

このロボットがすごい2016

160909
Rev 1.0

ロボットをつくる

～玉乗りロボットができるわけ～

熊谷正朗

kumagai@mail.tohoku-gakuin.ac.jp
@kumarobo

東北学院大学工学部
ロボット開発工学研究室 *RDE*

今回の目的

○ 玉乗りロボット と できた経緯

イントロダクション

玉乗りロボの解説

開発の背景

開発の手順



Kumagai, M
@kumarobo

「このロボットがすごい！」@konorobo にお招きいただいたのですが、どの系統のお話がよいでしょうか。※どれも面倒な数式は出てきません
予定タイトル:「ロボットをつくる ～玉乗りロボットができるわけ～」
参考のためご協力を。

[View translation](#)

39% 玉乗りロボを勢いでつくる研究室の開発手順(技術)

24% 玉乗りロボを勢いでつくる研究室の運営方針(教育)

34% 玉乗りロボの解説と技術的にすごいところ(マニア)

3% その他(ご要望承ります)

38 votes • Final results

自己紹介

○ ロボットメカトロ技術屋（≠研究者）

◇本業：大学教員：東北学院大学 機械知能

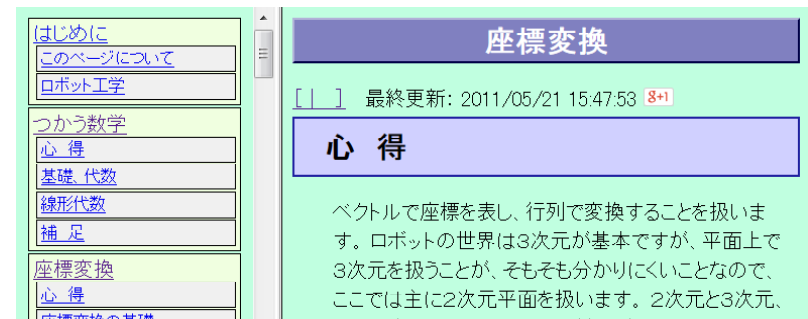
- ・ロボット、メカトロニクス系科目担当
- ・ロボット開発工学研究室

◇副業：仙台市地域連携フェロー

- ・地域企業向け相談等、メカトロセミナー

◇好：ロボットアニメ

◇この配色のページ
の持ち主→



「ロボット」

○ ロボットの要件（本講演での私的意味）

1: メカトロニクス機器であること

※コンピュータ制御の機械

2: 「ロボット」と名前が付いていること

3: 「そんなのロボットじゃない」

と言われないこと

というわけで、ロボットをメカトロに置き換えてもかまいません。

玉乗りロボット BallIP

○「球に乗ってバランスするロボット」

⇒ まずは映像を

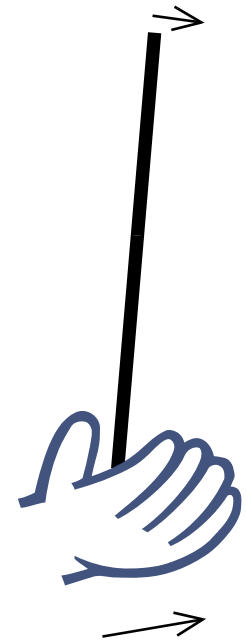
※BallIP (ぼ〜りっぷ)

= Ball をつかう

Inverted Pendulum (倒立振子)

※倒立振子 (とうりつしんし)

