

世界初、MBD (Model Based Design) &
MBD (Model Based Development) 実習用ロボット教材

e-nuvo WHEEL

e-nuvo BASIC 製品発表会

株式会社ゼットエムピー
技術戦略室 室長
坂井亮介



2007年6月12日

AGENDA



- e-nuvoシリーズ全体概要
- 産業界のニーズと、e-nuvoシリーズ
- 新製品e-nuvo BASICのご紹介
- 新製品e-nuvo WHEELのご紹介
- ご質問

【ZMP e-nuvoシリーズ】のコンセプト

- 「ロボットを活用したエンジニア育成カリキュラム」
 - ロボット + カリキュラム教科書
 - 産業界で求められるエンジニアを育成する

ポイント(1) 学生が強い興味を示すロボットを利用



ポイント(2) エンジニアに必須の工学分野をカバーした教育カリキュラム

ポイント(3) 実践的なものづくり経験

【ZMP e-nuvoシリーズ】ラインナップ

本日ご紹介する製品

車輪型ロボット教材

e-nuvo WHEEL



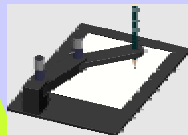
モータ制御学習キット

e-nuvo BASIC



モータ制御
センサ

サーボ
PID制御



アーム型ロボット教材

e-nuvo ARM

運動解析
シミュレーション



二足歩行ロボット教材

e-nuvo WALK

機構設計
機構解析

二輪型音楽ロボット

miuro



ヒューマノイドロボット

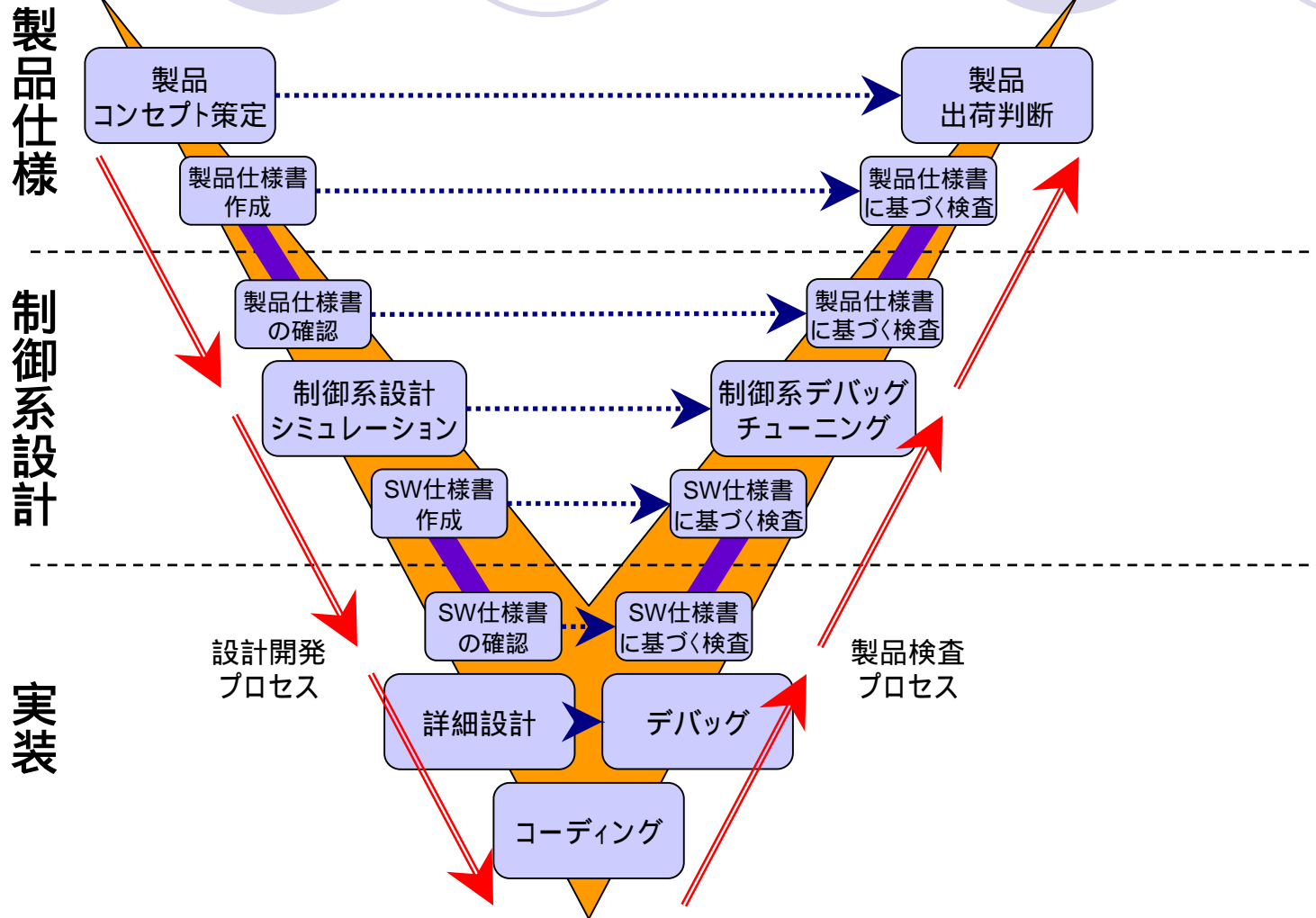
nuvo



発展例

発展例

製品の開発プロセスにおける 産業界のニーズ



製品の開発プロセスにおける 産業界のニーズ

製品仕様

製品
コンセプト策定

製品仕様書
作成

製品
出荷判断

製品仕様書
に基づく検査

【ニーズ】
開発の効率化

制御系設計

製品仕様書
の確認

制御系設計
シミュレーション

SW仕様書
作成

製品仕様書
に基づく検査

制御系デバッグ
チューニング

SW仕様書
に基づく検査

【ニーズ】
設計手法の
高度化

実装

SW仕様書
の確認

詳細設計

コーディング

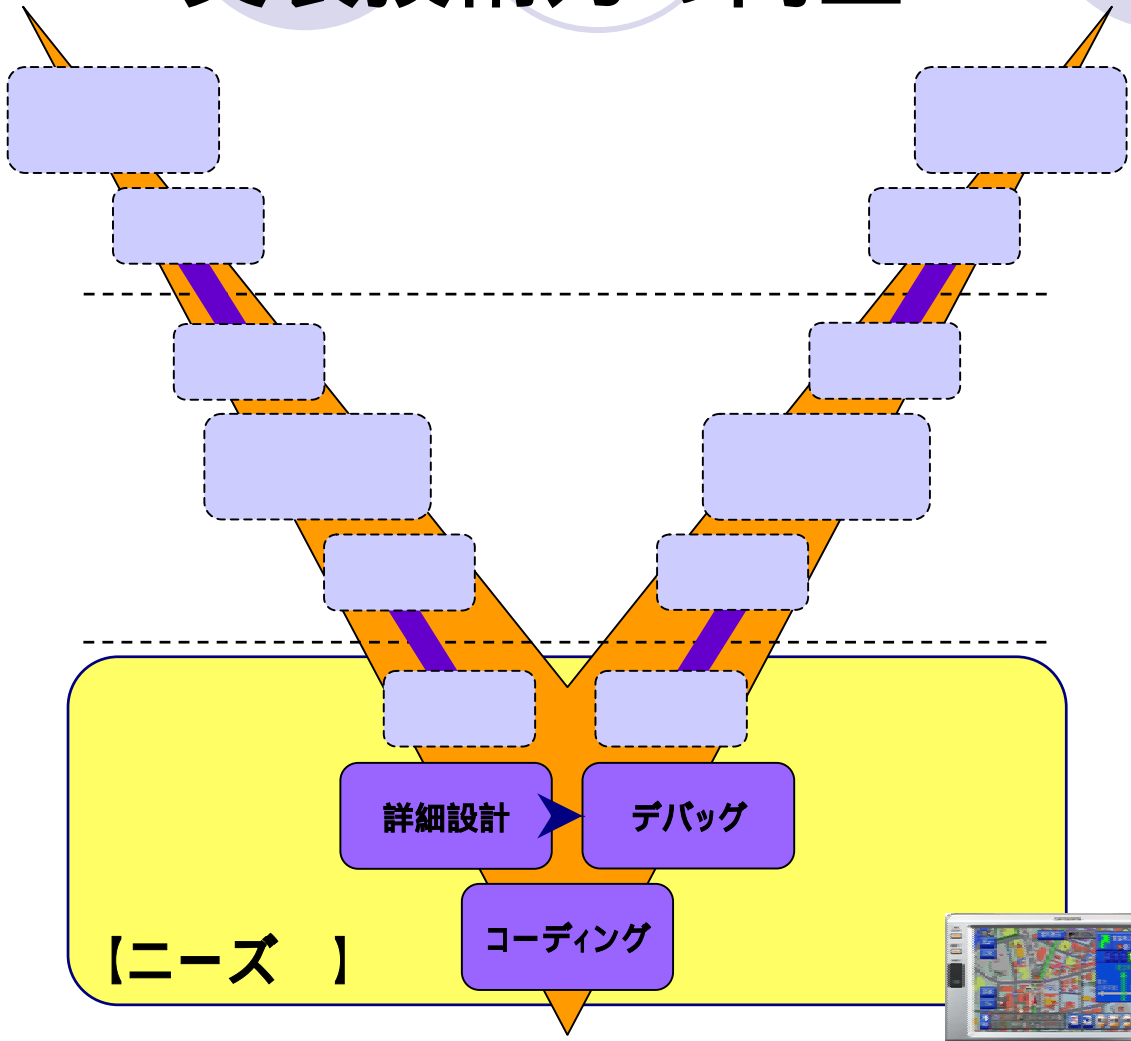
SW仕様書
に基づく検査

デバッグ

【ニーズ】
実装技術力
の向上

ZMPは、e-nuvo BASIC、WHEELで、
これら3つのニーズに応えます。

産業界の【ニーズ】 実装技術力の向上



何を学ぶ(学習領域)

