

複数人でのダイビング向け 水中コミュニケーション支援デバイスの提案と有効性の検証

大城雄紀^{†1} 安藤雅行^{†2} 大津耕陽^{†3} 泉朋子^{†3}

概要: スキューバダイビングは水中の作業やスポーツとして取り組まれており、多くの人に親しまれている。ダイビングでのコミュニケーションは安全面や娯楽面から必要不可欠であるが、ダイビングの機材を装備した状態では発話によるコミュニケーションは困難であり、現状使用されているハンドサインや特殊なトランシーバを用いたコミュニケーションにも事前学習が必要であることなどの問題がある。

本研究ではダイビングで最も一般的に利用されているハンドサインをベースに、ダイバー同士が互いの意図を容易に理解できるコミュニケーション支援デバイスを提案する。ダイビングの活動を模擬したタスクを行う実験を実施し、提案デバイスを用いた場合のコミュニケーションの相手やその意図の把握、コミュニケーションの容易さの点での有用性の評価を行った。本稿では、コミュニケーションの開始を伝える情報の提示と身振り手振りによる意図の伝達を組み合わせることで、コミュニケーションの相手やその意図を把握しやすくなり、コミュニケーションの容易さが向上する可能性を示した。

1. はじめに

スキューバダイビングとは、潜水用水中呼吸装置を装着し水中で活動することであり、水中での作業、またスポーツやレジャーとして取り組まれている。ダイビングは安全性を高めるために2人一組で互いに常に近くでダイビングをするバディ・システムが導入されており、一人で水中に潜ることはない。またレジャーとしてのダイビングでは、インストラクターの指示に従い複数の人が同時に水中に潜り活動する機会が多い。そのためダイバー同士の水中でのコミュニケーションは安全面や娯楽面からの観点で必要不可欠である。

これに対し、水中での安全確保やコミュニケーションを支援するための研究がある。例えば海道らの研究では、水中での電波減衰を利用し、はぐれたダイバーを検出する手法を提案している[1]。また小林らの研究では、水中では電波は減衰するが可視光の減衰は小さいことに着目し、可視光通信を利用したトランシーバモジュールを試作している[2]。その結果、10mの距離の音声通信ができる見通しを示している。またダイビングではレギュレータと呼ばれる水中で呼吸するための機材を啜っている為、発話によるコミュニケーションが困難であるが、土井らはレギュレータを啜った状態の発話音声を自動音声認識技術で認識し合成音声を出力する手法を提案した[3]。これらの研究は水中での情報機器を用いたコミュニケーションのために必須となる通信手段の確立に焦点を当てた取り組みであり、水中でコミュニケーションを行うための技術については確立しつつある。しかし、水中での円滑なコミュニケーション支援を目的として、コミュニケーションツールの提案と効果検証を行っている取り組みは少ない。

そこで本研究では複数人がダイビングをしている状況を対象とし、水中でのコミュニケーションの取りやすさを向上させることを目的とした支援デバイスを提案する。現状、実際のダイビングで用いられているコミュニケーション手段として、ハンドサインや磁力を用いたお絵描きボード、水中で利用できるトランシーバなどが存在する[4]。しかし、これらのツールを用いたコミュニケーションではダイバー同士が近くにいる場合のみしか互いの合図を確認できないことや、正しく利用するために事前に練習が必要であるなどのいくつかの問題がある。本研究では、これらの問題を解決し、ダイバー同士が離れた位置にいても互いの意図を容易に理解できるコミュニケーション支援デバイスを提案する。現状のダイビングの現場ではハンドサインなど視覚情報を用いたコミュニケーションが行われていることから、音声は用いずに視覚情報を用いたコミュニケーション方法に焦点を当てる。提案手法は腕時計型端末で動作するアプリケーションであり、振動による通知や複数人の間で視覚的な画像情報をやり取りすることで互いの意図の伝達が可能である。本研究では、ダイビングの活動を模擬したタスクを行う実験を実施し、提案デバイスの活用が、相手の意図の把握や容易なコミュニケーションを実現しえるかという点での有用性の評価を行う。

