

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300079

研究課題名（和文） 公共サインを目印とした弱視の歩行訓練映像シミュレータの開発

研究課題名（英文） Study of Visual-aids Simulator aimed at Finding Public Signs for Low-vision Walking

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

研究成果の概要（和文）：公共空間のバリアフリー化が進み、誰にもすぐ分かる情報伝達手段として、ピクトグラム（絵文字）に代表される公共サインが設置されている。これらは、案内や誘導、説明や規制などの大切な情報にも関わらず、弱視者に適切に伝達されているとは言い難い。本研究では、弱視者の視点移動の時間的ばらつきからのデータから、視界にあるが視認できていない公共サインに対して、視点の移動方向を提示する、手元に拡大表示する、などの自動支援の実現を考察・提案した。

研究成果の概要（英文）：Public signs are created for the convenience of individuals. Often, pictograms are used rather than letters to catch individuals' attention (e.g., for guidance, notification, and other purposes). However, we noticed that individuals with low vision rarely recognize pictograms. In the current project we have investigated a visual support for a visually impaired individual to recognize a pictogram in his view as follows: we indicate him automatically, on the basis of his gaze move data (obtained by an eye-tracking technique), either an expanded view of the correct direction or a correct turn direction of his sight for the pictogram.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
2010年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：弱視，視線解析，視認支援，公共サイン，視野画像，視点誘導，視覚障害補償

## 1. 研究開始当初の背景

人が処理する情報の大部分は視覚で得るので、少しでも残存視力があればそれに頼る。弱視の支援器具として、単眼鏡（望遠鏡）や弱視眼鏡（メガネにレンズを付けて拡大する

もの）があるが、単に拡大するので視点先の移動が速く、一種の船酔い症状になって疲れやすい。弱視者に公共サイン（ピクトグラム等の標識）が見えない場合はどうするのかを尋ねたところ、携帯電話のカメラで撮れば、

その画像を目に近づけて確認すると答えた。弱視者が対象にカメラを向けるのは難しいが、彼らの視線は確かに対象を追っている。そこで、視線解析を用いた弱視者向きの視認手法を確立したいというのが当初の着想であり、本研究課題となる視点追跡装置 (Eye-Tracking) による弱視支援である。目標とする視認支援機器の条件は、残存視力を活かしつつ、簡単に視点が捉えられること、視力のみでなく視野も補えること、歩行時での確認対象 (公共サインやランドマーク等も含む) の発見に効果を発揮すること、などである。

## 2. 研究の目的

弱視者の視認を支援するシステムの研究開発を行う。目標とするシステムは、視界に入っているが見えない (視認できない) 対象に対して、視点先の画像を手元の端末で拡大表示する、視点の誘導を音声で教えてもらう、などという機能を持つものである。弱視者の視界や視認を補完する映像シミュレータとして、例えば、これまで見過ごしていた標識や信号、各種の公共サイン等の確認を弱視者自身がその場で行うことができるので、歩行練習の能率や状況判断の精度が向上し、経路学習や認知地図の創生などを効果的に行うことが可能となる。

## 3. 研究の方法

研究課題を遂行するための、各年度に設定した中間目標は、(1) 視点映像拡大表示システムの開発、(2) 視点方向誘導指示システムの開発、(3) 行動の学習や認知地図の創生などの調査を通じたシステムの評価と改良、の3項目である。

### (1) 2009 年度

視点映像拡大表示システムの開発に取り組む。これを行うためには、視点滞留部位の画像切り出し手法を考えなければならない。

本課題で用いた眼球運動計測装置 (研究に沿った実験用装置を米国の会社に特注) は、瞳孔の動きを解析して被験者の視点を追跡するもので、記録されるデータは視界の動画ファイルと視点の座標ファイルの2つからなる。動画ファイルは、フレームと呼ばれる1秒間に約30枚の静止画像からなり、この連続した画像から、視認解析するための視点軌跡の描画を行なう。弱視者の視認に適したフレーム間の差分を考慮し、各フレーム画像が類似する (即ち、視認状態に入った) ときの、弱視者の視点を描画する手法を開発した。

