

2025 年度日本人間工学会関西支部大会

Japan Human Factors and Ergonomics Society Kansai Branch

講演論文集



日時:2025 年 12 月 13 日(土)

会場:京都工芸繊維大学(松ヶ崎キャンパス)東 3 号館、60 周年記念館

(606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町 1 番地)

主催:一般社団法人 日本人間工学会 関西支部

2025 年度

日本人間工学会関西支部大会

Japan Human Factors and Ergonomic Society

Kansai Branch

講演論文集

日時:2025 年 12 月 13 日(土)

会場:京都工芸繊維大学 松ヶ崎キャンパス

主催:一般社団法人 日本人間工学会 関西支部

大会プログラム 2025 年 12 月 13 日(土)

- 09：30～ 受付【60周年記念館1階ロビー】
 10：00～11：35 一般セッション1～3
 11：45～12：45 評議員会・役員会【東3号館2階202講義室】
 12：55～13：00 表彰【60周年記念館1階記念ホール】
 13：00～14：30 特別企画「高校生人間工学研究発表会」【60周年記念館1階記念ホール】
 14：40～15：00 企画セッション1「人間工学誌の投稿・査読管理システムの導入と投稿時のポイントの整理」
 15：15～16：45 企画セッション2「低負担生体計測の実場面活用の可能性と課題」
 15：15～17：20 一般セッション4～5
 17：40～19：00 懇親会

	60周年記念館		東3号館		
	1階記念ホール	2階大セミナー室	1階101講義室	2階202講義室	
10:00					
10:30	一般セッション1 脳波・視線・認知	一般セッション2 AI・モデル	一般セッション3 船舶・安全・生活		
11:00					
11:30					
12:00				評議員会 役員会	
12:30					
13:00	表彰式				
13:30	特別企画 高校生人間工学 研究発表会				
14:00					
14:30					
	企画セッション1				
15:00					
15:30	一般セッション4 操作インター フェース・温度・ ヒューマンファク ター	一般セッション5 運動・感覚・バイ オメカニクス	企画セッション2		
16:00					
16:30					
17:00					
17:30					
18:00					懇親会
18:30					
19:00					

特別企画 プログラム

特別企画「高校生人間工学研究発表会」【60周年記念館1階記念ホール】

- 13：00～13：05 挨拶・趣旨説明（支部長：有馬正和）
13：05～14：11 発表6件（発表8分、質疑応答2分、入替1分）（司会：廣川敬康）
14：11～14：21 人間工学ってなに？：高校生への説明（担当：土井俊央）
14：21～14：30 まとめと総評

高校生人間工学研究発表会プログラム

1. 自習室の混雑を回避しよう！～入退室管理システムの応用～、寺田美空、松本美南、横村美薫（大阪府立高津高等学校）
2. アプリ「DeChain」で SNS 利用を自制する方法を探る、大谷優翔、木村優太（大阪府立高津高等学校）
3. 肩からずり落ちにくいトートバックの研究、岩崎莉奈、千足結奈、山口大登、谷晃輝（大阪府立東高等学校）
4. 人の踏みつけによる裸地化の過程とその解析、丁美琳（京都府立嵯峨野高等学校）
5. 万博 Steam 教育プログラム「いのちの遊び場クラゲ館」での体験型ワークショップデザインの探究：ハギレを活用した布クラゲづくり、仲田柚、辰巳茉未絵（大阪府立泉尾工業高等学校）
6. 万博 Steam 教育プログラム「いのちの遊び場クラゲ館」での体験型ワークショップデザインの探究：地球キーホルダーで奏でる未来、氣谷紇和、辰巳茉未絵（大阪府立泉尾工業高等学校）

企画セッション プログラム

企画セッション1 人間工学誌の投稿・査読管理システムの導入と投稿時のポイントの整理

【60周年記念館1階記念ホール】（14：40～15：00）

1. 人間工学誌の投稿・査読管理システムの導入と投稿時のポイントの整理、石原勇次郎（岡山理科大学）
本発表では、日本人間工学会で新たに導入した投稿・管理システムについて説明を行い、投稿時のポイント、また編集委員会から査読依頼をする場合の手続き等について概説します。新システム導入により、変わらないこと・変わったことをまとめ、聴講者の皆様からの積極的なご投稿を考える機会を提供します。

企画セッション2 低負担生体計測の実場面活用の可能性と課題

【東3号館1階101講義室】（15：15～16：45）

- 大須賀美恵子（大阪工業大学、株式会社ウエルネスラボ）、吉岡直人（ヤンマーホールディングス株式会社）、竹内大樹（産業医科大学）、鎌倉快之（大阪工業大学）
指定討論者 榎原毅（産業医科大学）
1. 建設現場における熱中症の早期発見手法の提案、吉岡直人（ヤンマーホールディングス株式会社）
 2. 作業姿勢推定に基づく筋骨格負荷の連続的評価、竹内大樹（産業医科大学）
 3. 新生児の呼吸計測と顔表情変化による痛み評価、鎌倉快之（大阪工業大学）

一般セッション プログラム 午前の部（10：00～11：35）

一般セッション1 脳波・視線・認知【60周年記念館1階記念ホール】

1A 座長：山中仁寛（甲南大学）（10：00～10：45）

- 1A-1. 脳波を用いた意思伝達支援システムの構築に向けて、○神谷陸（大阪公立大学）、中谷真太郎（鳥取大学）、有馬正和（大阪公立大学）【優秀発表対象】
- 1A-2. ドローンを用いた移動体撮影における操縦者の注視点解析、○中上大和、後藤彰彦（大阪産業大学）【優秀発表対象】
- 1A-3. 注視点変化にともなう視覚誘発電位の空間的変化の関数近似と注視点推定への応用、○尾崎大晟（兵庫県立大学）、中谷真太郎（鳥取大学）、荒木望（兵庫県立大学）【優秀発表対象】

（5分間休憩）

1B 座長：後藤彰彦（大阪産業大学）（10：50～11：35）

- 1B-4. 視覚誘発電位強度分布変化パターンのクラスタリングと汎用視点推定モデル構築の試み、○須藤尚之（兵庫県立大学）、中谷真太郎（鳥取大学）、荒木望（兵庫県立大学）【優秀発表対象】
- 1B-5. 仮想運転環境における映像提示方法が視覚探索方略に与える影響、○辻本恵祐、山中仁寛（甲南大学）【優秀発表対象】
- 1B-6. 視線計測による心理的レジリエンスの推定～社会人を対象とした実験結果と推定可能性の検討～、○久保山叡気、牟田伊武希、松井北斗、小谷賢太郎、鈴木哲、朝尾隆文（関西大学）【優秀発表対象】

一般セッション2 AI・モデル【60周年記念館2階大セミナー室】

2A 座長：廣川敬康（近畿大学）（10：00～10：45）

- 2A-1. 画像生成 AI でのファッション属性制御手法の研究、○川波晋太郎、崔童殷、桑原教彰（京都工芸繊維大学）【優秀発表対象】
- 2A-2. 姿勢推定用 AI カメラを用いた介護動作による熟練者と初学者の類似度評価、○田河琴音、川野常夫（摂南大学）【優秀発表対象】
- 2A-3. 高齢者を対象とする立位姿勢の自動識別に向けた前処理方法の検討—シルエット画像と骨格推定を用いて—、○杉山直磯（京都工芸繊維大学）、甲斐義浩（京都橘大学）、幸田仁志（京都工芸繊維大学）、森原徹（丸太町リハビリテーションクリニック）、来田宣幸（京都工芸繊維大学）【優秀発表対象】

（5分間休憩）

2B 座長：川野常夫（摂南大学）（10：50～11：35）

- 2B-4. 筋骨格シミュレーションにおける標準体幹モデルと胸郭詳細モデルの解析比較、○南星治、伊藤博之、富山大基、網浦愛理子（株式会社イトーキ）、徳永由太、半田健祐（株式会社テラバイト）、下村義弘（千葉大学）
- 2B-5. 2次元の人体剛体リンクモデルを用いた作業動作の最適化、○黒川勝永、廣川敬康（近畿大学）【優秀発表対象】
- 2B-6. スマホ画面を視認せずに操作するためのシートを用いた入力方法の検討、○有木温美、廣川敬康（近畿大学）【優秀発表対象】

一般セッション3 船舶・安全・生活【東3号館1階101講義室】

3A 座長：久保雅義（芸術文化観光専門職大学）（10：00～10：45）

- 3A-1. 船員業務の負担軽減を目指したスマートグラスの開発、○弘中琥汰朗、北村健一（鳥羽商船高等専門学校）、瀬田広明（東海大学）、岡田恭侍（海技教育機構）
- 3A-2. 海中転落者救出に向けた赤外線のリコグニッション基礎実験、○市川敬之、北村健一、鎌田功一（鳥羽商船高等専門学校）、大崎脩仁（東北大学）【優秀発表対象】
- 3A-3. 操船シミュレータを用いた操船者の状況認識と意思決定について、○村上喜樹、I Made Raditya Wicaksana、小西宗、渕真輝（神戸大学）【優秀発表対象】

（5分間休憩）

3B 座長：石松一真（滋慶医療科学大学）（10：50～11：35）

- 3B-4. 乗客の快適性向上のための船体揺れ制御、○谷結野、北村健一、山田智貴（鳥羽商船高等専門学校）、吉岡幸次郎（東北大学）【優秀発表対象】
- 3B-5. 障害物歩行における後脚のクリアランスと歩幅調整について、○堀田和志、来田宣幸、幸田仁志、井上智博、田井則一、三村朋裕（京都工芸繊維大学）、菊地雄大（丸太町リハビリテーションクリニック）、権野めぐみ（名古屋葵大学）【優秀発表対象】
- 3B-6. 旅行困難者が本当に海や山に旅行できるの？を実現するフィールド検証 4—旅行困難者の海岸・高原遊び検証—、○久保雅義（芸術文化観光専門職大学）

一般セッション プログラム 午後の部 (15:15~17:20)

一般セッション4 操作インタフェース・温度・ヒューマンファクター 【60周年記念館1階記念ホール】

4A 座長：西崎友規子（京都工芸繊維大学）（15:15~16:15）

- 4A-1. 手動制御における制御ゲインの推移からの操作性および習熟度の定量的評価法の検討、○長井宏樹、荒木望（兵庫県立大学）【優秀発表対象】
- 4A-2. 油圧ショベルにおける操作インタフェースの作業時負荷を用いた操作性評価法、○大谷悠馬（兵庫県立大学）、中山敦史（ナブテスコ株式会社）、志垣富雄（ナブテスコ株式会社）、荒木望（兵庫県立大学）【優秀発表対象】
- 4A-3. ワーカーの UX 向上に資するオフィスチェア利用に関連する体験価値探索の試み、○野田彩加、土井俊央、羅維颺、山根早也香（大阪公立大学）、南星治、伊藤博之、原田咲月（株式会社イトーキ）【優秀発表対象】
- 4A-4. 評価グリッド法による椅子が空間に「なじんでいる」と感じる要因の検討、○黒田俊希、土井俊央、野田彩加、中谷知佳（大阪公立大学）、南星治、伊藤博之（株式会社イトーキ）【優秀発表対象】

（5分間休憩）

4B 座長：荒木望（兵庫県立大学）（16:20~17:20）

- 4B-5. 柔軟性を向上させた VR アバタ提示が前屈ストレッチに与える影響、○木戸菜々佳、西崎友規子、来田宣幸（京都工芸繊維大学）【優秀発表対象】
- 4B-6. 選択気温の季節差・着衣差に関する検討、○遠藤綾香、久保博子、佐々尚美（奈良女子大学）東実千代（畿央大学）【優秀発表対象】
- 4B-7. 冷房環境下における手首皮膚温センシングによる室温自動制御に関する研究、○久保博子、山本睦、安在絵美、佐々尚美（奈良女子大学）、東実千代（畿央大学）
- 4B-8. 冷え症の特性を考慮した快適な冷暖房器具使用に関する研究—省エネと快適性を考慮した場合の好む風の当たり方—、○佐々尚美（奈良女子大学）、東実千代（畿央大学）、久保博子（奈良女子大学）

一般セッション5 運動・感覚・バイオメカニクス 【60周年記念館2階大セミナー室】

5A 座長：小谷賢太郎（関西大学）（15:15~16:15）

- 5A-1. 心拍による操船者の恐怖心定量評価の確立に向けた皮膚電位計測結果の比較、○谷口有咲、北村健一（鳥羽商船高等専門学校）、瀬田広明（東海大学）、吉兼匠馬（旭タンカー株式会社）
- 5A-2. 操船時のメンタル定量評価に向けた最適な皮膚電位計測部位の検証、○中井新太、北村健一（鳥羽商船高等専門学校）、瀬田広明（東海大学）、吉兼匠馬（旭タンカー株式会社）
- 5A-3. テニスのボレーにおける熟練者および非熟練者の上肢動作の特徴分析、○勝見康平、富岡咲紀、佐藤慶、来田宣幸、幸田仁志（京都工芸繊維大学）【優秀発表対象】
- 5A-4. 総指伸筋の筋電位を用いたアシストグローブにおける把持動作予測手法の評価、○吉田壮汰、井上剛（大阪工業大学）【優秀発表対象】

（5分間休憩）

5B 座長：桑原教彰（京都工芸繊維大学）（16:20~17:20）

- 5B-5. 視覚情報がない場合の傾斜知覚における深部感覚と運動感覚の寄与の評価、○辰巳太郎、庄司匠杜、小谷賢太郎、鈴木哲、朝尾隆文（関西大学）【優秀発表対象】
- 5B-6. 掌に呈示する刺激力と呈示位置知覚の正確さとの関係、○横山大地、奥田啓斗、永原恵太、小谷賢太郎、朝尾隆文、鈴木哲（関西大学）【優秀発表対象】
- 5B-7. 女子高校バスケットボール選手を対象としたリバウンドジャンプの質的評価、○菊地雄大（丸太町リハビリテーションクリニック、京都工芸繊維大学）、松井知之、東善一、宮崎哲哉（丸太町リハビリテーションクリニック）、来田宣幸（京都工芸繊維大学）、森原徹（丸太町リハビリテーションクリニック）【優秀発表対象】
- 5B-8. 非接触ユーザインタフェースによる作業・介護支援の提案、○澤島秀成（奈良県産業振興総合センター）

参加者へのご案内

- 2025 年度日本人間工学会関西支部大会は、京都工芸繊維大学松ヶ崎キャンパスにおいて対面形式で開催します。
- 受付は 60 周年記念館 1 階で行います。受付開始時間は午前 9 時 30 分頃を予定しています。
- 昼食はキャンパス近辺の飲食店、コンビニエンスストアをご利用ください。昼食をお持ちいただいても結構です。
- 大会当日は会場内で eduroam による Wi-Fi 利用が可能です。

発表者へのご案内

- 発表は会場に設置したプロジェクタでパソコンを用いて行います。パソコンは各自ご持参ください。
- プロジェクタとパソコンを接続するケーブル端子は HDMI です。HDMI ケーブルは会場にて準備しています。ただし、その他の接続端子を有するパソコンをご使用される方は接続アダプタをお持ちください。
- 一般発表セッションの発表時間は発表準備を含めて 15 分(発表 12 分、質疑応答 2 分、入れ替わり 1 分)です。発表時間の厳守をお願い致します。また、スムーズな入れ替えのため、次の発表者はパソコンを立ち上げる等の準備をお願いします。
- 発表中には、第 1 鈴 10 分 (1 回)、第 2 鈴 12 分 (2 回)、第 3 鈴 14 分 (3 回) を運営側で鳴らします。持参されるパソコンのトラブルに備え、念のため、発表用スライドのバックアップデータを USB メモリに保存の上、ご持参ください。
- 人間工学会会員の 35 歳未満、または学生・大学院生の筆頭発表者は、2025 年度日本人間工学会関西支部大会の優秀発表賞の対象となります。なお、優秀発表賞は、研究の独創性、発展性、妥当性、プレゼンテーションの適切さ等を考慮して、座長および評価者 2 名の計 3 名で審査します。

座長へのご案内

- セッション開始前に若干の時間の余裕がありますので、事前に発表者の参加を確認してください。
- 進行については一切を座長にお任せしますが、大会スケジュールの管理上、セッション終了時間が延長されないよう時間管理にご配慮ください。
- PC の不具合等で発表が始められない場合など、座長のご判断で適宜、発表順を入れ替えるなどご対応ください。

会場への交通アクセス

会場：京都工芸繊維大学 松ヶ崎キャンパス 60周年記念館

〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町

京都市地下鉄 烏丸線 「松ヶ崎」駅1番出口から徒歩8分（650m）



< JR・近鉄 >

JR あるいは近鉄「京都駅」から地下鉄烏丸線「国際会館行き」に乗り換え約 18 分。

（近鉄は「竹田駅」からも「国際会館行き」に乗り換え可能）

< 阪急 >

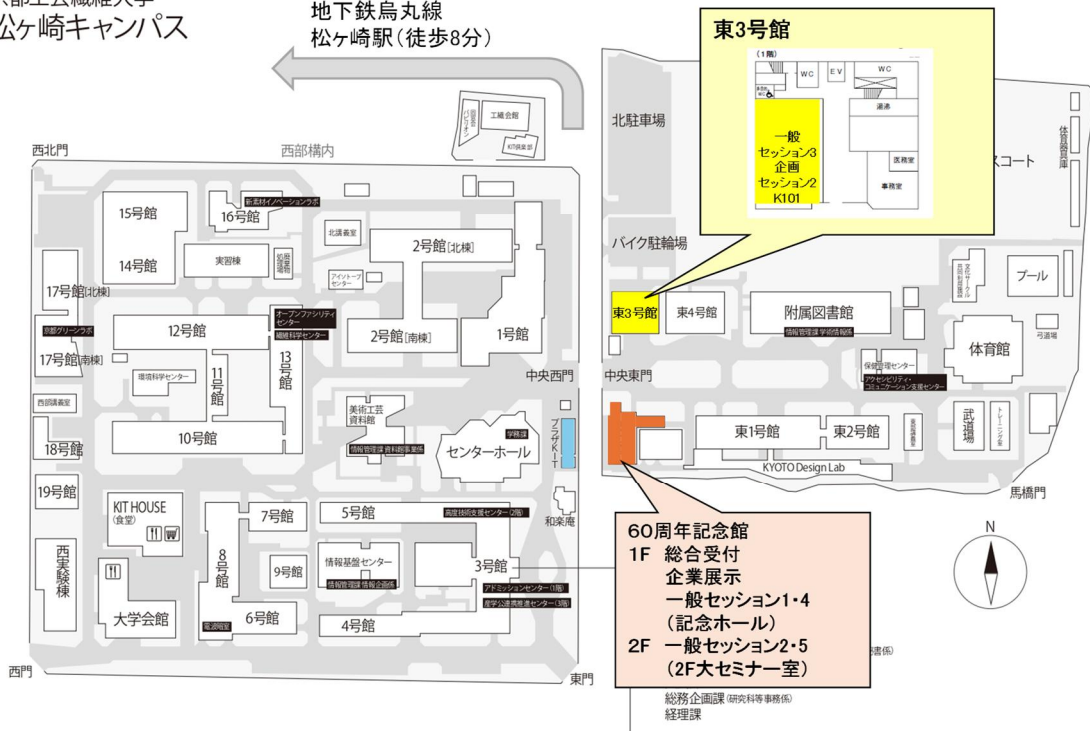
阪急京都線「烏丸駅」から地下鉄烏丸線「四條駅」で「国際会館行き」に乗り換え約 14 分。

< 京阪 >

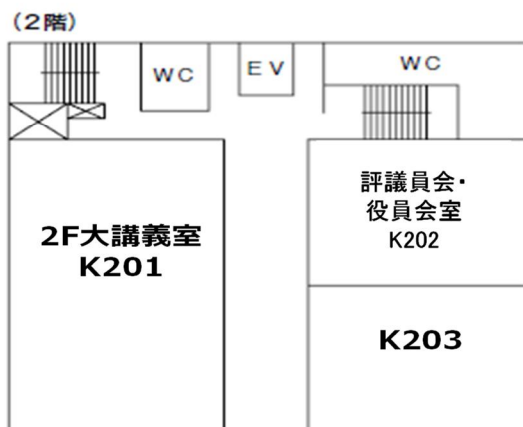
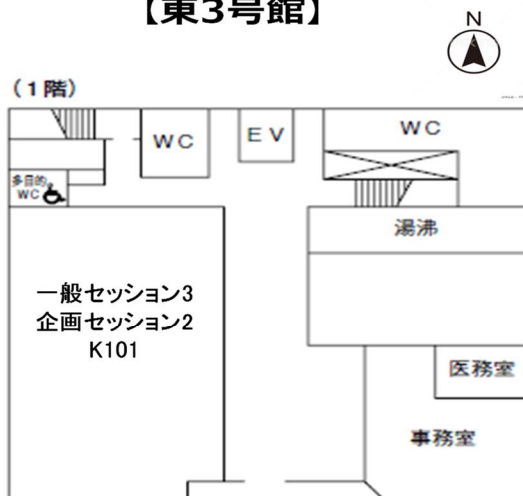
京阪本線「三条駅」から地下鉄東西線「三条京阪駅」で「太秦天神川行き」に乗り換え、さらに「烏丸御池駅」で地下鉄烏丸線「国際会館行き」に乗り換え約 12 分

京都工芸繊維大学
松ヶ崎キャンパス

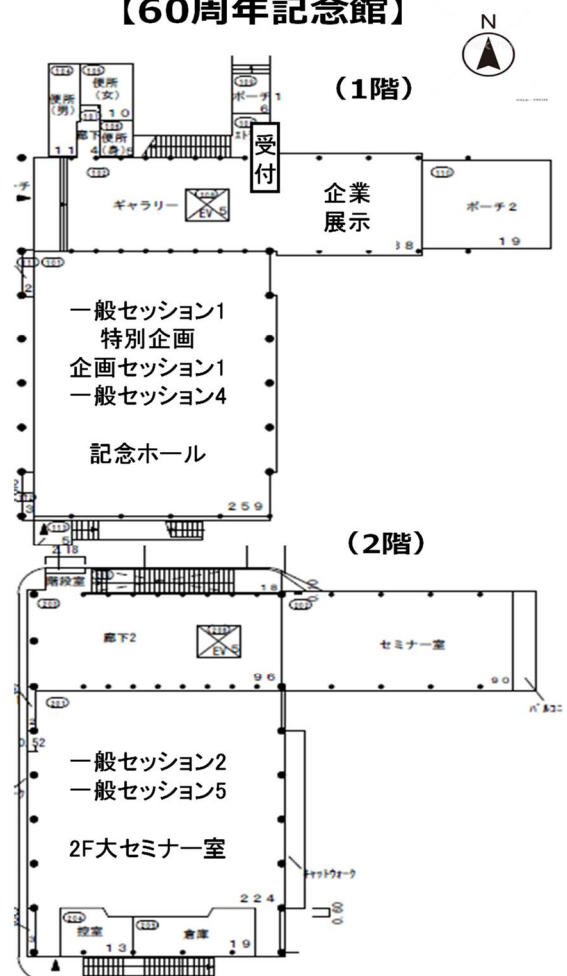
地下鉄烏丸線
松ヶ崎駅(徒歩8分)



【東3号館】



【60周年記念館】



特別企画

高校生人間工学研究発表会

60 周年記念館 1 階記念ホール

13:00~14:00

自習室の混雑を回避しよう！～入退室管理システムの応用～

寺田美空，松本美南，横村美薫
大阪府立高津高等学校

要約

本研究では，本校の自習室利用における利用状況の可視化と教師の負担軽減を目的として，Google スプレッドシートおよび Google Apps Script を用いた入退室管理システムを開発した．入退室記録，総自習時間の算出などの機能を実装し，利便性と効率性の両立を図った．本システムは今後，実際の運用を通じて改良を重ね，教師と生徒の双方にとって使いやすい仕組みの確立を目指す．

1. はじめに

高津高校では，放課後に視聴覚室を自習室として開放している．しかし，利用者数を教師が毎日手作業で数えており，負担が大きい．また，テスト前とそれ以外の時期で混雑の度合いが大きく異なるという問題もある．そこで，入退室を簡単に管理できるシステムを開発し，教師と生徒の双方にとって便利で快適な自習環境を実現することを目的とした．

2. 研究手法

本システムは Google スプレッドシートと Google Apps Script により構築した．ログイン画面から新規登録またはログインを行い，マイページで入退室記録，ランキング，総自習時間を閲覧できる．入退室の情報はスプレッドシート上に自動で記録され，総自習時間はそのデータをもとに算出される．

図 1 にシステムの概要を示す．

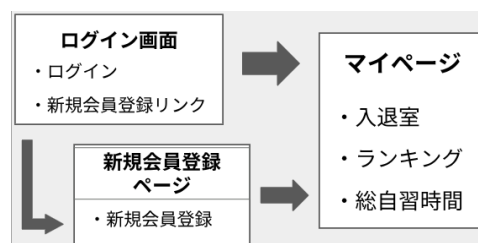


図 1 システムの概要

3. 結果

2026 年 10 月 30 日時点で，会員登録・ログイン機能、入退室記録，ランキング表示，総自習時間の集計機能を実装した．現在本システムは構内の 2 年生を対象に試験的に運用しており，操作性，視認性，利用手順の負担を検証している．

4. 考察

現段階では基本機能は安定して動作しているが，月別・日別の時間集計機能や混雑率表示などは未実装である．これらを実現することで，自習室の利用傾向をより詳細に分析できると考えられる．

5. 結論

本研究では，高校の自習室における入退室管理システムを開発し，教師の業務負担軽減と利用状況の可視化を可能とした．今後は試験運用やアンケートを通じて改善を重ね，より実用的なシステムを目指す．

6. 参考文献ならびに参考 Web ページ

1)初心者向け HTML 入門:書き方の基本とタグの使い方:

<https://saruwakakun.com/html-css/basic/html> (2025/05/07 閲覧)

2)QR コードベースのオンライン入退室管理システム:

https://chat.google.com/room/AAQAPiiAwsM/V_-hdroSCok/V_-hdroSCok?cls=10 (2025/05/07 閲覧)

3)初めてでもわかる！HTML でリンクを貼る a タグの使い方！:

<https://blog.codecademy.jp/programming-html-a> (2025/10/15 閲覧)

アプリ「DeChain」でスマホ利用を自制する方法を探る

大谷 優翔, 木村 優太
大阪府立高津高等学校

要約

近年, スマホ依存が世界的に大きな問題となっている. スマホ依存の対策方法としてよく挙げられるものに, スクリーンタイムを使ってアプリに制限をかけたり, スマホを物理的に使えなくしたりするものがあるが, それらはスマホ依存を解消するには抑制力が強すぎるため, スマホ利用を自制するということに特化した研究を行う.

1. はじめに

近年, スマホ依存が世界的に大きな問題となっており, 高校生などの若者の間では特に深刻な問題となっている. よくあげられるスマホ依存の対策方法として, 時間制限を設けたりといった方法があるが, 私たちはそれらの方法は効果が薄いと考える. 強制的にスマホ依存を解消しようとしても結局ほかのことをしているときにスマホのことを思い出してしまい, 集中できなくなってしまうこともあるからであり, SNS は他人との連絡手段に用いることもあり, 単なる時間制限では支障をきたす恐れがあるからである. そのため, “SNS やゲームをしたいという欲求をなくす”ための方法について研究することにした. 研究をするにあたって, そのような欲求のことを”スマホ欲”と定義した. どのようにして抑制力が小さい方法で”スマホ欲”をなくせばいいのかを考えた結果, スマホアプリを作り, 通知を流すことを考えた. またこれには先行研究が存在する(※1)が, スマホ自体の使用時間のみを集計しており, 依存の有無を正しく判別できず, 通知文も簡素であり, 通知による依存自制の効果が推し量れないことから, 本研究を実施する.

2. 研究手法

“スマホ欲”を自制するために, スマホアプリ「DeChain」を作り, 通知を流す.

通知の種類は二つの軸を使って4象限分の種類を考えた. その軸とは, “否定的か肯定的か”と, “他者と比較してどうか, 自分と比較してどうか”の2軸である. 実験は2週間で行い, 被験者を4つのグループに分けて行う. 各4グループでは2週間目にそれぞれの種類の通知を受けてもらい, 1週間目に収集した利用データと比較する. また, 通知文の内容は参考文献に基づいて考案する. (※2)

3. 結果

実験が終わり次第結果をまとめる.

4. 考察

実験が終わり次第考察をする予定.

5. 結論

実験が終わり次第結論をまとめる予定.

6. 参考文献ならびに参考 Web ページ

※1 称賛と警告フィードバックのスマートフォン過剰使用抑制意欲への影響の実験的検討

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/his/26/4/26_419/_pdf/-char/ja\(2025/10/30](https://www.jstage.jst.go.jp/article/his/26/4/26_419/_pdf/-char/ja(2025/10/30) 閲覧)

スマートフォンを使わずにいるよう働きかける通知システムにおける言い回しの違いによる影響

※2 [https://hai-conference.net/proceedings/HAI2022/pdf/P-16.pdf\(2025/10/30](https://hai-conference.net/proceedings/HAI2022/pdf/P-16.pdf(2025/10/30) 閲覧)

肩から落ちにくいトートバックの研究

岩崎莉奈, 千足結奈, 山口大登, 谷昊輝
大阪府立東高等学校

要約

トートバックが肩から落ちるのを防ぎたいと考え、落ち方の分析を行なった。トートバックが肩から落ちる原因として左右方向の振動による影響が大きいと考え、輪ゴムをつけた小球で振動を緩和するための実験を行なった。その結果、ハンドルの一部をゴム性の素材に変えると落ちにくくなることが分かった。

1. はじめに

日常生活でトートバックが肩から落ちることに不便さを感じたため、肩から落ちにくいトートバックの研究を始めた。

2. 研究手法

《実験Ⅰ：落ちやすさと落ち方に関する実験》

ハンドルの長さによってトートバックの落ちやすさがかわるを考え、ハンドルの長さを 4.0 cm 刻みで 24～36 cm の範囲で変え、一定のテンポで走った時の落ちやすさ(落下時の歩数計測)と落ち方を調べた。

《実験Ⅱ：左右方向の揺れを軽減するための実験》

実験Ⅰから、すべり落ちる場合、左右方向の振動の影響が大きいと考え、全体の長さが 24 cm になるように、糸の下端に 2 cm～10 cm の輪ゴムをつけた振り子を作成し、小球を板に衝突させ、衝突後の小球の軌道の分析を行なった。

3. 結果

表 1 の歩数計測から、ハンドルの長さは落ちやすさに関係しないことが分かった。

落ち方が A(うき落ちる), B(すべり落ちる)と2通りあることが分かった。図 1,図 2 から、5 cm の輪ゴムを取り付けた時が衝突後の左右方向の振動を緩和できることが分かった。

表 1 落ち方と落ちた歩数

ハンドルの長さ/回数	パソコン外			パソコン内			平均歩数
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	
24 cm	B(5.13歩)	A(6.26歩)	A(4.09歩)	B(4.02歩)	A(5.19歩)	B(5.20歩)	4.98
28 cm	A(3.19歩)	A(5.17歩)	A(4.10歩)	A(6.20歩)	A(5.19歩)	A(5.23歩)	4.85
32 cm	B(6.09歩)	A(5.22歩)	B(3.17歩)	A(4.24歩)	B(4.27歩)	B(4.19歩)	4.53
36 cm	A(4.20歩)	A(6.35歩)	B(5.20歩)	A(3.27歩)	B(3.70歩)	A(6.20歩)	4.82

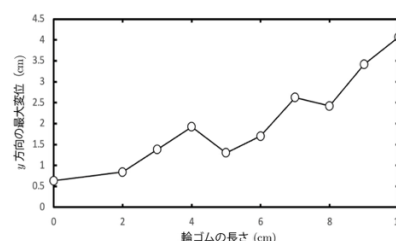


図 1 輪ゴムの長さ と y 方向の最大変位の関係

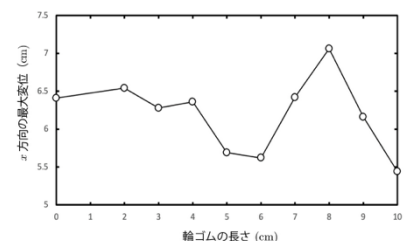


図 2 輪ゴムの長さ と x 方向の最大変位の関係

4. 考察

ハンドルの長さによらず、体にバックが衝突することの影響が大きいため、ハンドルの長さを変えても落ちやすさが変わらないと考えられる。実験Ⅱから、5 cm の輪ゴムを付けた場合、衝突後に振り子の軌道を崩すことなくゴムに元に戻ろうとする力がはたらくため、水平方向に変位しにくいのではないかと考えた。

5. 結論

輪ゴムをつけたことで左右方向の揺れを軽減することができた。小球での実験を実際トートバックで行っても同様にゴムを取り付けたほうが落ちにくいという結論を得た。

6. 参考文献ならびに参考 Web ページ

小形正男 阿部龍蔵・川村清監修 『波動・振動』 裳華房

人の踏みつけによる裸地化の過程とその解析

丁 美琳

京都府立嵯峨野高等学校

要約

森林においての人の歩行は、裸地の拡大や表土の硬化など、森林の表面環境に悪影響を及ぼす¹⁾。例えば、下層植生の衰退や土壌侵食等があげられる。

本研究では、人の歩行による土壌表面への負荷量を推定し、適切な歩行および山道デザインを検討することを目的とした。そこで、平地において一步あたりの力積の算出を試みた。歩行の解析には、SPLYZA Motion を用いた。その結果、歩行時の力積推定が可能であることを確認した。

1. はじめに

日本の登山人口は年間 800 万人前後に及び、多くの登山者の通行は、森林に影響を与える²⁾。特に、登山者が山道を集中的に利用すると、踏圧によって表土が堅くなり、雨水が浸透しなくなる。また、水たまりになったり、ぬかるむため、登山者はそこを避けて通行する。その結果、植生踏圧の増加や裸地の拡大が起こる²⁾。

本研究では、森林の維持管理をするため、山道のデザインをすることを最終目的とし、そのための人の歩行による負荷を評価した。まず、解析ソフトウェア SPLYZA Motion を用いて、山での歩行時の一步の力積を算出するために、平地での一步の力積を算出する方法を検討した。

2. 研究手法

高校生男女各 4 人の計 8 人が校内の廊下を裸足、スリッパで往復した。安定な歩行区間を SPLYZA Motion で解析し、力積(N・s)を算出した。算出は(式 1)を用いた。

力積(N・s) = 体重(kg) × { (離地直後の重心速度(m/s) - 接地直前の重心速度(m/s)) } (式 1)

3. 結果・考察・結論

全てのデータは、{離地直後の重心速度(m/s) - 接地直前の重心速度(m/s)}に基づいて



Fig. 1. 撮影風景.



Fig. 3. 速度解析結果.



Fig. 2. 解析の様子.

算出した。速度変化は、おおよそ 0.05~0.20 m/s の間であった。スリッパと裸足の差は、0.01~0.13 m/s であった。足の左右差は見られたが、利き足の影響

はなかった。今後、重心が算出されないことを防ぐため、撮影方法を改善する。また、離地直後と接地直前の判定方法を検討する必要がある。さらに、撮影方法や判定方法についても課題がある。

4. 参考文献ならびに参考 Web ページ

- 1) 佐山葉：森林研究活動に伴うヒューマンインパクトの把握とその回復，スーパーサイエンスラボ研究報告集 2019，京都府立嵯峨野高等学校，p. 39 - 41，(2020)。
- 2) 高槻成紀：シカ問題を考える バランスを崩した自然の行方，山と溪谷社，pp. 215，(2015)。
- 3) 渡辺悌二：登山道の保全と管理，古今書院，p. 213，(2008)。

万博 Steam 教育プログラム「いのちの遊び場クラゲ館」での 体験型ワークショップデザインの探究：ハギレを活用した布クラゲづくり

仲田 柚, 辰巳 茉未絵
大阪府立泉尾工業高等学校

要約

私たちチーム「HeartGoodCute」は、2024 年 5 月に「万博 Steam 教育プログラム」に参加し、大阪・関西万博シグネチャーパビリオン「いのちの遊び場クラゲ館¹⁾」でのワークショップ企画・実施を目指して活動した。万博テーマ「いのち輝く未来社会のデザイン」と、私たちの好きな「ものづくり」と「ファッション工学」を掛け合わせた体験型ワークショップの企画、実現である。この活動はコンテスト選抜を経て、2025 年 8 月 8 日と 9 月 28 日にクラゲ館で披露する機会を得た。

1. ワークショップのテーマ設定とコンセプト

万博テーマに沿うため、まず私たちはファッション産業による環境負荷の大きさに着目した²⁾。特に年間大量に捨てられる服の事実を知り、ハギレを有効活用し参加者に服を大切にすることを促すワークショップの実施を決意した。具体的なモチーフは、クラゲ館プロデューサー中島さち子氏の提案を受け、手順が少なく自由度の高い「布クラゲ」づくりに決定した。

コンテスト³⁾でのフィードバックを受け、クラゲ館での実施に向けてブラッシュアップを行った。①安全上の制約（尖ったものの持ち込み禁止）、②参加者の主体性の向上、③運営の効率化という大きな課題が与えられた。最大の難題である「縫い針禁止」に対しては、当初の毛糸とじ針などの代替案が却下された後、ポンチと金槌とセットで使用する提案をし使用許可を得たことで安全上の問題を解決した。このポンチと毛糸を使った方法は、縫うよりも頑丈で時間節約にもなった。また、参加者自身が布の重ね方を決めて穴あけや毛糸の結び付けを行う工程に変更した。運営の効率化のためには、体験時間を 10 分に短縮し、参加者が分かりやすい会場のレイアウトを考えた。

2. クラゲ館での実施と学び

2025 年 8 月 8 日の初回実施では予想以上の来場者に圧倒され、人数制限の失敗による混乱、そして製作に集中しすぎてワークショップの最も大切なコンセプト衣服ロス伝えられないという本質的な失敗があった。さらに、急な指示により金槌の使用が禁止となる突発的な問題が発生した。万博スタッフ提案の穴あけパンチを使うことで無事再開でき、この穴あけパンチを 2 回目以降の正式な手法として採用した。これらの反省を受け、2 回目（9 月 28 日）に向けて運営フローを徹底的に見直した。穴あけパンチの耐久テストを行い、入場時に整理券を配布、体験時間を 10 分に設定し、受付係が布選びを促すなど、運営と接客方法を大幅に改善した。チーム負担が軽減し丁寧に作業するができたため、64 名の来場者に満足していただけるワークショップを実現できた。

3. 探究活動全体を通しての学び

この活動を通じ、「何事も一度やってみないと、本当にこれでいいのかどうかわからない」という実行の重要性を痛感した。また、課題解決の過程で、プロデューサーや万博スタッフ、大学生⁴⁾⁵⁾といった多様な立場の人からのアドバイスを聞くことで、新しい解決策（布クラゲの着想、穴あけパンチの代替案など）を得られることを学んだ。失敗から学び、改善を繰り返すチャレンジと向上心の重要性を強く実感した 1 年間だった。

4. 参考文献ならびに参考 Web ページ

- 1) いのちの遊び場 クラゲ館 コンセプト：<https://expo2025-kuragepi.com/concept/>
- 2) SUSTAINABLE FASHION 環境省：https://www.env.go.jp/policy/sustainable_fashion/
- 3) HeartGoodCute「環境に目を向けたハンドメイド～布クラゲ～」ワークショップコンテスト用紹介動画：<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=q3IMBScbaA4&feature=youtu.be>
- 4) アジアとつながる国際交流フェスタ「Asia Week 2024」：<https://www.ritsumei.ac.jp/news/detail/?id=3843>
- 5) 立命館万博学生委員会おききワークショップ：https://www.instagram.com/ritsumei_25expo/p/DIkjOmizp1X/

万博 Steam 教育プログラム「いのちの遊び場クラゲ館」での 体験型ワークショップデザインの探究：地球キーホルダーで奏でる未来

氣谷 緋和, 辰巳 茉未絵
大阪府立泉尾工業高等学校

要約

私たちチーム「イズバン ROCK」は大阪・関西万博シグネチャーパビリオン「いのちの遊び場クラゲ館¹⁾」における体験型ワークショップの企画実施をめざした「万博 Steam 教育プログラム」の一環として、2024 年 5 月に発足した。この活動は、2025 年1月のワークショップコンテストの選抜を経て、8 月 8 日と 9 月 27 日の2度、クラゲ館にて実際に披露する機会を得た。

1. クラゲ館と万博テーマの分析とワークショップコンセプトの立案

私たちは「未来に向けて一人ひとりが地球にやさしい行動をし続けることの大切さ」と「知らない人同士でも多様性を尊重し合い、ひとつのものを作り上げることのワクワク」を参加者に実感してもらうことを目標とした。私たちの好きの共通点である「ものづくり」と「音楽」を取り入れて、音楽にノって楽しく制作できる「地球キーホルダーで奏でる未来」と題したワークショップをデザインした。これは、廃材から作られた地球型キーホルダーに、参加者全員で音楽にノって色を付ける共創型ものづくり体験である。

2. ワークショップの実現に向けた探究と課題解決

ワークショップの素材である「地球キーホルダー」は、本校の竹あかり製作の残り竹や山忠木材(株)²⁾から集めた製材廃材をレーザー加工機で彫刻し製作した。また絵具には、有害化学物質を含まず環境に配慮した(株)まっちのポスターカラー³⁾を選定した。ワークショップの実現には、「会場や参加者を絵具で汚さないこと」が必須の制約条件であった。コンテスト⁴⁾では好評いただいたものの、汚れ防止に使用した使い捨てビニールが指摘された。そのため、サンドブラストを参考に飛沫防止パネルを再利用したアクリル板で塗装ブースを設計した。機械科の先生や山忠木材(株)に相談し専門技術の協力を得て製作した。ブースを載せる円卓も車いすの方でも参加できる高さに制作した。また、輸送制約に対応するため、溶接・穴あけを施した鉄製金具を用いて、解体・組立が容易で頑丈な五角形の構造を実現した。「音楽にノって回って塗装する楽しさ」を残すため、陶芸実習用のターンテーブルと変圧器をセラミック科と電気科から借り受け問題をクリアした。山忠木材(株)のイベントに出展し、絵具の漏れや「絵具を飛ばす行為」に意識が集中し、ワークショップの目的を伝えられていないという課題を洗い出し改良を重ねた。本番では、5 歳以下の子どもが筆で絵具を飛ばす動作に苦戦している様子を発見し、手で握れるスポイトで絵具水溶液をかける方法を試行、2 回目に向けて改良を行い成功裏に終わることができた。

5. まとめ

この万博 Steam 教育プログラムを通じて、「大きな目標を達成するためには、創造的な発想と、その実現を可能にするための多様な専門家との『協働・共創』が不可欠である」ということを学んだ。解決しても立ちはだかる課題に、多岐にわたるサポートを専門家や他団体⁵⁾⁶⁾から得ることで、ものづくりの制限を乗り越えることができた。この学びを活かして、様々な分野を超えて人と対話し、共に新しい価値を生み出す「共創」の姿勢を持ち成長続けたい。

6. 参考文献ならびに参考 Web ページ

- 1) いのちの遊び場 クラゲ館 コンセプト：<https://expo2025-kuragepi.com/concept/>
- 2) 山忠木材株式会社 <https://www.yamachuwood.com/>
- 3) 株式会社まっち「マッチポスターカラー」：<https://shop.match-japan.com/?pid=41470392>
- 4) ワークショップコンテスト用紹介動画：<https://www.youtube.com/watch?v=xZobeSVpn1Q>
- 5) アジアとつながる国際交流フェスタ「Asia Week 2024」：<https://www.ritsumei.ac.jp/news/detail/?id=3843>
- 6) 立命館万博学生委員会によるワークショップ：https://www.instagram.com/ritsumei_25expo/p/DIkjOmizp1X/

企画セッション

企画セッションⅠ

60周年記念館Ⅰ階記念ホール

14:40～15:00

企画セッションⅡ

東3号館Ⅰ階101講義室

15:15～16:45

低負担生体計測の実場面活用の可能性と課題

Potential and Challenges for Practical Application of Low-Burden Bio-Signal Sensing

○大須賀美恵子^{*,**}, 吉岡直人^{***}, 竹内大樹^{****}, 鎌倉快之^{*}

^{*}大阪工業大学 ^{**}株式会社ウエルネスラボ

^{***}ヤンマーホールディングス株式会社 ^{****}産業医科大学

OHSUGA Mieko^{*,**}, YOSHIOKA Naohito^{***}, TAKEUCHI Hiroki^{****}, KAMAKURA Yoshiyuki^{*}

^{*}Osaka Institute of Technology, ^{**}Wellness Lab Inc., ^{***}Yanmer Holdings Co.,Ltd.,

^{****}University of Occupational and Environmental Health

1. 企画趣旨

作業・ものづくりの現場, 教育現場, ヘルスケア・医療分野やなど多様な実場面において, 個人の状態やその変化をリアルタイムで収集し, システムやサービスの仕様に反映したり, 本人にフィードバックして行動変容を促したりするというニーズが高まっている. 人の状態の評価のためには変化メカニズムの異なる複数指標を取得すべきであり, その実現には各計測が人に与える負担を低減し, 生活や作業の邪魔にならず, 煩わしくない計測手法が望まれる.

生体反応の低負担計測手法は, ウェアラブルとウェアレス計測に大別される¹⁾. 目的や適用場面の制約に応じ, それぞれの利点, 特徴を生かした手法の選定が望まれる.

2. 企画概要

前半の 45 分程度を話題提供, 後半の 45 分程度をディスカッションに充てる.

話題提供は, 低負担計測だからこそ, 1) 実場面に適用できた(できそう), 2) 多次元計測が可能になった(可能になりそう), 3) 複数の人のデータを同時計測できた(できそう)という事例・構想を, 1 件あたり数分~10 分程度で依頼・募集している. 確定している 3 件について 3 章にサマリを記載する. 当日の飛び込み発表も歓迎する.

指定討論は, 人間工学, 産業衛生の専門家である榎原毅先生(産業医科大学教授)にお願いしている. その後, フロアや遠隔参加者も含めたディスカッションを行う予定である.

3. 話題提供

3-1. 建設現場における熱中症の早期発見手法の提案

話題提供者: 吉岡直人(ヤンマーホールディングス株式会社・中央研究所)

近年, 職場における熱中症による死亡災害が増加傾向にある. 直近 5 年間で死亡災害の業種別割合では, 建設業が 40.3%を占め, 全業種中で最も高い⁴⁾. その対策として, 令和 7 年 6 月 1 日より改正労働安全衛生規則が施行された. 熱中症による死亡災害を防止するためには, 初期症状での早期発見と適切な対処が重要である. 初期症状を早期に発見するための方策として, スマートウォッチなどのリストバンド型スマートデバイスを用いて心拍数, 皮膚温や血中酸素濃度などの生体反応を計測し, 発症を推定する手法が提案されている. しかしながら, この方法には, 建設作業に不要なスマートデバイスを装着する必要がある点や, 計測される生体反応が限定的であり, 熱中症の発症に伴い変化する他の生体反応を含む検証が十分に行われていない点など, いくつかの課題が挙げられる.

これらの課題を解決するために, 建設作業において必要とされるヘルメットにカメラ, センサおよび電極を搭載し, 多次元的な生体反応の計測を実現することと, このアプローチにより, 熱中症の発症と関連性の高い生体反応を模索し, より精度の高い推定手法を構築することを提案する. また, 熱中症発症時における経時的な生体反応の変化を収集・解析することが重要であり, これらのデータを体系的に取得する仕組みの構築が課題である.

3-2. 作業姿勢推定に基づく筋骨格負荷の連続的評価 話題提供者: 竹内大樹(産業医科大学・産業保健学部)

厚生労働省の報告によると、令和 5 年における業務起因の災害性腰痛は 6,132 件発生しており、主な要因は重量物の取り扱いや不良姿勢とされている。さらに、慢性的な非災害性腰痛も含めると、作業者の腰痛発症数は一層多いと考えられ、筋骨格系障害の予防は労働衛生上の重要課題である。従来の姿勢評価指標である OWAS(Ovako Working Posture Analysis System)、REBA(Rapid Entire Body Assessment)、RNLE(Revised NIOSH Lifting Equation)や、RNLE をもととする ISO11228-1²⁾や JIS Z 8505-1³⁾は、作業設計段階での静的評価や、非連続なスナップショットの評価にとどまり、作業中の負荷変動や蓄積的リスクを捉えることが困難である。

本研究では、RGB-Dカメラ(RealSense)を用いて作業中の骨格姿勢や関節角度を推定し、既存指標に基づく姿勢負荷と時間積算による蓄積的リスクを可視化する手法を開発する。本手法はセンサの装着を必要としない非接触・低コストの構成であり、自然な動作を妨げることなく長時間の連続計測を可能にする。これにより、現場での早期介入を促進し、筋骨格系障害の予防に貢献することが期待される。

3-3. 新生児の呼吸計測と顔表情変化による痛み評価 話題提供者: 鎌倉快之(大阪工業大学・情報科学部)

新生児集中治療室(NICU)に入院した多くの病的新生児・早産児を対象に非接触・低負担な呼吸計測と顔表情変化による痛み評価を試みている。京都府立医科大学(小児科 瑞木匡・助教)と大阪工業大学(情報科学部 神納貴生・准教授、鎌倉快之・教授)の共同研究である。

(1)現在臨床応用されている呼吸のモニタリング法は、パルスオキシメータによる酸素飽和濃度や、心電図電極間のインピーダンス変化を用いた呼吸数の測定など接触型であり、呼吸障害を正確に評価できないなどの問題点もある。そこで距離計測可能な赤外線カメラを用いて胸腹部の動きを測定する非接触かつ非侵襲な、低負担呼吸モニタリング法⁵⁾の確立を目指している。

(2)NICU に入院する児は、痛みを伴う処置を繰り返し受ける必要があるが、その痛みを言葉で表現するこ

とができない。新生児の痛みストレスの評価には、現在看護師など人の視察による表情スコアが用いられる⁶⁾。視察者の練度に依存せず客観性や定量性を高める手法として、カメラ映像からの顔検出技術を利用して児の表情の変化を数値化⁵⁾し、従来の表情スコアやカメラを利用した非接触な顔温度計測データ、その他の生理データなどを教師信号とした機械学習を行うことで、痛みの評価のリアルタイム自動化を目指している。

4. ディスカッション

ディスカッションは、前述の 1)～3)の観点から、継続利用・実用化に向けての技術的な課題、継続的・主体的な利用を促す工夫、計測精度検証方法、評価指標の妥当性検証方法、個人情報保護・倫理的問題についても議論できればと考えている。フロアからも活発な議論が寄せられることを期待している。

本セッションは、Zoom を用いたハイブリッド形式で実施します。遠隔参加の方は、下記よりご参加ください。参加者名は、氏名(所属)として待機室でお待ちください。

Zoom ID: 967 8381 6959

パスコード: iesw25

参考文献

- 1) 竹内大樹, 鎌倉快之, 大須賀美恵子: カメラを用いた脈拍, 呼吸, 表情変化の推定技術, 感情センシング技術と活用事例, pp.146-15, 情報技術協会(2025)
- 2) ISO: ISO 11228-1:2021, Ergonomics - Manual handling, Part 1: Lifting, lowering and carrying, <https://www.iso.org/standard/76820.html>, (参照日 2025 年 10 月 31 日)
- 3) 日本規格協会グループ: JIS Z 8505-1:2025, 人間工学—手作業による取扱い—第 1 部: 持ち上げ, 持ち下げ 及び 運搬, https://webdesk.jsa.or.jp/books/W11M0090/?bunsyo_id=JIS%20Z%208505-1:2025 (参照日 2025 年 10 月 31 日)
- 4) 厚生労働省: 職場における熱中症情報, <https://neccyusho.mhlw.go.jp/> (参照日 2025 年 10 月 31 日)
- 5) 鎌倉快之, 大須賀美恵子: カメラを用いた脈拍, 呼吸, 表情変化の推定技術, 生体センシング技術の開発とヘルスケア、遠隔診断への応用, 情報技術協会, pp.258-263 (2024)
- 6) 横尾京子, 阿部明子: 早産児の痛みのアセスメントツール (FSPAPI) の開発・上部顔面表情運動の定量に基づいたフェース・スケール, 日本新生児看護学会誌, 16(1), pp.11-18 (2010)

一般セッション I

脳波・視線・認知

60 周年記念館 I 階記念ホール

10:00~11:35

脳波を用いた意思伝達支援システムの構築に向けて Development of an Electroencephalogram-Based Communication Support System

○神谷陸*, 中谷真太郎**, 有馬正和*

*大阪公立大学大学院工学研究科 **鳥取大学大学院工学研究科

KAMIYA Riku*, NAKATANI Shintaro**, ARIMA Masakazu*

*Graduate School of Engineering, Osaka Metropolitan University,

**Graduate School of Engineering, Tottori University

1. 緒言

我が国はさまざまな物資の輸出入の大部分を大型船による海上輸送に依存している。2022 年時点で、トン数ベースで貿易量の 99.6%を海運業が占めている¹⁾。また操船は長時間に及ぶことも多く、その負担軽減のために乗組員同士の意思伝達手段として脳波を用いたシステムを提案する。

現在、BCI (Brain Computer Interface) には視覚誘発電位 (Visual Evoked Potential : VEP) と事象関連電位 (Event Related Potential : ERP) が用いられることが多い。しかし VEP を用いた BCI では視覚を利用するため、他の作業との併用が難しいことが問題点として挙げられる。また ERP は、1 度の判別にかかる時間が長くなる問題がある。これらの問題点を解決可能な脳波利用の方法として、外部刺激を用いない方法が考えられる。このような背景から本研究の最終的な目標は、外部刺激によらない意思伝達支援システムの開発を試みる。本研究では、外部刺激を用いない感情操作による脳波パターンの判別可能性を検証する。

また脳波による意思伝達は、操船分野に限らない利用が考えられる。活用事例として、筋萎縮性側索硬化症 (Amyotrophic Lateral Sclerosis : ALS) の患者の方々の意思伝達を助けることが挙げられる。ALS は全身の筋肉量が低下する病気であり、病状の進行により発声や視線移動が困難になるため、脳波を利用した意思伝達手法は有効であると考えられる。

2. 脳波について

脳波は周波数によって α 波、 β 波、 γ 波、 θ 波、 δ 波に分類され、振幅は通常 $5\sim 150\mu V$ 程度である²⁾。これらの脳波が対応する周波数は、 α 波が $8\sim 13Hz$ 、 β 波が $14\sim 30Hz$ 、 γ 波が $31Hz$ 以上、 θ 波が $4\sim 7Hz$ 、 δ 波が $4Hz$ 未満である。それぞれの脳波が顕著に確認される状況として、 α 波はリラックスしているとき、 β 波は緊張時、 γ 波は瞑想などの高い集中とき、 θ 波はレム睡眠時、 δ 波はノンレム睡眠時などに表出されることが知られている。また、 α 波は頭頂部、閉眼時に後頭部で特に顕著に確認される。

3. 実験方法

開眼状態で「安静 (無感情)」「ポジティブ」

「ネガティブ」の 3 つの感情の際の脳波を計測する。計測時間は 60 秒として計測を行った。

3-1. 脳波計測

脳波の計測は周囲が静かな環境で、いすに座った安静状態で行う。本研究では Emotiv 社製の脳波計 EPOCX を使用する。電極は専用のフェルトを生理用食塩水で湿らせたものを、基準電極 2 箇所を含む 16 箇所に着用することで計 14 チャンネルとなる。電極の位置は国際 10-20 法を拡張した 5%法に基づき、基準電極が M1, M2, 他の電極は AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 に配置される。また、脳波計測のサンプリング周波数 256Hz である。

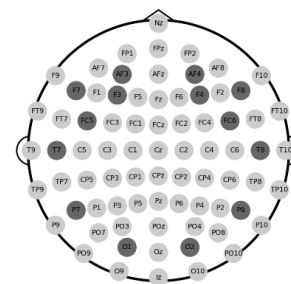


図 1 拡張 5%法

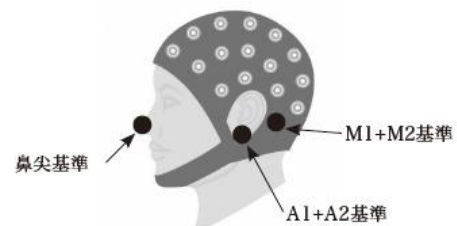


図 2 基準電極位置³⁾

3-2. 脳波解析

計測した脳波に対して短時間フーリエ変換 (Short Time Fourier Transform : STFT) を行った後、パワースペクトル密度 (Power Spectral Density : PSD) の計算をすることで脳波解析を行う。STFT の一度のフーリエ変換に用いるサンプル数は 256 とし、ホップ数は 128 個とする。それにより、周波数成分

は 1Hz 刻みに分解され、時間成分は 0.5s 刻みに分解される。また窓関数にはハン窓を使用し、14 チャンネルの PSD を求めた。

3-3. パターン判別精度検証

脳波判別ソフト EMOTIV BCI を用いて、3 つの脳波パターンの判別精度検証を行った。検証方法は「安静」をデフォルトとして 3 パターンの脳波を学習させた後、各状態を 10 秒間維持した際の判別結果を記録する。それぞれの状態について 5 回ずつ計測を行い、判別精度を確認する。脳波の判別結果は 1 秒間に 8 回出力されるため、一度の計測で 80 個のデータが得られる。計測区間設定のミスで一度の計測で取得できたデータ数は 79 データとなったため、各パターンの判別回数は 395 回となる。

4. 実験結果

計測した脳波の PSD の一部を以下に示す。グラフの配置はおおよそ電極位置に従っている。PSD は対数表示で表され、-40~40 のカラーマップに示す。「安静」と比較し、「ポジティブ」「ネガティブ」状態では後頭部の電極 O1, O2 で強い β 波の周波数成分が確認できた。加えて頭頂部の電極 FC5 で「ネガティブ」状態では β 波と γ 波の周波数成分が他 2 つの状態と比較して強く確認できた。

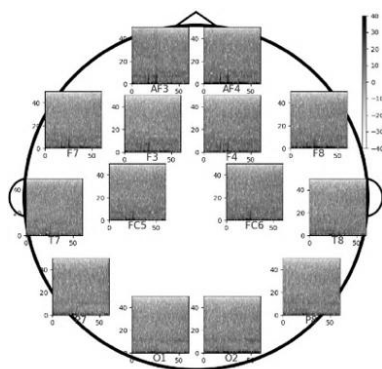


図 3 安静状態の PSD

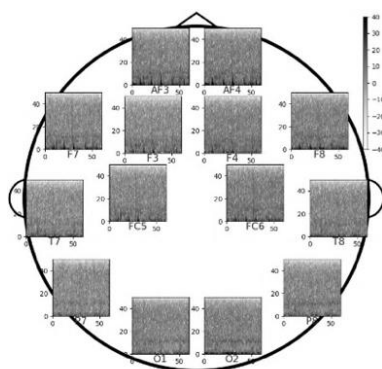


図 4 ポジティブ状態の PSD

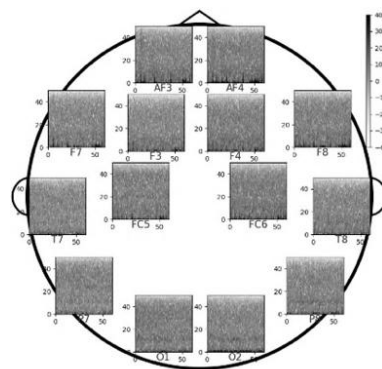


図 5 ネガティブ状態の PSD

4-1. パターン判別精度

EMOTIV BCI による判別精度の検証結果は表 1 のようになった。デフォルトの「安静」を除いて、想定と異なる脳波であると判別されたのは、1185 データ中 4 データのみであったことから、感情の正負を利用した脳波パターン判別は可能である。

表 1 パターン判別結果

	安静	正	負	正解率(%)
安静	395	0	0	100
ポジティブ (正)	120	275	0	69.6
ネガティブ (負)	224	4	167	42.3

5. 結言

外部刺激に依らない脳波を用いた BCI として感情による脳波を用いることを考えた。安静状態と正負の感情による脳波の PSD に異なる傾向が確認された。加えて脳波判別ソフトを用いた検証の結果から、感情の正負を利用した脳波パターン判別の可能性が確認された。今後はサポートベクターマシンなどを用いて脳波パターン判別システムの構築を試みる。また、本研究は大阪公立大学大学院工学研究科研究倫理委員会の承認を得て実施していることを附記する。

参考文献

- 1) 国土交通省, “海事レポート 2023”, 特集 2
<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001621449.pdf>
- 2) 飛松省三, “脳波判読のポイント”, 2006
九州大学大学院医学研究院脳研臨床神経生理
<https://www.med.kyushu-u.ac.jp/neurophy/point.pdf>
- 3) 白澤厚(2022), “数式を用いない脳波解析入門”, ミュキ技研, 最終閲覧日 2025/10/30
https://www.miyuki-net.co.jp/web_seminar/EegAnalysisWithoutFormulas/

ドローンを用いた移動体撮影における操縦者の注視点解析 Gaze Point Analysis of Drone Operators in Aerial Imaging of Moving Objects

○中上大和, 後藤彰彦
大阪産業大学

NAKAGAMI Yamato, GOTO Akihiko
Osaka Sangyo University

1. はじめに

ドローンの熟練操縦者における技を形式知化して, 初心者や非熟練者に対する学習支援システムの構築を目指している. これまでに移動体を撮影するタスクに着目し, 経験年数の異なる被験者が操縦するドローンの飛行状態を対象として, 移動体の撮影におけるドローンの軌跡や速度変化と撮影された移動体の状態の関係について検討をおこなってきた¹⁾. 本研究では, ドローンの飛行状態と移動体の動きを三次元動作計測し, 同時に被験者の注視点を計測した. そこで, 両者の解析をおこない, 移動体撮影時における被験者の注視点について検討した.

