



第1回「実践！ロボット教育・研究フォーラム」（主催 ZMP）

e-nuvo WHEEL を用いた制御教育

2009.07.22(水) 11:50 ~ 12:20 機械産業記念事業財団(TEPIA)

慶應義塾大学

理工学部 物理情報工学科

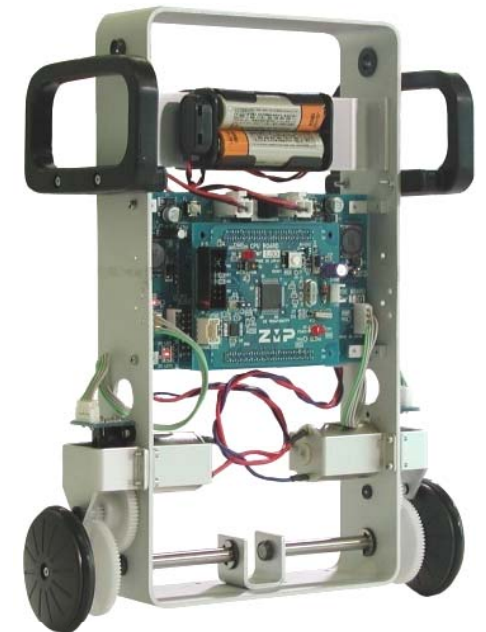
足立 修一

講演概要

- 制御理論を理解するためには数式を中心とした座学だけでは不十分であり、数値シミュレーションや制御実験が必要不可欠である。本講演では、e-nuvo WHEELを用いた制御実験について紹介する。

と、プログラムには書きましたが、

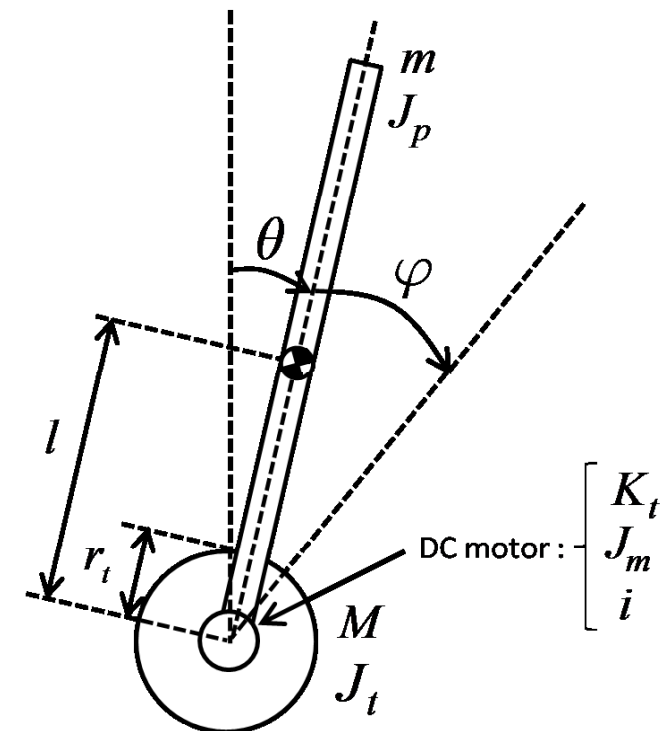
- 他の講演者の方々はロボット関係の専門家の方が多く、また私はロボットやハードウェアの専門家ではなく、理論研究が主なので、
 - システム制御工学
 - モデリング
 - 制御教育などの一般的なお話をさせていただきたいと思います。



講演内容

■ ZMPとの出会い ~ e-nuvo WHEEL の誕生 慶大 物理情報工学科とは

- システム制御工学 ~ キーワードは『モデルベース制御 (MBC)』
- 制御教育
 - 講義
 - 演習 (手計算 + MATLAB/Simulink)
 - 実験 (倒立振り子 → e-nuvo WHEEL)
- カルマンフィルタ
- まとめ



