

## Kinect を用いた遠隔リハビリテーションシステムの研究

鈴木昂太郎<sup>1</sup> 村田嘉利<sup>1</sup> 鈴木彰真<sup>1</sup> 佐藤永欣<sup>1</sup>

**概要:** 現在のリハビリは、リハビリ施設に通う通所リハビリや訪問リハビリが中心である。しかし、保険適用できるリハビリの回数は十分でないことから、自主的にトレーニングすることが望ましい。また、将来的には理学療法士が不足すると考えられる。本研究では自宅でのリハビリ訓練が可能な患者を対象とし、比較的安価なデバイス Microsoft Kinect v2 を用いることで経済的な負担を抑えつつ効果的なリハビリ訓練を実現する遠隔リハビリテーション支援システムを開発した。我々は、従来の患者と理学療法士の2者からなる遠隔リハビリテーションシステムではなく、患者と患者のリハビリ指導を行うオペレータ、そしてオペレータの指導監督を行う理学療法士の3者から成る遠隔リハビリテーションシステムを提案している。

### A Study of Tele-Rehabilitation System with Microsoft-KINECT

KOTARO SUZUKI<sup>1</sup> YOSHITOSHI MURATA<sup>1</sup> AKIMASA SUZUKI<sup>1</sup>  
NOBUYOSHI SATO<sup>1</sup>

#### 1. はじめに

近年、人口の高齢化に伴いリハビリテーションを必要とする患者数が増加する傾向にある。リハビリテーションを受けた疾患別患者数の分布を見ると、運動器系が最も多く、続いて脳血管疾患系である[1]。中でも脳血管疾患系の患者は他に比べ長期間の療養が必要となる。現在のリハビリは、リハビリ施設に通う通所リハビリや訪問リハビリが中心である。しかし、保険適用できるリハビリの回数は十分でないことから、自主的にトレーニングすることが望ましい。また、将来的には理学療法士が不足すると考えられる。それ故、インターネットを利用した遠隔リハビリテーションが有効であると考えられる。その際、在宅でのリハビリテーションを継続するためには患者本人のモチベーションの維持が重要である。また、トレーニング指導者が遠隔地にいる患者の現状を正確に認識しておく必要がある。

それ故、我々は、従来の患者と理学療法士の2者からなる遠隔リハビリテーションシステムではなく、患者と患者のリハビリ指導を行うオペレータ、そしてオペレータの指導監督を行う理学療法士の3者から成る遠隔リハビリテーションシステムを提案している。これにより、理学療法士の将来的な不足に対応する。また、Microsoft Kinect v2 を利用することにより患者の各関節の角度を計測することにより、患者の状態を正確に把握する。

基本構想については既に報告している[2]。本論文では、その遠隔リハビリテーションシステムの実現方法について紹介する。本論文の構成は第2章の関連研究に続いて、第

3章ではシステム全体の構成について説明し、第4章では患者が利用する Kinect 制御アプリケーションについて、第5章ではサーバ側 Web アプリケーションについて説明し、最後に第6章で全体的なまとめを行う。

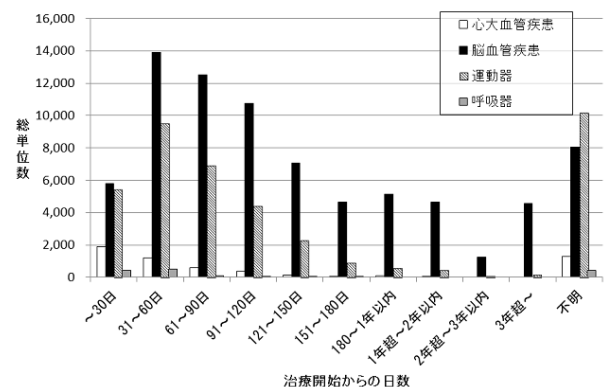


図1 疾患別の治療開始からの経過日数に対する実施したリハビリテーションの総単位数[1]

#### 2. 関連研究

本章では既存のリモートリハビリテーションシステム、身体の測定ツール、および Kinect を採用したリハビリテーションの関連研究を説明する。

##### (1) リモートリハビリテーションシステム

Bradley らの研究では下膝関節の角度を取得する機器をつけて数値化を行っており、遠隔リハビリテーションに必要な機能を整理している[3]。しかし、システムとしての

