

令和元年6月17日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00264

研究課題名(和文) 全方位の安定化画像と過去画像履歴による視点・視線方向を変更可能な視覚共有の研究

研究課題名(英文) Study on visual information sharing that can change viewing point and viewing direction using omnidirectional stabilized images and past image records

研究代表者

城間 直司 (Shiroma, Naoji)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・准教授

研究者番号：90312826

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、全方位での安定化画像を駆使して、視点位置・視線方向に拘束されず、更にそれらの空間的な選択で効率的でユーザビリティの向上が図れる視覚共有が行えることを明らかにすることを旨とした。視覚共有のための全方位画像安定化技術及び全方位安定化画像を用いた仮想視線操作技術、人の位置姿勢推定技術、視点位置を変更する技術、視点・視線方向の指示や提示を行うインタフェース、システム統合による視点・視線方向を変更可能な視覚共有システムを開発した。開発したシステムにより、目的とする視点位置・視線方向に拘束されない視覚共有が行えることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、災害対応での救助者の作業支援機器への応用が可能であり、要救助者探索の迅速化、効率化が図れ、要救助者のみならず救助者の安全性を高めることが可能である。本研究は、病気等で外出困難な人の屋外散策支援機器への応用も可能であり、お互いに視覚共有の負担なしに家族や友人と一緒に外出した気分を味わうことができ、福祉機器分野への貢献も期待できる。本研究は、実時間及び予め周囲情報を記録して遠隔地の散策等の仮想観光にも応用が可能であり、ウェアラブルデバイスを利用した遠隔地からの現実空間の情報収集等への波及効果が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study we aimed to reveal that visual information sharing, that is not constrained by the viewing point and viewing direction, and also is effective and can improve usability by selecting these spatially, can be realized. The omnidirectional image stabilization technology, virtual viewing direction change technology with omnidirectional stabilized images, human position and orientation estimation technology, viewing point change technology, user-interface for instruction and display of the viewing point and viewing direction, and visual information sharing system that can change viewing point and viewing direction by integrating above mentioned technologies are developed. It is confirmed that the aimed visual information sharing that is not constrained by the viewing point and viewing direction can be realized by the developed system.

研究分野：ロボット工学、コンピュータビジョン、制御工学

キーワード：視覚共有 画像安定化 全方位画像 自己位置姿勢推定 仮想視線操作

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

頻発する自然災害等の現場では、要救助者の早期発見や二次災害の防止のためにより迅速な救助活動が求められる。災害現場における人命探索等を行うレスキューロボットの研究開発がなされているが、実際の現場で活動するにはその更なる発展が必要である。災害現場においてロボットの移動性能は、人間の救助者には及ばないところが多い。そこで、移動に関しては救助者の能力を生かし、探索等の作業に関してはロボット技術を駆使した装着型の作業支援機器を利用することで、災害現場での迅速で効率的な救助活動の早期の実現が可能であるという考えに至った。ここでは、作業支援において人間に多くの情報を与える視覚情報を救助者と遠隔からの支援者との間で共有することに着目する。

近年、ウェアラブルカメラが発達してきており、カメラ装着者視点の画像を実時間で送信して他者との視覚共有が可能である。視覚共有には、物理的な拘束は存在しないが、画像受信者（視覚受信者）は見たい方向はカメラ装着者（視覚提供者）に向いてもらって初めて見られる、視覚提供者は、視覚受信者の見たい方向を見せる動きをしないとイケないというお互いが視線方向を独立に変更できない視覚共有に伴う拘束が存在する。視覚共有では、画像の揺れによる視覚受信者のカメラ酔いのみならず、視覚共有に伴う拘束が負荷となっている。

### 2. 研究の目的

本研究では、視点位置・視線方向に拘束されない効率的でユーザビリティの向上が図れる視覚共有が行えることを明らかにする。全方位画像安定化システムの構築を行い、全方位画像安定化技術を応用して、視覚共有において全方位にわたり視覚提供者と受信者双方が自由に視線方向の変更が可能で、また、視覚共有において視覚提供者と受信者双方がこれまでに得られた画像情報の範囲内であれば自由に視点位置の変更及び一つの注視点を任意の角度から観察することが可能なこと、視覚共有者お互いの視点・視線方向が分離している場合でも、お互いの視点位置や注視領域が把握可能なことを実証実験で明らかにし、提案手法の有効性を示す。

