

# 作業者視点の連続撮影映像を活用した 作業記録自動生成システムの提案

後藤 充裕<sup>1,a)</sup> 錦織 達也<sup>1</sup> 森脇 康介<sup>1</sup> 中村 浩司<sup>1</sup> 木全 英明<sup>1</sup>

**概要：**近年、データセンタ内での情報システムの保守運用作業において、問題発生時の復元作業や再発防止策の検討といった適切なトラブル対応を目的として、作業と並行して作業状況を仔細に記録することが求められている。その方法の一つとしてビデオカメラを用いた作業状況の連続撮影が挙げられるが、記録された長時間の映像から必要な映像シーンだけを見つけ出すには大きな手間を要することから、作業後に映像を十分に活用できないという課題がある。そこで本研究では、グラス型ウェアラブルデバイスやスマートフォンのようなスマートデバイスのカメラで撮影した作業者視点の映像を想定して、映像から作業中のシーンを自動検出し、対象のシーンのみを簡単に再生することができる作業記録自動生成システムを開発した。

**キーワード：**作業支援、作業記録、ウェアラブルデバイス、映像分析、グラスデバイス

## 1. 序論

近年、タブレット端末やグラス型ウェアラブルデバイスなどのスマートデバイスが普及する中、ICT化を進める企業ではこれらデバイスを業務シーンで利用する動きが進んでいる。例えば、タブレット端末の薄型軽量かつ大量の電子ドキュメントを保持できるという特性を活かして、データセンタ内のサーバールームなどの現場での紙媒体の作業手順書を置き換えて作業効率化を図る [1] やグラス型ウェアラブルデバイスのカメラを利用して、現場での大量の固定資産や備品の現況確認作業を効率化する [2] などがある。

このような世の中の動きもあり、データセンタ内での情報システムの保守運用作業を対象として、スマートデバイスを活用した作業効率化も求められるようになった。一般に情報システムの保守運用作業では、事前に作成された紙の作業手順書に基づいて作業工程を進めていくが、1つの作業工程は「新しいサーバの設置や既存機器の設定変更などの機器操作作業→その開始・完了時刻や作業状況などを作業ログとして作業手順書に記述」と定められている。そして、作業者は、手順書内の全ての作業工程を終えるまでに、これら作業と作業ログの記述を行う必要があるが、作業への集中力が維持できず、作業ミスの発生要因となる。また、記述された作業ログは、保守運用作業後にシステム障

害などのトラブルが発生した場合の復旧作業に用いられることが多い。復旧作業では、手順書の作業記録をさかのぼりながら、システムが正常動作する状態まで設定等を戻していく。しかしながら、作業者に状況を記述させる場合、作業ログ内容が作業者の記述能力に依存するため、システム復元に必要な情報が網羅的にログに残らないという問題が発生する。加えて、作業者が「作業→作業ログの記述」という本来定められている作業工程を無視して、「作業1→作業2→作業1のログを記述→作業2のログを記述」といった形に作業を進めてしまった場合に、作業直後にログを記述していないため、細部を忘失するなどしてその記述内容の正確さが低下する可能性が懸念され、トラブル原因を発見するのが難しくなる。

このように、作業者自身に作業状況を記述させる方法では、作業者が効率的に作業を進められなかったり、不適切な作業を行なったことをチェックすることが出来ない。そこで、本研究では作業状況を作業者自身に記述させるのではなく、作業者に携帯させたカメラにより作業状況を撮影し、その映像を作業ログとして活用するシステムを提案する。なお、作業状況を撮影する際に、作業者への記録作業の負担を軽減するため、作業工程毎にカメラの録画・停止操作を作業者に要求せず、保守運用作業開始時に合わせて録画を開始し、全ての作業工程が終わるまで作業状況を連続撮影することを想定している。また、連続撮影した長時間の映像をそのまま用いてしまうと、復元作業に必要な任意の作業状況の映像シーンを見つけ出すことが困難にな

<sup>1</sup> NTTコムウェア株式会社 品質生産性技術本部 研究開発部  
NTT COMARE CORPORATION Research and Development Department