<sup>1</sup> 岩手県立大学 大学院 ソフトウェア情報学研究科

実装は行われていない。また、紹介されている関節角度を取得する機器を患者個人で用意するのは難しい。

Holden らは tele-rehabilitation システムで扱う仮想現実技術[4]を、Carignan はロボットを利用した遠隔リハビリテーションシステムを報告している[5]。これらの研究は理学療法士が直接システムを介して、遠隔地の患者のリハビリテーションの支援を行い、患者と理学療法士の負担を減らすことができる。しかしこれらのシステムでは理学療法士の不足を補うには不十分である。

## (2)計測・測定ツール

Kinect のほかに身体関節の複雑な動きを測定するシステムには VICON によるシステムが挙げられる[6]。VICON のシステムは複数の専用のビデオカメラを使い複雑な関節の動きを測定するシステムで小規模なリハビリセンターが購入するには高価であり現実的ではない。秋元らは脊椎側弯症のための測定ツールを開発した[7]。これは体の起伏を測定するために Kinect を利用している。このツールは Kinect から取得した測定データを基に画像やグラフとして表現し、それらを保存することができる。しかし、患者の体の捻じれや曲がり具合の測定については考慮されていない。

## (3)Kinect を利用したリハビリテーション用のアプリケーション

Garrido らはバランス感覚に問題がある患者のために Kinect を利用したリハビリテーションのためのアプリケーションを作成している[8]。Kinect から得られたデータを基に患者のバランススケールの画像を作成し、体の曲がり具合を表現しており、患者の姿勢を強制するために矢印を表示している。

またリハビリテーションのために Kinect を利用したゲームを開発した研究も多く報告されている。[9][10][11]

## 3. システム構成

本章ではシステムの構成について説明する。

従来の遠隔リハビリテーションシステムでは、患者と理学療法士の2者からなる。このような構成では理学療法士の不足に対応できない。そのため本システムでは、図2に示すように、自宅でのリハビリテーションを必要とする患者への遠隔からのリハビリ指導はオペレータが実施する。オペレータは理学療法士ではないが、研修を受け必要な知識を身につけているものとする。その上で、経験を積んだ理学療法士がスーパーバイザとして、オペレータの患者に対する指導状況をモニタし、必要に応じてオペレータを指導する。

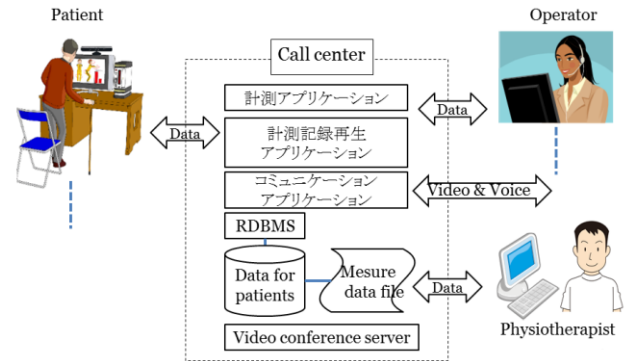


図2 システム全体図

## 3.1 構成要素

システムの基本構成要素について説明する。

### (1) 患者側

患者側の設備として、ハードウェアとして PC 端末と Kinect v2 を設置する。PC には、ソフトウェアとして Kinect SDK 2.0, Web ブラウザ, そして本システムのために開発した Kinect 制御アプリケーションを搭載する。本アプリケーションは Kinect を制御し、患者の骨格の動画像とビデオ画像を描画し、サーバに送信する。

メンテナンスの関係からは Web アプリケーションとすることが望ましいが、Web アプリケーションでは Kinect v2 を利用する方法が見つからなかったことから、ネイティブアプリケーションとした。

### (2) オペレータ/理学療法士側

ハードウェアとしては PC 端末のみとする。ソフトウェアとしては、メンテナンスの関係で Web ブラウザのみとし、サーバへアクセスし、Web アプリケーションを利用して患者を指導する。コミュニケーションツールを使用する際にはビデオやマイクを使用する。

### (3) サーバ側

サーバ側はリハビリテーションに利用する3種の Web アプリケーションとリハビリ情報データベースから構成される。本システムでは必要に応じて、以下の3つの Web アプリケーションを組み合わせ Web ブラウザから利用する。

- ① 計測用アプリケーション
- ② 計測記録再生用アプリケーション
- ③ コミュニケーション用アプリケーション

## 3.2 操作概要

システムの利用の流れを図3に示す。

オペレータは Web ブラウザからあらかじめシステムにログインし、サーバと WebSocket 通信を確立し、指導要求があるまで待機する。患者は Kinect を接続した PC 端末から専用の Kinect 制御アプリケーションを起動しリハビリ訓練を行う。Kinect 制御アプリケーションの操作シーケンスを図4に示す。患者はリハビリ指導を要請する際に Kinect 制御アプリケーションのボタンからリハビリ指導を申請す

