

# 分身ロボットの頭部動作の半自律化による操作者への影響

○大畠 俊明 高原 まどか 榎原 絵里奈 Ivan Tanev 下原 勝憲 (同志社大学)

## Semi-Autonomous Remote Control of an Avatar Robot's Head for Distance Education

\* T. Ohata, M. Takahara, E. Makihara, I. Tanev and K. Shimohara (Doshisha University)

**Abstract**— Recently, study support systems that use ICT (Information and Communication Technology) are gradually becoming more prevalent in Japan. In one of these systems, an avatar robot is used for distance education. However, since the student receiving distance education must manually operate the robot's head and arms, this technology may distract the student controlling the robot. In this study, we examine whether users can feel agency without manually operating the robot by achieving the semi-autonomous movement of the avatar robot's head. We control the movement of the robot's head using two data sources—the position of the teacher (obtained with a depth sensor) and the movement of the user's head.

**Key Words:** Distance education, Tele-operate, Robot, Semiautonomous

### 1 はじめに

2015年文部科学省の調べでは、病気やけがにより長期入院(年間延べ30課業日以上)した児童生徒は延べ6300人である。長期入院児童生徒に対する教育支援に関する調査の結果において、「長期入院した小中学校の児童生徒の約半数は、在籍校による指導が行われていない<sup>1)</sup>」という実態が明らかになっている。現在、病弱教育は特別支援学校、院内学級、ベッドサイドへの訪問指導で行われている。また文部科学省は、ウェブカメラ等による遠隔授業に関して、学校教育法施行規則を2014(平成27)年4月に改正し(学校教育法施行規則第88条の2(2015(平成)年8月に再改正があり現在は第88条の3))認めることになった<sup>2)</sup>。したがって長期入院時におけるICTによる授業参加による単位認定が可能になった。更に大城によると、長期入院している児童が前籍校と繋がり、学びの連続性を保証し、前籍校への復帰を促すためのICTを利用した生徒との交流は、長期入院児童が前籍校への復帰への不安を和らげ心理的安定をはかることがわかった<sup>3)</sup>。

現在、ICTを用いた遠隔教育はさまざまな手法が提案されており、テレビ電話によって病院と教室をつなぐ方法<sup>4)</sup>や、分身ロボットを教室に設置するなどがある<sup>5)</sup>。ここでの分身ロボットとは人による遠隔操作が可能でその場の人とのリアルタイムコミュニケーションが可能で可能なロボットのことを指す。現在の分身ロボットは、顔の上下左右操作や手の操作が可能である。また、カメラ・マイク・スピーカーが搭載されており、家や会社など行きたい場所に置き、インターネットを通じて会話できる。分身ロボットを操作することで、周囲を見回したり、辺りの人と「あたかもその人がそこにいるように」会話したりすることが出来る。ユーザは、分身ロボットの専用アプリを介して遠隔地の様子を見ることができ、その場にいる人たちと会話を楽しむことができる。また「うんうん(Yes)」や「うんうん(No)」などのコマンドボタンを押すことにより、ロボットの頭部や手を動かし簡単なリアクションをとることができる。

一方、テレビ電話による方法ではカメラ映像の視点が切り換えられないので、巨大スクリーンに黒板全体を移さなければならない。そのため黒板の字が小さくて見えない、周りの生徒の様子が伺えない、などのデメ

リットがある。一方で、分身ロボットは自らの操作で視点を動かすことが出来るので、前述のデメリットは解消されるが、自ら操作するという手間が増えてしまう。

そこで、本研究では、分身ロボットの操作を半自律化させることで入院児童が教室と病室という壁を感じず、入院中にもかかわらず従来の学校生活を病室から送ることが出来るのではないかと考えた。ここで遠隔操作の半自律化とは、操作者の手動操作に加えて、操作対象を補助システムが自律的に操作することを指す。また、対話者状況に対して適切な自律動作であれば、手動動作に加えてもアンドロイドロボットに対する主体感を手動動作と同様に保持できることが分かっている<sup>6)</sup>。本研究では、遠隔教育支援として利用されている分身ロボットは、頭部と手の動作が可能なので、本研究では頭部操作に着目し、遠隔授業参加時の頭部の動きについても、ロボットに対する主体感を保持できるのか検証する。