<sup>a)</sup> gotou.mitsuhiro@nttcom.co.jp

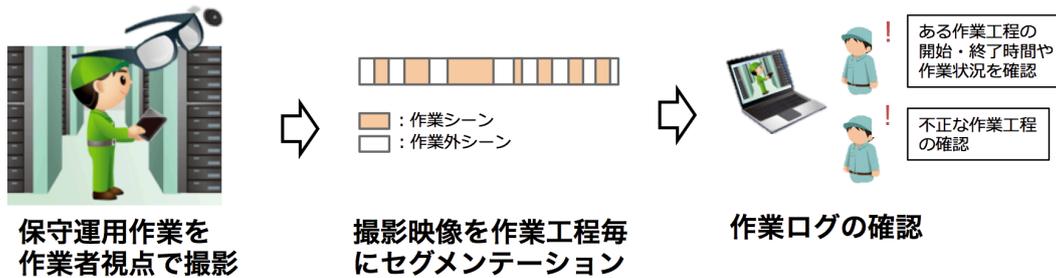


図 1 提案システムによる保守運用作業の流れ

る。本研究で提案するシステムでは、映像を分析し、作業中か作業以外かを判定し、作業中の映像区間のみを簡単に再生可能にすることで、この問題を解決する。本システムにより、作業員は作業ログの記述を行わずに本来行うべき作業のみ集中できるため、作業ミスを減らしたり、システム復元に必要な情報を映像中から短時間で見つけることにより、作業効率化が期待できる(図 1)。

本稿では、2 章で関連研究、3 章で提案システムにおける作業ログ記録、4 章で提案システム、5 章で評価実験、最後にまとめと課題を示す。

## 2. 関連研究

カメラを用いて作業状況を撮影し、その映像を活用して作業効率化を行う研究は数多く存在しており、現場作業を効率化する既存研究は大きく分けて 2 つの方向性がある。以下では、既存研究の概要と本研究の差違について述べる。

### 2.1 遠隔作業支援

1 つの方向性は、現場作業員の撮影した映像を利用して、遠隔地にいる作業指示者が作業時の着目点や次の作業内容を指示する遠隔作業支援である。大多和ら [3] は、現場作業員に携帯させたスマートフォンで撮影した映像に対して、作業の目印となるマーカや線画をアノテーションするシステムを提案している。このシステムの特徴は、作業指示者が映像にアノテーションして指示を伝えるだけでなく、現場作業員からのアノテーションを利用して、現場作業中の疑問点などを作業指示者に正確に伝え、作業を効率化する点にある。

酒田ら [4] による HMD を活用した研究では、現場作業員が HMD の他に、肩上にカメラやレーザポインタを装着する。作業指示者は現場からのカメラ映像にアノテーションして、作業対象を指示するだけでなく、レーザポインタを使って作業対象となる物体や場所を直接指定することで、作業効率化を図っている。

これらの研究では、作業指示者からリアルタイムに指示を送ることで現場作業における作業効率化を図ることを目的としており、作業工程が適切に進められているかの

チェックには有効である一方、撮影したログからトラブル発生の要因などを振り返り、短時間での復元作業を支援することは考慮されていない点が本研究と異なる。

### 2.2 作業記録支援

もう 1 つの方向性は、作業状況を連続撮影した映像を利用して、ある手順で作業を進めると、どのような結果をもたらすのかを簡単に振り返れるようにして、作業時の改善点を見つけ出す作業記録支援である。齊藤ら [5] は、キッチン内における調理作業を対象に、キッチンに設置したカメラおよびセンサを利用して調理状況を記録し、コンロの火力の変化や鍋に対する操作を映像閲覧時のインデックスとすることで撮影映像を活用した振り返りシステムを実現している。このシステムでは、足下に設置したフットスイッチを利用して、ユーザが映像に対して任意のタイミングでのインデックスを付与する可能なことも特徴である。

