

# 歩行時を想定したウェアラブルコンピュータの操作方法の比較 —音声操作とジェスチャ操作—

指導教員 藤岡 伸子 教授

相川 雄規

## 1. 背景と目的

近年の計算機の小型・軽量化や無線通信技術の進展に伴い、コンピュータを身体に装着して利用するウェアラブルコンピューティングへの期待が高まっている。これまで携帯端末の歩行時の使用は危険であるとされてきたが、ハンズフリーで操作可能かつ視界を妨げないウェアラブルコンピュータである光学透過型 HMD (Head Mounted Display) を使用することで、歩行時に適した新しい情報利用が可能になると考えられる。現在、ウェアラブルコンピュータのための操作方法が様々提案されており<sup>1)2)3)</sup>、歩行時における HMD 使用の安全性に関する研究は行われている<sup>4)</sup>が、歩行時に着目し、操作方法を比較・評価した事例はない。

そこで本研究は、歩行時におけるウェアラブルコンピュータの有効な操作方法を検証することを目的とする。外部機器が不要かつ視線移動が少ないことから、音声コマンドによる音声操作と身体を用いたジェスチャ操作が歩行時に適切であると考え、これら2種類の操作方法を研究対象とし、操作の有効性を行動、心理の2側面から比較・評価を行う。

## 2. 実験計画

**2-1. 実験概要** 音声操作、ジェスチャ操作の歩行時における有効性を評価するため、実際の使用場面を想定した実験を行った。音声操作とジェスチャ操作それぞれで操作のシミュレーションを行う [操作タスク] と、歩行時の視覚的注意を再現する [歩行タスク] による二重課題を設定し、2種類の操作方法を比較した。また、歩行状態が操作に与える影響を検証するため、歩行タスクでは、往來の中での歩行状態を想定した [歩行条件]、立ち止まり状態を想定した [停止条件] の2種類の条件を設け、比較を行った。被験者は22歳～25歳の男性10名、女性5名の計15名である。

**2-2. 実験環境** 本実験では、ブラザー工業株式会社の単眼光学透過型 HMD (表1) を使用した。この HMD は約 1m 先に 16 インチ相当の画面を 800 × 600pixel で表示する。また、表示用のアイコンとして JEITA (社団法人 電子情報技術産業協会) 規格による「AV 機器の表示用語及び図記号」から3種類の図記号を抜粋し、使用した。使用した図記号を図1に、実験装置の配置を図2に示す。

