

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 30 日現在

機関番号：50103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330250

研究課題名(和文) プロジェクターの投影画面上の影を用いたポインティングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of a Pointing System utilizing Hand Shadow on Projector Screen

研究代表者

土江田 織枝 (Doeda, Oriie)

釧路工業高等専門学校・情報工学科・講師

研究者番号：10230723

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：スクリーン上に映る手の影を使って、スクリーンから離れた位置からもマウス操作を行えるシステムの開発を行った。しかし、スクリーン上の情報を遮蔽する影を、邪魔と覚えることも多かった。そこで、指示位置を示すための指先部分の影だけをスクリーン上に映して使用するシステムへと改良した。また、影を使わない代わりに、印を使って指示位置を明確にしたり、スクリーンから離れた位置からもスクリーン上に手描きできる機能や注目点にスタンプを付加できる機能を備えたシステムの開発も行った。

研究成果の概要(英文)：We developed a system which enables mouse operations utilizing the shadow that the user made with his hand on the screen. In addition to the mouse control, we implemented several features in the system with the motion of the user's hand placed between the screen and the projector. The features include drawing handwriting shapes and putting markers at the remarkable points. We also invented an option to hide the shadow for not disturbing the view of the audience.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：プロジェクタ ポインティングシステム 影 赤外線

1. 研究開始当初の背景

講義などでパソコンを用いるときにはパソコンの画面をスクリーンに投影して指示棒やレーザーポインタなどで指示動作をしながら説明を行う。しかし、コンピュータを操作するには指示動作を一旦止めてマウス操作を行う必要がある。このような操作環境では、説明が途中で途切れてしまうため、内容がわかり難くなる。そこで、スクリーン上の指示動作がそのままマウスのポインティング操作として反映される、直接的で直感的な操作が行えるポインティングシステムの開発を行っている。ポインティング操作や指示動作をしながら比較的自由に移動できることを考えて、スクリーン上に映るユーザの影を使ってポインティング操作を行えるシステム(以後、影システムと呼ぶ)の開発を行った。影システムは大型のスクリーンでも使用でき、指示位置がわかりやすいという利点もあったが、操作に不必要な影も、スクリーン上に映ってしまうことが、システムの使い難さの大きな原因になっていた。また、システムを移動して使える構成へと改良を行う必要があった。

影システムでは、スクリーン上の影の指先の部分にカーソルの位置を合わせなければならない。そのため、システムを起動後直ぐに、キャリブレーション処理に使用するスクリーン画面の四隅の座標の値の入力を行う。座標の値を得るためには、スクリーン上の四隅をポイントする必要があるが、影システムではスクリーン上の手の影を使って行えるため、ポイント作業も比較的簡単ではあるが、システムに慣れていないユーザにとっては煩雑な動作と感ずるため簡略化の必要があった。

2. 研究の目的

通常のプロジェクタは、投影画面上ではコンピュータの操作を行えない。そのため、指示動作を一旦中止して、マウスなどを使ってコンピュータを操作する。電子黒板は投影画面への書き込みやパソコン操作も行えるがスクリーン面から離れた位置からの操作はできない。本研究では、スクリーンから離れた位置からも操作ができて、指示動作がそのままマウスのポインティング操作へと反映されるシステムの開発を行う。開発中の影システムの仕様や原理を基本とし、問題点の改良を行い、システムを手軽に移動して使用できる直観的なポインティングシステムの開発を目的とする。

3. 研究の方法

開発中の影システムについて、指示位置の正確さや指示位置のずれとスクリーン上の位置との関係について、定量的な評価実験を行い、そこから得られた結果を精査し、システムの正確性について検討を行った。また、システムの使いやすさの面については、被験者を、システムを使用したユーザの立場のときと、システムを使用した視聴者の立場と

したときの評価実験を行った。それらの結果から改善を行った。

4. 研究成果

(1)影システムはスクリーン上に映った手の影の指先の部分にカーソルの位置を合わせている。そこで、スクリーン上の場所によって影とカーソルの位置に生じるずれをスクリーンと指先間の距離を変えて測定することで指示位置の精度を評価した。スクリーン上の等間隔に設けた12個の目標点を、指先の影で指したときのカーソルの実際の位置のバラつきを測定した。スクリーンから指先までの距離は0cm, 100cm, 200cmとし、目標点それぞれについて20回の指示動作を行った。図1に実験結果を示す。