谷口ら [6] は、農作業を対象に、農作業員に取り付けたヘッドマウントカメラや RFID、GPS センサを利用して農作業状況を記録し、作業場所や撮影された作物などの情報を利用して、撮影映像へのインデックスを付与することで、作業振り返りや作業マニュアル作成支援に利用する農作業可視化システムを提案している。

これらの研究は、作業状況を連続撮影した映像に対して、自動的にインデックスを付与する点が類似しているが、インデックス付与のためにカメラ以外のセンサが必要になる点が本研究と異なる。

## 3. 提案システムにおける作業ログ記録

本章では、対象とする現場作業員による現状での作業ログ記述方法と課題、その課題解決を図る映像を活用した作業ログ記録システムについて述べる。

### 3.1 対象とする作業とその課題

1 章で述べたとおり、本研究で対象とする作業とは、データセンタ内など現場で行なわれる情報システムの保守運用作業である。この作業では、事前に作成された手順書に基づいて、現場作業員が 1 つ 1 つの作業工程を実施しながら、

No	大項目	作業工程	作業内容	確認内容	作業者	時間		備考
1	対象機器状況の確認	サーバランプの状態確認	サーバ前面パネルの一番左側のランプの状態を確認する。	ランプが緑色で点灯状態であるか	佐藤	14:00	14:05	
2		NWスイッチの状態確認	ラック上部のNWスイッチの動作状態ランプを確認する	ランプがオレンジ色で1秒間隔で点滅状態であるか	佐藤	14:05	14:07	点滅間隔が2秒程度
3		NWケーブルの抜線	上記NWスイッチの4番ポートのケーブルを抜線する	NWスイッチの4番ポートランプが消灯しているか	佐藤	14:08	14:10	
4	新アプリのインストール	既存アプリのアンインストール	以下のコマンドを実行し、アプリを削除 「\$ sh uninstall.sh」	「Uninstall complete」のメッセージを確認	佐藤	15:00		
5		新アプリのインストール	以下のコマンドを実行し、アプリをインストール 「\$ sh install.sh」	「install complete」のメッセージを確認	佐藤	15:20		warningが表示された
6		ファイル更新	以下のコマンドを実行し、設定ファイルを更新 「\$ sh update.sh」	「all files updated」のメッセージを確認	佐藤	15:40		

作業前に事前作成される箇所

作業者により記述される箇所

図 2 作業手順書の例

並行してその工程の開始時刻と完了時刻、特筆すべき作業状況を文章の形式でログとして記述していく(図 2)。この作業工程は、作業者の知識やスキルの差によりトラブル発生が発生しないように「システムに対して設定コマンドを1つ投入する」、「サーバの1番ポートにケーブルを接続する」といった細かい単位で設定されている事が多い。

しかしながら、このような現状での作業ログ記述方法では、以下のような課題が存在する。

#### 作業者の集中力維持

細かい単位で設定された作業工程の実施と、その作業完了時間や作業状況の記述を繰り返しながら、作業手順書内の全工程を行う必要があり、集中力を維持したまま全ての作業工程を完了するのは、作業者にとって大きな負担となる。

#### ログの網羅性・正確性

文章で表現しにくい状況(例えば、ランプの点灯間隔や機器の配置などの空間的な表現)や手書きでの記述が煩雑な状況(システムが出力したエラーメッセージなど)を、作業者が文章の形式で網羅的に記述することが難しい。また、作業者が「複数の作業工程をまとめて実施した後にログを記述する」という本来とは異なる手順で作業を進めた場合に、記述すべき作業状況を忘失してしまい、作業状況を正確に記述できない可能性がある。

### 3.2 作業視点の連続撮影映像による作業ログ

そこで、本研究では、作業者にグラス型ウェアラブルデバイスやスマートフォンなどのスマートデバイスを装着させ、それらデバイスのカメラにて作業状況を連続撮影するだけで、保守運用作業に必要な作業状況のログを記録するシステムを提案する(図 1)。提案する映像を活用した作業ログ記録システムでは、作業者自身へのログ記録作業の負担を最小限にするために、作業工程毎に録画・停止の操作を行わずに、保守運用作業開始時に合わせて録画をス