る。サーバではあらかじめシステムにログインしているリハビリ指導をするオペレータの Web ブラウザに指導要請を通知する。通知を受けとったオペレータは Web ブラウザからリハビリ訓練の承諾をサーバに返答する，サーバは Kinect 制御アプリケーションへ指導要請の承諾を通知する。

承諾通知を受信した Kinect 制御アプリケーションは Kinect のビデオ画像と骨格座標をサーバに送信する。サーバは送られてきた情報を接続中のオペレータの Web ブラウザに送信する。

データを受信した Web ブラウザは計測用アプリケーションによってリアルタイムにリハビリ中の患者の状態を表示し，リハビリ訓練を行う。計測用アプリケーションの操作シーケンスを図 5 に示す。訓練中にオペレータが訓練を記録する場合には計測用アプリケーション上から訓練中の患者の骨格座標やビデオ画像情報などをサーバ側のリハビリ情報データベースに保存し蓄積する。

保存した過去のリハビリ情報は計測記録再生用アプリケーションから計測時と同じように再生する。患者の治療経過の確認や今後開発するリハビリ訓練用のコンテンツに利用することでより効果的なりハビリ訓練を行う目的で利用する。計測記録再生用アプリケーションの操作シーケンスを図 6 に示す。

またリハビリ訓練を行う際には Web ブラウザ上からコミュニケーション用アプリケーションを利用し，声によるリハビリ指導を行い，患者のリハビリテーションをサポートする。