2. 提案デバイス

2.1 提案デバイスの設計方針

本研究ではスマートウォッチのアプリケーションとして支援デバイスを提案する。ダイビング用途に、ダイビングコンピュータと呼ばれる腕時計型の機器が市販されており、潜水時に腕時計型機器を着用することは一般的に行われる。提案するシステムでは、スマートウォッチのアプリを介して複数人で意図を伝達するアイコンをやり取りする仕組みを設け、視覚的に意図の伝達を補充することで、コミュニケーション支援を実現する。

†1 立命館大学大学院 情報理工学研究科

†2 立命館大学グローバル・イノベーション研究機構

†3 立命館大学 情報理工学部

コミュニケーション支援デバイスを検討するにあたり、ダイビングで活用されており、視覚情報をやりとりするコミュニケーションの形態であるハンドサインを参考に。ハンドサインとは、手や指、腕の動きによるジェスチャーによって他者にメッセージを伝える方法であり、身体以外のものを必要とせず簡単に素早く行うことができる。ハンドサインによるコミュニケーションの利点は次の通りである。

- 素早く、簡単に行える。
- サインの動作は一目で理解できる。

一方、ハンドサインによるコミュニケーションの欠点は次の通りである。

- 相手はサインを視認しなければならず、コミュニケーションの開始に合図が必要。
- サインの意味を理解するために事前知識が必要
- 移動中にサインの提示や確認をしづらい。

本研究では上記の利点と欠点をシステムに必要な要件として置き換え、水中でもダイバー同士が互いの意図を容易に理解できるスマートウォッチ用アプリケーションのインターフェースを検討した。設計の要件を以下に示す。

- やりとりするメッセージの内容を限定し、予め設定されたメッセージのみをやりとりする。
- 素早く簡単にメッセージを送れるよう必要な操作数は最小限のメッセージの選択と送信のみとする。
- 水中での活動中であっても操作可能とするため、操作はタップのみにする。
- 事前学習をせずともメッセージの内容を理解でき、かつ水中での視認性を高めるために、メッセージの内容を表す GIF 画像と文字を表示する。
- メッセージの受信時にはバイブレーションで通知し、コミュニケーションの開始の合図とする。

2.2 プロトタイプシステム

前節で述べた設計方針に従いプロトタイプシステムを構築した。アプリは選択画面、送信画面、受信画面の3つの画面で構成されている。それぞれの画面設計を図1に示す。選択画面では送信したいメッセージをプルダウン式の選択肢の中から選択する。選択後、決定ボタンをタップすると選択したメッセージの送信画面へ遷移する。送信画面では選択したメッセージの GIF とその意味を表す単語が表示されており、送信ボタンをタップすることで送信者を含むすべてのダイビング参加者にメッセージが送信される。送信画面で戻るボタンをタップすると選択画面へ遷移する。

メッセージを受信するとバイブレーションが鳴るとともに、自動的に受信画面へ遷移する。受信画面のメッセージには送信者の番号と対応する背景色が表示される。背景色は各参加者に予め割り当てられた色であり、水中で色が減衰した際でも見分けが付きやすい色を設定した。受信画面で戻るボタンをタップすると選択画面へ戻る。

送信できるメッセージは全部で8種類あり、図2にすべ

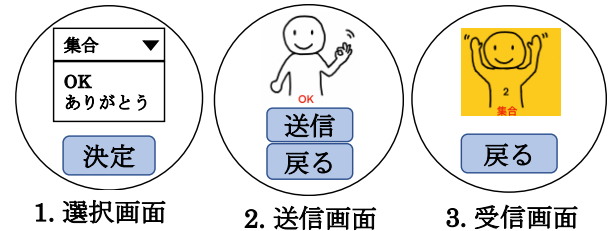


図1 アプリケーション画面の構成



図2 メッセージの種類

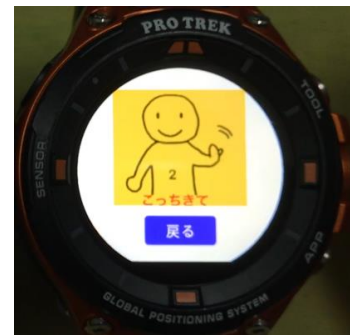


図3 スマートウォッチでの画面例

でのメッセージと GIF を示す。これらのメッセージは良く用いられるハンドサインや、ダイビング活動中に必ず使用する（「集合」など）、または使用する機会が多いと考えられる内容（「OK」など）を列挙し、その中から選出した。図3はスマートウォッチでプロトタイプシステムを動作させた場合の画面例である。