- (A) 組み込みプログラミング
- (B) HDL(ハードウェア記述言語)
- (C) シミュレーション技術
- (D) 計測技術
- (E) モータ制御

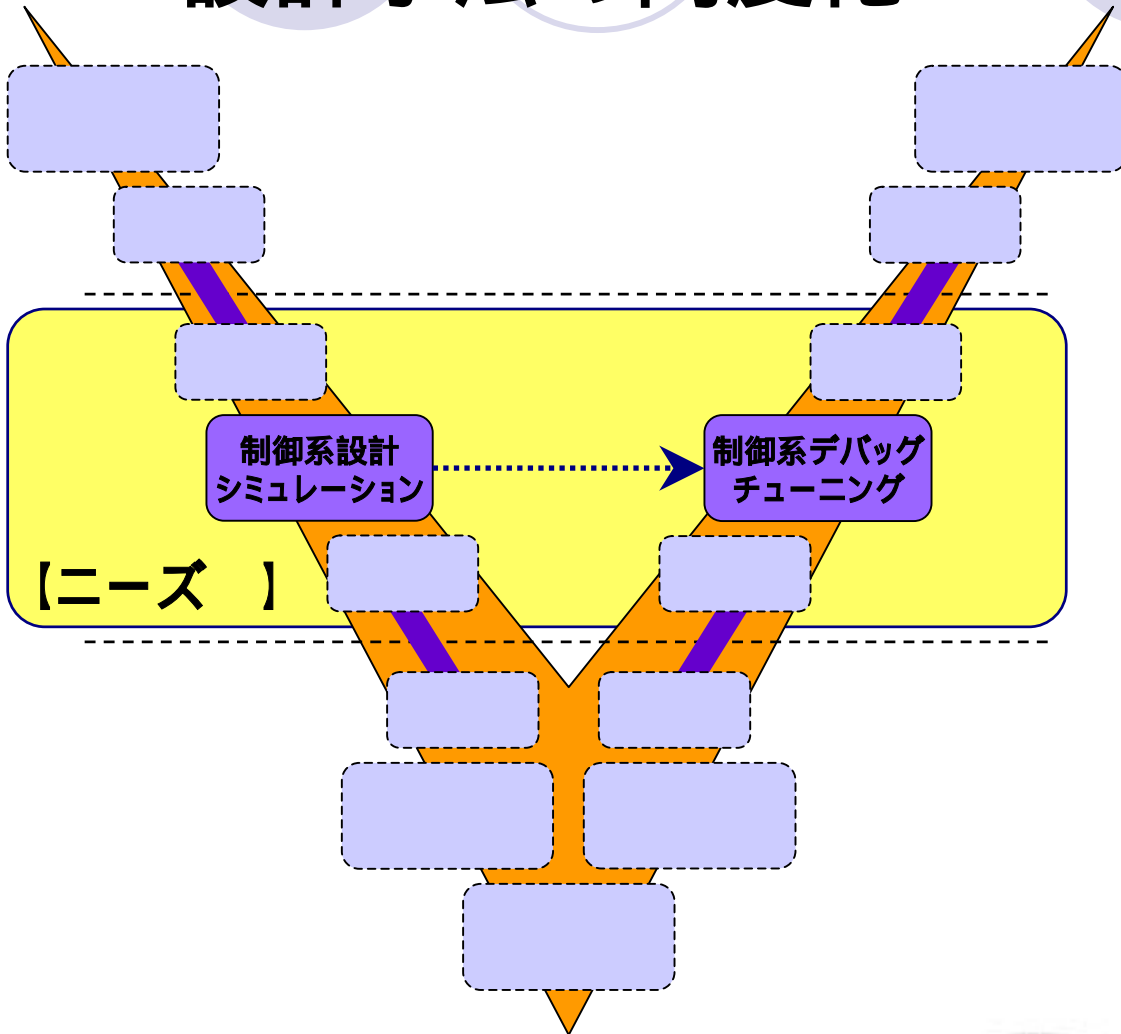
どこで使う(産業)

自動車業界
家電業界 他

- ・ハードウェア開発
 - ・ECU内のソフトウェア開発
- を行うすべての製造業



産業界の【ニーズ】 設計手法の高度化



何を学ぶ(学習領域)

- (A) モデル化
 - ・運動方程式をもとに、制御対象の物理モデルを立てる
- (B) シミュレーション
 - ・MATLAB® / Simulink®
- (C) 制御器設計
 - ・物理モデルを活用した制御器設計
 - ・現代制御理論
 - ポスト現代制御理論

Model Based Designの考え方

どこで使う(産業)

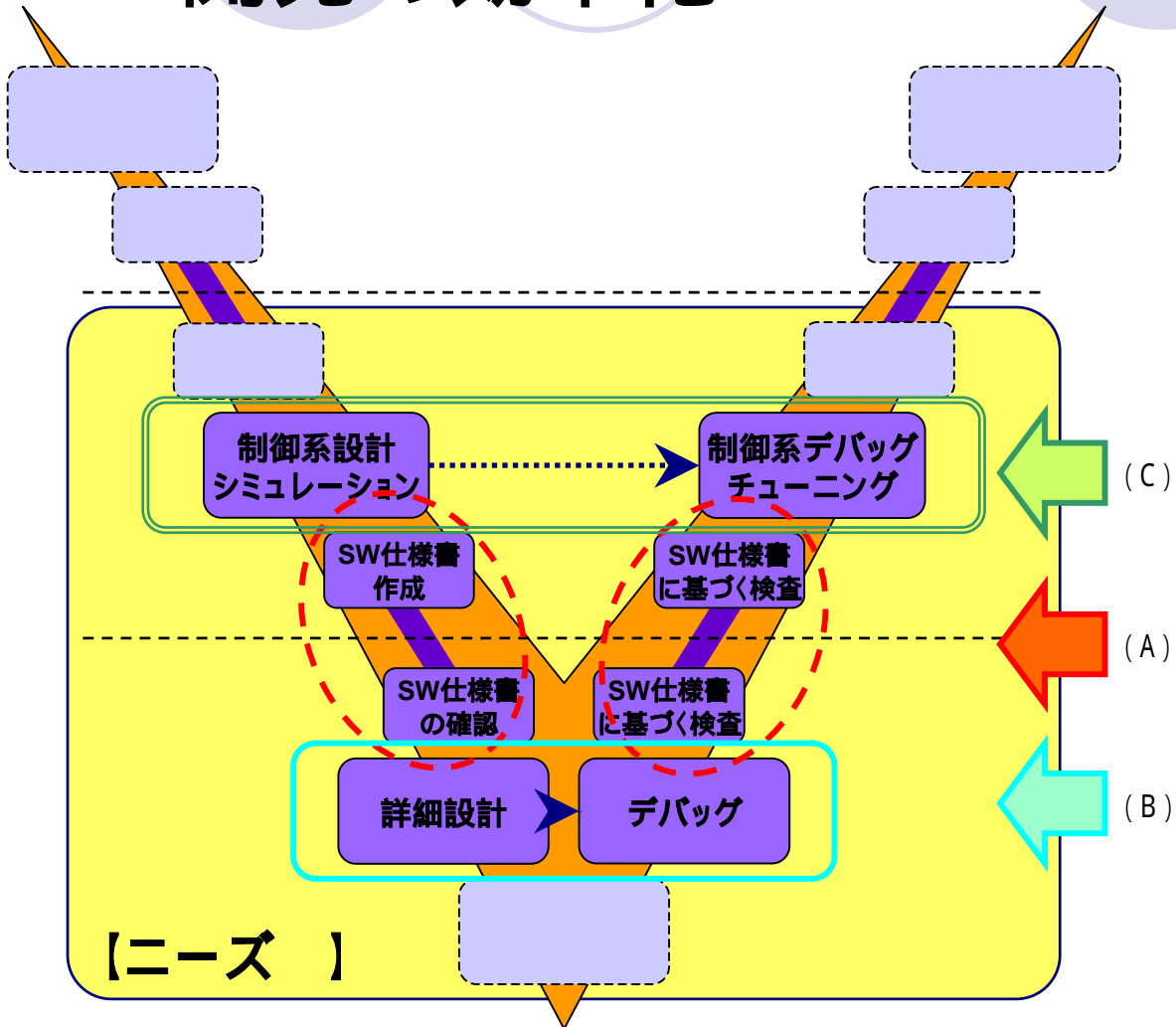
自動車業界: エンジンの制御
車両の挙動の制御

電機業界: 発電プラントの制御

重工業界: 飛行機の制御
船舶の制御 他



産業界の【ニーズ】 開発の効率化



何を学ぶ(学習領域)

