

小型二足ロボットの スケート運動

—三次元画像処理を用いた運動計測—

杉内研究室
19NA134 佐藤和輝

1. 背景

二足歩行ロボットや人型ロボットについて

■ 利点

- 人の活動を中心とした既存の環境への高い適応性
- 不整地などに対する高い踏破性

■ 課題

- 車輪駆動ロボットと比べると移動速度が遅い点
- 全身のアクチュエータ駆動によりエネルギー効率が低い点

■ 解決案

- 二足ロボットによる『スケート運動』の実現

目指す姿

多自由度・多関節の様々な歩行型ロボットへの実装を可能にするため

単純な原理・構造による滑走技術の確立を目指す

2. 研究目的

これまでの研究成果と解決すべき課題

■ これまでの研究成果

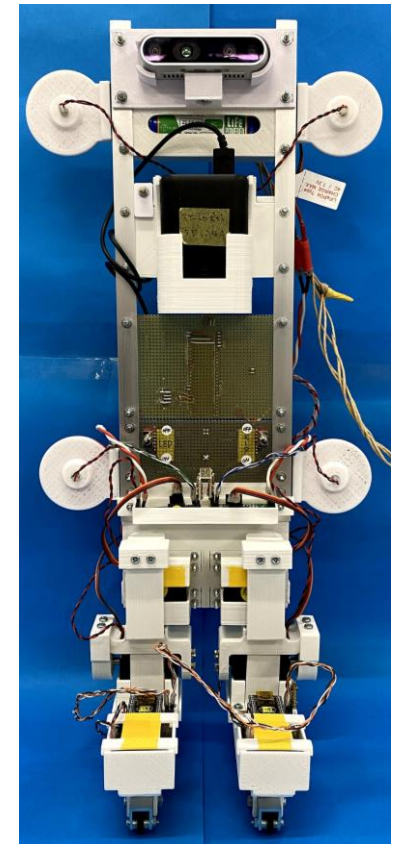
1. 小型二足ロボット”Penguinkun”の開発
2. シミュレーションによる安定・高効率な滑走法の探索

■ 課題

- 滑走が安定せず，転倒を起こす点
- 機体の滑走状態の定量的な計測手法がない点
- 機体の改良前後の滑走状態の比較が行えない点
- シミュレーションと実機の滑走の比較が行えない点