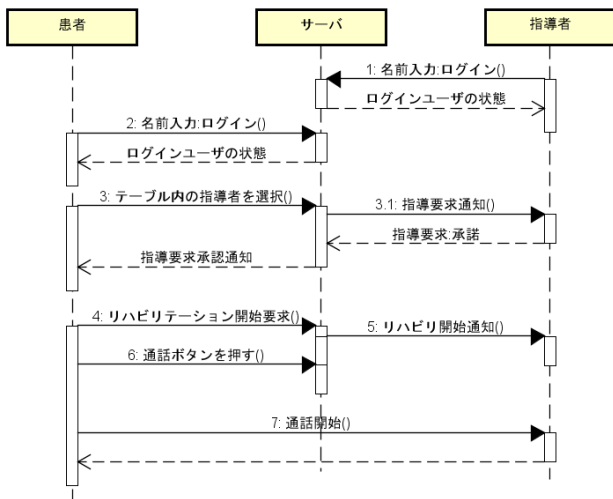


図 3 システム全体のシーケンス

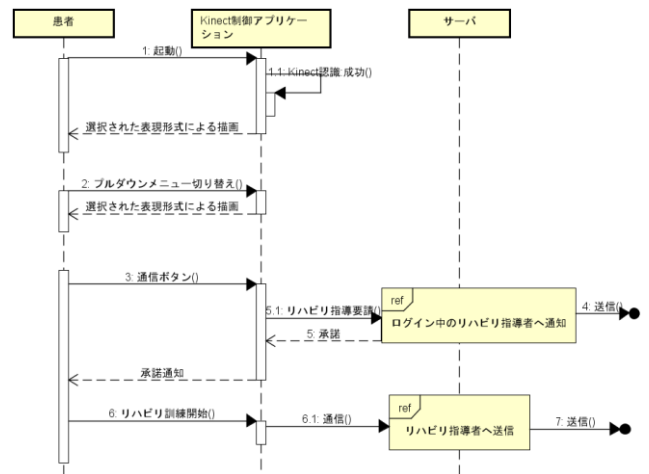


図 4 Kinect 制御アプリケーション操作シーケンス

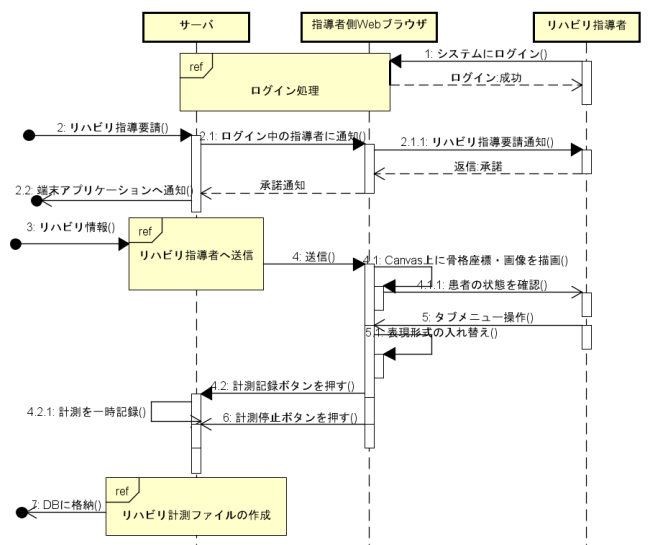


図 5 計測用アプリケーションの操作シーケンス

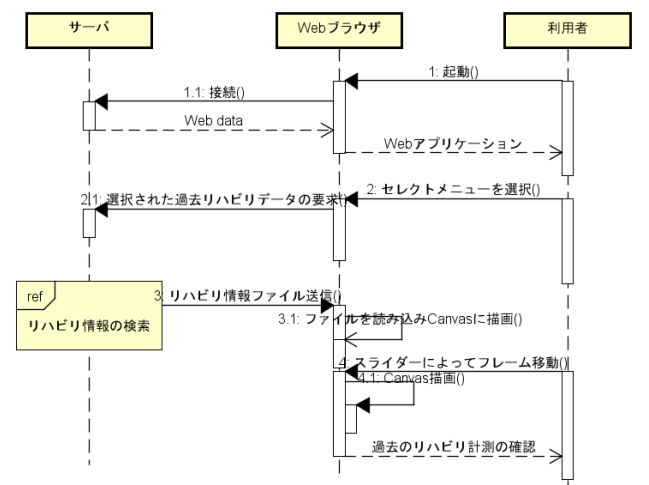


図 6 計測記録再生用アプリケーションの操作シーケンス

### 3.3 データ(ビデオデータ, 骨格データ)の記録操作

Kinect を用いることでリハビリテーションを行う患者の姿勢情報を定量的な値として取得することができる。実際

には Kinect から取得した情報を遠隔リハビリテーションに利用する場合、サーバに送信するビデオ画像情報と骨格座標情報が時系列的に同期されている必要がある。そこで本システムでは Kinect 制御アプリケーションでデータを送信する際にビデオ画像と骨格座標情報を JSON 形式のデータにシリアルライズし送信する。計測用アプリケーションはサーバを介して受信した JSON 形式のデータを解析し、Kinect 制御アプリケーションと同じように同期されたビデオ画像と骨格の動画を描画することが可能となる。また、計測中の JSON データをリハビリ情報としてファイルに保存できる。ファイル内のビデオデータと骨格データは同期されているため、ファイルを読み込むことで過去のリハビリテーションを計測時のように再生することができる。計測再生用アプリケーションでは作成された過去のリハビリ情報のファイルから JSON を解析し、計測時のビデオ画像と骨格の動画を再生を行う。

Kinect から取得した骨格座標情報の表現については先行研究で有効性が説明されている 3 つの視点から見た人体の体幹の表現方法を利用する[2]。これは Kinect から得られた関節の XYZ 座標をもとに正面、頭上、側面の視点から見た人体とすることで、それぞれ体幹の前屈、歪み、捻じれをわかりやすく確認できる表現形式である。

### 3.4 データベース構造

システムで利用するリハビリ情報データベースの ER 図を図 7 に示す。

テーブルは以下の 3 つである。

- (1) リハビリ計測情報テーブル  
リハビリ計測ごとの記録が格納されるテーブル。計測の日付情報、計測したの患者とオペレータの固有 ID、計測時の骨格の動画とビデオ画像を記録したファイルへのパスを格納する。
- (2) 患者情報テーブル  
患者の情報を格納するテーブル。
- (3) リハビリ指導者情報テーブル  
リハビリ指導者の情報を格納するテーブル。

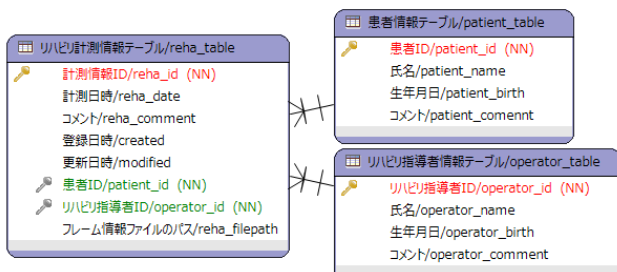


図 7 データベースの ER 図

## 4. Kinect 制御アプリケーション

この章では患者側の PC 端末から利用する Kinect のロー

カルアプリケーションについて説明する。このアプリケーションは Kinect を接続した患者側の PC 端末から起動する。患者の PC 端末に接続された Kinect を制御し、骨格座標情報とビデオ画像の計測と描画を行う。また計測したデータを JSON 形式のデータにまとめサーバに送信する。

