

登壇発表におけるライブ中継のための スイッチング支援システムの改良とその評価

遠藤 史央里^{1,a)} 竹川 佳成^{1,b)} 松村 耕平^{2,c)} 平田 圭二^{1,d)} 五十嵐 健夫^{3,e)}

概要: 近年、動画共有サービスを利用して学会発表の様子がライブ中継されるようになってきている。カメラスイッチを伴うライブ中継は発表者や視聴者にとって様々な面で利点があるが、中継担当にとっては過酷な業務である。また、学会の中継担当はプロフェッショナルではなく主にアマチュアである。本研究では、登壇発表におけるライブ中継のためのスイッチング支援システムを提案する。プロフェッショナルスイッチャのスイッチングを分析した結果、登壇発表における発表者のスライド送りやスクリーンへの指差しといったイベントにもとづきスイッチングしていることが明らかになった。そこで、初心者でも直感的にスイッチングが可能となることを目指し、スイッチング特性を反映したイベントベースのスイッチングインタフェースを提案した。各カメラのサムネイル映像から選択するのみの比較手法と比較実験を行ったところ、提案手法のほうがスイッチング回数の個人差が小さくなり、また正解データとの一致率も高くなった。

1. 背景と目的

近年、YouTube やニコニコ動画などの動画共有サービスを利用した学会発表のライブ中継が盛んである。発表の様子を映像として中継することで、会場にいる人だけでなく会場にいない人に対しても研究の成果を発信することが可能である。このようなライブ中継は、発表者の研究についてより多くの人に知ってもらえるという利点がある [1]。また、マルチセッションで見逃した発表を発表後に聴講できるという利点もある。画面越しにおいても視聴者に退屈 [2]・ストレス・不快感を与えず、研究の内容を分かりやすく効果的に伝えるためには、複数カメラの映像切り替え（以降、スイッチングと記述する）が適切に行われる必要がある。しかし、学会発表の場におけるライブ中継の担当者は、撮影の業務経験があるプロフェッショナル（以降、プロと記述する）ではなく学会に所属する運営委員である場合が多い。運営委員は発表経験が豊富で、座長や発表の進行、研究内容などについては熟知しているが、スイッチングに関しては専門的な教育を受けていない初心者である。スイッチング担当者（以降、スイッチャと記述する）は、

適切な映像選択だけでなく、時には壇上で生じるトラブルや著作権を侵害する NG コンテンツの配信停止などに柔軟に対応する必要があるため、初心者には負担が大きく難しい業務である。

筆者らはこれまでにカメラスイッチングの支援システム [3] を提案してきた。まず、スイッチング支援に必要な機能や方法を検討するためにプロのスイッチングを分析した。その結果、プロのスイッチャは登壇発表におけるイベントにもとづいてスイッチングしていることが明らかになった。次に、プロのスイッチング特性を反映したイベントベースのインタフェースおよびプロトタイプシステムを実装し、有用性を検証するために評価実験を実施した。提案システムを利用する提案手法はサムネイル映像のクリックによりスイッチングする既存手法と同程度に簡単に操作でき、かつ、既存手法よりもプロのスイッチングに即していることが示唆された。しかし、提案システムはスイッチングに使用するボタンの操作性における問題があった。この問題を解決するために、ボタンの配置を工夫しインタフェースのデザインを再考した。そこで、本研究では、プロのスイッチング特性を反映したスイッチング支援システムの改良およびその評価を行う。

2. 関連研究

カメラの自動スイッチングに関する研究がいくつかある。スタジオにおいてはレポーターの位置を自動的に追尾するロボットカメラとスイッチングシステムの提案 [4] が、サッ

¹ 公立はこだて未来大学

² 立命館大学

³ 東京大学

a) b1015200@fun.ac.jp

b) yoshi@fun.ac.jp

c) matsumur@fc.ritsumeit.ac.jp

d) hirata@fun.ac.jp

e) takeo@acm.org

カーにおいては、ボールやプレイヤーの位置 [5]、軌跡 [6]、視聴者の興味 [7] に基づいた多視点カメラの自動切り替えが研究されている。対話においてもユーザが定義したイデオムに基づいて自動的に多視点カメラからのクリップ選択を行うシステムが提案されている [8]。これらの研究はビデオやビデオに付随する情報、ないし外部センサの情報から自動的に行動理解・認識を行うことを前提にしているが、それ自体が難しい課題となっている。本研究はスイッチング初心者でもスイッチング業務を行えるように、現実的な方法で業務を補助するところに特徴がある。

