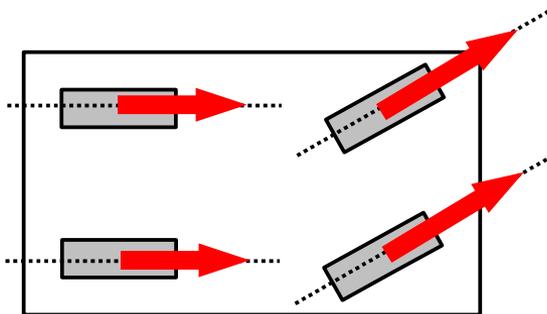
提案補償器の利点

- ◆ 性能補償とモデル誤差抑制を明確に分離して設計できる
- ◆ 有限整定制御などの既存の様々な制御手法との併用が容易

本発表の目的

モデル誤差抑制補償器の非線形システムへの適用

理想車両モデル



- ◆ 車輪の向きと進行方向が**一致**
- ◆ 幾何学的に進行方向が決定

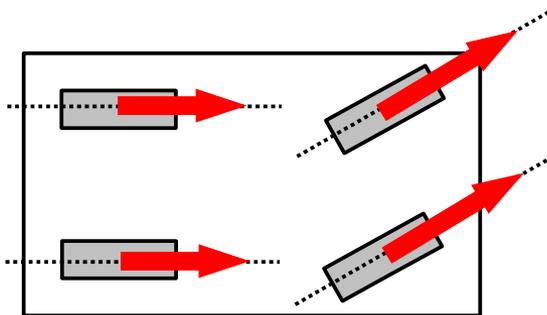
車両制御手法

経路追従, 先行車追跡, 衝突回避, 自動制動, 姿勢制御, etc.

本発表の目的

モデル誤差抑制補償器の非線形システムへの適用

理想車両モデル

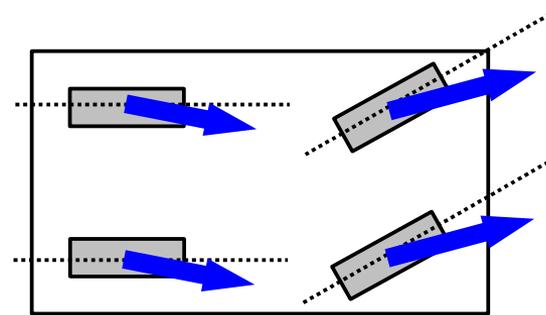


- ◆ 車輪の向きと進行方向が**一致**
- ◆ 幾何学的に進行方向が決定

車両制御手法

経路追従, 先行車追跡, 衝突回避, 自動制動, 姿勢制御, etc.

実車両 (自動車、2輪車)



モデル誤差



車輪の横すべり,
路面状態, etc.

