

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)

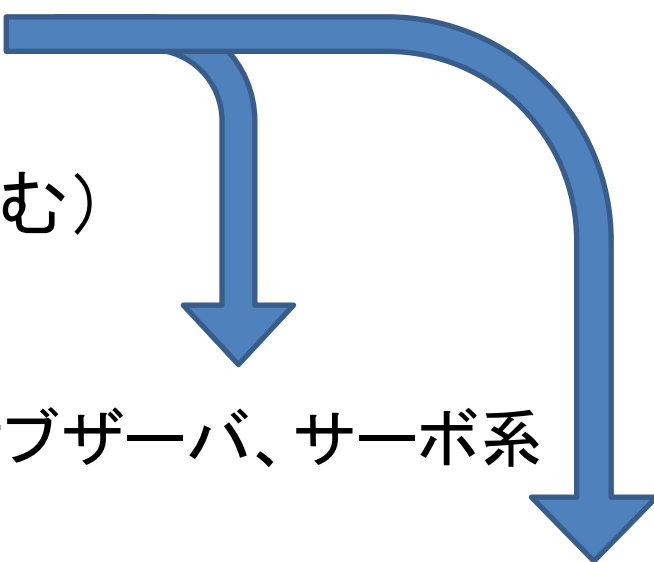


基礎科目内容の**理解**が**重要**である。

(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
- 

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

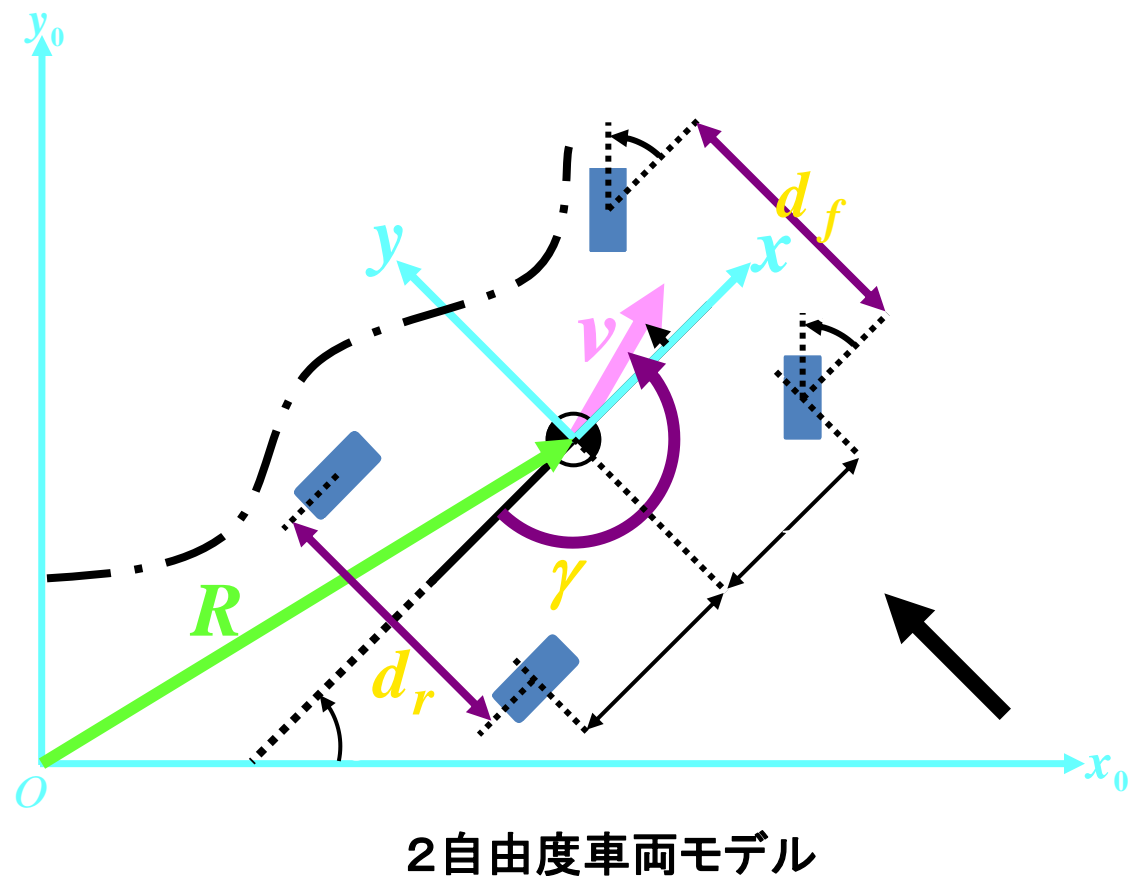
車両の動力学モデル

車両の動力学モデル

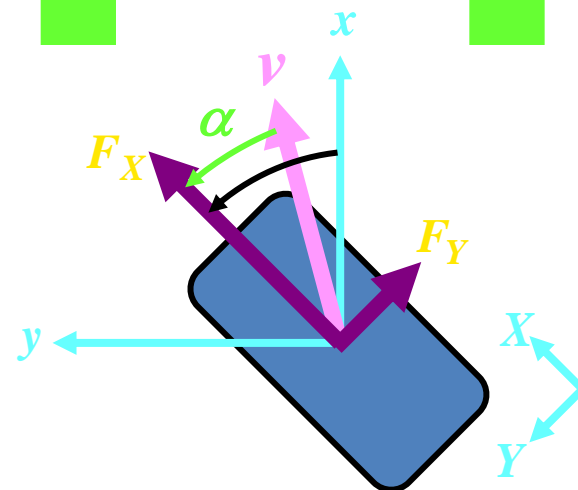
タイヤモデル

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	右前	左前	右後	左後
記号	β_{fr}	β_{fl}	β_{rr}	β_{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