2. 実験方法

2-1. 被験者情報

被験者は, 経験年数の異なる熟練者 5 名, 操縦経験の無い 20 歳前後の男子大学生 6 名を対象とした. 前者の熟練者を Ex, 後者の初心者を Be として表すこととする. 表 1 に熟練者の経験年数を示す.

表 1 熟練者の経験年数

Subject ID	Years of Experience (years)
Ex1	7
Ex2	7
Ex3	8
Ex5	4
Ex7	5

2-2. 測定環境

ドローンは, 被験者から 1000mm 離れた位置に設置し, また移動体を走行させるテーブルはドローン

から 1000mm 離れた位置に設置した. テーブルの高さは 700mm であり, テーブル上に移動体の走行を可能とする軌道を配置した. 図 1 に測定環境を示す.

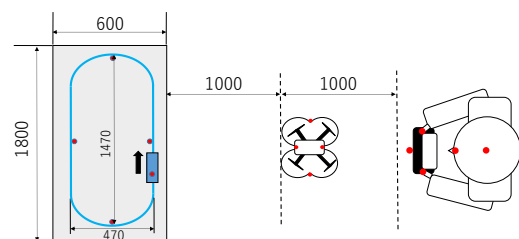


図 1 測定環境

2-3. 実験機材

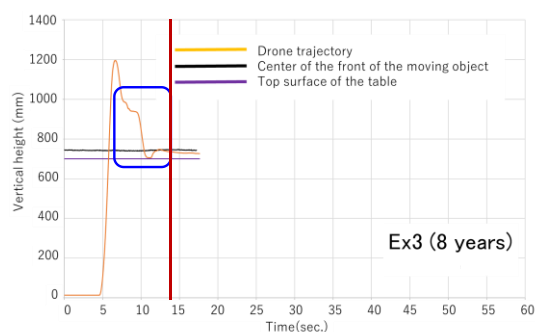
計測に用いたドローンは, Mavic Mini(DJI 社製)とした. 三次元動作計測は, 光学式モーションキャプチャーシステム MAC3D SYSTEM(Motion Analysis 株式会社製)を使用した. 6 台の赤外線カメラと, 15 個の赤外線マーカーを使用した. 移動体の上部にマーカーを 1 か所設置し, 軌道沿いにマーカー 4 か所設置した. 被験者の視線計測は視線計測装置 Tobii Pro Glasses2 (トビー・テクノロジー株式会社製)を使用した.

3. 結果および考察

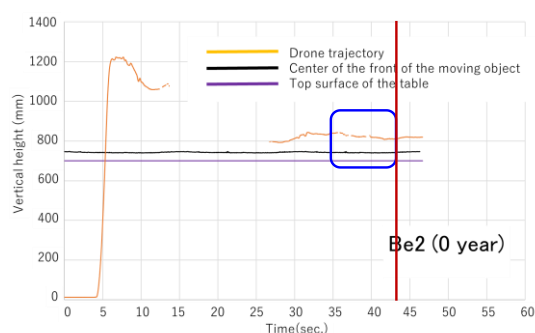
3-1. ドローンの高さ方向の軌跡

図 2 に経験年数 8 年の熟練者と初心者における離陸から移動体撮影までのドローンの高さ方向の軌跡を示す. 経験年数 8 年の熟練者は離陸後, 1200mm まで自動で上昇したのち 200mm から 300mm 程度降下して, 約 1 秒程度高さを保持していた. その後, テーブルの表面の高さとはほぼ同程度の高さまで降下して移動体を撮影していた. 一方, 初心者は離陸後, 1200mm まで自動で上昇したのち, 降下上昇を繰り返し, さらに

に計測フィールド内外を飛行し、移動体の正面より100mm程度上方を飛行して移動体を撮影していた。



(a)経験年数 8 年



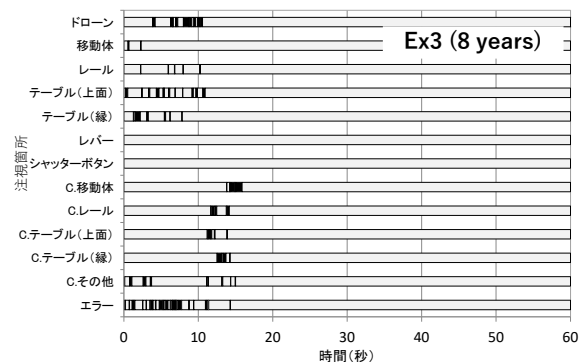
(b)初心者

図 2 離陸から移動体撮影までにおけるドローンの高さ方向の軌跡

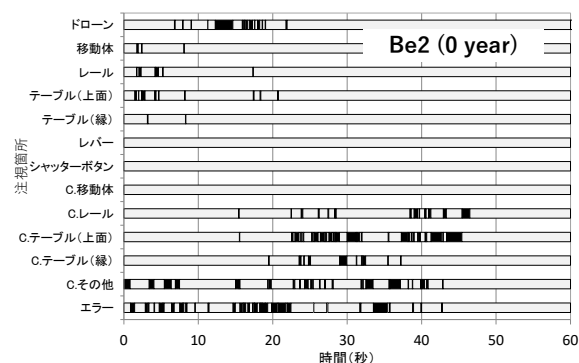
3-2.被験者の視線移動

図 3 にドローンの離陸から移動体撮影までにおける被験者の注視点を示す。経験年数 8 年の熟練者は、テーブルの高さとほぼ同程度にドローンを飛行させた後、コントローラ内の画面を約 5 秒間見ていることが明らかとなった。その際、最初にテーブルの上面や縁に注視しており、シャッターを押す直前は移動体に注視していた。一方、初心者は計測フィールド内に戻ってからコントローラ内の画面を約 25 秒間見ていることが明らかとなった。テーブルの上面に多くの注意を払い、テーブルの上面とレールに注視しながら、シャッターを押す直前には、レールに注視していた。そこで、シャッターを押すまでに両者が注視していた場所の時間割合を算出した。経験年数 8 年の熟練者は、移動体 36%，レール 17%，テーブル上面 13%であった。一方、初心者は、移動体 0%，レール 14%，テーブル上面 44%であった。これより、経験

年数 8 年の熟練者は、撮影直前には、ドローンの位置を決め、移動体に注視していたと考えられる。しかし、初心者は、ドローンの位置決めが不安定であり、テーブル上面に注視して、ドローンがテーブルに接触することのないように注視していたと考えられる。



(a)経験年数 8 年



(b)初心者

図 3 離陸から移動体撮影までにおける注視点

4. まとめ

熟練者は離陸後のわずかな時間で、移動体の撮影位置にドローンを飛行させ、移動体の正面に接近した後、移動体を注視して撮影していることが明らかとなった。

謝辞

本研究の遂行にあたり、中央ビジネスグループ太田智子氏に、多大なるご協力を賜りましたことに感謝の意を表します。

参考文献

1) 後藤彰彦, 木下拳伍, 藤田紘成, 太田智子: ドローンを利用した移動体の撮影に関する技分析, 日本機械学会 2025 年度年次大会, S043-03 (2025).

注視点変化にともなう視覚誘発電位の空間的変化の関数近似と 注視点推定への応用

Function Approximation of Spatial Distributions in Steady State Visual Evoked Potentials with Gaze Shifts and Its Application to Gaze Position Estimation

○尾崎大晟*, 中谷真太郎**, 荒木望*

*兵庫県立大学 **鳥取大学

OZAKI Taisei*, NAKATANI Shintaro**, ARAKI Nozomu*

*Graduate School of Engineering, University of Hyogo, **Tottori University.

1. はじめに

近年、ヒトの脳波を利用してコンピュータの操作を行うブレイン・コンピュータ・インタフェース (BCI) の研究が行われており、医療や娯楽といった幅広い分野での利用が期待されている。本研究では、BCI に利用される代表的な脳波である定常状態視覚誘発電位 (SSVEP) を使用する。SSVEP とは一定周期で点滅する視覚刺激によって誘発される脳波であり、視覚野のある後頭部においてその点滅刺激と同じ周波数の波形が現れる現象である。この現象を利用し、複数のメニューに異なる周波数の点滅を割り当てることで脳波から非接触でどのメニューを注視しているのかを推定する手法などが提案されている。しかし、刺激に使用できる周波数には制限があるため、限られた数の刺激周波数でより多くの情報を伝達することが課題となっている。

本研究ではこの課題の解決手法として、刺激パターンに対する注視点位置を変化させたときの視覚野における SSVEP の空間的変化を利用する手法を提案している¹⁾。本手法は、視交叉とよばれるヒトの視覚情報伝達経路の特性により、注視点に対する刺激位置が変化すると視覚野周辺での SSVEP 強度分布が変化する現象を利用している。我々はこの空間的変化から刺激パターンのどこを注視しているのかを推定する手法を確立することを目指している。これまでの調査により、この空間的変化は SSVEP の位相情報にも現れ、これらの特徴量は注視点の移動にともない連続的に変化することが確認できた²⁾。そのため、これまで本研究で行ってきた注視点をサポートベクターマシン (SVM) で離散的に分類する推定手法ではなく、回帰的なアプローチをとることで注視点の移動を無段階に推定し、情報伝達の効率を向上させることができる可能性があると考えられる。

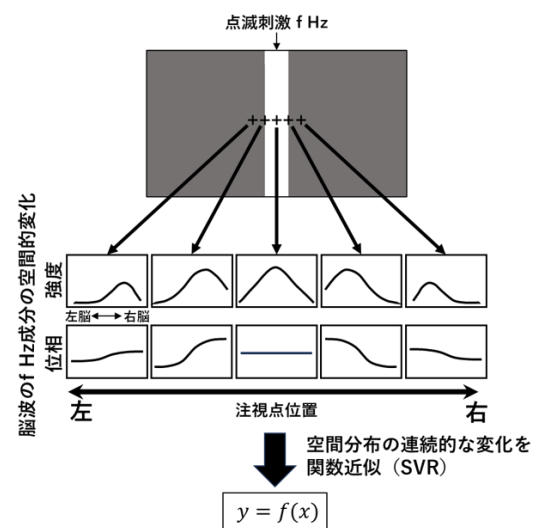


図1 提案手法の概要。注視点位置変化によって生じる脳波の空間的変化を関数近似する。

そこで本稿では、注視点変化にともなう SSVEP の空間的変化を関数近似することで連続的な視点推定を行う手法の有効性を検証した結果を報告する。

2. SSVEP の空間的変化の関数近似

図1に本手法の概要図を示す。図のように点滅刺激に対する注視点の位置が変化することで、刺激周波数に対する脳波の強度と位相の空間分布に連続的な変化が現れる。この強度と位相を特徴量 $\mathbf{x}$ とし、サポートベクター回帰 (SVR) を用いることで注視点位置を次のような非線形関数に近似することができる。

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) K(\mathbf{x}^{(i)}, \mathbf{x}) + c \quad (1)$$

ここで、 α_i と α_i^* は最適化されたラグランジュ乗数であり、カーネル関数 $K(\mathbf{x}^{(i)}, \mathbf{x})$ には RBF カーネルを用いる。この関数により、SSVEP の空間的特徴から注視点位置を連続的に推定可能となる。

3. 実験概要

提案手法の有効性の調査を目的とし、点滅刺激の周囲を水平方向に連続的に移動する注視点を注視させる実験を行った。まず、実験に使用した視覚刺激の概要を図2左に示す。本実験ではモニタ中央に16 Hzの帯状の点滅刺激を提示し、その周囲を水平移動する注視点を実験参加者が注視することでSSVEPを誘発した。はじめに学習用データの計測を目的とし、モニタ中央を基準として -4.3° から 4.3° の間を 2.16° 間隔で分割した5点を離散移動する注視点を提示・注視させる実験を行った。この実験では刺激時間を6秒間、無刺激時間を3秒間とし、左右両方を移動の始点としたものを1試行とした。この実験を試行間に45秒の休憩をとり、計3試行実施した。なお、各刺激中は視線追跡装置で参加者の視点を取得し、注視点を注視していない場合は再び同じ試行を行った。また検証用データの計測として、水平視野角 -4.3° から 4.3° の間を20秒かけて等速で移動させた注視点を注視する実験を行った。

脳波計測における電極位置は図2右に示す国際10-20法に基づいた後頭部左脳側O1, PO3, PO7, 右脳側O2, PO4, PO8, 後頭部中央Ozの計7か所とし、サンプリング周波数1000 Hzで計測を行った。また、実験で計測したデータは窓幅2000点、オーバーラップ1900点で分割し、離散フーリエ変換(DFT)を用いて周波数強度とOzを基準とした位相を求めた。これらの計13個を特徴量として、分類法であるSVMと関数近似法であるSVRに適用し、注視位置分類および推定を試みた。

4. 実験結果

注視点を連続的に変化させたデータに対するSVMとSVRによる視点位置推定結果を図3に、それぞれの推定誤差の比較を図4に示す。ここで、真値には実際に表示した注視点位置を用いている。まずSVMについて、学習データにない注視点位置のデータはその付近の学習データラベルに分類されると予想していたが、大きく外れた推定値となっている。さらに、学習データの角度分解能である 2.16° を上回る誤差がSVRより多くなっていることから、SVMは学習データのラベルの間を適切に補間できていないといえる。これに対し、SVRでは大きく外れた推定値が少なく、第3四分位数が 2.16° 以下となっていることから、学習ラベル間を適切に補間し

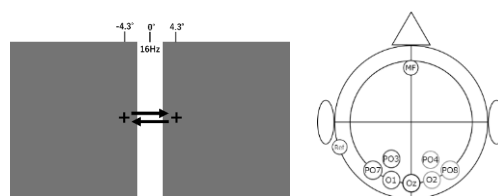


図2 視覚刺激概要(左)と脳波計測位置(右)

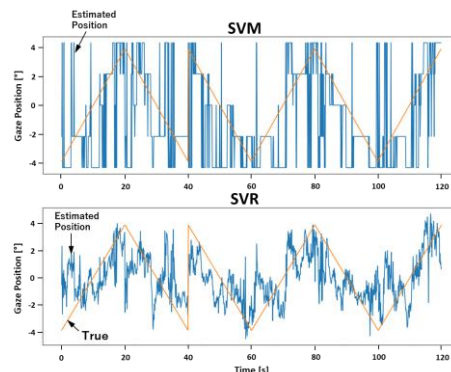


図3 分類と関数近似による視点位置推定結果

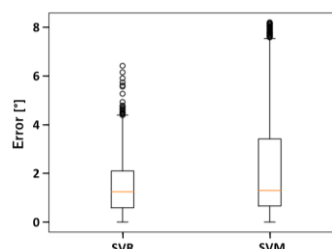


図4 関数近似と分類による推定誤差の比較

て関数近似を行えていると考えられる。これより、SVRを用いた関数近似は連続的な視点推定に有効であるといえる。

5. まとめ

本研究は、点滅刺激に対する注視点位置の変化にともなうSSVEPの空間的変化を関数近似することで連続的に視点推定を行う手法を提案し、有効性を調査した。その結果、関数近似によりSSVEPを連続的な視点推定に利用できる可能性が確認できた。今後は、実用化に向けた精度向上を目指す。

参考文献

- 1) 宮崎康佑 ほか：“視覚誘発電位に基づく空間情報利用型インタフェースの検討”，2021年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集，A1-1，pp. 35-38 (2021)
- 2) 尾崎大晟 ほか：“視覚刺激位置による視覚誘発電位の位相の空間的変化と注視点推定への応用”，2024年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集，GS3-1，pp. 55-56 (2024)

視覚誘発電位強度分布変化パターンのクラスタリングと 汎用視点推定モデル構築の試み

A Study on Clustering Spatial Distribution Data of Steady-State Visual Evoked Potentials for Gaze Point Estimator

○須藤尚之*, 中谷真太郎**, 荒木望*

*兵庫県立大学 **鳥取大学

SUDO Naoyuki*, NAKATANI Shintaro**, ARAKI Nozomu

*Graduate School of Engineering, University of Hyogo, **Tottori University

1. はじめに

近年、キーボードやマウス、タッチスクリーン、リモコンなどのユーザインタフェースは広く利用されているが、四肢に麻痺がある方々などにはこれらの操作に困難が生じる。このような背景から、体の動作が不要な脳波を利用したインタフェース (Brain Computer Interface: BCI) の開発が行われている。

BCI に用いられる特徴量の 1 つとして定常状態視覚誘発電位 (SSVEP) が挙げられる。SSVEP とは、人が点滅した光刺激に注目した際に視覚野から点滅に同期して発生する脳波のことである。これを利用して入力操作等を行う。SSVEP を用いた BCI はいくつかの手法が提案されている。本研究では光刺激に対する注視点位置によって SSVEP の強度が変化することを用いた視点推定器の構築を目指している。

我々の検討する手法では視覚刺激に対して注視点を変化させた際の脳波を視覚野の複数点で計測し、これを用いて視点推定のための分類器を学習させている。しかし各被験者のデータ数が少ないと十分な学習が行えない課題がある。この問題を解決するため、本研究では複数の被験者のデータをクラスタリングにより同一傾向をもつグループに分け、これらのグループ毎に汎用的な視点推定器を構築することを検討している。本稿ではリーマン多様体に基づく k-mean 法を適用して脳波データのクラスタリングを行い、その汎用推定器構築の可能性を検討した。

2. データ概要

本実験の被験者は 7 名とし各被験者でそれぞれ 2 回ずつデータを計測し、 i 番目の被験者の 1 回目、2 回目のデータをそれぞれ $si_1, si_2 (i = 1, \dots, 7)$ とした。被験者はモニターから 60cm 離れた位置で、モニターの中心を注視する。刺激周波数は 16Hz とし

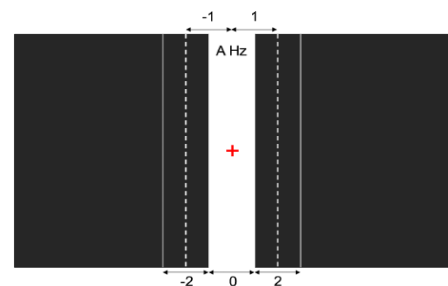


図 1 視覚刺激画面

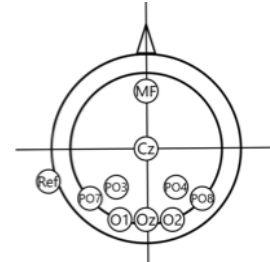


図 2 脳波計測電極配置

おり、図 1 に示すように、中心にある注視点位置に対して、白帯で示した刺激位置を変化させる実験を行った。刺激位置はモニター中央を 0 とし、そこから左側に視野角 2° ずらしたものを -1, -2, 右側に視野角 2° ずらしたものを 1, 2 とし、これを各刺激位置につき 1 度ずつ計 5 回提示したものを 1 試行とし、これを 5 試行行った。図 2 に示すように、電極配置は国際 10-20 法および拡張 10% 法に基づいて配置し、後頭部左側 O1, PO3, PO7, 後頭部右側 O2, PO4, PO8, 後頭部中央 Oz および頭頂部 Cz の計 8 チャンネルで計測している。測定されたデータを窓幅 2000 点、オーバーラップ 1900 点で離散フーリエ変換を適用し、得られた周波数強度のうち、視覚刺激周波数である 16 Hz の強度を SSVEP 強度データとして評価した。

図 3 に被験者 s1, s2 の解析結果を示す。縦軸 SSVEP 強度、横軸が注視点位置であり、青軸が左

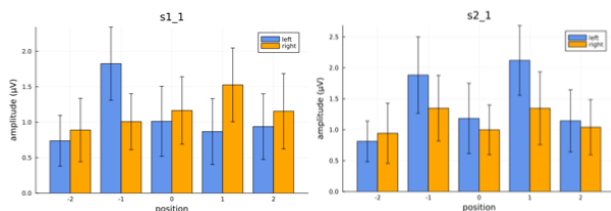


図3 視覚刺激に対する視点位置と左右脳波強度
(左：被験者 s1, 右：被験者 s2)

脳の O1, PO3, PO7 を平均した強度、オレンジ軸が右脳の O2, PO4, PO8 を平均した強度である。2つの被験者の SSVEP 強度分布を見てみると、特に注視位置 -1 および 1 において顕著な差が見られ、被験者 s1 は視覚刺激の逆側の強度が上昇する傾向があり、被験者 s2 はいずれも右側の強度が上昇する傾向がある。このように視覚刺激時の脳波の強度分布には顕著な個人差が存在している。このため、本研究室で進めている SSVEP を用いた視点推定器は、現在のところ個人毎に分類器の学習を行う必要がある。

3. クラスタリング

前節で述べたように、SSVEP の強度分布には顕著な個人差が存在する。そこで本研究では、複数の被験者のデータをクラスタリングすることで同一傾向をもつグループに分け、グループ毎に汎用的な視点推定器を構築することを検討している。ここではクラスタリング手法と結果について述べる。

5-1. クラスタリング手法

SSVEP 強度データはチャンネルと周波数の2次元の構造をもつが、脳活動は空間的相関を伴うため、元のデータでのクラスタリングは空間情報が十分に反映されない可能性がある。そこで、本研究では、強度データから共分散行列を算出し、各試行を対称正定値 (SPD) 行列として表現することで、多様体構造を考慮する¹⁾。そして、得られた SPD 行列を対象に、リーマン多様体に基づく k-means 法を用いてクラスタリングを行った。

5-2. クラスタリング結果

ここではクラスタリングの妥当性を検証するため、脳波の個人内のばらつきが個人間の差異よりも小さいと仮定し、前述の手法で個人ごとのクラスタリングを試みた。分類クラスター数7として前述の手法により計14個のデータが被験者ごとに分類されるかの検証を行った。

表1にクラスタリングの結果を示す。本手法によ

表1 クラスタリング結果		
クラスター名	データ名	
a	s1_1	s1_2
b	s2_1	s2_2
c	s3_1	
d	s3_2	
e	s4_1	s4_2 s5_1
f	s5_2	
g	s6_1	s6_2 s7_1 s7_2

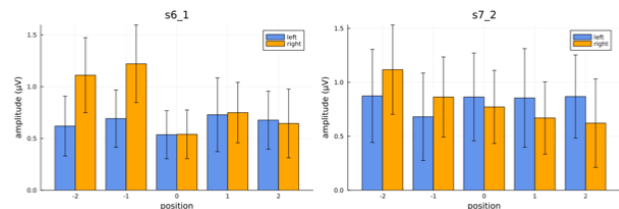


図4 同一クラスターに分類されたデータの視点位置と左右脳波強度 (左：s6_1, 右：被験者 s7_2)

り、全データはクラスターa～gの7つのいずれかのクラスターに分類された。表には各クラスターに含まれるデータ名を示している。

被験者 s3 および s5 を除き、同一被験者の2回分のデータは同じクラスターに分類された。このことから被験者 s3 および s5 は個人内のばらつきが大きいと考えられる。

また、クラスター g には被験者 s6 と被験者 s7 のすべてのデータが含まれている。このことより、被験者 s6 と被験者 s7 は同一の傾向を有していると考えられる。図4にこのクラスター g の s6_1 と s7_2 の SSVEP 強度分布を示す。これより、注視点-1, -2の時の右脳側の SSVEP 強度が強い傾向にあるということがわかる。

以上より、本手法により同一傾向の脳波データをクラスタリングできる可能性を示した。

4. おわりに

本稿では k-mean 法によるクラスタリングによって被験者の脳波を傾向ごとに分類する可能性を示した。今後は、これらのクラスタリング結果を用いて同一クラスター毎の汎用的なシステムの構築を検討する。

参考文献

- 1) Barachant, A. et al., 「Classification of covariance matrices using a Riemannian-based kernel for BCI applications」, 2013.

仮想運転環境における映像提示方法が視覚探索方略に与える影響

Influence of Visual Presentation Methods on Visual Search Strategies in Virtual Driving Environment

○辻本恵祐*, 山中仁寛**

*甲南大学大学院自然科学研究科 **甲南大学知能情報学部

TSUJIMOTO Keisuke*, YAMANAKA Kimihiro**

*Graduate School of Natural Science, Konan University,

**Faculty of Intelligence and Informatics, Konan University.

1. はじめに

近年、先進技術を搭載した自動車の開発においてドライビングシミュレータ（以下、DS）が活用されている。DS は、実験条件の変更に対する柔軟性が高く、再現性・安全性にも優れていることから、新しいシステムを実車へ搭載する前段階のテストにおいて欠かせないツールとなっている。DS を用いた実験は実車走行を模擬したものであり、実車での走行感覚に近いほど有意義な実験であると言える。近年では、実車での走行感覚を実現できる DS が複数開発されており、複数のプロジェクタやディスプレイを用いた多面スクリーン型、ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）型、CAVE・CABIN・COSMOS などの没入型の 3 タイプに大別される。また、座席の振動や傾きなどのモーションを再現する機構を備えたものも存在する。しかしながら、DS は実車での操作感覚や走行感覚を完全に再現しているとは言えないため、ドライバは実車と異なる視認行動をとる可能性がある。そのため、DS における映像提示方法の違いが、視野角や空間知覚などの要素を通じてドライバの視認行動に与える影響を検討することは重要である。

先行研究^{1),2)}では、単一画面の従来型 DS と HMD 型 DS を用いて運転挙動を比較し、HMD 型 DS の妥当性を評価している。その結果、車線変更やブレーキ操作までの反応時間には DS 間で有意な差がないことを明らかにしている。また、Walch ら³⁾は、多面スクリーン型と HMD 型 DS を用いて走行実験を行い、感情状態や没入感、シミュレータ酔いの程度などの違いを主観アンケートにより比較している。このように、DS の違いに関する研究では、アクセルやハンドルの操作量などの車両パラメータの分析や主観評価による比較が多く見られる。したがって、映像提示方法の違いがドライバの視認行動特性に与え

る影響を、客観的指標に基づいて詳細に検討することが求められる。

上記背景に鑑み、本研究では、多面スクリーン型 DS と HMD 型 DS を用い、映像提示方法の違いがドライバの視覚探索方略に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 比較実験

2-1. DS の構築

本研究では、開発環境として Unity 2021.3.15f1 を使用し、多面スクリーン型 DS と HMD 型 DS をそれぞれ開発した。図 1 に開発した DS の写真を示す。これらの DS では、Logicool G29 を用いることで仮想運転環境でのステアリング操作を可能とした。なお、本システムでは、映像出力装置を DS の種類によって異なるものとした。多面スクリーン型 DS では、acer 社製 31.5 インチディスプレイ（EB321HQUDbmidphx: 2560×1600 pixels）を 3 台使用し、設置画角を 150°、映像画角を 195°とした。HMD 型 DS では HTC 社製 HMD（VIVE Pro Eye, 2880×1440 pixels）を使用し、映像画角を 104°とした。

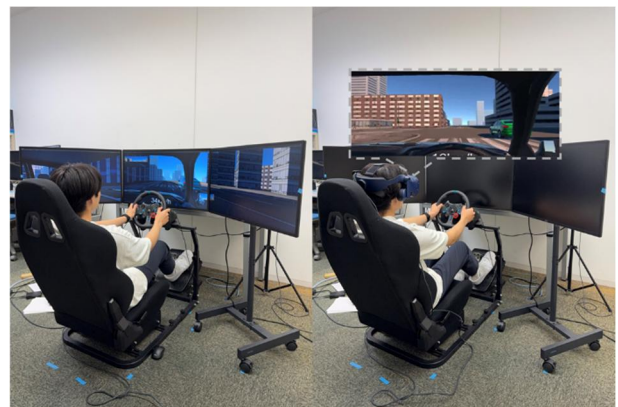


図 1 DS（左：多面スクリーン型，右：HMD 型）

2-2. 実験手順・方法

2 種類の DS で図 2 に示す市街地コースで走行実

験を行い、その際の被験者の眼球運動および頭部運動を計測した。この市街地コースは、他車、信号、歩行者が存在するリアルな交通環境を再現している。被験者は、普通自動車免許を所持する20～22歳（平均21.1歳）の大学生男女12名（男性：9名、女性：3名）であり、あらかじめ実験内容を説明した上で実験参加への同意を得た。被験者は、事前に両DSで運転操作の練習を行い、運転に必要な車両感覚と運転技量を習得した。その後、被験者毎にキャリブレーションを実施し、走行実験はランダムな順序で行った。また、実験終了後には、運転タスク中の身体的負担感の程度や情報探索の容易さなどを問うアンケートを実施し、ドライバの視認行動を評価する主観的評価指標とした。表1にアンケート項目を示す。アンケートは8項目で構成し、各項目のスコアは「7：非常にそう思う」から「1：全くそう思わない」の7段階のリッカート尺度とした。



図2 市街地コース

表1 アンケート項目

No.	質問
1	運転中に必要な情報をすばやく見つけることができたか
2	必要な情報を探すのに迷うことがあったか
3	視野全体を把握しやすかったか
4	気になる部分にすぐ注意を向けられたか
5	操作や環境に違和感なく集中できたか
6	頭や目を大きく動かす必要があったか
7	疲労感があったか
8	シミュレータの使用中に映像酔いはあったか

2-3. 評価指標

映像提示方法がドライバの視覚探索方略に与える影響を調査するため、走行実験中に眼球運動および頭部運動を計測した。HMD型DSではVIVE Pro Eyeを、多面スクリーン型DSではTobii Pro Glasses 3を用いて、それぞれ眼球運動と頭部運動を取得した。得られたデータのうち、眼球運動、頭部運動、眼球・頭部協調運動を客観的評価指標として用い、映像提示方法の違いによるドライバの視覚探索方略の差異を検討する。

3. おわりに

本研究では、異なる映像提示方法がドライバの視覚探索方略に与える影響を検討するため、2種類のDSを構築した。その後、ドライバの視認行動特性を比較する走行実験を行い、実験後にアンケートを実施した。図3に示すアンケート結果によると、3つの項目でDS間に有意差が見られた。このことから、映像提示方法の違いによって視認行動に差が生じる可能性が示唆された。今後は、詳細に検討していく必要がある。

学会発表では、走行実験で収集した視線行動データの分析結果を報告し、映像提示方法の違いによる視覚探索方略の差異について考察を行う予定である。

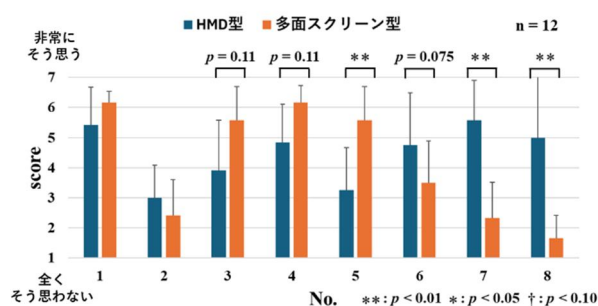


図3 アンケート結果

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP23K04313（基盤研究C）の助成を受けた。

参考文献

- 1) Weidner F et al.: Comparing VR and Non-VR Driving Simulations: An Experimental User Study, 2017 IEEE Virtual Reality (VR), pp.281-282 (2017).
- 2) Bennett C et al.: Immersive Virtual Reality Simulation as a Tool for Aging and Driving Research, ITAP2016, Part II, LNCS9755, pp.377-385 (2016).
- 3) Walch M et al.: Evaluation VR Driving Simulation from a Player Experience Perspective, Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.2982-2989 (2017).
- 4) Cyriel D et al.: Geometric field of view manipulations affect perceived speed in driving simulators, Advances in Transportation Studies an international Journal Section B 22, pp.53-64 (2010).

視線計測による心理的レジリエンスの推定～社会人を対象とした実験結果と推定可能性の検討～

Abstract Estimating Stress Resilience Using Eye-Tracking: Experimental Result and an Assessment of Estimation Feasibility in Working Adults

○久保山 叡気*, 牟田伊武希*, 松井北斗**, 小谷賢太郎*, 鈴木哲*, 朝尾隆文*

*関西大学 システム理工学部 **関西大学大学院 理工学研究科

KUBOYAMA Eiki*, MUTA Ibuki*, MATSUI Hokuto**, KOTANI Kentaro*, SUZUKI Satoshi*, ASAO Takafumi*

*Faculty of Systems Science and Engineering, Kansai University, ** Kansai University Graduate School of Science and Engineering

1. 序論

近年, うつ病を代表とする精神疾患の患者数は増加傾向にあり, メンタルヘルス不調の予防が注目されている^{[1][2][3]}. ストレスへの脆弱性に関する個人差の理解に対して, 近年はレジリエンスという概念が注目^[4]されている.

レジリエンスとは, ストレスを経験したときに心理的な健康状態を維持し, 疾患になっても健康的な状態へ回復していく力と定義されている^[4]. レジリエンスの測定にはアンケートが用いられることが一般的^{[4][5][6]}であるが, 近年では注意バイアスと関連づけた客観的な評価方法^[7]が注目されている. 注意バイアスとは, 抑うつ・不安の強い人が情報処理の過程において示す偏りで, 感情刺激への選択注意のこと^[7]であり, レジリエンスはこれらの選択的注意に関連していると考えられている^[7]. ドットプロブ課題^{[8][9]}を用いて感情刺激に対する注意バイアスの個人差やレジリエンスとの関連を調査した結果では, ポジティブな感情刺激への注意の増加からレジリエンスを測定できる可能性があると示唆している^[7]. しかし一方で, ドットプロブ課題のような反応時間での評価では個人の運動機能の差や, 行動に対する慣れなどの様々な要因から, 直接的ではないため信頼性が低く課題が多いという指摘も存在する^[10]. そこで直接的に注意バイアスを測定するための方法として視線計測が挙げられる^{[10][11]}.

これまで, 大学生と中学生に対して視線計測を用いたレジリエンスの推定を行い, 大学生のレジリエンスを予測する回帰式の自由度調整済み決定係数 $R^2 = 0.47$, 中学生のレジリエンスを予測する回帰式では $R^2 = 0.67$ と, 視線情報をもとにレジリエンス推定が可能であるという結果が得られている^{[12][13]}. 先行研究^[15]では, レジリエンス得点と年齢の間に正の相関が見られたことが報告されており, レジリエンスは固定的ではなく, 年齢とともに変容していくものとされている. そこで, 広い年代でのレジリエンス推定の可能性を調査するために, 若年層である学生から年齢層を増やし, 社会人を対象として実験を行った.

本研究では, 先行研究^{[12][13]}よりも大きな参加者群に対する視線計測によるレジリエンス推定の有効性の調査を研究目的とする. 先行研究^{[12][13]}では中学生

と大学生という若年層を対象にしていたのに対し, 本研究では20代から60代までの生産年齢層を対象とした.

2. 実験

2-1 実験参加者

実験には企業に所属する従業員 51 名に協力していただいた. 実験参加者は 20 代から 60 代(男性 41 名で平均年齢 46.7 歳, 女性 10 名で平均年齢 42.0 歳)であった. 実験参加者に対してインフォームドコンセントとして口頭で説明し, 書面で同意を得た.

2-2 実験装置

本実験では視線計測装置としてタブレット(iPad Pro 12.9 インチ)を使用した. 実験参加者の眼の位置とタブレット端末の距離が 30-40cm の間になるよう固定し視線計測を行なった.



図 1 実験装置

実験に用いる提示画像として, Karolinska Directed Emotional Faces database (KDEF)^[16](以下感情画像)と The Geneva affective picture database(GAPED)^[17](以下情動写真)という 2 種類の情動刺激画像から選択して使用した. 感情画像^[16]は 490 枚の人間の表情画像を有するデータベースを用いて, 画像に対する感情的な内容, 強度, 覚醒度について評価を行ったものである. 情動写真^[17]は 730 枚の写真からなる視覚的情動刺激の利用可能性を高めるために作成されたデ

データベースを用いて、それぞれの写真に対する印象を感情価として評価したものである。

感情画像からは中立表情(Neutral)、幸せな表情(Happy)、怒り表情(Angry)を男性の画像 15 枚、女性の画像 15 枚で使用した。男性、女性でそれぞれ、中立表情(Neutral)を 30 枚、笑顔の表情(Happy)を 15 枚、怒りの表情(Angry)を 15 枚使用した。なお、情動刺激画像を使用する際、中立と情動の 2 枚の画像をペアとして対にして呈示するが、対になる画像には人物が一致している画像を用いた。男性、女性の画像共に 30 組の情動画像のペアを作成した。これらの画像は先行研究^[16]で示されている各画像の感情に対する正答率が高い順に選択した。

情動写真では風景や人、動物などのさまざまな画像が用意されている。今回の実験ではその中から、中立画像(Neutral)、ポジティブ画像(Positive)、ネガティブ画像(Negative)を選択した。中立画像(Neutral)が 30 枚、ポジティブ画像(Positive)が 15 枚、ネガティブ画像(Negative)が 15 枚の計 60 枚 30 組の画像を実験では用いた。これらの画像は先行研究^[17]で定義されている感情価の数値をもとに選択した。感情価は 0-100 点で定義されており、数字が大きいほどポジティブ、小さいほどネガティブ、中央寄りだと中立という解釈をする。ポジティブ画像は感情価が大きい順に、ネガティブ画像は感情価が小さい順に、中立画像は、感情価 50 点から大きい方と小さい方に等しい割合で選択した。なお、ネガティブ画像については、内容が極めてグロテスクなものも存在するため、これらのものを排除した上で選択した。

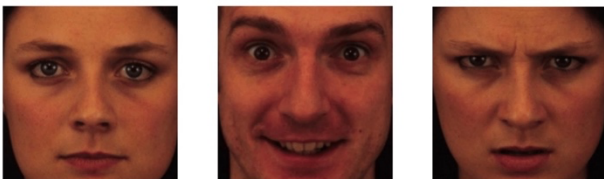


図 2 中立表情(左)・笑顔の表情(中央)・怒りの表情(右) ^[16]

2-3 実験手順

実験参加者はタブレットにペアで表示される情動刺激画像を自由に観察した。情動刺激画像は必ず中立刺激と情動刺激をペアにして提示した。

本実験では、実験参加者に固視点とその左右に提示される画像以外へは視線を動かさないこと、頭部や身体的位置を動かさないこと、左右に提示される画像を必ず一度は目視することを指示した。次に実験参加者の目とタブレット端末の距離が 30-40cm の間であることを確認した後、実験者が端末上の START ボタンを押して実験を開始した。固視点(「+」記号)を 1.5 秒間画面中央に提示、この固視点の消失と同時に黒点または情動刺激画像を 3.0 秒間提示し、消失後に再び固視点を提示した。このサイクルを 1 試行とした。なお、固視点の「+」の大きさは、視野角 $2.6^{\circ} \times 2.6^{\circ}$ である。実験参加者は、固視点提示中は固視点を注視し、画像提示中は左右に提示された画像を任意に視線移動しながら観察した。実験全体は 32 試行で構成し、始めの 2 試行は黒点を左右に順に提示し、固視点→黒点→固視点→黒点、と順

に注視するよう説明した。この 2 試行でキャリブレーションを行うことで、3 試行目以降の視線情報の補正を行った。画像提示は 3 試行目以降の計 30 試行で実施し、60 枚の情動刺激画像を使用した。

1 度目の実験では、情動刺激画像は感情画像を使用し、2 度目の実験では情動写真を使用して同様に実験を行った。



図 3 情動写真を用いた実験での 1 試行の画面推移

すべての視線計測実験が終了した後、実験参加者はレジリエンスアンケートに回答した。

2-4 データ解析

実験から得た水平方向の視線情報から、注意バイアスを評価する 5 つの視線指標^{[11][18]}を取り出したものを説明変数とした。5 つの視線指標は、最初のサックード(First Fixation : x_1)、最初のサックード潜時(Latencies : x_2)、最初のサックード滞留時間(Dwell Time : x_3)、頻度(Frequency : x_4)、総時間(Viewing Time : x_5)である。なお、実験で提示されるポジティブ画像を P、もう一方の画像を対称画像として C としている。

最初のサックードとは、画像が呈示されたときに、最初に左右のどちらの画像に注意を向けるかの回数割合を指す。First P[-]は、画像呈示後に最初にポジティブ画像に注意を向けた試行の回数を、First C[-]は、画像呈示後に最初に対称画像に注意を向けた試行の回数を表す。値が 0.5 より大きければ、画像呈示開始時にポジティブ画像に注意を向けやすいことがわかる。

$$\text{First Fixation} = \text{First P} / (\text{First P} + \text{First C}) \quad (1)$$

最初のサックード潜時とは、画像が呈示されたときに、最初にサックードを行った時のサックード潜時の割合を指す。Latencies P[-]は、最初のサックードがポジティブ画像に向かう際にかかった時間の平均値を、Latencies C[-]は、最初のサックードが対称画像に向かう際にかかった時間の平均値を表す。値が 0.5 より小さければ、ポジティブ画像への潜時が短く、より速くポジティブ画像へ注意を向けていることがわかる。

$$\text{Latencies} = \text{Latencies P} / (\text{Latencies P} + \text{Latencies C}) \quad (2)$$

最初のサックード滞留時間とは、画像が呈示され最初にサックードを行った時、画像に視線が留まった時間の割合を指す。Dwell Time P[-]は、最初のサックードでポジティブ画像に視線を向け、その画像に視線が留まった時間の平均値を、Dwell Time C[-]

は、最初のサックードで対称画像に視線を向け、その画像に視線が留まった時間の平均値を表す。値が0.5以上であれば、より長く最初のサックードで向けた注意がポジティブ画像に留まっていたことがわかる。

$$\text{Dwell Time} = \text{Dwell Time P} / (\text{Dwell Time P} + \text{Dwell Time C}) \quad (3)$$

頻度とは、全試行において、ポジティブ画像に注意を向けた回数割合を指す。Frequency P[-]は、1試行でポジティブ画像に注意を向けていた回数を全試行分合計した値を、Frequency C[-]は、1試行で対称画像に注意を向けた回数を全試行分合計した値を表す。値が0.5以上であれば、ポジティブ画像への注意を向ける頻度が高かったことがわかる。

$$\text{Frequency} = \text{Frequency P} / (\text{Frequency P} + \text{Frequency C}) \quad (4)$$

総時間とは、全試行において、ポジティブ画像に注意を向けていた時間割合を指す。Viewing Time P[s]は、1試行でポジティブ画像を見ていた時間を全試行分合計した値を、Viewing Time C[s]は、1試行で対称画像を見ていた時間を全試行分合計した値を表す。値が0.5以上であれば、ポジティブ画像を見ていた時間が長かったことがわかる。

$$\text{Viewing Time} = \text{Viewing Time P} / (\text{Viewing Time P} + \text{Viewing Time C}) \quad (5)$$

先行研究^[7]では、ポジティブ刺激に対する注意バイアスとレジリエンスの高さが関連していることが報告されているため、本実験では、ポジティブな画像への注意の向け方を視線指標から数値化した。

本実験では、目的変数として、先行研究^[5]にて作成された、精神的回復力尺度(ARS: Adolescent Resilience Scale)^[6]を利用したレジリエンスアンケートを用いた。この尺度は21項目の質問で構成されており、それぞれの質問に対して、「はい:5」、「どちらかというとはい:4」、「どちらでもない:3」、「どちらかというといいえ:2」、「いいえ:1」の5段階で解答する。範囲は21~105点である。

このアンケート得点を目的変数、視線軌跡から得られた視線指標を説明変数として、重回帰分析を行い、レジリエンスを推定する回帰式を導出した。自由度調整済み決定係数 R^{*2} を考慮して、決定係数の値が最大になる時の説明変数の組み合わせを選出した。また、目的変数であるレジリエンスアンケートの得点を y とする。

3. 実験結果

感情画像の場合、 $R^{*2} = 0.50$ であり、説明変数に、Latencies(x_2)、Frequency(x_4)、Viewing Time(x_5)を含む式(6)となった。

$$y = -209x_2 - 62x_4 + 32x_5 + 193 \quad (6)$$

情動写真の場合、 $R^{*2} = 0.57$ であり、説明変数に、First Fixation(x_1)、Dwell Time (x_3)、Frequency(x_4)を含む式(7)となった。

$$y = 24x_1 - 9x_3 + 177x_4 - 27 \quad (7)$$

図4中の左図に、感情画像を用いた場合のアンケート得点と回帰式によるレジリエンス推定値の関係、

図4中の右図に、情動写真を用いた場合のアンケート得点と回帰式によるレジリエンス推定値の関係を示す。

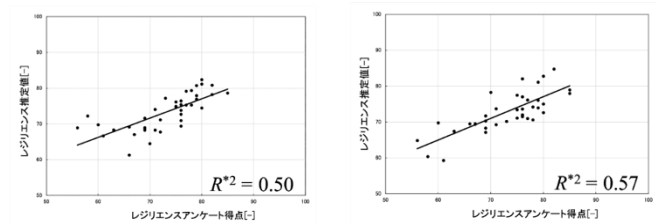


図4 アンケート得点と回帰式による推定値の関係 (左：感情画像，右：情動写真)

4. 考察

感情画像を使用した場合のレジリエンスアンケート得点を推定する回帰式では、自由度調整済み決定係数 R^{*2} は0.50[-]であり、情動写真を使用した場合の回帰式では、自由度調整済み決定係数 R^{*2} は0.57[-]であった。大学生を対象とした視線計測によるレジリエンス推定の実験^[14]において、

First Fixation (x_1) について、レジリエンス得点との相関係数は、感情画像と情動写真のどちらの条件でも相関は無く、最初のサックード方向はレジリエンス推定にはあまり影響しないという結果となった。一方で先行研究^[14]では、情動写真の条件において強い負の相関が得られており、今回の結果とは異なる結果となった。

Latencies (x_2) について、レジリエンス得点との相関係数は、感情画像とは強い負の相関、情動写真とは弱い負の相関が存在するという結果となった。このことから、感情画像について、低レジリエンス者はネガティブ刺激に対して素早く注意を向けるため、Latencies と負の相関が得られたと考えられる。この結果は先行研究^[14]の傾向とも一致している。

Dwell Time (x_3) について、いずれの条件においても説明変数と目的変数の間に相関は得られなかった。これは先行研究^[14]の結果とも一致しており、最初のサックード滞留時間とレジリエンス得点との関係は薄いと考えられる。

Frequency (x_4) について、レジリエンス得点との相関係数は、感情画像とは弱い負の相関、情動写真とは強い正の相関が存在するという結果になった。この結果から感情画像について、低レジリエンス者はネガティブ刺激を見る回数が比較的少ないと言える。一方で、情動写真については、低レジリエンス者はネガティブ刺激に注意を向けた回数が多いと言える。これは低レジリエンス者がネガティブ刺激を見る回数が多かった先行研究^[14]とは逆の結果となった。

Viewing Time (x_5) について、レジリエンス得点との相関係数は、感情画像とは無相関だったが、情動写真とは正の相関が得られた。このことから情動写真については、低レジリエンス者はネガティブ刺激を見る時間が長いと解釈できる。これは先行研究^[14]の結果とも一致しており、先行研究^[20]にもあるように、不安傾向者がネガティブ刺激から注意を解放することが困難であること、情動写真は感情画像と

比べて内容の理解や認識に時間がかかることなどが影響して、情動写真については Viewing Time と負の相関があったと考えられる。

Reed らの研究^[21]によれば、人間は加齢に伴い、「情報獲得」から「情動の安定」へとシフトし、ポジティブな情報への選択的注意が生じやすくなる。この理由として、社会人は対人脅威(怒り顔など)を早期に回避し、ポジティブ刺激へ注意を割り振る一方で、状況脅威(不快を含む情景など)に対しては日常のリスク管理という目標からネガティブ刺激の確認・モニタリングが増え得るからであると考えられている。よって社会人において、感情画像ではネガティブ刺激への注意が小さく、情動写真ではネガティブ刺激への注意が大きくなるという結果が、大学生を対象としている先行研究^[14]と逆になったことは整合性が取れていると考えられる。

感情画像を用いた場合の R^2 は 0.55[-], 情動写真を用いた場合の R^2 は 0.70[-] という結果が得られており、今回の結果は先行研究^[14]と比較すると決定係数が低いという結果になった。先行研究では 21-24 歳の大学生を対象に実験している一方で、本実験では 20-60 歳以上の社会人を対象に実験を行っており、実験参加者の年齢の幅が圧倒的に広いと言える。今回、より広い範囲の実験参加者を対象にレジリエンス推定を行ったことで、レジリエンス傾向にばらつきが生じ、回帰式の決定係数が先行研究よりも低くなったと考えられる。また、実験参加者の人数が本研究では 51 人程度であるのに対し、先行研究^[14]では 21 名と 2 倍以上であることもデータのばらつきに影響していると考えられる。

