

# 動作認識を目的とした帯電物体表面電位と人体表面電位の関係調査

上野 聡司<sup>1</sup> 平野 夢得<sup>2</sup> 澤田 秀之<sup>3</sup> 重宗 宏毅<sup>1</sup>  
 芝浦工業大学工学部<sup>1</sup> 早稲田大学大学院先進理工学研究科<sup>2</sup> 早稲田大学理工学術院<sup>3</sup>

## 1. はじめに

近年、タッチパネル搭載端末の普及により、シンプルな動作から様々なインタラクションをユーザーが享受できる生活が根付きつつある。しかしそれらのデバイスは精密かつ高価な場合が多く、使い捨て商品に実装するのはコストの面から困難である。そこで、帯電物体を利用した簡易で安価な人体動作の検出システムが提案されている[1]。

本研究では、動作検出に適した帯電物体の状態と環境の調査を目的とする。まず、状態と環境に応じて変化する帯電物体の表面電位を測定する。次に、帯電物体上で人体を動作させ、人体表面電位波形を観測する。各状態・環境での人体動作の検出限界を検討し、動作検出システムの性能の向上を目指す。

## 2. 原理

### 2.1 帯電物体を用いた動作認識

帯電物体を用いた動作認識メカニズムをFig. 1に示す。帯電物体上で腕を動作すると、帯電物体の電荷量に応じて人体表面電位が変化する。この表面電位の変化を、人体に張り付けた電極によって検出し、信号処理を行うことで動作認識が可能である。この人体表面電位は、人の動き方・動く速度、帯電物体の電荷の正負・分布によって変化するため、提案手法によって多様な動作の認識をシンプルな構成で実装できる。本稿では、システムの検出限界の理解を目的に、環境によって変化する帯電物体の表面電位と、それが動作認識率に及ぼす影響を検証した。具体的には、腕と帯電物体の距離と腕の動作速度を変化させ、特徴量を抽出可能な波形が得られる条件について調査した。

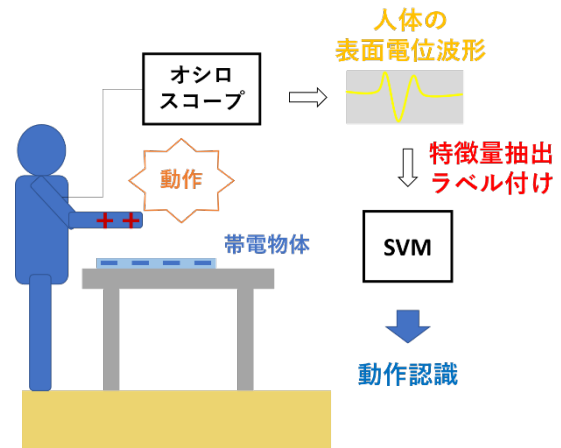


Fig.1 帯電物体を用いた動作認識システム

### 2.2 帯電物体下の物体の種類と表面電位

本研究では、帯電物体として、PVC（ポリ塩化ビニル）板を使用した。Fig. 2に導体と帯電物体の位置と表面電位の関係を示す。Fig. 2(a)から、帯電物体を導体上に直接置く場合のPVCの表面電位 $V_{sc}$ は[2],

$$V_{sc} = \frac{\sigma d_s}{\epsilon_0 \epsilon_s}$$

となり、Fig. 2 (b)より帯電物体を導体からある程度離れた場合の $V_{so}$ は、

$$V_{so} = \frac{\sigma(\epsilon_s d + d_s)}{\epsilon_0 \epsilon_s}$$

となる。ここで $\sigma$ は電荷の面密度、 $\epsilon_0$ は真空の誘電率、 $\epsilon_s$ はPVCの比誘電率、 $d_s$ はPVCの厚み、 $d$ は帯電物体と導体の距離である。PVCと導体を離して設置する場合の方が距離 $d$ の増加に伴い表面電位の絶対値が大きくなる。

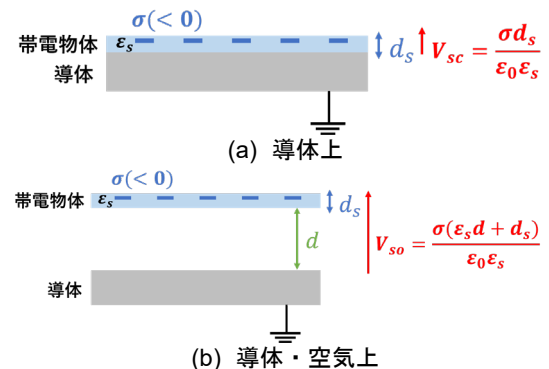


Fig.2 導体と帯電物体の位置と表面電位の関係

Investigation of the relationship between the surface potential of a charged object and the surface potential of a human body for the purpose of motion recognition.