### 3. 研究の方法

本研究で想定している視覚共有の状況は、遠隔の現場において視覚情報を提供する視覚提供者は、歩行しながら装着したカメラシステムにより周囲環境の情報を取得する。別の場所でその視覚情報を受け取る視覚受信者は、視覚提供者の視覚情報を表示するヘッドマウントディスプレイ（以下 HMD）を頭部に装着する。視覚提供者は、周囲の状況も目視できるようにシースルー型 HMD を装着する。双方の HMD やモニタには、視覚情報とともにお互いの相対的な視線方向や、視点位置が分離した場合はお互いの相対的な視点位置を示す情報も提示可能とする。ここでは、視覚提供者が、2次元水平面内を移動する場合を想定し、しゃがんだり階下に移動したりなどの3次元移動は行わないとするが、視線方向は3次元的に変更可能とする。

本研究の視覚共有手法に必要な主な技術は以下の5つである。

- 視覚提供者の動きの影響を抑えて安定した画像を視覚受信者へ提示する技術
- 視覚受信者が視覚提供者への影響なしに仮想的に視線を変更する技術
- 視覚受信者と視覚提供者がお互いの相対的な視線方向を把握可能とする技術
- 視覚受信者と視覚提供者がお互いへの影響なしに視点位置を変更する技術
- 視覚受信者と視覚提供者がお互いの相対的な視点位置を把握可能とする技術

本研究は、これらの技術を以下に示すサブテーマに分けて開発し実現する。

- 視覚共有のための全方位画像安定化技術の開発（aに対応する技術開発）
- 全方位安定化画像を用いた仮想視線操作技術の開発（aにbを融合した技術開発）
- 人の位置姿勢推定技術の開発（dのために必要な技術開発）
- 視点位置を変更する技術の開発（dに対応する技術開発）
- 視点・視線方向の指示や提示を行うインタフェースの開発（bからeに対応する技術開発）
- システム統合による視点・視線方向を変更可能な視覚共有システムの開発

### 4. 研究成果

本研究のシステム構成を図1に示す。全方位カメラは、環境中の全方位の画像を取得する。視覚提供者搭載の姿勢センサは全方位カメラとともに全方位カメラシステムの構成要素として搭載され、カメラの姿勢を計測する。レーザセンサは、視覚提供者の胴体に装着して正面の環境形状情報を取得し、視覚提供者の位置姿勢情報の推定に用いられる。視覚受信者の頭部の姿勢計測は、頭部に装着する HMD 搭載の姿勢センサにより行う。視覚提供者の二台の PC の内一台は、現場の状況を計測するセンサを接続し、センサ情報及びセンサ情報を処理した結果を視覚受信者へ送信する。視覚提供者のもう一台の PC と視覚受信者の PC では、それぞれへ提示する画像処理を行う。視覚提供者と受信者の PC 間では、無線通信によりデータを送受信する。情報提示は、HMD 以外にモニタを用いても行う。視覚提

