

作業台上の視線計測による作業支援システムの提案

木村淳哉[†] 富田智晶[†] 片桐一浩[†]

概要: 本研究では、作業台上の視線を計測し、プロジェクターによる情報投影と組み合わせることで、多様な作業環境に適用可能な作業支援システムを提案する。従来のディスプレイ内支援とは異なり、作業台上を見る作業者の視線をリアルタイムに計測し、作業内容や状況に応じて作業台上に直接情報を投影する形で、支援情報の提示および視線誘導を行う。具体的には、注視箇所への支援情報ポップアップ表示と、未注視箇所及び要確認箇所への視線誘導キューの2種類を設計した。工場の組み立て作業を事例としてシステムを構築し、作業ミスの防止や効率化を目指す作業支援システムの提案を行う。

1. はじめに

オフィス業務や工場などの作業現場において、作業の多様化と高度化が進展し、作業者は複雑な手順を正確かつ効率的に遂行することが求められている。特に製造現場では、多品種少量生産の増加によって作業への属人化や作業の複雑化が進んでいる。また、生産人口の減少による現場の人手不足により、作業一人当たりの負担が増大している。負担軽減のために作業者は、自身の経験・スキルによる慣れによって、作業内容を自動化[1]することで負担軽減できるように最適化している。しかし、現場管理者は、作業による負担軽減のための作業内容の最適化によって、作業指示や確認項目が読み飛ばされてしまい、確認漏れが原因の作業ミスや作業品質の低下が生じ、手戻りの発生などで作業時間が増加することによる生産性の低下を危惧している。こうした状況から、作業負担の軽減を行う作業支援インタラクションの必要性が高まっている。

著者らはこれまで、小型タブレットのディスプレイに表示した作業指示書（以下、タブレット指示書）の操作における、操作負担を軽減することを目的に、注視位置と視線の移動を用いたページ操作機能の提案を行い、生産性向上を目指した研究開発を行ってきた[2]。従来のタッチ入力やキーボード入力によるタブレット指示書の操作方法では、手が汚れた状態や工具を持ったままでの操作は困難であり、作業工程ごとにタブレット指示書を操作する負担が大きかった。そのため、作業者は作業の前後に内容を把握しない状態でページを連続して送る操作を行っており、これによりタブレット指示書の内容の読み飛ばしが発生し、作業ミスの一因となっていた。これに対し、提案する視線入力を用いたタブレット指示書のインタラクション方法は、ハンズフリーであることで操作負担が軽減し、作業を中断することなく操作ができるようになる。また、視線を入力に用いることで、自然にタブレット指示書に視線を向けるため、

作業指示書の読み飛ばし防止にも寄与している。

しかし、タブレット指示書のみによる情報提示は、作業台とディスプレイ間の視線移動量が増加して認知負荷が高くなるため、情報の探索時間の増加によって作業時間が増加してしまう。そのため、タブレット指示書の操作方法に対する作業支援インタラクションだけで作業負担の軽減を行うには限界があった。重要な作業指示や確認項目を作業台上に直接情報提示することで、視線移動量を抑制し、認知負荷の軽減・作業時間を減少させる方法も提案[3]されているが、手元の作業台上で行われている作業状況を考慮しない、作業中の作業者の注視位置などの視線情報に依らない情報提示は、情報に気づかずに見逃す、もしくは無視される恐れがある[4]。

そこで本研究では、作業台上を見る作業者の視線を計測し、作業内容や作業状況に応じた最適なタイミングで情報を提示する支援システムを提案する。具体的には、注視箇所に応じた支援情報の提示と、目視確認箇所や未注視箇所への視線誘導を行う。これにより、重要な作業指示や確認項目の提示方法を改善し、認知負荷を軽減することで作業負担の軽減を目指す。

2. 関連研究

これまで、認知負荷の軽減や作業時間の短縮を目的とした作業支援は多く検討されてきた。特に、情報探索における認知負荷の軽減により、作業時間やミス発生率の改善を試みた研究が多く、作業中の視野内での視線誘導の方法が提案されている。