- (A) 標準化
 - ・Simulinkを活用したソフトウェア仕様等、標準化による後戻り工数の削減
- (B) 自動コード生成技術
 - ・Simulinkの自動Cソースコード生成による、コーディング工数の削減
- (C) チューニング工数の削減
 - ・シミュレーションでの事前確認による制御系デバッグ工数の削減
 - ・高度な制御器設計によるチューニング工数削減

Model Based Developmentの考え方

どこで使う(産業)

自動車業界
家電業界 他

ソフトウェアを含む製品の量産を行うすべての製造業

産業界のニーズと、ZMP製品

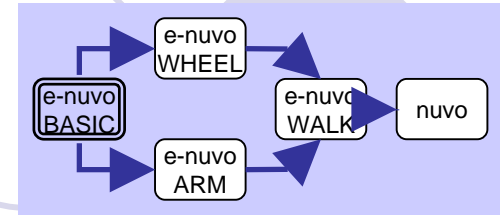
産業界のニーズ	学習領域	産業	ZMP製品
<p>【ニーズ】 実装技術力の向上</p>	<p>(A) 組み込みプログラミング (B) HDL(ハードウェア記述言語) (C) シミュレーション技術 (D) 計測技術 (E) モータ制御 実践的な実装技術の習得</p>	<p>自動車業界 家電業界 他</p> <p>・ハードウェア開発 ・ECU内のソフトウェア開発</p>	<p>e-nuvo BASIC → 基本</p> <p>e-nuvo WHEEL → 応用</p>
<p>【ニーズ】 設計手法の高度化</p>	<p>(A)モデル化 運動方程式 (B)シミュレーション MATLAB® / Simulink® (C)コントローラ設計 現代制御 => ポスト現代制御 Model Based Designの考え方</p>	<p>自動車業界: エンジンの制御 車両の挙動の制御</p> <p>電機業界: 発電プラントの制御</p> <p>重工業界: 飛行機の制御 船舶の制御 他</p>	<p>e-nuvo WHEEL</p>
<p>【ニーズ】 開発の効率化</p>	<p>(A) ソフトウェア仕様の標準化 ・Simulinkを活用したソフトウェア仕様 (B) 自動コード生成 (C) チューニング工数の削減 ・シミュレーションでの事前確認 ・高度な制御器設計 Model Based Developmentの考え方</p>	<p>自動車業界 家電業界 他</p> <p>ソフトウェアを含む製品の量産 を行うすべての製造業</p>	<p>e-nuvo WHEEL</p>

モータ制御実習キット

e-nuvo BASICのご紹介



【BASIC】製品コンセプト

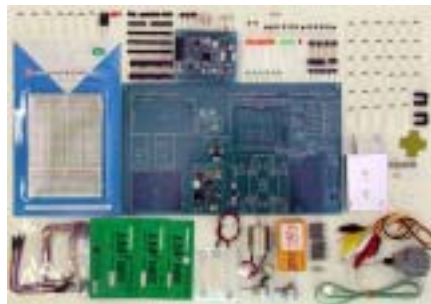


- e-nuvo BASICとは、すべてのロボット工学の基本となる基礎教材
 - モータ、LED、エンコーダといった電子部品の基礎
 - CPUを用いた組み込みプログラミング、モータ制御
 - HDLを用いたCPLDハードウェア設計
- 学習のポイント
 - 自動車・家電・IT業界で強いニーズのある**組み込みエンジニア**を育成する
 - **モータ制御の基本**を理解する
→ 【実装技術力の向上】

【BASIC】 学習のポイント(エンジニアの基礎)

- 3種類の工学基礎領域の学習を通して、産業界で求められる**実装技術力**を身につける。

電子回路



抵抗・トランジスタ 電子
部品の基本から

ブレッドボードを使った基
本回路演習

回路図を理解し、基板パ
ターンを追う

組み 込み プログラミング



H8 CPUを用いたプログラ
ミング演習に

モータ制御カリキュラム
別冊教科書

業界標準の開発環境を無
償利用可能

HDL ハードウェア 記述言語

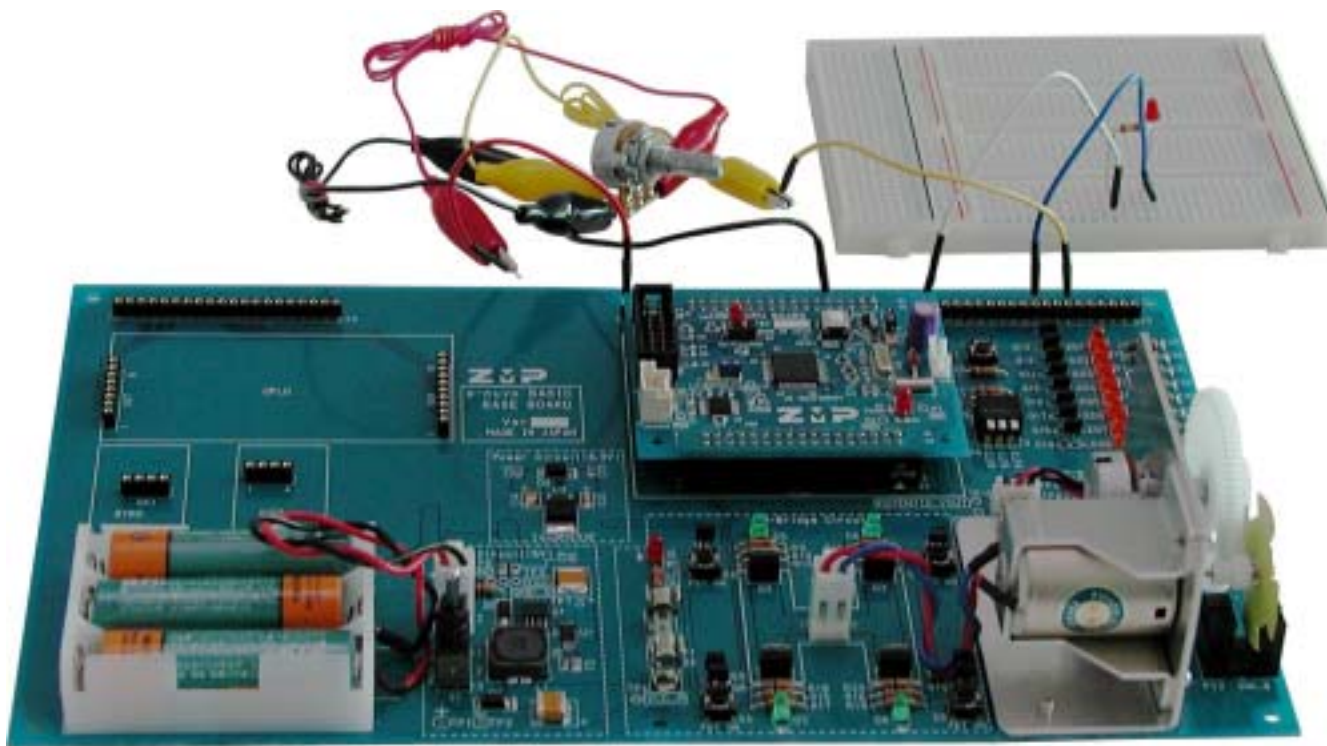


アルテラ製MAX II CPLD
搭載

はじめてのHDL 別冊教
科書開発中

カリキュラム教科書
2008春予定

【BASIC】 実習システム



【BASIC】 実習システム

統合開発環境HEW



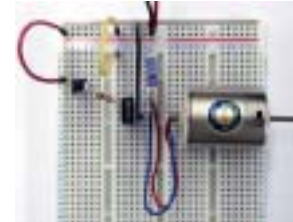
汎用CPU基板



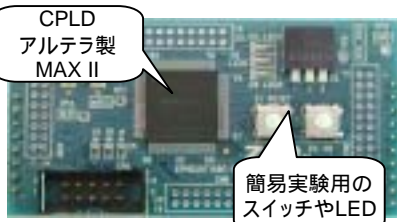
外部入出力ポート



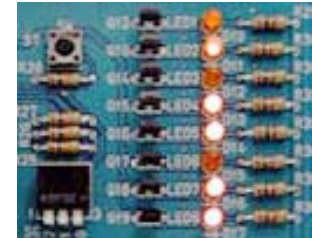
ブレッドボード



汎用CPLD基板



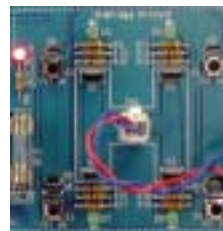
実験用入出力ポート



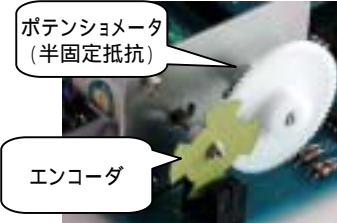
オプションセンサ基板



Hブリッジ回路



2種類の角度センサ



【BASIC】 学習カリキュラム

- e-nuvo BASICでは、学習領域に応じて(A)(B)(C)3種のラインナップで、実習書を準備中です。
- (A) 電子部品の基礎とモータ制御
 - e-nuvo BASIC標準カリキュラム
 - 電子部品から、組み込みプログラミングまで
- (B) はじめてのHDL
 - 芝浦工業大学工学部電気工学科水川真教授と、現在実習内容を検討中。
- (推奨教材) Cプログラマのためのマイコン入門コース
 - ルネサステクノロジ社e-schoolシリーズの教材
 - I/Oポートやタイマ、A/DコンバータなどのH8内蔵周辺機能の制御、実行環境の設定方法、E8エミュレータの活用など。組み込みシステムについて、詳しく勉強したい人向け。
 - e-nuvo BASICと同じH8/Tinyマイコンを利用



