

# 参加者の同期的なジェスチャーを支援する ビデオ会議システムの開発

小山環<sup>1</sup> 森元峻太<sup>2</sup> 塩澤秀和<sup>2</sup>

**概要:** オンラインのビデオ通話では、対面による話し合いに比べて非言語コミュニケーションが大幅に減少する。これによって、特に目頃対面による面識が少ない相手同士の場合、コミュニケーションの質の低下やそれによるストレスの増加といった問題が起きることが指摘されている。この問題に対して、我々は、オンラインビデオ会議においてシステムの支援によって非言語コミュニケーションの増加を促すことが良い効果をもたらすのではないかと考え、複数の参加者が動作のタイミングを合わせるような同期的なジェスチャーを視覚的に支援するシステムを開発している。具体的なジェスチャーとしては、タスクの達成を表すハイタッチを実装している。本システムは、特に議論前に参加者同士の人柄について理解を深めるアイスブレイクなどで用いると特に有効であると考えている。

**キーワード:** ビデオ会議, テレビ会議, ジェスチャー認識, 同期的なジェスチャー, ハイタッチ

## Development of a Video Conferencing System Supporting Participants' Synchronized Gestures

KAN OYAMA<sup>†1</sup> RYOTA MORIMOTO<sup>†2</sup> HIDEKAZU SHIOZAWA<sup>†2</sup>

**Abstract:** Online video conferencing reduces nonverbal communication between participants in comparison of face-to-face discussions. It is pointed out that this causes problems such as insufficient quality of communication and increased stress of users, especially between people who are not well acquainted with each other. In order to cope this problem, we propose a feature of video conferencing systems that visually supports synchronized gestures between multiple participants. As a specific gesture, we have implemented the high-five gesture to evaluate efficiency of the concept. We think that our system is particularly effective when used as an ice breaker to deepen participants' understanding of each other's personalities before a discussion.

**Keywords:** video conferencing, video conference system, gesture recognition, synchronous gestures, high-five

### 1. はじめに

近年、ビデオ通話およびビデオ会議の需要が高まり、様々な場面で利用されている。例えば、企業の内定者研修では遠方に住む学生に対してビデオ会議を利用することで、参加者の移動の負担をなくすケースが見受けられる。その際、顔合わせや交流を目的としてグループワークが行われることがあるが、課題達成時に喜びを分かち合う方法が画面前での拍手やアプリ内でのリアクションなどしかない。

そのため対面のときのような一体感や、ハイタッチや抱擁、握手などの身体的コミュニケーションを行うことができないという問題がある。ビデオ通話はこのように、非言語コミュニケーションが対面と比べて減少してしまうため、ストレスが溜まりやすいことが報告されている[1]。

また、身体的コミュニケーションは多くのマルチプレイゲームで実装されており、感情を共有する時やゲーム内でのコミュニケーションの一つとして利用されている[2][3]。一緒に遊んでいるという一体感を得られるジェスチャー機

能は、ゲームを楽しむための一要因とも言える。

そこで本研究ではジェスチャーによる身体的コミュニケーションをビデオ会議の最中に行えるシステムを開発し、評価を行う。

### 2. 関連研究

離れていてもハイタッチの物理的な感触が伝わる研究として、NTTが開発しているリモートハイタッチがある[4]。これは、ビデオ通話の映像を映すディスプレイに透明なボードが取り付けられており、一方がボードに向かってハイタッチをすると、通話している相手のボードも振動し、ハイタッチの感触を伝えることができる。

また、ビデオ会議システム上で同じ場所にいるような環境を実現するものとして、森川[5]、倉本ら[6]、Grønbaekら[7]の研究が挙げられる。森川の研究は通話の参加者の映像を同一の場面に合成し、それをプロジェクタでそれぞれの参加者の前に映し出す仕組みである。倉本らの研究は、鏡のように自分自身が映る映像に教師の映像を重ね合わせ、姿勢の違いを留意に確認できる方法である。また Grønbaekの研究では、相手のカメラ映像を半透明にし、地図の画像を重ね合わせる。これにより通話の相手がジェスチャーで指差しをすると、地図に直接指差しをすることができる。

1 玉川大学 工学研究科  
Graduate School of Engineering, Tamagawa University  
2 玉川大学 工学部  
College of Engineering, Tamagawa University

