

# コミュニケーションロボットのための ハンド部モーションキャプチャシステムの開発

## Development of a Hand Motion Capture System for Communication Robot

○石川貴史\* , 水戸部和久\* , 妻木勇一\*

○Takashi Ishikawa\* , Kazuhisa Mitobe\* , Yuichi Tsumaki\*

\*山形大学

\*Yamagata University

キーワード: 遠隔地コミュニケーション (Telecommunication) ,  
ウェアラブルロボット (Wearable Robot) , 操作インタフェース (Operation interface) ,  
Leap Motion Controller (Leap Motion Controller)

連絡先: 〒992-8510山形県米沢市城南4-3-16

山形大学工学部機械システム工学科 6-501 水戸部研究室

水戸部和久 , Tel.: (0238)26-3230 , Fax.: (0238)26-3205 , E-mail: mitobe@yz.yamagata-u.ac.jp

### 1. 緒言

近年, 新たな遠隔コミュニケーション手段として実物のロボットを取り入れたシステムの研究・開発が行われている. ロボットを用いることで, 通信相手の存在感の増加や非言語・身体的情報の交換が可能になり, コミュニケーションの質の向上が期待されている<sup>[1][2]</sup>.

ウェアラブルミニチュアヒューマノイド (MH-2) は上半身の人型テレコミュニケーションタであり, 映像, 音声に加え使用者のモーションの伝達が行えるシステムである. MH-2 は腕部, 頭部, 腰部において人とほぼ同等の自由度を持つことで, 人間らしい幅広い動作が可能である<sup>[3]</sup>.

先行研究では Kinect を用いたモーションキャプチャによる操作インタフェースの開発が行われた. これにより肩から肘にかけての腕部, および頭部, 腰部の動作が可能となり, 操作者の動作を MH-2 によって再現可能となった<sup>[4]</sup>. また, Kinect の FaceTracking 機能を用いて操作者の顔の特徴点から表情を判別し, ロボットの表情を CG モデル上で変化させる取り組みも行われた<sup>[5]</sup>.

関節部の動作に加え, ヒューマノイドに人の表情や指先などの細かい変化を表現させることで, ヒューマノイドの人間らしさを向上させることができ, 遠隔コミュニケーションにおける臨場感を向上させることができると考えられる.

そこで, 本研究ではロボットハンドの操作インタフェースを開発し, MH-2 の CG モデルのハンド部の動作機能の拡張を行った. 操作者のハンドモーションキャプチャを行い指の姿勢を MH-2 に反映させることで, 両ハンドにおいて非常に幅広く細かい動作が可能になり, より人間に近い動作の実現や臨場感の向上が期待される.

ハンドモーションキャプチャを行うにあたり, 新たに Leap Motion Controller を用いたシステムを導入した. Leap Motion Controller は手をかざすことで指や手に関するデータを取得することができる. また, Kinect では正確な取得が困難であった手首の姿勢角の取得に関して, Leap Motion Controller および外部センサを併用し実現させることを考えている.

## 2. ハンドモーショキャプチャシステム

### 2.1. システム概要

開発したハンドモーショキャプチャシステムの構成図を Fig.1 に示す. 先行開発された操作アプリケーションに合わせ, 開発環境は Visual Studio 2010 を使用し, また CG モデルの描画には, coin3D ライブラリを使用する.

本システムでは 2 台の Leap Motion Controller による両手分のハンドトラッキングを行い, ロボット CG モデルのハンド部に動作を反映させる. ただし, Leap Motion Controller は 1 台の PC につき 1 台のみしか使用できないため, 別々の PC を用いてそれぞれモーショキャプチャを行う必要がある. そこで, サブ PC で取得したデータを TCP/IP 通信を用いてメイン PC に送信することで, 同時に両手分のデータの取得を行った. これにより, メイン PC 上のロボット CG モデルの両ハンド部の動作が可能になる.

システムの開発にあたり, 新たに Leap Motion によるハンドデータの取得プログラムおよびサブ PC からの送信データの取得プログラムを開発した. これらはマルチスレッド機能を用いて先行開発された操作アプリケーションに追加する.