本研究の目的

滑走状態の定量的な計測手法を考案し，これを用いてシミュレーションで得られた理想的な滑走を達成するための実機とシミュレーションのギャップを埋めることを目的とする。

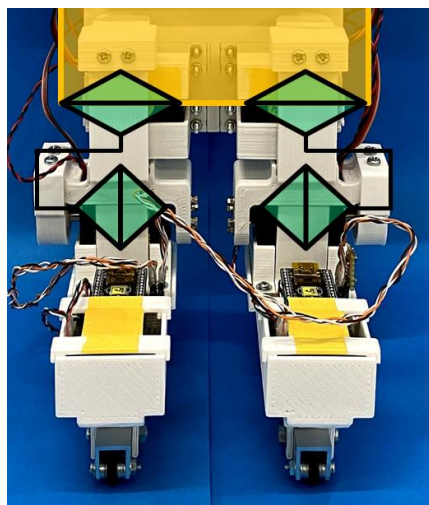


Penguinkun3号

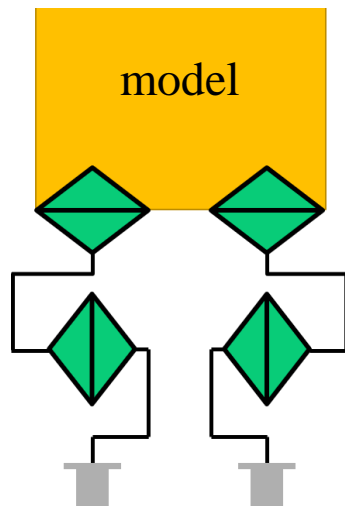
3. スケートロボットの紹介

小型二足ロボット”Penguinkun 4th”の紹介

項目	説明
質量[g]	2200
全長[mm]	550
脚部構造	ヨー軸, ピッチ軸制御 ロボット全体で4自由度

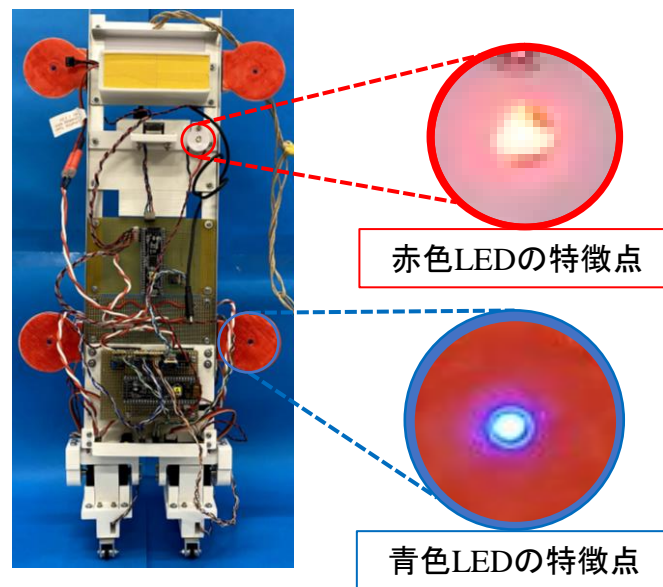


Penguinkun3号機



特徴点の設計

1. 視認性, 小型, 軽量
青色LEDを胴体背面に4点設置し, 胴体の位置・姿勢を計測した.
2. 滑走開始時の計測
赤色LEDをマイコンで発光制御し, 滑走開始時の合図とした.



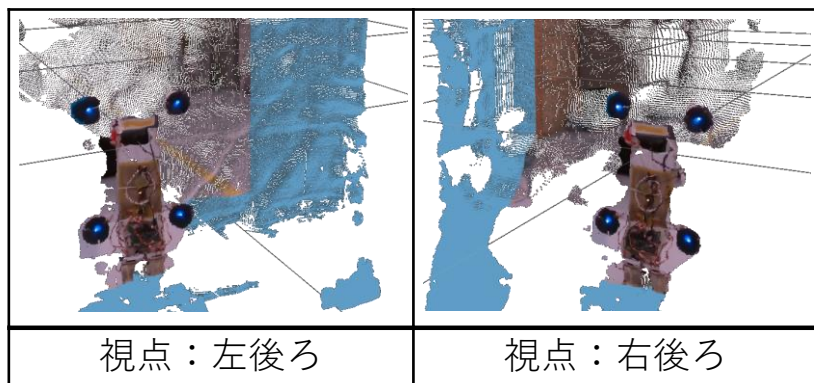
4. デプスカメラの説明

Intel RealSense D435の外観



図4.1 Intel RealSense D435

三次元点群の例



ステレオ法による深度計測の概要

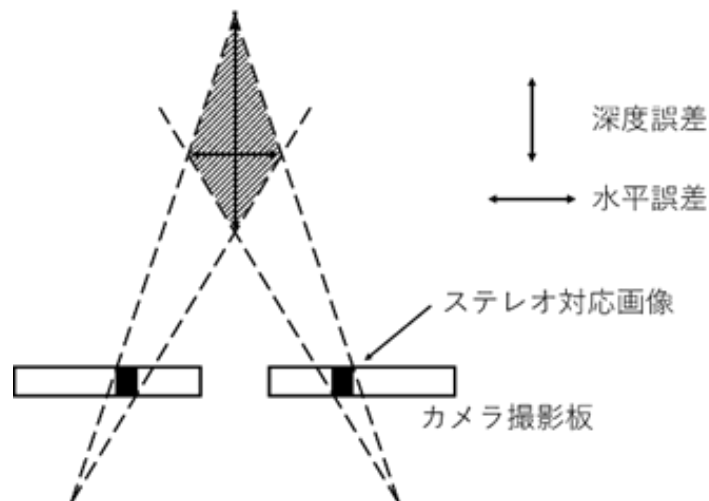


図4.2 ステレオカメラの仕組み

- 2台のカメラから得られる画像の視差を基に、三角測量を用いて深度を算出

$$dZ = \frac{Z^2}{fB} dP_x$$

dZ : 深度誤差, Z : 深度, f : 焦点距離
 B : 基線長, dP_x : 視差分解能

5. 計測システム

計測システムの構成

ROS(Robot Operating System)と三次元点群ライブラリのPoint Cloud Libraryを採用

表5. システムの概要

入力	三次元点群
出力1 (処理1)	滑走開始の時刻 (赤色LEDの計測)
出力2 (処理2)	機体の同次変換行列 (青色LEDの計測)
出力3 (処理3)	床平面の方程式 (床平面の検出)
動作周波数	30Hz

