

Affinity Live : 演者と観客の一体感を増強する 双方向ライブ支援システム

大津 耕陽^{1,a)} 福島 史康^{1,b)} 高橋 秀和^{1,c)} 平原 実留^{1,d)} 福田 悠人^{1,e)} 小林 貴訓^{1,f)}
久野 義徳^{1,g)} 山崎 敬一^{1,h)}

受付日 2018年2月1日, 採録日 2018年9月7日

概要: 近年さかんに行われているアイドルのライブにおいては、演者の演技に対し観客が「応援」という形で参加することにより、会場をともに盛り上げていこうとする様子が見られる。本稿では、アイドルのライブにおける演者の演技・それに対する観客の応援を振動・光に変換し、双方向に伝達しあうことで、演者・観客間の双方向インタラクションを拡張するライブ支援システムを提案する。提案手法を実現するために、応援したいメンバの演技をリアルタイムに観客の持つデバイスに振動・光として提示する機能、観客が自身の持つデバイスを振ることで光として応援を可視化して演者側に伝達する機能の2つを持つシステムを開発した。実際のライブ環境下において実験を行い、演者の動きの情報を観客に伝達することで応援したいメンバと観客の間の一体感が高まることを確認した。また、デバイスの振りの情報に基づいて観客の応援の大きさを演者の衣装に提示することによって、応援したい特定のメンバと観客間の一体感に加えて、特定のメンバを応援する観客同士の一体感が高まることを確認した。

キーワード: インタラクティブシステム, ライブパフォーマンス, CSCW

Affinity Live: A System for Enhancing Interaction between Performers and the Audience

KOUYOU OTSU^{1,a)} FUMIYASU FUKUSHIMA^{1,b)} HIDEKAZU TAKAHASHI^{1,c)} MIRU HIRAHARA^{1,d)}
HISATO FUKUDA^{1,e)} YOSHINORI KOBAYASHI^{1,f)} YOSHINORI KUNO^{1,g)} KEIICHI YAMAZAKI^{1,h)}

Received: February 1, 2018, Accepted: September 7, 2018

Abstract: In this paper, we propose a concert support system that enhances the interaction between performers and audience members in live idol performances. This system consists of two subsystems. One is a system for converting the movements of individual members of an idol group into vibrations and lights on handheld devices for the audience. The other system is for converting the cheering of the audience into illumination patterns in embedded LEDs on the costumes of idol members. Experiments were conducted under real world settings. We found that the system enhances the interactions between individual idol members and audience members by conveying the characteristics of the performance to the audience in the form of vibrations and lights. Moreover, the interactions among audience members that support the same idol member were also enhanced.

Keywords: interaction system, live performance, computer supported cooperative work

¹ 埼玉大学
Saitama University, Saitama 338–8570, Japan
a) otsu@cv.ics.saitama-u.ac.jp
b) f.fukushima@hci.ics.saitama-u.ac.jp
c) takahashi@hci.ics.saitama-u.ac.jp
d) mhirahara@mail.saitama-u.ac.jp
e) fukuda@cv.ics.saitama-u.ac.jp
f) yosinori@hci.ics.saitama-u.ac.jp
g) kuno@cv.ics.saitama-u.ac.jp
h) BYI06561@nifty.com

1. はじめに

エンタテイメントとしての音楽の楽しみ方には、CD等の媒体でただ音楽を聴くことだけでなく、演者のいる会場へ足を運び、演者とともに音楽を楽しむライブがある。ライブ事業を手がける企業で構成されるコンサートプロモーターズ協会 (ACPC) の調査 [10] によると、2000年の音楽

ライブの公演数は 10,500 回であるが、2016 年には 29,862 回の公演が行われ、16 年間で約 3 倍に増加している。特に近年は、ライブを主体として活動するアイドルグループが数多く登場したことが、公演数の増加を後押ししている。

アイドルのライブにおいては、演者の演技に対して観客が「応援」という形で参加することで、会場をともに盛り上げていこうとする様子が見られる。アイドルライブの観客は、自身の応援したい演者を応援するためにライブ会場へ足を運び、応援の意志を伝えることで演者とのつながりを見出す。このような演者・観客間のつながりは、コンテンツの発信者としての演者、受容者としての観客という垣根を取り払い、ライブを盛り上げる大きな要素となっている。

また、演者を応援するうえで、一緒に応援する他者の存在は重要である。アイドルの応援の方法として、決められたタイミングで掛け声をかけ一体感を高める「コール」や、演者の演技を覚えて一緒に踊る「振り真似」等がある。これらの応援では、観客が他の観客と協調しながら演者を応援することで、その場における一体感を高めている。

このように、観客はライブを通じて演者や他の観客とつながり、一体となって盛り上がることで体験の質を自ら向上させている。演者や観客の反応はライブにおける一体感の形成に寄与するとされるが [7]、ライブにおける集団での一体感を生む要素として本稿では、身体動作に基づく共振に着目する。たとえば「振り真似」においては、演者と観客が同じように踊り、両者が協調しながら身体的に共振することで一体感をもたらす。心理学の分野では、相手の動作を模倣することで親密な関係が構築されることが知られているが [2]、ライブにおいても、相手の行動に影響された共振が相互的なつながりの形成に寄与すると考えられる。

本稿では、音楽ライブにおける演者と観客の間の共振を支援することで、両者のつながりを強化する方法について議論する。演者と観客の間の共振は相手の行動に起因されるものであり、互いの行動（演技や応援）を強調して双方向的に伝えることで、両者のつながりが深まる可能性がある。

ソーシャルプレゼンスの分野では、振動や電気刺激等を用いて行動や存在感を伝達する方法が数多く提案されている [1], [4], [6], [15], [16]。さらに、振動が、音声通話 [4], [8]・ビデオ会議 [17], [18] の場面で相手の存在感を高めることが示されている。これらの結果は、音声や視覚的な映像に加えて、振動という新たなモダリティを追加することが、相手とのつながりを強化するうえで有効であることを示している。ライブにおいても、演者から観客へ演技を強調して伝達する手段として新たなモダリティを活用することで、両者の間のつながりを強化できる可能性がある。

また、演技や応援の伝達を支援するだけでなく、伝達された情報が、会場全体（伝達したい相手・自分自身・他の参加者）から見えるようにすることも重要である。特に、観客自身が応援の伝わりを実感できることは、応援による

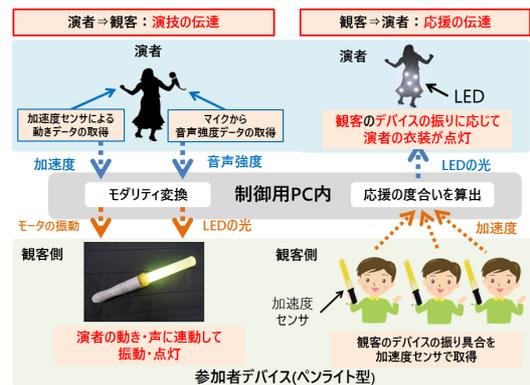


図 1 提案手法の概要

Fig. 1 Overview of the proposed system.