実際のアプリケーションの画像を図 8 に示す。

画面左側には Kinect から取得したビデオ画像と認識している患者の骨格座標のポイントを描画する。

骨格座標のポイントの片側にはそれぞれ左右関節の角度を表示している。これにより体幹の歪みや捻じれがわかりやすくなっている。右側には認識中の骨格座標の計測値を表示する。



図 8 Kinect 制御アプリケーション画面

### 4.1 取得したデータの表示

Kinect から取得した骨格座標はビデオ画像とともに左側の Canvas の上に描画する。Kinect v2 が取得する Color カメラの解像度は 1920\*1080 の長方形だが、このままでは全身をとらえる際に被計測者が Kinect から離れなくてはならないため視認性が下がる。また患者が立つ画像中央部以外の情報は必要ない。そこで取得した画像の中央部を正方形に切り取り、ビデオ画像情報として扱い視認性を高めた。それに伴い骨格座標系も合わせて調整を行った。図 9 にビデオ画像のトリミング図を示す。

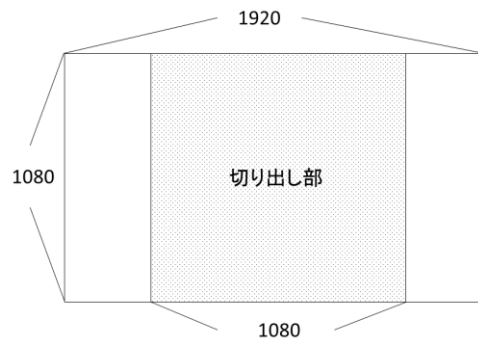


図 9 ビデオ画像のトリミング図

### 4.2 表現形式の切り替え

右上のプルダウンメニューを使い、表現形式を選択する。

選択できる体幹の表現形式については前述した正面からの視点、側面からの視点、頭上からの視点に加えさらに正面から見た視点と Kinect の RGB カメラ画像を重ねた視点の4つから選択する。

### 4.3 データの生成

前章で述べた理由からリハビリテーション中の骨格の動画とビデオ画像は JSON 形式のデータとしてサーバに送信する。

データの生成フローについて図 10 に示す。計測アプリケーションにおいて Kinect が取得した情報を描画する際に、骨格の動画とビデオ画像に関して同期した JSON データを送信する。データ量の観点から RGB カメラ画像をリサイズし、JPEG 形式に変換した後に文字列化を行う。

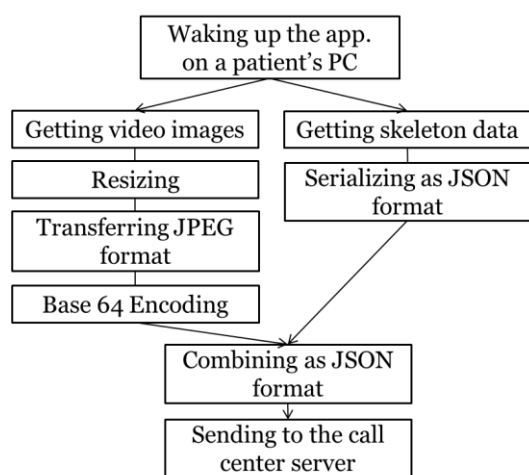


図 10 送信データ生成フロー

### 4.4 通信

Kinect 制御アプリケーションはサーバに接続し、生成されたデータを Websocket によって送信する。サーバは Kinect 制御アプリケーションによるデータを受信した場合、すでに接続しているリハビリ指導側の Web ブラウザへ受信したデータを送る。

## 5. サーバ側 Web アプリケーション

この章ではリハビリテーションの際に利用する 3 つの Web アプリケーションについて説明する。

### 5.1 計測用アプリケーション

本アプリケーションはオペレータが患者のトレーニング時の骨格データとビデオ画像をリアルタイムに記録する。

サーバは患者側の Kinect 制御アプリケーションが送信するリハビリテーションの骨格の動画とビデオ画像情報を現在接続している該当の指導者へ送信する。ブラウザでは JSON 形式のデータを受信した場合、JSON を解析し、Base64 化ビデオ画像と骨格座標情報を取得する。取得した情報からそれぞれ計測アプリケーションの Canvas に描画する。描

画時の骨格座標情報と画像情報の合成フローを図 11 に示す。

骨格座標情報と画像情報の合成方法について説明する。

骨格座標とビデオ画像の合成イメージを図 12 に示す。

受信した骨格座標のカラー座標とビデオ画像を Canvas の大きさに合わせて可変する。同じ解像度のビデオ画像を下位レイヤー、骨格座標のポイントを透明な上位レイヤーとすることで骨格座標に対して正確に同期されたビデオ画像を生成できる。