2.1 HMDでの視線誘導方法

HMD (Head Mounted Display) を用いて、作業者の頭部方向に追従させる誘導キューの表現は多く検討されている。

Biocca らは、AR (Augmented Reality) デバイスにて「Attention Funnel」という、ユーザーの頭部位置から対象

[†] 沖電気工業(株) 技術本部研究開発センター
プラットフォーム研究開発部

物まで一定間隔でパターンを配置し視線を誘導する方法を提案した[5]. 従来のハイライト表示と比較して, 探索時間が短縮され, 意図した場所への誘導効果が確認された. しかし, この誘導表現は視覚的負荷が高く, ユーザーに不快感を与えるという課題が指摘されている. また, Gruenefeldらは, 「FlyingARrow」という 3D の矢印が対象物まで移動する視線誘導方法を提案した[6]. 探索時間での差は見られなかったものの, 主観的な使いやすさが高く評価され, 作業負荷の軽減が示された. この誘導方法は対象物まで一度だけ 3D の矢印が移動するため, 見逃しや目標箇所の発見が難しいという課題が残っている. Hein らは, 矢印と波状表現という大まかな方向を指す粗い誘導表現と, 正確な位置を提示する細かい誘導表現を組み合わせることで, 探索時間が短縮できることを明らかにした[7].

このように, HMD による AR 表現での視線誘導は多く検討され, 作業時間や認知負荷の軽減への一定の効果が認められている. しかし, 作業中の HMD 装着は作業者の負担となり, 長時間の使用は難しく, 作業中の支援には必ずしも適していない. また, 作業環境や作業内容により最適な誘導方法は異なり[8], 工場作業を想定した場合に, 同様の効果が得られるかは明らかになっていない.

2.2 工場作業における視線誘導

工場作業における視線誘導の検討事例として, 必要な部品を棚から取り出す作業であるピッキング作業を支援するシステムとして, Funk らのプロジェクター投影によるピッキング作業支援システム「OrderPickAR」がある[9]. 本システムは, 深度カメラによる作業状況の検知によって, ピッキング箇所をプロジェクターでハイライトする方法であり, HMD を着用した視線誘導の表現に比べて, ピッキング時間の短縮やエラー率の低下, 精神的負荷の軽減が確認された. このように, ピッキング作業などの工場作業においては, 作業者にとって HMD 装着が負担であることが示されている. この支援システムは, ピッキング作業に特化しており, 組み立て作業のような細かい作業への支援には, 作業者の視線情報などを活用した作業状況の検知とそれに基づく情報提示が必要である.

3. 提案方法

3.1 概要

本研究では, 工場の組み立て作業を想定し, 作業台に設置した Web カメラで視線を計測するとともに, 作業指示書の情報投影および要確認箇所への視線誘導を行う支援システムを提案する. これにより, 以下の効果が期待される.

【効果 1】注視点に基づく作業状況に応じた情報提示による, 作業者の認知負荷の軽減

【効果 2】要確認箇所への視線誘導による, 作業時間の短縮

【効果 3】要確認箇所への視線誘導による, 視線移動量の減少

【効果 4】注視点に基づく情報提示および要確認箇所への視線誘導による, 作業指示の見逃しによる作業ミスの防止

これらを実現するため, 作業台の視線計測とプロジェクターによる情報投影を組み合わせたシステムを構築した. 本支援システムは, 情報提示機能と視線誘導機能を有する.

情報提示機能は, 作業者の認知負荷の軽減を目的として, 作業状況に応じて必要な詳細情報を提示する. これにより, 作業の飛ばしやエラーの発生を防ぐ.

視線誘導機能は, 作業者の見逃し防止や手戻りの減少を目的として, 要確認箇所への視線誘導を行う誘導キューを表示する.

3.2 構成

作業台 (作業面: 奥行 40cm, 幅 60cm, 高さ 90cm) に対し, 作業台上部にプロジェクターを下向きに設置し, 作業台平面に情報投影する.

視線の計測には, トビー・テクノロジー株式会社 (Tobii Technology K.K.) の提供する Web カメラを用いた視線計測ソフトウェア Tobii Nexus[10]を利用した. Web カメラは, 多くの作業者の使用を想定し, 95 パーセントの身長範囲である 150cm~185cm[11]の作業者の視線が計測可能となるように, 取り付け角度を調整して図 1 に示す位置に設置した.

