

Kinectを用いた上肢リハビリ支援装置の開発

長谷川 俊 幸*・木 澤 悟

Development of upper limb rehabilitation support device using Kinect

Toshiyuki HASEGAWA * and Satoru KIZAWA

(平成28年11月30日受理)

The motor dysfunction of the upper limb can be expected to improve the motor function by rehabilitation. There are some devices for upper limb rehabilitation, but they are expensive and large. Therefore, in previous research, we have developed compact and inexpensive upper limb rehabilitation device. On the other hand, motion capture has been applied in field of medical welfare. Kinect has attracted attention as inexpensive motion capture, and has been applied in various fields. Therefore, in this study, we build a motion capture system using Kinect, it was applied to the rehabilitation device. In this paper, we report the specifications of the motion capture system using Kinect and the rehabilitation support device that we developed.

Keywords: Kinect, motion capture, motor dysfunction, upper limb rehabilitation, self-position recognition

1. 緒言

上肢の運動麻痺の場合、リハビリにより関節拘縮の予防や運動機能の改善が期待できる。上肢リハビリのための機器は多く存在するが、そのほとんどは設置場所やコストの面で患者が自宅で利用することは困難である。そこで、著者らは先行研究として持ち運び可能であり、卓上でのリハビリが可能で、かつ安価な上肢リハビリ支援装置¹⁾を開発してきた。一方で、医療福祉分野では運動機能の計測や評価にモーションキャプチャが応用⁴⁾されている。代表的な動作解析装置としてVICON (Crescent,inc) などがあるが、その多くは非常に高価で、測定場所も制限される。一方、Microsoftの発売するKinectは安価でありながら、デプスセンサや関節位置推定などの機能を搭載しており、安価なモーションキャプチャとして様々な分野で応用²⁾されている。

そこで、本研究ではKinectを用いたモーションキャプチャの上肢リハビリ支援装置への応用を検討した。しかし、Kinect標準の関節推定は関節が重なった場合に正確に推定できず、また実際の関節位置には個人差もあるため、この方法は精度面で汎用

性に欠けることが分かった。そのため、本研究では、Kinectでマーカ認識を行うことで、より高精度な任意位置、関節位置の取得が可能なモーションキャプチャシステムを構築した。また、開発したシステムにより得られた位置情報を上肢リハビリ支援装置の軌道制御、およびリハビリの臨床応用へ利用することも検討した。本報告ではKinectによるモーションキャプチャシステムおよび、開発した上肢リハビリ支援装置の概要について報告する。

2. Kinect v2によるモーションキャプチャ

2.1. Kinect v2の概要

KinectはMicrosoftから発売されたセンサデバイスである。RGBカメラ、深度センサ、マイクなどが内蔵されており、人間の骨格を認識する機能も有している。また、Kinectは家庭用ゲーム機Xbox用のセンサであるが、公式にKinect for Windows SDKが提供されており、Windowsアプリケーションへの応用が可能である。Kinect for Windows SDKでは、Kinectに搭載された各センサを扱うための関数が用意されており、骨格認識、ジェスチャ機能なども簡単に扱うことが可能である。そのため、Kinectは安価なモーションキャプチャとして各分

* 秋田高専専攻科学生

野で応用²⁾されている。本研究では、2014年（日本）に発売されたKinect v2（Xbox One Kinect, Fig.1）を使用した。



Fig.1 Kinect v2

2.2. Kinectによる任意マーカ位置の取得

Kinectには、センサが捉えた人間を認識してその関節位置を推定する機能がある。しかし、Kinectの関節推定機能は、関節が重なった場合に正確に認識されない問題が見られた。また、実際の関節位置には個人差もあるため、精度や安定性の面で正確な関節位置取得に用いるのは困難であった。そこで本研究では、リハビリ装置に応用するにあたり、より汎用的な精度をもった関節位置および、任意位置を取得するため、Kinectによるマーカを用いた位置認識方法を検討した。ここでは、マーカの認識とマーカ位置取得の方法について述べる。

マーカには、4色（桃，橙，黄緑，紫）のピンポン玉を利用した。Fig.2にKinectを用いたマーカ位置取得のプロセスを示す。マーカはKinectのRGBカメラで得たカラー画像から、特徴色認識によって認識する。カラー画像上のマーカ位置はFig.3のように画像左上を原点とした画素単位の x, y 座標値で表現する。次に、Fig.4に示すようにKinectの深度センサによって、マーカまでの深度を取得する。ここで、RGBカメラと深度センサでは、カメラ位置や解像度に差があるが、SDKを用いることで両センサのデータのマッピングが可能である。カラー画像上のマーカの x, y 座標とマーカまでの深度が分かればKinectのカメラパラメータから、Kinectを基