計測用アプリケーションの画面を図 13 に示す。

アプリケーションは 3 つの Canvas とメインメニューから構成する。画面左側の Canvas は大きさの異なる 1 つのメインビューと 2 つのサブビューからなり、それぞれ前述した 3 つの体幹の表現方式に対応して描画させる。メインビューには現在選択している視点、サブビューにはそれ以外からの視点となる。なお画面上方のタブを操作することでメインビューを切り替えることが可能である。Canvas 上には Kinect アプリケーションと同じような左右関節の角度の差を表示し、体幹を数値として分かりやすくしている。画面右側のメインメニューからはサーバへの接続や計測データの保存などの操作を行うことができ、また Canvas 内の骨格座標、ビデオ画像、関節間をつなぐ線の可視性を操作するチェックボックスなどを設置している。リハビリ計測の記録を行う際にはメインメニューから計測記録ボタンを押すとサーバに直前に行ったりリハビリ情報のファイルを作成し、リハビリ情報データベースにファイルパスを格納する。このファイルは過去のリハビリ計測記録としてリハビリ記録再生ページから確認することができる。

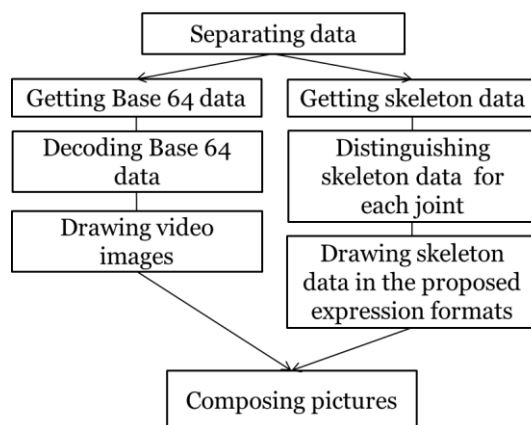


図 11 骨格座標情報と画像情報の合成フロー



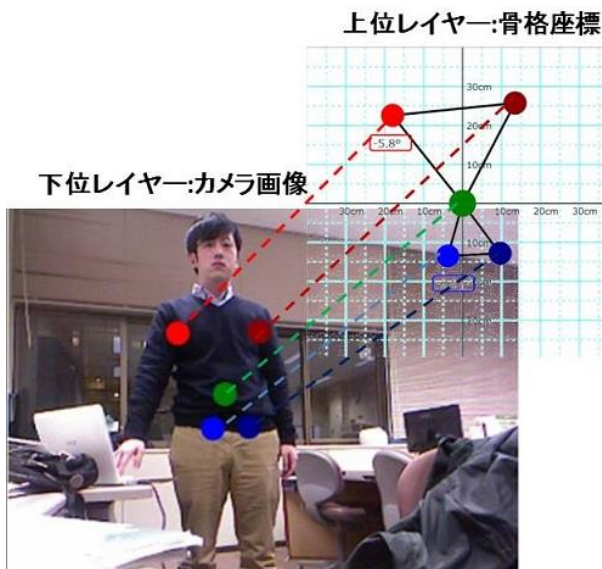


図 12 骨格座標とビデオ画像の合成イメージ

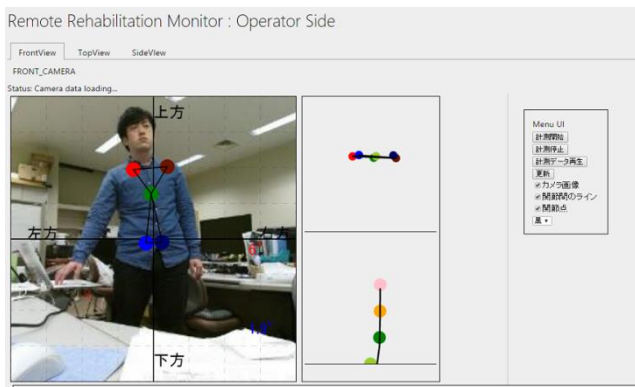


図 13 計測用アプリケーション画面

## 5.2 計測記録再生用アプリケーション

計測用アプリケーションによりサーバ側に保存した過去のリハビリ情報を確認する際には計測記録再生用アプリケーションを利用する。計測記録再生用アプリケーションはサーバから過去のリハビリ情報を取得し、計測時と同様に再現を行う。計測記録再生用アプリケーションのブロックダイアグラムを図 14 に示す。指導者は Web ブラウザから再現したい過去のリハビリ情報を選択する。サーバは選択されたリハビリ情報をデータベースから検索し、計測ファイルを送信する。計測アプリケーションは受信したファイルを読みこみ、計測時と同じように表示する。