ZMPとの出会い

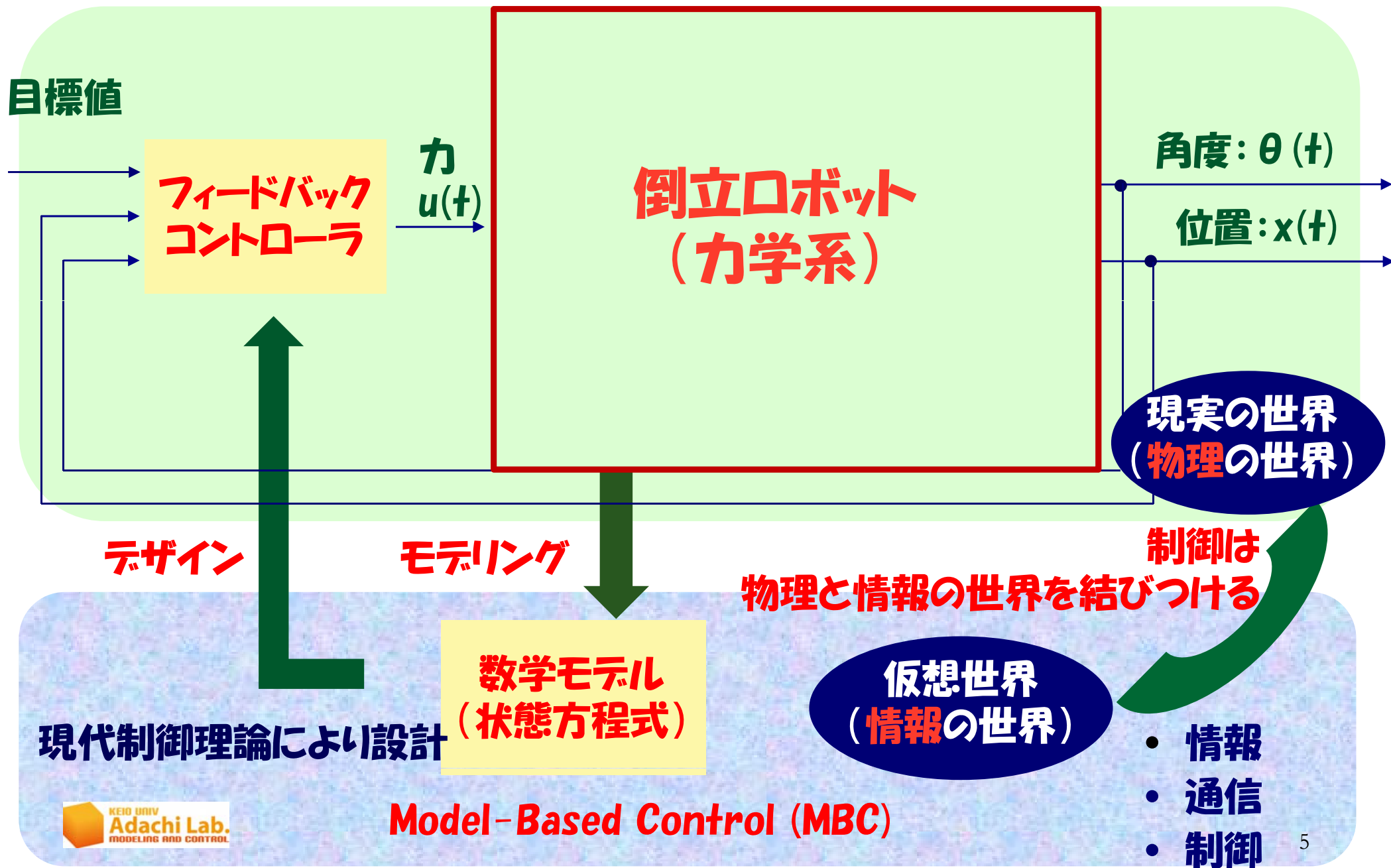
- 2006年慶大で研究室を立ち上げるにあたって、制御工学の教育・研究用の実験装置を探していた。
- 機械学会 関東支部大会(東洋大, 2006.3)で e-nuvo WHEEL に会う
 - ◆ 制御工学の応用例の一つとしてのロボット
 - ◆ 研究室配属に向けた足立研究室の宣伝

e-nuvo WHEELの誕生

- 従来の倒立振子に代わる新しい実験装置がほしかった
- ZMPの技術者から e-nuvo WHEEL 開発の相談を受け、制御工学の面からアドバイス
- 「現代制御理論による倒立二輪ロボットの制御実験」をようやく執筆