= 「ほうき立て」のように、なにか
倒れるものを制御で立て続け
させようとする手法。



このロボットはすごい？

○ 玉乗りロボットBallIPの特徴

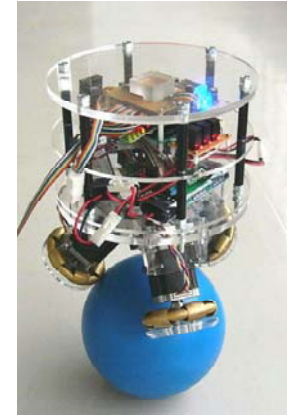
◇開発当時には珍しい部類

- ・その後、軸方向受動付き車輪（総称：オムニホイール）3個で、という形式がいくつも実現される

◇倒立振子としておとなしい、ロバスト

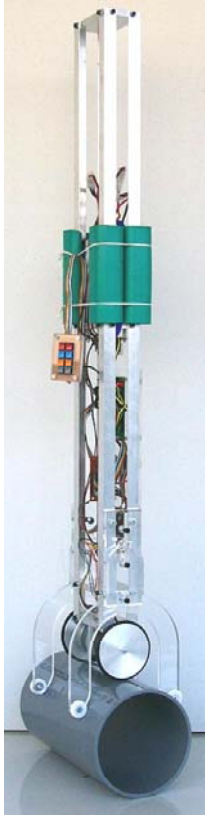
◇駆動がステッピングモータ

- ・ダイレクトドライブ：角度・速度がほぼ正確
- ・加速度操作型制御：ロバストさの理由



このロボットはすごい？

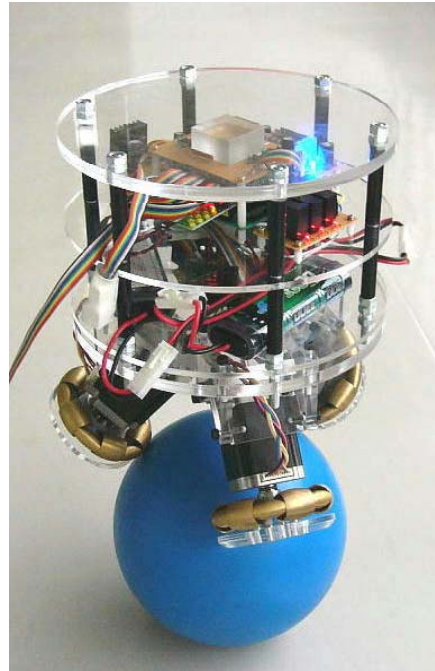
○ 玉乗りロボットBallIPシリーズ



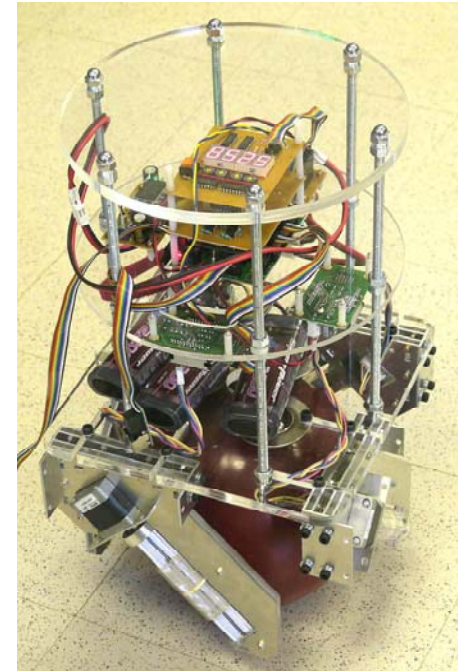
パイプ乗



R1.1



R2.0



PSR

このロボットはすごい？



○ 最新: BallIP Miniの売り

◇ (珍しく) 設計・実装ぜんぶ熊谷

- ・ 珍しい: 学生さんの手が入っていない
- ・ 本気の統合設計 メカと回路ハード

◇ 運用性を重視

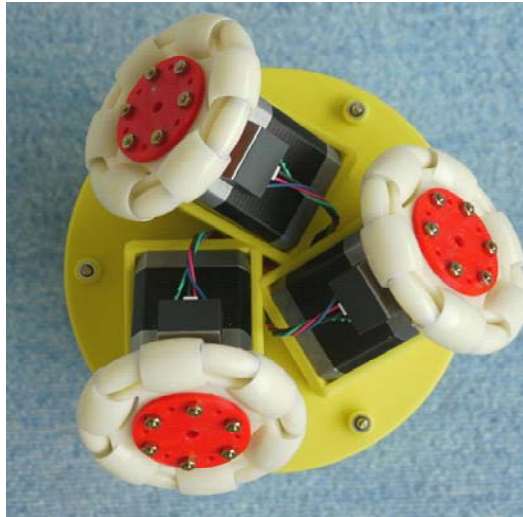
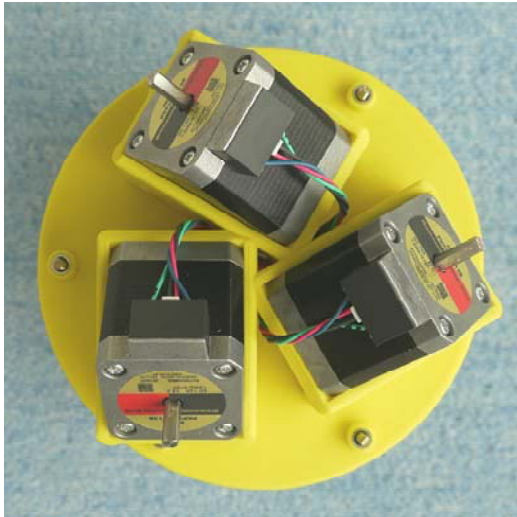
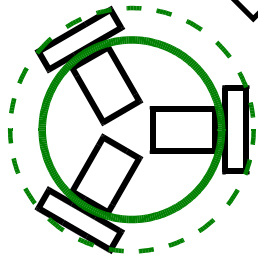
- ・ 主用途: 実験、デモンストレーション
- ・ 電源入れてすぐに稼働 (高度なOS無し)
※USB対応マイコンで、USBパッド込500Hz制御
- ・ 運搬のしやすさ 代替、修正のしやすさ

