

「平成 24 年度 JKA 補助事業 救助ロボット搭載用立体視機能の調査報告セミナー」  
開催報告

2013 年 3 月 28 日（木）に慶應義塾大学 協生館 3F C3S10 にて「平成 24 年度 JKA 補助事業 救助ロボット搭載用立体視機能の調査報告セミナー」を開催した。



本セミナーはエンターテイメント以外の遠隔操作ロボットにおいて、立体視機能搭載救助ロボットの現状調査と、基礎実験（遠隔操作型ロボットの操縦作業効率値等）による効果と適用領域を調査することを目的とした「救助ロボット搭載用立体視機能の調査補助事業」の成果を報告した。上記事業は（財）JKA の平成 24 年度 機械工業振興補助事業 振興事業補助として実施している。

セミナーには、53 名の方に申し込みいただき、当日参加も含めて 50 名の方に参加いただいた。主な内容は下記のとおり。

(1) 挨拶・趣旨説明

一般財団法人デジタルコンテンツ協会 専務理事 鷺見 良彦より、セミナーの開催にあたっての挨拶ならびに「平成 24 年度 JKA 補助事業 救助ロボット搭載用立体視機能の調査補助事業」の趣旨説明を行った。

(2) 人間の空間知覚特性

講師：東京眼鏡専門学校 校長 畑田 豊彦 氏

今回の事業で設置した委員会の委員長である東京眼鏡専門学校 校長 畑田 豊彦 氏より、人間の空間知覚特性から、今回のロボットの立体視機能の特色がどこにあるのか説明いただいた。

監視用ロボットシステムでは、入力映像情報の受容・表示条件と視覚特性との整合が重要な役割を占める。

単眼カメラからの 2 次元映像でも高精細映像表示によって実物感や自然感を生み出し、大画面表示への展開で再現空間への没入感や臨場感を感じることができる。

さらに、2 眼カメラシステムによる 3 次元映像になることで、監視者には触れて(触感)、試して(実感)、作って(体感)と言う能動的動作を引き起こし、その時の監視者の視線や頭部移動特性から、より自然な空間再現条件が要求される。

人間の両眼立体視機能は手作業（範囲）+移動動作に応じて発達・完成すると共に、単眼情報も含めた空間立体視の全要因の寄与度も対象空間距離によって変化する。

探索作業対象となる近距離（100cm 以内）では、両眼視差、輻輳、ピント調節、運動視差といった単眼・両眼視要因全てが作動し、中距離（100～500cm）では、両眼視/単眼視要因の優位性が変化し、そのバランスが問題となる。遠距離（500cm 以上）になると、単眼カメラからの映像に含まれる大きさ、線透視、遮蔽状態を回避する運動視差などの単眼視要因が中心となる。

今回の探索/救助ロボットでは、情報入力部のカメラと表示部が、監視者の頭部運動に加えて体の運動にも連動し、人間が 3 次元空間内を探索する微妙な頭部+体幹部運動による運動視差情報も能動的に得られることで、より自然な空間知覚が成立し、作業動作が円滑に行えることが明らかになった。

### (3) 3D 関連の製品動向

講師：ソニーPCL 株式会社 3D クリエイティブプロデューサー 大場 省介 氏

同じく委員会の委員であるソニーPCL 株式会社 3D クリエイティブプロデューサー 大場 省介 氏より、3D 関連の製品動向について説明いただいた。

3D の製品としては、大きくカメラと伝送とディスプレイがある。カメラと伝送とディスプレイでどういった技術ポイントがあるかというと、カメラでは解像度やフレームレートやアライメントが、伝送では、圧縮、非圧縮と圧縮遅延が、ディスプレイでは解像度、フレームレート、大きさ、アライメントなどがある。

解像度については、視力=1.0 を目標値とすると、カメラとディスプレイの解像度が 2K の場合、視野角は 33° となる。なお解像度を 4K とすると視野角は 67° となり、解像度を 8K とすると視野角は 133° となる。

3D 撮影方式には交差法と平行法がある。平行法は、空間を完全に再現する事ができる。具体的には、カメラの間隔と見る人の両目の間隔が同一で観察物に対する画角が同一であれば、空間が歪み無く再現される。ただしそのためには、2 台のカメラの位置は、正確なア

ライメントが必要になる。

HMD の場合、一般的にレンズ光学系は長くなるため、反射光学系やホログラム板による小型化の取り組みが行われている。

伝送に関しては、2K 映像のビットレートは、約 1.5Gbps であり、そのまま、無線伝送するのは難しい。そのためデータ圧縮が必要で圧縮による伝送遅延が発生する。伝送遅延については、視覚系操作の場合、200ms 以下が望ましいとされ、触覚系操作場合、50ms 以下が望ましいとされている。放送でも低遅延の要求が強く、今後の改善が見込まれている。非圧縮伝送についてはまだ一般的ではなく、今後より高い周波数帯への移行が進むと思われる。