3. 実験内容

本実験では、コミュニケーションの相手やその意図の把握、コミュニケーションの容易さの点で、提案システムの有用性を評価する。

3.1 実験概要

本実験では、地上環境においてダイビング時に起こるコミュニケーション上の制約を再現した状態で実験を実施する。地上環境は水中環境と比較して安定した通信環境が担保されており環境の状況の統制が可能である。したがって、実環境での実証実験に先立って、地上環境で提案コンセプトの可能性を検討することで、以降の設計に向けた知見を提供し得ると考えられる。

この実験では実験協力者に、ダイビング活動の一つである水中での写真撮影を模擬したタスクを依頼した。4人組の実験協力者に教室内を巡回してもらい、隠された魚や風景の写真を撮影しながら、定められた時間内にゴールするタスクである。各組、コミュニケーション手段をハンドサインとジェスチャのみと制限した場合と、提案デバイスのみを用いる場合の2回でタスクを行ってもらい、各実験後にコミュニケーションの容易さや相手の意図の把握のしやすさについてアンケートに回答してもらおう。また提案デバイスの体験回の終了後に操作性に関するアンケートにも回答してもらおう。さらにダイビングの経験やコミュニケーションをどのような場でとろうとしたのかなどについて補足のインタビューで尋ねる。

3.2 実験タスク

本実験ではダイビング活動の一つである水中での写真撮影を模擬したタスクを行う。本来のダイビングでは、船上から参加者が順番に海中に潜り、海中の中で一度集合する。そこから生物がいるポイントをめぐり、ポイントでは各自で泳いで気に入った生物の写真を撮影する。酸素の残量が誰か一人でも少なくなると、船の下へ泳いで戻り浮上する。本実験はこの流れを室内で模擬して行う。

見通しの良い教室内にスタートとゴールが設定されており、机と椅子を用いて空間が区切られている。スタートとゴールは船を、仕切られた室内は海中の地形を再現している。本実験で用いた室内の見取り図を図4に示す。室内の机の上に画用紙が32枚置かれており、このうちいくつかの画用紙の裏に魚や水中の風景の写真が貼られている。実験協力者は各自スマートフォンを用いて用意された魚や風景の写真を撮影する。また実際のダイビングでは珍しい生物や美しい景色に出会った場合に、それを他の参加者に伝えようとコミュニケーションをとる。同様の状況を実験環境で再現するため、各写真に得点を割り当て、協力者は写真を撮影することでその得点を獲得する。また、協力者が一人で撮影することで得点を得ることができる写真と、参加者全員がそろわないと撮影しても得点を獲得できない写真を設ける。これはダイビングの写真撮影において他者を被写体として撮影する場合を再現したものである。表1に本実験で設けた得点ごとの枚数と、得点を獲得する条件をまとめる。この条件下で、協力者には協力者内の最低得点が高くなるように協力してタスクを行うよう依頼する。

また本タスクでは、制限時間内に4人そろってゴールする必要がある。これは酸素ボンベの残量と、浮上の条件を再現している。制限時間は最低2分、最大4分の時間の中から協力者ごとに異なる時間を設定する。酸素ボンベは空気の初期容量やダイビング中の消費空気が各自で異なることから、制限時間を協力者ごとに異なる時間に設定した。なお、実験中に制限時間までの正確な時間を他の参加者に伝えられないよう依頼した。