分身ロボットを半自律化するために、本提案システムでは、ユーザの頭を左右に振る動きと教室の教員の動きをセンサにて取得する。そして、取得したデータをもとに分身ロボットの頭部の傾きを指定し、自律動作を実現する。

また、現在、遠隔教育の手段として、上述のような様々な方法がとられている。遠隔教育の支援に関する研究として、芦川らは、画像処理用のカメラと音声処理用のマイクを使用して黒板講義におけるチョーク音検出を利用した講義自動撮影システムACE(Automatic Camera control system for Education)の構築を行った<sup>7)</sup>。この研究により、固定カメラと黒板を使用した講義を自動的に効率よく撮影するシステムを比較し、ACEの方が遠隔講義の映像として有効であることが分かった。そこで、本研究では、以下の仮説を立てた。

#### 仮説:

視点が動かないオンラインビデオを通じた遠隔授業参加より、視点が動かせる分身ロボットでの授業参加のほうが、より良い学習効果が得られる。

本研究は、長期入院児童が入院中も入院前と同様に前籍校と繋がり、学習に参加可能な支援機構を実現す

ることを目的とする。入院中であってもベッドサイドから前籍校の生徒と同じように授業に参加し、友人や先生とロボットを介して会話することで入院児童の心理的安定にもつながると考えた。

## 2 分身ロボットの半自律化制御

葎田によると、ヒトと機械や情報ネットワークなどのシステムが互いに協調作業しながら目標を達成する際に、システム側が人を操作しているのか、人がシステムを操作しているのか、どちらに主体があるのかその関係が曖昧なことが多い<sup>8)</sup>。この時、客観的・物理的にどちらを操作しているかが問題ではなく、ヒトから観測して心理的・主体的にどちら側が動作の主体であると感じられるかが問題である。物理的にはヒトと何らかのシステムが、それぞれある程度自律的に協調動作を行って何らかの目的に向かっていながら、あくまでヒト側がその目的と制御の主体を握っていると主観的に感じる事柄を、近年の脳科学では操作主体感 (Sense of Agency) と呼ぶ<sup>8)</sup>。

葎田によると、「自分が自分の人体を操作している」という主体的な操作感覚の生起には、自己の身体動作とそれに伴うフィードフォワードやフィードバックといった制御の過程でなんらかの制約条件が満たされることが重要であると述べている。したがって、必ずしも脳と身体の物理的接続や一方通行の指令情報のみではこれを満たさない可能性が考えられる。Galagherは2種類の自己 (self) の概念を前提とし、そのうちの一つ、「minimal self」が、自己の身体動作とそれに伴うフィードフォワードやフィードバックといった制御の過程で生じうることを示した<sup>9)</sup>。「minimal self」は時間的に進展しない、即時の「自己」と定義されており、操作主体感の「主体」である。この自己により、特定の身体行為に対するフィードフォワード的に予想されるモデルを用いる。それにより、我々の脳は、感覚器から得たさまざまな種類の感覚情報が、自己由来なのか、あるいは環境や他者由来なのかを区別していると考えられている<sup>8)</sup>。

また、中道によれば、ロボットと操作者との一体感は操作者が形成するセルフイメージと操作対象の実際の動作が一致することで感じられると述べている。そして、対話状況にたいして適切な自律動作であれば、自律動作を手動動作に加えてもアンドロイドに対する主体感を手動動作と同様に保持できることが分かっている<sup>6)</sup>。

ロボットの動きを半自律化するために、本提案システムでは、二つのデータ入力によりロボットの頭部の制御を実現することを考えた。二つのデータとは、一つがユーザの頭部の動きであり、もう一つが教師の動きである。そこで、ユーザの頭部の動きをロボットに反映するために、ユーザの両目の深度を取得・比較することでユーザの顔の向きを判断することができるのではないかと考えた。

次に、教師の動きを追跡させることで、授業時における適切な頭部動作を実現できるのではないかと考えた。そこで、教室側で教員を認識しその動きに合わせてロボットの頭を動かすことで、ロボットの半自律化が実現できると考えた。

