

# カセンサによるヒューマノイドの摺足制御

○杉本大樹, 小枝正直 (大阪電通大)

## Shuffling Walk Control for Humanoid Robots Using Force Sensors on the Soles

○ Daiki SUGIMOTO, Masanao KOEDA (Osaka Electro-Communication University)

Abstract: A danger zone task and a daily life task expected to a humanoid robot need the posture movement in the narrow domain. We pay attention to shuffling-walk for free super-narrow-mindedness area movement and unstable movement for humanoid robot. In study, we report about realization of shuffling walk control for humanoid robots using force sensors on the soles.

### 1. はじめに

狭隘領域での劣姿勢移動は、ヒューマノイドロボットに期待される作業において頻発する。例えば、災害発生時のプラント内では、多数の配管や瓦礫が散乱した狭い空間での作業となり、短距離移動をしつつ、前屈や屈伸姿勢で作業を行うこととなる。被災地救助活動での倒壊家屋では、平臥姿勢で迅速に奥へと侵入する必要がある。一般作業でも狭隘領域・劣姿勢移動は起こる。例えばキッチンでは、シンク付近の狭い領域での短距離移動と、前屈や屈伸姿勢で様々な作業を求められる。介護現場では、狭い病室内の要介護者を劣姿勢で抱え上げ、その場で転回して車椅子へ搬送する、など枚挙に暇がない (Fig.1)。一般にヒューマノイドロボットは連続的な足踏み動作により移動するが、狭隘域の劣姿勢移動には不向きで安定性に難がある。そこで我々はヒューマノイドの自由な超狭隘域・劣姿勢移動実現の一手段として、摺足による移動に注目している。本研究では、足裏のカセンサ情報を用いた摺足移動制御を実現した。

### 2. システム構成

#### 2.1 KHR-3HV

小型ヒューマノイドロボットには、近藤科学株式会社製 KHR-3HV (Fig.2) を用いた。本ロボットは身長約 401[mm]、横幅約 194[mm]、奥行き約 129[mm]、重量約 1.5[kg]、関節自由度 17 を有する。本ロボットの初期状態の足裏は縦 128[mm]、横 77[mm] のポリアセタール樹脂製であるが、Fig.3 に示す同寸法の板厚 2[mm] アルミ製足裏に換装し、ここに感圧センサを取り付けた。感圧センサとして浅草ギ研の感圧センサ AS-FS<sup>[1]</sup> を、感圧センサ用 A/D 変換機として Arduino Nano を利用した。またロボットの制御コントローラには Raspberry Pi2 を用いた。

#### 2.2 感圧センサ

足裏感圧センサの配置を Fig.4 に示す。KHR-3HV の足裏は、縦 128[mm]、横 77[mm] で、直立時に両足の間隔は

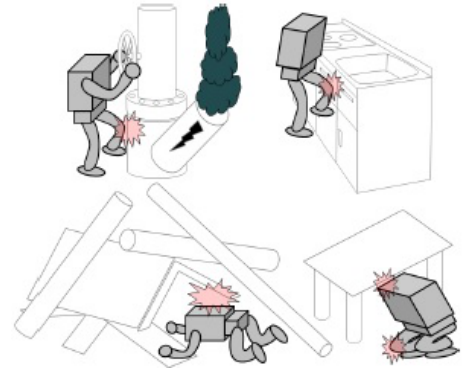


Fig. 1: 狭隘域・劣姿勢での移動と作業

10[mm] となる。また、Fig.4 の  $S_1^L$  から  $S_4^L$ ,  $S_1^R$  から  $S_4^R$  は設置した感圧センサの各座標であり、足底感圧センサは各足裏に 4 個、計 8 個あり、それぞれ 1 軸 (Z 方向) である。各足裏の座標系は、足裏領域の中心点を原点とし、ヒューマノイドロボットのワールド座標系と同じく Y 軸を前進向き、X 軸を左向きとする。また、ロボット移動時のバランスを安定させるため ZMP を考慮する。片足毎の ZMP, 垂直抗力から両足 ZMP を導出する。Fig.7 より左足, 右足それぞれの ZMP( $X^L, Y^L$ ), ( $X^R, Y^R$ ) は