【BASIC】学習カリキュラム

(A) 電子部品の基礎とモータ制御

A. 電子部品の基礎とモータ制御

第1章 はじめに

1 - 1 : はじめに

第2章 電子部品の基礎と角度センサ

2 - 1 : 電子部品の基礎

2 - 2 : ポテンショメータの特性

【実験】角度と抵抗値の関係を測定してみよう

第3章 モータ駆動

3 - 1 : モータの特性

3 - 2 : トランジスタのスイッチ

【実験】パワートランジスタを用いて、モータを駆動してみよう

3 - 3 : Hブリッジ回路

【実験】Hブリッジ回路を製作し、モータの回転方向を制御してみよう

第4章 マイコンの基礎

4 - 1 : プロセッサとは

4 - 2 : 入出力プログラミング (C言語)

【実験】LEDを点灯してみよう

【実験】DIPスイッチの値を読み込んでみよう

第5章 マイコンによるセンサ情報の取得

5 - 1 : アナログとデジタル (AD変換)

【実験】ポテンショメータの値をAD変換で取り込み、LEDに表示しよう

5 - 2 : 割り込み処理

5 - 3 : エンコーダのしくみ

【実験】エンコーダの値をカウントしてみよう (1) 基本

【実験】エンコーダの値をカウントしてみよう (2) 2 週倍

【実験】エンコーダの値をカウントしてみよう (3) 4 週倍

第6章 マイコンによるモータ制御

6 - 1 : PWM

【実験】PWMを用いてモータ速度を制御してみよう (1) 簡易ループ

【実験】PWMを用いてモータ速度を制御してみよう (2) カウンタ

6 - 2 : フィードバック制御 (ソフトウェアサーボ)

【実験】PI制御で、モータの位置制御をしてみよう (ポテンショメータ)

【実験】PI制御で、モータの速度制御をしてみよう (エンコーダ)

第7章 おわりに、発展課題

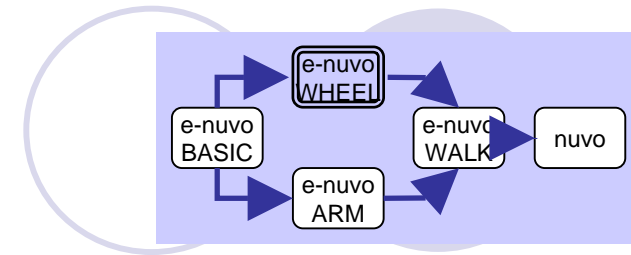
車輪型ロボット教材

e-nuvo WHEEL

のご紹介

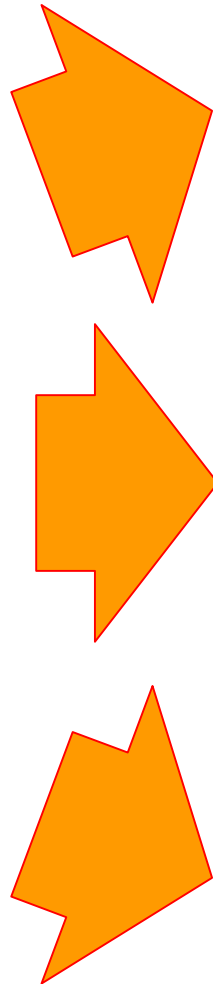
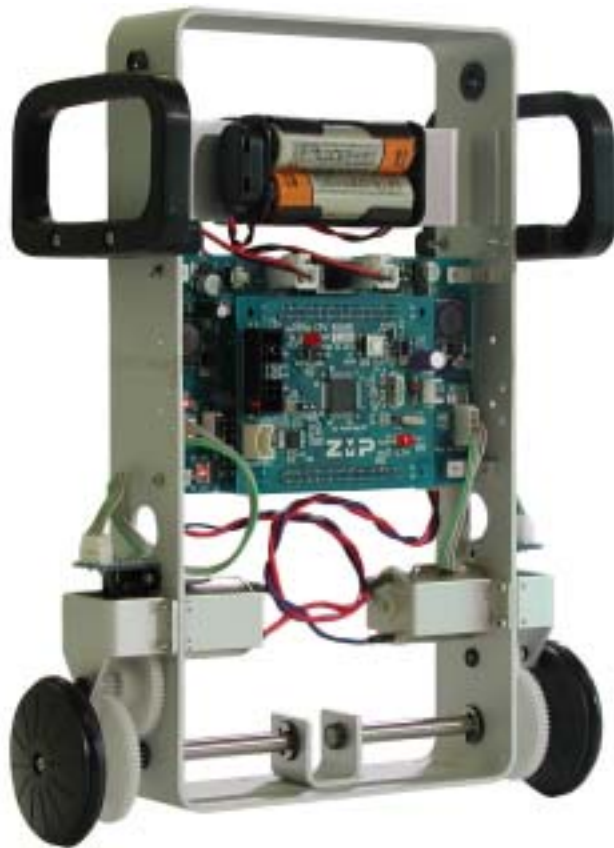


【WHEEL】 製品コンセプト



- 「e-nuvo WHEEL」とは、車輪型ロボットを用いた実験教材
- 学習のポイント
 - (A) 組み込みプログラミングや、ジャイロをはじめとする各種センサ情報の計測技術など、工学基礎演習を行う
→【実装技術力の向上】
 - (B) 多入力多出力系である倒立振子を制御するため、運動方程式を用いて物理モデルを作成し、MATLAB®/ Simulink®を活用し、現代制御理論による制御システム設計を行う
→【設計手法の高度化(Model Based Design)】
 - (C) Simulinkを用いた自動コード生成など、開発プロセスの効率化手法を学ぶ
→【開発の効率化(Model Based Development)】

【WHEEL】 組み替えにより、3種の実験が可能



ライントレース実験



倒立振り子実験



倒立二輪実験



【WHEEL】 (1) ライントレース実験

実験概要

安定な車輪型ロボットの走行を通して、ライントレースなど、組み込みプログラミングの基礎から、左右のトルク差を用いた旋回など、レベルに応じた様々な実験が可能です。

The option of using two motors model.

This adds new possible experiments that can be performed such as using torque differential, embedded programming or as an option line tracing.

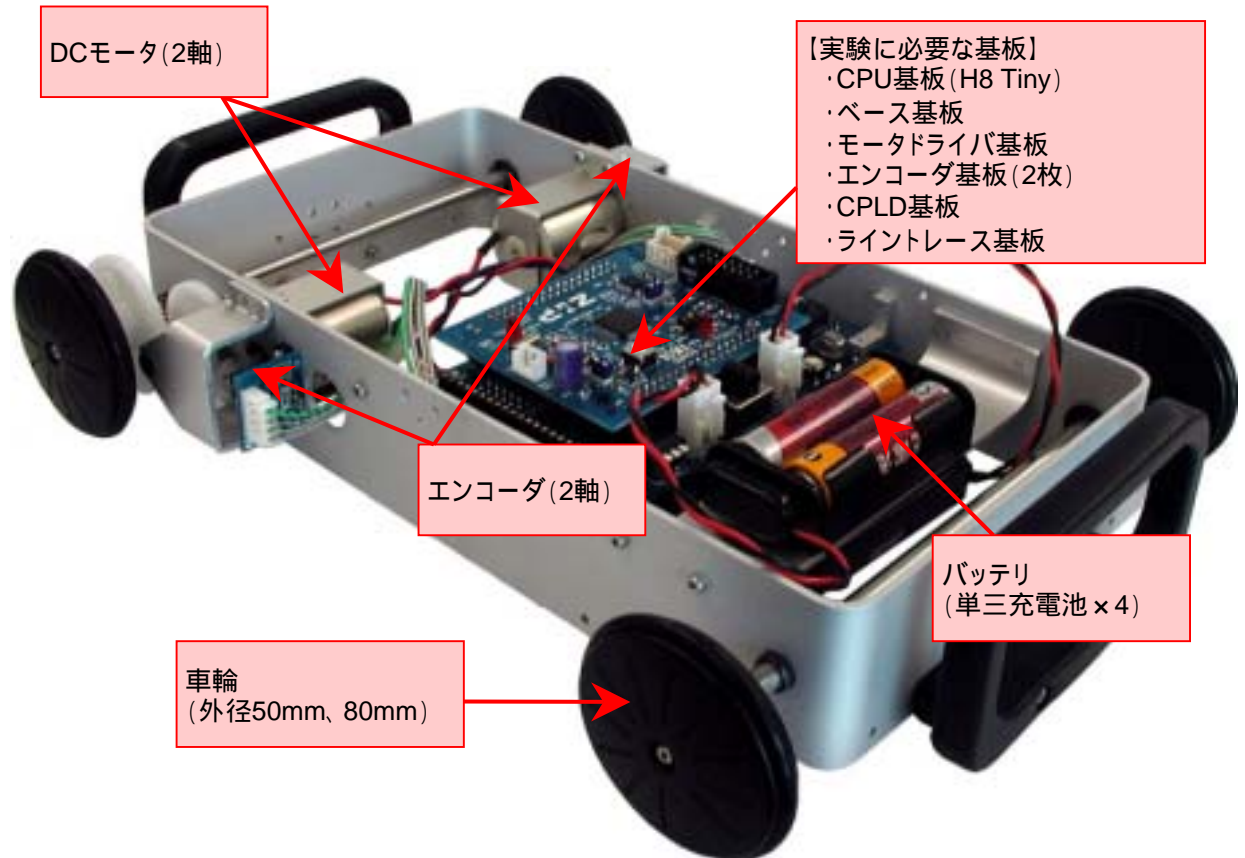
ライントレース基板では、3セットの光センサユニットにより、床面のラインを検知。モータのPWMデューティを変化させる等により、容易にライントレース実験が行えます。また、意欲ある学生の発展課題として、倒立二輪でのライントレース実験も考えられます。

