

# 授業・研究におけるMapleの利用

クルモフ バレリー  
val@ee.ous.ac.jp  
岡山理科大学工学部  
電気電子システム学科

# 内容

- Mapleとの出会い
- 授業とMaple
  - 利用例
  - 効果、望み、、、
- 研究とMaple
  - 自動車の操縦制御
  - 新型電磁駆動ダイヤフラムポンプ
- まとめ

# 授業とMaple

- 電気電子システム学科の特徴
  - 工学部では、一つの基幹学科
  - 資格の数が多い:
    - 第1級陸上特殊無線技士資格
    - 第2級海上特殊無線技士資格
    - 第3級海上特殊無線技士資格
    - 電気通信主任技術者(※科目免除)
    - 電気主任技術者(認定校)

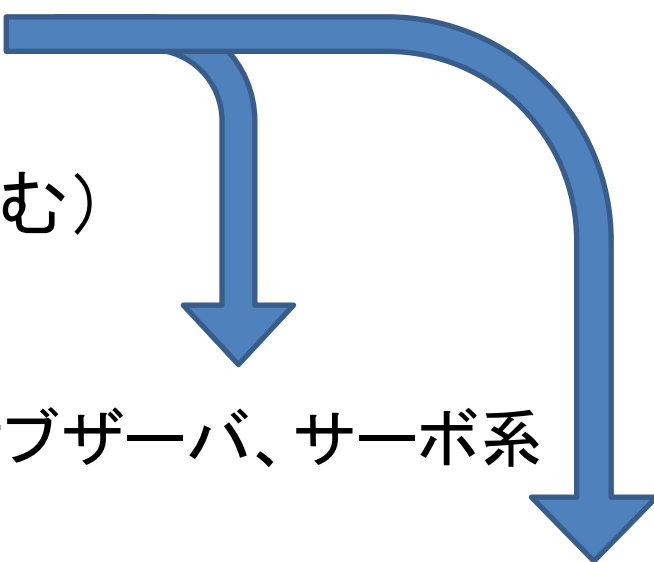


基礎科目内容の**理解**が**重要**である。

(数学、物理学、電気回路、電磁気学など)

 **Mapleのライセンスを購入**

# 担当科目の概要

- 微分方程式
    - 1階微分方程式
    - 線形微分方程式
    - 微分方程式の応用
  - 制御工学(大学院を含む)
    - システムのモデル化
    - 解析・安定性
    - 設計:レギュレータ、オブザーバ、サーボ系
  - ロボット工学
    - 産業用ロボット:センサ、運動学、関節の制御系(PI・PID)など
    - 移動ロボット:モデル化、組込みシステムなど
- 
- A large blue arrow originates from the right side of the '微分方程式' (Differential Equations) section and points downwards to the 'ロボット工学' (Robotics Engineering) section, indicating a conceptual flow or application of the mathematical concepts.

# 授業における教材

- Mapleの利用
  - ワークシート利用
  - デモツールとして利用(ワークシート例)
- 授業中の教材
  - 微分方程式の解の振る舞い表示(ワークシート例)
  - 制御システムの応答の表示
- 授業時間外用の教材
  - Maple、他のソフトも(フリーソフトを含む)の紹介
  - 開発したWEB上利用のソフト

# 学生のMaple利用

- 学部生：ほとんど関心はない（自信のなさなどの多々の問題）
- 大学院生：使ってみて→なるほど→使えるわ😊
- 博士課程の学生：積極的に利用

# 研究とMaple

- 横すべりを有する車両の追従制御
  - Maple (MapleSimなし)を利用してモデル化(ワークシート)
  - 制御系の設計
  - シミュレーション
  - 成果