参加をより明確にし、応援したいメンバとのつながりを強化する。さらに、その過程が他の参加者からも見えるようにすることで、演者・観客間のつながりだけでなく、観客の間でのつながりを強化できる可能性がある。個々の観客のライブ体験を共有できる仕組みを設けることで、観客同士での「演者を応援する」という目的意識での共有を促し、協調的な応援行動が促進されると考えられる。

本研究では、会場全体の一体感を高める要素となる「演者と観客のつながり」と「観客同士の協調行動」を増強することを目的としたライブ支援システム「Affinity Live」を提案する。ライブ環境下において上記の目的を達成するために、双方向的に行動情報を伝達できること、伝達された情報が自分だけでなく他人からも見て分かること、本来のライブの視聴を阻害しないことの 3 点がシステムには求められる。本提案ではライブの応援グッズと演者の衣装に対して通信と情報提示の機能を設け、観客の視聴体験を損ねずに両者の間の双方向的な情報伝達と提示を実現する。

提案手法では、演者の演技を光と振動に変換してペンライトデバイスに提示し、演者の演技を提示し可視化する（図 1 の左側のフロー）。さらに、観客の持つペンライトデバイスの動きを応援の度合いとして演者に伝達し、衣装の光として提示する（図 1 の右側のフロー）。観客は、デバイスの振動や発光を通じて演者の演技を体感でき、自身の応援をメンバの衣装に反映できる。さらに衣装の光を通じて観客は、他の観客の応援の状況を視認できる。

実験から、演者・観客間での双方向的な行動伝達が両者の間の一体感を、観客の応援行動の衣装への提示が観客間の一体感を向上させることを示した。

2. 関連研究

ライブパフォーマンスの演出の質の向上を目指したシステムがいくつか提案されている。Xylobands [9], Fre-Flow [11], RAVE [12] は、主催者による無線制御が可能なペンライトである。これらのペンライトでは、自動制御による一体的な演出を実現しているが、観客に配信される情

報はあらかじめ決められており、観客がペンライトの操作に介入することができない。発光強度を観客側が設定できる無線制御ペンライトも提案されているが [20]、こちらも配信される情報は曲に基づいてあらかじめ決められており、ペンライトが演者の演技に連動して動作する本提案とは異なる。

本提案と同様に、主催者による操作でなく演者自身の演技や観客の行動に同期して演出を行う手法も提案されている。曾我ら [22] は、能楽の演者が演技を行いながら舞台上の CG 映像を操作できるシステムを開発し、能楽の舞台で使用した。このシステムは、能楽の演者の足に取り付けた加速度センサから役者の動きを計測し、計測データに連動して舞台上に CG 映像を投影するものである。役者の動きを演出に用いることでその時々演技に応じて異なる演出を実現できるほか、役者が演技の一部としてシステムを利用できることは手法の利点となる。また、他の観客のペンライトの振りの情報を振動として提示することで、音楽ライブの初心者に向けて振りのタイミングの教示を実現したペンライトデバイスも提案されている [13]。振動による情報提示は、演技や音楽の視聴と異なる触覚刺激に基づくものであり、観客の視聴体験を拡張したうえで情報伝達を行う有効な方法である可能性がある。

このように、ライブパフォーマンスの演出の質を向上させることを目的とした様々なシステムが提案されているが、演者・観客間のつながりを増強する効果を期待したものではない。そこで、観客の応援の演者への伝達を支援することで観客と演者の間のつながりを強化する試みも行われている。堂林ら [19] や小幡ら [14] は、観客が自身の持つデバイスにアクションを起こすことで演者の衣装や装飾を制御できるシステムを提案している。これらのシステムでは、観客が演者に対して応援の意思を伝達でき、発光から伝達を確認できる。しかし、観客側から演者側へ応援が単方向に伝達されるのみで、双方向性に欠ける。演者に応援を伝達したうえで、さらにその逆となる演者からの反応を伝達することが両者の間の相互的な交流の質を高め、つながりを深める。その点に関連し、演者と観客の間の双方向的な情報伝達から、演奏者・観客の間のインタラクションの増強を目指したシステムの提案もある [21]。このシステムは、演奏に合わせて観客のスマートフォンに映像を投影する機能・観客がスマートフォンを振ることで会場の映像が変化する機能を持ち、両者の間の情報伝達を支援している。しかしスマートフォンを利用したシステムは、演者を観賞するというライブ本来の視聴行動を妨げる点が問題となる。

本提案では、演者と観客の間の双方向的な情報伝達と提示に基づき、音楽ライブの視聴行動を妨げずに両者の間のつながりと観客同士の協調的な応援を支援することを試みる。

3. 予備実験

2章で示したように、外部から無線で発光色を制御できるペンライトシステムの提案は多いが、演者の演技に合わせて動作するものはまだ提案されていない。そこで、演者から観客への演技の伝達を実現する単方向のシステムを試作し、予備実験から演者の演技を観客に伝達することがどのような効果をもたらすかを検証した。

3.1 予備実験用単方向システムの作成

最初に、図 1 の左側のフローで示される、演者の演技の情報に基づいて動作するペンライトシステムを試作した。本試作システムは、リストバンド型加速度センサ (図 2) とマイクから演者の情報を無線で獲得し、その情報に基づいてペンライト型デバイス (図 3) に搭載されたモータと LED の発光を制御するものである。この試作システムは、4章で後述する双方向ライブ支援システムの片側となるものである。そのため、詳細については後述する。

3.2 実際のライブ環境下におけるデータ計測実験

実験に先立って、ArcJewel 所属のアイドルグループ「Luce Twinkle Wink ☆」のメンバ 4 人にご協力いただき、実際の演者が演技をしている際のデータを計測する実験を行った。提案システムを実際のライブで用いる場合には、実環境下で演者の動きや歌声のデータを正しく計測できることが望まれる。このデータ計測実験は、実験室環境下で実際の演者のデータを用いた実験や検討を行えるようにすること、実際のライブ環境下でシステムを利用できる見通しを得ることを目的としたものである。

データ計測実験は、このアイドルグループが定期公演で



図 2 リストバンド型加速度センサ
Fig. 2 Hand-held type acceleration sensor.