1. Satoshi Ueno and Hiroki Shigemune, Faculty of Engineering, Shibaura Institute of Technology.

2. Yu Hirano, School of Advanced Science and Engineering, Waseda University.

3. Hideyuki Sawada, Faculty of Science and Engineering, Waseda University.

### 3. 環境によるPVC表面電位の変化

環境の湿度が高いほど帯電物体の表面電位の減衰が速い[3]。摩擦帯電によって-6.0kVに帯電させたPVC板を高湿度（約70%）と低湿度（約30%）の環境下で5分放置し、放置前後のPVC板の表面電位を合計9箇所測定し、平均値を求めた。測定結果をTable 1に示す。かご上では低湿度の時にほとんど減衰せず、高湿度の時は-3.4 kV 付近まで減衰した。机上では低湿度・高湿度ともに表面電位が0V に近くなった。これらは表面電位と湿度の関係やFig. 2で示した内容と合致する。また、各箇所の平均表面電位を高湿度・低湿度のそれぞれにおけるPVC板の基準表面電位として、以降の実験を行った。

Table 1 5分放置後のPVC表面電位

PVC下の物体	湿度	5分間放置後 表面電位 [kV]										
		左上	中上	右上	左中	中心	右中	左下	中下	右下	平均	
かご上	低湿度 (33%)	-5.08	-6.51	-3.57	-5.73	-6.52	-6.28	-6.26	-5.86	-5.66	-5.72	
	高湿度 (65%)	-2.85	-2.93	-3.20	-3.52	-3.88	-3.20	-3.58	-4.37	-3.58	-3.46	
机上	低湿度 (31%)	-0.23	-0.24	-0.30	-0.25	-0.23	-0.23	-0.23	-0.25	-0.26	-0.25	
	高湿度 (70%)	-0.29	-0.30	-0.40	-0.29	-0.24	-0.30	-0.26	-0.25	-0.25	-0.29	

### 4. 人体表面電位波形測定

PVC板を前項で求めた基準表面電位付近まで帯電させることで低湿度・高湿度環境の表面電位を再現した。その上方 5cm, 10cm, 15cmで腕を速い(約100cm/s)・普通(約50cm/s)の2種類の速度で左から右に動作させたときの人体の表面電位波形を測定した(計12パターン)。測定波形の例として、Fig. 3にPVCをかごの上に設置し普通で腕を動作させ、腕とPVCの距離が5cmの場合の人体の表面電位波形を示す。測定波形はカットオフ周波数15Hzのローパスフィルタにかけ、ハムノイズ等を除去した。

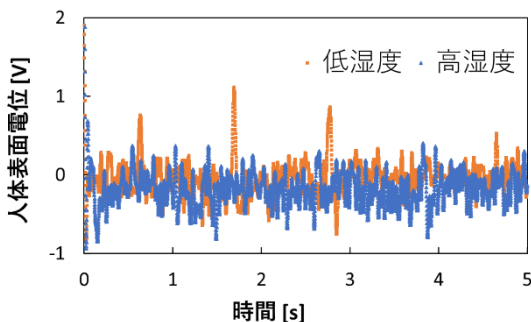


Fig.3 湿度別動作波形例 (速度：普通, 位置 5 cm)

Fig. 3の低湿度（PVC表面電位の絶対値が大きい）の結果は、人体の表面電位波形のピークが目視で確認できる。対して、高湿度の結果では動作による電位変化がほとんど確認できない。それ以外にも机上にPVC板を置いたパターンでは十分な表面電位が得られないことや、腕とPVC板の距離を大きくすると動作波形のピークが小さくなる等の傾向がみられた。

### 5. サポートベクターマシンによる認識

前項において腕の動作が確認できる2パターンの環境での動作波形に対して、特徴量抽出・ラベル付けの処理を行い、サポートベクターマシン (SVM) で識別した。環境毎に速い動作20個、普通の動作20個の計40個の動作波形データから、80%を教師データ、20%をテストデータとして識別を行った。1つの動作波形につき最大値・最小値・尖度・動作継続時間の4つの特徴量を抽出した。SVMによる識別結果をTable 2に示す。PVCと腕の距離が5cmの場合の認識率は100%、10cmの場合は75%と動作させる腕の位置によって認識率に差が生じた。

Table 2 動作認識結果

PVC下の物体	湿度	PVCと腕の距離	識別動作	認識率
空気 (かご上)	低湿度	5cm	速い 普通	100.0%
空気 (かご上)	低湿度	10cm	速い 普通	75.0%

### 6. まとめ

提案システムについて、使用する環境（湿度）・状態（PVC下の物体・PVCと腕の距離）と人体表面電位波形の関係ならびに、それらが動作認識率に及ぼす影響を調査した。今後はディープラーニングの導入など、環境変化に頑健なシステムの構築を進めていく。

### 参考文献

- [1] 平野夢得 他 “人体と物体との接触帯電により空間に生じる電位分布を利用した腕動作検出。” 第 81 回全国大会講演論文集 2019.1 (2019): 265-266.
- [2] “静電気ハンドブック”, 株式会社キーエンス.
- [3] Nguyen, Vu, and Rusen Yang. “Effect of humidity and pressure on the triboelectric nanogenerator.” Nano Energy 2.5 (2013): 604-608.