参考文献

- [1] OECD. 「A New Benchmark for Mental Health Systems」メンタルヘルスに関する国際調査 (2025. 10. 30 閲覧).
<https://www.oecd.org/health/a-new-benchmark-for-mental-health-systems-4ed890f6-en.htm>
- [2] 厚生労働省 令和 4 年(2022)患者調査の概況 精神疾患を有するそう患者数の推移. (2025. 10. 30 閲覧).
<https://www.mhlw.go.jp/content/12200000/000940708.pdf>
- [3] 厚生労働省 令和 5 年度 精神障害に関する事案の労災補償状況. (2025. 10. 30 閲覧).
https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_40975.html
- [4] 齊藤和貴, 岡安孝弘. (2010). 大学生用レジリエンス尺度の作成. 明治大学心理社会学研究, 5, 22-32.
- [5] 小塩真司, 中谷素之, 金子一史, 長峰伸治. (2002). ネガティブな出来事からの立ち直りを導く心理的特性-精神的回復力尺度の作成-カウンセリング研究, 35(1), 57-65.
- [6] 平野真理. (2010). レジリエンスの資質的要因・獲得的要因の分類の試み-二次元レジリエンス要因尺度(BRS)の作成-, 19(2), 94-106.
- [7] Thoern, H. A., Grueschow, M., Ehlert, U., Ruff, C. C. & Kleim, B. (2016). Attentional bias towards positive emotion predicts stress resilience. PloS one, 11(3), e0148368, 1-8.
- [8] 上田紋佳, 澤山郁夫. (2020). 高不安者を対象とした注意バイアス修正法を実装したアプリの開発. Bulletin of Graduate School of Education, Okayama University, 173, 11-22.
- [9] 倉重乾, 田中恒彦. (2018). 注意バイアス修正の手續きと臨床効果の展望. 新潟大学教育学部研究紀要 11(1), 21-30.
- [10] Lazarov, A., Abend, R. & Bar-Haim, Y. (2016). Social anxiety is related to increased dwell time on socially threatening faces. Journal of Affective Disorders, 193, 282-288.
- [11] Waechter, S., Nelson, A. L., Wright, C., Hyatt, A. & Oakman, J. (2014). Measuring attentional bias to threat: Reliability of dot probe and eye movement indices. Cognitive therapy and research, 17(3), 313-333.
- [12] 小谷賢太郎, 前芝直輝, 朝尾隆文, 鈴木哲. (2024). タブレット端末を用いた視線データによる心理的レジリエンス推定, 産業保健人間工学研究, 24(1), 5-16.
- [13] Tomoki.YOKOTA, Kentaro.KOTANI, Takafumi.ASAO, Satoshi.SUZUKI. (2023). Estimation of stress resilience from eye-gaze data collected by a tablet terminal when performing a dot probe task: Application to junior high school students. HCI International 2023 -Late Breaking Papers.
- [14] 松井北斗. (2023). 視線計測による心理的レジリエンスの推定-使用画像の種類と注意バイアスの関係-. 関西大学卒業論文
- [15] Gooding, P. A., Hurst, A., Johnson, J. & Tarrier, N. (2012). Psychological resilience in young and older adults. International Journal of Geriatric Psychiatry, 27, 262-270.
- [16] Karolinska Directed Emotional Faces (KDEF) documents. (2025. 10. 30 閲覧).
<https://www.ugent.be/pp/ekgp/en/research/research-groups/panlab/kdef>
- [17] Dan-Glauser, E. S. & Scherer, K. R. (2011). The Geneva affective picture database (GAPED): a new 730-picture database focusing on valence and normative significance, 43(2), 468-477.
- [18] Skinner, I. W., Hübscher, M., Moseley, G. L., Lee, H., Wand, B. M., Traeger, A. C., Gustin, S. M. & McAuley, J. H. (2018). The reliability of eyetracking to assess attentional bias to threatening words in healthy individuals. Behavior Research Methods, 50(5), 1778-1792.
- [19] 統計 web. 決定係数と重相関係数(2025. 10. 30 閲覧).
<https://bellcurve.jp/statistics/course/9706.html>
- [20] 南田歩美, 甲斐圭太郎, 富田望, 熊谷真人, & 熊野宏昭. (2020). 社交不安と怒り顔に対する接近的注意バイアス, および注意の向け方に関するメタ認知的信念の関連性. 早稲田大学臨床心理学研究, 20(1), 5-11.
- [21] Reed, A. E. & Carstensen, L. L. (2012). The theory behind the age-related positivity effect. Frontiers in Psychology, 3, 339.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00339>

一般セッション 2

AI・モデル

60 周年記念館 2 階大セミナー室

10:00~11:35

画像生成 AI でのファッション属性制御手法の研究

A Study on Fashion Attribute Control Methods Using Image Generative AI

○川波晋太郎*, 崔 童殷*, 桑原教彰*

*京都工芸繊維大学大学院

KAWANAMI Shintaro*, KUWAHARA Noriaki*

*Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

1. 序論

近年、拡散モデル (Diffusion Model) を基盤とする画像生成技術が急速に発展し、Stable Diffusion に代表される高精度な生成モデルはファッション、デザイン、医療など多分野に応用されつつある。特にファッション分野では、従来の CAD ベースの設計や写真撮影に代わり、生成 AI による仮想着衣画像 (Virtual Try-on) やスタイル提案が注目されている。

しかし、AI が生成した画像は見た目の整合性が高い一方で、「ゆったり」「光沢」「明るさ」など感性語に基づく属性的一貫性が保証されていない。同一のプロンプトでも出力画像間で属性強度が揺らぐことが多く、人間の知覚とモデル内部の潜在表現が対応しているとは限らない。

本研究では、Realistic Vision V5.1 Inpainting モデルを用い、ファッション画像の 4 属性 (fit, lightness, material, pattern scale) を潜在空間上で制御する枠組みを構築した。さらに、各属性軸の線形性・中央性・直交性を指標化する品質管理ループ (Quality Control: QC) を設計し、ChatGPT によるプロンプト改善を取り入れた生成-検証-改善サイクルを確立した。加えて、2AFC (二択強制選択) 法による主観評価と、CLIP 埋め込み¹⁾に基づく客観評価を統合し、生成 AI における「知覚的信頼性 (perceptual reliability)」を定量的に検証することを目的とする。

2. 実験方法

本研究では、Stable Diffusion の API を介して Realistic Vision V5.1 Inpainting モデルを使用し、女性トルソが着用する T シャツ画像を対象に実験を行った。対象属性は fit (フィット感), lightness (明るさ), material (質感), pattern scale (模様スケール) の 4 種である。全体構成を図 1 に示す。

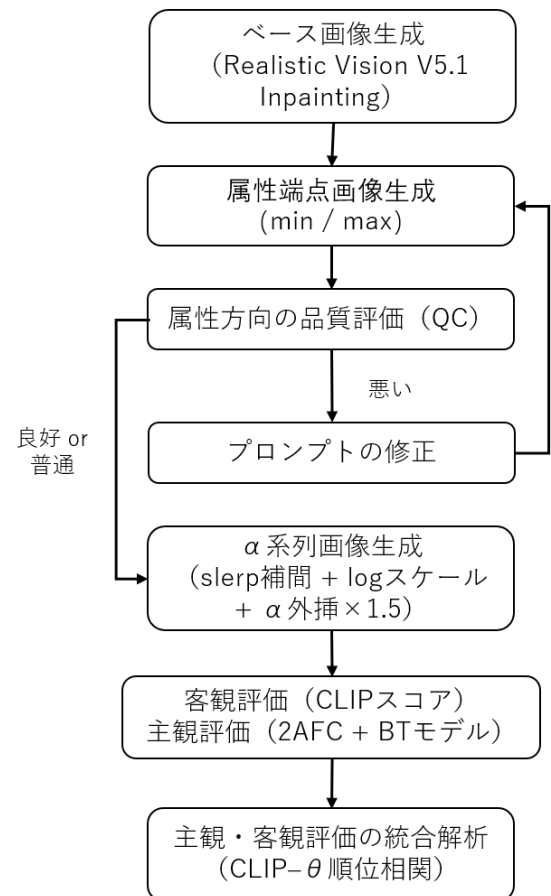


図 1 ファッション属性の評価パイプライン概要

2-1. ベース画像と min/max 端点画像の生成

まず、inpaint モードを用いて neutral beige fabric mannequin (中立的ベージュ生地トルソ) に T シャツを着用したベース画像を 5 枚、用意した。denoise 値を 0.5~0.75 の範囲で調整し、最も自然な画像を選定した。

次に各属性について min/max プロンプトにより min/max 端点画像を生成し属性方向の線形性 Δ と中央性 c を算出した。これらを平均して属性軸の安定性を評価し、属性の変化が安定的、かつベース画像が中点近傍に位置するように調整した。図 2 に本

研究で使用した女性トルソ，生成したベース画像の例を示す．



図2 トルソ画像（左）とベース画像の例（右）

2-2. LLM によるプロンプト改善ループ

前述の調整は以下の LLM によるプロンプト改善ループ（QC ループ）で実施した．QC ループの効率化を目的として，LLM（ChatGPT）を導入した半自動化を実現した．QC 指標の Δ^- の平均値 Δ^- ，および c^- の平均値 c^- を入力として，LLM に対し「生成結果が不安定な要因と改善語彙の提案」を自然言語で生成させた．提案された語彙（例：loose $\rightarrow$ relaxed, glossy $\rightarrow$ satin など）を min/max プロンプトに再適用し，画像の再生成を行った．改善後の結果では，各属性においてノイズや過剰光沢が軽減し， Δ^- ， c^- が改善した．このプロセスは，AI が自らの生成結果を意味的に評価し，プロンプトを再最適化する「自己修復的生成サイクル」として機能する．

2-3. α 系列画像と潜在補間

属性系列画像では，min 端と max 端を潜在空間上で球面補間（slerp）し，各画像に属性強度を表すスカラー値 α を付与した． $\alpha=0$ をベース画像（中立状態），前述の min/max 画像をそれぞれ $\alpha=-1.0$ および $\alpha=1.0$ に対応させ，さらに属性の変化をより明瞭に観察するため，外挿範囲を拡張して $\alpha=-1.5$ を min 端， $\alpha=+1.5$ を max 端と定義した． α 刻みは対数スケールに基づく知覚的均等補間とし，変化の前半を細かく，後半を粗く設定することで人間の感度に沿った滑らかな系列を得た．

2-4. CLIP および主観評価

生成画像は CLIP モデル（ViT-L/14, openai 版）¹⁾

で埋め込みベクトルに変換し，属性方向に沿った方向射影スコア s^{dir} を算出した．Spearman 順位相関係数 ρ により属性強度 α との単調関係を評価し，AI モデル内部の意味的一貫性を定量化した．また，主観評価として 2AFC 法を用い，被験者（男性 9 名，女性 4 名，20～60 代）が隣接 α 画像を比較して「どちらの属性が強い」かを回答した．Bradley-Terry モデルにより主観強度 θ を推定し，CLIP 射影スコアとの順位相関を求めた．

3. 結果と考察

3-1. QC ループによるベース画像と min/max 画像の安定性の改善結果

QC ループにより，4 属性すべてで潜在方向の安定性が確認された（表 2）．fit, material, pattern scale はいずれも良好の判定を得たが，lightness は中央性がやや低く普通の判定となった．

表 2 属性別 QC 指標の集計結果

属性	Δ^- (mean Δ)	c^- (mean c)	判定
fit	3.59	0.39	良好
lightness	1.49	0.19	普通
material	7.25	0.32	良好
pattern scale	0.80	0.47	良好

3-2. α 系列画像の生成と CLIP 評価結果

図 3 に fit 属性の α 系列画像を示す． α の増加に伴い衣服のシルエットが「ゆったり」から「ぴったり」へ連続的に変化しており，潜在空間上の属性方向が視覚的にも滑らかに機能していることが確認できた．



$\alpha = -1.5$ $\alpha = 0.0$ $\alpha = 1.5$

図3 fit 属性における α 系列画像の例

CLIP 評価¹⁾の結果を表 3 に示す．ここで ρ は属性強度 α と方向射影スコア s^{dir} との順位相関を示し，

S_{str} は系列全体における幾何的直線性を表す．全属性で $\rho \approx 1.0$ ($p < 0.01$) となり，CLIP 空間でも潜在空間の属性方向と高い一致を示した．material 属性では S_{str} が最も高く，意味的变化が滑らかに表現されている．

表 3 属性方向射影スコアと平均直線性の評価結果

属性	平均 ρ (相関)	p 値	平均直線性 S_{str}	判定
fit	0.98	< 0.01	0.61	良好
lightness	0.98	< 0.01	0.54	良好
material	1.00	< 0.01	0.66	最高
pattern scale	0.98	< 0.01	0.57	良好

これらの結果は，潜在方向の幾何的一貫性^{2,3)}を保ちながら，AI の意味空間と人間の知覚空間の対応関係を定量的に可視化できることを示している．提案した QC ループおよび slerp 補間により，属性方向の安定化と知覚的一貫性の両立が可能であることが確認された．

3-3. 主観評価と知覚的信頼性の評価結果

主観評価の回答一貫性を Spearman 順位相関で検討した結果，被験者全体の平均 $\rho = 0.87$ ($p < 0.05$) であり判断の安定性が確認された．次に，主観スコア θ と CLIP 方向射影スコア s^{dir} との対応関係を分析した結果を表 4 に示す．

表 4 主観スコア θ と CLIP 射影スコア s^{dir} の順位相関

属性	ρ (相関)	p 値	θ 範囲 (max-min)
fit	0.80	0.10	0.56
lightness	0.90	<0.05	1.97
material	-0.30	0.62	0.35
pattern scale	0.90	< 0.05	1.44

lightness および pattern scale 属性で高い一致 ($\rho \approx 0.9$, $p < 0.05$) が得られ，fit 属性も中程度の一致 ($\rho \approx 0.8$) を示した．一方，material 属性では個人差が大きく，知覚方向が AI の意味方向と一致しない傾向を示した．各属性の θ 範囲 (max-min) は，主観的強度の広がりを示す指標であり，値が大きいほど知覚弁別が明確である．lightness で 1.97 と最も広く，明度変化の弁別が容易であったのに対し，material では 0.35 と狭く，被験者間で知覚方向が一致しにくかった．これは，反射や質感の知覚が個人の視覚経験や表示環境に強く依存することを示唆する．

これらの結果から，光・模様といった視覚属性は被験者間で安定して判断されやすく，質感属性は文化的・経験的差が影響する可能性が示唆された．主観スコアと客観スコアの高い相関は，潜在方向が人間の知覚構造と整合していることを意味する．

material 属性の知覚差は，反射・質感といった物理的属性が観察環境（照明，モニタ輝度）および個人経験に強く依存するためと考えられる．特に，被験者間で「光沢」や「マット」といった語の印象が異なることが，主観スコアの分散を生じさせた可能性がある．一方で，lightness や pattern scale のような低次視覚属性では，知覚的变化が刺激物理量とほぼ比例関係にあり，AI の潜在方向とも線形に対応していた．これらの結果は，拡散モデルの潜在空間が人間の視覚特性の一部を反映していることを示唆しており，**「感性空間の工学的写像」**という観点から新しい評価軸を提供する．

4. 結論

本研究では，Realistic Vision V5.1 Inpainting モデルを用いて，ファッション画像の感性属性を潜在空間上で制御し，QC ループ・CLIP・主観評価・LLM 改善を統合した知覚信頼性分析枠組みを提案した．CLIP スコアにより全属性で意味的整合性が確認され，lightness および pattern scale では主観判断との高い一致が得られた．

さらに，CLIP 空間における意味的距離と人間の主観的知覚強度の対応関係が明確化された点に理論

的意義がある．特に **lightness** や **pattern scale** 属性では，潜在方向ベクトルの内積構造が知覚差とほぼ線形に対応しており，生成モデル内部に「感性座標系」とも呼べる幾何的構造が形成されていることを示唆した．

これは，生成 AI が単なる画像合成エンジンではなく，知覚心理的特徴量を再現し得る表現空間を備えつつあることを意味する．

さらに，LLM によるプロンプト改善を組み込むことで，AI が意味的一貫性を自動修正する協働的生成プロセスの有効性を示した．

今後は，性別や衣服タイプ（T シャツ，ドレスシャツなど）を要因に加え，属性間の交互作用および文化的背景による知覚差を分析し，拡散モデルの人間工学的応用を深化させる予定である．

5. 今後の展望

本研究で提案した潜在空間制御枠組みは，被服設計支援だけでなく，教育・医療・福祉など感性情報の可視化が求められる領域にも応用できる．例えば，色彩・質感の感覚を失った高齢者や視覚障害者への触覚・音響的フィードバック生成，あるいは学生のデザイン感性を AI が動的に補完する教育支援ツ

ルなどが想定される．今後は，個人差・文化差をパラメータ化した「感性メタモデル」の構築を目指す．

さらに本研究で導入した LLM によるプロンプト改善ループは，生成モデルの結果を意味的に評価し，再学習に近い改善を行う点で，「AI 間協働（AI-AI Co-Design）」の萌芽といえる．

今後は，LLM の対話履歴と画像生成結果を連動させることで，感性語彙の動的チューニングや，ユーザの選好履歴に応じた個人化が可能になる．これにより，AI が人間の主観的判断を逐次学習し，共創的にデザイン提案を行うシステムへと発展することが期待される．

参考文献

- 1) Radford, A., et al.: Learning Transferable Visual Models from Natural Language Supervision, Proc. of ICML, Vol.139, pp.8748-8763 (2021).
- 2) Zhang, S., Ni, M., Chen, S., Wang, L., Ding, W., Liu, Y.: Latent Consistency for Controllable Generation, Proc. of ICCV, Vol. 1, No.1, pp.1-10 (2022).
- 3) Sainburg, T., Thielk, M., Gentner, T. Q.: Latent Geometry Alignment for Interpretable Representations of Generative Models, Proc. of NeurIPS, Vol. 36, No.1, pp.1-10 (2023).

姿勢推定用 AI カメラを用いた介護動作による熟練者と初学者の類似度評価

Evaluation of Similarity in Care Motions between Expert and Novice Using Pose Estimation AI CAMERA

○田河琴音*, 川野常夫*

*摂南大学

TAGAWA Kotone*, KAWANO Tsuneo*

*Setsunan University

1. はじめに

介護職員は、人手不足や腰痛などにより離職率が高く、2024 年度の調査では介護職員が不足していると回答した事業所は 69.1%であった^{1),2)}。介護職員の不足を解消するためには、介護職に就いたばかりの初学者が適切な介助動作をより早く習熟し、健全な体調を維持する必要があると考えられる。

著者らは、初学者が行う介助動作と熟練者による介助動作がどれだけ類似しているのかを示すことにより、初学者の介助技術・技能の早期習得に繋がると考えた。介助動作中における腰や腕の動かし方を熟練者と比較し、異なる動きをしている部位を明確にすることによって、動作改善の指針とする。

本研究では、動作の「類似度」という指標を用いることにより、姿勢推定用 AI カメラを用いて初学者と熟練者の介助動作の類似性を定量的に示すことを目指し、介助動作学習前後における類似度の比較を行う。また、熟練者目線での介助動作の評価と類似度の関係を明らかにする。

2. 類似度の算出方法

本研究で使用する類似度とは、「両者の動作がどれだけ類似しているのかを定量的に表す指標」と定義している。具体的には、2 次元平面上で熟練者と初学者の各関節点の軌跡のコサイン類似度により、互いの動作の類似性を点数化する。

類似度を求めるために必要な各関節点の座標は、著者らがこれまでに開発を行ってきた姿勢推定用 AI カメラを用いて取得した³⁾。AI カメラで被写体を撮影すると、AI が首・肩（左右）・肘（左右）・手首（左右）・腰（左右）・膝（左右）・足首（左右）・腰の 14 か所における関節点の二次

元座標を、約 30fps で取得することが可能となっている。本研究ではこの AI カメラによって熟練者と初学者のそれぞれの介助動作を撮影し、それぞれの関節点の座標を取得した。

類似度は関節点ごとに求める。初学者の時刻 t から $t+1$ までのベクトルを $\vec{a}$ 、熟練者の時刻 t から $t+1$ までのベクトルを $\vec{b}$ としたとき、 $\cos\theta$ は次の式で表わされる。

$$\cos\theta = \frac{\vec{a}_t \cdot \vec{b}_t}{|\vec{a}_t| |\vec{b}_t|} \quad (1)$$

2 人の軌跡が類似し、両ベクトルが類似するほど $\cos\theta$ は 1 に近づく。介助動作の初めから終わりまで $\cos\theta$ を求め、その平均値を類似度とする。さらに関節点全体について被験者ごとに標準化を行い 100 点満点に換算する。

3. 類似度による介助動作の評価実験

介護の熟練者（1 名、経験年数 1.5 年）と、介助動作についての知識も経験もほとんどない初学者（3 名）に、ベッド上に仰臥位で寝ている被介護者を起き上がらせて端座位にする介助動作を行ってもらい、熟練者と初学者の動作の類似性を類似度によって評価した。起き上がり動作は被介護者の残存能



(a) 初学者による介助 (b) 熟練者による介助

図 1 実験風景（ベッドでの起き上がり介助）

力によって手順などが異なるが、本研究では、ある程度自力で動くことが可能であるが、補助が必要な状態の被介護者を想定した。

実験風景を図 1 に示す。最初に、初学者が被介護者に対して起き上がり介助を行う（図 1(a)）。このとき、熟練者は初学者の動作を観察して-3 点（とても悪い）～3 点（とても良い）で主観的評価を行う。次に、熟練者がお手本として起き上がり介助を行い、初学者は熟練者の動作を見学する（図 1(b)）。その後、初学者が介助動作を学習する時間を十分に設け、熟練者からコメントやアドバイスを交えて介助動作の指導を受ける。最後に、学習後の初学者が被介護者に対して介助動作を行う。学習後の動作についても、熟練者に点数をつけてもらう。

4. 実験結果

初学者の学習では、熟練者による介助動作の実演、腕の動かし方や腰の位置、足の開き方などの指導が行われた。

図 2 に、初学者 3 名の学習前と学習後における熟練者との類似度の結果を示す。ここでの類似度は、14 か所の関節点で求めた類似度を平均した値となっている。初学者 A, B, C の全員において、学習前後で類似度が上がる結果となった。これは、学習することによって初学者の動作が熟練者の動きに近づいたことを示している。

図 3 に、熟練者による介助動作の評価点数と類似度の関係を示す。学習前と学習後の結果が明確に分かれ、熟練者による評価が高い値であるとき、類似度も高くなっている。熟練者目線では学習前後の動作に明確な違いがあり、本研究で定義した類似度が熟練者目線どおり適正に評価できていることがわか

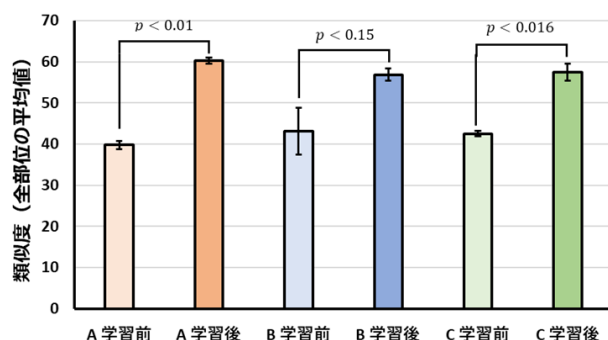


図 2 初学者 A, B, C の学習前後の類似度の比較

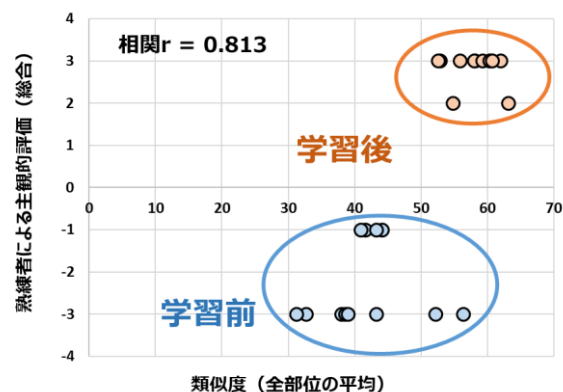


図 3 熟練者による主観的評価と類似度の関係

る。なお、上肢・下肢・腰の動かし方それぞれの熟練者の主観的評価についても同様の傾向を示す結果が得られた。

5. おわりに

本研究では、熟練者と初学者の介助動作の類似性を「類似度」という指標を用いて点数化し、類似度が熟練者の主観的評価を適正に表すことが確認された。また、学習後に類似度が高くなったことから、学習によって初学者の動作が熟練者の動作に近づいたといえる結果が得られた。

類似度は関節点ごとに求めることが可能であるため、初学者が学習すべき部位が明確となり、類似度が低かった部位の動かし方を重点的に学習することによって、介助動作の熟達が見込まれる。

今後は、熟練の介護士によって介助された被介護者と、初学者によって介助された被介護者の動きについても類似度による評価を行い、被介護者の動きをふまえて介助動作を評価することを目指す。

参考文献

- 1) 岸村厚志, 飛田伊都子: 介護労働者の腰痛の現況からみた課題と行動分析学を用いた予防教育の有用性, 作業療法, Vol.39, No.4, pp.395-405(2020).
- 2) 介護労働安定センター: 令和 6 年度介護労働実態調査, 介護労働者の就業実態と就業意識調査結果報告書, p.9(2025).
- 3) 田河琴音, 川野常夫, 松尾英治: 身体負荷可視化用 AI カメラの開発, 日本人間工学会第 63 回大会, 2D2-06, pp.1-2(2022).

高齢者を対象とする立位姿勢の自動識別に向けた前処理方法の検討 —シルエット画像と骨格推定を用いて—

Investigation of Preprocessing Methods for Automatic Posture Classification in Older Adults: Using Silhouettes and Pose Estimation

○杉山直磯*, 甲斐義浩**, 幸田仁志*, 森原徹***, 来田宣幸*

*京都工芸繊維大学 **京都橘大学 ***丸太町リハビリテーションクリニック

SUGIYAMA Naoki*, KAI Yoshihiro**, KODA Hitoshi*, MORIHARA Toru*** and KIDA Noriyuki*

* Kyoto Institute of Technology, ** Kyoto Tachibana University, *** Marutamachi Rehabilitation Clinic

1. 緒言

日本の高齢化率は世界で最も高く、今後もその割合は増加すると予測されている¹⁾。それに伴い、健康寿命の延伸や要介護状態に陥らないための介護予防の重要性が高まっている。介護予防は虚弱状態を防ぐ一次予防、要介護状態を防ぐ二次予防、要介護状態からさらなる悪化を防ぐ三次予防に分類される²⁾。今後の高齢者人口をふまえると、特に一次予防や二次予防に向けた取り組みが重要とされる。具体的な対策としては運動器症候群やフレイルといった生活機能の維持に関連する身体状態を簡易的に評価できる方法が挙げられる³⁾。その評価の指標として整形外科やリハビリテーション分野にて老化度の把握に活用される姿勢の変化に着目できる。

姿勢は、一般的に立位状態より評価されており、理想的な姿勢は、頭部、体幹、骨盤や四肢の構造が整った状態とされる⁴⁾。そのため、筋や関節などに障害が生じると構造の乱れた不良姿勢が外観上の変化として現れる。さらに、不良姿勢は、精神状態における否定的な思考との関連も報告されている⁵⁾。

したがって、姿勢評価は、高齢者の身体状態および精神状態の把握に有用であり、日常的にモニタリングすることで介護予防に寄与する可能性がある。現状の代表的な評価方法は、理学療法士 (PT) による視診および触診であるが、写真に基づいた視診のみによる評価も可能であることが示されている。PT は画像から不良姿勢の有無を識別できるため、深層学習などの画像認識技術を応用することで人の介入を必要としない自動的な姿勢評価へのシステム構築が期待される。

そこで、本研究では、日常的な健康状態の把握と

して姿勢評価に着目し、スクリーニング検査を位置づけた写真に基づく自動的な姿勢識別ツールの開発を目的とした。先行研究においては、矢状面の写真をシルエット画像に加工し、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いて理想姿勢と不良姿勢の 2 分類の識別モデルを構築したところ、正解率は 85% を達成した⁶⁾。シルエット画像は、背景や服の柄などのノイズを除去しつつ、人の輪郭情報を保持できるため、姿勢識別に効果的な処理であると考えられる。一方で、識別モデルのさらなる向上には、より多様な特徴情報の追加が求められるため、骨格推定を用いた新たな情報の追加を試みた。シルエットと骨格の組み合わせは、歩行認識や行動認識にて活用されており^{7), 8)}、姿勢識別においても有効に機能する可能性が高い。以上の背景から、本研究ではシルエット画像に骨格推定による構造的特徴を付与し、識別モデルにおける精度への影響を比較、検討した。

2. 実験方法

2-1. 教師データにおける基画像と正解ラベル

教師データの基画像 (写真) は、2018 年と 2019 年に実施された高齢者検診会より収集された。写真撮影は、Kinectv2 カラーカメラによって行われ、高齢者の立位状態における右矢状面が記録された。さらに、高齢者は PT の視診および触診よりケンダル姿勢に基づき理想姿勢の Ideal と不良姿勢のカイホロードシス (KL)、スウェイバック (SB)、フラットバック (FB) のいずれかが評価された⁹⁾。これら評価は正解ラベルに利用し、画像には Ideal と KL, SB, FB を 1 つの不良姿勢とする Non-ideal のどちらかが付与された。なお、本実験は、京都工芸繊維大学倫理委員会の承認を得たうえで実施された (2018-19)。

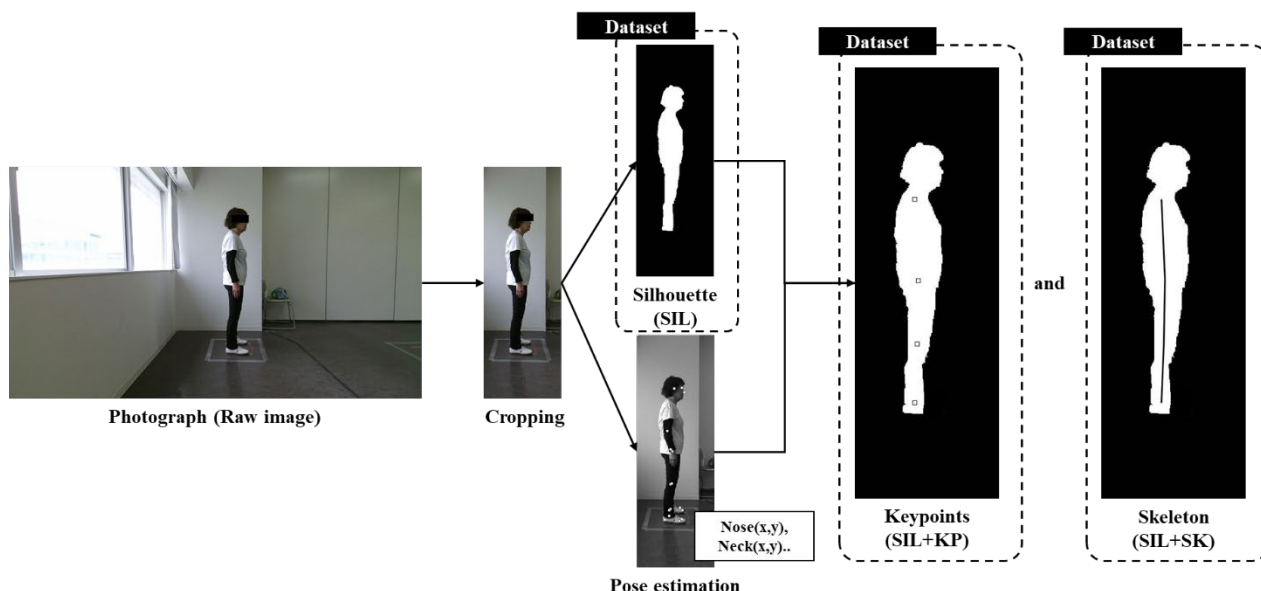


図 1 基画像における前処理のワークフロー

2-2. 前処理およびデータセット

図 1 に基画像における前処理のワークフローを示す。基画像は最初に不要な部分がトリミングされ、次にシルエット処理および骨格推定が個々に行われた。シルエット画像 (SIL) は Photoshop2022 にて手作業で作成され、骨格推定は OpenPose が用いられた¹⁰⁾。最後に、SIL と骨格座標を重ね合わせ、キーポイントを追加した画像 (SIL+KP) と骨格を追加した画像 (SIL+SK) を作成した。SIL, SIL+KP, SIL+SK は、いずれも 4 分の 1 のサイズ (71×211) にリサイズされた。その後、3 種類の画像は、拡大・縮小、水平・垂直移動によるデータ拡張が実施され、それぞれで 9120 枚 (Ideal, 4120; Non-ideal, 5000) の画像が得られ、3 つのデータセットが作成された。なお、各データセットはランダムに分割され、60% を訓練セット、20% を検証セット、残り 20% をテストセットとして用いた。

2-3. 識別モデル

識別モデルは、画像認識に適した CNN を用いて構築された。CNN は、基本的に畳み込み層、プーリング層、全結合多層パーセプトロン (MLP) から構成され、本実験でも、主要なブロックを 3 回繰り返す配置でモデル構築を行った。図 2 に CNN のアーキテクチャを示す。出力層のユニット数は、正解ラベルに基づき 2 とした。各層における活性化関数は一般的な ReLU が用いられ、また過学習対策として、

ドロップアウトおよび L2 正規化が適用された。オプティマイザーは、Adam とし、損失関数は、バイナリクロスエントロピー (BCE) または平均二乗誤差 (MSE) が用いられ、モデルがそれぞれ構築された。

したがって、本実験では、3 つのデータセットに対して、2 種類の損失関数を用いられており、計 6 つの識別モデルが構築、評価された。モデル構築におけるエポック数は 50 とし、バッチサイズは 32 とした。モデルの開発は、深層学習ライブラリの Keras (バージョン, 2.3.1) が用いられた¹¹⁾。

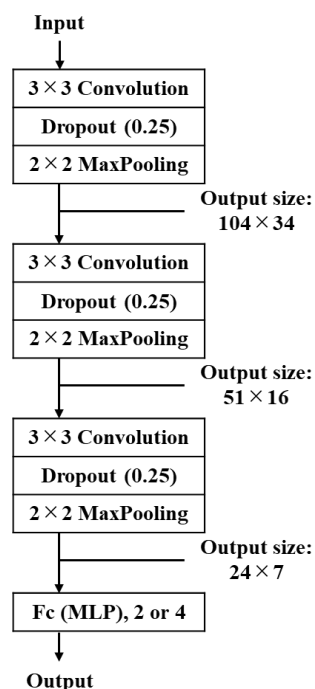


図 2 CNN のアーキテクチャ

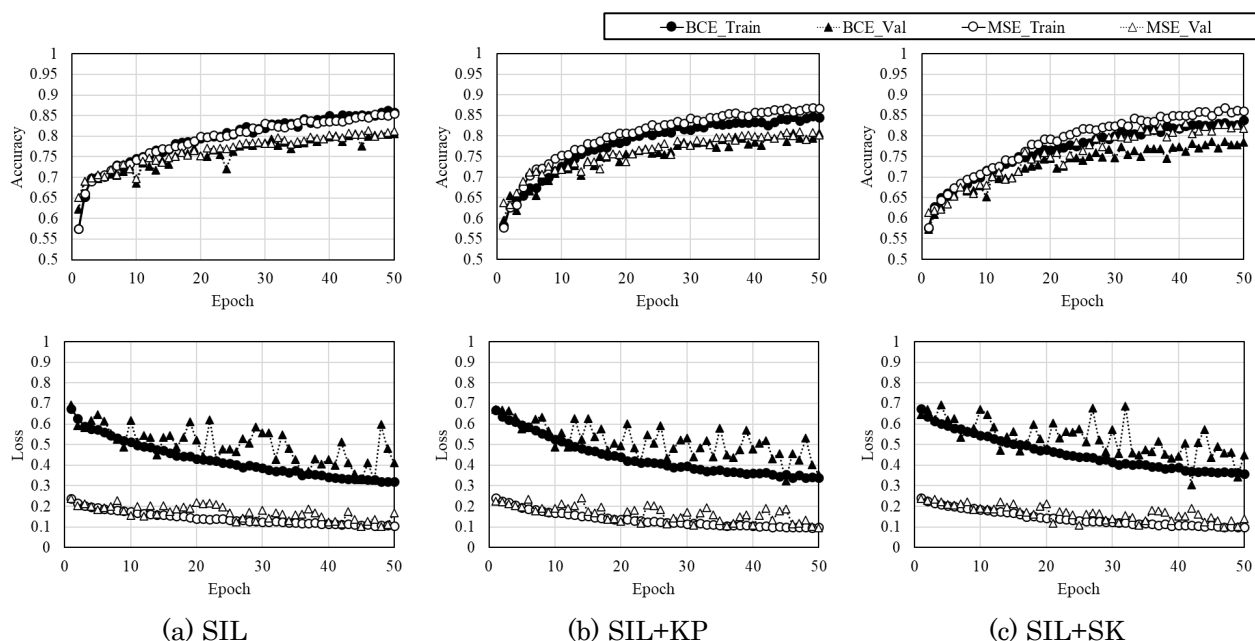


図3 正解率と損失値の学習曲線

3. 結果

3-1. 各モデルにおける精度

図3にエポック50回における正解率および損失値の学習曲線を示す。学習曲線より正解率は、全てのモデルにて学習が進むにつれ向上した。しかし、損失関数にBCEを用いたモデルは検証セットにて損失値が発散する傾向が見られた。一方で、MSEのモデルは学習の挙動が安定しており、損失値自体もBCEより低くなった。損失値はモデルの予測と正解の間の誤差を示しており、エポックごとに振幅が大きくなることで、過学習を示唆している。したがって、MSEモデルに着目し、3つのモデルを比較した。検証セットにおける最小の損失値を基準とした際、正解率はSIL+SK(訓練, 0.87; 検証, 0.83)がSIL(訓練, 0.85; 検証, 0.80)およびSIL+KP(訓練, 0.87; 検証, 0.80)と比べて最も高くなった。一方で損失値は、SIL+KP(訓練, 0.10; 検証, 0.10)およびSIL+SK(訓練, 0.10; 検証, 0.10)がSIL(訓練, 0.11; 検証, 0.10)と比べて訓練セットにてやや値が低下した。

3-2. テストセットによるモデルの評価

表1にMSEモデルにおけるテストセットの1824枚の画像を用いた正解ラベルと出力ラベルのクロス集計表を示す。モデルの評価としてクロス集計表より、感度および特異度を算出した。さらに正解ラベ

ルと出力ラベルの一致度の評価として、PrevalenceとBiasを修正した評定者間一致率(PABAK)を確認した。感度はSIL+SK(0.92)が最も高くなり、次いでSIL+KP(0.85)、SIL(0.82)であった。一方で特異度は、SIL(0.76)とSIL+KP(0.76)が同じ値となり、SIL+SK(0.66)が最も低くなった。一致度を示すPABAKはSIL+KP(0.62)が高い値を示し、続けてSIL+SK(0.60)、SIL(0.59)の順序であった。

表1 MSEモデルにおけるテストセットを用いた正解ラベルと出力ラベルのクロス集計表

(a) SIL				
		Correct Label		Total
		Ideal	Non-ideal	
		Ideal	Non-ideal	Total
output	Ideal	629	183	812
	Non-ideal	195	817	1012
Total		824	1000	1824
(b) SIL+KP				
		Correct Label		Total
		Ideal	Non-ideal	
		Ideal	Non-ideal	Total
output	Ideal	625	149	774
	Non-ideal	199	851	1050
Total		824	1000	1824
(c) SIL+SK				
		Correct Label		Total
		Ideal	Non-ideal	
		Ideal	Non-ideal	Total
output	Ideal	541	85	626
	Non-ideal	283	915	1198
Total		824	1000	1824

4. 考察

学習曲線の結果より、全てのモデルにおいて正解率の向上が確認された。一方で、損失関数として BCE を用いた場合、損失値の変動は不安定な傾向を示した。これは先行研究による結果と一致しており⁶⁾、姿勢識別においては、いずれのデータセットにおいても損失関数に MSE を用いることで学習が安定した。そこで、MSE の3つのモデルに着目すると、正解率においては、SIL+SK が最も高い値を示し、損失値は SIL+KP および SIL+SK の訓練セットにおいて SIL よりもわずかに低下した。座位姿勢の自動識別に向けた先行研究では、正解率は80%以上を示し、識別モデルの有効性を報告している¹²⁾。本研究においても、正解率は80%以上を達成し、識別精度として実用性を有していると考える。これらの結果から人の輪郭情報のみを用いた SIL よりも構造情報を付与した SIL+KP や SIL+SK の方が高い性能を示すことが明らかとなり、姿勢識別においても構造情報の付与は有効に機能することが示唆された。

さらに、テストセットを用いた汎化性能の評価として、一致度指標の PABAK は SIL+KP が最も高くなり、SIL+SK も SIL を上回る結果が得られた。加えて、感度に着目すると SIL+SK は 0.92 と非常に高くなり、Non-ideal の判定数も増加した。その結果、特異度が他のモデルと比べて低下したものの、Non-ideal における識別精度の向上は、今後より詳細な姿勢の自動検出への応用につながる可能性が示唆された。

5. 結言

本研究では、自動的な姿勢識別ツールの開発として前処理でシルエット画像に骨格推定による構造的特徴を付与し、CNN モデルの精度への影響を検証した。得られた知見は次の通りである。

- ・データセットに関わらず、全てのモデルにて正解率の向上が確認され、学習の進行は良好であった。しかし、損失関数に BCE を用いたモデルは検証セットの損失値が発散傾向を示しており、MSE は安定した学習が確認された。

- ・構造情報を加えた SIL+KP および SIL+SK は、SIL と比べ正解率や損失値の両面にてわずかな改善を示した。

- ・一致度指標の PABAK においても SIL+KP および SIL+SK は、SIL より高い値を示し、特に、SIL+SK は感度が大幅に向上したことから、Non-ideal における詳細な姿勢の特定へ応用できる可能性が示唆された。

6. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP21K11510 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 総務省統計局: 統計からみた我が国の高齢者, 統計トビックス No.142 (2024).
- 2) 鈴木隆雄: 介護予防, 日本老年医学会雑誌, Vol.49, No.5, p.586-588 (2012).
- 3) 柳田眞有, 大野洋一, 山上徹也: 高齢者の介護予防に有用な簡易姿勢評価法の検討, 北関東医学, Vol.65, No.2, p.141-147 (2015).
- 4) 竹井仁: 正しく理想的な姿勢を取り戻す 姿勢の教科書, 株式会社ナツメ社 (2015).
- 5) Oatis, C. A., 山崎敦, 佐藤俊輔, 白星伸一, 藤川孝満, 池谷雅江: オーチスのキネシオロジー: 身体運動の力学と病態力学, ラウンドフラット (2012).
- 6) Sugiyama, N., Yoshihiro, K., Hitoshi, K., Toru, M., Noriyuki, K.: Evaluation of Convolutional Neural Network-Based Posture Identification Model of Older Adults: From Silhouette of Sagittal Photographs, *Geriatrics*, 10 (2), 49 (2025).
- 7) Ahmad, J., Shaharyar, K., Daijin, K., Video-based Human Detection and Activity Recognition using Multi-features and Embedded Hidden Markov Models for Health Care Monitoring Systems, *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4 (4), p.54-62 (2017).
- 8) Yunjie P., Kang M., Yang Z., Zhiqiang H.: Learning Rich Features for Gait Recognition by Integrating Skeletons and Silhouettes, *Computer Vision and Pattern Recognition*, arXiv: 2110.13408 (2022).
- 9) Kendall, F. P., McCreary, E. K., Provance, P. G.: *Muscles: Testing and Function, with Posture 4 and Pain*, Lippincott Williams and Wilkins (2005).
- 10) Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S.-E., Sheikh, Y.: OpenPose: Realtime Multi-Person 2D 8 Pose Estimation Using Part Affinity Fields, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 43, p.172-186 (2019).
- 11) Chollet, F.: Keras, GitHub, <<https://github.com/keras-team/keras>>
- 12) Piñero-Fuentes, E., Canas-Moreno, S., Rios-Navarro, A., Domínguez-Morales, M., Sevillano, J.L., Linares-Barranco, A.: A Deep-Learning Based Posture Detection System for Preventing Telework-Related Musculoskeletal Disorders, *Sensors*, 21 (15), 5236 (2021).

筋骨格シミュレーションにおける 標準体幹モデルと胸郭詳細モデルの解析比較

Comparative Analysis of Standard Trunk Model and Detailed Thoracic Model in Musculoskeletal Simulation

○南星治*, 伊藤博之*, 富山大基*, 網浦愛理子*,
徳永由太**, 半田健祐**, 下村義弘***

*株式会社イトーキ **株式会社テラバイト ***千葉大学

MINAMI Seiji*, ITO Hiroyuki*, TOMIYAMA Hiroki*, AMIURA Arisu*
TOKUNAGA Yuta**, HANDA Kensuke**, SHIMOMURA Yoshihiro***

*ITOKI CORPORATION, ** Terrabyte Co., Ltd., ***Chiba University

1. はじめに

オフィスワークにおける座位姿勢は、作業環境や業務内容に依存し、長時間の着座に伴い多様な姿勢変化が生じる。こうした状況下で高頻度に観察される作業姿勢の一つが円背座位姿勢(いわゆる猫背姿勢)であり、この姿勢は脊柱の後弯を特徴とし、筋骨格系への負荷増大や長期的な健康リスクとの関連が指摘されている。

本研究では、直立座位姿勢および円背座位姿勢に対し、標準体幹モデルと胸郭詳細モデルという2種類の解析モデルを適用し、筋骨格シミュレーションを実施した。得られた解析結果から両モデル間の差異について報告する。

2. 方法

2-1. 被験者

被験者は20歳代の男性(身長168cm, 体重60kg), 過去に筋骨格系疾患のない健常者1名を対象とした。被験者には事前に測定の実施と手続きを説明し同意を得た。

2-2. 測定環境

測定環境を図1に示す。筋骨格解析の境界条件として、身体の高次元座標および床反力データを取得した。データの計測にはモーションキャプチャシステムVENUS3DR((株)ノビテック, 以下MC)およびフォースプレート((株)テック技販, 以下FP)を用いた。計測時、被験者に対してPlug-in Gaitモデル¹⁾に準拠した41箇所に反射マーカを貼付した。また、着座用の椅子として市販のオフィスチェア(Actチェア, (株)イトーキ)を使用した。

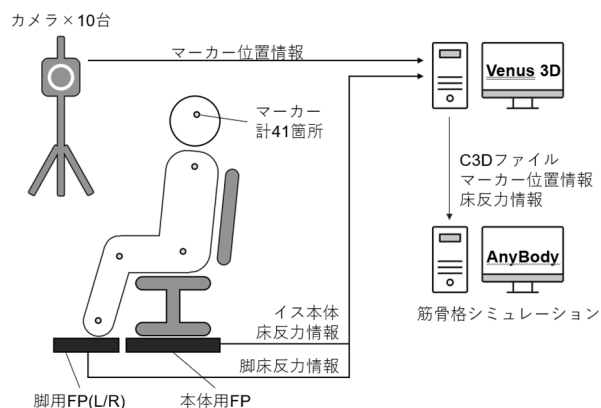


図1 測定環境



図2 測定姿勢

2-3. 測定手順

測定は図2に示すようTポーズ, 直立座位姿勢, 円背座位姿勢の3条件とし, 測定時間は各姿勢で10秒とした。マーカ位置および反力情報のサンプリングレートは100Hzとした。

2-4. 解析手順

筋骨格解析にはAnyBody Modeling System 8.1.4(AnyBody Technology A/S)を用いた。標準体幹モデルと胸郭詳細モデルの2種類の解析モデルに対し, 3条件の姿勢から取得したデータを対象に解析を実施した。標準体幹モデルは, 胸郭を一つの剛体として扱う構造であり, 胸椎の可動性や肋骨の動きは考慮されないが, モデル構築が容易で計算効率に優れ,

汎用性が高いという利点がある。これに対し、胸郭詳細モデルは胸椎に可動性を持たせた構造となっており、計算負荷は高くなるが、脊柱アライメントの変化をより忠実に再現できる可能性がある。

解析対象の区間は、測定した 10 秒間のうちマーカ一位置が静的に安定している 1 秒間とした。計測ノイズを低減するために、マーカ一位置および床反力情報に対して二次の Butterworth ローパスフィルタを適用した。カットオフ周波数は、マーカ一位置情報には 5 Hz、床反力情報には 12 Hz に設定した。

2-4-1. 被験者固有モデルの構築

T ポーズで取得したマーカ一の 3 次元座標データを境界条件として、Parameter Identification 機能を行うことで、被験者の骨格寸法を反映した被験者固有モデルを構築した。推定結果に基づき解析モデルをスケーリングし、被験者固有モデルを構築した。上肢セグメントは解析モデルへの影響が小さいと判断し、解析対象から除外した。解析モデルの違いによる構築モデルの差異は、矢状面および前額面からの姿勢で定性的に評価し、骨格における各セグメントの寸法を用いて定量的に評価した。

2-4-2. 逆運動学解析

直立座位姿勢および円背座位姿勢から取得したマーカ一の 3 次元座標データに対し、被験者固有モデルのマーカ一をフィッティングした。2 種類の解析モデル間で骨盤セグメントの位置および角度の一致度を最優先とするため、骨盤セグメント上のマーカ一には最大の重み係数を設定した。次に、頭部セグメントの位置ずれを防ぐため、骨盤セグメントと同値とした。その他の身体部位は、骨盤および頭部セグメントの値未満かつ 1 以上の範囲とした。

2-4-3. 逆動力学解析

直立座位姿勢および円背座位姿勢にフィッティングしたモデルに対し、FP から取得した床反力データを入力し、逆動力学解析を実施した。足セグメントには左右の FP から、骨盤セグメントには中央の FP から取得した床反力をそれぞれ接続した。

座位姿勢および解析モデルの違いによる差異は、矢状面からの姿勢を用いて定性的に評価し、椎間関節角度を用いて定量的に評価した。ここでの椎間関節角度は、下位椎体に対する上位椎体の相対角度として定義し、解析対象区間 1 秒間における平均値を算出した。

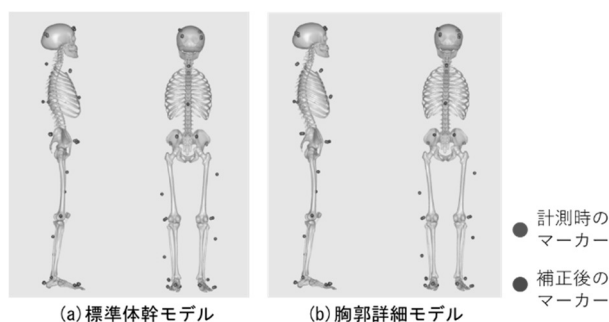


図 3 矢状面および前額面からの姿勢

表 1 各セグメントの寸法

	標準体格モデル	胸郭詳細モデル	差分
Pelvis Width[mm]	160.2	160.1	-0.1
Pelvis Height[mm]	109.0	109.0	0.0
Pelvis Depth[mm]	115.0	115.2	0.2
Head Height[mm]	130.0	130.0	0.0
Head Width[mm]	168.0	168.3	0.3
Head Depth[mm]	214.6	214.9	0.4
Trunk Height[mm]	531.7	537.7	6.0
Trunk Width[mm]	362.3	362.9	0.7
Trunk Depth[mm]	174.5	174.8	0.3
Neck Length[mm]	140.2	140.2	0.0
Right Thigh Length[mm]	403.2	403.3	0.1
Right Shank Length[mm]	380.7	379.5	-1.2
Right Foot Length[mm]	238.7	238.8	0.1
Right Foot Height[mm]	53.2	53.1	-0.2
Right Foot Width[mm]	69.1	69.2	0.1
Left Thigh Length[mm]	403.2	403.3	0.1
Left Shank Length[mm]	380.7	379.5	-1.2
Left Foot Length[mm]	238.7	238.8	0.1
Left Foot Height[mm]	53.2	53.1	-0.2
Left Foot Width[mm]	69.1	69.2	0.1

3. 結果

3-1. 被験者固有モデル

T ポーズから構築した標準体幹モデルおよび胸郭詳細モデルの矢状面および前額面からの姿勢を図 3 に示す。姿勢の形態において、2 つのモデル間で大きな差は確認されなかった。

骨格の各セグメント寸法を表 1 に示す。骨盤・腰椎・胸郭から構成される胴体セグメントの高さで最も大きな差が認められ、その寸法差は 6 mm (1.1%) であった。一方、その他のセグメントにおける差は最大でも 1.2 mm(0.3%)以内にとどまった。

3-2. 直立座位姿勢

直立座位姿勢における標準体幹モデルおよび胸郭詳細モデルの矢状面の姿勢を図 5 に示す。2 つのモデル間で大きな差は確認されなかった。

直立座位姿勢における標準体幹モデルおよび胸郭

詳細モデルの各セグメントの位置および角度を表 2 に示す。骨盤セグメントの位置(Pelvis Position)において、標準体幹モデルに対する胸郭詳細モデルの各方向の差は、X 方向が+2.3 mm, Y 方向が+1.9 mm, Z 方向は+2.5 mm の差を示した。骨盤セグメントの回転(Pelvis Rotation)は X 軸が-1.0 °, Y 軸が+4.2 °, Z 軸が+1.1 ° の差を示した。頭部セグメントの位置(Top of head position)において、標準体幹モデルに対する胸郭詳細モデルの各方向の差は、X 方向が+3.3 mm, Y 方向が+2.5 mm, Z 方向は-2.4 mm の差を示した。

3-3. 円背座位姿勢

円背座位姿勢における標準体幹モデルおよび胸郭詳細モデルの矢状面の姿勢を図 6 に示す。標準体幹モデルでは胸郭から頭部にかけてのフィッティングにずれが生じ、円背座位姿勢を再現できなかった。一方、胸郭詳細モデルは円背座位姿勢を適切に再現した。

各セグメントにおける位置および角度を表 3 に示す。骨盤セグメントの位置において、標準体幹モデルに対する胸郭詳細モデルの各方向の差は、X 方向が+5.5 mm, Y 方向が 0 mm, Z 方向は-2.5 mm の差を示した。骨盤セグメントの回転は X 軸が+0.5 °, Y 軸が+2.6 °, Z 軸が-0.7 °の差を示した。頭部セグメントにおいて標準体幹モデルに対する胸郭詳細モデルの各方向の差は、X 方向が-33.0 mm, Y 方向が+4.5 mm, Z 方向は-55.5 mm の差を示し、骨盤セグメントと比較して大きなずれが生じた。

4. 考察

T ポーズから被験者固有の解析モデルを構築する際、標準体幹モデルおよび胸郭詳細モデルの間には、最大で 6 mm の骨格寸法差が認められた。モーションキャプチャにおけるマーカー貼付位置の誤差は一般的に 10~20 mm 程度²³⁾であることから、本研究で確認された寸法差はこの範囲内に収まる。したがって、本解析におけるモデル間の寸法差は、実用上許容可能な範囲にあり、解析モデルの構築精度に大きな影響を及ぼすものではないと考えられる。

直立座位姿勢において、標準体幹モデルと胸郭詳細モデルの間には、骨盤セグメントおよび頭部セグメントの位置に最大で 4.2 mm の差が認められた。矢状面から観察した姿勢においても、両モデル間で

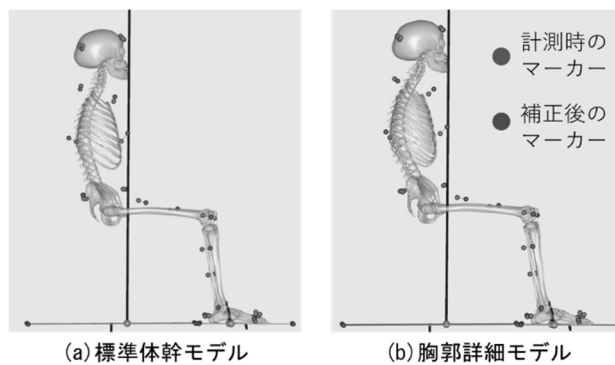


図 5 矢状面の姿勢(直立座位姿勢)

表 2 各セグメントの位置・角度(直立座位姿勢)

	標準体幹 モデル	胸郭詳細 モデル	差分
Pelvis Position(X)[mm]	-790.0	-787.7	2.3
Pelvis Position(Y)[mm]	-20.0	-18.1	1.9
Pelvis Position(Z)[mm]	624.5	626.9	2.5
Pelvis Rotation(X)[°]	93.9	92.9	-1.0
Pelvis Rotation(Y)[°]	-24.5	-20.3	4.2
Pelvis Rotation(Z)[°]	-5.5	-4.4	1.1
Top of head Position (X)[mm]	-886.0	-882.7	3.3
Top of head Position (Y)[mm]	-34.1	-31.6	2.5
Top of head Position (Z)[mm]	1305.2	1302.8	-2.4

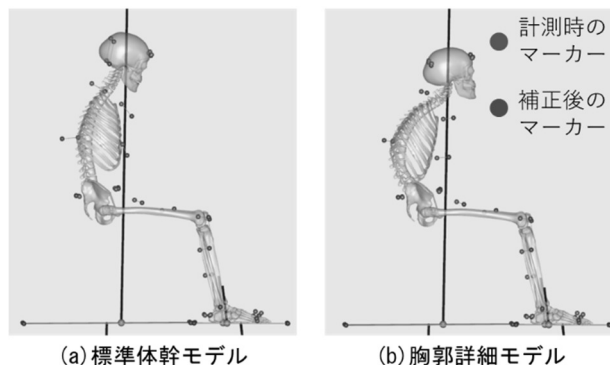


図 6 矢状面の姿勢(円背座位姿勢)

表 3 各セグメントの位置・角度(円背座位姿勢)

	標準体幹 モデル	胸郭詳細 モデル	差分
Pelvis Position(X)[mm]	-798.0	-792.5	5.5
Pelvis Position(Y)[mm]	-11.0	-11.0	0.0
Pelvis Position(Z)[mm]	635.0	632.5	-2.5
Pelvis Rotation(X)[°]	91.3	91.7	0.5
Pelvis Rotation(Y)[°]	-25.5	-22.9	2.6
Pelvis Rotation(Z)[°]	0.7	0.0	-0.7
Top of head Position (X)[mm]	-715.6	-748.6	-33.0
Top of head Position (Y)[mm]	-45.0	-40.5	4.5
Top of head Position (Z)[mm]	1298.5	1243.1	-55.5

顕著な差異は確認されなかった。これは、T ポーズ時の姿勢において脊柱アライメントを維持するよう統制して測定を行った結果、胸郭周辺の形態が標準体幹モデルに近い状態となったためと考えられる。以上のことから、直立座位姿勢においては、標準体幹モデルおよび胸郭詳細モデルのいずれを用いても、解析は実用上問題ない精度で実施可能であると考えられる。

円背座位姿勢において、標準体幹モデルと胸郭詳細モデルの間で骨盤セグメントの位置差は最大で 5.5 mm であった。一方、頭部セグメントでは X 方向に -33.9 mm、Z 方向に -55.5 mm の差が認められ、骨盤セグメントと比較して顕著な差異が生じた。一般的なモーションキャプチャにおけるマーカー配置の誤差の 20 mm 以上であり、頭部セグメントにおける差異は、単なる誤差の範囲を超え、異なる姿勢として認識される可能性が高い。さらに、矢状面から観察した姿勢においても、標準体幹モデルでは適切なフィッティングが得られず、円背座位姿勢の再現ができなかった。胸椎を剛体として扱う標準体幹モデルでは、円背座位に特徴的な腰椎から胸椎にかけての後弯および頸椎の前弯が、再現困難であるためと考えられる。以上の結果から、円背座位姿勢の筋骨格シミュレーションにおいては、胸郭詳細モデルの適用がより適切であると判断される。

本研究では、直立座位姿勢および円背座位姿勢に限定して筋骨格解析を実施した。しかし、実際のオフィスワークにおける座位姿勢は、背もたれにもたれかかる後傾姿勢や、ひじ掛けに寄りかかる姿勢など、脊柱アライメントが崩れやすい傾向にある。

このような多様な座位姿勢では、脊柱の湾曲や胸郭の動きが複雑化するため、標準体幹モデルでは十分な再現が困難となる可能性がある。したがって、オフィスワークにおける実態に即した筋骨格シミュレーションを行うためには、胸郭詳細モデルの適用が望ましいと考えられる。

5. まとめ

本研究では、矢状面からの姿勢を用いた定性的評価と、骨格各セグメントの寸法に基づく定量的評価を行い、オフィスワークにおける姿勢解析において胸郭詳細モデルの有効性を検証した。

今後、より詳細な姿勢評価を行うためには、椎間関節角度による脊柱アライメントの解析や、椎間板

内圧縮力の評価が必要である。そのため、計測データを活用し、これらの指標を含めた詳細な評価を進める予定である。さらに、被験者数を増加させるとともに、後傾姿勢など多様な座位姿勢の計測および筋骨格解析を実施し、オフィスワークにおける座位姿勢の筋骨格負荷を推定することを目指す。

参考文献

- 1) Vicon Motion Systems Ltd.: Plug-in Gait Reference Guide, Vicon Documentation, Rev. 2, pp.1-104 (2023).
- 2) Zemp et al.: Soft Tissue Artefacts of the Human Back: Comparison of the Sagittal Curvature of the Spine Measured Using Skin Markers and an Open Upright MRI, PLoS ONE, Vol. 9, No. 4, pp. e95426 (2014).
- 3) Uchida, T., & Seth, A.: Conclusion or Illusion: Quantifying Uncertainty in Inverse Analyses From Marker-Based Motion Capture due to Errors in Marker Registration and Model Scaling, Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, Vol. 10, Article 874725 (2022).