実際のアプリケーションの画面を図 15 に示す。

描画や操作については計測アプリケーション同様だが、下方にシークバーとデータベース上のリハビリ計測記録ファイルを選択するプルダウンメニューを設けている。利用者はサーバに接続し、プルダウンメニューから過去の計測ファイルを選択しシークバーを操作することで、過去のリハビリ情報をフレーム単位で確認する。今後は過去データの検索の効率化や過去データを利用したリハビリコンテンツ

ツなどを追加していく。

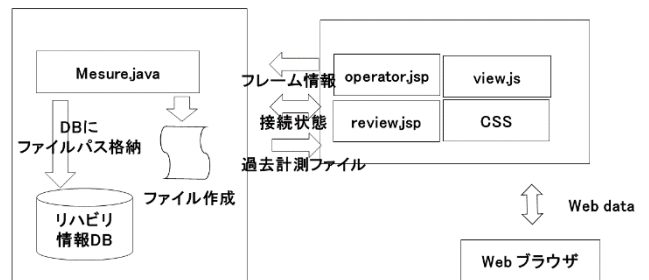


図 14 計測記録再生用アプリケーションのブロックダイアグラム

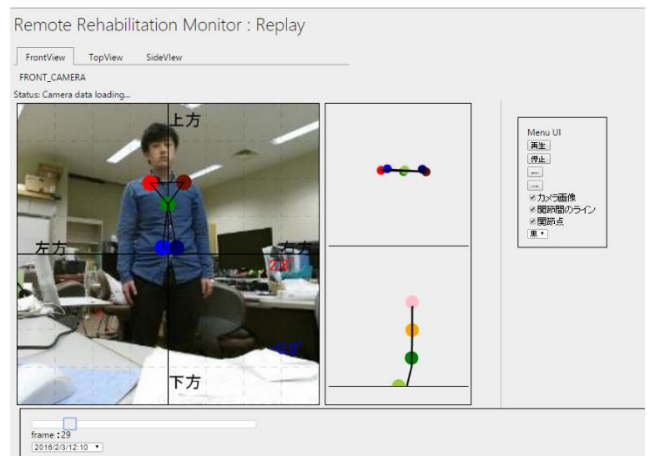


図 15 計測記録測定用アプリケーション画面

## 5.3 コミュニケーション用アプリケーション

リハビリテーションを計測する際、音声によるリハビリの指示や指導を行うためのコミュニケーション用アプリケーションを利用する。アプリケーションのブロックダイアグラムを図 16 に示す。

本アプリケーションでは Web RTC と Web Audio API を利用し開発しており、通話や Web カメラによる指導、指導音声の録音を行う [12]。本研究ではシグナリング、STUN サーバとしての機能に NTT コミュニケーションズが提供する WebRTC 用プラットフォーム Skyway を利用している [13]。Skyway を採用した理由としては無償のオープンソースであることと WebRTC 用プラットフォームとして実績があること挙げられる。

患者はアプリケーション起動後に名前を入力し、ロビーに入室する。この際、PeerID と名前をアプリケーション側で管理し、オペレータとのマッチングに利用する。ロビー入室後、画面左側のテーブル内に表示される接続中のオペレータから任意のオペレータをクリックする。選ばれたオペレータのブラウザには通知が送られ、指導の許可を求められる。お互いに承諾が得られたならば右側の通話ボタンを操作しリハビリ指導を開始する。

作成したコミュニケーション用ツールの画面を図 17 に示す。画面右側には Web カメラの画像の表示領域と通話の開始と停止ボタンを設置している。画面左側のテーブルには現在ログインしているオペレータの一覧とそれぞれの状態が表示される。アプリケーションでは始めにユーザーが入力する名前と Skyway から割り振られるアプリケーションの PeerID を紐付けて管理し、Peer の接続状態の管理を行っている。ログインしている Peer を接続状態は「in」、「out」、「talking」、「waiting」の四通りとしてそれぞれ

- (1) in : ログインしている
- (2) out : ログインしていない
- (3) talking : リハビリ指導中もしくは訓練中である
- (4) waiting : リハビリ指導の承認を待機

として、もし Peer の状態が変われば Websocket によってサーバに通知され、随時ユーザのログイン状態を更新する。アプリケーションのクラス図を図 18 に示す。