図 3 ペンライト型デバイス
Fig. 3 Penlight type device for participants.

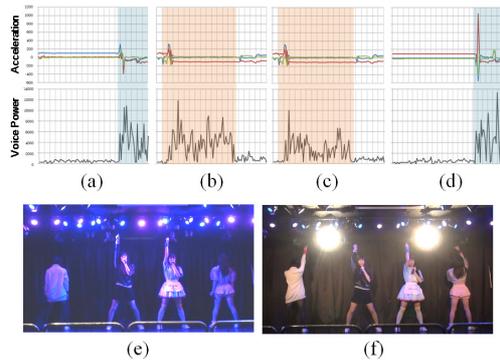


図 4 計測した映像データ・加速度データ・音声データの一例

Fig. 4 An example of the recorded video frame and the fluctuation data of acceleration and voice magnitude.

使用する会場を使用し、公演前のリハーサルの時間（約 1 時間）を用いて行われた。メンバ 4 人の腕にリストバンド型の加速度センサを装着して演者の加速度を計測したほか、マイクから演者の音声強度のデータを計測し、ビデオカメラで撮影した映像と一緒に記録した。演技中の実際の演者 4 人から得られた加速度・音声強度の変動のデータ（約 10 秒間分）を図 4 (a)–(d) に示す。このシーンでは図 4 (e) のように 2 人の演者が手をあげて歌った後に、残りの 2 人が代わって歌う（図 4 (f)）というパート分けがなされているが、得られた加速度・音声データからは個々のメンバのパートを区別することが可能である（図 4 (a)–(d) のグラフの背景色は各パート分けを示す）。計測データを用いて、メンバのうち 1 人の動き・音声の強度をペンライトに振動・光として提示するプログラムを作成し、映像とデバイスの動作から対応するメンバを当ててもらった実験を行った。実験には埼玉大学に所属する学生 8 人が参加した。結果として、7 人がデバイスに割り当てられたメンバを当てることができ、システムを用いて個々の演者の声・動きを正しく計測できることを確認することができた [5]。

3.3 計測データを用いた予備実験

3.3.1 実験設定

前述のデータ計測実験において計測した演者のデータを用いて予備実験を行った。この実験は、埼玉大学に所属する大学生 32 人が参加し、4 人を 1 グループとして計 8 ケース実施した。なお、音楽ライブへ行っていたことがある人は 20 人であった。4 人の被験者に、前回の実験で収録したアイドルグループのメンバ 4 人の演技の録画映像（約 1 分 30 秒）を 2 回視聴してもらった。4 人の被験者には、動画中に登場する 4 人のメンバのうちの特定の 1 人を「応援してほしいメンバ」としてそれぞれに割り当て、割り当てられた特定のメンバを応援してもらうようお願いした。同時に、被験者にはペンライト型デバイスを持ってもらい、応援に使用してもらうよう指示した。

動画の再生と同期して、ペンライト型デバイスには振動



図 5 実験風景（予備実験）

Fig. 5 Scene of the preliminary experiment.

表 1 アンケートの設問（予備実験）

Table 1 Questions in the questionnaire (preliminary experiment).

番号	設問
設問 (A-1)	システムを使用することで臨場感を感じましたか
設問 (A-2)	映像に集中することはできましたか
設問 (A-3)	応援したいメンバとの一体感を感じましたか
設問 (A-4)	実験の参加者間で一体感を感じましたか
設問 (A-5)	観賞する際に個々のメンバに注目しましたか

パターンを再生した。本実験では、デバイスの振動による観客の印象の違いを評価するために、2 種類の振動のパターンを検討している。1 つは、割り当てられたアイドルメンバの動きに連動して手元のデバイスが振動・発光する場合（動き連動）、もう 1 つは、メンバの動きに関係なく曲に合わせて手元のデバイスが一定の間隔で振動する場合（一定間隔）である。前者のケースにおいては、映像中のメンバに同期してデバイスを振動させるために、データ計測実験の際に記録した加速度データを使用した。また、視認性を上げるために、応援するメンバに対応した色を動きに連動して発光させた。後者のケースにおいては、メンバに対応した色を常時一定の明るさで発光させている。図 5 は実験の様子である。図 5 に示すように、実験中は演者の映像をプロジェクタで壁面に投影することで疑似的にライブ環境を再現した。各映像再生後に表 1 に示される設問に対して、7 段階評価のアンケート（どちらでもない場合を 4 とし、まったくそう思わない場合を 1、非常にそう思う場合を 7）を実施した。

3.3.2 実験結果と考察

被験者アンケートの結果に対してマン・ホイットニーの U 検定を行い、各項目の p 値を求めた。各設問ごとのアンケートの平均スコア（7 段階）と p 値を図 6 に示す。設問 (A-1) 「システムを使用することで臨場感を感じましたか」、および設問 (A-2) 「映像に集中することはできましたか」の項目では、いずれのケースにおいても中央値である 4 より高い評価が得られた。これから、振動するペンライトを用いた場合において高い臨場感・集中度が得られることが明らかになった。しかし、振動のさせ方には様々なバリ

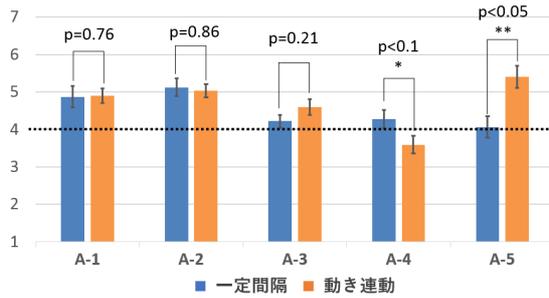


図 6 アンケートの平均スコアと p 値 (予備実験)

Fig. 6 Mean score of the questionnaire and p-value (preliminary experiment).

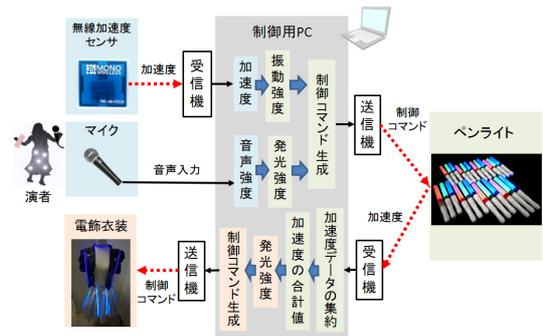


図 7 システムの構成

Fig. 7 Configuration of the prototype system.