車両の動力学モデル

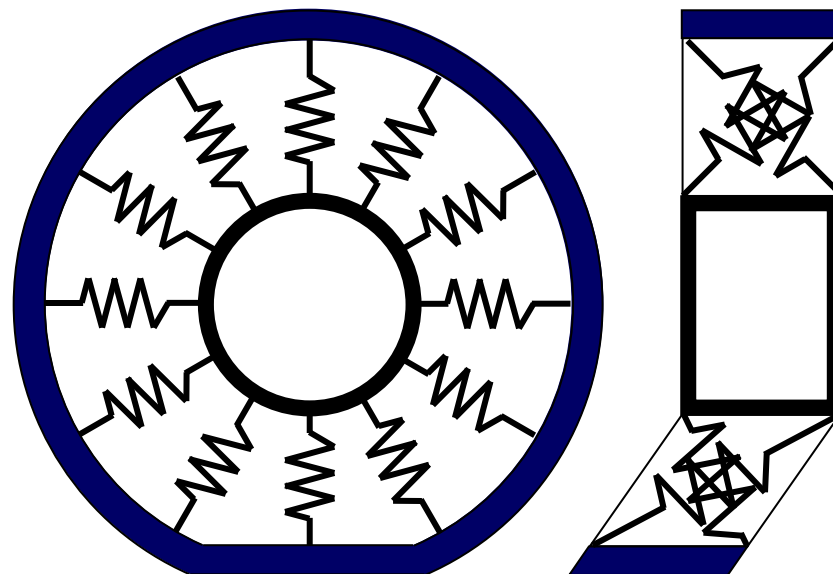
Fiala の円環ビームモデル(右前輪タイヤ)

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

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

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

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

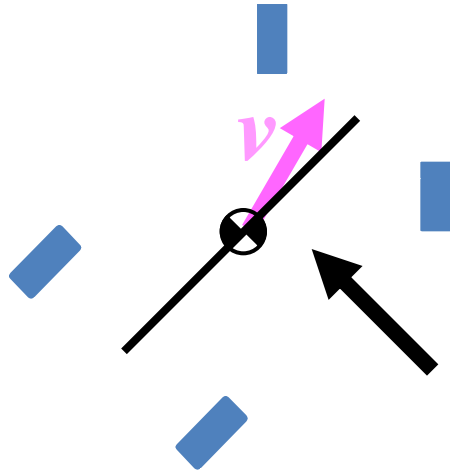
$$\beta_{rl} = \arctan \left(\frac{v \sin \beta - l_r \gamma}{v \cos \beta - \gamma \frac{d_r}{2}} \right)$$