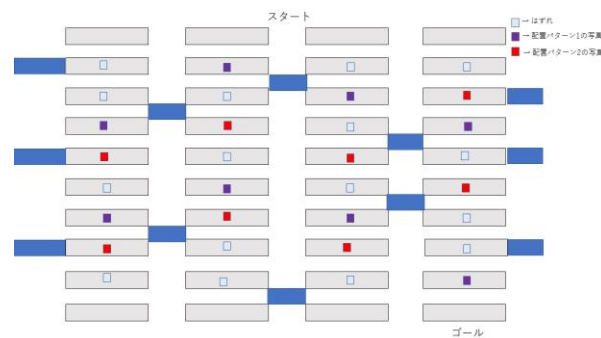


図4 実験を行った室内の見取り図。灰色が机、青が椅子で通行できないよう区切られた箇所。

表1 実験で設けた写真に付与した得点とその枚数

得点	枚数	同時撮影の条件
5点	2枚	一人
10点	2枚	一人
30点	1枚	一人
60点	1枚	一人
100点	2枚	全員

3.3 実験手順

実験協力者に実験内容と流れについて説明をし、実験参加の同意を得た。本実験では互いに知り合いの参加者とそうでない参加者が同一グループに含まれるような場合もあったため、実験中にコミュニケーションを取りやすくするために、同意書への記入依頼後に、簡単なゲームを伴う3分間のアイスブレイクを設けた。

タスク内容について説明をした後、実験で行ってもらったタスクの流れを理解してもらうため、口頭でのコミュニケーションに制約を設けない形で練習タスクを行ってもらった。その後、ハンドサインとジェスチャのみを用いる場合（ハンドサイン条件）と提案デバイスのみを用いる場合（提案条件）で2回、実験タスクを行ってもらった。各タスク実施前に、ハンドサインの例と提案デバイスの使用方法についての説明をした。順序効果を考慮し、これらの実施順序はグループごとに入れ替え実施順を全体でバランスをとる。いずれの条件においても、発話は一切せずにタスクに取り組むように依頼した。ハンドサイン条件では正確なハンドサインを参加者が実験時に習得することは難しいと判断し、サインの内容と動作は定めなかった。つまりこの条件では協力者が自由に身振り手振りでコミュニケーションをとることとなる。

それぞれの実験終了後、コミュニケーションのしやすさや相手の意図の把握などに関するアンケートに回答してもらい、実験時のタスクで撮影した写真の点数の集計を行う。すべての実験終了後、ダイビング経験やコミュニケーションの負担などについて実験時の4人グループごとにインタビューを行い尋ねた。

4. 実験結果

4.1 アンケート結果

実験は4人一組で6グループの計24人に行った。表2に各タスク終了後に回答を依頼するコミュニケーションの容易さに関するアンケートの項目(5件法による回答で5が最も肯定的)を示す。表2の項目1と2はコミュニケーション行動の容易さ、項目3と4は自分からコミュニケーションを取る場合、項目5と6は相手からのメッセージを受け取る場合について尋ねている。図5はアンケートへの回答結果の箱ひげ図である。質問6以外の項目において提案条件よりもハンドサイン条件の評価の平均値は高い結果となった。ハンドサイン条件と提案条件の結果に対して5%水準のt検定を行ったところ質問1では有意差がみられたが、その他の質問項目では有意差はみられなかった。

表3に提案条件の実験後に回答を依頼するインタフェースについてのアンケートの項目と回答結果を示す。ツールを用いたコミュニケーションの楽しさを尋ねた項目4では肯定的な回答が多く、項目5についても評価は高かった。しかしツールの操作性や見やすさを尋ねた項目1と2では平均値が3.87にとどまっており、ダイビングの活動で有用と思うかを尋ねた項目3では肯定的な回答が多くはなかった。

4.2 考察

本実験の結果について考察する。コミュニケーションの容易さや相手の意図の把握のしやすさのアンケートの結果において、質問1「他の参加者とのコミュニケーションをスムーズに行うことができた」の結果で提案条件よりハンドサイン条件の方が評価は高く、有意な差がみられた。この結果からコミュニケーションのスムーズさにおいて提案デバイスよりもハンドサインの方が優位であるといえる。実験後のインタビューではデバイスの画面が小さくて操作がしづらく、ハンドサインに比べ送信までの操作数を多く感じたという意見があり、操作性の点でこのような結果になったと考える。

質問6「他の参加者が何かを伝えようとしているとき、

表2 コミュニケーションに関するアンケートの質問項目 (5件法による回答)

項目	質問
1	他の参加者とのコミュニケーションをスムーズに行うことができた
2	他の参加者とコミュニケーションをとることは容易だった
3	自分から他の参加者に何かを伝えようとしたとき、自分の意図を表現しやすかった
4	自分から他の参加者に何かを伝えようとしたとき、自分の意図が他者に伝わったと感じた
5	他の参加者が何かを伝えようとしているとき、それが誰であるかが把握しやすかった
6	他の参加者が何かを伝えようとしているとき、相手の意図がすぐにわかった