It recognizes a line on the floor by using a 3 set of light sensors.

Students can easily try their original Line Tracing Algorithm using PWM duty ratio and other parameters.

Users who enjoy a challenge can try line tracing with a balancing robot.

- ライントレース実験を通して、モータ制御、組み込みプログラミング、センサ情報の計測など、ロボット工学の基本を習得します。



【WHEEL】 (2) 倒立振り子実験

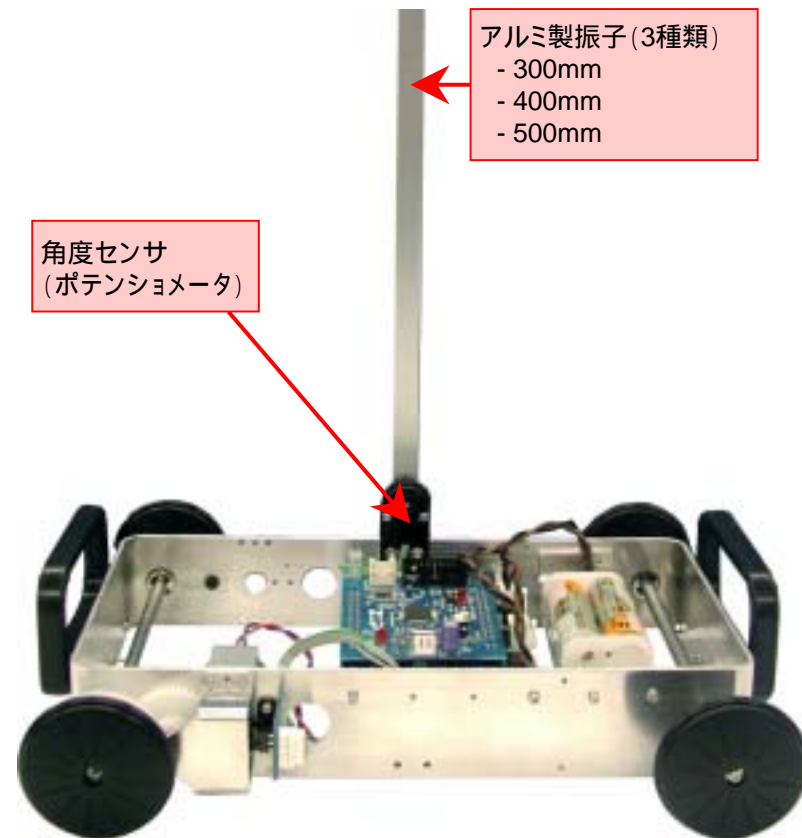
実験概要

倒立二輪の基本は、倒立振り子モデルです。
The basic theory of the previous 2 Wheeled robot is the model of Inverted Pendulum.

3種類の長さのアルミ棒を立たせる実験を通して、運動方程式の基礎、現代制御による安定化を学びます。

また、シミュレーションに欠かせないのが、MATLAB/Simulink。初めてのユーザでも理解できるよう、シミュレーション手法も解説します。
With three different sizes for a aluminum pole, the user can study motion equations, modern control stability, MATLAB/Simulink simulation, etc.

- 前後の運動により、倒立振り子を直立させる実験です。
- 振り部と台車部の運動方程式を立て、現代制御理論を活用して、制御器設計を行います。



【WHEEL】 (3) 倒立二輪実験

実験概要

ジャイロセンサの情報をもとに、倒立二輪ロボットの姿勢安定化制御を行います。

The user can study pose stabilization control with this two wheeled inverted pendulum robot using its gyro sensor.

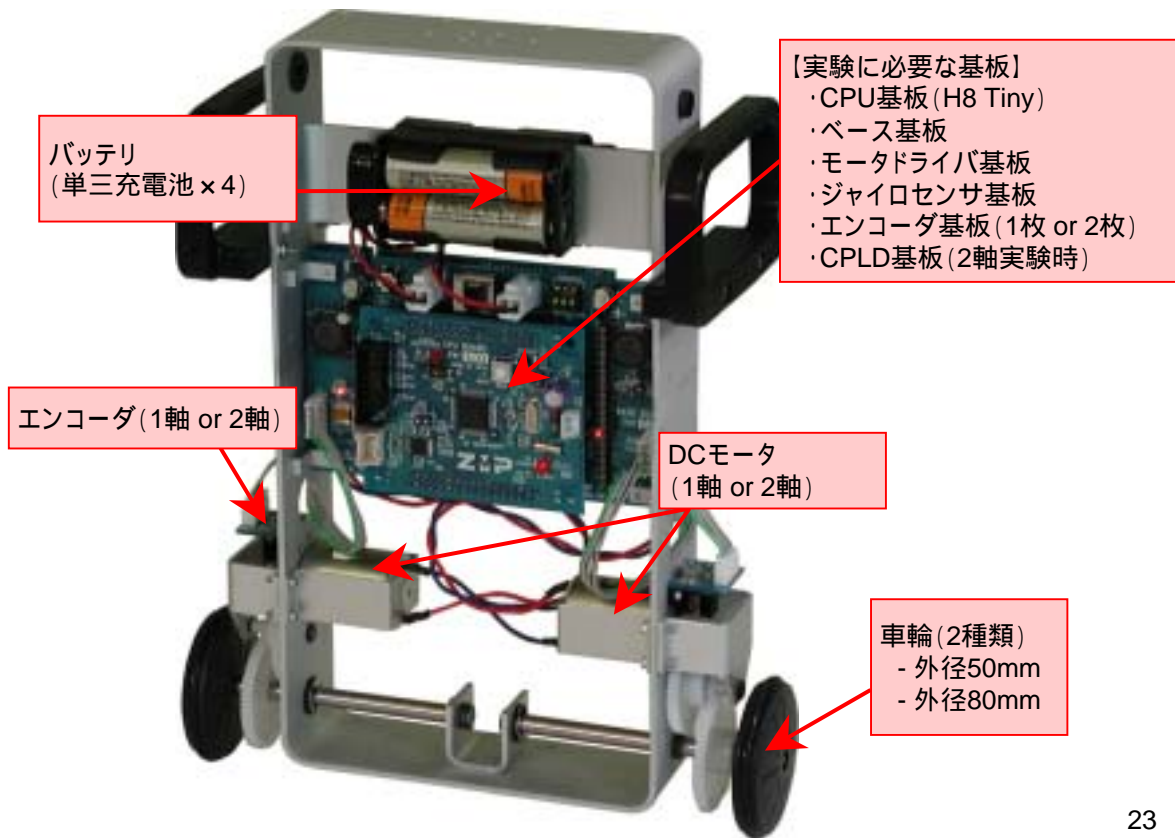
大小2種類のタイヤを交換したり、電池ボックスの位置を上下することにより重心位置を変えたり、多様な条件により、制御しやすさがどのように変化するか？

With a very versatile structure that permits you to change two types of wheels or change the position of the batteries, which in turn changes the center of gravity giving the user the opportunity to modify the experiment conditions and the degree of control difficulty.

高精度の電流FB機能を備えていること、シリアルケーブルを通して、詳細なログ情報をPCで確認できること等、ロボットの運動解析、制御理論の学習に最適です。

Excellent tool for leaning control theory, robot motion analysis, among other fields.

