

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280097

研究課題名(和文) 仮想現実への汎用触知インタフェースの開発

研究課題名(英文) Study of an Interface using Virtual Haptic Sensing for the Visually Impaired

研究代表者

巽 久行 (TATSUMI, Hisayuki)

筑波技術大学・保健科学部・教授

研究者番号：30188271

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：仮想現実(VR)を創る研究は数多いが、視覚情報から遮断された視覚障がい者に仮想現実感を持たせることは容易ではない。本研究は、力覚フィードバック装置を手指に装着して、疑似的な触力覚を感じさせることで仮想現実感を創り出し、視覚障がい者にVR世界への新アクセス手法を確立することで、その空間認知を支援することを目標とする。VR空間上に、手とそれに把持された白杖を実現し、データグローブを装着した(実験者の)手をこの仮想手にシステムにより重ね合わせる。同じVR空間上に、点字ブロックを置き、実験者が手に持った白杖に伝わる触力覚から、道路上の点字ブロックの存在を触知するシステムを構築し、有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Creating a virtual reality (VR) by combining visual information and pseudo touch sensing is studied widely. Being strictly detached from visual information, the visually impaired are off from the benefit of VR technology. Our study here is the development of HAPTIC VR TECHNOLOGY for aiding them. We establish a new method of accessing VR space through "virtual white cane". Our VR sensing method consists of the following haptic sensing process at the fingers of the user's hand on which "data-glove" (force feedback device) is worn. In our VR setting, we have implemented two objects: "studded paving blocks on the pavement" and "white-cane" with a "hand" which manipulate it in search for the blocks on the pavement. One of user's hand wearing the data-glove on it is superposed on the virtual hand by the system. Thus the search by touching on the pavement by the white-cane in the VR space is successfully conveyed to the actual hand of the user via data-glove.

研究分野：福祉情報工学

キーワード：視覚障がい 仮想触力覚 触知VR 複合現実 白杖歩行支援 環境認知

1. 研究開始当初の背景

人が受け取る情報の大部分は視覚経由なので、少しでも視力があればそれに頼る。視覚障がいの中で、弱視者は最後まで残存視力に頼るが、全盲者や視力が殆どない弱視者は、聴覚や触覚、力覚などを使って間接的な代替情報を得ている。例えば、全盲者（以下、視覚が殆どない弱視者も含む）は、聴覚情報を取得し難い歩行移動では、白杖を利用した触知情報のみから環境を知る。彼らは室外歩行では点字ブロックや縁石等に、室内歩行では壁や階段等に白杖を当てて、移動方向や警告位置、様々なランドマーク地点の情報などを、白杖に伝わる触覚や力覚を通して知る。

コンピュータグラフィックスによる視覚情報と、触覚や力覚などの疑似的な感覚とを組み合わせ、様々な仮想現実感を創るバーチャリアリティ（VR）の研究は数多く存在するが、殆どのVRは圧倒的な情報量からなる視覚が引き起こした仮想現実感である（これを視覚VR技術と呼ぶ）。それ故、聴覚VR技術（聴覚で引き起こす仮想現実感）を含めて、視覚障がい者が仮想現実感を得るのは、非常に困難な問題である。

2. 研究の目的

本研究課題は、視覚VR技術や聴覚VR技術に続く、第3の触知VR技術（触覚や力覚で引き起こす仮想現実感）を開発することを目標としている。これまで触知VR技術が育たなかった理由として挙げられるのが、触覚や力覚のみの触知感覚だけでは仮想現実感を得るに足りないと判断されたことによる。しかし、視覚障がい者は白杖からの触知情報だけで環境を知る。そこで、触力覚を生成するデータグローブや力覚デバイス等を手指に装着し、握っている白杖から疑似的な触覚や力覚を感じさせる（疑似的な把持感を創生する）ことで仮想現実感を創り出して、視覚障がい者の環境把握や空間認知を支援するというのが本研究の構想である。例えば、点字ブロックのない場所や転落事故の危険性があるホームなどで、誘導ブロックや警告ブロックの触知を感じるような疑似触力覚を創り出すことで、全盲者の行動や安全を向上する支援技術となり得る可能性がある。

