

# 遠隔でのチーム開発における作業者の視線による集中度合いの予測とアウェアネス支援

湯浅 健太<sup>1</sup> 高田 秀志<sup>2</sup>

**概要：**現在のシステム開発において、システムの大規模化に伴いチームで開発することが一般的となっている。チーム開発は、複数人での作業でありながら個人の作業に集中することが多く協調性が低い。また、近年はリモートワークが普及したことにより、他の作業者の様子がわからなくなり、気軽に話しかけることや質問することが難しくなった。そこで、PCのWebカメラで作業中の顔を撮影し、顔の向きと視線の動きから集中しているか、集中していないか判別し、その結果を他の作業者に通知することを考える。本研究では、視線と集中度の関連を調査するための実験を行った。実験の結果から、短時間での作業では視線と集中度の関連は見られなかったが、長時間での作業では、視線と集中度に関連が見られた。

**キーワード：**協調作業、チーム開発、通知、アウェアネス

## Prediction of Concentration and Awareness Support by Worker's Eye Gaze in Remote Team Development

**Abstract:** In today's system development, it is common for systems to be developed in teams as they become larger in scale. Team development is a multi-person process, but often performed as individual work lacking cooperation. In addition, with the popularity of remote work in recent years, it has become more difficult to talk to or ask questions casually, as it is more difficult to see what other workers are doing. Hence, we propose to use a Web camera on the PC to capture the face of the worker at work to determine whether the worker is concentrating or not based on the direction of the face and eye movement, and notify the other workers of the results. In this study, we conducted an experiment to investigate the relationship between eye gaze and concentration.

**Keywords:** collaborative work, team development, notification, awareness

### 1. はじめに

近年、システムの大規模化に伴い、チームでの開発が主流となっている。しかし、プログラミングの作業特性上、個人での作業に注力してしまうことが多く、チーム開発は他の協調作業と比較すると他の作業者との相互作用が少ない。また、リモートワークが普及したことにより、直接顔を合わせる機会も減少し、さらに相互作用が失われている。

リモートワークでのチーム開発では、コミュニケーション

ンツールとしてテキストベースのアプリケーションや通話やオンライン会議ツールを用いていることが多い。テキストベースのコミュニケーションでは、姿勢や動作といった相手の様子を把握することができないため、メッセージの送信に躊躇することがある。また、テキストベースのコミュニケーションだけでは、情報の共有にタイムラグが生じるため、問題の解決に一層時間がかかってしまうことがある。一方、通話やオンライン会議ツールを用いてのコミュニケーションでは、対面と同じように相手の様子を見て会話することが可能であるため、対面でのチーム開発に近い環境を再現することが可能である。しかし、カメラを常に起動する必要があるため、常に監視されている感覚になり、カメラを常にオンにすることにに対して抵抗感を感じ

<sup>1</sup> 立命館大学大学院情報理工学研究科  
Graduate School of Information Science and Engineering,  
Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

<sup>2</sup> 立命館大学情報理工学部  
College of Information Science and Engineering, Rit-  
sumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

る人も多く存在する。

そこで、テキストベースでの情報共有の煩雑さや適切なメッセージ送信タイミングがわかりにくいといった課題を解決するため、作業者の視線を取得し集中度を予測した上で、その予測結果を他の作業者に通知によって共有することで、コミュニケーションを取りやすいタイミングを示すことを考える。また、この通知によって、作業を中断させ作業効率を低下させてしまうことを防ぐため、通知を受け取るタイミングの制御も作業者の視線から予測した集中度を用いて行う。

本研究では、遠隔でのチーム開発における作業者の視線の動きを取得し、協調作業においても視線から集中度を予測できるか調査を行う。また、作業者の視線の動きとコミュニケーションをとるタイミングや作業内容の関連を分析することで、適切な通知タイミングの調査を行う。

