

2021 年度 日本人間工学会 関西支部大会 講演論文集

日時:2021年12月11日(土)

9:55~ 開会の挨拶 / 10:00~ 一般演題

会場:奈良女子大学 (オンライン開催)



Japan Human Factors and Ergonomics Society

KANSAI Branch

2021年度 日本人間工学会関西支部大会 講演論文集



日時:2021年12月11日(土) 会場:奈良女子大学オンライン

主催:一般社団法人 日本人間工学会関西支部

2021年度日本人間工学会関西支部大会

日 程 2021年12月11日(土)

	A会場	B会場
9:30	開場開始	開場開始
9:55	開会のあいさつ 大会長	
10:00	A1 脳活動・脳機能	B1 習熟 • 動作
	(10:00~11:15)	(10:00~11:00)
	5題	4題
	A2 身体動作	B2 支援·生体計測
	(11:20~12:05)	(11:20~12:20)
12:00	3題	4題
12:30		
12.00	D#	7.
	┃	~
	評議員会・役員	
13:30		
13:30	評議員会・役員	
_	評議員会・役員 研究発表奨励賞の表彰	
_	評議員会・役員 研究発表奨励賞の表彰 特別講演 1	
_	評議員会・役員 研究発表奨励賞の表彰 特別講演1 (13:40~14:25) 特別講演2	
13:40	評議員会・役員 研究発表奨励賞の表彰 特別講演 1 (13:40~14:25)	
13:40 14:25	研究発表奨励賞の表彰 特別講演1 (13:40~14:25) 特別講演2 (14:25~15:10)	会合同会議
13:40	研究発表奨励賞の表彰 特別講演1 (13:40~14:25) 特別講演2 (14:25~15:10)	B3 感覚·環境
13:40 14:25	研究発表奨励賞の表彰 特別講演1 (13:40~14:25) 特別講演2 (14:25~15:10) A3 企画セッション 『生体データを計測する技術』	会合同会議 B3 感覚・環境 (15:20~16:20)
13:40 14:25	研究発表奨励賞の表彰 特別講演1 (13:40~14:25) 特別講演2 (14:25~15:10)	B3 感覚·環境
13:40 13:40	研究発表奨励賞の表彰 特別講演1 (13:40~14:25) 特別講演2 (14:25~15:10) A3 企画セッション 『生体データを計測する技術』	会合同会議 B3 感覚・環境 (15:20~16:20)

ご案内

- ■2021 年度日本人間工学会関西支部大会は、「Zoom ミーティング」https://zoom.us/を利用したオンライン開催です。
- ■Zoom の基本操作は、Zoom 公式ヘルプページ https://support.zoom.us/hc/ja をご参照ください。

※最新版のデスクトップアプリをインストールする事をおすすめします。

■ 大会参加用 Zoom アドレスは Peatix に参加登録をされた際に入力されましたメールに前日に お知らせします。

A 会場(開会閉会の挨拶・特別講演・表彰式を含む)と、B 会場でアドレスが異なります。どちらの会場ともに、当日は、9:30 より Zoom を開始します。出入りは自由に設定いたします。

■役員会については、役員会の ML で別途ご連絡します。

■ 注意事項

- ★録画、録音は行わないでください。
- (本大会の記録係のみ許可を得て撮影している場合があります)
- ★ミーティング ID、パスワードは第三者に知らせないでください。
- ★ご参加いただく環境でマイク、カメラが使用できるか事前に確認してください。
- ■日本人間工学会関西支部の研究活動の活性化に資することを目的に、本大会において優れた成果を発表した研究者を表彰いたします。対象者は、年次大会開催年度末の時点で35歳未満または、大学または大学院に在籍している筆頭発表者で、所定の手続きを完了している者とし、座長及び評価者の計3名が、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、座長および評価者の計3名で審査します。

■ 緊急時のご連絡は

※Zoom でチャットができない場合等

メール: jesw2021taikai@gmail.com

電話:0742-20-3475

参加時の名前の設定

運営および司会者が識別できるように、以下の名前で参加して下さい。

- ★発表者の方は【発表番号 氏名@所属】として下さい。
- ★座長の方は、発表番号の箇所を「**座長**」とし、【<u>座長</u> 氏名@所属】に名前を設定してください。
- ★一般参加者の方は、**【氏名@所属**】を設定して下さい。
- ※参加者の所属を表示していない場合、ミーティングから退室していただく場合があります。

名前の設定

<最初に設定する場合>



<接続後に変更する場合>

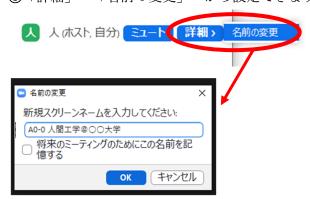
①画面下部に表示されている「参加者」をクリック



②自分の表示名を選択 (画面右側に表示される場合が多いです)



③「詳細」→「名前の変更」 から設定できます。



発表者へのご案内

- ■一般セッションの発表時間は 15 分 (発表 12 分、質疑応答 3 分)です。
- ■発表中には、第1 鈴 11 分 (1 回)、第2 鈴 12 分 (2 回)、第 3 鈴 15 分 (3 回) を運営側で鳴らします。
- ■ご自身のセッション開始5分前には、ミーティングに入室してください。会場係が確認します。
- ■画面を共有する操作を事前に確認してください。ご自身の PC 等で「画面共有」を選択し、発表をしていただきます。
- ■司会から演題の紹介がされたら、<u>マイク ON、ビデオ ON、発表資料を画面共有</u>して発表を始めてください。
- ■発表時間終了後、「共有の停止」ボタンを押して発表を終了してください。
- ■オンライン発表は自動公衆送信による再送信とみなされますので、著作権にご注意ください。

<画面共有方法>

① 画面下部の「画面の共有」をクリック



- ② 発表資料を選択 (PC内の音声などを共有したい場合のみ「音声を共有」にチェックする)
- ③「共有」をクリック



<共有の停止方法>

画面上部にある「共有の停止」をクリック→共有が終了されます



一般参加者(聴講者)へのご案内

- セッション中は、マイクをミュート、ビデオを OFF にしてください。
- 発表に対して質問する場合は、「手を挙げる」ボタンにより挙手をしてください。



- 司会から指名されたら、マイク ON にして質問してください。
- ■発表中にチャットに質問を書き込んでいただくこともできますが、司会の判断により挙手が 優先される場合があります。

座長へのご案内

■会場係と計時係の2名が各会場には待機しております。

セッションの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。会場係がサポートします。

- ■進行については一切を座長にお任せしますが、厳しい時間運用としているため、時間厳守でお願いします。
- ■発表者が現れない場合、次の発表者を繰り上げてください。また、PC の不具合等で発表が始められない場合には、座長のご判断で発表順を入れ替えてください。
- ■発表時間のタイムキーパーは、運営側の計時係が行います。
- ■共有画面、音声等の不具合が発生した場合やお困りの際は「会場係」とマイクで呼んでいただければ対応いたします。
- ■発表終了後、質疑応答に移ってください。質問は「手を挙げる」ボタンでの挙手を優先して質問者を指名してください。
- ■チャットに書き込まれた質問については、座長の判断で読み上げていただくか、書き込んだ方 に発言を促してください。 (会場係がチャットを確認してサポートします)

プログラム

特別講演・企画セッション

特別講演 (13:40~15:10)

座長:大高千明(奈良女子大学)

特別講演1 (13:40~14:25)

触感を伴う追体験システム 一技能伝承や相互理解に向けて 佐藤 克成 (奈良女子大学研究院工学系)

特別講演2 (14:25~15:10)

全身動作の運動イメージに関連した脳活動動態 中田 大貴 (奈良女子大学研究院工学系)

企画セッション

A3 企画セッション 『生体データを計測する技術』(15:20~16:20)

座長: 久保博子(奈良女子大学)

衣服の着用快適性評価から生まれた衣服型ウェアラブルデバイス および そのバイタルセンシングへの応用

前田 郷司(東洋紡)

一般演題

A1 脳活動・脳機能 (10:00~11:15)

座長:片山順一(関西学院大学)

- A1-1 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
 - 〇宮崎康佑(兵庫県立大学),荒木望(兵庫県立大学), 中谷真太朗(鳥取大学),小西康夫(兵庫県立大学)
- A1-2 定常視覚誘発電位を用いた日常的に使えるインタフェース開発に向けた基礎検討
 - 〇松野祐哉(大阪工業大学),木場晏也(大阪工業大学大学院), 吉岡直人(大阪工業大学大学院),大須賀美恵子(大阪工業大学)
- A1-3 観察学習時における脳活動動態の検討
 - 〇松田千裕(奈良女子大学大学院), 久保博子(奈良女子大学), 中田大貴(奈良女子大学)
- A1-4 負荷強度の違いが運動開始時の脳血流動態に及ぼす影響
 - 〇山本恵子(奈良女子大学), 牧井美波(奈良女子大学大学院), 久保博子(奈良女子大学), 芝﨑 学(奈良女子大学)

A1-5 運動開始時における思考の違いによる脳活動への影響

〇牧井美波(奈良女子大学大学院), 山本恵子(奈良女子大学), 久保博子(奈良女子大学), 芝﨑 学(奈良女子大学)

A2 身体動作 (11:20~12:05)

座長:朝尾隆文(関西大学)

デジタルヒューマンを用いた人間工学設計のための関節トルク比に基づく A2-1 身体的負荷評価

〇齋藤大和(近畿大学大学院), 廣川敬康(近畿大学)

A2-2 座面駆動型起立支援システムにおける座面の速度及び角度に対する支援効果の評価

〇友田千尋(大阪工業大学),井上 剛(大阪工業大学)

A2-3 筋骨格シミュレーションによる活動量の可視化

〇平田一郎(兵庫県立工業技術センター),福井 航(兵庫県立工業技術センター),福田 純(兵庫県立工業技術センター),後藤泰徳(兵庫県立工業技術センター)

B1 習熟・動作 (10:00~11:00)

座長 平田一郎(兵庫県立工業技術センター)

B1-1 FRP構造物の作製に携わる職人の技分析

〇後藤彰彦(大阪産業大),杉山直磯(京都工芸繊維学大学院), 松久怜央 (大阪産業大)

B1-2 馬毛の裏ごしに関する基礎的検討

後藤彰彦(大阪産業大),〇杉山直磯(京都工芸繊維学大学院), 山越夕矢(大阪産業大),辻 賢一(金網つじ), 飯 聡(元京都調理師専門学校),濱田明美(京都光華女子短大)

B1-3 成形品の仕上がり度合い評価における熟練者の意思決定プロセス

〇松久怜央(大阪産業大学),杉山直磯(京都工芸繊維学大学院), 後藤彰彦(大阪産業大学)

B1-4 手動制御系における対象の変化が操作習熟に与える影響

〇佐古哲宏(鳥取大学),中谷真太朗(鳥取大学)

B2 支援·生体計測 $(11:20\sim12:20)$

座長: 荒木 望(兵庫県立大学)

B2-1 介護訓練のための仮想空間と仮想力覚に関する基礎研究

〇田河琴音(摂南大学大学院),川野常夫(摂南大学), 松尾英治(松尾電機エンジニアリング)

B2-2	自閉スペクトラム症児の情動変化を支援者に提示する療育支援システムの開発 〇野宮なるみ(大阪工業大学)、林 海斗(大阪工業大学大学院)、 木場晏也(大阪工業大学大学院)、竹内大樹(大阪工業大学大学院)、 大須賀美恵子(大阪工業大学)
B2-3	スマホ依存対策を目的としたアプリケーションの提案とプロトタイプ開発 〇小泉允志(大阪工業大学),渡邊陽仁(大阪工業大学大学院), 大須賀美恵子(大阪工業大学)
B2-4	アトピー対策のための指先加速度による掻破行動検知技術の開発 〇勝島彩葉(奈良女子大学大学院),安在絵美(奈良女子大学), 才脇直樹(奈良女子大学)

B3 愿	対・環境 (15:20~16:20)
	座長:山中仁寛(甲南大学)
B3-1	ポリアセタール繊維を用いた生地の触覚に関する基礎的研究 後藤彰彦 (大阪産業大学),〇杉山直磯(京都工芸繊維大学大学院), 圓井 良 (圓井繊維機械株式会社),梅村俊和 (株式会社プレジール)
B3-2	おいしさ指標の提案 ―心理的障壁を用いた測定― 〇猶原駿平(金沢工業大学大学院),神宮英夫(金沢工業大学)
B3-3	火葬場の告別室に設ける光庭デザインについての検討 〇吉田桃子(奈良女子大学大学院), 久保博子(奈良女子大学)
B3-4	冬期の寝室温熱環境が高齢者の睡眠および血圧に及ぼす影響 一奈良県都市部および農村部における実測調査— 〇城戸千晶(奈良女子大学大学院),帯名千滉(奈良女子大学大学院), 久保博子(奈良女子大学),東実千代(畿央大学), 佐々尚美(武庫川女子大学)

研究発表奨励賞の表彰

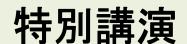
本賞は2021年度全国大会において優れた研究成果を発表した若手研究者を表彰する制度。今年度は関西支部から1名の受賞されました。

2021年度日本人間工学会優秀研究発表奨励賞

矢島 拓人 (関西大学)

最優秀賞 手術室環境における環境ノイズにロバストな音声認識コマンドの最適語長

(演題番号:2F1-1)





 $(13:40 \sim 15:10)$

座長: 大高 千明(奈良女子大学)

特別講演1 13:40~14:25

触感を伴う追体験システム 一技能伝承や相互理解に向けて 佐藤 克成 (奈良女子大学研究院工学系)

特別講演2 14:25~15:10

全身動作の運動イメージに関連した脳活動動態 中田 大貴 (奈良女子大学研究院工学系)

-	10	-
---	----	---

触感を伴う追体験システム -技能伝承や相互理解に向けて

Reliving Experience System with Haptic Sensation
— for Skill Transfer and Mutual Understanding

〇佐藤克成* *奈良女子大学

SATO Katsunari*

*Nara Women's University

1. はじめに

コンピュータで作り出した世界を、あたかも現実世界のように認識させる Virtual Reality (VR) 技術の応用に、他者の活動の追体験がある. 近年では、視聴覚に加え触感を再現する技術が発展し、その可能性が拡大している. 本発表では、触感を活用した VRシステムの 2 つの研究事例を紹介する.

2. 触刺激を活用した非同期型追体験システム 1)

職人技の追体験体験システムは、技能を用いた製品の販売促進や後継者育成に役立つことが期待されている. 従来の追体験システムは、ユーザの動作を検出して VR 環境内のアバタの動作に反映させ、その動作に応じて VR 環境内の感覚情報がフィードバックされる、同期型である. 高い臨場感が得られる一方で、動作の検出や感覚フィードバックのための実装コストが高く、体験できるユーザ数も限られる. これに対し、Youtube のように配信者と体験者(視聴者)が存在し、体験者は配信者の情報を受信するのみである非同期型システムでは、複数のユーザと低コストで体験を共有できる. しかし、非同期型システムのユーザは、身体所有感や動作の主体感が得られず、臨場感の低さが課題となっている.

我々は、振動刺激とユーザによる動作の模倣によってバーチャルな身体所有感と動作の主体感を生み出すシステム(図1)を提案している.提案システムでは、工具を使った作業の映像と共に、その際生じ



図1 非同期型追体験システムの実装例 1)

る振動を音声信号として記録する. ユーザは,振動子を貼付した工具の模型を把持し,モニタ上の記録した映像を見ながら,映像中の動作に合わせて自身の手を動かす. 視覚と同期した触覚刺激により身体所有感が変化するラバーバンドイリュージョン 2)のように,視覚刺激に振動刺激などの体性感覚刺激が加わることで,身体所有感や動作の主体感が高まることが期待できる. 身体動作の計測や VR 環境への反映,複雑なフィードバック技術を必要としないため、比較的低コストでの実装が可能となる.

木工作業を例にした実験から、振動刺激と動作の 模倣が身体所有感の向上に、動作の模倣が主体感の 向上に寄与することを確認している. さらに、のこ ぎりで木を切るように、同じ動作を反復する作業に おいては、映像中とユーザの動作間に不一致があっ ても、臨場感が向上することを確認している.

また提案システムの発展型として, 奈良時代から 残り現在は宮大工のみが使用する大工道具, 槍鉋の 体験システム(図2)を構築, 平城宮跡歴史公園にお いて来場者向けに展示を行った. 構築したシステム により, 本来であれば体験が困難な槍鉋で檜を削る 感覚を, 多くの来場者が気軽に体験できた. 体験者 からは, あたかも自身で削っているかのような感覚 が得られたという意見が得られている.

3. 筋電気刺激を用いた月経痛体験システム³⁾ 他者の体験を一人称視点で振り返ることを可能と



図2 槍鉋体験システムの展示

する VR の追体験は、他者の思いをより深く理解する手段として有効であると、注目を浴びている。例えば株式会社シルバーウッドの認知症 VR などが挙げられる。我々は、女性特有であり、女性の中でも個人差がある月経痛に着目し、その体験システムを提案している。月経の症状と周期は複雑であり、月経に起因する不快感を定量化することは困難である。提案システムは、その不快感の共有を可能にすると期待する。

提案システムは、筋電気刺激 (Electrical Muscle Stimulation: EMS) を用いて月経痛を模擬する(図 3). 腹部の皮膚表面に張付した電極パッドからの電流により、筋肉を収縮させる. この筋収縮は鈍痛を生じさせることがあり、この鈍痛は内臓痛との区別が難しく、月経痛と同様に知覚されると考えた.

自然な月経痛と、EMSにより模擬した月経痛を主観的に評価し比較する実験の結果、EMSにより月経痛の周期的な鈍痛の性質を再現し得ることを確認した.一方で、EMSにより生じる痛みは鈍痛の他、電気的で表面的な痛みが生じること、また痛みを知覚した平均的な位置は、自然な月経痛に比べ浅い位置である、という課題も明らかとなった.

さらに、提案手法を用いたデモンストレーションシステム(図4)を構築した.満員電車の中で不規則な月経痛が発生する状況を EMS により再現する.かつ、下肢付け根に対してペルチェ素子により温度刺激を行うことで、経血の漏れの不快感も再現する.

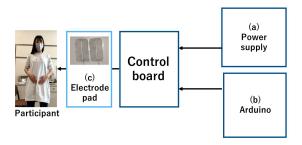


図3 筋電気刺激による月経痛再現装置 3)



図4 デモンストレーションシステム 3)

体験者の感想から、構築したシステムは月経の症状 をより深く理解するのに役立つことを確認した.

参考文献

- 1) 湯川光, 佐藤克成: 非同期型追体験システムの 身体所有感と動作の主体感に対する振動刺激と 追従動作の効果, 日本バーチャルリアリティ学 会論文誌, Vol. 25, No. 4, pp.374-383 (2020).
- 2) M. Botvinick and J. Cohen: Rubber hands 'feel' touch that eyes see, Nature, 391, 756 (1998).
- C. Asada, K. Tsutsumi, Y. Tamura, N. Hara, W. Omori, Y. Otsuka, K. Sato: Electrical Muscle Stimulation to Develop and Implement Menstrual Simulator System, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 33, No. 5, pp.1051-1062 (2021).

全身動作の運動イメージに関連した脳活動特性

Characteristics of neural activity during motor imagery of whole body movements

〇中田大貴 奈良女子大学 研究院工学系

NAKATA Hiroki

Faculty of Engineering, Nara Women's University

【 I. 緒言】

運動イメージを繰り返し行うことでパフォーマン スの向上を図る練習は、イメージトレーニングやメ ンタルプラクティスと呼ばれ、リハビリテーション の分野やスポーツ現場において注目されている。運 動イメージは特有の脳内神経ネットワークに基づい ており、活動領域および機能特性は様々なヒト脳機 能計測機器を用いた研究によって明らかにされつつ ある。また近年の研究では、上肢や下肢の動作だけ ではなく、全身を使った動作の運動イメージ研究も 報告されている ^{1,2)}。しかし、これらの研究はアスリ ートと一般成人を比較対象としたものであり、長期 間の身体的トレーニングを積まないと実施できない 動作について、脳活動動態を検討している。動作を 獲得すると motor representation の拡大により、運動 関連領野の脳活動は大きくなるとされている。一方、 運動イメージ能力・鮮明さと運動関連領野の活動動 態は課題依存性があると考えられており、課題遂行 に対する要求が高い難しい課題では、より多くの脳 活動が起こるとも考えられる。そのため、難易度が 異なる全身動作の運動イメージを行った場合、どの ような脳活動動態が計測されるのか、その詳細は明 らかにされていない。

そこで本研究では、器械体操の動作に着目し、課題の難易度を変えた際の運動イメージの脳活動動態を検討した。第一実験では、大車輪・蹴上がり・懸垂に着目し、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いた検討、第二実験では、前転・後転・側転に着目し、近赤外線分光法(NIRS)を用いた検討、第三実験では第二実験と同様の課題ではあるが、小学校5年生を対象とし、発達的側面について検討した。

【Ⅱ.第一実験】

く方法>

•被験者:一般成人19名

条件

運動イメージ条件(観察しながらイメージ。

Kinesthetic motor imagery を行い、Visual imagery は行わないように教示

観察条件(観察のみ)

・動作 大車輪(Giant Swing) 蹴上がり(Kip)

けん垂 (Chin-up)

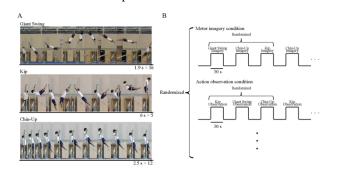


図1 実験プロトコール

実験は早稲田大学研究倫理審査委員会の承認を得て 行った。

<結果>

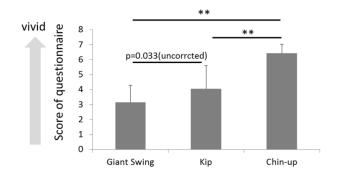


図2 質問紙で得られたイメージの鮮明さ fMRI スキャン後、7 段階で運動イメージを答えた。 (**: p < 0.01)

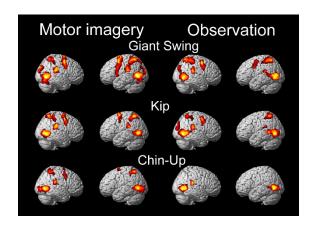


図3 全6条件の脳活動 (vs. 安静)

先行研究と同様に、運動前野、補足運動野、頭頂連 合野に活動が見られた。

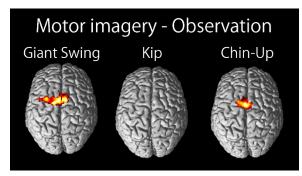


図4 差分(イメージー観察)

大車輪と懸垂では補足運動野に活動の差が見られた。

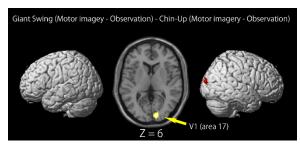


図5 交互作用がみられた領域

「(大車輪イメージー大車輪観察) - (懸垂イメージ - 懸垂観察) I

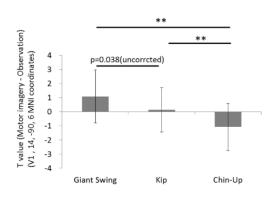
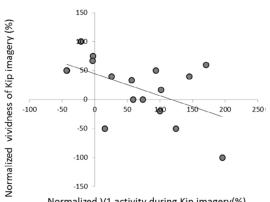


図6 一次視覚野の活動(イメージー観察)



Normalized V1 activity during Kip imagery(%)

図 7 蹴上がりイメージ中の第一次視覚野の活動と 蹴上がりイメージの鮮明さとの関連

難しい動作で運動イメージが不鮮明な場合には一 次視覚野の活動が高く(図5)、運動イメージが不鮮 明だと答えた被験者ほど一次視覚野の活動が高かっ た(図7)。一次視覚野は視覚的イメージに関連する ことから 3)、視覚的イメージが不鮮明な運動イメー ジを代償・補完している可能性が示された。

これらの結果から、運動イメージの一次視覚野の 活動量を計測することで、複雑な全身動作の運動イ メージの鮮明さを客観的に評価できる可能性が示さ れた。

【Ⅲ.第二実験】

く方法>

- ·被験者:一般成人18名
- 条件 運動イメージ条件 観察条件
- 動作

前転 (Forward roll)

後転 (Backward roll)

側転 (Cartwheel)

※イメージ課題終了毎に各被験者の主観的な「イメ ージの鮮明度(7段階)」と「得意順」を記録

<測定>

近赤外線分光法 (NIRS)

酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの脳 血流動態を計測。各プローブ間の31個のチャンネ ルのうち27個のチャンネルを3つずつ(左・正中・ 右)、9つの対象領域に分けて分析した。

PM: 運動前野 M1: 一次運動野 PPC: 頭頂連合野

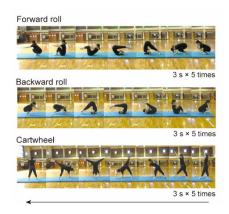


図8 呈示した前転、後転、側転の動画

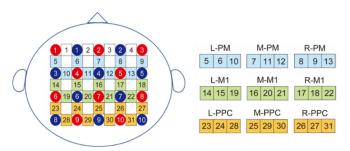


図9 近赤外線分光法 (NIRS) のプローブ配置図

実験は奈良女子大学研究倫理審査委員会の承認を得て行った。

<結果>

・イメージの鮮明度

前転:4.0±1.1 後転:3.6±1.1 側転:3.7±1.0 (有意差なし)

得意順

前転:1.4±0.6 後転:2.6±0.6 側転:1.9±0.9 (有意差あり) 運動イメージ条件の方が観察条件よりも脳全体的に酸素化ヘモグロビン量は高かった(図 10)。これは、観察条件では action observation network とミラーニューロンシステムに関する脳活動が見られるが 4)、運動イメージ条件ではその他に運動イメージに関する脳活動が重畳していたためであると考えられる。

また、「左頭頂連合野 (L-PPC)」において、運動イメージ条件時の前転課題の方が側転課題よりも有意に酸素化ヘモグロビン量が増大した(図 10)。左頭頂連合野は、フォワードモデルや動きの表象にとって重要な役割を果たしていると考えられており、本研究での全身動作のイメージにおいても、同様な働き・機能を有している可能性がある。

【IV. 第三実験】

<方法>

- ・被験者: 女児 11 名 (小学 5 年生: 平均月齢 135.8 ± 3.6 ヶ月)
- ・実験条件と課題:第一実験と同様
- ・測定: 近赤外線分光法 (NIRS) (第二実験と同様)
- ・観察的動作評価:前転7点満点・後転10点満点・ 側転11点満点
- →7 名の評価者で平均化→評価割合を 100%に換算

<結果>

・イメージの鮮明度

前転: 4.6 ± 0.9 後転: 4.0 ± 0.9 側転: 4.0 ± 1.7 (有意差なし)

• 得意順

前転: 1.2 ± 0.4 後転: 2.4 ± 0.5 側転: 2.5 ± 0.8 (有意差あり)

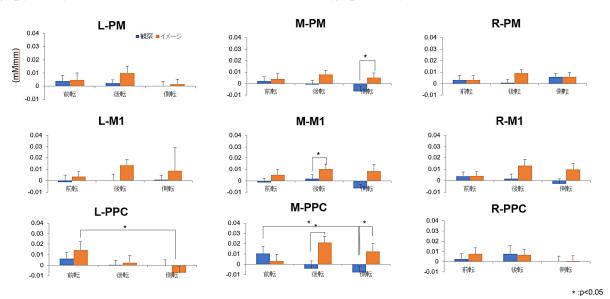


図 10 運動前野・一次運動野・頭頂連合野における酸素化ヘモグロビン量 (第二実験)

• 評価割合

前転:62.1 ± 19.3% 後転:46.9 ± 30.6%

側転 51.2 ± 32.3% (有意差なし)

イメージの鮮明度と得意順の結果より、成人と同様に子どもにおいても前転が最もイメージしやすいと考えられた。「左頭頂連合野」において、運動イメージ条件時の前転課題の方が側転課題よりも有意に酸素化ヘモグロビン量が増大し(図11)、「左頭頂連合野」の酸素化ヘモグロビン量とイメージ鮮明度との正の相関関係が認められた。これらの結果から、小学5年生においても全身動作の運動イメージを行った際には、特に左脳半球の頭頂連合野を中心とし、動作表象に関する神経ネットワークが構築されている可能性が示唆された。

際の運動パフォーマンスの評価」と「脳活動動態」は有意な相関は認められなかった。これらの結果から、周囲から見て「実際に運動ができたかどうか」よりは、「自分の中でしっかりイメージができたか」ということと脳活動動態に関係性があると考えられた。

【V. 参考文献】

1) Olsson CJ, Jonsson B, Larsson A, Nyberg L: Motor Representations and Practice Affect Brain Systems Underlying Imagery: An fMRI Study of Internal Imagery in Novices and Active High Jumpers, Open Neuroimaging J, 2, 5-13 (2008).

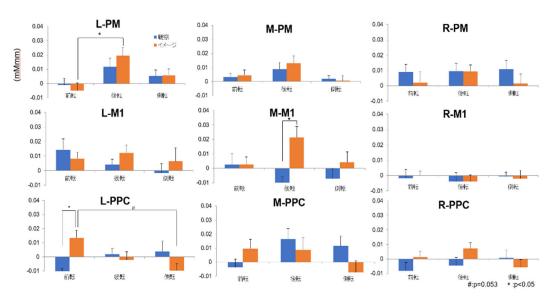


図 11 運動前野・一次運動野・頭頂連合野における酸素化ヘモグロビン量 (第三実験)

(評価割合)

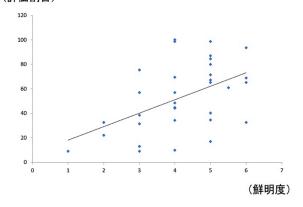


図 12 イメージの鮮明度と評価割合の相関関係

「イメージの鮮明度」と「実際の運動パフォーマンスの評価」に正の相関が認められたが(図12)、「実

- 2) Fourkas AD, Bonavolonta V, Avenanti A, Aglioti SM: Kinesthetic imagery and tool-specific modulation of corticospinal representations in expert tennis players. Cereb Cortex, 18, 2382-2390 (2008).
- 3) Kosslyn SM, Pascual-Leone A, Felician O, Camposano S, Keenan JP, Thompson WL, Ganis G, Sukel KE, Alpert NM: The role of area 17 in visual imagery: convergent evidence from PET and rTMS. Science, 284, 167-170 (1999).
- 4) Hardwick RM, Caspers S, Eickhoff SB, Swinnen SP: Neural correlates of action: comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. Neurosci Biobehav Rev, 94, 31-44 (2018).

A3 企画セッション

『生体データを計測する技術』 (15:20~16:20)



座長: 久保 博子 (奈良女子大学)

講演

衣服の着用快適性評価から生まれた衣服型ウェアラブルデバイス およびそのバイタルセンシングへの応用

前田 郷司 (東洋紡)

-	1	8	-
---	---	---	---

衣服の着用快適性評価から生まれた衣服型ウェアラブルデバイス および、そのバイタルセンシングへの応用

Garment-type wearable device born from the evaluation of wearing comfort

And its applications to vital sensing

〇前田郷司 東洋紡株式会社 総合研究所

Satoshi Maeda

Research Center / Toyobo Co., Ltd.