- ◆ 車輪の向きと進行方向が**不一致**

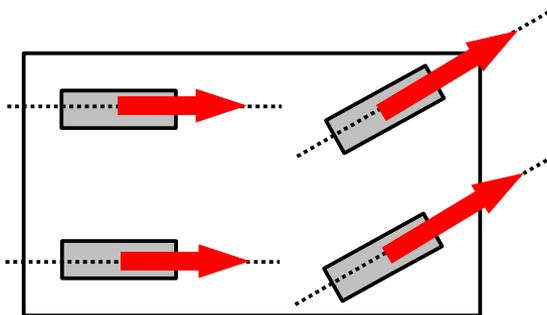


適用不可

本発表の目的

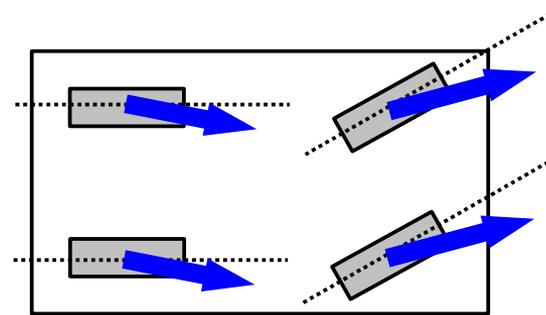
モデル誤差抑制補償器の非線形システムへの適用

理想車両モデル



- ◆ 車輪の向きと進行方向が**一致**
- ◆ 幾何学的に進行方向が決定

実車両（自動車、2輪車）



- ◆ 車輪の向きと進行方向が**不一致**

モデル誤差

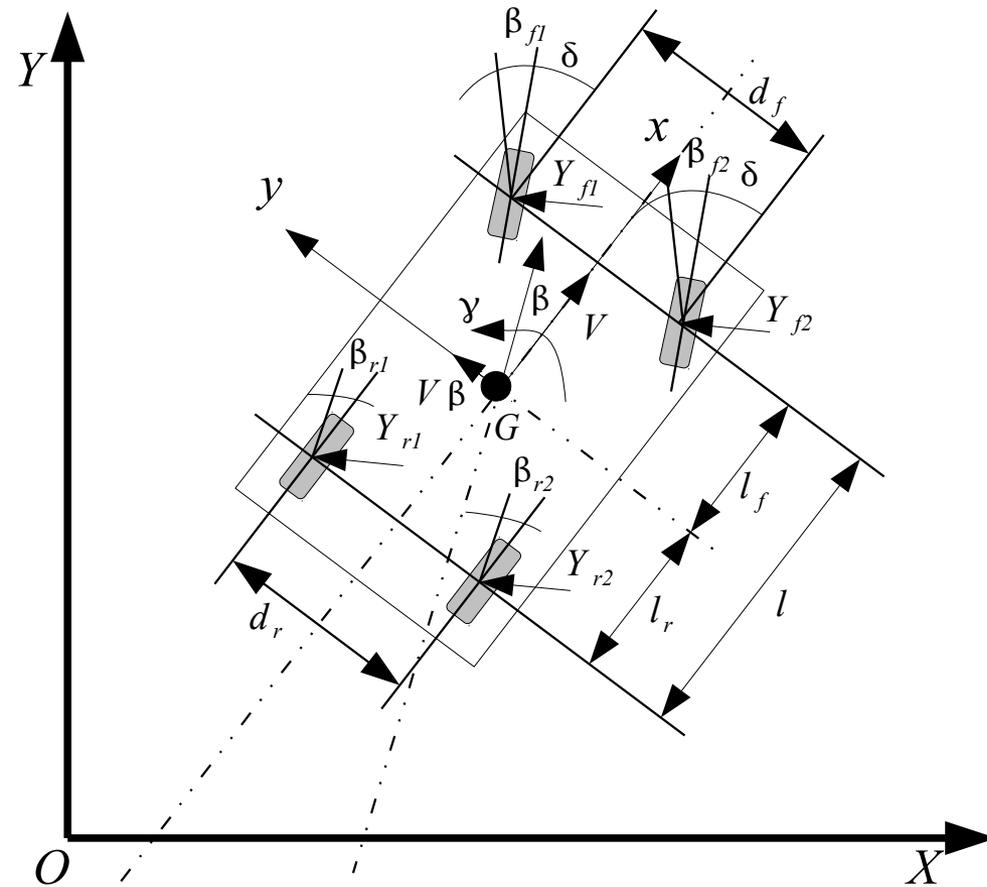


車輪の横すべり,
路面状態, etc.