## 2. 関連研究

### 2.1 集中度の定量化

視線から集中度を定量的に測定する手法として、マイクロサッケードを観測することで視覚的注意の定量的観測の可能性を示している [1]。マイクロサッケードとは、目標に対し視線を固定している際の眼球運動のうち、高速で飛躍的な運動である。マイクロサッケードは、非随意的運動であるがランダムな運動ではなく、注意を向けている方向によって運動の方向や頻度に影響を与える。そのため、視線の動きを観測し、マイクロサッケードの方向と発生頻度を用いることによって作業者の集中度合いを数値化することが可能であるといえる。

### 2.2 遠隔協調作業時の視線共有

遠隔での検索作業中に作業者が注目している箇所を可視化する手法としてヒートマップや円の描写および視線の軌跡を直線で示す方法がある [2]。検索作業の完了時間は、ヒートマップによる視線の可視化をおこなった場合に平均して遅くなっていた。これは、ヒートマップを表示することにより、オブジェクトが隠れ、見えづらくなってしまうことが原因として考えられる。一方で、ヒートマップ、円の描写、視線軌跡の直線といった視線の可視化によって共同作業者がオブジェクトを発見するまでにかかる時間を短縮することができていた。特に、視線軌跡を直線で可視化した場合に、オブジェクトを発見するまでの時間を短縮することができていた。視線の可視化によって、他の作業者がたどった視線を追跡することが可能になり、オブジェクトの場所についてのヒントを受け取ることができたと考えられる。しかし、常時可視化することによって作業者の気が散ってしまう可能性があることも示唆されている。

また、ペアプログラミング中のデバッグにおいて、注意を向けている箇所をハイライトすることにより、2人の作

業者が同じ箇所に注目している時間がハイライトなしの場合と比較して増加していた [3]。協調作業において、作業者が同時に同じことに取り組むほどより良い作業を行うことが可能であることがその他の関連研究でも示されている [4][5]。プログラミングにおけるタスク中に、他の作業者に関連するコードの場所や作業すべき箇所を共有する場面がよく発生する。このとき、該当の箇所を共有するための発話に関して、注意を向けている箇所がハイライトされているときには直時的な表現が増加した。一方で、具体的な単語を発する割合は減少した。このことから、視線を可視化した際には、特定の単語を使用せずに参照することが可能になる。

これらの先行研究から、協調作業での検索作業において視線を可視化することは、効率的な情報伝達に有効である。一方で、視線を可視化することによって作業の邪魔になってしまう可能性も存在する。本研究では、協調作業での視線の持つ情報の有用性に着目し、視線の可視化に代わる視線情報の伝達手段について検討を行う。

### 2.3 通知によるアウェアネス支援

遠隔での協調作業時には、テキストでのコミュニケーションが中心となるため、対面での協調作業時と比較するとアウェアネスが低下する。ここでのアウェアネスとは、共同作業者の行動や感情、他の作業者同士の関わりといった協調作業における他の作業者の状態全般を表すものとする。遠隔での作業時のアウェアネス支援の手法として通知による情報共有がある。リモートワークが導入された企業において、書類に押印されたと同時に送られる通知によって作業状況を共有することが提案されている [6]。この研究によって、遠隔での協調作業時に通知によって現在の作業状況や、勤務状況といった情報の共有を行うことは、現在の情報が共有されるストレス以上に作業の様子を共有することのメリットが上回る可能性が高いことが示された。しかし、この研究の手法によって共有されている情報は、随時カメラで作業中の状態を監視したり、具体的な作業内容や結果を共有したりするのではなく、押印するという行動が共有されていたため、心理的負荷が少なかったのではないかと考えられる。

### 2.4 通知が作業に与える影響

2.3 節で示した関連研究から、協調作業中の通知によるアウェアネス支援は作業者にとって有益である可能性が示された。一方で、通知によって作業が中断される可能性もある。この中断によって、通知が送られてくる前に取り組んでいたタスクについて作業者が忘れてしまう可能性がある。タスクパフォーマンスに悪影響を与えることがわかっている [7]。特に、文字の入力中や検索結果の評価中に短いメッセージを含む通知を受け取った際にパフォーマンスに