エーションがあることから定量的な差はみられていない。

設問 (A-3)「応援したいメンバとの一体感を感じましたか」では両ケースの間で有意差は見られなかったが、平均スコアは演者の動きに連動して振動するケースの方が高かった。設問 (A-5)「観賞する際に個々のメンバに注目しましたか」においては、動きに連動するケースの方が一定間隔で振動させるケースに比べ平均スコアに差が見られ、その差は有意であった。この結果から、演者の動きに連動してデバイスが振動することが、応援したいメンバに注目して演技を観賞することを促進し、両者の間の関係性に影響を与えている可能性がある。

設問 (A-4)「実験の参加者間で一体感を感じましたか」の回答では、曲に合わせて一定間隔で振動する場合の方が、デバイスを演者の動きに合わせて振動させた場合と比較して平均スコアが高かった。応援する観客の間での一体感は、応援したいメンバを他の観客と一緒に応援している感覚によってもたらされると考えられる。しかし、デバイスが演者の動きに連動して振動する場合においては、4人の被験者が異なるメンバを応援していたため、被験者が体験する振動は異なっている。一方で、デバイスが一定間隔で振動する場合においては、4人の被験者が同じ振動を体験することになるため、参加者間で一体感をより得やすい環境にあったと考えられる。このことから、演者の動きに同期して振動する場合においても、同じメンバを応援する参加者が複数人存在する場合においては、同じメンバを応援する参加者同士の一体感が形成される可能性がある。

4. 双方向ライブ支援システムの開発

3章での予備的な検討をふまえ、図 1 に示す提案手法を実装した双方向ライブ支援システムを開発した。図 7 は開発したシステムの構成図である。本システムは、演者の演技の情報を観客の持つペンライトに振動・発光として伝達・共有する機能と、観客のペンライトの振りの大きさに応じて応援の大きさを演者の衣装に提示する機能の 2 つを持つ。本章では以降、機能ごとにシステムの詳細を述べる。

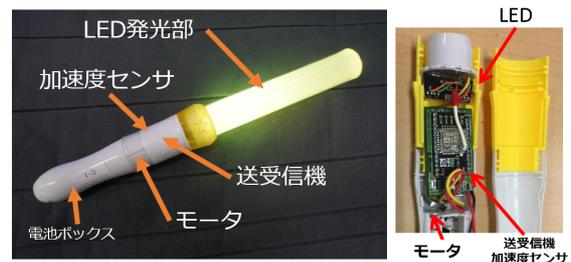


図 8 改良型ペンライト型デバイス

Fig. 8 Improved penlight type device for audience.

4.1 演者の演技を観客へ伝達する機能

本機能は、演者の装着するセンサによって計測された動きデータ・音声データに基づいて、観客の持つペンライト型デバイス内の振動モータ・LED が同期的に振動・発光するものである。加速度センサとマイクから演者の動きや声の情報を取得し、制御用 PC を介して観客の持つデバイスへその情報を無線で送信する。3章における予備実験では、本機能のみを搭載するシステムを作成し検証に使用している。演者の加速度データの取得には、加速度センサと送信機が一体となった無線タグ TWE-LITE-2525A をリストバンドに格納したものを使用した (図 2)。センサで取得された加速度情報は無線で制御用 PC に伝送され、演者の動きデータとして利用される。音声データの計測にはライブの演者が使用するマイクを用いる。制御用 PC は、本システムにおいて演者や観客から収集した情報の処理と配信を担当するものである。制御用 PC では、受信した加速度と音声の強度からペンライトの発光や振動のさせ方 (制御コマンド) を決定し、それをペンライト型デバイスへ配信することで、内蔵されたモータ・LED を一括で制御する。

4.2 ペンライト型デバイス

ペンライト型デバイスは、図 8 に示される演者の動き・歌声に同期して振動・発光するデバイスである。ペンライト型デバイスには、LED による発光部と振動モータと、制御用 PC と通信する送受信機 (マイコン) が内蔵されている。このデバイスの LED・振動モータは、制御用 PC から

送信されたコマンドに基づいた制御が可能であり、演者の動きや音声に基づいた発光や振動が実現される。また、後述する観客から演者へ応援を伝達する機能を実現するために、本デバイスには加速度センサが搭載されている。加速度センサから得られたデータは、ペンライトの振りが検出された際に制御用 PC に対し随時送信される。

本デバイスに関しては数種類の試作機を検討している。予備実験では図 3 に示すような、ペンライトの外部に電源と送受信機を接続した試作機を用いたが、実用上の堅牢性が問題となった。そのため、図 8 に示すようにすべての機器をペンライトの内部に格納し、現場での実用に適した形へと改良した。このデバイスを 24 本製作し、ライブ環境下における多人数での実験に対応できるようにした (図 9)。

4.3 観客から演者へ応援を伝達する機能

本機能は、観客の持つペンライト型デバイスの動きの大きさを応援の度合いとして集計し、図 10 に示す電飾衣装に LED の発光として提示するものである。アイドルメンバの装着する電飾衣装 (図 10) は、市販のチョーカー・ジャケット・スカートに LED テープを貼り付けて製作し、腰部に無線信号の受信機を取り付けたものである。この衣装はペンライトデバイスと同様に、制御用 PC からメンバごと・部位ごと (チョーカー・ジャケット・スカート) に個別に点灯パターンを制御することが可能である。本機能においては、各観客のペンライトから得られた加速度の合計値や振られている本数に応じて制御用 PC から衣装の光らせ



図 9 試作した 24 本のペンライト
Fig. 9 Penlight type devices.



図 10 製作した電飾衣装
Fig. 10 Overview of the stage costume.

