

2P1-16b6

セッション

ものづくり教育・

メカトロニクスで遊ぶ

コアタイム: 10日 14:45~15:30

- 熊谷正朗 (東北学院大学, **RDE Lab.**)
Masaaki Kumagai (Tohoku Gakuin Univ.)



目的

○ ロボット設計情報の公開

- ・ 成果物としてのロボット公開は多いが、その**設計情報**まで公開される例は多くはない。
※近年、ロボットソフトウェアの公開は増えている。
- ・ **ロボット設計そのものについての知見も**、制御則と同様に、他の研究、産業、教育等に貢献しうる。

○ 玉乗りロボットへの関心に応える

- ・ 「つくってみたい」と寄せられる質問等への対応
- ・ 実例を伴った解説の必要性
- ・ 「**まねできる**」ような汎用性再現性のある実装手段
- ・ 輸送しやすく貸し出しもできるような機体の実現

3Dプリンタを活用した

小型玉乗りロボットの開発

Development of a Small-sized Robot Balanced on a Ball using 3D Printer

概要

・ 技術情報を公開することを前提にしたロボット開発

Robot development for publishing all the technical data.

・ 再現性を高めるための手段として3DCAD・プリンタ

3D-CAD and 3D-printers as means for reproductivity.

総括

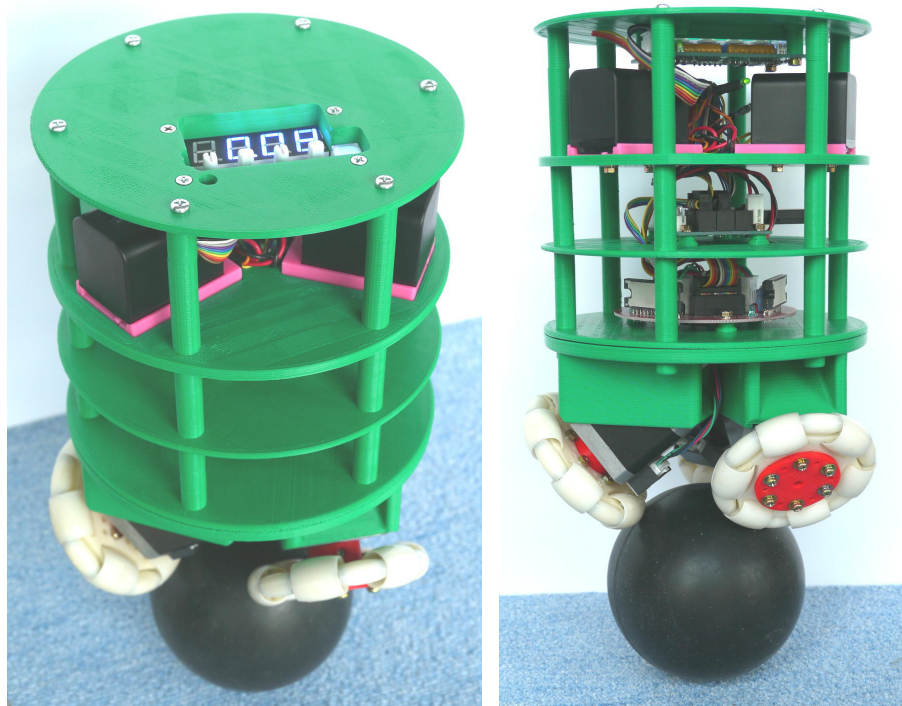
○ 3次元CAD設計 + 3次元プリンタ によるメカ出力

- ・ 3次元CADの普及 → **具体的なイメージとしての設計の伝達**
V.S. 2次元図面は読み取り能力が必要となる
- ・ 3次元プリンタの普及 → **単一の加工手段での製造**
V.S. 図面に加えての製造手段、加工スキルの確保
- ロボットの3次元設計データの有用性が高い
- それを前提としたロボットの開発