2次元の人体剛体リンクモデルを用いた作業動作の最適化

Motion Optimization of Working Posture using 2D Rigid Link model of Human body

○黒川 勝永*, 廣川 敬康**

*近畿大学大学院 生物理工学研究科 **近畿大学 生物理工学部

KUROKAWA Katsuhisa*, HIROKAWA Noriyasu**

* Graduate School of Biology-Oriented Science and Technology, Kindai University,

** Faculty of Biology-Oriented Science and Technology, Kindai University

1. 緒言

1-1. 研究の背景と目的

人間が作業を行う上では, 身体的負荷を低減することが必要である. 特に, 高齢者は筋力が低下し, 日常生活における動作も困難な高齢者も存在しており, 人体にかかる身体的な負担を低減することは近年の超高齢社会において一層重要となっている.

一般に, 身体負荷を評価するための動作解析には, モーションキャプチャや筋電図等の高精度な計測機器が用いられるが, これらの解析方法は高価であり準備や解析に多大な時間を要する. そこで, 本研究では人体の2次元剛体リンクモデルを導入して作業動作の再現や身体負荷の解析を行い, 作業動作の最適化を軽負荷で行うための方法を提案する. 本稿では, 椅子からの立ち上がり動作を適用事例として, その有効性を検証する.

1-2. 作業動作中の身体的負荷と改善

人間は筋活動を行って関節周りにトルクを発生させることにより, 関節を回転させて運動を行っている. 人体は多数の関節を連携させて動作を行っており, 各関節の関節角度を適切に連携させて動作を行うことによって関節トルクを低減することができれば, 身体的負荷を低減することが可能となる. 本研究では, 身体的負荷を, 関節トルクとその関節で発揮できる最大関節トルクとの比である関節トルク比^{1~4)}により評価し, 作業動作時には, 小さな身体的負荷で大きな動作を行うことが望ましいと考えられることから, 小さな関節トルク比で大きな仕事を行うことを目標とする.

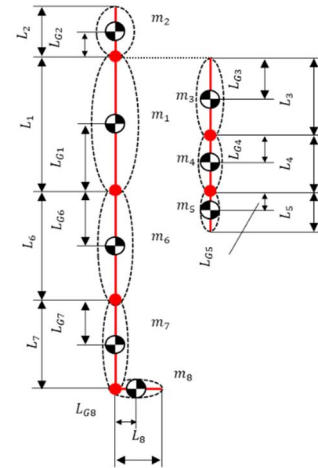


図1 人体の2次元剛体リンクモデルの構成

2. 作業動作の力学負荷解析と最適化

2-1. 人体の2次元剛体リンクモデル

人体の剛体リンクモデルを用いることにより, 人体の作業動作や最適化計算に必要な指標を簡易な計算で求めることが可能となる. 図1に, 本研究で用いる人体の2次元剛体リンクモデルを示す(上肢は体幹との重なりを避けるために右方にずらしている). この剛体リンクモデルは人体の各部位を棒状の剛体で表現し, 矢状面上に投影したものである. 各部位の質量はそれぞれの重心に集中して存在しており, 上肢と下肢は片半身における各部位の質量, 頭部と胴部については実際の質量の1/2とする. 部位 i ($i = 1, 2, 3, \dots, 8$) の質量を m_i (kg), 長さを L_i (m), 根元側から重心までの距離を L_{Gi} (m) とする.

2-2. 動作の生成

全体で T 秒間の一連の動作を N 分割し, $N + 1$ ステップの2次元剛体リンクモデルを用いて作業動作を再現する. それぞれのステップにおける時刻を $t = t_0, t_1, t_2, \dots, t_N$ ($t_0 = 0, t_N = T$) とし, 図2に示すように, 各ステップにおける各部位の角度 $\theta_i(t)$

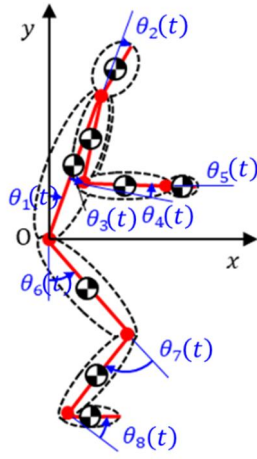


図2 人体モデルの姿勢

を定めることで身体の姿勢を設定する. 本研究では, 第 1 ステップである t_0 と最終ステップである t_N の姿勢を固定し, その間の $t_1 \sim t_{N-1}$ の姿勢を設計対象とする.

2-3. 身体負荷解析

本研究では準静的な動作を対象とし, 身体動作における加速度は考慮しない. そのため, 関節トルクは, 対象とする関節よりも末端側にある部位に作用する重力と人体外部から手足に作用する力によるトルクの和として計算する. ここで, 足に作用する力は地面からの反力であり, 全身の重心から地面に下した鉛直線と地面との交点において, 全重量に相当する力が上向きに作用する.

身体的負荷評価には, 身体的負担に相当する関節トルク比を用いる. 関節トルク比の要素である最大関節トルクは, 各関節の角度とトルクの向き (伸展や屈曲等) に依存するため, ステップごとに定められた関節角度とトルクの向きから最大関節トルクを求めて関節トルク比を算出する^{2~4)}.

2-4. 最適化問題の構成

一連の動作においては, 複数の関節を協調して動かす必要があり, その際の身体的負荷を低減することが求められる. すなわち, 動作中の多数の関節の角度を, 身体的負荷が最小となるように適切に決定する必要がある. 本研究では, このような問題を最適化問題として構成し, 最適化手法を適用して解を求める. 以下に, 本最適化問題の構成を示す.

$$\begin{aligned}
 & \text{decide} \quad \mathbf{x} = [\theta_{i_1}(t_1), \dots, \theta_{i_1}(t_{N-1}), \dots, \theta_{i_n}(t_1), \dots, \theta_{i_n}(t_{N-1})]^T \\
 & \text{max.} \quad f_1(\mathbf{x}) \\
 & \text{min.} \quad f_2(\mathbf{x}) \\
 & \text{min.} \quad f_3(\mathbf{x}) \\
 & \quad x_{8,H}(t_k) \leq x_g(t_k) \leq x_{8,T}(t_k) \quad (k = 1, \dots, N) \\
 & \text{sub.to} \quad |\theta_i(t_k) - \theta_{i0}(t_k)| \leq \Delta\theta_i \quad (k = 1, \dots, N)
 \end{aligned}$$

設計変数 $\mathbf{x} = [\theta_i(t_1), \theta_i(t_2), \theta_i(t_3), \dots, \theta_i(t_{N-1})]^T$ ($i = 1, 2, \dots, 8$) は対象とする関節についての時刻 $t = t_1, t_2, \dots, t_{N-1}$ における関節角度である.

目的関数は, 動作中における各関節の所定の動作における仕事と関節トルク比との比 $f_1(\mathbf{x})$ の最大化, 仕事 $f_2(\mathbf{x})$ の最小化, 関節トルク比 $f_3(\mathbf{x})$ の最小化である. $f_1(\mathbf{x})$ は関節トルク比が小さなところで大きな仕事をすることによって効率的な動作を求める役割があり, $f_2(\mathbf{x})$ は無駄な動作の発生を防ぐ役割があり, $f_3(\mathbf{x})$ は全体的な負担を最小限に抑える役割がある.

制約条件としては, 動作中に剛体リンクモデルがバランスを保つように, 身体の重心の反力が支持基底面上に存在するための不等式制約条件を設ける. 式中の $x_{8,H}$, $x_{8,T}$ はそれぞれ, かかととつま先の x 座標であり, 足裏全体が床に接する場合を想定して, 全身の重心 x_g がその範囲内に収まるようにする. また, 仕事の計算精度を保つために, 1 ステップあたりの関節角度の変位量が大きくならないために関節角度に対する上下限制約を設ける.

本最適化問題は多目的最適化問題となるため, 目的関数 $f_1(\mathbf{x})$, $f_2(\mathbf{x})$, $f_3(\mathbf{x})$ それぞれに重み係数 k_1 , k_2 , k_3 ($k_1, k_2, k_3 > 0$) を乗じて以下の目的関数を設定し, 単一目的最適化問題に変換して解を求める.

$$\text{min.} \quad f(\mathbf{x}) = -k_1 f_1(\mathbf{x}) + k_2 f_2(\mathbf{x}) + k_3 f_3(\mathbf{x})$$

2-5. 身体負荷の評価

所定の作業動作を行う際の身体的負荷を低減するために, 作業動作の実施に必要な仕事と身体的負荷の評価に必要な関節トルク比の計算方法を以下に示す. 関節 i における時刻 t_k ($k = 0, 1, 2, \dots, N$) での関節トルクを $T_i(t_k)$, 関節角度を $\theta_i(t_k)$ とする. 時刻 t_{k-1} から t_k における関節トルクの平均を $\bar{T}_{i,k} = \{T_i(t_{k-1}) + T_i(t_k)\}/2$ (N), 関節角度の変化量を $\Delta\theta_{i,k} = \theta_i(t_k) - \theta_i(t_{k-1})$ (rad) とし, 仕事を $\Delta W_{i,k} = \bar{T}_{i,k} \Delta\theta_{i,k}$ で近似する. また, 時刻 t_k にお

る関節トルク比については、関節角度に応じて最大関節トルクが変化することを考慮して時刻 t_{k-1}, t_k における関節トルク比を求め、その平均 $|\bar{\tau}_i(t_k)|$ を用いる。本研究では関節トルク比の符号により伸展・屈曲等のトルクの向きを表すため、その絶対値を用いて身体的負荷を評価する。

2. 適用事例

3-1. 最適化問題の定式化

本研究では、提案手法を椅子からの立ち上がり動作に適用して検証を行う。以下にその定式化を示す。

(1) 設計変数

設計変数は、腰関節、股関節、膝関節（それぞれ、 $i = 1, 6, 7$ ）の各ステップにおける関節角度とする。

$$\mathbf{x} = [\theta_1(t_1), \dots, \theta_1(t_{N-1}), \theta_6(t_1), \dots, \theta_6(t_{N-1}), \theta_7(t_1), \dots, \theta_7(t_{N-1})]^T$$

(2) 目的関数

目的関数を構成する3つの関数を以下に示す。姿勢が変化するにつれて、関節角度が変化する関節 $i = 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ を目的関数の対象とする。

$$\max. \quad f_1(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{1,3,4,5,6,7,8} \left(\sum_{k=1}^N \frac{|\Delta W_{i,k}|}{|\bar{\tau}_{i,k}|} \right)$$

$$\min. \quad f_2(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{1,3,4,5,6,7,8} \left(\sum_{k=1}^N |\Delta W_{i,k}| \right)$$

$$\min. \quad f_3(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{1,3,4,5,6,7,8} \left(\sum_{k=1}^N |\tau_{i,k}| \right)$$

(3) 従属変数

設計変数が変化しても足裏全体が床と水平になるように足関節角度 $\theta_8(t_1), \theta_8(t_2), \dots, \theta_8(t_N)$ を調整する。

3-2. Python による実装

本研究では、人体の剛体リンクモデルを用いた作業姿勢の設定および最適化指標の計算に Python を用いる。最適化手法は Python の Scipy ライブラリに含まれる SLSQP 法を採用し、仮想環境内で実装して検証を行う。

4. 最適化計算結果

4-1. パレート解析

重み係数を $k_1 = 1, k_2 = 50, 100, k_3 = 100, 1000$ を組み合わせた場合について、パレート解析を行っ

た結果を表1と図3に示す。図3は初期解を除いた4個の最適化結果を示しており、赤い領域に近いほど最適な値であることを表す。

表1 パレート解析

	$f_1(\mathbf{x})$	$f_2(\mathbf{x})$	$f_3(\mathbf{x})$
初期解	855.832	104.457	7.376
$k_1 = 1, k_2 = 50, k_3 = 100$	905.690	102.049	6.422
$k_1 = 1, k_2 = 50, k_3 = 1000$	906.059	102.103	5.915
$k_1 = 1, k_2 = 100, k_3 = 100$	904.032	102.036	6.444
$k_1 = 1, k_2 = 100, k_3 = 1000$	903.763	102.086	5.927

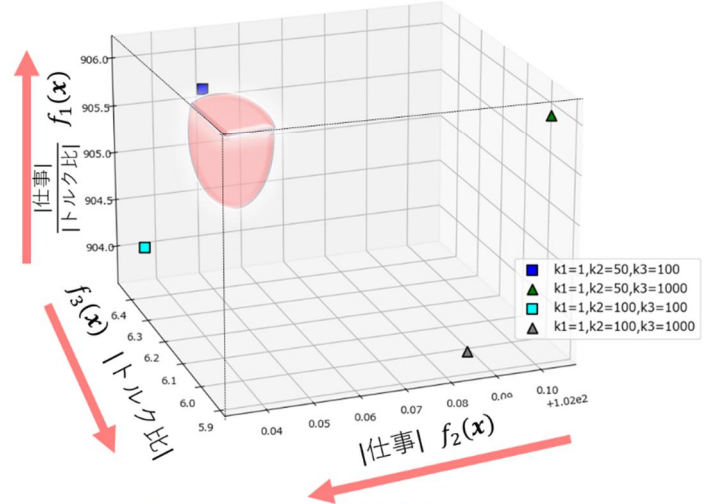


図3 パレート解析結果

4-2. 動作や力学負荷の比較

重み係数 k_2, k_3 の値が大きくなると、 $f_2(\mathbf{x}), f_3(\mathbf{x})$ の値は小さくなり、目的関数の値を改善することが確認できた。図4に全ての目的関数 $f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), f_3(\mathbf{x})$ の改善率が最も大きい $k_3 = 50, k_3 = 1000$ の場合について初期解と最適解の動作を比較した図を示す。点線が初期解、実線が最適解である。また、図5(a)に関節角度の推移、(b)~(d)に目的関数の推移を示す。それぞれ横軸はステップ数を示し、縦軸については、(a)は関節角度、(b)~(d)はそれぞれ目的関数 $f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), f_3(\mathbf{x})$ の値を示す。いずれの図も矢印の向きが最適化の向きを表している。同図4, 5から、いずれの関節も初期解よりも早い伸展を行っており、全身の重心（図4における鉛直の矢印の始点）を根幹側の関節に引き寄せて関節トルクを小さくすることによって関節トルク比の値を改善している。また、図4から、全身の重心を足関節よりも前方で近い位置に留めており、足関節での身体的負荷を軽減している。これは、足関節では底屈の方が背屈よりも大きな最大関節トルクを発揮できるためである。

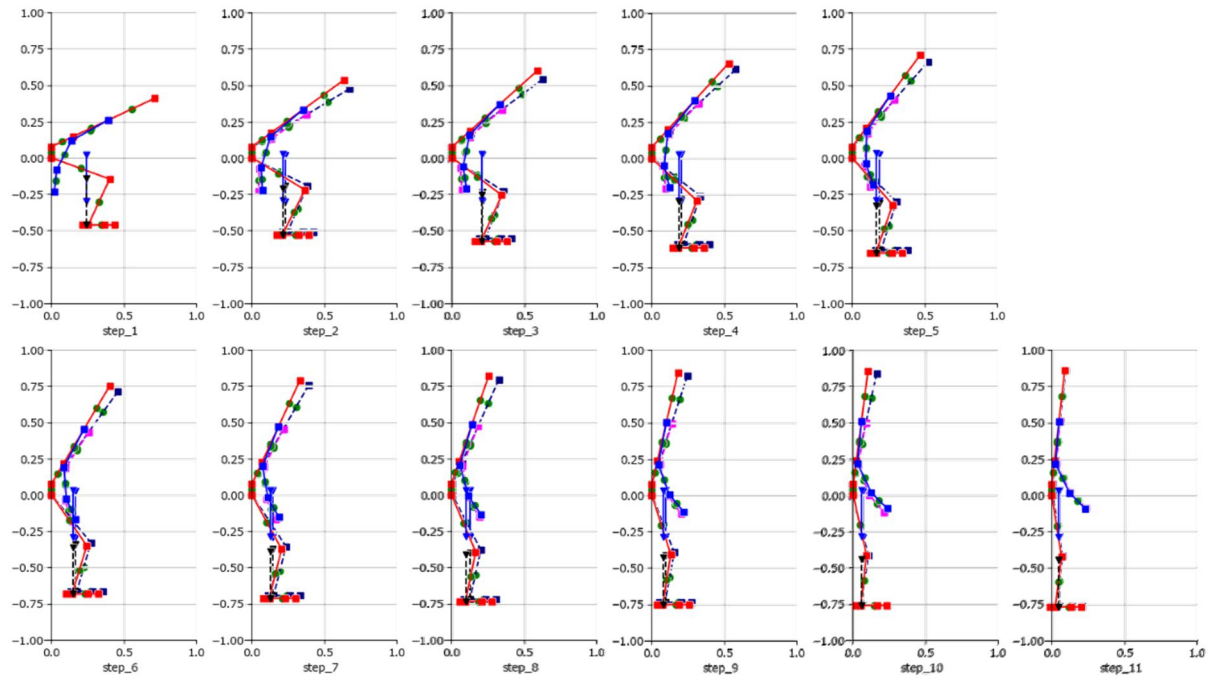
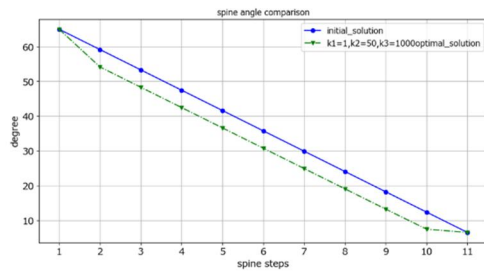
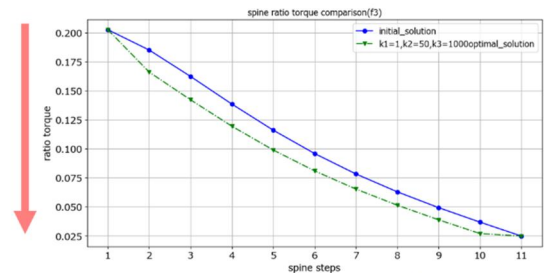


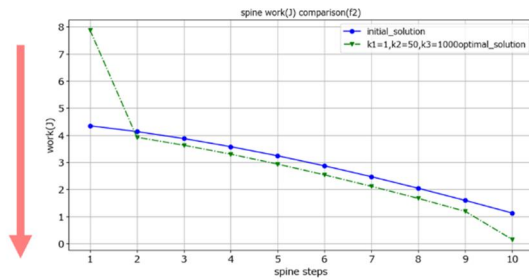
図4 初期解と最適解における動作の比較



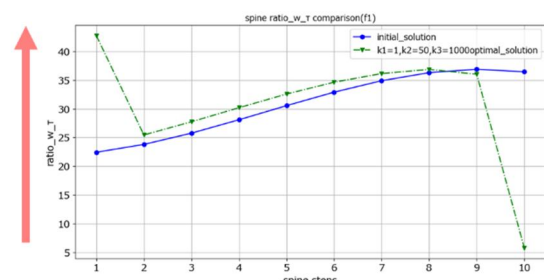
(a) 腰関節の関節角度の推移



(b) 腰関節のトルク比の推移



(c) 腰関節の仕事の推移



(d) 腰関節の $|\Delta W_{l,k}|/|\bar{\tau}_{ik}|$ の推移

図5 腰関節での最適化指標の推移

5. 結言

本研究では、2次元の人体剛体リンクモデルを用いた作業動作の最適化法を構成した。さらに、椅子からの立ち上がり動作に適用してパレート解析を行い、その有効性の検証を行った。今後は、目的関数のより適切な形を検討するとともに、様々な動作を検証するために設計変数を増加することを計画している。

参考文献

- 1) 茅原, 福地, 瀬尾: 日本機械学会第26回設計工学・システム部門講演会(2016), 講演番号2506.
- 2) 黒川, 廣川: 2023年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, (2023), pp. 95-98.
- 3) 黒川, 廣川: 日本人間工学会第65回大会講演論文集, (2024), 講演番号1D1-3.
- 4) 黒川, 廣川: 2024年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, (2024), pp. 11-14.

スマホ画面を視認せずに操作するためのシートを用いた入力方法の検討 Input Method using Sheets for Operating a Smartphone without Visualizing its Screen

○有木温美*, 廣川敬康**

*近畿大学大学院 生物理工学研究科, **近畿大学 生物理工学部

ARIKI Atsumi*, HIROKAWA Noriyasu**

*Graduate School of Biology-Oriented Science and Technology, Kindai University,

** Faculty of Biology-Oriented Science and Technology, Kindai University

1. はじめに

スマートフォンは画面を見ながら操作することが前提となっているため、他の作業をしながら操作することが困難である。そこで、スマホ画面を見ずに文字を入力することができれば、マルチタスクが可能となり作業効率の向上が期待される。本研究では、スマホ画面のキーパッド上にシートを貼付し、指先の感覚だけで文字入力が可能となる方法を検討する。軽い力で画面をタップしたときに指先が感じ取れるようにシートの厚さや形状を変更して誤字数を求め、提案手法の有効性を検証する。

2. 方法

2-1. 実験方法

本研究では、日本語かな入力キーパッド上にシートを貼付し、スマートフォンの画面を視認せずに、片手で入力を行う際の誤字数を求める。図1に示すように、キーの上にシートを交互に貼付することで、隣り合ったキーと間違えてタップすることを防ぐ。実験では以下の3パターンでシートを貼付する。

- ① あ行、さ行、な行、ま行、ら行、わ行（以下、「あ～わ行」）に貼る
- ② か行、た行、は行、や行、小文字（以下、「か～小行」）に貼る
- ③ 「あ～わ行」と「か～小行」の両方に貼る

本研究ではシートの厚さ、サイズ、形状に着目して実験を行い、提案手法の効果について検討する。

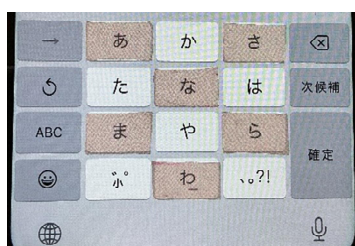


図1 シートの貼付例

2-2. シート詳細

図2に貼付するシートを示す。これらはシートの厚さ、形状、サイズの3項目について以下の条件を組み合わせたものである。

- ・厚さ：0.1mm, 0.15mm, 0.2mm, 0.3mm, 0.35mm, 0.4mm の6種類。
- ・形状：四角形、穴あき四角形、円形の3種類。
- ・サイズ：四角形と穴あき四角形ではキーと同じサイズの「大」、キーサイズより上下左右1mmずつ小さい「小」の2種類。
円形では直径6mmの「大」、直径3mmの「小」の2種類。

図2に、形状3種類、サイズ2種類の組合せを示したものを示す。

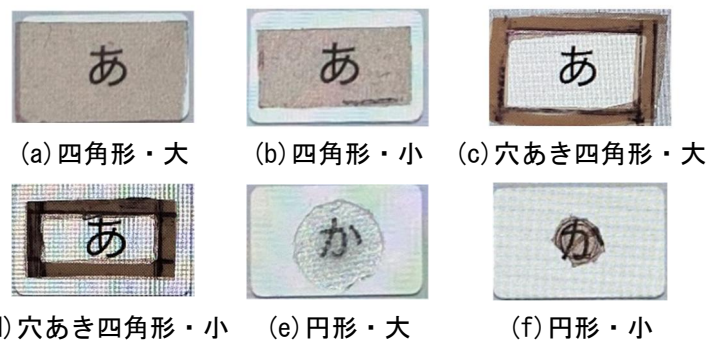


図2 シートの詳細

2-3. 入力方法

スマホでの文字入力方法にはトグル入力とフリック入力の2種類があるが、本研究ではトグル入力を用いる。人間の皮膚は凹凸形状に対して押し付けるよりなぞるように触る方が触覚受容器に加わる刺激が強く¹⁾²⁾、より小さな凹凸も感じ取ることができる。本研究では、触覚刺激の弱いトグル入力を実験を行うことで、より触覚刺激の強いフリック入力でも問題なく知覚することができると考え、トグル入

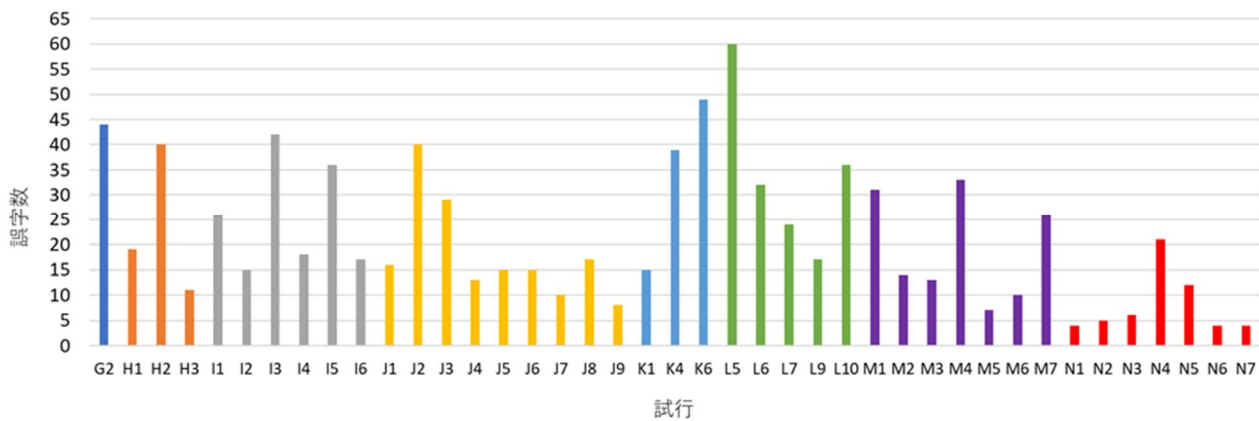


図4 誤字数

力で実験を行う。入力速度は各自に任せ、入力を間違えたことに気づいた場合でも、誤字は消去せず正しい文字を入力し直す形で修正を行う。

2-4. 実験参加者

実験参加者は24歳の大学生で、手長（手首の皺から中指の先端までの長さ）³⁾は17.5cmである。普段から右手を用いて文字入力を行っている。

2-5. スマートフォン

実験に使用するスマートフォンは縦150.9mm×横75.7mm×厚さ8.3mm、重量194gのiPhone11（Apple製）である。日本語かな入力キーパッドのキーサイズは縦7.0mm×横12.0mmであり、図1に示すようにタッチパネルの下部に位置する。

2-6. 誤字

表1に示すように、誤字の種類は9種類とする。例えば、「あかいな」を入力するときに、入力画面に「たなちや」と表示された場合、本来押すキーよりも下にズレたキーを押していると判断して、「下ズレ」による誤字が4個と計算する。

表1 誤字の種類

過剰	タップ数が多い
不足	タップ数が少ない
上ズレ	指定のキーより上のキーを押している
下ズレ	指定のキーより下のキーを押している
左ズレ	指定のキーより左のキーを押している
右ズレ	指定のキーより右のキーを押している
欠落	キーを押せていない
確定前	前の文字の確定前に同じキーを
繰り返し	繰り返し押している
その他	その他のミス

3. 結果

3-1. 実験結果

実験では入力する文章として「あめんぼの歌」⁴⁾（全266文字）を用いる。図3(a), (b)に、正しいあめんぼの歌と入力結果の例を示す。あめんぼの歌は、五十音の各文字が2回以上出現し全ての文字の入力結果を検証することができる。同図(b)中、下線部は誤字を示し、四角は文字の欠落箇所を示す。

あめんぼ あかいな あいうえお うきもに こえびも およいでる
かきのき くりのき かきくけこ きつつき こつこつ かれけやき
ささげに すをかけ さしすせそ そのうお あさせで さしました
たちましょ らっぱで たちつてと とてとて たったと とびたつた
なめくじ のろのろ なにぬねの なんどに ぬめって なにねばる
はとぼっぽ ほろほろ はひふへほ ひなたの おへやにや ふえをふく
まいまい ねじまき まみむめも うめのみ おちても みもしまい
やきぐり ゆでぐり やいゆえよ やまだに ひのつく よいのいえ
らいちょうは さむかる らりるれろ れんげが さいたら るりのとり
わいわい わっしょい わいうえを うえきや いどがえ おまつりだ

(a) 正しいあめんぼの歌

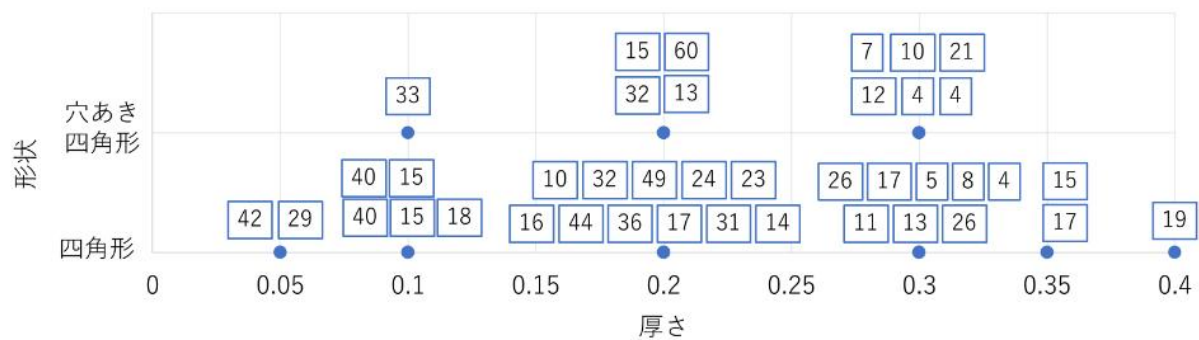
あめんぼ あかいな あいうえお うきもに こえびも およいで
かきのき く[■]のき かきくけこ きつつき こつこつ か[■]けやき
ささげに すをかけ さし^しせそ ^すのうお あさ^しで さしま^さた
たちま^さょ らっぱで たちつてと とてとて たったと とびたつた
なめくじ の^らのろ なにぬねの なんどに ぬめって なにねば^り
はとぼっぽ ほ[■]ほ^る はひふへほ ひなたの おへやにや ふえをふ^きな
ま^いい ねじまき まみむめも うめのみ おちても みも^ひまい
やきぐり ゆでぐ[■] やいゆえよ やまだに ひのつく よいのいえ
らいちょうは さむかる らりるれろ ^るんげが さいたら ^らりのとり
わいわい わっしょい わいうえを うえ^さかや いどがえ おまつりだ

(b) 入力結果の例

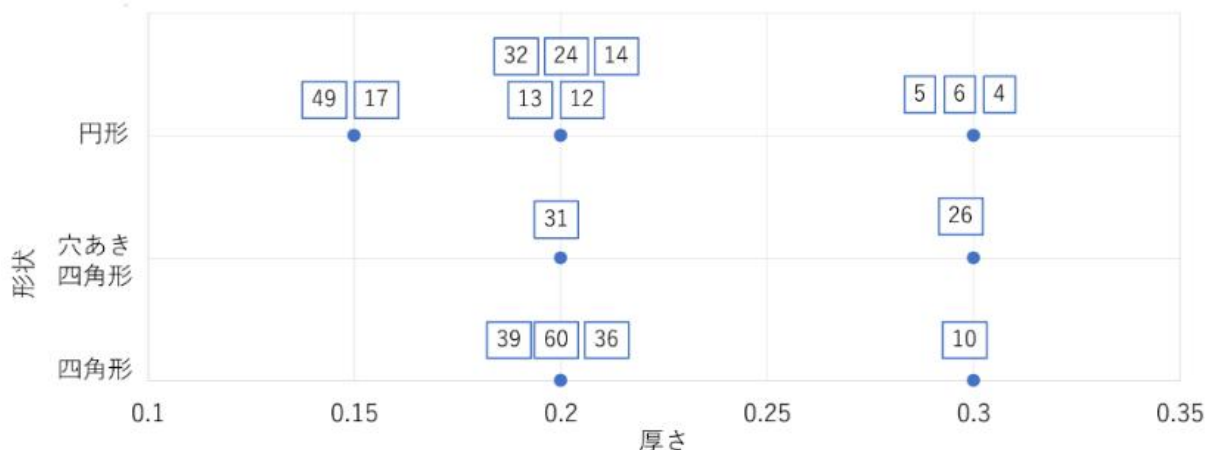
図3 あめんぼの歌

3-2. 考察

図4に、41回の試行に対する誤字数を示す。試行番号中のアルファベットは試行を行った日付を表し、数字は試行順序を表す。同図より、各試行の誤字数は4～60個であったが、シートを貼付していない場合の誤字数は159個であった。このことから、シー



(a) あ〜わ行



(b) か〜小行

図5 シート形状と厚さに対する誤字数の分布

表2 シートの形状と厚さに対する誤字数の平均値

(a) あ〜わ行

あ〜わ行	0.05	0.1	0.2	0.3	0.35	0.4	平均
四角形	35.5	25.6	26.8	13.8	16.0	19.0	22.8
穴あき四角形		33.0	25.5	6.2			21.6
平均	35.5	29.3	26.1	10.0	16.0	19.0	

(b) か〜小行

か〜小行	0.15	0.2	0.3	平均
四角形		45.0	10.0	27.5
穴あき四角形		31.0	26.0	28.5
円形	33.0	19.0	5.0	19.0
平均	33.0	31.7	13.7	

トを貼付することによって誤字数が減少することが予想できる。

次に、図5(a)に「あ〜わ行」、同図(b)に「か〜小行」に貼付したシートの形状と厚さに対する誤字数の分布を示す。また、表2(a),(b)に、それぞれ「あ〜わ行」、「か〜小行」に貼付したシートの形状と厚さに対する誤字数の平均値を示す。これらより以下のことがわかる。

A) 同表(a),(b)のいずれにおいても、厚さ0.3mm以上では、0.3mm未満に比べて誤字数が少ない。

B) 同表(a)より、シート形状による誤字数の変化はみられない。

C) 同表(b)より、「か〜小行」に四角形と穴あき四角形を貼付したときは誤字数に差はみられないが、円形小を貼付したときは誤字数が減少している。

A)については、1Nの力で凹凸形状を押したときの凹凸検出感度は厚さ0.2mm以上であるが⁹⁾、本研究ではより小さい力で画面を押すため、0.2mmでは誤字数には変化がなく、0.3mm以上で誤字数が減少したものと考えられる。

さらに、B)とC)について検討するために、図6に「あ〜わ行」と「か〜小行」それぞれに貼付するシートの形状と誤字数の分布を示す。また、表3にシート形状に対する誤字数の平均値を示す。表3より、誤字数が少ないのは「か〜小行」にシートを貼付しない場合と円形小を貼付した場合である。このことから「あ〜わ行」と「か〜小行」両方にシートを貼付する場合は、似た形状のシートを貼付するより、異なる形状のシートを貼付する方が誤字数が減少すると考えられる。

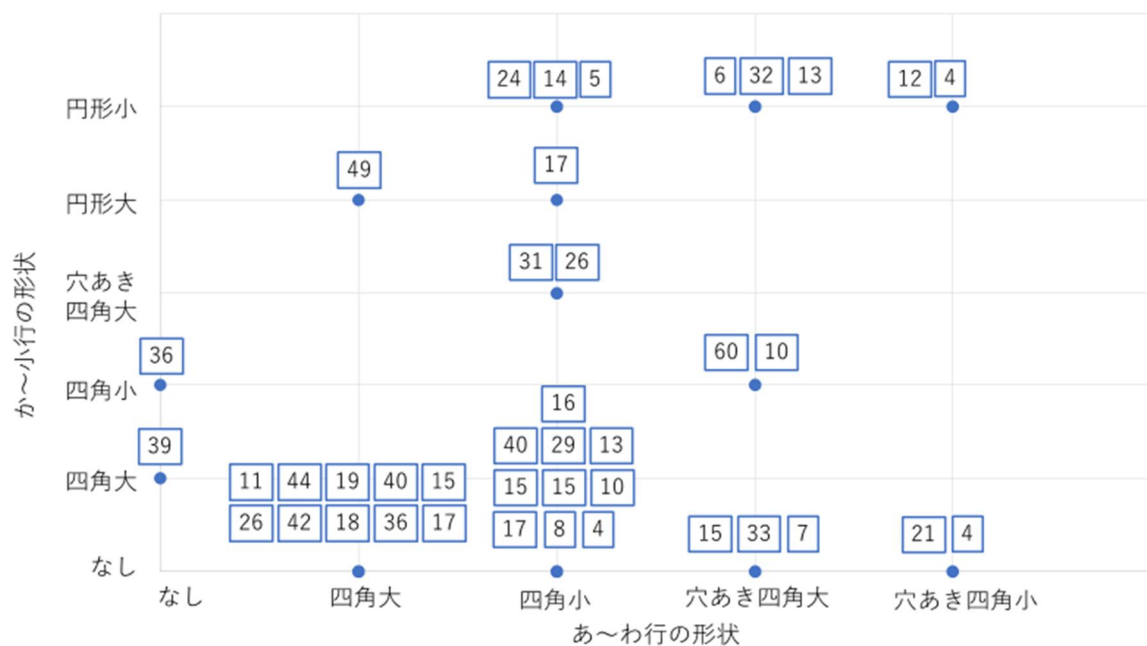


図6 「あ〜わ行」と「か〜小行」の形状と誤字数の分布

表3 シート形状に対する誤字数の平均値

		あ〜わ行				
か〜小行	形状	なし	四角形大	四角形小	穴あき四角形大	穴あき四角形小
	なし	26.8	16.7	18.3	12.5	18.6
	四角形大	36.0				36.0
	四角形小	39.0			35.0	37.0
	穴あき四角形大			28.5		28.5
	円形大		49.0	17.0		33.0
	円形小			14.3	17.0	8.0
	平均	37.5	37.9	19.1	23.4	10.3

表4 重回帰分析の結果

説明変数		係数	標準誤差	t	P値	
あ〜わ行	厚さ	-58.243	18.126	-3.213	0.003	
	サイズ	8.572	2.839	3.019	0.005	
か〜小行	厚さ		-139.925	51.564	-2.714	0.010
	形状	四角形	46.290	13.531	3.421	0.002
		穴あき四角形	49.319	14.779	3.337	0.002
		円形	29.627	11.876	2.495	0.018

3-3. 重回帰分析

誤字数の減少に影響を与える要因を確認するために、誤字数を目的変数、「あ〜わ行」の厚さとサイズ、「か〜小行」の厚さと形状を説明変数として重回帰分析を行った。形状はカテゴリー値であるため、分析の際はダミー変数を用いてシートなしを 0、シートありを 1 とした。表 4 にその結果を示す。有意水準を 5% として分析した結果、説明変数の P 値が 0.05 以下になったため統計的に有意と判断される。係数の値より、誤字数に最も大きな影響を与えるのは「か〜小行」のシート厚さであり、次いで「あ〜わ行」のシート厚さであると考えられる。

4. まとめ

スマホを片手で操作し文字入力を行う際、シートを貼付することによって誤字数が減少することを確認した。重回帰分析の結果、「あ〜わ行」と「か〜小行」のシート厚さが誤字数に影響を及ぼす要因であると考えられる。

参考文献

- 1) 川村拓也, 田中直樹, 谷和男: 手指の触運動方向が微小段差弁別に及ぼす影響, Vol.21, pp.93-102 (2012).
- 2) 田中由浩, 佐野明人: 触知覚メカニズムと指・皮膚構造, バイオメカニズム学会誌, Vol.38, No.1, pp.47-52 (2014).
- 3) 河内まき子, 2012: AIST 日本人の手の寸法データ. <https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/hand/index.html>, (閲覧日: 2025-10-29).
- 4) 北原白秋: 五十音, 白秋童謡集第 5 集 (祭の笛), pp.190-193 (1922).
- 5) 神明前方嗣: 指先の皮膚感覚による凹凸知覚特性の研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.13, No.1, pp.101-103 (2008).

一般セッション 3

船舶・安全・生活

東3号館 1階 101 講義室

10:00~11:35

船員業務の負担軽減を目指したスマートグラスの開発

Development of Smart Glasses Aimed at Reducing the Workload of Seafarers

○弘中琥汰朗*, 北村健一*, 瀬田広明**, 岡田恭侍***

*鳥羽商船高等専門学校商船学科 **東海大学航海工学科 ***海技教育機構

HIRONAKA Kotaro*, KITAMURA Kenichi*, SETA Hiroaki**, OKADA Kyoji***

*Maritime Technology Department, National Institute of Technology, Toba College, ** Department of Marine Science and Ocean Engineering, Tokai University, ***Japan Agency of Maritime Education and Training for Seafarers

1. 背景

船舶の安全運航において、当直航海士は航海計器の監視、船位の確認、他船との衝突回避の判断など多くの業務を同時に行う必要があり、その負担は大きい。従来は各種計器を逐一確認する必要があり、外界の見張りに十分な注意を払うことが難しい状況にある。その結果、情報収集の効率化と航海士の負担軽減を両立する新たな支援技術が求められている。近年、スマートグラスのようなウェアラブルデバイスは、視界を妨げることなく情報を提示できる点で注目されている¹⁻⁴⁾。本研究では、スマートグラスに複数の航海計器情報を同時に表示することで、計器確認に伴う視線移動を削減し、作業効率と安全性の向上を目指す。さらに、航海士のモチベーション向上に着目して、視界の端にキャラクターを配置し、状況に応じて音声で危険を知らせる仕組みを検討する。他船との接近や衝突の危険を検知した際に、キャラクターが可愛い声で警告を発することで、直感的かつ心理的に受け入れやすい警報システムを実現できると考えた。

2. 目的

本研究の目的は、スマートグラスを活用して当直航海士が必要とする複数の航海計器情報を同時に提示し、情報収集にかかる負担を軽減するとともに、外界の見張りを妨げることなく作業効率と安全性を高めることである。また、航海士の心理的負担の軽減およびモチベーション向上を図るため、キャラクターによる直感的かつ親しみやすい警告システムを導入する。これにより、従来の警報よりも迅速かつ積極的に注意喚起を受け入れられると考えた。

本研究を通じて、航海支援における新たなインターフェースの有効性を検証し、安全運航に資する技術的基盤の一端を築くことを目指す。

3. 開発するスマートグラス

本研究では、航海支援システムを構築するための基盤として、市販のスマートグラスである XREAL Air 2 Pro と XREAL Beam を採用した(図 1)。これらのデバイスは軽量かつ装着性に優れており、航海士が当直中に長時間利用しても負担が少ない点や視界を妨げずに情報を提示できる点から、実験用デバイスとして適していると考えた。情報提示のためのデータ基盤については、自動的な抽出を可能にした過去の航海で記録された 図 2 に示す NMEA 形式のテキストデータを対象に、自動解析を行うプログラムを作成した(図 3)。このプログラムにより、船位、



図 1 XREAL Air 2 Pro と XREAL Beam

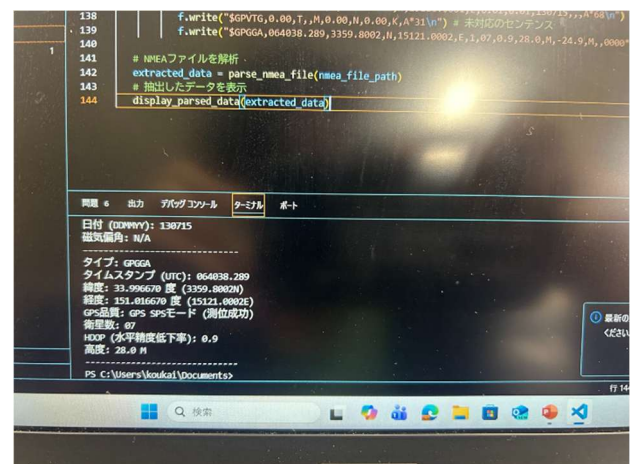


図 2 XREAL Air 2 Pro と XREAL Beam

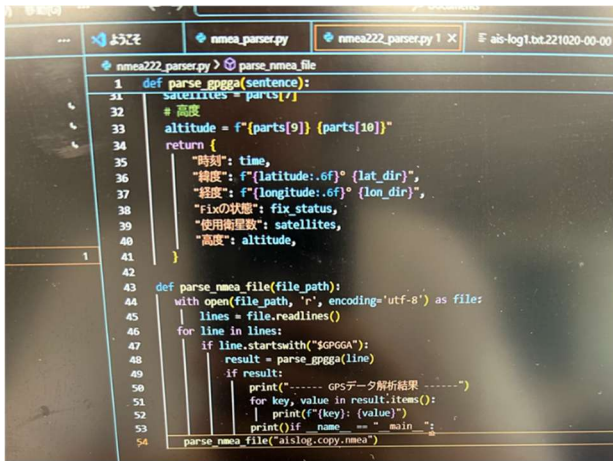


図1 航行情報自動解析プログラム

速度、針路、他船との距離といった運航に必要な不可欠な情報を効率的に抽出が可能となったため、スマートグラスに表示可能な形にデータを整備した上でリアルタイムの航海支援へと応用するための基礎を整えた。

さらに、航海士のモチベーション向上と直感的に受け入れられる注意喚起を目的として、キャラクターを用いた警告システムの導入を検討する。その際の音声には、近年広く活用されている合成音声技術を利用する予定であり、試作段階のものについては、危険接近時にキャラクターが可愛らしい声で警告を発する仕組みを組み込んでいる。

4. 開発スマートグラスの試行結果

本研究では、航海支援システムの基盤構築に向けて以下の成果を得た。

- ・ スマートグラス XREAL Air 2 Pro および XREAL Beam を用いて、航海士が当直中に利用可能な情報提示環境を整備した。
- ・ 過去の航海で記録された NMEA データ を自動で解析し、船位・速度・針路・他船との距離などを効率的に抽出できるプログラムを開発した。
- ・ キャラクターによる音声警告の導入を想定し、合成音声技術を活用した仕組みを試作段階で検討した。

上記の結果より、スマートグラスを活用した効率のかつ直感的な航海支援の可能性を確認した。

5. 今後の課題

開発した現状のスマートグラスは、過去の NMEA データを解析した段階にとどまっており、リアルタイムのデータ表示に対応すべく今後は船舶から取得するデータをリアルタイムに処理し、スマートグラスに即時に表示する仕組みを実装する必要がある。また、航海士の視界を妨げず、必要な情報を直感的に確認できるように、情報表示の位置やデザインを検討するといった表示レイアウトの最適化を目指す。一方で、キャラクター警告システムの評価については、合成音声を用いたキャラクターによる警告が従来の警報と比べて注意喚起やモチベーション向上に有効であるか、実験やアンケートを通して検証する必要がある。さらなる検証対象として、実際の航海環境におけるスマートグラスの装着感、視認性、通信環境などの課題を評価し、当該スマートグラスが実運用に耐えうるシステムとすることが求められる。

6. おわりに

本研究で実施した実験は JSPS 科研費 JP22K13775 の助成を受けたものである。本実験はヒトを対象とするため、鳥羽商船高等専門学校生命倫理委員会規則にのっとり同委員会より審議を受け、ヒトを対象とする研究を行うことに対して既に承認を得ている。本実験協力者にはインフォームド・コンセントを書面で行った。

参考文献

- 1) 小柴瑞樹, 山崎純弥, 大隅久: スマートグラスを用いた機械式時計の組立支援システムの試作, マイクロメカトロニクス (日本時計学会誌), Vol. 65, No.225, pp.1-14 (2021).
- 2) 板宮朋基: スマートグラスを用いた複合現実感の手術ナビゲーションへの応用, 第62回総会シンポジウム1「最先端 technology の口腔外科への応用」, Vol. 65, No.2, pp.48-50 (2019).
- 3) 飯田雄大, 堀江亮太: 簡易脳波計及びスマートグラスを用いた直感的に操作可能な電動車椅子制御における視覚フィードバックによる β/α 比誘発手法の検討, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 137, No.4, pp.595-603 (2016).
- 4) 山村龍平, 國藤裕成, 亀山開, 安田雅昭, 平井義彦: スマートグラス用傾斜解析パターンの離型プロセス・材料に関する考察, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, p.1401 (2022).