## 3 提案システム

### 3.1 研究課題の解決に向けて検討・考察した事柄

現在、オリィ研究所が提供している分身ロボット OriHime は神経難病患者、教育機関、そして在宅・遠隔勤務のコミュニケーションツールとして幅広く利用されている。高原らは、OriHime を遠隔教育に利用する仕組みについての研究を行っている<sup>10)</sup>。遠隔教育として利用されている OriHime は、ユーザが操作アプリを使い手動で手と頭を動かすことで、遠隔での授業参加を実現している。一方で、本来の教室での授業参加において、ロボットを操作する作業は不要である。授業時において授業参加者は、基本的に教員と黒板を見ていると考える。そこで、ロボットで教師の動きを追跡することで適切な自律動作を可能にすると想定する。

また、手動操作が授業参加の妨げになる可能性があるため、ユーザの頭の動きとロボットの頭の動きを同期させることで、教室での授業参加の動きに近づけることができると考える。

以上のことから、本研究では、ロボットの頭部動きを半自律化することにより、生徒が授業に集中することができ、同時に授業時に正しい自律動作であれば、生徒がロボットとの一体感を得られるのではないかと考えた。

### 3.2 システム構成・機能構成・動作処理の流れ

分身ロボットには OriHime<sup>5)</sup>を、深度センサには Intel Realsense Depth Camera D435<sup>11)</sup> (Realsense) を用いる。Realsense は屋内外のさまざまな環境で高精度の奥行きデータを抽出し、複数のカメラ構成で制限なく使用できるデプスカメラである。

OriHime の頭部の動きの手動動作に自律動作を加えることが、操作者にどのような影響を与えるかを検証する。そのために、本研究では、OriHime の頭部の自動制御システムを構築する。

ユーザは OriHimeBizController アプリを介して教室に設置している OriHime の映像を病室内のベッドサイドからリアルタイム視聴することができる。そうすることで入院中でも学校生活を送ることができる。

Fig. 1 に示す本システムではまず、操作者のいる病院内に OriHimeBizController アプリと自作の自律動作プログラム (OriHime-Auto-Move) の入った PC1 とユーザの頭の動きを検出する Realsense (以下、Realsense1) を設置する。同様に、教室に Realsense (以下、Realsense2) と接続された PC2 と OriHime を設置する。

それぞれの PC と Realsense は USB で接続されている。また、Realsense2 から教師などの情報を取得する Depth-Get プログラムと OriHime-Auto-Move はソケット通信によりデータのやり取りを行う。