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

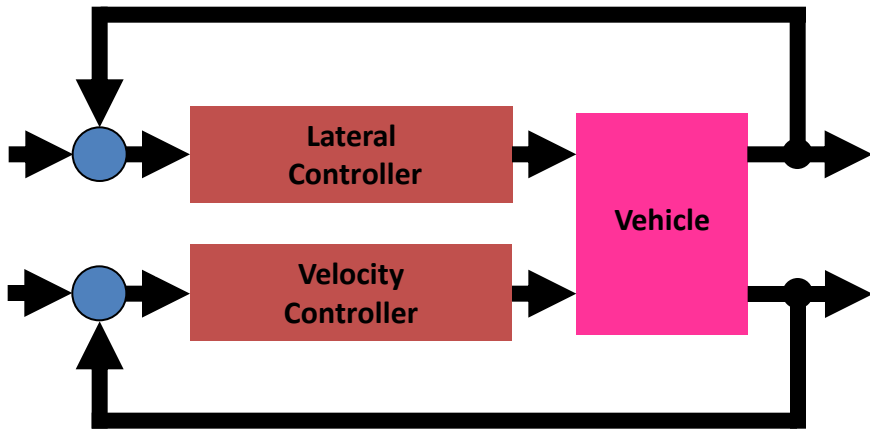
比例係数

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

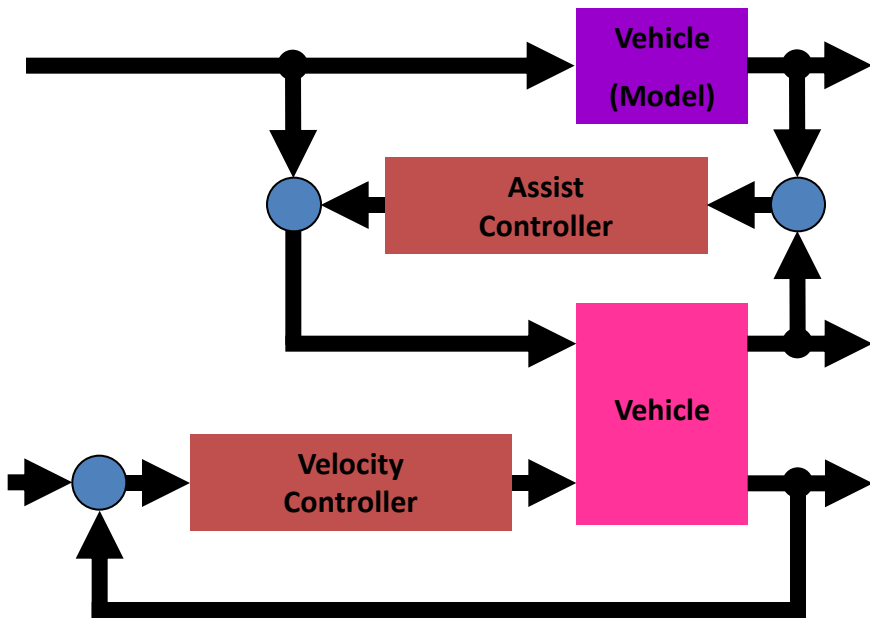
シミュレーション



ファジィ軌跡追従制御系

Param	Value
M	1717[kg]
I	2741.9[kg·m ²]
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

