

流体環境の変化に応じてヘビ型ロボットの運動パターンを変化させる制御則の獲得

大阪公立大学 工学研究科 木元剛士

Motivation and objective

研究背景

ヘビ型ロボットはハードウェアの能力上、陸上や水中を含む多様な環境下で活動ができる可能性がある。一方で、制御の都合により運動パターンが固定されていることが多く、環境の変化に運動を適応させることができず、進行不能に陥る恐れがあるのが実情である。そこで現在、自律的にヘビ型ロボットの運動を変化させる研究を行っている。まずは、運動の選択肢の狭い液体環境を想定し、後の研究で陸上環境へ拡張するために強化学習を用いて自律移動を行おうとしている。

ヘビ型ロボットとそのモデル化



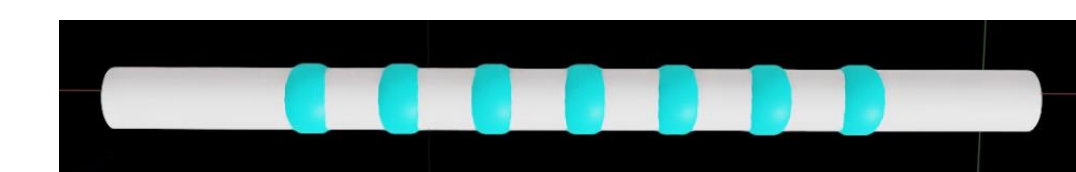
ロボット



実験時にはゴムカバーで覆う

- 円柱リンク
- 全長 1.5 m
- 総質量: 5.5 kg
- 7関節, 8リンク
- 各関節に仮想的な回転バネとダンパ

$$\mathbf{u} := -k_{\text{body}}\boldsymbol{\phi} - c_{\text{body}}\dot{\boldsymbol{\phi}} + \mathbf{u}_{\text{in}}$$



モデル

ヘビ型ロボットが流体から受ける力

運動の探索に使える簡易モデル

$$1. \text{境界層圧縮を考慮した摩擦抵抗: } f_v = C_v \sqrt{|v_n|} |v_t| \text{ (接線方向)} \quad C_v := c_v \rho_f \pi d \sqrt{v} l$$

$$2. \text{摩擦抵抗: } f_\mu = C_\mu \sqrt{|v_t|} |v_t| \text{ (接線方向)} \quad C_\mu := c_\mu \rho_f \pi d \sqrt{v} l$$

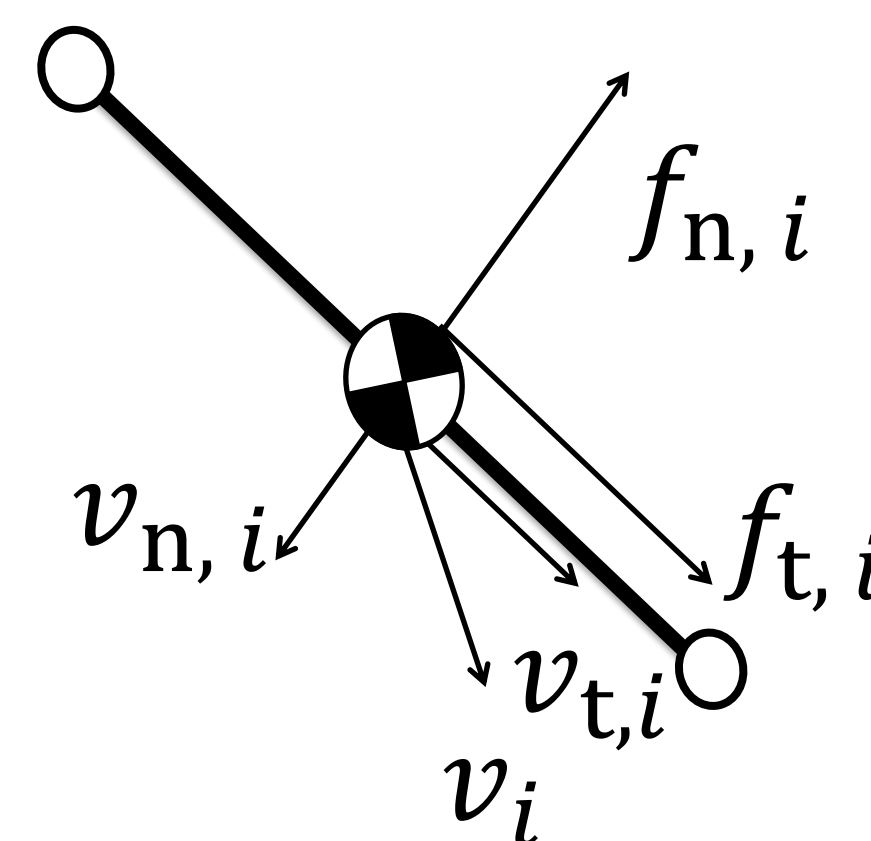
$$3. \text{付加質量: } f_{\text{add}} = m_{\text{add}} \dot{v}_n \text{ (法線方向)} \quad m_{\text{add}} := \frac{\pi d^2}{4} c_A \rho_f l$$

$$f_n = C_n |v_n| v_n \text{ (法線方向)} \quad C_n := \frac{1}{2} c_n (Re_n) \rho_f dl$$