視線対象の検知は視点の滞留時間で捕えられるので、適当な領域における視点密度をフレーム積算して滞留時間を分析し、視点密度の高い箇所 (視点が滞留している部分) を取り出す。その結果、視認できない視点先も、

滞留時間が長い視界映像として手元の端末に拡大表示されるので、弱視者の残存視力で見えなかった視線先を確認できる。

### (2) 2010 年度

視点方向誘導指示システムの開発に取り組む。視点方向誘導指示は、特に視野狭窄や視野欠損を持つ弱視者に有効な支援である。

このシステムは、弱視者の代わりに視界内の対象物を探し出す、即ち、視界画像上でのパターンマッチングを行う。例えば、対象が非常口サイン (ピクトグラムで表示した公共サイン) ならば、画像データベース内に登録しているピクトグラムと視界画像上との間で、マッチング処理を行えばよいが、これは容易なことではない。

第一の問題点は、ピクトグラムは統一化がされていない。例えば、トイレを示すピクトグラムは様々な種類が存在する。そこで代表的なピクトグラムをシステムの画像データとして登録し、類推する必要がある。第二の問題点として、画像内にあるピクトグラムを探し出すことより、画像内にはピクトグラムが存在しないと判断してシステムが探索を終了することの方がはるかに難しい。第三の問題点として、視界映像がある程度静止していないと、パターンマッチング処理が極端に難しくなる。これらの問題をすべて解決するパターンマッチング手法を検討したが、現状では不可能であると結論した。そこで対処法として、顔認識に類似した汎用性の高い識別アルゴリズムを用いること、学習機能を付加して誤識別を除外すること、などでシステムの能力を徐々に高める方法を採用した (このために、前年度に使用した実験用の眼球運動計測装置の改良を依頼した)。

### (3) 2011 年度

昨年度に引き続き、視点方向誘導指示システムの開発を行い、新たに行動の学習や認知地図の創生などの調査と実験を通して、視認支援システムの評価と改良に取り組む。

視点方向誘導指示システムの改良として、前年度に採用した識別アルゴリズムを高速にすること、識別に有効な画像特徴量を検討し、実装と結果を分析すること、学習機能を高めること、などを行った。また、歩行時の行動学習や認知地図の創生を評価するために、データマイニング手法を取り入れた。

なお、本年度は最終年度のため、システム全体の統合と調整、視認能力の向上、最終的な視認支援の評価、研究成果の取りまとめ等を行う予定であったが、前年度に納品された眼球運動計測装置内に不良が見つかり、装置のリコール修理となって研究が長期間中断された。そのため、事業の繰り越しを行い、完了が2013年1月末 (10ヶ月延長) となった。

#### 4. 研究成果

本研究では、弱視の視認状況を視線解析（視線の滞留時間データ）に基づき解析した。その結果、視界にあるが視認できていない局面を特定し、視線方向を拡大して手元に提示する支援を実現した。また、視界内のピクトグラムをパターン認識により切り出して拡大提示する手法を、幾つかのピクトグラムに特化した認識技術を用いて実現した。

##### (1) システムの概要

視線追跡装置とは、瞳孔の動きを解析して被験者の視点を追跡する機器である。本研究では、最終的に図1に示す米国ASL社のモバイル・アイ (Mobile Eye-GX) という装置を使用しており、これはメガネ状の光学ユニットと、視点データの記録ユニットからなる。図2に示すように、光学ユニットには2つの小型カメラが装着されており、一つは被験者の視界を撮影するCCDカメラ（シーンカメラと呼ばれる）で、もう一つは被験者の瞳孔の動きを計測する赤外線カメラ（アイカメラと呼ばれる）である。この2つのカメラが連動することにより、被験者の視界にある視点位置を特定できる。計測された映像と視点は、記録ユニットのSDメモ리카ードに保存できるほか、Wi-Fi規格でパソコンにも無線転送できる。



図1. 視線追跡装置



図2. 光学ユニット

##### (2) 弱視者向けの視線追跡

晴眼者に比べて、弱視者の瞳孔を認識させて較正を行うことは難しい。我々が矯正視力0.1未満の強度弱視者に対して較正を行ったところ、眼球振動のある者は瞳孔解析を行えなかったが、眼球振動のない者は視点精度を高く望まなければ、瞳孔の解析が可能であるとの考えに達した。以下の較正と視認評価は、本研究で採用した暫定的なものである。