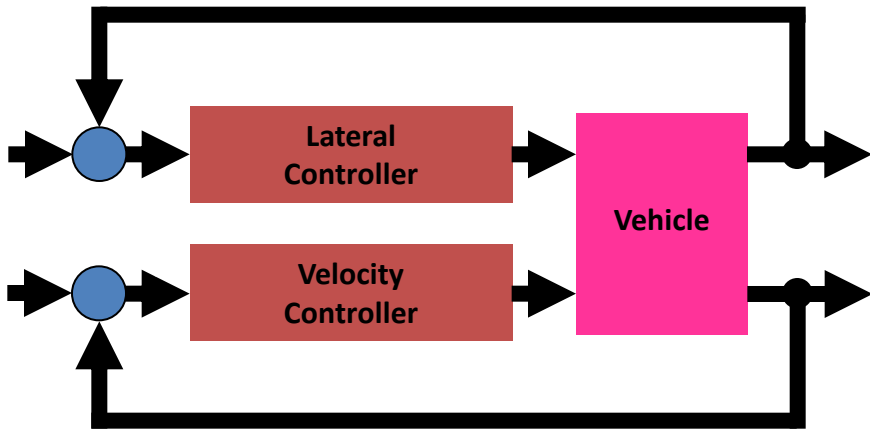


ファジィ操舵アシスト制御系

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

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

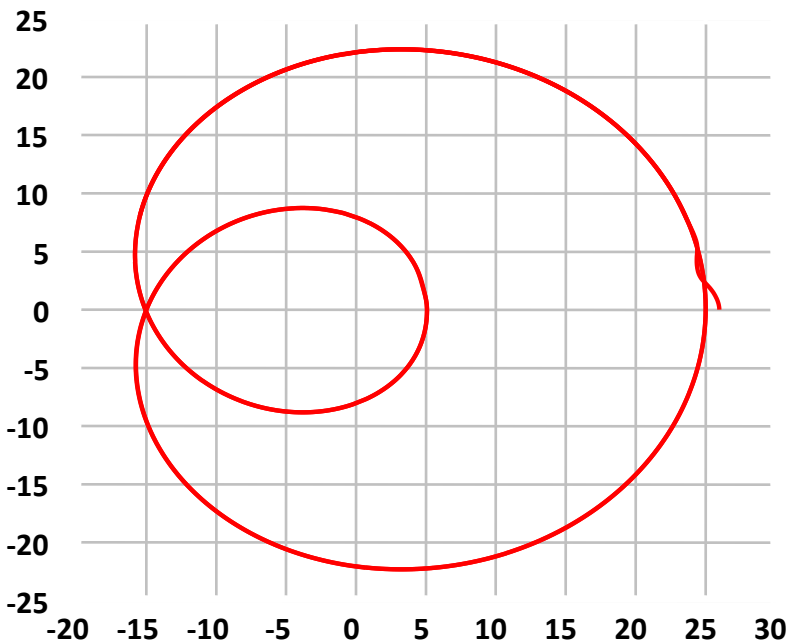
$$v_r = 7.5$$

目標値

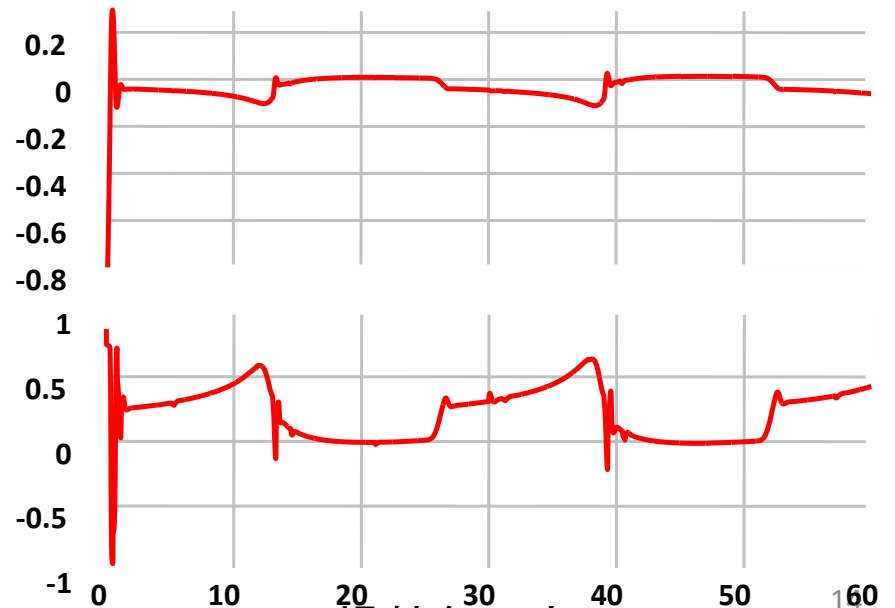
Param	Value ($t < 30$)	Value ($30 \leq t$)
C_f	34455[N/rad]	25703[N/rad]
C_r	25703[N/rad]	34455[N/rad]
$v_r(0)$	7.5 [m/s]	-