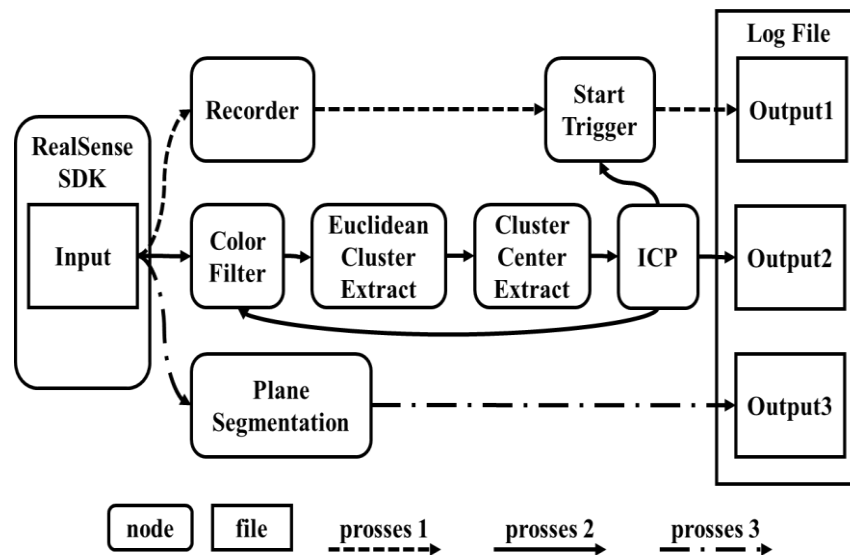
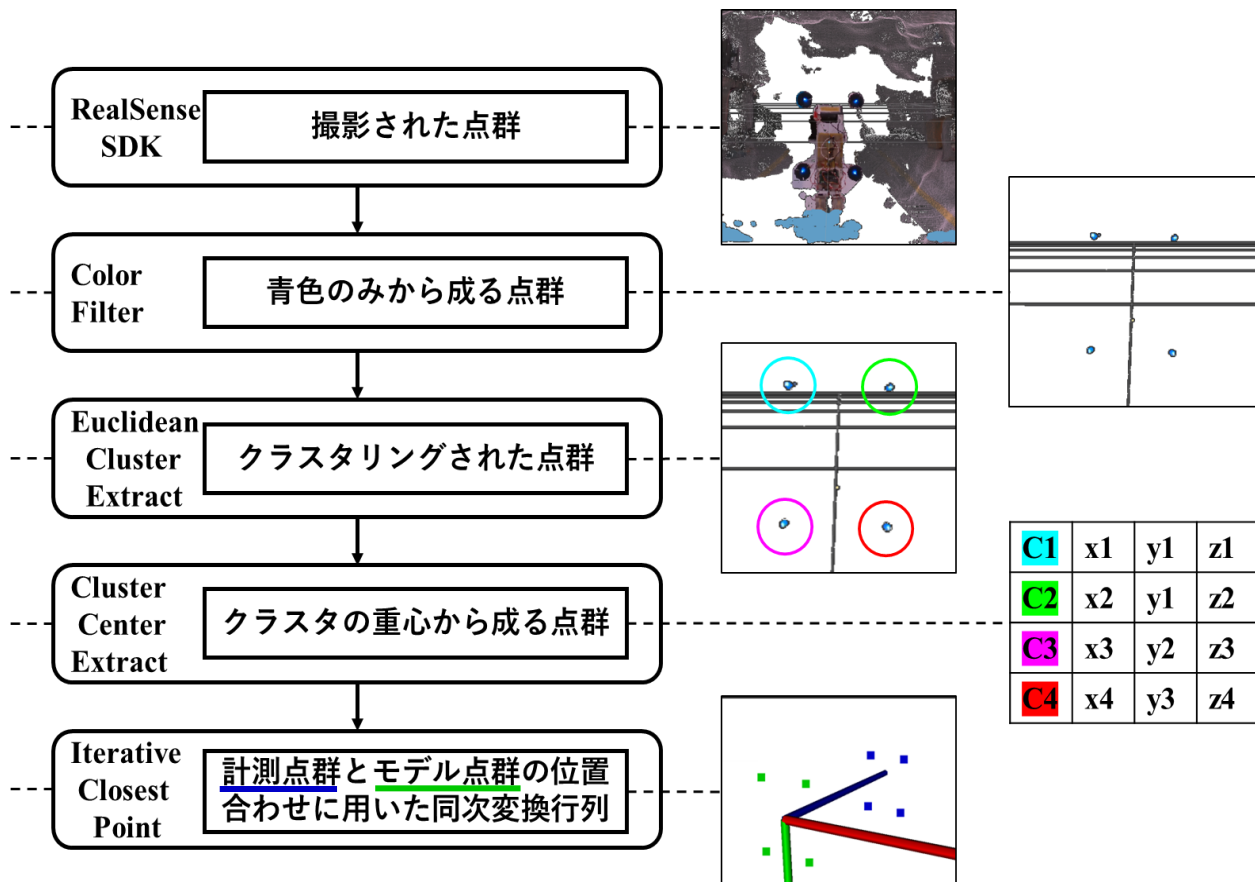