○ 小型玉乗りロボット

- ・ 8年ぶりの全面的リニューアル、利用技術の更新
- ・ **小型化**することによる運用のしやすさ向上
運搬、無茶な実験のしやすさ(破損耐性、周囲への影響低減)
- ・ 生産性向上 & 低コスト化(?) → 複数台化容易

玉乗りロボット *BallIP Mini*



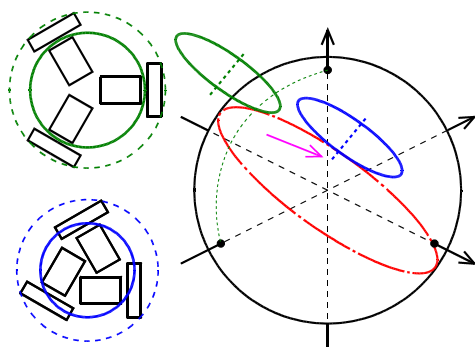
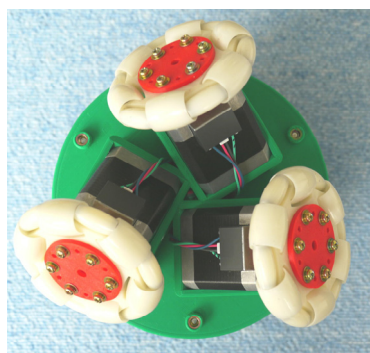
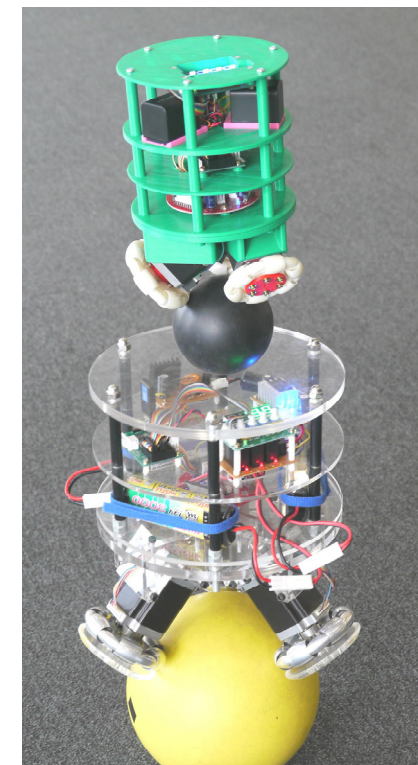
ロボットの基本仕様

寸法等

- ・ 本体全高: 240 mm (球含まず)
- ・ 本体直径: 160 mm (車輪含まず)
- ・ 本体質量: 2.3 kg (球含まず)
- ・ 適合球径: 約100 mm (硬い玉)
- ・ 重心高さ: 80 mm (かなり低い)
- ・ 最高速度: 1000 mm/s (実測)
- ・ 最大積載: 7 kg (実測)

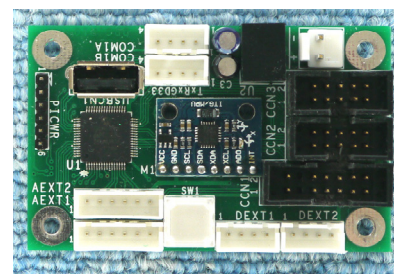
電氣的仕様

- ・ ビデオカメラ用Li系充電電池
公称 7.4V 2600mAh (DSTE製) × 3
- ・ オリエンタルモータ PKP245U12B



球駆動部 (新構造) ※既発表論文でゼロとしていた項を利用

- ・ モータ/車輪の軸を機体中心からオフセット
- ・ 車輪駆動速度は従来型と同じ(同じ大円上)
- ・ 機構をコンパクトにできる, 全体の小型化



制御系回路

- ・ dsPIC33EP256MU806 (Microchip)
16bit, 64MHz, USBホスト対応
- ・ MPU-6050 3ジャイロ, 3加速度
- ・ ステッピングモータ最大6軸

制御則

- ・ 一般的倒立振子制御則(ただし加速度操作)

$$a_{cmd} = K_1(\theta - \theta_{ref}) + K_2\dot{\theta} + K_3(x - x_{ref}) + K_4(\dot{x} - v_{ref})$$