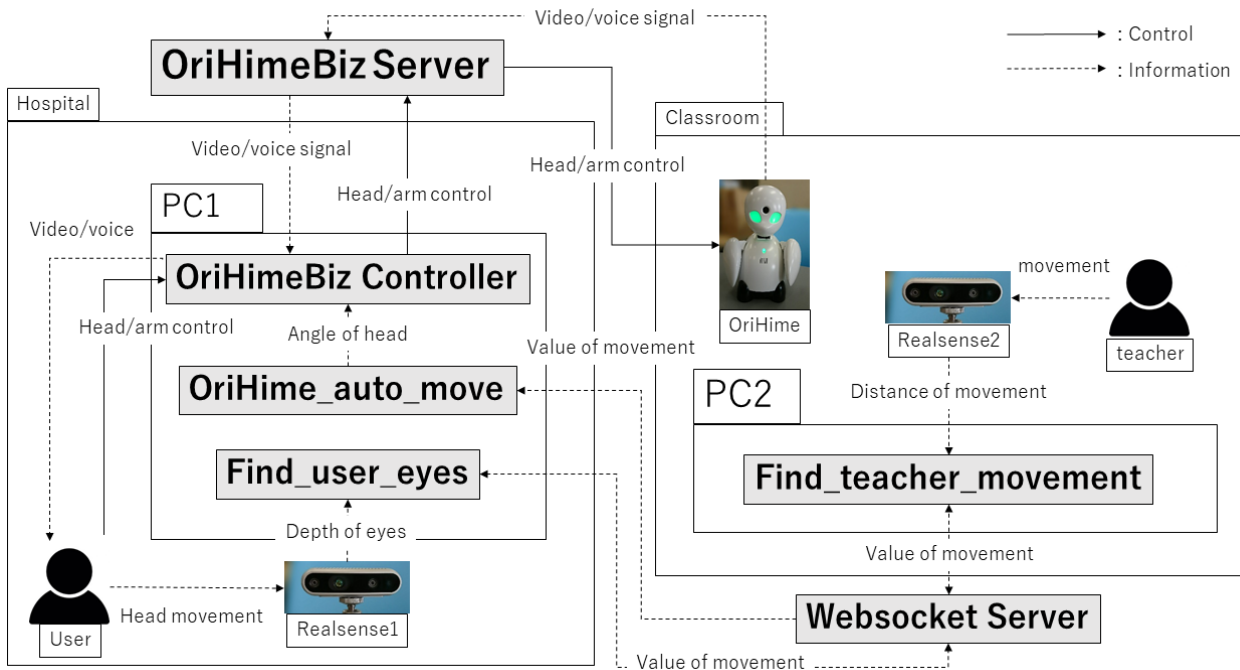


Fig. 1 System Diagram

OriHimeBizController アプリと OriHime-Auto-Move アプリは IPC で通信している。また OriHime と OriHimeBizController アプリはインターネット通信で行われる。

### 3.3 OriHime への自律動作の追加

OriHime の頭部の操作には IPC-API for OriHime を利用する。OriHime のサーボモータの角度と part-id (例: head-yaw) を 0.0~1.0 の間の値で特定することで OriHime の頭部を操作できる。OriHime の自律動作は教師の動きとユーザの頭の動きの二つのデータから実現する。もし、二つのデータの衝突が生じた場合は、ユーザの頭の動きの情報を優先する。

### 3.4 OriHime 自律動作の流れ

OriHime の自律動作の流れを以下に示す。本システムでは以下に示す OriHime の映像と Realsense の映像の同期は OriHime の使用上、困難である。したがってシステムは、起動時はトラッキングモードであるが、一度ユーザモードに切り替わると、教師の追跡は止まる仕様となっている。

1. ユーザが OriHimeBizController アプリを起動する。
2. ユーザが OriHime-Auto-Move プログラムを実行する。
3. 教室側の PC2 で Depth-Get プログラムを実行する。

4. OriHime の映像と Realsense2 の映像を同期させる。
5. Realsense2 から教師の位置情報を取得する。
6. 教師を追跡する。(トラッキングモード)。
  - (1) OriHime のカメラ映像と Realsense2 のカメラ映像を同期させる。
  - (2) 教師が移動する。
  - (3) 教師が画面の中央になるように Realsense2 のカメラを移動する。
  - (4) Realsense2 のカメラの移動と同じだけ OriHime の頭を移動させる。
7. ユーザの頭の動きに合わせて OriHime の頭を動かす。(ユーザモード)
  - (1) ユーザが頭を中央から右あるいは左に動いたことを検出する。
  - (2) ユーザが頭を中央から右または左に動かす。
  - (3) Realsense1 で右または左に向いたことを検出する。
  - (4) ユーザが頭を右または左に向けていたことを検出する。
  - (5) ユーザが頭を右に戻す(動かす)。
  - (6) Realsense2 が中央に戻したことを検出する。
  - (7) OriHime の頭部の動きを止める。
8. ユーザが OriHimeBizController アプリを切る。
9. 教室側の PC2 の Realsense2 プログラムを終了する。

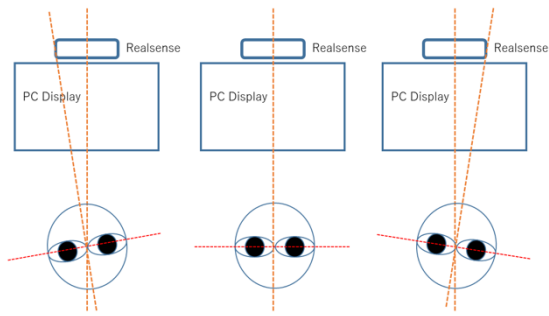


Fig. 2 顔の向き検出方法

### 3.5 Realsense2 のためのプログラム

ユーザの顔の向きの検出方法を以下の Fig. 2 に示す。本システムはユーザの両目の深度に着目し、両目の深度の差でユーザの顔の向きを認識する。まず、システムはユーザの両目の深度を取得する。ユーザの目が