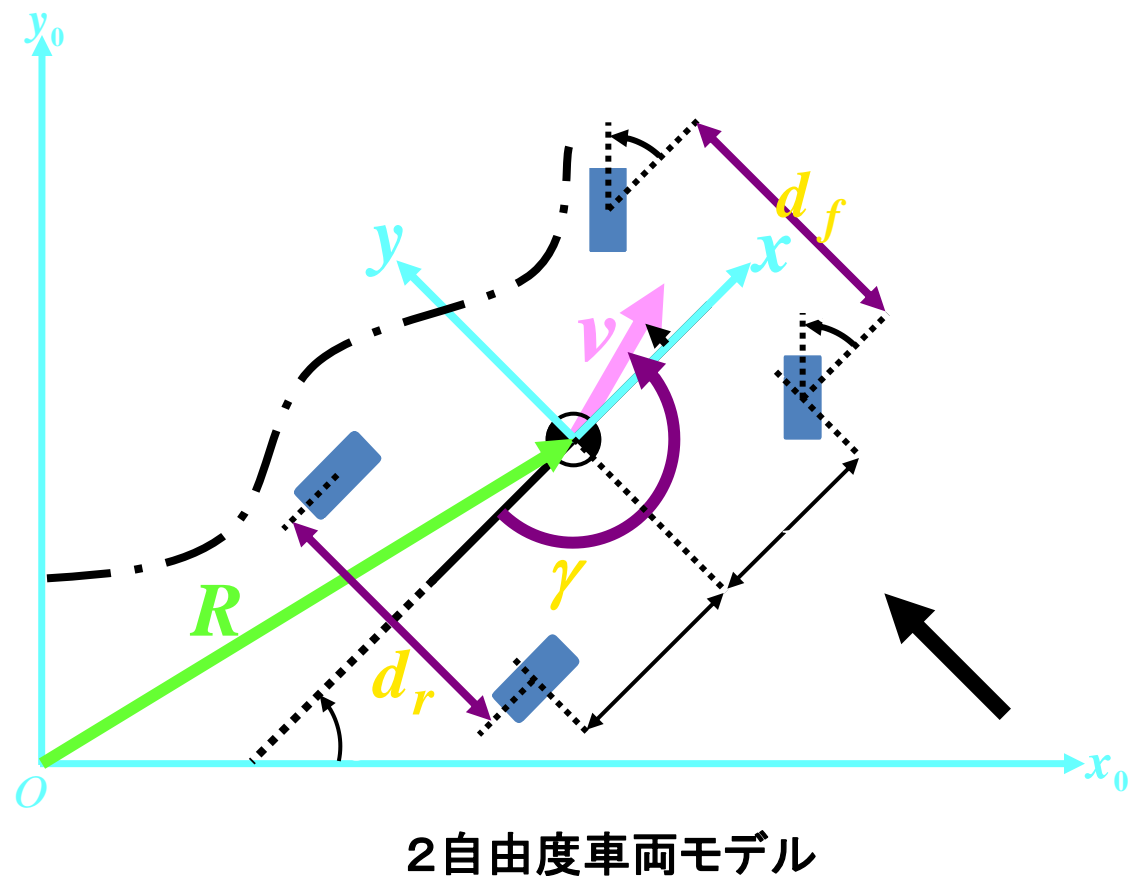
# 車両の動力学モデル

車両の動力学モデル

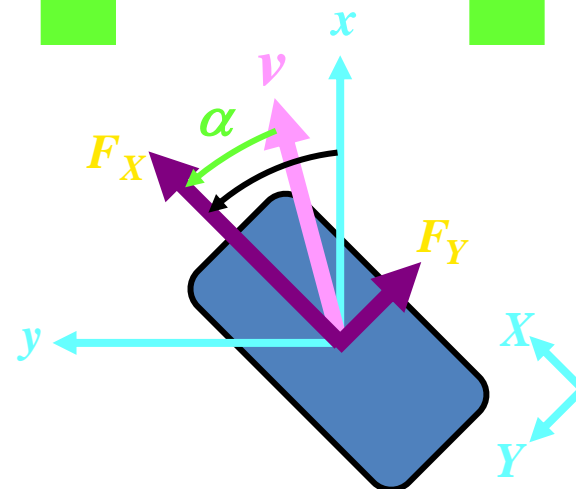
タイヤモデル

タイヤのすべり角

横風モデル



2自由度車両モデル



タイヤモデル

車輪 記号	右前	左前	右後	左後
$\alpha$	$\beta_{fr}$	$\beta_{fl}$	$\beta_{rr}$	$\beta_{rl}$
$F_X$	$F_{Xfr}$	$F_{Xfl}$	$F_{Xrr}$	$F_{Xrl}$
$F_Y$	$F_{Yfr}$	$F_{Yfl}$	$F_{Yrr}$	$F_{Yrl}$

各タイヤの記号



# 車両の動力学モデル

$$\dot{v} = \frac{1}{M} \{ (F_{Xfr} + F_{Xfl}) \cos(\beta - \delta) + (F_{Yfr} + F_{Yfl}) \sin(\beta - \delta) + (F_{Xrr} + F_{Xrl} + F_{x_d}) \cos \beta + (F_{Yrr} + F_{Yrl} + F_{y_d}) \sin \beta \}$$

$$\dot{\beta} = \frac{1}{Mv} \{ (F_{Xfr} + F_{Xfl}) \cos(\beta + \delta) + (F_{Yfr} + F_{Yfl}) \sin(\beta + \delta) + (F_{Xrr} + F_{Xrl} + F_{x_d}) \sin \beta + (F_{Yrr} + F_{Yrl} + F_{y_d}) \cos \beta \} - \gamma$$

$$\dot{\gamma} = \frac{l_f}{I} \{ (F_{Xfr} + F_{Xfl}) \sin \delta + (F_{Yfr} + F_{Yfl}) \cos \delta \} - \frac{l_r}{I} (F_{Yrr} + F_{Yrl}) + \frac{d_f}{2I} \{ (F_{Xfr} - F_{Xfl}) \cos \delta + (F_{Yfr} - F_{Yfl}) \sin \delta \} - \frac{d_r}{2I} (F_{Xrr} + F_{Xrl}) + \frac{N_d}{I}$$