**2-3. タスク設定** 操作方法と歩行タスクの条件の

表 1. 使用した HMD

外観	仕様	
	解像度	800×600px
	画角	約22.4度
	表示色	1677万色
	外光透過率	約50%
	本体重量	約64g

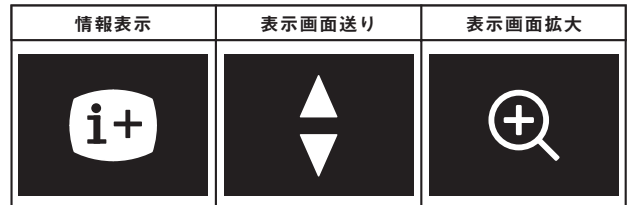


図 1. 表示用アイコン

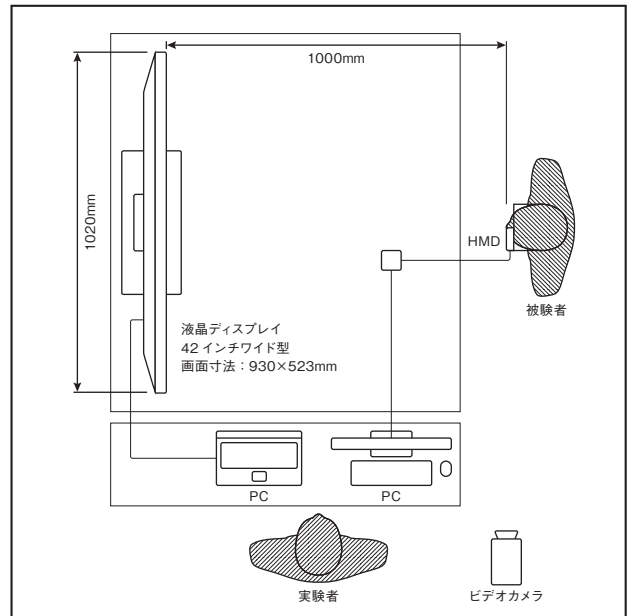


図 2. 実験装置の配置

表 2. タスク条件組み合わせ

	操作タスク	歩行タスク
条件 1	音声操作	停止条件
条件 2	ジェスチャ操作	
条件 3	音声操作	歩行条件
条件 4	ジェスチャ操作	

組み合わせを変えながら、計4回の課題を行った。条件の組み合わせを表2に示す。1回の課題の総時間は120秒であり、この時間内に歩行タスクを行うと同時に、操作タスクでは3種類の操作を順不同で5回ずつ、計15回の操作を行う。

**【操作タスク】** HMD に表示されるアイコンに対応する操作を音声操作とジェスチャ操作のそれぞれで行う課題である。使用するアプリケーションによらず、汎用的に使用が考えられる操作として、情報表

示、表示画面送り、表示画面拡大の3種類を設定した。各操作の操作手順を表3に示す。被験者には、実際に自分が機器を操作している感覚で操作を行うよう教示した。

音声操作では、3種類の操作に対応する音声コマンドを「インフォメーション」、「ページスクロール」、「ページズーム」と設定した。表示画面送りと表示画面拡大のコマンドは、対象（ページ）を選択した後に、操作（スクロール、ズーム）をさせる構造とし、音声のみで正確な操作が可能となるよう留意した。

ジェスチャ操作では、スマートフォンやノートPCのトラックパッドなどで一般的に使用されている操作を参考に操作方法を設定し、利き手で操作を行わせた。また、本実験では物質的な操作画面が存在しないため、被験者には任意の仮想平面を想定し、その平面を基準に操作を行うよう教示した。

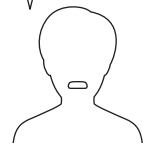

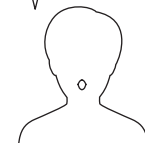

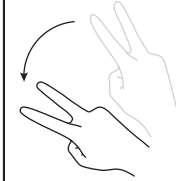
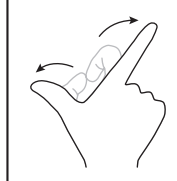
**【歩行タスク】** 液晶ディスプレイに投影される複数のランドルト環様の妨害図形の中から円環に切れ目のない標的図形を探す視覚探索課題である。図形が液晶ディスプレイ奥から手前に向かって流れてくるように動画で表現し、その速さは成人の歩行速度4km/hとほぼ等しくなるように設定した。1度に表示される妨害図形は約12個で、標的図形は1～3個とした。タスク開始から終了までの120秒の間に計35個の標的図形が表示されるようにした。歩行条件では、被験者が標的図形を見つけ次第、1個につき1回、利き手でない手に持ったコントローラのカウントボタンを押すよう教示した。歩行タスク・歩行条件の流れを図3に示す。停止条件では、標的図形の探索は行わず、図形の流れる動画を注視するのみとし、立ち止まっている状態を想定した。

## 2-4. 評価方法

**(1) 行動指標** 各課題の作業成績を評価するため、操作タスクの遂行時間（T1、T2、T3）（msec）、1回の課題における操作ミスの割合（以下、オペレーションエラー）（%）、及び歩行タスクで被験者がカウントした標的図形の数と提示された全標的図形の数（35個）とのずれ量（以下、カウンティングエラー）を計測した。操作タスク遂行時間の計測方法を図4に示す。また、音声操作における被験者が発する音声コマンドの音声信号レベル、ジェスチャ操作における操作範囲を、2種類の歩行条件でそれぞれ計測し、歩行状態が操作に与える影響を検証した。ジェスチャ操作の操作範囲の計測方法を図5に示す。

**(2) 心理指標** 各課題終了後にそれぞれの課題に関して、身体的疲労、精神的疲労、時間的圧迫感、作業達成度の4項目を10段階で主観評価させた。また、それぞれの操作への印象を比較するため、各操作に関して、7項目（表4）を5段階で主観評価させた。