$$X^L = \frac{\sum_{i=1}^4 X_{S_i^L} S_i^L}{\sum_{i=1}^4 S_i^L} \quad (1)$$

$$Y^L = \frac{\sum_{i=1}^4 Y_{S_i^L} S_i^L}{\sum_{i=1}^4 S_i^L} \quad (2)$$

$$X^R = \frac{\sum_{i=1}^4 X_{S_i^R} S_i^R}{\sum_{i=1}^4 S_i^R} \quad (3)$$

$$Y^R = \frac{\sum_{i=1}^4 Y_{S_i^R} S_i^R}{\sum_{i=1}^4 S_i^R} \quad (4)$$

より求めることができる。この時、左足にかかる垂直抗力を  $S^L$ , 右足を  $S^R$  とする。これらより両足 ZMP( $X^{LR}, Y^{LR}$ ) は

$$X^{LR} = \frac{X^L S^L + X^R S^R}{S^L + S^R} \quad (5)$$

$$Y^{LR} = \frac{Y^L S^L + Y^R S^R}{S^L + S^R} \quad (6)$$

となる．本研究では片足毎の ZMP と両足 ZMP を重心移動に用いる．

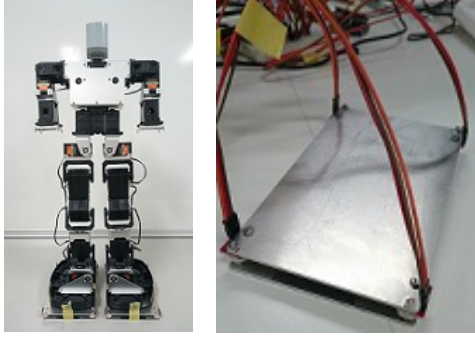


Fig. 2: KHR-3HV Fig. 3: Soles Parts

### 3. カセンサ情報を用いた摺足移動制御

摺足による移動は，常に両脚が接地した状態での移動方法であり，脚上下ではなく脚回転により実現され，安定した狭領域・劣姿勢移動が可能である．摺足移動するために，足首の角度と脚ヨー軸回転を制御する．ここではまず従来における摺足移動手法とその問題点について述べた後，今回提案する手法について述べる．

#### 3.1 従来手法と問題点

従来手法 (Fig.5) では足首の角度をあらかじめ任意の角度に決めた上で同じ動作を繰り返させることで摺足移動を行っていた．そのため，周りの環境に合わせて動作を変えることができないため，路面が乱雑したあるいは凹凸のある不整地や傾斜のある坂道などに非常に弱い．また，左右で同じ角度を指定していても，実際にはロボットの構造上または関節アクチュエータなどのガタや遊びがあり，ロボット自体のバランスが悪く不安定である．そのため意図した方向へ正確に移動できないなど問題があった．