車両制御手法

提案補償器により実車両と理想モデル間のギャップを抑制

適用が難しい



運動方程式

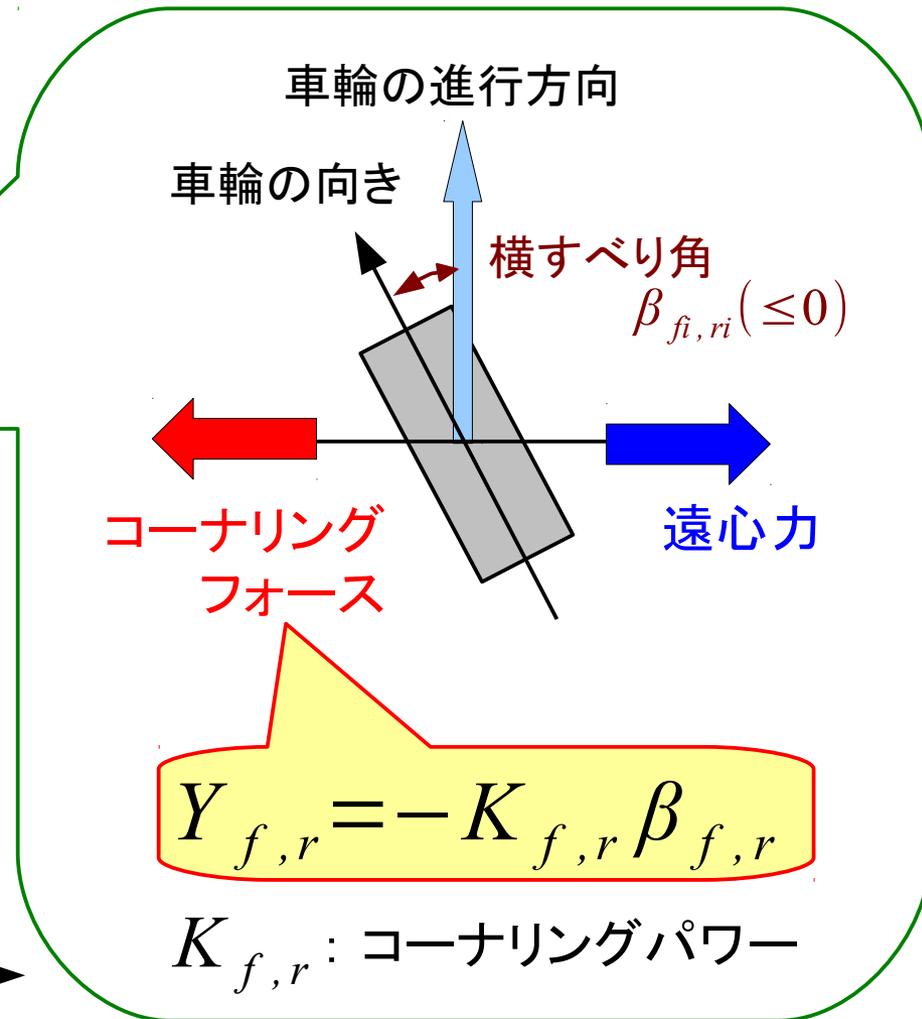
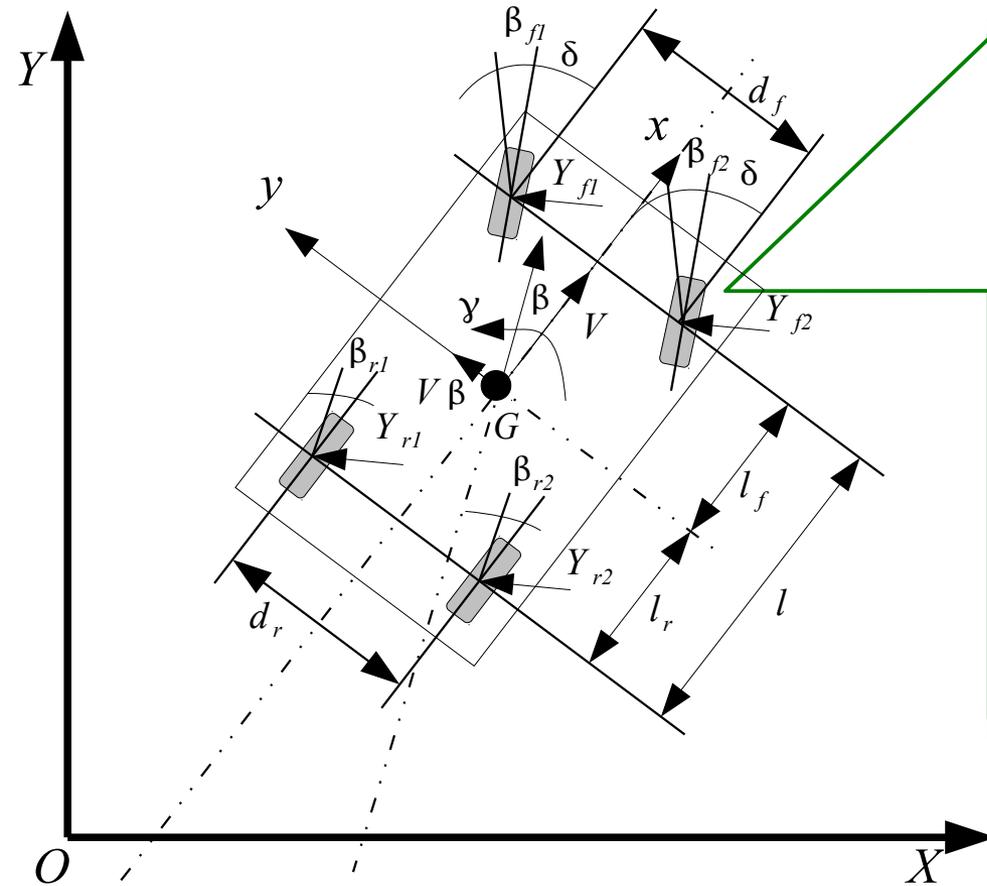
$$\begin{cases} mV(\dot{\beta} + \gamma) \cos \beta = Y_{f1} \cos(\beta_{f1} + \delta) + Y_{f2} \cos(\beta_{f2} + \delta) \\ \quad + Y_{r1} \cos \beta_{r1} + Y_{r2} \cos \beta_{r2} \\ I \dot{\gamma} = l_f (Y_{f1} \cos(\beta_{f1} + \delta) + Y_{f2} \cos(\beta_{f2} + \delta)) \\ \quad - l_r (Y_{r1} \cos \beta_{r1} + Y_{r2} \cos \beta_{r2}) \end{cases}$$

