

ウェアラブル保守点検サポートシステム

Wearable Support System to Assist in Maintenance Inspection Work

中洲 俊信 池 司 山内 康晋

■ NAKASU Toshiaki ■ IKE Tsukasa ■ YAMAUCHI Yasunobu

電力制御盤など社会インフラ機器の保守点検では、作業員は手順書を確認しながらボタンの押下や制御スイッチの切替えといった操作を行う。その際、制御盤から視線を移して手順書を確認したり、ページを手でめくったりする動作が必要になり、作業中断による効率低下が課題となっていた。

東芝は、これまでの紙ベースの手順書を基にした保守点検業務を効率化するため、眼鏡型ディスプレイに手順書を表示し、指を傾ける操作で手順書のページを切り替えられるウェアラブル保守点検サポートシステムを開発した。作業時の誤作動を抑制するジェスチャ操作インターフェースの設計と、指に装着した加速度センサのデータから直感的な指ジェスチャを認識する技術の開発により、指ジェスチャによる手順書の確認及び操作が可能になった。これにより、手順書確認時に視線を移す必要がなくなり、作業に集中できることで保守点検業務の効率が向上することを、試作品を用いた評価実験で確認した。

In maintenance inspection work for social infrastructure products such as power control panels, a worker must carry out the necessary tasks by pressing buttons or switching control switches on the panel while referring to the operating procedures in the related manual. The process of referring to the operating procedures requires the worker to shift their line of sight from the panel to the manual and to turn the pages of the manual over by hand, interrupting the work and leading to decreased efficiency.

With the aim of supporting maintenance inspection work without the use of paper-based operating procedures, Toshiba has developed a wearable support system that allows workers to smoothly perform maintenance inspection work while referring to the corresponding page of operating procedures displayed on an eyeglasses type device by controlling the display using finger gestures such as tilting and tapping. To permit workers to easily operate and confirm operating procedures, we have developed a gesture control interface capable of suppressing malfunctions during operation as well as a gesture recognition technology using a finger-ring type accelerometer that enables workers to confirm and control a procedure manual through a series of finger gestures. We have confirmed through demonstration tests that this system can contribute to improved work efficiency by allowing workers to concentrate on tasks without the need to shift their line of sight.

1 まえがき

電力制御盤などの保守点検では、対象となる機器により必要な作業が異なるため、作業員は携帯した手順書を基に複数の機器を点検して回る。機器の点検は、ボタンの押下や制御スイッチの切替えなど複数の操作で構成されるが、手順書のページを手でめくる必要があり、視線を移したり一連の機器の操作が中断されたりすることで保守点検時の作業効率が低下する要因になっていた。

今回東芝は、眼鏡型ディスプレイに手順書を表示し、指ジェスチャでページを切り替えることにより、中断のないスムーズな機器操作を可能にするウェアラブル保守点検サポートシステムを開発した⁽¹⁾。手が塞がるような保守点検作業では、特定の入力用機器を把持することなく、指先の簡単なジェスチャで手順書を操作できることが望まれる。そこで当社は、加速度センサだけで指の傾きや打指（親指と中指を打ち付ける動作）を高精度に認識する技術を開発し、作業員がストレスを感じることなく、簡単に作業内容の確認とページの切替えができるシ



図1. ウェアラブル保守点検サポートシステム — Webカメラで認識された機器の手順書が眼鏡型ディスプレイに表示される。作業員は、手順書を確認しながら保守点検作業を行い、加速度センサで認識される指ジェスチャで手順書のページを切り替える。

Demonstration of wearable support system

テムを試作した（図1）。

保守点検中には様々な手や指の動きを伴うが、誤作動することなく指ジェスチャを認識することが求められる。簡単かつ直感的なジェスチャで操作できることと誤作動が少ないことと

はトレードオフの関係にある。そこで、機器操作とジェスチャ操作を簡単な合図で切り替えられ、かつ業務中の誤作動も抑制するジェスチャ操作インタフェースを設計した。また、保守点検中にページを切り替える合図には打指を採用した。打指は、マウスのクリックと同様に簡単かつ直感的な動作であり、そのときの衝撃で生じるパルス形状の3軸加速度パターンから高精度にジェスチャを認識できる⁽²⁾。指輪型の加速度センサを装着するだけで認識できるため、これまでのようにスイッチなどの追加装備は必要ない⁽³⁾。