海中転落者救出に向けた赤外線の人認識基礎実験

Infrared Human Recognition Basic Experiments for Man-Overboard Rescue

○市川敬之*, 北村健一*, 鎌田功一*, 大崎脩仁**

*鳥羽商船高等専門学校商船学科 **東北大学工学研究科

ICHIKAWA Takayuki*, KITAMURA Kenichi*, KAMADA Koichi**, OSAKI Shuto**

*Maritime Technology Department, National Institute of Technology, Toba College, ** Graduate School of Engineering, Tohoku University

1. 背景

2022 年 4 月に知床半島沖で発生した海難事故では、乗客乗員 26 名全員が死亡または行方不明となる生存者ゼロという悲惨な結果を招いた。運輸安全委員会の最終報告では、事故の直接的な原因は運航会社の脆弱な安全管理体制といった人的要因にあると結論づけられている。しかし、乗船者の死因については、人的要因が直接作用したものではなく海中転落による偶発性低体温症からの海水溺水であると確認された。一般社団法人海技振興センターの調べから、低温の海上に投げ出された場合、迅速な救助がなければ生命の維持は極めて困難となることがわかっている¹⁾。一方、特別法人船員災害防止協会の報告では、船員の死亡・行方不明事故の最多要因は海中転落であり、特に夜間航海時など転落が他者に気づかれにくい状況で発生することが主な要因と考えられている²⁾。このような状況下では、転落者自身が救助を待つ間にとれる手段は限られており事前の入念な準備なしには生存は難しい。したがって、人が海中に転落した場合、その発生プロセスや現場の海水温にかかわらず、早急な救助を提供できなければ生存確率は著しく低下する。したがって、本研究は、海中転落者への即時救助を実現するシステムを開発する。現行の小型船舶においては、ライフジャケットの常時着用等乗船者自身に安全装備の保持や励行を義務付ける法整備が進められているが、これらの措置は乗船者に精神的負担を与える可能性があり全員が常に遵守することは困難である。当該システムは、乗船者の事前準備の有無にかかわらず事故発生時に船そのものが転落者を迅速に救出することを目指す。

2. 海中転落者の即時認識に向けた技術

2-1. ヒト認識技術

ヒトの存在を認識する技術は、自動車メーカーに

よるカメラ画像やレーダー波の解析を中心に盛んに研究されている。例えば、SUBARU の運転支援システム「アイサイト」は、カメラとレーダーで障害物を認識し、自動ブレーキ制御により衝突を回避する。当初、この技術の応用が検討されたが、夜間での使用にはヘッドライトによる照射が必要である点や船舶が使用する多様なレーダーとの干渉の恐れからその採用は断念した。そこで、本研究では、レーダー波との干渉を避ける、フライングビューを活用した海中転落者の即時認識システムの開発を試みるにいたった³⁾。

2-2. フライングビューの応用

最新の船舶に搭載される傾向にあるフライングビューは、船舶の安全航行のために周囲の広範囲な海上状況を監視する目的で導入が進められている。現状、その活用は主に自律運航における他船との相対位置把握に焦点が当てられており、本船からの転落者認識という用途は考慮されていない。本研究は、このフライングビューの画像に対してマルチスペクトルによるヒト固有のスペクトルを把握する処理を施すことで、俯瞰的な視点から昼夜を問わず常時、海中転落者の即時認識が可能になると考える。

2-3. 赤外線によるヒト認識の基礎的検討

先行研究においても赤外線による認識が言及されていることから、本研究提案の実現可能性を検証するため、基礎実験として赤外線による陸上でのヒトの認識を試みた。

3. 赤外線カメラによる探知距離実験

基礎実験として、2025 年 2 月 10 日に赤外線カメラ FLIR E4 を用いて陸上におけるヒト（頭部）の最大探知距離を確認したが、測定距離は、3 m から赤外線カメラが人を認識する距離までとした（図 1, 2）。



図1 赤外線カメラの映像（計測開始，距離3m）

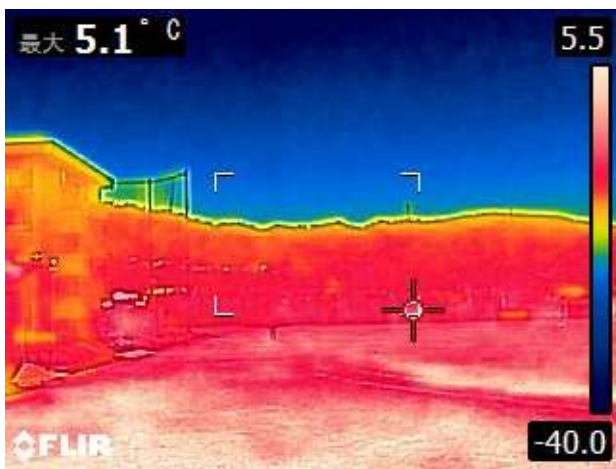


図2 赤外線カメラの映像（計測終了，距離53m）

計測は，午前，午後に各10回計測した。

4. 結果

横軸が実験回数をしめす実験結果を図3および図4に表す。探知距離と環境要因の関係から，気温が低いと探知距離が長くなる，風速が強いと探知距離が短くなる，湿度が低いと探知距離が長くなる傾向を掴んだ。

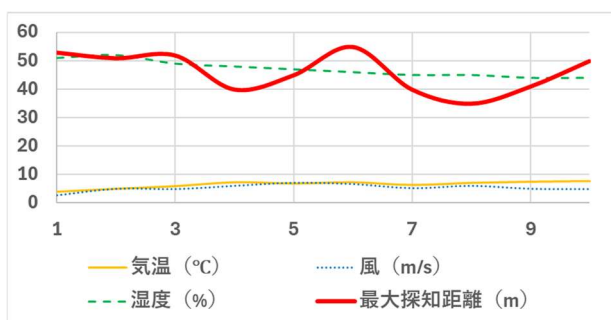


図3 環境要因と探知距離の関係（午前）

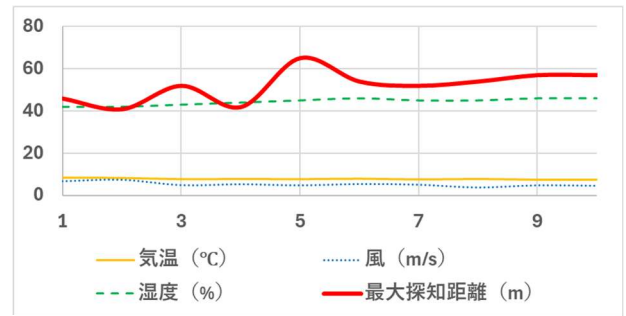


図4 環境要因と探知距離の関係（午後）

5. 考察

実験ごとに探知距離が一定の値をしめさなかったが，これは対象物の温度変化や日射の影響，気温・風速・湿度の環境要因に由来することを確認した。したがって，本研究で採用した赤外線を含むマルチスペクトルの計測に際しては各要因を補正の変動パラメータとして設定できるように事前の準備を要することがわかった。

5. 今後の課題

本研究においては太陽が出ている時の計測だったため，太陽光が及ぼす多様な影響を把握すべく比較として夜間での実験を実施する。

6. おわりに

本研究で実施した実験は JSPS 科研費 JP22K13775 の助成を受けたものである。本実験はヒトを対象とするため，鳥羽商船高等専門学校生命倫理委員会規則にのっとり同委員会より審議を受け，ヒトを対象とする研究を行うことに対して既に承認を得ている。本実験協力者にはインフォームド・コンセントを書面で行った。

参考文献

- 1) 一般社団法人海技振興センター：船員の低体温症対策ガイドブック， https://www.maritime-forum.jp/et/pdf/h28_Guidelines_for_Controlling_Hypothermia_at_Sea_jp.pdf
- 2) 船員災害防止協会：67回安全リーフレット， https://www.sensaibo.or.jp/data_files/view/1676（2025年10月31日アクセス）
- 3) 北村健一，瀬田広明，山田智貴，大崎脩仁：海中転落者への迅速で直接的な救助の検討，2023年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集,pp.25-26（2023）.

操船シミュレータを用いた操船者の状況認識と意思決定について

Situation Awareness and Decision Making of Ship Operators Using a Ship Handling Simulator

○村上喜樹*, I Made Raditya Wicaksana **, 小西宗**, 瀧真輝**

*神戸大学海洋政策科学部 **神戸大学大学院海事科学研究科

MURAKAMI Yoshiaki*, I Made Raditya WICAKSANA **, KONISHI Tsukasa**, FUCHI Masaki **

*Faculty of Ocean Science and Technology, Kobe University,

**Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

1. 背景・目的

船舶は自動車等他の交通モードと異なり、非常に遅い動きを扱う。一例として長さ 303m のコンテナ船の場合、全速前進から機関を全速後進としても停止するまでに約 3200m 進み、約 12 分を要する¹⁾。そのため、操船者は早い段階で周囲の状況を認識し、操船の意思決定を行う必要がある。状況認識には段階があり、1 次は周囲の要素の知覚（以下、知覚）、2 次は現状の理解（以下、現状理解）、3 次は将来の状態の予測（以下、将来予測）とされている²⁾。状況認識に続いて意思決定が行われ、行動が実行される。また、状況認識、意思決定、行動には、知識や経験などの個人要因が影響している²⁾。状況認識の測定手法の一つである SAGAT(Situation Awareness Global Assessment Technique) 手法³⁾を用いた操船シミュレータ実験では、訓練生と熟練者との間に、状況認識の違いがあることが示され、訓練生は将来予測に至っていないことが指摘された⁴⁾。操船方略の経験による違いを調査した研究では、経験により意思決定の適切さが異なり、また意思決定に要する時間が異なることを指摘している⁵⁾。

このように操船者の経験によって状況認識に差があり、意思決定にも差があることが指摘されているが、総合して検討はされておらず、背景についても研究されていない。よって本研究では、状況認識と意思決定について経験差とその背景を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2-1. 実験参加者

本実験では、学生群として、神戸大学海洋政策科学部海技ライセンスコース航海学領域の 4 年生 10 名の協力を得た。平均年齢は 21.5 歳 ($SD = 0.67$) で、いずれも 3 か月の乗船実習を経験しており、海技免状は有していなかった。実務経験者群として、現役航海士 7 名の協力を得た。実務経験者群の平均年齢は 30.6 歳 ($SD = 3.20$) で、平均乗船期間は 5.7 年 ($SD = 2.18$) であった。全員が 3 級海技士（航海）以上の資格を有していた。

2-2. 実験シナリオ

本実験では、2 つのシナリオを用いた。“シナリオ①”及び“シナリオ②”と称してそれぞれの状況を

図 1 および図 2 に示す。いずれのシナリオも他船は 2 隻であり、それぞれ T1, T2 と称する。衝突回避操船を行わなければ、共通して 25 分後に自船と T1 が衝突する。シナリオの作成は、海技士（航海）の資格を有し実務経験を有する教員 2 名が行った。

2-3. 実験方法

実験参加者に、ランダムに 2 つのシナリオの操船をさせた。5 分が経過するごとにシナリオを一時中断し、状況認識に関する質問紙に回答させ短時間のヒアリングを行った。質問紙では中断時の他船の位置と針路を同心円図上に図示させ、また衝突の危険を回避するという点で、他船をどの程度気にしているか、0 を全く気ににならない、10 を非常に気になるとして、11 件法で評価させた。ヒアリング調査では「質問紙に記入した状況をどのように感じているか」「今後どのように操船するか」の 2 点を尋ねた。ヒアリング終了後は速やかにシナリオを再開した。1 シナリオあたり 4 回一時中断した。また実験参加者には 2 回中断するまでは、衝突回避操船を行わないよう教示した。

2-4. 分析方法

衝突回避操船を行わない開始 5 分後（以下、#1）および開始 10 分後（以下、#2）に着目した。

質問紙の同心円図上に T1 ならびに T2 が記入されていれば、知覚が出来ていると判断した。知覚ができていないと判断される他船のうち、当該他船の進行方向の誤差が左右 30 度以内で記入されていれば、現状理解ができていると判断した。

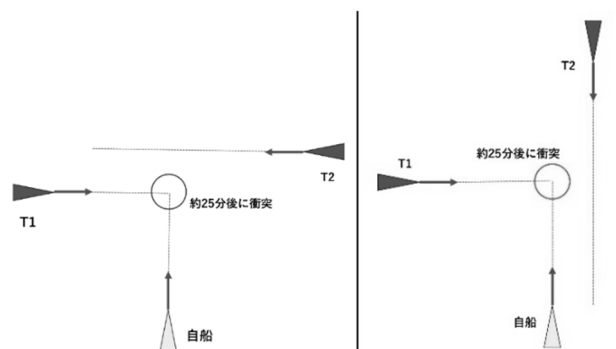


図 1 シナリオ①の配置

図 2 シナリオ②の配置

「質問紙に記入した状況をどのように感じているか」という項目への回答において、衝突の危険に関する発言があれば将来予測ができていていると判断した。将来予測ができている発言のうち、自身の操船により生じる影響を考慮した発言があれば、「質の高い将来予測発言」とした。将来予測は、現状理解が由来している者のみを分析対象とした。また、「今後どのように操船するか」という項目への回答において、意思決定に関する発言を抽出した。そこから個人要因に関する分析を行った。この発言のうち、海上交通ルールに関する発言について、ルールを遵守する旨の発言（以下、遵守群）と、必ずしもルールを遵守しない旨の発言（以下、非遵守群）に分類した。分析は海技士（航海）の資格を有し実務経験を有する教員2名が行った。

3. 結果

3-1. 知覚および現状理解について

知覚および現状理解者数の結果を表1に示す。シナリオ②、#1を除き、学生群と実務経験者群で知覚および現状理解者数は同様であった。

3-2. 将来予測について

質の高い将来予測発言の結果を表2に示す。実務経験者群は学生群と比べて質の高い将来予測発言数が多かった。

3-3. 意思決定について

意思決定に関するヒアリングにおいて、海上交通ルールについて発言した者の数を表3に示す。シナリオ①#1では学生群の方が、発言数が多かった。

海上交通ルールに関する発言の分類結果を表4に示す。シナリオ①およびシナリオ②のいずれにおいても、学生群は遵守群が多く、実務経験者群は非遵守群が多かった。

表1 知覚および現状理解者数（単位：名）

	シナリオ①		シナリオ②	
	#1	#2	#1	#2
学生群	10/10(100%)	10/10(100%)	1/10(10%)	7/10(70%)
実務経験者群	7/7(100%)	7/7(100%)	4/7(57%)	6/7(86%)

表2 質の高い将来予測発言の数（単位：名）

	シナリオ①		シナリオ②	
	#1	#2	#1	#2
学生群	1/7(14%)	2/6(33%)	0/1(0%)	1/5(20%)
実務経験者群	3/6(50%)	2/3(67%)	3/4(75%)	2/5(40%)

表3 海上交通ルールに関する発言者数（単位：名）

	シナリオ①		シナリオ②	
	#1	#2	#1	#2
学生群	7/10(70%)	3/10(30%)	6/10(60%)	4/10(40%)
実務経験者群	3/7(43%)	2/7(29%)	4/7(57%)	3/7(43%)

表4 海上交通ルールに関する発言の分類（単位：名）

シナリオ①	#1		#2	
	遵守群	非遵守群	遵守群	非遵守群
学生群	4/6(67%)	2/6(33%)	3/3(100%)	0/3(0%)
実務経験者群	1/2(50%)	1/2(50%)	1/2(50%)	1/2(50%)

シナリオ②	#1		#2	
	遵守群	非遵守群	遵守群	非遵守群
学生群	3/6(50%)	3/6(50%)	2/3(67%)	1/3(33%)
実務経験者群	0/4(0%)	4/4(100%)	0/3(0%)	3/3(100%)

4. 考察

状況認識のうち知覚および現状理解については、場面への依存はあるが経験差は大きくないと考えられる。しかしながら将来予測の質については経験差があり、実務経験者の質が高いことが示された。意思決定の背景となる海上交通ルールに関する発言数について経験差は小さい。しかしながら発言の内容が異なり、学生群はルールを遵守する傾向にあるが実務経験者は必ずしもルールを遵守しないという傾向であることが示された。学生群は授業等での学びのみをベースにしているが、実務経験者はルールをどのように適用すべきかを検討しているということを示していると考えられる。

参考文献

- 1) 井上欣三：“操船の理論と実際(増補版)”，pp.253-280，成山堂（2021）。
- 2) Endsley, M.R.: “Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems”, Human Factors, Vol.37, No.1, pp. 32-64 (1995).
- 3) Endsley, M.R.: “Situation awareness global Electronics Conference, 1988. NAECON 1988. Proceedings of the IEEE 1988 National, Vol.3, pp. 789-795 (1988).
- 4) 小西宗他：“操船シミュレータによる訓練生の状況認識の特徴”，人間工学，vol.52, No. Supplement, pp. 408-409, (2016).
- 5) 浏真輝他：“操船方略の経験による違い”，日本航海学会論文集，Vol. 117, pp. 199-206 (2007).

乗客の快適性向上のための船体揺れ制御 Vessel Roll and Pitch Stabilization for Passenger Comfort

○谷結野*, 北村健一*, 山田智貴*, 吉岡宰次郎**

*鳥羽商船高等専門学校 **東北大学工学研究科

TANI Yuino*, KITAMURA Kenichi*, YAMADA Tomoki*, YOSHIOKA Saijiro**

*Maritime Technology Department, National Institute of Technology, Toba College, **Graduate School of Engineering, Tohoku University

1. 背景

小型船舶は、他の船舶と比較して船体長が短く軽量であることから、波の上下動や風の影響を直接的に受けやすく、動揺が容易に発生する。特に、低速航行時や停船時においては、波の周期と船の固有周期が一致する「共振」現象が発生しやすく、これにより船体動揺の振幅が著しく増大する。このような状況は、乗客の船酔いを誘発するだけでなく乗下船時の安全性を著しく損なうため、小型船舶における動揺抑制技術の確立は喫緊の課題である。また、動揺の増大は、乗客の不快感や船員の作業負担増大やストレスにも繋がり、ヒューマンエラーのリスクを高める可能性も指摘されている。

そこで、本研究は、船体動揺を制御する新しいアプローチとして既存技術であるジャイロ効果を利用したスタビライザーの改良に着目した。ジャイロスタビライザーは、内部のフライホイールの高速回転によって生じるジャイロモーメントが、船体の揺れを打ち消す原理を利用している。この原理は、フィンスタビライザーとは異なり、船速に依存せず停船時や低速時にも有効に機能するという利点を有する。

2. 目的

本研究は、既存のジャイロスタビライザーが抱える課題を克服し、より手軽に利用できる「軽便なジャイロスタビライザー」を開発することを主たる目的とする。この目的を達成するために、開発した軽便なジャイロスタビライザーが小型船舶の動揺を効果的に抑制できるかを実験的に検証するといった、装置の減揺効果の検証を行う。具体的には、停船時や低速航行時における船体動揺の抑制効果を定量的に評価し、小型船舶への搭載に向けた基礎的な実現可能性を検討する。

3. ジャイロスタビライザー減揺効果検証実験

3-1. ジャイロスタビライザー

ジャイロスタビライザーは、「ジャイロ効果」という物理現象を応用して船の揺れを抑える装置である。ジャイロ効果とは、高速で回転する物体（コマやフライホイールなど）が、その回転軸の向きを保ち続けようとする性質のことである。船に搭載されたジャイロスタビライザーは、内部の重量物（フライホイール）を高速で回転させる。波の力によって船が左右に傾こうとすると（ローリング）、ジャイロ効果によりフライホイールはその場に留まろうとする。このとき、船の傾きに対して反発する力（ジャイロモーメント）が発生する。この力が船の揺れと逆方向に作用することで、動揺を効果的に打ち消し、船体を安定させる仕組みである。本研究で開発する装置は、フライホイールの代わりに管の中を循環する水の流れを利用して、このジャイロ効果を生じさせることを試みるものである。

3-2. 実験方法

本実験は、開発したジャイロ装置の減揺効果を評価するため、次の手順で実施した。

船体に初期傾斜を与えるため、人力で船体を押し横揺れを発生させた。揺れが始まった直後から、加速度センサーで船体の動きを記録した。評価条件として、ジャイロ軸の回転速度を5つのパターン(停止, 15 往復/分, 20 往復/分, 40 往復/分, 60 往復/分)に設定した。ジャイロ軸の回転は、スマートフォンのメトロノームアプリで設定したテンポに合わせて手動で行い、全てのケースでジャイロ装置の傾きが約 60 度になるように操作した。得られたデータから、各条件下での横揺れの周期や振幅を算出し、ジャイロ軸の回転速度と減揺効果の関係を分析した。また、実験時の天候などの環境要因も記録した。

3-3. ジャイロ装置の構成

本研究で製作した実験用ジャイロ装置を表す。本装置は、小型船艇での実証実験を想定し、移動・設置・流速制御の容易さを重視して設計した。装置の環状部は、内径 25mm の塩ビ直管 (VP25) と L 型継手で構成された一辺 108cm の正方形であり、閉回路となっている。内部には模型用の水中スラスタ (DC ブラシモーター、定格 16V-5A) を 2 基組み込み、管内の水を循環させる。モーターおよびスクリュウの回転によって生じるジャイロ効果を相殺するため、逆ピッチの同型スラスタを対向させて配置し、同回転数で逆転させる構造とした。装置の総重量は約 6kg で、うち循環する水の重量は 2.8kg である。スラスタ部は内径 50mm の塩ビ管 (VU50) に固定し、環状部の一辺の中央に異径継手で接続している。重心調整のため、適宜ウェイトを貼付した。電力は、汎用の可変電圧 DC 電源から 2 芯の省電力用ケーブルで給電した。

4. 結果および考察

本実験において計測された船体の横揺れ角度の変化について、結果に大きな違いがみられなかったため、代表例として 図 1 (ジャイロ軸停止状態) および 図 2 (ジャイロ軸 30 往復/分) を示す。横軸が時間 (秒)、縦軸が横揺れの角 (度) である。図 1 と図 2 において、ジャイロ軸を移動させている状態で、わずかではあるが減揺の効果が確認できた。しかし、図 1 のジャイロ軸停止状態における横揺れ角度の最

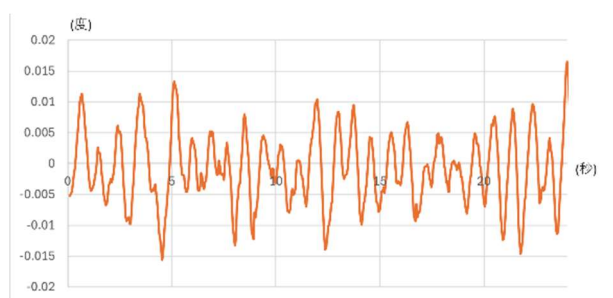


図 1 ジャイロ軸停止状態の船体横揺れ変化

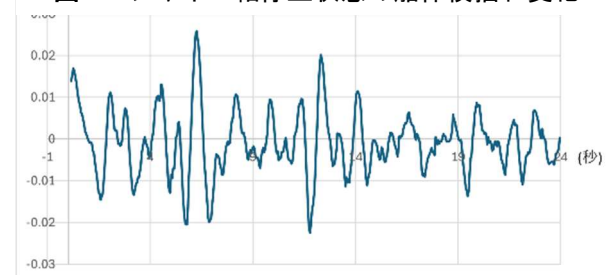


図 2 ジャイロ軸 30 往復/分の船体横揺れ変化

大値が 0.015 度というのは、通常考えられる船の揺れとしては極めて小さい値であった。この極端に低い揺れが生じた原因として、以下の可能性が考えられる。

- ・ 試験環境の制約: 船体を固定、または半固定するような試験装置を使用していた場合、構造上大きな揺れが発生しにくい
- ・ 試験船の特性: 試験に用いた船体が、本装置に対して非常に大きい、あるいは重い場合、そもそもわずかな力では大きく揺れにくい

上記の要因により、本実験ではジャイロスタビライザーとしての減揺効果を明確に検証するにはいかなかった可能性がある。一方で、本装置の動作試験時には、物体の姿勢を一定に保とうとするリアクションホイールとしての効果が顕著に表れた。これは、船体の揺れを抑制するという目的とは異なるが、ジャイロ効果による姿勢保持能力を示唆するものである。この特性は、例えば小型の無人探査機 (ROV) やドローンのように、精密な姿勢制御が求められる機器に応用できる可能性をしめしている。

本実験では、船酔いを引き起こすほどの大きな揺れが計測されることはなかったが、船舶は常に動揺していた。これは、波や風の影響を受けやすい小型船艇であることが大きな原因であることや、ジャイロ装置の慣性モーメントが船全体の慣性モーメントに対して小さかったことから十分な減揺効果を発揮できなかったことが原因として考えられる。今後は、装置の規模を拡大して船体との重量比を適正化することが、ジャイロスタビライザーの実用性を検証する上で重要だと考える。

6. おわりに

本研究で実施した実験は JSPS 科研費 JP22K13775 の助成を受けたものである。本実験はヒトを対象とするため、鳥羽商船高等専門学校生命倫理委員会規則にのっとり同委員会より審議を受け、ヒトを対象とする研究を行うことに対して既に承認を得ている。本実験協力者にはインフォームド・コンセントを書面で行った。

参考文献

- 1) 有馬正和: 研究最前線 船酔いの研究, 船と海のサイエンス, Vol. 8, pp.44-47 (2004).

障害物歩行における後脚のクリアランスと歩幅調節について

Trailing limb clearance and step length adjustment during obstacle walking

○堀田和志* 来田宣幸* 幸田仁志* 井上智博* 田井則一* 三村朋裕*

菊地雄大** 権野めぐみ***

*京都工芸繊維大学 **丸田町リハビリテーションクリニック ***名古屋葵大学

*Kyoto Institute of Technology, ** Marutamachi Rehabilitation Clinic, ***Nagoya Aoi University

1. 緒言

歩行中における障害物の跨ぎ動作は、日常生活環境でしばしば求められ、その能力の低下は高齢者の転倒とも関連する。跨ぎ動作時は、障害物を視認してからの歩幅調整などの運動計画、股関節・膝関節の協調的制御、足先のクリアランスの確保などの運動制御が必要となり、その制御の乱れが転倒リスクの増大につながる。また跨ぎ動作時のつまずきは必ずしも前脚(leading limb)だけでなく、後脚(trailing limb)が障害物と接触することもあり、近年では後脚の跨ぎの動きに着目した報告も散見する。

一般に、障害物の跨ぎ動作を評価する手段として、高齢者を対象とした障害物歩行が近年行われている。本評価は 10m 区間に 2m 間隔に高さ 20cm の障害物を設置し、それらを乗り越えながら歩行する時間を計測する。ただし、日常における障害物の高さや間隔は必ずしも定められた距離・高さではなく、一貫した高さ・間隔の障害物歩行の評価によって高齢者の跨ぎ動作の円滑さを的確に評価できているかは明らかではない。すなわち、障害物の高さや障害物からの距離(踏切位置)の違いは、歩行中の足部クリアランスや股関節・膝関節の運動に変化をもたらす可能性がある。しかし、これらの違いが跨ぎ動作の運動戦略として詳細に検討した報告はみあたらない。

したがって、本研究では跨ぎ動作における下肢のクリアランスや股関節・膝関節の協調性について、障害物の高さや歩幅調整の距離の違いにより定量的に把握することとした。将来的には虚弱高齢者や下肢の整形外科疾患を有する臨床研究に発展させることを視野にいたったうえで、まずは健常成人における跨ぎ動作に着目することとした。

2. 対象と方法

健常成人男性 1 名を対象とし、設定した経路における障害物を跨いで歩くよう指示した。研究の実施

に際して本対象者には実験の目的、方法、予想される不利益をヘルシンキ宣言に基づき説明し、書面にて同意を得た。また本研究は京都工芸繊維大学のヒトを対象とする研究倫理審査委員会の承認を得たうえで実施した(承認番号: 2025-82)。

障害物はいずれも幅 50 cm 奥行き 10 cm であり、高さは 5cm、10cm、15cm、20 cm の 4 条件で実施した。また各高さ条件に対し歩幅調整の条件として、歩行開始位置を障害物手前 2.0m、1.75m、1.5m、1.25m、1.0m の 5 条件とし、「普段通りの速度で歩行をすること、また左脚から開始し、左脚⇒右脚⇒左脚の順序で歩き、3 歩目の左脚および 4 歩目の右脚で障害物を跨ぐこと」を指示した(図 1)。

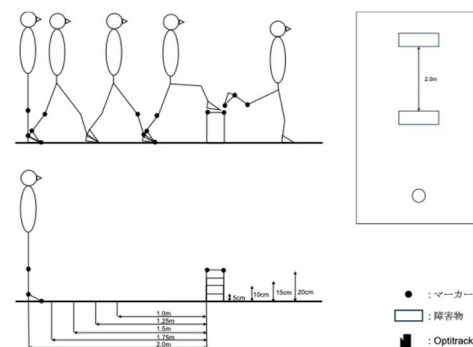


図 1 各条件の設定

なお、障害物は、上記記載の歩行開始位置からの距離に設置したほか、その 2m 先にも同じ高さの障害物を設置し、跨ぎ歩行を継続して行うよう指示した。以上の高さ 4 条件と距離 5 条件の組み合わせ 20 条件を、各 5 試行ずつ実施し、全ての組合せで合計 100 試行を行った。

跨ぎ動作の分析には、OptiTrack を用い、右下肢の足尖(第 5 中足骨頭)、腓骨の外果、大腿骨の外側上顆の 3 か所に反射マーカーを貼付した。さらに各条件における障害物の前後の上端にもマーカーを貼付し、計 5 マーカーの 3 次元座標を抽出した(図 2)。

サンプリング周波数は 120 Hz とした。解析する

区間については、後脚となる4歩目の右脚での跨ぎ動作とし、その際の離地から着地までとした。

解析項目は、障害物に対する足尖クリアランス高、後脚接地位置、足尖の最高到達地点およびその際の腓骨外果、大腿骨外側上顆高とし、各条件についてそれぞれの平均値および標準偏差を算出した。

3. 結果

足尖クリアランス高は、障害物高にかかわらず常に約20～30cmの範囲にあり、各障害物高における標準偏差はそれぞれ約2.0cmであった。足尖が最高到達地点に達した時点における腓骨外果および大腿骨外側上顆の高さは、障害物高の増加に伴い増大し、その変化量は腓骨外果で大腿骨外側上顆より大きかった(標準偏差はそれぞれ7.8cm、2.0cm)。後脚接地位置は、障害物高にかかわらず障害物までの距離が1.0m～1.5mでほぼ一定であったが、1.75mおよび2.0mで増大を示した。

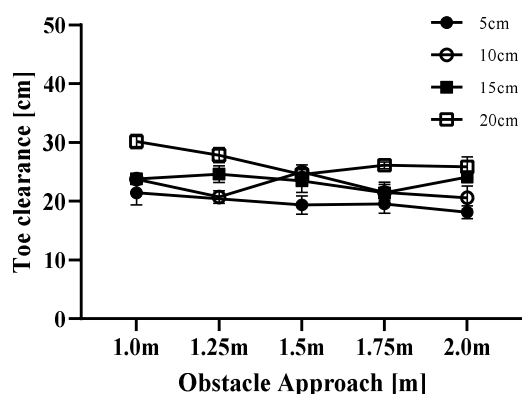


図3 足尖クリアランス高

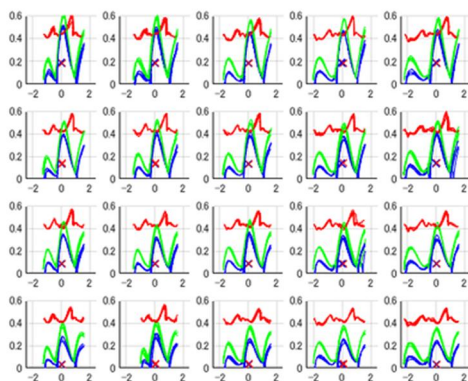


図4 足尖の最高到達地点の各マーカー位置

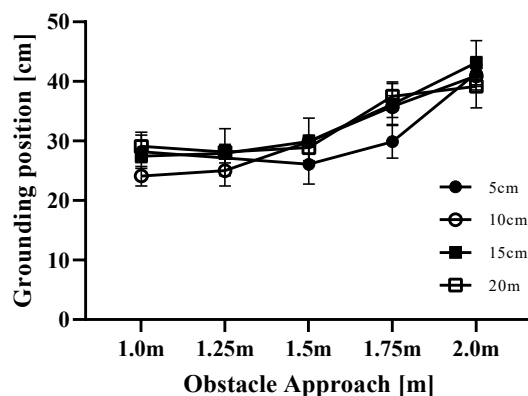


図5 後脚接地位置

4. 考察

本研究では、障害物高と障害物までの距離を変更した際の障害物跨ぎ動作を実施し、足尖、外果、大腿骨外側上顆の三次元軌跡から後脚の運動特性を検討した。足尖クリアランス高は障害物高にかかわらずほぼ一定の範囲に保たれており、障害物への接触を避けるために一定の安全性を確保する動作戦略をとっていることが示唆された(2)。また、障害物高の増加に伴い腓骨外果および大腿骨外側上顆の高さはいずれも増大し、その変化量は腓骨外果で大腿骨外側上顆より大きかったことから、障害物高の増大に応じた跨ぎ動作の調節は主に膝関節の屈曲運動を増大させることで行われていることが示唆された(1)。後脚接地位置は障害物までの距離が一定の距離を越えると増加したことから、障害物までの距離が大きい条件では、障害物跨ぎ前の歩幅を調節することにより歩行の安定性を確保している可能性がある。本研究は、新たな障害物歩行の評価指標の構築に応用できる可能性がある。

参考文献

- 1) Chou, L. S., & Draganich, L. F. (1997). Stepping over an obstacle increases the motions and moments of the joints of the trailing limb in young adults. *Journal of biomechanics*, 30(4), 331–337.
- 2) Kasuga, T., Hagiwara, H., Suzuki, Y., & Asakura, T. (2025). Three-dimensional motion analysis of the trailing limb in obstacle crossing during gait in young adults: foot trajectory changes with the height of obstacles. *Journal of physical therapy science*, 37(9), 480–485.

旅行困難者が本当に海や山に旅行できるの？を実現するフィールド検証 4

－旅行困難者の海岸・高原遊び検証－

○久保 雅義（芸術文化観光専門職大学）

Persons with difficulty traveling can really travel to the sea or mountains ?

－Field verification to realize seaside and highland activities.－

Masayoshi KUBO (Professional College of Arts & Tourism),

1. はじめに

1-1. これまでの研究推移と研究目的

本研究目的は、ユニバーサルツーリズム（UT）支援ツールの最適デザインを行うために、当事者検証による有効な知を得ることである。多様な当事者（障害の違いがある旅行困難者）に有効なUT支援ツール（介助型車いす）を探索。

1-2. “ヒッポキャンブ” による課題抽出

アウトドア車椅子“ヒッポキャンブ”の臨地実証で判明したこと、海・高原共に当事者は愉しめた。課題として、a. 移乗のしやすさ、座位保持、荒路の快適走行に難、b. 坂道などでの電動アシスト機能の必要性和介助に複数人必要などが判明した。

1-3. 介助電動車いす研究試作を用いた仮説検証

車椅子利用者等が、快適に海・山を愉しむために、可能なら自力で、少ない介助工数・介助負担軽減で車椅子移動が実現できることが概ね判明した。

【介助電動車いす研究試作前期を使用】

・介助工数の削減。旅行困難者と介助者一人で海岸・高原走行ができる。

・介助負担の軽減。電動アシスト車椅子により介助サポート負担が軽減、もしくは軽度障害者は自走で海岸・高原走行ができる。

・快適走行。移乗のしやすさ確保。座姿勢が保てる、悪路走行でも快適な乗り心地が可能など。

1-4. 介助電動車いす研究試作の積み残し課題解決

【今回の研究発表】

・海岸走行時、荒れた砂面で砂浜と干渉しない改善。
・海・高原以外の旅行での使い勝手はどうか。

2. 検証方法

2-1. 期日

表1. 検証実施の経緯

調査内容（被験者の種類）	期日	場所	概要
被験者調査 被験者AD	2025/6/20	2025 EXPO2025EXPO 夢洲会場	車椅子使用者、研究試作後期を使用

被験者調査 被験者ABCD	2025/7/5	竹野海岸	機能障害の異なる車椅子使用者、研究試作後期最終型を使用
	2025/9/23	たじま高原植物園	

2-2. 被験者概要

車椅子使用者3人（障害者）、後期高齢者1人（要支援）の被験者で検証を行った。

表2. 被験者の概要

被験者	年齢	コミュニケーション	身体機能状況
A	男性10歳代	表情で判断	両上肢下肢機能全廃
B	男性50歳代	単純会話可能	右上肢機能全廃右下肢著しい機能障害
C	男性50歳代	普通会話可能	脛腓骨神経麻痺右足関節機能の著しい障害
D	女性80歳代後半	普通会話可能	長距離・長時間歩行はできない

2-3. 検証場所と参加者

表3. 検証場所と参加被験者一覧

2025EXPO夢洲	被験者A、被験者D
竹野海岸	被験者A、被験者B、被験者C
たじま高原植物園	被験者A、被験者C、被験者D

2-4. 実験機材

表4. 実験機材の概要

機材	巾×長さ、重量、動輪	モータ出力	電池
介助電動車いす研究試作前期／2024 竹野海岸・たじま高原植物園で使用	620(巾) 900 (長さ)mm, 57kg(重さ) 265mm (動輪直径) オフロードタイヤダブル	200W×2	36Ah 鉛電池
介助電動車いす研究試作後期／2025EXPO2025 で使用	670(巾), 900 (長さ), 53kg(重さ) 350mm (動輪直径) オフロードタイヤシングル	200W×2	30Ah リチウムイオン
介助電動車いす研究試作後期最終型／2025 竹野海岸・たじま高原植物園で使用	860 (巾), 900 (長さ), 56kg(重さ) 350mm (動輪直径) オフロードタイヤダブル	200W×2	30Ah リチウムイオン

2-5. 実験フロー

・2025EXPO会場：被験者A 自分の車椅子→アクセシブルセンターにて介助型電動車いす（研究試作後期）に移乗→展示館X→フードコートにて自分の車椅子に移乗→展示館Y→大屋根リング

：被験者D アクセシブルセンターにてEXPO車椅子借用→展示館X→フードコートにて介助型電動車いす（研究試作後期）に移乗→展示館Y→フードコートにてEXPO車椅子に移乗

・竹野海岸・たじま高原植物園：被験者3名
自分の車椅子から介助型電動車いす（最終型）に移乗。
出発地点→海岸・高原の実験コース走行→終了地点→自分の車椅子に移乗。

2-5. 調査方式

介助者、被験者双方調査票記入。海岸・高原走行時感じたことをSD5段階判定した。

調査項目：介助者に関して、①介助のしやすさ4項目、②介助型電動アシスト車椅子の使いやすさ5項目、UT車椅子に関して求める性能5項目とした。

被験者に関して、高原散策体験に関して自然を愉しめたかの3項目、リフレッシュ体験4項目、介助に関して4項目、介助型電動アシスト車椅子機能に関して5項目、UT車椅子に関して5項目とした。

本調査は全て所属大学倫理委員会の承認を得て、被験者は仲介NP0にてインフォームド・コンセント取得済み。

3. 結果

(1) 被験者にとって海岸走行・高原散策に適した介助型電動アシスト車椅子機能は、性能、不安定な地形での安定・安全走行は実現でき他の、日常の車椅子などから移乗がしやすいこと、車椅子座姿勢の調整がしやすいこと等も満たしている。このことで被験者は自然を体感でき、愉しめた。

(2) 介助者にとって介助型電動アシスト車椅子機能は、不安定な地形での安定・安全走行・快適走行、移乗のしやすさなどは確認されている。電動アシスト機能により、介助工数削減、坂道などの介助負担軽減は実現できている。

(3) 車椅子運転を希望した被験者には、自走体験ができた。

(4) 砂浜の荒れた砂の状況などに影響されることなく力強く走行できている。

(5) 海岸走行・高原散策だけでなく2025EXPO会場における利用・走行は問題なく実施できた。介助型電動

アシスト車椅子機能は催事会場ではとても有効で、介助負担が少なく利用者、介助者ともに喜ばれた。

(6) EXPOに参加して、展示ブースは障害者優先レーンによって効率的に廻れた。ただEXPO自体の構造的課題が、車椅子利用者に不便を強いらせる事項があった。

・アクセシブルセンターが狭小で混雑した。

・LGBTQトイレ採用は評価できるが、利用者の一人はオストメイトトイレ必須のため長時間待つことがあった。

・10万人超参加者による会場混雑により、車椅子を使っでの移動は、通路・フードコート・大屋根リングなどで他の人との干渉の可能性や通行困難を感じた。



図1. 評価の様子（左よりEXPO, 海岸, 高原）

4. 考察

(1) 海岸・高原散策対する車椅子介助は、勾配や不安定な地形での電動アシスト機能の有効性が認められた。また、使用者にとって電動アシスト機能は自走が可能となり、利用満足度が高い。

(2) 海岸・高原散策対する車椅子介助を行う介助者の負担軽減が確認された。

(3) 荒地や砂浜の砂の状況などを気にせずに、安心走行できた。走行不能に陥ることが認められなかった。

(3) 被験者を増やすまた但馬地区の高原・海岸以外の検証を重ねていく。

文献

- 1) 小林剛, 近藤健雄 海洋性レクリエーション施設に関するユニバーサルデザインの基礎的研究～地象要因から見た砂浜での車椅子の移動性に関する研究～日本建築学会計画系論文集第517号, 321-327, 1999年3月
- 2) 久保雅義, 中村敏 旅行困難者が本当に海や山に旅行できるの? を実現するフィールド検証 2
日本人間工学会 第65回大会講演論文集 B204 2頁
2024年6月

一般セッション 4

操作インタフェース・温度・ヒューマンファクター

60 周年記念館 1 階記念ホール

15:15~17:20

手動制御における制御ゲインの推移からの操作性および習熟度の 定量的評価法の検討

A Study of Quantitative Operability and Proficiency Evaluation Method Using Estimated Control Gain for Manual Control

○長井宏樹*, 荒木望*

*兵庫県立大学大学院 工学研究科

NAGAI Hiroki*, ARAKI Nozomu*

*Graduate School of Engineering, University of Hyogo.

1. はじめに

近年、産業現場では作業における人手不足問題が著しく深刻化しており、大きな社会課題となっている。それを解決する策として、作業の自動化が様々なところで進められている。しかしながら、複雑な操作を要する作業では手動操作による制御は未だに多く残り続けている。例として、油圧ショベルなどの重機の操作は各現場に合わせた臨機応変な作業が求められるため自動化が難しく、人間の手動操作が作業時間や出来栄に大きく関わってくる。一方で、複雑な操作を要する手動制御では、わずかな操作ミスから大きな事故につながる危険性も常に伴っている。操作ミスを引き起こす原因には、操作系の使い勝手の悪さ、操作者のスキル不足などが挙げられる。これらの問題を解決するには、操作性に優れたヒューマンマシンインターフェイス（HMI）の開発や操作者のスキルの適切な評価が必要となる。これらを実現するためには、まず HMI の操作性および操作の習熟度を定量的な指標で表すことが求められる。

このため本研究では、手動制御実験における入出力データの関係から人間の手動制御を制御工学における状態フィードバック制御則で近似し、実験回数に伴って推移していく制御ゲインから操作性および習熟度を定量的に評価する手法を検討している。人間は制御対象の運動特性を理解し、操作を習熟していくと、制御対象を直接視認できなくとも動きを予測することが可能となり、ある程度の操作性能を実現することができると考えられている¹⁾。

そこで本稿では、制御対象を直接視認できる場合と視認できない場合の2つのパターンを連続して実験を行い、その制御ゲインの差異から操作性と習熟度を評価する実験を行ったので報告する。

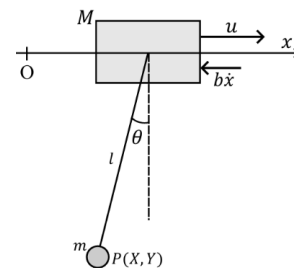


図1 天井クレーンモデル

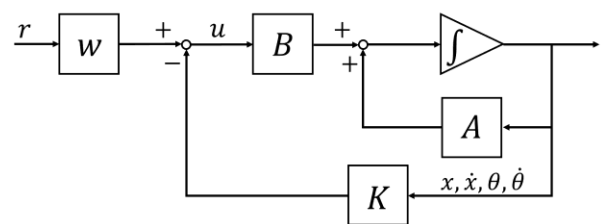


図2 人間における2自由度制御モデル系

2. 提案手法

図1に制御対象の天井クレーンを示す。ここで台車の位置を x 、質量を M 、吊荷の質量を m 、ワイヤの長さを l 、振れ角を θ 、重力加速度を g とした。 u は台車を動かすための制御入力であり、台車には粘性係数 b の粘性抵抗 $b\dot{x}$ が作用するものとする。図1の台車の並進運動およびワイヤと吊荷の回転運動に関する運動方程式は

$$(M + m)\ddot{x} - ml\ddot{\theta} \cos \theta - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta + b\dot{x} = u \quad (1)$$

$$-ml\ddot{x} \cos \theta + ml^2\ddot{\theta} + mgl \sin \theta = 0 \quad (2)$$

となる。ここで本実験における手動制御の目標は、吊荷の振動を抑制しながら目標位置まで到達させることである。

いま、手動制御を状態フィードバック制御で近似するため、吊荷の振れ角 θ は微小であると仮定し、 $\theta \approx 0$ と近似すると、(1), (2)より天井クレーンの状態空間表現は式(3)となる。

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\dot{x}} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\ddot{\theta}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{b}{M} & \frac{mg}{M} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{b}{Ml} & -\frac{(M+m)g}{Ml} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{M} \\ 0 \\ \frac{1}{Ml} \end{bmatrix} u \quad (3)$$

次に、人間の制御モデルは図2のような状態フィードバック制御とフィードフォワード制御から構成される2自由度制御系で表されると仮定すると、状態ベクトルを $X = [x \ \dot{x} \ \theta \ \dot{\theta}]^T$ として制御入力 は次式となる。

$$u = KX + wr \quad (4)$$

ここで r は目標値、 $K = [f_x \ f_{\dot{x}} \ f_{\theta} \ f_{\dot{\theta}}]$ および w は制御器のゲインである。

本研究では手動制御を(4)で近似するため、手動制御による入力 u 、天井クレーンの各状態量 X 、目標値 r という既知の時系列データを用いて、制御ゲイン K 、 w を最小二乗法により推定する。

3. 実験概要

本実験では、制御ゲインの推移から操作性と習熟度を定量的に評価することを目的としているため、被験者は同実験を複数回にわたり繰り返し行う。

まず被験者には『制御対象である天井型クレーンの吊荷振れ角 θ が常に 0° を保つように台車に入力を与え、操作を行う』という制御目標を課す。

次に、実験の概要を図3に示す。

- ① 被験者は、制御対象を視認しながら目標位置を目指して操作を行う。
- ② ランダムな位置で、制御対象が非表示となり、視認できなくなる。このとき、被験者は与える入力 u で吊荷の振れ角 θ にどのような変化をもたらすのか予測しながら操作しなければならない。
- ③ ここで、再び制御対象を視認できるようになる。被験者はこれまでと同様に吊荷振れ角 θ を 0° に保てるよう操作しながら目標位置を目指す。

4. 実験結果と考察

図4に実験結果を示す。図左部の実験1回目では、制御対象の表示時と非表示時でゲイン差異が著しく



図3 実験概要図

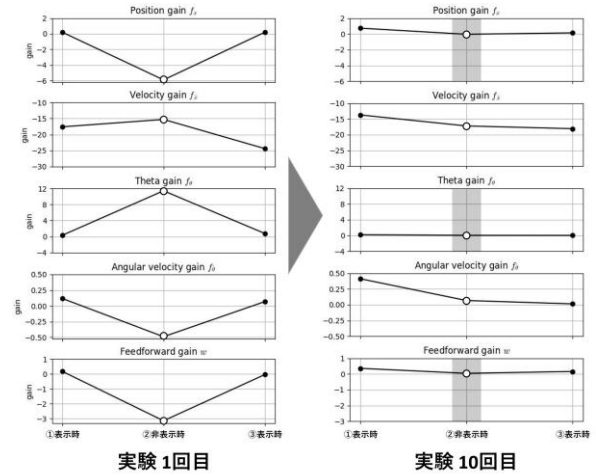


図4 ゲインの推移 (①→②→③)

表れていたが、試行回数が増加すると図4右部のゲイン f_x , f_{θ} , w のように一部のゲインでは差異が小さくなることが分かった。この結果より、被験者は制御対象を直接視認できない状態であっても、与える入力に制御対象にどのような運動を引き起こすのか予測できるように内部モデルの学習が行われ、予測のみで制御が行われたと考えられる。この時、視認の有無によるゲインの差異が小さくなることから、このゲインの差異を評価することで HMI の習熟度を定量的に評価できる可能性が示唆される。

今後はこれらのゲインの変化を定量化することで作業に対する習熟度指標の確立と、主観評価との比較による妥当性の検証を行う。

4. 結言

本研究では、制御ゲインの差異から手動制御の習熟度を定量的に評価する手法を検討した。その結果、試行回数の増加と共に視認濃霧によるゲイン差異が小さくなり、操作を習熟していく傾向が見られた。今後はこのゲインの差異の定量化を検討する。

参考文献

- 1) 山上勸司 ほか：“手動制御における操作者のフィードフォワード特性の解析”，計測自動制御学会東北支部第309回研究会，pp.1-5 (2017)。

油圧ショベルにおける操作インターフェースの 作業時負荷を用いた操作性評価法

Operability Evaluation Method for Hydraulic Excavator Interfaces

Based on Working Load During Operation

○大谷悠馬*, 中山敦史**, 志垣富雄**, 荒木望*

*兵庫県立大学, **ナブテスコ株式会社パワーコントロールカンパニー

OTANI Yuma*, NAKAYAMA Atsushi**, SHIGAKI Tomio**, ARAKI Nozomu*

*Graduate School of Engineering, University of Hyogo, **Power Control Company, Nabtesco Corp.

1. はじめに

建設現場で広く使用されている油圧ショベルは、座席の左右に取り付けられた2本のジョイスティックによって操作を行う。我々は現在、このジョイスティック部分に関する開発を行っている。ジョイスティックには様々な形状および取付状態が存在しており、これらの違いによる操作性の評価が課題となっている。従来、操作性の評価はアンケートによる主観的手法が主であったが、環境や被験者の心理状態に影響を受けやすいという問題がある。そこで本研究では、ジョイスティックの「使いやすさ」が操作性（時間および正確性）と疲労度で評価できると考え、後者の定量的評価手法の確立を目指した。

本稿では、ジョイスティック土台に取り付けた複数のロードセルで計測される荷重から各方向の操作力を算出し、これを用いて操作に伴う疲労度を評価する手法を提案した。さらに、ジョイスティックの取り付け角度が疲労度に与える影響を検証した結果について報告する。

2. 作業時の操作負荷を用いた疲労度評価法

ジョイスティック操作に必要な各方向の操作力とエネルギーを算出するため、4つのシングルポイントロードセル（SC133-10, Sensor and Control Co. Ltd）を用いて図1左のような力測定器を作成した。ロードセルはプレートの中心から等距離に設置されており、各ロードセルにかかる荷重から力を測定できる。また、プレート中心の鉛直上にボールジョイント（RAM-101, スガツネ工業）を介してジョイスティックを設置している。これによりジョイスティックを任意の角度に傾けられる。この力測定器をモデル化した図1右を用いて操作によってプレート原点に働く力ベクトル $\mathbf{F} = (F_x, F_y, F_z)$ を導出する方法を以下に示す。

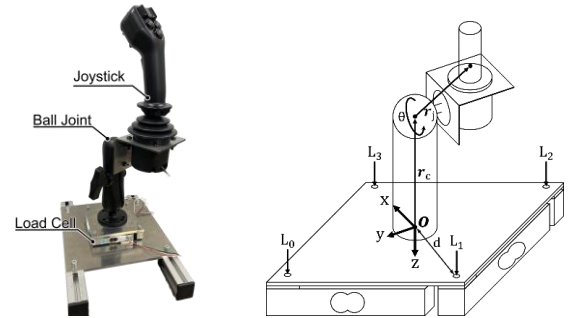


図1 操作力測定器の外観(左)と測定機構(右)

i 番目のロードセルにかかる荷重を L_i とすると z 方向の力 F_z は、重力加速度を g として

$$F_z = \sum_{i=0}^3 L_i g \quad (1)$$

となる。次に x, y 軸まわりのモーメントは

$$M_x = \sum_{i=0}^3 F_{zi} y_{di} \quad (2)$$

$$M_y = - \sum_{i=0}^3 F_{zi} x_{di} \quad (3)$$

となるため、作用点に働く力のモーメントのつり合いより、水平方向の力 F_x, F_y は

$$F_x = \frac{M_y + r_{act,x} F_z}{r_{act,z}} \quad (4)$$

$$F_y = \frac{-M_x + r_{act,y} F_z}{r_{act,z}} \quad (5)$$

と得られる。ここで (4), (5) の $\mathbf{r}_{act}$ は、プレートから回転軸までの位置ベクトルを $\mathbf{r}_c$, 回転軸から作用点までの位置ベクトルを $\mathbf{r}_j$, y 軸まわりの回転角を θ としたときの作用点の絶対座標で次式となる。

$$\mathbf{r}_{act} = \mathbf{r}_c + R_y(\theta) \mathbf{r}_j \quad (6)$$



図2 実験風景(左)と実験画面(右)

(1)-(6)で求めた各方向の操作力のうち、 F_z はコントローラが支えた腕の力（補助力）となり、この値が大きくなるほど操作者はジョイスティックに自重を預けることができるため疲労度が低減すると考えられる。一方、 F_x 、 F_y はジョイスティック操作に必要とした力（作業負荷）となる。そこで本研究では、この補助力と作業負荷から操作疲労度を評価する指標を提案する。ある一連の作業を実施した際に計測した各方向の操作力より、補助力 I_z と作業負荷 I_h を以下の式で計算する。

$$I_z = \int |F_z| dt \quad (7)$$

$$I_h = \int \sqrt{F_x^2 + F_y^2} dt \quad (8)$$

これらの値より操作疲労度 e は次式で計算される。

$$e = \frac{I_h}{I_h + I_z} \quad (9)$$

ここで、 e は腕の支持力のうち操作に必要とした力の割合を意味し、これが0に近いほど疲労度が小さいと評価する。

3. 疲労度評価実験

Unity で作成したショベルシミュレータを用いて軌道追従実験を行った。実験はスタート地点からバケット内の基準点（緑球体）を、軌道上に等間隔で設置した目標点（赤球体）に接触させながらゴール地点まで向かうものを1試行とし、これをジョイスティック角度0度、45度、90度で各5回行う。図2左に実験風景、図2右に実験画面を示す。なお、本実験は予備実験のため被験者1名で0度、45度、90度の順に行った。

4. 実験結果

各角度条件におけるタスク完了までの時間、ショベル動作量（バケット総移動量）、および操作疲労度

表1 各角度条件での平均と標準偏差

	Time[s]	Length[m]	e
0deg	13.5 ± 1.29	12.6 ± 0.48	0.23 ± 0.01
45deg	13.0 ± 0.79	13.1 ± 0.63	0.49 ± 0.02
90deg	12.5 ± 1.67	13.4 ± 0.65	0.74 ± 0.01

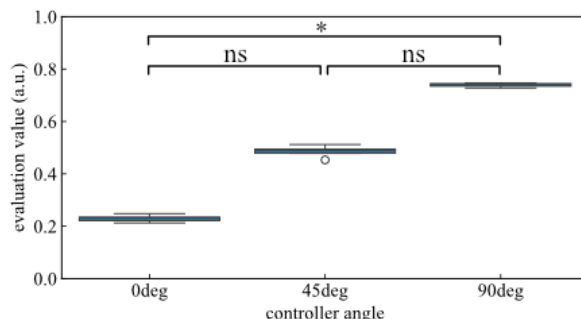


図3 各角度条件での操作疲労度比較

の平均値と標準偏差を表1に示す。表1の時間とショベル動作量については各条件間での大きな差は見られないが、操作疲労度については0度が最も小さく、傾きが大きくなるにつれて増加していることが分かる。次に、各条件での操作疲労度を比較した結果を図3に示す。操作疲労度についてはKruskal-Wallis検定によりグループ間に有意差があることを確認した上で、Bonferroni法による補正を行ったDunn検定による多重比較を行った結果、0度と90度の間に $p=0.0012$ で有意差がみられた。

この操作疲労度については、0度の時はジョイスティックの操作軸上にサポータがあるため手腕を預けることができ、手腕の重みによる疲労を軽減できているのに対し、90度に傾けたときは手腕を預けられないため重みによる疲労が増加しているためだと考えられる。また、主観的な観測ではあるがジョイスティックを90度に傾けた条件では操作性が低下し、ショベル移動量が増加する傾向がみられた。このことから、提案した操作疲労度は主観的な疲労度と近い傾向があると考えられる。

5. 結言

本研究では油圧ショベルのインタフェースを操作する際の操作性を評価するために、評価指標の1つである操作疲労度を、作業時の負荷を計測することで推定する手法を提案し、その有効性について調査を行った。その結果、角度条件ごとの操作疲労度に有意差を確認できた。今後は複数人での実験を行い、さらなる調査を進める。

ワーカーの UX 向上に資するオフィスチェア利用に関連する 体験価値探索の試み

An Attempt to Explore Experiential Value Related to Office Chair Usage Contributing to Worker UX Improvement

○野田彩加*, 土井俊央*, 羅維颺*, 山根早也香*, 南星治**, 伊藤博之**, 原田咲月**
*大阪公立大学 **株式会社イトーキ

NODA Sayaka*, DOI Toshihisa*, Luo WeiYang*, YAMANE Sayaka*, MINAMI Seiji**, ITO Hiroyuki**,
HARADA Satsuki**

*Osaka Metropolitan University, **ITOKI CORPORATION

1. はじめに

近年、オフィス環境の変化に伴い、従業員の作業効率や快適性を向上させる家具設計が求められている。特に、ワーカーにとってオフィスチェアは身体的負担の軽減や生産性向上に直接影響を与える重要な要素である。また、Activity-Based Working (ABW) の導入が進むことで、従来の固定席中心の設計から、柔軟な働き方を支えるデザインへと変化している¹⁾。しかし、企業が多機能な椅子を開発しても、利用者が十分に活用できないケースが多い。操作が直感的でない場合、基本機能しか使われず、本来の設計意図が活かされない。このような課題を解決するには、ユーザー視点での体験価値を重視した設計が重要となる。

本研究では、ワーカーの視点からオフィスチェアの体験価値を導出することを目的とする。異なるタイプのワーカーを対象に観察とインタビューを用いて調査を行い、潜在的なニーズを明らかにする。

2. 方法

本研究では、オフィスチェアの利用実態と利用者意識を多角的に明らかにするため、(1) 実環境における観察調査と、(2) オフィスチェアユーザーへの半構造化インタビュー調査を実施した。

2.1. 観察調査

オフィスチェアの使用実態を把握するため、株式会社イトーキおよび大阪公立大学内における従来型の島型オフィスを対象に、午前中の 2 時間と昼休みの様子を録画し、後日、ビデオ映像を用いて観察メモを作成した。さらに、多様なチェアが混在する大阪公立大学内のオープンスペースにおいて、不特定多数の利用者の行動を 13:00-16:00 で研究者が直接観察し、その場で観察メモを作成した。記録項目は、

「どんな作業をしているか」、「観察された事実」、「推測されることや気づき」とした。得られたメモとともに、利用者がオフィスチェアのどのような点に価値を感じているのかを明らかにするため、KA 法²⁾という手法を用いて分析を行った。さらに、KA 法で抽出された価値のうち、内容が近いものや共通する考え方をもつものをグループ化し、より抽象度の高い価値として整理した。最後に、各グループ間の関連性を検討し、全体構造を「価値マップ」として可視化した。

2.2. インタビュー調査

オフィスチェアの価値をワーカーの視点から考えるために、ユーザーが普段どのように椅子を使っているのか、またその椅子についてどう感じているのかを把握することを目的として、半構造化インタビューを実施した。

対象者は、事前に実施したオフィスチェアに関する「興味」と「知識」の有無を問うアンケート結果に基づき、異なる 4 つのタイプのユーザーから 3 ～ 4 名ずつ抽出した。インタビューでは主に、普段の仕事場所、使用している椅子の種類、使用時間、使用日の行動、よく利用するオフィスチェアの機能、作業姿勢の変化、オフィスチェアに対する満足点および不満点について尋ねた。

3. 結果と考察

本稿では、紙面の都合上、結果の一部のみを掲載している。

3.1. 観察調査

図 1 はコワーキングスペースにおける観察調査から得られた価値マップを示している。抽出された価値は大きく 4 つのカテゴリに分類された。

A. 個人作業

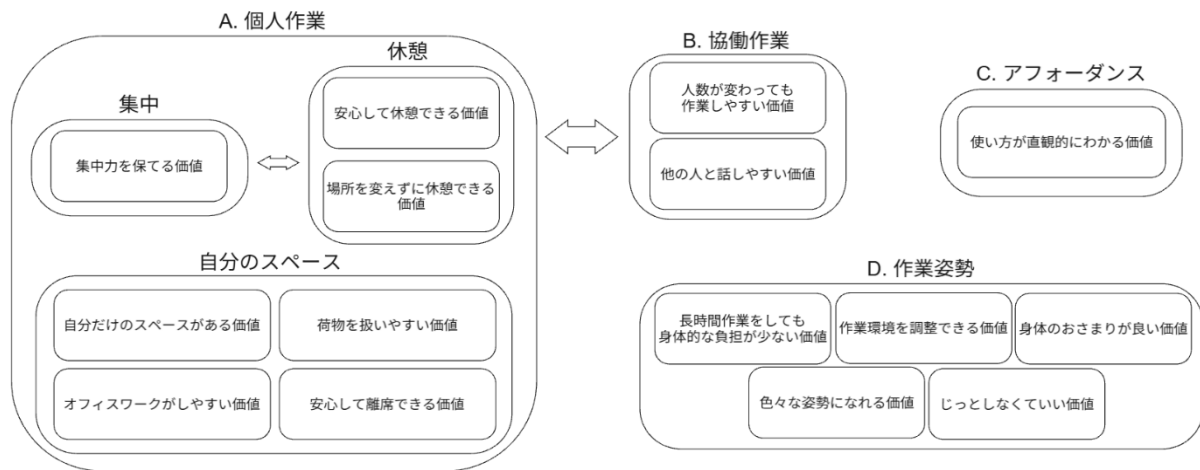


図1 コワーキングスペースにおけるオフィスチェアに対する価値

「個人作業」に関する価値は、「集中」や「休憩」といった対照的価値、さらに「自分のスペース」に関する価値に整理された。

「集中」は、「適度な緊張感を得られる価値」などを含む「集中力を保てる価値」を指す。一方、「休憩」は、「家の様にリラックスできる価値」などを含む「安心して休憩できる価値」と、「場所を変えずに休憩できる価値」に分類された。

「自分のスペース」では、公共の場であってもパーソナルスペースが確保されていることを表す「自分だけのスペースがある価値」、身の回りの荷物の取り出しやすさなどを指す「荷物を扱いやすい価値」、手元の資料の扱いやすさやパソコン作業のしやすさを意味する「オフィスワークがしやすい価値」、「安心して離席できる価値」が挙げられた。

B. 協働作業

「個人作業」と対照的に、「協働作業」に関する価値も抽出された。作業人数に応じて席をカスタマイズできることや、複数人で画面を共有して作業がしやすいことを示す「人数が変わっても作業しやすい価値」、および「他の人と話しやすい価値」が含まれた。

C. アフォーダンス

「アフォーダンス」は、「使い方が直観的にわかる価値」を指し、その下位概念として「調整できることがわかる価値」などが挙げられた。コワーキングスペースは固定席が存在しないため、ユーザーが直観的に椅子の機能を理解し、適切に使用できることは重要な要素である。

D. 作業姿勢

「作業姿勢」に関する価値としては、「長時間作業

をしても身体的な負担が少ない価値」、「作業環境を調整できる価値」、「身体のおさまりが良い価値」、「色々な姿勢になれる価値」、「じっとしていなくていい価値」が挙げられた。

3.2. インタビュー調査

インタビューの結果、「興味はあるが知識のない人」たちは腰のサポートなどの姿勢の改善を重視していることが明らかになった。また、身体的負担の軽減や通気性の向上を目的として、クッションを挟む、座り方を変えるなど、自己流の工夫を取り入れている様子が語られた。

「興味も知識もない人」では、機能に対してこだわりが見られず、多少の不満を感じながらも、日常生活の中では椅子を重要視していないため、機能の調整などはほとんど行っていないことが明らかになった。また、オフィスチェアを選ぶ際にも明確な選定基準はなく、購入時と使用後の印象が異なっている可能性が示唆された。

4. 今後の計画

今後は、インタビュー調査においてKA法を適用し価値マップを作成したうえで、観察調査で得られた価値マップと統合し、オフィスチェアに対する体験価値を整理する予定である。

参考文献

- 1) 福住伸一，兵頭啓一郎：Activity Based Working(ABW)への取り組みとCPEへの期待，人間工学，Vol. 57, p. S05-3 (2021).
- 2) 浅田和実：商品開発マーケティング，日本能率協会マネジメントセンター，pp. 92 (2006).