図 3 スマートフォンを利用した作業者視点映像の撮影方法

タートして、全ての作業工程を完了するまで作業状況を連続撮影する。また、映像の撮影方法は、作業者が実際に作業している内容を詳細に記録するように作業者自身に装着したカメラによる視点映像の撮影を想定している。なお、スマートフォンのカメラを利用する場合には、作業者の視点になるべく近い映像を撮影可能にするため、図 3 のように作業者の胸ポケットにしっかりと固定して利用する必要がある。

本システムのように、作業状況を連続撮影すると、作業工程を実施しているシーンだけではなく、作業対象の機器の前まで移動したり、作業前の準備を行なっている不要なシーンも撮影されることになり、作業者が作業工程を振り返る際に必要な映像シーンを見つけることが難しい。そこで、撮影した映像から作業中となるシーンを自動的に抽出して、作業ログとして利用できるようにする。このように作業ログを自動生成することで、作業者は集中して作業工程を実施することができるため、従来の作業者自身による作業状況のログ記述に比べて作業者への負担を軽減し、作業時間の短縮が期待できる。また、映像を活用することで、

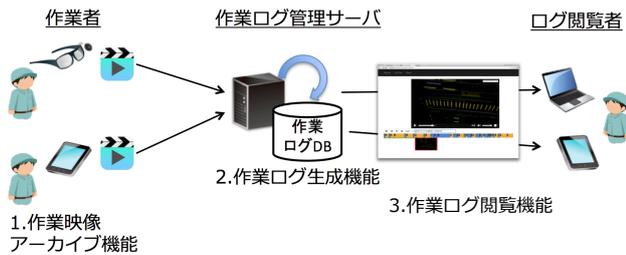


図 4 提案システム概要



図 5 作業映像アーカイブ機能のユーザインタフェース



図 7 作業ログ閲覧機能のユーザインタフェース

#### 4.1 作業映像アーカイブ機能

映像アーカイブ機能は、作業者の撮影した映像の新規アップロード画面と過去にアップロードされた映像を基にした作業ログ一覧を表示画面を持ったユーザインタフェースを提供する(図5)。ユーザは、クライアントのWebブラウザ経由で管理サーバにアクセスし手元のデバイス上の映像をアップロードする。アップロード時には作業開始時刻の入力が求められる、この時刻情報とアップロード映像から後述の作業ログ自動生成機能により、作業ログが生成される。

#### 4.2 作業ログ自動生成機能

本機能は、連続撮影された映像から作業工程を実施している作業中のシーンと、作業対象の機器の前まで移動や作業前の準備を行なっている作業以外のシーンをそれぞれ検出して、作業中のシーンのみを抽出することで、作業ログを自動生成する。本研究では、作業中のシーンを自動検出するにあたり、連続撮影映像のカメラの動きに着目した。連続撮影された映像を手で分析したところ、作業中のシーンでは、ユーザがある点に着目しながら作業をしているためカメラの動きが少なくなり、作業以外のシーンでは、場所の移動や作業前の各種機器の準備等で大きくカメラが動くという特徴を持つことが分かった。

そこで、オプティカルフローを利用して、撮影中のカメラの動きを分析し、動きの少ない映像シーンを作業中のシーンとして検出するアルゴリズムを提案する。オプティカルフローは、時間的に連続な2フレーム間の動きベクトルを物体の特徴点を結ぶ線分によって示したものである。カメラの動きが小さい場合、つまり、フレーム中に映った物体の同一の特徴点が連続する2フレーム間に多く存在する場合には、移動方向に同じ角度、同じ長さの短いベクトルが多く発生することになる。逆に、カメラの動きが大きい場合、つまり、フレーム中の物体の同一の特徴点が連続する2フレーム間にあまり存在しない場合には、ベクトルの角