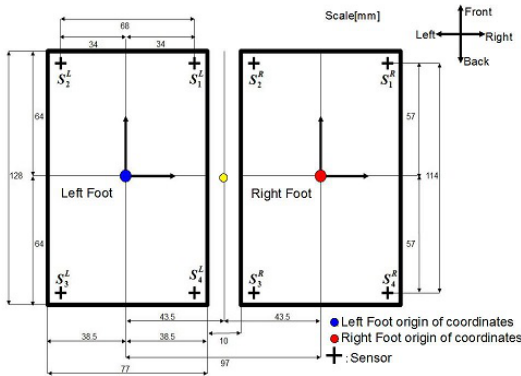


Fig. 4: Coordinate System of Soles

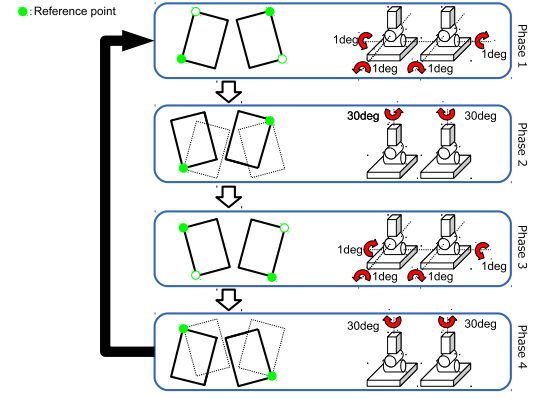


Fig. 5: Conventional Method

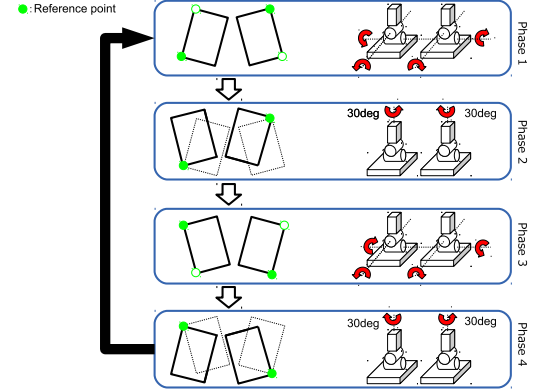


Fig. 6: Proposed Method

#### 3.2 提案する手法

今回の提案手法 (Fig.6) では摺足移動中の ZMP の変化に合わせて各足それぞれの足首ロール軸，ピッチ軸角度をフィードバックし摺足移動を行う．感圧センサを用いたことにより簡易的ではあるが路面の状況に合わせて動作を変えることが可能になる．また，ロボットの構造，関節アクチュエータなどのガタや遊びによるロボット全体の不安定さも緩和できる．これにより従来手法では対応出来なかった不整地や坂道でもより安定した摺足移動が可能になると考える．

#### 3.3 制御方策

左足の目標 ZMP 座標を  $(X_d^L, Y_d^L)$ ，時刻  $t$  のロボットの左足首ロール軸角度を  $\theta_t^{Lr}$ ，ピッチ軸角度  $\theta_t^{Lp}$  とする．このとき，Fig.6 の Phase 1 および 3 の期間に以下のフィードバック制御を行った．

$$\theta_{t+1}^{Lp} = \theta_t^{Lp} + K_p(X_d^L - X^L) \quad (7)$$

$$\theta_{t+1}^{Lr} = \theta_t^{Lr} + K_p(Y_d^L - Y^L) \quad (8)$$

右足首のロール軸，ピッチ軸にも同様の制御を行った．

さらに，両足の目標 ZMP 座標を  $(X_d^{LR}, Y_d^{LR})$ ，時刻  $t$  のロボットの両足首ピッチ軸角度  $\theta_t^{LRp}$  とする．このとき，Fig.6 の全 Phase 期間に以下のフィードバック制御を行った．

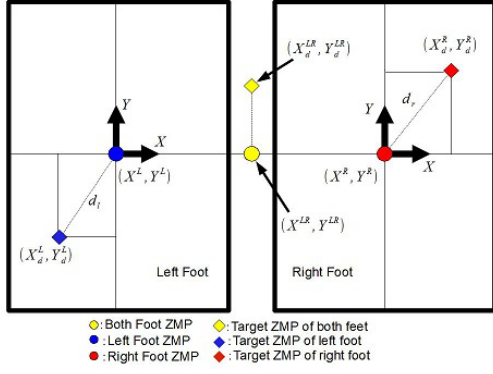


Fig. 7: Coordinate System of Soles

$$\theta_{t+1}^{LRp} = \theta_t^{LRp} + K_p(Y_d^{LR} - Y^{LR}) \quad (9)$$

また、実験においては経験的に  $K_p = 3$  と設定した。ただし、転倒防止のために制御量は最大  $\pm 3[\text{deg}]$  に制限した。

## 4. 実験

### 4.1 実験方法

ここでは、従来の摺足移動と感圧センサによるフィードバックを用いた摺足移動を比較する実験を行った。この時、斜面の傾斜角は 10 度とし適度な摩擦を発生させる為にコルク材の上で実験を行った。各足裏の目標 ZMP 位置を Phase 1 および 3 の時、左足を  $X_d^L = 30$ ,  $Y_d^L = 45$ , 右足を  $X_d^R = 30$ ,  $Y_d^R = 45$  に設定した。