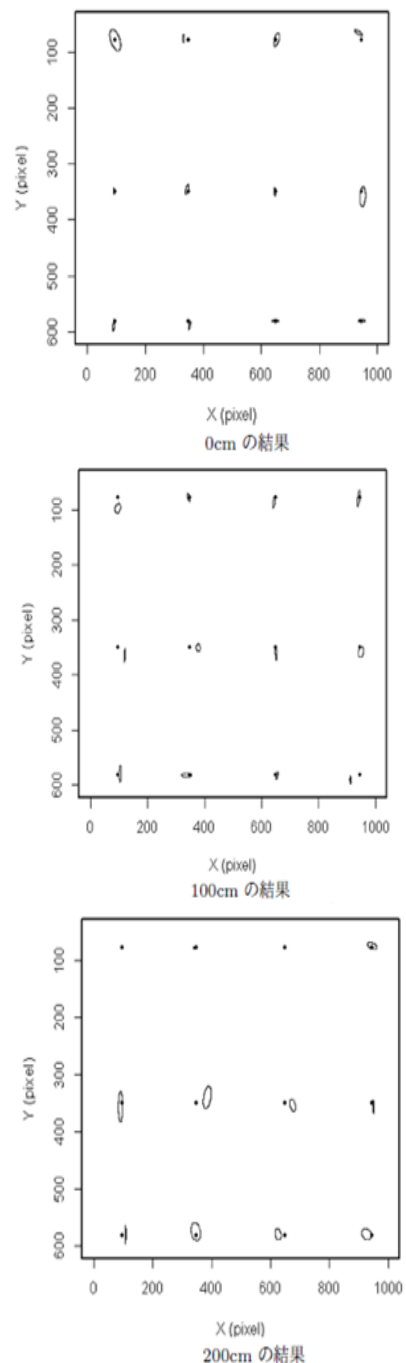


図1 スクリーンからの距離による指示位置の精度

スクリーンから 0cm 地点での操作は影を使わずに指先の位置と指示したい位置が一致する状態となっている。図 1 の 0cm の結果から、スクリーンの下部と中央部については指示位置の精度が高いことがわかる。しかし、スクリーンの上部の 4 点と中央右端の点については、多少の位置のずれが生じている。スクリーンから 100cm 地点での評価の結果からは、スクリーンの中央部分について指示位置にずれが生じていることがわかる。スクリーンから 100cm の場所ではスクリーン上の影はあまり大きくないため、スクリーンの上部の目標点や、端の目標点は指示し難い。スクリーンから 200cm 地点での評価の結果からは、スクリーン中央部と下部には指示位置にずれが生じているが、上部は精度が高いことがわかる。スクリーンから 200cm 離れた位置ではスクリーン上の指先の影の大きさは実際の大きさの約 2.5 倍になっているため、目標点を指すときにずれが大きくなり、結果としてシステムが読み取った指示位置に誤差が生じたと考えられる。

これらの結果から、スクリーンから離れる程指示位置に対する誤差が大きくなるものの、誤差の傾向はスクリーン上の位置にはあまり依存していないことが分かる。この実験では、横方向が 140cm に 1024pixel で 7.3pixel/cm、縦方向が 104cm に 768pixel で 7.4pixel/cm であり、投影面が縦方向に若干つぶれている。このことが、pixel 単位で評価した実際の指示位置の分布が縦方向に大きくなった原因の一つと考えられるものの、これを考慮してもまだ縦方向の分散が大きい結果となっている。しかし、このような誤差の傾向に注意すれば、スクリーンから 0cm から 200cm の範囲で横方向で 95%、縦方向で 99% の点のずれが 32pixel 以下であり、これは、この実験におけるスクリーン上で約 4cm 以下の誤差であることから、大まかな指示動作では誤差の傾向が場所によって変わることによって引き起こされるような操作上の混乱もないと考えられる。しかし、細かな指示動作を要する場合には、4cm 以下の誤差でも操作に影響は生じる。

(2) 影システムでは、赤外線を発光する投光器を使用した。ユーザは人差し指と中指に反射シールを装着し、投光器からの赤外線を反射シールで反射したことによる反射光を使用していた。また、赤外線の感知には Wii リモコンを用いているが、Wii リモコンのレンズから見た指先の位置とスクリーン上の指先の位置を一致させるためには、Wii リモコンのレンズと、プロジェクタのレンズの焦点を同じ位置にしなければならない。この焦点の位置の一致にはダイクロミックミラーを用いて光学的に一致させていた。この手法により、システムを使用する環境については制限が軽減された。しかし、システムに使用している赤外線投光器はシステムの構成を大きくし、システムを移動して使用する際