表3. 操作手順

	情報表示	表示画面送り	表示画面拡大
音声操作	「インフォメーション」 	「ページスクロール」 	「ページズーム」 
ジェスチャ操作	 人差し指でタップ	 人差し指、親指を伸ばし手を振り下ろす	 人差し指と親指の先を付けた後、拡げる

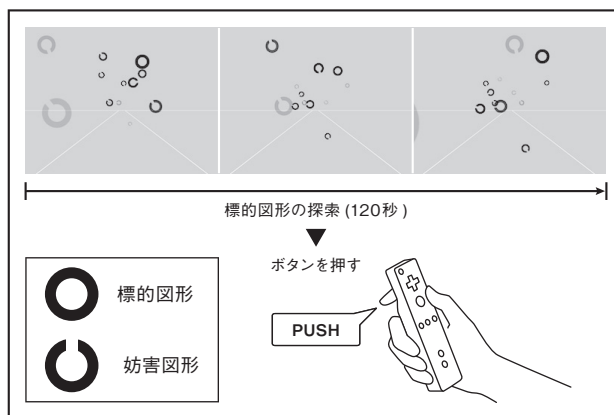


図3. 歩行タスク [歩行条件] の流れ

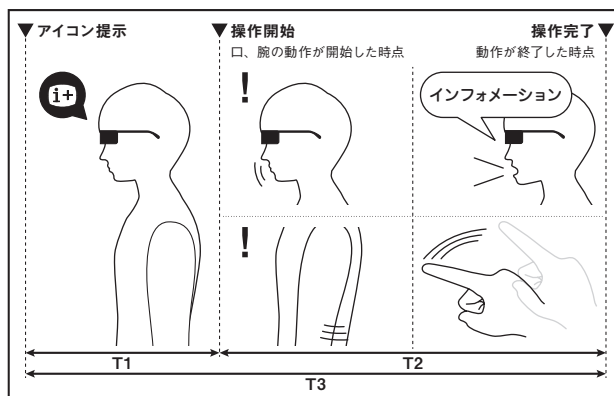


図4. 操作タスク遂行時間の計測

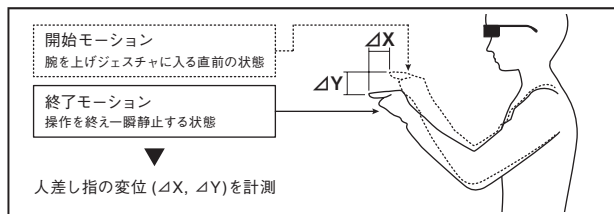
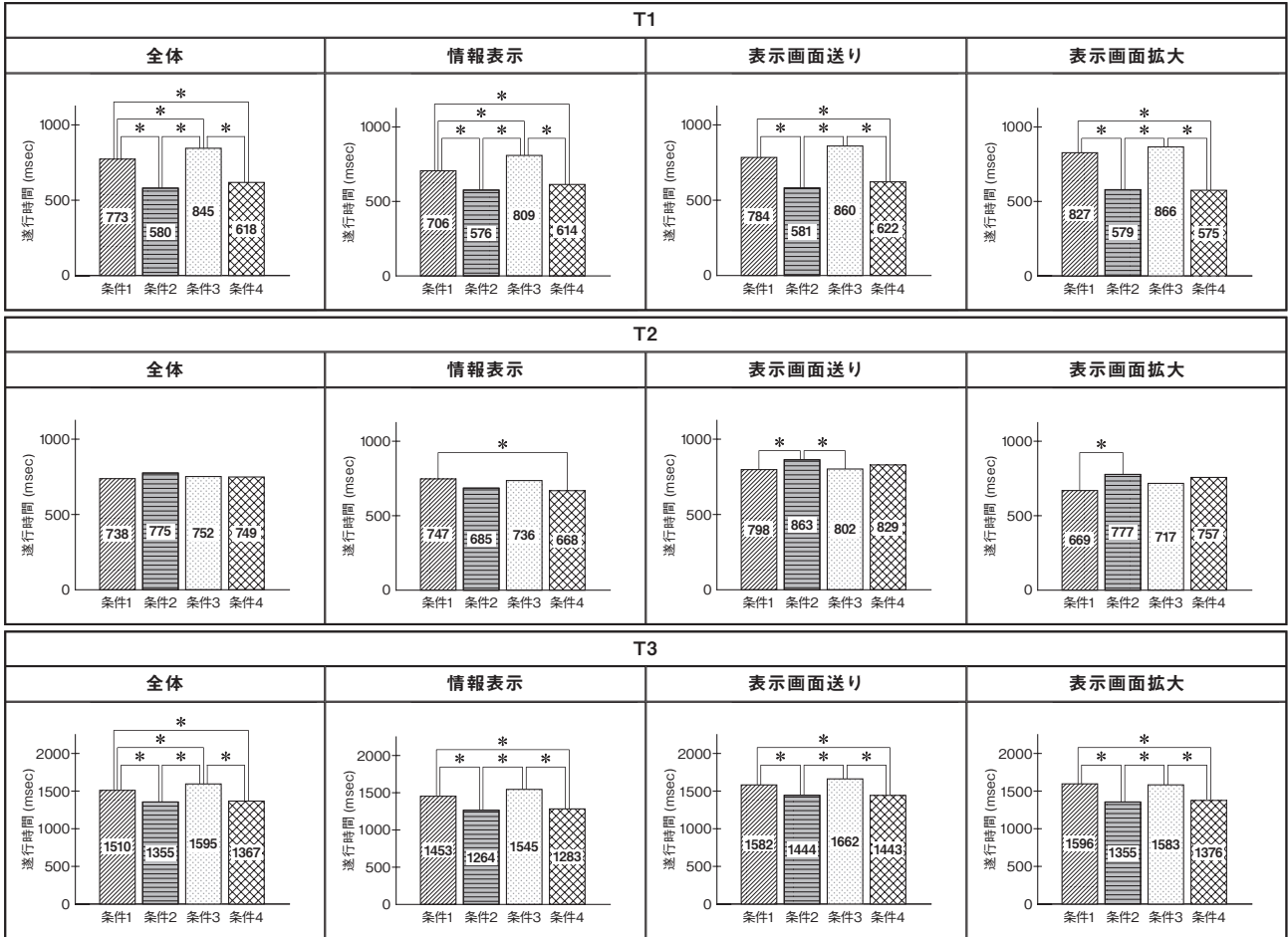


図5. ジェスチャ操作範囲の計測

表4. 主観評価項目 [操作比較]

設問1	作業効率の良さ
設問2	正確な操作が可能か
設問3	操作の直感的な分かりやすさ
設問4	操作の覚えやすさ
設問5	操作の楽しさ
設問6	将来、この操作を使いたい
設問7	操作コマンドは適切だったか

表 5. 操作タスク平均遂行時間



\*p<.05