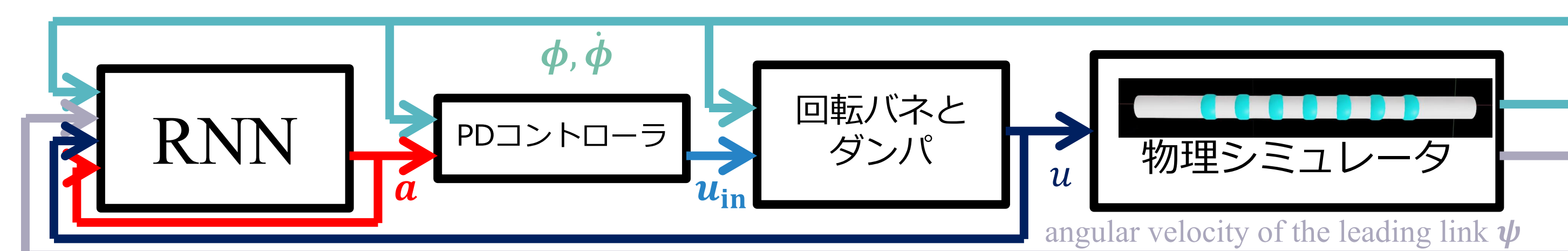
$$4. \text{圧力抵抗: } f_t = C_t |v_t| v_t \text{ (接線方向)} \quad C_t := \frac{1}{2} c_t \rho_f \pi dl$$

$c_A, c_n, c_t, c_\mu, c_v$: 先行研究で推定 [1]