どには手間が掛かる原因となっていた。そこで、投光器の使用を止め赤外線を発光するデバイスを指に装着することとした。

そこで様々な赤外線発光デバイスを作成し、形状や使いやすさなどについて検討したが、爪先の位置に赤外線 LED が付く形状の指輪型の発光デバイスが使いやすく正確に操作が可能であることがわかった。発光デバイスを使用したときの指示動作の正確性や特徴を調べるために、評価実験を行った。

実験では、縦 147cm 横 197cm の大きさの大型のスクリーン上に直径 2cm (1pixel 程度) の円型のポイント点をランダムに表示し、そのポイント点上にカーソルを合わせてクリック動作を行う動作を続けて 50 回繰り返した際の、カーソルの平均移動速度とクリックした位置とポイント点中心の距離を計測した。また、比較のために、普通のマウスと、角度センサーを用いた空中マウスを使用した場合で同様の計測を行った。図 2 に、スクリーン上のポイント点へのカーソルの平均移動速度とクリック動作時でのポイント点からのずれとの関係を示す。図 2 より、普通のマウスは、移動速度に関係なく、ポイント点とのずれが少なく、正確に指示動作を行えることがわかる。しかし、空中マウスと発光デバイスについては比較的素早い操作よりも、ゆっくりと操作したときにずれが大きくなる。空中マウスと発光デバイスはどちらも腕全体を使って操作しなければならないので、腕の重さなどが操作精度に影響していると考えられる。このとき、空中マウスでは内蔵された加速度センサーの特性などで腕の細かな動きがキャンセルされるのに対し、発光デバイスでは腕の小さな動きでもカーソルの動きに反映してしまうことで、細かい動きを行うときの指示動作が不正確になってしまったと考えられる。

また、ずれの大きさが 30pixel 以上の点については、ポイント点からのずれとしては値が大きすぎる。これは、カーソル移動などの操作中に、システムが何らかの原因で誤ってクリック操作を検知した可能性が高い。指の傾きや手の位置によって容易に起き得るので、操作精度を高めるためには、誤検知を解決する必要がある。デバイスについては今後も検討開発を続ける。

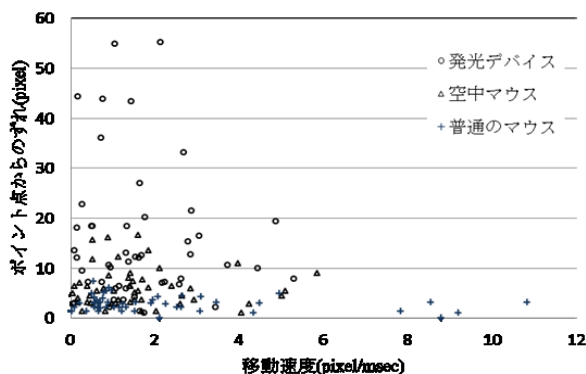


図 2 カーソル移動速度とポイント点からのずれ

(3) 影システムでは、影を使うことで、指示位置も明確となり、大型のスクリーンでも使用できるが、操作に不必要な影による情報の遮蔽がこのシステムの使い難さの大きな原因となっていた。また、影は指示位置の精度を低下させた。そこで本研究では、影システム(図 3(a))を操作する際にスクリーン上の影の遮蔽範囲を指定できるシステム(以後、影重畳システムと呼ぶ)の開発を行った。影重畳システムでは、ユーザも視聴者もスクリーン上のカーソルを目視できる状況であり、指示動作の際も影が一切必要なければ、スクリーン上の影は全て消去して、ポインティング操作を行うことができる(図 3(b))。また、指示動作の際に指先の影が必要なときには指先の周辺だけは影を映し(図 3(c))、その他の部分の影は消去できるように、ユーザがスクリーン上の影の映り方を選択して使用できるシステムとした。影重畳システムの構成は、スクリーン面から約 75cm 程度の位置にパソコンの画面を投影するための単焦点のプロジェクタを設置する。また、指先の位置に影を映すために使用するプロジェクタをスクリーン面から約 380cm 程度の位置に設置し、赤外線感知に使用する Wii リモコンをそのプロジェクタの上部に設置する。