弱視者の視点を小領域（仮に、半径  $r$  の円で表す）とした場合、視認具合は視点を中心に減少し、それをグラフで表すと大まかには

図3のような様相になる（赤点線で示した、逆さの疑似ロジスティック関数に近い）。そこで、弱視者に視線追跡装置を用いる場合は、シーンカメラで捉えた映像内に、図4に示すような拡大したアルファベットやランドルト環を表示して、その文字や環の空き部分が正しく読み取れば、文字の中心や環の空き部分の中心に弱視者の視点があると仮定し、これを較正する際の定点としている。

較正手順は、被験者の瞳孔をアイカメラで認識させて、シーンカメラでとらえた映像内に数個（4個以上、通常は5～10個）の定点を決め、その各点を被験者が注視したときの瞳孔状態を解析して（図5参照）、2つのカメラの較正を行う。較正後はカメラが同期して、シーンカメラの映像内での視点位置を正しく求めることができる（図6参照、クロスカーソルの交点が視点座標である）。較正後の、アイカメラが撮る視界映像と、その視界映像内の視点座標他のデータは、パソコンに転送してリアルタイムの解析が可能となる。

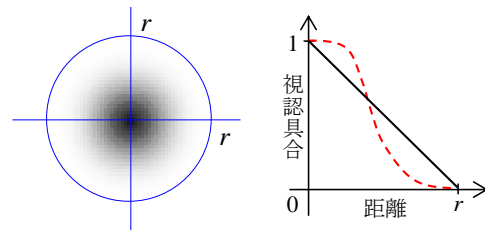


図3. 弱視者の視認具合と視認関数

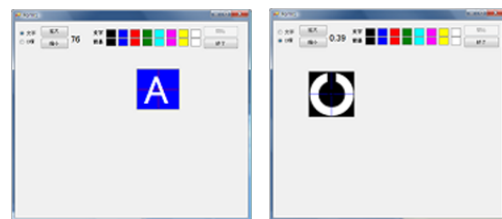


図4. 弱視者の較正方法

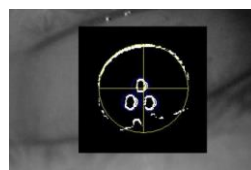


図5. 瞳孔解析



図6. 視点位置

##### (3) 視点映像の解析と拡大

視線追跡装置に保存された弱視者の視点データは、付属ソフトウェア EyeVision により、1秒間に約30フレームの視界動画ファイルと視点情報ファイルに展開できる。視点情報ファイルは各フレームの静止画像における、視点座標、瞳孔の位置や大きさなどである。

我々は、弱視者の視認を解析するために、視点の軌跡を描画した。これは各フレーム画像に対応する視点情報ファイル内に記録された視点座標を描画するものである。ある開始フレームから一定の時間で描画することにより、最終フレーム画像内に、開始フレームからの視点が折れ線となって残る。その際、開始フレームから最終フレームまでの画像が似ている（差分が少ない）場合は、被験者の視界があまり動かずに視認が行われたことになる。大抵の場合、弱視者は視認に時間がかかるので、視認状態に入ったときは晴眼者と比べて、比較的動作の少ない視認結果となった。

目標とする弱視支援機能の一つに、視認できない対象に対して、その画像を“拡大表示する”というものがある。そのためには弱視者が視線を追う対象を検知することが必要である。我々は、視線対象の探索は視点の滞留時間で捕えられると考え、滞留時間分布を描画するプログラムを作成した。これは視認領域の時間密度をフレーム毎に積算し、視点の滞留具合を描画して、その描画部分を切り出すことで視点対象を同定するという手法である。図7に、図書館内で受付を探しているときの弱視者の視点軌跡と、視点滞留時間の描画を示す（視点が滞留しているほど、赤色が濃い）。その視点密度の濃い領域で対象画像の切り出しと拡大表示を行なった例を、図8に示す。