外乱の y 軸成分

外乱の x 軸成分

外乱の回転モーメント成分

## 車両の動力学モデル

2自由度車両モデル・タイヤモデル

# 車両の動力学モデル

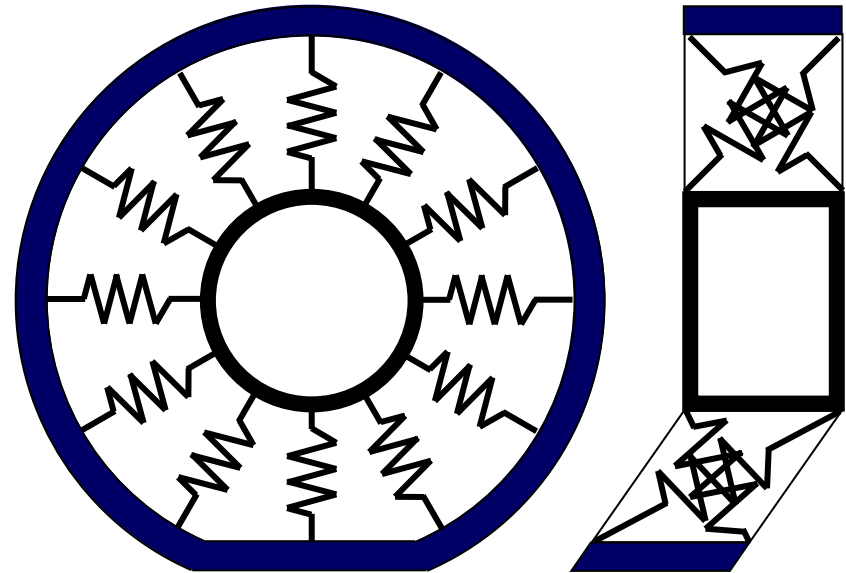
Fiala の円環ビームモデル(右前輪タイヤ)

タイヤモデル

・Magic formula 型

・Fiala 型

etc...



タイヤモデル(右前輪)

$$F_{Yfr}(\beta_{fr}) = \frac{C_1 l^2}{2} \tan \beta_{fr} - \frac{1}{8} \frac{C_1^2 l^3}{\mu p b} \tan^2 \beta_{fr} + \frac{1}{96} \frac{C_1^3 l^4}{\mu^2 p^2 b^2} \tan^3 \beta_{fr}$$

比例係数

接地長さ

摩擦係数

接地圧力の最大値

ドレッドの幅

# 車両の動力学モデル

$$\beta_{fr} = \arctan \left( \frac{v \sin \beta + l_f \gamma}{v \cos \beta + \gamma \frac{d_f}{2}} \right) - \delta$$

$$\beta_{rr} = \arctan \left( \frac{v \sin \beta - l_r \gamma}{v \cos \beta + \gamma \frac{d_r}{2}} \right)$$

$$\beta_{fl} = \arctan \left( \frac{v \sin \beta + l_f \gamma}{v \cos \beta - \gamma \frac{d_f}{2}} \right) - \delta$$

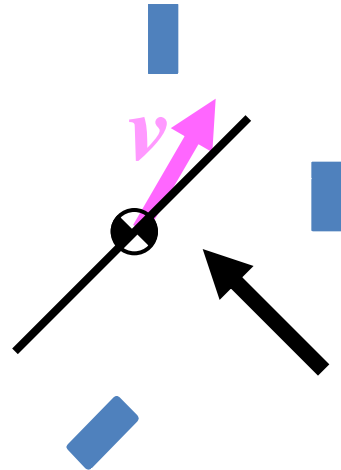
$$\beta_{rl} = \arctan \left( \frac{v \sin \beta - l_r \gamma}{v \cos \beta - \gamma \frac{d_r}{2}} \right)$$

タイヤすべり角

# 車両の動力学モデル

空気密度

車両の代表投影面積



$$F_{x_d} = 0$$

$$F_{y_d} = W_y \rho S \frac{(v \cos \beta)^2 + (v \sin \beta + w)^2}{2}$$

$$N_d = W_n \rho S (l_f + l_r) \frac{(v \cos \beta)^2 + (v \sin \beta + w)^2}{2}$$