3. 研究の方法

触覚や力覚を生成する器具（力覚フィードバックデータグローブ）を全盲者が手に装着して、握っている白杖から疑似的な触知感覚を受けて仮想現実感を創り出せるか否かを考察する。もし、このような触知VR技術が可能ならば、視覚障がい者の認知地図創生が大幅に向上されること、および、点字ブロック等のライフラインが無い場所でも自由に移動や誘導が可能になることを検証する。

本研究期間の各年度で行う中間目標は、

(a) 疑似的な触覚や力覚を生成する仮想触

知提示システムの開発、(b) 触知VR技術による仮想現実感創生システムの開発、(c) 仮想現実感を利用した視覚障がい者の環境把握や空間認知に対する評価と検討、の3項目である。

(1) 2013年度

初年度にあたる2013年度は、疑似的な触知感覚を生成する仮想触知提示システムの開発を行った。特に、環境や空間の状況を、白杖を握る手指の触力覚で認識するために、力覚フィードバックデータグローブによる触力覚計測センシング手法を考察した。仮想触知提示システムの開発は、最初にデータグローブを装着し、実際の歩行で白杖が受ける触力覚データを収集・分析する。次に、その分析結果をもとにして、白杖体感に似た疑似感覚を創り出すための触力覚学習プログラムと、学習した疑似触力覚を生成する触力覚表現プログラムを作成した。例えば、点字ブロックが施設されている路面とされていない路面の、触力覚データの差分をもとに点字ブロックの疑似的な触力覚を作成し、それを実際の路面の触知に混ぜ合わせるという手法で、仮想ブロックの触知感を構築している。

(2) 2014年度

2年目にあたる2014年度は、触知VR技術による仮想現実感創生システムの開発を行った。前年度の成果である触力覚計測センシング手法をもとに、白杖の疑似触知感覚から仮想現実感を生成する。これは、白杖で触知した際に、現実の空間や物の表面形状に近い触力覚が得られるシステムである。即ち、触力覚学習結果と3次元モデリングとを組み合わせ、仮想現実感を創り出す手法を構築したことに他ならない。仮想現実感の創生で問題となるのが評価である。これは、現実対象の触力覚と仮想対象が創り出した疑似触力覚とを比較して、被験者に区別がつかなければ仮想現実感を得たことになるが、そこには何らかの客観的評価尺度が必要である。我々はこの問題に対して、両者の触力覚を体感実験している際の、表面筋電位計測やモーションキャプチャを用いた動作分析や白杖の軌跡解析を行うことで、生成された仮想現実感の評価を行った。しかし、仮想現実感の創生は被験者の脳内で行われるので、直接的な脳活動データの分析等は興味あるものの、本研究課題内で行うには設備的にも時間的にも無理なので、その代替として、筋電位や動作解析のデータを用いて評価した。

(3) 2015年度

最終年度にあたる2015年度は、前年度に行った触知VR技術による仮想現実感創生システムの開発を進めて、疑似触知感の質の向上、および、認知し易い仮想現実感の生成を目指した。即ち、現実の空間や物の表面形状を走査して得られた反力の触力覚データ

を分析・再構成して、より疑似的な触力覚を生成する提示システムを開発した。これは、環境からの触力覚学習と3次元モデリングとを合わせて仮想現実感を創り出すシステムを構築したことに他ならない。認知し易い疑似触知の検証においても問題となるのは、創生された仮想現実感の評価である。しかしながら、人間の空間認知力は千差万別であり、そこには主観も入るので、被験者の環境把握や空間認知を正しく評価するのは困難である。我々は被験者に現実対象の触力覚と仮想対象の疑似触力覚を詳細に比較してもらい、仮想現実感の強弱や両者の区別の度合いで創生された仮想現実感の評価した。さらに、客観的に検証する評価尺度として、前年度に行った表面筋電位計測やモーションキャプチャによる動作解析と合わせて、簡単な認知テスト（言い換えればメンタルマップの正確度テスト）を行い、創生した仮想現実感に対する総括的な評価を行った。