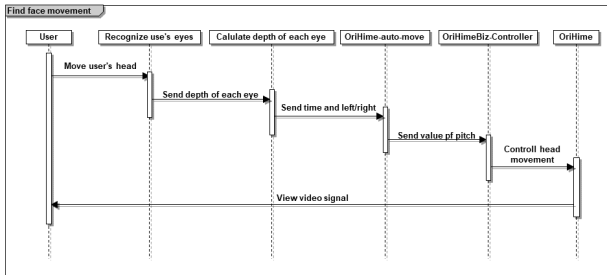


Fig. 3 Find-face-movement のシーケンス図

正面を向いているときは深度に差はなく、深度に差が生じたときに、システムはユーザの顔が右、もしくは左に向いていると判定する。上述した一連の機能を find-face-movement とし、Fig. 3 にシーケンス図を示す。

以下にユーザの顔の向きを検出するまでの流れを示す。

1. ユーザの目をマーカにして両目までの深度を測定する。
2. 両目までの深度が等しければ、ユーザは顔を傾けていないと判断する。
3. 右目の深度が深くなり、左目の深度が浅くなった時、ユーザが顔を右に向けたと判断する。
4. 左目の深度が深くなり、右目の深度が浅くなった時、ユーザが顔を左に向けたと判断する。
5. ユーザの両目の深度に違いがある間、ユーザが左右どちらかを向いている、と判断する。
6. ユーザの両目の深度の差がなくなった時、ユーザが正面に向きを戻したと判断する。

### 3.6 教師の動きの追跡方法

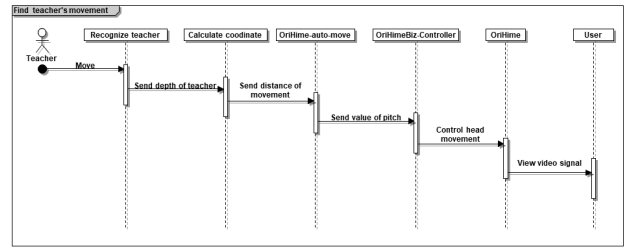


Fig. 4 Find-teacher-movement のシーケンス図

教室内で、システムは Realsense2 を使用して先程とは異なる方法で、教師の動きを追跡する。Fig. 4 に教師の動きを検出する機能 (find-teacher-movement) のシーケンス図を、以下に教師の動きから OriHime の頭部をコントロールする方法を示す。

1. システムは Realsense2 の映像から教師を認識する。
2. 映像内の教師の場所を取得する。
3. 教師が動く。
4. システムは教師の動作前と動作後の距離の差を計算する。
5. システムは計算結果から教師の動いた方向(右/左)を OriHime-Auto-Move プログラムに送信する。

### 3.7 人の顔の認識方法

本システムでは、人の顔認識や物体追跡に Dlib と呼ばれるライブラリを利用する<sup>12)</sup>。Dlib は、現実世界の問題を解決するための複雑なソフトウェアを作るための C++ の機械学習アルゴリズムやツールであり、産業や学術の広いドメインに適用でき、オープンソースで無料である。

### 3.8 OriHime-Auto-Move とそれぞれのプログラムとの通信方法

本システムでは、それぞれのアプリケーションの通信をソケット通信で行う。そのために AWS の Lightsail<sup>13)</sup>を利用して Ubuntu サーバを構築し、その中に Redis サーバアプリと WebSocket サーバアプリを起動することで、それぞれのプログラム間での通信を可能にする。それぞれのプログラムから WebSocket サーバに送信されたデータは、サーバに接続した全ての WebSocket クライアントにブロードキャストされる。

また OriHime の頭部を制御するために、Find\_face\_movement アプリと Find\_teacher\_movement アプリの両方からデータの通信を行うが、両者のデータが衝突した場合は、Find\_face\_movement からのデータを優先する。Fig. 5 に、各アプリケーション間の通信のシーケンス図を示す。