また、カメラ映像からジェスチャーを認識し、意思表示を行う開発事例に Hunter[8], Chidambaram[9]らの技術がある。カメラに特定のハンドサインを映すと、ハンドサインに合った文字が映像上に表示される。これにより声を出さずにリアクションが取れるため、大人数のビデオ会議でも意思表示が簡単に行えるようになっている。

また、聴覚障がい者向けに指文字認識を含む手指ジェスチャー認識について検討した研究[10]では、Leap Motion と MediaPipe の性能比較の結果が報告されている。この研究では Leap Motion に比べて MediaPipe の方が動きに対するトラッキング性能が優れているという結果が報告された。

### 3. 本研究の提案

本研究では、オンラインビデオ会議においてシステムの支援によって非言語コミュニケーションの増加を促すことが良い効果をもたらすのではないかと考え、複数の参加者が動作のタイミングを合わせるような同期的なジェスチャーを視覚的に支援するシステムを提案する[11]。

会議参加者が行うジェスチャーとして有効なものを検討し、本研究ではハイタッチとキャッチボールを採用した。ハイタッチはビデオに映しやすい手と腕を使った動作であると同時に、グループワークなどの共同作業が成功したときにも使えるため、汎用性が高いと考えられる。キャッチボールは、参加者全員にボールを巡らせることで、あまり会話に参加しない人でもボールを持った際に発言する機会が与えられ、コミュニケーションの活発化が期待できる。キャッチボール機能は、自己紹介などの全員が発言する際の順番決めに利用することを想定している。

ハイタッチを対面で行う際は、人間はお互いに相手の手がどこに来るかを目視で予測し、自分の手を予測した目標位置に向けて動かしていると考えられる。ビデオ会議では相手の映像に映る手の位置が、自分のパソコンのカメラでどこに位置するかが分かりにくい。そのため、システムはハイタッチを支援する際、どの位置でハイタッチ判定が起るのかをユーザに提示する必要がある。ユーザが表示された目標位置に手を合わせると、音やパーティクルなどのエフェクトを発し、ハイタッチ判定とする。本研究ではハイタッチ判定の方法を3種類提案し、比較評価する。

#### 3.1 自由な手の位置でのハイタッチ

自由な手の位置とは、対面でハイタッチをするときと同様に、相手の手を目標位置とする方法である。ハイタッチをする相手の手の位置を、図1のように自分の映像上に枠として同期して表示することで、目標位置を表現する。

ただし、この方法ではタイムラグにより映像の手と目標位置がずれるため、ハイタッチをする位置が合わせにくいという懸念がある。

#### 3.2 固定の手の位置でのハイタッチ

固定の位置とは、ユーザ自身が映る映像の上部にハイタ

ッチをするための場所としてハイタッチゾーンを提示し、そこをハイタッチの目標位置とする方法である(図2)。これにより手の位置の同期にタイムラグがあったとしても、ユーザは目標位置に手を動かしやすいという効果が期待できる。

また、ハイタッチは顔や頭の上で行う行為であるため、手の位置は映像上部に映っている方が好ましい。自由な手の位置と異なり、ハイタッチゾーンを設けることで、ユーザの手の位置を映像上部に誘導する効果が期待できる。しかし、ハイタッチゾーンを目標位置とするため、相手の手の位置を考慮しなくてもよくなり、タイミングの合わせ方が対面のハイタッチから遠ざかるという懸念がある。

#### 3.3 ハイブリッドのハイタッチ

ハイブリッドのハイタッチとは、自由な手の位置と固定の手の位置の折衷案として提案する方法である。図3のように、相手の手の位置がハイタッチゾーン内にあるときのみ、手の位置が表示されるようにする。