1. はじめに

繊維産業の歴史と衣服の着用快適性の追求

1-1 繊維産業の起源

人類の祖先が針を発明し、糸を用いて毛皮を縫い合わせ、身体を効率よく覆う形に加工できるようになったのが衣服の起源であり、衣服を身にまとうことにより、私たちの遠い先祖は氷河期を乗り越えて、現代へと命をつなぐことができた。

糸を織り合わせて布を得る技術は紀元前 7 千年頃には発明されていたと云われている。衣服の素材は毛皮から布になり、綿花や羊毛などの天然繊維を紡いで糸と成し、糸から布を織る作業の流れが産業として成立するようになった。繊維産業の誕生である。

以来数千年に渡り、長らく家内制手工業として続けられてきた繊維産業は、英国マンチェスターにて勃興した 産業革命によって組織的大量生産へと大変革を遂げ、 近代的な第二次産業として急速な成長を始めた。

1-2 日本における近代繊維産業

明治初頭、1877年に経済学を学ぶためにロンドンに留学していた山辺丈夫は、当時日本財界をリードしていた渋沢栄一の勧めに従って留学目的を変更し、ケンブリッジ大学にて機械工学の基礎を学んだ後に当時の近代産業花形の地であったマンチェスターに赴き、紡績技術を習得した。その後、山辺は紡績機械と蒸気機関を買い付けて帰国し、大阪の地にて1882年に近代的な紡績工場を有する大阪紡の設立にあたり、工務支配人に就任した。これが日本における近代的第二次産業の

最初の一歩である。富国強兵の掛け声に従い、国内では各地で紡績業の操業が相次ぎ、品質の良い日本の繊維製品は海外に積極的に輸出され、外貨獲得に大きく貢献した。紡績業は国際競争力を高めるために規模拡大を進め、木綿を主として扱っていた大阪紡と、羊毛を扱っていた三重紡が、両社の共通の相談役であった渋沢栄一の斡旋により1914年に合併し、総合繊維企業として東洋紡績株式会社:現在の東洋紡が創設され、初代社長に山辺が就任した。1)

明治末期には半合成繊維(再生繊維)であるレーヨンが欧州で発明され、日本にも輸入され始めていた。しかし、第一次世界大戦の影響により輸入が困難になったため国産化が進められ、レーヨンないし人絹を社名に持つ企業がこの時期に創設されることになった。さらに第二次世界大戦後には、石油を原料とする化学合成繊維の技術導入が各社で行われ、繊維産業は規模を拡大した。

今日に至り、スーパー繊維、スマートテキスタイルと呼ばれる高機能な繊維製品も次々と開発され、繊維製品の用途は衣服に留まらず、幅広い産業分野で活用されている。

1-3 衣服の着用快適性

衣服の役割は機能性とファッション性に大別できる。 繊維産業が機能性の面で目指してきた目標の一つが 「快適な衣服を提供すること」である。衣服の起源から理 解できるように、衣服に第一に要求される機能は外的環 境からの身体の保護である。大正期に掲げられた東洋 紡の社定「天下無寒人」という言葉には、衣服が成すべ きことが端的に表現されている。²⁾ 今日の衣服は、単に 寒さだけでなく、暑さ、湿気、紫外線などの外界刺激から身体を守るとともに、人体が発する汗や熱の外部への 放散、心地よい締め付け感や肌触りなど、着用者に快 適さを感じさせる機能を有するまでに進化している。

本稿では、繊維産業が衣服の着用快適性を追求する過程で開発された種々の快適性を評価する手法を解説するとともに、その過程で開発された衣服型の生体情報計測装置について紹介する。

2 快適性評価技術

2-1 衣服の着用快適性

「快適な衣服」を開発する側の立場に立てば、衣服の 快適性をどのようにして評価するか?は避けることので きない重要な課題である。衣服の快適性を評価するに は、衣服の物理特性の評価、着用者の主観評価、着用 者の生理評価を行い、それらを突き合わせる必要があ る。

2-2 衣服の物理特性

2-2-1 衣服物理特性の3要素

衣服の快適性は物理特性面から、図1に示すように、 温湿度特性、風合い、圧力特性の三つの要素からなる と考えられている。



図1 衣服快適性の三要素

2-2-2 温湿度特性(衣服内気候)

身体の大部分は衣服に覆われているため、衣服着用 者が主に感じているのは外界の温湿度では無い。着用 者が感じているのは肌と衣服との間に存在する空間の 温湿度であり、これを衣服内気候と呼ぶ。衣服内の温湿 度を図3. に示すように、着用者が快適と感じるのは温 度31~33℃、湿度40~60%RH であり、衣服内温湿 度をこの範囲に入るように制御することで着用者に快適 さを感じさせることができる。

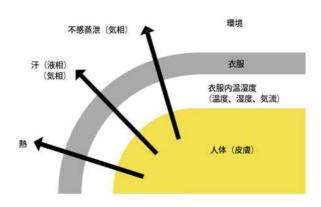


図2 衣服内気候

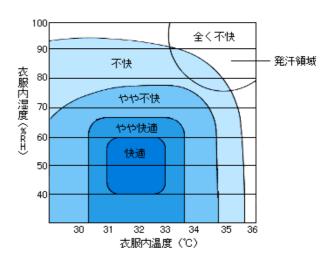


図3 衣服内の温湿度と快適性

2-2-3 衣服生地の保温性、透湿性

衣服生地の保温性、保湿性/透湿性を適切に選択することで、衣服内の温湿度をある程度制御することができる。

布の透湿性と保温性は ISO 11092 に規定される発汗 保護ホットプレート法(スキンモデル法)により評価できる。 図4に発汗保護ホットプレートの概略を示す。体温に相 当する温度に調整された熱板上の模擬皮膚から水蒸 気を発散することにより人体表面を模倣しており、模擬 皮膚を被測定試料である布で覆い、資料と模擬皮膚間 の温湿度を測定、同時に温湿度調整に必要な電力と水 の消費量を計測することにより、布の透湿性能と保温性 能を知ることができる。

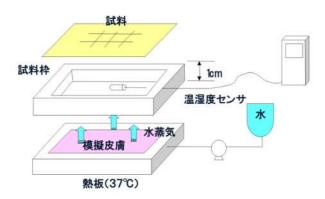


図4 発汗保護ホットプレート法(スキンモデル法)

発汗保護ホットプレート法により静置された平面上の 布の特性評価は可能であるが、実際の人体は複雑な立 体形状であり布が配置される条件は身体の各部により 異なる。東洋紡では、発汗模倣機能を有する人体形状 の発汗マネキンを開発し、この発汗マネキンに実際の 形状に縫製した衣服を着せることにより、より実際的な 衣服内気候の評価を可能とした。これにより、衣服の各 部に適した素材の選択が可能となる。図5に発汗マネキ ンの写真を示す。

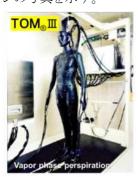




図5 発汗マネキン

左:TOM III 気相の汗をかくマネキン、 右:SAM I 液相の汗をかくマネキン)

2-2-4 風合い計測技術

風合いとは生地の手触り、肌触りを意味する。布を、同じ二次元形状の材料である高分子フィルムと比較すると、引張方向の強度に比較して、圧縮方向と曲げ方向の剛性が非常に低く、さらに縦横の異方性を持つ材料である。KES(Kawabata Evaluation System)は、手触り、

肌触りを数値表現するためには、布の有する複雑な特性を、表面特性、圧縮特性、剪断&引張特性、曲げ特性に分解し、それぞれを布評価に特化した装置で数値化する方法である。得られた数値と、実際に布に触れた際の触感を表す風合い形容語から導かれる感覚量との関係を因子分析法などで関係づけることによって風合いの数値表現が可能となる。³⁴

2-2-5 着圧

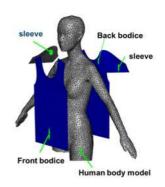
衣服の着圧の実測にはエアパックセンサーを用いることができる。5) 文字通り空気が入った小さなパックを衣服と体の間に挿入し、パックが受ける空圧を測定する方法である。マネキンを使って測定している様子を図6に示す。さらに衣服圧のシミュレーション技術も発達している。677)





air-pack

図6 エアパックセンサーを用いた着圧測定



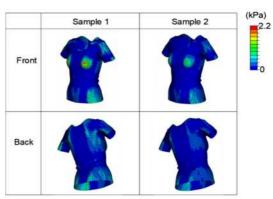


図7 衣服圧のシミュレーション例

2-3 着用者の感性評価(主観評価)

着用者の主観は感覚や感受性に関連した言語情報で与えられる。このような定性的な言語情報により与えられる情報を定量的に表現する方法として SD 法 (Semantic Differential method)が知られている。

SD 法(Semantic Differential method)とは心理学的測定法の一つであり、正反対の意味を持つ感覚的な形容詞で定義される複数の尺度(例えば、明るい一暗い、暑い一寒い)上で、どの程度該当するかを 5 段階ないし 7 段階のチャートで評定してもらい、統計的処理(平均値、因子分析など)を行って数値化する方法である。図8に、解析に用いるセマンティック・ディファレンシャル・チャート(SD チャート)の一例を示す。

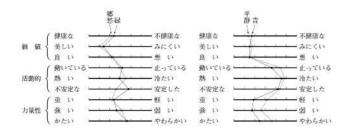


図8 セマンティック・ディファレンシャル・チャートの例 8)

日本語は、感覚を表現するための豊富な形容詞を有する原語であり、SD 法は衣服の着用快適性の評価法として広く利用されている。このようにして得られた主観評価結果と、衣服、生地の物理特性を突き合わせることにより、快適な衣服を実現するための工学的な情報を得ることができる。

2-4 着用者の生理評価

2-4-1 脳波と心拍による心理・生理マップ (リラックスマップ)

着用者の生理評価から、前述の主観評価では把握しきれない着用者の生理的なメンタル状態を把握することができる。着用者の脳波と心電信号を測定し、脳波から得られる、閉眼時のα波パワースペクトル積分値と開眼時のα波パワースペクトル積分値との比を縦軸に、心電信号におけるR波ーR波間隔(RRI:R-R Interval 心拍周波数の逆数)を横軸にプロットすると、図9に示す心理・生理マップを得ることができ、着用者のリラックス状態を知ることができる。9 なお、ここにR波は心拍一周期中で最も大きなピークであり、心室の収縮に対応している。

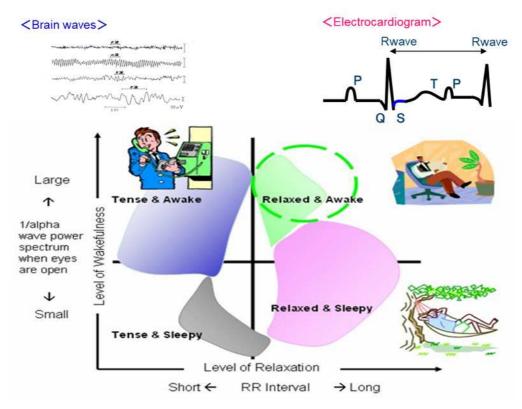


図9 心理・生理マップ (リラックスマップ)

2-4-2 In Situ での生理評価の困難性と ウェアラブルデバイスへのニーズ

脳波の信号レベルは、μ V 程度の低い電圧であるため、外界からの電磁ノイズの影響を受けやすく、加えて毛髪のある頭部に電極を付ける必要がある。外界から隔離された室内で安静にした状態での測定は問題なく行えるが、スポーツ中や現場での作業中など、実際の場面で動きを伴う活動を行っている際に脳波を安定的に測定することは簡単ではない。

心電測定については、ホルター心電計と呼ばれる可 搬型の小型心電計が普及している。ホルター心電計は 心臓疾患の診断のために開発された小型の装置であり、 胸部4カ所に貼り付けた電極から24時間連続して心電 を測定して記録する機能を有している。軽作業程度で あれば In Situ な測定も可能であるが、汗をかくような激 しい運動中での測定については想定されていない。

以上の様に、実際の場(In Situ)で脳波測定や心電測定のような生理評価を行うには困難性がある。衣服の快適性評価を行う立場からは、In Situ で生理評価が可能な研究ツールが求められており、ウェアラブルな測定デバイスに対する潜在的なニーズが存在したと云える。

3 フィルム状導電素材"COCOMI。"を 用いた衣服型のウェアラブルデバイス

3-1 フィルム状導電素材"COCOMI_®"

プリンテッド・エレクトロニクスの分野では、印刷技術ならではの材料自由度を活かして、従来のプリント配線、すなわち銅箔のエッチングや、熱硬化型の導電ペースト印刷では得られない特性を有する配線形成技術の開発が進められていた。伸縮可能な電気配線形成は、その一例である。

伸縮可能な電気配線を形成できる導電ペースト(以下、ストレッチャブル導電ペースト)をシート状に成型することにより、フィルム状で、かつ伸長時にも導電性が維持される導電層を得ることができる。"COCOMI®"は、このような伸縮可能な導電層と、同程度に伸縮可能な絶縁層とを組み合わせ、さらに片面に布生地に接着するためのホットメルト接着層を設けたストレッチャブルなフィ

ルム状導電素材である。

"COCOMI。"の総厚さは0.3mm程度と、エレクトロニクス分野では比較的厚い材料の範疇となるが、布地に適用する場合にはこの程度の厚さが必要となる。鋏で容易に裁断できる程度の柔軟なシートであるため、一般的なカッティングマシンを用いれば任意の形状にくり抜くことができ、安価なトムソン刃などでも打ち抜きが可能である。ホットメルト接着層は、一般のアパレル用途における芯地などの接着と同程度の接着性能となっており、家庭用アイロンや、アパレル用のホットプレス機で任意の布生地に容易に接着することができる。

接着層の反対側の層に特に絶縁層を形成しなければ、その部分を電極なり端子部として扱うことができる。単に配線として利用する場合には配線部に絶縁樹脂層を設ければ良い。したがって、電極部と配線部は単に表面絶縁の有無のみであり、電気的な接続部を設けずに電極、配線、端子を連続的に形成可能なため、大きな段差が生じない。図10にフィルム状導電素材"COCOMI®"の構成、図11に断面模式図、図12に実際の布地に接着した状態の断面写真を示す。

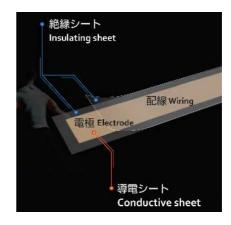


図10 フィルム状導電素材"COCOMI®"の構成



図11 フィルム状導電素材"COCOMI®"の断面図

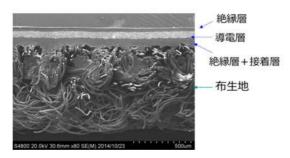


図12 フィルム状導電素材"COCOMI。"の断面写真

"COCOMI。"の導電層はストレッチャブル導電ペーストで形成されているため、印刷法を用いても同様の構成を実現することができる。単に電極と配線部を形成するだけなら、むしろ印刷法の方が適しているともいえる。しかしながら、衣服の縫製加工を行うアパレル工場は、有機溶剤を使用することが稀なため化学実験で用いるような換気装置などが設置されていないことが多く、印刷機や乾燥機の新たに導入には付帯設備の設置や消防法対応など、多くの課題がある。一方、"COCOMI。"を用いた加工であれば、アパレル工場の既存設備であるカッティングマシンやテキスタイル用のプレス機などで対応可能であり、設備投資は不要である。

3-2 "COCOMI®"を用いた心電測定用の 衣服型ウェアラブルデバイス

図13に心電測定用の電極と電極ーコネクタ間の配線に"COCOMI®"を用いた心電測定用の衣服型ウェアラブルデバイスの一例を示す。





図13 "COCOMI®"を電極と配線に用いた心電測定用衣服型 ウェアラブルデバイス(男性用シャツ) 左:表側から撮影 右:裏側から撮影

表側の脇下に見える帯は、胸部の周囲長をフィットさせるための面状ファスナーである。中央部に見える二個のスナップファスナーを電気的・機械的コネクタとして利用し、電圧測定及びトランスミッタなどとして機能する電子ユニットと接続することで、心電波形の測定が可能となる。電子ユニットとしては、例えばユニオンツール社のウェアラブル心拍センサ(商品名:myBeat)¹⁰⁾ などを使用することができる。図14に時速16km のトレッドミルでランニング中の心電位を、従来型のジェル電極と"COCOMI®"電極により同時測定した例を示す。

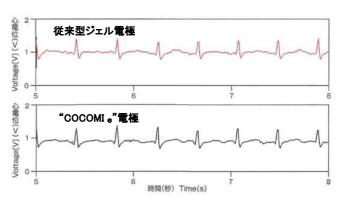


図14. 心電波形測定結果の比較

"COCOMI®"電極はいわゆるドライ電極であるが、従来の湿潤型であるジェル電極と同等の品位で心電位測定が可能であることがわかる。

"COCOMI®"を用いた電極は適度な伸縮性を有するため、複雑な形状を有する人体表面のカーブにフィットし、確実な電気的コンタクトを実現するため、心電測定、筋電測定などの生体電位の安定的な測定が可能となる。

4 "COCOMI。"を用いた ウェアラブルデバイスの応用例

図15に、"COCOMI_®"を用いたウェアラブルデバイスの例をさらに示す。

前述したように簡単な設備で電極と配線を形成できる ため、様々な場面で着用される衣服型のウェアラブルデ バイスを容易に準備することができる。以下、いくつかの 応用例について個別に詳解する。



図15 "COCOMI®"を用いたウェアラブルデバイスの応用例

4-1 アスリートのメンタルトレーニングのサポート

図16に、アスリート用に作製したウェアラブルデバイスの例を示す。





図16 アスリート用のウェアラブルデバイス 左:女性用スポーツブラ、 右:男性用コンプレッションシャツ

女性用ブラではアンダーバスト部の内側に"COCOMI®" を用いた心電測定用電極と配線が形成されている。男性用コンプレッションシャツには図7と同様の心電測定用電極と配線が内側に形成されている。

4-2 妊産婦の健康管理

図17に、妊産婦用のマタニティ・キャミソールの例を示す。アンダーバスト部分の内側に"COCOMI®"を用いた心電測定用電極と配線、さらに測定通信用の電子デバイスが装着されている。心電測定から自律神経活動指

標を求めて、周産期ストレスやうつ状態の客観的評価の 一助となる有効な手段と期待されている。



図17 妊婦用マタニティ・キャミソールの事例

4-3 動物(競走馬、家畜、愛玩動物)への応用

"COCOMI®"を用いた心電測定用電極は、体毛の多い動物の心電測定にも用いることができる。図18に競走馬のトレーニングに用いるために装着した例を示す。 鞍を馬体に取り付けるための革製のベルトに、ベルトカバー(図中の白破線のサークル部分)を被せ、ベルトカバーに"COCOMI®"を用いた心電電極、配線、測定と通信を行う電子ユニットを取り付けることにより、容易な着脱と馬体への確実な装着を実現している。



図18 競走馬への装着事例

図19には牛に心電測定用のベルトを装着した事例を 示す。乳牛や肉牛に装着することで心拍数などの生体 情報を常時計測し、牛の体調モニタリング環境の実現 への貢献が期待されている。

これらの他、愛玩動物である犬や猫に着用して生理状態を把握し、アニマルセラピーに活かす応用開発も進められている。



図19 牛への装着事例

4-4 筋電測定への応用

"COCOMI®"を用いた電極は同様に生体電位である筋電の測定にも適用可能である。図20に大腿部の筋電測定用電極を配置したウェア、図21に筋電の測定例を示す。心電位測定と同様、筋電測定においても従来型ジェル電極と同等の測定結果を得ることができる。



図20 筋電測定用ウェアの一例



図21 筋電測定用ウェアによる測定例

4-5 胸囲長変化(呼吸状態)測定への応用

"COCOMI。"に用いているストレッチャブルな導電層 2 層で、ストレッチャブルな絶縁層(誘電層)を挟んだ構造を形成すると、伸縮可能なコンデンサ素子となる。このコンデンサ素子は、変形により静電容量が変化するため、圧力や変位・変形のセンシングデバイスとして用いることができる。

コンデンサ素子をストライプ形状とし、伸縮可能なベルトないし着衣に取り付ければ体形変化を測定するウェアラブルデバイスを得ることができる。図22に、呼吸に伴って変化する胸部の周囲長を静電容量変化として測定した例を示す。

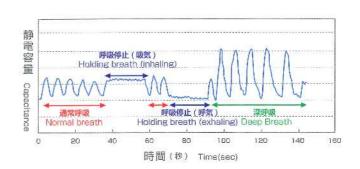


図22 胸部周囲長の変化(呼吸)の測定例

5 自律神経活動指標マップ(ANAIM)

5-1 心拍と脈拍

心拍は心臓の拍動であり、脈拍は手首などの抹消血管の脈動(圧力変動)である。拍動間隔の逆数が瞬時拍動数(心拍数ないし脈拍数)となり、いずれも一分間当たりの数 [BPM] で表される。

ここでは、心電信号のR波から得られる拍動を心拍、 手首などの脈動から得られる拍動を脈拍と呼ぶことにする。心拍数と脈拍数は心臓が正常に拍動していれば、 本来は同じである。しかし、心臓が正常に拍動している 健康な人が被験者であっても、実測値としての心拍数と 脈拍数は異なる場合が少なくない。主な原因は、検出 原理が異なることによる外乱要因の影響の差である。

代表的な脈拍計は、リストバンド型ないし腕時計型の ウェアラブル機器である。このタイプの脈拍計は長距離 走、自転車競技等の選手や愛好家に広く普及している。 脈拍検知手段としては、手首の動脈の血流量の変化を 光学的に読み取る方式が一般的である。検出される拍 動信号はかなりブロードな波形であるため時間軸の分 解能は高くない。加えて装着位置が運動に伴って激しく 動く手首であるために、検出器の位置ズレなどにより拍 動を読み飛ばして実際より少ない脈拍数が表示される こともある。

さらに脈波周期は呼吸や姿勢の影響を受けるため、 心電周期解析には不適であるという研究例もある。¹¹⁾

一方の、心電信号から得られる心拍においては、R波にみられる明確なピークを検出しているため心拍周期の変動を高精度・高分解能で取得することができる。

図23に、心電信号と光学式脈拍計から得られる脈波 信号の一例を示す。¹²⁾

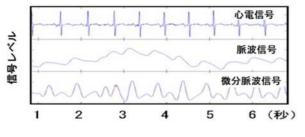


図23 心電信号と脈波信号の比較

5-2 心拍変動から求める自律神経活動指標

自律神経は、作用が相反する交感神経と副交感神経 から構成されている。交感神経は、活性時や緊張した 状態のときに優位に活動する神経であり心拍数を早め る働きを有する。一方の副交感神経は就寝時やリラック スしている際に働く神経であり心拍数を抑える働きを有 する。よって心拍数と、心拍の揺らぎを解析することにより交感神経と副交感神経のバランス状態を導くことができる。具体的には拍動間隔の時系列データをFFT(高速フーリエ変換)を用いて周波数軸のパワースペクトル密度に変換し、高周波数成分(HF)と低周波数成分(LF)に分離する。¹³⁾ このようにして得られた、

HFが副交感神経の活動指標(リラックス指標) LF/HFが交感神経の活動指標(ストレス指標) である。

FFT を行う元データは、周波数分解能に応じた長さの時間窓が必要である。元データの時間軸の分解能が低い場合には、より長い時間窓が必要となる。よって脈波信号を FFT する場合には時間窓を長くとる必要があり、瞬時的な自律神経活動指標を求めるのは難しい。

一方、心電信号であれば、比較的短い時間窓で自律 神経活動指標を求めることができる。

5-3 自律神経活動のリズム

一般に、交感神経は昼間の活動時に優位になり、副 交感神経は夜間や寝ているときに活動が優位になると されている。図24はRRIと自律神経活動指標を24時間 観察(各指標は30分間の平均値、成人 58 名の結果を さらに平均)した結果であり、定説が裏付けられている。

5-4 ANAIM:自律神経活動指標マップ

平均的に見れば、自律神経活動は24時間周期のリズムを有している訳であるが、私たちの日常生活活動の中において緊張状態とリラックス状態はより頻繁に入れ替わっているように感じる。

そこで、交感神経活動指標と副交感神経活動指標を XY 平面にプロットして図示し、短時間(1~3分おき程度)の周期でその動きを追跡すれば自律神経活動をより詳細に観察できると考えた。このようにすれば、前述した心理・生理マップと同様に、緊張ーリラックスの状態を心電情報のみから求めることができる。

ここでは、そのようにして得られた図を**自律神経活動 指標マップ**と呼び、英語の頭文字を使って **ANAIM** (Autonomic Nervous Activity Index Map)と略記する。

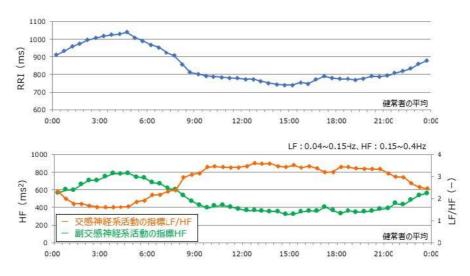


図24 自律神経の24時間の活動リズム

5-5 ANAIM の実測例 5-5-1 実験および解析手段

以下、実測データに基づく ANAIM の実例をいくつか 紹介する。

測定には皮膚接触電極に "COCOMI_®"を用いた衣服型ウェアラブルデバイスと、ユニオンツール社製の心拍センサ WHS-1 を用いた。さらにユニオンツール社製

のソフトウェア:RRI アナライザ(Ver 1.14)を用いて、得られた RRI データから、HF、LF を算出した。FFT を行う時間間隔は1分間とし、時間窓は過去3分間とした。

心拍センサ WHS-1 には温度計と3軸加速度計が内蔵されており、それらから得られた衣服内温度および3軸をベクトル和した加速度データも参考とした。

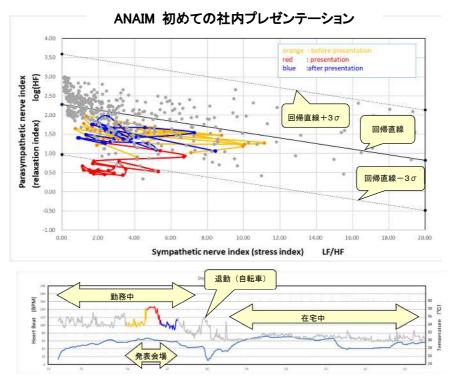


図25 ANAIM(自律神経活動指標マップ)の実例1 「初めての社内プレゼンテーション」

5-5-2 実例1「初めての社内プレゼンテーション」

図25は、弊社の一般社員が、社内発表会にて入社 以来初のプレゼンテーションを行った日の午後に取得 したデータから求めた ANAIM と、心拍数、衣服内温度 の時間推移である。

ANAIM 中、黄色のプロットがプレゼンテーション前待機中、赤がプレゼンテーション中、青がプレゼンテーション後の自席待機、他の灰色の点は当日14時ころから、帰宅後23時過ぎまでの前記以外のプロットである。心拍数の折線グラフとは線の色で対応している。

心拍数は、最初から比較的高いレベルにあり、プレゼンテーション前から緊張状態にあったことが伺える。プレゼンテーション中の心拍数はさらに上がり、140[bpm]を超えている。これはジョギング等の運動負荷を受けている際と同程度の心拍数である。心拍数はその後は低下し、帰宅後は70[bpm]前後まで下がって落ち着いている。

ANAIM 中の右下がりの実線は灰色プロットの回帰直線である。二本の右下がりの破線は、回帰直線+3σと

回帰直線 -3σ であり、ここに σ は回帰直線から各灰色プロットまでの距離の標準偏差である。

この回帰直線±3 σ で囲まれた領域が、当該社員の 普段の自律神経活動の99.7%信頼区間領域であり、 ここでは「正常域」と呼ぶことにする。プロットがマップの 左上にあればリラックス状態、右下にあればテンション 状態であるが、いずれの状態であっても自律神経が正 常に機能していれば、概ねこの正常域内にプロットされ ると考えられる。

プレゼンテーション前後の待機時間は心拍数は高い ものの、正常域内である。しかしプレゼンテーション中は 大部分が正常域から外れている。自律神経が正常に働 いている状態であれば緊張時のプロットは右下に移る はずであるが、左下に移動しているところから、少なくと も自律神経活動が正常では無い状態にあることが伺え る。極度の緊張により、自律神経のバランスが崩れ、失 調状態に陥ったものと解釈することができる。

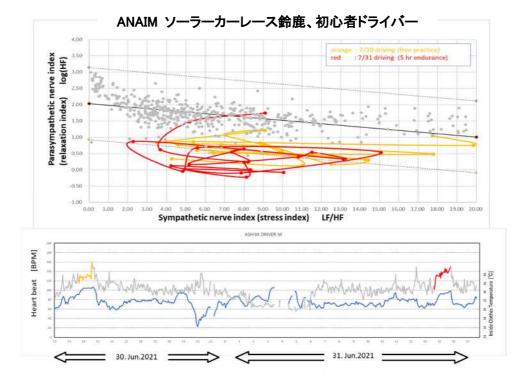


図26 ANAIM(自律神経活動指標マップ)の実例2「ソーラーカーレース鈴鹿、初心者ドライバー」

ANAIM ソーラーカーレース鈴鹿、熟練ドライバー Ashiya University Driver M green: 7/30 driving (free practice) 1st time (attack) anage: 7/10/briving (free practice) 1st time (attack) anage: 7/31 driving (Shr endurance 1st times) purple: 7/31 driving (Shr endurance last 20 minutes) black: 7/31 16:54 7/31 16:54 Ashiya University Driver M green: 7/30 driving (free practice) 1st time (attack) anage: 7/10/briving (free practice) 1st time (attack

図27 ANAIM(自律神経活動指標マップ)の実例3「ソーラーカーレース鈴鹿、熟練ドライバー」

5-5-3 実例2「ソーラーカー 初心者ドライバー」

図26は、ソーラーカーレース鈴鹿 2021 に出場した初心者ドライバーの二日間にわたって取得したデータから求めたANAIMと、心拍数、衣服内温度の時間推移である。図中の黄色が練習走行、赤色が本戦レース中のプロット、灰色は乗車時以外の時間帯のデータであり、灰色プロットを正常領域の母集団として扱い、前例と同様に信頼区間を求めて図示してある。

被験者は普段からスポーツカーを運転している20代の若い男性である。始めてのレーシングサーキットにおける自動車レースでは、普段とは要領が異なったようで、練習走行時、さらに本戦レース時の自律神経活動は正常域から大きく外れていることがわかる。

なお、ソーラーカーレース鈴鹿は、7月最終週か8月最初の週末の昼間に実施される。ソーラーカーのコクピットは、空気抵抗を最小化するため、ほぼ密閉された空間になり、コクピット内の温度は軽く40℃を超える。

5-5-4 実例3「ソーラーカー 熟練ドライバー」

図27は、ソーラーカーレース鈴鹿 2021 に出場した熟練ドライバーの二日間にわたって取得したデータから求めた ANAIM と、心拍数、衣服内温度の時間推移である。着色された部分が乗車中のプロット、灰色プロットが降車中のプロットであり、前例と同様に灰色プロットを正常領域の母集団として扱っている。

被験者は40代の男性で、アマチュアながら平素からモータースポーツに参加しているベテランである。一見して、初心者ドライバーと比較するとレース走行中も大部分は正常領域内で推移しており、概ね落ち着いてレースに集中している様子が伺える。図中の紫色と黒色のプロットは、レース終盤にライバルチームと激しい競り合いをしていた時間帯であり、正常域から逸脱しかけている様子が伺える。さらに図中の星印は、そのような競り合いの最中のレース修了10分ほど前に、車両の動輪が脱落するという車両トラブルが生じた時点を示している。然しものベテランドライバーも、相当動転した状態になったことが伺えるデータである。

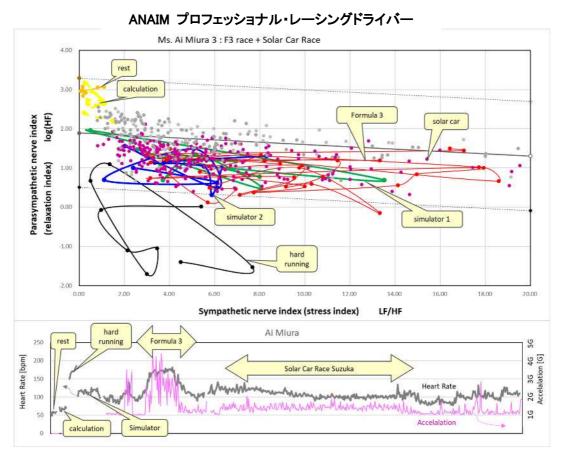


図28 ANAIM(自律神経活動指標マップ)の実例4 「プロフェッショナル・レーシングドライバー」

5-5-5 実例4「プロ・レーシングドライバー」

図28はプロフェッショナル・レーシングドライバー(20代後半の女性)の心電データから得た ANAIM、ならびに心拍数、測定中の加速度データの時間推移である。なお、異なる日に取得したデータをまとめてある。