線形車両モデルのパラメータ

移動軌跡



誤差の変化



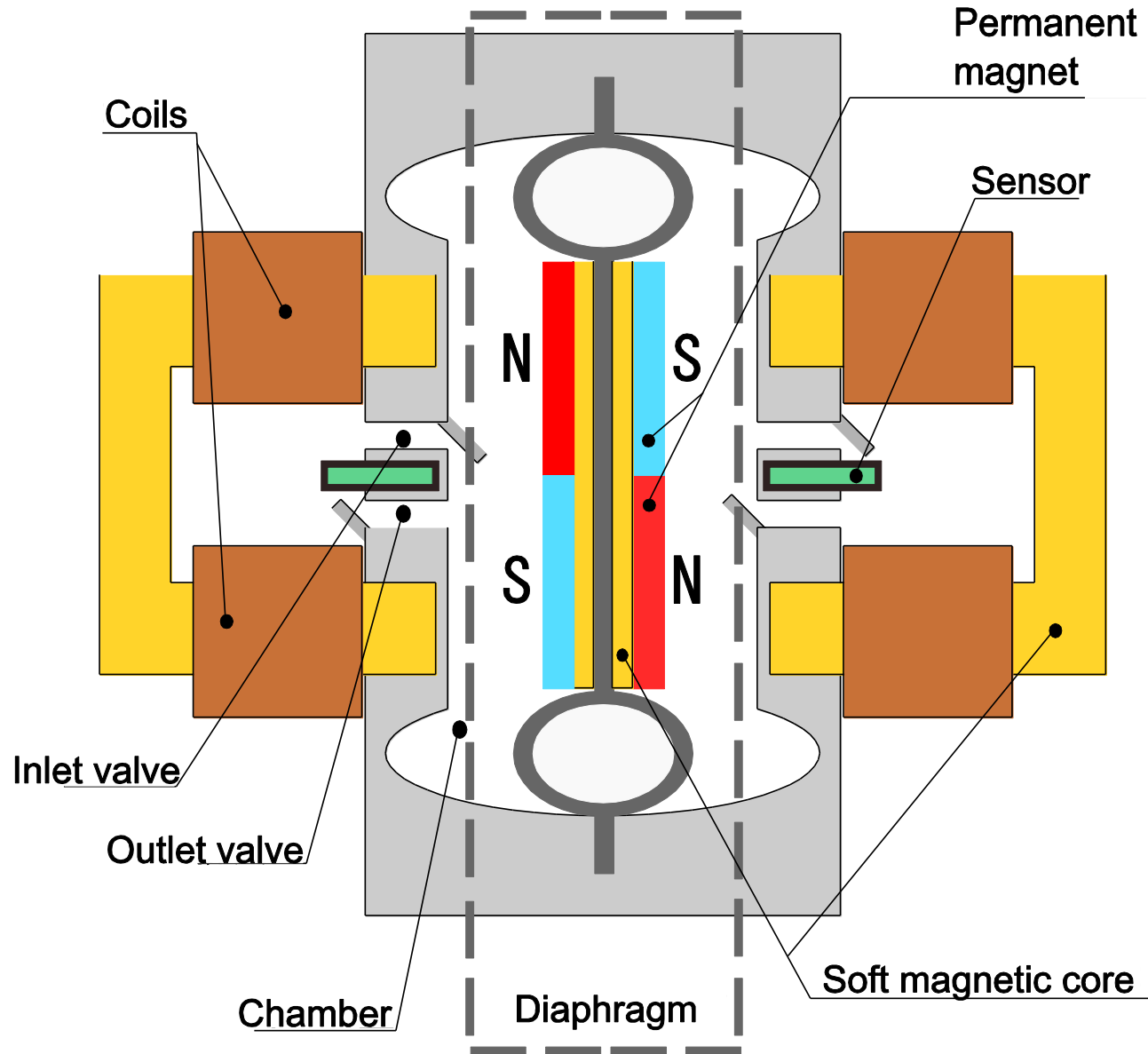
操舵角の変化

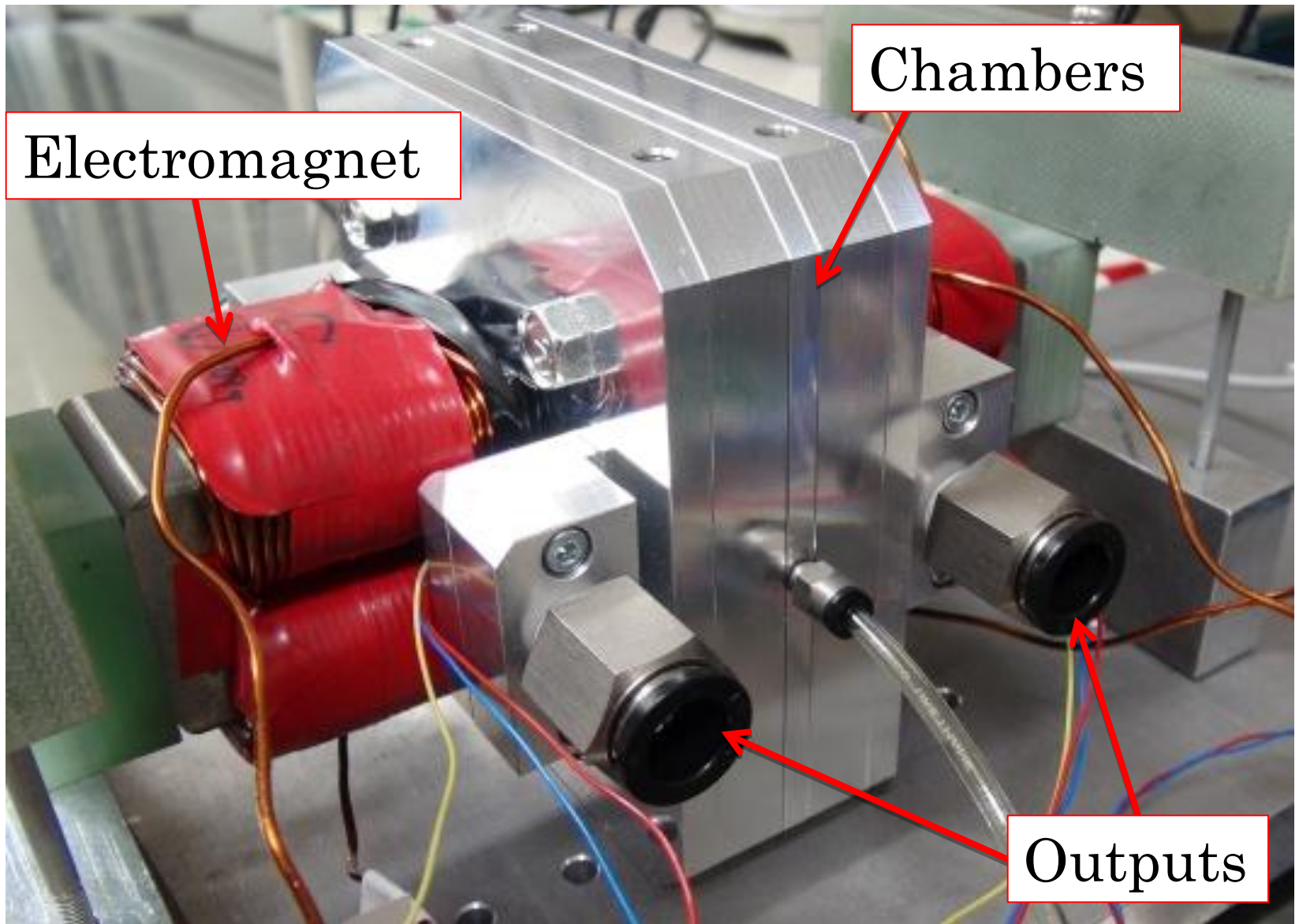
研究とMaple