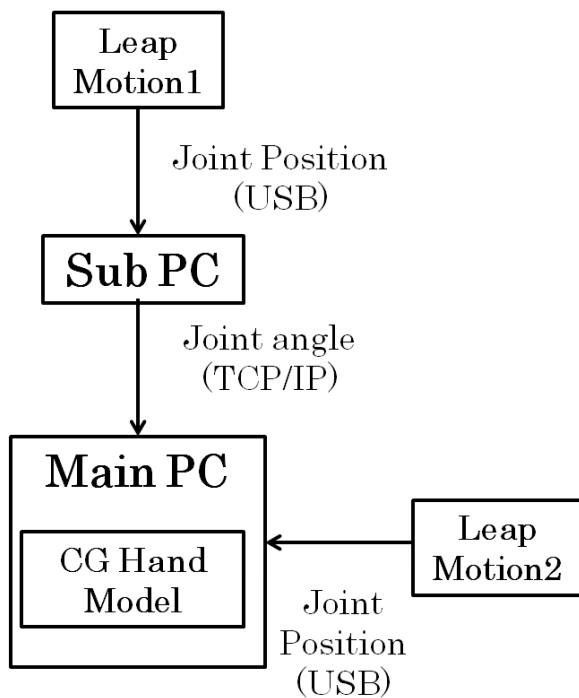


Fig.1 Organization of the hand motion capture system

### 2.2. ハンドモデル

3D-CAD システム(SolidWorks)を用いて 19 自由度の CG ハンドモデルを試作した. その外観および指部分の関節モデルを Fig.2 に示す. 各指の関節番号は指の付け根から J1,J2,J3,J4 と数えるものとする. ただし, 関節 J1 と J2 は同じ位置にあると考える. 以上に示すように, 実物の人間の手とほぼ同等の自由度を持たせるものとする.

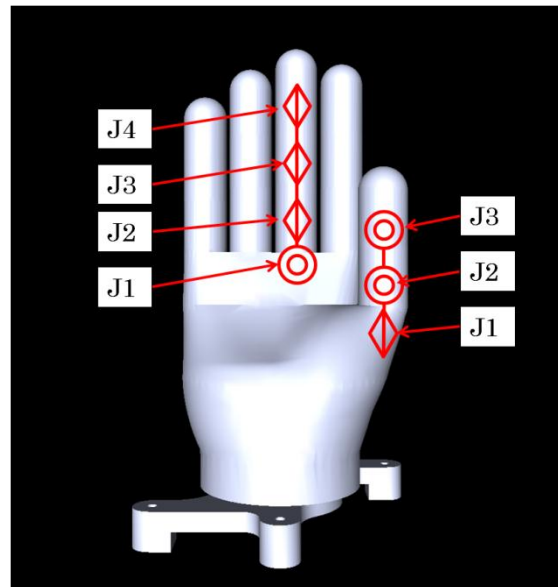


Fig.2 CG Hand Model

### 2.3. Leap Motion 取付け器具

今回試作した Leap Motion の取付け器具の外観を Fig.3 に示す. 掌の側からのトラッキングを行うため, 手首部から支柱を伸ばし, その先端に Leap Motion を取り付けた. 掌から Leap Motion 表面までの高さはおおよそ 130mm~140mm であり, また手の中心に対して 40mm~50mm ほど横にずらした配置をとる.