[9] ではダンスを、[10] ではピアノレッスンを対象に、多視点カメラ映像の自動切り替えを提案している。[9] は多視点カメラ映像から特徴量を抽出し、特徴量に対応付けられたスライダーバーを操作することで、ダンス映像制作者が好みの映像を作る。[10] はピアノレッスンを円滑に進めるために、多視点カメラ映像の各映像フレームにタグ付けされたデータに対して特徴量を抽出し、機械学習を適用することで、カメラ映像の自動切り替えを実現している。[11] はピアノ演奏の指使いに関する悪癖を発見することを目的とし、多視点映像を効率的に閲覧できるインタフェースを提案している。これらの研究はいずれも対象を限定し、その対象に特化した GUI を提案している。本研究では、登壇発表におけるライブ中継を対象とし、登壇発表に特化した GUI を提案している点で異なる。

クラウドソーシングなど人手を活用してビデオ編集を行うおうとする研究もいくつかある。[12] はクラウドワーカーが多視点ビデオからベストシーンを切り取る例を提案した。[13] は、ビデオ編集のためにオンラインレビュー者の音声やマウス操作およびカメラによるジェスチャをフィードバックするレビュー支援ツールである。[14] は検索クエリに対応したプレビュー映像を生成するためのシステムである。クラウドソーシングを用いて動画シーンにタグ付けをして、そのタグを用いてプレビュー映像を自動生成する。これらの試みは複雑なタスクを、人手を活用して実施する枠組みである。しかし、人間にとっても、リアルタイムにタスクを実施することは簡単ではない場合がある。本研究では、イベントベースのスイッチングインタフェースを用いることで、多視点カメラのスイッチングという複雑なタスクを単純化して、実施させるところに特徴がある。

3. 提案システム

筆者らはこれまでに、プロのスイッチングを分析し得られたスイッチング特性を反映したカメラスイッチング支援システム [3] を提案してきた。提案システムは、学会における登壇発表（スライドを用いたプレゼンテーション）のライブ中継時に使用することを想定している。本研究では、スイッチング支援システムのデザインの改良およびその評価、また、実運用に向けた機能拡張を行った。

3.1 システム設計

学会の登壇発表におけるライブ中継の映像では、主に、発表者カメラ・スライド映像・発表全体カメラの3つを組み合わせて放送している。本システムは、これら3つの映像を取得する。ただし、司会者や質問者が存在する場合、カメラの台数は増加する。スイッチャはシステムが提供する GUI を利用しカメラ映像を選択する。さらに配信デバイスを利用することで動画配信サービスへファイナル映像（視聴者が最終的に視聴する映像）を提供する。

登壇発表中の発表者によるスライド送りやスクリーンへの指差しなど（以降、イベントと記述する）をボタンとしてオブジェクト化し、イベントに1対1対応するボタンを持つ GUI とした。システムは、ボタンの押下によりイベントが発生したことを認識し、発生したイベントと現在のカメラ状態の組み合わせから次に遷移するカメラ映像を自動的に選択する。これにより、スイッチング初心者に求められるタスクは発表全体映像のみを注視すること、発表中に生じるイベントを観測することのみとなる。そのため、選択すべきカメラ映像について考える必要がなく、負担は軽減される。なお、操作にはトラックパッドを使用する。

3.1.1 改良前のインタフェースデザイン

図1に改良前のインタフェースデザインを示す。事前実験により、多機能型デザイン（図1-上）は画面に表示される情報量や操作可能なボタンの数が多く操作に混乱をきたすことが利用者より報告されていた。そこで、必要な機能を整理しインタフェースデザインを再考した。これを限定機能型デザイン（図1-下）とし、さらに評価実験を実施した。実験の結果、比較的簡単に操作できる上に比較手法よりもプロのスイッチングに即していることが示唆された。しかし、各ボタンのスイッチング回数や利用者のアンケート結果から、イベント発生ごとにイベントボタンを押下する際、押すべきボタンを探すことに手間取ってしまうという問題点があがった。

