［研究助成（B）］

人に近い眼器官を用いた相互の社会的刺激による人協働ロボット作業効率向上の研究

Investigation to improve human-robot collaboration efficiency by mutual social cues with human-like eye robot

2211902

研究代表者　豊橋技術科学大学 情報知能工学系　助　教　林　宏太郎

［研 究 の 目 的］

近年，ロボット技術の発展と人手不足の加速に伴い，実際にロボットが人と共同作業を行うことが日常になりつつある。本研究において目指すべき目標は，人協働ロボットが状況に応じて人と相互に社会的刺激を送り合うことで作業効率が向上し，共同行為への貢献を高めることで We-ness（我々感）を醸成することである。このための相互の社会的刺激の実現と検証を行う。人同士は知覚空間を共有することで短期的な目標や出来事を共有することで相手の意図を理解予測し，同意コストを省略して効率的に作業を行っている。効率的に作業を行うことはすなわち短期的な共同行為への貢献であり，我々として一緒に達成しようとしているより大きな目標への貢献として認知的に表象する。このような同じ目標をともに達成する仲間としての We-ness（我々感）の醸成がロボットにもと考える。

上記研究は幅広く多岐にわたるため，本研究課題において，以下の２つの研究に取り組んだ。

・人ロボット協調作業における視線運動の果たす役割についての研究
（相互の社会的刺激として，まず視線に注目し，視線運動の有無によって人の認知が変化するかどうかの検証）

・移動ロボットが人と共在する空間において行うべきふるまいの創出
（人の行動を計測しモデル化，そのモデルを用いたロボット・システムの開発）

［研究の内容，成果］

1．ロボットの開発

本研究実施にあたって，すでに開発済みの小型，中型二種類のロボットに改良を施し，新規ロボットを開発した。ただ，新型コロナ禍において部品調達に期間を要したため，本研究助成で開発したロボットは実験に用いることができなかった。

・小型眼ロボット

既開発の眼ロボットになかった瞬き機能を追加した。この際，既開発型で用いていたラジコンサーボから，より制御のし易い半二重シリアル通信ブラシレスサーボであるアダマント並木宝石店社製の RSV10-1003ESG400C（シャープ製ロボホンなどに利用）に換装した（図１参

図１　改良小型眼ロボット

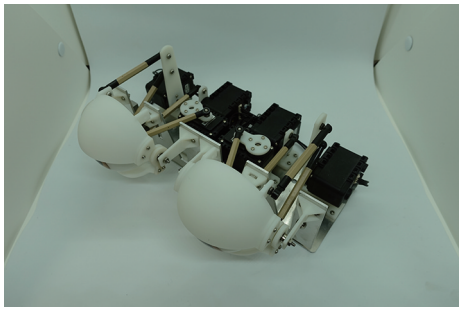

図２　改良中型眼ロボット

照)。

・中型眼ロボット

既開発の眼ロボットに使用していたFutabas社製RS305CRモータ（0.11 sec/60°）では人間が行う閉じる際の瞬きの再現（0.07 sec/60°）にはスペックが不足していることから，DYNAMIXEL社製MX-12W（0.02 sec/60°）に換装した（図２参照)。

2. 人ロボット協調作業における視線運動の果たす役割についての研究

可能であれば本研究課題で改良したロボットを使用した実験を行いたかったが，上記理由に付き既開発ロボットを使用して行う。ロボットの視線運動を始めとした社会的刺激によって効率的な作業が実現可能かどうかを探る。この検証として心理学でよく用いられるGo/Nogo実験を実施した。具体的な実験光景をに示す。被験者と実験エージェント（人，ロボット）と向かい合った形で着席する。間に水平に設置されたディスプレイが存在し，その画面上で赤もしくは青の四角が表示される。赤の四角が現れれば被験者が手元のゲームパッドを用いて消す。青が現れれば実験エージェントが消去するというタスクを行う。これは工場などで見られる人ロボット共同作業（人が物品を組み付け，ロボットが搬送するなど）を簡略化したものであり，富山大学の佐藤徳教授の協力により考案された。本実験の赤い四角が表示されてから被験者が消すまでの時間をReaction Timeとして評価する。また，本研究助成で購入したTobii