Fig.3 Implement of Leap Motion on the wrist

### 3. ハンドモデルの操作インタフェース

#### 3.1. Leap Motion

Leap MotionはSDK V2 Tracking Bata版の公開により、手の情報に関して詳細なデータの取得が可能となった。取得できるデータのうち、本研究で使用するものを以下に示す。

- ・ 指先および指関節の位置
- ・ 指の各リンク長さおよび方向ベクトル
- ・ 手の中心位置
- ・ 手の方向ベクトルおよび法線ベクトル
- ・ 手首のピッチ、ヨー角

Leap Motionの座標データはFig.4に示す三次元基準座標系より表わされる。また、Leap Motionのトラッキング範囲の図をFig.5に示す、Leap Motionの中心より150°の範囲内で、デバイス表面からの高さおよそ25mm~600mm間でのトラッキングが有効である。

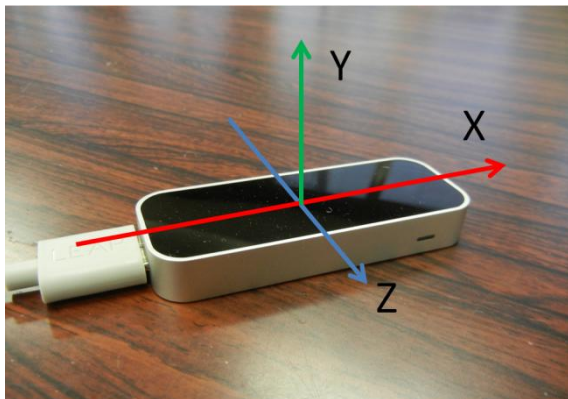


Fig.4 Coordinate system on Leap Motion

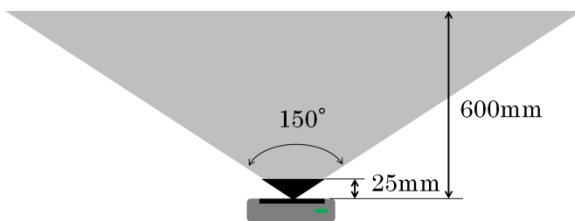


Fig.5 Tracking range of Leap Motion

#### 3.2. 指の姿勢角の取得

取得データを用いて、各指の第1関節~第4関節の角度取得方法を以下に示す。

#### ・ 第1, 第2関節

Fig.6に示す掌座標系を考える。Z軸、X軸は、それぞれ取得した手の方向ベクトルおよび法線ベクトルであり、Y軸は計算より求めるものとする。この掌座標系のZ軸に対する各指の関節J2-J3間のリンクベクトルの姿勢角を幾何学的に算出することで、関節J1, J2の角度 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ が得られる。

例として掌座標系上のJ2-J3間のリンクベクトルを $V(x,y,z)$ とし、Fig.7に図示する。

これより、回転角度 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ は以下の式で表わせる。

$$\theta_1 = \text{atan2}(y, z)$$
$$\theta_2 = \text{atan2}(x, \sqrt{y^2 + z^2})$$

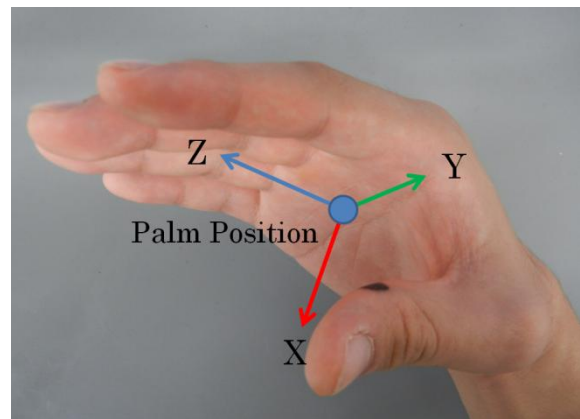


Fig.6 Coordinate system on the palm

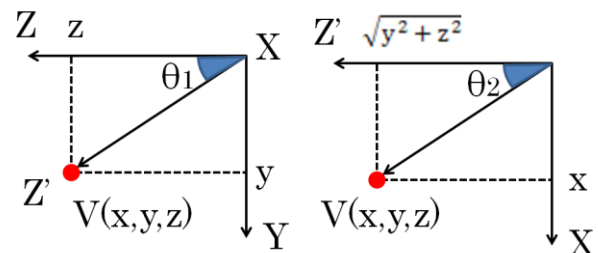


Fig.7 J2-J3 vector on the palm coordinate

#### ・ 第3, 第4関節

この2関節に関しては、共通方向の回転軸を持ち、それぞれ1自由度なため、2リンク平面機構として考えることができる。Fig.8に示すのは取得座標より表わされる指のスケルトンモデルである。各座標点およびリンク長さより、余弦定理を用いて関節角度 $\theta_3$ ,  $\theta_4$ を算出できることがわかる。