### 4.2 実験結果

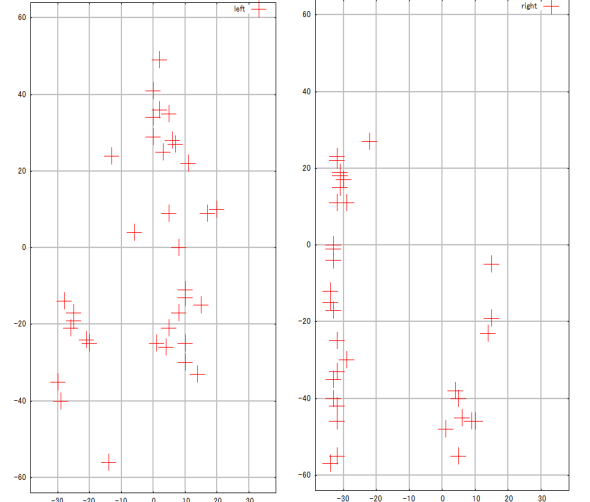
平地での実験は移動量、安定性に関しては、従来手法と提案手法ともに同様の結果であった。斜面での実験は移動量、安定性で大きな差が確認できた。従来の摺足移動を斜面で行った場合、ロボットのバランスが不安定な状態が続き摺足移動が困難であった。提案手法を用いた摺足移動を斜面で行った場合、ロボットのバランスが安定し平地での摺足移動と同様に移動することができた。また、Fig.14 から Fig.19 に各摺足移動をした時の各足裏 ZMP および両足 ZMP の遷移状態を示す。従来手法と提案手法での摺足移動量の比較を Table 1 に示す。これらの結果から ZMP を考慮し摺足移動を行った方が安定して移動できていることがわかる。

## 5. まとめ

本稿では、足裏感圧センサによるフィードバック制御を用いた摺足移動を実現した。従来手法と比較し、その有用性を確認した。しかし、本研究で用いたフィードバック制御方法は算出した ZMP を基に各関節角度を増減させるといった単純な方法であった。また、移動動作も横移動のみと限られた方向にしか移動できなかった。今後、より精度に優れたフィードバック制御方法を検討し、前進、後進、

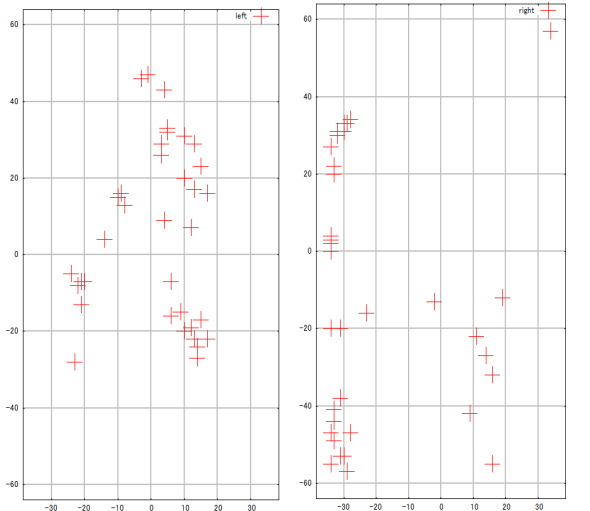
Table 1: Comparison of the movement distance