方を制御し、観客の動作を演者の衣装に反映させる。

5. 実際のライブ環境下における実証実験

開発したシステムを用いて、実際のライブ環境下において実験を実施した。この実験では 2 つの事項について検証を行っている。1 つは、演者の身体動作に連動してペンライトが振動する単方向のシステムにおいて、演者と観客の間の一体感、観客同士の一体感にどのような影響を与えるかを明らかにすることである。予備実験においても同様の検証を行っているが、この実験では、演者の演技を直接視覚的に体験でき、同じメンバを応援する観客が複数人いる実環境下に近い設定で実験を行い、演者・観客間、あるいは観客同士の関係性にどのような影響を与えるかを調査した。もう 1 つは、本システムの特徴となる双方向的な情報伝達が演者・参加者間の一体感・参加者間の一体感にどのような影響をもたらすかである。そのため、単方向のシステムと双方向のシステムの比較に基づく評価実験を実施し、双方向的な情報伝達の有効性を検証している。

5.1 実証実験 (単方向システム)

5.1.1 実験の設定

本実験では、埼玉大学のコピーダンスサークル「SKR48」のメンバ 5 人にご協力いただき、24 人の被験者の前で演技をしてもらった。被験者は埼玉大学に所属する学生であり、ライブに行ったことのある人を中心に学内で募集した。最終的に集まった 24 人の被験者のうち、ライブに行ったことがある人は 19 人、定期的にライブに通っている人 (年 1 回以上ライブへ参加) は約半数の 13 人であった。図 11 は実験の様子を示したものである。24 人の被験者を 8 人ずつ 3 グループに分け、5 人のメンバのうちの 3 人をそれぞれのグループに対して割り当てた (図 12)。そして、被験者にはペンライト型デバイスを持ちながら、観客として割り当てられたメンバを応援してもらうようお願いした。演者には動きを計測する加速度センサを右腕に取り付けてもらい、動きのデータをリアルタイムで取得した。演者に 2 曲の演目を 2 回、計 4 回の演技をもらい、被験者には各曲目に対して、演者の動きに連動して振動する場合・



図 11 実験風景
Fig. 11 Scene of the experiment.

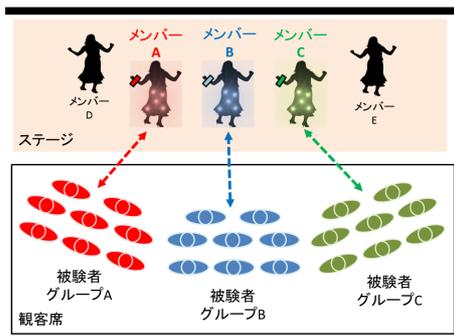


図 12 実験設定

Fig. 12 Settings of the experiment.

表 2 実験時の曲順および再生された振動パターン

Table 2 The order of the songs played during the experiment and the pattern of vibration.

回数	曲	振動パターン
1 曲目	曲 A	動き連動
2 曲目	曲 B	一定間隔
3 曲目	曲 A	一定間隔
4 曲目	曲 B	動き連動

表 3 アンケートの設問 (実証実験)

Table 3 Question in the questionnaire.

番号	設問
設問 (B-1)	システムを使用することで臨場感を感じましたか
設問 (B-2)	ライブに集中することはできましたか
設問 (B-3)	応援したいメンバとの一体感を感じましたか
設問 (B-4)	参加者全体での一体感を感じましたか
設問 (B-5)	同じグループの参加者間で一体感を感じましたか

曲のテンポに応じて一定間隔で振動する場合の 2 パターンを試してもらった。ペンライトの発光は振動パターンに合わせて設定し、演者の動きに連動して振動するケースでは演者の動いている間は発光が強まるように、一定間隔で振動するケースでは、振動と同様に発光の強度が一定間隔で変化するように設定した。表 2 は、実験時の曲順・振動パターンの再生方法を示したものである。各曲の演技終了後に、表 3 に示される設問に対して 7 段階評価のアンケート (どちらでもない場合を 4 とし、まったくそう思わない場合を 1, 非常にそう思う場合を 7) を実施し、実験終了後には演者・被験者へのインタビューも実施した。アンケートの設問 (B-1)~(B-4) は、予備実験の実験アンケートの設問 (A-1)~(A-4) に対応するものである。

5.1.2 結果

予備実験と同様に、被験者アンケートの結果に対してマン・ホイットニーの U 検定を実施し、各項目の p 値を求めた。各設問ごとのアンケートの平均スコア (7 段階) と p 値を図 13 に示す。予備実験と同様に、設問 (B-1) 「システムを使用することで臨場感を感じましたか」、設問 (B-2) 「ライブに集中することはできましたか」では、いずれの

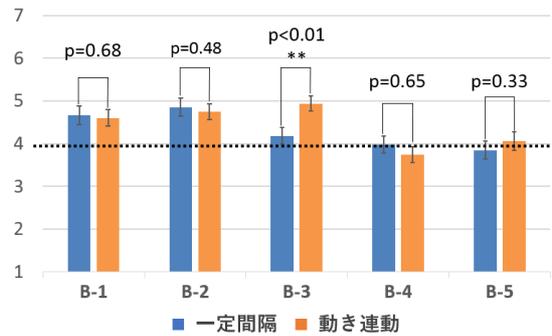


図 13 6.1 節の実験におけるアンケートの平均スコアと p 値

Fig. 13 Mean score of the questionnaire and p-value of the experiment in Section 6.1.

ケースにおいても 4 を上回る高い平均スコアが得られた。

今回の実験では、設問 (B-3) 「応援したいメンバとの一体感を感じましたか」において有意な差が見られた。この結果から、ライブ環境下において演者の動きに連動した振動が演者と観客の間の一体感を高めることが明らかになった。被験者インタビューからは、メンバの演技が振動として伝わることで、「アイドル自体の動きに注目するようになった」、「演者の頑張りを感じる」、「他のメンバよりも顔を覚え、親近感が沸いた」、「振動はあるとペンライトを振りやすい」等の感想が得られ、メンバに対する注目度や親近感が高まることが確かめられた。

演者へのインタビューからは、「自身の演技が観客に伝わっているのを感じた」といった感想が得られた。演者の演技は参加者のデバイスに振動・光として伝達されるが、それだけでなく演者側も参加者デバイスの発光を視認することで、自身の演技が参加者に伝達されている感覚がより増強されている。また、「観客に伝わるように、腕を大きめに振るように意識した」とのコメントが得られた。演者の演技が参加者に伝わり、それが演者から見て分かることで、より参加者に伝わりやすい演技が行えるようになる。インタビューの結果は、演者がシステムを利用することで観客とのつながりを深めていける可能性を示している。

今回の実験では、同じメンバを応援する観客間の一体感への影響を調査するために、設問 (B-4) の参加者全体での一体感の調査に加えて、設問 (B-5) において、同じグループの参加者間での一体感について分けて調査を行った。設問 (B-4) では、一定間隔で振動させた場合において、演者に連動して振動する場合と比較して高い平均スコアが得られた。この結果は予備実験で得られた結果と同様である。一方で、設問 (B-5) の平均スコアは、演者に連動して振動する場合の方が高い。このことから、特定のメンバの演技に連動した振動はあるメンバへの注目をより引きつけ、同じ振動を体感するグループ内での一体感を高めていると考えられる。しかし、その差は有意ではなく、顕著な観客間の一体感の高まりは見られなかった。

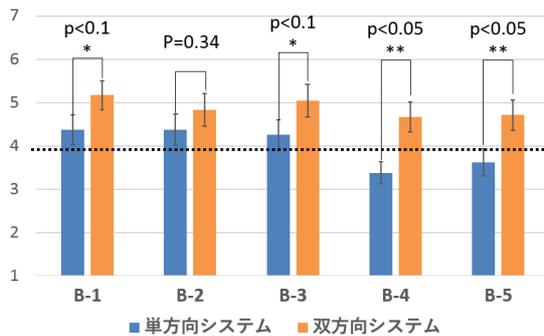


図 14 6.2 節の実験におけるアンケートの平均スコアと p 値

Fig. 14 Mean score of the questionnaire and p-value of the experiment in Section 6.2.