ここでは、開発したウェアラブル保守点検サポートシステムの概要と、試作品を用いたユーザー評価試験の結果について述べる。

2 ジェスチャ操作インタフェース

2.1 保守点検業務の流れ

開発したシステムでは、作業員は図1に示すシースルー型の眼鏡型ディスプレイと指輪型センサを装着する。

作業員が対象機器の前に立つと、眼鏡型ディスプレイに装着されたWebカメラにより機器が認識され、その機器に対応した手順書が眼鏡型ディスプレイに表示される。作業員は、図2に示すように、この手順書を確認しながら“点検作業モード”の各操作、例えば、ボタンの押下や、制御スイッチの切替え、メータに表示された値の記録、テストによる検査、ケーブルの抜き差しなどを行う。手順書のページを切り替える際には、



“ジェスチャ操作モード”に移行して手順書を指ジェスチャで操作する。その後、ページ切替えのジェスチャを受け付けられない点検作業モードに戻ることで保守点検作業を再開できる。

2.2 指ジェスチャの割当て

前述したように、このシステムでは点検作業モードからジェスチャ操作モードへ遷移する際の切替え合図として打指を採用した。保守点検中には指先が物に接触する機会も多く、その際の衝撃で発生するパルス形状の加速度パターンを打指として誤検出するおそれがある。

そこで、作業時には出現頻度が低いと考えられる“打指&指上げ”(打指後に指を上げる動作)でジェスチャ操作モードに移行させることにした。このモードに移行したら、“指を上に向けた状態から右/左方向に傾ける”ことで直感的に手順書のページを送る/戻ることができる。また、指を下に向けた“指下ろし”(手を下ろす動作)で点検作業モードに戻る。

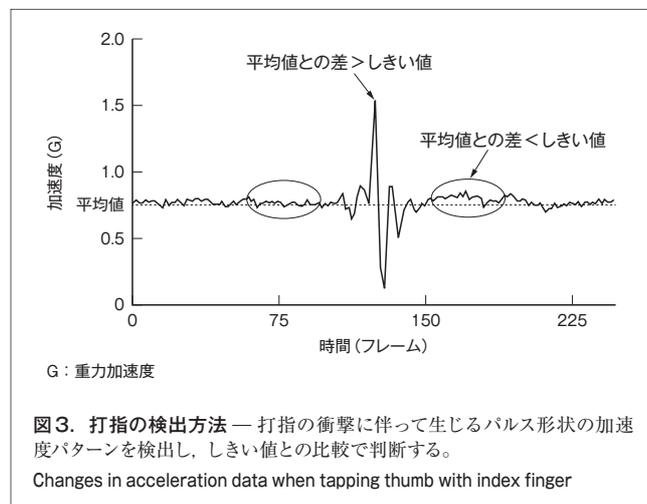
モード遷移の合図にこのような指ジェスチャを割り当てることにより、保守点検中でも簡単かつ誤作動なく手順書のページ切替えを実現できる。

3 指ジェスチャ認識技術

3.1 打指の認識

図3に示すように、打指した際は上下方向のパルス形状の加速度が発生する。手を下に払ったり動かしたりしたときも同様な形状を持った加速度が生じるが、パルスの幅は広がることから、急峻(きゅうしゅん)な加速度パターンを検出することで打指を認識できる。

今回、指輪型センサから取得した加速度の大きさや時系列的な関係性を基に急峻な加速度パターンを検出し、ノイズや、手の払いなどの他の動作と区別することで、正しく打指を認識できるようにした。また、リアルタイムに判定できるようにするため、計算コストを抑えたしきい値処理を採用した(図3)。