3.1.2 提案インタフェースデザイン

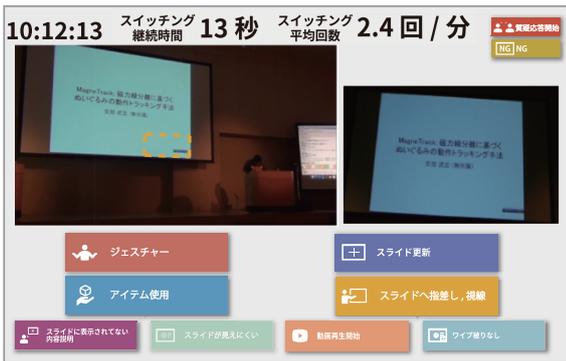
限定機能型デザインから更にインタフェースのデザインを再考したものを図2に示す。アプリケーション内のウィンドウに反映するカメラの映像は、限定機能型と同様に発表全体映像とファイナル映像の2つのみとした。改良前デザインで言及した問題点に対し、発表者の動きに関するイベントのボタン（図2-(i)）は発表全体映像内の発表者付近、スライドに関するイベントのボタン（図2-(ii)）は発表全体映像内のスクリーン付近など、関係性のあるボタンをまとめて配置するという解決策をとった。また、ボタンの大きさを統一し丸型のアイコン表示とした。各ボタンの説明はアプリケーション内ウィンドウ下部に配置し、利用前に対応付けを確認する仕様とした。

3.1.3 イベントボタン

イベントボタンは、発表者のイベントに対応するボタン



多機能型



限定機能型

図 1 改良前のインターフェースのスクリーンナップショット



図 2 提案インターフェースのスクリーンナップショット

をスイッチャーが選択することで、適切なカメラ映像へと自動的にスイッチングする機能である。発表中画面に設置されているボタンは以下の通りである。

- ジェスチャー
- アイテム使用
- スライドへ指差し、視線
- ワイプ被りなし／ワイプ被りあり
- スライド更新
- スライドが見えにくい
- ワイプ被りなし／ワイプ被りあり
- 動画再生／動画終了
- スライドに表示されている内容説明／スライドに表示されていない内容説明

3.1.4 発表進行管理ボタン

本システムは、発表中のスイッチングだけでなく発表準備中や質疑応答などの司会者や質問者が登場する場合や中継 NG といった NG コンテンツへの規制が必要な場合におけるスイッチングについても考慮している。発表進行管理ボタン（図 2 - (iii)）を押下することで、該当する発表段階で必要なカメラ映像やイベントボタンがリロードされる。発表進行管理ボタンの押下によるインターフェースの画面遷移を図 3 に示す。各画面では、発表中と同様の方法（イベントボタンの押下）でスイッチングが可能である。

3.1.5 ログの取得

スイッチャーがどの映像に切り替えたか、またスイッチングされた時間といった情報を確認するためにログを用いる。発表進行管理ボタンを押下することで記録が開始される。ログは CSV ファイル形式で出力される。

4. 評価実験

3 章で示した提案システムの有用性を検証するために、提案手法（提案インターフェースを利用してスイッチングする手法）と、比較手法（各カメラのサムネイル映像を見てスイッチングする手法）の 2 つの手法でスイッチングを行ってもらった。また、両手法のスイッチングデータを正解データと比較し検証した。正解データについては、4.1 節にて詳細に記述する。

4.1 実験概要

4.1.1 被験者

被験者は映像・撮影に関して専門的な知識を持たないカメラスイッチングの初心者 20 人であった。被験者を 10 人ずつグループに分け、それぞれに提案手法と比較手法のいずれかを利用してもらった。

4.1.2 映像シナリオ

実験の実施にあたり、182 秒（3 分 2 秒）の登壇発表映像を作成した。使用したスライドは 9 枚、設置したカメラの台数は 2 台（発表者カメラ、発表全体カメラ）である。提案インターフェースの有用性を評価するため、作成する映像にはイベントボタンに対応したイベント（例えば、スクリーンへの指差し）をもちろん挿入した。

映像は、ミライノガッコウという展示会の展示物を紹介するシナリオで作成した。図 4 に映像シナリオの概要、図 5 にボタン押下に対応する映像切替の例を示す。

4.1.3 正解データ

正解データは、実験に使用した登壇発表映像に対してプロのスイッチング条件をもとに作成したスイッチングデータである。横軸を時間とし、1 秒ごとに選択されるべき映像（シーン）の色分けと押されるべきボタンを記載したものを図 6 に示す。

