

宇都宮大学  
Utsunomiya University

\*この資料のURL <http://edu.katzlab.jp/misc/FightingRobo.pdf>

# 対戦格闘から ロボティクスへ

宇都宮大学大学院工学研究科  
機械知能工学専攻 吉田勝俊

宇都宮大学  
Utsunomiya University

## 講師の紹介

- ▶ 名前: 吉田 勝俊
- ▶ 所属: 宇都宮大学大学院 工学研究科
- ▶ 教育分野
  - ▶ 機械力学, 機構学, 制御工学
  - ▶ 担当: 機械システム工学科, 機械知能工学専攻
- ▶ 研究分野
  - ▶ 非線形力学, 確率力学, ヒューマンダイナミクス

▶ 2 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

宇都宮大学  
Utsunomiya University

## 宇都宮大学 (駅から 3km 前後)

▶ 3 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

宇都宮大学  
Utsunomiya University

## 講師の所属

▶ 4 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

宇都宮大学  
Utsunomiya University

## メンバー

- ▶ 教員: 1名 (吉田)
- ▶ 学生: 15名
  - ▶ 博士1年: 1名
  - ▶ 修士2年: 5名
  - ▶ 修士1年: 4名
  - ▶ 学部4年: 5名
- ▶ 指導方針
  - ▶ お前らでどうにかしろ

▶ 5 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

宇都宮大学  
Utsunomiya University

## 吉田研究室 (保有技術)

- ▶ 力学と制御 (院生は全員できる?)
  - ▶ カ学シミュレーション
  - ▶ 制御系設計, 人工知能
- ▶ プログラミング (院生は全員できる?)
  - ▶ グラフィックス, 画像解析
  - ▶ マンマシン・インターフェース
  - ▶ 科学技術計算
- ▶ 文系の手法
  - ▶ 社会心理学, 感性評価など
  - ▶ ゲーム理論, 利害分析など

NASAの実験

吉田研のシミュレーション

▶ 6 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 本日の発表内容

- ▶ 自己紹介
- ▶ 研究紹介「対戦格闘からロボティクスへ」
  - ▶ 研究の背景
  - ▶ 競争・協調の機械モデル
  - ▶ 「手押し相撲ロボ」への挑戦？
  - ▶ バランスゲームによる性格検査？
- ▶ 宇都宮大学の紹介
- ▶ その他, 進路に関する話題提供(時間があれば)

▶ 7 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

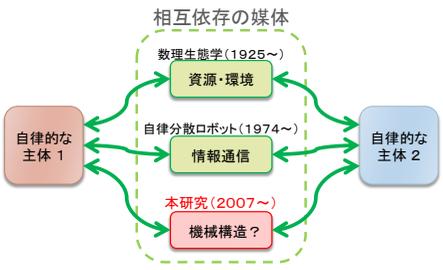
### 最近のメインテーマ



- ▶ **どんな動きか？**
  - ▶ 結合ダイナミクス
  - ▶ 大振幅の非線形応答
- ▶ **どんな制御か？**
  - ▶ 制御則の解明
  - ▶ フェイントの解明など
- ▶ **どんな心理か？**
  - ▶ 個体差の類型化
  - ▶ 制御器のヒント

▶ 8 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 研究の位置づけ (1/2)



相互依存の媒体

- 数理生態学(1925~)
- 資源・環境
- 自律分散型ロボット(1974~)
- 情報通信
- 本研究(2007~)
- 機械構造?