- ジャイロセンサの情報により、二輪ロボットの姿勢安定化をする、倒立振り子タイプのロボットです。
- 倒立振り子実験と同様、Model Based Designの基本を学習します。



MBD (Model Based Design)

学習のステップ(例)

【STEP1】

簡単な車輪駆動ロボットシステムのモータ制御プログラミングを通して、**H8マイコンを用いたロボット制御の基本**を理解する。

組み込みプログラミングの基礎を固める

統合開発環境HEWを用いた、組み込みCプログラミングの開発手法に慣れる。

モータ駆動システムの基本を理解する

一般的なDCモータの制御を理解する。PWM、A/D変換、Hブリッジ回路、エンコーダ等。

位置制御とトルク制御の違いを学ぶ

エンコーダ出力を用いた位置制御と、電流フィードバックによるトルク制御の基本を学ぶ。

【STEP2】

実際のロボットの運動が運動方程式によって**モデル化**できることを理解し、その**シミュレーション手法、制御方法**を体験する。

運動方程式を立てる

トルクやイナーシャ等、回転系の運動方程式を復習し、振り及び台車の運動方程式を立てる。

Simulinkで、シミュレーションを行う

Simulinkの基本的な使い方から、運動方程式のシミュレーションまで、実践的な演習を行う。

状態変数を活用した制御方法を学ぶ

多入力多出力系を扱う現代制御の基本を理解し、状態変数を用いた制御器設計手法を学ぶ。

【STEP3】

シミュレーション結果と、実機の挙動の違いについて**考察**し、必要に応じて、開発プロセスのフィードバックを行う。

状態量の計測と制御器の実装を学ぶ

ジャイロやエンコーダ信号の計測、フィルタリング、及びC言語による実装について、理解する。

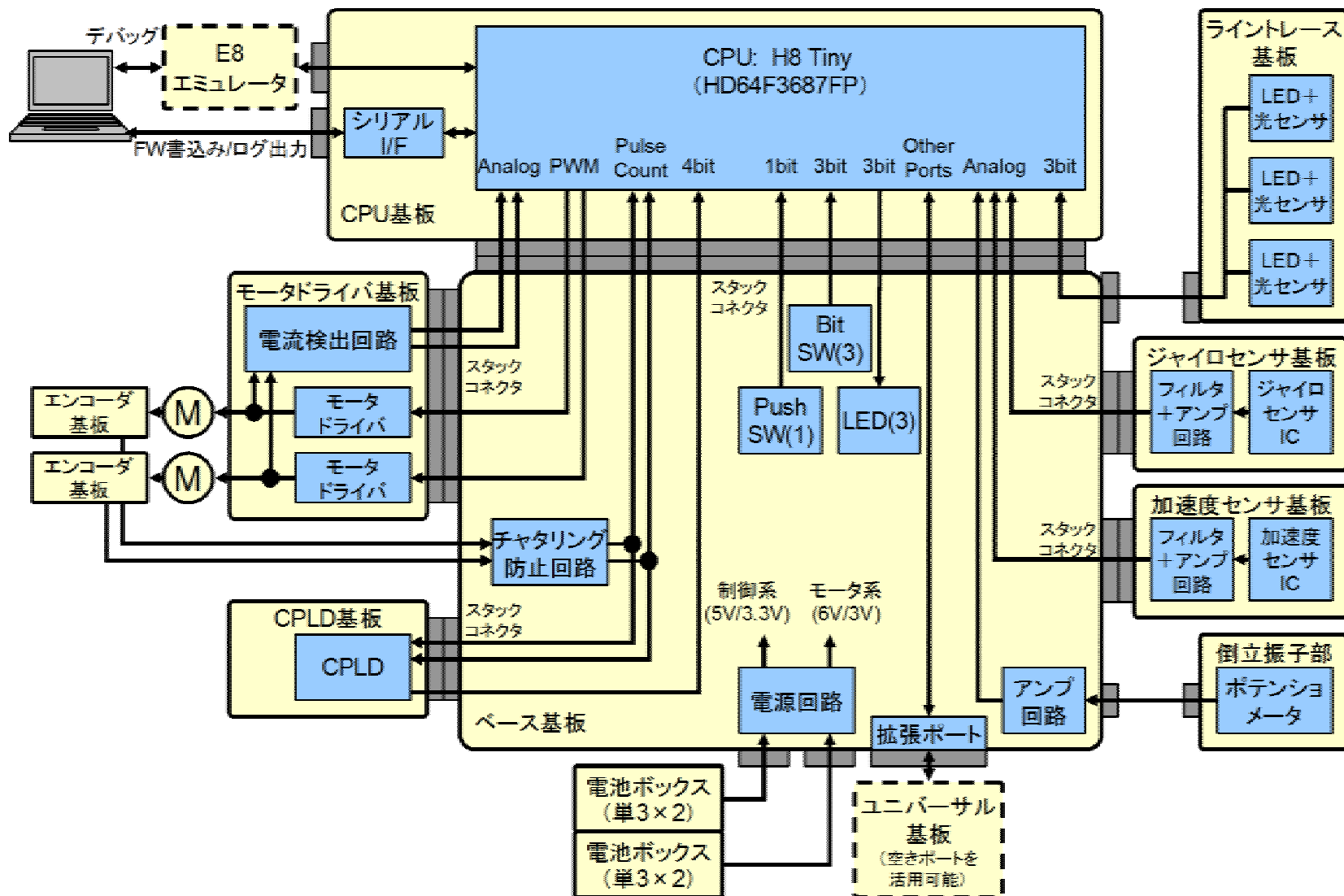
実機とシミュレーションの違いを考える

ロボットの挙動と、シミュレーションの違いから、制御器やモデルの問題について考察する。

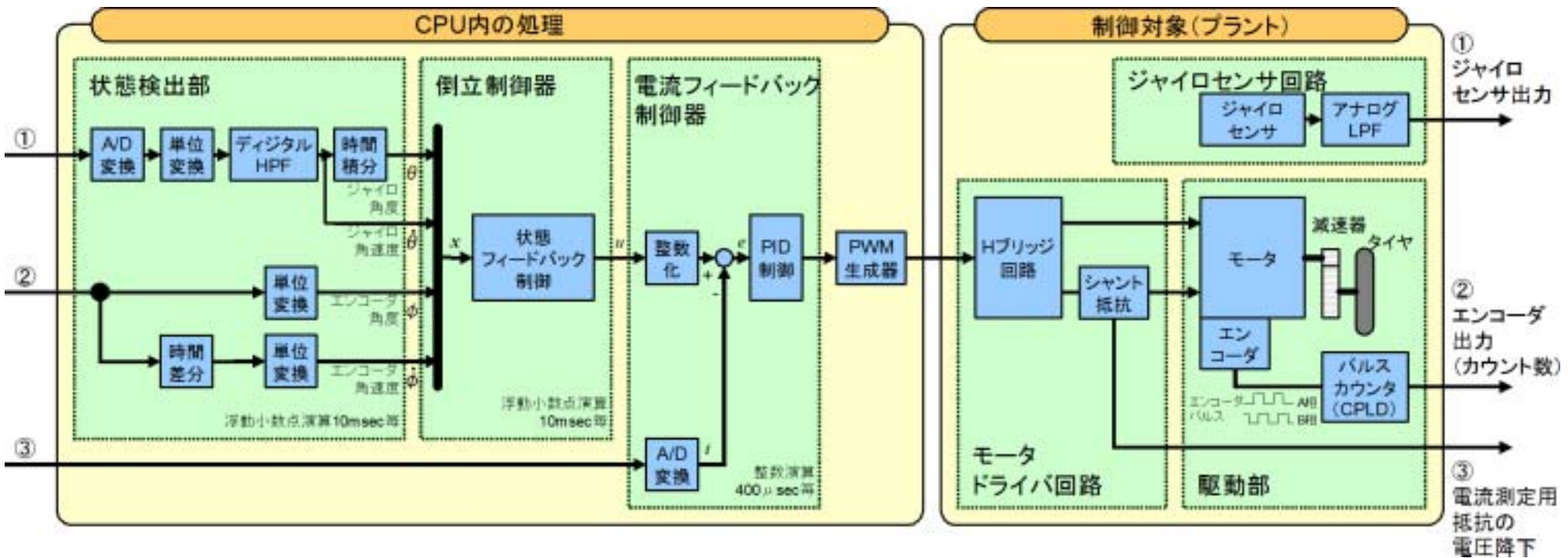
【発展】プラントモデルの同定を行う

さらに、発展として、パラメータ同定、システム同定などについても、学習できます。

【WHEEL】 システム構成



【WHEEL】 制御システム



【WHEEL】 製品の性能

- **モデルに基づく制御シミュレーション結果を、実機で検証できる信頼性の高いハードウェア**
 - **理論どおりの実装で、実機を制御できる**
 - **Model Based Designの基本を、実習できる**
 - **ポイント**
 - 電流フィードバックや、機構など下位システムが、非常に高い精度で製作されている
 - 検証に必要なログ収集機能が充実している
- ➔ **制御理論の有効性を、シミュレーションだけでなく、実際のロボットで動作検証できる実験教材は限られており、制御系設計の現場において、WHEELのニーズは高い。**

【WHEEL】 性能 (理論と実験結果の例)