慶大 物理情報工学科 (物理 + 情報 ⇒ サイバネティックス)

(応用物理系, 電気電子系の学科)



システム制御工学

制御に関わる分野や対象は限定されたものでない。
「動き」(ダイナミクス) があるものにはすべて関連している。



システム制御理論は横断的で概念指向的な学問
自然科学に基礎をもたない「純粹工学理論」



ダイナミクスがあるものに対して、制御は適用できる！

ダイナミクス (dynamics)

- **ダイナミクス**: 機械では... 「動力学」、電気では... 「動特性」
- 数学的には、動きが微分方程式によって記述される。
- 制御工学ではダイナミクスをもつシステム(**ダイナミカルシステム**)が対象

制御理論の流れ

■ 古典制御(PID制御) (~1960)

- 周波数領域における設計法
- 制御エンジニアの直観
- 試行錯誤



■ ロバスト制御(H^∞ 制御) (1980~)

- 周波数領域における直観と時間領域における計算法
- モデルの不確かさを考慮した現実的な問題設定
- 数学的には難解だが、CADが完備

■ 現代制御(状態空間法) (1960~)

- 時間領域における設計法
- 最適制御
- 数学的な解法のため、コンピュータのプログラミングには向いているが、制御エンジニアの直観が使いにくい



■ モデル予測制御 (1990~)

- 時間領域における設計法
- 制約を考慮した最適制御
- 現実的な問題設定

MBC (Model-Based Control)

現代制御理論 → モデル予測制御



- 時代は再び「最適制御」
- プロセス制御系のみならず，自動車産業などのようなメカニカルシステムの制御でもモデル予測制御は注目を集めている。
- 現代制御理論は，モデル予測制御を勉強するための前提科目
- 状態フィードバックの有効性を学習するとき，e-nuvo WHEELのような不安定システムを安定化する制御実験は効果的

制御のためのモデリングの重要性

■ モデリング

- 対象とするシステムのふるまいを特徴づけるモデルを構築すること
- 複雑な物理, 化学, 社会現象を**モデル(model)**という単純化された数学的表現に変換 (モデルの原義 mode(小さな尺度) ⇒ modern)
- ヨーロッパで誕生した近代科学の基礎

■ モデルとは、対象の本質的な部分に焦点を当て特定の形式で表現したもの ⇒ モデリング ≒ 近似 ⇒ プラモデルの例

■ Model-Based ○○○

- Model-Based Development (MBD)
- Model-Based Control (MBC)

■ ほとんどの制御理論は**モデルベースアプローチ**

- **現代制御**(状態空間法) (1960~)
- ロバスト制御 (1980~)
- **モデル予測制御** (1990~)

一般的な教育の基本（私見）

- **人間関係 ⇒ 少人数教育(相手の目を見てコミュニケーションする重要性)**
 - 自信のない学生は教師の目を見ることができないし、自信のない教師は学生の日を見ることができず、黒板や教科書ばかり見ている
 - Face to Face 教育
- **「少人数」の定義 … 教員が学生の名前を覚えられる人数(30名以下)**
 - ⇒ 教員が名前を覚えていることを学生が自覚すれば
 - Eye contact が可能 ⇒ 授業に緊張感が出てくる
(大学生は今も昔も緊張感が足りないし、特に、今の学生は緊張に耐えられない)
 - 一方向の講義ではなく、双方向の授業が可能になる
- **理工系における少人数教育の実践の場**
 - **卒業研究（4年生）**
 - **学生実験が重要(3年生までは)**