このロボットはすごい？

○ 最新: BallIP Miniの駆動配置

◇コンパクト化を可能にする軸ずらし

- ・ もとのBallIPはY型のモータ配置
- ・ この形で干渉を低減⇒小型化



このロボットはすごい？

○ 最新: BallIP Miniの拡張性(β)

◇天板への上部構造増結

・機械的、電氣的



締結用雌ネジ 12-M4

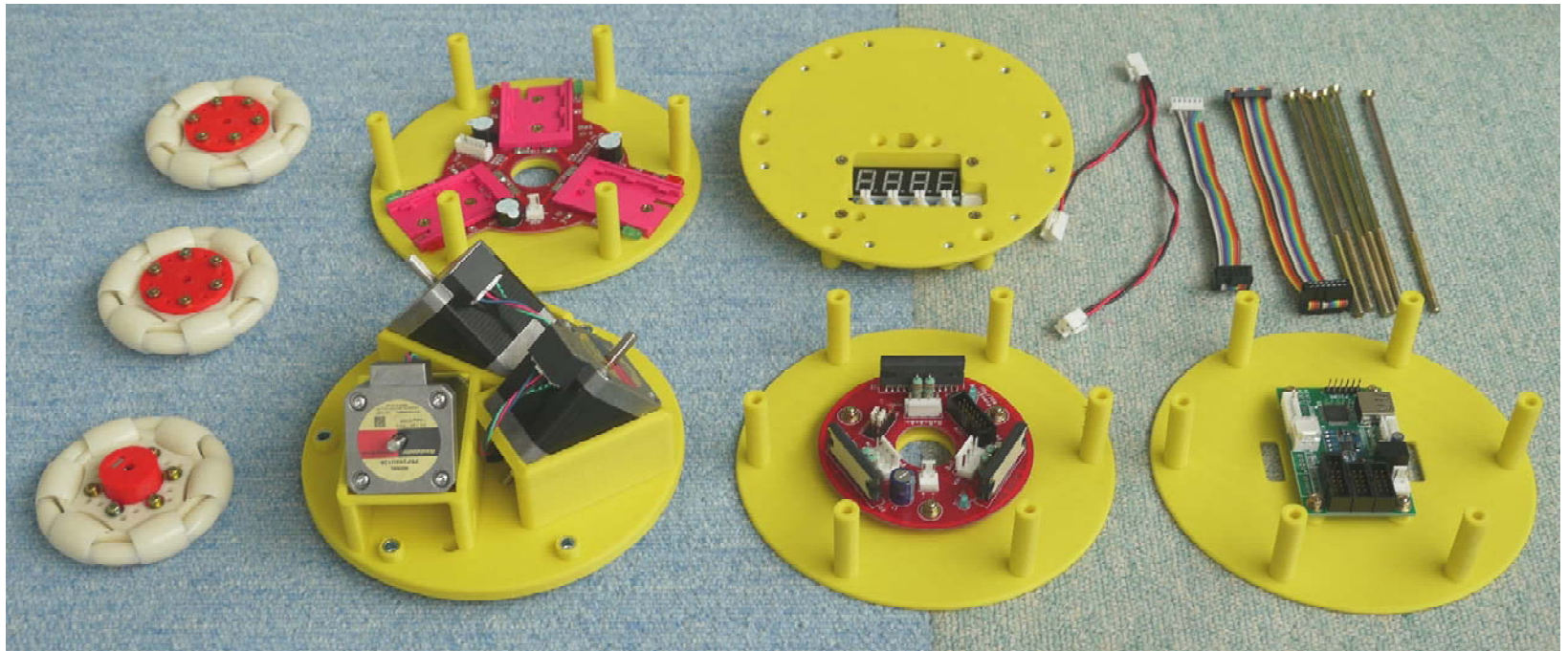


通信コネクタ(4端子)