図5. 計測システムのノード線図

5.1 機体の同次変換行列の算出

カメラから見た機体の同次変換行列の算出(出力2,処理2)

1. RealSenseによる
三次元点群の取得
2. HSI値 によるフィルタ
リング, 青色の抽出
3. 近傍点との距離による
クラスタリング
4. それぞれのクラスタを
重心座標で表現
5. 位置合わせによる
同次変換行列の算出

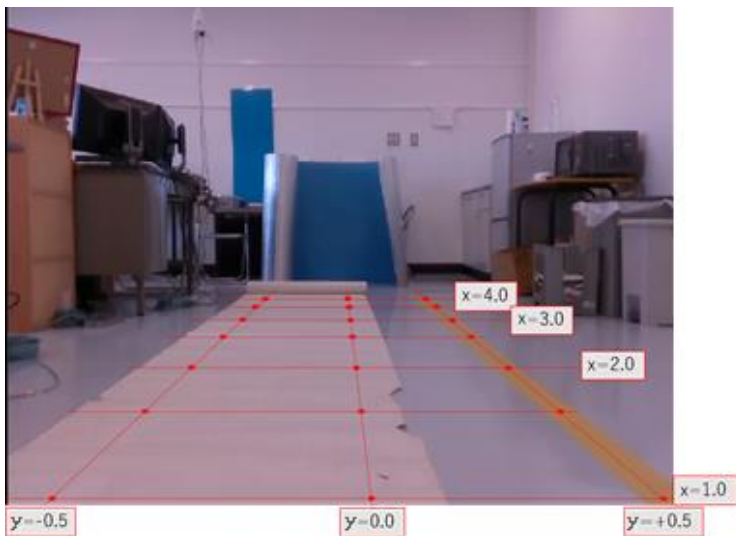


6.1位置の計測実験

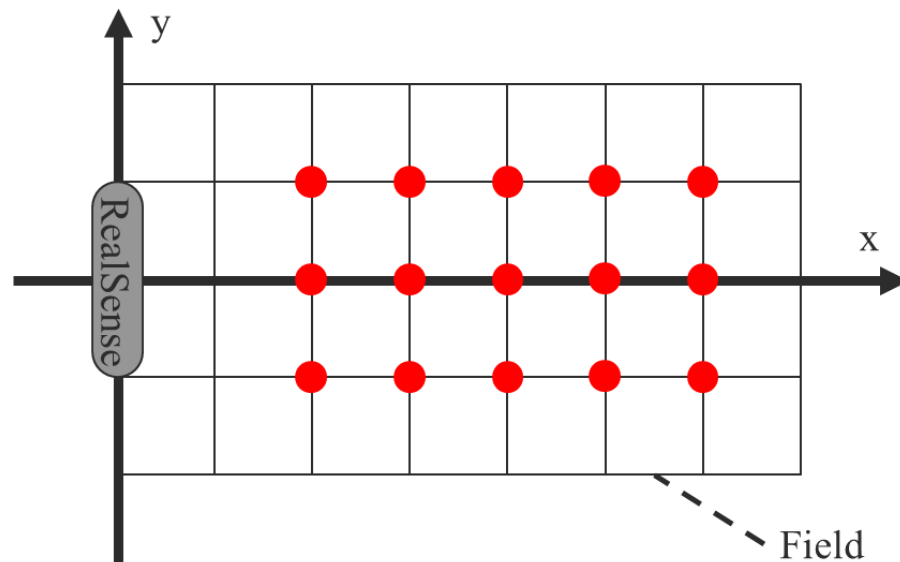
位置測定の実験

実験手順

1. $1.0\text{m} \leq x \leq 3.0\text{m}$, $-0.5\text{m} \leq y \leq 0.5\text{m}$ の範囲で0.5mおきに格子点を設定
2. $(x, z) = (0.0, 0.0)$ となる位置にRealSenseを設置
3. 格子点上に機体を設置して, その様子を約1秒撮影し機体の位置を計測



Real Senseが撮影する画像



実験の様子を天井からみた様子(赤:格子点)

6.1.1位置の計測結果

位置の計測結果