	10[sec]	20[sec]
Flat(Conventional)	約 54[mm]	約 82[mm]
Flat(Proposed)	約 54[mm]	約 83[mm]
Upward Sloped(Conventional)	約 6[mm]	約 13[mm]
Upward Sloped(Proposed)	約 39[mm]	約 77[mm]
Downward Sloped(Conventional)	約 2[mm]	約 10[mm]
Downward Sloped(Proposed)	約 45[mm]	約 87[mm]



Left Foot Right Foot  
Fig. 14: (a) Shuffling Walk on Flat Floor (Conventional Method)

旋回動作を可能にし摺足移動による自由移動の実現を行っていく。



Left Foot Right Foot  
Fig. 15: (b) Shuffling Walk on Flat Floor (Proposed Method)



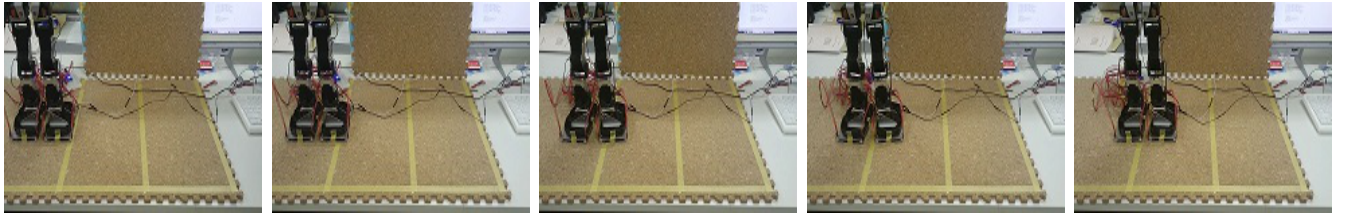


Fig. 8: (a)Shuffleing Walk on Flat Floor(Conventional Method)

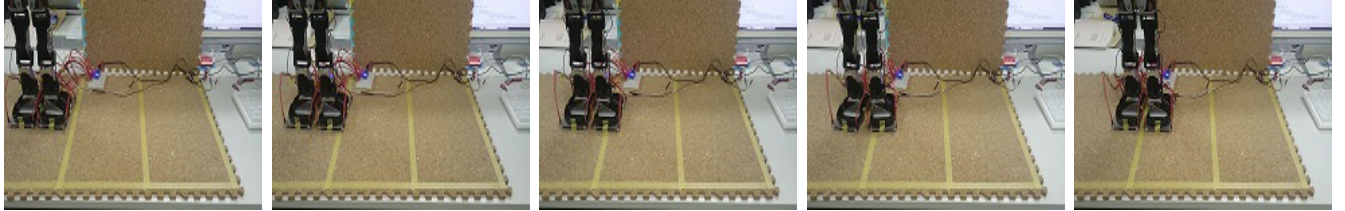


Fig. 9: (b)Shuffleing Walk on Flat Floor(Proposed Method)

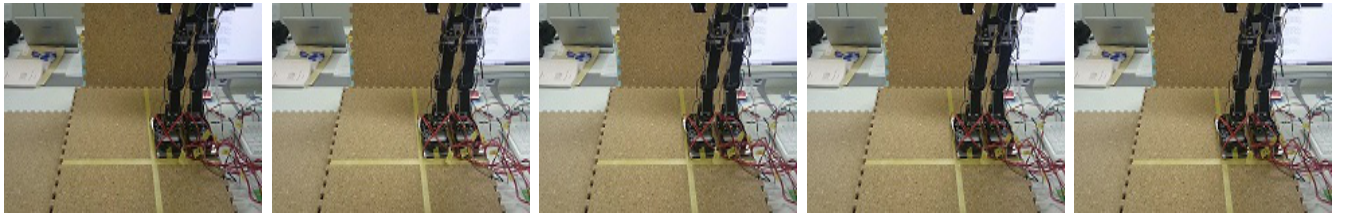


Fig. 10: (c)Shuffleing Walk on Upward Sloped Floor(Conventional Method)