このロボットはすごい？

○ 最新: BallIP Miniの組立構造

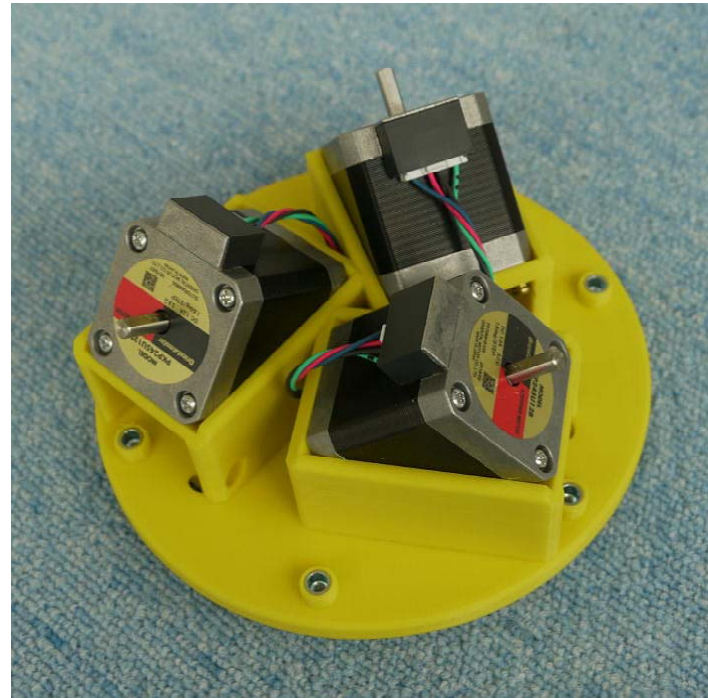
◇モジュール構成(3Dプリント)



このロボットはすごい？

○ 最新: BallIP Miniの組立構造

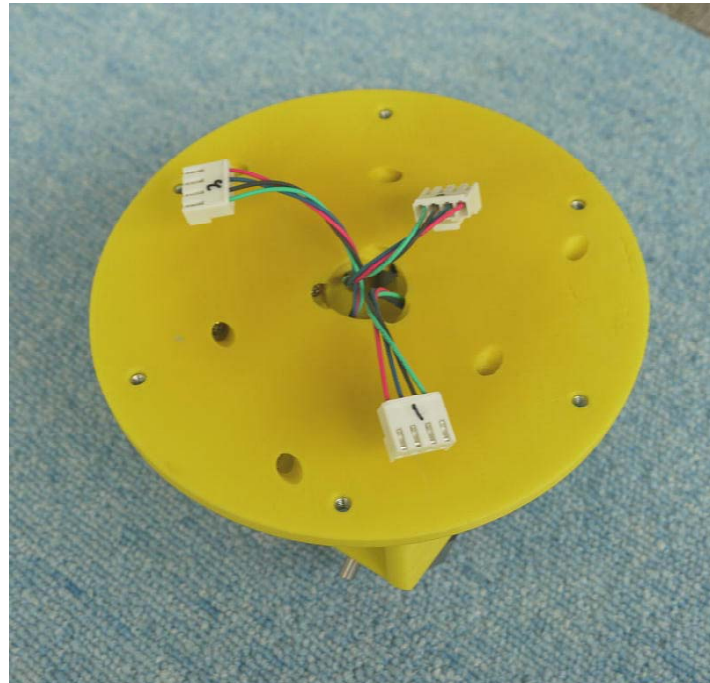
◇ 基部・モータ固定部



このロボットはすごい？

○ 最新: BallIP Miniの組立構造

◇ 基部・モータ固定部の裏返し



このロボットはすごい？

○ 最新: BallIP Miniの組立構造

◇モータ制御回路層(TB6560AHQ × 3)



このロボットはすごい？

○ 最新: BallIP Miniの組立構造

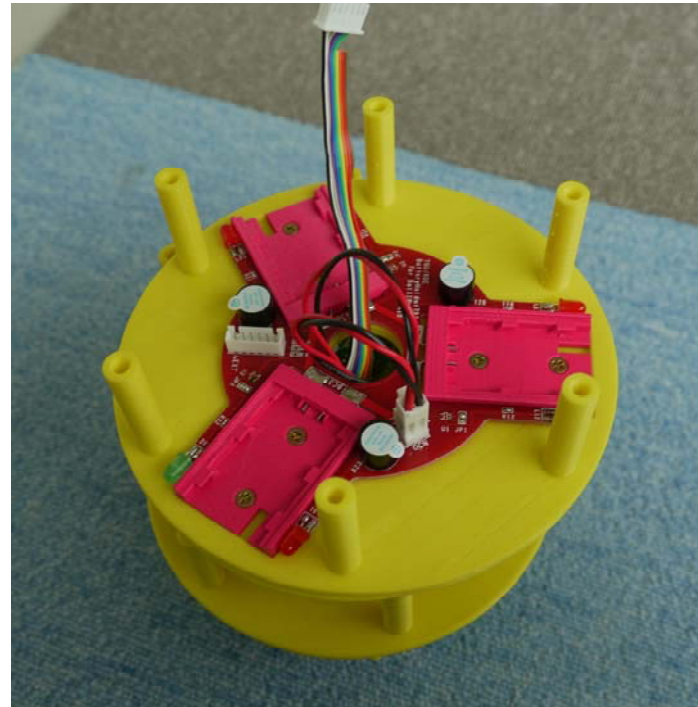
◇主制御基板層(dsPIC33EP, MPU6050)