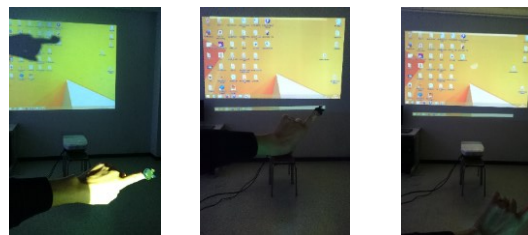
影システムと、影のない状態を選択したときの影重畳システムとで、指示動作の正確性について評価実験を行った。実験環境は、床から約 114cm 縦約 137cm 横約 235cm の大きさで白い壁面をスクリーンとして評価画面を投影して行った。評価実験の内容は、スクリーン上に円の形のポイント点を一つ表示し、そのポイント点上にカーソルを合わせてクリック動作を行う。ポイント点はクリック直後に自動的に別の場所に移動する。評価の正確性を保つために、次のポイント点は常に違う位置に表示するようにし、被験者がポイント点の位置を推測することはできないようにした。ポイント点の大きさは、直径 1.5cm、直径 3.5cm、直径 6.5cm の 3 種類を選択できるようにした。評価実験は、3 種類の大きさのポイント点について各 80 回行った。実験中はユーザの指に装着した発光デバイスからの赤外線を正しく評価するために、実験室の窓のブラインドを閉め、室内灯は消して行った。評価結果は、ポイント点から次のポイント点へのカーソルの移動速度と、クリック動作時のポイント点からのずれの関係について、影システムの評価結果を図 4 に、影重畳システムの評価結果を図 5 に示す。図中の point5 はポイント点の大きさが直径 1.5cm を表し、point10 は直径 3.5cm、point20 は直径 6.5cm を表している。評価中にクリック動作を誤って検知したと思われる 50pixel 以上のずれの点については省略した。

図 4、図 5 より、ポイント点の大きさに関係なく影重畳システムでは目標点からのずれは 25pixel 以内に収まっているのに対して、影システムでは 50pixel 付近にも多く分布し

ている。影重畳システムでは影システムと比較して、大幅にポイント点からのずれが小さくなったことがわかる。影重畳システムはスクリーン上に影がないので、ユーザはカーソルを見ながらカーソルの位置にポイント点を正確に合わせる事ができる。特に目標点の大きさが一番小さい point5 (直径約 1.5cm) では、影システムではカーソルの移動速度が遅い状態でもポイント点からずれが大きい。影重畳システムではカーソルの移動速度が速くてもポイント点からのずれは小さいので、速く正確にクリック操作が行われている。また、目標点が point10 (直径約 3.5cm) のときにおいても影システムでは素早く正確にクリック操作が行われている。point20 (直径 6.5cm) の目標点では、影システムにおいてもカーソルを速く移動させても比較的ずれが小さい。指先の影の位置とカーソルの位置の最大のずれが約 4cm 程度で、point20 のポイント点の大きさの方が大きいためカーソルが影に隠れていてもポイント点を正しく指示することができるためと考えられる。

影システムでは、情報の遮蔽の問題の他に、指先の影によってカーソルが隠れてしまうことで正確なカーソルによる指示動作の妨げになる点が大きな課題であったが、影を消去することで正しく指示動作が行えるようになった。影重畳システムには、スクリーン上のカーソルが目視できない状態のときに、カーソル付近のごく一部にユーザの指先の影を投影できる仕様も実装しているが、ユーザの指の角度によっては影の映り方に違いが生じ、指示位置の提示が控え目となるため指示位置がわかりにくくなり、ユーザの示したい注目点などを明確にすることができない点が問題となった。

(4) スクリーン上の影の提示を選択可能にした影重畳システムでは、スクリーン画面上の情報を遮蔽してしまう問題を解決し、指示位置の精度を上げることができた。しかし、カーソル付近のごく一部にユーザの指先の影を投影することで、カーソルを目視できないスクリーンから離れた場所の視聴者にもカーソルの位置がわかるような仕様も実装しているが、ユーザの指の角度によっては影