5.2 実証実験（双方向システム）

5.2.1 実験設定

この実験は、単方向システムの実証実験に続けて実施されたものであり、基本的な設定は同一である。単方向システムの実証実験と同様に、24 人の被験者を 8 人ずつ 3 グループに分け、演者である「SKR48」の 5 人のメンバのうちの 3 人を「応援してほしい人」としてそれぞれのグループに対して割り当てた（図 12）。割り当てられた 3 人のメンバには、電飾衣装を着てもらい、右腕には動きを計測するリストバンドを取り付けた。電飾衣装を視認しやすくするため、この実験では会場の照明を消して実施した。

演者に同じ演目を 2 回行ってもらい、それぞれの演目で単方向のシステム・双方向のシステムの 2 つを被験者に体験してもらった。いずれの回においても、ペンライトは割り当てられた演者の動きに合わせて振動するように設定した。また、電飾衣装については、1 回目ではつねに一定の明るさで点灯させ、2 回目ではペンライトの振り具合に応じて明るさを変化させるように設定した。電飾衣装の光る部位は被験者によって変わるように設定し、各被験者がペンライトに対応して衣装が発光する様子を確認できるようにした。被験者には、2 回目の演技の開始前に 1 人ずつペンライトを振ってもらうことで、双方向システムの挙動をあらかじめ確認してもらっている。演技終了後に表 3 に示す設問内容のアンケートを実施したほか、実験終了後に演者・被験者に対してそれぞれインタビューを実施した。

5.2.2 実験結果

単方向システム（1 回目）、双方向システム（2 回目）のアンケートにおける平均スコアと、マン・ホイットニーの U 検定により求めた p 値を図 14 に示す。平均スコアはすべての項目において双方向システムが単方向システムを上回り、設問（B-2）「ライブに集中することはできましたか」を除いてその差は有意（ $p < 0.05$ ）あるいは有意傾向（ $p < 0.1$ ）であった。被験者へのインタビューにおいては、「応援しているメンバへの愛着が増す」、「ライブに対して参加している感じがより感じられる」といったコメントが

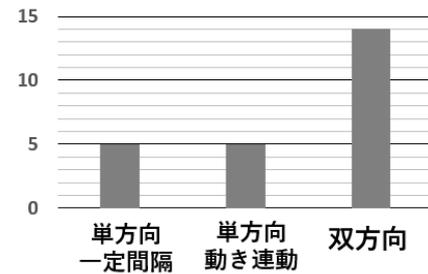


図 15 使ってみたいシステムに関するアンケート結果

Fig. 15 The questionnaire as to which system do you prefer.

得られた。単方向のシステムにおいては、観客の持つデバイスに光として反映された自身の演技を演者が視認することで、より参加者に寄り添っていくといった現象が見られた。双方向システムにおいてはそれに加えて、参加者が自身の応援を視認することで自身の応援の伝達を実感し、よりライブに集中していくという逆方向の現象が発生していると考えられる。これらの結果から、演者の情報が観客に伝わるだけでなく、観客の応援の状況が可視化されることによって、観客と応援したい演者の間のつながりが強まることが確認された。また、特定のメンバを応援するためにペンライトを振るという同一の行為を観客同士が協調しながら意識的に行うことで、観客間の一体感が高まったと考えられる。演者のインタビューから得られた感想としては、「光る衣装は楽しく、ずっと光っていると嬉しい」といったコメントが得られた一方で、自身の衣装が光っていることが分かりにくいというものがあった。本システムを利用する際に観客は発光に加えて振動から演者の情報を受容できるが、演者側にはその仕組みがない。そのため、演者への観客の応援情報の提示の仕方を検討する必要がある。

被験者 24 人に（1）デバイスが一定間隔で振動する場合（単方向システム・一定間隔）、（2）デバイスが演者の動きに連動して振動する場合（単方向システム・動き連動）、（3）デバイスが演者の動きに連動して振動し、さらにデバイスの動きがメンバの衣装に反映される場合（双方向システム）の 3 つのうち、どのシステムを再び使ってみたいかを聞いたところ、図 15 に示すように、14 人が双方向システムと回答し、双方向システムが最も高いスコアであった。しかし、単方向システムを使ってみたくないと回答した被験者も合わせて 10 人いた。被験者インタビューからは、双方向システムに対する否定的な感想として「アイドルの衣装を光らせる場合、ペンライトを振ることを優先し、曲に集中できなくなる」というコメントが見られた。図 14 に示すアンケート結果においても、ライブへの集中度を問う設問（B-2）では平均スコアは双方向システムの方が高いが、他の設問と異なりその差は有意ではない。そのため、ペンライトを振って応援するという行為をシステムによって促すことで、視聴体験により熱中できると感じた被験者と、

集中度が下がると感じる被験者の両方が存在したと考えられる。この要因として、システムがペンライトを振るといった応援行動のみを支援していることにより自由な応援を制限してしまっていることがあげられ、観客の応援行動の提示の方法に関しては検討が必要となる。

6. 議論

実験結果をふまえ、本章では関連研究との比較に基づいて提案手法の有効性や将来展望、課題について議論する。

6.1 デバイスの振動とその有効性

実験から、演者の演技に同期した振動が演者と観客の間の一体感を強めることが示された。1章で述べたように、振動を用いて遠隔地へ感覚を伝達するデバイスが提案されている [1], [6]。そして、振動による疑似的な触覚が、遠隔地にいる相手の存在感をより感じさせるとする研究結果も報告されている。Wang ら [8] は、音声通話に振動を拡張し、振動を導入した場合に通話相手とのつながりがより深まることを示した。Kuwamura ら [4] は、電話の音声を振動として伝達することで相手の存在を身近に体感できる抱き枕型通信メディアとして「ハグビー」を開発した。音声通話と同様に、ビデオ会議においても遠隔触覚が相手の存在感をより感じさせることが示されている [17], [18]。これらの研究結果は、振動による遠隔触覚の導入が、音声や視覚的映像による視聴覚体験を拡張し、相手とのつながりをより強く感じさせることを示唆している。そして、提案手法でも同様に、演者の動きに同期した振動という新たなモダリティに基づいて旧来のライブ体験を拡張し、演者・観客間のつながりの強化を実現した。ライブの応援グッズに振動を取り入れた例として、ライブ初心者への応援のタイミングの教示を目的としたものがあるが [13]、ライブの臨場感や演者との一体感の向上を目的とした例はない。そのため本稿の提案は、遠隔触覚の分野における知見を音楽ライブに取り入れ、臨場感や一体感の向上を実現したものとなっている。