図中オレンジは、実験室内で仰臥安静(10分間)時の、黄色は実験室内で単純な計算問題の反復(10分間)であり、いずれもANAIM左上のリラックスを示す領域にプロットされている。

図中の青色と緑色はドライビング・シミュレータでF3 (フォーミュラ3)レースを模した際のデータ、赤色は実際のF3レース中に取得したデータである。実際のF3レースの最高時速は250km/hrを超え、身体には4Gを超える加速度が加わる。レーシングカーのハンドルは極めて重く(パワーステアリングは装備されていない)、身体は五点式シートベルトで縛り付けられているに等しい状態である。心理的にも肉体的にも非常に苛酷な状態であり、心拍数も180程度まで上昇しているが、自律神経活動

は正常領域内で推移している。プロアスリートは、そのような苛酷な競技中でも自分自身の生理学的状態を律していることが理解できる。一方の、シミュレータは、身体自体は静止状態であり、加速度も加わらない。結果として心拍数は120程度までしか上がっていないが、自律神経活動的は、実施のレースと近い領域を推移しており、シミュレータとして心理面でのトレーニングとして十分機能していると解釈できる。

ソーラーカーレース鈴鹿での最高速度は 120km/hr 程度とF3レースに比較するとかなり遅い領域であり、身体に加わるGも小さい。しかし、2時間近く、密閉された狭いコクピット内で真夏の太陽を浴び続けながら、初心者ドライバーが運転する低速の他チームの車両を避けながら、同時に同程度の性能を有するライバルチームと競争するという、F3レースとは別の苛酷さがある。

ソーラーカーレースにおいても自律神経は正常域内 で推移しているが、個別のプロットの中にはF3レースよ り緊張側にある点があり、アマチュアドライバー主体の 競技にプロとして参加することで、かえって緊張している 様子が伺える。

黒色のプロットは実験室内のルームランナーにて10分間全力疾走した際のプロットである。自律神経は、明らかに正常域から逸脱して失調状態に陥っている。被験者本人の自己申告で「気持ちが悪くなり、倒れそうになった」というレベルまで身体負荷が加わった状態であり、心拍数も180前後まで上昇している。F3レースにおいてもレース終盤の心拍数は180前後に達しているが、ANAIMでは、自律神経の活動領域が全く異っていることが明確に示されている。この結果は、単純に心拍数のみで生理学的状態を判断することが適切ではないことを示している。

なお本例では、仰臥安静時、計算問題実施時、ならびにソーラーカーレースの日の非乗車時のデータを正常領域の母集団として扱った。

5-6 ANAIM 実測例のまとめ

以上、示した4つのANAIM実測例において、

- ・極度の緊張状態、あるいは
- ・高い身体負荷が加わった際

に、自律神経活動が正常領域から外れ、自律神経失調 状態に陥る様子を観察できることが示された。

紹介した結果は、蓄積された心電データを後日に解析して得られたものである。解析に要した時間窓は3分間であり、元データは衣服型ウェアラブルデバイスから無線経由で外部に送信されているため、原理的にはリアルタイムから3分程度の遅延にて ANAIM の描画が可能である。普段の生活シーンにおいて正常時のデータを取得しておき、着用時の自律神経活動状態と常時比較すれば、着用者の体調不良またはその前兆を遠隔で把握することが原理的には可能である。

6 まとめ

以上、繊維産業が衣服快適性を追求し、その過程で 快適性を評価する技術開発を行ってきたこと、快適性 評価のためのツールとしてウェアラブルな生理計測装 置が求められていたこと、人体形状にフィットすることが できる伸縮特性を有するフィルム状導電素材 "COCOMI®"を適用して、In Situ にて着用者の生理計測が可能な衣服型のウェアラブルデバイスが開発されたこと、また時間分解能の高い心電データであるがゆえに、光学式脈波計などに比較して、即時的に近い状態で着用者の生理学的状態を把握することができる例をANAIM(自律神経活動指標マップ)を用いて紹介した。

今後、高品質なバイタルデータ取得が可能な衣服型ウェアラブルデバイスが、アスリートのトレーニング、作業者の体調監視、高齢者などの見守りシステムなどに活用されることを願っている。

7 謝辞

心電データ取得にご協力いただきましたレーシングドライバー三浦愛様、芦屋大学ソーラーカープロジェクトの皆様、TEAM SUNLAKEの皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) https://www.toyobo.co.jp/discover/story/
- 2) http://osaka-jikkyou.sakura.ne.jp/80th.pdf
- 3) http://journal.vrsj.org/14-3/s24-27.pdf
- 4) 川端秀雄 風合い評価の標準化と解析 第二版 日本繊維機械学会 (1982)
- 5) https://www.ami-tec.co.jp/sesshokuatsukatarogu-A4.pdf
- $6) \ \ https://www.toyobo.co.jp/news/pdf/2008/06/press307.pdf$
- 7) https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1711/17/news014_2.html
- 8) 大山正 「色彩心理学入門」中央新書 中央公論新書 1994 より 引用
- 9) $https://www.jstage.jst.go.jp/article/fiber/64/12/64_12_P_436/_pdf$
- 10) https://www.uniontool-mybeat.com/SHOP/101970/list.html
- 11) Isabelle Constant et.al, Pulse rate variability is not a surrogate for heart rate variability, Clinical Science (1999) 97, 391-397
- 12) 佐野聡他「脈波センサを用いた眠気警報システムの開発」, DICOMO2014Symposium、Jul. 2014
- 13) $https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje/52/1/52_6/_pdf \\$

一般演題 A会場



A1 脳活動·脳機能【10:00~11:15】

座長:片山順一(関西学院大学)

- A1-1 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
- A1-2 定常視覚誘発電位を用いた日常的に使えるインタフェース開発 に向けた基礎検討
- A1-3 観察学習時における脳活動動態の検討
- A1-4 負荷強度の違いが運動開始時の脳血流動態に及ぼす影響
- A1-5 運動開始時における思考の違いによる脳活動への影響

A2 身体動作【11:20~12:05】

座長: 朝尾 降文(関西大学)

- A2-1 デジタルヒューマンを用いた人間工学設計のための 関節トルク比に基づく身体的負荷評価
- A2-2 座面駆動型起立支援システムにおける座面の速度及び角度 に対する支援効果の評価
- A2-3 筋骨格シミュレーションによる活動量の可視化

-	34	-
---	----	---

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

A Study of Brain Computer Interface Based on Steady State Visual Evoked Potentials Utilizing Spatial Information

〇宮崎康佑*, 荒木望*, 中谷真太朗**, 小西康夫* *兵庫県立大学 **鳥取大学

MIYAZAKI Kosuke*, ARAKI Nozomu*, NAKATANI Shintaro, KONISHI Yasuo *Graduate School of Engineering, University of Hyogo, **Tottori University

1. 緒言

タッチパネルやキーボードといった身体運動が必要となるインタフェースに代わり、脳活動から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(Brain Computer Interface:BCI)は筋萎縮性側索硬化症や麻痺といった自由に身体が動かせない患者へ向けた意思疎通の手段として期待されている. BCI に使用される脳活動の特徴量にはいくつか種類があげられるが、本研究では定常状態視覚誘発電位(Steady State Visual Evoked Potentials:SSVEP)を使用する. SSVEP は情報伝達率が高いといった利点がある一方で、モニタや利用者の体調面での問題から、使用できる刺激周波数には制限される.

これらの問題を解決するため、先行研究では注視点の左右に視覚刺激を配置し、刺激周波数の位置の組み合わせを変化させることで識別可能数を向上する手法¹⁾や視点と刺激位置に応じた SSVEP が誘発される特性を利用する手法²⁾が提案されている。また、先行研究³⁾では刺激位置と SSVEP 強度の分布について SSVEP 強度分布の関係について実験により調査を行った結果、視神経の接続とは異なる反応がみられた被験者が存在することが示されており、空間情報を応用した BCI の設計において、本現象の更なる調査が課題となっていた。

そこで本研究では、先行研究³⁾ に基づき、刺激パターンや実験条件を変更した上で同様の実験を行い、視点位置と刺激位置の間の SSVEP 強度の分布について詳しく調査するとともに、その結果を踏まえた空間情報を利用した視覚誘発電位に基づくインタフェースの提案を行う.

2. 注視点と刺激位置の SSVEP 強度分布の関係

2-1.実験条件

本実験の被験者は7名とした. 被験者はモニタか

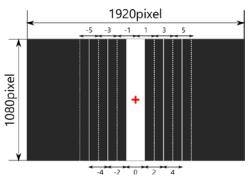
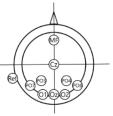


図1 視覚刺激概要





(a)実験風景

(b)電極配置

図2 実験概要

ら 60cm 離れた位置で、両目でモニタ中央の注視点 を注視する. この際、被験者の顔の中心がモニタ中 央となるよう顎台を用いて位置の調整を行った. 刺 激周波数は 16Hz とした. 刺激位置はモニタ中央を 刺激位置 0 とし、そこから左側に視覚刺激のモニタ 水平方向の中心座標を視野角 2° ずつずらしたもの を-1~-5,右側に視野角 2° ずらしたものを 1~5 と し、これを各刺激位置につき 1 度ずつ計 11 回提示 したものを1試行とし、これを5試行行った.図1 に実験1の概要図を示す. ここで各刺激は6秒間刺 激あり、3秒間刺激なしとし、試行間休憩は45秒と した. また, 各刺激について視線追跡装置(Tobii Pro ナノ, Tobii Technology)を使用し、被験者の注 視点への注視判別を行った. この際, 被験者が注視 していたと判定されなかった場合は再度同じ位置で 刺激が提示された. 脳波の計測には誘発脳波用皿電

極(NE-121J, 日本光電), 生体アンプ(AB-611J, 日本光電)を使用した.

電極配置は国際 10-20 法に基づき,後頭部左脳側 O1, PO3, PO7,後頭部右脳側 O2, PO4, PO8,後 頭部中央 Oz および頭頂部 Cz の計 8 チャンネルとし、リファレンス電極を左耳後ろ TP9 とした. また、鼻根から 12cm 後方中央の位置を MF としデータの計測を行った. ボディアースは右ひじとしサンプリング周波数は 1000Hz、増幅率は 10 万倍とした. 図 2(a)に実験風景、(b)に電極配置を示す.

本研究では、実験に際して兵庫県立大学工学研究 科倫理審査委員会の承認を得たうえで、被験者に対 して実験内容について十分な説明を行い、同意のも とで実験を行った.

2-2.実験結果

図3に被験者7名分の刺激位置と左脳側3チャン ネルと右脳側 3 チャンネル分の 16Hz における周波 数強度の関係について, エラーバーを不偏標準偏差 とした棒グラフで示す。図3から、注視点左側刺激 に対して右脳側,右側刺激に対して左脳側の強度が 高い結果が得られたことから、先行研究 2)と同傾向 の結果が見られた. 次に Position-1, 1 について左脳 側強度と右脳側強度に対して対応のある t 検定を行 ったところ、刺激位置-1において有意差が認められ た (p < 0.05). また、各被験者間においても対応の ある t 検定を行ったところ, 刺激位置-1 では7名中 4名,刺激位置1では7名中5名において有意差が 認められた (p < 0.05). 視野角 ± 4.5 °以内で注視点に 対して刺激位置を変化させた場合, SSVEP の発現 に明確な左右差が生じていることを確認した. また, 今回の測定条件の場合、刺激側と同側の SSVEP 強

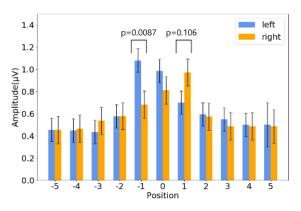


図3 被験者7名分の視覚刺激位置と左脳側,右脳側それぞれの刺激周波数における脳波の振幅 強度の関係

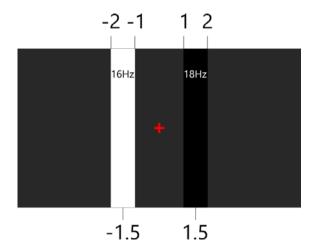


図 4 2 か所視覚刺激型 BCI の検証実験用 画面の一例

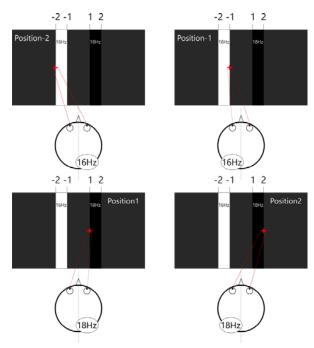


図 5 注視点位置と SSVEP 強度の反応予想

度が高くなることが明らかになり、本特性をインタフェースに応用可能であることが予想される。また、注視点からの距離が離れにつれて、SSVEP強度が低下する傾向があることも実験により確認される結果も認めらた。これより、SSVEPの強度により注視点を推定できる可能性がある。

3.空間情報に基づくインタフェースの検討

図1に示した実験の結果から、視覚刺激に対して 任意の位置を注視した際の注視点位置を SSVEP の 強度から推定できるインタフェースが設計可能であ ることが予想される. そこで、図4に示すような、 モニタ上の2か所に視覚刺激を配置した実験を行い 上記のようなインタフェースが利用可能であるか調査を行う. 本実験では, 16Hz と 18Hz の 2 種類の視覚刺激を配置し, 注視点を視覚刺激の右側あるいは左側, また 2 種類の視覚刺激の中央に配置する.

刺激位置と図 3 に示した SSVEP 強度分布の関係から,注視点が 16Hz 刺激左側に位置する際は,左 脳側チャンネルの 16Hz の SSVEP 振幅が大きくなり,注視点が 18Hz 刺激右側に位置しときには右脳側チャンネルの 18Hz の SSVEP 強度が大きくなるといった反応から, SSVEP 強度の周波数と強度分布の関係から,注視点の位置が推定可能であることが予想される. 注視点位置と SSVEP 強度の反応予想について図 5 に示す.

3-1 実験条件

本実験の被験者は6名とした.被験者はモニタから60cm離れた位置で、顔の中心がモニタ中央となるよう、顔の位置の調節を行った.視覚刺激はモニタ中央から左右それぞれに視野角±4°離れた位置に視覚刺激を配置した.ここで、モニタ中央に対して左側が16Hz、右側が18Hzの刺激である.注視点はモニタ中央を注視点位置0とし、モニタ上の位置7か所の中からランダムに配置し、これを1試行とし計5試行行った.ただし5試行中はじめ3試行は注視点位置を図4に示す中央を0とする座標で、-2から2の位置に注視点を配置した.残り2試行では注視点位置をずらした際のSSVEP強度の変化の分布調査を目的として、はじめ3試行分の注視点の間となる位置に注視点を配置した.

実験は6秒間刺激有り、3秒間刺激なしとし、刺激なし3秒間のうち1.5秒で次の注視点へ視点の移動を行うよう被験者へ指示を行った. 試行間休憩は45秒とした.

電極配置や計測条件は注視点と刺激位置の SSVEP 強度分布の関係と同様である. 得られたデータは各チャンネルから, 前頭部 MF のデータを除した後, データ数 2000点, オーバラップ 1900点とし, 離散フーリエ変換を行ったものを 41点加算平均し, 解析を行った.

3-2 実験結果

図 6 および図 7 に本実験で代表的な反応を示した 被験者 S1 の周波数解析結果を示す. ただし, 両図 とも黒の破線は 16Hz および倍周期の 32Hz の位置を

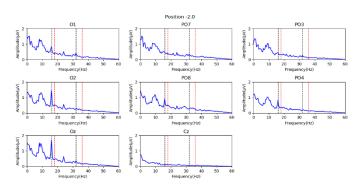


図 6 注視点位置-2 における周波数解析結果

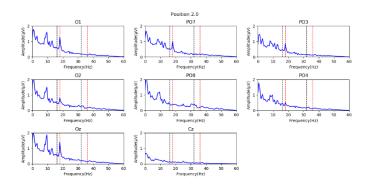


図 7 注視点位置 2 における周波数解析結果

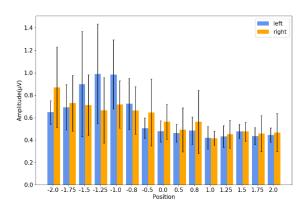


図 8 被験者 6 名分の注視点位置と 16Hz 周波数 強度の関係

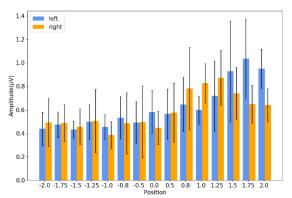


図 9 被験者 6 名分の注視点位置と 18Hz 周波数 強度の関係

表し、赤の破線は18Hzと36Hzを表す。両図から、注視点位置-2では16Hzの視覚刺激が注視点右側に位置することから、左脳側に対して右脳側3チャンネルで16Hzの周波数強度が高いことが確認された。また、注視点左側に18Hzの視覚刺激が位置する注視点位置2では、左脳側3チャンネルにおいて18Hzの周波数強度が強い結果から、反応予想に基づく結果が得られた。

次に、図8および図9に5試行中の注視点の全位 置と 16Hz, 18Hz の周波数強度の関係について被験 者 6 名分の解析結果をエラーバーを標準偏差とした 棒グラフで示す. ただし, 図 8 は 16Hz の周波数強 度であり, 図 9 は 18Hz の周波数強度を示す. また, 両図とも横軸は注視点位置,縦軸は周波数強度を表 す. 本結果から 16Hz 中央刺激 Position -1.5 および 18Hz 中央刺激 Position 1.5 を境界として、SSVEP の 左脳側,右脳側強度の大小関係が入れ替わっており, 同側において SSVEP 強度が高い結果が得られたこ とから図3に示した結果と同じ結果が確認された. また、図8、図9からPosition0において左脳側、右 脳側の SSVEP 強度に明瞭な差異が認められなかっ た. これは、Position 0 が左側 16Hz 刺激および右側 18Hz 刺激から、視野角で±4°以上離れた位置に配 置されたためであると考えられ、Position 0 におい ても図3の結果から予想される反応が得られた.

以上の結果から、2種類の異なる周波数の視覚刺激を使用することによって、SSVEPに基づくBCIの識別可能数向上が可能であることが確認された.

4.結言

本研究では、視点に対して刺激位置を変化させたときのSSVEPの強度分布から、刺激位置とSSVEP強度の関係についてと調査を行った。その結果片側刺激に対して同側でSSVEP強度が強くなることが確認された。本特性は従来の空間情報利用型インタフェースで利用されている反応とは逆の反応であり、空間情報利用型インタフェースの設計の際に考慮に入れるとともに、今後更なる調査が必要であると考えられる。また、右脳側、左脳側強度は注視点に対して約±4.5°以内において、明瞭な差異が認められる結果が得られた。

本結果を踏まえ、空間情報と用いたBCIを設計 し実験により確認を行ったところ、SSVEPの強度 値から利用者の視点位置を推定できるようなインタフェースが利用できることが期待される結果が得られた.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19K04298 の助成を受けた ものです.

- Y.Punswad et al., A multi-command SSVEP-based BCI system based on single flickering frequency halffield steady-state visual stimulation ,Med Biol Eng Comput,pp965-977,2017
- A.Maye et al., Utilizing Retinotopic Mapping for a Multi-Target SSVEP BCI With a Single Flicker Frequency, IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGIN-EERING, VOL 25, NO.7, pp 1026-1036, JULY 2017
- 3) 菅野将輝 ほか:"視点に対する視覚刺激位置 と視覚誘発電位発生部位に関する検討",2019 年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集

定常視覚誘発電位を用いた日常的に使えるインタフェース開発に向けた 基礎検討

A Basic Study on a Development of Interface Using Steady-State Visual Evoked Potentials for Everyday Life

〇松野佑哉*, 大須賀美恵子*, 吉岡直人**, 木場 晏也* *大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部 **大阪工業大学大学院ロボティクス&デザイン工学専攻

MATSUNO Yuya*, OHSUGA Mieko*, YOSHIOKA Naoto**, KOBA Haruya*

* Faculty of Robotics and Design, Osaka Institute of Technology
** Graduate School of Robotics and Engineering, Osaka Institute of Technology

1. はじめに

ブレインコンピュータインタフェース (BCI: Brain Computer Interface)の研究は,筋ジストロフィーや筋萎縮性側索硬化症患者などのコミュニケーションを目的とした研究から始まり $^{1)}$,日常生活支援に発展し,研究に数多く取り組まれてきた $^{2)}$.最近では簡便なデバイスの発達とともに健常者を対象とされ,AR(拡張現実)グラスを用いた家電制御も試みられている $^{3,4)}$.BCI の手法は多々あるが判別精度や信号伝達速度の点から,定常視覚誘発電位(SSVEP:Steady State Evoked Potential)が優位でこれを用いた研究が圧倒的に多い $^{2)}$.

BCIの日常生活への普及には、簡便に利用でき身体的・精神的負担が少ないことが挙げられる. SSVEPを用いる際には脳波計測が必要であり、で非接触計測は行えないため、装着が簡便な体動などによるノイズ耐性のある電極や装着方法・解析方法が必要となる. さらに、視覚刺激を用いる SSVEP では周期的に変化する刺激に対する不快感・精神疲労や光過敏性てんかんやのリスクもあり²⁾、刺激のパターンや色,周波数による負担の違いが検討されている⁵⁾.

そこで、我々は、SSVEP は生じやすいがリスクの高い周波数帯域 (3~15 Hz) を避けて、中帯域の周波数 (20~40 Hz) を用いることと、選択回数を減らすために、ユーザの立ち位置と顔や視線方向の情報を併せて用いることを特徴とするインタフェースをめざすことした。中帯域周波数に対する SSVEP の出現は、LED や CRT を提示装置に用いたものは研究が

数多くあるが ^{1,6}, LCD を用いたものは少なく, HMD, AR グラスでは公知になっていない. そこで, HMD に中帯域周波数の刺激を提示して SSVEP が得られるかどうかを確認する基礎検討に着手した.

2. 提案コンセプト

日常生活で家電や環境機器の操作ができる AR グラスと SSVEP を用いたメニュー選択型のインタフェースを提案する. ユーザは AR グラスを装着して、部屋の好きな場所にいて操作対象のコントローラの方を向く. 顔(頭)の向きと視線方向から操作対象を推定し、AR グラスの部屋の映像に重畳して操作メニューを提示する. 操作メニューは 2~6 択とし、20~40 Hz のうち異なる周波数の正弦波上に輝度が変化する刺激とする. ユーザは希望する操作の刺激を注視、システムは SSVEP が優位に出現した周波数から選択刺激を判定し色を変えるなどして提示する. OK と解除のメニューを提示し、OK が選択されたら次階層に進む. 判定精度が向上すれば判定の確認なしで、次の階層に戻るという選択肢をつけてもよい. 概要を図 1 に示す.



図1環境機器制御システムのコンセプト図

3. 基礎検討

HMD を用いて Unity で作成したバーチャル空間

内に視覚刺激を提示し SSVEP を得る実験を行う. 実験 1 は SSVEP の出現の確認,実験 2 はメニュー選択の可能性の検討を目的とした.

実験は、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 2021-57).

現段階では、実験参加者はインフォームド・コンセントを得た若年成人 2 名である. 電極装着帽子 (ElectroCap 社), 生体アンプ(Polymate, ニホンサンテク社)を用いて、 C_Z をレファレンスとしれ O_1 , O_2 の脳波を測定した. HMD は Oculus rifts を使い、シンプルな部屋の視野の中央に正弦波で輝度変調した光刺激を提示した. 実験風景と提示刺激の例を図 2 に示す. 実験 1 では、刺激周波数は $20 \cdot 24 \cdot 28 \cdot 35 \cdot 38 \cdot 40$ Hz の 6 種類、バーチャル空間内での刺激までの距離を 2 種類とし、1 分間注視させた.





図2 実験風景(左)と実験1の提示刺激(右)

SSVEP はスペクトル解析よりも感度のよい平均加算法で定量化した. 第1実験では,1秒分を1フレームとし,各刺激周波数±1Hz のバンドパスフィルタをかけて加算平均した.この結果,20Hz に対する SSVEP が特に大きく,24,28 Hz は比較的安定して出現し,35 Hz 以上は不安定で低振幅ではあるが出現することがわかった.同時に,注視を求めるだけで実験参加者の注意集中の維持が難しく, α 帯域の自発活動大きくなると,SSVEP 成分が見られなくなること,20 Hz の刺激は α 帯域成分の増強(引き込み)が生じている可能性が示唆された.

第2実験では、24~38 Hz、2Hz 刻みの8種類の周波数から2つずつ選んだ28ペアの刺激を左右の視野に提示した.左右の刺激の中央に赤か青の注視点を提示し、選択すべき刺激を色で指定して、注視するよう教示した.1試行は、選択刺激の指示(2秒)-刺激提示(5秒)-休憩(3秒)の10秒とし、刺激位置(左右)と色の組み合わせを変えて、28×4試行を20セッションに分けて実施した.提示刺激の例を図3に示す.





図3 実験2の提示刺激: (左)刺激画面(右)

SSVEP は、0.5 秒分を1フレームとし10フレーム(5 秒分)を加算して定量化した。SSVEPの平均振幅が大きい方が選択されたとして評価したが、結果はチャンスレベルを超えなかった。ただ、刺激周波数に応じた SSVEP が生じ判別が容易な試行(一例を図4に示す)も複数あり、この周波数帯域を用いることができる可能性は示された。

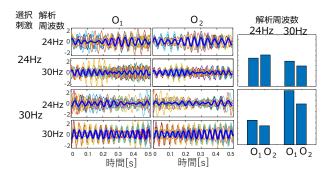


図4 実験2での成功例

4. おわりに

今後、実験参加者数を増やして、利用できる刺激 周波数を検討するとともに、SSVEPが生じやすく疲 労が生じにくい刺激パターンの選定も行う. その上 で、リアリティの高いバーチャル空間での機器操作 インタフェースの実現可能性を示し、その後、AR グ ラスへの実装を検討したい. 日常生活での利用を実 現するには、脳波計測用のドライ電極の利用と負担 の小さい装着方法の開発も必要である.

- Zhu D. et al.: A Survey of Stimulation Methods Used in SSVEP-Based BCI, Computational intelligence and Neuroscience, Vol.2010, Article ID 702357 (2010).
- Zhang Y. et.al.: Data Analytics in Steady-State Visual Evoked Potential-based Brain-Computer Interface: A review, IEEE Sensors J, 21(2), pp.1124-1138 (2021).
- Park,S, et al.: Development of an Online Home Appliance Control System Using Augmented Reality and an SSVEP-Based Brain-Computer Interface, IEEE Access, Vol.7, pp. 163604-163614 (2019).
- Zheng, X., et al.: Comparison of the performance of six stimulus paradigms in visual acuity assessment based on steady-state visual evoked potentials, Ophthalmologica, 14, pp.237-251 (2020).
- Putze, F.: Augmented Reality Interface for Smart Home Control using SSVEP-BCI and Eye Gaze, 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.2812-2817 (2019).
- 6) 棒谷英法,他: 定常視覚誘発電位を用いたメニュー 選択インタフェースの識別アルゴリズムの提案,人 間工学,53(1),pp.8-15 (2017).

観察学習時における脳活動動態の検討

Consideration of brain activity dynamics during observational learning

〇松田千裕*, 久保博子**, 中田大貴**

*奈良女子大学大学院 人間文化総合研究科 心身健康学専攻、**奈良女子大学

Chihiro Matsuda*, Hiroko Kubo**, Hiroki Nakata**

*Nara Women' University grad school, ** Nara Women' University

【 I. 緒言】

新たな運動スキルは、身体的な練習を通してのみ ならず、熟練者などの他者の動きを観察することに よっても獲得できる。このように、観察することで 運動学習が進むことを観察学習という。いくつかの 先行研究では、運動パフォーマンスの向上にも観察 学習が寄与することを示している。経頭蓋磁気刺激 を用いて観察学習について検討された先行研究では、 観察学習の過程とともに皮質脊髄路の興奮性が下が ることが報告されているり。ヒトが他者の動きを観察 する際には、脳内における Action Observation Network とミラーニューロンシステムが関係してい ると考えられている2-4が、これらの領域における神 経活動動態については未だ議論されている。また、 バレエや野球などの長期間の身体的トレーニングや 経験に基づいて Action Observation Network やミラー ニューロンシステムを評価している先行研究は報告 されているが、短期間・短時間における観察学習は 評価されていない。

そこで本研究では、近赤外線分光法を用いて手の ポーズを覚えて再現するという観察学習時において 関与する運動前野 (PM)・一次運動野 (M1)・頭頂連 合野 (PPC) の脳活動動態を検討した。脳内で神経活 図1. 観察試行時の様子 動が起こると、動脈血を供給する調節機構が働き、 活動神経近傍では血流量・血液量が増え、血液の酸 素化状態が変化する。近赤外線分光法はこの時の酸 素化ヘモグロビン濃度と脱酸素化ヘモグロビン濃度 の変化を相対的に計測する。これらの動態を検討す ることで、観察学習時における脳内神経メカニズム の一端を明らかにすることを目的とした。

【Ⅱ. 方法】

・被験者

一般成人女性 28 名 (平均年齢 21.3±1.4 歳) を対象 とした。被験者は全員大学生、または大学院生であ った。被験者には事前に実験について説明を十分に 行い、同意を得た上で実験を行った。また、本実験 は奈良女子大学研究倫理審査委員会の承認を得て行 った。

• 課題

10 秒の静止画 (安静) と 20 個の右手のポーズが 表示される 30 秒の動画 (観察)、その後また 10 秒の 静止画(安静)のブロックを3回繰り返した計2分 半の動画を見る観察試行と、覚えたポーズを左手で 再現する再現試行を実施した。それぞれの試行を 1 セッションとし、8 セッション繰り返した。観察試 行のうち安静時には手を動かさないように、安静時 には反芻しないように教示し、再現試行においては 覚えた手のポーズを「1、2、3~」と声に出してもら いながら行うように教示した。





図2. 再現試行時の様子

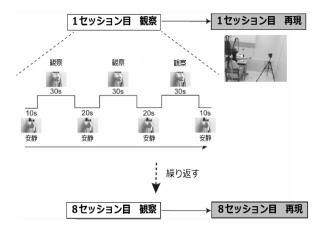


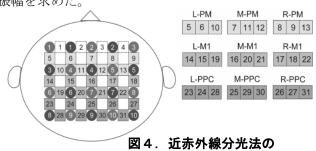
図3. 実験プロトコル

・行動指標

覚えた手のポーズが正確に再現できていたら1点、 再現できていない、もしくは覚えていなければ0点 とし、各セッションを20点満点とし、手の再現数を 点数化した。

• 近赤外線分光法

頭部に送光プローブ 10 個と受光プローブ 10 個を 装着した。各プローブ間の 31 個のチャンネルのうち 27 個のチャンネルを 3 つずつ (左・正中・右)、9 つ の対象領域に分けて分析した。各領域の 3 チャンネ ルを平均し、動画開始後 5~30 秒間のデータの平均 振幅を求めた。



プローブ配置と対象領域

【Ⅲ. 結果および考察】

<u>・行動指標(再現数)</u>

セッションを重ねるごとに増加していったが、それ以降は同様の増加はみられなかった。

⇒多くの被験者では5セッション目までに手のポーズをほとんど覚えることができていた。

・酸素化ヘモグロビン濃度

運動前野においては、セッションの主効果がみられ、5 セッション目以降、酸素化ヘモグロビンの平均値は低下したが、一次運動野と頭頂連合野においては、有意な主効果と交互作用はみられなかった。また、それぞれの対象領域と再現数との相関解析を行った結果、左脳半球の運動前野と右脳半球の運動前野において有意な負の相関がみられた。

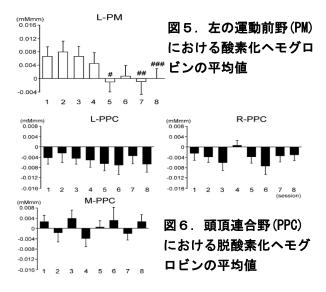
⇒観察学習には運動前野の脳活動が関与している可能性がある。

・脱酸素化ヘモグロビン濃度

頭頂連合野においては、側性の主効果がみられ、 左脳半球と右脳半球の頭頂連合野の方が正中の頭頂 連合野よりも有意に小さかったが、運動前野と一次 運動野においては、有意な主効果と交互作用はみら れなかった。また、どの領域においても再現数との 有意な相関はみられなかった。

⇒観察学習における運動前野・一次運動野・頭頂連合野の機能が異なる可能性ある。

⇒頭頂連合野ではその側性によっても観察学習における機能が異なる可能性がある。



【IV. 結論】

- ・再現数は5セッション目以降ほとんど伸びず、多くの被験者は5セッション目までで観察学習ができていた。
- ・運動前野において、酸素化ヘモグロビンの値の減少と左・右脳半球の運動前野における再現数との負の相関から、観察学習には特に運動前野の神経活動が関与していると考えられた。
- ・一次運動野において、酸素化ヘモグロビンの値の 変化はみられなかった。
- ・頭頂連合野において、側性による脱酸素化ヘモグロビンの値の変化の違いから、頭頂連合野では側性によって観察学習における役割や機能が異なると考えられた。

【V. 参考文献】

- 1) Sakamoto M, Moriyama N, Mizuguchi N, Muraoka T, Kanosue K: Modulation of corticospinal excitability during acquisition of action sequences by observation, PLoS One, 7, e37061 (2012).
- 2) Grafton ST: Embodied cognition and the simulation of action to understand others, Ann N Y Acad Sci, 1156, 97-117 (2009).
- 3) Rizzolatti G, Cattaneo L, Fabbri-Destro M, Rozzi S: Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding, Physiol Rev, 94, 655-706 (2014).
- 4) Mizuguchi N, Nakata H, Kanosue K: The right temporoparietal junction encodes efforts of others during action observation, Sci Rep, 6, 30274 (2016).

