

# 9軸モーションセンサを用いた車椅子パフォーマンスの拡張

小手川 誠也<sup>†1,a)</sup> 馬場 哲晃<sup>†1,b)</sup> 串山 久美子<sup>†1,c)</sup> 韓 旭<sup>†1</sup>

概要：従来の車椅子研究は移動機能の向上を目指したものが多く見られるが、本研究では生活の質の向上を目指し、健常者が踊るように車椅子ユーザーも自由に表現が可能となるシステムの制作した。車椅子にモーションセンサを取り付けて動作をメディア変換しパソコンやスマートフォン上で処理を行うことで、リアルタイムに動作と連動したパフォーマンスを可能としている。本稿では、日常の車椅子で行える動作である叩打、漕ぎ、回転に着目し、各動作に対応して音を出すインタラクティブなアプリケーションの開発と、本アプリケーションの展示会での様子について報告する。また、発展として本システムを用いることで音以外にも光や映像表現を用いたデジタルな表現や、段差や道路状況の解析など車椅子周辺環境の分析にも応用可能である。

## 1. はじめに

車椅子は、歩行機能に障害のある者に対して歩行機能を代替する役割をもつ。これまで車椅子における研究は、その移動機能の向上を目的としたものが多い。一方で、車椅子ユーザーの生活の質の観点からの発展も取り組まれており、車椅子バスケットボール、車椅子ラグビーなどのスポーツや車椅子ダンスなどの表現方法に特化した車椅子開発も行われている。車椅子ユーザーのスポーツやレクリエーション参加は車椅子ユーザーに心理的に良い影響を生むことが報告されており、活動の機会を増やすことで車椅子ユーザーの生活の質の向上が見込める。2020年のパラリンピック、障害者差別解消法、ダイバーシティの推進など、社会参画の為の障害を取り除く試みが行われている中で、センサなどのテクノロジーを用いて車椅子に新しい価値を付加し、生活の質の向上に取り組む活動が盛んに行われ始めている。

本研究では、9軸モーションセンサを車椅子に取り付け動作解析をし、メディア変換を行うことで、スポーツ車椅子のパフォーマンス性向上や、表現活動の拡張が可能な車椅子用システムの開発に取り組んでいる。本研究に用いたモジュールは小さく取り付けが容易であるため既存の車椅子に適用可能である。

本稿では、車椅子が日常で行える動作を録画し解析した。また、解析で得た特徴を用いてリアルタイムで動作と連動

して3dグラフィクスと音でアウトプットをおこなうアプリケーションの制作を行った。車椅子動作の解析手法と認識手法の検討や展示会での様子について報告する。

## 2. 関連研究

車椅子にテクノロジーを応用した研究は①車椅子周辺環境の解析を行う研究②車椅子の動作解析を行う研究、として分類することができる。

例えば前者に関しては、岩澤ら [1] は、電動車椅子の振動を取り付けた3軸加速度で地面状況を図りGPSで得た位置情報を元にマッピングすることで、路面情報の記録をし車椅子利用者の道選別に役立てる研究を行っている。荒川ら [2] は、複数の車椅子に取り付けた加速度センサの情報をマッピングしかつ定期的に更新を行うことで最新の地面状況を提示し道選別に役立てる研究を行っている。これらは、安全面の向上を目指したものが多い。

一方で車椅子の動作解析を行う研究はレクリエーションや表現手法など、エンタテインメント要素を含むものも多く見られる。Kathrinら [3] はkinectを用いて車椅子の前後左右を認識しゲームのコントローラとして使用することで、アクセシビリティ性の向上をはかる研究がある。望月ら [4] は、タイヤに角速度センサを取り付け、回転速度を図りタイヤをDJのディスクとみたと、音楽の再生をコントロールすることで、車椅子に乗る楽しみの向上を目指した研究が行われている。

<sup>†1</sup> 現在、首都大学東京システムデザイン研究科インダストリアルアート学域

Presently with TMU, Hino, Tokyo, Japan

a) kotegawa-tomoya@ed.tmu.ac.jp

b) baba@tmu.ac.jp

c) kushi@tmu.ac.jp

### 3. 予備実験

#### 3.1 システム概要

本研究では車椅子の日常における動作の細かな解析を目的とするため、mnf社<sup>\*1</sup>が開発している靴の素早い動きの解析を行えるスマートシューズ orphe のコアモジュールを用いて実験をおこなった。デバイスは木で制作した治具を用いて下部中央にモジュールを取り付け実験を行った(図1)。また、漕ぐ動作などは直接車輪にセンサを取り付け測るのが確実であるが、中央に取り付けたセンサーで解析可能か検討したく、orphe モジュールのみ使用している。