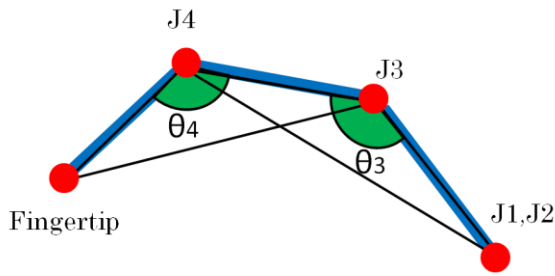


Fig.8 Finger model for computation of the angles  $\theta_3$  and  $\theta_4$

以上の方法より各指の関節角度を算出した。

### 3.3. 手首の姿勢角の取得

手首のピッチ角，ヨー角は Leap Motion より値を直接取得することができる。ただし，ロール角については，Leap Motion を手首に固定するため，ロール角の回転時に Leap Motion も手首を中心に同じ角度だけ回転するため値は不変となり取得できない。

### 3.4. 関節角 $\theta_1$ の補正

Fig.9 に示すのは手を握った状態の CG ハンドモデルの図である。Fig.9(a)では，指を限界まで曲げたとき，人差し指から小指にかけて，関節 J1 の角度が本来の角度より大きくずれていることが見て取れる。

手を握る動作における各指の関節 J1 の角度 $\theta_1$ の値の推移をデータとして取得した。その結果を Fig.10 に示す。また掌座標系に対して，各指の関節 J1 の可動域をハンドトラッキングによって取得し，まとめたものを Table1 に示す。Fig.10 を Table1 の値と踏まえて考えると，手を握るにつれて関節角 $\theta_1$ の値は本来の指の可動域から大きく外れた値を算出していることがわかる。

そこでシグモイド関数を用いた角度補正式を $\theta_1$ の算出式に適用した。変数 X は掌座標系 y-z 平面上の J2-J3 ベクトルの大きさを言い， $-1 < X < 1$ とした。また，a はゲインを表わす。

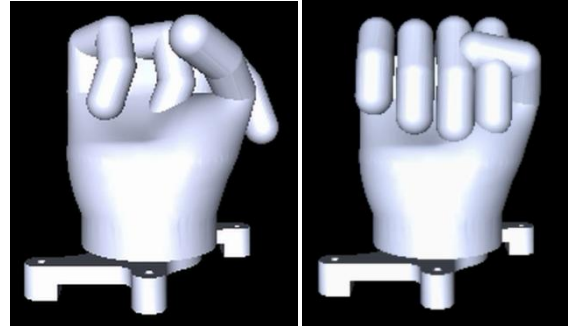
$$\theta'_1 = \frac{1}{1 + e^{-aX}} \theta_1$$

$$X = 2\sqrt{y^2 + z^2} - 1$$

ゲインを 5 とし，補正を加えたハンドモデルの図を Fig.9(b)に，指の関節 J1 の角度 $\theta'_1$ の推移をそれぞれ Fig.11 に示す。

Table1 Range of the motion of the fingers

finger	index	middle	ring	pinky
range of motion [rad]	0.12~ -0.22	0.23~ -0.23	0.3~ -0.07	0.75~ 0.00



(a) Effect of the calculation error on the CG hand  
(b) Modified CG hand

Fig.9 CG hand model when closing a hand

手を握るにつれて $\theta'_1$ 値はほぼ 0 に収束し，可動範囲を大きく外れることはなくなった。これにより，ハンドモデルが手を握る際に安定した動作を実現した。