● (例) 倒立二輪ロボット安定化

○ 最適制御理論の重み行列による、挙動の変化を見る

姿勢の角度 のログ

車輪の角度 のログ

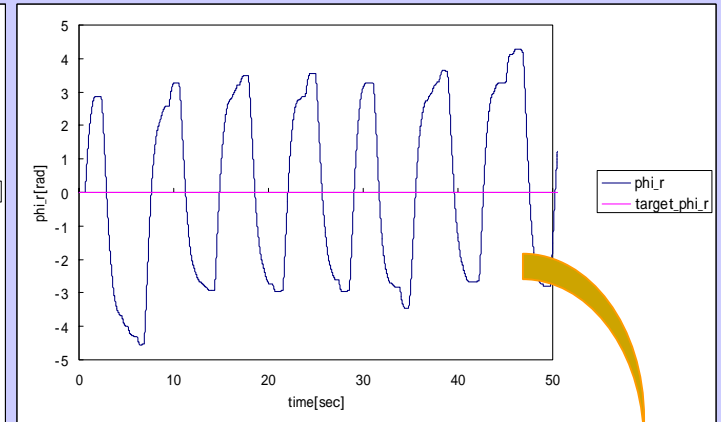
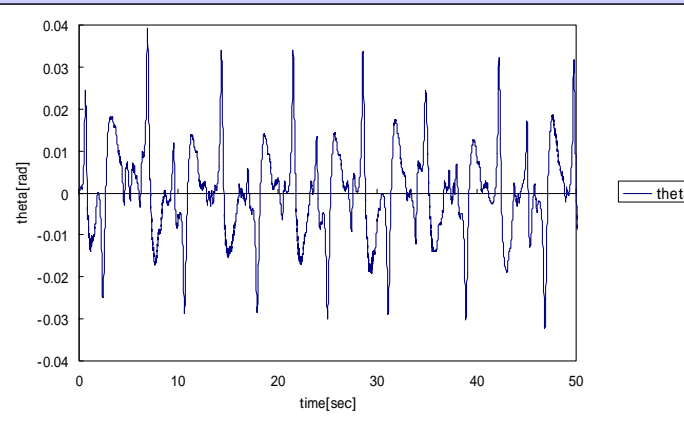
【CASE 1】

姿勢の角度 の重み = 1

車輪の角度 の重み = 1

姿勢の角速度 の重み = 1

車輪の角速度 の重み = 1



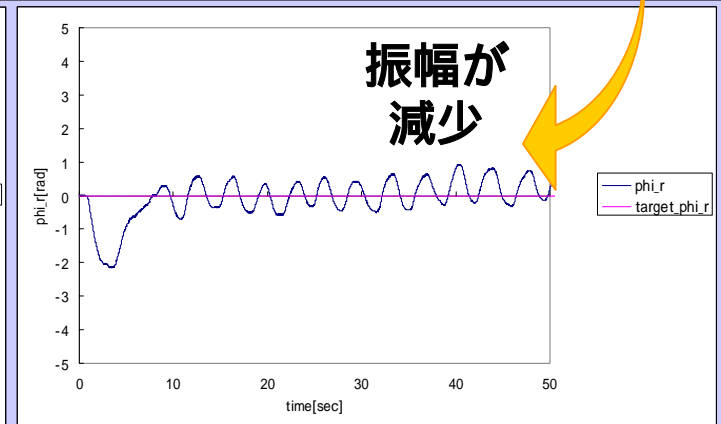
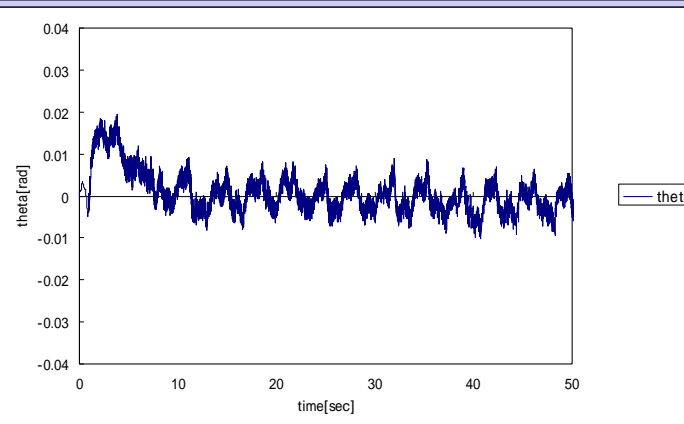
【CASE 2】

姿勢の角度 の重み = 1

車輪の角度 の重み = 20

姿勢の角速度 の重み = 1

車輪の角速度 の重み = 10



【WHEEL】 学習カリキュラム

- e-nuvo WHEELは、実験できる領域が広いいため、内容に応じて、(A)(B)(C)3種のラインナップで、実習書を準備中です。
- (A) **車輪型ロボット【入門編】** (工学基礎演習)
 - PART1: ライントレース編
 - PART2: 倒立二輪ロボット編
 - PART3: Simulink体験編
- (B) **【運動解析編】** (解説書)
 - PART1: 倒立振子ロボットで学ぶ運動方程式
 - PART2: 倒立振子ロボットによるMATLAB/Simulink力学シミュレーション
 - PART3: 倒立振子ロボットで学ぶ現代制御
- (C) **【学生実験編】**
 - 慶應義塾大学物理情報工学科足立教授と、現在実習内容をディスカッション中
 - 倒立二輪ロボットを使った制御に関する学生実験用

【WHEEL】学習カリキュラム

(A) 車輪型ロボット【入門編】

PART1: ライントレース編

第1章 はじめに

- 1 - 1 : はじめに
- 1 - 2 : サンプルプログラムの実行

第2章 マイコンの基礎 (ライントレースSTEP1)

- 2 - 1 : 入出力プログラミング
 - 【実験】LEDを点灯してみよう
 - 【実験】DIPスイッチの値を読み込んでみよう
- 2 - 2 : ライントレースのしくみ
 - 【実験】LEDと光センサで、ラインを検出してみよう
- 2 - 3 : Hブリッジ回路によるモータ駆動
 - 【実験】Hブリッジ専用ICを用いて、モータ駆動してみよう

【実験】ライントレースロボットを動かそう(1)

第3章 車輪の制御方法 (ライントレースSTEP2)

- 3 - 1 : PWM
 - 【実験】PWMを用いてモータ速度を制御してみよう(1)簡易ループ
 - 【実験】PWMを用いてモータ速度を制御してみよう(2)カウンタ
- 3 - 2 : 割り込み処理
- 3 - 3 : エンコーダのしくみ
 - 【実験】エンコーダの値をカウントしてみよう(1)基本
 - 【実験】エンコーダの値をカウントしてみよう(2)2 逓倍
 - 【実験】エンコーダの値をカウントしてみよう(3)4 逓倍
- 3 - 4 : フィードバック制御
 - 【実験】H8CPUを用いて位置制御してみよう

【実験】ライントレースロボットを動かそう(2)

第4章 おわりに、発展課題

- ・センサの追加(ユニバーサル基板を使ってみる)

PART2: 倒立二輪ロボット編

第1章 はじめに

- 1 - 1 : はじめに
- 1 - 2 : サンプルプログラムの実行

第2章 ジャイロセンサによる姿勢検出

- 2 - 1 : ジャイロセンサのしくみ
 - 【実験】ジャイロセンサの値をオシロスコープで見よう
- 2 - 2 : A/D変換
 - 【実験】ジャイロセンサの値をCPUに取り込んでみよう
- 2 - 3 : タイマ
 - 【実験】タイマカウンタを用いて、周期的にLEDを点灯してみよう
- 2 - 4 : シリアル通信
 - 【実験】ジャイロセンサの値をPCに送信してみよう

第3章 倒立二輪ロボットのしくみ

- 3 - 1 : 倒立二輪型ロボットのしくみ
 - ・入出力間の関係式
 - ・各係数の求め方については、運動解析編で説明する

【実験】倒立二輪ロボットを動かしてみよう
・プログラムを書きこんで、立たせてみる

第4章 倒立二輪ロボットを、自由に動かしてみよう

- 4 - 1 : ロボットの状態
 - 【実験】シリアル通信で、ログ情報をPCに送信してみよう
- 4 - 2 : ロボットに対する動作指示
 - 【実験】倒立二輪ロボットに、様々な動作を指示をしてみよう
 - ・速度指示
 - ・位置指示
 - ・速度目標値テーブルの利用

第5章 おわりに、発展課題

- ・二輪独立制御への拡張
- ・二輪でライントレース?