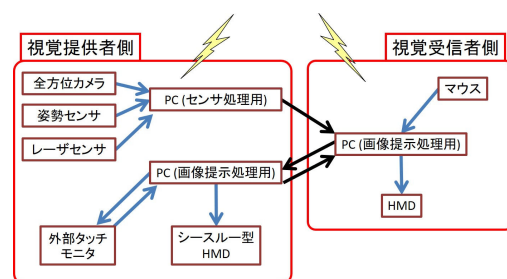


図1 システム構成

供者においては、タッチ操作が可能な外部タッチモニタも使用する。視覚受信者はマウス操作により、そして、視覚提供者はタッチ操作により視点と注視点を指示する。

(1) 視覚共有のための全方位画像安定化技術の開発 センサ等を搭載した視覚提供者の様子を図2に示す。全方位カメラシステムは、視覚提供者頭頂部に搭載され、全方位画像を取得可能なカメラと姿勢センサより構成される。カメラ部は二つの魚眼レンズ付きカメラが搭載され、前後の画像を撮影して全方位のカメラ情報を取得できる。取得した前後のカメラ画像は、図3左のように球体に張り付けられる(球面マッピング)。この全方位カメラ画像を張り付けた球体の中心より球面上のある場所を見て、その方向の任意の範囲を図3右のように切り出した画像を視覚受信者及び提供者へ提示する画像とする。そして、この全方位画像がマッピングされた球体をカメラシステムの姿勢と連動させて回転させることで、視覚共有のための全方位画像安定化を実現した。カメラシステムを図4のように傾けたときの切り出し画像を図5に示す。図5左は、安定化処理がない場合のものであり、傾いたカメラからの画像となっている。図5右は、安定化処理をした場合のものであり、カメラが傾いているにもかかわらず、その影響を受けていない。つまり、画像が安定化されていることがわかる。

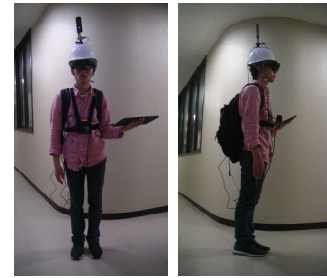


図2 センサ等搭載の視覚提供者の様子

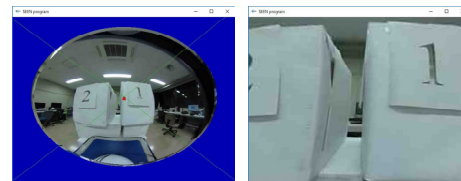


図3 球面マッピング(左)と切り出し画像(右)

(2) 全方位安定化画像を用いた仮想視線操作技術の開発 全方位カメラ画像を張り付けた球体の中心より見る球面上の場所は、任意に移動することができる。球面上の注視点を移動して、その移動した場所周辺の任意の範囲を切り出すことで、あたかもカメラシステムが全方位画像を撮影した位置から周囲を見回しているような画像を得ることができる。つまり、実際に現場でカメラ方向を変化させてはいないが、仮想的に視線を変化させてあたかも現場で周囲を見回している画像を得ることができる。仮想視線操作は、このような原理により実現した。更に、カメラシステムの姿勢情報を使用して画像を安定化させた全方位安定化画像を使用することで、全方位安定化画像を用いた仮想視線操作を実現した。カメラシステムが傾いた状態で仮想視線操作を行った様子を図6に示す。図6左は、仮想視線操作により上方を見た時、図6右は仮想視線操作により左下方を見た時である。カメラシステムが傾いているにもかかわらず画像はその影響を抑えて安定化されており、更に視線を変更可能である。この全方位安定化画像を用いた仮想視線操作の実現により、カメラシステムを頭部に装着する視覚提供者が頭部を回転させたとしても、画像安定化技術により、カメラシステムの揺れを抑えて安定化された画像を視覚受信者に示すことが可能となる。また、視覚受信者は、視覚提供者に望みの視線方向を向いてもらわなくても、望みの視線方向を仮想視線操作により得ることができる。