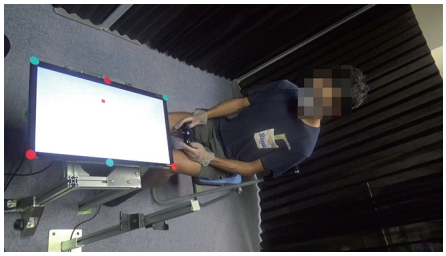

図３　Go/Nogo実験

glasses 3を利用し，実験中の視線滞留状態を計測し評価する。

17名の被験者に対して2×3の6条件（人もしくはロボットの2条件とと共同作業，見ているだけ，存在なしの3条件）に比較実験を実施した。以下図4に実験条件を示す。A, d共同作業条件において人ロボット共に上記のGo/Nogoタスクを実行する。実験エージェントを行った人間の消去速度はおおよそ0.4秒であり，ロボットの場合も人間に合わせ0.4秒で自動で消失する。消失する際，本研究助成で購入したRobotiq社製Hand-Eロボットハンドによってゲームパッドのボタンを押す動作を行う。b, e見ているだけ条件においては実験エージェントはただディスプレイ上で表示される四角を見ているだけであり，青い四角は0.4秒経つと自動で消失する。c, fの問題なし条件においては実験エージェントは存在せず，青い四角は0.4秒経つと自動で消失する。

Reaction timeの実験結果を図5に示す。2要因分散分析の結果，ロボット-共同作業条件のとき最もreaction timeが有意に低いという結果が出た。

次に，視線滞留の実験結果を示す（図6)。視線滞留時間をχ二乗検定で統計を行った結果，ロボット-共同作業条件において視線滞留時間が実験エージェントの領域へ移動していることが明らかになった。これは“we-mode”という，全体のポテンシャルが個々のポテンシャルの総和を大きく超えるモードに人間には存在し，その際相手の情報を積極的に取得しようとする［Gallotti & Frith, 2013］認知モード