– 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



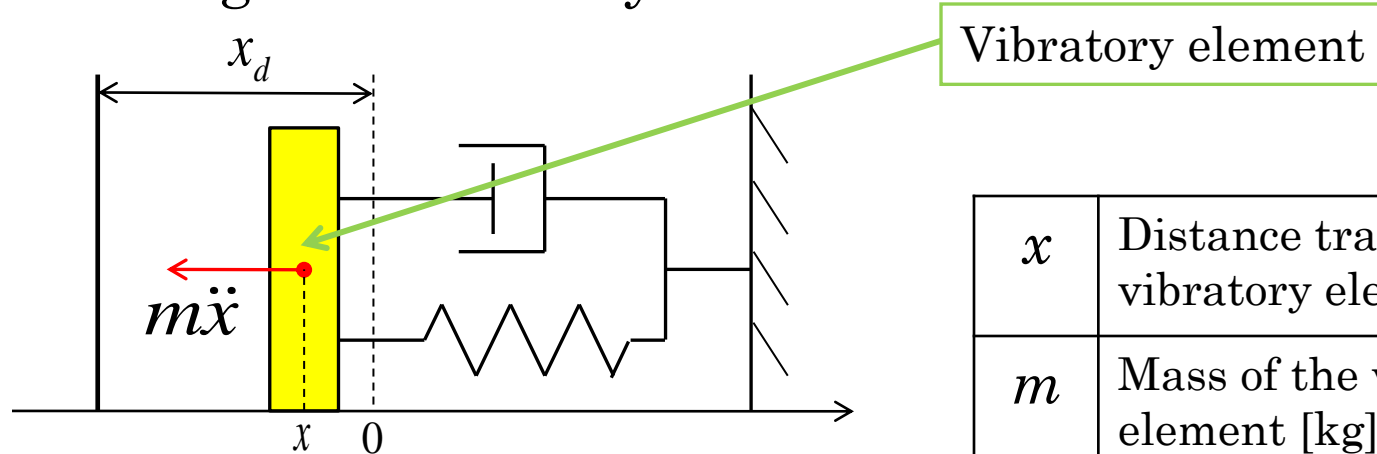


200W × 170D × 125H (mm)