図4 傾いたカメラシステム

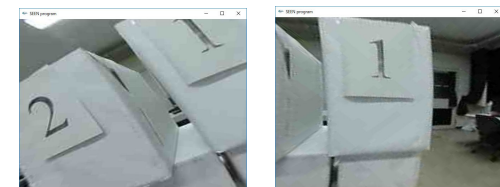


図5 カメラを傾けたときの切り出し画像。左：安定化なし、右：安定化あり。

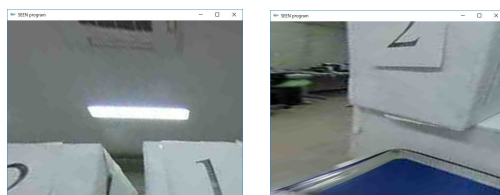


図6 仮想視線操作例。左：上方を見た時、右：左下方を見た時。

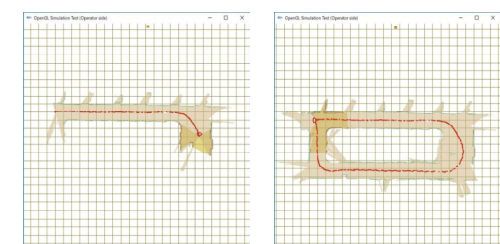


図7 占有格子地図作成例。人が移動しながら地図領域が拡大しているのがわかる。

(3) 人の位置姿勢推定技術の開発 本研究の目的を達成するために作業者の自己位置姿勢推定が必要である。そこで、本研究では自己位置姿勢推定と環境地図作成を同時に行う SLAM 手法のひとつであり、レーザセンサの情報から位置姿勢情報を算出する Hector SLAM を使用した。図7にロの字の廊下を図2のようにレーザセンサを胴体に装着した視覚提供者が移動して、自己位置姿勢推定及び占有格子地図作成を行った例を示す。図中、緑の部分が占有領域、黄色の

部分が非占有領域、白の部分が未知領域、赤の点が人の移動軌跡を表している。人が移動しながら地図領域が拡大しているのがわかる。Hector SLAM で得られた位置姿勢情報を基に作成した占有格子地図は、実際の環境と同様な形状で作成されていることから、人の位置姿勢推定が正しく行われていることがわかる。

(4) 視点位置を変更する技術の開発 実現した人の位置姿勢推定技術を使用して、カメラシステムを搭載した人が2次元平面状を移動することで、環境中の全方位画像をその画像を撮影したカメラシステムの位置姿勢情報とともに保存することが可能である。図8左は現場の2次元環境地図である。このとき、人は対象物(箱)を見ながらその周辺を回り、環境中の全方位画像をその撮影位置姿勢情報とともに保存している。図8左の中の青丸は、その場所で撮影された全方位画像がその撮影位置姿勢情報とともに保存されている位置を表している。よって、青丸は人の軌跡を表してもおり、円を描いて移動しているのがわかる。青丸は過去のカメラ位置でもあり、環境地図上で選択するカメラ位置を変更することで視点位置を変更することができる。図8左の中の矢印は視覚受信者がマウス指示により視点と注視点を指示したものである。矢印の始点が視点、終点が注視点を表している。矢印の始点付近の青丸上の黒のカメラアイコンは、実際に選択された視点位置を表し、その向きは全方位画像の中で見ている方向を表している。赤の点は人の移動軌跡、青のカメラアイコンは視覚提供者の初期位置姿勢、赤の五角形は視覚提供者の現在位置姿勢を表している。図8右は、図8左の黒のカメラアイコンが表示されている選択視点位置姿勢から環境中を見た時の視点画像である。移動軌跡中心付近の箱を見ているのがわかる。望みの注視点を選択して、視点を変更することで、固定注視点で、同一物体を別な方向から観察することができる。図9は、図8と同じ注視点であるが視点を変更したものである。図9右を見ると図8右とは違う方向から箱を見ているのがわかる。また、望みの視点位置を選択して、注視点を変更することで、固定視点で、周囲を見渡すことができる。図10は、図8と同じ視点であるが注視点を変更したものである。図10右を見ると図8右とは違い軌跡中心の箱とは違う場所を見ているのがわかる。

(5) 視点・視線方向の指示や提示を行うインタフェースの開発 視点・視線方向の指示や提示を行うインタフェースは、図8-10のように環境地図画面(左)と視点画像画面(右)の2つの画面より構成される。環境地図画面は、環境の2次元地図を表示するものであり、占有格子地図やレーザセンサにより計測した局所的な環境形状情報、保存した全方位画像位置等が表示される。また、グラフィカルに環境を確認しながらマウス操作により、視点や注視点の指示も行え、指示した視点と注視点、それに基づいて選択された画像の撮影位置姿勢も表示される。視点画像画面は、選択された視点から注視点位置を見た一人称視点の画像を表示する。この画像をHMDにて表示し、また、HMD装着の頭部の動きに合わせて一人称視点画像の視線方向を変更させることにより直感的に周囲を見渡すことが可能である。HMDを装着している視覚受信者の様子を図11左に示す。視覚提供者は、環境中を移動するためシースルー型のHMDを使用する