悪影響を与えていた [8]。そのため、協調作業中においても、アウェアネス支援のための通知を頻繁に送るとアウェアネスを得られることの利益よりも認知的負荷や作業が中断されることによる作業効率の低下の不利益が上回るため、適切なタイミングで通知を送る必要がある。

### 3. 調査実験

本研究では、各作業者の集中度予測と適切な通知タイミングの判別のため、チーム開発時における作業者の視線を観測した。同時に視線の動きと作業の関連を調査するため、作業中に交わされたメッセージの送信回数と内容を記録した。

#### 3.1 仮説

##### 3.1.1 視線の有用性

関連研究から、視線を可視化し共有することの有用性が示されたが、これは、作業者が他の作業者の視線から、作業の進捗や作業者の状態を読み取ることができるからであり、視線自体が持つ情報に有用性があるのではないかと考える。

##### 3.1.2 視線と集中度の関連

本研究では、適切な通知タイミングを判別するために作業に集中している状態と集中していない状態の二状態を仮定する。ここでの集中とは、作業中に受信したメッセージにすぐ対応できるかという点に着目している。

集中している状態では、一点を見つめているため視線に大きな変動がなく、作業を妨げられたくない状態であると想定している。このとき、通知音によって作業を妨げ、作業効率を落としてしまう可能性がある。本研究における集中している状態の例として、プログラムを書いているときやメッセージを書いているとき、プログラムの構成といった複雑なことを考えているときを想定している。集中していない状態では、視線が大きく動いており、画面端に表示される通知にも気づきやすく他の作業に移行しやすい状態であると考えている。想定している状態として、メッセージを読んでいるときやドキュメントを読んでいるとき、画面から目を逸らしているときなどがある。

これらの想定から、集中しているか、集中していないかといった作業者の状態の判別および通知を送る適切なタイミングを視線の動きを用いて判別を行うことが可能であると考える。

#### 3.2 視線の取得

本調査実験での視線は、コンピュータ画面のどの場所を見ているのかではなく、**図 1** に示した目の中心と **図 2** に示した黒目の中心の座標の差によって視線の動きを取得する。これは、目の位置や顔の動きに影響されない虹彩の動きのみを取得し、これを視線とするためである。

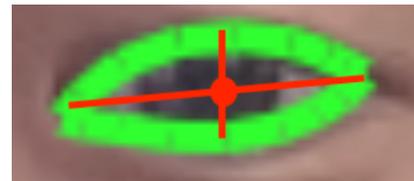


図 1 目の中心

Fig. 1 Center of the eye

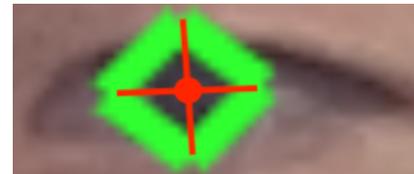


図 2 黒目の中心

Fig. 2 Center of the iris

黒目の中心は、**図 1** に示すように、虹彩の特徴点によってできる対角線の交点としている。目の中心についても **図 2** に示すように、目頭と目尻の特徴点同士を結ぶ直線と目の上下部分に位置する特徴点のうち中央に位置するもの同士を結ぶ直線の交点を目の中心として設定している。

#### 3.3 調査システム設計

チーム開発中の作業者の視線を取得するため、コンピュータに付属している Web カメラを用いて顔を撮影する Web アプリケーションを作成した。これによって取得した顔の画像に対して、Google によって提供されているオープンソースの ML ソリューションである MediaPipe の Face Mesh を用いて顔の特徴点を取得する。このアプリケーションでは、約 30fps 以上で特徴点を抽出することが可能であるが、データ送信量とデータベース容量の観点から 1 秒ごとにデータの取得と送信を行っている。このアプリケーションで取得した顔の特徴点情報は、作業者ごとに区別できる形式でデータベースに保存している。