このロボットはすごい？

○ 最新: BallIP Miniの組立構造

◇ 電源層 (ビデオカメラ用Li電池 × 3)



このロボットはすごい？

○ 最新: BallIP Miniの組立構造

◇天板(簡易ユーザ入出力基板)



山崎で箱買い

このロボットはすごい？

○ カラーバリエーション

◇3Dプリンタゆえのカラフルさ・色選択性



玉乗りロボができる 研究室運営

○ いいだしっぺは学生さん

◇当研究室の卒研テーマの決まり方

- ・ 3年生秋の研究室配属決定プレゼンで
「私は○○なロボットをつくりたい」

と発表 ⇒ そのまま卒研テーマになる

- ・ 配属決定の意味するところ

学生：卒業のために、そのテーマに
責任をもって取り組む。

教員：実現に向けたサポートをする

玉乗りロボができる 研究室運営

○ テーマの広さ、自由さ

◇この方式の素晴らしいこと

学生さんの発想が自由

- ・ 知識は発想を制限する
「このテーマ他でやってるなあ」
「これ、難しいよ」
- ・ 学術性は発想を制限しかねない
「いつ論文になるの？学位取れるの？」

玉乗りロボができる 研究室運営

○ テーマの広さ、自由さ

◇この方式の危険なこと

玉乗りロボができる 研究室運営

○ テーマの広さ、自由さ

◇この方式の危険なこと

学生さんの発想が自由^{むぼう}

- ・ 知らないことは怖い
どのくらいヤバイか気付いていない
どのくらい難しいか想像できていない

※堅実な学生さんも少なくはない

玉乗りロボができる 研究室運営

○ テーマの広さ、自由さ

◇私の感覚

む ぼ う

自由さ ≫ ヤバさ

- ・まさに「**その発想はなかった**」
- ・種々の理由で、手を出されていない、失敗例が目立っても、やればできそうなテーマが案外ある。
- ・「論文を目標としない」ことで成立しうる。