負荷強度の違いが運動開始時の脳血流動態に及ぼす影響

The Effects of the Exercise Intensity on Cerebral Hemodynamics at the Start of Exercise

〇山本恵子*, 牧井美波*, 久保博子*, 芝﨑学* *奈良女子大学

YAMAMOTO Keiko*, HIRAI Minami*, KUBO Hiroko*, SHIBASAKI Manabu*

*Nara Women's University

1. 背景

運動時の循環応答には、負荷強度や持続時間などの 運動要因、寒暖や気圧などの環境要因、駆け引きや 声援などの社会的要因など、様々な要因が影響する。 運動をすると活動筋からの酸素需要により、心拍 や血圧の上昇が促される¹⁾。また、運動に対する 意思はセントラルコマンドとして、運動開始前か ら循環機能を亢進させる²⁾。

心拍出量の増加や血中の二酸化炭素分圧は脳血流 量調節に影響するが、脳神経活動を変化させる思考 状態の変化によっても脳血流量は変化すると仮説を 立てた。例えば、運動強度が増加する場合にはポジ ティブな志向として脳活動は増加し、脳循環動態も 亢進すると予測される。しかし、運動強度や課題難 易度による志向が脳血流動態にどのような影響を及 ぼすのかは定かでない。また、思考の変化による脳 血流の変動はわずかであるため、検出が容易でない のかもしれない。

本研究では、運動強度と課題難易度の違いが運動開始時の脳活動に及ぼす影響について、複数回の試行の加算平均によってわずかな脳血流動態の変化を捉え、脳の酸素化動態に着目して検討することを目的とした。

2. 方法

健康な若年男女 16 名を対象とし、脳酸素化動態 (Oxy-Hb)、筋電 (EMG)、中指動脈血圧 (MAP)、 および心拍数 (HR) を測定した。

運動開始時の脳活動を評価するために、刺激始動性の前腕掌握運動(IHG)を行った。負荷強度は最大掌握運動(MVC)の30%と50%の2種類とし、課題難易度を変化させるために30%MVC強度を指示するバーの幅を狭くした30%Dを設けた。被験者は、

3 種類 (30%、50%、30%D) の IHG をランダムに 7 試行ずつ、約 10 分間で計 21 回行った。1 試行の 内訳は、5 秒間の安静、運動準備の合図の表示 2 秒 後に、運動開始の合図を表示して 10 秒間の IHG を 保持し、その後 10 秒間の回復期を設けた。

また、疲労による志向の変化を生じさせるため、末梢性疲労負荷として 40%MVC の前腕掌握運動を、5分間で100回繰り返す運動を2回ずつ行った。始めに刺激始動性運動を2回実施した後、末梢性疲労負荷と刺激始動性運動を交互に4回ずつ実施した(図1)。



IHG:刺激始動性運動 F:末梢性疲労負荷課題

図 1 実験プロトコル

NIRS は島津製作所光脳機能イメージング装置 FOIRE-3000 を用いて、国際 10-20 電極法に基づく Cz を基準に、縦 4 列×横 5 列の合計 20 プローブを 装着し、31 チャネルの測定を行った。測定した Oxy-Hb は、左右の運動前野 (PM)、運動野 (M1)、頭頂連合野 (PPC) のエリアに相当する各 4 チャネルず つを平均して評価した(図2)。

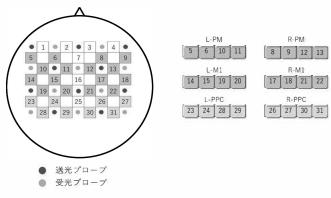


図 2 測定チャネルと該当脳部位

3.結果

3-1.運動強度、課題難易度

図 3 は左側(L)の 1 次運動野(M1)の Oxy-Hb を示した。運動 2 秒前に提示された負荷内容の時点を 0 秒とし、提示前 5 秒間と 10 秒間の運動、そして運動終了後 10 秒間の反応を示した。

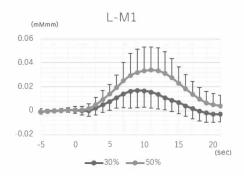


図 3 1 試行における Oxy-Hb の変化量(L-M1)

例示部位だけでなく、いずれの部位においても、 Oxy-Hb は運動強度による差が認められたが、部位 差や左右差は見られなかった。また、課題難易度に よる差も見られなかった。

運動指示から運動終了までの 12 秒間の最大値を比較したところ(図 4)、すべての部位において運動強度による差が認められたが、課題難易度による差は認められなかった。また、EMG、MAP、および HR も運動強度による差は認められたが、課題難易度による差は認められなかった。

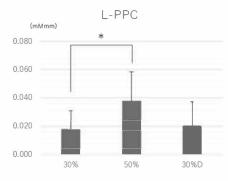


図 4 運動指示後 12 秒間の Oxy-Hb の最大値(L-PPC)

3-2.末梢性疲労

30%,50%,および30%Dのいずれも、すべての部位において、時間経過と末梢性疲労によるOxy-Hbの増大が認められた。30%では両側のPPCにおいて、末梢性疲労と時間経過による交互作用が認められたが、50%では交互作用は認められなかった。30%Dでは、R-M1と両側PPCにおいて、末梢性疲労と時間経過による交互作用が見られた。また、EMG、MAP、およびHRは相対運動強度に依存して増加した。

MVC は疲労負荷後に低下したため $(41.3\pm10.5 \text{ kg})$ to $26.6\pm19.2 \text{kg}$ 、相対運動強度は 30%から 47%に、 50%から 78%に増加した。

運動指示から運動終了までの 12 秒間における Oxy-Hb の最大値は、相対運動強度に依存して増加した。また、L-PM と両側 M1,PPC では 30%において、R-PPC では 50%において、末梢性疲労による有意差が見られた(図 5)。

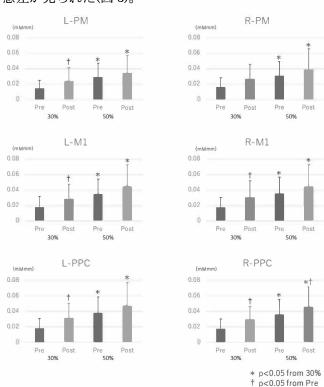


図 5 運動指示後 12 秒間の Oxy-Hb の最大値(疲労前後の比較)

4. 考察

運動強度の違いと末梢性疲労によってOxy-Hb動態に差が見られたことから、負荷強度の増加によって運動開始時の脳血流が増加する可能性が示唆された。運動強度の増加に伴う志向の変化が、脳循環動態の賦活に貢献していると考えられる。

- 1) Mueller PJ, Clifford PS, Crandall CG, Smith SA, Fadel PJ: Integration of Central and Peripheral Regulation of the Circulation during Exercise: Acute and Chronic Adaptations, Compr Physiol 8,103-151(2018).
- 2) Williamson JW: The relevance of central command for the neural cardiovascular control of exercise, Exp Physiol. 95(11), 1043–1048(2010).

運動開始時における思考の違いによる脳活動への影響 Effect of different thinking at the start of exercise on brain activity

〇牧井美波*, 山本恵子*, 久保博子*, 芝﨑学* *奈良女子大学

HIRAI Minami*, YAMAMOTO Keiko*, KUBO Hiroko*, SHIBASAKI Manabu*

*Nara Women's University

1. 目的

運動パフォーマンスは、身体的要因や心理的要因など様々な要因に左右される。脳神経活動を変化させる思考状態もその一つであると考えられる。例えば、運動開始のタイミングを予告されてから運動を開始する場合と、予告なしに運動を開始する場合では、前者には運動戦略の時間があり、それに伴う脳活動が発現する。運動予告があると、その活動を反映しているとされる脳波事象関連電位の随伴陰性変動(CNV)から脳活動を評価することができる1.2%。

このような脳活動は、神経活動に伴って血流が変 化するニューロバスキュラーカップリングの関係か ら、運動開始に向けて脳循環動態にも影響すると考 えられる。近赤外線分光法 (NIRS) は、酸素化およ び脱酸素化ヘモグロビンの変化を非侵襲的に測定す ることで、神経活動に伴う脳循環動態を評価するこ とができる3)。NIRSを用いた先行研究において、任 意で運動を開始した場合にみられる酸素化ヘモグロ ビン (OxyHb) の増加は前頭前野では認められるも のの、運動準備に関わる運動前野や補足運動野では 変化がみられなかったことが報告されている 4)。認 知・実行機能を反映する前頭前野の活動はストレス に対して大きく反応を示すが、運動関連領域である 運動前野や補足運動野などの運動開始時における脳 活動の変化は小さいため、試行を繰り返すことで反 応がみられるかもしれない。

負荷強度や運動の難易度による運動時における思 考状態は、筋出力調節のために運動関連領域の活動 にも影響を及ぼすと思われる。さらに、繰り返しの 運動になると、感覚野からの情報も関与し、提示さ れる運動内容によって活性化レベルが異なると予測 される。

そこで、本研究では、運動開始時における脳活動の変化を脳波事象関連電位および脳の酸素化動態から評価し、予告の有無や運動強度、難易度による影

響を検討することを目的とした。

2. 方法

健康な若年男女を対象に、前腕掌握運動 (IHG) の CNV、OxyHb、中指動脈平均血圧 (MAP)、および心拍数 (HR) を測定した。

運動開始時における思考の違いによる脳活動への影響を評価するため、予告刺激と命令刺激(前者の2秒後)を用いた刺激始動性のIHGと、命令刺激のみを用いたIHGを別日に実施した。IHGの負荷強度は、実験開始前に測定した最大随意収縮力の30%と50%とし、目標バーを幅の異なる2種類(難試行をDとする)呈示することで課題の難易度を示した。30%、50%、および30%Dをランダムに7回ずつ約10分間を1セットとし、脳活動における小さな変化を追うため最大4セット実施し加算平均をした。

脳波は、国際 10-20 電極法に従い Fz、Cz、Pz、C3、および C4 に電極を装着した。また、命令刺激が呈示されるまでの 1500 ミリ秒間を early、middle、および late 03 つの区間に分け、解析を行った。

OxyHb は、Cz を基準に合計 31 個のチャンネルでデータを測定し、左右の運動前野 (PM)、運動野 (M1)、および後頭頂葉 (PPC) の 6 つのエリアに分けて解析を行った。

3. 結果

3-1. CNV

CNV の振幅は、いずれの運動強度、難易度の場合でも、先行研究と同様に、予告刺激によって運動開始に伴う神経活動の増大が認められた(図 1)。一方で、運動強度や難易度による差は認められなかった。

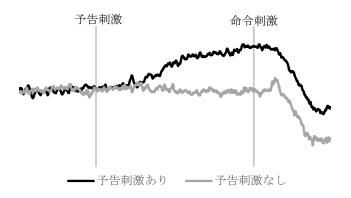


図 1. 脳波 変化例 (30% Cz)

3-2. OxyHb

OxyHb は、前腕掌握運動によって増加し、予告刺激の有無に関わらず運動強度による差は認められたが、運動の難易度による差は認められなかった。また、運動強度 50%においてのみ予告刺激の有無による差が認められた(図 2)。

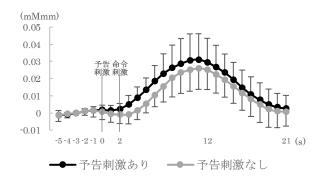


図 2. OxyHb 変化例 (50% Right-M1)

3-3. MAP, HR

MAP および HR は、運動強度に依存して増加したが、運動の難易度による影響は受けていなかった。また、HR においてのみ予告刺激の有無による差が認められ、予告刺激のある場合には運動開始に伴う増加が早くなった。

4.考察

本研究の脳波事象関連電位の結果において、予告 刺激が呈示されない場合には、運動準備を反映する 神経活動は見られなかったことから、予告刺激によ って運動準備が生じていることが示され、運動開始 時における予告刺激の有無による思考の違いは、脳 活動に影響を与えることが示された。先行研究では、 運動強度によって振幅が変化することが報告されて いるがり、CNV が反映するものにはいくつかの疑問 点も報告されている の。後者の総説における否定的 な要因から、本研究では、2 種類の負荷強度とタスクの難しさが混在したために、その差が見られなかった可能性も示唆された。

一方、OxyHb は運動強度による差が認められたが、 予告刺激の有無は高強度においてのみ差が認められた。また、OxyHb においてもタスクの難しさによる 差は認められなかった。これらの結果は、エフォートを必要とする運動強度が強いほど運動開始に伴う 脳活動が循環応答の促進に貢献している可能性が示された。

5.まとめ

運動開始時には、予告が呈示されることにより運動準備を反映する脳活動が生じることが示された。 また、負荷強度による思考の違いは、循環応答にの み影響を及ぼし、運動戦略として運動準備に関わる 反応を促進することが示された。

- 1) 白石孝之、杉本和彦: 随伴陰性変動 (CNV) の意 義と臨床応用, 耳鼻臨床, 補 41, pp.94-101 (1991).
- 2) Sakamoto K, Nakata H, Honda Y, Kakigi R: The effect of mastication on human motor preparation processing: A study with CNV and MRCP, Neuroscience Research, 64, pp.259-266 (2009)
- 3) Valentina Q, Marco F: Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) for Assessing Cerebral Cortex Function During Human Behavior in Natural/Social Situations: A Concise Review, Organaizational Research Method, Vol.22(1), pp.46-68 (2019)
- 4) Ishii K, Liang N, Asahara R, Takahashi M, Matsukawa K: Feedforward- and motor effort-dependent increase in prefrontal oxygenation during voluntary one-armed cranking, The Journal of Physiology, 596.21, pp.5099-5118 (2018)
- 5) Nakata H, Inui K, Wasaka T, Tamura Y, Akatsuka K, Kida T, Kakigi R: Higher anticipated force required a stronger inhibitory process in go/nogo tasks, Clinical Neurophysiology, 117, pp.1669-1676 (2006)
- 6) Mento G: The passive CNV: carving out the contribution of task-related processes to expectancy, Frontiers in Human Neuroscience, 7 (2013)

デジタルヒューマンを用いた人間工学設計のための 関節トルク比に基づく身体的負荷評価

Physical Load Evaluation Based on Joint Torque Ratio for Ergonomic Design by Using Digital Human O齋藤大和*,廣川敬康**

*近畿大学大学院 **近畿大学

SAITO Yamato*, HIROKAWA Noriyasu**
*Graduate school of Kindai University, ** Kindai University.

1. 緒言

デジタルヒューマンを用いた製品設計では、製品使用時の身体的負荷を評価するために関節トルクを用いることが多い.一方、各筋で発揮し得る関節トルクは関節によって異なるため、負荷を評価するためには関節トルクそのものではなく、その最大関節トルクに対する関節トルク比を用いる必要がある¹⁾.

本研究では、最大関節トルクがトルクの向きや関節角度によっても異なることに基づいて関節トルク 比を正確に求める方法を提案し、負荷が大きい動作 を判別して負荷を軽減する方法を構成する.

2. 研究の方法

2.1 関節トルク比に基づく身体的負荷評価

人体が動作する際の筋負荷は、筋ごとの最大筋力に対して、実際に発揮する筋力の比を用いて評価されることが多い。実際には、筋電図計測実験を行って得られる筋電図での両者の振幅の比として計算される%MVCを用いることが多いが、デジタルヒューマンには筋が実装されていないため、身体的負荷を評価する際には筋力の代わりに関節トルクを用いる。

図1は、デジタルヒューマンにおける肩関節の動きを示した例であり、実際の関節の回転軸に対応させて関節固定座標系を設定することにより、各軸周りの回転によって関節の動きが再現可能である。そこで、デジタルヒューマンでの関節の各軸周りの関節トルクを求め、最大関節トルクとの比を求めることにより身体的負荷を評価する。ただし、最大関節トルクは関節トルクの向きと関節角度により変化するため²⁾、それらの関数として表現しておくことにより、より正確に負荷を評価することが可能となる。

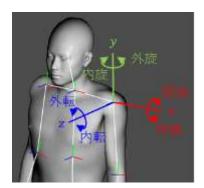
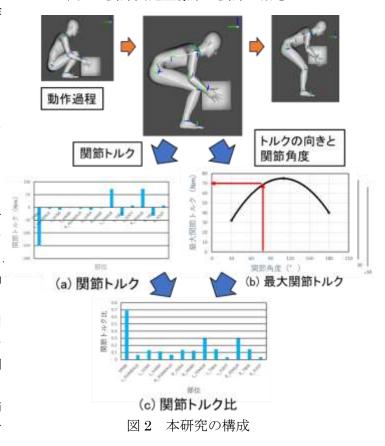


図1 関節固定座標系と関節の動き



2.2 本研究の構成

以下に、本研究の構成を示す.

1. 一連の動作を複数の動作過程にわけて、デジ

タルヒューマンで姿勢を再現する(図 2(a)).

- デジタルヒューマンの各関節固定座標系に おける関節トルクを求める(図2(b)).
- 2 で求めた各関節トルクの向きと関節角度か 3. ら, 各関節固定座標系の軸周りの最大関節ト ルクを求める²⁾.
- 4. 2と3で求めた関節トルクと最大関節トルク から関節トルク比を計算する(図2(c)).
- 関節トルク比の値から関節にかかる負荷を 評価し、負荷を軽減できる姿勢を検討する.

2.3 DhaibaWorks の利用

本研究では, デジタルヒューマンとして産業技術 総合研究所にて開発が進められている DhaibaWorks を用いる³⁾. DhaibaWorks は、日本人の体形データに 基づく人体モデルの生成,姿勢変形,関節における 力とトルクの計算, 視野評価などが可能である. さ らに、Python プログラミングやモーションキャプチ ャシステムとの連係が可能である.

3. 解析結果

3.1 対象動作

本研究では、床に置かれた箱を持ち上げる動作を 対象として検討する.動作を行う最初の姿勢は両足 を屈曲した状態とし、動作過程を図3に示す.

3.2 結果と考察

図4に,動作過程における各関節の屈曲/伸展の 関節トルク比を示す(左右対称な動作のため、右半 身の関節のみ示す).一連の動作過程において,腰関 節にかかる負荷は他の関節に比べて大きく,特に, 図 3 (c) の姿勢で腰の負荷が高いことがわかる. そ こで、腰関節の最大関節トルクが大きくなるように 関節角度を変化させて図 5 (b) の姿勢とすることに よって関節トルク比は図6のようになった.これに より、腰関節の負荷を軽減することができた.

4. 結言

本研究では、デジタルヒューマンで関節トルク比 をより正確に求めて身体的負荷を評価するための方 法を提案し、箱を持ち上げる動作に適用して負荷軽 減を実現した. 今後は、モーションキャプチャシス テムと連係して連続的な動作に対して本手法を適用 することにより、その有効性を検証する.









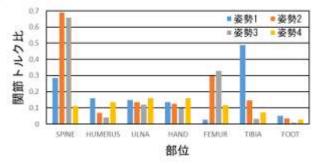
(a) 姿勢 1

(b) 姿勢2

(c) 姿勢3

(d) 姿勢4

動作過程ごとの姿勢 図 3



動作過程ごとの関節トルク比





(a) 変更前

(b) 変更後

図5 変更前と変更後の姿勢

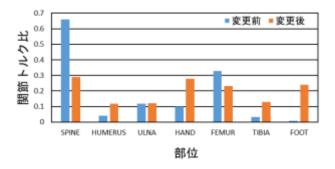


図6 姿勢の変更による関節トルク比の変化

- 1) 倉元、瀬尾、平内:取り置き作業対象物の初期 姿勢が作業動作に及ぼす影響の生体力学的検討 日本人間工学会第60回大会講演論文集,(2019).
- 2) 荒川:プロが教える筋肉の仕組み・はたらきパ ーフェクト事典, pp. 260-261, ナツメ社, (2019).
- 3) 遠藤, 多田, 持丸: DhaibaWorks: デジタルヒ ューマンモデルを利用した人間中心設計支援ソ フトウェアシステム (第1報), 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要 集, (2013).

座面駆動型起立支援システムにおける座面速度及び角度に対する 支援効果の評価

Evaluation of assistance effect on speed and angle for seat-driven sit-to-stand assistance system

〇友田千尋、井上剛 大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部

TOMODA Chihiro, INOUE Tsuyoshi
Osaka Institute of Technology, Faculty of Robotics and Design

1. はじめに

起立動作は生活の中で幾度となく行われる動作であるが、高齢化に伴い起立時に膝などに痛みを伴うことや、下肢の筋力低下により起立自体が困難になることがある 1)ため、最も支援を必要とする動作の一つである. 起立動作の支援方法として、椅子やベッドからの起立動作を想定した装置がこれまでに提案されている 2)3). しかし、従来装置は一人での起立が困難なユーザに対する装置であり、まだ十分に一人で起立が行えるユーザが従来装置を利用すると、筋力低下を促進してしまう可能性がある. そこで本研究では、起立動作を完全に支援するのではなく、支援しながらも必要な筋活動をユーザが行う支援装置の実現を目指している.

ユーザの起立動作時にその筋活動をコントロールするためには、ユーザの起立動作に合わせて駆動し、支援の程度(以後支援量と記述)を変化させることが可能な装置が必要となる。そこで、体幹角度と下肢筋電位を用いて起立動作の開始を予測し、ユーザの起立動作に合わせて座面を駆動して臀部を持ち上げることにより起立動作を支援する装置を開発した。本装置の座面速度と最終角度を制御することにより、支援量のコントロールが可能となる。本稿では、開発した起立動作支援装置および本装置の座面速度と最終角度を変化させた際の起立動作時の負荷軽減を計測した実験結果について述べる。

2. 起立動作支援装置

2-1. 体幹角度と下肢筋活動を用いた起立動作予測

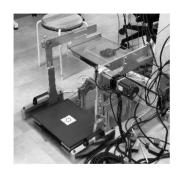
起立動作では、はじめに重心を前に移動させるために体幹前傾運動 ⁴⁾が行われる. 従って、体幹角度を計測して前傾運動を捉えることでユーザの臀部が椅子の座面から離れる(以後離座と記述)の前に起立

動作を予測することが可能であると考えられる. しかし,体幹前傾運動は日常生活において起立動作以外でも行われるため,体幹角度のみを用いた予測手法では起立動作以外を起立動作であると予測(誤予測)してしまう. そこで,体幹前傾運動の際の体幹角度の変化に加えて,その際に生じる下肢筋の筋活動時に発生する筋電位を用いて起立動作開始を予測手法が提案されている 9.

本手法は、体幹前傾運動と下肢の筋活動の順序を 用いて予測を行う.具体的な予測手法としては、内 側広筋の筋活動が所定以上となった時刻の前脛骨筋 の活動量を取得し、前脛骨筋が先に活動したとして、 起立動作時の活動筋の関係を満たしたとする. さら に、この関係が満たされた内側広筋の活動開始時刻 から所定時間前において体幹が所定以上前傾してい る場合に起立動作が行われると予測する.

2-2. 起立動作支援装置の開発

前節で述べた起立動作予測手法を用いて PC から制御可能な起立動作支援装置を開発した. 開発した起立動作支援装置の写真を図1に示す. 本支援装置はモータで稼働する座面を有し,この座面を椅子の座面に配置する. 制御用 PC により, 臀部を持ち上げることでユーザの起立動作を支援する.



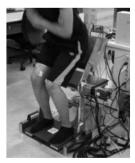


図1 試作した起立動作支援装置

3. 起立動作支援装置の計測実験

3-1. 通常起立動作の計測実験

実験協力者は起立・着席動作に対して特に影響となる既往歴のない 20 代~40 代の健常成人男女 4 名 (PIN1~PIN4) である. 研究目的及び実験内容について十分に説明を行い, 同意を得た上で実験に参加してもらった. また, 本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経て実施した(承認番号 2019-4). 計測実験は, 起立支援装置による支援時との効果の比較を行うためと, 支援装置の座面駆動速度を決定するために, まず支援を行わない起立動作(以後通常起立動作と記述)について行った. 実験では,協力者は自身にとって自然な起立速度で7秒間に起立・着席動作を20回繰り返した. 図2に計測時の様子の一例を示す.

実験時の計測環境について述べる. なお, この計測環境は通常起立動作と支援装置を用いた起立動作の両計測実験で同じである. 計測システムの構成を図3に示す. 実験協力者は起立支援動作駆動のため,体幹角度を計測するモーションセンサ IMU-Z2 (ZMP 社製)及び内側広筋の筋活動を計測するワイヤレス筋電センサ (Delsys 製 Trigno)をそれぞれ腰と右下肢に装着した. また,支援装置の制御方法による下肢筋活動の違いを計測するため, 生体信号記録システム Livo (トヨタテクニカルディベロップメント製)を装着して左下肢の筋電位及び膝角度 (水





図2 計測時の様子

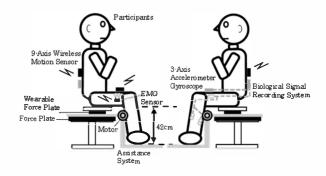


図3 計測システムの構成

平面に対する大腿角度)を計測した. 筋電位の計測は前脛骨筋, 内側広筋, 腓腹筋について行った. なお, 計測時のサンプリング周波数はモーションセンサが 100Hz であり, それ以外は 1kHz である.

3-2. 通常起立の計測結果及び座面速度の決定方法

通常起立動作の計測結果の一例を図4に示す.図4(a)は椅子の座面に対して垂直方向の座面反力(以後座面反力と記述)と体幹角度と右の内側広筋の筋電位計測結果であり,図4(b)は同座面反力と右膝関筋角度の変化の計測結果である.なお,体幹角度は矢状面での水平線と体幹との屈折方向の角度,膝関筋角度の変化は矢状面での伸展方向の角度として定義した.図4より,起立動作時はまず体幹前傾運動によって体幹角度の減少が始まる.続いて筋電位が発生し,膝関節角度の増加が始まり,椅子の座面反力が0Nとなり離座する.その後体幹角度は最小となり伸展運動により体幹角度は増加する.体幹角度と膝関節角度の変化は小さくなり,起立姿勢に至る.

図 4(b)の直線部分は膝関節角度の変化の計測結果に対して最大値の10%から90%までの区間に対し近似直線を算出した結果である. 決定係数は約0.99であり, この区間の膝関節角度の変化はほぼ直線であることがわかる. これは他の実験協力者においても同様の結果であった. この結果から膝関節の角度は時間に対して直線的に変化する, 即ち, 角速度が一定であることが確認された. そこで支援装置の座面の制御モータの角速度を一定で制御することとした.

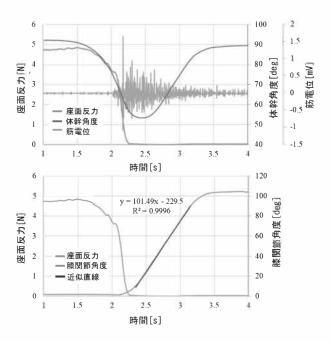


図 4 通常起立動作の計測結果の一例

3-3. 起立動作支援装置を用いた計測実験

起立動作支援装置を用いた起立動作時の計測実験を行った.本実験では、実験協力者は通常起立動作の計測実験と同様に7秒間隔で起立・着席動作をおこなったが、起立時のみ支援装置による動作支援を受けた.支援装置の座面制御は前節で述べたように一定の角速度で行った.

実験では、3 つの異なる座面速度と最終角度で支援を行った際の計測を行った.20回の通常起立動作の膝関節角度の10度から70度までの計測値に対して直線近似を行い得られた角速度の平均値を基準値として、その1倍、1.5倍、2倍の速度で支援装置の座面を駆動した。また、各座面速度に対して最終角度を20度、40度、60度と変化させて、各条件で10回ずつ起立動作の計測を行った。図5にそれぞれの座面の最終角度における支援装置の写真を示す。







最終角度20度

最終角度40度

最終角度60度

図5 支援時の座面最終角度の違い

3-4. 通常起立と起立動作支援時の計測結果

通常起立と座面速度 1.5 倍, 最終角度 40 度の支援時の筋電位信号, 筋活動, 膝関節角度の変化の計測結果の一例を図 6 に示す. ここで, 筋活動は全波整流した筋電位信号に対してカットオフ周波数 4.8Hz, 2 次の LPF 処理を行い, フィルタ処理による減衰量補正として 3 倍した結果を用いた. 図 6 より, 支援を行うことで筋活動が低下しており, より少ない負荷で起立動作が行えていることがわかる.

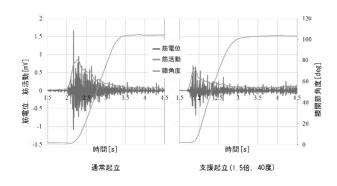


図6 通常及び支援起立時の筋電計測結果の一例

3-5. 支援システムによる負荷軽減の評価結果

支援装置による負荷軽減効果を評価する指標として,起立動作区間における通常起立動作の筋活動量の平均値に対する支援時の筋活動量の減少率を用いた.ここで,筋活動量は先に述べた方法で算出した筋活動を膝角度が変化し始めてからその変化が一定値以下になるまでの区間で積分して求めた.

図7に支援時の各実験協力者の内側広筋の減少率について平均値を求めた結果を示す. 図7より,座面速度および最終角度を変更することで利用者の筋活動量を変化させることが可能であることが確認できた. また,最も支援効果が得られる座面速度,最終角度は実験協力者によって異なることもわかる.最も支援効果が高かったのはPIN4の座面速度2倍、最終角度20度の時であり,約65.4%の筋活動減少率であった.全体としては座面速度1.5倍,最終角度40度の支援時に最も減少率が大きくなり,平均約42.7%であった.

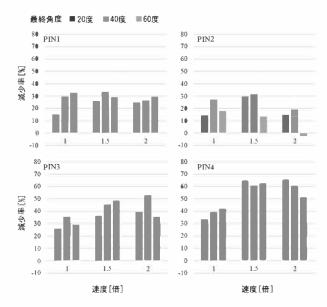


図7 内側広筋の減少率

4. 考察

実験の結果,最も支援効果が大きな速度と角度の 条件は実験協力者により異なった.そこで,ユーザ に合わせて最も効果が大きな座面速度及び最終角度 で制御を行うには,支援のたびに条件を変更しつつ, 最も筋活動の減少率が小さくなる条件を探せばよい. この制御が可能となるのは,本支援装置が筋電位の 計測に基づいて駆動しており,支援のたびに筋活動 量を得ることが可能なためである.