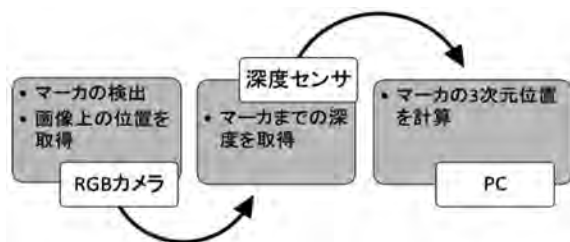


Fig.2 マーカ位置取得プロセス

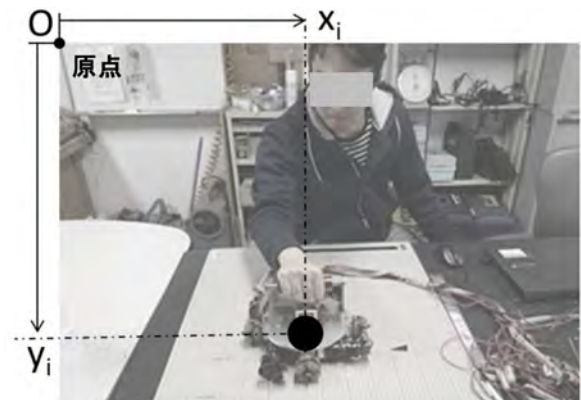


Fig.3 カラー画像上のマーカ位置



Fig.4 マーカの深度

準としたマーカの3次元位置を計算できる。この3次元位置の計算もSDKを用いることで、容易に得ることができる。

3. 上肢リハビリ支援装置

3.1. 装置概要

Fig.5に開発した上肢リハビリ支援装置の外観を示す。患者は、装置本体のグリップを握り、腕を動かし、前面モニタに表示された目標軌道に沿うように装置本体を操作する。

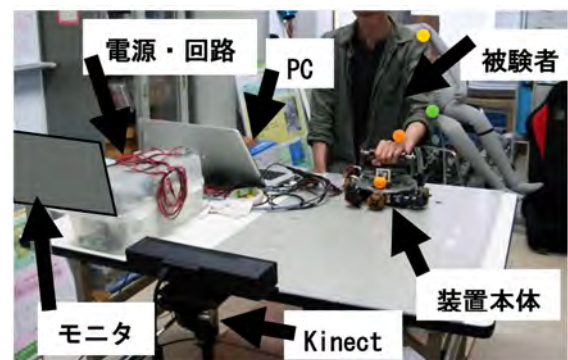


Fig.5 上肢リハビリ支援装置

Fig.6 にはリハビリ装置本体を示す。移動機構にはオムニホイールを採用し、各ホイールのモータをそれぞれ制御することで、全方向への移動が可能である。グリップ基部には力覚センサが設置され、グリップに加えられた力を感知する。小さな力も感知できるため、このセンサ値をフィードバックして駆動制御することで、麻痺患者でも随意方向への十分なリハビリ動作が可能である。



Fig.6 リハビリ装置本体



Fig.7 マーカ貼付位置

位置情報の取得には、Kinectによるモーションキャプチャシステムを応用した。Fig.5 に示すように患者前方にKinectを設置し、Kinectにより装置本体および患者の上肢を捉えられるようにした。また、Fig.7 に示すように装置本体および患者の肩、肘、手首関節にマーカ（ピンポン玉）を貼り付けた。取得した各位置情報は、Fig.8 に示すようなモニタ表示によって2Dまたは3Dで図示するとともに、csvファイルとして保存することができる。モニタ