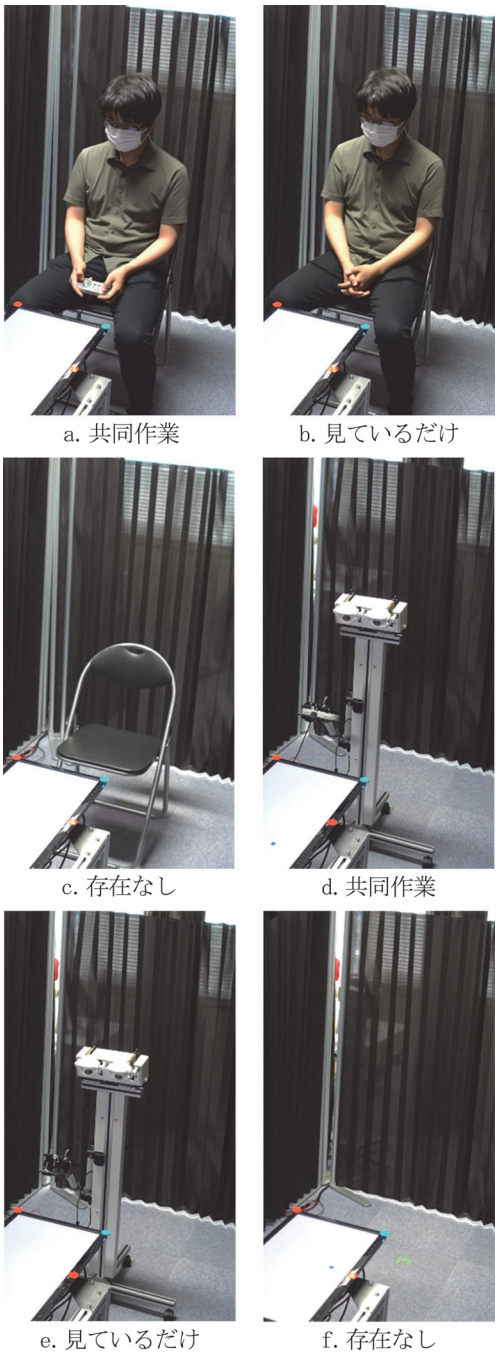

図 4　実験条件

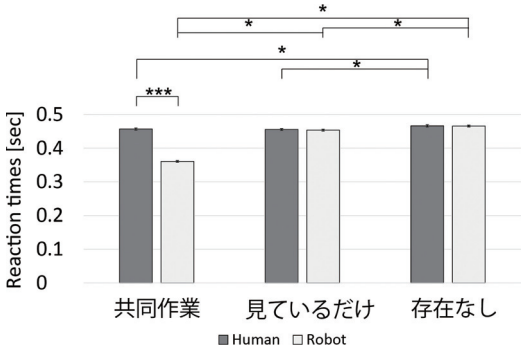

図 5　Reaction time 結果

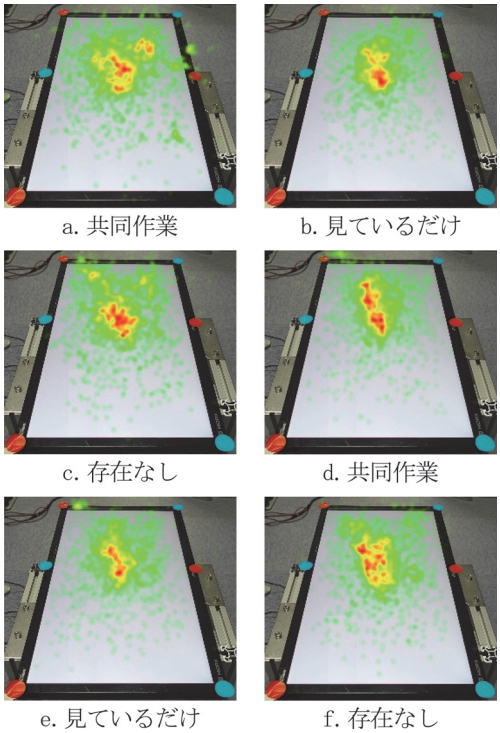

図 6　視線滞留ヒートマップ

の存在が認知科学の分野で言われている。この we-mode に被験者の認知モードが移行したと考えられる。

上記結果より，共同作業-ロボット条件において最も作業効率が向上したといえる。直感的には，人間との共同作業で最も作業効率が上がっても良さそうであるが，そのような結果にはならなかった。これは，実験エージェントとしての人間がマスクを着用した見ず知らずの人間である事から，共同作業を行う we-ness が形成されず，効率的な作業を行う認知モードに移行しなかったものと推測される。これは重要な示唆であり，短期的に見ず知らずの人間と共同作業を行う作業においては，ロボットと当該作業を行う方がより作業効率が高くなる可能性がある。これは今後実環境における人ロボット共同作業設計に多いに資することが予想される。

3. 移動ロボットが人と共在する空間において行うべきふるまいの創出

並行して，人の視線運動から学習し，ロボットの振る舞いに反映する研究の先駆けとして，移動中の人の視線運動を学習しロボットに実装することによって効率的な回避が可能かどうかを検証する。この研究は例えば現在ではamazonが倉庫内において人と移動ロボットが共在する環境を構築している。この環境において，視線を利用することでなめらかな回避運動が行えるとすれば，全体としての効率化が期待できるためである。これは本学学生である藤方郁也氏が主体となり実施された。