なお、システムは起動してすぐに登壇発表映像を再生し

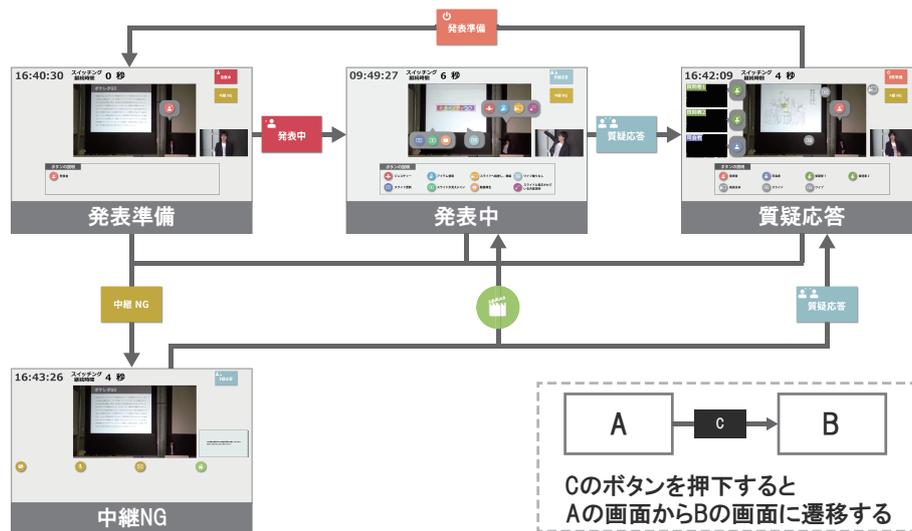


図 3 発表進行管理ボタンの押下による画面遷移

始めるが、発表中画面への遷移には発表進行管理ボタンを押下する必要があり数秒の時間を要する。そのため、システム利用時の映像開始タイミングは2,3秒ほど遅延が発生する。実際の登壇発表映像の開始タイミングに合わせて正解データを作成した場合、被験者によるデータとのずれが生じてしまうことを考慮し、正解データは実験者が提案システムを利用したログデータより作成した。

4.1.4 比較手法

比較手法では、図7に示すようにイベントボタンを利用できないようにし、サムネイル映像をクリックすることでスイッチングするインターフェースを利用した。

4.1.5 提案手法

提案手法では、3章で示した図2のインターフェースを利用した。

4.1.6 実験手順

被験者には、事前に各手法の操作方法を説明し、自身がライブ中継のスイッチャという立場であると想定した場合に放送すべき映像を選択するよう教示した。なお、提案手法を利用する被験者には、イベントに対応したボタンを押下することで、適切な映像にスイッチングすることを説明した。両手法においてスイッチング開始のタイミングをすべて統一するため、システム利用開始操作としてのボタン押下は実験者が行った。

4.2 実験結果

1秒ごとにどの映像が選択されていたかを、正解データと実験結果のデータから比較した。正解データと一致している場合を1、不一致の場合を0とし、一致率を求めた。その結果、比較手法の平均一致率は38.5%、提案手法は56.9%であった。

次に、正解データと実験結果の総データからコンフュージョンマトリクスを作成した。表1、表2に示す。行が正

解データ、列が実験結果の総データとなっている。対角線上に塗りつぶされている部分が正解データと一致している部分である。

また、各シーンの一致率について調査するために適合率と再現率からf値を求めた(表3)。表3より、比較手法と比較して提案手法のf値は、発表者では+0.23、スライドでは+0.03、ワイプでは+0.13、発表全体では+0.35というように全てのシーンで高かった。また、映像全体では比較手法と比較して提案手法のf値が0.14高かった。

さらに、映像全体を通しての平均スイッチング回数と各手法におけるスイッチング回数の標準偏差を求めた。平均スイッチング回数に関して、正解データのスイッチング回数が18回であるのに対し比較手法では14.6回、提案手法では17.8回であった。スイッチング回数の標準偏差は、比較手法では6.55、提案手法では3.97であった。