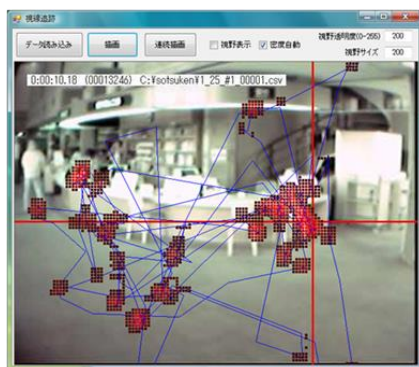


図7. 視点軌跡と視点滞留時間の描画

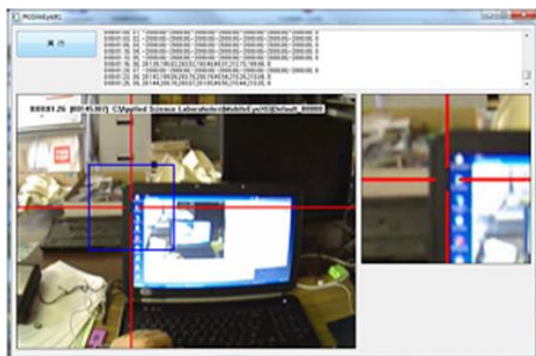


図8. 視点先の映像を拡大提示

図8において、左の画像はシーンカメラのリアルタイム画像であり、右の画像は滞留を検知した視点位置を最終フレーム上で拡大表示したものである（この例ではクロスカーソルを中心とした正方形を2倍に拡大している）。視点の滞留時間が長い画像を手元の端末で確認できるので、これまで目で追っていたが視認できなかった対象も、弱視者自身の残存視力で直ちにその場で理解できる。

#### (4) 視点誘導に対する検討

視点誘導は、視野狭窄や視野欠損などの視野障害に有効な支援である。視野障害のある弱視者は、対象を見つけることが難しいので、代わりに支援機器が検出する。

パターンマッチング手法の一つに、検出力の弱い分類器を数多く組み合わせることで、全体として強い分類器となるような、ブースティング (Boosting) と呼ばれる機械学習法がある。本研究では、各分類器の学習に Haar-like 特徴と呼ばれる、水平・垂直方向にスケーリングしたパターン特徴量を使用している。近年では、画像処理プログラムの開発に、OpenCV と呼ばれる公開ライブラリを用いて記述することが多い。そのライブラリ内のブースティング・ルーチンを用いれば、比較的簡単に顔検出や物体検出等のプログラムを作成することができる。

図9は、標準的な非常口のピクトグラムを正解の教師画像として、約1～2時間の学習をした後に、体育館と通路の映像から、非常口のピクトグラムを検出した結果である（図の中で、検出結果は白丸で表示されている）。学習時間が少ないために非常口でない箇所も検出される場合があるが、これらは適当な抽出法（例えば、エッジ抽出や輪郭抽出など）を使用した真偽判定で簡単に除外することができる。

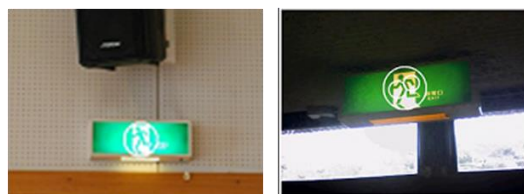


図9. ブースティング法による検出

ピクトグラムにおいて、目的や方向を示す誘導機能や、禁止や警告などを示す規制機能に、色がつくことが多い。例えば、誘導機能のサインである非常口には緑色が、規制機能のサインである立入禁止には赤色が、警告等には黄色が、一般に多く使われている。そこで、分類器列の始めの方で色調による分類を行えば、ピクトグラムの機能による類別が得られ、より高速な認識が可能となる。図10に、色調による検出結果を示す。