3.2 指の傾け動作の認識

指輪型センサに対して規定された3軸それぞれの加速度を用いて、上下方向の回転角（ピッチ角）と、指を上に向けた状態を基点とした左右方向の傾き角（ロール角）を算出する。指の動きによる加速度が重力加速度より非常に小さいという仮定の下、3軸の加速度を統合したベクトルが基準となる重力加速度方向であるとみなすことで近似的に傾き角を求める。

指上げ、指下ろし、及び上に向けた状態からの右／左方向への傾け動作の認識は、それぞれ設定された角度のしきい値を超えたか否かで判定する。また、打指&指上げの認識は、打指を検出後、所定時間以内に指上げ動作を判定することで実現した。

4 ウェアラブル保守点検サポートシステムの試作

2章、3章で述べたジェスチャ操作インタフェース及び指ジェスチャ認識技術を適用したウェアラブル保守点検サポートシステムを試作した。作業員は指輪型センサとWebカメラ付き眼鏡型ディスプレイを装着する（図1）。加速度センサで取得された3軸の加速度パターンは無線通信によりPC（パソコン）に伝送され、PCでは、このデータを基に指ジェスチャの認識及び認識結果に応じて表示される手順書の更新処理が行われる。

また、保守点検対象となる電力制御盤に対応した手順書を自動で選定するため、Webカメラに写った制御盤のID（図1で操作盤上部に記載された機器名称）をOCR（光学的文字読取装置）により認識する⁽⁴⁾。そのIDに対応した手順書をデータベースから取得し、眼鏡型ディスプレイに表示する（図4）。これにより、作業員が点検対象の制御盤を見ることで所望の手順書が表示され、その手順書を閲覧しながら保守点検作業を行うことが可能になる。

作業員が打指&指上げの合図をするとジェスチャ操作モードに移行する。次に、人差し指が上向きの状態を基点として、

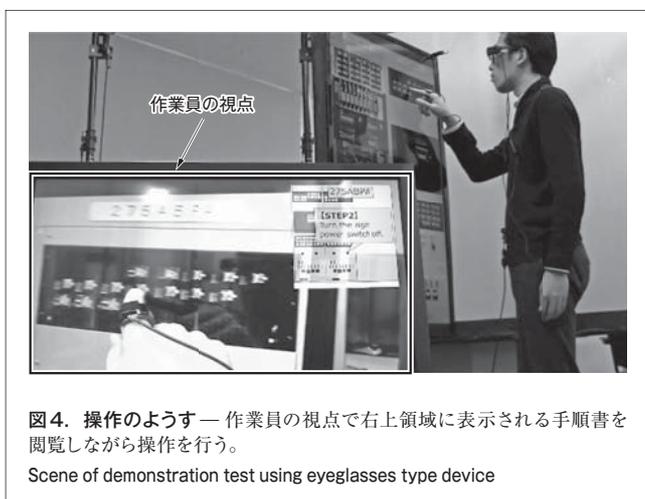


図4. 操作のようす — 作業員の視点で右上領域に表示される手順書を閲覧しながら操作を行う。
Scene of demonstration test using eyeglasses type device

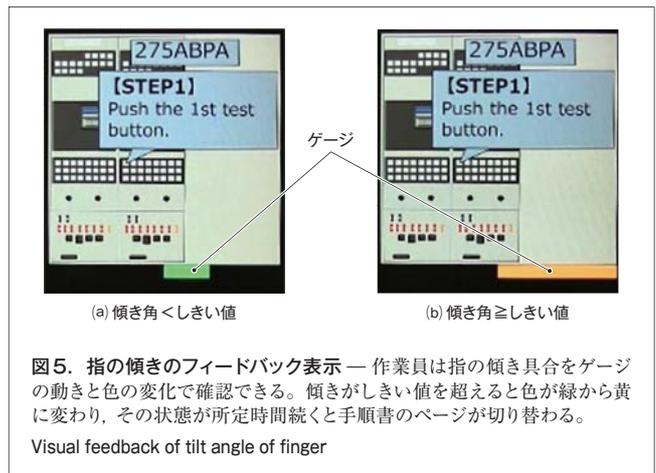


図5. 指の傾きのフィードバック表示 — 作業員は指の傾き具合をゲージの動きと色の変化で確認できる。傾きがしきい値を超えると色が緑から黄に変わり、その状態が所定時間続くと手順書のページが切り替わる。
Visual feedback of tilt angle of finger