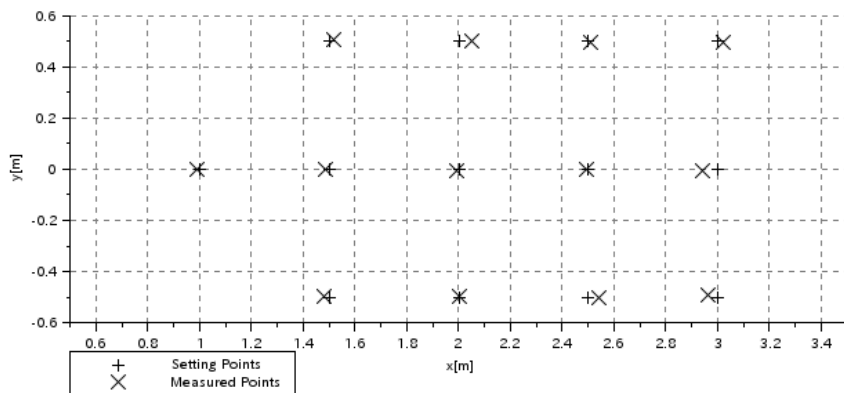


図6.1.1 位置の測定結果

表6.1.1 計測点と格子点の距離[mm]

	x=1.0	x=1.5	x=2.0	x=2.5	x=3.0
y=0.5	-	17.8	(50.5)	10.4	21.3
y=0.0	(10.8)	12.3	10.5	8.04	57.4
y=-0.5	-	(20.2)	2.04	40.7	38.5

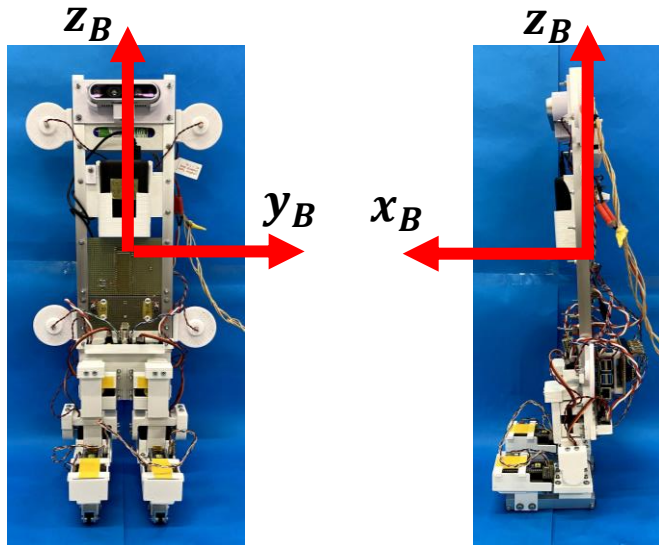
- 図6.1.1は位置の測定実験の結果である。各格子点において30frame分の計測座標の平均値をプロットした。
- 表6.1.1に計測点と格子点の位置の距離を示した。()付の数値は、その点の誤差がステレオ法による計測誤差を超えていることを示している。
- $(x,y)=(1.0,0.5)$, $(1.0,-0.5)$ においては、特徴点の一部が視野角の外に出たため計測不可であった。
- 設置された格子点と算出された位置との距離は
最小で $(x,y)=(2.0,-0.5)$ において2.04mm
最大で $(x,y)=(3.0,0.0)$ において57.4mmであった。