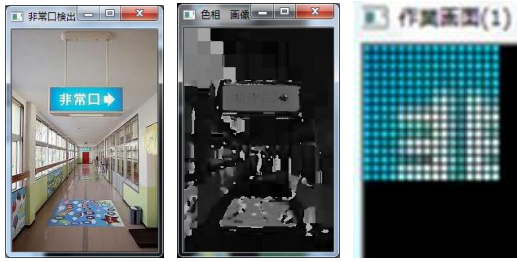


図 10. 色調による検出

図 10 において、左は原画像、中央は色調による処理の過程、右は誘導機能のサインに多くある緑色の色調を用いて非常口画像の一部を切り出し、拡大したものである。

また、パターンマッチング手法の一つに、特徴点の検出と特徴量の記述を行うシフト法 (Scale-Invariant Feature Transform, 略して SIFT) がある。この方法は、米国オレゴン州立大学でソースコードが公開されているが、実用的な処理速度を得るために画像データベースを工夫する必要がある。本研究では、シフト法とは異なる局所特徴量のアルゴリズムで、米国 Evolution Robotics 社の認識エンジンとして有名な ViPR 法 (Visual Pattern Recognition) を使用して、ピクトグラムの検出を行った。この ViPR 法は、対象画像から得られた特徴量とモデルに予め登録してある特徴量との比較検証を行う際に、変化量をベクトルに変換した特徴点として最近傍探索を高速に行なうことができる。図 11 にシフト法を使用した場合の、図 12 に ViPR 法を使用した場合の、非常口の検出例をそれぞれ示す。



図 11. シフト法



図 12. ViPR 法

#### (5) まとめ

本研究の目標は、弱視者の情報保障を向上させることであり、そのための視界や視認を支援する映像シミュレータを開発して、標識や信号、各種の公共サインなどを弱視者自身が確認できるようにすることである。我々が考えている視認支援システムは、視力障害が原因で視認できない対象に対して、視点先の映像を拡大提示すること、視野障害が原因で視認できない対象に対して、視点先への視線の誘導を行うこと、などといった機能を持つものである。

これらの処理のため、本システムでは視界画像内でパターン認識を行うが、これを解決するために、ブースティング法やシフト法に基づく汎用性の高い識別アルゴリズムを用いて、学習機能を付加して誤識別を除外することを試みながら、識別能力を徐々に高めることを行なった。弱視者の視認を支援する補償機器を開発するには、弱視者の視点を十分に解析することが必要であり、逆に開発する過程から、検出しやすい公共サインの設置や図柄も提言したいと考えている。また、実用的な視認支援システムを構築するには、公共サイン自身が情報を発信するような研究も必要である。

#### 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 10 件)

- ① 巽久行, 村井保之, 関田巖, 宮川正弘: 弱視者の視線解析と視認支援に向けた取り組み(その2) --視点誘導システムの提案とピクトグラム認識--, 筑波技術大学テクノレポート, 査読無, Vol.20, No.1, pp.14-18, 2012.  
<http://www.tsukuba-tech.ac.jp/repo/dspace/handle/10460/1128>
- ② Delhomme Christian, Miyakawa Masahiro, Pouzet Maurice, Rosenberg G. Ivo, Tatsumi Hisayuki: Semirigid Systems of Equivalence Relations, Proc. 42th IEEE Int. Symp. on Multiple-Valued Logic, 査読有, pp.293-298, 2012.
- ③ Sekita Iwao, Kakiue Yukiko, Shishido Hisako, 他 9 名 (Tatsumi Hisayuki は 11 番目): Flexibility of Fundamental Guiding Method for a Visually-Impaired Person, Proc. 14th Int. Mobility Conf., 査読有, 頁番号無 (DVD 収録), 2012.
- ④ Murai Yasuyuki, Tatsumi Hisayuki, Kawahara Masaji, Miyakawa Masahiro: Kanji Writing Practice for the Visually Impaired Using Haptic Interface, Proc. 8th Int. Conf. on Perspectives of Informatics Systems, Informatics Education Section, 査読有, pp. 7-14, 2011.
- ⑤ Tatsumi Hisayuki, Murai Yasuyuki, Kawahara Masaji, Sekita Iwao, Miyakawa Masahiro: Eye Tracking Application for Low Vision --A Proposal of Vision Navigator--, Proc. 2010 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, 査読有, pp. 1578-1583, 2010.
- ⑥ Araki Tomoyuki, Tatsumi Hisayuki, Suzuki Takashi, Yamada Kenji: Application of LED Visible Light

Communication Signaling for the Visually Impaired, Proc. 2010 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, 査読有, pp. 2808-2813, 2010.