自律的な主体 1      自律的な主体 2

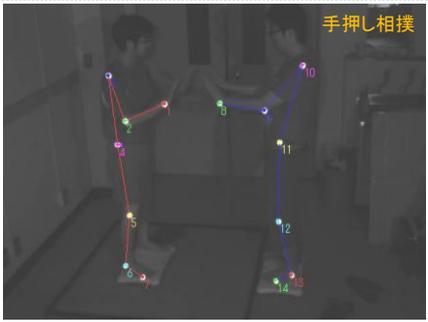
▶ 9 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 研究の位置づけ (2/2)

- ▶ 数理生態学
  - ▶ 1925, 1926 ロトカ・ヴォルテラ方程式
- ▶ 自律分散型ロボットシステム
  - ▶ 1974 中野ほか, Cooperational control of the anthropomorphic manipulator "MELARM"
  - ▶ 1989 内山ほか, 両手ロボットの対称型運動学と非マススレーブ協調制御
  - ▶ 1989 Kazerooni, Human Machine Interaction via the Transfer of Power and Information Signals
- ▶ 結合振子系: 非線形解析&心理学的測定 **《本研究》**
  - ▶ 2007 ~ 機械的な競争モデルの構成……………競争・協調の機械モデル
  - ▶ 2011 ~ 対戦的な制御アルゴリズムに関する研究……………手押し相撲への接近
  - ▶ 2011 ~ ヒトの反射運動を検査情報とする性格検査……………性格検査への応用
- ▶ 結合振子系: 線形解析
  - ▶ 1962 井口, 2人以上の制御者を含む手動制御系
  - ▶ 1978, 1980 杉江ほか, 結合倒立振子の安定化制御, 分散極配置

▶ 10 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

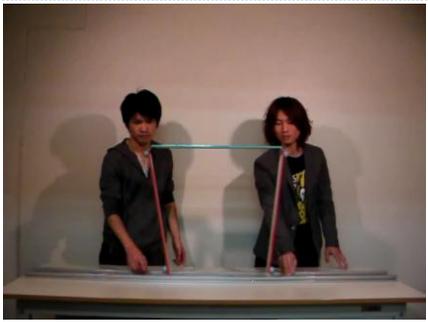
### 【例題1】競争バランス



手押し相撲

▶ 11 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 【例題2】協調バランス



▶ 12 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

発表内容

宇都宮大学

競争・協調の機械モデル

「手押し相撲ロボ」への挑戦?

バランスゲーム型性格検査?

13 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

結合倒立振り子モデル [機論741]

宇都宮大学

▶ 倒立安定化コントローラ×2

$$u_i = K \sin \theta_i + L \dot{\theta}_i \cos \theta_i \quad (i = 1, 2)$$

※ 水平方向の相対変位, および時間微分

14 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

運動方程式 (penalty法) [JSDD 2-3]

宇都宮大学

▶ 微分代数方程式 → 常微分方程式

$$\begin{cases} \ddot{x}_j + C_x \dot{x}_j = -\frac{2}{mQ(\theta_j)} u_j + G_x(\theta_j) \\ \quad + C_l \frac{H_x(\theta_j)l}{(-1)^j \cdot l} + K_l \frac{2H_x(\theta_j)(l-l_0)}{(-1)^j \cdot l} \\ \ddot{\theta}_j + C_\theta \dot{\theta}_j = \frac{2 \cos \theta_j}{mrQ(\theta_j)} u_j + G_\theta(\theta_j) \\ \quad + C_l \frac{H_\theta(\theta_j)l}{(-1)^j \cdot l} + K_l \frac{2H_\theta(\theta_j)(l-l_0)}{(-1)^j \cdot l} \end{cases} \quad (j = 1, 2)$$

15 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

初期値依存性

宇都宮大学

16 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

フラクタル的な初期値依存性 [機論753]

宇都宮大学

▶ 相関次元 ≒ 1.9 程度のフラクタル性

17 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

インパルス応答のフラクタル性

宇都宮大学

▶ 相関次元 ≒ 1.86 程度のフラクタル性

18 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 実験装置の試作 [機論776]

Y  
X

Pendulum rod  
Permanent magnet  
Frame  
Adjustment screw  
Bearing magnet  
Shaft  
Ferromagnetic cam