$$Y_{fi} = -K_f \beta_{fi}, \quad Y_{ri} = -K_r \beta_{ri}$$

$$\beta_{f1} = \frac{V \sin \beta + l_f \gamma}{V \cos \beta - d_f \gamma / 2} - \delta, \quad \beta_{f2} = \frac{V \sin \beta + l_f \gamma}{V \cos \beta + d_f \gamma / 2} - \delta,$$

$$\beta_{r1} = \frac{V \sin \beta - l_r \gamma}{V \cos \beta - d_r \gamma / 2}, \quad \beta_{r2} = \frac{V \sin \beta + d_r \gamma / 2}{V \cos \beta + d_r \gamma / 2}$$

G : 重心, V : 車両速度, β : 車両の横すべり角,
 γ : 車両のヨーモーメント, δ : 操舵角,
 β_{fi} : 前輪の横すべり角, β_{ri} : 後輪の横すべり角,
 Y_{fi} : 前輪のコナリングフォース,
 Y_{ri} : 後輪のコナリングフォース,
 l : ホイールベース, $l_{f,r}$: 重心と前後輪軸の距離,
 $d_{f,r}$: 前後輪のトレッド

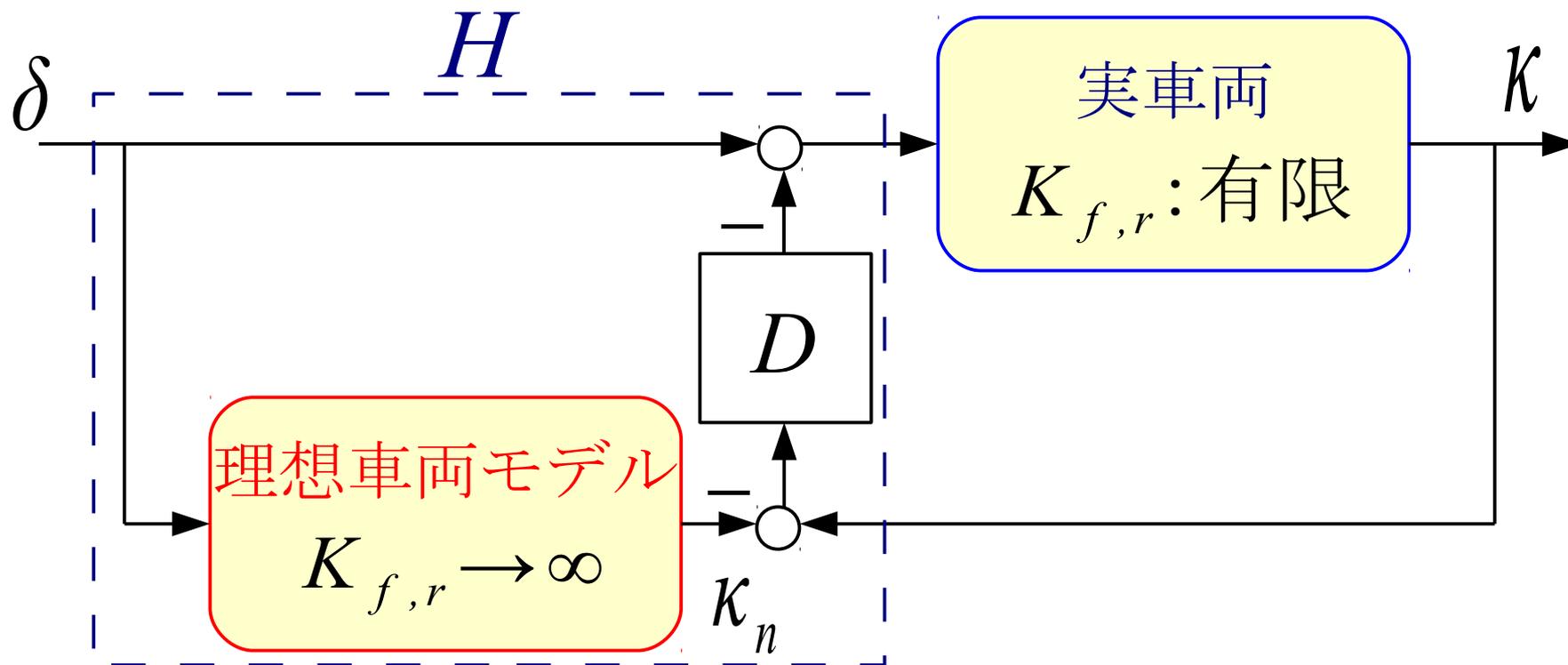


十分大きな $K_{f,r}$ が与えられれば，微小な横すべり角で旋回

理想車両モデルでは車輪の横すべりが無い状態を想定



$K_{f,r} \rightarrow \infty$ を仮定した理想車両モデルに
 $K_{f,r}$ が有限の実車両の特性を近付ける



δ : 操舵角, κ : 曲率

理想車両モデル

$$\beta_n = \beta|_{K_f, K_r \rightarrow \infty} = \frac{l_r}{l} \delta, \quad \gamma_n = \gamma|_{K_f, K_r \rightarrow \infty} = \frac{V}{l} \delta$$

$$\kappa_n = \frac{\dot{\beta}_n + \gamma_n}{V}$$

実車両モデル (非線形)