慶應義塾大学 物理情報工学科の制御関連科目

- 2年春:「**物理情報数学A**」(必修)・・・複素関数論, **フーリエ解析**
- 2年春:「物理情報数学B」(必修)・・・線形代数, ラプラス変換, z変換
- 3年春:「**制御工学**」(必修)・・・古典制御から現代制御の初歩
 - 受講生120名程度・・・とても多い!(少人数教育からは程遠い)
 - 授業ではMATLABは使用していない。
- 3年春:物理情報工学実験1・・・サーボ系の実験
- 3年秋:「**モデリングと制御**」(選択)・・・システム同定
- 3年秋:**物理情報工学実験2・・・倒立振子の実験**
 - 実験に予算とマンパワーをかけている
 - すべての教員が1テーマを担当
 - 学生は, 2人一組で実験
- 大学院:「**モデルベース制御理論**」
 - ・・・ モデル予測制御とカルマンフィルタ

拙著の紹介

3年生秋学期
モデリングと制御
教科書

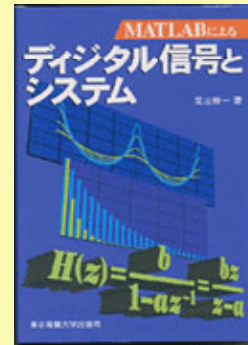
3年生春秋学期
制御工学
教科書



1996



1999



2002



2004

システム同定の基礎
(2009.9.20 発行予定)

200ページ → 250 ページ
価格は2700円据え置き
システム同定理論, 演習を充実

そろそろ改訂
したいが

■ 執筆したい本

- モデル予測制御の基礎
- カルマンフィルタの基礎
- 高校数学でわかる制御理論
-

制御工学教育

- 学生の制御に対するイメージ
 - 制御工学は数式ばかりで難しい!?
 - なんの役に立つのかわからない?
- 制御工学は, さまざまな制御対象に対して一般的に成り立つ理論展開を行うので, 議論が抽象的
 - ⇒ **抽象的な考え方が苦手な学生が多い**
その代わり, ロボットのように具体的に目に見えて動くようなものには興味をもつ
高校生には, 機械系は人気があり, 電気系は人気がない
- **抽象的な制御理論と, 具体的な制御実験をバランスよく, 教育することが重要 (もちろん, 演習も必要)**

講義, 演習, 実験は三位一体

制御工学教育

学部教育

講義・演習(手計算)

古典制御 (3年前期)

講義・演習(手計算)

制御実験 (1)

制御を楽しむ導入実験

- e-nuvo WHEEL
- 回転型倒立振り子

現代制御
モデリング
(3年後期)

MATLAB/Simulink

手計算やCで苦労した後に
MATLABを使わないと、
ありがたみがわからない

制御実験 (2)

e-nuvo WHEEL

制御の研究室

企業での教育

企業における制御教育

- 理工系卒業生であれば、(おそらく) **古典制御**までの最低限の知識はあるだろう。
- しかし、すべての大学で**現代制御**まで学部で講義しているわけではない。
- 大学院における授業は、教員の専門分野に依存することが多く、残念ながら大学院では系統的な制御工学は行われていない。
- 大学卒業後、何年もたつと、大学で習ったことはほとんど忘れてしている。

⇒ **実験を交えた制御工学教育の必要性**

- 大企業では、大学教員を講師に迎えた制御セミナーを開講しているところもある。
- それができない場合には、社内の制御専門家による自前のセミナーの開催が効果的(人に教えることによって、理解が深まる)
- SICE(計測自動制御学会)制御部門の制御セミナー(現代制御, ロバスト制御, システム同定など)も充実

足立研究室における e-nuvo WHEEL の活用

- 足立研導入教育 慶大では3年生の12月に研究室配属決定
 - 春休みから教育を行うことが可能だが、足立研では3月下旬から洋書輪講を開始
 - 導入実験
 - MATLAB/Simulink
 - e-nuvo WHEEL, e-nuvo WALK
 - SICE DD Arm
 - 技術報告書作成訓練
 - LaTeX
 - 5月に新4年生の発表会
- 卒論テーマとして
 - 外乱オブザーバを用いた制御
 - 新しいテーマを4年生と検討中
 - dSPACE(有線) → 無線
 - ビジュアルフィードバック



Adachi Lab.
MODELING AND CONTROL
SINCE 2006

Language


メインメニュー
 トップ
 研究室の概要
 研究テーマ
 研究室メンバー
 論文・活動
 書籍
 講義
 足立研セミナー
 交通・アクセス
 リンク集
 What's New
 足立研ブログ