19 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 解析モデルの導出(1/2) [機論776]

$$\begin{cases} M_1 \ddot{x}_1 + M_5 \dot{\theta}_1 + M_2 \ddot{x}_2 + M_6 \dot{\theta}_2 + C_1 \dot{x}_1 + \mu_{12} \operatorname{sgn} \dot{x}_1 - \frac{m_1 r^2}{2} \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 - \frac{m_1 r}{4} (\sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 - \sin \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2^2) \\ + \frac{1}{2} \left\{ \frac{d}{dt} \left( l_1 \frac{\partial R}{\partial \dot{x}_1} \right) + \frac{\partial R l_1}{\partial \dot{x}_1} \right\} + \frac{K_1}{2} \frac{\partial (l-l_0)^2}{\partial x_1} + \frac{C_1}{2} \frac{\partial (l')^2}{\partial \dot{x}_1} = 0 \\ M_3 \ddot{x}_1 + M_7 \dot{\theta}_1 + M_5 \ddot{x}_2 + M_6 \dot{\theta}_2 + C_6 \dot{\theta}_1 + \mu_{61} \operatorname{sgn} \dot{\theta}_1 + \frac{m_1 r^2}{4} \sin(\theta_1 - \theta_2) \cdot \dot{\theta}_1^2 \\ + \frac{1}{2} \left\{ \frac{d}{dt} \left( l_1 \frac{\partial R}{\partial \dot{\theta}_1} \right) + \frac{\partial R l_1}{\partial \dot{\theta}_1} \right\} + mgr \sin \theta_1 + \tau_1 + \frac{K_1}{2} \frac{\partial (l-l_0)^2}{\partial \theta_1} + \frac{C_1}{2} \frac{\partial (l')^2}{\partial \dot{\theta}_1} = 0 \\ M_2 \ddot{x}_1 + M_5 \dot{\theta}_1 + M_1 \ddot{x}_2 + M_4 \dot{\theta}_2 + C_1 \dot{x}_2 + \mu_{12} \operatorname{sgn} \dot{x}_2 - \frac{m_1 r^2}{2} \sin \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 - \frac{m_1 r}{4} (\sin \theta_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 - \sin \theta_1 \cdot \dot{\theta}_1^2) \\ + \frac{1}{2} \left\{ \frac{d}{dt} \left( l_1 \frac{\partial R}{\partial \dot{x}_2} \right) + \frac{\partial R l_1}{\partial \dot{x}_2} \right\} + \frac{K_1}{2} \frac{\partial (l-l_0)^2}{\partial x_2} + \frac{C_1}{2} \frac{\partial (l')^2}{\partial \dot{x}_2} = 0 \\ M_6 \ddot{x}_1 + M_9 \dot{\theta}_1 + M_4 \ddot{x}_2 + M_8 \dot{\theta}_2 + \mu_{62} \operatorname{sgn} \dot{\theta}_2 - \frac{m_1 r^2}{4} \sin(\theta_1 - \theta_2) \cdot \dot{\theta}_2^2 \\ + \frac{1}{2} \left\{ \frac{d}{dt} \left( l_1 \frac{\partial R}{\partial \dot{\theta}_2} \right) + \frac{\partial R l_1}{\partial \dot{\theta}_2} \right\} + mgr \sin \theta_2 + \tau_2 + \frac{K_1}{2} \frac{\partial (l-l_0)^2}{\partial \theta_2} + \frac{C_1}{2} \frac{\partial (l')^2}{\partial \dot{\theta}_2} = 0 \end{cases}$$

20 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 解析モデルの導出(2/2) [機論776]

実験結果

解析モデル

21 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 発表内容

競争・協調の機械モデル

「手押し相撲ロボ」への挑戦?

バランスゲーム型性格検査?