6.2 双方向的な情報伝達の有効性

実験から、観客のペンライトを振るといった応援行動を衣装へ提示することが観客間の一体感を高めることを示した。2章で触れたように、観客の行動をアイドルの衣装や舞台に反映させる仕組みが提案されている [14], [19], [21]。他分野においても、卓球のラケットを振ることで卓球台に特殊効果を投影する「Ping Pong Plus」[3]等、身体的な操作に基づいてエンタテインメントの楽しみ方を拡張する試みが行われている。これらの身体的な動作を利用した演出の仕組みはコンテンツの受容者に対する参加を強く促し、娯楽体験の価値を向上させる可能性を持っている。しかし、聴衆の音楽ライブへの参加を支援する既存のシステムの多く

はコンセプトの提案にとどまっており有効性の検証が行われていない。本稿では、演者と観客の間での身体動作の双方向的な伝達が両者の間のつながりを強め、さらにその様子をお互いに共有し合うことで観客同士の一体感が高まることを実験から検証した。演者が、観客の持つデバイスを見ることで自身の演技が伝達されていることが分かり、より観客に伝わるように演技をする。観客の応援が演者の衣装に提示されることで、自身の応援が伝達されていることが分かり、より応援に参加していく。本研究のように、演者・観客それぞれの行動情報を相互に伝達し合うことで両者のつながりを強化することを試み、ライブ環境下での実験からその有効性を検証した例は今までにない。情報の発信者・受容者としての垣根を取り払い、一体感や参加性を高めることを支援する本提案は、音楽ライブに限らず、参加型コンテンツの質を高めていくうえでも応用できる可能性がある。

6.3 システムの将来展望と今後の課題

本システムにおいて観客に与える振動は、ライブにおける臨場感・一体感を高めるうえで有効的に作用した。遠隔触覚の分野では、高精度なモータを使用して異なる振動を与えることで疑似触覚を実現する試みが進んでいる。ペンライトにおける振動提示の高度化は、演者の演技の多様な形で配信を実現することからライブ体験における一体感や臨場感をさらに向上させる要素となると考えられる。

システムをライブ会場で使用するうえでは、多数のペンライトでの通信の実現が課題となる。実験では、3人分の演者の加速度情報を24人分のペンライトへ配信し、24人分のペンライトから得た加速度情報を集約して3人分の衣装に反映させた。インタビューでは「演者の動きとの同期を振動から体感できた」、「演者を応援していることが光から分かる」等の回答があったことから実験時の通信の品質も良好であったと推察される。しかし、実際のライブ会場は小規模なものであっても100人規模であり、多人数環境下で利用可能な通信方式の検討が必要である。またシステムではペンライトの振りの大きさを用いて観客の応援の度合いを判定しているが、観客同士の協調行動を支援するうえでは振りの同期に基づく提示も有効であると考えられる。しかし、多数のペンライトの振りの同期性を判定することは現状では困難であり、手法の検討が必要である。

本システムの応用として、遠隔地でライブを映像で視聴している視聴者への対応があげられる。演者や会場の参加者の情報を遠隔地へ配信し、逆に遠隔地の視聴者の情報を演者や会場の参加者に伝達することで、遠隔地の参加者のライブへの参加性が高まると考えられる。

7. まとめ

本稿では、音楽ライブにおける会場の一体感を高める

要素となる「演者と観客のつながり」と「観客同士の協調行動」を増強することを目的としたライブ支援システム「Affinity Live」を提案した。ライブ環境下において上記の目的を達成するために、双方向的に行動情報を伝達できること、伝達された情報が会場全体で共有できること、ライブの視聴体験を阻害しないことの3点がシステムには求められる。提案手法では、観客が自身の持つ応援グッズ（ペンライト）を通じて応援する演者の行動情報を光や振動として認知できる仕組みと観客のペンライトの振りを応援の度合いとして演者の衣装に提示することで、対象となる演者への応援の度合いを観客間で共有できる仕組みの2点を導入し、動作モードの異なる複数のシステムとの比較からその有効性を検証した。実際のライブを模した環境での実験から、演者の行動の伝達が両者の間の一体感を、観客の応援行動の衣装への提示が観客間の一体感を向上させることを示した。提案手法に基づく双方向的な行動情報の伝達はライブにおける一体感・臨場感の向上に有効に作用したが、一方でペンライトを振るという行動を優先してしまいライブへの集中度が下がると感じる被験者もいた。このことから、観客の応援行動の取得や提示の方法はより検討が必要となる。