6.2 姿勢の計測実験

姿勢の計測実験

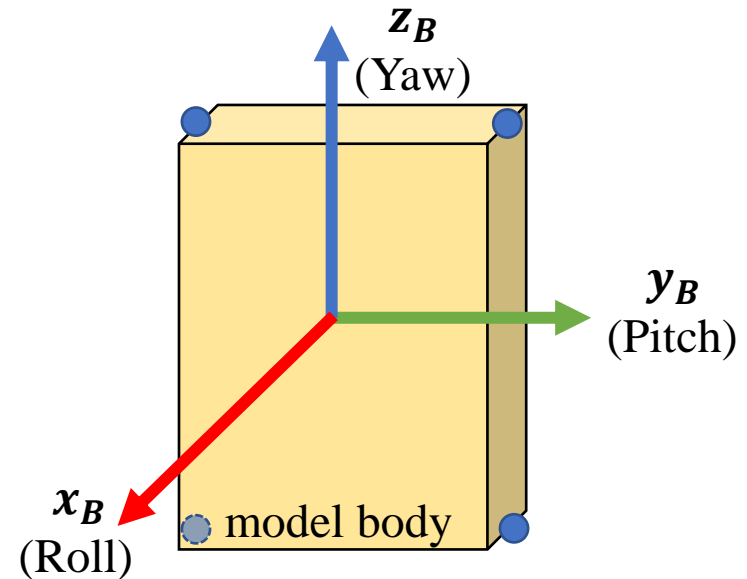
実験方法

- 3軸が調整可能な雲台に固定した機体を, $(x, y) = (1.5, 0.0)$ に設置した.
- Roll角の計測では, θ を 1.8° 毎に $-18.0^\circ \leq \theta \leq 18.0^\circ$ の範囲で計測した.
- Pitch角の計測では, θ を 1.8° 毎に $0.0^\circ \leq \theta \leq 30.6^\circ$ の範囲で計測した.
- Yaw角の計測では, θ を 1.8° 毎に $-14.4^\circ \leq \theta \leq 14.4^\circ$ の範囲で計測した.



[Front side]

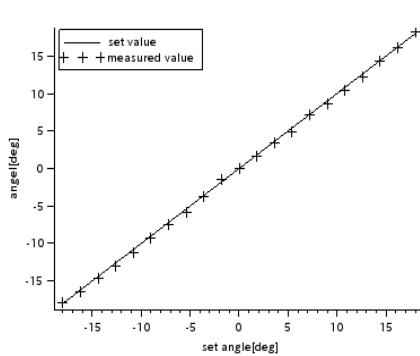
[Left side]



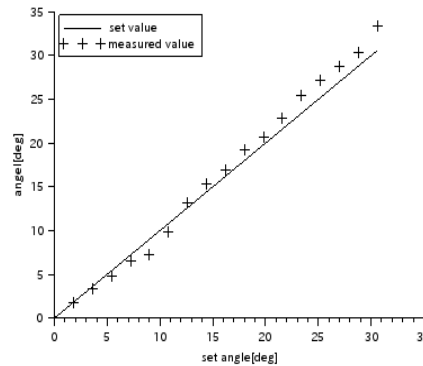
[Front side]

6.2.1 姿勢の計測結果

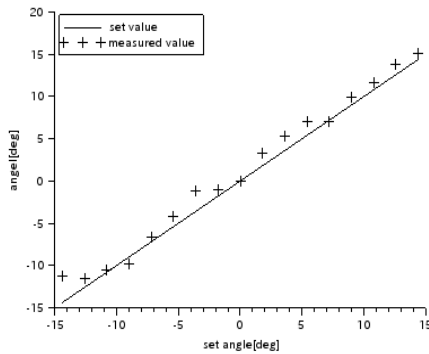
姿勢の計測結果



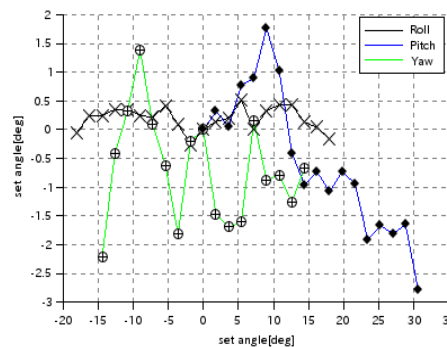
[Roll]



[Pitch]



[Yaw]



[Error]