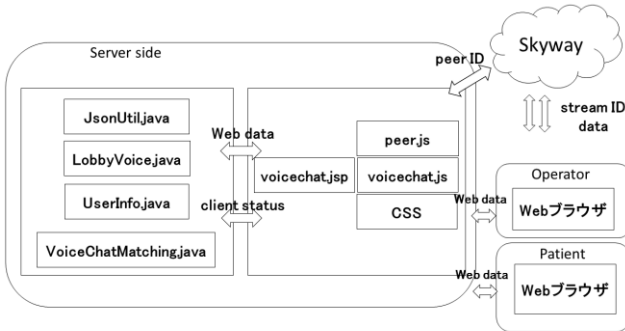


図 16 コミュニケーション用アプリケーションのブロックダイアグラム



図 17 コミュニケーション用アプリケーション画面

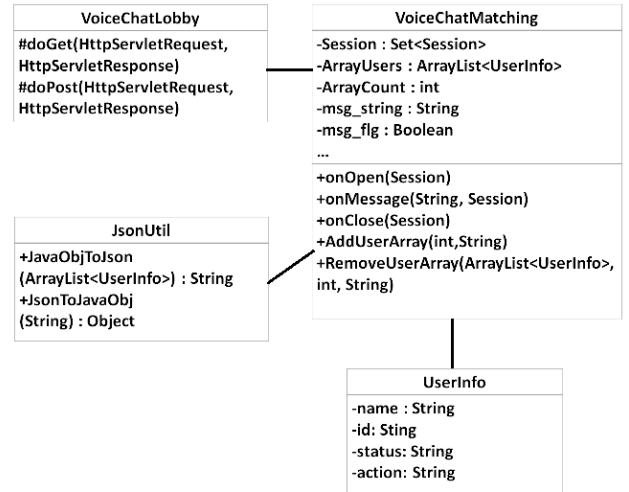


図 18 コミュニケーション用アプリケーションのクラス図

## 6. おわりに

本研究は Kinect を用いてオペレータが遠隔地にいる患者のリハビリ指導を効果的に実施できる Kinect 制御アプリケーションと Web アプリケーションを作成した。今後、リハビリテーション施設の協力を得て、本システムを利用して頂き、改良を加える。また同時に、患者に適した効果的なリハビリ訓練プログラム、リハビリ情報の管理システムを順次開発していく。

## 参考文献

- [1] 「平成 19 年度からのリハビリテーション料見直し後のリハビリテーション実施状況について」、厚生労働省 (online), <<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2007/11/dl/s1128-14h.pdf>> (accessed 2016-04-11)
- [2] Kotaro Suzuki and Yoshitoshi Murata and Kazuhiro Yoshida, “Remote Rehabilitation System for Cerebrovascular Patients Combined with Video Call Center”, International Journal On Advances in Life Sciences, Vol.7, pp.132 – 144, Dec.30, 2015.
- [3] D.A. Bradley et al., “Nexos: Remote Rehabilitation Using an Intelligent Exoskeleton,” Gerontechnology Vol. 3, No. 4, pp. 71-80, 2005.
- [4] Maureen K. Holden, Thomas A. Dyar, and Lilian Dayan-Cimadoro, “Telerehabilitation Using a Virtual Environment Improves Upper Extremity Function in Patients With Stroke,” IEEE, Transactions on neural system and rehabilitation engineering, vol. 15, no. 1, pp. 36-42, 2007.
- [5] Craig R. Carignan and Hermano I. Krebs, “Telerehabilitation robotics: Bright lights, big future?,” JRRD vol. 43, no. 5, pp. 695–710, 2006.
- [6] VICON, <<http://www.vicon.com/>>, (accessed 2015-12-08).
- [7] Toshinari Akimoto et al., “Development of Measurement System for Scoliosis Using 3D Camera,” IEEJ transactions on

electronics, information and systems 133(11), pp. 2082-2088, 2013-11 (in Japanese).

[8] Juan Enrique Garrido, Irma Maset, Victor M. R. Penichet, and Maria D. Lozano, "Balance Disorder Rehabilitation through Movement Interaction," IEEE, 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops, 2013.

[9] Shih-Ching Yeh et al., "A study for the application of body sensing in assisted rehabilitation training," IEEE, 2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control, 2012.

[10] Belinda Lange et al., "Interactive Game-Based Rehabilitation Using the Microsoft Kinect," IEEE, Virtual Reality 2012, 2012.

[11] Marientina Gotsis et al., "Mixed Reality Game Prototypes for Upper Body Exercise and Rehabilitation," IEEE, Virtual Reality 2012, 2012.

[12] WebRTC, <<http://webrtc.org/>>, (accessed 2016-03-04)

[13] Skyway, <<http://nttcom.github.io/skyway/>>, (accessed 2016-04-11)