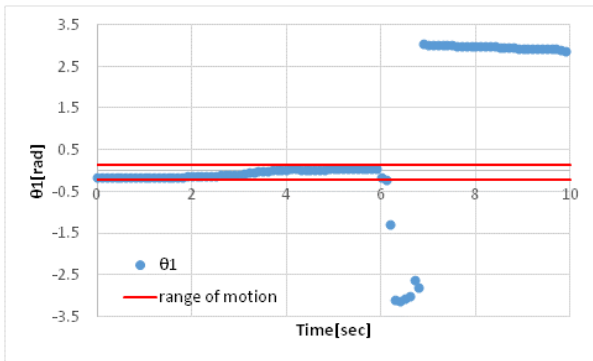
## 4. 動作検証

ロボット CG モデルの指および手首のピッチ・ヨー角の動作の実現により，ロボット CG モデルをより人間の動作に近づけることができた。しかし，Kinect と Leap Motion を同時に機能させる際，PC での計算負荷が大きくなり，ロボット CG モデルの動作が遅くなるなどの問題も生じた。

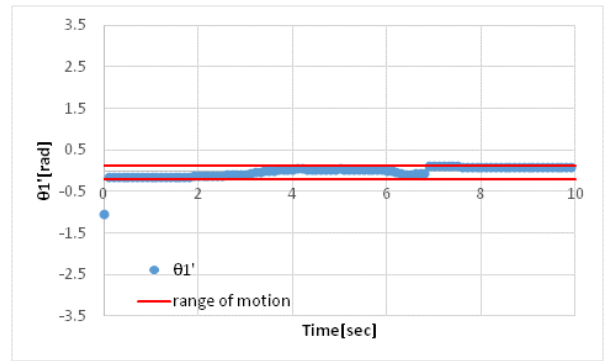
## 5. 結言

Leap Motion Controller を用いたハンドキャプチャシステムを開発し，ロボットの操作インタフェースに適用した。また，CG ハンドモデルをロボットモデルに適用し，指および手首の動作を実現した。

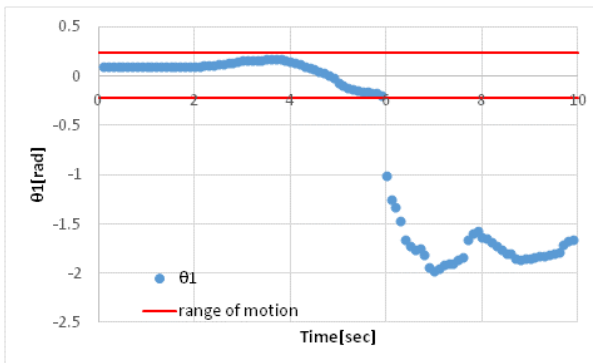
今後は，外部センサを用いた手首のロール角の取得を行う。また，課題として操作インタフェースにおける処理速度の改善や，操作者に対して負担の少ない Leap Motion の取付け器具の設計，開発を行う。