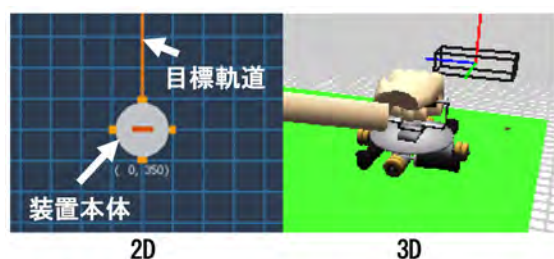


Fig.8 リハビリ中のモニタ表示

表示により、患者は常に目標軌道と現在位置を確認しながら、直観的なリハビリを行うことができる。

3.2. 制御方式

リハビリ装置の制御システムの基本構成をFig.9 に示す。装置の制御に必要な各演算処理はPCによって行う。制御に必要なKinect、力覚センサ、モータドライバのI/OユニットなどはすべてUSBを介してPCに接続される。Kinectの情報から計算した装置本体の自己位置と、力覚センサの感知したグリップに加えられた力の情報をもとに、任意方向へ装置が動くように各モータのモータドライバへ信号を送り、PWM制御することで装置が動作する。



Fig.9 制御システムの基本構成

4. マーカ位置取得精度の評価実験

4.1. 実験1（前後リーチングの計測）

4.1.1 実験方法

Kinectで取得したマーカ位置の精度を評価する実験を行った。開発した上肢リハビリ支援装置では、主にリーチング動作によるリハビリを想定しているため、実験1としてFig.10に示す前後300mmリーチング動作についてマーカ位置計測を行った。リハビリ装置に組込んだKinectによる計測のほか、同時に装置外部からVICONを用いても計測した。VICONは赤外線反射マーカを用いた測定方式のため、マーカはFig.11のようにKinect用とVICON用の2つを各計測箇所貼付した。VICONは代表的な動作解析装置であり、誤差1mm以下の高精度な位置計測が可能である³⁾。そこで、ここではVICONの計測結果を基準としてKinectの計測結果との差を求めることにより、Kinectのマーカ位置検出精度を求めた。装置本体のマーカの計測結果について比較したほか、肘関節角度についても比較した。肘関節角度は、Fig.12に示すように肩、肘を通る直線と肘、手首を通る直線のなす角とした。

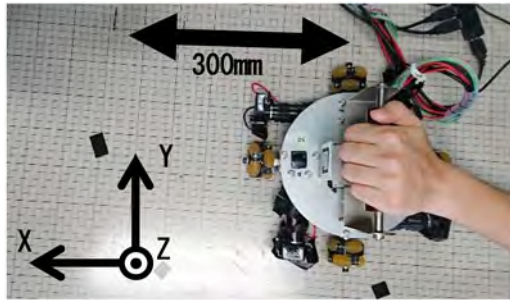


Fig. 10 前後リーチング動作

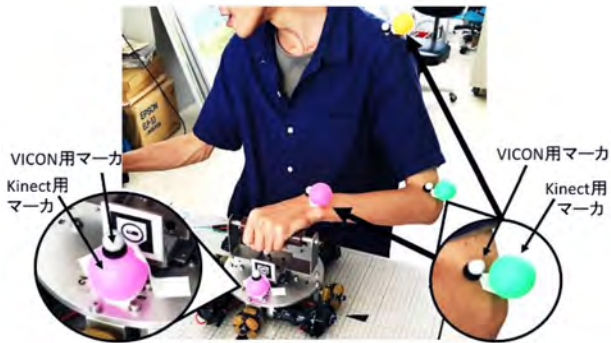


Fig.11 各マーカの貼付方法



Fig.12 肘関節角度

4.1.2 実験結果

装置本体のマーカについてX, Y, Z方向各々のKinectとVICONの計測値の差（誤差）を求めると、1往復ごとの平均誤差とその標準偏差はFig.13～15のようになった。10往復の平均誤差は、X方向で0.8mm、Y方向で1.3mm、Z方向で0.9mmであった。いずれの方向でも平均誤差は1mm程度であり、最大誤差も3.0mm以下であった。これは、リーチング運動におけるリハビリ装置や上肢の大きな動きを捉えるのには十分な精度であると考えられる。Fig.16ではKinectの計測値およびVICONの計測値から計算した肘関節角度を比較した。Fig.16から、2つの計算値がよく一致していることが分かる。肘関節角度の平均誤差は1.2度、最大誤差は4.0度であった。