玉乗りロボができる 研究室運営

○ 卒研実施の実際

◇基本構成：学生さんのアイデア＋熊谷の技術

- ・学生さんは制約の少ないアイデアを持つが、実現する力は乏しい
- ・熊谷はアイデアが枯れている（10年以上）が、技術集めてる、工作大好き

⇒ Win-Winの関係

※一般にはボスの夢・希望・野望が重要

玉乗りロボができる 研究室運営

○ ロボットメカトロ開発の背景の違い

◇一般研究室

- ・論文を書くため

◇企業

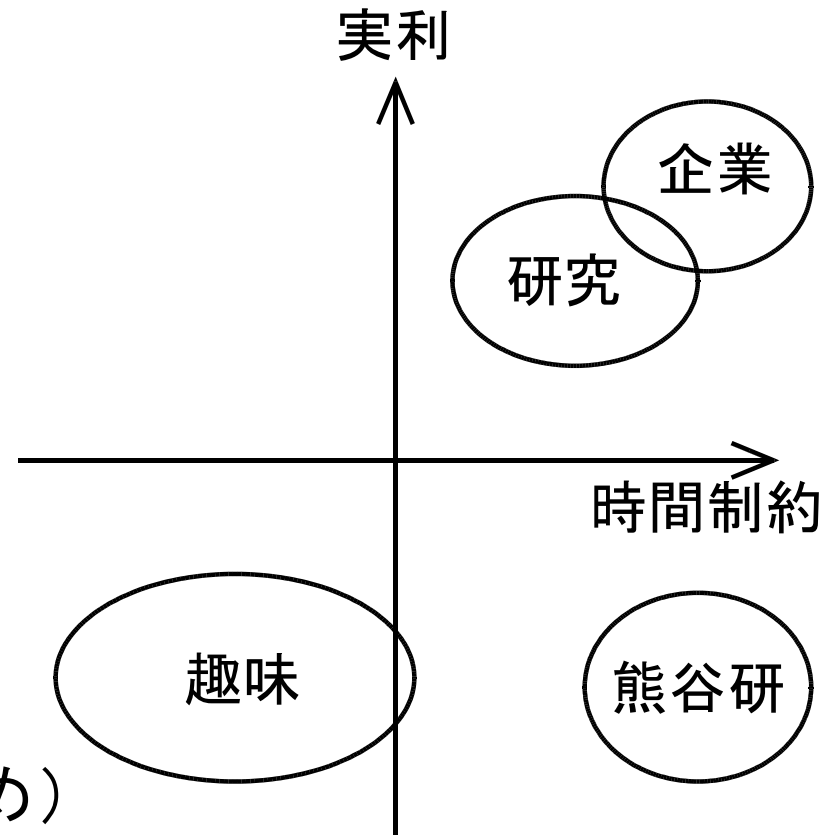
- ・売るため

◇趣味

- ・好きなものを

◇当研究室

(実践教育のため)



玉乗りロボができる 研究室運営

○ 開発の事例

◇玉乗りロボット

「玉に乗ってバランスするロボット

つくりたい」

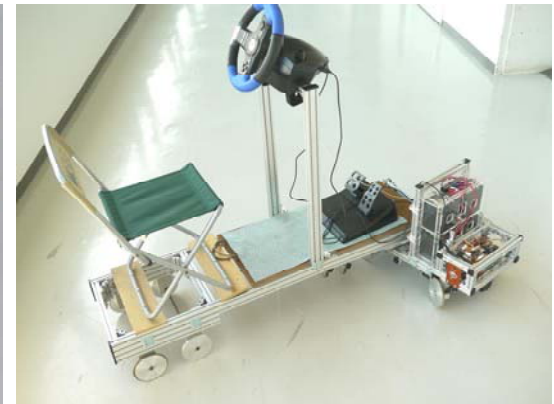
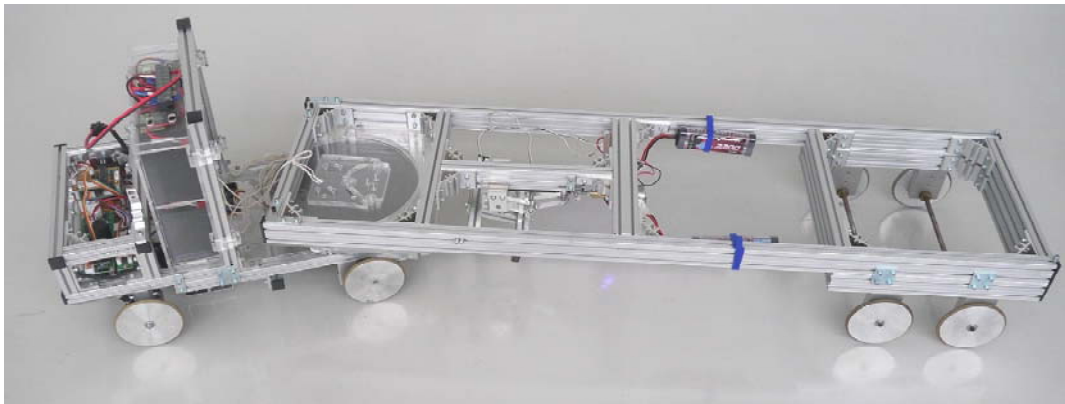
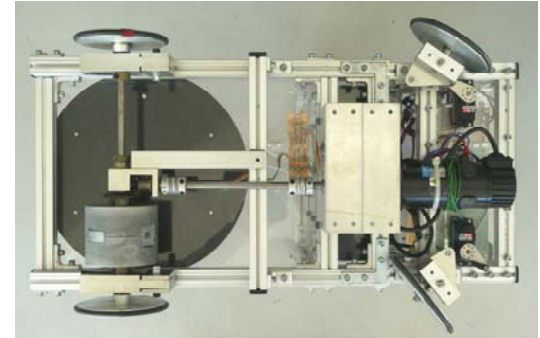
玉乗りロボができる 研究室運営