今後は、観客からの行動情報の獲得手法、疑似触覚等を利用した行動情報の高度な提示手法、遠隔地の視聴者へ情報を配信する機能拡張を検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は、日本学術振興会・課題設定による先導的人文学・社会科学推進事業領域開拓プログラム「観客と共創する芸術—光・音・身体—の共振の社会的・芸術学的・工学的研究」の助成による。本研究を進めるにあたり、実験の実施にご協力をいただきましたアクアルナ・エンターテインメント株式会社の皆様、実験用デバイスの開発にご協力いただきました富士オートメーション株式会社の皆様、実験データの分析にご協力いただきました埼玉大学人文社会学研究科の陳怡禎氏に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Brave, S., Ishii, H. and Dahley, A.: Tangible interfaces for remote collaboration and communication, *Proc. 1998 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW 1998)*, pp.169–178, ACM (1998).
- [2] Chartrand, T.L. and Bargh, J.A.: The chameleon effect: The perception–behavior link and social interaction, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.76, No.6, pp.893–910 (1999).
- [3] Ishii, H., Wisneski, C., Orbanes, J., Chun, B. and Paradiso, J.: PingPongPlus: Design of an athletic-tangible interface for computer-supported cooperative play, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '99)*, pp.394–401, ACM (1999).
- [4] Kuwamura, K., Sakai, K., Minato, T., Nishio, S. and Ishiguro, H.: Hugvie: A medium that fosters love, *2013 IEEE RO-MAN*, pp.70–75 (2013).
- [5] Otsu, K., Takahashi, H., Fukuda, H., Kobayashi, Y. and Kuno, Y.: Enhanced concert experience using multimodal feedback from live performers, *10th International Conference on Human System Interactions (HSI)*, pp.290–294, IEEE (2017).
- [6] TapTap: TapTap (online), available from <http://www.taptap.me/> (accessed 2018-02-01).
- [7] Tarumi, H., Nakai, T., Miyazaki, K., Yamashita, D. and Takasaki, Y.: What Do Remote Music Performances Lack?, *Collaboration Technologies and Social Computing*, Yoshino, T., Yuizono, T., Zurita, G. and Vassileva, J. (Eds.), pp.14–21, Cham, Springer International Publishing (2017).
- [8] Wang, R., Quek, F., Tatar, D., Teh, K.S. and Cheok, A.: Keep in touch: Channel, expectation and experience, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2012)*, pp.139–148, ACM (2012).
- [9] Xylobands: Xylobands – Bringing Light to Life, Xylobands (online), available from <http://xylobands.com/> (accessed 2018-02-01).
- [10] 一般社団法人コンサートプロモーターズ協会：基礎調査報告書，一般社団法人コンサートプロモーターズ協会（オンライン），入手先 <http://www.acpc.or.jp/marketing/transition>（参照 2018-02-01）。
- [11] 株式会社ソニー・ミュージックコミュニケーションズ：FreFlow（フリフラ），株式会社ソニー・ミュージックコミュニケーションズ（オンライン），入手先 <http://www.smci.jp/s/smci/discography/S00007>（参照 2018-02-01）。
- [12] 株式会社ルイファン・ジャパン：FreFlow（フリフラ），無線制御ペンライト KING BLADE-RAVE（キングブレードレイブ）（オンライン），入手先 <http://ruifan.co.jp/rave/rave.html>（参照 2018-02-01）。
- [13] 岩本祐磨，岩井将行：音楽イベント初心者の応援行動の同期性の向上する無線通信機能搭載型ペンライト，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集，Vol.2016，pp.311–312（2016）。
- [14] 小幡 朱，串山久美子：ステージパフォーマンスにおいて観客と演者のコミュニケーションを支援する LED を使った衣装の提案，インタラクティブ 2017 論文集，pp.458–459（2017）。
- [15] 西田 惇，鈴木健嗣：bioSync：人々の運動覚体験を融合するウェアラブルデバイス，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.22，No.1，pp.51–60（2017）。
- [16] 石川恵理奈，米谷 竜，平山高嗣，松山隆司ほか：Gaze Mirroring による注視模倣効果の分析，情報処理学会論文誌，Vol.52，No.12，pp.3637–3646（2011）。
- [17] 田中一品，加藤良治，中西英之：鏡型ビデオ会議における視覚相互作用によるソーシャルテレプレゼンスの強化，情報処理学会論文誌，Vol.58，No.5，pp.946–954（2017）。
- [18] 田中一品，和田侑也，中西英之：遠隔握手：ビデオ会議と触覚提示デバイスの一体化によるソーシャルテレプレゼンスの強化，情報処理学会論文誌，Vol.56，No.4，pp.1228–1236（2015）。
- [19] 堂林まどか，沖 真帆，塚田浩二：Sync ☆ Idol：ライブアイドルとファンを盛り上げるライブ支援装置，WISS2015 論文集，pp.155–156（2015）。
- [20] 内山 萌，塙 大：ライブ映像と連動する無線制御ペンライトシステムの提案，インタラクティブ 2015 論文集，pp.805–807（2015）。
- [21] 平林真実，清水 基：Cryptone：音楽会場におけるパフォーマンスと観客の相互インタラクションのためのシステム，インタラクティブ 2013 論文集，pp.302–306（2013）。
- [22] 曾我麻佐子，芝 公仁，ジョナサルズ：3次元モーショndataを活用した創作能パフォーマンス，映像情報メディア学会誌，Vol.65，No.2，pp.218–223（2011）。



大津 耕陽 (学生会員)

2018年埼玉大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。現在、埼玉大学大学院理工学研究科博士後期課程在学中。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



福島 史康

2018年埼玉大学工学部情報システム工学科卒業。現在、埼玉大学大学院理工学研究科博士前期課程在学中。



高橋 秀和

2016年埼玉大学工学部情報システム工学科卒業。2018年埼玉大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。



平原 実留

2009年上智大学理工学部化学科卒業。2011年上智大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。現在、埼玉大学研究機構総合技術支援センター勤務。CADによる3Dモデル設計, 高分子樹脂のモデル造形等の業務に従事。専門は高分子化学, 電気化学。

専門は高分子化学, 電気化学。



福田 悠人

2012年埼玉大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。2015年同大学院同研究科博士後期課程修了。博士(工学)。2015年日本学術振興会特別研究員。2016年より埼玉大学大学院理工学研究科助教。コンピュータビジョ

ン, ヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する研究に従事。映像情報メディア学会, ACM 各会員。



小林 貴訓 (正会員)

2000年電気通信大学大学院情報システム学研究科修士課程修了。2000～2004年三菱電機(株)設計システム技術センターで, ソフトウェア生産技術の開発に従事。2007年東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。

博士(情報理工学)。現在、埼玉大学理工学研究科准教授。コンピュータビジョン, ヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する研究に従事。電子情報通信学会, 日本ロボット学会, IEEE, ACM 各会員。



久野 義徳 (正会員)

1977年東京大学工学部電気工学科卒業。1982年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年(株)東芝入社。1987～1988年カーネギーメロン大学計算機科学科客員研究員。1993年大阪大学工学部電子制御機械工学科

助教授。2000年より埼玉大学工学部情報システム工学科教授。現在、埼玉大学大学院理工学研究科数理電子情報部門教授。コンピュータビジョン, 知能ロボット, ヒューマンインタフェースの研究に従事。電子情報通信学会, 日本ロボット学会, 計測自動制御学会, 人工知能学会, 電気学会, 日本機械学会, IEEE, ACM 各会員。本会シニア会員。



山崎 敬一

埼玉大学教養学部教授。専門は社会学, エスノメソドロジー, 会話分析, CSCW, CHI, ロボットヒューマンインタラクション。主な著書として『モバイルコミュニケーション』(編著, 大修館, 2006年), 『社会理論としてのエスノメソドロジー』(ハーベスト社, 2004年)。ACM 会員。