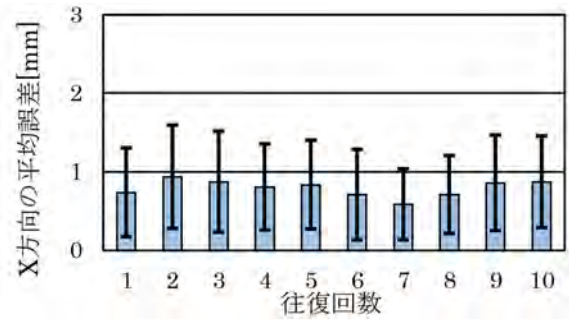


Fig.13 X方向の平均誤差（実験 1）

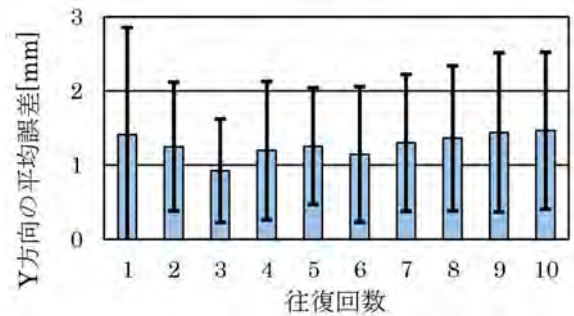


Fig.14 Y方向の平均誤差（実験 1）

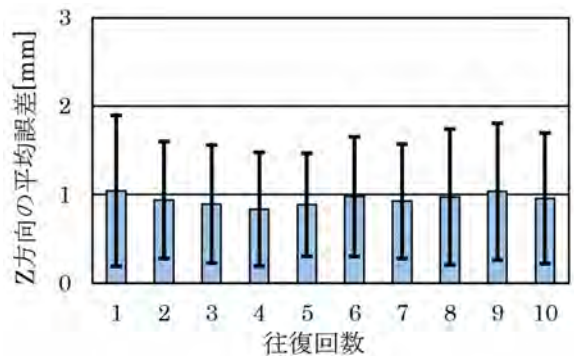


Fig.15 Z方向の平均誤差（実験 1）

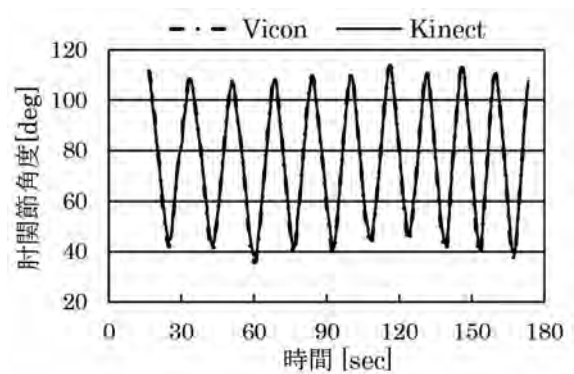


Fig.16 肘関節角度の比較（実験 1）

4.2. 実験2（斜めリーチングの計測）

4.2.1. 実験方法

実験1の前後リーチング動作ではX, Z方向への動きが小さく、そのため誤差も大きくならなかったことが考えられる。そこで実験2では、今後多様なリハビリ動作を扱うことを考慮し、より汎用的な精度情報を得るため、Fig.17に示すXY方向への動きの大きい斜めリーチング動作についてKinectおよびVICONでマーカー位置計測を行った。ここでも、VICONの計測結果を基準として比較した。計測項目および比較項目は実験1と同様である。

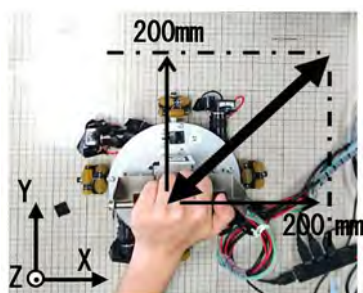


Fig.17 斜めリーチング動作

4.2.2 実験結果

Kinectで計測した装置本体のマーカー位置についてX, Y, Z方向各々の1往復ごとの平均誤差とその標準偏差はFig.18~20のようになった。10往復の平均誤差は、X方向で5.4mm, Y方向で4.2mm, Z方向で1.6mmであった。結果を見ると、動きの大きくなったX方向だけでなく、Y, Z方向の誤差も大きくなった。これは、Kinectが得たカラー画像上でのマーカー移動範囲が大きくなり、マーカー追跡の安定性が低下したためであると考えられる。この場合でも、最も誤差の大きかったX方向でも最大誤差は