4. 研究成果

本研究では、手指に仮想触力覚を感じさせる際には、各指に個別の触力覚を与えるべきであると考えている。また、臨場感を生むには、触知感をフィードバックする必要がある。このため、右手用の力覚フィードバック装置（米国 CyberGlove 社の CyberGrasp）を使用して、仮想現実感を創り出すことを試みた。

(1) システムの概要

手指への仮想触力覚（実験では仮想物体の反力）を得るには、PC 上に仮想物体を作成しなければならない。仮想物体の反力は、親指、人差し指、中指の3指が強く感じるので、仮想物体の触知や認識の処理では、この3指が中心となる（特に、白杖を使う際の触知では人差し指が重要である）。

仮想物体の作成には 3D グラフィックス用インタフェース（OpenGL）に準拠した C 言語ライブラリ（GLUT）を、仮想力覚の作成に VirtualHand SDK（米国 CyberGlove 社の開発支援ツール）を、それぞれ利用して、Visual C++言語で作成した。空間内で CyberGrasp の位置を求めるには、磁気式 3次元位置計測装置（米国 Polhemus 社の Fastrak）で磁場を作り、手の甲に付けた磁気センサで計測した。これより図 1 に示すような、磁場内のワールド座標と CyberGrasp のローカル座標が得られて、CyberGrasp は空間内の位置 (X, Y, Z) と自身の姿勢 (Roll, Pitch, Yaw) が分かり、あらかじめ設置した仮想物体を触知できる。図中、 O はオフセットベクトル（基準点からの位置）、 N は法線ベクトル（反力）、 k は剛度（変形に対する抵抗力）、 b は減衰（摩擦に対する減衰）である。

力覚フィードバック装置を動作させるには、デバイス間の通信設定を行う。その際、デバイス名とソースコード内の名称が一致する必要がある。作成したプログラムは、接

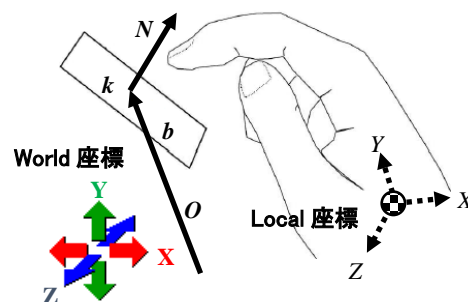


図 1. 仮想物体の触知

続ルーチン、マスタークラス（デバイスを組み込んだクラス）のインスタンス生成、インピーダンスモードでの動作ルーチン（力覚提示はインピーダンス型で実装される）、描画ルーチン、表示ルーチン等からなる。図 2 にシステムの構成を、図 3 に仮想物体による触知実験を、図 4 に作成した仮想物体（仮想白杖と仮想手）を、それぞれ示す。



図 2. システム構成



図 3. 仮想物体による触知実験



図 4. 仮想白杖と仮想手

図 4 内の仮想手は、データグローブを装着した実手が重ねられている。VR 空間での仮想白杖による点字ブロックの触知は、先ず触力覚が VR 空間の手に発生して、次に、データグローブを介して実手に伝わる。視覚障がい者は白杖で経路を探索し、伝わる触力覚から歩行情報を得ているので、本研究で構築した

VR空間では、2種類の仮想点字ブロック（警告ブロックと誘導ブロック）を床面上に用意し、仮想白杖とそれを把持する仮想手を実装した。これより、白杖を持つ手の把持感が、疑似触力覚の利用で現実に表現できれば、触知VRの可能性を評価することができる。