#### (4) 建設業界における遠隔操作システムの取り組み

講師：株式会社 大林組 機械部技術開発課 課長 栗生 暢雄 氏

引き続き委員会の委員である株式会社 大林組 機械部技術開発課 課長 栗生 暢雄 氏より今回の事業の成果の活用が期待される建設業界における遠隔操作システムの取り組みについて説明いただいた。

建設分野における工事機械を自動化・ロボット化するために、これまで数多くの技術が実用化されてきた。その中でも特に活躍している技術の代表として「建設業における遠隔操作システム」は、「無人化施工技術」と呼ばれ、災害復旧等において大いに活躍している。

この無人化施工技術は、災害が多発する日本で独自に発展した技術であり、災害復旧時においては、2次災害の危険が想定される地域を、施工する場合に用いられている。

建設業の就労者の高齢化と若年労働者の不足傾向は、他産業に比較して悪化している。また 2011 年 3 月の東日本大震災以降、労働者の不足傾向が顕著になりつつある。こうした建設業を取り巻く環境の中で、無人化施工技術は、機械化、自動化につながる技術としてニーズは増えつつある。

遠隔操作に基づく無人化施工では、有人操作時よりもオペレーターの取得可能な情報量が少ないため、施工効率の低下や、技能オペレーターの習熟に時間が掛かるといった問題があった。これらの課題解決の一つの手法とし、3D 映像による立体的な視覚情報収集、および体感型操作環境（簡易バーチャルリアリティ）の活用による「次世代無人化施工技術」を開発した。

実験では、コンクリート製のブロックを破砕、運搬車に積み込み、運搬、荷下ろしの一連の作業を行うことを想定し、キャビン上部に通常作業時のオペレーターの視線に近い場所に 3D ハイビジョンカメラを設置するとともに、キャビン上部前方に全方位カメラ（魚眼の画像）、ブーム先端に通常のカメラを配置した。その他現場での作業音、重機の振動・傾斜をセンサで取得し遠隔操作席で再現することにより、オペレーターに現場からの情報を

実感的に与えることで、操作環境を通常の運転席に近づけた。

実験の結果、従来型の遠隔操作では 40～65%程度の作業効率であるのに対し、今回開発した 3D 体感型では 65～95%の効率となった。また下記の三つの知見を得る事ができた。

- ① 3D映像及び体感装置を用いた遠隔操作システムは、オペレーターにとって操作性を向上させる。
- ② 機上作業に対しての作業効率の低下は否めないが、従来型の遠隔操作技術に対して、その低下の割合は少ない。
- ③ 従来型の遠隔操作技術に対して、効率は 20%以上向上する。

#### (5) テレイグジスタンス

講師：慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科 特任教授 舘 暲 氏

本事業の実施にあたっての委託調査先である慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科 特任教授 舘 暲 氏より今回の事業における遠隔操縦に臨場感を与えるテレイグジスタンスについての説明と、舘研究室における 30 年以上に渡るテレイグジスタンスに関する取り組みについて説明いただいた。

テレイグジスタンスは 1980 年に 舘 暲 氏により提案された概念である。「遠隔」を表す「テレ」と、「存在」を表す「イグジスタンス」から構成されており、遠隔地にいながらにしてまるでその場に自分自身が存在しているかのような高い臨場感を体験者に与える。応用先として、遠隔コミュニケーションやショッピング・レジャーなどエンターテイメント応用が可能である一方で、非エンターテイメント応用としては、遠隔医療や災害救助などが考えられる。

テレイグジスタンスを成立させるにあたり、「臨場感」「実時間性相互作用性」「自己投射性」の 3 要素が重要となる。臨場感とは目の前に自然な立体空間を感じることであり、実時間相互作用性とは目の前にある物体に働きかけることを意味している。そして自己投射性とは、アバタとなるロボットを自分の身体であるかのように感じられる体験を指す。

テレイグジスタンスは 2 通りの実現方法が考えられる。まずは、バーチャル空間内にバーチャルヒューマンを自分のアバタとして設置し、これに乗り込むという考え方である。これに対し、リアルな空間にリアルなアバタロボットを設置することで、実空間内へのテレイグジスタンスが可能となる。

今回の事業に際して、舘研究室で永年培ってきたテレイグジスタンス技術を導入して、いかに探索行動を向上させられるかの観点から基礎的な実験を行った。特に、頭部運動の追従性に優れた 6 自由度ロボットヘッド TORSO を利用することにより、ステレオ視に加えて、多自由度の運動視の有効性を検証している。

