

## 支持面の並進速度に対する立位人体の姿勢評価

知能メカトロダイナミクス研究室 1170171 由岐中 貴士

## 1. 緒言

我々の研究グループでは、電動スケートボードのような個人で乗るタイプの立ち乗り型の輸送機器の開発を目指している。一般的に、立ち乗り型の場合は搭乗者の負荷が大きくなり、安定な搭乗のためには搭乗者の技術や慣れが必要となる。一方で、個人で乗るタイプであれば、搭乗者のバランス能力を考慮して機器を制御することによって、搭乗の難しさを改善できる可能性がある。これを実現するためには、搭乗者の前額面のバランス能力の数学モデルが必要となる。

我々は、これまでに周波数応答実験とインパルス応答実験から個人のバランス特性を調べ、構築した数学モデルに対してフィードフォワード制御を適用し、搭乗者への負担を低減するように試みた<sup>(1)</sup>。その結果、残留振動は抑えられたが、支持面の速度が大きい場合の応答が事前の予測と異なる結果となった。その原因を調べたところ、高速で等速運動しているときの搭乗者の姿勢は、鉛直ではなく進行方向に対して後ろ向きに傾いていることが示唆された。

本研究では、上述のような支持面が等速運動しているときの搭乗者の姿勢の調査を目的とする。具体的には、電動スケートボードの10秒間の等速度実験を行い、支持面速度と人の姿勢角の関係を明らかにする。この方法では、人の姿勢が収束するまで等速状態を維持する必要があるため、等速区間の走行距離が長くなるため、搭乗者の姿勢の計測には慣性センサを用いた。

## 2. 等速運動時の人の姿勢角測定実験

## 2.1. 等速度実験の概要

本実験では、電動スケートボードを用いて支持面の等速状態における搭乗者の姿勢角を測定する。まず、スケートボードの変位と搭乗者の姿勢角の定義を図1に示す。搭乗者は効き手、効き足に関わらず左足を前に搭乗するものとし、スケートボードの前進を正方向とする。姿勢角はスケートボードが前進した場合に後ろに傾斜する方向を正の角度とする。

本実験に用いる電動スケートボードを図2に示す。この電動スケートボードは出力450Wの市販品を改造したもので、右前輪に取り付けたロータリエンコーダ(180 pulse/rev)の計測値をフィードバックしてサーボ追従制御を実現しており、被験者を乗せた状態で一定の速度が実現できることを確認している。

等速区間での姿勢を計測するために、実験では図3に示す手順で電動スケートボードを動作させる。まず、加速度0.25

m/s<sup>2</sup>で「設定速度+0.25 m/s」の速度となるまで加速する(①)。

2秒間等速運動(②)の後、1秒間-0.25 m/s<sup>2</sup>で減速し(③)、設定速度を実現する。そのまま10秒間等速状態を維持した後(④)、-0.25 m/s<sup>2</sup>でボードが停止するまで減速する(⑤)。このような動作をさせる理由は、加速区間後方に傾斜した姿勢を、2秒間の等速区間と1秒間の減速区間によって、鉛直に近い状態に戻すためである。ただし、低速の場合には上記の設定では初期姿勢が逆に前傾するため、2秒間の等速区間を1秒間(②)、その後1秒間の減速区間(③)から0.5秒間に変更した。

速度は、0.2~1.0 m/sの範囲で0.2m/sきざみで5パターン設定し、それぞれ前進と後退で10回ずつ実験を行った。本実験では、④の後半1秒間の平均値を収束した姿勢とする。

被験者は20代の男性7名とした。被験者に対しては、視線はまっすぐ前方を維持するものとし、なるべく直立状態を維持するように指示した。また、被験者のスタンス幅は約230mmに統一している。