アクセスカウンタ

今日	10
昨日	291
総数	176196

ログイン
 ユーザ名:

 パスワード:

[パスワード紛失](#)
[新規登録](#)

足立研HP 「足立研究室」で検索

Home

Keio University 慶應義塾大学 理工学部
物理情報工学科
足立研究室

Schedule

- 足立研セミナー: 「非線形物理モデルに対する適応補償」 佐野 昭 先生 (慶應義塾大学名誉教授) (2009.6.15)
- IFAC SYSID2009 (Saint-Malo, French) (2009.7.6~8)
- ICCAS-SICE2009 (Fukuoka, Japan) (2009.8.18~21)
- 7th Asian Control Conference (ASCC 2009) (Hong Kong, China) (2009. 8. 27-29)
- IFAC SYROCO 2009 (Gifu, Japan) (2009.9.9 - 12)
- 第38回制御理論シンポジウム (大阪) (2009.9.14~16)
- 1st IFAC Workshop on Estimation and Control of Networked Systems (NecSys'09), (Venice, Italy) (2009.9.24-26)
- 第52回自動制御連合講演会 (大阪大学 豊中キャンパス) (2009.11.21-22)

過去のスケジュール

What's New

- 制御工学中間試験の問題と解答例 (2009-6-11)
- 足立研2008年度年次報告 (2009-6-8)
- 物理情報数学A(フーリエ解析)の講義始まる (2009-5-31)
- 6月15日に足立研セミナーで佐野先生がご講演 (2009-5-5)

足立研ブログ

2009年6月9日(火曜日)

山川教授, 足立研セミナーでご講演
 Filed under: 研究室雑記- adachi @ 21時59分40秒



山川宏教授(京都大学生存圏研究所)に足立研セミナーで講演していただきました。講演題目は「宇宙機の軌道ダイナミクスと最適化」でした。
(続き...)

コメント (0) | コメント (0)

2009年6月6日(土曜日)

電気自動車の制御システム
 Filed under: 研究室雑記- adachi @ 23時20分53秒



廣田幸嗣・足立修一編著, 出口欣高・小笠原悟司著
 「電気自動車の制御システム ~電池・モータ・エコ技術~」(東京電機大学出版局)が完成し, 6月10日に全国の大型書店の店頭に並ぶ予定です。電気自動車元年と呼ばれる2009年にこの本を出版できたことを大変うれしく思います。(続き...)

コメント (0) | コメント (0)

2009年6月5日(金曜日)

制御工学中間試験
 Filed under: 研究室雑記- adachi @ 22時39分03秒



16

古くて新しいカルマンフィルタ

- 1960年に提案されたカルマンフィルタは，1960年代米国で行われたアポロ計画で採用され，広く知られるようになった。
- 対象の観測データに基づいて，状態を推定
- カルマンフィルタは，究極のモデルベースアプローチ
- モデリング技術の発展により，高精度なモデリングが可能になってきた
- ハードセンサ ⇒ ソフトセンサ（状態推定器）
- さまざまな産業分野にカルマンフィルタが適用

カルマンフィルタの新たな展開

- Kalman Filter (KF) … 線形，ガウシアン
- Extended Kalman Filter (EKF) … 非線形，ガウシアン
- Unscented Kalman Filter (UKF) … 非線形，ガウシアン
- Particle Filter … 非線形，非ガウシアン（モンテカルロ法）
- Ensemble Kalman Filter (EnKF) … データ同化