評価グリッド法による 椅子が空間に「なじんでいる」と感じる要因の検討

Examination of Factors Contributing to the Perception of Office Chairs and Spaces as “Blending In” Using the Evaluation Grid Method

○黒田俊希*, 土井俊央*, 野田彩加*, 中谷知佳*, 南星治**, 伊藤博之**

*大阪公立大学, **株式会社イトーキ

KURODA Toshiki*, DOI Toshihisa*, NODA Sayaka*, NAKATANI Chika*

MINAMI Seiji**, ITO Hiroyuki**

*Osaka Metropolitan University, **ITOKI CORPORATION

1. はじめに

オフィス空間が設計される際にどういったオフィスチェアを選定するかという観点として、そのオフィスチェアが空間に「馴染んでいるか」という観点がしばしば重要視される。このチェアと空間が「馴染む」というのはどういうことかを明らかにし、それをチェア開発に活用することで、オフィス空間設計時のニーズに適したチェアを効率的に開発することが期待できる。本研究では、椅子が空間に馴染んでいると感じられる要因やそのメカニズムを明らかにすることを目的とした。まず予備調査として、椅子を含む空間を評価するにあたって適切な評価語や評価対象の空間画像を選定するための知見を得ることを目指した。具体的には、評価グリッド法を活用し、椅子が空間に馴染んでいると感じる際の評価構造を明らかにし、「馴染む」評価の際に関連する概念および物理的属性を把握した。

2. 方法

本調査は、評価グリッド法¹⁾によって、ユーザが空間に対して椅子が馴染んでいると考える評価構造を明らかにするものである。評価グリッド法とは、ラダリングインタビューによって調査対象(提示刺激)に対して人が持つ評価構造を明らかにする方法であり、実施結果として階層構造で表現される評価構造図が得られる。調査対象者は、空間デザインに対して感度が高いと思われる12名(建築系専攻の学生7名、空間デザイン関連職の社会人5名)とした。

本調査においては、多様な椅子を含む空間から評価構造を得るため AI 生成による空間画像を対象とすることとした。画像生成には安全に商用利用可能な画像を生成可能な Adobe Firefly を利用した。空間画像生成のキーワードとして、「椅子を含む」ことの

みを固定として、オフィス空間のみではなく生活空間など、調査対象者が様々な観点から評価ができるようにできるだけ偏りなく多様な空間を生成対象とした。こうして生成された画像から、複数の研究実施者によって各画像の印象に基づいてグループ分けし、代表的な画像を46枚選定し、これを評価対象画像とした。

具体的な実施方法を示す。まず調査対象者には46枚の画像を椅子が空間に馴染んでいるかという観点で4グループ(馴染んでいると感じる度合いが最も強いグループを①、最も弱いグループを④とする)に分けてもらった。次に③と④を比較し、なぜ③の方が馴染んでいると感じたのかというオリジナルの評価項目を抽出した。各項目については、馴染んでいると感じるための心理的な価値である上位概念を聞くラダーアップ、より物理的な属性である下位概念を聞くラダーダウンを行った。その後、②と③④間でのインタビュー、①と②③④間でのインタビューを実施し、各調査対象者の評価構造図を作成した。

3. 結果・考察

調査対象者すべての評価構造図を統合して図1に示す評価構造図を作成した。この図は左側が上位概念を示し、右側が下位概念を示している。ノードの枠線、ノード間の線の太さは度数に対応している。

最上位概念は「椅子が空間になじんでいる」に固定し、ラダリングインタビューでのラダーアップ工程は、最終的にこのノードにつながるように行った。

「椅子が空間に馴染んでいる」から直接強い結びつきを持つ項目として、「椅子の素材と空間に使用されている素材が合っている」、「空間に対して椅子が浮いていない」、「椅子の色が空間の色と合っている」、「椅子と空間の組み合わせに見覚えがある」、「空

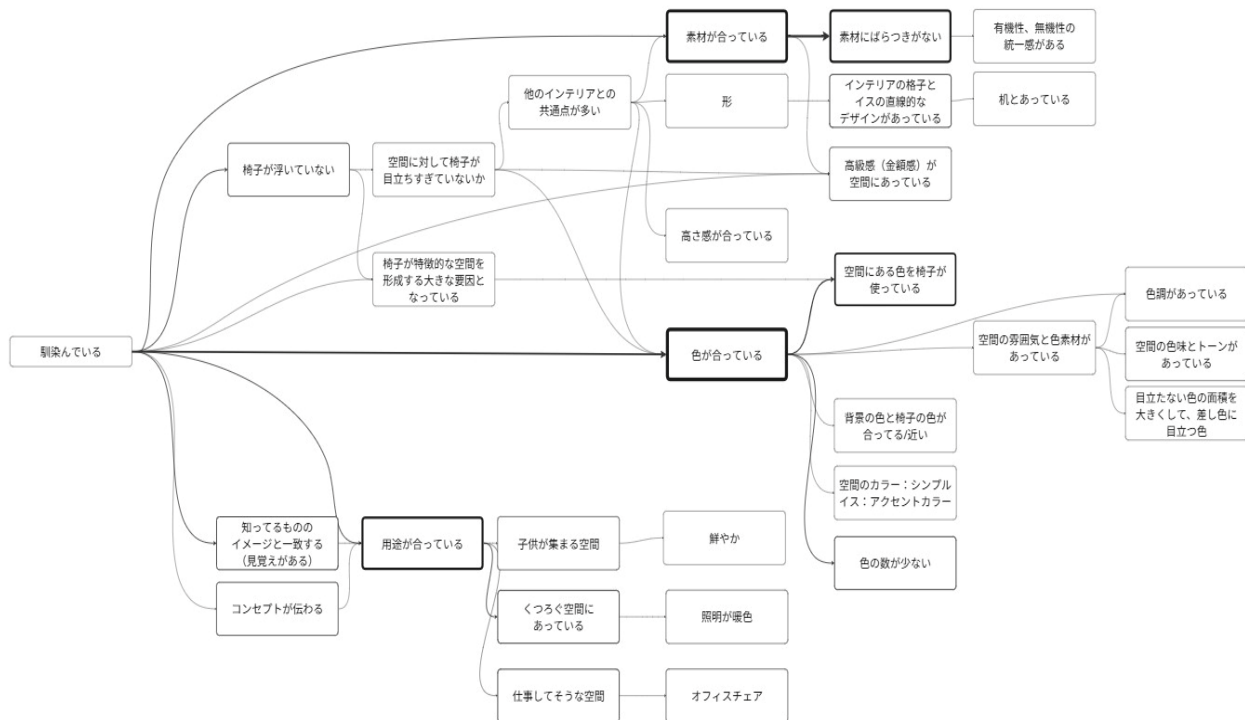


図 1 空間に対して椅子が馴染んでいると感じる評価構造図

間に対して椅子の用途が合っている」が得られた。

「椅子の素材と空間に使用されている素材が合っている」は「素材にばらつきがない」という下位概念と強い結びつきを持つほか、「空間に使用されているものと椅子の金額感が合っている」という要素ともつながりがあった。素材から金額感を連想し、空間との整合性があるかのなじんでいると感じる要因であると推測される。

「空間に対して椅子が浮いていない」は「空間に対して椅子が目立ちすぎている」と繋がりがあり、あくまで椅子は空間を構成する1つの要素として溶け込んでいることが重要であると推測される。

「椅子の色が空間の色と合っている」は「空間にある色を椅子が拾っている」という下位概念と強い結びつきがある。そのほか「背景の色と椅子の色が合っている/近い」「椅子を含めた空間全体の色数が少ない」などとつながりがあった。これらの要素から目立たせず、背景に溶け込ませることが重要であると捉えることができる。一方で、「椅子を背景色に対する差し色として用いる」「シンプルな空間のカラーに対して、アクセントカラーで椅子を用いる」ことも要素として得られた。そのため目立たせない色にすることのみが「馴染む」ことに寄与するのでは

なく、各色の関係性を考えてデザインすることが重要であると考えられる。

「椅子と空間の組み合わせに見覚えがある」は下位概念として、「なじんでいる」と直接強い結びつきのある「空間に対して椅子の用途が合っている」が存在する。オフィス空間にはキャスターやシンプルな色みで構成されたオフィスチェアが合っているなど、各ユーザがもつメンタルモデルは馴染んでいると感じる要素と切り離せない関係にあると推測できる。

4. まとめ

今回の調査は、椅子が空間に馴染んでいると感じられる要因やそのメカニズムを明らかにすることを目的とした研究の予備調査として実施した。今後は、得られた評価構造図をもとに、本調査で用いる評価語や評価対象画像の選定を行う。

参考文献

- 1) 讃井純一郎, 乾正雄: レパトリリー・グリッド 発展手法による住環境評価構造の抽出 認知心理学に基づく住環境評価に関する研究 (1), 日本建築学会計画系論文報告集, 367, pp.15-22 (1986).

柔軟性を向上させた VR アバター提示が前屈ストレッチングに与える影響

The Effect of Visualizing a Flexibility-Enhanced VR Avatar on Forward Bend Stretching

○木戸菜々佳*, 西崎友規子**, 来田宣幸**

*京都工芸繊維大学大学院 **京都工芸繊維大学

KIDO Nanaka*, NISHIZAKI Yukiko**, KIDA Noriyuki

* Graduate School of Information Science, Kyoto Institute
of Technology, ** Kyoto Institute of Technology

1. はじめに

現代社会において、健康維持や生活習慣病予防に日常での運動が重要視されている¹⁾。しかし、運動習慣者の割合は依然として目標値に達しておらず²⁾、運動習慣のない人への介入が必要だと考えられることから、挑戦へのハードルが低いストレッチングは、その手軽さから運動習慣の獲得への第一歩になると思われる。また、ストレッチングは、リハビリテーション領域においても柔軟性の改善や関節可動域の拡大を目的として使用されている。このように、ストレッチングは老若男女問わず実施可能であり、身体状態を問わずに実施できる汎用性の高い運動であるといえる。

一方、ストレッチングを継続して行うことは容易ではなく、運動継続には、運動そのものの身体的効果に加えて、心理的要因の支援が必要であるとされている。特に、「将来、自分はこの行動を実行できる」と確信する自己効力感³⁾を高めることは運動行動促進の重要な要素となり得ることが示唆されている⁴⁾。また、近年では、自分の運動やその結果を補正して提示する（疑似的な成功体験を提示する）「ゴーストエンジニアリング（Ghost Engineering）」と呼ばれる技術体系を活用することにより、運動パフォーマンスや自己効力感が変化することが示されている⁵⁾。以上より、ゴーストエンジニアリングの知見をストレッチングに応用し、ストレッチングの際にユーザの柔軟性を向上させた姿を提示することは、運動習慣のない人やリハビリテーション時など、成功体験を得にくい場面で有効であると考えられる。

前屈動作時に VR 上で柔軟性の程度を操作したアバターを提示することの効果を検討した結果、VR 体験後に自己効力感が有意に向上することが示された⁶⁾ものの、得られた結果が VR 特有の効果であるのか、単なる反復効果によるものかは明らかではない。

また、VR 環境において、柔軟性の補正を行わない条件と比較して疑似的な成功体験の提示がどの程度有効かについても検討されていない。

そこで本研究では、VR を用いたストレッチング支援の有用性を明らかにするため、第一に、通常の前屈動作と VR 上で実際の柔軟性を提示して行う前屈動作を比較することで、VR を用いることによる不快感等の負の影響を与えないかを検討する（目的 1）。第二に、VR 上で実際の柔軟性を提示して行う前屈動作と向上させた姿を提示して行う前屈動作を比較することで、ストレッチングにおける疑似的な成功体験の有用性を検討する（目的 2）。

2. 方法

2-1. 実験参加者

運動習慣のない大学生・大学院生 45 名（男性 26 人、女性 19 人、 $M = 21.7$ 歳、 $SD = 1.94$ ）を対象に実験を行った。尚、実験は、京都工芸繊維大学「ヒトを対象とする研究倫理委員会」の承認を受けて実施した。（受付番号：2025-28）

2-2. 実験計画

ストレッチング手法を要因とした一要因参加者間計画を基本として、VR を利用しない通常の前屈動作群（以下、通常群）、VR で柔軟性が実際と同様の姿を提示して前屈動作を行う群（以下、VR 変化なし群）、VR で柔軟性を向上させた姿を提示して前屈動作を行う群（以下、VR 向上群）のいずれかに割り当てた。さらに、VR 向上群に属する参加者は、異なる 4 水準の変化率（+20%、+25%、+30%、+35%）を反復して体験する参加者内要因を設けた、不完全な混合計画を採用した。

目的 1 に対して通常群と VR 変化なし群を比較し、目的 2 に対しては、VR 変化なし群と VR 向上群を比較した。

2-3. 実験課題及び実験環境

文部科学省が定める、新体力テスト実施要項に則った方法による前屈動作を実験課題とした。測定には、竹井機器工業製のデジタル長座体前屈計を使用した。

VR空間の提示には、Meta Quest3 (Meta社製) を使用し、Unity (Ver.2022.3.50f1) を用いて VR 空間 (図1) を構築した。Meta Quest3 の機能であるジェスチャーコントロールを用いて、実験参加者の手の座標データを取得し、その動きを VR 空間のアバタの手に反映させた。実験参加者の柔軟性を向上させる処理は、前屈前の手の初期位置を保持し、前屈中から前屈後にかけて手の座標データと初期位置との差分を算出、その値に対して一定の変化率を掛けることで実現した。

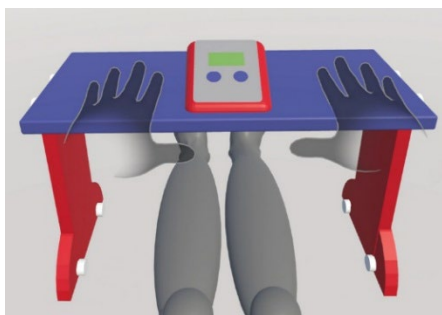


図1 実験で用いた VR 環境

2-4. 評価指標

客観指標である長座体前屈の測定値に加え、実験参加者の主観指標として以下の3種類の評価を実施した。

1) 前屈動作に対する違和感: 実験全体の前屈動作に対して感じた違和感 (以下、全体を通した違和感スコア) と VR 試行において、各試行で VR 空間での前屈動作に対して感じた違和感 (以下、各試行に対する違和感スコア) の2種類の評価を行った。全体を通した違和感スコアについては、実験後全ての群に対して、「今回行った長座体前屈に対して、違和感を感じたか?」と問い、7段階のリッカート尺度 (1: 全く感じなかった~7: 非常に感じた) で回答を求めた。また、各試行に対する違和感スコアについては、各試行後に「VR 上での長座体前屈中に違和感を感じたか?」と問い、VR 空間での前屈動作中に感じた違和感について、全体を通した違和感スコアと同様のスケールで評価を求めた。

2) 柔軟性に対する自己効力感尺度: 実験参加者の柔

軟性に対する自己効力感の変化を測定することを目的に、運動自己効力感尺度 (Exercise Self-Efficacy Scale) ⁷⁾ を参考にした柔軟性特化版の質問を作成し、実験前後で回答を求めた。質問は5項目で構成され、4段階のリッカート尺度 (1: 必ずしもそうではない~4: 常に当てはまる) である。

3) 前屈動作の楽しさに関する質問: 実験で行った前屈動作をどれほど楽しいと感じたかを測定することを目的として、全16項目から成る PACE (Physical Activity Enjoyment Scale) ⁸⁾ を日本語に訳した質問項目を作成し、評価を求めた。

2-5. 手続き

最初に、屈伸や伸脚等の体をほぐすための準備体操を行ってもらった。その後、靴を脱いでマットに上がり、HMD (ヘッドマウントディスプレイ) を着用せずに長座体前屈を2回測定した。測定後、柔軟性に対する自己効力感尺度への回答を求めた。次に、現実群では同様の長座体前屈を、VR 変化なし群・VR 向上群では図2のように HMD を着用した状態で、長座体前屈を計8回 (VR 向上群では、各変化率を2回ずつ) 行った。VR 変化なし群・VR 向上群では、1試行ごとに、各試行に対する違和感スコアへの回答を求めた。なお、VR 向上群では、提示する変化率はカウンタバランスをとって実施した。各試行間に1分程度の休憩を設け、最後に、前屈動作の楽しさ、柔軟性に対する自己効力感、全体を通した違和感スコアへの回答を求めた。



図2 実験の様子 (VR 変化なし群・VR 向上群)

3. 結果

3-1. VR の使用が前屈動作の体験に与える影響

全体を通した違和感スコアを表1に示す。VR 使用の有無による、全体を通した違和感スコアへの影響を検討するため、通常群と VR 変化なし群の間でウィルコクソンの順位和検定を行った。その結果、両群間に有意な差は認められなかった ($U = 122, p$

$= .636, r = .155$).

次に、参加者ごと実験前後の自己効力感尺度の得点の合計値から算出した差分の平均値を表 1 に示す。VR 使用の有無による、自己効力感への影響を検討するため、通常群と VR 変化なし群の間でウィルコクソンの順位和検定を行った。その結果、両群間に有意な差は認められなかった ($U = 86.0, p = .249, r = .215$)

表 1 通常群と VR 変化なし群の比較

	通常群	VR 変化なし群
	<i>M(SD)</i>	<i>M(SD)</i>
違和感スコア	1.67(1.05)	1.80(1.08)
自己効力感	1.47(0.60)	0.60(2.53)

3-2. 疑似的な成功体験の提示が前屈動作の体験に与える影響

全体を通した違和感スコアを表 2 に示す。疑似的な成功体験の提示による、全体を通した違和感スコアへの影響を検討するため、VR 変化なし群と VR 向上群の間でウィルコクソンの順位和検定を行った。その結果、両群間に有意な差は認められなかった ($U = 89.5, p = .636, r = .187$)。

次に、参加者ごと実験前後の自己効力感尺度得点の合計値から算出した差分の平均値を表 2 に示す。疑似的な成功体験の提示による、自己効力感への影響を検討するため、VR 変化なし群と VR 向上群の間でウィルコクソンの順位和検定を行った。その結果、両群間に有意な差の傾向が認められた ($U = 63, p < .1, r = 0.387$)。

表 2 VR 向上群と VR 変化なし群の比較

	VR 向上群	VR 変化なし群
	<i>M(SD)</i>	<i>M(SD)</i>
違和感スコア	2.47(1.77)	1.80(1.08)
自己効力感	1.67(1.23)	0.60(2.53)

また、VR 向上群における各変化率での違和感スコアを表 3 に示す。VR 上で柔軟性を向上させる変化率の違いによる、VR 試行における違和感スコアへの影響を検討するため、変化率条件間でクラスカル・ウォリス検定を行った。その結果、変化率要因に有意な差は認められなかった ($X^2 = 0.402, p = .940, \eta^2 = -0.046$)。

表 3 各変化率条件における違和感スコア

+20%	+25%	+30%	+35%
<i>M(SD)</i>	<i>M(SD)</i>	<i>M(SD)</i>	<i>M(SD)</i>
2.33(1.67)	2.33(1.58)	2.60(1.75)	2.37(1.85)

4. 考察

本研究では、VR を用いたストレッチング支援の有用性を検討するため、目的 1 として、通常の前屈動作と VR を用いた前屈動作を比較した。実験全体の前屈動作に対して感じた違和感や自己効力感の変化は、通常群と VR 変化なし群との間に有意な差は認められなかった。したがって、VR を介したストレッチングは、身体感覚の乖離や不快感を強く引き起こすことはなく、少なくともストレッチング体験を阻害せず利用できる有効な手段だと考えられる。

目的 2 として、VR 上で実際と同様の柔軟性を提示する場合と実際より柔軟な姿を提示する場合の前屈動作を比較した。実験全体の前屈動作に対して感じた違和感は、VR 変化なし群と VR 向上群との間に有意な差は認められなかった。一方、VR で柔軟性を向上させた姿を提示した場合に、自己効力感が上がる傾向がみられた。この結果は VR 変化なし群の得点のばらつきが大きく ($Var = 6.4$)、VR 向上群 ($Var = 1.52$) と比較して統計的検出力が低下したことが影響している可能性がある。

また、柔軟性を向上させる場合の変化率の閾値に関しては、変化率要因で有意な差が認められず、先行研究⁹⁾で示された $\pm 30\%$ 付近に閾値が存在するという結果とは異なるものとなった。このような結果となった要因の一つとして、成功の原因を自身の内部に帰属させ、失敗の原因を外部に帰属させて解釈をする自己奉仕バイアス⁹⁾が働いた可能性が考えられる。本研究では、参加者は実際より柔軟性が向上した姿を体験したことがポジティブな情報として処理され、運動結果が自分の能力によるものだと錯覚した結果、違和感の閾値が高くなった、もしくはほとんど生じなかったのだと思われる。一方、先行研究で示された $\pm 30\%$ 付近の結果は、柔軟性を向上させた場合と低下させた場合の違和感を合算したものであった。そのため、柔軟性を低下させた姿を体験した参加者が柔軟性の低下した姿 (= 失敗した姿) に対して、VR 環境等の外的要因が失敗した要因であると帰属させたことが違和感として強く表れ、それが閾値の存在に強く影響したと考えられる。さらに、VR 向上群において、元々参加者が持つ自己効力

感と違和感スコアの相関を分析した結果、元々持つ自己効力感が高い人ほど違和感を覚えにくいという傾向がみられた（25%条件： $\tau = -0.51, z = -2.40, p < .05$, 30%条件： $\tau = -0.35, z = -1.70, p < .1$ ）。このことから、自己効力感が高い人は、VR上で提示された柔軟性が向上した姿を自分の姿として受け入れやすく、結果として違和感が小さくなったということも、閾値が示されなかった要因であると思われできる。したがって、今後VRを活用したストレッチング支援の応用化を目指すにあたっては、より変化率が大きい40%, 45%等も検討し、違和感を覚えはじめの閾値を明らかにする必要があると思われる。

前屈動作の楽しさに関しては、通常群とVR変化なし群、VR変化なし群とVR向上群の間には有意な差は認められず、すべての群において、タスクの楽しさと参加者のもつ柔軟性に相関関係はみられなかった（通常群： $\tau = 0.20, z = 1.00, p = .319$, VR変化なし群： $\tau = 0.20, z = 1.04, p = .299$, VR向上群： $\tau = 0.09, z = 0.45, p = .655$ ）。統計的な有意差は認められなかったものの、VR向上群では参加者のもつ柔軟性との間の順位相関が他の群と比較して弱い傾向がみられたことより、タスクの楽しさに対してユーザがもつ柔軟性の影響が相対的に小さくなったことが示唆された。以上より、VRを用いて疑似的な成功体験を提示するストレッチング支援は、楽しさに対して限定的ではあるが一定の影響を及ぼす可能性が示された。

今後は、参加者数の拡充に加え、運動に対する嗜好等の個人差の影響を考慮した分析を行い、ストレッチにおける疑似的な成功体験の提示が自己効力感に与える影響を再度検討していく必要がある。

5. おわりに

本研究は、通常のストレッチングと比較したVRを用いたストレッチング支援の有用性を検証することを目的に、実験で行った前屈動作に対する違和感や自己効力感、またはその楽しさについて検討した。結果として、VRを介して実際の柔軟性を提示しながら前屈動作を行うことは、ストレッチング体験に負の影響を与えないということが示された。また、VR上で実際の柔軟性を提示した場合と比較して、疑似的な成功体験を提示した場合に、自己効力感が向上する傾向がみられたことから、疑似的な成功体験の提示がストレッチングにおいても、何らかのポ

ジティブな影響を与えることが示唆された。今後は、参加者数を増やすとともに、運動に対する嗜好等の個人差も考慮し、さらに、VRストレッチング支援システムの応用化に向けてユーザが違和感を覚える閾値を明らかにするため、VRで柔軟性を向上させた場合のより変化率の高い40%以上に着目していきたい。

参考文献

- 1) 厚生労働省：身体活動・運動，健康日本21（身体活動・運動），https://www.mhlw.go.jp/www1/topics/kenko21_11/b2.html
- 2) 厚生労働省：令和5年度国民健康・栄養調査の概要，mhlw.go.jp/content/10900000/001338334.pdf（2023）
- 3) Bandura, A. : Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change, *Advances in Behaviour Research and Therapy*, Vol.1, No.4, pp.139-161 (1978)
- 4) Seyed Morteza Ghayour Baghban, Masoome Arabshahi, Vahid Saatchian : The impact of exercise interventions on perceived self-efficacy and other psychological outcomes in adults: A systematic review and meta-analysis, *European Journal of Integrative Medicine*, Vol.62, pp.102281 (2023)
- 5) 鳴海拓志：ゴーストエンジニアリング：身体変容による認知拡張の活用に向けて，*認知科学*，26巻，1号，pp.14-29（2019）
- 6) 木戸菜々佳，西崎友規子，来田宣幸：柔軟性を操作したVRアバター提示による前屈ストレッチング支援の基礎的検討，*ヒューマンインターフェースシンポジウム2025論文集*，pp.409-414（2025）
- 7) Kroll Thilo, Kehn Matthew et al. : The SCI Exercise Self-Efficacy Scale (ESES): development and psychometric properties, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, Vol.4, No.34 (2007)
- 8) Robert W. Motl, Rod K. Dishman et al. : Measuring enjoyment of physical activity in adolescent girls, *American Journal of Preventive Medicine*, Vol.21, Issue 2, pp.110-117 (2001)
- 9) Dale T. Miller, Micheal Ross : Self-Serving Biases in Attribution of Causality: Fact or Fiction?, *Psychological Bulletin*, Vol.82, No.2, pp.213-225 (1975)

選択気温の季節差・着衣差に関する検討

Study of differences in preferred temperature by season and clothes

○遠藤綾香*, 久保博子*, 佐々尚美*, 東実千代**

*奈良女子大学 **畿央大学

ENDO Ayaka*, KUBO Hiroko*, SASSA Naomi*, AZUMA Michiyo**

*Nara Women's University, **Kio University.

1. はじめに

近年、地球温暖化による猛暑日の増加により、エアコン等の空調による快適な室温への制御はもはや必要不可欠となっている。そこで、快適な室温の季節差や個人差に関するさまざまな研究¹⁾²⁾が、環境調整可能な実験室において実施されてきた。これらの研究は指定された着衣での実験であるが、実生活において私たちは、季節や気温に合わせて衣服を調節している。実生活での季節に合わせて自由に調節した着衣では、着衣量が異なるため、快適な室温にも、季節による差がみられると考えられる。

そこで本研究では、指定した着衣と被験者が実験日に着用してきた着衣において、被験者自身に快適となるよう室温を調節させる選択気温実験を行い、着衣の違いによる選択気温への影響を検討する。また、同じ被験者を用いて四季の各季節に実験を行い、選択気温への影響の、季節差についても検討する。

2. 方法

実験概要を表 1 に示す。被験者は青年女性 9 名を対象とし、四季による季節差をみるため、約 3 か月ごとに選択気温実験を行った。実験条件は、中間期を想定した実験着衣（各自の下着、こちらで準備した長袖 T シャツ、長ズボンの計 0.54clo 相当）で行う条件 A、コート等の防寒着を除く、被験者の当日の着衣で行う条件 B の 2 条件とし、ランダムな順で条件を割り当てた。

室温 25°C、相対湿度 50%の人工気候室に入室後、条件 A では実験着衣への着替えを、条件 B では着衣重量の計測を行い、心拍や皮膚温の計測機器を装着した。心拍等の計測を開始し、20 分間の安静時間を設けた後、120 分間、被験者自身が手元の温度調節ボタンで快適な室温になるよう調節し続ける選択気温実験を行った。ただし、室温や温度調節ボタンによる温度の変化幅については、被験者に伝えずに実験を行った。また、活動量は椅座安静とし、軽いパ

表1 実験概要

実験日		秋期：2024.10.6~2024.11.4 冬期：2025.1.27~2025.2.27 春期：2025.4.21~2025.5.20 夏期：2025.7.6~2025.8.1
実験場所		奈良女子大学 D棟1階人工気候室
被験者		青年女性9名（21~23歳）
条件	温熱環境	A: 基準服条件（実験者が用意した着衣） B: 自由服条件（被験者が季節に合わせて着用した普段着）
	測定項目	物理量 室温(床上0.1、0.6、1.1、1.6m) グローブ温湿度(床上0.6m)、相対湿度(床上0.6m) 生理量 皮膚温(前額、腹、前腕、手背、大腿、下腿、足背) 舌下温、心拍数、血圧、体重 心理量 室・身体部位に関する温冷感・快適感など34項目 その他 日常生活等に関する調査票・健康状態に関する調査票 着衣量、着衣重量

ソコン作業や勉強、ビデオの視聴を許した。

実験中は、室温、皮膚温、心拍数を 30 秒毎に、舌下温、室や身体部位に対する温冷感(9 段階)や快適感(7 段階)などの心理申告を 10 分毎に測定した。また、条件 B では着衣リストから ISO 9920³⁾により、clo 値を推定した。

3. 結果

3-1. 着衣量

各被験者の着衣量を、図 1 に示す。条件 A における実験着衣が約 0.54clo であるのに対し、条件 B の平均着衣量は、秋期 0.62clo、冬期 0.87clo、春期 0.62clo、夏期 0.60clo であった。どの被験者も、冬期の着衣量が最も大きくなった。夏期は長ズボンや半袖のブラウス・Y シャツの着用が目立ち、着衣重量は他の季節より少なかった。

3-2. 環境温

室温の経時変動を図 2 に示す。冬期は事前の室温調整が不十分であり、実験開始時の室温が他の季節よりも有意に低かった。条件 A では、実験開始後の室温を、秋期と冬期で上昇、春期と夏期で下降させる傾向が見られた。実験終了時(120 分目)の室温(以降、選択気温)は、秋期 25.7°C、冬期 25.9°C、春期 24.9°C、夏期 24.7°C であった。条件 B では、室温を

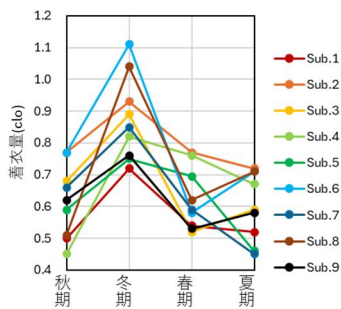


図1 着衣量の季節変化

ほとんど変化させない傾向が見られ、選択気温は秋期 25.7℃、冬期 25.0℃、春期 25.2℃、夏期 25.1℃であった。

3-3. 皮膚温

Hardy&DuBois の 7 点法により算出した平均皮膚温(以下、MST)の経時変動を図 3 に示す。秋期、春期、夏期では MST の大きな時間変動は見られず、34℃程度となった。冬期の条件 A では、-20 分目から 20 分目までで他の季節よりも有意に MST が低かったが、時間経過とともに他の季節と同程度まで上昇した。

3-4. 温冷感申告

図 4 に温冷感申告の経時変動を示す。秋期、春期、夏期では温冷感申告の大きな時間変動は見られず、「-1: やや涼しい」から「+1: やや暖かい」付近を推移した。冬期の条件 B では、実験時間全体を通して「+1: やや暖かい」付近であり、他の季節よりも「暖かい」側に申告されたが、有意差は認められなかった。

3-5. 快適感申告

快適感は、条件 A、条件 B ともに「+2: 快適」程度まで上昇した。快適感申告の季節による差は見られなかった。

4. まとめ

着衣による選択気温への影響の季節差について実験を行った。季節により着衣量が異なったが、MST と快適感はほとんど同じであり、着衣や室温を調整して温熱快適性を保っていたと考えられる。

本研究は奈良女子大学倫理審査委員会の承認を受け、科研費(B)23K222 の助成を受けて実施した。

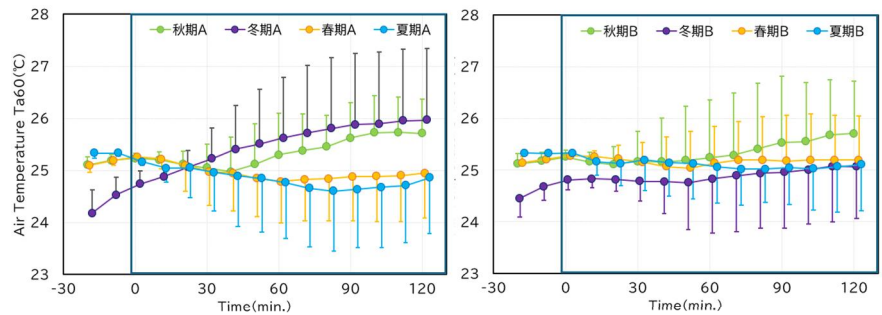


図2 室温の経時変動 (左:条件A 右:条件B)

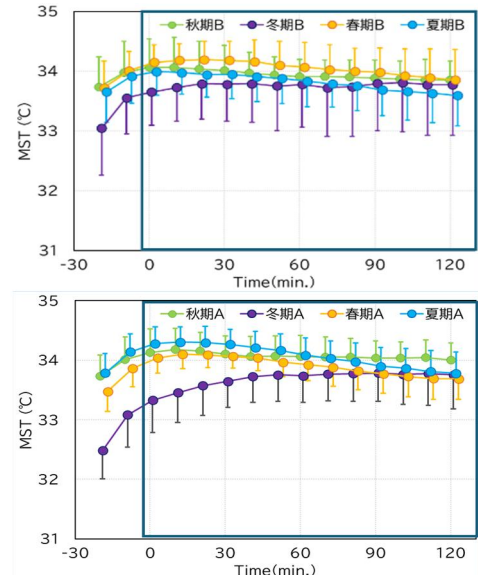


図3 MSTの経時変動 (上:条件A 下:条件B)

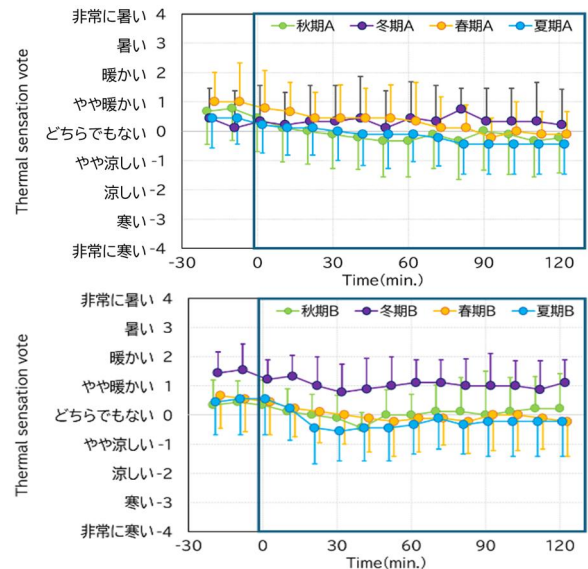


図4 温冷感申告の経時変動 (上:条件A 下:条件B)

参考文献

- 日向麻由美, 他. 好まれる気温の季節差に関する検討. 空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集. (1999) p.1548-1549.
- 水田裕美子, 久保博子. 夏期における至適温熱環境の個人差に関する研究-異なる気温下での生理・心理反応-. 人間工学会大会第 47 回大会講演集. (2006) p 470-471.
- ISO9920. Ergonomics of the thermal environment-Estimation of thermal insulation and water vapor resistance of a clothing ensemble, 2007

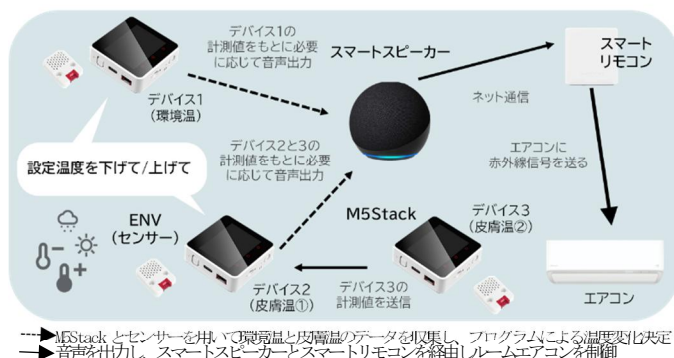


図1 自動制御システム

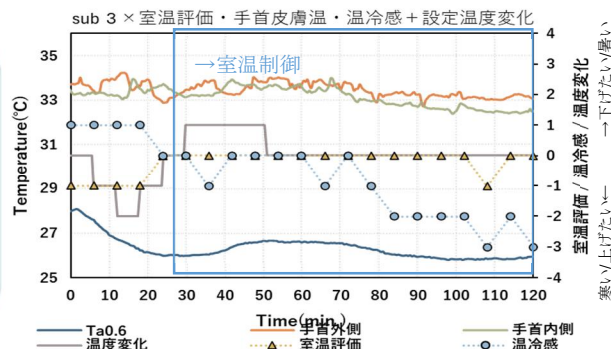


図2 室温、皮膚温、温冷感評価の経時変動

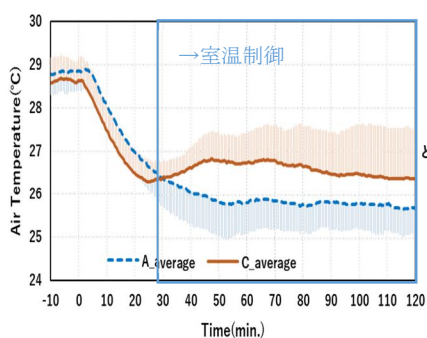


図3 室温の経時変動

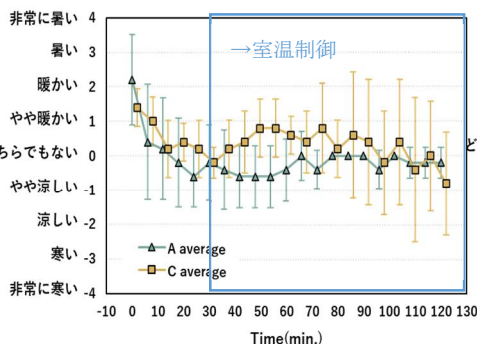


図4 温冷感の経時変動

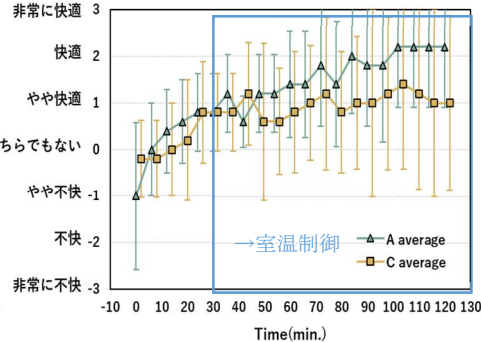


図5 快適感の経時変動

昇の制御が始まり、皮膚温を1°C上昇させる制御で室温は約1°C上昇した。冷房により0分以降の室温低下により温冷感は涼しい側に温度上昇制御後も室温が26°C程度であり、涼しい側の申告であったが、室温評価は「0：変化なし」になった。

図3に、条件ごとの平均値による制御による設定温度、図4に温冷感、図5に快適感の2条件の経時変動を示す。30分までは環境温による制御で両条件ともほぼ同様に室温が低下しているが、30分以降は、A条件はそのままほぼ平衡状態になり120分後には26°C程度となった。C条件では皮膚温の低下に伴い、冷え検知センシングにより、室温が上昇した。標準偏差が大きく個人による調整でばらついていたことが分かる。温冷感は室温変動と同調していたが、A条件では室温の上昇した30分からやや暖かい側となったが、その後徐々に低下したのにもない、120分後には2条件とも「0：どちらでもない」から「-1：やや涼しい」となっており、適正に制御できていたと考えられる。快適感は快適側の申告になったが、自分で命じたA条件では、快適感が高くなった。

5名での室温変化制御値と室温変化評価との一致率は、エアコンが付いた直後と自動制御の開始直後

は100%と高かったが、その後は、60%～80%程度であった。これはセンサーが皮膚表面から浮いているなどの状況や、室温を上げる場合にはエアコンの温度を上げる以外の方法がないため、室内の熱容量などの状況で室温の上昇に時間がかかるなどのため、制御間隔などのさらなる検討が必要である。

4. まとめ

皮膚温による冷房の自動制御実験を行ったが、おおむね、室温に対する評価と快適感を満たした制御を行うことができたが、制御プロトコルは改善の余地があることが示唆された。

謝辞 本研究は奈良女子大学倫理委員会の承認を受け、科研費(B)23K22222の助成を受けて実施した。本研究の実施に際し、ご協力いただいた被験者の皆様に厚く御礼申し上げます。

文献

- 1) 東実千代1他5名：高齢者の環境調節行動を促す介入方法の検討-ナッジを活用した行動変容に着目して-、2022年室内環境学会学術大会C-02（2022）
- 2) 山本睦,他4名：自由選択気温と環境制御による快適性向上に関する研究,日本家政学会第75回大会要旨集（2023）
- 3) 山本睦,他4名：自由選択気温と環境制御下における高齢者の温熱快適性に関する検討、家政学会第76回大会要旨集（2024）
- 4) 久保博子,他3名冷房環境下における自動制御による温熱快適性向上に関する研究、第49回人間生活-環境系学会、（2025）

冷え症の特性を考慮した快適な冷暖房器具使用に関する研究 -省エネと快適性を考慮した場合の好む風の当たり方-

The study on the use of comfortable heating and cooling appliances considering the characteristics of cold constitution

- Preferred wind exposure method when considering energy conservation or comfort -

○佐々尚美*、東実千代**、久保博子*

*奈良女子大学研究院工学系 **畿央大学

SASSA Naomi*, AZUMA Michiyo**, KUBO Hiroko*

* Faculty of Engineering, Nara Women's University, ** Kio university

1. はじめに

近年、外気温の上昇により熱中症対策として適切に冷房器具を使用する事が必要¹⁾となってきたが、女子大生に冷えを感じる時を尋ねた所、約5割がクーラー使用室在室時とし²⁾、更に冷え性は夏期の冷房使用時に冷えを感じ不快に感じる事も多く、適切な冷房器具の使用方法を考える必要がある。また、健康を害しない事を前提に、省エネルギーも考えて冷房器具を使用する事も必要な観点である。

そこで、夏期に、若齢者を対象に、冷房器具の使用方法的検討として、快適性を意識した場合と省エネも意識した場合の好む風の当たり方を検討することを目的に、人工気候室実験を実施した。

2. 方法

2-1. 実験条件および実験方法

夏期に冷え性と冷え性でない若齢女性 13 名を対象に、武庫川女子大学内の人工気候室で実験を実施した。

温熱環境は、前室は 28℃、50%となる様に調整し、人工気候室は省エネルギーも考慮して気温 30℃、50%とした。

人工気候室では、被験者は、スポット扇風機を用いて、気流の速さおよび風が当たる部位を自由に調整し、身体の冷えを感じることなく「快適」に過ごせる様に自由に調整する「快適条件」と、省エネも考慮して自由に調節する「省エネ条件」の2条件実施した。尚、この実験に先立ち、〈正面から〉と〈横向き〉から風があたった時に、扇風機の位置と気流の速さを調整する実験を実施³⁾し、その経験を元に、スポット扇風機を調整した。

被験者の実験中の着衣量は 0.3clo^{4) 5)}とし、活動量は椅座安静状態とした。

測定項目は、温熱環境条件として気温および黒球温度、相対湿度、気流とした。生理反応として皮膚温を Hardy&Dubois の7点⁶⁾と冷えやすいと考えられる部位8点(首、肩、二の腕、手指先、脛脛、足首、足指先、各自の冷える部位)、舌下温、血圧・心拍数などとした。心理反応として、全身および部位別温冷感(SD法9段階)、快適感(SD法7段階)などとした。

実験手順は、被験者は前室にて椅子座安静状態を保ちながら約30分滞在した後に、実験室に入室し、10分毎に気流を調整しながら30分滞在した。実験中は皮膚温は30秒おき、心理反応は10分おき及び人工気候室に入室前後に測定した。

気流は、実験終了後に実験を再現して、被験者の位置の床上高さ10cm~120cmの間の6点を測定した。

実験は2023年8月~9月に実施した。

2-2. 被験者

被験者は21~22歳であり、被験者13名の内、「冷え性」と自認しているのは12名であった。また、坂口らによる「冷え性」調査用問診票⁷⁾にて冷え性と判定されたのは10名であり、3名が自認と冷え性判定が異なった。本報告では、坂口らによる冷え性判定で冷え性と判定された被験者を冷え性として検討した。

3. 結果

3-1. 気流

風があたる向きは、〈正面から〉が多く、快適条件は〈正面から〉が約6割、省エネ条件は〈正面から〉

が約8割と増えた。冷え性はいずれの条件も〈正面から〉が7割、〈横から〉が1割、快適条件は〈横から〉省エネ条件は〈正面から〉が2割であり、冷え性でない人は人により異なった。図1に冷え性判定別の条件別のスポット扇風機の距離の分布を示す。スポット扇風機の位置は、個人差は認められるが省エネ条件の方がスポット扇風機を体に近づける傾向であり、全高さの平均風速は、省エネ条件の方が若干遅い傾向であるが、いずれも約0.3m/sであった。

3-2. 皮膚温

30分後は、冷え性も冷え性でないも、いずれの条件も、皮膚温の分布は、肘幹部の皮膚温が高く、腕部や脚部の皮膚温が低い傾向を示した。図2に冷え性の判定別に条件別の足背皮膚温の分布を示す。冷え性別では、冷え性は、足背の皮膚温が約0.3℃快適条件の方が高い傾向を示した。

3-3. 温冷感

30分後は、冷え性は、条件別に平均すると全身温冷感はほぼ「やや涼しい」であり、快適条件では、上半身の各部位の温冷感が省エネ条件よりも涼しい側の傾向を示したが、いずれの条件でも、ほぼ「やや涼しい」～「どちらでもない」であった。

4. おわりに

夏期に、若齢者を対象に、冷房器具の使用方の検討として、快適性を意識した場合と省エネも意識した場合の好む風の当たり方を検討すること目的に、人工気候室実験を実施し、皮膚温などの生理量、温冷感などの主観申告、気流などの温熱環境を測定して検討した。その結果、正面から風を当てる割合が高く、その割合は省エネを考慮した場合の方が高く、扇風機も近い位置となる傾向を示した。

謝辞 実験にご協力頂きました被験者の方々および本研究を遂行するにあたり、多大なる協力を得た黒川萌さん、古賀藍子さん、福永愛未さん（当時、武庫川女子大学）松實大智さん（当時、畿央大学）に深謝を表します。本研究は文部科学省科学研究費補助金 基盤研究（C）課題番号 23K02020 の助成を受けて実施した。

参考文献

- 1) 環境省環境保健部環境安全課：熱中症環境保健マニュアル 2022,p32(2022).

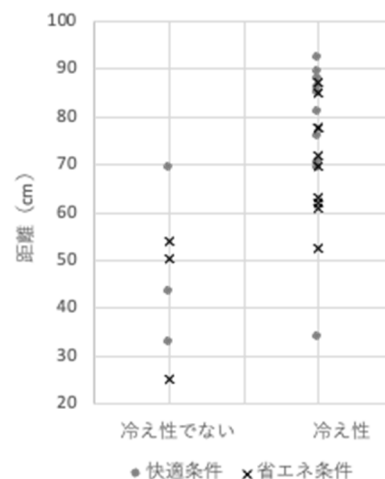


図1 冷え性判定別の条件別スポット扇風機の距離の分布

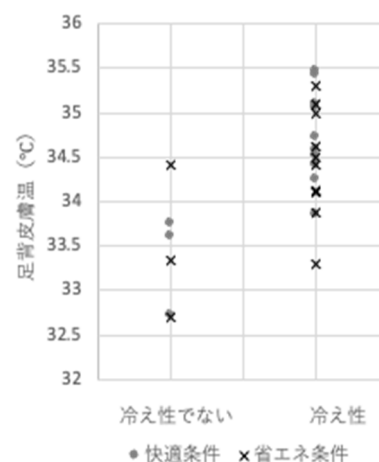


図2 冷え性判定別の条件別の足背皮膚温の分布

- 2) 佐々尚美,梁瀬度子：夏期の冷え改善に関する研究—蒸気温熱シートを使用した場合—,日本家政学会第58回大会研究発表要旨集,p81(2006).
- 3) 佐々尚美 他：省エネを考慮した冷え性の快適な風の当たり方に関する研究,一般社団法人日本家政学会第76回大会 研究発表用紙集,84(2024).
- 4) 花田嘉代子,他：婦人用下着類の熱抵抗の計測に関する研究,繊維製品消費科学,22(10),pp.34-41 (1981).
- 5) 磯田憲生：生活と衣服に関する一考察,衣生活研究, 6, pp.15-20(1980).
- 6) J,D,Hargy et al. : The technic of measuring radiation and convection, Journal of Nutrition, 15, pp.461-475 (1987).
- 7) 坂口俊二 他：「冷え症」の定義の明確化に向けて—「冷え症」調査用問診票（寺澤変法）の有用性の検討—,関西鍼灸短期大学年報,13, pp.58-63 (1997).