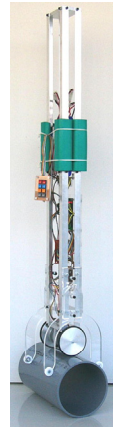
- ・ 2軸独立加速度指令 → 速度指令, + 旋回指令 → 車輪速度
- ・ 制御周波数 500Hz

玉乗りロボット関連研究概要

One is enough! / 「玉に乗ってバランスするロボットをつくりたい」 → 球面誘導モータ →

東北学院大学

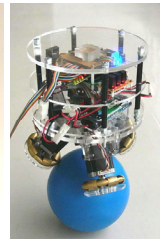
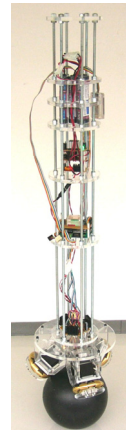
カーネギーメロン大学



玉に乗ってバランスする
ロボットをつくりたい①
→パイプ乗り倒立振子

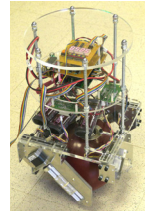


このころ、
車輪の開発

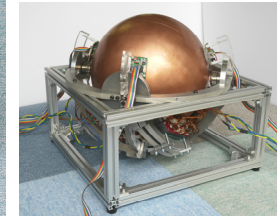
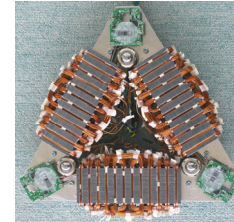


玉に乗ってバランスする
ロボットをつくりたい②
→玉乗りロボット

ローラー機構
による玉乗り

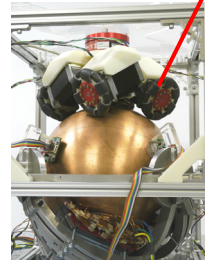


平面誘導モータ



球面誘導モータ

球面モータ回転中の
トルク測定手法



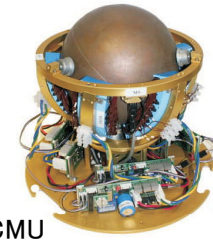
ballbot
"One is enough!"

熊谷在外研究@CMU
→ballbotチームと共同で
球面誘導モータ開発開始

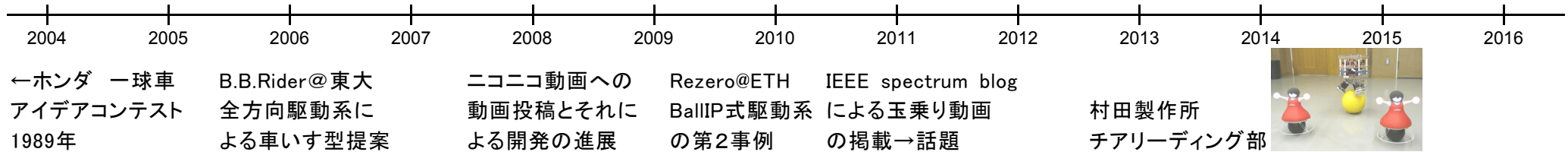
リニアモータ+
ベクトルドライバ開発

マウスセンサで
球の回転計測

球面誘導モータ@CMU



SIMbot@CMU



寄せられた質問と回答の方向

大学系（主に海外）

- ・つくってみたいが、車輪はどこで手に入るか？
A: ライテックス社の紹介、車輪の3次元模式図(Pro/Engineer形式)
- ・どのような制御プログラムなのか？
A: 論文の参照確認、日本語コメントを落とした主制御ソース
- ・ロボットの設計情報が欲しい
A: ロボットの図面は限定的. ある分のURL提示