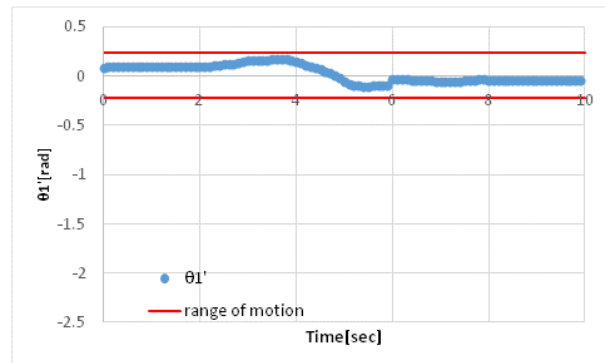
(a)  $\theta_1$  of index finger



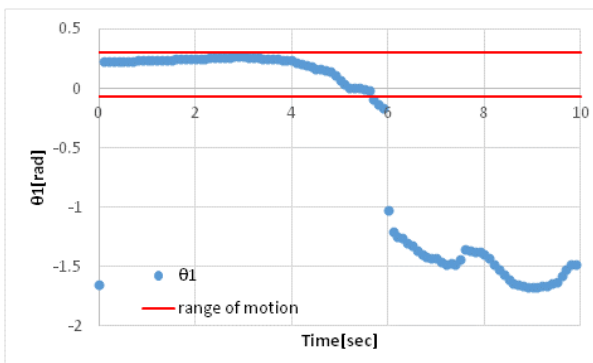
(a)  $\theta_1'$  of index finger



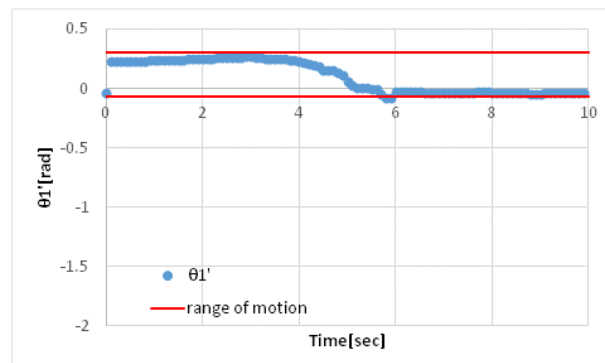
(b)  $\theta_1$  of middle finger



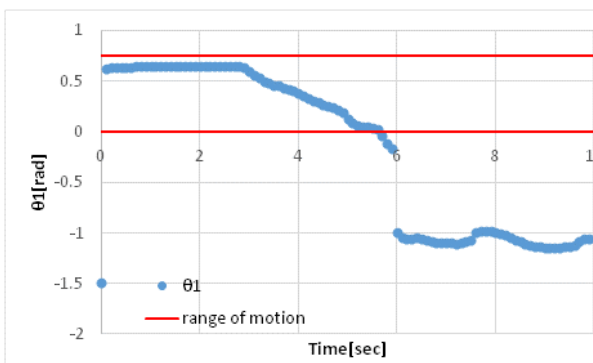
(b)  $\theta_1'$  of middle finger



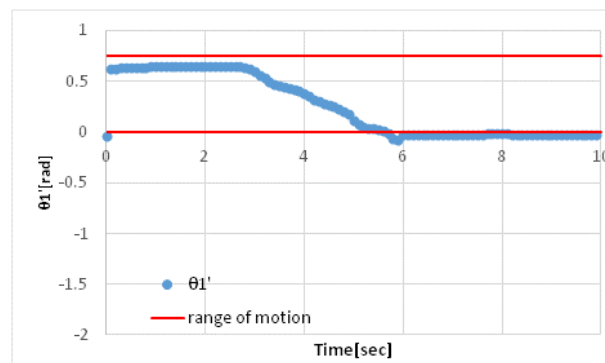
(c)  $\theta_1$  of ring finger



(c)  $\theta_1'$  of ring finger



(d)  $\theta_1$  of pinky finger



(d)  $\theta_1'$  of pinky finger

Fig.10 Changes of  $\theta_1$  when closing a hand

Fig.11 Changes of  $\theta_1'$  when closing a hand

## 参考文献

- [1] 福島寛之, 鈴木雄介, 細野直恒: “遠隔参加者の存在感を表現する会議ロボットシステム”, 人間工学, 第 44 巻, 特別号, pp.300-301
- [2] 石黒新: “テレコミュニケーションロボットによる次世代コミュニケーション”, NEC 技報, Vol.64, No.3, 2011
- [3] 妻木勇一: “遠隔コミュニケーションとテレロボティクス—ロボットアバターの最前線—”, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.6, pp.606-608, 2012
- [4] 石川貴史, 高橋知之, 日原聖人, 水戸部和久, 妻木勇一: “Kinect を用いたウェアラブルミニチュアヒューマノイドの操作インタフェイスの開発”, 日本機械学会東北学生会第 44 回学生員卒業研究発表講演会前刷, 2014
- [5] 日原聖人, 水戸部和久, 妻木勇一, 石川貴史, 高橋知之: “Kinect を用いたウェアラブルミニチュアヒューマノイドロボットの操作インタフェイス”, 計測自動制御学会東北支部第 283 回研究集会発表前刷, 2013