○ 開発の事例

◇トレーラロボット

「トラックが大好きなので、
トレーラ型のロボットつくりたい」

- ・ 本物の運転免許取って、制御則に活かす

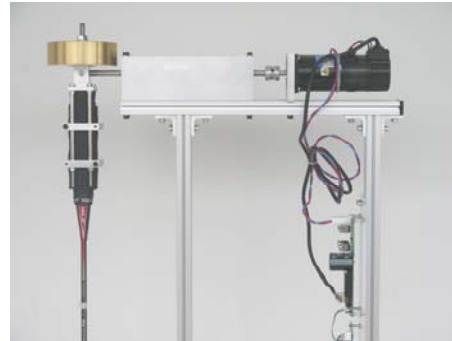


玉乗りロボができる 研究室運営

○ 開発の事例

◇バドミントンのシャトルサーブ機

「バドミントンやってて、
練習効率化のために、
サーブを上げる機械を」
※ピッチングマシンの的



玉乗りロボができる 研究室運営



○ 開発の事例

◇「高齢化農業支援の運搬機」 ※データで力説

◇「ヘビ型の」

◇「自動運転自動車やりたい」 ※K.I.T.T.好き

◇「ロボットに合体機能は必須」 ※トレーラで

◇「歩くロボットやりたい」 ※最近少ない

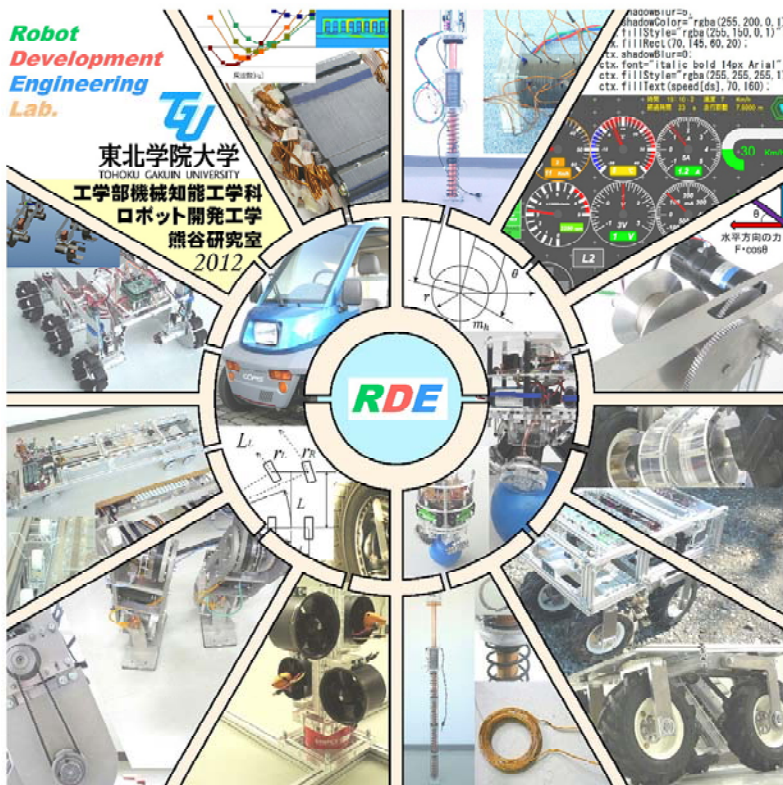
◇「タッチパネルで動かしたい」 ※DSのころ



- ・それ卒研でやるの？ **一人**で？ という規模の開発が多い

玉乗りロボができる 研究室運営

○ 1年間のテーマの例



玉乗りロボができる 研究室運営

○ このような卒研の結果

◇コンセプトは実現するが、**完成しない**

- ・ 規模が大きすぎる
- ・ ソフト開発(大半は熊谷担当)が、1月にデスマーチ ⇐1日で1台動くようにする等
- ・ 「二人目」に持ち越し

◇研究室の幅が広い

- ・ 熊谷のスキルも広がって、貯まる
⇒ 案の可否が見切りやすくなる

玉乗りロボを生み出す 開発手順

○ はじめに アイデアが あった

◇勝負は学生さんのプレゼンの日

- ・プレゼンを聞いて可否を判断(数時間内)
- ・具体的な実装方法をこちらでも検討
- ・必須部品を想定して、入手性調査

◇アイデアの具体化

- ・目的実現の手段の選定
- ・数値仕様の設定と基礎計算

玉乗りロボを生み出す 開発手順

○ はじめに アイデアが あった

◇玉乗りロボットの場合

- ・「やりたい」と言われて、
「面白い」と思った。
- ・玉を車輪とする、車輪移動型倒立振子をつくればいい。
- ・倒立振子は慣れっこ <すでに10種近く
- ・「玉を転がす仕掛け」が課題

玉乗りロボを生み出す 開発手順

○ はじめに アイデアが あった

◇「玉を転がす仕掛け」が課題

- ・一人目のときは「パイプ乗り」にした：
移動は1自由度の「乗る」倒立振子
- ・ロボカップなどで見覚えのある、あの
全方向移動機構があれば…
- ・たまに形状の試作検討 ⇒ 目処
- ・そこに都合良く二人目が