#### 3.4 調査実験 1

##### 3.4.1 実験環境

本実験では、チーム開発の環境を再現するため 4 人一組でチームを構成し作業をおこなった。作業は、アプリケーションの完成を待たず 40 分で打ち切った。チームでのコミュニケーションツールは、オープンソースのセルフホスティング式チャットサービスである Mattermost[10] を用いている。今回のチーム開発には、Visual Studio Code を用いている。また、拡張機能である Live Share[11] を使用することによって同じ作業ディレクトリにアクセスし、共同で開発できるようにしている。

本実験は、遠隔でのチーム開発およびチャットベースでのコミュニケーションを想定しているため、互いの姿が見えないよう十分な距離を取り、音声や映像を見ないように

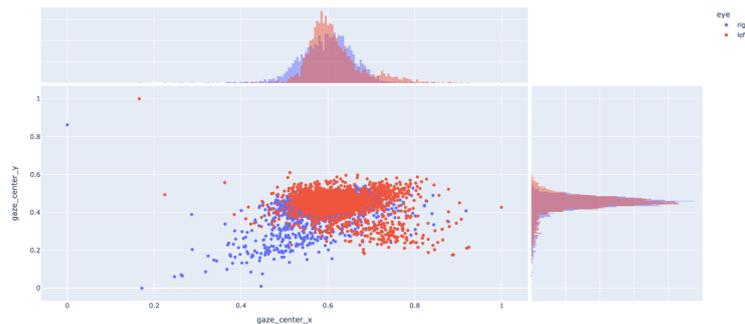


図 3 視線の分布

Fig. 3 Center of the eye

するため、Zoom や Google Meet のようなオンライン会議ツールの使用を制限した。

### 3.4.2 タスク内容

チーム開発で取り組むタスクとして、簡単なメモ帳アプリケーションの作成を設定している。メモ帳アプリケーションの構成として、テキストの入出力や表示レイアウトの制御を行うフロントエンドとフロントエンドから送られてくるテキストの整形やデータベースへの保存を行うバックエンドで構成される。

各チームには、フロントエンド担当とバックエンド担当をそれぞれ 2 人ずつ割り当て、作業を行う。本実験では、作業の過程で担当を変更することや人数配分を変更することに対して制限は設けていない。また、プログラムを作成する上で、インターネットを用いて検索することや作業仲間同士でプログラムを共有することに対しても制限していない。

## 3.5 調査実験 2

### 3.5.1 実験環境

長時間でのチーム開発中の視線を取得するため、遠隔でのチーム開発を 7 時間行い、そのうちの 2 時間でデータを取得した。ここでは、チームで行う、ポータルサイト開発での視線の動きを取得する。このポータルサイト開発では、決められた時間に簡易的なミーティングを行い、情報共有を行うため、テキストでのコミュニケーションの発生頻度は調査実験 1 よりも少ない。一方でタスクの難易度が高く、考える時間や調べる時間が増加する。タスクとしてポータルサイトの新規機能追加を行う。この新規機能追加の開発はフロントエンドの開発とバックエンドの開発を 1 人で担当している。

### 3.5.2 タスク内容

新規機能開発では、すでにサービスとして展開している顧客向けポータルサイトに新規サービスを展開するため、フロントエンドおよびバックエンドに新規機能の追加を行う。フロントエンドでは、表示レイアウトの調整やモダルの

表 1 横方向の視線の動き

Table 1 horizontal eye gaze movement

	右目平均	右目分散	左目平均	左目分散
被験者 1	0.494389	0.107166	0.598554	0.095320
被験者 2	—	—	—	—
被験者 3	0.597762	0.064464	0.615013	0.064273
被験者 4	0.446798	0.040914	0.429522	0.045988

追加等の開発を行う。バックエンドでは、新規テーブル作成やデータベース接続、フロントエンドへ送信するデータの整形等を行う。

## 4. 結果

3 節で述べた調査実験 1 を 20 代の情報系大学院生 4 人に対して行った。ただし、パソコンの設定ミスにより 1 名分のデータが十分に取得することができていなかったため、分析対象から除外している。