一般セッション 5

運動・感覚・バイオメカニクス

60 周年記念館 2 階大セミナー室

15:15~17:20

心拍による操船者の恐怖心定量評価の確立に向けた皮膚電位計測結果の比較

Quantitative Assessment of Operator Fear during Ship Handling Using Heart Rate Program Analysis

谷口有咲*, 北村健一*, 瀬田広明**, ○吉兼匠馬***

*鳥羽商船高等専門学校 **東海大学航海工学科 ***旭タンカー株式会社

TANIGUCHI Arisa*, KITAMURA Kenichi*, Seta Hiroaki**, YOSHIKANE Shoma***

*Maritime Technology Department, National Institute of Technology, Toba College, **Department of Marine Science and Ocean Engineering, Tokai University, ***Asahi Tanker Co., Ltd.

1. 背景

船舶数による事故発生件数の違いは、多数の船舶との衝突事故発生といった操船者の主観的な操船への恐怖心からくるものと考えた。すなわち、船舶数が少ないと事故発生数は小さく逆に船舶数が多いと事故発生数は大きい、という事象は各操船者が各々の主観的な衝突恐怖意識を認めた結果から起こると考えた。したがって、船舶衝突事故防止研究の利用に恐怖心の定量評価を考える。この定量の方法として、操船者がリスクを感じた際、皮膚電位の計測にて反応が表れることがあることを同研究室の先行研究¹⁾より示唆されている。この皮膚電位の反応は先行研究において、皮膚電位と心拍数には、痛みを与えた際の反応が有意に相関していることが伺える。恐怖心の定量評価に採用する自律神経応答を、比較的取得が容易な心拍のデータにプログラミング解析を施し先行研究より顕著に操船者が感じるリスクを定量把握可能ならば、船舶の衝突事故防止に本研究は寄与すると考える。本研究は、我々の先行研究²⁾でその有効性を認めた心拍の解析手法である ECG (Electrocardiogram) 解析、パワースペクトル解析を使用する。ECG 解析は主に心拍数の確認のために行われ、身体異常のチェックにも使用されている。パワースペクトル解析は周波数成分の構成を分析し、自律神経の各成分の活動度を測定する。これら解析手法にはプログラミングコードを要するが、このコードは生成 AI 由来であり、その精度の有効性を検証した。

2. 目的

本研究は操船者の他船への恐怖心の把握に向けて恐怖心と相関性のある心拍の変動を掘み解析することにより、当該恐怖心のデータを客観的に評価することにある。

3. 実験概要

本実験では、心拍から恐怖心の定量を行う際の参照データとして、皮膚電位を用いた恐怖心の定量評価を行った。心拍の計測機器には、Polar と呼ばれる機器を利用した。この機器により心拍数 (HR, Heart rate) 及び RR 間隔を計測した。HR は心拍数のことであり、自律神経の影響を強く受けるためストレスによっても変動する。これは交感神経の優位であるとき、すなわち緊張、興奮、ストレスを感じて活動の神経である交感神経が優位になる際に心拍数が上昇する。一方で、副交感神経の優位な際に、リラックス状態や睡眠中は副交感神経が優位になり心拍数が低下する。RR 間隔は、心電図において心室の収縮を示す最も高い波形である R 波から次の R 波までの時間間隔を指している。心拍数と RR 間隔は同じ情報を異なる側面から表現しているが、特に RR 間隔の「ゆらぎ」に着目する心拍変動解析は、心臓の健康状態だけでなく、ストレスレベルや自律神経のバランスをより詳細な評価に使用することがある。

皮膚電位の計測機器としては、SPN03 と呼ばれる機器を利用した。この機器にて SPR (皮膚電位反射)、および SPL (皮膚電位水準) の計測を行った。SPR は、皮膚電位活動 (SPA) の交流成分であり、音や痛みといった特定の刺激や暗算・考え事等精神活動に反応し生じる急速で短時間的な電位変化のことを指すが、主に刺激に対する反応強度や情動的な反応、自律神経系の瞬時的な活動を反映するとされている。SPL は、皮膚電位水準の略で、皮膚電位活動の直流成分にあたるが、比較的緩やかに変動する基線の電位変化を示し、主にヒトの覚醒度や精神的な基盤状態を反映するとされている。醒度が高いときは陰性に高い値を示し、眠気を催したりリラックスしたりした状態では陽性方向に傾く傾向がある。

計測は鳥羽商船高等専門学校航海計器実験室で実施し、外的影響少ないであろう状態で、閉眼、掌握運動、肌をつねる刺激の3つを実験協力者に行ってもらった。閉眼、掌握運動は各30秒を目安に行った。データの処理にはエクセルを用いた。またSPN03は約0.1秒周期の計測に対して、Polarは心拍のピーク毎、約0.7秒周期の計測でデータを得た。この得られたデータを解析する際には心電図に表れる心拍のピークを重視し、HRを基準にPolarのデータを処理した。心拍データの解析処理後は、各データ間での相関性の確認を行った。

4. 結果

実験より、SPLとHRとの間の相関性が確認された。サンプル数は減少するが、閉眼、掌握運動、外的刺激と特定動作間に絞ることで相関係数は大きくなった。SPR-HRでは全体を通して比較的微弱な負の相関がみられた。SPL-RRでは全体として弱い負の相関がみられた。ただし閉眼時及び運動時には強い負の相関が確認された。SPR-RR間では特定の相関がみられたとはいえない結果となった。

5. 考察

SPL-HRでは十分な相関が確認されたことは、皮膚コンダクタンスのベースラインレベルと心拍数の間に、ある程度の同期性または共通の変動パターンが見られたことを示唆している。通常、両者とも自律神経系の活動、特に交感神経系の覚醒状態を反映するため、この相関は納得できる結果である。また特定の状況下（閉眼、身体運動、外部刺激など）では、SPLとHRの連動性が高まることをしめした。これは、これらの状況が自律神経系に特有の特性が明確な影響を与え、その影響がSPLとHRの両方に強く現れたためと考えられる。特定の状況に限定してサンプル数を減らして相関が強まるのは、その限定された条件下ではノイズが減り、真の関連性がより鮮明になったことを示唆している。

SPR-HR間で弱い負の相関となったことは、刺激に対する即時的な覚醒反応（SPRの増加）が必ずしもHRの顕著な増加を伴わない、あるいは、HRのわずかな減少（心拍の減速反応など）が観察される可能性がある。これは、刺激の種類や個人の反応パターンによって複雑な関係があるためさらなる検討が必要である。

SPLとRRが負の相関を持つということは、「SPL

が高い時にRRが低い」あるいは「SPLが低い時にRRが高い」という関係である。「閉眼時」は通常、リラックスや安静を促す状態であり、この時にはSPLは低下し、RRも減少すると考えるのが一般的である。もしSPLとRRがともに低下するのであれば、これは正の相関として現れてもおかしくない。よってここで考えられることは、被験者がリラックスできる状態でなかった可能性がある。

6. 結論

本研究においては、操船者の恐怖心定量評価の足がかりとして、心拍（HR）と皮膚電位水準（SPL）の間に有意な正の相関が確認された。特に、閉眼時や掌握運動といった特定の覚醒態下では、その相関が顕著に高まることが示唆された。この結果は、比較的容易に計測可能な心拍データから操船時の恐怖心と関連する自律神経応答を捉える可能性を示しており、客観的な恐怖心定量評価の手法開発に向けた有効な一歩であると考えられる。一方で、皮膚電位反射（SPR）と心拍変動（RR隔）との相関は限定的であり、これらの関係性についてはさらなる詳細な検討が必要である。

7. おわりに

本研究で実施した実験はJSPS科研費JP23K17624の助成を受けたものである。本実験はヒトを対象とするため、鳥羽商船高等専門学校生命倫理委員会規則にのっとり同委員会より審議を受け、ヒトを対象とする研究を行うことに対して既に承認を得ている。本実験協力者にはインフォームド・コンセントを書面で行った。

参考文献

- 1) 吉兼匠馬, 北村健一, 瀬田広明, 岡田恭侍: 皮膚電位計測によるヒトメンタル定量評価方法の開発, 2024年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.47-50 (2024).
- 2) 岩田和也, 森幸男: 皮膚電位計を用いた交流式電気磁気暴露時の自律神経活動の測定, 第30回バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会講演論文集 (BMFSA2017), pp.29-32 (2017).
- 3) 加藤怜, 北村健一, 瀬田広明, 大崎脩仁: ChatGPTにより心拍解析手法をまとめたフローチャート開発, 2024年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.53-54 (2024).

操船時のメンタル定量評価に向けた最適な皮膚電位計測部位の検証 Verification of the Optimal Skin Conductance Measurement Site for Quantitative Mental Assessment during Ship Handling

中井新太*, 北村健一*, 瀬田広明**, ○吉兼匠馬***

*鳥羽商船高等専門学校 **東海大学海洋学部 ***旭タンカー株式会社

NAKAI Arata*, KITAMURA Kenichi**, SETA Hiroaki***, YOSHIKANE Shoma**

*Maritime Technology Department, National Institute of Technology, Toba College, **Department of Marine Science and Ocean Engineering, Tokai University, ***Asahi Tanker Co., Ltd.

1. 背景

本研究は、将来航海士を志す高専生が操船訓練において直面する特定の航行場面での苦手意識を軽減・払拭することを目的とする。操船中に生じる心理的負担は、本人の技能習得に影響を与えるだけでなく航行の安全性にも密接に関わるため、その把握と対処は教育現場において重要であると考えられる。本研究は、このような心理的負担が顕在化する瞬間を特定するために、生理指標を活用することを試みた。採用した指標は皮膚電位であり、非侵襲的かつ連続的に計測できる特性を持つ。皮膚電位の変動を詳細に解析することで船舶運航経験の有無や程度によって異なる緊張場면을抽出することが可能となり、現職の船舶運航者に対しても効率的な訓練法の開発や通常と比較した訓練時間の短縮、運航能力の向上につながる可能性を考えた。

先行研究において、皮膚電位は心理状態の評価に用いられてきた。しかし多くは単純な変動パターンに基づく精神状態の解釈にとどまっており、計測データそのものに体系的な解析を施した事例は限られている。また、ヒトのメンタル評価を定量的に試みる研究も一部存在するが必ずしも広く活用されておらず、その有用性についても十分に検証されていない。このような背景から、本研究では、「皮膚電位を用いた体系的な精神評価」という新たな研究テーマを掲げた点に新規性がある。特に、皮膚電位計測値と精神活動の相関関係は未だ十分に解明されておらず測定部位の妥当性すら統一的に検証されていない現状に鑑み、本研究はこれらの課題に正面から取り組んだ。

実験に用いる皮膚電位計測器は、小型かつ可搬性に優れ、非侵襲的に計測できる点で実験環境に適合

している。操船環境である船橋は限られた空間であり運航中の作業負荷が大きいことから、Bluetoothによりリアルタイムで計測データを確認できる機能を持つ本機器の採用は合理的である。

心理状態を反映する生理指標は多様に存在するが、本研究で着目する皮膚電位は、一般的に「皮膚電気活動」と総称されるものである。皮膚電気活動は皮膚電位活動 (skin potential activity: SPA) と皮膚コンダクタンス活動 (skin conductance activity: SCA) に大別され、さらに SPA は皮膚電位水準 (skin potential level: SPL) と皮膚電位反射 (skin potential reflex: SPR) に区分される。本研究は、実験器具により計測可能な SPL および SPR を対象とする。SPL は覚醒や緊張時に陰性方向へ変化し、リラックスや眠気の際には陽性方向へ移行する特徴を持つ。一方で、SPR は聴覚や視覚による外的刺激、深呼吸や暗算などの内的活動によって頻発する反応である。これまでの研究において、皮膚電位を用いて授業中の学習者や運転者の認知負荷が評価され、緊張場面において有意な変化がみられることが報告されている¹⁾。

皮膚電位計測の標準的な部位は、精神的発汗が発生しやすいエクリン汗腺が高密度に分布する手掌や指尖部である。これまでの多くの研究は、手のひらや指尖と手首の間を計測対象としてきた。しかし、汗腺にはエクリン汗腺とアポクリン汗腺の二種類が存在し、前者が精神的発汗、後者が温熱的発汗に関与している。エクリン汗腺は全身に分布しているため、適切に温熱的発汗の影響を排除すれば、手掌や指尖以外の部位でも精神的発汗に基づく皮膚電位反応を計測できる可能性がある。本研究は、この視点から測定部位の選択を再検討し、精神活動評価に資する新たな知見の獲得を目指す。

2. 目的

本研究は、皮膚電位計測を活用したヒトメンタルの定量評価方法を開発することを最終的な目標とする。これまでの研究は、皮膚電位を心理評価に応用する試みは存在するものの、その多くは単純に電位変動のグラフを視覚的に確認するにとどまり、得られたデータに対して体系的な解析が施されていないかった。したがって、皮膚電位の変動をより客観的かつ定量的に評価する手法を確立することが急務であると考えられる。そこで本研究は、既存の解析手法を導入・応用し、これまでにない新たなメンタル評価の枠組みを構築することを目指す。具体的な実験目的としては二点を掲げる。第一に、皮膚電位計測において従来推奨されている測定部位（手掌や指尖部）とそれ以外の部位との相関性を検証することで、計測部位の妥当性を再評価する。これにより、測定環境や状況に応じた柔軟な計測方法の確立を試みる。第二に、航海中に発生し得る複数の緊張場면을模擬するため、3種類のシナリオを作成し、操船シミュレータを用いて実験を行う。本実験では本校学生を実験協力者とし、各場面における皮膚電位反応を計測することで、個々の実験協力者が苦手意識を抱きやすい操船状況の抽出を目的とする。これらの取り組みにより、皮膚電位に基づくメンタル評価の実用化に向けた基礎的知見の獲得を目指す。

3. 実験方法

本実験では、株式会社スキノスの spn-03 を使用した²⁾。小型・軽量かつ、データは無線で PC やスマートフォンに転送されるため、簡便な計測が可能である。また、SPL と SPR の同時計測をすることができる。ディスプレイ電極、電極リード線、送信機で構成されている。皮膚電位の計測には、通電法と電位法の二種類がある。通電法は、手掌と手首などの2か所に電流を流す方法であり、発汗による皮膚抵抗の変化を測定するものである。電位法は、電流を流さず2か所に張り付けた電極で計測した電位の差を測定するものである。spn-03 については、電位法を用いて株式会社スキノスの HP に記載してある計測方法にのっとり使用した。当該 HP に掲載されている実験の測定項目は、ハンドグリップ・閉眼・

フラッシュ暗算であった。実験器具の正常な動作を確認するために、同様の測定項目で計測を行った。HP 上で公式に出している結果と同様の結果が得られたのちに、一般的に推奨されている部位とその他部位との相関性を確認した。ディスプレイ電極を使用して計測を行うため、容易に部位を変えて計測をすることが可能となる。一回の計測は2分30秒とした。船舶運航者の皮膚電位を計測しようと考えているため、4時間の当直を終了時まで計測できるのかを検証した。動きや外部のものが電極にあたることでノイズ等が発生の有無を検証した。計測姿勢は椅子に座った状態とした。実験時、実験協力者は熱源から離れ、24℃程度の室温環境で行った。

表1が示す従来の方法を含めた基準部位7部位と計測部位7部位を入れ替えて計測を行い相関性があるか検証する。表1において○がついている部分が計測したものであり、各2回ずつ計測する。

操船シミュレータを使用した実験は、航海中遭遇すると考えられる行き会い船、左からの横切り船、右からの横切り船の3つの場面に絞り、実験シナリオを作成した。シナリオは、000°へ北上しその途中で3つの場面に遭遇するものとなっており、約8-9分で終了する。実験開始前と実験区間、実験終了後の皮膚電位データを記録し、皮膚電位がどのような変化をしているか比較を行った。そのため、合計の計測時間は約10分となっている。実験協力者は、本校本科五年生および専攻科生で操船指揮者（6名）のデータを取った。また、そのほかに舵、撮影、記録係を各1名ずつ配置し、実験を行った。計測は、腕を基点とし、手のひらとの電位差を計測した。また、

実験終了後は、緊張した場面としなかった場面の聞き取り調査を行った。計測時の注意事項として、左手を計測部位としたため、計測中の姿勢はなるべ

表1 基準部位と計測部位

相関性検証対象		計測部位						
		手首	手のひら	肩	胸中心	上腕二頭筋	首	鎖骨
基準	手首	×	○	○	○	○	○	○
	手のひら	○	×	○	○	○	○	○
	肩	○	○	×	○	○	○	○
	胸中心	○	○	○	×	○	○	○
	上腕二頭筋	○	○	○	○	×	○	○
	首	○	○	○	○	○	×	○
	鎖骨	○	○	○	○	○	○	×

く手を動かさないよう指示をしてノイズが発生しないようにした。また、海上衝突予防法を順守するように伝えた。1 船舶を避航したら一度針路を 000° に戻し、次の船舶への対応を取ることにした。

本研究は、計測に適する温度への調節が可能である操船シミュレータを使用して実験を行ったが、なるべく実験協力者に動きを抑えてもらった上で汗をかきやすいといった特性のみられる、かつ、手のひらの皮膚と電位において相関性がみられる部位で最終的に認知負荷の計測を行った。

4. 結果

一般的に推奨されている部位での計測である従来の方法は、ハンドグリップ・フラッシュ暗算をしたときに SPL は陰性に高い値を示した。また、閉眼時には陽性方向へ変動した。SPR は、ハンドグリップ・フラッシュ暗算をしているとき頻発していた。そのため、HP に記載されている通りの反応を得ることができた。電極部に接触した際のノイズの発生検証では SPL・SPR とともに反応があったため、ノイズが発生することがわかった。表 2 に 7 部位の相関性を検証した結果を示す。

相関の検証は、各イベントにおける相関係数をエクセルにて絶対値で算出した。表 2 は、従来の方法に対して 7 部位を入れ替えて行った計測の結果の相

関係数を示す。本研究では、相関係数 0.2 以上の値を相関があるとして評価した。手のひら基準は、胸がハンドグリップ・閉眼で SPL・SPR とともに相関がみられた。また、フラッシュ暗算は、SPL のみ相関

がみられた。手首は、閉眼時にともに相関がみられた。肩は、ハンドグリップの SPR と閉眼時 SPL・SPL で相関がみられた。上腕二頭筋は、ハンドグリップの SPR と閉眼の SPL で相関がみられた。首は、ハンドグリップ時と閉眼時に SPL の相関がみられた。鎖骨は、ハンドグリップの SPL と閉眼の SPL・SPR で相関がみられた。

肩基準は、手首についてハンドグリップ・閉眼で SPL・SPR とともに相関がみられた。また、フラッシュ暗算は、SPL のみ相関がみられた。手のひらは、閉眼の SPL とフラッシュ暗算の SPL・SPR で相関がみられた。胸は、ハンドグリップの SPL・SPR と閉眼の SPL とフラッシュ暗算の SPL で相関がみられた。上腕二頭筋は、ハンドグリップの SPL・SPR と閉眼の SPL で相関がみられた。首は、閉眼の SPL とフラッシュ暗算の SPL で相関がみられた。鎖骨は、ハンドグリップと閉眼で SPL・SPR とともに相関がみられた。

胸基準は、手首についてハンドグリップと閉眼で SPL・SPR とともに相関がみられた。手のひらと上腕二頭筋は、閉眼とフラッシュ暗算で SPL のみ相関がみられた。肩は、閉眼の SPL とフラッシュ暗算で SPL・SPR で相関がみられた。鎖骨は、閉眼の SPL で相関がみられた。首は、すべて相関がみられなかった。上腕二頭筋基準は、手首が閉眼の SPL・SPR とフラッシュ暗算の SPL で相関がみられた。手のひらは、ハンドグリップ・閉眼・フラッシュ暗算の SPL で相関がみられた。肩は、安堵グリップで SPL・SPR とフラッシュ暗算の SPL で相関がみられた。胸は、ハンドグリップの SPL と閉眼の SPL・SPR で相関がみられた。手首は、閉眼で SPL・SPR とともに相関がみられた。鎖骨は、ハンドグリップと閉眼で SPL・SPR とともに相関がみられた。

首基準は、手首についてハンドグリップ・閉眼で SPL・SPR がともに相関がみられた。また、フラッシュ暗算で SPL の相関がみられた。手のひらは、ハンドグリップ・フラッシュ暗算で SPL・SPR とともに相関がみられた。また、閉眼で SPL のみ相関がみられた。胸と鎖骨は、閉眼の SPL のみ相関がみられた。上腕二頭筋は、ハンドグリップ・閉眼・フラッシュ暗算で SPL のみ相関がみられた。肩は、すべて相関がみられなかった。

鎖骨基準は、手首についてハンドグリップ・閉眼・フラッシュ暗算が SPL の相関がみられた。手のひら

表 2 部位ごとの相関係数 (色: 相関係数 0.2 以上)

測定項目	測定部位	測定項目	測定部位	測定項目	測定部位	測定項目	測定部位
ハンドグリップ	SPR	ハンドグリップ	SPL	ハンドグリップ	SPR	ハンドグリップ	SPL
フラッシュ暗算	SPR	フラッシュ暗算	SPL	フラッシュ暗算	SPR	フラッシュ暗算	SPL
閉眼	SPR	閉眼	SPL	閉眼	SPR	閉眼	SPL
安堵グリップ	SPR	安堵グリップ	SPL	安堵グリップ	SPR	安堵グリップ	SPL
上腕二頭筋	SPR	上腕二頭筋	SPL	上腕二頭筋	SPR	上腕二頭筋	SPL
首	SPR	首	SPL	首	SPR	首	SPL
鎖骨	SPR	鎖骨	SPL	鎖骨	SPR	鎖骨	SPL

は、閉眼・フラッシュ暗算で SPL の相関がみられた。肩と胸は、閉眼の SPL で相関がみられた。上腕二頭筋は、ハンドグリップ・フラッシュ暗算の SPL と閉眼の SPL・SPR で相関がみられた。手首は、ハンドグリップの SPL と閉眼の SPL・SPR で相関がみられた。

すべての項目で SPL・SPR の相関がみられた部位はなかった。

図 1 は、SPR と SPL の相関係数が $0 > 0.2$ と $0.2 \leq 1$ を色で分けて分布を示したものである。SPR は、相関係数 0-0.6 の間で分布していた。SPR は相関をあまりみることができなかった。SPL は、相関係数 0.2-1 までの分布も比較的あり、相関をみることができた。

操船シミュレータを使用した実験においては、実験協力者 1 の SPL・SPR は、横切り船を視認した場面と右から左への横切り船の場面で多く反応がみられた。また、実験協力者 2・3・4・6 の SPL・SPR は、行き会い船と左から右への横切り船を避航する場面で多く反応がみられた。実験協力者 5 の SPL・SPR は、行き会い船と右から左への横切りで反応がみられた。6 人の実験協力者の結果を比較すると、行き会い船と左から右の横切りに反応が良くみられた。逆に右から左への横切りは、反応があまりみられなかった。このデータから、個人の苦手な操船場面の割り出しに成功した。SPL が反応する前に SPR が来ることがわかった。

実験開始前と実験終了後時は、実験協力者 1 と実験協力者 3 は、実験開始前は SPL・SPR が一定で変動がなかった。実験終了後も実験開始前と同程度の値であった。また、実験協力者 2・4・5・6 の実験開始前は、SPL・SPR の変動がみられ、緊張状態であった。実験協力者 2・4・5 の実験終了後、SPL が陽性

方向へ変動し SPR の値が 0 付近を維持していることから、実験協力者がリラックス状態だとわかった。

実験後の聞き取り調査では、「実験開始時にレーダーが回ってなくて焦った」「行き会い船が船首と重なっていて気付いたときにびっくりした」「法律を思い出すのに時間がかかった」「そこまで難しくはなかった」などが挙げられた。実験データと比較してみると、行き会い船では全員に反応がみられているため、主観的な評価を客観的に表すことができていると考える。また、「そこまで難しくなかった」といっても多くの場面で SPL・SPR の反応から、実験協力者自身では認識できない意識も皮膚電位を使用することで計測できる可能性を掴んだ。

5. 今後の課題

様々な年齢の航海士を対象として以下を目的に計測を行う予定である。

- 年齢（経験）負荷認知の度合いを調べる。
- 一般的に推奨されている以外の部位との相関性をみることで、皮膚電位が推奨部位以外でも計測できるものだと提案する。
- 計測したデータの解析方法を考え提案する。

今回の操船シミュレータを使用した実験では、手首を基準として手のひらとの電位差を計測したため、相関性のあるその他の部位でも検証を行いたい。

6. おわりに

本研究で実施した実験は JSPS 科研費 JP23K17624 の助成を受けたものである。本実験はヒトを対象とするため、鳥羽商船高等専門学校生命倫理委員会規則にのっとり同委員会より審議を受け、ヒトを対象とする研究を行うことに対して既に承認を得ている。本実験協力者にはインフォームド・コンセントを書面で行った。

参考文献

- 1) 山森光陽: 生理心理学的指標を用いた授業中の教師の認知不可の把握, 日本教育工学会論文誌, Vol. 47, No.1, pp.127-139 (2023).
- 2) 株式会社スキノス: SKIN POTENTIAL 皮膚電位について, 株式会社スキノス web ページ, <https://www.skinos.co.jp/skinpotential/> (2025 年 10 月 25 日アクセス).

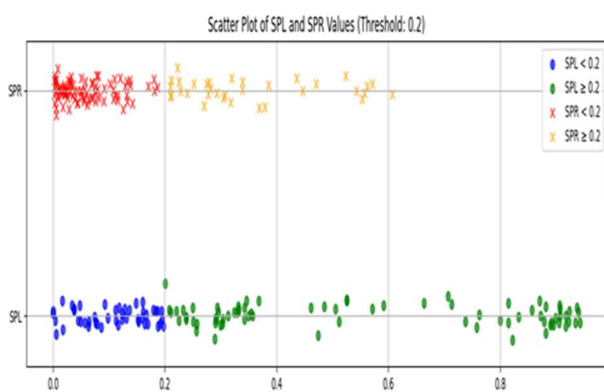


図 1 SPL・SPR の相関係数分布

熟練度の違いからみたテニスボレー動作の上肢運動特性分析

○勝見康平*, 佐藤慶, 富岡咲紀, 来田宣幸, 幸田仁志

*京都工芸繊維大学

1. 緒言

テニスにおけるボレーは、ネット付近でボールをバウンドさせずに打球する技術であり、相手に対して時間的・心理的プレッシャーを与えるとともに、得点機会を能動的に創出できる重要なショットである¹⁾。ボレーはフォアハンドボレー (Forehand volley; FV) とバックハンドボレー (Backhand volley; BV) に大別され、さらに打点の高さによりハイボレー、ミドルボレー、ローボレーに分類される。しかし、多くのプレーヤーがボレーを苦手としており、その習得難易度は競技レベルが低いほど高いとされる²⁾。ボレー動作に関する研究は限られており、先行研究では FV の上肢動作に着目したキネマティクス分析が報告されているにとどまる³⁾。したがって、FV の動作分析のみでは、実践場面におけるボレー動作全体の特性を十分に把握できているとは言いがたい。また、肩や腰の回転角度やその差から生じるねじれの角度は、力伝達およびボレーの安定性に寄与する重要な要因であると考えられるが、十分な検討はなされていない。そこで本研究は、FV に加えて BV も含めた分析を熟練者、非熟練者で行ない、それぞれの動作特徴を明らかにすることを目的とし、より実践的な場面における有用な知見を指導現場に提供できると考える。

2. 研究方法

対象者は大学体育会硬式テニス部に所属する男子学生 12 名 (20±2 歳) およびテニス経験が半年未満の男子学生 8 名 (20±2 歳) の計 20 名とした。前者を熟練者群 (右利き 10 名、左利き 2 名)、後者を非熟練者群 (右利き 7 名、左利き 1 名) と区分した。本研究は体育館で実施した。十分なウォーミングアップの後、図 1 のように対象者を疑似ネット (高さ 1m) から 4m 後方の位置に立たせ、反対側コートのネットの 8m 後方からラケットで球出ししたボールをボレーさせた。対象者がミドルボレーをしやすい場

所に球出しをして、対象者には打ち出されたボールを 3m×2m のターゲットエリアめがけてボレーするよう指示した。さらに、球出し速度は 50~60km/h とし、スピードガンにより測定した。複数回試技を行ない、球出し速度と打点が安定し、対象者自身が納得のいった 1 試技を分析対象とした。FV および BV の動作はハイスピードカメラ (59.94fps) により撮影した。データ収集に際しては、対象者の身体 8 点 (両肩、両肘、両手首、両腰) とラケット 2 点 (ラケットヘッドの先端と根元) の計 10 点に反射マーカーを貼付した。FV では対象者右前方に 3 台のハイスピードカメラを配置し、撮影映像から 3 次元 DLT 法により座標を算出した。座標計測には Frame-DIAS V (Q's fix 社) を用い、座標系は対象者が相手コートに正対した際の右方向を X 軸、ネット方向を Y 軸、鉛直上向きを Z 軸として設定した。キャリブレーションは水平器付 2m 棒を用い、撮影範囲を X 方向 3m、Y 方向 3m、Z 方向 2m とした。BV では対象者左前方にカメラを配置し、その他の条件は FV と同様とした。また、対象者が左利きの場合は、FV を右利きの BV と同じ座標系とし、BV を右利きの FV と同じ座標系に設定した。分析範囲は、身体またはラケットが動き出してからテイクバックが完了するまでを準備期、ラケットが前方へ移動を開始してからインパクトに至るまでをボレー期とし、各期におけるテイクバック時およびインパクト時を抽出した。

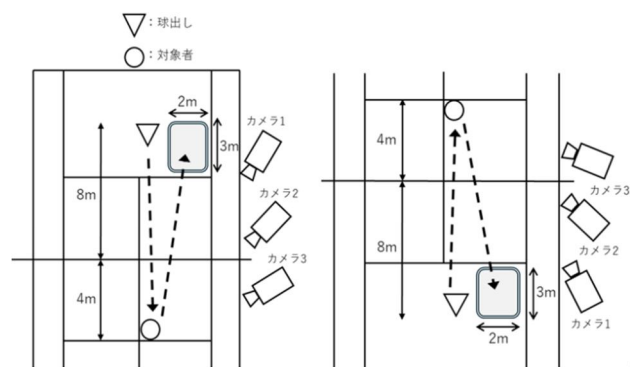


図 1 試技状況の模式図 (左: FV, 右: BV)

測定項目は、「肩の回転角度 α (FV; 図 2A, BV; 図 2B)」「腰の回転角度 β (FV; 図 2C, BV; 図 2D)」「肩と腰の回転から生じるねじれの角度 γ (FV; 図 2E, BV; 図 2F)」「ラケットと前腕のなす角度 δ (FV; 図 3A, BV; 図 3B)」とした。肩の回転角度は、FV では左肩から右肩へのベクトル、BV では右肩から左肩へのベクトルを XY 平面に投影し、当該ベクトルと X 軸とのなす角として算出した。また、腰の回転角度も同様の手順で算出し、肩角度との差をねじれの角度とした。ラケットと前腕のなす角度は、ラケット保持側の手首から肘へのベクトルを前腕軸、ラケット根元から先端へのベクトルをラケット軸とし、両者のなす角度として算出した。統計解析には IBM SPSS 2X を用いた。FV および BV の肩、腰、ねじれの回転角度について、選手レベル(熟練者群、非熟練者)を被験者間要因、時刻レベル(テイクバック時、インパクト時)を被験者内要因とする 2 要因分散分析を行なった。ラケットと前腕のなす角度についても同様の解析を行い、有意水準は 5% とした。

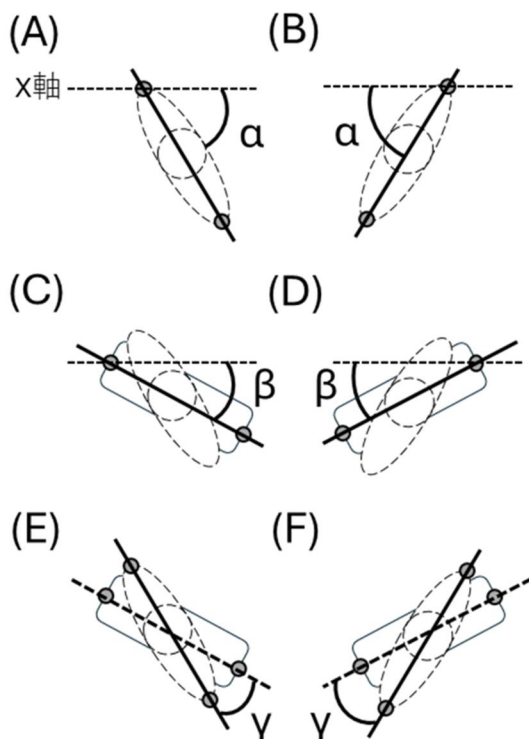


図 2 上腕の回転角度 (A: FV 肩、B: BV 肩、C: FV 腰、D: BV 腰、E: FV ねじれ、F: BV ねじれ)

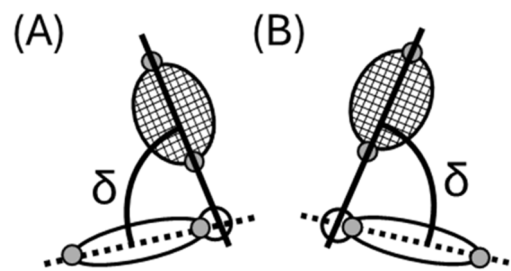


図 3 ラケットと前腕のなす角度 (A: FV、B: BV)

3. 結果

図 4 はテイクバック時およびインパクト時における、FV の肩(図 4A)、腰(図 4C)、ねじれ(図 4E)および BV の肩(図 4B)、腰(図 4D)、ねじれ(図 4F)の回転角度の平均値と標準偏差をそれぞれ示したものである。また、図 5 はテイクバック時およびインパクト時における、FV のラケットと前腕のなす角度(図 5A)および BV のラケットと前腕のなす角度(図 5B)の平均値と標準偏差をそれぞれ示したものである。

FV において、球出しからボールが打ち出されたのと同時に、肩を逆回転(右回転)させてテイクバックし(テイクバック時、熟練者群; -45.8 ± 26.9 度、非熟練者群; -26.4 ± 25.1 度)、そこから順回転(左回転)を行なって、ボールをインパクトしていた(インパクト時、熟練者群; -30.4 ± 15.3 度、非熟練者群; -18.7 ± 27.9 度)。これは熟練者群および非熟練者群ともに同じ動きであった。また、腰は逆回転(左回転)させてテイクバックをしてから(テイクバック時、熟練者群; -36.7 ± 20.2 度、非熟練者群; -22.1 ± 19.5 度)、ほとんど順回転(右回転)を行わず、ボールをインパクトしていた(インパクト時、熟練者群; -35.8 ± 24.0 度、非熟練者群; -14.6 ± 18.8 度)。こちらも熟練者群、非熟練者群ともに同じ動きをしていた。この肩と腰の動きの違いからねじれが生じていた(テイクバック時、熟練者群; -9.0 ± 11.7 度、非熟練者群; -4.4 ± 23.8 度、インパクト時、熟練者群; 5.4 ± 15.3 度、非熟練者群; -4.1 ± 24.2 度)。分散分析の結果、肩の回転角度において交互作用は認められなかった ($p = .382$)。選手レベルの主効果は有意ではなかったが ($p = .137$)、時刻レベルでは有意な主効果がみられた ($p = .014$)。腰の回転角度では交互作用は認められず ($p = .370$)、選手レベルと時刻レベルにおいても有意な主効果はみられなかった(選手; $p = .059$,

時刻; $p=.253$)。ねじれの角度では交互作用は認められず($p=.168$)、選手レベルと時刻レベルにおいても有意な主効果はみられなかった(選手; $p=.729$, 時刻; $p=.154$)。また、ラケットと前腕のなす角度においては、熟練者群および非熟練者群ともに約 90 度の角度でテイクバックを行ない(テイクバック時, 熟練者群; 91.2 ± 3.06 度, 非熟練者群; 93.0 ± 1.75 度)、その角度をおおよそ維持したままボールをインパクトしていた(インパクト時, 熟練者群; 90.9 ± 2.08 度, 非熟練者群; 93.3 ± 4.60 度)。分散分析の結果、交互作用は認められず($p=.711$)、選手レベルと時刻レベルにおいても有意な主効果はみられなかった(選手; $p=.053$, 時刻; $p=.980$)。

BV において、球出しからボールが打ち出されたのと同時に、熟練者群と非熟練者群は肩を逆回転(左回転)させてテイクバックをし(テイクバック時, 熟練者群; -48.5 ± 19.2 度, 非熟練者群; -54.4 ± 26.4 度)、そこから順回転や逆回転をすることなく、ボールをインパクトしていた(インパクト時, 熟練者群; -52.7 ± 23.5 度, 非熟練者群; -55.6 ± 14.3 度)。また、腰は逆回転(左回転)させてテイクバックをしてから(テイクバック時, 熟練者群; -29.6 ± 12.6 度, 非熟練者群; -46.7 ± 18.4 度)、さらに逆回転(左回転)を行ない、ボールをインパクトしていた(インパクト時, 熟練者群; -37.1 ± 24.0 度, 非熟練者群; -65.7 ± 17.6 度)。これは熟練者群および非熟練者群ともに同じ動きであったが、非熟練者群の方がより大きく逆回転(左回転)していた。この肩と腰の動きの違いからねじれが生じていた(テイクバック時, 熟練者群; -18.9 ± 13.1 度, 非熟練者群; -7.7 ± 26.2 度, インパクト時, 熟練者群; -15.5 ± 17.3 度, 非熟練者群; 10.1 ± 17.0 度)。分散分析の結果、肩の回転角度において交互作用は認められず($p=.775$)、選手レベルと時刻レベルにおいても有意な主効果はみられなかった(選手; $p=.602$, 時刻; $p=.607$)。腰の回転角度では交互作用は認められなかったが($p=.133$)、選手レベルおよび時刻レベルで有意な主効果がみられた(選手; $p=.008$, 時刻; $p=.002$)。ねじれの角度では交互作用は認められなかった($p=.278$)。時刻レベルの主効果は有意ではなかったが($p=.117$)、選手レベルでは有意な主効果がみられた($p=.003$)。また、ラ

ケットと前腕のなす角度においては、熟練者群および非熟練者群ともに約 90 度の角度でテイクバックを行ない(テイクバック時, 熟練者群; 89.6 ± 1.59 度, 非熟練者群; 91.9 ± 3.21 度)、そこから約 2 度手首を尺屈してボールをインパクトしていた(インパクト時, 熟練者群; 91.9 ± 1.58 度, 非熟練者群; 93.8 ± 2.83 度)。分散分析の結果、交互作用は認められなかったが($p=.751$)、選手レベルおよび時刻レベルで有意な主効果がみられた(選手; $p=.018$, 時刻; $p=.005$)。

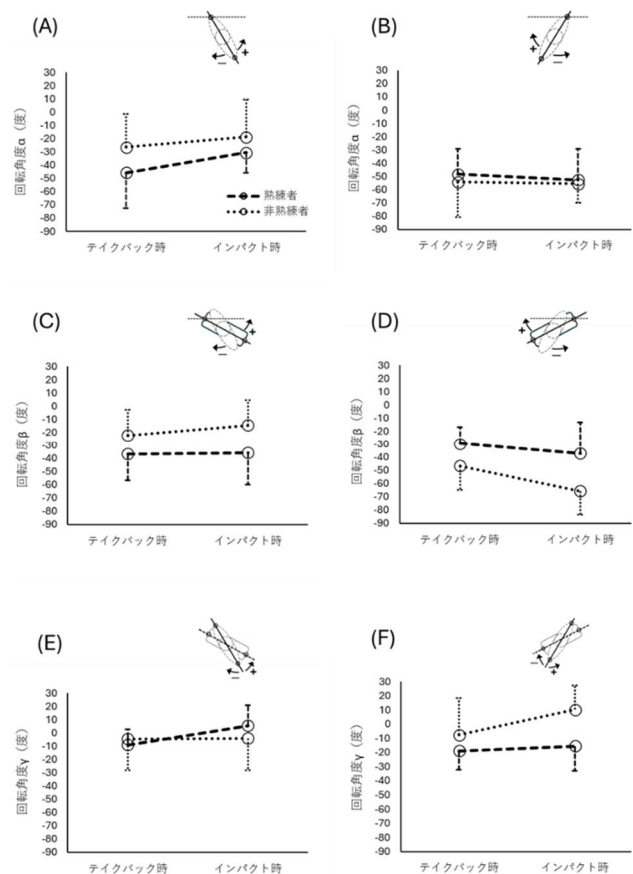


図4 テイクバック時およびインパクト時の上腕の回転角度変化(A:FV 肩、B:BV 肩、C:FV 腰、D:BV 腰、E:FV ねじれ、F:BV ねじれ)

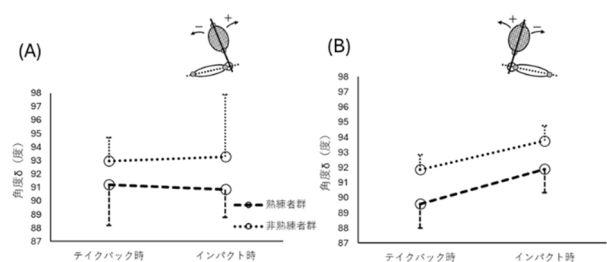


図5 テイクバック時およびインパクト時のラケットと前腕のなす角度の変化(A:FV、B:BV)

4. 参考文献

- 1) 中本圭: 必ずうまくなるテニス 基本と練習法, pp68-84, コスミック社(2023)
- 2) 三橋大輔, 松本健太郎, 山田幸雄: 学生テニスプレーヤーにおけるボレー技術に対する意識と習得環境に関する調査, スポーツコーチング研究第5巻第2号, pp59-73(2007)
- 3) 三橋大輔, 村田宗紀, 石川達也: テニスのフォアハンドボレーにおける上肢動作の特徴に関する研究ーキネマティクスの視点から見た熟練者の特徴についてー, テニスの科学 29 巻, pp1-11(2021)

総指伸筋の筋電位を用いたアシストグローブにおける 把持動作予測手法の評価

Evaluation of Grasping Motion Prediction Method Using Extensor Digitorum EMG for an Assistive Glove

○吉田壮汰*, 井上剛*

*大阪工業大学 ロボティクス&デザイン工学部

YOSHIDA Sota*, INOUE Tsuyoshi*

* Faculty of Robotics and Design, Osaka Institute of Technology

1. はじめに

近年、握力が低下した高齢者や障がい者、把持作業を行う人を対象に、把持動作を支援するアシストグローブの研究開発が進められている^{1)・4)}。これらのデバイスは、ユーザの把持動作を検出しアクチュエータを駆動し、把持動作を補助することで、身体的負担の軽減と作業効率の向上を目的としている。

アシストグローブにおいて、アシストを開始するために把持動作を検出する手法として、これまでにいくつかの方法が提案されている。例えば、指先に圧センサを装着し、指が対象物に接触したことを検出する手法¹⁾、指先側面に静電容量センサを装着し、指の屈曲に伴う厚みの変化を検出する手法²⁾、ひずみセンサにより指の屈曲角度を計測し、一定角度に達したことを検出する手法³⁾、さらに、屈筋の筋電位 (electromyogram, EMG) を用いて把持動作を検出する手法⁴⁾などが報告されている。

しかし、感圧センサやひずみセンサを用いた手法では、把持動作における指の屈曲運動が発生した後に検出が行われるため、アシストは実際の動作に対して遅れてしまうという課題がある。筋電位信号は力学的信号に比べて変化の発現が約 30~100 ms 早いという特徴を有するが⁵⁾、この程度の時間差では、アクチュエータが駆動しアシストを体感するまでに依然として遅れが生じる。

そこで本研究では、把持動作に先行して発生する指の伸展運動に着目し、総指伸筋の筋電位を利用して把持動作を予測する手法を提案する。本稿では、本手法の把持動作検出の早期性を従来手法と比較して明らかにし、さらに本手法を実装したアシストグローブを開発して、ユーザ実験により適切なアシストタイミングを評価した結果について述べる。

2. 把持動作時の計測実験

提案手法の有効性を検証するため、把持動作において、従来手法で用いられる指先装着型感圧センサの圧力信号と、提案手法で用いる総指伸筋の筋電位信号をそれぞれ計測し、両者を比較する実験を実施した。

2-1. 実験仕様

実験では、把持対象物として缶コーヒーを用い、把持動作時の指先圧力、前腕部の筋電位、および指の角度を計測した。感圧センサ (Taiwan Alpha 製) は中指先の腹側に装着し、9 軸ワイヤレスモーションセンサ (ZMP 製 IMU-Z2) は示指および中指の指先から近位指節間関節 (PIP 関節) 付近にかけての背側に装着した。ワイヤレス筋電センサ (Delsys 製 Trigno) は、指の屈曲運動時に活動する浅指屈筋および指の伸展運動時に活動する総指伸筋の筋電位を計測できる前腕部皮膚上の位置に装着した。

圧力信号は感圧センサと抵抗を直列に接続し 3 V の電源に対する感圧センサの分圧値として取得した。この圧力信号および筋電位信号をサンプリング周波数 1 kHz で A/D 変換し、PC に取り込んだ。また、モーションセンサの計測は専用ソフトウェアを用いて行い、サンプリング周波数 100 Hz で加速度、角速度、



図1 センサの装着位置

および地磁気のデータを取得した．図 1 にセンサ装着時の様子を示す．

実験協力者は、把持動作に影響を及ぼす既往歴のない 20 代の健常成人男性 3 名である．研究目的および実験内容について十分な説明を行い、同意を得た上で実験に参加してもらった．なお、本稿記載の実験のデータ収集は、大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号 2025-32）．

実験は 2 種類の把持対象物に対して行った．1 つは直径約 6.2 cm、内容量 370 mL のコーヒー缶（缶 1）であり、もう 1 つは直径約 5.0 cm、内容量 185 mL のコーヒー缶（缶 2）である．

まず、缶 1 を対象とした実験について述べる．本実験では、以下の 2 条件で計測を行った．

1 つ目の条件（実験 1）では、把持対象物を手の初期位置から約 35 cm 離れた位置に配置し、計測開始から 4 s 間リラックス状態を保った後、手を移動させて対象物を把持した．その後、計測開始から 8 s 後に対象物を離して手を初期位置に戻し、再びリラックス状態となって計測を終了した．この一連の動作を 1 セットとし、10 セット分の計測を行った．

2 つ目の条件（実験 2）は、実験 1 と同様の手順で把持対象物までの距離を約 65 cm としたものであり、同様に 10 セットの計測を行った．

次に、缶 2 を対象とした実験について述べる．この実験（実験 3）は、実験協力者 3 名のうち 2 名に対して実施し、把持対象物を缶 2 として実験 1 と同じ条件で計測を行った．

2-2. 計測結果・考察

実験 1 で得られた計測結果の一例を図 2 に示す．指先の圧力は感圧センサの出力電圧値を示しており、値が大きいほど圧力が高いことを意味する．筋活動は、計測された筋電位信号そのものではなく、筋電位信号に対して窓幅 50 で RMS（Root Mean Square）処理を施した結果である．また、指の角度はモーシ

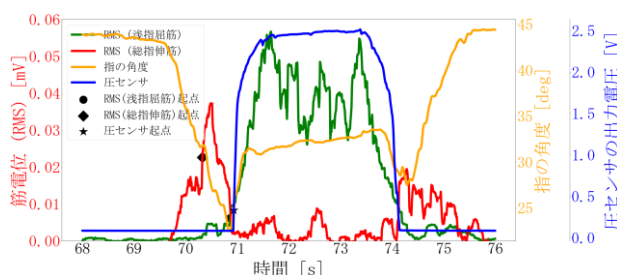


図 2 実験 1 における計測結果の一例

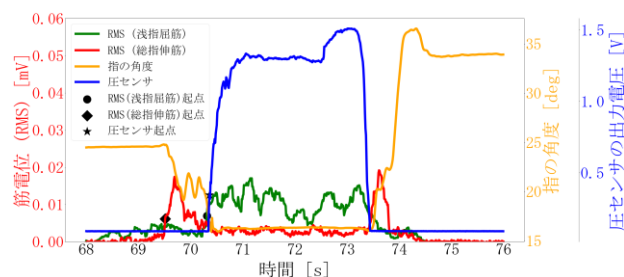


図 3 実験 3 における計測結果の一例

ョンセンサで得られた角速度から算出しており、指が屈曲するほど角度が大きくなるように定義した．

図 2 より、浅指屈筋の筋活動は、把持動作における指の屈曲運動および圧力上昇の直前から増加していることがわかる．一方、総指伸筋の筋活動は、把持動作に先行して発生する指の伸展運動の直前から増加しており、この筋活動を用いることで把持動作の予測が可能であることが確認できた．

同一実験協力者における実験 3 の計測結果の一例を図 3 に示す．筋活動の変化傾向は実験 1 と同様に、指の屈曲および伸展運動の直前から活動が増加しているが、その増加量は実験 1 に比べて小さい．これは、図 3 に示す指角度の変化からもわかるように、実験 3 で使用した缶 2 の直径が小さいため、把持時の指の屈曲および伸展量が少なくなったことによるものである．

次に、総指伸筋の筋活動が閾値を超えてから、圧力センサの出力が閾値を超えるまでの時間を算出し、実験ごとにまとめた結果を図 5 に示す．ここで、筋活動検出のための閾値は、圧力センサが閾値を超えるまでの筋活動値の最大値を求め、その平均値の 60% とした．実験 1～3 における平均値はそれぞれ 880 ms, 960 ms, および 860 ms であり、大きな差は認められなかった．

以上の結果から、把持対象物までの距離や対象物の大きさが異なっても、総指伸筋の筋電位発生から把持動作までの時間に大きな変化はみられず、本信号を用いた把持動作検出手法がアシストグローブの制御に有効であることが示唆された．

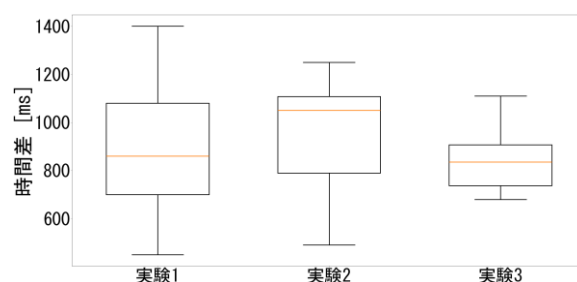


図 4 実験 3 における計測結果の一例

3. 評価用アシストグローブの開発

前章の実験結果より、指の伸展時に発生する総指伸筋の筋電位は、従来手法で用いられる指先の圧力に基づく検出信号よりも十分早いタイミングで出現することが確認された。

しかし、この筋電位の発生タイミングでアシストを開始すると、ユーザの意図よりも早い段階で把持支援が動作してしまう可能性がある。そこで、指の伸展時の筋活動を検出したタイミングからどの程度遅らせてアシストを開始すれば、ユーザにとって適切なアシスト制御となるかを評価するため、筋電位に基づいてアシストを駆動する評価用アシストグローブを開発した。

本アシストグローブは、BIOSERVO 社製 SEM グローブ 1)を基礎とし、これを筋電位信号で駆動できるよう改良したものである。SEM グローブは、指先に装着された感圧センサの抵抗値変化を検出してモータを駆動し、指に沿って張られたワイヤを牽引することで、把持動作を支援する構造を有している。

本研究では、この感圧センサの代わりにポテンシオメータを用い、筋電位センサで検出した筋活動が所定の閾値を超えた場合にポテンシオメータの抵抗値を変化させ、アシストグローブを駆動するように改良した。より具体的には、EMG センサ (Plux 社製) で計測したアナログ筋電位信号をマイコン (Raspberry Pi Pico 2) の A/D 変換入力に接続し、マイコン内で筋活動量に変換する。筋活動量が設定した閾値を超えた際に、ポテンシオメータに接続されたサーボモータを回転させ、ポテンシオメータの抵抗値を変化させることでグローブの駆動を制御する。

さらに、中指の先端にも感圧センサを装着し、従来方式による駆動も可能とした。ただし、感圧センサの抵抗値を従来のように直接利用するのではなく、筋電位信号と同じ枠組みで扱うため、その計測信号をマイコンに入力し、信号値に応じてポテンシオメータの抵抗値を変化させてアシストグローブを駆動する方式に変更した。

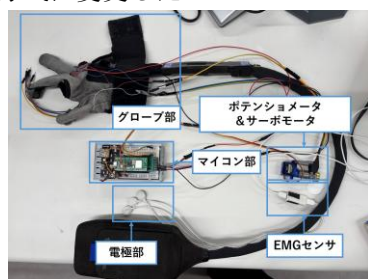


図5 アシストグローブの外観

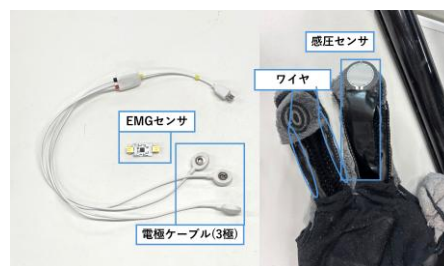


図6 EMG センサと感圧センサ

開発したアシストグローブの外観を図5に、筋電位センサおよび圧センサの外観を図6に示す。

4. アシストタイミング評価実験

総指伸筋の筋活動を利用する手法により、アシストグローブをユーザの意図に即したタイミングで駆動可能かどうかを検証するため、ユーザ評価実験を実施した。

4-1. 実験仕様

実験協力者は、把持動作に影響を及ぼす既往歴のない20代の健常成人6名(男性5名、女性1名)である。研究目的および実験内容について十分な説明を行い、同意を得た上で実験を実施した。

本実験では、開発したアシストグローブを装着し、実験1と同様に缶1の把持動作を行った。アシストタイミングの評価を行うため、アシストの開始タイミングを変更し、ユーザに対してそのタイミングでのアシストについて、「早い」、「許容範囲だが少し早い」、「ちょうどいい」、「許容範囲だが少し遅い」、「遅い」、の5段階で評価を求めた。

アシストの開始タイミングは、総指伸筋の筋活動が閾値を超えた時点を基準とし、そこから200ms刻みで遅らせたタイミングを設定して評価を行った。ただし、遅らせたタイミングよりも先に指先の感圧センサによるアシストが開始された場合は、そのタイミングは無効とした。実験は2条件で行った。1つ目は、基準から順に200ms刻みで遅らせていく条件(実験4)であり、2つ目は、基準から200ms刻みにランダムな遅延を与える条件(実験5)である。

また、1回の試行で評価が困難な場合は、そのタイミングで評価値が定まるまで、実験協力者にアシストありの把持動作を繰り返し行わせた。なお、アシストを開始するための総指伸筋の筋活動閾値は、各実験協力者が実験を開始する前に3回の把持動作を行って計測した総指伸筋の筋活動値を用いて決定

した．閾値の決定方法は前章と同様に，指先の感圧センサの値が閾値を超えるまでの総指伸筋の筋活動最大値の平均の 60%とした．

4-2. 実験結果と考察

実験で得られた 5 段階の主観評価に対し，「ちょうどよい」を 0，「遅い」を-2，「少し遅い」を-1，「少し早い」を 1，「早い」を 2 として数値化し，平均値および標準偏差を算出した．実験 4 および実験 5 の結果をそれぞれ図 7 および図 8 に示す．

図 7 および図 8 より，総指伸筋の筋活動を検出したタイミングでアシストを開始すると，ユーザにとって早すぎることを確認された．最も適切なタイミングと評価されたのは，実験 4 では 400 ms 遅延時，実験 5 では 600 ms 遅延時であった．

両実験で 200 ms の差がみられたものの，全ての実験協力者が両条件において 400 ms および 600 ms の遅延を許容範囲内と評価していた．これらの結果から，アシストの開始タイミングを総指伸筋の筋活動を基準として設定することで，ユーザの意図により近いアシスト制御が実現できる可能性が示された．すなわち，提案手法により，従来の圧力検出に基づく手法と比べて，より自然なアシストタイミングが

得られることが確認され，本手法の有効性が示唆された．

5. おわりに

本研究では，把持動作を支援するアシストグローブにおいて，従来の感圧センサを用いた制御では支援タイミングが遅れるという課題に対し，ユーザの意図により近いタイミングで把持支援を開始する制御手法の実現を目的とした．

まず，把持動作における筋電位の計測実験により，把持動作に先行して発生する指の伸展運動に対応した総指伸筋の筋電位を利用することで，把持動作の予測が可能であることを確認した．

次に，適切なアシストタイミングを調べるため，筋電位で駆動するワイヤ駆動型アシストグローブを開発し，同グローブを用いてアシストタイミングの評価実験を行った．その結果，総指伸筋の筋電位を検出してから 400～600 ms 後にアシストを開始することが有効であることが確認された．

今後は，得られた適切なタイミングを実装したアシストグローブを用い，多様な実験協力者や把持対象に対する検証を進めるとともに，誤動作に対して頑健な制御手法の開発を進める予定である．

参考文献

- 1) <https://www.sk-el.co.jp/en/products/hc/semglove/> (2025 年 10 月 20 日参照)．
- 2) Junghoon Park, Pilwon Heo, Jung Kim and Youngjin Na: A Finger Grip Force Sensor with an Open-Pad Structure for Glove-Type Assistive Devices, Sensors Vol.20, No.4 pp1-15 (2020)．
- 3) Yinlong Zhu, Weizhuang Gong, Kaimei Chu, Xu Wang, Zhiqiang Hu and Haijun Su : A Novel Wearable Soft Glove for Hand Rehabilitation and Assistive Grasping, Vol.22 No.6294 pp1-16 (2022)．
- 4) Strahinja Dosen, Marko Markovic, Kelef Somer, Bernhard Graimann and Dario Farina: EMG Biofeedback for online predictive control of grasping force in a myoelectric prosthesis, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, Vol.12 No.55 pp1-13 (2015)．
- 5) 木塚,増田,木竜,佐渡山,:表面筋電図(バイオメカニクス学会編), pp.18 東京電機大学出版局 (2008)．

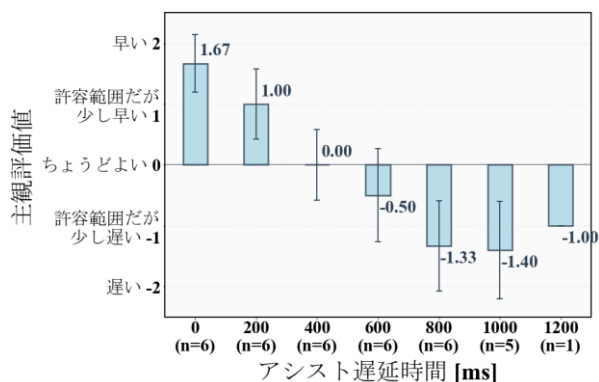


図 7 主観評価の平均値と標準偏差 (実験 1)

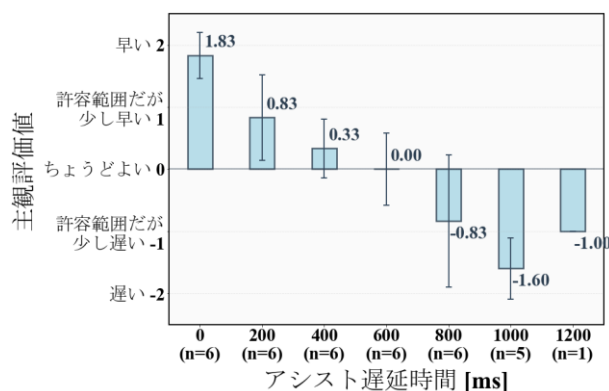


図 8 主観評価の平均値と標準偏差 (実験 2)

視覚情報がない場合に地面の傾斜角を知覚する際の 深部感覚と運動感覚の寄与の評価

Evaluation of the contribution of proprioception and kinesthesia to the perception of ground inclination in the absence of visual information

○辰巳太郎*, 庄司匠杜**, 小谷賢太郎*, 朝尾隆文*, 鈴木哲*
*関西大学 システム理工学部, **関西大学大学院 理工学研究科

TATSUMI Taro*, SHOJI Takuto**, KOTANI Kentaro*, ASAO Takafumi*, SUZUKI Satoshi*

*Faculty of Engineering Science, Kansai University **Graduate School of Science and Engineering, Kansai University.