この方法では自由な手の位置と固定の手の位置それぞれの懸念点を解決する効果が期待できる。

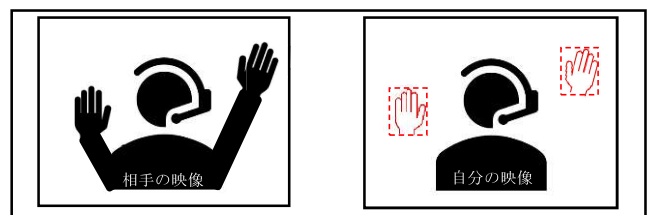


図1 自由な位置でのハイタッチのイメージ

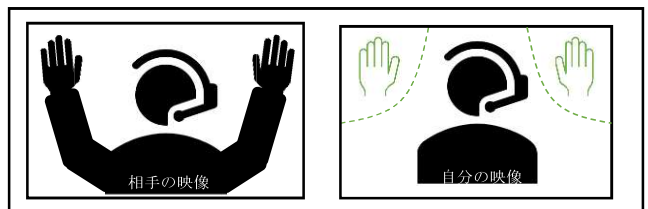


図2 固定の位置でのハイタッチのイメージ

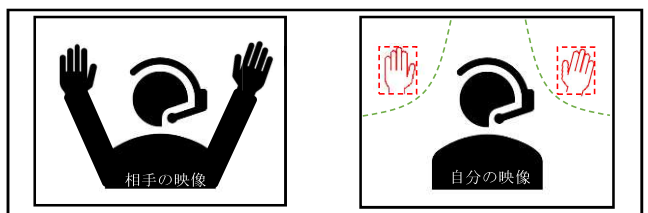


図3 ハイブリッドのハイタッチのイメージ

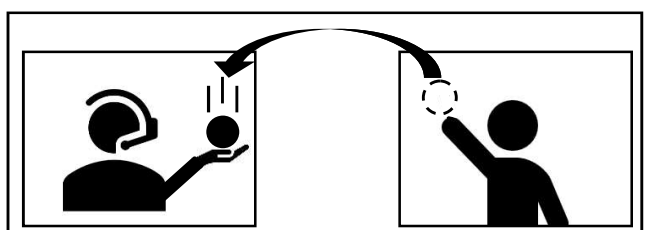


図4 キャッチボールのイメージ

### 3.4 キャッチボール

キャッチボールでは、画面上のバーチャルなボールを持っている人が、頭上に手を動かすとボールが他の参加者に投げられていくアニメーションを実装する(図4)。キャッチボールを行うには、参加者同士が適切に距離を空けて位置を取る必要がある。そのため、ビデオ会議の画面で各参加者が自分の映像の位置を自由に移動できる必要がある。

## 4. システムの実装

本研究で開発したシステムの全体像を図5に示す。ビデオ通話システムを構築するためにレンタルサーバを利用し、nginxでサーバを構築した。ビデオ通話システムには、SDKとAPIが公開されているNTTコミュニケーションズのサービスであるSkyWay[12]を利用した。

ハイタッチを実現するためには、映像内の手の位置を検出する必要がある。そこで本研究ではGoogle MediaPipe Hands[13]を使用した。MediaPipe Handsはオープンソースの機械学習ソリューションフレームワークであり、画像をMediaPipeに送信すると画像内の手の位置を送り返すサービスが提供されている。これはネットワーク環境があれば簡単に利用できるため、事前準備なしに正確な手の位置と形をリアルタイムに検出できる。そして、検出した手の位置座標をビデオ会議の参加者に転送することで、手の位置の同期を実現している。

ビデオ映像の表示や手を動かす目標位置となる枠、ハイタッチ判定時のエフェクトなどはp5.jsで実装して表示した。また本研究ではハイタッチの方法が複数あるため、ハイタッチの判定も複数の異なった実装をしている。

### 4.1 自由な手の位置でのハイタッチ

自由な手の位置では、相手の手の位置を目標位置とするため、それを赤い枠(以降:赤枠)として表示する。これに対し、自分の映像に映る手の位置を緑の枠(以降:緑枠)として表示し、赤枠に緑枠が重なるように手を動かすとハイタッチ成功の判定となり、エフェクトが表示されるよう実装した(図6)。

### 4.2 固定の手の位置でのハイタッチ

固定の手の位置では、映像上部のハイタッチゾーンをハイタッチの判定領域としている。図7のように、ユーザが映像の右上と左上に設けられたハイタッチゾーンに手を映すとハイタッチと判定され、黄色いパーティクルが表示される。同様に、相手の手がハイタッチゾーンに入っていると赤いパーティクルが表示される。

### 4.3 ハイブリッドのハイタッチ

ハイブリッドのハイタッチ判定は、自由な位置と固定の位置の折衷案をとる。ハイタッチゾーンに手が映っているときのみ赤枠と緑枠を表示し、その上で赤枠と緑枠と重なればエフェクトを表示する実装とした(図8)。