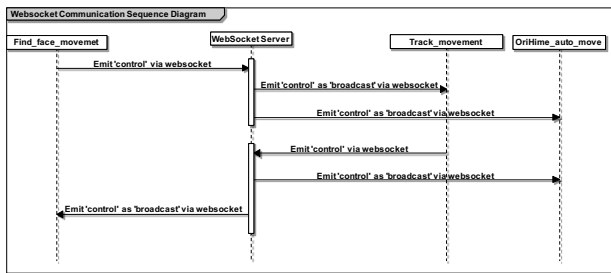


Fig. 5 各アプリケーション間の通信のシーケンス図

## 4 実験内容

本実験の目的は、遠隔講義において従来のロボット操作と比較して、本システムの方が有効であるかを検証することである。

実験では、被験者は以下の3つの方法で45分程度の情報系科目の授業を受け、アンケートにより講義手法を評価した。被験者は別室にてパソコンでOriHimeBiz Controller アプリを通じて遠隔授業に参加した。15分の講義を3回行い、各講義終わりに小テスト、3回目の講義の後にアンケートを行った。以下に実験の種類を記載する。

- 実験手法の種類(各15分)
  - A: 固定カメラでの遠隔講義参加
  - B: 従来の分身ロボットの操作での隔授業参加
  - C: 従来の操作に提案システムを加えた半自律動作状態での遠隔授業参加

本実験では、順序効果に配慮し、上述のA~Cの講義の視聴方法の順番を変え、それぞれ6グループに分けて実験を行った。以下に本実験での実験パターンを記載する。

- 実験パターン

(45分:15分×3手法+各講義終わりに5点満点の小テスト、3回目の講義後にアンケート記入)

- パターン1: A → B → C
- パターン2: A → C → B
- パターン3: B → A → C
- パターン4: B → C → A
- パターン5: C → A → B
- パターン6: C → B → A

また、講義の順序効果に配慮し、実験パターンを6種類とした。各実験パターンにつき、被験者は4人ずつ(パターン1~5)、パターン6については3人の計23人(男15人、女8人)で実験を行った。

実験後、被験者に評価してもらったアンケートの項目は以下の通りである。

- ・ 固定カメラと視点操作可能なカメラでは、視点操作可能なカメラの方が授業に有効であるか
- ・ 自分の動作に対してロボットの動作が遅れていたか
- ・ ロボットが自分の思い通りに動いていたか
- ・ 手動操作に比べて授業に集中することができたか
- ・ 自律動作は適切であったか
- ・ ロボット操作の自律動作に違和感があったか
- ・ 本システムは今後長期入院している児童に対する遠隔教育支援として利用することを目的としているが、遠隔教育支援として有効であるか

## 5 結果と考察

- 主観評価

本実験で行った、アンケートの各質問に対する23人の結果を以下に示す。固定カメラと視点操作可能なカメラについてのアンケート結果より、本実験において固定カメラと視点操作可能なカメラでは、視点操作可能なカメラが有効であるとは考えにくい。

ロボットの操作性についてのアンケート結果より、本システムでの操作では、ロボットの動作が遅れていた。またユーザの頭部動作の動きによる操作では、思い通りに動いていなかった。

次にロボットの動作性についてのアンケート結果を示す。ロボットの操作について、本システムの提案手法では、操作が困難であった。さらに、被験者は、ロボットとの一体感についても、あまり感じるできなかった。

半自律化によるユーザの授業時のパフォーマンスに関するアンケート結果より、被験者は、OriHimeの従来の操作と比べ本システムによる授業参加では授業にあまり集中できなかった。

ユーザの操作主体感に関するアンケート結果では、被験者は、本システムにおける自律動作(教師の追跡)については、適切であったと評価した。しかし一方で自律動作に対する違和感ユーザによって意見が別れたので違和感がなかったとは考えにくい。

最後に本システムを長期入院児童に使用することに対する有効性についてのアンケート結果からは本システムが長期入院児童に対する遠隔教育支援として利用することに対しては有効であると考えられる。

- 客観評価

本実験に対する客観評価として各授業終わりの点数を用いる。それぞれの授業に対して固定・手動・半自律での講義視聴によるテストの結果は固定4.35点、手動4.13点、そして半自律は4.48点であった。この結果に対しANOVA(Analysis of variance)を行ったところ、

P 値が  $0.31 > 0.05$  であり、有意性が認められなかった。したがって本システムは遠隔授業における学習効果があるとは言えなかった (Fig. 6 参照)。