大学系およびその他一般（主に国内）

- ・同じようなハードはできたけど、動かせない
A: ソースの提示およびセンサ系+車輪加速度操作+制御式の個別確認
- ・それらは問題ないようなんだけど、ゲインが調整できない
A: 姿勢角→同角速度→位置→速度, のゲイン調整のコツ
- ・ソフトはOK, ハードまったく素人だけどつくってみたい(近隣の高校生)
A: 実験室に招いて車輪移動型倒立振子で感覚を身につけてもらう
- ・テレビ撮影 A: 出張 and/or 学内撮影

技術資料の公開

公開およびそのための方針

◇公開場所

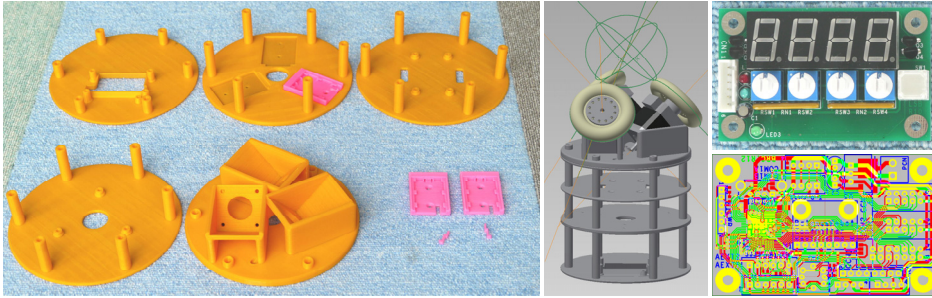
- ・研究室サイト: <http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/>

※「ロボット開発工学」で検索

◇メカ部分

- ・設計は**3次元CAD** (Autodesk社 Inventor)
- ・本体は**3次元プリンタ出力** (XYZプリンティング社 daVinci 1.0)
- ・車輪の部品は**射出成形** (ProtoLabs社)
- ・公開: 3次元CADデータ および プリンタ用STL

※メカ部品の生成に必要なデータ全て



◇制御回路

- ・設計は汎用回路設計環境 (Cadence社 OrCAD)
 - ・公開: 回路図(PDF) 基板データ(ガーバファイル)
- ※ガーバファイルから基板発注が可能(計数千円/10枚)
- ※回路図以上の部品リストは現時点で未整備

◇制御ソフトウェア

- ・開発はマイコン用統合環境 (Microchip社 MPLAB-X, xc16)
 - ・公開: ロボットの**制御ソフトウェアを全て**(ビルド可能)
- ※ロボット用開発プロジェクト一式をGithubにて

現状の課題と発展性

現時点での公開水準での課題

◇メカ部分

- ・対応プリンタは数万円で購入可能, 材料費3000円弱, 出力時間: 2日
- ・設計データ対応CADは, 教育機関+生徒+学生+教員は無償利用可能
企業の場合は有償=既保有ならよいが新規導入には負担が重い
- ・車輪の扱いに難あり(射出成形のコスト、自作時は特許の許諾手続き)
市販品(ヴイストン社「なめらかオムニホイール」)も使用可能

◇制御回路

- ・基板は外注しやすいが, 組立にはある程度のスキルが必要
- ・端子, 利用法説明などが, 現状はほぼ皆無

◇制御ソフトウェア

- ・各種機能をすべて搭載=ロボットの完成には十分
- ・説明の不足, ソース中のコメントの著しい不足

今後の方向性

- ・WEB上での表示の改善, 解説(そのもの, 設計の考え方)の拡充
- ・研究室内開発の他のロボットへの, 本方式の拡大→ロボット開発事例集

まとめ , etc.

まとめ

- ・全情報を公開することを前提として, 小型の玉乗りロボットを新規開発.
→ 外部からの種々の問い合わせに応える準備
「つくりたい」人・企業への取り組みやすさの向上への期待
- ・ロボットの理論や結果の論文での公開にとどまらない, 「**作り方**」の
公開によるロボット技術の進展を図る.

謝 辞

本研究で使用した車輪の開発にはJSPS科研費25420221のご支援があったこと、また、特許を保有する独立行政法人理化学研究所から研究用の製作の許諾を頂いていることを記し、お礼申し上げます。