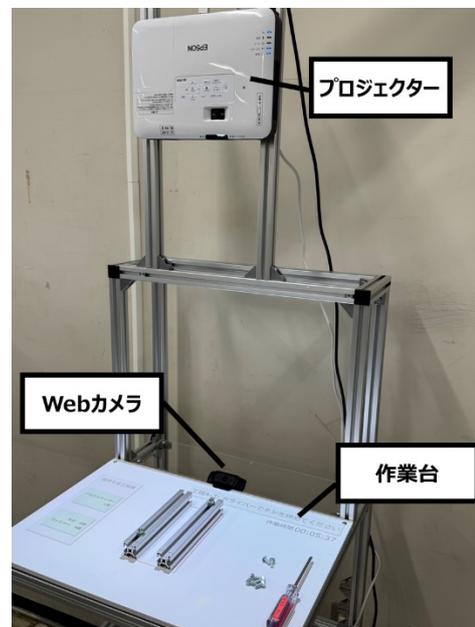


図 1 全体構成

3.3 情報提示機能

作業者の作業状況に応じて, 注視点に基づく詳細情報のポップアップ表示を行う. 図 2 はネジ締め作業を想定した作業指示書とポップアップ表示の例である. 緑色の使用工

具の枠を注視した場合、工具の画像をポップアップ表示し、作業工具の配置箇所をハイライト（図内では赤背景）で強調する。これにより、作業初心者の工具や使用部品の選択の迷いを減らし、作業時間の短縮を図る。また、作業箇所を注視した際には、作業の注意事項や詳細情報などをポップアップで表示する。これは、作業に慣れた作業者の確認作業などの手順飛ばし防止に寄与すると考える。

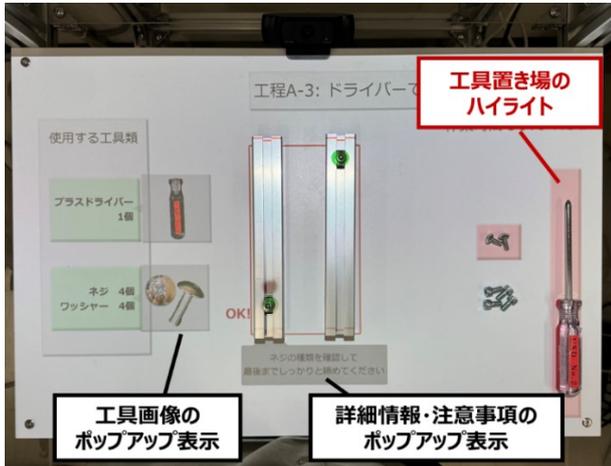


図 2 作業台のポップアップ表示

3.4 視線誘導機能

目視確認作業や未注視箇所への視線誘導として、AR デバイスで提案されている矢印表現を参考[6][7]に注視位置に追従する誘導キューを表示する。本システムでは2種類の誘導表現を提案する。

1つ目は、図3に示すように、誘導キューを注視点よりも一定の割合だけ誘導点に近い位置に表示することで、誘導点に視線の誘導を促すものである。誘導キューの大きさは、注視点と誘導点との距離に応じて変化させており、距離が近づくほど大きく、離れるほど小さくなるよう設計している。これにより、距離感の表現と誘導効果の向上を図った。

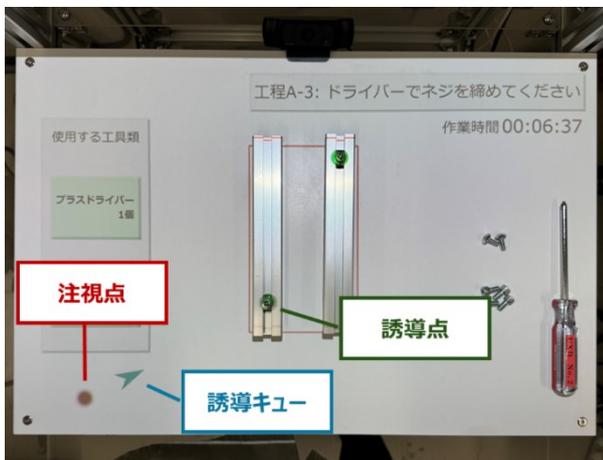


図 3 注視点に追従する矢印誘導

2つ目に、視線を誘導点に引き寄せる動的な視線誘導を提案する。図4に示したように、注視点から誘導点に向かって誘導キューがスムーズに近づき一定距離まで移動した後、注視点の位置に戻る動きを示す。1つ目の視線誘導表現と同様に、誘導点との距離に応じて誘導キューの大きさを変化させ、距離感や誘導効果を高めている。これは、動的な視線誘導方法であるため、1つ目の視線誘導表現に比べて誘導強度の高い誘導表現である。これら2つの誘導表現を作業進捗などに応じて使い分けることで、作業時間が短縮するという仮説[8]のもとに設計した。