まず，3名の被験者を実験者と10分間行き来させる。この際，前述のTobii glasses3を用いてカメラ画像における視線位置を測定した。カメラ画像と視線座標を学習データとし，DNN（Deep Neural Network）で推定器を作成した（図7）。この推定器を図8のロボットに実装。20名の被験者に対し，以下の5条件で比較検証を行った。

・ProposedGaze
　条件推定器が示した注視点に線を向ける。
・RandomGaze条件
　Random関数を用いて求めた点をロボットの注視点として視線を向ける。
・FixedGaze条件
　ロボットの視線を真っ直ぐ前を向くように固定する。
・PathGaze条件
　移動の先端を注視点とし，ロボットの視線は水平方向のみ動かす。
・NoGaze条件
　ロボットからの視線社会的刺激をなくすため，Kinect v2前面部分を同色の養生テープで覆った。

ロボットの移動はmove_baseパッケージを利用してパスプランニングを行い，障害物回避を行う。被験者はロボットから廊下で11.6 m離れた場所から歩きはじめ，ロボットのいた場所をゴールとしてそこまで止まらずに歩くよう指示される。その間の歩行経路に関しては被験者の任意とした。実験として移動効率の高さとしてすれ違い始めたときのロボットとの距離と，並行最大距離を用いて評価を行う。また，歩行に問題がないか主観評価としてRobot Anxiety Scale（RAS）のnxiety toward Behavioral Characteristics of Robots尺度と，The Robotic Social Attributes Scale（RoSAS）のDiscomfort尺度を実施した。図9，10に距離の結果を

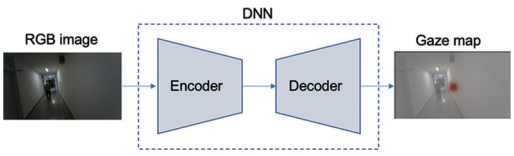

図7　学習する視覚注意モデル

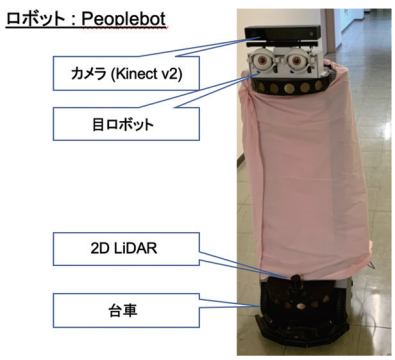

図8　眼ロボット付き移動ロボット

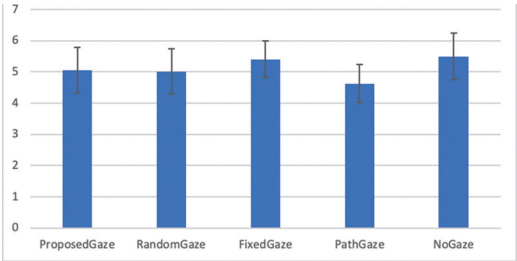

図9　すれ違い始めたときのロボットとの距離（m）

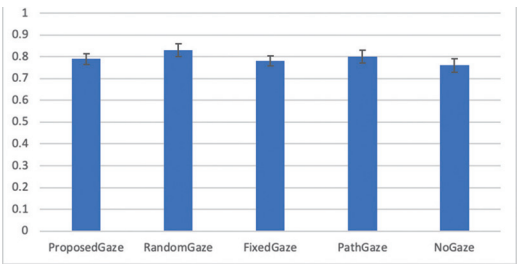

図10　ロボットとの並行最大距離（m）

示す。

t 検定の結果から，距離の分析において有意な結果は得られなかった。これはロボットの歩行自体は共通しているため，同一被験者に実施する被験者内実験ではロボットの歩行に慣れてしまい，条件別に違いは発生しなかったものと思われる。