図 6 注目したオプティカルフロー

作業者の文書記述能力に依存することなく、正確かつ網羅的なログの記録が期待できる。

### 4. 提案システム

提案する作業ログ自動記録システムの概要を図4に示す。本システムは、作業者の撮影した映像のアップロードを受付けて過去にアップロードされた映像を管理する作業映像アーカイブ機能と、アップロードされた映像から作業中のシーンを自動的に抽出する作業ログ自動生成機能と、生成した作業ログをWebアプリケーションの形で提供する作業ログ閲覧機能を有する管理サーバおよびそれら機能を利用するPCやスマートデバイスなどのクライアントによるサーバ・クライアント方式で動作する。

度や長さバラつきが発生することになる。提案するアルゴリズムでは、この性質を利用してオプティカルフローの長さに着目し、作業中のシーンか作業外のシーンであるかを判定する。以下に判定手法の処理フローを示す。

- (1) 2フレーム間のオプティカルフローベクトルを検出する。
- (2) 検出したベクトルを同じ長さ毎に分類し、長さ毎のベクトル数をカウントする。
- (3) カウント数が最大となるベクトルの長さを、その2フレーム間の代表値とする。
- (4) 2フレーム間の代表値が、設定されたしきい値より小さい場合には、そのフレームを作業中のシーンとして検出し、大きい場合にはそのフレームを作業以外のシーンとして検出する。

なお、検出したオプティカルフローベクトルのうち、最大の長さを持つベクトル数を代表値とせず、2フレーム間で最もカウント数の多いベクトルの長さを代表値と用いた理由は、最大の長さを持つベクトルは、**図 6**に示す通り外れ値となりやすいためである。本システムでは、オプティカルフローの検出には、OpenCV[7]で利用可能なLucas-Kanade法[8]を反復実行したピラミッドLK法を用いた。

### 4.3 作業ログ閲覧機能

作業ログ閲覧機能は、映像を基にした作業ログを利用して、作業状況の振り返りを行うユーザインタフェースを提供する(**図 7**)。画面上部に、作業工程映像の再生部が配置されており、作業状況の詳細を映像を再生して確認することができる。画面下部に、映像の任意のシーンにジャンプできるシーンチャプタ部が配置されており、作業中のシーンと検出された映像シーンはオレンジ色のチャプタバーで、作業以外のシーンは青色のチャプタバーで表現される。これらチャプタバーの中から任意のチャプタバーをクリックすることで、そのチャプタバーに対応する映像区間を再生できる。

また、任意のチャプタバーをマウスオーバーすると、そのシーンの代表サムネイル画像(各シーンの中央に位置するサムネイル)が表示され、映像シーンの再生前にどのようなシーンなのかを確認できる。さらに、チャプタバー上部にアップロード時に入力された作業開始日時から計算した、現在再生中のシーンの作業開始時刻と完了時刻を表示している。これらのユーザインタフェースを用いることで、ユーザによる作業工程の詳細の確認や作業開始・完了の簡単な把握を可能にする。

## 5. 評価実験

### 5.1 実験概要

4章で述べた作業中シーンの検出アルゴリズムの有効性を検証するため、データセンタ内での保守運用作業を想定

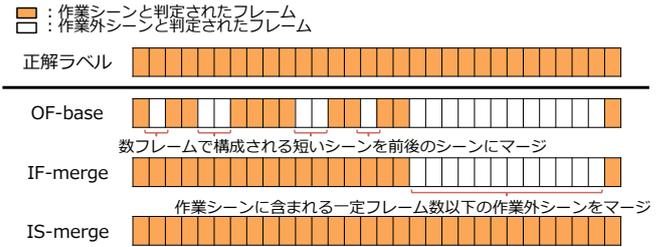


図 8 映像の細かい分断を防ぐ作業中シーン検出の改良

表 1 対象映像の各シーンのフレーム数

作業中のシーン			作業以外のシーン		
シーン 1	シーン 2	合計	シーン 1	シーン 2	合計
927	773	1700	74	425	499

して撮影した作業視点の映像 1 本を用いて、評価実験を行なった。映像の長さは 1 分 14 秒、解像度は 1920 × 1080、映像フォーマットは mp4、fps は 30 である。この映像には作業中のシーンと作業以外のシーンがそれぞれ 2 シーンずつ存在しており、詳細を表 1 に示す。実験前に、これらの各フレームに対して人手で正解ラベルを付与している。そして、この映像に対して、以下の 3 つの手法(**図 8**)についての作業中のシーンと作業以外のシーンの検出精度  $P$  を評価した。