## 2.2. 人の姿勢の測定方法

実験における人の姿勢角の計測には、慣性センサ(MTw: X-sens社製)を用いる。慣性センサでは姿勢を直接計測することができないが、加速度、角速度、地磁気の情報からセンサ自身の姿勢を算出することができる<sup>(2)</sup>。慣性センサの位置は、図4(a)に示すように下半身(両足)と上半身の質量中心に合計3個取り付けた。慣性センサから得られる姿勢角の妥当性を検証するために、モーションキャプチャの計測との比較を行った。

モーションキャプチャの計測では図4のように身体12個、支持面に2個の計14個の反射マーカを取り付け、支持面に対する上半身と下半身の質量中心の相対変位を求めた<sup>(3)</sup>。速度0.8m/sで慣性センサと反射マーカを同時に取り付けて10回の実験を行い、2つの計測装置から得られた下半身姿勢角の平均波形を図5で比較する。その結果、2つの波形がほぼ平行になっているため、慣性センサによる計測においてもほぼ正確に姿勢が得られることを確認した。なお、バイアス誤差については、センサのゼロリセットのタイミングに依存する。この影響を除去するために、ゼロリセットのタイミングは実験開始時の1回のみとし、角度については、前進と後退で応答が左右対称となることを前提として、前進10回と後退10回のすべての計測データの平均を角度ゼロとして実験後に補正している。



Fig. 1 Posture angle

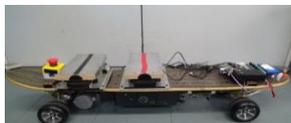


Fig. 2 Electric Board

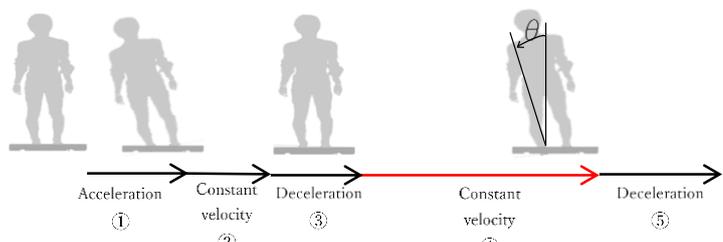
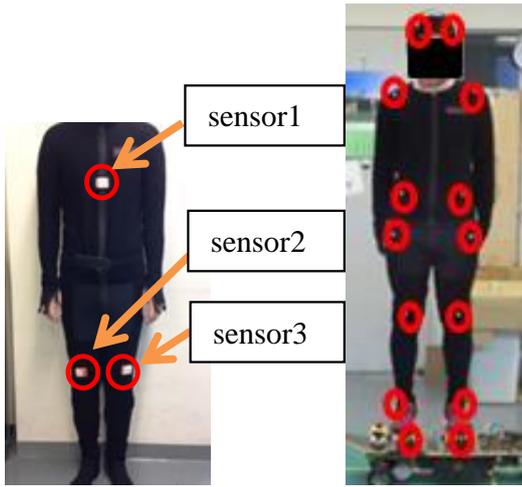


Fig. 3 Velocity planning in constant velocity test



a) Inertial sensor (b) Reflect maker  
Fig. 4 Distribution of inertial sensors or reflect markers