$$\begin{cases} mV(\dot{\beta} + \gamma) \cos \beta = Y_{f1} \cos(\beta_{f1} + \delta) + Y_{f2} \cos(\beta_{f2} + \delta) \\ \quad + Y_{r1} \cos \beta_{r1} + Y_{r2} \cos \beta_{r2} \\ I \dot{\gamma} = l_f (Y_{f1} \cos(\beta_{f1} + \delta) + Y_{f2} \cos(\beta_{f2} + \delta)) \\ \quad - l_r (Y_{r1} \cos \beta_{r1} + Y_{r2} \cos \beta_{r2}) \\ Y_{fi} = -K_f \beta_{fi}, \quad Y_{ri} = -K_r \beta_{ri} \\ \beta_{f1} = \frac{V \sin \beta + l_f \gamma}{V \cos \beta - d_f \gamma / 2} - \delta, \quad \beta_{f2} = \frac{V \sin \beta + l_f \gamma}{V \cos \beta + d_f \gamma / 2} - \delta, \\ \beta_{r1} = \frac{V \sin \beta - l_r \gamma}{V \cos \beta - d_r \gamma / 2}, \quad \beta_{r2} = \frac{V \sin \beta - l_r \gamma}{V \cos \beta + d_r \gamma / 2} \end{cases}$$


 $\beta \ll 1, \delta \ll 1$
 で線形近似

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-2(K_f + K_r)}{mV} & -\left\{1 + \frac{2}{mV^2}(l_f K_f - l_r K_r)\right\} \\ \frac{-2}{I}(l_f K_f - l_r K_r) & \frac{-2(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)}{IV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{2K_f}{mV} \\ \frac{2l_f K_f}{I} \end{bmatrix} \delta$$