実験結果より、全体としては座面速度 1.5 倍,最終角度 40 度の支援時に最も減少率が大きくなった. そこで、最も効果が大きな条件を探す際には、この条件から座面の速度もしくは最終角度の値を大きくした際の筋活動減少率を評価すればよい. もし過剰な支援が行われた場合は、より強い力で前方への力が加わり、ユーザは姿勢を崩さないために筋を活動させることになるため、筋活動の減少率は小さくなる. 実際、図7において、PIN2 は座面速度を 1.5 倍から 2 倍にすることで、筋活動の減少率は大きく減少しており、これは過度な支援が行われたと考えられる.

過度な支援が行われた場合,ユーザが姿勢を崩さないよう筋を活動させるのは起立動作の後半であると考えられる。そこで起立区間の後半における内側広筋の減少率を算出した結果を図8に示す。PIN1,PIN2の場合,図7の結果よりも図8の結果の方が座面速度2倍の支援でより大きく減少率が減っている。また、PIN4の場合,図7では支援効果の違いがほとんどみられないが、図8では座面速度2倍の場合に支援効果が減少していることがわかる。このように起立区間後半における内側広筋の減少率から過剰な支援が判断可能であると示唆された。

今後は、座面速度 1.5 倍、最終角度 40 度を開始条件とし、過剰な支援を判断しながらユーザの負荷を最小限とする制御条件を見つける機能を支援装置に

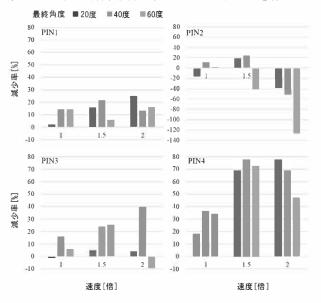


図8後半における筋活動量の減少率

実装し評価する予定である. また, 負荷を最小限に 抑えるだけではなく, ユーザに適度な負荷を与える 制御方法についても開発していく予定である.

4. おわりに

本稿では体幹角度と下肢筋電位の計測結果に基づき座面駆動を開始し臀部を持ち上げることで起立動作を支援する装置において、座面速度及び最終角度を変更した際の支援効果について評価を行った. 4人の実験協力者に対して支援装置の座面速度及び角度を変化させた際の内側広筋の筋活動を計測し、通常起立に対する筋活動の減少率を求めた.

その結果,座面速度および最終角度により支援効果である筋活動の減少率は異なることが確認できた.実験協力者により最も減少率が大きな速度と最終角度の組み合わせは異なるものの,通常起立の膝関節角度の平均角速度の1.5倍の角速度で,40度まで座面を駆動させた際に平均の減少率が約42.7%と最大であった。また,起立区間の後半における内側広筋の減少率の結果から過剰な支援を判断可能であることが示唆された。今後は過剰な支援を判断しながら支援ごとに効果が大きい制御へと制御条件を変更する機能と,最大の支援効果ではなくユーザに適度な負荷を与える制御方法を開発し実装する予定である.

- 1) 藤本雅大,中出義昭,大窪和也,藤井透: 高齢者の立ち上がり動作アシスト装置に関する研究(アシスト動作に必要な力学的基本要件の把握),福祉工学シンポジウム講演論文集,pp.181-184 (2004).
- 2) 安藤健, 山田憲嗣, 清水佐知子, 大野ゆう子: 電動ベッドに後付け可能な起立支援機器の提案, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 78, No. 785, pp. 151-162 (2012).
- 3) 津坂優子, ダーラリベラファビオ, 岡崎安直, 山本正樹, 横小路泰義: 理学療法士のスキルを活かした自立支援型起立アシストロボットの開発, 日本機械学会論文集, Vol. 83, No. 852, pp.17-00058 (2017).
- 4) 星文彦, 高橋正明, 山中正紀, 高橋光彦, 福田修, 和田龍彦: 椅子からの立ち上がり動作に関する運動分析, 理学療法学, Vol. 19, No.1, pp.43-48 (1992).
- 5) 嘉藤佑亮, 井上剛, 本山裕之, 小澤順: 体幹前傾 角と下肢筋電位を用いた起立動作意図の推定, 第 43 回知能システムシンポジウム資料, pp.2-3 (2016).

筋骨格シミュレーションによる活動量の可視化

Visualization of activity using the musculoskeletal simulation

〇平田一郎*, 福井航*, 福田純*, 後藤泰徳* *兵庫県立工業技術センター

HIRATA Ichiro*, FUKUI Wataru*, FUKUDA Atsushi*, GOTO Yasunori*

*Hyogo Prefectural Institute of Technology

1. はじめに

本研究では、健康を維持するための効果的な日常行動を促す方法について検討している。その方法として、日常の活動量を簡易に計測し、その動作の時に活性化される筋肉部位を効果的に表示させる方法についての研究を進めている。最終的には高齢化社会における医療・介護費などの社会保障コストの抑制を目的とした健康増進システムの構築を目指す。生活習慣に対応した健康増進メニューを提案するためには、各個人の生活運動データを収集し、解析結果や最適な運動メニューの提案を個人にフィードバックさせる必要がある。本稿では、ユーザーにできるだけストレスを感じさせずに生活動作ログを収集・解析するための方法や、健康増進のための運動サービスをユーザーにフィードバックするための取り組みについて報告する。

2. 日常動作の活動量解析

2-1. 計測実験

日常動作を計測する方法について検討する前に, 動作の違いによる活動量の比較を行った. 最初の動 作対象は歩行動作とした. 歩行能力の低下は日常生 活動作レベルの低下に繋がる. 特に歩行速度は死亡 リスクとの関連性も強く, 高齢者の身体機能, 日常 生活機能の指標とされている 1). 歩行速度や姿勢の 違いによる筋活動量の差異を可視化することにより, 歩行動作の改善を促すことが期待できる. そこで, 歩行姿勢による健康指標を示すことを想定し、複数 の歩行姿勢の筋活動量を計測した. 本稿では, 3種 類の歩行姿勢(一般的な歩行姿勢、小幅で前傾姿勢 による歩行,大股で後傾姿勢による歩行)での活動 量の比較について報告する. 2名の被験者の下肢4 箇所(大腿直筋,大腿二頭筋,前脛骨筋,腓腹筋内 側頭)に表面筋電センサ(株式会社クレアクト製、 biosignalsplux) を貼り付け、上記 3 種類の姿勢での 歩行をお願いした. 歩行速度は電子メトロノームを



図1 歩行計測実験

用いてピッチ音を鳴らして80BPMに統一した.

最終的には表面筋電センサを貼り付けなくても解析できることを計画しており、その方法として筋骨格シミュレーションソフトにより活動量を解析する予定である。筋骨格シミュレーションは人体のメカニズムについてモデリングを行うソフトウェアシステムで、個々の筋・関節力・代謝・腱の弾性エネルギー・拮抗筋力等の「人体各部分に作用する力」を計算することができる。筋骨格シミュレーションソフトは逆動力学解析による力学解析を行うため、姿勢データが必要である。そこで、歩行実験時は表面筋電センサに加え、モーションキャプチャシステム(株式会社ノビテック製、VENUS 3 D)により動作を計測した(図 1)。

2-2. 表面筋電の計測結果

被験者1の表面筋電センサによる大腿直筋の活動量比較データを図2に示す。この筋肉は、股関節の屈曲と膝関節の伸展に大きく関わる部位である。歩幅を大きくすることにより筋活動量が大きくなることを確認することができた。今後は、歩行実験の際に計測した動作データをもとに筋骨格シミュレーションソフトウェア(株式会社テラバイト製, AnyBody)により各筋肉の活動量を計算し、表面筋電センサの解析結果と比較する予定である。もし近似した結果

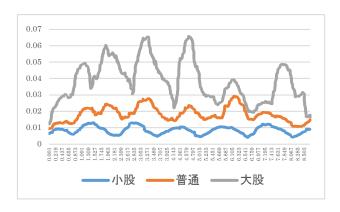


図2 大腿直筋の筋活動量比較

となれば、表面筋電センサを貼り付けて計測しなくても筋活動量の解析が可能となる.

3. AI 技術による動作計測の検討

筋骨格シミュレーションモデルで解析するために は動作データが必要である. しかし健康増進システ ムを運用する際、日常の動作を計測するためにモー ションキャプチャを用いることは現実的ではない. モーションキャプチャを用いなくても計測できる方 法として, これまでに測距センサを壁面に貼り付け て計測する方法や、靴や歩行器に IMU センサを取り 付けて計測する方法について検討してきた 2). これ らの方法を強化し、より多くの環境でデータ収集す る方法として、AI技術(深層学習)を用いて姿勢を 計測する方法についても検討している(図3).この 方法は、カメラで撮影した動画から人の姿勢(骨格) データを検出することができるため、環境や人にセ ンサを装着する必要がなくなり、様々な環境での計 測が可能となる. 今回、AI 技術による動作の精度を 検証するため、「右腕の屈伸動作(図4)」を動画とモ ーションキャプチャで同時に計測し精度比較した.

右手首の座標値 (X,Y,Z) をそれぞれプロットした

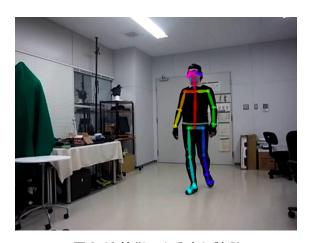


図3 AI 技術による歩行計測



図 4 右腕の屈伸動作の動画

結果を図5に示す. 図4の画面横方向が X,縦方向が Z,奥行方向が Y を示している. この結果から上下左右方向は比較的精度が高いことを確認することができた.

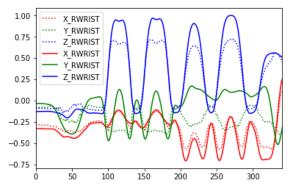


図5 右手首の座標値

4. おわりに

本稿では、筋骨格シミュレーションを活用して日常生活行動を解析し、ユーザーへ健康増進サービスを提供するための取り組みについて報告した。今後もこのサービス構築を目指した研究を進めていく予定である。

- 1) 次期国民健康づくり運動に関する委員提出資料, 厚生労働省,2012
 - https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001zz5 s-att/2r9852000001zz79.pdf
- 2) 平田一郎,後藤泰徳,健康モデル化を目的とした 日常行動計測アプリケーション,日本デザイン 学会 第67回研究発表大会,2020

一般演題 B会場



B1 習熟·動作【10:00~11:00】

座長:平田一郎(兵庫県立工業技術研究所)

- B1-1 FRP構造物の作製に携わる職人の技分析
- B1-2 馬毛の裏ごしに関する基礎的検討
- B1-3 成形品の仕上がり度合い評価における熟練者の意思決定プロセス
- B1-4 手動制御系における対象の変化が操作習熟に与える影響

B2 支援·生体計測【11:20~12:20】

座長: 荒木 望(兵庫県立大学)

- B2-1 介護訓練のための仮想空間と仮想力覚に関する基礎研究
- B2-2 自閉スペクトラム症児の情動変化を支援者に提示する 療育支援システムの開発
- B2-3 スマホ依存対策を目的としたアプリケーションの提案と プロトタイプの開発
- B2-4 アトピー対策のための指先加速度による掻破行動検知技術の開発

B3 感覚・環境【15:20~16:20】

座長: 山中 仁寛(甲南大学)

- B3-1 ポリアセタール繊維を用いた生地の触覚に関する基礎的研究
- B3-2 おいしさ指標の提案 -心理的障壁を用いた測定-
- B3-3 火葬場の告別室に設ける光庭デザインについての検討
- B3-4 冬場の寝室温熱環境が高齢者の睡眠および血圧に及ぼす影響 - 奈良県都市部および農村部における実測調査-

- 56	-
------	---

FRP構造物の作製に携わる職人の技分析

Skill analysis of craftsmen involved in the production of FRP structures

〇後藤彰彦*, 杉山直磯**, 松久怜央* *大阪産業大学 **京都工芸繊維大学

GOTO Akihiko*,SUGIYAMA Naoki**, MATSUHISA Reo*
*Osaka Sangyo University, **Kyoto Institute of Technology

1. 緒言

繊維強化複合材料の成形法の1つであるハンドレイアップ法は,手作業により,ローラーを用いて,強化繊維に樹脂を含浸させながら成形品を作製する.

本研究では、このような成形に携わる職人の動作に着目した。各工程における職人の姿勢やローラーの動かし方などに関して、熟練者および非熟練者を比較しながら、熟練職人の技の分析を行った。

2. 方法

2-1. 被験者

上級, 中級, 初心者 3 人の方に実施していただいた. 2-2. 作業風景

被験者の右側からみた作業風景. 図2に示す.

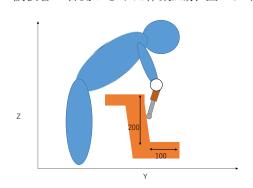


図1 作業風景の模式図

2-3. 実験機材

リアル光学式モーションキャプチャシステム MAC 3D SYSTEM (Motion Analysis 社製)を用いて計測を行った. 標点として赤外線マーカーを用いた. 被験者は21ヶ所マーカーを設置した. 設置位置は図1に示す. 金型は4ヶ所マーカーを設置し測定を行った. 作業風景は左,右,上側計3台のビデオカメラを設置し撮影した. 被験者に対して左右,前後,上下移動をそれぞれ X, Y, Z 軸とした.

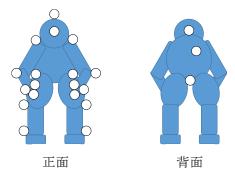


図2 赤外線マーカー位置

2-4. 解析方法

解析には解析ソフト cortex を用いた.解析対象は 1層目含浸工程の作業である.

3. 結果. および考察

図 3,4 は両足首と右手首の X 軸上の位置を示す. 上級者の開脚は 600~700mm であった. 初心者の開脚 は 500~600mm であった. 上級者の右手首の動きは開 脚を超えて動いた、初心者の右手首の動きは開脚内 で動いた. 図 5,6 は YZ 平面で見た時の右手首の位置 を示す. 上級者の右手首は L 字のような動きをして いた. 一方, 初心者の右手首は L 字のような動きでは なかった. 図 7,8 は両足首の Y 軸上の位置を示す. 上 級者は開始から30秒辺りまで,両足は金型からほぼ 同じ距離であった.しかしながら,30 秒辺りから終 了までは左足が金型から遠ざかる傾向がみられた. 一方, 初心者の両足は金型との距離がほぼ一定であ った. 上級者の両足首に着目して右手首の動きをさ らに検討した. 図 9 に両足が金型から一定の距離の 時の右手首の軌跡を示す.Z 方向の動きを繰り返し ていた. 図 10 は両足が金型から一定の距離ではない 時の右手首の軌跡を示す.Z 軸方向の動きを繰り返 すだけでなく,Y 軸方向の動きも繰り返しているこ とが明らかとなった.

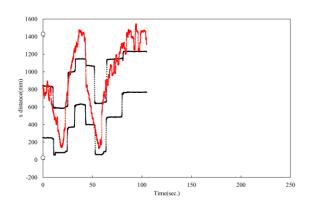


図3 上級者 両足首と右手 X 軸上の位置

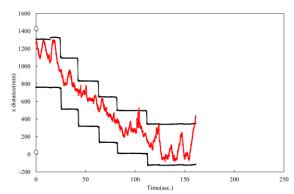


図4 初心者 両足首と右手 X 軸上の位置

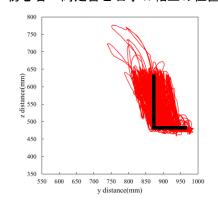


図5 上級者 右手首 YZ 平面の軌跡

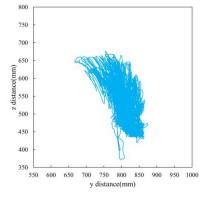


図 6 初心者 右手首 YZ 平面の軌跡

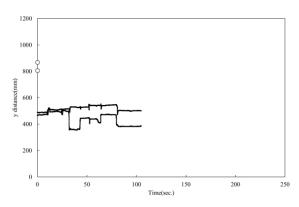


図7 上級者 両足首 Y 軸上の位置

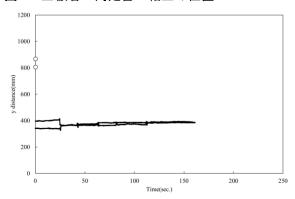


図8 初心者 両足首 Y 軸上の位置

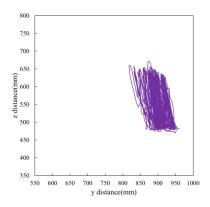


図9 上級者 両足が金型から一定の距離の時 右手首 YZ 平面の軌跡

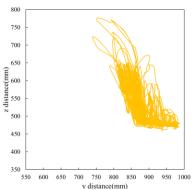


図10 上級者 両足が金型から一定の距離では ない時 右手首 YZ 平面の軌跡

馬毛の裏ごしに関する基礎的検討

Pilot Study on Strainers with Horsehair

後藤彰彦*, 〇杉山直磯**, 山越夕矢*, 辻賢一***, 飯聡****, 濱田明美*****

*大阪産業大学 **京都工芸繊維大学[院] ***金網つじ

****元京都調理師専門学校 *****京都光華女子短大

GOTO Akihiko*, SUGIYAMA Naoki**, YAMAKOSHI Yuya*,
TSUJI Ken-ichi***, II Akira** and HAMADA Akemi*****
nent of Information Systems Engineering, Osaka Sangyo II

*Department of Information Systems Engineering, Osaka Sangyo University,

** Kyoto Institute of Technology, *** Kanaami-Tsuji,

**** Kyoto Culinary Art College, ***** Kyoto Koka Women's University

1. はじめに

裏ごしは、わくにこまかい目の網を張った道具を使って、いもなどをこすること、またその道具のことである ¹⁾. この調理操作は、切断や撹拌といった操作と同様に、人が力をかける動作が主となる. そのため、裏ごしは、人の操作法や力加減によって食材の仕上がりに大きく影響すると考える. このような背景から野坂らは、調理操作の違いを客観的に分析することを目的に、動作解析や力学的観点からジャガイモの裏ごし操作を対象に熟練者と非熟練者の比較を行っている ²⁾³⁾.

また、仕上がりの違いは、料理人の動作だけでなく、裏ごし器の種類によっても異なる。裏ごし器は、昔からの製法で作られた馬毛とステンレスがあり、先行研究から、2種の裏ごし器によって仕上がった食材は、付着性が異なる結果が得られている⁴⁾.

本研究では、馬毛の裏ごし器の特徴を明らかにするために、料理人の動作解析を行った.

2. 実験方法

2-1. 被験者

被験者は、専門学校にて料理の指導を行っていた料理の経験年数が40年以上の男性とした.

2-2. 計測条件

実験には、経験年数50年の職人によって作製された裏ごし器が使用された。網目は粗く指定されており、経糸は3本、緯糸は3本の馬毛にて構成されている。図1に撮影した馬毛の織物を示し、図2に馬毛1本の表面写真を示す。



Fig.1 Fabric of horsehair.

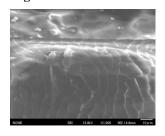


Fig.2 SEM on the surface of horsehair.

裏ごしに使用された食材は北海道産のじゃがいもとした. なお, 実験に使用したじゃがいもは, 厚さ 1cm の直径 5cm の円柱に成形されており, 大きさはすべて統一されている. 制限時間は設けず, 被験者はじゃがいもが完全に裏ごしを終えるまで操作を行った. 操作時における被験者の様子は, 2 台のビデオカメラおよび iPad によって撮影された. 図 3 に実験時の様子および道具を示す.

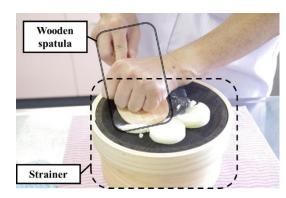


Fig.3 Straining process and cooking utensils.

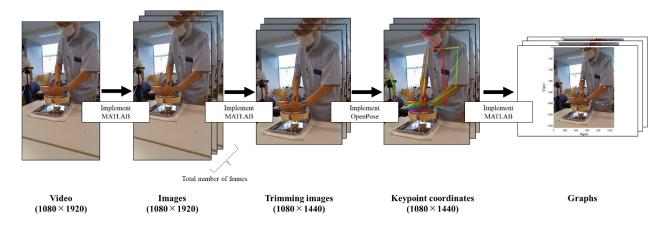


Fig.4 The flow chart and steps of data analysis.

2-3. 解析方法

料理人の動作解析には、二次元画像から骨格の推定が可能な OpenPose を使用した。OpenPose は、カーネギーメロン大学の Cao らによって発表された姿勢推定ツールである 4). ビデオカメラ等にて記録された動画や画像を入力とした際、イメージ内に映る人の骨格を推定し、Json 形式などで人の骨格情報を抽出できる.

本実験では、被験者の様子をiPadにて撮影し、その動画(1920×1080)に対して骨格推定を行った.なお、OpenPoseの処理を行う前に、入力データの加工として、動画から1フレームごとに画像へ変換し、その後、計測対象者が映らない領域をトリミングした.動画の変換、トリミングおよびJsonファイルの変換にはMatlab 2019b(The MathWorks, Inc.)を使用した.図4に解析の流れを示す.

3. 結果

裏ごし時,宮島(木べら)が裏ごし器に触れてから離れるまでの間の左手首に着目すると,左手首の位置は,宮島を引き寄せる方向とは一度逆の方向へ動き,その後宮島と同じ方向へ動いていた.

4. おわりに

OpenPose を使用して動作解析を行い、料理人は、 裏ごしを行う際、ただ、宮島を引き寄せて操作しているのではなく、一度、引き寄せる方向とは逆の方向へ動かし、その後宮島と同じ方向へ動いていることがわかった。今後は、馬毛だけでなくステンレスとも比較し動作の違いを検討する。

参考文献

- 市川孝,見坊豪紀,遠藤織枝,高崎みどり,小野 正弘,飯間浩明:現代新国語辞典 第四版,三省 堂,2011,1454p.
- 2) 野坂千秋, 星川恵里, 足立和隆, 渡邊乾二,運動解析法によるジャガイモの裏ごし操作における熟練者と非熟練者の比較,日本食品科学工学会誌, Vol.47, No.11, pp.857-863 (2000),

DOI: https://doi.org/10.3136/nskkk.47.857.

3) 野坂千秋, 星川恵里, 久保田浩二, 足立和隆, 渡邊乾二, 動作分析法による調理操作の力学的測定 - シェフによるジャガイモの裏ごし操作の例 -, 日本食品科学工学会誌, Vol.47, No.7, pp. 564-566 (2000),

DOI: https://doi.org/10.3136/nskkk.47.564.

- 4) 山越夕矢, 辻賢一, 飯聡, 濱田明美, 後藤彰彦: 馬毛を用いた裏ごしによる食材加工, 日本材料 学会 第7回材料 WEEK, 2021, 512.
- 5) Zhe Cao, Gines Hidalgo, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaser Sheikh: OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.43, Issue 1, pp.172-186 (2021), DOI: https://doi.org/10.1109/TPAMI.2019.2929257.

成形品の仕上がり度合い評価における熟練者の意思決定プロセス

Expert decision-making process in evaluating the finish of Molding

〇松久怜央*, 杉山直磯**, 後藤彰彦* *大阪産業大学 **京都工芸繊維大学

MATSUHISA Reo*, SUGIYAMA Naoki**, GOTO Akihiko*

*Osaka Sangyo University, **Kyoto Institute of Technology

1. 緒言

繊維強化プラスチック(Fiber Reinforced Plastics: FRP)は、母材である樹脂と強化材である繊維を組み合わせた複合材料である。高強度で軽量なため船舶や航空機などさまざまな分野に用いられている。繊維強化複合材料の成形法の1つであるハンドレイアップ法にて作られる成形品がある。評価する対象は先のハンドレイアップ法で作られる成形品である。評価する際は、道具の使い方や作業する進めかたについての検討を行う。道具を使い成形品に対しての仕上がり度合い評価を行う。

本研究では、成形品を 4 人の方に評価を行っていただいた. ウェアラブルカメラを用いて評価時の言葉や注視点の場所に注目をした. 評価作業を対象として工程分析を行った. これらを元に熟練者の意思決定プロセスについて検討を行った.

2. 方法

2-1. 被験者

A, B, C, D 計 4 人の方に評価を実施してもらった.

2-2. 実験機材

作業状況の確認するため、ウェアラブルカメラを 用いた.

2-3. 評価道具

ライトは型の曇りを確認した. T 字棒は型の傷を確認した. 棒は凹凸を確認した. マスキングテープは不良箇所を記述した. 被験者が使用した道具を表 1 に示す.

表 1 道具対応表

	ライト	T 字棒	棒	マスキング
A	0	0	0	X
В	\circ	\bigcirc	×	\circ
C	\circ	\bigcirc	\bigcirc	\circ
D	0	0	X	0

2-4. 評価対象

ハンドレイアップ法を用いて上級,中級,初心者 3 名の方に作成して頂いた.560×1400 の成型品である.評価は外側を評価する.

2-5. 計測条件

各被験者には別々のタイミングで評価をしてもらい,他の被験者の評価結果を知らない状態で評価を 実施した.評価作業の模式図を図1に示す.



図1 評価作業の模式図

2-6. 解析方法

評価開始から終わりまでの工程分析を行った.作業 工程は18項目に分類した.表2に各工程の内容を示す.

3. 結果

図 3,4 は各工程に要する時間を示す. 被験者 C は 8 項目を行い,作業時間は 160 秒であった. 一方,被験者 D は 13 項目を行い,作業時間は 288 秒であった. 各被験者において作業工程が異なることが明らかとなった. 各工程に要する時間も異なっていた. 表 3 に発言頻度を示す. 本報では上級者の成形品を対象とした. 被験者が評価時に発言した言葉に着目して分析した. 被験者 C はひけ, 凹み, あわという言葉を繰り返し用いていた. 一方, 被験者 D はざらざらという言葉で表現していた.

表 2 工程の内容

表 2 工程の内容			
項目数	項目名		
0	何もしてない		
1	マスキングテープ		
2	正面を手で触る.		
3	上面を手で触る.		
4	裏面を手で触る.		
5	ライトを照らしながら,		
	正面を手で触る.		
6	ライトを照らしながら,		
	上面を手で触る.		
7	ライトを照らしながら,		
	裏面を手で触る.		
8	正面を見る.		
9	上面を見る.		
10	ライトを照らしながら,正面を見る.		
11	ライトを照らしながら,上面を見る.		
12	ライトを照らしながら,裏面を見る.		
13	正面と上面の角を T 字棒でこする.		
14	ライトを照らしながら,		
	正面と上面の角を T 字棒でこする.		
15	ライトを照らしながら,		
	上面と裏面の角を T 字棒でこする.		
16	正面を棒で叩く.		
17	ライトを照らしながら,		
	正面を棒で叩く.		

表3 上級者の成形品に対する発言頻度

	A	В	С	D	
ざらざら	2	0	1	3	
ひけ	0	0	3	2	
凹み	0	0	3	2	
あわ	1	0	3	0	
くもり	0	0	0	2	
型傷	0	0	2	0	
気泡	0	0	1	0	
ピンホール	0	1	0	0	
汚れ	0	1	0	0	

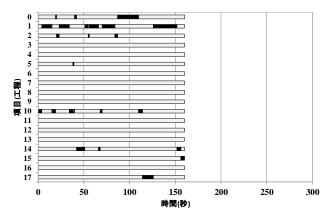


図3上級者の成形品に対してCの評価時間と項目

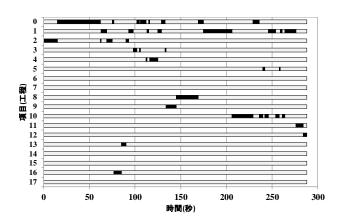


図4上級者の成形品に対してDの評価時間と項目

手動制御系における対象の変化が操作習熟に与える影響

Effect of the Gain Changes to Proficiency of the Operation of a Manual Control System

〇佐古哲宏*,中谷真太朗* *鳥取大学

SAKO Akihiro*, NAKATANI Shintaro*
*School of Engineering, Tottori University

1. 緒言

社会におけるロボットの活躍は、自動運転のような機械操作の完全な無人化・自動化のみを最終目的とするものではない. 災害時や極限環境など、人がロボットを直接操作してシステムを制御するほうが有利な局面が存在する. ジョイスティックなどの入力機器を使ってロボットを動かすシステムに対する支援技術の高度化は、極限環境でのロボット操作や運動リハビリテーションシステムへの応用において必要不可欠な技術として注目されている^り.

人間が機械を操作する手動制御系において,人間 自身を制御器とみなし操作特性をモデル化する試み は古くから数多く行われてきた.しかしながら,操 作者自身が未知の対象の操作を学習していく過程に おける制御特性の変化は扱いが困難であるため,十 分な対策が取りづらいという問題点がある.

本論文では、同一のコントローラ、同一の操作対象において操作ゲインが切り替わる場面を想定する。例えば宇宙ステーション『きぼう』で使われている遠隔操作ロボットアームでは、搬送物の質量に応じてアームの最大先端速度が変化する。最大先端速度を基準にコントローラの特性を設計した場合には、搬送物の質量に応じてコントローラの感度が変化することになる。こうしたコントローラ感度の不連続な変化が生じた際に人間の操作がどう変化するかについて実験的な調査を行う。

2. 対象とするシステム

2-1. 人間の動作習熟モデル

人が機械を操作する際のスキル習熟を表すモデルとして、Successive Organization of Perception (SOP)が知られている²⁾.このモデルは、人間がカーソルを操作してランダムに動く経路を追従する研究から、操作の習熟に伴い人間の制御方式が変化することを示すために提案されたものである.SOPでは、操作に慣れない間は主に視覚フィードバックのみ、対象のダイナミクスを学習するとともに図1に示すような2自由度系の制御器としてはたらくようになるとされる.

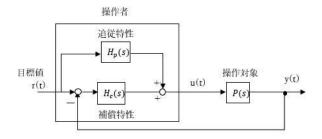
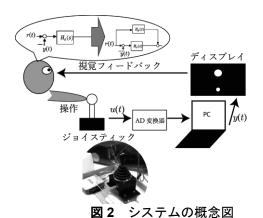


図1 操作者を含む閉ループ系



2-1. カーソルの操作モデル

人間の操作特性の変化を計測するためのシステムとして、本研究では図2に示す手動制御系を構成した。この系では、操作者がジョイスティックを用いて、図3に示す PC 画面を見ながらカーソルをターゲットに向けて操作する。カーソルのダイナミクスは積分器型とし、カーソルの速度はジョイスティックの傾きに比例して変化させ、時刻tにおけるカーソル位置(x(t),y(t))は、

$$x(t) = \int_0^t a_x k \theta_x(\tau) d\tau$$
, $y(t) = \int_0^t a_y k \theta_y(\tau) d\tau$ で表される. ここで a_x , a_y はジョイスティックに依存する値であり,本実験では $1/0.001006$ である.

感度kによって最大速度は変化し、k=0.02の時の最大速度はv=500 pixels/s,k=0.03の時の最大速度はv=750 pixels/s,そしてk=0.06の時の最大速度はv=1500 pixels/sとなる.

3. 実験条件

カーソルの初期位置は画面の下辺りの位置 (x,y)=(700,500))に固定した. 実験は、5 種類の感度条件に対して連続した 3 試行をそれぞれ行い、計 15 試行を連続して行った. 各回の実験条件は、表 1 のように設定した.

操作者は20代男性4人と30代男性1人の計5人とした.操作者には、3試行ごとに感度が変化することを伝え、ジョイスティックを操作してカーソルの位置をターゲット点に向けて動かす作業を続けるように指示した.実験に入る前にあらかじめ簡単な操作をすることでシステムの操作に慣れてもらった.

実験結果を処理するにあたって,図4に示すように y 軸方向の安定速度 $\bar{V}_i^{(k,n)}$ および最大加速度を発揮した時刻 $T_i^{(k,n)}$ を定義する.ここで右肩の $k=\{0.02,0.03,0.06\}$ は現在の感度, $n=\{1,2,3\}$ は同感度で行った時の回数, $i=\{1,2,3\}$ は試行回数を示す.典型的なカーソル速度の変化を見ると,図4に示すように操作状態は加速度の符号から1:加速,2:定速,3:減速の3段階に分類できる.ここで安定速度 $\bar{V}_i^{(k,n)}$ は2:定速時の速度の中央値と定義した.また最大加速度を発揮した時刻 $T_i^{(k,n)}$ は実験開始時を時刻0としたときの最大加速度を記録した時刻と定義した.