1. はじめに

傾斜知覚に関する研究は、心理物理学の分野において古くから行われてきた。Cratty らは、盲目の実験参加者 164 名を対象に、視覚情報なしでどの程度微細な傾斜を知覚可能かという検証を行い、上りの傾斜に対して平均 2.31[deg]の傾斜角度で上りの傾斜を感じたという結果を報告している¹⁾。また、Adolph らは、乳幼児を対象に、高摩擦及び低摩擦条件下における傾斜面での移動アフォーダンス(歩行可能性)を、階段法を用いて評価している²⁾。

我々は、VR 空間内の鉛直方向の移動に関する研究を行っており、VR 空間で傾斜面の映像を提示して昇降感覚を与えることに加えて、その傾斜面の勾配に対応する体性感覚情報を付与することによって、ユーザの昇降感覚は向上するのかということを検証した。その結果、体性感覚情報を付与すると、ユーザの昇降感覚は向上すると結論付けた³⁾。しかし、この研究では「昇降感覚が向上した」という定性的な評価に留まっており、体性感覚情報がどの程度傾斜知覚に寄与しているのかを定量的に明らかにする必要がある。VR 環境における効果的な昇降感覚提示システムを設計するには、体性感覚情報による傾斜知覚の寄与を明確にすることが重要である。上記の先行研究¹⁾では視覚情報を排除してはいるものの、体性感覚情報の寄与が明確にされていない。また、傾斜知覚には、歩行動作からくる固有感覚(筋肉の伸縮、関節の動きなど)と、傾斜面による前庭系の感覚(重力方向に対する身体の傾きの感知)の両方が関与していると考えられるが、これらが分離されて検討されていない。さらに、VR 環境における鉛直方向の移動においては、ユーザが静止している場合と歩行している場合の両方が想定されるが、これらの身体状態によって体性感覚情報の寄与が異なる可能性がある。

そこで本研究では、視覚情報を排除した状態で、直立条件と歩行条件を設定することにより、静的な前庭系の感覚と動的な固有感覚を分離し、それぞれの傾斜知覚

への寄与を確認することを着想した。直立条件では、主に前庭系の感覚による傾斜知覚を評価し、歩行条件では、前庭系の感覚に加えて歩行動作からくる固有感覚が加わった状態での傾斜知覚を評価する。これにより、身体運動の有無が体性感覚情報のみによる傾斜知覚にどの程度寄与するのかを明らかにすることができる。

そこで本研究の目的は、体性感覚情報のみが与えられる条件下において、直立時と歩行時の両方におけるユーザの傾斜知覚を、絶対閾値によって定量的に評価することである。

2. 実験

2-1. 実験参加者

5 名の実験参加者(22~23 歳の学生)に実験に参加してもらった。HMD の経験がある実験参加者は 5 人のうち 1 人であった。実験前には実験内容の説明を行い、書面での同意を得たうえで実験を実施した。

2-2. 実験装置

実験参加者には、図 1 に示すランニングマシン(アルインコ社・AFR1319)の上で直立・歩行を行ってもらった。このランニングマシンは、傾斜角度を 1[deg], 2[deg], 3[deg], 4[deg], 5[deg]の 5 段階で調節することが可能である。また、実験参加者にランニングマシン上で動作をしてもらう際に、図 2 に示す黒い背景の中に実験参加者が歩行する歩行面の位置のみを表示した VR 空間を、HMD(Meta Quest 3)を用いて表示した。ランニングマシンの歩行面のサイズは、幅 400mm、奥行き 1000mm で実際のランニングマシンと合わせて表示している。

2-3. 実験手順

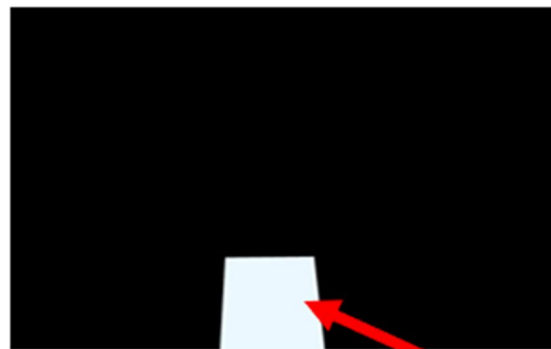
図3に実験環境を示す。実験参加者にHMDを装着してもらい、ランニングマシン上での直立・歩行の練習を十分に行ってもらった。さらに、実際の実験の流れを把握してもらうため、1分程度のデモ実験を実施した。その後実験参加者は、5種類の傾斜角度をそれぞれ10回ずつ、合計50回の試行をランダムな順序で施行を開始した。1試行の流れは以下の通りである。まず、実験者がランニングマシンの傾斜角度を設定し、その後、実験参加者にランニングマシンに乗ってもらった。直立条件では、実験参加者はマシン上で5秒間直立して静止してもらい、歩行条件では、実験参加者は時速1.5kmの速度で5秒間歩行してもらった。いずれの条件においても、実験参加者には、その間に傾斜の有無を判断するよう教示した。5秒経過後、実験者が実験参加者に「傾斜を感じたか」と質問し、実験参加者は「はい」または「いいえ」の二択で回答してもらった。回答後、実験参加者はランニングマシンから降り、次の試行へ移行した。

2-4. データ解析

各条件において、5種類の傾斜角度における「はい（傾斜を感じた）」と回答した割合を算出し、ロジスティック回帰分析により、50%検出率に対応する傾斜角度を「傾斜を知覚する角度の絶対閾値」として推定した。図4に回帰分析を行う際にExcel内で用いたロジスティック関数を示す。中心点 $a[\text{deg}]$ の値が「傾斜を知覚する角度の絶対閾値」に相当するので、その最適な値を最小二乗法により推定した。さらにこれを用いて横軸を刺激強度（ランニングマシンの傾斜角度） $[\text{deg}]$ 、縦軸を「傾斜を感じた」と回答した割合 $[\%]$ とした心理物理曲線を描画した。また、ノンパラメトリック検定であるウィルコクソンの符号付順位和検定を統計ソフトのR 4.5.1を用いて直立条件と歩行条件の間で傾斜知覚閾値に有意な差がみられるかの検討を行った。



図1 使用するランニングマシン (AFR1319)



歩行面

図2 提示するVR空間(黒い背景と歩行面の位置)

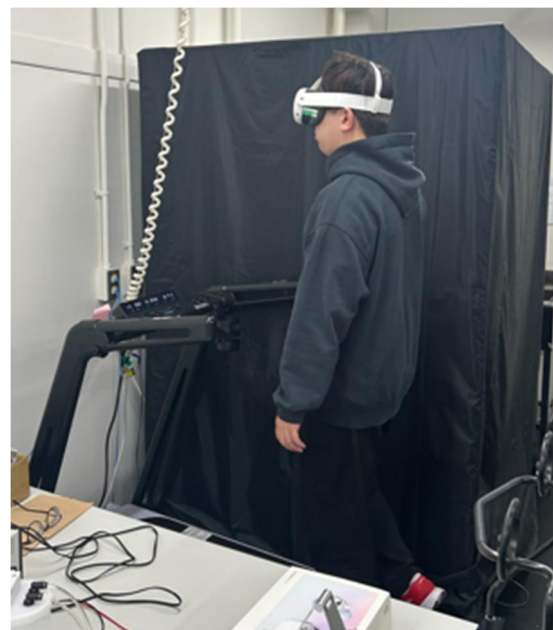


図3 実験環境

$$f(x) = \frac{100}{1 + e^{-k(x-a)}}$$

$f(x)$: 反応割合[%]

x : 刺激強度(ランニングマシンの傾斜角度)[°]

k : 成長率[°]

a : 中心点[°](この関数の変曲点)

図4 用いたロジスティック関数

3. 実験結果

図5に、実験参加者5人での各条件における反応割合[%]の平均値をプロットした心理物理曲線を、図6に各条件で得られたロジスティック関数式(直立条件: $f_s(x)$, 歩行条件: $f_w(x)$)を示す。青い曲線が直立条件、赤い曲線が歩行条件を示している。この心理物理曲線から傾斜を知覚する角度の絶対閾値の平均値を推定すると、直立条件では2.64[deg](SD=0.73), 歩行条件では2.19[deg](SD=0.69)と出力することができた。さらに、直立条件と歩行条件において両者に有意差は見られなかった($p = 0.313$)。

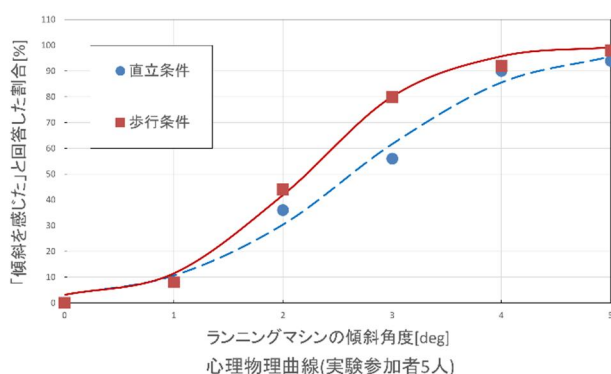


図5 各条件における心理物理曲線

$$f_s(x) = \frac{100}{1 + e^{-1.30(x-2.64)}}$$

$$f_w(x) = \frac{100}{1 + e^{-1.72(x-2.19)}}$$

図6 各条件で得られたロジスティック関数式

4. 考察

実験参加者の傾斜を知覚する角度の絶対閾値を測定した結果、直立条件では2.64[deg](SD=0.73), 歩行条件では2.19[deg](SD=0.69)となったが、両条件間に統計的に有意差は認められなかった。

Crattyの先行研究では、盲目の実験参加者は歩行時、平均2.31[deg]の傾斜角度で上りの傾斜を知覚したという結果を報告しているが¹⁾、本研究の歩行条件の値(2.19[deg])と比較すると、一貫した傾向を示していたといえる。これは、本実験でVR空間として提示した黒い背景はCrattyが着目した盲目の環境と同様な環境を構築することができたと考えられる。さらに、直立条件と歩行条件の絶対閾値の平均値を比較すると、歩行条件の値の方が大きい値を示しているが、個人レベルでみると、実験参加者の中には直立条件の値の方が大きくなったものもみられた。速水らは、運動経験によって体性感覚情報やそれに基づく運動調節機能に差が生じるということの検証を行っている⁴⁾。ここから、実験参加者の運動経験などの要因により、実験参加者ごとに得られる体性感覚情報に差があることが考えられる。

また、実際の実験参加者の中には最大の刺激強度である5°を提示しても傾斜を感じないという反応を示した者もみられたため、6°や7°といったより大きな傾斜角度を含めるなど、提示する刺激を増やすことも検討する必要がある。また、実際のVR体験においては、視覚情報と体性感覚情報が同時に提示される。Benadyらは、ランニングマシンの傾斜角度は0[deg]から変更せずにVR空間内に映されている傾斜面の角度を上り方向に増加させると、それに応じて歩行速度が増加していき、下り方向に増加させていくと、それに応じて歩行速度が減少していくという実験結果を得た。ここから、視覚情報はヒトの感覚刺激に影響を与えるということが示唆されるので、視覚情報を排除した環境下と視覚情報を考慮した環境下では、異なる絶対閾値を示す可能性がある。したがって今後はVRによる視覚情報を加えた場合、傾斜を知覚する角度の絶対閾値はどのように変容するかを検証する必要があると考える。

5. 結論

視覚情報が排除された体性感覚情報のみが与えられる条件下における傾斜を知覚する角度の絶対閾値は、直立条件では2.64[deg], 歩行条件では2.19[deg]と恒常法により測定することができた。その結果、両条件ともに絶対閾値を測定することはできたが、両条件間に有意差は見られなかった。今後は、より多くの実験参加者による検証を行うこと、視覚情報と体性感覚情報を

同時に提示した場合に絶対閾値はどのように変容するのかを検証することなどが挙げられる。

6. 参考文献

1)Cratty, Bryant J. "Perception of Inclined Plane While Walking Without Vision". *Perceptual and Motor Skills*. 1966. 22: 547-556.

2)Adolph, K. E., Joh, A. S., & Eppler, M. A. "Infants' Perception of Affordances of Slopes Under High and Low Friction Conditions". *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2010. 36(4): 797-811.

3)加藤 翔太, 庄司 匠杜, 小谷 賢太郎, 朝尾 隆文, 鈴木 哲. "疑似ステップを用いた Redirected Climbing". *ヒューマンインターフェースシンポジウム 2024 予稿集*. 2024. 622-625.

4)速水 達也, 金子 文成, 木塚 朝博. "運動経験による体性感覚—運動関連機能の相違". *バイオメカニズム*. 2008. 19: 47-56.

5)Benady A, Zadik S, Zeilig G, Gilaie-Dotan S and Plotnik M. "Gait Speed Modulations Are Proportional to Grades of Virtual Visual Slopes—A Virtual Reality Study". *Front. Neurol*. 2021. 12: 615242.

掌に呈示する刺激力と呈示位置知覚の正確さとの関係

Relationship between the stimulus intensity presented to the palm and the accuracy of position perception location.

○横山大地*, 永原恵太**, 奥田啓斗**, 小谷賢太郎*, 朝尾隆文*, 鈴木哲*

*関西大学 システム理工学部 **関西大学大学院 理工学研究科

YOKOYAMA Daichi*, NAGAHARA Keita**, OKUDA Keito**, KOTANI Kentaro*, ASAO Takafumi*,
SUZUKI Satoshi*

* Faculty of Systems Science and Engineering, Kansai University, ** Kansai University Graduate School of Science and Engineering

1. 序論

近年人間の触覚を用いて情報を伝達するデバイスに対する注目が高まっている。例えば、運転をしている際、ハンドルなどを通じて周囲の情報を伝達する研究や、VRなどでコントローラから情報を伝達し、臨場感を高めるなど様々な目的、用途に応じた触覚を用いたデバイスの研究、開発が行われている¹⁾²⁾³⁾。触覚ナビゲーションシステムは実験参加者に与える負荷が高いとき、視覚ディスプレイと比較して作業負荷を軽減するといった効果があることが報告されている⁴⁾。しかし触覚からその刺激を受けた身体の位置を正確に知覚ができるかどうかを調べた研究⁵⁾によると、刺激を受けた位置と認識する位置にはずれがあることが報告されている。

触刺激は主として機械受容器により検出され、神経回路については単一の求心性線維(A β 線維)を経由して脳に情報が送られていく。A β 線維を持つ皮膚無毛部の機械受容単位は、受容野の形態と機械的刺激に対する神経発射特性から4種類に分類されることが知られている。本研究ではその内のSA I, SA II受容器からの神経発射の頻度に着目した。

サルの有毛部に定常変位を与えた実験⁶⁾によると、皮膚の変位量とSA型受容器からの神経発射の頻度にはべき乗の関係があり、皮膚の変位量の増加に伴い神経発射の頻度が増加することが分かっている。皮膚の変位量が大きくなると皮膚への刺激力も大きくなるので、刺激力が大きくなると神経発射の頻度が増加するといえる。

このことから刺激力を変化させることにより位置知覚の正確さに影響するのではないかと考えた。よって本研究の目的は掌に呈示する刺激力の大きさと呈示位置知覚の正確さとの関係を実験によって検証することとした。

2. 実験

2-1. 実験参加者

21-22歳右利きの大学生5名を対象に実験を行った。なお、すべての実験参加者には実験内容と理由の如何を問わず実験を中止する権利があることを口頭で説明し、同意を得た。

2-2. 刺激力の決定

刺激力を決定するにあたり、刺激により痛みを生じさせないことに留意した。Hanらの研究⁷⁾によると掌において痛みを感じる圧力の大きさは0.75N/mm²と分かった。本実験では直径5mmの刺激子を用いるため、痛みを生じさせないための最大の刺激力は14.7Nとなる。実際に刺激を行った結果も踏まえ刺激力の最大値は13Nと決定した。その範囲で刺激力と位置知覚の精度との関係の評価するため、刺激力は1N, 5N, 9N, 13Nの4条件とした。

2-3. 実験装置

刺激呈示装置は図1に示すようにデジタルフォースゲージ(IMADA ZTA-50N)、フォースゲージスタンド(IMADA 電動計測スタンド EMX-500N)、手の固定台(紙粘土で作製)、呈示位置回答用のタブレットで構成されている。デジタルフォースゲージはフォースゲージスタンドとケーブルを介して接続し、目標の力の値に達すると3秒間停止するよう設定した。フォースゲージ先端には刺激子を固定する台が取り付けられている。この台には6つの円形のくぼみが空いており、そこに刺激子を挿入することで所定の位置への刺激を行う。刺激子は丸形で中央に穴の空いた磁石(TRUSCO ネオジム丸形磁石皿ネジ穴付外径12mm×8mm)にM3ネジを通し、その先にM3スペーサー(ステンレス304スペーサー(六角)/ASU-

H, 廣瀬計器社製) をはめ, M3 ネジを固定して作成した. 刺激子を固定する台にはマグネットシートが埋め込まれており, 刺激子とこの台は磁力により固定した. 手の固定台は掌を地面と平行にするため, 手の甲の傾斜を考慮し作成した. この台には2本のネジが取り付けられており, 実験参加者にはそれらに中指の付け根を合わせるようにして手を置いてもらう.



図1 刺激呈示装置



図2 作成した刺激子

2-4. 実験手順

実験参加者は椅子に座り, 左手の掌を上向きにして作成した刺激呈示装置に乘せ, 右手側で刺激を感じた位置を回答してもらう. 実験参加者は左手側を見ずに回答してもらうため, 装置と回答部分の間に仕切りを設けた. 実験環境を図3に示す.

刺激の様子が視認されないようにする為の仕切り

タブレットで位置を回答



図3 実験環境

刺激の呈示位置は図4に示す6点であり, それぞれに1~6の番号を割り振った. また, 6点の呈示順は4パターン用意した. 実験は刺激力4通りと4パターンの刺激呈示順のセット計16セット行った.

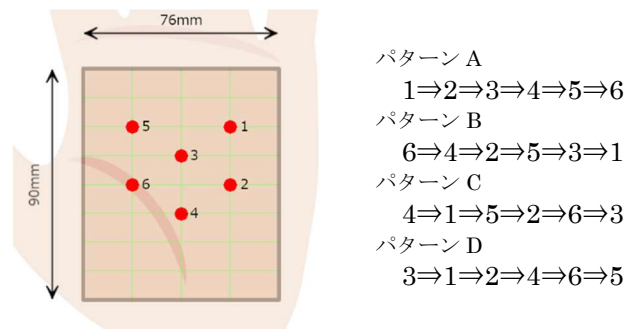


図4 刺激呈示位置と呈示順序

計16セットの試行を4試行毎に分割して1ブロックとし, ブロックごとに3分間のインターバルを設定した. カウンターバランスを考慮して, ブロック毎に刺激力の順序を変更し, 目標の刺激力に達すると3秒間の刺激呈示を行った. 刺激呈示後, 実験参加者が刺激を受けたと感じた位置を回答したのを確認した後, 次の試行に進めた.

刺激を感じた位置は測定用にタブレット上に実験参加者の掌の写真を表示し, 刺激を受けたと感じた所を画面上の掌へのタッチ操作で回答できるようアプリを作成した. (図5参照).



図5 タブレット回答画面

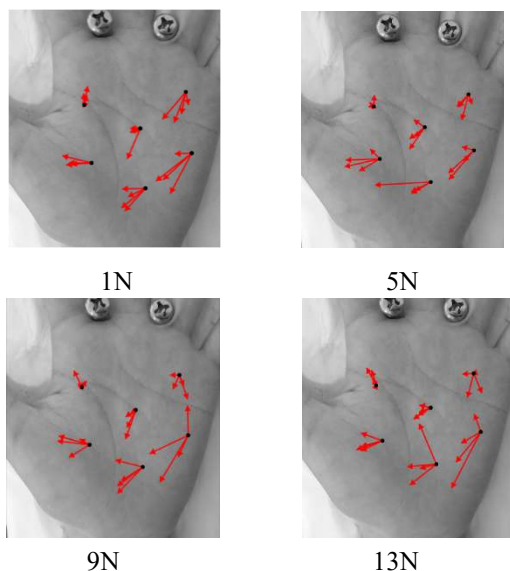
2-5. データ処理

刺激呈示位置と実験参加者の回答位置との距離をずれ量とした. また, 刺激呈示位置(6カ所)と刺激力(4水準)を独立変数とする参加者内計画による二元配置分散分析でずれ量を評価した. 統計処理にはR4.4.1を用いた.

3. 結果

実験参加者 5 名のうち 1 名の実験結果画像を図 6 に示す。全実験参加者の実験結果を刺激力ごと、刺激呈示位置ごとにまとめたずれ量の平均値をそれぞれ図 7, 図 8 に示す。なお図 8 の横軸の番号は図 4 の刺激呈示位置の番号に対応している。

刺激呈示位置ごとのずれ量の平均は
点 1 : $7.94 \pm 2.1(\text{mm})$, 点 2 : $10.24 \pm 3.00(\text{mm})$,
点 3 : $5.93 \pm 2.38(\text{mm})$, 点 4 : $9.07 \pm 3.13(\text{mm})$,
点 5 : $8.54 \pm 2.13(\text{mm})$, 点 6 : $8.93 \pm 2.41(\text{mm})$
であった。刺激力ごとのずれ量の平均は
1N : $8.71 \pm 4.06(\text{mm})$, 5N : $8.19 \pm 4.72(\text{mm})$,
9N : $8.34 \pm 4.16(\text{mm})$, 13N : $8.50 \pm 4.66(\text{mm})$
であった。刺激呈示位置ごとにずれ量は有意に変化していた($F(5,456)=6.982, p=0.00000267$)。しかしながら刺激力の違いによりずれ量は変化するとはいえなかった ($F(3,456)=0.196, p=0.899$)。刺激呈示位置に関しては実験参加者間での個人差が顕著に出ており、掌中央(点 3,4)でずれ量が小さいものもあれば指の付け根(点 1,3,5)でずれ量が小さいものもいた。各実験参加者の結果を図 9 に示す。この図ではベクトルの大きさがずれ量を、向きがずれの方向を示している。全体で見ると点 3 ではずれ量が小さいという傾向が見られた。一方点 2,6 ではずれ量が多い傾向にあった。



点が刺激呈示位置, 矢印先端が回答位置

図 6 刺激呈示位置と回答位置

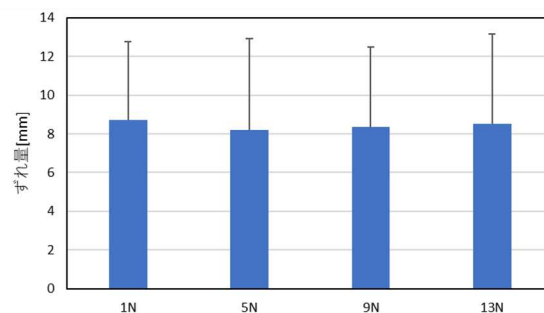


図 7 刺激力ごとのずれ量の関係

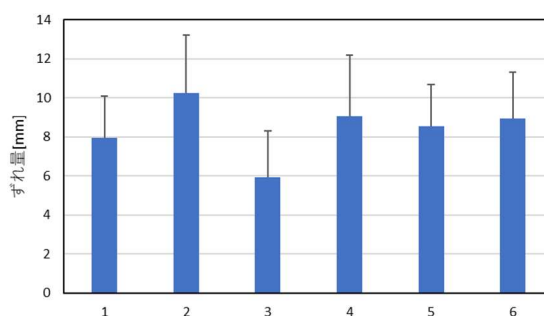


図 8 刺激呈示位置ごとのずれ量の関係

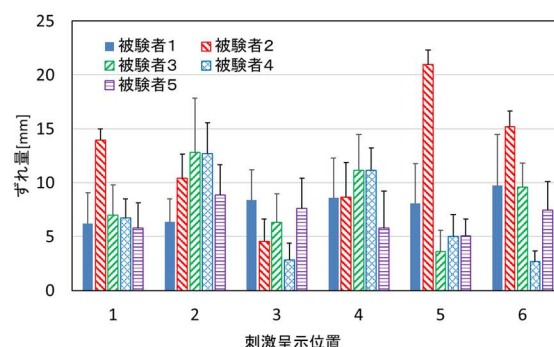


図 9 各実験参加者の刺激呈示位置ごとのずれ量

4. 考察

本実験では、刺激力を大きくすることで受容器からの神経発射の頻度を増加させ、脳へ送られる信号を増やすことで刺激の知覚位置の正確さを高められると考え実験を行った。その結果、刺激呈示位置はずれ量に影響を与えることが確認できたが、図 7 より刺激力を大きくしても刺激呈示位置と認識位置のずれ量に改善は見られなかった。

今回の実験結果より、刺激力は位置知覚の精度に関係するとは言えなかった。刺激力を変化させることで皮膚の垂直方向への変位量が変化する。皮膚の変位量が大きくなると受容器の神経発火の頻度が増加する⁶⁾ため脳へ送られる情報量が増え位置知覚の精度が向上すると考えたが掌の形状や弾性の個人差により刺激力を統制することで皮膚の変位量を統制することはできなかった。このことが実験参加者間

での結果の違いの一因になっている可能性はある。また、刺激力を大きくしても位置知覚の精度が向上しなかった原因として、刺激力が大きくなり、皮膚の変位量が大きくなることで刺激点の周りの皮膚が伸ばされ刺激点以外の受容器領域が広がってしまうことにより、位置の特定が困難になったということが考えられる。図 10 に各刺激力と皮膚への押し込み量の関係を示す。この押し込み量は皮膚に刺激子が触れてからそれぞれの力の大きさに達するまでにフォースゲージが移動した長さをデジタルノギスにより測定したものである。実際実験参加者の中には、刺激力が大きくなるとわずかではあるがずれ量が小さくなりさらに刺激力を大きくするとずれが大きくなるという結果を示した者もいた。ただし途中までずれ量が小さくなっていったとは言え、今回の実験条件では刺激呈示速度を全条件で一定にしたため、刺激力が大きいときは刺激力が小さいときに比べ刺激の呈示時間が長くなってしまふことから刺激力の大きさによりずれ量が小さくなっていったとは断定できない。

今後は 1N よりも小さい力の範囲を条件に加えると同時に皮膚変位量の点から位置知覚の正確さを論じることのできる実験条件の検討を進める予定である。

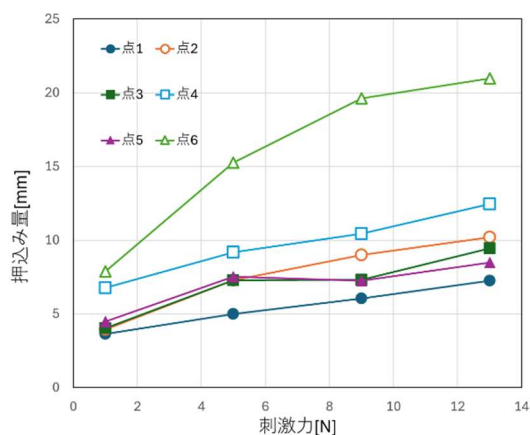


図 10 刺激力と皮膚変位の関係

参考文献

- 1) V.G. Chouvardas, A.N. Miliou, M.K. Hatalis : Tactile displays: Overview and recent advances, Displays, Vol.29, Issue 3, pp.185-194 (2008)
- 2) 岡本正吾：触覚提示デバイスに何ができるのか？触覚フィードバック機能付きタッチパネルのための価値あるコンテンツ, 映像情報メデ

- ィア学会誌, Vol.72, No.4, pp.515-520(2018)
- 3) 矢野博明, 小木哲朗, 廣瀬通孝：振動子を用いた全身触覚提示デバイスの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.3, No.3, pp.141-147(1998)
 - 4) Jan B.F. Van Erp, Hendrik A.H.C. Van Veen : Vibrotactile in-vehicle navigation system, Transportation Research Part F, Vol.7, Issues 4-5, pp.247-256 (2004)
 - 5) F. Mancini, M.R. Longo, G.D. Iannetti, P. Haggard: Asupramodal representation of the body surface, Neuropsychologia, Vol.49, Issue 5, p.1194-1201 (2011)
 - 6) G. Werner, V. Mountcastle: Quantitative Relations Between Mechanical Stimuli to the Skin and Neural Responses Evoked by them., in "The Skin Senses." Charles C. Thomas Publisher, 112/ 138 (1968)
 - 7) D. Han, M. Park, J. Choi, H. Shin, D. Kim, S. Rhim : Assessment of Pain Onset and Maximum Bearable Pain Thresholds in Physical Contact Situations, Sensors, Vol.22, Issue 8, 2996 (2022)

女子高校バスケットボール選手を対象としたリバウンドジャンプの質的評価 Qualitative Evaluation of Rebound Jumps

○菊地 雄大^{1,2}, 松井 知之^{1,2}, 東 善一¹, 宮崎 哲哉^{1,2}, 来田 宣幸², 森原 徹¹

1) 丸太町リハビリテーションクリニック, 2) 京都工芸繊維大学大学院

KIKUCHI Yudai^{1,2}, MATSUI Tomoyuki^{1,2}, AZUMA Yoshikazu¹, MIYAZAKI Tetsuya^{1,2}, KIDA Noriyuki²,
MORIYAMA Toru¹

1) Marutamachi Rehabilitation Clinic, 2) Kyoto Institute of Technology, Graduate School

1. 背景

ストレッチショートニングサイクル (stretch-shortening cycle : SSC) を伴う下肢の高速伸張-短縮運動は, 多くのスポーツにおいてスプリント, 加速, 方向転換などのパフォーマンスの基盤となる¹⁾. なかでもリバウンドジャンプ (rebound jump : RJ) は, 「できるだけ短い接地時間で, できるだけ高く跳ぶ」という課題設定により, 高速 SSC 能力を簡便に評価できるテストとして, スポーツ現場で広く用いられている. これまでの研究では, 接地時間, 跳躍高, RJ-index などの量的指標が標準的に用いられ, スプリント速度や方向転換能力との関連も多く報告されている^{2,3)}.

一方, これらの指標は力発揮の「大きさ」と「時間」に基づく量的評価に留まり, パフォーマンスを生み出す運動戦略, とくに床反力ベクトルの「向き」といった質的側面は十分に検討されていない. スプリント動作に関する先行研究では, 速度を規定するのは床反力の大きさよりも, 地面に対する力の向き (水平・鉛直成分の比率) であることが示されており, どの方向に力を向けて地面に作用させられるかという技術がパフォーマンス決定因子になり得ることが報告されている⁴⁾. しかし, RJにおいて, 接地中の床反力ベクトルの方向が接地時間・跳躍高・RJ-index とどのように関連するのか, また接地局面のどのタイミングの力の向きがパフォーマンスにとって重要であるのかは明らかでない.

そこで本研究では, RJ の接地局面における床反力ベクトルの向きと, 接地時間・跳躍高・RJ-index との関連を検討することを目的とした. とくに, 床

反力ベクトル角度の時系列データに対して Statistical Parametric Mapping (SPM) を適用し, 吸収期から推進期にかけてのどの時点における力の向きが, RJ パフォーマンスと有意に関連するかを探索的に明らかにする. これらの知見は, 高速 SSC 動作のトレーニングにおいて「素早く高く跳ぶ」といった量的な指示だけでなく, 接地局面のどのタイミングでどの方向に力を加えるかという質的な動作指導に役立つ基礎的知見になると考える.

2. 方法

対象は, 高校女子バスケットボール選手 35 名とした (年齢: 16.4 ± 1.0 歳, 身長: 163.3 ± 7.4 cm, 体重: 57.0 ± 8.1 kg). 除外基準は, 下肢に整形外科的疾患を有する者, 下肢に手術歴のある者, 動作課題遂行時に下肢に疼痛がある者とした.

データの収集には, 10 台の赤外線カメラを含む 3 次元動作解析装置 (VICON, Oxford, UK) と床反力計 2 台 (OR6-6-2000, AMTI, USA) を用いた. サンプリング周波数は, それぞれ 500 Hz および 1000 Hz とした. 赤外線反射マーカーは Plug-in Gait full-body model に基づき体表面に貼付した. 動作課題は 5 回連続のリバウンドジャンプ (RJ) とした. 対象者には, 2 枚の床反力計に両脚を別々に乗せ, 可能な限り高く跳び, 接地時間をできるだけ短くするよう指示した. 5 回連続の RJ のうち, 接地から次の接地までを 1 施行と定義し, 計 5 施行を解析に用いた. 各施行について, 床反力波形から接地時間, 滞空時間から跳躍高を算出し, RJ-index は跳躍高を接地時間で除して求めた. 各パフォーマンス指標は 5 施行の平均値を代表値として用いた.

床反力ベクトル角度の算出には、床反力前後成分および鉛直成分を用いた。各施行について、接地開始から離地までの前後成分および鉛直成分を 0-100% の 101 点に時間正規化した。そのうえで、前後・鉛直床反力の合成ベクトルの角度を算出し（単位：°），5 施行の平均波形を各対象者の床反力ベクトル角度とした。

統計解析では、床反力ベクトル角度と各パフォーマンス指標（接地時間、跳躍高、RJ-index）との時間依存的な線形関係を、Statistical Parametric Mapping を用いて検討した。各パフォーマンス指標ごとに、接地局面のどの時点における床反力ベクトル角度が有意な関連を示すかを探索的に評価した。

3. 結果

床反力ベクトル角度と接地時間との間に接地初期（6.8-11.5%）において有意な負の相関関係を認め（ $p < .05$ ），吸収後期～推進初期（37.5-50.4%）において有意な正の相関関係を認めた（ $p < .01$ ）。接地初期では、床反力ベクトル角度が鉛直方向より後方へ傾くほど接地時間が短く、吸収後期～推進初期では床反力ベクトル角度が鉛直方向よりやや前方へ傾くほど接地時間が短いことが示された（図 1）。

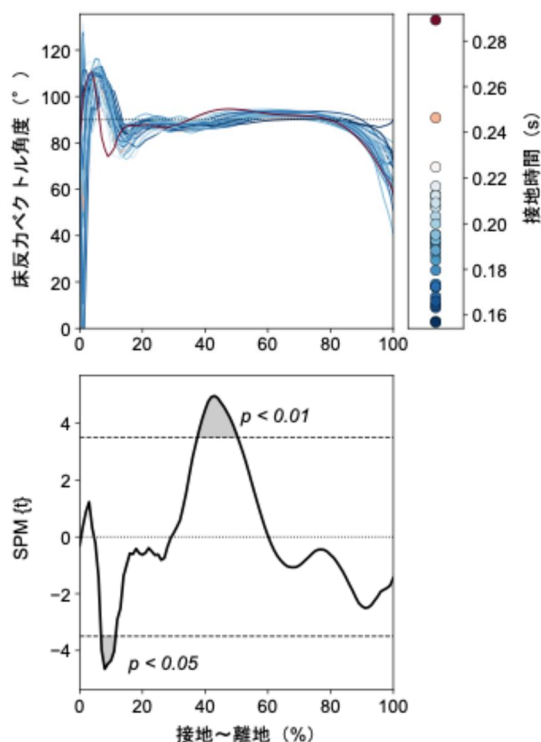


図 1. 床反力ベクトル角度と接地時間の関連性
床反力ベクトル角度と跳躍高の関連性について、

吸収後期～吸収・推進移行期（45.3-48.6%）において有意な負の相関関係を認め（ $p < .05$ ），床反力ベクトル角度が鉛直よりやや前方へ傾くほど跳躍高が高いことが示された（図 2）。

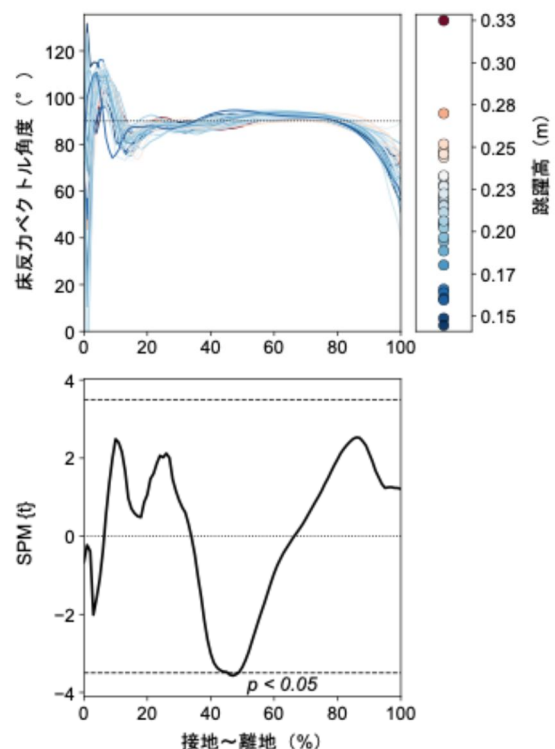


図 2. 床反力ベクトル角度と跳躍高の関連性

床反力ベクトル角度と RJ-index の関連性について、接地初期（9.7-11.3%）において有意な負の相関関係を認め（ $p < .05$ ），吸収後期～推進初期（38.7-52.8%）において有意な正の相関関係を認めた（ $p < .01$ ）。接地初期では、床反力ベクトル角度が鉛直方向より後方へ傾くほど RJ-index が高く、吸収後期～推進初期では床反力ベクトル角度が鉛直方向よりやや前方へ傾くほど RJ-index が高いことが示された（図 3）。

4. 考察

本研究では、RJ 中の床反力ベクトル角度とパフォーマンス指標との関連を時系列で検討した結果、床反力の「向き」が、位相依存的に RJ パフォーマンスを規定している可能性が示唆された。まず、接地初期において床反力ベクトル角度が鉛直方向より後方へ傾くほど接地時間および RJ-index が高値を示したことは、高パフォーマンスを示す選手ほど、

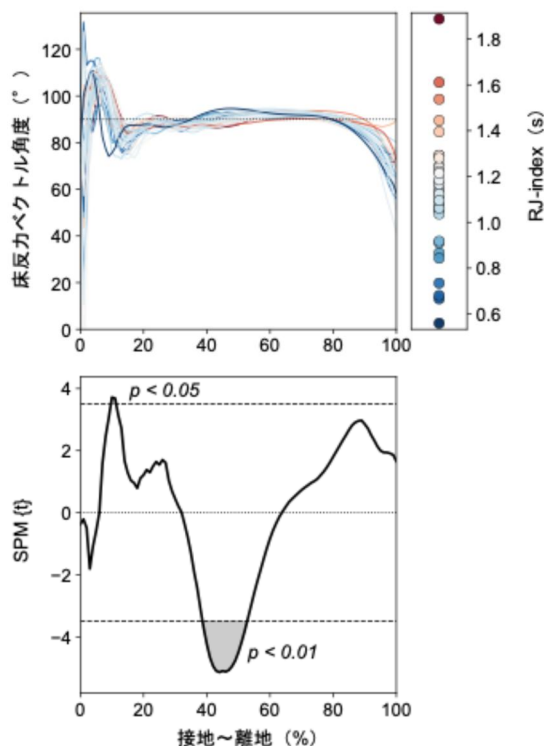


図 3. 床反力ベクトル角度と RJ-index の関連性

接地直後に前方への慣性を素早く制動し、重心を足部上に乗せ直すような減速戦略をとっていることを示す結果と解釈できる。すなわち、「ブレーキをかけない」ことではなく、「必要なブレーキを短時間で終える」ことが、短い接地時間と高い RJ-index に寄与している可能性がある。

一方、吸収後期～推進初期では、床反力ベクトル角度が鉛直よりやや前方へ傾くほど接地時間が短く、跳躍高および RJ-index が高値を示した。この局面は、下肢筋腱ユニットが伸長から短縮へ切り替わるフェーズであり、ここで床反力ベクトルが前上がり方向を向くことは、下腿前傾や股関節屈曲位からの伸展運動が脚軸方向に沿って合成され、関節トルクの合力と床反力ベクトルの向きが良好に整合している状態を反映すると考えられる。

以上より、高い RJ パフォーマンスを発揮する選手は、接地初期の短時間の後方ベクトルによる減速と、吸収後期～推進初期の前上がりベクトルによる効率的な推進という、位相ごとに異なる力の向きを使い分けている可能性が高い。このことは、RJ を「真上に素早く跳べるか」という量的評価だけで判断するのではなく、「どのタイミングでどの方向に

力を向けているか」という質的側面を併せて評価する必要性を示している。実践的には、接地直後の不要な前方流れを素早く制動し、切り返し局面で脚軸方向への前上がりベクトルで押し出すことを意識させる指導が、高速 SSC 能力の向上に有用である可能性がある。さらに、将来的には、本研究で示された床反力ベクトル角度パターンを、競技力評価や下肢傷害後の復帰判定における質的指標として活用できるか検討していく必要がある。

5. 参考文献

- 1) Jarvis P, Turner A, Read PJ, Bishop C: Reactive Strength Index and its Associations with Measures of Physical and Sports Performance: A Systematic Review with Meta-Analysis, *Sports Medicine*, Vol. 52, No. 2, pp. 301-330 (2022).
- 2) Furlong L-AM, Harrison AJ, Jensen RL: Measures of Strength and Jump Performance Can Predict 30-m Sprint Time in Rugby Union Players, *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 35, No. 9, pp. 2579-2583 (2021).
- 3) 山田魁人, 奥平証道, 吉田拓矢, 九鬼靖太, 谷川聡, 前村公彦: 男子学生サッカー選手におけるパワー発揮能力とスプリント能力および方向転換能力の関係—跳躍タイプによる違いに着目して, *Football Science*, Vol. 17, pp. 1-10 (2020).
- 4) Morin J-B, Edouard P, Samozino P: Technical Ability of Force Application as a Determinant Factor of Sprint Performance, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 43, No. 9, pp. 1680-1688 (2011).

非接触ユーザインタフェースによる作業・介護支援の提案

Proposal for Work/Nursing Support using Non-Contact User Interface

○澤島秀成*

*奈良県産業振興総合センター

SAWASHIMA Hidenari*

*Nara Prefectural Institute of Industrial Development

1. はじめに

労働人口が減少する中、ものづくり企業における生産現場での人手不足が深刻になっている。また、そのことから企業における自動化・省力化への取り組みが急務となっている。

生産現場において機械操作などを行う場合、作業員がいつもその操作に適した状態にあるわけではない。例えば、ある機械のスイッチを押す・回すだけの操作を行うのに、手袋を外したり、手を洗いに行ったりして、作業を一旦中断しなければならないケースがある。また、機器の操作に移動や体勢の変更が必要な場合も多い。操作部に接触することがなく、また、多少距離があってもそれらの機器を操作できれば、生産現場での無駄な動作を省くことができる。

また、介護施設などにおける食事介護では、介護者がスプーンなどで被介護者の口に食材を運んで食事支援を行うケースが多い。被介護者にとっては、和食などをスプーンで食べるのは快適でない上、自分のペースや好みの順番で食事をしたいという要望もある。現状では、福祉用箸などの自助具であっても一定のピンチ力がないと食材を把持することができず、自律的な食事を行うには依然ハードルが高い。

本研究では、ハンドサインなどの手のジェスチャを活用した非接触ユーザインタフェースについて、企業での生産現場や福祉用箸による食事支援への適用を目的にそのプロトタイプ開発を行った。

2. システム設計

2-1. 非接触ユーザインタフェースについて

手のジェスチャは株式や卸売の市場に限らず、日常生活の中で広く意思伝達の手段として用いられてきた。これまでに、手のジェスチャを用いたユーザインタフェースとしては、手に曲げセンサ¹⁾や磁気センサ、あるいはモーションキャプチャシステムを利用したものが考えられてきた。しかしこれらは、手にセンサやマーカを装着したり、使用前にキャリ

ブレーションを行う必要があったりしたことから、実際のものづくりの現場などでの活用は困難であった。また、手のジェスチャを検出するための Leap Motion や Google Pixel4 に搭載された Soli などの赤外線カメラやレーダセンサを使って、デジタルサイネージや PC の画面操作に活用されることはあったが、生産現場などでの適用事例は見当たらず、また、食事介護における福祉用箸での適用についても筆者が行った検証²⁾以外には見当たらない。

一方で、近年は AI 技術が進歩したことから、特別な装置を用いなくても市販の WEB カメラやスマートフォンを用いて人体の骨格推定が可能となってきた。そのような中、Carnegie Mellon 大学が開発した OpenPose や Google 社の MediaPipe などはオープンソースとして一般公開されている。特に、MediaPipe については、手のランドマーク推定に特化した機能があり、また商用利用も可能であることから、本研究では MediaPipe のランドマーク推定を活用した。

2-2. プロトタイプ設計

生産現場における機器の遠隔操作については、図 1 に示すハンドサインの数値コードを組み合わせるコマンドとし、そのコマンドに合わせて機器を制御する設計とした。

意味	0	1	2	3	4	5	O.K.	了解
ハンドサイン								

図 1 ハンドサイン

例えば、ハンドサインで[2]-[4]-[O.K.]はファンを回す、[4]-[2]-[O.K.]はファンを止める、[1]-[3]-[O.K.]はロボットの運転を開始する等、あらかじめハンドサインで数値コードを入力し、[O.K.]サインによりコマンドを送信する方式とした。これは単純なハンドサイン（例えば、[1]ならファンを回すなど）のみでは、作業中に意図しない入力により誤動作してし

もう可能性があるからである。

また、ハンドサインで入力したものはディスプレイをつないでいる場合は、画面に表示して利用者が画像と文字で入力状態を確認できるようにした。加えて、入力間違いや変更があった時に、入力をクリアするハンドサインとして[0]を設定し、機器操作のコマンド中には[0]を用いないようにした。

一方、福祉用箸の操作については、図2のように親指と人差し指の距離 L を正規化して1から100の数値として計測し、その距離で福祉用箸に装着したサーボモータの角度を制御する仕組みとした。

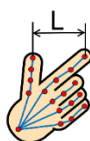


図2 指の間隔

システム環境については表1に示すとおりである。ハンドサイン入力部と操作される機器あるいは福祉用箸の間はWi-Fiによる無線通信を活用した。

表1 システム環境

ハードウェア	・ハンドサイン入力側 WEBカメラ:HD720P, Logicool 社製 マイコン: RaspberryPi4 ・機器・ロボット(福祉用箸)側 ESP32-C3 マイコン(ファン・福祉用箸) ロボット: RaspberryPi3(Ubuntu OS)
ソフトウェア	・プログラム開発環境: Python 3.12.0 MediaPipe(骨格推定モデル) TensorFlow(機械学習モデル)

これらにより片手でWEBカメラに向かってハンドサインやジェスチャを示すだけでシステムが作業指示を解釈し、遠隔に設置された機器や福祉用箸を操作できるシステムとした。

3. システム実装

3-1. ハンドサインの学習

図1で示したハンドサインについては、各サインについて手袋等を着用せず素手で、様々なカメラ角度や距離による画像100枚以上の画像を取得し、TensorFlowのニューラルネットワークモデルにDropout層を追加してシステムに学習させた。その結果、モデルの正解率(Accuracy)は98%以上となった。

3-2. 機器等の遠隔操作

機器操作については、食品製造業で手袋を着用し、製造作業中に空調ファンや製造支援ロボットを操作するケースを想定した。図3の操作イメージに示す

ようにハンドサインでファンの回転・停止やロボットの運転を容易に制御できることが確認できた。また、ハンドサインの認識率についてもモデルの正解率と同様、高い認識率を体感することが出来た。

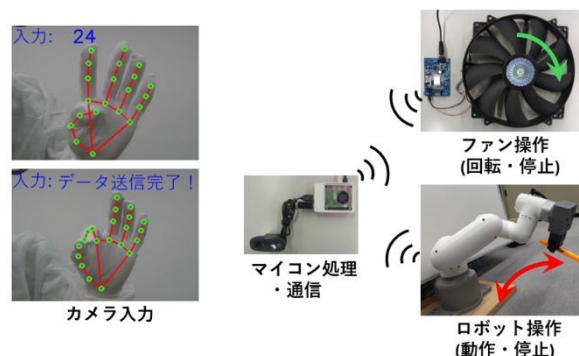


図3 ハンドサインによる機器操作イメージ

3-2. 福祉用箸の操作

福祉用箸の操作については、図4に示すように、手のジェスチャにより福祉用箸の間隔を調整してつかむ作業を支援することが可能となった。また、介護者による食事支援での側面支援だけでなく、被介護者自らが、箸を固定した手と反対の手で開閉を制御することも可能となることが分かった。



図4 福祉用箸の操作イメージ

4. おわりに

ハンドサインについてAI学習させ、WEBカメラに向かってコマンド操作することにより、センサの装着やキャリブレーションなどの作業を行うことなく、非接触で機器の操作を可能とするシステムのプロトタイプを作製した。また、食事支援についても手のジェスチャにより福祉用箸の開閉操作を可能とした。今回は、システム設計およびプロトタイプ実装にとどまったが、今後、現場での運用を通じて、その有用性を確認していきたい。

参考文献

- 1) 西本渉, 北園優希: ハンドジェスチャを用いた3Dユーザインタフェースの提案, 平成29年電気・情報関係学会九州支部連合大会, pp.189-190 (2017)
- 2) 澤島秀成: パワーアシスト型福祉用箸のプロトタイプ開発, 日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp102-103(2018)

2025 年度 日本人間工学会 関西支部大会 賛助団体等御芳名

本大会の開催にあたり、下記団体・企業の皆さま方からご協賛をいただくことができました。深く感謝し、御礼申し上げます。

株式会社 クレアクト

株式会社 テラバイト

株式会社 デジタルメディック

株式会社 プレシヤスワークス

(敬称略・五十音順)

2025 年度 日本人間工学会 関西支部大会 実行委員会

大会長 来田宣幸 (京都工芸繊維大学)

実行委員 朝尾隆文 (関西大学)、荒木望 (兵庫県立大学)、有馬正和 (大阪公立大学)、石松一真 (滋慶医療科学大学)、上田真由子 (追手門学院大学)、鎌倉快之 (大阪工業大学)、木村貴彦 (関西福祉科学大学)、幸田仁志 (京都工芸繊維大学)、小谷賢太郎 (関西大学)、志子田繁一 (川崎重工株式会社)、篠原一光 (大阪大学)、新家敦 (株式会社島津製作所)、杉山直磯 (京都工芸繊維大学)、平田一郎 (兵庫県立工業技術センター)、廣川敬康 (近畿大学)、泷真輝 (神戸大学)、山中仁寛 (甲南大学)、(敬称略・五十音順)

2025 年度日本人間工学会関西支部大会 講演論文集

発行日 2025 年 12 月 13 日

発行者 2025 年度日本人間工学会関西支部大会事務局

606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町 1 番地

京都工芸繊維大学 生体行動科学研究室内 (来田宣幸)

075-724-7734