22 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 手押し相撲

- ▶ 真似する機械を作る
- ▶ 基礎
  - ▶ 力学と制御
  - ▶ 知能
  - ▶ ロボット工学
- ▶ 応用
  - ▶ スポーツ科学
  - ▶ 福祉工学

23 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 手押し相撲の特徴と定式化

- ▶ エージェントの基本戦略 (バランスの維持と破綻)
  - ▶ 自分を, 特定の安定平衡点の吸引域に留める.
  - ▶ 相手を, 不安定平衡点 (鞍点) 付近に追い込む.
- ▶ フェイントの応酬
  - ▶ 一撃で倒せるなら, フェイントは要らない.
  - ▶ 勝利をもたらす多段入力:
 
$$u(t) = \underbrace{P_1 \delta(t-t_1) + P_2 \delta(t-t_2) + \dots}_{\text{フェイント}} + \underbrace{P_n \delta(t-t_n)}_{\text{アタック}}$$

24 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 手押し相撲の定式化 (力学モデル)

▶ 結合倒立振り子モデル(台車制御なし)  
 ▶  $T_i = -(K_1\theta_i + K_2\dot{\theta}_i) + u_i$  ※ばね・ダンパ+制御入力

▶ 25 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 手押し相撲の定式化 (制御入力)

▶ 《仮定》  
 ▶ 倒立静止状態への一撃  $u(t) = P_1\delta(t - t_1)$  では倒せないとする。  
 ▶ 《解くべき問題》  
 ▶ 必要な多段入力を, 自律的に生成する制御器をどう作るか?

$$u(t) = \underbrace{P_1\delta(t - t_1) + P_2\delta(t - t_2) + \dots}_{\text{フェイント}} + \underbrace{P_n\delta(t - t_n)}_{\text{アタック}}$$

▶ 26 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 手押し相撲の定式化 (制御構造)

▶ いま押せば勝てる! → トリガON

この制御則を左右対称に実装 → 次のスライド

▶ 27 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 2台結合 → 対戦的な制御系 [D&D2012]

各々の振り子に, 閉ループ構造の知的制御器を付加

▶ 28 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 知的制御器の構築 [D&D2012]

▶ 29 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 平衡点の吸引域 (basin)

インパルス応答

初期条件  $x_0 \xrightarrow{\text{非線形写像 } \varphi} \xi_i$  平衡点

吸引域  $D_i \triangleq \varphi^{-1}(\{\xi_i\})$  ※原像

▶ 30 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 分類器 C (定義)

宇都宮大学 LIBRARY UNIVERSITY

▶ 状態  $X(t)$  を見ながら、いま攻撃したら対戦結果がどうなるか、予測結果を返す。

$X(t) \rightarrow C(X(t)) := id \text{ if } X(t) \in D_{(id)} \rightarrow id$

$R^n$  初期値の集合(吸引域)  
一般に連結でない

$R^n$  平衡点

原像  $\varphi^{-1}$

▶ 31 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 分類器 C (量子化と学習)

宇都宮大学 LIBRARY UNIVERSITY

$R^n$  初期値の集合(吸引域)  
一般に連結でない

$R^n$  平衡点

原像  $\varphi^{-1}$

量子化

分類器  
 $G(x(t)) \triangleq k \text{ if } x(t) \in \bar{D}_k$

▶ 32 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 選択器 S

宇都宮大学 LIBRARY UNIVERSITY

▶ IF 望む予測結果 THEN  $S = 1$  ELSE  $S = 0$

▶ 《用意するもの》  $J = \{\text{望む結果の } id \text{ の集合}\}$

予測結果  $C(X(t)) = id \rightarrow S(id) := \begin{cases} 1 & C(X(t)) \in J \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$

いま攻撃だ!  
1  
0  
がまんがまん

デジタル信号

▶ 33 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### インパルス生成器 G

宇都宮大学 LIBRARY UNIVERSITY

▶  $S(id) = S(t)$  の立ち上りエッジで、発火=攻撃!

《まとめ》 知的制御器が、合成写像:  
 $G \circ S \circ C(X(t)) := G(S(C(X(t))))$   
として定式化できた!