調査実験 2 は、調査実験 1 の予備実験として著者自身で行った。

### 4.1 視線の動き

#### 4.1.1 方向ごとの視線

縦方向の視線の動きについて表 1、横方向の視線の動きについて表 2 に示す。今回の作業において横方向の視線の動きの分散が縦方向の視線の動きの分散よりも大きくなっていることから、プログラミング中の視線は横方向にはよく動くが、縦方向には動かないことがわかる。プログラミング作業中では、プログラミングやインターネットでの調査といった行動が見られる。これらの作業では、文字を読むために左右に視線を動かすことが頻繁に起こるが、上下の視線の動きに関しては、視線を動かさず、ソースコードやインターネットの記事をスクロールすることで視線を動かさないようにしていると考えられる。

#### 4.1.2 視線の分布

今回の実験で取得した各作業者の視線の分布を図 3 に示す。このグラフ上部には x 座標についてのヒストグラムを

表 2 縦方向の視線の動き  
 Table 2 vertical eye gaze movement

	右目平均	右目分散	左目平均	左目分散
被験者 1	0.815214	0.065518	0.809273	0.058893
被験者 2	—	—	—	—
被験者 3	0.435064	0.062916	0.446959	0.054535
被験者 4	0.413592	0.051716	0.452620	0.052206

表 3 コミュニケーション概要  
 Table 3 abstract of communication

	メッセージ送信回数	リアクション回数
被験者 1	15	0
被験者 2	2	7
被験者 3	1	3
被験者 4	3	4
合計	21	14

右には y 座標についてのヒストグラムを示している。ここで示している値は、正規化処理を行った後の数値である。また、ここでは各作業者に同様の傾向が見られたため被験者一名のみの結果を示す。このヒストグラムからも視線は基本的に上下には動かさず、左右の移動が中心であることがわかる。

#### 4.1.3 視線の変動

被験者一名の視線の動きを図 4 に示す。このグラフは、1 秒前の視線の座標と現在の視線の座標の差を表している。06:30 付近や 06:50 付近に視線があまり動いていない時間が見られるがほとんどの時間で視線が動いていることがわかる。視線の動きと作業内容やメッセージでのやり取りのタイミングとの関連も確認できなかった。他の被験者についても視線が動いていない時間は異なるものの、ほとんどの時間で視線が動き続けており、視線の動きと作業内容やメッセージでのやり取りのタイミングとの関連は確認できなかった。そのため、調査実験 1 からは、視線の動きと集中度の関係性を見出すことはできなかった。

## 4.2 コミュニケーション内容

本実験中に行われたテキストベースでのコミュニケーションとして、図 5 のようなメッセージの送信とメッセージに対するリアクションがある。表 3 にメッセージが送信された回数とリアクションの回数を示す。コミュニケーションの内容として作業の進捗を問うものや動作検証についてのメッセージが中心であった。また、約 2 分につき一回メッセージが送信されていた。一回に送信されるメッセージも一文で送られることがほとんどであった。

## 4.3 視線の動きと集中度の関連

図 6 に調査実験 2 で取得した視線の動きを示す。times-tamp の 05:15 や 05:30, 05:45 から 06:15 までなどのよう

に大きく視線が動いている時間と 05:30 から 05:45 までのように視線があまり動いていない時間が存在する。視線が大きく動いている時間には、主にコードについての検索や、要件定義書を読むなどの情報収集をしていた。視線が動いていない時間には、プログラムを書いていた、プログラムの構造を考えたりと集中していることが多かった。

調査実験 2 の結果からは、集中している時と比較的集中していない時には視線の動き方が異なることがわかった。しかし、調査実験 1 では、図 6 のようにはっきりとした異なる視線の動きを確認することはできなかった。