4.3 考察

正解データとの平均一致率を求めた結果、比較手法よりも提案手法のほうが18%ほど高くなり、また提案手法では50%を上回った。シーンごとに算出した適合率や再現率の結果を見ると、ほとんどの場合で提案手法は比較手法よりも数値が高かった。発表中のイベントに対し、多くの場合で実験者側の意図したイベントボタンが正しく押下されていたことが伺える。また、映像全体を通しての平均スイッチング回数を見ると、正解データとの差は比較手法では-3.4回、提案手法では-0.2回となっており、提案手法では極めて近い回数スイッチングされていたことが明らかになった。各手法におけるスイッチング回数の標準偏差を比較すると、比較手法よりも提案手法のほうが2.58低く、ばらつきが小さいことが明らかになった。

正解データに近くスイッチャ間で均一なスイッチングをすることが可能という点や、適合率と再現率から算出した

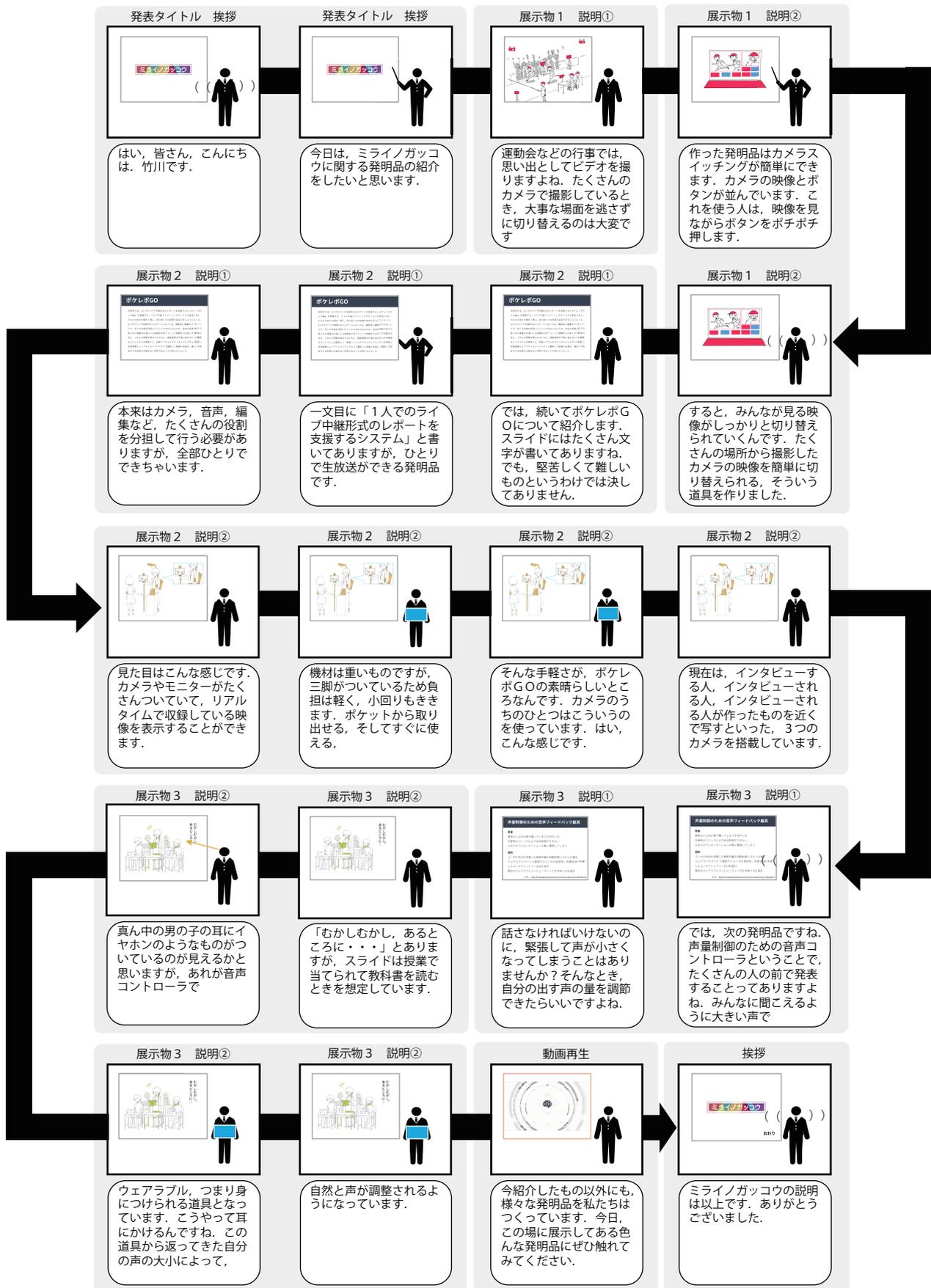


図 4 映像シナリオ

表 1 コンフュージョンマトリクス (比較手法)