▶ 34 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 対戦的な制御系 [D&D2012]

宇都宮大学 LIBRARY UNIVERSITY

知的制御器・左

倒立安定化・左

メカ・左

メカ・右

倒立安定化・右

知的制御器・右

どのように動かすか? →

▶ 35 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 量子化誤差 → 周期運動

宇都宮大学 LIBRARY UNIVERSITY

▶ 36 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

量子化誤差 → 複雑な運動 (赤の勝ち)

37 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

量子化誤差 → 複雑な運動 (青の勝ち)

38 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

計算量の問題と展望

- ▶ 量子化誤差はサンプリング数  $N$  の増加で緩和するが、計算量の爆発 ( $N^6$ ) が起こる。
- ▶ 今回のCPU 「Intel(R) Core(TM)2 Duo @2.93GHz」
  - ▶  $N = 10 \Rightarrow$  計算時間  $\approx 15$ 時間
  - ▶  $N = 20 \Rightarrow$  計算時間  $\approx 40$ 日 (960時間) ※ $2^6 = 64$ 倍
- ▶ 展望: 判別器の汎化学習 (サポートベクターマシン?)

39 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

試作実験：  
手押し相撲ロボット? (Open-loop型)

40 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

「手押し相撲」のまとめ

- ▶ 制作にはまだ遠いが、近づいてはいる!
- ▶ 前人未踏, 世界初, 最先端の快感!
- ▶ 興味があれば, 吉田研究室へ

41 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

発表内容

- 競争・協調の機械モデル
- 「手押し相撲ロボ」への挑戦?
- バランスゲーム型性格検査?

42 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 研究背景 — 性格検査法

#### □ 言語的手法

- 長所
  - 大量の被験者に実施可能
  - 結果の整理が簡単
- 短所
  - 被験者の語彙力に依存する
  - 意図的に回答を操作できる

#### □ 非言語的手法

- 長所
  - 幅広い言語圏・年齢に対応
  - 回答操作ができない
- 短所
  - 部分的な性格しかわからない
  - 検査者の知識を必要とする

↓

両者の長所を兼ね備えた、新たな手法があれば有用

▶ 43 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 我々のアプローチ： ヒトの反射運動と性格を関連付ける

**力学**

反射運動の測定

↓

評価関数

↓

反射運動の  
力学的な評価値

**心理学**

パーソナリティ検査手法

↓

質問紙

↓

パーソナリティの  
心理学的な評価値

→

予測式(重回帰式など)で説明

予測式発見! → バランスゲームで性格推定?

▶ 44 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 反射運動測定システム [感性工学会2013]

- 被験者は、スクリーンの台車をマウスで操作する
- 振子が転倒しないようにバランスを保つ
- 外乱のない状況、外乱のある状況の2パターンで計測

▶ 45 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 測定実験 (≒ バランスゲーム)

▶ 46 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 測定結果の一例 [感性工学会2013]

単位時間あたりの台車の移動距離  $\Delta l(t)$

$\Delta l(t) \equiv |x(t+dt) - x(t)|$

被験者1 (外乱なし)

被験者2 (外乱なし)

反射運動の測定結果に、被験者による特徴が現れる

▶ 47 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

### 評価関数 (振動論や制御理論)

評価項目	平衡維持特性尺度
安定性	$E[F_1(n)]$
	$SD[F_1(n)]$
反応時間	$E[F_2(n)]$
	$SD[F_2(n)]$
周期的秩序性	$E[F_3(n)]$
	$SD[F_3(n)]$
運動量 (台車の総軌跡長)	$E[F_4(n)]$
	$SD[F_4(n)]$
運動周期	$E[F_5(n)]$
	$SD[F_5(n)]$

$$F_1 \equiv \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} |x(t) - y(t)| dt}$$

$$F_2 \equiv \tau \text{ s.t. } \max_{\tau} \frac{C(\dot{x} - m_x, \dot{y} - m_y; \tau, t)}{\sigma_x \sigma_y}$$

$$F_3 \equiv \sigma_R^2, R(\tau) = \frac{C(\dot{x} - m_x, \dot{x} - m_x; \tau, t)}{\sigma_x^2}$$

$$F_4 \equiv \int_{T_1}^{T_2} |x(t+dt) - x(t)| dt$$

$$F_5 \equiv \omega \text{ s.t. } \max_{\omega} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2\pi |X(\omega)|^2}{T}$$