4. 実験結果

感度変更後の試行回数iとその時の安定速度 $\bar{V}_i^{(k,n)}$ を図 5に示す。感度k=0.02のときは安定速度 $\bar{V}_i^{(k,n)}$ が変化しなかった一方で,感度k=0.03,0.06の時には試行回数iが増えるとともに安定速度 $\bar{V}_i^{(k,n)}$ が低下した。結果として感度によらず試行回数i=3において安定速度 $\bar{V}_i^{(k,n)}$ の値が $200\sim300$ pixels/s の範囲に収まるように習熟が進んだ。

次に、最大加速度を発揮した時刻 $T_i^{(k,n)}$ と試行回数iの関係を図6に示す。ここでは試行回数が増えるとともに、感度kによらず時刻 $T_i^{(k,n)}$ が減少傾向にあった。

表 1 感度(k,n)と試行回数i

 感度(k,n)
 0.02,1
 0.03,1
 0.02,2
 0.06,1
 0.02,3

 試行回数i
 3 回
 3 回
 3 回
 3 回
 3 回

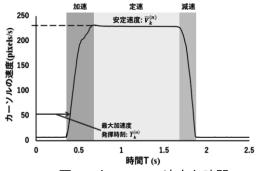


図4 カーソルの速度と時間

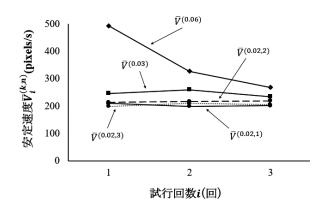


図 5 安定速度 $\bar{V}_i^{(k,n)}$ と試行回数iの関係

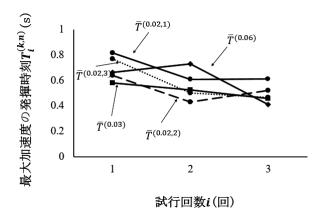


図 6 時刻 $ar{T}_{\cdot}^{(k,n)}$ と試行回数iの関係

5. 結言

本論文では、簡単な手動制御系においてコントローラ感度に不連続な変化が生じた際の操作者の応答と、その後同一の感度での操作を続けた場合の習熟過程について実験的な調査を行った. 感度の変化が生じても、安定速度を一定にしようとする傾向が見られた. また、変化直後は最大加速度を発揮する時刻が遅くなる傾向が見られ、習熟とともに最大加速度の発揮時刻が早くなる傾向が見られた.

不連続な感度の変化は操作システム(感覚フィードバックによる運動制御)と対象の動作(視覚フィードバックによる運動制御)の矛盾を生じさせる. 矛盾を受け、操作しやすい速度での操作を目指して操作者がシステムの性能を落として利用する傾向が見られた.このことは、状況に応じたシステムの感度変化は必ずしも効率的な作業につながらない可能性があることを示している.

- 1) Mulder, Max, et al. "Manual control cybernetics: State-of-the-art and current trends." IEEE Transactions on Human-Machine Systems Vol. 48, No. 5, pp. 468-485 (2017).
- 2) Krendel, Ezra S., and Duane T. McRuer.: "A servomechanisms approachto skill development", Journal of the Franklin Institute, Vol. 269, No. 1 pp.24-42 (1960).

介護訓練のための仮想空間と仮想力覚に関する基礎研究

Preliminary Study of Virtual Space and Force Feedback for Nursing Care Exercise

〇田河琴音*,川野常夫*,松尾英治** *摂南大学 **松尾電機エンジニアリング

TAGAWA Kotone*, KAWANO Tsuneo*, MATSUO Eiji**
*Setsunan University, **MATSUO ELECTRIC ENGINEERING Co. Ltd.

1. はじめに

高齢化がますます進展するわが国において,高齢者を介護する介護者や介助者の役割はますます高まるものと予想される.介護作業において被介護者の残存能力を活かした介護を行う技術は,高度なノウハウが必要であり,それを短期間の介護訓練で十分に身につけることができるとは言い難い.また近年のヒューマンインタフェースでは視覚に加えて触覚や力覚呈示の必要性が認識されつつあり,仮想力覚を VR,AR の技術と組み合わせて活用していく研究が行われている^{1),2)}.

著者らは、介護訓練において介護人形を用いずとも理想的な介護の力覚を表現できる装置の開発を目的とし、これまでに肘まわりに「ものを持ち上げているかのような本質的な力覚」を発生させるウェアラブルな装置を試作してきた³⁾.

本研究では、肘まわりの力覚装置としてこれまでの装置を改良し、力覚を感じながら肘の曲げ伸ばしができるようにするとともに、VRによる没入型の視覚情報を組み合わせたシステムを構築した. さらに、力覚装置から受ける力覚に相当する主観的負担と EMG による客観的負担の関係や VR の付加がある場合とない場合の違いなどを検討するための実験を行った.

2. ウェアラブル仮想力覚提示装置

図1に今回開発した肘まわりのウェアラブル力覚装置(ELBOT1)を示す.今回の装置は肘関節の回転軸とモーターの回転軸が一致するように DC モーター (maxon motor DC モーター419309)を固定する外骨格構造とした.前腕と上腕に固定する円筒パーツは左右に2分割されており、マジックテープで外周を絞めつけることによって、使用者のいろいろな腕の太さに適用できるようにした.このような装置の枠組みは3Dプリンタで製作した.

力覚は、 肘関節を広げようとする方向に回転する



図1 肘まわりのウェアラブルカ覚提示装置 (改良機)

モーターに対抗して肘関節を曲げようとする際に生じる. また DC モーターを用いることによって,力覚を感じながら肘の曲げ伸ばしが可能となった. モーターの回転には直流電源を用い,電圧と電流は 6V, 1A 程度に制限した. 電圧と電流を変化させることによって,感じる力覚の大きさが変化する.

3. 仮想空間

介護訓練において、介護する相手が介護の必要のない健常な模擬患者や介護訓練用の人形では、被介護者の残存能力を活かす力加減の技術は身につけにくい.これらの問題を解決するためには、現実の人間や人形を用いずに介護の様子と力覚を体験できる技術があれば、効率のよい介護訓練ができるものと考えられる.すなわち、介護訓練を仮想空間で行うことができれば、訓練に必要な現実の道具を用意する必要が無くなるため、狭いスペースでも訓練の準備が整った環境を用意することができる.また被介護者の年齢、性別や個人差がある残存能力などの条件を容易に設定できるようになれば、個人に合わせた力加減を身につけやすくなると考えられる.

以上より本研究で開発する仮想空間は、訓練者に物を持ち上げる動作を、自らの動作と合わせて視覚情報として与えることのできるものを目指す。また開発した力覚装置と VR を組み合わせたときの VR の効果や臨場感があるかどうかを検証する.

仮想空間の開発には, Unity (バージョン: 2021.1.22f1)を,言語はC#

を使用した. 現実の介護作業の感覚により近づけるためには、VR で通常用いられるコントローラは用いずに、訓練者の手で仮想物体を触って動かせることが望ましい. そのため HMD はハンドトラッキングが可能な Oculus quest 2(フェイスブック・テクノロジー製)を使用した. この HMD では、内蔵されている4つのカメラから、指先や関節の座標を取得することで、仮想空間内の手を現実空間における手の動きに追従させることが可能となっている.

本研究ではこの仮想空間内の手と Unity のオブジェクトに当たり判定をつけて、仮想空間内の手がオブジェクトに触れることでオブジェクトの位置を動かすことができる仮想空間を作成した。図2に開発した仮想空間を示す。対象とする被介護者を2リンクのモデルで表示し、胴体に相当する部分に手を触れて動かすと胴体を起き上らせることができる。図の中にはリンクモデルを2組表示しており、手前の厚みの薄いオブジェクトは体重が軽いモデル(人体モデル1)を、奥の厚いオブジェクトは体重が重いモデル(人体モデル2)となっている。

4. 実験方法

本研究で開発した力覚装置の改良機が、肘まわりに「ものを持ち上げているかのような本質的な力覚」を発生させているか、また VR による没入型の視覚情報を組み合わせることによって VR の効果や臨場感があるかを検証するための実験を行った. 図3に実験の様子を示す. 実験では、力覚装置から受ける力覚に相当する主観的負担と上腕二頭筋のEMGによる客観的負担を求めた. 力覚装置から受ける力覚に相当する主観的負担は、図4に示すように、

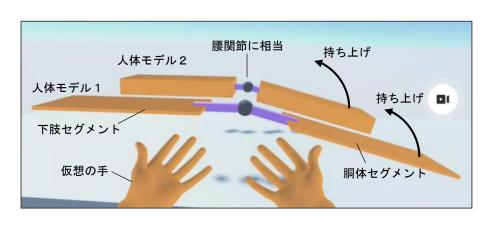


図2 開発した仮想空間 (2リンク人体モデルと介護者の仮想の手)



図3 仮想力覚提示装置と VR による実験

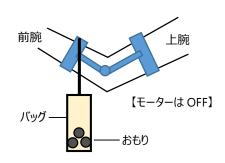


図4 力覚装置に相当する主観的負担の求め方

おもりの入ったバッグを前腕側に吊り下げ、おもり の個数を調整してモーター駆動時に感じた力覚と同 等に感じる重さを同定することによって求めた.

実験条件はモーターに印加する電圧,電流の2組の条件とVRによる視覚情報が有り無しの2条件を

表 1 実験条件

条件 番号	モーター駆動時 (印加電圧、電流)	VRによる 視覚情報	おもり持ち上げ時
1	2.1V, 0.4A	× (無し)	-
2	OFF	× (無し)	条件①と同等の主観的負担
3	2.1V, 0.4A	○ (有り)	_
4	OFF	○ (有り)	条件③と同等の主観的負担
(5)	5.0V, 0.9A	× (無し)	-
6	OFF	× (無し)	条件⑤と同等の主観的負担
7	5.0V, 0.9A	○ (有り)	_
8	OFF	○ (有り)	条件⑦と同等の主観的負担

組み合わせた 4 条件を設けた. その各条件において 主観的負担を求めたため、表 1 に示すように合計 8 とおりの実験を行った. また 8 とおりのそれぞれに おいて上腕二頭筋の EMG を 2 回ずつ測定した. な お、上記 4 条件のそれぞれにおいて、被験者が感じ

る重さの感覚を口頭で回答してもらった.また、いずれの条件においても被験者には肘まわりの屈伸運動を行ってもらった.VR有りの条件では、仮想空間内の胴体セグメント(モーターへの印加電圧、電流が2.1V、0.4Aのときは厚みの薄いほう、5.0V、0.9Aのときは厚いほう)を手で持ち上げる動作を行ってもらった.

被験者は上肢の運動に支障のない男子学生3名,女子学生1名の4名とし,実験に際してそれぞれインフォームドコンセントを取得した.

5. 実験結果

図5に本研究の力覚提示装置から受ける力覚の主観値と客観値の比較を示す. 図はモーターへの印加電圧,電流が2.1V,0.4Aで,VR無しの条件において4名の被験者が2回ずつ上腕二頭筋のEMGを測定した結果を示している. 横軸は力覚装置を装着して肘の屈伸を行ったときの単位時間あたりの筋負担を,縦軸はモーターがOFF状態において力覚装置から受ける力覚に相当する力覚をおもりの重さ

で求めたときの単位時間あたりの筋負担を示している.グラフは、被験者によって筋負担は異なるため 各被験者の最大値で基準化した割合でプロットしている.この図から主観値と客観値には強い相関があることがわかる.このことから本研究で開発した力 覚装置は肘まわりの力覚を正確に生じさせているものと考えられる.

図6に力覚装置のモーターと VR の各条件における主観的な力覚を示す.棒グラフは前腕に吊り下げたおもりにより求めた重さの平均値を表しており、左の2つの棒グラフはモーターの印加電流が小さい場合を、右の2つの棒グラフは印加電流が大きい場合を示している.これらのグラフからモーターへの印加電流が大きくなると力覚装置から受ける力覚が大きくなることがわかる.また同じ印加電流でもVR による仮想空間に没入して仮想の人体モデルを

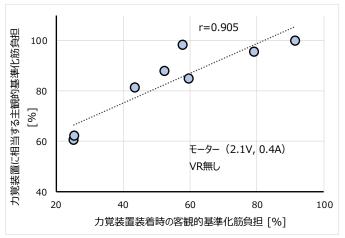


図5 力覚装置から受ける力覚の主観値と客観値の比較

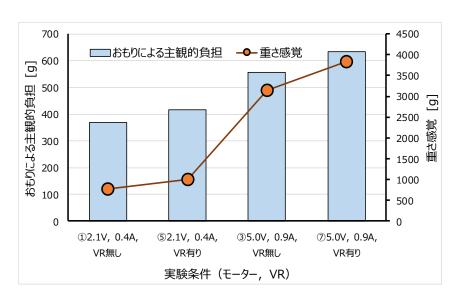


図6 モーターとVRの各条件における主観的力覚

持ち上げるほうが力覚が大きくなっていることがわかる.これまでにも視覚と力覚という異なる感覚のクロスモーダル効果についてはいくつかの研究が行われている^{4),5)}.

次に図6の折れ線グラフは力覚装置から受ける重さの感覚の平均値を示している.これらについても同様の傾向が見られるが、おもりにより求めた重さよりも数倍大きい値となっている.このことから人間の感覚は実際よりも強調されることがわかる.

図7に力覚装置のみの場合と VR を組み合わせた場合の EMG から求めた力覚の比較を示す.この結果からも VR による仮想空間に没入して仮想の人体モデルを持ち上げるほうが力覚が大きくなる傾向があることがわかる.両条件において被験者は肘まわりの屈伸運動を行うという点は共通しているが, VRが付加されると目の前のオブジェクトを手で持ち上げようとする意志が働き,それが筋肉により大きな力を発生させているものと考えられる.

図8に力覚装置と仮想空間を体験したあ とのアンケートによる主観的評価を示す.こ の結果からも VR 有りのほうが重さ感覚の評 価が高くなっていることがわかる.また臨場 感や没入感の評価も高い結果となっている.

6. おわりに

本研究では、肘まわりの力覚装置としてこれまでの装置を改良し、力覚を感じながら肘の曲げ伸ばしができるようにするとともに、VRによる没入型の視覚情報を組み合わせたシステムを構築した。それらを用いて力覚に関する実験を行った結果、本研究の力覚提示装置は正確に力覚を提示すること、VRによる仮想空間に没入して仮想の人体モデルを持ち上げるほうが力覚が大きくなることなどがわかった。今後、被験者を増やして力覚装置の特性をより明らかにするとともに、介護訓練への応用を検討していく予定である。

参考文献

 藤本英雄, 陳連恰, 佐野明人, 櫻井陽一: 力覚呈 示機能をもつ車いす仮想体験システムの試作と 空間認知実験, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.64, No.628, pp.4687-4693 (1998).

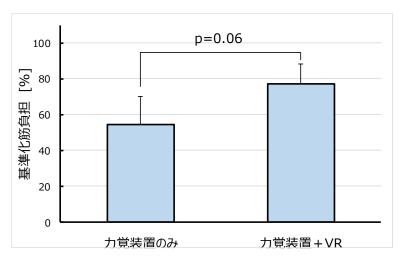


図7 力覚装置のみの場合と V R を組み合わせた場合 の力覚の比較 (モーター, 2.1V, 0.4A)

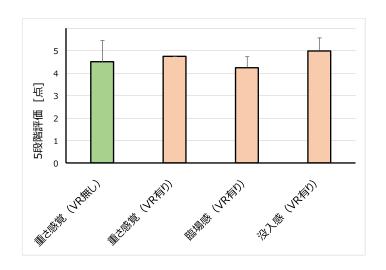


図8 力覚装置と仮想空間の主観的評価

- Antonio Frisoli et al.: A force-feedback exoskeleton for upper-limb rehabilitation in virtual reality, Applied Bionics and Biomechanics, Vol. 6, No. 2, pp.115–126 (2009).
- 3) 田河琴音,川野常夫:介護訓練のための肘まわり 力覚呈示装置の基礎研究,人間工学, Vol.57, Supplement, pp.140-141(2021).
- 4) 岡嶋克典: 視覚情報によって誘発されるクロス モーダル効果. 映像情報メディア学会誌, 72(1), pp.8-11 (2018).
- 5) 平尾悠太朗, 三家礼子, 河合隆史: VR 空間におけるクロスモーダルを用いた重さ感覚提示手法の提案と評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 23(4), pp.263-270 (2018).

自閉スペクトラム症児の情動変化を支援者に提示する療育支援システムの開発 Development of a System to Support Caregivers of Children with Autism Spectrum Disorder by Presenting the Emotional Changes of the Target Child

〇野宮なるみ*, 林海斗**, 木場晏也**, 竹内大樹**, 大須賀美恵子*
* 大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部

** 大阪工業大学大学院ロボティクス&デザイン工学専攻

NOMIYA Narumi*, HAYASHI Kaito**, KOBA Haruya**, TAKEUCHI Hiroki**, OHSUGA Mieko*

* Faculty of Robotics and Design, Osaka Institute of Technology

** Graduate School of Robotics and Engineering, Osaka Institute of Technology

1. はじめに

自閉スペクトラム症(Autism Spectrum Disorder: ASD) には、社会的コミュニケーションおよび対人 的相互反応の持続的な欠陥と, 行動・興味・活動の 限局された反復的な様式の二つの症状的な特徴があ り, 近年この有病率の増加が注目されている. 有病 率増加の原因として,自閉症に関する知識が浸透し, それによって把握もれが減ったこと, 自閉症の概念 そのものが拡大したことによって診断例が増えたこ とが挙げられる¹⁾. 前述の 2 つの ASD の特徴は, 養育者に子どもへの愛着形成を阻害し、同時に子ど もの行動制御の難しさを引き起こす 2). さらに、授 乳,睡眠,入浴などの日常のルーチンの中で生じる 子どもの泣きやぐずりを養育者が対応して調整する という「養育者に導かれた調整」から出発する情動 調整の発達3)も難しくさせ、コミュニケーションの 困難さを促進させる. そのため、ASD 児の親は共通 して子どもの友達関係に関わる問題をはじめとして 多岐に渡る悩みや不安を抱えている4.

そこで我々は、親をはじめとした支援者の心的負担の軽減の一助とすべく、ASD児の情動表出の手助けにより支援者との愛着形成を促進させ、情動調整の発達を図ることを目的とした支援システムを提案することにした.

2. 提案コンセプト

情動調整機能の形成には支援者との密な関わりが 重要であるため、目標の達成には支援者と ASD 児を 情動的に繋がりやすくする必要があると考える.

そこで、「ASD 児の情動変化を支援者に伝えるシステム」を提案する. 支援者は ASD 児の情動変化を 把握することで、ASD 児の行動を理解しやすくなり、より適切に対応できるようになると考える.

本稿では、提案するシステムのコンセプトと実装 方法について述べる。システム開発に当たっては、 ASD 児が嫌がらずに装着してくれるウエアラブル デバイスの開発が必要となるため、ここに重点を置 いた実装方法を検討した。

3. 提案システムの概要

ウエアラブルデバイスを用いた ASD 児の情動変 化の検出と、それを支援者に伝えるシステムを提案 する. 図1にシステム全体のイメージを示す.



図1 システムイメージ

ASD 児は感覚過敏を併発していることも多いため、ウエアラブルデバイスはできる限り低負担で装着・計測できるものをめざす. 表1は現在発売されている低負担のウエアラブルデバイスをまとめたものである. コンパクトで扱いやすいものもあるが、子ども向けではないものや、生データの取得が難しいものも多く、それらを解消するデバイスの試作に取り組んだ.

表1 低負担計測デバイス



E4 Wristband (https://www.empatica.com/research/e4/), embrace PLUS (https://www.empatica.com/embraceplus), Feel Emotion Sensor (https://www.wmyfeel.co/feel-program), Wearable ECG Monitor (https://www.yrivalink.com/en/), Spire Health Tag (https://www.yrivalink.com/en/), Spire Health Tag (https://www.yrivalink.com/), Spire Health

4. システムの実装方法

図2にシステム構成を示す. ASD 児に装着させるウエアラブルデバイスはリストバンドとウエストベルトの2種類を用意する. 感情推定に用いる生理反応は,一般的に不安や緊張で変化すると言われているものを選定した 5. リストバンドでは脈拍,皮膚電気活動,腕の3軸加速度を取得し,ベルトでは呼吸と腰(体幹)の3軸加速度を計測する. Hui らの研究 6では,皮膚電気活動と心拍数の変化を同時に監視することで,感情をより正確に推定できることが示されており, Wiem らの研究 7では感情評価と呼吸が関係していることも指摘されている. 加速度データは体動による影響を考慮するために利用する.

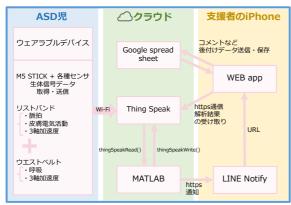


図2 システム構成

データの収集は、Puls Sensor (Joel Murphy、Yury Gitman)、Grove GSR Sensor (Seeed)、伸縮性ひずみセンサ (F51FS11、BANDO) を接続した M5stickC PLUS (M5Stack) によりサンプリング周波数 30 Hzで取得し、1.5 s 毎に WiFi 経由でクラウドに送信する (図 3).



図3 作成したデバイス

デバイスは 2 種類を同時に装着して計測するのが理想であるが、感覚過敏などの影響を考慮していずれか一方のみでも利用できるようにする. また、対象児の興味や嗜好に合わせた装飾をすることで、デバイス装着に対する心理的な負担の軽減を図り、対象児が計測デバイスの装着を前向きに捉えられ

るよう工夫する.

クラウドでの処理は MathWorks の ThingSpeak と MATLAB を利用して行う. ウエアラブルデバイスから送信した生体信号データと、そのデータから MATLAB を用いて情動変化を検出し、その結果を ThingSpeak に保存する. 情動変化は皮膚電気反応の頻度、心拍数、呼吸周波数などの変化により検出する. 指標の組み合わせや閾値は実験参加者ごとに最適な方法に変更する.

情動変化を検出した際は支援者のスマートフォンにインストールされた LINE アプリに LINE Notify を利用して通知する. 支援者は LINE 通知を受け取ると, URL をクリックして WEB アプリで詳細情報や対策案を確認する. これにより ASD 児の気持ちを理解して適切な声かけや支援をし,深い関係性を築くことに役立てる. また,支援者に情動変化が起きた時の状況を記録してもらうこともできるようにし,検出精度の向上に役立てる. なお, WEB アプリはGoogle App Script を用いて作成し,データは Google spread sheet に保存している.

5. おわりに

今後, 開発したプロトタイプを ASD 児と支援者に 試用してもらい, 装着が可能か, 生理反応から情動 変化を捉えられるかを調べる. さらに, 必要に応じ た改良をした後に, システムの効用性を検証したい.

参考文献

- 1) 本田秀夫:自閉スペクトラム症の理解と支援 子供から 大人までの発達障害の臨床経験から,pp.1-47,星和書 店 (2017).
- 2) 浅野みどり他:自閉症スペクトラム障害の幼児をもつ 母親の育児ストレス,子どもの行動特徴,家族機 能. QOL の現状とその関連.家族看護学研究, Vol.16, No.3, pp.157-168 (2011).
- 3) 金丸智美: 乳幼児期における情動調整の発達. 淑徳大学研究紀要. 総合福祉学部・コミュニティ政策学部, Vol.51, pp.51-66 (2017).
- 4) 前田明日香他:自閉症スペクトラム児と親の支援に関する調査研究.立命館人間科学研究, Vol.19, pp.29-41 (2009).
- 5) 大須賀美恵子: 生理実験入門第4回自律神経系指標の 計測, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.7, No.4, pp.285-290 (2005).
- 6) Hui, T. K., et al.: Coverage of emotion recognition for common wearable biosensors. Biosensors, Vol.8, No.2, 30 (2018).
- Wiem, M. B. H., et al.: Emotion classification in arousal valence model using MAHNOB-HCI database. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol.8, No.2, p.320-323 (2017).

スマホ依存対策を目的としたアプリケーションの提案とプロトタイプ開発

Proposal of a Smartphone Application Aimed at Alleviating Smartphone Addiction and an Introduction on Developed Prototype

〇小泉允志*, 渡邊陽仁**, 大須賀美恵子*
* 大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部
** 大阪工業大学大学院ロボティクス&デザイン工学専攻

KOIZUMI Masashi*, WATANABE Haruhito**, OHSUGA Mieko*

* Faculty of Robotics and Design, Osaka Institute of Technology

** Graduate School of Robotics and Engineering, Osaka Institute of Technology

1. はじめに

スマートフォン(以下,スマホ)が身近なものとなり,長時間利用が増えたことでスマホ依存傾向にある人が増加している。自身の周囲にも片時もスマホを離せず気がつけば思ったよりも長くスマホを使っていたという経験をした人も多い。このようなスマホへの過度な依存は慢性的な睡眠不足や鬱症状などの社会問題を引き起こしている「)。そこで,本研究では,スマホの長時間利用を避けるために,軽い運動を促すことでスマホをやめるきっかけを与えるスマートフォンアプリケーション(以下,アプリ)の開発に取り組むことにした。

2. スマホ依存の現状

2020 年の総務省の調査によると, 10~50 代の 人々の約9割がインターネットを利用している.ス マホの世帯保有率は9割近くに上り、個人でのイン ターネット利用機器としてはスマホがパソコンを上 回っている 2). スマホは、携帯性に優れ、利便性も 高いため、生活の必需品となっている一方で、過度 な利用により, 視力低下や睡眠障害, 栄養障害など の健康被害,集中力や記憶力の低下,感情の制御が できないなどの精神的な問題、さらには SNS 利用に よるコミュニケーション問題など、あらゆる側面の 問題を引き起こしている 1). 特に 10代, 20代の若 者を中心に「スマホ依存」になる人が増加している さらに、昨今のコロナ という調査結果がある 3). 禍の影響により家の中で過ごす時間が長くなりこの 傾向に拍車がかかっている 4. そのため、一刻も早 くスマホ依存に対する対策を講じる必要がある.

スマホ依存対策の一つに,アプリを用いる方法がある.これには,スマホの一部機能制限を行うアプリや,ゲーミフィケーションによりスマホ依存の回

復を促すアプリなどがある. しかし, これらのアプリでは, 自らの意思でアプリを開始する必要があるため, 継続的な利用が難しいとされている 5.

3. 提案するアプリのコンセプト

提案するアプリは、スマホ依存を自覚しており、 改善したいと考えている若年者をターゲットユーザ とし、次の特徴をもつものとする.

- 1) 提案アプリの利用に際しユーザの自主性を尊重し強制しない仕様
- 2) スマホ依存症状改善を目的とした運動のリコメンド機能
- 3) 提案アプリの利用を習慣化させる工夫

成感が得られる仕組みを作る.

4) 提案アプリの使用後、スマホからの離脱を容易 にし、自分のタスクに戻りやすくする工夫

以下に、これらの特徴について具体的に説明する.

1) スマホの利用を禁止、制限するのではなく、利用を自分で管理し、スマホと共存することを支援する。自分で設定したスマホ利用の時間を超えると通知を送り、ユーザが自発的にスマホをやめるきっかけを与える。これにより、自己管理できたという達

- 2) スマホ依存の症状改善に有効とされているのが 運動である. 運動をすることで,集中力が増し,ストレスに強くなると言われており,軽度の運動でも 効果が示されている ¹⁾. そこで,座位でもできるような簡単な運動のリコメンド機能を付加する.また, 運動を促すことで,スマホから意識を逸らし離脱さ せやすくする効果も狙う.
- 3) 新しい習慣を定着させるためには動機付けが必要である. 提案アプリの随所にユーザが自身を祝福する仕組みを取り入れポジティブな感情を生み出す. また, 記録機能でモチベーションの持続を目指す.

運動に関しても最初は運動の難易度を下げ、できたという達成感を与えることで習慣化しやすくするの.
4) 一日のタスクを書き出させて明確化しておき、運動後に次のタスクを提示することで、提案アプリ終了後にスマホ利用を再開することを防ぐ. さらに、スマホの画面を閉じたくなるような仕組みを作る.

4. 実装機能

コンセプトに従い, 5 つの機能を実装する. アプリのフローを図1に示す.

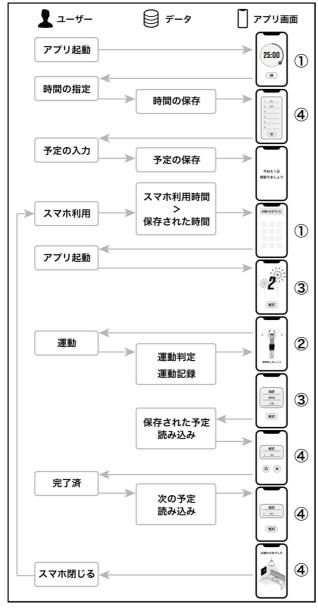


図1 アプリのフロー

① 通知機能

一日の始めに、スマホ利用から何分で通知が来るようにするのか時間を指定する. スマホ利用時に指定

した時間を越えるとプッシュ通知が来るように設定する. 将来的には, スマホ内蔵の加速度センサを利用しスマホの傾きや揺れを利用してスマホ利用状況を推定し, 適切なタイミングで通知を行う.

② 運動リコメンド機能

運動には自重を利用した簡単な筋力トレーニングやストレッチを取り入れる.スマホ内蔵加速度・角速度センサの計測データを取得し,運動の実施状況を判定する.一部の運動にはゲーミフィケーションを取り入れる.

③ 記録,祝福機能

記録した運動データや過去の運動記録を表示する. アプリ立ち上げ後などにユーザーを祝福するアニメーションを流し、自分自身を誉めるように促す.

④ タスク管理機能とロック機能

一日の始めに今日のタスクを、優先順位を決めて入力させる。運動終了後に、次に実施予定のタスクを表示する。タスクの進捗度合いに応じて適宜通知を行う。タスク確認後、スマホを閉じることを誘導するアニメーションを流す。スマホを再び起動させた時も同じものを流し、利用を再考する機会を与える。

5. 今後の展望

今後は、上記の機能を実装したプロトタイプを完成させ、継続利用の可能性の確認と、アプリ利用によるスマホ利用時間の変化について調査し、スマホ依存対策としての効果を評価する.

参考文献

- 1) Hansen, A.: スマホ脳, 新潮社 (2020).
- 2) 総務省: 令和 2 年通信利用動向調査の結果, https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/da ta/210618 1.pdf, 参照日 2021.10.31
- 3) 尾崎米厚: 飲酒や喫煙等の実態調査と生活習慣病 予防のための減酒の効果的な介入方法の開発に 関する研究,厚生労働省科学研究費補助金平成30 年度総括・分担研究報告書(2018).
- 4) KDDI: コロナ禍で変化するスマートフォンの利用 方法と、スマホ依存などへの影響を調査 https://www.kddi-research.jp/newsrelease/2021/ 101202.html, 参照日 2021.10.31
- 5) 長谷川達人: スマホ依存の予防・回復支援アプリ に関する研究動向, 公衆衛生, Vol.84, No.9, pp.608-612 (2020).
- 6) Fogg, B., J.: 週間超大全, ダイヤモンド社 (2021).

アトピー対策のための指先加速度による掻破行動検知技術の開発

Scratching Behavior Detection System for Measures Against Atopic Dermatitis
Using Finger Acceleration Data

〇勝島彩葉*,安在絵美**,才脇直樹***

*奈良女子大学大学院 人間文化総合科学研究科 **奈良女子大学 生活環境学部 ***奈良女子大学研究院 工学系 / 大阪大学大学院 基礎工学研究科

KATSUSHIMA Iroha*, ANZAI Emi**, SAIWAKI Naoki***

*Graduate School of Humanities and Sciences, Nara Women's University, **Faculty of Human Life and Environment, Nara Women's University, *** Graduate School of Engineering, Nara Women's University / Graduate School of Engineering Science, Osaka University

1. はじめに

我々に身近なアレルギー疾患としてアトピー性皮 膚炎が挙げられる. アトピー性皮膚炎は強い痒みを 伴い、特徴的な湿疹病変が慢性的にみられる病気で あり、国内患者数は51.3万人(2017年)と多く増加傾 向にある 1). 致命的な疾患ではないものの、痒みに よって十分に眠れなくなったり, 見た目の悪化等, 日常生活に大きな影響をもたらす. 完治する方法は 未だ見つかっていないが、掻くことにより悪化し、 掻破の悪循環が生まれてしまうので, 一番の改善策 は掻かないことであると考えられる. そこで本研究 は掻破行動に着目し、就寝時の無意識な掻破行動を 検知する方法を検討した. 掻破行動を検知する方法 として赤外線ビデオカメラを用いた計測方法 2)や体 導音センサを用いた計測方法 3)が挙げられるが、そ れぞれプライバシーの問題やデータ量の多さ、リア ルタイム性, センサのサイズ感や装着場所等といっ た課題が残る.