図5は、CyberGraspの一部であるデータグローブ（CyberGloveと呼ばれる）の各センサ位置（センサ数は22個）に基づくリンクモデルを示す。このうち、関節角データを得るセンサ（図中の、#1～#19のセンサ）から、各関節の座標データを計算して作成した仮想ハンド（Virtual Hand）を、図6に示す。仮想ハンドは、仮想触力覚を受けた際の手指の形状変形モデルである。

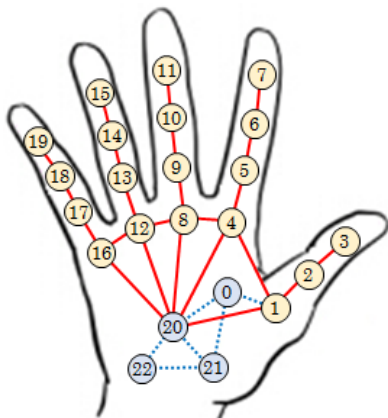


図5. 右手指のリンクモデル

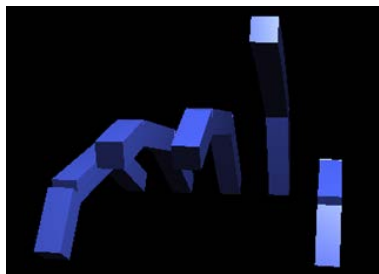


図6. 仮想ハンド

(2) 仮想触力覚の生成

白杖歩行時の体感に似た疑似感覚を創り出すためには、実際に白杖が受ける触力覚を分析する必要がある。我々はデータグローブを装着して歩行実験を行い、路面から白杖が受ける触力覚でデータグローブのセンサ値がどのように変化するか（即ち、仮想ハンドがどのように形状変形するか）を調査した。その結果、触力覚を分析できる有効なデータは殆ど得られないという結論に達した。その理由として、白杖から手指に伝わる触力覚は、振動成分と微弱な力覚成分が大部分で、路面が白杖を握った手の形状を変化させる（即ち、指の関節を変化させる）ことは少ない。そこで我々は、図7のような指型触覚センサ（米国SynTouch社のBioTac）を白杖に装着して、手指（特に、人差し指）位置での振動や力覚データ（図8に示す、触覚センサ内の電極で測定したデータ）を分析した。

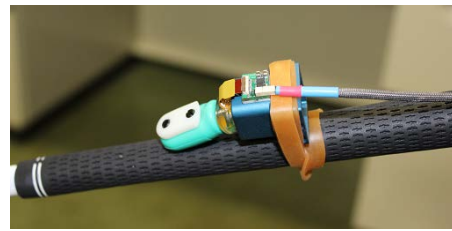


図7. 指型触覚センサ

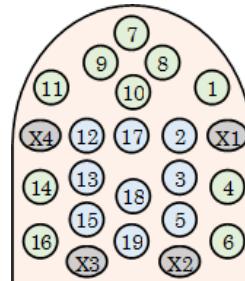


図8. 電極の配置（外圧感知はE1～E19）

図8の外圧感知電極（E1～E19）は、白杖が受ける外圧を、センサ内に充満した導電性液体のインピーダンス変化で検出する。白杖に触れる右手人差し指の位置では、特に、指先中央の電極値が大きくなる。実際の点字ブロックでの、白杖を把持する人差し指が触知した力覚を後ほど示すが（図9と図10を参照）、強く表れたのはE9電極（赤色の波形）とE10電極（水色の波形）の2つであった。

白杖を握った手指に伝わる触力覚として、図9に示す点字ブロック（左が誘導ブロック、右が警告ブロック）を用いて計測した触覚センサのデータの一例を、図10および図11に示す。ブロックの寸法は共に30cm×30cmで、誘導ブロックは4条の凸畝が平行に上下を結ぶ方向に配置され、進行方向に誘導する。警告ブロックは25個の凸点が配置されており、白杖で容易に感知できる。