▶ 48 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

## パーソナリティを説明する評価関数

宇都宮大学 UTSUNOMIYA UNIVERSITY

パーソナリティ

力学的な評価

**勤勉性** ← 説明 **外乱なし**  
**神経症傾向** ← 説明 **反応時間**  
**協調性** ← 説明 **周期的秩序性**  
**協調性** ← 説明 **外乱あり**  
**協調性** ← 説明 **運動量(総軌跡長)**

- 有意水準5%で推定可能: 勤勉性, 神経症傾向
- 有意水準1%で推定可能: 協調性

49 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

## パーソナリティの推定結果 [感性工学会2013]

宇都宮大学 UTSUNOMIYA UNIVERSITY

被験者1 被験者2

ヒトの性格は、バランスゲームで推定できる？

50 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

## 「性格検査」のまとめ

宇都宮大学 UTSUNOMIYA UNIVERSITY

- ▶ バランスゲームで推定可能なパーソナリティは存在する
  - ▶ 有意水準5%で推定可能: 勤勉性, 神経症傾向
  - ▶ 有意水準1%で推定可能: 協調性
- ▶ 今後の課題
  - ▶ 開放性, 外向性の推定
  - ▶ 被験者数を増やす(ネットゲーム型?)
  - ▶ 教習所のドライビングシミュレータ等への応用

51 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

## まとめと展望

宇都宮大学 UTSUNOMIYA UNIVERSITY

- ▶ 競争・協調の機械モデル
  - ▶ 実験装置を作った。理論解析した  
→ 身体構造に近づける拡張
- ▶ 「手押し相撲ロボ」への挑戦
  - ▶ 自発的に戦うシミュレータを作った。簡単なメカを試作した。  
→ ヒトに勝つ！ ロボットにする！
- ▶ バランスゲーム型・性格検査
  - ▶ バランスゲームからパーソナリティを一部推定できた。  
→ 被験者数を増やす。  
→ シリアスゲームへの展開

52 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

## 吉田研究室の論文

宇都宮大学 UTSUNOMIYA UNIVERSITY

- 吉田勝俊・横田和隆・渡辺信一, 競合と協調の機械システム表現に関する一考察, 日本機械学会論文集 (C 編), 74-741, (2008), pp.1311-1316.
- Katsutoshi Yoshida and Hiroki Ohta, Coupled Inverted Pendula Model of Competition and Cooperation, Journal of System Design and Dynamics, Vol.2, No.3, (2008), pp.727-737.
- 吉田勝俊, 競合と協調の結合倒立振り子モデルについて(フラクタル的な初期値依存性), 日本機械学会論文集 (C 編), 75-753, (2009), pp.1311-1316.
- 日下田淳・羽金拓也・橋本拓実・吉田勝俊, 競合と協調を表す四節リンク機構の試作, 日本機械学会論文集 (C 編), 77-776, (2011-4), pp.1331-1341.
- 吉田勝俊, 日下田淳, 小池宏祐, 松江遥一, 結合倒立振り子の対戦的挙動を生み出す制御アルゴリズムについて(閉ループ型制御器の構築), Dynamics and Design Conference 2012講演論文集.
- 松本茂樹, 吉田勝俊, 沢田匡人, 村上雄将, ヒトの平衡運動特性とパーソナリティの関連性に関する実験と統計解析, 第15回日本感性工学会大会予稿集(CD-ROM), (2013), No.C51.

53 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日

## さらに勉強したい方へ

宇都宮大学 UTSUNOMIYA UNIVERSITY

- ▶ 「手押し相撲」シミュレータの作り方
  - ▶ 宇都宮大学 専門科目「ロボット力学」配布資料
  - ▶ <http://edu.katzlab.jp/lec/robo>
- ▶ 論文を読むための基礎知識
  - ▶ 拙著「動的システム入門」日本評論社
  - ▶ <http://edu.katzlab.jp/books/ds>

54 機械工学科講演会@群馬高専 2013年10月10日