(a) 影システム

(b) 影を全て消去した時の様子

(c) 指先部分だけ影を映した時の様子

図 3 影重畳システムを操作中のスクリーン画面

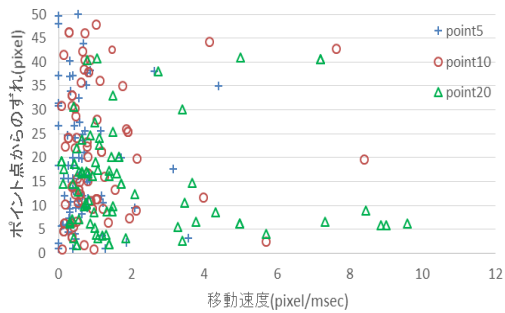


図4 影システムの評価結果

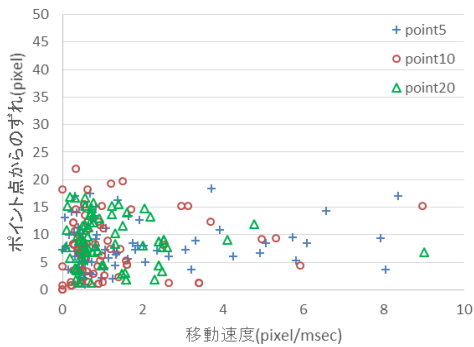


図5 影重畳システムの評価結果

の映り方に違いが生じるため、指示位置の提示が見え難くなり、聴取者の印象が弱くなる傾向があった。また、プロジェクタを2台使用するため、システムが大掛かりになり設置に一定のスペースが必要となる点も難点であった。

そこで、影重畳システムの問題点を解決するとともに、スクリーンから離れた場所でユーザが指を動かすだけで、スクリーン上の情報の注目点を強調できる機能を備えたシステム（以後、準自動補正システムと呼ぶ）の開発を行った（図6）。影重畳システムではプロジェクタを2台使用していたが、準自動補正システムは、スクリーン前にプロジェクタを1台設置するだけとなり、システム構成を簡素化できたため、移動して使用できるようになった。システムを使用している様子を図7に示す。

また、準自動補正システムでは、指示動作には影は使わずにその代わりに、カーソルを

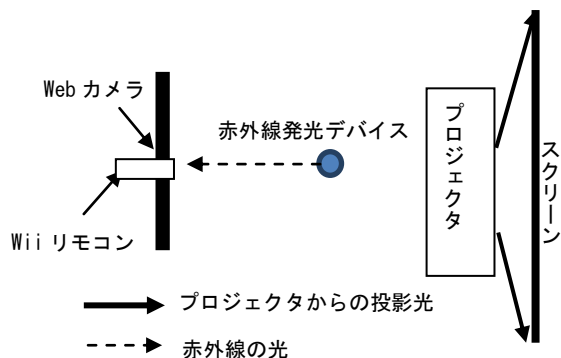


図6 準自動補正システムの構成

丸印で囲むようにし（図8）、スクリーンから離れた場所からも指示位置を目視できるようにした。更に、ユーザが視聴者に注目してもらいたい情報の部分には、スタンプ（印）（図9の図中1,2）をつけることやフリーハンドで線や文字を書ける機能（図9の図中3）を実装した。スクリーン面への手描きができるシステムは電子黒板やプロジェクタにも既に存在するが、それらのシステムはスクリーン面が感圧式のタッチパネルを使用しているものや、特殊なペンを使用して、そのペン先がスクリーン面に触れることで書くことが可能となっている。準自動補正システムではスクリーンから2m以上離れた場所からでもスクリーン上への手描きが可能となる点が他のシステムにはない特徴となっている。スクリーンから離れた場所からも操作や手描きが可能になったことで、システムを操作中のユーザの動きに自由度が高くなり使用制限が軽減された。

(5) 赤外線的位置を感知するために用いているWiiリモコンとスクリーンの座標を一致させるために、キャリブレーションが必要である。通常はスクリーンの四隅を何らかの方法で指示することでそれらの座標の値を取得しなければならず、システムを起動し使用する前には必ずその操作が必要であった。準自動補正システムにおいては、ARマーカを使