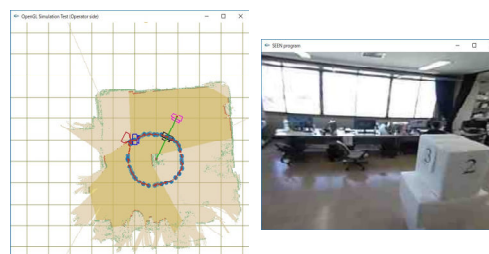


図8 視点と注視点指示例。左：環境地図、右：視点画像。

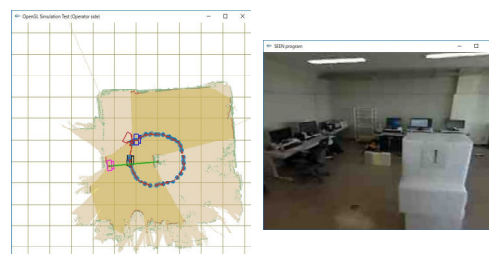


図9 注視点を固定して視点の変更を指示。左：環境地図、右：視点画像。

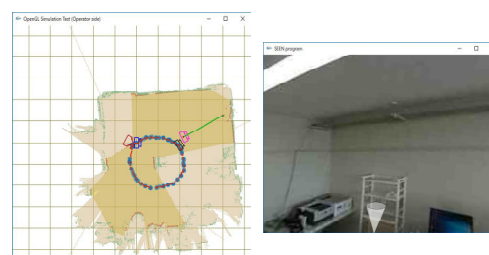


図10 視点を固定して注視点の変更を指示。左：環境地図、右：視点画像。



図11 HMD装着の視覚受信者(左)とシースルー型HMD装着の視覚提供者(右)

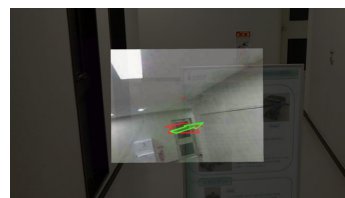


図12 シースルー型HMDで見ている画像例

(図 11 右)。シースルー型 HMD で見ている画像例を図 12 に示す。図のように視覚提供者は、シースルー型 HMD 内で視点画像を確認しながら周囲の環境を認識できる。

視覚受信者側では、受信した全方位画像やその撮影位置姿勢を環境の占有格子地図とともにファイルに保存できる。そして、環境の情報を収集する視覚提供者が現場にいたとしても、以前に保存したそれらの情報を呼び出すことで、視覚受信者は、現場環境中の見たい場所を視点と注視点とを指示することで過去のある時点のものではあるが確認できる。視覚提供者側にも視覚受信者が使用しているインターフェースが存在し、視覚受信者に要求することで、視覚受信者側から保存した全方位画像やその撮影位置姿勢及び環境の占有格子地図を受信して利用できる。つまり、視覚提供者においても、現場環境中の見たい場所をその場所へ移動せずとも視点と注視点を指示することで確認できる。また、視覚受信者と提供者双方が指示している視点と注視点は環境地図画面上でお互いに確認できる。また、視点画像中に表示できるお互いの姿勢を表す 3 次元的に回転する矢印により、視覚的にお互いの相対姿勢が把握できる。選択された全方位画像が双方で同じものであれば、視点画像中に表示される視線方向を表す十字のポインタにより、お互いの視線方向を把握できる。つまり、お互いが別々の注視点を見ることができ、そして、お互いの視点、視線方向を環境地図画面及び視線画像画面により確認可能である。例として、同じ視点から視覚受信者と提供者で違う注視点を見た時の視覚受信者の環境画像と視点画像を図 13 に、視覚提供者のそれらを図 14 に示す。環境画像中の桃色のカメラアイコンから出ている矢印は自分自身の視点と注視点、青のカメラアイコンから出ている矢印は相手の視点と注視点を表している。よって、それらの矢印によりお互いの視点と注視点が把握できる。視点画像中の緑の矢印は視覚受信者の頭部 3 次元姿勢、赤の矢印は視覚提供者の頭部 3 次元姿勢を表している。よって、それらの矢印によりお互いの 3 次元的な相対姿勢が把握できる。同じ視点位置の場合は、視点画像中に頭部 3 次元姿勢を表す矢印以外に視線方向を表す十字のポインタを表示し（緑は視覚受信者、赤は視覚提供者）、それらによりお互いの視線方向がわかる。