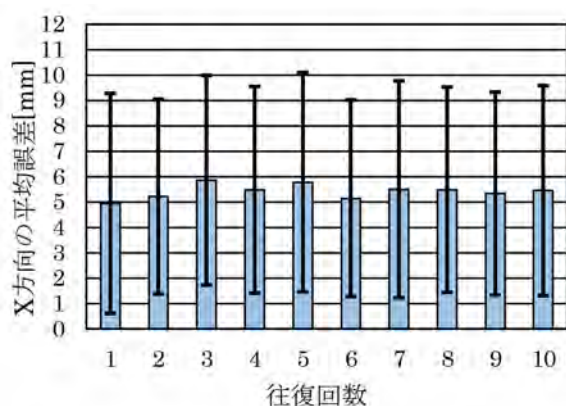


Fig.18 X方向の平均誤差（実験2）

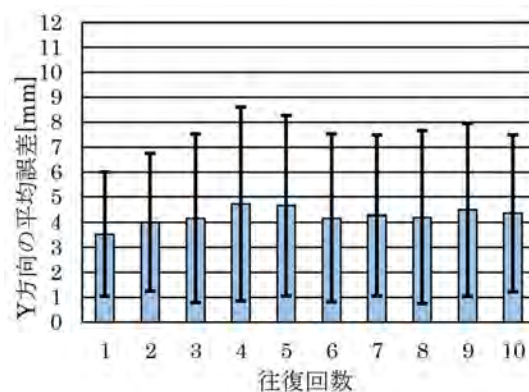


Fig.19 Y方向の平均誤差（実験2）

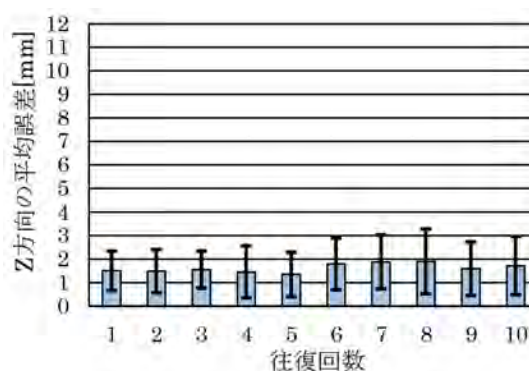


Fig.20 Z方向の平均誤差（実験2）

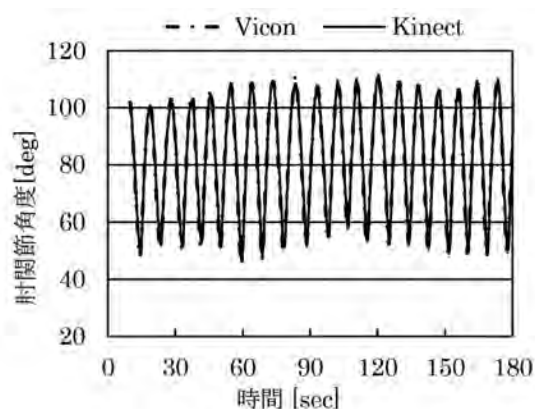


Fig.21 肘関節角度の比較（実験2）

10mm程度であり、リハビリ動作を捉えるうえで致命的な誤差にはならないと考えられる。Fig.21ではKinectの計測値およびVICONの計測値から計算した肘関節角度を比較した。肘関節角度の平均誤差は1.7度、最大誤差は5.3度であった。

5. 結言

本研究では、Kinectによるモーションキャプチャシステムを構築し、上肢リハビリ支援装置へ応用することを検討した。任意対象の位置を計測するため、Kinectによるマーカ位置の取得を行った。精度検証実験により、Kinectによるマーカ位置の取得により、リハビリ装置に応用するのに十分な精度の位置情報が得られることが確認できた。また、上肢の関節位置および関節角度の取得ができた。今後は、得られた上肢関節位置、関節角度情報について臨床応用を検討したい。

参考文献

- 1) 安保俊彦, 上肢訓練支援のための卓上リハビリロボットの開発, 平成27年度秋田工業高等専門学校専攻科特別研究論文, (2016)
- 2) 中村, 杉浦, 高田, 上田, 『KINECT for Windows SDK プログラミング Kinect for Windows v2 センサ対応版』, 秀和システム, (2015)
- 3) 佐藤, 泉, 木澤, 宮脇, モーションキャプチャの精度測定, 日本機械学会東北支部 第52期秋季講演会, No403, (2016)
- 4) 小島一成, モーションキャプチャシステムの最新の進歩, 臨床スポーツ医学, Vol.9, No.7, pp.661-666, (2012)