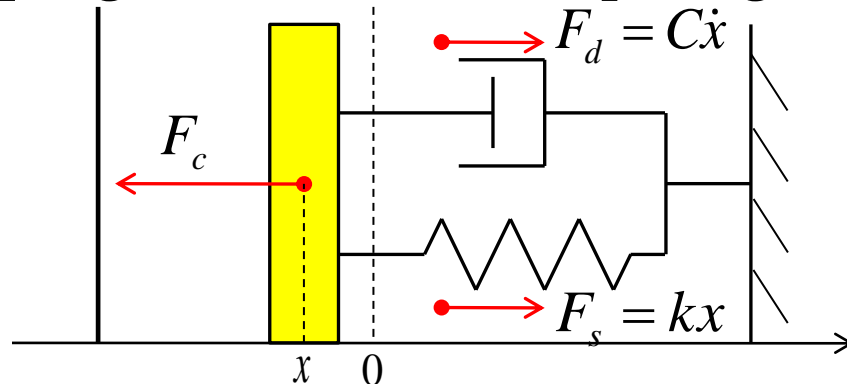
Electromechanical model

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

Force moving the vibratory element



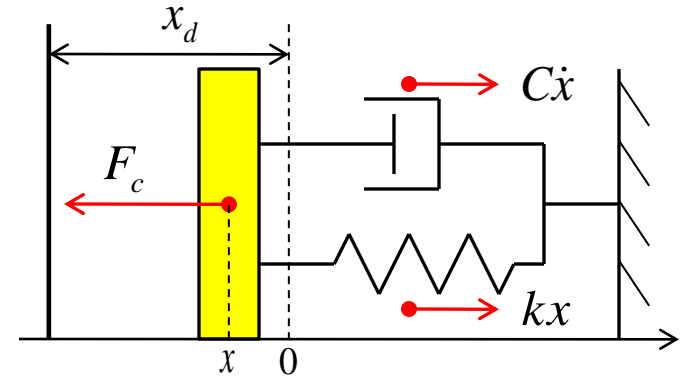
Damping force of the diaphragm



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

$$F_c = \frac{\text{sgn}(I_c)K_1I_c^2 + K_2I_c + K_3}{(x_d - x)^2}$$

$$F_c' = \frac{\text{sgn}(I_c)K_1I_c^2 + K_2I_c + K_3}{(x_d + x)^2}$$