玉乗りロボを生み出す 開発手順

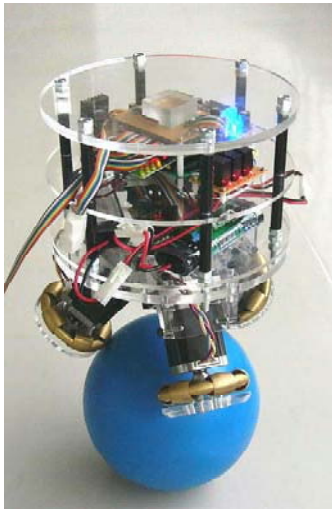
○ メカは学生さん

◇「機械科でしょ」

- ・ 持ってきた案にだめ出しするケース
- ・ 原案は伝えて、設計検討してもらうケース

など、メカに責任を持ってもらう

※ BallIP R1, R2系は学生さんが設計した部分が多い



玉乗りロボを生み出す 開発手順

○ 回路は熊谷

◇ 無謀なロボットを動かすには本気の回路

- 回路の性能を十二分にしておく
※メカやアイデアの不足に耐えるマージン
- ピーク出力は定格の3倍(通称トランザム)
- わかりにくいところで不具合出すのを避けたい
- ハンダ付けくらいしてもらうことはあり

玉乗りロボを生み出す 開発手順

○ ソフトは大半が熊谷

◇ローレベル＝ハードと密着、信号処理、制御

- ・ 専門知識と経験がいる ⇒ 熊谷
- ・ ネットからコピペで済むほど楽でもない
- ・ 回路と同じ発想

◇ハイレベル(アプリケーションレベル)

- ・ 運動学、動作シーケンスなど
- ・ 「つくりたいロボット」を実現する肝の一つ
＝いいだしっぺが責任を取るべき ⇒ 学生

玉乗りロボを生み出す 開発手順

○ ソフトは大半が熊谷

◇でも、ありがち

「あのね、ロボットってソフトが完成した
ときが、動き出すときなんだよ？
一番おいしいところなんだよ？
私に取られてもいいの？」

「はい、先生、お願いします」

玉乗りロボを生み出す 開発手順

○ 開発のバックエンド

◇ハードからソフトまでの一式のセット

- ・モータ／ドライブ回路／マイコン接続
／回転制御コード

※ステッピング、DCサーボ、ラジコンサーボ

- ・センサ／接続回路／取得コード(ハード寄)
／信号処理方式

※主に姿勢センサ類

- ・マイコンーPCの連携通信

※IF回路類、通信スタック

玉乗りロボを生み出す 開発手順

○ 使える技術セットへの誘導

◇アドバイス・提案を通して既存セットに誘導

◇場合によっては、仕様段階から仕込む

◇実装段階

- ・量産コピペ作戦
- ・見た目は違えど、使う回路基板やコードの95%くらい共通、というケース多い。
- ・本当の新規開発は年1件くらい／
ファームウェアの改修程度で対処範囲に

玉乗りロボを生み出す 開発手順

○ 開発スタイルの現状

◇ 直感優先

- ・ 原理は動いたあとで考えることも
※定式化されないことも多い

◇ 直感⇒数学的手法⇒直感⇒数学⇒

- ・ これまでに身につけた、直感的な手段選択
- ・ 妥当性や制御法の理論的考察
- ・ 数学的結果が直感に照らして妥当か
食い違いはどちらが正しいか？

玉乗りロボを生み出す 開発手順

○ 直感の重要性

◇ 勘と経験

- ・「これはつくれる」という見極め
- ・必要な技術要素のピックアップ
- ・技術分野の接続点バランス

◇ 勘の精度の向上

- ・見切りやすくなってきた ←経験？
- ・そのうち体系だてたい

※たぶん、それが「ロボット開発工学」

まとめ

○ 玉乗りロボットができるわけ

- ・「○○なロボットをつくりたい」
→言葉から、実在のロボットへ
- ・学生さんの自由な発想はアイデアの宝庫。
新しい研究のきっかけも生まれる。
※玉乗り: つくる→研究→在外研究→球面モータ
- ・アイデアを具現化するための技術。
モデル式だけではない、直感の必要性。
研究開発にも、ものづくりの力。

参 考

ロボット開発工学研究室

<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/>

→BallIP Mini の技術資料公開(モデル等)

→講義情報:

- ・ロボット基礎工学: ロボットの理論
- ・メカトロニクス: メカトロメカ
- ・ロボット開発工学: 専門科目の連携

→ロボット博士の基礎からのメカトロセミナー

- ・メカトロに関わる各種技術雑学