表3 インタフェースに関するアンケートの質問項目とアンケートの回答の平均値 (5件法による回答)

項目	質問	平均値
1	実験で用いたコミュニケーションツールの操作は容易だった	3.87
2	実験で用いたコミュニケーションツールの画面は見やすかった	3.87
3	実験で用いたコミュニケーションツールは実際のダイビングの活動の場で有用であると思う	3.41
4	今回の実験で、本ツールを用いたコミュニケーションは楽しかった	4.33
5	本実験で用いたコミュニケーションツールは水中でも使えると思う	4.08

相手の意図がすぐにわかった」の結果ではハンドサイン条件よりも提案条件の方が評価は高かったが、有意な差はなかった。評価が提案条件の方が高くなった理由として、提示されるメッセージに絵文字とその意味が言葉で表現されているため具体性があり、意図を理解しやすかったことが考えられる。

質問2, 3, 4, 5では提案条件よりハンドサイン条件の評価が高かったが、有意な差はなかった。3.3節で述べたように、ハンドサイン条件では自由にジェスチャを用いてよいこととした。つまり参加者は身振り手振りで他者に自身の

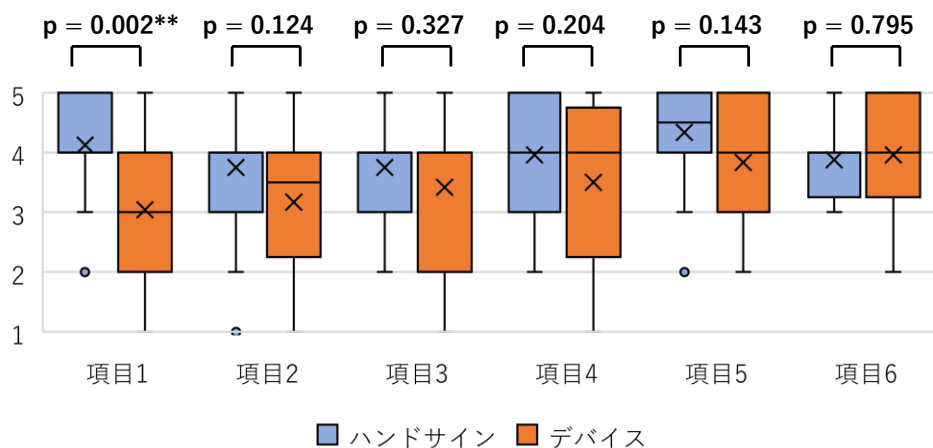


図5 コミュニケーションに関するアンケートの回答結果 (5件法による回答)

意図を表現できたため、自身の意図を表現することは容易であると評価されたと考えられる。また本実験では見通しの良い教室で実験をしており、実験者は常に互いを視認できる状況にある。そのため、ハンドサインを提示している他者の確認や、自身が発したメッセージを受け取ってくれたかを視線や身振りなどで確認することができた。このような実験設計や環境が、ハンドサインを用いたコミュニケーション全体のスムーズさや容易さの印象を高める結果につながっていると考えられる。そのため、実際のダイビング環境のように、他の参加者がどこにいるのかがわからず、相手を視覚的に確認しづらい場合には本実験とは異なる結果が得られる可能性がある。

一方、インタビューで尋ねた「どちらの方法が相手のコミュニケーションに気づきやすかったですか？」の返答に関してすべてのグループで「バイブレーション機能で気づきやすかった」という返答を得た。つまり、ハンドサインの欠点である「コミュニケーションの開始に合図が必要」という点を補い、コミュニケーションを容易にするためにはコミュニケーションの開始を伝える刺激を提示することは有用である可能性がある。

5. 追加実験

5.1 実験目的と内容

本実験の結果からコミュニケーションの開始を伝える刺激を提示することは有用である可能性と、他者の姿を比較的簡単に確認できる場合にはハンドサインのような身振り手振りによるコミュニケーションが有用である可能性が示された。そこでハンドサインによるコミュニケーションにコミュニケーションの開始を伝える刺激を加えることで、他者の意図の把握やコミュニケーションがしやすくなる可能性がある。