$$W_y = C_y \beta_w \text{ : 応力係数}$$

$$W_y = C_n \beta_w \text{ : ヨーイングモーメント係数}$$

比例係数

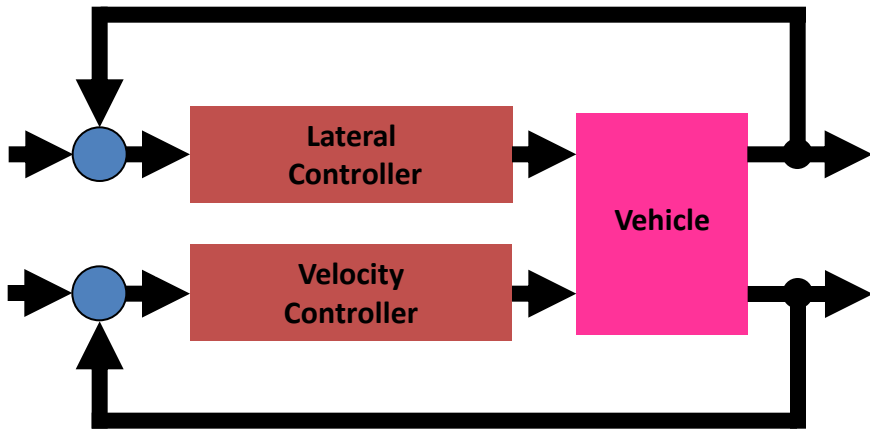
比例係数

風速

$$\beta_w = \arctan \frac{v \sin \beta + w}{v \cos \beta} \text{ : 空力横すべり角}$$

横風モデル

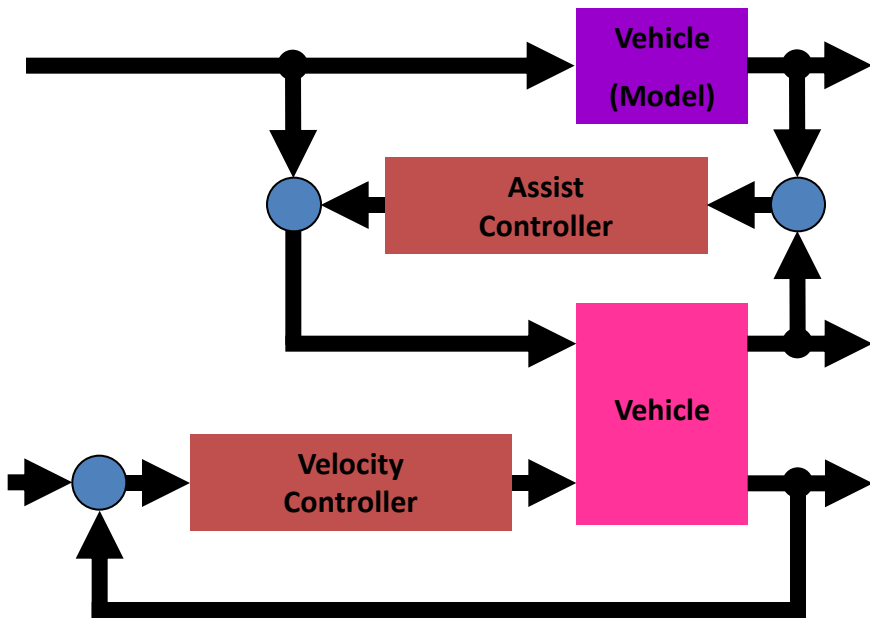
# シミュレーション



ファジィ軌跡追従制御系

Param	Value
$M$	1717[kg]
$I$	2741.9[kg·m <sup>2</sup> ]
$l_f$	1.01[m]
$l_r$	1.68[m]
$d_f$	1.5[m]
$d_r$	1.5[m]
$(x_0(0), y_0(0), \theta(0),)$	$(26, 0, 0.5\pi)$

車両モデルの  
パラメータ

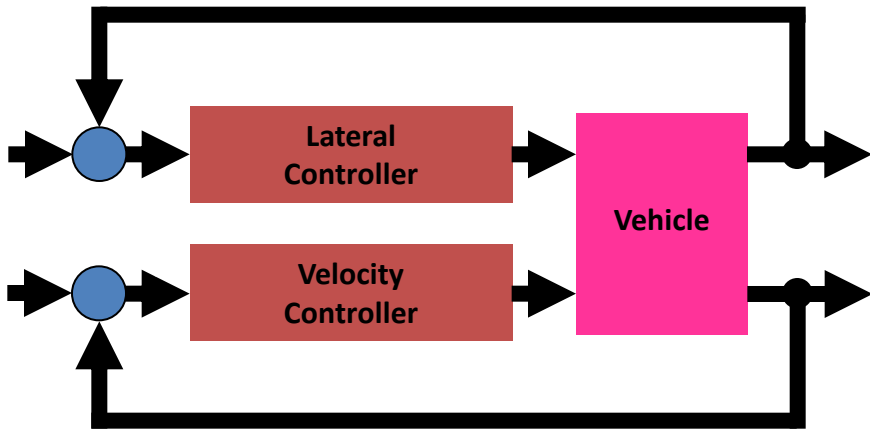


ファジィ操舵アシスト制御系

Param	Value(Lateral, Assist)	Value(Velocity)
$c_1$	0.5	2.5
$c_2$	1.5	18
$c_3$	2.0	5.0
$c_4$	2.0	6000
$c_5$	1.5	3000
$c_6$	0.02	200
$w_1$	7.0	0.3
$w_2$	5.0	0.03
$w_3$	0.02	0.02

ファジィコントローラのパラメータ

# シミュレーション結果 (経路追従, 線形)



ファジィ軌跡追従制御系

$$R_r = 15 + 10 \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad \left(-4\pi < \phi \leq 4\pi, \phi = \arctan\left(\frac{y_0}{x_0}\right)\right)$$