		正解						
		発表者	スライド	ワイプ	発表全体	再現率	平均再現率	
実験結果	発表者	184	106	262	48	0.31	0.32	
	スライド	48	438	91	33	0.72		
	ワイプ	1	118	15	6	0.11		
	発表全体	38	235	128	59	0.13		
	適合率		0.68	0.49	0.03	0.40		
	平均適合率		0.40					

表 2 コンフュージョンマトリクス (提案手法)

		正解						
		発表者	スライド	ワイプ	発表全体	再現率	平均再現率	
実験結果	発表者	380	117	55	48	0.63	0.48	
	スライド	101	440	18	51	0.72		
	ワイプ	5	108	23	4	0.16		
	発表全体	71	176	26	187	0.41		
	適合率		0.69	0.53	0.15	0.63		
	平均適合率		0.51					

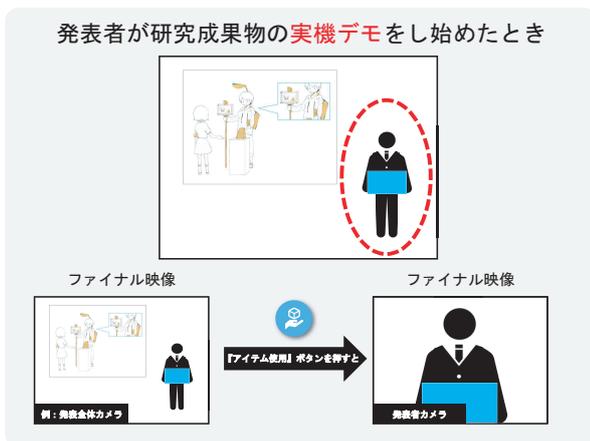


図 5 イベントボタン押下によるファイナル映像の遷移の例



図 7 比較手法



図 6 正解データ

表 3 比較手法と提案手法におけるシーンごとの平均 f 値

	発表者	スライド	ワイプ	発表全体	映像全体
比較手法	0.42	0.58	0.05	0.19	0.35
提案手法	0.66	0.61	0.18	0.50	0.50

f 値を見ると、比較手法と比べて提案手法の性能は高いことが示唆された。

4.3.1 提案手法の限界

提案手法による一致率は比較手法よりも高かったものの、4 割程度は不一致であった。比較手法と比較した際の提案手法による一致率の高さは、実験に使用した登壇発表

映像中のイベントがある程度伝わりやすいよう作られたものであったことにも起因していると考えられる。今後、実験用に用意された映像ではなく、実際の登壇発表映像を用いて再調査する必要性も十分に考えられる。

4.3.2 提案手法の改善点

提案手法では、ワイプを選択すべき場面での誤りとしてスライドが多く選択されていた。ワイプを選択するためのイベントボタンは、発表全体映像に映されているスクリーン右下部分に重要な情報がない場合に押下するといった主観的な判断が必要となるものであった。また、スクリーン右下部分の範囲指定は曖昧なものであった。そのため、ワイプ画面を映してよいものなのか否かの判断が難しく、スライドのみの映像が続いていたと予測される。

提案手法を利用した被験者からは「発表全体映像ではなく、ついついファイナル映像を見てしまう」「ボタンどうしの距離が離れていて、移動量が多い」「トラックパッドよりもキーボードにショートカットキーがあると操作しやすいかもしれない」といった意見があげられた。ファイナル映像に注目した場合、発表中に起こるイベント全てには目が



図 8 提案インターフェースのスクリーンショット
(リアルタイム撮影用)



図 9 カスタマイズ機能

届かない。ボタンに関しては、ボタンどうしの距離が遠いとイベントに対する反応が遅れる。これらにより、イベントボタンの押下タイミングを逃しスイッチング回数が減少してしまう事態が起こりかねない。スイッチャの視線を大きく逸らさず、スムーズにスイッチングが可能となる方法を検討する必要がある。