### 3. 実験結果

**(1) 行動指標** 各課題における操作タスクの平均遂行時間の結果を表5に示す。T1では3種類の操作の総加算平均（以下、全体）において、条件3で最も大きい結果となった（ $p<.05$ ）。情報表示におけるT1も同様に条件3で最も大きくなった（ $p<.05$ ）。表示画面送り及び表示画面拡大においても概ね同様の結果が得られたが、歩行タスク条件の違いによる有意差は認められなかった。以上より、アイコン提示からの反応時間は音声操作に比べてジェスチャ操作が有意に短く、その差は平均で210msec程度であることが明らかになった。また、音声操作においては、歩行タスクの影響による反応時間遅延の傾向が見られる。一方、T2では、全体において有意差は認められなかった。操作項目別では、いくつかの条件間で有意差が認められ、情報表示ではジェスチャ操作が、表示画面送り及び表示画面拡大では音声操作が、短い時間で操作可能となる傾向が見られる。T3は、全体において、条件3で最も大きい結果となった（ $p<.05$ ）。操作項目別では3操作で同様に有意差が認められた。以上より、タスク遂行時間は音声操作に比べてジェスチャ操作が有意に短く、その差は平均で190msec程度であることが明らかになった。また、音声操作において、歩行タスクの影響によるタスク遂行時間遅延の傾向が見られる。