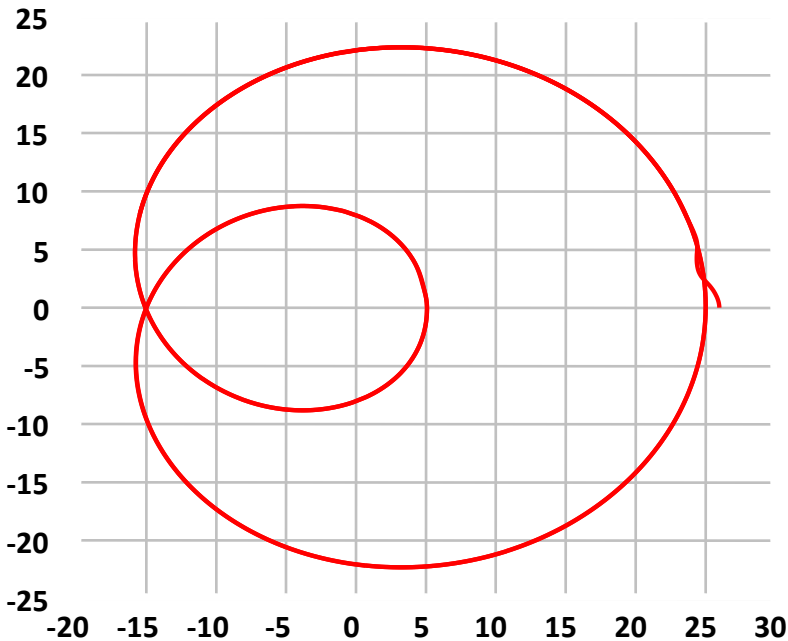
$$v_r = 7.5$$

目標値

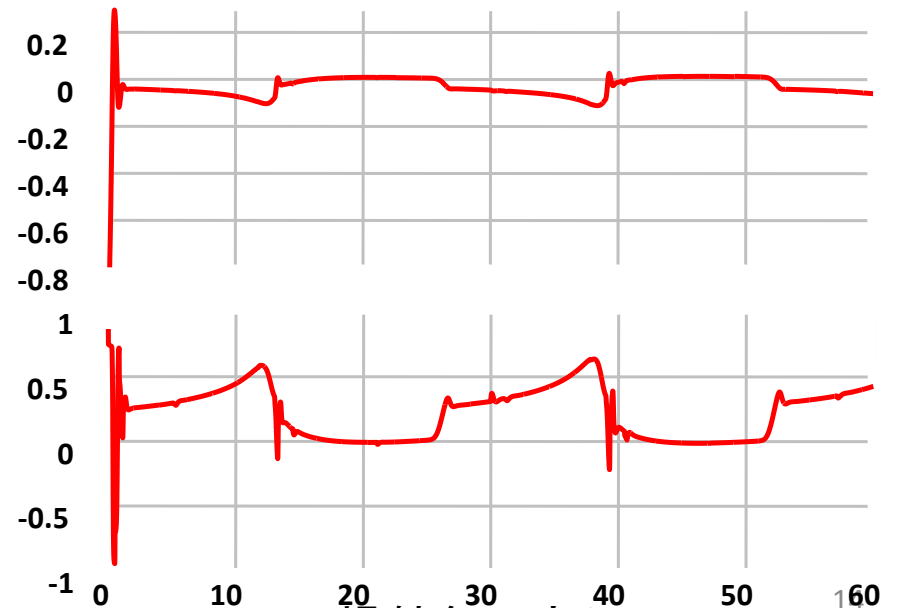
Param	Value ( $t < 30$ )	Value ( $30 \leq t$ )
$C_f$	34455[N/rad]	25703[N/rad]
$C_r$	25703[N/rad]	34455[N/rad]
$v_r(0)$	7.5 [m/s]	-