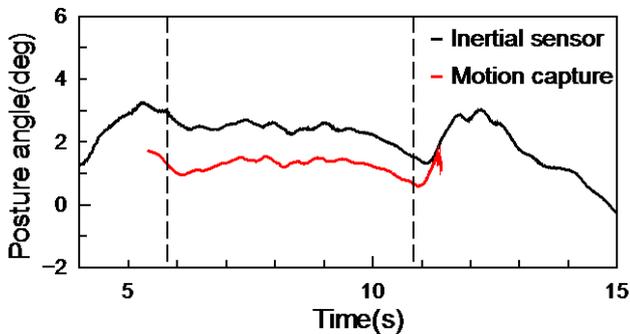


Fig. 5 Posture angle measured two devices

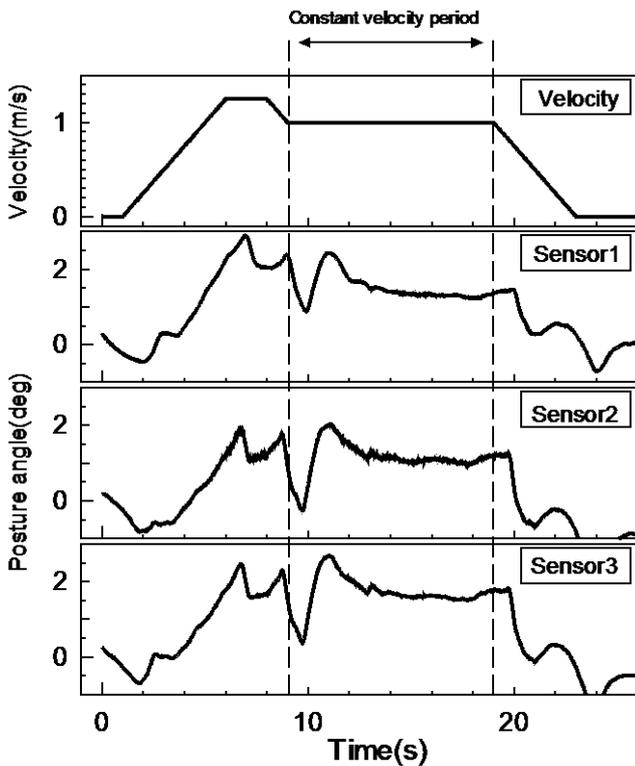
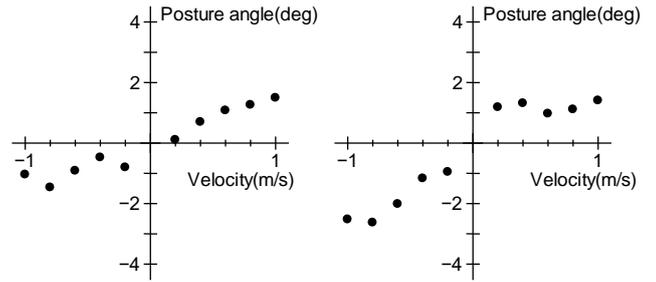


Fig. 6 Posture angle in constant velocity test



(a)Upper body (b)Lower body  
Fig. 7 Posture angle according to support surface's velocity

### 3. 姿勢角と支持面速度の関係

等速度実験の速度1.0m/sにおける被験者7名の応答波形の平均を図6に示す. 破線で等速区間を示した. このグラフから等速区間の後半で姿勢が収束していることがわかる.

次に, 等速区間の後半1秒間の姿勢角の平均と支持面速度の関係を図7に示す. この結果では, 速度が正であると角度が正であることが示されており, 図1の定義よりスケートボードが前進するとき姿勢が後ろに傾く傾向がみられることがわかる. さらに, 支持面の速度の増大に対して姿勢角はどこかで収束することが予想されるが, 下半身においては計測した速度の範囲内で緩やかに収束する傾向がみられたが, 上半身についてはもう少し高い速度まで収束しない傾向があった.

### 4. 結言

本研究では, 支持面が等速運動しているとき人の姿勢角は進行方向と逆に傾くことがわかった. また, 速度が増大すると, 姿勢角が収束していく傾向も確認した. 今後はこの結果をモデルに反映し, これを含めた電動スケートボードの制御方法について検討していく.

### 参考文献

- (1)園部 元康, 山口 大貴, 日野 順市, “搭乗者のダイナミクスを考慮した電動スケートボードの加速度制御”, 第14回「運動と振動の制御」シンポジウム, (2015).
- (2)廣瀬 圭, 近藤 亜希子, “人間工学のための計測手法 第1部: 動作計測(2) 一慣性センサによる動作計測一”, 人間工学 Vol. 50 (2014) No. 4 p. 182-190
- (3) D.Gordon E. Robertson, Saunders N. Whittlesey, Graham E. Caldwell, Gary Kamen, Joseph Hamill “身体運動のバイオメカニクス研究法”, 大修館書店.