図1 モジュールを取り付けた車椅子

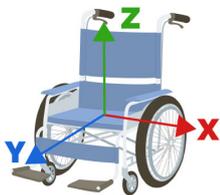
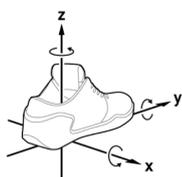


図2 3軸と車椅子の向きの対応

モーションデータ Motion sensor data



Orphe SDK: 配列と軸の対応表	Type	Range	0	1	2
クォータニオン Quaternion	Float	-1.0~1.0	w	x	y
オイラー角 Euler angle	Float	y, z: -180.0~180.0, x: -90.0~90.0	x	y	z
加速度 Acceleration	Float	-1.0~1.0	x	y	z
角速度 Angular velocity	Float	-1.0~1.0	x	y	z
方位 Orientation	UInt16	0~359	z	-	-
衝撃値 Impact value	UInt8	0~255	vector	-	-

図3 モジュールで取得可能なセンサ値と値の範囲

モジュールに実装された9軸モーションセンサより加速度 (Acceleration : acc [m/s<sup>2</sup>]), 角速度 (Angular velocity : gyro [rad/s]), コンパス (compass), またこれらを利用し各軸ごとの角度 (Euler angle : angle[rad]), クォータニオ

\*1 株式会社 no new folk studio

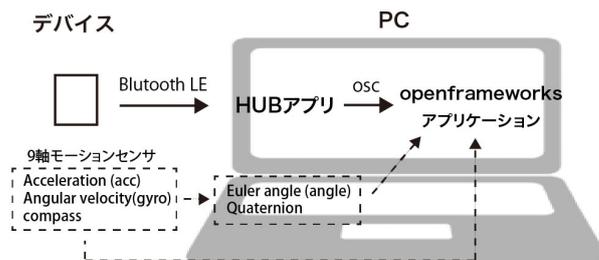


図4 システム構成図

ン (quaternion) を HUB アプリから osc 経由で openframeworks に取得し、動作解析を行う(図3, 図4)。開発工程コストを下げる為、モーションデータは動画と合わせて保存され、プログラム上で再生やデータの考察が可能となるアプリケーションを制作した。それぞれの値と動作を見比べることでその特徴を捉えていく(図5, 図6)。

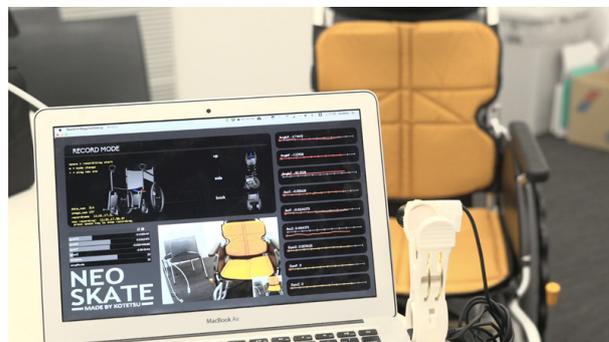


図5 録画風景

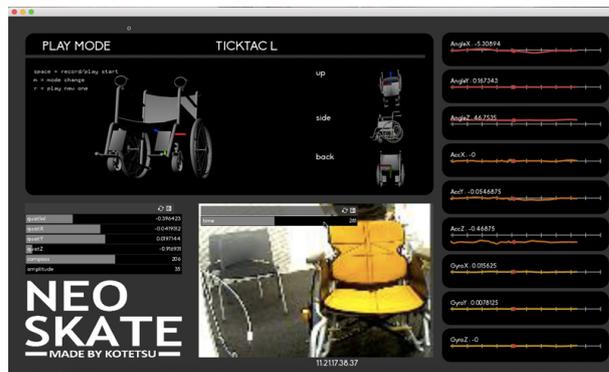


図6 再生画面

#### 3.2 動作解析

2017年8月に行われた情報処理学会アクセシビリティ第4回研究会にて、本システムを用いて日常使いの車椅子でおこなえる動作に着目し解析した結果の報告をおこない、走行、回転、叩打の3つの特徴を見出した。[5] なお、本システムでは一秒間に50回(20msec)でセンサ値の書き出し、同タイミングで画像(キャプチャ)の書き出しを行っている。