- (1) OF-base : 4 章で述べた 2 フレーム間の代表値をしきい値(本実験では 10 と設定)で判定する手法
  - (2) IF-merge : OF-base でシーン検出を行なった後に、数フレーム(本実験では 3 フレームと設定)で構成される短いシーンを前後のシーンにマージする手法
  - (3) IS-merge : IF-merge で判定した作業中のシーンに挟まれる一定フレーム数以下(本実験では 10 フレームと設定)の作業以外のシーンを作業中シーンと見なす手法
- IF-merge と IS-merge は、OF-merge による予備実験の結果、映像が細かく分断されるのを抑止するために考案した手法であり、マージするフレーム数を固定値で決定した。また、検出精度の導出式は(1)の通りであり、 $n_d$  は、そのシーンと判定されたフレーム数、 $n_c$  は、そのシーンの正解ラベルが与えられているフレーム数を表す。

$$P = n_d/n_c \quad (1)$$

### 5.2 実験結果・考察

実験結果を**図 9**と**図 10**に示す。図 9 と図 10 より、提案した OF-base は作業中のシーン検出では 2 シーン平均で 56.8%、作業外のシーン検出では 2 シーン平均で 63.7% となり、ある程度の精度で検出できることが分かった。

作業中のシーンの検出結果を比較すると(図 9)、3 手法の中で IS-merge が最も高く、シーン 1 では 74.2%、シーン 2 では 50.1%、2 シーン平均では 62.2% となり、一定フレーム数以下のシーン作業外のシーンを作業シーンと見な

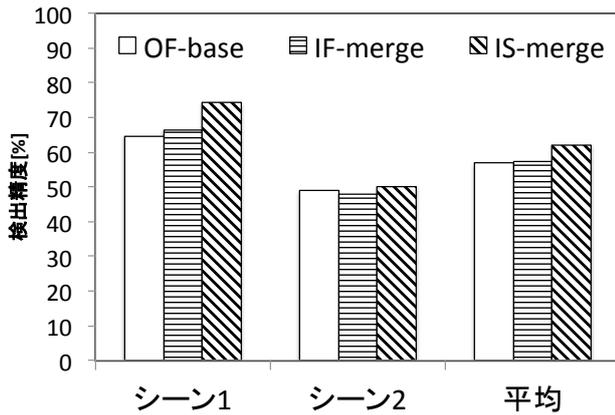


図 9 作業中シーンの検出精度

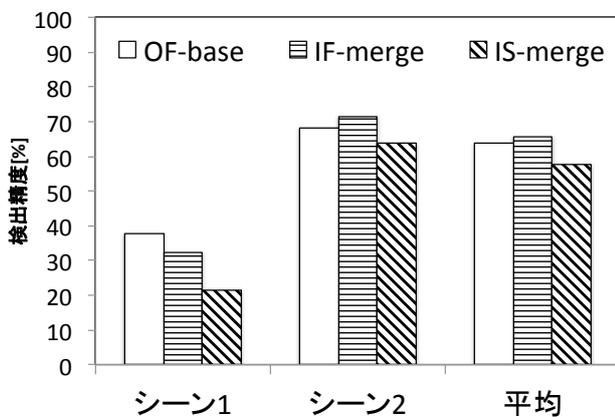


図 10 作業外シーンの検出精度

す IS-merge により、OF-base の精度向上が図れた。一方で、IF-merge は OF-base の検出精度とほぼ変わらない結果となり、高々数フレームをマージするだけでは、作業中のシーン検出精度を大きく改善出来ないことが分かった。