一方で主観評価であるが，人の属性によって評価が異なることが予備実験の半構造化インタビューより明らかになっていた。そこで，視線恐怖尺度を用いることで，視線に対する嫌悪感を測定し，被験者を視線恐怖 Low 群と視線恐怖 High 群の 2 グループに分け，2 要因分散分析によって分析を行った。RAS，RoSAS 両方の結果より，RandomGaze 条件以外の条件感において有意に差は存在しないが，視線恐怖の高低において比較した結果は視線恐怖 Low 群においてはロボットの視線が極力被験者を向かないほうが恐怖感は低く，人と同じように視線を向けられうことによって不快感を覚えることが明らかになった。この結果は，人の模倣を無批判に行うことは適切なロボットの振る舞いたり得ない可能性を示唆している。対象となる人の属性により求める評価の結果は変わりうる。これは人に寄り添ったコミュニケーションと，ロボットを用いた心理実験の実験計画における人の属性を考慮する重要性を示したということができる。

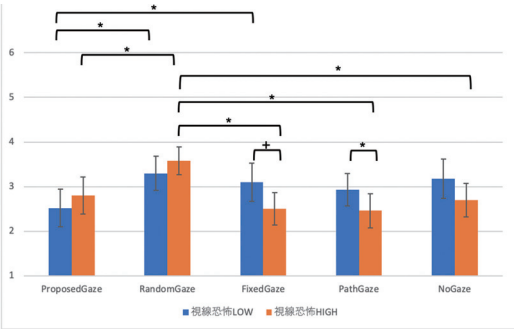

図 11　RAS 尺度結果

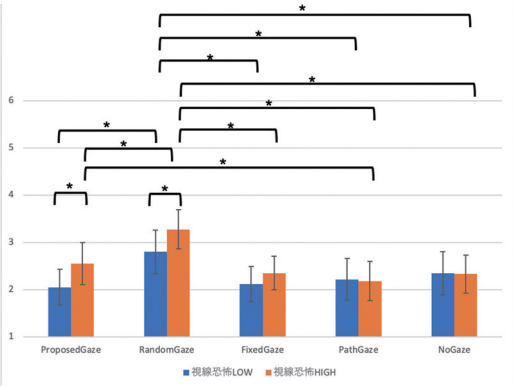

図 12　RoSAS 尺度結果

［今後の研究の方向，課題］

本研究助成期間では，上記 2 つの研究の他に 2 つの研究を行えたものの，機関の半分がコロナ禍であったため様々な制約を受けた。このため，改良型の眼ロボットを利用できず，被験者実験も助成期間の半分近く実施できなかった。研究 1 においては，今後ロボットの振る舞いに Jioint attention のように，タスク遂行中に被験者の方へも視線を投げかける行為を加えることで作業効率の変化を検証したい。また，その際実験 2 で明らかになった被験者の視線恐怖によって変化が発生するかを検証したい。

今後は更に本助成期間で開発した基盤技術を基に，教育における人とロボットの共同学習について研究を開始したい。現在すでに東京農工大学の外国語教育を専門とする佐藤健教授と共同で第二言語教育へのロボットの投入について研究を開始している。本助成により得られた知見と機材を使用し，日本人が苦手とする対面英会話（第二外国語恐怖症）をロボットを用いることで克服することを研究する予定である。

［成果の発表，論文等］

［1］ Kotaro Hayashi, Investigation of joint action in Go/No-go tasks: development of a human-like eye robot and verification of action space, International Journal of Social Robotics 査読中.

［2］ Kota Minami, Kotaro Hayashi and Jun Miura, Development of the Pedestrian Awareness model for mobile robots, The 32nd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Com-

munication（IEEE RO-MAN 2023）.
［3］ Fumiya Fujikata, Kotaro Hayashi and Jun Miura, Construction of a Gaze Control Policy for a Mobile Robot Imitating Human Gaze and Its Impact on Perceived Danger and Anthropomorphism and Animacy of Relative Pedestrians, 19th Annual ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction（HRI 2024）投稿予定.
［4］ Kotaro Hayashi and Takeshi Sato, The effectiveness of the learning software for EFL chunk reading using eye-tracking data, The 19th Annual CamTESOL Conference, 2023.