線形車両モデルのパラメータ

移動軌跡



誤差の変化



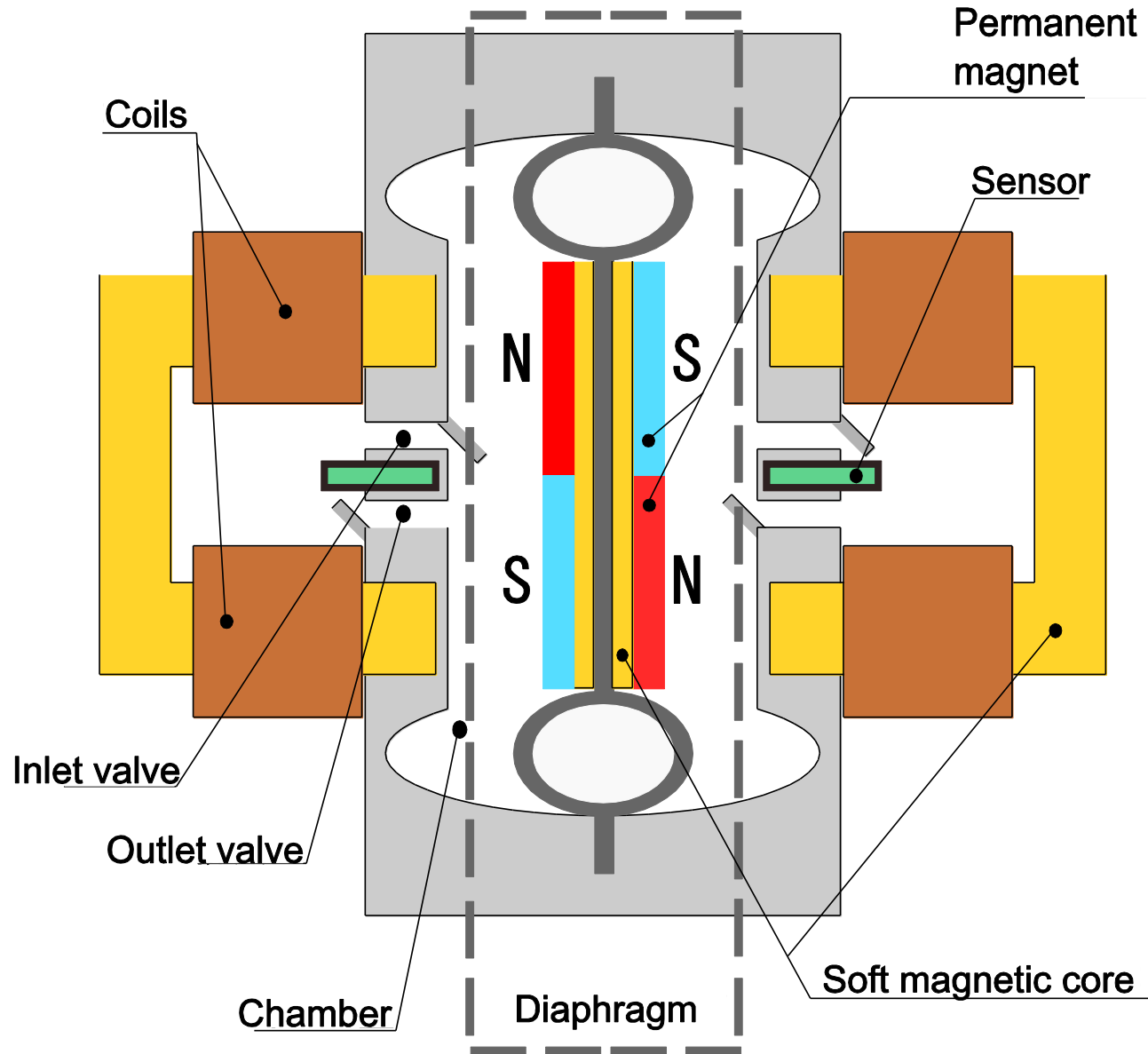
操舵角の変化

# 研究とMaple

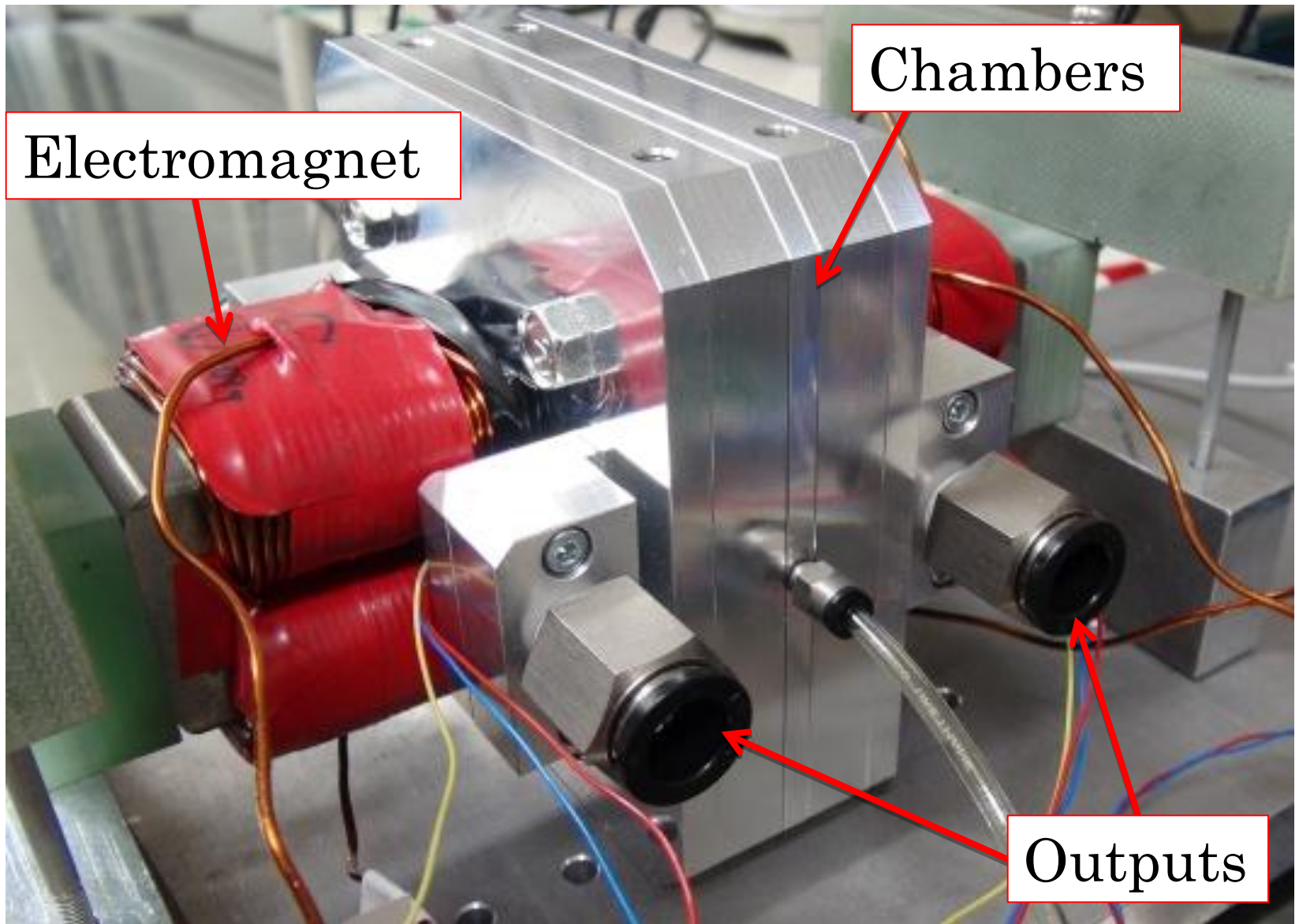
## – 新型電磁駆動式ダイヤフラムポンプ

- Maple (MapleSimなし)を利用してモデル化(ワークシート)
- 制御系の設計(ファジィ制御、ワークシート)
- シミュレーション
- 成果発表

# ポンプの構造





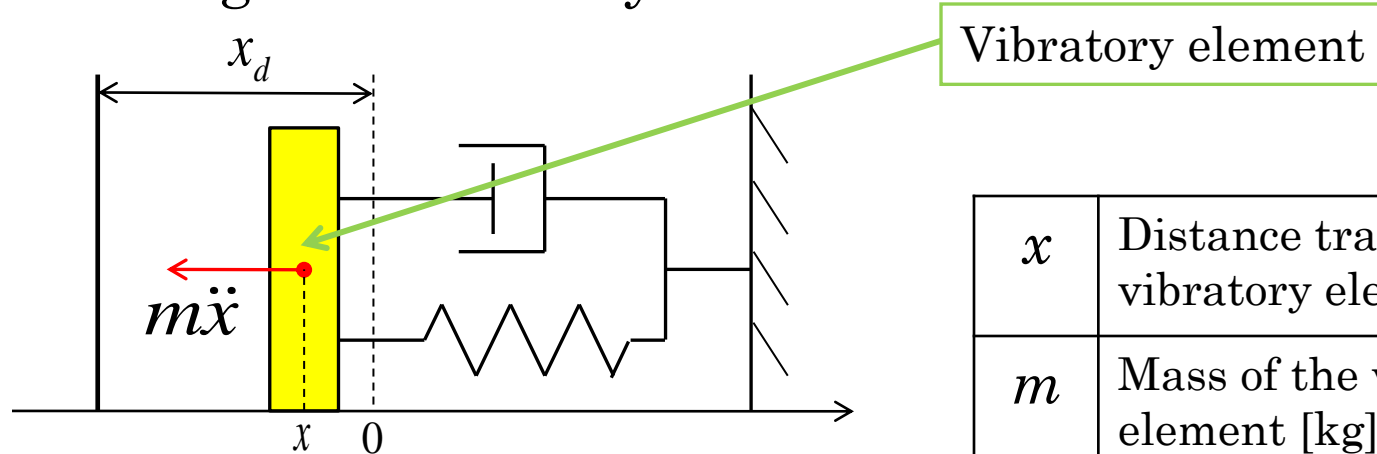


200W × 170D × 125H (mm)

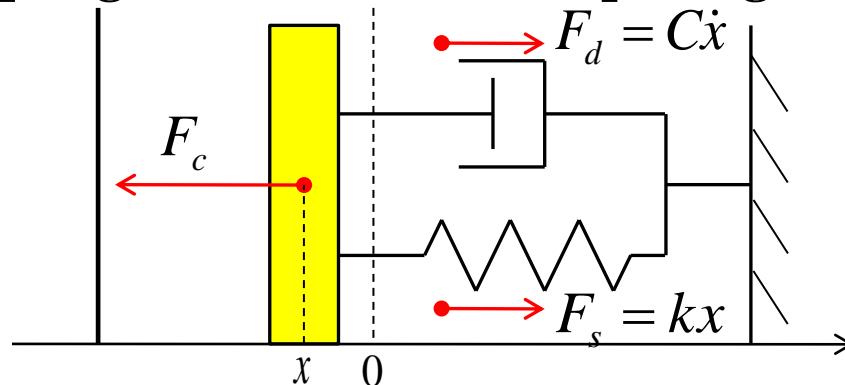
# Electromechanical model

The pump is modeled as a **damper-spring** system.

Force moving the vibratory element



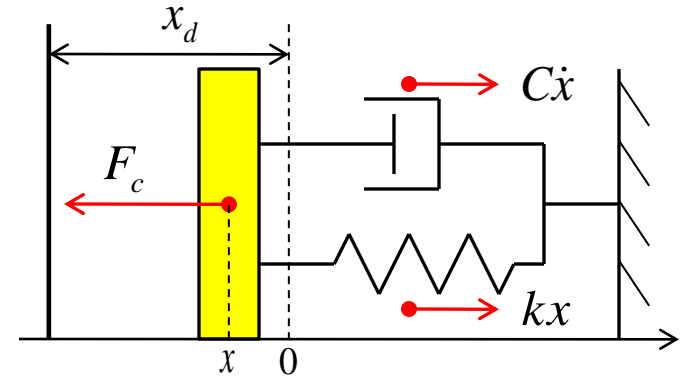
Damping force of the diaphragm



$x$	Distance traveled by vibratory element [m]
$m$	Mass of the vibratory element [kg]
$x_d$	Distance to equilibrium
$k$	Spring constant
$C$	Viscous friction constant