(6) システム統合による視点・視線方向を変更可能な視覚共有システムの開発 開発した個々の技術を統合した視覚共有システムを実現した。開発した視覚共有システムを用いて実証実験を行った。図 15 - 17 の左図は、実証実験時に作成した環境の占有格子地図である。実証実験では、視覚提供者は、まず図のような廊下環境を左上から右下へ移動し、環境の情報を収集する。視覚受信者は、現在視覚提供者が存在しなくても過去に存在した場所の周辺であれば視点を選択し、そこから望みの注視点を見ることができた。また、視覚提供者は、保存した環境情報を視覚受信者に要求して受信することで、過去に存在した視点を選択し、そこから望みの注視点を見ることができた。図 15 は視覚受信者と提供者がそれぞれ別々の注視点を指示したときの視覚受信者の環境画像（左）と視点画像（右）である。図 15 左の桃色のカメラアイコンから出ている矢印は視覚受信者の視点と注視点を、青のカメラアイコンから出ている矢印

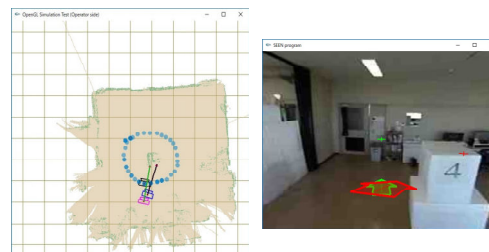


図 13 同じ視点から違う注視点を見た時の視覚受信者の環境画像（左）と視点画像（右）

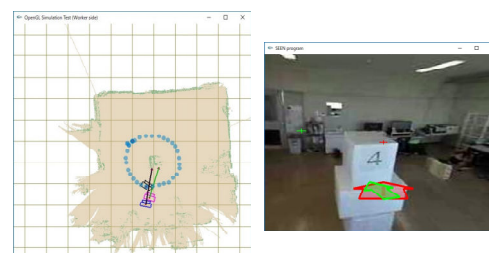


図 14 同じ視点から違う注視点を見た時の視覚提供者の環境画像（左）と視点画像（右）

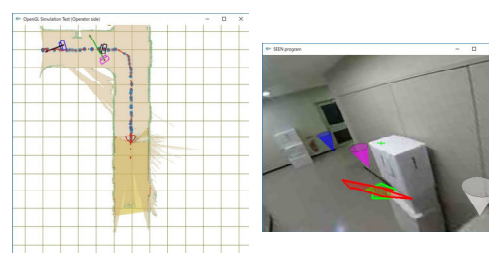


図 15 視覚受信者と視覚提供者が別々の注視点を指示した時の視覚受信者の環境画像（左）と視点画像（右）

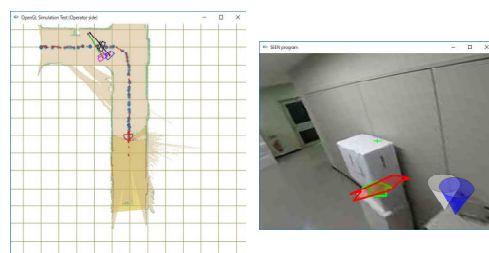


図 16 視覚受信者の注視領域を視覚提供者も見た時の視覚受信者の環境画像（左）と視点画像（右）

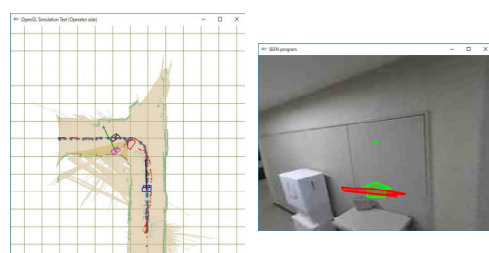


図 17 視覚提供者が実際に現場で移動して視覚受信者の注視領域を見た時の視覚受信者の環境画像（左）と視点画像（右）

図 15 左の桃色のカメラアイコンから出ている矢印は視覚受信者の視点と注視点を、青のカメラアイコンから出ている矢印

は視覚提供者の視点と注視点を表している。視覚受信者は、マウスクリックにより視点と注視点を指示する。視覚提供者は、画像提示処理用の PC に接続している外部タッチモニタを使用して、図 11 右のようにタッチ操作により視点と注視点を指示する。また、図 15 右は視覚受信者の視点画像で、緑の矢印は視覚受信者の頭部 3 次元姿勢、赤の矢印は視覚提供者の頭部 3 次元姿勢を表し、桃色と青の円錐は誤差を含んでいるが視覚提供者のおおよその視点と注視点を表す。白の円錐は誤差を含んでいるが視覚受信者のおおよその注視点を表す。よって、お互いに別々の場所を観察できることがわかる。そして、相手に見せたい場所がある場合は、相手の姿勢を表す矢印の色を変えて、同じ注視点を見るように促すことができる。図 16 は、視覚受信者が自分の見ている場所を見るように促して、視覚受信者の注視領域を視覚提供者も見た時の視覚受信者の環境画像（左）と視点画像（右）である。よって、お互いにほぼ同じ場所を観察できることがわかる。視覚受信者においては、視覚提供者の視点を自分の選択している視点と同じにすることもでき、その場合でも視線方向は拘束されないため、同じ視点からお互いに拘束されることなく自由に視線を変更して周囲環境を確認できる。視覚受信者の注視領域の現時点の様子を確認したい場合は、視覚提供者は、実際にその場所に行き確認する。