- Roll 角の計測精度は $\pm 0.5^\circ$ 程度,
- Pitch 角と Yaw 角では $\pm 3.0^\circ$ 程度であることが確認された。
- 設定角に対する計測結果の標準偏差はRoll角で 0.12° , Pitch角で 0.33° , Yaw角で 0.54° であった。
- ステレオカメラの深度方向では, 物体との距離の二乗に比例して精度が低下する. このため, Roll角の計測精度に比べて, Pitch角とYaw角の計測精度は低下することが確認された。
- 以上の結果から, 機体のRoll軸周りの姿勢については, 十分な精度と信頼度で計測できることが確認できた。

Fig.6.2.1 姿勢の計測結果

7. 滑走実験

直線滑走の計測実験

実験方法

- 機体を, $(x, y) = (0.6, 0.0)$ に設置した.
- 8ストローク分の滑走を計測した.

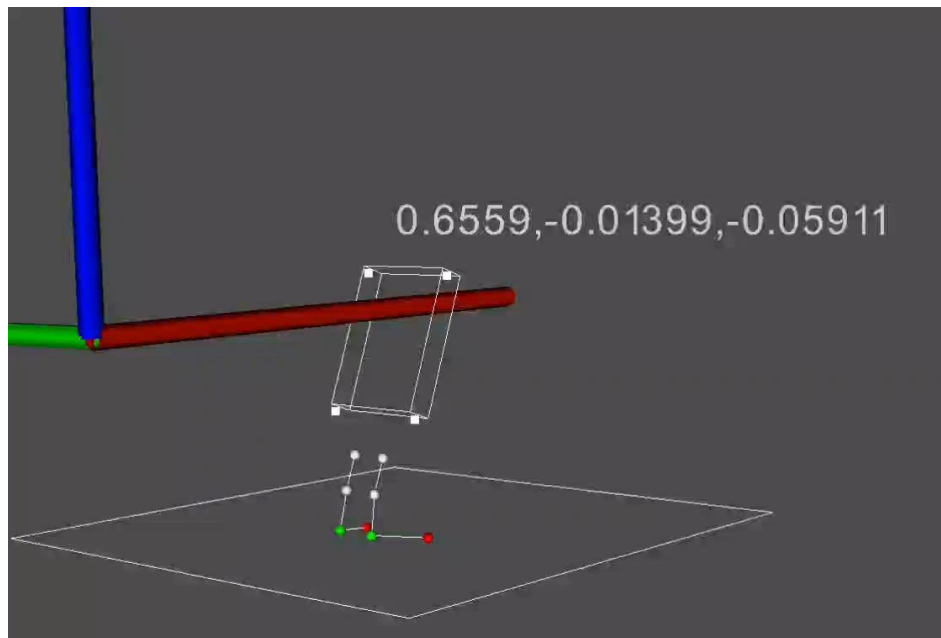


Fig8.1 計測結果を描画した様子(低速再生)