Now on Sale

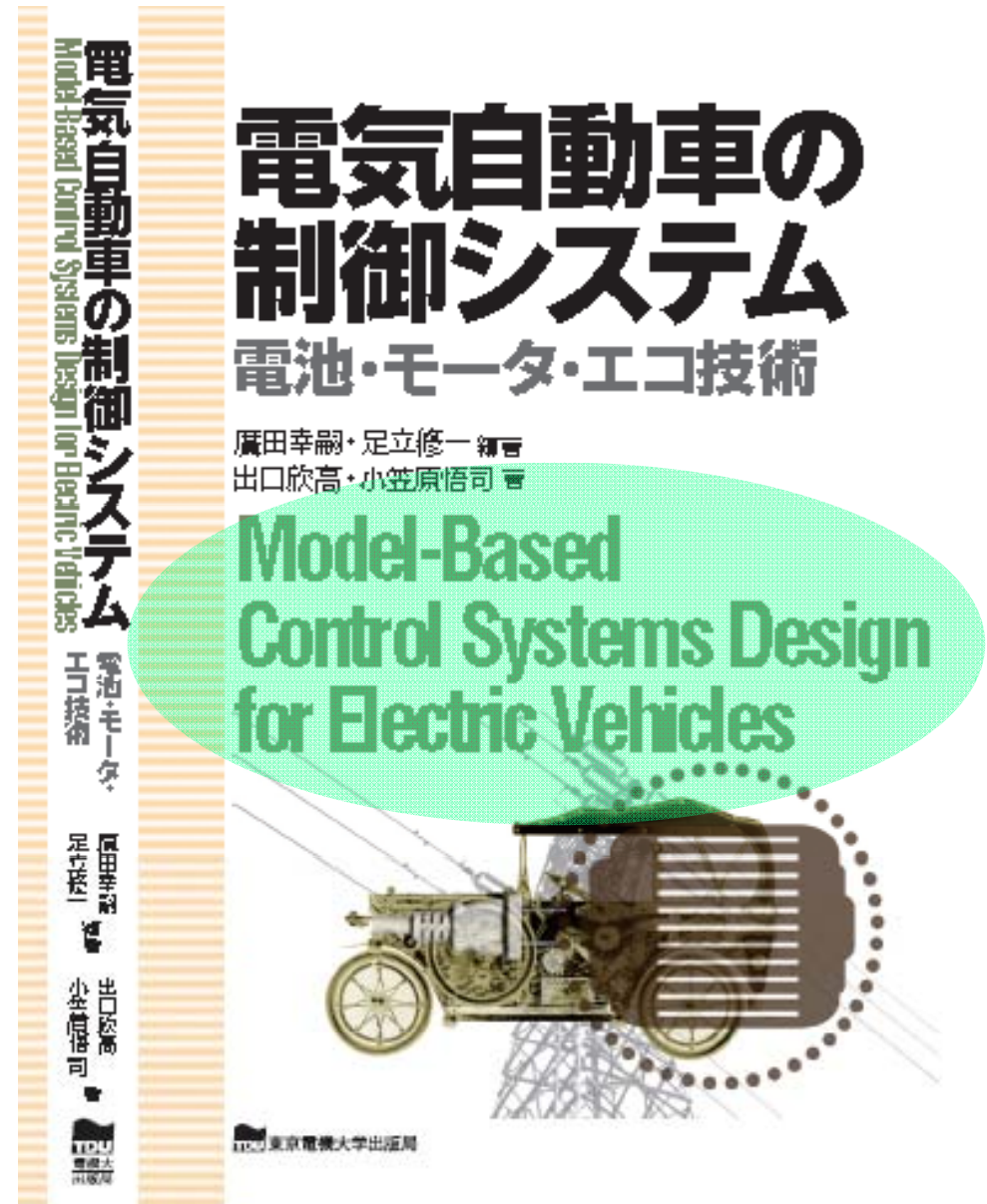
■ 廣田，足立 編著，出口，小笠原 著
電気自動車の制御システム

東京電機大学出版局
(2009.6.10発行)

1. モービルエレクトロニクスと電気自動車
2. 走行制御システムの設計
3. フィードバック制御系の基本的な設計手順
4. ハイブリッド車・電気自動車の走行制御
5. 電池と電源システム
6. 走行用モータとその制御

などの話題が1冊に含まれているユニークな本

e-nuvo WHEEL についても紹介



まとめ

- 制御教育における制御実験の重要性について述べた。
- 制御工学とモデリングについて簡単にまとめた。
- 足立研における e-nuvo WHEEL の活用例を紹介した。
- 不況のときこそ『制御』の出番だと思う。
企業の制御開発・研究者のご活躍を期待します。