## 4.4 考察

### 4.4.1 調査実験 1

調査実験 1 の結果からは、仮定していた集中しているときには視線が動かさず、集中していないときには視線が動くという、視線の動きと集中度に関連が見られなかった。この原因として、プログラミングのような集中を要すると想定していた作業中にも、作業を中断し、頻繁にメッセージでのやり取りがなされていたことと、タスク自体の難易度が低かったことが考えられる。また、メッセージ送信の頻度が約 2 分に 1 回であったことからプログラミングをしながらも常にメッセージに気を配っていたため作業に集中することができていなかった。作業時間についても 40 分に限定していたことから、一つの作業に集中する時間が短く、視線の動きに特徴が見られなかったと考えられる。

今回の実験では 1 秒ごとにデータを取得していたため、短時間でのタイピングや設計を考えている際の視線の動きを取得できていなかったと考えられる。そのため、視線を取得する間隔をより短くすることでより視線の動きを詳細に記録することが可能になり、今回確認できなかった視線と集中度や作業内容との関連を見つけることができる可能性がある。

### 4.4.2 調査実験 2

調査実験 2 では、メッセージでのコミュニケーションの頻度が調査実験 1 よりも低く作業自体に集中することが可能であったため、視線の動きと集中度に関連が見られた。また、コーディングや検索のような一つの作業に対してかけられる時間も十分に取ることが可能であったため、視線の動きに明確な差が現れたと考えられる。しかし、視線が動いているときの集中度が低かったとしても、作業が中断されることによって作業効率が低下する可能性もあるため、作業の切れ目を検出する必要がある。

### 4.4.3 作業と視線の関係

調査実験 1 と調査実験 2 を比較すると、調査実験 1 では、チームでのコミュニケーションに要する時間が多く、調査実験 2 では、個人での作業に要する時間が多かった。これらのことから、調査実験 1 のようにチームでのコミュニケーションが活発に行われている際には、視線が大きく

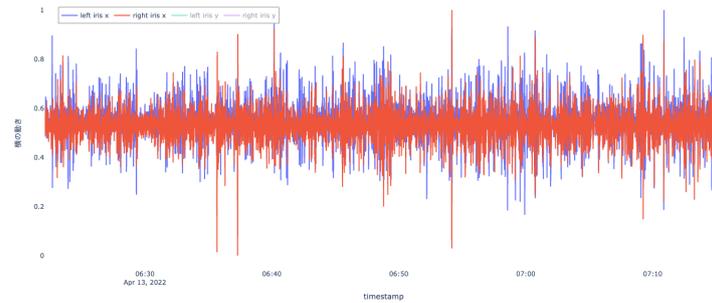


図 4 調査実験 1 中の視線の動き

Fig. 4 Movement of the eye gaze in experiment1

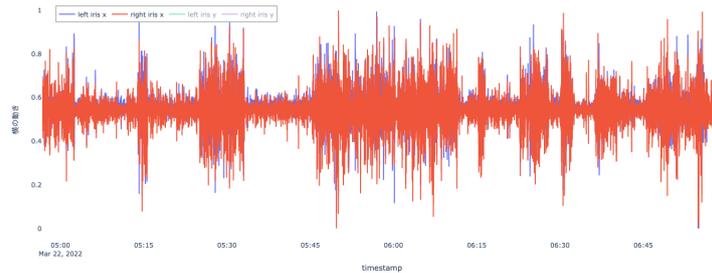


図 5 調査実験 2 中の視線の動き

Fig. 5 Movement of the eye gaze in experiment1

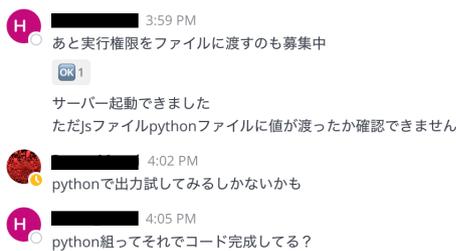


図 6 作業中のコミュニケーション

Fig. 6 communication in working

動き続け、調査実験 2 のように、チーム開発でありながら個人での作業度合いが高い場合には、視線が大きく変動する時間とあまり変動しない時間がはっきりする。

また、視線が大きく動いているときは、文章を読んでいる時が多いため、視線が大きく動いているタイミングを検知し、通知を送ることによってメッセージに気付きやすくなる可能性がある。しかし、通知によって、文章を読む作業が中断されることにより作業効率が低下することも懸念されるため、作業効率を低下させないためのより明確な通知タイミングを検出する必要がある。