オペレーションエラー、カウンティングエラーの結果を図6、図7に示す。オペレーションエラー、カウンティングエラーともに各条件間で有意差は認められず、操作方法、歩行状態による操作ミス及び歩行時の注意認識への影響は確認されなかった。

音声操作の周波数スペクトルを図8に示す。音声信号レベルの基準値として、音声フォーマットの最大音量を0dBとしている。各歩行条件の音声信号レベルを比較した結果、有意差は認められなかった。被験者が発する音声コマンドの音量は、歩行状態によって影響を及ぼされることが分かった。

ジェスチャ操作の操作範囲の計測結果を表6に示す。全体における $\Delta X$ は歩行条件で11mm程度、表示画面拡大における $\Delta X$ は歩行条件で19mm程度大きい結果となった（ $p<.05$ ）。歩行条件では、停止条件に比べてジェスチャ操作範囲が水平方向に大きくなる傾向が示された。

**(2) 心理指標** 主観評価の結果を図9～13に示す。各図とも数値が大きいほど高評価である。身体的疲労の項目では、2条件間（条件1-条件3、条件1-条件4）で有意差が認められ、停止条件の音声操作の身体的疲労が小さい傾向が示された。精神的疲労では3条件間（条件1-条件3、条件1-条件4、条件2-条件3）で有意差が認められ、各操作において精神的疲労は、停止条件では小さく、歩行条件では大き



くなる傾向が示された。時間的圧迫感の項目では4条件間(条件1-条件3,条件1-条件4,条件2-条件3,条件2-条件4)で有意差が認められ、停止条件に比べ、歩行条件が大きな時間的圧迫感を与えている結果となった。作業達成度では2条件間(条件1-条件3,条件2-条件3)で有意差が認められ、歩行条件の音声操作が作業達成度を得にくい傾向が示された。

各操作の比較の結果は、3項目(操作の直感的な分かりやすさ、操作の楽しさ、将来この操作を使いたいか)でジェスチャ操作が優位である結果となった(p<.05)。一方、音声操作が優位である項目は見られず、主観評価[操作比較]ではジェスチャ操作が高い評価を得ている結果が示された。

#### 4. 考察

操作タスク遂行時間の結果より、音声操作に比べてジェスチャ操作はアイコン提示からの反応時間が短く、それゆえ短い時間で操作を完了させることが可能であり、有効な操作方法と言える。また、主観評価において、操作の楽しさや使いやすさなど感情的な項目で高い評価を得ており、この結果からもジェスチャ操作は操作方法として好ましいと言える。更にジェスチャ操作は、分かりやすさの項目においても高い評価を得、スマートフォンなどで普段から使用し慣れていることがその一要因として考えられるとともに、3種類の動作が操作方法として妥当であることが示された。本実験で使用したジェスチャ動作は一般的に知られたものであったため被験者が操作方法を心得ていたが、今後、新たな操作項目を対象に、より詳細な検証を行う必要がある。

音声操作において、歩行状態が操作遂行時間の遅延に影響したことが推察され、更に主観評価の結果を加味すると、停止条件に比べ歩行条件では、操作を行う際の心身への負荷がより大きいことが示された。ジェスチャ操作においては、歩行状態による影響が音声操作ほど顕著に見られなかったため、歩行状態によらず一定の水準で操作することが可能であると考えられる。また、ジェスチャ操作範囲が歩行条件で水平方向に大きくなる結果が得られたが、これはHMDの表示特性より、奥行き感覚と身体イメージの整合性が取りづらいため、操作範囲の結果にばらつきが表れた可能性がある。

#### 5. 結論

音声操作に比べ、ジェスチャ操作はアイコンが提示されてから素早く操作モーションに入ることが可能であり、短い時間で操作を完了させることが可能であると示された。主観評価の結果と併せ、主要3操作においてジェスチャ操作は歩行時に有効であると言える。また、歩行状態が操作に及ぼす影響は、音声操作において顕著であることを確認した。