広範なレイノルズ数領域に適用可能なモデル



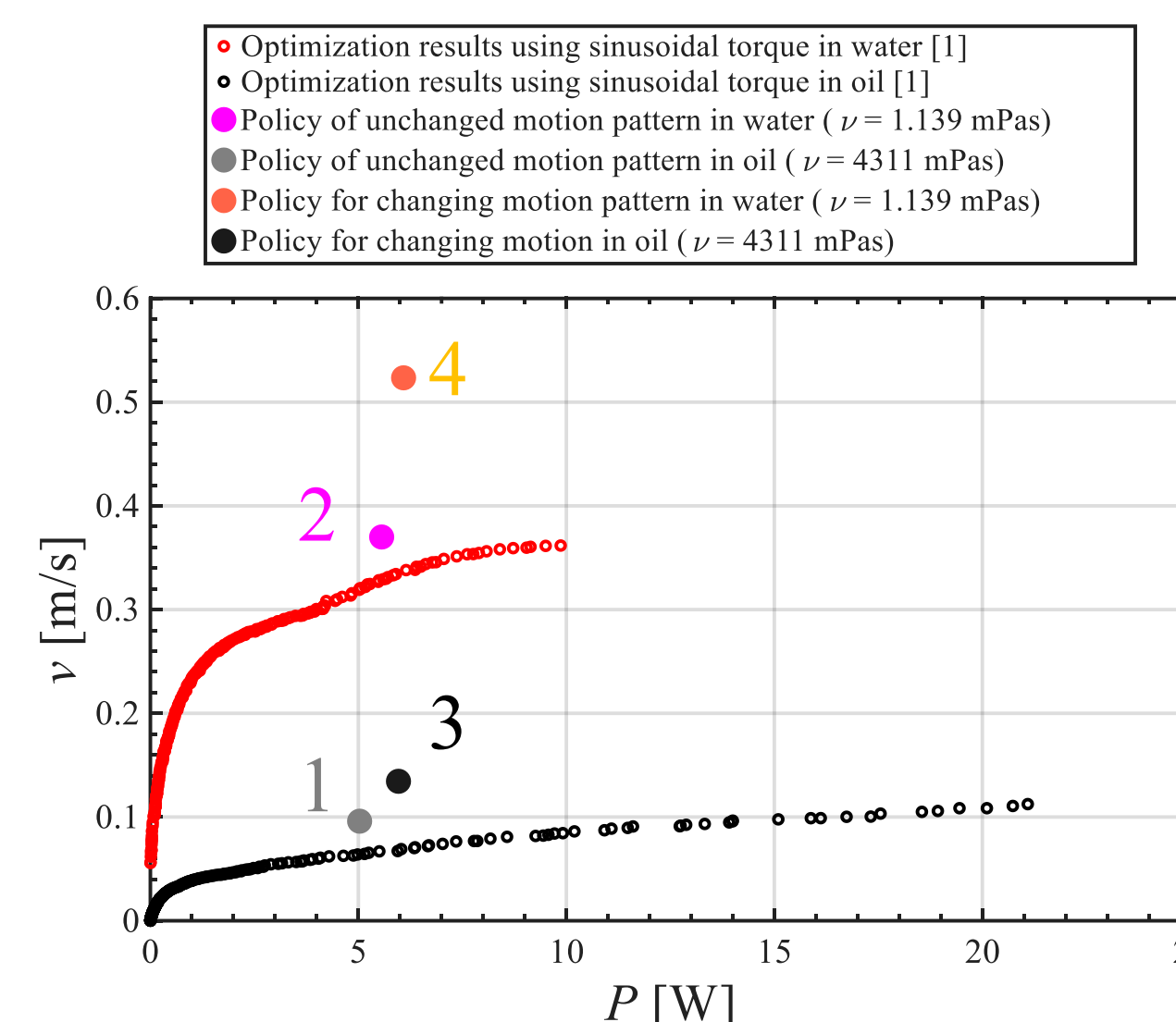
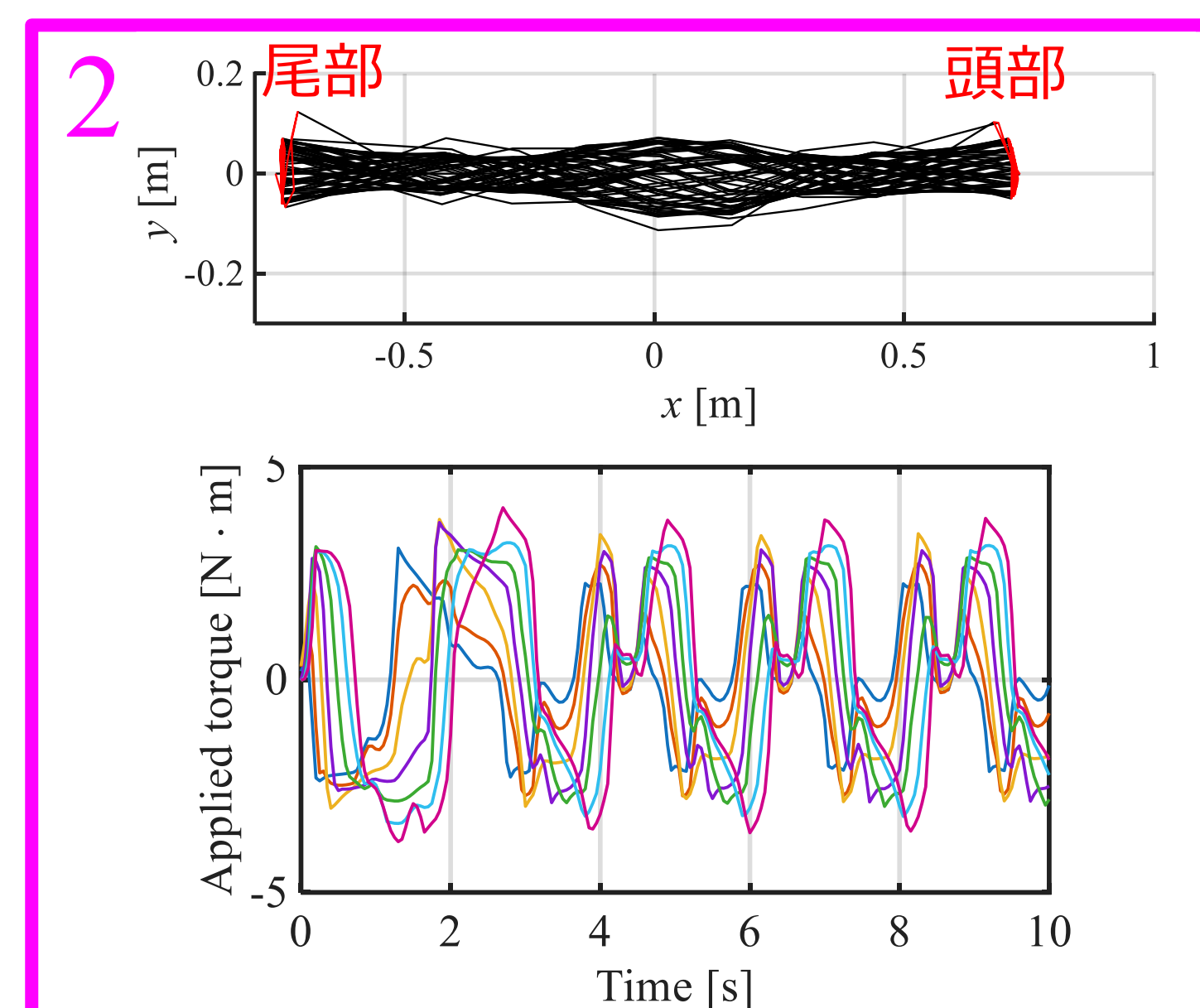
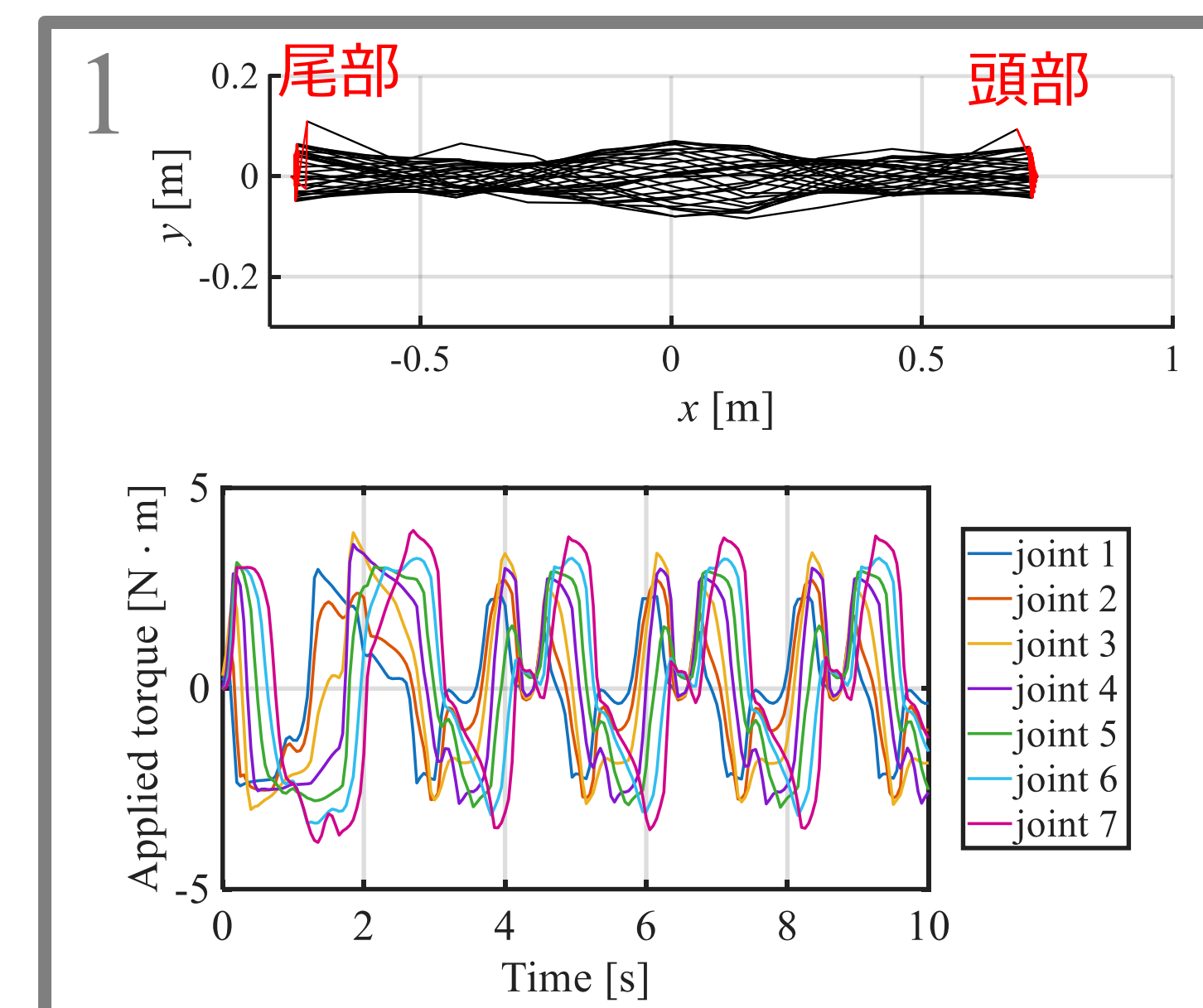
強化学習の構成



- 流体の動粘度の範囲: $10^{-7} \leq \mu \leq 10^{-2}$
- 学習アルゴリズム: PPO

学習の結果

センサ情報だけを用いた場合



- センサによる情報だけでは、流体の変化に対して運動パターンは変化しなかった（水でも高粘性流体中でも振動数が0.467 Hz）。

- センサ以外の情報（流体の動粘度）も含めることで、運動パターンが変化することを確認した。

- 現在、センサ以外の情報を用いて成功した運動パターン変化を、センサ情報だけを使って真似させる学習を実施中

センサ以外の情報（流体の動粘度）も含めた場合