### 3.3 認識手法の検討

動作解析によって得た走行、回転、叩打の特徴を用いて認識を試した。回転、叩打は閾値を設けることで認識が可能であった。走行に関しては閾値での判別が難しいため、特に値の変化が大きく見られた角度 (angle) の X,Y,Z を用いて認識手法の検討を行なった。はじめに k-NN を用いて認識を試みた。あらかじめ記録した各動作の成功時の各 angle 値 2.5 個ずつをテンプレートとして用意し、入力データと各テンプレートの距離を比較し、最も合計距離が近いものをその時の動作とみなす手法を用いた。数式 (1) (図 7) の D が距離の合計、i がテンプレート数 (今回は i=0 1), T はテンプレートデータ、S が入力データ、n がデータ参照数 (今回は n=25) である。

$$\operatorname{argmin} D_i \quad D_i(T_i, S) = \sqrt{\sum_{k=0}^n (T_{i,k} - S_k)^2} \quad (1)$$

図 7 K-nn の式

人により動作にかかる時間が違うために、1 次曲線を並行移動させて数値の類似度を計る k-NN では、誤認識がおこってしまう可能性を考え、長さの違いにも対応可能な DTW を用いた (図 8)。数式 (2) の記号は (1) と同様である。

$$DTW_i(T_i, S) = \min \sum_{k=0}^n |T_{i,k} - S_k| \quad (2)$$

図 8 DTW の式

## 4. 認識を用いたアプリケーションの制作

### 4.1 アプリケーション概要

今回動作解析をおこなった、走行、回転、叩打の 3 つに対して認識が可能であるか確かめるために、各々に機能をつけ動作に連動し 3D グラフィクスが動き音を鳴らすアプリケーションの開発を行った (図 9)。



図 9 制作したアプリケーション画面

回転の変化量が閾値を越えると音がなり、変化量に比例してボリュームが変わる。また、肘掛けの叩打、走行にはそれぞれに対応した音が鳴るアプリケーションを制作した。回転に関しては angleZ を用いて正確に角度を認識し、さらに回転の速さ、右回り左回りの認識が可能であった。また、肘掛けを叩く動作も accZ に閾値を設けることで正確に認識可能であった。今回は漕ぐ動作に対して角度 X,Y,Z 軸に着目し DTW を用いて認識を試したが、認識が成功する度合いのばらつきや止まった状態からは認識できるが動いた状態では漕ぎを認識できない場合があった。これはテンプレートを取得した元データの適切性や角度を用いたことの適切性の問題や、デバイス取付時の角度の微妙なずれが原因とみられる。

### 4.2 展示

2017 年 10 月に日本科学未来館にて行われた DCEXPO で首都大学東京の車椅子プロジェクトとして展示を行った。大人から子供まで幅広い世代に体験していただき意見や感想をいただいた。誰でも車椅子に座るだけで体験できることや、どの車椅子にも応用可能な点や健康者に車椅子を体験していただくきっかけとして良い、車椅子で活動をしたくなるなどの高評価を多くいただいた。問題点として、今までは筆者の動きに合わせて音が鳴るようにプログラムを調整していたが、子供や女性の場合は力が弱いために認識が難しくなることや、認識後に音をアウトプットするために若干の遅延が発生し違和感を感じる点が挙げられた。



図 10 展示会にてデモを行なっている様子

## 5. 展望

今回の実験を通して複数の動作の解析を行い、それぞれの特徴に関して報告した。また、特徴を用いた使用例を試し、いくつかの動作は正常に認識することを確認した。今後は特徴をより細かく分析し、認識の成功率や認識可能な動作を増やし具体的な使用例も模索していく。また、現在はパソコンと連携をしているために移動範囲の制限や、音がパソコンから流れているために違和感を感じる点を解決す

るため、コンピュータ画面と車椅子の一体化を目指し車椅子の活動の自由度をより高めていく。いずれは本システムを用いて、スポーツ車椅子のパフォーマンス向上やダンスなどのエンタテインメント表現の拡張を行える可能性を見出した。また、今回は車椅子の動作解析に取り組んだが、地面の状況や段差認識などの車椅子周辺の環境解析にも応用可能であると考えている。

#### 参考文献

- [1] 岩澤有祐, and 矢入郁子. "3 軸加速度時系列データからの車椅子走行行動分析の研究." The 26th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence. 2012.
- [2] 荒井研一, et al. "一般車椅子利用者からのセンサ情報を活用したオンデマンド型バリアフリー情報提供システム." マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集 2016 (2016): 73-78.
- [3] Gerling, Kathrin M., Michael R. Kalyn, and Regan L. Mandryk. "KINECT wheels: wheelchair-accessible motion-based game interaction." CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2013.
- [4] 望月茂徳: 車椅子 DJ:車輪回転速度に連動した音楽再生車椅子の開発, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-ARC-183, No. 1, pp. 1-3, 2016
- [5] 小手川誠也: 9 軸モーションセンサを用いたエンタテインメントシステムとしての車椅子動作の考察, 情報処理学会研究報告, Vol. 2017-AAC-004, 2017