図 17 は、視覚提供者が実際に現場で移動して視覚受信者の注視領域を見た時の視覚受信者の環境画像（左）と視点画像（右）である。図 17 右は実時間のカメラ画像であり、同じ注視領域の現時点での様子を確認できることがわかる。よって、視覚共有において全方位にわたり視覚提供者と受信者双方が自由に視線方向の変更が可能なこと、また、視覚提供者と受信者双方がこれまでに得られた画像情報の範囲内であれば自由に視点位置の変更及び一つの注視点を任意の角度から観察することが可能なこと、視覚共有者お互いの視点・視線方向が分離している場合でも、お互いの視点位置や注視領域が把握可能なことが確認でき、提案手法の有効性が示された。

また、本研究では、画像安定化精度の向上、視覚提供者の全身姿勢情報の取得とその視覚受信者への表示、人への移動指示や作業指示、視覚提供者が計測した環境情報の配信等の検討は、当初の予定に加えて実施した内容である。

視覚共有において全方位にわたり視覚共有者双方の自由な視線方向の変更を可能とし、視覚共有に伴う拘束の負荷を軽減できるところに本研究は学術的な重要性がある。本研究は、災害対応での救助者の作業支援機器への応用が可能であり、要救助者探索の迅速化、効率化が図れ、要救助者のみならず救助者の安全性を高めることが可能である。本研究は、病気等で外出困難な人の屋外散策支援機器への応用も可能であり、福祉機器分野への貢献、ウェアラブルデバイスを利用した遠隔地からの現実空間の情報収集等への波及効果が期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 4 件）

- ① 林 鈴, 城間 直司, 大山 英明: 非同期視覚共有システムにおける頭部の動きの検出と画像安定化, 平成 30 年度電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2018 年 11 月.
- ② 津村 諒, 甲斐 智博, 城間 直司: 全方位過去画像を用いて容易に周囲を確認可能な移動ロボットシステム, 第 18 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2017 年 12 月.
- ③ 甲斐 智博, 城間 直司: 広視野画像を用いた注視点に基づいた移動ロボットの遠隔操作に関する研究, 第 25 回電気学会東京支部茨城支所研究発表会, 2017 年 11 月.
- ④ Yuuya Suzuki, Naoji Shiroma, Arvin Agah and Eimei Oyama, "Omnidirectional Traveling Instruction for Behavior Navigation", Ninth International Conference on Social Robotics (ICSR 2017), Tsukuba, Japan, November 22-24, 2017.

## 6. 研究組織

### (1) 研究協力者

研究協力者氏名: 玉木 敦, 大畑 慶典, 鈴木 裕也, 津村 諒, 林 鈴, 志筑 悠月, 甲斐 智博, 出口 和希, 本田 龍也

ローマ字氏名: (Tamaki, Atsushi), (Oohata, Yoshinori), (Suzuki, Yuuya), (Tsumura, Ryou), (Ling, Lin), (Shizuku, Yuzuki), (Kai, Tomohiro), (Deguchi, Kazuki), (Honda, Tatsuya)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。