## 5. おわりに

本研究では、遠隔でのチーム開発におけるアウェアネス支援を目的とした通知を送信するため、視線の動きから集中度を予測し適切なタイミングで通知を行うための調査実験を行った。長時間でのチーム開発では、集中度と視線の動きについて関連性が見られた一方で、短時間の作業では、

視線と集中度のはっきりとした関連は見られなかった。これは、視線の取得を 1 秒ごとに行ったためタイピング中のような集中して視線を一点集めるような行動が短い間に行われていた場合に視線の動きを取得することができていなかったことが考えられる。そのため、視線の取得する間隔をより速くする必要がある。

また、今回は視線の動き方のみによって集中しているかしていないかを判断したが、実際には、視線が動いているときにも集中している場合があることが考えられる。そのため、さらに状態を細分化し、より適切なタイミングで通知を送るため、視線情報に加えて、顔の向きや動きと集中度の関連分析を行う。

今後は、視線以外にも顔の動きを取得することによって、集中度の予測精度を向上させる。また、集中度の予測と同時に作業者の現在の作業内容も視線や顔の動きから予測することができるか調査を行う。さらに、この予測を用いて通知を生成し、遠隔でのチーム開発をアウェアネス支援の観点からサポートするシステムの構築を目指す。

## 参考文献

- [1] 小濱剛, 新開憲, 白井支朗: マイクロサッカードの解析に基づく視覚的注意の定量的測定の試み, 映像情報メディア学会誌, Vol. 52, No. 4, pp. 571-576 (1998).
- [2] D' Angelo, S. and Gergle, D.: An Eye For Design: *Gaze Visualizations for Remote Collaborative Work*, p. 1-12, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA (2018).
- [3] D' Angelo, S. and Begel, A.: *Improving Communication Between Pair Programmers Using Shared Gaze Aware-*

- ness, in Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI ' 17, p. 6245-6290, New York, NY, USA (2017), Association for Computing Machinery.
- [4] Adamczyk, P.D and Bailey, B.P.: *If Not Now, When?: The Effects of Interruption at Different Moments Within Task Execution*, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'04, pp.271-278, ACM(2004)
- [5] Bailey, B.P. and Konstan, J.A.: *On the need for attention-aware systems: Measuring effects of interruption on task performance, error rate, and affective state*, Computers in Human Behavior, Vol.22, No, pp.685-709 (2006)
- [6] 岡田光代, 塚越さく, 山内正人, 野尻梢, 砂原秀樹他: IoT 通知システムによるリモートチーム管理のためのウェアネス支援, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, Vol. 2018, pp. 1111-1115 (2018).
- [7] Cherubini, M., Nussli, M.-A. and Dillenbourg, P.: *Deixis and Gaze in Collaborative Work at a Distance (over a shared map): a Computational Model to Detect Misunderstandings*, pp. 173-180 (2008).
- [8] Wang, Y., Reimer, B., Dobres, J. and Mehler, B.: *The sensitivity of different methodologies for characterizing drivers' gaze concentration under increased cognitive demand*, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 26, pp. 227-237 (2014).
- [9] Google : Home-MediaPipe, 入手先 (<https://google.github.io/mediapipe/>) (参照 2007-04-05).
- [10] Mattermost : Mattermost — Open Source Collaboration for Developers, 入手先 (<https://mattermost.com>) (参照 2022-04-12).
- [11] Microsoft : Visual Studio Live Share, 入手先 (<https://visualstudio.microsoft.com/ja/services/live-share/>) (参照 2007-04-05).