図10から分かるように、誘導ブロックの場合、白杖を山の側面に当てて滑らせるので、振動は連続的で、比較的弱い力覚を長く小刻みに与えると、実際の触力覚に似る傾向にある。一方、図11から分かるように、警告ブロックの場合、振っている白杖にブロックの山が当たるので、振動は離散的で、比較的強い力覚を短く瞬間的に与えると、実際の触力覚に似る傾向にある。最終的には、視覚障がい者が受ける触知感に近い疑似的触力覚を得るには、データマイニング技法を用いた学習プログラムを作成して実験を行った。

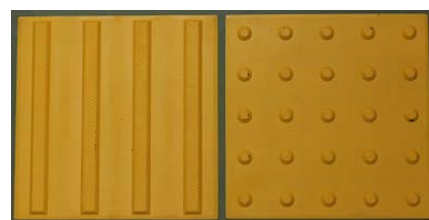


図9. 点字ブロック（左：誘導、右：警告）

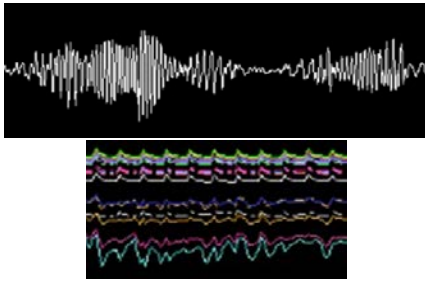


図 10. 誘導ブロックの触覚センサ波形
(上：振動，下：力覚)

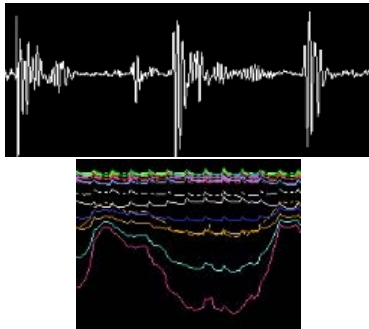


図 11. 警告ブロックの触覚センサ波形
(上：振動，下：力覚)

(3) 仮想現実感の創生

白杖に2つのマーカー（先端から5cmの箇所に赤色マーカー，人差し指で把持する箇所に緑色マーカー）を付けて追跡すると，通常の歩行時では，図 12 に示すようなマーカー軌跡が得られる。白杖が，警告ブロックから受ける外圧に近いような疑似触力覚を発生したときの様子を，図 13 に示す。同図から分かるように，疑似触力覚を生成すると被験者は何もない床面を探るような動作を起こしている。