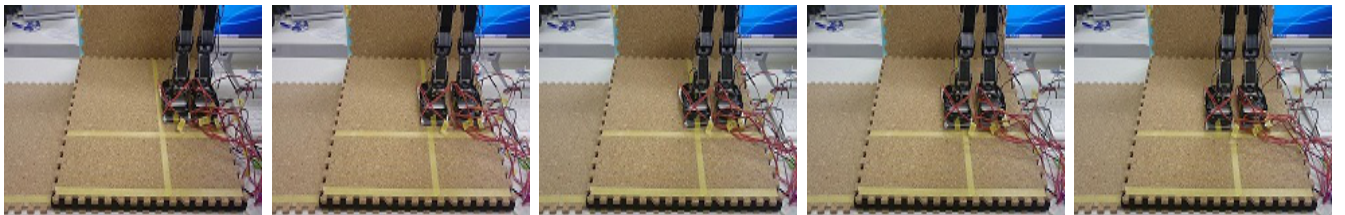


Fig. 11: (d)Shuffleing Walk on Upward Sloped Floor(Proposed Method)

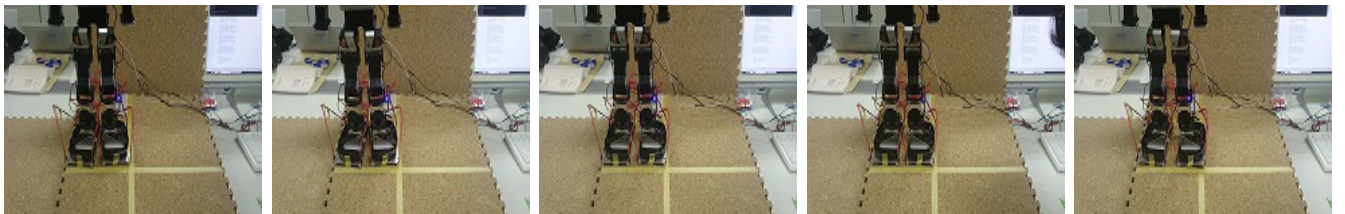


Fig. 12: (e)Shuffleing Walk on Downward Sloped Floor(Conventional Method)

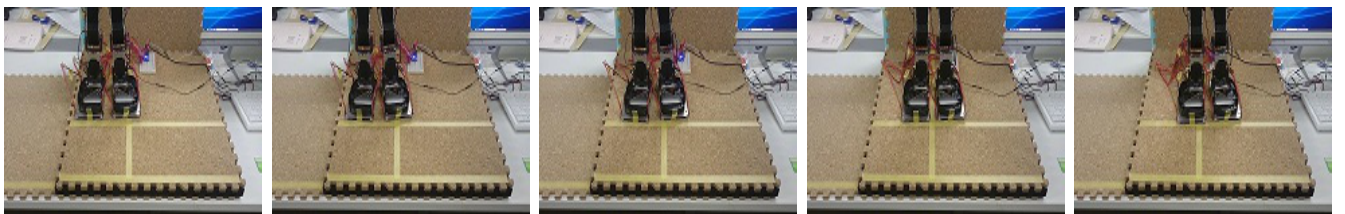
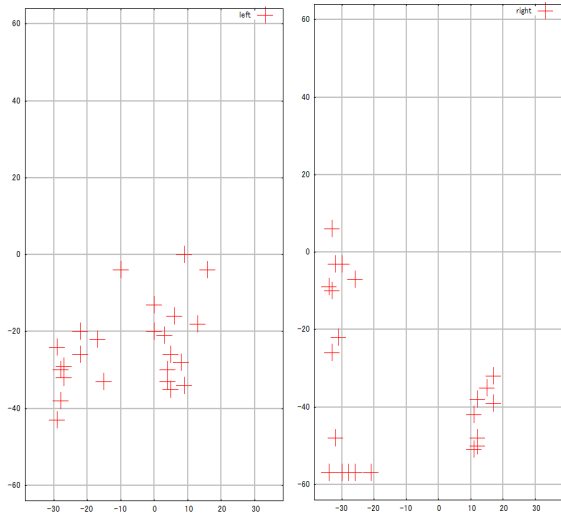