またエフェクトの演出方法を検討するために、手が赤枠

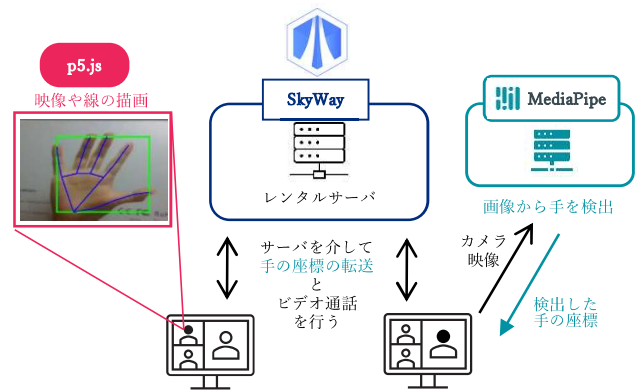


図5 システムの全体図



図6 自由な手の位置でのハイタッチの動作



図7 固定の手の位置でのハイタッチ



図8 ハイブリッドのハイタッチ

に近いほど多くのパーティクルが放出されるモードも実装した。ただし、このモードは赤枠が表示されない固定の手の位置では動作しないものとする。

## 5. 評価実験

開発したシステムの評価を行うために、21歳～23歳の男女13人（男性9人、女性4人）を対象に評価実験を行った。課題として2人1組でなぞなぞに取り組んでもらい、達成したときにハイタッチをしてもらった。なぞなぞの問題は「なぞなぞ学園」[14]のものを利用した。

また、本研究で開発したサイト（以下：ハイタッチサイト）でも音声通話は可能であるが、実験中にシステムの不具合が起こった場合に備えて、音声通話にはZoomを利用した。比較対象は、ハイタッチの振りだけ、自由な位置でのハイタッチ、固定の位置でのハイタッチ、ハイブリッドのハイタッチの4種類と、エフェクトの量が変化するモードにおける自由な位置でのハイタッチとハイブリッドのハイタッチの2種類を加え、合計6種類とした。

### 5.1 実験の手順

- ① Zoomで通話を開始し、全体の流れを説明する。
- ② ハイタッチサイトにアクセスし、サイト内でビデオ通話を開始する。
- ③ 6種類のハイタッチの動きをレクチャーする。
- ④ Zoomの画面共有とハイタッチサイトが同時に見えるように配置する。
- ⑤ Zoomの画面共有でなぞなぞを表示し、協力して解く。
- ⑥ ギブアップや不正解の場合は次の問題に進み、正解した場合はハイタッチを行う。
- ⑦ 6種類のハイタッチを終えるまで⑤、⑥を繰り返す。
- ⑧ 全てのハイタッチを終えたらアンケートを回答する。

## 6. 評価アンケート

参加者には、全種類の機能を体験した後、表1のアンケートに回答してもらった。アンケートの項目は、基本的に5段階（リッカート尺度）で評価をしてもらった。さらに、より詳しい意見を聞くために、自由記述欄も設けた。

### 6.1 機能ごとの手の合わせやすさ

Q2の回答結果を表2に示す。表2より、固定の手の位置とハイブリッドで高評価が多く得られたことが分かる。これには「ハイタッチゾーンが設けられているため、手を動かす位置がある程度決まっているから」という意見もあり、当初の想定通りの反応であった。

逆に自由な手の位置でのハイタッチでは、評価値の散らばりが大きく、やや意見が割れた。自由記述欄に「タイムラグもあり、赤枠に手を合わせるのにコツがいる」という意見で低い評価を与えた人もいたが、「そもそも対面でも綺麗に合わせるの難しい」という意見で高い評価を与えた人もいた。