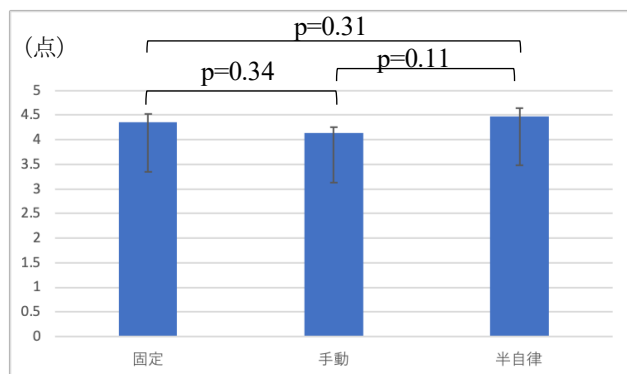


Fig. 4 小テスト結果

## 6 まとめ

本研究では遠隔操作におけるギャップを解消するために半自律化を提案し、半自律操作の課題である操作者の主体感の保持の実現を分身ロボットを用いて行った。本研究では操作者の遠隔操作に加えて自律した教師を追跡する動きとユーザの頭部操作による半自律操作システムを設計し、半自律操作に対する操作者の分身ロボットに対する主体感、そして授業におけるパフォーマンスを検証した。検証の結果、遠隔授業におけるパフォーマンスとして本システムがよい成績を残した。しかし一方で操作者による分身ロボットとの一体感を得ることができなかった。

研究では頭部の左右の動きだけで検証を行った。しかし実際には上下左右の動きがある。そこで左右の動きだけでなく上下の動きについてもロボットに反映することで操作者にどのような影響があるか検証する必要がある。また頷きに対しては会話状況に適切な自律動作であればアンドロイドロボットと一体感を感じることがわかっているので、頷きの自律動作を組み込んだ半自律動作による影響も同時に検証すべきである。

ICT を利用した遠隔教育支援の一環として本研究では分身ロボットの頭部の動きの半自律化を実現した。

将来展望として、今後は頭部だけでなく、人間の無意識の反応 (頷きや相槌) に関して自動化させることでロボットとの一体感が得られるかを検証する。それと同時に長期入院児童が入院による前籍校との物理的・心身的距離を解消する方法を考える。また長期入院児童だけでなく疎開地などの地域の子供達にも利用できるようなシステムを構築する。

## 参考文献

- 1) 文部科学省：長期入院児童生徒に対する教育支援に関する調査の実態，2015
- 2) 渡辺：病弱教育の課題と展望，花園大学社会福祉学部研究紀要，第 25 号，2017
- 3) 大城：長期入院している子ども達と「ともに学び」「ともに楽しむ」ICT 交流の実践，琉球大学教育学部附属発達支援教育実践センター，紀要，No9，2017
- 4) <https://tech.nikkeibp.co.jp/dm/atcl/column/15/327413/072500047/?ST=health>。(2019.02.閲覧可能)
- 5) <http://orihime.orylab.com/>。(2019.02.閲覧可能)
- 6) 中道：遠隔操作型コミュニケーションロボットにおける頷き動作の半自律化による操作主体感への影響，人工知能学会論文誌，31 巻 2 号，2016
- 7) 芦川，菅沼，谷口：黒板抗議におけるチョーク音検出を利用した講義自動撮影システムの構築と評価，火の国情報シンポジウム，pp60-67，2003
- 8) 葭田，神谷，田島：「自分の身体的の使い心地」の心理学的・脳科学的計測，計測と制御，第 55 巻，第 3 号，3 月号，2016
- 9) Gallagher, S.: Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science, Trends in Cognitive Sciences, 4-1, 14/21, 2000
- 10) T. Ohata, M. Takahara, I. Tanev, K. Shimohara: Semi-Autonomous Remote Control of an Avatar Robot's Head for Distance Education, 5th Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering 2018, December 10th~ 12th, Fiji
- 11) <https://realsense.intel.com/>。(2019.02.閲覧可能)
- 12) <http://dlib.net/>。(2019.02.閲覧可能)
- 13) <https://aws.amazon.com/jp/lightsail/>。(2019.02.閲覧可能)