線形モデルを用いて補償器を設計後，非線形の自動車モデルに適用

Problem setting

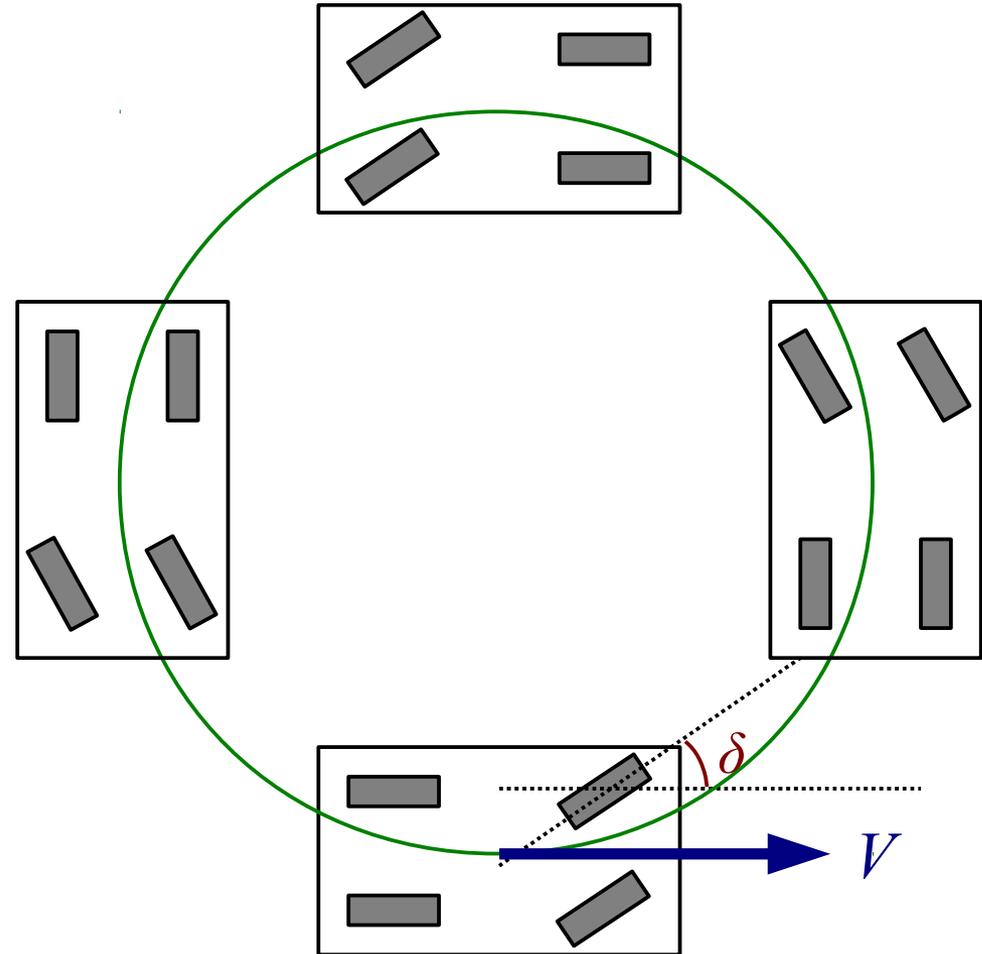
Parameter	Value
l_f	1.122 [m]
l_r	1.428 [m]
I	2205 [kg·m ²]
m	1507 [kg]
K_f	45372.9 [N/rad]
K_r	74405.5 [N/rad]

車両速度

$$V = 12 \text{ [m/s]}$$

操舵角

$$\delta = 0.05 \text{ [rad]}$$



Problem setting

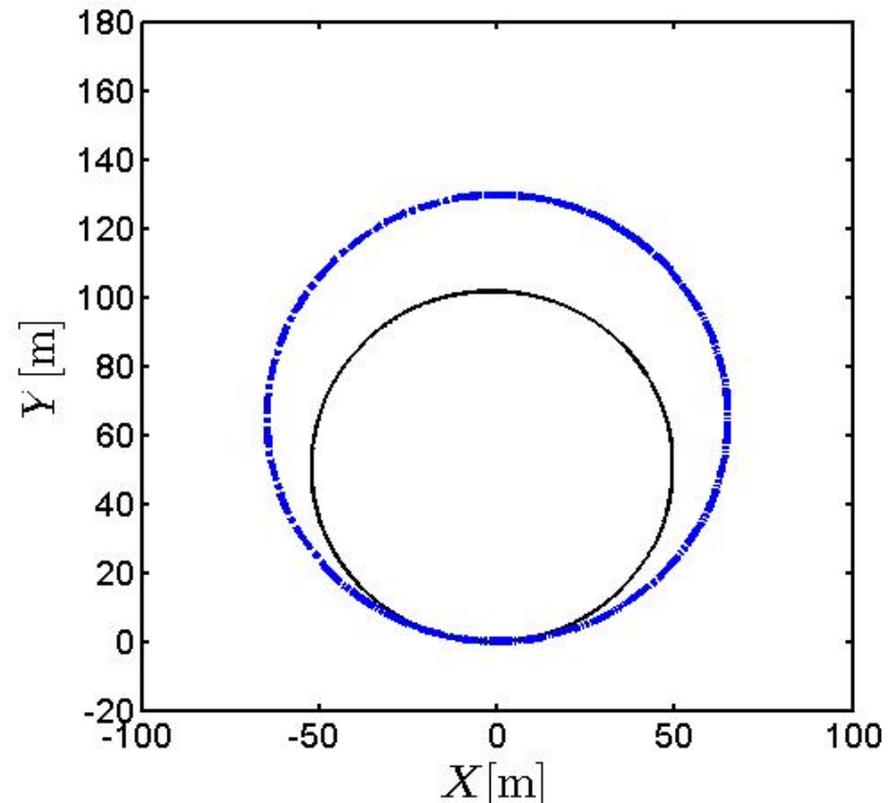
Parameter	Value
l_f	1.122 [m]
l_r	1.428 [m]
I	2205 [kg·m ²]
m	1507 [kg]
K_f	45372.9 [N/rad]
K_r	74405.5 [N/rad]