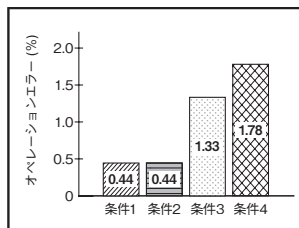


図6. オペレーションエラー結果

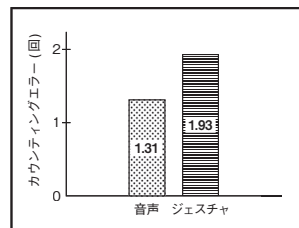


図7. カウンティングエラー結果

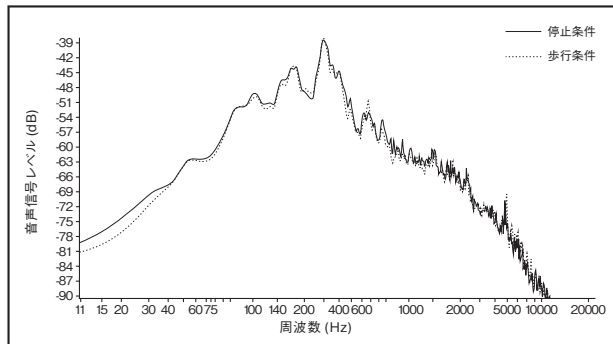


図8. 音声操作の周波数スペクトル

表6. ジェスチャ操作範囲計測結果

	全体	情報表示	表示画面送り	表示画面拡大
ΔX [停止]	82.1	121.5	78.0	48.3
ΔX [歩行]	93.5	122.8	90.6	67.3
ΔY [停止]	99.9	37.9	308.5	46.5
ΔY [歩行]	101.1	22.3	319.4	39.6

単位はmm 網掛は有意差が認められた項目(p<.05)

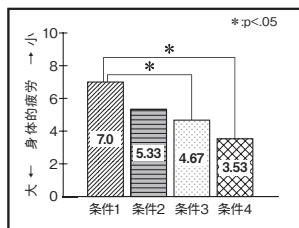


図9. 主観評価結果 [身体的疲労]

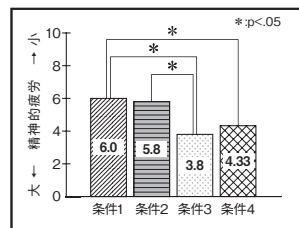


図10. 主観評価結果 [精神的疲労]

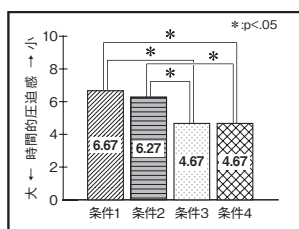


図11. 主観評価結果 [時間的圧迫感]

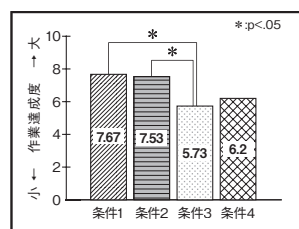


図12. 主観評価結果 [作業達成度]

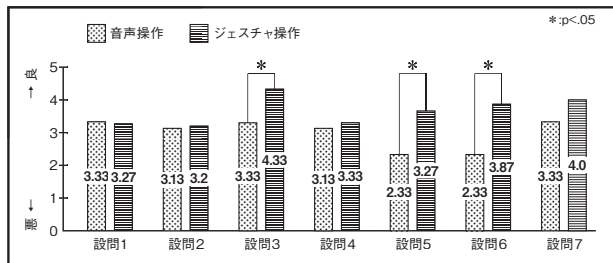


図13. 主観評価結果 [操作比較]

#### [注釈及び参考文献]

- 1) 浮田宗伯, 寺部亮祐, 木戸出正継「ウェアラブル仮想タブレット: 赤外線照射カメラを利用した指先入力インターフェース」(情報処理学会論文誌, Vol.45, No.3, 2004.03) pp.977-990
- 2) 兼松真志, 高野博史, 中村清実「HMDのための非接触型目入力装置」(電子情報通信学会技術研究報告, 108巻, 479号, 2009.03) pp.163-166
- 3) 山本豪志朗, 佐藤宏介「PALMbit: 掌への光投影を利用した身体インターフェース」(映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.6, 2007.04) pp.797-804
- 4) 川上將弘「HMDによる情報提示が歩行行動に及ぼす影響の基礎的研究」(名古屋工業大学社会学専攻2010年度修士論文梗概集, 2011.02) pp.49-52