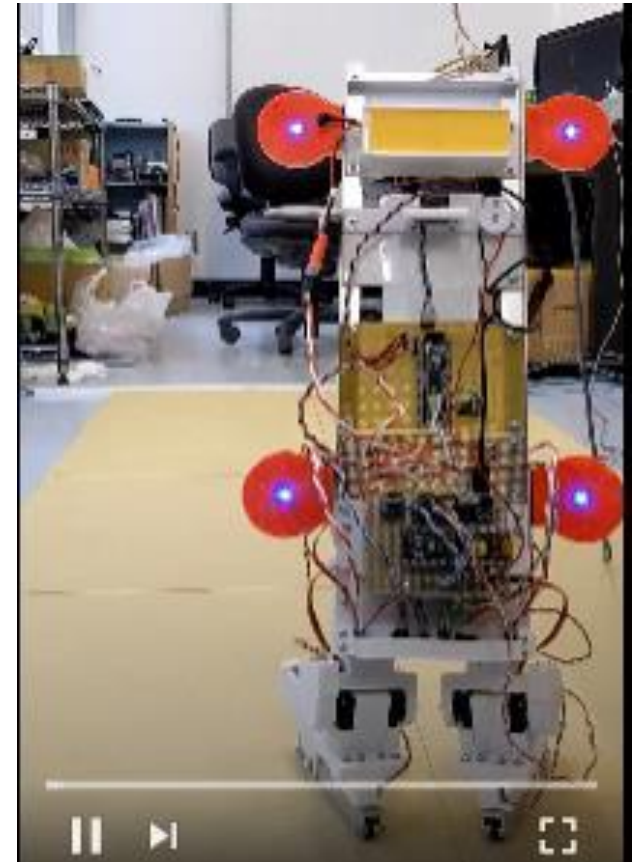


Fig8.2 滑走の様子

7.1 滑走の計測結果

滑走状態の計測結果

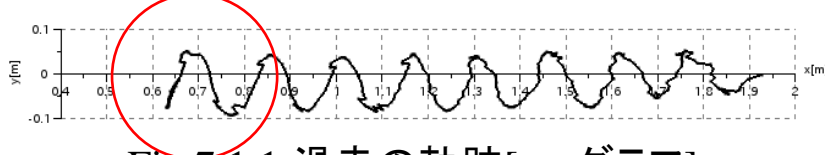


Fig.7.1.1 滑走の軌跡[x-yグラフ]

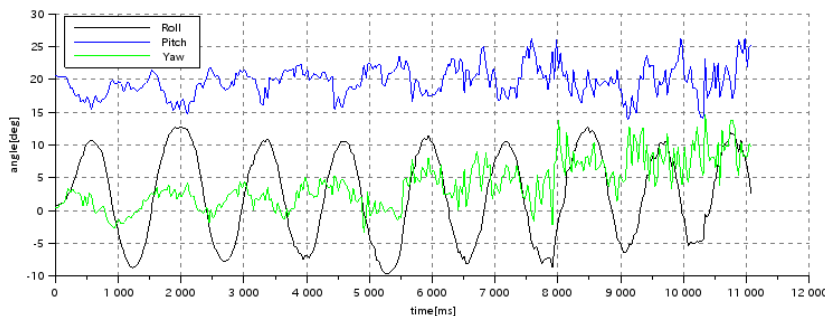


Fig.7.1.2 Roll,Pitch,Yaw角

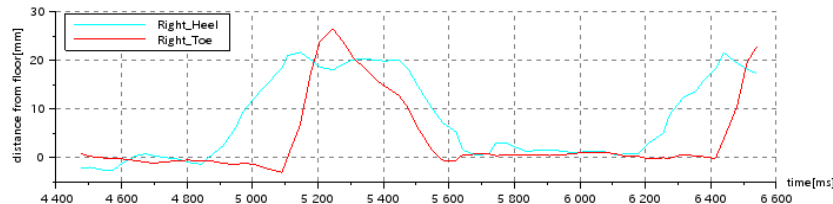


Fig.7.1.3 脚部の接地状態(一部抜粋)

- 図7.1.2より, Roll角の上死点は約 11.6° である一方, 下死点は -7.71° であり, 揺動に約 4° の差が確認された.
- 図7.1.2より, Roll角の波形は正弦波に近く, なめらかであることから, 支持脚と遊脚の切りかえがスムーズに行われていることが確認できた.
(従来はRoll角の波形に乱れが存在した)
- 図7.1.3より, 滑走計画に反して Right_Toe (つま先)が先に接地していることが確認された. (5600ms付近)
- 1ストローク (周期1.3s) 当りに約40点のデータを記録することが出来, 滑走の状態を十分観察することが出来た.

8. 結論

- 機体の滑走状態を定量的に計測するシステムを開発した.
- 機体の位置・姿勢, 脚部の接地状態の計測が可能となった.
- 現行のスケート動作について, 以下に示す結果が得られた.
 1. 左右の揺動運動について, roll角に左右差が生じていること
 2. かかと-つま先の順に着地する滑走計画に反して, つま先が先に着地していることが確認された.

9. 展望

- 機体の滑走状態を計測し、滑走を評価する.
滑走状態の計測結果から、滑走を評価する手法を考案する.
- 機体が転倒する原因の究明や機体の滑走姿勢の改善を目指す.
機体本体から得られる関節角のデータとRealSenseから得られる姿勢角のデータを比較する.
- シミュレーションと実機の滑走状態のギャップを埋める.
同研究室で取り組んでいる小型二足ロボットの滑走シミュレーションによって得られる、安定・高効率な滑走を実機が達成できるように、機体のハードウェア、ソフトウェアの改良の提案を行う.
- RealSenseの撮影可能範囲を拡張する.
平面を移動、回転できる測定用ロボットをオムニホイールを用いて製作しRealSenseの搭載を図る.