そのため本研究では、掻破動作を行った際の加速 度の変化に着目し、指先に加速度センサを装着する ことによる掻破行動の分析・可視化について検討す ることにした.加速度センサは小型サイズのセンサ 開発が進められており、掻破行動時の特徴を捉える ことができれば自動解析も可能になるであろうと考 えられる.今回は、指先装着型の加速度計測デバイ スを用いて掻破行を検知するための指標抽出および モデル構築を目的とした.

2. 研究方法

2-1. 計測装置および計測方法

本研究では就寝時の計測実験を行うために、図1で示す小型(25.0mm×30.0mm×13.3mm)の加速度セ

ンサ(μ PRISM⁴)を使用した.これは、加速度(±2,4,8,16G)を含む 7 種類のセンサによって計測された情報を無線通信(Bluetooth)にてスマートフォン等に記録可能な IoT デバイスである.事前実験 5 により加速度センサの精度検証、装着場所や動画像情報との比較検証を行い、加速度センサによる掻破行動判別の有用性は示されている.

μPRISM電池タイプ(CR2032用)



EDAMP-2BA101

W: 25.0mm H: 30.0mm D: 13.3mm

図1 実験に使用した IoT デバイス

2-2. 就寝時の加速度計測

就寝時の諸動作による加速度の変化を記録するためデバイスを用いた加速度計測と、掻破のタイミングや様子を正確に記録するためビデオカメラによる撮影を同時に行った。実験参加者はアトピー性皮膚炎患者 2 名(女性 24 歳/22 歳)であり、実際の就寝時の様子を記録した。今回使用した加速度センサのサンプリング周波数は 10Hz である。

2-3. 分析方法

本研究は掻破動作の有無の検出が目的であるため、加速度の方向については考慮せず、3 軸合成した合成加速度を算出し、この大きさに基づいて掻破行動を区別できないか検討した。事前に行った分析のでは、就寝時の指先での加速度の変化を記録し、その

データに機械学習を用いることで掻破の有無は判別 可能であるか、ラベリングの検討を行った. その結 果,①ある1日のデータ内で訓練データとテストデ ータに分割し、機械学習を行うことで掻破の有無が 判別可能であること、②ある1日のデータを訓練デ ータとして,これから掻破の有無を判別するための 特徴量を選定し、モデルを構築し、新しく別日のデ ータをテストデータとして機械学習を行うことで, 別日のデータでも掻破の有無を判別できる可能性が 示された. しかし, この結果は同一実験参加者によ るものであり、 掻破動作の個人差は考慮していない ものであった. そのため、今回は2名分の就寝時の データを使用し、機械学習を行うことで別人の就寝 データでも掻破の有無を判別できるか検討した.分 析には, 事前分析と同様に, 就寝時の加速度計測で 得られたデータを tsfresh というライブラリを使用し 時系列分析を行い, XGBClassifer を用いた機械学習 を行った. 時系列データは合成加速度, 分析データ は掻破の有無を数値化したものを使用した. また, この際ラベリングには「掻破時」「寝返り」「その他 (静止)」の3分類を用いた.

本研究では,

- (1) 実験参加者(A・B)それぞれのある1日の就寝データを訓練データとテストデータに分割し、機械学習を行い掻破行動を区別できるか検討
- (2) 実験参加者 A の就寝データから掻破の有無を判別する指標を抽出し、その結果に基づいて構築したモデルを用いて、実験参加者 B の就寝データで掻破の有無を判別できるか検討
- の2段階で分析を行った.

2-4. 掻破の有無判別における機械学習の有効性に着目した分析

機械学習を行うことで客観的に掻破の有無を判別することを目的とする.具体的には、ある1日のデータ内で訓練データとテストデータに分割し、機械学習を行い掻破行動を区別できるか検討した.時系列データは分析開始時から一定のデータ長毎のWindowに分割し、Window毎に時系列指標抽出およびラベリングを行った.事前実験の結果より、Window長は20で、訓練データ60%:テストデータ40%の条件で機械学習を行った際が、掻破の有無判別には適することが分かっている.今回は、他の実験参加者の就寝データも同様に機械学習を用いるこ

とで掻破の有無判別が可能であるのか検討した. 実験参加者 A・B 共に Window 長 20, 訓練データ 60%: テストデータ 40%の条件で試行を 5 回ずつ行い, その結果を比較した. この際, 全 Window に対する「その他(静止)」の Window 数の割合が大きく, 過学習の可能性があるため,「その他(静止)」とラベリングされたデータは「掻破」とラベリングされたデータと同数(1 倍)になるようにダウンサンプリングを行った.

さらに、機械学習の際に、訓練データから掻破の有無を予測するために特に影響のあった特徴量上位10個ずつ調べ、結果を比較し個人差について検討した.

2-5.他人の計測データから掻破の有無判別が可能であるか検討した分析

リアルタイムで掻破を検知することを目標として いるため、ある日の就寝データから掻破の有無判別 のための指標を抽出し、その結果に基づいて作成し たモデルを用いて、他の就寝データで掻破の有無判 別が可能であるか検討した.事前実験のにより、指 標抽出のためのデータはデータ数が多い方が適当で あると分かっているので、実験参加者 A のデータ数 を増やしたもの(データ A'とする)をモデル構築用の データとした. データ A'から掻破の有無判別に必要 な特徴量を抽出し、その結果に基づいてモデルを作 成した. その後、構築したモデルから実験参加者 B の就寝データにおける掻破の有無判別が可能である か検討した. Window 長は20で、過学習を防ぐため 前分析と同じく、「その他(静止)」とラベリングされ たデータは「掻破」とラベリングされたデータと同 数(1倍)になるようにダウンサンプリングを行った.

3. 機械学習の有効性に着目した分析結果 3-1.実験参加者それぞれの機械学習利用結果

分析に使用したダウンサンプリング前後のそれぞれの実験参加者のデータ数を表 1 に示す. また,このデータを用いて機械学習を行い,その結果の混同行列の例を表 2(実験参加者 A),表 3(実験参加者 B)に示す. 『全体の正答率』は,「掻破」「寝返り」「その他」と,それぞれに分類すべきデータを正しいラベルに分類し,また,「掻破」ではない,「寝返り」ではない,「その他」ではないと,分類すべきデータを正しく,それぞれのラベルの動作をしていないと

分類できた割合を示している.『掻破の正答率』は、 実際に掻破をしているデータのうち掻破であると予 測された割合と、掻破と予測されたデータのうち実 際に掻破であるものの割合の調和平均を示している.

表1 ダウンサンプリング前後の Window 数

実験参加者A	その他	掻破	寝返り
ダウンサンプリング前	6270	70	62
ダウンサンプリング後	69	70	62
実験参加者B	その他	掻破	寝返り
ダウンサンプリング前	8883	78	92
ダウンサンプリング後	78	78	92

(単位:個)

表2 実験参加者 A のテストデータの混同行列

その他 播破 寝返り その他 27 0 0 0 25 Δ 播破 0 10 15 寝返り 平均 全体の正答率 標準偏差 2.0 平均 75.2 掻破の正答率 標準偏差 1.9

表3 実験参加者 B のテストデータの混同行列

	1. 時和未							
実		その他	掻破	寝返り				
際	その他	25	0	2				
の結	掻破	0	20	16				
果	寝返り	0	7	30				
	人仕の工体表	平均	72.2					
	全体の正答率	標準偏差	2.4					
	女かってかず	平均	57	'.4				
	掻破の正答率	標準偏差	3	3.4				

今回の研究の目標は就寝時の無意識な掻破を検知し、掻破を止めさせることであるので、掻破の検出度に着目した.表 2 、表 3 から全体の正答率、掻破の正答率ともに実験参加者 B より実験参加者 A の方が高い検知率であることがわかる.また、実験参加者 A については寝返りより掻破の方が正しく判別できているが、実験参加者 B については掻破より寝返りの方が正しく判別されていた.掻き動作による指先の動かし方は個人差があるので、この結果となったと予測される.しかしながら、就寝中に掻破動作を行っていたタイミングのうち過半数は掻破の区別をできていたことが分かる.

3-2.特徴量抽出の際に影響のあった特徴量

前節で行った機械学習のうち、掻破の有無を区別 するために特に影響があった特徴量を比較した. 各 実験参加者の結果例を表4、表5に示す. 特徴量の 影響割合や順位に差はあったが、同様の特徴量を持つものも多くあり、合成加速度の分位数に着目した影響量が多くあった。また、その中で平均値や最大値、相関に着目したもの、FFT(高速フーリエ変換)を利用したものが多く見られた。似たような特徴量から掻破の有無を判別していることが分かった。

表 4 実験参加者 A の掻破判別に 影響があった特徴量の例

特徵量	重要度
combinefft_coefficientattr_"abs"coeff_18	0.162
combinenumber_crossing_mm_1	0.135
combinefft_coefficientattr_"abs"coeff_14	0.059
combinechange_quantilesf_agg_"var"isabs_Trueqh_0.8ql_0.2	0.054
combine_approximate_entropym_2r_0.3	0.046
combinefft_coefficientattr_"abs"coeff_15	0.043
combine_agg_linear_trend_attr_"intercept"chunk_len_10f_agg_"mean"	0.037
combinechange_quantilesf_agg_"mean"isabs_Trueqh_0.4ql_0.2	0.033
combineminimum	0.030
combinefft_coefficientattr_"abs"coeff_19	0.027

表5 実験参加者 B の掻破判別に 影響があった特徴量の例

特徴量	重要度
combinefft_coefficientattr_"abs"coeff_8	0.131
combine_change_quantilesf_agg_"mean"isabs_Trueqh_0.6ql_0.2	0.093
combine_cwt_coefficients_coeff_3_w_10_widths_(2, 5, 10, 20)	0.058
combinechange_quantilesf_agg_"mean"isabs_Trueqh_0.6ql_0.0	0.056
combinenumber_crossing_mm_1	0.041
combinefft_coefficientattr_"abs"coeff_3	0.037
combinechange_quantilesf_agg_"var"isabs_Trueqh_0.8ql_0.4	0.029
combine_change_quantilesf_agg_"mean"isabs_Trueqh_1.0ql_0.8	0.028
combine_maximum	0.025
combineagg_linear_trendattr_"stderr"chunk_len_5f_agg_"mean"	0.023

4. 他人の計測結果を用いた分析結果

表6 他人の計測結果を用いた機械学習の結果

実験参加者A'	その他	掻破	寝返り
ダウンサンプリング前	15813	280	150
ダウンサンプリング後	280	280	150
実験参加者B	その他	掻破	寝返り
ダウンサンプリング前	8883	78	92
ダウンサンプリング後	78	78	92 (単位:個)

予測結果 その他 掻破 寝返り その他 69 播破 0 13 65 8 0 84 寝返り 平均 61.4 全体の正答率 標準偏差 10.3 平均 26.4 掻破の正答率 標準偏差 12.6

試行は5回ずつ行い,結果の例と掻破の正答率を表6に示す.表6より掻破を正しく判別できていないことが分かる.テストデータである実験参加者

B の就寝データにおいて実際にそうはとラベリン グされるデータ 78 個中, 正しく掻破と判別できた データ数は平均 15.8 個(標準偏差 8.3)と少なかった.

5. 考察

はじめに,機械学習の有効性に着目した分析につ いて考察する. 実験参加者 A と実験参加者 B の結果 を比較すると,実験参加者 A の方がより高い精度で 掻破を検知できていることが分かる. これは、実験 参加者 B は A と比べて軽症のアトピー性皮膚炎で あったため,より症状の強い A の方が力強い掻き動 作を行っており、掻き動作を行なった際の加速度の 変化に特徴があったためであると考えられる. 掻き 方には個人差があるので, 掻破の正答率にばらつき はあったものの, どちらも過半数の掻破は検知でき ているので、今後は検知した掻破をどのように止め させるのか考える必要がある. また, 掻破を判別す るために影響のあった特徴量においては, 実験参加 者 A・B において似たようなものが多くあった. こ のことより,着目すべき特徴量が分かれば,他の分 析方法でも掻破の有無判別が可能であること, 個人 差はあるものの掻破を判別するための特徴は同等の ものであることがわかった.

次に、他人の計測結果を用いた分析について考察する.3章で述べたそれぞれの実験参加者での計測結果、および、同人の計測結果を用いた結果。と比較して、掻破の正答率は著しく低いものとなった.3章の結果と同様に、掻破動作には個人差があるので、掻破を判別するためのモデルを作成するにあたって、異なる掻き方をしている人のデータを使用すると正しく判別できないということがわかった.先述の通り、実験参加者Bは軽度のアトピー性皮膚炎であったため、同等の症状を持つ患者のデータを手があったため、同等の症状を持つ患者のデータをもる可能性がある.また、多くの人のデータを集めて掻破の様子を判別するためのデータを作成することで、掻破の個人差に対応することができる可能性があるので、今後の課題としたい.

6. おわりに

本研究では、就寝時の指先での加速度の変化を記録し、そのデータに機械学習を用いることで、掻破の有無を判別することができるか、また、この際に個人差は影響するのか検討を行った。その結果、

(1) 機械学習を用いることで、掻破の正答率に個人

差はあるが掻破の有無を判別することは可能であること.また,掻破の判別に影響のあった特徴量は他人であっても同等のものが多いこと.

(2) 他人のデータを訓練データとして, 掻破の有無 を判別するための特徴量を選定, あるいはモデ ルを構築したり, また他人のデータをテストデ ータとして機械学習を行う方法では, 正しく掻 破の有無判別はできない.

などということが示された.

最終的な目標は、アトピー性皮膚炎患者の症状軽減のため、就寝時の無意識な掻破をリアルタイムで検知し、止めさせることである。そのため、「掻破」の検知率を上げること、掻破の個人差に対応すること、掻破行動を開始してから可能な限り早い秒数で掻破を検知すること、掻破を止めさせるにはどのようにすればいいのかを今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 厚生労働省: 平成 29 年患者調查, 総患者数; 性· 年齢階級×傷病小分類別, 上巻(全国), 第 62 表 (2017).
- 2) 泉裕乃, 江畑俊哉, 佐藤優子, 相澤浩, 上出良一, 新村眞人: 赤外線ビデオカメラを用いた夜間掻 破測定の簡便法, 皮膚, 第39巻, 第6号, pp.560-563(1997).
- 3) 山川諒: 体導音センサを用いた掻破行動監視システムの高精度化に関する研究, 三重大学大学 院工学研究科物理工学専攻修士論文(2017).
- 4) エレックス工業株式会社,超小型 IoT センサーモ ジュール μ PRISM,

https://www.elecs.co.jp/microprism/

- 5) 勝島彩葉,安在絵美,才脇直樹: 加速度センサを 用いた掻破行動検知システム開発に向けた基礎 検討,第 63 回自動制御連合講演会,pp.454-456(2020).
- 6) 勝島彩葉,安在絵美,才脇直樹:機械学習による 掻破行動ラベリングの検討,ヒューマンインタ フェースシンポジウム 2021(2021).

ポリアセタール繊維を用いた生地の触覚に関する基礎的研究 Pilot Study on plain knitting with POM fibers

後藤彰彦*, 〇杉山直磯**, 圓井良***, 梅村俊和**** *大阪産業大学 **京都工芸繊維大学[院] ***圓井繊維機械株式会社 ****株式会社プレジール

GOTO Akihiko*, SUGIYAMA Naoki**, MARUI Ryo*** and UMEMURA Toshikazu**** *Department of Information Systems Engineering, Osaka Sangyo University, ** Kyoto Institute of Technology, *** Marui Textile Machinery Co., Ltd, **** Plaisir Co., Ltd.

1. はじめに

POM (ポリアセタール) 樹脂は、耐摩耗性、耐疲 労性, 高強度, 高弾性など 1),2)の特徴を持ち, ギアや ギャップといった機械構造部品に使用されてきた. そこで、POM 樹脂の持つ高機能性に着目し、繊維化 をおこない、「抗菌性」、「接触冷感」、「生分解性の可 能性」といった新たな特徴を明らかにした3). 本研 究では、これらの物性評価に加え、POM 繊維に対す る感性評価との関係性を明らかにすることを目的に POM 繊維を用いた平編み生地に対する人の触覚を 検討した.

2. 実験方法

2-1. 平編みに使用した糸の種類および条件

平編みに使用した糸は、POM (75dtex), 綿 (294dtex) およびポリエステル (100dtex) の3種類とした. 図 1に3種類の糸を示す.





(a)POM

(c)Polyester (b)Cotton

平編みは、POM の糸 8 本 (合計繊度 600dtex), 綿 の糸2本(合計繊度588dtex), ポリエステルの糸6 本(合計繊度 600dtex), そしてハイブリッド編み物 として POM3 本と綿 1 本 (合計繊度 519dtex) の 4 種 類の組み合わせで製編した.

Fig.1 3 types of yarn.

2-2. 丸編み機

製編時の編機の回転速は、約 100rpm とし、度目は 4種類全て同じ設定で行われた. 図2に使用した丸 編み機を示す. なお、ポリエステルを製編する際、 糸のテンションが他の製編時と比べて高かった.

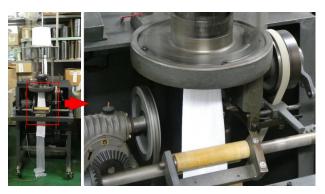


Fig.2 Circular knitting machine.

2-3. 平編みの構造

図3に製編された平編みの一例の写真を示し、表 1にウェール方向(縦方向の編目)における 1cm あ たりの目数を示す. 測定箇所は、無作為に5ヶ所抽 出された. ポリエステルの目数が多い原因は、糸張 力が高いためと考える.

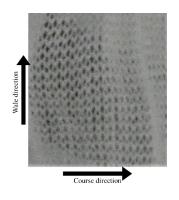


Fig.3 Plain knittings.

Table 1 A number of stitches per 1cm in plain knittings.

	Point1	Point2	Point3	Point4	Point5	Ave.
POM	10	10	10	10	10	10
Cotton	10	10	10	10	10	10
Polyester	16	15	16	17	17	16.2
Hybrid(POM+Cotton)	9	9	9	9	9	9

Table 2 The number of stitches that each finger touches.

	Po	POM		Cotton		Polyester		Hybrid(POM+Cotton)	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female	
L1	71	67	71	67	116	108	64	60	
L2	80	74	80	74	129	120	72	67	
L3	75	69	75	69	121	112	67	62	
L4	59	55	59	55	96	88	53	49	

3. 結果

男女の被験者が生地を触った際,指が繊維の表面に接触する面積が異なることが推察されるため,評価結果の補正値として,親指を除く4本の指が,生地の編み目に触れる数を事前に算出した.各指の指長は,AISTが提供する日本人の手の寸法データより引用した⁴⁾.人差し指をL1,中指をL2,薬指をL3,小指をL4とする.図4にイメージ図を示し,表2に各指に触れる目数を示す.

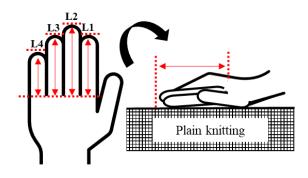


Fig.4 Illustration of finger length in contact.

4. おわりに

今後実施する感性評価に表 2 の結果を補正値と して活用することにより,男女間における評価結果 を補正出来るものと考える.

参考文献

- 1) 圓井良, 圓井陽介, 梅村俊和, 藤本和富, 田茂井 勇人, 若林久美来: POM 樹脂から作られた繊維 「Neosilk®」の開発, 日本材料学会 第7回材料 WEEK, 2021, 514.
- 2) Yoshinobu Kamata , Kyoko Yoshida , Noriko Ishikawa , Maki Watari , Hidetoshi Okawa : Mechanical properties of polyacetal fiber and polyacetal knitted cloth , Bulletin of Jissen Women's University, Faculty of Human Life Sciences, Vol.47, No.7, p.57-64.

https://jissen.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail &item_id=1028&item_no=1&page_id=13&block_id=30, (参照 2021/11/09)

- 3) 株式会社プレジール:ポリアセタール樹脂によるコアシェル型二重構造糸を用いた高機能不織布の開発,平成29年度予算「戦略的基盤技術高度化支援事業」.
 - https://www.chusho.meti.go.jp/keiei/sapoin/2017/17 0728SenryakuKoubo.htm, (参照 2021/11/09)
- 4) 河内まき子:AIST 日本人の手の寸法データ, 2012.https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/hand/index.htm 1, (参照 2021/11/09)

おいしさ指標の提案 一心理的障壁を用いた測定—

Proposal for Deliciousness Index
-Measurement by psychological barriers-

〇猶原駿平*,神宮英夫** *金沢工業大学大学院 **金沢工業大学

NAOHARA Shumpei, JINGU Hideo Kanazawa Institute of Technology

1. 目的

食品には三大機能として栄養機能、嗜好機能(お いしさ), 生体調整機能があることが知られている 1). 食品を口にする際、栄養面などが重要視されると共 に、"おいしさ"というのもまた重要な要素の一部で ある. "おいしさ"を測定する際によく用いられる方 法として、アンケート(例として SD 法等)が挙げ られる. これらの測定は本人の意識できる顕在的な "おいしさ"に焦点をあてたものである. これらの 研究は盛んに行われている一方で、意識されていな い潜在的な"おいしさ"に関する研究はあまり行わ れていない. 潜在的な"おいしさ"は言語を介して 測定することができないので、別のアプローチで"お いしさ"を測定する必要がある. そこで, 以下のよ うな枠組みで潜在的な"おいしさ"を測定すること ができるのではないかと考えた. 心理的障壁が存在 する時, その食品に期待がある場合はこれを乗り越 えることができる. さらに、期待と心理的障壁の関 係性が明らかになれば、逆説的に心理的障壁の大き さから期待を推測することができると考えられるで あろう.

本実験では、"おいしさ"の大きさによって乗り越えることのできる心理的障壁が異なるのではないかという仮説を立てた。生理指標を用いてストレスを測定することで、心理的障壁を乗り越えることができたかを測定し潜在的な"おいしさ"と心理的障壁の関係について明らかにする。

2. 方法

実験参加者 石川県内の大学生 10 名で実施した. (男性 8 名、女性 2 名)

刺激 パフ入り板状チョコレート菓子市販同等品 (以下試作品 A とする) および試作品 A に対し,パ フ量を 40%に減らした板状チョコレート菓子(以下 試作品 B とする),同様にパフ量を 15%に減らした 板状チョコレート菓子(以下試作品 C とする)を用 いた.

装置 心電計 (GM3 社 RF-ECG), iPad, 曲線描画ソフト (Graph Drawing), 質問紙を使用した.

手続き 実験参加者の胸部に心電計を取り付けるためのシートを貼り、心電図の解析ソフトを起動させたパソコンと接続した心電計を胸部に取り付けた.心電計が正しく動作していることを確認した後実験を開始した.まず、実験参加者に試作品を試食してもらい、その試作品による期待の程度について VAS評価による感性評価を実施した. VAS評価では「また食べたいと感じたか」、「購入したいと感じたか」を期待値の指標として用いた.

質問紙の回答が終わったら心電図の測定を開始し1分間の安静を設けた後,3分間試作品の喫食を実施した. 喫食の際は未開封状態の試作品を使用し,まず試作品の開封を行ってもらい(以下開封時),喫食を行ってもらう(以下喫食時)一連の流れで実施した.

喫食後心電図の測定を終了し、曲線描画を記録するアプリケーションの入ったiPadで実験中に感じたストレスについての回答を実施した.ストレスの値が変化した地点について、および喫食経験について実験参加者にアンケートを実施し、十分な休憩を設けた.休憩終了後、異なる2つの試作品でも同様の実験を実施した.試作品の使用順序はランダムに決め、カウンターバランスを取った.また、使用した試作品の外見や包装は統一した.

3. 結果

VAS評価による3種類の試作品の平均期待値は試

作品 A が 6.52 であり、試作品 B が 5.41、試作品 C が 5.28 であった. 試作品間で期待値に差があるかを 調べるために分散分析を実施した. その結果、試作品間で有意な差が見られた (F(2,29)=4.44,p<.05). 多重比較の結果、試作品 A と (試作品 B、試作品 C) の間に有意差が見られた (p<.05).

次に、副交感神経の活性化指標である HF 値 (0.15Hz~0.4Hz) は、個人差の影響を補正するため に、測定された単位時間 2 秒ごとの HF 値から安静 時の平均 HF 値を引いて比較を行った. 試作品間で HF 値に差があるかを調べるために分散分析を実施 した. その結果, 開封時および喫食時の両方におい て有意な差が見られた (F(2,29)=4.87, p<.05: F(2,29)= 9.52, p<.01). 多重比較の結果, 開封時と喫食時共に, 試作品 A と試作品 (B, C) の間に 5%水準で有意差 が見られ、試作品AのHF値の方が高いことが分か った. 開封時と喫食時の HF 値に差があるかを調べ るためにt検定を実施した.その結果,試作品Aと 試作品 C で有意な差が見られた(t(9)=3.76, p<.001: t(9)=2.40, p<.05). 試作品 B は有意ではなかった (t(9)=0.65,ns). 実験中の HF 値の推移を Figure1 に示す. グラフ上の点線は開封時から喫食時に移行したタイ ミングを示している.

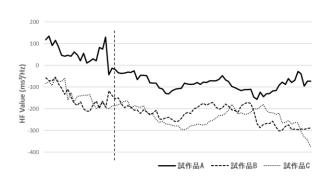


Figure1 HF value in experiment

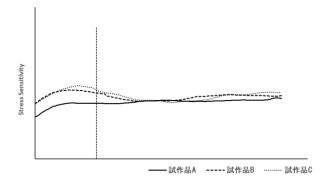


Figure2 Curve drawing of stress sensitivity

実験後に実施した曲線描画で測定された主観的なストレスの値について、試作品間で差があるかを調べるために平均面積を用いて分散分析を実施した. 開封時、喫食時共に有意ではなかった (F(2,29)=1.37, ns: F(2,29)=0.01, ns). 開封時と喫食時の主観的なストレスに差があるかを調べるために平均面積を用いて t 検定を実施した. その結果、試作品 B で有意な差が見られ (t(9)=2.38,p<.05) 喫食時より開封時の方がストレスの値が高いことが分かった. 試作品 A と試作品 C は有意ではなかった(t(9)=0.66, ns: t(9)=1.69, ns). 実験中に感じた実験参加者の主観的なストレスの平均値の推移を Figure2 に示す. 同様にグラフ上の点線は喫食に移行したタイミングを示している.

4. 考察

VAS 評価の結果から、試作品 A は試作品 B と試 作品 C より期待値が高くなっており、よりおいし いと感じていると考えられる. また, HF 値は試作 品 A の方が試作品 B, C に比べ高くなっているこ とが分かった. 現行品は喫食の過程で存在するちょ っとした"面倒くささ"(心理的障壁)を"おいし さ"によって乗り越えられたと考えられる. 試作品 B, C では、"おいしさ"をあまり感じなかったこと から,心理的障壁を乗り越えることができず,より 大きなストレスを感じたと考えられる. これらのこ とから、"おいしさ"の大きさによって乗り越える ことのできる心理的障壁が異なるという仮説が支 持された.一方で、曲線描画を用いて測定した主観 的なストレスでは試作品間に有意な差が見られな かったことから, 主観的なストレスでは潜在的な "おいしさ"を測定することができなかったと考え られる.

これらは、主観的な方法では測定することができないが、心理的障壁のようなアプローチを用いることで測定することができる"おいしさ"が存在し、この"おいしさ"の正体が潜在的な"おいしさ"を示している可能性があると言える.

謝辞

株式会社ロッテのご協力により,本実験が実施で きたことに心から感謝いたします.

参考文献

1) 荒井綜一: 機能性食品, 日本醸造協会誌, **85**(1), pp.2-5 (1990).