表1 アンケートの項目

Q1	ハイタッチ機能の使う際に、「戸惑ったこと」や「わからないこと」などはありましたか
Q2	ハイタッチ機能における手の合わせやすさはどうでしたか（1非常に合わせにくかった～5非常に合わせやすい）
Q3	Q2の理由がありましたら教えてください（自由記述）
Q4	ビデオ通話に適しているという観点でハイタッチの得点を教えてください（1点～5点）
Q5	Q4の理由があれば教えてください（自由記述）
Q6	エフェクトが出るタイミングはどう思いましたか（1非常に遅い～5非常に早い）
Q7	エフェクトの量が変化する機能に関して、どう思いますか（1ない方がいい～5是非ほしい）
Q8	Q7の回答に理由があれば教えてください（自由記述）
Q9	より対面に近いという観点でハイタッチの得点を教えてください（1点～5点）
Q10	Q9の得点の理由があれば教えてください（自由記述）
Q11	体験に参加する前のリラックス度合いについてお伺いしたいです（1非常に緊張していた～5非常にリラックスしていた）
Q12	お話できる範囲でQ11の理由を知りたいです（自由記述）
Q13	機能ありなしどちらでも、ハイタッチをしてみても楽しかったですか（1全然楽しくない～5非常に楽しい）
Q14	機能ありとなしで楽しかったのはどちらですか（機能なし / 機能を使ったハイタッチ）
Q15	Q14の理由を伺いたいです
Q16	楽しかったという観点でハイタッチの得点を教えてください（1点～5点）
Q17	Q16の理由があれば教えてください
Q18	その他各機能についてご意見あればご記入ください

表2 機能ごとの手の合わせやすさ

	1	2	3	4	5	平均	標準偏差
自由な手の位置	0	2	4	4	3	3.61	1.00
固定の手の位置	0	0	0	6	7	4.53	0.49
ハイブリッド	0	1	1	5	6	4.23	0.89

### 6.2 ビデオ通話に適しているハイタッチ

Q4の回答結果を表3に示す。まず、着目されるのは、ハイブリッドのハイタッチにおいてネガティブな評価がなかった点である。このことから、自由な位置と固定の位置の課題をハイブリッドのハイタッチでは緩和できていると考えられる。その反面、高い評価が多いわけでもないため、ビデオ通話に適しているという印象は強く感じられなかったことが推測される。

### 6.3 エフェクトの量が変化する機能

Q7の回答結果を図9に示す。「なくてもいい」や「どちらとも言えない」の項目に票が入っているが、「量の変化を感じられない」「わざわざ量の変化を注視しない」という理由からであり、「手が近いほど変化がある」という機能に関しては賛成的な意見が見られた。

また、「同調するほど楽しさがあり、相手を身近に感じることができると思う」という意見もあり、タイムラグの改善やハイタッチのタイミングをシステムが調整することで、より一体感を得られるようになると考えられる。

### 6.4 より対面に近いハイタッチ

Q9の回答結果を表4に示す。この項目は、自由な位置でのハイタッチが、対面のハイタッチに近いことを予測した設問であったが、固定の位置でのハイタッチに想定より多く高評価が入った。高評価を入れた参加者は自由記述欄に「手が合わせやすかったから」という意見を述べていた。このことから手の合わせやすさが、対面でのハイタッチを想起させる可能性がある。

また、ハイブリッドは自由な位置よりも高評価が集中している。これはハイタッチゾーンでの手の合わせやすさとゾーン内での自由さが上手く作用したからではないかと推測している。

### 6.5 リラックス度合いとハイタッチの楽しさ

Q11とQ13の回答をまとめたものを表5に示す。

Q11は実験開始前のリラックス度合いをたずねるものであり、Q13は実験後に緊張がどれだけほぐれていたかを測るための設問である。実験中に雑談など緊張がほぐれる機会は多々あるため、ハイタッチによって緊張がほぐれたかどうかを判断するのは難しいと考えられる。そこで、Q13ではハイタッチ行為の楽しさについての質問を設けた。

Q11で「2. 緊張していた」と回答した4人の参加者は、Q13の回答からハイタッチを楽しんでおり、ハイタッチを楽しむくらいに緊張がほぐれていることがわかる。

また、Q11で「3. どちらとも言えない」を選択した参加者からは、「『ハイタッチする』というテーマから、あまり堅苦しい印象を受けなかったから」という意見が得られ、ハイタッチ行為に緊張感を与える要素は少ないことが確認できた。

Q13で「3. どちらとも言えない」を選択した参加者もいた。これは、本機能でのハイタッチでは十分に楽しめなかった可能性や評価することに注力してあまり楽しんでいなかったという可能性が推測される。

### 6.6 ハイタッチ方法ごとの楽しさ

Q16の回答結果を表6に示す。まず、ハイタッチの振りだけの方法の評価が低いのは、「手が映っていてもハイタッチしている実感がなかった」など、システムの機能を使ったハイタッチとの比較からであった。ほとんどの参加者では、機能を使ったハイタッチ方法の間に楽しさにほとんど