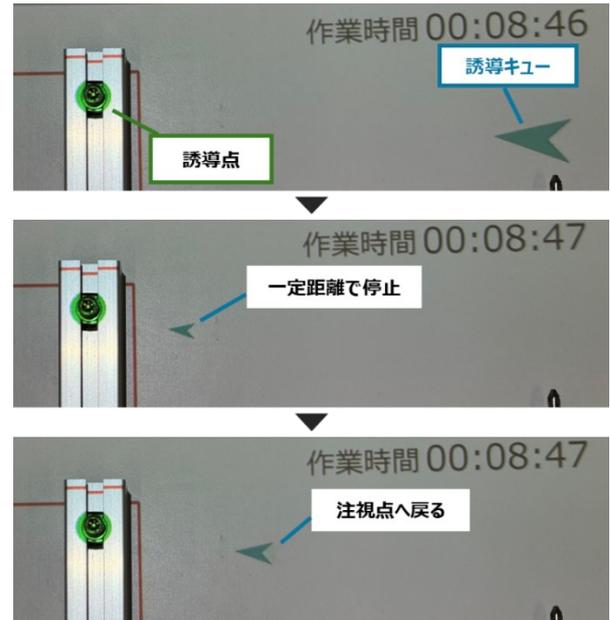


図 4 誘導点に引き寄せる動的な視線誘導

4. 今後の展望

本稿で提案した作業支援システムを、工場作業者を対象に、ニーズ調査および機能評価を実施する予定である。提案システムの効果を検証のため、作業時間や視線移動量、作業エラー率などを定量的に評価するとともに、作業者の主観的な使いやすさについても確認を行う。

参考文献

- [1] 小松原. 認知人間工学からのベテラン作業者のヒューマンエラーの防止. 安全工学, 1999, vol.38, no.6, pp.352-358.
- [2] 富田,赤津,鈴木. 工場における主体感のある操作が可能な視線入力によるタブレット操作方法の検討. ヒューマンインタフェース学会誌, 2024, vol.26, no.3, pp.277-288.
- [3] 荒井,安川,日野原,木曾. プロジェクションマッピングを用いた基板製造作業支援システム. ヒューマンインタフェース学会論文誌, 2017, vol.19, no.3, pp.53-64.
- [4] Shamsi T. Iqbal, Eric Horvitz: Notifications and Awareness: A Field Study of Alert Usage and Preferences; Proceedings of the 2010 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work(CSCW '10), pp.27-30, (2010).
- [5] Biocca. F. et al. Attention funnel: Omnidirectional 3D cursor for mobile Augmented Reality platforms. CHI, 2006, pp.1115-1122.

- [6] Gruenefeld, U. et al. FlyingARrow: Pointing Towards Out-of-View Objects on Augmented Reality Devices. 7th ACM International Symposium 2018, vol.20, pp.1-6.
- [7] Hein, P. et al. Two is Better Than One. Improved Attention Guiding in AR by Combining Techniques. IEEE Computer Graphics and Applications, 2020, vol.40, no.5, pp.57-66.
- [8] Renner, P., Pfeiffer, T. AR-glasses-based attention guiding for complex environments: requirements, classification and evaluation. PETRA, 2020, no.31, pp.231-240.
- [9] Funk, M, et al. Pick from here!: an interactive mobile cart using in-situ projection for order picking. UbiComp, 2015, pp.601-609.
- [10] “さまざまなデバイス、アプリケーションのためのウェブカメラのアイトラッキング - Tobii” .
<https://www.tobii.com/ja/products/integration/screen-based-integrations/tobii-nexus> , (参照 2025-12-19).
- [11] “平成 30 年,令和元年国民健康・栄養調査” .
https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkou_eiyouchousa_tokubetsushuukei_h30-r01.pdf, (参照 2025-12-20).