- ⑦ Murai Yasuyuki, Kawahara Masaji, Tatsumi Hisayuki, Sekita Iwao, Miyakawa Masahiro: Eye Tracking for Low Vision Aids --Toward Guiding of Gaze--, Springer LNCS 6180 (Computers Helping People with Special Needs, 12th Int. Conf., ICCHP2010), 査読有, pp. 308-315, 2010.
- ⑧ 巽久行, 宮川正弘, 村井保之: 弱視者の視線解析と視認支援に向けた取り組み (その1) --視点映像拡大表示システムの提案--, 筑波技術大学テクノレポート, 査読無, Vol. 17, No. 1, pp. 22-27, 2009. <http://www.tsukuba-tech.ac.jp/repo/dspace/handle/10460/759>
- ⑨ Miyakawa Masahiro, Pouzet Maurice, Rosenberg G. Ivo, Tatsumi Hisayuki: Semirigid equivalence relations on a finite set, Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing, 査読有, Vol. 15, No. 4, pp. 395-407, 2009.
- ⑩ Sekita Iwao, Shishido Hisako, Ishikawa Mitsuhide, 他 9 名: Instructional Software for Trainers to Teach Sighted Guides of Visually Impaired Travelers, Proc. 13th Int. Mobility Conf., 査読有, 頁番号無(DVD 収録), 2009.

[学会発表] (計 12 件)

- ① 巽久行: 視線解析による弱視者の視認支援, 第 28 回ファジィシステムシンポジウム (FSS2012), 2012 年 9 月 12 日, 名古屋工業大学(愛知県).
- ② 巽久行: 視線追跡を用いた弱視のピクトグラム認識, 第 11 回情報科学技術フォーラム (FIT2012), 2012 年 9 月 4 日, 法政大学・小金井キャンパス(東京都).
- ③ 村井保之: ヘッドマウントディスプレイを用いた弱視支援の提案, 第 11 回情報科学技術フォーラム (FIT2012), 2012 年 9 月 4 日, 法政大学・小金井キャンパス(東京都).
- ④ 村井保之: 色相を用いたピクトグラムの認識と誘導支援, 第 10 回情報科学技術フォーラム (FIT2011), 2011 年 9 月 8 日, 函館大学・函館短期大学(北海道).
- ⑤ 堤周平: 視覚障害者を支援するための可視光通信を用いた公共マーク, 第 33 回多値論理フォーラム, 2010 年 9 月 12 日, 広島市まちづくり市民交流プラザ(広島県).
- ⑥ 村井保之: 視線解析による弱視者の視認支援への取り組み, 第 9 回情報科学技術フォーラム (FIT2010), 2010 年 9 月 9 日, 九州大学・伊都キャンパス(福岡県).

- ⑦ 巽久行: 視覚障がい者のための LED 可視光通信による情報確保, 第 9 回情報科学技術フォーラム (FIT2010), 2010 年 9 月 9 日, 九州大学・伊都キャンパス(福岡県).
- ⑧ 荒木智行: 視覚障がい者の情報保障への可視光通信 LED サインの応用, 電子情報通信学会教育工学研究会 (ET2009-100), 2010 年 1 月 23 日, 筑波技術大学・天久保キャンパス(茨城県).
- ⑨ 金谷忠: 視覚障害者支援のためのユビキタス LED 公共マーク, 第 14 回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会, 2009 年 12 月 12 日, 広島大学・東広島キャンパス(広島県).
- ⑩ 岡田崇史: 視覚障害者支援のためのユビキタス公共マークのセキュリティの考察, 第 14 回日本知能情報ファジィ学会中国・四国支部大会, 2009 年 12 月 12 日, 広島大学・東広島キャンパス(広島県).
- ⑪ 巽久行: 弱視者の視線追跡について, 第 32 回多値論理フォーラム, 2009 年 9 月 10 日, 北海道大学(北海道).
- ⑫ 村井保之: 距離場空間モデルを用いた空間認識とその応用, 第 32 回多値論理フォーラム, 2009 年 9 月 10 日, 北海道大学(北海道).

## 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  
高木 昇 (TAKAGI NOBORU)  
富山県立大学・工学部・准教授  
研究者番号: 5 0 2 3 6 1 9 7