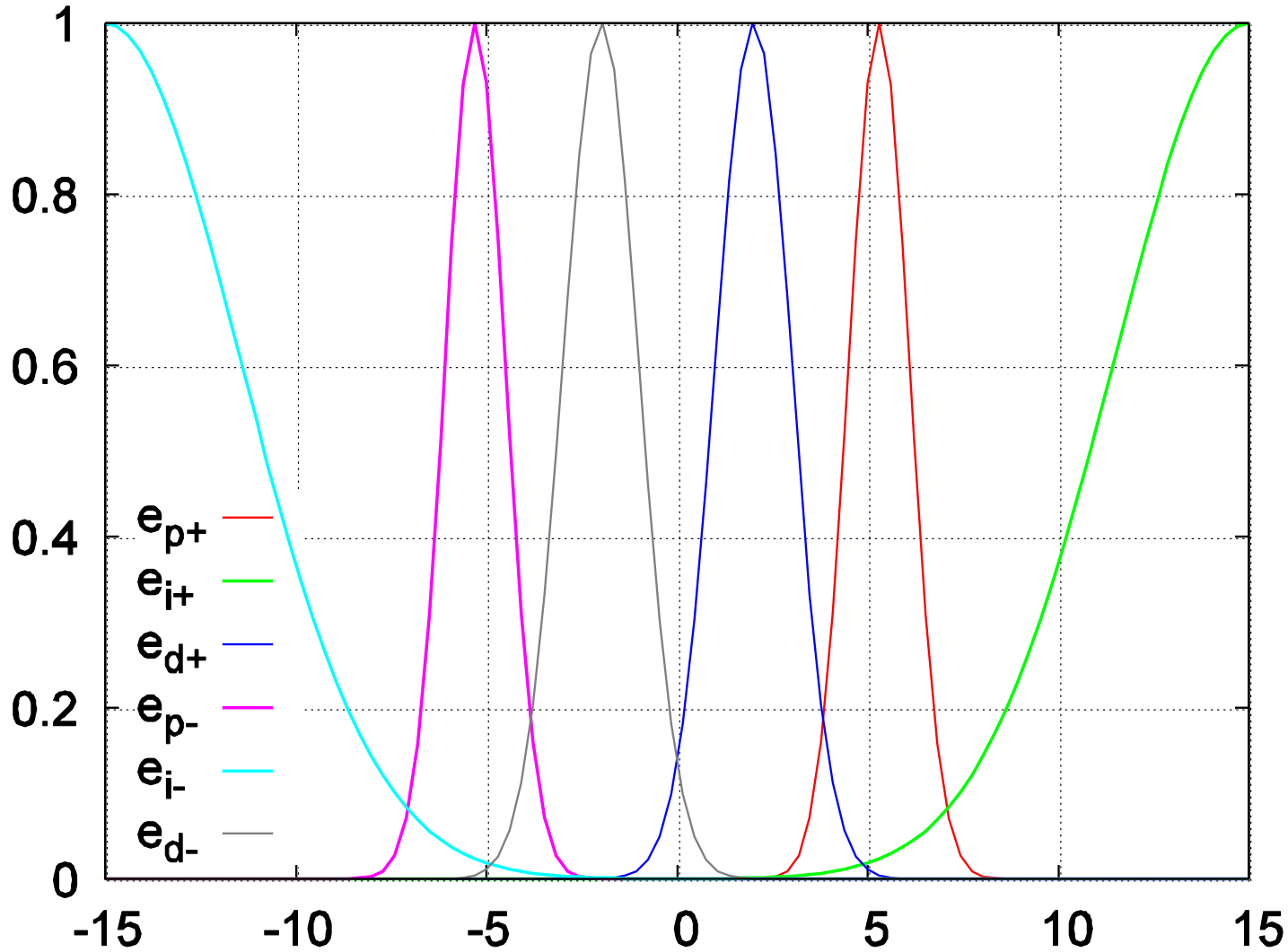
K_1	Coil attractive force coefficient
K_2	Coil-permanent magnet correlative attractive force coefficient
K_3	Permanent magnet attractive force coefficient
I_c	Coil current [A]

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 [Ω]
R_s	Resistance of the circuit [Ω]
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

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