そこからしきい値以上右／左方向に指を傾けた状態が所定時間続くと、手順書が次／前ページに切り替わる。更に、指を下に向けることで点検作業モードに戻り、保守点検作業を再開できる。

ここで、操作感を向上させるため、指の傾き具合を反映するゲージを手順書の下部に表示するようにした。ジェスチャ操作モードに移行した際、効果音とともにゲージが表示され（図5(a)）、指の傾きに応じてゲージが動き、指がしきい値以上傾くとゲージの色が変わる（図5(b)）。この状態が所定時間続くとページが切り替わり、効果音が鳴る。その後点検作業モードに戻ると、効果音とともにゲージが消える。

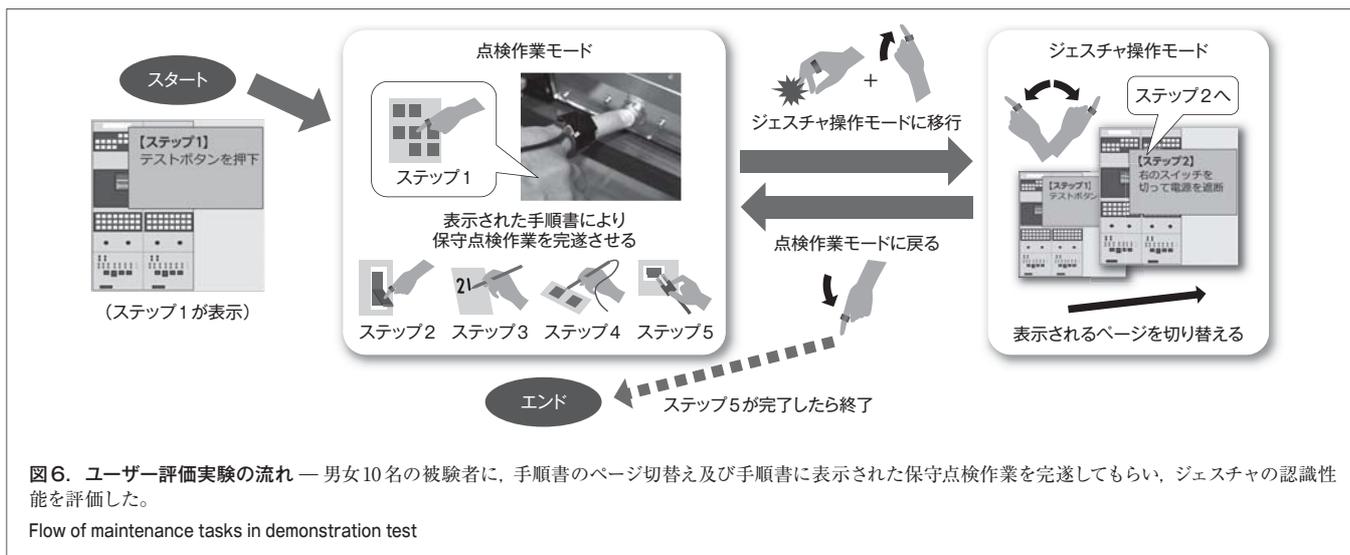
5 ユーザー評価実験

5.1 実験概要

試作したサポートシステムの有効性を検証するため、男女合計10名の被験者を対象にユーザー評価実験を実施した。ボタン押下、スイッチ切替え、値の記録、テスト検査、及びケーブル接続の5ステップから成る保守点検業務を想定し、被験者はステップごとに作業内容が記載された手順書のページ切替えと、各手順書の操作指示に従った作業を遂行した。その際試行した指ジェスチャの認識性能を評価することで、システムの有効性を検証した。

ユーザー評価実験の流れを図6に示す。実験では、分電盤のパーツを模擬した評価機材を用いた。被験者は、手順書のステップ1のページが表示された状態からスタートし、手順書に記載された作業を行う。一連の作業を済ませると、指ジェスチャで手順書のページを進め、次のステップ2の作業を遂行する。このようにしてステップ5まで進み、ステップ5のページを切り替えた時点で終了となる。このシーケンスを合計3回実施した。