この可能性を検証するために、スマートウォッチを用いて他者に対してコミュニケーションの開始を伝える機能を実装し、ハンドサインと併用して用いてやり取りをするパターンを対象とした追加実験を行った。追加実験は本実験に参加した実験協力者のうち、3グループの計12人に再度協力いただき、本実験に参加経験のある実験協力者、同じグループを対象とした。追加実験では上記のパターンについてのみ、3節の実験と同様の手順で実施した。

5.2 追加実験でのデバイス

追加実験ではハンドサインによるコミュニケーションの開始を他の参加者に通知できるデバイスを作成し、使用した。デバイスの画面例を図6に示す。画面構成は送信画面と受信画面の二つのみで、送信画面で送るボタンをタップすると、自分を含めたすべての参加者にメッセージが送信される。メッセージを受信するとバイブレーションが鳴るとともに、自動で受信画面へ遷移する。メッセージには送信者の番号と対応する背景色が表示される。戻るボタンを



図6 追加実験で使用したアプリケーション画面
タップすると選択画面に遷移する。

5.3 実験結果

収集したアンケートデータ、インタビュー結果を、4節の本実験で収集したデータと比較し、改良手法の可能性を検証した。図7に本実験におけるハンドサイン条件でのアンケート結果と、追加実験で取得したデバイスの通知を伴いながらハンドサインによるコミュニケーションを行った場合（通知+ハンドサイン条件）におけるアンケート結果を比較して示す。質問1, 2, 6ではハンドサイン条件より通知+ハンドサイン条件の方が評価は高い結果となった。ただし、4節で示したハンドサイン条件の結果と通知+ハンドサイン条件の結果に対して5%水準のt検定を行ったが、すべての項目で有意な差はみられなかった。また、質問3「自分から他の参加者に何かを伝えようとしたとき、自分の意図を表現しやすかった」、質問4「自分から他の参加者に何かを伝えようとしたとき、自分の意図が他者に伝わったと感じた」において、通知+ハンドサイン条件よりハンドサイン条件のほうが評価は高い結果となった。ただし、質問1, 2, 6ではハンドサイン条件より通知+ハンドサイン条件の方が評価は高い結果となった。

インタビューではすべてのグループで本実験でのデバイスのみのコミュニケーションよりも負担が少なくなり、ハンドサインのみよりも相手からのコミュニケーション開始のリクエストに気づきやすかったという返答を得られた。

5.4 追加実験の考察

追加実験の結果について考察する。コミュニケーションの容易さや他者からのメッセージの意図の把握について尋ねた質問1, 2, 5, 6では、通知+ハンドサイン条件の結果は本実験の提案条件を用いた場合に比べすべて高い評価となった。また通知+ハンドサイン条件での結果はハンドサイン条件での結果と比較してその平均値の差は有意ではなかったものの、平均値は同じもしくは高い評価であった。追加実験での主なコミュニケーション手段はハンドサインとジェスチャであり、デバイスを用いて開始の合図を補った。この結果は、通知のみのデバイスを用いることでタスクに注力している実験協力者が他者に注意を移すべきタイミングと注意の対象がわかりやすくなり、かつ伝えたい内