## (6) 救助ロボット搭載用立体視機能の効果検証

講師：慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科 特任講師 南澤 孝太 氏

最後に、同じく本事業の実施にあたっての委託調査先である慶應義塾大学 大学院メディアデザイン研究科 特任講師 南澤 孝太 氏より今回の事業のまとめとして、救助ロボット搭載用立体視機能の効果検証について説明いただいた。

今回の事業の実験目的は、探索／救助ロボットにおいて、トレイグジスタンスの概念に基づく立体的な視覚の伝送はどのような効果があるかということである。これまでのトレイグジスタンスの研究からの知見としては、立体視の知覚においては両眼視差のみならず運動視差も大きく寄与していることがわかっている。本事業で利用した遠隔操縦ロボット（TORSO）は、頭部に両眼カメラ（眼間距離 65mm）を搭載しており、6 自由度の運動機構を有するものである。そこで、両眼立体視・運動視・頭部運動自由度の効果を明らかにするために、下記の 3 つの実験を行った。

- ① 両眼視差及び運動視差の効果検証
- ② トレイグジスタンス方式の効果検証
- ③ 6 自由度立体視機能による習熟効率に対する効果検証

両眼視差及び運動視差の効果検証では、単眼視と両眼視の場合、運動視差がある場合とない場合の 4 つの条件で比較した。両眼視かつ運動視差をもつ条件が一番優れた結果を示した。また、単眼視であっても運動視差がある場合、両眼視で運動視差がない場合とほぼ同等もしくはそれ以上の効果を示しており、運動視差の効果が確認された。

トレイグジスタンス方式の効果検証では、操縦者の頭部運動に追従するトレイグジスタンス方式をゲームパッド操縦と比較し、有効性の検証を行った。トレイグジスタンス方式の方が、タスク達成時間が有意に短く、また初回の試行から安定してタスクを達成できており、個人間の成績のばらつきも小さく抑えられていた。さらに、いずれの条件においても、習熟曲線が観察されなかったことから、トレイグジスタンス方式を用いることで、周りを見渡すという動作において習熟を要さないことがわかった。

6 自由度立体視機能による習熟効率に対する効果検証では、両眼視+3 自由度頭部運動と、両眼視+6 自由度頭部運動の 2 条件で比較した。タスク遂行時間の変化としては、初回の試行についてはどちらも移動台車の操縦に慣れていないため時間がかかるが、その後は 6 自由度条件の方が、遂行時間が短いことが示された。壁への衝突回数については、6 自由度運動視差の方が少ないことがわかった。これは運動視差をも奥行き手がかりとできることから、より高い臨場感および自己投射性をえることができたと考えられる。

各実験のまとめとしては以下のとおりであった。

- ・両眼視差及び運動視差の効果検証： 運動視差は両眼視差と同程度以上に立体感に寄与
- ・テレグジスタンス方式の効果検証： コントローラと比べ有意に高速、訓練も不要
- ・6自由度立体視機能による習熟効率に対する効果検証： 6自由度運動機能により習熟速度が向上。新たな環境に投入しても習熟効果を維持

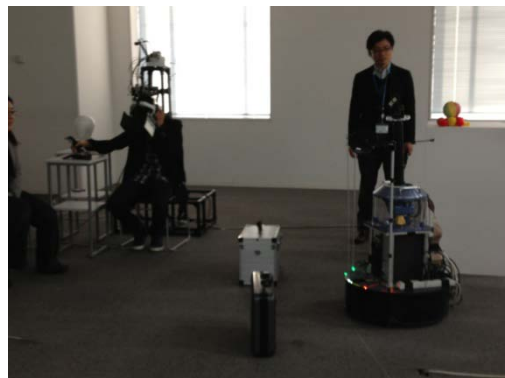
また委員を中心としたユーザテストを実施し、その体感報告では下記の意見があった。プラスの意見としては、既存の固定モニタによる観察と比較して瞬時に習熟できる。対象物と近い距離での把握には運動視差が特に有効といった意見があった。マイナスの意見としては、観察視野が狭いためロボットの胴体と空間との位置関係の把握が困難、台車操作による位置の移動により方向感覚を失うことがある（台車の操作が身体性を伴わないジョイスティックによる操作であるため）。といった意見が報告された。

#### (7) Q&A

その後講師に対する Q&A が行われ、活況のうちにセミナーが終了した。

#### (8) 体験デモ

16:00 からは C3S02 に会場を移し、本実験で利用したロボットである「TORSO」の体験デモが行われた。会場では「TORSO」のほか、舘研究室の研究成果として、空中に浮かぶ 3D キャラクターに触ることができるインタラクションシステムである「RePro3D」や「TECHTILE toolKit」を使って紙コップの中でビー玉が回る感覚を伝えることができるシステムなども展示いただき体験することができた。



体験でもには、セミナー参加者のうち希望される方に参加いただいたが、多くの方に引き続き参加いただいた。