【WHEEL】学習カリキュラム

(A) 車輪型ロボット【入門編】

PART3: Simulink体験編

第1章 はじめに

第2章 Simulinkの基礎的な操作方法と、車輪型ロボットのシミュレーション

- 2 - 1 Simulinkとは
- 2 - 2 Simulinkの起動と、基礎的な操作
- 2 - 3 車輪型ロボットの制御モデル
- 2 - 4 車輪型ロボットのシミュレーション
 - ・シミュレーションモデルの作成を通して、Simulinkの基礎を学ぶ
 - ・車輪型ロボット（プラント）は、ブラックボックスとして提供

第3章 Simulinkモデルから、実機検証へ（組込みプログラミング）

- 3 - 1 Simulinkモデルと、組込みCプログラミング
- 3 - 2 車輪型ロボット制御系の実装（プログラミング）
- 3 - 3 車輪型ロボットの動作実験

第4章 シミュレーション結果と、実機ロボットの比較

- 4 - 1 比較
- 4 - 2 考察（各自考える）

第5章 車輪型ロボットの物理モデル

- 5 - 1 車輪型ロボット（プラント）とは
- 5 - 2 電流フィードバック部のモデリング
- 5 - 3 モータのモデリング
- 5 - 4 トランスミッションのモデリング
- 5 - 5 車輪型ロボット本体のモデリング

第6章 コリレーション（シミュレーションと実機の相関）

- 6 - 1 コリレーションとは
- 6 - 2 車輪型ロボットのコリレーション
 - ・再シミュレーションと再実験

第7章 おわりに、発展課題

【WHEEL】学習カリキュラム

(B)【運動解析編】

PART1: 倒立振子ロボットで学ぶ運動方程式

第1章 はじめに

第2章 ニュートンの運動方程式1 (機械系のモデリング)

2-1: ニュートンの運動方程式

2-2: 並進運動のモデリング (バネマス系)

(1) 1質点系 (バネとダンパが接続された質点の運動)

(2) 2質点系 (2つの質点が、バネ・ダンパで接続されたシステムの運動)

【実験】並進運動するシステムの運動方程式を立ててみよう

2-3: 回転運動のモデリング

(1) 1慣性系 (モータ出力による回転軸の運動)

(2) 2慣性系 (平歯車で接続された動力伝達機構の運動)

【実験】回転運動するシステムの運動方程式を立ててみよう

第3章 ニュートンの運動方程式2 (電気系のモデリング)

3-1: 電気回路を構成する要素

3-2: 電気系のモデリング

(1) RC回路

(2) RLC回路

【実験】RLCから構成される回路の運動方程式を立ててみよう

3-3: 機械系と電気系のアナロジー

第4章 ラグランジュの運動方程式

4-1: ラグランジュの運動方程式とは

4-2: ラグランジュの運動方程式による回転運動のモデリング

(1) 1質点系 (バネとダンパが接続された質点の運動)

(2) 2慣性系 (モータ出力による回転軸の運動)

【実験】回転運動するシステムの運動方程式を、ラグランジュの運動方程式を用いて計算してみよう

第5回 倒立振子ロボットの運動方程式

5-1: 倒立振子ロボットのモデリング

【実験】倒立振子ロボットの運動方程式を、ラグランジュの運動方程式を用いて計算してみよう

5-2: 倒立二輪ロボットのモデリング

【WHEEL】学習カリキュラム

(B) 【運動解析編】

PART2: 倒立二輪ロボットによるMATLAB/Simulink力学シミュレーション

第1回 はじめに

第2回 運動方程式（機械系）のシミュレーション

2 - 1 : 並進運動のシミュレーション（バネマス系）

(1) 1質点系（バネとダンパが接続された質点の運動）

(2) 2質点系（2つの質点が、バネ・ダンパで接続されたシステムの運動）

【実験】並進運動（2質点系）の運動をシミュレートしてみよう

2 - 2 : 回転運動のシミュレーション

(1) 1慣性系（モータ出力による回転軸の運動）

(2) 2慣性系（平歯車で接続された動力伝達機構の運動）

【実験】回転運動（2慣性系）の運動をシミュレートしてみよう

第3回 運動方程式（電気系）のシミュレーション

3 - 1 : RC回路のシミュレーション

3 - 2 : RLC回路のシミュレーション

【実験】RLC回路の動作をシミュレートしてみよう

第4回 倒立振り子ロボットのシミュレーション

4 - 1 : 倒立振り子ロボットのシミュレーション

【実験】倒立振り子ロボットの運動をシミュレートしてみよう

4 - 2 : 倒立二輪ロボットのシミュレーション

【実験】倒立二輪ロボットの運動をシミュレートしてみよう

【WHEEL】学習カリキュラム

(B) 運動解析編

PART3: 倒立振り子ロボットで学ぶ現代制御

第1回 はじめに

第2回 現代制御とは

- 2 - 1 : 制御とは
- 2 - 2 : 古典制御の復習
- 2 - 3 : 古典制御の利点と欠点
- 2 - 4 : 現代制御の概要

【実験】身の回りのものから、制御についてディスカッションしてみよう

第3回 状態方程式による運動表現

- 3 - 1 : 状態量と状態方程式
- 3 - 2 : 機械系（並進運動）の状態方程式
- 3 - 3 : 機械系（回転運動）の状態方程式

【実験】回転運動の運動方程式を、状態方程式に展開してみよう

【実験】Simulinkに回転運動の状態方程式を入力し、運動をシミュレートしてみよう

- 3 - 4 : 電気系（RLC回路）の状態方程式

【実験】倒立振り子ロボットの運動方程式を、状態方程式に展開してみよう

第4回 倒立振り子ロボットの可制御性、可観測性

- 4 - 1 : 可制御性とは
- 4 - 2 : 可観測性とは
- 4 - 3 : MATLABを利用した可制御性、可観測性の確認

【実験】倒立振り子ロボットの可制御性、可観測性を確認してみよう

第5回 倒立振り子ロボットの安定性

- 5 - 1 : システムの安定性とは
- 5 - 2 : 安定性をスカラーで考えてみよう
- 5 - 3 : MATLABを利用した安定性の判定

【実験】倒立振り子ロボットの安定性を判定してみよう

第6回 倒立振り子ロボットの安定化（極配置）

- 6 - 1 : システムを安定化するには
- 6 - 2 : 極配置による安定化をスカラーで考えてみよう
- 6 - 3 : MATLABを利用した極配置の方法

【実験】倒立振り子ロボットを、極配置を用いて安定化してみよう（すべての状態が既知の場合）

第7回 オブザーバによる未知状態量の推定

- 7 - 1 : オブザーバとは
- 7 - 2 : 同一次元オブザーバによる未知状態量の推定

【実験】倒立振り子ロボットの角速度を未知状態量として、推定してみよう（同一次元オブザーバを利用した場合）

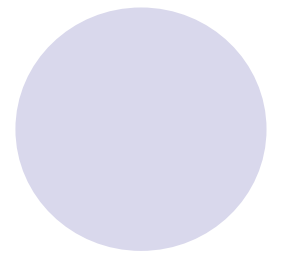
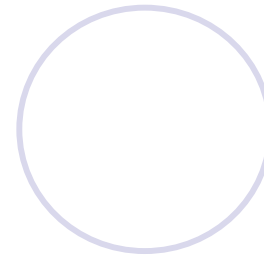
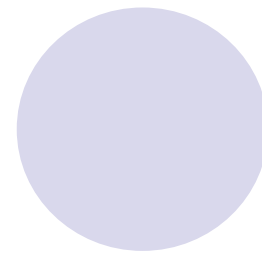
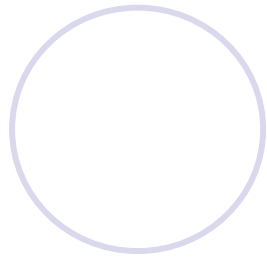
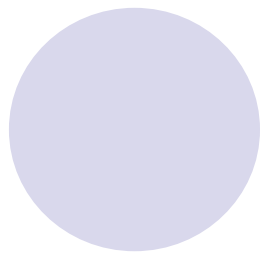
- 7 - 3 : 最小次元オブザーバによる未知状態量の推定

【実験】倒立振り子ロボットの角速度を未知状態量として、推定してみよう（最小次元オブザーバを利用した場合）

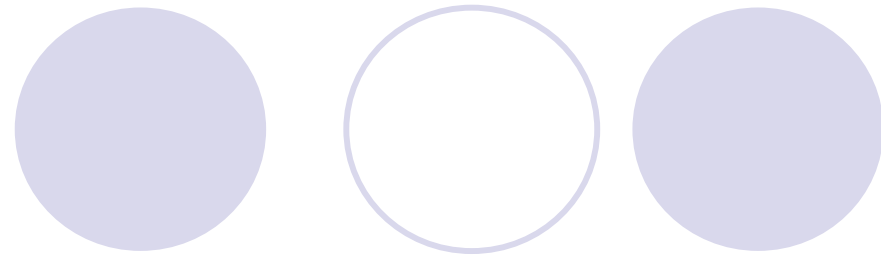
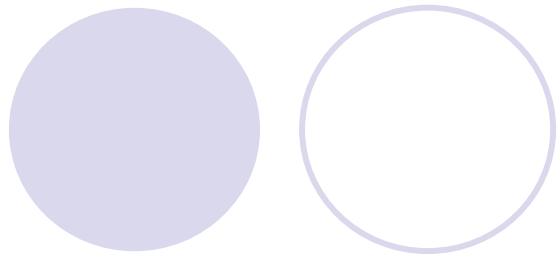
第8回 倒立振り子ロボットの最適制御

- 8 - 1 : システムの最適制御とは
- 8 - 2 : 最適制御をスカラーで考えてみよう
- 8 - 3 : MATLABを利用した最適制御の方法

【実験】倒立振り子ロボットを最適制御により安定化してみよう



- ZMPは、今後も、産業界で求められる人材育成事業を一つの柱として、**ロボットを活用したエンジニア育成カリキュラム**の開発、販売を推進して参ります。



ZMP, The Education & Entertainment Robot Company