5. 実運用

2018年9月26日(水)から9月28日(金)の3日間、山梨県北杜市にあるロイヤルホテル八ヶ岳で開催されたWISS2018にて提案システムの実運用を行った。

実運用にあたり、システムの機能を拡張しカメラ6台(発表者、発表全体、スライド、座長、質問者A、質問者B)の切り替えに対応した。図8に提案システムのインターフェースデザインを示す。なお、4章の評価実験では発表中のみのスイッチングを対象としていたが、発表準備中や質疑応答中などのスイッチングも行った。

学会発表会場は、一般的にスクリーンおよび演台が設置されているが、それらの場所も形式も様々である。大きな違いはないにせよ、スクリーンや演台の位置はその都度異なる。また、発表全体カメラを設置できる位置にも制約がある。このため、スイッチャの好きな場所にボタン配置を変更できるカスタマイズ機能を追加した。図9に示す。ボタンはドラッグ&ドロップによって移動することができる。また、ワイプの表示領域を四角枠で表示し、頂点を移動さ

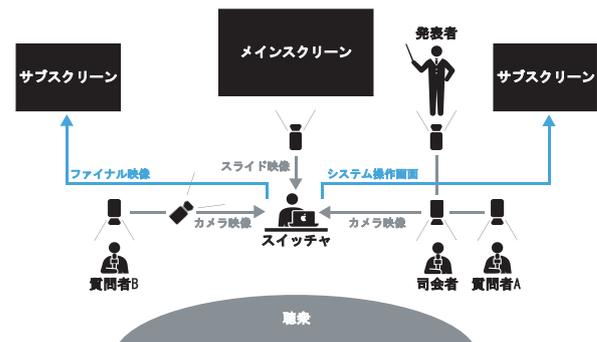


図 10 システム構成

せることでサイズや位置を調節できるようにした。これにより、ボタン配置の記憶のしやすさや、不要な(使わない)ボタンをなくすことによる選択のしやすさの向上といった効果が期待できる。

WISSでは、会場前方にメインスクリーン1つとサブスクリーン2つが設置され、メインスクリーンにはシステムの説明スライドを、上手サブスクリーンにはインターフェースの操作画面を、下手サブスクリーンにはファイナル映像を表示した。インターフェースの操作画面を表示した理由は、イベントボタンを用いたカメラスイッチングの様子をわかりやすく伝えるためである。会場でのシステム構成を図10に示す。

登壇発表が行われたすべてのセッションでシステムを運用した。登壇発表は、発表1件あたりの時間(質疑応答を除く)が5分、10分、15分の3種類であった。発表件数は3種類合わせて26件、運用時間は合計で7時間程度であった。システムの運用担当は初心者スイッチャ5人であり、セッションごとに交代でシステムを運用した。システムの使い方に関する説明は、システムの運用前に5-10分程度で行った。システムの運用において、大きな問題は生じずリアルタイムに進行する発表にあわせてスイッチングできた。

この運用で提案システムを利用して行われたスイッチングの回数を計測した。発表時間ごと(3種類)に計測された平均スイッチング回数と標準偏差を表4に示す。5分、10分、15分の発表において、スイッチング回数の標準偏差はそれぞれ2.68, 11.4, 13.3となった。発表時間が長くなるにつれてスイッチング回数に大きくばらつきが出るようになった。また、平均スイッチング回数はそれぞれ10.5回、23.6回、33.2回であった。平均スイッチング回数から1分あたりのスイッチング回数を算出すると、それぞれ2.1回、2.4回、2.2回となった。発表時間の長さに限らず1分あたりのスイッチング回数は均一となることが示唆された。

一方、システム利用時にはいくつかの不具合が発見された。具体的には、トグル動作(例えば、動画再生/動画終了)が他のボタン操作によって正しく機能しない不具合や、

表 4 提案システムによるスイッチング回数と標準偏差

発表時間	5分	10分	15分
平均スイッチング回数	10.5	23.6	33.2
標準偏差	2.68	11.4	13.3

発表者や発表全体のカメラが選択されているときにもワイプが表示可能となり、ワイプを非表示にする際にシステムが固まる不具合などがあつた。イベントボタンを移動させる際に、ボタンが押下されたと認識されてしまうことも問題点として挙げられた。