火葬場の告別室に設ける光庭デザインについての検討

Examination of the light garden design in the Funeral room

〇吉田桃子*, 久保博子** *奈良女子大学大学院 **奈良女子大学

YOSHIDA Momoko*, KUBO Hiroko**

*Graduate Student, Nara Women's University, ** Nara Women's University

1. 背景·目的

火葬場は、建設に際して周辺環境に対する多くの 配慮が求められ、新設時には反対運動が起こる例も 少なくない。そこで、火葬場の立地選定・交通網・ 外観に関する議論や、公害対策として設備に関する 工夫は多くされている。また、建物の平面計画につ いては、年齢や性別を問わず誰もが利用する施設で あることや、初めて利用する人が多いこと、プライ バシー確保への配慮など、様々な工夫がされている 1)2)3)4)。建築計画においては前述のような物理的な配 慮はもちろんのこと、利用者の心理的な快適感につ いても考慮するべきである。しかし、火葬場建築に おいて環境を心理的に検討したものは少なく、人々 が火葬場に心理的に求めるものは明らかでない。そ こで本研究では、火葬場の中でも、故人との最後の お別れの場であることから、特に重要であると考え られる告別室を対象に、視覚心理的に最適な内装に ついての検討を行う。本研究は奈良市に新設予定の 火葬場の計画に基づいて 5) 研究を開始した。新設予 定の火葬場は排煙等の観点から告別室に隣接してド ライエリアを設けることとなっている。そのドライ エリアを光庭と見立て、空間をよりよく演出するた めにはどのようなものが相応しいのかを明らかにす ることを目的とする。最終的には、本研究を通して 今後火葬場を建築する際の普遍的な指標となること を目指す。本報では、人々が火葬場の告別空間に抱 くイメージを知るために実施したアンケート調査と 印象評価実験について報告する。

2. アンケート調査

2-1. 調査概要

告別空間に人々が抱く印象を把握するために、アンケート調査を実施した。調査は Web と紙面を併用し、奈良市近辺に住む幅広い年代の方から回答を得た。表1に調査の概要、表2に回答者の属性を示す。表1の質問内容③では、質問用紙に記載した68語の

形容詞から、回答者が告別空間に抱く印象と一致するものを選択する。用紙に記載した形容詞は、既存の火葬場の設計コンセプトなどに用いられている言葉^{6,7)} や空間の印象評価に用いられることが多い形容詞⁸⁾ を参考に選出した。質問④では今後使用したいと思う告別空間の印象を自由記述で思いつく限り記述する。質問⑤では、既存の火葬場の告別室の写真を呈示し、その写真から感じとる印象を自由記述する。

2-2. 結果と考察

本報では主に、質問③及び質問④の結果について 考察する。有効回答者数は、質問③が324名、質問 ④が298名である。被験者の属性によって結果に違 いが見られたが、今回は代表して全被験者の結果の 平均値を用いて考察する。表 3 i) に、質問③の結果 を示す。アンケートに記載した68語のうち回答者に よって選択された数の合計を有効回答者数で除した もの選択率とし、選択率が高いものから順に18の形 容詞についてグラフに示す。これまでの経験から告 別空間には「静かな」印象を抱く人が最も多いこと がわかる。表 3 ii) に質問④の結果を示す。自由記述 により得られた回答を整理すると、空間の印象を表 す言葉が78個得られる。この78個の言葉の出現頻 度を有効回答者数で除したものを選択率とし、表 3 i)と同様に、選択率上位18語を示す。グラフより、 告別空間には「落ち着いた」「明るい」「温かい」と いった印象が求められることが分かる。表3中のグ ラフ着色部に示すように、これまでの経験から告別 空間に抱く印象と今後告別空間に求める印象には、 「冷たい」と「温かい」、「暗い」と「明るい」など、 対義語の関係にあるものもみられる。これより、従 来の告別空間からは感じられにくかった、「温かい」 「明るい」「開放的な」印象を与える告別空間を計画 することが望ましいことが示唆される。

3. 画像評価実験

表1 アンケート調査概要

実験期間	2020/10/08~11/23
対象者	19歳から89歳の男女324名
	①年齢・性別
	②訪れたことがある火葬場名称
	③これまでの経験から告別空間に抱くイメージについて複数選択
質問内容	(該当項目複数選択・自由記述)
	④今後使用したい告別空間の印象について(自由記述)
	⑤既存の火葬場の写真から感じとる印象について (自由記述)
	※カッコ内は同答方法

表 2 回答者属性

年齢[歳代]	~20	30	40	50	60	70	80	無回答	計
男	37	16	24	31	17	13	8	0	146
女	66	23	22	22	14	21	4	1	173
無回答	2	1	0	0	1	0	0	1	5
計	105	40	46	53	32	34	12	2	324

表3 アンケート調査結果

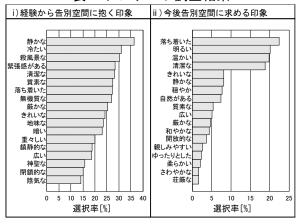


表 4 実験概要

	女 一个两个成文
実験期間	2020/2/24~3/18
対象者	19歳から60歳の男女59名
照明条件	照度270 x(机上面)、色温度3000K
	以下の組み合わせで計25種類
	1. 壁面装飾(白色, 硬質素材, 土壁, 蔦)
画像条件	2. 床置き装飾(なし, 石造, 木造, 花, 枯山水)
	3. 窓面装飾(なし, すりガラス①, すりガラス②, 木格子)
	4. 光装飾(自然光, 暖色光, 色光、拡散光)
	10分間実験室環境に順応後、25枚の画像を順に呈示
評価方法	<画像を45秒間観察→7段階SD法で評価・0~10点で画像を評価
計圖力法	→15秒間黒色の画像を観察>を繰り返し行う。
	・告別空間を想定して評価

表 5 被験者属性

年齢(歳代)	~19	20	30	40	50	60	計		
男性(人)	0	0	2	6	7	3	18		
女性(人)	3	27	3	0	7	1	41		
合計(人)	3	27	5	6	14	4	59		



図1 実験風景

表 6 呈示画像

壁面装飾	床置き装飾	窓面 すりガラス①	窓面 すりガラス②	窓面 木格子	光装飾
	****	-			
-1		1		line.	
	f				
	<u></u>				

3-1. 実験概要

告別室に設ける光庭のデザインとして、どのよう なものがふさわしいのかを明らかにするために、印 象評価実験を実施した。実験は大型の液晶ディスプ レイ (2060mm×3660mm) を備えた本学教室で行う。表 4 に実験概要を示す。照明条件について、照度は既 存の火葬場告別室実測データを参考に決定し、色温 度は新設予定の告別室と同じにした。表 5 に被験者 属性の詳細を示す。評価は画面から 3.0m 離れた位置 に座って行う。被験者の視力は評価対象を十分に視 認できる程度であり、色覚は正常である。表6に実 験に使用した画像を示す。構成要素の異なる 25 種類 のデザインを呈示し、各案から感じる印象を7段階 の SD 法で評価する。さらに、呈示画像の総合評価と して「告別空間におけるデザインとしてのふさわし さ」を 0~10 点で評価する。表 7 に S D 法における 評価項目を示す。評価に用いた言葉は、アンケート 調査により得た結果や、被験者8名で実施した予備 実験をもとに決定した。図1に実験風景を示す。

3-2. 結果と考察

3-2-1. 因子分析

被験者全員の SD 法の評価平均値を用いて因子分 析(主因子法,バリマックス回転)を行ったところ、 3つの因子に分類された。結果を表8に示す。第1 因子は、「開放的な」、「軽やかな」といった、空間の 価値を示す言葉が多く含まれることから「価値性因 子」と解釈する。第2因子は、「静かな」、「静的な」 といった、静かさや落ち着きを表す言葉が多く含ま れたため「静的性因子」と解釈する。第3因子は、 「奈良らしい」「季節感のある」「和風な」が含まれ、 地域性や季節感を表す言葉が含まれることから、「地 域・季節性因子」と解釈する。ここで、アンケート の質問④の結果と比較する。因子分析の結果より、 第1因子には「開放的な」、「明るい」、「温かい」な どが含まれ、第2因子には、「静かな」「穏やかな」 「質素な」が含まれており、表 3 ii) 今後告別空間に 求める印象として挙げられたものと一致するものが 多い。図2に、横軸を第1因子の因子得点、縦軸を 第2因子の因子得点とした時の、呈示画像の附置図 を示す。因子分析とアンケートの結果より、第1因 子・第2因子ともに因子得点が高いものほど、好ま しいと考えられることから、図2の第一象限に位置 する画像は告別空間における光庭デザインとして比 較的好ましいと考えられる。

表 7 SD 法評価項目

静かな一騒がしい	暗い一明るい	奈良らしい一奈良らしくない	地味な一派手な
冷たい一温かい	重々しい一軽やかな	高級感がある一安っぽい	やわらかい一かたい
快適な一不快な	閉鎖的な一開放的な	荘厳な一親しみやすい	厳かな一和やかな
質素な一豪華な	陰気な一陽気な	季節感のある一季節感のない	澄んだ一濁った
静的な一動的な	穏やかな一激しい	広々とした一狭苦しい	和風な一洋風な

表 8 因子分析結果

衣。囚丁万仞和未						
因子	評価項目	因子負		-負荷量		
囚十	計画項目	因子1	因子2	因子3	共通性	
	開放的な	0.97	0.13	0.01	0.96	
	軽やかな	0.96	-0.10	0.10	0.95	
	やわらかい	0.96	-0.03	0.23	0.97	
	明るい	0.93	-0.14	0.13	0.90	
1	広々とした	0.92	0.33	-0.06	0.96	
価値性	陽気な	0.91	-0.33	0.19	0.97	
	澄んだ	0.87	0.39	0.03	0.90	
	快適な	0.78	0.43	0.33	0.90	
	和やかな	0.74	-0.49	0.33	0.89	
	親しみやすい	0.72	-0.37	0.37	0.79	
	温かい	0.57	-0.37	0.56	0.78	
	静かな	0.31	0.93	0.04	0.97	
2	静的な	-0.15	0.93	0.22	0.93	
	地味な	-0.22	0.76	0.12	0.64	
静的性	質素な	-0.13	0.72	-0.08	0.55	
	穏やかな	0.60	0.68	0.37	0.95	
	高級感がある	0.26	0.45	0.22	0.32	
3	奈良らしい	0.11	0.43	0.86	0.93	
地域·	季節感のある	0.31	-0.07	0.83	0.79	
季節性	和風な	-0.06	0.47	0.78	0.83	
	固有値	9.68	5.35	2.26	\setminus	
寄与率[%]		44.0	25.1	15.3		
累積寄与率[%]		44.0	69.0	84.4	\	

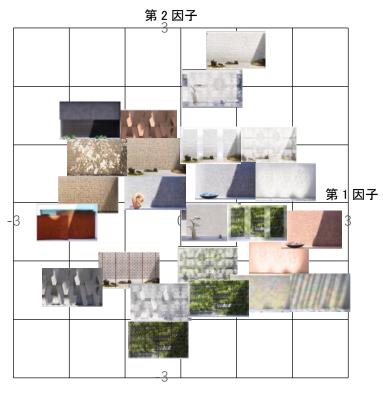


図2第1因子と第2因子の関係

3-2-3. 重回帰分析

告別空間の光庭として、ふさわしいデザインにするためには、どのような印象を作り出すのが有効であるかを知るために、全被験者の総合評価の平均値を従属変数、各因子の因子得点を独立変数として重回帰分析(強制投入法)を行った。結果を以下に示す。p値(**:1% 水準、*:5%水準)

デザインのふさわしさ =0.512【第1因子】**+0.241【第2因子】* +0.260【第3因子】*+5.39 自由度調整 R²値=0.685

結果から、呈示したデザインのふさわしさは、第1 因子に分類された評価項目の評価値による影響を最 も受けやすいと考えられ、その他にも第2因子及び 第3因子の影響も受けていることが示された。

3-2-2. 総合評価とSD法各評価項目の関係

SD 法による各評価がデザインのふさわしさを示 す総合評価とどのように関連しているかを把握する ために、横軸に SD 法による各評価項目の評価平均 値、縦軸に総合評価の得点を取り、両者の相関関係 を検討する。表 9 に評価項目全 20 個のうち、代表し て4つの評価項目の結果を示す。総合得点と最も強 い相関が見られるのは「快適な-不快な」であり、最 も相関が見られにくいのは「豪華な-質素な」である。 表 10 に、各評価項目の相関係数(R2)を示す。表の塗 りつぶし部分は、重回帰分析により、総合評価に与 える影響が最も大きいと考えられる、第1因子に分 類された項目である。表 10 より、「快適な」、「澄ん だ」、「穏やかな」などの印象を持つデザインは告別 空間における光庭としてふさわしいと判断されるこ とが示唆された。第1因子に分類された項目であっ ても相関係数が低いものが存在し、「温かい」、「親し

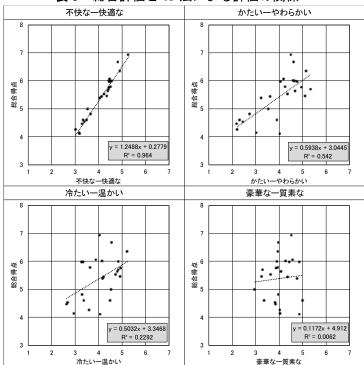


表 9 総合評価と SD 法による評価の関係

0.606 広々とした一狭苦しい 閉鎖的な一開放的な 0.5476 高級感がある一安っぽい 0.5446 やわらかいーかたい 0.542 静かな一騒がしい 0.4728 重々しい一軽やかな 0.4186 暗い一明るい 0.4068 奈良らしい一奈良らしくない 0.3643 季節感のある一季節感のない 0.3107 陰気な一陽気な 0.3024

表 10 総合評価と SD 法による

評価の相関係数

評価項目

澄んだ一濁った

穏やかな一激しい

冷たい一温かい

荘厳な一親しみやすい

和風な一洋風な

厳かな一和やかな

静的な一動的な

地味な一派手な

質素な一豪華な

相関係数

0.964

0.7634

0.7332

0.2292

0.209

0.1923

0.182

0.1627

0.0131

0.0062

みやすい」「和やかな」は共通性が低いことが原因と して考えられる。

4. まとめ

アンケート調査より、告別空間に対して経験的に抱く印象と、今後利用する際に求める空間としての印象は異なることが明らかになった。また、印象評価実験のSD法評価を因子分析したところ、「価値性因子」「静的性因子」「地域・季節性因子」の3つの因子に分類された。重回帰分析の結果より、デザインのふさわしさは第1因子に分類される項目の影響を受けやすいことが示唆された。しかし、評価項目ごとに「デザインとしてのふさわしさ」を示す総合評価との関係を検討すると、必ずしも第1因子の因子負荷量が高いものとの相関が高いわけではなく、その理由については今後検討が必要である。また、評価時に被験者が呈示画像のどの部分を見て印象を感じたのかについても今後検討する必要がある。

参考文献

- 1) 八木澤壮一: 火葬場研究の目的と施設の概要-火葬場の建築計画に関する研究 I-, 日本建築学会論文報告集,第 295 号, pp.93-101 (昭和 55 年 9 月).
- 2) 八木澤壮一: 公営火葬場の管理と運営について-火葬場の建築計画に関する研究Ⅱ-,日本建築学会論文報告集,第 299 号,pp.127-134 (昭和 56 年 1 月).

- 3) 八木澤壮一: 火葬場内における葬送行為の分析-火葬場の建築計画に関する研究Ⅲ-, 日本建築学会論文報告集, 第 315 号, pp.112-121 (昭和 57 年 5 月).
- 4) 浅香勝輔: 地域施設としての火葬場と都市計画規制 に関する研究,日本建築学会計画系論文報告集,第421号,pp83-94(1991年3月).
- 5) 奈良市新斎苑等整備運営事業光庭デザイン説明資料 (2020).
- 6) 瞑想の森 市営斎場パンフレット(中), https://www.city.kakamigahara.lg.jp/_res/projects/default_proje ct/_page_/001/005/498/meisoupanfunaka.pdf
- 7) 東芝ライテック株式会社納入施設例, いなんせ斎苑 , https://jirei.tlt.co.jp/pdf/030801_07.pdf
- 8) (仮称) 五条広域事務組合斎場 斎場建設基本設計 (概要版), 平成 30 年 3 月
- 9) 水戸市新斎場建設基本設計 基本設計書 概要版
- 10) 井上正明、小林利宣:日本におけるSD法による研究分野とその形容詞対尺度の構成の概観,教育心理学研究,第33巻,第3号,pp.69-76(1985年).
- 11) 小﨑美希: 商業店舗の外観評価と外観構成要素に関する研究,日本建築学会環境系論文集,第82巻,第738号,695-704(2017年8月)
- 12) 小﨑美希, 西川麻里奈, 平手小太郎, 鈴木直行: イン テリアの印象評価語の整理 既往研究との比較・検討, 日 本建築学会環境系論文集, 第 84 巻, 第 766 号, 1031-1039(2019 年 12 月)

冬期の寝室温熱環境が高齢者の睡眠および血圧に及ぼす影響 ―奈良県都市部および農村部における実測調査―

Effects of Winter Bedroom Thermal Environment on Sleep and Blood Pressure in Older Adults
A Field Survey in Urban and Rural Areas of Nara Prefecture

〇城戸千晶*,帯名千滉*,久保博子*,東実千代**,佐々尚美***
*奈良女子大学大学院 人間文化総合科学研究科 **畿央大学 健康科学部
***武庫川女子大学 生活環境学部

KIDO Chiaki*, OBINA Chihiro*, KUBO Hiroko**, AZUMA Michiyo**, SASSA Naomi***

* Graduate School of Humanities and Sciences, Nara Women's University, ** Faculty of Health Sciences, Kio University, *** School of Human Environmental Science, Mukogawa Women's University

1. はじめに

冬期の住宅内温熱環境が高齢者の健康に影響することが明らかにされており、2018年にWHO は冬期の室温を 18° C以上にすることを強く勧告した $^{\circ}$ 1.中でも夜間の寝室温熱環境が低温であることは睡眠や心臓自律神経活動,血圧変動に影響することが報告されている $^{2\sim4}$ 1.しかし,実際に温暖地にて高齢者宅の寝室温熱環境を計測した調査によると,平均 10° C程度の低温環境であり,中には 5° C以下で終夜過ごす者がいたことが報告されている $^{5\sim7}$ 1.

そこで本研究では、奈良県内の都市部および農村 部在住高齢者を対象に冬期の自宅における寝室温熱 環境の実測調査を行い、温熱環境の評価、さらに温 熱環境が睡眠や血圧に及ぼす影響について検討した。 なお、異なる地域にて調査した理由として、周辺の 自然環境条件の違いから様々な温熱環境パターンを 得ることができると考えたためである。

2. 調査概要

対象は奈良県奈良市(都市部)および川上村(農村部)在住の60歳以上の高齢者とした.調査は冬期(2018年または2019年の1~2月)に実施した.全97名に調査を依頼し、79名から協力を得た.調査対象者の概要を表1に示す. 平均年齢は農村部より都市部のほうが8歳ほど高かった.

調査概要を表 2 に示す. 寝室の温湿度は小型温湿度計, 睡眠指標は腰部装着型活動量計により一週間計測した. 期間中, 調査対象者には普段どおり生活してもらうよう指示した. 調査初日から 3 日間, 起床時に主観的睡眠評価(OSA 睡眠調査票 MA版) および寝室温熱環境に対する温冷感・快適感を回答させ, 就床時および起床時には血圧を計測させた.

表1 調査対象者の概要

	都市	農村	р
調査対象者, n	52	27	-
男性 / 女性, n	26 / 26	12 / 15	_
年齢 (歳), mean(SD)	78.2 (5.6)	70.7 (6.5)	** *2
BMI $(kg/m^2)^{*1}$, mean(SD)	23.2 (6.1)	22.7 (2.4)	n.s.
高血圧の持病・既往歴あり, n(%)	16 (30.8)	9 (33.3)	n.s. **3
降圧剤の服用あり, n(%)	6 (11.5)	4 (14.8)	n.s.
睡眠薬の服用あり, n(%)	12 (23.1)	6 (22.2)	n.s.

** p<0.01 * p<0.05 n.s.: No Significant ※1 BMI=体重[kg]/(身長[m])²

※2 対応のないT検定

表 2 調査概要

※3 カイ二乗検定

測定項目	調査実施期間 (7日間)			
	1日目 2日目 3日目 4日目 5-7日目			
温熱環境	←			
寝室の温度・相対湿度	10分間隔			
睡眠指標				
全就床時間,中途覚醒時間等	2分間隔			
主観的睡眠評価(OSA睡眠調査票	MA版)			
温冷感・快適感				
血圧	$\circ \bullet \circ \bullet \circ \bullet \circ$			
エー・エー・ カー・ ハー・ナー・ カー・コー・				

調査対象者自身が ○就床前 ●起床後に 計測および記入

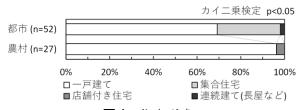
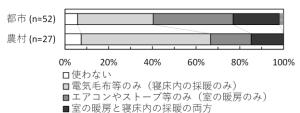


図1 住宅形式



■不明

図2 寝室の暖房使用状況

3. 結果および考察

3-1. 住まいと暖房使用状況の実態

住宅形式は都市部では戸建住宅(7割)と集合住 宅(3割)が主であり、農村部ではほとんどが戸建住 宅であった(図1).

寝室の暖房使用状況は都市部ではエアコンやスト ーブによる室の暖房を行う者が多かったのに対し、 農村部では電気毛布など寝床内の採暖のみ行う者が 多かった(図2). また,エアコンやストーブ等を使 用する者の使用頻度は「就寝前に切る」や「タイマ ーを使用する」と回答する者が多く、「終夜使用する」 者は少なかった.

3-2. 温熱環境, 睡眠, 血圧の実態

表 3 に温熱環境, 睡眠指標, 主観的睡眠評価, 血 圧を示す. 温熱環境について, 睡眠中外気温に地域 差は認められなかったが、睡眠中寝室温度は都市部 のほうが高かった. 睡眠指標および主観的睡眠評価 については、地域差は認められず、既往研究や全国 平均と大差ない平均的な睡眠であった. 血圧につい ては、就床時の収縮期血圧が都市部で高かった. こ れには年齢の影響が考えられたことから, 年齢を共 変量とした共分散分析を行ったところ, 地域差は認 められなかった. また, 両地域とも就床時に比べて 起床時に高くなり、日内変動に伴うモーニングサー ジ6の特徴がみられた.

3-3. 寝室温熱環境の地域差

外気温と寝室温度の関係を検討すると, 両地域と も正の相関が認められ、寝室温度は外気温の影響を 受けていた(図3).回帰直線に着目すると、ばらつ きはあるが農村部に比べて都市部では外気温に対し て寝室温度が高く保たれる傾向がみられた. その理 由として,都市部は木造の戸建住宅に比べて熱容量 の大きいコンクリート造の集合住宅が多いこと、さ らに室の暖房を行う者が多かったことに起因すると 考えられる. そこで住宅形式とエアコンやストーブ 等による室の暖房有無の組み合わせから4群に分類 し, 平均寝室温度を比較した (図4). なお, 4群の 平均外気温は 3.1~3.7℃であり有意差は認められな かった. 寝室温度は戸建住宅よりも集合住宅で高い 傾向を示した. また, 戸建住宅においては暖房使用 ありで温度が高かったことから、暖房により寝室を 暖めることができていたといえる. 以上から、集合 住宅および暖房使用が多い都市部において寝室温度 が高かった可能性が示された.

表 3 温熱環境, 睡眠指標, 主観的睡眠評価, 血圧

	都市 農村				V/1
		(n=52) $(n=27)$		p**1	
温熱環境					
外気温 (°C)	3.4	(1.1)	3.1	(1.4)	n.s.
寝室温度 (°C)	12.9	(3.0)	10.4	(2.2)	**
睡眠指標					
就床時刻 (h:mm)	22:36	(1:05)	23:06	(0:46)	n.s.
起床時刻 (h:mm)	6:23	(1:01)	6:29	(1:02)	n.s.
全就床時間(分)	471	(70)	444	(61)	n.s.
中途覚醒合時間(分)	84	(47)	81	(49)	n.s.
入眠潜時(分)	21	(20)	13	(9)	n.s.
姿勢変更回数 (回)	13.2	(6.5)	14.6	(7.3)	n.s.
睡眠効率(%)		(11.9)	77.4	(10.5)	n.s.
主観的睡眠評価(OSA睡眠調査票I					
第1因子:起床時眠気	53.7	(8.9)	50.2	(7.5)	n.s.
第2因子:入眠と睡眠維持	48.8	(8.8)	45.3	(9.2)	n.s.
第3因子:夢み	50.7	(8.4)	50.1	(7.8)	n.s.
第4因子:疲労回復	54.7	(8.7)	51.4	(8.3)	n.s.
第5因子:睡眠時間	51.6	(9.3)	49.1	(8.3)	n.s.
血圧					
就床時 収縮期血圧 (mmHg)	128.6	(12.9)	121.7	(15.8)	*
就床時 拡張期血圧 (mmHg)	72.3	. ,	72.3	. ,	n.s.
起床時 収縮期血圧 (mmHg)		(14.5)		(13.9)	n.s.
起床時 拡張期血圧 (mmHg)	77.2	(9.5)	78.5	(8.0)	n.s.

Mean(SD) ** p<0.01 * p<0.05 n.s.: No Significant ※1 対応のないT検定

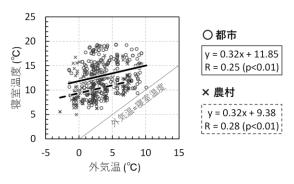
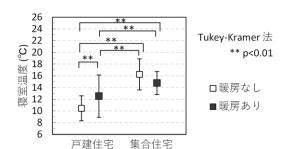


図3 外気温と寝室温度の関係



住宅形式および暖房有無別の平均寝室温度

3-4. 高齢者に配慮した住宅熱環境評価基準による 寝室温熱環境の評価

図5に全対象者における一晩ごとの寝室温湿度の 平均値を湿り空気線図上に示す. 日本建築学会によ る高齢者に配慮した住宅熱環境評価基準値で示され る夏期における寝室の推奨範囲(温度:18~22℃, 相対湿度:30~50%) 8)と比較すると両地域とも低温 を示し、基準内に入っていたのは都市部 4.4%、農村 部 0.8%のみであった.

3-5. 寝室温熱環境に対する温冷感・快適感

図 6~7 に起床時に得られた温冷感および快適感の申告割合を示す(記入漏れがあったため,得られた申告数は都市部 124,農村部 67 となっている).温冷感・快適感ともに地域差は認められなかった.温冷感については 6 割以上が中立から暖かい側に評価していた.しかし,農村部で「-3:寒い」の申告がやや多くみられ,寝室温度の低さが温冷感に影響していたと考えられる.快適感については 9 割以上が中立から快適側に評価しており,不快側の申告が少なかった.また,実際の寝室温度との対応を見てみると,温度が下がるほど温冷感は寒い側,快適感は不快側に移行した.

図 8 に温冷感と快適感の関係を示す. 両地域とも 暖かいほど快適と評価していた. しかし, 温冷感で 「-3:寒い」と申告していても, 快適感には「-2: 不快」~「+2:快適」まで幅がみられ, 寒さを許容 している者がみられた.

3-6. 寝室温熱環境が睡眠および血圧に及ぼす影響

住宅形式や暖房使用有無の違いにより寝室温熱環境に地域差が生じていたことを確認した.しかし,睡眠,血圧,寝室温熱環境に対する温冷感や快適感に地域差は認められなかった.そこで,寝室温熱環境でみられた地域差は温熱環境のパターンとして捉え,都市部・農村部のデータを合わせて寝室温熱環境が睡眠および血圧に及ぼす影響を検討した.

(1) 睡眠への影響

寝室温度と睡眠指標および主観的睡眠評価との関連を検討したが、いずれも明確な関係は認められなかった. 寝具や着衣による調節がなされている場合、寝室温度が 9℃程度までであれば睡眠には影響がないことが報告されている ⁷⁾. 本調査において、寝室が 9℃未満であったのは全体の約 2 割であったことから、本調査対象者の寝室温熱環境は睡眠に影響を及ぼすほどの低温ではなかったと考えられる.

(2) 血圧への影響

近年の臨床研究から早朝に高血圧であることは心血管リスクである %ことが報告されている. そこで寝室温度と起床時の収縮期および拡張期血圧との関係を検討した(図9). 寝室温度が低いほど収縮期および拡張期血圧が高い傾向を示した. しかし, 血圧には寝室温度以外に, 性別, 年齢, 高血圧の持病や既往歴, 降圧剤の服用, 血圧の個人差が関連していると考えられる. そこで, 目的変数を起床時の血圧

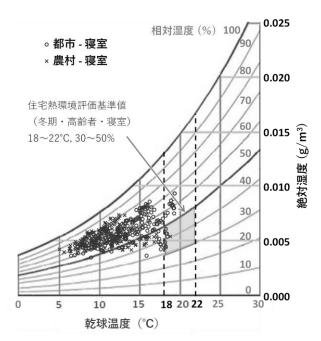
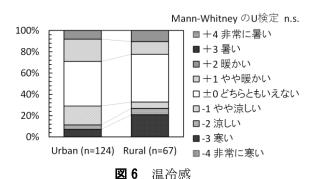
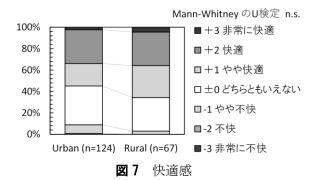


図5 寝温温熱環境と住宅熱環境評価基準値 8)





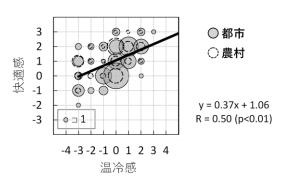


図8 温冷感と快適感の関係

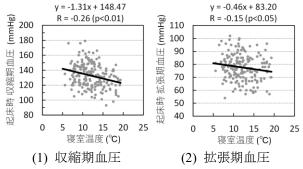


図9 睡眠中寝室温度と起床時血圧の関係

(収縮期または拡張期),調整変数を性別,年齢,高血圧の持病・既往歴有無,降圧剤の服用有無,就床時の血圧(収縮期または拡張期),説明変数を寝室温度とし,重回帰分析を行った.なお,変数選択法には強制投入法を採用した.表4に重回帰分析の結果を示す.調整変数を考慮しても,寝室温度と収縮期および拡張期血圧に関連がみられ,寝室温度が低いほど起床時の収縮期および拡張期血圧が高くなることを示した.よって,低温環境下での睡眠が早朝高血圧に影響する可能性が示唆された.

4. おわりに

奈良県内の都市部・農村部在住高齢者を対象に冬期実測調査を行い,寝室温熱環境の評価,寝室温熱環境が睡眠および血圧に及ぼす影響を検討した.

寝室温熱環境は都市部・農村部ともに高齢者に配慮した推奨範囲より低温を示した.しかし,高齢者の9割以上が寝室温熱環境を中立から快適と評価しており、中には寒さを許容する者も見られた.寝室温熱環境と睡眠との関連は本調査では認められなかったが、血圧との関連が認められ、寝室温度が低いほど血圧が高くなる傾向を示した.

高齢者は夜間にトイレに行く頻度が高く、寝室のみならずトイレにおける寒冷暴露が睡眠や血圧に悪影響を及ぼしている可能性が考えられる. 本報では寝室に焦点を当てて報告したが、今後は同時に計測していたトイレの温熱環境と合わせ、睡眠や血圧に及ぼす影響を検討していく予定である.

本研究は科学研究費補助金(基盤研究(B) JP16H03027 の一部および特別研究員奨励費 JP19J22081)の助成を受けて実施した.倫理配慮に関して,調査前に各調査対象者からインフォームド・コンセントを得ており,本研究は奈良女子大学研究倫理審査委員会の承認を受けている.

表4 重回帰分析の結果

1) 起床時収縮期血圧

強制投入法

54,0350,04				
標準偏回	標準偏回帰係数		р	VIF
定数		5.36	0.000	
性別(0男,1女)	-0.12	-1.82	0.071	1.141
年齢	0.11	1.55	0.122	1.279
高血圧の持病・既往歴(0なし,1あり)	0.06	0.82	0.415	1.164
降圧剤の服用(0なし,1あり)	-0.06	-0.87	0.385	1.231
就床時 収縮期血圧	0.37	5.27	0.000	1.240
寝室温度	-0.22	-3.27	0.001	1.090

重相関係数R=0.53, 決定係数R 2 =0.28, 自由度調整済み決定係数R 2 =0.26 N=184

(2) 起床時拡張期血圧

標準偏[標準偏回帰係数		р	VIF
定数		6.06	0.000	
性別(0男,1女)	-0.17	-2.29	0.023	1.165
年齢	-0.03	-0.39	0.699	1.102
高血圧の持病・経験(0なし,1あり)	0.00	0.01	0.989	1.164
降圧剤の服用(0なし,1あり)	-0.03	-0.42	0.677	1.246
就床時 拡張期血圧	0.33	4.78	0.000	1.058
寝室温度	-0.16	-2.28	0.024	1.053

重相関係数R=0.44, 決定係数 R^2 =0.19, 自由度調整済み決定係数 R^2 =0.16 N=184

参考文献

1) WHO: WHO Housing and Health Guidelines, https://www.who.int/sustainable-

development/publications/housing-health-guidelines/en/, 2021 年 10 月 30 日参照.

- 2) Okamoto-Mizuno et al.: Effects of an electric blanket on sleep stages and body temperature in young men, Ergonomics, Vol.48, No.7, pp.749-57 (2005).
- 3) Okamoto-Mizuno et al.: Effects of low ambient temperature on heart rate variability during sleep in humans, European Journal of Applied Physiology, Vol.105, pp.191-197 (2009).
- 4) Kuo et al.: Effects of cold exposure on autonomic changes during the last rapid eye movement sleep transition and morning blood pressure surge in humans, Sleep Medicine, Vol.15, Issue.8, pp.986-997 (2014).
- 5) 久保ら: 夏期と冬期における高齢者の居室の温熱環境に関する実測調査, 第41回人間-熱環境系シンポジウム報告集, pp.171-172 (2017).
- 6) Saeki et al.: The relationship between indoor, outdoor and ambient temperatures and morning BP surges from inter-seasonally repeated measurements, Journal of Human Hypertension, Vol.28, pp.482-488 (2014).
- 7) Okamoto-Mizuno et al.: Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly, International Journal of Biometeorology, Vol. 54, No.4, pp.401-409 (2010).
- 8) 日本建築学会: 高齢者のための建築環境, p.58, 彰国社 (1994).
- 9) Kario et al: Morning Hypertension: The Strongest Independent Risk Factor for Stroke in Elderly Hypertensive Patients, Hypertension Research, Vol.29, pp.581-587 (2006).

2021年度 日本人間工学会関西支部大会

大会長 久保 博子(奈良女子大学研究院工学系領域) 運営委員 安在 絵美(奈良女子大学生活環境学部) 大高 千明(奈良女子大学研究院工学系領域)

実行委員 吉田桃子(奈良女子大学大学院生活工学共同専攻) 帯名千滉(奈良女子大学大学院生活工学共同専攻) 夏 舒雲(奈良女子大学大学院生活工学共同専攻) 城戸千晶(奈良女子大学大学院生活工学共同専攻)

2021年度 日本人間工学会関西支部大会 講演論文集

発行日 2021年12月11 日 発行者 2021年度日本人間工学会関西支部大会事務局

> 〒630-8506 奈良市北魚屋西町 奈良女子大学生活環境学部久保研究室内 Tel / Fax: 0742-20-3475

E-mail: jesw2021.taikai@jesw.jp



主催 一般社団法人 日本人間工学会関西支部