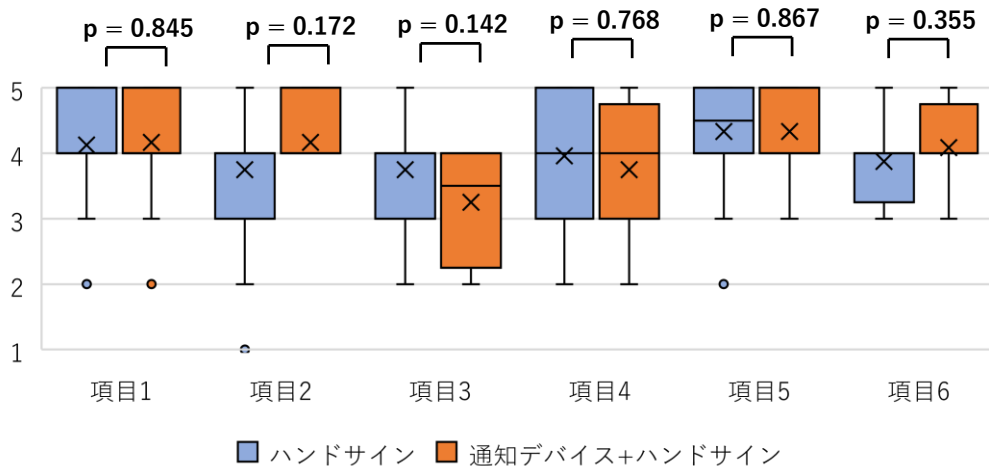


図7 追加実験のコミュニケーションに関するアンケートの回答結果（5件法による回答）

容については身振り手振りで直感的に伝えることができたためであると考えられる。

一方、自身の意図の表現やそれが他者に伝わった実感に関する質問項目（質問3、質問4）では、通知+ハンドサイン条件よりハンドサイン条件のほうが評価は高くなった。ただし、有意な差はみられなかった。追加実験の参加者はすべて本実験に参加し2節で述べた提案デバイスを使用した経験のある参加者である。インタビューでは、通知のみのデバイスの方が使い勝手は良いが、通知以外の情報がないため意図を具体的に伝えることができる、本実験の提案デバイスの方が良いという意見を得た。このように、自身の意図の表現に関する項目については、本実験で提案デバイスを使用し具体的にメッセージを指定していた経験から、通知のみのデバイスに対する評価が低くなったと考えられる。

以上の結果から、通知のみのデバイスを用いることでデバイスの操作感の改善によるコミュニケーションの負担の低下やコミュニケーションへの気づきやすさが向上し、コミュニケーションが取りやすくなる可能性が示唆された。つまり他者の姿を比較的簡単に確認できる状況下においては、コミュニケーションの開始を伝える情報の提示と身振り手振りによる意図の伝達を組み合わせることで、コミュニケーションの相手やその意図を把握しやすくなり、コミュニケーションの容易さが向上する可能性が示された。

6. 結論

本研究ではダイビング中のコミュニケーションを支援するデバイスを提案、試作した。ダイビング環境を模擬したタスクでハンドサインと提案デバイスで比較実験を行い、コミュニケーションの容易さや、相手や意図の把握の点で評価した。その結果、ハンドサインはコミュニケーションのスムーズさの点で提案デバイスより優位であり、提案デバイスは画面サイズによる操作性の低下などが影響しハンドサインに比べ肯定的な評価は得られなかった。しかしコ

ミュネーションの開始に関する通知について有用であるという意見を得たことから、通知のみを行うデバイスを作成し追加実験を行った。その結果、コミュニケーションの開始を伝える情報の提示と身振り手振りによる意図の伝達を組み合わせることで、コミュニケーションの相手やその意図を把握しやすくなり、コミュニケーションの容易さが向上する可能性が示された。

今回の実験ではダイビングの環境を地上で模擬し実験を行ったが、他者の姿を比較的簡単に確認できる状況であり、水の抵抗力もなく身振り手振りがしやすい環境であった。そのため水中で実験を行うと本稿とは異なる結果が得られる可能性があり、実環境での検証を行うことが今後の課題である。また3節で示した、あらかじめ用意したメッセージの内容が評価に影響をした可能性もある為、用意するメッセージ内容を精査することも今後の課題である。

参考文献

- [1] 海道真哉, 高見一正: 水中での超音波帯域を用いたマルチキャスト通信によるはぐれダイバー検出法, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2016 論文集, pp.645-651 (2016).
- [2] 小村優稀, 中島広一郎, 小出翔也, 佐藤昌輝, 前田幹夫: ダイバー間のハンズフリーな会話を旨とした可視光通信システムの検討—自動光対向機能を備えた光トランシーバーモジュールの試作—, 映像情報メディア学会技術報告, vol.41, no.39, pp.49-54 (2017).
- [3] 土田修平, 大西鮎美, 寺田努, 塚本昌彦, 滝口哲也: ダイバー同士の水中会話を支援するための深層学習を用いた音声認識手法, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2021 論文集, pp.317-324 (2021).
- [4] “カシオロゴシーズ, “<https://logosease.yamagata-casio.co.jp/product/>” (参照 2022-8-31).