6. まとめ

本研究では、登壇発表におけるライブ中継のためのスイッチング支援システムを構築した。プロのスイッチングを分析した結果をもとに、インタフェースを設計した。評価実験により、提案手法はスイッチング回数の個人差が小さく、比較手法よりもプロのスイッチングに即していることが示唆された。

今後の課題として、限定機能型(図1-下)との比較、学術分野・時間・中継NGを含む発表など異なる登壇発表を対象にした評価、スイッチング初心者によって生成された映像品質の評価、スイッチング継続時間などの他の機能の評価などが挙げられる。

謝辞 本研究はJST CREST JPMJCR17A1の支援を受けたものです。また、本研究に取り組むにあたりご助言をくださった寺井あすか准教授(公立はこだて未来大学)に感謝いたします。

参考文献

[1] 平井重行: インターネットを利用した研究発表のライブ動画の中継の試行について, SIGMUS, 2012, http://www.sigmus.jp/?page_id=966 (参照 2017-01-25).

[2] 津村弘輔, 加藤淳也, 住谷哲夫, 重野寛, 岡田謙一: 複数カメラを用いた自動スイッチングによる自然な映像ストリームの生成手法, 情報処理学会研究報告, pp. 49-54 (2005).

[3] 竹川佳成, 松村耕平, 船木綾香, 遠藤史央里, 平田圭二, 五十嵐健夫: 登壇発表におけるライブ中継のためのスイッチング支援システムの構築, インタラクティブシステムとソフトウェア XXVI: 日本ソフトウェア科学会 WISS2018, pp. 1-6 (2018).

[4] Daemen, Herder, Koch, Ladwig, Wiche and Wilgen. Semi-Automatic Camera and Switcher Control for Live Broadcast. In *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Experiences for TV and Online Video*, TVX '16, pp. 129-134, New York, NY, USA, 2016. ACM.

[5] Xueting Wang, Takatsugu Hirayama and Kenji Mase: Viewpoint Sequence Recommendation Based on Contextual Information for Multiview Video, *IEEE MultiMedia*, Vol. 22. No.4, pp. 40-50, 2015.

[6] Xueting Wang, Kensho Hara, Yu Enokibori, Takatsugu Hirayama and Kenji Mase: Personal Viewpoint Navigation Based on Object Trajectory Distribution for Multi-

View Videos, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E101. D. No.1, pp. 193-204, 2018.

[7] Xueting Wang, Yu Enokibori, Takatsugu Hirayama, Kensho Hara, and Kenji Mase: User Group Based Viewpoint Recommendation Using User Attributes for Multiview Videos, *Proceedings of the Workshop on Multimodal Understanding of Social, Affective and Subjective Attributes*, MUSA2 '17, pp. 3-9, New York, NY, USA, 2017. ACM.

[8] Leake, Davis, Truong and Agrawala. Computational Video Editing for Dialogue-driven Scenes. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 36, No. 4: 130: 1-130: 14, July 2017.

[9] 土田修平, 後藤真考, 深山 覚. 多視点ダンス映像のインタラクティブ編集システム. インタラクティブシステムとソフトウェア XXV: 日本ソフトウェア科学会 WISS2017, pp. 1-6 (2017).

[10] 松井遼太, 竹川佳成, 平田圭二. Tel-Gerich: 共同注視およびカメラスイッチングに着目した遠隔ピアノレッスン支援システム. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 20, No. 3, pp. 321-332 (2018).

[11] 長谷川 麻美, 竹川佳成, 平田圭二, 兼重直文. 多視点演奏映像を活用したピアノ演奏指使い分析ツールの提案. 情報処理学会研究報告 (MUS), 2017-MUS-Vol. 116, No. 8: pp. 1-5 (2017).

[12] Bernstein, Brandt, Miller and Karger. Crowds in Two Seconds: Enabling Realtime Crowd-powered Interfaces, In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, pp. 33-42, New York, NY, USA, 2011. ACM.

[13] Pavel, Goldman, Hartmann and Agrawala. VidCrit: Video-based Asynchronous Video Review. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, pp. 517-528, New York, NY, USA, 2016. ACM.

[14] Craggs, Kilgallon Scott and Alexander. Thum- bReels: Query Sensitive Web Video Previews Based on Temporal, Crowdsourced, Semantic Tagging. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 1217-1220, New York, NY, USA, 2014. ACM.