被験者が行うジェスチャ操作は、ジェスチャ操作モードへの移行、ページ切替え、及び点検作業モードへの復帰に対応



する3種類で、それぞれ最低15回(5ステップ×3シーケンス)発生する。ここで、指ジェスチャが認識されなかった場合は、再度ジェスチャ操作を行う必要がある。また、点検作業モード中に誤ってジェスチャ操作モードに移行した場合や、ジェスチャ操作モードで手順書のページを進めすぎた場合は、復帰のために余分なジェスチャ操作を行うことになる。今回の実験では、意図的に行ったジェスチャ操作のうち正しく認識された割合、及び復帰を含むジェスチャ操作のうち意図的に行ったジェスチャ操作の割合という二つの観点から、各割合の調和平均を認識性能とした。

5.2 実験結果

ジェスチャ操作モードへ移行する際のジェスチャ認識率は87.6%，ページ切替え及び点検作業モードへの復帰に対するジェスチャ認識率はいずれも100%となり、3種類のジェスチャ認識率の平均は95.9%となった。ジェスチャ操作モードに移行する際、打指が認識されず複数回打指を行ったケースはあったものの、各ステップの作業中に誤ってモードが移行するようなケースはなかった。

これらの結果から、作業中に誤作動することなく高精度に指ジェスチャを認識でき、手順書に従った作業とジェスチャ操作の両方がスムーズに行えることを確認した。

6 あとがき

眼鏡型ディスプレイに手順書を表示し、指ジェスチャで手順書のページを切り替えることで、作業の中断がないスムーズな機器操作を可能にするウェアラブル保守点検サポートシステムを開発した。試作品によるユーザー評価実験により有効性が確認できた。作業員は、手順書の確認時に視線を移す必要がなく作業に集中することが可能になり、保守点検業務の効率向上が期待できる。

今後は、多様なユーザーが行うジェスチャを安定して認識できるように技術改良を行うとともに、操作状態をより効果的にフィードバックする方法も検討し、保守点検の現場での実証につなげ実用化を目指していく。

文献

- (1) Nakasu, T. et al. "Hands-free gesture operation for maintenance work using finger-mounted acceleration sensor". SIGGRAPH 2015 posters, Los Angeles, CA, 2015-08, ACM, 2015, No.23.
- (2) Ike, T. et al. "Contents-aware gesture interaction using wearable motion sensor". Proceedings of 18th International Symposium on Wearable Computers, vol.2, Seattle, WA, 2014-09, ISWC, 2014, p.5-8.
- (3) Tsukada, K.; Yasumura, M. "Ubi-finger: gesture input device for mobile use". Proceedings of 5th Asia Pacific Conference on Human Computer Interaction, vol.1, Beijing, China, 2002-11, APCHI, Science Press, 2002, p.388-400.
- (4) Tonouchi, Y. et al. "A hybrid approach to detect texts in natural scenes by integration of a connected-component method and a sliding-window method". IWRR 2014 first international workshop on robust reading, Singapore, Singapore, 2014-11, IWRR, 2014, O1-2.



中洲 俊信 NAKASU Toshiaki, Ph.D.

技術統括部 研究開発センター インタラクティブメディアラボラトリー研究主務、博士(学際情報学)。画像認識及びヒューマンインタフェースの研究・開発に従事。ACM, 映像情報メディア学会, ヒューマンインタフェース学会, 日本顔学会会員。Interactive Media Lab.



池 司 IKE Tsukasa, Ph.D.

技術統括部 研究開発センター インタラクティブメディアラボラトリー研究主務、博士(情報科学)。画像認識及びユーザーインタフェースの研究・開発に従事。IEEE, 電子情報通信学会会員。Interactive Media Lab.



山内 康晋 YAMAUCHI Yasunobu

技術統括部 研究開発センター インタラクティブメディアラボラトリー研究主幹。ヒューマンインタフェースの研究・開発に従事。ACM, 情報処理学会会員。Interactive Media Lab.