表3 ビデオ通話に適しているハイタッチ

	1	2	3	4	5	平均	標準偏差
ハイタッチの振り	5	2	4	1	1	2.30	1.26
自由な手の位置	0	2	3	4	4	3.76	1.04
固定の手の位置	0	1	2	5	5	4.07	0.91
ハイブリッド	0	0	4	4	5	4.07	0.82

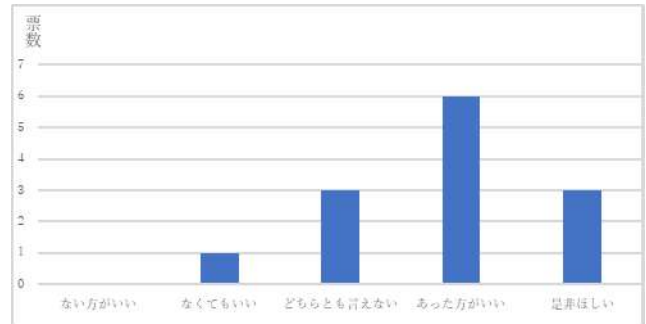


図9 エフェクトの量が変化する機能について

表4 より対面に近いハイタッチ

	1	2	3	4	5	平均	標準偏差
ハイタッチの振り	5	2	4	2	0	2.23	1.12
自由な手の位置	0	0	4	5	4	4.00	0.78
固定の手の位置	2	2	1	5	3	3.38	1.38
ハイブリッド	0	0	2	7	4	4.15	0.66

表5 参加者ごとのリラックス度合いとハイタッチの楽しさ

参加者	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q11	2	2	4	2	3	3	5	5	4	4	2	5	4
Q13	4	5	3	5	4	4	4	3	4	4	5	5	4

表6 ハイタッチごとの楽しさ

	1	2	3	4	5	平均	標準偏差
ハイタッチの振り	5	2	5	0	1	2.23	1.18
自由な手の位置	0	0	2	3	8	4.46	0.74
固定の手の位置	0	0	2	4	7	4.38	0.73
ハイブリッド	0	0	2	3	8	4.46	0.74

差が見られないため、楽しさという観点で見れば機能ごとの差異はあまり感じられなかったことがうかがえる。

また、楽しかった理由に「エフェクトが出るためピタリと手を合わせたいと思った」や「手を合わせようとする手間が一体感を生み出していた」などがあり、自由な位置でのハイタッチやハイブリッドのハイタッチにおいて手間があるから楽しかったという意見が得られた。

### 6.7 その他の意見や感想

各設問の自由記述欄やQ18に寄せられた回答から、参考になるものをいくつか取り上げる。

#### 6.7.1 機能全体に対する意見

ハイタッチ機能全体についての意見を次に列挙する。



- 機能がない場合は笑顔や拍手で反応を示すため、そもそもハイタッチを行おうという発想自体に至らない。その点、ハイタッチ機能が存在する方が明確に相手とのコミュニケーションが取れ、お互いの意志をくみ取りやすいと思う。
- 機能があることにより、手を動かして「喜び」という感情を共有し、より対面に近づいている感じがした。
- 画面に向かって話すだけよりも、体を動かして画面の向こうの人と喜びを分かち合えるので良かった。
- 画面上でハイタッチをしているが、一体感を感じられ、対面でコミュニケーションを取るのと何ら変わらないようにも感じ、現実での距離が近いように思った。

これらの意見から、本システムがあることでコミュニケーションの活発化が期待できると考えられる。また一緒に身体を動かし、その反応が得られるということが一体感を得るということにつながるということがわかった。そして一体感を感じることで感情を共有している気持ちになれるため、対面のような感覚が得られると推測される。

#### 6.7.2 自由な位置でのハイタッチに対する意見

自由な位置でのハイタッチの有用性について述べている意見を以下に列挙する。

- 手は合わせにくいですが、手の位置のタイミングを人によって変更できるので、コミュニケーションを取りやすいと感じた。
- 自由な位置以外の方法よりも気軽にタッチできる気がした。
- 気軽に手を挙げただけで行えるのが良いと思った。大人だけでなく、小さな子供にも効果的だと感じた。

自由な位置でのハイタッチは、対面に近いハイタッチをイメージして開発をしたが、手を合わせる位置がどこでもいいという手軽さが特長となり、コミュニケーションの取りやすさに貢献できる機能であると感じられた。また、小さな子どもにも効果的という意見もあるため、直感的にハイタッチができるという特長も推測できる。