車両速度

$$V = 12 \text{ [m/s]}$$

操舵角

$$\delta = 0.05 \text{ [rad]}$$



Black : 理想車両モデル

Blue : 実車両モデル

実車両は横すべりの影響で旋回半径が大きくなる

Problem setting

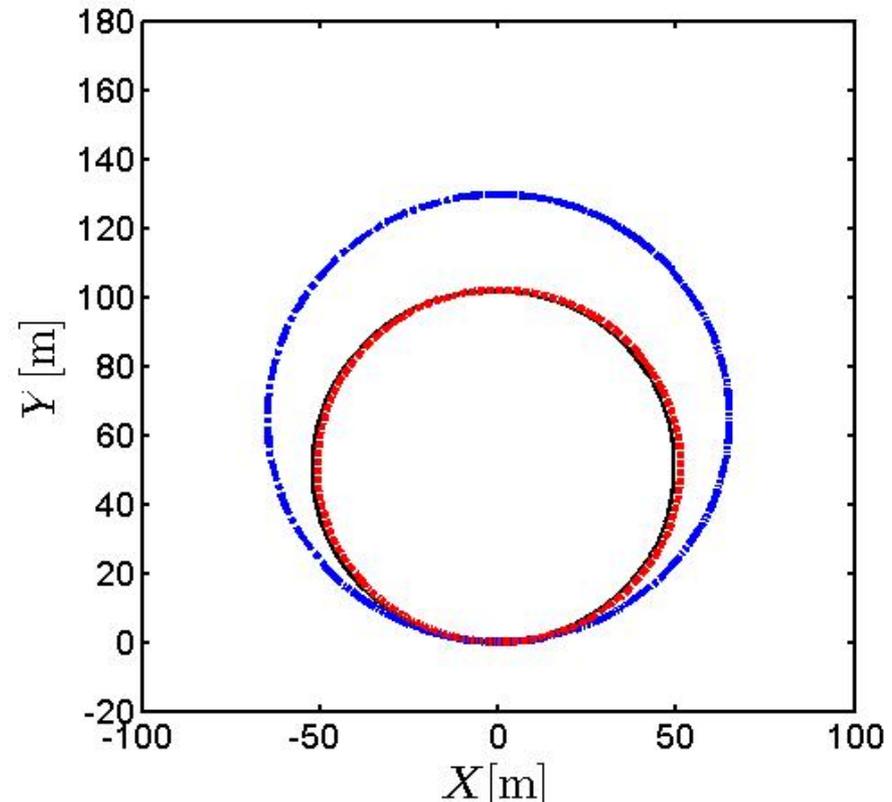
Parameter	Value
l_f	1.122 [m]
l_r	1.428 [m]
I	2205 [kg·m ²]
m	1507 [kg]
K_f	45372.9 [N/rad]
K_r	74405.5 [N/rad]

車両速度

$$V = 12 \text{ [m/s]}$$

操舵角

$$\delta = 0.05 \text{ [rad]}$$



Black : 理想車両モデル

Blue : 実車両モデル

Red : 実車両モデル+補償器

補償器を適用することで車両軌跡が理想モデルの軌跡に近づく

本発表の目的

モデル誤差抑制補償器の非線形システムへの適用

- ◆ 自動車運動モデルにモデル誤差抑制補償器を適用し、理想車両とのモデル誤差を抑制
- ◆ 非線形な動特性を持つシステムについて提案補償器の有効性を確認