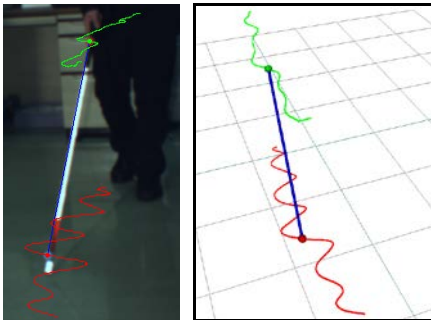


図 12. 通常の歩行時での白杖軌跡

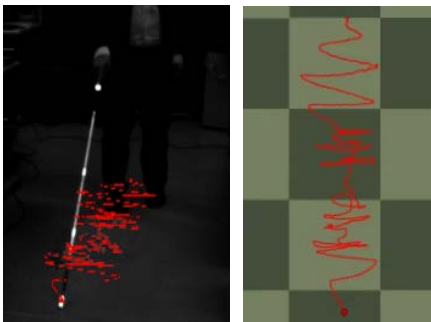


図 13. 疑似触力覚の生成時での白杖軌跡

人工の触力覚と実際の触力覚が似た場合，被験者は仮想現実感を持つことが期待できる。それでは，どのように疑似的な触力覚と実際の触力覚を比較するのかという問題が生ずる。この目的のために我々は，人差し指の筋活動に係わる筋肉に着目し，前腕屈筋群の一部と前腕伸筋群の一部で，指を屈伸したときに反応があった点に電極を装着し，表面筋電位を計測した。図 14 は，筋電位を測定している実験風景である。使用している筋電位測定器（ATR-Promotions 社の，筋電アンプ TS-EMG01 と小型無線多機能センサ TSND121）は2チャンネル計測なので，前腕内側を Ch. 1 に，前腕外側を Ch. 2 に，それぞれ設定した。図 15 は，警告ブロックを触知している白杖から人差し指に伝わる筋電位（上側波形が Ch. 1，下側波形が Ch. 2）であり，同図左は現実のブロックから，同図右は仮想ブロック（凸点を模擬した，振動は離散的で比較的強い力覚）から，それぞれ得られたものである。

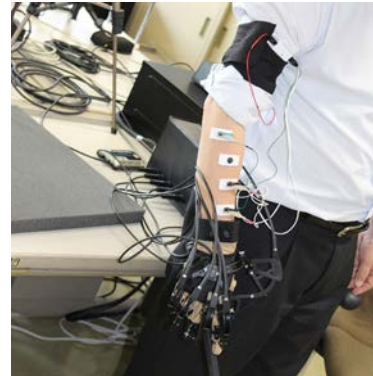


図 14. 表面筋電位の測定

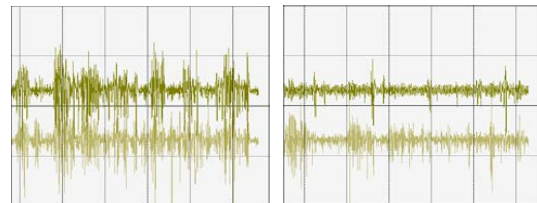


図 15. 表面筋電位の波形
(左：現実ブロック，右：仮想ブロック)

当然ながら，現実の点字ブロックで測った図 15 の左図の方が筋電位は強く表示されているが，本研究では，ブロックのある路面の触力覚データからブロックのない路面の触力覚データを差分してブロックの疑似的な触力覚を創生し，実際の路面の触力覚に重ね合わせて仮想路面を構築している。疑似触力覚を現実の触力覚と重ね合わせて仮想現実感を創生するので，疑似触力覚に対する違和感は軽減される。その意味で本研究は，現実世界の触力覚と仮想世界の触力覚とを融合した複合現実（Mixed Reality）による触知 VR である。実際の触力覚と疑似的な触力覚の分析，さらには，互いの筋電位波形の類似性を考察するのは，今後の課題として残された。

(4) まとめ

視覚障がい者の移動支援は、RFID タグ入り点字ブロックの設置など、大規模なインフラ整備を必要とするが、VR 技術は実物ではなく偽物を対象とするので、設備を要求しない汎用性の高い支援に向いている（例えば点字ブロックが施設できない場所にも適用できる）。また、危険な現場を踏むことなく単独で繰り返し練習できるなど、視覚障がい者にとっての訓練手段（シミュレータ）としても魅力的である。触知情報の質と量が充分であれば、視覚障がい者への触知 VR 支援は可能であると判断している。しかし、個人の認知能力は千差万別であり、環境を把握するイメージは主観も入る。それを正しく評価することは個人のメンタルマップを調べることに等しく、客観的評価が得られない困難な問題である。