図7 提案システムを操作中の様子

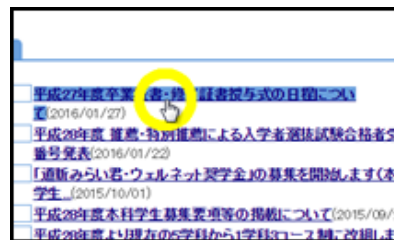


図8 カーソルの位置の明示化



図9 スタンプや手描き機能を使用した様子

用して自動で四隅の座標の値の取得を行えるようにした。システムを起動した後に AR マーカを投影するディスプレイの選択を終了後に、図 10 の左図のように AR マーカがスクリーン面に投影される。AR マーカが投影されている範囲がスクリーン上の使用できる範囲となる。スクリーン上の AR マーカを Web カメラが認識した時には、図 10 の右図のように AR マーカ上に立方体が表示される。ユーザはこの立方体を確認した後に、パソコンの画面に表示された設定ウィンドウの確定を示すボタンを選択することで、スクリーンに投影されている AR マーカの外枠の四隅の座標が自動的に取得され、同時にキャリブレーションの処理が行われる。これにより、キャリブレーションのためのスクリーン面の四隅座標取得の作業を行わずにシステムの使用が可能となった。キャリブレーションをほぼ自動的に行えることにより、システムを起動した際のキャリブレーションのための煩雑でわかりにくい動作がなくなり操作性が向上した。

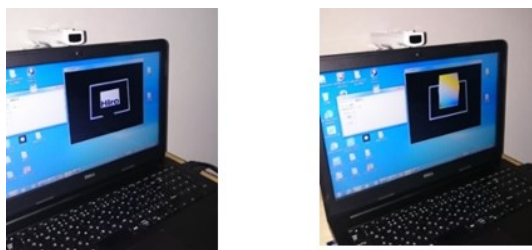


図 10 キャリブレーション処理中のパソコンの画面（パソコン画面右側はパソコン内蔵の Web カメラで撮ったスクリーン面の画像を表示している）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 7 件）

- ① 土江田織枝、堀口怜也、林裕樹、山田昌尚、宮尾秀俊、注目点や指示位置の明示機能を備えたポインティングシステムの開発、第 15 回情報科学技術フォーラム論文集、査読有、第 3 分冊、2016. 9、ページ未定
- ② 土江田織枝、林裕樹、山田昌尚、宮尾秀俊、実影提示を選択可能な影ポインティングシステム、第 14 回情報科学技術フォーラム論文集、査読無、第 3 分冊、2015、519-522
- ③ 土江田織枝、林裕樹、山田昌尚、宮尾秀俊、サブプロジェクトによる重畳を利用した選択的実影ポインティングシステムにおける問題の検討、教育システム情報学会第 40 回全国大会論文集、査読無、2015、165-166
- ④ 土江田織枝、財原ちひろ、林裕樹、宮尾秀俊、プロジェクト画像の影による遠隔ポインティングシステム、釧路高専紀要

第 48 号、査読有、2015、39-46

- ⑤ 土江田織枝、前田紫苑、林裕樹、宮尾秀俊、IR ペンを用いた学習支援システムの開発、第 13 回情報科学技術フォーラム論文集、査読無、第 3 分冊、2014、401-404
- ⑥ 土江田織枝、椎名穂乃華、林裕樹、宮尾秀俊、指輪型発光デバイスによる影ポインティングシステムの操作性の改善、教育システム情報学会第 39 回全国大会論文集、査読無、2014、147-148
- ⑦ 土江田織枝、齋藤真弥、林裕樹、宮尾秀俊、複数同時操作対応の IR 手描きボードシステムの開発、第 12 回情報科学技術フォーラム論文集、査読有、第 3 分冊、2013、81-86

〔学会発表〕（計 6 件）

- ① 土江田織枝、注目点や指示位置の明示機能を備えたポインティングシステムの開発、第 15 回情報科学技術フォーラム、2016. 9. 9、富山大学（発表予定）
- ② 土江田織枝、実影提示を選択可能な影ポインティングシステム、第 14 回情報科学技術フォーラム、2015. 9. 16、愛媛大学
- ③ 土江田織枝、サブプロジェクトによる重畳を利用した選択的実影ポインティングシステムにおける問題の検討、教育システム情報学会第 40 回全国大会、2015. 9. 2、徳島大学
- ④ 土江田織枝、IR ペンを用いた学習支援システムの開発、第 13 回情報科学技術フォーラム、2014. 9. 3、筑波大学
- ⑤ 土江田織枝、指輪型発光デバイスによる影ポインティングシステムの操作性の改善、教育システム情報学会第 39 回全国大会、2014. 9. 11、和歌山大学
- ⑥ 土江田織枝、複数同時操作対応の IR 手描きボードシステムの開発、第 12 回情報科学技術フォーラム、2013. 9. 5、鳥取大学

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土江田織枝 (DOEDA Orië)

釧路工業高等専門学校・情報工学科・講師

研究者番号：10230723

(2) 研究分担者

林 裕樹 (HAYASHI Hiroki)

釧路工業高等専門学校・情報工学科・准教授

研究者番号：60342440