作業外のシーンの判定結果を比較すると(図 10)、3 手法の中で IF-merge が最も高く、シーン 1 では 32.4%、シーン 2 では 71.5%、2 シーン平均では、57.7%となり、数フレームのシーンを挟まれたシーンにマージする IF-merge により、OF-base の精度向上が図れた。一定フレーム数以下の作業外のシーンを作業中のシーンと見なす IS-merge は、作業外のシーン検出の精度を下げ、OF-base よりも低い結果となった。これらの結果から、IS-merge と IF-merge を利用することで、それぞれ作業中のシーンと作業外のシーンの検出精度を向上できることが分かったが、どちらのシーン検出するかで検出手法を使い分けていく必要がある。

## 6. まとめ

本稿では、データセンタ内での情報システムの保守運用作業の作業効率化を目的として、グラス型ウェアラブルデバイスのカメラやスマートフォンなどのスマートデバイスで連続撮影した作業視点の映像から、作業中のシーンと

作業外のシーンをそれぞれ検出する手法の提案と、その検出手法を用いて映像から作業ログを生成する作業記録自動生成システムの開発について報告した。提案したシーン検出手法は、作業中と作業外のシーンにおいてカメラの動きが異なることに着目し、オプティカルフローを用いてカメラの動きを推定し、カメラの動きが小さい映像区間を作業中のシーン、大きい映像区間を作業外のシーンと検出する点の特徴である。また、本手法の有効性を確かめるために行なった評価実験の結果、作業中のシーンも作業外のシーンもおおよそ 60%の精度で検出できることが分かった。さらに、数フレームで構成されるシーンを前後に挟まれるシーンにマージしたり、作業中のシーンに挟まれる一定フレーム数以下の作業外のシーンを、作業中のシーンとして見なすことで、生成する作業ログ中の映像が細かく分断されることを防ぐ、検出精度向上手法を検討した。今後の課題として、提案した作業ログ閲覧機能のインタフェースについてユーザビリティ評価を行なう。また、今回提案した検出手法の結果を用いて、自動生成する作業ログが有効であるかを被験者実験により確認する。

**謝辞** 本研究テーマを進めるにあたり、弊社インターネット内にて、日頃の議論からシステム開発までご協力頂いた筑波大 亀山研究室 相澤美晴さんへ感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 錦織達也, 百瀬正光, 森脇康介, 森井理佳, 平田純一, 白田 亨: 電子ドキュメントの操作ログとソーシャルジェスチャを組み合わせた業務支援システムの提案, 人工知能学会全国大会論文集, Vol. 26, pp. 1-4 (2012).
- [2] 森脇康介, 豊吉政彦, 錦織達也, 後藤充裕, 中村浩司, 木全英明: グラス型ウェアラブルデバイスとカラーコードによる資産管理システム試作に向けた検討, Vol. 115, No. 61, pp. 41-44 (2015).
- [3] 大多和均, 堀川真平, 佐野良樹, 長沼晶子, 渡邊貴之: 複数作業者を対象とした遠隔地間作業指示支援システムにおける指導者側負担の軽減手法の検討, 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), Vol. 2012, No. 9, pp. 1-7 (2012).
- [4] 酒田信親, 蔵田武志, 葛岡英明: レーザポインタと装着型ディスプレイを用いた遠隔協調作業のための視覚的アシスト, 日本バーチャリアリティ学会論文集, Vol. 11, No. 4, pp. 561-568 (2006).
- [5] 斉藤清隆, 高橋 伸, 田中二郎: センサ情報と映像情報の対応付けを利用した調理動画の記録閲覧システム, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2012, No. 19, pp. 1-8 (2012).
- [6] 谷口倫一郎, 南石晃明, 有田大作, 長原 一, 島田敬士: H-029 装着型センサによる農作業認識システム構築に向けて (H 分野:画像認識・メディア理解, 一般論文), 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 9, No. 3, pp. 195-196 (2010).
- [7] OpenCV: (online), available from <http://opencv.org/> (2015).
- [8] D, L. B. and Takeo, K.: An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision, pp. 674-679 (1981).