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 6 件）

- ① Delhomme Christian, Miyakawa Masahiro, Pouzet Maurice, Rosenberg G. Ivo, Tatsumi Hisayuki: Semirigid Systems of Three Equivalence Relations, Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing, 査読有, Accepted (March 14, 2016).
- ② Tatsumi Hisayuki, Murai Yasuyuki, Sekita Iwao, Tokumasu Shinji, Miyakawa Masahiro: Cane Walk in the Virtual Reality Space using Virtual Haptic Sensing, --Toward Developing Haptic VR Technologies for the Visually Impaired--, Proc. 2015 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, 査読有, DOI:10.1109/SMC.2015.413, pp.2360-2365, 2015.
- ③ Tatsumi Hisayuki, Murai Yasuyuki, Sekita Iwao, Miyakawa Masahiro: Synchronization and Sharing Information of Tactile Map with Online Map, --An Online Navigation Tool for the Visually Impaired--, Proc. 2015 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, 査読有, DOI:10.1109/SMC.2015.412, pp.2354-2359, 2015.
- ④ Sekita Iwao, 他 9 名 (Tatsumi Hisayuki は最後の 10 番目): Moodle Contents for Learning Shirogame-Style-Sighted-Guide Technique, Proc. 15th Int. Mobility Conf., 査読有, 頁番号無 (DVD 収録), 2015.
- ⑤ 巽久行, 村井保之, 関田巖, 宮川正弘: 視覚障がい支援のための疑似触力覚の適用, 筑波技術大学テクノレポート, 査読無, Vol.22, No.1, pp.6-10, 2014.
<http://www.tsukuba-tech.ac.jp/repo/dspace/handle/10460/1267>
- ⑥ Suzuki Takashi, Araki Tomoyuki, Kawai Katsuhiko, Murai Yasuyuki, Tatsumi

Hisayuki: On a Learning-Science System Supporting Visually Impaired Students via the Haptic Device, Proc. 2013 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, 査読有, DOI:10.1109/SMC.2013.788, pp.4629-4634, 2013.

〔学会発表〕（計 8 件）

- ① 巽久行: 触知VR上での仮想把持感による白杖歩行について, 第14回情報科学技術フォーラム(FIT2015), 2015年9月17日, 愛媛大学(愛媛県・松山市).
- ② 巽久行: 触指位置追跡による図形イメージ獲得過程の理解, 第14回情報科学技術フォーラム(FIT2015), 2015年9月17日, 愛媛大学(愛媛県・松山市).
- ③ 巽久行: 白杖歩行のための触知VRの開発, 第37回多値論理フォーラム, 2014年9月13日, 関西大学(大阪府・吹田市).
- ④ 巽久行: 疑似触力覚を用いた複合現実感による白杖歩行について, 第30回ヒューマンインタフェースシンポジウム(HIS2014), 2014年9月12日, 京都工芸繊維大学(京都府・京都市).
- ⑤ 巽久行: 視覚障がい支援のための仮想触力覚の利用, 第13回情報科学技術フォーラム(FIT2014), 2014年9月4日, 筑波大学(茨城県・つくば市).
- ⑥ 巽久行: 仮想白杖把持感の生成, --視覚障がい者の歩行支援--, 第30回ファジィシステムシンポジウム(FIT2014), 2014年9月2日, 高知城ホール(高知県・高知市).
- ⑦ 巽久行: 触知VR技術による視覚障がい支援への挑戦, 第29回ファジィシステムシンポジウム(FIT2013), 2013年9月9日, 大阪国際大学(大阪府・枚方市).
- ⑧ 巽久行: 仮想的な触力覚を利用した視覚障がい支援の提案, 第12回情報科学技術フォーラム(FIT2013), 2014年9月6日, 鳥取大学(鳥取県・鳥取市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

巽 久行 (TATSUMI, Hisayuki)
筑波技術大学・保健科学部・教授
研究者番号: 3 0 1 8 8 2 7 1

(2) 研究分担者

宮川 正弘 (MIYAKAWA, Masahiro)
筑波技術大学・名誉教授
研究者番号: 7 0 2 4 8 7 4 8
関田 巖 (SEKITA, Iwao)
筑波技術大学・保健科学部・教授
研究者番号: 4 0 3 5 7 3 2 2

(3) 連携研究者

村井 保之 (MURAI, Yasuyuki)
日本薬科大学・薬学部・准教授
研究者番号: 3 0 3 7 3 0 5 4