#### 6.7.3 固定の位置でのハイタッチに対する意見

固定の位置でのハイタッチについて述べている意見の1つに「現実世界のハイタッチと比較した場合に、固定の位置でのハイタッチの再現性と必要性が疑問である」という意見があった。この意見から、固定の位置でのハイタッチの抜本的な改修を行うか、対面以外の比較対象を検討する必要があると考えられる。

## 7. まとめ

本研究では、ジェスチャーによる身体的コミュニケーションを、ビデオ会議の最中に行えるシステムの開発と評価実験を行った。ジェスチャーにはハイタッチを採用し、システムは自由な位置でのハイタッチと固定の位置でのハイタッチ、2つの折衷案であるハイブリッドのハイタッチを

開発し、評価実験を行った。

アンケートの結果から、自由な位置でのハイタッチにはどこでも手を合わせられる自由度と手軽さが特長として評価され、その反面、手を合わせにくいという短所が報告された。固定の位置でのハイタッチにはハイタッチを誘導しやすいという点とスムーズに手を合わせられるという特長が評価されたが、対面に近いハイタッチとしての評価はあまり得られなかった。ハイブリッドのハイタッチは特筆すべき短所はないが、特筆すべき長所もない結果となった。

また、「一体感を感じることで対面に近づいた」という意見が複数見られたので、対面に近いことを目的とするのではなく、遠隔でも一体感を感じられるようなシステムを目的とする方が好ましいと考えられる。今後の開発では、タイムラグの改善やより同調しやすい機能を目指す。

また、キャッチボール機能の開発にも着手し、ボールを渡す相手をジェスチャーで指定できる機能や、ボールを受け取ったときの演出などの実装に取り組む。

## 参考文献

- [1] Libby Sander and Oliver Baumann: 5 Reasons Why Zoom meetings are soexhausting. The Conversation, 2020. <https://theconversation.com/5-reasons-why-zoom-meetings-are-so-exhausting-137404> (参照 2022-04-18).
- [2] Monster Hunter RISE Official Web Manual. <https://game.capcom.com/manual/MHRISE/ja/switch/page/5/8>, (参照 2022-04-18).
- [3] Meadow. <https://store.steampowered.com/app/486310/Meadow/>, (参照 2022-04-18).
- [4] NTT コミュニケーション科学基礎研究所: リモートハイタッチ. <https://www.rd.ntt/research/CS0040.html>, (参照 2022-04-18).
- [5] 森川治: 超鏡: 魅力あるビデオ対話方式をめざして. 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 3, p. 815-822, 2000.
- [6] 倉本到, 稲垣喜一, 渋谷雄: 仮想鏡--学習者と教示者の動作の違いを明確にする動作学習支援システム. 情報処理学会研究報告, p. 1-6, Mar 2009.
- [7] Jens Emil Grønbaek, Banu Saatci, Carla Griggio, Clemens Nylandstedt Klokose: MirrorBlender: Supporting Hybrid Meetings with a Malleable Video-Conferencing System. Feb, 2021. <https://www.researchgate.net/publication/349522554>, (参照 2022-04-18).
- [8] Cameron Hunter: <https://lens.snapchat.com/16839bd69c67492696d6ccf1296ad31e>, (参照 2022-04-18).
- [9] Ashwat Chidambaram, Andre He, Aryia Dattamajumdar and Sarvasv Kulpati: Video Gesture Recognition and Overlay. [https://github.com/ashwatc/Video\\_Gesture\\_Overlay](https://github.com/ashwatc/Video_Gesture_Overlay), (参照 2022-04-18).
- [10] 生野優輝, 外村佳伸: 手指ジェスチャー認識に向けた Leap Motion と MediaPipe の比較検討. 情報処理学会関西支部 支部大会講演論文集, 2020.
- [11] 小山, 森元, 塩澤: 参加者の同期的なジェスチャーを支援するビデオ会議システムの検討. 情報処理学会 GNWS, Nov 2021.
- [12] NTT コミュニケーションズ: SkyWay, <https://web rtc.ecl.ntt.com/>, (参照 2022-04-18).
- [13] Google: MediaPipe, <https://google.github.io/mediapipe/>, (参照 2022-04-18).
- [14] なぞなぞ学園, <https://nazogaku.com/>, (参照 2022-04-11).