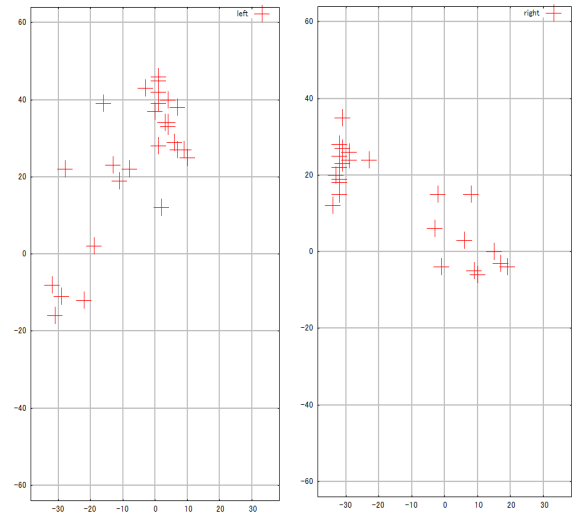
Fig. 13: (f)Shuffleing Walk on Downward Sloped Floor(Proposed Method)

## 参考文献

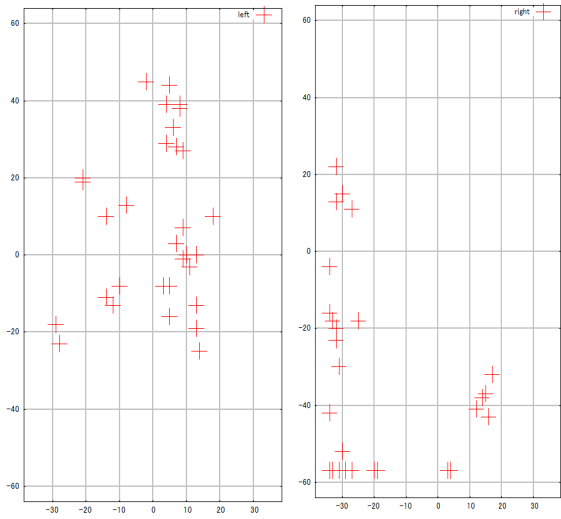
- [1] Pressure Sensors, [http://www.robotsfx.com/robot/AS\\_FS.html](http://www.robotsfx.com/robot/AS_FS.html), 2015/09/02.



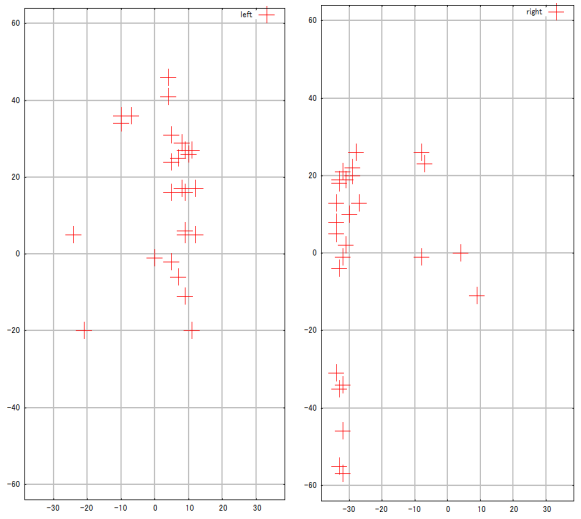
Left Foot Right Foot  
Fig. 16: (c)Shuffleing Walk on Upward Sloped Floor(Conventional Method)



Left Foot Right Foot  
Fig. 18: (e)Shuffleing Walk on Downward Sloped Floor(Conventional Method)



Left Foot Right Foot  
Fig. 17: (d)Shuffleing Walk on Upward Sloped Floor(Proposed Method)



Left Foot Right Foot  
Fig. 19: (f)Shuffleing Walk on Downward Sloped Floor(Proposed Method)