## Force equation

$$\underline{m\ddot{x} = F_c + F_c' - kx - C\dot{x}}$$



## Forces generated by the coils

$$F_c = \frac{\text{sgn}(I_c)K_1 I_c^2 + K_2 I_c + K_3}{(x_d - x)^2}$$

$$F_c' = \frac{\text{sgn}(I_c)K_1 I_c^2 + K_2 I_c + K_3}{(x_d + x)^2}$$

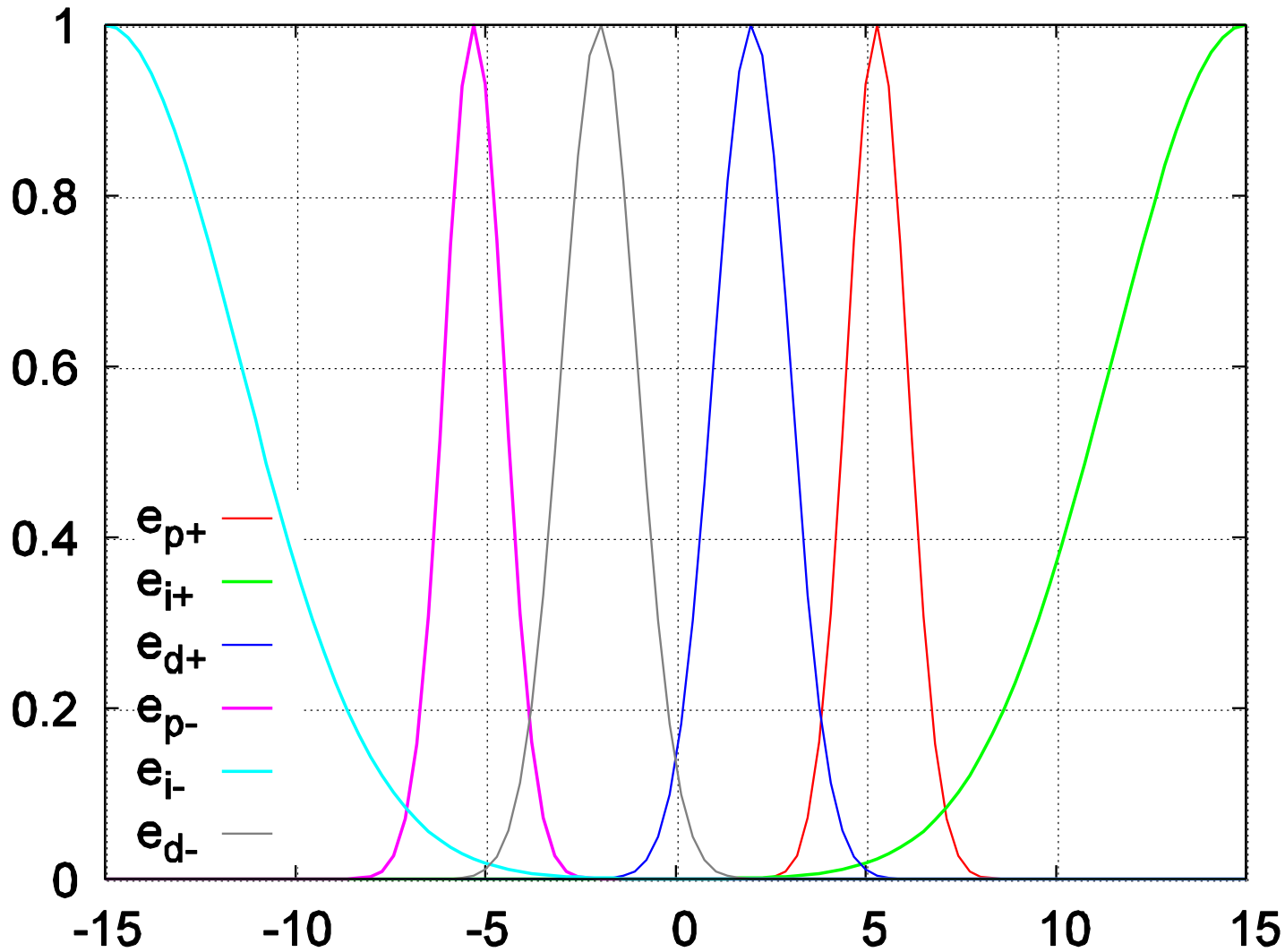
$K_1$	Coil attractive force coefficient
$K_2$	Coil-permanent magnet correlative attractive force coefficient
$K_3$	Permanent magnet attractive force coefficient
$I_c$	Coil current [A]

## Coil current

$$\dot{I}_c = -\frac{R_c + R_s}{L_c} I_c + \frac{1}{L_c} V_c$$

$R_c$	Resistance of coil [ $\Omega$ ]
$R_s$	Resistance of the circuit [ $\Omega$ ]
$L_c$	Inductance of coil [H]
$V_c$	Input voltage [V]

# Membership functions



$q_1$	0.8
$q_2$	0.04
$q_3$	0.5
$c_1$	5.3
$c_2$	15
$c_3$	2
$c_4$	50
$c_5$	0.8
$c_6$	0.05

# Center of gravity defuzzyfier

$$V_{ci} = \frac{\int e_j(z) \mu_j(V_{ci}) dz}{\int e_j(z) dz}$$

